

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างรายการคำนวณการออกแบบ

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบโครงข้อหมุนด้วยวิธี ASD-1989

เสากลมเดี่ยว แรงลมกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527)

1) **Design Load** = 8,500 กก.

2) **คุณสมบัติหน้าตัด**

เลือก เหล็กฉาก L-65x65x6 มม.

พื้นที่หน้าตัด = 6.367 ตร.ซม.

$r_v = 1.28$ ซม.

3) **ข้อกำหนดในการออกแบบ**

$E = 2 \times 10^6$ กก./ตร.ซม.

$F_y = 2,500$ กก./ตร.ซม.

$K = 1.0$

$L = 100$ ซม.

4) **Local Buckling**

$$b/t \leq 0.45 \sqrt{E/F_y}$$

$$10.83 \leq 12.73 \quad \text{OK.}$$

5) **Global Buckling , F_a**

$$KL/r = 78$$

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E/F_y} = 126$$

$$KL/r \leq C_c$$

$$F_a = \frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right) + \frac{5}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^3}$$

$$F_a = 1,079 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

$$1.33 F_a A = 9,137 \text{ กก.} > 8,500 \text{ กก. OK.}$$

6) **Combined Stressed**

$$\text{เมื่อ } \frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$$

$$\text{โดยที่ } f_a = \frac{P}{A} = 1,335 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

$$\frac{f_a}{1.33 F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$0.93 \leq 1.0 \text{ OK.}$$

ข.2 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบโครงข้อหมุนด้วยวิธี ASD-2010

กรณีเสากลมเดี่ยว แรงลม มยผ.1311-50 กลุ่มที่ 1 กรณีแรงลมตั้งฉากกับป้าย

1. **Design Load** = 8,800 กก.

2. **คุณสมบัติหน้าตัด**

เลือก เหล็กฉาก L-75x75x9 มม.

พื้นที่หน้าตัด = 12.69 ตร.ซม.

$r_x = 2.25$ ซม.

3. **ข้อกำหนดในการออกแบบ**

$E = 2 \times 10^6$ กก./ตร.ซม.

$F_y = 2,500$ กก./ตร.ซม.

$K = 1.0$

$L = 100$ ซม.

$\Omega = 1.67$

4. **Local Buckling**

$$b/t \leq 0.45 \sqrt{E/F_y}$$

$$8.33 \leq 12.73 \quad \text{OK.}$$

5. **อัตราส่วนชะลุดประสิทธิภาพ**

$$L/r_x = 44$$

$$0 < L/r_x \leq 75$$

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.80 \left(\frac{L}{r_x} \right) = 96$$

6. **หน่วยแรงอัดวิกฤต**

$$4.71 \sqrt{E/F_y} = 133$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = 2,146 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

$$F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e} F_y = 1,541 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

7. **กำลังอัดตามแนวแกนระบุ**

$$P_n = F_{cr} A = 19,560 \quad \text{กก.}$$

8. **กำลังอัดตามแนวแกนที่สามารถรับได้**

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{19,560}{1.67} = 11,712 \quad \text{กก. OK.}$$

ข.3 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบเสาประกอบ ASD-1989

เสากลมเดี่ยว แรงลมกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527)

1. น้ำหนักบรรทุก

1.1) Dead Load

น้ำหนักป้าย	=	9,000	กก.
น้ำหนักโครงข้อหมุน	=	17,494	กก.
น้ำหนัก เสากลม	=	17,650	กก.
น้ำหนักWF-250x72.4	=	8,688	กก.
น้ำหนักWF-100x9.3	=	1,991	กก.
รวม Dead Load	=	54,822	กก.

1.2) Live Load	=	30,000	กก.
----------------	---	--------	-----

1.3) Bending Moment -Wind Load

M_z (Wind)	=	900,000	กก.-ม.
--------------	---	---------	--------

1.4) $P = \text{Dead Load} + \text{Live Load}$	=	84,822	กก.
--	---	--------	-----

2. คุณสมบัติหน้าตัด

2.1) WF-250x250x9x14 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	92.18	ตร.ซม.
I_x	=	10,800	ซม. ⁴ .
I_y	=	3,650	ซม. ⁴ .
r	=	1.6	ซม.

2.2) WF-100x50x5x7 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	11.85	ตร.ซม.
I_x	=	187	ซม. ⁴ .
I_y	=	14.8	ซม. ⁴ .
r	=	0.8	ซม.

2.3) เสากลมกลวง

เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (D)	=	200	ชม.
ความหนา (t)	=	1.2	ชม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (D _r)	=	197.6	ชม.

3. คุณสมบัติหน้าตัดรวม (เสา WF-250x250x9x14 มม. + เสากลม)

3.1) พื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดเสากลม	=	749	ตร.ชม.
พื้นที่หน้าตัด WF-250x72.4	=	369	ตร.ชม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	=	1,118	ตร.ชม.

3.2) โมเมนต์ของความเฉื่อย

$$I_g = I_c + 2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 5,104,550 \quad \text{ชม}^4.$$

3.3) รัศมีจายเรชั่น

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 67.60 \quad \text{ชม.}$$

3.4) โมดูลัสของหน้าตัด

$$S = I / C$$

$$S = 51,046 \quad \text{ชม}^3.$$

4. ข้อกำหนดในการออกแบบ

หน่วยน้ำหนักเหล็ก	=	7,850	กก./ลบ.ม.
E	=	2×10^6	กก./ตร.ชม.
F _y	=	2,500	กก./ตร.ชม.
K	=	1.0	
L	=	3,000	ชม.
Ω	=	1.67	

5. หน่วยแรงในแนวแกน

5.1) Local Buckling Circular Section

$$\lambda = D / t = 166.67$$

$$\lambda_p = 0.11E/F_y = 88$$

$$\lambda_r = 0.45E/F_y = 360$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

5.2) Global Buckling Circular Section, F_a

$$KL/r = 93$$

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E/F_y} = 126$$

$$KL/r \leq C_c$$

$$F_a = \frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right) + \frac{5}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^3}$$

$$F_a = 957 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

$$1.33F_a A = 1,069,926 \text{ กก.} > 84,822 \text{ กก. OK.}$$

6. หน่วยแรงดัด

$$f_{bx} = \frac{M}{S} = 1,763 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

$$f_b = 0.6F_y = 1,500 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

7. Combined Stressed

$$\text{เมื่อ } \frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$$

$$\text{โดยที่ } f_a = \frac{P}{A} = 75.9 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{1.33F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$0.96 \leq 1.0 \quad \text{OK.}$$

ข.4 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบเสาประกอบ ASD-2010

เสากลมเดี่ยว แรงลม มยผ.1311-50 กลุ่มที่ 1 กรณีแรงลมตั้งฉากกับป้าย

1. น้ำหนักบรรทุก

1.1) Dead Load

น้ำหนักป้าย	=	9,000	กก.
น้ำหนักโครงข้อหมุน	=	29,482	กก.
น้ำหนัก เสากลม	=	30,760	กก.
น้ำหนักWF-250x72.4	=	8,688	กก.
น้ำหนักWF-100x9.3	=	1,991	กก.
รวม Dead Load	=	79,921	กก.

1.2) Live Load	=	30,000	กก.
----------------	---	--------	-----

1.3) Bending Moment -Wind Load

M_z (Wind)	=	1,305,000	กก.-ม.
--------------	---	-----------	--------

1.4) $P = \text{Dead Load} + \text{Live Load}$	=	109,921	กก.
--	---	---------	-----

2. คุณสมบัติหน้าตัด

2.1) WF-250x250x9x14 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	92.18	ตร.ซม.
I_x	=	10,800	ซม. ⁴ .
I_y	=	3,650	ซม. ⁴ .
r	=	1.6	ซม.

2.2) WF-100x50x5x7 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	11.85	ตร.ซม.
I_x	=	187	ซม. ⁴ .
I_y	=	14.8	ซม. ⁴ .
r	=	0.8	ซม.

2.3) เสากลมกลวง

เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (D)	=	200	ซม.
ความหนา (t)	=	2.1	ซม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (D _r)	=	195.8	ซม.

3. คุณสมบัติหน้าตัดรวม (เสา WF-250x250x9x14 มม. + เสากลม)

3.1) พื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดเสากลม	=	1,306	ตร.ซม.
พื้นที่หน้าตัด WF-250x72.4	=	369	ตร.ซม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	=	1,675	ตร.ซม.

3.2) โมเมนต์ของความเฉื่อย

$$I_g = I_c + 2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 7,768,462 \quad \text{ซม}^4.$$

3.3) รัศมีจายเรชั่น

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 68 \quad \text{ซม.}$$

3.4) โมดูลัสของหน้าตัด

$$S = I / C$$

$$S = 77,685 \quad \text{ซม}^3.$$

4. ข้อกำหนดในการออกแบบ

หน่วยน้ำหนักเหล็ก	=	7,850	กก./ลบ.ม.
E	=	2×10^6	กก./ตร.ซม.
F _y	=	2,500	กก./ตร.ซม.
K	=	1.0	
L	=	3,000	ซม.
Ω	=	1.67	

5. หน่วยแรงในแนวแกน

5.1) Local Buckling Circular Section

$$\lambda = D / t = 95$$

$$\lambda_r = 0.11E/F_y = 88$$

$$\lambda_r < \lambda = \text{Slender}$$

$$Q = Q_a = \frac{0.038E}{F_y \left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{2}{3} = 0.986$$

5.2) อัตราส่วนความชะลูด

$$\frac{KL}{r} = 93$$

5.3) หน่วยแรงอัดวิกฤต

$$4.71 \sqrt{E/QF_y} = 134$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{E/QF_y}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = 2,309$$

กก./ตร.ซม.

$$F_{cr} = (0.658)^{\frac{QF_y}{F_e}} F_y = 1,577$$

กก./ตร.ซม.

5.4) กำลังอัดตามแนวแกนระบุ

$$P_n = F_{cr} A = 2,640,444$$

กก.

5.5) กำลังอัดตามแนวแกนที่สามารถรับได้

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{2,640,444}{1.67} = 1,581,104$$

กก. OK.

6. หน่วยแรงดัดพิจารณาเลือกค่าที่น้อยระหว่าง Yielding และ Local Buckling

6.1) อัตราส่วน $D/t < 0.45E/F_y$

$$\lambda = D/t = 95 < 0.45E/F_y = 360$$

OK.

6.2) Yielding

$$M_n = M_p = F_y Z = 2,449,817$$

กก.-ม.

$$M_c = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{2,449,817}{1.67} = 1,46,956$$

กก.-ม.

6.3) Local Buckling

$$\lambda = D/t = 95$$

$$\lambda_p = 0.07E/F_y = 56$$

$$\lambda_r = 0.31E/F_y = 248$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ หน้าตัดไม้อัดแน่น (noncompact section)

$$M_n = \left(\frac{0.021E}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right) S = 2,284,705 \quad \text{กก.-ม.}$$

$$M_c = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{2,284,705}{1.67} = 1,368,086 \quad \text{กก.-ม. OK.}$$

สำหรับกรณีที่ใช้กำลังแรงดัดระบุเท่ากับโมเมนต์ครากจะใช้สมการ ($M_n = M_y = F_y S$)

7. Doubly Symmetric member subject to Flexure and Compression

$$\text{เมื่อ } \frac{P_r}{P_c} \leq 0.2$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left[\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right] \leq 1.0$$

$$\frac{109,921}{2 \times 1,581,104} + \left[\frac{1,305,000}{1,368,086} + 0 \right] \leq 1.0$$

0.99 ≤ 1.0 OK.

ข.5 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบเสาประกอบ ASD-2010

เสากลมเดี่ยว แรงลม มยพ.1311-50กลุ่มที่ 1 กรณีด้านขวาและด้านซ้ายของป้ายชี้เข้าหาลม

1. น้ำหนักบรรทุก

1.1) Dead Load

น้ำหนักป้าย	=	9,000	กก.
น้ำหนักโครงข้อหมุน	=	52,688	กก.
น้ำหนัก เสากลม	=	36,545	กก.
น้ำหนักWF-250x72.4	=	8,688	กก.
น้ำหนักWF-100x9.3	=	1,991	กก.
รวม Dead Load	=	108,912	กก.

1.2) Live Load = 30,000 กก.

1.3) Bending Moment -Wind Load

$M_z(\text{Wind}) = 1,305,000$ กก.-ม.

1.4) Torsion

$M_y(\text{Wind})=T_r = 313,200$ กก.-ม.

1.5) แรงเฉือน

$F_z(\text{Wind})=V_r = 52,200$ กก.

1.6) $P = \text{Dead Load} + \text{Live Load} = 138,912$ กก.

2. คุณสมบัติหน้าตัด

2.1) WF-250x250x9x14 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	92.18	ตร.ซม.
I_x	=	10,800	ซม. ⁴ .
I_y	=	3,650	ซม. ⁴ .
r	=	1.6	ซม.

2.2) WF-100x50x5x7 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	11.85	ตร.ซม.
I_x	=	187	ซม. ⁴ .
I_y	=	14.8	ซม. ⁴ .
r	=	0.8	ซม.

2.3) เสากลมกลวง

เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (D)	=	200	ซม.
ความหนา (t)	=	2.5	ซม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (D _i)	=	195	ซม.

3. คุณสมบัติหน้าตัดรวม (เสา WF-250x250x9x14 มม. + เสากลม)

3.1) พื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดเสากลม	=	1,552	ตร.ซม.
พื้นที่หน้าตัด WF-250x72.4	=	369	ตร.ซม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	=	1,921	ตร.ซม.

3.2) โมเมนต์ของความเฉื่อย

$$I_g = I_c + 2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 8,928,281 \quad \text{ซม.}^4$$

3.3) รัศมีจอร์เจชั่น

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 68 \quad \text{ซม.}$$

3.4) โมดูลัสของหน้าตัด

$$S = I / C$$

$$S = 89,283 \quad \text{ซม.}^3$$

4. ข้อกำหนดในการออกแบบ

หน่วยน้ำหนักเหล็ก	=	7,850	กก./ลบ.ม.
E	=	2×10^6	กก./ตร.ซม.

$$\begin{aligned}
 F_y &= 2,500 && \text{กก./ตร.ซม.} \\
 K &= 1.0 \\
 L &= 3,000 && \text{ซม.} \\
 \Omega &= 1.67
 \end{aligned}$$

5. หน่วยแรงในแนวแกน

5.1) Local Buckling Circular Section

$$\lambda = D/t = 80$$

$$\lambda_r = 0.11E/F_y = 88$$

$$\lambda_r > \lambda = \text{Not Slender}$$

5.2) อัตราส่วนความชะงืด

$$\frac{KL}{r} = 92$$

5.3) หน่วยแรงอัดวิกฤต

$$4.71 \sqrt{E/F_y} = 133$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = 2,314$$

กก./ตร.ซม.

$$F_{cr} = (0.658)^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 1,591$$

กก./ตร.ซม.

5.4) กำลังอัดตามแนวแกนระบุ

$$P_n = F_{cr} A = 3,054,672$$

กก.

5.5) กำลังอัดตามแนวแกนที่สามารถรับได้

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{3,054,672}{1.67} = 1,829,145 \text{ กก. OK.}$$

6. หน่วยแรงดัดพิจารณาเลือกค่าน้อยระหว่าง Yielding และ Local Buckling

6.1) อัตราส่วน $D/t < 0.45E/F_y$

$$\lambda = D/t = 80 < 0.45E/F_y = 360$$

OK.

6.2) Yielding

$$M_n = M_p = F_y Z = 2,829,786 \quad \text{กก.-ม.}$$

$$M_c = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{2,829,786}{1.67} = 1,694,483 \quad \text{กก.-ม.}$$

6.3) Local Buckling

$$\lambda = D / t = 80$$

$$\lambda_p = 0.07E/F_y = 56$$

$$\lambda_r = 0.31E/F_y = 248$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ หน้าตัดไม่อัดแน่น (noncompact section)

$$M_n = \left(\frac{0.021E}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right) S = 2,700,805 \quad \text{กก.-ม.}$$

$$M_c = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{2,700,805}{1.67} = 1,617,249 \quad \text{กก.-ม. OK.}$$

สำหรับกรณีที่ใช้กำลังแรงดัดระบุเท่ากับโมเมนต์ครากจะใช้สมการ ($M_n = M_y = F_y S$)

7. แรงบิด

7.1) หน่วยแรงบิดวิกฤต เลือกค่าที่มากกว่าค่าต่อไปนี้ $\leq 0.6F_y = 1,500$ กก./ตร.ซม.

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}} = 2,655 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} = 1,677 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

7.2) ค่าคงที่การบิด

$$C = \frac{\pi t (d_o - t)^2}{2} = 153,239 \quad \text{ซม}^3.$$

7.3) กำลังแรงบิดระบุ

$$T_n = F_{cr} C = 2,298,583 \quad \text{กก.-ม.}$$

7.4) กำลังแรงบิดที่สามารถรับได้

$$T_c = \frac{T_n}{\Omega} = \frac{2,298,583}{1.67} = 1,376,396 \quad \text{กก.-ม. OK}$$

8. แรงเฉือน

8.1) หน่วยแรงเฉือนวิกฤต เลือกค่าที่มากกว่าค่าต่อไปนี้ $\leq 0.6F_y = 1,500$ กก./ตร.ซม.

$$F_{cr} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}} = 3,453 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} = 2,180 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

8.2) กำลังแรงเฉือนระบุ

$$V_n = F_{cr} A_g / 2 = 1,440,379 \quad \text{กก.}$$

8.3) กำลังแรงเฉือนที่สามารถรับได้

$$V_c = \frac{V_n}{\Omega} = \frac{1,440,379}{1.67} = 862,503 \quad \text{กก.-ม. OK}$$

9. HSS Subject to Combines Torsion, Shear, Flexure and Axial Force

เมื่อ $T_r \geq 0.2T_c$

$$\left[\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right] + \left[\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right]^2 \leq 1.0$$

$$\left[\frac{138,912}{1,829,145} + \frac{1,305,000}{1,617,249} \right] + \left[\frac{52,200}{862,503} + \frac{313,200}{1,376,396} \right]^2 \leq 1.0$$

$$0.97 \leq 1.0 \quad \text{OK.}$$

ข.6 ตัวอย่างการคำนวณเหล็กยึดทแยง (Bracing) ASD-1989

เสากลมเดี่ยว แรงลมกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527)

1. น้ำหนักบรรทุก

1.1) Dead Load

น้ำหนักป้าย	=	9,000	กก.
น้ำหนักโครงข้อหมุน	=	17,494	กก.
น้ำหนัก เสากลม	=	16,188	กก.
น้ำหนักWF-250x72.4	=	8,688	กก.
น้ำหนักWF-100x9.3	=	1,991	กก.
รวม Dead Load	=	53,361	กก.

1.2) Live Load	=	30,000	กก.
----------------	---	--------	-----

1.3) Bending Moment -Wind Load

M_z (Wind)	=	900,000	กก.-ม.
--------------	---	---------	--------

1.4) $P = \text{Dead Load} + \text{Live Load}$	=	83,361	กก.
--	---	--------	-----

2. คุณสมบัติหน้าตัด

2.1) WF-250x250x9x14 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	92.18	ตร.ซม.
I_x	=	10,800	ซม. ⁴ .
I_y	=	3,650	ซม. ⁴ .
r	=	1.6	ซม.

2.2) WF-100x50x5x7 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	11.85	ตร.ซม.
I_x	=	187	ซม. ⁴ .
I_y	=	14.8	ซม. ⁴ .
r_x	=	3.98	ซม. ³ .

2.3) เสากลมกลวง

เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (D)	=	200	ชม.
ความหนา (t)	=	1.1	ชม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (D _r)	=	197.8	ชม.

3. คุณสมบัติหน้าตัดรวม (เสา WF-250x250x9x14 มม. + เสากลม)

3.1) พื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดเสากลม	=	687	ตร.ชม.
พื้นที่หน้าตัด WF-250x72.4	=	369	ตร.ชม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	=	1,056	ตร.ชม.

3.2) โมเมนต์ของความเฉื่อย

$$I_g = I_c + 2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 4,804,289 \quad \text{ชม}^4.$$

3.3) รัศมีไจเรชั่น

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 67.45 \quad \text{ชม.}$$

3.4) โมดูลัสของหน้าตัด

$$S = I / C$$

$$S = 48,043 \quad \text{ชม}^3.$$

4. ข้อกำหนดในการออกแบบ

หน่วยน้ำหนักเหล็ก	=	7,850	กก./ลบ.ม.
E	=	2×10^6	กก./ตร.ชม.
F _y	=	2,500	กก./ตร.ชม.
K	=	1.0	
L _{column}	=	3,000	ชม.
L _{bracing}	=	227	ชม.
Ω	=	1.67	

5. ตรวจสอบมาตรฐานเสาประกอบและหาขนาดของแรงที่กระทำกับ Bracing

5.1) ตรวจสอบเสาวงกลมกับแกนเสา WF-250x250x9x14 มม.

$$\frac{K_{ia}}{r_i} \leq 3/4 \text{ ค่าที่มากกว่า } \left[\left(\frac{KL}{r} \right)_m, \left(\frac{KL}{r} \right)_x \right]$$

$$\frac{K_{ia}}{r_i} \leq \frac{3}{4} \left(\frac{KL}{r} \right)_x$$

$$\frac{1_a}{6.29} = \frac{3 \times 1 \times 3,000}{4 \times 67.45}$$

$$a = 210 \quad \text{ชม. OK.}$$

เนื่องจากเหล็กเสา WF-250x250x9x14 มม. เชื่อมยาวตลอดกับเสากลม

5.2) ตรวจสอบแกนเสา WF-250x250x9x14 มม. กับเหล็กทแยง (Bracing) WF-100x50x5x7 มม.

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} = 369 \quad \text{ชม}^2.$$

โมเมนต์ของความเฉื่อย (WF-250 + WF-100)

$$I_g = +2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 1,440,406 \quad \text{ชม}^4.$$

รัศมีจโรจน์ (WF-250 + WF-100)

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 62.50 \quad \text{ชม.}$$

$$\frac{L}{r} = 48$$

$$\frac{3L}{4r} = 36$$

$$\frac{a}{r_{min}} = \frac{227}{6.29} = 36$$

$$\frac{a}{r_{min}} \leq \frac{3L}{4r}$$

$$36 = 36 \quad \text{OK.}$$

6. คำนวณขนาดแรงที่กระทำกับ เหล็กทแยง (Bracing) เพื่อออกแบบเหล็กทแยง

$$\text{Compression} = \text{Axial} + \text{Bending}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = 75 \quad \text{กก./ตร.ชม.}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = 1,873 \quad \text{กก./ตร.ชม.}$$

$$f_c = (f_a + f_b)A_{WF}$$

$$= 718,812 \quad \text{กก.}$$

$$\text{Force in Bracing} = 0.02F_c = 14,376 \quad \text{กก.}$$

7. Local Buckling

$$b/t = \frac{b_f}{2} = 2.5$$

$$b/t_f = 3.57 \leq 0.56\sqrt{E/F_y} = 15.84 \quad \text{OK.}$$

$$h/t_w = 16.8 \leq 1.49\sqrt{E/F_y} = 42.14 \quad \text{OK.}$$

8. Global Buckling , F_a

$$KL/r = \frac{227}{3.98} = 57$$

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E/F_y} = 126$$

$$KL/r \leq C_c$$

$$F_a = \frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right) + \frac{5}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^3}$$

$$F_a = 1,229$$

៧៧./៣៩.៥៧.

$$F_a A = 1,229 \times 11.85 = 14,564$$

៧៧.>14,376 OK.

9. Interaction

$$f_a = \frac{P}{A} = 1,215 \text{ ៧៧./៣៩.៥៧.}$$

$$\frac{f_a}{F_a} \leq 1.0$$

$$0.99 \leq 1.0$$

OK.

ข.7 ตัวอย่างการคำนวณเหล็กยึดตัง (Bracing) ASD-2010

เสากลมเดี่ยว แรงลม มยผ.1311-50 กลุ่มที่ 1 กรณีแรงลมตั้งฉากกับป้าย

1. น้ำหนักบรรทุก

1.1) Dead Load

น้ำหนักป้าย	=	9,000	กก.
น้ำหนักโครงข้อหมุน	=	29,482	กก.
น้ำหนัก เสากลม	=	30,760	กก.
น้ำหนักWF-250x72.4	=	8,688	กก.
น้ำหนักWF-100x9.3	=	1,991	กก.
รวม Dead Load	=	79,921	กก.

1.2) Live Load	=	30,000	กก.
----------------	---	--------	-----

1.3) Bending Moment -Wind Load

M_z (Wind)	=	1,305,000	กก.-ม.
--------------	---	-----------	--------

1.4) $P = \text{Dead Load} + \text{Live Load}$	=	109,921	กก.
--	---	---------	-----

2. คุณสมบัติหน้าตัด

2.1) WF-250x250x9x14 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	92.18	ตร.ซม.
I_x	=	10,800	ซม. ⁴ .
I_y	=	3,650	ซม. ⁴ .
r	=	1.6	ซม.

2.2) WF-100x50x5x7 มม.

พื้นที่หน้าตัด	=	11.85	ตร.ซม.
I_x	=	187	ซม. ⁴ .
I_y	=	14.8	ซม. ⁴ .
r_x	=	3.98	ซม. ³ .

2.3) เสากลมกลวง

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D)	=	200	ซม.
ความหนา (t)	=	1.1	ซม.
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D _r)	=	197.8	ซม.

3. คุณสมบัติหน้าตัดรวม (เสา WF-250x250x9x14 มม. + เสากลม)

3.1) พื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดเสากลม	=	1,306	ตร.ซม.
พื้นที่หน้าตัด WF-250x72.4	=	369	ตร.ซม.
รวมพื้นที่หน้าตัด	=	1,675	ตร.ซม.

3.2) โมเมนต์ของความเฉื่อย

$$I_g = I_c + 2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 7,768,462 \quad \text{ซม.}^4$$

3.3) รัศมีไจเรชั่น

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 68 \quad \text{ซม.}$$

3.4) โมดูลัสของหน้าตัด

$$S = I / C$$

$$S = 77,685 \quad \text{ซม.}^3$$

4. ข้อกำหนดในการออกแบบ

หน่วยน้ำหนักเหล็ก	=	7,850	กก./ลบ.ม.
E	=	2×10^6	กก./ตร.ซม.
F _y	=	2,500	กก./ตร.ซม.
K	=	1.0	
L _{column}	=	3,000	ซม.
L _{bracing}	=	227	ซม.
Ω	=	1.67	

5. ตรวจสอบมาตรฐานเสาประกอบและหาขนาดของแรงที่กระทำกับ Bracing

5.1) ตรวจสอบเสาวงกลมกับแกนเสา WF-250x250x9x14 มม.

$$\frac{K_{ia}}{r_i} \leq 3/4 \text{ ค่าที่มากกว่า } \left[\left(\frac{KL}{r} \right)_m, \left(\frac{KL}{r} \right)_x \right]$$

$$\frac{K_{ia}}{r_i} \leq 3/4 \left(\frac{KL}{r} \right)_x$$

$$\frac{1_a}{6.29} = \frac{3 \cdot 1 \times 3,000}{4 \cdot 67.45}$$

$$a = 210 \quad \text{ชม. OK.}$$

เนื่องจากเหล็กเสา WF-250x250x9x14 มม. เชื่อมยาวตลอดกับเสากลม

5.2) ตรวจสอบแกนเสา WF-250x250x9x14 มม. กับเหล็กทแยง (Bracing) WF-100x50x5x7 มม.

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} = 369 \quad \text{ชม}^2.$$

โมเมนต์ของความเฉื่อย (WF-250 + WF-100)

$$I_g = +2I_{xWF} + 2I_{yWF} + 2A_{WF}d^2$$

$$= 1,440,406 \quad \text{ชม}^4.$$

รัศมีจายเรชั่น (WF-250 + WF-100)

$$r = \sqrt{I_g / A}$$

$$r = 62.50 \quad \text{ชม.}$$

$$\frac{L}{r} = 48$$

$$\frac{3L}{4r} = 36$$

$$\frac{a}{r_{min}} = \frac{227}{6.29} = 36$$

$$\frac{a}{r_{min}} \leq \frac{3L}{4r}$$

$$36 = 36 \quad \text{OK.}$$

6. คำนวณขนาดแรงที่กระทำกับ เหล็กทแยง (Bracing) เพื่อออกแบบเหล็กทแยง

$$\text{Compression} = \text{Axial} + \text{Bending}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = 66 \quad \text{กก./ตร.ชม.}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = 1,680 \quad \text{กก./ตร.ชม.}$$

$$f_c = (f_a + f_b)A_{WF}$$

$$= 644,274 \quad \text{กก.}$$

$$\text{Force in Bracing} = 0.02F_c = 12,885 \quad \text{กก.}$$

7. Local Buckling

$$b/t = \frac{b_f}{2} = 2.5$$

$$b/t_f = 3.57 \leq 0.56\sqrt{E/F_y} = 15.84 \quad \text{OK.}$$

$$h/t_w = 16.8 \leq 1.49\sqrt{E/F_y} = 42.14 \quad \text{OK.}$$

8. อัตราส่วนความละเอียด

$$\frac{KL}{r} = 57$$

9. หน่วยแรงอัดวิกฤต

$$4.71\sqrt{E/F_y} = 133$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{E/F_y}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = 6,075 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

$$F_{cr} = (0.658)^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 2,014 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

10. กำลังอัดตามแนวแกนระบุ

$$P_n = F_{cr} A = 23,866 \quad \text{กก.}$$

11. กำลังอัดตามแนวแกนที่สามารถรับได้

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{23,866}{1.67} = 14,291 \quad \text{กก.} > 12,855 \text{ กก. OK.}$$