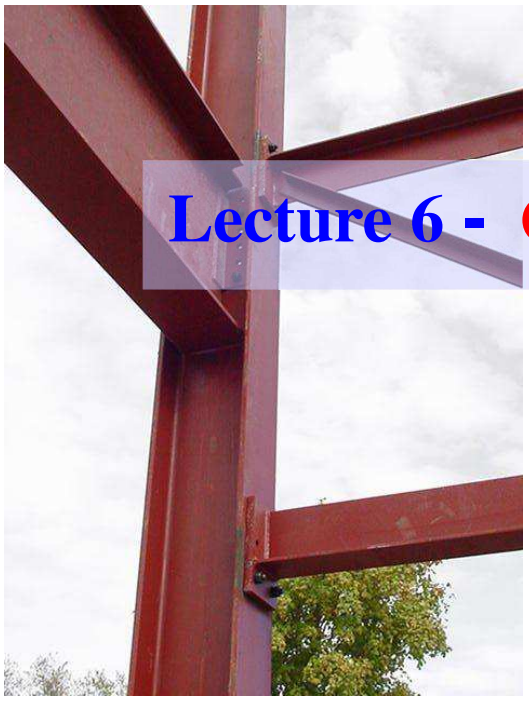


Lecture 6 - Compression Members 2

- Column Design Tables
- Column Splices
- Local Buckling
- Compact & Noncompact Sections
- Alignment Charts

Mongkol JIRAVACHARADET
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENGINEERING
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

Column Design Tables

ภาคผนวก ข ตารางที่ใช้ในการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด

ตารางที่ ข.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ สำหรับกำลังคราก 2,500 กก./ซม.^{2}

KL/r	vary from 1 to 200(Max)	**50**
F_a	vary from 1,497 ksc to 270.3 ksc	**1,281 ksc**

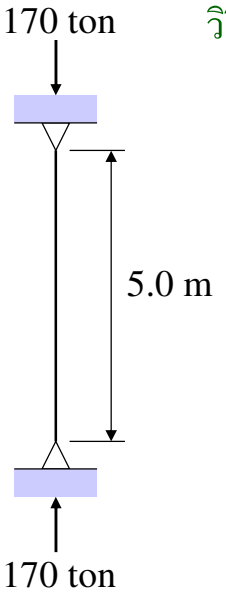
ตารางที่ ข.2 น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของหน้าตัด W, F_y = 2,500 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ ข.3 น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาท่อเหล็กกลม

ตารางที่ ข.4-5 น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตารางที่ ข.6 ตัวคูณลดค่าสติฟเนส Strength Reduction Factor (SRF)

ตัวอย่างที่ 6-1 เลือกหน้าตัด W350 สำหรับน้ำหนักบรรทุกดังในรูป โดยใช้เหล็ก A36



วิธีทำ สมมุติ $KL/r = 50 \longrightarrow F_a = 1{,}281$ กก./ซม.^{2} จากตาราง ข.1

$A_{reqd} = 170(1{,}000)/1{,}281 = 132.7$ ซม.^{2}

ลองหน้าตัด W350 x 106 ($A = 135.3$ ซม.^{2}, $r_y = 8.33$ ซม.)

$KL/r = 500/8.33 = 60$

$F_a = 1{,}219$ กก./ซม.^{2}

$P = 1{,}219(135.3)/1{,}000 = 165$ ตัน < 170 ตัน **NG**

ลองหน้าตัด W350 x 115 ($A = 146$ ซม.^{2}, $r_y = 8.78$ ซม.)

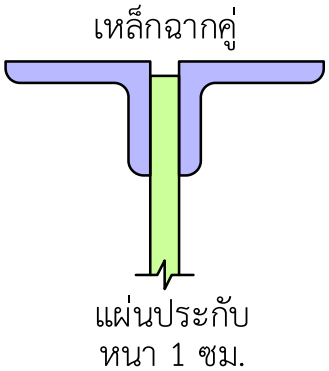
$KL/r = 500/8.78 = 57$

$F_a = 1{,}238$ กก./ซม.^{2}

$P = 1{,}238(146)/1{,}000 = 181$ ตัน > 170 ตัน **OK**

ใช้หน้าตัด **W350 x 115**

ตัวอย่างที่ 6-2 จงเลือกหน้าตัดฉากคู่สำหรับจันทันโครงหลังคา แผ่นประกับมีความหนา 1 ซม. แรงอัดมากที่สุดในจันทันคือ 10 ตัน และความยาวองค์อาคารคือ 2 ม. ใช้เหล็ก A36



วิธีทำ สมมุติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $F_a = 1{,}000$ กก./ซม.^{2}

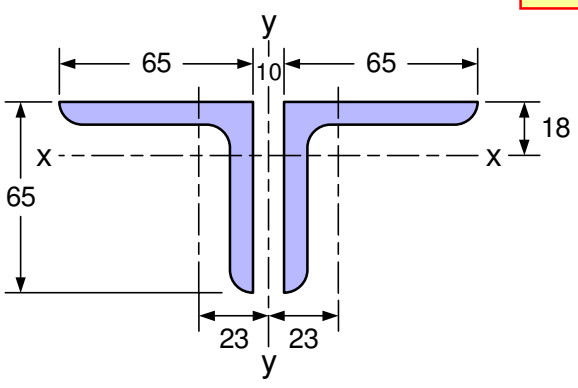
$A_{reqd} = 10(1{,}000)/1{,}000 = 10.0$ ซม.^{2}

ลองหน้าตัด 2-L 65 × 65 × 6 แต่ละหน้าตัดมีคุณสมบัติดังนี้

$A = 7.53$ ซม.^{2} $\quad I_x = I_y = 29.2$ ซม.^{4}

$r_x = r_y = 1.98$ ซม. $\quad c_x = c_y = 1.80$ ซม.

คุณสมบัติหน้าตัดรวม :



$A = 2 \times 7.53 = 15.1$ ซม.^{2}

$I_x = 2 \times 29.2 = 58.4$ ซม.^{4}

$I_y = 2(29.2 + 7.53 \times 2.3^2) = 138$ ซม.^{4}

$r_x = (58.4/15.1)^{1/2} = 1.97$ ซม.^{4} $= r_{min}$

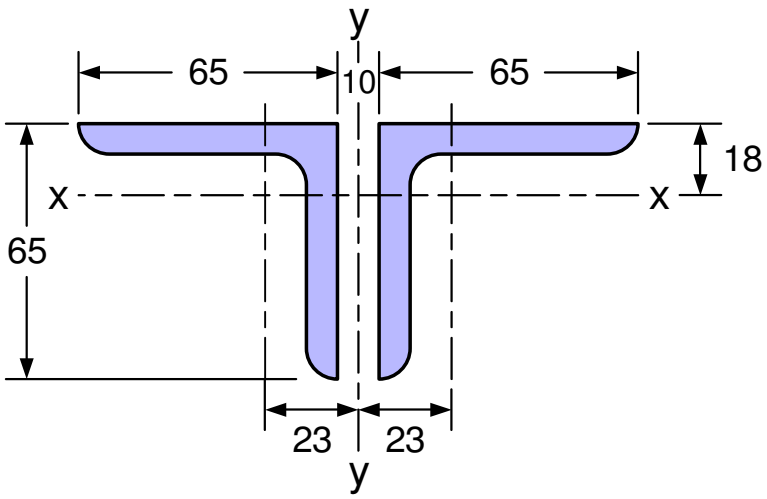
$r_y = (138/15.1)^{1/2} = 3.02$ ซม.^{4}

อัตราส่วนความชลูด KL/r = 200/1.97 = 101.5

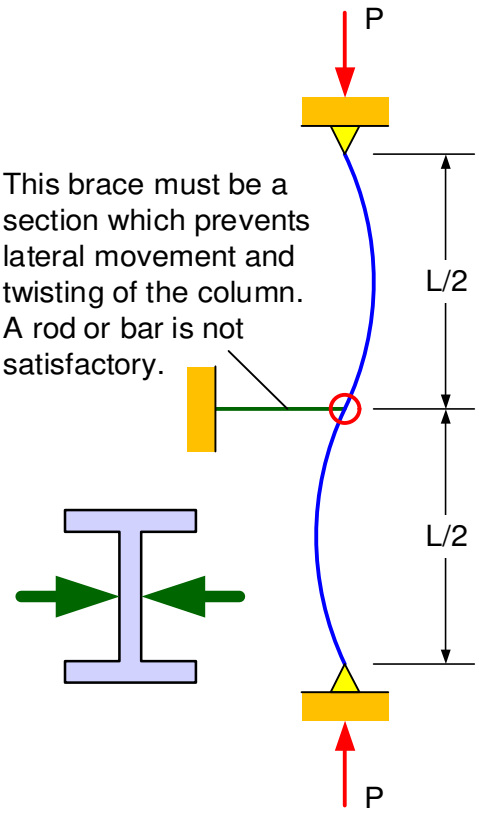
จากตารางที่ ข.1 F_a = 906.5 กก./ซม.^{2}

กำลังรับน้ำหนัก P_a = 0.9065 × 15.1 = 13.7 ตัน > 10 ตัน **OK**

∴ ใช้หน้าตัด **2-L65 × 65 x 6 ม.ม.** ■



Column with restrained weak direction



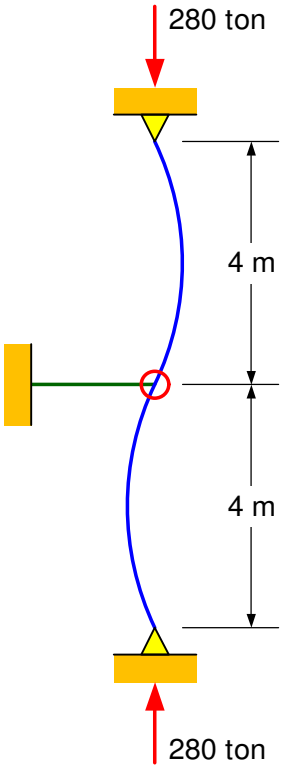
Design of column with different unsupported lengths in the **x** and **y** directions can be solved by **trial and error**.

- Select trial section
- Compute slenderness ratios in both directions $(KL/r)_x$ and $(KL/r)_y$
- Use tha larger KL/r to compute column strength
- Compare column design strength with the required strength

If **K** is the same, strength in both direction is equaled when

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{L_y}{r_y} \longrightarrow L_x = L_y \frac{r_x}{r_y}$$

ตัวอย่างที่ 6-2 เลือกหน้าตัด W เบาที่สุดเพื่อรับฐ้าหนักบรรทุก 280 ตัน, K_xL_x = 8 ม., K_yL_y = 4 ม. ดังในรูป โดยใช้เหล็ก A36



วิธีทำ สมมุติ KL/r = 50 $\longrightarrow$ F_a = 1,281 กก./ซม.^{2} จากตาราง ข.1

A_{reqd} = 280(1,000)/1,281 = 218.6 ซม.^{2}

ลองหน้าตัด W400×197 (A = 250.7 ซม.^{2}, r_x = 16.8 ซม., r_y = 9.75 ซม.)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{800}{16.8} = 47.6 \longleftarrow \text{ควบคุม}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{400}{9.75} = 41.0$$

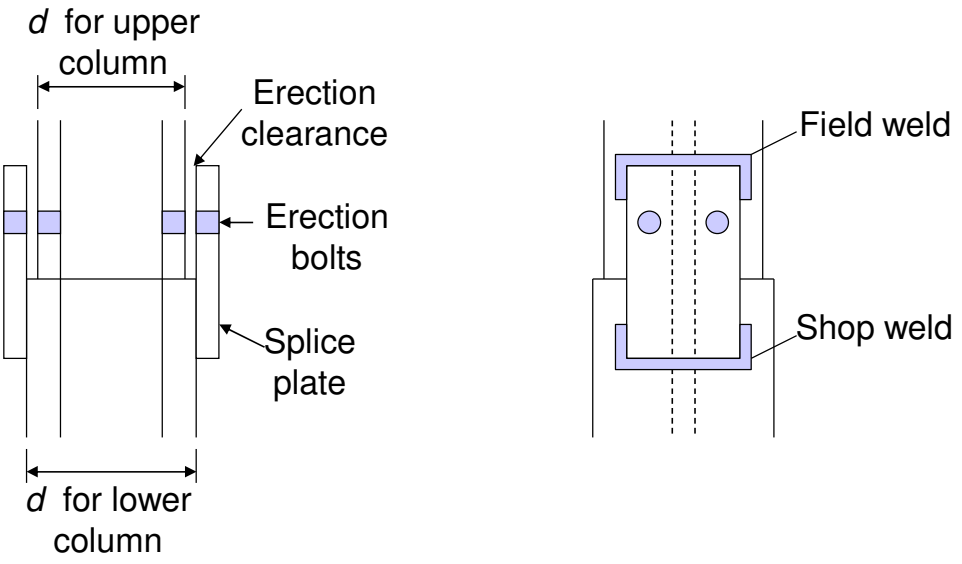
จากตาราง ข.1 $\longrightarrow$ F_a = 1,292 กก./ซม.^{2}

P = 1,292(250.7)/1,000 = 324 ตัน > 280 ตัน **OK**

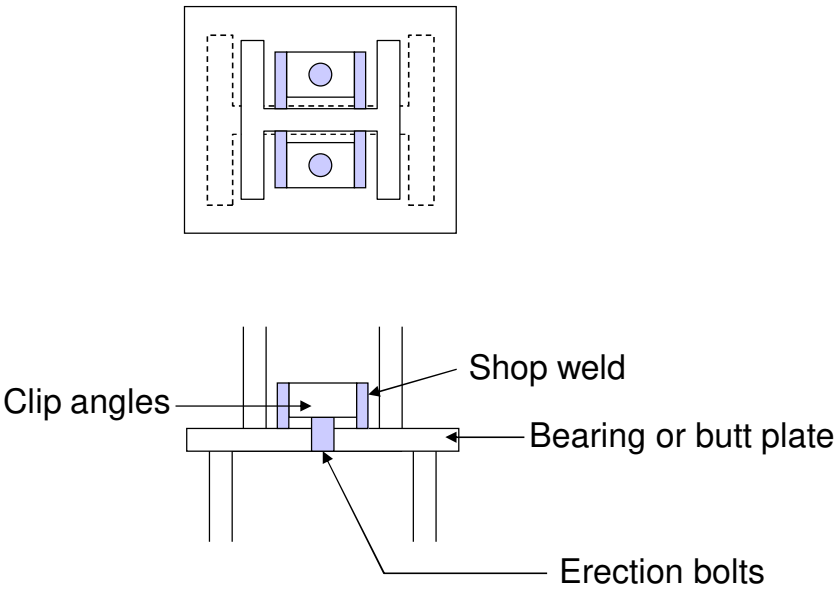
$\therefore$ ใช้หน้าตัด **W350 x 115** ■

Column Splices

- 60-90 cm above floor levels to keep from interfering with beam
- Large part of load transferred through bearing between columns

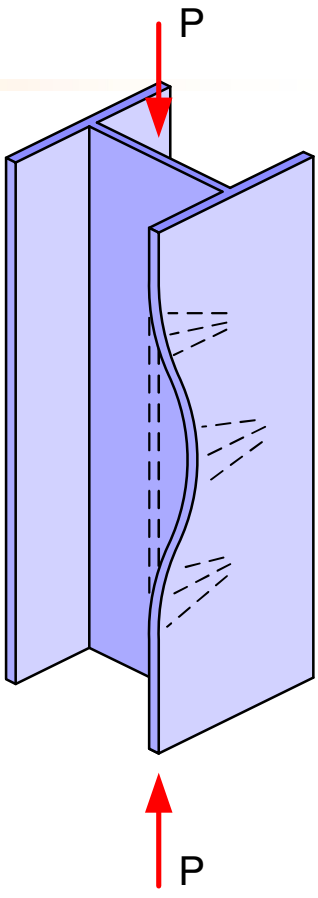


(a) Columns from same W series (d_{lower} < 5 cm greater than d_{upper})



(b) Columns from different W series

Local Buckling



การโก่งเดาะเฉพาะที่เกิดขึ้นกับบางส่วนของหน้าตัดก่อนที่หน่วยแรงจะถึงกำลังโก่งเดาะโดยรวม

หน้าตัดเหล็กรูปพรรณแบ่งประเภทออกเป็น

- หน้าตัดอัดแน่น (Compact sections)
- หน้าตัดไม่อัดแน่น (Noncompact sections)
- หน้าตัดชิ้นส่วนชลูด (Slender-element sections)

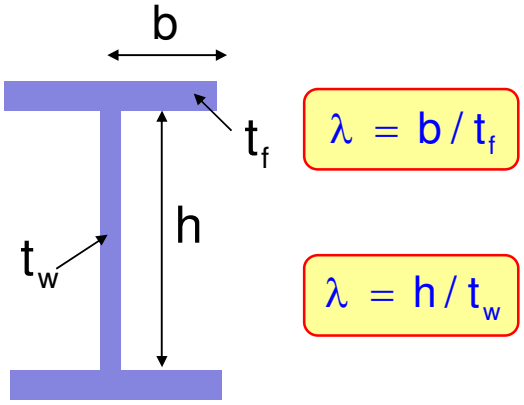
เมื่อเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่จะทำให้หน้าตัดไม่สามารถพัฒนากำลังได้เต็มที่

Local Buckling of the Column

Local Buckling of the Beam Flange

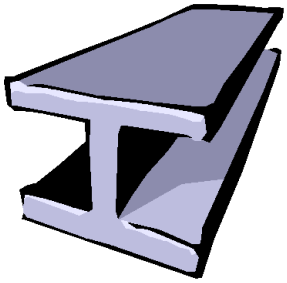
Local Buckling Limit State

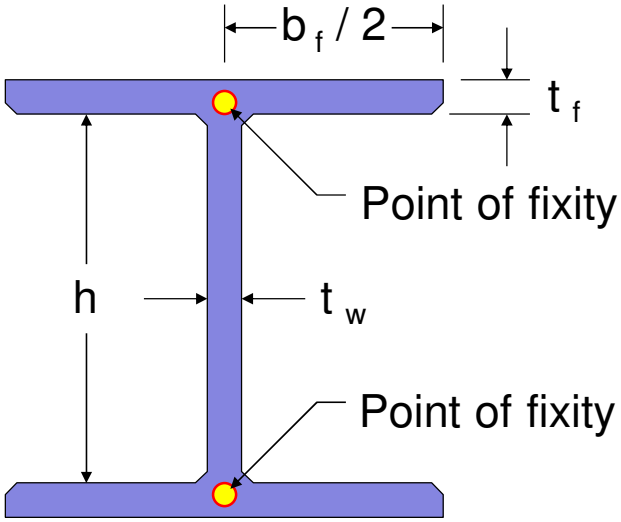
- Local buckling limit state must be **prevented** from controlling the column strength.
- Local buckling depends on the slenderness (width-to-thickness **b/t** ratio) of the plate element and the yield stress (Fy) of the material.



- AISC provides the slenderness (**b/t**) limits by catagolized plate elements in the section into stiffened and unstiffened elements.

ส่วนยึดรั้งและส่วนไม่ยึดรั้งบนหน้าตัดคานปีกกว้าง

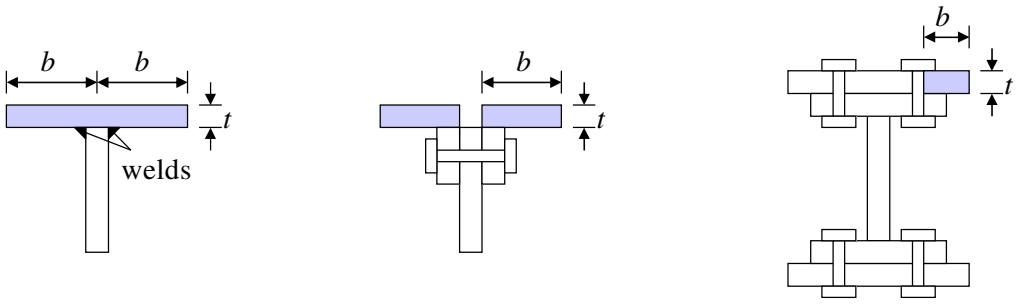




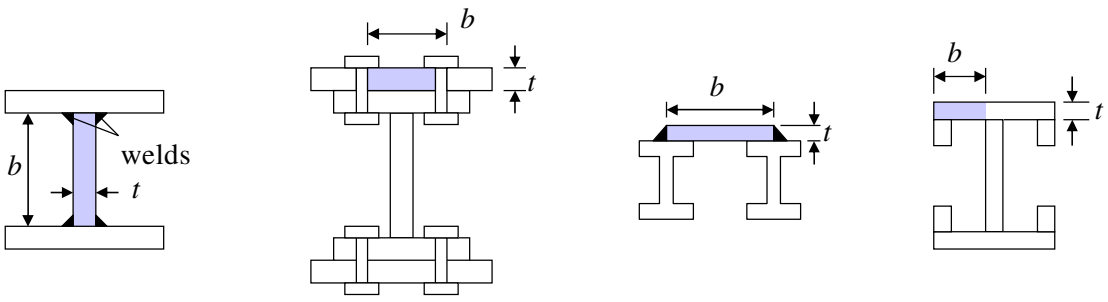
STIFFENED ELEMENT = WEB; WIDTH/THICKNESS RATIO = h / t_w

UNSTIFFENED ELEMENT = FLANGE; WIDTH/THICKNESS RATIO = $1/2\ b_f / t_f$

Stiffened and Unstiffened Elements



Unstiffened Elements



Stiffened Elements

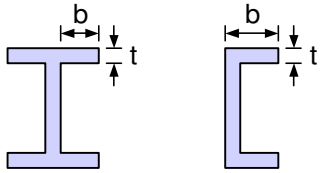
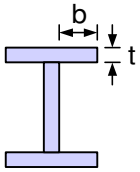
ตารางที่ 6.1 ขีดจำกัดของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสำหรับองค์อาคารรับแรงอัด

ชนิดของชิ้นส่วน	อัตราส่วน b / t	ขีดจำกัดอัตราส่วน b / t	
		คอมแพ็ค	ไม่คอมแพ็ค
ปีกของหน้าตัดปีกกว้าง และหน้าตัดรางน้ำรับแรงดัด	$1/2\ b_f / t_f$	$544/\sqrt{F_y}$	$795/\sqrt{F_y}$
ปีกของหน้าตัดปีกกว้าง และหน้าตัดรางน้ำรับแรงอัดหรือแผ่นเหล็กยื่นจากส่วนรับแรงอัด	$1/2\ b_f / t_f$	N.A.	$795/\sqrt{F_y}$
ชิ้นส่วนยึดรั้งอื่นๆที่รับแรงอัดสม่ำเสมอ	h / t_w	N.A.	$2{,}100/\sqrt{F_y}$

หน้าตัดอัดแน่น (Compact Section) ว.ส.ท.

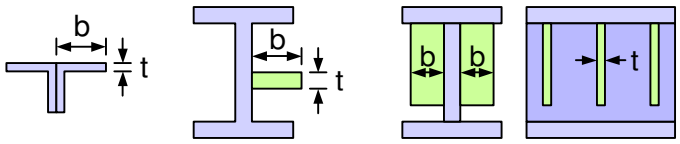
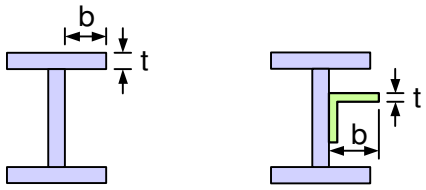
หน้าตัดอัดแน่นต้องมีอัตราส่วนไม่เกินค่าในตารางที่ 2.1 ถ้ามีค่าเกินแต่ยังไม่เกินขีดจำกัดสำหรับหน้าตัดไม่อัดแน่นจะถือเป็นหน้าตัดไม่อัดแน่น

ตารางที่ **2.1** อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุดสำหรับส่วนประกอบหน้าตัดรับแรงอัด

ส่วนประกอบหน้าตัด	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุด	
		หน้าตัดอัดแน่น	หน้าตัดไม่อัดแน่น
ปีกของคานรูปพรรณรูปตัว I และเหล็กรางน้ำรับโมเมนต์ดัด 	b/t	$\frac{544}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$
ปีกของคานเชื่อมรูปตัว I รับโมเมนต์ดัด 	b/t	$\frac{544}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{795}{\sqrt{F_{yf}/k_c}}$

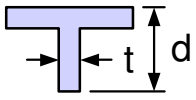
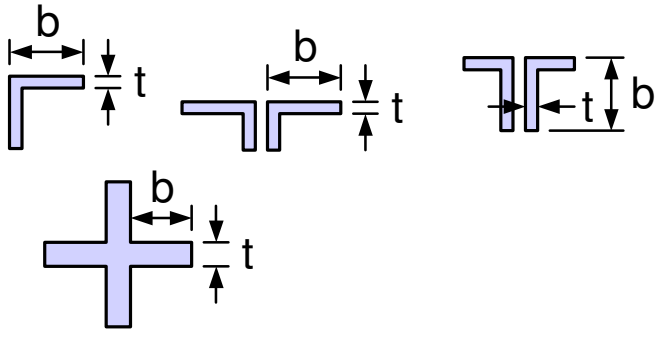
สำหรับคานประกอบจากเหล็กต่างกัน ใช้หน่วยแรงครากของปีก F_{yf} แทน F_y

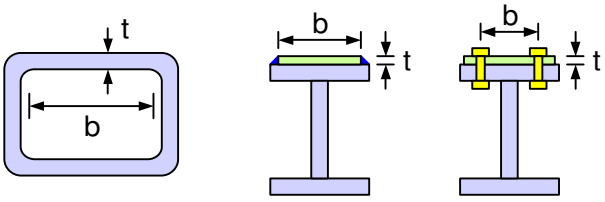
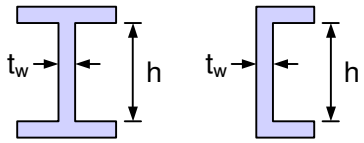
$k_c = \frac{4.05}{(h/t)^{0.46}}$ สำหรับ $h/t > 70$ นอกนั้นใช้ $k_c = 1.0$

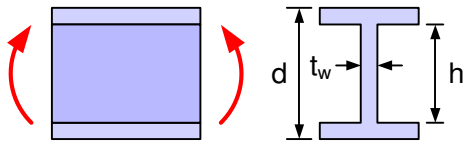
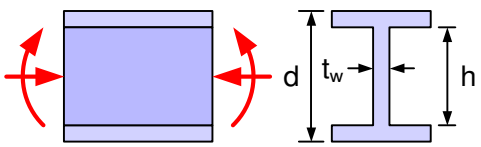
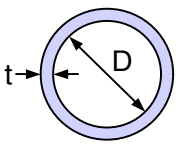
ส่วนประกอบหน้าตัด	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุด	
		หน้าตัดอัดแน่น	หน้าตัดไม่อัดแน่น
ขาที่ยื่นออกไปของเหล็กฉากคู่แนบติดกันอย่างต่อเนื่อง เหล็กฉากหรือเหล็กแผ่นยื่นไปจากคานรูปพรรณหรือเสา และแผ่นเหล็กเสริมกำลังบนคานเหล็กแผ่นประกอบ	b/t	N.A.	$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$
			
เหล็กฉากหรือเหล็กแผ่นยื่นไปจากคานหลักเสาประกอบหรือชิ้นส่วนรับแรงอัดอื่นปีกรับแรงอัดของคานแผ่นเหล็กประกอบ	b/t	N.A.	$\frac{795}{\sqrt{F_{yf}/k_c}}$
			

สำหรับคานประกอบจากเหล็กต่างกัน ใช้หน่วยแรงคราก ของปีก F_{yf} แทน F_y

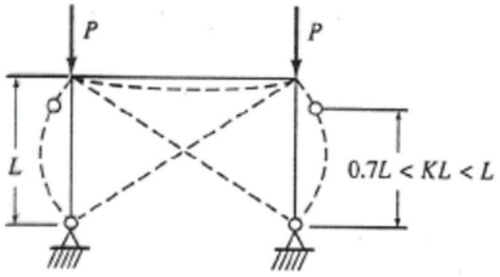
$k_c = \frac{4.05}{(h/t)^{0.46}}$ สำหรับ $h/t > 70$ นอกนั้นใช้ $k_c = 1.0$

ส่วนประกอบหน้าตัด	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุด	
		หน้าตัดอัดแน่น	หน้าตัดไม่อัดแน่น
ขาของเหล็กรูปตัว T 	d/t	N.A.	$\frac{1,060}{\sqrt{F_y}}$
ชิ้นส่วนปลายยื่นรองรับแบบขอบธรรมดาที่ขอบด้านหนึ่ง เช่น ขาของเหล็กฉากเดี่ยวที่ใช้เป็นตัวค้ำ ขาของเหล็กฉากคู่ที่ไม่ได้แนบติดกันที่ใช้เป็นตัวค้ำ และหน้าตัดขวางรูปกากบาทหรือรูปหลายแฉก	b/t	N.A.	$\frac{636}{\sqrt{F_y}}$
			

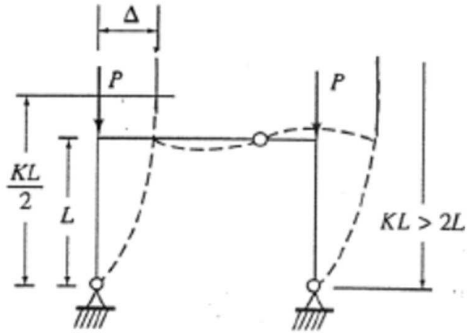
ส่วนประกอบหน้าตัด	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุด	
		หน้าตัดอัดแน่น	หน้าตัดไม่อัดแน่น
ปีกของหน้าตัดกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้าและหน้าตัดโครงสร้างกลวงที่มีความหนาสม่ำเสมอรับโมเมนต์ดัด ปีกของแผ่นเหล็กประกบและแผ่นเหล็กคั่นกลางระหว่างแนวของหมุดยึดหรือแนวเชื่อม	b/t	$\frac{1,590}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{1,980}{\sqrt{F_y}}$
			
ความกว้างส่วนที่ไม่มีการรองรับของแผ่นเหล็กประกบที่เจาะรูเป็นช่องเข้าถึงข้างในได้	b/t	N.A.	$\frac{2,650}{\sqrt{F_y}}$
ชิ้นส่วนปลายยึดอื่นๆที่รับแรงอัดสม่ำเสมอ เช่น ส่วนประกอบที่มีการรองรับที่ขอบทั้งสองด้าน	b/t h/t_w	N.A.	$\frac{2,100}{\sqrt{F_y}}$
			

ส่วนประกอบหน้าตัด	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุด	
		หน้าตัดอัดแน่น	หน้าตัดไม่อัดแน่น
เอวรับแรงอัดเนื่องจากโมเมนต์ดัด 	d/t_w	$5,355 / \sqrt{F_y}$	-
	h/t_w	-	$6,360 / \sqrt{F_y}$
เอวรับโมเมนต์ดัดและแรงอัดตามแนวแกนพร้อมกัน 	d/t_w	for $f_a / F_y < 0.16$ $\frac{5,355}{\sqrt{F_y}}(1-3.74\frac{f_a}{F_y})$ for $f_a / F_y > 0.16$ $2,150 / \sqrt{F_y}$	-
	h/t_w	-	$6,360 / \sqrt{F_y}$
หน้าตัดกลมกลวง รับแรงตามแนวแกน รับโมเมนต์ดัด 	D/t	$231,000 / F_y$	-

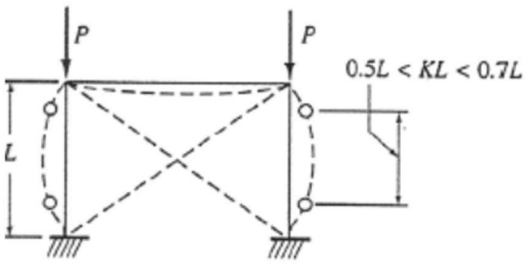
Braced & Unbraced Frames

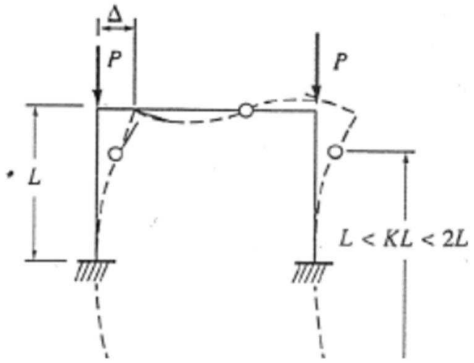


(a) Braced frame, hinged base

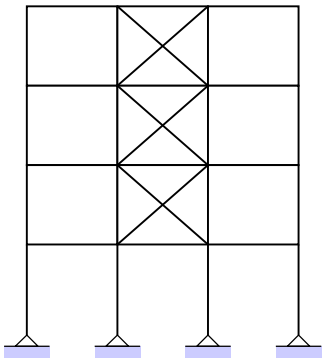


(b) Unbraced frame, hinged base

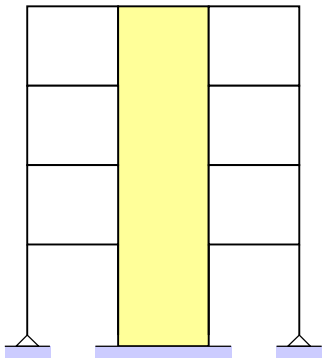




Sidesway Inhibited Frames



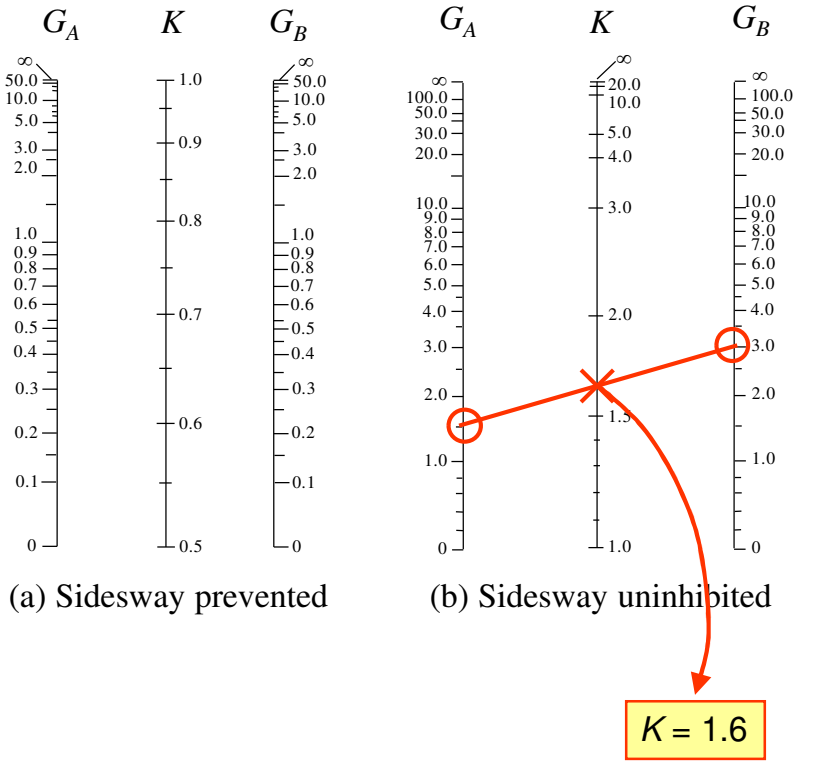
(a) Diagonal bracing



(b) Shear wall

AISC (conservative) $K = 1.0$

Alignment Charts



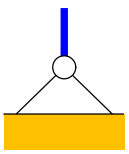
$$G = \frac{\Sigma \frac{4EI}{L} \text{ for columns}}{\Sigma \frac{4EI}{L} \text{ for beams}} = \frac{\Sigma \frac{I_c}{L_c}}{\Sigma \frac{I_b}{L_b}}$$

ขั้นตอนในการหาค่า **K** :

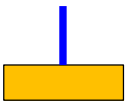
1. เลือกแผนภูมิที่เหมาะสม
2. คำนวณค่า $\mathbf{G_A}$ และ $\mathbf{G_B}$
3. ลากเส้นเชื่อม $\mathbf{G_A}$ และ $\mathbf{G_B}$ แล้วอ่านค่า **K** บนเส้นกลาง

ข้อแนะนำในการใช้ Alignment Charts

- สำหรับปลายเสาจุดหมุน : ค่า G = ∞ (ทฤษฎี) ให้ใช้ G = 10



- สำหรับปลายเสายึดแน่น : ค่า G = 0 (ทฤษฎี) ให้ใช้ G = 1.0

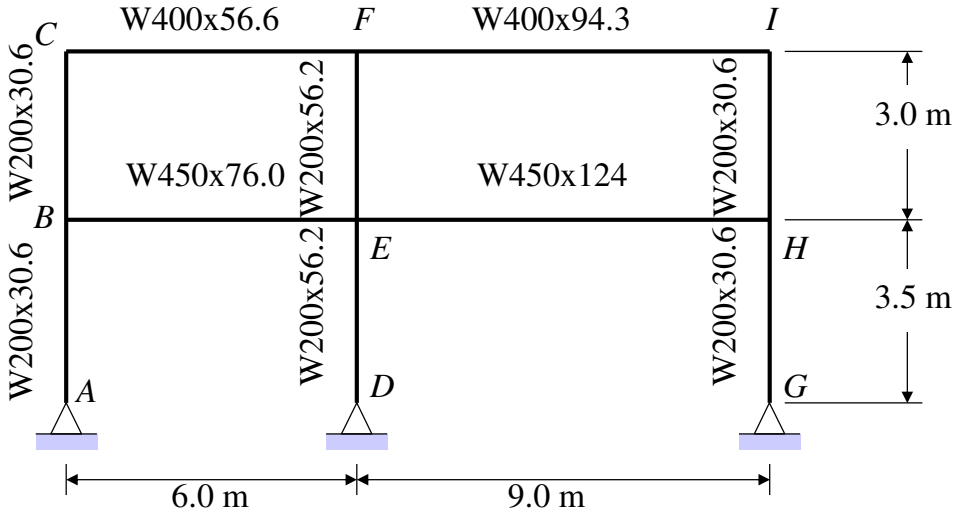


- ถ้าคานถูกต่อเข้ากับเสาอย่างแข็งแรง ค่าสติฟเนสของคานควรจะถูกคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ดังในตารางที่ 6.2 ซึ่งจะขึ้นกับสภาพของปลายอีกด้านหนึ่งของคาน

ตารางที่ 6.2 ตัวคูณสำหรับองค์อาคารที่เชื่อมต่ออย่างแข็งแรง

Condition at far end	Sidesway Prevented	Sidesway Uninhibited
Pinned	1.5	0.5
Fixed against rotation	2.0	0.67

ตัวอย่างที่ 6-2 จงพิจารณาความยาวประสิทธิผลของเสาแต่ละต้นในโครงข้อแข็งดังแสดงในรูป ถ้าโครงดังกล่าวมีการยึดเพื่อป้องกันการเซ โดยใช้แผนภูมิและสมมุติให้ปลายอีกด้านของคานถูกยึดเพื่อต้านทานการหมุน



Stiffness factors:

องค์อาคาร	หน้าตัด	I_x	L	I_x/L
AB	W200x30.6	2690	350	7.686
BC	W200x30.6	2690	300	8.967
DE	W200x56.2	4980	350	14.23
EF	W200x56.2	4980	300	16.60
GH	W200x30.6	2690	350	7.686
HI	W200x30.6	2690	300	8.967
BE	W450x76.0	33500	600	55.83
CF	W400x56.6	20000	600	33.33
EH	W450x124	56100	900	62.33
FI	W400x94.3	33700	900	37.44

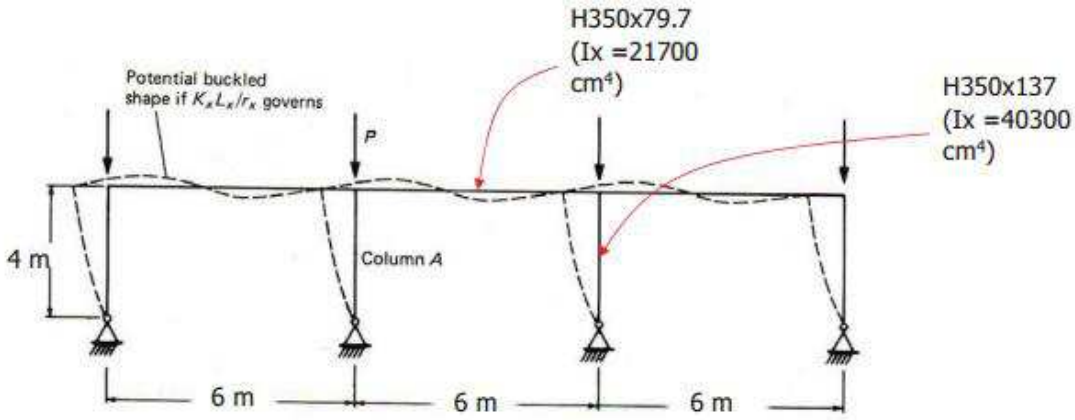
G factors for each joint:

JOINT	$\Sigma(I_c/L_c)/\Sigma(I_b/L_b)$	*G*
A	∞	10.0
B	(7.686+8.967)/55.83	0.298
C	8.967/33.33	0.269
D	∞	10.0
E	(14.23+16.60)/(55.83+62.33)	0.261
F	16.60/(33.33+37.44)	0.235
G	∞	10.0
H	(7.686+8.967)/62.33	0.267
I	8.967/37.44	0.240

Column *K* factors from chart:

COLUMN	G_A	G_B	*K*
AB	10.0	0.298	0.77
BC	0.298	0.269	0.63
DE	10.0	0.261	0.77
EF	0.261	0.235	0.61
GH	10.0	0.267	0.77
HI	0.267	0.240	0.61

Example 1

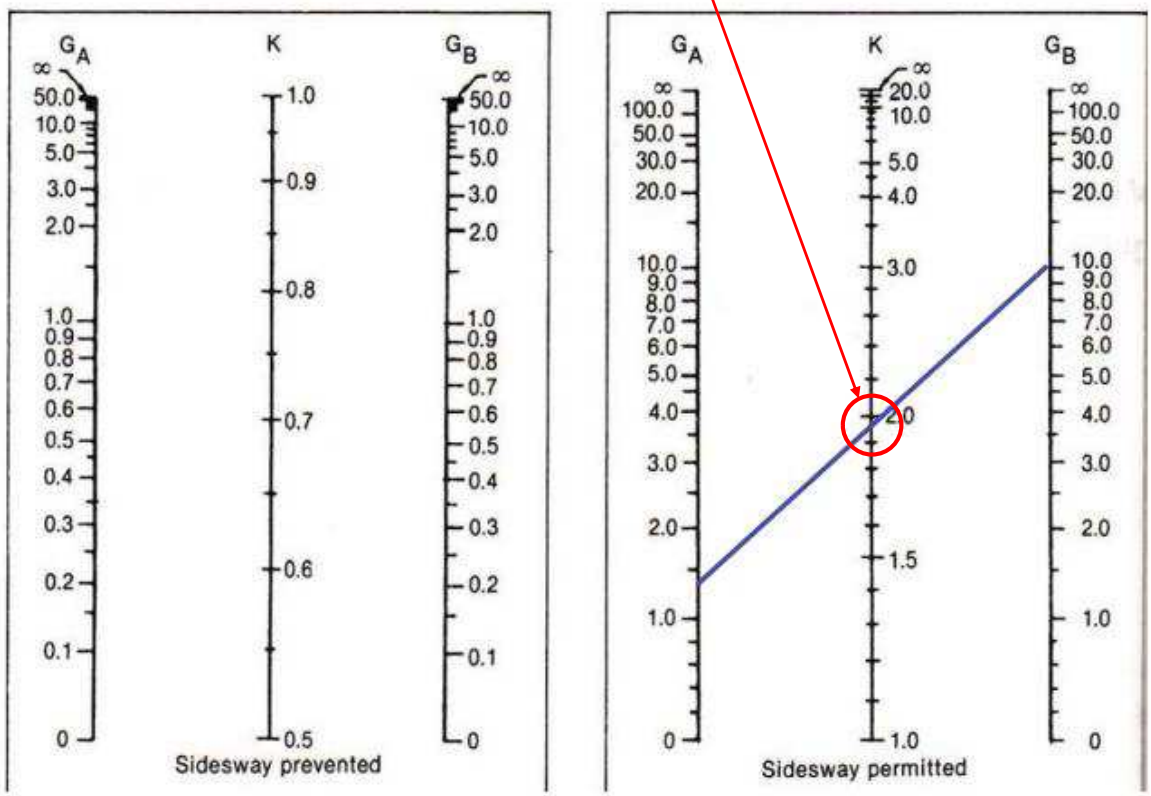


Top $$G_A = \frac{\Sigma(\frac{I}{L})_{col}}{\Sigma(\frac{I}{L})_{beam}} = \frac{40300/400}{2(\frac{21700}{600})} = 1.39$$

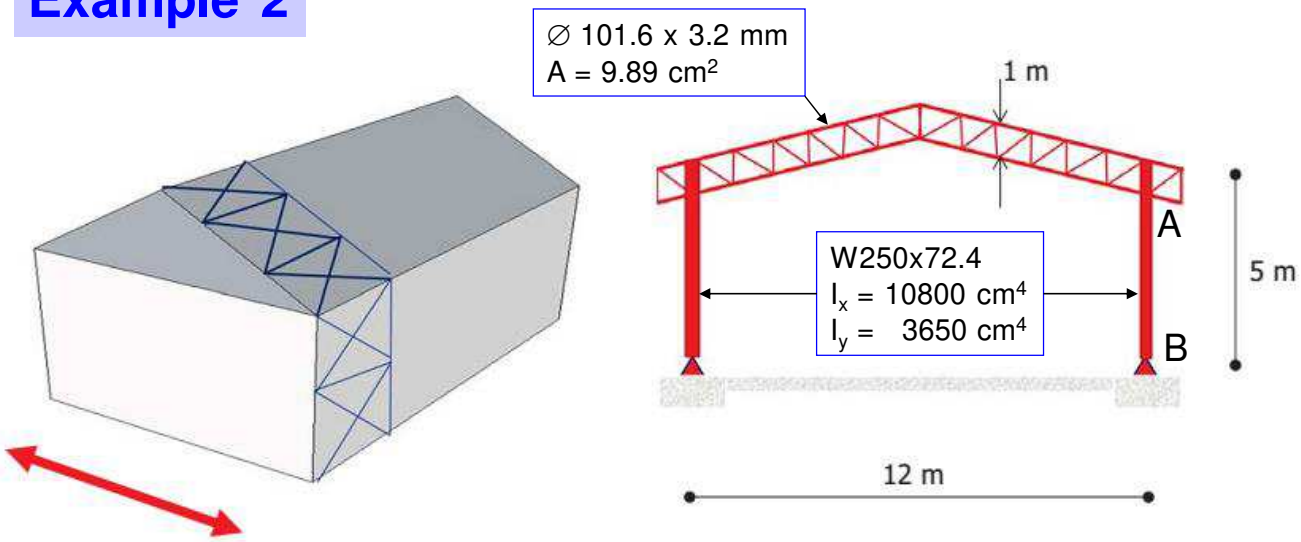
Bottom Pin (G_B = 10)

Example 1

K = 1.97

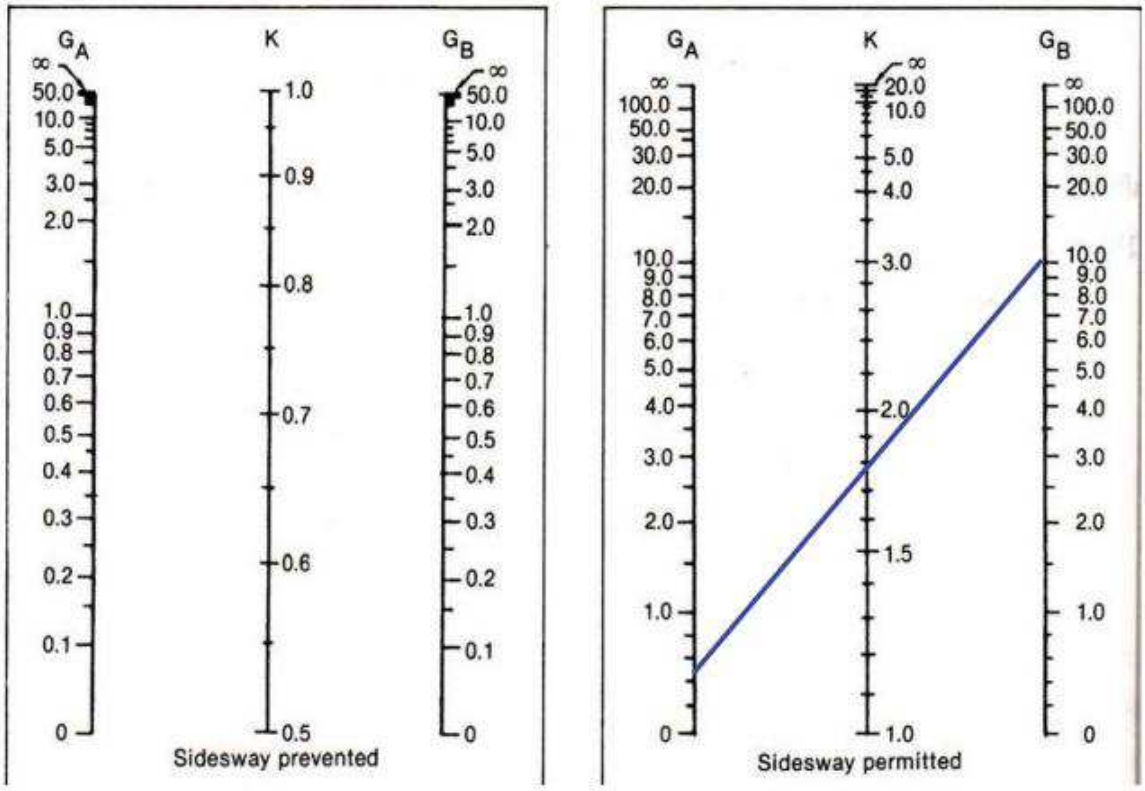


Example 2

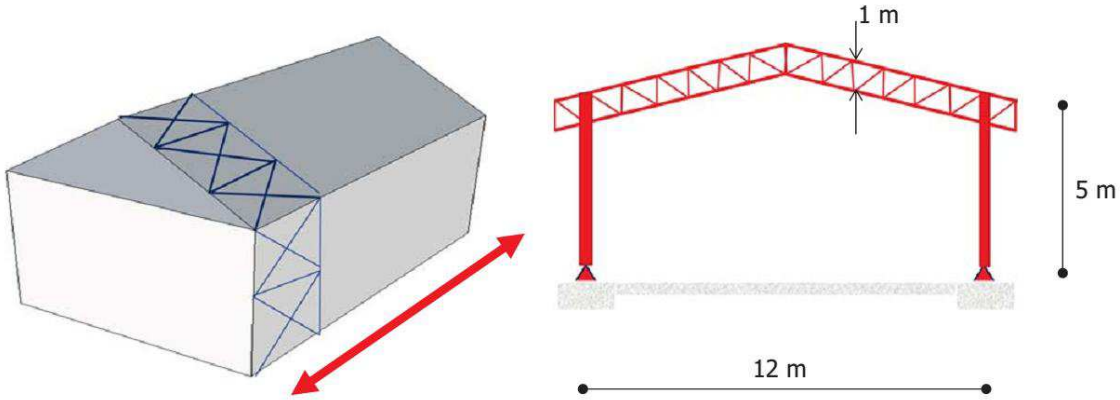


Top $I_{truss} = 2(9.89x50^2) = 49450$

$$G_A = \frac{\sum(\frac{I}{L})_{col}}{\sum(\frac{I}{L})_{beam}} = \frac{10800/500}{(\frac{49450}{1200})} = 0.52$$



จาก Alignment Chart : K_x = 1.78



Braced โดย Bracing : $K_y = 1.0$

หน้าตัดเสา W250x72.4 : ($A = 92.18$ ซม.^{2}, $r_x = 10.8$ ซม., $r_y = 6.29$ ซม.)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{1.78 \times 500}{10.8} = 82.4 \longleftarrow \text{ควบคุม}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{1.0 \times 500}{6.29} = 79.5$$

จากตาราง ข.1 $\longrightarrow$ $F_a = 1{,}061$ กก./ซม.^{2}

$$P = 1.061 \times 92.18 = 97.8 \text{ ตัน}$$ ■