

โครงสร้างเหล็ก ขั้นพื้นฐาน

We ❤️ Steel Construction
1st Mini Course
March 5, 2025

MINI COURSE:

Steel Structures 101

05 MARCH 2025



กดเพื่อลงทะเบียน



Online Streaming with zoom webinar

+ 2 CPD

Who WLSC are ?



WE ♥ STEEL CONSTRUCTION



WE LOVE STEEL CONSTRUCTION



LINE ID: @060tlizi

We
Love
Steel
Construction



visit new
WEBSITE

NEW



<https://welovesteelconstruction.ssi-steel.com>

แหล่งรวมความรู้งานโครงสร้าง

เหล็ก



มาตรฐาน วสท. 011038-22
T. Standard



OUR
PASSION



WE



STEEL
CONSTRUCTION

We Love Steel Construction อยากเห็นวิศวกรไทยมีทักษะและความรู้
ด้านงานโครงสร้างเหล็ก สามารถนำเหล็กไปใช้ในงานที่หลากหลายได้
อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม โครงสร้างมีความปลอดภัย ใช้งานได้ดี
มีความคงทนถาวร สามารถผลิตและติดตั้งที่หน้างานได้ง่าย ราคาไม่แพง
ช่วยลดผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน



FOLLOWERS

2.7K
YOUTUBE

1.2K
WEBSITE

2.8K
LINE

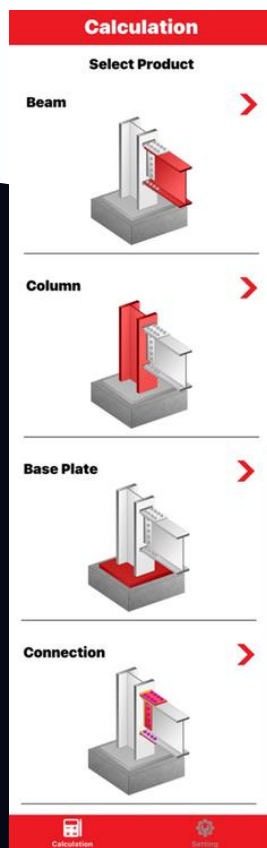
33K
FACEBOOK



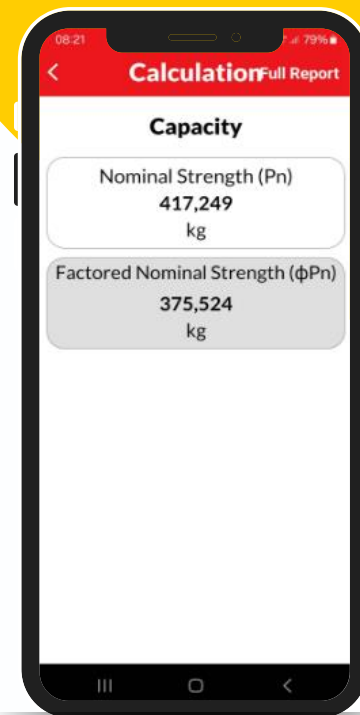


SSI STEEL DESIGN APPLICATION

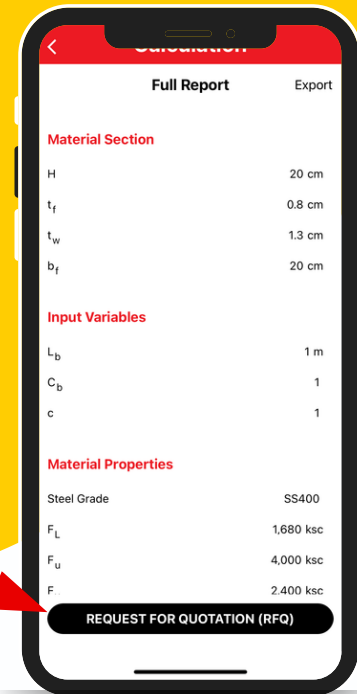
“ แอปพลิเคชันที่
ช่วยให้การ
คำนวณ
ของคุณง่ายขึ้น
เพียงแค่
ปลายนิ้วสัมผัส ”



คำนวณ
Capacity
เสา คาน
Base Plate
จุดต่อ



สามารถกด
Request
for
Quotation
(RFQ)
เพื่อขอราคา
เบื้องต้น



ดาวน์โหลดฟรี!



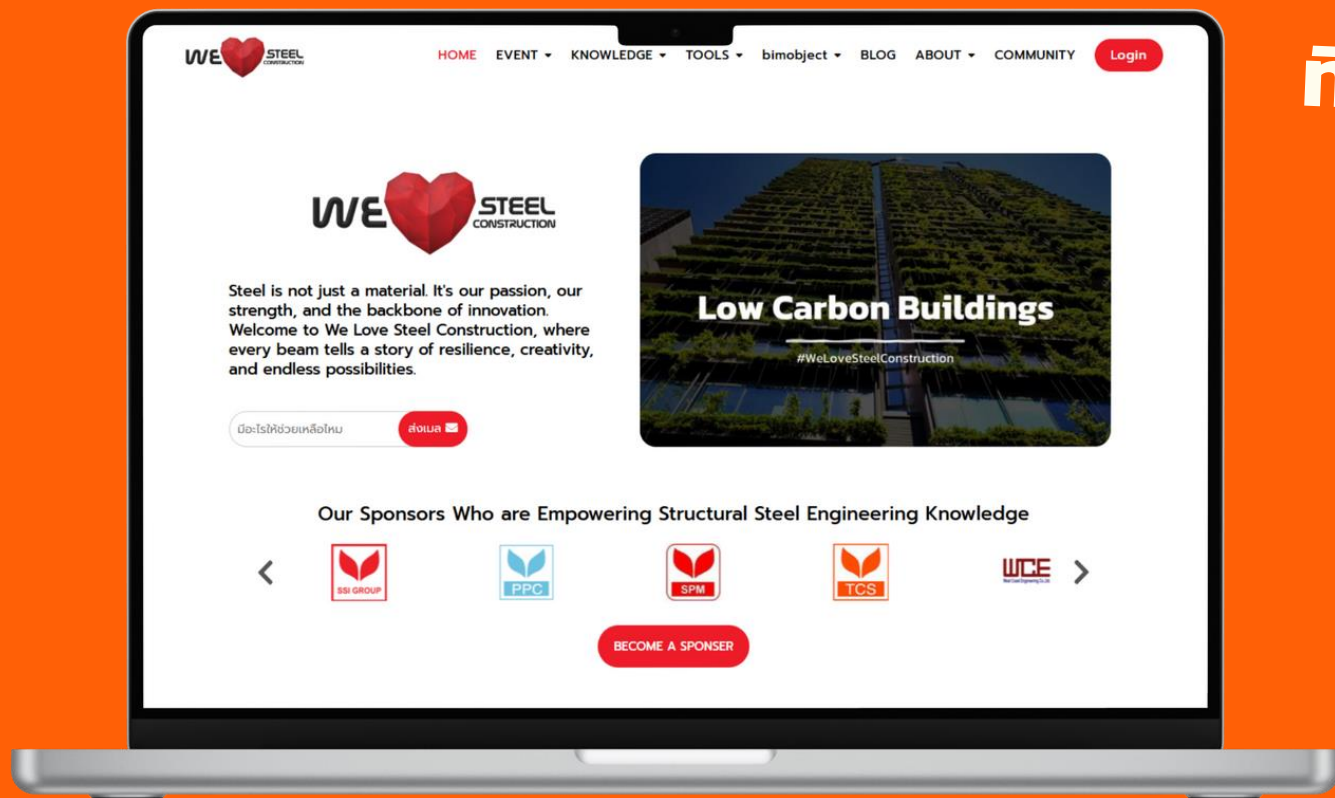
new WEBSITE

ไฟล์ PDF เอกสารต่างๆ ใน
KNOWLEDGE > PDF

มี **EVENT MINI-COURSE** ฟรี
ตลอดทั้งปี

Project Highlight
ที่หน้า **HOME**

รวมบทความ
ความรู้ต่างๆ
ไว้ใน **BLOG**



สแกนเพื่อสมัครสมาชิก

Highlight
Event

**SSI STEEL
CONSTRUCTION
FORUM**

2025



สแกนเพื่อสมัครสมาชิก

3 STEP TO REGISTER

1



กรอกข้อมูลให้เรียบร้อย

กรอกข้อมูลสมาชิกให้เรียบร้อย โดยรหัสผ่านจะต้องมี ตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก พิมพ์ใหญ่ ตัวเลข ตัวอักษรพิเศษ และมีความยาว 12 - 30 ตัว

2



รออีเมลล์ ยืนยัน

ท่านจะได้รับ อีเมลยืนยันการลงทะเบียน
"Please Activate Your Account" โดยถ้าไม่พบในกล่องข้อความ สามารถตรวจสอบได้ที่ junk mail หรืออีเมลขยะของท่านได้

3



ยืนยันการสมัคร

กดที่ "Activate Your Account" เท่านั้นเป็นอันเรียบร้อย จากนั้นก็เข้าสู่ระบบอัตโนมัติ

เป็นสมาชิก
WEBSITE
WLSC
เรียบร้อยแล้ว



SSI STEEL CONSTRUCTION FORUM 2024

งานสัมมนาออนไลน์รวบรวมนวัตกรรม เทคโนโลยี
และมาตรฐานงานโครงสร้างเหล็ก



4 วันเต็ม

18-19 ตุลาคม และ 1-2 พฤศจิกายน 67

DAY 1 Landmarks
สถาปัตยกรรม การออกแบบและงานก่อสร้าง

Sustainability **DAY 4**
ความยั่งยืนกับงานวิศวกรรมโยธา



Innovation
นวัตกรรมและเทคโนโลยี

Standards and Code
มาตรฐานการออกแบบ **DAY 3**



SOUVENIR
มาตรฐานเหล็กขึ้นรูปเย็น



Next to 2025

with
theme

Beyond the Basics

Pushing the Boundaries of Steel Construction with
Future-Proof Innovation for Our Sustainability



SOUVENIR

หนังสือโงทย์โครงสร้างเหล็กพร้อมวิธีการคำนวณ

ASD-LRFD STEEL DESIGN EXAMPLES

by We Love Steel Construction

สารบัญ

I. INTRODUCTION.....09

All Innovation From SSI

II. COLUMN.....14

การออกแบบเสา

การออกแบบ CFT column

III. BEAM.....18

การออกแบบคาน

การออกแบบ composite beam

การออกแบบ built-up beam

IV. CONNECTION.....29

การออกแบบจุดต่อ shear connection

การออกแบบจุดต่อ flange-plate moment connection

การออกแบบจุดต่อ end-plate moment connection

V. BASE PLATE.....35

การออกแบบ base plate - no moment

การออกแบบ base plate - small moment

การออกแบบ base plate - large moment

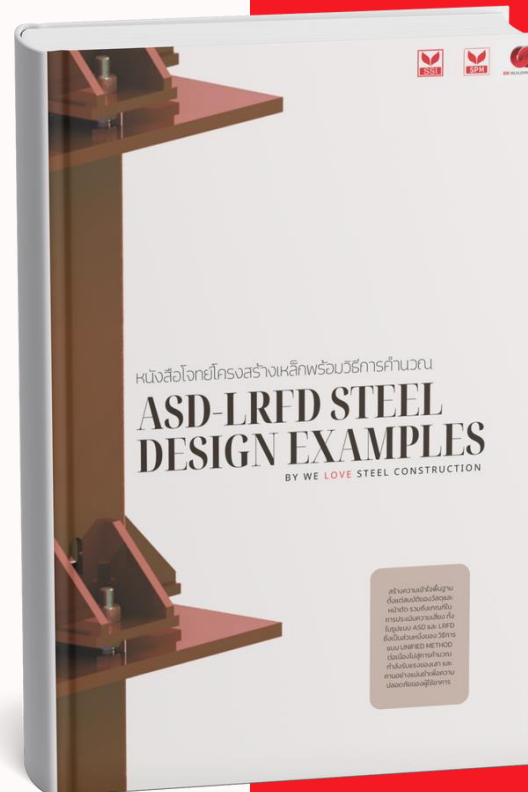
VI. BRACING43

การออกแบบ bracing

VII. POSTCONNEX.....52

ตัวอย่างการออกแบบอาคารเตี้ย

หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นขึ้นที่ 1 เพื่อเป็นกรณีศึกษาความรู้ทางวิศวกรรมโยธา สำหรับบุคคลทั่วไปและวิศวกรรุ่นใหม่ ไม่สามารถนำไปอ้างอิงสำหรับงานก่อสร้างได้ แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการคำนวณออกแบบทั้งนี้ทั้งนั้น ผู้ออกแบบต้องมีความรู้และความเข้าใจเพื่องานก่อสร้างที่มั่นคงและปลอดภัยในอนาคต



ตัวอย่าง เนื้อหา ในเล่ม

RTU Steel Section
Ready for Beams and Columns

SSI STEEL DESIGN APPLICATION

RTU Steel Section คือ Ready-For-Use Steel Section ที่ผลิตขึ้นจากโรงงาน RTU Steel Section ที่มีมาตรฐาน ISO 9001:2015 และ ISO 14001:2015 โดย RTU Steel Section มีบริการจัดส่งทั่วประเทศ และสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการผลิต

SSI STEEL DESIGN APPLICATION คือ Application ของ SSI ที่สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการผลิต

RTU Steel Section คือ Ready-For-Use Steel Section ที่ผลิตขึ้นจากโรงงาน RTU Steel Section ที่มีมาตรฐาน ISO 9001:2015 และ ISO 14001:2015 โดย RTU Steel Section มีบริการจัดส่งทั่วประเทศ และสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการผลิต

SSI STEEL DESIGN APPLICATION คือ Application ของ SSI ที่สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการผลิต

Base Plate design
การออกแบบแผ่นรองฐาน

การออกแบบแผ่นรองฐาน

การออกแบบแผ่นรองฐาน (Base Plate) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเชื่อมต่อระหว่างเสาและคาน โดยแผ่นรองฐานจะรับน้ำหนักจากเสาและคาน และส่งน้ำหนักนี้ลงสู่ฐานราก

การออกแบบแผ่นรองฐานต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ขนาดของเสาและคาน, ประเภทของวัสดุ, และสภาพแวดล้อม

การออกแบบแผ่นรองฐาน (Base Plate) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเชื่อมต่อระหว่างเสาและคาน โดยแผ่นรองฐานจะรับน้ำหนักจากเสาและคาน และส่งน้ำหนักนี้ลงสู่ฐานราก

การออกแบบแผ่นรองฐานต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ขนาดของเสาและคาน, ประเภทของวัสดุ, และสภาพแวดล้อม

Base Plate (1) (1) (1)

Base Plate (2) (2) (2)

การออกแบบแผ่นรองฐาน (Base Plate) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเชื่อมต่อระหว่างเสาและคาน โดยแผ่นรองฐานจะรับน้ำหนักจากเสาและคาน และส่งน้ำหนักนี้ลงสู่ฐานราก

การออกแบบแผ่นรองฐานต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ขนาดของเสาและคาน, ประเภทของวัสดุ, และสภาพแวดล้อม

การออกแบบแผ่นรองฐาน (Base Plate) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเชื่อมต่อระหว่างเสาและคาน โดยแผ่นรองฐานจะรับน้ำหนักจากเสาและคาน และส่งน้ำหนักนี้ลงสู่ฐานราก

การออกแบบแผ่นรองฐานต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ขนาดของเสาและคาน, ประเภทของวัสดุ, และสภาพแวดล้อม

Have you specified steel products correctly?

ระบบการหล่อต่อเนื่อง

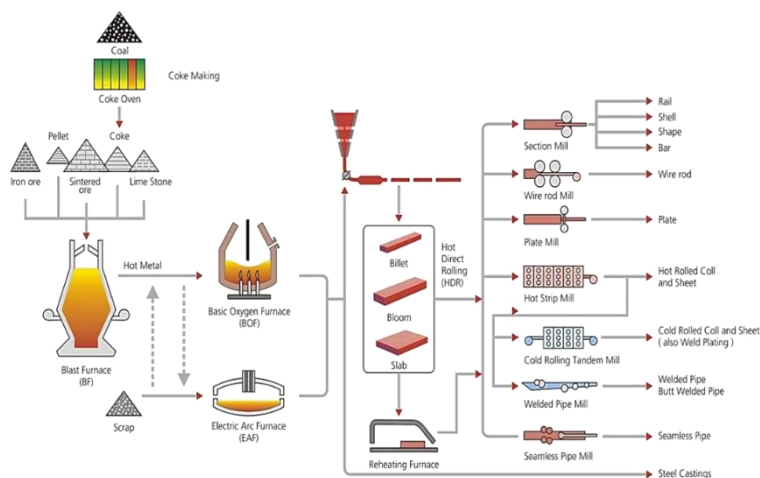
โดย Corus Group

เป็นกระบวนการผลิต “ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ (semi-finished product)” ซึ่งประกอบไปด้วย Billet (แท่งเหล็กเล็ก สำหรับผลิตเหล็กเส้น) Bloom (แท่งเหล็กใหญ่ สำหรับผลิตเหล็กรูปพรรณรีดร้อน) หรือ Slab (เหล็กแท่งแบน สำหรับผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน หรือเหล็กแผ่นหนา) ที่นำเหล็กหลอมเหลวได้ไหลผ่านแบบหล่อ (mold) อย่างต่อเนื่องและแข็งตัวเป็น ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ (semi-finished product) ซึ่งสามารถตัดและนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปต่อไป

Hot Rolling

โดย Corus Group

เป็นกระบวนการรีดเหล็กด้วยความร้อน โดยส่วนใหญ่ใช้ semi-finished product ไม่ว่าจะเป็น Billet (ผลิตเหล็กเส้น เหล็กหลอด เหล็กเพลลา) Bloom (ผลิตเหล็กรูปพรรณรีดร้อน H beam) และ Slab (ผลิตเหล็กแผ่นหนา เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน) โดยนำไปเผาใน reheating furnace แล้วจึงนำไปผ่านลูกรีด เพื่อรีดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ



Ref: www.forbesmarshall.com

การผลิตท่อเหล็ก

โดย Corus Group

สำหรับท่อเหล็กขนาดทั่วไป ที่ความหนาท่อไม่เกิน 12 mm นิยมใช้การผลิตด้วยวิธีการพับขึ้นรูปเย็น (cold-forming) และเชื่อมต่อเนื่องด้วยวิธีการเชื่อม ERW หรือ Electric Resistance Welding ซึ่งเป็นการเชื่อมที่อาศัยการเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้า ทำให้เหล็กที่ต้องการเชื่อมเกิดการหลอมละลาย โดยไม่ต้องมีการเติมลวดเชื่อม แต่สำหรับท่อเหล็กที่หนามาก อาจพิจารณาใช้การกด (pressing) แล้วจึงทำการเชื่อมด้วยวิธี Submerged Arc Welding (SAW) ซึ่งจะเห็นการเติมลวดเชื่อมและการใช้ flux คลุมบริเวณรอยเชื่อมเพื่อรักษาคุณภาพรอยเชื่อมให้สมบูรณ์

การผลิต metal deck

โดย Corus Group

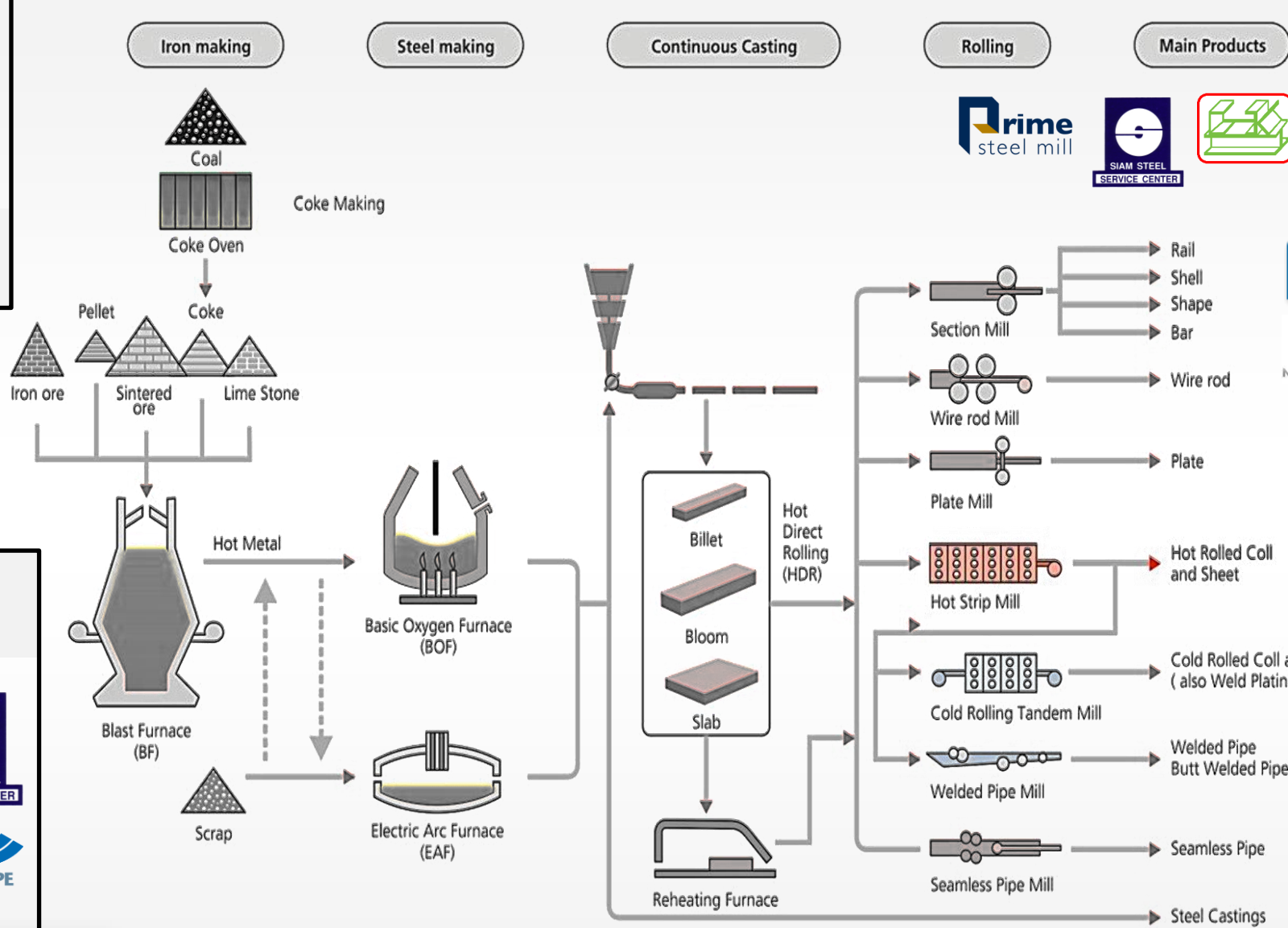
Metal deck เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเหล็กแผ่นรีดเย็นชนิดม้วน ที่ผ่านการชุบสังกะสี มาเข้ากระบวนการพับขึ้นรูปเย็น (cold forming) ให้เป็นลอน (rib) และเนื่องจาก metal deck จะต้องใช้ร่วมกับคอนกรีตที่จะเทในพื้น metal deck ที่ปูเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงต้องมีการทำปุ่ม (embossment) ที่ลอน เพื่อให้เกิด friction ระหว่างผิวคอนกรีตและ metal deck อันส่งผลให้ คอนกรีตและ metal deck มีพฤติกรรมร่วมกัน (composite) ในการรับน้ำหนัก



Special Steel & Stainless

Fabrication & Erection





Main Products





ผลิต

เหล็กรูปพรรณรีดร้อน



เหล็กแผ่นหนา



เหล็กเส้น



ท่อเหล็ก เหล็กขึ้นรูปเย็น



เหล็กรีดเย็น



Metal sheet



เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน



Service & Sales



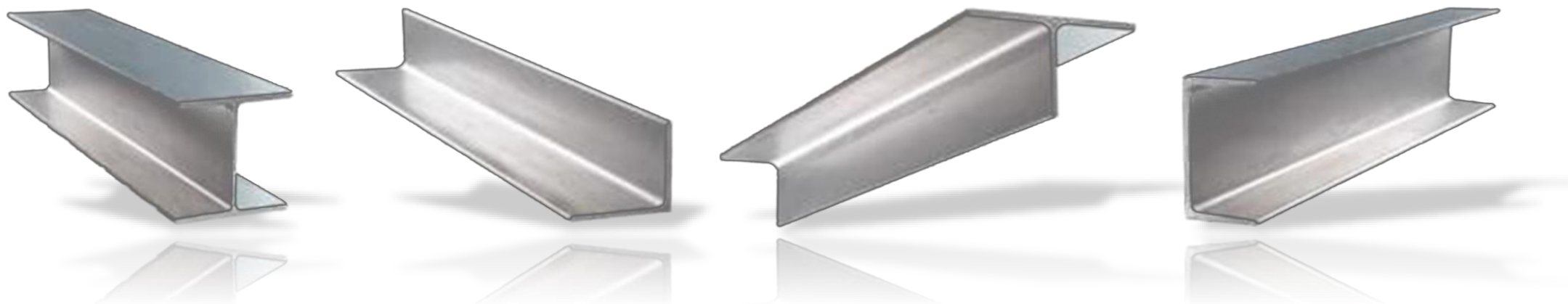
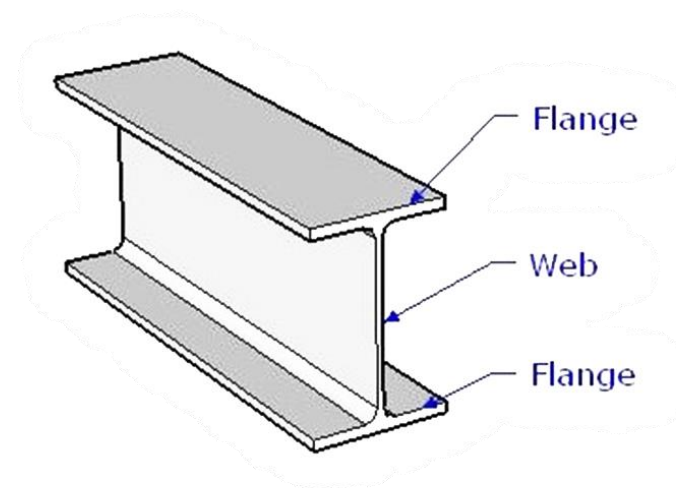
ก่อสร้าง



ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

1. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
(Hot-Rolled Structural Steel Section)
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
(Cold-Formed Structural Steel Section)
3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบ
(Built-Up Structural Steel Section)

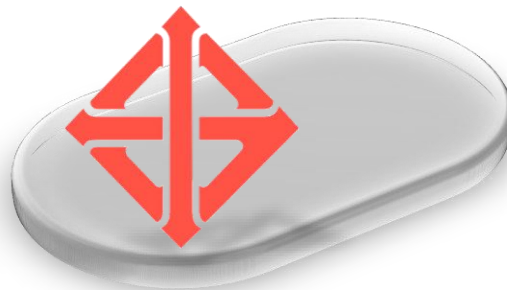
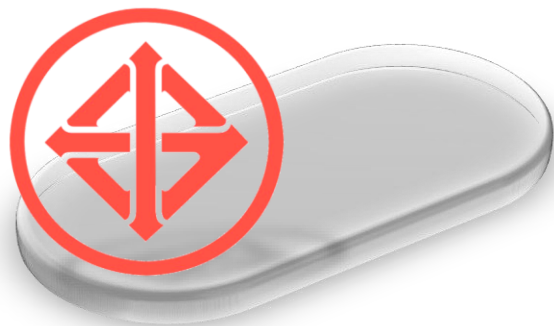


ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

1. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
(Hot-Rolled Structural Steel Section)
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
(Cold-Formed Structural Steel Section)
3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบ
(Built-Up Structural Steel Section)

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	คาร์บอน สูงสุด	ซิลิคอน สูงสุด	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส สูงสุด	กำมะถัน สูงสุด
SM 400	0.20	0.35	0.60 ถึง 1.40	0.035	0.035
SM 490	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 520	0.20	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 570	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SS 400	-	-	-	0.050	0.050
SS 490	-	-	-	0.050	0.050
SS 540	0.30	-	1.60 สูงสุด	0.040	0.040



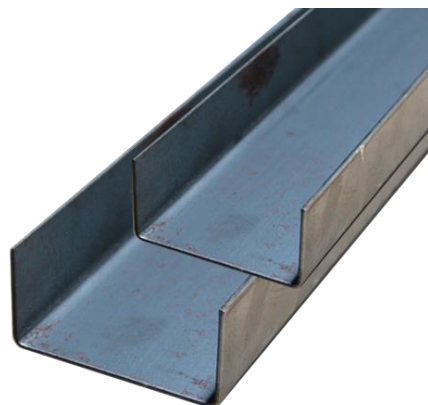
- SS = Steel Structure
- SM = Steel Marine
- SS400, SS490 ไม่ควบคุม C, Si, Mn จึงไม่เหมาะกับการเชื่อม
- 400 490 520 540 570 สะท้อน tensile strength ของวัสดุ

ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

1. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
(Hot-Rolled Structural Steel Section)
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
(Cold-Formed Structural Steel Section)
3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบ
(Built-Up Structural Steel Section)

แบบ		รูปภาคตัด
เหล็กฉาก (light angle steel)	ขาเท่ากัน (equal leg)	L
	ขาไม่เท่ากัน (unequal leg)	L
เหล็กรูปรางน้ำ (light channel steel)		C
เหล็กรูปตัวซี (lip channel steel)		C
เหล็กรูปตัวแซด (light Z steel)		Z
เหล็กรูปตัวแซดมีขอบ (lip Z steel)		Z
เหล็กรูปหมวก (hat steel)		H



ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

1. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
(Hot-Rolled Structural Steel Section)
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
(Cold-Formed Structural Steel Section)
3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบ
(Built-Up Structural Steel Section)



อ้างอิง	กลม STK290 400 490 500 540	จัตุรัส STK290 400 490	เหลี่ยม STK290 400 490
JIS G3444	OD 21.3 – 1,016 mm Thk 2.0 – 22 mm	ขนาด 40x40 – 350x350 mm Thk 1.6 – 12 mm	ขนาด 50x20 – 400x200 mm Thk 1.6 – 12 mm
ASTM A500	OD 21.3 – 609.6 mm Thk 2.7 – 12.7 mm	ขนาด 25.4x25.4 – 726x726 mm Thk 2.4 – 60 mm	ขนาด 76.2x50.8 – 750x500 mm Thk 3.58 – 40 mm
BS EN 10219	OD 21.3 – 1,219 mm Thk 2.0 – 25 mm	ขนาด 20x20 – 400x400 mm Thk 2.0 – 16 mm	ขนาด 40x20 – 400x300 mm Thk 2.0 – 16 mm



ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

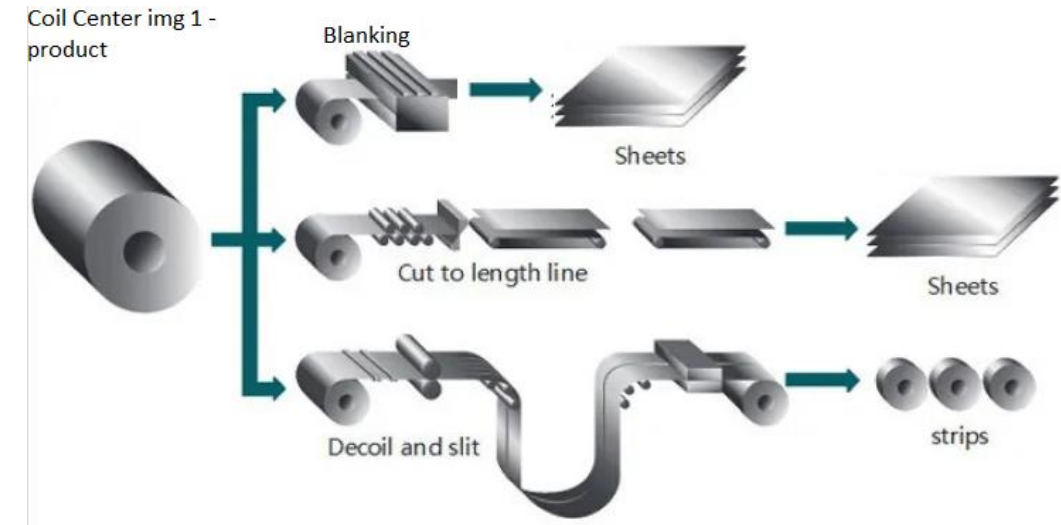
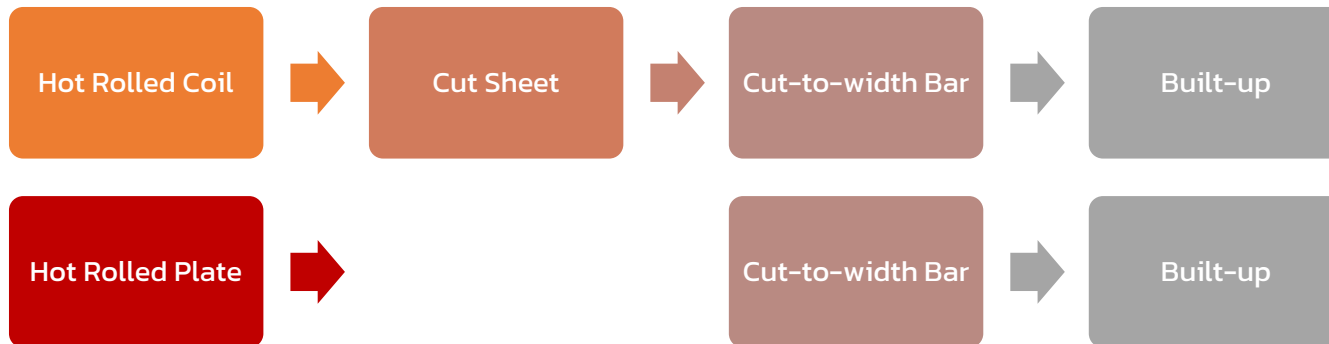
1. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
(Hot-Rolled Structural Steel Section)
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
(Cold-Formed Structural Steel Section)
3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบ
(Built-Up Structural Steel Section)



ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

1. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
(Hot-Rolled Structural Steel Section)
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
(Cold-Formed Structural Steel Section)
3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบ
(Built-Up Structural Steel Section)



ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง



1969



1973
4 Years



1977
8 Years



1991
22 Years



2010
41 Years



2019
50 Years



Hot Rolled Coil

Hot Rolled Plate



เหล็กกล้าต้านทาน
การกัดกร่อน (2982)

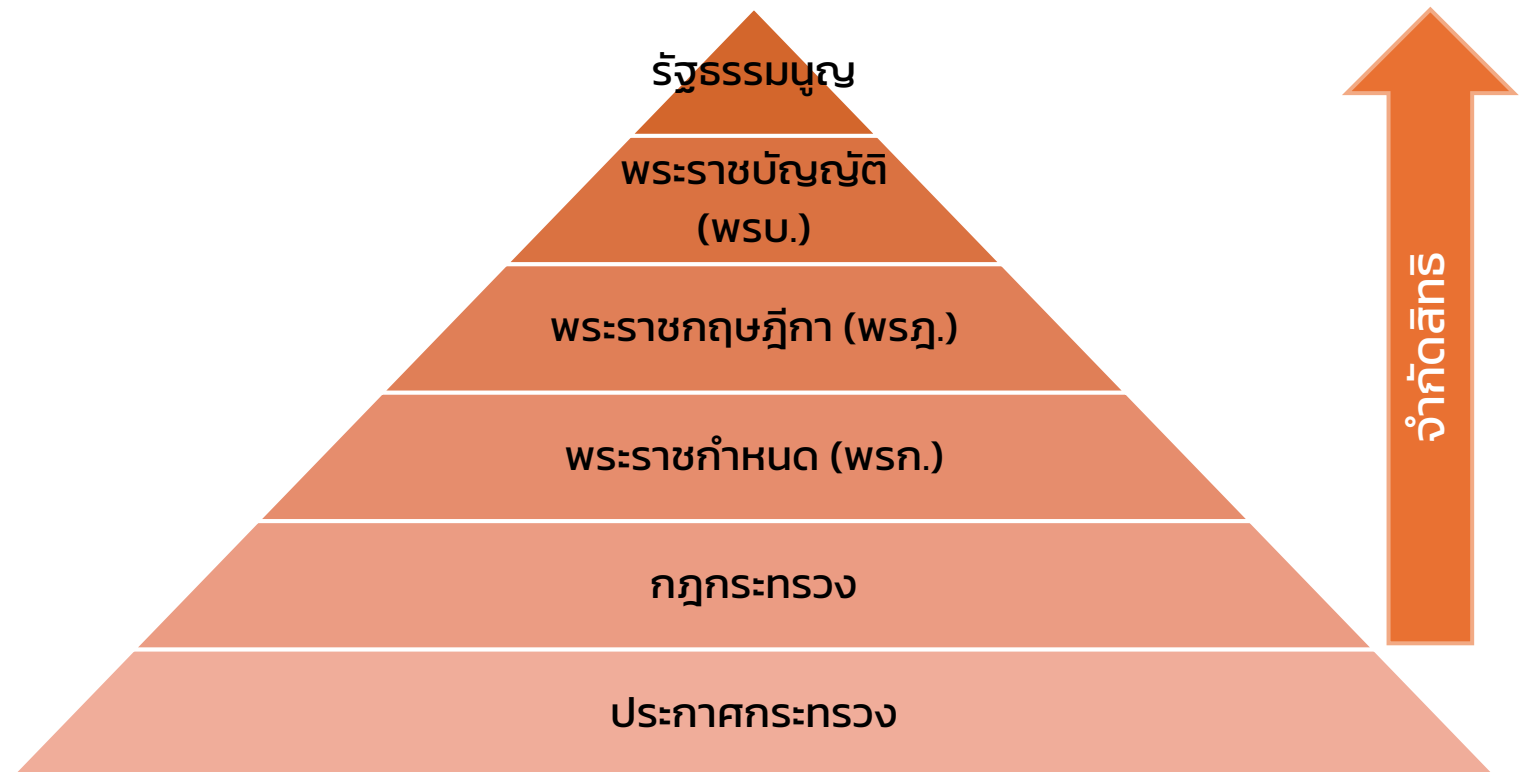
- SM400W
- SM490W
- SM520W
- SM570W

คำถามสอบเลื่อนระดับ สย. - 1

#WeLoveSteelConstruction

พรบ. เป็นกฎหมายหรือไม่

- Hierarchy of Law ลำดับชั้นของกฎหมายไทย



คำถามสอบเลื่อนระดับ สย. - 2

#WeLoveSteelConstruction

จรรยาบรรณวิชาชีพวิศวกร
เป็นกฎหมายหรือไม่

- ในปี พ.ศ. 2505 ได้มีการประกาศบังคับใช้พระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม กำหนดให้ผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ต้องมีใบอนุญาต โดยมี "คณะกรรมการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม (ก.ว.)" เป็นผู้พิจารณาออกใบอนุญาต สำหรับ ก.ว. จะมีสำนักงานภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย โดยในระยะแรกมีการกำหนดวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมไว้ 5 สาขา คือ วิศวกรรมโยธา เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม และวิศวกรรมเหมืองแร่
- ต่อมาในปี พ.ศ. 2542 ได้มีการประกาศบังคับใช้พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 กำหนดให้การออกใบอนุญาตเป็นอำนาจหน้าที่ของสภาวิศวกร ซึ่งในปัจจุบันสาขาวิศวกรรมควบคุมประกอบไปด้วย 7 สาขา (ที่จะต้องออกใบอนุญาต) ได้แก่ (1) วิศวกรรมโยธา (2) วิศวกรรมเหมืองแร่ (3) วิศวกรรมเครื่องกล (4) วิศวกรรมไฟฟ้า (5) วิศวกรรมอุตสาหกรรม (6) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (7) วิศวกรรมเคมี

Disguise



เกณฑ์

- หมายถึง หลักที่กำหนดขึ้น หรือ หลักในการพิจารณาตัดสิน/วินิจฉัย
- เป็นตัวชี้วัด ทั้งที่วัดปริมาณได้ (measurable) และวัดปริมาณไม่ได้ เช่น เกณฑ์ดุลพินิจ
- มีทั้งนัยยะเชิงบังคับ (mandatory) และเชิงไม่บังคับ (voluntary)
- องค์ประกอบต้องมี ผู้กำหนดและบังคับใช้ ตัวเกณฑ์ และผู้ที่ต้องการเข้าอยู่ในเกณฑ์
- ถ้าเป็นเกณฑ์ที่ผู้กำหนดและบังคับใช้เกณฑ์เป็นเจ้าหน้าที่รัฐ (เจ้าพนักงาน) เรียกว่า “กฎหมาย”
- มีลำดับศักดิ์ของกฎหมาย (Hierarchy of Law) จาก รัฐธรรมนูญ พระราชบัญญัติ (พรบ.) พระราชกฤษฎีกา (พรก.) พระราชกำหนด (พรก.) กฎกระทรวง ข้อบัญญัติท้องถิ่น ประกาศกระทรวง (แจ้งเพื่อทราบ ไม่ได้มีผลบังคับ)

กฎหมายในงานก่อสร้าง (1)

งานก่อสร้าง เกี่ยวข้องกับหลายส่วน ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ การออกแบบ การขออนุญาตก่อสร้าง

- กฎหมายว่าด้วยเกณฑ์ผลิตภัณฑ์งานก่อสร้าง
- กฎหมายว่าด้วยการออกแบบในเชิงวิศวกรรมโครงสร้าง
- กฎหมายว่าด้วยความรู้ความชำนาญของวิศวกรผู้ปฏิบัติงาน
- กฎหมายว่าด้วยความปลอดภัยของแรงงานก่อสร้าง
- กฎหมายว่าด้วยการควบคุมมลพิษจากพื้นที่ก่อสร้าง
- ฯลฯ

กฎหมายในงานก่อสร้าง (2)

งานก่อสร้าง เกี่ยวข้องกับหลายส่วน ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ การออกแบบ การขออนุญาตก่อสร้าง

- กฎหมายว่าด้วยเกณฑ์ผลิตภัณฑ์งานก่อสร้าง

- **กฎหมายแม่ :**

- พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 (แก้ไขล่าสุด ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2562)

- **เจ้าพนักงานผู้ออกกฎหมาย และ บังคับใช้กฎหมาย :**

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)

- **เกณฑ์ :**

- (1) มาตรฐานบังคับ (2) มาตรฐานทั่วไป

- **ผู้ถูกบังคับ :**

- ผู้ที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ (maker) โดยถ้าเป็นมาตรฐานบังคับ ผู้ที่ต้องการผลิตจำเป็นต้องขอใบรับรอง ว่าสามารถผลิตสินค้าได้ตามมาตรฐาน (บังคับให้ขอ ไม่ขอไม่ได้) ในขณะที่ถ้าเป็นมาตรฐานทั่วไป ผู้ผลิตไม่จำเป็นต้องขอใบรับรอง หากไม่ประสงค์จะได้รับการตีตรามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กฎหมายในงานก่อสร้าง (3)

งานก่อสร้าง เกี่ยวข้องกับหลายส่วน ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ การออกแบบ การขออนุญาตก่อสร้าง

- กฎหมายว่าด้วยการออกแบบในเชิงวิศวกรรม
 - **กฎหมายแม่ :**
พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (แก้ไขล่าสุด ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2558)
 - **เจ้าพนักงานผู้ออกกฎหมาย :**
กระทรวงมหาดไทย
 - **เจ้าพนักงานผู้บังคับใช้กฎหมาย :**
องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) รูปแบบทั่วไป (อบจ. อบต. เทศบาล) รูปแบบพิเศษ (กทม. พัทยา)
 - **เกณฑ์ :**
ควบคุม (1) การสถาปัตยกรรม zoning (2) ความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร (3) ความปลอดภัยของผู้อาศัยหรือใช้อาคาร (4) การป้องกันอัคคีภัยภายในอาคาร (5) การสาธารณสุขและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (6) การอำนวยความสะดวกแก่การจราจร
 - **ผู้ถูกบังคับ :**
ผู้ต้องการขออนุญาตก่อสร้าง และขอใช้อาคาร



กฎกระทรวง

กำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร
และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร
พ.ศ. ๒๕๖๖

กฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้าง พ.ศ. 2566

#WeLoveSteelConstruction

- ออกตามความใน พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ทดแทนกฎกระทรวง 3 ฉบับคือ กฏ 6 (พ.ศ. 2527) กฏ 48 (พ.ศ. 2540) และ กฏ 60 (พ.ศ. 2547)
- กำหนด load combination ทั้งสำหรับการคำนวณแบบ Allowable "Stress" Design (ASD) และ Load and Resistance Factor Design (LRFD)

ข้อ ๖ การออกแบบและคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารตามวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงสูงสุดที่คำนวณจากชุดตัวคูณน้ำหนักบรรทุกทุก แล้วแต่กรณี ดังต่อไปนี้

(๑) ส่วนของอาคารที่คิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

$$\text{นง.} = \text{นค.} + \text{นจ.}$$

(๒) ส่วนของอาคารที่คิดแรงลม

$$\text{นง.} = \text{นค.} + ๐.๗๕ (\text{นจ.} + \text{รล.})$$

$$\text{นง.} = ๐.๖ \text{ นค.} + \text{รล.}$$

(๓) ส่วนของอาคารที่คิดแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

$$\text{นง.} = \text{นค.} + ๐.๗ \text{ รผ.}$$

$$\text{นง.} = \text{นค.} + ๐.๕๒๕ \text{ รผ.} + ๐.๗๕ \text{ นจ.}$$

$$\text{นง.} = ๐.๖ \text{ นค.} + ๐.๗ \text{ รผ.}$$

(๔) ส่วนของอาคารที่คิดแรงดันดิน แรงดันน้ำ แรงดันจากของเหลว และผลของอุณหภูมิ การหดตัว การคืบ และการทรุดตัว

$$\text{นง.} = \text{นค.} + \text{นจ.} + \text{รด.} + \text{รข.} + \text{รท.}$$

เมื่อ นง. = น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

นค. = น้ำหนักบรรทุกคงที่

นจ. = น้ำหนักบรรทุกจร รวมด้วยแรงกระแทก

รล. = แรงลม

รผ. = แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

รด. = แรงดันดินหรือแรงดันน้ำด้านข้าง

รข. = แรงดันจากของเหลว

รท. = แรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การหดตัว การคืบ และการทรุดตัว

ข้อ ๗ การออกแบบและคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารตามวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ให้ใช้ค่าของแรงสูงสุดที่คำนวณจากชุดตัวคูณน้ำหนักบรรทุกทุก แล้วแต่กรณี ดังต่อไปนี้

(๑) ส่วนของอาคารที่คิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

$$\text{นป.} = ๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๗ \text{ นจ.}$$

(๒) ส่วนของอาคารที่คิดแรงลม

$$\text{นป.} = ๐.๗๕ (๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๗ \text{ นจ.}) + ๑.๖ \text{ รล.}$$

$$\text{นป.} = ๐.๙ \text{ นค.} + ๑.๖ \text{ รล.}$$

(๓) ส่วนของอาคารที่คิดแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

$$\text{นป.} = ๐.๗๕ (๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๗ \text{ นจ.}) + ๑.๐ \text{ รผ.}$$

$$\text{นป.} = ๐.๙ \text{ นค.} + ๑.๐ \text{ รผ.}$$

(๔) ส่วนของอาคารที่คิดแรงดันดิน แรงดันน้ำ และแรงดันจากของเหลว

$$\text{นป.} = ๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๗ \text{ นจ.} + ๑.๗ \text{ รด.}$$

$$\text{นป.} = ๐.๙ \text{ นค.} + ๑.๗ \text{ รด.}$$

$$\text{นป.} = ๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๗ \text{ นจ.} + ๑.๔ \text{ รข.}$$

$$\text{นป.} = ๐.๙ \text{ นค.} + ๑.๔ \text{ รข.}$$

(๕) ส่วนของอาคารที่คิดผลของอุณหภูมิ การหดตัว การคืบ และการทรุดตัว

$$\text{นป.} = ๐.๗๕ (๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๔ \text{ รท.} + ๑.๗ \text{ นจ.})$$

$$\text{นป.} = ๑.๔ \text{ นค.} + ๑.๔ \text{ รท.}$$

เมื่อ นป. = น้ำหนักบรรทุกปรับค่า

นค. = น้ำหนักบรรทุกคงที่

นจ. = น้ำหนักบรรทุกจร รวมด้วยแรงกระแทก

รล. = แรงลม

รผ. = แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

รด. = แรงดันดินหรือแรงดันน้ำด้านข้าง

รข. = แรงดันจากของเหลว

รท. = แรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การหดตัว การคืบ และการทรุดตัว

กฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้าง พ.ศ. 2566

#WeLoveSteelConstruction

- การออกแบบโครงสร้างเหล็ก หากพิจารณา resistance factor ตามกฎกระทรวง จะแตกต่างกันในส่วน of shear yielding resistance factor สำหรับ H-beam ที่หากอ้างอิง AISC 360 หรือ วสท. 011038 จะกำหนดไว้ที่ 1.0 ซึ่งอาจทำให้การออกแบบโดยอ้างอิงกฎกระทรวงมีความ conservative มากขึ้น

สำหรับอาคารโครงสร้างเหล็กที่ไม่ได้เกิดการวิบัติในลักษณะเฉพาะแห่ง ให้ใช้ตัวคูณความต้านทานดังต่อไปนี้

ประเภทขององค์อาคาร	ตัวคูณความต้านทาน
(๑) องค์อาคารรับแรงดึง	
(๑.๑) ที่สภาวะจำกัดในลักษณะการคราก	๐.๙๐
(๑.๒) ที่สภาวะจำกัดในลักษณะการขาด	๐.๗๕
(๒) องค์อาคารรับแรงอัด	๐.๙๐
(๓) องค์อาคารรับแรงดัด	๐.๙๐
(๔) องค์อาคารรับแรงเฉือน	๐.๙๐
(๕) จุดต่อหรือสลักเกลียว	
(๕.๑) สำหรับแรงดึง	๐.๗๕
(๕.๒) สำหรับแรงเฉือน	๐.๗๕

G1. GENERAL PROVISIONS

The design shear strength, $\phi_v V_n$, and the allowable shear strength, V_n/Ω_v , shall be determined as follows:

- (a) For all provisions in this chapter except Section G2.1(a)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

- (b) The nominal shear strength, V_n , shall be determined according to Sections G2 through G7.

G2. I-SHAPED MEMBERS AND CHANNELS

1. Shear Strength of Webs without Tension Field Action

The nominal shear strength, V_n , is:

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (\text{G2-1})$$

where

F_y = specified minimum yield stress of the type of steel being used, ksi (MPa)

A_w = area of web, the overall depth times the web thickness, dt_w , in.² (mm²)

- (a) For webs of rolled I-shaped members with $h/t_w \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$

$$\phi_v = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.50 \text{ (ASD)}$$

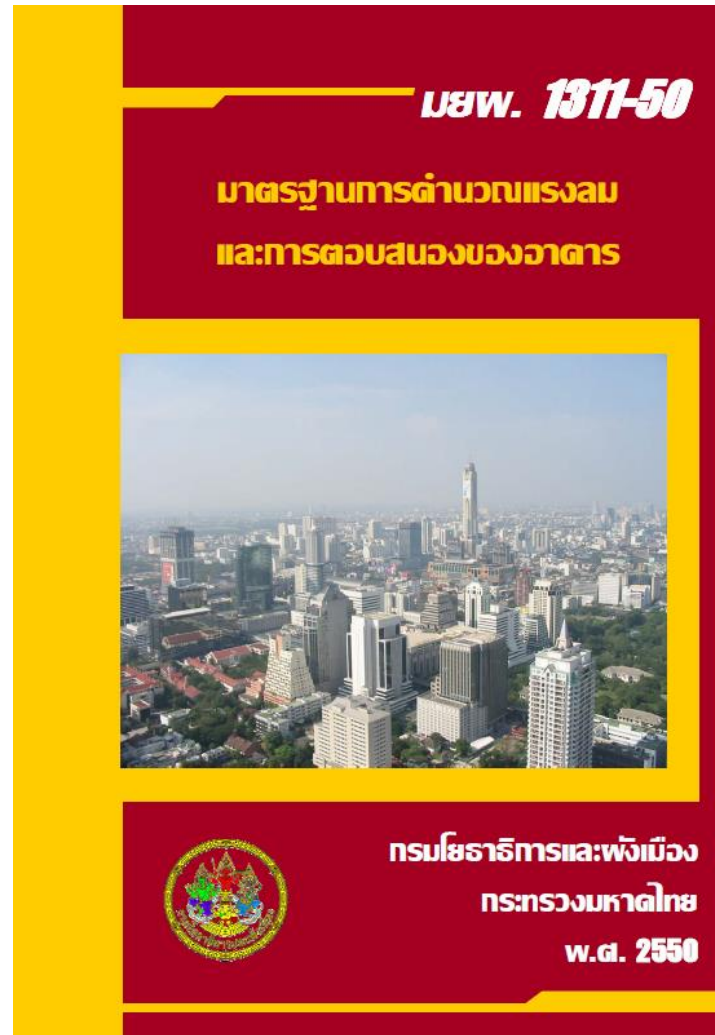
and

$$C_{v1} = 1.0 \quad (\text{G2-2})$$

กฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้าง พ.ศ. 2566

#WeLoveSteelConstruction

- การออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงลม ผู้ออกแบบอาจพิจารณาใช้ค่าแรงลมตามข้อ 17 (ตาราง 1 หรือ 2) ตามเงื่อนไขที่ระบุ (น่าจะ conservative กว่า การคำนวณแรงลมอย่างละเอียด)
- หรือสามารถตีความได้ว่าผู้ออกแบบมีทางเลือก (Optional) ไปใช้แรงลมตามหลักเกณฑ์อื่น เช่น มยพ. 1311 ที่มีความละเอียดในการคำนวณกว่าได้



แรงลม

ข้อ ๑๗ การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารที่เข้าข่ายประเภทและขนาดของงานวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ให้คำนวณแรงลมด้วย โดยให้ผู้ออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารใช้วิธีการคำนวณหน่วยแรงลม ตามที่รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา หรือหลักเกณฑ์ในเรื่องดังกล่าวที่จัดทำโดยส่วนราชการอื่นที่มีหน้าที่และอำนาจในเรื่องนั้น

การออกแบบและคำนวณโครงสร้างหลักของอาคารตามวรรคหนึ่ง ซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือคล้ายสี่เหลี่ยมที่มีความสูงไม่เกิน ๕๐ เมตร และมีความสูงไม่เกินสามเท่าของความกว้างที่น้อยที่สุดของอาคาร อาจใช้หน่วยแรงลมตามสภาพภูมิประเทศไม่น้อยกว่าอัตราในตารางที่ ๑ หรือตารางที่ ๒ แล้วแต่กรณี ส่วนอาคารสาธารณะที่มีพื้นที่ตั้งแต่ ๑,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป และมีลักษณะของอาคารดังกล่าวข้างต้น ให้เพิ่มค่าหน่วยแรงลมตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ ๑ หรือตารางที่ ๒ อีกร้อยละ ๑๕ แล้วแต่กรณี

ตารางที่ ๑ หน่วยแรงลมสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบเมืองหรือชานเมือง

ส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลม กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)
(๑) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน ๑๐ เมตร	๐.๖ (๖๐)
(๒) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน ๑๐ เมตร แต่ไม่เกิน ๒๐ เมตร	๐.๘ (๘๐)
(๓) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน ๒๐ เมตร แต่ไม่เกิน ๕๐ เมตร	๑.๒ (๑๒๐)

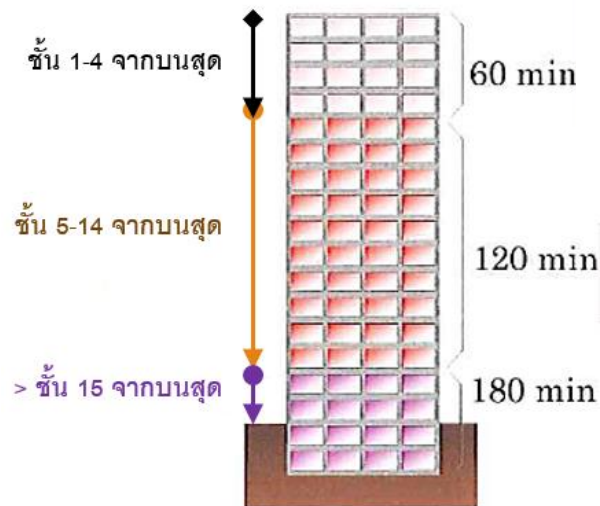
ตารางที่ ๒ หน่วยแรงลมสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบโล่งหรือชายฝั่งทะเล

ส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลม กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)
(๑) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน ๑๐ เมตร	๑.๐ (๑๐๐)
(๒) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน ๑๐ เมตร แต่ไม่เกิน ๒๐ เมตร	๑.๒ (๑๒๐)
(๓) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน ๒๐ เมตร แต่ไม่เกิน ๕๐ เมตร	๑.๖ (๑๖๐)

กฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้าง พ.ศ. 2566

#WeLoveSteelConstruction

- ปรับแก้กฎกระทรวงฉบับที่ 60 ที่กำหนดอัตราป้องกันไฟสำหรับอาคารโครงสร้างเหล็กที่ 3 ชั่วโมงเท่ากัน ในทุกชั้น (ยกเว้นโครงหลังคาสูงเกิน 8 เมตรที่มีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ) ให้ไล่ระดับตามความจำเป็นในการอพยพหนีไฟอาคาร



- ผลที่เกิดกับโครงสร้างเหล็ก คือ ต้นทุนค่าก่อสร้างอาคารโครงสร้างเหล็กจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยหากพิจารณา H-beam ขนาด 350x350 mm ที่ต้นทุนเหล็กต่อ กก. ราว 38 บาท ค่าสีกันไฟ (intumescent paint) 1 ชั่วโมง จะมีราคาประมาณ 30% ของราคาเหล็กต่อ กก. ในขณะที่ 2 ชม. และ 3 ชม.จะมีราคาค่าสีกันไฟสูงถึงราว 100% และ 200% ของราคาเหล็กต่อ กก. ตามลำดับ

ข้อ ๒๓ วัสดุไม่ติดไฟที่ใช้ก่อสร้างโครงสร้างหลักของอาคารตามข้อ ๒๒ ต้องมีอัตราการทนไฟดังต่อไปนี้

(๑) ชั้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ ๔ จากชั้นบนสุดของอาคาร โครงสร้างหลักที่เป็นเสา กำแพง รับน้ำหนัก กำแพงรับแรงเฉือน คาน ตง และพื้น ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง เว้นแต่อาคารที่ใช้เป็นสถานที่กักเก็บเชื้อเพลิงหรือวัสดุลามไฟ อาคารสูง โรงมหรสพ สถานพยาบาล อาคารสำหรับใช้เพื่อการสาธารณสุข และอาคารสำหรับใช้เพื่อการการศึกษา โครงสร้างดังกล่าว ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง

(๒) ชั้นที่ ๕ ถึงชั้นที่ ๑๔ จากชั้นบนสุดของอาคาร โครงสร้างหลักที่เป็นเสา กำแพง รับน้ำหนัก กำแพงรับแรงเฉือน คาน ตง และพื้น ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง

(๓) ชั้นที่ ๑๕ จากชั้นบนสุดของอาคารลงมา และชั้นใต้ดิน โครงสร้างหลักที่เป็นเสา กำแพงรับน้ำหนัก กำแพงรับแรงเฉือน และคาน ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสามชั่วโมง สำหรับตงและพื้นต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง

(๔) โครงสร้างหลังคาของอาคาร ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง เว้นแต่โครงสร้างหลังคาดังต่อไปนี้ ที่ไม่ต้องมีอัตราการทนไฟ

(ก) โครงสร้างหลังคาของอาคารที่มีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันไม่เกิน ๑,๐๐๐ ตารางเมตร เว้นแต่โรงมหรสพ สถานพยาบาล หรือหอประชุม

(ข) โครงสร้างหลังคาของอาคารที่อยู่สูงจากพื้นอาคารเกิน ๘.๐๐ เมตร และอาคารนั้นมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ หรือมีการป้องกันความร้อนหรือระบบระบายความร้อน มิให้เกิดอันตรายต่อโครงสร้าง

กฎหมายในงานก่อสร้าง (4)

งานก่อสร้าง เกี่ยวข้องกับหลายส่วน ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ การออกแบบ การขออนุญาตก่อสร้าง

- กฎหมายว่าด้วยความรู้ความชำนาญของวิศวกรผู้ปฏิบัติงาน

- **กฎหมายแม่ :**
พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542
- **เจ้าพนักงานผู้ออกกฎหมาย :**
กระทรวงมหาดไทย
- **เจ้าพนักงานผู้บังคับใช้กฎหมาย :**
สภาวิศวกร โดยคณะกรรมการจรรยาบรรณ
- **เกณฑ์ :**
เกณฑ์จรรยาบรรณ และคุณสมบัติของวิศวกรในสาขาวิศวกรรมควบคุม
- **ผู้ถูกบังคับ :**
วิศวกรในสาขาวิศวกรรมควบคุม 7 สาขา

จรรยาบรรณ เป็นประมวลข้อประพฤติปฏิบัติสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพ เราไม่แพ้ใครในวิชาการด้านวิศวกรรม แต่เรายังอ่อนด้อยในเรื่องคุณธรรมและจรรยาบรรณ วิศวกรหลายคนไม่ได้มุ่งผลสำเร็จของงานแต่ไปมุ่งกับชื่อเสียงและผลประโยชน์มากเกินไป วิศวกรเรียนมาเพื่อทำงาน ไม่ได้เรียนมาทำเงิน เราขอค่าตอบแทนเท่าที่เป็นธรรม ถ้าคิดแต่จะรวยและหาชื่อเสียง คุณเลือกเรียนมาผิดแล้วครับ นั่นไม่ใช่วิศวกร

นาย สุวัฒน์ เชาว์ปรีชา

อดีตที่ปรึกษา คณะกรรมการสิทธิและจรรยาบรรณ

และประธานวิศวกรอาวุโส วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

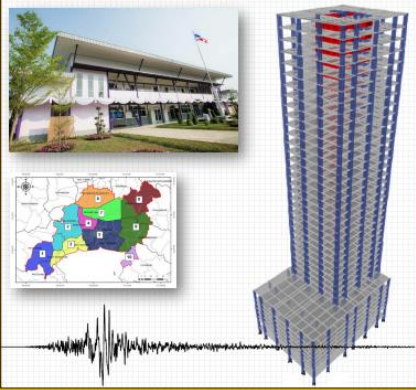


มาตรฐานงานออกแบบโครงสร้าง (1)

โดยทั่วไปไม่ได้เป็นข้อบังคับ แต่เป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการ และการกำหนดในข้อสัญญา

- มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ.)

มยพ.1301/1302-61
มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทาน
การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2561

มยพ. 1311-50
มาตรฐานการคำนวณแรงลม
และการตอบสนองของอาคาร



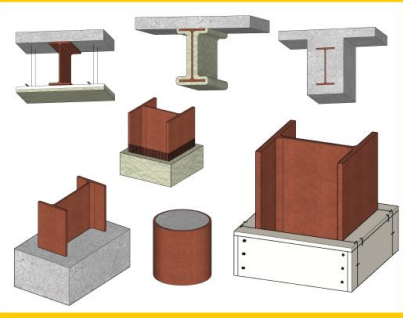
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2550

มยพ. 1333 - 61
มาตรฐานความคงทนของอาคารและ
โครงสร้างรูปพรรณ



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2561

มยพ. 8304 - 61
มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารเหล็ก
โครงสร้างรูปพรรณ



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2561

มยพ. 1561-51 ถึง มยพ. 1585-51
มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม
โครงสร้างรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2551

มาตรฐานงานออกแบบโครงสร้าง (2)

โดยทั่วไปไม่ได้เป็นข้อบังคับ แต่เป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการ และการกำหนดในข้อสัญญา

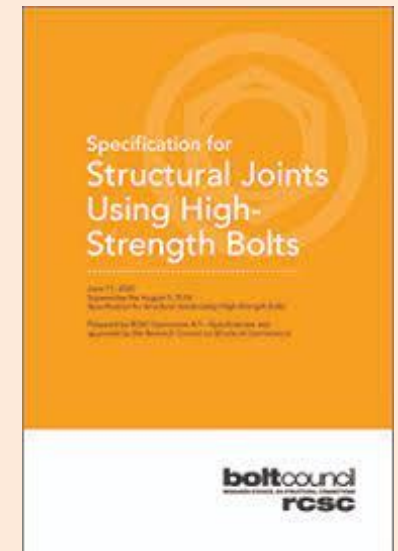
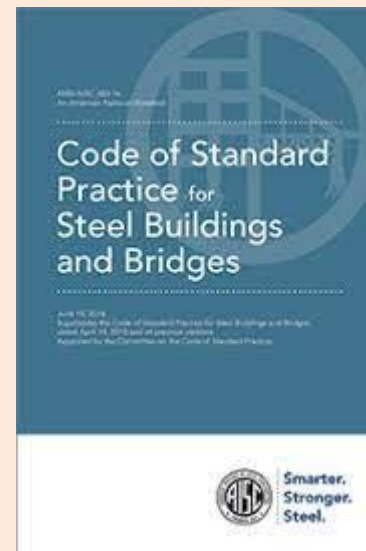
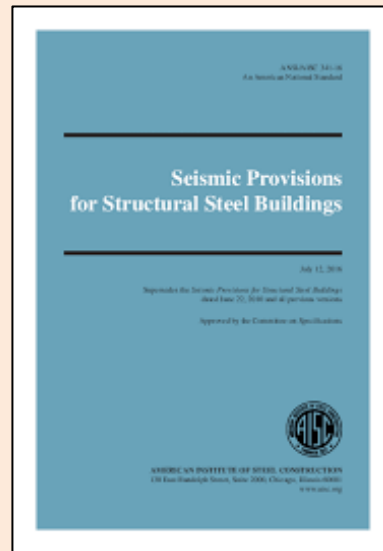
- มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (วสท.)



มาตรฐานงานออกแบบโครงสร้าง (3)

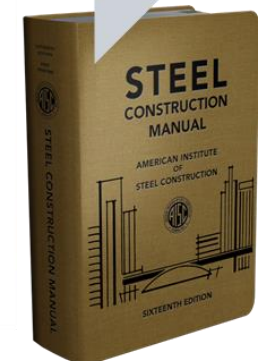
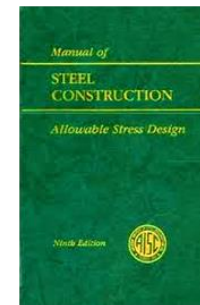
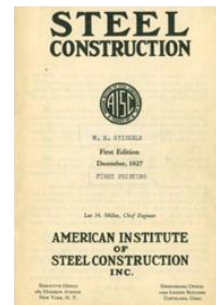
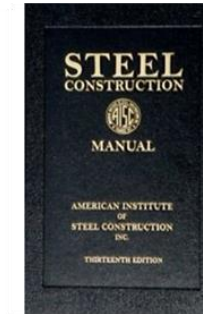
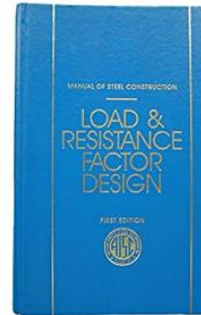
โดยทั่วไปไม่ได้เป็นข้อบังคับ แต่เป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการ และการกำหนดในข้อสัญญา

- มาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กของ**ต่างประเทศ**



ASD + LRFD = Unified Method

1921
Standard
Specification
(9 p.)



Why structural design?

#WeLoveSteelConstruction

- To secure structural safety
เพื่อความปลอดภัย
- To secure good service
เพื่อความรู้สึกที่ดีเมื่อใช้งาน
- To secure service life
เพื่ออายุการใช้งานตามต้องการ

At reasonable cost

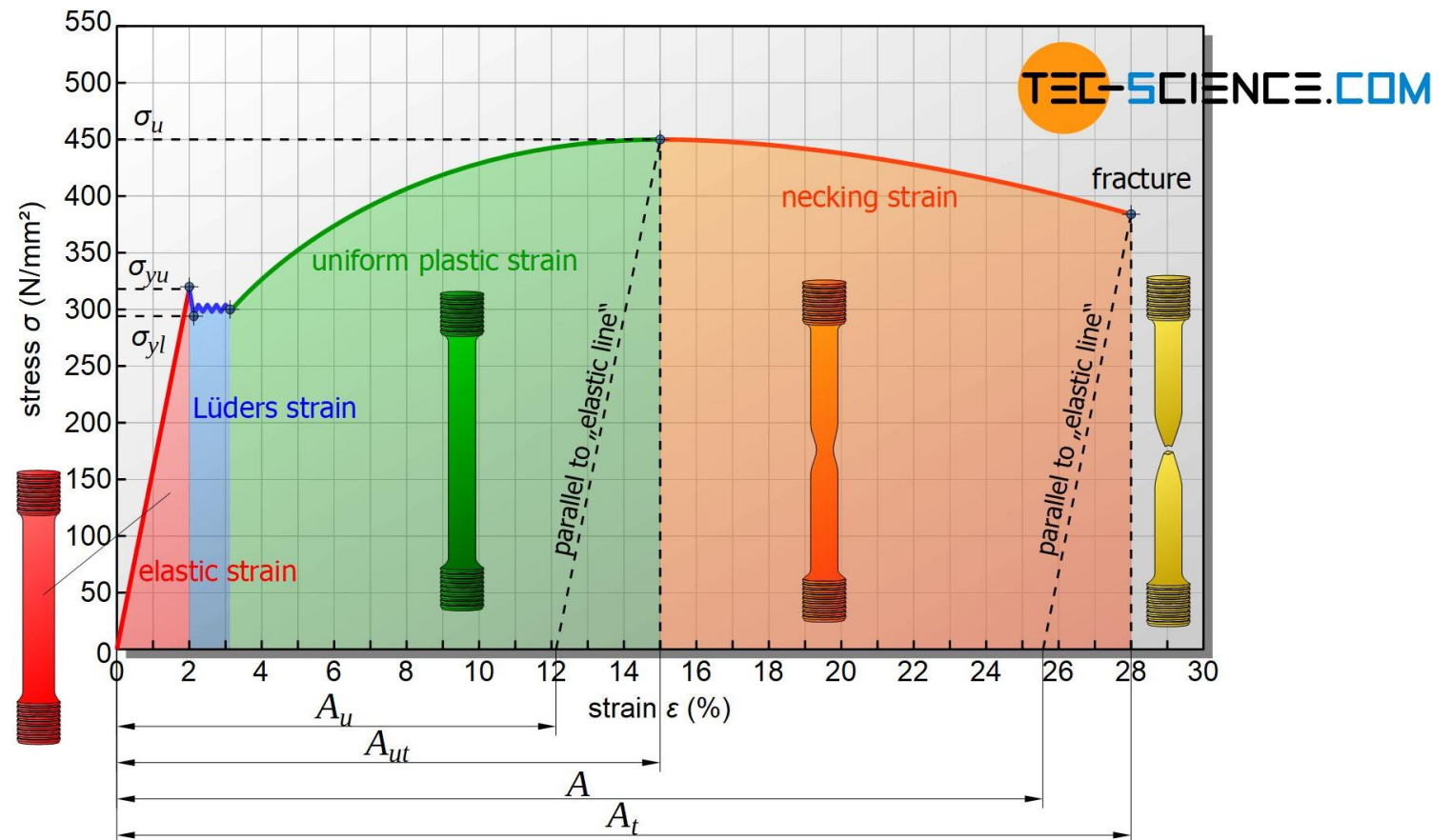
At reasonable time



Define "safety"?

#WeLoveSteelConstruction

- Is material still safe at σ_y ?
ไม่คราก = ปลอดภัย?
- Is material still safe at σ_u ?
ไม่ขาด = ปลอดภัย?



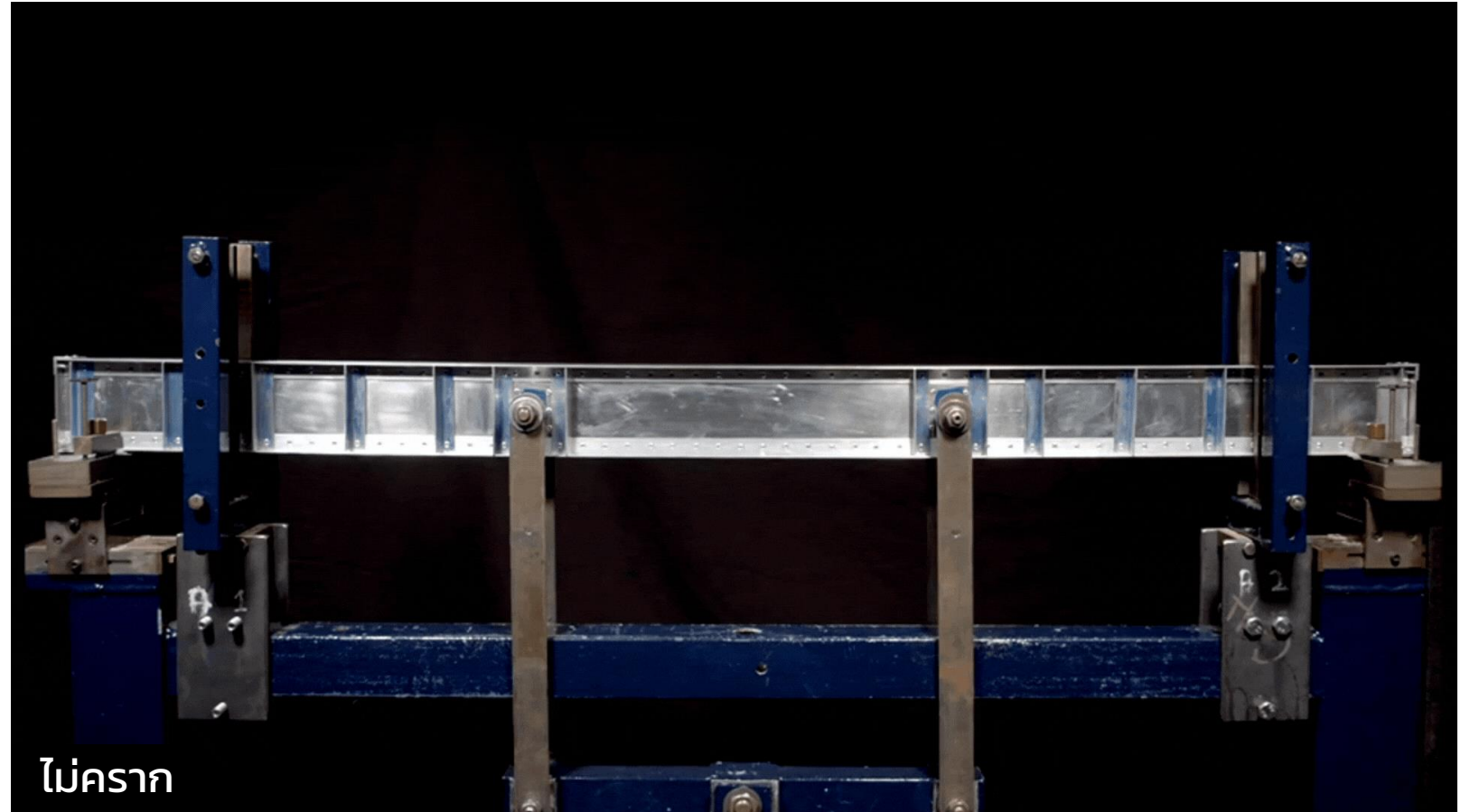
Is “not fracture” safe (allowable)?

#WeLoveSteelConstruction



Is “elastic” safe (allowable)?

#WeLoveSteelConstruction

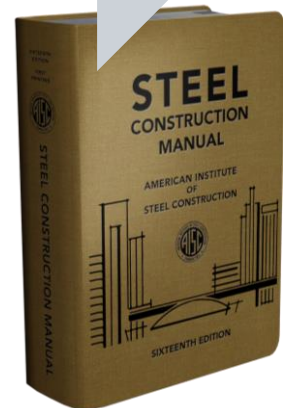
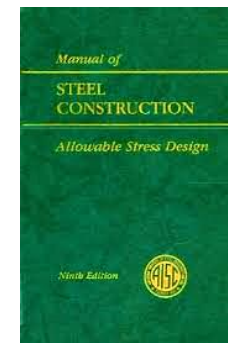
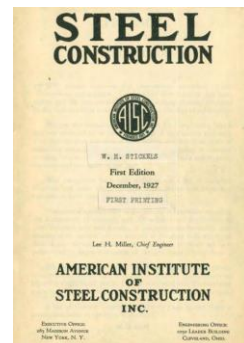
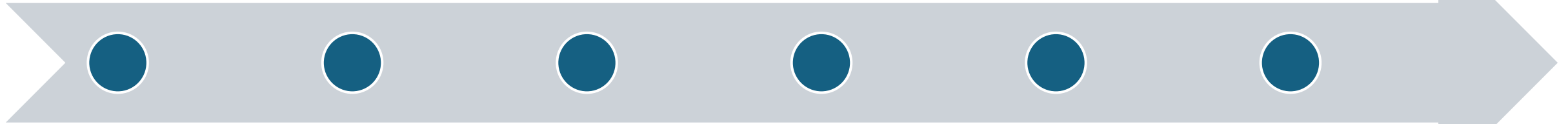
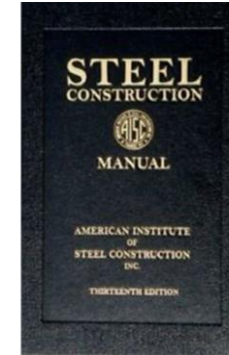
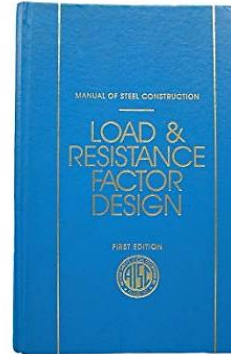
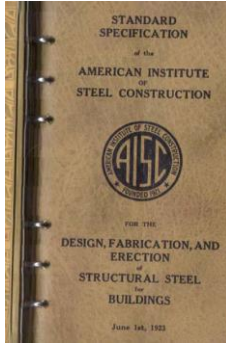


History of AISC Specification

#WeLoveSteelConstruction



1921
Standard
Specification
(9 p.)



Stress Era

#WeLoveSteelConstruction

ASD = Allowable Stress Design
พิจารณา “ความเค้น หรือ หน่วยแรง”
ที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอก ไม่เกิน ค่าที่
ยอมให้ ที่เรียกว่า Allowable Stress
ซึ่งได้พิจารณา **Factor of Safety**
(**FS**) ประกอบเข้าไปด้วยแล้ว

Stress มี 2 ประเภท คือ (1) **normal**
stress, σ และ (2) **shear** stress, τ ค่า
allowable stress อาจเป็น normal
หรือ shear stress โดยสมการที่แสดง
ในมาตรฐานการออกแบบ จะสะท้อน
stress ที่จำแนกตามการรับแรง เช่น
องค์อาคารรับแรงดัด ($F_b = F_{\text{bending}}$)
องค์อาคารรับแรงอัด ($F_a = F_{\text{axial}}$)
องค์อาคารรับแรงเฉือน ($F_v = F_{\text{shear}}$)

F4. ALLOWABLE SHEAR STRESS

For $h/t_w \leq 380/\sqrt{F_y}$, on the overall depth times the web thickness, the allowable shear stress is

$$F_v = 0.40 F_y \quad (\text{F4-1})$$

For $h/t_w > 380/\sqrt{F_y}$, the allowable shear stress is on the clear distance between flanges times the web thickness is

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} (C_v) \leq 0.40 F_y \quad (\text{F4-2})$$

where

$$C_v = \frac{45,000 k_v}{F_y (h/t_w)^2} \text{ when } C_v \text{ is less than } 0.8$$

$$= \frac{190}{h/t_w} \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \text{ when } C_v \text{ is more than } 0.8$$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \text{ when } a/h \text{ is less than } 1.0$$

$$= 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \text{ when } a/h \text{ is more than } 1.0$$

t_w = thickness of web, in.

a = clear distance between transverse stiffeners, in.

h = clear distance between flanges at the section under investigation, in.

Allowable Stress Design

#WeLoveSteelConstruction

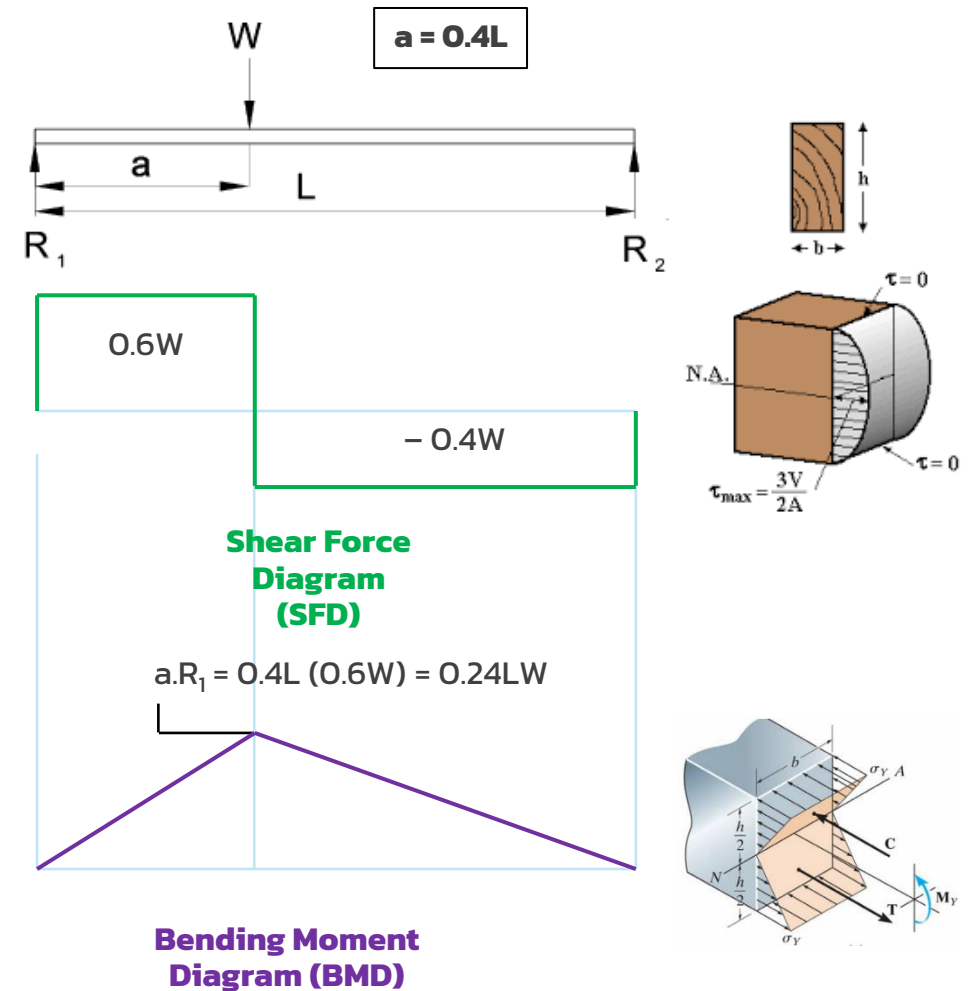
ปัจจัย Resistance:

หา allowable stress ที่ limit state ดังระบุในมาตรฐาน AISC/ASD Standard (1989)

ปัจจัย Load:

หา stress จากแรงภายนอก ที่เป็นผลรวมของแรงประเภทต่างๆ เช่น Dead load (D) Live load (L) Wind (W) Earthquake (E) อ้างอิง load combination ที่ code ระบุ

AISC ASD 1989	
Wind	
• D	
• D+L	
• (D+L+W)*	
• (D+W)*	
• * = 1 1/3 increase for combos with wind acting alone or in combination...	



Allowable Stress Design

#WeLoveSteelConstruction

ปัจจัย Resistance:

หา allowable stress ที่ limit state ดังระบุในมาตรฐาน AISC/ASD Standard (1989)

ปัจจัย Load:

หา stress จากแรงภายนอก ที่เป็นผลรวมของแรงประเภทต่างๆ เช่น Dead load (D) Live load (L) Wind (W) Earthquake (E) อ้างอิง load combination ที่ code ระบุ

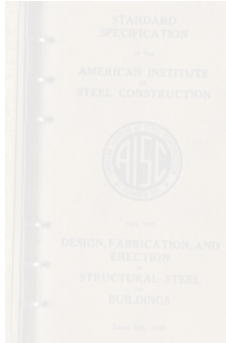
AISC ASD 1989	
Wind	
• D	
• D+L	
• (D+L+W)*	
• (D+W)*	
* = 1 1/3 increase for combos with wind acting alone or in combination...	

Members	Condition
Beam (Compact)	Normal stress = $\sigma_b = \frac{M_z \cdot y}{I_x} = \frac{M_z}{S_x}$ $\sigma_b \leq F_b = 0.66F_y = F_y/1.5$
	Shear stress = $\sigma_v = \frac{V_y \cdot Q_x}{I_x \cdot b}$ $\sigma_v \leq F_v = 0.40F_y = (0.60F_y)/1.5$
Column (Compact)	Normal stress = $\sigma_a = \frac{P}{A}$ $\sigma_a \leq F_a = \frac{\left[1 - \frac{[(\frac{Kl}{r})/C_c]^2}{2}\right] \cdot F_y}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3[(\frac{Kl}{r})/C_c]}{8} - \frac{[(\frac{Kl}{r})/C_c]^3}{8}\right]}$ $\sigma_a \leq F_a = \frac{F_e}{\left(\frac{23}{12}\right)} = \frac{12\pi^2 E}{23(\frac{Kl}{r})^2}$

History of AISC Specification

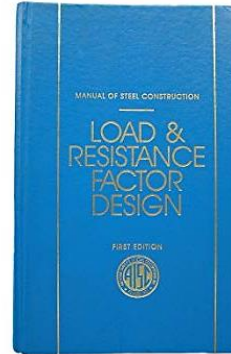
#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard
Specification
(9 p.)



1986
1st AISC LRFD
Manual

The Beginning
of Strength Era

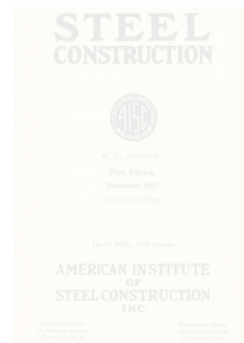


2005
1st AISC Unified
Manual

The Beginning
of Unified Era

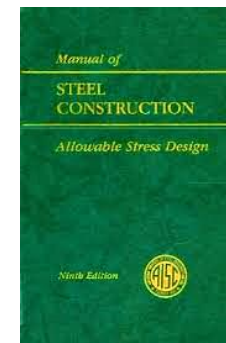


1927
1st Ed 1st Prnt
AISC Manual
(479 p.)



1989
9th Ed AISC
ASD Manual

The End of
Stress Era



2022
Latest AISC
(Unified) Steel
Construction
Manual



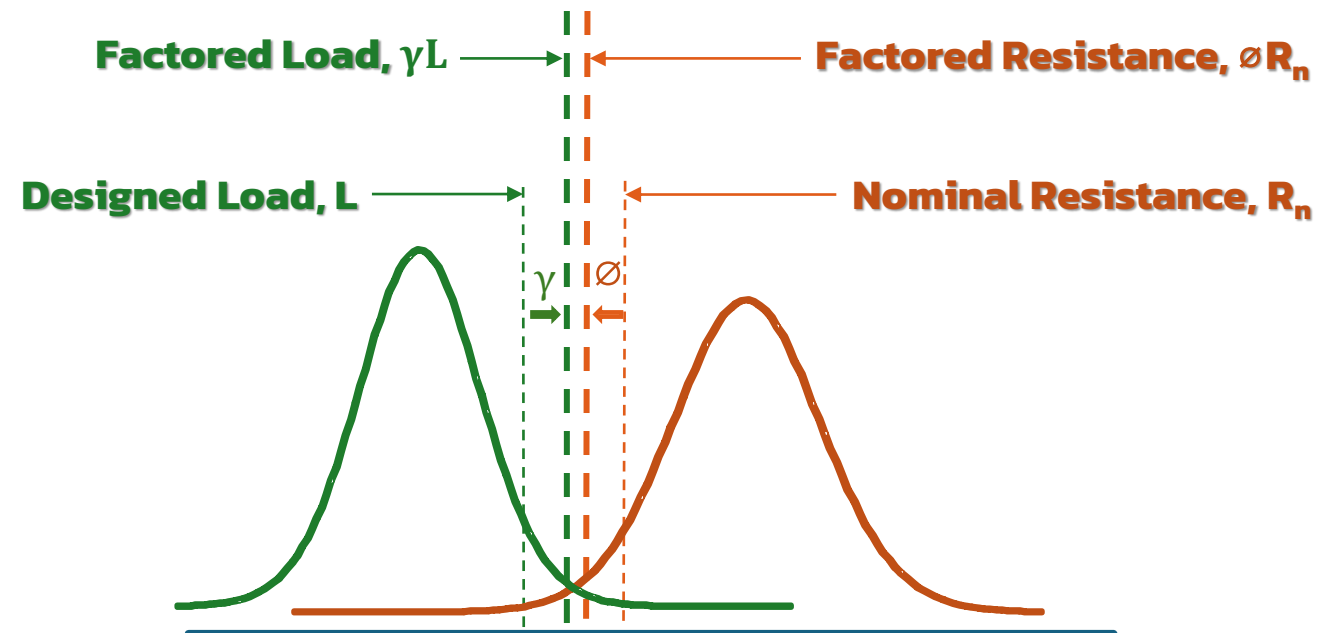
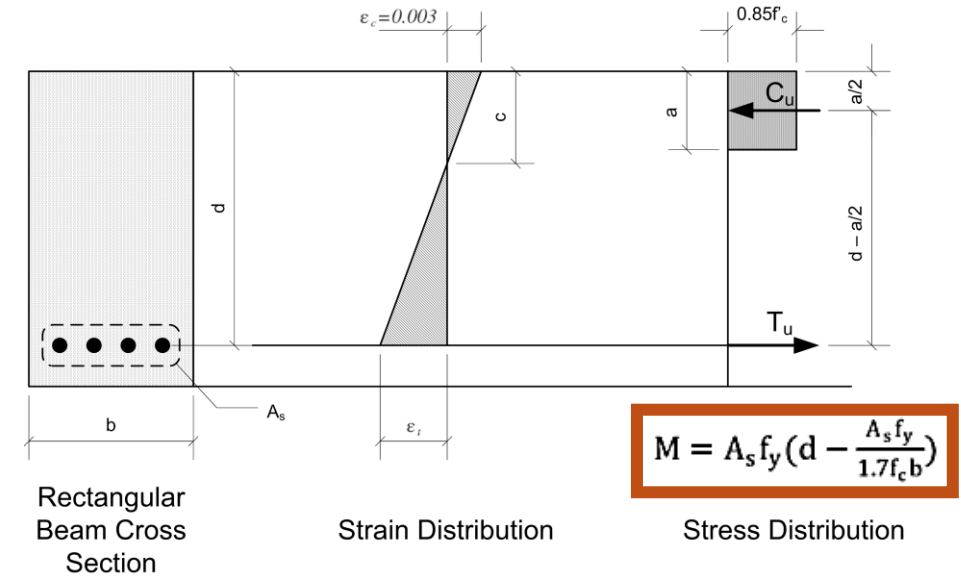
Strength Era

#WeLoveSteelConstruction

จุดเริ่มต้น น่าจะมาจากการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่พิจารณากำลังสูงสุดขององค์อาคาร ซึ่งเปลี่ยนไปจากหลักการของ stress design ที่พิจารณาระดับ “ความเค้น”

การพิจารณาตามหลักการ strength design จะเป็นการนำกำลังสูงสุดขององค์อาคาร (member strength) มาลดทอนด้วยตัวคูณลดค่ากำลัง (resistance factor) ซึ่งต้องมากกว่าแรงที่เกิดขึ้นกับองค์อาคาร คูณด้วยตัวคูณเพิ่มค่าแรง (load factor)

ในฝั่งของ factored load ก็จะต้องพิจารณาตาม load combination ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขใน design standard ที่ระบุเอาไว้

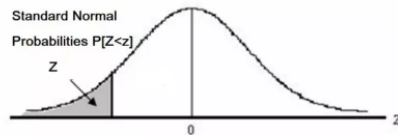


Statistic Fundamental

#WeLoveSteelConstruction

- Tensile test of flat plate SS400
- $F_y = 245 \text{ MPa}$, $F_u = 400 \text{ MPa}$

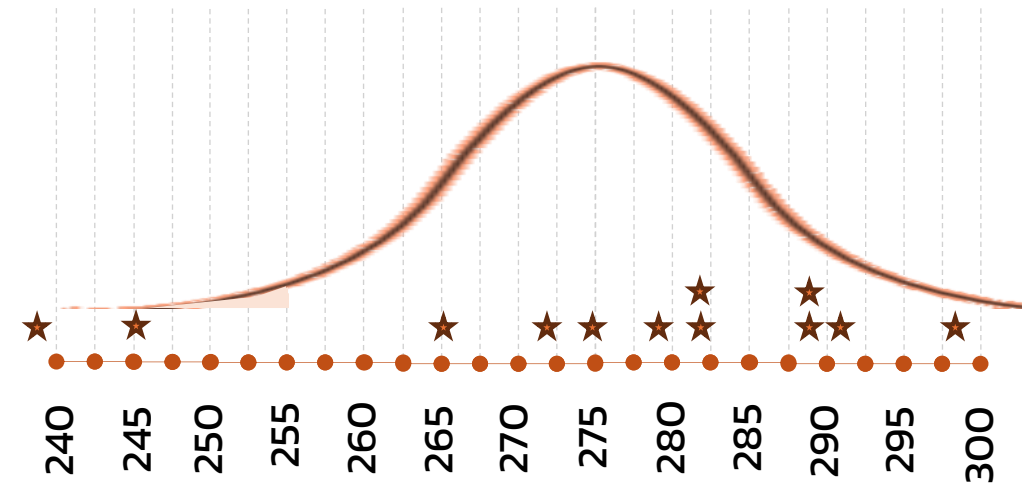
ตารางสถิติ



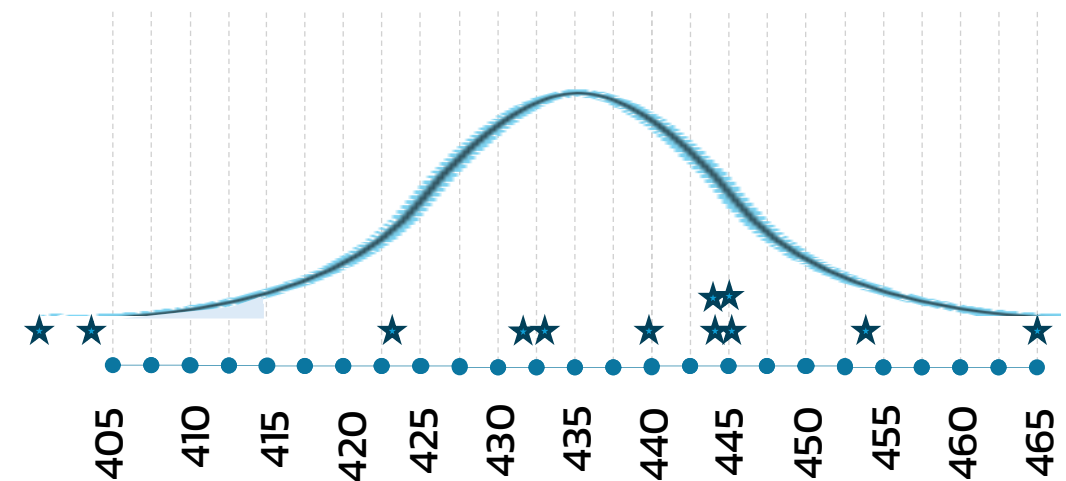
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.50	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.40	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.30	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.20	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.10	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.00	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.90	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.80	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.70	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.60	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.50	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.40	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.30	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.20	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.10	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.00	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.90	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.80	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.70	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.60	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.50	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.40	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.30	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.20	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985

No.	F_y	F_u
1	282	444
2	288	445
3	275	433
4	291	454
5	278	439
6	265	423
7	282	444
8	288	445
9	272	432
10	298	465
11	245	403
12	238	401

Ave. 275.2 435.7
SD 17.33 18.19



$Z = (275.2 - 245) / 17.33 = 1.74$ จาก $P(-1.74)$ จะได้ 0.0411
หรือโอกาสที่เหล็ก F_y จะต่ำกว่า 245 MPa อยู่ที่ราว 4.11%



$Z = (435.7 - 400) / 18.19 = 1.96$ จาก $P(-1.96)$ จะได้ 0.0252
หรือโอกาสที่เหล็ก F_u จะต่ำกว่า 400 MPa อยู่ที่ราว 2.52%

Statistic Fundamental

#WeLoveSteelConstruction

- ถ้าพื้นคอนกรีตหนา 100 mm (ตามแบบก่อสร้าง)
- Dead Load, D = 250 ksm
- ก่อสร้างจริงความหนาพื้นเปลี่ยน
 - 105 mm, D เพิ่มขึ้น 105% จากเดิม
 - 110 mm, D เพิ่มขึ้น 110% จากเดิม
- D ของพื้นคอนกรีตเทในที่มักสูงกว่า D ที่ระบุในแบบ ซึ่งต่างจาก precast หรือ prefabricated steel
- การเปลี่ยน finishing มีผลมากต่อการเพิ่มขึ้นของ D เช่น จากพื้นปูนขัดมัน เป็นหินอ่อน หรือ หินแกรนิต
- การเปลี่ยนจากห้องนอนเป็นห้องเก็บของ เพิ่ม L จาก 200 เป็น 500 ksm

No.	D	L
1	252	200
2	268	180
3	275	400
4	291	454
5	272	250
6	265	333
7	255	444
8	288	245
9	292	232
10	298	165
11	245	303
12	248	201

Ave. 270.8 283.9
SD 17.66 97.90

$$Z_D = \frac{Nominal - ave}{SD} = \frac{250 - 270.8}{17.66} = -1.17$$

$$P(Z_D > 1.17) = 0.121$$

โอกาสที่ DL จะมากกว่า 250 ksm อยู่ที่ 12.1%

$$Z_L = \frac{Nominal - ave}{SD} = \frac{200 - 283.9}{97.90} = -0.857$$

$$P(Z_L > 0.857) = 0.196$$

โอกาสที่ LL จะมากกว่า 200 ksm อยู่ที่ 19.6%

ACI 318-89

Wind

- $1.4D + 1.7L$
- $.75 (1.4D + 1.7L + 1.7W)$
 $= 1.05D + 1.28L + 1.28W$
- $.9D - 1.3W$

ASCE 7-02 Strength Design

Wind:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L$
- $1.2D + 1.0L + 1.6W$
- $.9D - 1.6W$

Seismic:

- $1.2D + 1.0L + 1.0E$
- $.9D - 1.0E$

Load & Resistance Factor Design (LRFD)

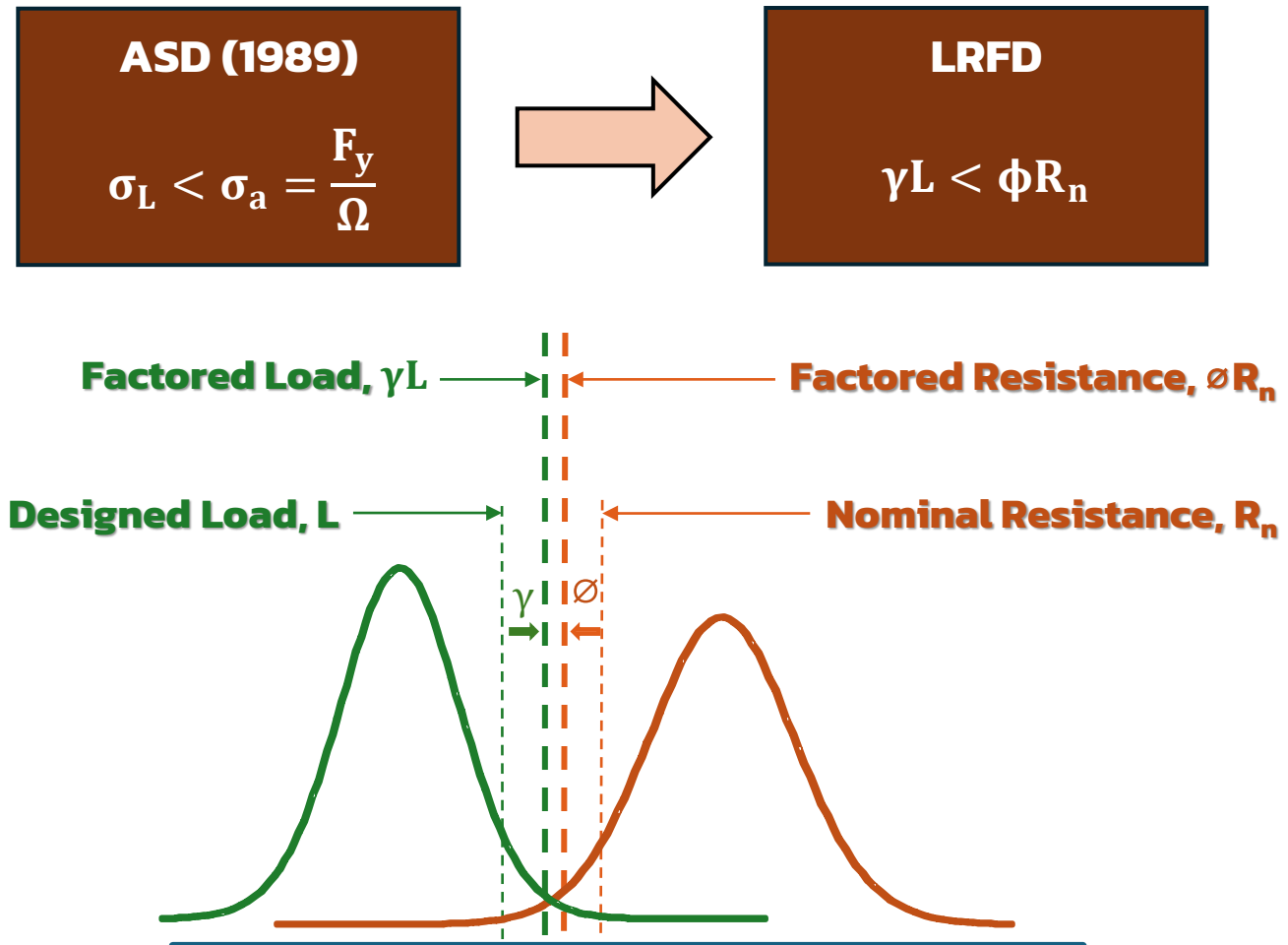
#WeLoveSteelConstruction

LRFD นอกจากจะพิจารณา ความแปรปรวนของแรงภายนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง D กับ L ที่แตกต่างกัน อันส่งผลต่อ load factor ของ D กับ L ที่แตกต่างกันแล้ว ยังเป็นการพิจารณา resistance ระดับ member ไม่ใช่ระดับ stress ดังเช่น ASD 1989

2.3.1 Basic Combinations. Structures, components, and foundations shall be designed so that their design strength equals or exceeds the effects of the factored loads in the following combinations. Effects of one or more loads not acting shall be considered. Seismic load effects shall be combined loads in accordance with Section 2.3.6. Wind and seismic loads need not be considered to act simultaneously. Refer to Sections 1.4, 2.3.6, 12.4, and 12.14.3 for the specific definition of the earthquake load effect E . Each relevant strength limit state shall be investigated.

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5. $0.9D + 1.0W$

ASCE 7-16



Load Combination

#WeLoveSteelConstruction

Load Combination หรือ **น้ำหนักบรรทุกรวม** สะท้อนเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับอาคาร ตั้งแต่ช่วงระหว่างการก่อสร้าง ไปจนกระทั่งการใช้งานอาคาร

- อาคารร้าง
- อาคารใช้งานปกติ ทั้ง multistory building และกลุ่ม warehouse
- อาคารเมื่อต้องเผชิญเหตุการณ์รุนแรง เช่น ใต้ฝุ่น แผ่นดินไหว

2.3.1 Basic Combinations. Structures, components, and foundations shall be designed so that their design strength equals or exceeds the effects of the factored loads in the following combinations. Effects of one or more loads not acting shall be considered. Seismic load effects shall be combined loads in accordance with Section 2.3.6. Wind and seismic loads need not be considered to act simultaneously. Refer to Sections 1.4, 2.3.6, 12.4, and 12.14.3 for the specific definition of the earthquake load effect E . Each relevant strength limit state shall be investigated.

- ➡ 1. $1.4D$
- ➡ 2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
- ➡ 4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 5. $0.9D + 1.0W$

ASCE 7-16

2.3.2 Basic Combinations. Structures, components, and foundations shall be designed so that their design strength equals or exceeds the effects of the factored loads in the following combinations:

- ➡ 1. $1.4(D + F)$
- ➡ 2. $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.8W)$
- ➡ 4. $1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 5. $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- ➡ 6. $0.9D + 1.6W + 1.6H$
- ➡ 7. $0.9D + 1.0E + 1.6H$

ASCE 7-05

F = Load due to fluid with well defined pressures and maximum height

H = Load due to lateral earth pressure, ground water pressure, bulk materials

Load Combination

#WeLoveSteelConstruction

Load Combination ในยุคหลังจะมีความชัดเจนขึ้นในแง่การจัดการความเสี่ยง เช่น

- ความเสี่ยงของอาคารที่ก่อสร้างบนพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวรุนแรง (ASCE 7-16 แยก Load Combination with Seismic Load Effects ไว้ในหัวข้อ 2.3.6 เป็นต้น)
- การจัดการความเสี่ยงจากความรุนแรงของลม ที่ปรับค่า MRI (Mean Recurrence Interval) จาก 50 ปี ที่นำ importance factor (I_w) มาจัดการความเสี่ยง ไปสู่ MRI ที่ 300 700 1,700 และ 3,000 ปี โดยใช้ $I_w = 1$

2.3.1 Basic Combinations. Structures, components, and foundations shall be designed so that their design strength equals or exceeds the effects of the factored loads in the following combinations. Effects of one or more loads not acting shall be considered. Seismic load effects shall be combined loads in accordance with Section 2.3.6. Wind and seismic loads need not be considered to act simultaneously. Refer to Sections 1.4, 2.3.6, 12.4, and 12.14.3 for the specific definition of the earthquake load effect E . Each relevant strength limit state shall be investigated.

- ➡ 1. $1.4D$
- ➡ 2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
- ➡ 4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 5. $0.9D + 1.0W$

ASCE 7-16

2.3.2 Basic Combinations. Structures, components, and foundations shall be designed so that their design strength equals or exceeds the effects of the factored loads in the following combinations:

- ➡ 1. $1.4(D + F)$
- ➡ 2. $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.8W)$
- ➡ 4. $1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- ➡ 5. $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- ➡ 6. $0.9D + 1.6W + 1.6H$
- ➡ 7. $0.9D + 1.0E + 1.6H$

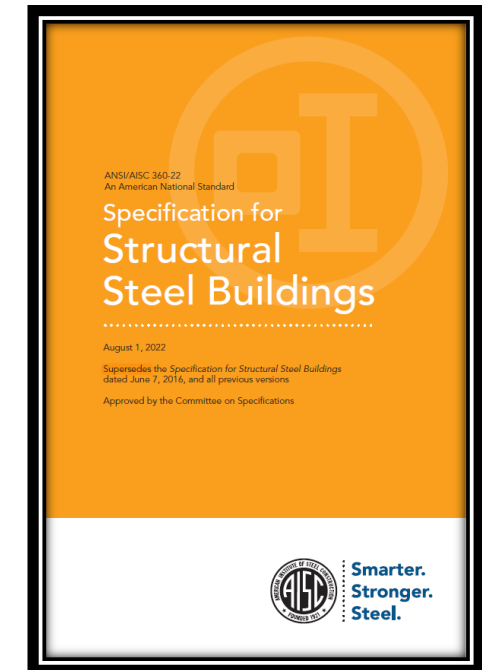
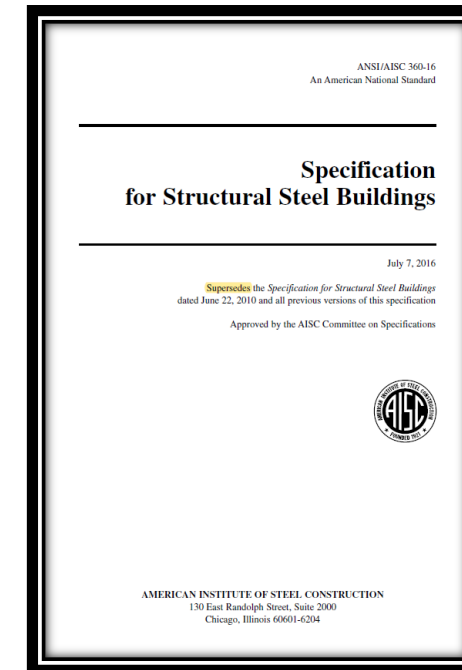
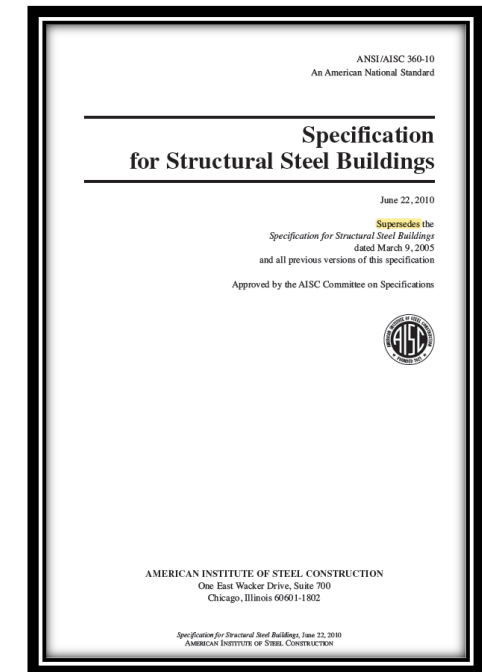
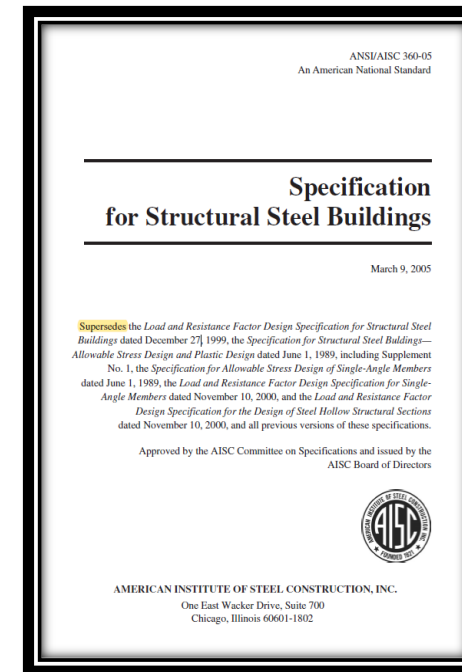
ASCE 7-05

F = Load due to fluid with well defined pressures and maximum height

H = Load due to lateral earth pressure, ground water pressure, bulk materials

AISC 360 Specification

- นับจากปี ค.ศ. 2005 เป็นต้นมา **AISC** ได้มีการจัดทำ **Specification** for Structural Steel Buildings สหสกำกับ **AISC 360** โดย “ยกเลิก” การใช้คำว่า Allowable **Stress** Design แต่ใช้ Allowable **Strength** Design กำกับด้วย **ASD** ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่า การออกแบบด้วยวิธีกำลังที่ยอมให้ เรื่อยมา และจะสังเกตเห็นการ “ยกเลิก supersede” version เก่าด้วย version ใหม่จะอ้างอิงผลการศึกษาวิจัยใหม่ๆ เข้ามาประกอบการยกร่างมาตรฐาน
- หรืออีกนัยหนึ่ง การพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ๆ โดยมองที่ **ความเค้น** หรือ **หน่วยแรง** ที่เรียกว่า **Allowable Stress Design ได้สิ้นสุดตั้งแต่ปี 1989** สมการคำนวณใน version ล่าสุด ย่อมสะท้อนพฤติกรรมจริงมากกว่าสมการคำนวณใน version ก่อนหน้า ซึ่งตามหลักปฏิบัติ หรือ **หลักจรรยาบรรณวิศวกร**ที่ดี ผู้ออกแบบก็ควรนำความรู้ใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานวิชาชีพของตน

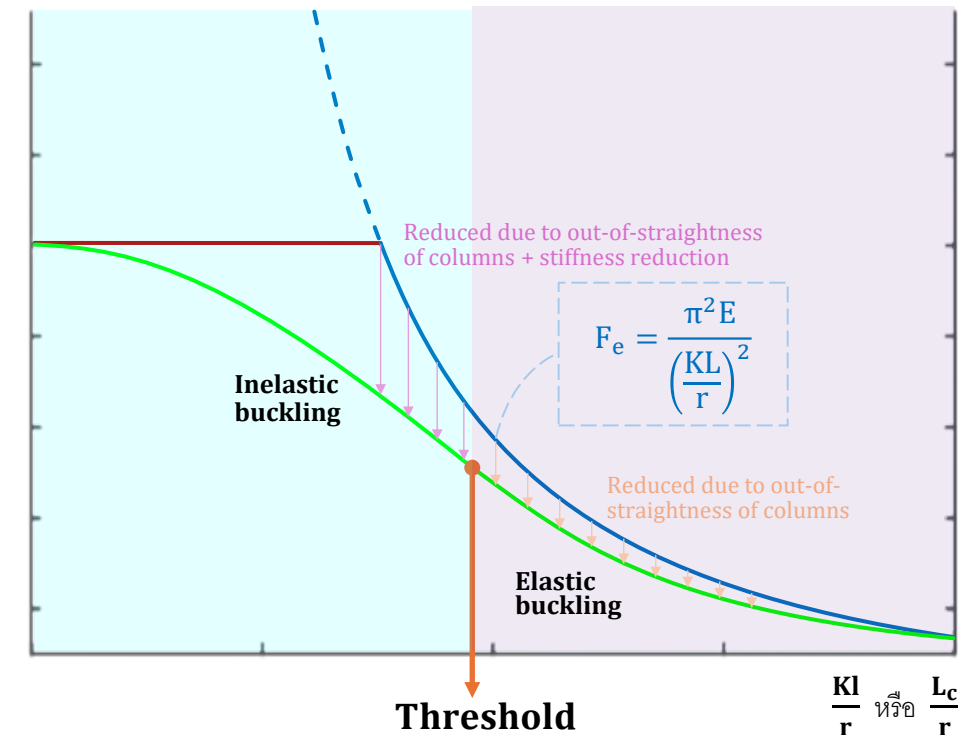


Newer Code = More Thorough Knowledge

#WeLoveSteelConstruction

Method	Threshold	Limit Capacity	FS (Ω)
ASD $C_c = \sqrt{\frac{2\pi E}{F_y}}$ $C_c = 4.44 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{Kl}{r} \leq C_c$	$F_a = \frac{\left[1 - \frac{[(\frac{Kl}{r})/C_c]^2}{2}\right] \cdot F_y}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3[(\frac{Kl}{r})/C_c]}{8} - \frac{[(\frac{Kl}{r})/C_c]^3}{8}\right]}$	$\frac{5}{3} + \frac{3[(\frac{Kl}{r})/C_c]}{8} - \frac{[(\frac{Kl}{r})/C_c]^3}{8}$
	$\frac{Kl}{r} > C_c$	$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(\frac{Kl}{r})^2} = \frac{F_e}{(\frac{23}{12})}$	$\frac{23}{12}$
LRFD	$\frac{L_c}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e}) F_y$	1.67
	$\frac{L_c}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$F_{cr} = 0.877 F_e$	1.67

Stress



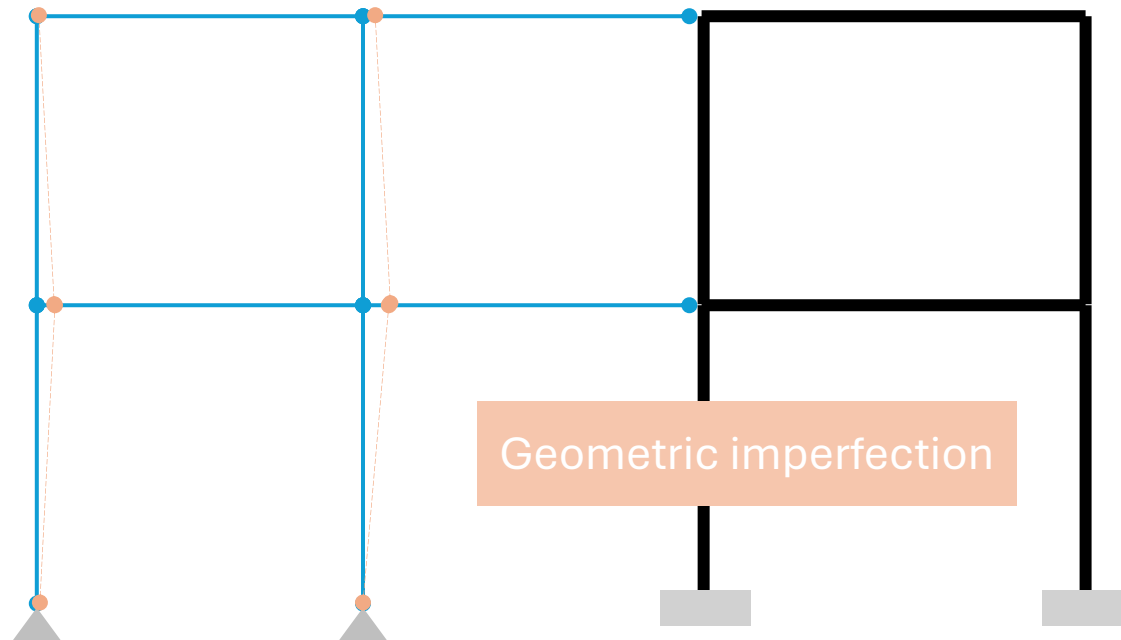
ข้อสังเกต / ข้อพิจารณา

1. Inelastic buckling อ้างอิง ASD 1989 ปรับค่า F_a ลง "ด้วย FS ที่เป็นผลมาจาก $(Kl/r)/C_c$ " ถูกต้องไหม ทั้งๆ ที่กำลัง (nominal strength) ลดลงจากผลของ residual stress ที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมที่เรียกว่า stiffness reduction
2. ผลจาก geometric imperfection ของ column ได้ถูกรวมใน FS ถูกต้องแล้วหรือไม่ (ปัจจุบัน ใช้ concept "leaning column" ในการพิจารณา)
3. ผลการศึกษาวิจัยใหม่ๆ ด้วยตัวอย่างทดสอบที่มากขึ้น + การใช้ advanced FEM มาช่วย จะส่งผลให้สมการ prediction มีความแม่นยำขึ้น ใช่หรือไม่

Newer Code = More Thorough Knowledge

#WeLoveSteelConstruction

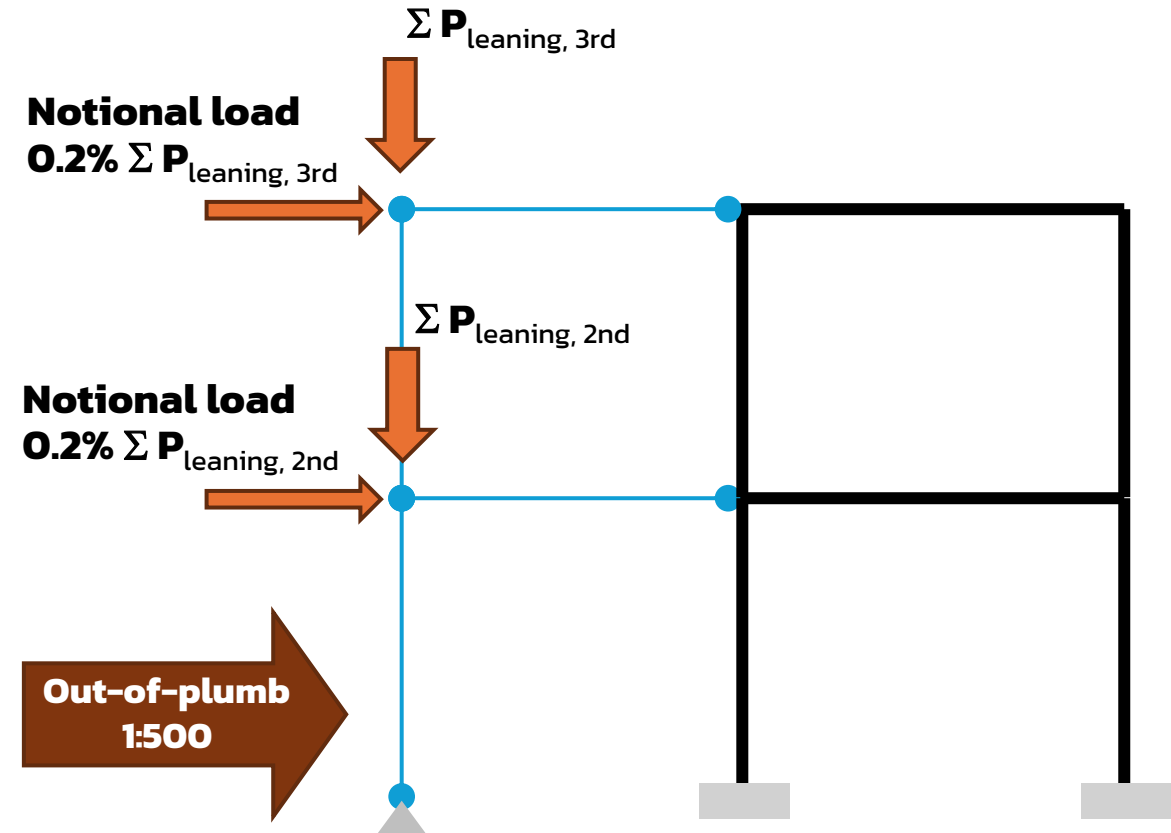
Leaning Column Concept



Extra load

vs.

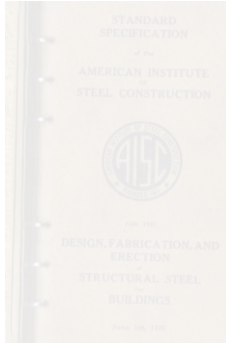
Reduced strength



History of AISC Specification

#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard
Specification
(9 p.)



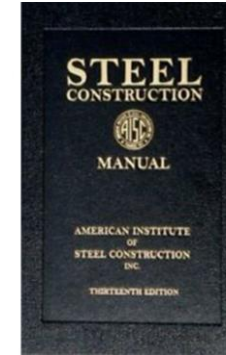
1986
1st AISC LRFD
Manual

The Beginning
of Strength Era

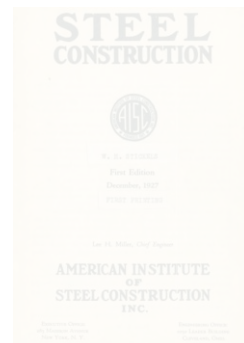


2005
1st AISC Unified
Manual

The Beginning
of Unified Era

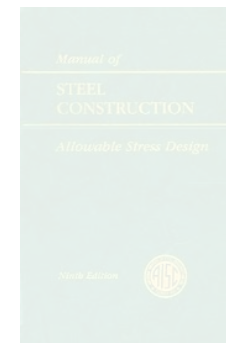


1927
1st Ed 1st Prnt
AISC Manual
(479 p.)

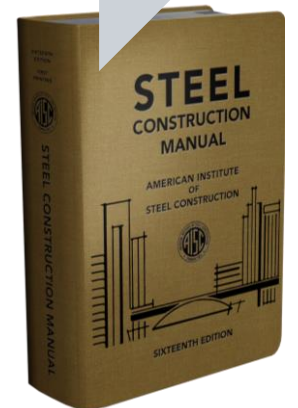


1989
9th Ed AISC
ASD Manual

The End of
Stress Era



2022
Latest AISC
(Unified) Steel
Construction
Manual



Unified Method

#WeLoveSteelConstruction

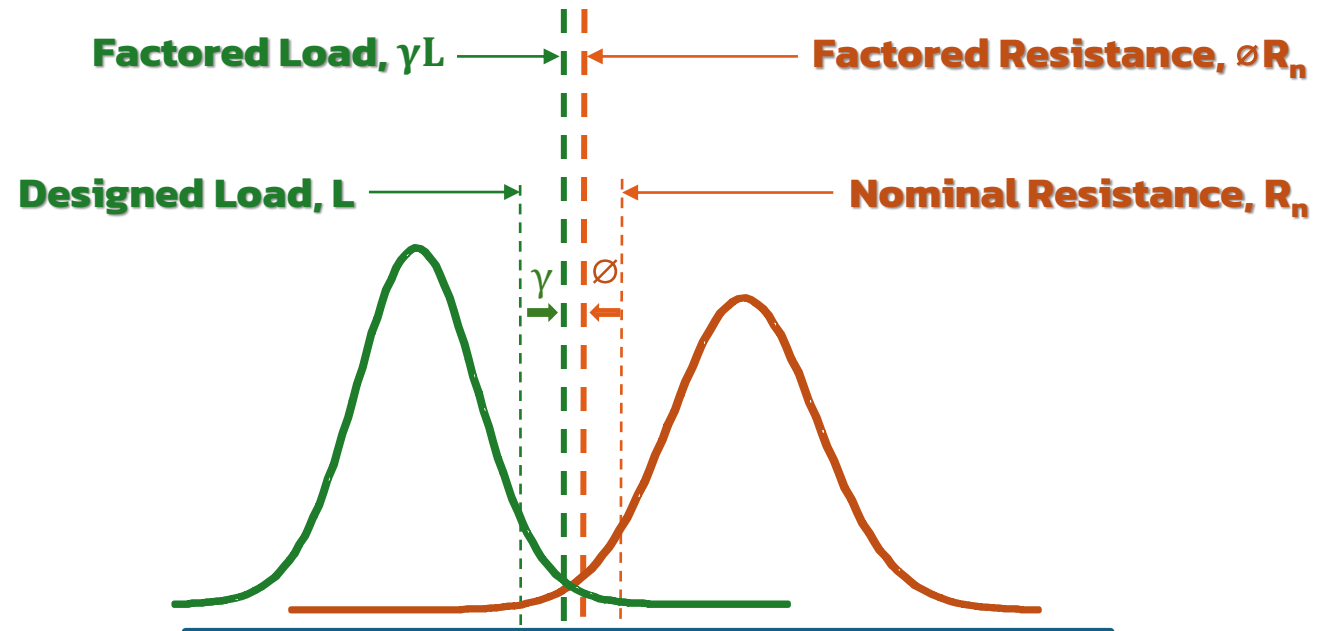
หากพิจารณาตามหลักการ **LRFD** ที่ในส่วนของการ resistance เป็นการ ลดทอนกำลังรับแรงองค์อาคาร ด้วยการนำ resistance factor (ϕ) เข้าไปคูณ กำลังระบุ (**nominal strength**) เทียบกับแรงที่กระทำกับองค์อาคาร ที่ถูกเพิ่มค่าด้วย load factor (γ) ... แต่เปลี่ยนเป็นการพิจารณา unfactored load (service load) เทียบกับกำลังรับแรงระบุ **nominal strength** ขององค์อาคารที่ถูกลดทอน ด้วยการ “หารตัวประกอบความปลอดภัย ($FS = \Omega$)”

วิธีการนี้ เรียกว่า **Allowable Strength Design** ใช้ตัวย่อ **ASD** เช่นเดียวกับ **Allowable Stress Design** ทั้งนี้หากพิจารณาค่าเฉลี่ย load factor ของ gravity load combination ที่ $\gamma = 1.5$ ก็จะสามารถแปลงวิธี **LRFD** และ **ASD** กลับไปมาได้ เรียกวิธีนี้ว่า **Unified Method**

$$L < \frac{R_n}{\Omega}$$

$$\Omega = \frac{\gamma}{\phi} = \frac{1.5}{\phi}$$

$$\text{LRFD} \quad \gamma L < \phi R_n$$





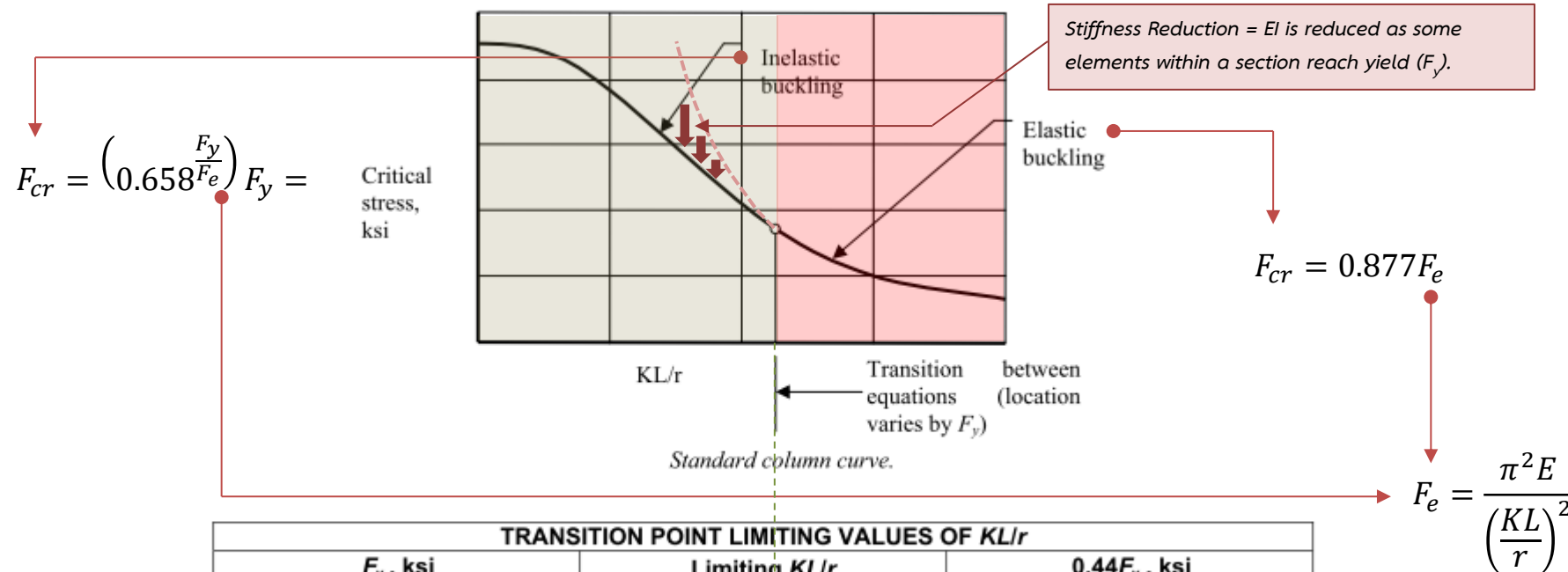
Design for Compression Members

#WeLoveSteelConstruction

Structural Steel Stability Fundamental

AISC Load and Resistance Factor Design (AISC/LRFD)

How?



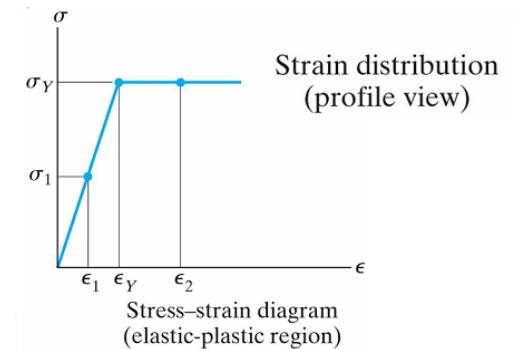
TRANSITION POINT LIMITING VALUES OF KL/r		
F_y , ksi	Limiting KL/r	$0.44F_y$, ksi
36	134	15.8
50	113	22.0
60	104	26.4
70	96	30.8

$$\text{Limiting } \frac{KL}{r} = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$P_e = \frac{\pi^2}{L^2} EI$$

Stiffness

Can the **stiffness** be reduced?
How can the **stiffness** be reduced?



Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

Step 1: สมมติ ขนาด HSS 250 x 250 x 12 mm
 $A = 110.5 \text{ cm}^2$
 $I_x = I_y = 10,300 \text{ cm}^4$
 $r_x = r_y = 9.63 \text{ cm}$

Step 2: หาผลรวมของแรง

ASD	LRFD
$P_a = DL + LL$ $= 120 + 70 = 190 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(120) + 1.6(70) = 256 \text{ T}$

Step 3: หาจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
 $(L_c/r)_{\text{limit}} = 4.71 \cdot \sqrt{E/F_y}$
 $= 4.71 \cdot \sqrt{(2,000,000/3,700)}$
 $= 109.5$

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

Step 4: หาอัตราส่วนความชะลุด ที่ control พฤติกรรม
 $L_c/r_x = L_c/r_y = 500/9.63 = 51.9$
น้อยกว่า $(L_c/r)_{\text{limit}}$ ดังนั้นเสามีพฤติกรรม inelastic buckling

Step 5: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
 $(b/t)_{\text{limit}} = 1.40 \cdot \sqrt{(E/F_y)}$
 $= 1.40 \cdot \sqrt{(2,000,000/3,700)}$
 $= 32.5$
มากกว่า $b/t = (250-12 \cdot 2)/12 = 18.8$ เป็น compact section
ไม่ต้องพิจารณา local buckling

Step 6: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
 $F_e = \pi^2 E / (L_c/r)^2 = \pi^2 (2,000,000) / (51.9)^2 = 7,322 \text{ ksc}$
 $F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e} \cdot F_y = (0.658)^{(3,700/7,322)} \cdot 3,700 = 2,995 \text{ ksc}$
 $P_n = P_{cr} = F_{cr} \cdot A = 2,995 \cdot 110.5 = 330,911 \text{ kg} = 331 \text{ Tons}$

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

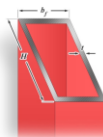
- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัด

Step 7: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัดของเสา

ASD	LRFD
$P_a = 190 \text{ T}$	$P_u = 256 \text{ T}$
$P_n / \Omega = 331 / 1.67 = 198 \text{ T}$ $> P_a$ OK	$\phi P_n = 0.9(331) = 297 \text{ T}$ $> P_u$ OK

< Calculation

Insert Value



Steel Grade

Fy ksc

Fu ksc

H mm

bf mm

t mm

Lx m

Ly m

< Calculation

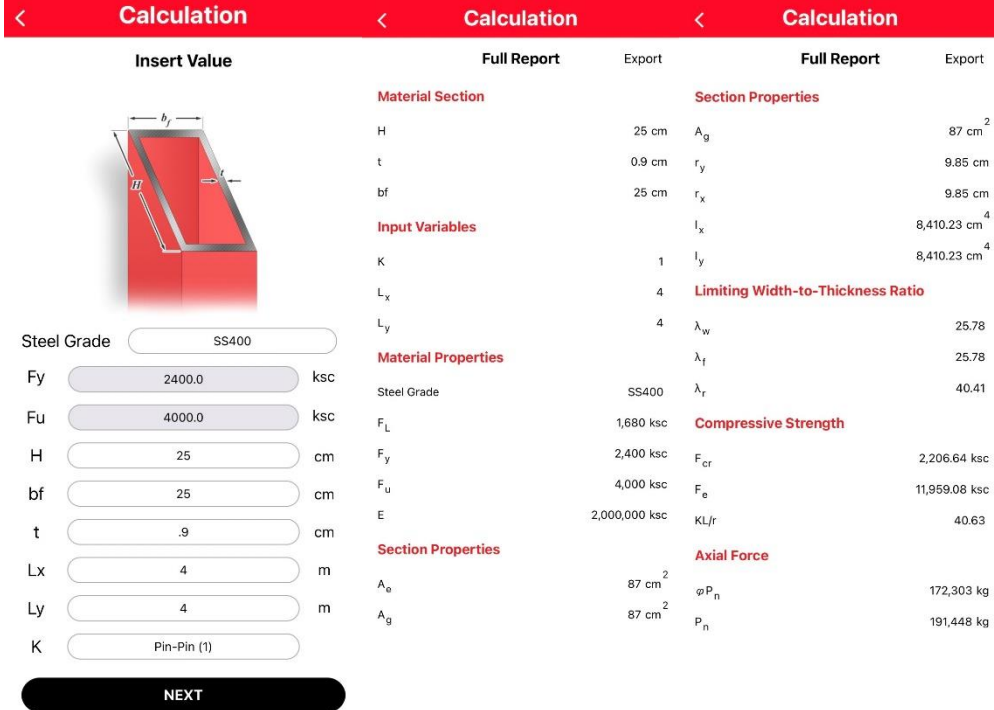
Capacity Full Report

Nominal Strength (Pn)
343,574
kg

Factored Nominal Strength (ϕP_n)
309,217
kg

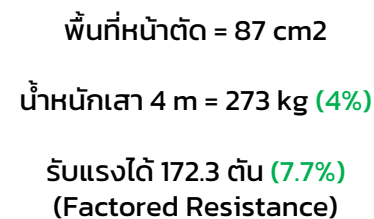


เทียบกับ Nominal strength ที่ได้จาก **SSI Steel Design App** ที่ 344 Ton (vs. 331 T จากการคำนวณมือ) ซึ่งต่างกันเล็กน้อยจากผลของ **ขอบมุมหัก (App)** vs. **ขอบมุมดัด (Hand)**

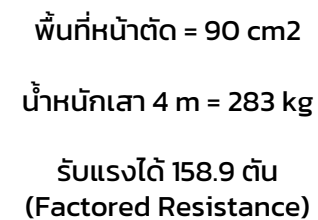


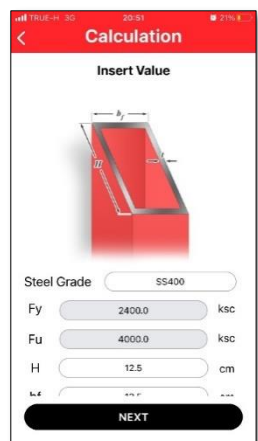
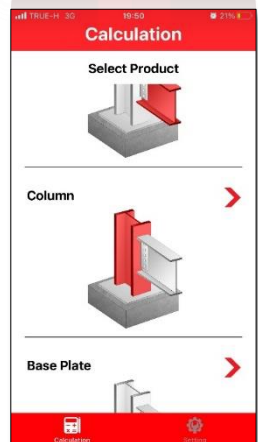
	Calculation		Calculation		Calculation	
	Insert Value		Full Report	Export	Full Report	Export
F _y	2400.0	ksc	G	769,230.77 ksc	r _x	10.84 cm
F _u	4000.0	ksc	C _w	507,833.62 cm ⁶	y	12.5 cm
H	25	cm	I _x	10,578.81 cm ⁴	K _c	0.76
b _f	25	cm	J	51.47 cm ⁴	Limiting Width-to-Thickness Ratio	
t _f	1.4	cm	I _y	3,647.18 cm ⁴	λ _{rw}	43.01
t _w	.9	cm	A _e	0 cm ²	λ _{tf}	8.93
L _x	4	m	A _g	89.98 cm ²	λ _{rf}	16.11
L _y	4	m	h	22.2 cm	λ _w	24.67
K	Pin-Pin (†)		h _o	23.6 cm	Compressive Strength	
			r _y	6.37 cm	F _e	5,000.59 ksc
			r _x	10.84 cm	F _{cr}	1,963.22 ksc
			y	12.5 cm	F _{ez}	7,187.01 ksc
			K _c	0.76	KL/r	62.83
					Axial Force	
					P _n	176,651 kg
					φP _n	158,986 kg

NEXT



1. Steel Grade SS400 (F_y 2,400 ksc)
2. $KL_x = KL_y = 4$ m





Nominal Compressive Strength of Members

Project name : 125x125 4.5 Location :
 Project No. : Date :
 Design by : Client :

Material Properties

Steel Grade = SS400
 $F_y = 2,400$ ksc
 $F_u = 4,000$ ksc
 $E = 2,000,000$ ksc

เกรดเหล็ก
ที่เลือกใช้

ขนาดหน้า
ตัดที่กำหนด

$D = 13$ cm
 $t_w, t_f = 0.45$ cm
 $b_f =$ cm
 $L_x = 2.6$ m
 $L_y = 2.6$ m
 $K = 1$

Sectional Dimension

Section Properties

$$A_g = [(D b_f) - (D - 2 t_f)(b_f - 2 t_w)]$$

$$A_g = 22 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{b_f D^3}{12} - \left[\frac{(b_f - 2 t_w)(D - 2 t_f)^3}{12} \right]$$

$$I_x = 525.64 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{D b_f^3}{12} - \left[\frac{(D - 2 t_f)(b_f - 2 t_w)^3}{12} \right]$$

$$I_y = 525.64 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_x = 4.92 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y = 4.92 \text{ cm}$$

Mobile app
คำนวณคุณสมบัติ
หน้าตัดโดยอัตโนมัติ

Limiting Width-to-Thickness Ratio

Walls of Rectangular HSS (Flange)

$$\lambda_f = \frac{b_f - 2 t_w}{t_f}$$

$$\lambda_f = 25.78$$

$$\lambda_{rf} = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{rf} =$$

(AISC360-16, Table B4.1a)

แสดงรายการคำนวณ
พร้อม สมการอ้างอิง

(AISC360-16, Table B4.1a)





Design for Flexural Members

#WeLoveSteelConstruction

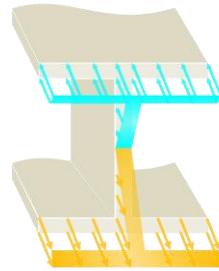


Steel Beam Design Concept

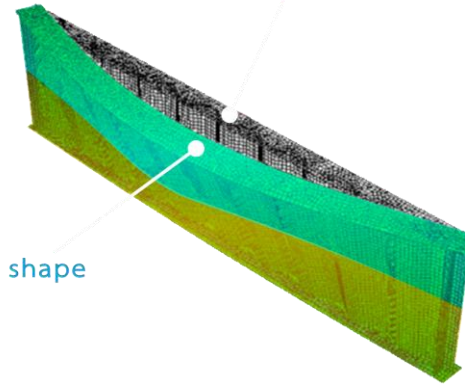
#WeLoveSteelConstruction

- Beam มีพฤติกรรมโดยรวม ครึ่งหนึ่งเป็นเสา รับ compression อีกครึ่งเป็นเคเบิล รับ tension ทั้ง compression และ tension มาตรฐานที่แกนสะเทิน

Beam Flange under Compression



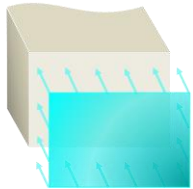
Undeformed shape



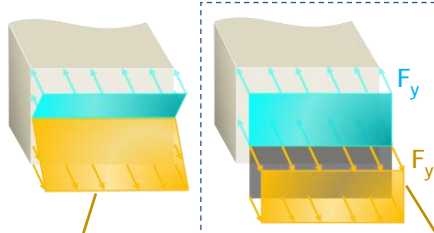
Buckled shape

- Beam ที่การค้ำยันด้าน compression ไม่เพียงพอ ส่วนที่เป็น compression zone อาจเกิดการ buckle รอบ weak axis แต่ถูก tension zone รั้งไว้จนเกิด weak axis lateral buckling ได้อย่างไม่อิสระ แต่จะเกิดแบบบิดตัว

Column



Beam

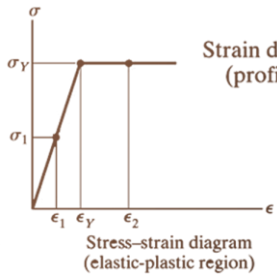
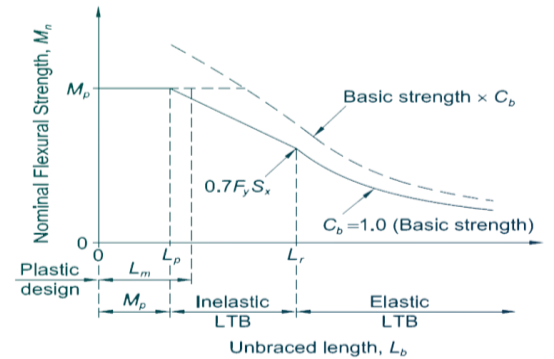


Failure mode: Yield (Y)

$$M_n = M_p = Z_x \cdot F_y$$

Failure mode: Lateral Torsional Buckling (LTB)

M_n ขึ้นกับ unbraced length (L_b) และ moment gradient (C_b)

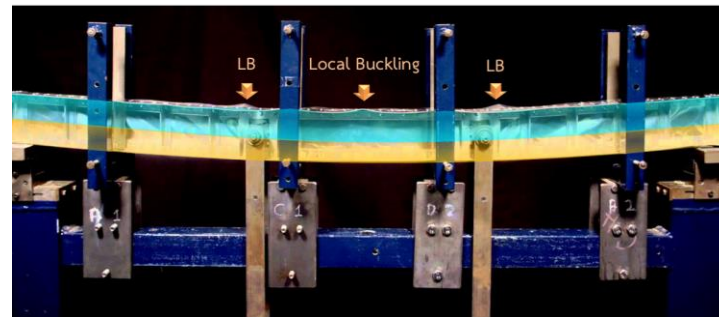


Strain distribution (profile view)

Plastic – normal stress ถึง F_y stress ไม่เพิ่มอีก แต่เกิด strain และเมื่อรับแรงเพิ่มก็ทำให้จุดอื่นๆ เกิด stress = F_y

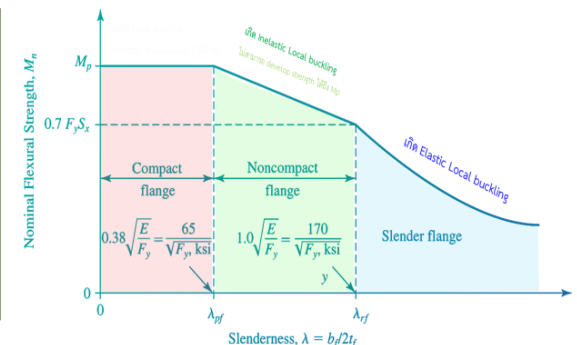
Elastic – normal stress ยังไม่ถึง F_y stress เป็นสัดส่วนกับ strain (เป็น 0 ที่แกนสะเทิน มากสุดที่ขอบ)

- Beam element ที่รับ compression บางชะลุด กำหนดระดับความชะลุดตามอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา (b/t) เป็น 3 ระดับ (1) compact (2) non compact และ (3) slender ถ้าเป็น compact element ก็จะไม่เสียเสถียรภาพก่อนการ yield แต่ถ้า non compact หรือ slender element ก็จะทำให้เกิด buckle เฉพาะที่ก่อนเกิด yield (ทำให้ไม่สามารถรับแรงถึง yield ที่ $M_p = Z_x \cdot F_y$ ได้)



Failure mode: Local Buckling (LB)

M_n ขึ้นกับ b/t ของ flange ($b_f/2t_f$) และ web (h/t_w)



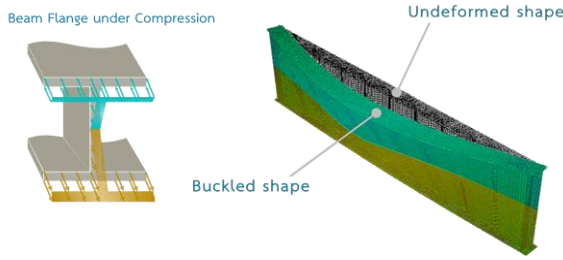
- Steel เป็น ductile material มีพฤติกรรมที่เมื่อรับแรงถึงเกิด normal stress ก็จะเป็นสัดส่วนกับการเสียรูป strain ในลักษณะเชิงเส้น (linear elastic) จนถึงจุด yield F_y เมื่อเลยจุด F_y จะเปลี่ยนเป็น nonlinear และไม่ elastic คือเมื่อเอาแรงออกจะไม่กลับสู่สภาพเดิม พฤติกรรมนี้จะถูก simplify ให้เป็น elastic เมื่อถึง F_y และหากเลยจุดนี้จะเป็น plastic คือไม่สามารถรับแรงเพิ่มได้อีก เรียกว่า **elastic-perfectly plastic material**

(1) ตรวจสอบหน้าตัด Compact (C)/ Non-Compact (NC)/ Slender (S) วสท.011038 บทที่ 2

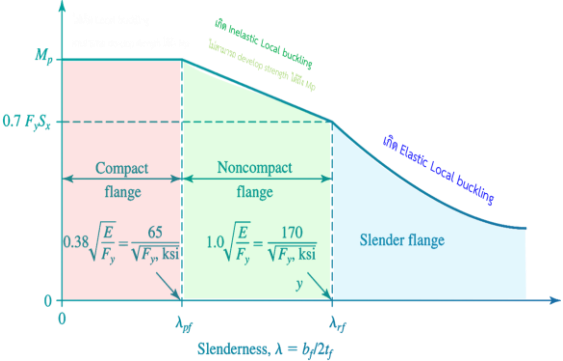
ตาราง 2.4.1-2 อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา องค์การรับโมเมนต์คด					
อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาขององค์ประกอบรับแรงคดองค์การรับโมเมนต์คด					
กรณี	ลักษณะขององค์ประกอบ	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	ค่าจำกัดของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา		ตัวอย่าง
			λ_p อัตราส่วน/โมเมนต์คด	λ_r ไม่อัตราส่วน/โมเมนต์คด	
10	ปีกของเหล็กรูปทรงตัว I เหล็กรูปรางตัว และเหล็กรูปทรงตัว T	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
11	ปีกขององค์การประกอบรูปทรงตัว I แบบผสมคานตรงและแบบผสมคานเอียง	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
12	ขาของเหล็กรูปรางตัว	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
13	ปีกของเหล็กรูปทรงตัว I ที่ผสมคด และปีกของเหล็กรูปรางตัวที่รับโมเมนต์คดในแนวเอียง	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
14	ขาของเหล็กรูปทรงตัว T	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
15	เอวของเหล็กรูปทรงตัว I แบบผสมคานตรงและเอวของเหล็กรูปรางตัว	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
16	เอวของเหล็กรูปทรงตัว I แบบผสมคานเอียง	h/t_w	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $(0.5 \sqrt{\frac{E}{F_y}} - 0.09)$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาขององค์ประกอบรับแรงคด องค์การรับโมเมนต์คด					
กรณี	ลักษณะขององค์ประกอบ	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	ค่าจำกัดของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา		ตัวอย่าง
			λ_p อัตราส่วน/โมเมนต์คด	λ_r ไม่อัตราส่วน/โมเมนต์คด	
17	ปีกของเหล็กรูปท่อนสี่เหลี่ยมคี่	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
18	แผ่นปีกของปีกและโต๊ะแผ่นระหว่างแนวของตัวสี่เหลี่ยมคี่	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
19	เอวของเหล็กรูปท่อนสี่เหลี่ยมคี่ และเหล็กรูปท่อน	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	เหล็กรูปท่อนกลม	D/t	$0.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
21	ปีกของเหล็กรูปท่อน	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

ตาราง 6.1-1 ตารางตัวเลือกสำหรับการเลือกหัวข้อที่ 6 (ต่อ)				
หัวข้อในบทที่ 6	หน้าตัด	ความขรุขระของปีก	ความขรุขระของเอว	สภาวะขีดจำกัด
6.2		C	C	Y, LTB
6.3		NC, S	C	LTB, FLB
6.4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
6.5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY

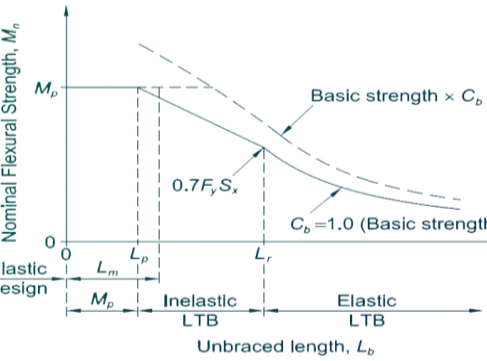
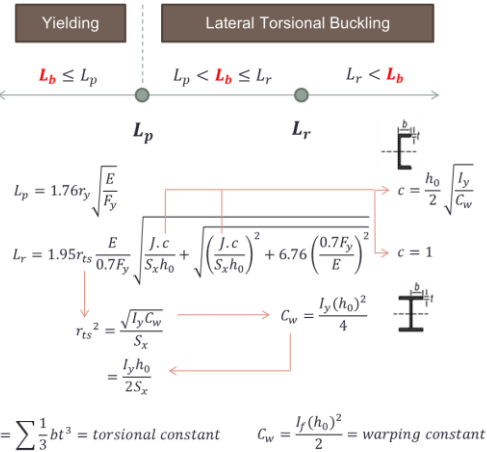


Steel Beam Design Procedure #WeLoveSteelConstruction



(2) ตรวจสอบพฤติกรรมคาน วสท.011038 บทที่ 6 ว่าจะใช้ สมการตาม 6.2 6.3 6.4 หรือ 6.5 ขึ้นกับพฤติกรรมตามข้อ (1) โดยส่วนใหญ่สำหรับเหล็กรูปพรรณรีดร้อน H-beam มักจะเป็นไปตาม 6.2 หรือ 6.3 แต่สำหรับ PEB หรือ plate girder อาจเป็นไปตาม 6.4 หรือ 6.5 ขึ้นกับ web slenderness

Optional
อาจพิจารณา moment gradient เพื่อเพิ่มค่ากำลังรับโมเมนต์วิกฤติ สำหรับกรณี LTB: $M_{cr,LTB}$ ตามสมการใน 6.1

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$


ตรวจสอบ strength และ stiffness ของระบบการค้ำยันทางข้าง จำแนกเป็น lateral brace vs. torsional brace

Beam lateral bracing - 2 #WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคานประเภทที่ 1 Lateral bracing
- ขณะที่เกิด beam buckling คานจะไม่ buckle ออกทางข้าง ระบบ bracing มีความสามารถต้าน "lateral translation" (แต่คานหลัก สิ้นฟ้า อาจบิด ตัวเกิด torsion ได้)
- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แบบจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง
- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานขอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall

Strength: ตรวจสอบกำลังรับแรงอัด โดยพิจารณาที่ 1% ของแรงอัดใน compression flange = 0.01M/h0

Stiffness: ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสถียรจากแรงอัดของ Slab/Deck

Beam lateral bracing - 3 #WeLoveSteelConstruction

The required shear strength of the bracing system is

$$V_{br} = 0.01 \left(\frac{M_r C_b}{h_0} \right) \quad (A-6-5)$$

and, the required shear stiffness of the bracing system is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_r C_b}{L_{br} h_0} \right) \quad (LRFD) \quad (A-6-6a)$$
$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{4M_r C_b}{L_{br} h_0} \right) \quad (ASD) \quad (A-6-6b)$$

- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แบบจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง

Beam lateral bracing - 4 #WeLoveSteelConstruction

In the direction perpendicular to the longitudinal axis of the beam, the required strength of end and intermediate point braces is

$$P_{br} = 0.02 \left(\frac{M_r C_b}{h_0} \right) \quad (A-6-7)$$

and, the required stiffness of the brace is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10M_r C_b}{L_{br} h_0} \right) \quad (LRFD) \quad (A-6-8a)$$
$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10M_r C_b}{L_{br} h_0} \right) \quad (ASD) \quad (A-6-8b)$$

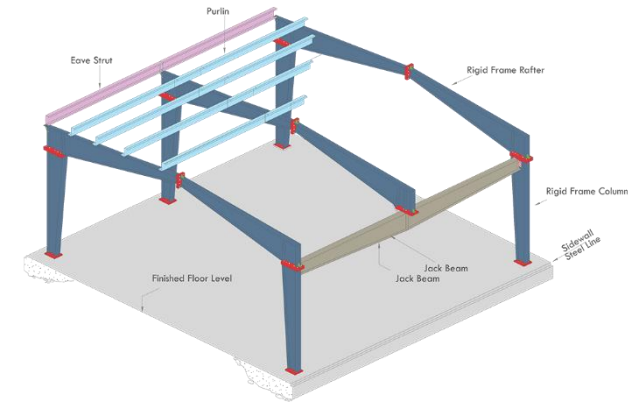
- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานขอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall

Beam lateral bracing - 5 #WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน ประเภทที่ 2 Torsional bracing
- ขณะที่เกิด beam lateral buckling โดยพฤติกรรม จะเกิดการบิด twist กลายเป็น lateral torsional buckling ไปพร้อมๆ กัน
- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานขอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน
- 2b) Continuous torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย คานขอยวางถี่ หรือ deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุนลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 1: สมมติ ขนาด Built-up beam:
 $d \sim L/22 = 12/22 = 0.545 \text{ m}$
กำหนดขนาด H 540x220x12x6

Step 2: หาผลรวมของแรง
(กำลังที่ต้องการ)

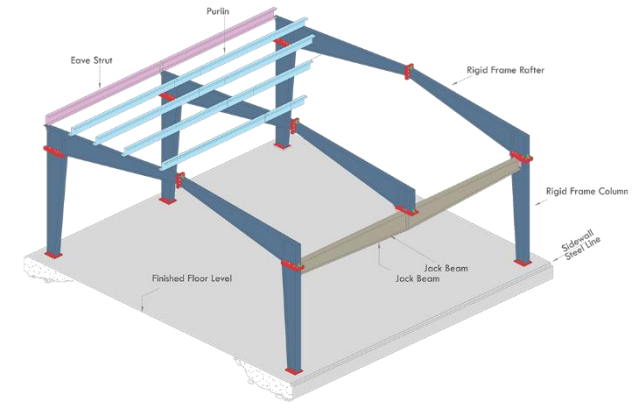


ASD	LRFD
$P_a = DL+LL$ $= 3+6$ $= 9 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(3)+1.6(6)$ $= 13.2 \text{ T}$
$M_a = P_a L/4$ $= 9*12/4$ $= 27 \text{ T-m}$	$M_u = P_u L/4$ $= 13.2*12/4$ $= 39.6 \text{ T-m}$
$V_a = P_a/2$ $= 9/2$ $= 4.5 \text{ T}$	$V_u = P_u/2$ $= 13.2/2$ $= 6.6 \text{ T}$

Calculation	
Full Report	Export
Material Properties	
I_{yc}	1,064.8 cm ⁴
I_x	43,675.23 cm ⁴
I_y	2,130.53 cm ⁴
J	29.15 cm ⁴
Z_x	1,793.3 cm ³
S_x	1,617.6 cm ³
A_s	83.76 cm ²
r_x	22.83 cm
h	51.6 cm
r_t	5.81 cm
h_0	52.8 cm
v	27 cm
r_{ts}	5.9 cm
a_w	1.17
K_c	0.43

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 3: ระบุลักษณะของหน้าตัด H 540x220x12x6

$$\lambda_f = b_f / 2t_f = 220 / 2 \cdot 12 = 9.17$$

$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{E/F_y} = 8.83$$

$$\lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{(k_c E / F_L)} = 17.3$$

Non-compact flange

$$\lambda_w = (d - 2t_f) / t_w = (540 - 2 \cdot 12) / 6 = 86$$

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{E/F_y} = 87.4$$

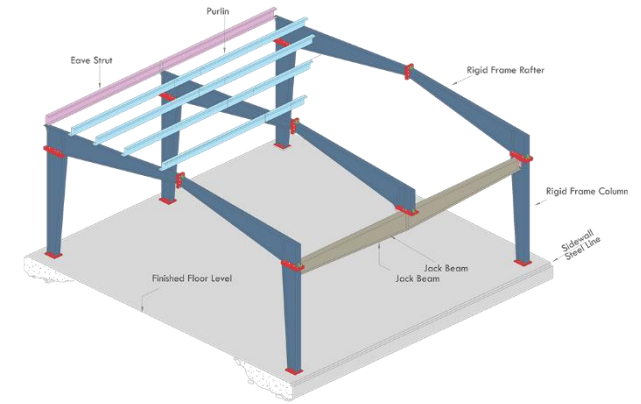
$$\lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{E/F_y} = 133$$

Compact web

Section In Chapter F	Cross Section	Flange Slenderness	Web Slenderness	Limit States
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 4: คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ

$$C_b = 12.5(1)/[2.5(1)+3(1/4)+4(1/2)+3(3/4)] = 1.67$$

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{E/F_y} = 2.06 \text{ m}$$

$$L_r = 1.95r_{ts} (E/0.7F_y) \sqrt{[(J_c/S_x h_o) + \sqrt{\{(J_c/S_x h_o)^2 + 6.76(0.7F_y/E)^2\}}]} = 5.42 \text{ m}$$

$$L_b = 6.0 \text{ m} \quad \text{คานมีพฤติกรรม Elastic Lateral Torsional Buckling}$$

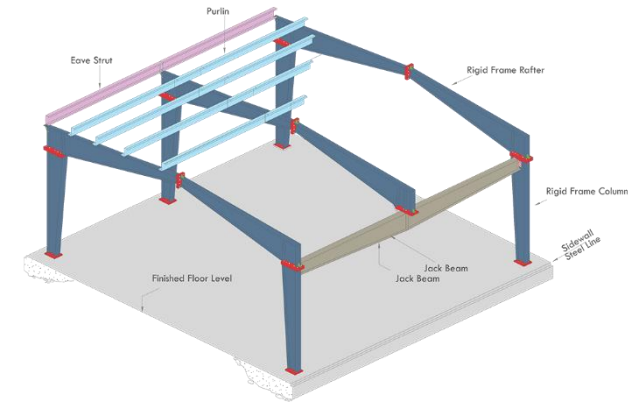
$$\begin{aligned} M_{LTB} &= C_b * \pi^2 E / (L_b / r_{ts})^2 \sqrt{[1 + 0.078 (J_c / S_x h_o) * (L_b / r_{ts})^2]} * S_x \\ &= 1.67 * 2,153 * 1,618 \text{ kg-cm} \\ &= 58,175 \text{ kg-m} \quad (\text{ถ้าพิจารณา } C_b = 1 \text{ จะได้ } M_{LTB} = 34,836 \text{ kg-m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{FLB} &= M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) / (\lambda_{rf} - \lambda_{pf}) * (\lambda_f - \lambda_{pf}) \\ &= [1,793 - (1,793 - 0.7 * 1,618) / (17.3 - 8.83) * (9.17 - 8.83)] * 3,700 \\ &= 65,360 \text{ kg-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{Min} (M_{LTB}, M_{FLB}) \\ &= 58,175 \text{ kg-m} \end{aligned}$$

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 5: คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6F_y A_v C_v = 0.6F_y A_w [1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}] / (h / t_w) \\ &= 0.6 * 3700 * (54 * 0.6) * [1.10 \sqrt{(5.34 * 200000 / 370)}] / (51.6 / 0.6) \\ &= 49,428 \text{ kg} \end{aligned}$$

Step 6: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

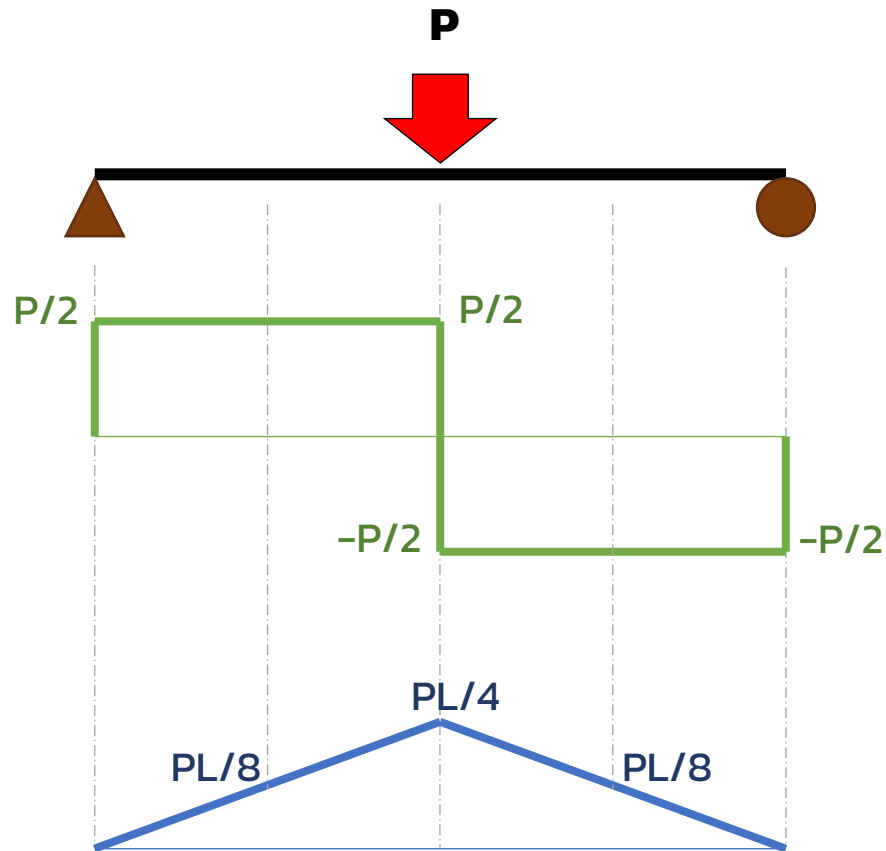
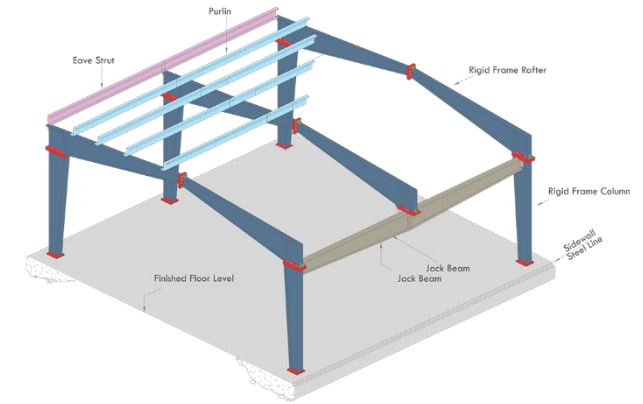
ASD	LRFD
$M_a = 27,000 \text{ kg-m}$	$M_u = 39,600 \text{ kg-m}$
$M_n / \Omega = 58,175 / 1.67 = 34,836 \text{ kg-m}$	$\gamma M_n = 0.9 * 58,175 = 52,358 \text{ kg-m}$
$V_a = 4,500 \text{ kg}$	$V_u = 6,600 \text{ kg}$
$V_n / \Omega = 49,428 / 1.67 = 29,598 \text{ kg}$	$\gamma V_n = 0.9 * 49,387 = 44,486 \text{ kg}$

Step 7: ตรวจสอบ deflection limit

$$\begin{aligned} \Delta_{TL} &= PL^3 / 48EI = 9,000 * 1,200^3 / (48 * 20000000 * 43,675) = 3.71 \text{ cm} \\ \Delta_{LL} &= 2.47 \text{ cm} \end{aligned}$$

Beam Optimization

#WeLoveSteelConstruction



Midspan: $d = 420 \text{ mm}$
 $M_u = 39,600 \text{ kg-m}$

Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	
48,557	
kg-m	
Lateral Torsional Buckling Moment	
47,883	
kg-m	
Flange Local Buckling Moment	
47,953	
kg-m	
Factored Nominal Moment (ϕM_n)	
43,095	
kg-m	
Factored Nominal Shear Strength (ϕV_n)	
45,085	
kg	

Quarter: $d = 360 \text{ mm}$
 $M_u = 19,800 \text{ kg-m}$

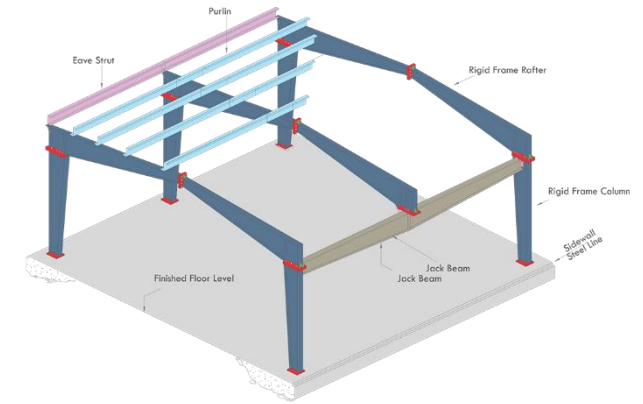
Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	
40,258	
kg-m	
Lateral Torsional Buckling Moment	
43,031	
kg-m	
Flange Local Buckling Moment	
39,798	
kg-m	
Factored Nominal Moment (ϕM_n)	
35,818	
kg-m	
Factored Nominal Shear Strength (ϕV_n)	
43,157	
kg	

Support: $d = 300 \text{ mm}$
 $V_u = 6,600 \text{ kg}$

Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	
32,360	
kg-m	
Lateral Torsional Buckling Moment	
36,632	
kg-m	
Flange Local Buckling Moment	
32,022	
kg-m	
Factored Nominal Moment (ϕM_n)	
28,820	
kg-m	
Factored Nominal Shear Strength (ϕV_n)	
35,964	
kg	

Beam Optimization

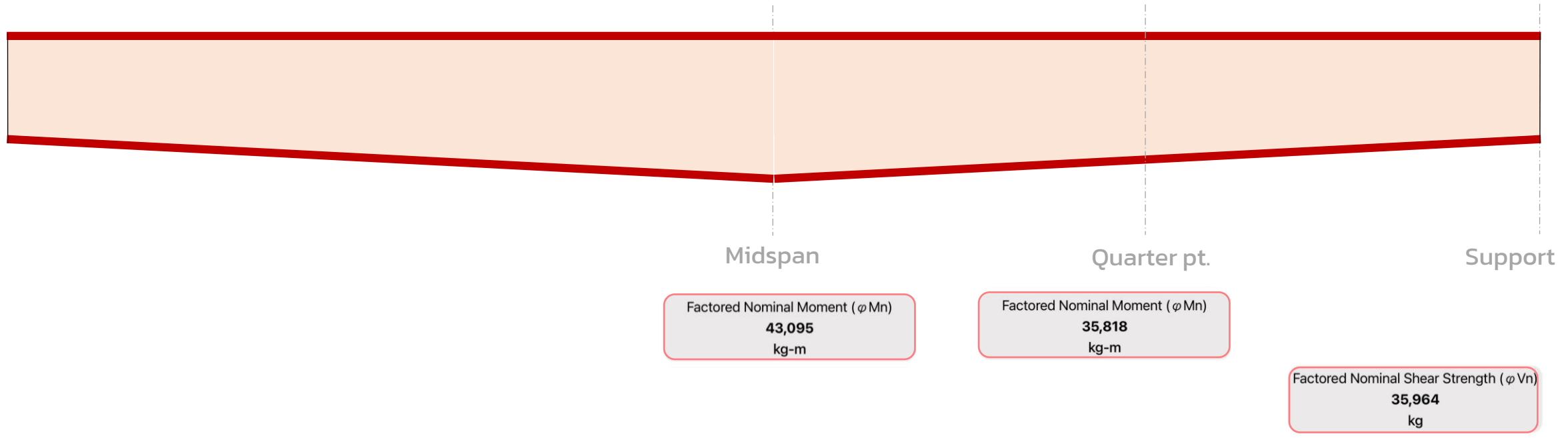
#WeLoveSteelConstruction



Midspan: $d = 420 \text{ mm}$
 $M_u = 39,600 \text{ kg-m}$

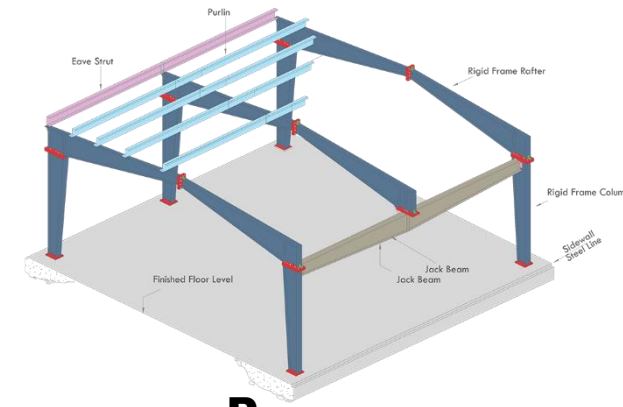
Quarter: $d = 360 \text{ mm}$
 $M_u = 19,800 \text{ kg-m}$

Support: $d = 300 \text{ mm}$
 $V_u = 6,600 \text{ kg}$



Built-up Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction

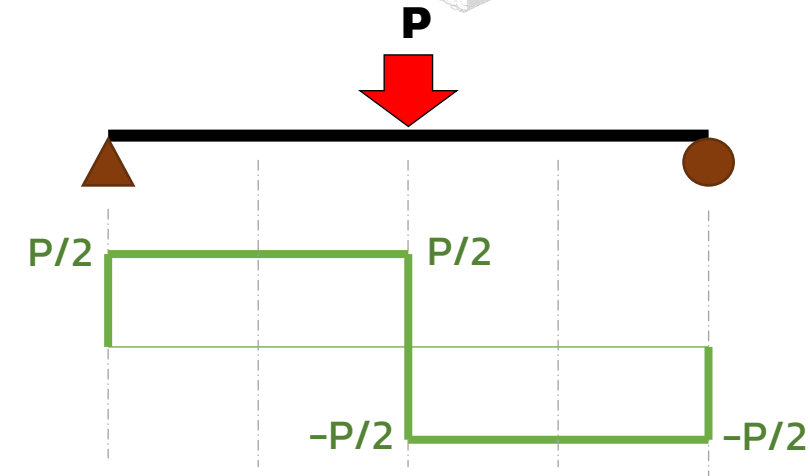


ตัวอย่าง จงออกแบบรอยเชื่อมแบบ fillet weld 2 ด้าน ระหว่าง flange และ web ของ Built-up beam ขนาด H 420x220x12x6 ($I_x = 25,085 \text{ cm}^4$) ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** คำนวณแรงเฉือนที่ต้องการ
- **Step 2:** คำนวณ shear flow ที่ต้องการ ณ ตำแหน่งรอยเชื่อม
- **Step 3:** กำหนดขนาดรอยเชื่อมและคำนวณกำลังรับแรงที่มี
- **Step 4:** ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนที่มี เทียบกับกำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

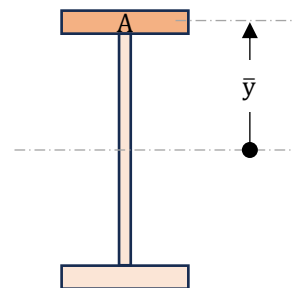
Step 1: คำนวณแรงเฉือนที่ต้องการ

ASD	LRFD
$P_a = DL+LL$ $= 3+6$ $= 9 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(3)+1.6(6)$ $= 13.2 \text{ T}$
$V_a = P_a/2$ $= 9/2$ $= 4.5 \text{ T}$	$V_u = P_u/2$ $= 13.2/2$ $= 6.6 \text{ T}$



Step 2: คำนวณ shear flow ที่ต้องการ ณ ตำแหน่งรอยเชื่อม

$$v = \frac{VQ_x}{I_x}$$

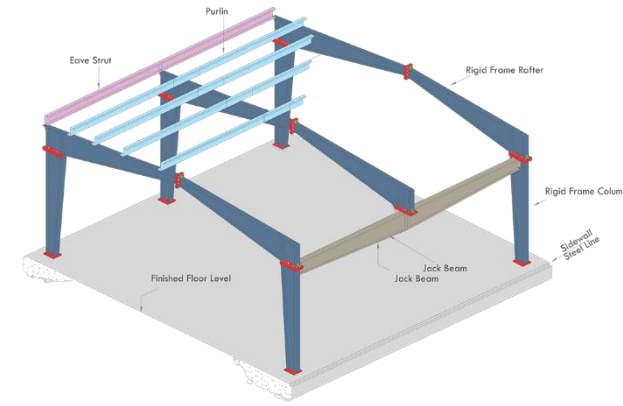


$$Q_x = [(22 * 1.2) * (42 - 1.2)/2] = 538.6 \text{ cm}^3$$

ASD	LRFD
$v_a = V_a Q_x / I_x$ $= 96.6 \text{ kg/cm}$	$v_u = V_u Q_x / I_x$ $= 142 \text{ kg/cm}$

Built-up Beam Design Example

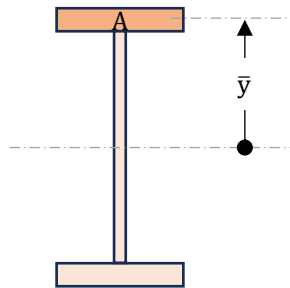
#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง จงออกแบบรอยเชื่อมแบบ fillet weld 2 ด้าน ระหว่าง flange และ web ของ Built-up beam ขนาด H 420x220x12x6 ($I_x = 25,085 \text{ cm}^4$) ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** คำนวณแรงเฉือนที่ต้องการ
- **Step 2:** คำนวณ shear flow ที่ต้องการ ณ ตำแหน่งรอยเชื่อม
- **Step 3:** กำหนดขนาดรอยเชื่อมและคำนวณกำลังรับแรงที่มี
- **Step 4:** ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนที่มี เทียบกับกำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

Step 3: กำหนดขนาดรอยเชื่อมและคำนวณกำลังรับแรงที่มี



กำหนดรอยเชื่อม fillet weld เชื่อมต่อเนื่อง 2 ด้าน leg size 4 mm ใช้ลวดเชื่อมเกรด F_{E70xx} ($F_u = 4,900 \text{ ksc}$)

ASD	LRFD
$v_n/\Omega = 0.6F_u/2*(2*0.4/\sqrt{2})$ $= 832 \text{ kg/cm}$	$\gamma v_n = 0.75*0.6F_u*(2*0.4/\sqrt{2})$ $= 1,247 \text{ kg/cm}$

Step 4: ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนที่มี เทียบกับกำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

ASD	LRFD
$v_a = 96.6 \text{ kg/cm}$ $v_n/\Omega = 832 \text{ kg/cm}$	$v_u = 142 \text{ kg/cm}$ $\gamma v_n = 1,247 \text{ kg/cm}$

OK

อาจกำหนดรอยเชื่อม fillet weld เชื่อม 100 mm @ 400 mm 2 ด้าน leg size 4 mm



ประเภท และมาตรฐานอุปกรณ์ยึด

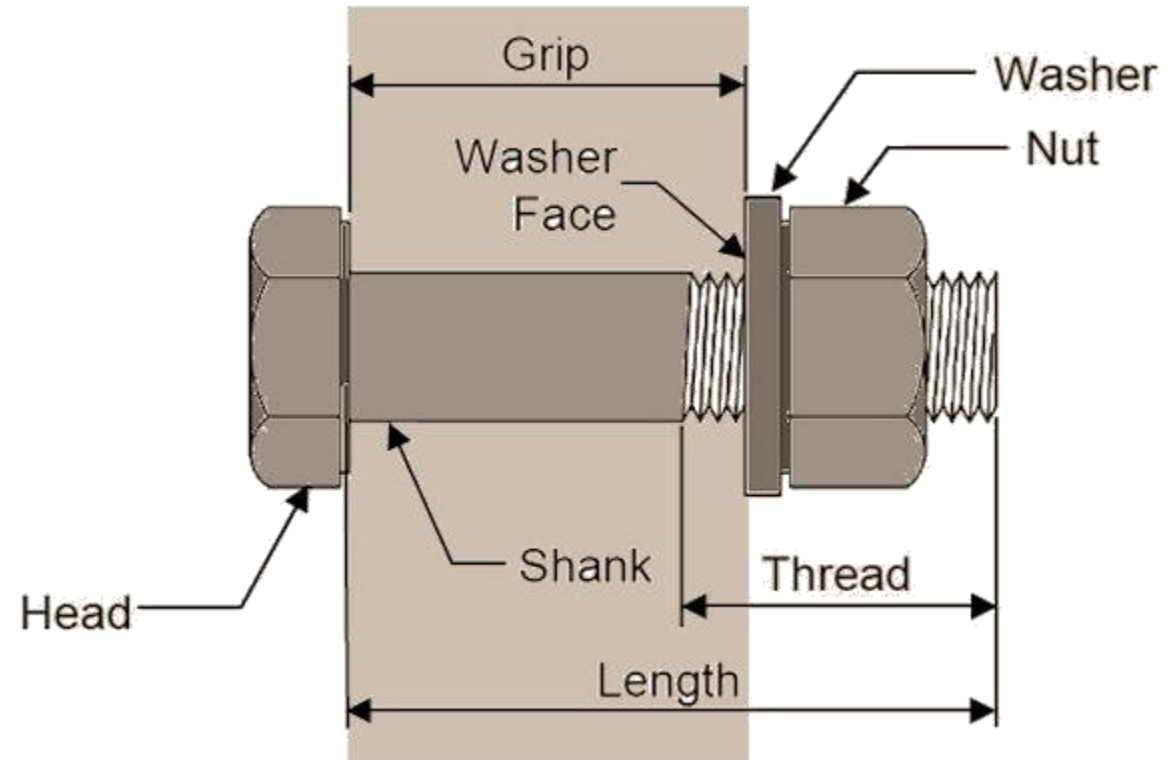
#WeLoveSteelConstruction

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



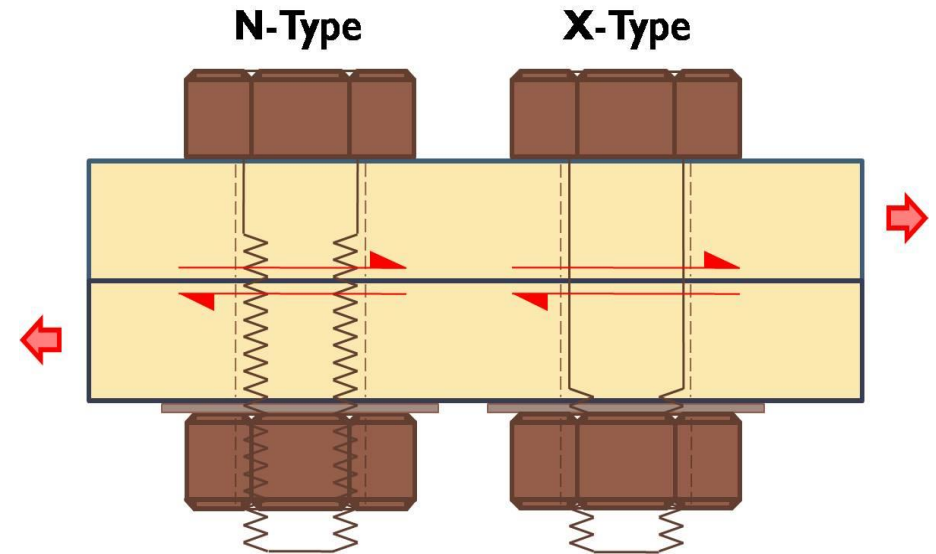
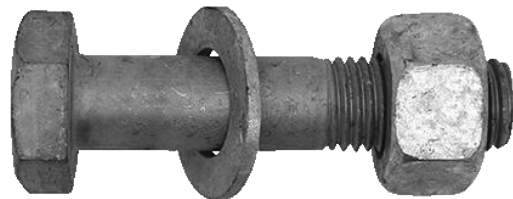
- ☐ Bolt เกลียวเต็ม
- ☐ รับกำลังได้น้อยลง เพราะเสียพื้นที่
- ☐ ราคาแพงกว่า (ทำเกลียวเยอะกว่า)
- ☐ ทำงานได้สะดวกกว่า



X-Type



- ☐ Bolt เกลียวไม่เต็ม
- ☐ รับกำลังได้มากกว่า
- ☐ ราคาถูกกว่า
- ☐ ต้องควบคุมความหนาให้ดี ทำงานยาก



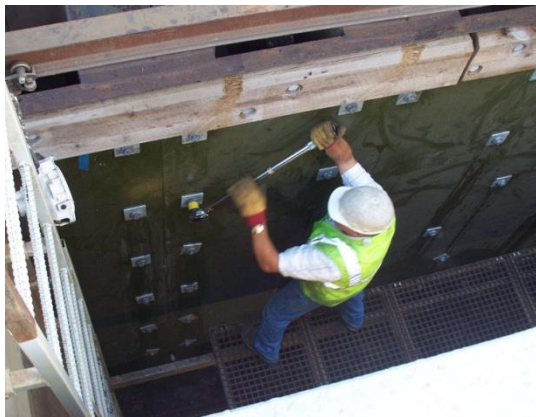
ในทางปฏิบัติ ผู้ออกแบบมักจะที่จะกำหนดให้ใช้ Bolt ประเภท A325N หรือ A490N เพื่อความสะดวกในการออกแบบ และการควบคุมงานเนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่าเกลียวอยู่ในระยะรับแรงเฉือนหรือไม่ และไม่ต้องเป็นกังวลว่าความหนาชิ้นงานที่จับยึดจะไม่เพียงพอ อันส่งผลต่อความแน่นในการจัดยึด

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 อันส่งผลต่อการถ่ายแรงเฉือนผ่านระนาบที่มีความฝืดนี้

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

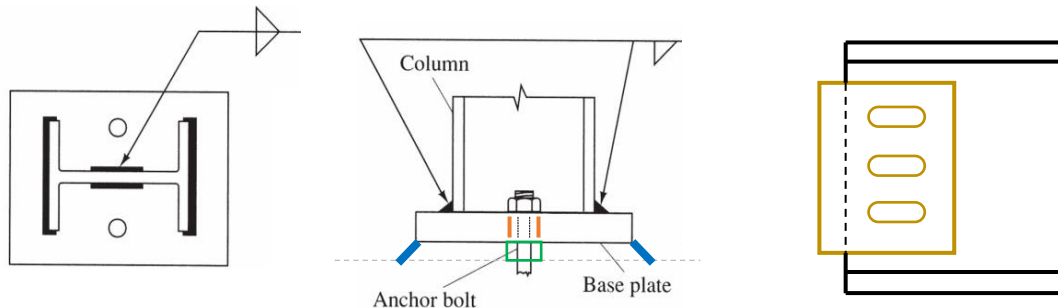
- เลื่อนวิกฤต
- ต้องขันแน่นดังเช่น TC bolt แต่ต้องทำ surface treatment
- ใช้ limit state ที่ “การ slip” หรือ วิบัติเมื่อเลื่อน หรือ ขยับ

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

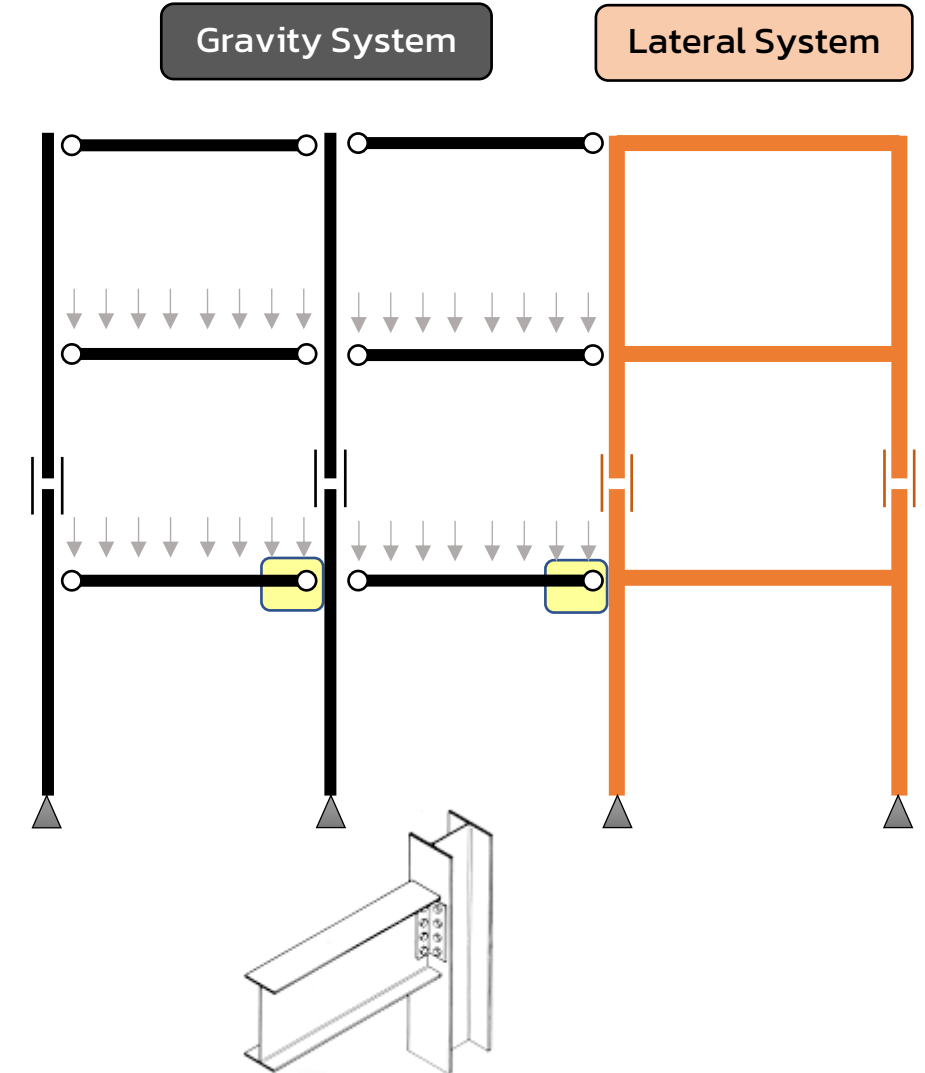
SC Slip-critical bolt

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

Snug-tightened (ST) Bolt

#WeLoveSteelConstruction

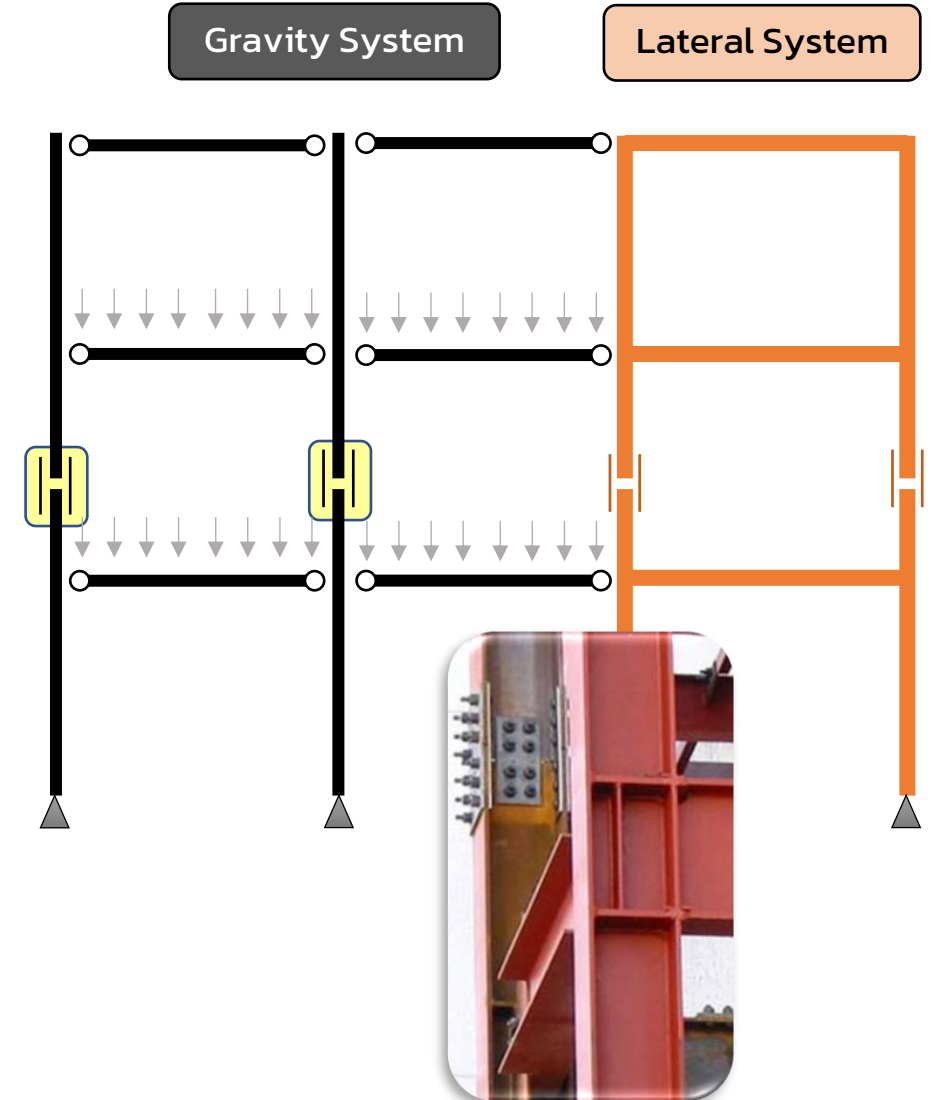
- Snug-tightened Bolt สลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี คือ สลักเกลียวที่ขันให้แน่นพอดีตึงมือ โดยใช้ประแจขันแบบธรรมดาโดยคนงาน (ไม่ต้องโหนแรง) หรืออาจใช้ ประแจแบบกระแทก (impact wrench)
- ใช้กับรอยต่อที่สลักเกลียวรับแรงเฉือนเป็นหลัก หรือรับแรงเฉือนและแรงดึง ที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทางของแรงกระทำ (static) เช่น รอยต่อคานเหล็กแบบรับแรงโน้มถ่วง (gravity load) ของบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งแรงไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง เป็นต้น



Pretensioned (PT) Bolt

#WeLoveSteelConstruction

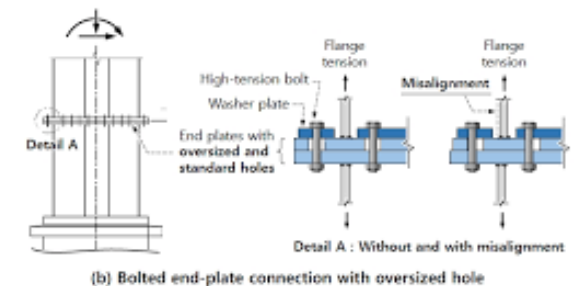
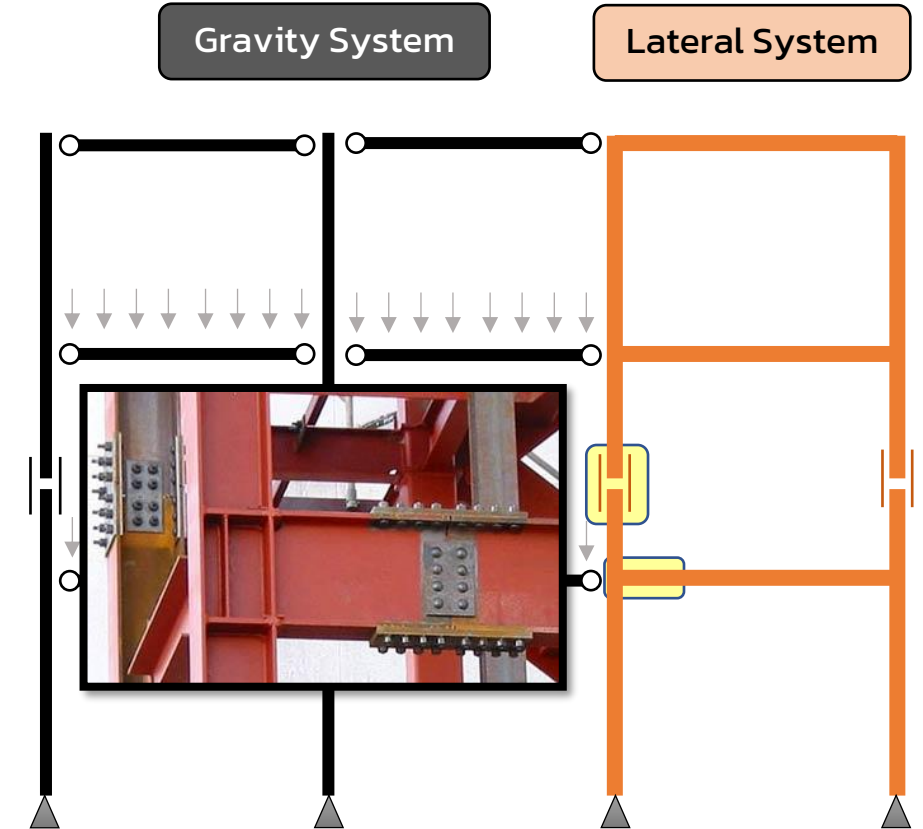
- Pretensioned bolt คือสลักเกลียวที่ต้องขันแน่นจนได้แรงไม่น้อยกว่าค่าแรงดิ่งขั้นต่ำที่ระบุ (ในมาตรฐาน แต่ไม่เกิน proof strength ซึ่งเป็นกำลัง ณ ระดับที่ทำให้ bolt เกิด plastic deformation)
- ใช้กับส่วนของอาคารที่ต้องการให้อาคารมีสภาพะการใช่งานที่ดี (Serviceability) ผู้ใช้อาคาร “รู้สึก” ปลอดภัย รอยต่อมีความแน่น ขยับแทบไม่ได้ (การขยับได้ไม่ส่งผลกระทบกับกำลังการรับน้ำหนักของจุดต่อ) เช่น การต่อตาม (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” การทำผิวสัมผัส ชันงานที่ต่อเข้าด้วยกันให้มีความฝืด เพื่อให้เกิดการถ่ายแรงผ่านผิวสัมผัส (friction)
- ใช้กับโครงสร้างที่ต้องรับแรงแบบ Dynamic load โดยแรงกระทำมีลักษณะเปลี่ยนทิศไป-มา เช่น สะพาน โครงสร้างเหล็กที่ต้องรับแรงกระแทกจากยานพาหนะ เป็นประจำ หรือ lateral system ของอาคาร ที่ต้องรับแรงลมแรงแผ่นดินไหวกลับไปกลับมา หรือ จุดต่อที่ใช้รูเจาะขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน (oversized hole) เพื่ออำนวยความสะดวกติดตั้ง เป็นต้น

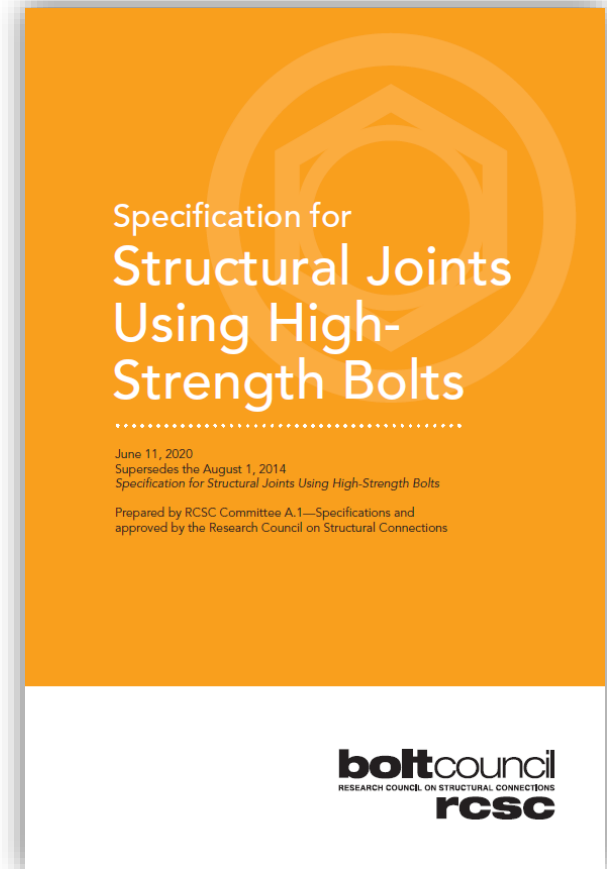


Latest US Reference for Bolt

#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.

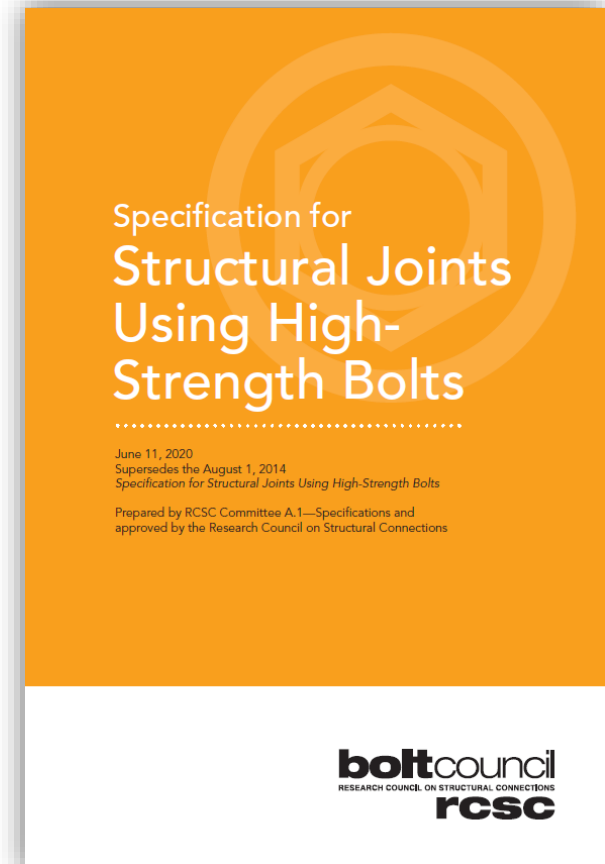
boltcouncil
RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS
RCSC

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





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)

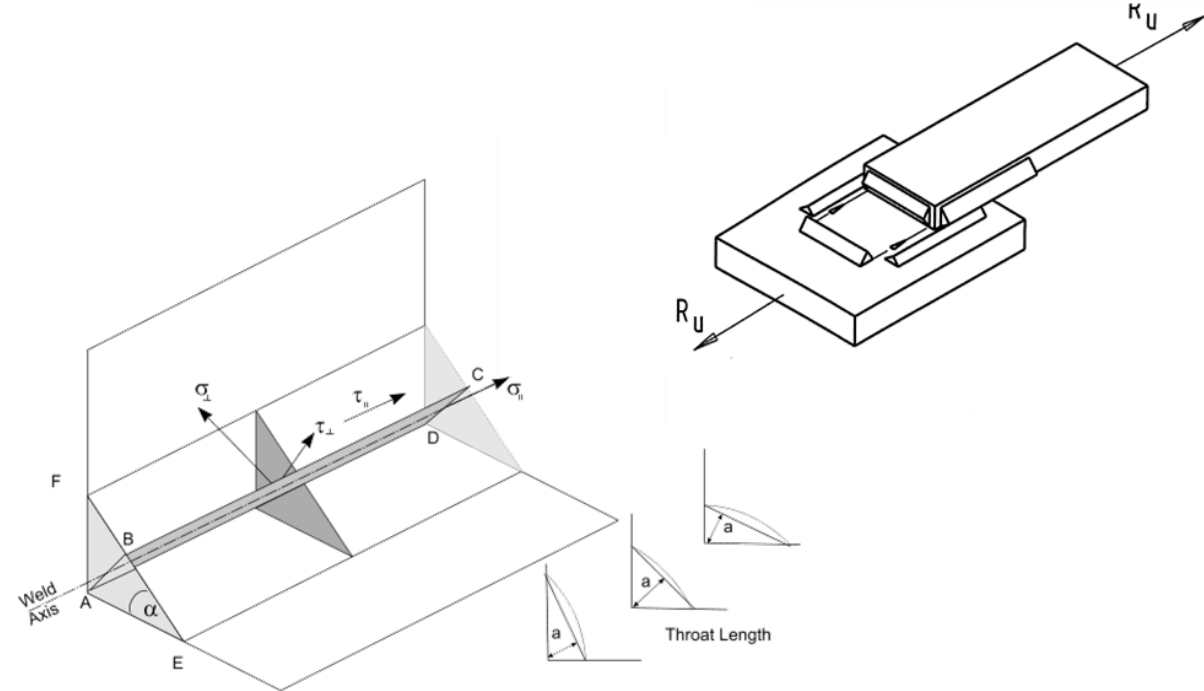


รอยเชื่อม fillet weld ที่ไม่สมบูรณ์

Welding

#WeLoveSteelConstruction

- เกรดของวัสดุเชื่อม (welding material) มักอ้างอิงมาตรฐานอเมริกา โดยกำหนด FExx โดยที่ xx แสดง “กำลังรับแรงดึงสูงสุด” ของวัสดุเชื่อมในหน่วย ksi (แปลงเป็น MPa คูณ 7 เป็น ksc คูณ 70)
- FE70 มี $F_u = 70 \text{ ksi} = 490 \text{ MPa} = 4,900 \text{ ksc}$ เป็นเกรดที่นิยมใช้มากที่สุด 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



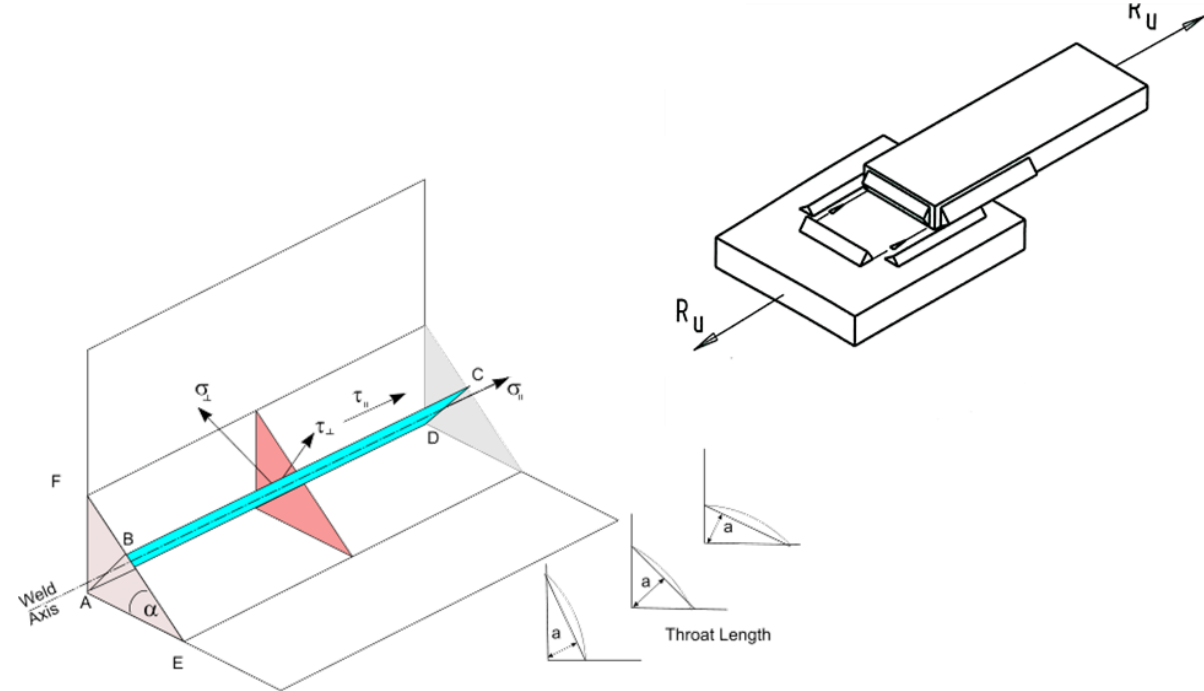
Welding

#WeLoveSteelConstruction

- พื้นที่รับแรง (เฉือน) ของ fillet weld เป็น **พื้นที่ที่อยู่ในแนวทแยง** จาก weld leg (AE หรือ AF ดังรูป) ในแนว AB ซึ่งหาก $AE = AF$ จะได้ว่า $AB = \text{leg size} / \sqrt{2}$ 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] $\Omega = 2.0$

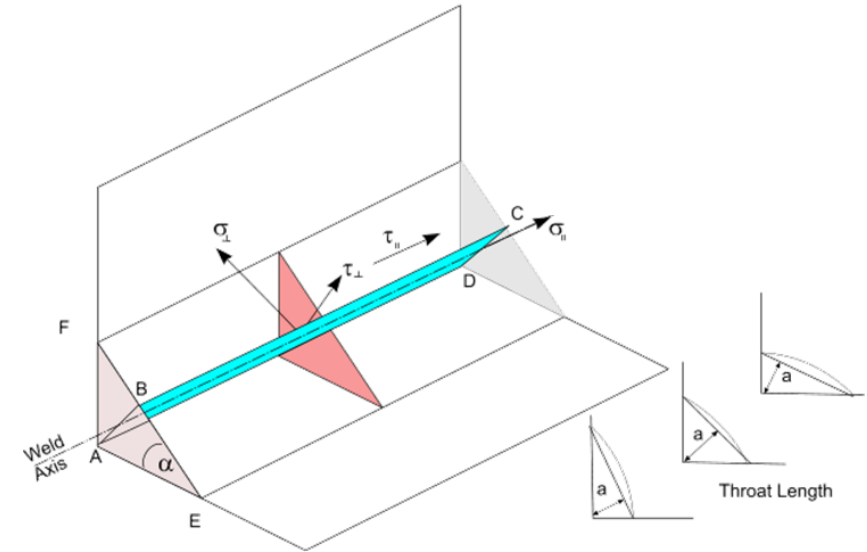
[LRFD] $\gamma = 0.75$



Welding

#WeLoveSteelConstruction

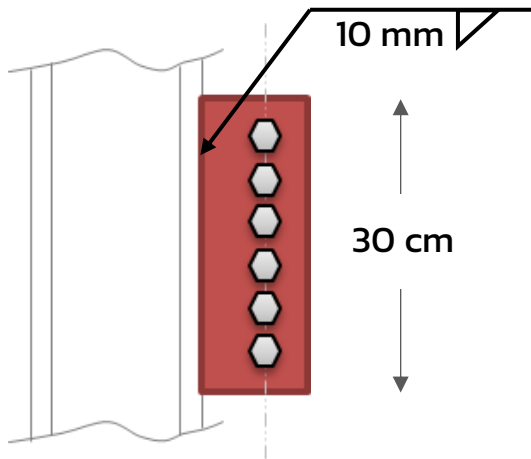
- การเชื่อมพอก หรือ fillet weld ระบุว่า จะเกิดการวิบัติ เป็นระนาบที่ มีขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกเฉือนขาด ซึ่งเป็นมุม 45 องศา วัดจากขอบที่ตึงฉาก
- กำลังรับแรงเฉือน ~ 60% ของกำลังรับแรงดึง
พื้นที่รับแรงเฉือน ~ $\text{leg size} / \sin(45^\circ) * \text{ความยาว}$
กำลังรับแรงเฉือนระบุ (nominal shear strength)
 $= (0.6 F_u) (\text{leg size} / \sqrt{2} * \text{length})$
 $= (0.6 * (70 * 70 \text{ ksc}) / \sqrt{2}) * (\text{leg size} * \text{length})$
 $= 2,079 (\text{leg size} * \text{length}) \dots$ 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 = $\Omega = 2$	$\phi = 0.75$
$R_{allow} = R_n / \Omega$ $R_{allow} = 0.3 F_u A_{w,eff}$	$R_n = 0.6 F_u A_{w,eff}$ $\phi R_n = 0.45 F_u A_{w,eff}$

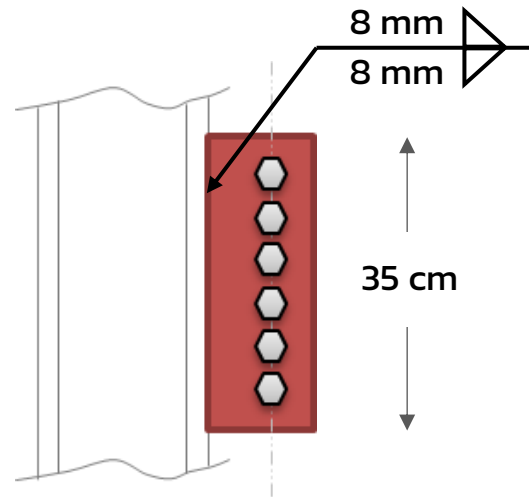
Welding

#WeLoveSteelConstruction



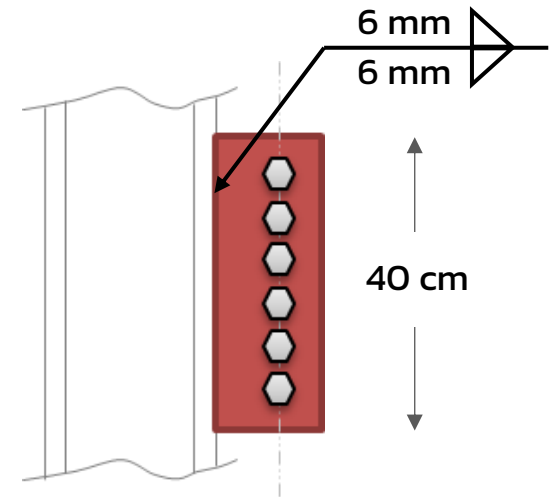
รอยเชื่อม fillet weld นี้

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



การออกแบบเพื่อควบคุมการแอ่นตัว Deflection controlled design

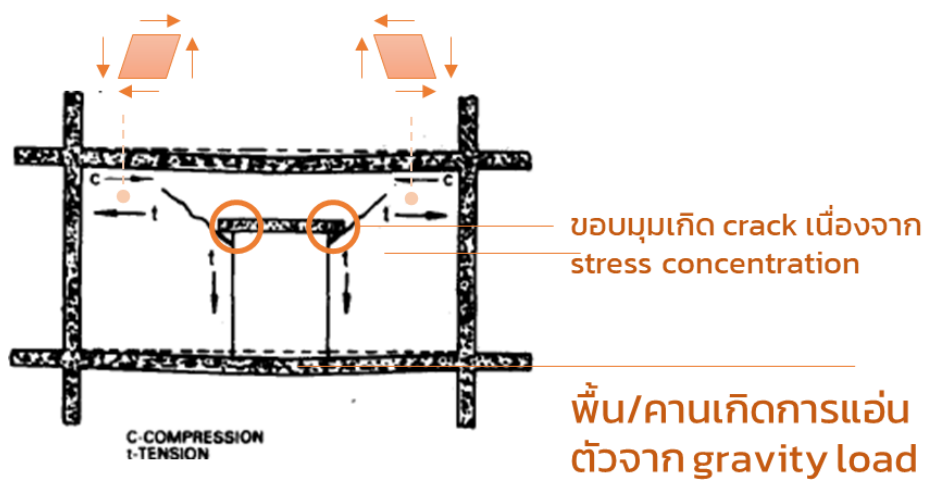
#WeLoveSteelConstruction



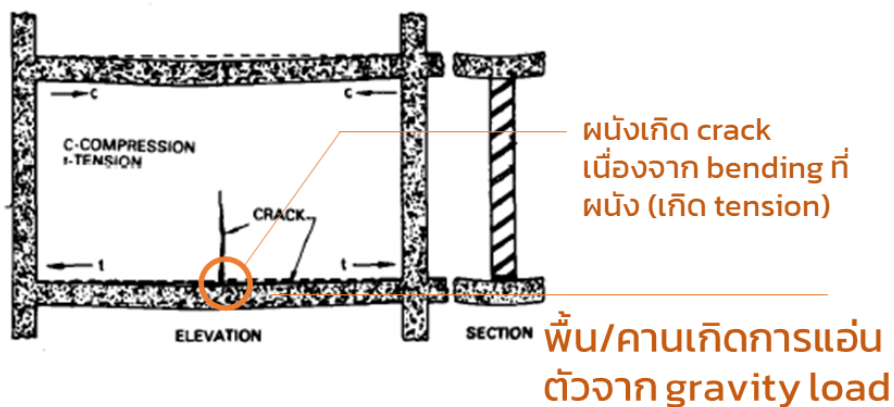
ตารางที่ 2.2.1(ก) ขีดจำกัดการแอ่นตัว ก ข ค ชม (อ้างอิง คำอธิบายเพิ่มเติมจาก IBC 2012 ตารางที่ 1604.3)

ส่วนของโครงสร้าง	น้ำหนักบรรทุกจร	น้ำหนักบรรทุกจากแรงลม ^ฉ	น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร ^{งข}
โครงสร้างหลังคา ^ก			
ที่รองรับฝ้าเพดานยิปซัม	L/360	L/360	L/240
ที่รองรับฝ้าเพดานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยิปซัม	L/240	L/240	L/180
ที่ไม่ได้รองรับฝ้าเพดาน	L/180	L/180	L/120
องค์อาคารที่รองรับแผ่นมุงหลังคาโลหะ	L/150	---	---
หลังคาโครงสร้างโลหะและองค์อาคารที่รองรับแผ่นปิดผนังด้านข้าง ^ก	---	---	L/60
องค์อาคารของพื้น	L/360	---	L/240
ผนังภายนอกและฉากกั้นภายใน			
ที่มีพื้นผิวเปราะ	---	L/240	---
ที่มีพื้นผิวยืดหยุ่น	---	L/120	---
องค์อาคารที่รองรับแผ่นเหล็กปิดผนังด้านข้าง	---	L/90	---
อาคารโรงนา	---	---	L/180
โรงเรือนกระจกสำหรับเพาะปลูกพืช	---	---	L/120

#WeLoveSteelConstruction



Shear Crack

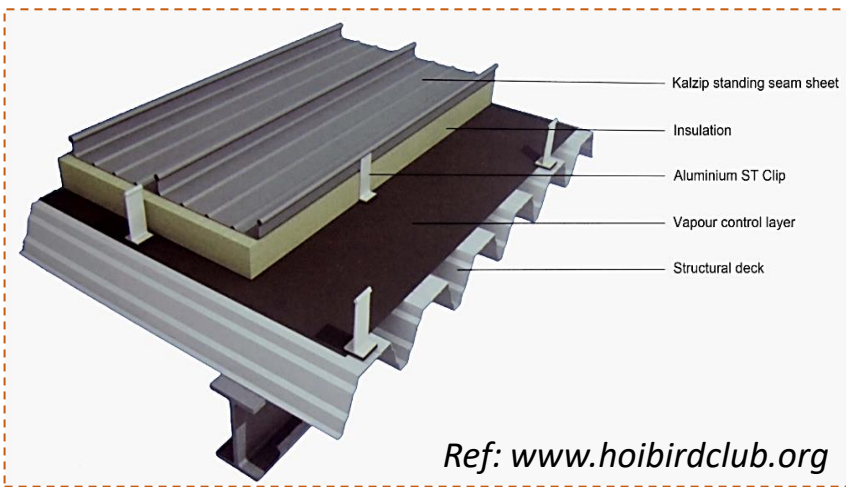


Tension Crack

ตารางที่ 2.2.1(ก) ขีดจำกัดการแอ่นตัว^{ก ข ค ช ฅ ฌ} (อ้างอิง คำอธิบายเพิ่มเติมจาก IBC 2012 ตารางที่ 1604.3)

ส่วนของโครงสร้าง	น้ำหนักบรรทุกจร	น้ำหนักบรรทุกทุกจากแรงลม ^ฌ	น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร ^{ง ข}
โครงสร้างหลังคา ^ก			
ที่รองรับฝ้าเพดานยิปซัม	L/360	L/360	L/240
ที่รองรับฝ้าเพดานอื่น ๆ ที่ไม่ไช่ยิปซัม	L/240	L/240	L/180
ที่ไม่ได้รองรับฝ้าเพดาน	L/180	L/180	L/120
องค์อาคารที่รองรับแผ่นมุงหลังคาโลหะ	L/150	---	---
หลังคาโครงสร้างโลหะและองค์อาคารที่รองรับแผ่นปิดผนังด้านข้าง ^ก	---	---	L/60
องค์อาคารของพื้น	L/360	---	L/240
ผนังภายนอกและฉากกั้นภายในที่มีพื้นผิวเปราะ	---	L/240	---
ที่มีพื้นผิวยึดหยุ่น	---	L/120	---
องค์อาคารที่รองรับแผ่นเหล็กปิดผนังด้านข้าง	---	L/90	---
อาคารโรงนา	---	---	L/180
โรงเรือนกระจกสำหรับเพาะปลูกพืช	---	---	L/120

Ref: <http://www.rendercon.com/cracks/>

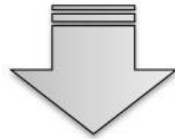


ตารางที่ 2.2.1(ก) ขีดจำกัดการแอ่นตัว^{ก ข ค ฅ ฌ} (อ้างอิง คำอธิบายเพิ่มเติมจาก IBC 2012 ตารางที่ 1604.3)

ส่วนของโครงสร้าง	น้ำหนักบรรทุกจร	น้ำหนักบรรทุกจากแรงลม ^ฉ	น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร ^{ง ข}
โครงสร้างหลังคา ^จ			
ที่รองรับฝ้าเพดานยิปซัม	L/360	L/360	L/240
ที่รองรับฝ้าเพดานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยิปซัม	L/240	L/240	L/180
ที่ไม่ได้รองรับฝ้าเพดาน	L/180	L/180	L/120
องค์อาคารที่รองรับแผ่นมุงหลังคาโลหะ	L/150	---	---
หลังคาโครงสร้างโลหะและองค์อาคารที่รองรับแผ่นปิดผนังด้านข้าง ^ก	---	---	L/60
องค์อาคารของพื้น	L/360	---	L/240
ผนังภายนอกและฉากกั้นภายในที่มีพื้นผิวเปราะ	---	L/240	---
ที่มีพื้นผิวยืดหยุ่น	---	L/120	---
องค์อาคารที่รองรับแผ่นเหล็กปิดผนังด้านข้าง	---	L/90	---
อาคารโรงนา	---	---	L/180
โรงเรือนกระจกสำหรับเพาะปลูกพืช	---	---	L/120

#WeLoveSteelConstruction

Protective Coating for Steel Structures



Law of Energy
Conservation



พลังงาน



เหล็กออกไซด์



พลังงาน



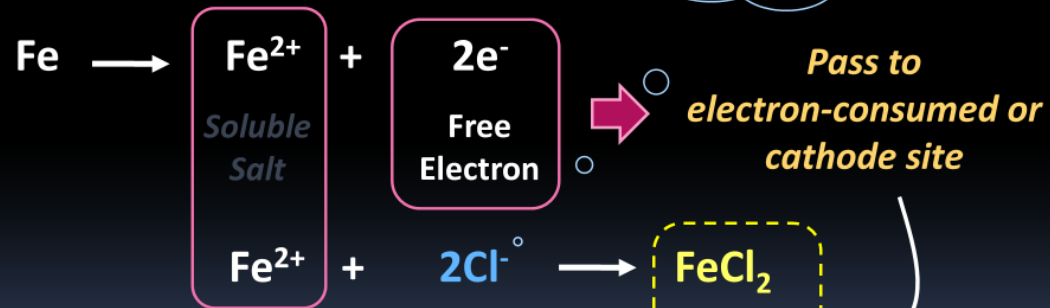
STRUCTURAL MAINTENANCE

STEEL MAINTENANCE OVERVIEW

POTENTIAL DETERIORATION - RUST

■ MECHANISM

□ ANODIC REACTION

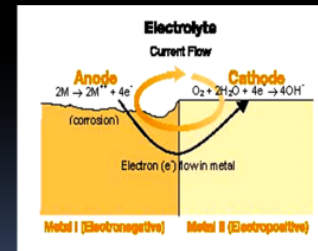


□ CATHODIC REACTION



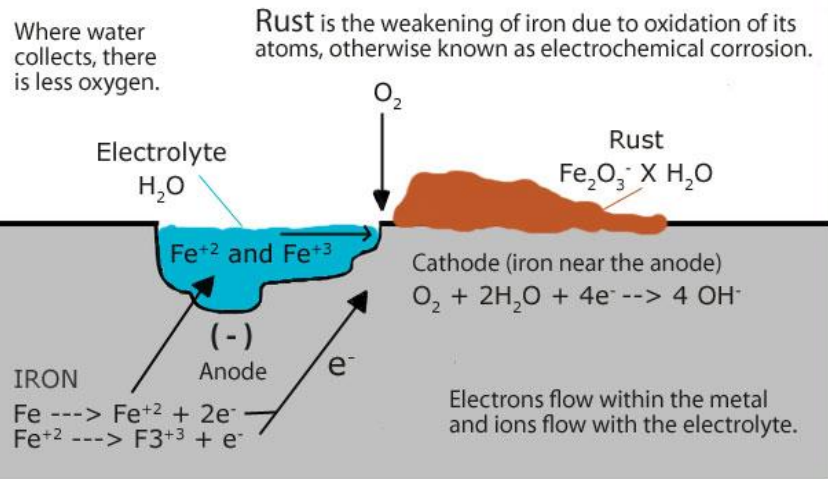
■ MECHANISM

□ ANODIC REACTION



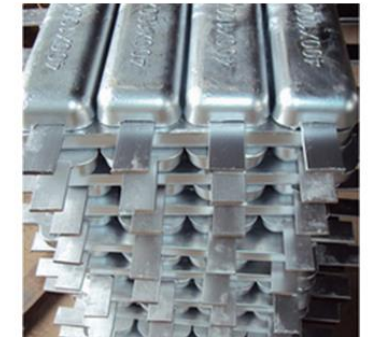
Oxygen จึงเป็น “หนึ่งในปัจจัย” ที่ทำให้เกิดสนิม

Corrosion (Fe_2O_3) thus occurs at the anode but not at the cathode.

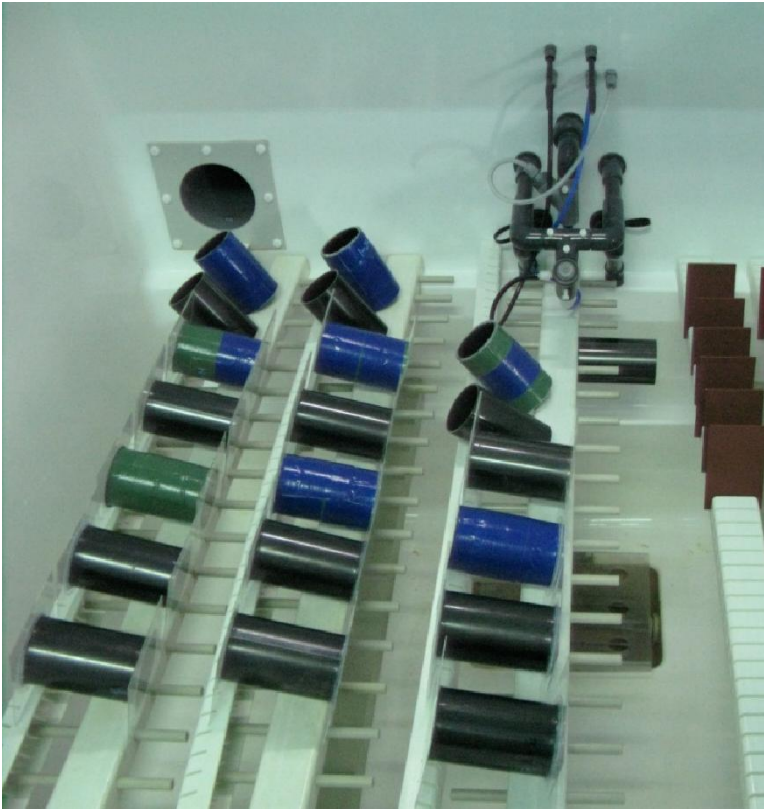


Electromotive Force Series (77°F)

Element	Electrode Reaction	Standard Electrode Potential (v)
Sodium	$Na \rightarrow Na^+ + e^-$	-2.712
Magnesium	$Mg \rightarrow Mg^{++} + 2e^-$	-2.340
Beryllium	$Be \rightarrow Be^{++} + 2e^-$	-1.700
Aluminum	$Al \rightarrow Al^{+++} + 3e^-$	-1.670
Manganese	$Mn \rightarrow Mn^{++} + 2e^-$	-1.050
Zinc	$Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e^-$	-0.762
Chromium	$Cr \rightarrow Cr^{+++} + 3e^-$	-0.710
Iron	$Fe \rightarrow Fe^{+++} + 3e^-$	-0.440
Cadmium	$Cd \rightarrow Cd^{++} + 2e^-$	-0.402
Cobalt	$Co \rightarrow Co^{++} + 2e^-$	-0.277
Nickel	$Ni \rightarrow Ni^{++} + 2e^-$	-0.250
Tin	$Sn \rightarrow Sn^{++} + 2e^-$	-0.136
Lead	$Pb \rightarrow Pb^{++} + 2e^-$	-0.126
Hydrogen	$H \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	(reference) 0.000
Copper	$Cu \rightarrow Cu^{++} + 2e^-$	0.345
Copper	$Cu \rightarrow Cu^+ + e^-$	0.522
Silver	$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$	0.800
Platinum	$Pt \rightarrow Pt^{++} + 2e^-$	1.200
Gold	$Au \rightarrow Au^{+++} + 3e^-$	1.420



การทดสอบอัตราการเกิดสนิมของท่อเหล็ก

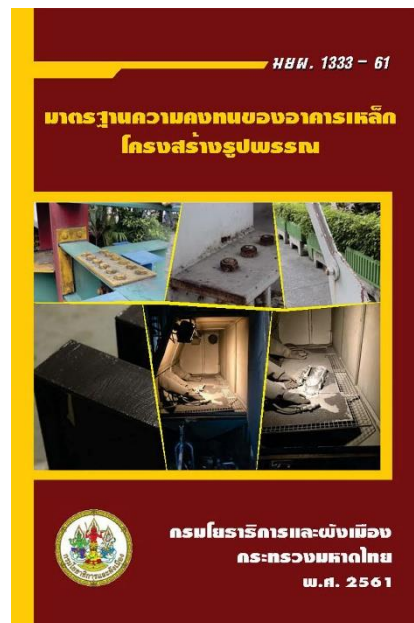


□ บทสรุป

1. ท่อเหล็กที่มีการปิดไม่ให้ผิวท่อเหล็กด้านในสัมผัสกับบรรยากาศกัดกร่อน **แทบไม่เกิดการกัดกร่อนที่ผิวชิ้นงานด้านในท่อ**
2. ท่อเหล็กที่มีการเปิดให้ผิวท่อเหล็กด้านในสัมผัสกับบรรยากาศกัดกร่อนได้นั้น จะเกิดการกัดกร่อนที่ผิวเหล็กด้านใน โดยความรุนแรงของการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับ **อัตราการเปิด** กล่าวคือ ยิ่งมีอัตราการเปิดของผิวด้านในสู่บรรยากาศกัดกร่อนมาก ความรุนแรงของการกัดกร่อนยิ่งมากตามไปด้วย
3. ตำแหน่งของชิ้นงานมีผลต่ออัตราการกัดกร่อนภายในของท่อเหล็ก (ที่เปิดปลาย) โดยตำแหน่งครึ่งซีกล่างของท่อที่วางในเครื่องทดสอบจะมีการกัดกร่อนที่สูงกว่าตำแหน่งครึ่งซีกบน ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ซังของบรรยากาศกัดกร่อนที่มากกว่าครึ่งซีกล่างของท่อ
4. การกัดกร่อนของโครงสร้างท่อเหล็กที่มีการเปิดสู่บรรยากาศกัดกร่อนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเปิดสู่บรรยากาศกัดกร่อนมากขึ้น

Protective Coating per DPT 1333

Resistance	Load
ระบบสีเคลือบป้องกัน	ที่ตั่ง อันส่งผลต่อปริมาณ ไอเกลือ
ระยะเวลา (ปี) ที่ต้องการความทนทาน	ลักษณะการใช้งาน อันอาจส่งผลต่อ ไอกรด



ระดับความรุนแรง	ทนทานน้อย <5 ปี	ทนทานปานกลาง ~10 ปี	ทนทานมาก >15 ปี
รุนแรงน้อย ระดับ C1	C1 ทนทานน้อย	C1 ทนทานปานกลาง	C1 ทนทานมาก
รุนแรงค่อนข้างน้อย C2	C2 ทนทานน้อย	C2 ทนทานปานกลาง	C2 ทนทานมาก
รุนแรงปานกลาง C3	C3 ทนทานน้อย	C3 ทนทานปานกลาง	C3 ทนทานมาก
รุนแรงค่อนข้างมาก C4	C4 ทนทานน้อย	C4 ทนทานปานกลาง	C4 ทนทานมาก
รุนแรงมาก ระดับ C5	C5 ทนทานน้อย	C5 ทนทานปานกลาง	C5 ทนทานมาก

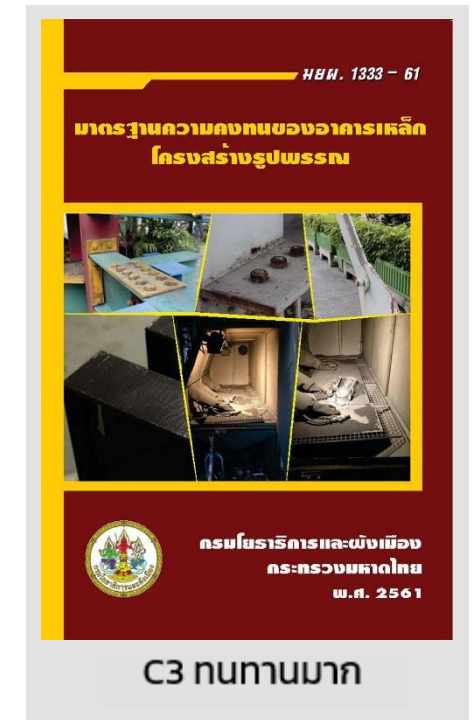
หมายเหตุ

1. ผู้ออกแบบเก็บ requirement จากเจ้าของโครงการว่าต้องการระดับความทนทานเท่าใด
2. ผู้ออกแบบ identify ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อม
3. ผู้ออกแบบเลือกระบบสีกันสนิม อ้างอิง มยพ. 1333-61 (อ้างอิง ISO 12944)

Protective Coating per DPT 1333

ตารางที่ 12 ระบบสีป้องกันการกัดกร่อนเหล็กชุบสังกะสีเคลือบสีสำหรับสภาพแวดล้อม C3

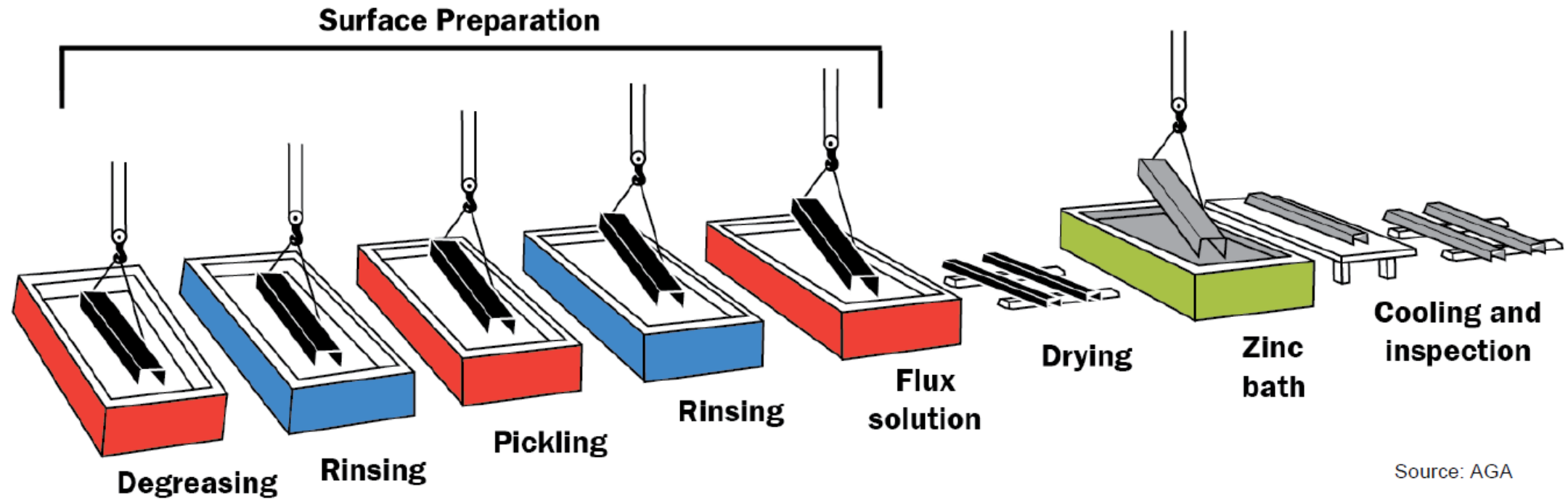
hot-dip-galvanized steel							
ระบบสี หมายเลข	สีรองพื้น			สีทับหน้า		รวม	
	ตัวยึดประสาน	จำนวน ชั้น	NDFT (μm)	ตัวยึดประสาน	จำนวน ชั้น	NDFT (μm)	อายุใช้งาน (ปี)
A7.01	-	-	-	PVC	1	80	2 ถึง 5
A7.02	PVC	1	40	PVC	2	120	> 5 ถึง 10
A7.03	PVC	1	80	PVC	2	160	> 5 ถึง 10
A7.04	PVC	1	80	PVC	3	240	> 5 ถึง 10
A7.05	-	-	-	AY	1	80	2 ถึง 5
A7.06	AY	1	40	AY	2	120	> 5 ถึง 10
A7.07	AY	1	80	AY	2	160	> 5 ถึง 10
A7.08	AY	1	80	AY	3	240	> 5 ถึง 10
A7.09	-	-	-	EP, PUR Aliphatic	1	80	> 5 ถึง 10
A7.10	EP, PUR	1	60	EP, PUR Aliphatic	2	120	> 5 ถึง 10
A7.11	EP, PUR	1	80	EP, PUR Aliphatic	2	160	> 10 ถึง 15
A7.12	EP, PUR	1	80	EP, PUR Aliphatic	3	240	> 15 ถึง 20
A7.13	EP, PUR	1	80	EP, PUR Aliphatic	3	320	> 15 ถึง 20



มีระบบสี 2 สูตร คือ A7.12 และ A7.13 (นุ 15 – 20 ปี)

สูตร **A7.13** ทารองพื้นด้วย Epoxy หรือ Polyurethane 1 ชั้นหนา 80 ไมครอน จากนั้นทาทับหน้าด้วย Epoxy หรือ Polyurethane ชนิด Aliphatic ให้ความหนารวม 320 ไมครอน

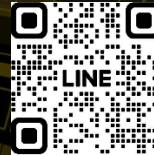
Hot-Dipped Galvanizing



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.ssisteel&hl=en&gl=US>

