

บทที่ 3

การออกแบบชุดควบคุมอัตโนมัติ



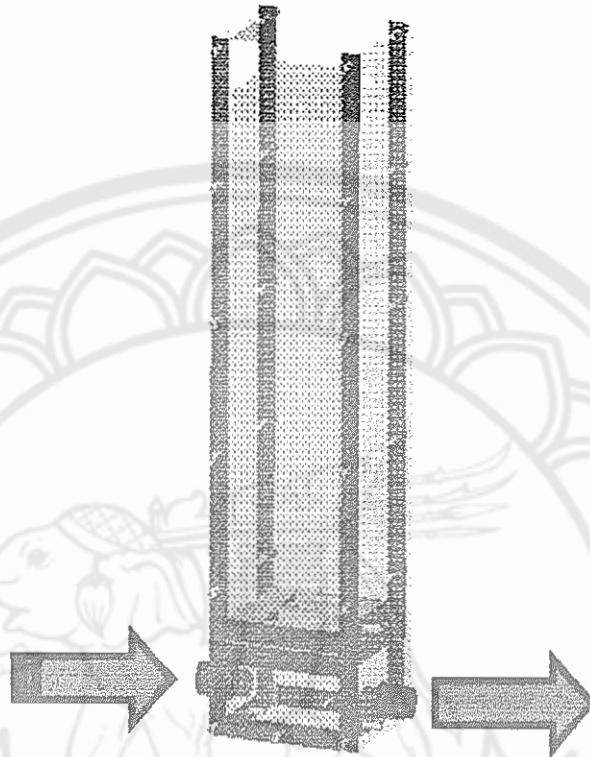
รูป 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานชุดควบคุมอัตโนมัติ

การทำงานของระบบควบคุมระดับของของเหลวมีองค์ประกอบดังภาพ ซึ่งได้แก่

- ถังแสดงระดับน้ำ (Tank)
- วาล์วระบายน้ำ (Ball valve)
- เครื่องวัดอัตราการไหล (Flowmeter)
- ถังเก็บน้ำ (Resource tank)
- ปั๊ม (Pump)
- วาล์วควบคุมการไหล (Control valve)
- ชุดควบคุมการทำงานของระบบ (Proportional Integral Derivative;PID)
- เซนเซอร์ (Sensor)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ติดตั้งองค์ประกอบที่กล่าวข้างต้นให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม คือ โตะ ซึ่งอุปกรณ์ที่ต้องออกแบบประกอบด้วย ถังแสดงระดับน้ำ ถังเก็บน้ำ และ โตะ เพื่อให้ทำงานร่วมกับ อุปกรณ์ที่เลือกตาม Catalog ของแต่ละบริษัทได้อย่างเหมาะสม

3.1 การออกแบบถังแสดงระดับน้ำ



รูป 3.2 แสดงลักษณะแบบโครงสร้าง Tank

การออกแบบโครงสร้างของถังแสดงระดับน้ำ ได้พิจารณาเลือกให้ท่อน้ำเข้า และท่อน้ำออกอยู่ ณ ตำแหน่งกันถัง และมีชั้นตะแกรงอยู่ด้านบนของท่อน้ำทางเข้า – ออก เพื่อลดการกระเพื่อมของระดับน้ำ และได้ออกแบบให้มี แผ่นรับแรงปะทะ ติดตั้งระหว่างท่อน้ำทางเข้ากับท่อน้ำทางออก เพื่อป้องกันการรบกวนแรงกระทำของน้ำเข้า สำหรับการคำนวณออกแบบโครงสร้างในรายละเอียดจะคำนวณตามสมมุติฐาน และยึดแบบโครงสร้างที่เลือกดังต่อไปนี้

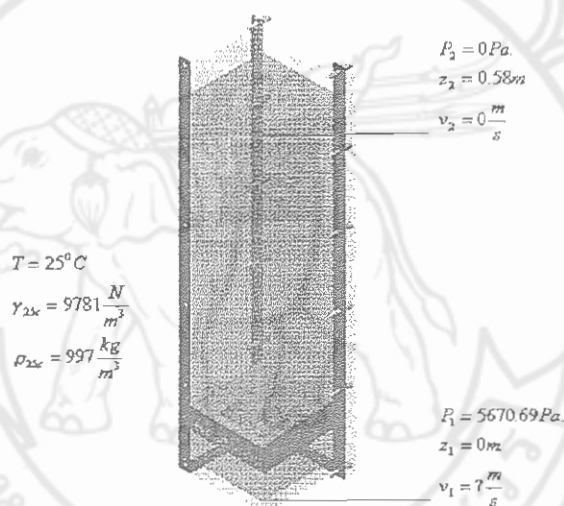
สมมุติฐาน :

- ความดันที่อยู่เหนือผิวน้ำในถังแสดงระดับน้ำ ไม่มีผลกับระบบ
- ระบบทำงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- ระบบที่คำนวณอยู่ในสถานะ Steady State Steady flow
- ป้อนน้ำทำงานปกติที่อัตราการไหล 50% ของอัตราการไหลสูงสุด
- ระดับน้ำสูงสุด 0.58 เมตร
- ระดับน้ำเริ่มต้น (Initial point) ระดับน้ำอยู่ที่ระยะ 25 เซนติเมตร

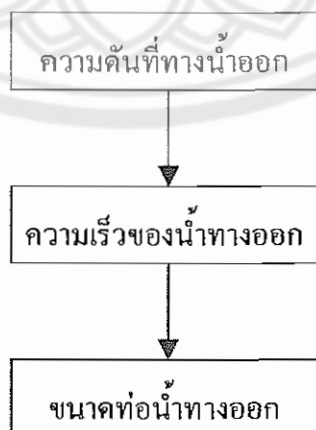
สิ่งที่ต้องการออกแบบ :

1. ขนาดท่อน้ำทางออก
2. ขนาดท่อน้ำทางเข้า
3. ความหนาของผนัง
4. ขนาดของผนังถังแสดงระดับน้ำ แต่ละด้าน
5. การยึดด้วยสลักเกลียว

3.1.1 การคำนวณขนาดท่อน้ำทางออก



รูป 3.3 แสดงตำแหน่งอ้างอิงในการคำนวณ



รูป 3.4 ผังแสดงการคำนวณหาขนาดท่อน้ำทางออก

การคำนวณความดันของน้ำทางออก

ระบบทำงานที่ 25 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของน้ำมีดังนี้คือ

➤ ความหนาแน่นของของเหลว (ρ) = 997 kg/m^3

กำหนดให้: $\rho_{25c} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $z_2 = 0.58 \text{ m}$ $g = 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

สิ่งที่ต้องการ: $P_1 = ? \text{ Pa}$

จากสมการที่ 2.9

$$P_1 = \rho_{25c} \cdot g \cdot z_2 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

จะได้

$$P_1 = 5670.79 \text{ Pa}$$

ดังนั้นความดันที่ทางน้ำออกที่ระดับสูงสุด = 5670.79 Pa

การคำนวณความเร็วของน้ำทางออกจากถังแสดงระดับน้ำ

ระบบทำงานที่ 25 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของน้ำมีดังนี้คือ

➤ น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (γ_{25c}) = 9781 N/m^3

➤ ระดับน้ำสูงสุดของถังแสดงระดับน้ำ (z_2) = 0.58 m .

กำหนดให้: $P_1 = 5670.79 \text{ Pa}$ $z_1 = 0 \text{ m}$ $P_2 = 0 \text{ Pa}$
 $z_2 = 0.58 \text{ m}$ $v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\gamma_{25c} = 9781 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$
 สิ่งที่ต้องการ: $v_1 = ? \frac{\text{m}}{\text{s}}$

จากสมการที่ 2.10 และ 2.11

$$\frac{P_1}{\gamma_{25c}} + \frac{v_1^2}{2 \times g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_{25c}} + \frac{v_2^2}{2 \times g} + z_2 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

จะได้

$$v_1 = 0.0662 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ดังนั้นความเร็วของน้ำทางออกจากถังแสดงระดับน้ำที่ระดับสูงสุด = 0.0662 m/s

การคำนวณหาท่อน้ำทางออก

จากภาคผนวก ก. อัตราการไหลสูงสุดของปั๊ม คือ $19.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ จากสมมติฐาน ปั๊มทำงานที่อัตราการไหล 50% ของอัตราการไหลสูงสุด ดังนั้นอัตราการไหล คือ $9.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

กำหนดให้: $Q_{50\%} = 9.67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ $v_1 = 0.0662 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

สิ่งที่ต้องการ: $A_{\text{out}} = ? \text{ m}^2$

จากสมการที่ 2.14

$$Q_{50\%} = v_1 \times A_{\text{out}} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

จะได้

$$A_{\text{out}} = 0.000146 \text{ m}^2$$

แต่หน้าตัดของท่อน้ำเป็นวงกลม ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดมีขนาด

$$A_{\text{out}} = \frac{\pi \times d_{\text{out}}^2}{4} \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

จะได้

$$d_{\text{out}} = 0.0136 \text{ m}$$

$$\text{ขนาดท่อน้ำทางออก} = 0.0136 \text{ m}$$

จากสมการ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4 ใช้โปรแกรม Matlab Version 7 ขนาดท่อที่ได้ คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำทางออกที่สภาวะความสูง และอัตราการไหลต่างๆ จากขนาดท่อที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับขนาดท่อน้ำทางออกที่เลือกแสดงดังตาราง 3.1

อัตราการใช้ ระดับน้ำ	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
	ของอัตราการใช้ของปั๊มสูงสุด										
0 mm	0	0.010	0.014	0.017	0.020	0.022	0.025	0.026	0.028	0.030	0.032
100 mm	0	0.008	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.025	0.026
200 mm	0	0.007	0.010	0.013	0.015	0.016	0.018	0.019	0.021	0.022	0.023
300 mm	0	0.007	0.010	0.012	0.014	0.015	0.017	0.018	0.019	0.020	0.021
400 mm	0	0.006	0.009	0.011	0.013	0.014	0.016	0.017	0.018	0.019	0.020
500 mm	0	0.006	0.009	0.011	0.012	0.014	0.015	0.019	0.017	0.018	0.019

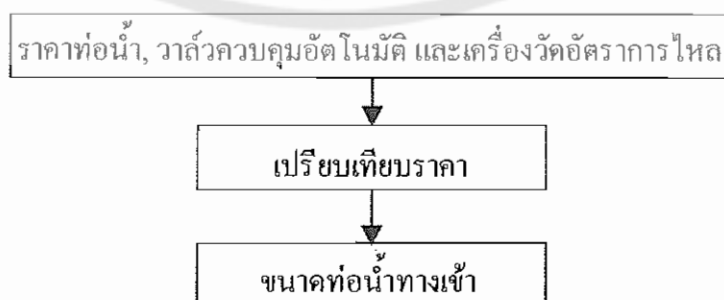
ตาราง 3.1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออก(m)
ที่อัตราการใช้ และระดับความสูงต่างๆ

จากตาราง 3.1 ขนาดท่อทางออกที่เลือกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ $\frac{3}{4}$ นิ้ว (0.019 m.) สามารถระบายน้ำออกได้ทันที ที่ทุกค่าของอัตราการใช้จากท่อทางเข้า และอัตราการใช้สูงสุด (100% ของอัตราการใช้สูงสุดของปั๊ม) เมื่อปล่อยให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ด้วยตัวเอง ระดับของน้ำในถังเก็บจะอยู่ที่ประมาณ 50 เซนติเมตรจากตะแกรง ซึ่งต่ำกว่าระดับปากถังถึง 5 เซนติเมตร จึงมั่นใจได้ว่าขนาดท่อทางออกที่เลือกสามารถระบายน้ำได้ทันทีก่อนที่น้ำจะล้น

ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกมีขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว

3.1.2 การคำนวณขนาดท่อทางเข้า

การคำนวณขนาดท่อทางเข้าจะใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาจากราคาของอุปกรณ์ที่ติดตั้งผ่านท่อทางเข้า ดังรูป 3.5



รูป 3.5 แสดงการคำนวณขนาดท่อทางเข้า

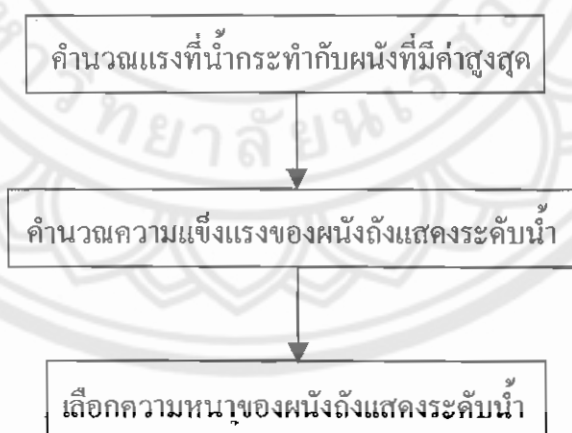
ขนาดท่อ อุปกรณ์	4/8 นิ้ว (บาท)	6/8 นิ้ว (บาท)
1. ท่อน้ำ	60	80
2. Flowmeter	1500	2100
3. Control Valve	41650	44100

ตาราง 3.2 แสดงราคาอุปกรณ์

เมื่อเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์ที่ขนาดท่อ 4/8 นิ้ว กับ 6/8 นิ้ว ราคาอุปกรณ์ขนาด 4/8 นิ้ว มีราคาเหมาะสมกว่า ดังนั้นท่อน้ำทางเข้ามีขนาด 4/8 นิ้ว

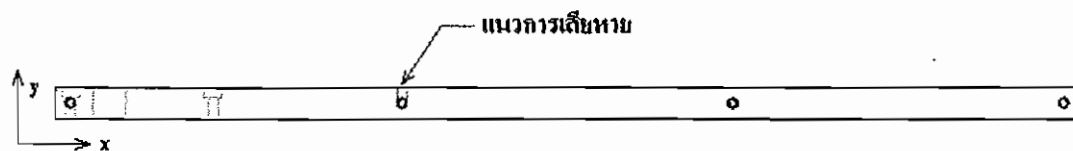
3.1.3 การคำนวณขนาดความหนาของผนังถังแสดงระดับน้ำ

การคำนวณขนาดความหนาของผนังถังแสดงระดับน้ำ ต้องกำหนดขนาดความหนาของผนังถังแสดงระดับน้ำ ให้มีขนาดใหญ่มากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวที่ยึดติดผนัง จากนั้นจึงทำการทดสอบความแข็งแรงของผนังที่จุดตาปเกลียว (ซึ่งเป็นจุดที่ผนังสามารถรับแรงได้น้อยที่สุด) โดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากแรงดันน้ำที่กระทำกับจุดตาปเกลียว ขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูป 3.6



รูป 3.6 ผังแสดงการคำนวณความหนาของผนังถังแสดงระดับน้ำ

กำหนดให้ความหนาของผนังถังแสดงระดับน้ำเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวมีขนาด 6.35 มิลลิเมตร(2/8 นิ้ว)



รูป 3.7 แสดงลักษณะการเสียหายของผนังถังแสดงระดับน้ำ ด้านซ้าย - ขวา มองทางด้านขวา

จากรูป 3.7 ผนังถังแสดงระดับน้ำ จะเสียหายตามแนวแกน y เนื่องจากผนังไม่ได้รับแรงกด (Compression stress) และแรงดึง (Tension stress) แต่ผนังจะรับแรงเฉือนจากแรงดันของน้ำภายใน ถังแสดงระดับน้ำ จึงทำให้ผนังเกิดความเสียหายที่จุดศูนย์กลาง ดังนั้นผนังถังแสดงระดับน้ำ จะเสียหายตามแนวแกน y

คำนวณแรงที่น้ำกระทำกับผนังที่มีค่าสูงสุด

กำหนดให้: $P_1 = 5671 \text{ Pa}$ $A_{\text{Tank}} = 0.0169 \text{ m}^2$

สิ่งที่ต้องการ: $F_1 = ? \text{ N}$

อัตราการใช้ ระดับน้ำ	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
	ของอัตราการใช้ของน้ำมันสูงสุด										
0 mm	782.2	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782.2
100 mm	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760
200 mm	2738	2738	2738	2738	2738	2738	2738	2738	2738	2738	2738
300 mm	3715	3715	3715	3715	3715	3715	3715	3715	3715	3715	3715
400 mm	4693	4693	4693	4693	4693	4693	4693	4693	4693	4693	4693
500 mm	5671	5671	5671	5671	5671	5671	5671	5671	5671	5671	5671

ตาราง 3.3 แสดงความดัน(Pa) ที่อัตราการใช้ และระดับความสูงต่าง ๆ

จากสมการที่ 2.6

$$F_1 = P_1 \times A_{\text{Tank}} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

จะได้

$$F_1 = 95.85 \text{ N}$$

ดังนั้นแรงดันสูงสุดที่กระทำกับผนังถังแสดงระดับน้ำ = 95.84 N

การคำนวณความแข็งแรงของผนังถังแสดงระดับน้ำ

จากตารางคุณสมบัติของวัสดุ โพลีเอสเตอร์ มีค่า Tensile Stress = 5 ksi = 34.475×10^6 Pa

กำหนดให้: $\sigma_{\text{Plastic}} = 34.475 \times 10^6$ Pa

สิ่งที่ต้องการ: $\tau_{\text{Plastic}} = ?$ Pa

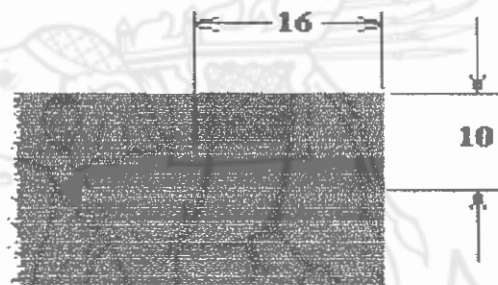
จากสมการที่ 2.19

$$\tau_{\text{Plastic}} = 0.6 \times \sigma_{\text{Plastic}} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\tau_{\text{Plastic}} = 20.685 \times 10^6 \text{ Pa}$$

ดังนั้นผนัง Tank รับความเค้นเฉือน = 20.685×10^6 Pa

การเลือกความหนาของผนังถังแสดงระดับน้ำ



All dimension are in millimeters.

รูป 3.8 แสดงรูปตัดด้านข้างของรูตาปเกลียวผนังถังแสดงระดับน้ำ ด้านซ้าย-ขวา

กำหนดให้: $A_{\text{Shaer}} = 0.016\text{m} \times 0.01\text{m}$ $\tau_{\text{Plastic}} = 20.685 \times 10^6$ Pa

สิ่งที่ต้องการ: $F_{\text{Plastic}} = ?$ N

จากสมการที่ 2.18

$$A_{\text{Wall}} = 2 \times A_{\text{Shear}} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

$$A_{\text{Wall}} = 2 \times 0.016\text{m} \times 0.010\text{m}$$

จะได้

$$A_{\text{Wall}} = 3.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ดังนั้นพื้นที่ Tank รับแรงเฉือน = $3.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

จากสมการที่ 2.17

$$F_{\text{Plastic}} = \tau_{\text{Plastic}} \times A_{\text{Wall}} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

จะได้

$$F_{\text{Plastic}} = 6619.2 \text{ N}$$

ดังนั้นพลาสติกสามารถรับแรงเหวี่ยงได้ = 6619.2 N

แต่แรงดันน้ำสูงสุดที่กระทำกับผนัง(F_1) = 95.84 N

จากสมการที่ 2.36

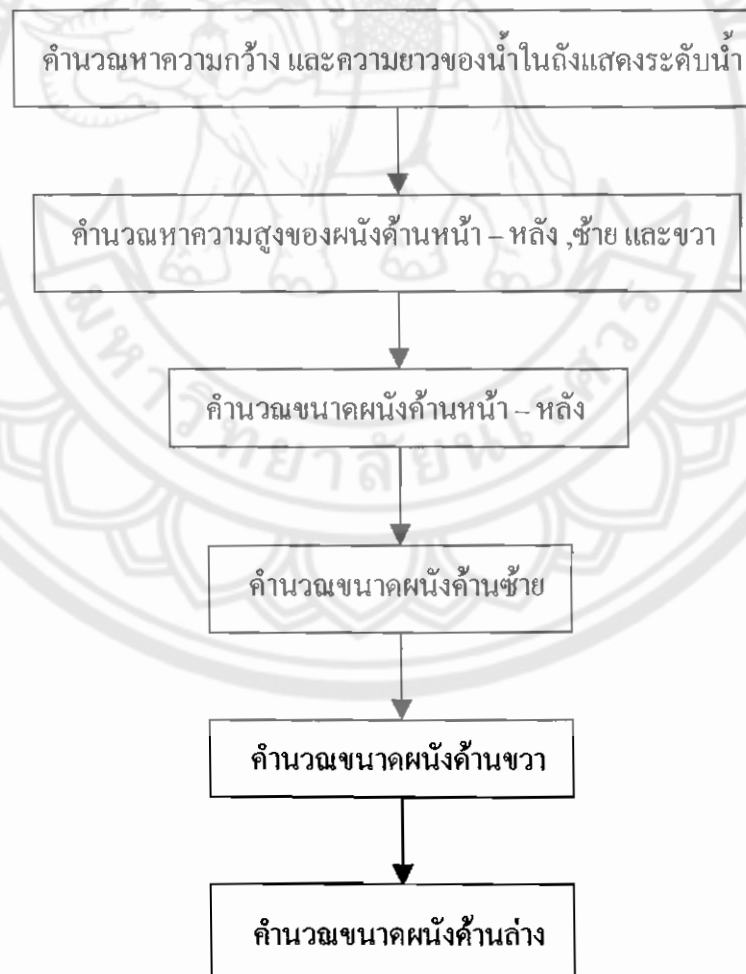
$$\text{Safety_Factor} = \frac{F_{\text{Plastic}}}{F_1} \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

จะได้

$$\text{Safety_Factor} = 69$$

จากการทดสอบความแข็งแรงของผนังแสดงระดับน้ำ สามารถแน่ใจได้ว่าผนังจะไม่เกิดความเสียหายจากแรงดันน้ำ เพราะค่าความปลอดภัย (Safety_Factor) เท่ากับ 69 ดังนั้นความหนาของผนังที่ออกแบบสามารถใช้งานได้

3.1.4 การคำนวณหาขนาดของผนังแต่ละด้าน



รูป 3.9 แสดงการคำนวณหาขนาดของผนังแต่ละด้าน

การคำนวณหาความกว้าง และความยาว ของน้ำในถังแสดงระดับน้ำ

สมมติฐาน :

- ความกว้างและความยาวของน้ำในถังแสดงระดับน้ำ มีขนาดเท่ากัน
- อัตราการเพิ่มของระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ ตั้งแต่ 0 mm ถึง 500 mm ภายในเวลา 15 นาที โดยปั๊มทำงานในสภาวะปกติ

กำหนดให้ : $Q_{50\%} = 9.67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ $V_{15\text{min}} = 5.56 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

สิ่งที่ต้องการ : $L_{\text{Water}} = ? \text{ m}$

จากสมการที่ 2.14

จะได้ $Q_{50\%} = v_{15\text{min}} \times A_{\text{Tank}}$ (3.10)

$A_{\text{Tank}} = 0.9174 \text{ m}^2$

แต่ความกว้างและความยาวของน้ำในถังแสดงระดับน้ำ มีขนาดเท่ากัน

จะได้ $A_{\text{Tank}} = L_{\text{Water}}^2$ (3.11)

$L_{\text{Water}} = 0.13 \text{ m}$

ดังนั้นความกว้าง - ยาวของน้ำในถังแสดงระดับน้ำ $= 130 \text{ mm}$

การคำนวณหาขนาดความสูงของผนังด้านหน้า - หลัง ,ซ้าย และขวา

ความสูงของระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ คือ 500 mm แต่ก่อนที่น้ำจะเข้าผนังถังแสดงระดับน้ำ จะต้องผ่านอุปกรณ์เพิ่มความเสถียรภาพกับระบบ อุปกรณ์ชิ้นนี้จะลดการกระเพื่อมของน้ำ ทำให้ระบบเข้าเสถียรภาพได้เร็ว อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งเซนเซอร์ เพื่อวัดระดับความสูงให้กับถังแสดงระดับน้ำ ดังนั้นความสูงของถังแสดงระดับน้ำ จะต้องเพิ่มระยะเพื่อติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความเสถียรภาพเป็นระยะ 100 mm และจะต้องมีระยะเผื่อน้ำขึ้นอีก 50 mm

ดังนั้นความสูงของ Tank เท่ากับ 650 mm

การคำนวณขนาดผนังด้านหน้า – หลัง

ความกว้างของผนังประกอบด้วย ความกว้างของน้ำ กับ ความหนาของผนัง Tank ด้านซ้าย ด้านขวา และความหนาของซีล

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างผนัง} &= 130 \text{ mm} + 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} + 1 \text{ mm} \\ &= 171 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความยาวผนัง} &= \text{ความสูงของ Tank} \\ &= 650 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นขนาดผนังถึงแสดงระดับน้ำ ด้านหน้า – หลัง} = 171 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$$

การคำนวณขนาดผนังด้านซ้าย

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างผนัง} &= \text{ความกว้างของน้ำในถึงแสดงระดับน้ำ} \\ &= 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความยาวผนัง} &= \text{ความสูงของผนังถึงแสดงระดับน้ำ} \\ &= 650 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นขนาดของผนังด้านซ้าย} = 130 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$$

หมายเหตุ: ผนังด้านซ้ายจะต้องเจาะรูตามเกลียวเพื่อติดตั้งท่อน้ำทางออกขนาด 6/8 นิ้ว

การคำนวณขนาดผนังด้านขวา

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างผนัง} &= \text{ความกว้างของน้ำในถึงแสดงระดับน้ำ} \\ &= 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความยาวผนัง} &= \text{ความสูงของผนังถึงแสดงระดับน้ำ} \\ &= 650 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นขนาดของผนังด้านขวา} = 130 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$$

หมายเหตุ: ผนังด้านซ้ายจะต้องเจาะรูตามเกลียวเพื่อติดตั้งท่อน้ำทางออกขนาด 4/8 นิ้ว

การคำนวณขนาดผนังด้านล่าง

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างผนัง} &= \text{ความกว้างของน้ำในถึงแสดงระดับน้ำ} \\ &= 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

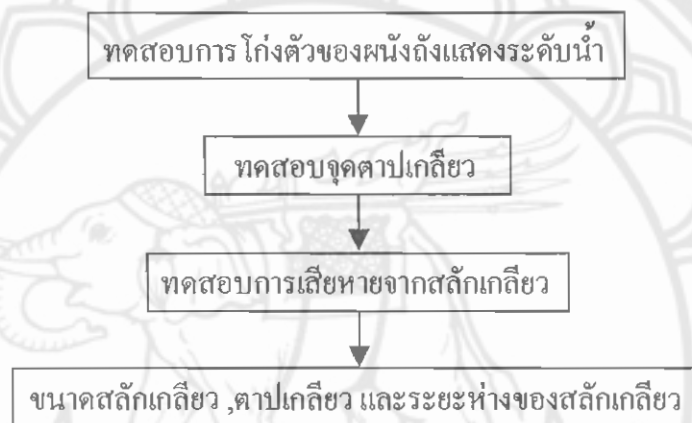
$$\begin{aligned}\text{ความยาวผนัง} &= \text{ความสูงของผนังถึงแสดงระดับน้ำ} \\ &= 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

ดังนั้นขนาดของผนังด้านขวา = 130 mm x 130 mm

3.1.5 การยึดด้วยสลักเกลียว

สมมุติฐาน :

- การโค้งของผนัง Tank จะต้องโค้งได้ไม่เกินระยะขยับตัวของซีลที่ขยับตัวคือ 0.25 mm
- จุดที่ตาปเกลียวจะต้องไม่เสียหายจากแรงดันน้ำ



รูป 3.10 หังแสดงการคำนวณการยึดผนังถึงแสดงระดับน้ำ ด้วยสลักเกลียว

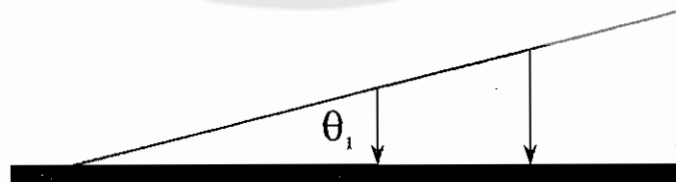
ทดสอบการโค้งของผนัง

เลือกใช้สลักเกลียวแถวละ 6 ตัว ดังนั้นระยะห่างระหว่างสลักเกลียว = $(650 - 20) / 5 = 126$

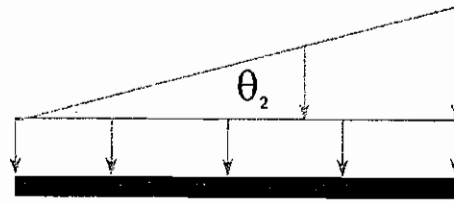
mm แรงดันที่น้ำกระทำกับผนังถึงแสดงระดับน้ำ = 95.84 N

กำหนดให้ : $F_1 = 95.84 \text{ N}$

สิ่งที่ต้องการ : $L_{\text{screw}} = ? \text{ mm}$



รูป 3.11 แสดงแรงน้ำที่กระทำกับผนังถึงแสดงระดับน้ำ



รูป 3.12 แสดงแรงน้ำที่กระทำกับผนังที่ระยะระหว่างสลักเกลียว

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{F_1}{580}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{F_2}{210}\right) \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\frac{100}{580} = \frac{F_2}{210}$$

$$F_2 = 34.7 \text{ N}$$

$$F = F_2 + F_3$$

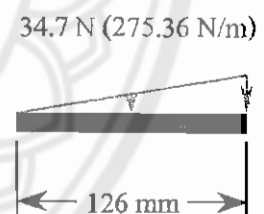
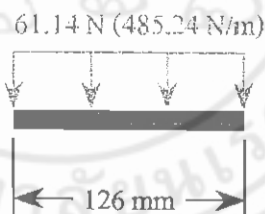
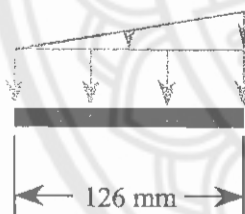
$$95.84 = 34.7 + F_3$$

$$F_3 = 61.14 \text{ N}$$

แทนค่า

เลือกใช้วิธี Superposition

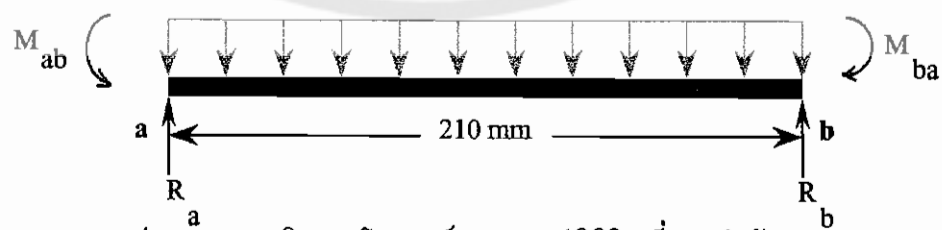
$$95.84 \text{ N (760.6 N/m)}$$



A

B

รูป 3.13 แสดงการแยกแรงโดยวิธี Superposition



รูป 3.14 แสดงทิศทาง โมเมนต์ และแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับคาน
เมื่อแรงกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$M_{ab} = \frac{485.24 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210^2 \text{ m}^2}{12}$$

จะได้
$$M_{ab} = 1.783 \text{ N} \cdot \text{m}$$

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$M_{ba} = \frac{485.24 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210^2 \text{ m}^2}{12}$$

จะได้
$$M_{ba} = 1.783 \text{ N} \cdot \text{m}$$

จากตาราง ง.

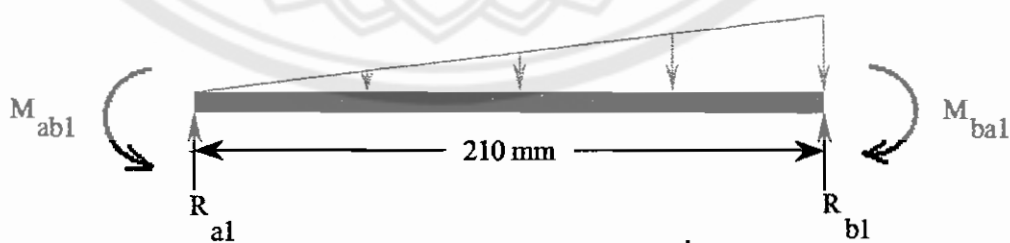
แทนค่า
$$R_a = \frac{485.24 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210 \text{ m}}{2}$$

จะได้
$$R_a = 50.95 \text{ N}$$

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$R_b = \frac{485.24 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210 \text{ m}}{2}$$

จะได้
$$R_b = 50.95 \text{ N}$$



รูป 3.15 แสดงทิศทาง โมเมนต์ และแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับคาน
เมื่อแรงกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยม

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$M_{abl} = \frac{275.36 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210^2 \text{ m}^2}{30}$$

จะได้
$$M_{abl} = 0.4048 \text{ N} \cdot \text{m}$$

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$M_{bal} = \frac{275.36 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210^2 \text{ m}^2}{20}$$

จะได้
$$M_{bal} = 0.6072 \text{ N} \cdot \text{m}$$

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$R_{al} = \frac{3 \times 275.36 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210 \text{ m}}{20}$$

จะได้
$$R_{al} = 8.674 \text{ N}$$

จากตาราง ง.

แทนค่า
$$R_{bl} = \frac{7 \times 275.36 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.210 \text{ m}}{20}$$

จะได้
$$R_{bl} = 20.24 \text{ N}$$

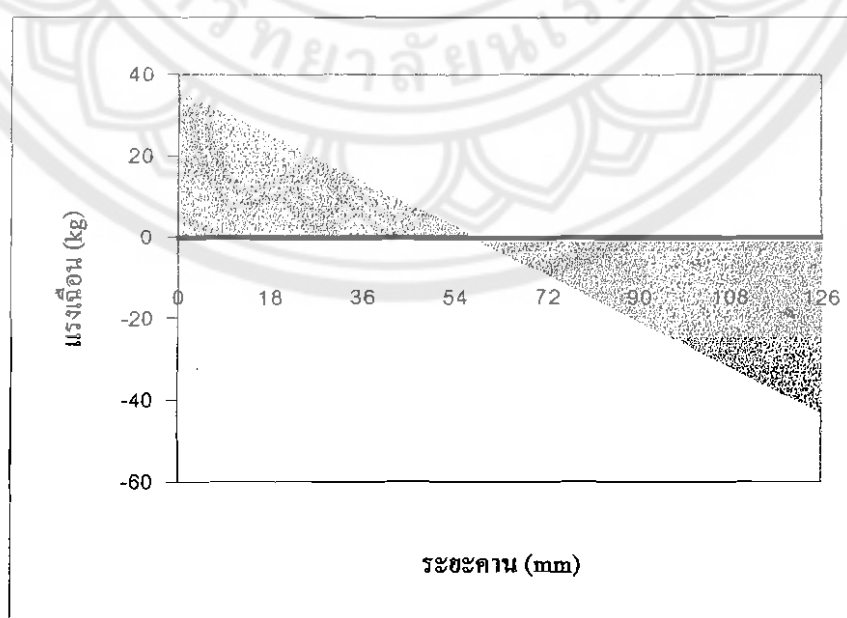
เมื่อตัดคานจะสามารถคำนวณหาแรงเฉือน โมเมนต์ และระยะโค้งตัวของคาน แต่ระยะโค้งของคานจะต้องไม่เกิน $\frac{1}{4}$ เท่าของความหนาซิล (ซิลหนา 1 mm) เพราะซิลที่ทำหน้าที่กันน้ำรั่วจะสามารถยุบตัวได้ 0.00025 m ดังนั้นถ้าระยะโค้งของคานเกินค่านี้นี้จะทำให้ น้ำรั่วออกทางรอยต่อได้ จากตาราง 3.4 สามารถจะเขียนกราฟแรงเฉือน, โมเมนต์ และระยะ โค้งตัวเพื่อพิจารณาความแข็งแรงของผนังได้จากกราฟ 3.1, 3.2 และ 3.3

ระยะคาน (mm)	แรงเฉือน (N)	โมเมนต์บิด (N-m)	ระยะโก่งตัว (m)
0	35.775	-0.7877	0
18	24.562	-0.2372	-0.00003041
36	13.349	0.1263	-0.00008071
54	2.136	0.3028	-0.00010810
72	-9.076	0.2924	-0.00009455
90	-20.289	0.09504	-0.00004685
108	-31.502	-0.2893	0.00000346
126	-42.715	-0.8606	0

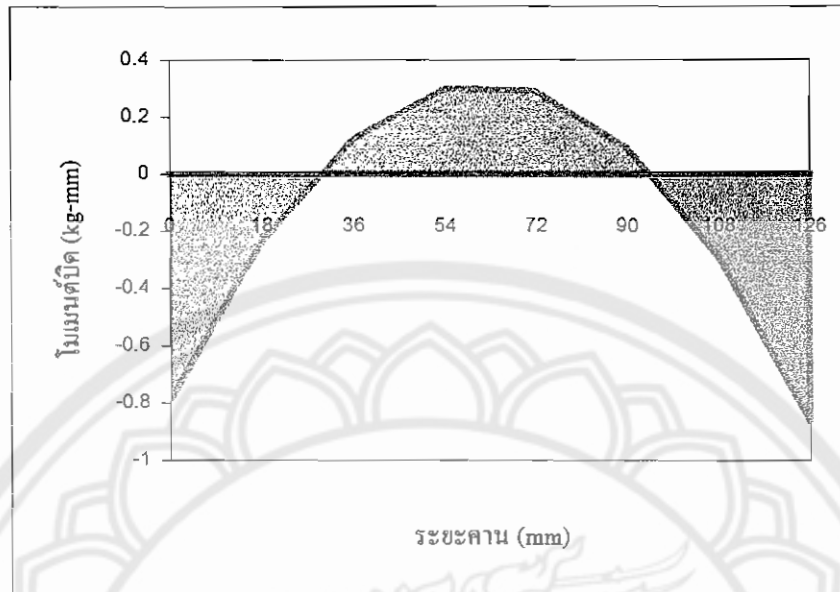
ตาราง 3.4 แสดงค่าแรงเฉือน, โมเมนต์บิด และระยะ โก่งตัวของคาน ที่ระยะห่างระหว่างสลักเกลียว

ดังนั้นระยะห่างระหว่างสลักเกลียว คือ 126 mm

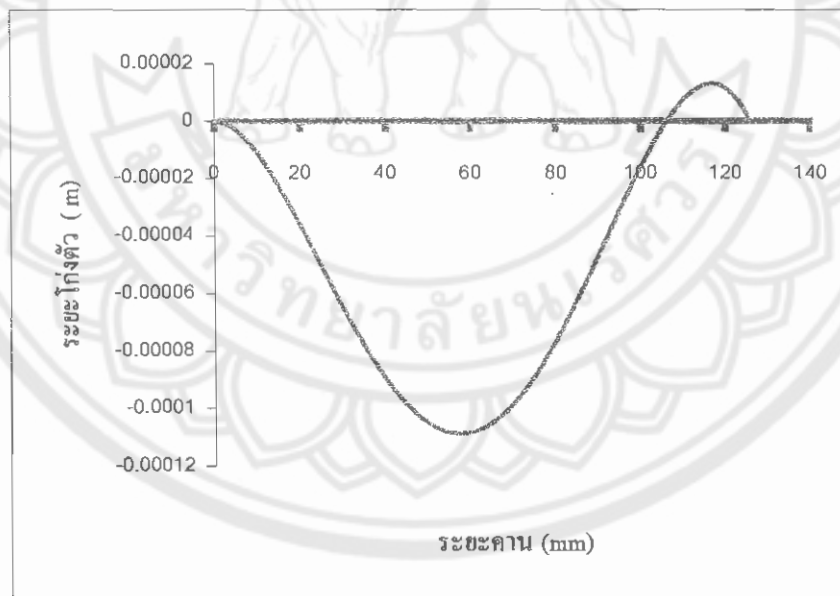
จากกราฟ 3.1 สามารถบอกได้ว่า เกิด โมเมนต์บิดสูงสุดที่ระยะ 59 mm เนื่องจากที่ระยะคานที่ทำให้แรงเฉือนเป็นศูนย์ จะทำให้เกิดโมเมนต์บิดสูงสุด และจากกราฟ 3.2 สามารถบอกได้ว่าค่าโมเมนต์บิดสูงสุดมีค่า 0.35 kg·m อีกทั้งกราฟ 3.3 ยังสามารถบอกได้อีกว่าระยะ โก่งตัวสูงสุดของผนังคือ 0.000115 m



กราฟ 3.1 แสดงแรงเฉือนที่นำกระทำกับผนังถึงแสดงระดับน้ำ



กราฟ 3.2 แสดง โมเมนต์บิดที่น้ำกระทำกับผนังถังแสดงระดับน้ำ



กราฟ 3.3 แสดงระยะการ โก่งของคานที่น้ำกระทำกับผนังถังแสดงระดับน้ำ

ดังนั้นระยะห่างของสลักเกลียว คือ 126 mm

แต่แรงดันของน้ำใน Tank มีแรงดัน = 95.84 N ดังนั้นสลักจุดคาปเกลียวจะไม่เสียหายจากแรงดันน้ำในถังแสดงระดับน้ำ

การคำนวณการเสียหายจากสลักเกลียว

สมมติฐาน :

- สลักเกลียวทำจากวัสดุ เหล็กกล้าคาร์บอน 1040 HR
- สลักเกลียวมีค่า yield stress = 58 ksi (4×10^8 Pa)

กำหนดให้ : $\sigma_{\text{screw}} = 4 \times 10^8$ Pa $r_{\text{screw}} = 3.175 \times 10^{-3}$ m
 สิ่งที่ต้องการ : $F_{\text{screw}} = ?$ N

สลักเกลียวมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม

$$A_{\text{screw}} = \pi \times r^2 \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

แทนค่า

$$A_{\text{screw}} = \pi \times (3.175 \times 10^{-3} \text{ m})^2$$

$$A_{\text{screw}} = 3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

จากสมการที่ 2.15

$$\sigma_{\text{screw}} = \frac{F_{\text{screw}}}{A_{\text{screw}}} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

แทนค่า

$$4 \times 10^8 \text{ Pa} = \frac{F_{\text{screw}}}{3.167 \times 10^{-5}}$$

$$F_{\text{screw}} = 12668 \text{ N}$$

ดังนั้นสลักเกลียวสามารถรับแรงได้ = 12668 N

แรงดันน้ำสูงสุด = 95.84 N ซึ่งน้อยกว่าสลักเกลียวมาก ดังนั้นความเสียหายจะไม่เกิดที่สลักเกลียว

ดังนั้น

- ขนาดสลักเกลียวที่ใช้ คือ Hexagonal – head screw (6.35 – 20 UNC – 2A)
- คาปเกลียวที่ใช้ คือ (6.35 – 20 UNC – 2B 16DEEP)
- ระยะห่างระหว่างสลักเกลียว = 126 mm

แต่แรงดันของน้ำใน Tank มีแรงดัน = 95.84 N ดังนั้นสลักจุดคาปเกลียวจะไม่เสียหายจากแรงดันน้ำในถังแสดงระดับน้ำ

การคำนวณการเสียหายจากสลักเกลียว

สมมติฐาน :

- สลักเกลียวทำจากวัสดุ เหล็กกล้าคาร์บอน 1040 HR
- สลักเกลียวมีค่า yield stress = 58 ksi (4×10^8 Pa)

กำหนดให้ : $\sigma_{\text{screw}} = 4 \times 10^8$ Pa $r_{\text{screw}} = 3.175 \times 10^{-3}$ m

สิ่งที่ต้องการ : $F_{\text{screw}} = ?$ N

สลักเกลียวมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม

$$A_{\text{screw}} = \pi \times r^2 \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

แทนค่า

$$A_{\text{screw}} = \pi \times (3.175 \times 10^{-3} \text{ m})^2$$

$$A_{\text{screw}} = 3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

จากสมการที่ 2.15

$$\sigma_{\text{screw}} = \frac{F_{\text{screw}}}{A_{\text{screw}}} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

แทนค่า

$$4 \times 10^8 \text{ Pa} = \frac{F_{\text{screw}}}{3.167 \times 10^{-5}}$$

$$F_{\text{screw}} = 12668 \text{ N}$$

ดังนั้นสลักเกลียวสามารถรับแรงได้ = 12668 N

แรงดันน้ำสูงสุด = 95.84 N ซึ่งน้อยกว่าสลักเกลียวมาก ดังนั้นความเสียหายจะไม่เกิดที่สลักเกลียว

ดังนั้น

- ขนาดสลักเกลียวที่ใช้ คือ Hexagonal – head screw (6.35 – 20 UNC – 2A)
- คาปเกลียวที่ใช้ คือ (6.35 – 20 UNC – 2B 16DEEP)
- ระยะห่างระหว่างสลักเกลียว = 126 mm

3.2 การออกแบบถังเก็บน้ำ

ทำหน้าที่เก็บน้ำส่วนที่เกินจากถังแสดงระดับน้ำ และจ่ายน้ำเมื่อถังแสดงระดับน้ำต้องการน้ำ ปริมาณน้ำที่เก็บประกอบด้วย ปริมาณน้ำในถังแสดงระดับน้ำ , น้ำที่ค้างในท่อและอุปกรณ์ (ปริมาณน้ำที่ค้างในท่อประมาณ 20% ของถังแสดงระดับน้ำ จากคำแนะนำ Piping line in Aircondition) และค่า Safety Factor กำหนดให้เท่ากับ 3 เนื่องจาก

- ค่า Safety Factor ส่วนที่ 1 คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ
- ค่า Safety Factor ส่วนที่ 2 คือ ปริมาณน้ำที่เก็บในถังเก็บน้ำ
- ค่า Safety Factor ส่วนที่ 3 คือ ปริมาณน้ำสำรอง เพื่อป้องกันความผิดพลาด

การคำนวณปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำ

สมมติฐาน : Safety factor = 3
 ความสูงของระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ = 300 mm
 ระยะขอบ = 15 mm
 แผ่นเหล็กหนา = 5 mm
 กำหนดให้ : Safety _ Factor = 3 $h_{Resource} = (300\text{mm} + 15\text{mm})$
 สิ่งที่ต้องการ : $\frac{V}{Resource} = ? \text{ m}^3$

ปริมาตร Tank เป็นสี่เหลี่ยม

$$V_{\text{Tank}} = A_{\text{Tank}} \times h_{\text{Tank}} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

แทนค่า

$$V_{\text{Tank}} = 0.0169 \text{ m}^2 \times 0.58 \text{ m}$$

$$V_{\text{Tank}} = 9.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

ปริมาณน้ำที่ค้างในท่อประมาณ 20% ของน้ำใน Tank

$$V_{\text{Pipe}} = 0.2 \times V_{\text{Tank}} \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

แทนค่า

$$V_{\text{Pipe}} = 0.2 \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{pipe}} = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

ปริมาตรน้ำทั้งหมดในระบบ

แทนค่า $V_{\text{System}} = 9.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$$V_{\text{System}} = 1.176 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

กำหนดให้ค่าความปลอดภัย = 3

$$V_{\text{Resource}} = 3 \times V_{\text{System}} \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

แทนค่า $V_{\text{Resource}} = 3 \times 1.176 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

$$V_{\text{Resource}} = 3.528 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

ปริมาตรของถังเก็บน้ำเป็นสี่เหลี่ยม

$$V_{\text{Resource}} = L_{\text{Resource}}^2 \times h_{\text{Resource}} \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

แทนค่า $3.528 \times 10^{-2} \text{ m}^3 = L_{\text{Resource}}^2 \times (315 \times 10^{-3} \text{ m})$

$$L_{\text{Resource}} = 335 \times 10^{-3} \text{ m}$$

แต่ในขั้นตอนออกแบบจะใช้ความกว้างของน้ำในถังเก็บน้ำ = 350 mm

การคำนวณขนาดผนังถังเก็บน้ำ



รูป 3.16 แสดงการคำนวณขนาดผนังถังเก็บน้ำ

การคำนวณผนังด้านหน้า – หลัง

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างของผนัง} &= \text{ความกว้างของระดับน้ำ} + \text{ความหนาของผนัง} \\ &= 350 \text{ mm} + 5 \text{ mm} \\ &= 355 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความยาวของผนัง} &= \text{ความสูงระดับน้ำ} + \text{ความหนาผนัง} + \text{ระยะเผื่อขอบ} \\ &= 300 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 15 \text{ mm} \\ &= 320 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นขนาดของผนังด้านหน้า – หลัง} = 320 \text{ mm} \times 355 \text{ mm}$$

การคำนวณผนังด้านซ้าย – ขวา

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างของผนัง} &= \text{ความกว้างของระดับน้ำ} + \text{ความหนาของผนัง} \\ &= 350 \text{ mm} + 5 \text{ mm} \\ &= 355 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความยาวของผนัง} &= \text{ความสูงระดับน้ำ} + \text{ความหนาผนัง} + \text{ระยะเผื่อขอบ} \\ &= 300 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 15 \text{ mm} \\ &= 320 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นขนาดของผนังด้านซ้าย – ขวา} = 320 \text{ mm} \times 355 \text{ mm}$$

หมายเหตุ: ผนังด้านซ้ายและขวาจะต้องเจาะรูเพื่อต่อท่อทางน้ำเข้า – ออก

การคำนวณผนังด้านล่าง

$$\text{ความกว้างของผนัง} = \text{ความกว้างของน้ำในถังแสดงระดับน้ำ}$$

$$\text{ความยาวของผนัง} = \text{ความกว้างของน้ำในถังแสดงระดับน้ำ}$$

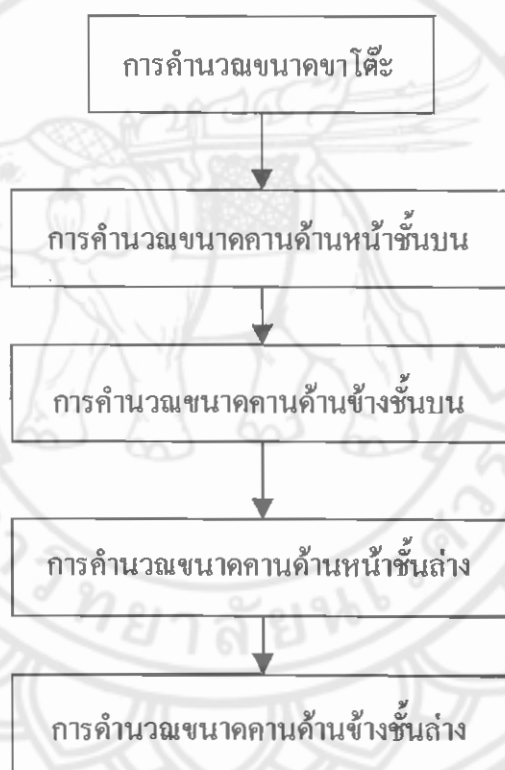
$$\text{ดังนั้นขนาดของผนังด้านล่าง} = 320 \text{ mm} \times 355 \text{ mm}$$

หมายเหตุ : การยึดติดจะใช้การเชื่อมเส้นแนวเพื่อยึดติดผนังแต่ละด้านเข้าด้วยกัน โดยความหนาของรอยเชื่อมเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็ก

3.3 การออกแบบโต๊ะ

โต๊ะทำหน้าที่ติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชิ้นให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และสามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ได้สะดวกการออกแบบโต๊ะประกอบด้วยการคำนวณดังต่อไปนี้

- การคำนวณขนาดขาโต๊ะ
- การคำนวณขนาดคานด้านหน้าชั้นบน
- การคำนวณขนาดคานด้านข้างชั้นบน
- การคำนวณขนาดคานด้านหน้าชั้นล่าง
- การคำนวณขนาดคานด้านข้างชั้นล่าง



รูป 3.17 ฟังแสดงการคำนวณโต๊ะ

3.3.1 กำหนดขนาดขาโต๊ะ

ขนาดของเหล็กที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้

Size and thickness	Area	I (10^6 mm^4)	Yield Stress (kg/mm^2)	Modulus of Elasticity (1000 ksi)	Length (mm)	Safety Factor
L51×51×3.2	312	0.079	48.5	29	845	3.5

ตาราง 3.5 แสดงคุณสมบัติของเหล็กฉากทำขาโต๊ะ

หมายเหตุ : ขาโต๊ะแต่ละข้างจะต้องรับน้ำหนัก 55.75 กิโลกรัม

สำหรับความยาวสมมุติของเสาปลายยึดแน่น – อิสระ

จากสมการที่ 2.29

$$L_e = 2 \times L_{\text{column}} \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

แทนค่า

$$L_e = 2 \times 845 \text{ mm}$$

$$L_e = 1690 \text{ mm}$$

จากสมการที่ 2.31

$$k = \left(\frac{I}{A_{\text{column}}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

แทนค่า

$$k = \left(\frac{0.079 \times 10^6 \text{ mm}^4}{312 \text{ mm}^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$k = 15.91 \text{ mm}$$

จากสมการที่ 2.30

$$\text{อัตราส่วนความเพรีย} = \frac{L_e}{k} \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

แทนค่า

$$\text{อัตราส่วนความเพรีย} = \frac{1690 \text{ mm}}{15.91 \text{ mm}}$$

$$\text{อัตราส่วนความเพรีย} = 106.22$$

อัตราส่วนความเพียวยู่ในช่วง $40 < \frac{L_e}{k} \geq 115$ ดังนั้นจึงเลือกใช้สูตรของจอร์ตัน
จากสมการที่ 2.34

$$F_{cv} = \frac{\sigma_{\text{column}} \times A_{\text{column}}}{N_{\text{column}}} \times \left(1 - \frac{\sigma_{\text{column}} \times \left(\frac{L_e}{k} \right)^2}{4 \times \pi^2 \div E_{\text{column}}} \right) \dots\dots\dots(3.26)$$

แทนค่า $F_{cv} = \frac{48.5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times 312 \text{mm}^2}{3.5} \times \left(1 - \frac{48.5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times \left(\frac{1690}{15.91} \right)^2}{4 \times \pi^2 \times 20382.71 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}} \right)$

$$F_{cv} = 1383.5 \text{kg}$$

ดังนั้นเสาสามารถรับแรงได้ 1383.5 กิโลกรัม

แต่น้ำหนักทั้งหมดที่ลงบนเสา = 55.75 กิโลกรัม

จากสมการที่ 2.35

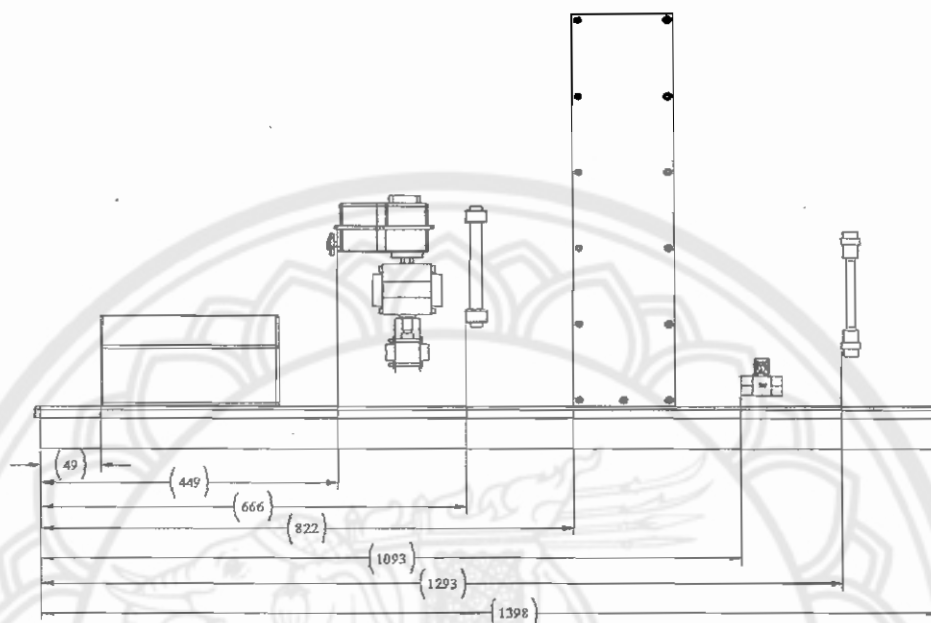
$$\text{Safety_Favtor} = \frac{F_{cv}}{F_{\text{column}}} \dots\dots\dots(3.27)$$

แทนค่า $\text{Safety_Factor} = \frac{1383.5 \text{kg}}{55.75 \text{kg}}$

$$\text{Safety_Factor} = 24.8$$

ดังนั้นเหล็กที่เลือกทำเสาสามารถรับแรงที่เกิดขึ้นได้

3.3.2 การคำนวณคานด้านหน้าชั้นบน



รูป 3.18 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่คานด้านหน้าชั้นบน

Size and thickness (mm)	Area (mm ²)	I (10 ⁶ mm ⁴)	Yield Stress (kg./mm ²)	Modulus of Elasticity (1000 ksi)	Length (mm)	Safety Factor
L51-51-3.2	312	0.079	48.5	29	1398	3

ตาราง 3.6 แสดงคุณสมบัติของเหล็กฉากทำคานด้านหน้าชั้นบน

ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์แต่ละชิ้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก. จากรูป 3.16 คำนวณคานด้วยการใช้โปรแกรม Microfeap-P1 ได้ข้อมูลดังตาราง ง.1 และเขียนกราฟ จ.1 ,จ.2และจ.3 สามารถสรุปได้ว่า

- แรงเฉือนสูงสุด = 16.02 kg
- โมเมนต์บิดสูงสุด = 4646.5 kg-mm
- ระยะ โกงตัวสูงสุด = 0.08732 mm

การทดสอบคานสามารถรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 2.36

$$\sigma_{td1} = \frac{\sigma_{Beam1}}{N_{Beam1}} \quad \dots\dots\dots(3.28)$$

แทนค่า

$$\sigma_{td1} = \frac{48.5 \frac{kg}{mm^2}}{3}$$

$$\sigma_{td1} = 16.17 \frac{kg}{mm^2}$$

จากสมการที่ 2.20

$$\sigma_{bl} = \frac{M_{Beam1} \times c_{Beam1}}{I_{Beam1}} \quad \dots\dots\dots(3.29)$$

แทนค่า

$$\sigma_{bl} = \frac{4646.5 kg \cdot mm \times 13.9 mm}{0.079 \times 10^6 mm^4}$$

$$\sigma_{bl} = 0.8175 \frac{kg}{mm^2}$$

$$\text{ความเค้นที่เกิดบนคาน} = 0.8175 \frac{kg}{mm^2}$$

$$\text{แต่คานสามารถรับความเค้นได้} = 16.17 \frac{kg}{mm^2}$$

จากสมการที่ 2.35

$$\text{Savety_Factor} = \frac{F_{Beam1}}{F_{Force1}} \quad \dots\dots\dots(3.30)$$

แทนค่า

$$\text{Savety_Factor} = \frac{16.17 \frac{kg}{mm^2}}{0.8175 \frac{kg}{mm^2}}$$

$$\text{Savety_Factor} = 19.78$$

จากค่าแนะนำจากตารางที่ 2.1 สำหรับแรงกระแทกเล็กน้อยต้องมี Safety_factor = 3 แต่ Safety_factor ที่คำนวณได้มีขนาดมากกว่า ดังนั้นคานสามารถรับ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคานได้

การทดสอบสามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 3.20

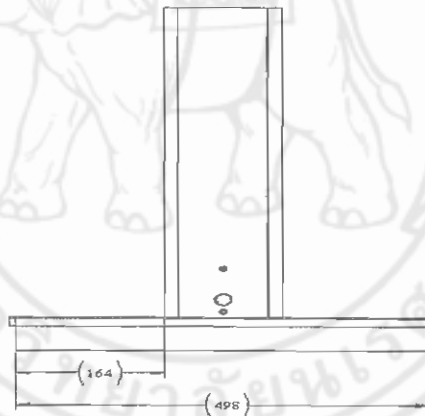
$$\tau_{td1} = \sigma_{td1} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.25

$$\begin{aligned} F_{\text{Shear}} &= \tau_{td} \times A_{\text{Beam1}} \\ \text{แทนค่า} \quad F_{\text{Shear}} &= 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times 312 \text{mm}^2 \\ F_{\text{Shear}} &= 5045 \text{kg} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3.31)$$

เนื่องจากคานสามารถรับแรงได้ = 5045 kg แต่แรงเฉือนที่กระทำบนคาน = 16.02 kg ดังนั้นคานจึงไม่เกิดความเสียหายจากแรงเฉือน

3.3.3 การคำนวณคานด้านข้างชั้นบน



รูป 3.19 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่คานด้านข้างชั้นบน

Size and thickness (mm)	Area (mm ²)	I (10 ⁶ mm ⁴)	Yield Stress (kg/mm ²)	Modulus of Elasticity (1000 ksi)	Length (mm)	Safety Factor
L51-51-3.2	312	0.079	48.5	29	498	3

ตาราง 3.7 แสดงคุณสมบัติของเหล็กฉากทำคานด้านข้างชั้นบน

ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์แต่ละชิ้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก. จากรูป 3.19 จำนวนค่า
ด้วยการใช้โปรแกรม Microfeap-PI ได้ข้อมูลดังตาราง ง.2 และเขียนกราฟ จ.4 ,จ.5 และจ.6
สามารถสรุปได้ว่า

- แรงเฉือนสูงสุด = 34.97 kg
- โมเมนต์บิดสูงสุด = 3616 kg.-mm
- ระยะ โกงตัวสูงสุด = 0.17 mm

การทดสอบคานสามารถรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 3.20

$$\sigma_{td1} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.20

$$\sigma_{b2} = \frac{M_{\text{Beam2}} \times c_{\text{Beam2}}}{I_{\text{Beam2}}} \quad \dots\dots\dots(3.32)$$

แทนค่า

$$\sigma_{b2} = \frac{3616 \text{ kg.-mm} \times 13.9 \text{ mm}}{0.079 \times 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{b2} = 0.6362 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{ความเค้นที่เกิดบนคาน} = 0.6362 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{แต่คานสามารถรับความเค้นได้} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.35

$$\text{Safety_Factor} = \frac{\sigma_{\text{Bam2}}}{\sigma_{\text{Force2}}} \quad \dots\dots\dots(3.33)$$

$$\sigma_{\text{Force2}}$$

$$16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

แทนค่า

$$\text{Safety_Factor} = \frac{16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{0.6362 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$\text{Safety_Factor} = 25.42$$

จากคำแนะนำจากตารางที่ 2. สำหรับแรงกระแทกเล็กน้อยต้องมี Safety factor = 3 แต่ Safety factor ที่คำนวณได้มีขนาดมากกว่า ดังนั้นคานสามารถรับ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคานได้

การทดสอบคานสามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 3.20

$$\tau_{td} = \sigma_{td} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

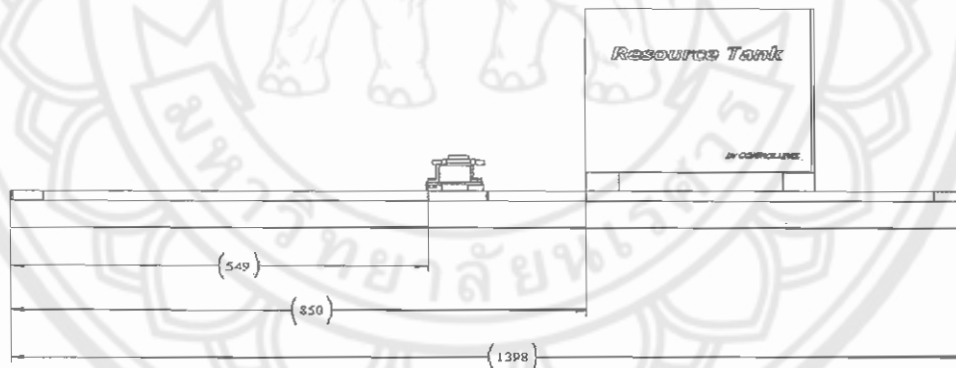
ดังนั้น $F_{\text{Share}2} = \tau_{td} \times A_{\text{Beam}2} \dots\dots\dots(3.34)$

แทนค่า $F_{\text{Share}2} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times 312 \text{mm}^2$

$$F_{\text{Share}2} = 5045 \text{kg}$$

เนื่องจากคานสามารถรับแรงได้ = 5045 kg แต่แรงเฉือนที่กระทำบนคาน = 34.97 kg ดังนั้น คานจึงไม่เกิดความเสียหายจากแรงเฉือน

3.3.4 การคำนวณคานด้านหน้าชั้นล่าง



รูป 3.20 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่คานด้านหน้าชั้นล่าง

Size and thickness (mm)	Area (mm ²)	I (10 ⁶ mm ⁴)	Yield Stress (kg./mm ²)	Modulus of Elasticity (1000 ksi)	Length (mm)	Safety Factor
L51x51x3.2	312	0.079	48.5	29	1398	3

ตาราง 3.8 แสดงคุณสมบัติของเหล็กฉากทำคานด้านหน้าชั้นล่าง

ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์แต่ละชิ้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก. จากรูป 3.18 คำนวณค่าโดยใช้โปรแกรม Microcap-P1 ได้ข้อมูลดังตาราง ง.3 และเขียนกราฟ จ.4 ,จ.5 และจ.6 สามารถสรุปได้ว่า

- แรงเหวี่ยงสูงสุด = 53.34 kg
- โมเมนต์บิดสูงสุด = 13003 kg/mm
- ระยะโก่งตัวสูงสุด = 0.37344 mm

การทดสอบค่าสามารถรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 3.20

$$\sigma_{td1} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.20

$$\sigma_{b3} = \frac{M_{\text{Beam3}} \times c_{\text{Beam3}}}{I_{\text{Beam3}}} \dots\dots\dots(3.35)$$

แทนค่า

$$\sigma_{b3} = \frac{13003 \text{ kg} \cdot \text{mm} \times 13.9 \text{ mm}}{0.079 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{b3} = 2.288 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{ความเค้นที่เกิดบนคาน} = 2.288 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{แต่คานสามารถรับแรงเหวี่ยงได้} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.36

$$\text{Safety_Factor} = \frac{F_{\text{Beam3}}}{F_{\text{Force3}}} \dots\dots\dots(3.36)$$

แทนค่า

$$\text{Safety_Factor} = \frac{16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{2.288 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$\text{Safety_Factor} = 7.067$$

จากค่าแนะนำจากตารางที่ 2.1 สำหรับแรงกระแทกเล็กน้อยต้องมี Savety factor = 3 แต่ Savety factor ที่คำนวณได้มีขนาดมากกว่า ดังนั้นคานสามารถรับ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคานได้

การทดสอบคานสามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 3.20

$$\tau_{td} = \sigma_{td} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

ดังนั้น

$$F_{\text{Share3}} = \tau_{td} \times A_{\text{Beam3}} \quad \dots\dots\dots(3.37)$$

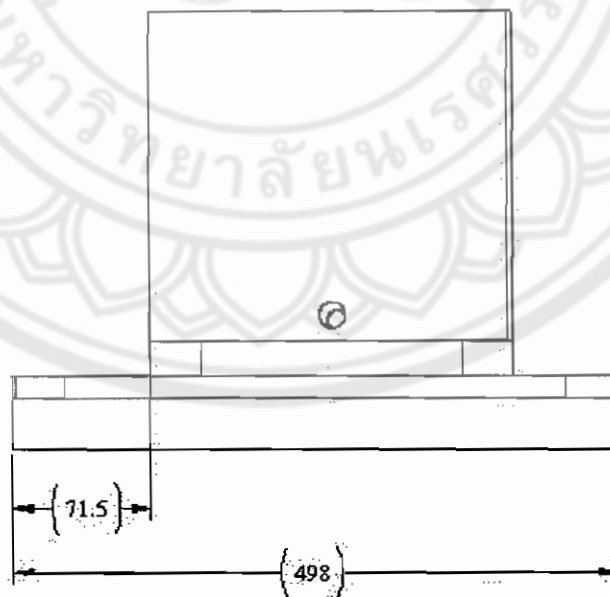
แทนค่า

$$F_{\text{Shear3}} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times 312 \text{mm}^2$$

$$F_{\text{Shear3}} = 5045 \text{kg}$$

เนื่องจากคานสามารถรับแรงได้ = 5045 kg แต่แรงเฉือนที่กระทำบนคาน = 53.34 kg ดังนั้น คานจึงไม่เกิดความเสียหายจากแรงเฉือน

3.3.5 การคำนวณคานด้านข้างชั้นล่าง



รูปที่ 3.21 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ด้านข้างชั้นล่าง

Size and thickness (mm)	Area (mm ²)	I (10 ⁶ mm ⁴)	Yield Stress (kg/mm ²)	Modulus of Elasticity (1000 ksi)	Length (mm)	Safety Factor
L51•51•3.2	312	0.079	48.5	29	498	3

ตาราง 3.9 แสดงคุณสมบัติเหล็กฉากทำคานด้านข้างชั้นล่าง

ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์แต่ละชิ้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก. จากรูป 3.19 คำนวณคานด้วยการใช้โปรแกรม Microfeap-P1 ได้ข้อมูลดังตาราง ง. และเขียนกราฟ จ.4 ,จ.5 และจ.6 สามารถสรุปได้ว่า

- แรงเฉือนสูงสุด = 34.97 kg
- โมเมนต์บิดสูงสุด = 3616 kg/mm
- ระยะโก่งตัวสูงสุด = 0.009 mm

การทดสอบคานสามารถรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้น
จากสมการที่ 3.20

$$\sigma_{td1} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.20

$$\sigma_{b4} = \frac{M_{\text{Beam4}} \times c_{\text{Beam4}}}{I_{\text{Beam4}}} \quad \text{.....(3.38)}$$

แทนค่า

$$\sigma_{b4} = \frac{3616 \text{ kg} \cdot \text{mm} \times 13.9 \text{ mm}}{0.079 \times 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{b4} = 0.6362 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{ความเค้นที่เกิดบนคาน} = 0.6362 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{แต่คานสามารถรับแรงเฉือนได้} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

จากสมการที่ 2.36

$$\text{Safety_Factor} = \frac{F_{\text{Beam4}}}{F_{\text{Force4}}} \quad \dots\dots\dots(3.39)$$

แทนค่า

$$\text{Safety_Factor} = \frac{16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{0.6362 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$\text{Safety_Factor} = 25.42$$

จากคำแนะนำจากตารางที่ 2. สำหรับแรงกระแทกเล็กน้อยต้องมี Safety_factor = 3 แต่ Safety factor ที่คำนวณ ได้มีขนาดมากกว่า ดังนั้นคานสามารถรับ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคานได้

การทดสอบคานสามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

จากสมการที่ 3.20

$$\tau_{td} = \sigma_{td} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

ดังนั้น

$$F_{\text{Shear4}} = \tau_{td} \times A_{\text{Beam4}} \quad \dots\dots\dots(3.40)$$

แทนค่า

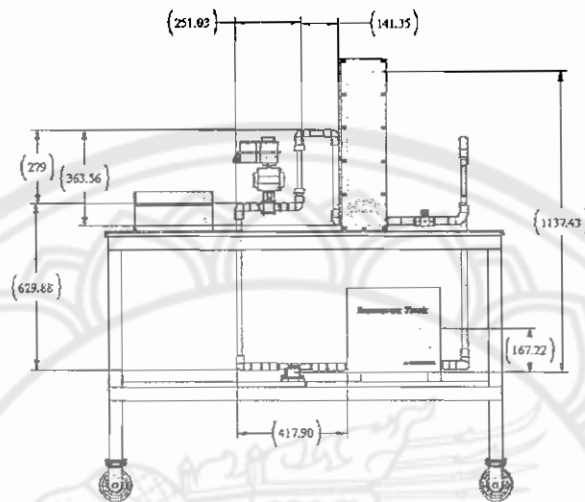
$$F_{\text{Shear4}} = 16.17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times 312 \text{mm}^2$$

$$F_{\text{Shear4}} = 5045 \text{kg}$$

เนื่องจากคานสามารถรับแรงได้ = 5045 kg แต่แรงเฉือนที่กระทำบนคาน = 34.97 kg ดังนั้น คานจึงไม่เกิดความเสียหายจากแรงเฉือน

3.4 การทดสอบ Pressure head loss ของท่อน้ำทางเข้า

เนื่องจากต้องการทดสอบว่า ปั๊มสามารถส่งน้ำให้ถึงแสดงระดับน้ำ ในทุกระดับที่ต้องการได้



รูป 3.22 แสดงการวางระบบท่อน้ำทางเข้า ของระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูป 3.22 ระบบท่อน้ำทางเข้าดังแสดงระดับน้ำ ที่ทำให้เกิด Pressure head loss ประกอบด้วย

- ท่อตรง (Piping)
- ข้อต่อท่อนอ (90° Elbow)
- ข้อต่อท่อลด (Contraction) และข้อต่อท่อขยาย (Expansion)
- ทางเข้า และทางออก ท่อ (Pipe entrance)

3.4.1 Pressure head loss ในท่อตรง

ณ จุดที่ปั๊มให้อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ $19.33 \text{ cm}^3/\text{s}$ จากสมการ 2.14 เมื่อพื้นที่หน้าตัดคงที่ ความเร็วของของไหลภายในท่อ ต้องมีความเร็วสูงสุดด้วย คือ 0.1522 m/s

$$\text{กำหนดให้: } v_{100\%} = 0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{สิ่งที่ต้องการ: } h_{\text{loss_pipe}} = ? \text{ m}$$

จากสมการที่ 2.13

$$h_{\text{loss_pipe}} = \frac{f \times L_{\text{Pipe}}}{D_{0.5}} \times \frac{v_{100\%}^2}{2 \times g} \quad \dots\dots\dots(3.41)$$

จากกราฟ 2.1

$$Re_{100\%} = \frac{v_{100\%} \times D^{0.5}}{U_{25c}} \dots\dots\dots(3.42)$$

จากสมการที่ 2.14

$$Q_{100\%} = V_{100\%} \times A_{\text{Piping_in}} \dots\dots\dots(3.43)$$

แทนค่า $1.933 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v_{100\%} \times 1.27 \times 10^{-4} \text{m}^2$

$$v_{100\%} = 0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

แทนค่าในสมการที่ 3.42

$$Re_{100\%} = \frac{0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (1.27 \times 10^{-2} \text{m})^{0.5}}{8.94 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 2.162 \times 10^3$$

จากค่า $Re_{100\%}$ กราฟสามารถบอกได้ว่าเป็นการไหลแบบ Laminar flow
ดังนั้น

$$f = \frac{64}{Re_{100\%}} \dots\dots\dots(3.44)$$

แทนค่า

$$f = \frac{64}{2162} = 0.03$$

แทนค่าในสมการที่ 3.41

จะได้

$$h_{\text{loss_pipe}} = \frac{0.03 \times 1.13743 \text{m}}{1.27 \times 10^{-2} \text{m}} \times \frac{\left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3.172 \times 10^{-3} \text{m}$$

ดังนั้นค่าเสดความดันของท่อตรง = $3.172 \times 10^{-3} \text{m}$

3.4.2 Pressure head loss ในท่ออ

กำหนดให้: $K_b = 0.9$

สิ่งที่ต้องการ: $h_{\text{loss_el}} = ? \text{m}$ $v_{100\%} = 0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

จากรูป 3.21 ท่อน้ำทางเข้ามี Elbow 90° ทั้งหมด 6 ชิ้น

จากตาราง ข. Threaded pipe fitting

$$h_{\text{loss_el}} = 6 \times K_b \times \frac{v_{100\%}^2}{2 \times g} \quad \dots\dots\dots(3.45)$$

แทนค่า

$$h_{\text{loss_el}} = 6 \times \frac{0.9 \times \left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{loss_el}} = 6.375 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสดความดันของท่อ = $6.375 \times 10^{-3} \text{ m}$

3.4.3 Pressure head loss ในท่อลด และท่อขยาย

กำหนดให้ : $v_{100\%} = 0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 สิ่งที่ต้องการ : $h_{\text{loss_tec}} = ? \text{ m}$



รูป 3.23 แสดงการต่อท่อลด และท่อขยายของท่อน้ำทางเข้า - ออก Pump

จากรูป 3.23 ท่อลด และท่อขยาย ของระบบท่อน้ำทางเข้าถึงแสดงระดับน้ำ เป็นดังนี้

- ท่อขยาย 4/8 นิ้ว ไป 6/8 นิ้ว
- ท่อลด 6/8 นิ้ว ไป 3/8 นิ้ว
- ท่อขยาย 3/8 นิ้ว ไป 6/8 นิ้ว
- ท่อลด 6/8 นิ้ว ไป 4/8 นิ้ว

Pressure head loss ในท่อขยาย 4/8 ไป 6/8 นิ้ว

จากตาราง ข. Expansion

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{4/8}{6/8} = 0.67$$

ประมาณค่า (Interpolate)

D_1 / D_2	$K_E (\theta = 180^\circ)$
0.6	0.41
0.67	0.32
0.8	0.15

ตาราง 3.10 แสดงการประมาณค่า K_E ของท่อขยาย 4/8 ไป 6/8 นิ้ว
จากตาราง ข. Expansion

แทนค่า

$$h_{\text{loss}_E} = 0.32 \times \frac{\left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{loss}_E} = 3.78 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสดความคั้นของท่อขยาย 4/8 นิ้ว ไป 6/8 นิ้ว = $3.78 \times 10^{-4} \text{ m}$

Pressure head loss ในท่อลด 6/8 ไป 3/8 นิ้ว

จากตาราง ข. Contraction

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{3/8}{6/8} = 0.5$$

ประมาณค่า (Interpolate)

D_1 / D_2	$K_C (\theta = 180^\circ)$
0.4	0.42
0.5	0.35
0.6	0.27

ตาราง 3.11 แสดงการประมาณค่า K_C ของท่อลด 6/8 ไป 3/8 นิ้ว

จากตาราง ข. Contraction

แทนค่า

$$h_{\text{loss}_C} = 0.35 \times \frac{\left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{loss}_C2} = 4.132 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสดความดันของท่อลด 6/8 นิ้ว ไป 3/8 นิ้ว = $4.132 \times 10^{-4} \text{ m}$

Pressure head loss ในท่อขยาย 3/8 ไป 6/8 นิ้ว

จากตาราง ข. Expansion

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{3/8}{6/8} = 0.5$$

ประมาณค่า (Interpolate)

D_1 / D_2	$K_E (\theta = 180^\circ)$
0.4	0.7
0.5	0.55
0.6	0.41

ตาราง 3.12 แสดงการประมาณค่า K_E ของท่อขยาย 3/8 ไป 6/8 นิ้ว
จากตาราง ข. Expansion

แทนค่า

$$h_{\text{loss}_E3} = 0.55 \times \frac{\left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{loss}_E3} = 6.494 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสดความดันของท่อขยาย 3/8 นิ้ว ไป 6/8 นิ้ว = $6.494 \times 10^{-4} \text{ m}$

Pressure head loss ในท่อลด 6/8 ไป 4/8 นิ้ว

จากตาราง ข. Contraction

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{4/8}{6/8} = 0.67$$

ประมาณค่า (Interpolate)

D_1/D_2	$K_C (\theta=180^\circ)$
0.6	0.27
0.67	0.25
0.8	0.2

ตาราง 3.13 แสดงการประมาณค่า K_C ของท่อลด 6/8 ไป 4/8 นิ้ว
จากตาราง ข. Contraction

แทนค่า

$$h_{\text{loss}_C4} = 0.25 \times \frac{\left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{loss}_C4} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสถียรความดันของท่อขยาย 6/8 นิ้ว ไป 4/8 นิ้ว = $3 \times 10^{-4} \text{ m}$

ดังนั้น Total head loss ในท่อลดและท่อขยาย = $(3.78 \times 10^{-4} \text{ m}) + (4.132 \times 10^{-4} \text{ m}) + (6.494 \times 10^{-4} \text{ m}) + (3 \times 10^{-4} \text{ m}) = 1.741 \times 10^{-3} \text{ m}$

3.4.4 Pressure head loss ทางเข้า – ออก ท่อ

กำหนดให้: $v_{100\%} = 0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

สิ่งที่ต้องการ: $h_{\text{loss}_en} = ? \text{ m}$

จากรูป 3.9 มีท่อทางเข้า – ออก 2 ชิ้น คือ ออกจากถังเก็บน้ำ และถังแสดงระดับน้ำ จากตาราง ข. Pipe entrance

จะได้

$$h_{\text{loss}_en} = 2 \times K_e \times \frac{v_{100\%}^2}{2 \times g} \quad \dots\dots\dots(3.46)$$

จากตาราง ข. Pipe entrance

$$\frac{r}{d} = \frac{0}{(1.27 \times 10^{-2} \text{ m})} = 0$$

จะได้ $K_e = 0.5$

แทนค่าในสมการที่ 3.46

$$h_{\text{loss_en}} = 2 \times 0.5 \times \frac{\left(0.1522 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\text{loss_en}} = 1.181 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสดความดันของทางเข้า-ออก ท่อ = $1.181 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น Total head loss ของท่อน้ำทางเข้า Tank} &= (3.172 \times 10^{-3} \text{ m}) + (6.375 \times 10^{-3} \text{ m}) + \\ &\quad (1.741 \times 10^{-3} \text{ m}) + (1.181 \times 10^{-3} \text{ m}) \\ &= 1.247 \times 10^{-2} \text{ m} \end{aligned}$$

3.4.5 Pressure head loss ของระบบท่อน้ำทางเข้า

กำหนดให้: $\rho_{25c} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $\lambda_{25c} = 9781 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ $z_{\text{Base}} = 0 \text{ m}$

$v_1 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $z_{\text{Level_Resource}} = 0.16722 \text{ m}$

$P_2 = 0 \text{ Pa}$ $z_{\text{Level}} = 1.13743 \text{ m}$

$v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $h_{\text{loss}} = 0.01247 \text{ m}$

สิ่งที่ต้องการ: $h_{\text{System}} = ? \text{ m}$

จากสมการที่ 2.9

$$P_{1_loss} = \rho_{25c} \times g \times z_{\text{Level_Resource}} \quad \dots\dots\dots(3.47)$$

แทนค่า

$$P_{1_loss} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.16722 \text{ m}$$

$$P_{1_loss} = 1636 \text{ Pa}$$

จากสมการที่ 2.12

$$\frac{P_{1_loss}}{\gamma_{25c}} + \frac{v_1^2}{2 \times g} + z_{\text{Base}} + h_{\text{System}} = \frac{P_2}{\gamma_{25c}} + \frac{v_2^2}{2 \times g} + z_{\text{Level}} + h_{\text{loss}} \quad \dots\dots\dots(3.48)$$

$$\frac{1636 \text{ Pa}}{9781} + 0 + 0 + h_{\text{System}} = 0 + 0 + 1.13743 \text{ m} + 0.01247 \text{ m}$$

$$h_{\text{System}} = 0.9826 \text{ m}$$

ดังนั้นระบบต้องการเฮดความดันจากปั๊ม 0.9826 m

3.4.6 Pressure head pump

จากลักษณะจำเพาะของปั๊ม Max. Pressure = 10 psi

กำหนดให้: $P_{\text{pump}} = 10 \text{ psi} = 6.895 \times 10^4 \text{ Pa}$ $\rho_{25c} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

สิ่งที่ต้องการ: $h_{\text{pump}} = ? \text{ m}$

จากสมการที่ 2.9

$$P_{\text{pump}} = \rho_{25c} \times g \times h_{\text{pump}} \quad \dots\dots\dots(3.49)$$

$$6.895 \times 10^4 \frac{\text{Pa}}{\text{N}} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + h_{\text{pump}}$$

$$P_{\text{pump}} = 7.05 \text{ m}$$

ดังนั้นปั๊มสามารถให้เฮดความดันกับระบบได้สูงสุดคือ 7.05 m

จาก Pressure head loss ที่ระบบต้องการสูงสุด คือ 0.9826 m แต่ปั๊มสามารถให้เฮดความดันถึง 7.05 m ซึ่งมีค่ามากกว่า ดังนั้นปั๊มสามารถส่งน้ำให้ Tank ทุกระดับที่ต้องการ เนื่องจากค่าเฮดความดันของปั๊มมีค่าสูงกว่าเฮดความดันประมาณ 7 เท่า ดังนั้นจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับน้ำทางออก จึงติดตั้งเป็นปะทะ (Buffer) เพื่อแก้ปัญหา ซึ่งปะทะจะต้องรับแรงดันจากเฮดความดันของปั๊มที่ผ่านท่อ

3.5 ทดสอบความแข็งแรงของแป้นปะทะ

$$\begin{aligned} \text{เฮดความดันของปั๊มที่ผ่านท่อ}(h_{\text{TP}}) &= \text{เฮดความดันของปั๊ม} - \text{เฮดความดัน} \\ &= 7.05 \text{ m} - 0.9826 \text{ m} \\ &= 6.0674 \text{ m} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.9

$$P_{\text{Buffer}} = \rho \times g \times h_{\text{TP}} \quad \dots\dots\dots(3.50)$$

$$P_{\text{Buffer}} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 6.0674 \text{m}$$

$$P_{\text{Buffer}} = 59338.71 \text{Pa}$$

ดังนั้นแรงที่ Buffer จะต้องรับ = 59338.71 Pa

แต่จากการคำนวณในสมการที่ 3.6 แผ่นพลาสติกสามารถรับแรงเฉือนได้ $20.685 \times 10^6 \text{ Pa}$ ดังนั้นจึงแน่ใจได้ว่าเป็นปะทะจะไม่เสียหายจากแรงความดันของปั๊ม

3.6 โปรแกรมจำลองแบบชุดควบคุมระดับของเหลวอัตโนมัติ

เนื่องจากขอบข่ายการทำงานของโครงการชุดควบคุมระดับของเหลวอัตโนมัติ อยู่ในขั้นตอนการออกแบบ ดังนั้นการทดสอบพฤติกรรมการตอบสนองของชุดควบคุมระดับของเหลวอัตโนมัติ จึงเขียนโปรแกรมจำลองแบบชุดการควบคุมอัตโนมัติ ด้วยโปรแกรม MATLAB Version 5.3.1 เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบ และหาค่าคงที่ของการควบคุม

การเขียนโปรแกรมประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: แปลงสมการของอุปกรณ์แต่ละชิ้น ที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันเวลา (Time domain) ซึ่งกล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ให้อยู่ในรูปเอสโดเมน (S domain) โดยใช้วิธีหลักการของ Laplace Transform แปลงสมการได้ดังนี้

สมการถึงแสดงระดับน้ำ

จากสมการ 2.41

$$R \cdot A \cdot h = R \cdot q_0 \quad \dots\dots\dots(3.51)$$

แปลงเป็นรูป เอสโดเมน ได้ดังนี้

$$h = \frac{1}{169 \cdot s + 1} \quad \dots\dots\dots(3.52)$$

ดังนั้น Transfer function สำหรับสมการ ถึงแสดงระดับน้ำ คือ

$$G_1 = \frac{1}{169 \cdot s + 1} \quad \dots\dots\dots(3.53)$$

สมการ วาล์วควบคุมอัตโนมัติ

จากสมการ 2.42

$$y(t) = -0.6042 \cdot x(t) + 12.083 \quad \dots\dots\dots(3.54)$$

แปลงเป็น เอสโดเมน ได้ดังนี้

$$y(s) = -0.6042 \cdot x(s) \quad \dots\dots\dots(3.55)$$

ดังนั้น Transfer function สำหรับสมการ วาล์วควบคุมอัตโนมัติ คือ

$$G_2 = -0.6 \quad \dots\dots\dots(3.56)$$

สมการ เซนเซอร์

จากสมการ 2.57

$$v_0(t) = 0.6 \cdot h_x(t) \quad \dots\dots\dots(3.57)$$

แปลงเป็น เอสโดเมน ได้ดังนี้

$$v_0(s) = 0.6 \cdot h_x(s) \quad \dots\dots\dots(3.58)$$

ดังนั้น Transfer function สำหรับสมการ เซนเซอร์ คือ

$$G_3 = 0.6 \quad \dots\dots\dots(3.59)$$

สมการ PIC (Propotional Integral Controller)

จากสมการ 2.67

$$\mathcal{O}_q = K_p \cdot e + K_i \int e dt \quad \dots\dots\dots(3.60)$$

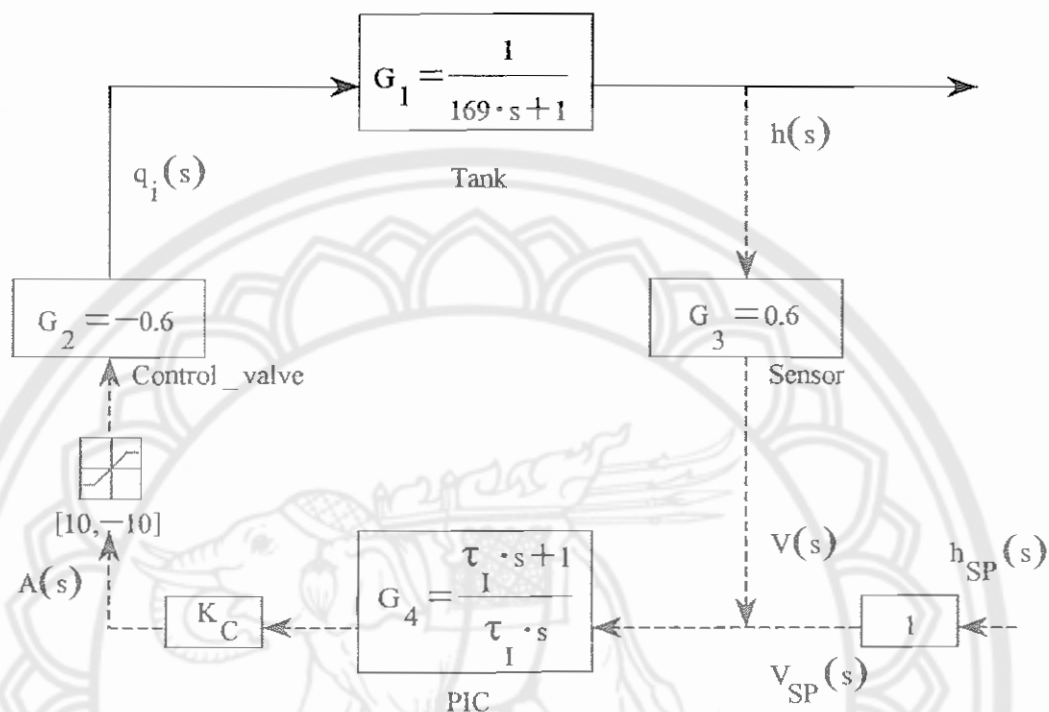
แปลงเป็น เอสโดเมน ได้ดังนี้

$$\frac{c(s)}{e(s)} = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) \quad \dots\dots\dots(3.61)$$

ดังนั้น Transfer function สำหรับสมการ PIC คือ

$$G_4 = K_c \cdot \left(\frac{\tau_I \cdot s + 1}{\tau_I \cdot s} \right) \quad \dots\dots\dots(3.62)$$

ขั้นตอนที่ 2: เขียนกล่องจำลองการทำงาน(Box diagram) ของชุดควบคุมของเหลวอัตโนมัติ ในรูปของ S domain แสดงดังรูป 3.24



รูป 3.24 แสดงกล่องจำลองการทำงาน (Box diagram) ของระบบควบคุมอัตโนมัติ

การจำลองการทำงานจากกล่องจำลองการทำงานนำไปเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานบน โปรแกรม Matlab ของระบบชุดสาธิตการควบคุมอัตโนมัติ แสดงดังรูป 3.25

การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของระบบควบคุมระดับของเหลวอัตโนมัติจะทำการศึกษาในบทต่อไป

