Shear Connection Design and Detailing

We Steel Construction

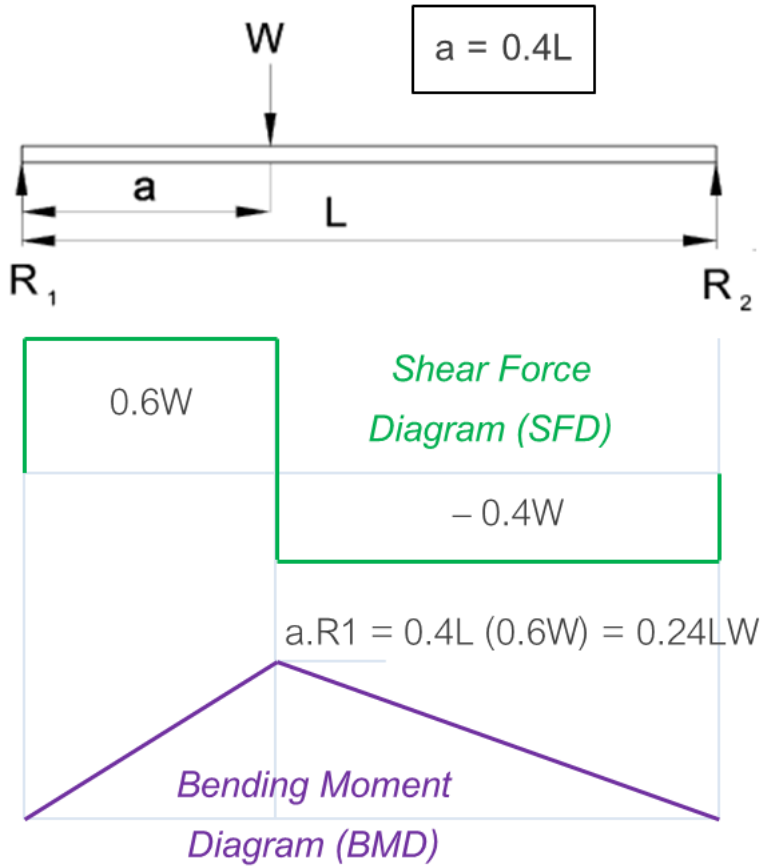
4th Mini Course

June 4, 2025

แรงภายนอก vs. แรงภายในคาน

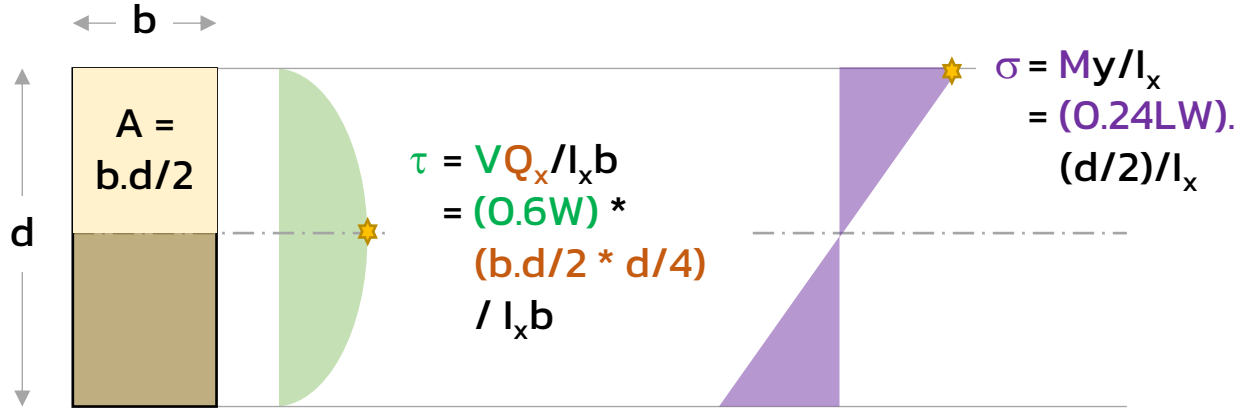
#WeLoveSteelConstruction

- 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)

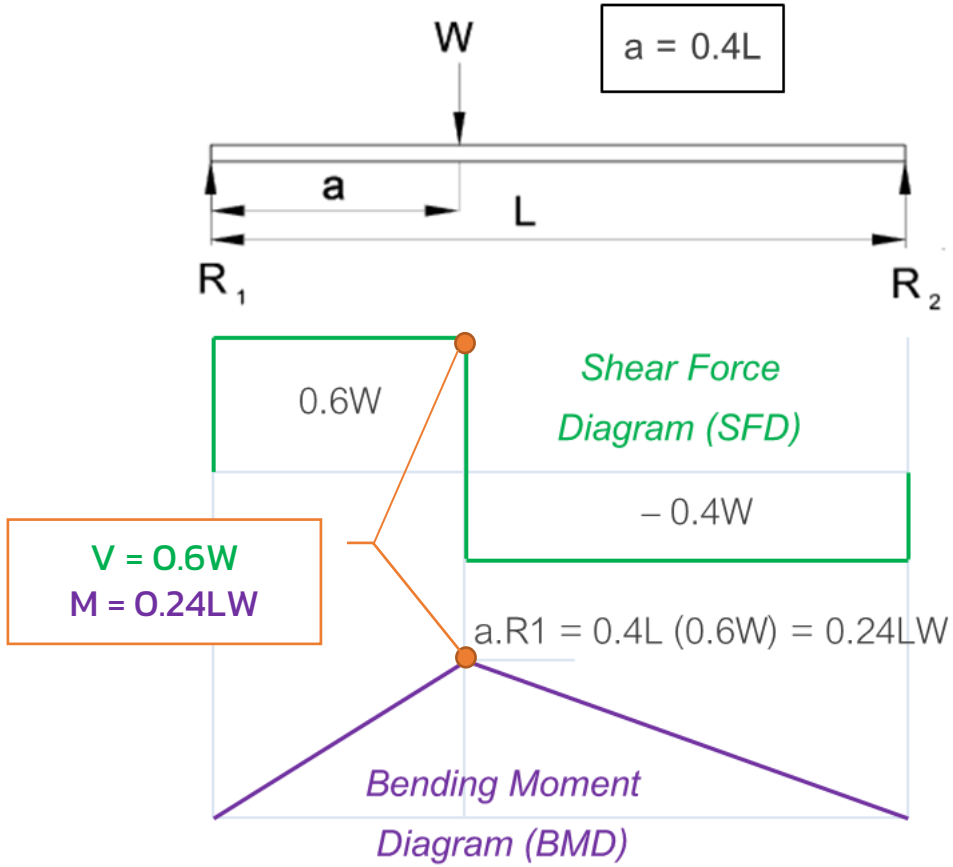


แรงภายนอก vs. แรงภายในคาน

#WeLoveSteelConstruction

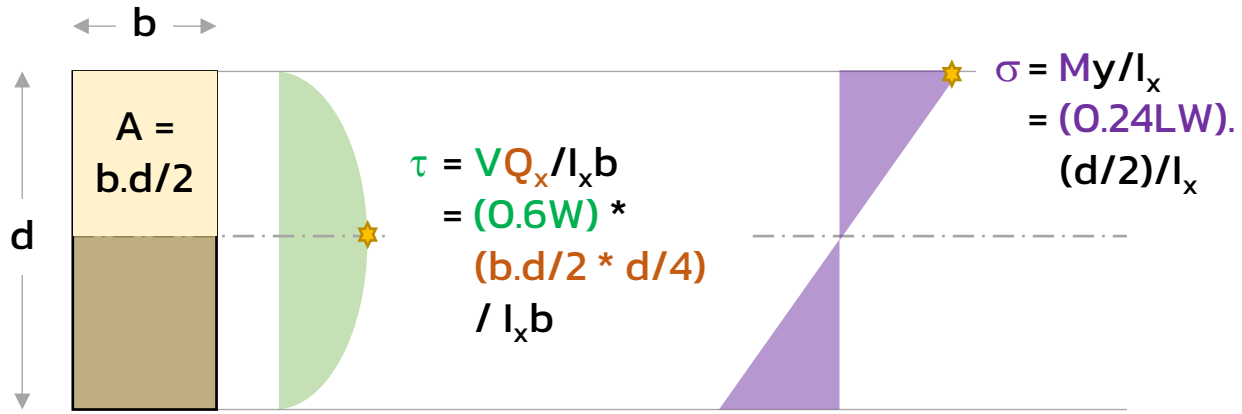


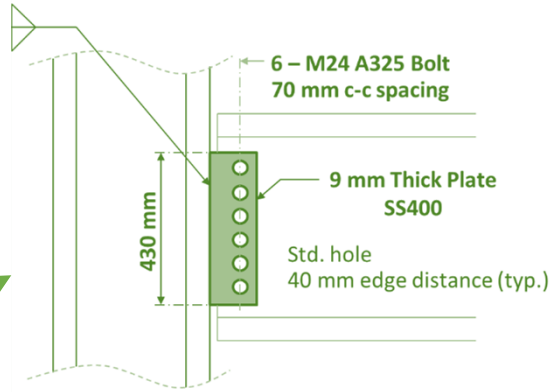
- แรงภายในคาน
  - แสดงในรูปของ “หน่วยแรง” ได้แก่
    - Shear stress (τ)
    - Normal stress (σ)

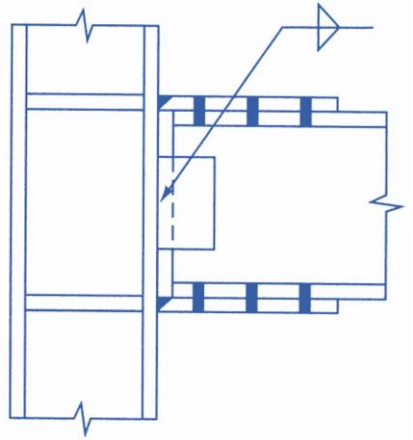


แรงภายนอก vs. แรงภายในคาน

#WeLoveSteelConstruction







- แรงภายในคาน
  - แสดงในรูปของ “หน่วยแรง” ได้แก่
    - Shear stress (τ) ถ่ายผ่าน web
    - Normal stress (σ) ถ่ายผ่าน flange

ประเภท และมาตรฐานอุปกรณ์ยึด

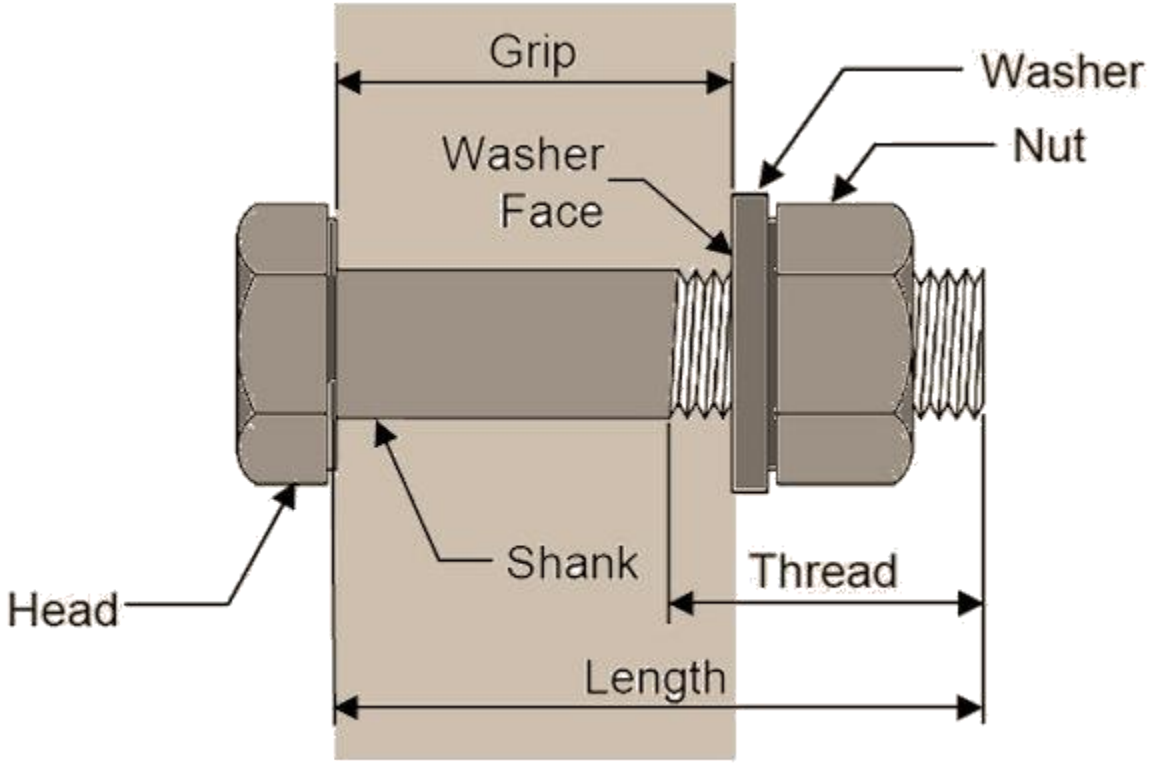
#WeLoveSteelConstruction

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

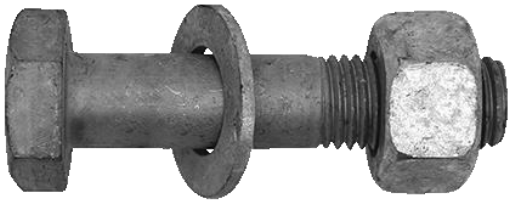
จำแนกตามระยะเกลียว

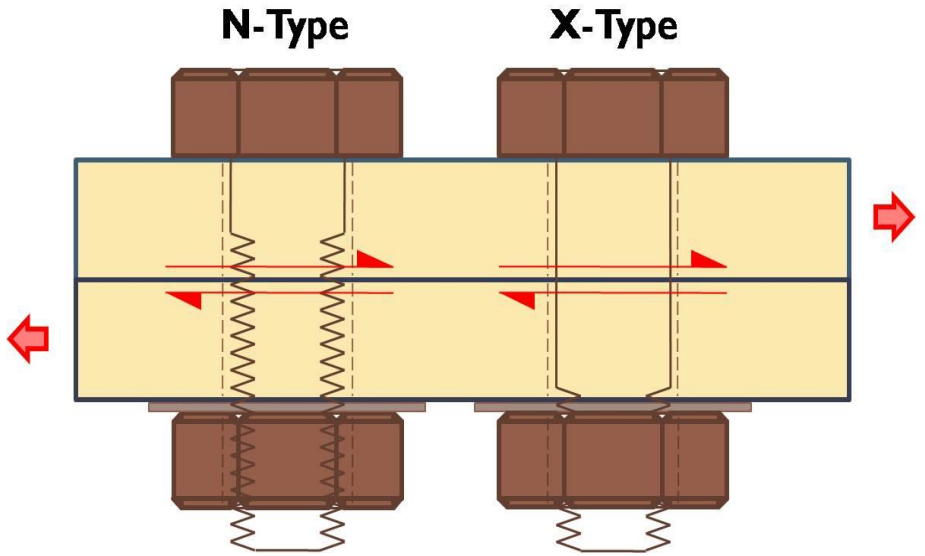
N-Type

- Bolt เกลียวเต็ม
- รับกำลังได้น้อยลง เพราะเสียพื้นที่
- ราคาแพงกว่า (ทำเกลียวเยอะกว่า)
- ทำงานได้สะดวกกว่า

X-Type

- Bolt เกลียวไม่เต็ม
- รับกำลังได้มากกว่า
- ราคาถูกกว่า
- ต้องควบคุมความหนาให้ดี ทำงานยาก





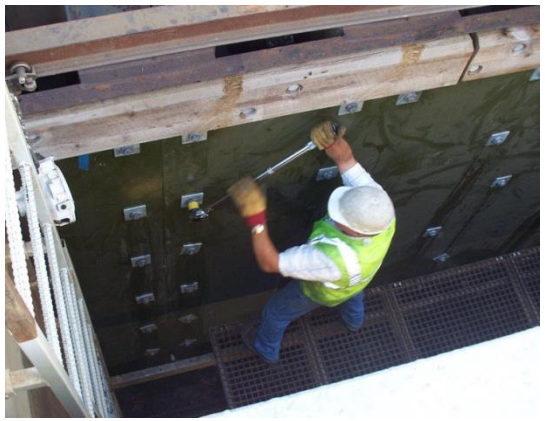
ในทางปฏิบัติ ผู้ออกแบบมักจะที่จะกำหนดให้ใช้ Bolt ประเภท A325**N** หรือ A490**N** เพื่อความสะดวกในการออกแบบ และการควบคุมงานเนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่าเกลียวอยู่ในระนาบรับแรงเฉือนหรือไม่ และไม่ต้องเป็นกังวลว่าความหนาชิ้นงานที่จับยึดจะไม่เพียงพอ อันส่งผลต่อความแน่นในการจัดยึด

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี (Snug-Tightened Bolt)

การขันแน่นพอดี ได้นิยามไว้ใน บทที่ 1 วสท. 011038 ว่าคือ “การขันสลักเกลียวโดยความแน่นที่ได้จากการกระแทกเล็กน้อยจากประแจแบบกระแทก Impact Wrench หรือขันด้วยแรงเต็มที่ของผู้เตรียมชิ้นงานด้วยประแจแบบธรรมดา”



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

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบใส่แรงดึงก่อน (Pretention Bolt)

ใช้ในกรณีต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่ต้องการให้ข้อต่อเกิดความแน่น แต่ทั้งนี้หากเกิดการเลื่อนไถลก็ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อ

สลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต (Slip Critical Bolt)

ใช้กับข้อต่อที่หากเกิดการเลื่อนไถลจะเกิดความเสียหายต่อความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ

ทั้ง **TC และ SC Bolt** ล้วนเป็นรูปแบบที่**ต้องขัน Bolt ให้แน่น** แต่ข้อแตกต่างในแง่ของการติดตั้ง คือ**การเตรียมผิวสัมผัส** บริเวณ Bolt ที่เรียกว่า Faying Surface ให้มีความฝืด อันส่งผลต่อการถ่ายแรงเฉือนผ่านระนาบที่มีความฝืดนี้

จำแนกตามการขันแน่น

N or X Snug-tightened bolt

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

TC Pretensioned bolt

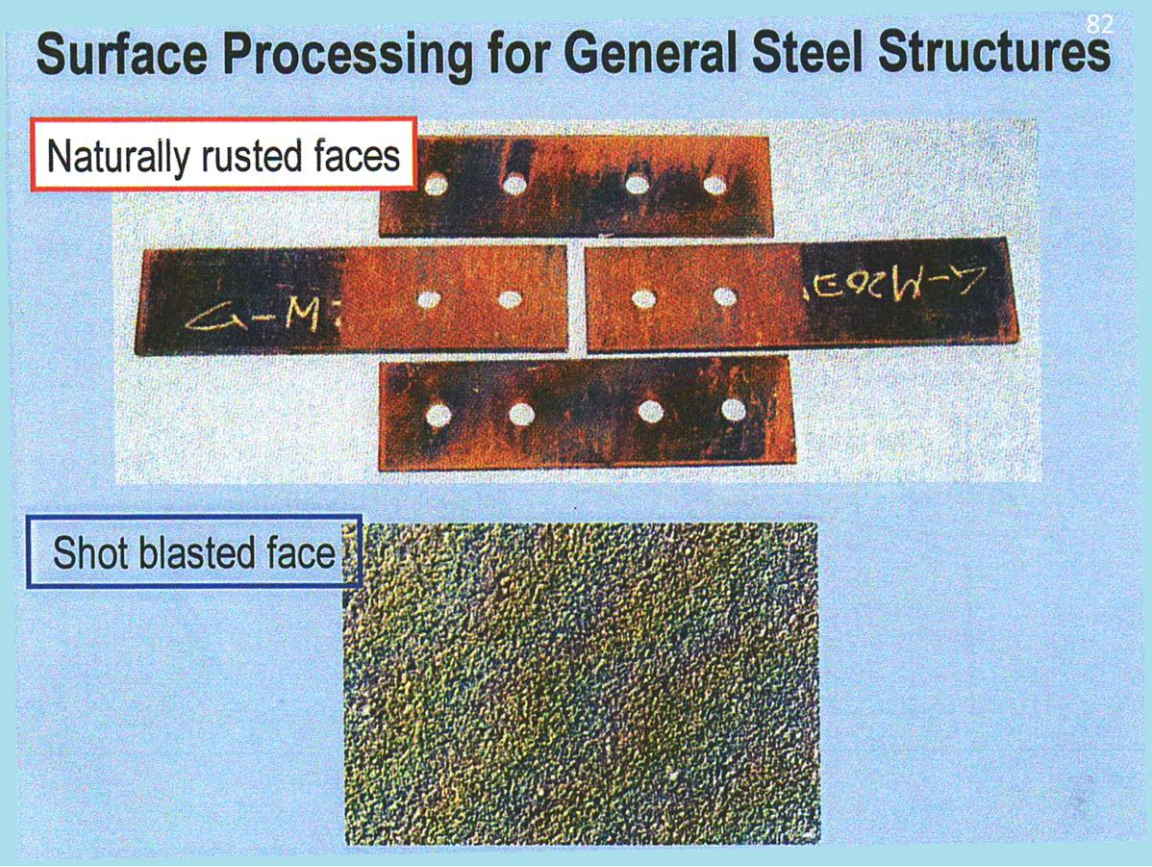
- ขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC Slip-critical bolt

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

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction



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

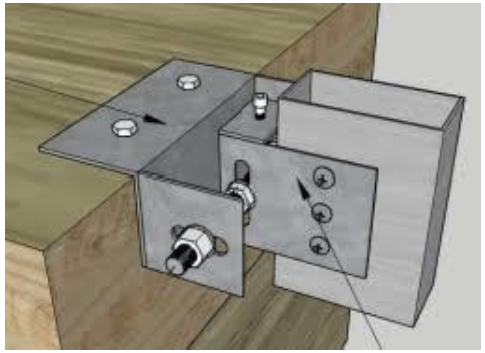
- เลื่อนวิกฤต
- ต้องขันแน่นดังเช่น TC bolt แต่ต้องทำ surface treatment
- ใช้ limit state ที่ "การ slip" หรือ วิบัติเมื่อเลื่อน หรือ ขยับ

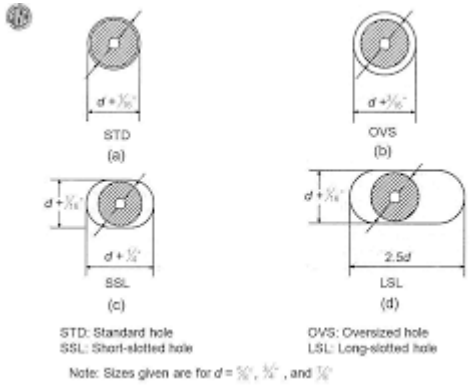
Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต (Slip Critical Bolt)

ใช้กับข้อต่อที่หากเกิดการเลื่อนไถลจะเกิดความเสียหายต่อความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ รวมไปจนถึงข้อต่อสลักเกลียวที่มีการใช้รูเจาะใหญ่กว่ามาตรฐาน (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

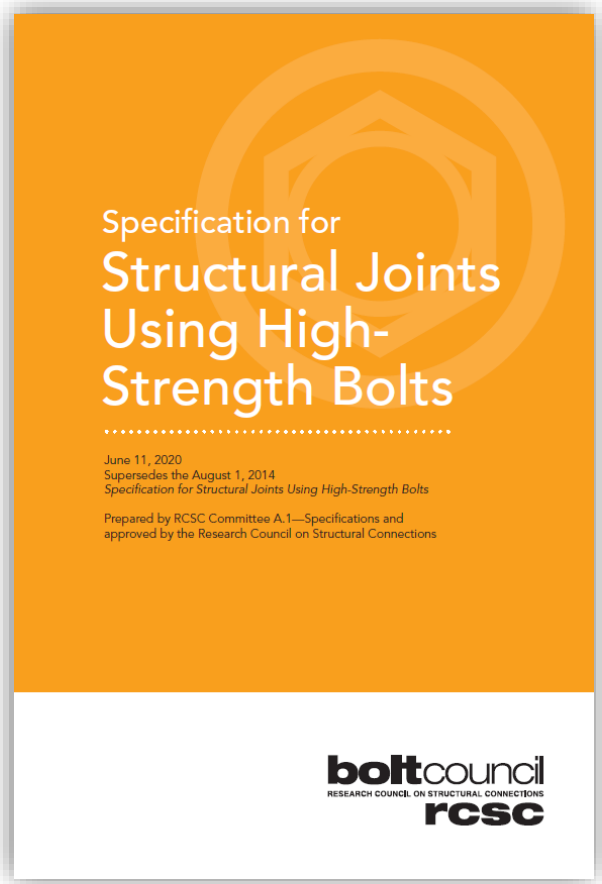
Latest US Reference for Bolt

#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.



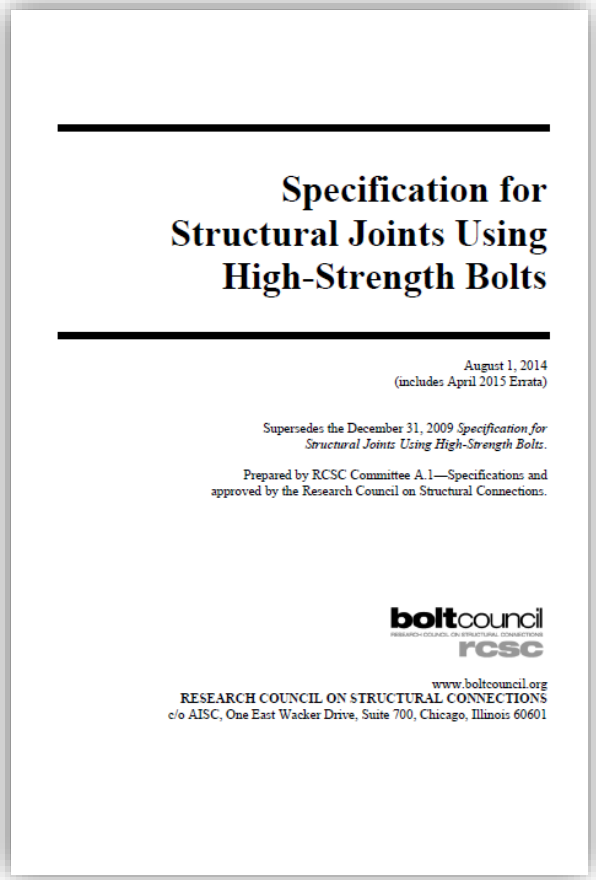
Thailand Standard & Reference for Bolt

#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
RCSC

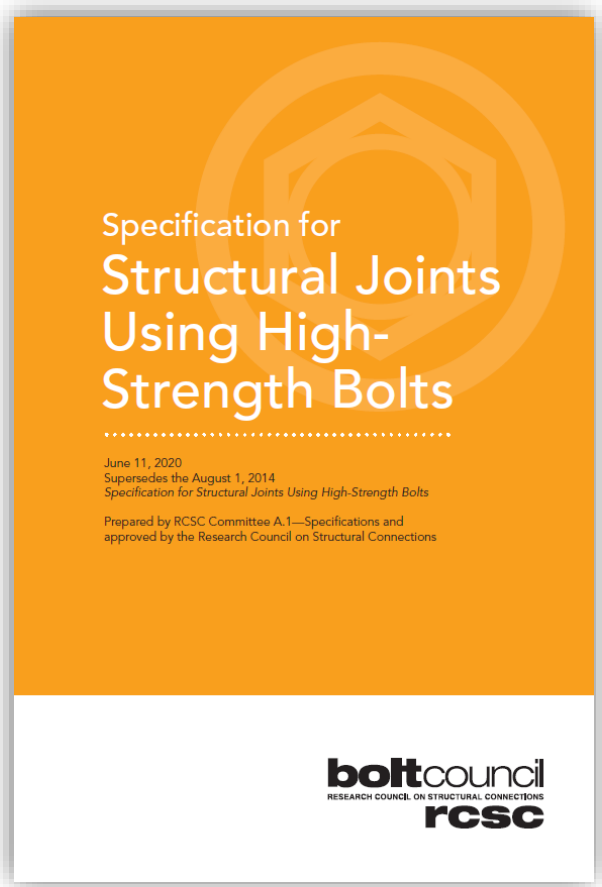
www.boltcouncil.org
RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS
c/o AISC, One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois 60601

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. มยผ.) 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) หรือแน่นตึงพอดี (snug) เป็นอีกมิติ ไม่เกี่ยวกับ bolt grade

Grade according to mechanical properties of bolt	Proof stress N/mm² {kgf/mm²}	Tensile strength N/mm² {kgf/mm²}	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 โดยไม่ต้องยึดหัว 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 (หางเฉือนขาดเมื่อแน่น) คล้ายคลึงกับ JIS 1186 ที่กำกับด้วย “F” หรือ Friction

F10T vs. S10T

#WeLoveSteelConstruction

Grade according to mechanical properties of bolt	Proof stress N/mm² {kgf/mm²}	Tensile strength N/mm² {kgf/mm²}	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/mm² {N/mm²}*	Tensile strength kgf/mm² {N/mm²}	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} Designation of bolt				Hardness
	M 16	M 20	M 22	M 24	
S 10T	15700 {154.0}	24500 {240.3}	30300 {297.1}	35300 {346.2}	H_RC 27 to 38

ISO 898 vs. ASTM A325 A490 Bolts

#WeLoveSteelConstruction

ASTM Bolt

#WeLoveSteelConstruction

- **เดิมที** แบ่งเป็นเกรด A307 (F_u = 60 ksi) สลักเกลียวกำลังปกติ และกลุ่มสลักเกลียวกำลังสูง ซึ่งประกอบไปด้วยเกรด**A325 (F_u = 120 ksi)** และ **A490 (F_u = 150 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 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 หารด้วย 10 เช่น class 10.9 มีค่า F_u = 1,000 MPa มีค่า F_y = 9*1,000/10 = 900 MPa หรือ class 8.8 มีค่า F_y = 8*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 ปัดเศษ 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

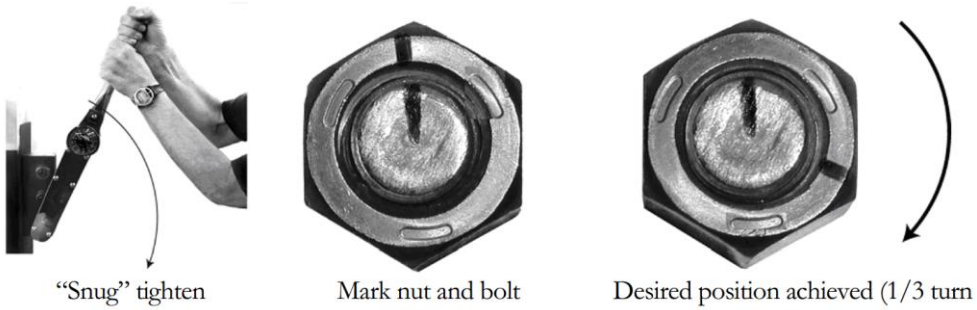
[a] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM F3125/F3125M for Grade A325M and Grade A490M bolts with UNC threads.

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

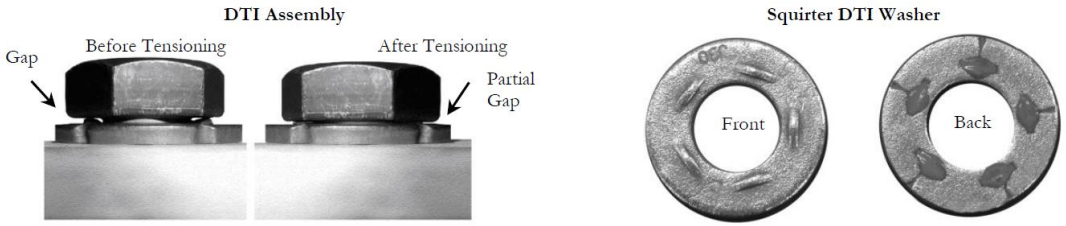
Ref: https://www.fastenal.com/content/feds/pdf/2017/02/Structural%20Bolts%20rev%202017-02-21.pdf

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)

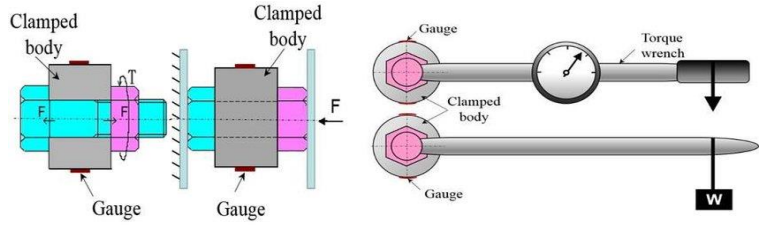
#WeLoveSteelConstruction

- **Calibrated Wrench Method**
  การใช้ประแจวัดความตึง

  เป็นการใช้ประแจชนิดพิเศษที่มีการติดตั้ง gauge วัดค่าแรงดึง 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*d*F โดยที่ K เป็นค่าคงที่ ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของ bolt ว่าสามารถขันได้แน่นได้โดยง่ายหรือไม่เพียงใด

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

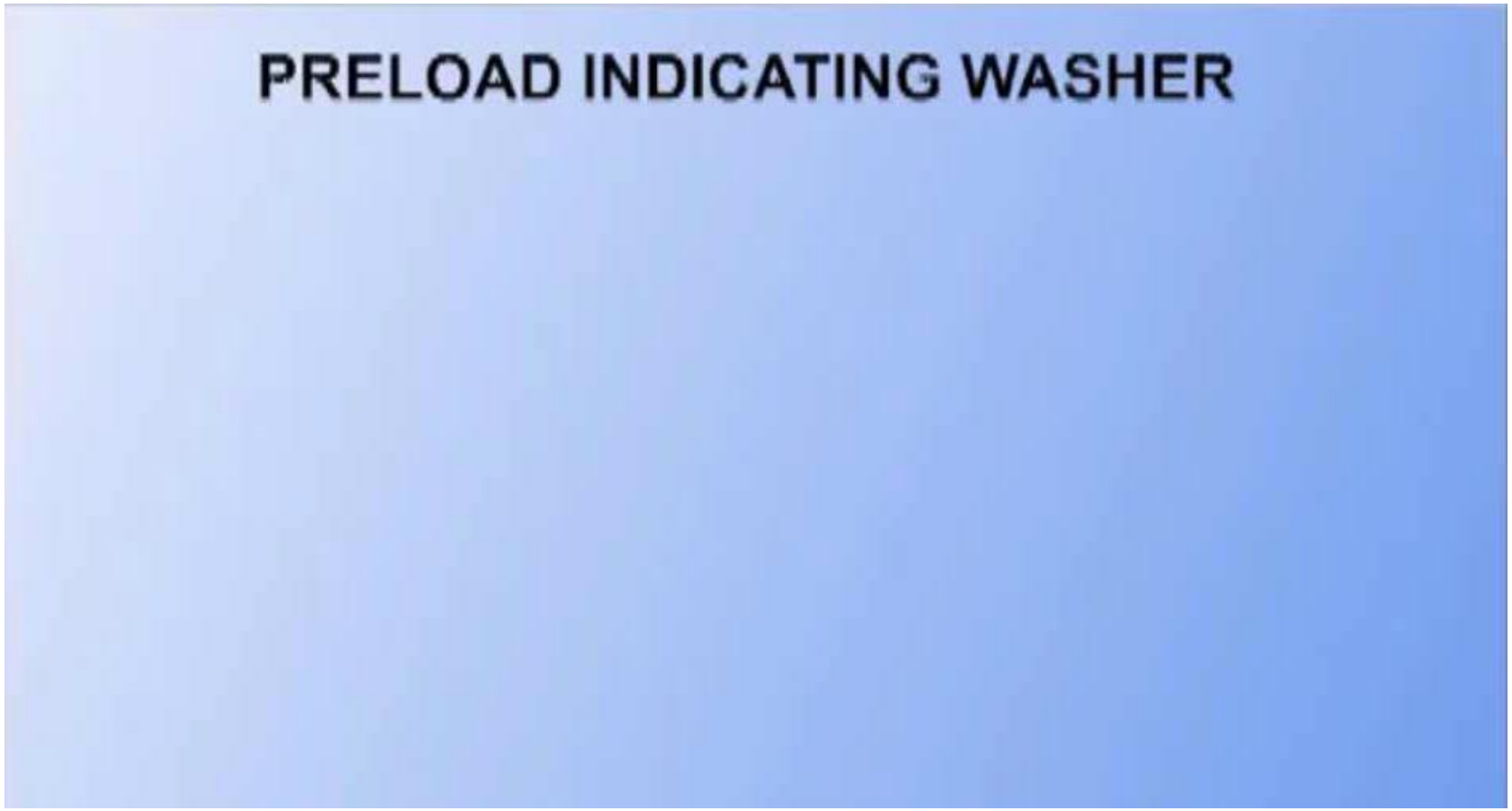


Ref:
https://www.researchgate.net/figure/calibration-method-for-torque-wrench_fig1_325714143

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

Bolt Pre-Tensioning Method

#WeLoveSteelConstruction



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: 1. ค่าที่แสดงอาจแตกต่างจากข้อมูลที่ปรากฏในแหล่งอ้างอิงอื่นๆ จากเหตุผลด้านการประมาณการ แปลงหน่วย ปัดเศษ แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2. ความสามารถในการรับแรง (kg) ให้นำพื้นที่หน้าตัด (sq.cm.) ไปคูณกำลัง (หน่วย ksc)

3. พิจารณา Factor of Safety = 2 (ASD) หรือ Resistance Factor = 0.75 (LRFD)

เมื่อไหร่ ???

สามารถขัน bolt แค่ให้แน่นพอดี

และเมื่อไหร่ต้องขัน bolt ให้ได้ torque

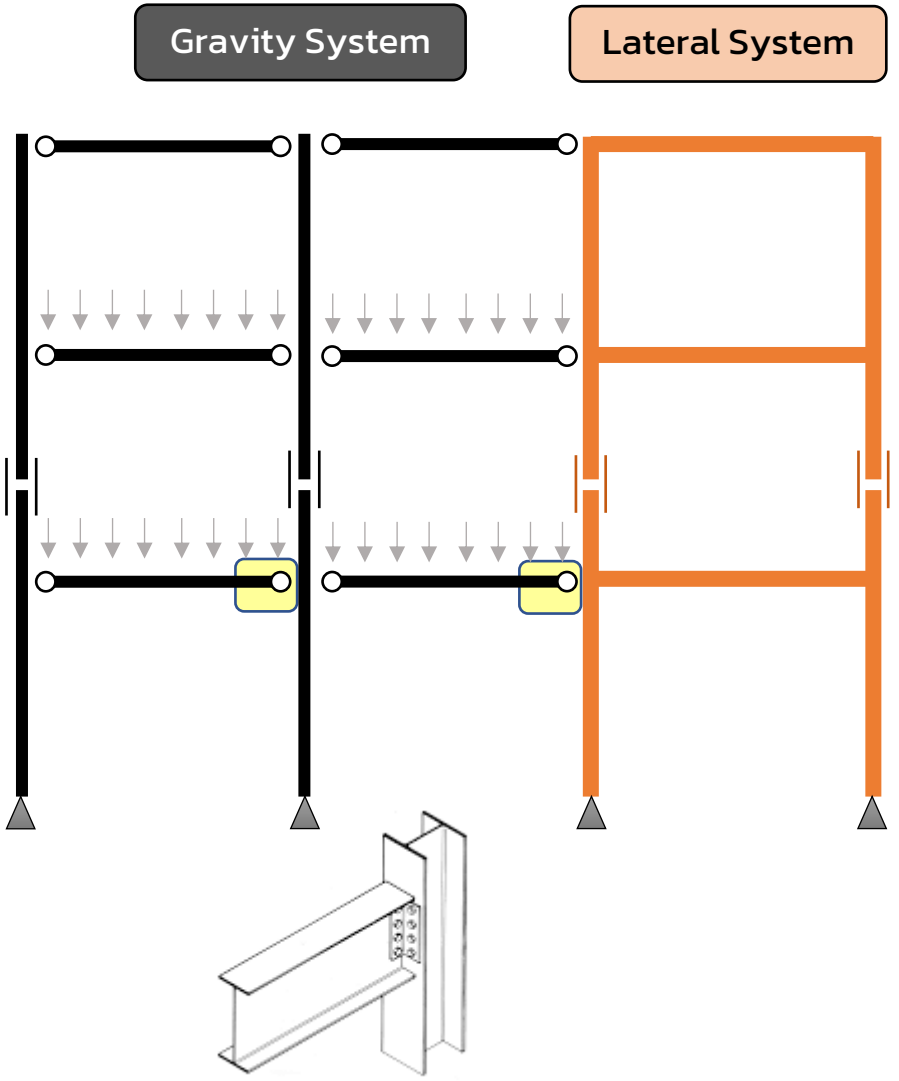
#WeLoveSteelConstruction

Snug-tightened (ST) Bolt

#WeLoveSteelConstruction

- Snug-tightened Bolt สลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี คือ สลักเกลียวที่ขันให้แน่นพอตึงมือ โดยใช้ประแจขันแบบธรรมดาโดยคนงาน (ไม่ต้องโหนแรง) หรืออาจใช้ ประแจแบบกระแทก (impact wrench)

- ใช้กับรอยต่อที่สลักเกลียวรับแรงเฉือนเป็นหลัก หรือรับแรงเฉือนและแรงดึง ที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทางของแรงกระทำ (static) เช่น รอยต่อคานเหล็กแบบรับแรงโน้มถ่วง (gravity load) ของบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งแรงไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง เป็นต้น



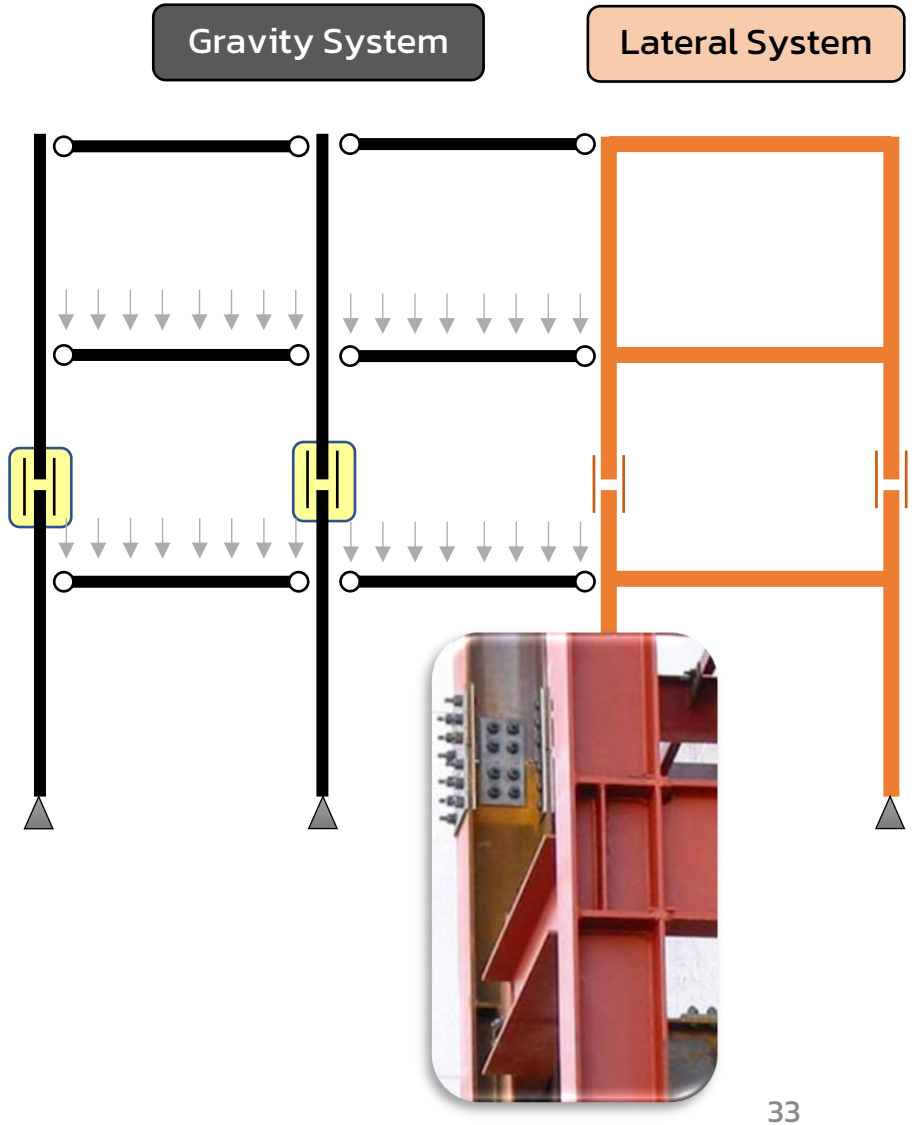
Pretensioned (PT) Bolt

#WeLoveSteelConstruction

- Pretensioned bolt คือสลักเกลียวที่ต้องขันแน่นจนได้แรงไม่น้อยกว่าค่าแรงดึงขั้นต่ำที่ระบุ (ในมาตรฐาน แต่ไม่เกิน proof strength ซึ่งเป็นกำลัง ณ ระดับที่ทำให้ bolt เกิด plastic deformation)

- ใช้กับส่วนของอาคารที่ต้องการให้อาคารมีสภาวะการใช้งานที่ดี (Serviceability) ผู้ใช้อาคาร “รู้สึก” ปลอดภัย รอยต่อมีความแน่น ขยับแทบไม่ได้ (การขยับได้ไม่ส่งผลกระทบกับกำลังการรับน้ำหนักของจุดต่อ) เช่น การต่อดาม (splice) ของเสาเหล็กในอาคาร เป็นต้น

- การตรวจสอบความแน่น มี 4 วิธี (1) Turn-of-nut (2) DTI (3) Twist-off bolt (4) Calibrated wrench

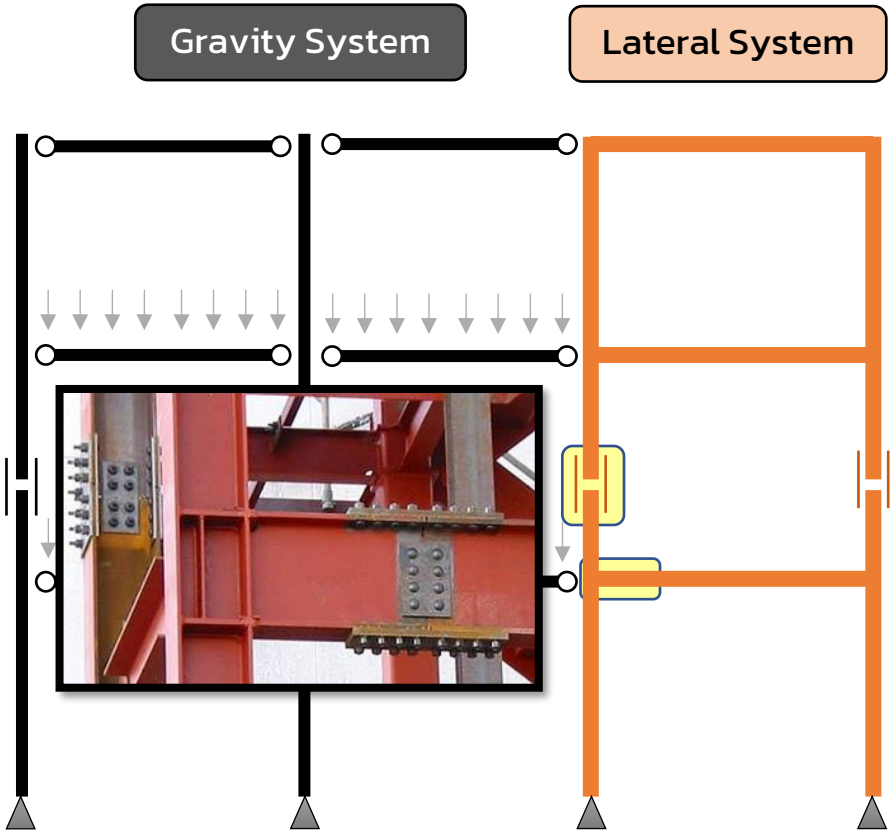


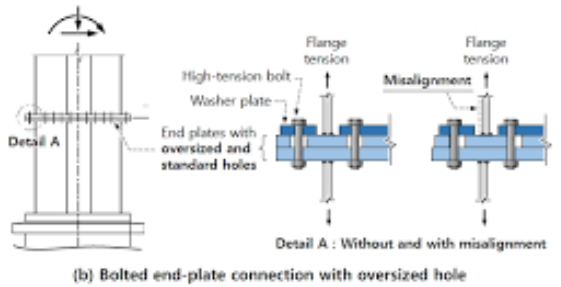
Slip-Critical Bolt (SC)

#WeLoveSteelConstruction

- Slip-critical bolt หรือสลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต เป็นการใช้ PT bolt “พร้อมด้วย” การทำผิวสัมผัสชิ้นงานที่ต่อเข้าด้วยกันให้มีความฝืด เพื่อให้เกิดการถ่ายแรงแผ่นผิวสัมผัส (friction)

- ใช้กับโครงสร้างที่ต้องรับแรงแบบ Dynamic load โดยแรงกระทำมีลักษณะเปลี่ยนทิศไป-มา เช่น สะพาน โครงสร้างเหล็กที่ต้องรับแรงกระแทกจากยานพาหนะเป็นประจำ หรือ lateral system ของอาคาร ที่ต้องรับแรงลมแรงแผ่นดินไหวกลับไปกลับมา หรือ จุดต่อที่ใช้รูเจาะขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน (oversized hole) เพื่ออำนวยการติดตั้ง เป็นต้น





(b) Bolted end-plate connection with oversized hole

Welding

#WeLoveSteelConstruction

Welding

#WeLoveSteelConstruction

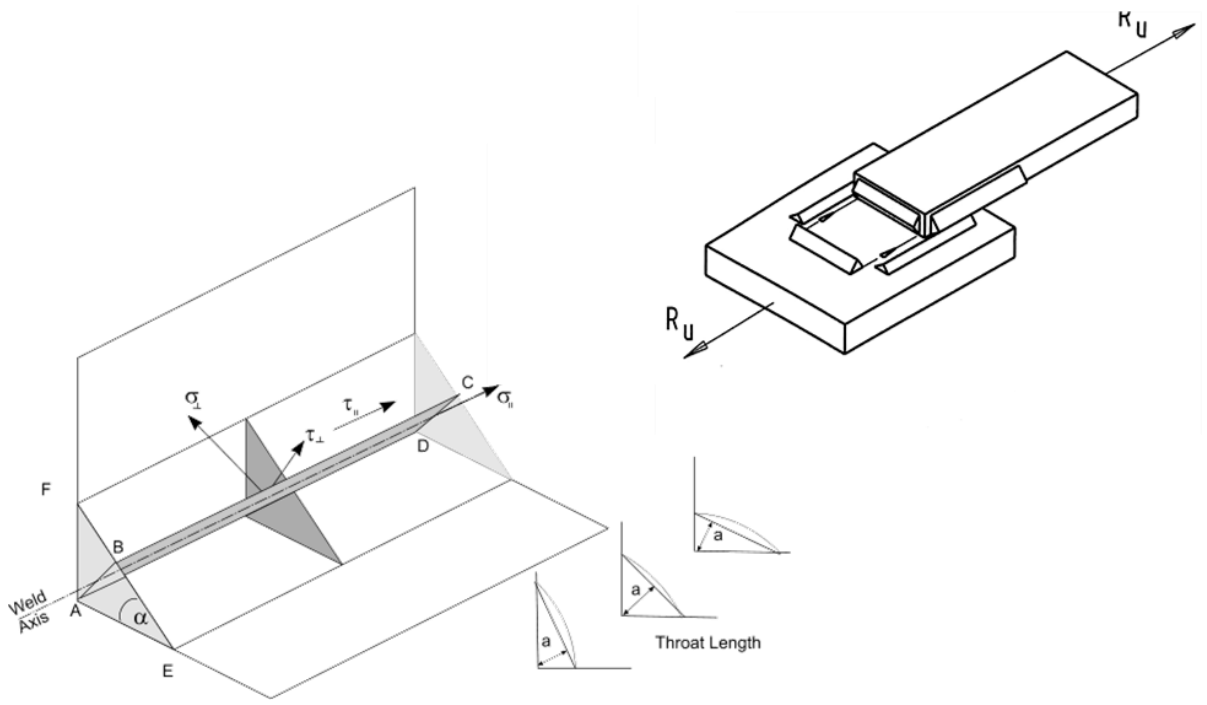
- การเชื่อม มีกระบวนการที่คล้ายคลึงกับการตัดโลหะด้วยความร้อน กล่าวคือเป็นการให้ความร้อนแก่วัสดุ เพื่อให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยหากต้องการตัด ก็ทำการดึงให้ออกจากกัน แต่หากต้องการเชื่อม ก็ทำการอัดให้ติดกัน
- วิธีในการเชื่อม มีหลายวิธีขึ้นกับรูปแบบของลวดเชื่อม และวัสดุปกคลุม เพื่อป้องกันการเกิด oxidation ซึ่งเกิดจากการที่ก๊าซออกซิเจนในอากาศไปผสมปนเข้ากับโลหะหลอมละลาย (ณ จุดเชื่อม) ส่งผลต่อความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม
- รูปแบบวัสดุปกคลุมมีหลายประเภท เช่น ผงฟลักซ์ (flux) กับการเชื่อม SAW หรือ FCAW หรือก๊าซ CO2 กับการเชื่อม MAG (เชื่อม CO2) หรือก๊าซ Ar กับการเชื่อม MIG (รวมเรียก MIG และ MAG ว่า GMAW)

รอยเชื่อม fillet weld ที่ไม่สมบูรณ์

Welding

#WeLoveSteelConstruction

- เกรดของวัสดุเชื่อม (welding material) มักอ้างอิงมาตรฐานอเมริกา โดยกำหนด FExx โดยที่ xx แสดง “กำลังรับแรงดึงสูงสุด” ของวัสดุเชื่อมในหน่วย ksi (แปลงเป็น MPa คูณ 7 เป็น ksc คูณ 70)
- FE70 มี F_u = 70 ksi = 490 MPa = 4,900 ksc เป็นเกรดที่นิยมใช้มากสุด แต่ยังมีเกรดอื่นให้เลือกใช้ เช่น FE60 หรือ FE80
- 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

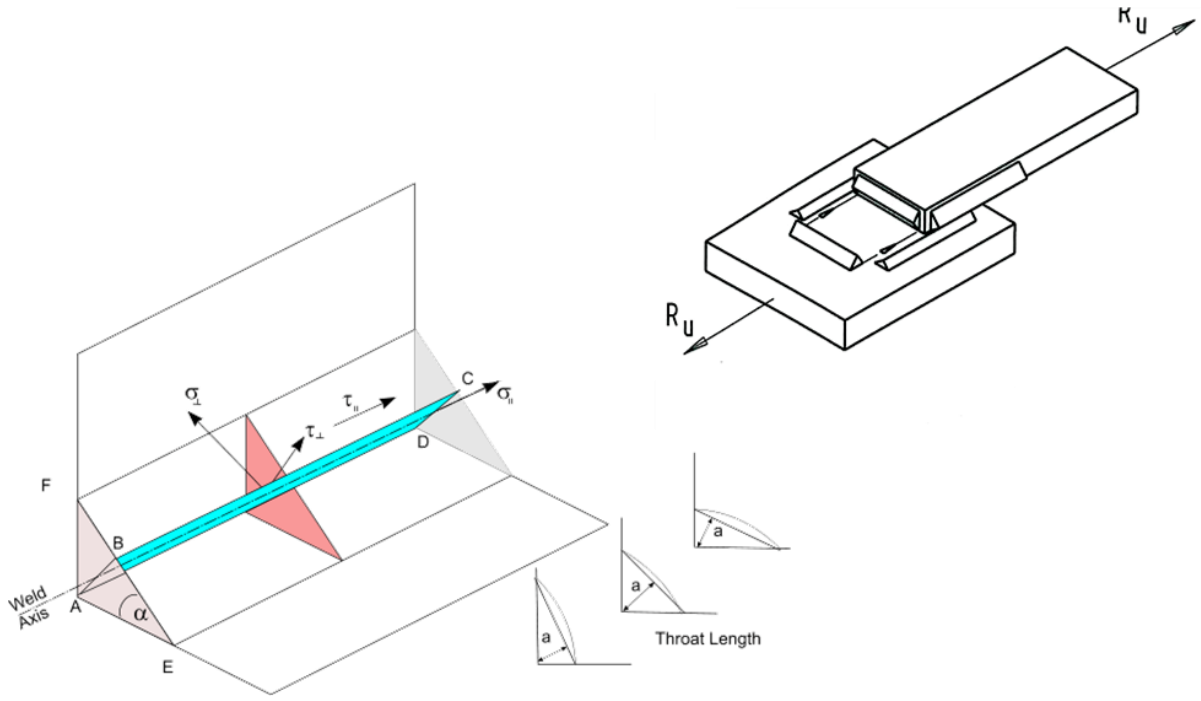


Welding

#WeLoveSteelConstruction

- พื้นที่รับแรง (เฉือน) ของ fillet weld เป็น พื้นที่ที่อยู่ในแนวทแยง จาก weld leg (AE หรือ AF ดังรูป) ในแนว AB ซึ่งหาก AE = AF จะได้ว่า AB = leg size/√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: $R_n = (0.6F_u) * A_e$

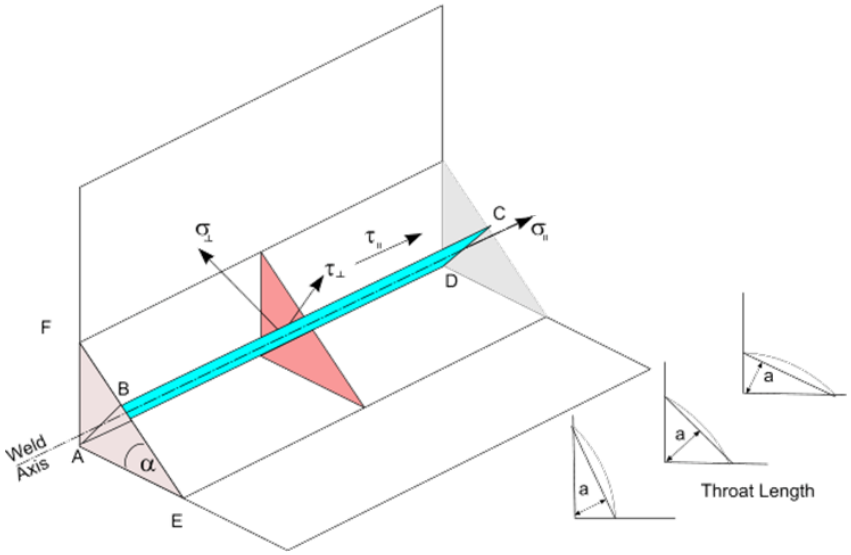
  [ASD] $\Omega = 2.0$
  [LRFD] $\gamma = 0.75$



Welding

#WeLoveSteelConstruction

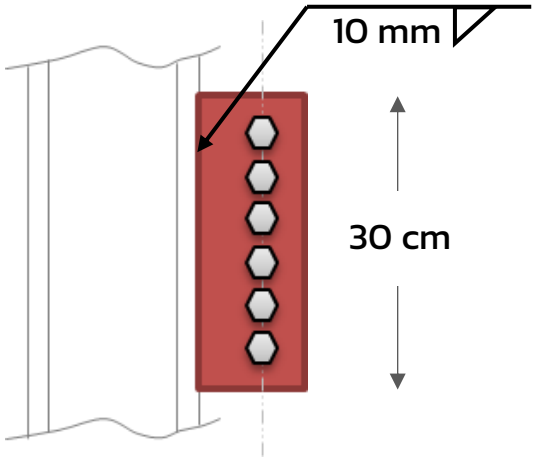
- การเชื่อมพอก หรือ fillet weld ระนาบที่จะเกิดการวิบัติ เป็นระนาบที่ มีขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกเฉือนขาด ซึ่งเป็นมุม 45 องศา วัดจากขอบที่ตั้งฉาก
- กำลังรับแรงเฉือน ~ 60% ของกำลังรับแรงดึง
  พื้นที่รับแรงเฉือน ~ leg size/sin (45°) * ความยาว
  กำลังรับแรงเฉือนระบุ (nominal shear strength)
  = (0.6 F_u) (leg size/√2 * length)
  = (0.6 * (70*70 ksc)/√2) * (leg size * length)
  = 2,079 (leg size * length) … หน่วย กิโลกรัม
  ~ 2 ตัน ต่อตารางเซนติเมตร
- หากพิจารณา [ASD] Factor of Safety (Ω) = 2 จะได้ **กำลังรับน้ำหนัก "ปลอดภัย" $R_n/2$ = ~ 2/2 = 1 ตันต่อ ตร.ซม.** หรือหากพิจารณา [LRFD] Resistance factor (γ) = 0.75 จะได้ γR_n = 1.5 ตันต่อ ตร.ซม.



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

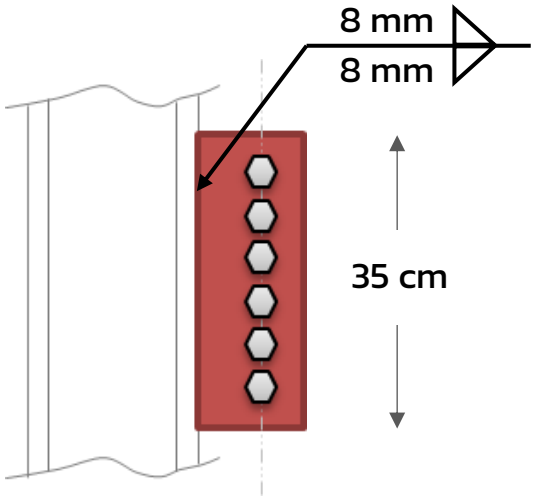
Welding

#WeLoveSteelConstruction



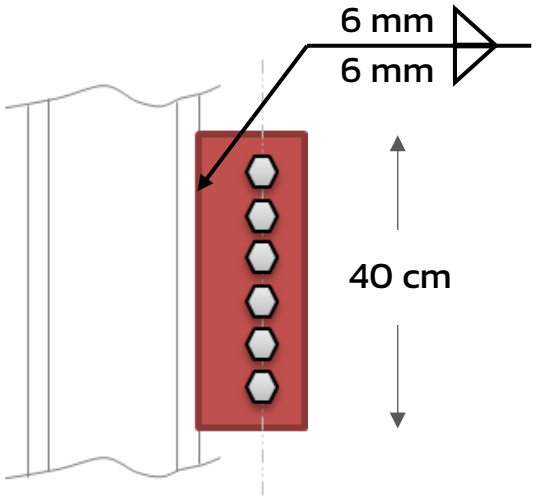
รอยเชื่อม fillet weld นี้

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

พฤติกรรมการถ่ายแรงและการคำนวณกำลังของ double angle shear connection

#WeLoveSteelConstruction

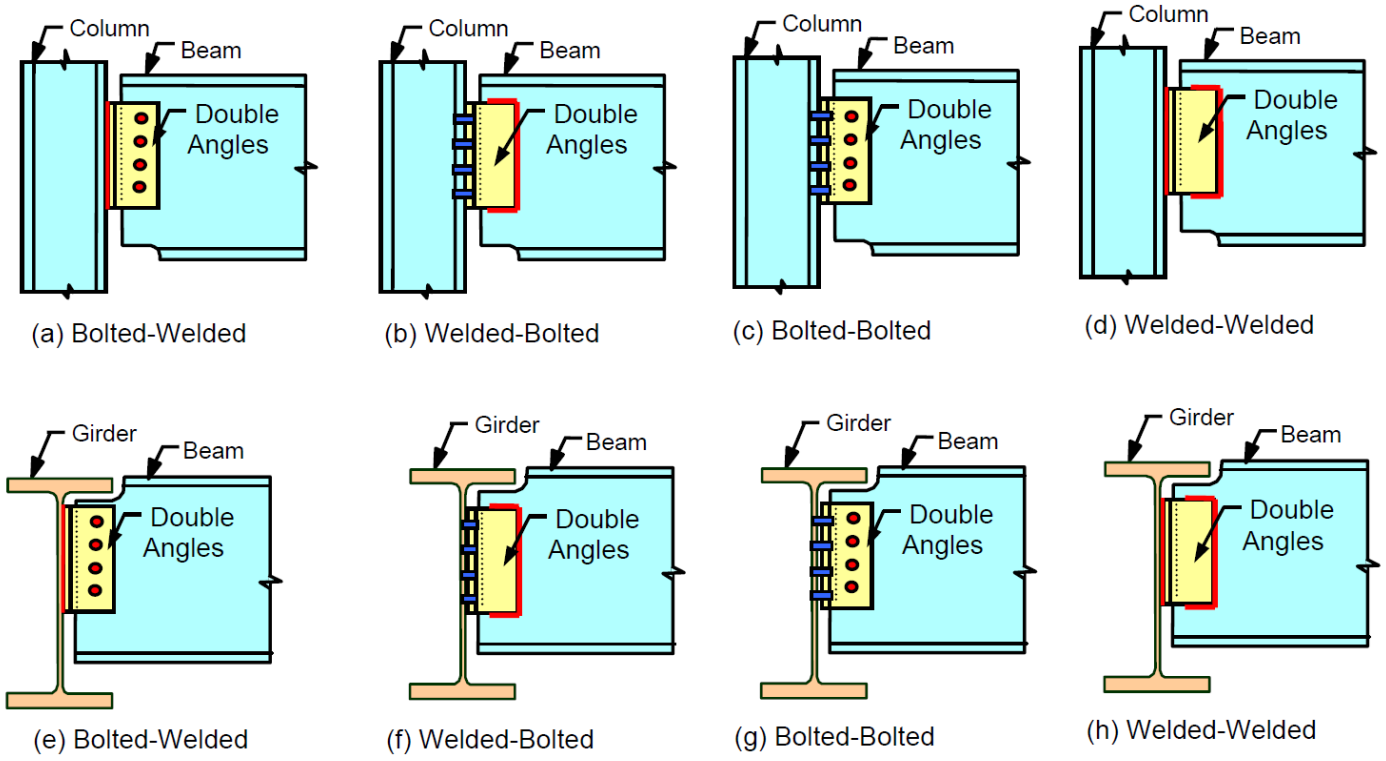


Figure 2.1. Four Types of Double-Angle Shear Connections for Beam-to-Column and Beam-to-Girder Cases

Ref: Asteneh-Asl (2005), "Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads," Structural Steel Education Council

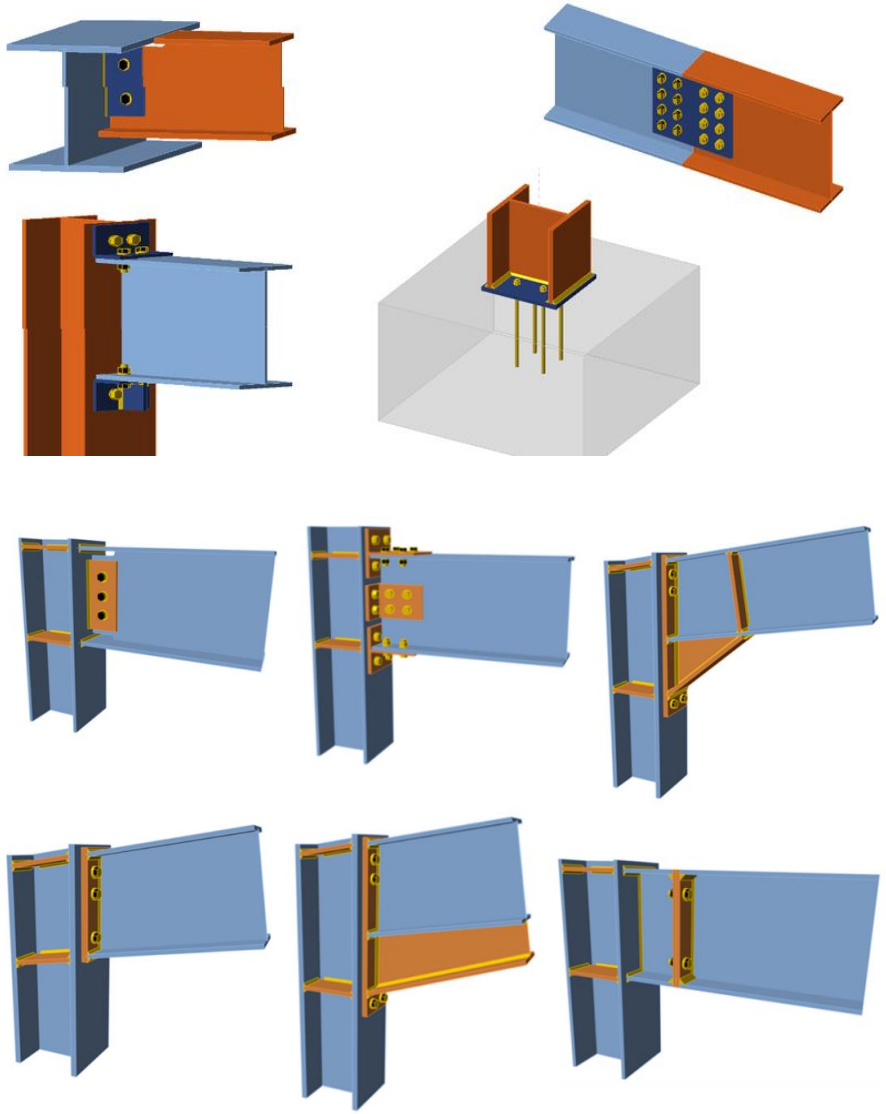
General

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อคานรับแรงภายนอก ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) น้ำหนักบรรทุกจร (LL) ฯลฯ ในลักษณะที่อาจเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่น (distributed load) หรือกระทำเป็นจุด (point load) คานก็จะถ่ายแรงไปสู่ฐานรอง (support) โดยเงื่อนไขสำคัญคือ คาน (beam) ต้องแข็งแรงเพียงพอ

- แรงที่ถ่ายสู่ support ขึ้นกับลักษณะการต่อระหว่าง beam กับ support โดยหากเป็นการต่อแบบ pin end ก็จะไม่สามารถถ่ายโมเมนต์ได้ (แม้ว่าในทางปฏิบัติ อาจทำจุดต่อที่เป็น 100% pin ได้ยากมากก็ตาม หรืออีกนัยหนึ่ง มีการถ่ายโมเมนต์เพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่า negligible)

- เงื่อนไขต่อมาคือ (1) connection ต้องแข็งแรงเพียงพอ ในทุกๆ จุดทุกๆ ส่วน ทั้ง plate, bolt, weld, etc. และ (2) support ต้องแข็งแรงเพียงพอ เช่น base plate รับ moment ฐานราก footing และ เสาเข็ม ก็ต้องอำนวยให้สามารถรับ moment ดังกล่าวนี้ได้



Ref: www.ideastatica.com

Double angle shear connection

#WeLoveSteelConstruction

- Shear connection ประเภทหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือ double angle shear connection หรือ จุดต่อรับแรงเฉือนเหล็กฉากคู่ เป็นการนำเหล็กฉากรูปพรรณรีดร้อนมาประกบทั้ง 2 ด้านของ beam web ต่อเข้ากับ support

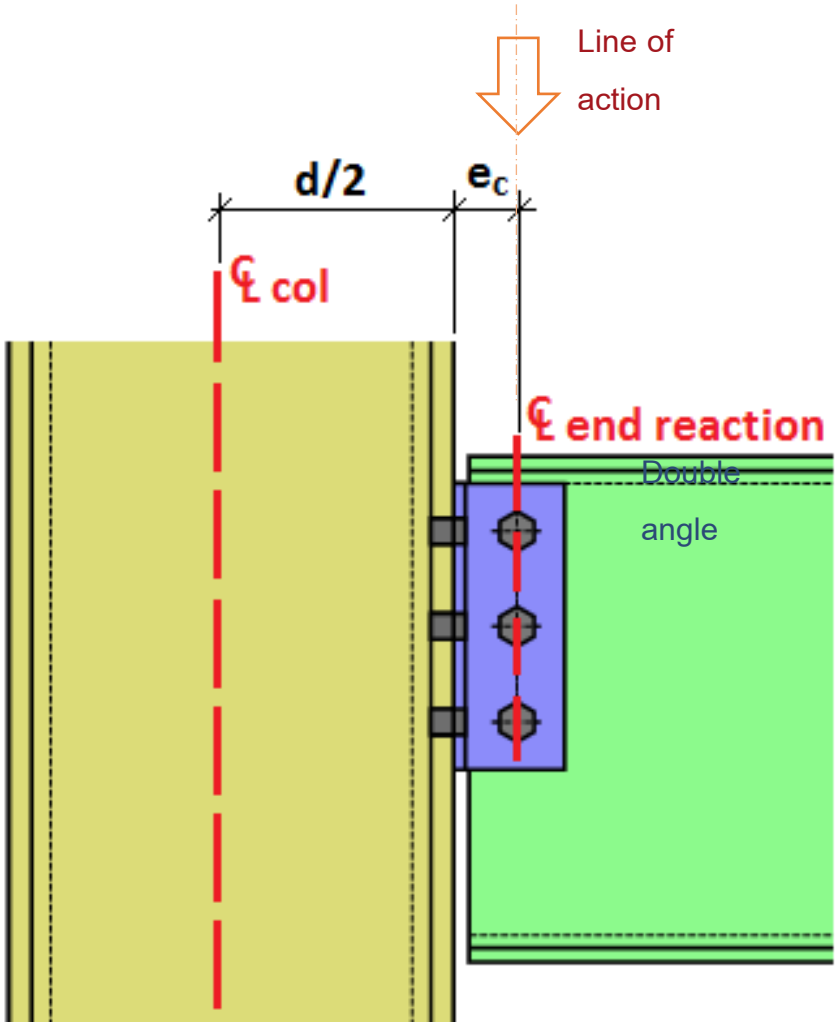
- ข้อดีคือ สามารถติดตั้งได้ง่าย โดยการแปรรูปและติดตั้ง (fabrication & erection) สามารถเลือกได้ทั้ง การติดตั้งเหล็กฉากคู่มากับ support หรือมากับ beam จากโรงงานแปรรูป (fabrication shop) หรือจะติดเหล็กฉากตัวหนึ่งกับ support และอีกตัวกับ beam เพื่ออำนวยให้การติดตั้งสามรถทำได้ง่ายที่สุดที่หน้างาน

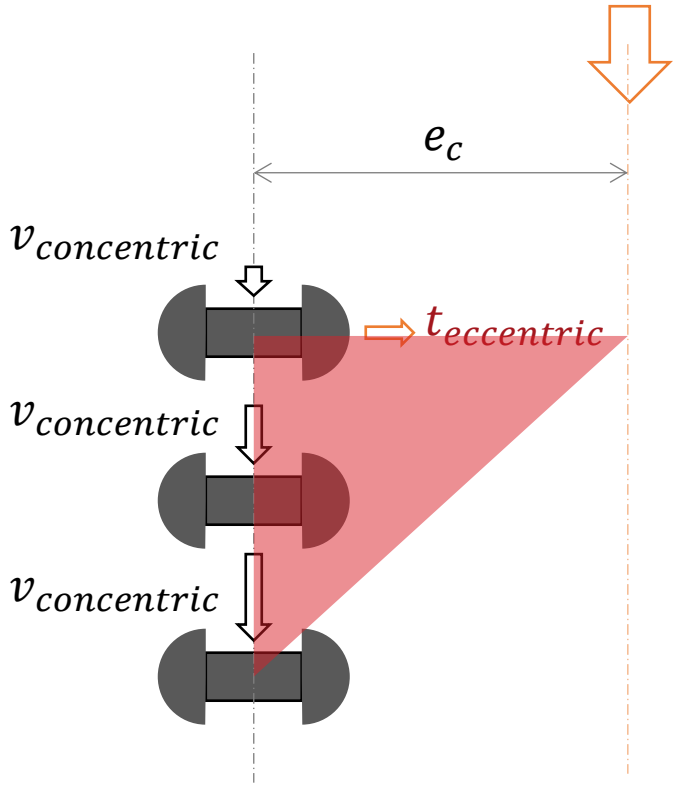
- ลักษณะเชิงพฤติกรรมของ double angle shear connection คือเป็นระบบที่รับแรงเฉือนได้ดี รับ torsion ได้ดี และมี fixity อยู่บ้าง ไม่ให้พฤติกรรม 100% pin มีการรับและถ่าย moment บริเวณเหล็กฉากคู่นี้อยู่บ้าง หลายครั้ง ผู้ออกแบบจะมองเป็น redundancy หรือเผื่อความปลอดภัย กรณีเกิดเหตุการณ์ไม่คาดฝัน

Ref: www.researchgate.net

Double angle shear connection

#WeLoveSteelConstruction





Combined Shear and Tension

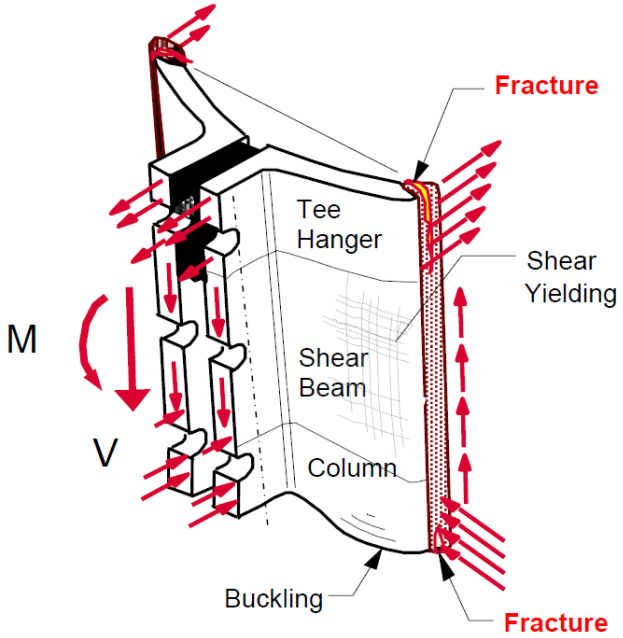
When combined shear and tension loads are transmitted by an ASTM A325, A490, F1852 or F2280 bolt, the ultimate limit-state interaction shall be:

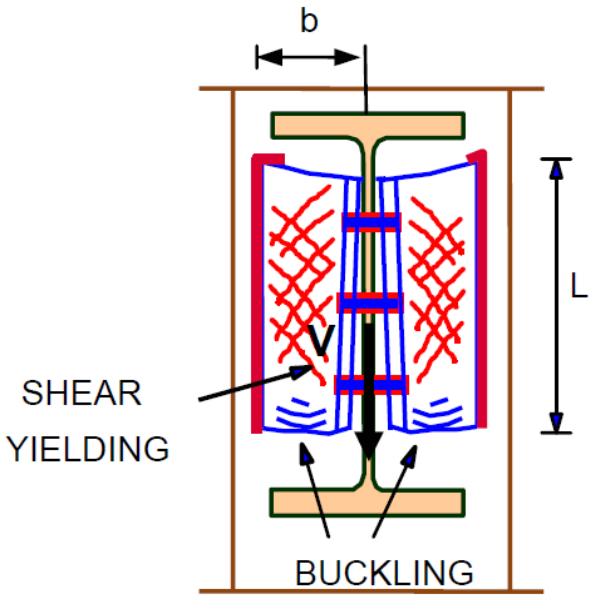
$$\left[\frac{T_u}{(\phi R_n)_t}\right]^2 + \left[\frac{V_u}{(\phi R_n)_v}\right]^2 \le 1 \qquad \text{(Equation 5.2)}$$

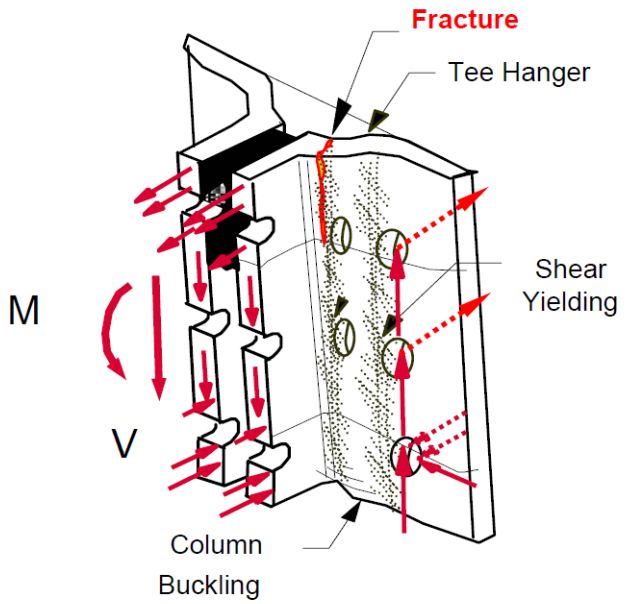
Behavior and load transfer

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อถ่ายแรงเฉือน (และโมเมนต์เล็กน้อย) ส่วน vertical part ของเหล็กฉากคู่จะเป็นส่วนที่รับ shear จาก beam web ถ่ายเข้าสู่ bolt ที่ต่อเข้ากับ beam web ส่งแรงต่อไปที่ รูเจาะที่เหล็กฉากคู่ จากนั้นก็จะถ่ายแรงจากรูเจาะที่เหล็กฉากคู่ ผ่านขาเหล็กฉากคู่ไปยังส่วนที่เหล็กฉากคู่ต่อเข้ากับ support ซึ่งอาจเป็น bolt หรือ weld ... ทั้งนี้จาก compatibility ส่วนที่อยู่ด้านบน (ดังรูป) ของเหล็กฉากคู่จะ deform ในทิศทางลง และเกิดการดึงเข้าหา beam web ในขณะที่ส่วนล่างของเหล็กฉากคู่จะบานออก เกิดแรงอัดขึ้น







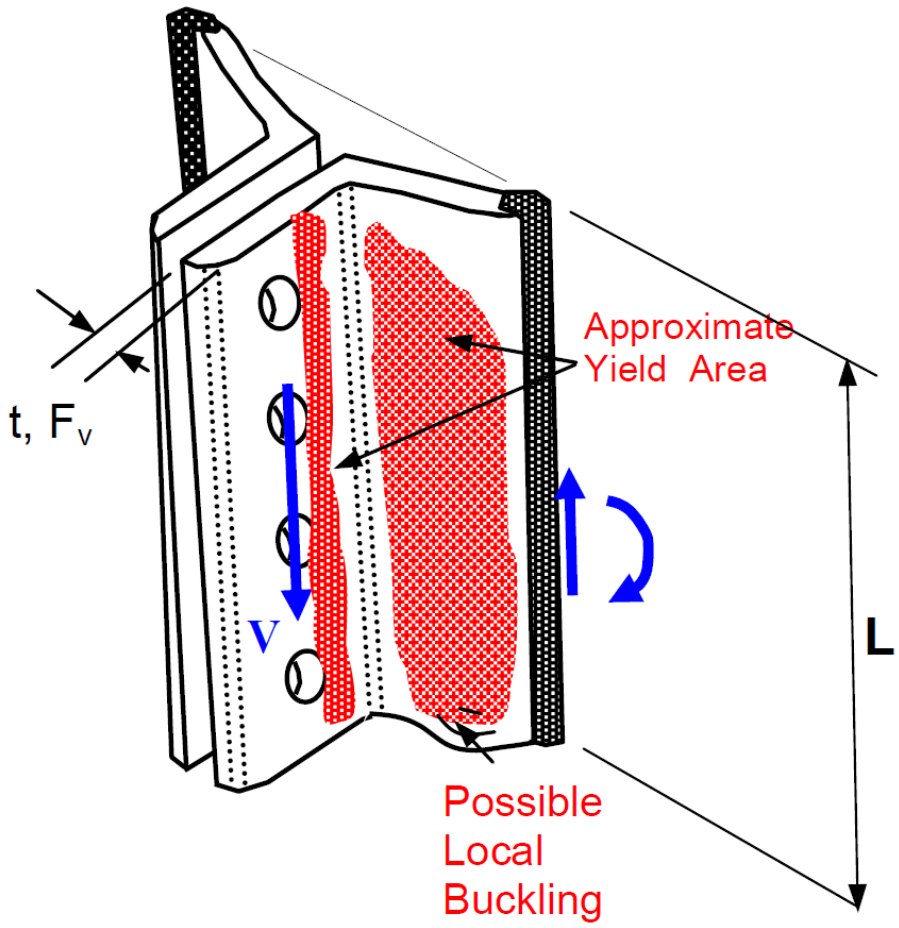
Ref: Asteneh-Asl (2005), "Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads," Structural Steel Education Council

Limit state in general

#WeLoveSteelConstruction

- ในการคำนวณกำลังรับแรง ผู้ออกแบบต้องพิจารณา “ทุกรูปแบบการวิบัติที่จะเป็นไปได้” คำนวณกำลังในแต่ละ failure mode หาค่าที่ขีดจำกัด ที่เรียกว่า limit state
- ค่า limit state ที่ให้กำลังต่ำสุด จะเป็นค่าที่ control พฤติกรรม กล่าวคือ จะเกิดการวิบัติก่อน เมื่อ connection รับแรงถึงค่า limit state นั้นๆ หรือกล่าวได้ว่า limit state นั้นๆ จะเป็นกำลังรับแรงของทั้ง connection
- ผู้ออกแบบสามารถเลือกวิธีการพิจารณา ตามหลักการของ ASD หรือ LRFD ก็ได้ โดยนำค่าที่จัดการต่อ “ความเสี่ยง” การวิบัติมาประกอบ (resistance factor, ϕ หรือ factor of safety, Ω)

Type	Ø	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

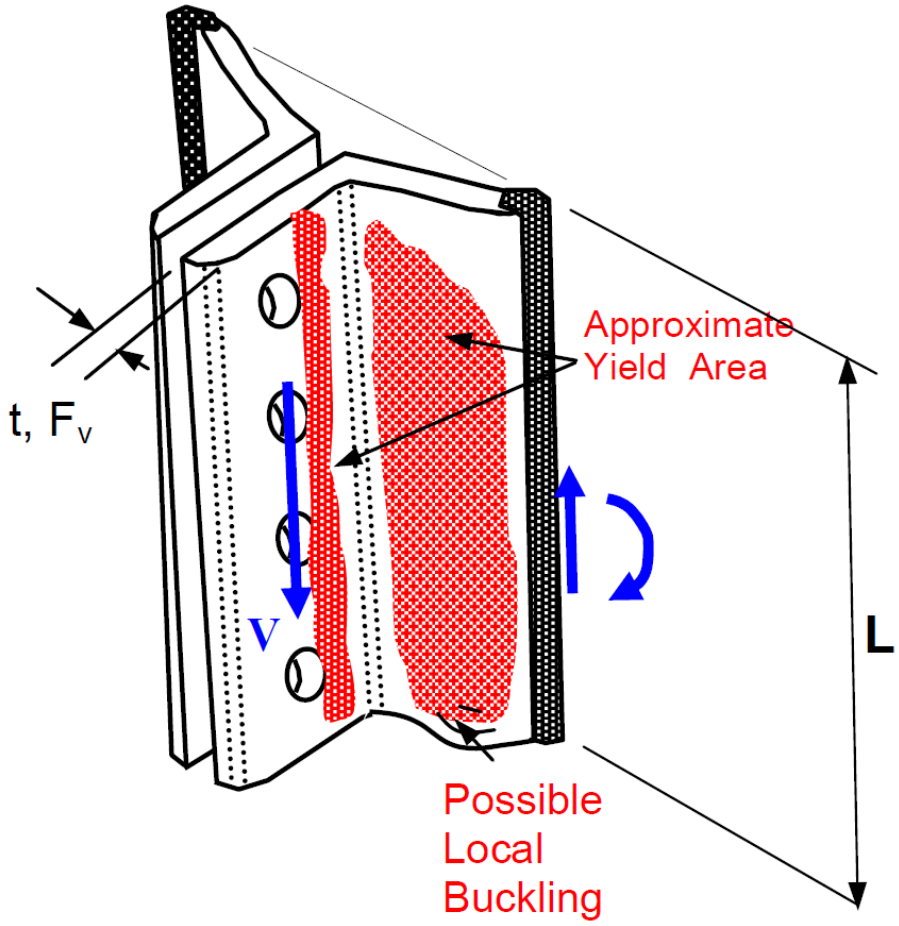


Ref: Asteneh-Asl (2005), “Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads,” Structural Steel Education Council

Limit state 1

#WeLoveSteelConstruction

- Double angle อาจวิบัติได้จากการ “คราก” ด้วยแรงเฉือน
- **Shear yielding** พิจารณาพื้นที่ทั้งหมด gross area

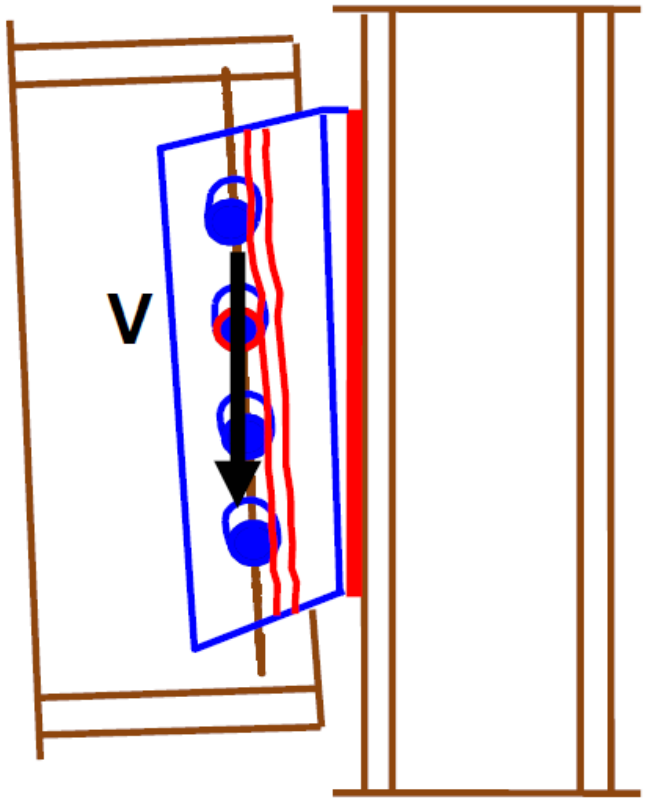


Ref: Asteneh-Asl (2005), “Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads,” Structural Steel Education Council

Limit state 2

#WeLoveSteelConstruction

- Double angle อาจวิบัติได้จากการ “ฉีกขาดผ่านแนวรูเจาะ” ด้วยแรงเฉือน
- **Shear rupture** พิจารณา พื้นที่สุทธิ (net area)

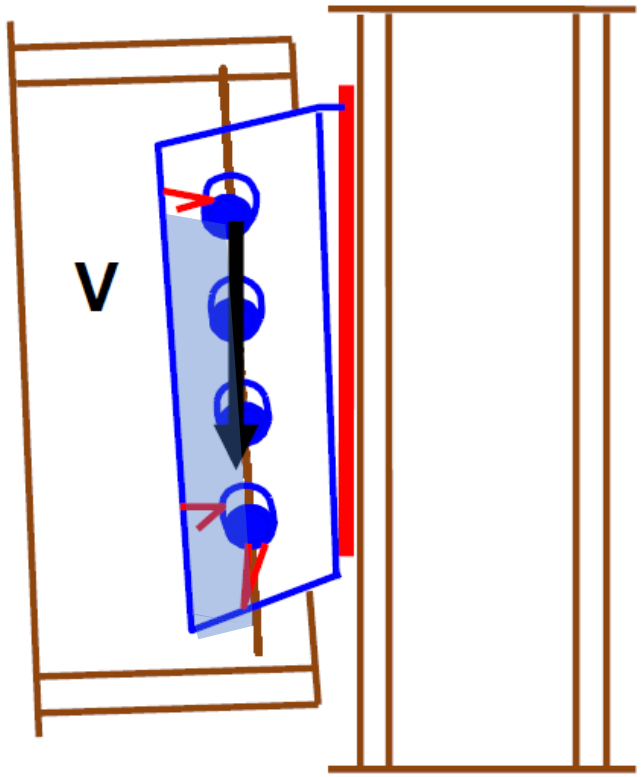


Ref: Asteneh-Asl (2005), “Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads,” Structural Steel Education Council

Limit state 3

#WeLoveSteelConstruction

- Double angle อาจวิบัติได้จากการ “วิบัติด้วยแรงเฉือนและดึงขาดผ่านรูเจาะ” ด้วยแรงเฉือน
- **Block shear** พิจารณา กำลังรับแรงดึงขาด (tensile rupture) และค่าน้อยของกำลังเฉือนครากเทียบกับกำลังเฉือนขาด

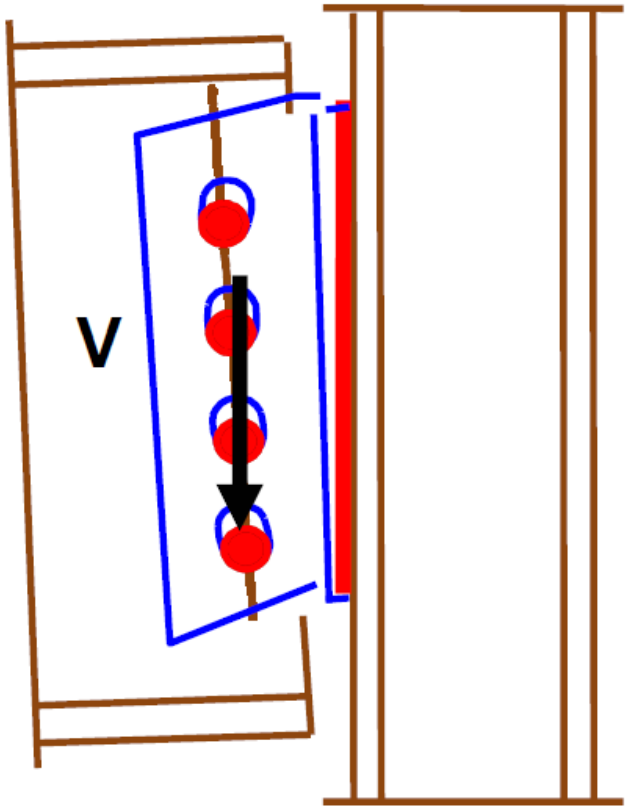


Ref: Asteneh-Asl (2005), “Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads,” Structural Steel Education Council

Limit state 4

#WeLoveSteelConstruction

- Double angle อาจวิบัติได้จากการ “ถูก bolt กดทับจนรูเจาะเกิดการยู่” หรือ “รูเจาะเกิดการยู่จนฉีกขาด”
- **Bearing and tear out** พิจารณากำลังรับแรงแบกทาน เมื่อ แรงจาก bolt ถูกถ่ายผ่านรูเจาะเข้าสู่ double angle
- การพิจารณา limit state นี้ มีการคิดถึง “ความสวยงาม” ด้วย กล่าวคือ หากผู้ออกแบบสถาปัตยกรรม ยอมให้เกิดการเสียรูป (การยู่) บริเวณรูเจาะได้บ้าง ในมาตรฐานก็ระบุเงื่อนไขให้ผู้ออกแบบสามารถเพิ่มกำลังรับแรงได้อีกราว 20-30%

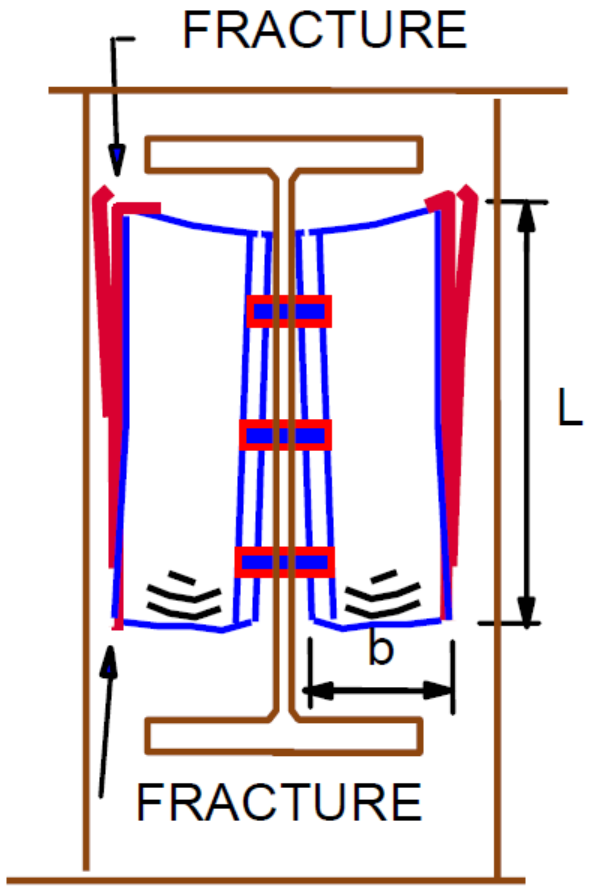


Ref: Asteneh-Asl (2005), “Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads,” Structural Steel Education Council

Limit state 5

#WeLoveSteelConstruction

- Double angle connection อาจวิบัติ ณ ตำแหน่งรอยเชื่อม จากแรงเฉือนที่เกิดขึ้น
- **Weld shear** พิจารณา กำลังรับแรงเฉือนขาดของรอยเชื่อม



Ref: Asteneh-Asl (2005), "Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads," Structural Steel Education Council

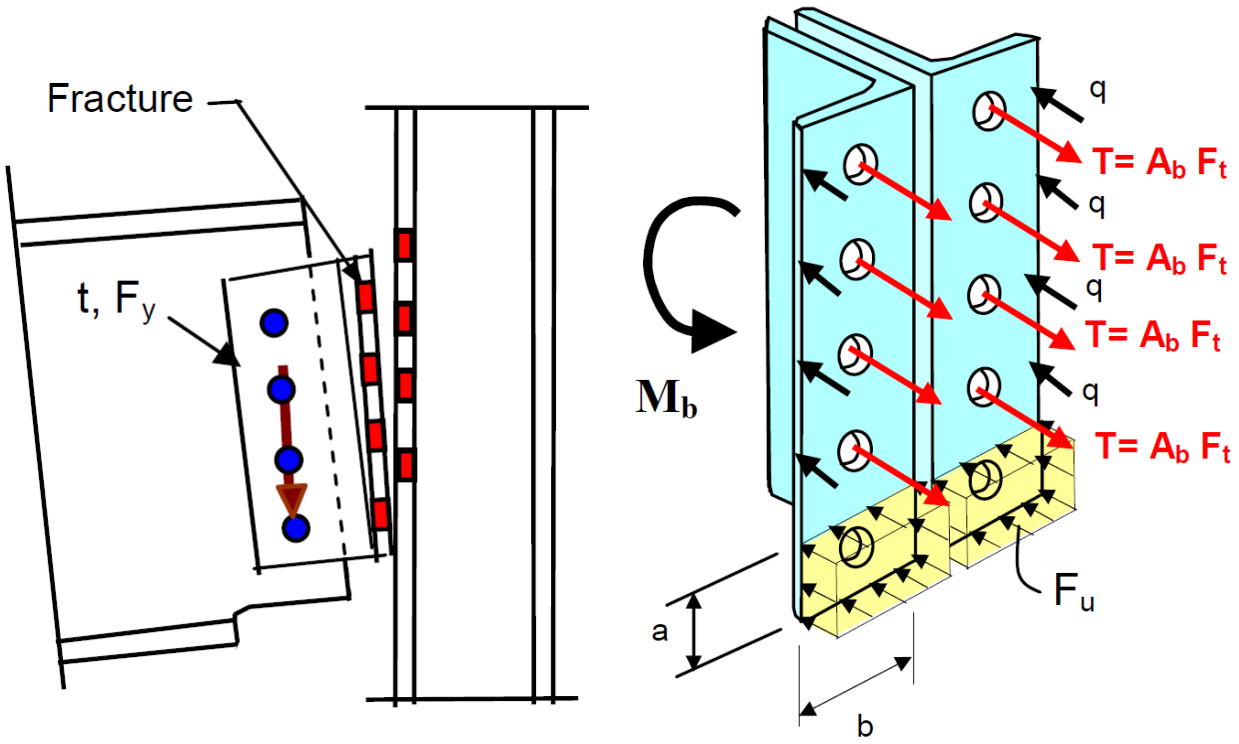
Limit state 6 (End Plate)

#WeLoveSteelConstruction

- นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณากำลังรับแรงเฉือน ของ bolt ที่ติดตั้งเข้ากับ beam ซึ่งด้วยเป็น double shear plane กำลังรับแรงเฉือนจึงคูณ 2 เข้าไป

- กำลังรับแรงเฉือนของ bolt ขึ้นกับ (1) grade วัสดุ bolt และ (2) ระนาบการเฉือนว่าผ่านร่องเกลียว bolt thread หรือไม่

- สำหรับกรณีติดตั้ง bolt เข้ากับ support เช่น เสา การพิจารณา อาจต้องตรวจสอบ “แรงดึง” จาก moment (ถ้ามี) ในลักษณะคล้ายคลึงกับ end plate connection



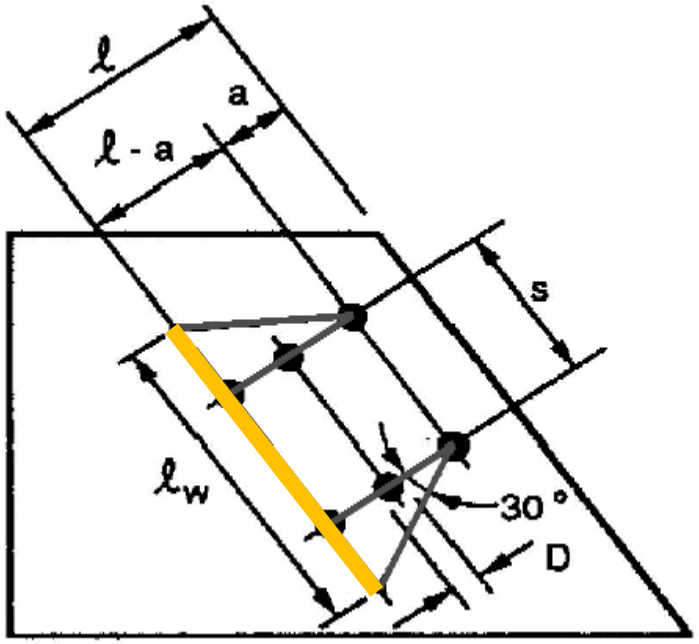
Ref: Asteneh-Asl (2005), “Notes on Design of Double-Angle and Tee Shear Connections for Gravity and Seismic Loads,” Structural Steel Education Council

Limit state 7 (Gusset Plate)

#WeLoveSteelConstruction

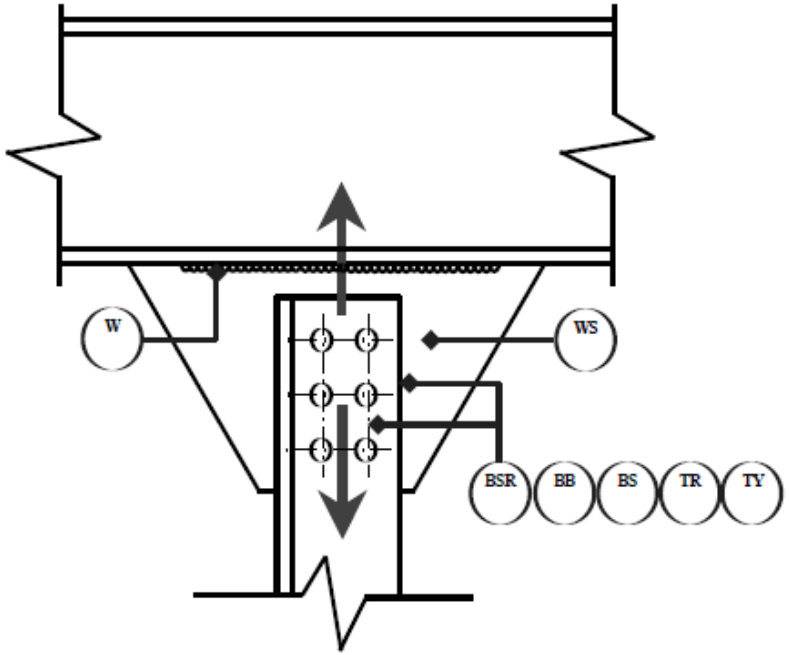
- จุดต่อรับแรงดึง นอกจากก จะมีโอกาสเกิดพฤติกรรมการงัด (prying action) แล้ว ยังมีโอกาสเกิดการวิบัติที่หน้าตัดวิทมอร์ ดังปรากฏตามรูปอีกด้วย

Gusset plate connection: Whitmore failure



Source: Beedle, L.S. and Christopher, R. (1964)

Tension connection: potential limit state

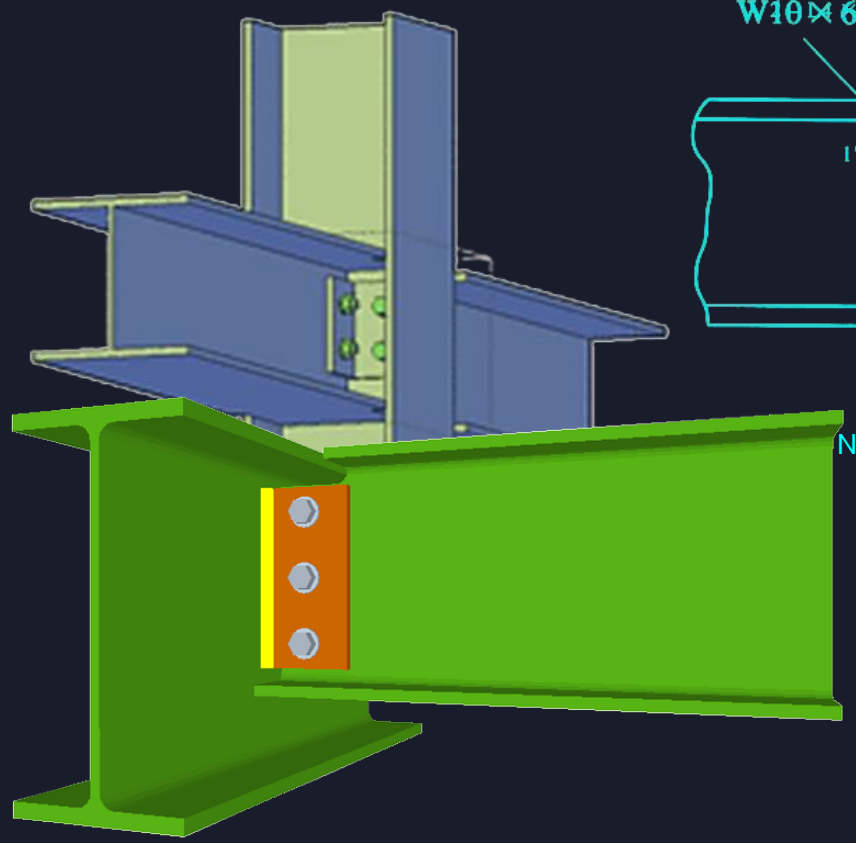


Source: Green Et. Al, "Connection Teaching Toolkit", AISC

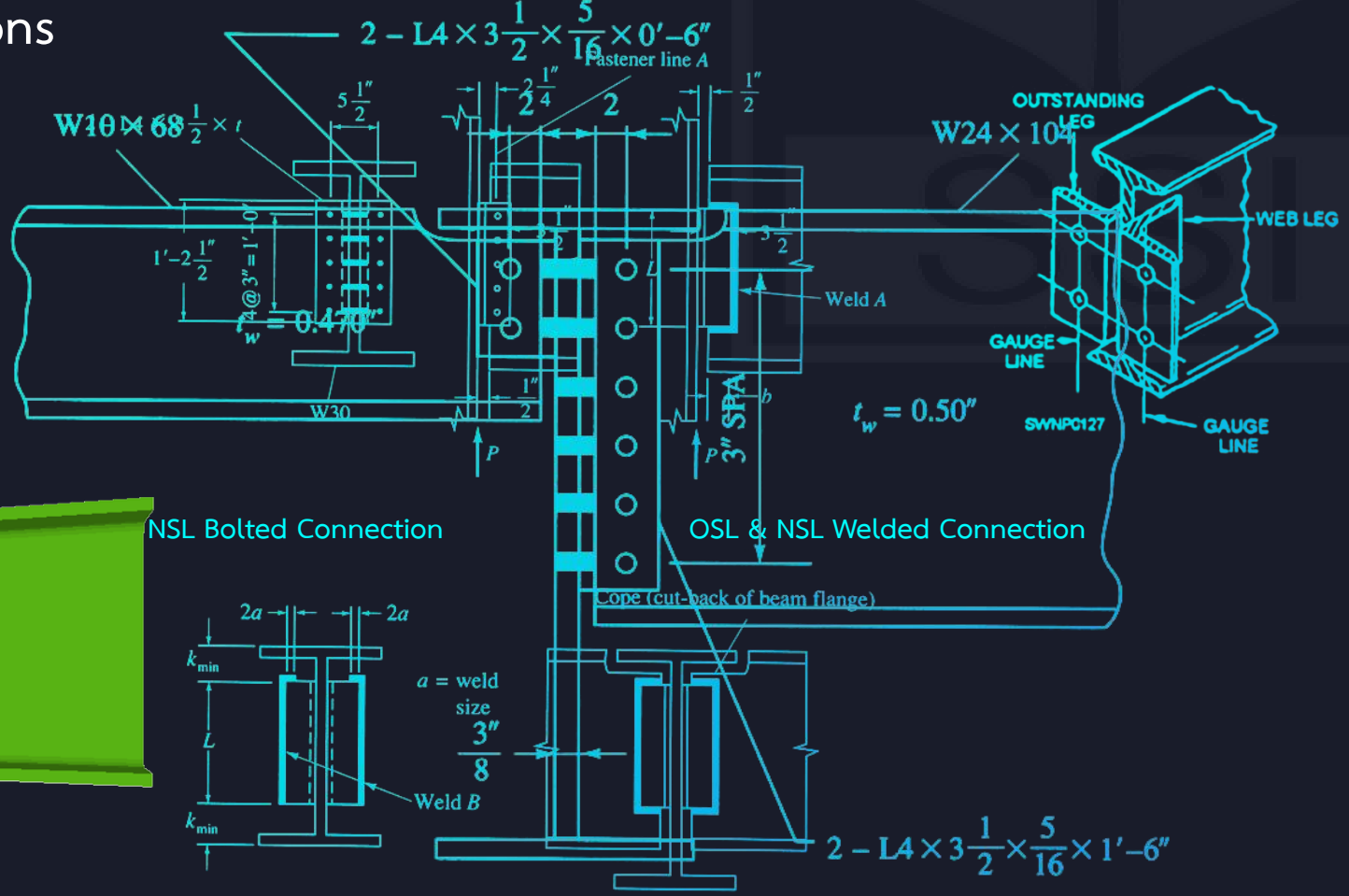
Steel Connection

*Connection

Types of Connections



NSL Bolted Connection



OSL & NSL Welded Connection

Beam-to-Girder Double Angle Shear Connection

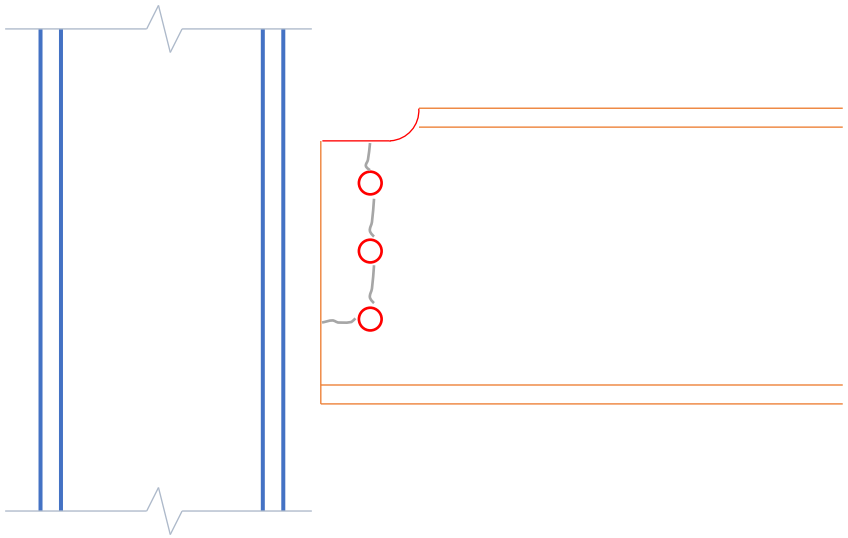
Double Angle Shear Connection

Ref: Salmon et. al, “Steel Structures: Design and Behavior”, Pearson

Steel Connection

#WeLoveSteelConstruction

รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง



สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

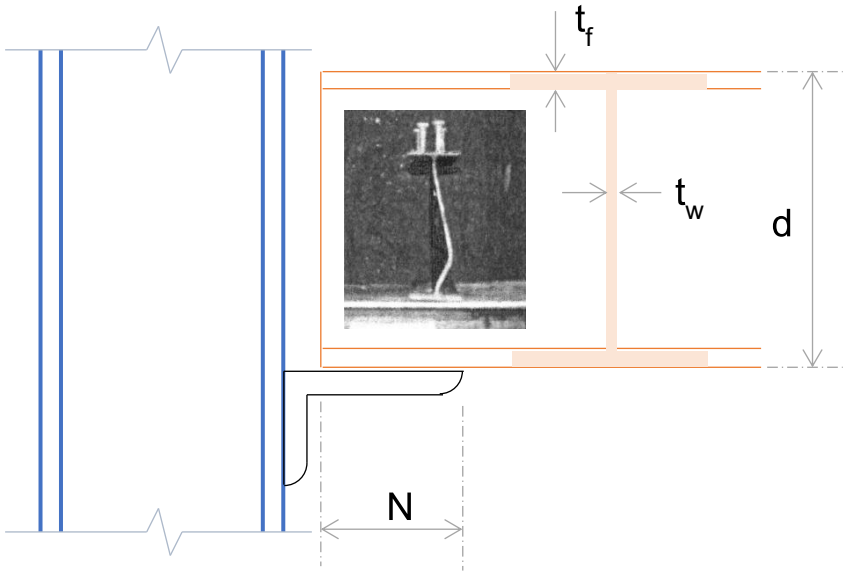
Beam	Connection
▪ Beam shear capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture ▪ Beam web yielding & web crippling / web buckling ▪ Bearing (at bolt)	▪ Angle (Plate) capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture (Net/Block shear) ○ Bearing (at bolt) ○ Bending (seated connection) ▪ Bolt shear capacity ▪ Weld shear capacity

Connection capacity คือ ค่า capacity ที่ต่ำที่สุด ของรูปแบบ failure mode ทั้งหมด

Steel Connection

#WeLoveSteelConstruction

รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง



Local web crippling $\frac{N}{d} > 0.2$

$$\emptyset R_n = (0.75)0.4{t_w}^2[1 + (\frac{4N}{d} - 0.2)(\frac{t_w}{t_f})^{1.5}]\sqrt{\frac{EF_y t_f}{t_w}}$$

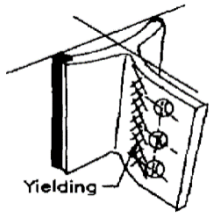
สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

Beam	Connection
▪ Beam shear capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture ▪ Beam web yielding & web crippling / web buckling ▪ Bearing (at bolt)	▪ Angle (Plate) capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture (Net/Block shear) ○ Bearing (at bolt) ○ Bending (seated connection) ▪ Bolt shear capacity ▪ Weld shear capacity

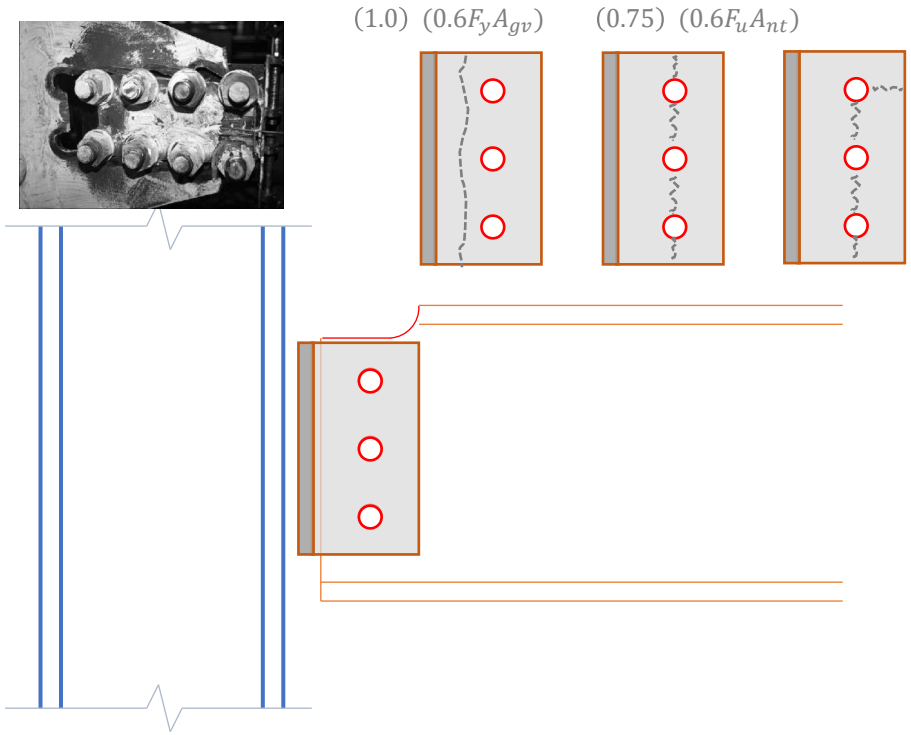
Connection capacity คือ ค่า capacity ที่ต่ำที่สุด ของรูปแบบ failure mode ทั้งหมด

Steel Connection

#WeLoveSteelConstruction



รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง



$$\emptyset R_n = (0.75)\begin{bmatrix}(0.6F_yA_{gv}) \\ (0.6F_uA_{nv})\end{bmatrix} + F_uA_{nt}$$

สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

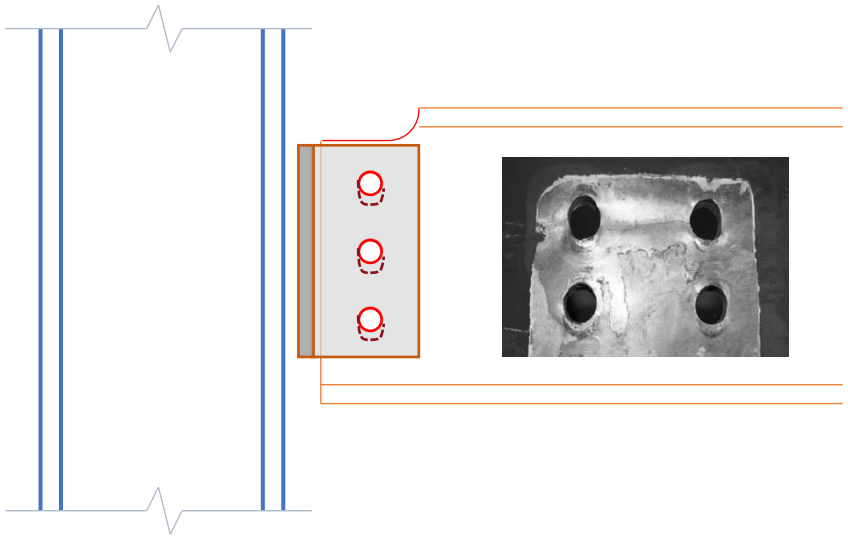
Beam	Connection
▪ Beam shear capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture ▪ Beam web yielding & web crippling / web buckling ▪ Bearing (at bolt)	▪ Angle (Plate) capacity → Shear yielding ○ Shear rupture → (Net shear → Block shear) ○ Bearing (at bolt) ○ Bending (seated connection) ▪ Bolt shear capacity ▪ Weld shear capacity

Connection capacity คือ ค่า capacity ที่ต่ำที่สุด ของรูปแบบ failure mode ทั้งหมด

Steel Connection

#WeLoveSteelConstruction

รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง



ถ้าไม่ต้องการให้รูเจาะเสียรูป

$$\emptyset R_n = (0.75)(1.2L_c t F_u) \leq 2.4dtF_u$$

ถ้ายอมให้รูเจาะเสียรูป

$$\emptyset R_n = (0.75)(1.5L_c t F_u) \leq 3.0dtF_u$$

สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

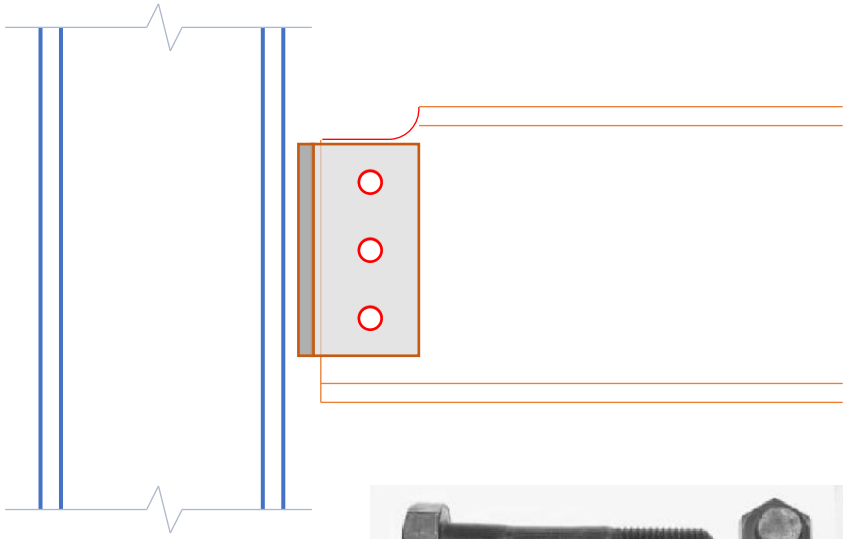
Beam	Connection
▪ Beam shear capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture ▪ Beam web yielding & web crippling / web buckling ▪ Bearing (at bolt)	▪ Angle (Plate) capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture (Net shear Block shear) → Bearing (at bolt) ○ Bending (seated connection) ▪ Bolt shear capacity ▪ Weld shear capacity

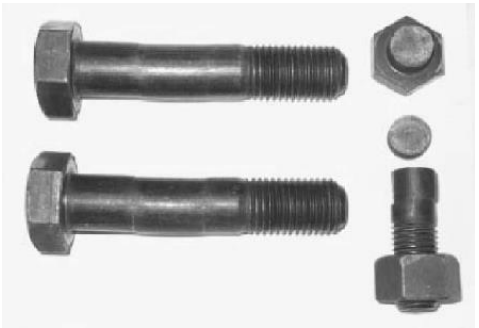
Connection capacity คือ ค่า capacity ที่ต่ำที่สุดของรูปแบบ failure mode ทั้งหมด

Steel Connection

#WeLoveSteelConstruction

รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง





สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

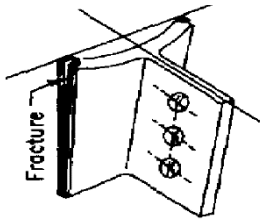
Beam	Connection
▪ Beam shear capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture ▪ Beam web yielding & web crippling / web buckling ▪ Bearing (at bolt)	▪ Angle (Plate) capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture (Net shear Block shear) ○ Bearing (at bolt) ○ Bending (seated connection) → Bolt shear capacity ▪ Weld shear capacity

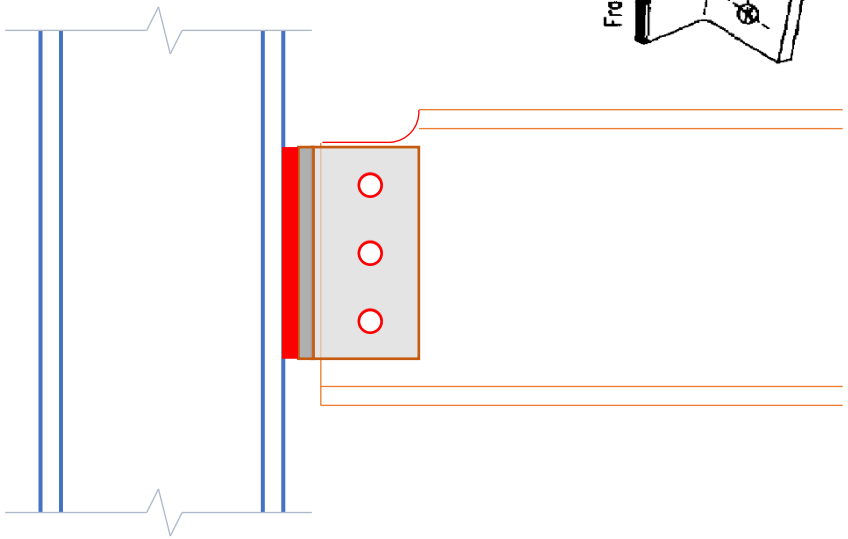
Connection capacity คือ ค่า capacity ที่ต่ำที่สุด ของรูปแบบ failure mode ทั้งหมด

Steel Connection

#WeLoveSteelConstruction

รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง





$$\emptyset R_n = (0.8)(0.6F_{EXX}A_{weld}) \quad \text{PJP Groove}$$

$$\emptyset R_n = (0.75)(0.6F_{EXX}A_{weld}) \quad \text{Fillet \& Plug}$$

สมมติไม่เกิดการวิบัติที่ Column

Beam	Connection
▪ Beam shear capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture ▪ Beam web yielding & web crippling / web buckling ▪ Bearing (at bolt)	▪ Angle (Plate) capacity ○ Shear yielding ○ Shear rupture (Net shear Block shear) ○ Bearing (at bolt) ○ Bending (seated connection) ▪ Bolt shear capacity ➡ Weld shear capacity

Connection capacity คือ ค่า capacity ที่ต่ำที่สุด ของรูปแบบ failure mode ทั้งหมด

Steel Connection

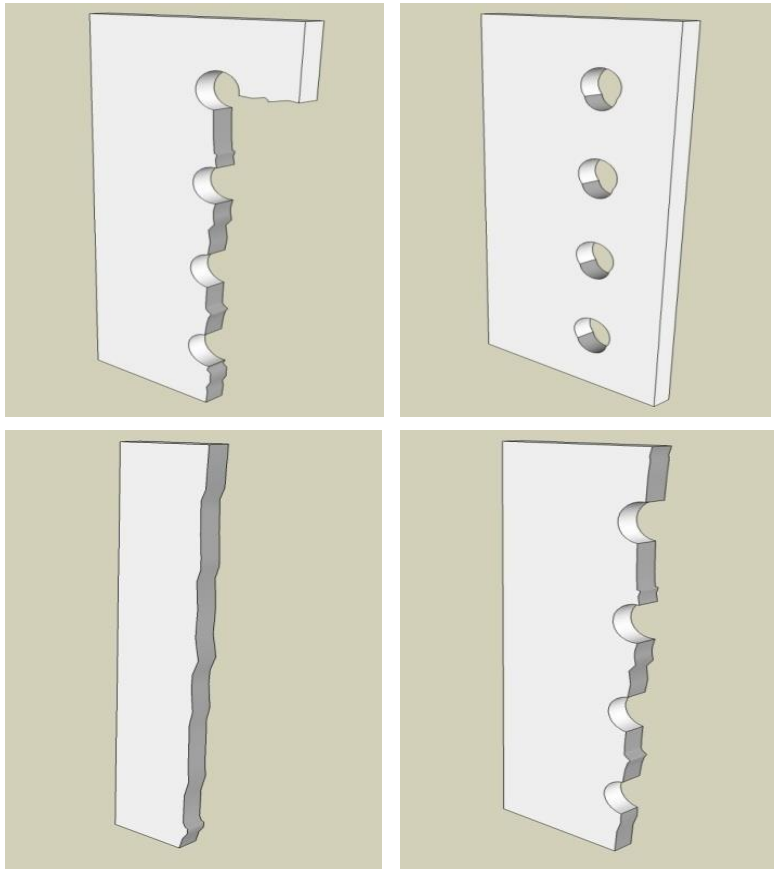
#WeLoveSteelConstruction

รูปแบบการวิบัติ และกำลังรับแรง

AISC LRFD

Shear Connection Strength = Minimum of

- Gross Shear = $(\phi = 1.0)(0.6F_y)A_{gross}$
- Net Shear = $(\phi = 0.75)(0.6F_u)A_v$
- Bearing = $(\phi = 0.75)(2.4F_u)A_{bearing}$
- Block shear (LRFD 2005) = $(\phi = 0.75)[0.6F_yA_{gv} + F_uA_{nt}]$ $\leq (\phi = 0.75)[0.6F_uA_{nv} + F_uA_{nt}]$
- Bolt Shear = $(\phi = 0.75)n.R_{n,bolt}.A_{bolt}$
- Weld shear = $(\phi = 0.75)[0.6F_{EXX}.l_w.size_w]$



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

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

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด

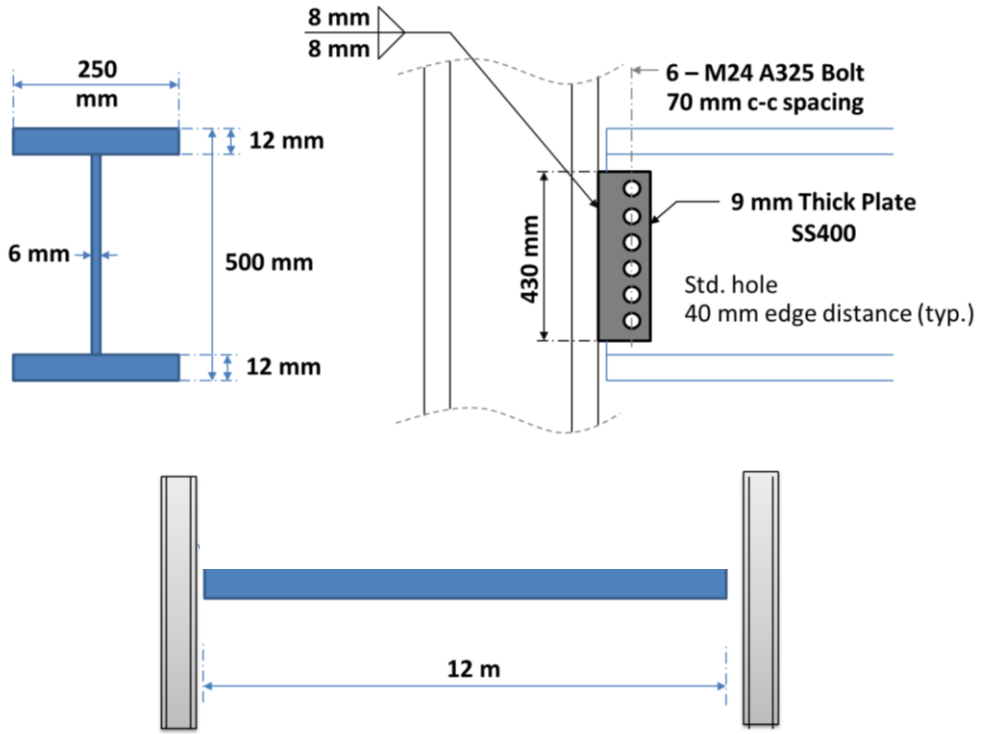
   F_y = 3,000 ksc

   F_u = 4,000 ksc

   E = 2,000,000 ksc

2. Weld ใช้เกรด E70
3. Bolt เป็นการขันแบบ snug tighten มีลักษณะเกลียวเป็นแบบ N-Type

Section Properties	
A_s =	8,856 mm^2
y_{bar} =	250.0 mm
$h_c/2$ =	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 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 ksc
2. Weld ใช้เกรด E70
3. Bolt เป็นการขันแบบ snug tighten มีลักษณะเกลียวเป็นแบบ N-Type

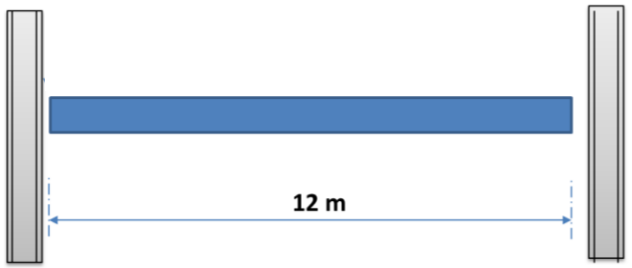
Step 1: หาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจาก Moment สูงสุด ที่ 1 UDL

$V_n =$

$=$

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. ทั้งคานและ connection ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด
   - F_y = 3,000 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 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: $\emptyset R_{bolt} = \emptyset . n_{bolt} * \left(F_{vu,bolt} * A_{bolt}\right)$

2) Weld shear limit state: $\emptyset R_{weld} = \emptyset * A_{weld} * F_{v,weld} = \emptyset * A_{weld} * (0.6F_{u,weld})$

3) Plate gross shear limit state: $\emptyset V_{pl,gross} = \emptyset . (0.6F_y) * \left(A_{gv}\right) = \emptyset . (0.6F_y) * \left(t_{pl} * L\right)$

4) Plate net shear limit state: $\emptyset V_{pl,net} = \emptyset . (0.6F_u) * (A_{nv}) = \emptyset . F_y * \left(t_{pl} * (L - n . d_{hole}\right)$

5) Plate block shear limit state: $\emptyset V_{pl,block} = \emptyset . [\min(0.6F_u A_{nv}, 0.6F_y A_{gv}) + F_u A_{nt}]$

6) Plate bearing limit state: $\emptyset R_{pl,bear} = \emptyset . \left[min\left(2.4 * A_{bearing}\right), (1.2 l_c t)\right] * F_u$

Type	Ø	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 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 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:

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

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

$$\emptyset R_{bolt} = \emptyset.n_{bolt} * \left(F_{vu,bolt} * A_{bolt}\right) =$$

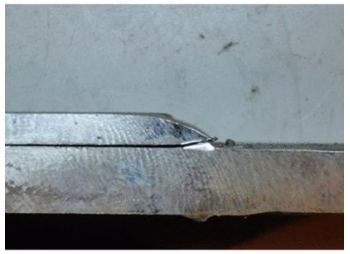
2) Weld shear limit state:

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

$$A_{weld} = 2 * \left(t_{eff} * \mathrm{L}\right) =$$

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

$$\emptyset R_{weld} =$$



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 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 ksc
2. Weld ใช้เกรด E70
3. Bolt เป็นการขันแบบ snug tighten มีลักษณะเกลียวเป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

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

$$\emptyset V_{pl,gross} = \emptyset.(0.6F_y) * (A_{gv}) = \emptyset.(0.6F_y) * (t_{pl} * L)$$

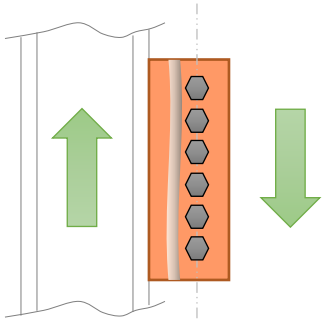
=

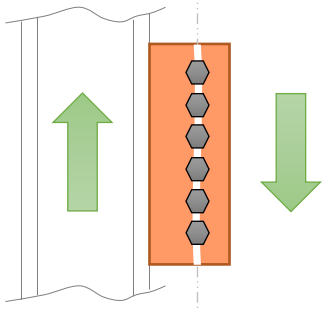
4) Plate net shear (shear rupture) limit state:

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

=

=





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 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 ksc
2. Weld ใช้เกรด E70
3. Bolt เป็นการขันแบบ snug tighten มีลักษณะเกลียวเป็นแบบ N-Type

Step 2: คำนวณ shear connection limit state ต่างๆ

5) Plate block shear limit state:

$$\emptyset V_{pl,block} = \emptyset.\,[\min(0.6F_uA_{nv}, 0.6F_yA_{gv}) + F_uA_{nt}]$$

=

=

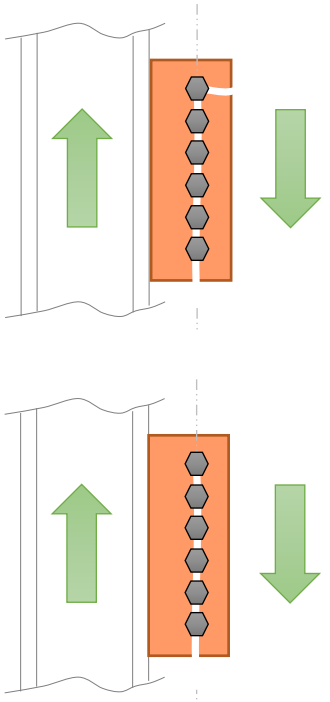
=

6) Plate bearing & tearout limit state:

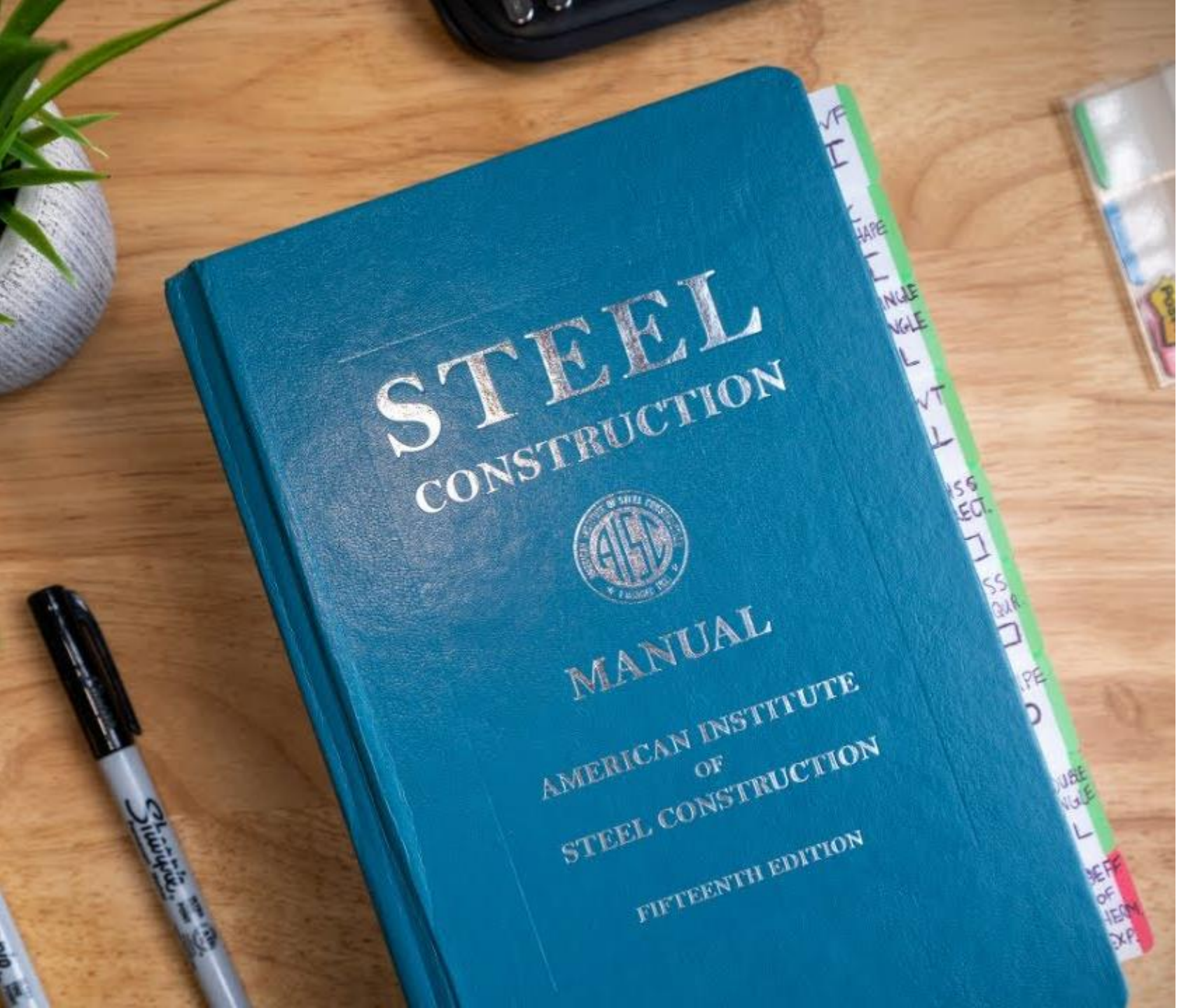
$$\emptyset R_{pl,bear} = \emptyset.\,[min(2.4 * A_{bearing}), (1.2l_ct)] * F_u$$

=

=



Step 3: สรุปผล จาก Limit state ที่คำนวณ พบว่ามีกำลังต่ำที่สุดจึงสรุปได้ว่า


STEEL
CONSTRUCTION
MANUAL
AMERICAN INSTITUTE
OF
STEEL CONSTRUCTION
FIFTEENTH EDITION

1:38PM

gaining as an undergraduate.

Building
BUILDING PERMI
This card must be
place on site of construction.
UNIT No.2
4 PERSONS OCCUPANT LOAD
DINING ROOM
ON/C
CE
MRC
M+
M-

Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

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

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด
   - F_y = 3,000 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 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: $\emptyset R_{bolt} =$

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

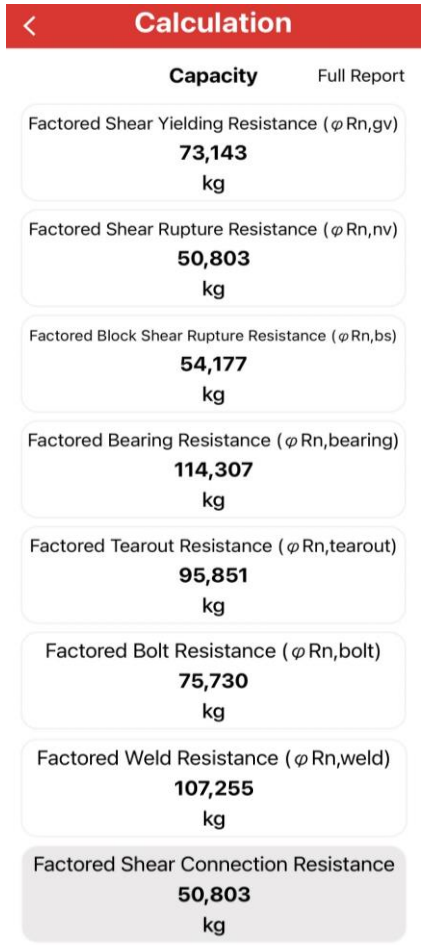
3) Plate shear yielding limit state: $\emptyset V_{pl,gross} =$

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

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

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

SM490: Fy = 3,150 ksc Fu = 4,900 ksc



Design Example: Shear Connection

#WeLoveSteelConstruction

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

Design criteria

1. ทั้งคานและ connection ผลิตจากเหล็กแผ่น เกรด
   - F_y = 3,000 ksc
   - F_u = 4,000 ksc
   - E = 2,000,000 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: $\emptyset R_{bolt} =$

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

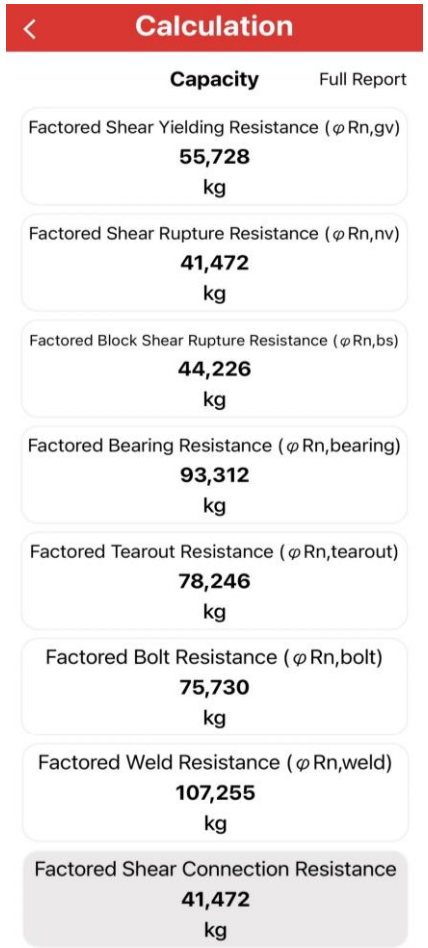
3) Plate shear yielding limit state: $\emptyset V_{pl,gross} =$

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

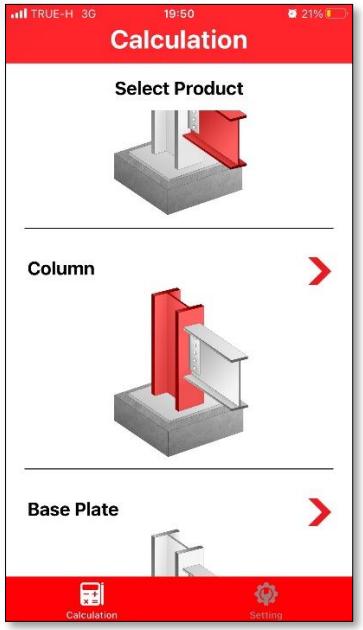
5) Plate block shear limit state: $\emptyset V_{pl,block} =$

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

SS400: Fy = 2,400 ksc Fu = 4,000 ksc

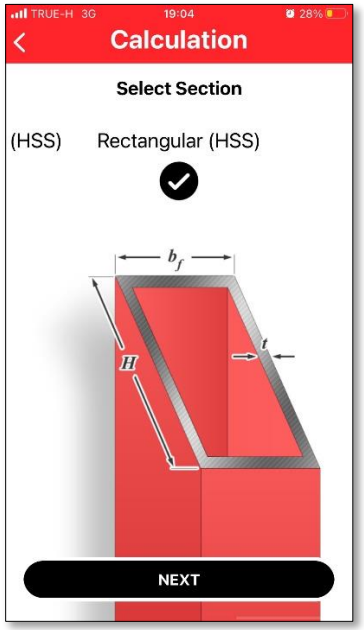


Design Charts and Tools



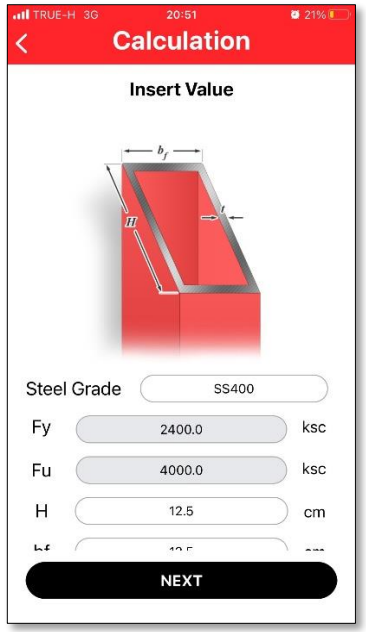
เลือกประเภทของ member ที่ต้องการคำนวณ

1



เลือกประเภทของหน้าตัด

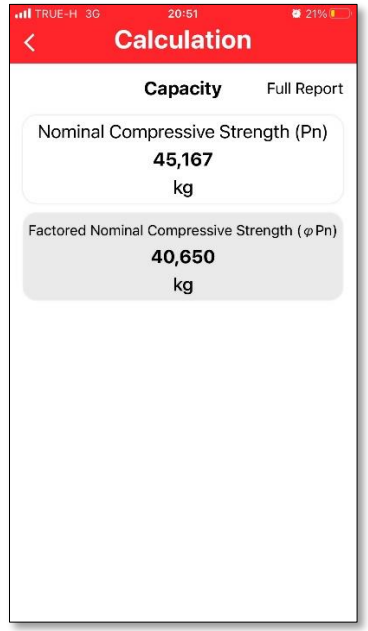
2



ใส่ค่า เกรดเหล็กและขนาดของหน้าตัด

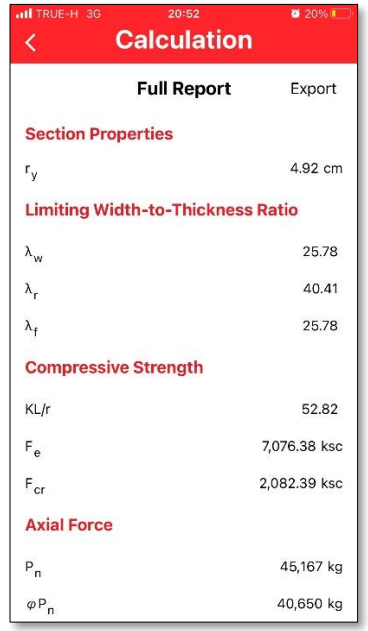
3

รอประมวลผล



ได้กำลังของ member

4



**สำหรับท่านที่ชำระเงินจะสามารถกด Full Report เพื่อดู/บันทึกค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมด

Adobe Acrobat Document

Full Report

Adobe Acrobat Document

Manual

Workshop

#WeLoveSteelConstruction

Typical Detail

TYPICAL BEAM-TO-COLUMN SHEAR CONNECTION DETAIL

TYPICAL BEAM-TO-BEAM SHEAR CONNECTION DETAIL

Workshop

#WeLoveSteelConstruction

Typical Detail

TYPICAL BEAM BRACING CONNECTION

TYPICAL DETAIL AT NOTCH BEAM

Workshop

#WeLoveSteelConstruction

Typical Detail

TYPICAL COLUMN ON BEAM DETAIL

TYPICAL HANGER DETAIL

Workshop

#WeLoveSteelConstruction

Typical Detail

TYPICAL BEAM BEARING ON COLUMN DETAIL
COL. WEB PARALLEL TO BM. WEB

TYPICAL BEAM BEARING ON COLUMN DETAIL
COL. WEB PERPENDICULAR TO BM. WEB

Be friend with us via ...

LINE ID **WeLoveSteelConstruction**: @060tlizi

https://www.facebook.com/**WeLoveSteelConstruction**

https://www.youtube.com/c/**WeLoveSteelConstruction**

https://welovesteelconstruction.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

SSI
West Coast Engineering Co.,Ltd.
SSI BUILDING TECH
SPM