

การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง (Tension Member Design)

2



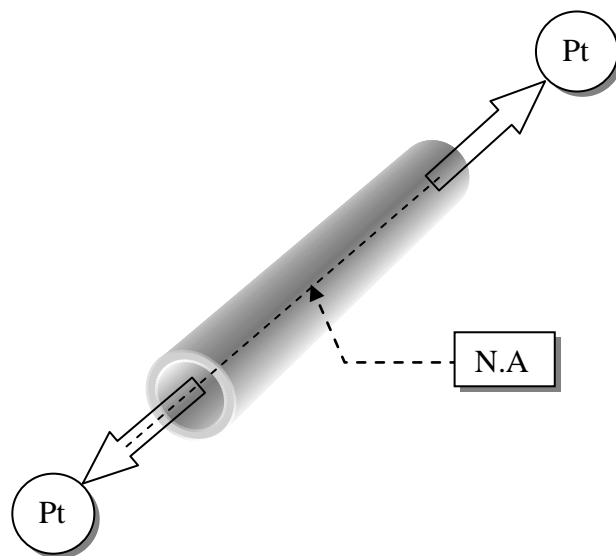
ในบทนี้จะได้เรียนรู้ว่า.....

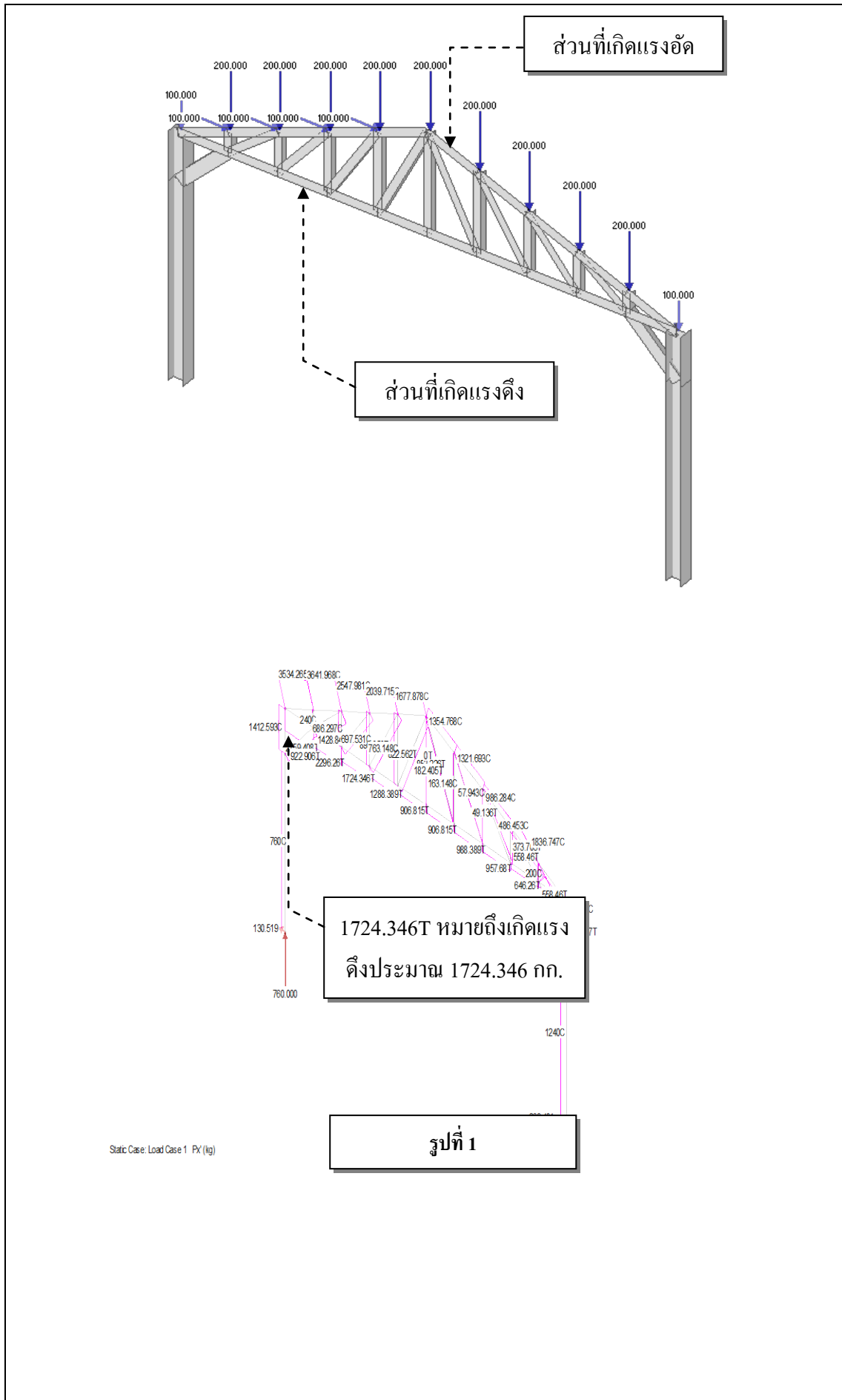
ข้อเสนอแนะในการอ่านและทำความเข้าใจ

ป ควรอ่านและทำความเข้าใจกรอบของเนื้อหาทั้งหมดคร่าวๆ เสียก่อน โดยการอ่านที่ ส่วนของบทนำก่อน จากนั้น ให้ไปทำความเข้าใจขั้นตอนของการออกแบบ (ทั้งการออกแบบอย่าง ง่ายและการออกแบบโดยละเอียด)จากแผนภาพ และเมื่อเข้าใจกรอบของการออกแบบอย่างกว้างๆ เข้าใจแล้ว จากนั้นหากต้องการรู้และทำความเข้าใจในรายละเอียดที่มากขึ้น จึงย้อนกลับไปอ่านใน รายละเอียดของแต่ละหัวข้อตั้งแต่ต้นจนจบ และต้องไม่ลืมที่จะอ่านหัวข้อความรู้เสริมและ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ซึ่งจะเป็นการแนะนำเบื้องต้นในบางเรื่องปลีกย่อยที่ลึกขึ้น เพื่อว่าหากมีความ สนใจจะได้สามารถไปค้นคว้าเพิ่มเติมได้

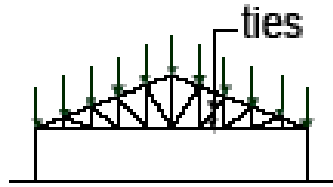
ความหมายขององค์อาคารรับแรงดึง

องค์อาคารรับแรง โดยทั่วไปหมายถึง

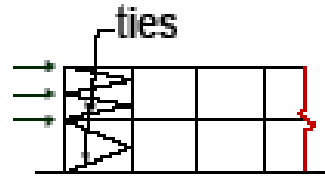




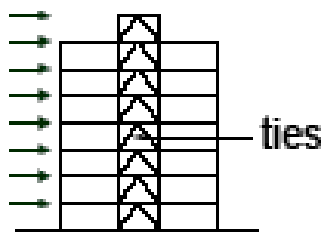
การใช้ข้ออาคารรับแรงดึงในโครงสร้าง



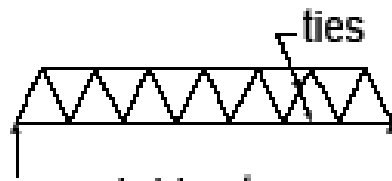
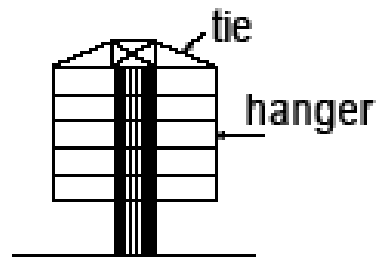
roof truss



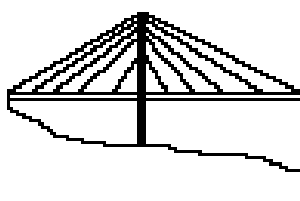
bracing system



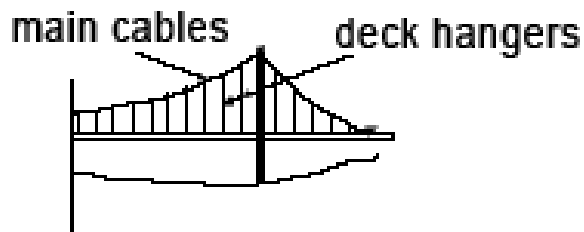
buildings



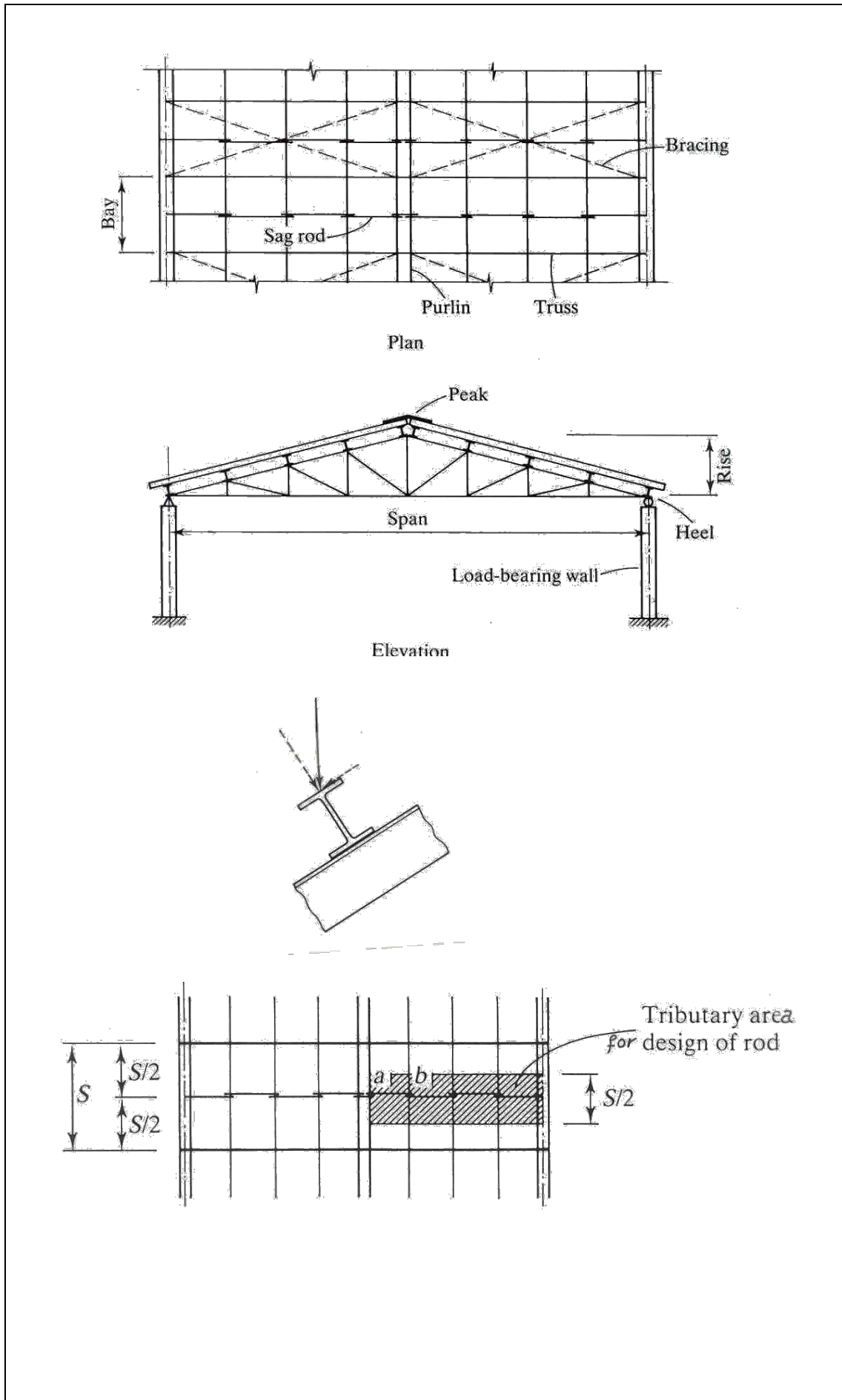
bridge truss

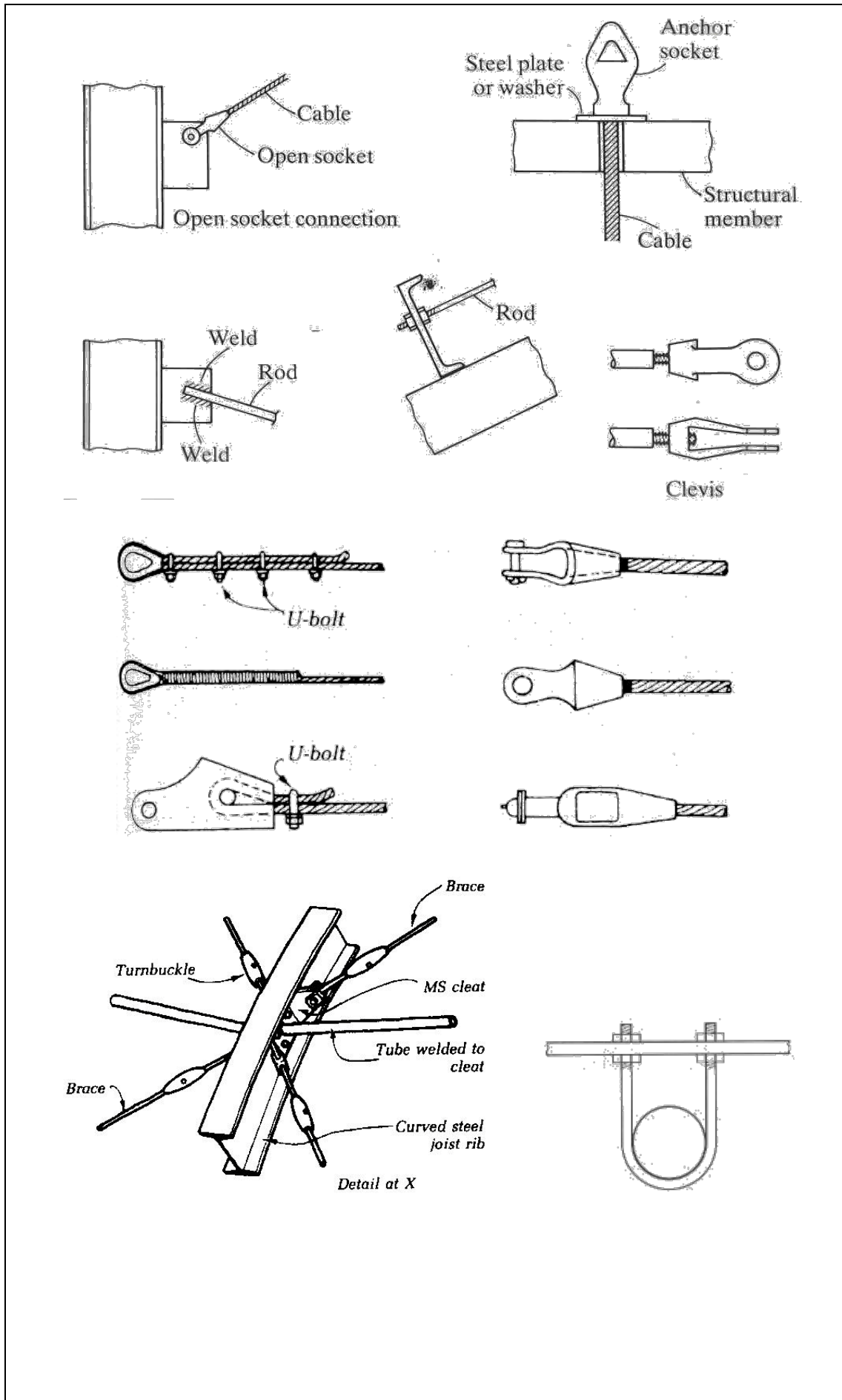


cable stay bridge



suspension bridge





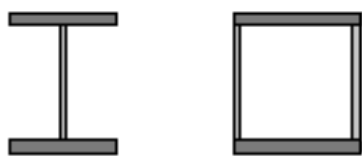
รูปร่างหน้าตัดที่นิยมใช้ในการออกแบบ



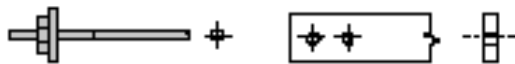
rolled shapes



composite shapes



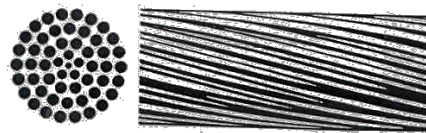
welded shapes



rods, bars



cables



Strand



Wire rope

ข้อแนะนำเบื้องต้นก่อนการออกแบบ

- องค์อาคารรับแรงดึง เป็นได้ทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้างหลัก (Primary structure) และโครงสร้างรอง (Secondary structure) รวมถึงระบบค้ำยัน (Bracing system)
- การออกแบบในเบื้องต้นให้ใช้ r_{min} เป็นตัวควบคุมการออกแบบ (ไม่ใช่ใช้พื้นที่หน้าตัดเป็นตัวควบคุมการออกแบบแต่อย่างใด คั้งที่เคยเข้าใจมาก่อน) ซึ่งค่า r_{min} ดังกล่าวหาได้จากค่ารัศมีจอยรัศมีที่น้อยที่สุดของแต่ละขนาดที่เลือกใช้ เช่น ในกรณีของเหล็กฉากซึ่งในแต่ละขนาดจะมีรัศมีจอยรัศมี 3 ค่า ก็ให้เลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุด มาออกแบบ
- ลักษณะของการต่อและการจัดวางองค์อาคาร - รอยเชื่อม - น็อต ที่ปลาย มีผลโดยตรงต่อการออกแบบ (ในที่นี้คือพื้นที่หน้าตัด)
- หน้าตัดเหล็กที่นิยมใช้ (เหล็กฉากทั้งจากเดี่ยวนและฉากคู่ , เหล็กท่อกลม , เหล็กกล่อง , เหล็กตัวซี) และหากเป็นไปได้ควรใช้รูปร่างที่มีความสมมาตรและเป็นหน้าตัดปิด เช่น เหล็กท่อกลม เหล็กกล่อง เหล่านี้เป็นต้น
- การอ่านตารางเหล็ก เมื่อตัดสินใจแล้วว่าจะเลือกใช้เหล็กรูปร่างอะไร ต่อจากนั้นก็ให้เปิดตารางเหล็กดังกล่าวโดยให้ไปอ่านที่ช่องของ r_{min} เป็นหลักก่อนเสมอ (เช่น ตามมาตรฐานใช้ค่า $kL/r_{min} = 240$ สำหรับโครงสร้างหลัก ดังนั้น $r_{min} = kL/240$) เมื่อค่าดังกล่าวที่อ่านได้ผ่านตามมาตรฐานแล้ว ต่อจากนั้นจึงไปอ่านที่ช่องของพื้นที่หน้าตัดเหล็ก แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นหากเป็นไปได้ควรใช้ทั้ง r_{min} และพื้นที่หน้าตัดเป็นตัวควบคุมการออกแบบไปพร้อมๆกัน
- ข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ เป็นกรอบของความปลอดภัยที่สร้างจากข้อมูลทางสถิติที่รวบรวมจากทั้งในการทดลองและในทางปฏิบัติ
- กฎของ Thump สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้นได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยเราสามารถที่จะทราบขนาดเริ่มแรกขององค์อาคารที่จะออกแบบอย่างคร่าวๆได้จาก อัตราส่วนของช่วงยาว (L) ต่อความลึก (ds) ของหน้าตัดขององค์อาคาร ดังแสดงในตาราง

ตารางที่

Structural Depths		
System	L/ds	Span Range(ft.)
Steel Beam	20 to 28	0 to 75
Steel Joist	20	8 to 144
Floor Member	20	
Roof Member	20	
Plate Girder	15	
Joist Girder	12	
Steel Truss	12	
Space Frame	12 to 20	80 to 300

พื้นที่ที่ขอลกปิดบางส่วน
อ.เสริมพันธ์

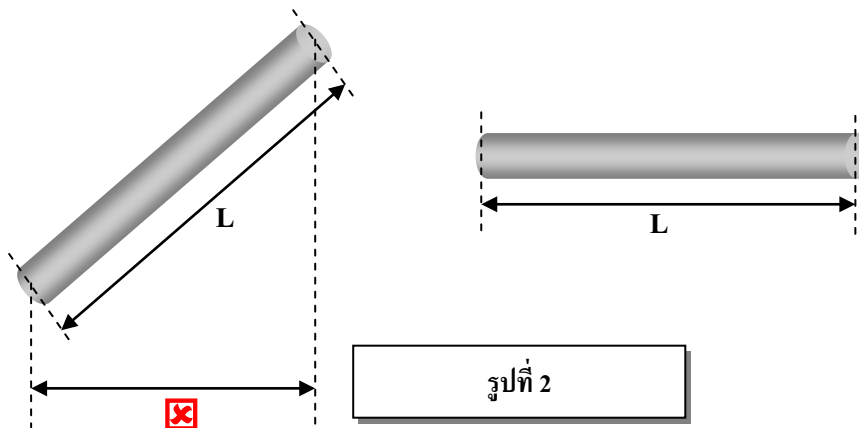
หมายเหตุ

- L = ความยาว , มีหน่วยเป็น ฟุต หรือ เมตร
- ds = ความลึก , มีหน่วยเป็น ฟุต หรือ เมตร
- beam = คานรอง
- girder = คานหลัก

ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

1.ความยาว(L) มีหน่วยเป็นเมตร(m)

ในที่นี้หมายถึงความยาว ตามแนวแกนขององค์อาคาร ซึ่งวัดตามระบบแนวแกนเฉพาะ(Local axis) ไม่ใช่ความยาวที่วัดตามแนวราบ (ยกเว้นในกรณีขององค์อาคารซึ่งวางตัวอยู่ในแนวราบ)



รูปที่ 2

2.แรงดึงที่ได้จากผลการวิเคราะห์(Pt) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม(kg)

ที่ผ่านๆมาแรงดึงกล่าว จะเป็นโจทย์ตุ๊กตาที่ได้มีการกำหนดค่ามาให้เรียบร้อยแล้ว แต่ในที่นี้แรงดึงกล่าวหาได้โดยการทำการจำลองโครงสร้างจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ความรู้ที่ผ่านมานั้น เช่น วิชาทฤษฎีโครงสร้าง วิชาการวิเคราะห์โครงสร้าง

โดยปกติทั่วไปแล้วในการวิเคราะห์โครงสร้างดังกล่าว จะเป็นกรณีการจะพิจารณาโครงสร้างในระนาบหรือสามมิติ (2D or 3D analysis) ซึ่งมีการยึดโยงกันไว้โดยมีการยึดโยงกันตามแนวเส้นตัวได้ สำหรับกรณีโครงสร้างโครงสร้างแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาความยาวของโครงสร้าง หรือโครงสร้างที่มีการยึดโยงกันได้ง่าย และบางครั้งก็มีการพิจารณาออกนอกการกระทำ การวิเคราะห์โครงสร้างในกรณีดังกล่าวจะต้องทำการพิจารณาเป็นกรณีไปกรณีศึกษา (see next order analysis)

พื้นที่ที่ขอปิดบางส่วน

อ.เสริมพันธ์

ในที่นี้ $A_s = A_n = A_g$ คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กประกอบต่อ

$A_n = A_g$ คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กประกอบต่อ

$A_s = A_n = A_g$ คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กประกอบต่อ

$P_t = A_s \cdot F_u$ คือค่าแรงดึงที่รับได้ (Reduction factor)

$P_t = A_s \cdot F_u$ คือค่าแรงดึงที่รับได้ (Reduction factor)

$P_t = A_s \cdot F_u$ คือค่าแรงดึงที่รับได้ (Reduction factor)

กรณีการต่อเชื่อมด้วยน๊อต มาตรฐานของ ว.ส.ท. ระบุให้ใช้พื้นที่หน้าตัดสุทธิได้ไม่เกิน 85% ของพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการรับแรงดึงขององค์อาคารรับแรงดึง จะลดลงอยู่ในช่วงเฉลี่ยประมาณ 15% ของความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุด โดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของรูเจาะ ดังนี้ $A_n \leq 0.85A_g$

กรณีต่อด้วยการเชื่อม $A_s = A_n = A_g$

ดังนั้น $A_s(\text{หรือ} A_e) = U A_n = U A_g$

Gusset plate

พื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยต่อ

รอยเชื่อม

รูปที่ ๖

พื้นที่ที่ขอกปิดบางส่วน

กรณีต่อด้วยนอต $A_s = A_n = A_g - A_{hole}$

ค้ำยัน $A_s(\text{หรือ} A_e) = U A_e (\sum (s/d) - \sum (\text{พื้นที่รูเจาะ}))$

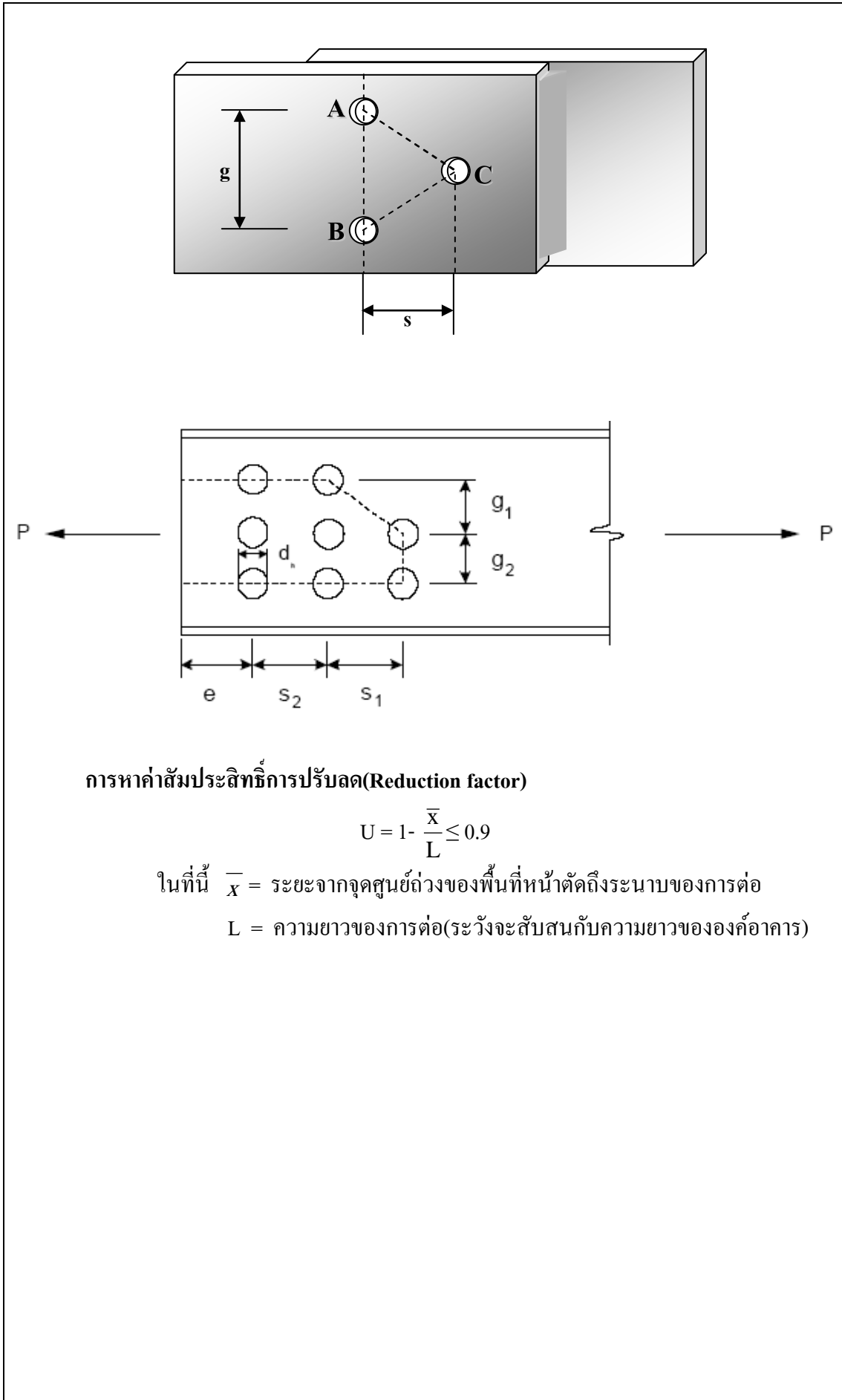
อ.เสริมพื้นที่

Gusset plate

พื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยต่อ

ต่อด้วยนอต

รูปที่ 4



การหาค่าสัมประสิทธิ์การปรับลด(Reduction factor)

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0.9$$

ในที่นี้ \bar{x} = ระยะจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดถึงระนาบของการต่อ

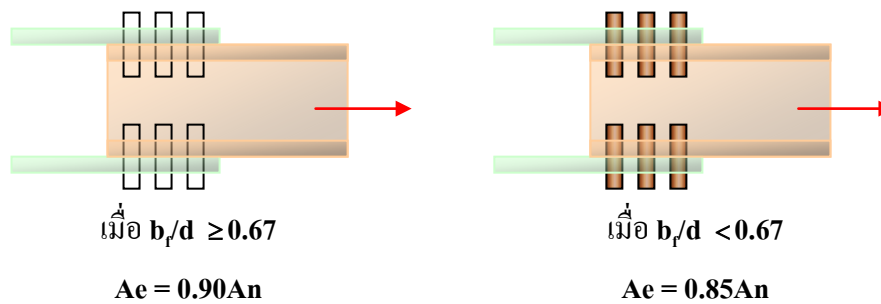
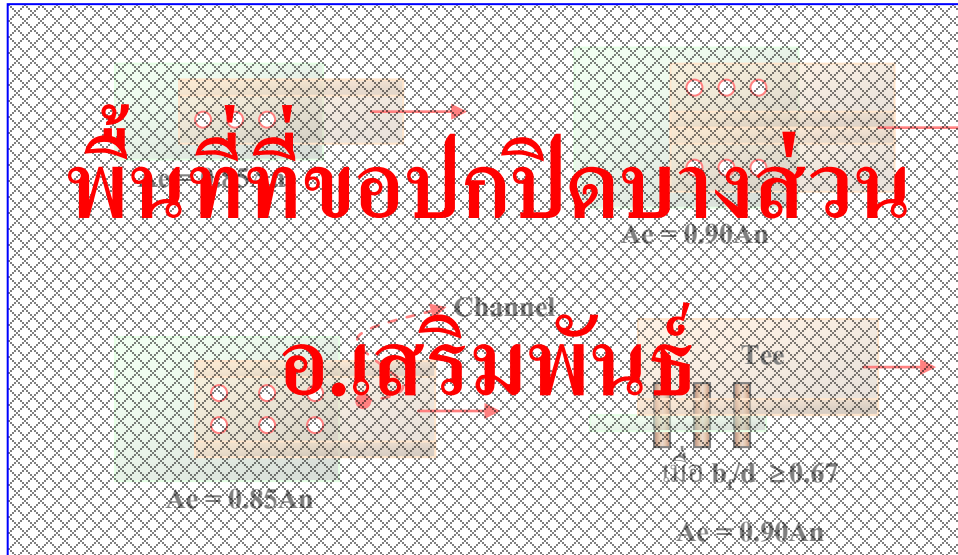
L = ความยาวของการต่อ(ระวางจะสัมพันธ์กับความยาวขององค์อาคาร)

พื้นที่ที่ขอปิดบางส่วน
อ.เสริมพื้นที่

รูปที่ แสดงสัญลักษณ์สำหรับหาค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่

ตารางที่ แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่(Area reduction factor)เมื่อต่อด้วยน็อต

ชนิดของชิ้นส่วน(Type of members)	จำนวนต่ำสุดต่อแถวของสลักเกลียวหรือตัวยึด(Minimum fasteners per line)	พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ(Ae)
1.ชิ้นส่วนที่ต่อเพื่อถ่ายแรงเต็มหรือตลอดหน้าตัด	1	A_n
2.ต่อชิ้นส่วนถ่ายแรงโดยผ่าน gusset plates สั้นๆ	1	$\text{Min}(A_n, 0.85A_g)$
3.หน้าตัดรูป W,M,S ที่ถ่ายแรงโดยการต่อผ่านเฉพาะบริเวณปีก บน- ล่าง ถ้า $b_p/d \geq 0.67$	3	$0.90A_n$
4.หน้าตัดรูป W,M,S ที่ถ่ายแรงโดยการต่อผ่านเฉพาะบริเวณปีก บน- ล่าง ถ้า $b_p/d < 0.67$ รวมถึงหน้าตัดอื่นๆนอกเหนือจาก W,M,S	3	$0.85A_n$
5.เหล็กโครงสร้างรูปตัว Tees ที่ได้จากการตัดเหล็กหน้าตัดรูป W,M,S	3	$0.90A_n$
6.สำหรับเหล็กทุกรูปปร่างหน้าตัด(All shapes)	2	$0.75A_n$



รูปที่ แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่ (Area reduction factor) เมื่อต่อด้วยนี้

ตารางที่ แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่(Area reduction factor)เมื่อต่อด้วยการเชื่อม		
ชนิดของชิ้นส่วน(Type of members)	ลักษณะการวางตัวของรอยเชื่อม	พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ(A_e)
1. หน้าตัดรูป W,M,S,Tees	ความยาวรอยเชื่อม(L)ตั้งฉากกับแนวแรงที่ส่งถ่ายเท่านั้น	พื้นที่ที่ต่อเชื่อม
2. เหล็กท่อนและเหล็กแผ่น	ขนานกับแนวแรงที่ส่งถ่าย โดยความยาวรอยเชื่อม (L)เท่ากับ 1-1.5 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม(W)	$0.75A_n$
	ขนานกับแนวแรงที่ส่งถ่าย โดยความยาวรอยเชื่อม (L)เท่ากับ 1.5-2 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม(W)	$0.87A_n$
	ขนานกับแนวแรงที่ส่งถ่าย โดยความยาวรอยเชื่อม (L)ยาวเกินกว่า 2 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม(W)	A_n

รูปที่ แสดงสัญลักษณ์สำหรับหาค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่ (Area reduction factor)เมื่อต่อด้วยการเชื่อม

4.คุณสมบัติของเหล็กและตารางเหล็กที่ใช้ออกแบบ

คุณสมบัติของเหล็ก ที่ต้องการทราบคือค่ากำลังรับแรงดึงที่จุด คลาก(F_y) และกำลังรับแรงที่จุดประลัย(F_u) เช่น

- ASTM A36 $F_y = 2,500(F_u = 4,100)$ กก./ตร.ซม.
- JIS SS400 $F_y = 2,400(F_u = 4,100)$ กก./ตร.ซม.
- TIS Fe24 $F_y = 2,400(F_u = 4,100)$ กก./ตร.ซม.

ตารางเหล็ก ที่ต้องการทราบคือ ขนาดและรูปร่าง(C, L,O,I,W) พื้นที่หน้าตัด(A) รัศมีไจเรชั่น(r_{min}) น้ำหนัก(w) เช่น Pipe $\varnothing 42.70 \times 2.30$ mm.($A = 2.919$ ตร.ซม. , $W = 2.290$ กก./ม. , $r_{min} = 1.430$ ซม.)

ตารางเหล็กที่กลม(เหล็กกลม)							
ลำดับที่	Out. Dai. (mm.)	ความหนา(t) (mm.)	น้ำหนัก(W) (kg./m.)	พื้นที่(A) (cm. ²)	I (cm. ⁴)	Z, S (cm. ³)	r (cm.)
1	21.70	2.00	0.972	1.238	0.607	0.560	0.700
2	27.20	2.00	1.240	1.583	1.280	0.930	0.890
3	27.20	2.30	1.410	1.799	1.410	1.030	0.880
4	34.00	2.30	1.800	2.291	2.890	1.700	1.120
5	42.70	2.30	2.290	2.919	5.970	2.800	1.430
6	42.70	2.80	2.780	3.510	7.020	3.290	1.410
7	48.60	2.30	2.630	3.345	8.990	3.700	1.640
8	48.60	2.80	3.160	4.029	10.600	4.360	1.620
9	48.60	3.20	3.580	4.564	11.800	4.860	1.610
10	60.50	2.30	3.300	4.205	17.800	5.900	2.060

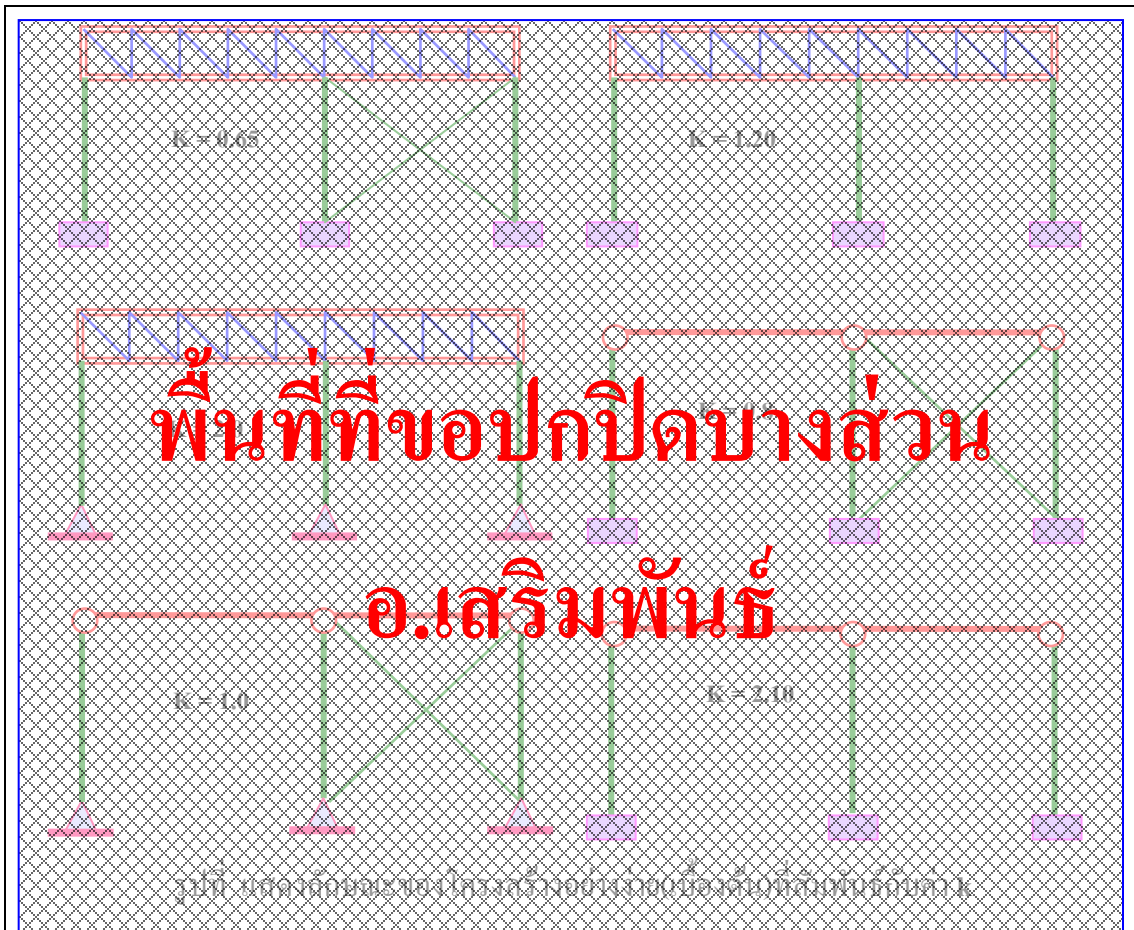
5.ข้อกำหนดสำหรับควบคุมการออกแบบ(ตามมาตรฐาน วสท.)

- หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $f_t = 0.60F_y$ กก./ตร.ซม. สำหรับกรณีพิจารณาที่พิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมด(Gross area)
- หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $f_t = 0.50F_u$ กก./ตร.ซม. สำหรับกรณีพิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล(Effective net area)
- อัตราส่วนชะลูด $kL/r_{min} = 300$ สำหรับโครงสร้างรองและระบบค้ำยัน(กรณีองค์อาคารรับแรงดึงใช้ค่า $k = 1$)

- อัตราส่วนชะลูด $kL/r_{min} = 240$ สำหรับโครงสร้างหลัก (กรณีองค์อาคารรับแรงดึงใช้ค่า $k = 1$)
(สำหรับ Build-up section ค่า r คมีใจเรชั้นสามารถหาได้จาก $r_{min} = \sqrt{I_{min}/A}$)

ตารางที่ แสดงค่า k ตามลักษณะเงื่อนไขของจุดรองรับของชิ้นส่วน(จุดต่อ)

ลักษณะการโค้งงอของเสาแสดงโดยเส้นประ	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
ค่า k (ทางทฤษฎี)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า k (ทางออกแบบ)	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
สัญลักษณ์ของการยึดปลาย		การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		
		มี		มี		



ตารางที่ แสดงค่า k ตามลักษณะเงื่อนไขของจุดรองรับของชิ้นส่วน(จุดต่อ)

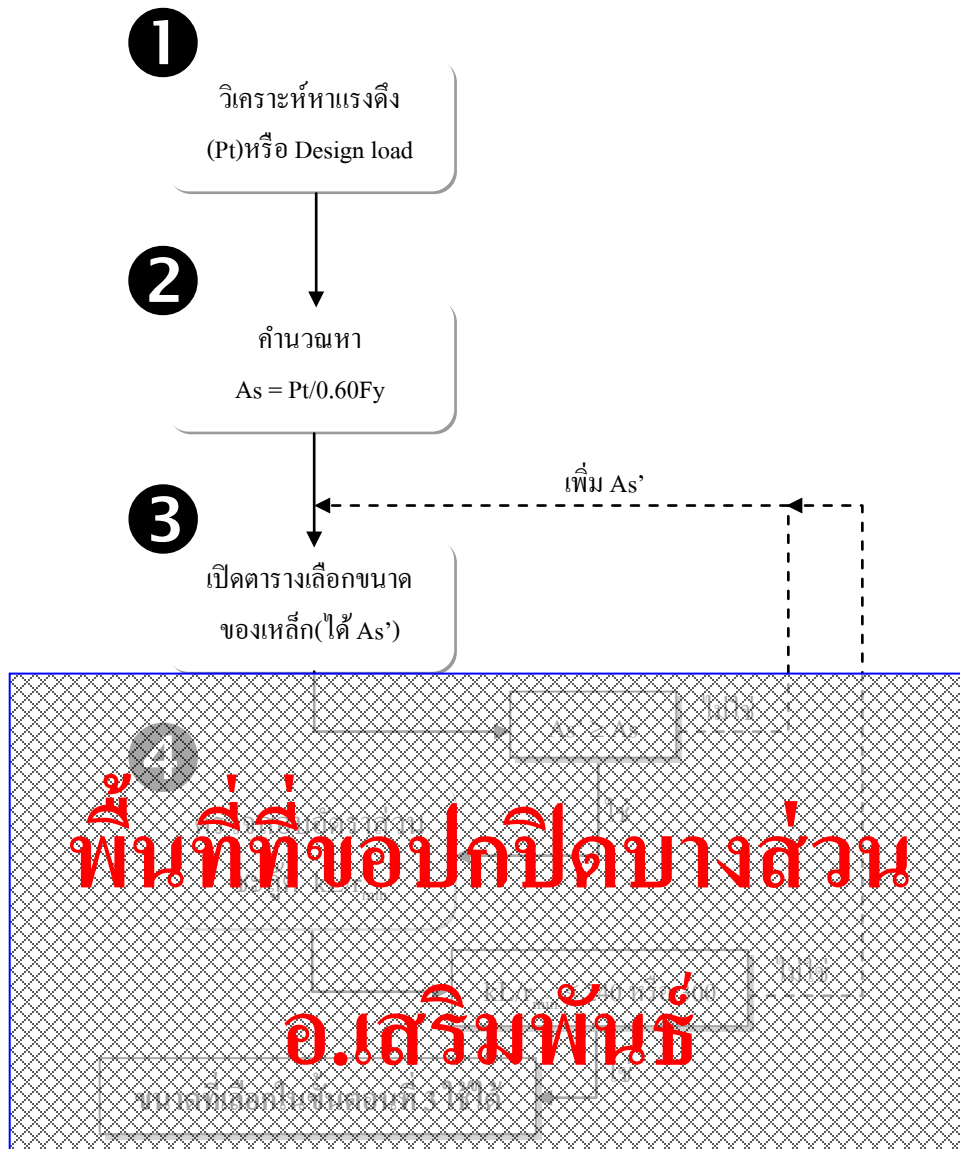
		ลักษณะการจับยึดด้านบน		
		บานพับ(Hinge)	ยึดแน่น(Fix)	ฟรี(Free)
ลักษณะการ จับยึด ด้านล่าง	บานพับ(Hinge)	1.0	0.8	ไม่มีเสถียรภาพ
	ยึดแน่น(Fix)	0.8	0.65	2.10
	ฟรี(Free)	ไม่มีเสถียรภาพ	2.10	ไม่มีเสถียรภาพ

ขั้นตอนของการออกแบบ

การออกแบบเบื้องต้น(การออกแบบอย่างง่าย)

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหมายความถึงเฉพาะ องค์อาคารรับแรงดึงที่ต่อกันที่ปลายด้วย การเชื่อมเท่านั้น(ซึ่งมักนิยมใช้คำนวณด้วยมือเพื่อยืนยันขออนุญาต) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นหมายความว่าเราได้ทำการวิเคราะห์หาแรงดึงมาก่อนแล้ว(หรือเรียกอีกอย่างว่า Design load)

1. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กที่ต้องการจาก $A_s = Pt/0.60F_y$, ตร.ซม.
2. นำ A_s ที่ได้ไปเปิดตารางเหล็กและเลือกขนาดเหล็ก โดย A_s ที่เลือกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ A_s ที่ได้จากการคำนวณ(สมมุติว่าเป็น A_s')
3. ตรวจสอบอัตราส่วนชะงู๊ด kL/r_{min} (ใช้ $k = 1.00$) ซึ่งต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 240 และ/หรือ 300 แล้วแต่ความสำคัญขององค์อาคาร



 การออกแบบอย่างละเอียด

1. คำนวณหาหน่วยแรงดึงที่ยอมให้(เพื่อความปลอดภัยให้ใช้ค่าต่ำสุดไปออกแบบ)ได้จาก
 - $f_t = 0.60F_y$ (F_y = หน่วยแรงดึงที่จุดคานงัด , กก./ตร.ซม.) เมื่อพิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมด(Gross area)
 - $f_t = 0.50F_u$ (F_u = หน่วยแรงดึงประลัย , กก./ตร.ซม.) เมื่อพิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล(Effective net area)

(ในการออกแบบให้เลือกใช้ค่าต่ำสุดไปใช้ในการหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กที่ต้องการ)

 - กรณีของ pin hole เช่น eye-bare , built up member ให้ใช้ $f_t = 0.45F_y$
2. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กที่ต้องการจาก $A_s = P_t/f_t$, ตร.ซม.
 กรณีต่อด้วยการเชื่อม จาก $A_s = U A_g$ ดังนั้น $A_s = P_t/(U f_t)$
 กรณีต่อดัวยน๊อต จาก $A_s = U(A_g - A_{hole})$ ดังนั้น $A_s = P_t/(U f_t) + A_{hole}$
3. นำ A_s ที่ได้ไปเปิดตารางเหล็กและเลือกขนาดเหล็ก โดย A_s ที่เลือกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ A_s ที่ได้จากการคำนวณ
4. ตรวจสอบอัตราส่วนชะงุ้ม kL/r_{min} (ใช้ $k = 1.00$) ซึ่งต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 240 และ/หรือ 300 แล้วแต่ความสำคัญขององค์อาคาร

แบบรายการคำนวณเพื่อยื่นขออนุญาต

1

วิเคราะห์หาแรงดึง
(Pt) หรือ Design load

2

เลือกใช้ค่าต่ำสุด

ค่าของ A_n

$A_n = P_n$

$\phi = 0.65F_u$

$\phi = 0.50F_u$

3

เปิดตารางเลือกขนาด
ของเหล็กได้ A_n

พื้นที่ที่ขอเปิดบางส่วน

หา A_n ของอัตราส่วน

อ.เสริมพื้นที่

$A_n \geq A_g$ หรือ 300

ขนาดที่เลือกในตารางที่ 1 ได้

ความรู้เสริมและข้อแนะนำเพิ่มเติม

📖 ในสภาพความเป็นจริงแล้วจะไม่มีแรงเพียงแรงเดียวๆเท่านั้น ที่กระทำต่อองค์อาคาร นั้นหมายความว่า องค์อาคาร ต่างๆมักจะ รับแรงแบบผสม เสมอ โดยในที่นี้ หมายถึงองค์อาคารที่รับแรงดึง(Pt)ร่วมกับโมเมนต์คด(Mb) ดังนั้นในขั้นตอนของการออกแบบจะต้องมีการตรวจสอบ หน่วยแรงในลักษณะของหน่วยแรงผสม (Combine stress)ทั้งหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงคด ดังนี้

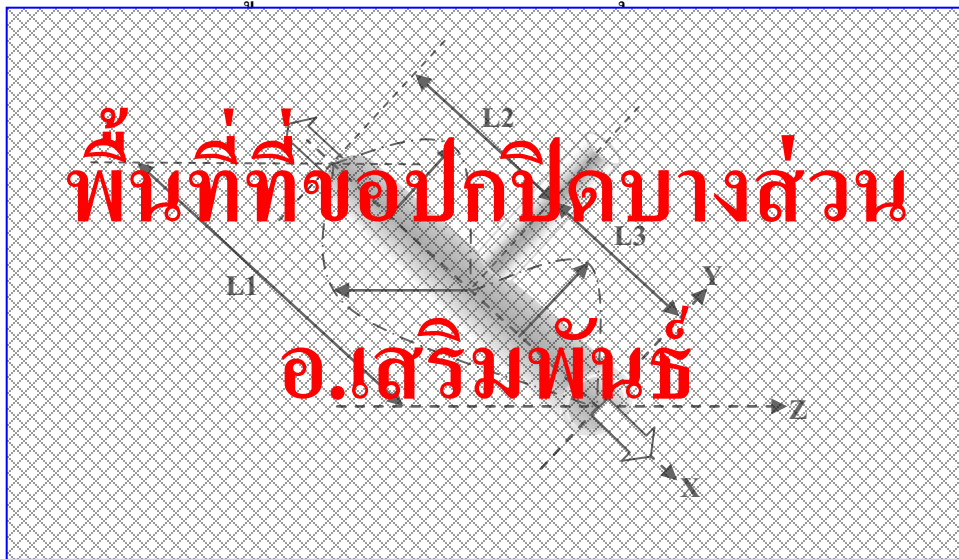
$$\frac{\text{หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น}(F_t)}{\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้}(f_t)} + \frac{\text{หน่วยแรงคดที่เกิดขึ้น}(F_b)}{\text{หน่วยแรงคดที่ยอมให้}(f_b)} \leq 1.00$$

พื้นที่ที่ขอปิดบางส่วน

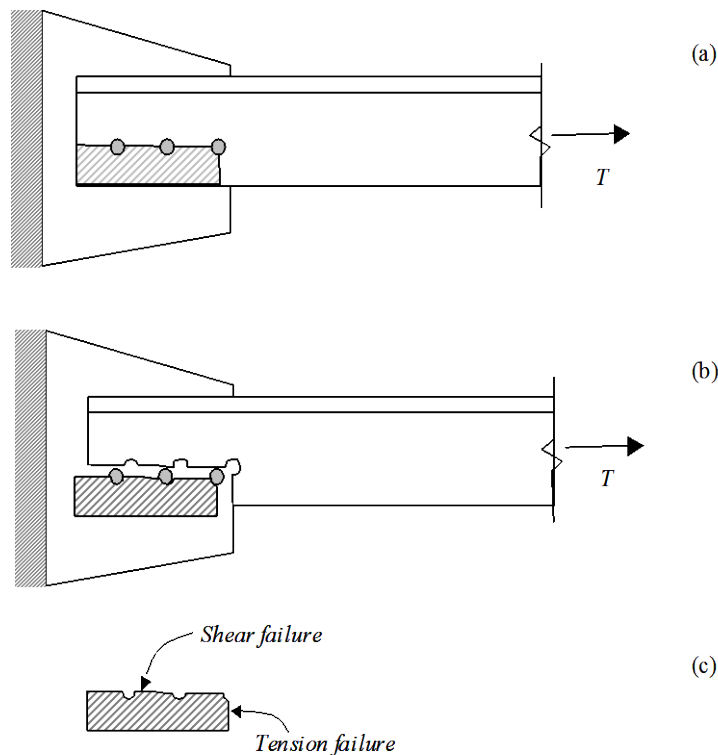
วิเคราะห์หาโมเมนต์ โดยการจำลองให้เป็น


📖 พิจารณาในเรื่องของ ความยาว(L)ขององค์อาคารรับแรงดึง ที่จะใช้ในกรออกแบบ ในทางปฏิบัติโครงสร้างจะเป็นแบบผสมกันระหว่างรับแรงดึง และรับแรงคด นั้นหมายความว่าระบบ แกนและควรวัดขึ้น มีผลต่อการพิจารณาความยาว คำนวณความยาว (ตามแนวแกนซึ่ง สามารถหักท้องขึ้น เนื่องจากน้ำหนักตัวเองของอาคารเอง) ดังกล่าวควรพิจารณาทั้งใน แนวแกนหลักและในแนวแกนรอง ดังแสดงในรูป

จากรูป ความยาวที่จะใช้ในการควบคุมการออกแบบคือ L1



การวิบัติขององค์อาคารรับแรงดึงที่บริเวณรอยต่อ นอกเหนือจากการวิบัติที่อาจจะเกิดที่บริเวณของพื้นที่หน้าตัดรวมและบริเวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลแล้ว ยังอาจวิบัติเนื่องจาก Block shear ได้อีกด้วย ดังนั้นในการออกแบบที่ละเอียด ควรพิจารณาพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการจากการวิบัติในกรณีดังกล่าวด้วย



 ในกรณีขององค์อาคารที่รับแรงแบบกระทำซ้ำ(Repeated load) เช่น รางรับเครน (Crane runway girder) ฐานรองรับเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ ในการออกแบบ จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยจากการล้า (Fatigue)ของเหล็ก ตามมาตรฐานของ AISC ระบุให้ทำการออกแบบของค์อาคารรับแรงดึงโดยรวมการพิจารณาผลของแรงแบบกระทำซ้ำด้วย หากรอบ(Cycle)ของการกระทำซ้ำมีตั้งแต่ 20,000 รอบขึ้นไป แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในการออกแบบของค์อาคารรับแรงดึงในโครงสร้างทั่วไป มักไม่พิจารณาผลจากแรงแบบกระทำซ้ำ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนรอบแรงแบบกระทำซ้ำ เนื่องจากน้ำหนักกระทำสูงสุด(Maximum load)มักเกิดขึ้นน้อยกว่า 20,000 รอบ

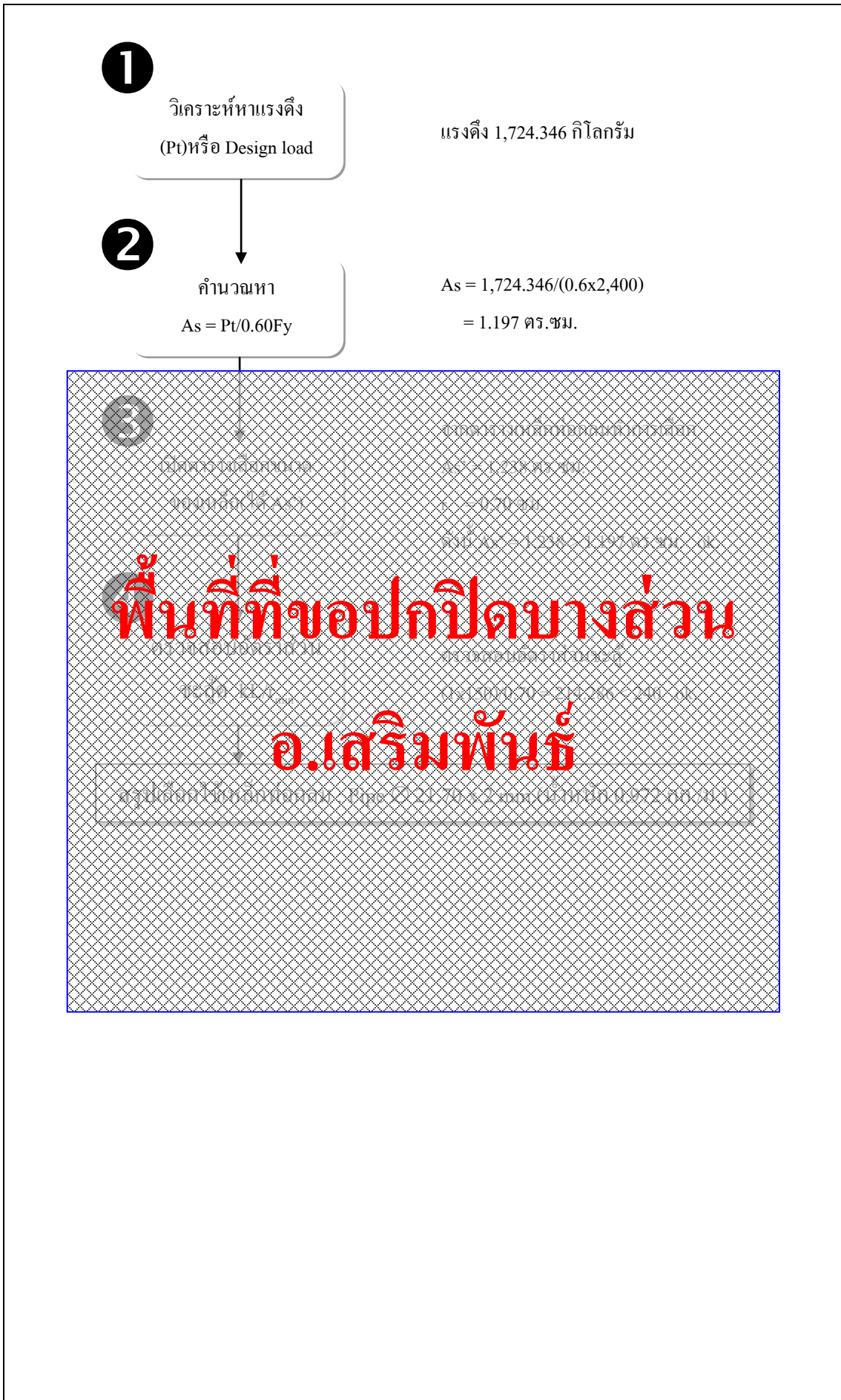
ตัวอย่างของการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 2.1(ซึ่งมักนิยมใช้คำนวณด้วยมือเพื่อยืนยันขออนุญาต)

โครงข้อมุมน โค้งหลังคา ชั้นส่วนด้านล่าง(Lower chord)ยาว 1.50 เมตร(วัดตามแนวแกน) ผลการวิเคราะห์เกิดแรงดึง 1,724.346 กิโลกรัม และมีการต่อกับชั้นส่วนอื่นด้วยการต่อเชื่อม ให้ทำการออกแบบขนาดชั้นส่วนดังกล่าว โดย(ในการทำงานจริงเราต้องทราบหรือเลือกใช้เอง)

- ใช้มาตรฐานการออกแบบของ วสท.
- ชั้นส่วนดังกล่าวเป็นชั้นส่วนหลักหรือองค์อาคารหลัก ใช้เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24
- ให้เลือกใช้เหล็กท่อกลม(Pipe)

วิธีออกแบบ



ตารางเหล็กท่อกลม(เหล็กกลม)							
ลำดับ ที่	Out. Dai. (mm.)	ความหนา(t) (mm.)	น้ำหนัก(W) (kg./m.)	พื้นที่(A) (cm. ²)	I (cm. ⁴)	Z, S (cm. ³)	r (cm.)
1	21.70	2.00	0.972	1.238	0.607	0.560	0.700
2	27.20	2.00	1.240	1.583	1.280	0.930	0.890
3	27.20	2.30	1.410	1.799	1.410	1.030	0.880
4	34.00	2.30	1.800	2.291	2.890	1.700	1.120

ตอบ

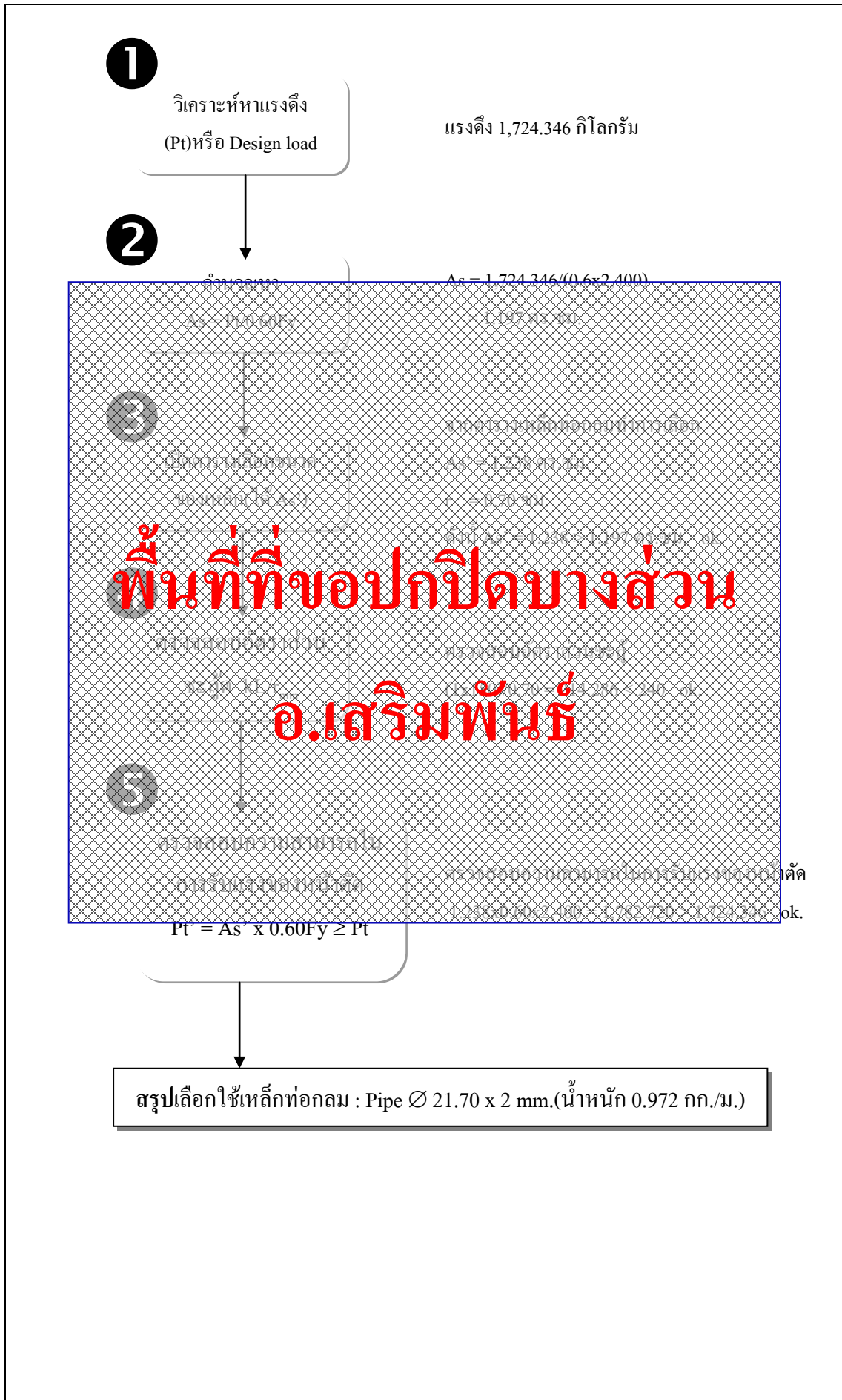
หมายเหตุ : จะเห็นว่ากรออกแบบโดยขั้นตอนดังกล่าว ไม่มีการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงดึงขององค์อาคารที่เลือกออกแบบ(ดูเพิ่มเติมในตัวอย่างที่ 2.2) และไม่ได้คำนึงถึงรูปแบบการจัดวางขององค์อาคารในการส่งถ่ายแรง ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การปรับลด (Reduction factor) ของพื้นที่หน้าตัด(ดูเพิ่มเติมในตัวอย่างที่ 2.3)

ตัวอย่างที่ 2.2(ซึ่งมักนิยมใช้คำนวณด้วยมือเพื่อยื่นขออนุญาตในอีกรูปแบบหนึ่ง)

โครงข้อมุมน โคจรหลังคา ชั้นส่วนด้านล่าง(Lower chord)ยาว 1.50 เมตร(วัดตามแนวแกน) ผลการวิเคราะห์เกิดแรงดึง 1,724.346 กิโลกรัม และมีการต่อกับชั้นส่วนอื่นด้วยการต่อเชื่อม ให้ทำการออกแบบขนาดชั้นส่วนดังกล่าว โดย(ในการทำงานจริงเราต้องทราบหรือเลือกใช้เอง)

- ใช้มาตรฐานการออกแบบของ วสท.
- ชั้นส่วนดังกล่าวเป็นชั้นส่วนหลักหรือองค์อาคารหลัก ใช้เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24
- ให้เลือกใช้เหล็กท่อกลม(Pipe)

วิธีออกแบบ



ตารางเหล็กฉากเท่ากัน

ชื่อขนาด	น้ำหนัก	ความหนา			พื้นที่หน้าตัด	ระยะห่างจากศูนย์กลาง		Moment of Inertia			Section Modulus		Radius of Gyration		
		t	t_1	t_2		x	y	I_x	I_y	I_z	S_x	S_y	r_x	r_y	r_z
		mm	mm	mm		cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm	cm
50×50	4.43	6	6.5	4.5	5.644	1.44	1.44	12.6	12.6	5.23	3.55	3.55	1.50	1.50	0.963
	3.06	4	6.5	3	3.892	1.37	1.37	9.06	9.06	3.76	2.49	2.49	1.53	1.53	0.983
40×40	2.95	5	4.5	3	3.755	1.17	1.17	5.42	5.42	2.25	1.91	1.91	1.20	1.20	0.744
	1.83	3	4.5	2	2.336	1.09	1.09	3.53	3.53	1.46	1.21	1.21	1.23	1.23	0.790
30×30	1.36	3	4	2	1.727	0.844	0.844	1.42	1.42	0.590	0.661	0.661	0.908	0.908	0.585
25×25	1.12	3	4	2	1.427	0.719	0.719	0.797	0.797	0.332	0.448	0.448	0.747	0.747	0.483