Timber and Steel Design

Lecture 13 Bolted Connections

- Riveted Connections
- Types of Joints
- Failure of Joints
- Bearing & Friction connections
- Truss Joints
- Shear and Tension on Bolt

Mongkol JIRAVACHARADET

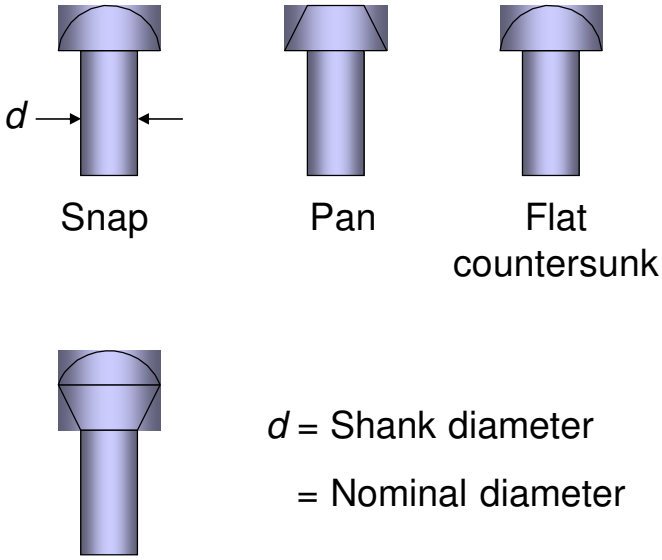
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTE OF ENGINEERING

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

Riveted Connections

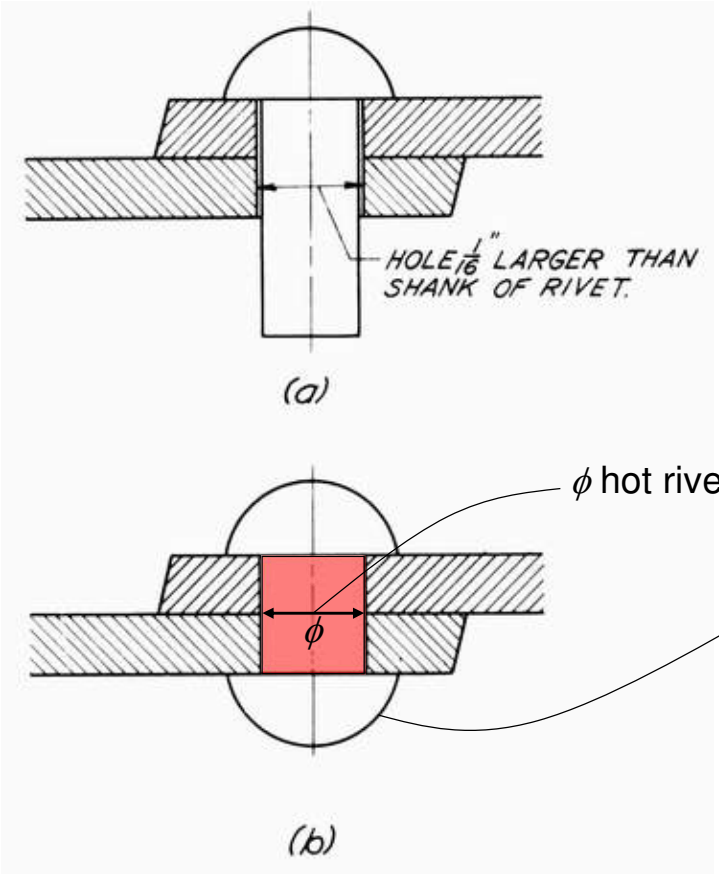
rivet = round ductile steel bar (shank) with a head at one end



d = Shank diameter

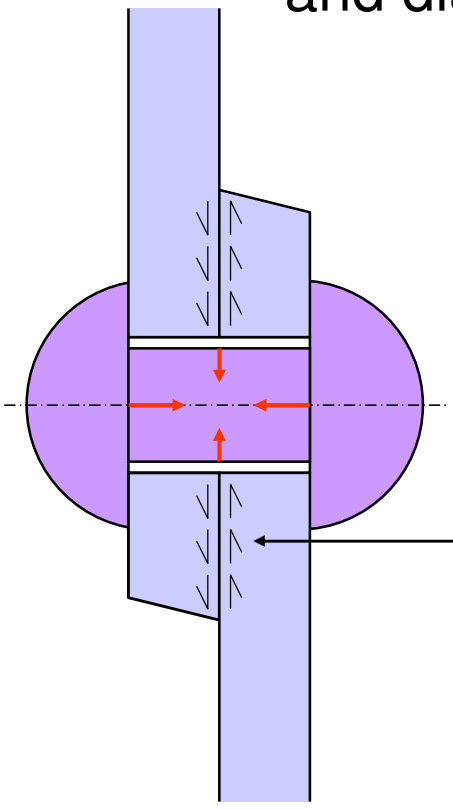
= Nominal diameter

Riveting Procedure



Rivets are heated before driving

On cooling, the rivet shrinks both length and diameter

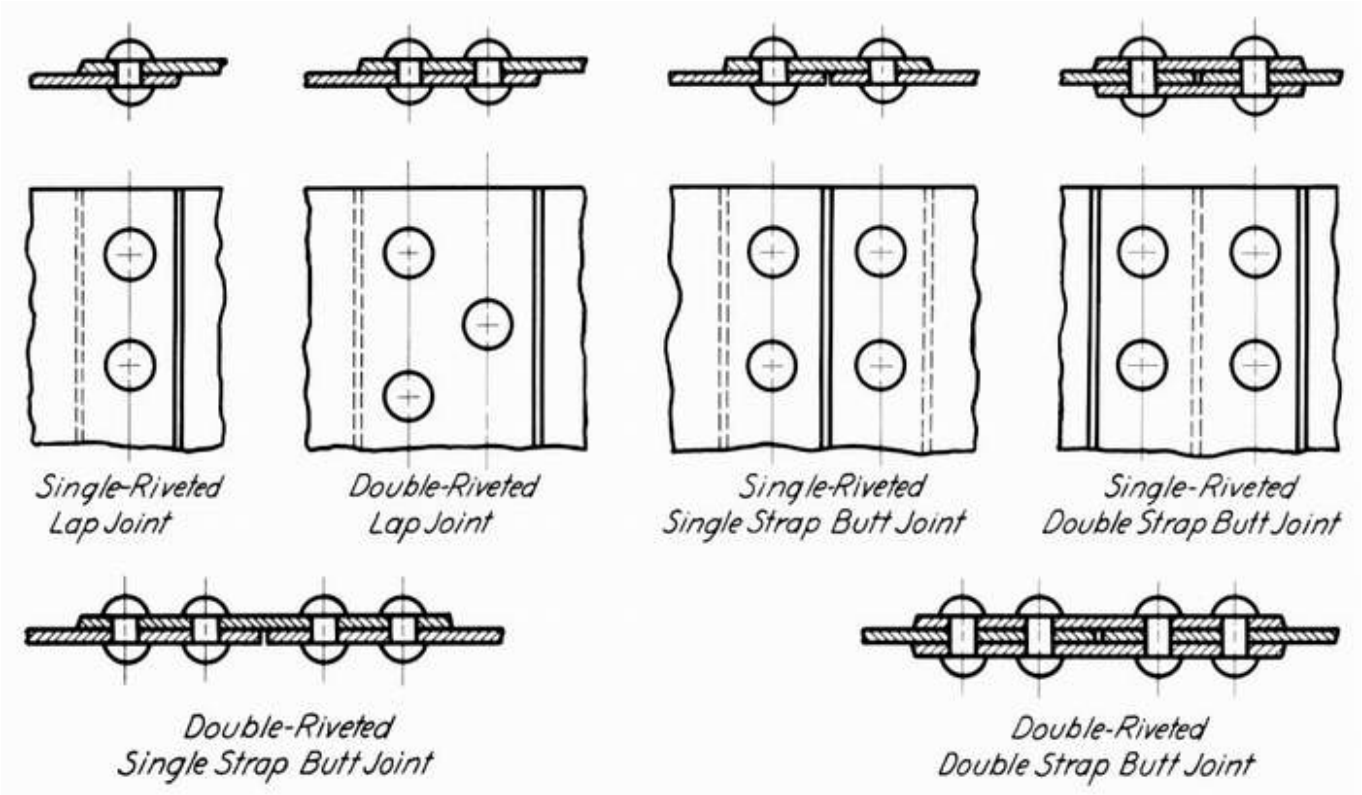


Connected parts become tighter:

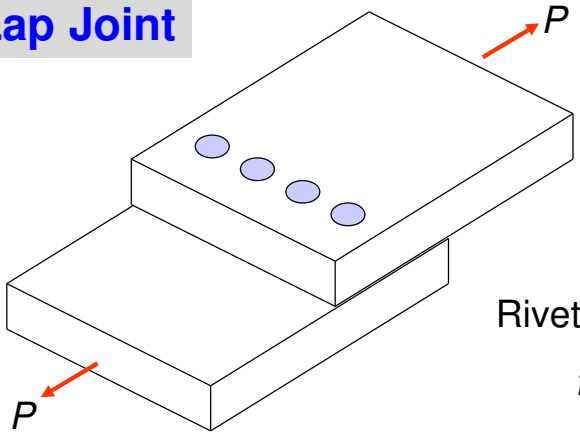
- Tension in rivet
- Compression in plates

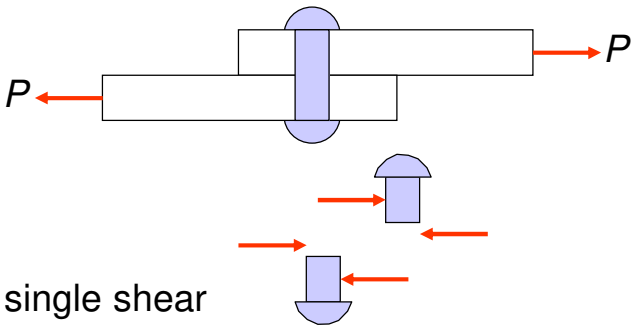
Friction between plates called "clamping action"

Forms of riveted joints



Lap Joint

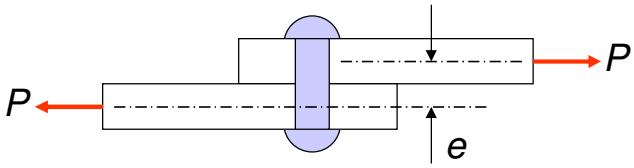


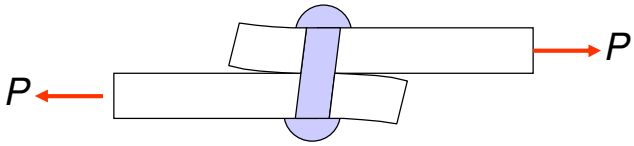


Rivet in single shear

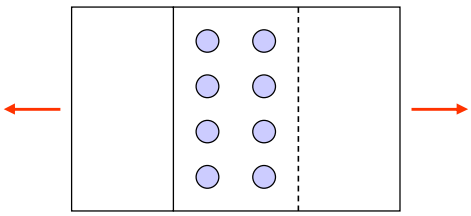
$f_v = P / A$

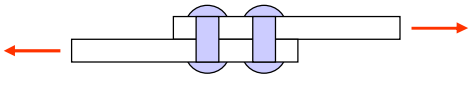
Eccentricity in lap joint





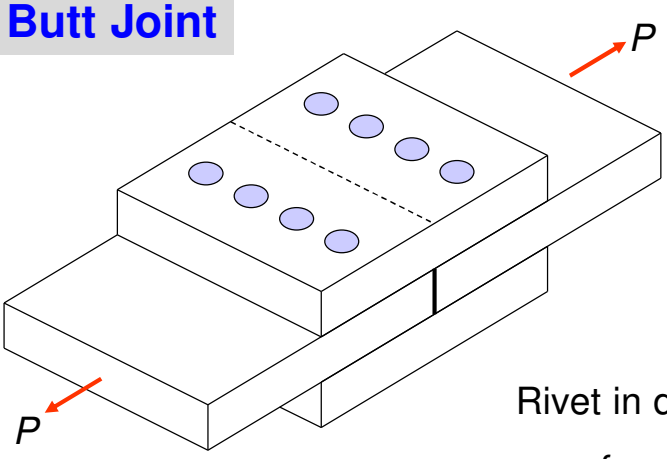
Undesired bending causes tension in rivets

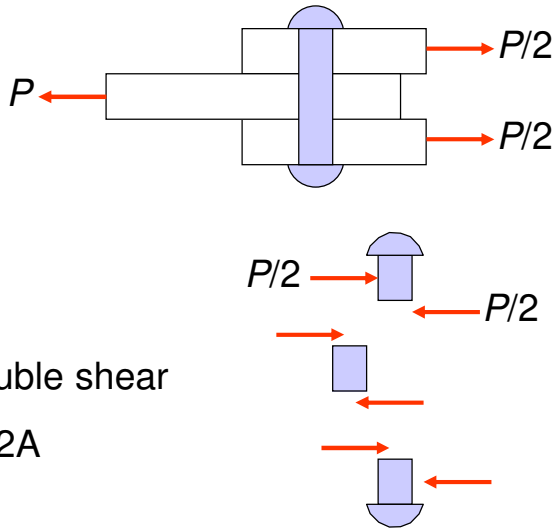




Double riveted lap joint

Butt Joint





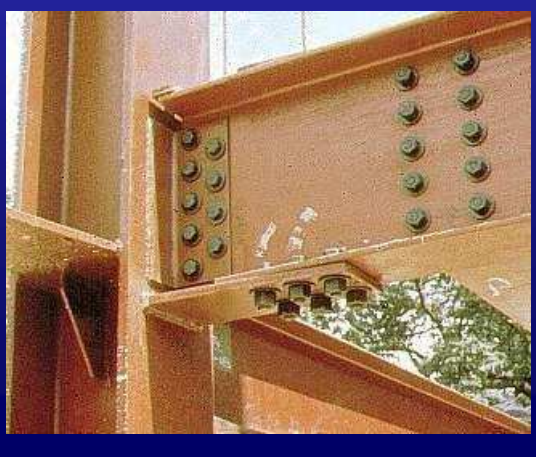
Rivet in double shear

$f_v = P/2A$

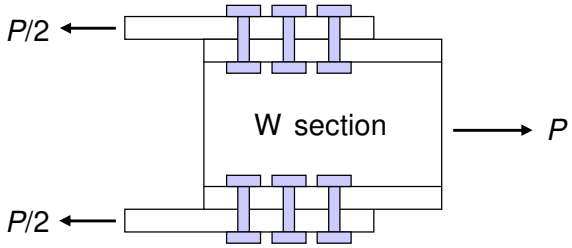
Butt joint v.s. Lap joint:

- แรงเฉือนในสลักเกลียวลดลงครึ่งหนึ่งของการต่อแบบทาบ
- จุดต่อรับแรงตรงแนวไม่เกิดโมเมนต์ดัด
- จุดต่อราคาเพิ่มขึ้น มักใช้ในจุดต่อที่รับแรงมาก

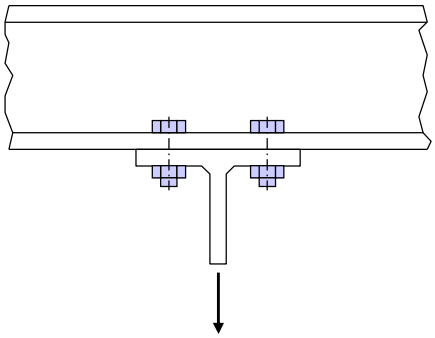
Bolted Connections



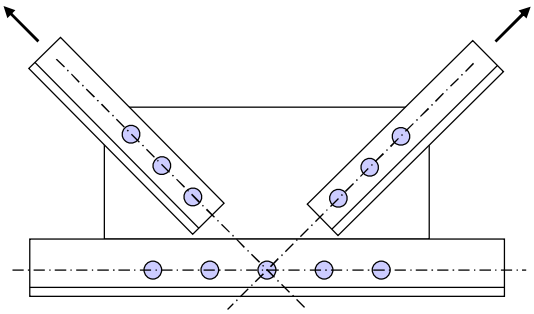
การต่อสลักเกลียวในลักษณะต่าง ๆ



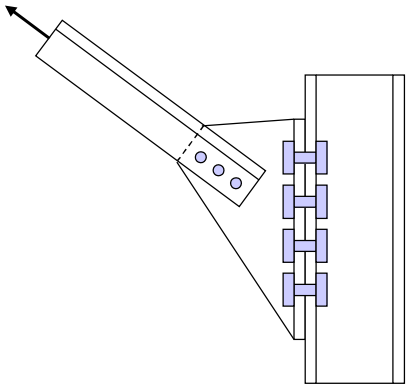
(a) จุดต่อปีกคาน



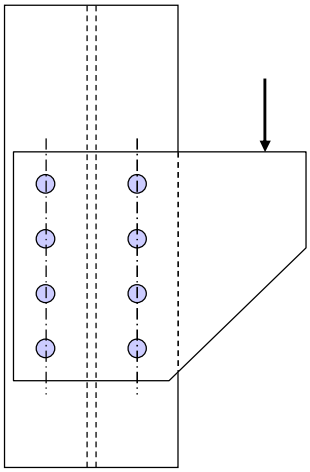
(b) จุดต่อแบบแขวน



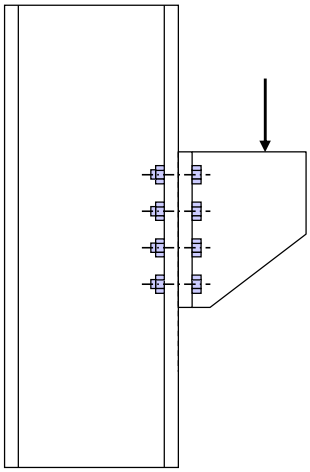
(c) จุดต่อโครงถัก



(d) จุดต่อการยึดโยง



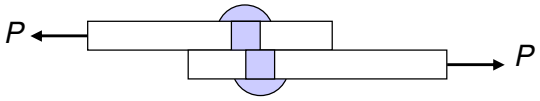
(e) จุดต่อเยื้องศูนย์แป้นหูช้าง



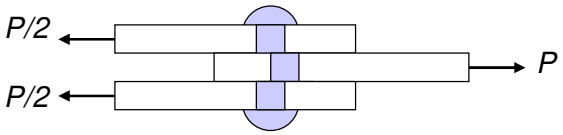
(f) จุดต่อเยื้องศูนย์

Failure of Joints

Case 1: Shear failure of rivets



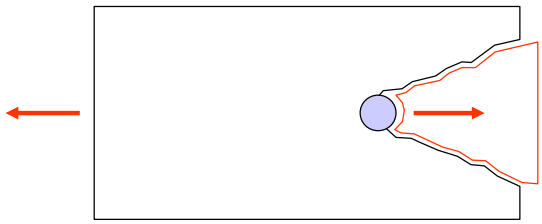
Single shear in lap joint



Double-shear in butt joint

Shear stress in rivet exceed the limit

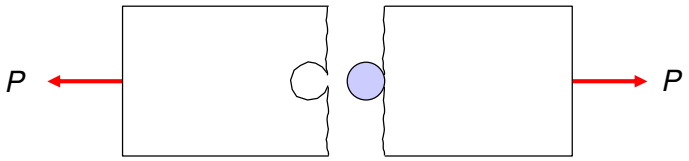
Case 2: Shear failure of plates



Shearing out

Insufficient edge distance

Case 3: Tension or Tearing failure of plates



Tensile stress at net cross section exceeds tensile strength

Case 4: Bearing failure of plate

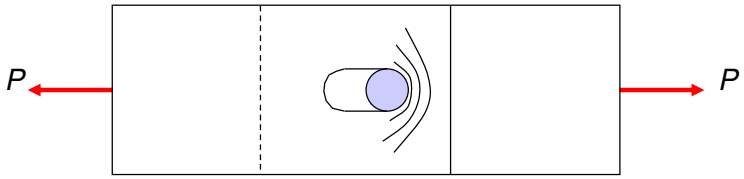
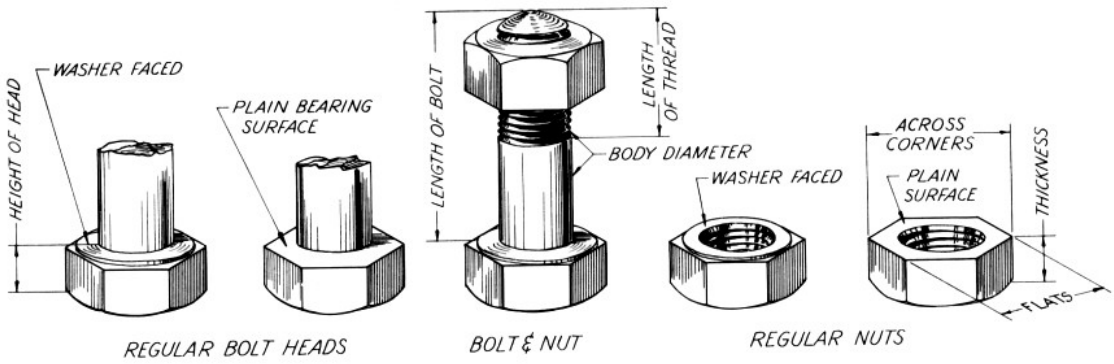
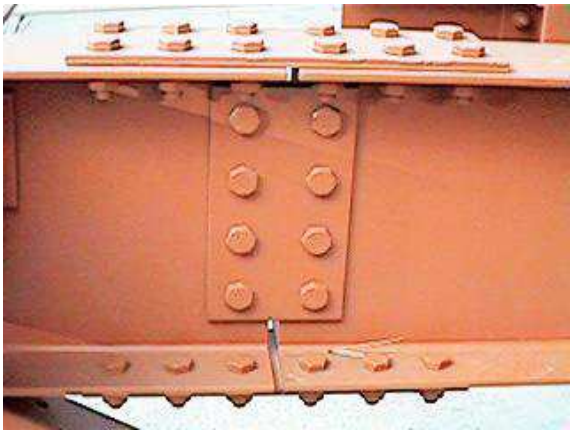


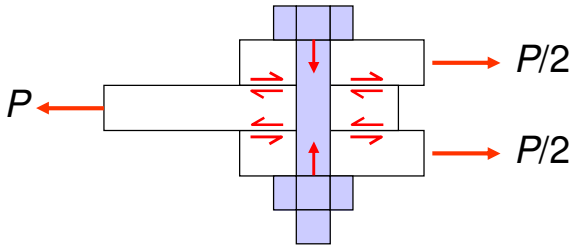
Plate may be crushed when bearing stress in plate exceeds the limit

Bolted Connections





Beam splice moment connection

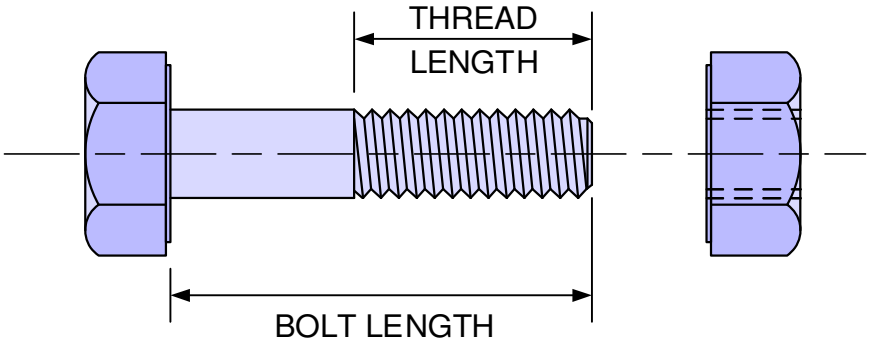


Friction from clamping pressure using high strength bolt

BOLT & NUT

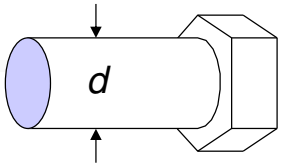
BOLT = น๊อตตัวผู้ = สลักเกลียว

NUT = น๊อตตัวเมีย = แป้นเกลียว



BOLT **NUT**

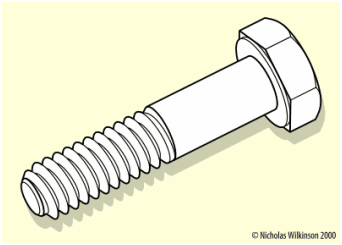
Bearing-type Connections

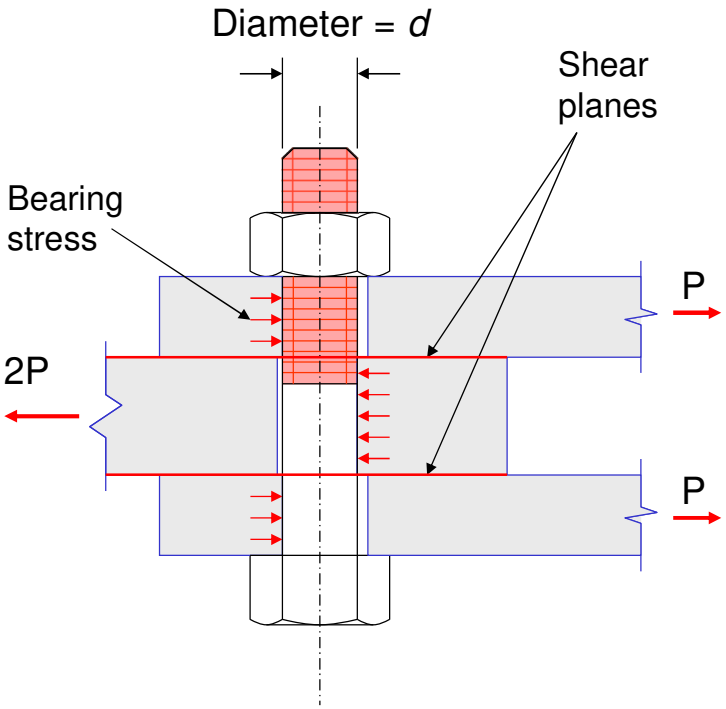


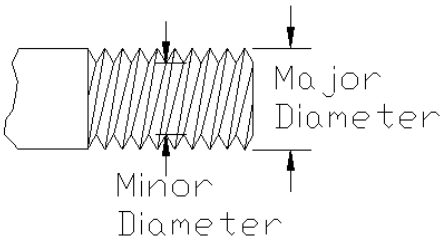
Shearing Strength: $(\pi/4)d^2 F_v$

ชนิดของสลักเกลียว	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ F_t (ก.ก./ซม.^{2})	หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v (ก.ก./ซม.^{2})	
		Friction-type	Bearing-type
A307	1,400	-	700
A325 (เกลียวอยู่ในระนาบเฉือน)	3,100	1,200	1,480
A325 (เกลียวไม่อยู่ในระนาบเฉือน)	3,100	1,200	2,100
A490 (เกลียวอยู่ในระนาบเฉือน)	3,800	1,480	1,970
A490 (เกลียวไม่อยู่ในระนาบเฉือน)	3,800	1,480	2,800

Threads Excluded from Shear Plane or not ?

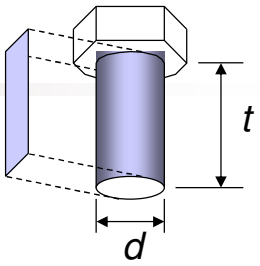




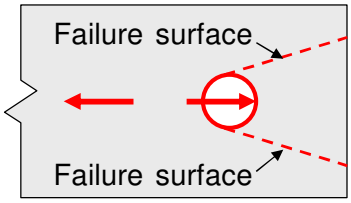


Bearing Strength

Bearing area = d x t



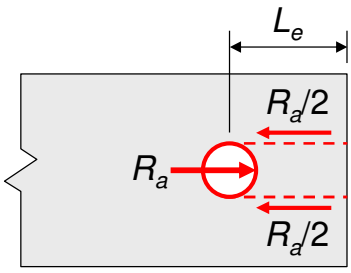
Excessive bearing results in shear tear-out failure mode.



Allowable bearing strength R_a :

$$R_a = \text{bearing area} \times F_p = d\,t\,F_p$$

For standard or short-slotted holes → $F_p = 1.2\,F_u$



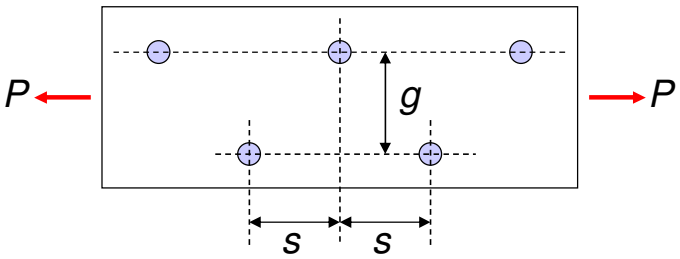
$$F_p = \frac{L_e F_u}{2d} \le 1.2F_u \quad \text{for } L_e < 1.5d$$

$$R_a = 0.5\,L_e\,t\,F_u \le 1.2\,d\,t\,F_u$$

Or $\quad R_a = 0.6\,L_c\,t\,F_u \le 1.2\,d\,t\,F_u$

For long-slotted holes perpendicular to the load → $F_p = 1.0\,F_u$

Spacing and Edge-Distances Requirements



Pitch: center-to-center of bolts parallel to axis of member

Gage: center-to-center of bolts lines perpendicular to axis of member

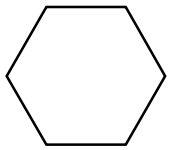
Edge distance: shortest distance from center of bolt to edge

min L_e = 1.5-2 diameter

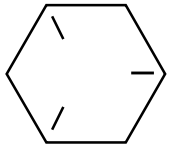
Distance between bolts: shortest distance between bolts

min *distance* = 3 diameter

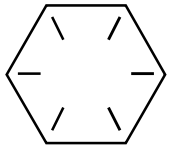
Marking for Bolt



A307

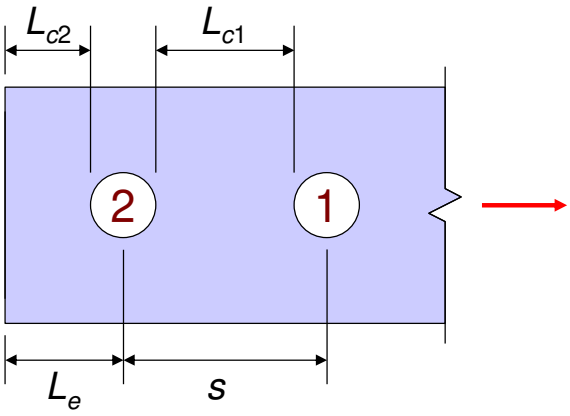


A325



A490

Spacing and Edge-Distances Requirements



L_c = clear distance, in the direction parallel to the applied load.

L_e = edge-distance to center of the hole

s = center-to-center spacing of holes

$h = d + 2$ mm = hole diameter

For edge bolts(2), use $L_c = L_e - h/2$

For other bolts(1), use $L_c = s - h$

$s \geq 2\frac{2}{3}d$ (preferably $3d$)

$L_e \geq$ value from AISC Table J3.4 ($1.5d$ - $2d$)

TABLE J3.4M
Minimum Edge Distance,[a] mm, from Center of Standard Hole[b] to Edge of Connected Part

Bolt Diameter (mm)	At Sheared Edges	At Rolled Edges of Plates, Shapes or Bars, or Thermally Cut Edges [c]
16	28	22
20	34	26
22	38 [d]	28
24	42 [d]	30
27	48	34
30	52	38
36	64	46
Over 36	1.75d	1.25d

[a] Lesser edge distances are permitted to be used provided provisions of Section J3.10, as appropriate, are satisfied.
[b] For oversized or slotted holes, see Table J3.5M.
[c] All edge distances in this column are permitted to be reduced 3 mm when the hole is at a point where required strength does not exceed 25 percent of the maximum strength in the element.
[d] These are permitted to be 32 mm at the ends of beam connection angles and shear end plates.

TABLE J3.5M
Values of Edge Distance Increment C_2, mm

Nominal Diameter of Fastener (mm)	Oversized Holes	Slotted Holes		
		Long Axis Perpendicular to Edge		Long Axis Parallel to Edge
		Short Slots	Long Slots[a]	
≤22	2	3	0.75*d*	0
24	3	3		
≥27	3	5		

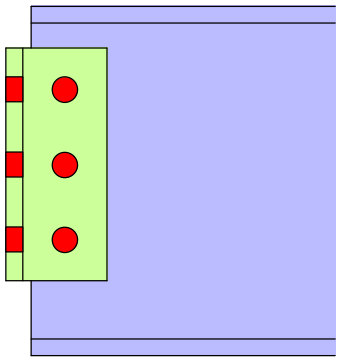
[a]When length of slot is less than maximum allowable (see Table J3.3M), C_2 is permitted to be reduced by one-half the difference between the maximum and actual slot lengths.

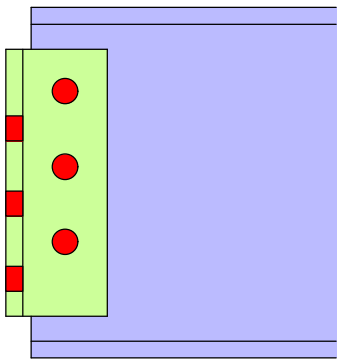
TABLE J3.3M
Nominal Hole Dimensions, mm

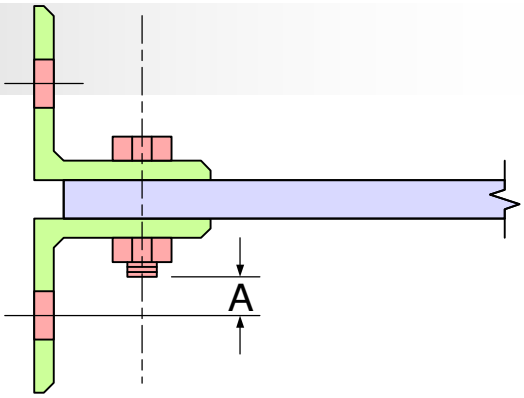
Bolt Diameter	Hole Dimensions			
	Standard (Dia.)	Oversize (Dia.)	Short-Slot (Width × Length)	Long-Slot (Width × Length)
M16	18	20	18 × 22	18 × 40
M20	22	24	22 × 26	22 × 50
M22	24	28	24 × 30	24 × 55
M24	27 [a]	30	27 × 32	27 × 60
M27	30	35	30 × 37	30 × 67
M30	33	38	33 × 40	33 × 75
≥M36	*d* + 3	*d* + 8	(*d* + 3) × (*d* + 10)	(*d* + 3) × 2.5*d*

[a]Clearance provided allows the use of a 1-in. bolt if desirable.

Minimum Clearance

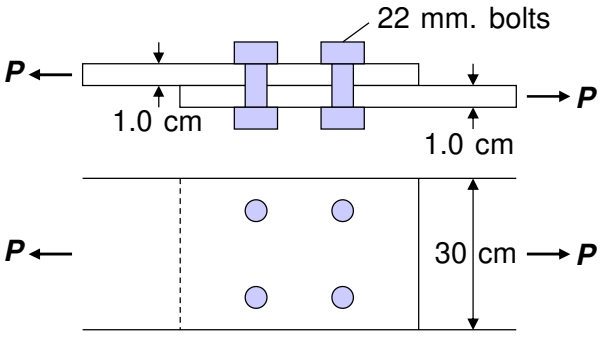






สลักเกลียว เส้นผ่าศูนย์กลาง	แป้นเกลียว ความสูง	ระยะช่องว่าง น้อยที่สุด, A
12	12	22
16	16	25
19	19	32
22	22	35
25	25	38
28	28	40
32	32	43

ตัวอย่างที่ 13-1 จงพิจารณากำลังที่ยอมให้ **P** ของจุดต่อแบกทานดังแสดงในรูป แผ่นเหล็ก A36, สลักเกลียว A325 ขนาด 22 ม.ม., รูเจาะขนาดมาตรฐาน, เกลียวอยู่นอกระนาบการเฉือน, ระยะขอบมากกว่า 1.5**d**, และระยะระหว่างสลักเกลียวมากกว่า **3d**



วิธีทำ แรงดึงที่ยอมให้:

$$A_g = 1.0\,(30) = 30 \text{ ซม.}^2$$

$$A_n = 30 - 2\,(2.5)\,(1.0) = 25 \text{ ซม.}^2 = A_e$$

$$P = 0.60\,(2.5)\,(30.0) = 45 \text{ ตัน}$$

$$P = 0.50\,(4.0)\,(25.0) = 50 \text{ ตัน}$$

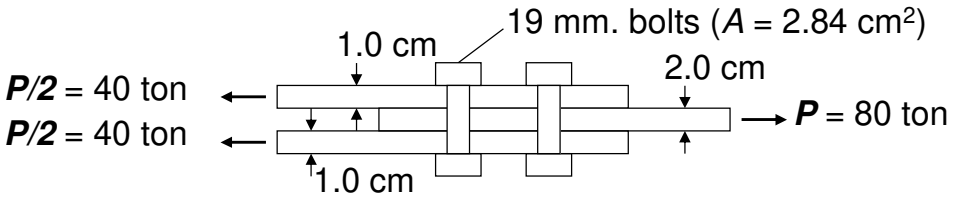
สลักเกลียวภายใต้แรงเฉือนและแรงแบกทานเดี่ยว:

แรงเฉือน: $P = 0.25\pi\,(2.2)^2\,(2.1)\,(4) = 31.93$ ตัน

แรงแบกทาน: $P = (1.0)\,(2.2)\,(1.2)\,(4.0)\,(4) = 42.24$ ตัน

ค่าที่ใช้ในการออกแบบคือ $P = \mathbf{31.93}$ ตัน

ตัวอย่างที่ 13-2 จะต้องใช้สลักเกลียว A325 ขนาด 19 ม.ม. ในรูเจาะขนาดมาตรฐานซึ่งเกลียวอยู่นอกระนาบการเฉือนจำนวนกี่ตัวในจุดต่อแบบมีแรงกดดังในรูป? ใช้เหล็ก A36 และสมมุติให้ระยะขอบและระยะห่างระหว่างสลักเกลียวเป็นไปตามข้อกำหนด



วิธีทำ สลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงเฉือนและแรงกดคู่:

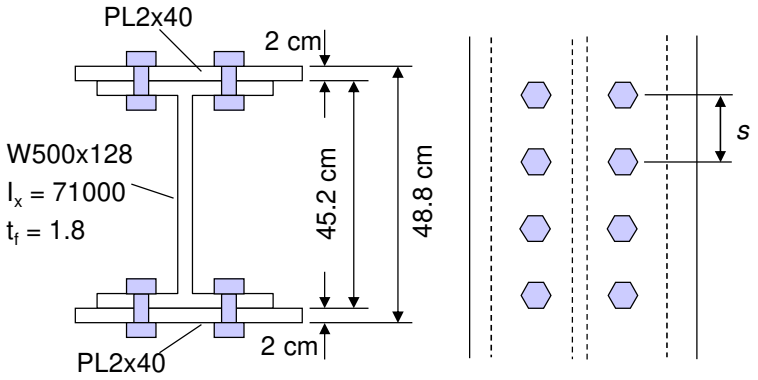
กำลังรับแรงเฉือนต่อสลักเกลียวหนึ่งตัว = 2(2.84)(2.1) = 11.93 ตัน (ควบคุม)

กำลังรับแรงกดต่อสลักเกลียวหนึ่งตัว = (2.0)(1.9)(1.2)(4.0) = 18.24 ตัน

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = 80/11.93 = 7+

<u>ใช้สลักเกลียว 8 หรือ 9 ตัว (ขึ้นอยู่กับการจัดเรียง)</u>

ตัวอย่างที่ 13-3 ที่หน้าตัดหนึ่งของคานประกับแผ่นเหล็กในรูป แรงเฉือน **V** กระทำ 80 ตัน พิจารณาระยะห่างที่ต้องการของสลักเกลียว A325 ขนาด 22 ม.ม. (**A**=3.8 ซม.^{2}) เป็นจุดต่อแบบมีแรงกด สมมุติระยะขอบและระยะห่างสลักเกลียวทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดและเกลียวอยู่นอกระนาบการเฉือน ใช้เหล็ก A36 และทาสีป้องกันการกัดกร่อน



วิธีทำ

$$I = 71{,}000 + 2(2\times40)(25.4)^2$$
$$= 174{,}226 \text{ ซม.}^4$$
$$q = VQ/I$$
$$= (80)(2\times40)(25.4)/174{,}226$$
$$= 0.93 \text{ ตัน/ซม.}$$

แรงเฉือนที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวสองตัว = (2)(3.8)(2.100) = 15.96 ตัน (ควบคุม)

แรงแบกทานที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวสองตัว = (2)(2.2)(1.8)(1.2)(4.0) = 38.02 ตัน

s = 15.96/0.93 = 17 ซม. (ใช้ **15** ซม. **c-c**)

มาตรฐาน AISC กำหนด s_{max} ของสลักเกลียวในองค์อาคารประกอบเท่ากับ:

$478/\sqrt{F_y}$ หรือ 24 เท่าของความหนา

หรือ 30 ซม. โดยใช้ค่าที่น้อยกว่า

ค่ามากที่สุดของ **S** ที่ยอมให้:

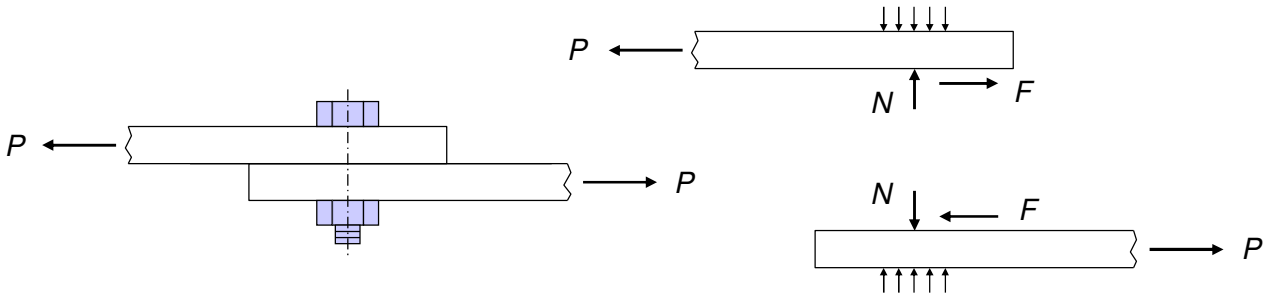
24 เท่าของความหนา = 24(1.8) = 43.2 ซม. > 15 ซม. **OK**

$$\frac{478t_f}{\sqrt{F_y}} = \frac{478(1.8)}{\sqrt{2{,}500}} = 17.2 \text{ ซม.} > 15 \text{ ซม.}$$ **OK**

S_{max} = 30 ซม. > 15 ซม. **OK**

Slip-critical(Friction-type) Connections

ใช้เฉพาะกับสลักเกลียวกำลังสูงคือ A325 และ A490



แรงดึงที่ต้องการในสลักเกลียวสำหรับการต่อ (ตัน)

ขนาดสลักเกลียว (ม.ม.)	A325	A490
19	12.7	15.9
22	17.7	22.3
25	23.2	29.1
32	32.3	46.4

AISC360-05 Specification for Structural Steel Buildings

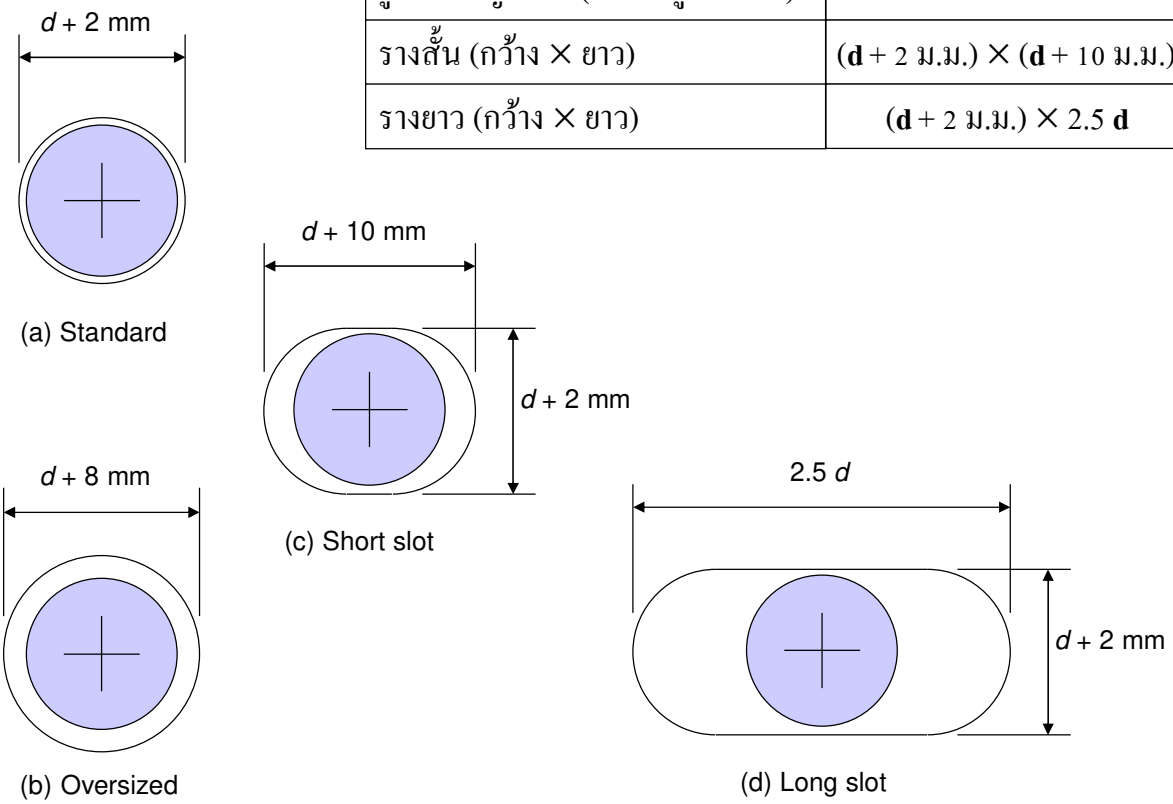
TABLE J3.1M
Minimum Bolt Pretension, kN*

Bolt Size, mm	A325M Bolts	A490M Bolts
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

*Equal to 0.70 times the minimum *tensile strength* of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM specifications for A325M and A490M bolts with UNC threads.

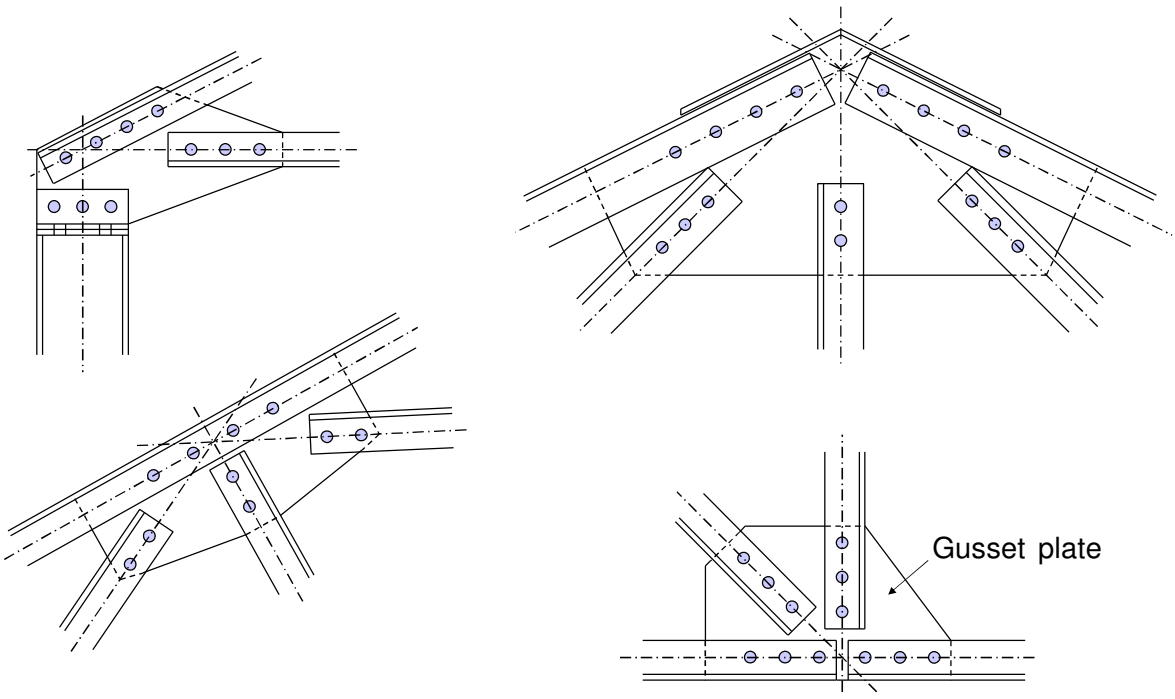
ชนิดของรูเจาะ

รูเจาะมาตรฐาน (เส้นผ่าศูนย์กลาง)	**d** + 2 ม.ม.
รูเจาะใหญ่พิเศษ (เส้นผ่าศูนย์กลาง)	**d** + 8 ม.ม.
รางสั้น (กว้าง × ยาว)	(**d** + 2 ม.ม.) × (**d** + 10 ม.ม.)
รางยาว (กว้าง × ยาว)	(**d** + 2 ม.ม.) × 2.5 **d**



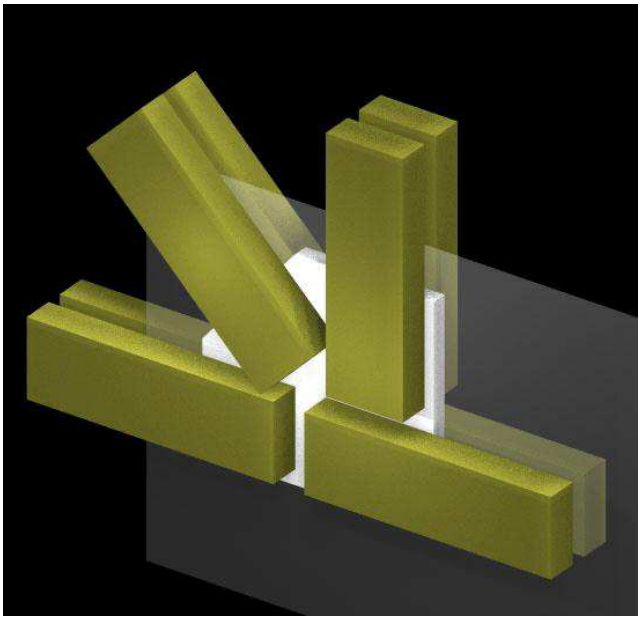
จุดต่อสลักเกลียวในโครงถัก

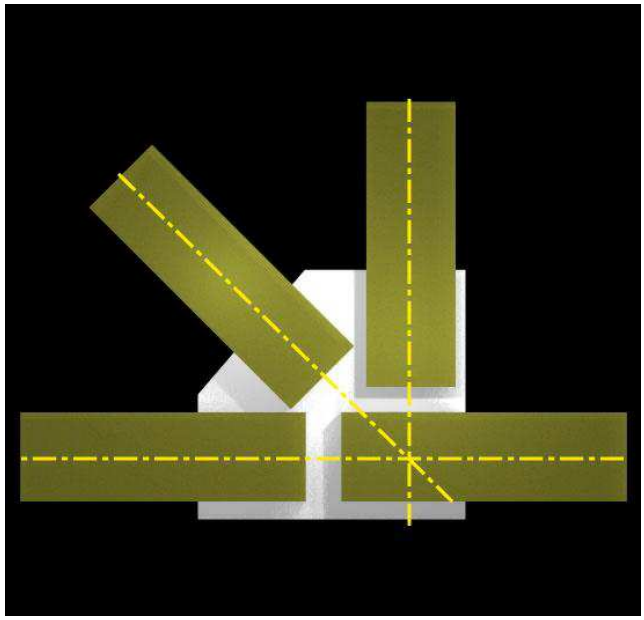
- แรงในองค์อาคารจะต้องมาตัดกันที่จุดต่อโดยไม่มีการเยื้องศูนย์
- พื้นที่ในการต่ออาจไม่เพียงพอจะใช้ **Gusset plate** ช่วย



Truss Joint

Double member with a single connector piece, called a **gusset plate**.

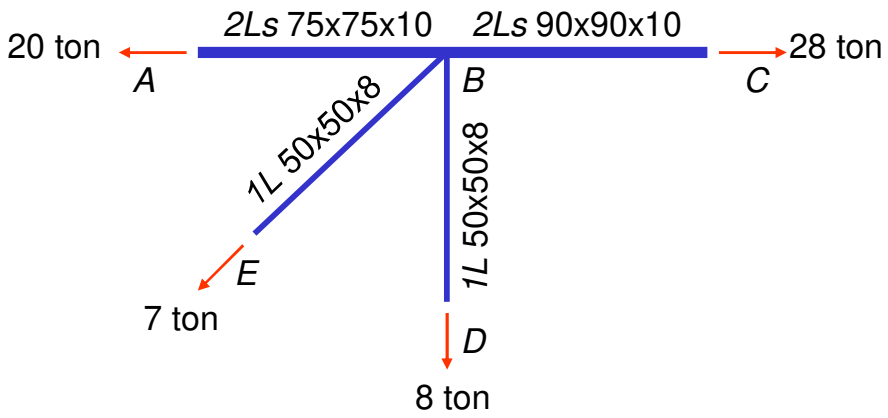




Members must have sufficient "bite" into the plate for bolts or weld contact.

Converging centerlines enable equilibrium without member moments.

ตัวอย่าง 13.4 จงออกแบบจุดต่อ *B* ในโครงถักหลังคาดังแสดงในรูป โดยใช้สลักเกลียว A325 แบบมีแรงแบกทาน ขนาด 19 ม.ม. รูเจาะมาตรฐาน เกลียวอยู่นอกระนาบเฉือน แผ่นเหล็กประกับหนา 12 ม.ม.



วิธีทำ กำลังของสลักเกลียว A325 เกลียวอยู่นอกระนาบเฉือน

กำลังเฉือน: F_v = 2,100 กก./ซม.^{2}

กำลังแบกทาน: F_p = 1.2(4,000) = 4,800 กก./ซม.^{2}

องค์อาคาร *AB*: P = 20 ตัน

ใช้หน้าตัด *2Ls* 75x75x10 ดังนั้นสลักเกลียวรับแรงเฉือนคู่

กำลังเฉือนคู่ของสลักเกลียว A325 ขนาด 19 ม.ม. 1 ตัว

$$P = 2 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times F_v = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 \times 2.1 = 11.91 \text{ ton}$$ **Control**

กำลังแบกทาน $P = d \times 2t \times F_p = 1.9 \times 2(1.0) \times 4.8 = 18.24$ ton

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = 20/11.91 = 1.68 ใช้ **2** ตัว

องค์อาคาร *BC*: P = 28 ตัน ใช้หน้าตัด *2Ls* 90x90x10 สลักเกลียวรับแรงเฉือนคู่

กำลังเฉือนคู่ $P = 2 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times F_v = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 \times 2.1 = 11.91$ ton **Control**

กำลังแบกทาน $P = d \times 2t \times F_p = 1.9 \times 2(1.0) \times 4.8 = 18.24$ ton

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = 28/11.91 = 2.53 ใช้ **3** ตัว

องค์อาคาร *BD*: P = 8 ตัน ใช้หน้าตัด *1Ls* 50x50x8 สลักเกลียวรับแรงเฉือนเดี่ยว

กำลังเฉือนคู่ $P = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times F_v = \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 \times 2.1 = 5.95$ ton **Control**

กำลังแบกทาน $P = d \times t \times F_p = 1.9 \times 0.8 \times 4.8 = 7.30$ ton

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = 8/5.95 = 1.35 ใช้ **2** ตัว

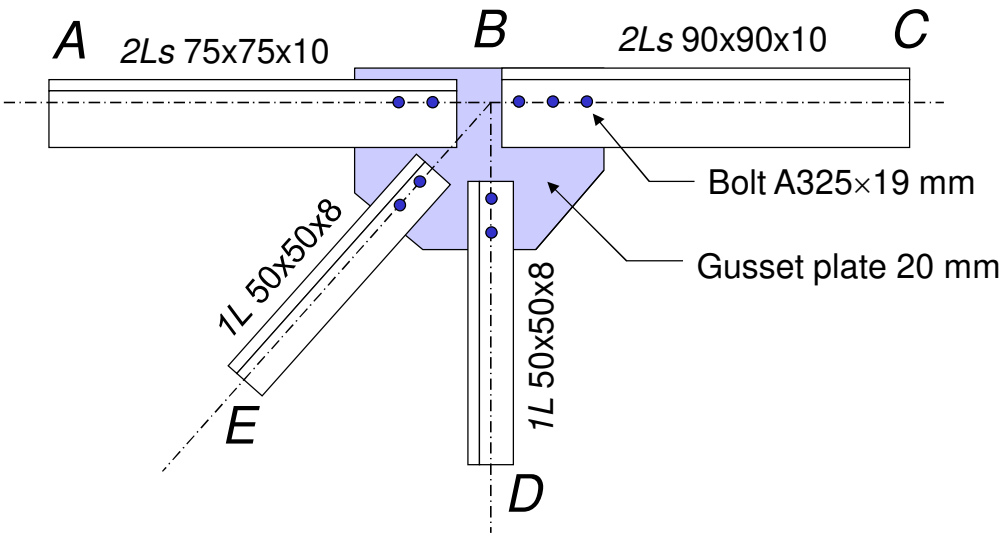
องค์อาคาร *BE*: P = 7 ตัน ใช้หน้าตัด *1Ls* 50x50x8 สลักเกลียวรับแรงเฉือนเดี่ยว

กำลังเฉือนคู่ $P = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times F_v = \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 \times 2.1 = 5.95$ ton **Control**

กำลังแบกทาน $P = d \times t \times F_p = 1.9 \times 0.8 \times 4.8 = 7.30$ ton

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = 7/5.95 = 1.18 ใช้ **2** ตัว

Detail Drawing



More ckeck for:

- Effective area of tension members ($0.5F_u A_e$)
- Block shear failure of tension members

End of Lecture