มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษา 2	ปีการศึกษา 2552
วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2553	เวลา 13.30-16.30 น.
วิชา Timber and Steel Design	ห้องสอบ R300
220-412 และ 221-412	ผู้สอน ผศ.เอกรัฐ สมัครัฐกิจ

ชื่อ-สกุล..... รหัส.....

คำชี้แจง

1. ข้อสอบทั้งหมดมี 4 ข้อ คะแนนรวม 40 คะแนน ดังแสดงในตารางข้างล่าง
2. ข้อสอบมีทั้งหมด 10 หน้า (ไม่รวมปก) ผู้สอบต้องตรวจสอบว่ามีครบทุกหน้าหรือไม่ (ก่อนลงมือทำ) และห้ามแกะหรือฉีกข้อสอบออกจากเล่ม
3. ให้ทำหมดทุกข้อลงในสมุดคำตอบที่แนบ
4. ห้ามนำเอกสารใดๆ เข้าห้องสอบ ทุจริตจะได้ E
5. อนุญาตให้ใช้เครื่องคิดเลขได้ทุกชนิด
6. ให้เขียนรหัสในสมุดคำถามทุกหน้า
7. กระดาษทดที่แจกให้ไม่ต้องส่งคืน ถ้าไม่พอขอเพิ่มที่อาจารย์คุมสอบ
8. ห้ามหยิบ หรือยืมสิ่งของใดๆ ของผู้อื่นในห้องสอบ
9. ***นักศึกษาสามารถเพิ่มเติมข้อมูลได้ในกรณีที่คิดว่าข้อมูลที่ให้มาไม่เพียงพอ***

ตารางคะแนน

ข้อที่	คะแนนเต็ม	ได้
1	10	
2	10	
3	10	
4	10	
รวม	40	

ทุจริตในการสอบ โทษขั้นต่ำ คือ พักการเรียน 1 ภาคการศึกษา และปรับตกในรายวิชาที่ทุจริต

ข้อที่ 1 จงออกแบบคาน B1 ที่ทำจากเหล็ก WF มีช่วงความยาว 7.5 ม. โดยปราศจากการค้ำยันทางด้านข้างดังแสดงในรูปข้างล่าง กำหนดให้คานรองรับพื้นสำเร็จรูปรวมคอนกรีตทับหน้าหนา 10 cm (2400 kg/m^3) และน้ำหนักจร 300 kg/m^2 กำหนดคุณสมบัติของเหล็กคือ F_y เท่ากับ 2500 ksc และ E เท่ากับ 2.04*10^6 ksc กำหนดให้การโก่งตัวสูงสุดของคาน

$$\delta_{max} = \frac{5wL^4}{384EI} \le \frac{L}{360}$$ (10 คะแนน)

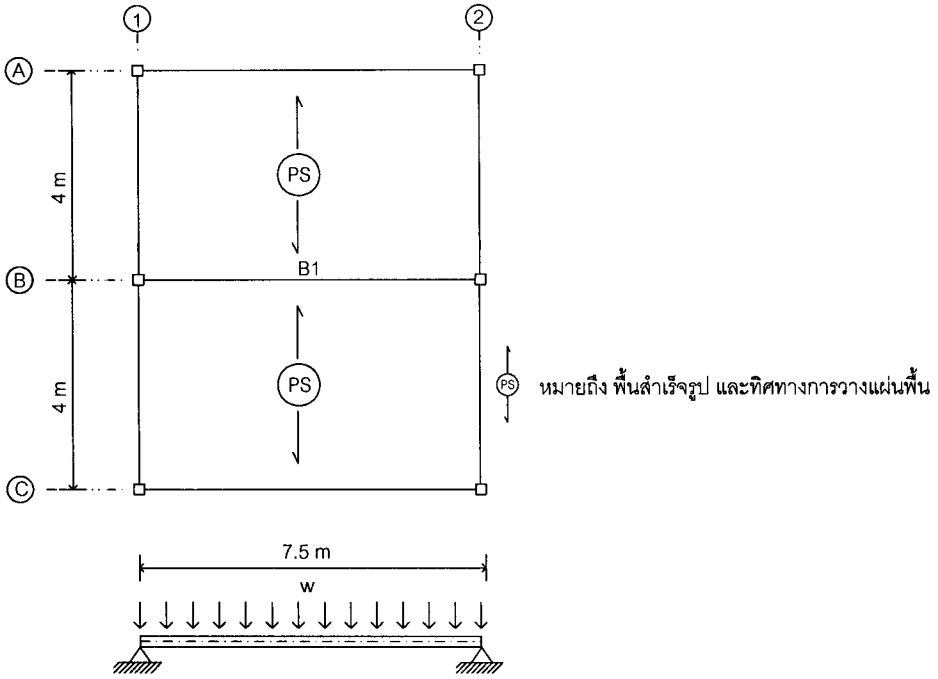
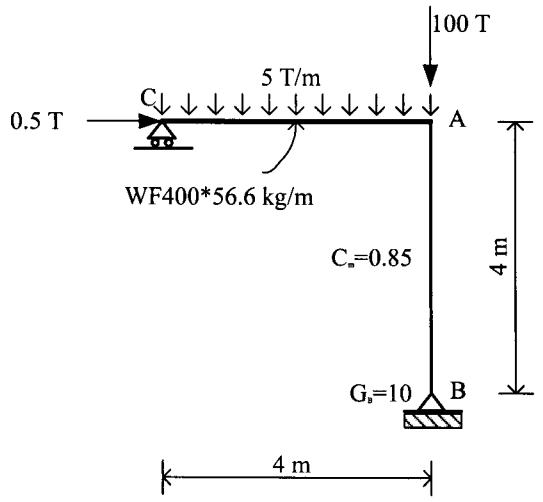
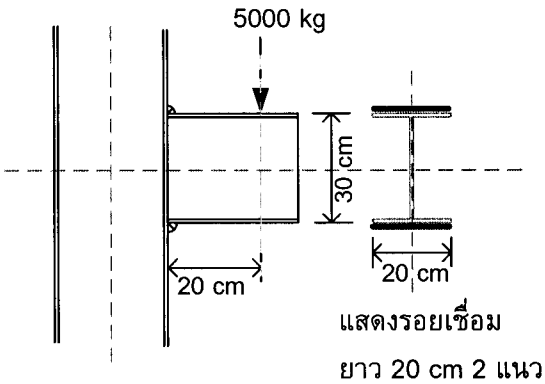


Fig. a

ข้อที่ 2 โครงข้อแข็งที่กำหนด จงออกแบบเสา-คานเหล็ก AB มีความยาว 4 เมตร ที่รับทั้งแรงแนวแกน และโมเมนต์ดัดดังแสดงในรูป (พิจารณาในระนาบที่มีการดัดเท่านั้น) กำหนดคุณสมบัติของเหล็กคือ F_y เท่ากับ 2500 ksc และ E_s เท่ากับ 2.04*10^6 ksc



ข้อที่ 3 จงออกแบบขนาดรอยเชื่อมของรอยต่อหูช้าง (corbel) เพื่อรับแรงขนาด 5000 kg. สมมุติเสา WF มีความแข็งแรงเพียงพอ **กำหนด** ให้ใช้ลวดเชื่อมชนิด E70 (Fv=1470 ksc)



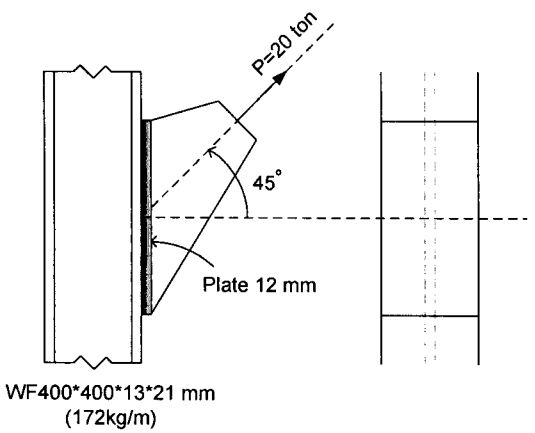
แสดงรอยเชื่อม
ยาว 20 cm 2 แนว

ข้อที่ 4 จุดต่อของโครงสร้างต่อยึดกับเสา รับแรงขนาด 20 ton ทำมุม 45 องศากับแนวราบ จงคำนวณหาจำนวนหมุดย้ำระหว่างเสากับแผ่นเหล็ก 12 mm พร้อมทั้งสเก็ตตำแหน่งของหมุดย้ำด้วย

กำหนด ให้ใช้หมุดย้ำ ขนาด 20 มม. (A502 เกรด 1)
หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้(Fp) ในหมุดย้ำเท่ากับ 6112.5 ksc

ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของอุปกรณ์ต่อยึดแบบมีแรงแบกทาน

อุปกรณ์ต่อยึด	Tensile Stress ,Ft (ksc)	Shear stress,Fv (ksc)	Tensile Stress (**มีแรงเฉือนร่วม**), F_t' (ksc)
A502-1	1615	1230	2110-1.3 f_v < 1615
A502-2	2040	1545	2670-1.3 f_v < 2040
A307	1405	700	1830-1.8 f_v < 1405



กรณี $KL/r < C_c$

$$F_{cr} = F_y\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2\right]$$

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

$$F_a = F_{cr}/FS$$

กรณี $KL/r \geq C_c$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

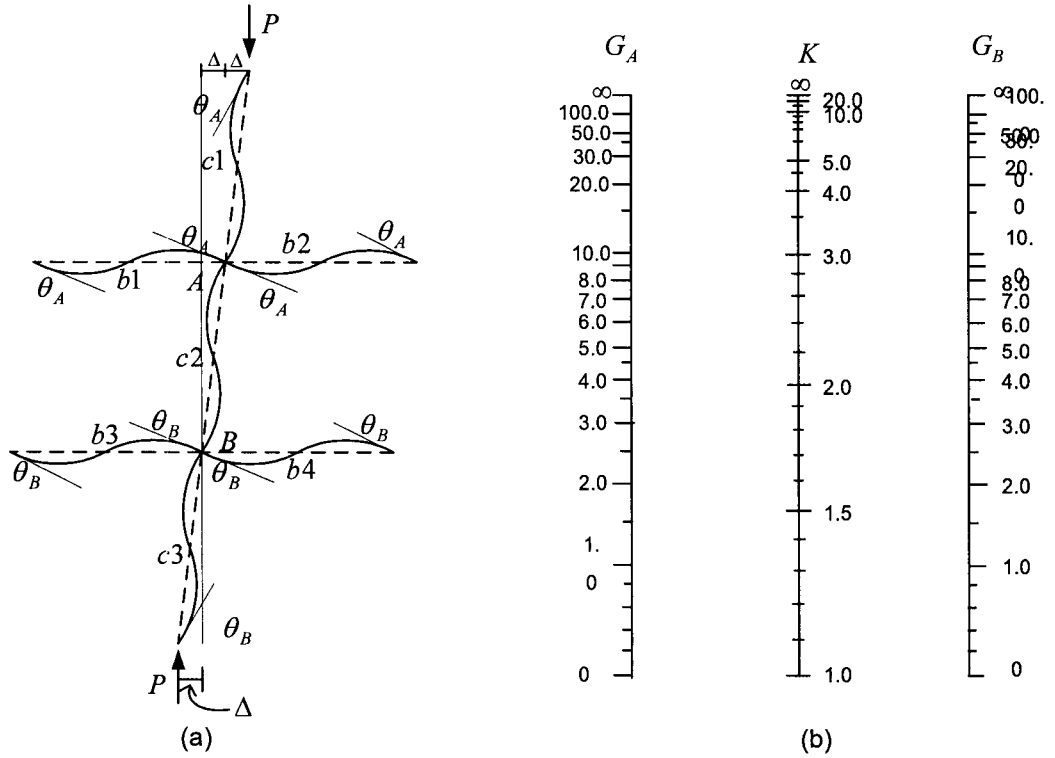
$$F.S = 1.92$$

$$F_a = F_{cr}/FS$$

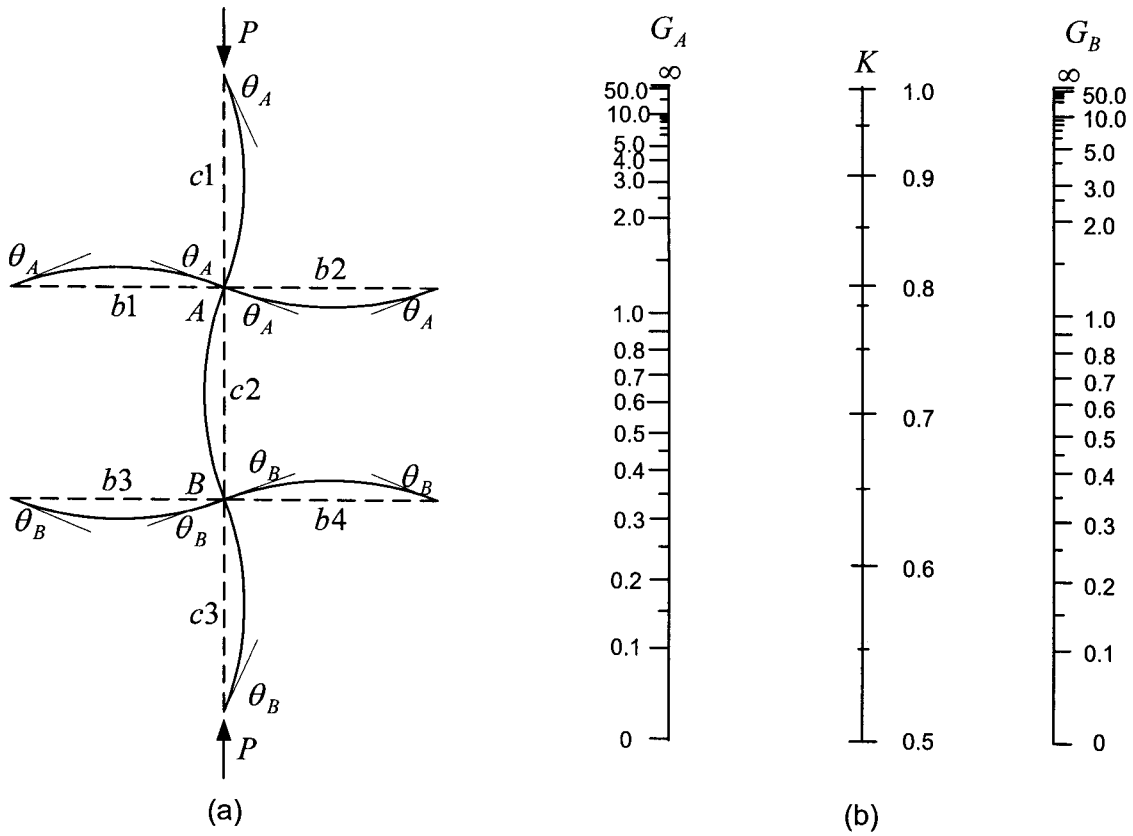
Allowable Compressive Strength for Design

Fy =	2500 ksc		Es =	2040000 ksc		Cc =	126.9
KL/r	Fa	KL/r	Fa	KL/r	Fa	KL/r	Fa
1	1497.3	51	1270.2	101	898.1	151	459.9
2	1494.5	52	1264.1	102	889.4	152	453.9
3	1491.6	53	1257.9	103	880.5	153	448.0
4	1488.7	54	1251.6	104	871.6	154	442.2
5	1485.7	55	1245.3	105	862.7	155	436.5
6	1482.6	56	1239.0	106	853.7	156	430.9
7	1479.4	57	1232.5	107	844.6	157	425.4
8	1476.1	58	1226.1	108	835.5	158	420.1
9	1472.8	59	1219.5	109	826.4	159	414.8
10	1469.3	60	1213.0	110	817.1	160	409.6
11	1465.9	61	1206.3	111	807.9	161	404.6
12	1462.3	62	1199.6	112	798.5	162	399.6
13	1458.6	63	1192.9	113	789.1	163	394.7
14	1454.9	64	1186.1	114	779.7	164	389.9
15	1451.1	65	1179.3	115	770.2	165	385.2
16	1447.2	66	1172.4	116	760.6	166	380.6
17	1443.3	67	1165.4	117	751.0	167	376.0
18	1439.3	68	1158.4	118	741.3	168	371.5
19	1435.2	69	1151.3	119	731.5	169	367.2
20	1431.1	70	1144.2	120	721.7	170	362.9
21	1426.8	71	1137.1	121	711.8	171	358.6
22	1422.5	72	1129.9	122	701.9	172	354.5
23	1418.2	73	1122.6	123	691.9	173	350.4
24	1413.7	74	1115.3	124	681.8	174	346.4
25	1409.2	75	1107.9	125	671.7	175	342.4
26	1404.7	76	1100.5	126	661.5	176	338.5
27	1400.1	77	1093.0	127	650.2	177	334.7
28	1395.4	78	1085.5	128	640.0	178	331.0
29	1390.6	79	1077.9	129	630.2	179	327.3
30	1385.8	80	1070.3	130	620.5	180	323.7
31	1380.9	81	1062.6	131	611.1	181	320.1
32	1375.9	82	1054.9	132	601.8	182	316.6
33	1370.9	83	1047.1	133	592.8	183	313.1
34	1365.8	84	1039.3	134	584.0	184	309.7
35	1360.7	85	1031.4	135	575.4	185	306.4
36	1355.5	86	1023.5	136	567.0	186	303.1
37	1350.2	87	1015.5	137	558.7	187	299.9
38	1344.9	88	1007.4	138	550.6	188	296.7
39	1339.5	89	999.3	139	542.7	189	293.6
40	1334.0	90	991.2	140	535.0	190	290.5
41	1328.5	91	983.0	141	527.5	191	287.4
42	1323.0	92	974.8	142	520.1	192	284.5
43	1317.3	93	966.5	143	512.8	193	281.5
44	1311.6	94	958.1	144	505.7	194	278.6
45	1305.9	95	949.7	145	498.8	195	275.8
46	1300.1	96	941.2	146	492.0	196	273.0
47	1294.2	97	932.7	147	485.3	197	270.2
48	1288.3	98	924.2	148	478.7	198	267.5
49	1282.3	99	915.5	149	472.3	199	264.8
50	1276.3	100	906.9	150	466.1	200	262.2

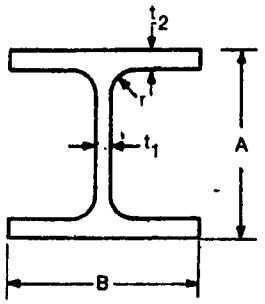
แบบจำลองของเสาในโครงข้อแข็งไม่มีการยึดรั้งด้านข้าง และแผนภาพ Alignment



แบบจำลองของเสาในโครงข้อแข็งที่ยึดรั้งด้านข้าง และแผนภาพ Alignment

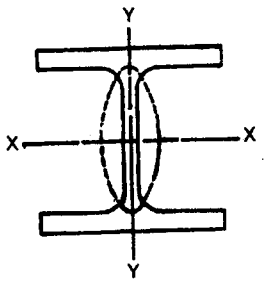


ภาคผนวก ช



ขนาด	น้ำหนัก	A	B	ความหนา		ระยะ	เนื้อที่	I_x	I_y	r_x	r_y	S_x	S_y
				t_1	t_2	r							
	กก/ม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	ซม.^{2}	ซม.^{4}	ซม.^{4}	ซม.	ซม.	ซม.^{3}	ซม.^{3}
900 × 300	286	912	302	18	34	28	364.0	498,000	15,700	37.0	6.56	10,900	1,040
	243	900	300	16	28	28	309.8	411,000	12,600	36.4	6.39	9,140	843
	213	890	299	15	23	28	270.9	345,000	10,300	35.7	6.16	7,760	688
800 × 300	241	808	302	16	30	28	307.6	339,000	13,800	33.2	6.70	8,400	915
	210	800	300	14	26	28	267.4	292,000	11,700	33.0	6.62	7,290	782
	191	792	300	14	22	28	243.4	254,000	9,930	32.3	6.39	6,410	662
700 × 300	215	708	302	15	28	28	273.6	237,000	12,900	29.4	6.86	6,700	853
	185	700	300	13	24	28	235.5	201,000	10,800	29.3	6.78	5,760	722
	166	692	300	13	20	28	211.5	172,000	9,020	28.6	6.53	4,980	602
600 × 300	175	594	302	14	23	28	222.4	137,000	10,600	24.9	6.90	4,620	701
	151	588	300	12	20	28	192.5	118,000	9,020	24.8	6.85	4,020	601
	137	582	300	12	17	28	174.5	103,000	7,670	24.3	6.63	3,530	511
600 × 200	134	612	202	13	23	22	107.7	103,000	3,180	24.6	4.31	3,380	314
	120	606	201	12	20	22	152.5	90,400	2,720	24.3	4.22	2,980	271
	106	600	200	11	17	22	134.4	77,600	2,280	24.0	4.12	2,590	228
	94.6	596	199	10	15	22	120.5	68,700	1,980	23.9	4.05	2,310	199
500 × 300	128	488	300	11	18	26	163.5	71,000	8,110	20.8	7.04	2,910	541
	114	482	300	11	15	26	145.5	60,400	6,760	20.4	6.82	2,500	451
500 × 200	103	506	201	11	19	20	131.3	56,500	2,580	20.7	4.43	2,230	257
	89.6	500	200	10	16	20	114.2	47,800	2,140	20.5	4.33	1,910	214
	79.5	496	199	9	14	20	101.3	41,900	1,840	20.3	4.27	1,690	185
450 × 300	124	440	300	11	18	24	157.4	56,100	8,110	18.9	7.18	2,550	541
	106	434	299	10	15	24	135.0	46,800	6,690	18.6	7.04	2,160	448
450 × 200	76.0	450	200	9	14	18	96.76	33,500	1,870	18.6	4.40	1,490	187
	66.2	446	199	8	12	18	84.30	28,700	1,580	18.5	4.33	1,290	159
400 × 400	605	498	432	45	70	22	770.1	298,000	94,400	19.7	11.1	12,000	4,370
	415	458	417	30	50	22	528.6	187,000	60,500	18.8	10.7	8,170	2,900
	283	428	407	20	35	22	360.7	119,000	39,400	18.2	10.4	5,570	1,930
	232	414	405	18	28	22	295.4	92,800	31,000	17.7	10.2	4,480	1,530

ภาคผนวก ซ (ต่อ)



ขนาด	น้ำหนัก	A	B	ความหนา		ระยะ	เนื้อที่	I_x	I_y	r_x	r_y	S_x	S_y
				t_1	t_2	r							
	กก/ม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	ซม.^{2}	ซม.^{4}	ซม.^{4}	ซม.	ซม.	ซม.^{3}	ซม.^{3}
400 x 400	200	406	403	16	24	22	254.9	78,000	26,200	17.5	10.1	3,840	1,300
	197	400	408	21	21	22	250.7	70,900	23,800	16.8	9.75	3,540	1,170
	172	400	400	13	21	22	218.7	66,600	22,400	17.5	10.1	3,330	1,120
	168	394	405	18	18	22	214.4	59,700	20,000	16.7	9.65	3,030	985
	147	394	398	11	18	22	186.8	56,100	18,900	17.3	10.1	2,850	951
	140	388	402	15	15	22	178.5	49,000	16,300	16.6	9.54	2,520	809
400 x 300	107	390	300	10	16	22	136.0	38,700	7,210	16.9	7.28	1,980	481
	94.3	386	299	9	14	22	120.1	33,700	6,240	16.7	7.21	1,740	418
400 x 200	66.0	400	200	8	13	16	84.12	23,700	1,740	16.8	4.54	1,190	174
	56.6	396	199	7	11	16	72.16	20,000	1,450	16.7	4.48	1,010	145
350 x 350	159	356	352	14	22	20	202.0	47,600	16,000	15.3	8.90	2,670	909
	156	350	357	19	19	20	198.4	42,800	14,400	14.7	8.53	2,450	809
	137	350	350	12	19	20	173.9	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
	131	344	354	16	16	20	166.6	35,300	11,800	14.6	8.43	2,050	669
	115	344	348	10	16	20	146.0	33,300	11,200	15.1	8.78	1,940	646
	106	338	351	13	13	20	135.3	28,200	9,380	14.4	8.33	1,670	534
350 x 250	79.7	340	250	9	14	20	101.5	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
	69.2	336	249	8	12	20	88.15	18,500	3,090	14.5	5.92	1,100	248
350 x 175	49.6	350	175	7	11	14	63.14	13,600	984	14.7	3.95	775	112
	41.4	346	174	6	9	14	52.68	11,100	792	14.5	3.86	641	91.0
300 x 300	106	304	301	11	17	18	134.8	23,400	7,730	13.2	7.57	1,540	514
	106	300	305	15	15	18	134.8	21,500	7,100	12.6	7.26	1,440	466
	94.0	300	300	10	15	18	119.8	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450
	87.0	298	299	9	14	18	110.8	18,800	6,240	13.0	7.51	1,270	417
	84.5	294	302	12	12	18	107.7	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
300 x 200	65.4	298	201	9	14	18	83.36	13,300	1,900	12.6	4.77	893	189
	56.8	294	200	8	12	18	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
300 x 150	36.7	300	150	6.5	9	13	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	67.7
	32.0	298	149	5.5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	6,320	442	12.4	3.29	424	59.3

ขั้นตอนในการออกแบบคาน

4. คำนวณหน่วยแรงดัดที่ยอมให้

4.1 ตรวจสอบการค้ำยัน (l) เป็นการผลการโก่งเดาะทางด้านข้าง

$$l_1 = \frac{637.2 b_f}{\sqrt{F_y}} \qquad l_2 = \frac{1.406\times10^6}{\left(\frac{d}{A_f}\right)F_y} \qquad \text{และ} \qquad l_3 = \sqrt{\frac{7.17\times10^6}{F_y}}\, r_T$$

โดยที่ $A_f = b_f t_f \qquad A_w = (d - 2t_f)t_w \qquad r_T = \sqrt{\frac{I_y/2}{\left(A_f + \frac{A_w}{6}\right)}}$

กำหนดให้ค่าต่ำสุด และสูงสุดดังนี้

$$l_c = l_{\min} \quad \text{และ} \quad l_u = l_{\max}$$

ในกรณี $l < l_c \qquad F_b = 0.66 F_y$

ในกรณี $l_c < l < l_u \qquad F_b = 0.60 F_y$

ในกรณี $l > l_u$ แยกพิจารณาได้ดังนี้

ก. $\sqrt{\frac{7.17\times10^6 C_b}{F_y}} < \frac{l}{r_T} < \sqrt{\frac{35.85\times10^6 C_b}{F_y}}$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (l/r_T)^2}{107.56\times10^6 C_b}\right] F_y$$

$$F_b = \frac{843.6\times10^3 C_b}{l d/A_f}$$

เลือกค่าสูงสุดแต่ต้องไม่เกิน $0.60 F_y$

ข. $\frac{l}{r_T} > \sqrt{\frac{35.85\times10^6 C_b}{F_y}}$

$$F_b = \frac{11.95\times10^6 C_b}{(l/r_T)^2}$$

$$F_b = \frac{843.6\times10^3 C_b}{l d/A_f}$$

เลือกค่าสูงสุดแต่ต้องไม่เกิน $0.60 F_y$

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 < 2.3$$

โดยที่ $\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$ มีค่าเป็นบวกเมื่อ M_1 และ M_2 มีเครื่องหมายเหมือนกัน (Double curve)

4 2 ตรวจสอบการโก่งเดาะ (Local Buckling) **เป็นการพิจารณาการโก่งเดาะเฉพาะที่**
(ไม่ต้องพิจารณาการโก่งเดาะเฉพาะที่ในกรณีที่เลือกเหล็กจากตารางเหล็ก)

ก. ตรวจสอบเอว (Web)

$\frac{d}{t_w} < \frac{5366}{\sqrt{F_y}}$ **ตรวจสอบการโก่งเดาะของปีกต่อไป**

$\frac{d}{t_w} > \frac{5366}{\sqrt{F_y}}$ **ต้องปรับแต่งหน้าตัดใหม่ (ยังไม่ได้ศึกษาละเอียดในส่วนนี้)**

ข. ตรวจสอบปีก (Flange)

Compact section $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{545}{\sqrt{F_y}}$

$$F_b = 0.66F_y$$

Noncompact section $\frac{545}{\sqrt{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f} < \frac{796}{\sqrt{F_y}}$

$$F_b = F_y\left(0.79 - 0.000238\frac{b_f}{2t_f}\sqrt{F_y}\right)$$

Thin section $\frac{796}{\sqrt{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f}$

$$F_b = 0.6F_yQ_s$$

โดยที่ $\frac{796}{\sqrt{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f} < \frac{1476}{\sqrt{F_y}}$ **จะได้** $Q_s = 1.415 - 0.000521\frac{b_f}{2t_f}\sqrt{F_y}$

$\frac{1476}{\sqrt{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f}$ **จะได้** $Q_s = \frac{1.406\times10^6}{F_y\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2}$

$C_m = 1.00$ **กรณีปลายแบบหมุด**

Case 2 **มีการเคลื่อนที่ๆ ปลายชิ้นส่วน** (Sway)

$C_m = 0.85$ **กรณีปลายยึดแน่นและแบบหมุด**

ขั้นตอนในการออกแบบคาน-เสาเหล็ก (WF)

1. กรณี $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$ ถือว่าแรงแนวแกนมีค่าน้อย แรงแนวแกนไม่มีผลต่อโมเมนต์ จะได้สมการหน่วยแรงที่ยอมให้คือ

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_b}{F_b} \leq 1.0$$

2. กรณี $\frac{f_a}{F_a} \geq 0.15$ ถือว่าแรงแนวแกนมีผลต่อโมเมนต์ จะได้สมการหน่วยแรงที่ยอมให้แบ่งได้เป็น 2 กรณีตามลักษณะการเกิดโมเมนต์คือ

กรณีที่ 1 โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ปลายชิ้นส่วน

$$\frac{f_a}{0.6F_y}+\frac{f_b}{F_b} \leq 1.0$$

กรณีที่ 2 โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_b}{F_b}\frac{C_m}{1-\frac{f_a}{F_e^{/}}} \leq 1.0$$

โดยที่ F_a คือ Allowable axial stress

F_b คือ Allowable bending stress

$F_e^{/}$ คือ Allowable euler stress $= \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}\frac{12}{23}$

C_m คือ Coefficient factor ที่ขึ้นอยู่การเคลื่อนที่ของ joint และลักษณะการเกิดโมเมนต์

สำหรับชิ้นส่วนที่อยู่เป็นส่วนหนึ่งของโครงข้อแข็ง ค่า C_m สรุปได้ดังนี้

Case 1 ไม่มีการเคลื่อนที่ๆ ปลายชิ้นส่วน (No-sway)

มีเฉพาะโมเมนต์กระทำที่ปลาย

$$C_m = 0.6+0.4\frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

$\frac{M_1}{M_2}$ เป็นบวก เมื่อทำชิ้นส่วนดัดเป็นโค้งเดี่ยว

มีแรงทางขวางกระทำอยู่ภายในชิ้นส่วน

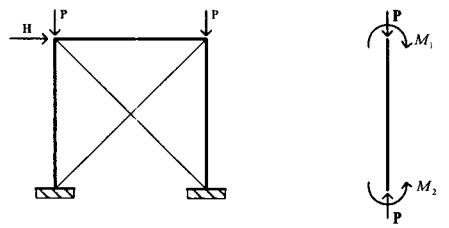
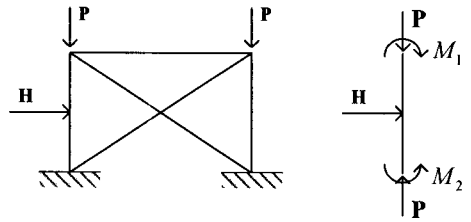
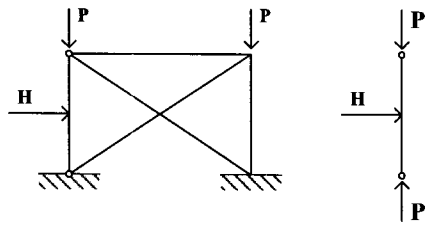
$C_m = 0.85$ กรณีปลายยึดแน่น

$C_m = 1.00$ กรณีปลายแบบหมุด

Case 2 มีการเคลื่อนที่ๆ ปลายชิ้นส่วน (Sway)

$C_m = 0.85$ กรณีปลายยึดแน่นและแบบหมุด

ตารางสรุปค่า C_m ของชิ้นส่วนในโครงข้อแข็งที่ไม่มีการเคลื่อนที่ๆ ปลายชิ้นส่วน

	$C_m = 0.6 + 0.4\frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$
	$C_m = 0.85$ **กรณีปลายยึดแน่น**
	$C_m = 1.00$ **กรณีปลายแบบหมุด**