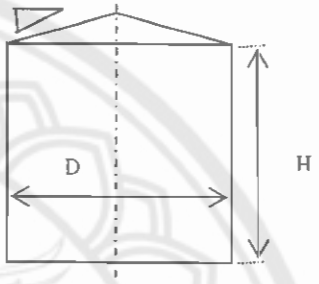
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานโครงงาน

การออกแบบถัง

1. Design Conditions



1.1 Tank Dimension

D : Inside diameter 2800 mm.

H : Tank height 5000 mm.

Hn : Operating liquid level 500 mm.

1.2 Design Data

1) Design code : API 650 10TH EDITION 1998

2) Capacity :

Gross (Nominal) : $\frac{\pi \times D^2}{4} \times H$ m^3

$= \frac{\pi \times (2.8)^2}{4} \times 5$

$= 30.79$ m^3

Total Product Contents : $\frac{\pi \times D^2}{4} \times H_n$ m^3

$= \frac{\pi \times (2.8)^2}{4} \times 0.5$

$= 3.07$ m^3

3) ประเภทของหลังคา (Type of roof) : Self supporting cone roof

4) ของเหลวภายในถัง (Fluid name) : Water

5) ค่าจำเพาะของของเหลว (Specific fluid) : 1.0

6) ความดันออกแบบ (Design pressure) : 90 mm.H_2O

7) อุณหภูมิออกแบบ (Design temperature) : 30 ^{o}C

8) ค่าความเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion allowance)

-ผนัง (Shell) / แผ่นพื้น (Bottom) / หลังคา (Roof) / Structure : 3.0 mm.

9) Hydrostatic test : AS PER API 650 CODE

10) ปัจจัยจากแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Earthquake factor) : 0

11) ปัจจัยจากแรงที่เกิดจากความเร็วลม (Wind load) : 90 kg/m^2

1.3 วัสดุ (Materials Specification)

1) ผนัง (Shell) : A 283M Gr.C

2) แผ่นพื้นถัง (Bottom) : A 283M Gr.C

3) หลังคา (Roof) : A 283M Gr.C

4) ท่อ (Nozzle neck)

Pipe neck : A 53 Gr.B

Plate neck : A 283M Gr.C

5) Flange / Manhole flange and cover : A 53 Gr.B

6) Bolts & Nuts (External) : A 193 Gr. B7/ A193 Gr.2H

7) Bolts & Nuts (Internal) : SUS 304

2. Shell Plate Calculation under Internal Pressure

ค่า allowable stress สำหรับการออกแบบ (MPa)

จาก ตารางที่ 3.2 ใน API 650 allowable stress เป็นดังนี้

Plate Specification	Grade	Minimum Yield Strength MPa (psi)	Minimum Tensile Strength MPa (psi)	Product Design Stress S_d MPa (psi)	Hydrostatic Test Stress S_t MPa (psi)
		ASTM Specifications			
A 283M	C	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)

จาก มาตรฐานข้อที่ 3.6.1.1 และ 3.6.3 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อ 2.5.1.1 และ 2.7)

ออกแบบ Shell thickness (t_d) [mm]

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA$$

$$= \frac{4.9(2.8)(H-0.3)1.0}{137} + 3.0$$

เมื่อ

t_d = ความหนาของผนังในการออกแบบ (mm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (2800 mm.) = 2.8 m.

H = ระดับของเหลวในการออกแบบ (m)
ความสูงจากขอบล่างของแผ่นผนังที่คำนวณหาขนาดความหนาถึงขอบบนของถังหรือถึงตำแหน่ง Overflow ซึ่งระดับของเหลวจะสามารถสูงสุด

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว = 1.0

CA = ค่าความเผื่อการกัดกร่อน = 3.0 mm.

S_d = ค่า Allowable stress สำหรับการออกแบบ = 137 MPa.

ความหนาของผนังสำหรับการทดสอบ Hydrostatic test (mm)

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t}$$
$$= \frac{4.9(2.8)(H-0.3)}{154}$$

เมื่อ

t_t = ความหนาของผนังสำหรับการทดสอบ Hydrostatic test (mm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (2800 mm.) = 2.8 m.

H = ระดับของเหลวในการออกแบบ (m)
ความสูงจากขอบล่างของแผ่นผนังที่คำนวณหาขนาดความหนาถึงขอบบนของถังหรือถึงตำแหน่ง Overflow ซึ่งระดับของเหลวจะสามารถสูงสุด

S_t = ค่า Allowable stress สำหรับ Hydrostatic test = 154 MPa.

ผลการคำนวณขนาดความหนาของผนังถัง

Shell Course	H (m)	G	S_d (Mpa)	S_t (Mpa)	CA (mm)	t_d (mm)	t_t (mm)	Used thickness (mm)
1	5.0	1	137	154	3.0	3.5	0.4	5
2	3.2	1	137	154	3.0	3.3	0.3	5
3	1.4	1	137	154	3.0	3.1	0.1	5

หมายเหตุ : ความหนาของผนังจะต้องไม่น้อยกว่า 5 mm. ตามตารางที่ 2.1

3. Intermediate Wind Girder

The Maximum Height of Unstiffened Shell.

จากมาตรฐานข้อที่ 3.9.7.1 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.12.1)

$$H_1 = 9.47t\sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \times \left(\frac{V_r}{V}\right)^2}$$

$$= 9.47 \times 5\sqrt{\left(\frac{5}{2.8}\right)^3 \times \left(\frac{160}{136.8}\right)^2}$$

$$= 154.6 \quad \text{m.}$$

เมื่อ

H_1 = ความสูง (m) ระหว่าง Intermediate wind girders กับ Top Angle ของผนังถัง

t = ความหนาของผนังส่วนบนของถัง = 5 mm.

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง = 2.8 m.

V_r = 160 km/hr

V = ความเร็วลมที่ระบุโดยผู้ซื้อ (38 m/s) = 136.8 km/hr

$$W_{tr} = W\sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5}$$

เมื่อ

W_{tr} = Transposed width of each shell course (mm)

W = Actual width of each shell course (mm)

$t_{uniform}$ = ความหนาของผนังส่วนบนของถัง (mm)

t_{actual} = ความหนาของผนังถังในแต่ละแผ่น (mm)

เนื่องจากความหนาของผนังถังเท่ากันหมดทุกแผ่น $t_{uniform} = t_{actual} = 5$ mm.

ดังนั้น $W_{tr} = W$

Shell Course	**t_s (mm)**	**t (mm)**	**H_1 (mm)**	**W (mm)**	**W_{tr} (mm)**	**$\sum W_{tr}$ (mm)**	**Judgment $\sum W_{tr} < H_1$**
3	5	5	154600	1800	1800	1800	YES
2	5			1800	1800	3600	YES
1	5			1400	1400	5000	YES

จากมาตรฐานข้อที่ 3.9.7.1 ใน API 650 $\sum W_{tr} < H_1$ ไม่ต้องมี Intermediate Wind Girder

4. Roof Plate And Roof Structure Calculation

4.1 ความหนาของหลังคาถังที่ใช้

จากมาตรฐานข้อที่ 3.10.5.1 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.13.4)

หลังคาแบบ Self-Supporting Cone Roof จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

$\theta \leq 37$ องศา (ความชันเท่ากับ 9:12)

$\theta \geq 9.5$ องศา (ความชันเท่ากับ 2:12)

เมื่อ θ = มุมของหลังคาวัดจากแนวระดับ

ความหนาของหลังคาน้อยที่สุดเท่ากับ $\frac{D}{4.8\sin\theta}$ แต่ต้องมากกว่า 5 mm และความหนาของหลังคามากที่สุดเท่ากับ 13 mm. (ไม่รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน)

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (m)

ดังนั้น

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (2.8 m)

θ = มุมของหลังคาวัดจากแนวระดับ ; $\theta \geq 9.5$ องศา (ความชันเท่ากับ 2:12)

ความหนาของหลังคาน้อยที่สุด $= \frac{D}{4.8\sin\theta}$

$= \frac{2.8}{4.8\sin 9.5}$

$= 3.54$ mm.

ความหนาของหลังคาถังที่ใช้ = ความหนาของหลังคาน้อยที่สุด + ค่าความเผื่อการกัดกร่อน

$= 3.54 + 3.0$

$= 6.54$ mm.

เพราะฉะนั้น ความหนาของหลังคาถังที่ใช้เท่ากับ 7 mm.

4.2 ขนาดของ Top angle

จากมาตรฐานข้อที่ 3.1.5.9 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.14.6)

ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 11 m ขนาดของ Top angle จะต้องไม่น้อยกว่า $51\times51\times4.8$ mm.

ดังนั้น

ขนาดมาตรฐานของ Top angle เท่ากับ $60\times60\times5$ mm.

พื้นที่หน้าตัด (Cross-Section Area) เท่ากับ 5.802 cm^2 (580.2 mm^2)

4.3 Participating Area at the roof-to-shell junction determined using รูปที่ 2.6

จากมาตรฐานข้อที่ 3.10.5.2 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.13.5)

เมื่อ

W_C = ความกว้างมากที่สุดของ Participating shell (mm)

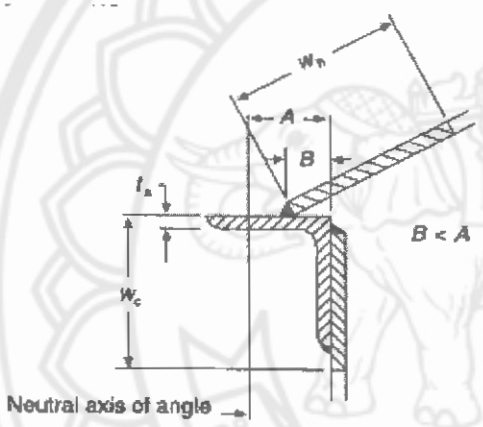
R_C = รัศมีภายในของถัง (mm)

t_s = ความหนาของผนังถังลบด้วยค่าความเผื่อการกัดกร่อน (mm)

t_h = ความหนาของหลังคาลบด้วยค่าความเผื่อการกัดกร่อน (mm)

R_2 = ความยาวของเส้นตั้งฉากกับหลังคา โดยวัดจากขอบของหลังคาไปจนถึงจุดที่ตัดกับเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (mm)

W_h = ความกว้างมากที่สุดของ Participating roof (mm)



$$W_C = 0.6(R_C t_s)^{0.5}$$
$$= 0.6(1400 \times (5-3))^{0.5}$$
$$= 31.7 \text{ mm.}$$

$$R_2 = \frac{R_C}{\sin\theta}$$
$$= \frac{1400}{\sin 9.5}$$
$$= 8517.9 \text{ mm.}$$

$$W_h = 0.3(R_2 t_h)^{0.5}$$
$$= 0.3(8517.9 \times (7-3))^{0.5}$$
$$= 55.4 \text{ mm.}$$

Participating Area $= (W_h \times t_h) + (W_C \times t_s) + \text{Angle Area}$

$= (55.4 \times 4) + (31.7 \times 2) + 580.2$

$= 865.2 \text{ mm}^2$

จากมาตรฐานข้อที่ 3.10.5.2 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.13.5) Participating Area จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าดังต่อไปนี้

$$\frac{D^2}{0.432\sin\theta} = \frac{2.8^2}{0.432\sin 9.5}$$
$$= 110.4 \text{ mm}^2$$

ดังนั้น Participating Area 865.2 mm^2 > 110.4 mm^2 ค่าที่ออกแบบจึงเป็นไปตามมาตรฐาน สามารถใช้ Top angle ขนาด $60 \times 60 \times 5$ mm. พื้นที่หน้าตัด 5.802 cm^2 (580.2 mm^2) ได้

5. ภาระเนื่องจากแรงลมที่กระทำกับถัง (Wind load on tanks)

จากมาตรฐานข้อที่ 3.11 และ 3.12 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.15)

5.1 Check on tank overturning and sliding by wind load.

5.1.1 น้ำหนักของถัง (Tank Weight) โดยไม่รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion Allowance)

น้ำหนักของถัง (Tank Weight) = Shell + Bottom + Roof + Top Angle

เมื่อ

D_o = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (m)

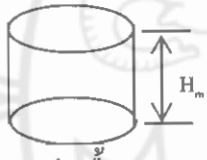
H_m = ความสูงของถัง (m)

t_S = ความหนาของผนังถังลบด้วยค่าความเผื่อการกัดกร่อน (m)

t_b = ความหนาของแผ่นพื้นถังลบด้วยค่าความเผื่อการกัดกร่อน (m)

ρ_s = ความหนาแน่นของเหล็ก ($\frac{kg}{m^3}$)

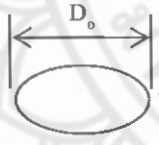
น้ำหนักของผนัง (Shell weight) $= \pi D_o \times H_m \times t_S \times \rho_s$



$= \pi (2.8\text{ m}) \times (5\text{ m}) \times (\frac{5-3}{1000}\text{ m}) \times 7.85 \times 10^3\ \frac{kg}{m^3}$

$= 690.5$ kg.

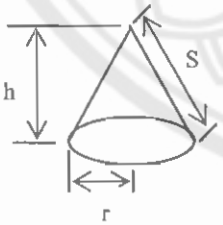
น้ำหนักของแผ่นพื้น (Bottom plate weight) $= \frac{\pi}{4} D_o^2 \times t_b \times \rho_s$



$= \frac{\pi}{4}(2.8\text{ m})^2 \times (5\text{ m}) \times (\frac{9-3}{1000}\text{ m}) \times 7.85 \times 10^3\ \frac{kg}{m^3}$

$= 290.0$ kg.

น้ำหนักของหลังคา (Roof weight) $= \pi r S$



$= \pi r \sqrt{r^2 + h^2} \times t_r \times \rho_s$

$= \pi (1.4) \sqrt{1.4^2 + 0.23^2} \times (\frac{7-3}{1000}\text{m}) \times 7.85 \times 10^3\ \frac{kg}{m^3}$

$= 195.9$ kg.

Top angle :

ขนาดมาตรฐานของ Top angle เท่ากับ $60 \times 60 \times 5$ mm.

พื้นที่หน้าตัด (Cross-Section Area) เท่ากับ 5.802 cm^2 (580.2 mm^2)

น้ำหนัก (weight) เท่ากับ 4.55 $\frac{kg}{m}$

น้ำหนักของ Top angle $= \pi D_o \times$ น้ำหนัก (weight)

$= \pi \times 2.8\ m \times 4.55$

$= 40.0$ kg.

∴ น้ำหนักของถัง (Tank Weight) โดยไม่รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน เท่ากับ

$690.5 + 290.0 + 195.9 + 40.0 = 1216.4$ kg.

5.1.2 Overturning Moment

5.1.2.1 โมเมนต์เนื่องจากแรงดันลม (Moment from wind load)

เมื่อ Roof slope , $R_S = \frac{1}{6}$

พื้นที่หน้าตัดผนัง (Shell Cross-Section Area) $= H_m \times D_o$

พื้นที่หน้าตัดหลังคา (Roof Cross-Section Area) $= \frac{1}{2} \times D_o \times \left(\frac{D_o \times R_S}{2} \right)$

จาก Drag Force $= C_D \times A \times \frac{1}{2} \rho V^2$

C_D = Drag Coefficient

ตาม Toc Specific สำหรับ ผนัง $C_D = 0.75$

หลังคา $C_D = 0.50$

A = พื้นที่หน้าตัด (Cross-Section Area)

$\frac{1}{2} \rho V^2$ = แรงดันลม (Wind pressure)

ตาม Toc Specific กำหนดให้เท่ากับ 90 kg/m^2

ดังนั้น

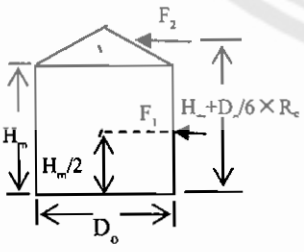
Moment $= \left\{ F_1 \times \frac{H_m}{2} \right\} + \left\{ F_2 \times \left[H_m + \frac{D_o \times R_S}{6} \right] \right\}$

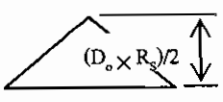
$= \left\{ (0.75 \times H_m \times D_o \times 90) \times \frac{H_m}{2} \right\} +$

$\left\{ \left(0.5 \times \frac{1}{2} \times D_o \times \frac{D_0 \times R_S}{2} \times 90 \right) \times \left[H_m + \frac{D_o \times R_S}{6} \right] \right\}$

$= \left\{ (0.75 \times 5 \times 2.8 \times 90) \times \frac{5}{2} \right\} +$

$\left\{ \left(0.5 \times \frac{1}{2} \times 2.8 \times \frac{2.8 \times 1/6}{2} \times 90 \right) \times \left[5 + \frac{2.8 \times 1/6}{6} \right] \right\}$





$= 2437.1$ kg-m.

5.1.2.2 Dead-load resisting moment

$$R_w = \frac{2}{3}\left(\frac{WD}{2}\right)$$

เมื่อ

W = น้ำหนักของผนัง (Shell weight) + น้ำหนักที่ผนังรองรับ (Dead weigh support) เช่น น้ำหนักของหลังคา – แรงยกตัวเนื่องจากความดันภายใน (Uplift by internal operating pressure)

น้ำหนักของผนัง = 690.5 kg.

น้ำหนักของ Top angle = 40.0 kg.

น้ำหนักของหลังคา = 195.9 kg.

Uplift by internal operating pressure = 0 kg เนื่องจาก pressure = 1 ATM

หมายเหตุ น้ำหนักทั้งหมด คำนวณโดยไม่รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน

ดังนั้น

$$W = 690.5 + 40.0 + 195.9$$

$$= 926.4 \text{ kg.}$$

$$R_w = \frac{2}{3}\left(\frac{WD}{2}\right)$$

$$= \frac{2}{3}\left(\frac{926.4 \times 2.8}{2}\right)$$

$$= 864.64 \text{ kg-m.}$$

5.2 Sliding Check

จากมาตรฐานข้อที่ 3.11.4 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.15.4)

ตัวประกอบแรงเสียดทาน (Friction Factor) = 0.4

น้ำหนักของถัง (ไม่รวมค่าความเผื่อการกัดกร่อน) = 1216.4 kg.

แรงสไลด์เนื่องจากแรงลม (Sliding Force From wind load)

$$F_w = F_1 + F_2$$

$$= \left(0.75 \times H_m \times D_o \times 90\right) + \left(0.5 \times \frac{1}{2} \times D_o \times \frac{D_o \times R_S}{2} \times 90\right)$$

$$= \left(0.75 \times 5 \times 2.8 \times 90\right) + \left(0.5 \times \frac{1}{2} \times 2.8 \times \frac{2.8 \times 1/6}{2} \times 90\right)$$

$$= 959.7 \text{ kg.}$$

แรงต้านการสไลด์เนื่องจากความเสียดทาน (Resistance Sliding Force)

R_{fw} = Friction Factor × น้ำหนักของถัง

= 0.4 × 987.2

= 394.9 kg.

6. Anchor Bolt Calculation

6.1 ข้อมูลออกแบบ

1) วัสดุของ Anchor Bolt A 307-C

2) แรงจากน้ำหนักของผนัง + น้ำหนักที่ผนังรองรับ W = 745.5 kg.

– แรงยกตัวเนื่องจากความดันภายใน

3) โมเมนต์เนื่องจากแรงลม (Moment from wind load) M_w = 2437.1 kg-m.

4) แรงสไลด์เนื่องจากแรงลม (Sliding Force From wind load) F_w = 959.7 kg.

5) แรงต้านการสไลด์เนื่องจากความเสียดทาน (Resistance Sliding Force) R_s = 394.9 kg.

6) Allow tension stress S_a = 20.25 kg/mm^2

ตามมาตรฐานข้อที่ 3.12 API 650 Allowable stress of Anchor bolt สำหรับการออกแบบ

เพื่อรับ wind load = 0.8 x Yield stress of Anchor bolt material

A307 C :

Yield stress = 36 ksi

ดังนั้น Allowable stress = 0.8 x 36

= 28.8 ksi

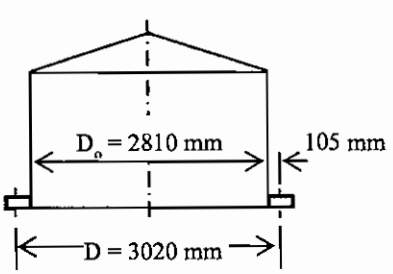
แปลงหน่วยได้ = (28.8 x 6.82)/9.81

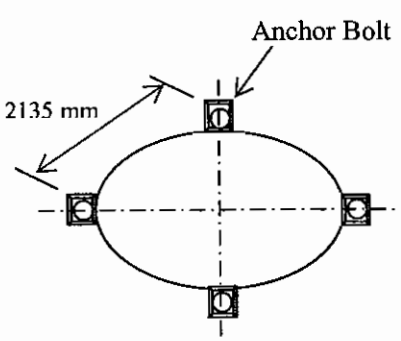
= 20.25 kg/mm^2

7) Anchor Bolt size = M 36

8) จำนวน Anchor Bolt N = 4

9) Anchor bolt circle diameter D = 3020 mm.





6.2 การคำนวณการรับแรงของ Anchor Bolt

6.2.1 Tension force

จากมาตรฐานข้อที่ 3.11.3 ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.15.3)

$$t_B = \frac{4M_w}{DN} - \frac{W}{N}$$

$$= \frac{4 \times 2437.1}{3.02 \times 4} - \frac{745.5}{4}$$

$$= 620.6 \text{ kg.}$$

Tensile stress of anchor bolt , S_b

S_b = t_B / พื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดของ Bolt

$$= \frac{t_B}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

$$= \frac{620.6}{\frac{\pi}{4}(34.05)^2}$$

$$= 0.68 \text{ kg/mm}^2$$

ค่า Tensile stress จากการรับแรงดึงเท่ากับ 0.68 kg/mm^2

มีค่าน้อยกว่า Allow tension stress เท่ากับ 20.25 kg/mm^2 จึงสามารถใช้งานได้

6.2.2 Shear Force

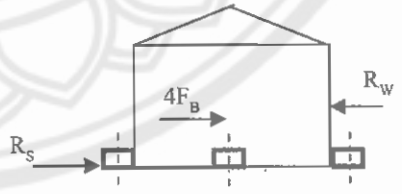
แรง Shear ที่เกิดกับ Anchor Bolt หาได้จาก

$$4F_B = F_w - R_S$$

$$F_B = \frac{F_w - R_S}{4}$$

$$= \frac{959.7 - 394.9}{4}$$

$$= 141.2 \text{ kg.}$$



Shear stress of anchor bolt , S_s

$$S_s = \frac{F_B}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

$$= \frac{141.2}{\frac{\pi}{4}(34.05)^2}$$

$$= 0.16 \text{ kg/mm}^2$$

ค่า Allow shear stress มีค่าประมาณเท่ากับ 0.6 ของ Yield Strength

$$0.6 \times 20.25 \text{ kg/mm}^2 = 12.15 \text{ kg/mm}^2$$

ดังนั้น ค่า Shear stress จากการรับแรงในแนวเฉือน มีค่าน้อยกว่า ค่า Allow shear stress จึงสามารถใช้งานได้

7. Bottom Plate Calculation

Required thickness for bottom plate according to API 650

จากมาตรฐานข้อที่ 3.4.I ใน API 650 (บทที่ 2 ข้อที่ 2.3.1)

Bottom Plates จะต้องมีความหนาอย่างน้อย :

6 mm + ค่าความเผื่อการกัดกร่อน

6 + 3 = 9 mm.

เพราะฉะนั้น ความหนาของ Bottom Plates ที่ใช้เท่ากับ 9 mm.

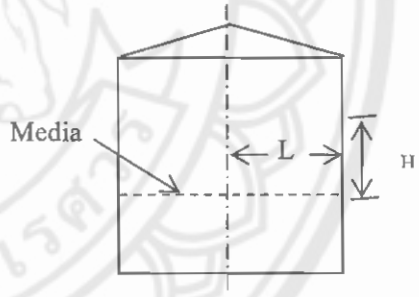
การออกแบบชั้นรองรับ Media

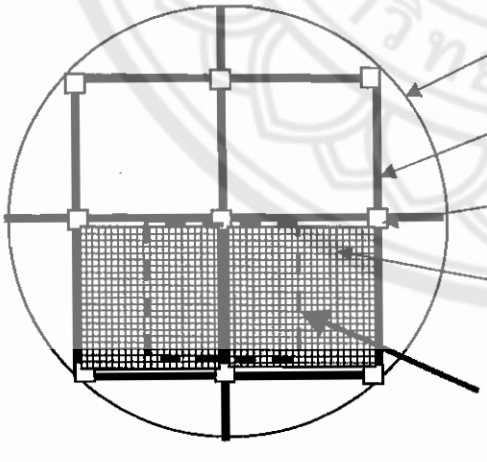
1. Design Conditions

Media Dimension

L : ความยาวคาน 1000 mm.

H : Media height 2000 mm.



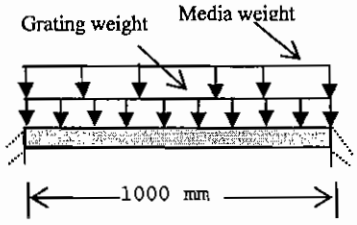


พื้นที่ ที่คาน (Beam) รับน้ำหนักของ Media มีขนาด 1m x 1m (ใช้ในการคำนวณแรงที่กระทำบนคาน)

2. Beam Calculation

$$\text{น้ำหนัก Media} = 84 \frac{kg}{m^2} \times 1\ m^2 \times \frac{1}{m}$$

$$= 84 \frac{kg}{m}$$



น้ำหนัก Grating $= 105\ \frac{kg}{m^2} \times 1\ m^2 \times \frac{1}{m}$

$= 105\ \frac{kg}{m}$

Channel 100×50 ; Moment of inertia

$I_x = 26\ cm^4$

$C_x = 1.54\ cm^4$

จากสูตร

Shear Force $(V_x) = \frac{WL}{2} - wx$

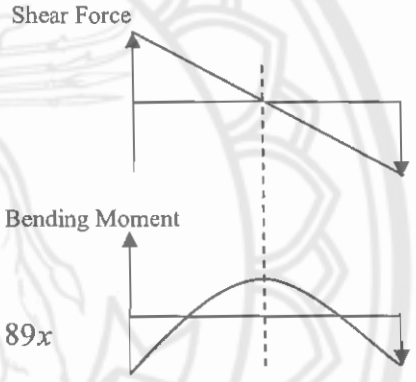
เมื่อ w = แรงกระทำบนคานต่อหน่วยความยาว

ในที่นี้ w $= 84 + 105 = 189\ \frac{kg}{m}$

L = ความยาวคาน

= 1000 mm.

x = ระยะใดๆ ตามแนวคาน



ดังนั้น

$V_x = \frac{189 \times 1}{2} - 189x$

$= 94.5 - 189x$ kg.

จากสูตร

Bending Moment $(M_x) = \frac{-wL^2}{12} + \frac{wLx}{2} + \frac{wx^2}{2}$

ดังนั้น

$M_x = \frac{-189 \times 1^2}{12} + \frac{189 \times 1 \times x}{2} + \frac{189x^2}{2}$

$= -15.75 + 94.5x - 94.5x^2$

Maximum Bending Moment เกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางคาน ที่ x $= \frac{L}{2} = 0.5$ m.

ดังนั้น

Maximum Bending Moment $= -15.75 + 94.5(0.5) - 94.5(0.5)^2$

$= 7.875$ kg.m

Maximum Bending Stress (ρ_b)

จากสูตร

$$\rho_b = M_{b,max} \times \frac{C_x}{I_x}$$

$$= 7.875 \text{ kg.m} \times \frac{1.54\times10^{-2} m}{26\times10^{-8} m^4}$$

$$= 4.66\times10^5 \frac{kg}{m^2}$$

เลือกใช้เหล็ก Channel ขนาด 100×50 mm. วัสดุเกรด SS 400 พื้นที่หน้าตัด 11.92 em^2

จากมาตรฐาน ค่า Yield Strength เท่ากับ 245 MPa

$$= 245\times10^6 \frac{N}{m^2} \times \frac{7.81kg}{N}$$

$$= 2.4\times10^9 \frac{kg}{m^2}$$

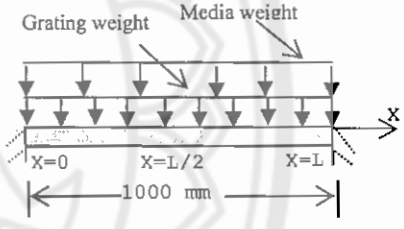
$\therefore$ ค่า ρ_b < Yield strength ของ Channel

Maximum Shear Force เกิดที่จุดปลายของคาน ที่ x = O , L

ดังนั้น Maximum Shear Force $= \frac{wL}{2} - w(0)$

$$= 189 \frac{kg}{m} \times \frac{1\,m}{2}$$

$$= 94.5 \text{ kg.}$$



Maximum Shear Stress (ρs)

จากสูตร Maximum Shear Stress $= \frac{3}{2} \times \frac{M_{S,max}}{A}$

เมื่อ

$M_{s,max}$ = Maximum Shear Force

A = พื้นที่หน้าตัด (Cross-Section Area)

ดังนั้น Maximum Shear Stress $= \frac{3}{2} \times \frac{M_{S,max}}{A}$

$$= \frac{3}{2} \times \frac{94.5 \text{ kg}}{11.92\times10^{-4} m^2}$$

$$= 1.19\times10^5 \frac{kg}{m^2}$$

ค่า Allow shear stress มีค่าประมาณเท่ากับ 0.6 ของ Yield Strength

$$0.6 \times (2.4\times10^9) \text{ kg/m}^2 = 1.44 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$$

ดังนั้น ค่า Shear stress จากการรับแรงในแนวเฉือน มีค่าน้อยกว่า ค่า Allow shear stress จึงสามารถใช้งานได้

3. Grating

3.1 Grating Specification Data

Grating	:	Bar Grating
ยี่ห้อ	:	Mc NICHOLS
ชนิด	:	Hand Welded Bar Grating
Material	:	Steel Hot dip Galvanized
Series	:	12-WH-4-150
Bearing Bar spacing	:	4 in.
Construction	:	Welded
Surface	:	Smooth
Banding	:	NONE.
Clips Fasteners	:	NONE.
Weight	:	21 lb/ft^2 (105 kg/m^2)
Media	:	PE 70 mm × 22 mm

3.2 Grating Strength Calculation

ตามมาตรฐานของผู้ผลิต (บ. Mcnichols)

12-WH-4 Series Bar Grating Load Table

Concentrated Load

Bearing bar size		Maximum safe concentrated load, (Pounds) - Clear Span							
Height (Inches)	Thickness (Inches)	0'–6"	1'–0"	1'–6"	2'–0"	2'–6"	3'–0"	3'–6"	4'–0"
1	1/4	8893	4447	2964	2223				
1–1/4	1/4	13893	6947	4631	3473	2779			
1–1/2	1/4	20000	1000	6667	5000	4000	3333		
1–3/4	1/4	27227	13613	9076	6807	5445	4538	3890	
2	1/4	35560	17780	11853	8890	7112	5927	5080	4445

จากตารางข้างบน ความสามารถในการรับแรงของ Grating 12-W/H-4 Height 1 ½ in โดยมีระยะ Clear Span เท่ากับ 3 Feet (900 mm)

ค่า Max. Safe Concentrated Load = 3333 Lbs. (1511.8 kg)

น้ำหนักของ Media ที่กระทำบน Grating ขนาด 1x1 m คือ 84 kg/m^2 x 1 m^2 = 84 kg

ความสามารถในการรับแรงของ Grating คือ 1511.8 kg มากกว่า น้ำหนักของ Media 84 kg

ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้

4. Column

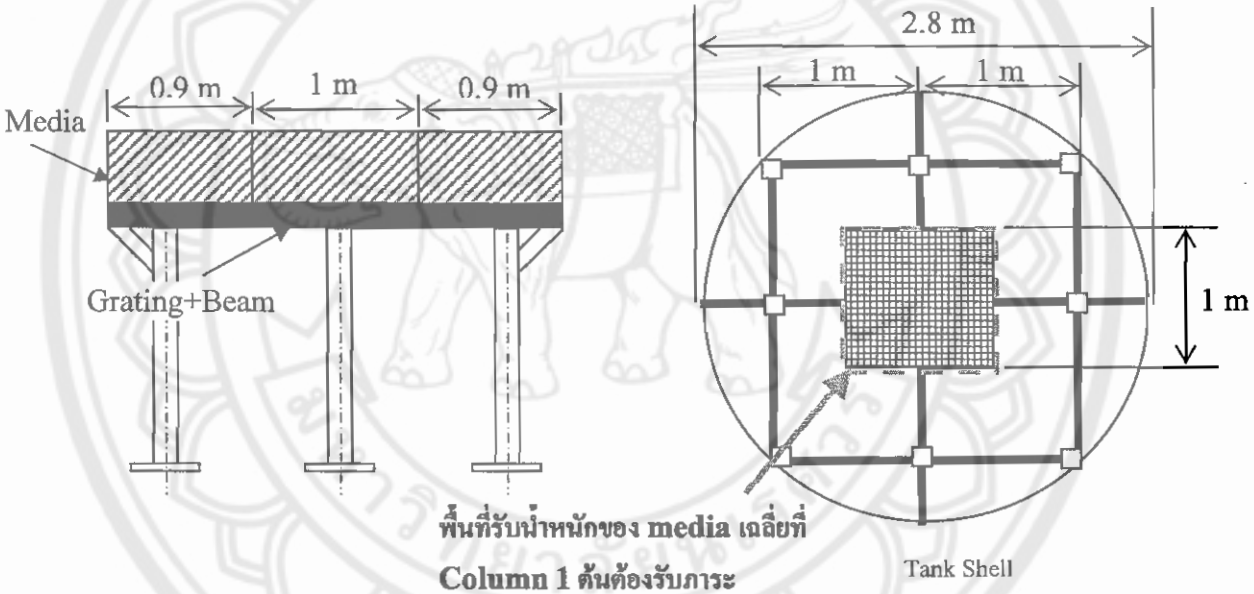
4.1 Column Specification Data

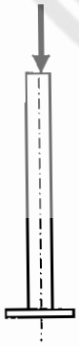
วัสดุที่ใช้ : Pipe 2 " ,Sch. 40 ความยาวต่อท่อน 1902.9 mm.

วัสดุท่อ : ASTM A53 Gr.B (Carbon Steel)

4.2 Column Strength Calculation

4.2.1 ภาระและแรงที่กระทำกับ Column





ดังนั้น ภาระที่กระทำกับ Column (Wt) คือ

1. น้ำหนักของ Media ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร

   84 kg/m^2 x 1 m^2 = 84 kg

2. น้ำหนักของ Grating ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร

   105 kg/m^2 x 1 m^2 = 105 kg

3. น้ำหนักของ Beam ความยาว 1 + 1 = 2 m

   9.36 kg/m x 2 m = 18.72 kg

ดังนั้น ภาระที่กระทำกับ Column ทั้งหมดรวม (Wt) เท่ากับ 84 +105 +18.72 = 207.72 kg หรือ 2,037.7 N

4.2.2 การคำนวณการรับแรงของเสา

<u>อัตราส่วนความเพรียวของเสา (Slenderness Ratio) Le/k</u>

เสาเป็นแบบ ปลายด้านหนึ่งยึดแน่น – ปลายด้านหนึ่งอิสระ

ดังนั้น ความยามสมมูล Le ตามทฤษฎีจึงเท่ากับ 2L = 2 x 1902.9 = 3805.8 mm.

รัศมีไจเรชั่น ; k = 0.787 inch = 19.99 mm. (อ้างอิงตามคุณสมบัติท่อ 2" Sch.40)

ดังนั้น (Slenderness Ratio) Le/k = 3805.8 / 19.99 = 190.4

สูตรของออยเลอร์

เนื่องจากตามทฤษฎี ถ้า Slenderness Ratio มากกว่า 115 การเสียหายของเสามักจะเกิดจากการโก่งงอ (Buckling) ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบความเสียหายดังกล่าวโดยใช้สูตรของออยเลอร์ ดังนี้

$$F = \frac{\pi^2 EA}{N\left(\frac{Le}{k}\right)^2}$$

E = Young 's Modulus ของเหล็กคาร์บอนเท่ากับ 20×10^4 MPA

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ 2" Sch.40 เท่ากับ 1.075 $inch^2$ = 693.5 mm^2

N = Safety factor เท่ากับ 3.5

Le/K = Slenderness Ratio เท่ากับ 190.4

$$F = \frac{\pi^2 \times 20 \times 10^4 \times 10^6 N/m^2 \times 639.5 \times 10^{-6} m^2}{3.5(190.4)^2}$$

$$= 10{,}788.8 \text{ N}$$

$$= 1{,}099.8 \text{ kg}$$

ดังนั้นแรงที่ Column สามารถรับแรงได้สูงสุดเท่ากับ 10,788.8 N (1,099.8 kg)

เปรียบเทียบ แรงที่กระทำกับเสา กับ แรงที่เสาสามารถรับได้ตามทฤษฎี

แรงที่กระทำกับเสา เท่ากับ 2,037.7 N

แรงที่เสาสามารถรับได้ เท่ากับ 10,788.8 N

จะเห็นได้ว่า แรงที่กระทำกับเสา 〈 แรงที่เสาสามารถรับได้

ดังนั้น เสาขนาด 2 " Sch. 40 จึงสามารถใช้งานได้

งบประมาณ

ในการออกแบบถัง Biofilter ครั้งนี้สามารถประเมินค่าใช้จ่าย (โดยประมาณ) ได้ดังนี้

1. เหล็กแผ่น A 283M Gr.C ขนาด 6 × 30 in. : 99,704 บาท

ความหนา	5	mm	3 แผ่น
ความหนา	7	mm	1 แผ่น
ความหนา	9	mm	1 แผ่น

2. เหล็กฉาก SS 400 ขนาด 60×60×5 mm. : 1,365 บาท

ยาว	6	m	2 เส้น

3. หน้าแปลน A 53 B : 4,972 บาท

แบบ	Long weld-neck ขนาด 1 in 150 lbs.		4 ชิ้น
แบบ	Weld-neck	ขนาด 1 in 150 lbs.	1 ชิ้น
แบบ	Slip-on	ขนาด 6 in 150 lbs.	1 ชิ้น
แบบ	Slip-on	ขนาด 8 in 150 lbs.	2 ชิ้น

4. ท่อเหล็ก A 53 B : 956 บาท

ขนาด	1 in	Sch. 40 ยาว 6	m	1 เส้น
ขนาด	6 in	Sch. 40 ยาว 6	m	1 เส้น
ขนาด	8 in	Sch. 40 ยาว 6	m	1 เส้น

5. ข้อต่อท่อ A 53 B : 4,437 บาท

Elbow ขนาด	1 in	Sch. 40	จำนวน 1
(Elbow แบบ Weld-neck)			
Return Bend ขนาด	8 in	Sch. 40	จำนวน 1
(Return Bend แบบ Weld-neck)			

6. เหล็กเส้น (Round Bar) : 683 บาท

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ยาว 6 m จำนวน 1

7. Anchor Bolt เกรด A 307-C จำนวน 4 : 3,400 บาท

8. Nut เกรด A 563-A ขนาด M36× 1300L จำนวน 8 : 1,200 บาท

9. Bolt และ Nut เกรด A 193 Gr. B7 และ 193 Gr. 2H : 4,400 บาท

สำหรับใช้งานกับ Shell Manhole

Bolt	ขนาด	M20× 50L	จำนวน 28
Nut	ขนาด	M20	จำนวน 56

สำหรับใช้งานกับ Roof Manhole

Bolt ขนาด M16×50L จำนวน 16

Nut ขนาด M16 จำนวน 32

10. เหล็กรางน้ำ (C-chanel) SS400 : 4,130 บาท

ขนาด 100×50×5 mm. ยาว 6 m 3 เส้น

11. แผ่นพื้นนตะแกรง (Grating) 12-WH-4-150 : 24,000 บาท

12. เสา : 3,320 บาท

รวมทั้งสิ้นเป็นเงิน 152,567 บาท

มหาวิทยาลัยนเรศวร