

Basic Steel Connection Design

We ❤️ Steel Construction
8th Mini Course
September 18, 2024

MINI COURSE

Basic-Level Steel Connection Design



18 SEPTEMBER 2024

10:00 - 12:00 น

- Limit State
- Shear Connection
- Moment Connection
- Flange-plate moment connection
- End-plate moment connection
- Wind and Seismic application

FREE

กดเพื่อลงทะเบียน



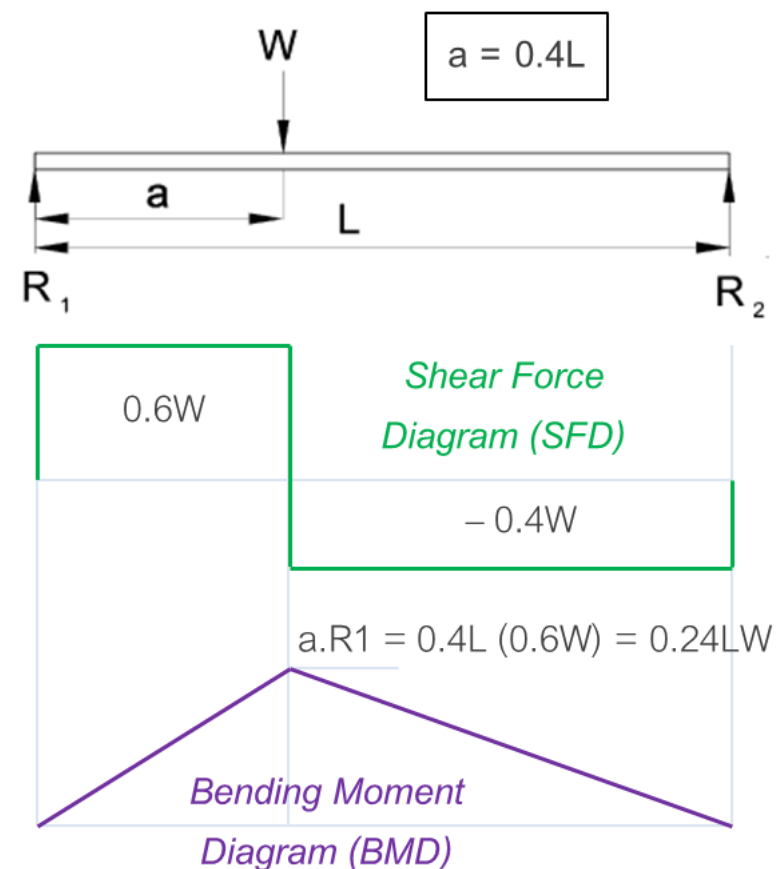
Online Streaming with zoom webinar

+ 2 CPD

แรงภายนอก vs. แรงภายในคาน

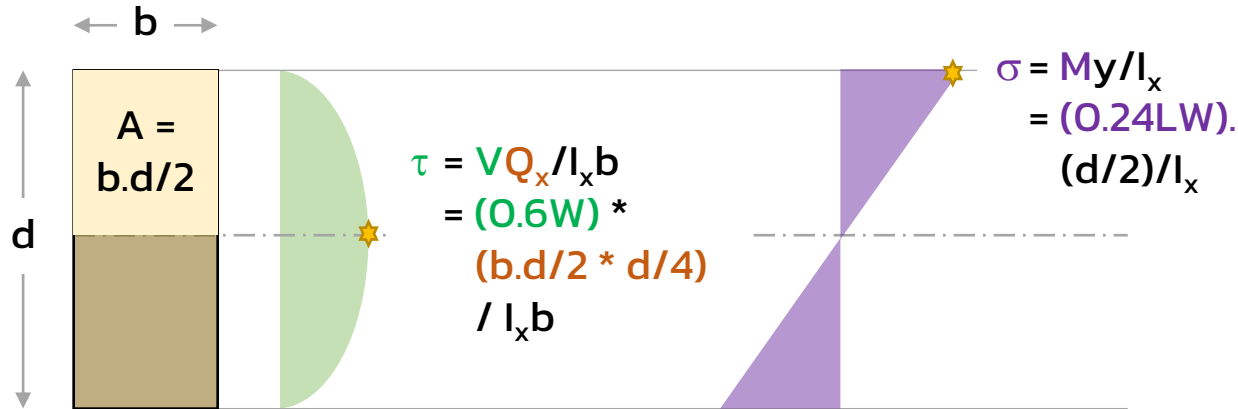
#WeLoveSteelConstruction

- แรงภายนอก ของคานประเภท gravity beam
 - Dead Load (DL): น้ำหนักโครงสร้าง ผนังภายนอก
 - Live Load (LL): น้ำหนักจากคน เฟอร์นิเจอร์
- แรงภายในคาน
 - แสดงในรูปของ “แรง” ได้แก่
 - Shear (SFD)
 - Moment (BMD)
 - แสดงในรูปของ “หน่วยแรง” ได้แก่
 - Shear stress (τ)
 - Normal stress (σ)



แรงภายนอก vs. แรงภายในคาน

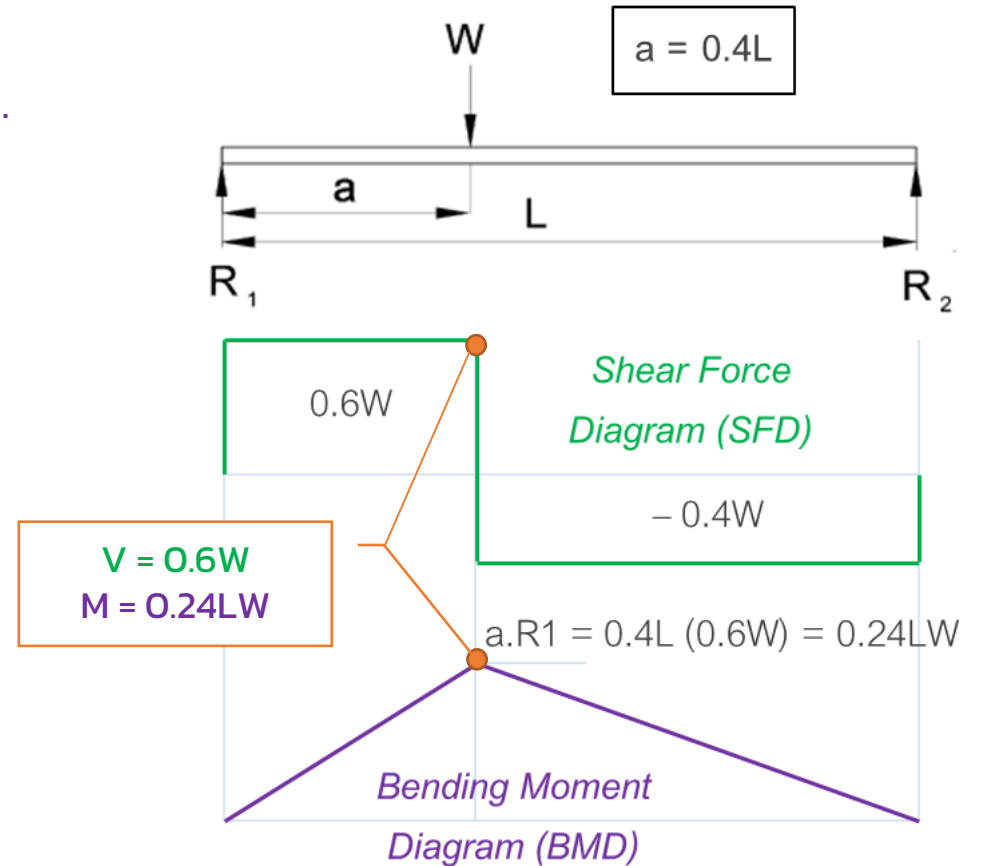
#WeLoveSteelConstruction



- แรงภายในคาน

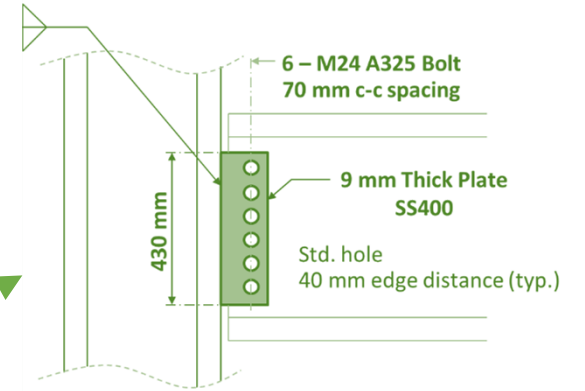
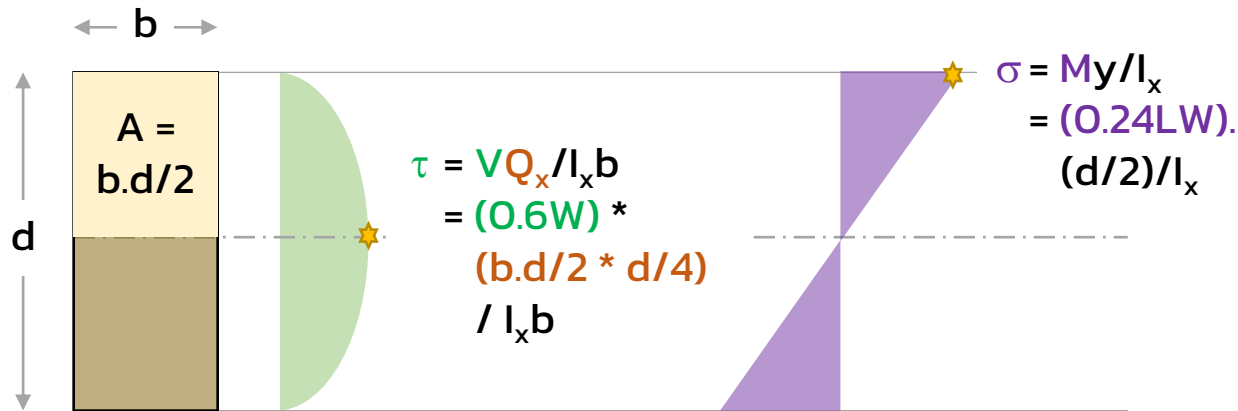
- แสดงในรูปของ “หน่วยแรง” ได้แก่

- Shear stress (τ)
 - Normal stress (σ)



แรงภายนอก vs. แรงภายในคาน

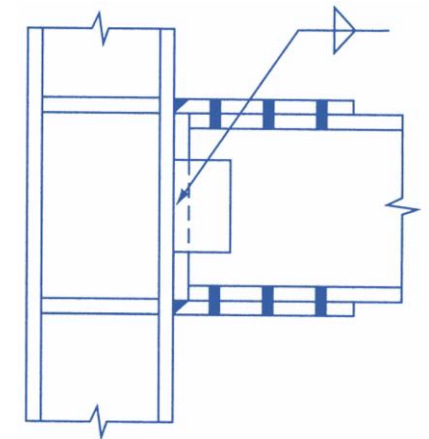
#WeLoveSteelConstruction



- แรงภายในคาน

- แสดงในรูปของ “หน่วยแรง” ได้แก่

- Shear stress (τ) ถ่ายผ่าน web
 - Normal stress (σ) ถ่ายผ่าน flange





ประเภท และมาตรฐานอุปกรณ์ยึด

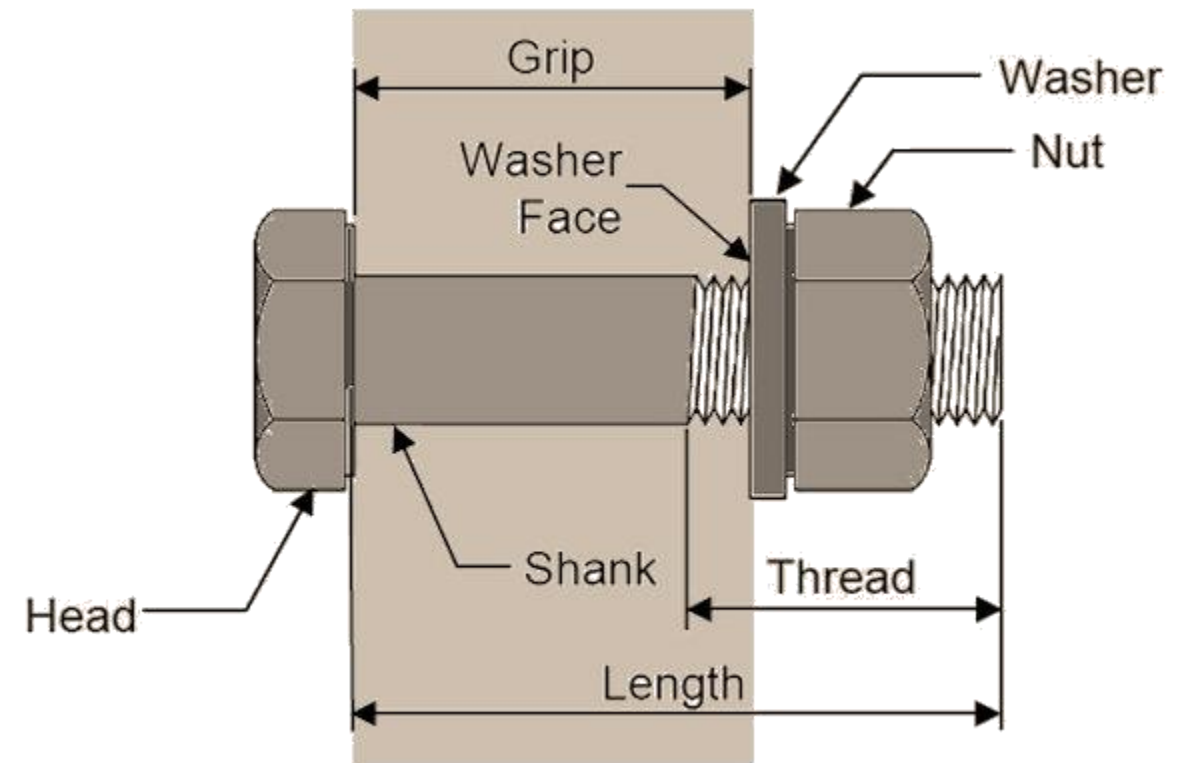
#WeLoveSteelConstruction

Bolt & Nut Nomenclature

#WeLoveSteelConstruction

- การเรียกชื่อ technical term ให้ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

English	Thai
Bolt	สลักเกลียว
Nut	แป้นเกลียว
Washer	แหวนรอง
Shank	แกนสลักเกลียว
Thread	ร่องเกลียว
Grip	ระยะยึดตามความหนาชิ้นงาน



Ref: <https://www.bhamfast.com/structural-bolt-stickout/>

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

จำแนกตามระยะเกลียว

N-Type



☐ Bolt เกลียวเต็ม

☐ รับกำลังได้น้อยลง เพราะเสียพื้นที่

☐ ราคาแพงกว่า (ทำเกลียวเยอะกว่า)

☐ ทำงานได้สะดวกกว่า



X-Type

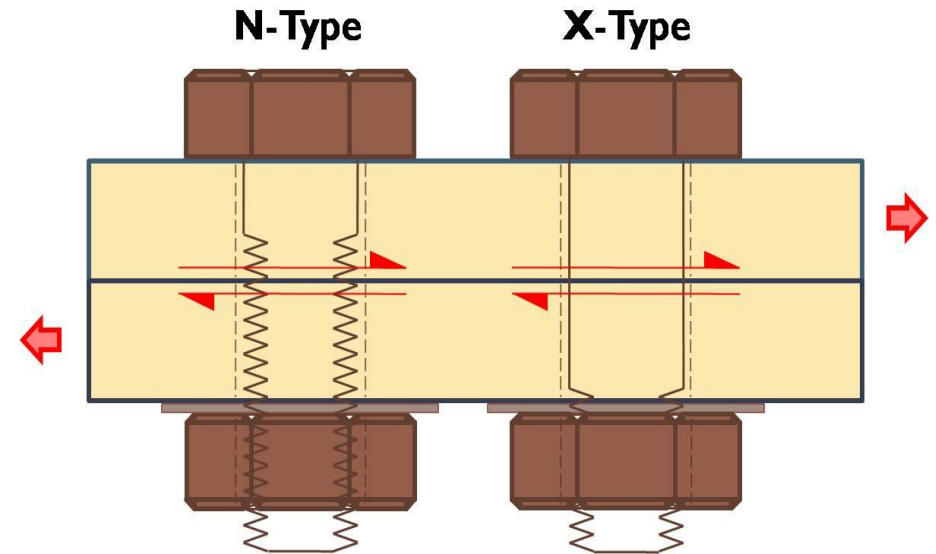
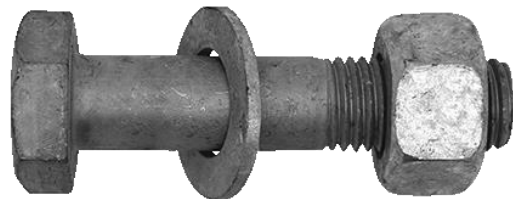


☐ Bolt เกลียวไม่เต็ม

☐ รับกำลังได้มากกว่า

☐ ราคาถูกกว่า

☐ ต้องควบคุมความหนาให้ดี ทำงานยาก



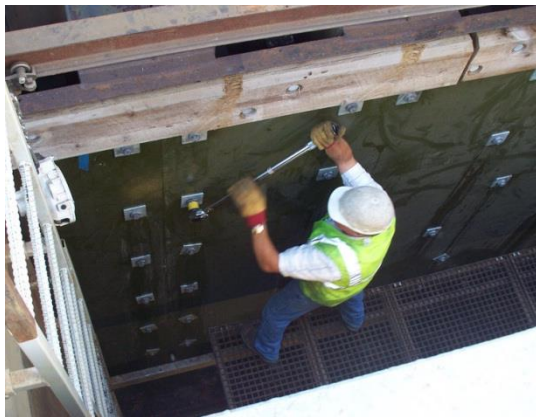
ในทางปฏิบัติ ผู้ออกแบบมักจะที่จะกำหนดให้ใช้ Bolt ประเภท A325N หรือ A490N เพื่อความสะดวกในการออกแบบ และการควบคุมงานเนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่าเกลียวอยู่ในระยะรับแรงเฉือนหรือไม่ และไม่ต้องเป็นกังวลว่าความหนาชิ้นงานที่จับยึดจะไม่เพียงพอ อันส่งผลต่อความแน่นในการจัดยึด

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี (Snug-Tightened Bolt)

การขันแน่นพอดี ได้นิยามไว้ใน บทที่ 1 วสท. 011038 ว่าเป็น “การขันสลักเกลียวโดยความแน่นที่ได้จากการกระแทก เล็กน้อยจากประแจแบบกระแทก Impact Wrench หรือขัน ด้วยแรงเต็มที่ของผู้เตรียมชิ้นงานด้วยประแจแบบธรรมดา”



จำแนกตามการขันแน่น

N or X

Snug-tightened bolt

- ขันแน่นพอดี “ตึงมือ” ด้วยประแจธรรมดา
- กำลัง ขันกับว่าเป็น X หรือ N-Type

TC

Pretensioned bolt

- ขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC

Slip-critical bolt

- เลื่อนวิฤต
- ต้องขันแน่นดังเช่น TC bolt แต่ต้องทำ surface treatment
- ใช้ limit state ที่ “การ slip” หรือ วิบัติเมื่อเลื่อน หรือ ขยับ

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบใส่แรงตึงก่อน (Pre-tension Bolt)

ใช้ในกรณีต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่ต้องการให้ข้อต่อเกิดความแน่น แต่ทั้งนี้หากเกิดการเลื่อนไถลก็ไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อ

สลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต (Slip Critical Bolt)

ใช้กับข้อต่อที่หากเกิดการเลื่อนไถลจะเกิดความเสียหายต่อความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ

ทั้ง **TC** และ **SC Bolt** ล้วนเป็นรูปแบบที่ต้องขัน **Bolt** ให้แน่น แต่ข้อแตกต่างในแง่ของการติดตั้ง คือ **การเตรียมผิวสัมผัส** บริเวณ Bolt ที่เรียกว่า **Faying Surface** ให้มีความฝืด อันส่งผลกระทบต่อค่าแรงเฉือนผ่านระยะที่มีความฝืดนี้

จำแนกตามการขันแน่น

N or X

Snug-tightened bolt

- ขันแน่นพอดี “ตึงมือ” ด้วยประแจธรรมดา
- กำลัง ขันกับว่าเป็น X หรือ N-Type

TC

Pretensioned bolt

- ขันแน่นแบบใส่แรงตึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC

Slip-critical bolt

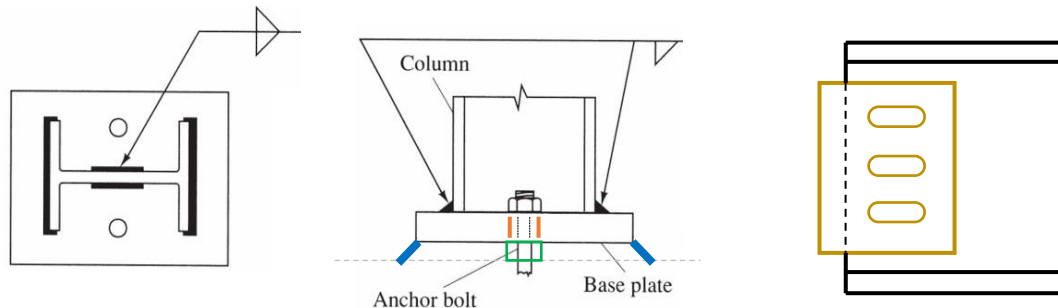
- เลื่อนวิกฤต
- ต้องขันแน่นดังเช่น TC bolt แต่ต้องทำ surface treatment
- ใช้ limit state ที่ “การ slip” หรือ วิบัติเมื่อเลื่อน หรือ ขยับ

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต (Slip Critical Bolt)

ใช้กับข้อต่อที่หากเกิดการเลื่อนไถลจะเกิดความเสียหายต่อความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ รวมไปถึงจนถึงข้อต่อสลักเกลียวที่มีการใช้รูเจาะใหญ่กว่ามาตรฐาน (Oversized Hole) เช่น Base plate ต่อเข้ากับฐานรากด้วยสลักสมอ และข้อต่อสลักเกลียวที่มีรูเจาะแบบร่อง (Slotted Hole) ยกเว้นในกรณีที่ ทิศทางของแรงที่กระทำตั้งฉากกับทิศทางตามยาวของร่องรูเจาะ



จำแนกตามการขันแน่น

N or X Snug-tightened bolt

- ขันแน่นพอดี "ตึงมือ" ด้วยประแจธรรมดา
- กำลัง ขึ้นกับว่าเป็น X หรือ N-Type

TC Pretensioned bolt

- ขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC Slip-critical bolt

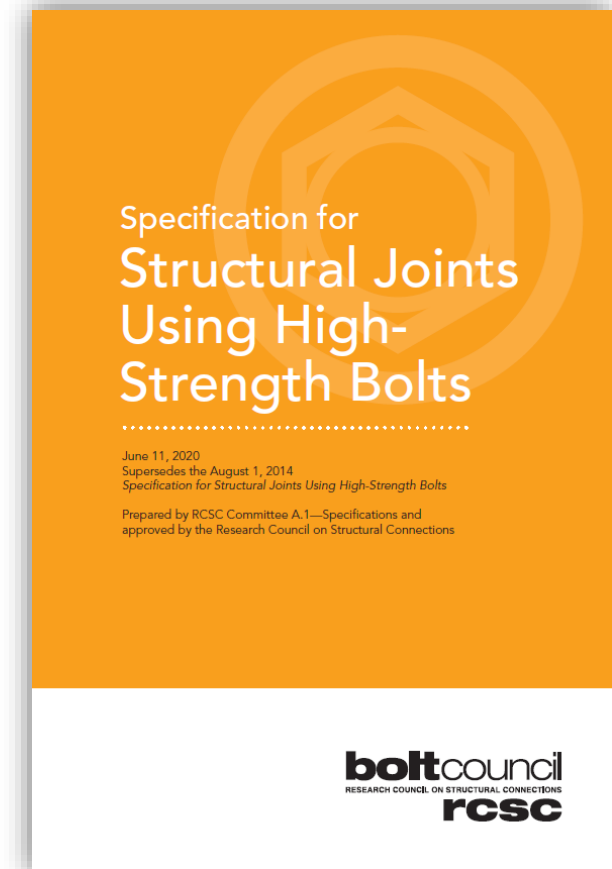
- เลื่อนวิกฤต
- ต้องขันแน่นดังเช่น TC bolt แต่ต้องทำ surface treatment
- ใช้ limit state ที่ "การ slip" หรือ วิบัติเมื่อเลื่อน หรือ ขยับ

Latest US Reference for Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Table 2.1 Group Designations for Bolts and Matched Bolting Assemblies			
Group	Tensile Strength	Bolts	Matched Bolting Assemblies
Group 120	120 ksi (840 MPa)	ASTM F3125 Grade A325	ASTM F3125 Grade F1852
Group 144	144 ksi	—	ASTM F3148 Grade 144
Group 150	150 ksi (1,050 MPa)	ASTM F3125 Grade A490	ASTM F3125 Grade F2280

Hot-dip or mechanical galvanizing of Group 150 heavy hex bolts or Group 150 spline-end matched bolting assemblies is not permitted.



Thailand Standard & Reference for Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Applied Load Condition			Nominal Strength per Unit Area, F_n , ksi	
			ASTM A325 or F1852	ASTM A490 or F2280
Tension ^a	Static 75% $F_{u,bolt}$		90 $F_u = 120$	113 $F_u = 150$
	Fatigue		See Section 5.5	
Shear ^{a,b}	Threads included in shear plane	$L_s \leq 38$ in.	54 = 68*0.8	68 = 84*0.8
		$L_s > 38$ in.	45 = 56*0.8	56 = 70*0.8
	Threads excluded from shear plane	$L_s \leq 38$ in.	68 = 120*0.62*0.9	84 = 150*0.62*0.9
		$L_s > 38$ in.	56 = 120*0.62*0.75	70 = 150*0.62*0.75
^a Except as required in Section 5.2.				
^b Reduction for values for $L_s > 38$ in. applies only when the joint is end loaded, such as splice plates on a beam or column flange.				

Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts

August 1, 2014
(includes April 2015 Errata)

Supersedes the December 31, 2009 *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*.

Prepared by RCSC Committee A.1—Specifications and approved by the Research Council on Structural Connections.

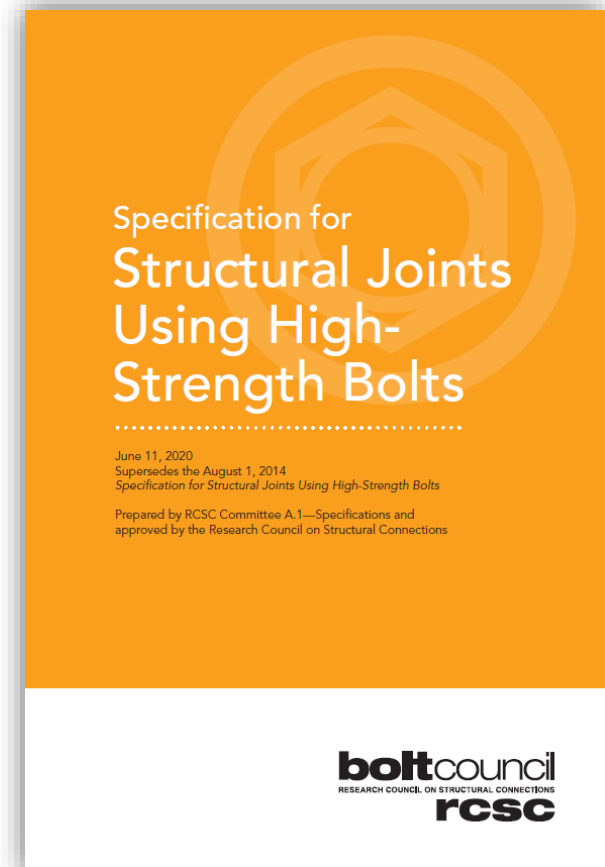
boltcouncil
RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS
RCSC

www.boltcouncil.org
RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS
c/o AISC, One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois 60601

Latest US Reference for Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Table 5.1 Nominal Strengths per Unit Area of Bolts					
Applied Load Condition			Nominal Strength per Unit Area, F_n , ksi		
			Group 120	Group 144	Group 150
Tension ^a	Static		90	108	113
	Fatigue		See Section 5.5		
Shear ^{a,b}	Threads included in shear plane	$L_s \leq 38$ in.	54	65	68
		$L_s > 38$ in.	45	54	56
	Threads excluded from shear plane	$L_s \leq 38$ in.	68	81	84
		$L_s > 38$ in.	56	68	70





ASTM vs. ISO vs. Japan High Strength Bolts

#WeLoveSteelConstruction

Bolt Standard ... ที่น่าสับสน

#WeLoveSteelConstruction

- **มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กของประเทศไทย** (วสท. มยพ.) จึงมักอ้างอิง Bolt standard ตาม ASTM A325 A490
- **มาตรฐาน Bolt ของประเทศไทย** แม้ว่าจะมีปรากฏเฉพาะ มอก. 2454-52 ซึ่งจำกัดเฉพาะ bolt ขนาดเล็ก (small series) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุด 16 mm กำลัง Bolt อ้างอิง ISO 898 class 8.8 10.9 11.9
- **มาตรฐาน Bolt ของประเทศญี่ปุ่น** อ้างอิง JIS B 1186 แสดงสัญลักษณ์ด้วยขนาด เช่นเดียวกับ ASTM และ ISO หน่วย metric ที่ใช้ทั่วไปกับงานโครงสร้าง คือ M16 M20 M22 M24 M27 แต่กำหนดเกรดวัสดุด้วยสัญลักษณ์ "F" ย่อมาจาก Friction Grip

JIS B 1186 Bolt Standard

#WeLoveSteelConstruction

- เป็น Bolt (สลักเกลียว) หัวหกเหลี่ยม ที่ขันแน่นด้วย Nut (แป้นเกลียว)
- **Grade: F8T** (F_u 800 MPa) **F10T** (F_u 1,000 MPa) **F11T** (F_u 1,100 MPa)
- **Proof stress** สะท้อนค่า stress ใน bolt ที่ไม่ทำให้ bolt เกิดการเสียรูปถาวร
- **การขันแน่น** (torque) หรือ แน่นตึงพอดี (snug) เป็นอีก มิติ ไม่เกี่ยวกับ bolt grade

Grade according to mechanical properties of bolt	Proof stress N/mm ² {kgf/mm ² }	Tensile strength N/mm ² {kgf/mm ² }	Elongation %	Reduction of area %
F 8T	640 min. {65.3 min.}	800 to 1000 {81.6 to 102.0}	16 min.	45 min.
F10T	900 min. {91.8 min.}	1000 to 1200 {102.0 to 122.4}	14 min.	40 min.
F11T	950 min. {96.9 min.}	1100 to 1300 {112.2 to 132.6}	14 min.	40 min.

TC Bolt

#WeLoveSteelConstruction

- มี Bolt อีกประเภท ที่ไม่ใช่หัวหกเหลี่ยม (Hex Bolt) แต่เป็น Bolt หัวกลม หางยาวที่ขันด้วยประแจพิเศษทางด้านหาง โดยไม่ต้องยัดหัว Bolt เวลาขัน ที่เมื่อได้ความแน่น (ได้ torque) หางจะขาดออก ตาม ASTM จะระบุ F1852 เทียบเท่า A325 และ F2250 เทียบเท่า A490 เรียก Bolt ประเภทนี้ว่า Tension-Controlled Bolt หรือ **TC Bolt**
- ในประเทศญี่ปุ่น JSSC: Japan Society of Steel Construction ได้กำหนดมาตรฐาน Bolt ประเภทนี้ออกมา รหัส JSS II-09 โดยระบุเกรดเป็น "S" หรือ Shear (หางฉีกขาดเมื่อแน่น) คล้ายคลึงกับ JIS 1186 ที่กำกับด้วย "F" หรือ Friction

F10T vs. S10T

#WeLoveSteelConstruction

Grade according to mechanical properties of bolt	Proof stress N/mm ² {kgf/mm ² }	Tensile strength N/mm ² {kgf/mm ² }	Elongation %	Reduction of area %
F 8T	640 min. {65.3 min.}	800 to 1000 {81.6 to 102.0}	16 min.	45 min.
F10T	900 min. {91.8 min.}	1000 to 1200 {102.0 to 122.4}	14 min.	40 min.
F11T	950 min. {96.9 min.}	1100 to 1300 {112.2 to 132.6}	14 min.	40 min.

Grade according to mechanical properties of bolt	Tensile loads (minimum) (kN) (kgf)							Hardness
	Designations of screw threads							
	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	
F 8T	68 (6 934)	126 (12 848)	196 (19 987)	243 (24 779)	283 (28 858)	368 (37 526)	449 (45 785)	18 to 31 HRC
F10T	85 (8 668)	157 (16 010)	245 (24 983)	303 (30 898)	353 (35 996)	459 (46 805)	561 (57 206)	27 to 38 HRC
F11T	93 (9 483)	173 (17 641)	270 (27 532)	334 (34 059)	389 (39 667)	505 (51 496)	618 (63 019)	30 to 40 HRC

Grade by mechanical properties of bolt	Proof stress kgf/mm ² {N/mm ² }*	Tensile strength kgf/mm ² {N/mm ² }	Elongation %	Reduction of area %
S 10T	min. 90 {min. 882.6}	100 to 120 {980.7 to 1176.8}	min. 14	min. 40

Grade by mechanical properties of bolt	Tensile load (min.) (kgf){kN}				Hardness
	Designation of bolt				
	M 16	M 20	M 22	M 24	
S 10T	15700 {154.0}	24500 {240.3}	30300 {297.1}	35300 {346.2}	H _R ^C 27 to 38

The background of the image shows several steel fasteners. On the left, a long bolt with a hexagonal head is partially visible. In the center, there is a hexagonal nut and a washer. To the right, there are two more bolts, one with a hexagonal head and another with a rounded head. The text is overlaid on this background.

ISO 898 vs. ASTM A325 A490 Bolts

#WeLoveSteelConstruction

ASTM Bolt

#WeLoveSteelConstruction

- **เดิมที** แบ่งเป็นเกรด A307 ($F_u = 60 \text{ ksi}$) สลักเกลียวกำลังปกติ และกลุ่มสลักเกลียวกำลังสูง ซึ่งประกอบไปด้วยเกรด **A325 ($F_u = 120 \text{ ksi}$)** และ **A490 ($F_u = 150 \text{ ksi}$)** ซึ่งผลิตจาก alloy steel ที่ผ่านกระบวนการ อบร้อนและลดความเร็วลงอย่างรวดเร็ว (quenched and tempered)
- มีระบบ bolt ที่ผลิตแล้วมีกำลังรับแรงเท่ากัน แต่เป็นระบบ tension-controlled หรือ TC bolt (เกลียวขาดเมื่อได้ torque) **F1852 กำลังรับแรงเท่ากับ A325** และ **F2280 กำลังรับแรงเท่ากับ A490**
- **ปัจจุบัน** RCSC (Research Council on Structural Connections) ได้จำแนกแบ่งกลุ่ม bolt ออกเป็น Group A Group B และ Group C โดย Group A เป็นกลุ่มกำลังต่ำ (A325 F1852) Group B เป็นกลุ่มกำลังสูง (A490 F2280) และ Group C เป็นกลุ่มกำลังสูงพิเศษ (F3043 F3111) โดยสำหรับกลุ่มกำลังสูงพิเศษนี้ $F_u = 200 \text{ ksi}$

ISO Bolt

#WeLoveSteelConstruction

- กำหนดคุณสมบัติ หรือ property class ตามกำลัง แบ่งเป็น class 5.5 8.8 และ 10.9
- ตัวเลขด้านหน้าก่อนจุดทศนิยม แสดงค่า tensile strength ในหน่วย MPa คูณด้วย 100 เช่น class 8.8 มีค่า $F_u = 800$ MPa เป็นต้น
- ตัวเลขด้านหลังจุดทศนิยม แสดง "สัดส่วน" F_y/F_u หาด้วย 10 เช่น class 10.9 มีค่า $F_u = 1,000$ MPa มีค่า $F_y = 9 \times 1,000 / 10 = 900$ MPa หรือ class 8.8 มีค่า $F_y = 8 \times 800 / 10 = 640$ MPa
- Conversion: 1 ksi = 6.895 MPa ดังนั้น A325 มีค่า $F_u = 827$ MPa และ A490 มีค่า $F_u = 1,034$ MPa
- หลายครั้ง จะแสดงคุณสมบัติด้วยค่า Proof strength ซึ่งนิยามว่า คือ แรงที่ไม่ทำให้ bolt เกิด plastic deformation โดยปกติมีค่าประมาณ 85%-95% ของ yield strength หรือ F_y

ASTM vs. ISO Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Bolt Specification	Fu (ksc)	Fy (ksc)	Proof strength ~ 90% Fy (ksc)	Note
ASTM A307	4,200	–	–	
ISO 5.5	5,000	2,500	2,250	Fy/Fu = 0.5
ASTM A325	8,400	6,400	5,760	Equivalent to F1852
ISO 8.8	8,000	6,400	5,760	Fy/Fu = 0.8
ASTM A490	10,500	9,100	8,190	Equivalent to F2280
ISO 10.9	10,000	9,000	8,100	Fy/Fu = 0.9

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงอาจแตกต่างจากข้อมูลที่ปรากฏในแหล่งอ้างอิงอื่นๆ จากเหตุผลด้านการประมาณการ แปลงหน่วย ปิดเศษ แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ASTM Pretensioned Bolt per AISC 360

#WeLoveSteelConstruction

TABLE J3.1M
Minimum Bolt Pretension, kN^[a]

Bolt Size, mm	Group A (e.g., A325M Bolts)	Group B (e.g., A490M Bolts)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

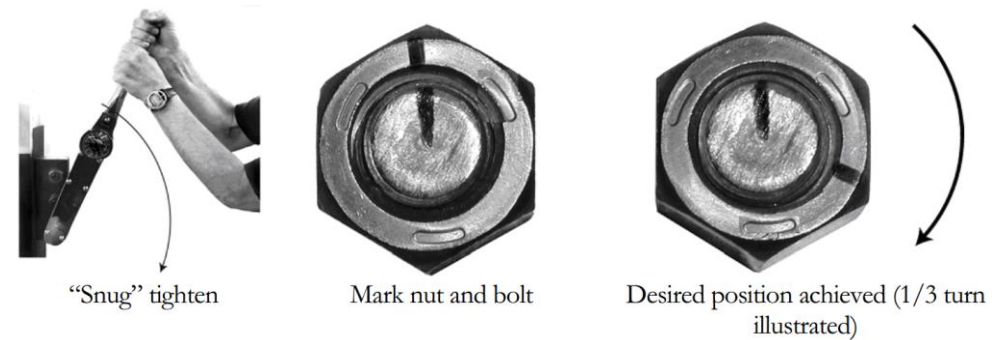
^[a] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM F3125/F3125M for Grade A325M and Grade A490M bolts with UNC threads.

Bolt Pre-Tensioning Method (1)

#WeLoveSteelConstruction

- **Turn-of-nut method**
การหมุนแป้นเกลียว

เมื่อขันสลักเกลียว (bolt) ให้แน่นพอดี (snug) แล้ว ให้ทำการ mark ตำแหน่งด้วยปากกา จากนั้นจึงทำการขันแป้นเกลียว (nut) เพิ่มเข้าไปอีก ขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) และ ความยาวแกนสลักเกลียว (bolt shank length)



Ref: <https://www.fastenal.com/content/feds/pdf/2017/02/Structural%20Bolts%20rev%202017-02-21.pdf>

Bolt Length	Condition Under Bolt Head and Under Nut		
	Both faces flat (normal to bolt axis)	One face sloped, but not more than 1:20	Both faces sloped, but not more than 1:20
Less than or equal to 4D	1/3 Turn	1/2 Turn	2/3 Turn
More than 4D and less than or equal to 8D	1/2 Turn	2/3 Turn	5/6 Turn
More than 8D and less than or equal to 12D	2/3 Turn	5/6 Turn	1 Turn

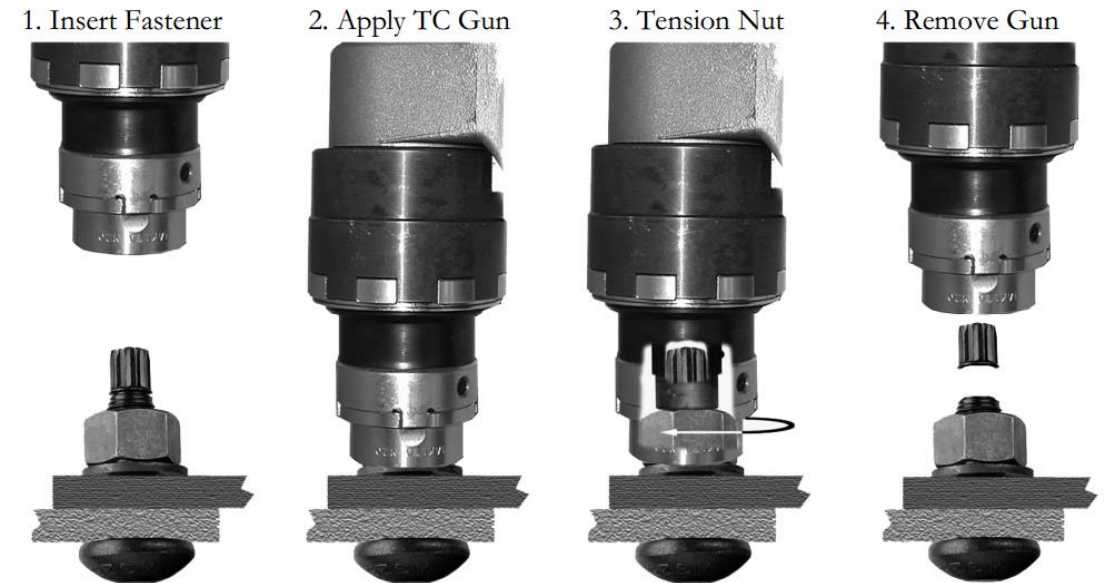
Bolt Pre-Tensioning Method (2)

#WeLoveSteelConstruction

- **Tension-Controlled Bolt**
การใช้สลักเกลียวควบคุมแรงดึง

ใช้สลักเกลียวชนิดพิเศษ ที่เรียกว่า TC bolt หรือ Twist-off bolt (F1852 / F2280) ร่วมกับ TC gun ที่เมื่อขันจนได้ความแน่นตามต้องการ แล้วปลาย (หาง) จะหลุดขาดออก

กำลังรับแรง ของ TC จะเหมือนกับ bolt เกรดปกติ แต่จะกำกับด้วยรหัสที่แตกต่างกันโดย ASTM A325 จะเป็น TC bolt เกรด ASTM F1852 และ ASTM A490 จะเป็น TC bolt เกรด ASTM F2280



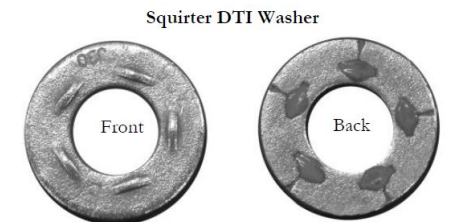
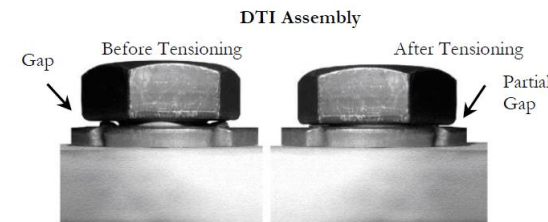
Ref: <https://www.fastenal.com/content/feds/pdf/2017/02/Structural%20Bolts%20rev%202017-02-21.pdf>

Bolt Pre-Tensioning Method (3)

#WeLoveSteelConstruction

- **Direct Tension Indicator (DTI)**
การใช้อุปกรณ์บ่งชี้แรงดึงโดยตรง

เป็นการใช้แหวนรอง (washer) ที่มีปุ่มนูน ที่ผ่านการควบคุมกำลังวัสดุ เรียกว่า DTI โดยเมื่อขันแน่นถึงระดับที่ควบคุม ปุ่มนูนนี้จะแบนราบ จนไม่สามารถสอด gauge วัดเข้าไประหว่างปุ่มนูนนี้ได้ ถือว่า bolt ที่ขันได้ความแน่นตามต้องการ



Ref: <https://www.fastenal.com/content/feds/pdf/2017/02/Structural%20Bolts%20rev%202017-02-21.pdf>



วิธีการข้างต้นมีข้อจำกัดเรื่องการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขัน bolt ในที่สูง จึงมีผู้คิดค้น DTI ชนิดพิเศษที่มี silicone สะท้อนแสง แทรกอยู่ เมื่อได้ความแน่นตามต้องการ silicone ก็ถูกกดจนปลิ้นออกมา ทำให้สามารถตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้ง่าย

Bolt Pre-Tensioning Method (4)

#WeLoveSteelConstruction

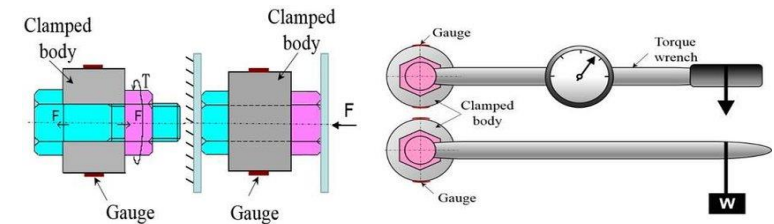
• Calibrated Wrench Method การใช้ประแจวัดความตึง

เป็นการใช้ประแจชนิดพิเศษที่มีการติดตั้ง gauge วัดค่าแรงตึง หรือ clamping force วิธีการนี้ค่อนข้างสะดวก และประหยัด แต่ผู้ติดตั้งจำเป็นต้องทำการปรับค่า หรือ calibrate เกจวัดอย่างสม่ำเสมอด้วยน้ำหนัก (w) ที่ทราบค่า ตามวิธีของผู้ผลิต

ทั้งนี้ clamping force (F) ประมาณการได้จาก 75% ของ proof load ซึ่งเท่ากับ proof strength (ksc) คูณกับพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณจาก เส้นผ่าศูนย์กลาง (d) ของ bolt ซึ่งสามารถแปลงกลับไปเป็นค่า Torque (T) ได้จาก $T = K \cdot d \cdot F$ โดยที่ K เป็นค่าคงที่ ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของ bolt ว่าสามารถขันได้แน่นได้โดยง่ายหรือไม่เพียงใด



Ref:
<https://www.fastenal.com/content/feds/pdf/2017/02/Structural%20Bolts%20rev%202017-02-21.pdf>



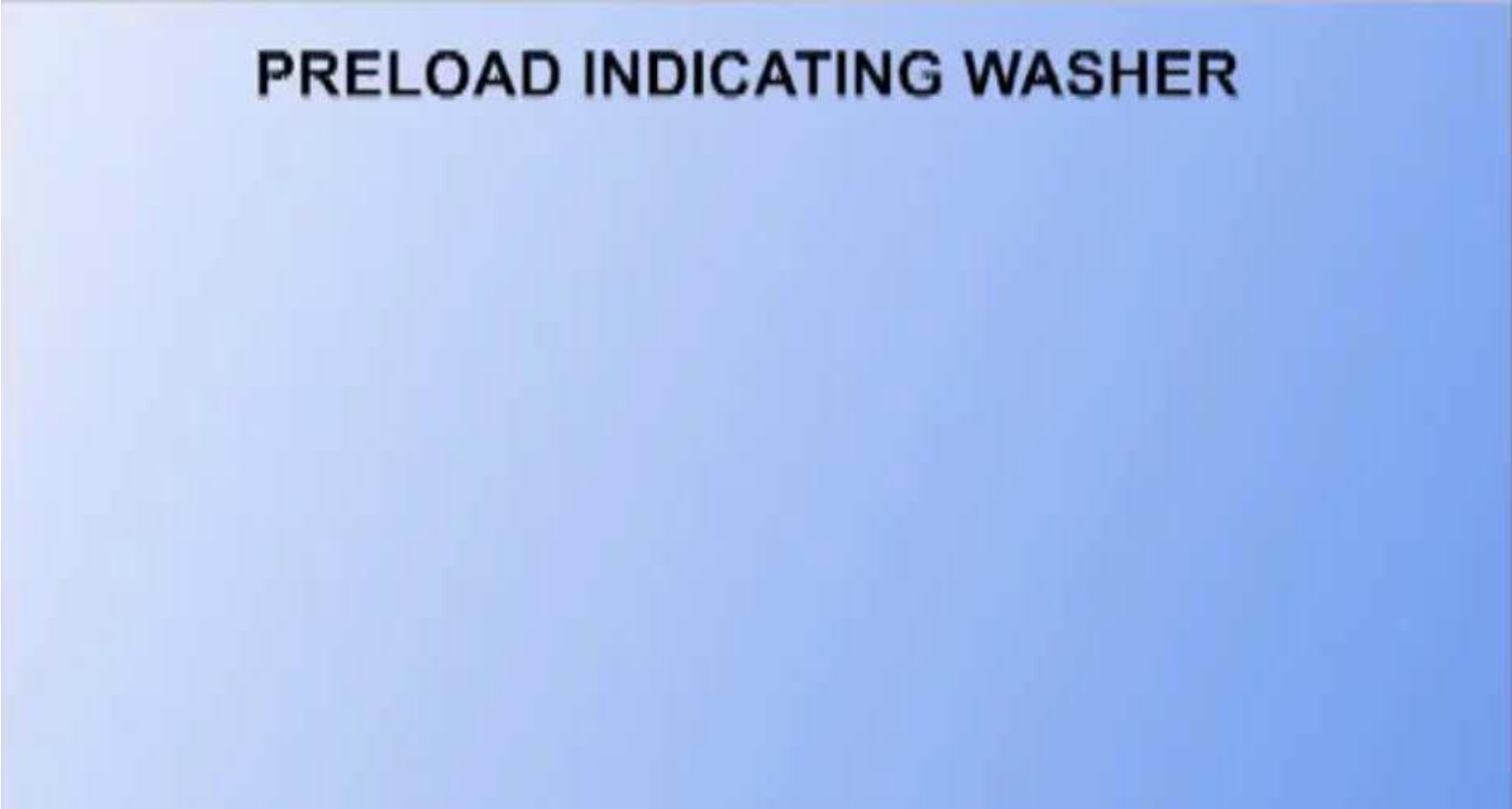
Ref:
https://www.researchgate.net/figure/calibration-method-for-torque-wrench_fig1_325714143

Bolt condition	K factor
Bolt ดำ ไม่เคลือบผิว	0.20 – 0.30
Bolt ชุบเคลือบสังกะสี	0.17 – 0.22
Bolt ทาเคลือบด้วยน้ำมัน	0.12 – 0.16
Bolt ชุบเคลือบแคดเมียม	0.11 – 0.15

Bolt Pre-Tensioning Method

#WeLoveSteelConstruction

PRELOAD INDICATING WASHER

A blue rectangular area with the text "PRELOAD INDICATING WASHER" at the top. The rest of the area is a solid blue color.

ASTM vs. ISO Bolt Strength

#WeLoveSteelConstruction

Bolt Specification	Fu (ksc)	Ft = 75%Fu (ksc)	Fv (X-type) = 0.62*0.9*Fu (ksc)	Fv (N-type) = 0.8*Fv (X-type) (ksc)
ASTM A307	4,200	3,150	2,340	1,875
ISO 5.5	5,000	3,750	2,790	2,232
ASTM A325	8,400	6,300	4,690	3,750
ISO 8.8	8,000	6,000	4,465	3,570
ASTM A490	10,500	7,875	5,860	4,690
ISO 10.9	10,000	7,500	5,580	4,465

- หมายเหตุ:**
- ค่าที่แสดงอาจแตกต่างจากข้อมูลที่ปรากฏในแหล่งอ้างอิงอื่นๆ จากเหตุผลด้านการประมาณการ แปลงหน่วย ปิดเศษ แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 - ความสามารถในการรับแรง (kg) ให้น้ำพื้นที่หน้าตัด (sq.cm.) ไปคูณกำลัง (หน่วย ksc)
 - พิจารณา Factor of Safety = 2 (ASD) หรือ Resistance Factor = 0.75 (LRFD)



Welding

#WeLoveSteelConstruction

Welding Overview

#WeLoveSteelConstruction

- การเชื่อม มีกระบวนการที่คล้ายคลึงกับการตัดโลหะ ด้วยความร้อน กล่าวคือเป็นการให้ความร้อนแก่วัสดุ เพื่อให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยหากต้องการตัด ก็ทำการดึงให้ออกจากกัน แต่หากต้องการเชื่อม ก็ทำการอัดให้ติดกัน
- วิธีในการเชื่อม มีหลายวิธีขึ้นกับรูปแบบของลวดเชื่อม และวัสดุปกคลุม เพื่อป้องกันการเกิด oxidation ซึ่งเกิดจากการที่ก๊าซออกซิเจนในอากาศไปผสมปนเข้ากับโลหะหลอมละลาย (ณ จุดเชื่อม) ส่งผลต่อความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม
- รูปแบบวัสดุปกคลุมมีหลายประเภท เช่น ฟลักซ์ (flux) กับการเชื่อม SAW หรือ FCAW หรือก๊าซ CO_2 กับการเชื่อม MAG (เชื่อม CO_2) หรือก๊าซ Ar กับการเชื่อม MIG (รวมเรียก MIG และ MAG ว่า GMAW)

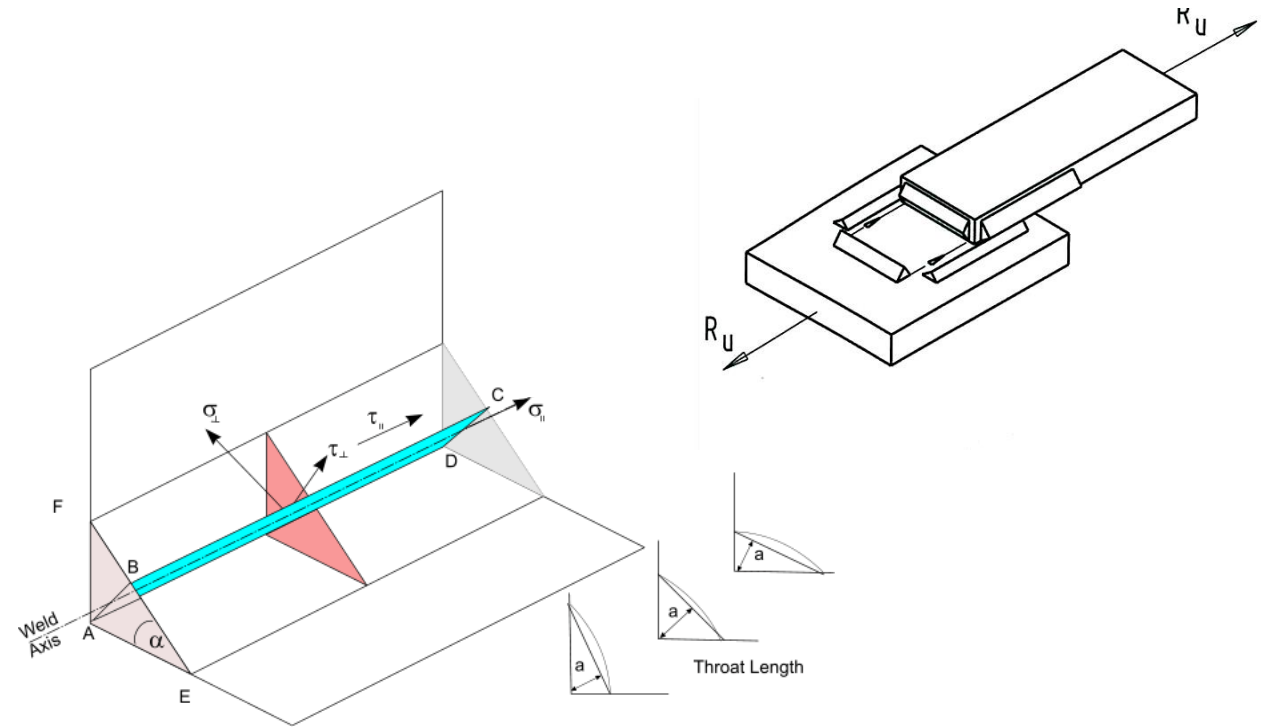


รอยเชื่อม fillet weld ที่ไม่สมบูรณ์

กำลังรับแรงของรอยเชื่อม

#WeLoveSteelConstruction

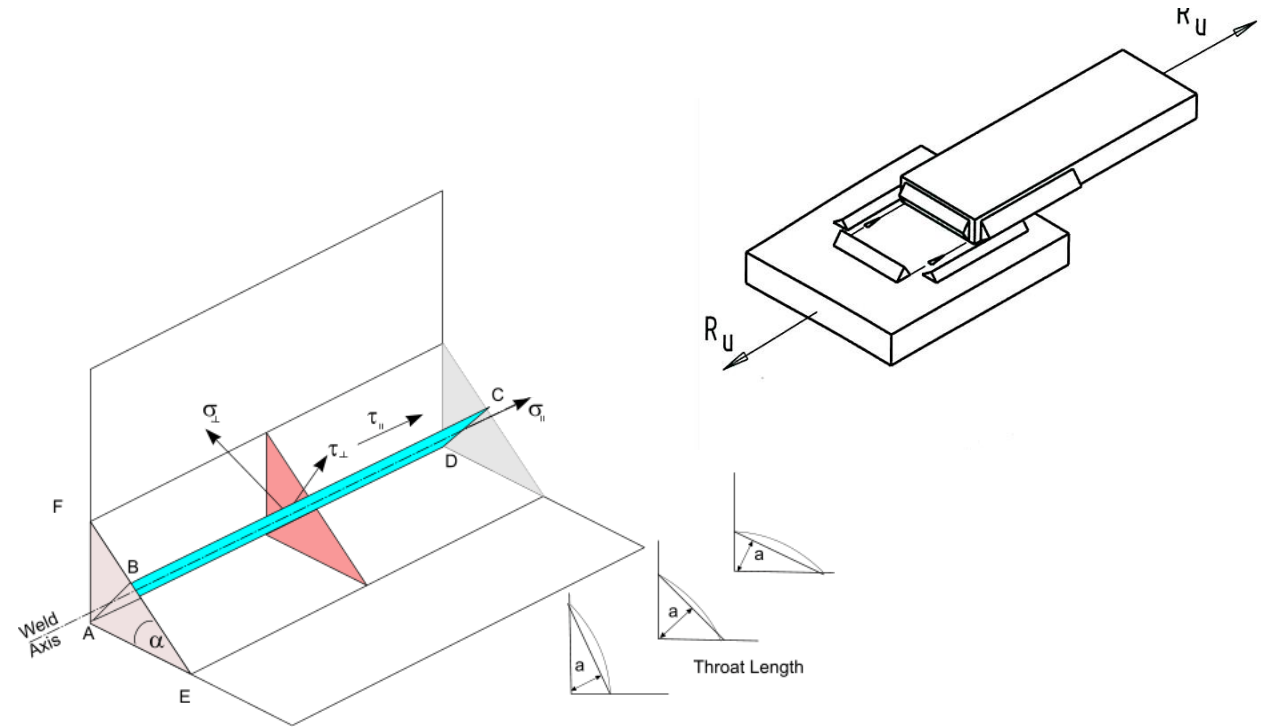
- เกรดของวัสดุเชื่อม (welding material) มักอ้างอิงมาตรฐานอเมริกา โดยกำหนด F_{Exx} โดยที่ xx แสดง “กำลังรับแรงดึงสูงสุด” ของวัสดุเชื่อมในหน่วย ksi (แปลงเป็น MPa คูณ 7 เป็น ksc คูณ 70)
- F_{E70} มี $F_u = 70 \text{ ksi} = 490 \text{ MPa} = 4,900 \text{ ksc}$ เป็นเกรดที่นิยมใช้มากที่สุด แต่ยังมีเกรดอื่นให้เลือกใช้ เช่น F_{E60} หรือ F_{E80}
- การเชื่อมพอก หรือ fillet weld มักรับ “แรงเฉือน” ดังนั้น การคำนวณกำลังรับแรง (เฉือน) ของรอยเชื่อม จึงต้องแปลง F_u เป็น F_{vu} โดย $F_u = 0.6 * F_{vu}$ ตามทฤษฎี yield criteria



กำลังรับแรงของรอยเชื่อม

#WeLoveSteelConstruction

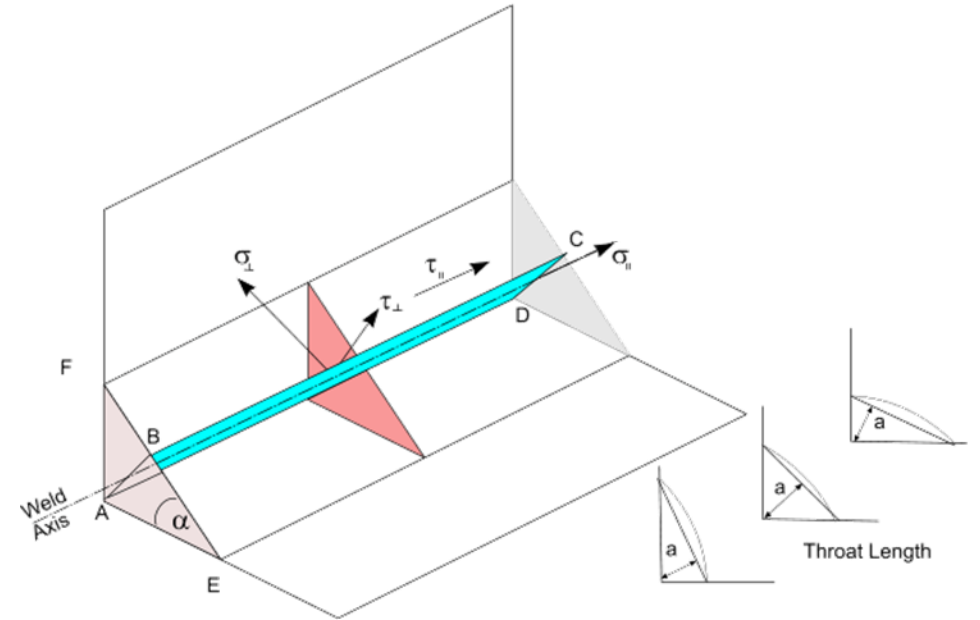
- พื้นที่รับแรง (เฉือน) ของ fillet weld เป็นพื้นที่ที่อยู่ในแนวทแยง จาก weld leg (AE หรือ AF ดังรูป) ในแนว AB ซึ่งหาก $AE = AF$ จะได้ว่า $AB = \text{leg size} / \sqrt{2}$ ไปคูณกับความยาวของ fillet weld
- ดังนั้น Nominal weld shear capacity (rupture) $= R_n = (0.6F_u) * \text{Effective area}$ โดยที่ Effective area $= A_e = (AE/\sqrt{2}) * L$
- Unified method: $R_n = (0.6F_u) * A_e$
[ASD] $\Omega = 2.0$
[LRFD] $\gamma = 0.75$



Fillet Weld Strength

#WeLoveSteelConstruction

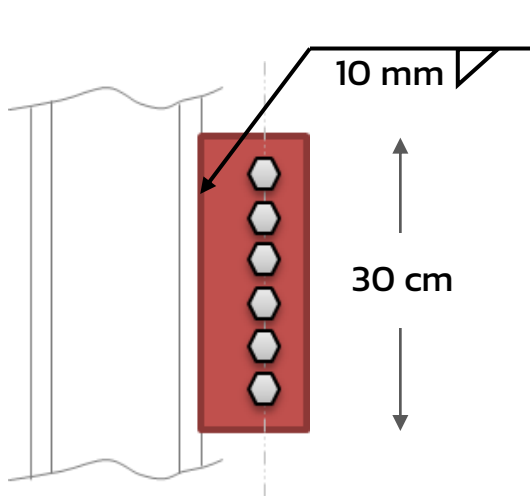
- การเชื่อมพอก หรือ fillet weld ระบุว่า จะเกิดการวิบัติเป็นระนาบที่มีขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกเฉือนขาด ซึ่งเป็นมุม 45 องศา วัดจากขอบที่ต้งฉาก
- กำลังรับแรงเฉือน ~ 60% ของกำลังรับแรงดึง
พื้นที่รับแรงเฉือน ~ leg size / sin (45°) * ความยาว
กำลังรับแรงเฉือนระบุ (nominal shear strength)
= $(0.6 F_u) (\text{leg size} / \sqrt{2} * \text{length})$
= $(0.6 * (70 * 70 \text{ ksc}) / \sqrt{2}) * (\text{leg size} * \text{length})$
= $2,079 (\text{leg size} * \text{length})$... หน่วย กิโลกรัม
~ 2 ตัน ต่อตารางเซนติเมตร
- หากพิจารณา [ASD] Factor of Safety (Ω) = 2 จะได้
กำลังรับน้ำหนัก "ปลอดภัย" $R_n / 2 = \sim 2 / 2 = 1$ ตันต่อ ตร. ซม. หรือหากพิจารณา [LRFD] Resistance factor (γ) = 0.75 จะได้ $\gamma R_n = 1.5$ ตันต่อ ตร. ซม.



ASD	LRFD
FS = Ω = 2	ϕ = 0.75
$R_{allow} = R_n / \Omega$ $R_{allow} = 0.3 F_u A_{w,eff}$	$R_n = 0.6 F_u A_{w,eff}$ $\phi R_n = 0.45 F_u A_{w,eff}$

Fillet Weld Strength – Quick Number

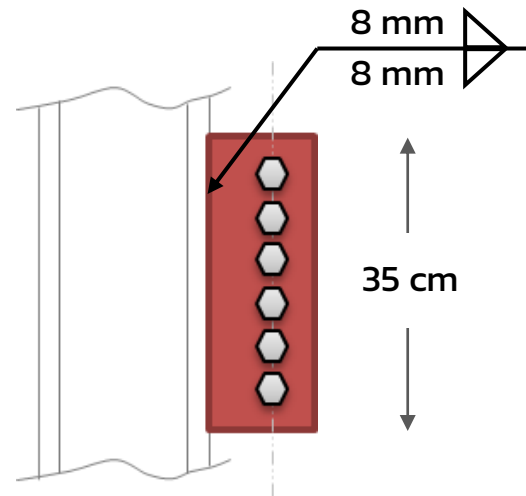
#WeLoveSteelConstruction



รอยเชื่อม fillet weld นี้

รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 30 ตัน

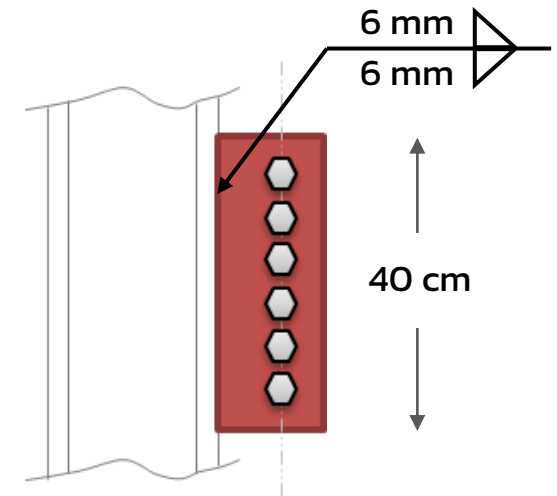
รับน้ำหนักได้สูงสุด 45 ตัน



รอยเชื่อม fillet weld นี้

รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 56 ตัน

รับน้ำหนักได้สูงสุด 84 ตัน



รอยเชื่อม fillet weld นี้

รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 48 ตัน

รับน้ำหนักได้สูงสุด 72 ตัน

Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคานถูกค้ำยันทางด้านข้างจากพื้นตลอดแนว

Design criteria

1. ทังคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

$$F_y = 3,000 \text{ ksc}$$

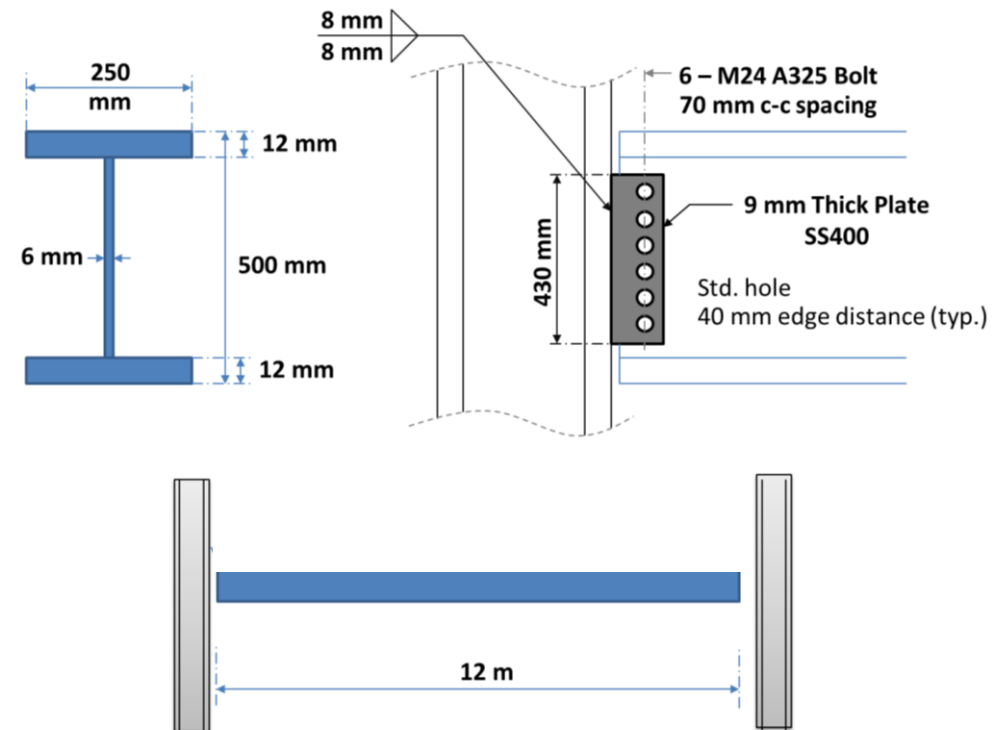
$$F_u = 4,000 \text{ ksc}$$

$$E = 2,000,000 \text{ ksc}$$

2. Weld ใช้เกรด E70

3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

Section Properties	
$A_s =$	8,856 mm ²
$\bar{Y}_{bar} =$	250.0 mm
$h_o/2 =$	238 mm
$Y_{PNA} =$	250 mm
$h_p/2 =$	238 mm
$a_w =$	0.95 mm
$I_x =$	4.112E+08 mm ⁴
$I_y =$	31,258,568 mm ⁴
$I_{yc} =$	31,250,000 mm ⁴
$S_{xc} =$	1,644,852 mm ³
$S_{xt} =$	1,644,852 mm ³
$Z_x =$	1,803,864 mm ³
$r_x =$	215 mm
$r_y =$	59 mm
$r_t =$	67 mm
$C_w =$	1.861E+12 mm ⁶
$J =$	323,136 mm ⁴
$c =$	1.000
$r_{ts} =$	67 mm
$k_c =$	0.45



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคานถูกค้ำยันทางข้างจากพื้นตลอดแนว

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

$$F_y = 3,000 \text{ ksc}$$

$$F_u = 4,000 \text{ ksc}$$

$$E = 2,000,000 \text{ ksc}$$

2. Weld ใช้เกรด E70

3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

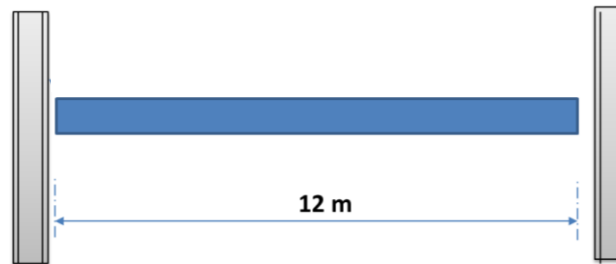
Step 1: หาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจาก Moment สูงสุด ที่ 1 UDL

$$V_n =$$

$$=$$

พิจารณา ที่ 1.5 เท่า ของ UDL จะได้ว่า Shear capacity ที่ต้องการมีค่า

หมายเหตุ: เทียบกับ beam shear capacity (V_n) ที่ 42,530 kg



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคานถูกค้ำยันทางข้างจากพื้นตลอดแนว

Design criteria

- 1. ทังคานและ connection ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด
 - $F_y = 3,000 \text{ ksc}$
 - $F_u = 4,000 \text{ ksc}$
 - $E = 2,000,000 \text{ ksc}$
- 2. Weld ใช้เกรด E70
- 3. Bolt เป็นการขันแบบ snug tighten มีลักษณะเกลียวเป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

- 1) Bolt shear limit state: $\phi R_{bolt} = \phi \cdot n_{bolt} \cdot (F_{vu,bolt} \cdot A_{bolt})$
- 2) Weld shear limit state: $\phi R_{weld} = \phi \cdot A_{weld} \cdot F_{v,weld} = \phi \cdot A_{weld} \cdot (0.6 F_{u,weld})$
- 3) Plate gross shear limit state: $\phi V_{pl,gross} = \phi \cdot (0.6 F_y) \cdot (A_{gv}) = \phi \cdot (0.6 F_y) \cdot (t_{pl} \cdot L)$
- 4) Plate net shear limit state: $\phi V_{pl,net} = \phi \cdot (0.6 F_u) \cdot (A_{nv}) = \phi \cdot F_y \cdot (t_{pl} \cdot (L - n \cdot d_{hole}))$
- 5) Plate block shear limit state: $\phi V_{pl,block} = \phi \cdot [\min(0.6 F_u A_{nv}, 0.6 F_y A_{gv}) + F_u A_{nt}]$
- 6) Plate bearing limit state: $\phi R_{pl,bear} = \phi \cdot [\min(2.4 \cdot A_{bearing}), (1.2 l_c t)] \cdot F_u$

Type	ϕ	Ω
Shear yielding	1.0	1.5
Tension yielding, Compression yielding	0.9	1.67
Bolt shear, Weld shear, Shear rupture, Tensile ruptue, Block shear, Bearing, Tear out	0.75	2.0
Concrete bearing (footing)	0.65	2.31

Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคานถูกค้ำยันทางข้างจากพื้นตลอดแนว

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

$$F_y = 3,000 \text{ ksc}$$

$$F_u = 4,000 \text{ ksc}$$

$$E = 2,000,000 \text{ ksc}$$

2. Weld ใช้เกรด E70

3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

- 1) Bolt shear limit state:

$$F_{vu,bolt} = 120 * (0.62 * 0.9) * 0.8 * (70 \frac{ksc}{ksi}) = 3,750 \text{ ksc}$$

$$A_{bolt} = \frac{\pi d^2}{4} = \pi \cdot \frac{(2.4)^2}{4} = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_{bolt} = \phi \cdot n_{bolt} * (F_{vu,bolt} * A_{bolt}) =$$



- 2) Weld shear limit state:

$$F_{u,weld} = 70 * (70 \frac{ksc}{ksi}) = 4,900 \text{ ksc}$$

$$A_{weld} = 2 * (t_{eff} * L) =$$

$$\phi R_{weld} = \phi * A_{weld} * F_{v,weld} =$$

$$\phi R_{weld} =$$



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคานถูกค้ำยันทางข้างจากพื้นตลอดแนว

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

$$F_y = 3,000 \text{ ksc}$$

$$F_u = 4,000 \text{ ksc}$$

$$E = 2,000,000 \text{ ksc}$$

2. Weld ใช้เกรด E70

3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

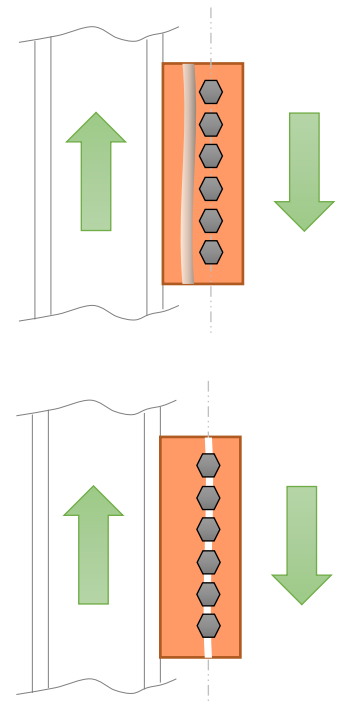
Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

- 3) Plate gross shear (shear yielding) limit state:

$$\phi V_{pl, gross} = \phi \cdot (0.6 F_y) \cdot (A_{gv}) = \phi \cdot (0.6 F_y) \cdot (t_{pl} \cdot L)$$
$$=$$

- 4) Plate net shear (shear rupture) limit state:

$$\phi V_{pl, net} = \phi \cdot (0.6 F_u) \cdot (A_{nv}) = \phi \cdot (0.6 F_u) \cdot (t_{pl} \cdot (L - n \cdot d_{hole}))$$
$$=$$
$$=$$



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคานถูกค้ำยันทางข้างจากพื้นตลอดแนว

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด
 $F_y = 3,000 \text{ ksc}$
 $F_u = 4,000 \text{ ksc}$
 $E = 2,000,000 \text{ ksc}$
2. Weld ใช้เกรด E70
3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

5) Plate block shear limit state:

$$\phi V_{pl,block} = \phi \cdot [\min(0.6F_u A_{nv}, 0.6F_y A_{gv}) + F_u A_{nt}]$$

=

=

=

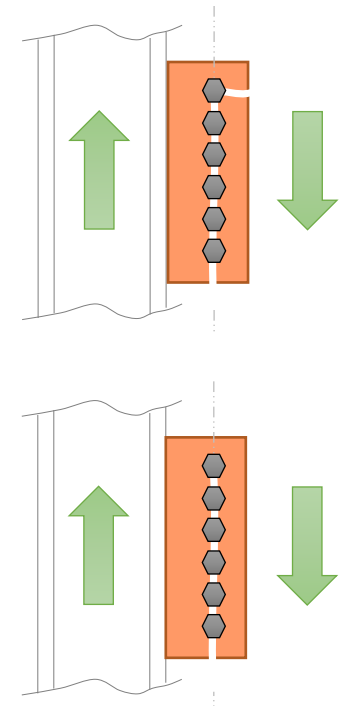
6) Plate bearing & tearout limit state:

$$\phi R_{pl,bear} = \phi \cdot [\min(2.4 \cdot A_{bearing}, (1.2l_c t)) \cdot F_u]$$

=

=

Step 3: สรุปผล จาก Limit state ที่คำนวณ พบว่า
มีกำลังต่ำที่สุดจึงสรุปได้ว่า





Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่

Design criteria

1. ทังคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

$$F_y = 3,000 \text{ ksc}$$

$$F_u = 4,000 \text{ ksc}$$

$$E = 2,000,000 \text{ ksc}$$

2. Weld ใช้เกรด E70

3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

1) Bolt shear limit state: $\phi R_{bolt} =$

2) Weld shear limit state: $\phi R_{weld} =$

3) Plate shear yielding limit state: $\phi V_{pl,gross} =$

4) Plate shear rupture limit state: $\phi V_{pl,net} =$

5) Plate block shear limit state: $\phi V_{pl,block} =$

6) Plate bearing limit state: $\phi R_{pl,bear} =$

SM490: $F_y = 3,150 \text{ ksc}$ $F_u = 4,900 \text{ ksc}$

Calculation	
Capacity	Full Report
Factored Shear Yielding Resistance ($\phi R_{n,gv}$)	73,143 kg
Factored Shear Rupture Resistance ($\phi R_{n,nv}$)	50,803 kg
Factored Block Shear Rupture Resistance ($\phi R_{n,bs}$)	54,177 kg
Factored Bearing Resistance ($\phi R_{n,bearing}$)	114,307 kg
Factored Tearout Resistance ($\phi R_{n,tearout}$)	95,851 kg
Factored Bolt Resistance ($\phi R_{n,bolt}$)	75,730 kg
Factored Weld Resistance ($\phi R_{n,weld}$)	107,255 kg
Factored Shear Connection Resistance	50,803 kg



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

จงตรวจสอบ connection ที่รองรับคานเชื่อมประกอบขนาด 500x250x12x6 ว่าสามารถรับแรงที่ 1.5 เท่าของ UDL (Uniformed Distributed Load) ได้หรือไม่

Design criteria

1. ทังคานและ connection
ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

$$F_y = 3,000 \text{ ksc}$$

$$F_u = 4,000 \text{ ksc}$$

$$E = 2,000,000 \text{ ksc}$$

2. Weld ใช้เกรด E70

3. Bolt เป็นการขันแบบ snug
tighten มีลักษณะเกลียว
เป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

1) Bolt shear limit state: $\phi R_{bolt} =$

2) Weld shear limit state: $\phi R_{weld} =$

3) Plate shear yielding limit state: $\phi V_{pl,gross} =$

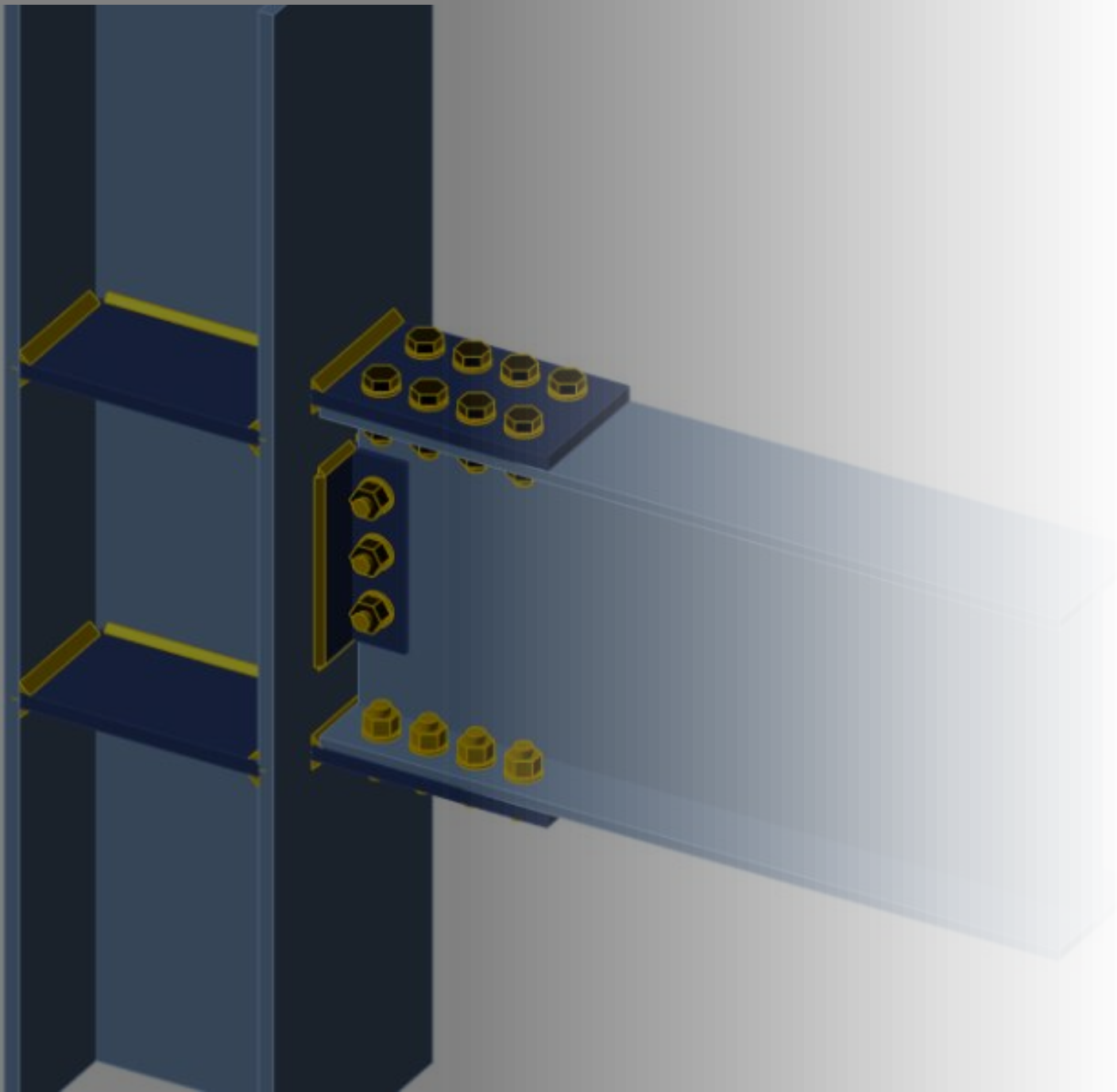
4) Plate shear rupture limit state: $\phi V_{pl,net} =$

5) Plate block shear limit state: $\phi V_{pl,block} =$

6) Plate bearing limit state: $\phi R_{pl,bear} =$

SS400: $F_y = 2,400 \text{ ksc}$ $F_u = 4,000 \text{ ksc}$

Calculation	
Capacity	Full Report
Factored Shear Yielding Resistance ($\phi R_{n,gv}$)	55,728 kg
Factored Shear Rupture Resistance ($\phi R_{n,nv}$)	41,472 kg
Factored Block Shear Rupture Resistance ($\phi R_{n,bs}$)	44,226 kg
Factored Bearing Resistance ($\phi R_{n,bearing}$)	93,312 kg
Factored Tearout Resistance ($\phi R_{n,tearout}$)	78,246 kg
Factored Bolt Resistance ($\phi R_{n,bolt}$)	75,730 kg
Factored Weld Resistance ($\phi R_{n,weld}$)	107,255 kg
Factored Shear Connection Resistance	41,472 kg



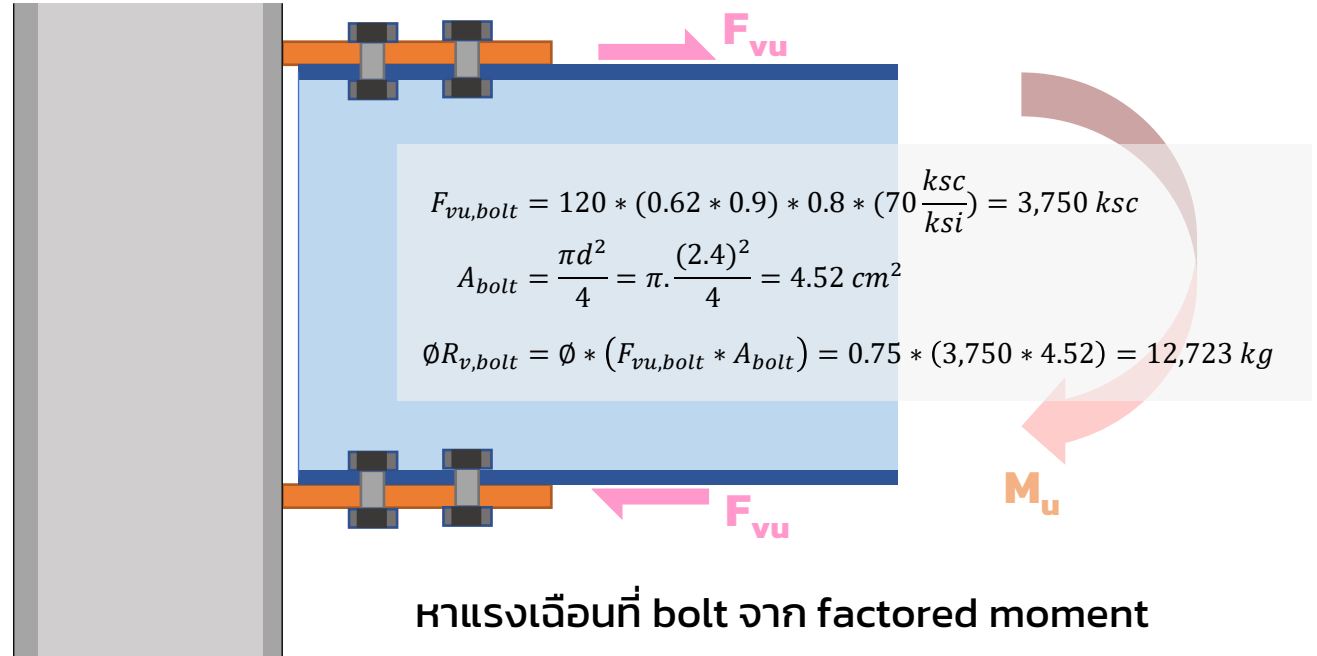
Flange-plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

Flange-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่



$$F_{vu} = \frac{M_u}{d}$$

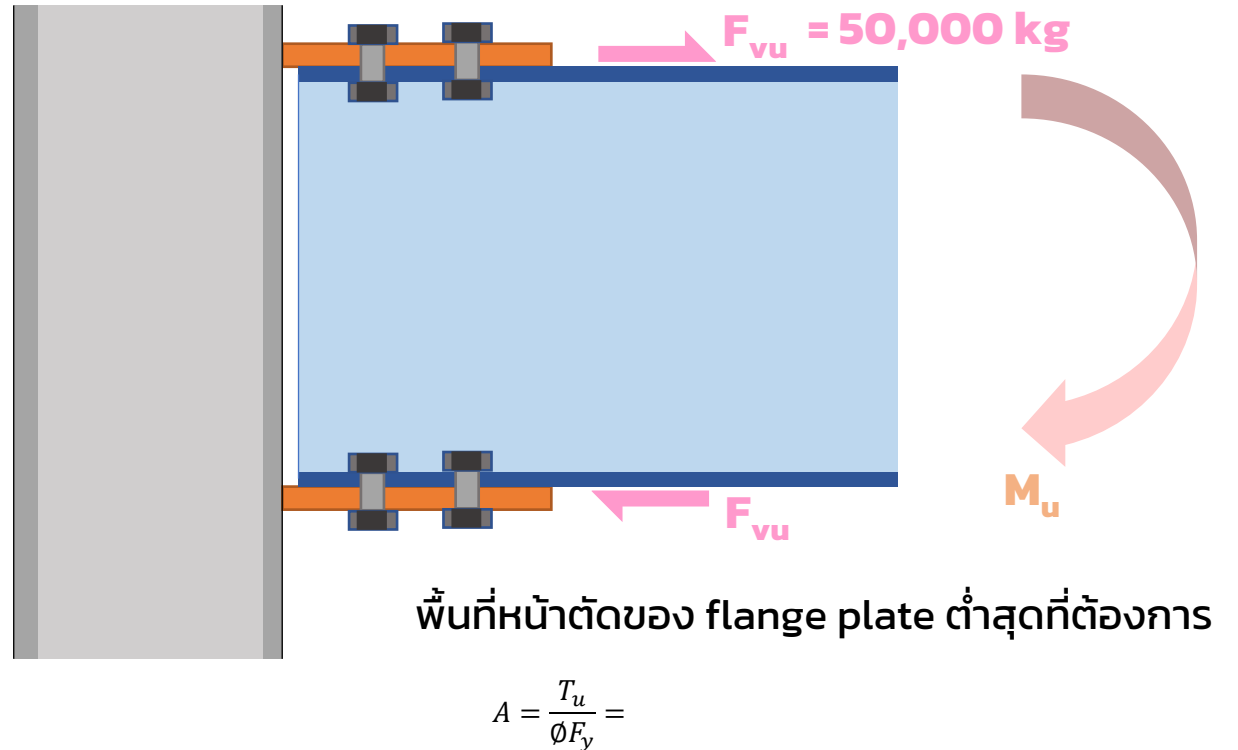
จำนวน bolt ที่ต้องการ เพื่อต้านทานแรงเฉือน

$$n = \frac{F_{vu}}{\phi R_{v,bolt}}$$

Flange-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

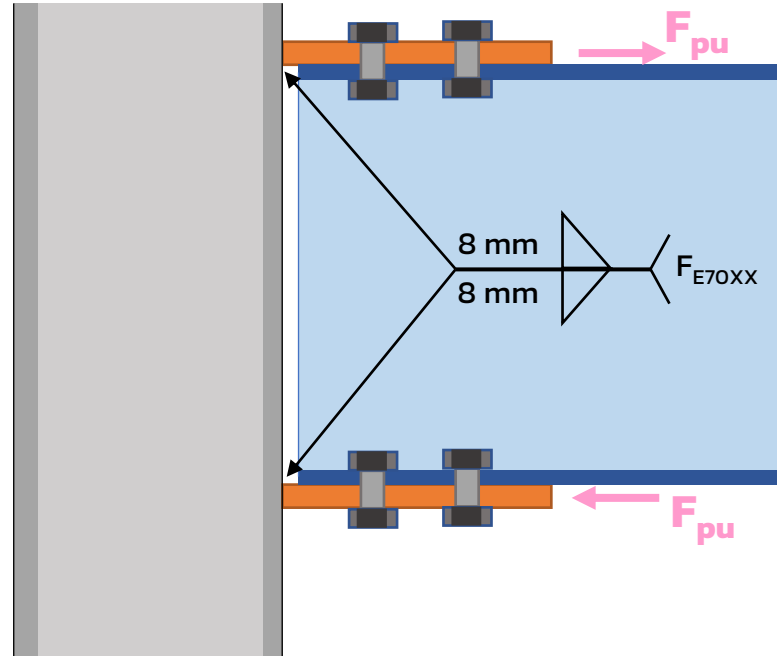


ดังนั้น

Flange-Plate Moment Connection

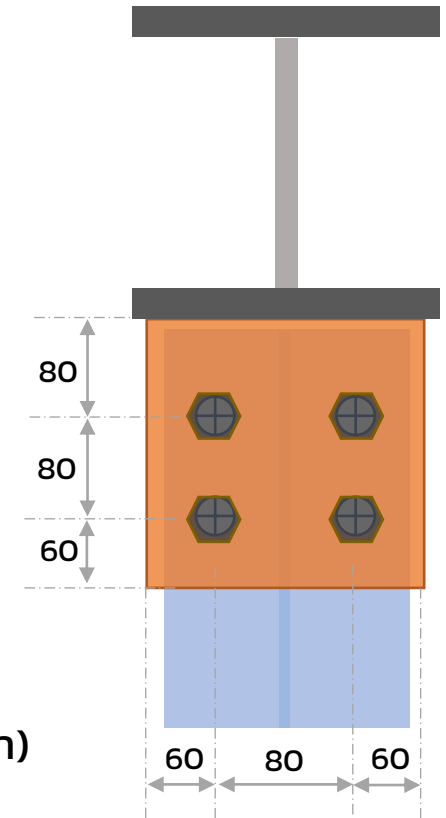
#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่



แรงที่ถ่ายเข้าสู่ flange plate (พิจารณาความหนา)

$$F_{pu} = \frac{M_u}{d + t_p} =$$



Flange-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงตึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

กำหนด รูเจาะ: standard hole ขนาด $d = 27 \text{ mm}$

1) Weld shear limit state:

$$F_{u,weld} = 70 * (70 \frac{ksc}{ksi}) = 4,900 \text{ ksc}$$

$$A_{weld} = 2 * (t_{eff} * L) =$$

$$\phi R_{weld} = \phi * A_{weld} * F_{u,weld} =$$

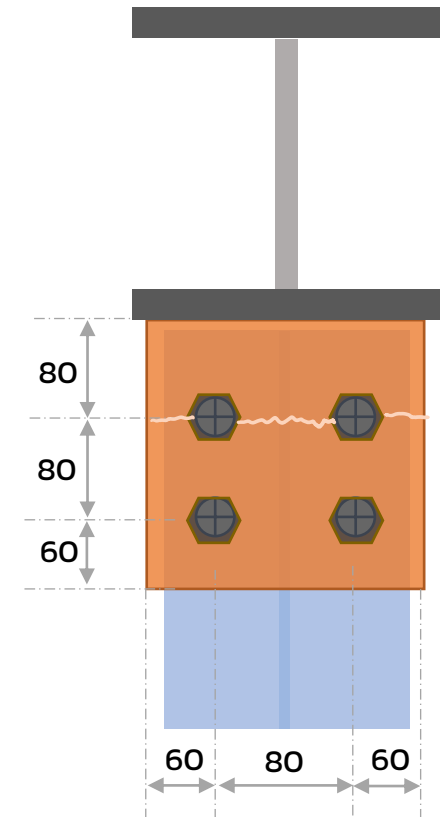
$$\phi R_{weld} =$$

2) Plate net tension (tensile rupture) limit state:

$$\phi R_{pl,net} = \phi * (F_u) * (A_{nt}) = \phi * (F_u) * (t_{pl} * (L - n * d_{hole}))$$

=

=



Flange-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงตึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

กำหนด รูเจาะ: standard hole ขนาด $d = 27 \text{ mm}$

3) Plate block shear limit state:

$$\phi R_{pl,block} = \phi \cdot [\min(0.6F_u A_{nv}, 0.6F_y A_{gv}) + F_u A_{nt}]$$

=

=

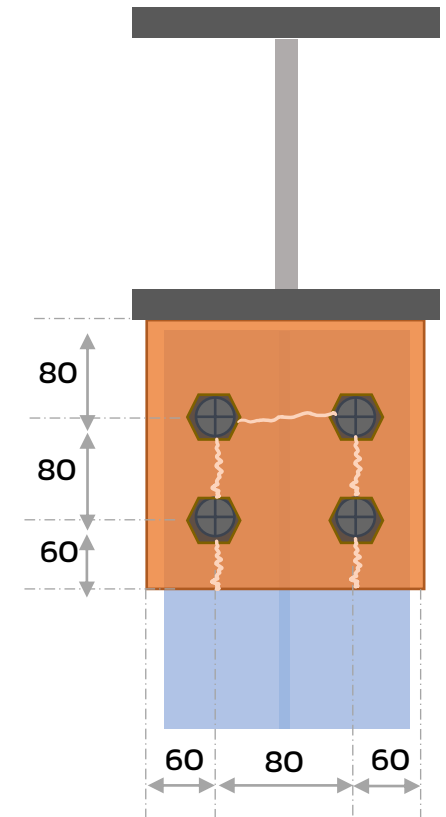
=

4) Plate bearing & tearout limit state:

$$\phi R_{pl,bear} = \phi \cdot [\min(2.4 * A_{bearing}), (1.2l_c t)] * F_u$$

=

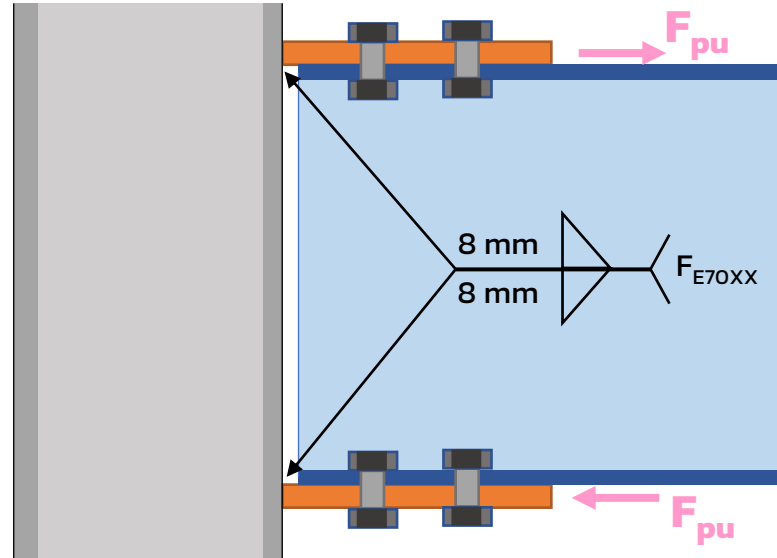
=



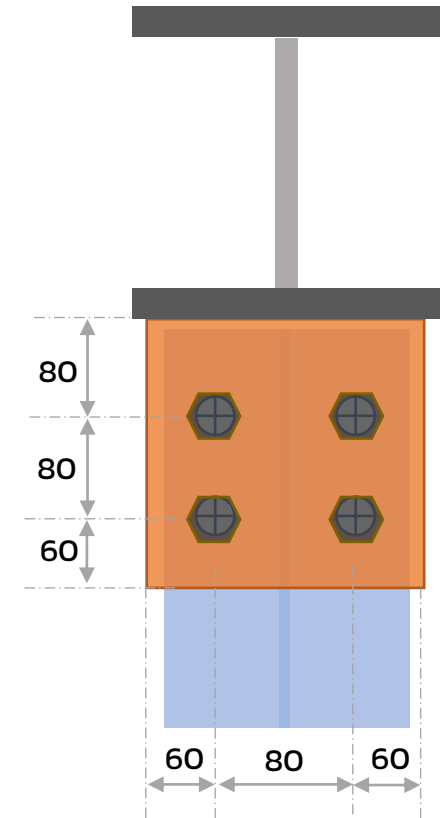
Flange-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่



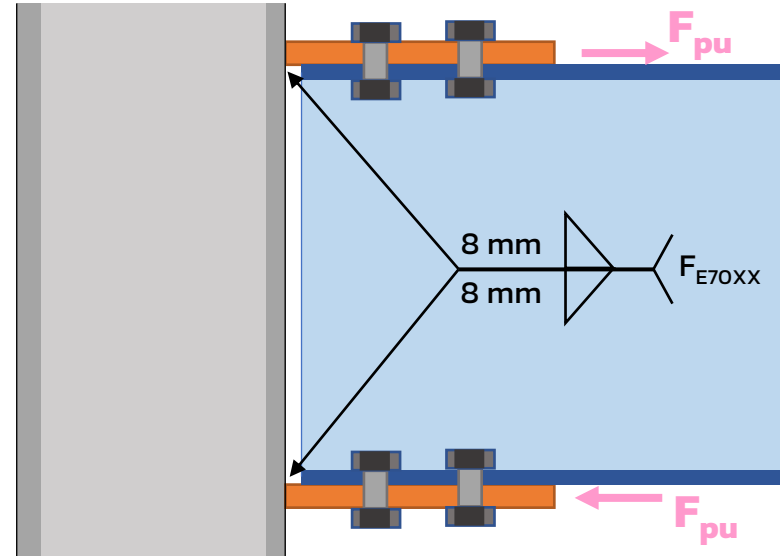
- 1) Weld shear limit state:
- 2) Plate net tension limit state:
- 3) Plate block shear limit state:
- 4) Plate bearing & tearout limit state:
- 5) Bolt shear limit state:



Flange-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Flange-plate moment connection ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam ขนาด H 450 x 150 x 6 x 4 mm ใช้ Flange plate เกรด HY370 และใช้ M24: N-Type A325 bolt ติดตั้งแบบขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน (pretension bolt)
- **Step 1:** ประมาณการจำนวน bolt
- **Step 2:** ประมาณการขนาด flange plate
- **Step 3:** จัดตำแหน่ง และตรวจสอบ limit state
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่



- 1) Weld shear limit state:
- 2) Plate net tension limit state:
- 3) Plate block shear limit state:
- 4) Plate bearing & tearout limit state:
- 5) Bolt shear limit state:

Calculation	
Capacity	Full Report
Factored Tensile Yielding Resistance ($\phi R_{nf,gv}$)	87 T
Factored Tensile Rupture Resistance ($\phi R_{nf,e}$)	64 T
Factored Block Shear Rupture Resistance ($\phi R_{nf,bs}$)	69 T
Factored Bearing Resistance ($\phi R_{nf,bearing}$)	103 T
Factored Tearout Resistance ($\phi R_{nf,tearout}$)	107 T
Factored Bolt Resistance ($\phi R_{nf,bolt}$)	50 T
Factored Weld Resistance ($\phi R_{nf,weld}$)	50 T



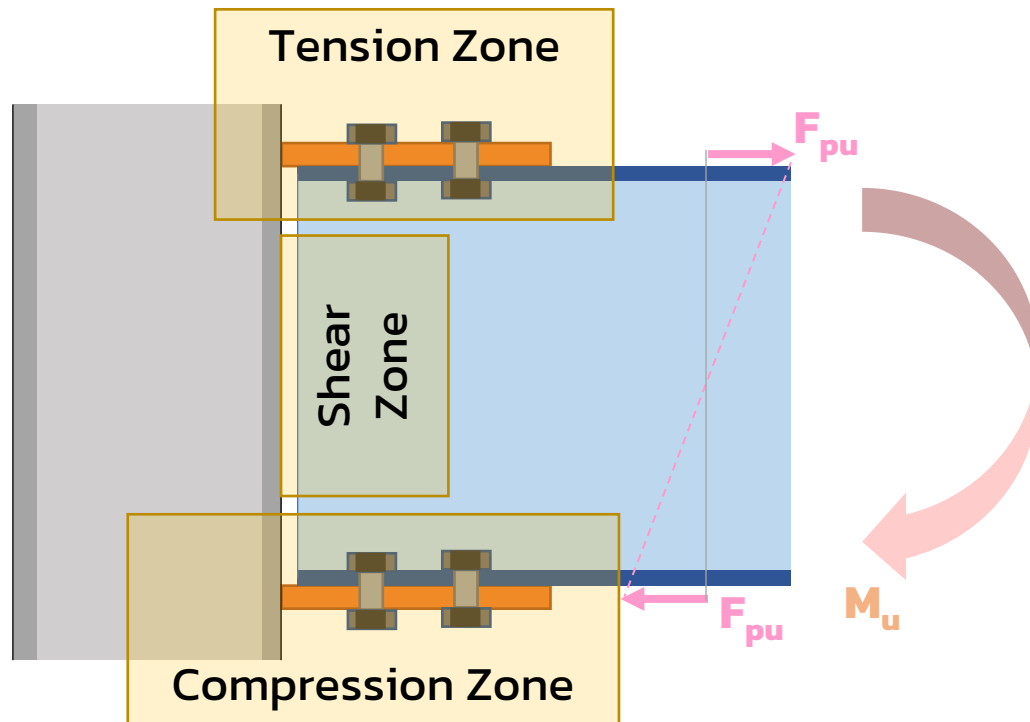
End-plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

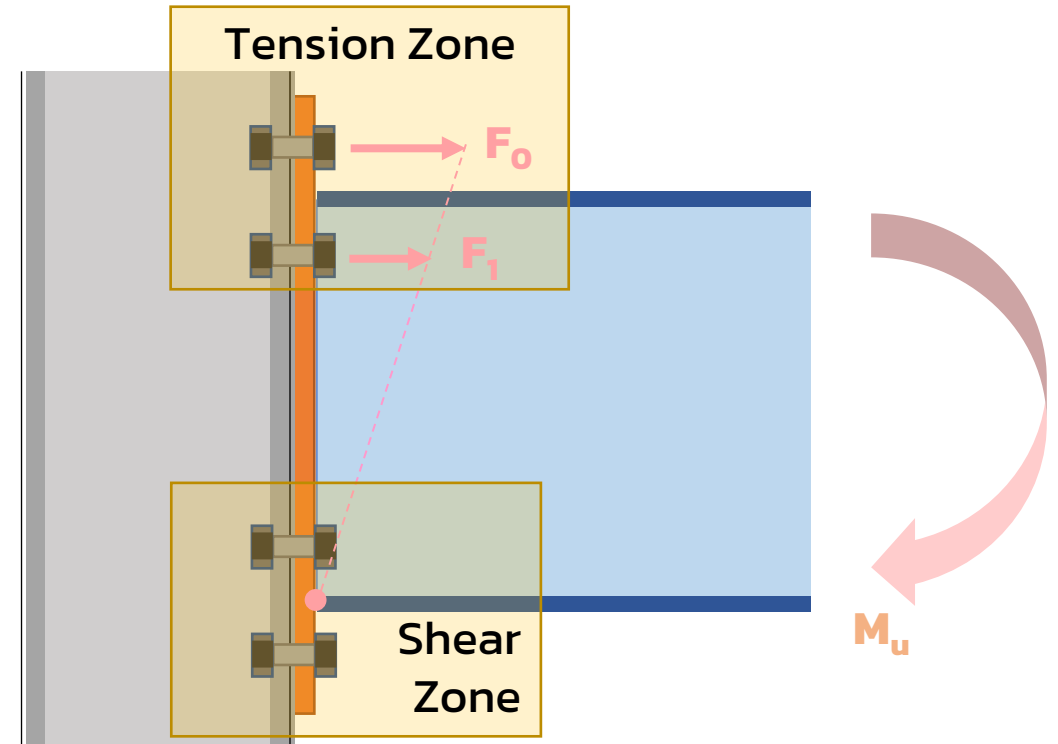


Flange vs. End-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction



Flange-Plate Moment Connection

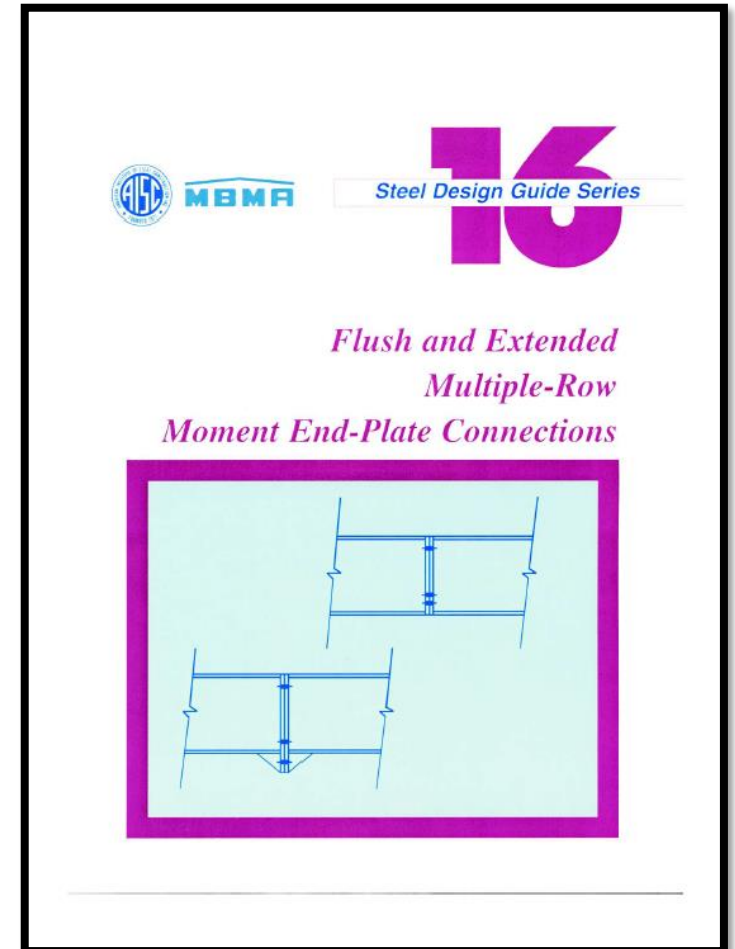
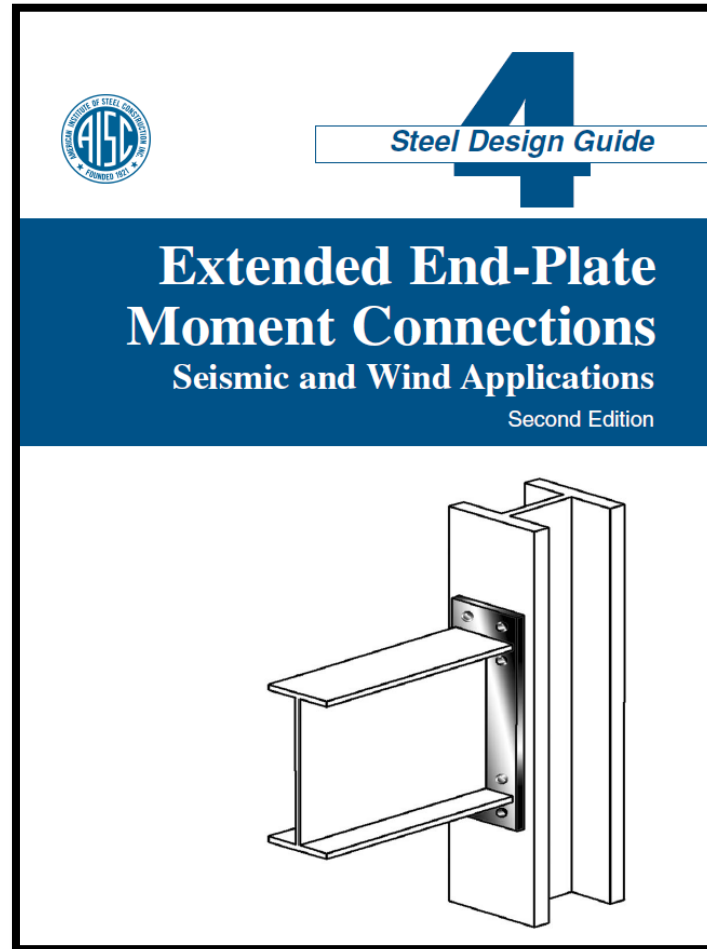


End-Plate Moment Connection

AISC DG for End-Plate Moment Connection

#WeLoveSteelConstruction

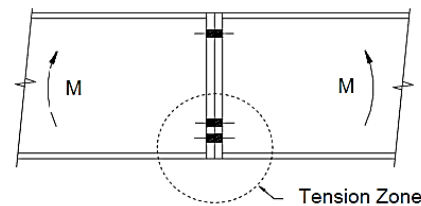
- แนวปฏิบัติเพื่อการออกแบบอ้างอิง AISC มี 2 ฉบับ คือ **ฉบับที่ 4** และ **ฉบับที่ 16**
- **ฉบับที่ 4** เป็นรูปแบบที่ใช้สำหรับ จุดต่อรับโมเมนต์ที่ต้องรับแรงแผ่นดินไหวและแรงลม
- **ฉบับที่ 16** เป็นรูปแบบที่ใช้สำหรับ จุดต่อรับโมเมนต์ทั่วไป ไม่เป็นส่วนหนึ่งของ lateral load system เช่น คานรับ gravity load ที่กำหนดให้ปลายรับโมเมนต์



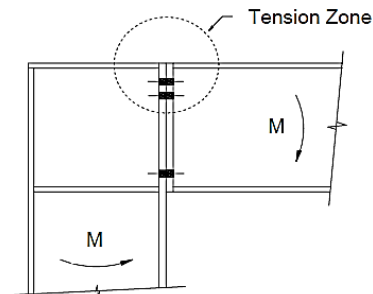
AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

- **ฉบับที่ 16** เป็นรูปแบบที่ใช้สำหรับ จุดต่อรับโมเมนต์ทั่วไป ไม่เป็นส่วนหนึ่งของ lateral load system เช่น คานรับ gravity load ที่กำหนดให้ปลายรับโมเมนต์
- ร่วมจัดทำโดย Metal Building Manufacturer Association (MBMA) ตีพิมพ์ในปี 2002
- มีรูปแบบ ส่วนที่รับแรงดึง เสมอขอบ (flush) และยื่น (extended)

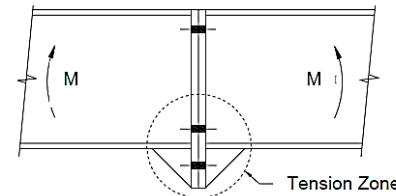


(a) Beam-to-Beam Connection

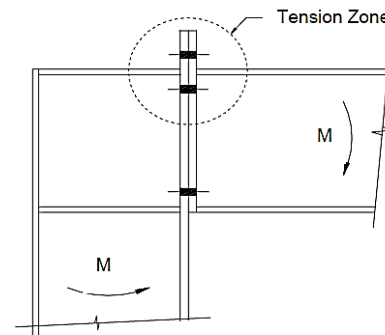


(b) Beam-to-Column Connection

Figure 1-1 Typical uses of end-plate moment connections (flush).

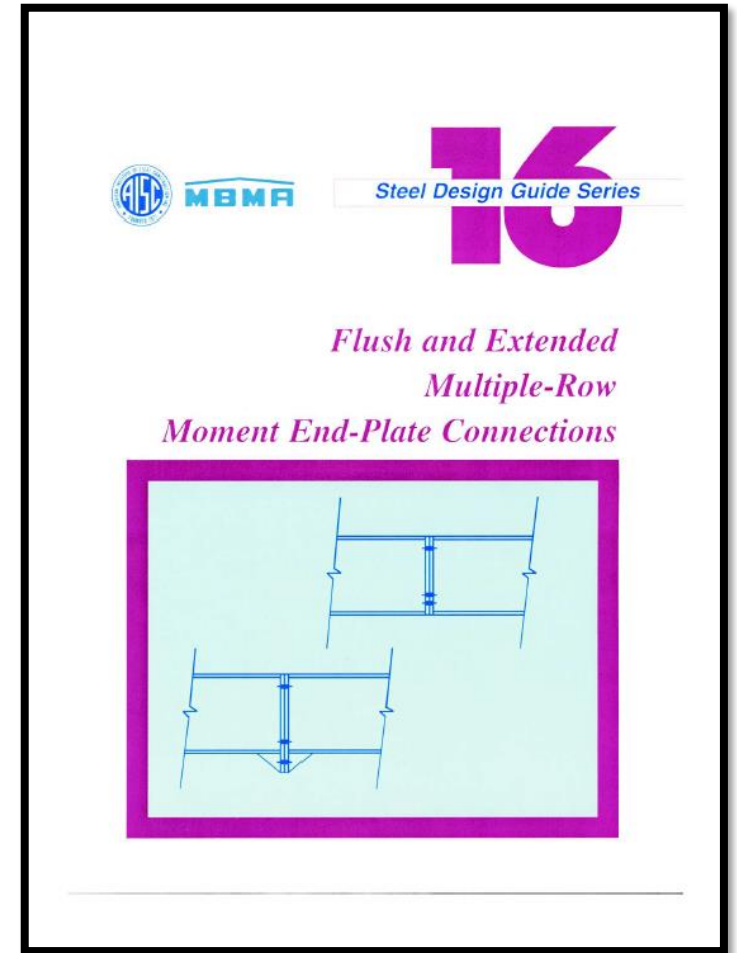


(a) Beam-to-Beam Connection



(b) Beam-to-Column Connection

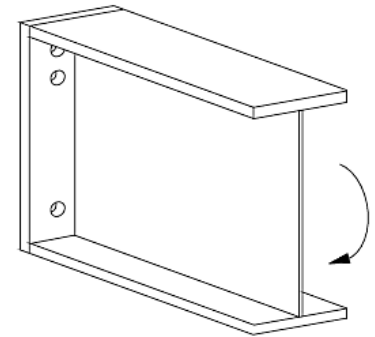
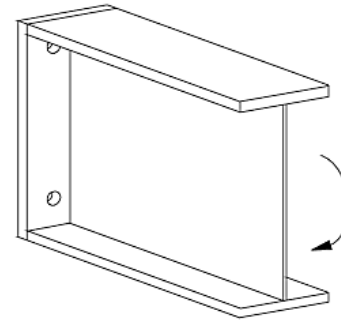
Figure 1-2 Typical uses of end-plate moment connections (extended).



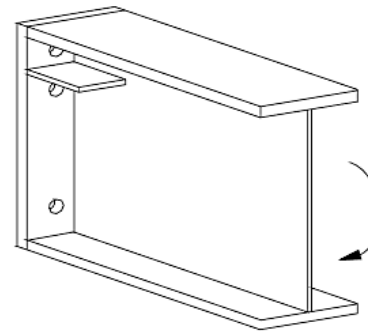
AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

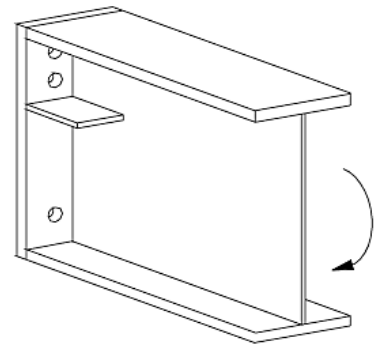
- รูปแบบ **ส่วนที่รับแรงดิ่งเสมอขอบ (flush)** สามารถจัดได้หลากหลายรูปแบบ โดยทั่วไป มักเพิ่มจำนวน bolt และอาจติดตั้ง stiffener เพิ่มเติมในบริเวณที่รับแรงดิ่ง จาก end moment
- **Stiffener** มีส่วนสำคัญที่ช่วยป้องกันการเกิด “**การงัด (prying)**” อันเกิดการการเสียรูปของแผ่นปิดปลายเมื่อระดับแรงดิ่ง (จาก end moment) เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปยัง bolt ทำให้ **bolt ต้องรับแรงดิ่งเพิ่มขึ้นจากผลของการงัด**
- โดยหากต้องการเพิ่มกำลังรับ Moment ให้สูงขึ้นมักดำเนินการโดยปรับให้ส่วนที่รับแรงดิ่งยื่น (extended) ออกจากขอบคาน



(b) Four-Bolt Unstiffened



(c) Four-Bolt Stiffened with Web Gusset Plate Between the Tension Bolts



(d) Four-Bolt Stiffened with Web Gusset Plate Between the Tension Bolts

Figure 1-3 Flush end-plate connections.



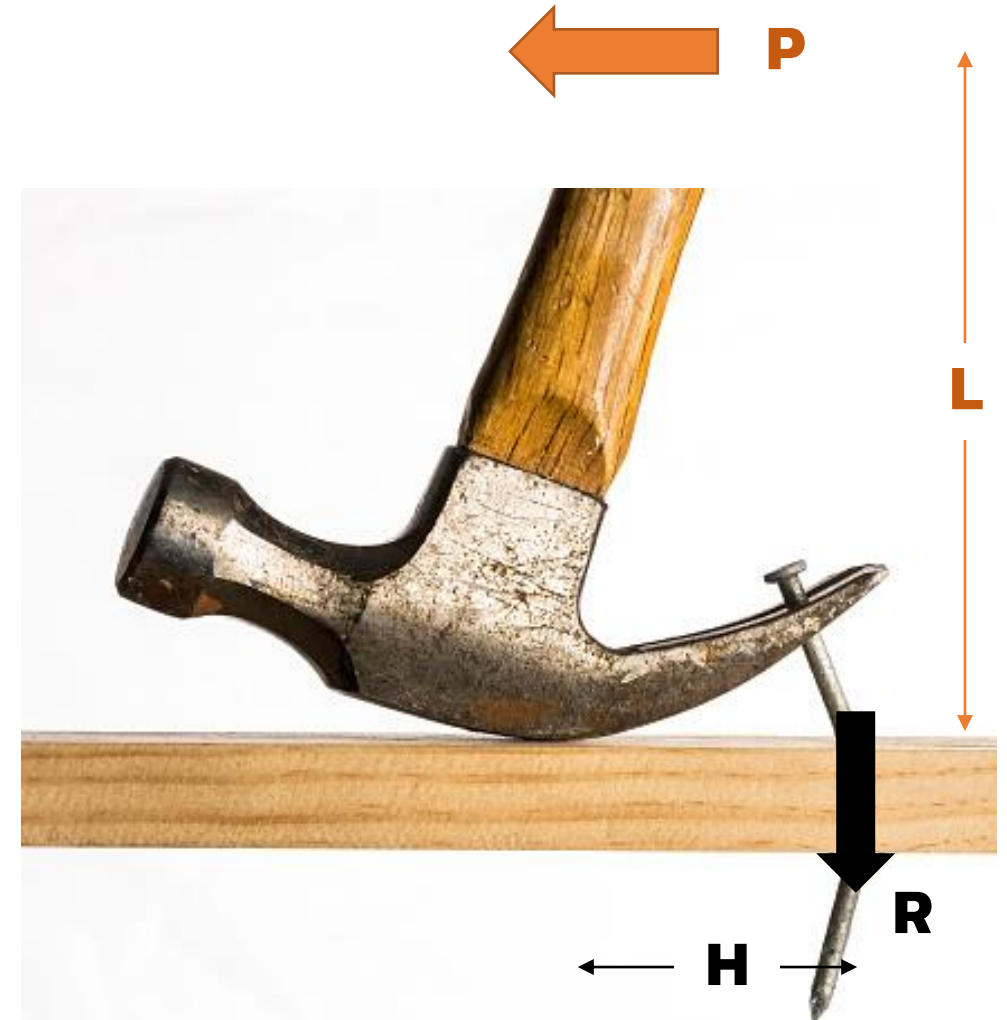
Prying Action Fundamental and Case Study

#WeLoveSteelConstruction

การจัด Prying action คืออะไร

#WeLoveSteelConstruction

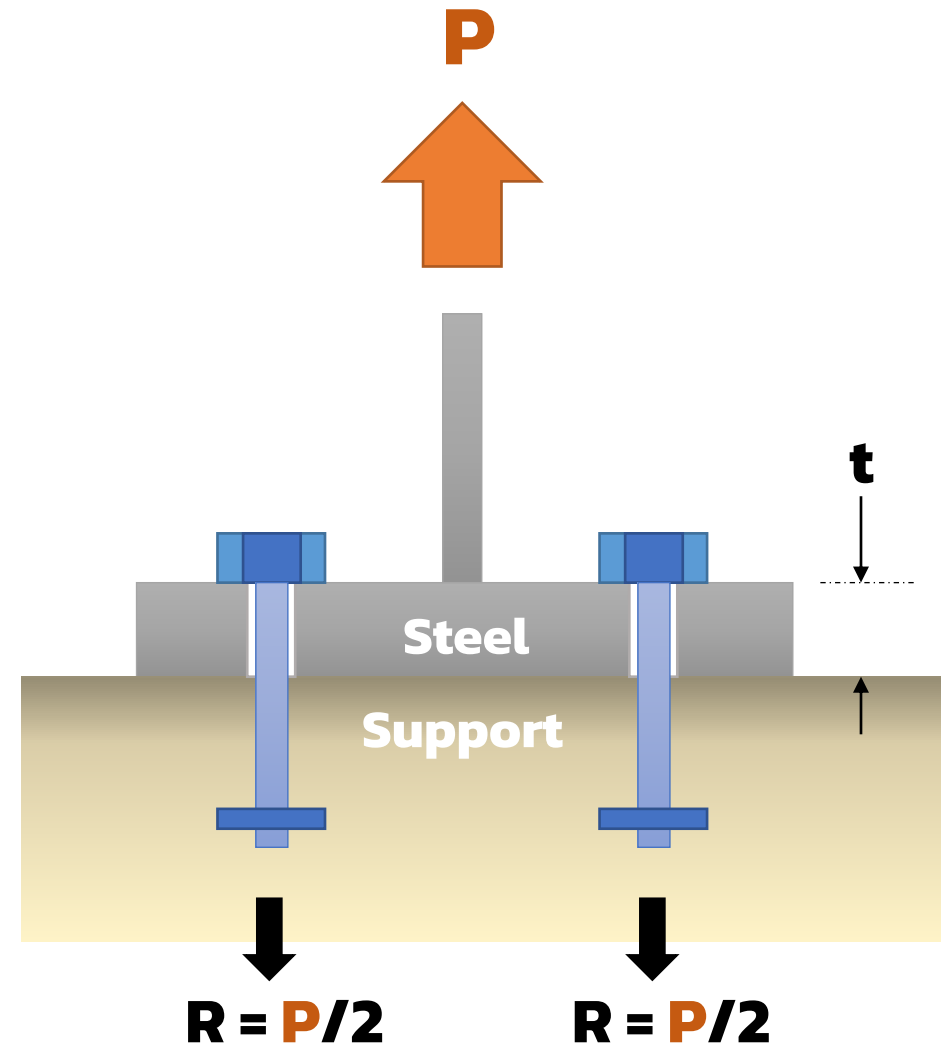
- ค้อนหงอน เป็นอุปกรณ์ช่างที่ใช้กันทั่วไป
- ส่วน “หงอน” ใช้สำหรับการ “จัด” ตะปู ที่ตอกเข้าไปในเนื้อไม้
- การ “จัด” ต้องทำการ “ค้ำ” หัวค้อนเข้ากับผิวของส่วนที่ขยับได้ยาก เพื่อสร้าง “แรงจัด” แทนการ “ถอนออก” ด้วยการดึงตะปูด้วยค้อนโดยตรง
- การจัด จึงเป็นการทดแรงอย่างง่าย ๆ โดยแรงที่ต้องใช้ถอนตะปู $R = P * (L/H)$



การรัด Prying action คืออะไร

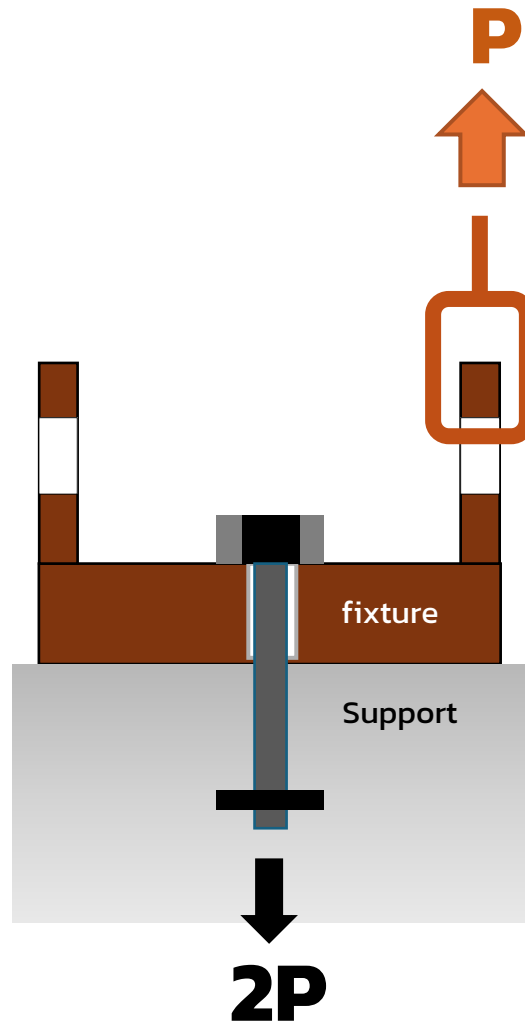
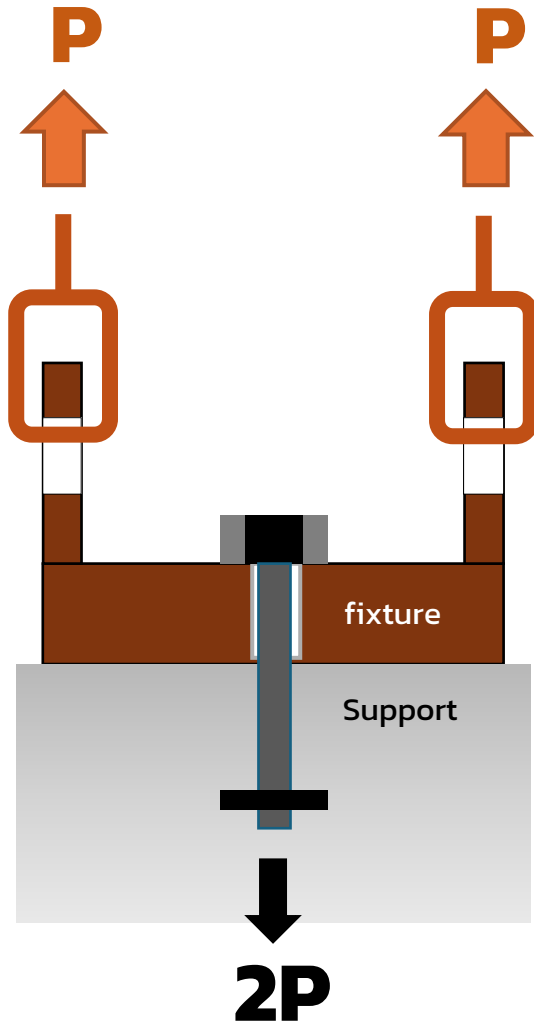
#WeLoveSteelConstruction

- สำหรับโครงสร้างเหล็ก บริเวณจุดต่อดังรูป หากมีแรง **P** ดึงขึ้นส่วนสีกา ที่ยึดกับฐาน ด้วย bolt 2 ตัว ตามหลักสมดุล bolt แต่ละตัวก็จะเกิดแรงถอน มีค่าเท่ากับ **$R = P/2$**
- ทั้งนี้ พฤติกรรมดังรูปจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ ส่วนของโครงสร้างเหล็กสีกา มีความ "rigid" มาก ไม่เสียรูปได้ง่าย
- Rigidity ที่กล่าวถึงนี้ สะท้อน ความสามารถในการต้านทานการดัดตัวของเหล็ก ซึ่งขึ้นกับ "ความหนาของเหล็ก (t)" เป็นหลัก



Pulling out an anchor

#WeLoveSteelConstruction



รูปซ้าย

ดึง anchor rod ที่ยึด fixture เข้ากับ support ที่ติดตั้งอย่างสมมาตร ด้วยแรงดึง P ที่มีขนาดเท่ากันทั้ง 2 ด้าน แรงที่ anchor rod จะได้รับ คือ $2P$

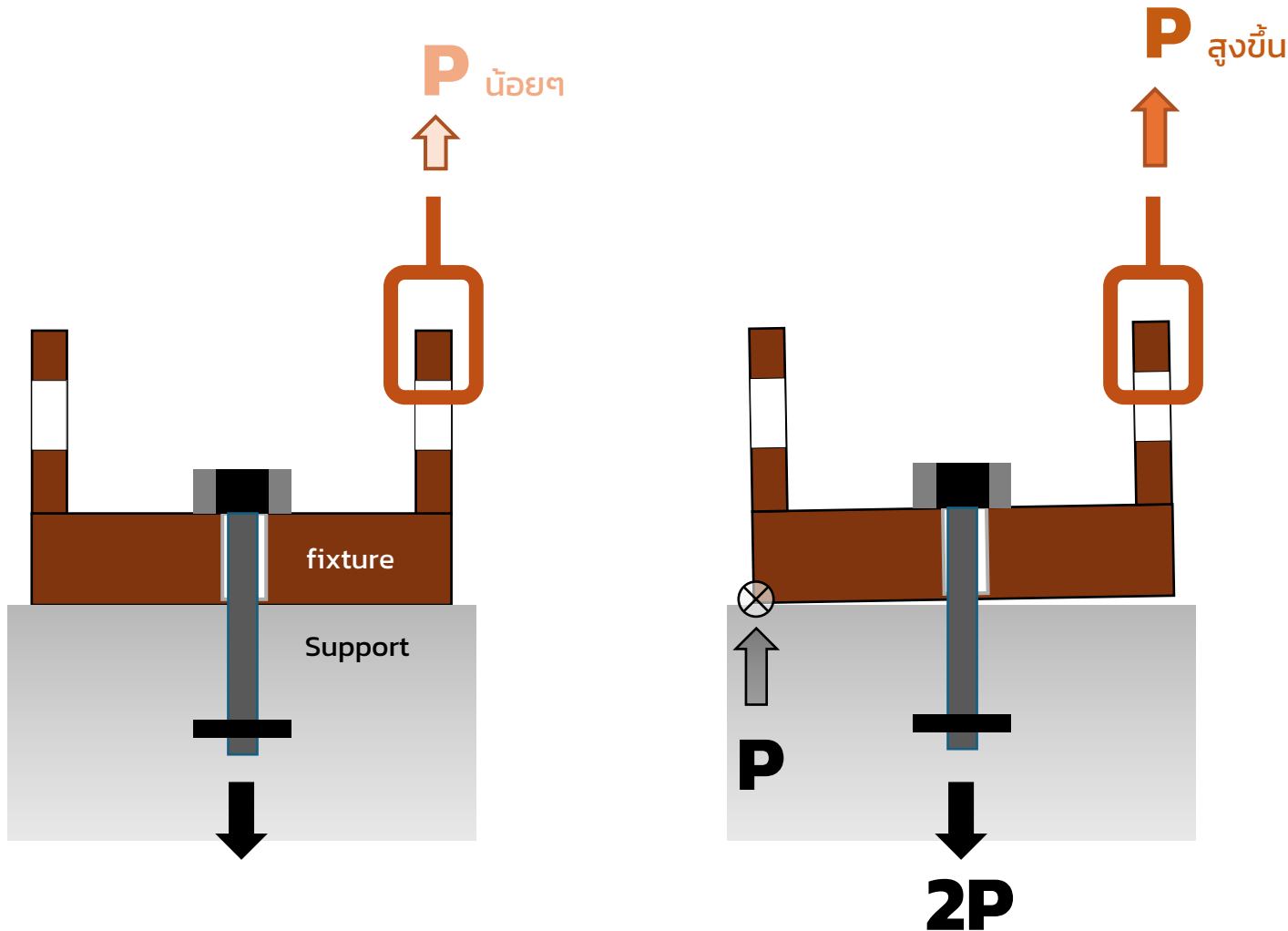
รูปขวา

ดึง anchor rod ที่ยึด fixture เข้ากับ support ที่ติดตั้งอย่างสมมาตร ด้วยแรงดึง P เพียง 1 ด้าน แรงที่ anchor rod จะได้รับ คือ $2P$

Anchor rod เกิดแรง $2P$ เท่ากัน

Pulling out an anchor

#WeLoveSteelConstruction



เมื่อแรงดึง P มีค่าน้อย

แรงดึง P จะไปทำให้ contact pressure ระหว่าง fixture กับ support ซึ่งเกิดจากการขันแน่นที่ anchor rod ลดลง

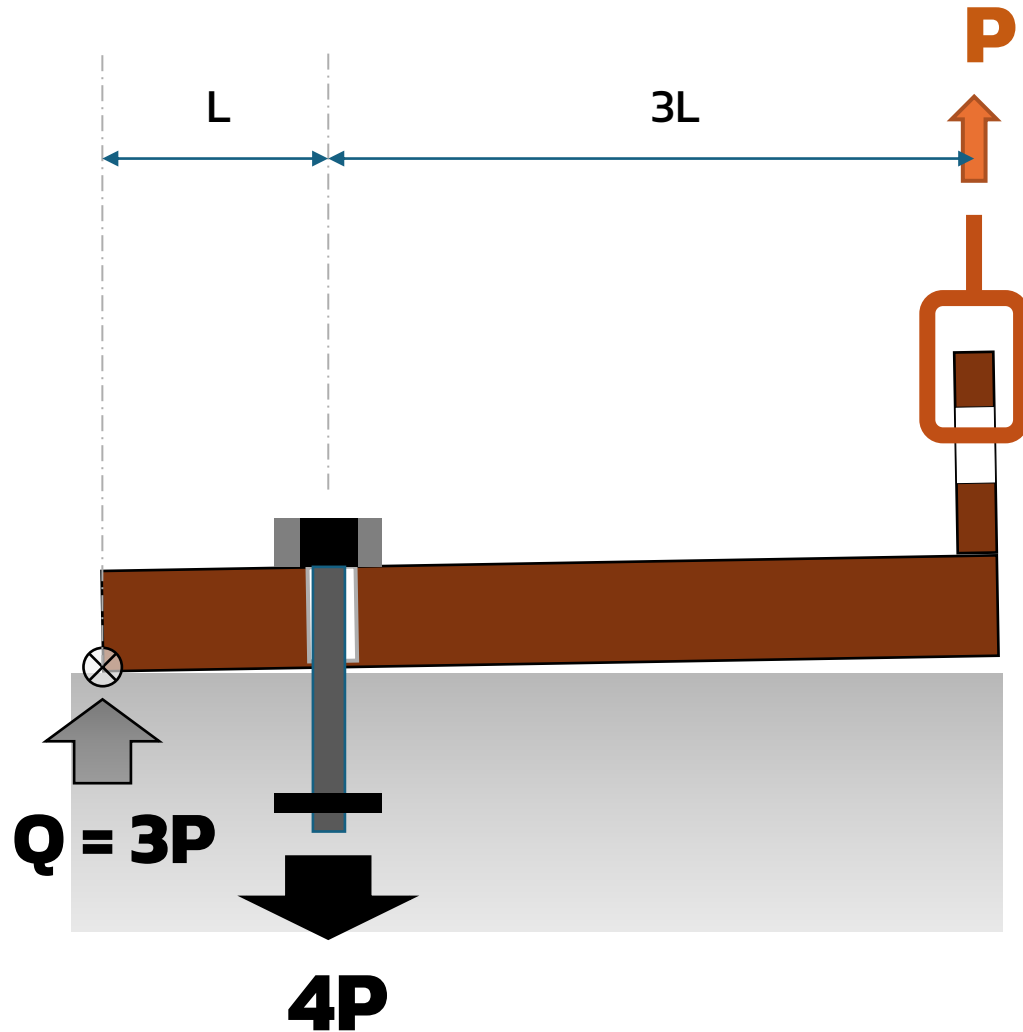
เมื่อแรงดึง P มีค่าสูงขึ้น

P สูงจนถึงระดับที่ทำให้ contact pressure หายไป จนเกิดการหมุน รอบจุดหมุน ด้วยระบบมีความสมมาตร หากพิจารณาสมดุลโมเมนต์ ($2P \cdot L/2 = P \cdot L$) จึงเกิดแรงที่จุดหมุนเท่ากับ P

Anchor rod เกิดแรง 2P เท่ากัน

Pulling out an anchor

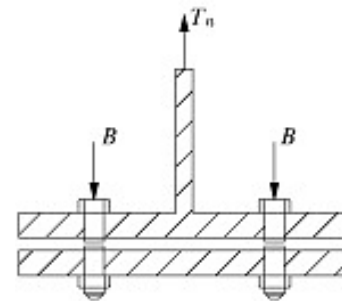
#WeLoveSteelConstruction



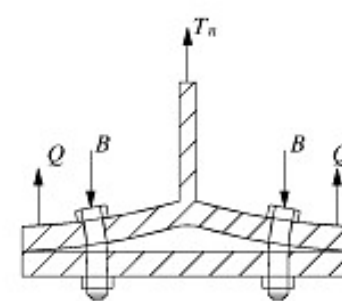
เมื่อระยะเปลี่ยนแปลงไป

สามารถพิจารณาสมดุลของ moment ได้เช่นเดิม ดังกรณีที่ผ่านมา หาก arm length ของ แรงภายนอก P มีค่า $L + 3L = 4L$ จะได้ว่า แรงดึงที่ anchor rod จะมีค่า $P \cdot 4L / L = 4P$

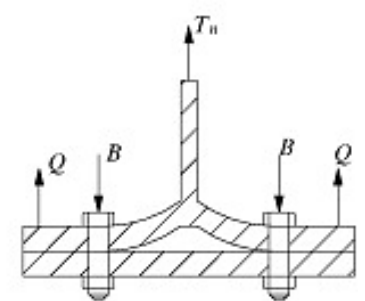
แรงจัด Prying force (โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์ Q) = $3P$



(a) mode 1



(b) mode 2



(c) mode 3

การรัด Prying action คืออะไร

#WeLoveSteelConstruction

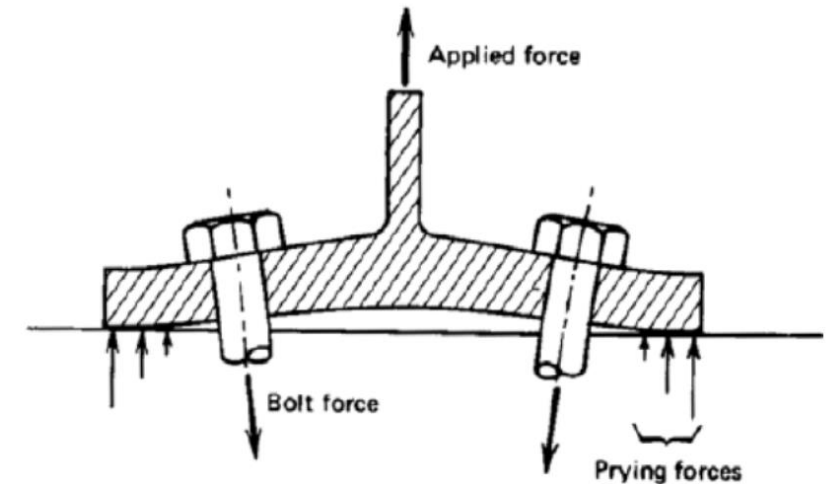
- กรณีส่วนของเหล็กที่ยึดกับ support ด้วย bolt มีความหนาอ่อนเกินไป (ไม่ rigid เพียงพอ) จะเกิดพฤติกรรม "การรัด" หรือ Prying action ขึ้น โดยจากหลักสมดุล จะเห็นว่า

$$2(\text{Bolt force}) = \text{Applied force} + 2(\text{Prying forces})$$

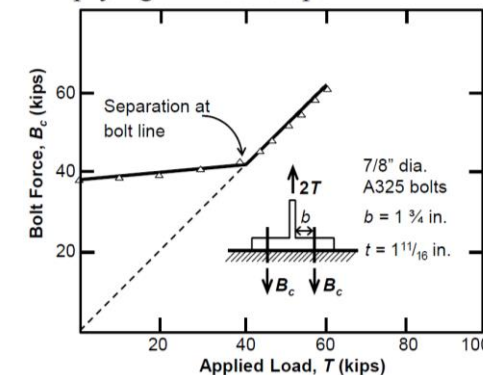
- เทียบกับกรณีไม่เกิด Prying action (เหล็ก rigid)

$$2(\text{Bolt force}) = \text{Applied force}$$

- จะเห็นว่าเกิดแรงกับ bolt มากยิ่งขึ้น หากเกิด Prying force ซึ่งเป็นกรณีแผ่นที่ยึดบางจนเกินกว่าค่าความหนาวิกฤต หรือ critical thickness (t_c)



If the element thickness is greater than t_c , then no prying will develop.



Note:
 B = Bolt Strength
 B_c = Bolt Force = $T + q$

(Figure is taken from "Guide to Design of Bolted and Riveted Joints", 2nd Ed., Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, and John H. A. Struik, Wiley-Interscience, 1987.)

AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

- รูปแบบ **ส่วนที่รับแรงดึงยื่น (extended)** ออกจากขอบคาน อาจเป็นรูปแบบที่ไม่มี การติดตั้ง stiffener (unstiffened) หรือ มีการติดตั้ง stiffener (stiffened)
- **ขีดจำกัด (limit state)** หนึ่งที่ต้อง พิจารณาในขั้นตอนการวิเคราะห์ คำนวณ ออกแบบคือ “**yield line**” ซึ่งนิยามว่า “the continuous formation of plastic hinges along a straight or curved line” หรือ **แนวการครากซึ่งอาจเป็น เส้นตรงหรือเส้นโค้ง**
- **Yield line** หาได้จากทั้ง equilibrium และ **virtual work method** ซึ่งวิธีหลังจะ **เหมาะสมมากกว่า**

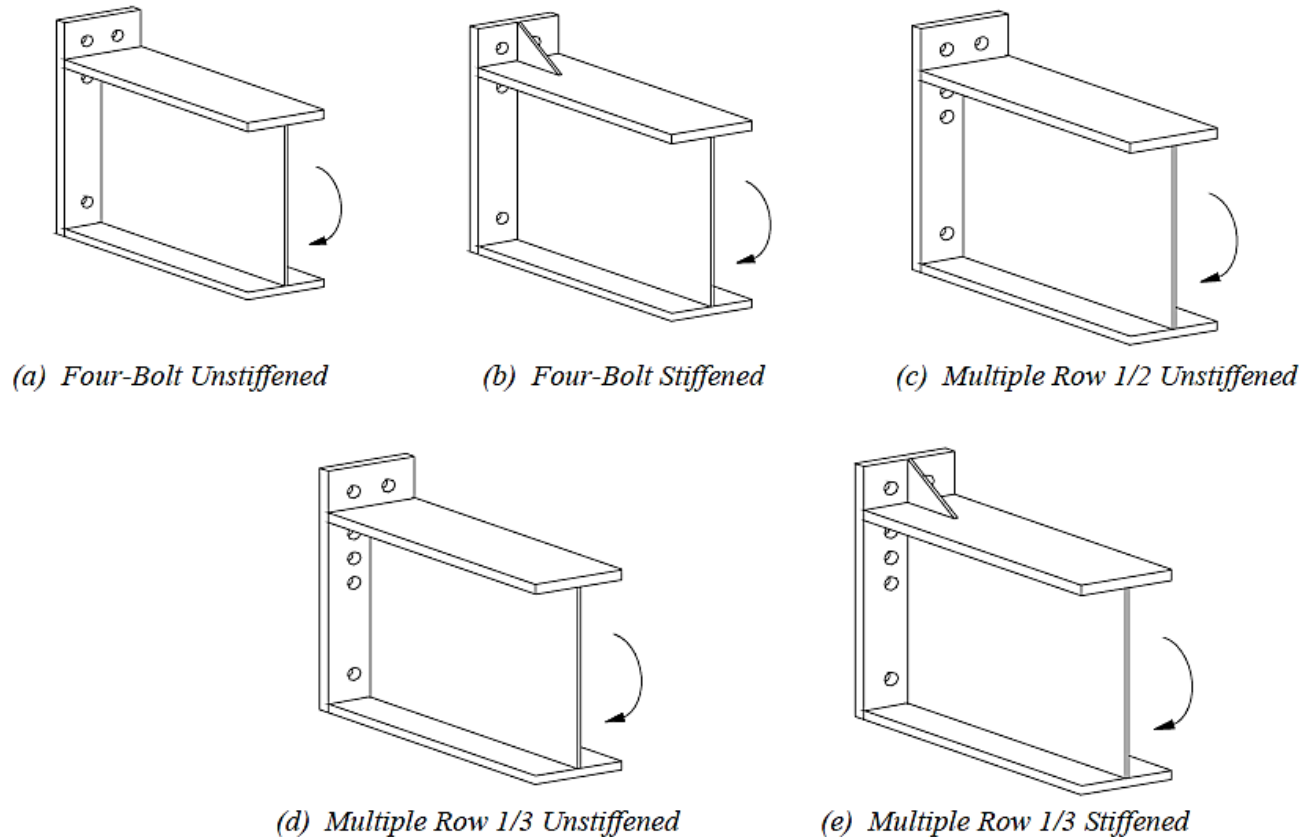
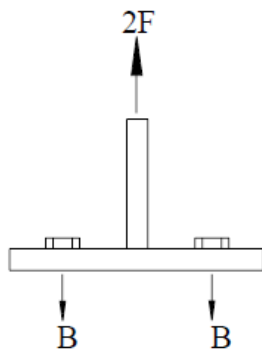


Figure 1-4 Extended end-plate connections.

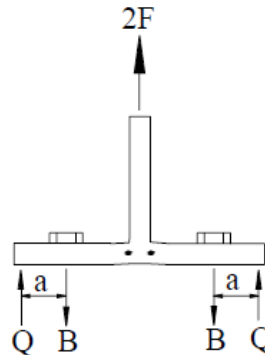
AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

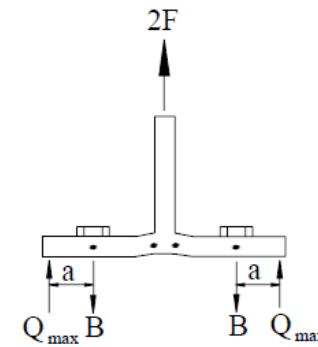
- กรณีที่ end plate บางจนเกินไป อาจส่งผลทำให้ bolt ส่วนที่รับแรงดึง ต้องรับแรงดึงมากยิ่งขึ้นจากผลของการงัด
- ในช่วงเริ่มต้น (a) แรงยังไม่มากนัก end plate ยังไม่เสียรูป พฤติกรรมเหมือนเหล็กแผ่นหนา (thick plate) ต่อมา ใส่แรงดึงเพิ่มไปอีก ตรง stem ของ fitting จะเกิดการคราก plastic hinge จะ form ตัว เริ่มเกิดการงัด ณ จุดนี้ **(b) แรงดึงใน bolt จะเพิ่มขึ้น $B = F + Q$** และเมื่อใส่แรงดึงเพิ่มอีก (c) end plate ก็จะมีการครากเพิ่มขึ้น เกิด plastic hinge อีกตำแหน่ง บริเวณ bolt hole



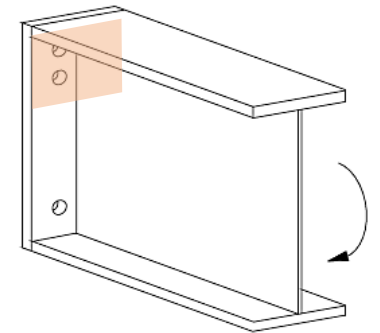
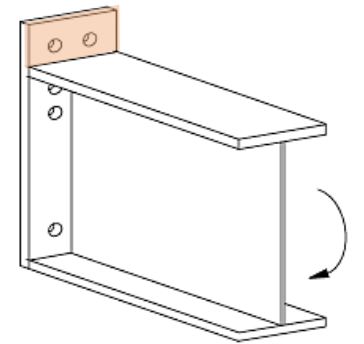
(a) First Stage / Thick Plate Behavior



(b) Second Stage / Intermediate Plate Behavior



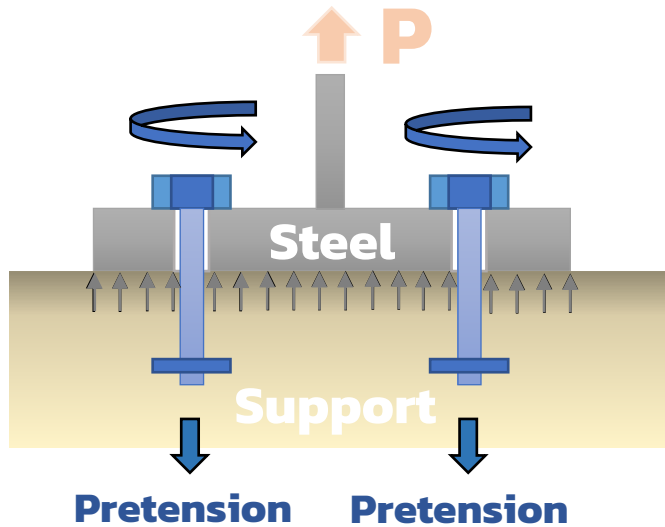
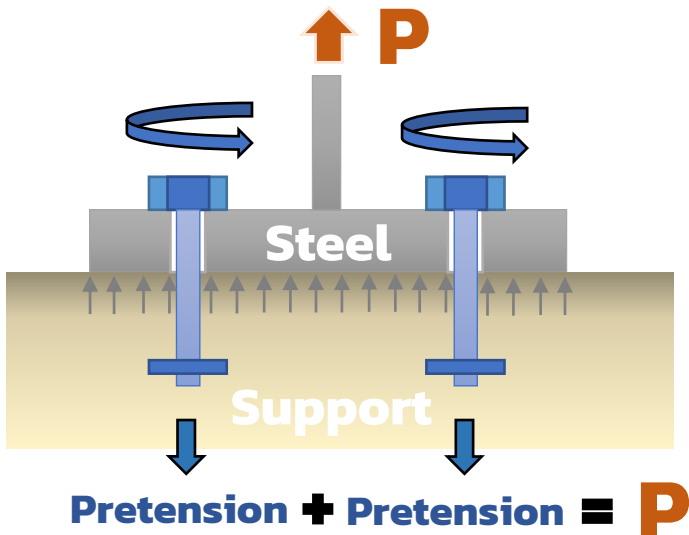
(c) Third Stage / Thin Plate Behavior



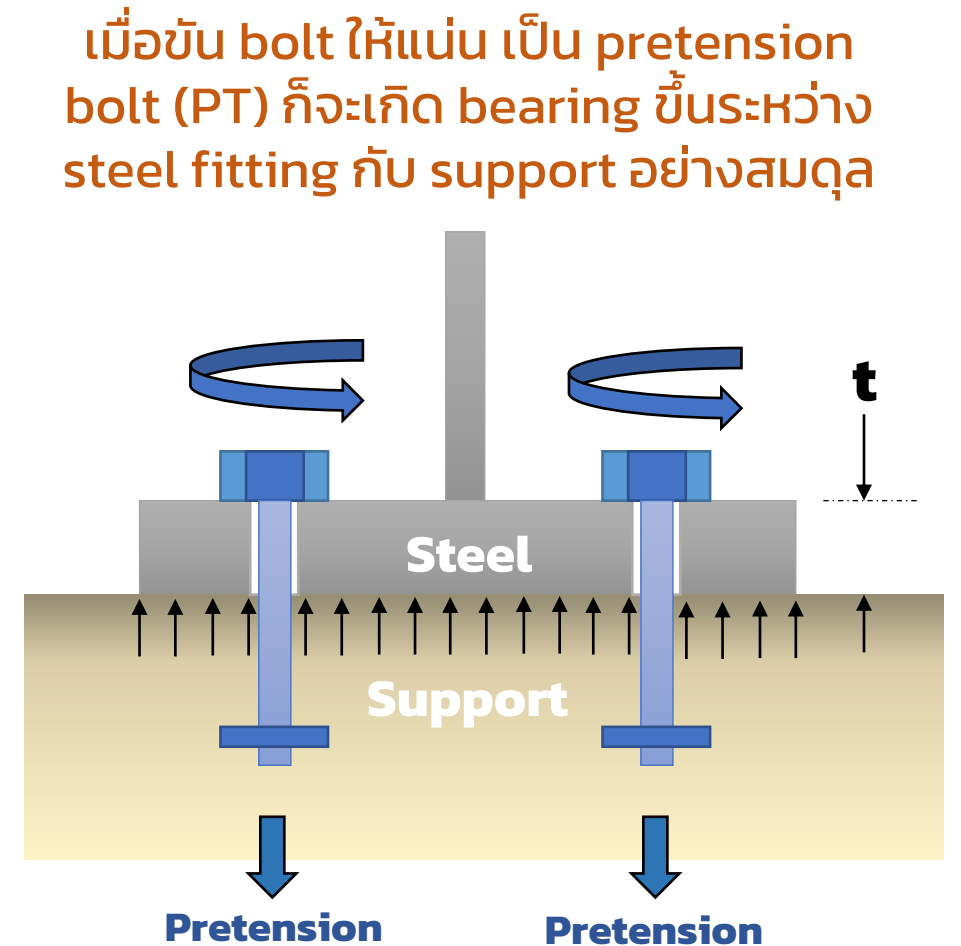
Effect of Bolt Pretensioning - 1

#WeLoveSteelConstruction

เมื่อใส่แรงดึง P ที่ steel fitting จนถึงจุดหนึ่ง bearing จะเป็น 0 แรงดึงใน bolt จะเพิ่มขึ้น โดยไปเท่ากับ P



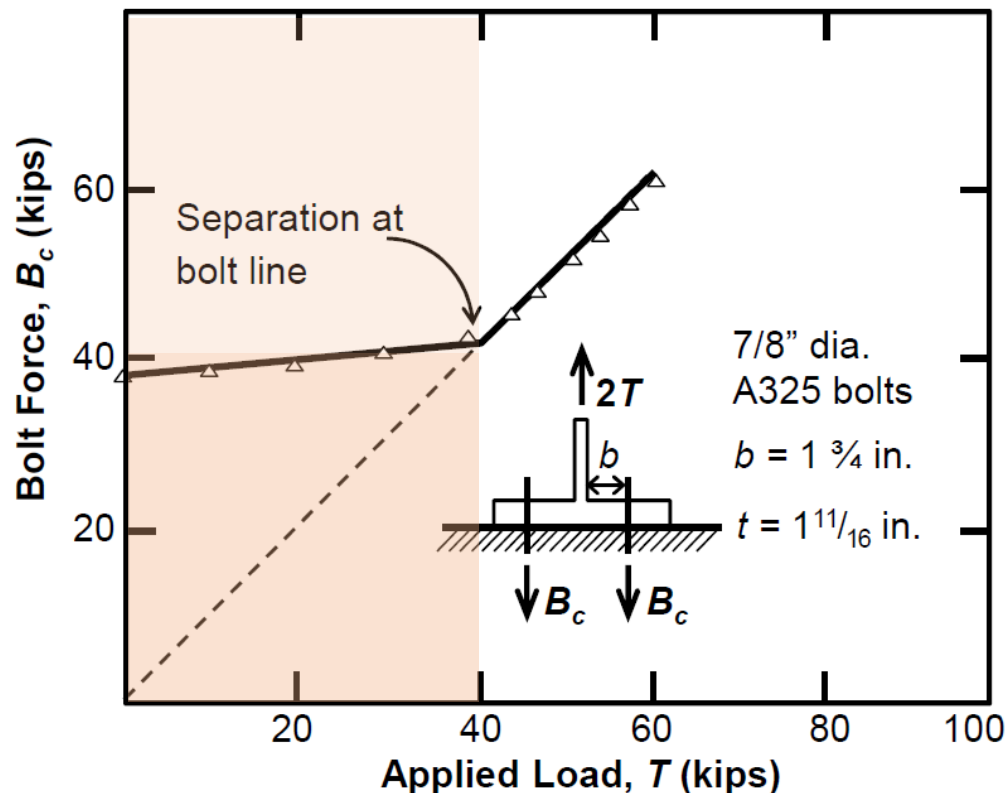
เมื่อค่อยๆ ใส่แรงดึง P ที่ steel fitting จะส่งผลให้ bearing ลดลงแรงดึงใน bolt จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



เมื่อขัน bolt ให้แน่น เป็น pretension bolt (PT) ก็จะเกิด bearing ขึ้นระหว่าง steel fitting กับ support อย่างสมดุล

Effect of Bolt Pretensioning - 2

#WeLoveSteelConstruction



- จากผลการศึกษาของ Kulak et.al. ได้ทำการทดสอบ bolt ที่มีการใส่แรงตึงก่อน (pretension) จากการขันแน่นพิเศษ ด้วยแรงตึง T กับ **เหล็กที่หนา $t \geq t_c$** พบว่า ในช่วงแรก เมื่อแรงตึง T ยังไม่มากนัก bolt ก็จะได้แรงตึงจาก pretension ที่เกิดจากการขันแน่น (ประมาณ 90% ของ F_y)

Note:

B = Bolt Strength

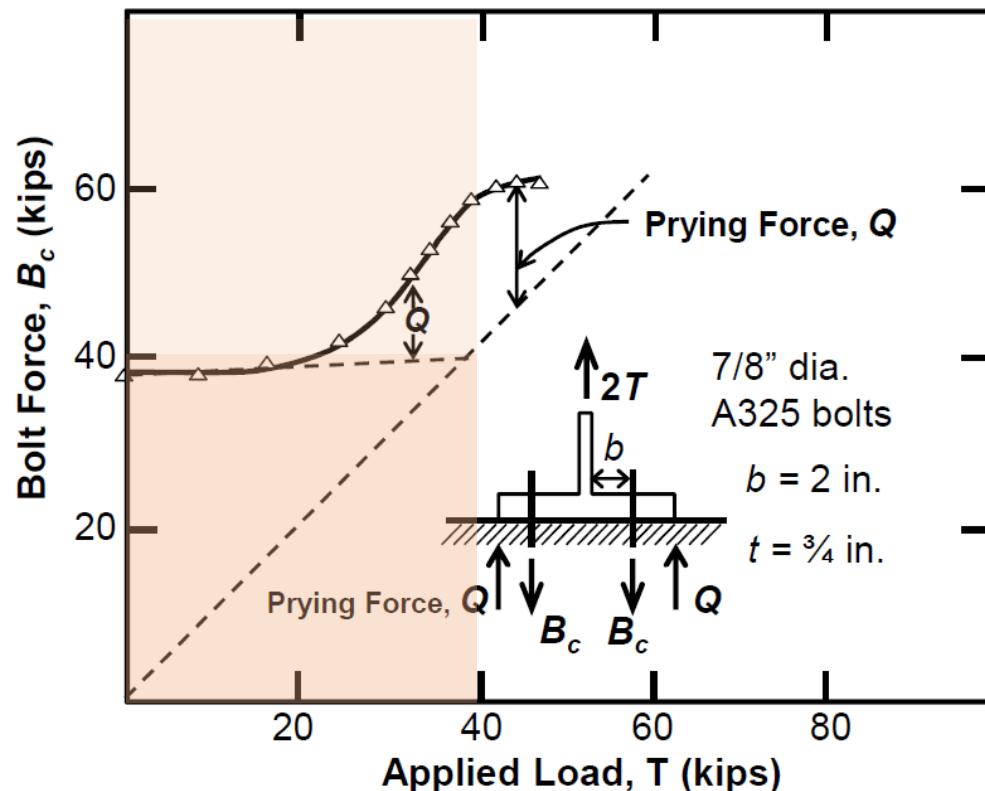
B_c = Bolt Force = $T + q$

(Figure is taken from "Guide to Design of Bolted and Riveted Joints", 2nd Ed., Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, and John H. A. Struik, Wiley-Interscience, 1987.)

- แต่ ณ จุดหนึ่ง เมื่อแรงตึง T เข้าใกล้ pretension force ก็จะได้เกิด gap ขึ้น (Separation at bolt line) ระหว่าง เหล็ก และ support แรงใน bolt B_c ก็จะเพิ่มตามแรงตึง T ที่กระทำ

Effect of Bolt Pretensioning - 3

#WeLoveSteelConstruction



- แต่สำหรับ เหล็กที่บาง $t < t_c$ พบว่า ในช่วงแรก “ด้วยผลจาก pretension” ทำให้ Prying action ยังไม่เกิดขึ้น bolt แรงดึงใน bolt จะประมาณ เท่ากับ pretension force จนถึงจุดหนึ่ง เหล็ก แผ่นจะเกิดการดัด (ด้วยเหตุที่เหล็กแผ่นบาง ไม่ rigid พอ)

Note:

B = Bolt Strength

B_c = Bolt Force = $T + q$

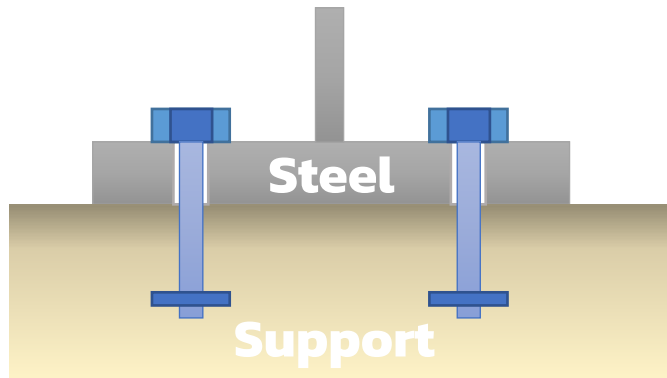
(Figure is taken from “Guide to Design of Bolted and Riveted Joints”, 2nd Ed., Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, and John H. A. Struik, Wiley-Interscience, 1987.)

- เมื่อเกิด Prying action แรงใน bolt ก็จะเพิ่มสูงขึ้น มากกว่าแรงดึง T ที่กระทำ ย่อมส่งผลให้การวิบัติที่ bolt (tensile rupture failure) เกิดขึ้นได้ง่ายกว่า กรณีที่เหล็กแผ่นหนา (ไม่ เกิด Prying action)

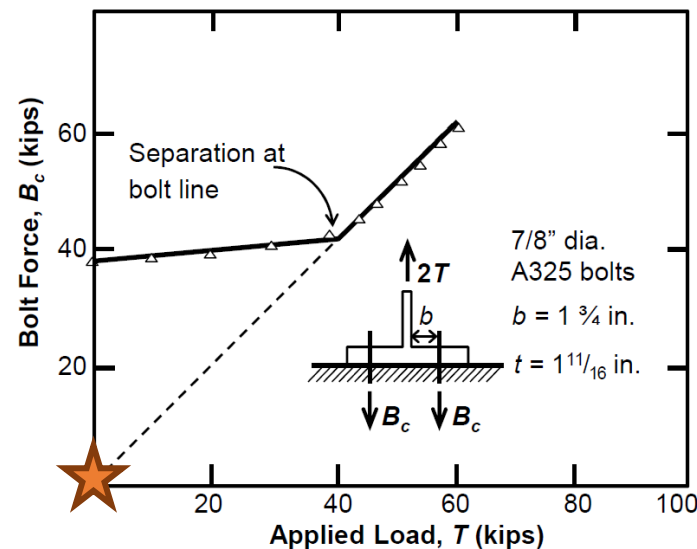
Effect of Bolt Pretensioning - 4

#WeLoveSteelConstruction

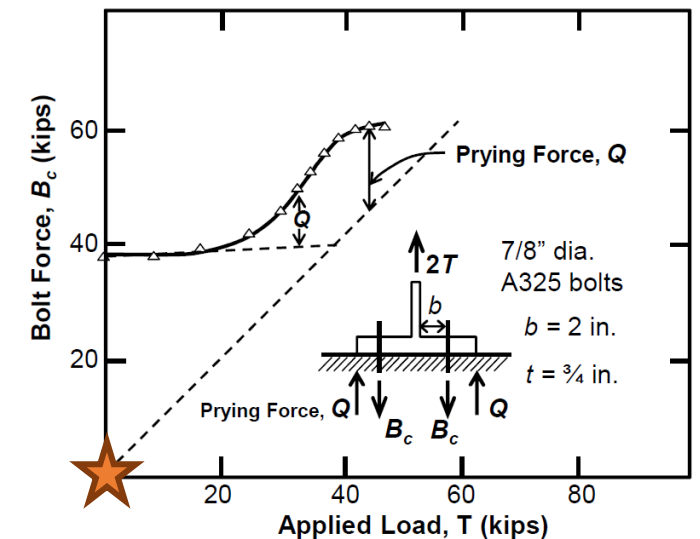
เมื่อติดตั้ง bolt ในลักษณะ
หลวมๆ โดยยังไม่ขัน
และยังไม่มีแรงดึงใดๆ



Steel Fitting หนาเพียงพอ



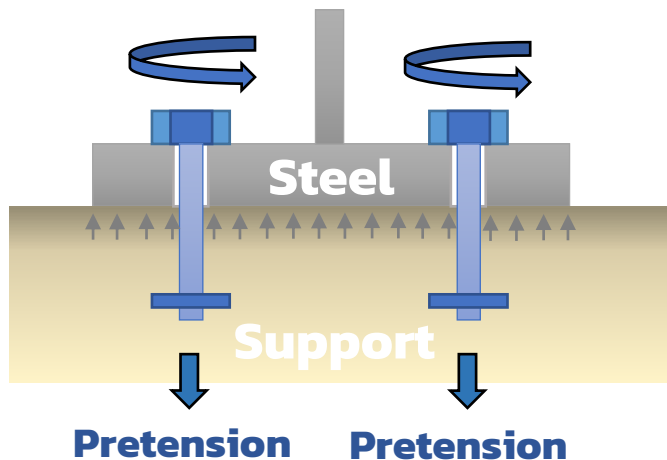
Steel Fitting หนาไม่พอ



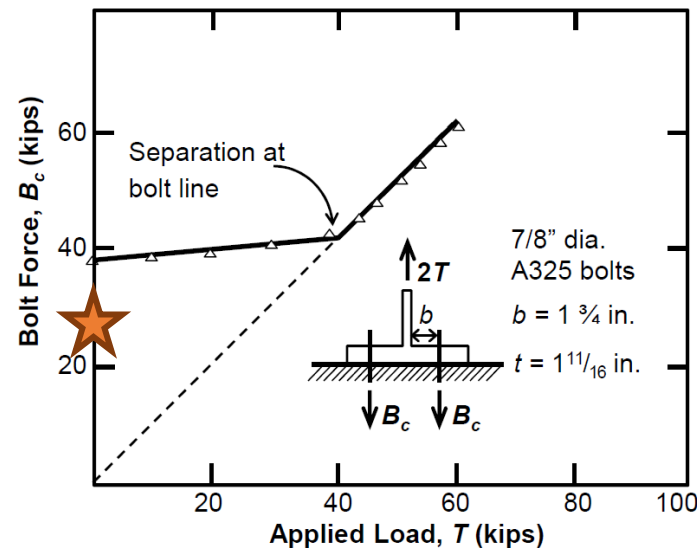
Effect of Bolt Pretensioning - 5

#WeLoveSteelConstruction

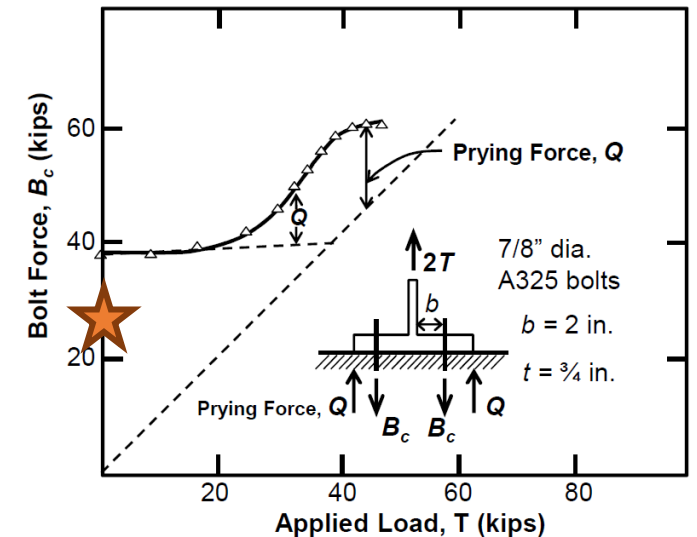
เมื่อขัน bolt ให้แน่นพอดี
(snug tightening)



Steel Fitting หุนเพียงพอ



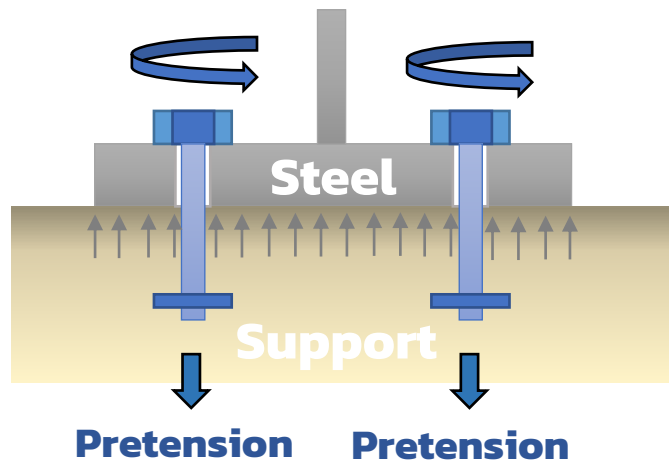
Steel Fitting หุนไม่พอ



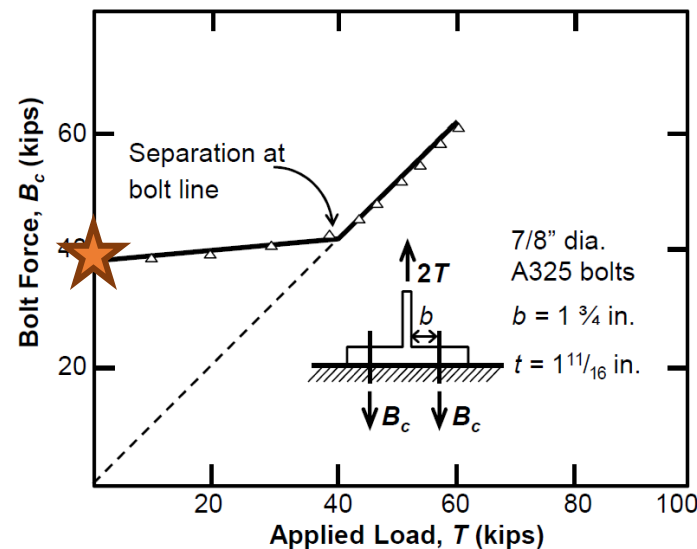
Effect of Bolt Pretensioning - 6

#WeLoveSteelConstruction

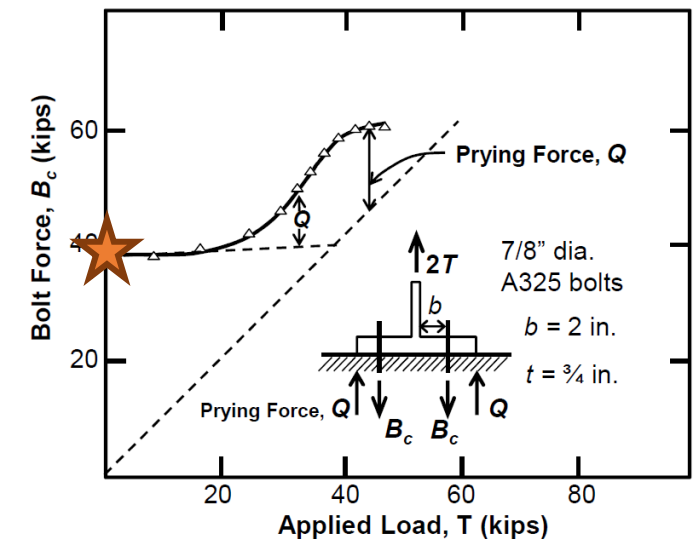
เมื่อขัน bolt ให้แน่น ถึง
ระดับ pretensioned bolt
(Proof strength: 90% F_y)



Steel Fitting หมาเพียงพอ



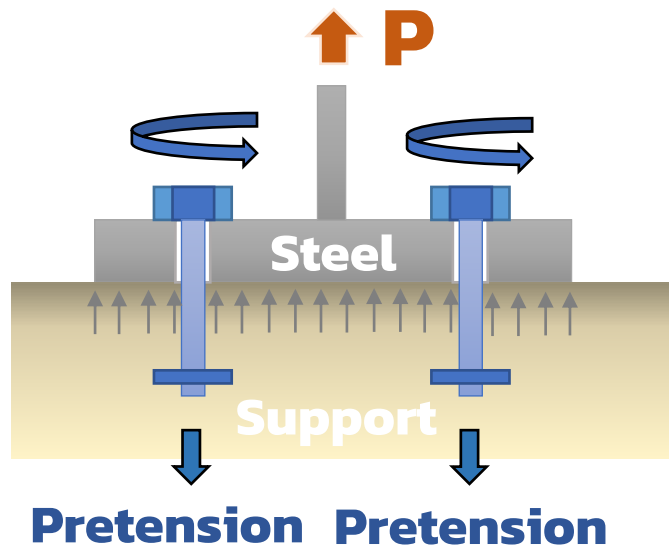
Steel Fitting หมาไม่พอ



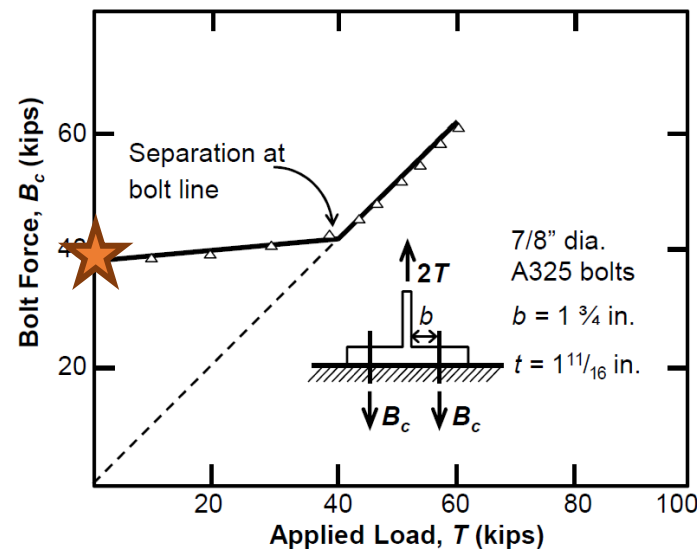
Effect of Bolt Pretensioning - 7

#WeLoveSteelConstruction

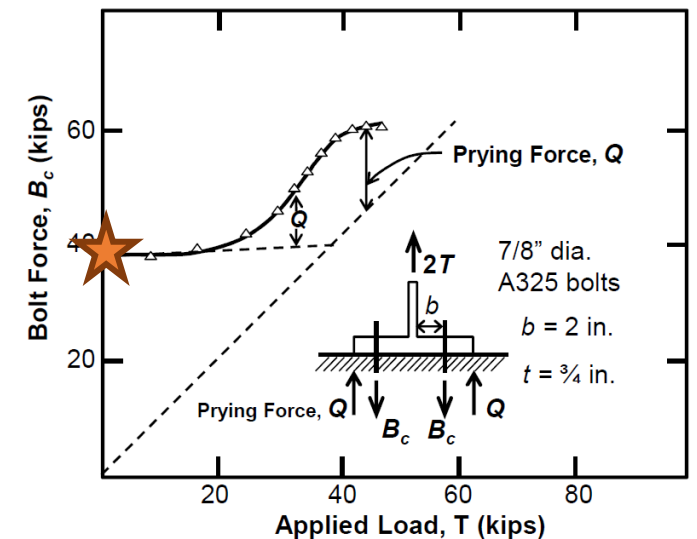
ใส่แรงดึงที่ web แรงดึงใน
bolt เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่
uniform pressure ลดลง



Steel Fitting หุนาเพียงพอ



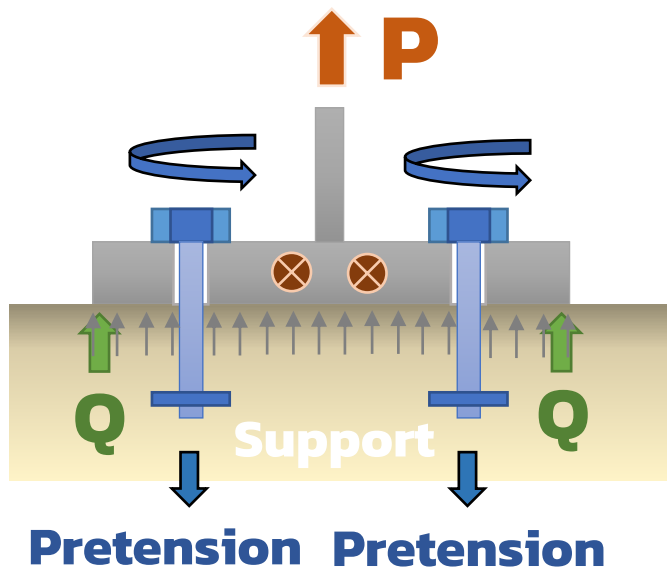
Steel Fitting หุนาไม่พอ



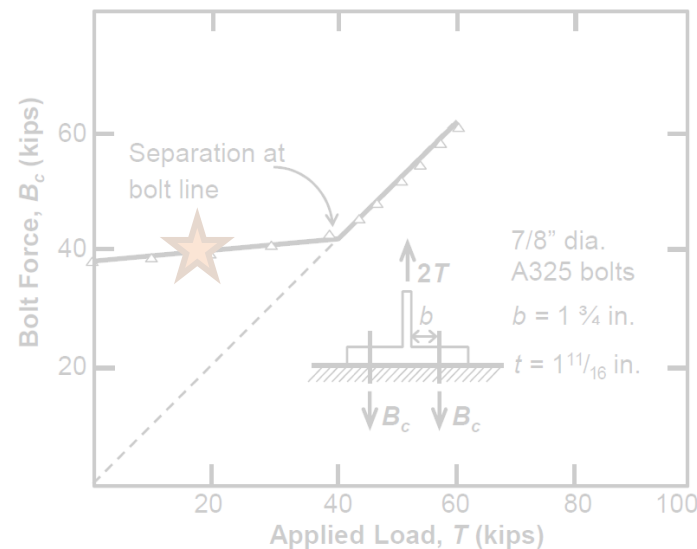
Effect of Bolt Pretensioning - 8

#WeLoveSteelConstruction

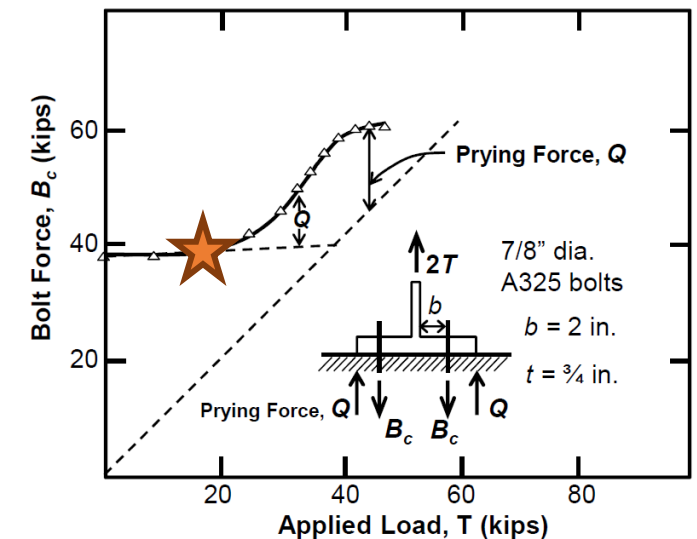
ใส่แรงดึงที่ web ถึงจุด
หนึ่ง หาก **Steel Flange**
หนาไม่พอ จะเกิด plastic
hinge และ **แรงจัด (Q)**



Steel Flange หนาเพียงพอ



Steel Flange หนาไม่พอ



AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

- การขันแน่นของ bolt มีผลต่อกำลัง

TABLE J3.1M Minimum Bolt Pretension, kN ^[a]		
Bolt Size, mm	Group A (e.g., A325M Bolts)	Group B (e.g., A490M Bolts)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

^[a] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM F3125/F3125M for Grade A325M and Grade A490M bolts with UNC threads.

T_b = specified pretension in Table J3.7 of AISC ASD or Table J3.1 of AISC LRFD (also reproduced in Table 2-1 of this Guide).

For a flush connection:

$$\phi M_q = \max \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \\ \phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{cases} \quad (2-18)$$

For an extended connection:

$$\phi M_q = \max \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ \phi [2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \end{cases} \quad (2-19)$$

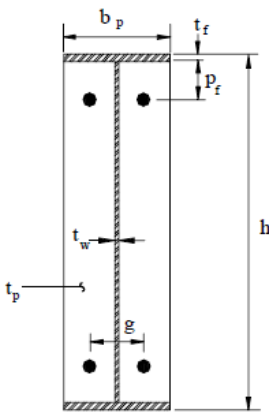
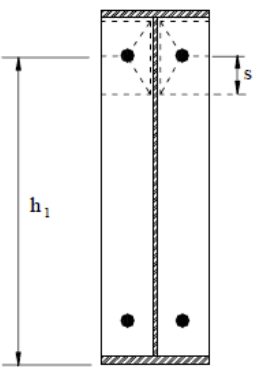
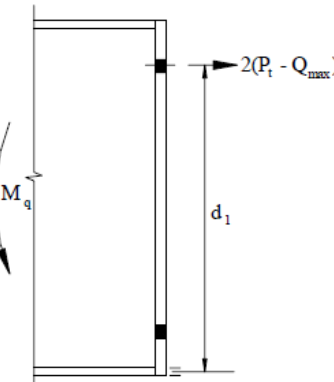
Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

$d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
 $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
 $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
 $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

Table 3-2 Summary of Two-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate Analysis

Geometry	Yield-Line Mechanism	Bolt Force Model
		
End-Plate Yield	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y t_p^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_f + s)] \quad \text{Note: Use } p_f = s, \text{ if } p_f > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action	$\phi M_n = \phi M_q = \max \left[\phi [2(P_t - Q_{max})d_1] \right. \\ \left. \phi [2(T_b)d_1] \right] \quad \phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action	$\phi M_n = \phi M_{np} = \phi [2(P_t)d_1] \quad \phi = 0.75$	

For a flush connection:

$$\phi M_q = \max \left[\phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \right. \\ \left. \phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \right] \quad (2-18)$$

For an extended connection:

$$\phi M_q = \max \left[\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \right. \\ \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ \left. \phi [2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \right] \quad (2-19)$$

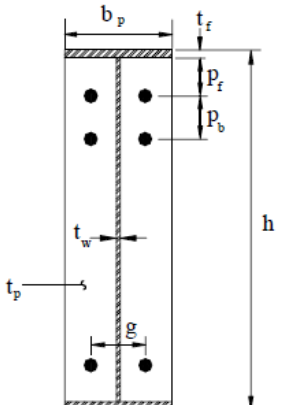
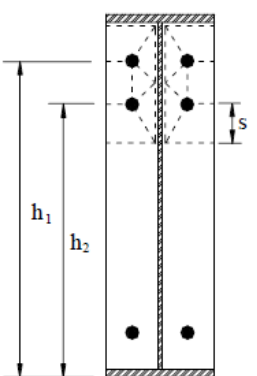
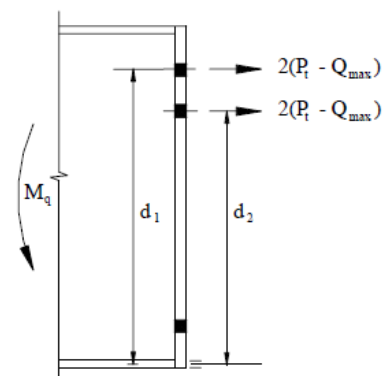
Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

- $d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

Table 3-3 Summary of Four-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate Analysis

Geometry	Yield-Line Mechanism	Bolt Force Model
		
End-Plate Yield	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y t_p^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_f} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 (p_f + 0.75 p_b) + h_2 (s + 0.25 p_b) \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$ Note: Use $p_f = s$, if $p_f > s$	
Bolt Rupture w/Prying Action	$\phi M_n = \phi M_q = \max \left\{ \begin{aligned} &\phi [2(P_t - Q_{max})(d_1 + d_2)] \\ &\phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{aligned} \right. \quad \phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action	$\phi M_n = \phi M_{np} = \phi [2(P_t)(d_1 + d_2)] \quad \phi = 0.75$	

For a flush connection:

$$\phi M_q = \max \left\{ \begin{aligned} &\phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \\ &\phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{aligned} \right. \quad (2-18)$$

For an extended connection:

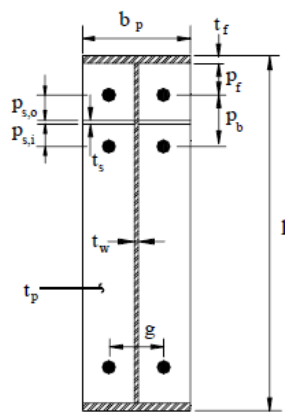
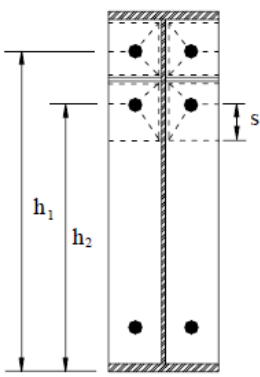
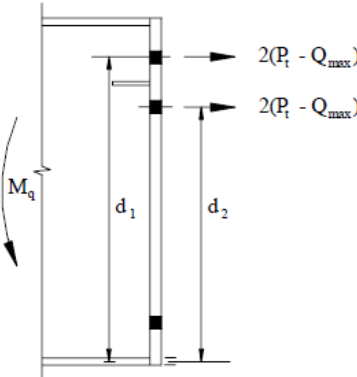
$$\phi M_q = \max \left\{ \begin{aligned} &\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \\ &\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ &\phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ &\phi [2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \end{aligned} \right. \quad (2-19)$$

Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

- $d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

#WeLoveSteelConstruction

Table 3-4 Summary of Four-Bolt Flush Stiffened Moment End-Plate Analysis (Stiffened Between the Tension Bolt Rows)

Geometry	Yield-Line Mechanism	Bolt Force Model
		
End-Plate Yield	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_{py} t_p^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{p_{s,o}} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{s,i}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_f + p_{s,o}) + h_2(s + p_{s,i})]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$ Note: Use $p_f = s$, if $p_f > s$	
Bolt Rupture w/Prying Action	$\phi M_n = \phi M_{q_{\max}} = \phi \begin{cases} 2(P_t - Q_{\max})(d_1 + d_2) \\ 2(T_b)(d_1 + d_2) \end{cases} \quad \phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action	$\phi M_n = \phi M_{np} = \phi [2(P_t)(d_1 + d_2)] \quad \phi = 0.75$	

For a flush connection:

$$\phi M_q = \max \begin{vmatrix} \phi[2(P_i - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \\ \phi[2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{vmatrix} \quad (2-18)$$

For an extended connection:

$$\phi_{M_q} = \max \begin{cases} \phi[2(P_i - Q_{\max,o})d_0 + 2(P_i - Q_{\max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \\ \phi[2(P_i - Q_{\max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ \phi[2(P_i - Q_{\max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ \phi[2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \end{cases} \quad (2-19)$$

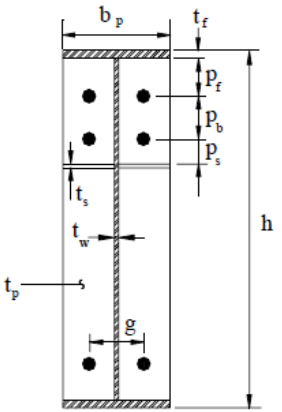
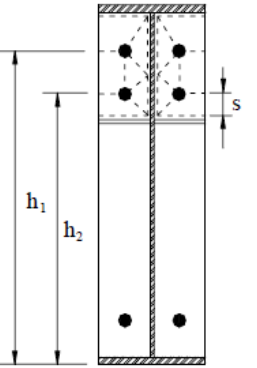
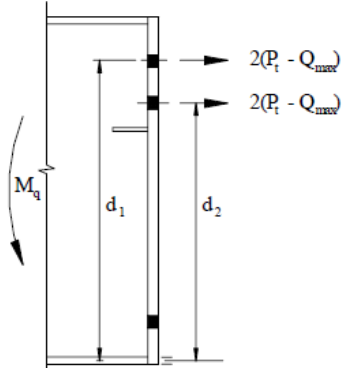
Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

$d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
 $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
 $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
 $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

Table 3-5 Summary of Four-Bolt Flush Stiffened Moment End-Plate Analysis (Stiffened Inside the Tension Bolt Rows)

Geometry	Yield-Line Mechanism	Bolt Force Model
		
End-Plate Yield	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y t_p^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_f} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_f + 0.75 p_b) + h_2 (s + 0.25 p_b)] + \frac{g}{2}$ Note: Use $p_f = s$, if $p_f > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \leq p_s \quad (\text{Note upper bound on } s \text{ for this connection}) \quad \phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action	$\phi M_n = \phi M_q = \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max})(d_1 + d_2)] \\ \phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{cases} \quad \phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action	$\phi M_n = \phi M_{np} = \phi [2(P_t)(d_1 + d_2)] \quad \phi = 0.75$	

For a flush connection:

$$\phi M_q = \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \\ \phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{cases} \quad (2-18)$$

For an extended connection:

$$\phi M_q = \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ \phi [2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \end{cases} \quad (2-19)$$

Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

- $d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

Table 4-2 Summary of Four-Bolt Extended Unstiffened Moment End-Plate Analysis

Geometry	Yield-Line Mechanism	Bolt Force Model
End-Plate Yield	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y A_g Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,o}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{2}{g} [h_1 (p_{f,i} + s)] \right] \quad \text{Note: Use } p_{f,i} = s, \text{ if } p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action	$\phi M_n = \phi M_q = \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})d_1] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(T_b)(d_1)] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,i})d_1 + 2(T_b)(d_0)] \\ \phi [2(T_b)(d_0 + d_1)] \end{cases} \quad \phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action	$\phi M_n = \phi M_{np} = \phi [2(P_t)(d_0 + d_1)] \quad \phi = 0.75$	

For a flush connection:

$$\phi M_q = \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \\ \phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{cases} \quad (2-18)$$

For an extended connection:

$$\phi M_q = \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ \phi [2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \end{cases} \quad (2-19)$$

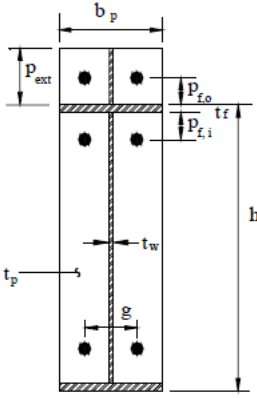
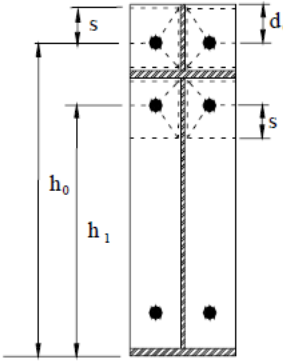
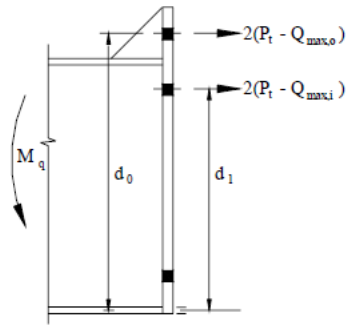
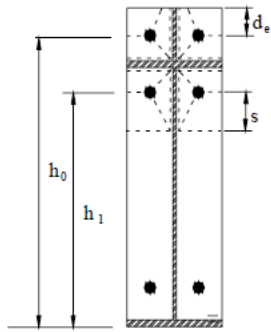
Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

- $d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

AISC Design Guide 16

#WeLoveSteelConstruction

Table 4-3 Summary of Four-Bolt Extended Stiffened Moment End-Plate Analysis (Continued)

Geometry	Yield-Line Mechanism; Case 1 when $s < d_e$
	
Bolt Force Model	Yield-Line Mechanism; Case 2 when $s \geq d_e$
	

For a flush connection:

$$\phi M_q = \max \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_2)] \\ \phi [2(T_b)(d_1 + d_2)] \end{cases} \quad (2-18)$$

For an extended connection:

$$\phi M_q = \max \begin{cases} \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b d_2] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2T_b(d_1 + d_2 + d_3)] \\ \phi [2(P_t - Q_{max,i})(d_1 + d_3) + 2T_b(d_0 + d_2)] \\ \phi [2T_b(d_0 + d_1 + d_2 + d_3)] \end{cases} \quad (2-19)$$

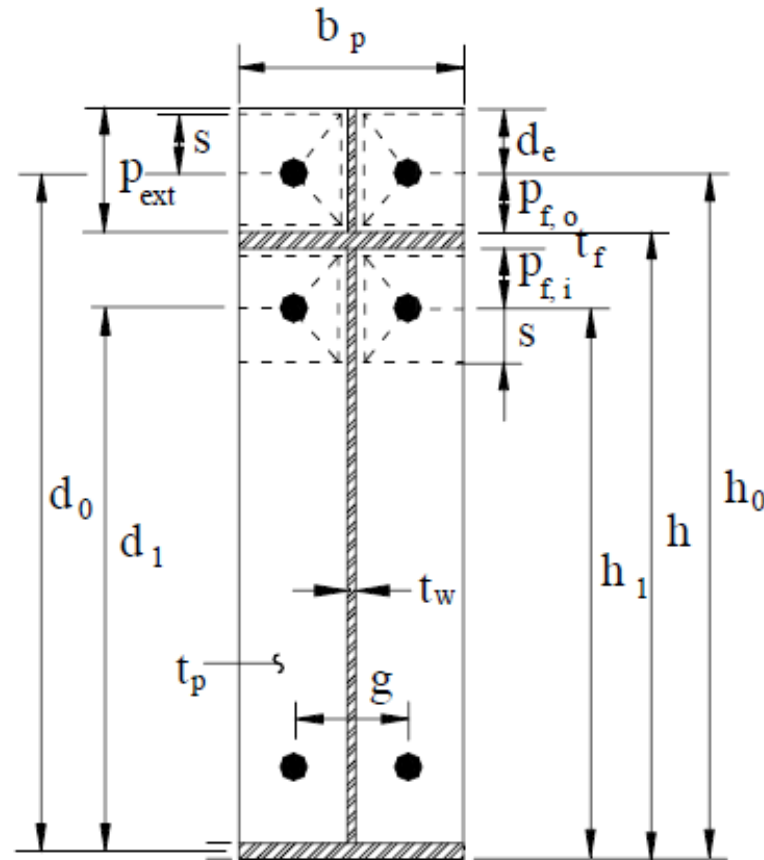
Note: For A325 snug-tightened bolts, the following values of T_b should be used:

- $d_b \leq 5/8$ in., $T_b = 75\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 3/4$ in., $T_b = 50\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b = 7/8$ in., $T_b = 37.5\%$ of minimum bolt pretension
- $d_b \geq 1$ in., $T_b = 25\%$ of minimum bolt pretension

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Extended stiffened end plate ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam H 600 x 200 x 10 x 6 mm โดยที่ End plate เกสด HY370 ติดตั้งเสมอขอบปีกคาน (flush) โดยไม่เสริม stiffener และใช้ A325 bolt ($F_t = 75\% F_u$) ติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tight)
- **Step 1:** คำนวณหาขนาดของ bolt โดยสมมติก่อนว่า “ไม่เกิดการงัด (no prying)”
- **Step 2:** คำนวณหาความหนาของ End plate
- **Step 3:** คำนวณหา กำลังรับโมเมนต์ดัด โดยพิจารณา “ผลจากแรงงัด (prying force)”
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่



$b_p = 200$ mm
 $t_f = 10$ mm
 $g = 75$ mm
 $p_{f,i} = 45$ mm
 $p_{f,o} = 60$ mm
 $p_{ext} = 125$ mm
 $h = 600$ mm

$d_0 = 655$ mm
 $d_1 = 540$ mm
 $h_0 = 660$ mm
 $h_1 = 545$ mm

$\gamma_r = 1$ Extended end plate

$$2\phi F_t A_b (d_0 + d_1) = M_u$$
$$2\phi F_t \frac{\pi d^2}{4} (d_0 + d_1) = M_u$$

$$d = \sqrt{2M_u / \pi \phi F_t (d_0 + d_1)} = 1.59 \text{ cm}$$

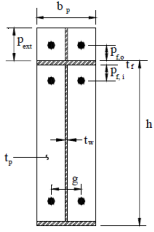
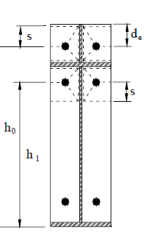
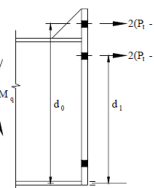
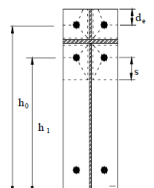


ใช้ bolt M16

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Extended stiffened end plate ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam H 600 x 200 x 10 x 6 mm โดยที่ End plate เกรด HY370 ติดตั้งเสมอขอบปีกคาน (flush) โดยไม่เสริม stiffener และใช้ A325 bolt ($F_t = 75\% F_u$) ติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tight)
- **Step 1:** คำนวณหาขนาดของ bolt โดยสมมติก่อนว่า “ไม่เกิดการจัด (no prying)”
- **Step 2:** คำนวณหาความหนาของ End plate
- **Step 3:** คำนวณหาจำนวนรับโมเมนต์ดัด โดยพิจารณา “ผลจากแรงจัด (prying force)”
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

Geometry 	Yield-Line Mechanism, Case 1 when $s < d_e$ 
Bolt Force Model 	Yield-Line Mechanism, Case 2 when $s \geq d_e$ 
End-Plate Yield	Case 1 $s < d_e$ $\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y F_{pf} Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{f,o}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(s + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$
	Case 2 $s \geq d_e$ $\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y F_{pf} Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,o}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(d_e + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$
Bolt Rupture w/Prying Action	$\phi M_n = \phi M_u = \frac{\phi [2(P_t - Q_{max,i})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})d_1]}{\phi [2(P_t - Q_{max,i})d_0 + 2(T_b)/(d_1)]}$ $\phi = 0.75$
Bolt Rupture No Prying Action	$\phi M_n = \phi M_u = \phi [2(P_t)/(d_0 + d_1)]$ $\phi = 0.75$

$$d_e = 70.0 \text{ mm}$$

$$s = 61.2 \text{ mm}$$

$$Y = 7,957 \text{ mm}$$

$$t_{p,r} = \sqrt{\frac{1.1 \gamma_r (\phi M_{np})}{\phi_b F_{py} Y}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.1(1)(22,705 * 100)}{0.9(3,700)(7,957/10)}} = 1.1 \text{ cm}$$

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 75 \text{ mm}$$

$$p_{f,i} = 45 \text{ mm}$$

$$p_{f,o} = 60 \text{ mm}$$

$$p_{ext} = 125 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d_o = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$h_o = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$\gamma_r = 1$$

$$P_t = \frac{\pi(1.6)^2}{4} (6300)$$

$$= 12,667 \text{ kg}$$

$$\phi M_{np} = \phi 2 P_t (d_o + d_1)$$

$$= 22,705 \text{ kg} - m$$

ใช้ bolt M16

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Extended stiffened end plate ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam H 600 x 200 x 10 x 6 mm โดยที่ End plate เกรด HY370 ติดตั้งเสมอขอบปีกคาน (flush) โดยไม่เสริม stiffener และใช้ A325 bolt ($F_t = 75\% F_u$) ติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tight)
- **Step 1:** คำนวณหาขนาดของ bolt โดยสมมติก่อนว่า “ไม่เกิดการจัด (no prying)”
- **Step 2:** คำนวณหาความหนาของ End plate
- **Step 3:** คำนวณหาจำนวนกำลังรับโมเมนต์ดัด โดยพิจารณา “ผลจากแรงจัด (prying force)”
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

Geometry		Yield-Line Mechanism, Case 1 when $s < d_e$	
End-Plate Yield	Case 1 $s < d_e$	$\phi M_n = \phi M_{pl} = \phi F_y F_y Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{f,o}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(s + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ $\phi_b = 0.90$	
	Case 2 $s \geq d_e$	$\phi M_n = \phi M_{pl} = \phi F_y F_y Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,o}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(d_e + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ $\phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action		$\phi M_n = \phi M_g = \frac{\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_o + 2(P_t - Q_{max,i})d_i]}{\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_o + 2(T_b)(d_i)]}$ $\phi M_n = \phi M_g = \frac{\phi [2(P_t - Q_{max,i})d_i + 2(T_b)(d_o)]}{\phi [2(T_b)(d_o + d_i)]}$ $\phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action		$\phi M_n = \phi M_{ap} = \phi [2(P_t)(d_o + d_i)]$ $\phi = 0.75$	

$$\begin{aligned} b_p &= 200 \text{ mm} \\ t_f &= 10 \text{ mm} \\ g &= 75 \text{ mm} \\ p_{f,i} &= 45 \text{ mm} \\ p_{f,o} &= 60 \text{ mm} \\ p_{ext} &= 125 \text{ mm} \\ h &= 600 \text{ mm} \\ d_o &= 655 \text{ mm} \\ d_i &= 540 \text{ mm} \\ h_o &= 660 \text{ mm} \\ h_1 &= 545 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\gamma_r = 1$$

ใช้ t_p 12 mm

ใช้ bolt M16

$$\begin{aligned} d_e &= 70.0 \text{ mm} \\ s &= 61.2 \text{ mm} \\ Y &= 7,957 \text{ mm} \end{aligned}$$

Thick plate small bolt

Thin plate large bolt

ใช้ t_p 10 mm

ใช้ bolt M20

$$t_{p,req'd} = \sqrt{\frac{\gamma_r(M_u)}{\phi_b F_{py} Y}} = \sqrt{\frac{(1)(22,500 * 100)}{0.9(3,700)(79,570)}} = 0.92 \text{ cm}$$

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Extended stiffened end plate ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam H 600 x 200 x 10 x 6 mm โดยที่ End plate เกรด HY370 ติดตั้งเสมอขอบปีกคาน (flush) โดยไม่เสริม stiffener และใช้ A325 bolt ($F_t = 75\% F_u$) ติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tight)
- **Step 1:** คำนวณหาขนาดของ bolt โดยสมมติก่อนว่า “ไม่เกิดการจัด (no prying)”
- **Step 2:** คำนวณหาความหนาของ End plate
- **Step 3:** คำนวณหา กำลังรับโมเมนต์ดัด โดยพิจารณา “ผลจากแรงจัด (prying force)”
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

Geometry		Yield-Line Mechanism, Case 1 when $s < d_e$	
End-Plate Yield	Case 1 $s < d_e$	$\phi M_n = \phi M_{pl} = \phi F_y F_y Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{f,o}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(s + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$	
	Case 2 $s \geq d_e$	$\phi M_n = \phi M_{pl} = \phi F_y F_y Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,o}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(d_e + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action		$\phi M_n = \phi M_g = \frac{\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_o + 2(P_t - Q_{max,i})d_i]}{\phi [2(P_t - Q_{max,i})d_i + 2(T_b)(d_o)]}$ $\phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action		$\phi M_n = \phi M_{ap} = \phi [2(P_t)(d_o + d_i)]$ $\phi = 0.75$	

ใช้ t_p 10 mm

ใช้ bolt M20

$d_e = 70.0$ mm
 $s = 61.2$ mm
 $Y = 7,957$ mm

Thin plate large bolt

Inside Bolt Rows Maximum Prying Force	$Q_{max,i} = \frac{w't_p^2}{4a_i} \sqrt{F_{py}^2 - 3 \left(\frac{F'_i}{w't_p} \right)^2}$ $a_i = 3.682 \left(\frac{t_p}{d_b} \right)^3 - 0.085$ $w' = b_p / 2 - (d_b + 1/16)$ $F'_i = \frac{t_p^2 F_{py} \left(0.85 \frac{b_p}{2} + 0.80w' \right) + \frac{\pi d_b^3 F_t}{8}}{4p_{f,i}}$
Outside Bolt Row Maximum Prying Force	$Q_{max,o} = \frac{w't_p^2}{4a_o} \sqrt{F_{py}^2 - 3 \left(\frac{F'_o}{w't_p} \right)^2}$ $a_o = 3.682 \left(\frac{t_p}{d_b} \right)^3 - 0.085 \leq (p_{ext} - p_{f,o})$ $w' = b_p / 2 - (d_b + 1/16)$ $F'_o = \frac{t_p^2 F_{py} \left(0.85 \frac{b_p}{2} + 0.80w' \right) + \frac{\pi d_b^3 F_t}{8}}{4p_{f,o}}$

$b_p = 200$ mm
 $t_f = 10$ mm
 $g = 75$ mm
 $p_{f,i} = 45$ mm
 $p_{f,o} = 60$ mm
 $p_{ext} = 125$ mm
 $h = 600$ mm

$d_o = 655$ mm
 $d_i = 540$ mm
 $h_o = 660$ mm
 $h_1 = 545$ mm

$\gamma_r = 1$

$a_i' = 9.38$ mm
 $w' = 78.0$ mm
 $F_i' = 4,129$ ksc
 $Q_{max,i}' = 7,451$ kg
 $a_o' = 9.38$ mm
 $F_o' = 3,097$ ksc
 $Q_{max,o}' = 7,557$ kg

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Extended stiffened end plate ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam H 600 x 200 x 10 x 6 mm โดยที่ End plate เกส HY370 ติดตั้งเสมอขอบปีกคาน (flush) โดยไม่เสริม stiffener และใช้ A325 bolt ($F_t = 75\% F_u$) ติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tight)

Bolt Pretension	<u>Fully-tightened bolts</u> $T_b =$ specified pretension force in Table J3.1, AISC LRFD Specification for fully tightened bolts (ASD Table J3.7).
	<u>Snug-tightened A325 bolts</u> T_b is taken as the following percentage of the AISC specified full pretension given in Table J3.1, AISC LRFD Specification (ASD Table J3.7)

$d_b \leq 5/8$ in., use 75%
 $d_b = 3/4$ in., use 50%
 $d_b = 7/8$ in., use 37.5%
 $d_b \geq 1$ in., use 25%

- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

Geometry		Yield-Line Mechanism, Case 1 when $s < d_e$	
End-Plate Yield	Case 1 $s < d_e$	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y F_y^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{f,o}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(s + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ $\phi_b = 0.90$	
	Case 2 $s \geq d_e$	$\phi M_n = \phi_b M_{pl} = \phi_b F_y F_y^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,o}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(d_e + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ $\phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action		$\phi M_n = \phi M_g = \phi \left[\frac{2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})d_1}{2(P_t - Q_{max,i})d_1 + 2(T_b)(d_1)} \right]$ $\phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action		$\phi M_n = \phi M_{np} = \phi [2(P_t)(d_0 + d_1)]$ $\phi = 0.75$	

ใช้ t_p 10 mm

ใช้ bolt M20

$d_e = 70.0$ mm
 $s = 61.2$ mm
 $Y = 7,957$ mm

Thin plate large bolt

$\phi M_q = 22,017$ kg-m
 20,037 kg-m
 19,719 kg-m
 17,739 kg-m

$\phi M_q = 22,017$ kg-m
 $\nless M_u = 22,500$ kg-m

$b_p = 200$ mm
 $t_f = 10$ mm
 $g = 75$ mm
 $p_{f,i} = 45$ mm
 $p_{f,o} = 60$ mm
 $p_{ext} = 125$ mm
 $h = 600$ mm

$d_o = 655$ mm
 $d_1 = 540$ mm
 $h_o = 660$ mm
 $h_1 = 545$ mm

$\gamma_r = 1$

$a_i' = 9.38$ mm
 $w' = 78.0$ mm
 $F_i' = 4,129$ ksc
 $Q_{max,i}' = 7,451$ kg
 $a_o' = 9.38$ mm
 $F_o' = 3,097$ ksc
 $Q_{max,o}' = 7,557$ kg

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ออกแบบ Extended stiffened end plate ที่รับ factored moment ขนาด 22,500 kg-m สำหรับ built-up beam H 600 x 200 x 10 x 6 mm โดยที่ End plate เกรด HY370 ติดตั้งเสมอขอบปีกคาน (flush) โดยไม่เสริม stiffener และใช้ A325 bolt ($F_t = 75\% F_u$) ติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tight)
- **Step 1:** คำนวณหาขนาดของ bolt โดยสมมติก่อนว่า “ไม่เกิดการจัด (no prying)”
- **Step 2:** คำนวณหาความหนาของ End plate
- **Step 3:** คำนวณหา กำลังรับโมเมนต์ตัด โดยพิจารณา “ผลจากแรงจัด (prying force)”
- **Step 4:** ตรวจสอบว่ากำลังรับโมเมนต์ มากกว่า โมเมนต์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

Geometry		Yield-Line Mechanism, Case 1 when $s < d_e$	
End-Plate Yield	Case 1 $s < d_e$	$\phi M_n = \phi M_{pl} = \phi F_y F_y^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{f,o}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(s + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$	
	Case 2 $s \geq d_e$	$\phi M_n = \phi M_{pl} = \phi F_y F_y^2 Y$ $Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,o}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,i} + s) + h_0(d_e + p_{f,o})]$ Note: Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90$	
Bolt Rupture w/Prying Action		$\phi M_n = \phi M_g = \frac{\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})d_1]}{\phi [2(P_t - Q_{max,o})d_0 + 2(T_b)(d_1)]} \quad \phi = 0.75$	
Bolt Rupture No Prying Action		$\phi M_n = \phi M_{gp} = \phi [2(P_t)(d_0 + d_1)] \quad \phi = 0.75$	

ใช้ t_p 12 mm

ใช้ bolt M16

$\phi M_n = 22,705$ kg-m

Thick plate small bolt

Thin plate large bolt

ใช้ t_p 10 mm

ใช้ bolt M20

$\phi M_n = 22,107$ kg-m

$b_p = 200$ mm
 $t_f = 10$ mm
 $g = 75$ mm
 $p_{f,i} = 45$ mm
 $p_{f,o} = 60$ mm
 $p_{ext} = 125$ mm
 $h = 600$ mm

$d_o = 655$ mm
 $d_1 = 540$ mm
 $h_o = 660$ mm
 $h_1 = 545$ mm

$\gamma_r = 1$

$a_i' = 9.38$ mm
 $w' = 78.0$ mm
 $F_i' = 4,129$ ksc
 $Q_{max,i}' = 7,451$ kg
 $a_o' = 9.38$ mm
 $F_o' = 3,097$ ksc
 $Q_{max,o}' = 7,557$ kg

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

4 BOLT EXTENDED STIFFENED END-PLATE MOMENT CONNECTION

Project name : Extended stiffened end plate Location : tp = 12 mm
Project No. : 2.1 Date :
Design by : we love steel construction Client : snug tightened M16 bolt

Material Properties

End Plate

Steel Grade = HY370
 F_{yp} = 3,700 ksc
 F_{pu} = 4,600 ksc
 t_p = 12 mm **↪ t_p 12 mm**

Bolt

Type = Snug-Tightened
 F_t = 6,200 ksc
 d_b = 16 mm **↪ bolt M16**
 A_b = 201.06 mm²

End Plate and Beam Geometry

b_p = 200 mm
 P_{fo} = 60 mm
 P_{fi} = 45 mm
 P_{ext} = 125 mm
 t_f = 10 mm
 h = 600 mm
 g = 75 mm
 d_c = 65 mm

Calculation

$$\gamma_r = 1$$

$$h_0 = P_{fo} + h$$

$$h_0 = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = h - t_f - P_{fi}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$s = 0.5 \times \sqrt{b_p \times g}$$

$$s = 61.24 \text{ mm}$$

$$d_0 = h_0 - \frac{t_f}{2}$$

$$d_0 = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_0 - P_{fo} - P_{fi} - t_f$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$Y = 7,956.62$$

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 75 \text{ mm}$$

$$p_{f,i} = 45 \text{ mm}$$

$$p_{f,o} = 60 \text{ mm}$$

$$p_{ext} = 125 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d_0 = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$h_0 = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$\gamma_r = 1$$

$$d_e = 70.0 \text{ mm}$$

$$s = 61.2 \text{ mm}$$

$$Y = 7,957 \text{ mm}$$

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

4 BOLT EXTENDED STIFFENED END-PLATE MOMENT CONNECTION

Project name : Extended stiffened end plate Location : tp = 12 mm
Project No. : 2.1 Date :
Design by : we love steel construction Client : snug tightened M16 bolt

Material Properties

End Plate

Steel Grade = HY370
 F_{yp} = 3,700 ksc
 F_u = 4,600 ksc
 t_p = 12 mm **↗ t_p 12 mm**

Bolt

Type = Snug-Tightened
 F_t = 6,200 ksc
 d_b = 16 mm **↗ bolt M16**
 A_b = 201.06 mm²

End Plate and Beam Geometry

b_p = 200 mm
 P_{fo} = 60 mm
 P_{fi} = 45 mm
 P_{ext} = 125 mm
 t_f = 10 mm
 h = 600 mm
 g = 75 mm
 d_e = 65 mm

Thick Plate Behavior

End-Plate Yielding

$$M_{pl} = \frac{F_{py}}{100} \times t_p^2 \times Y \times \frac{1}{10^6}$$

$$M_{pl} = 42.39 \quad T - m$$

Bolt Rupture (No Prying Action)

$$P_t = \frac{F_t}{100} \times A_b$$

$$P_t = 12,465.84 \quad kg$$

$$M_{np} = 2 \times P_t \times \frac{(d_0 + d_1)}{100} \times \frac{1}{10^6}$$

$$M_{np} = 29.79 \quad T - m$$

If $M_{np} < 0.9M_{pl}$

So, Thick Plate Behavior Controlled by Bolt Rupture with

$$\phi M_n = \min(\phi M_{np}, \phi_b M_{pl})$$

$$\phi M_n = 22.35 \quad T - m$$

Otherwise, The Connection Behaves in Thin Plate Behavior

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 75 \text{ mm}$$

$$p_{f,i} = 45 \text{ mm}$$

$$p_{f,o} = 60 \text{ mm}$$

$$p_{ext} = 125 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d_0 = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$h_0 = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$\gamma_r = 1$$

$$d_e = 70.0 \text{ mm}$$

$$s = 61.2 \text{ mm}$$

$$Y = 7,957 \text{ mm}$$

$$\phi M_{np} = \phi 2P_t(d_0 + d_1) = 22,705 \text{ kg} - m$$

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

4 BOLT EXTENDED STIFFENED END-PLATE MOMENT CONNECTION

Project name : Extended stiffened end plate Location : tp 10 mm
Project No. : 2.2 Date :
Design by : we love steel construction Client : Snug tightened M20 bolt

Material Properties

End Plate

Steel Grade = HY370
 F_{yp} = 3,700 ksc
 F_{yu} = 4,600 ksc
 t_p = 10 **tp 10 mm** mm

Bolt

Type = Snug-Tightened
 F_t = 6,200 ksc
 d_b = 20 **bolt M20** mm
 A_b = 314.16 mm²

End Plate and Beam Geometry

b_p = 200 mm
 P_{fo} = 60 mm
 P_{fi} = 45 mm
 P_{ext} = 125 mm
 t_f = 10 mm
 h = 600 mm
 g = 75 mm
 d_e = 65 mm

Calculation

$$\gamma_r = 1$$

$$h_0 = P_{fo} + h$$

$$h_0 = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = h - t_f - P_{fi}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$s = 0.5 \times \sqrt{b_p \times g}$$

$$s = 61.24 \text{ mm}$$

$$d_0 = h_0 - \frac{t_f}{2}$$

$$d_0 = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_0 - P_{fo} - P_{fi} - t_f$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$Y = 7,956.62$$

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 75 \text{ mm}$$

$$p_{f,i} = 45 \text{ mm}$$

$$p_{f,o} = 60 \text{ mm}$$

$$p_{ext} = 125 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d_0 = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$h_0 = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$\gamma_r = 1$$

$$d_e = 70.0 \text{ mm}$$

$$s = 61.2 \text{ mm}$$

$$Y = 7,957 \text{ mm}$$

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

4 BOLT EXTENDED STIFFENED END-PLATE MOMENT CONNECTION

Project name : Extended stiffened end plate Location : tp 10 mm
Project No. : 2.2 Date :
Design by : we love steel construction Client : Snug tightened M20 bolt

Material Properties

End Plate

Steel Grade = HY370
 F_{yp} = 3,700 ksc
 F_{yu} = 4,600 ksc
 t_p = 10 mm **İş t_p 10 mm**

Bolt

Type = Snug-Tightened
 F_t = 6,200 ksc
 d_b = 20 mm **İş bolt M20**
 A_b = 314.16 mm²

End Plate and Beam Geometry

b_p = 200 mm
 P_{fo} = 60 mm
 P_{fi} = 45 mm
 P_{ext} = 125 mm
 t_f = 10 mm
 h = 600 mm
 g = 75 mm
 d_c = 65 mm

Thin Plate Behavior

Bolt Prying Force for Inside Bolts

$$Q_{max,i} = \frac{w't_p^2}{4a_i} \sqrt{F_{yp}^2 - 3\left(\frac{F'_i}{w't_p}\right)^2} \quad kg$$

where:

w' = $b_p/2 - (d_b + \frac{1}{16} \times 25.4)$
 w' = 78.41 mm
 d_b = diameter of bolt
 d_b = 20 mm
 t_p = end-plate thickness
 t_p = 10 mm
 a_i = $(3.682(t_p/d_b)^3 - 0.085) \times 25.4$
 a_i = 9.53 mm

F_{yp} = end-plate material yield stress
 F_{yp} = 3,700 ksc
 F'_i = $[t_p^2 F_{yp}(0.85b_p/2 + 0.80w') + \pi d_b^3 F_t/8]/(4P_{fi})$
 F'_i = 4,118.78 kg
 F_t = nominal tensile strength of bolts
 F_t = 6,200 ksc

So,

$$Q_{max,i} = 7,376.15 \quad kg$$

Bolt Prying Force for Outer Bolts

$$Q_{max,o} = \frac{w't_p^2}{4a_o} \sqrt{F_{yp}^2 - 3\left(\frac{F'_o}{w't_p}\right)^2}$$

where:

w' = $b_p/2 - (d_b + \frac{1}{16} \times 25.4)$
 w' = 78.41 mm
 d_b = diameter of bolt
 d_b = 20 mm
 t_p = end-plate thickness
 t_p = 10 mm
 a_o = $\min((3.682(t_p/d_b)^3 - 0.085) \times 25.4, P_{ext} - P_{fo})$
 a_o = 9.53 mm

F_{yp} = end-plate material yield stress
 F_{yp} = 3,700 ksc
 F'_o = $[t_p^2 F_{yp}(0.85b_p/2 + 0.80w') + \pi d_b^3 F_t/8]/(4P_{fo})$
 F'_o = 3,089.08 kg
 F_t = nominal tensile strength of bolts
 F_t = 6,200 ksc

So,

$$Q_{max,o} = 7,479.27 \quad kg$$

b_p = 200 mm
 t_f = 10 mm
 g = 75 mm
 P_{fi} = 45 mm
 P_{fo} = 60 mm
 P_{ext} = 125 mm
 h = 600 mm

d_o = 655 mm
 d_i = 540 mm
 h_o = 660 mm
 h_i = 545 mm

γ_r = 1

a_i' = 9.38 mm

w' = 78.0 mm

F'_i = 4,129 ksc

$Q_{max,i}'$ = 7,451 kg

a_o' = 9.38 mm

F'_o = 3,097 ksc

$Q_{max,o}'$ = 7,557 kg

AISC Design Guide 16 – Design Example

#WeLoveSteelConstruction

4 BOLT EXTENDED STIFFENED END-PLATE MOMENT CONNECTION			
Project name :	Extended stiffened end plate	Location :	tp 10 mm
Project No. :	2.2	Date :	
Design by :	we love steel construction	Client :	Snug tightened M20 bolt
Material Properties			
End Plate			
Steel Grade =	HY370		
F_{yp} =	3,700	k_{sc}	
F_{yu} =	4,600	k_{sc}	
t_p =	10	mm	ใช้ t_p 10 mm
Bolt			
Type =	Snug-Tightened		
F_t =	6,200	k_{sc}	
d_b =	20	mm	ใช้ bolt M20
A_b =	314.16	mm^2	
End Plate and Beam Geometry			
b_p =	200	mm	
P_{fo} =	60	mm	
P_{fi} =	45	mm	
P_{ext} =	125	mm	
t_f =	10	mm	
h =	600	mm	
g =	75	mm	
d_c =	65	mm	

Bolt Rupture (w/ Prying Action)

$$M_{q1} = [2(P_t - Q_{max,p})d_0 + 2(P_t - Q_{max,p})d_1] \times \frac{1}{10^6}$$

$$M_{q1} = 28.79 \quad T - m$$

$$M_{q2} = [2(P_t - Q_{max,p})d_0 + 2(T_b)(d_1)] \times \frac{1}{10^6}$$

$$M_{q2} = 26.68 \quad T - m$$

$$M_{q3} = [2(P_t - Q_{max,p})d_1 + 2(T_b)(d_0)] \times \frac{1}{10^6}$$

$$M_{q3} = 26.37 \quad T - m$$

$$M_{q4} = [2(T_b)(d_0 + d_1)] \times \frac{1}{10^6}$$

$$M_{q4} = 24.26 \quad T - m$$

Because

$$M_q = \max(M_{q1}, M_{q2}, M_{q3}, M_{q4})$$

Then,

$$M_q = 28.79 \quad T - m$$

If $M_{pt}/\gamma_r < M_q$

So, Thin Plate Behavior Controlled by End-Plate Yielding

$$\phi M_n = \phi_b M_{pt}$$

$$\phi M_n = 26.5 \quad T - m$$

Otherwise, Thin Plate Behavior Controlled by Bolt Rupture (w/ Prying Action)

$$\phi M_n = \phi M_q$$

$$\phi M_n = 21.59 \quad T - m$$

ความเป็นไปได้ที่อาจเกิดขึ้น

- Bolt แกว่นอกและแกว่นใน เกิด prying
- Bolt แกว่นอกเกิด prying แกว่นในไม่เกิด prying (เกิด yield)
- Bolt แกว่นในเกิด prying แกว่นอกไม่เกิด prying (เกิด yield)
- Bolt แกว่นอกและแกว่นใน ทั้ง 2 แกว่นไม่เกิด prying (เกิด yield)

$$\phi M_q = 22,017 \text{ kg-m}$$

$$20,037 \text{ kg-m}$$

$$19,719 \text{ kg-m}$$

$$17,739 \text{ kg-m}$$

$$\phi M_q = 22,017 \text{ kg-m}$$

$$\nless M_u = 22,500 \text{ kg-m}$$

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$g = 75 \text{ mm}$$

$$p_{f,i} = 45 \text{ mm}$$

$$p_{f,o} = 60 \text{ mm}$$

$$p_{ext} = 125 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d_o = 655 \text{ mm}$$

$$d_1 = 540 \text{ mm}$$

$$h_o = 660 \text{ mm}$$

$$h_1 = 545 \text{ mm}$$

$$\gamma_r = 1$$

$$a_i' = 9.38 \text{ mm}$$

$$w' = 78.0 \text{ mm}$$

$$F_i' = 4,129 \text{ ksc}$$

$$Q_{max,i}' = 7,451 \text{ kg}$$

$$a_o' = 9.38 \text{ mm}$$

$$F_o' = 3,097 \text{ ksc}$$

$$Q_{max,o}' = 7,557 \text{ kg}$$

Be friend with us via ...



LINE ID **WeLoveSteelConstruction**: @O60tlizi



<https://www.facebook.com/WeLoveSteelConstruction>



<https://www.youtube.com/c/WeLoveSteelConstruction>



<https://construction-forum.ssi-steel.com/>



iOS: <https://apps.apple.com/th/app/ssi-steel-design/id1474838160>

Android:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ssibdt.ssisteeldesign&hl=en&gl=US>

