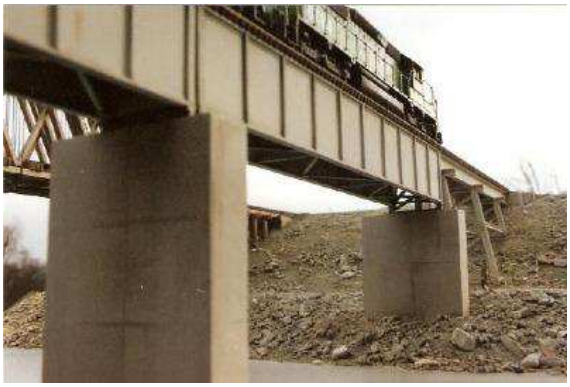
Timber and Steel Design

Lecture 22 Plate Girder 2



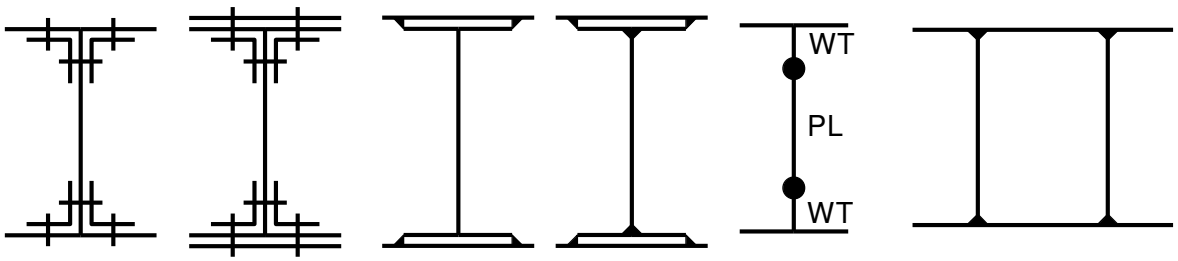
- Cover-plated Beams
- Built-up W Sections
- Plate Girder
- Stiffeners

Mongkol JIRAVACHARADET

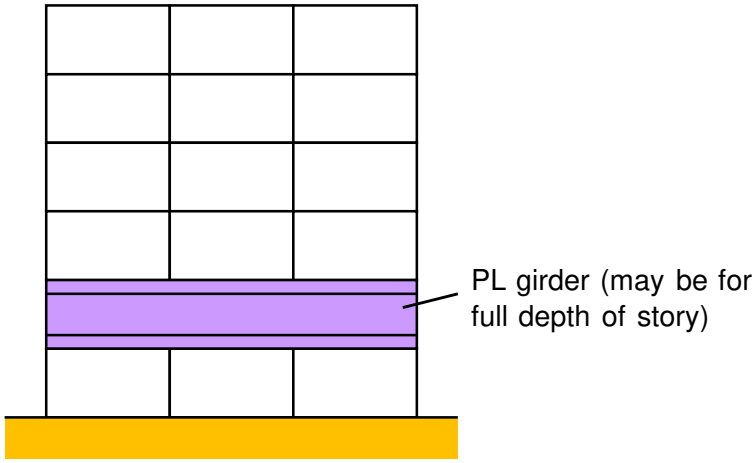
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTE OF ENGINEERING
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

คานแผ่นเหล็กประกอบ (PLATE GIRDERS)



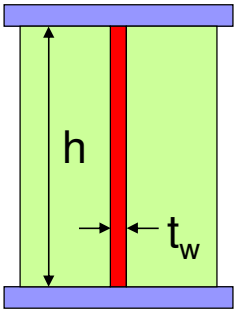
Riveted or bolted **Welded** **Welded box girder**



ขีดจำกัดของอัตราส่วนความชะลูดแผ่นเอว

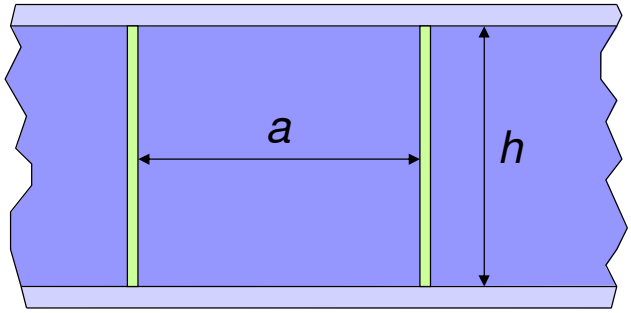
- ถ้าไม่มีเหล็กเสริมกำลัง หรือมีแต่ a/h > 1.5

$$\frac{h}{t_w} \le \frac{984{,}000}{\sqrt{F_{yf}\,(F_{yf}+1{,}160)}}$$



- มีเหล็กเสริมกำลัง a/h ≤ 1.5

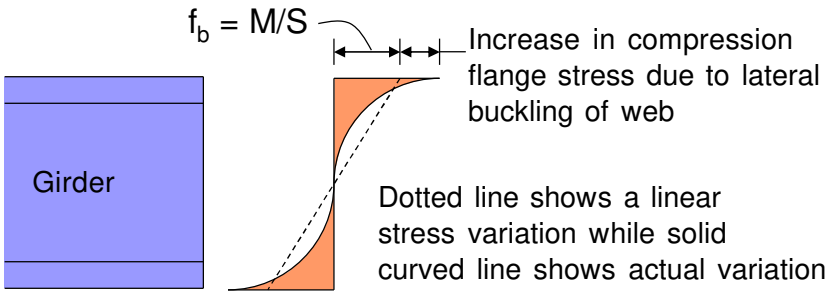
$$\frac{h}{t_w} \le \frac{16{,}670}{\sqrt{F_{yf}}}$$



หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

เมื่ออัตราส่วนความชะลูดของเอว h / t_w มีค่าเกิน $6{,}360/\sqrt{F_b}$ ให้ใช้หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ในปีกรับแรงอัดไม่เกิน

$$F_b' \le F_b R_{PG} R_e$$



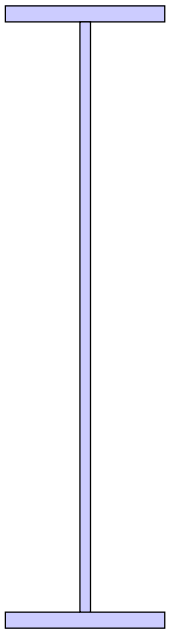
where

$$R_{PG} = 1 - 0.005\frac{A_w}{A_f}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{6{,}360}{\sqrt{F_b}}\right) \le 1.0$$

$$R_e = \frac{12 + \left(\frac{A_w}{A_f}\right)\left(3\alpha - \alpha^2\right)}{12 + 2\left(\frac{A_w}{A_f}\right)} \le 1.0$$

หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

สำหรับคานแผ่นเหล็กประกอบที่ใช้เหล็กชนิดเดียวกัน ให้ใช้ $R_e = 1.0$



A_w = พื้นที่ของเอว, ซม.^{2}

A_f = พื้นที่ของปีกรับแรงอัด, ซม.^{2}

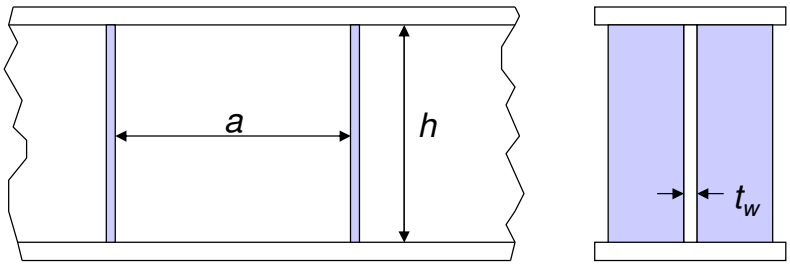
$\alpha = 0.6\, F_{yw} / F_b \leq 1.0$

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

- สำหรับคานที่มี $h / t_w \leq 3{,}179 / \sqrt{F_y}$ $\quad F_v = 0.40 F_y$
- สำหรับคานที่มี $h / t_w > 3{,}179 / \sqrt{F_y}$ $\quad F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \leq 0.40 F_y$

$$C_v = \frac{3{,}165{,}000\, k_v}{F_y (h/t_w)^2} \text{ when } C_v < 0.8 \quad \text{or} \quad C_v = \frac{1{,}585}{h/t_w}\sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \text{ when } C_v > 0.8$$

$$k_v = 4 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \text{ when } a/h < 1 \quad \text{or} \quad k_v = 5.34 + \frac{4}{(a/h)^2} \text{ when } a/h > 1$$

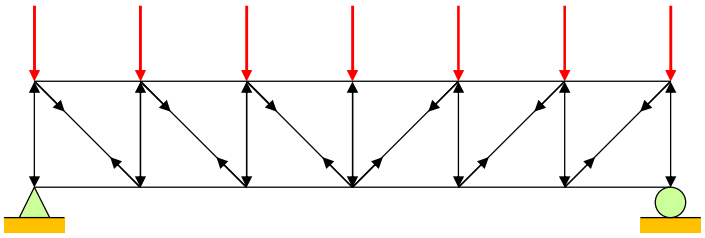


ตารางที่ ค.7 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของเอวคานแผ่นเหล็กประกอบสำหรับเหล็กจุดคราก 2,500 กก./ซม.^{2}
(ไม่คิดพฤติกรรมสนามแรงดึง)

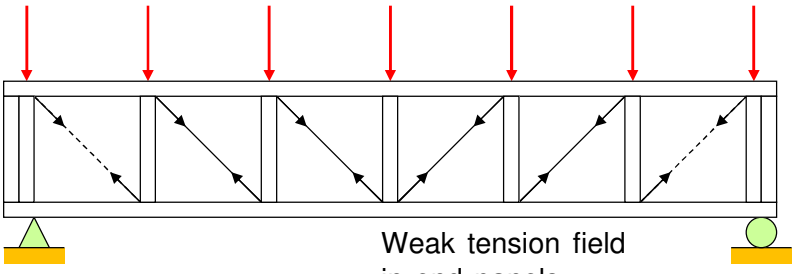
อัตราส่วนความชะลูด h/t ความลึกแผ่นเอวต่อความหนาแผ่นเอว	อัตราส่วน a/h ระยะห่างแผ่นเสริมกำลังต่อความลึกแผ่นเอว												
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
60											1000	1000	1000
70									1000	1000	986	958	942
80						1000	977	931	901	879	863	838	824
90				1000	992	931	868	828	801	781	767	745	733
100			1000	963	892	838	781	745	720	703	690	655	633
110		1000	962	876	811	762	710	668	625	595	574	541	524
120		992	882	803	744	698	617	561	525	500	482	455	440
130	1000	915	814	741	686	605	526	478	447	426	411	388	375
140	986	850	756	690	592	522	454	412	386	367	354	334	323
150	921	793	706	601	516	455	395	359	336	320	309	291	282
160	863	744	637	528	453	400	347	316	295	281	271	256	
170	812	700	565	468	401	354	308	280	262	249	240		
180	767	637	504	417	358	316	274	249	233	222	214		
200	690	516	408	338	290	256	222	202	189				
220	574	426	337	279	240	211	184						
240	482	358	283	235	201	178							
260	411	305	241	200	172	151							
280	354	263	208	172									
300	309	229	181										
320	271	201											

แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)

Stiffeners can be used to form panels that resist the diagonal compression through ***tension field action***.

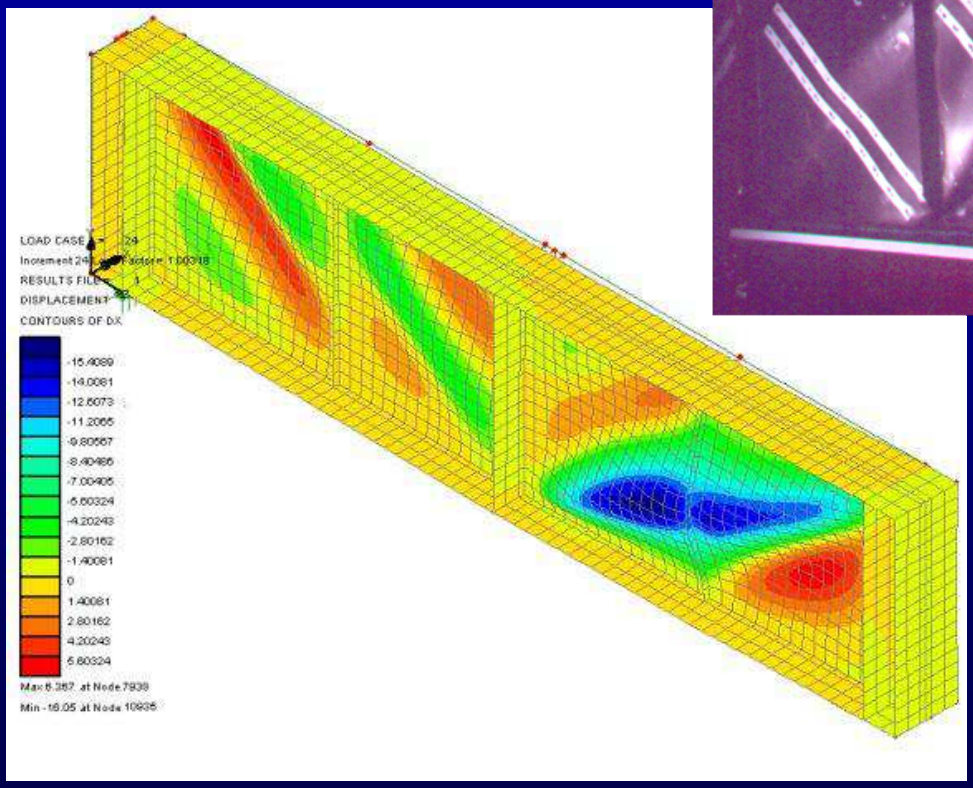


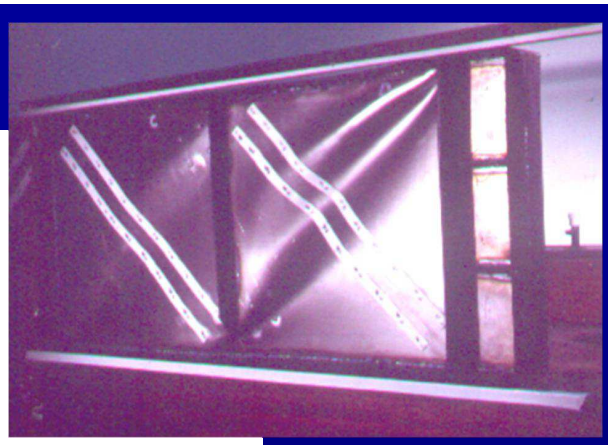
Pratt Truss



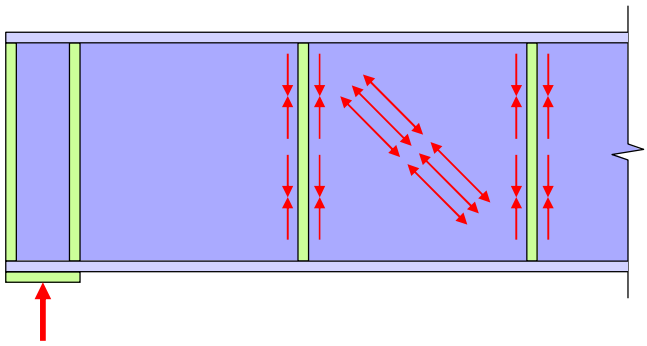
Tension field action

Weak tension field in end panels





Nonlinear modelling of a plate girder in shear



- สำหรับคานที่มีเหล็กเสริมกำลังช่วงในที่ทั้งระยะและสติฟเนสเป็นไปตามข้อกำหนด และมีค่า $C_v \leq 1$ ให้ใช้หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้โดยพิจารณาผลของแรงกระทำเชิงดึง

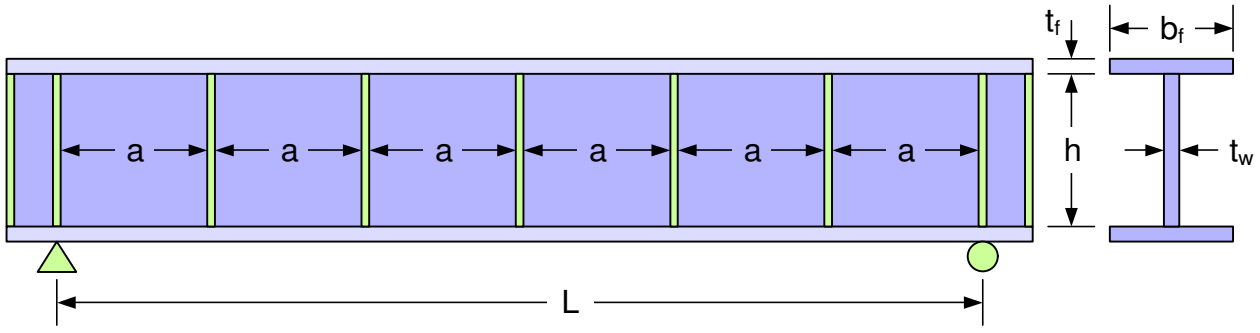
$$F_v = \frac{F_y}{2.89}\left[C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+(a/h)^2}}\right] \leq 0.40\,F_y$$

ตารางที่ ค.8 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของเอวคานแผ่นเหล็กประกอบสำหรับเหล็กจุดคราก 2,500 กก./ซม.^{2}

(คิดพฤติกรรมสนามแรงดึง)

อัตราส่วนความชะลูด h/t ความลึกแผ่นเอวต่อความหนาแผ่นเอว	อัตราส่วน a/h ระยะห่างแผ่นเสริมกำลังต่อความลึกแผ่นเอว												
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
60											1000	1000	1000
70							1000	1000	1000	1000	986	958	942
80					1000	1000	977	931	901	879	864	847	836
90				1000	992	931	868	847	830	817	805	784	769
100			1000	963	892	855	828	806	787	772	761	723	697
110		1000	962	876	846	825	796	768	735	709	687	646	617
120		992	882	845	822	801	755	715	682	654	631	587	557
130	1000	915	850	825	802	765	715	674	640	611	587	542	510
140	986	861	834	809	768	733	683	641	607	578	553	506	472
150	921	847	819	780	741	707	657	615	580	550	525	476	442
160	865	834	800	757	719	686	636	593	558	528	502	453	417
170	853	823	779	738	701	668	618	576	540	509	483	433	397
180	843	807	761	721	686	653	603	561	524	494	467	416	380
200	827	776	734	696	662	630	580	537	501	469	442	390	353
220	800	753	713	677	644	613	563	520	483	451	424	371	333
240	780	736	698	663	630	600	550	507	469	438	410	356	318
260	764	723	686	652	620	590	540	496	459	427	399	345	306
280	752	712	676	643	611	582	532	488	451	418	391	336	296
300	741	703	668	636	605	576	525	482	444	412	384	329	289
320	733	696	662	630	599	570	520	476	438	406	378	323	283

เหล็กเสริมกำลังทางตั้ง (Transverse Stiffener)



- อัตราส่วน h/t_w ของคานมากกว่า 260 และหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น f_v มีค่ามากกว่าที่หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v จะต้องออกแบบให้ใช้เหล็กเสริมกำลังกลางช่วง

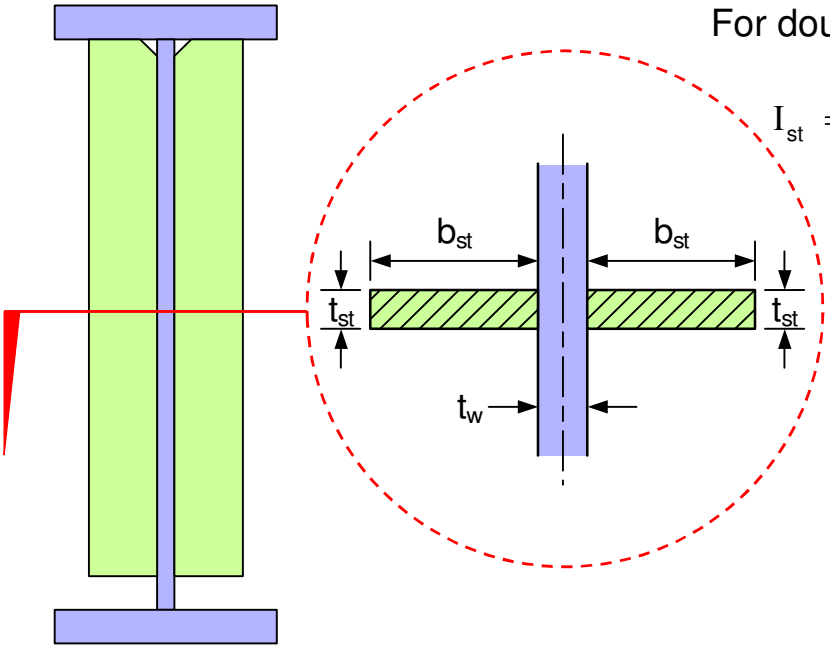
$$F_v = \frac{F_y}{2.89}(C_v) \leq 0.40F_y$$

- ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมกำลังจะต้องทำให้หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น f_v มีค่าไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v

เหล็กเสริมกำลังกลางช่วง (Intermediate Stiffener)

- ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของเหล็กเสริมกำลังกลางช่วงคู่หรือเดี่ยว รอบแกนในระนาบของเอว จะต้องไม่น้อยกว่า

$$I_{st} \geq \left(\frac{h}{50}\right)^4$$



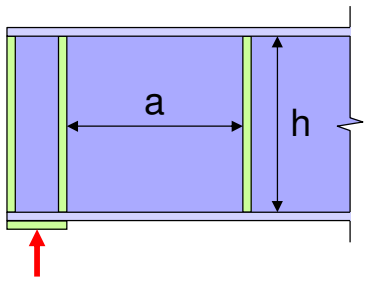
For double plate stiffener :

$$I_{st} = \frac{2}{12} t_{st} b_{st}^3 + 2 b_{st} t_{st} \left(\frac{b_{st} + t_w}{2}\right)^2$$

เหล็กเสริมกำลังกลางช่วง (Intermediate Stiffener)

- พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมกำลังกลางช่วงจะต้องไม่น้อยกว่า

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2}\left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1+(a/h)^2}}\right] Y D h t_w$$



โดยที่ $Y = F_{y,web} / F_{y,stiffener}$

$D = 1.0$ สำหรับเหล็กเสริมกำลังเป็นคู่

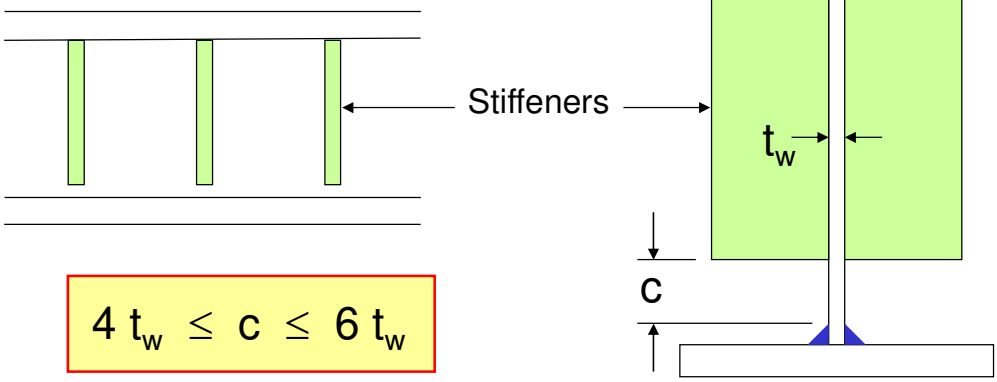
$= 1.8$ สำหรับเหล็กฉากเดี่ยวเสริมกำลัง

$= 2.4$ สำหรับเหล็กแผ่นเดี่ยวเสริมกำลัง

- รอยเชื่อมระหว่างเหล็กเสริมกำลังและเอวคานจะต้องรับแรงเฉือนได้ไม่น้อยกว่า

$$f_{vs} = 0.12h\sqrt{\left(\frac{F_{yw}}{340}\right)^3} \quad \text{กก./ซม.}$$

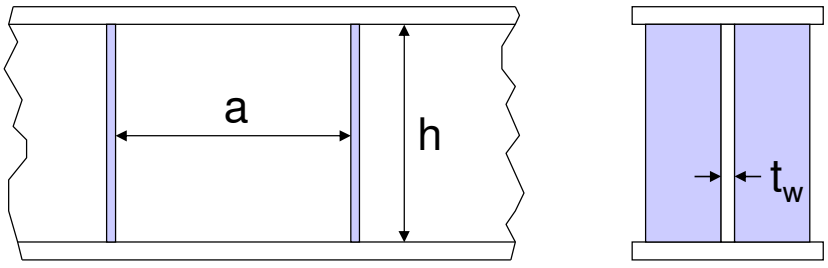
- เหล็กเสริมกำลังไม่จำเป็นต้องยาวถึงปีกคานรับแรงดึง โดยหยุดที่ระยะจากตีนรอยเชื่อม c



$$4\,t_w \le c \le 6\,t_w$$

ระยะห่างของเหล็กเสริมกำลัง

- ถ้าอัตราส่วน h / t_w น้อยกว่า 260 ไม่จำเป็นต้องใช้เหล็กเสริมกำลัง

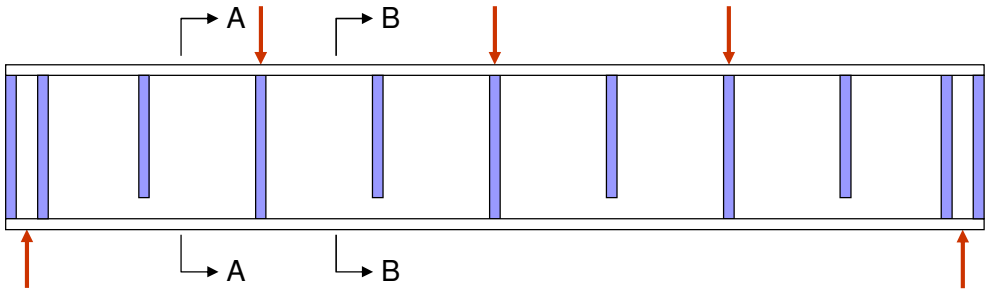


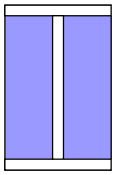
- เหล็กเสริมกำลังต้องไม่ห่างกันจนทำให้ $f_v < F_v$ และ

$$\frac{a}{h} \le \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2 \le 3.0$$

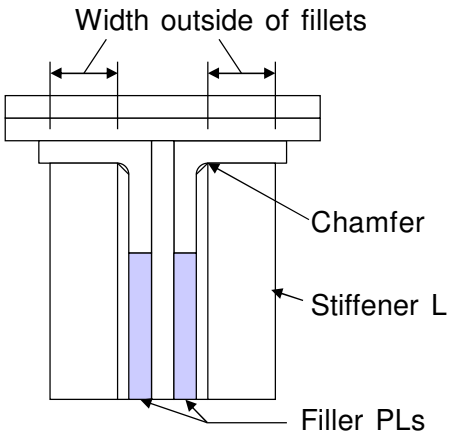
Bearing Stiffeners

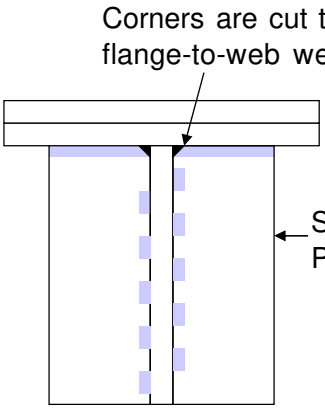
required when the web has insufficient strength of web yielding, web crippling, or sidesway web buckling.

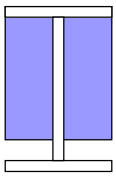




A - A
Bearing stiffener



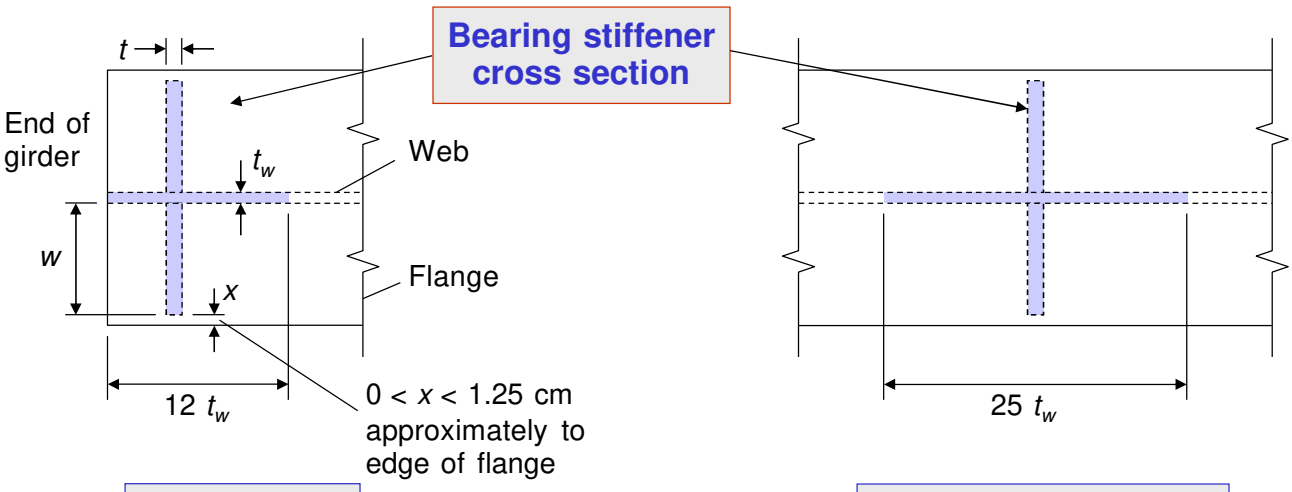




B - B
Intermediate stiffener

Column Stability Criterion

Bearing stiffeners are designed as the column consisted of the stiffener plus web portion.



Portion of web to support load: $12t_w$ at girder ends

$25t_w$ at interior concentrated loads

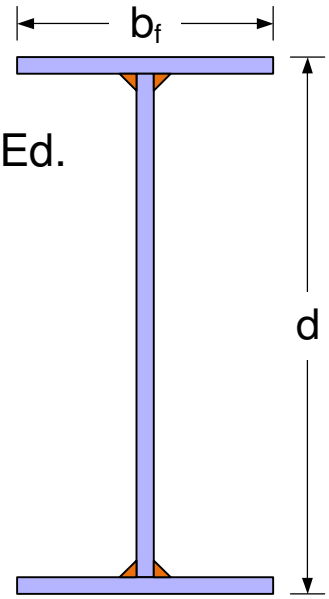
Effective length of bearing stiffener columns: $KL = 0.75\ h$

การออกแบบคานแผ่นเหล็กประกอบ

Span-Depth Ratio

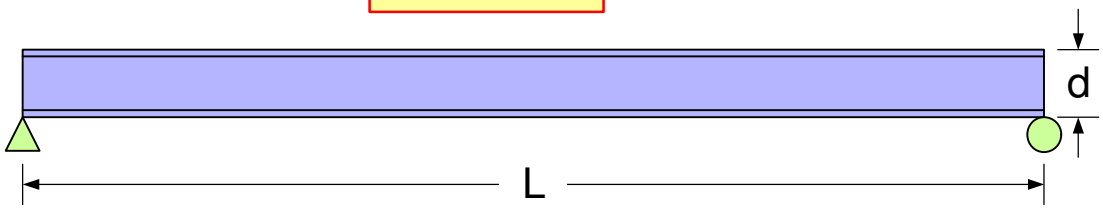
- Salmon & Johnson, Steel Structures, 5th Ed.

$$\frac{L}{d} \approx 10 \text{ to } 12$$



- MSC (2000)

$$\frac{L}{d} \approx 15$$



Modern Steel Construction (2000)

Table 1: Structural Depths

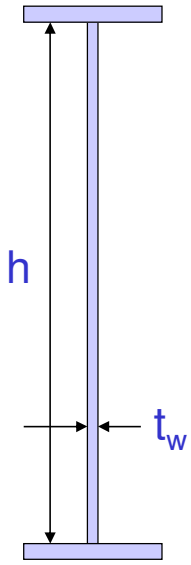
System	L/d_s	Span Range
Steel Beam	20 to 28	0' to 75'
Steel Joist		
Floor Member	20	8' to 144'
Roof Member	24	
Plate Girder	15	40' to 100'
Joist Girder	12	20' to 100'
Steel Truss	12	40' to 300'
Space Frame	12 to 20	80' to 300'

การออกแบบคานแผ่นเหล็กประกอบ

ความลึกของคาน โดยเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 1/10 – 1/12 ของช่วงความยาวคาน

แผ่นเอวคาน ความลึกแผ่นเอว h = ความลึกคาน – 2 เท่าความหนาปีก

ความหนาของแผ่นเอว t_w สำหรับอาคารจะอยู่ระหว่าง 6 – 9 มม. และสำหรับคานสะพานต้องหนาอย่างน้อย 10 มม.



กำหนดความหนา t_w ของเอวคาน:

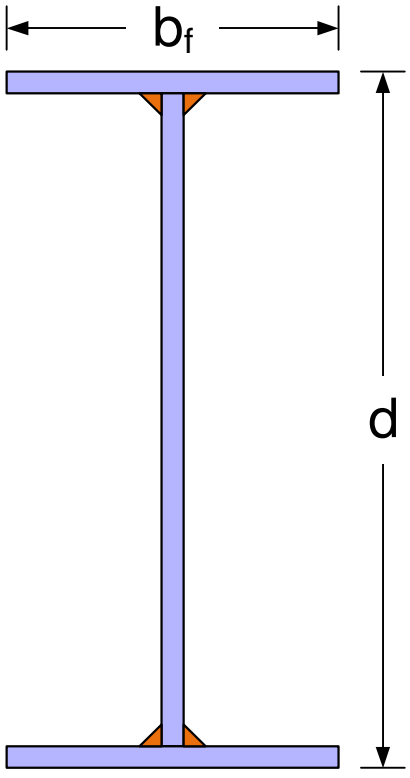
ขีดจำกัดอัตราส่วนความชะลูดของเอวคาน:

$$\frac{h}{t_w} \le \frac{984{,}000}{\sqrt{F_y(F_y+1{,}160)}} \quad \text{และ} \quad \frac{h}{t_w} \le \frac{16{,}670}{\sqrt{F_y}}$$

เพื่อหลีกเลี่ยงการลดค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ ควรกำหนดความหนา t_w ของเอวคานตามอัตราส่วน:

$$\frac{h}{t_w} \le \frac{6{,}360}{\sqrt{F_b}}$$

การออกแบบคานแผ่นเหล็กประกอบ



Flange Width

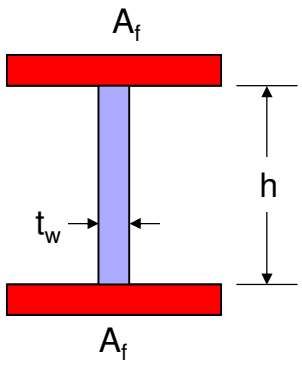
$$\frac{b_f}{d} \approx 0.2 \text{ to } 0.3$$

shallow section

deep section

แผ่นปีกคาน

สมมุติให้ A_f คือพื้นที่แผ่นปีกคานหนึ่งข้าง



โมเมนต์อินเนอร์เชียของคานแผ่นเหล็กประกอบ:

$$I = \frac{1}{12} t_w h^3 + 2 A_f \left(\frac{h}{2}\right)^2$$

โมดูลัสหน้าตัด:

$$S = \frac{t_w h^3 / 12}{h/2} + \frac{2A_f (h/2)^2}{h/2} = \frac{t_w h^2}{6} + A_f h$$

จากโมเมนต์ดัดที่ต้องการ M คำนวณพื้นที่ A_f ที่ต้องใช้ :

$$\frac{M}{F_b} = S = \frac{t_w h^2}{6} + A_f h \quad \Rightarrow \quad A_f = \frac{M}{F_b h} - \frac{t_w h}{6}$$

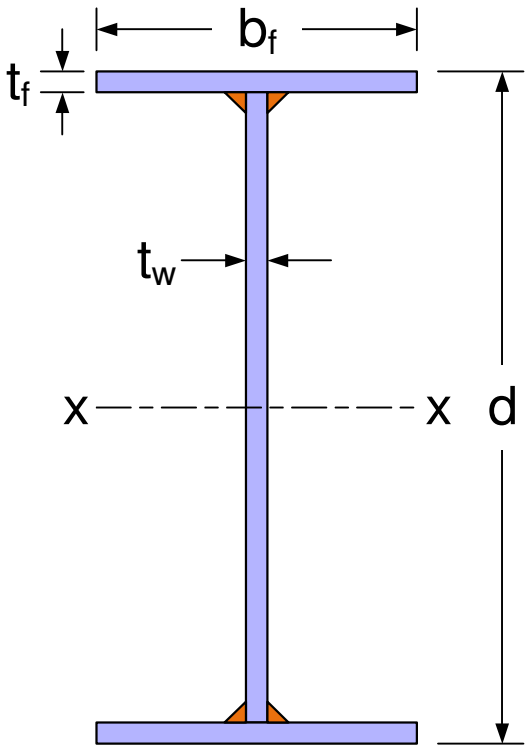
สมมุติ $F_b = 0.60F_y$:

$$A_f \approx \frac{M}{0.60 F_y h}$$

Select b_f & t_f from

$$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{795}{\sqrt{F_y}}$$

รอยเชื่อมต่อแผ่นปีกและแผ่นเอว



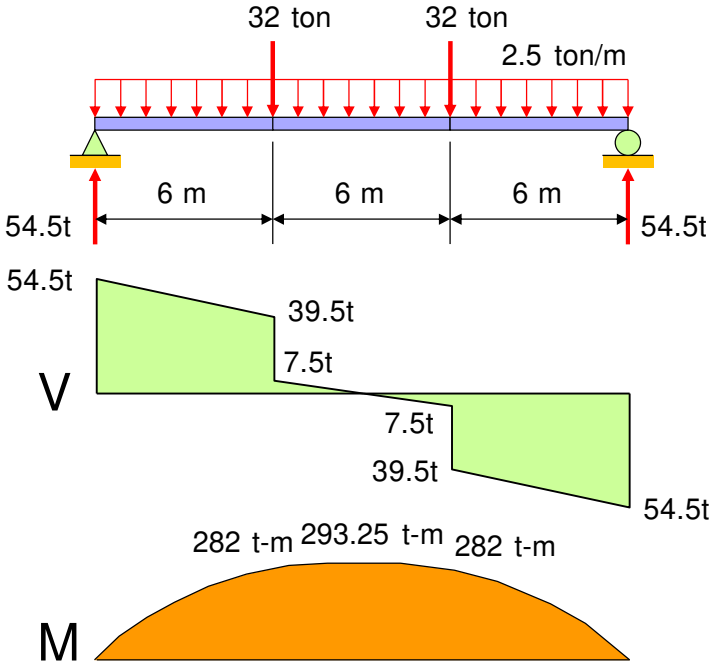
Must provide for horizontal shear flow

$$\text{shear flow, } q = \frac{VQ}{I_x}$$

Q = 1st moment of area of flange about neutral axis

ตัวอย่างที่ 21-3 ออกแบบคานประกอบช่วงเดียว 18 เมตร รับน้ำหนักแผ่ 2.2 ตัน/เมตร และน้ำหนัก 32 ตัน ที่ระยะ 1/3 ช่วงคาน มีการรองรับด้านข้างสำหรับปีกรับแรงอัดที่จุดรับแรงปฏิกิริยาและที่น้ำหนักกระทำเป็นจุด ใช้เหล็ก A36 และพฤติกรรมสนามแรงดึง

วิธีทำ สมมุติน้ำหนักคาน = 300 กก./เมตร, เขียนแผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์สำหรับคาน



ขนาดแผ่นเอวคาน

สมมุติความลึกของคาน = (1/10)(1800) = 180 ซม.

ความลึกของเอว h = 180 – 6 = 174 ซม.

ถ้าไม่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง หรือ ถ้ามีแต่ห่างมากกว่า 1.5 เท่าระยะระหว่างปีกคาน

$$\frac{h}{t_w} \le \frac{984{,}000}{\sqrt{F_{yf}\left(F_{yf}+1{,}160\right)}} = \frac{984{,}000}{\sqrt{2{,}500(2{,}500+1{,}160)}} = 325$$

$$t_w = 174 / 325 = 0.535 \text{ ซม.}$$

ความหนาเอวน้อยที่สุดเพื่อป้องกันการกัดกร่อน $t_w = 0.8$ ซม.

ลองใช้แผ่นเอว 1×174 ซม. ($A_w = 174$ ซม.^{2})

$$\frac{h}{t_w} = 174 > \left[\frac{6{,}360}{\sqrt{F_b}} = \frac{6{,}360}{\sqrt{1{,}500}} = 164\right] \rightarrow$$

Reduced allowable bending stress:

$$F_b' = F_b R_{PG} R_e$$

Noncompact section

ขนาดแผ่นปีกคาน

สมมุติใช้ $F_b < 0.6\,F_y \rightarrow 1{,}400$ กก./ซม.^{2}

ขนาดพื้นที่ปีกคาน $A_f = \dfrac{M}{F_b h} - \dfrac{t_w h}{6} = \dfrac{293.25\times10^5}{1{,}400\times174} - \dfrac{1\times174}{6} = 91.38$ ซม.^{2}

เลือกแผ่นปีกคาน **PL 3×45 ซม.^{2} ($A_f = 135$ ซม.^{2})**

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{45}{2(3)} = 7.5 < \left[\frac{795}{\sqrt{F_y}} = \frac{795}{\sqrt{2{,}500}} = 15.9\right] \quad \textbf{OK}$$

น้ำหนักคาน $= (2\times3\times45+1\times174)(7{,}850)/100^2 = 349 > 300$ กก./เมตร ที่สมมุติไว้

ปรับแก้ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์

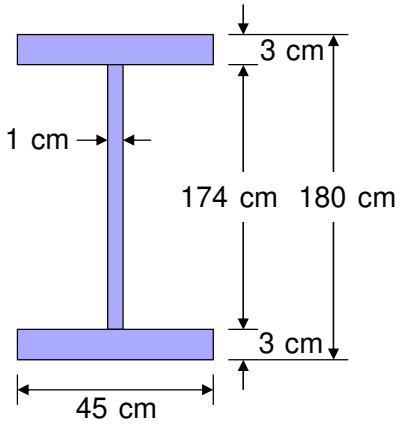
$w = 2.2 + 0.349 = 2.549$ ตัน/เมตร

$V_{max} = 32 + 2.549\times18/2 = 54.94$ ตัน

$V_{32t} = 54.94 - 2.549\times6 = 39.65$ ตัน, และ 7.65 ตัน

$M_{max} = (54.94 + 39.65)\times6/2 + 7.65\times3/2 = 295.3$ ตัน-เมตร

คุณสมบัติหน้าตัดคานประกอบ



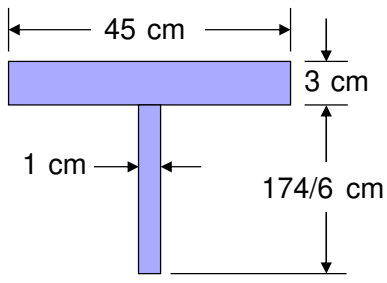
$I_x = 1\times174^3/12 + (2)(3\times45)(88.5)^2$

$= 2{,}553{,}710$ ซม.^{4}

$S = 2{,}553{,}710 / 90 = 28{,}375$ ซม.^{3}

$f_b = 295.3\times10^5 / 28{,}375 = 1{,}041$ กก./ซม.^{2}

คำนวณ I_y และ r_T ของปีกคาน + 1/6 แผ่นเอว

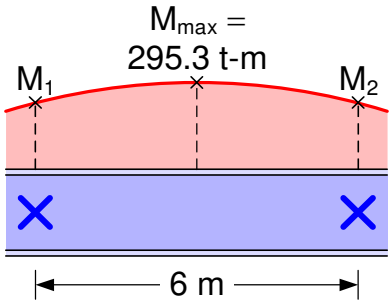


$I_y = 3 \times 45^3 / 12 = 22{,}781$ ซม.^{4}

A_f + 1/6 web $= 3\times45 + 174/6 = 164$ ซม.^{2}

$r_T = \sqrt{\dfrac{22{,}781}{164}} = 11.8$ ซม.

หน่วยแรงดัดที่ยอมให้



ใช้ค่า $C_b = 1.0$ เนื่องจากโมเมนต์มากที่สุดที่กลางช่วงคาน (295.3 ตัน-เมตร) ที่เกิดขึ้น ณ. จุดที่ไม่มีการยึดรั้งมีค่ามากกว่าโมเมนต์ที่ปลายทั้งสอง

$$\frac{L_b}{r_T} = \frac{600}{11.8} = 50.9 < \left[\sqrt{\frac{7{,}173\times10^3\times C_b}{2{,}500}} = 53.56\right]$$

ดังนั้น F_b จากการตรวจสอบการโก่งเดาะด้านข้างคือ $0.6F_y = 1{,}500$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ลดค่า

$$F_b' = F_b R_{PG} R_e$$

$$R_{PG} = 1 - 0.005\frac{A_w}{A_f}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{6{,}360}{\sqrt{F_b}}\right) \le 1.0$$

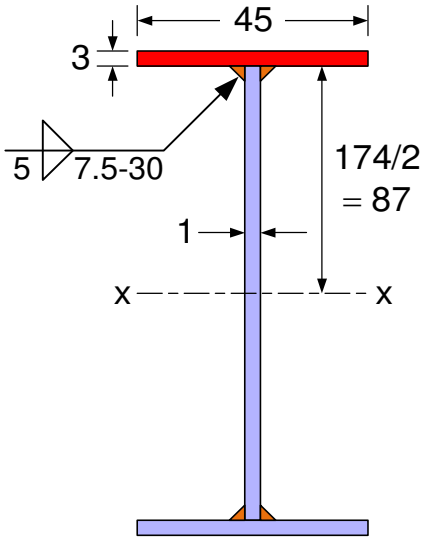
$$= 1 - 0.005\frac{1\times174}{3\times45}(174-164) = 0.936$$

$R_e = 1.0$ สำหรับคานแผ่นเหล็กประกอบที่ใช้เหล็กชนิดเดียวกัน (nonhybrid girder)

$$F_b' = F_b R_{PG} R_e = 1{,}500\times0.936\times1.0$$

$$= 1{,}404 \text{ กก./ซม.}^2 > [\, f_b = 1{,}041 \text{ กก./ซม.}^2\,] \quad \textbf{OK}$$

รอยต่อระหว่างแผ่นปีกและคาน



$$Q = 3\times45\times(87+3/2) = 11{,}947.5 \text{ cm}^3$$

$$q = \frac{VQ}{I} = \frac{54.94\times10^3\times11{,}947.5}{2{,}553{,}710}$$

$$= 257 \text{ kg/cm}$$

สำหรับ $t_w = 1$ ซม. ใช้ขนาดรอยเชื่อมเล็กที่สุด 5 ม.ม.

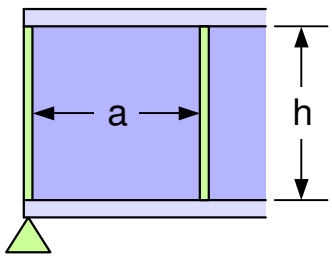
รอยเชื่อม E70 กำลัง $F_w = 520$ กก./ซม.

สำหรับรอยเชื่อมเว้นระยะห่าง 30 ซม. ทั้งสองด้านของแผ่นเอว

ความยาวรอยเชื่อมที่ต้องการ $= 257\times30/(2\times520) = 7.4$ ซม. **(ใช้ 7.5 ซม.)**

แผ่นเสริมกำลัง

แผ่นเสริมกำลังปลายช่วง (ไม่มีพฤติกรรมสนามแรงดึง)



$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{54.94 \times 10^3}{1 \times 174} = 316 \text{ kg/cm}^2$$

จากตารางที่ ค.7 เลือกใช้ $a/h \approx 1.0$

เนื่องจากระยะห่างระหว่างแรงกระทำเป็นจุด = 6 เมตร

เลือกใช้ $a = 1.5$ m → $a/h = 1.5/1.74 = 0.86$

$$\frac{a}{h} < \left[\left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2 = \left(\frac{260}{174}\right)^2 = 2.23\right] < 3.0 \quad \text{OK}$$

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$k_v = 4 + \frac{5.34}{(a/h)^2} = 4 + \frac{5.34}{0.86^2} = 11.22$$

ในตัวอย่างนี้ $h/t_w = 174 < 260$ อาจไม่ใช้แผ่นเสริมกำลังแต่กำลังเฉือนจะมีค่าน้อยมาก เช่นถ้าใช้ $a = 6$ m → $F_v = 205$ kg/cm²

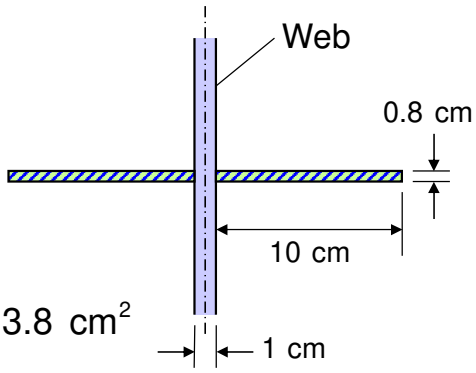
$$C_v = \frac{3{,}165{,}000\, k_v}{F_y (h/t_w)^2} = \frac{3{,}165{,}000 \times 11.22}{2{,}500 \times 174^2} = 0.469 < 0.8 \quad \text{OK}$$

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v = \frac{2{,}500}{2.89}(0.469) = 406 \text{ kg/cm}^2 > [f_v = 316 \text{ kg/cm}^2] \quad \text{OK}$$

ออกแบบแผ่นเสริมกำลังระหว่างช่วง

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2}\left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}}\right] Y D h t_w$$

$$= \frac{1 - 0.469}{2}\left[0.86 - \frac{0.86^2}{\sqrt{1 + 0.86^2}}\right](174)(1.0) = 13.8 \text{ cm}^2$$



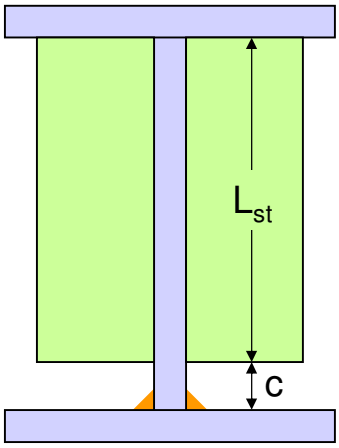
ใช้แผ่นเสริมกำลังคู่ **0.8 × 10 ซม. (A_{st} = 16 ซม.²)**

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา $\frac{b}{t} = \frac{10}{0.8} = 12.5 < \left[\frac{795}{\sqrt{F_y}} = 15.9\right]$ OK

โมเมนต์อินเนอร์เชียร์ $I_{st} \geq \left(\frac{h}{50}\right)^4$

$$I_{st} = \frac{2}{12} t_{st} b_{st}^3 + 2 b_{st} t_{st}\left(\frac{b_{st} + t_w}{2}\right)^2 = \frac{2}{12} \times 0.8 \times 10^3 + 2 \times 0.8 \times 10 \times 5.5^2$$

$$= 617.3 \text{ cm}^4 > \left[\left(\frac{174}{50}\right)^4 = 146.7 \text{ cm}^4\right] \quad \text{OK}$$

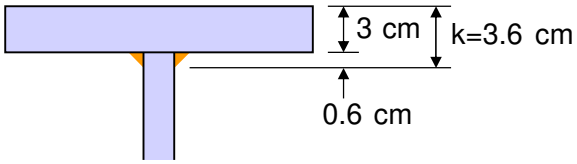


$c \approx 4t_w$ to $6t_w$

ความยาวน้อยที่สุด $= 174 - 0.6 - 6(1) = 135.4$ ซม.

ใช้แผ่นเสริมกำลังระหว่างช่วง **0.8×10×136** ซม.

แผ่นเสริมกำลังแบกทานที่น้ำหนักกระทำเป็นจุด



Check web yielding for interior loads

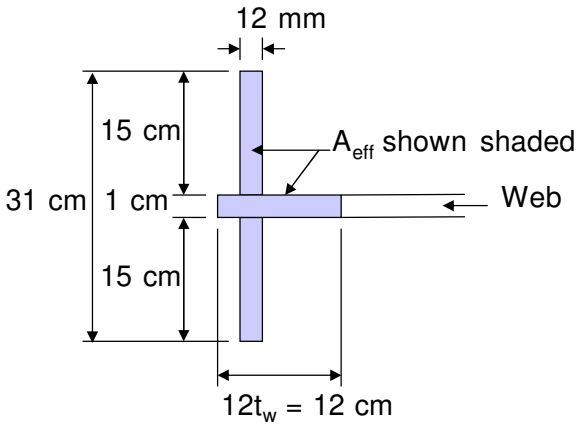
$$\frac{R}{t_w(N+5k)} = \frac{32{,}000}{1.0(0+5\times3.6)}$$

$$= 1{,}778 \text{ ksc} > \left[0.66F_y = 1{,}650 \text{ ksc}\right]$$

Bearing stiffeners are required

ออกแบบแผ่นเสริมกำลังแบกทาน สำหรับแรงปฏิกิริยาที่ปลาย

ลองใช้ **2 PL 1.2 × 15** ซม. ดังในรูป



คำนวณหน่วยแรงอัดในแผ่นเสริมกำลัง

$$I = (1/12)(1.2)(31)^3 = 2{,}979 \text{ cm}^4$$

$$A_{eff} = (2)(15)(1.2) + (12)(1) = 48 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{2{,}979}{48}} = 7.88 \text{ cm}$$

$$KL/r = 0.75\times174/7.88 = 16.56$$

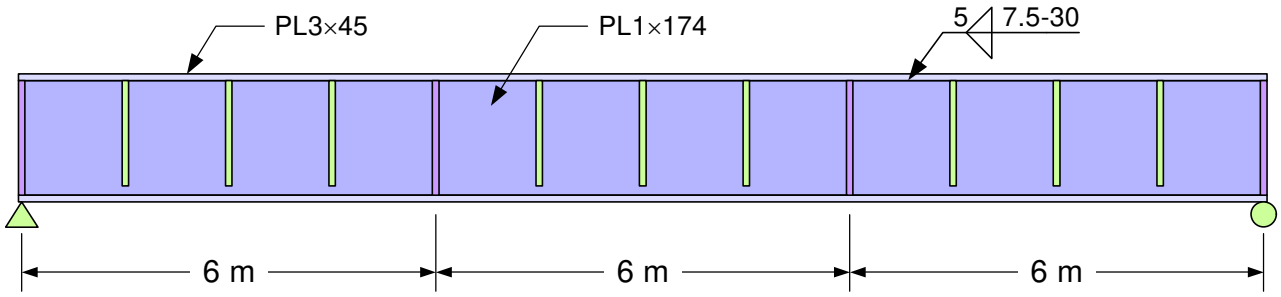
จากตารางที่ ข.1 → $F_a = 1{,}446$ kg/cm^2

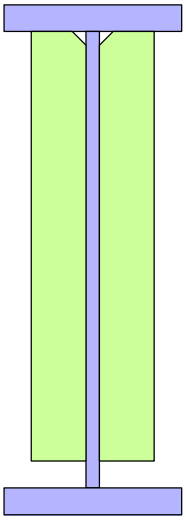
f_a = แรงปฏิกิริยา / A_{eff} $= 54.94(1{,}000)/48$

$= 1{,}145$ กก./ซม.^{2} $<$ $1{,}446$ กก./ซม.^{2} **OK**

ใช้แผ่นเสริมกำลังแบกทาน **2 PL 1.2 × 15 × 174** ซม.

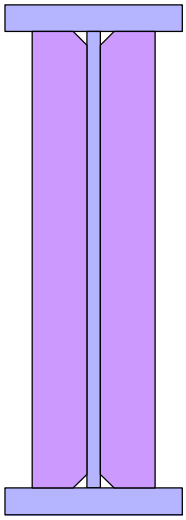
แบบรายละเอียดคานประกอบ





Intermediate Stiffener

PL 0.8×10×136



Bearing Stiffener

PL 1.2×15×174