Who WLSC are ?

WE ❤ STEEL CONSTRUCTION

WE LOVE STEEL CONSTRUCTION

LINE ID: @060tlizi

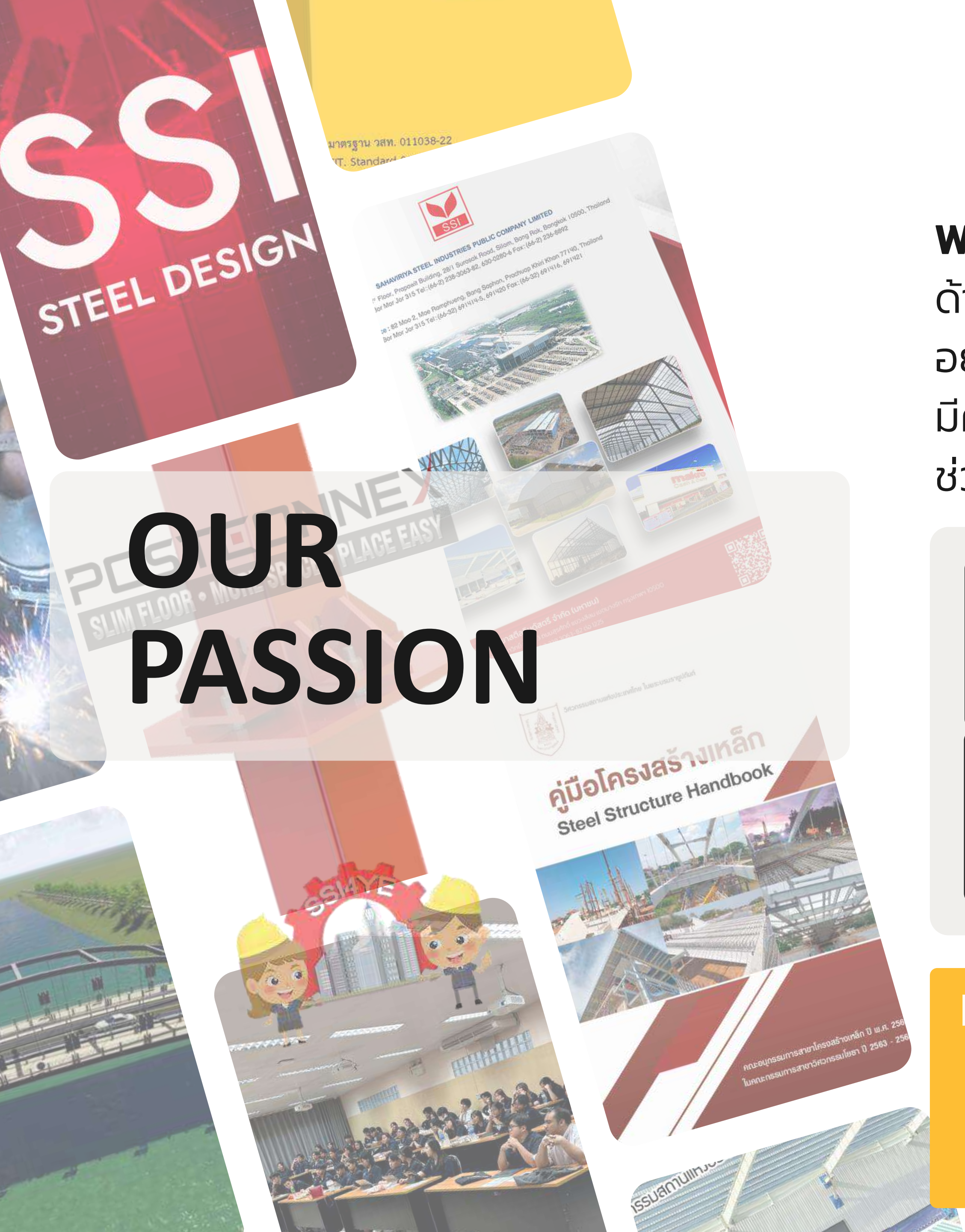
visit new WEBSITE

NEW

https://welovesteelconstruction.ssi-steel.com

We
Love
Steel
Construction

แหล่งรวมความรู้งานโครงสร้าง**เหล็ก**



OUR PASSION

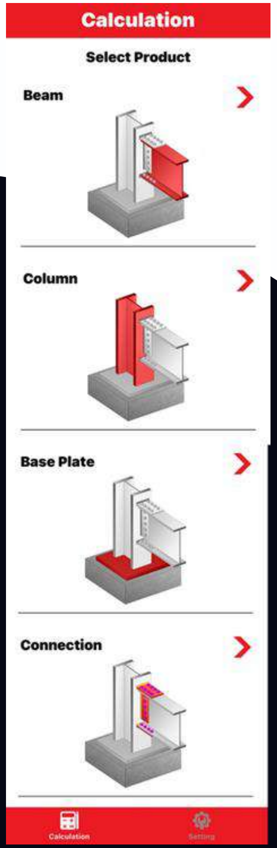
We Love Steel Construction อยากเห็นวิศวกรไทยมีทักษะและความรู้ด้านงานโครงสร้างเหล็ก สามารถนำเหล็กไปใช้ในงานที่หลากหลายได้อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม โครงสร้างมีความปลอดภัย ใช้งานได้ดี มีความคงทนถาวร สามารถผลิตและติดตั้งที่หน้างานได้ง่าย ราคาไม่แพง ช่วยลดผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

FOLLOWERS

2.7K	1.2K	2.8K	33K
YOUTUBE	WEBSITE	LINE	FACEBOOK

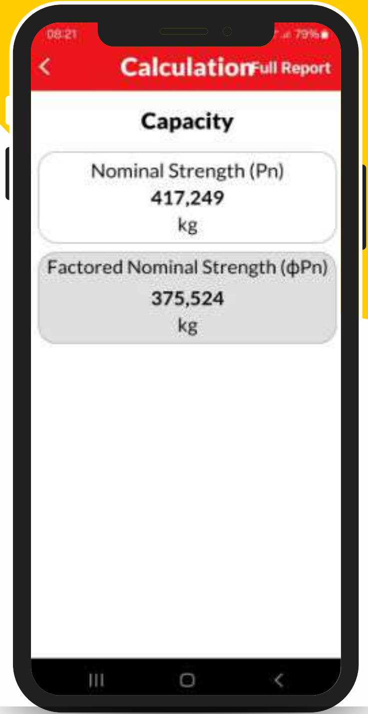
SSI STEEL DESIGN

APPLICATION

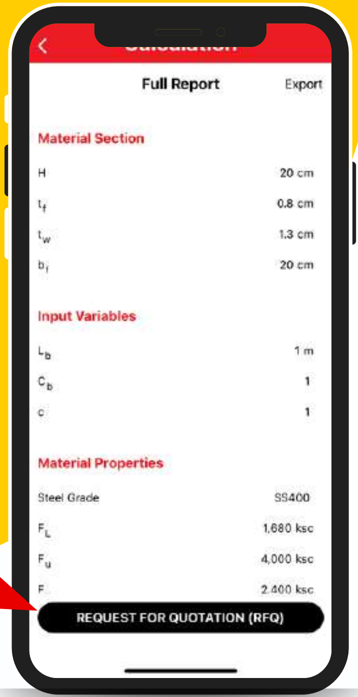


คำนวณ
Capacity
เสา คาน
Base Plate
จุดต่อ

" แอปพลิเคชันที่
ช่วยให้การ
คำนวณ
ของคุณง่ายขึ้น
เพียงแค่
ปลายนิ้วสัมผัส "



สามารถกด
Request
for
Quotation
(RFQ)
เพื่อขอราคา
เบื้องต้น



ดาวน์โหลดฟรี!

android

iOS
Download the
App Now

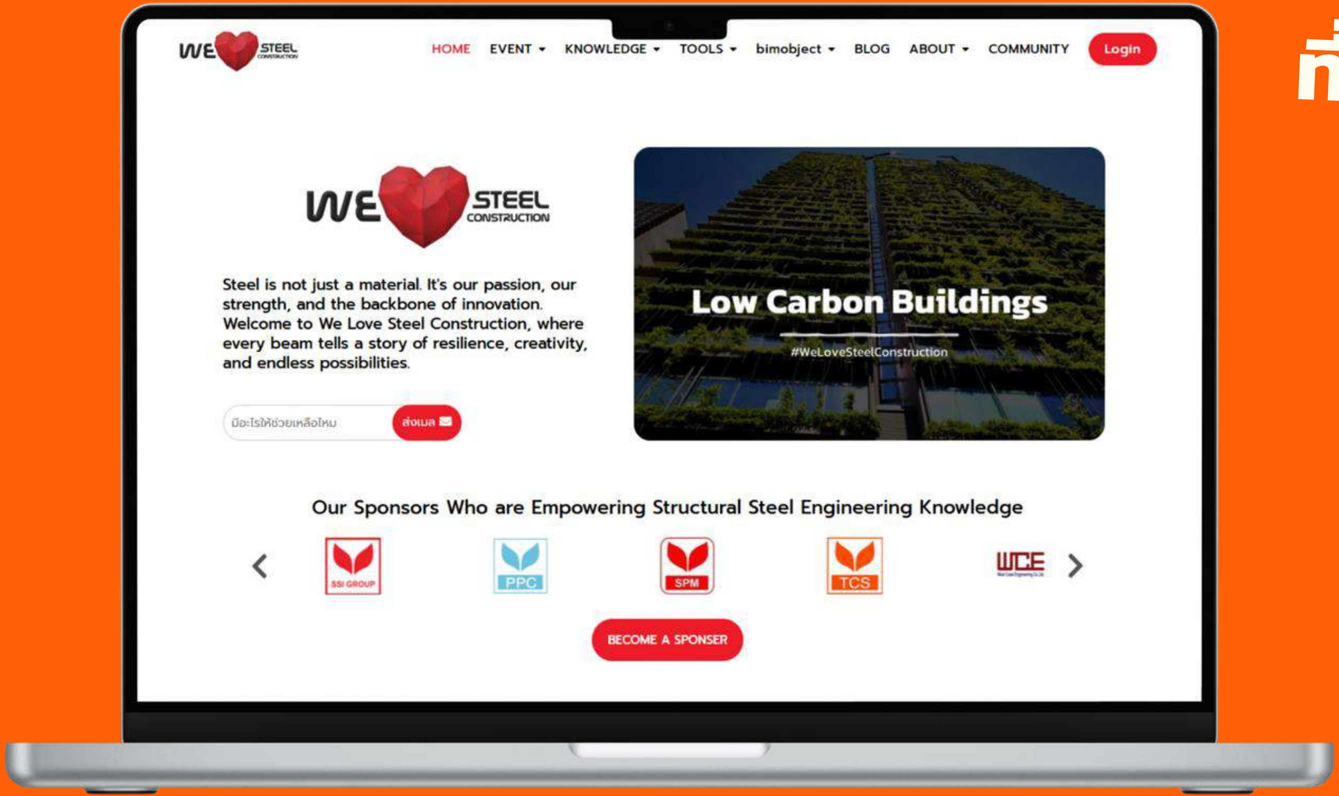
new WEBSITE

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 โดย รหัสผ่านจะต้องมี ตัวอักษร ภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก พิมพ์ใหญ่ ตัวเลข ตัวอักษรพิเศษ และมีความ ยาว 12 - 30 ตัว

2

รออีเมลล์ ยืนยัน

ท่านจะได้รับ อีเมลล์ยืนยันการ ลงทะเบียน “Please Activate Your Account” โดยถ้าไม่พบใน กล่องข้อความ สามารถ ตรวจสอบได้ที่ junk mail หรือ อีเมลขยะของท่านได้

3

ยืนยันการสมัคร

กดที่ “Activate Your Account” เท่านี้เป็นอัน เรียบร้อย จากนั้นก็เข้าสู่ ระบบอัตโนมัติ

เป็นสมาชิก WEBSITE WLSC เรียบร้อย

SSI STEEL CONSTRUCTION FORUM 2024

งานสัมมนาออนไลน์รวบรวมนวัตกรรม เทคโนโลยี และมาตรฐานงานโครงสร้างเหล็ก

4 วันเต็ม

18-19 ตุลาคม และ 1-2 พฤศจิกายน 67

DAY 1 Landmarks

สถาปัตยกรรม การออกแบบและงานก่อสร้าง

Innovation **DAY 2**

นวัตกรรมและเทคโนโลยี

Standards and Code

มาตรฐานการออกแบบ **DAY 3**

Sustainability **DAY 4**

ความยั่งยืนกับงานวิศวกรรมโยธา

SOUVENIR

มาตรฐานเหล็กขึ้นรูปเย็น

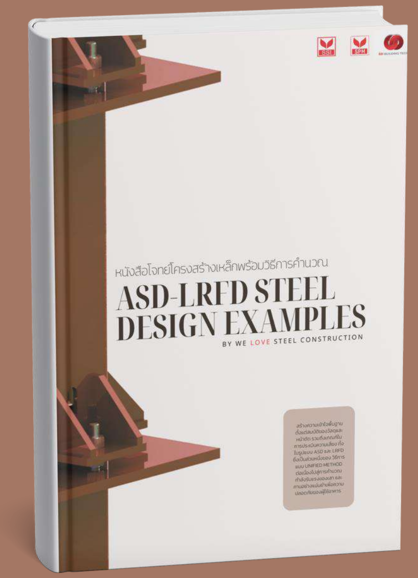
SSI GROUP | SSI | SPM | WCE West Coast Engineering Co.,Ltd | SSI BUILDING TECH | SYNTERRA

Next to 2025

with theme

Beyond the Basics

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



SOUVENIR

หนังสือโจทย์โครงสร้างเหล็กพร้อมวิธีการคำนวณ

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

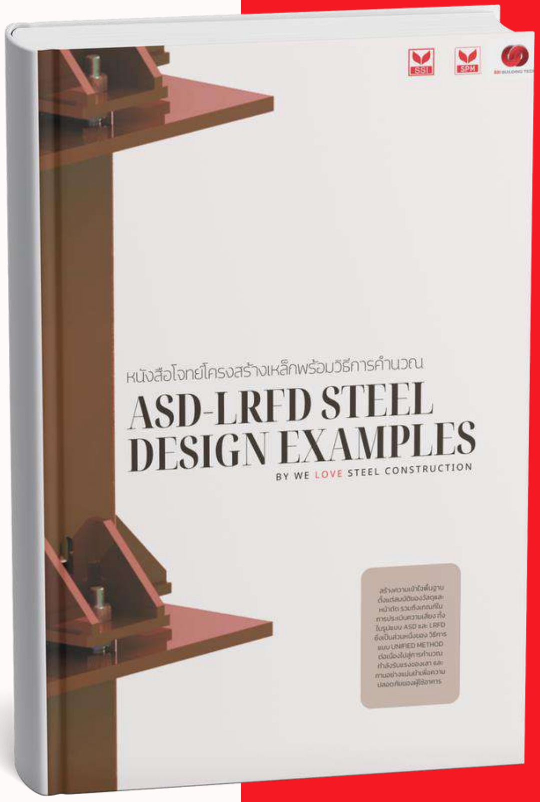
IV. CONNECTION.....29
การออกแบบจุดต่อ shear connection
การออกแบบจุดต่อ flange-plate moment connection
การออกแบบจุดต่อ end-plate moment connection

V. BASE PLATE.....35
การออกแบบ base plate - no moment
การออกแบบ base plate - small moment
การออกแบบ base plate - large moment

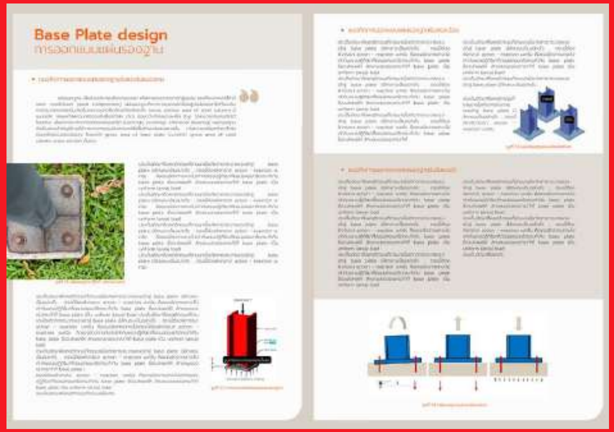
VI. BRACING.....43
การออกแบบ bracing

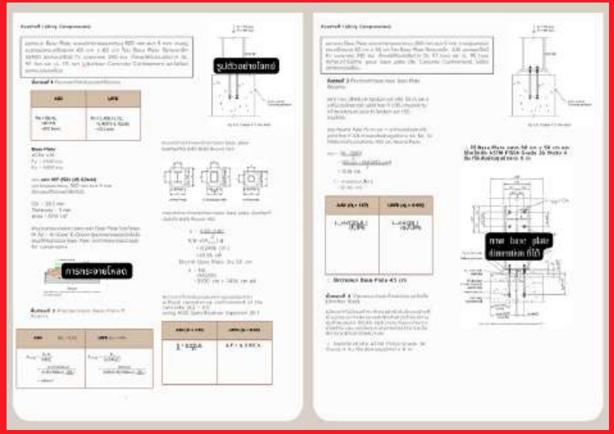
VII. POSTCONNEX.....52
ตัวอย่างการออกแบบอาคารเตี้ย

หนังสือเล่มนี้จัดพิมพ์เป็นครั้งที่ 1 เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ทางวิศวกรรมโยธา สำหรับบุคคลทั่วไปและวิศวกรที่สนใจ ไม่สามารถนำไปอ้างอิงสำหรับงานก่อสร้างได้ แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการคำนวณออกแบบ ทั้งนี้ทั้งนั้น ผู้ออกแบบต้องมีความรู้และความเข้าใจเพื่องานก่อสร้างที่มั่นคงและปลอดภัยในอนาคต

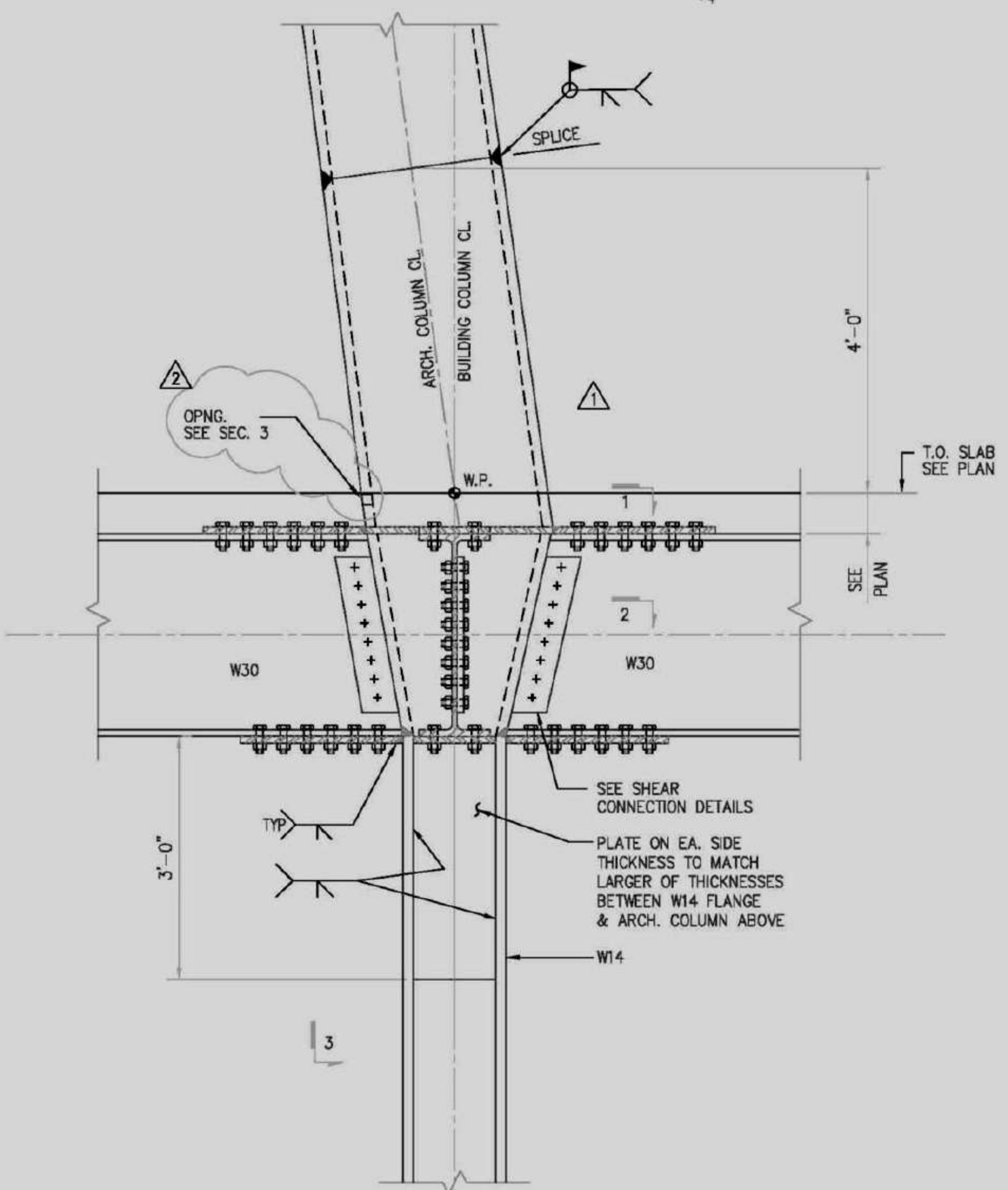


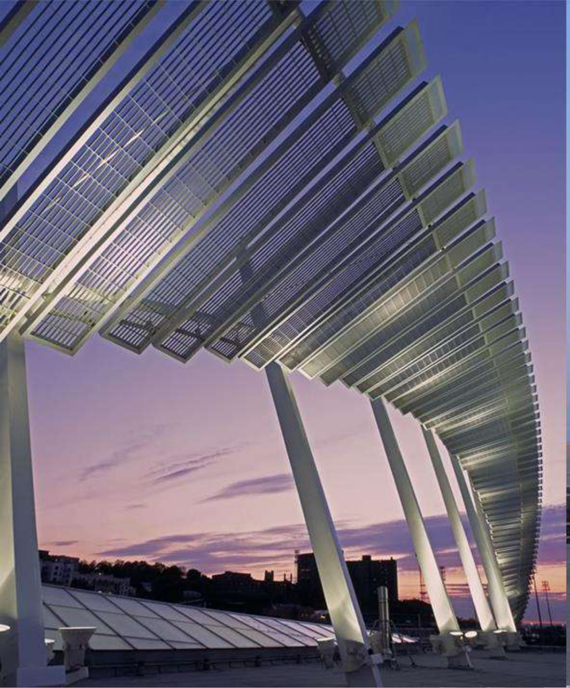
ตัวอย่างเนื้อหาในเล่ม





St. George Intermodal Ferry Terminal
Staten Island, NYC


SPLICE
ARCH. COLUMN CL
BUILDING COLUMN CL
OPNG.
SEE SEC. 3
W.P.
T.O. SLAB
SEE PLAN
4'-0"
SEE PLAN
W30
W30
TYP
3'-0"
SEE SHEAR
CONNECTION DETAILS
PLATE ON EA. SIDE
THICKNESS TO MATCH
LARGER OF THICKNESSES
BETWEEN W14 FLANGE
& ARCH. COLUMN ABOVE
W14



1:38PM

Have you specified steel products correctly?

ระบบการหล่อต่อเนื่อง

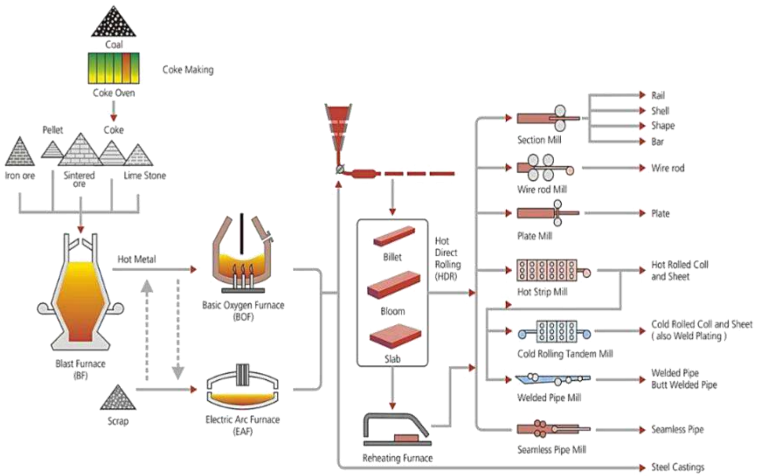
โดย Corus Group

เป็นกระบวนการผลิต “ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ (semi-finished product) ” ซึ่งประกอบไปด้วย Billet (แท่งเหล็กเล็ก สำหรับผลิตเหล็กเส้น) Bloom (แท่งเหล็กใหญ่ สำหรับผลิตเหล็กรูปพรรณรีดร้อน) หรือ Slab (เหล็กแท่งแบน สำหรับผลิตเหล็กแผ่นม้วนรีดร้อน หรือเหล็กแผ่นหนา) ที่น้ำเหล็กหลอมเหลวได้ไหลผ่านแบบหล่อ (mold) อย่างต่อเนื่องและแข็งตัวเป็น ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ (semi-finished product) ซึ่งสามารถตัดและนำไปผ่านขบวนการแปรรูปต่อไป

Hot Rolling

โดย Corus Group

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



Ref: www.forbesmarshall.com

การผลิตท่อเหล็ก

โดย Corus Group

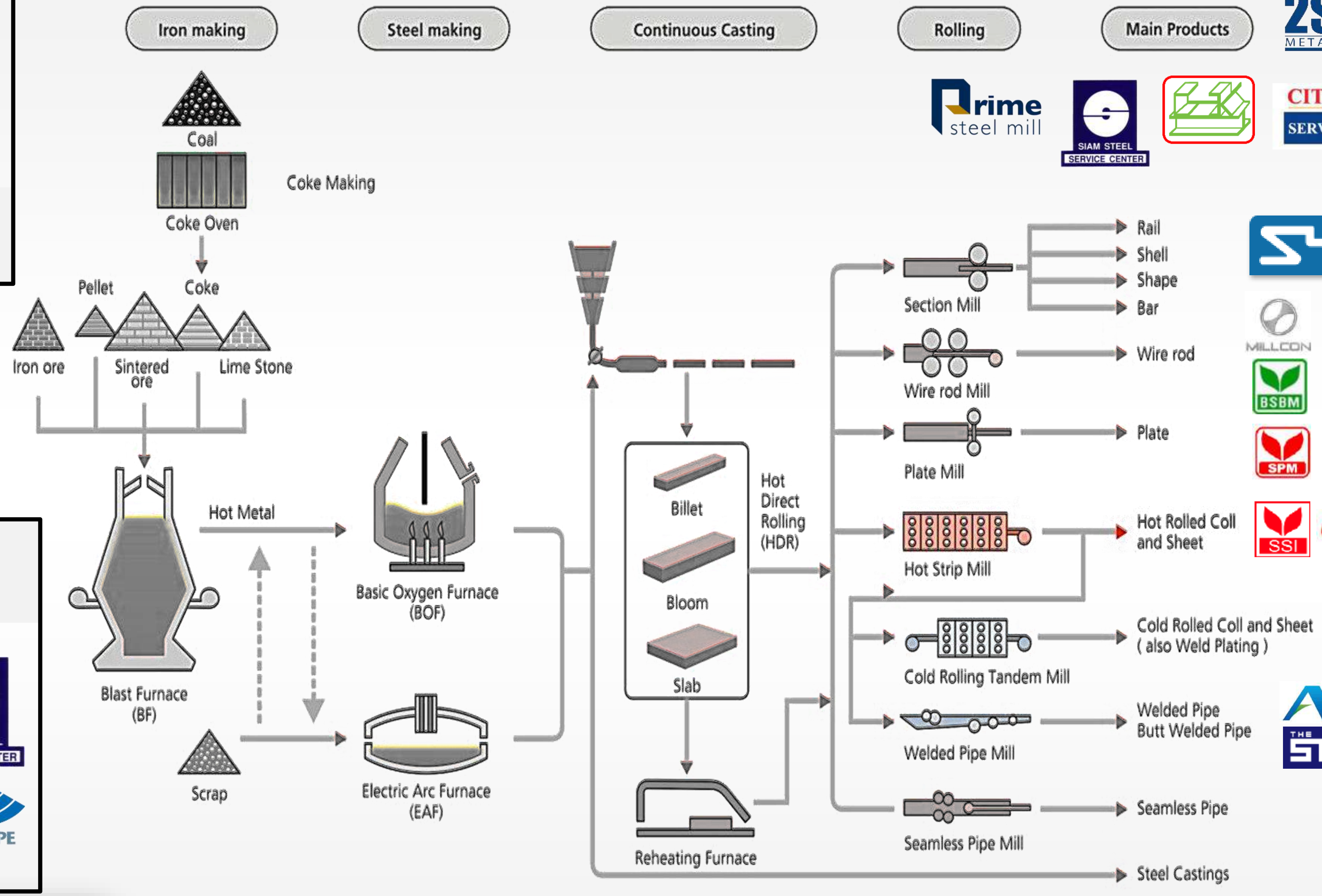
สำหรับท่อเหล็กขนาดทั่วไป ที่ความหนาท่อไม่เกิน 12 mm นิยมใช้การผลิตด้วยวิธีการพับขึ้นรูปเย็น (cold-forming) และเชื่อมต่อเนื่องด้วยวิธีการเชื่อม ERW หรือ Electric Resistance Welding ซึ่งเป็นการเชื่อมที่อาศัยการเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้า ทำให้เหล็กที่ต้องการเชื่อมเกิดการหลอมละลาย โดยไม่ต้องมีการเติมลวดเชื่อม 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 จะต้องใช้ร่วมกับคอนกรีตที่จะเทในที่บน metal deck ที่ปูเสร็จเรียบร้อย จึงต้องมีการทำปุ่ม (embossment) ที่ลอน เพื่อให้เกิด friction ระหว่างผิวคอนกรีตและ metal deck อันส่งผลให้ คอนกรีตและ metal deck มีพฤติกรรมร่วมกัน (composite) ในการรับน้ำหนัก

Special Steel & Stainless



Fabrication & Erection

Ref: www.forbesmarshall.com

ผลิต	เหล็กรูปพรรณรีดร้อน	SYS, ZUBB STEEL
	เหล็กแผ่นหนา	SPM, LPN PLATE MILL
	เหล็กเส้น	BSBM, TATA STEEL, MILLCON, RW, TYCONS, TWFC
	ท่อเหล็ก เหล็กขึ้นรูปเย็น	PACIFIC PIPE, THE STEEL, TMT, CCM, ZUBB STEEL, Samchai
	เหล็กรีดเย็น	TCRSS, THE STEEL, BlueScope, ZUBB STEEL
	Metal sheet	BLUESCOPE LYSAGHT
	เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน	SSI, GJS, GSteel
Service & Sales		TMT, SIAM STEEL SERVICE CENTER, 2S METAL, CITY STEEL pcl. SERVICE, Prime steel mill, TSS
ก่อสร้าง		WCE West Coast Engineering Co.,Ltd., SSI BUILDING TECH, MCS M.C.S. STEEL PUBLIC COMPANY LIMITED, SIAM STEEL SERVICE CENTER, BLUESCOPE STEEL, STP&I

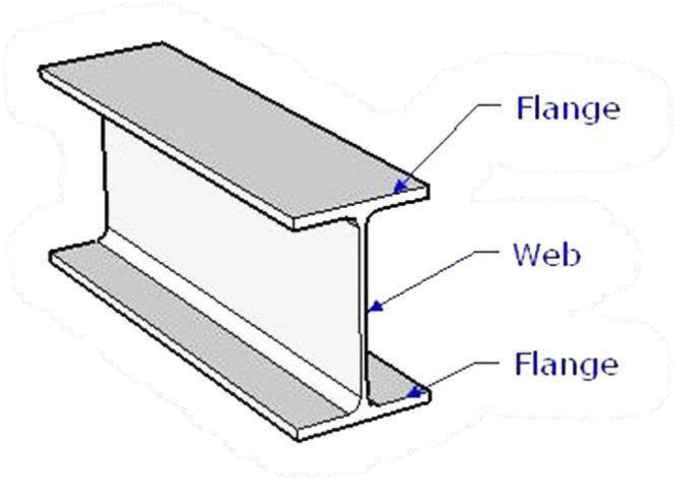
ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

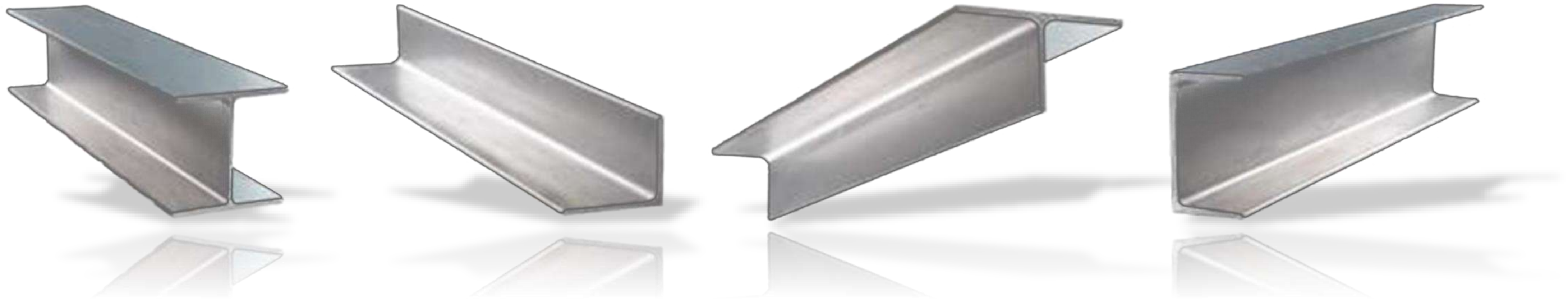
#WeLoveSteelConstruction

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 จึงไม่เหมาะกับงานเชื่อม
- 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)	
	ขาไม่เท่ากัน (unequal leg)	
เหล็กรูปรางน้ำ (light channel steel)		
เหล็กรูปตัวซี (lip channel steel)		
เหล็กรูปตัวแซด (light Z steel)		
เหล็กรูปตัวแซดมีขอบ (lip Z steel)		
เหล็กรูปหมวก (hat steel)		

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 STKR290 400 490	เหลี่ยม STKR290 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)

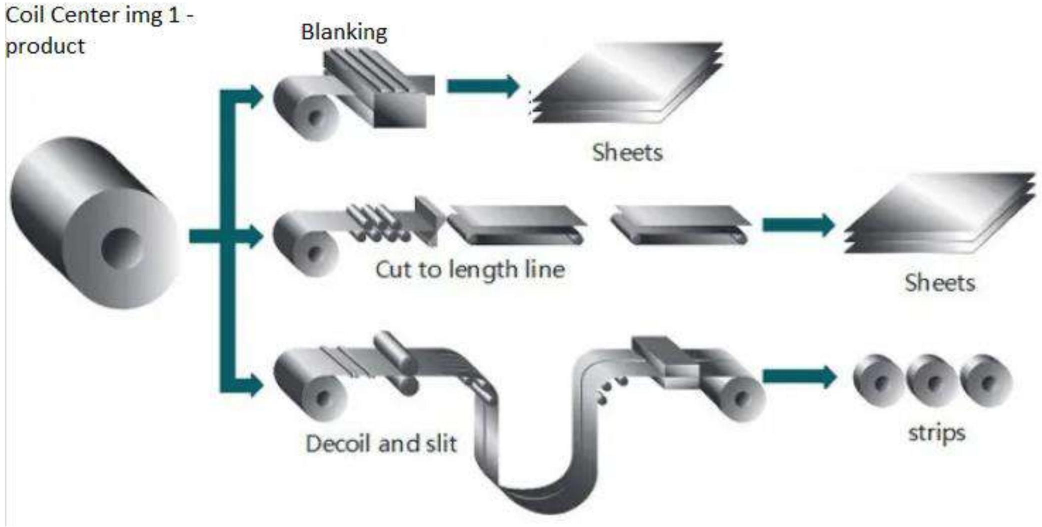
2. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น
   (Cold-Formed Structural Steel Section)

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)

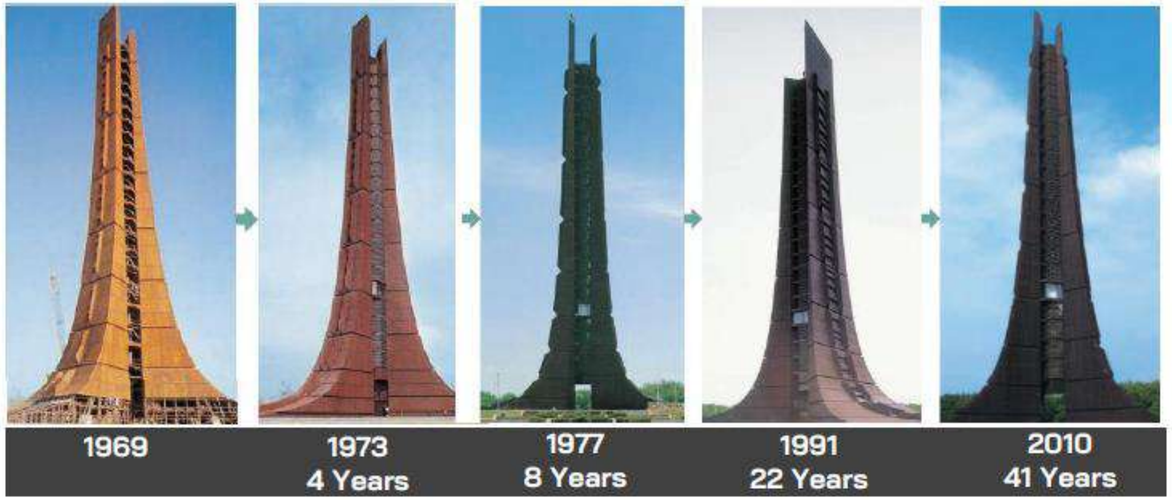


Hot Rolled Coil → Cut Sheet → Cut-to-width Bar → Built-up

Hot Rolled Plate → Cut-to-width Bar → Built-up

ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับงานก่อสร้าง

#WeLoveSteelConstruction



2019
50 Years

Hot Rolled Coil

Hot Rolled Plate

เหล็กกล้าต้านทานการกัดกร่อน (2982)

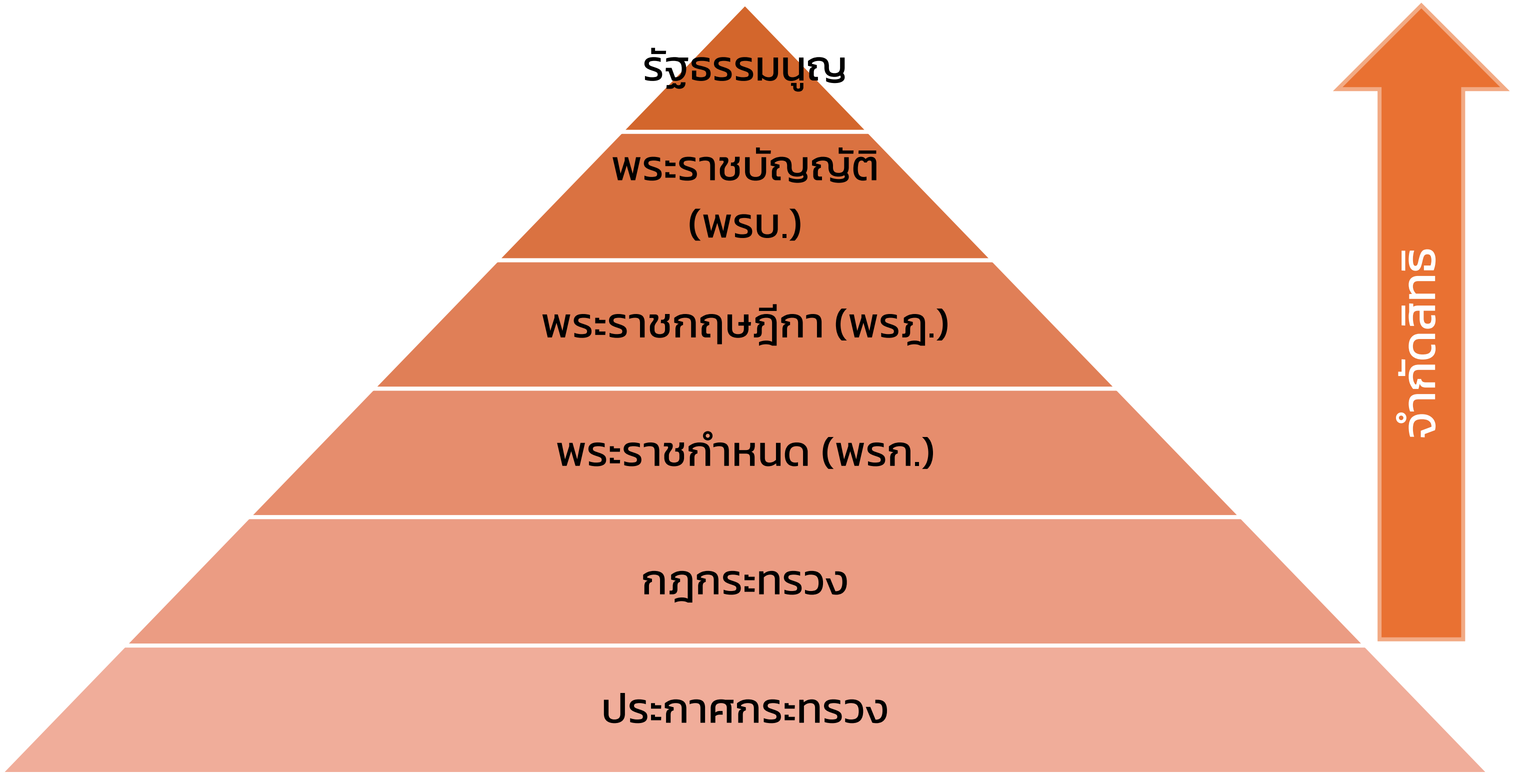
- SM400W
- SM490W
- SM520W
- SM570W

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 อุตสาหการ และวิศวกรรมเหมืองแร่
- ต่อมาในปี พ.ศ. 2542 ได้มีการประกาศบังคับใช้พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 กำหนดให้การออกใบอนุญาตเป็นอำนาจหน้าที่ของสภาวิศวกร ซึ่งในปัจจุบันสาขาวิศวกรรมควบคุมประกอบไปด้วย 7 สาขา (ที่จะต้องออกใบอนุญาต) ได้แก่ (1) วิศวกรรมโยธา (2) วิศวกรรมเหมืองแร่ (3) วิศวกรรมเครื่องกล (4) วิศวกรรมไฟฟ้า (5) วิศวกรรมอุตสาหการ (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 (พรฎ.) 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

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

กรณีศึกษา สะพานสมโภชน์กรุงรัตนโกสินทร์ 200 ปี

ข้อมูลพื้นฐาน

สะพานสมโภชน์กรุงรัตนโกสินทร์ 200 ปี เป็นสะพานเคเบิ้ลคนเดินข้ามขนาดผิวจราจรกว้าง 2.20 เมตร ความยาว 110 เมตร เชื่อมระหว่างหมู่ 5 กับหมู่ 6 ต.ท่าหลวง ตามแบบแปลนของสำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สร้างขึ้นในช่วงฉลองกรุงรัตนโกสินทร์มีอายุครบ 200 ปี คือสร้างในปี พ.ศ. 2526 จึงเรียกกันว่า สะพาน 200 ปี

สะพานแห่งนี้ ได้มีการปิดปรับปรุงไปเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 2555 และแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 16 ก.ค. 2555 แต่ในช่วงต้นปี 56 เกิดอุบัติเหตุเรือชนจนชำรุดโดยพื้นของสะพานได้บิดผิดรูป (สะพานเอียง) จึงให้เจ้าหน้าที่เข้ามาตรวจสอบประสานงานกับผู้รับเหมาทำการซ่อมแซมในเบื้องต้น โดยการเปลี่ยน clamp ยึดลวดสลิงเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2556 โดยใช้งบประมาณ 8 ล้านบาท โดยมี บริษัทดีไนซ์ (2009) จำกัด เป็นผู้รับจ้าง

เหตุการณ์

วันที่ 29 เมษายน 2556 สะพานดังกล่าวเกิดการพังถล่มลงสู่แม่น้ำป่าสัก ขณะชาวบ้านกำลังสัญจร ทำให้มีผู้เสียชีวิต 4 คน บาดเจ็บอีกกว่า 10 คน โดยในเบื้องต้น วิศวกรรมสถานได้คาดการณ์สาเหตุการวิบัติ เกิดจากการซ่อมแซมสะพานไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และขาดวิศวกรควบคุม ทำให้ลวดสลิงแต่ละเส้นรับน้ำหนักไม่สมดุล ขาดสะบั้น และทำให้สะพานถล่ม

ภาพจาก twitter @RichardBarrow
ข้อมูลจาก https://tna.mcot.net/tna-20828
https://hilight.kapook.com/view/85347
https://news.thaipbs.or.th/content/174941
https://www.isranews.org/article/isranews-scoop/98115-invesisra-14.html

โครงการวิศวกรดีมีจรรยาบรรณ ปีที่ 2 โดยคณะกรรมการสิทธิและจรรยาบรรณ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

สนับสนุนโครงการวิศวกรดีมีจรรยาบรรณ ปีที่ 1 โดย

ผลการวินิจฉัย ตามหลักจรรยาบรรณ และตามหลักกฎหมาย

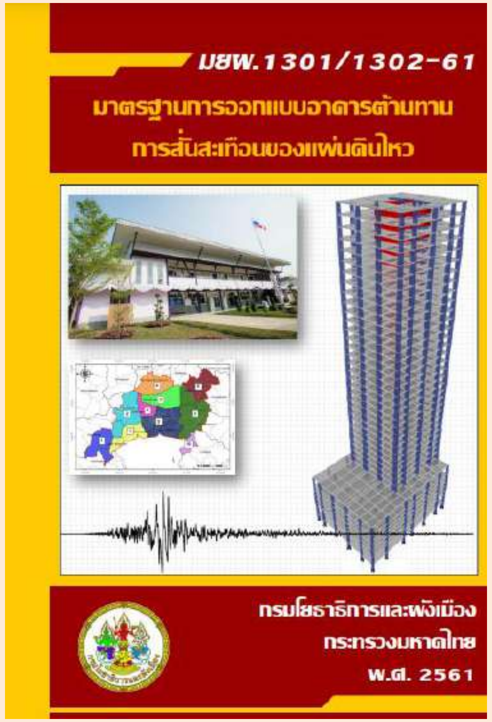
สภาวิศวกรสั่งเพิกถอนใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมของวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อสร้างและวิศวกรผู้ออกแบบ เนื่องจากทำผิดข้อบังคับของสภาวิศวกร โดยพบว่า วิศวกรผู้เกี่ยวข้องกับก่อสร้างไม่สามารถทำงานควบคุมก่อสร้างหรือการผลิตสะพานดังกล่าวได้ เนื่องจากภาคีวิศวกรสามารถควบคุมการก่อสร้างสะพานได้เพียง 12 ม. แต่สะพาน 200 ปี มีความยาวประมาณ 110 ม.

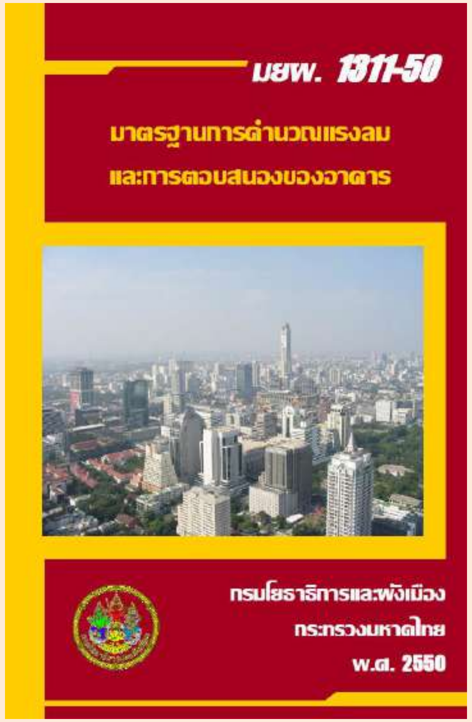
ต้นปี 2559 คณะกรรมการ ป.ป.ช. มีมติแต่งตั้งคณะอนุกรรมการไต่สวน โดยในปี 2563 คณะกรรมการ ป.ป.ช. มีมติชี้มูลความผิดทางอาญาผู้ถูกกล่าวหา 'ล็อตแรก' รวม 5 ราย ซึ่งนายกเทศมนตรีตำบลท่าหลวง รอดตัวในข้อกล่าวหาแรก โดย ป.ป.ช. เห็นว่า ได้ดำเนินการแจ้งให้ผู้รับจ้างเข้าซ่อมแซมสะพานถึง 4 ครั้ง และตรวจสอบสะพานเป็นระยะ ดังนั้นไม่อาจฟังได้ว่าการไม่สั่งปิดสะพานดังกล่าว มีเจตนาเพื่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้หนึ่งผู้ใด จึงไม่มีมูลผิดทางอาญา แต่ผิดทางวินัย และในปี 2564 เรื่องถึงชั้นศาล และศาลมีคำพิพากษาจำคุกบุคคลที่เกี่ยวข้องแล้ว 4 ราย

มาตรฐานงานออกแบบโครงสร้าง (1)

โดยทั่วไปไม่ได้เป็นข้อบังคับ แต่เป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการ และการกำหนดในข้อสัญญา

- มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (**มยผ.**)

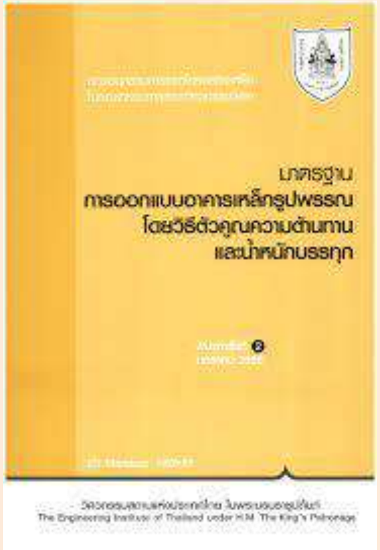




มาตรฐานงานออกแบบโครงสร้าง (2)

โดยทั่วไปไม่ได้เป็นข้อบังคับ แต่เป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการ และการกำหนดในข้อสัญญา

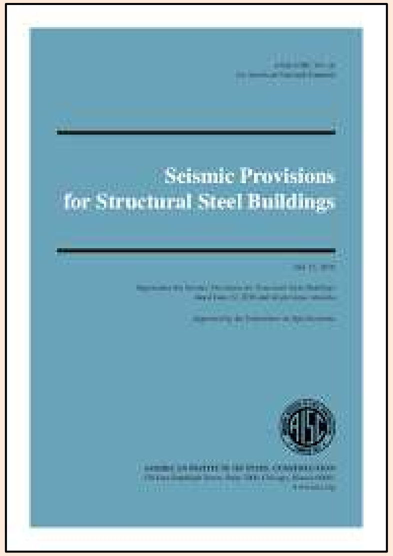
- มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (**วสท.**)

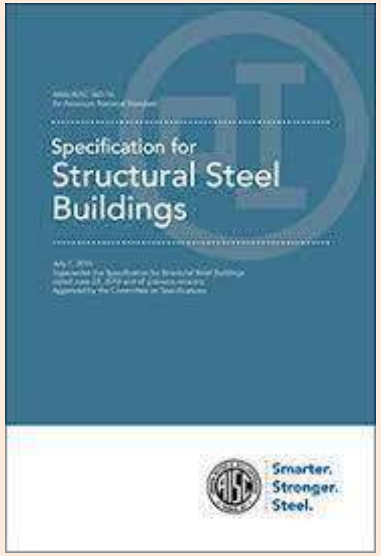


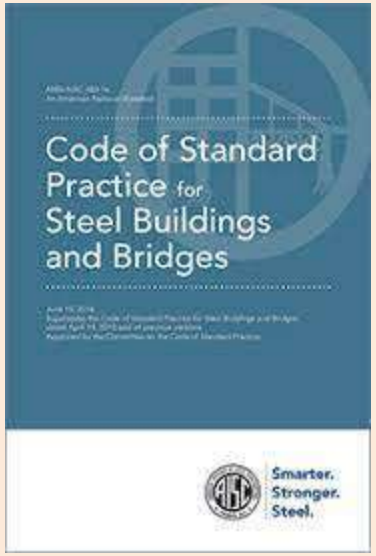
มาตรฐานงานออกแบบโครงสร้าง (3)

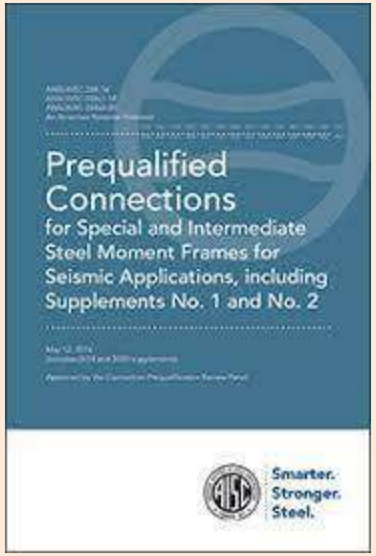
โดยทั่วไปไม่ได้เป็นข้อบังคับ แต่เป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการ และการกำหนดในข้อสัญญา

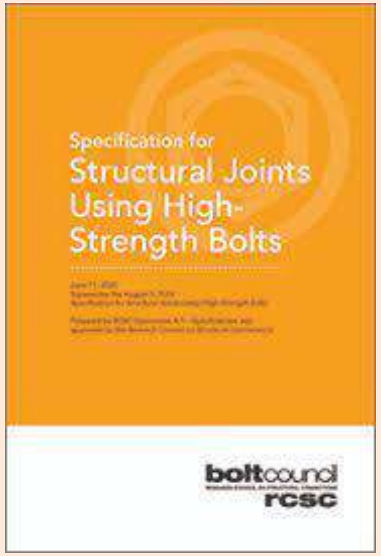
- มาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กของ**ต่างประเทศ**





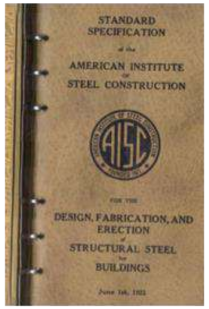


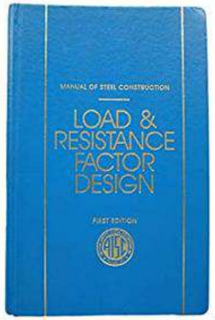


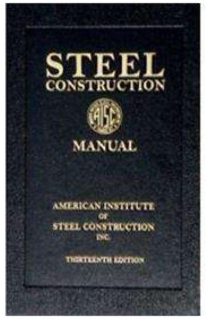


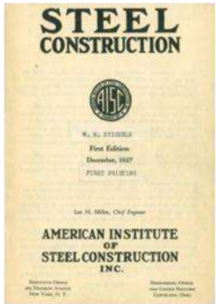
ASD + LRFD = Unified Method

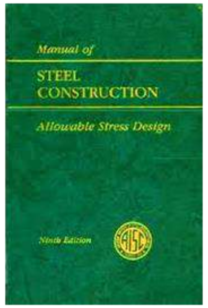
1921
Standard
Specification
(9 p.)

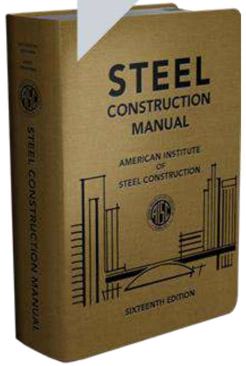












Why structural design?

#WeLoveSteelConstruction

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

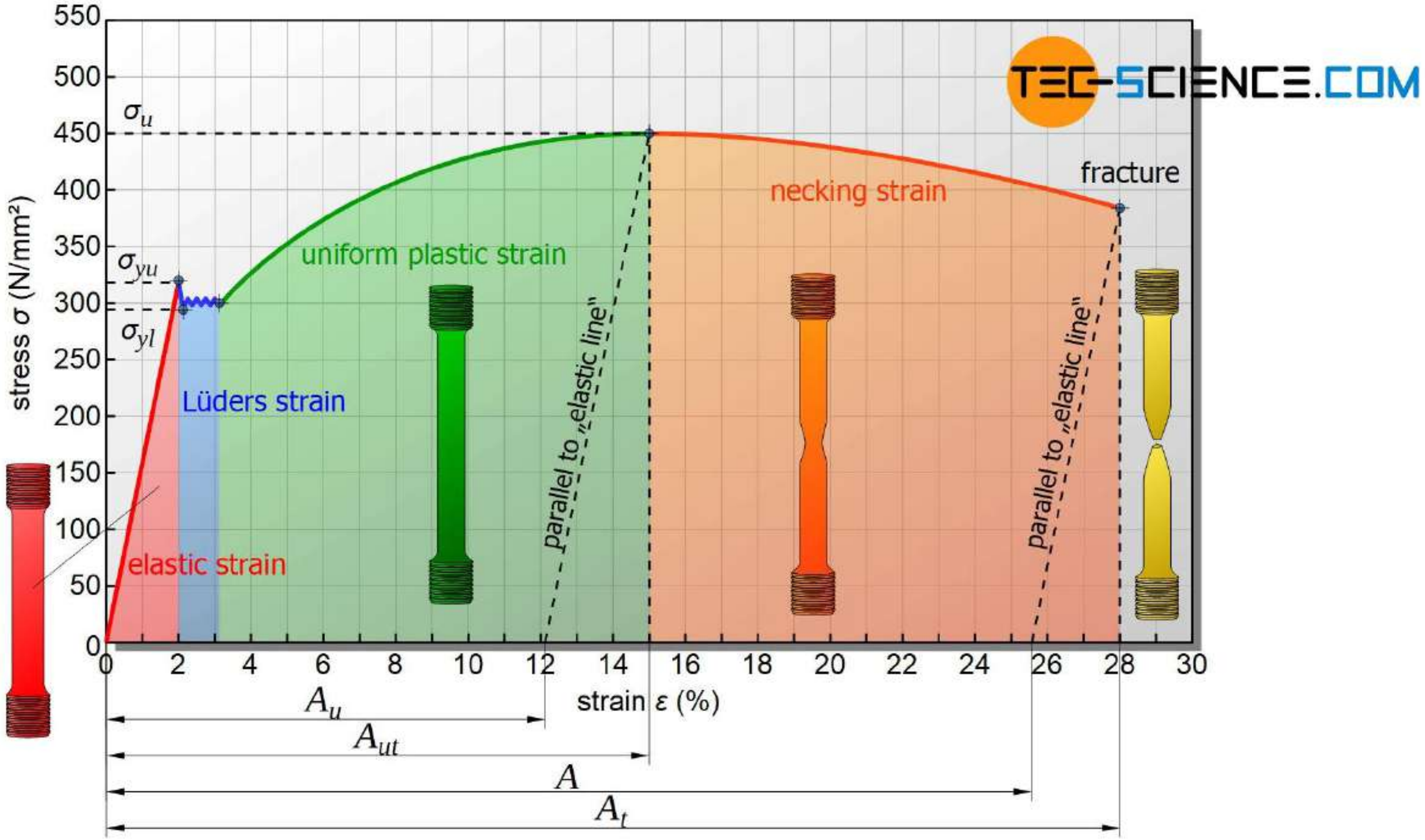
At reasonable cost

At reasonable time

Define “safety”?

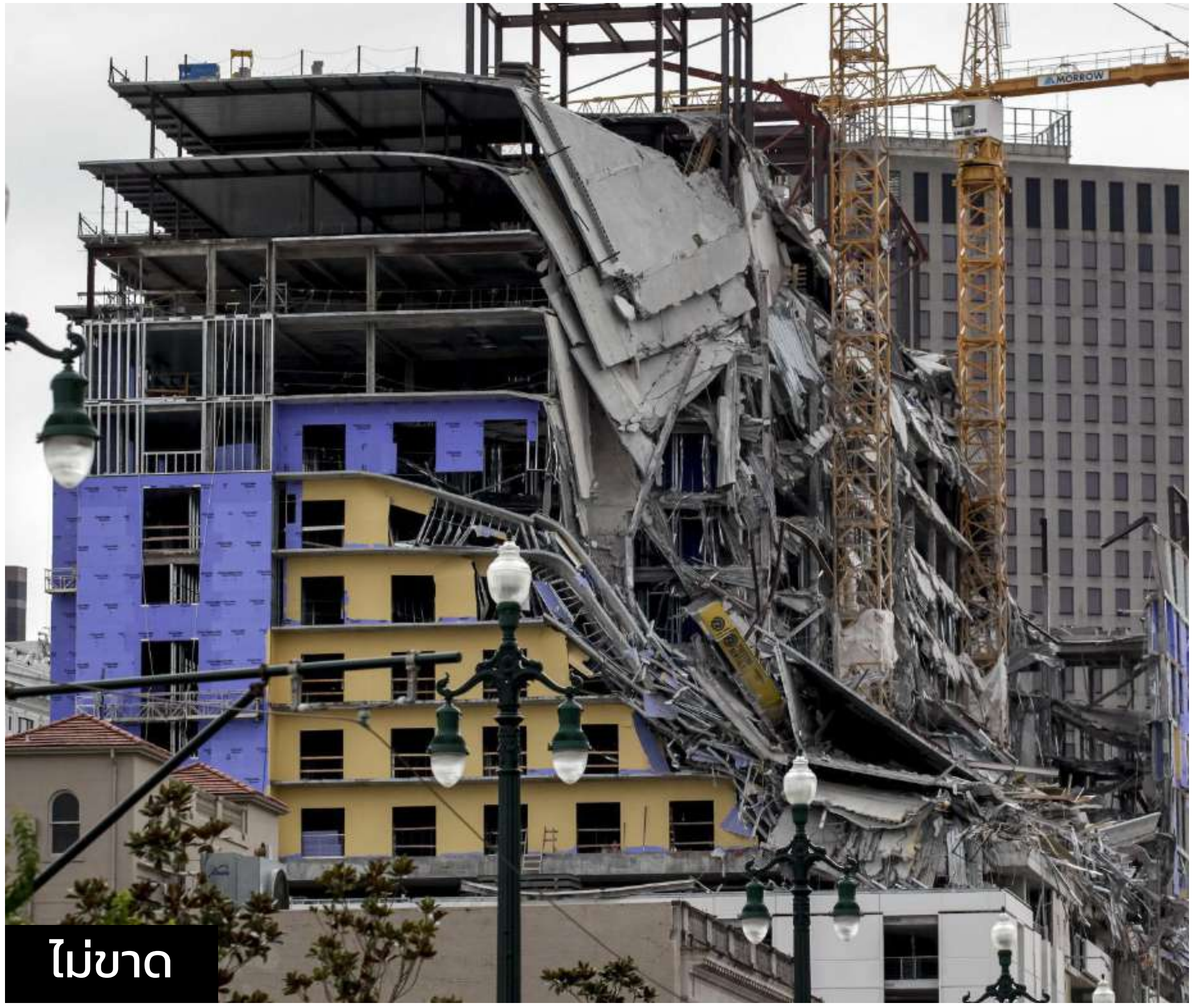
#WeLoveSteelConstruction

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



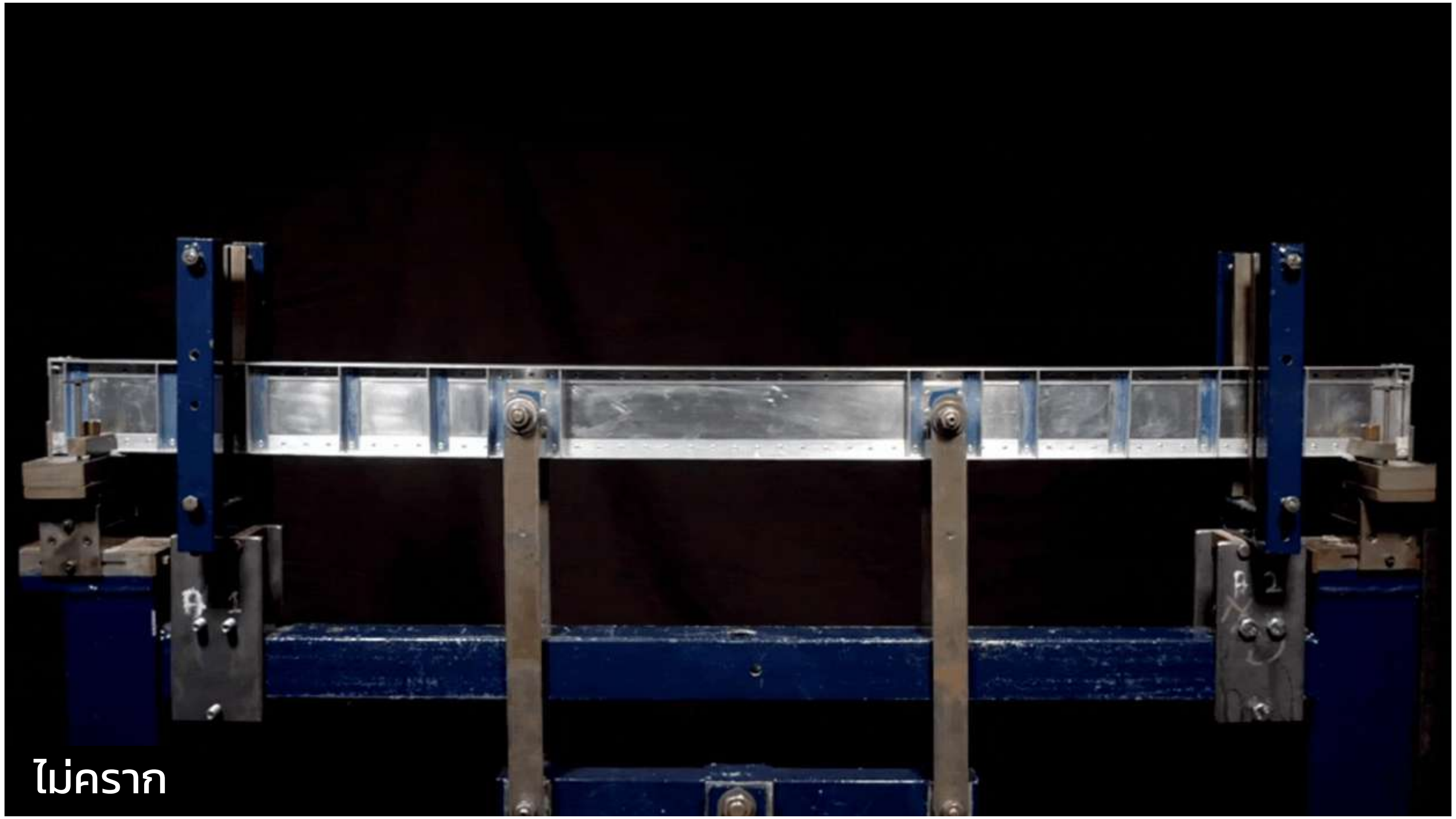
Is “not fracture” safe (allowable)?

#WeLoveSteelConstruction



Is “elastic” safe (allowable)?

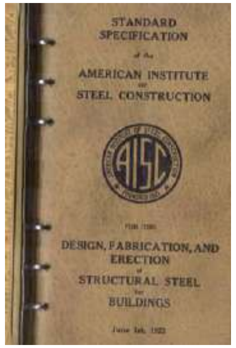
#WeLoveSteelConstruction

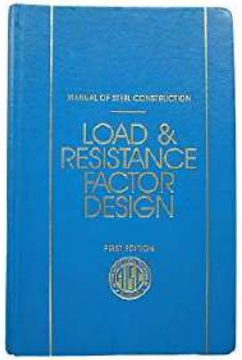


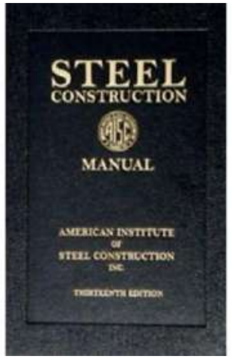
History of AISC Specification

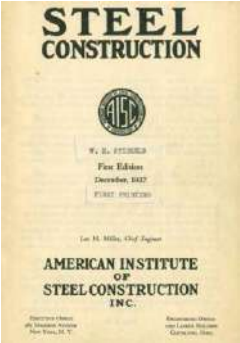
#WeLoveSteelConstruction

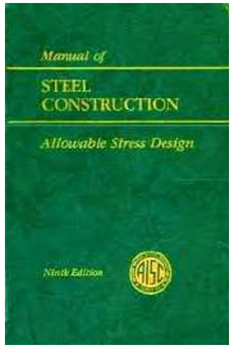
1921
Standard
Specification
(9 p.)

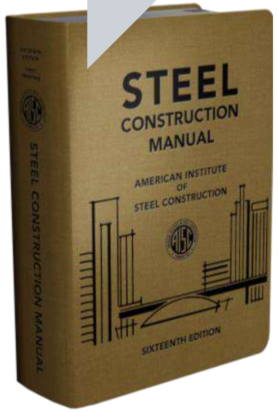












Stress Era

#WeLoveSteelConstruction

ASD = **A**llowable **S**tress **D**esign พิจารณา "ความเค้น หรือ หน่วยแรง" ที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอก ไม่เกิน ค่าที่ยอมให้ ที่เรียกว่า Allowable Stress ซึ่งได้พิจารณา **F**actor of **S**afety (**FS**) ประกอบเข้าไปด้วยแล้ว

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

F4. ALLOWABLE SHEAR STRESS

For $h/t_w \le 380/\sqrt{F_y}$, 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

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

where

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

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

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

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

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

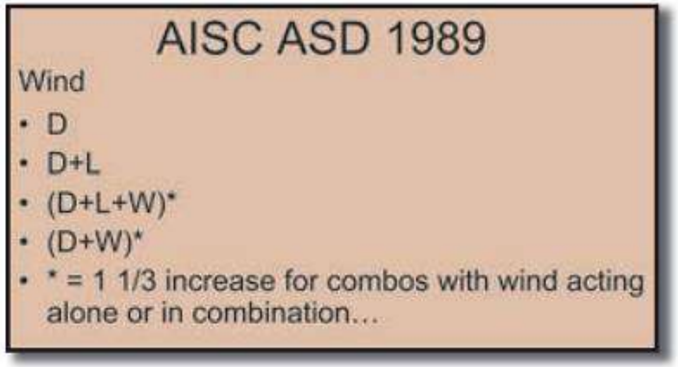
#WeLoveSteelConstruction

ฝั่ง **Resistance**:

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

ฝั่ง **Load**:

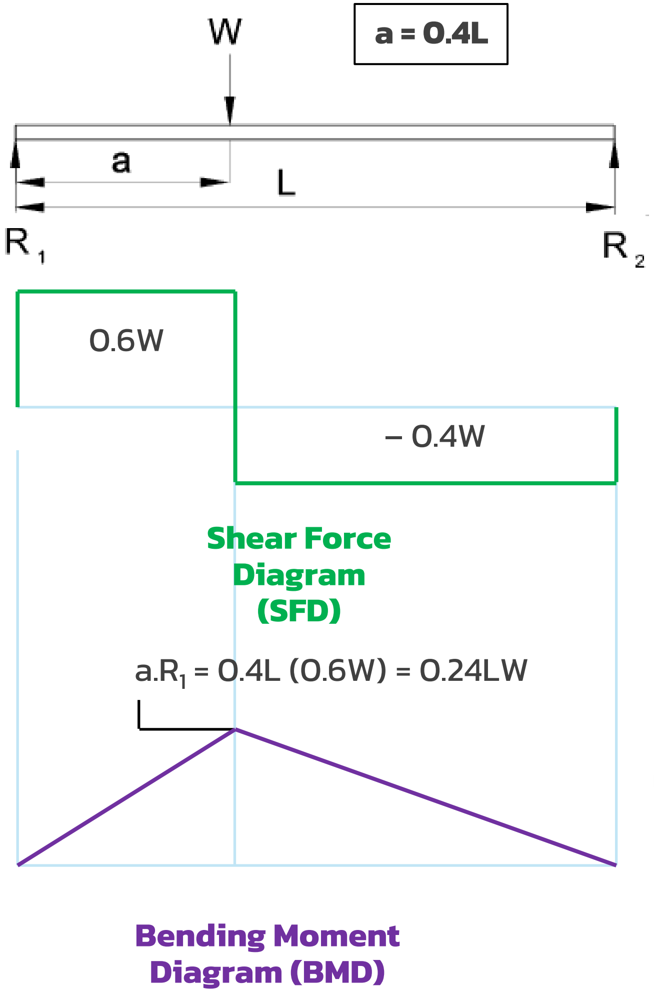
หา stress จากแรงภายนอก ที่เป็นผลรวมของแรงประเภทต่างๆ เช่น Dead load (D) Live load (L) Wind (W) Earthquake (E) อ้างอิง load combination ที่ code ระบุ

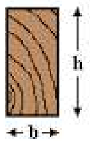


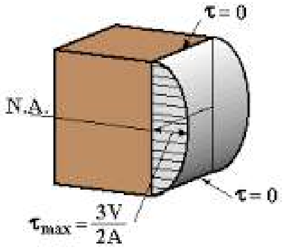
AISC ASD 1989

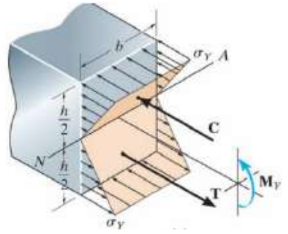
Wind

- 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

ฝั่ง **Resistance**:

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

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

History of AISC Specification

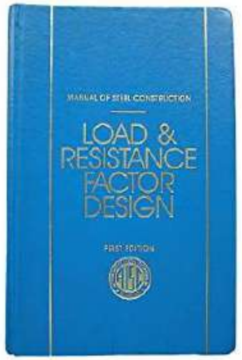
#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard Specification
(9 p.)

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

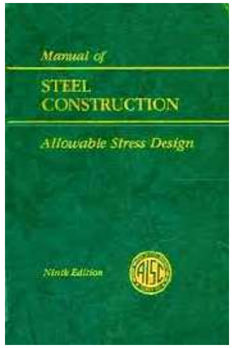
1986
1st AISC LRFD Manual

The Beginning of Strength Era



1989
9th Ed AISC ASD Manual

The End of Stress Era



2005
1st AISC Unified Manual

The Beginning of Unified Era

2022
Latest AISC (Unified) Steel Construction Manual

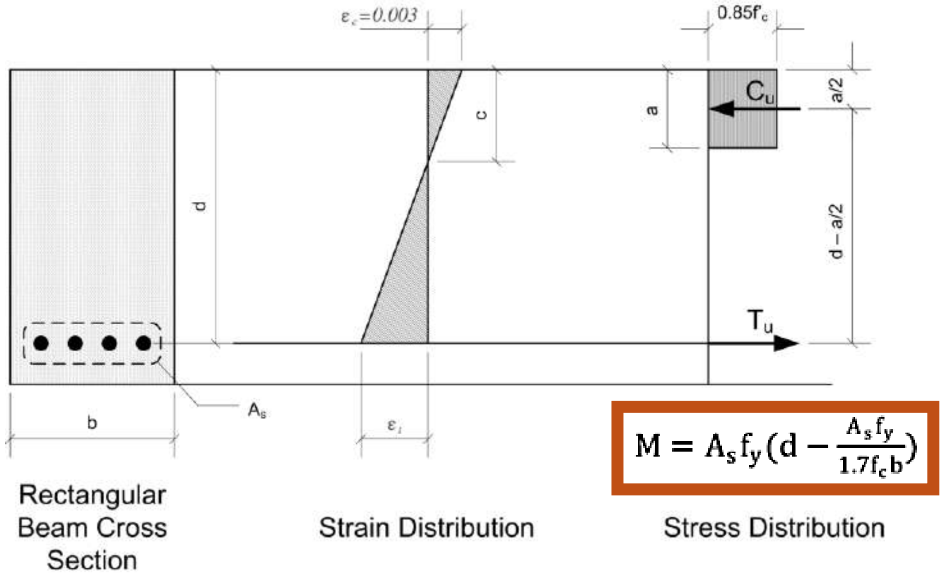
Strength Era

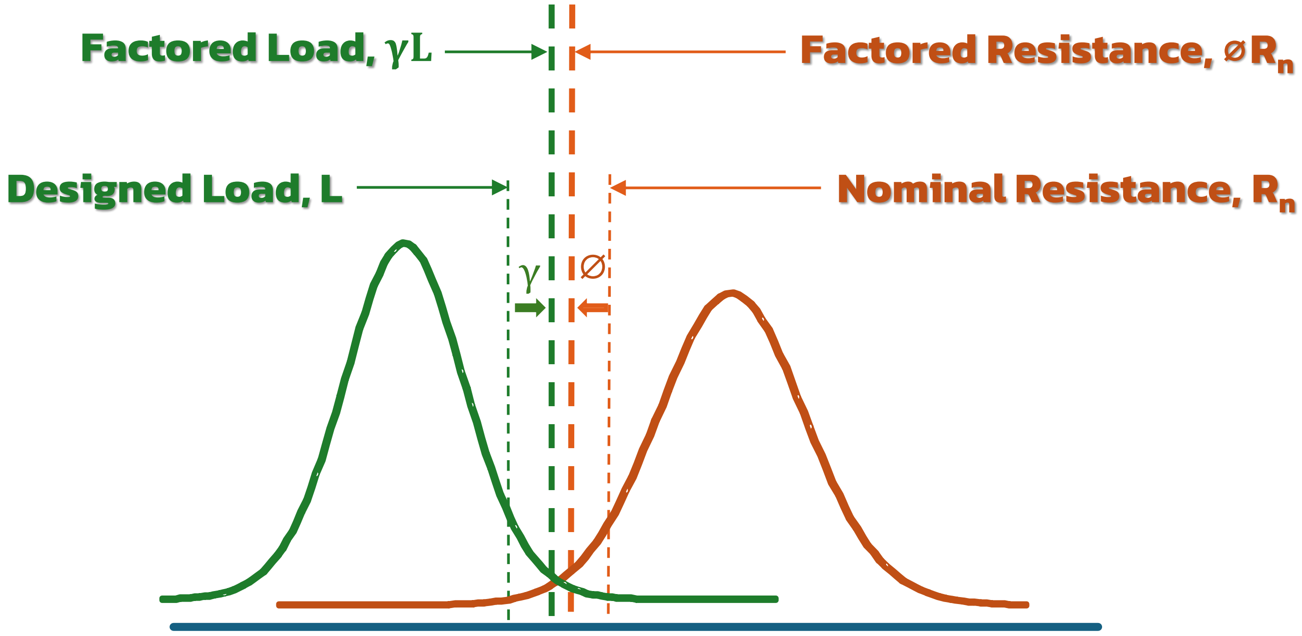
#WeLoveSteelConstruction

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



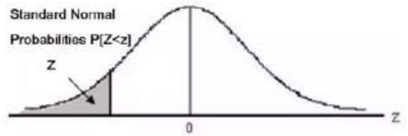


Statistic Fundamental

#WeLoveSteelConstruction

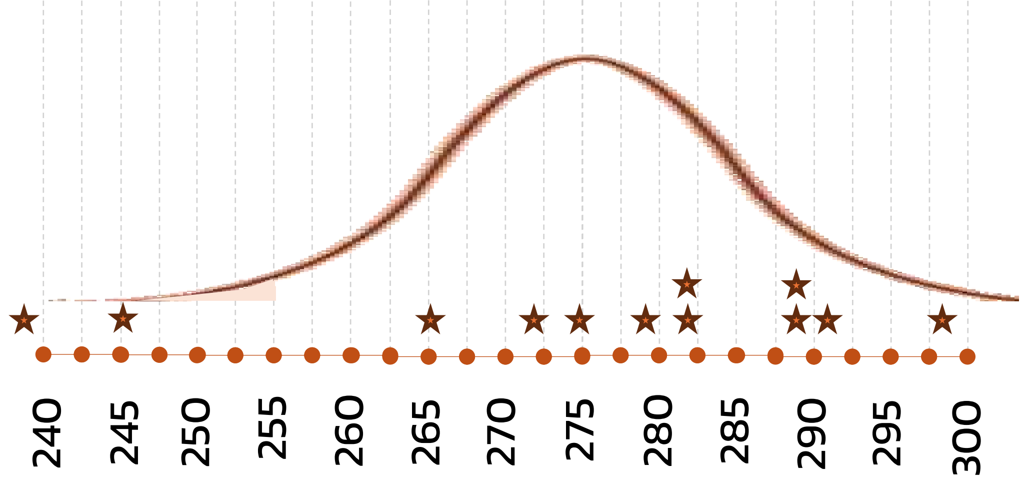
- Tensile test of flat plate SS400
- F_y = 245 MPa, F_u = 400 MPa

ตารางสถิติ

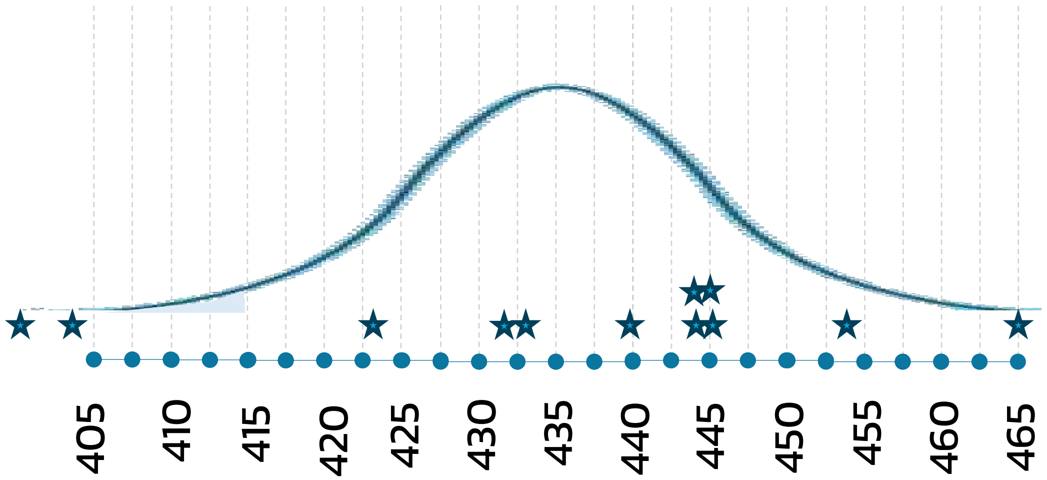


z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.50	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.40	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.30	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.20	0.0007	0.0007	0.0006	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 เพิ่มเป็น 105% จากเดิม
  - 110 mm, D เพิ่มเป็น 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 + 1.7 W)
  = 1.05D + 1.28L + 1.28W
- .9D - 1.3 W

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

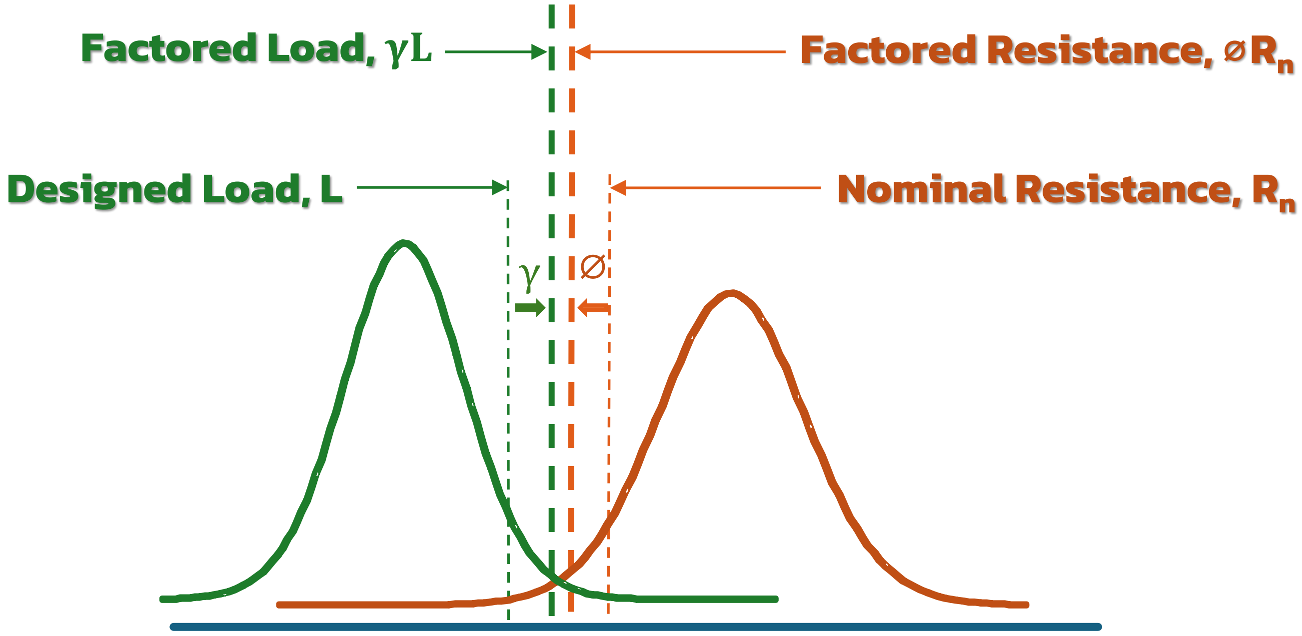
ASD (1989)

$$\sigma_L < \sigma_a = \frac{F_y}{\Omega}$$

→

LRFD

$$\gamma L < \phi R_n$$



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 ไต้ฝุ่น 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

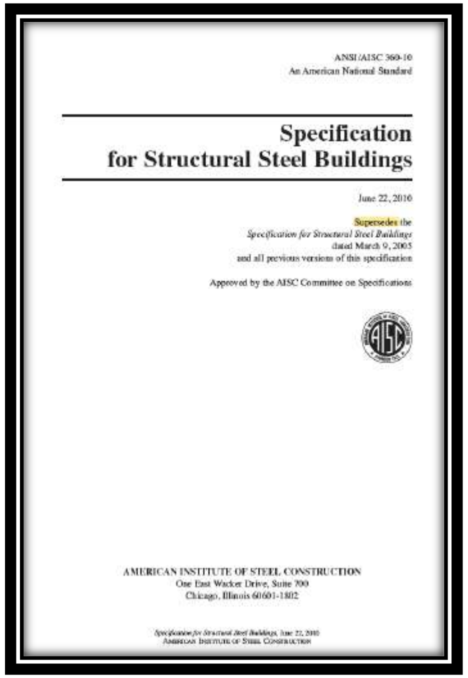
F = Load due to fluid with well defined pressures and maximum height
H = Load due to lateral earth pressure, ground water pressure, bulk materials

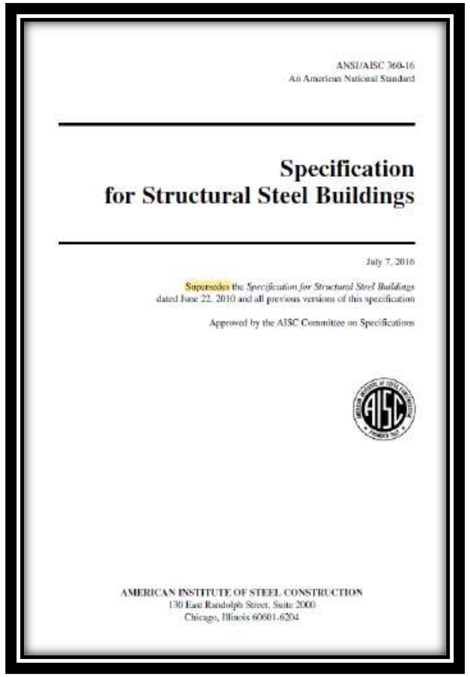
AISC 360 Specification

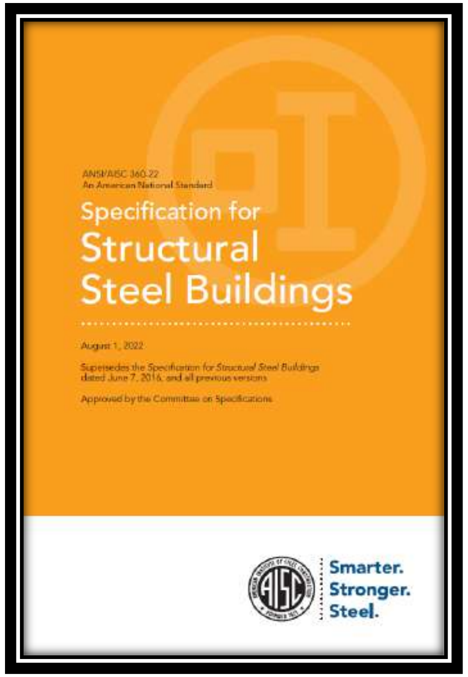
#WeLoveSteelConstruction

- นับจากปี ค.ศ. 2005 เป็นต้นมา **AISC** ได้มีการจัดทำ **Specification** for Structural Steel Buildings รหัสกำกับ **AISC 360** โดย “ยกเลิก” การใช้คำว่า Allowable **Stress** Design แต่ใช้ Allowable **Strength** Design กำกับด้วย **ASD** ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่า การออกแบบด้วยวิธี**กำลัง**ที่ยอมให้ 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 หรือหลักจรรยาบรรณวิศวกรที่ดี ผู้ออกแบบก็ควรนำความรู้ใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานวิชาชีพของตน



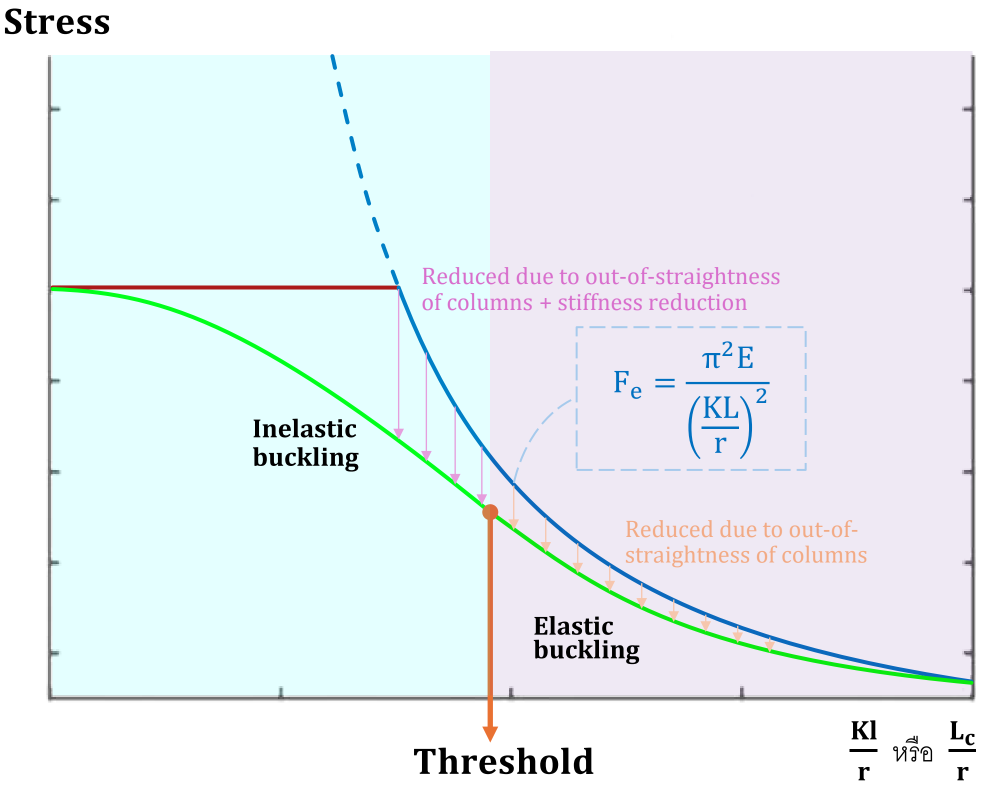




Newer Code = More Thorough Knowledge

#WeLoveSteelConstruction

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



ข้อสังเกต / ข้อพิจารณา

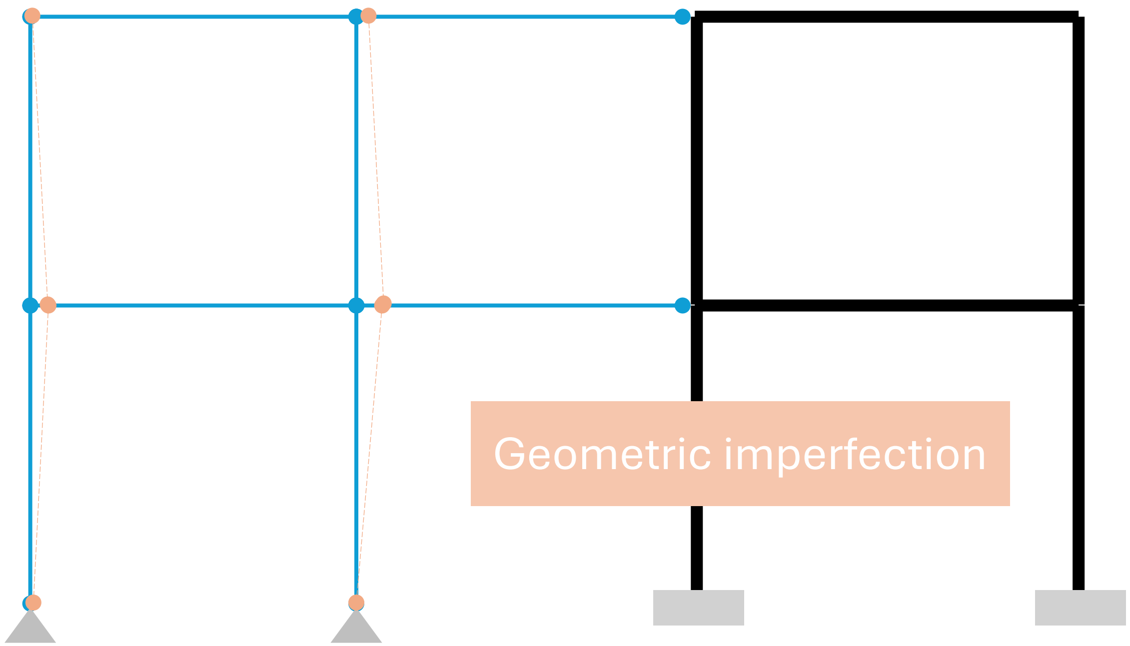
1. Inelastic buckling อ้างอิง ASD 1989 ปรับค่า F_a ลง “ด้วย FS ที่เป็นผลมาจาก $(Kl/r)/C_c$” ถูกต้องไหม ทั้งๆ ที่กำลัง (nominal strength) ลดลงจากผลของ residual stress ที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมที่เรียกว่า stiffness reduction
2. ผลจาก geometric imperfection ของ column ได้ถูกรวมใน FS ถูกต้องแล้วหรือไม่ (ปัจจุบัน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

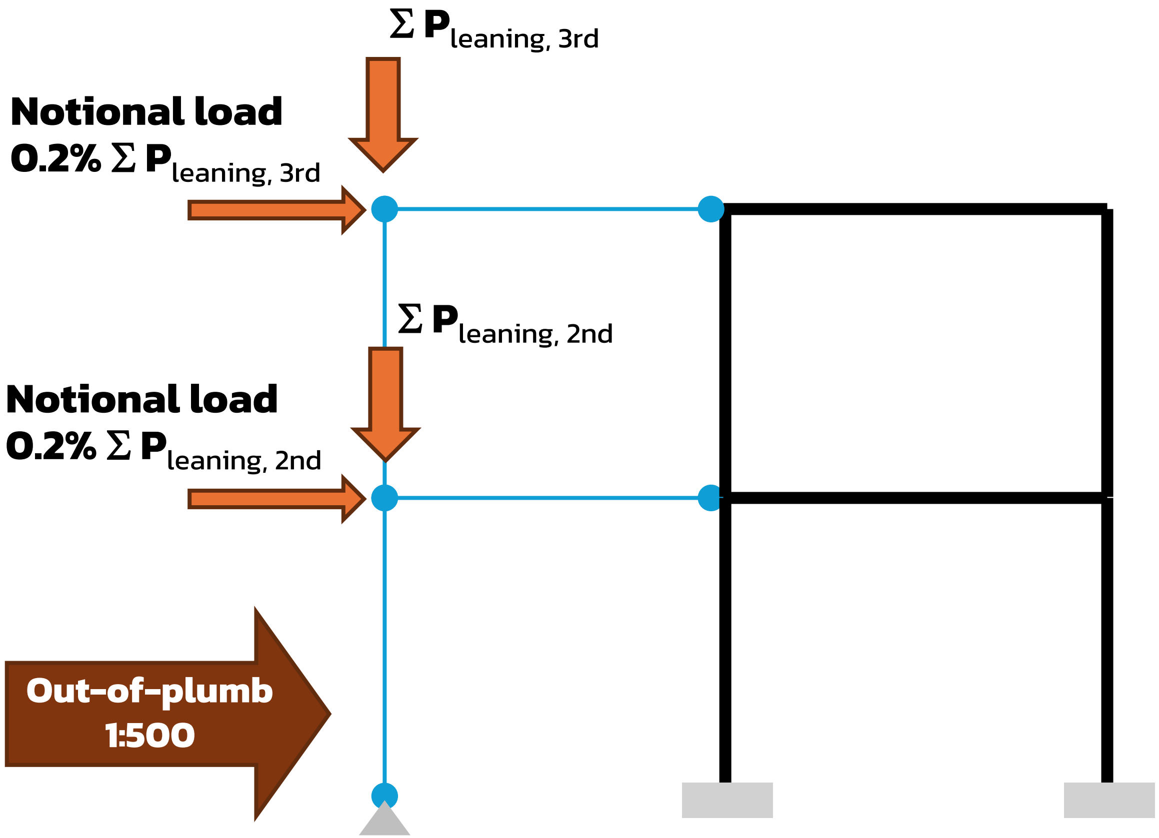
Newer Code = More Thorough Knowledge

#WeLoveSteelConstruction

Extra load vs. **Reduced strength**

Leaning Column Concept





History of AISC Specification

#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard Specification
(9 p.)

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

1986
1st AISC LRFD Manual

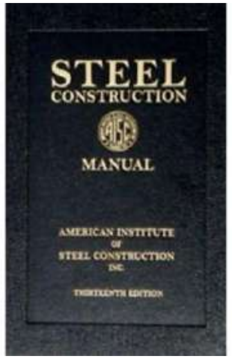
The Beginning of Strength Era

1989
9th Ed AISC ASD Manual

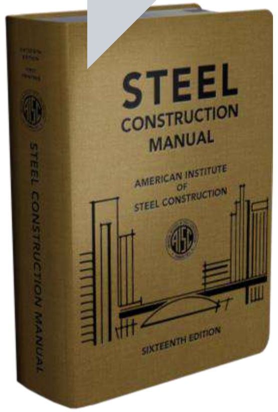
The End of Stress Era

2005
1st AISC Unified Manual

The Beginning of Unified Era



2022
Latest AISC (Unified) Steel Construction Manual



Unified Method

#WeLoveSteelConstruction

หากพิจารณาตามหลักการ **LRFD** ที่ในส่วนของ resistance เป็นการ ลดทอนกำลังรับแรงองค์อาคาร ด้วยการนำ resistance factor (ϕ) เข้าไปคูณ กำลังระบุ (nominal strength) เทียบกับแรงที่กระทำกับองค์อาคาร ที่ถูกเพิ่มค่าด้วย load factor (γ) ... แต่เปลี่ยนเป็น การพิจารณา unfactored load (service load) เทียบกับกำลังรับแรงระบุ nominal strength ขององค์อาคารที่ถูกลดทอน ด้วยการ “หารตัวประกอบความปลอดภัย (FS = Ω)”

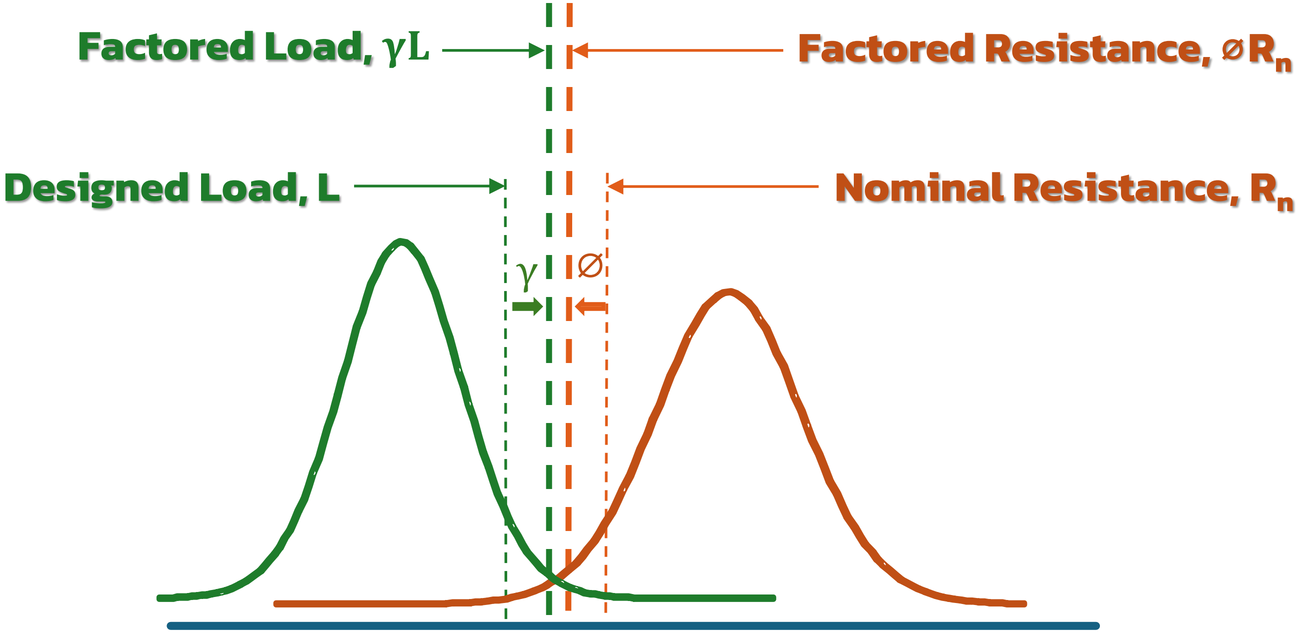
วิธีการนี้ เรียกว่า **A**llowable **S**trength **D**esign ใช้ตัวย่อ **ASD** เช่นเดียวกับ **A**llowable **S**tress **D**esign ทั้งนี้หากพิจารณาค่าเฉลี่ย load factor ของ gravity load combination ที่ γ = 1.5 ก็จะสามารถแปลงวิธี **LRFD** และ **ASD** กลับไปมาได้ เรียกวิธีนี้ว่า **Unified Method**

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

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

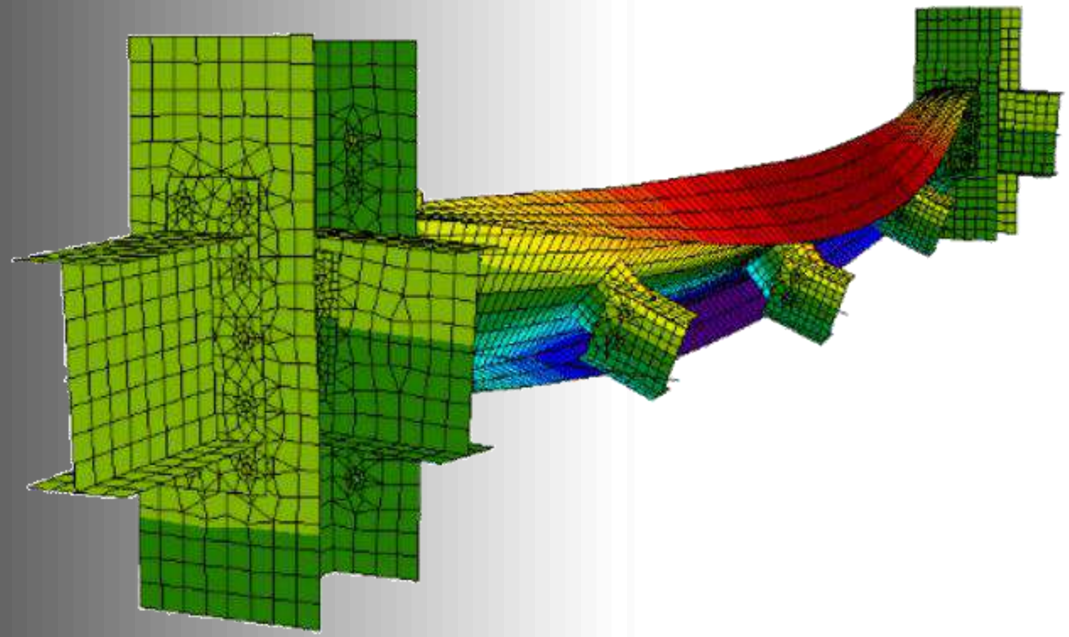
LRFD

$$\gamma L < \phi R_n$$



Strength
Stiffness
Stability

#WeLoveSteelConstruction



Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไหร่ถึงไม่พัง

Stiffness

Ability to resist deformation

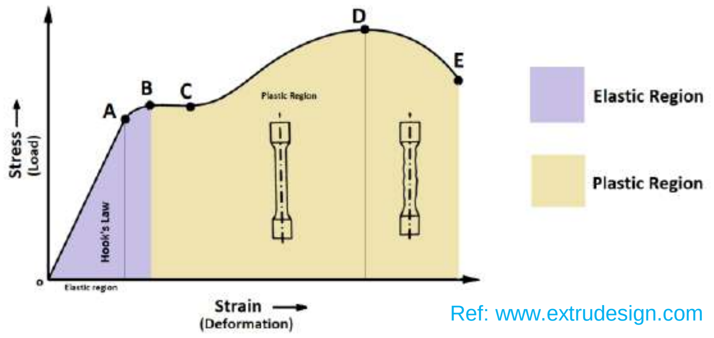
รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

$$\text{Tensile (Normal) Stress }(\sigma) = \frac{\text{Tensile Force (P)}}{\text{Area (A)}}$$

$$\text{Stress }(\sigma) = \text{Strain}(\epsilon) * \text{Elastic Modulus (E)}$$

At yield, $P_y = f_y.A$

$Strength \propto [material\ (f_y), section(A)]$



Ref: www.extrudesign.com

Within elastic, $P = \sigma.A = \epsilon E.A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$

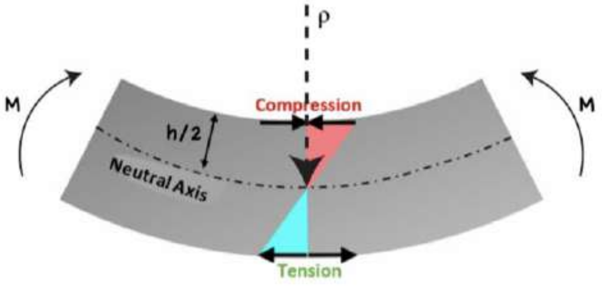
$= Stiffness * displacement$

$Stiffness \propto [material\ (E), section(A), length(L)]$

$$\text{Normal Stress }(\sigma) = \frac{\text{Moment (M)}}{\text{Section Modulus }(S_x)}$$

At 1styield, $M_y = f_y.S_x$

$Strength \propto [material\ (f_y), section(S_x)]$



Ref: www.chegg.com

Within elastic, $M = EI \frac{d^2y}{dx^2}$

$= Stiffness * displacement$

$Stiffness \propto [material\ (E), section(I), length(L)]$

Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไหร่ถึงไม่พัง

At yield, $P_y = f_y.A$

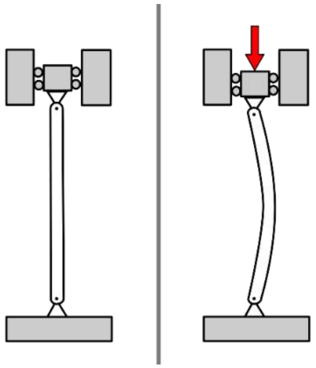
$Strength \propto [material\ (f_y), section(A)]$

At 1st yield, $M_y = f_y.S_x$

$Strength \propto [material\ (f_y), section(S_x)]$

Stability

Ability to resist a specific force with respect to a deformed shape



Ref: www.wikipedia.com

$$P_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} A$$

$Stability \propto [material\ (E), section(A), length(L)]$

Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

Within elastic, $P = \sigma.A = \epsilon E.A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$

$= Stiffness * displacement$

$Stiffness \propto [material\ (E), section(A), length(L)]$

Within elastic, $M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$

$= Stiffness * displacement$

$Stiffness \propto [material\ (E), section(I), length(L)]$

Fundamental of Structural Steel Stability

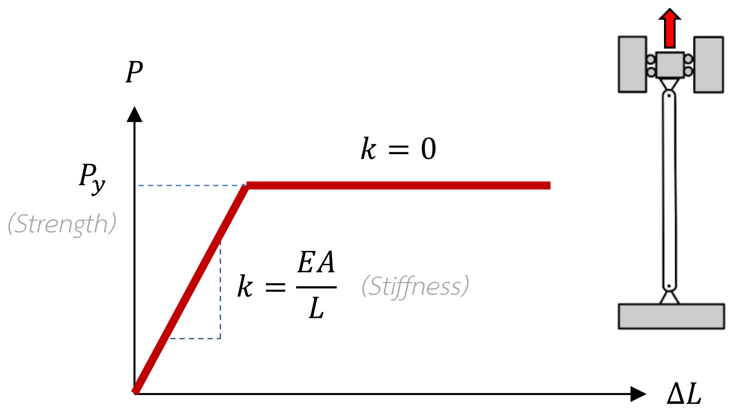
Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไหร่ถึงไม่พัง

$$Strength \propto [material\ (f_y), section(A)]$$

At yield, $P_y = f_y . A$



Stability

Ability to resist a specific force with respect to a deformed shape

รับแรงลักษณะหนึ่ง ๆ ได้เท่าไหร่ถึงไม่พัง
ณ รูปร่างการเสียรูปแบบหนึ่ง ๆ

$$\frac{M(x)}{EI} = \frac{d^2y(x)}{dx^2}$$

$$-P.y(x) = EI\frac{d^2y(x)}{dx^2}$$

$$0 = \frac{d^2y(x)}{dx^2} + \frac{P}{EI}.y(x)$$

$$y(x) = C_1 \sin\left(\sqrt{P/EI}\,.x\right) + C_2 \cos\left(\sqrt{P/EI}\,.x\right)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L)^2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}A$$

Stiffness

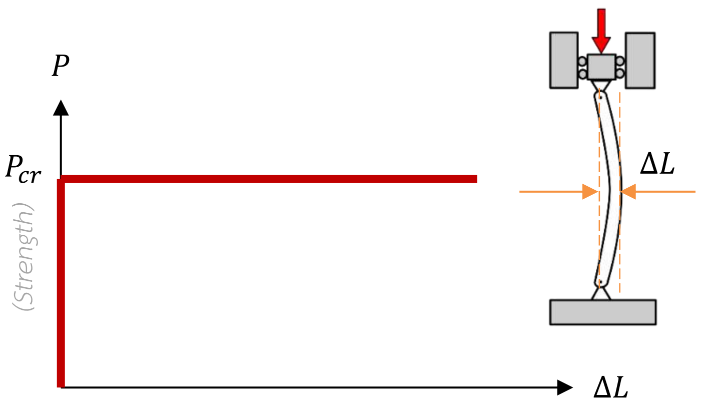
Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

$$P = \sigma.A = \epsilon E.A = \frac{\Delta L}{L}EA = \frac{EA}{L}\Delta L$$

$$Stiffness \propto [material\ (E), section(A), length(L)]$$

Ref: www.wikipedia.com



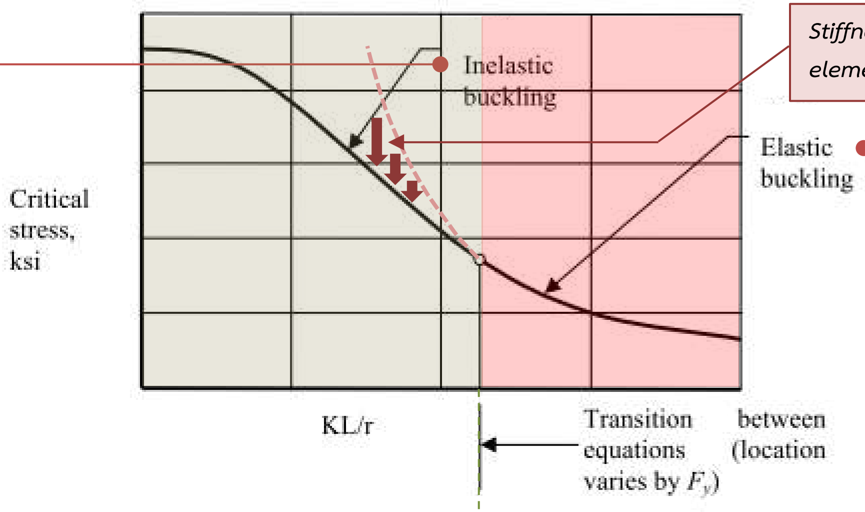
Fundamental of Structural Steel Stability

AISC Load and Resistance Factor Design (AISC/LRFD)

How?

Stiffness Reduction = EI is reduced as some elements within a section reach yield (F_y).

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y =$$



Standard column curve.

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

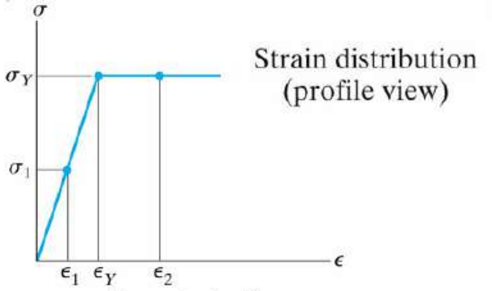
$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

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

Stiffness

*Can the **stiffness** be reduced?*

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



Stress–strain diagram (elastic-plastic region)

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

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

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**: คำนวณอัตราส่วนความชะลูด
- **Step 5**: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6**: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7**: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

Step 1: สมมติ ขนาด HSS 250 x 250 x 12 mm

$A = 110.5\ cm^2$

$I_x = I_y = 10,300\ cm^4$

$r_x = r_y = 9.63\ cm$

Step 2: หาผลรวมของแรง

ASD	LRFD
P_a = DL+LL = 120+70 = 190 T	P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(120) + 1.6(70) = 256 T

Step 3: หาจุดเปลี่ยนพฤติกรรม

$(L_c/r)_{limit} = 4.71*\sqrt{(E/F_y)}$

$= 4.71*\sqrt{(2,000,000/3,700)}$

$= 109.5$

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**: คำนวณอัตราส่วนความชะลูด
- **Step 5**: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6**: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7**: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

Step 4: หาอัตราส่วนความชะลูด ที่ control พฤติกรรม

$L_c/r_x = L_c/r_y = 500/9.63 = 51.9$

น้อยกว่า $(L_c/r)_{limit}$ ดังนั้นเสามีพฤติกรรม inelastic buckling

Step 5: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด

$(b/t)_{limit} = 1.40*\sqrt{(E/F_y)}$

$= 1.40*\sqrt{(2,000,000/3,700)}$

$= 32.5$

มากกว่า b/t = (250-12*2)/12 = 18.8 เป็น compact section

ไม่ต้องพิจารณา local buckling

Step 6: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ

$F_e = \pi^2 E/(L_c/r)^2 = \pi^2(2,000,000)/(51.9)^2 = 7,322$ ksc

$F_{cr} = (0.658)^{Fy/Fe} * F_y = (0.658)^{(3,700/7,322)} * 3,700 = 2,995$ ksc

$P_n = P_{cr} = F_{cr}*A = 2,995*110.5 = 330,911$ kg = 331 Tons

Column **Design Example**

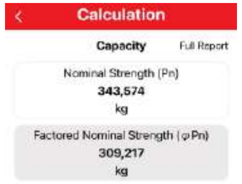
#WeLoveSteelConstruction

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**: คำนวณอัตราส่วนความชะลูด
- **Step 5**: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6**: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7**: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัด

Step 7: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัดของเสา

ASD	LRFD
P_a = 190 T	P_u = 256 T
P_n/Ω = 331/1.67 = 198 T > P_a OK	ϕP_n = 0.9(331) = 297 T > P_u OK



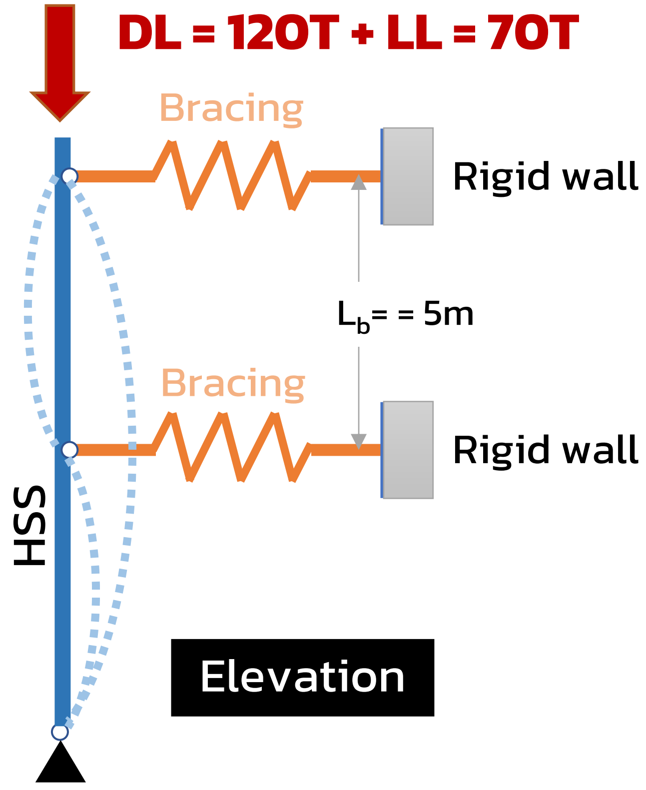
เทียบกับ Nominal strength ที่ได้จาก SSI Steel Design App ที่ 344 Ton (vs. 331 T จากการคำนวณมือ) ซึ่งต่างกันเล็กน้อยจากผลของ ขอบมุมหัก (App) vs. ขอบมุมตัด (Hand)

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

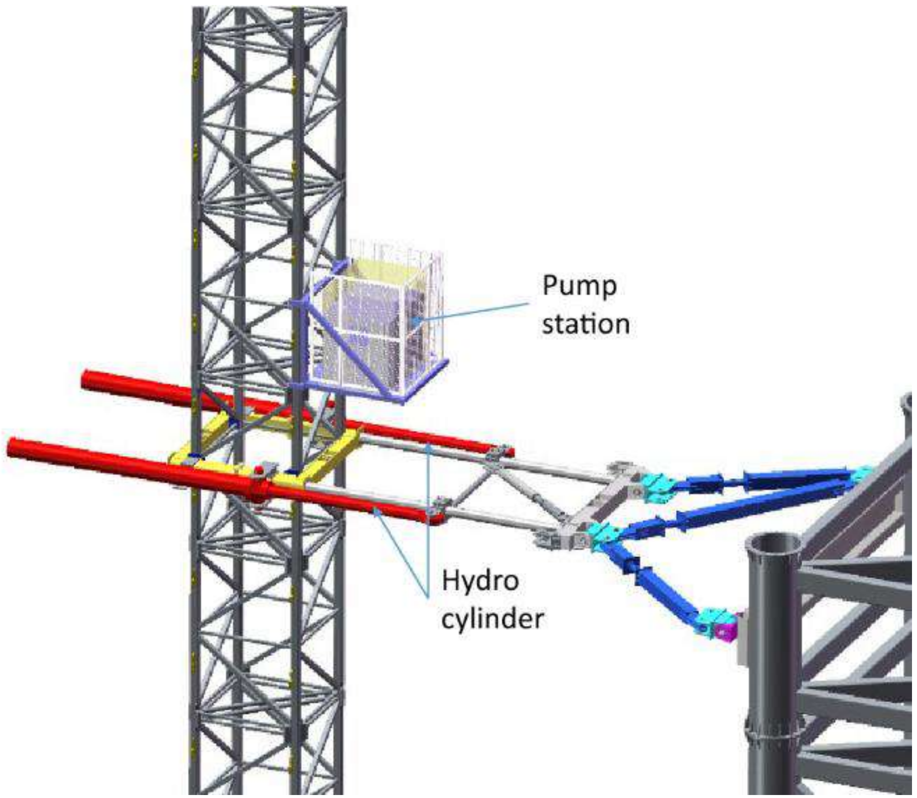
- **Step 1**: ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2**: คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3**: คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4**: คำนวณอัตราส่วนความชะลูด
- **Step 5**: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6**: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7**: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัด



ต้องตรวจสอบทั้ง stiffness และ strength ของ Bracing

Stability Bracing

#WeLoveSteelConstruction



Ref: https://www.nature.com/articles/s41598-022-26222-x

- **[ความเดิม]** การออกแบบ เสาและคาน วิศวกรผู้ออกแบบ ต้องกำหนดเงื่อนไข ตามสมมติฐานที่คาดว่า และน่าจะเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง unbraced length ของเสาและคาน
- เมื่อออกแบบ เสาและคาน เสร็จเรียบร้อย วิศวกรผู้ออกแบบ ต้องกลับมาตรวจสอบอีกว่า การค้ำยันให้กับเสาและคานนั้น **เพียงพอ** หรือไม่
- **เพียงพอ** ประกอบไปด้วย
  1) ความสามารถต้านทานแรงเพียงพอ: **strength**
  2) ความสามารถต้านทานการเสียรูปเพียงพอ: **stiffness**
- **ระดับของแรงภายนอก** (เสา = แรงอัด, คาน = โมเมนต์ดัด) เป็นค่าที่วิศวกรผู้ออกแบบใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบ ความเพียงพอ ของระบบค้ำยันทางข้าง

ประเภท และมาตรฐานอุปกรณ์ยึด

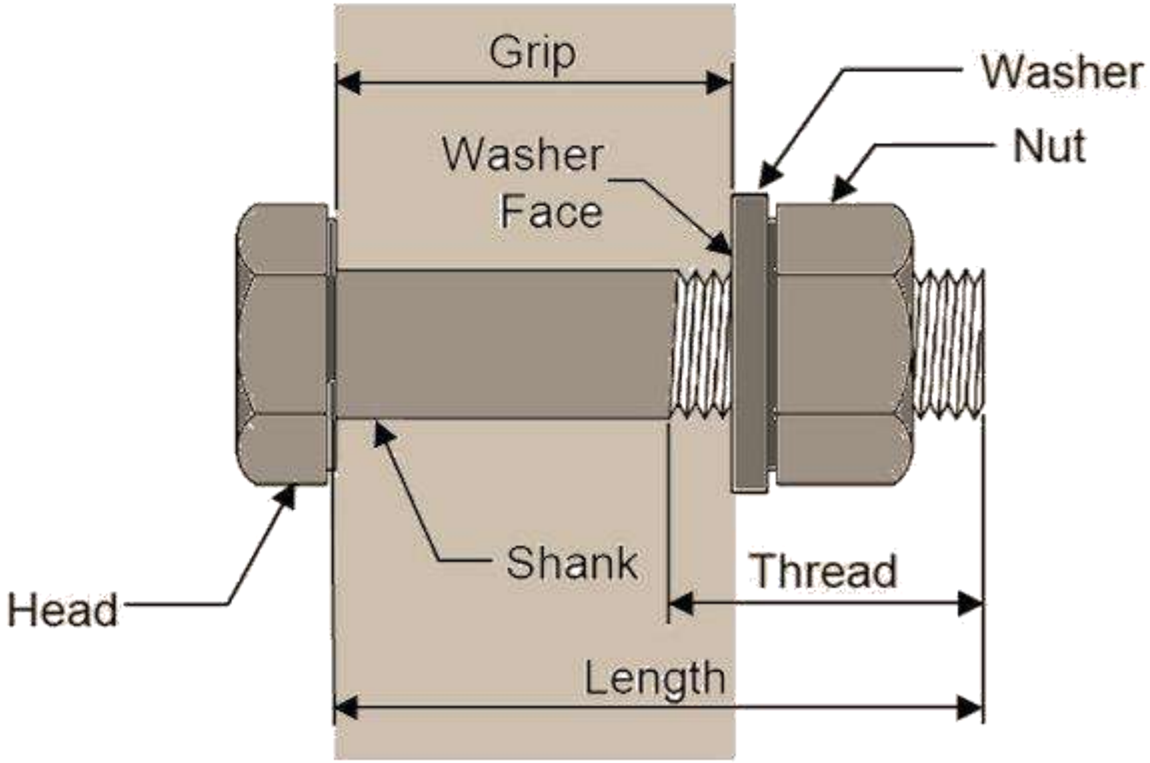
#WeLoveSteelConstruction

Bolt & Nut Nomenclature

#WeLoveSteelConstruction

- การเรียกชื่อ technical term ให้ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

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



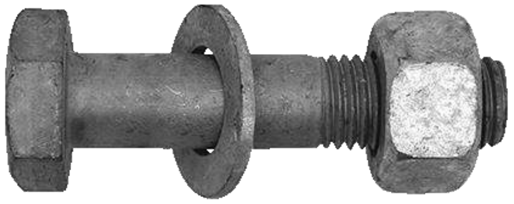
Ref: https://www.bhamfast.com/structural-bolt-stickout/

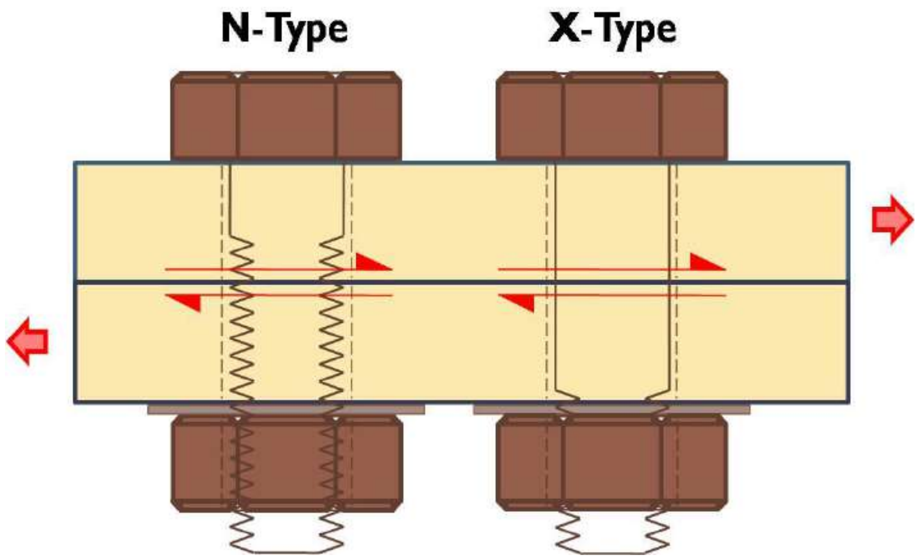
Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

จำแนกตามระยะเกลียว

N-Type	X-Type
Bolt เกลียวเต็ม	Bolt เกลียวไม่เต็ม
รับกำลังได้น้อยลง เพราะเสียพื้นที่	รับกำลังได้มากกว่า
ราคาแพงกว่า (ทำเกลียวเยอะกว่า)	ราคาถูกกว่า
ทำงานได้สะดวกกว่า	ต้องควบคุมความหนาให้ดี ทำงานยาก





ในทางปฏิบัติ ผู้ออกแบบมักจะที่จะกำหนดให้ใช้ Bolt ประเภท A325N หรือ A490N เพื่อความสะดวกในการออกแบบ และการควบคุมงานเนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่าเกลียวอยู่ในระนาบรับแรงเฉือนหรือไม่ และไม่ต้องเป็นกังวลว่าความหนาชิ้นงานที่จับยึดจะไม่เพียงพอ อันส่งผลต่อความแน่นในการจัดยึด

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี (Snug-Tightened Bolt)

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

จำแนกตามการขันแน่น

N or X Snug-tightened bolt

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

TC Pretensioned bolt

- ขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC Slip-critical bolt

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

Structural Bolts

#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบใส่แรงดึงก่อน (Pretention Bolt)

ใช้ในกรณีต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่ต้องการให้ข้อต่อเกิดความแน่น แต่ทั้งนี้หากเกิดการเลื่อนไถลก็ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อ

สลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต (Slip Critical Bolt)

ใช้กับข้อต่อที่หากเกิดการเลื่อนไถลจะเกิดความเสียหายต่อความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ

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

จำแนกตามการขันแน่น

N or X Snug-tightened bolt

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

TC Pretensioned bolt

- ขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC Slip-critical bolt

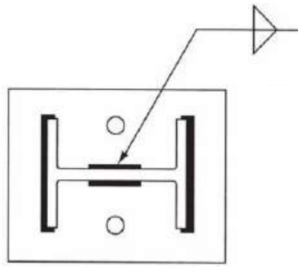
- เลื่อนวิกฤต
- ต้องขันแน่นดังเช่น TC bolt แต่ต้องทำ surface treatment
- ใช้ limit state ที่ “การ slip” หรือ วิบัติเมื่อเลื่อน หรือ ขยับ

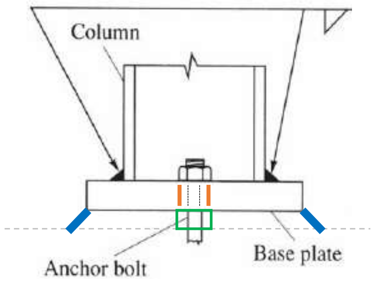
Structural Bolts

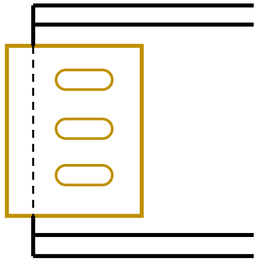
#WeLoveSteelConstruction

สลักเกลียวแบบเลื่อนวิกฤต (Slip Critical Bolt)

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







จำแนกตามการขันแน่น

N or X — Snug-tightened bolt

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

TC — Pretensioned bolt

- ขันแน่นแบบใส่แรงดึงก่อน
- กำลังเท่า Snug-tightened bolt

SC — Slip-critical bolt

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

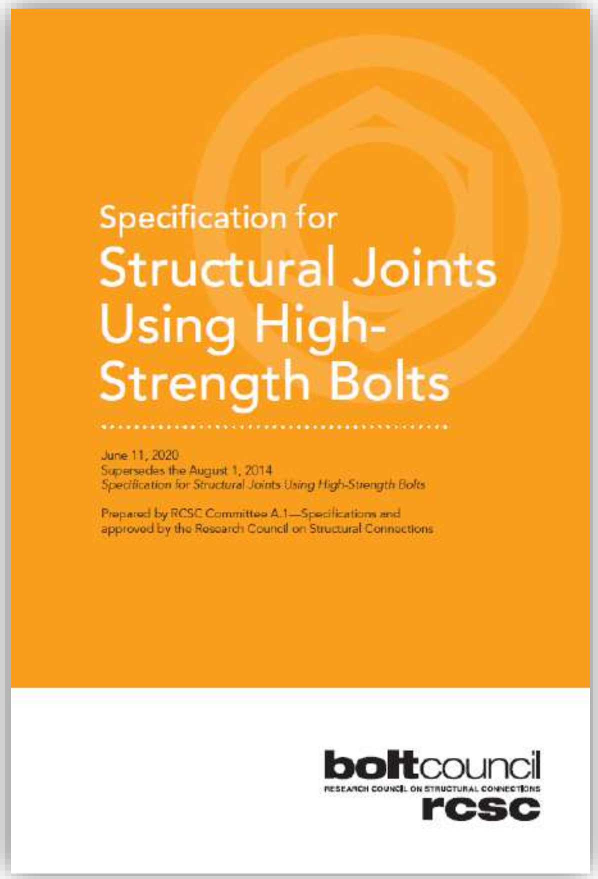
Latest US Reference for Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Table 2.1
Group Designations for Bolts and Matched Bolting Assemblies

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

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



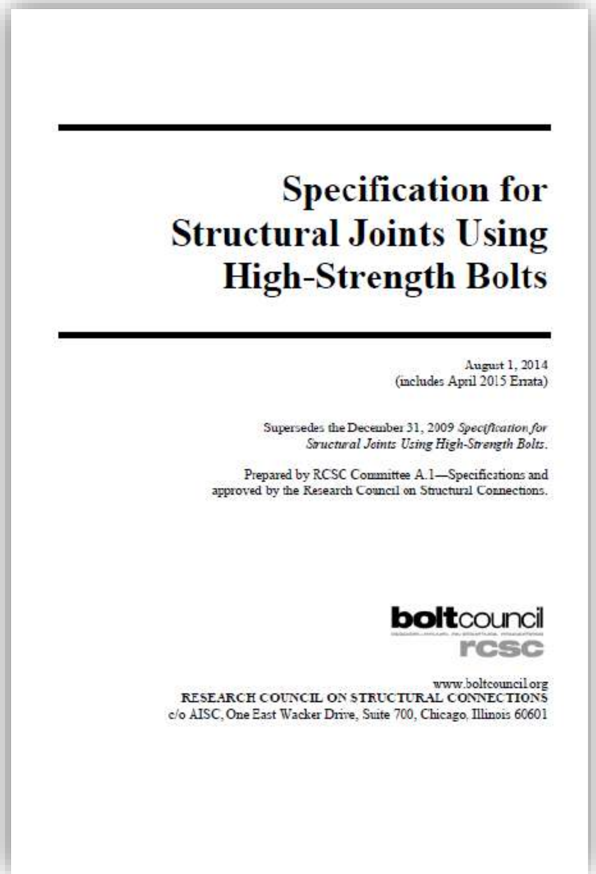
Thailand Standard & Reference for Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Applied Load Condition			*Nominal Strength* per Unit Area, F_n, ksi	
			ASTM A325 or F1852	ASTM A490 or F2280
Tension [a]	Static 75% $F_{u,bolt}$		90 F_u = 120	113 F_u = 150
	Fatigue		See Section 5.5	
Shear [a,b]	Threads included in shear plane	$L_s \le 38$ 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	$L_s \le 38$ in.	68 = 120*0.62*0.9	84 = 150*0.62*0.9
		$L_s > 38$ in.	56 = 120*0.62*0.75	70 = 150*0.62*0.75

[a] Except as required in Section 5.2.

[b] Reduction for values for $L_s > 38$ in. applies only when the joint is end loaded, such as splice plates on a beam or column flange.



Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts

August 1, 2014
(includes April 2015 Errata)

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

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

boltcouncil
rcsc

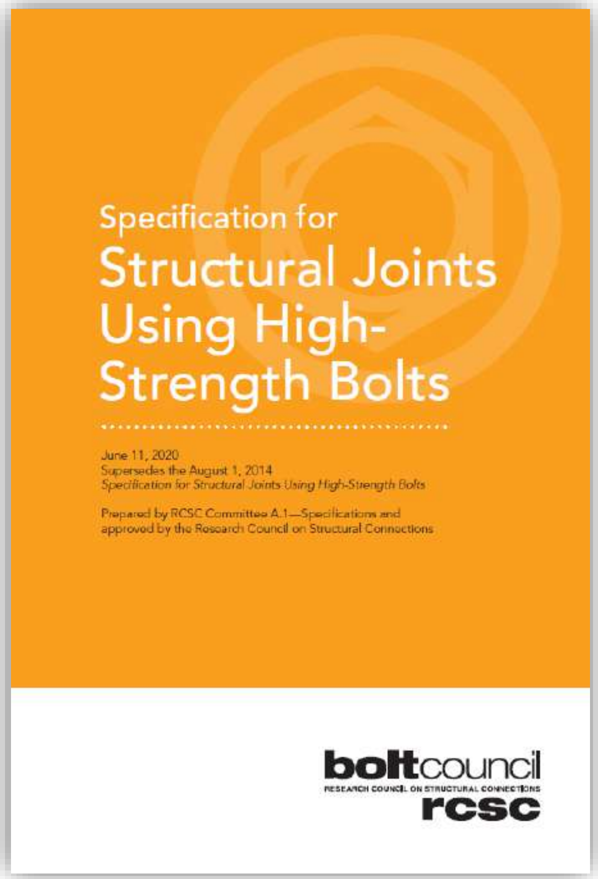
www.boltcouncil.org
RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS
c/o AISC, One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois 60601

Latest US Reference for Bolt

#WeLoveSteelConstruction

Table 5.1
Nominal Strengths per Unit Area of Bolts

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



ISO 898 vs.
ASTM A325 A490 Bolts
#WeLoveSteelConstruction

ASTM Bolt

#WeLoveSteelConstruction

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

ISO Bolt

#WeLoveSteelConstruction

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

ASTM vs. ISO Bolt

#WeLoveSteelConstruction

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

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงอาจแตกต่างจากข้อมูลที่ปรากฏในแหล่งอ้างอิงอื่นๆ จากเหตุผลด้านการประมาณการ แปลงหน่วย ปัดเศษ แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ASTM Pretensioned Bolt per AISC 360

#WeLoveSteelConstruction

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

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

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

Bolt Pre-Tensioning Method (1)

#WeLoveSteelConstruction

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

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

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

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

Bolt Pre-Tensioning Method (2)

#WeLoveSteelConstruction

- **Tension-Controlled Bolt การใช้สลักเกลียวควบคุมแรงดึง**

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

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

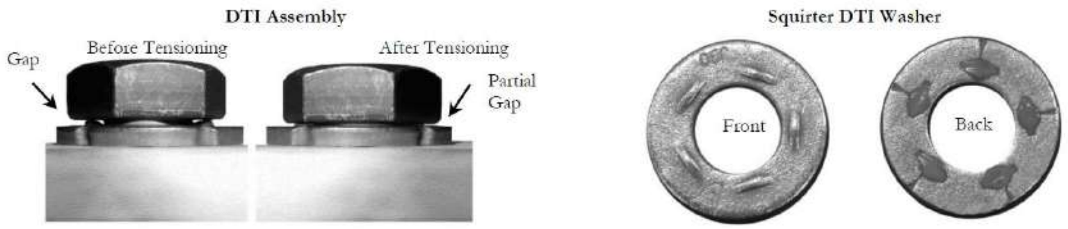
Ref: https://www.fastenal.com/content/feds/pdf/2017/02/Structural%20Bolts%20rev%202017-02-21.pdf

Bolt Pre-Tensioning Method (3)

#WeLoveSteelConstruction

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

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



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

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

applied bolting TECHNOLOGY

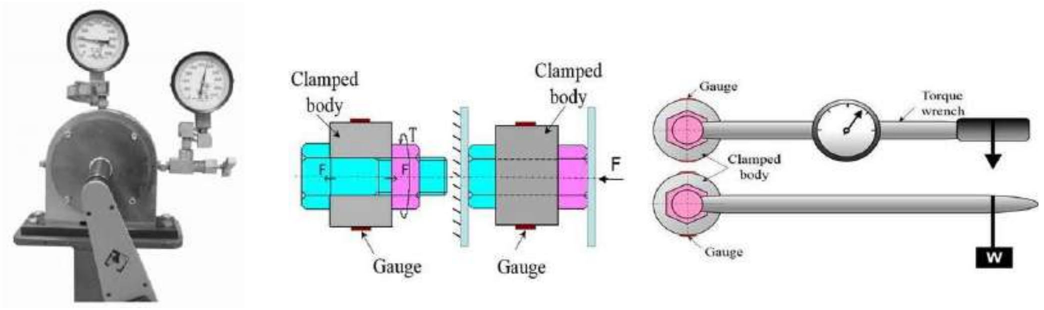
Bolt Pre-Tensioning Method (4)

#WeLoveSteelConstruction

- **Calibrated Wrench Method การใช้ประแจวัดความตึง**

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

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



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

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

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

ASTM vs. ISO Bolt Strength

#WeLoveSteelConstruction

Bolt Specification	Fu (ksc)	Ft = 75%Fu (ksc)	Fv (X-type) = 0.62*0.9*Fu (ksc)	Fv (N-type) = 0.8*Fv (X-type) (ksc)
ASTM A307	4,200	3,150	2,340	1,875
ISO 5.5	5,000	3,750	2,790	2,232
ASTM A325	8,400	6,300	4,690	3,750
ISO 8.8	8,000	6,000	4,465	3.570
ASTM A490	10,500	7,875	5,860	4,690
ISO 10.9	10,000	7,500	5,580	4,465

หมายเหตุ:
1. ค่าที่แสดงอาจแตกต่างจากข้อมูลที่ปรากฏในแหล่งอ้างอิงอื่นๆ จากเหตุผลด้านการประมาณการ แปลงหน่วย ปัดเศษ แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
2. ความสามารถในการรับแรง (kg) ให้นำพื้นที่หน้าตัด (sq.cm.) ไปคูณกำลัง (หน่วย ksc)
3. พิจารณา Factor of Safety = 2 (ASD) หรือ Resistance Factor = 0.75 (LRFD)

Good practices in steel connection

#WELOVESTEELCONSTRUCTION

Bolted Connection – Part 1 / Tip 1

- เลือก Bolt กำลังสูง ASTM A325 เทียบเท่า ISO Class 8.8 (Fu ประมาณ 8,300 – 8,400 ksc) หรือ ASTM A490 เทียบเท่า ISO Class 10.9 (Fu ประมาณ 10,400 – 10,500 ksc) ด้วยมีกำลังรับแรงที่มากเพียงพอ ราคาเหมาะสม และหาไม่ยากนักในท้องตลาด

Grade	Min. Strength	Type		Style
A325	120 ksi	1	3	Heavy Hex Head
A325M	830 MPa	1	3	Heavy Hex Head
A490	150 ksi	1	3	Heavy Hex Head
A490M	1040 MPa	1	3	Heavy Hex Head
F1852	120 ksi	1	3	Twist-Off
F2280	150 ksi	1	3	Twist-Off

ISO 898-1 Bolt Mechanical Properties and Head Marking

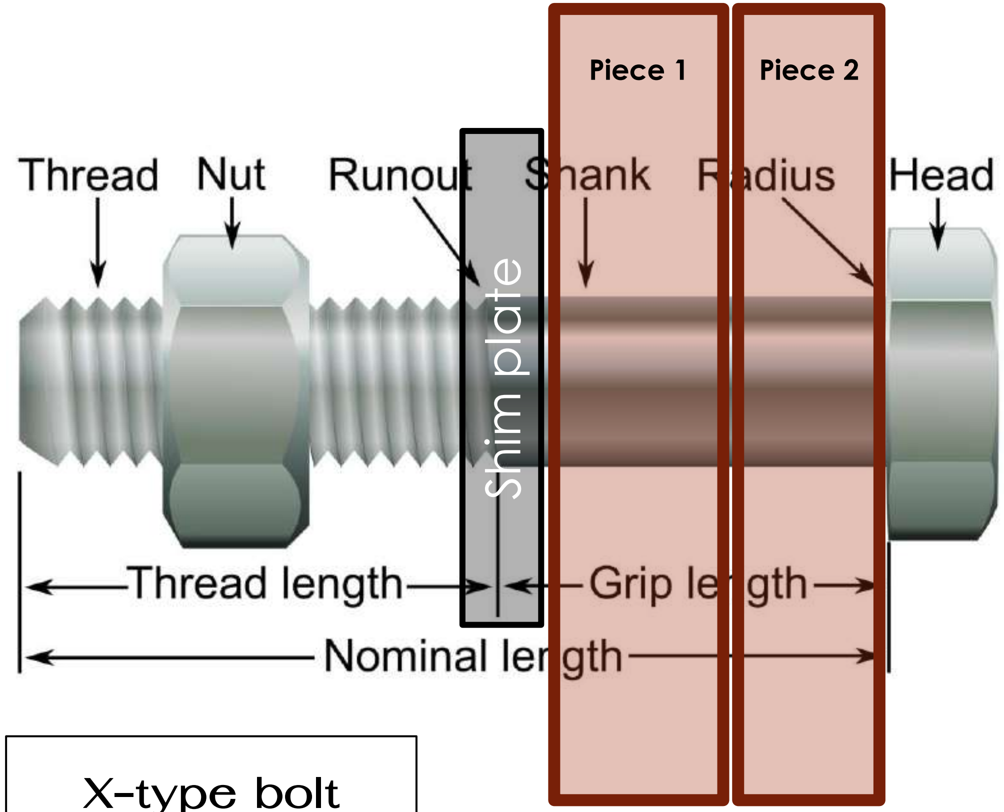
Standard for Bolt	Class	Tension Stength Mpa	Yield Strength Mpa	Enlogation %	Hardness	Head Marking
ISO 898-1 2009(DIN931/933)	4.8	420 min	340 min	-	B71-95	JM 4.8
	6.8	600 min	480 min	-	B89-99.5	JM 6.8
	8.8	D<=16, 800 min D>16, 830 min	-	12	C22-32	JM 8.8
	10.9	1040 min	-	9	C32-39	JM 10.9
	12.9	1220 min	-	8	C39-44	JM 12.9

The value-added source for quality bolts, nuts, screw, washers and other industrial fasteners & hardwares
Shanghai Jian & Mei Industry and Trade Co.,Ltd Tel:0086-21 33328690
E-mial: info@jm-industry.com Fax:021-68413263

Bolted Connection – Part 1 / Tip 2

- เลือก bolt ที่มีประเภทเกลียวเป็นแบบ “เกลียวเต็ม” หรือ N-type bolt แม้ว่าจะมีกำลังรับน้ำหนักน้อยกว่าและราคาสูงว่า bolt “เกลียวไม่เต็ม” หรือ X-type bolt สำหรับใช้ในโครงการ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในกรณีที่ชิ้นงานที่ต้องการต่อกันด้วย bolt มีความบางจนทำให้ไม่สามารถขันเกลียวให้แน่นตามต้องการได้

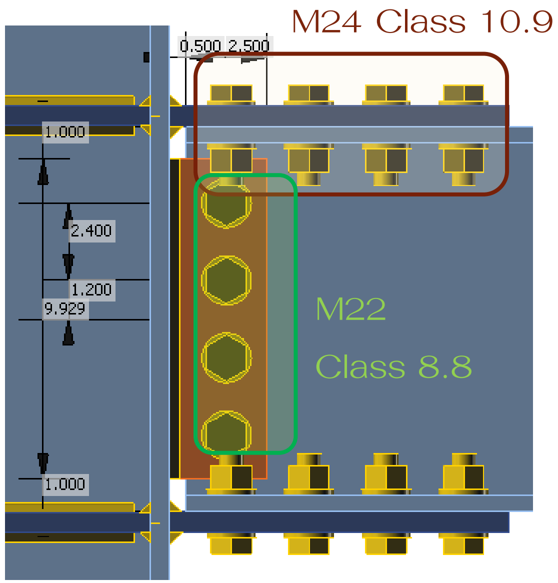
<u>**ทางแก้ไข**</u> อาจต้องเตรียม shim plate แผ่นเหล็กเติมช่องเพื่อให้สามารถขัน nut จากที่ความยาวของ shank มากกว่าความหนาของชิ้นงานที่มาประกอบติดกัน



X-type bolt

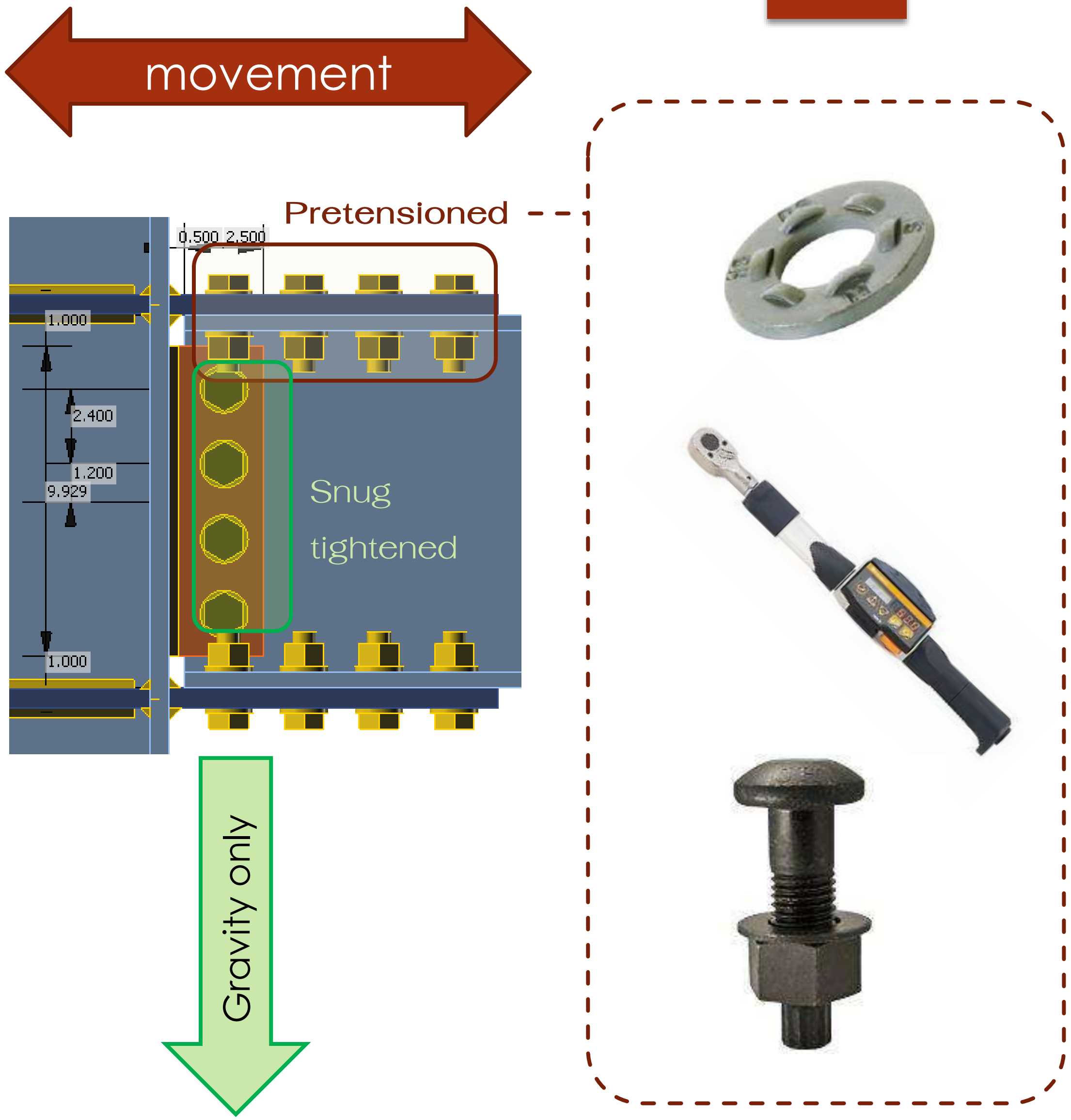
Bolted Connection – Part 1 / Tip 3

- อย่าออกแบบให้ bolt มีหลายเกรด และหลายขนาด เพราะจะทำให้ช่างที่ติดตั้งเกิดความสับสน และยากต่อการตรวจสอบคุณภาพของวิศวกรผู้ควบคุมงาน ทั้งนี้หากต้องการแบ่ง ควรกำหนดประเภท connection ให้ที่ต่างประเภทกัน กับการใช้ bolt ที่ต่างกัน เช่น M22 Class 8.8 กับ shear connection และ M24 Class 10.9 กับ moment connection เป็นต้น เพื่อให้ง่ายและสะดวกกับการก่อสร้างและการควบคุมคุณภาพ



Bolted Connection – Part 1 / Tip 4

- ควรออกแบบ bolt ที่ใช้กับ shear connection ของ beam ที่รับ gravity load ให้มีการติดตั้งแบบขันแน่นพอดี (snug tightened bolt) เพื่อความประหยัด แต่ moment connection สำหรับส่วนที่เป็น moment frame ควรออกแบบให้มีการติดตั้ง bolt แบบขันแน่นโดยใส่แรงดึงก่อน (pretensioned or tension-controlled bolt) เพื่อป้องกันการสั่นทางด้านข้างที่มากจนผู้ใช้อาคารอยู่ไม่สบาย และพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ bolt ประเภท slip critical bolt หากสามารถหลีกเลี่ยงได้ เพราะมีราคาที่แพง และได้กำลังรับแรงที่น้อยกว่าการติดตั้ง bolt ด้วยวิธีการอื่น



Welding

#WeLoveSteelConstruction

Welding Overview

#WeLoveSteelConstruction

- การเชื่อม มีกระบวนการที่คล้ายคลึงกับการตัดโลหะด้วยความร้อน กล่าวคือเป็นการให้ความร้อนแก่วัสดุเพื่อให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยหากต้องการตัด ก็ทำการดึงให้ออกจากกัน แต่หากต้องการเชื่อม ก็ทำการอัดให้ติดกัน

- วิธีในการเชื่อม มีหลายวิธีขึ้นกับรูปแบบของลวดเชื่อมและวัสดุปกคลุม เพื่อป้องกันการเกิด oxidation ซึ่งเกิดจากการที่ก๊าซออกซิเจนในอากาศไปผสมปนเข้ากับโลหะหลอมละลาย (ณ จุดเชื่อม) ส่งผลต่อความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม

- รูปแบบวัสดุปกคลุมมีหลายประเภท เช่น ผงฟลักซ์ (flux) กับการเชื่อม SAW หรือ FCAW หรือก๊าซ CO_2 กับการเชื่อม MAG (เชื่อม CO_2) หรือก๊าซ Ar กับการเชื่อม MIG (รวมเรียก MIG และ MAG ว่า GMAW)

รอยเชื่อม fillet weld ที่ไม่สมบูรณ์

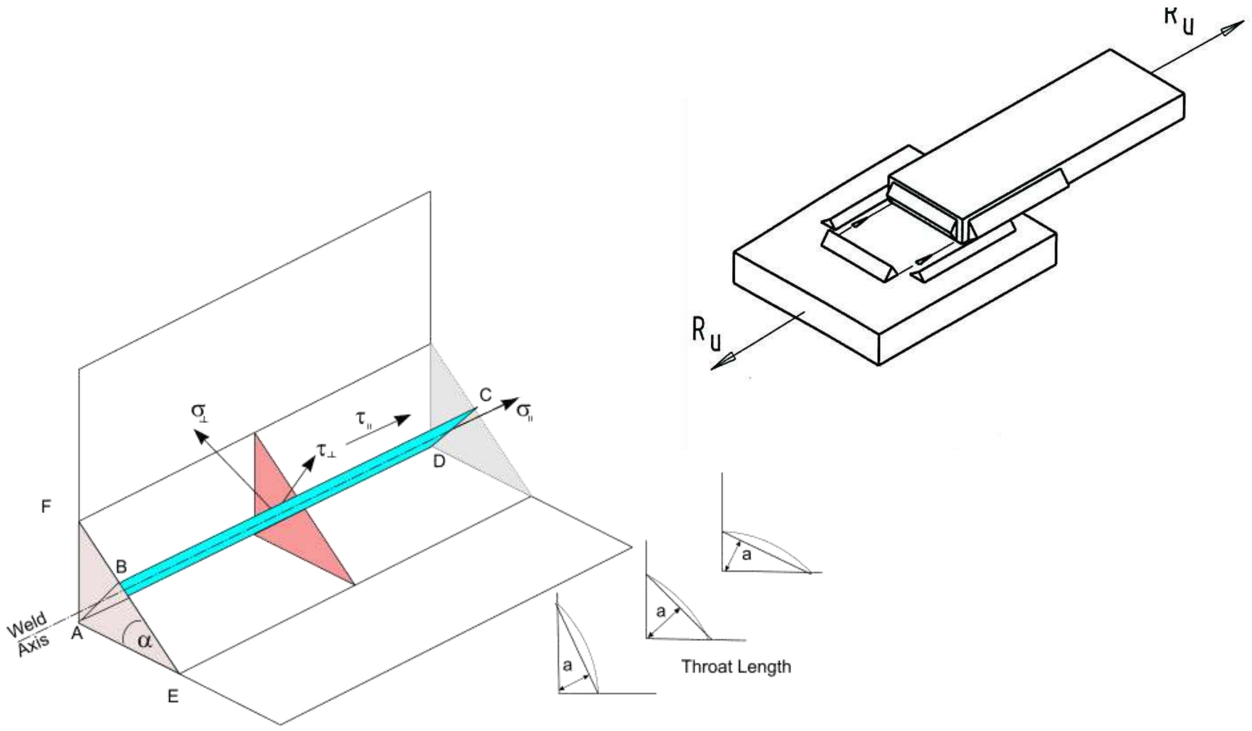
กำลังรับแรงของรอยเชื่อม

#WeLoveSteelConstruction

- เกรดของวัสดุเชื่อม (welding material) มักอ้างอิงมาตรฐานอเมริกา โดยกำหนด F_{Exx} โดยที่ xx แสดง “กำลังรับแรงดึงสูงสุด” ของวัสดุเชื่อมในหน่วย ksi (แปลงเป็น MPa คูณ 7 เป็น ksc คูณ 70)

- F_{E70} มี F_u = 70 ksi = 490 MPa = 4,900 ksc เป็นเกรดที่นิยมใช้มากสุด แต่ยังมีเกรดอื่นให้เลือกใช้ เช่น F_{E60} หรือ F_{E80}

- การเชื่อมพอก หรือ fillet weld มักรับ “แรงเฉือน” ดังนั้น การคำนวณกำลังรับแรง (เฉือน) ของรอยเชื่อม จึงต้องแปลง F_u เป็น F_{vu} โดย $F_u = 0.6*F_{vu}$ ตามทฤษฎี yield criteria



กำลังรับแรงของรอยเชื่อม

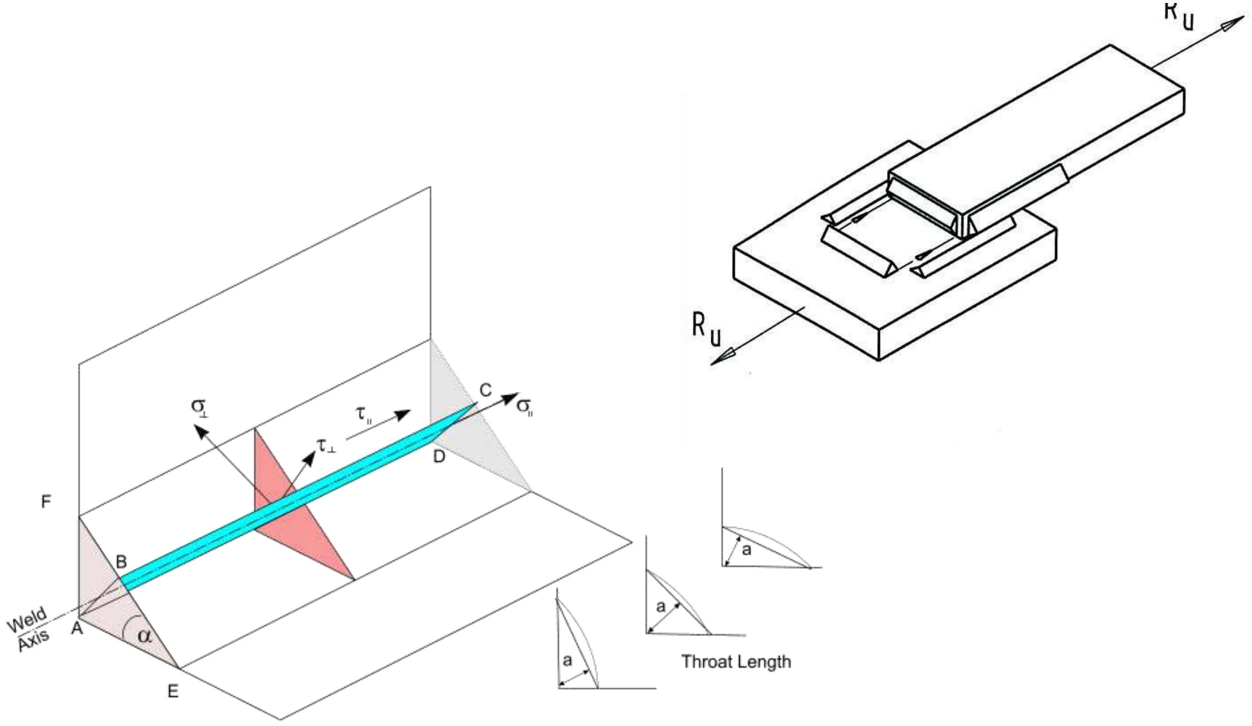
#WeLoveSteelConstruction

- พื้นที่รับแรง (เฉือน) ของ fillet weld เป็นพื้นที่ที่อยู่ในแนวทแยง จาก weld leg (AE หรือ AF ดังรูป) ในแนว AB ซึ่งหาก AE = AF จะได้ว่า AB = leg size/√2 ไปคูณกับความยาวของ fillet weld

- ดังนั้น Nominal weld shear capacity (rupture) = R_n = ($0.6F_u$) * Effective area โดยที่ Effective area = A_e = (AE/√2)*L

- Unified method: $R_n = (0.6F_u) * A_e$

  [ASD] Ω = 2.0
  [LRFD] γ = 0.75



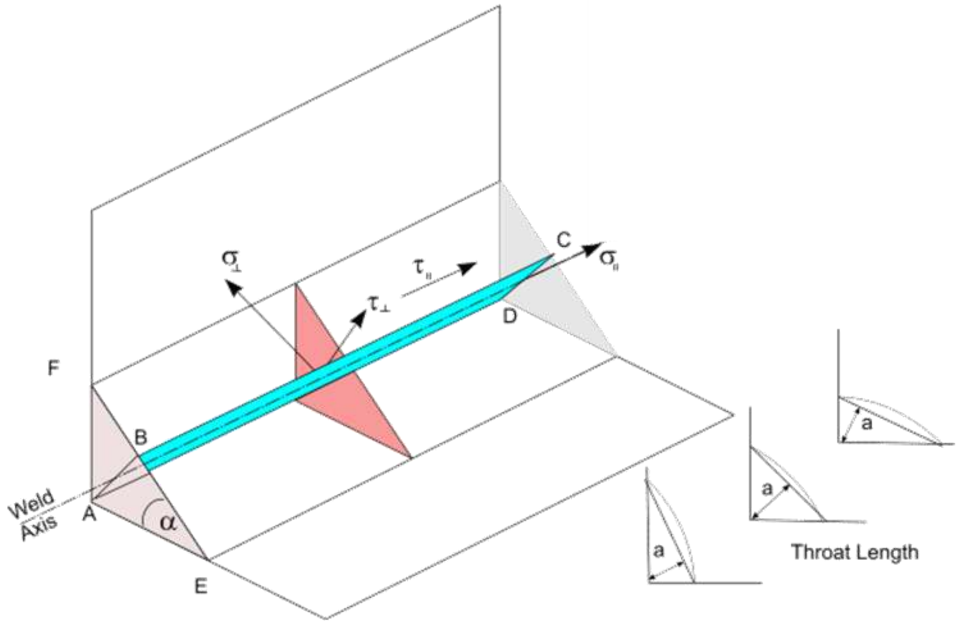
Fillet Weld Strength

#WeLoveSteelConstruction

- การเชื่อมพอก หรือ fillet weld ระนาบที่จะเกิดการวิบัติ เป็นระนาบที่ มีขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกเฉือนขาด ซึ่งเป็นมุม 45 องศา วัดจากขอบที่ตั้งฉาก

- กำลังรับแรงเฉือน ~ 60% ของกำลังรับแรงดึง
  พื้นที่รับแรงเฉือน ~ leg size/sin (45°) * ความยาว
  กำลังรับแรงเฉือนระบุ (nominal shear strength)
  = (0.6 F_u) (leg size/$\sqrt{2}$ * length)
  = (0.6 * (70*70 ksc)/$\sqrt{2}$) * (leg size * length)
  = 2,079 (leg size * length) … หน่วย กิโลกรัม
  ~ 2 ตัน ต่อตารางเซนติเมตร

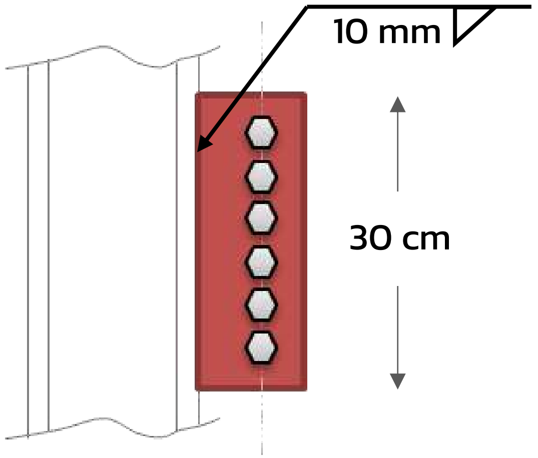
- หากพิจารณา [ASD] Factor of Safety (Ω) = 2 จะได้ กำลังรับน้ำหนัก "ปลอดภัย" R_n/2 = ~ 2/2 = 1 ตันต่อ ตร.ซม. หรือหากพิจารณา [LRFD] Resistance factor (γ) = 0.75 จะได้ γR_n = 1.5 ตันต่อ ตร.ซม.



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

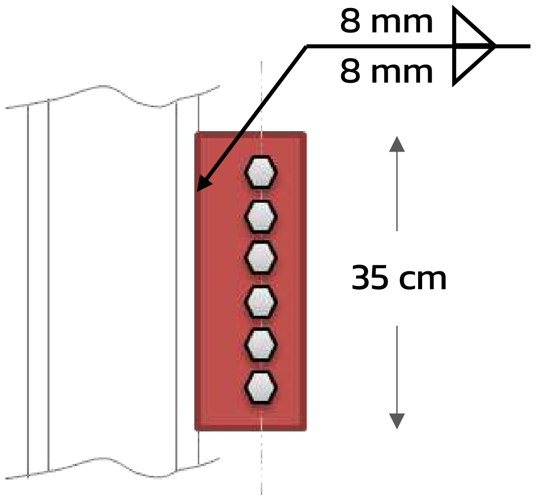
Fillet Weld Strength – Quick Number

#WeLoveSteelConstruction



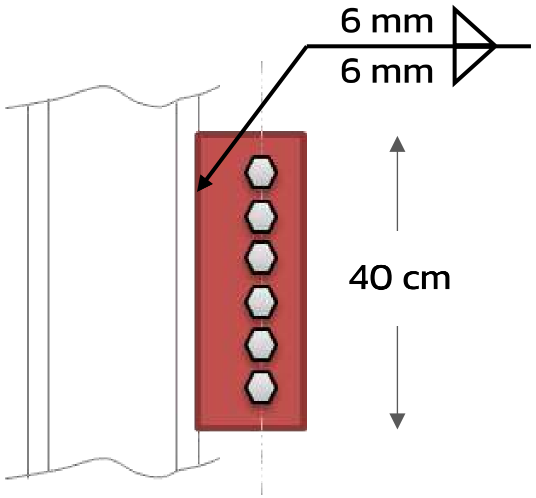
รอยเชื่อม fillet weld นี้

รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 30 ตัน
รับน้ำหนักได้สูงสุด 45 ตัน



รอยเชื่อม fillet weld นี้

รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 56 ตัน
รับน้ำหนักได้สูงสุด 84 ตัน



รอยเชื่อม fillet weld นี้

รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 48 ตัน
รับน้ำหนักได้สูงสุด 72 ตัน

Good practices in steel connection

#WELOVESTEELCONSTRUCTION

#WeLoveSteelConstruction

State of the Art: Welding

1) Material Grade Selection

อ้างอิง https://www.facebook.com/syssteel/photos/pcb.2072824046084518/2072823659417890

SS = Steel for Structure
% Carbon ไม่ได้มีการกำกับไว้ SS จึงมีความเสี่ยงที่จะเชื่อมแล้วไม่ได้คุณภาพ ควรใช้กับงาน bolt & nut

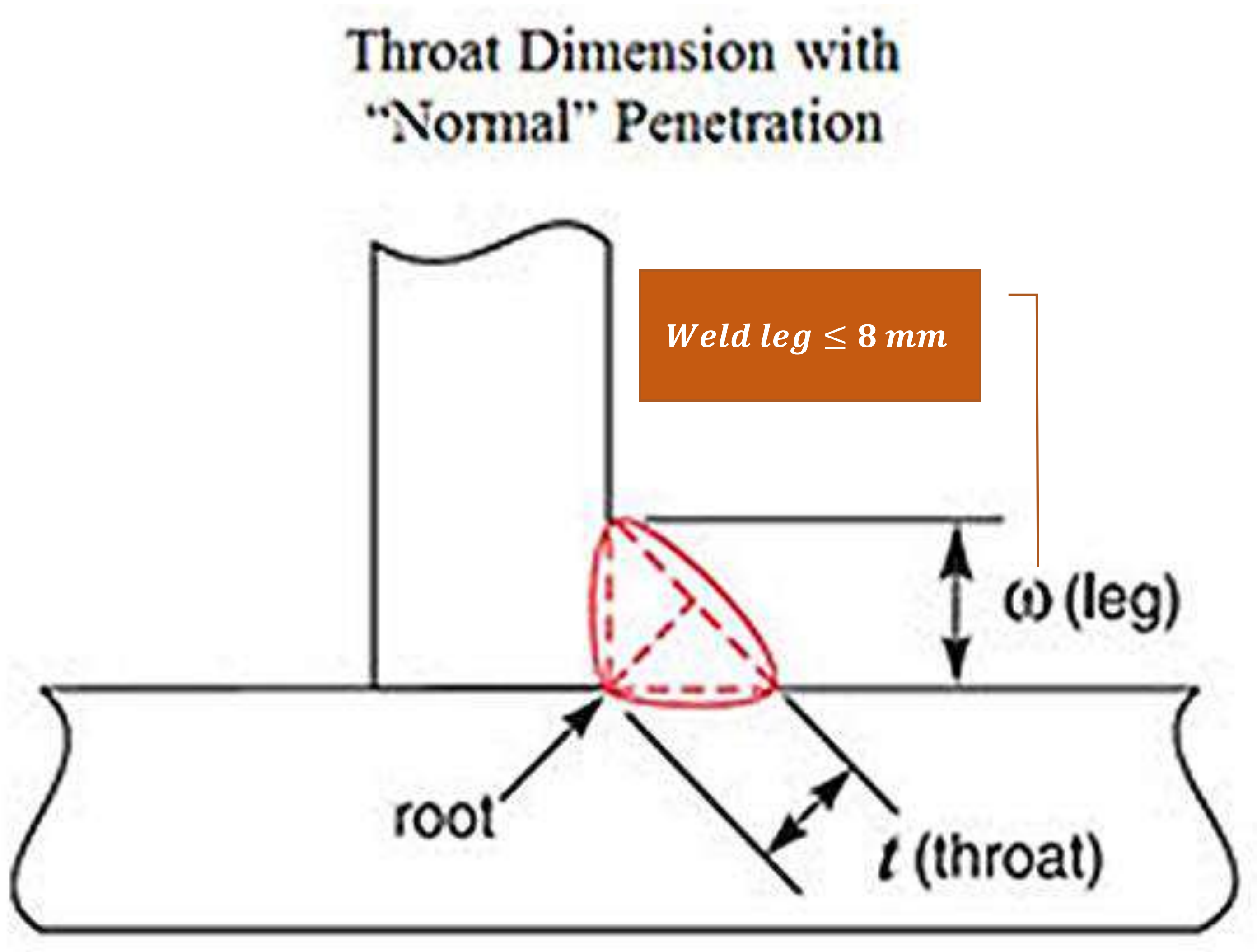
SM = Steel for Marine
% C Si P Mn S มีการกำกับไว้ใน มาตรฐาน SM จึงเหมาะกับงานที่ต้องนำไปติดตั้งด้วยการเชื่อม

State of the Art: Welding

2) Fillet weld before Groove weld if structurally permissible

State of the Art: Welding

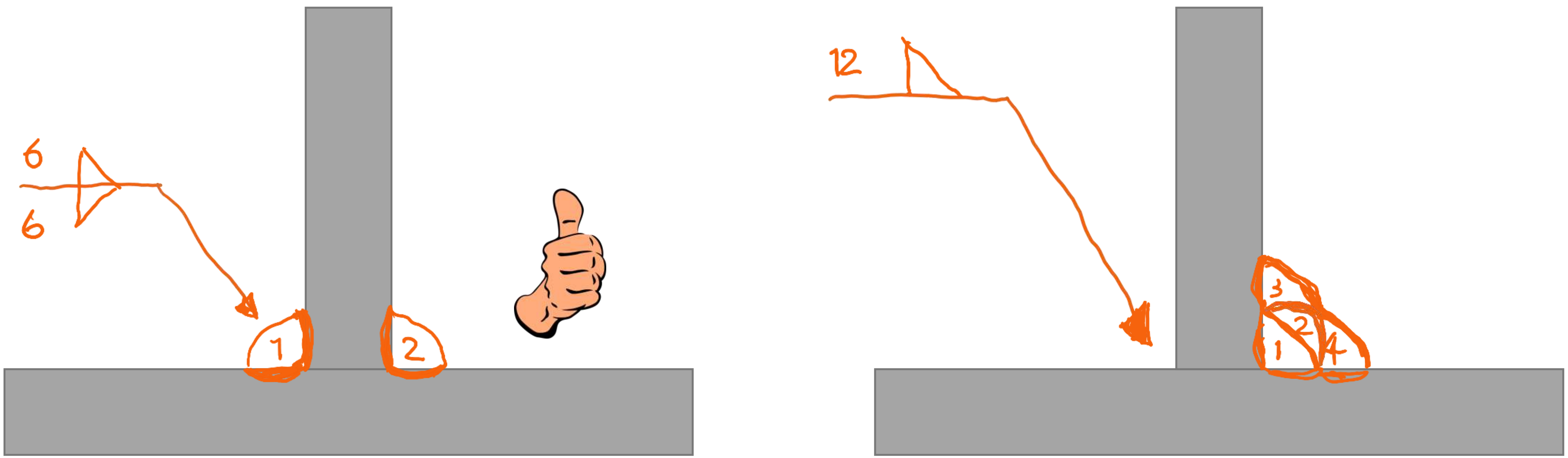
3) Limit leg size less than 8 mm
(1 pass welding)



อ้างอิงรูปจาก https://weldinganswers.com/importance-of-root-fusion/

State of the Art: Welding

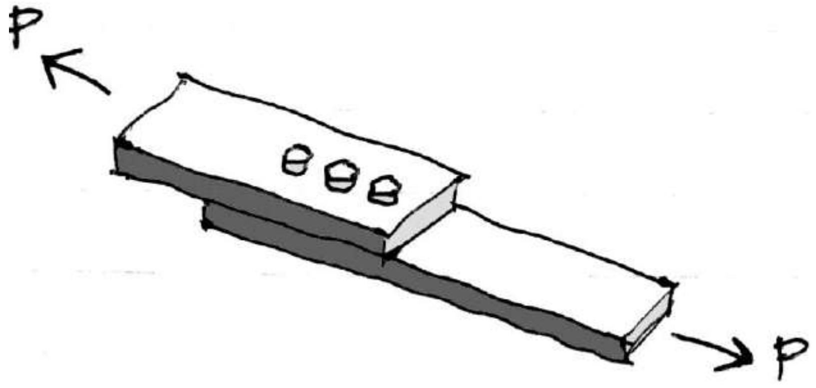
4) Both-sided fillet weld is cheaper than 1-sided fillet weld at the same capacity



Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

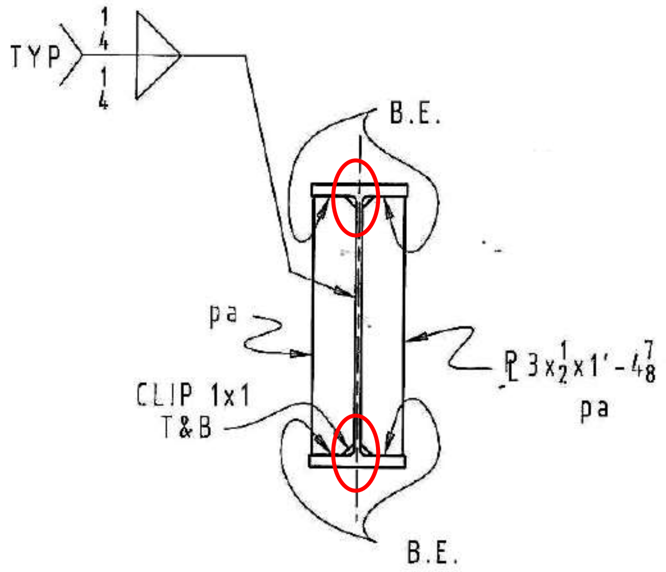
หลีกเลี่ยงการจัดทำแบบรายละเอียดข้อต่อโครงสร้างเหล็กให้มีสลักเกลียว (Bolt) เพียงตัวเดียว ยกเว้นข้อต่อสำหรับ สลักรับแรงดึง (Tension Rod)



Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

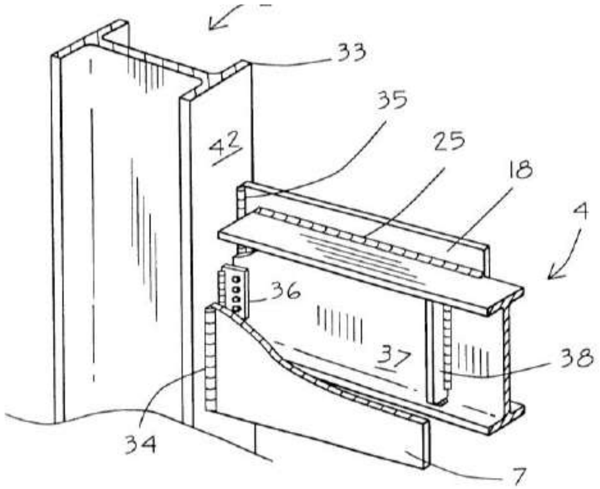
หากสามารถทำได้ ควรบากมุมของแผ่นเสริมเสถียรภาพ (Stiffener) ออกเป็นมุมประมาณ 45 องศา เพื่อให้สามารถหลบหลีกส่วนมน (Fillet) ที่ตำแหน่งจุดต่อระหว่างปีกและเอวของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณรีดร้อน หรือเป็นรอยเชื่อมของหน้าตัดคานที่เชื่อมประกอบจากแผ่นเหล็ก (Plate Girder) ในระหว่างการเชื่อมติดตั้ง



Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

หากสามารถทำได้ในทางวิศวกรรม ควรเลือกใช้แผ่นเสริมเสถียรภาพไม่เต็มความลึก (Partial-depth stiffener) แทนการใช้แผ่นเสริมเสถียรภาพเต็มความลึก (Full-depth stiffener) เพื่อความประหยัด

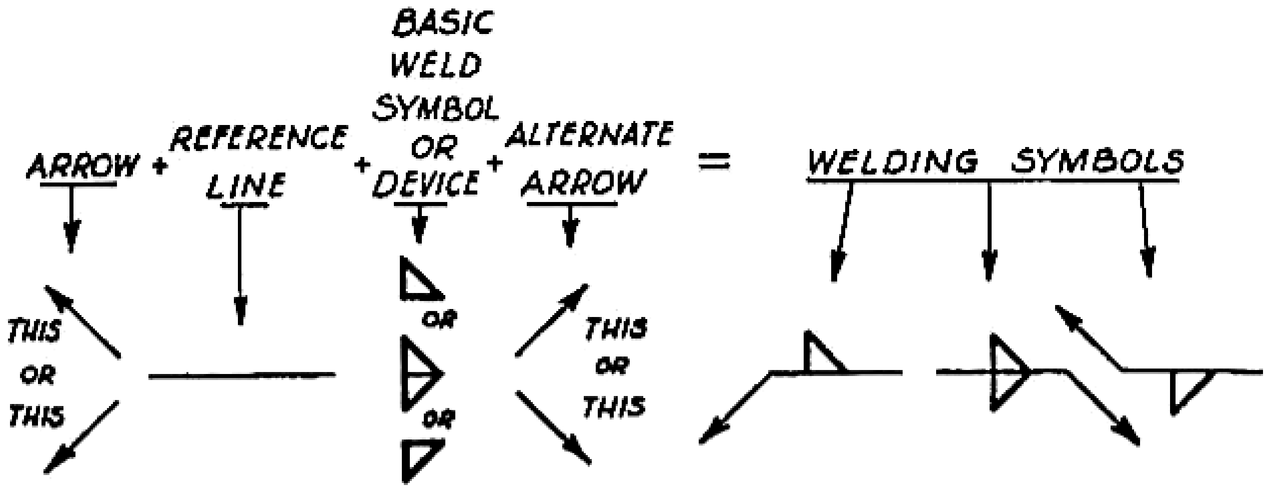


PD Stiffener ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาน้ำขัง อันส่งผลต่อการเกิดสนิมได้

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

ห้ามแสดงสัญลักษณ์ของการเชื่อมโดยกำกับด้วยคำว่า "เชื่อม หรือ Weld" ในแบบการขึ้นรูปชิ้นงานองค์อาคารโครงสร้างเหล็กแต่ให้ใช้สัญลักษณ์การเชื่อมที่ถูกต้องตามข้อกำหนดของ American Welding Society (AWS) แทน



Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

หลีกเลี่ยงการเชื่อมที่มากจนเกินความจำเป็น อันเป็นการเพิ่มมูลค่าการก่อสร้าง และอาจทำให้องค์อาคารเกิดการบิดตัว (Warp) ได้ โปรดคำนึงไว้ว่าการเชื่อมที่มากเกินไปมิได้ทำให้รอยต่อดีขึ้น

หลีกเลี่ยงการใช้สลักเกลียวที่มีเกรดหรือกำลังรับน้ำหนักที่ต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสลักเกลียวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น หากข้อกำหนดในการออกแบบอนุญาตให้มีการใช้สลักเกลียวตามมาตรฐาน ASTM ทั้ง A325 และ A490 ได้ทั้ง 2 แบบ ก็ควรเลือกใช้สลักเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ต่างกันสำหรับสลักเกลียวแต่ละเกรด เช่น การเลือกใช้สลักเกลียวขนาด 1 นิ้ว สำหรับ A490 และ ขนาด ¾ นิ้ว สำหรับ A325

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

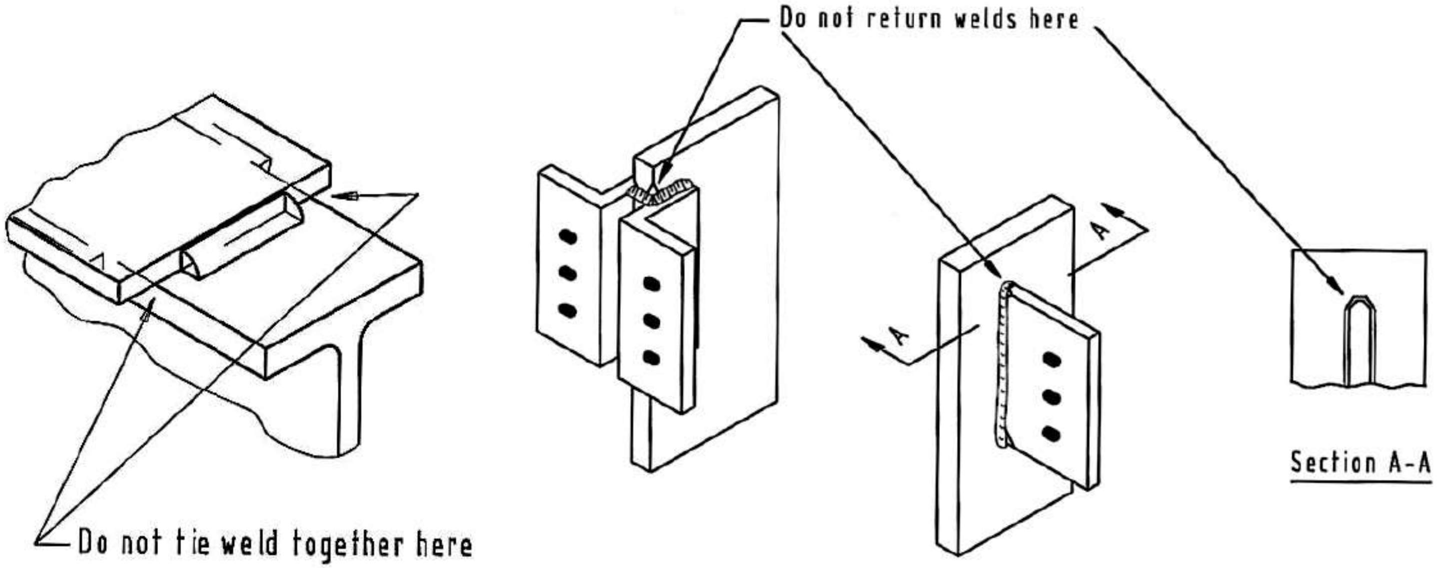
ในการต่อให้โครงสร้างเกิดความสวยงาม ควรพิจารณาคำนึงถึงทิศทางของหัวสลักเกลียว โดยการหันหัวสลักเกลียวไปในทิศทางที่ปะทะสายตา จะทำให้โครงสร้างดูสวยงามกว่าการจัดทิศทางให้หัวน๊อตปะทะสายตา โดยในขั้นตอนของการทำแบบจะต้องมีการระบุให้ชัดเจนในแบบการขึ้นรูปชิ้นงานองค์อาคารโครงสร้างเหล็กหรือแบบการประกอบโครงสร้างเหล็กด้วย

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

สำหรับชิ้นงานที่ต้องมีการเชื่อมพอก ในทางปฏิบัติทั่วไปไม่ควรเชื่อมชิ้นงานยาวตลอดจนกระทั่งถึงขอบปลายของงานชิ้นหนึ่งชิ้นใด

หลีกเลี่ยงการเชื่อมรอบพาดผ่านสันหรือขอบขององค์อาคารใดๆ



Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

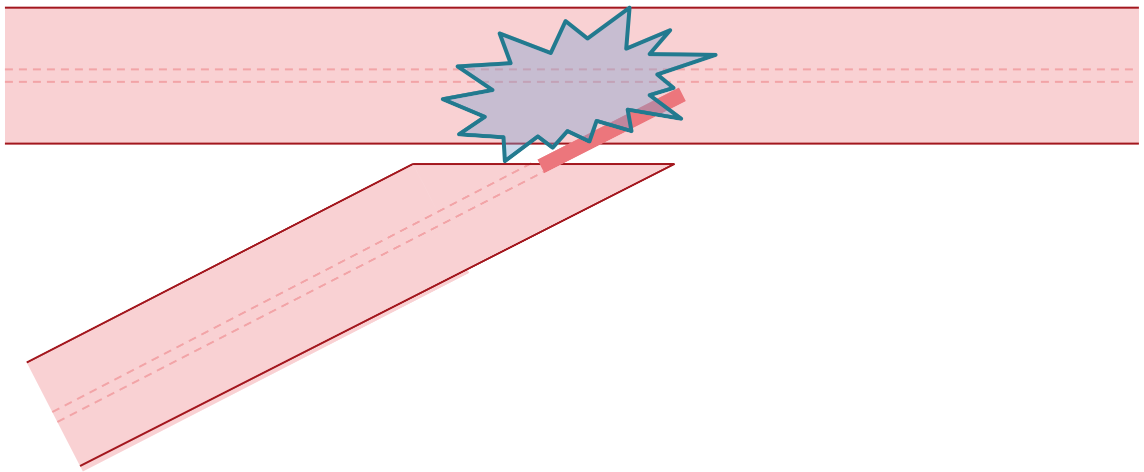
หากต้องมีการพิจารณาถึงกิจกรรมต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีการดำเนินงานที่หน้างาน เช่น มีการปรับระดับหรือเลื่อนตำแหน่งองค์อาคารที่หน้างาน ซึ่งต้องมีการเตรียมรูเจาะสำหรับสลักเกลียวที่มีขนาดรูใหญ่พิเศษ (Oversized Hole) พร้อมกับการสอดแผ่นเหล็กเสริมขนาดบางเพื่อสอดเติมช่องว่าง (Shimming) เป็นต้นนั้น ควรต้องมีการแสดงรายละเอียดต่างๆ เหล่านี้ให้ชัดเจนในแบบการขึ้นรูปชิ้นงานองค์อาคารโครงสร้างเหล็กด้วย

นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องต่อองค์อาคารใหม่เข้ากับองค์อาคารเก่าที่สร้างไว้ก่อนหน้านานแล้วนั้น รูปแบบการต่อโครงสร้างโดยใช้การเชื่อมที่หน้างานก็สามารถกระทำได้ ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบความสามารถในการเชื่อม (Weldability) ของวัสดุองค์อาคารเก่าที่สร้างเดิมนั้นว่าสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลให้โครงสร้างเกิดความวิบัติที่จุดที่ทำการเชื่อม

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

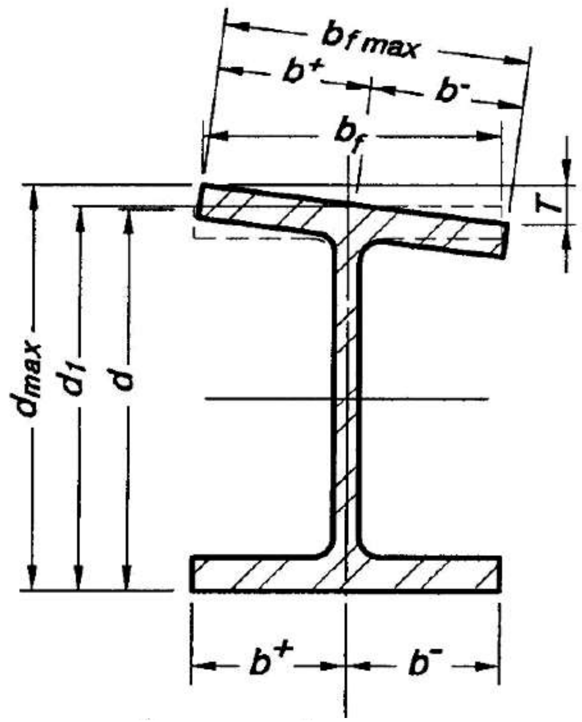
ตรวจสอบสภาพที่หน้างาน เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อยืนยันว่าสามารถติดตั้งสลักเกลียวและสามารถและขันให้แน่นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อองค์อาคารที่นำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้นทำมุมเอียงไม่ตั้งฉากกัน (Skew) โดยต้องพิจารณาถึงระยะเผื่อทำงาน (Clearance) ที่มากเพียงพอให้สามารถนำประแจขันสลักเกลียว (Wrench) เข้าไปใช้ขันให้แน่นได้



Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมสำหรับงานรีดเหล็ก (Mill Tolerance)



To check raw material in

<u>U.S. customary units:</u>

Flange-tilt tolerances:

$T + T'$ = 1/4" in. for $d \leq 12$ in.
= 5/16" in. for $d > 12$ in.

Actual depth with tolerances:

d_1 = d plus or minus 1/8 in. (typ.)
d_{max} = $d + T + T'$

Actual flange width with tolerances:

b^+ = 1/2 b_f plus or minus 3/16 in.
b^- = 1/2 b_f minus or plus 3/16 in.
b_{max} = b_f plus 1/4 in. or minus 3/16 in.

<u>Ref</u>: AISC Code of Standard Practices for Steel Buildings and Bridges (2005)

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการขึ้นรูป (Shop Tolerance)

6.4. Fabrication Tolerances

The tolerances on Structural Steel fabrication shall be in accordance with the requirements in Section 6.4.1 through 6.4.6.

Commentary:
Fabrication tolerances are stipulated in several specifications and codes, each applicable to a specialized area of construction. Basic fabrication tolerances are stipulated in this Section. For Architecturally Exposed Structural Steel, see Section 10. Other specifications and codes are also commonly incorporated by reference in the Contract Documents, such as the AISC Specification, the RCSC Specification, AWS D1.1 and the AASHTO Specification.

Ref: AISC Code of Standard Practices for Steel Buildings and Bridges (2005)

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

ถ้าเป็นชิ้นส่วนรับแรงอัด ที่ปลายรับแรงกด (bearing) ต้องมี error ตามความยาวคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 มม.

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการขึ้นรูป (Shop Tolerance)

6.4.1. For members that have both ends finished (see Section 6.2.2) for contact bearing, the variation in the overall length shall be equal to or less than 1/32 in. [1 mm]. For other members that frame to other Structural Steel elements, the variation in the detailed length shall be as follows:

(a) For members that are equal to or less than 30 ft [9 000 mm] in length, the variation shall be equal to or less than 1/16 in. [2 mm].
(b) For members that are greater than 30 ft [9 000 mm] in length, the variation shall be equal to or less than 1/8 in. [3 mm].

6.4.2. For straight structural members other than compression members, whether of a single Standard Structural Shape or built-up, the variation in straightness shall be equal to or less than that specified for wide-flange shapes in ASTM A6/A6M, except when a smaller variation in straightness is specified in the Contract Documents. For straight compression members, whether of a Standard

Ref: AISC Code of Standard Practices for Steel Buildings and Bridges (2005)

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

Practical information for designers

Economy in Steel

- Use 50-ksi steel in wide-flange member design.

  เพราะราคาเหล็กกำลังสูง (เทียบเท่า SM490) ราคาพอ ๆ กับเหล็กเกรดทั่วไป

- Use 36-ksi steel for plates and angles.

  เพราะหาง่ายในท้องตลาด (เทียบเท่า SS/SM400)

- Consider the use of HSS (Hollow Structural Steel) section.

  เพราะค่าใช้จ่ายในการป้องกันไฟน้อย

SYS ส่งเสริมเกรด SM520 โดยกำหนด pricing ให้แพงกว่า SS400 ราว 1 บาท ต่อกิโลกรัม (5%)

- Be careful when specifying beam camber.

  อย่ากำหนดโค้งหลังเต่าที่น้อย (< ¾”) หรือมากจนเกินไป โดยควรกำหนดระยะให้อยู่ในช่วง 2/3 – 3/4 ของระยะการแอ่นตัวที่คำนวณได้ โดยคานให้มีโค้งหลังเต่าควรยาวไม่น้อยกว่า 8 เมตร เนื่องจากระยะ Jig ของเครื่องจักรมีค่าประมาณ 6 – 7.5 เมตร

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

Practical information for designers

Economy in Steel

- Economize web penetration to minimize or eliminate web stiffening

  เพื่อลดปริมาณการเสริมเหล็กจากการเจาะรูที่เอวคาน

- Favor the use of partially composite action in beam design.

  เพราะคาน fully composite มักมีราคาแพงเกินความจำเป็น (50 – 75% composite)

- Consider cantilevered construction for roofs and 1-story structures.

  เพราะช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้างลงได้มาก โดยเฉพาะค่า connection

- Optimize bay size.

  จากผลการศึกษา พบว่าสำหรับพื้นที่ขนาด ประมาณ 100 m^2 (1,000 ft^2) ควรกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างให้อยู่ในช่วง 1.25 – 1.50

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

- Eliminate column splices as possible.
  เพื่อลดค่าใช้จ่าย (กำหนดเสาให้ยาวมากสุดเท่าที่จะสามารถขนส่งได้)
- Configure column base details that are erectable without guying.
  ถ้าเป็นไปได้เลือก pattern สลักสมอให้เป็น 4 ตัว โดยไม่ต้องทำค้ำยัน
- Make beams, connections and base plates more repetitive as possible.
  ออกแบบให้คาน จุดต่อ หรือ base plate ให้มีขนาดที่ซ้ำกันมากที่สุด เพื่อลดความสับสน และสามารถสั่งซื้อแบบยก lot ได้
- Use snug-tightened installation whenever possible.
  เพราะการใช้ bolt ประเภทนี้มีราคาถูกกว่าชนิด slip-critical มาก

Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

Practical information for designers

Economy in Steel

- Configure welded joints to minimize weld metal volume.

  กำหนดขนาดรอยเชื่อมให้เหมาะสมเพื่อลดค่าใช้จ่าย

- Favor fillet welds over groove welds.

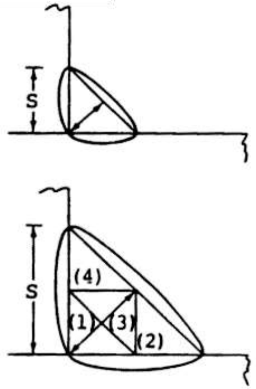
  เลือก fillet ก่อน groove weld เพราะมีราคาถูกกว่า

- Keep fillet weld size < 8 mm (5/16” **หรือ** 2.5 **หุน**).

  เพราะหากกำหนดขนาดใหญ่กว่านี้จะส่งผลต่อการเชื่อมหลายครั้ง

- Favor the horizontal or flat position and intermittent-fillet welding.

  พยายามจัดแนวการเชื่อมให้อยู่ในแนวราบ เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่ำ



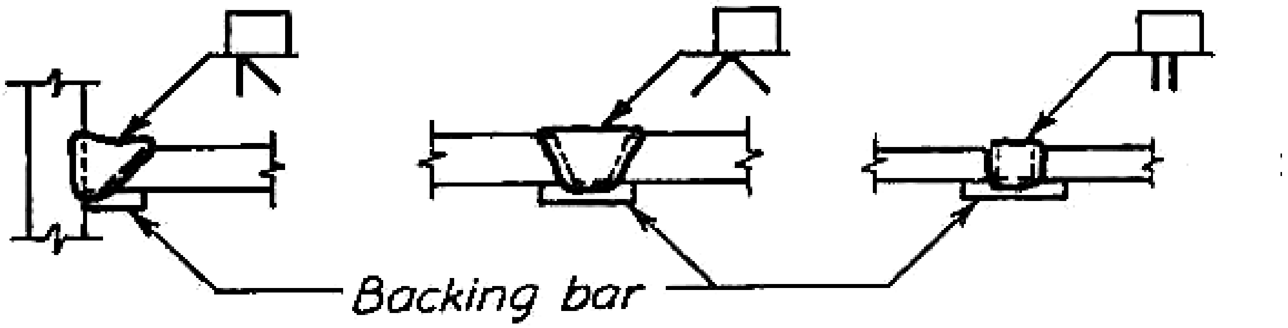
Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

สัญลักษณ์การเชื่อม (Welding Symbol)

Shop Groove Weld

- ในกรณีที่การต่อเชื่อมที่ตำแหน่งหนึ่งๆ เป็นการเชื่อมแบบ Full Penetration Groove Weld และในทางปฏิบัติแล้วการเชื่อมที่รอยเชื่อมดังกล่าวสามารถเข้าเชื่อมได้ที่ด้านด้านหนึ่งของชิ้นงาน ที่ด้านอีกด้านหนึ่งของชิ้นงานต้องรองด้วยแผ่นรองเชื่อม (Backing Bar)



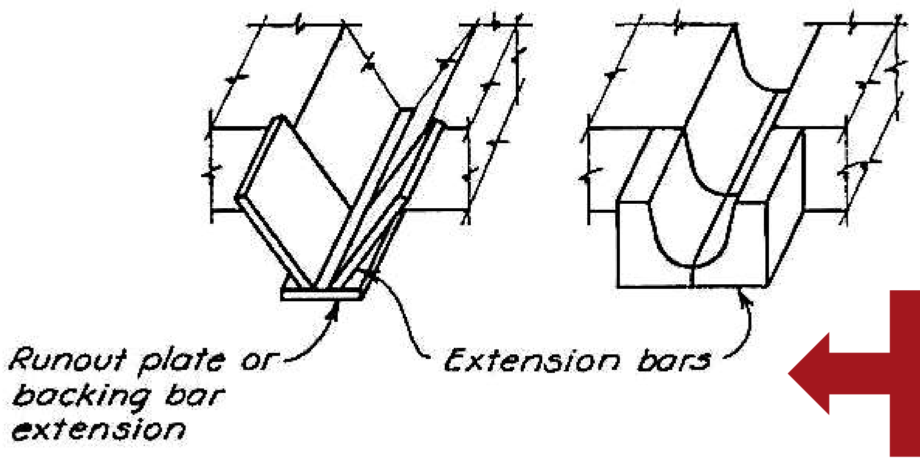
Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

สัญลักษณ์การเชื่อม (Welding Symbol)

Shop Groove Weld

- เพื่อให้การเชื่อมร่องตลอดแนวยาวของชิ้นงานเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณขอบปลายชิ้นงานนั้น ควรต้องมีการติดแผ่นต่อยื่น (Extension Bar) ซึ่งสำหรับการเชื่อมร่องที่โดยปกติต้องมีการนำ Backing Bar หรือ Spacer Bar มาใช้ แผ่นเหล็กทั้งสองชนิดดังกล่าวควรได้รับการต่อยื่นออกไป



หรือ run tab

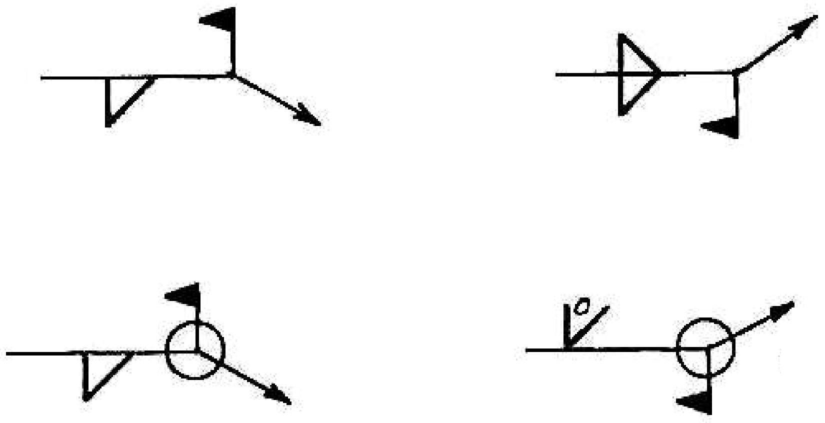
Good Detailing Practices

หลักปฏิบัติที่ดีในการทำรายละเอียดโครงสร้างเหล็ก

สัญลักษณ์การเชื่อม (Welding Symbol)

Field Weld

- ใช้สัญลักษณ์การเชื่อมที่เป็นรูปธงรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วสีดำ วาง ณ ตำแหน่งที่บรรจบกันของหางลูกศรและแนวเส้นอ้างอิง โดยปลายจั่วของธงจะหันเข้าหาสัญลักษณ์แสดงรูปแบบการเชื่อม



มาตรฐานการแปรรูปและการติดตั้งโครงสร้างเหล็กอ้างอิง ISO 10721

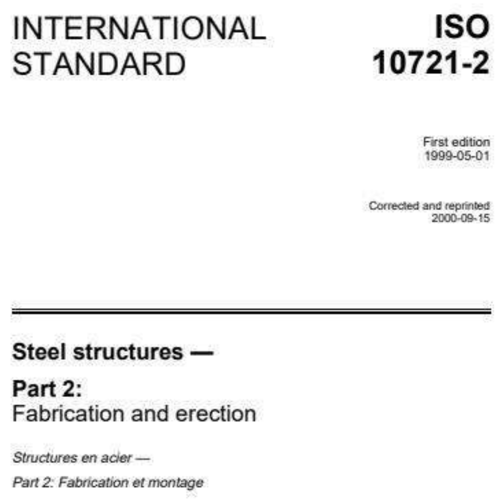
Mr. Nuttapon Suttitam

Advisor to Iron and Steel Institute of Thailand (ISIT) and FTI Construction Material Cluster and FTI Iron and Steel Club

Committee of Steel Application in Construction Sector, Southeast Asian Iron and Steel Institute (SEAISI)

Steel Structure Subcommittee and Structure and Bridge Subcommittee, Engineering Institute of Thailand (EIT)

Head of Steel Construction Technology and Market Development, Sahaviriya Steel PCL. (SSI)



INTERNATIONAL STANDARD

ISO 10721-2

First edition 1999-05-01

Corrected and reprinted 2000-09-15

Steel structures —

Part 2:
Fabrication and erection

Structures en acier —
Part 2: Fabrication et montage

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
THE FEDERATION OF THAI INDUSTRIES

ISO 10721 Overview

#WeLoveSteelConstruction

- เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเหล็ก steel structure มี 2 ฉบับ

- ISO 10721-1 ว่าด้วย วัสดุ ผลิตภัณฑ์ และการออกแบบโครงสร้างเหล็ก เทียบเคียงมาตรฐาน ASTM และ AISC

- **ISO 10721-2** ว่าด้วยเรื่อง การแปรรูป (fabrication) และ การติดตั้ง (erection) มีจำนวนทั้งสิ้น 11 บท พร้อมส่วนขยาย (Annex) ที่เกี่ยวข้องกับข้อแนะนำต่างๆ โดย ISO 10721-2 นี้เป็นเอกสารอ้างอิง สำหรับ **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) “ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับโครงสร้างเหล็ก: การแปรรูปและการติดตั้ง”**

Contents

1 Scope
2 Normative references
3 Materials
4 Fabrication workmanship
4.1 Material identification
4.2 Bending and pressing
4.3 Straightening and flattening
4.4 Forging
4.5 Preparation of edges, ends and surfaces
4.6 Holes for bolts and pins
4.7 Bolts, nuts and washers
4.8 Welding
5 Fabrication tolerances
5.1 General
5.2 Cross-section of rolled sections
5.3 Cross-section of members fabricated from plates (or built up from sections)
5.4 Length
5.5 Straightness in both axes
5.6 Camber
6 Erection
6.1 Accuracy of construction
6.2 Marking for erection
6.3 Delivery, storage and handling
6.4 Erection of structural steelwork
6.5 Alignment
6.6 Protective treatment — Site application
7 Supports and foundations
7.1 Foundation anchor bolts
7.2 Shims
7.3 Bedding and grouting
8 Erection tolerances
8.1 General
8.2 Connection to concrete foundations
8.3 Column bases
8.4 Plumbing and alignment of columns
8.5 Alignment of beams
8.6 Fit of compression joints
9 Corrosion protection of steelwork
9.1 General
9.2 Surface preparation
9.3 Protective treatment
10 Control in fabrication
10.1 Certification
10.2 Control of works
11 Control and inspection during erection
11.1 General
11.2 Inspection
11.3 Temporary works and supports
Annex A (informative) Guidance for control of distortion and shrinkage
Annex B (informative) Guidance for repair of welds
Annex C (informative) Guidance for the qualification of personnel
Annex D (informative) Testing and inspection of welds

ISO 10721 – Chapter 4

#WeLoveSteelConstruction

- 4.2 Bending & pressing สามารถ “ขึ้นรูปเย็น” ให้มีรูปร่างรูปทรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ได้ แต่การ “ขึ้นรูปร้อน” ต้องจำกัดอุณหภูมิ ไม่ให้อยู่ในช่วง 290 – 380 °C

Ref: https://markal.com/collections/temperature-indicating-sticks

ISO 10721 – Chapter 4

#WeLoveSteelConstruction

- 4.2 Bending & pressing สามารถ “ขึ้นรูปเย็น” ให้มีรูปร่างรูปทรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ได้ แต่การ “ขึ้นรูปร้อน” ต้องจำกัดอุณหภูมิ ไม่ให้อยู่ในช่วง 290 – 380 °C

- 4.5 Preparation of edges, ends and surfaces
  - การตัดด้วยเปลวไฟ ที่ไม่ได้ควบคุมแนว (unguided) สามารถใช้ได้เฉพาะการบากขอบ (notching) หรือการปรับให้ขอบรูเจาะสวยงาม
  - การทำโค้งหลังเต่า (camber) สำหรับคานเชื่อมประกอบ สามารถตัด web ให้ได้ตามขนาด camber โดยพิจารณาผลของการหดตัวจากอุณหภูมิ อันเนื่องจากการตัดและการเชื่อมด้วย
  - จุดต่อที่นำมาต่อชนรับแรงแบกทาน (bearing) ต้องทำการเตรียมขอบให้เหมาะสม ด้วยการใช้เลื่อยตัด (sawing) หรือการกลึง (machining) แต่กรณีที่เป็น bearing ที่ต้อง grout เติมช่องว่าง เช่น base plate ที่ bearing บนฐานราก ไม่จำเป็นต้องกลึง
  - ผิวสัมผัสของจุดต่อเลื่อนวิกฤต (slip critical หรือ slip resistant) จะต้องปราศจากฝุ่นละอองและคราบน้ำมัน หรือสีเคลือบ ยกเว้นแต่จะเป็นสีที่ออกแบบใช้กับจุดต่อเลื่อนวิกฤต

Ref: www.arfordsteel.com

Ref: www.greinerindustries.com

- หากผิวชิ้นงานมีรอยกัดแหว่งลึกเกินกว่า 5 mm อาจพิจารณาซ่อมแซมด้วยการเชื่อมเติม และดำเนินการตกแต่งผิวให้เรียบร้อยเสมอกับพื้นผิวชิ้นงาน

ISO 10721 – CH 4: Fabrication workmanship

#WeLoveSteelConstruction

- 4.6 Holes for bolts and pins
  - รูร้อยสลักเกลียว สามารถ "ทำ" ได้โดย (1) การเจาะ drilling (2) การกดทะลุ punching (ความหนาไม่เกิน 25 mm) ทั้งนี้ รูเจาะแบบร่อง (slotted hole) อาจะใช้การเจาะหรือกดต่อเนื่องติดกันไปให้เป็นแนว หรือเจาะที่ขอบ 2 รู แล้วทำการตัดด้วยแก๊ส ทั้งนี้รูเจาะสำหรับร้อย สลักสมอ (anchor) สามารถใช้แก๊สตัดได้

Table 1 — Dimensions for oversize and slotted holes

Hole type	Hole dimension for bolt diameter d of		
	⩾ 16 mm and ⩽ 22 mm	24 mm	⩾ 27 mm
a) Oversize Maximum dia.	d + 4 mm	d + 6 mm	d + 8 mm
b) Short slotted			
Width	d + 2 mm	26 mm	d + 3 mm
Length (maximum)	d + 6 mm	32 mm	d + 10 mm
c) Long slotted			
Width	d + 2 mm	26 mm	d + 3 mm
Length (maximum)	2,5 d	60 mm	2,5 d

ISO 10721 – CH 4: Fabrication workmanship

#WeLoveSteelConstruction

- 4.7 Bolts, nuts and washers
  - สลักเกลียวแบบใส่แรงก่อน (preloaded bolt) จะต้องให้ปลาย bolt อยู่เสมอกับขอบแป้นเกลียว (nut) หรือเลยขอบ nut ออกไป ทั้งนี้ ร่องเกลียว (thread) สามารถอยู่ในระนาบรับแรงเฉือน (shear plane) ได้
  - แหวนรอง (washer) ต้องหนามากกว่า 8 mm หากใช้ bolt ขนาดใหญ่กว่า M27 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 27 mm) และเกรดสูงกว่า class 8.8 และในกรณีที่ระนาบชิ้นงานทำมุมมากกว่า 1:20 กับแกน bolt ต้องใช้ washer ที่มีลักษณะ "สอบ"
  - ในกรณีชิ้นงานทาสี ต้องใช้ washer กับส่วนที่จะขันแน่น (ขันหัว bolt ใช้ washer ที่หัว bolt เป็นต้น) และ ใช้ washer กับทั้ง bolt และ nut หากชิ้นงานเคลือบสังกะสี (หรือเคลือบด้วย metal spray)
  - การขันให้แน่น สามารถใช้วิธีการหมุนแป้นเกลียว (turn-of-nut) ตามตารางที่ 2 หรืออาจใช้ ตัววัดแรงดึงโดยตรง (Direction Tension Indicator, DTI) หรืออาจใช้ประแจวัดแรงบิดที่ผ่านการสอบเทียบ (calibrated wrench)

Table 2 — Nut rotation from snug-tight condition

Bolt length [a]	Turn	Tolerance mm
≤ 4 bolt diameters	1/3	± 30°
> 4 bolt diameters and ≤ 8 bolt diameters or 200 mm	1/2	± 30°
> 8 bolt diameters or 200 mm	2/3	± 45°

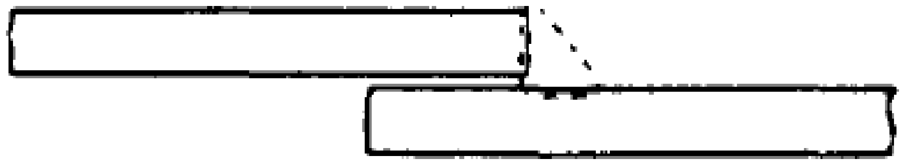
[a] Bolt length is measured from underside of head to expected location of outer face of nut.

- สามารถใช้ bolt – nut – washer ที่เคลือบสังกะสีได้ แต่ต้องควบคุมด้านโลหะวิทยาให้เหมาะสม **แต่ยกเว้น bolt class 12.9 ไม่อนุญาตให้ทำการเคลือบสังกะสี**
- การนำ bolt กลับมาใช้ซ้ำ สามารถนำกลับมาใช้ได้ "ยกเว้น" bolt ที่เกรดสูงกว่า class 8.8 หรือ bolt ที่ผ่านการเคลือบสังกะสี ทั้งนี้การขันซ้ำให้แน่น ไม่ถือว่าเป็นการใช้ซ้ำ

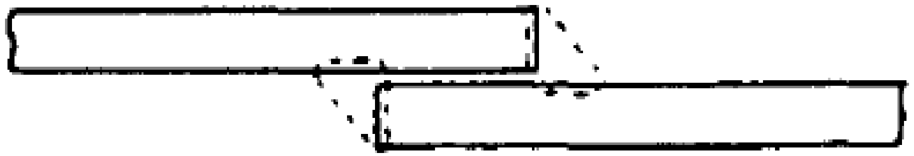
ISO 10721 – CH 4: Fabrication workmanship

#WeLoveSteelConstruction

- 4.8 Welding
  - สามารถเลือกวิธีการเชื่อม ได้หลายวิธี ได้แก่ SMAW, GMAW (CO_2, Ar), FCAW, SAW, Stud welding หรือวิธีการอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับ ตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ
  - อาจต้องทำการ preheat ชิ้นงานก่อนการเชื่อม โดยขึ้นกับความหนารวมของชิ้นงาน ค่าสมมูลคาร์บอน และ ระดับไฮโดรเจนของลวดเชื่อม
  - ต้องขยับชิ้นงานให้อยู่ใกล้กันมากที่สุดเมื่อต้องทำการเชื่อมฟิลเลท (fillet weld) โดยต้องห่างกันไม่เกิน 2 mm หากเชื่อมยาวไม่เกิน 60 cm 3 mm หากเชื่อมยาว 60 – 300 cm และ 5 mm หากเชื่อมยาวเกินกว่า 300 cm แต่หากชิ้นงานหนามากเกินกว่า 75 mm ต้องห่างไม่เกิน 8 mm ทั้งนี้ ต้องทำการเชื่อมซีล (seal weld) โดยต้องมีวัสดุรองเชื่อม (backing material) หากชิ้นงานห่างกันเกิน 3 mm
  - ช่องว่างระหว่างชิ้นงานที่นำมาต่อเกย (lap joint) จะต้องไม่เกิน 2 mm และห้ามใช่แผ่นเติมช่องว่าง (filler pack) ยกเว้นผู้ออกแบบอนุมัติ



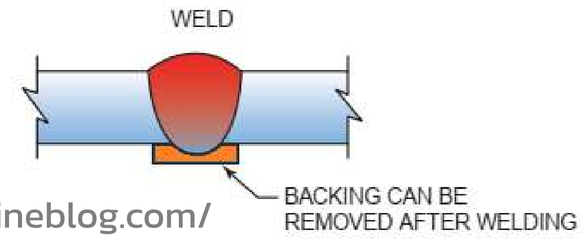
A



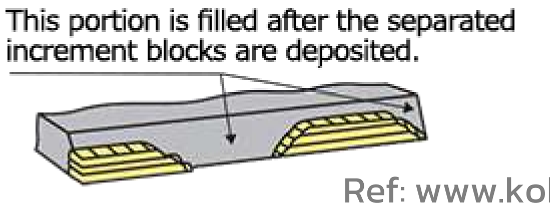
B

ISO 10721 – Chapter 4

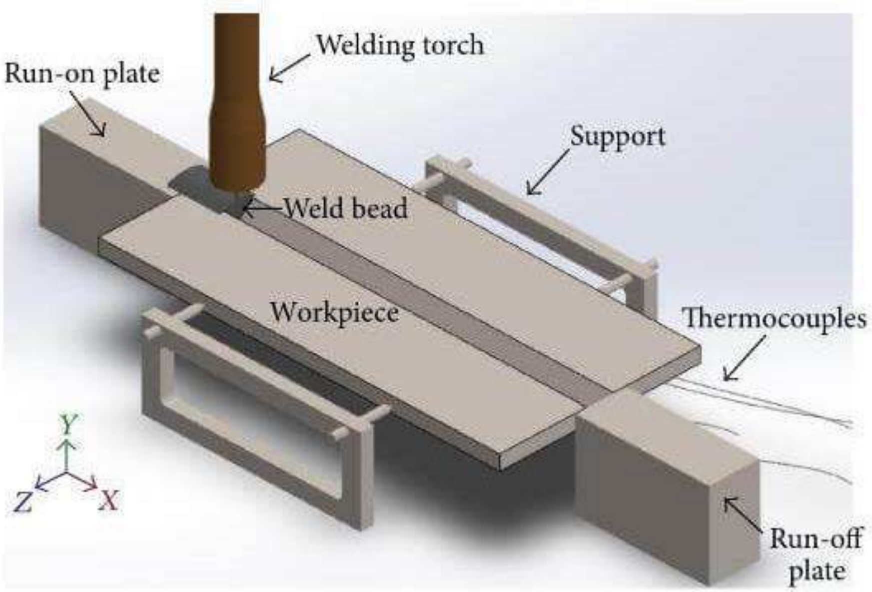
#WeLoveSteelConstruction



Ref: https://amarineblog.com/



Ref: www.kobelco-welding.jp



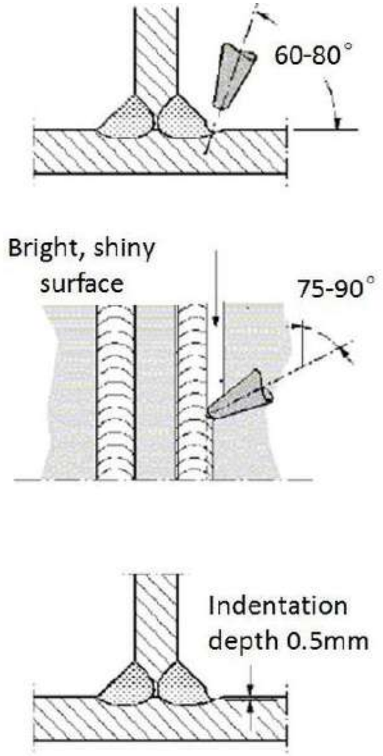
Ref: https://havitsteelstructure.com/

- 4.8 Welding
  - การเชื่อมยึดเป็นจุด ๆ (tack weld) จะต้องมีความยาวรอยเชื่อมต่ำสุดไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนาชิ้นงานที่หนากว่า แต่สามารถลดลงได้เหลือ 50 mm หากให้ความร้อนที่มากเพียงพอ ทั้งนี้ หากเชื่อม tack weld ซ้อนกันหลาย pass จะต้องทำให้ปลายรอยเชื่อมมีลักษณะไล่ระดับกัน
  - การใช้แผ่นรองเชื่อม (backing) จะต้องทำการติดตั้งให้สมบูรณ์ แนบชิดติดตลอดแนวเชื่อม groove (butt) weld (ชิ้นงานห่างจากแผ่นรองเชื่อมได้เต็มที่ไม่เกิน 2 mm และไม่ให้ติดตั้ง shim) โดยทำจากวัสดุเดียวกับวัสดุที่จะเชื่อม ทั้งนี้ ขณะเชื่อม ลวดเชื่อมที่หลอมละลายจะหลอมรวมกับ backing และเมื่อการเชื่อมเสร็จสิ้น ให้ดำเนินการสกัด backing ออก และปรับขอบให้เรียบสมบูรณ์
  - แถบต่อยื่นความยาว (extension bar) แผ่นต่อขอบ (run-off plate) และ แผ่นรองเชื่อม ที่ใช้กับเหล็กที่มีกำลังรับแรงดึง F_u ถึงระดับ 480 MPa สามารถทำจากวัสดุเหล็กตาม มอก. แต่หากชิ้นงานที่นำมาเชื่อมกำลังสูงกว่านี้ จะต้องใช้แผ่นที่มีกำลังเท่ากับชิ้นงานนั้น ๆ
  - จุดเริ่มและจุดสิ้นสุดของการเชื่อม groove (butt) weld จะต้องดำเนินการโดยไม่ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม ซึ่งอาจพิจารณาใช้ extension bar หรือ run-off plate เข้ามาติดตั้งที่ปลายชิ้นงานก่อนกระบวนการเชื่อม และทำการสกัดออกเมื่อทำการเชื่อมแล้วเสร็จ โดยต้องปรับแต่งให้ขอบเรียบร้อย

ISO 10721 – CH 4: Fabrication workmanship

#WeLoveSteelConstruction

- 4.8 Welding
  - การเชื่อมเหล็กที่ผ่านการ quenched and tempered อาจต้องพิจารณาให้ความร้อนก่อนการเชื่อม (preheating) ทั้งนี้ต้องกำหนดปริมาณความร้อนที่ต้องให้กับชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมทั้ง 2 ชิ้น และคำนึงถึงการใช้อิเลคโทรดหลายหัวด้วย
  - สามารถเชื่อมได้มากกว่า 1 วิธีกับรอยเชื่อม 1 แนว และสามารถใช้การเชื่อมหลายวิธีกับหลายแนวรอยเชื่อมในจุดต่อ 1 joint โดย fabricator สามารถขออนุมัติกระบวนการเชื่อมแต่ละกระบวนการแยกจากกัน หรือขออนุมัติรวมกันทีเดียวก็ได้
  - สามารถใช้การคลายความเค้นด้วยการตอก (peening) หรือ การใช้ความร้อน (heat treatment) เพื่อลด stress ในแนวรอยเชื่อม
  - รอยเชื่อมที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งส่งผลเสียหายต่อความสมบูรณ์แข็งแรงของโครงสร้าง จำเป็นต้องดำเนินการซ่อมแซมแก้ไข และตรวจสอบซ้ำเมื่อแล้วเสร็จ ทั้งนี้สำหรับรอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์แต่ประเมินว่าไม่ส่งผลเสียหายต่อความสมบูรณ์แข็งแรงของโครงสร้าง ก็อาจไม่ต้องดำเนินการซ่อมแซม หรือ เชื่อมซ้ำอีกรอบ โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากทั้งเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ และ fabricator

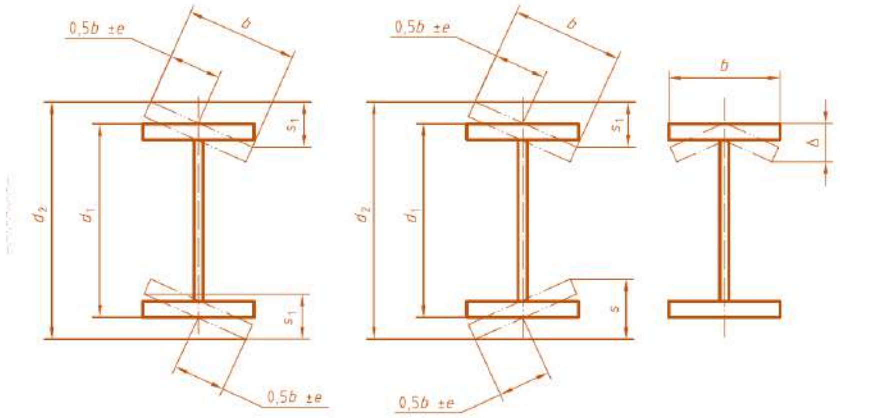


Ref: www.researchgate.net

ISO 10721 – Chapter 5

#WeLoveSteelConstruction

- 5.2 Rolled section tolerance
  - ความคลาดเคลื่อนของเหล็กรูปพรรณรีดร้อน เป็นไปตาม ISO 657 หรือ มอก. 1227
- 5.3 Built-up section tolerance
  - **Flange**: ควบคุมความคลาดเคลื่อนของปีก ตาม **Figure 2**
  - **Web**: การเสียรูป Δ ต้องไม่เกิน d1/100 แต่ไม่เกิน 6 mm (**Figure 3**) และการหลุดดิ่ง Δ ต้องไม่เกิน d1/300 (**Figure 4**)
  - **Box section diaphragm**: ควบคุมความแตกต่างแนวทแยง d3 - d4 ให้ไม่เกิน (d3 + d4)/400 แต่ต้องไม่เกิน 5 mm (**Figure 5**)



NOTE Where the beams are used as a crane runway, tighter tolerances on the slope of the upper flange and other dimensions may be needed and will be specified by design.

Key

d_1 the average depth measured on the centreline of the web as fabricated; with the following tolerances:

1) ± 3 mm for depths ≤ 900 mm,
2) ± 5 mm for depths > 900 mm and ≤ 1 800 mm,
3) ± 8 mm, − 5 mm for depths > 1 800 mm;

b flange width ± 6 mm

e web eccentricity ± 6 mm

d_2 maximum overall or measured depth, where at any cross-section d_2–d_1 the following tolerances shall apply:

1) + 12 mm for flanges ≤ 600 mm in width,
2) b/50 for flanges > 600 mm in width

s or s_1 maximum out-of-squareness, 12 mm or b/50, whichever is greater;

Δ maximum out-of-flatness, 6 mm or b/100, whichever is greater.

Figure 2 — Flange out-of-square

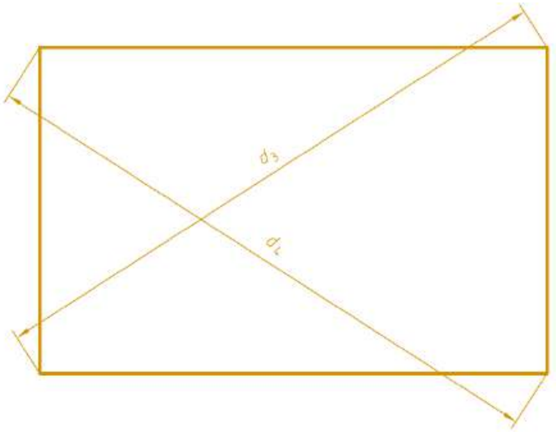


Figure 5 — Prescribed shape of box section diaphragms

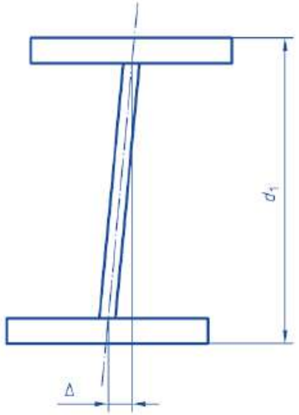
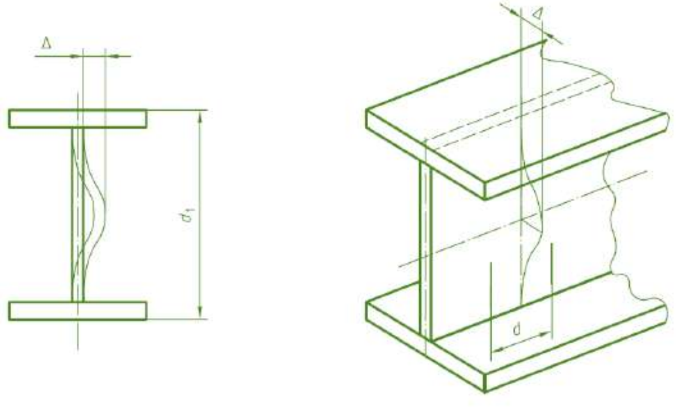


Figure 4 — Deviation from verticality



d = gauge length

Figure 3 — Flatness of web plates

ISO 10721 – CH 5: Fabrication tolerance

#WeLoveSteelConstruction

- 5.4 Length tolerance
  - ความคลาดเคลื่อนของความยาวองค์อาคาร ถ้าไม่เกิน 10 m คลาดเคลื่อนได้ ±3 mm แต่ถ้าเกิน 10 m คลาดเคลื่อนได้ ±5 mm
  - ทั้งนี้ปลายชิ้นส่วนที่ผ่านการกลึง (machine finish) คลาดเคลื่อนได้ ±1 mm
- 5.5 Straightness tolerance
  - Compression members: ค่ามากระหว่าง 3 mm กับ l/1,000
  - Beams: non HSS ค่ามากระหว่าง 3 mm กับ l/1,000 และสำหรับ HSS พิจารณาค่ามากระหว่าง 3 mm กับ l/500
  - Others: ค่ามากระหว่าง 25 mm กับ l/500
  - l = ความยาวขององค์อาคารระหว่างจุดรองรับที่ยึดรั้งทางข้าง (distance between the adjacent points of lateral restraints)
- 5.6 Camber tolerance
  - ค่ามากระหว่าง 12 mm หรือ 1 mm x ความยาวองค์อาคารที่ดัดโค้งหลังเต่า (เทียบระหว่าง ค่า camber ที่ระบุในแบบ กับค่า camber จริง)

ISO 10721 – CH 6: Erection

#WeLoveSteelConstruction

- 6.2 Marking
  - ต้องมีการทำรหัส (marking) โดยสอดคล้องกับ marking diagram
- 6.3 Delivery, storage and handling
  - ต้องขนส่ง ขนย้าย และกองเก็บองค์อาคาร โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆ กับองค์อาคารและส่วนประกอบต่างๆ โดยต้องให้ความใส่ใจกับปลายที่อิสระ ไม่ให้เกิดการบิดตัว ตลอดจนผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึง นอกจากนี้ยังต้องมีมาตรการเพื่อป้องกัน "การล้ารอบต่ำ" low-cycle fatigue ที่มีโอกาสเกิดได้ระหว่างการขนย้าย
- 6.4 Erection
  - ต้องยกประกอบติดตั้งโดยคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสำคัญ ซึ่งอาจต้องทำการติดตั้งสลักเกลียว อุปกรณ์และระบบค้ำยันชั่วคราว จนกระทั่งมั่นใจว่าปลอดภัย (เป็นภาระความรับผิดชอบของ erector) ทั้งนี้อุปกรณ์และระบบค้ำยันที่นำมาติดตั้งชั่วคราว จะต้องไม่ทำให้โครงสร้างทั้งระบบอ่อนแอลง หรือมีความสามารถในการใช้งานได้ดี (serviceability) ลดน้อยลง
- 6.5 Alignment
  - ภายหลังจากการติดตั้งองค์อาคารเสร็จสิ้น ควรต้องดำเนินการจัดแนว ทั้ง พิกัด (x,y) ระดับ ความดิ่ง ฯลฯ โดยเร็ว จุดต่อที่ "ถาวร" (เช่นการเชื่อมหน้างาน) จะต้องดำเนินการภายหลังจากที่จัดแนวเสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์
- 6.6 Protective treatment
  - การทำสีเคลือบป้องกันสนิมหน้างาน ให้เป็นไปตาม บทที่ 9.1
  - การซ่อมแซมสีเคลือบที่เกิดความเสียหายในระหว่างการปฏิบัติงาน จะต้องเป็นไปตามบทที่ 9.3

ISO 10721 – CH 7: Supports & foundations

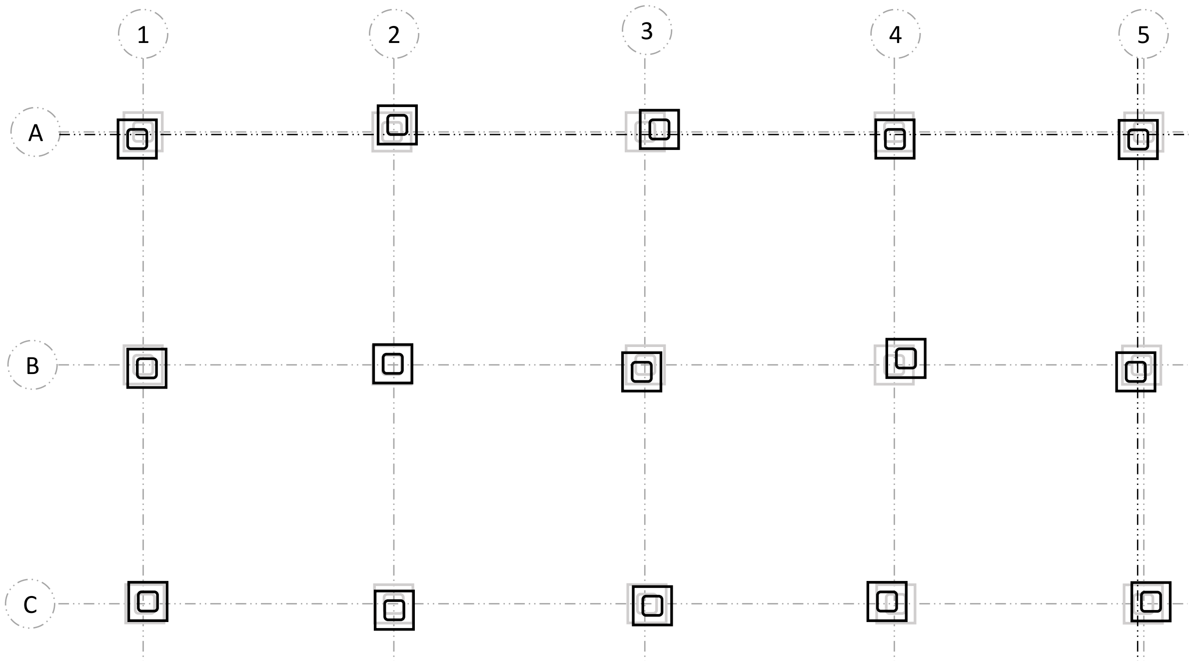
#WeLoveSteelConstruction

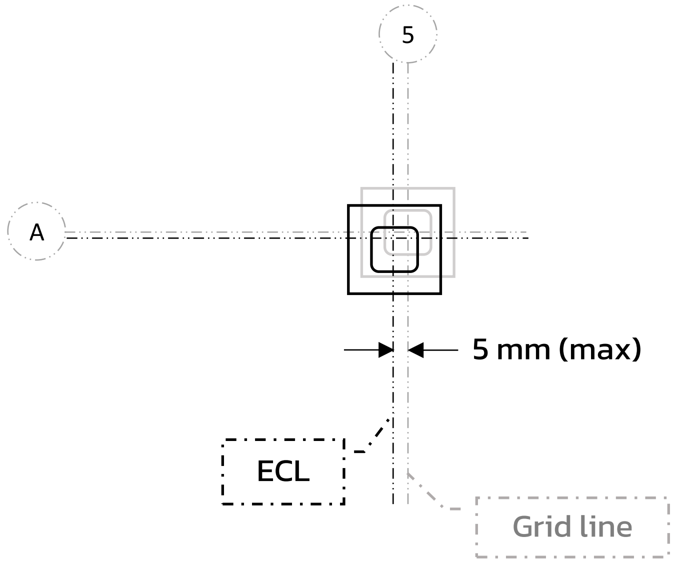
- 7.1 Foundation anchor bolts
    - การติดตั้งสลักสมอ (anchor bolt) ต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินกว่าข้อกำหนดใน บทที่ 8
    - กรณีฝัง anchor bolt โดยมี “ปลอก (sleeve)” หุ้มรอบ จะต้องมั่นใจว่า anchor bolt สามารถขยับได้ภายในปลอก และต้องมีการป้องกันไม่ให้คอนกรีตฐานรากไหลเข้าไปในปลอก
- 7.2 Shims
    - แผ่นเติมช่องว่าง (shim) จะต้องแบนเรียบ มีความแข็งแรงและต้านทานการเสียรูปได้ดี
- 7.3 Bedding and grouting
    - การเกร้าท์ (grouting) จะต้องทำภายหลังจากที่ฐานโครงสร้างเหล็กได้รับการปรับตำแหน่ง (coordinate alignment) ปรับระดับ (level) ปรับดิ่ง (plumbness) และถูกยึดรั้งไว้อย่างมั่นคง โดยก่อนที่จะทำการเกร้าท์ จะต้องทำความสะอาดไม่ให้มีสิ่งสกปรกปะปน
    - กรณีลดระดับ base plate ให้ต่ำลงโดยการทำ “กระเปาะ (pocket)” ต้องทำการเติมกระเปาะด้วยคอนกรีตที่ fc’ (28 วัน) ไม่น้อยกว่า 20 MPa หรือเทียบเท่ากับคอนกรีตที่อยู่รอบกระเปาะ
    - กรณีฝังโครงเหล็กในคอนกรีตสำหรับงานฐานราก จะต้องมีคอนกรีตหุ้มรอบ โดย fc’ (28 วัน) ไม่น้อยกว่า 20 MPa และมีระยะหุ้มไม่น้อยกว่า 50 mm ในส่วนที่ต้องสัมผัสดินโดยตรง

ISO 10721 – CH 8: Erection Tolerance

#WeLoveSteelConstruction

- 8.2 Connection to concrete foundations
  - การจัดตำแหน่ง เริ่มจากการหา "**เส้นแนวเสาตามจริง หรือ Established Column Line (ECL)**" ซึ่งเป็นแนวเส้นตรงที่เป็นตัวแทนเส้นที่ลากผ่านศูนย์กลาง anchor bolt group ที่ดีที่สุดที่ปรากฏที่หน้างาน แต่ต้องห่างจากแนว grid line อ้างอิงตามแบบไม่เกิน 5 mm





ISO 10721 – CH 8: Erection Tolerance

#WeLoveSteelConstruction

- 8.2 Connection to concrete foundations
  - การจัดตำแหน่ง เริ่มจากการหา “**เส้นแนวเสาตามจริง หรือ Established Column Line (ECL)**” ซึ่งเป็นแนวเส้นตรงที่เป็นตัวแทนเส้นที่ลากผ่านศูนย์กลาง anchor bolt group ที่ดีที่สุดที่ปรากฏที่หน้างาน แต่ต้องห่างจากแนว grid line อ้างอิงตามแบบไม่เกิน 5 mm
  - การเบี่ยงเบนของตำแหน่งศูนย์กลาง anchor bolt group จะต้อง

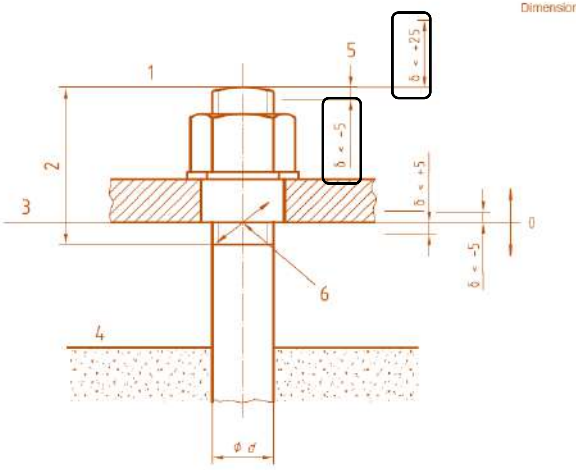
    (a) คลาดเคลื่อนออกจาก ECL ไม่เกิน 6 mm

    (b) คลาดเคลื่อนออกจากศูนย์กลาง anchor bolt group ถัดกันไม่เกิน 6 mm

    (c) ผลรวมของระยะคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง anchor bolt group จาก ECL สะสมไม่เกิน 6 mm ทุกๆ ความยาว 30 m แต่ไม่เกินกว่า 25 mm และ

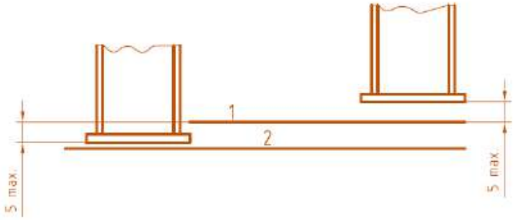
    (d) ศูนย์กลางของ anchor bolt เบี่ยงเบนจาก ศูนย์กลาง anchor bolt group ไม่เกิน 3 mm สำหรับ anchor bolt ฝังในคอนกรีต และไม่เกิน 6 mm สำหรับ anchor bolt ที่ติดตั้งในปลอก
  - แนว anchor bolt จะต้อง “ตั้งฉาก” กับแนวแรงแบกทาน (bearing) โดยปลายของ anchor bolt จะต้องไม่ยาวกว่าที่ระบุในแบบรายละเอียด เกินกว่า 25 mm แต่ไม่สั้นกว่าที่ระบุในแบบน้อยกว่า 5 mm ดัง **Figure 6a**

Dimensions in millimetres



a) Enlarged cross-section through bolt

Key
1 Top of bolts
2 Standard thread length (over 200 mm long) = $2d + 25$
3 Baseplate level
4 Top of concrete foundation
5 Projection of bolt (8.2.2)
6 Position in plan
± 10 mm baseplate (8.3.1)
± 6 mm sleeved bolt (8.2.1f)
± 3 mm cast-in bolt (8.2.1f)



b) Levels of steel baseplates

Key
1 Established level plane (8.3.2)
2 Specified level plane

Figure 6 — Levels of holding-down bolts and baseplates

ISO 10721 – CH 8: Erection Tolerance

#WeLoveSteelConstruction

- 8.2 Connection to concrete foundations

  - การจัดตำแหน่ง เริ่มจากการหา “เส้นแนวเสาตามจริง หรือ Established Column Line (ECL)” ซึ่งเป็นแนวเส้นตรงที่เป็นตัวแทนเส้นที่ลากผ่านศูนย์กลาง anchor bolt group ที่ดีที่สุดที่ปรากฏที่หน้างาน แต่ต้องห่างจากแนว grid line อ้างอิงตามแบบไม่เกิน 5 mm

  - การเบี่ยงเบนของตำแหน่งศูนย์กลาง anchor bolt group จะต้อง

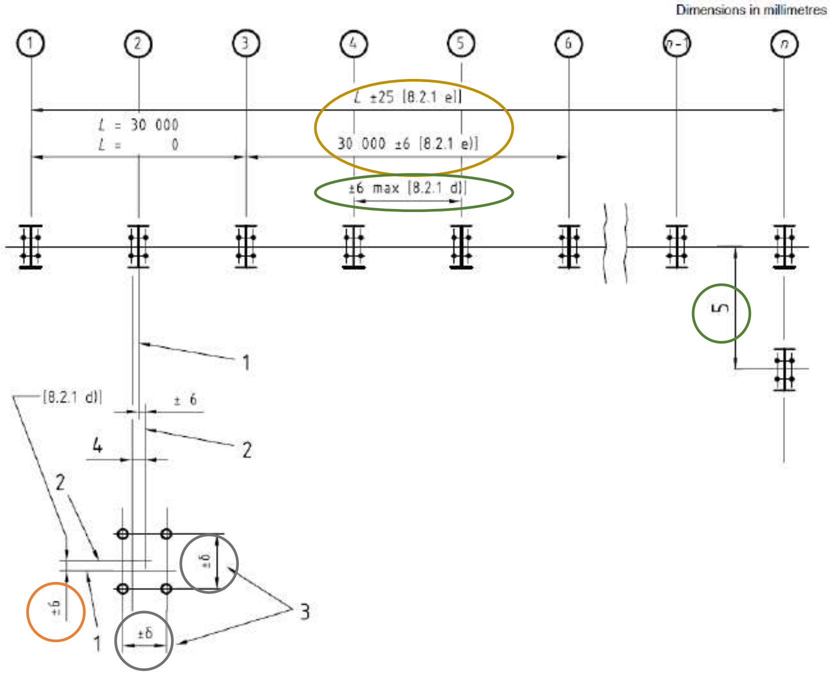
(a) คลาดเคลื่อนออกจาก ECL ไม่เกิน **6 mm**

(b) คลาดเคลื่อนออกจากศูนย์กลาง anchor bolt group ถัดกันไม่เกิน 6 mm

(c) ผลรวมของระยะคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง anchor bolt group จาก ECL สะสมไม่เกิน 6 mm ทุกๆ ความยาว 30 m แต่ไม่เกินกว่า 25 mm และ

(d) ศูนย์กลางของ anchor bolt เบี่ยงเบนจาก ศูนย์กลาง anchor bolt group ไม่เกิน 3 mm สำหรับ anchor bolt ฝังในคอนกรีต และไม่เกิน **6 mm** สำหรับ anchor bolt ที่ติดตั้งในปลอก

  - แนว anchor bolt จะต้อง “ตั้งฉาก” กับแนวแรงแบกทาน (bearing) โดยปลายของ anchor bolt จะต้องไม่ยาวกว่าที่ระบุในแบบรายละเอียด เกินกว่า 25 mm แต่ไม่สั้นกว่าที่ระบุในแบบ น้อยกว่า 5 mm ดัง **Figure 6a**



Key
1 Grid
2 Anchor bolts
3 δ = 3 mm for bolts rigidly cast in 5 mm for bolts in sleeves [8.2.1 f)] **6 mm**
4 ECL to be within 3 mm of specified grid lines [8.2 b)] **6 mm**
5 ± 6 max. deviation. Also applies if column offset from main column line
n Total number of columns

Figure 8 — Tolerances on anchor bolt placement (see 8.2.1)

ISO 10721 – CH 8: Erection Tolerance

#WeLoveSteelConstruction

- 8.3 Column bases
    - ตำแหน่งของเสาที่ฐาน จะต้องอยู่ห่างจาก ECL ไม่เกิน 10 mm (พิจารณาทั้ง แกน x และ y)
    - ต้องทำการหา "**ระนาบของระดับตามจริง หรือ Established Level Plane (ELP)**" ซึ่งเป็นระนาบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวแทนของ baseplate level โดยจะต้องไม่คลาดเคลื่อนไปจากระดับของระนาบที่กำหนดในแบบไปมากกว่า 5 mm และระดับของ base plate จริง จะต้องไม่คลาดเคลื่อนออกจากระนาบ ELP เกินกว่า 5 mm (ดู **Figure 6b**)
- 8.4 Plumbing and alignment
    - ตำแหน่งปลายของเสาจะหลุดดิ่งได้ไม่เกิน 1/500 ของความยาวเสา (ดู **Figure 7**) วัดจาก working point เช่น ฐานเสา (column base) จุดต่อดาม (column splice) แผ่นปิดหัวเสา (cap plate) **ยกเว้น** (a) เสาของโครง portal frame ที่มิได้ระบุเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเอาไว้ (b) เสาที่อยู่ถัดไปจากปล่องลิฟต์ และเสาที่อยู่แนวรอบอาคาร หลุดดิ่งได้ไม่เกิน 1/1,000
    - ความดิ่งตลอดความสูงของเสา **(1) เสาต้นในและหน้าเสาที่หันเข้าสู่ในอาคาร** ตำแหน่งบนสุดของเสาจะหลุดดิ่งได้ไม่เกิน 50 mm ของ 20 ชั้นแรก ส่วนที่เกิน 20 ชั้น หลุดดิ่งเพิ่มจาก 50 mm ได้ 2 mm ต่อชั้น แต่สูงสุดไม่เกิน 75 mm **(2) หน้าเสาด้านที่หันสู่รอบนอกอาคาร และเสาที่อยู่ถัดปล่องลิฟต์**จะหลุดดิ่งได้ไม่เกิน 25 mm ของ 20 ชั้นแรก ส่วนที่เกิน 20 ชั้น หลุดดิ่งได้เพิ่มจาก 25 mm ได้ 2 mm ต่อชั้น แต่สูงสุดไม่เกิน 50 mm (ดู **Figure 7**)

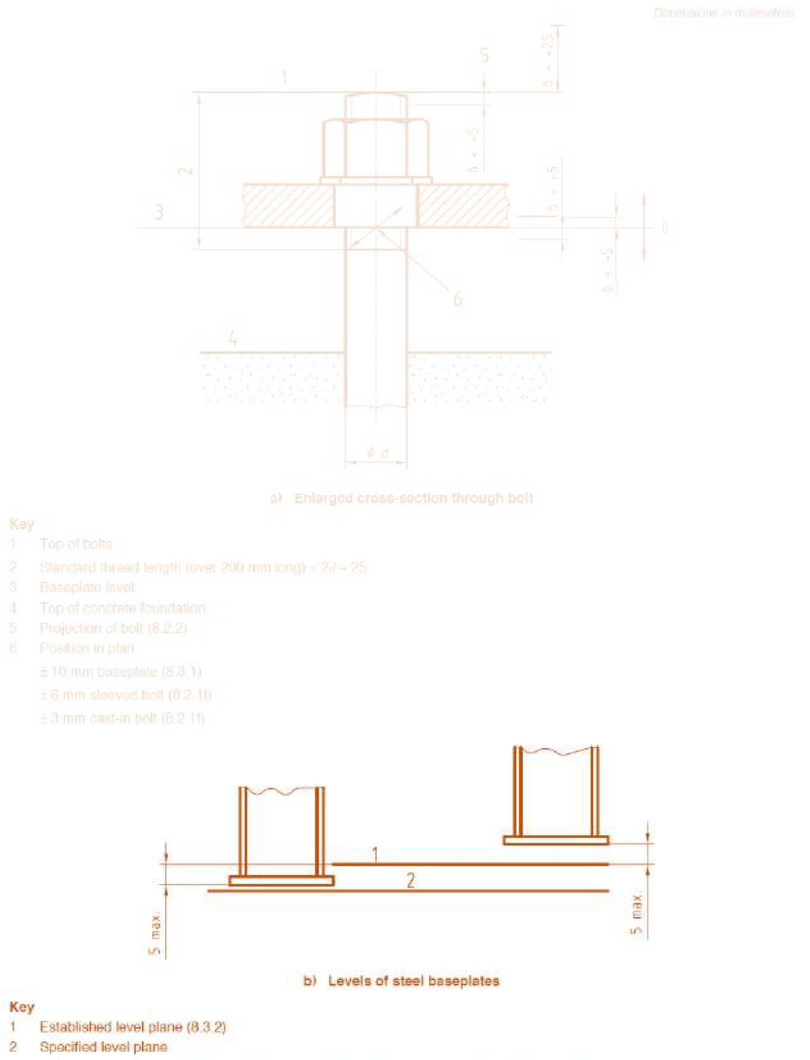


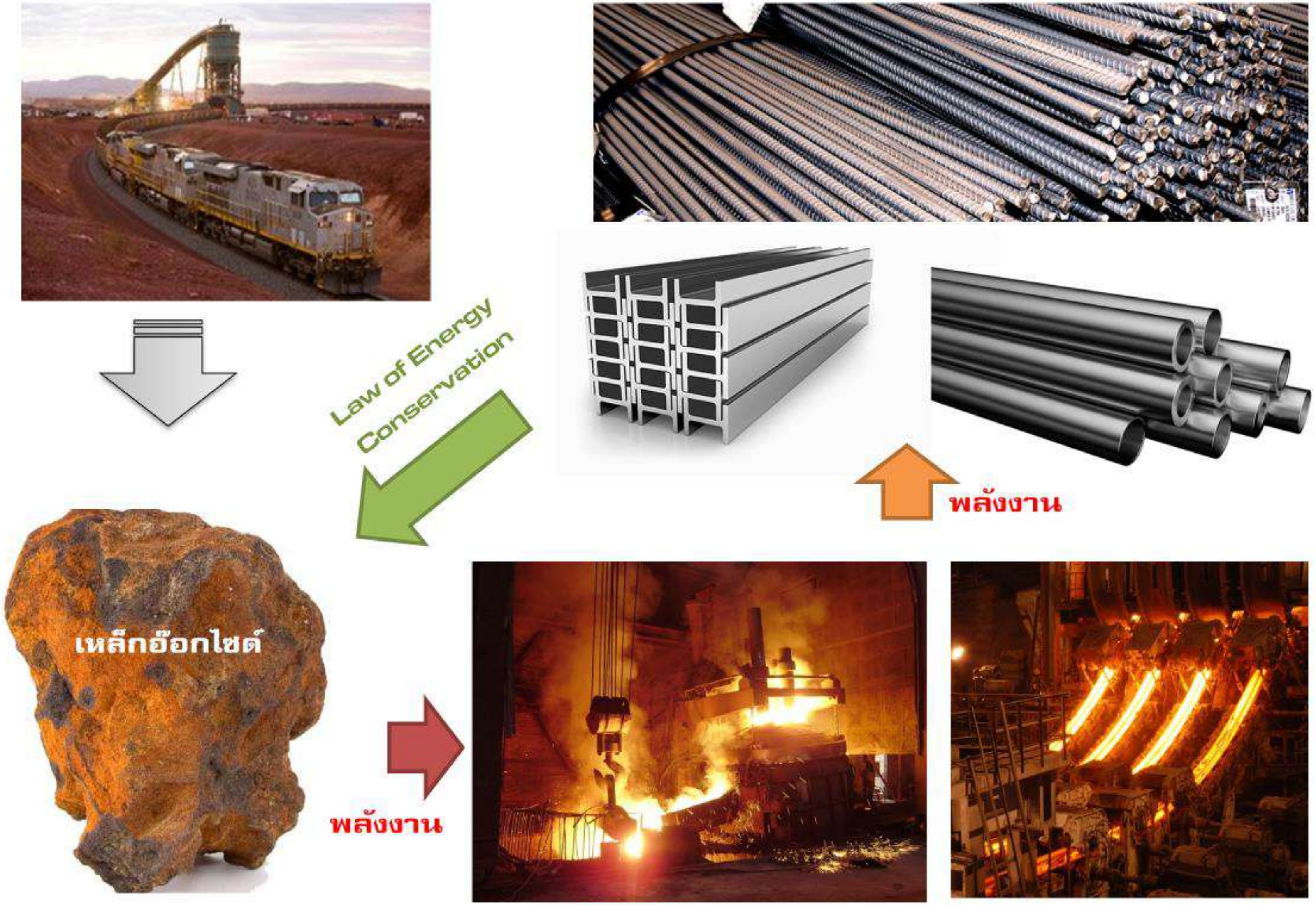
Figure 6 — Levels of holding-down bolts and baseplates

ISO 10721 – CH 9: Corrosion Protection

#WeLoveSteelConstruction

- 9.2 Surface preparation
    - การเตรียมผิวถือเป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดวิธีการเคลือบป้องกัน
- 9.3 Protective treatment
    - การเคลือบป้องกันด้วยวิธีการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน และการสเปรย์ด้วยความร้อน ต้องเป็นไปตาม ISO 1461 และ ISO 2063 ตามลำดับ
    - การเคลือบป้องกันสลักเกลียวด้วยวิธีการชุบโลหะ และการเคลือบด้วยสังกะสี + แคดเมียม ต้องเป็นไปตาม ISO 2081 และ ISO 2082 ตามลำดับ
    - ข้อต่อที่ต้องทำการเชื่อมที่สถานที่ก่อสร้าง รวมถึงพื้นผิวที่สลักรับแรงเฉือนจะไปเชื่อมต่อด้วย จะต้องปราศจากไพรเมอร์ และสารเคลือบผิวอื่นใดที่อาจส่งผลต่อคุณภาพงานเชื่อม ยกเว้นเสียแต่ในกรณีของแผ่นพื้นเหล็กโครงสร้าง (metal deck) ที่สามารถทำการเชื่อมเข้ากับองค์อาคารงานเหล็กที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวแล้ว
- แนวทางการเคลือบป้องกัน อาจพิจารณา **มยผ. 1333: มาตรฐานความคงทนถาวรของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ** ประกอบ

Protective Coating for Steel Structures



STRUCTURAL MAINTENANCE

STEEL MAINTENANCE OVERVIEW

POTENTIAL DETERIORATION - RUST

- **MECHANISM**
  - ANODIC REACTION

$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

Soluble Salt (Fe^{2+}) — Free Electron ($2e^-$)

Electrolyte

Pass to electron-consumed or cathode site

$Fe^{2+} + 2Cl^- \longrightarrow FeCl_2$

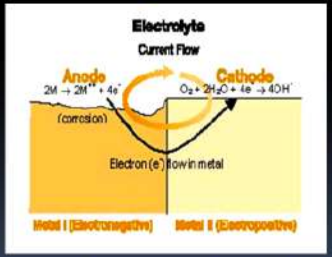
  - CATHODIC REACTION

$O_2 + 2H_20 + 4e^- \longrightarrow 2(OH)^- + 2(OH)^-$

Alkali

- **MECHANISM**
  - ANODIC REACTION

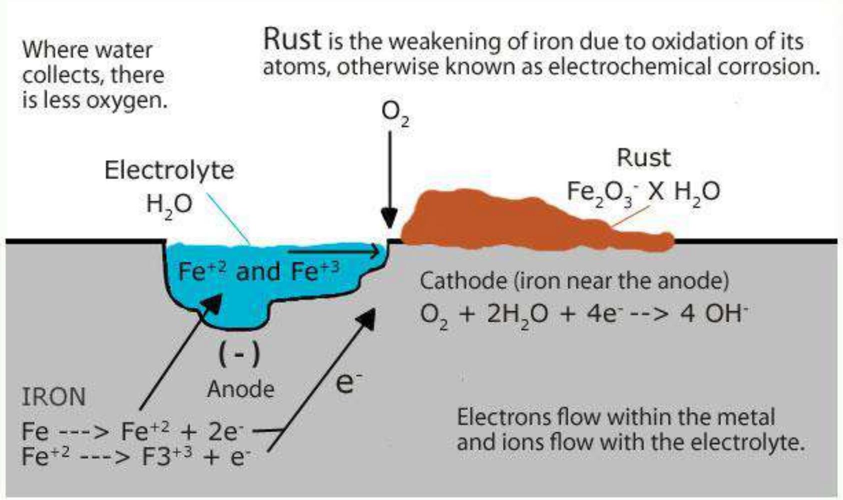
$FeCl_2 + 2(OH)^- \longrightarrow Fe(OH)_2 + 2CL^-$



$\frac{1}{2} O_2 + 2Fe(OH)_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + 2H_2O$

Oxygen จึงเป็น “หนึ่งในปัจจัย” ที่ทำให้เกิดสนิม

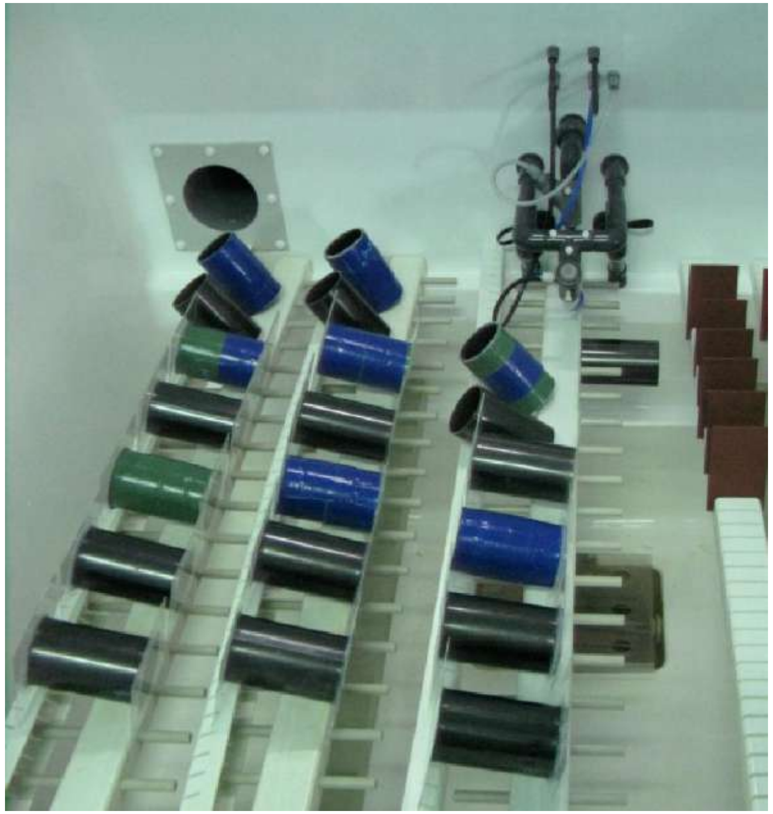
Corrosion (Fe_2O_3) thus occurs at the anode but not at the cathode.



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 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ขังของบรรยากาศกัดกร่อนที่มากกว่าครึ่งซีกล่างของท่อ
4. การกัดกร่อนของโครงสร้างท่อเหล็กที่มีการเปิดสู่บรรยากาศกัดกร่อนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเปิดสู่บรรยากาศกัดกร่อนมากขึ้น

Protective Coating per DPT 1333

Resistance	Load
ระบบสีเคลือบป้องกัน	ที่ตั้ง อันส่งผลต่อปริมาณ ไอเกลือ
ระยะเวลา (ปี) ที่ต้องการความทนทาน	ลักษณะการใช่งาน 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 มยผ. 1333-61 (อ้างอิง ISO 12944)

Protective Coating per DPT 1333

ตารางที่ 12 ระบบสีป้องกันการกัดกร่อนเหล็กชุบสังกะสีเคลือบสีสำหรับสภาพแวดล้อม C3

hot-dip-galvanized steel							
ระบบสี หมายเลข	สีรองพื้น			สีทับหน้า	รวม		อายุใช้งาน (ปี)
	ตัวยึดประสาน	จำนวนชั้น	NDFT (μm)	ตัวยึดประสาน	จำนวนชั้น	NDFT (μm)	
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

C3 ทนทานมาก

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

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

Heavy-duty Corrosion Protection Coating
—From Corrosion Protection Principle to Design, Execution and Maintenance—

Part 1 Corrosion and Corrosion Protection of Steel Products

Part 2 Heavy-duty Corrosion Protection Coating

Part 3 Corrosion Protection Design

Part 4 Execution and Execution Control

Part 5 Maintenance of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

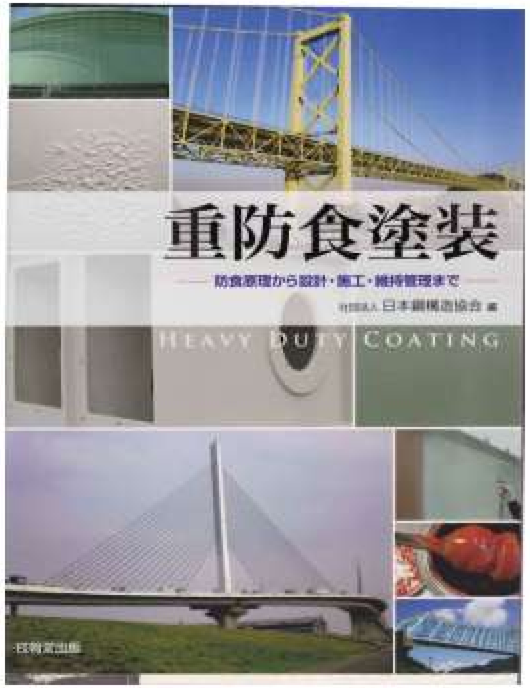
Part 6 Durability Assessment Test for Heavy-duty Corrosion Protection Coating

Part 7 Future Development of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

Reference Data 1: Main Points in Partial Repainting of Highway Steel Bridges (draft)

Reference Data 2: Proposal to Preventive Maintenance of Highway Bridges

Reference Data 3: Reference Literature



Part 1 Corrosion and Corrosion Protection of Steel Products

1.1 Corrosion of Steel Products

Corrosion, Classification and Forms of Corrosion

1.2 Corrosion Protection of Steel Products

Corrosion Protection Methods for Steel Structures

1.3 Coating of Steel Structures

Transition in Corrosion Protection Paints for Steel Structures, Transition in Coating System, Application of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

Part 2 Heavy-duty Corrosion Protection Coating

2.1 Current State and Future Tasks in Social Infrastructure Stock

2.2 Definition of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

การใช้งานให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม และนิยามขององค์ประกอบต่าง ๆ ของ Heavy-duty corrosion protection coating

2.3 Function of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

คุณสมบัติของระบบเคลือบป้องกันสนิมของ Heavy-duty corrosion protection coating แต่ละชั้น

2.4 Durability and Expected Years of Service Life of Heavy-duty Corrosion Protection Coating System

ความทนทานต่อการใช้งานของ ระบบเคลือบป้องกันสนิมของ Heavy-duty corrosion protection coating

2.5 Coating

Primer, Corrosion Protection Substrate, Mist Coat, Primer Paint, Intermediate Paint, Top Coat Paint, Mineral Terpene-soluble Paint

Application Environment for Heavy-duty Corrosion Protection Coating

Application to General Atmospheric Corrosive Environment

General corrosive environment: Environment not affected by air-borne salt
Strict corrosive environment: Environment exposed to high sea breeze and strongly affected by air-borne salt

Classification of Corrosive Environments

Corrosive environment described in *Heavy-duty Corrosion Protection Coating*	Classification by area	Corrosion loss of steel products in Japan (μm/year)
General corrosive environment	Mountainous area	~50
	Rural area	
	Urban area	
	Industrial area	
Strict corrosive environment	Coast, offshore	50~200

Definition of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

1) The coating has corrosion-protection substrate composed of inorganic zinc-rich paint or organic zinc-rich paint. Meanwhile, the metallic-sprayed film and hot-dip galvanized layer can be regarded as the corrosion protection substrate.

HDG

2) The coating shall apply such primer coats excellent in corrosion factor cutting-off performance as epoxy-resin paint ,mineral terpene-soluble type epoxy-resin paint, heavy thick-type epoxy-resin paint, epoxy-resin paint containing glass flake. ***Epoxy / Polyurethane = Co-Reactive Binder***

3) The coating shall apply such top coats excellent in weather resistance as polyurethane-resin paint and fluoro-resin paint..

4) Total coating thickness shall be approximately 250~1,000 μm.

5) The durability (corrosion resistance and weather resistance) expected to new coating shall be 30 years or more in strict corrosive environment.

Paints and Materials Used for Heavy-duty Corrosion Protection Coating

Structure	Newly-installed structure coating
Top coat	Fluoro-resin paint Polyurethane-resin paint Silicon modified acrylic-resin paint
Intermediate coat	Epoxy-resin paint Polyurethane-resin paint Fluoro-resin paint
Primer coat	Epoxy-resin paint Heavy thick epoxy-resin paint Glass flake-contained epoxy-resin paint
Corrosion protection substrate	Inorganic zinc-rich paint Hot-dip galvanizing Metal spraying

More environmental friendly

Expected Durable Years of Heavy-duty Corrosion Protection Coating System

- Trial calculation from actual results: 20 years or more of durable years for fluorine-resin paint; 35 years from coating loss to repainting
- No corrosion-induced deterioration even in 20-year exposure test in strict corrosive environment
- 20 years or more of expected durable years in strict corrosive environment

- ประมาณการณ์อายุการทาทับที่ 35 ปี
- จากการตรวจสอบกับโครงสร้างที่ผ่านการทาสีเคลือบกับโครงสร้างในพื้นที่ที่มีการกัดกร่อนสูง ไม่พบความเสียหายจากสนิมในรอบ 20 ปี
- ดังนั้นในพื้นที่ที่มีการกัดกร่อนสูง พิจารณาอายุการใช้งานที่ 20 ปี

Part 3 Corrosion Protection Design

3.1 Effect of Structure and Environment on Corrosion

ผลจากสภาพแวดล้อมและลักษณะทางโครงสร้าง เช่น อยู่ใกล้ดิน ได้รับผลจากน้ำฝน หรือแสงอาทิตย์ อยู่เหนือน้ำทะเล เป็นต้น

3.2 Structural Design

การออกแบบระบบป้องกันสนิมให้กับโครงสร้าง รวมถึงมาตรการตรวจสอบและการ repaint สำหรับการบำรุงรักษา

3.3 Specifications for Heavy-duty Corrosion Protection Coating

ข้อกำหนดการออกแบบงานสีเคลือบป้องกันการกัดกร่อนสูง สำหรับงานสะพานเหล็กที่สร้างใหม่ หรืองานทาทับสะพานเก่า รวมไปจนถึงงานโครงสร้างเหล็กประเภทอื่น ๆ

3.4 Lifecycle Cost (LCC) of Heavy-duty Corrosion Protection Coating

การคำนวณต้นทุนงานเคลือบป้องกันสนิมตลอดวงรอบอายุการใช้งาน

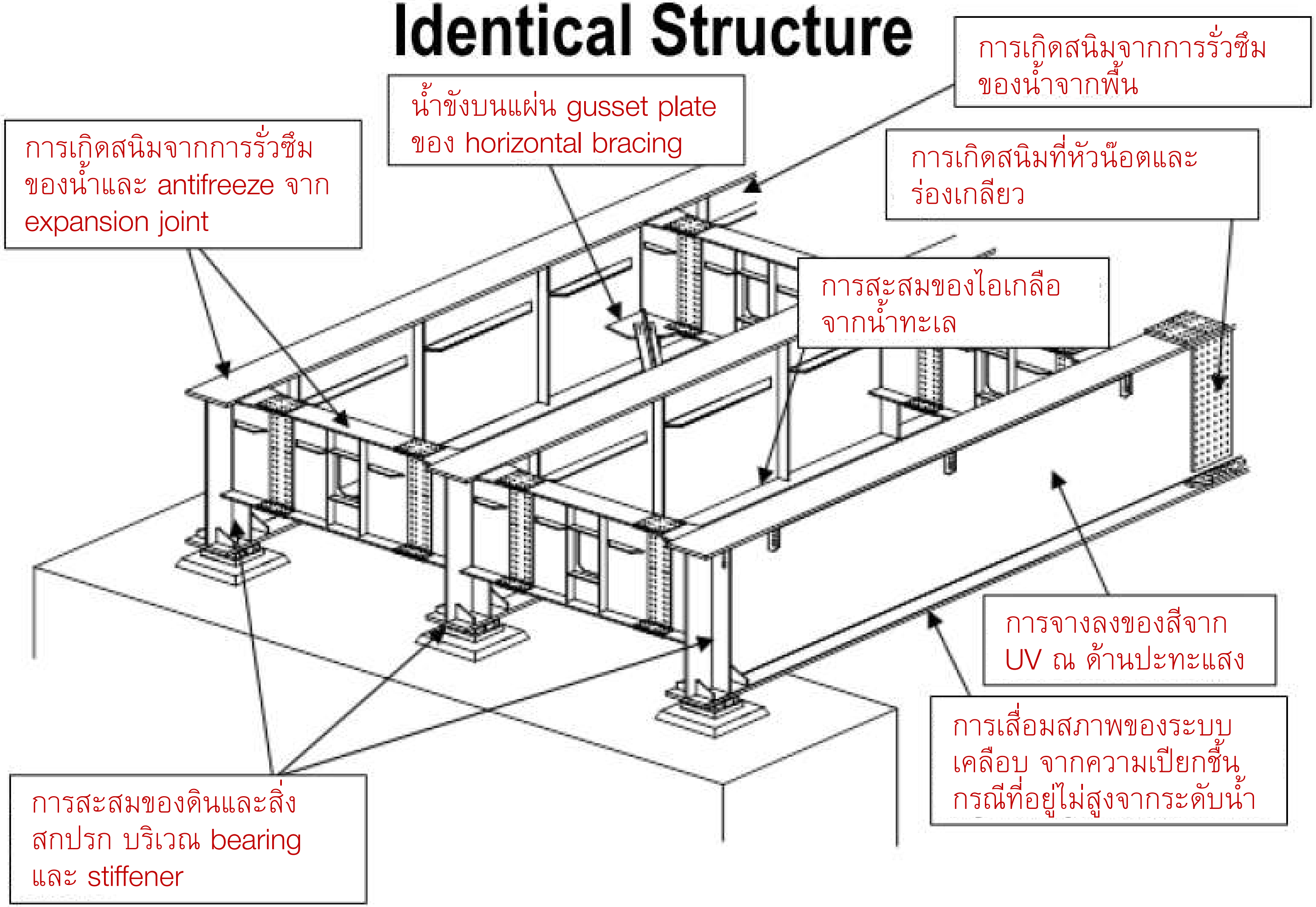
Difference in Corrosive Environment within An Identical Structure

Chalking of solar-radiated surface (facing south)

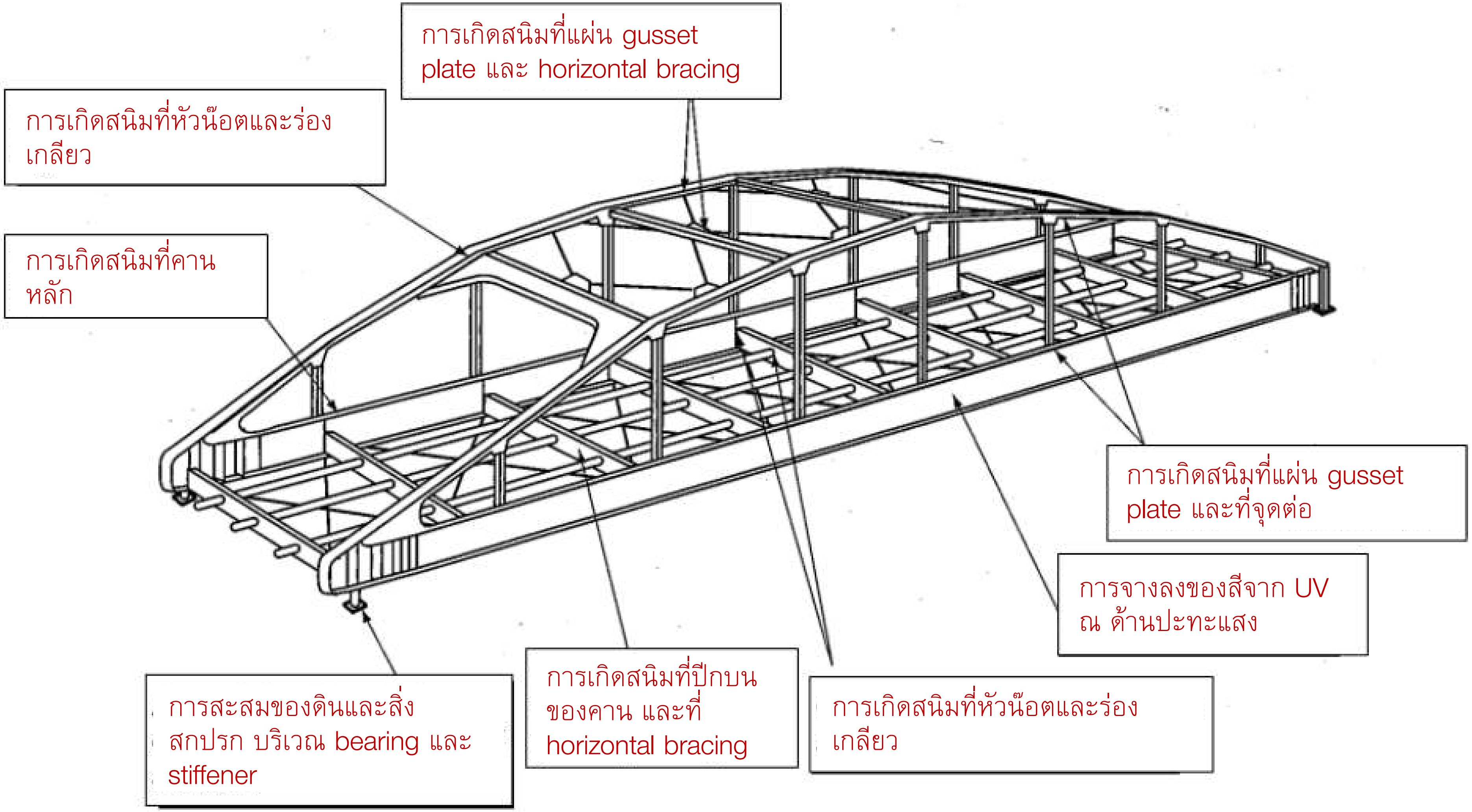
Solar-radiated surface (facing north)

Example of effect of ultraviolet ray on polyurethane-resin top coating

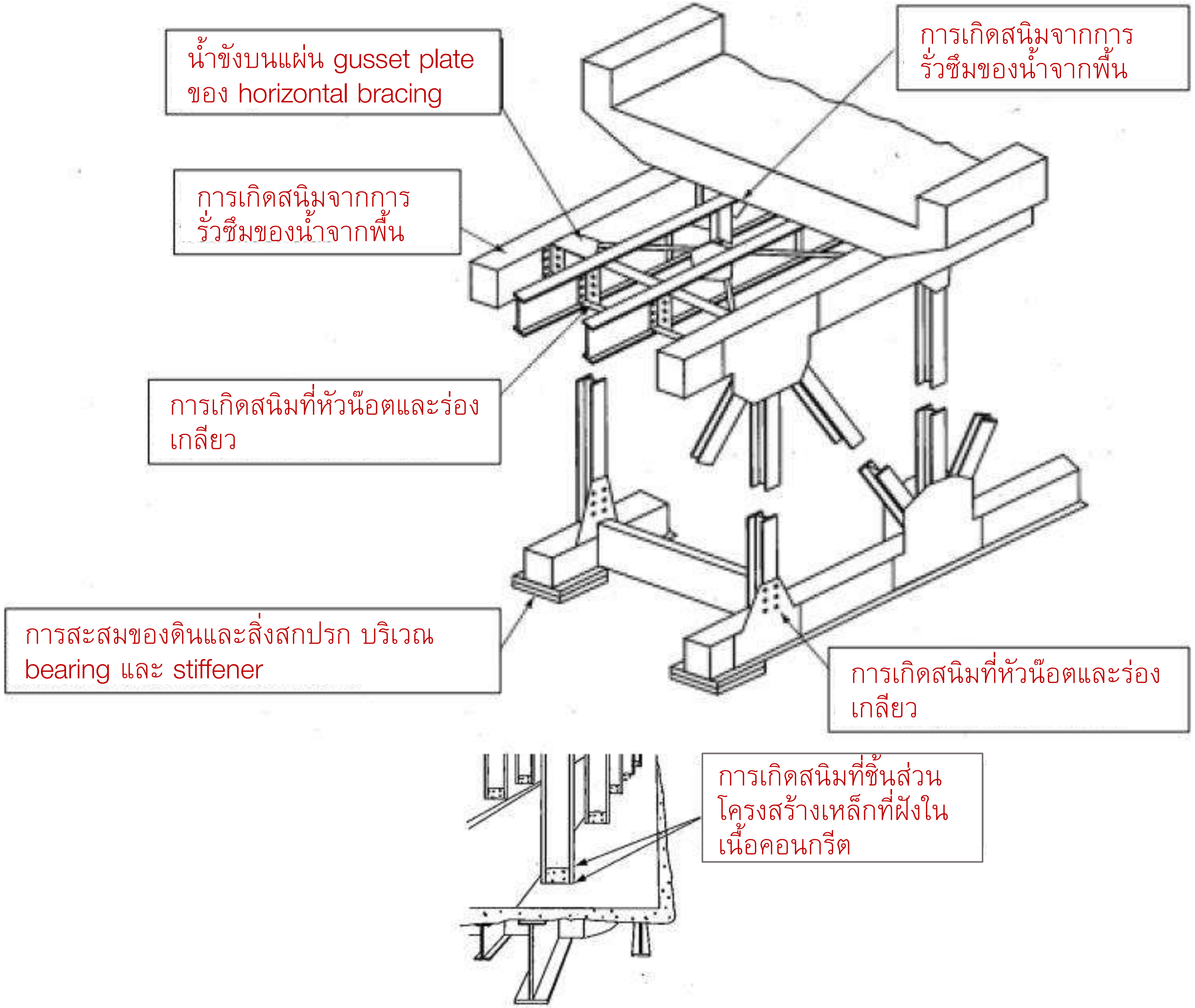
Difference in Corrosive Environment within An Identical Structure



Typical corrosion causes and corrosion occurrence position at plate girder bridge

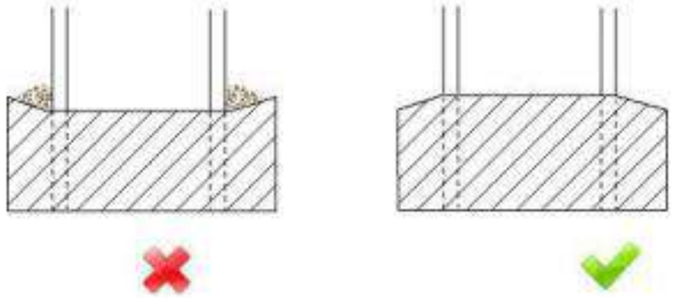


Typical corrosion cause and corrosion occurrence position at arch bridge

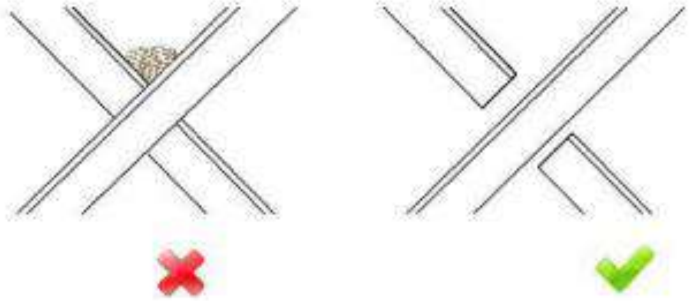


Typical corrosion cause and corrosion occurrence position at truss bridge

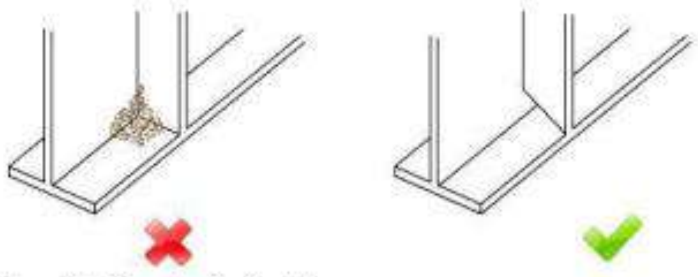
การกำหนดแนวการวางตัวของ Channel และ Angle เพื่อลดการขังของน้ำ



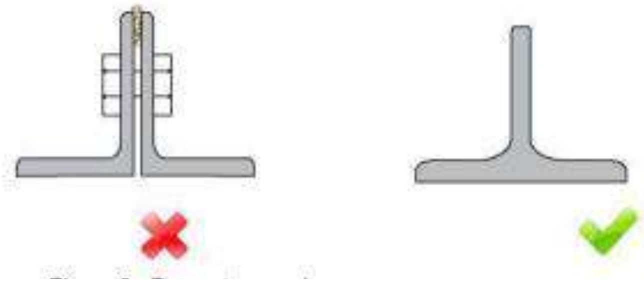
การทำรายละเอียดให้ Top of Footing มี slope



การกำหนดรูปแบบการต่อ cross member



การกำหนดรูปแบบการติด stiffener



การออกแบบ built-up section

Source: Info Steel, “Guide to protection of steel against corrosion Indoor and outdoor structures” (2012)

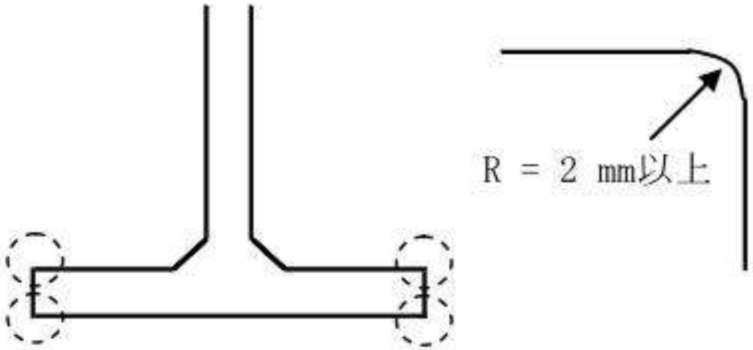
Structural Design

Items for which due considerations should be paid in structural design

- มาตรการที่ใช้ในการตรวจสอบ และการทาสีทับ
- มาตรการในการแก้ไขปัญหาน้ำขัง ซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของสีทับหน้า
- มาตรการในการดำเนินการเมื่อความหนาสีที่ทาน้อยกว่าที่ต้องการ

Example of Countermeasure against Coating Thickness Shortage

Advance coating

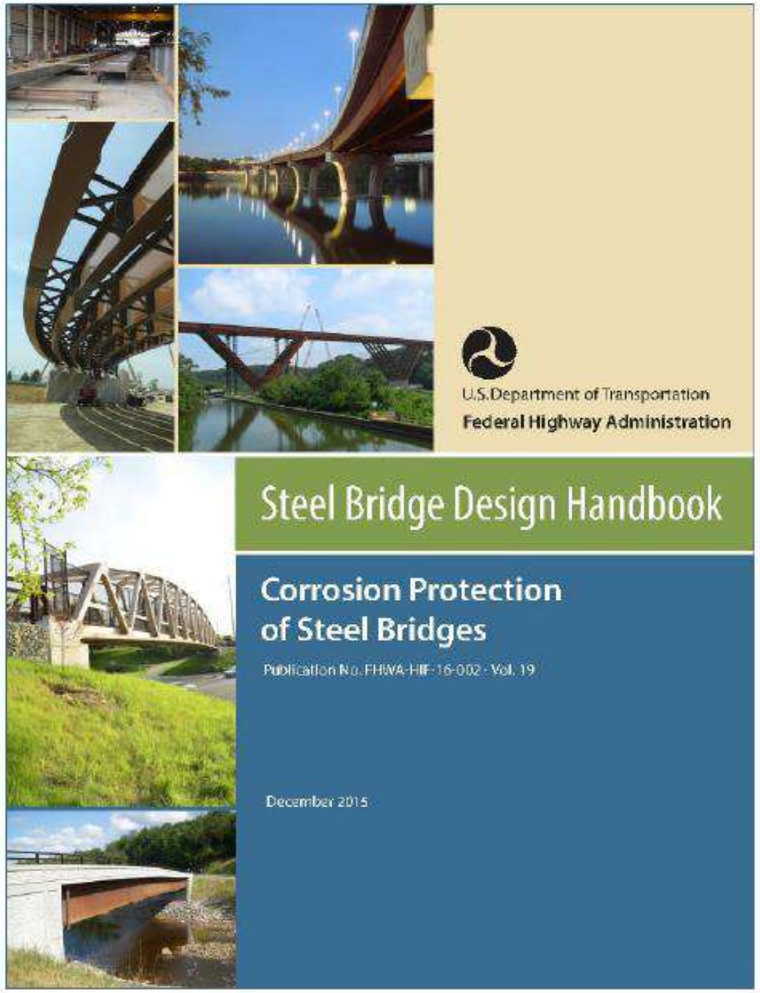


Example of curved-surface finishing of corner section

Test on coating thickness of edge section

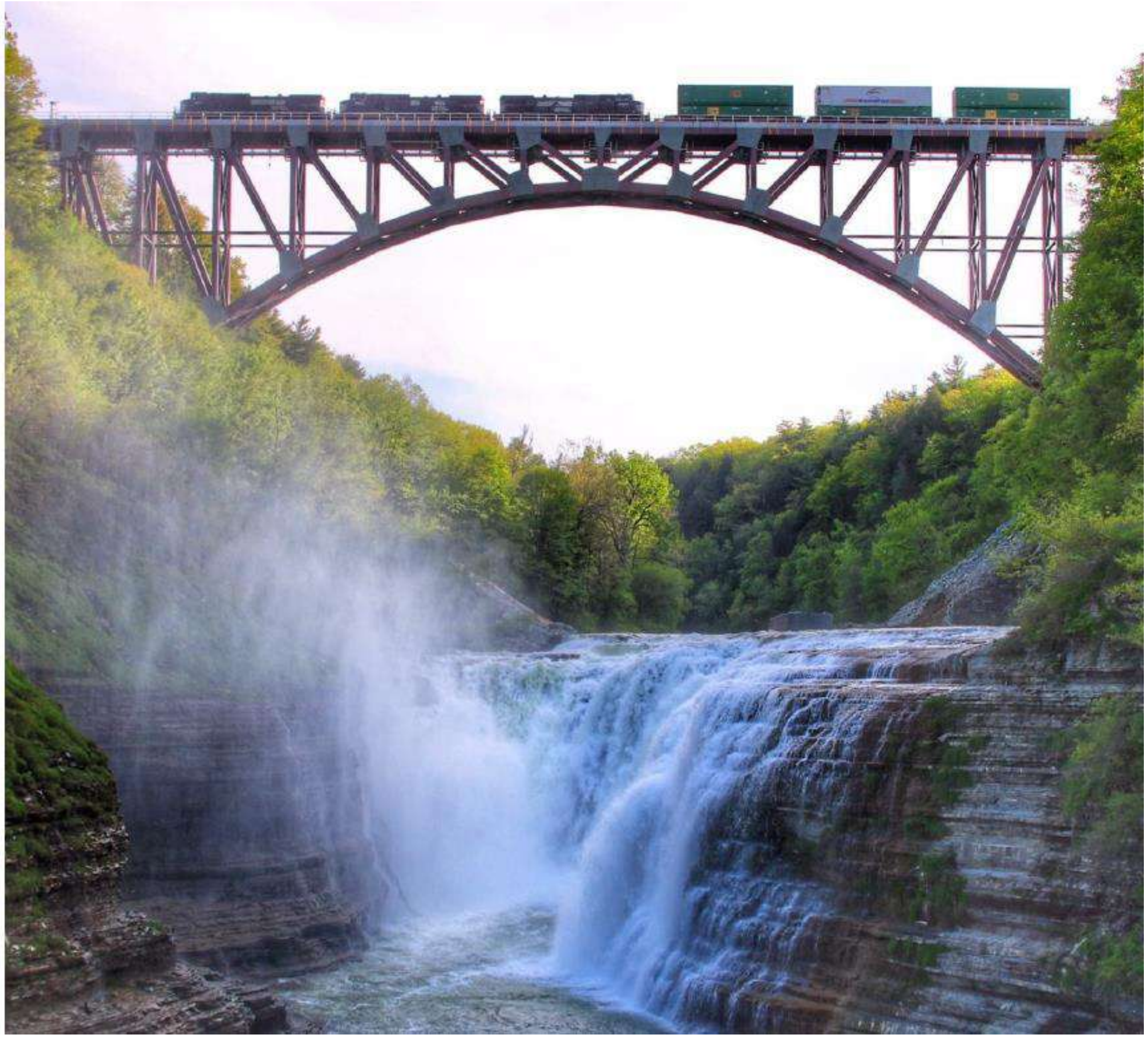
	Sharp edge			2R fabricated edge		
	Edge section	General section	Edge and general sections	Edge section	General section	Edge and general sections
Thickness in first coating	10μm	70μm	14%	50μm	70μm	71%
Thickness up to second coating	40μm	140μm	29%	110μm	140μm	80%

Steel Bridge Design Handbook, Volume 19



What's Right For you?

- Uncoated Weathering Steel (UWS)
- Liquid Applied Coatings
- Thermal Spray Coatings (TSC, aka - Metallizing)
- Hot-Dip Galvanizing (HDG)
- A709-50CR (previously known as A1010)



Uncoated Weathering Steel (UWS)

Grade	Yield Strength (ksi)
36	36
50	50
50S	50
50W	50
HPS 50W	50
HPS 70W	70
HPS 100W	100
50CR	50
QST 50	50
QST 50S	50
QST 65	65
QST 70	70

From ASTM A709

- Grade designations ending in "W" are weathering grades.
  - They develop a stable patina that provides barrier corrosion protection
  - The patina controls the rate that oxygen can reach the bare steel underneath

Uncoated Weathering Steel (UWS)

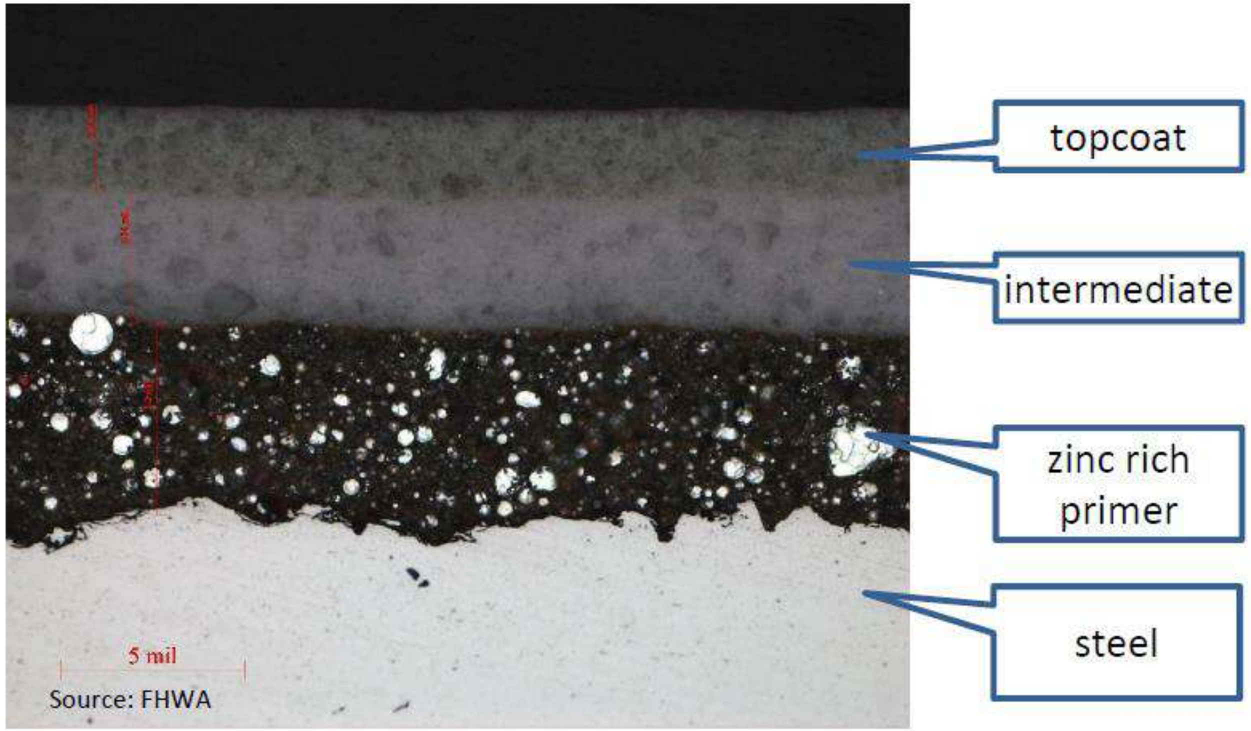
Provides "barrier" protection

Well formed patina has a dark-chocolate, almost purple hue. Also has fine pinholes.

Modern Liquid Applied Coatings

Types & Definitions:

- IOZ – Inorganic Zinc Primer
- OZ – Organic Zinc Primer
- E – Epoxy (intermediate coat)
- U – Urethane (topcoat)



The Misperception Dilemma

Whittier Bridge - Massachusetts

This bridge utilized the <u>old lead paint systems</u> prior to implementation of current practices.

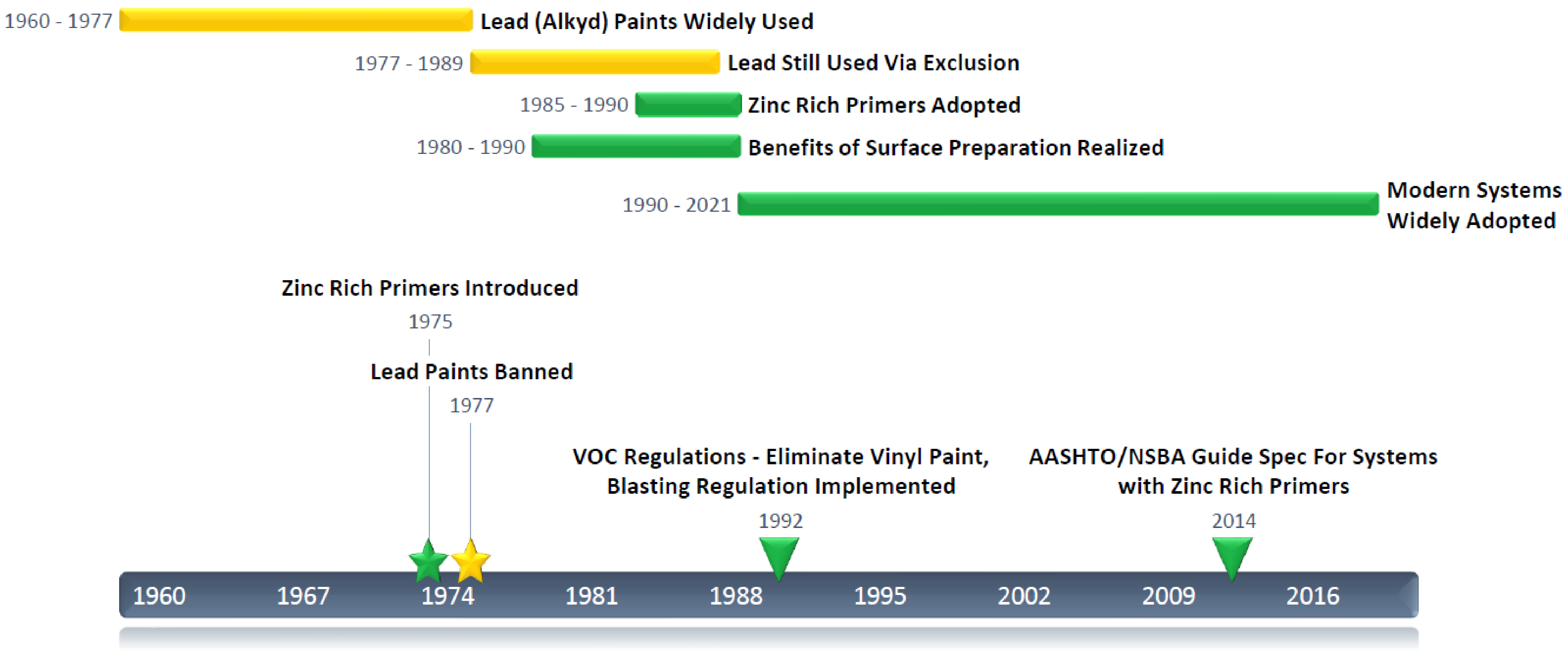
The Colorful History of Steel Bridge Paint Systems

1960 - 1977 **Lead (Alkyd) Paints Widely Used**

1990 - 2021 **Modern Systems Widely Adopted**

1960 1967 1974 1981 1988 1995 2002 2009 2016

The Colorful History of Steel Bridge Paint Systems



Liquid Applied Coatings

- Primarily “barrier” protection, however zinc-rich primer provides “cathodic” protection if exposed

Source: Chris Stuvek

Liquid Applied Coatings

Workhorse systems

- 3-coat, OZ/Epoxy/Urethane
- 3-coat, IOZ/Epoxy/Urethane

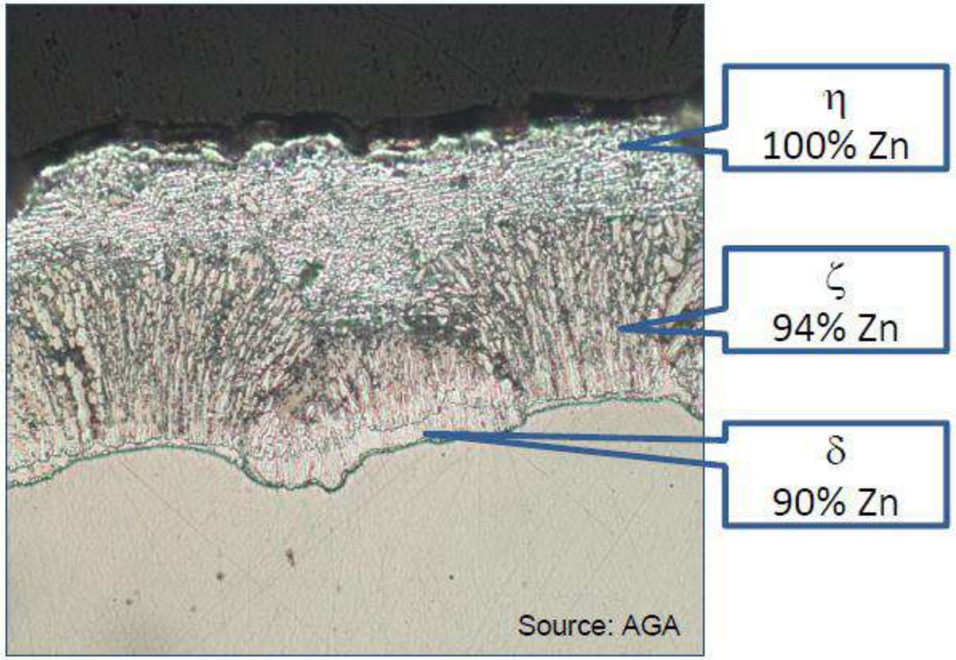
Innovative systems

- IOZ only
- IOZ with acrylic topcoat
- 2-coat, OZ/polyaspartic

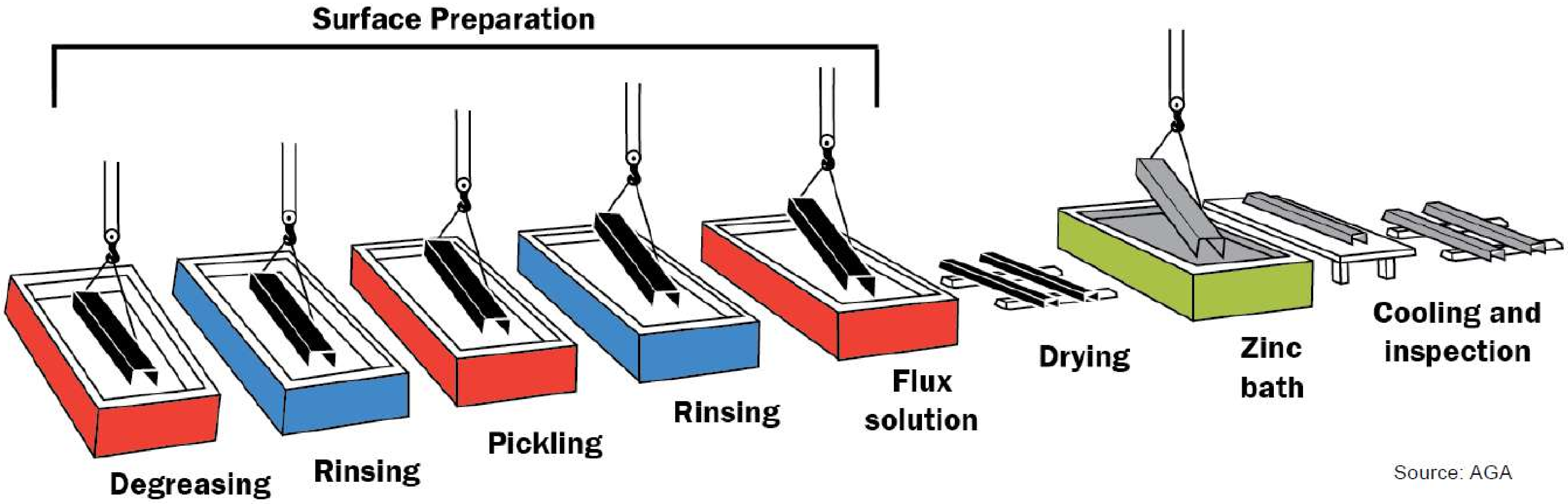
Hot-Dipped Galvanizing

Both "barrier" and "cathodic" protection

- Dipping steel in ~830°F zinc creates a metallurgical bond



Hot-Dipped Galvanizing



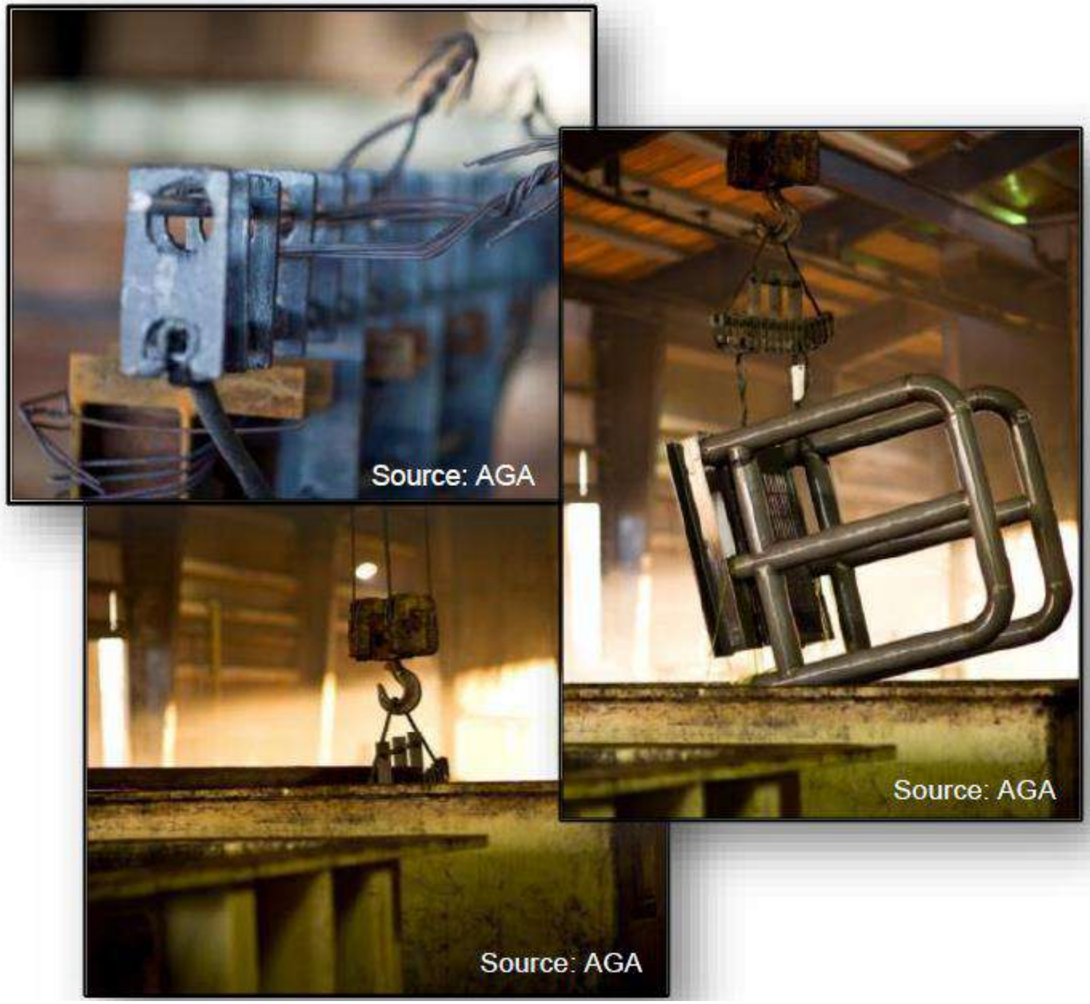
Source: AGA

Hot-Dipped Galvanizing – Surface Preparation

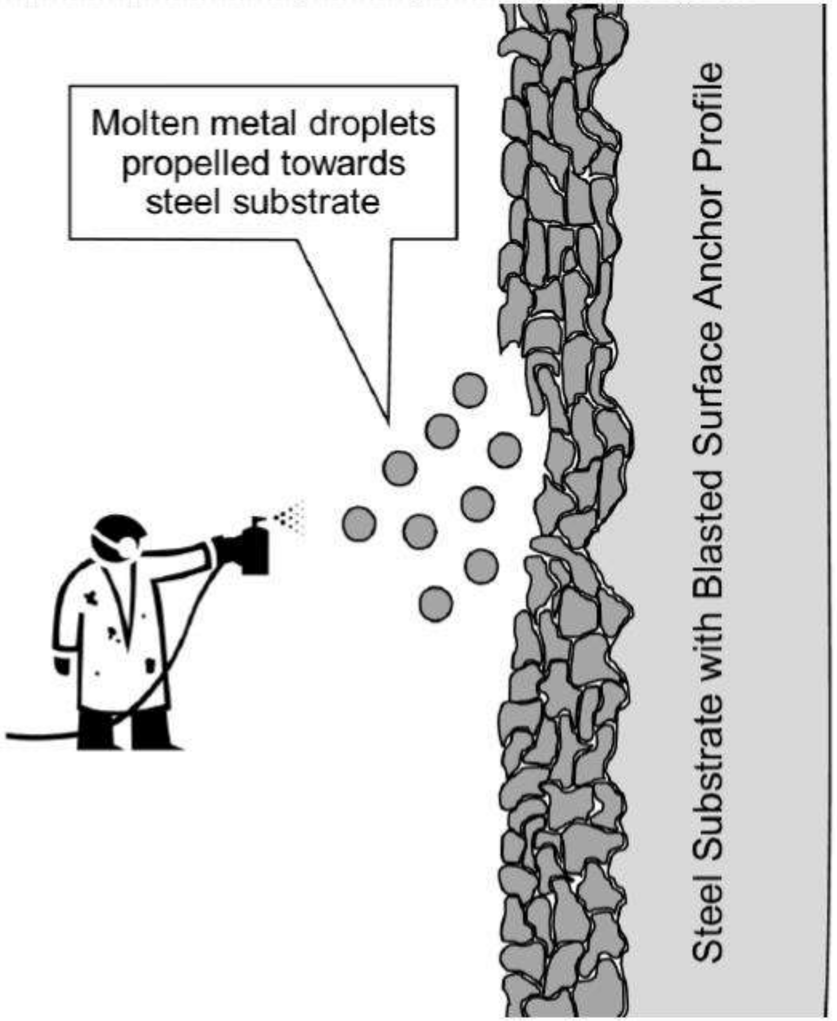
- Thorough cleaning is necessary as zinc will only react with clean steel

- Three cleaning solutions:
  - **Degreasing** – removes dirt, oils, organic residue
  - **Pickling** – removes mill scale and oxides
  - **Fluxing** – mild cleaning, protective layer

- Unclean areas will not grow zinc coating



Thermal Spray Coatings (TSC) – aka Metallizing



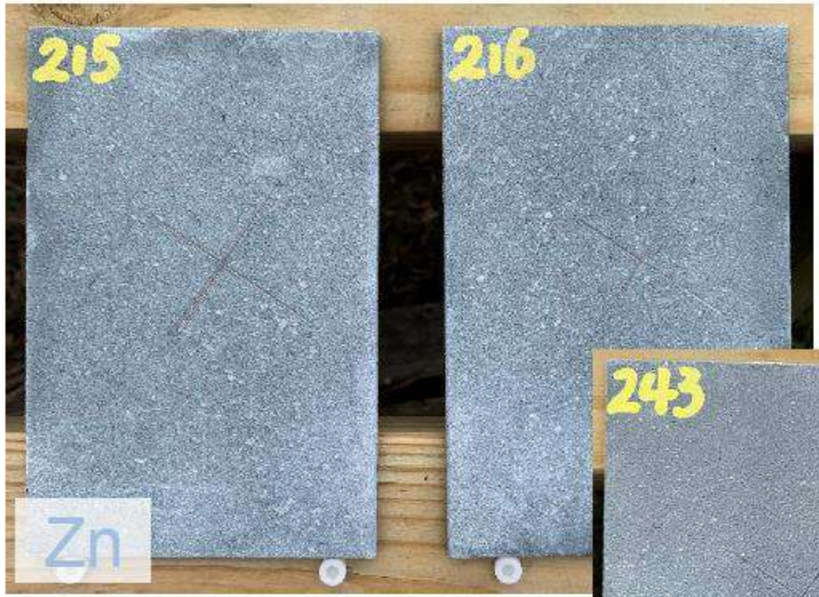
<u>Common Alloys</u>

Aluminum (Al)

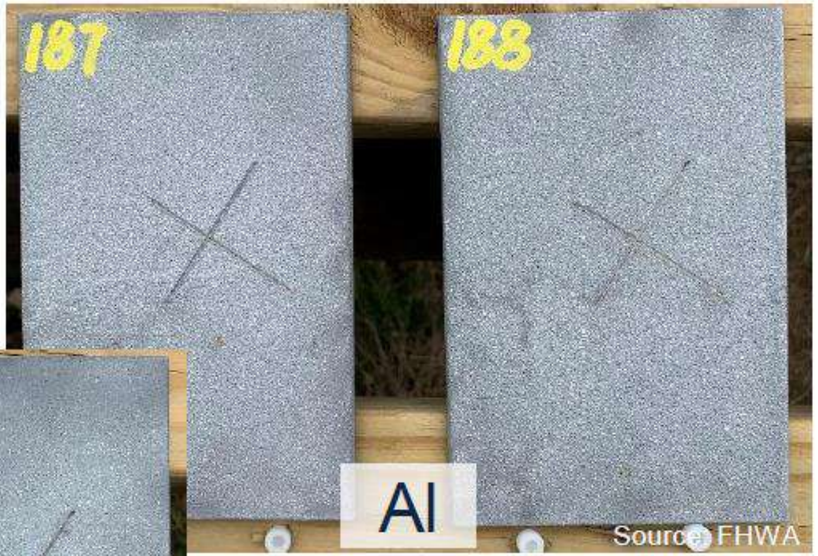
85/15 (Zn/Al) ------------------- Most common

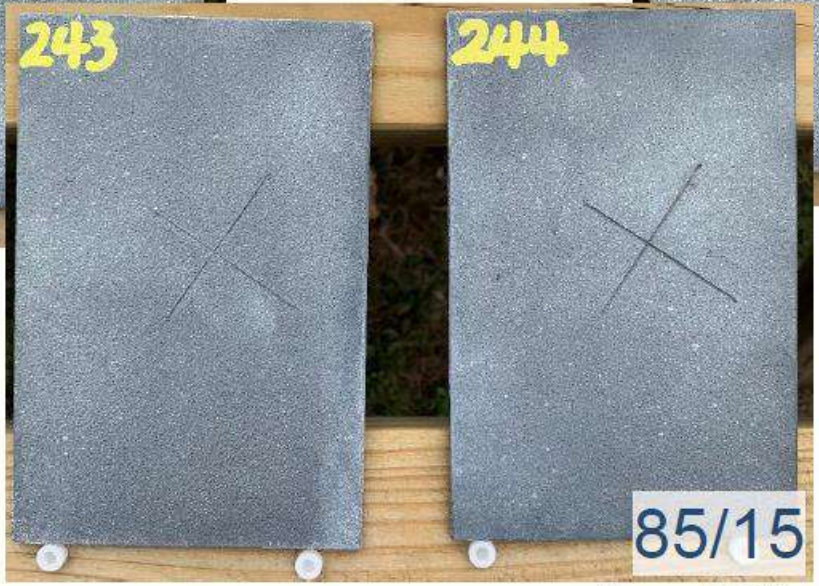
Zinc (Zn)

Thermal Spray Coatings (TSC)



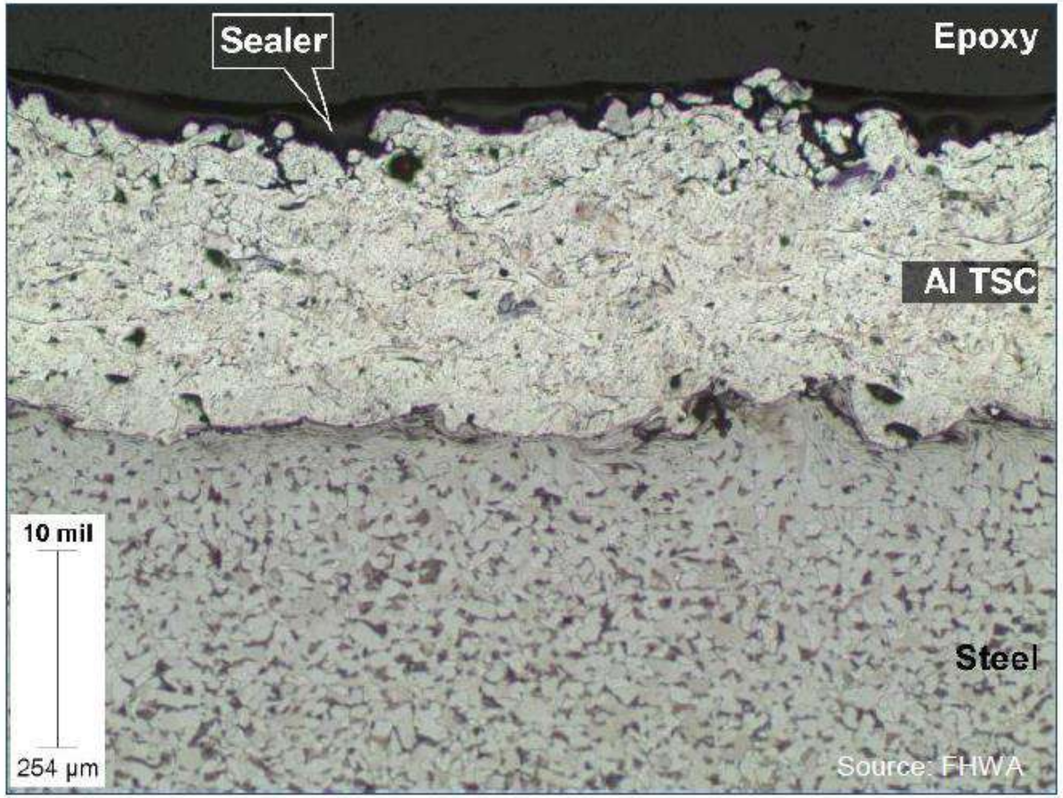
Source: FHWA





Source: FHWA

Thermal Spray Coatings (TSC)



Mostly "cathodic" protection

- TSC are porous – sealing is common, but not necessary
- Sealers are low-viscosity, liquid applied coatings meant to penetrate through pores
- Mechanical process, whereas HDG is chemical process

Innovation in Bridge Construction

#WeLoveSteelConstruction

Innovation in Bridge Construction

#WeLoveSteelConstruction