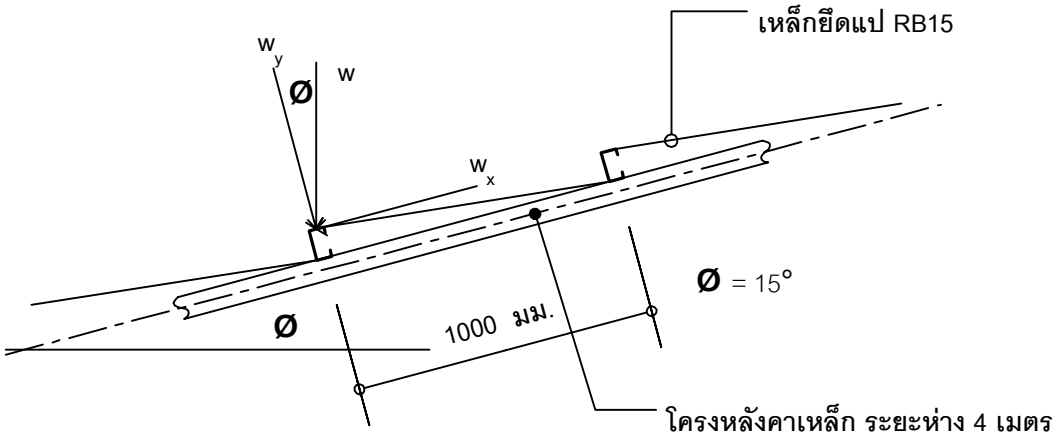
ตัวอย่างการออกแบบ : แปเหล็ก และเหล็กยึดแป (Purlin and Sag Rod)



st1

สมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบ

1.**วัสดุ** : เหล็กโครงสร้างรูปพรรณมาตรฐาน มอก.

1.1 หน่วยแรงดึงที่จุดคลาก (Yield Stress) F_y = 2,400 กก./ซม.^{2}

1.2 โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) ตาม วสท. E = 2.1×10^6 กก./ซม.^{2}

1.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ สำหรับโครงสร้างเหล็กทั่วไป (Allowable Stress for General Type of Member)

1.3.1 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (Allowable Tensile Stress), F_t

$F_t \leq 0.6F_y$

1.3.2 หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (Allowable Bending Stress), F_b

$F_b \leq 0.6F_y$

1.3.3 หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น (Actual Bending Stress), f_b

$f_b = Mc/I = M/Z$ (เมื่อ $Z = I/c$)

1.4 การออกแบบเหล็กยึดแป (Sag Rod) ซึ่งเป็นโครงสร้างรอง (Secondary Member)

1.4.1 อัตราส่วนชะลูด (Slenderness Ratio), KL/r

$KL/r \leq$ 300 สำหรับอาคารรับแรงดึง ค่า K = 1.0

1.4.2 หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น (Actual Tensile Stress), f_t

$f_t = P/A$

1.5 การโก่งของคานในแนวดิ่ง (Vertical Deflection of Beam), Δmax

1.5.1 สำหรับคานเหล็ก การโก่งในแนวดิ่งที่ยอมให้ $\Delta_{max.all}$ = L/360

1.5.2 การโก่งในแนวดิ่งของแปเหล็ก, $\Delta_{max} = wL^4/(145EI_x)$

โดยที่ : A = พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารสำหรับรับแรงดึง, ซม.^{2}

c = ระยะตั้งฉาก จาก N.A.[1] ไปยังผิวนอกสุดของหน้าตัด, ซม.

E	=	โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus), กก./ซม.^{2}
I	=	โมเมนต์อินเนอร์เชีย (Moment of Inertia) ของรูปหน้าตัดคานรอบแกน N.A., ซม.^{4}
M	=	โมเมนต์ดัดสูงสุด (Bending Moment), กก.-ซม.
P	=	แรงดึงในแนวแกนขององค์อาคารรับแรงดึง ผ่าน C.G.^{2} ของหน้าตัด, กก.
Z	=	โมดูลัสหน้าตัด (Section Modulus), ซม.^{3}
w	=	น้ำหนักที่กระจายบนหลังคาสม่ำเสมอ, กก./ม.^{2}

2. **น้ำหนักบรรทุก** (น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร)

2.1 น้ำหนักวัสดุมุงหลังคา กระเบื้องลอนคู่				=	14	กก./ม.^{2}
2.2 น้ำหนักบรรทุกจร				=	50	กก./ม.^{2}
			รวม	=	64	กก./ม.^{2}
2.3 แปวางห่างกัน 1 เมตร บนโครงหลังคาที่มีระยะห่างเท่ากับ 4 เมตร และโครงหลังคาเอียง 15°						
			น้ำหนักที่ลงแป	=	64×1.0	กก./ม.^{2}
				=	64	กก./ม.
2.4 ประมาณน้ำหนักของแปเหล็ก				=	12	กก./ม.
2.5 รวมน้ำหนักที่ลงแปทั้งหมด	=	64+12		=	76	กก./ม.
			หรือ ประมาณ w	=	**80**	กก./ม.

4. **ขั้นตอนการคำนวณ**

4.1 **หาขนาดหน้าตัดของแปเหล็ก และเหล็กยึดแป**

W_x	=	80sin15°			=	20.71	กก./ม.
W_y	=	80cos15°			=	77.27	กก./ม.
M_x	=	$(W_yL^2)/9$	=	$(77.27\times4^2)/9$	=	137.37	กก.-ม.
M_y	=	$W_x(L/2)^2)/9$	=	$(20.71\times(4/2)^2)/9$	=	9.20	กก.-ม.
Z_x	=	M_x/F_b	=	137.37×100/(0.6×2,400)	=	9.54	ซม.^{3}

4.1.1 **เลือกแปเหล็ก C100×59×20×2.3 มม.** ซึ่งมีคุณสมบัติ

A	=	5.172	ซม.^{2}					
I_x	=	80.70	ซม.^{4}					
น้ำหนัก	=	4.06	กก./ม.		≤	12	กก./ม.	(Pass)
Z_x	=	16.10	ซม.^{3} ;	Z_y	=	6.06	ซม.^{3}	

4.1.2 **หน่วยแรงดัดของแปเหล็กที่เกิดขึ้น**, f_b

f_b	=	$\{M_x/Z_x\}+\{M_y/(Z_y/2)\}$	
	=	[{137.37/16.10}+{2×9.20/6.06}]×100	
	=	1,156.86	กก./ซม.^{2}

4.1.3 **หน่วยแรงดัดที่ยอมให้**, F_b

F_b = $0.6F_y$ = 0.6×2,400 = 1,440 กก./ซม.^{2}

ซึ่ง $f_b \leq F_b$ ขนาดแปเหล็กที่เลือกจึงใช้ได้ (Pass)

4.2 **ตรวจสอบการโก่งในแนวดิ่งของแปเหล็กที่เกิดขึ้น**, Δmax

$\Delta max = wL^4/(145EI_x)$

$= \{(80/100)\times 400^4\}/\{145\times 2.1\times 10^6\times 80.70\}$

= 0.83 ซม.

$\Delta max.all$ = L/360 = 400/360 = 1.11 ซม.

ซึ่ง $\Delta max \leq \Delta max.all$ ขนาดแปเหล็กที่เลือกจึงใช้ได้ (Pass)

4.3 **ออกแบบเหล็กยึดแป**

4.3.1 หาแรงที่กระทำต่อเหล็กยึดแป

จำนวนแป = 12 ตัว (จำนวนครึ่งด้านของโครงหลังคา)

น้ำหนักรวมในแนวดิ่งในช่วงห่างระหว่างระยะตัวยึดแป ประกอบด้วย

น้ำหนักแปทั้ง 12 ตัว = {12×4.06×(4/2)} = 97.44 กก.

น้ำหนักหลังคา = {80×10×(4/2)} = 1,600 กก.

รวมน้ำหนักในแนวดิ่ง = 97.44+1,600 = 1,697.44 กก.

น้ำหนักในทิศทางของเหล็กยึดแป = $1,697.44\sin 15^\circ$ = 439.33 กก.

4.3.2 หาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กยึดแป

$A = P/F_t$

$A = 439.33/(0.6\times 2,400)$ = 0.305 ซม.^{2}

เลือกเหล็กยึดแป RB9[3] โดยมี A = 0.64 ซม.^{2}

ตรวจสอบอัตรความชะลูด เมื่อความยาวระหว่างแป L = 1.0 ม. และ $r = \sqrt{(I/A)} = d/4$

นั่นคือ $4KL/d \leq 300$

$d \geq 4KL/300$

$d \geq 4\times 1.0\times 100/300$

$d \geq 1.33$ ซม. จึงต้องใช้เหล็กยึดแป RB15 (A = 1.77 ซม.^{2})

สรุป ใช้แปเหล็ก **C100×50×20×2.3 มม.** และเหล็กยึดแป **RB15**

หมายเหตุ

[1] N.A. = Neutral Axis

[2] C.G. = Center of Gravity

[3] RB = Round Bar (เหล็กเส้นกลมเรียบ ใช้เป็นเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต)