

## บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างรับแรงดึง

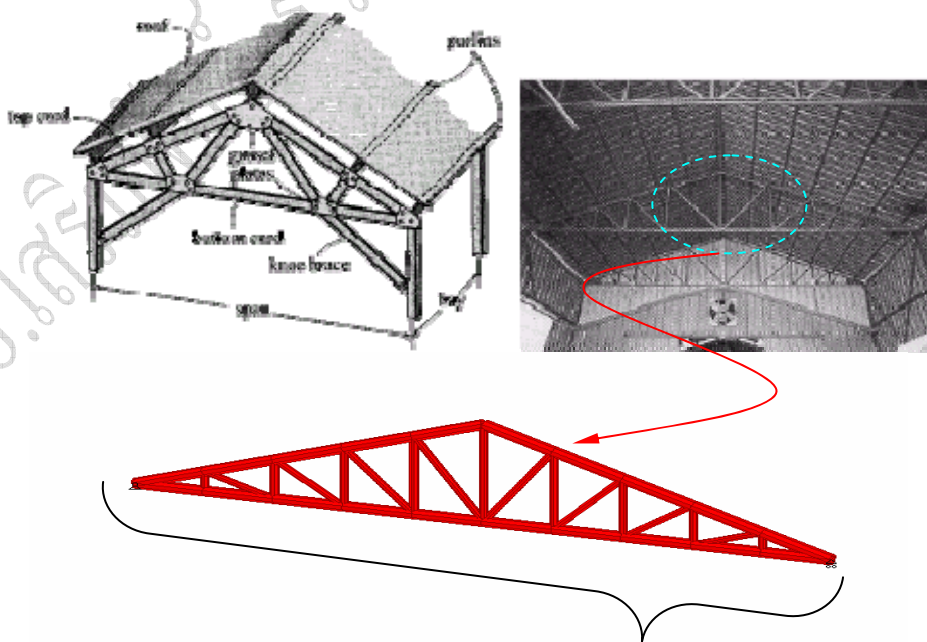
เนื้อหาในที่นี่จะกล่าวถึงการออกแบบเฉพาะชิ้นส่วน หรือ โครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงเท่านั้น โดยใช้วิธี ASD.(หรือทฤษฎีหน่วยแรงที่ยอมให้) ในขณะเดียวกันผู้เขียนก็ได้ทำการเรียงลำดับขั้นตอนของการออกแบบให้แล้ว โดยเริ่มจากข้อมูลที่ต้องใช้ในขั้นตอนของการออกแบบ และลำดับวิธีการในการออกแบบ

### 1 ความหมายของโครงสร้างรับแรงดึง

เป็นชิ้นส่วน(member)ใดๆของโครงสร้างก็ได้ ที่ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ออกมาแล้ว แปลความได้ว่ามีแต่เฉพาะแรงตามแนวแกนในรูปของแรงดึง ที่มีแนวแรงผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด(ในทางทฤษฎี) ซึ่งในที่นี้จะไม่กล่าวถึงในส่วนของการออกแบบชิ้นส่วนที่เป็น Cable

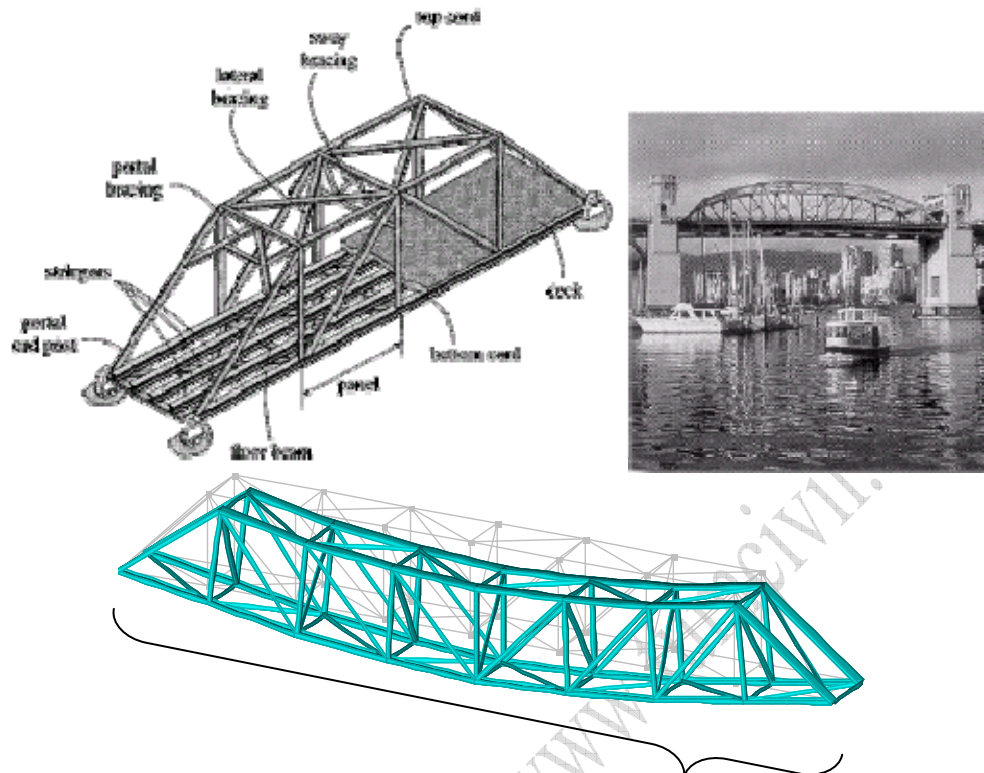
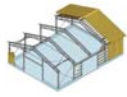


รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นส่วนรับแรงดึง



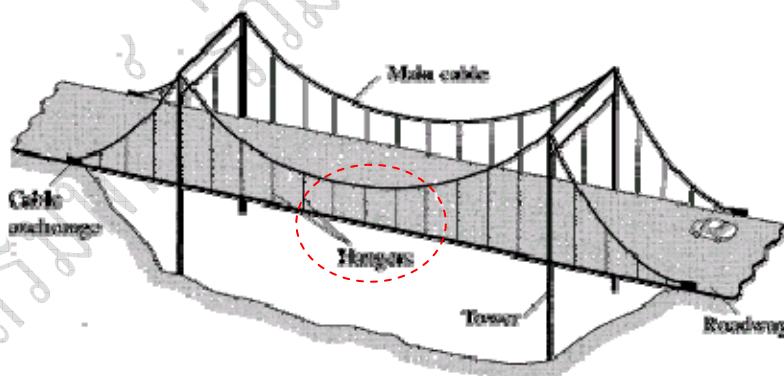
(จากรูปส่วนที่รับแรงดึงคือ Bottom cord)

รูปที่ 3.2 แสดงโครงหลังคา



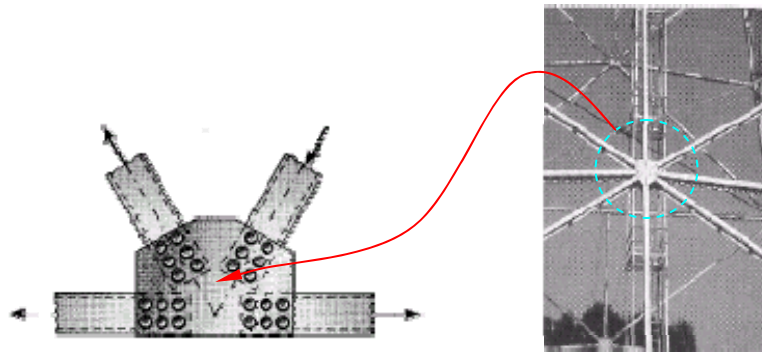
(จากรูปโดยรวมแล้วส่วนที่รับแรงดึงคือ **Bottom cord**)

รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของสะพาน

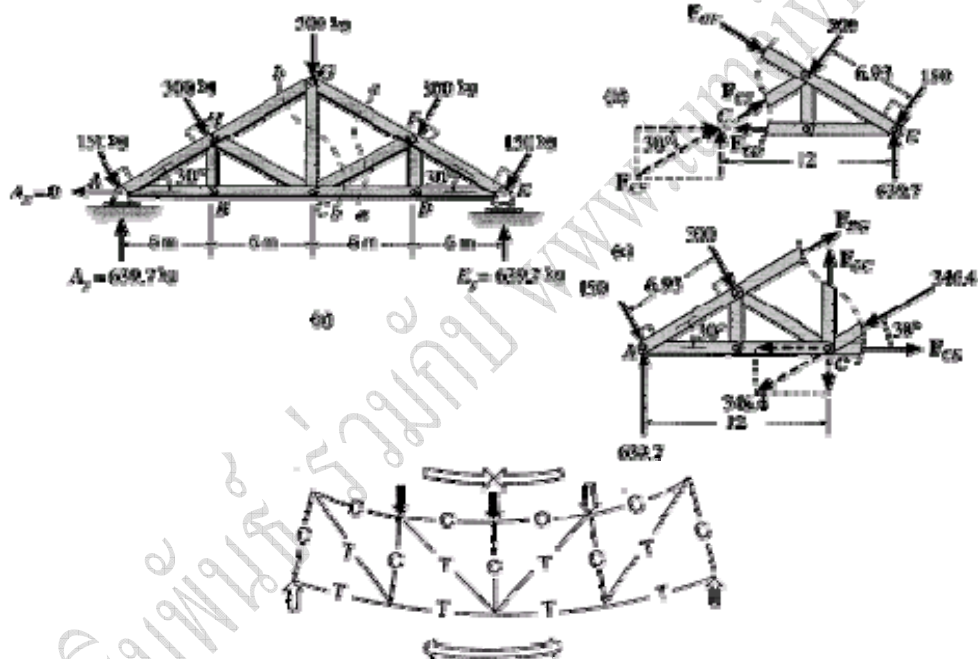


(จากรูปส่วนที่รับแรงดึงคือ **Hangers & Cable**)

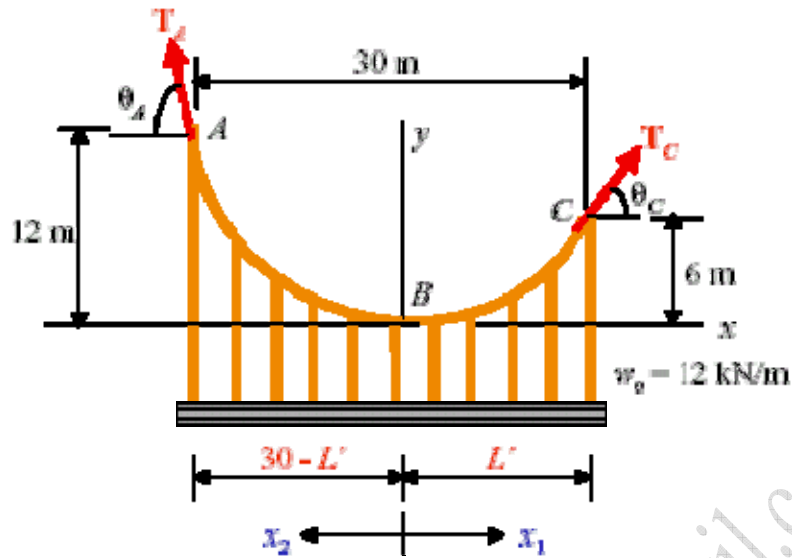
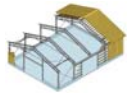
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของสะพาน



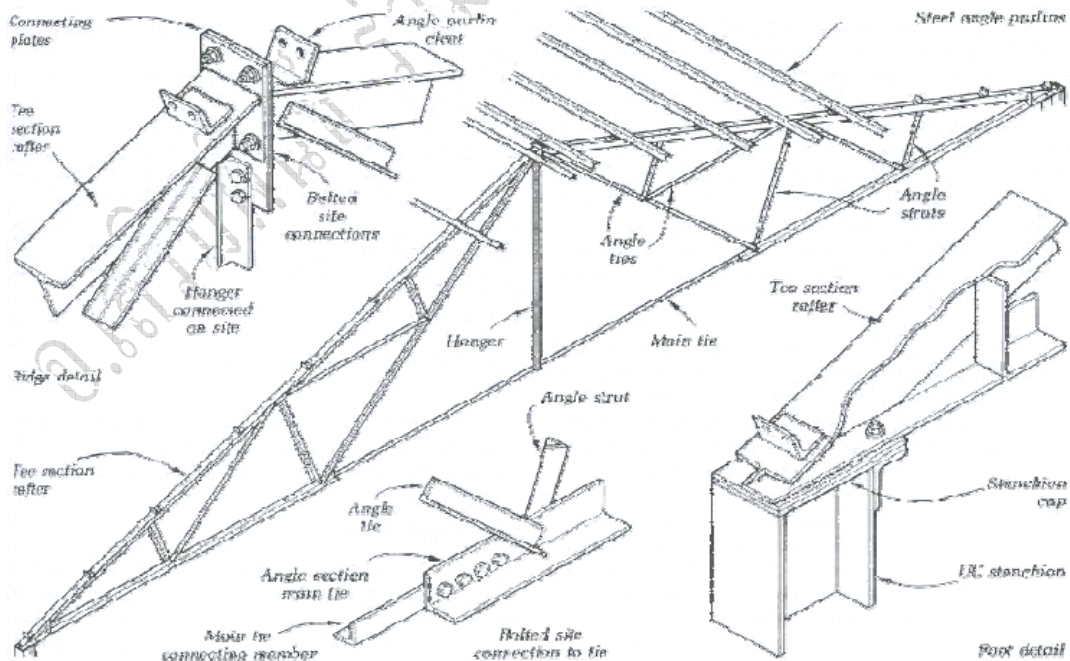
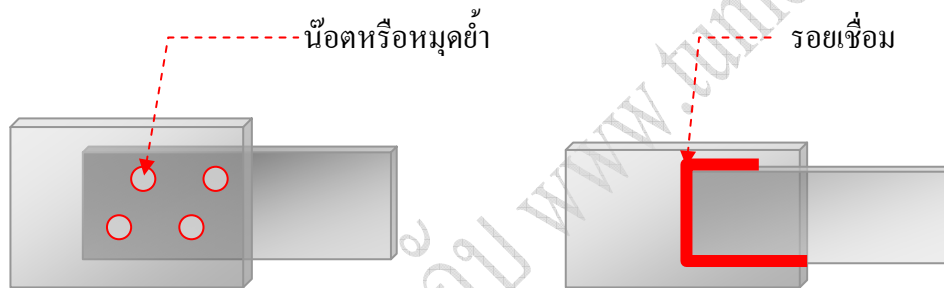
รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของเสาส่งสัญญาณวิทยุและการต่อชิ้นส่วนด้วยนอต



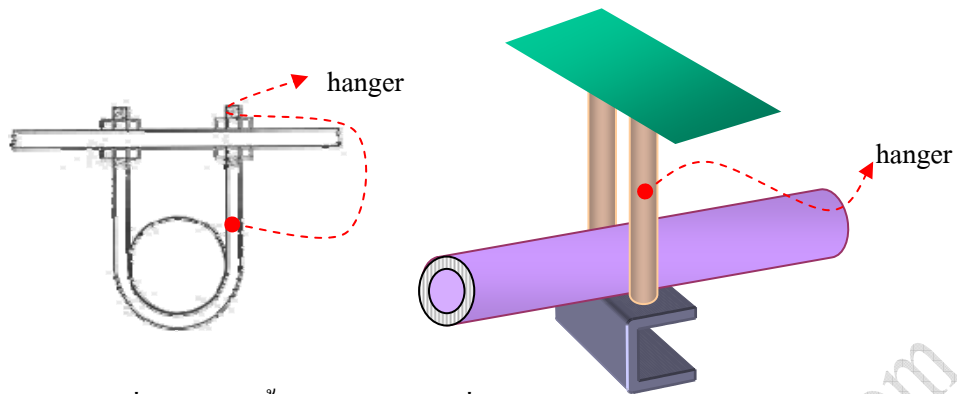
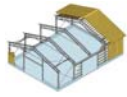
รูปที่ 3.6 แสดงรูปการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก( Section method )



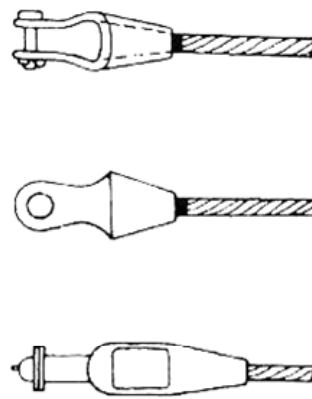
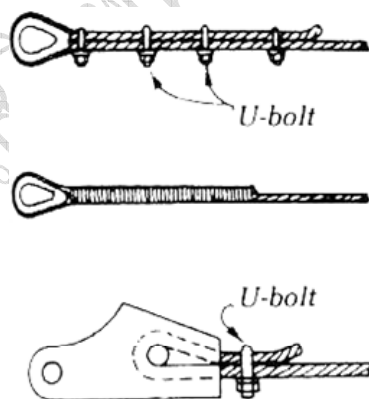
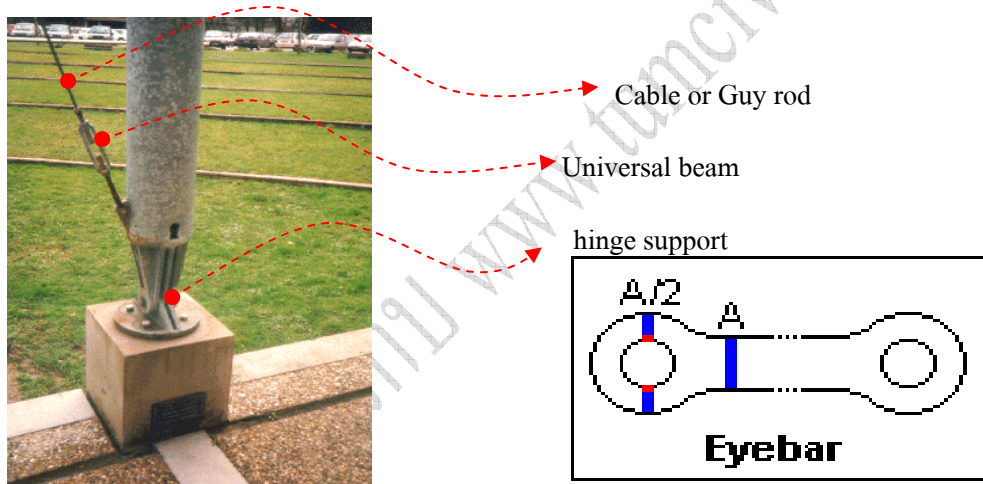
รูปที่ 3.7 แสดงรูปการวิเคราะห์หาแรงใน Cable



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของการต่อชิ้นส่วนด้วยน็อตและการเชื่อม

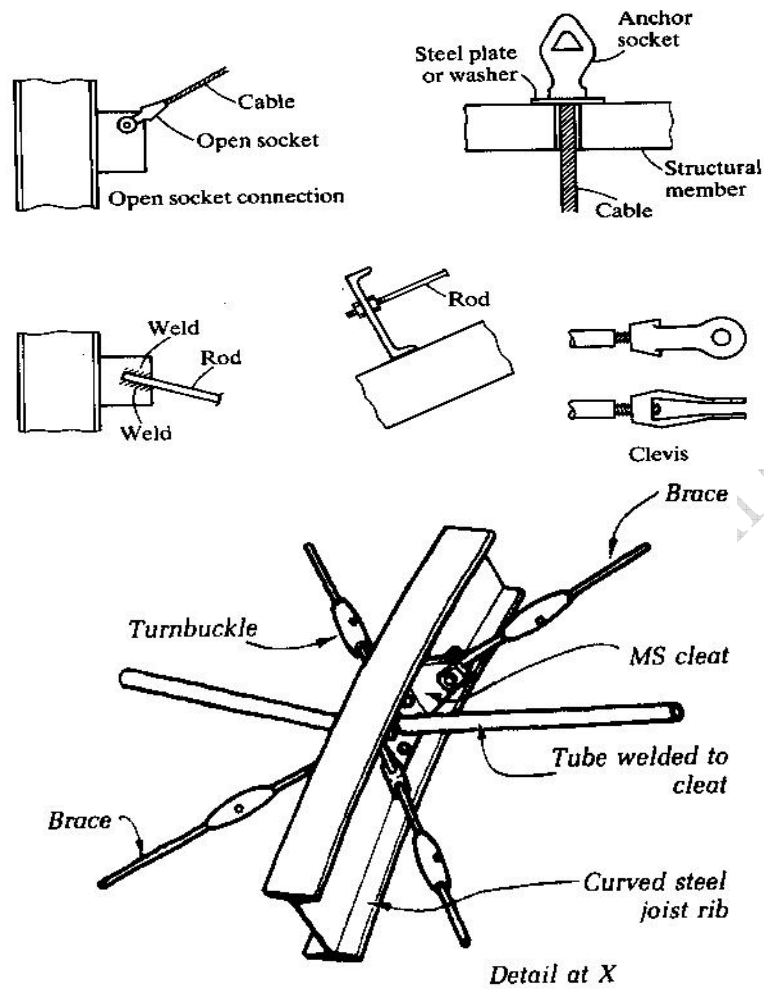


รูปที่ 3.9 แสดงชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ใช้สำหรับงานระบบท่อในอาคาร

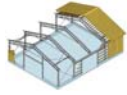


รูปที่ 3.10 แสดงชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ใช้สำหรับงานยึด-ค้ำยัน(bracing) โครงสร้าง





รูปที่ 3.10(ต่อ) แสดงชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ใช้สำหรับงานยึด-ค้ำยัน(bracing) โครงสร้าง



## 2 พฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนรับแรงดึง

โดยทั่วไปแล้วในทางทฤษฎีมีสมมติฐานเบื้องต้นว่า ชิ้นส่วนรับแรงดึงจะมีหรือรับเฉพาะแรงดึงเท่านั้น หรือแม้แต่ในการออกแบบเพื่อใช้งานจริงก็ยังคงเข้าใจว่ามีเฉพาะแรงดึงเท่านั้นที่มากระทำ(ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลของการวิเคราะห์ออกมาเป็นเช่นนั้นจริงๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากกรอบของทฤษฎีที่กำหนดเป็นเงื่อนไขไว้หรือก็คือสมมติฐานในเบื้องต้น) ซึ่งโดยแท้จริงแล้วไม่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะจะมีโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้องเสมอ(ไม่มากนัก) โดยโมเมนต์ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ทั้งจากการงอหรือไม่งอก็ได้ เป็นได้ ซึ่งมีที่มาในหลายๆสาเหตุ เช่น

① การต่อชิ้นส่วนหากต่อโดยผ่าน **gusset plate** ไม่ว่าจะต่อโดยวิธีใดและไม่ว่าจะเป็นเหล็กหรือปูนก็ตาม จะเกิดการเยื้องศูนย์(**eccentric**)เสมอ ผลก็คือทำให้เกิดการดัดของชิ้นส่วนเกิดขึ้นเสมอ ในขณะที่หากชิ้นส่วนต่อโดยไม่ผ่าน **gusset plate** ในทางปฏิบัติเรามักจะเห็นกันอยู่ตลอดเวลาว่า แนวเส้นที่ลากผ่านจุด **cg.** ของแต่ละชิ้นส่วนมักจะไม่ได้ตัดผ่านกันที่จุดๆเดียวกันทั้งหมด ให้พิจารณารูปที่ 3.12 ประกอบ

② น้ำหนักของชิ้นส่วนรับแรงดึงเอง(**self weight**) จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดโมเมนต์ขึ้นเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนใดที่จำเป็นต้องเลือกใช้ขนาดหน้าตัดที่ใหญ่ โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักตัวเองก็จะยิ่งสูงตามไปด้วยเสมอ

③ การต้านแรงลมหรือพายุ โดยเฉพาะโครงสร้างที่สร้างหรือตั้งในที่โล่ง เช่น เสาพาดสายไฟฟ้าแรงสูง เสารับ-ส่งสัญญาณวิทยุ ฯลฯ วันดีคืนดีหากเกิดพายุฝนกระหน่ำอย่างรุนแรง แรงปะทะของลมพายุที่มีต่อชิ้นส่วนรับแรงดึง ย่อมส่งผลให้เกิดการดัดขึ้นในชิ้นส่วนรับแรงดึงซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความรุนแรงมาก-น้อยของพายุในขณะนั้นๆ

④ การห้อยหรือแขวนงานระบบต่างๆ เช่น การแขวนอุปกรณ์งานระบบท่อแอร์ อุปกรณ์งานระบบไฟฟ้า-พัดลม อุปกรณ์งานระบบเสียง ฯลฯ ไว้กับ **bottom cord**(ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวมักจะเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง) โครงสร้างบางชนิด เช่น โครงข้อหมุนของโครงหลังคาที่พับก๊อชหรือหอประชุม ฯลฯ ให้พิจารณารูปที่ 3.11 ประกอบ

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลกระทบต่างๆดังกล่าว จะส่งผลโดยตรงต่อขนาดของชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ออกแบบ และที่สำคัญที่สุดคือตรงบริเวณจุดต่อของชิ้นส่วนซึ่งเราถือว่ามีความแข็งแรงน้อยหรืออ่อนแอที่สุด(**weak**)

ดังนั้นหากจำเป็นต้องออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึง ที่มีโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง(ดูรูปที่ 3.11 เป็นตัวอย่างประกอบ) การออกแบบก็ให้ออกแบบเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึงธรรมดา แต่ควรเพื่อผลเนื่องจากโมเมนต์ดัดด้วย(ในที่นี้ผู้เขียนหมายความว่าถึงเฉพาะชิ้นส่วนที่รับแรงดึงเป็นแรงหลักและมีโมเมนต์เป็นแรงรองเท่านั้น) แต่ในขั้นตอนของการตรวจสอบค่าความปลอดภัย จะต้องรวมผลของหน่วยแรงที่เกิดเนื่องจากโมเมนต์ดัดเข้าไปด้วย แต่เนื่องจากหน่วยแรงทั้งสอง(หน่วยแรงดึง



และหน่วยแรงดึง)เราจับมารวมกันโดยตรงไม่ได้ จะต้องทำให้อยู่ในรูปแบบของ **interaction expression** ดังนี้

Stress ratio : 
$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_{t_{bx}}}{F_{bx}} + \frac{f_{t_{by}}}{F_{by}} \leq 1.0$$
 ....general equation

หรืออาจทำให้อยู่ในอีกรูปแบบคือ

Actual tensile stress : 
$$P_t/A_e \pm M_x/Z_x \pm M_y/Z_y \leq F_t$$

เมื่อ  $F_t$  = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้(ตามมาตรฐานกำหนด)

$f_t$  = หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจริง =  $P_t/A_e$

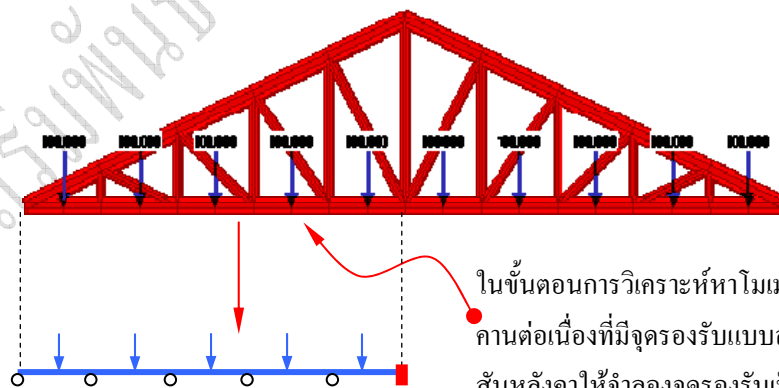
$P_t$  = แรงดึงที่เกิดขึ้นจริงที่กระทำต่อชิ้นส่วนโดยตรง

$F_{bx}, F_{by}$  = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ตามแกน x, y(ตามมาตรฐานกำหนด)

$f_{t_{bx}}, f_{t_{by}}$  =  $M_x/Z_x, M_y/Z_y$  = หน่วย แรงดึงที่เกิดขึ้นจริง

$M_x, M_y$  = โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจริงตามแกน x, y ตามลำดับ

$Z_x, Z_y$  = Section modulus ตามแกน x, y ตามลำดับ(จากการเลือกขนาดเหล็ก)

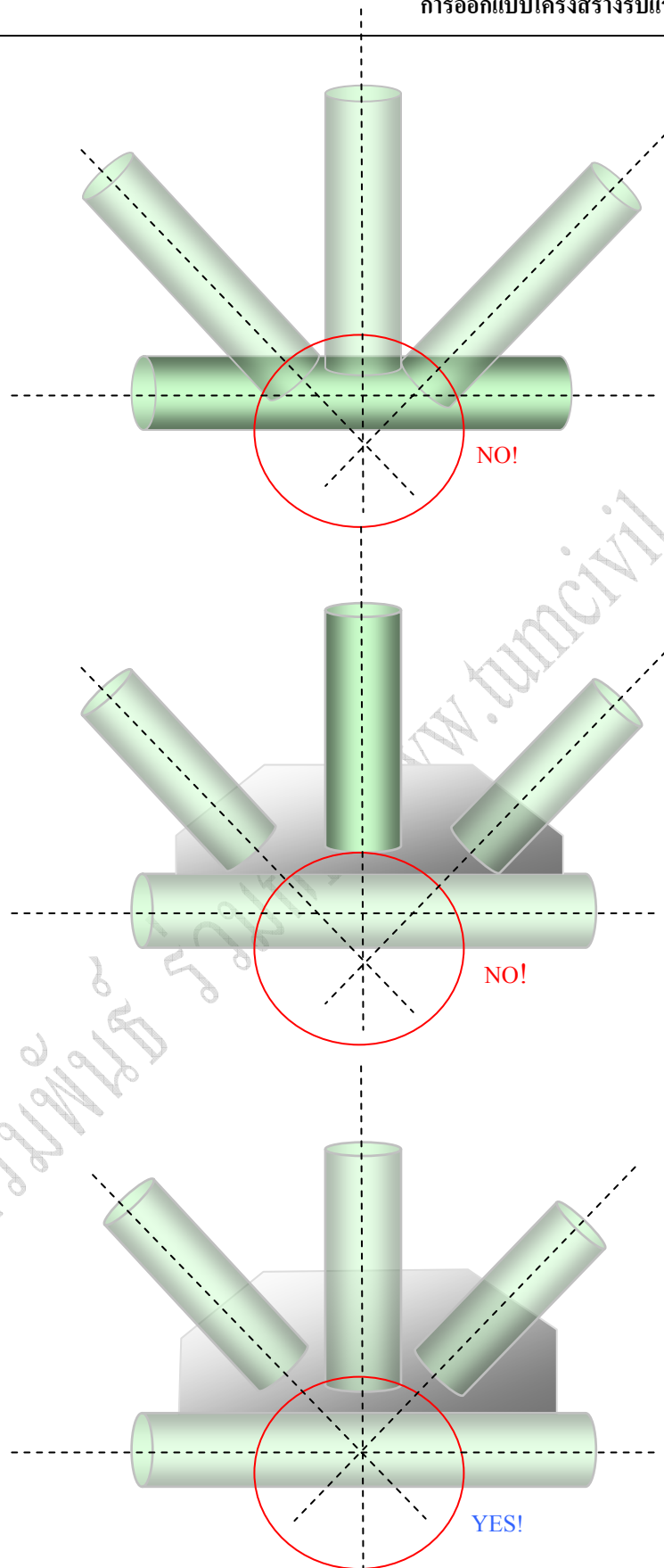
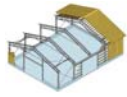


ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาโมเมนต์ ให้จำลองเป็นคานาต่อเนื่องที่มีจุดรองรับแบบล้อหมุน ยกเว้นที่สันหลังคาให้จำลองจุดรองรับเป็นแบบยึดแน่น

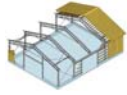
Load Case 1

รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของโครงสร้างที่รับทั้งแรงตามแนวแกน(แรงดึง)และ โมเมนต์ดัด



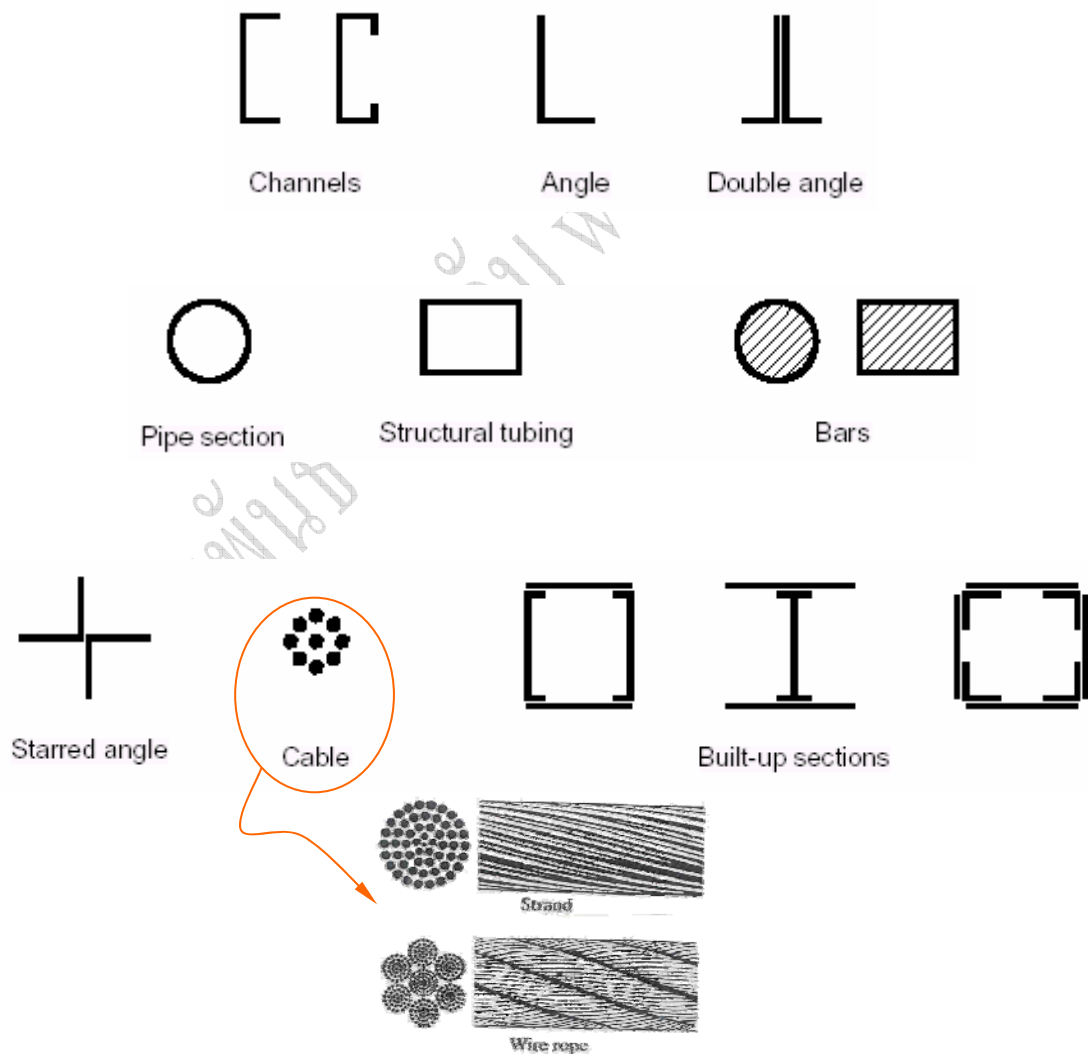


รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะของการต่อชิ้นส่วนที่ไม่ตรงและตรงตามทฤษฎี

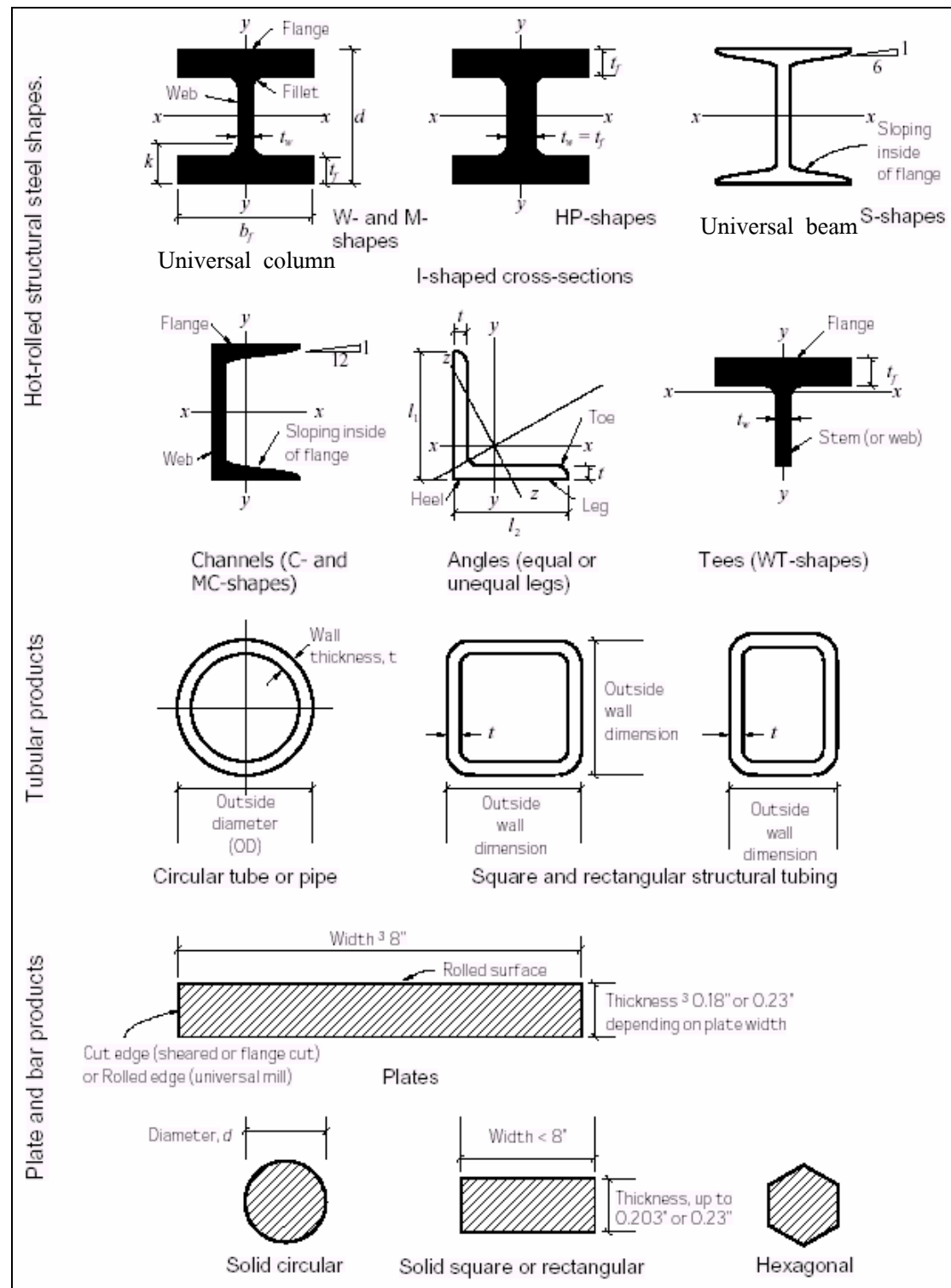
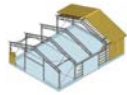


### 3 ประเภทของหน้าตัดเหล็กที่มักนิยมใช้

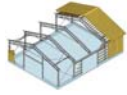
โดยความจริงแล้วในการออกแบบเพื่อใช้งานจริงผู้เขียนต้องการชี้ให้เห็นว่า ในการที่จะเลือกใช้เหล็กที่มีรูปร่างหน้าตัดแบบใดนั้น(ไม่ว่าจะเป็นหน้าตัดเดี่ยวๆหรือหน้าตัดประกอบ) โดยสรุปแล้วขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเองทั้งหมด ที่จะต้องตัดสินใจหรือใช้วิจารณญาณเลือกใช้ให้มีความเหมาะสม เช่น เหมาะสมกับแรงที่จะต้องรับ , เหมาะสมกับประเภทของโครงสร้างและทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ ที่ชัดเจนคือโครงข้อหมุนซึ่งสมมติฐานของทฤษฎีระบุว่าชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นโครงข้อหมุนจะต้องเบาจนไม่ต้องคิณน้ำหนักตัวเอง ฯลฯ , เหมาะสมกับตลาดหรือประเภทของเหล็กรูปพรรณที่ผลิตหรือมีจำหน่ายในท้องตลาด และที่สำคัญคือจะต้องมีความเหมาะสมกับประเทศนั้นๆด้วย ส่วนหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่มักนิยมใช้ค่อนข้างเป็นสากล เช่น



รูปที่ 3.13 แสดงรูปร่างหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่มักนิยมใช้ในชิ้นส่วนรับแรงดึง



รูปที่ 3.13(ต่อ) แสดงรูปร่างหน้าตัดหลักรูปพรรณที่มักนิยมใช้ในชิ้นส่วนรับแรงดึง



#### 4 ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการออกแบบ

โดยทั่วไปจะเป็นข้อมูลทางด้านรูปร่างลักษณะ และ แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนรับแรงดึงรวมไปถึงลักษณะของการต่อเชื่อมระหว่างชิ้นส่วนรับแรงดึง ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว

① ความยาวของชิ้นส่วนรับแรงดึง(L) : โดยรวมแล้วทราบได้จากแบบแปลนหรือแบบพิมพ์เขียว(ซึ่งต้องวัดความยาวจริงตามแนวแกน cg. ห้ามใช้ project length) ส่วนลักษณะและรูปร่างของชิ้นส่วน ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบที่จะใช้พิจารณาในการเลือกใช้ ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของการใช้งาน(ความยาวของชิ้นส่วนรับแรงดึง ในการเรียนการสอนจะตั้งเป็นโจทย์ตุ๊กตาหรือกำหนดมาให้แล้ว)

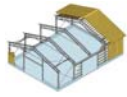
② แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนรับแรงดึง(Pt) : ผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ออกมาเอง โดยการจำลองโครงสร้างจริงมาเป็น model ในแบบ 2D หรือ 3D ก็ได้ แล้วจึงทำการวิเคราะห์โดยอาศัยความรู้ที่ได้ศึกษามาแล้วจากวิชา Strength , Theory structure , Structure analysis(ในการเรียนการสอนมักจะหรือตั้งเป็นโจทย์ตุ๊กตาหรือกำหนดมาให้แล้ว) หรือในสภาพการปัจจุบันมักนิยมทำการวิเคราะห์โดยใช้ Software เสียเป็นส่วนใหญ่ เช่น Dtruss , MFeat , BATS , GRASP , STAAD/Pro , SAP , Prokon , Robot , RISA-3D , Ram Advance ฯลฯ

③ ลักษณะการต่อของชิ้นส่วน : ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบที่จะใช้พิจารณาในการเลือกใช้ ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของการใช้งาน โดยรวมแล้วลักษณะของการต่อชิ้นส่วนที่มักนิยมใช้ในปัจจุบันคือ การต่อด้วยวิธีการเชื่อม(welding)ด้วยลวดเชื่อม และ น็อต(bolt) ซึ่งในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้วในประเทศไทยนิยมต่อชิ้นส่วนด้วยวิธีการเชื่อม ส่วนการต่อด้วยน็อต(bolt)โดยซึ่งลักษณะการต่อของชิ้นส่วนจะมีผลโดยตรงต่อ

3.1.ค่า k(ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล) ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้สัมพันธ์หรือใกล้เคียงกันกับสภาพจริงของการต่อชิ้นส่วน(ดูในตารางที่ 3.1) แต่ในกรณีของชิ้นส่วนรับแรงดึงนั้น ในทางทฤษฎีมีการตั้งสมมุติฐานว่าลักษณะการต่อของชิ้นส่วนรับแรงดึงให้เป็นไปในลักษณะของ บานพับ(hinge)-บานพับ(hinge) จึงยอมให้ใช้ที่  $k = 1.0$  แต่ในกรณีของโครงสร้างรับแรงอัด การเลือกใช้จะต้องสมเหตุสมผลตามลักษณะของการต่อชิ้นส่วนนั้นๆ เป็นรายกรณีไป

3.2.พื้นที่หน้าตัดรับแรงดึง ซึ่งจะเห็นว่ามักมีการพูดถึงพื้นที่หน้าตัดใน 3 ความหมาย(ให้ดูรูปที่ 3.14) คือ

- 1.พื้นที่หน้าตัดรวมหรือทั้งหมด(Ag)
- 2.พื้นที่หน้าตัดสุทธิ(An).....ที่วิกฤตหรือน้อยที่สุด
- 3.พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล(Ae) : ส่วนนี้เพิ่มขึ้นมาก็เนื่องมาจากการพิจารณาในส่วน of ลักษณะการวางตัวของชิ้นส่วนตรงจุดต่อและลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วนที่นำมาใช้รวมเข้าไปด้วย



โดยทั้ง 3 เขียนให้อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์กันทางคณิตศาสตร์ดังนี้(ให้ดูรูปที่ 3.14)

$$1. A_g = b \times t ; \text{ ตร. ชม. (cm.}^2\text{)}$$

$$2. A_n = [A_g + (\sum(s^2/4g) - (\sum(\text{พื้นที่รูเจาะ}))) \leq (0.85 \times A_g ; \text{ ตร. ชม. (cm.}^2\text{)})$$

ข้อสังเกต  $A_n = A_g$  เมื่อต่อชิ้นส่วนด้วยการเชื่อม

$$3. A_e = U \times A_n ; \text{ ตร. ชม. (cm.}^2\text{)} : \text{ โดย}$$

$$A_e = U \times A_g ; \text{ ตร. ชม. (cm.}^2\text{)} : \text{ เมื่อต่อด้วยการเชื่อม}$$

$$A_e = U \times A_n ; \text{ ตร. ชม. (cm.}^2\text{)} : \text{ เมื่อต่อด้วยน็อตหรือสลัก}$$

เมื่อ  $b$  = หน้ากว้างทั้งหมด(ชม.) ,  $t$  = ความหนา(ชม.) ,  $U$  = ค่าคงที่ตามลักษณะการต่อ

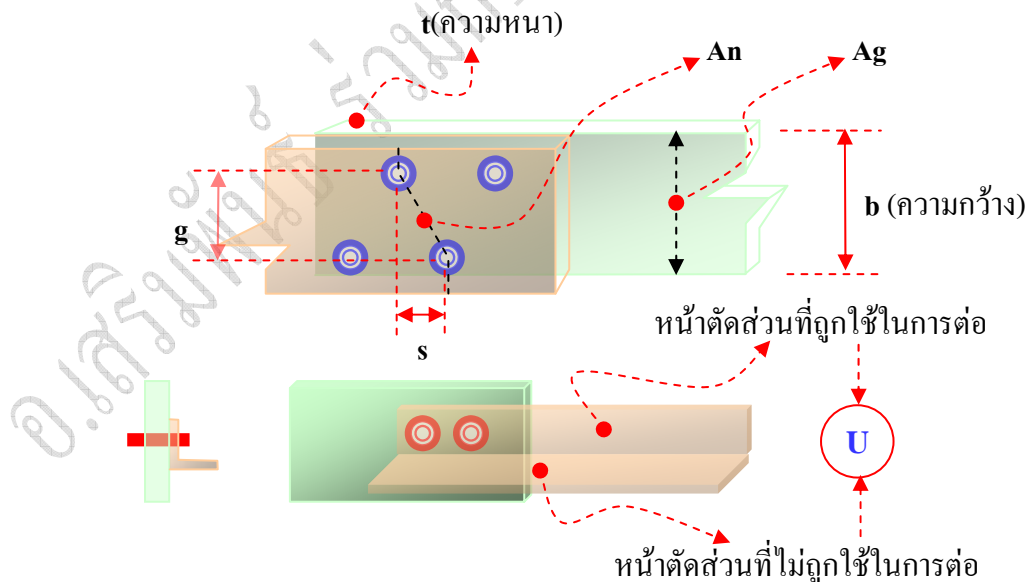
$s$  = ระยะห่างของรูเจาะในแนวราบ(ชม.) ,  $g$  = ระยะห่างของรูเจาะในแนวตั้ง(ชม.)

$U$  = สัมประสิทธิ์ตัวคูณลดของพื้นที่(Area reduction factor) อ่านจากตารางที่ 3.1

และดูรูปที่ 3.15 ประกอบเมื่อต่อด้วยน็อต แต่ถ้าต่อด้วยการเชื่อมให้อ่าน

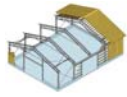
จากตารางที่ 3.2 และดูรูปที่ 3.16 ประกอบ

$$A_h(\text{พื้นที่รูเจาะ}) = t(\text{ชม.}) \times (\text{เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ(มม.)} + 3(\text{มม.})) ; \text{ ตร. ชม. (cm.}^2\text{)}$$



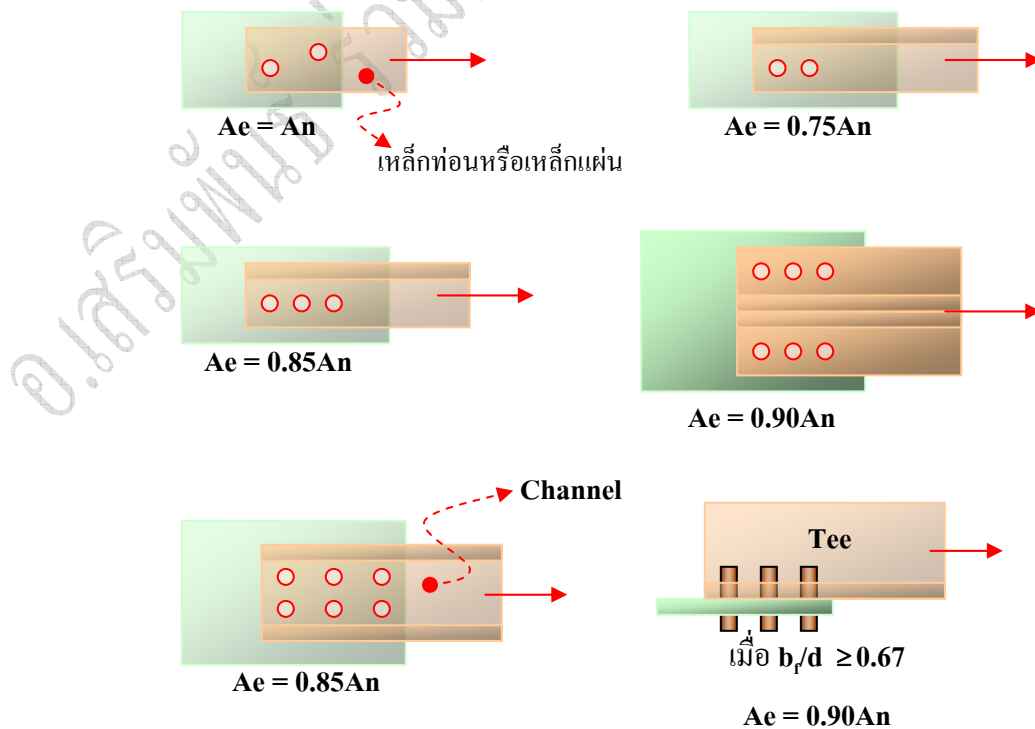
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการต่อชิ้นส่วนและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการหาพื้นที่รับแรงดึง



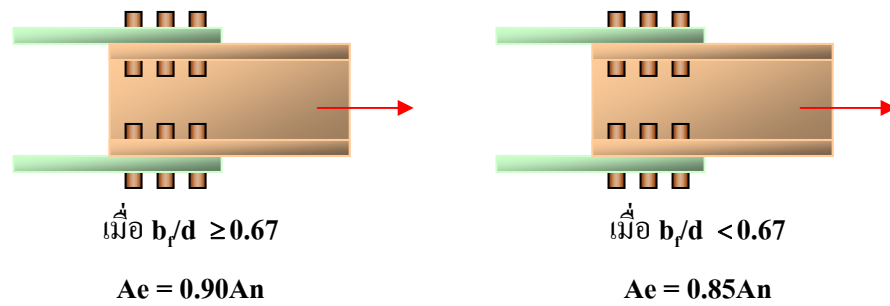
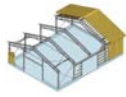


ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่(Area reduction factor)เมื่อต่อด้วยน็อต

ชนิดของชิ้นส่วน(Type of members)	จำนวนต่ำสุดต่อแถว ของสลักเกลียวหรือตัวยึด(Minimum fasteners per line)	พื้นที่หน้าตัดสุทธิ ประสิทธิภาพ(Ae)
1.ชิ้นส่วนที่ต่อเพื่อถ่ายแรงเต็มหรือตลอดหน้าตัด	1	$A_n$
2.ต่อชิ้นส่วนถ่ายแรงโดยผ่าน gusset plates ล้วนๆ	1	$\text{Min}(A_n, 0.85A_g)$
3.หน้าตัดรูป W,M,S ที่ถ่ายแรงโดยการต่อผ่าน เฉพาะบริเวณปีก บน- ล่าง ถ้า $b_f/d \geq 0.67$	3	$0.90A_n$
4.หน้าตัดรูป W,M,S ที่ถ่ายแรงโดยการต่อผ่าน เฉพาะบริเวณปีก บน- ล่าง ถ้า $b_f/d < 0.67$ รวมถึง หน้าตัดอื่นๆนอกเหนือจาก W,M,S	3	$0.85A_n$
5.เหล็กโครงสร้างรูปตัว Tees ที่ได้จากการตัด เหล็กหน้าตัดรูป W,M,S	3	$0.90A_n$
6.สำหรับเหล็กทุกรูปรางหน้าตัด(All shapes)	2	$0.75A_n$



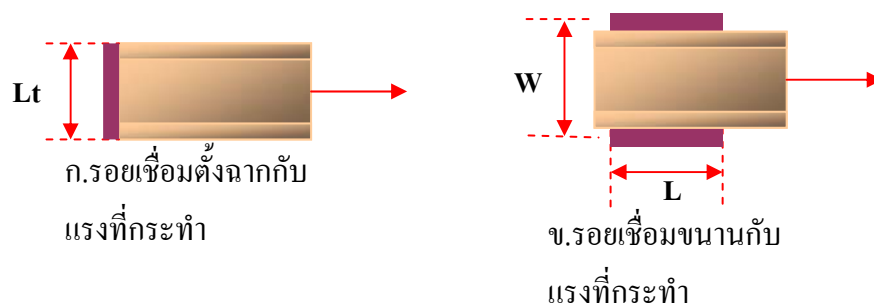
รูปที่ 3.15 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่(Area reduction factor)เมื่อต่อด้วยน็อต



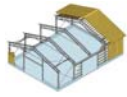
รูปที่ 3.15(ต่อ) แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่(Area reduction factor)เมื่อต่อต้านัด

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่(Area reduction factor)เมื่อต่อต้านัดการเชื่อม

ชนิดของชิ้นส่วน(Type of members)	ลักษณะการวางตัวของรอยเชื่อม	พื้นที่หน้าตัดสุทธิ ประสิทธิภาพ( $A_e$ )
1.หน้าตัดรูป W,M,S,Tees	ความยาวรอยเชื่อม( $L_t$ )ตั้งฉากกับแนวแรงที่ส่งถ่ายเท่านั้น	พื้นที่ที่ต่อเชื่อม
2.เหล็กท่อนและเหล็กแผ่น	ขนานกับแนวแรงที่ส่งถ่ายโดยความยาวรอยเชื่อม( $L$ )เท่ากับ 1-1.5 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม( $W$ )	$0.75A_n$
	ขนานกับแนวแรงที่ส่งถ่ายโดยความยาวรอยเชื่อม( $L$ )เท่ากับ 1.5-2 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม( $W$ )	$0.87A_n$
	ขนานกับแนวแรงที่ส่งถ่ายโดยความยาวรอยเชื่อม( $L$ )ยาวเกินกว่า 2 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม( $W$ )	$A_n$



รูปที่ 3.16 แสดงสัญลักษณ์สำหรับหาค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่  
(Area reduction factor)เมื่อต่อต้านัดการเชื่อม



หรือทั้งหมดที่กล่าวมาอาจหาได้จากสมการดังต่อไปนี้(ใช้ได้ทั้งในกรณีที่ต้องขึ้นส่วนด้วยน๊อตและต่อด้วยการเชื่อม)

$$A_e = U[A_n] ; \text{ตร.ชม.}(\text{cm.}^2) : \text{หรือ}$$

$$= [1 - (\bar{x}/L)][A_g + \sum(s^2/4g) - \sum A_h]$$

เมื่อ

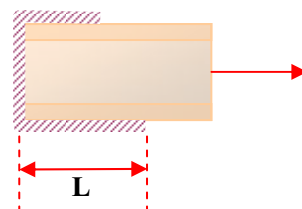
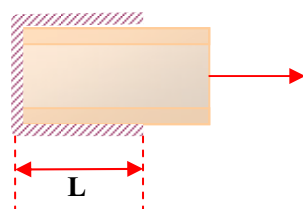
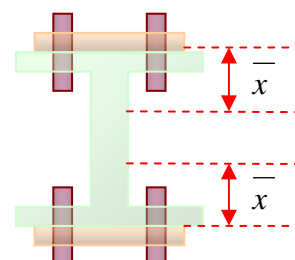
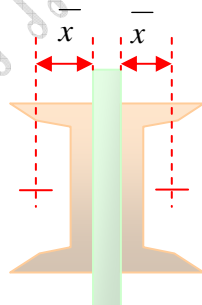
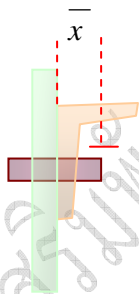
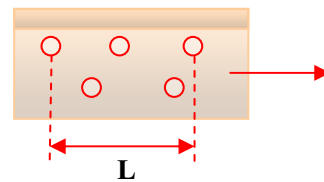
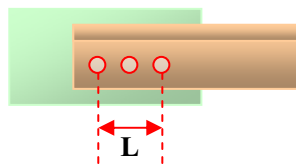
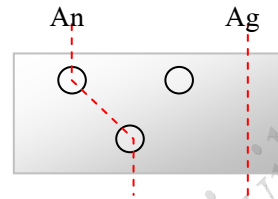
$$U = [1 - (\bar{x}/L)] \leq 0.90$$

$$A_n = bt ; \text{ตร.ชม.}(\text{cm.}^2)$$

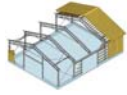
$$A_h = t[\phi_{(mm)} + 0.3] ; \text{ตร.ชม.}(\text{cm.}^2) : \text{หากเป็นการต่อเชื่อม } A_h = 0$$

$$L = \text{ความยาวของรอยต่อ(ดูรูปที่ 3.17 ประกอบ)} ; \text{ชม.}(\text{cm.})$$

$$(s^2/4g) = 0 : \text{หากเป็นการต่อเชื่อม}$$



รูปที่ 3.17 แสดงสัญลักษณ์สำหรับหาค่าของสัมประสิทธิ์ตัวคูณลดพื้นที่



## 5 ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบและตรวจสอบ : ว.ส.ท.(1003-18) & AISC.(1989)

### ① หน่วยแรงปลอดภัยที่ยอมให้ตามข้อกำหนด

#### 1.1. โครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป (ทั้งประเภทหน้าตัดเดี่ยวและหน้าตัดประกอบ)

##### 1. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ( $A_n$ ) ยกเว้นรูสลัก (pin hole)

$$F_t = 0.60 \times F_y ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.}) \quad \checkmark$$

$$[FS. = 1/0.6 = 1.67 \text{ เท่า}]$$

แต่จะต้องไม่เกิน (คิดบนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล ( $A_e$ ))

$$F_t = 0.50 \times F_u ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.}) \quad \checkmark$$

$$[FS. = 1/0.5 = 2.00 \text{ เท่า}]$$

##### 2. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ( $A_n$ ) ที่ปลายรับสลัก (eye bar) , ชิ้นส่วนที่มีข้อต่อแบบหมุนได้และองค์อาคารประกอบ

$$F_t = 0.45 \times F_y ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.})$$

$$[FS. = 1/0.45 = 2.22 \text{ เท่า}]$$

#### 1.2. ท่อนเหล็กตัน (กลม-เหลี่ยม-แบน) หรือแท่งเหล็กกลมที่เป็นเกลียวที่ปลาย

เช่น สลักเกลียว , sag rod for roofs , diagonal wind bracing , hangers ฯลฯ

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

$$F_t = 0.60 \times F_y ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.}) \dots\dots \text{ว.ส.ท.}$$

$$[FS. = 1/0.6 = 1.67 \text{ เท่า}]$$

แต่จะต้องไม่เกิน (คิดบนเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก)

$$F_t = 0.33 \times F_u ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.}) \quad \checkmark \dots\dots \text{AISC.}$$

#### 1.3. เคเบิล (ทั้งประเภทเชือกเส้นเดี่ยว (wire rope) และเชือกตีเกลียว (strand))

เช่น สายเคเบิลที่ใช้กับ hoists , ปั่นจั่น และในบางโอกาสก็อาจใช้เป็น

diagonal wind bracing , สะพานแขวน ฯลฯ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

$$F_t = 0.60 \times F_y ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.}) \dots\dots \text{ว.ส.ท.}$$

$$[FS. = 1/0.6 = 1.67 \text{ เท่า}]$$

แต่จะต้องไม่เกิน (คิดบนเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก)

$$F_t = 0.33 \times F_u ; \text{ กก./ชม.}^2 (\text{ksc.}) \quad \checkmark \dots\dots \text{AISC}$$

(หมายเหตุ : การออกแบบในส่วนของ “เคเบิล” นั้น เนื่องจากว่ามีปัจจัยหลายส่วน

เข้ามาเกี่ยวข้องกับกำลังรับแรง ดังนั้นการออกแบบคร่าวๆ ในเบื้องต้นให้ใช้  $F_t = 0.33 \times F_u$



$A_n = (P_t/F_t)$  ,  $A_n \approx (2/3)A_g$  , ดังนั้น  $A_g \geq (4.5P_t/F_u)$  ซึ่งสามารถทำให้อยู่ในรูปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ดังนี้  $\phi = 2.40\sqrt{(P_t/F_u)}$

จากหน่วยแรงดึงที่ยอมให้( $F_t$ )ดังกล่าวข้างบน ฉะนั้นเราจึงสามารถหาค่าของพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ( $A_n$ )ของเหล็กโครงสร้าง(รูปพรรณ) เพื่อดันแรงดึงได้จากความสัมพันธ์ดังนี้(เมื่อ  $\sigma$  = หน่วยแรงในทางทฤษฎี)

1. เมื่อพิจารณาที่สภาวะใช้งาน(yield point)

$$\sigma = \text{แรง} / \text{พื้นที่} = P / A = F_y$$

$$F_t = \sigma / F.S. = F_y / F.S. = P_t / A_n$$

แทนค่า  $\sigma / F.S.$  หรือ  $F_y / F.S.$  ด้วย  $F_t = 0.60 \times F_y$  จะได้ว่า

$$0.60 \times F_y = P_t / A_n$$

$$\therefore A_n = P_t / 0.60 \times F_y \text{ ; ตร.ชม. (cm.}^2\text{)}$$

2. เมื่อพิจารณาที่สภาวะประลัย(ultimate point)

$$\sigma = \text{แรง} / \text{พื้นที่} = P / A = F_u$$

$$F_t = \sigma / F.S. = F_u / F.S. = P_t / A_e$$

แทนค่า  $\sigma / F.S.$  หรือ  $F_u / F.S.$  ด้วย  $F_t = 0.50 \times F_u$  จะได้ว่า

$$0.50 \times F_u = P_t / A_e$$

$$\therefore A_e = P_t / [0.50 \times F_u] \text{ ; ตร.ชม. (cm.}^2\text{)}$$

แต่ถ้าหากเราใช้  $A_e = U \times A_n$  ตาม AISC.(1989)

$$\therefore A_n = P_t / [0.50 \times F_u \times U] \text{ ; ตร.ชม. (cm.}^2\text{)}$$

เมื่อ  $P_t$  = แรงดึงที่กระทำต่อชิ้นส่วนมีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg.)

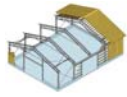
$F_t$  = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ตามมาตรฐานมีหน่วยเป็น กก./ชม.<sup>2</sup>(ksc.)

$F_y$  = กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก(yield)มีหน่วยเป็น กก./ชม.<sup>2</sup>(ksc.)

$A_n$  = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ(เท่ากับ พ.ท. รวม- พ.ท. รูเจาะ)มีหน่วยเป็น ตร.ชม.(cm.<sup>2</sup>)

$\leq 0.85(\text{พ.ท. หน้าตัดรวม}, A_g) \dots \dots \text{ว.ส.ท.}$





## ② อัตราส่วนชะลูด(slenderness ratio) : บ่งชี้ถึงค่า Stiffness ของชิ้นส่วน

ทั้งนี้เนื่องจากว่าหากโครงสร้างรับแรงดึงใดยาวมากๆ ก็จะทำให้เกิดการโก่งตัวเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นซึ่งเรามักเรียกกันว่า “การดกท้องช้าง” นอกจากนี้ยังอาจเกิดการสับัดของชิ้นส่วนได้เมื่อมีแรงลมมาปะทะ หรือมีคลื่นสั่นสะเทือนอื่นๆมากระทำต่อโครงสร้าง

2.1.สำหรับชิ้นส่วนหลักหรือองค์อาคารหลัก : ชิ้นส่วนหลักหมายถึงชิ้นส่วนที่หากเกิดการวิบัติแล้วมีผลทำให้โครงสร้างโดยรวมวิบัติตามไปด้วย

$$kL/r_{\min} \leq 240$$

$$\text{เมื่อ } r_{\min} = \sqrt{I_{\min}/A_{\max}}$$

เมื่อ

$k$  = สปส. ค่าความชะลูด(กรณีของชิ้นส่วนรับแรงดึง  $k = 1$ )

$L$  = ความยาวของชิ้นส่วนรับแรงดึง(วัดตามแกนชิ้นส่วน) ; ซม.(cm.)

$r_{\min}$  = รัศมีจายเรชั่นที่น้อยที่สุด ; ซม.(cm.) : เปิดจากตารางเหล็กมาตรฐาน

2.2.สำหรับชิ้นส่วนรองหรือองค์อาคารรอง(รวมถึง ชิ้นส่วนค้ำยันต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนเดี่ยวๆหรือเป็นลักษณะของโครงถัก) : ชิ้นส่วนรองหมายถึงชิ้นส่วนที่หากเกิดการวิบัติแล้วโครงสร้างรวมไม่ได้วิบัติตามไปด้วย เช่น **bracing** , **sag rod** ฯลฯ

$$kL/r_{\min} \leq 300$$

ยกเว้นท่อนเหล็กกลมตัน(rod)

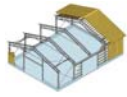
ซึ่งค่า  $k$  ที่ถูกต้องในทางการออกแบบ ให้ดูจากตารางที่ 3.3 ที่ช่องค่า  $k$ (**ทางออกแบบเท่านั้น**) และให้พิจารณารูปที่ 3.18 และตารางที่ 3.4 ประกอบทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจ เมื่อนำไปใช้งานออกแบบจริงในทางปฏิบัติ



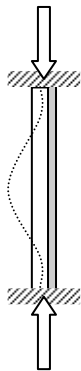
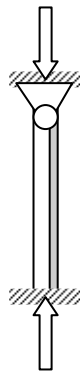
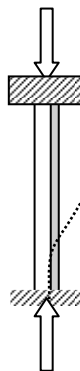
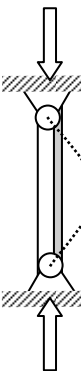
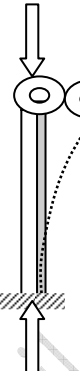
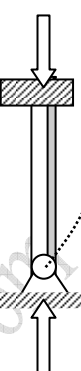
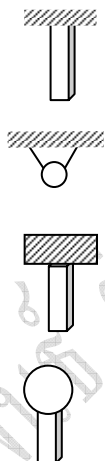
ตารางที่ 3.3(ก.) แสดงค่า  $k$  ตามลักษณะเงื่อนไขของจุดรองรับของชิ้นส่วน(จุดต่อ)

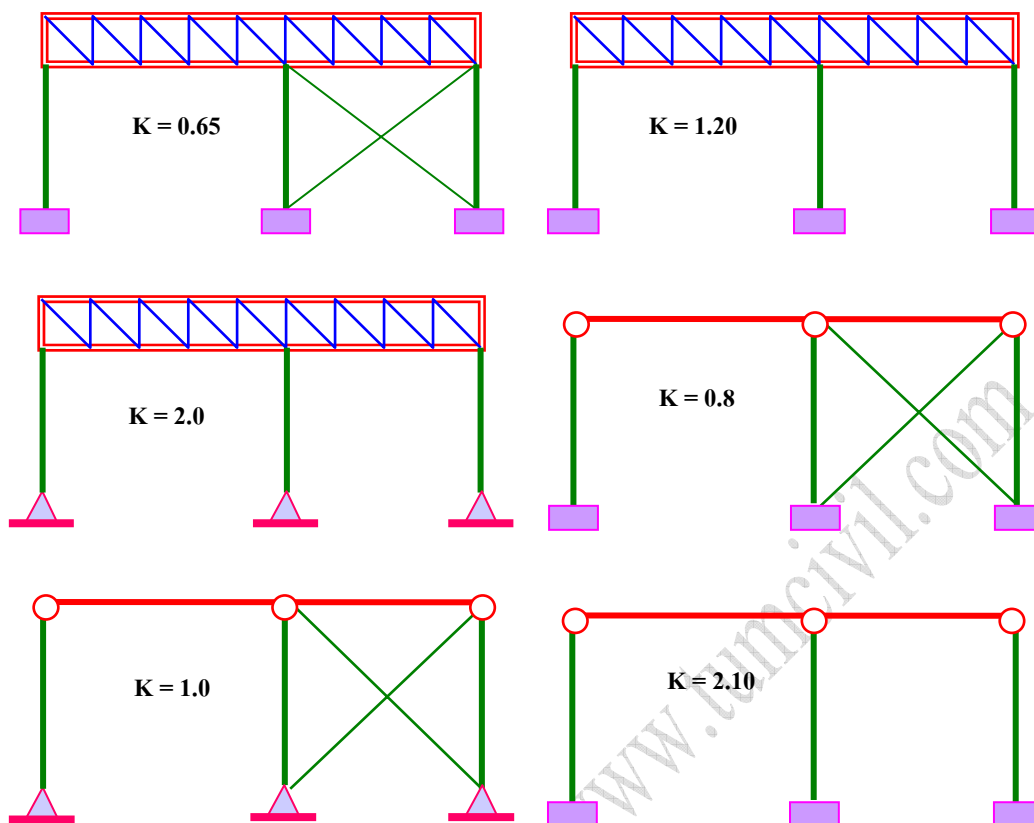
**K values for columns**

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Buckled shape of column is shown by dashed line						
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	   	Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free				



ตารางที่ 3.3(ข.) แสดงค่า  $k$  ตามลักษณะเงื่อนไขของจุดรองรับของชิ้นส่วน(จุดต่อ)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
ลักษณะการโค้งงอ ของเสาแสดงโดย เส้นประ						
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		



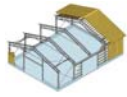
รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะของโครงสร้างอย่างง่าย(เบื้องต้น)ที่สัมพันธ์กับค่า  $k$  ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 แสดงค่า  $k$  ตามลักษณะเงื่อนไขของจุดรองรับของชิ้นส่วน(จุดต่อ)

		ลักษณะการจับยึดด้านบน		
		บานพับ(Hinge)	ยึดแน่น(Fix)	ฟรี(Free)
ลักษณะการจับยึดด้านล่าง	บานพับ(Hinge)	1.0	0.8	ไม่มีเสถียรภาพ
	ยึดแน่น(Fix)	0.8	0.65	2.10
	ฟรี(Free)	ไม่มีเสถียรภาพ	2.10	ไม่มีเสถียรภาพ

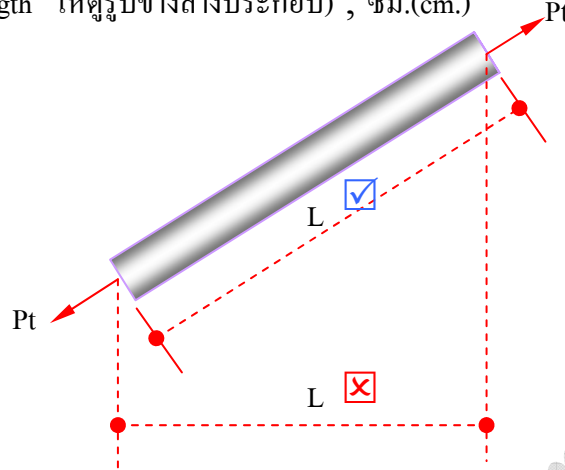
## ๖ ขั้นตอนการออกแบบ

- ① ต้องทราบเกรดหรือชั้นคุณภาพของเหล็กรูปพรรณที่จะใช้หรือเลือกใช้ในการออกแบบ สำหรับประเทศไทยให้เป็นไปตามมาตรฐานของ“เหล็กรูปพรรณ”ของ มอก. เป็นหลัก
  - โดยทั้งหมดมีค่า  $E_s = 2.10 \times 10^6$  ksc.
  - จะทำให้เราทราบค่า  $F_y$  และค่า  $F_u$ (ย้อนกลับไปอ่านบทที่ 1)



② ต้องทราบข้อมูลเบื้องต้น(ที่จำเป็นต้องทราบก่อนการออกแบบ) : ประกอบด้วย

1.ความยาวของชิ้นส่วนรับแรงดึง(L) ซึ่งต้องวัดความยาวจริงตามแนวแกน cg.(ห้ามใช้ project length ให้ดูรูปข้างล่างประกอบ) ; ซม.(cm.)



2.แรง(ดึง)ตามแนวแกน(Pt) : โดยความเป็นจริงแล้วจะต้องทำการวิเคราะห์หาออกมาเอง ; กิโลกรัม(kg.)

3.รูปแบบของการต่อชิ้นส่วน ประกอบด้วย

-ลักษณะการต่อ(อาจจะต่อด้วยการเชื่อมหรือต่อด้วยน็อตก็ได้) : ซึ่งทำให้เราทราบว่าใช้พื้นที่หน้าตัดเป็น  $A_g$  หรือ  $A_n$

-รูปร่างหน้าตัดเหล็กที่เราจะเลือกใช้และลักษณะของการวางตัวตรงบริเวณจุดต่อ(ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องคิดไว้ก่อนแล้ว หรืออาจมีการระบุไว้ก่อนแล้วอันเนื่องมาจากความต้องการด้านสถาปัตยกรรม) : ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าใช้ค่า U เท่าไหร่

③ ทำการออกแบบโครงสร้าง ดังนี้

3.1.คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ(ในเบื้องต้น) : โดยให้เลือกใช้ค่าที่มากที่สุดจาก 2 สมการต่อไปนี คือ : ตามข้อกำหนด

$$- A_g \geq [(Pt + Mb)/(0.6F_y)] + A_h \text{ (โดยประมาณก่อน) ; ตร.ซม.}(cm.^2)$$

$$- A_g \geq [(Pt + Mb)/(0.5F_u U)] + A_h \text{ (โดยประมาณก่อน) ; ตร.ซม.}(cm.^2)$$

เมื่อ  $M_b$  = โมเมนต์ดัด(ถ้ามี) ; กก.-ซม.(kg.-cm.)

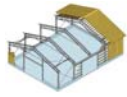
3.2.จากนั้นก็ทำการปิดตารางเหล็ก(ตามรูปร่างหน้าตัดที่จะเลือกใช้) เพื่อเลือกขนาดเหล็กที่เหมาะสม(แนะนำว่าควรเลือกเหล็กจากขนาด เล็ก  $\rightarrow$  โต ไล่ไปเรื่อยๆทำให้เราได้ขนาดเหล็กที่ประหยัดและปลอดภัย): โดยใช้ข้อมูล 2 ส่วนต่อไปนี้

-  $A_g$ (ที่มากที่สุดจากข้อ 3.1.) และ

$$- r_{min} \geq [L(cm.)/(240 \text{ หรือ } 300)]$$

หลังจากนั้นก็ให้เขียนคุณสมบัติของขนาดเหล็กที่เราเลือก ที่จำเป็นคือ  $A_s'$  &  $r'_{min}$





3.3.ทำการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของขนาดเหล็กที่เลือก ใน 3 ส่วนดังนี้(ขนาดเหล็กที่เลือกใช้ จะปลอดภัยเมื่อใช้งานจริง ก็ต่อเมื่อทำการตรวจสอบ 3 เงื่อนไขดังกล่าวข้างล่างผ่านทั้งหมดเท่านั้น โดยหากเงื่อนไขใดไม่ผ่านก็ให้ไปเลือกขนาดเหล็กที่ใหญ่ขึ้นกว่าเดิม) ซึ่งจะต้องผ่านทั้งหมด

$$\text{- ถ้า } [L(\text{cm.})/r'_{\min}] \leq 240(\text{หรือ } 300).....\text{ผ่าน}$$

$$\text{- ถ้า } A_s' \times 0.6F_y \geq P_t.....\text{ผ่าน}$$

$$\text{- } (P_t/A_n)/F_t + M_x/Z_x/F_{bx} + M_y/Z_y/F_{by} \leq 1.0.....\text{ผ่าน}$$

**หมายเหตุ :** สำหรับหน่วยแรงดัดที่ยอมให้( $F_y$ ) ที่ถูกต้องแล้วจะต้องหาจากหัวข้อการออกแบบโครงสร้างรับแรงดัด(ถึงแม้ว่าข้อกำหนดจะระบุให้ใช้  $= 0.6F_y - 0.66F_y$  ซึ่งการใช้ค่าในช่วงดังกล่าวขึ้นส่วนจะต้องมีการคำนวณที่เพียงพอเท่านั้น แต่ในกรณีที่มีการคำนวณที่ไม่เพียงพอค่าที่ใช้ในการออกแบบจะต่ำกว่า  $0.6F_y$ ) ณ ที่นี้ในเบื้องต้นแนะนำให้ใช้ที่  $0.5F_y - 0.6F_y$