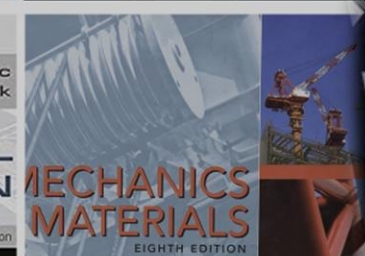
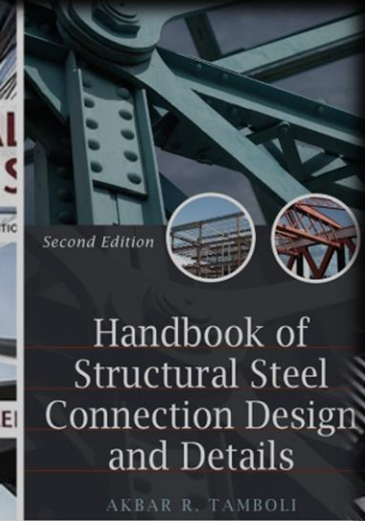
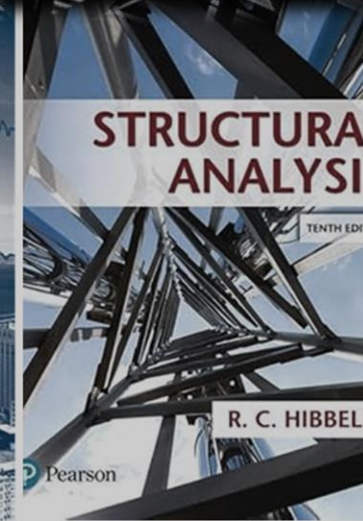
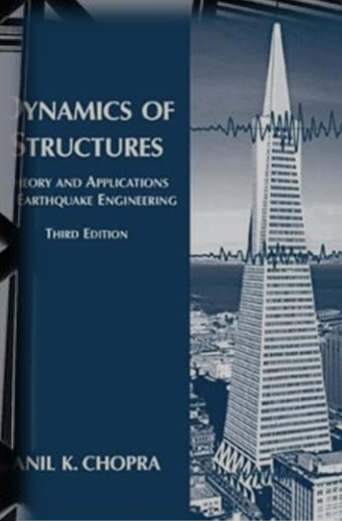


From Mechanics of Materials, Structural Analysis towards Steel Design

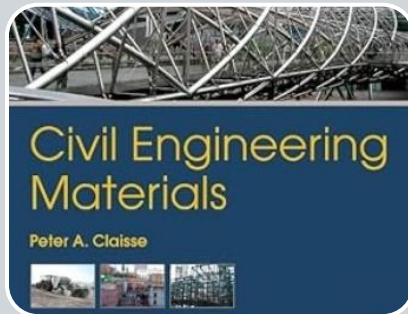
We ❤️ Steel Construction

1st Mini Course
February 11, 2026

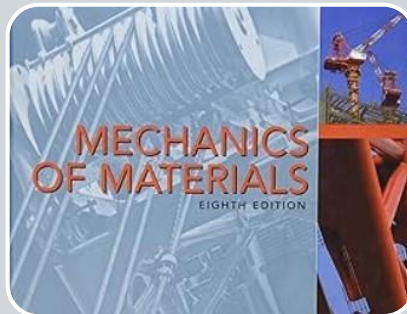


Structural Engineer Core Courses

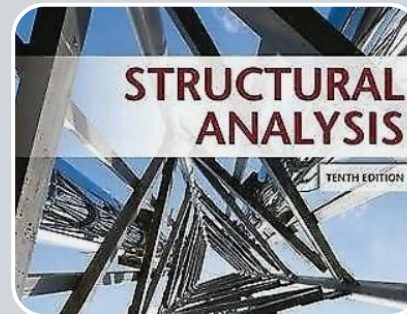
#WeLoveSteelConstruction



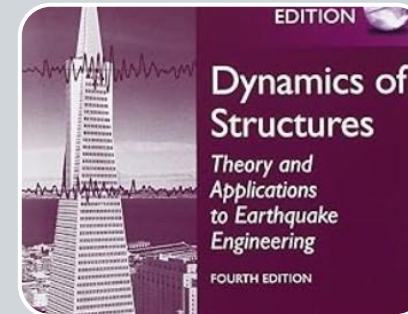
**Engineering
Materials**



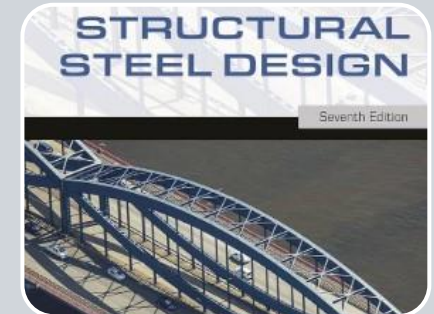
**Mechanics of
Materials**



**Structural
Analysis**



**Dynamic
Analysis**



**Structural Steel
Design**

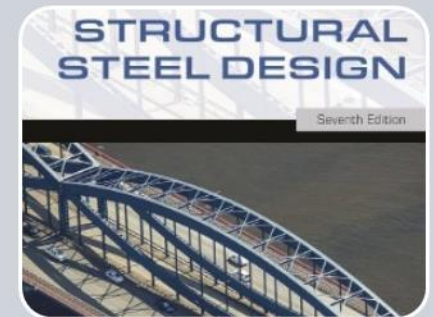
Why structural steel design?

#WeLoveSteelConstruction

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

At reasonable cost

At reasonable time



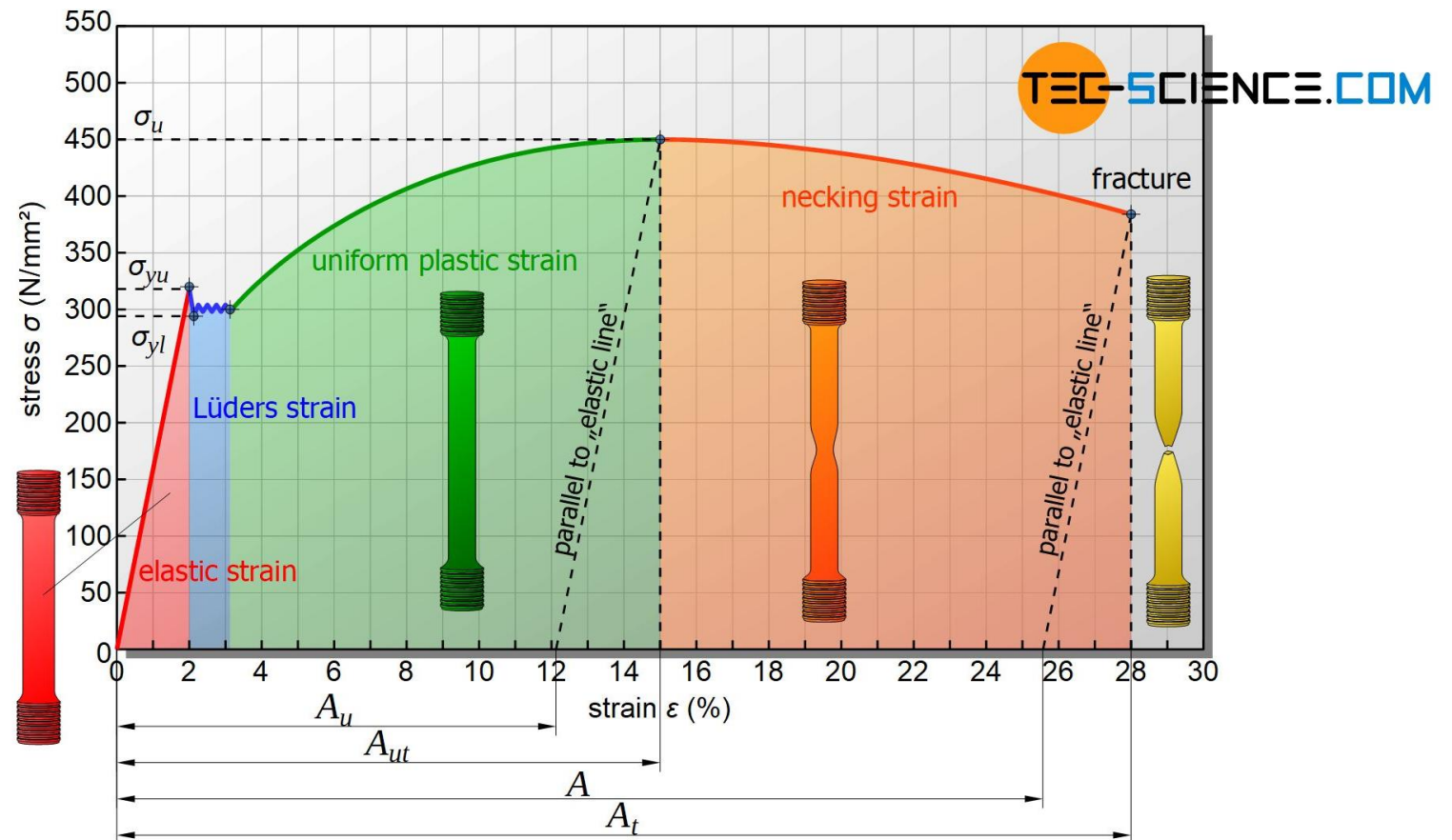
Structural Steel Design

Member Strength
ASD-LRFD Limit
Beam Column
Connection
Composite

Define "safety"?

#WeLoveSteelConstruction

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



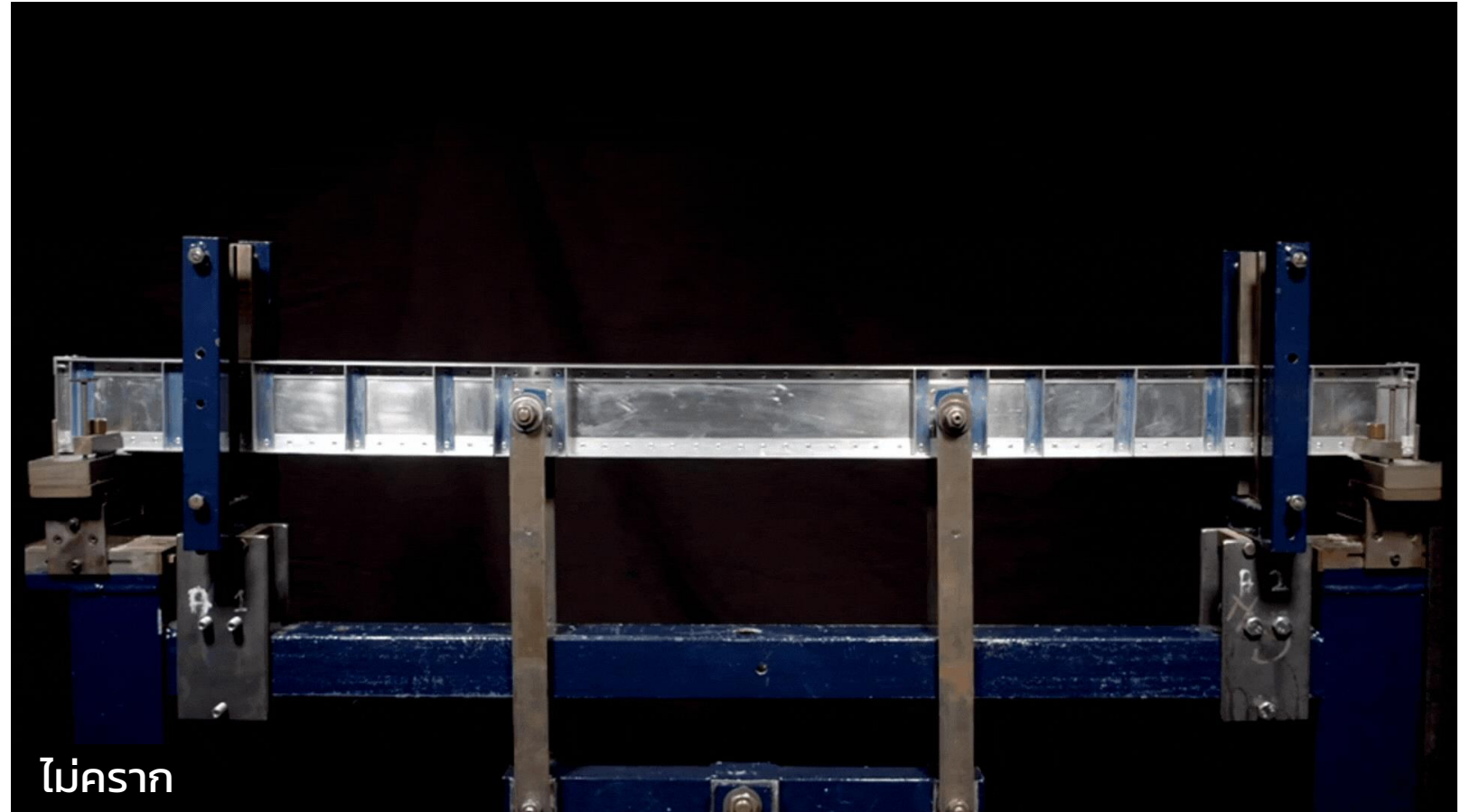
Is “not fracture” safe (allowable)?

#WeLoveSteelConstruction



Is “elastic” safe (allowable)?

#WeLoveSteelConstruction

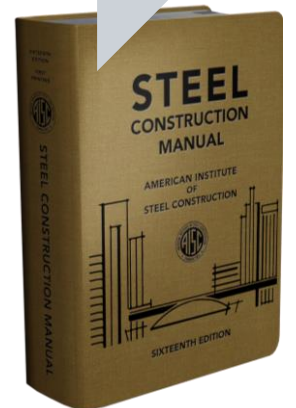
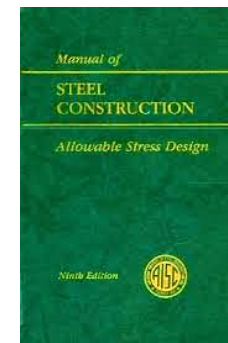
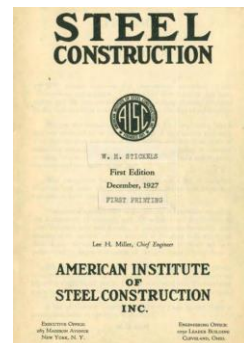
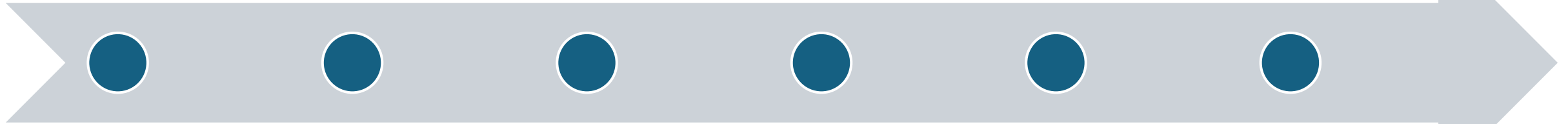
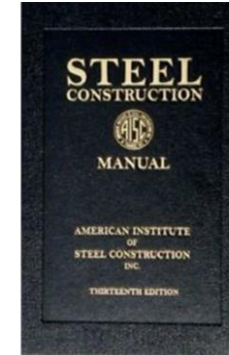
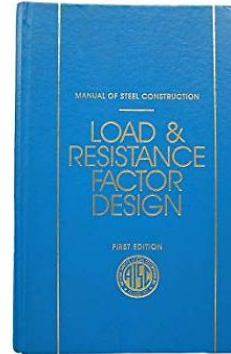
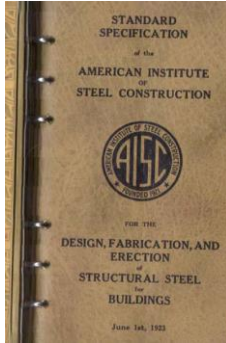


History of AISC Specification

#WeLoveSteelConstruction



1921
Standard
Specification
(9 p.)



Stress Era

#WeLoveSteelConstruction

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

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

F4. ALLOWABLE SHEAR STRESS

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

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

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

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

where

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

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

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

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

t_w = thickness of web, in.

a = clear distance between transverse stiffeners, in.

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

Allowable Stress Design

#WeLoveSteelConstruction

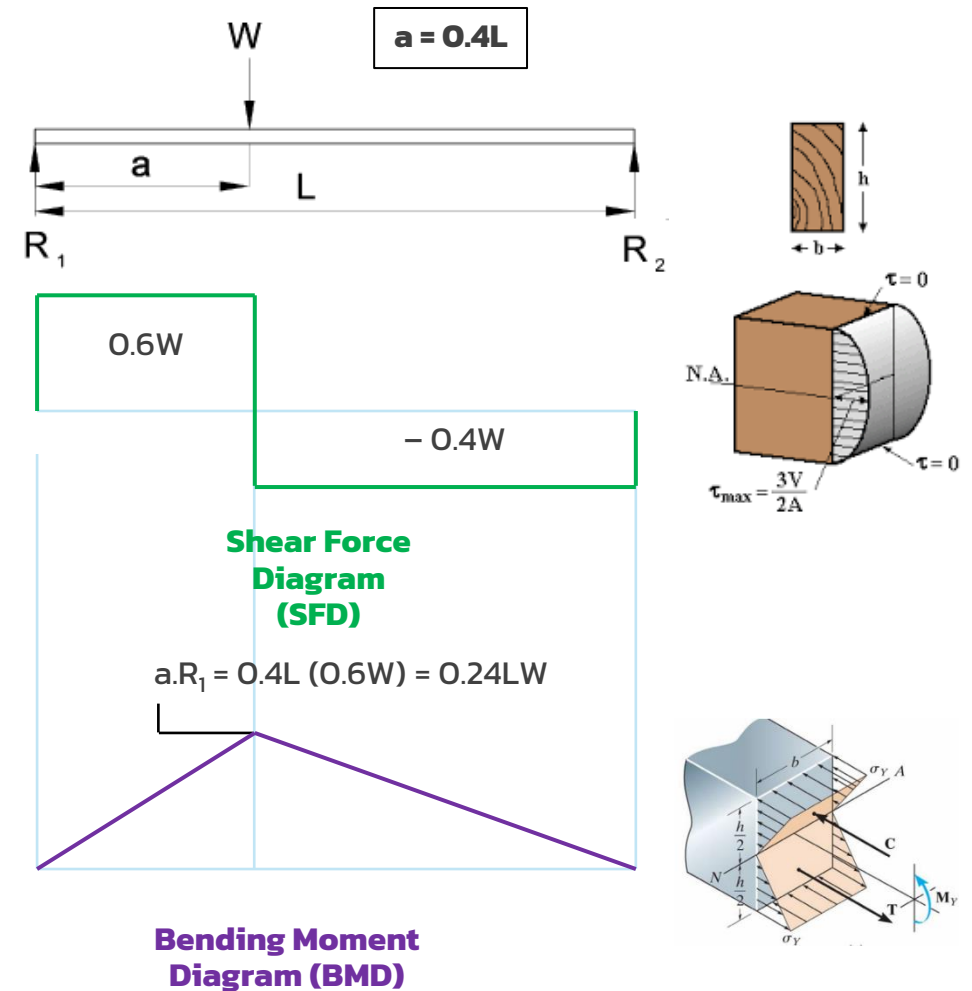
ปัจจัย Resistance:

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

ปัจจัย Load:

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

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



Allowable Stress Design

#WeLoveSteelConstruction

ปัจจัย Resistance:

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

ปัจจัย Load:

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

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

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

Factor of Safety (FS, Ω)

#WeLoveSteelConstruction

ปัจจัยที่ส่งผลต่อ ตัวประกอบความปลอดภัย ในการออกแบบโครงสร้าง

1. Resistance

- ความสำคัญขององค์อาคาร
 - ตอม่อต้อง FS สูงกว่า เสา คาน พื้น (ตอม่อพัง พื้น คาน เสา ยังดีอยู่ก็ได้ผล)
- ความแปรปรวนของสมบัติทางกลของวัสดุ และค่าที่ predict จากสมการ
 - ค่าที่ predict หากแปรปรวนมาก FS สูงกว่า แปรปรวนน้อย
 - ตัวอย่างเช่น คอนกรีตรับแรงอัด FS = 2.50 เทียบกับเหล็กรับแรงดึง FS = 1.67
- ลักษณะการวิบัติ
 - การวิบัติแบบฉับพลัน FS สูงกว่า วิบัติแบบไม่ฉับพลัน
 - ตัวอย่างเช่น Shear rupture, FS = 2.0 เทียบกับ Shear yielding, FS = 1.50

2. Load

- ความแปรปรวน ความไม่แน่นอนของแรงที่กระทำ
 - แรงกระทำหากแปรปรวนมาก FS สูงกว่า แปรปรวนน้อย

ASD (1989)

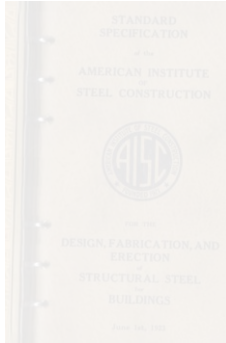
$$\sigma_L < \sigma_a = \frac{F_y}{\Omega}$$

$$\tau_L < \tau_a = \frac{0.6F_y}{\Omega}$$

History of AISC Specification

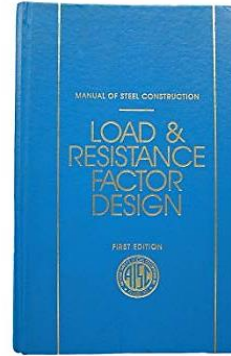
#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard
Specification
(9 p.)



1986
1st AISC LRFD
Manual

The Beginning
of Strength Era

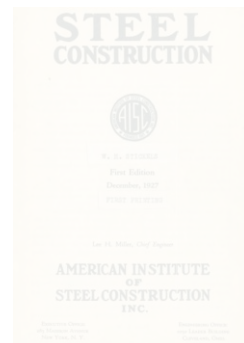


2005
1st AISC Unified
Manual

The Beginning
of Unified Era

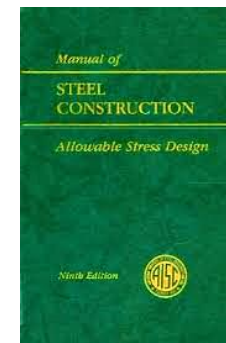


1927
1st Ed 1st Prnt
AISC Manual
(479 p.)



1989
9th Ed AISC
ASD Manual

The End of
Stress Era



2022
Latest AISC
(Unified) Steel
Construction
Manual



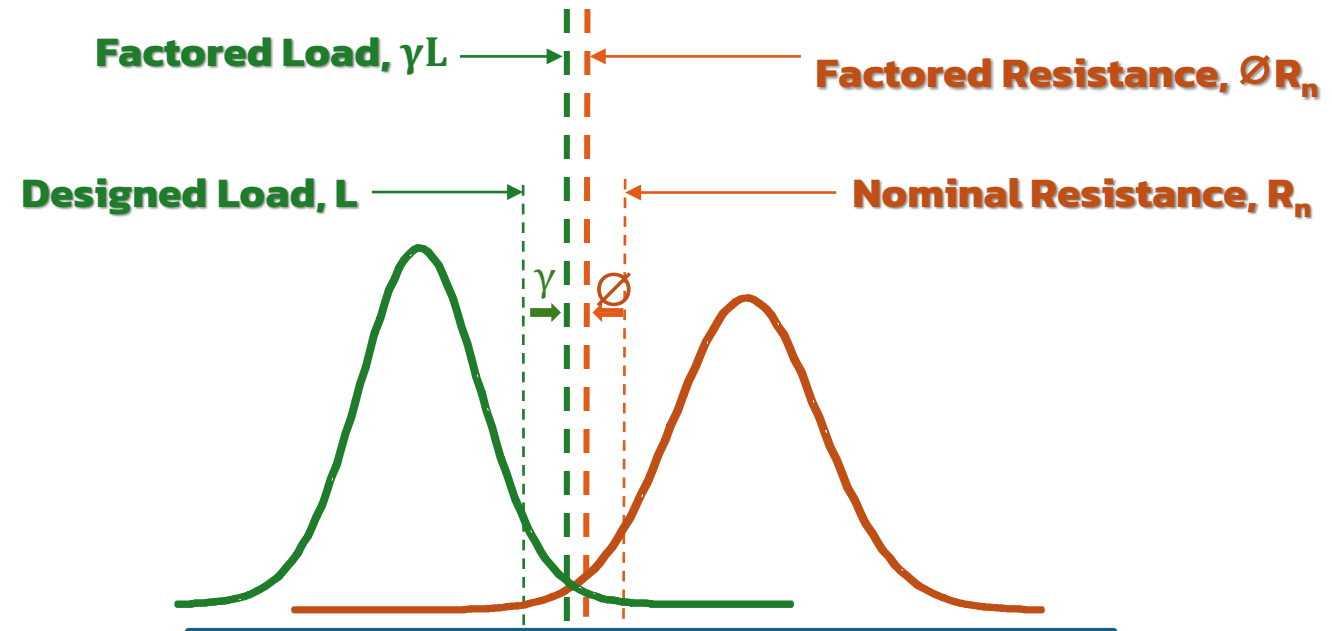
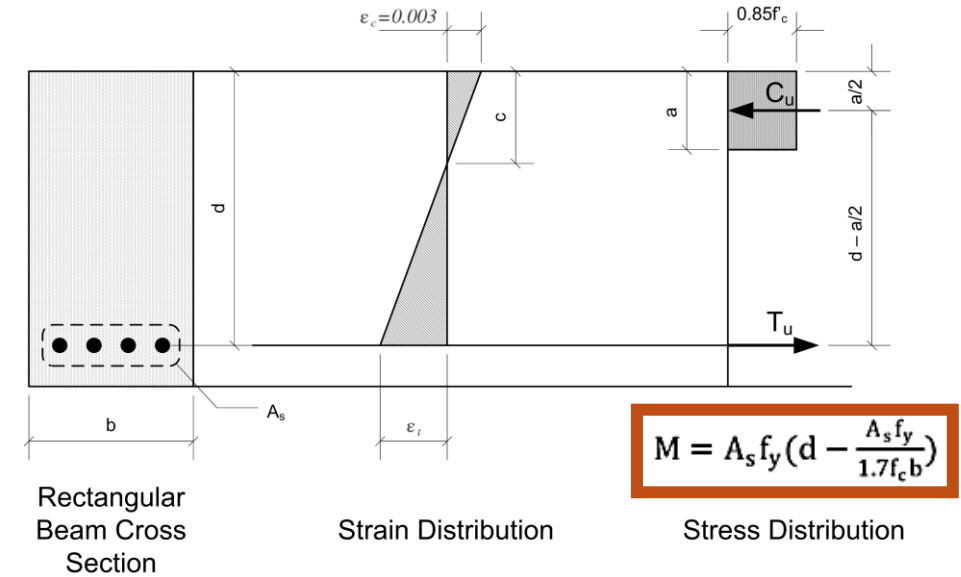
Strength Era

#WeLoveSteelConstruction

จุดเริ่มต้น น่าจะมาจากการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่พิจารณากำลังสูงสุดขององค์อาคาร ซึ่งเปลี่ยนไปจากหลักการของ stress design ที่พิจารณาระดับ “ความเค้น”

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

ในฝั่งของ factored load ก็จะต้องพิจารณาตาม load combination ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขใน design standard ที่ระบุเอาไว้

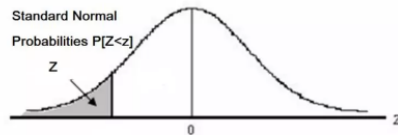


Statistic Fundamental

#WeLoveSteelConstruction

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

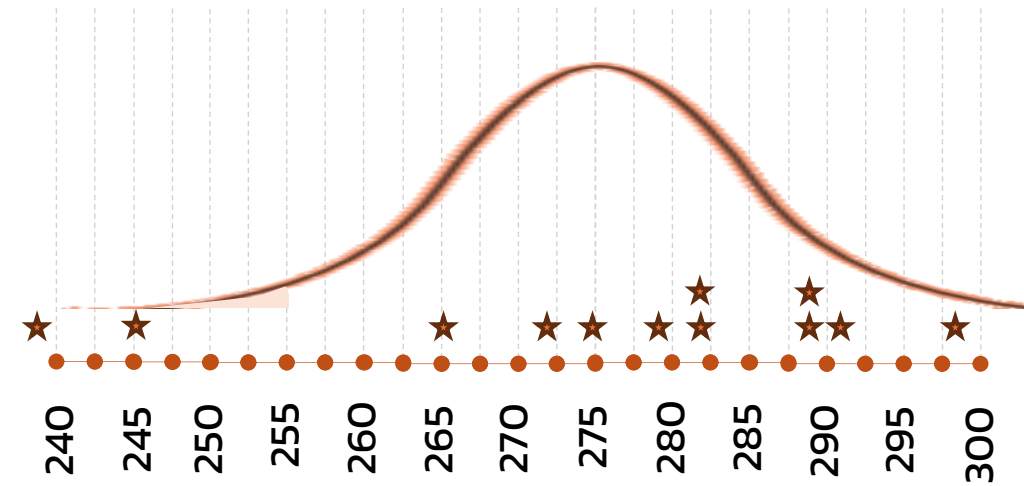
ตารางสถิติ



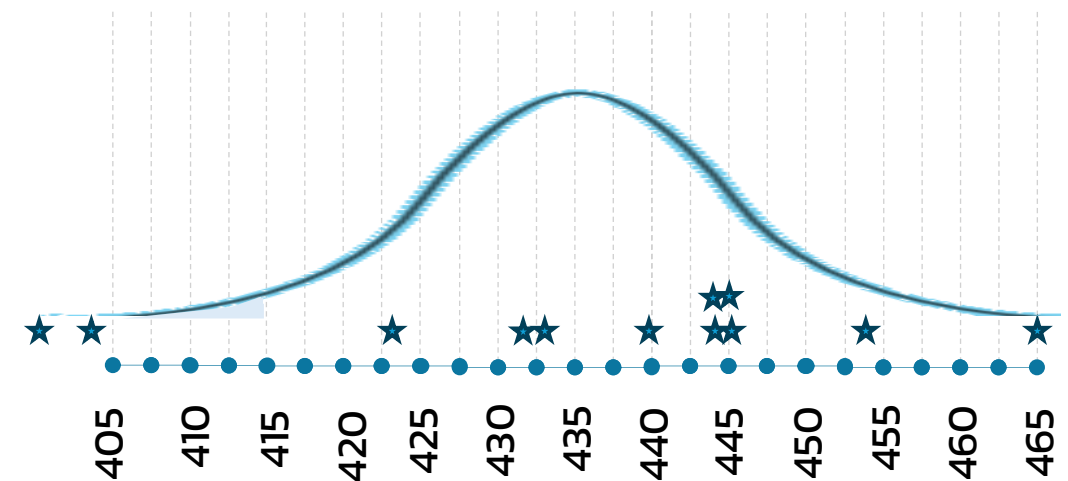
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.50	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.40	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.30	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.20	0.0007	0.0007	0.0006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

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

Ave. 275.2 435.7
SD 17.33 18.19



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



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

Statistic Fundamental

#WeLoveSteelConstruction

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

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

Ave. 270.8 283.9
SD 17.66 97.90

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

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

โอกาสที่ DL จะมากกว่า 250 ksm อยู่ที่ 12.1%

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

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

โอกาสที่ LL จะมากกว่า 200 ksm อยู่ที่ 19.6%

ACI 318-89

Wind

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

ASCE 7-02 Strength Design

Wind:

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

Seismic:

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

Load & Resistance Factor Design (LRFD)

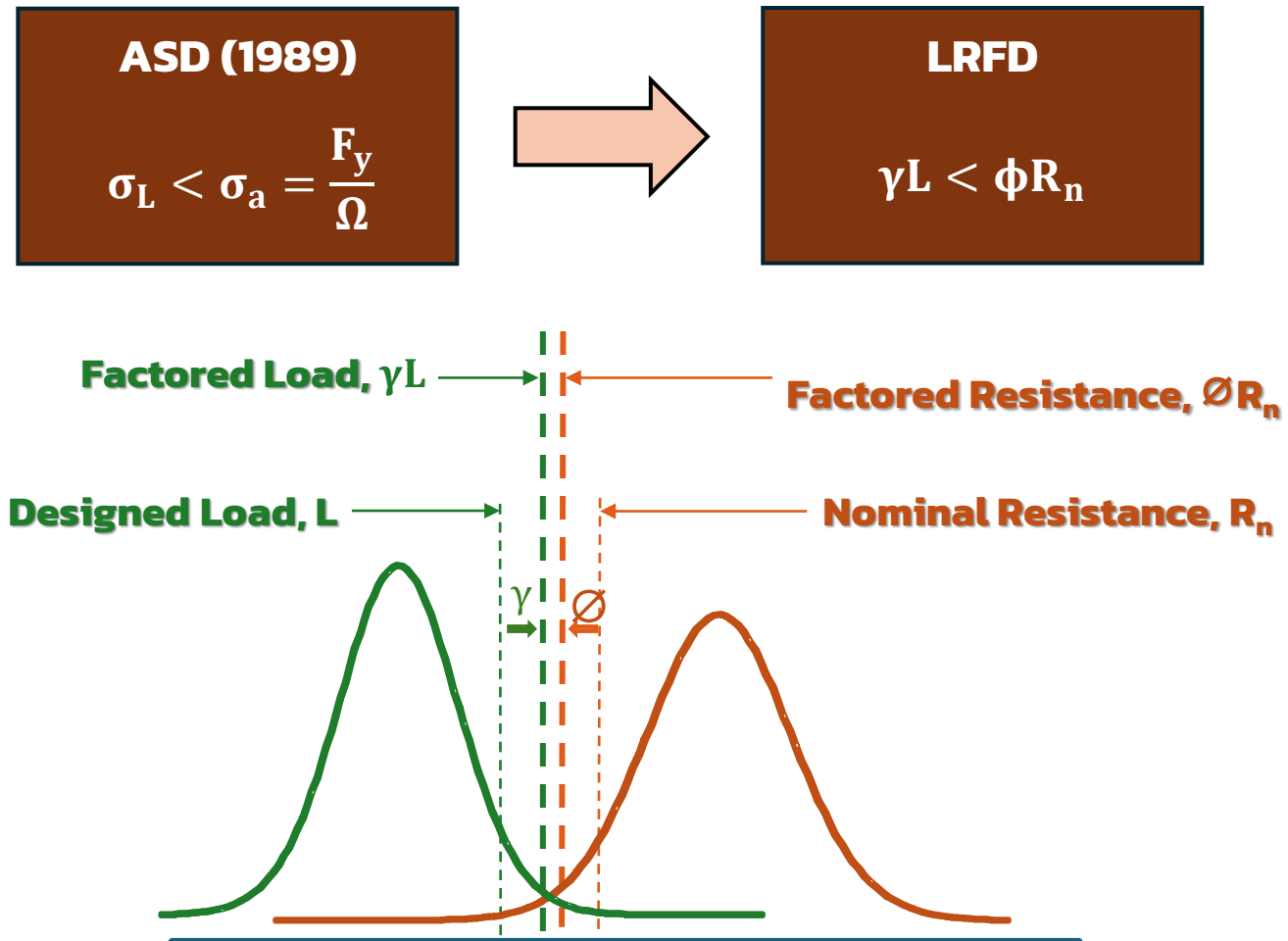
#WeLoveSteelConstruction

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

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

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

ASCE 7-16



Load Combination

#WeLoveSteelConstruction

Load Combination หรือ **น้ำหนักบรรทุกรวม** สะท้อนเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับอาคาร ตั้งแต่ช่วงระหว่างการก่อสร้าง ไปจนกระทั่งการใช้งานอาคาร

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

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

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

ASCE 7-16

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

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

ASCE 7-05

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

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

Load Combination

#WeLoveSteelConstruction

Load Combination ในยุคหลังจะมีความชัดเจนขึ้นในแง่การจัดการความเสี่ยง เช่น

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

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

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

ASCE 7-16

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

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

ASCE 7-05

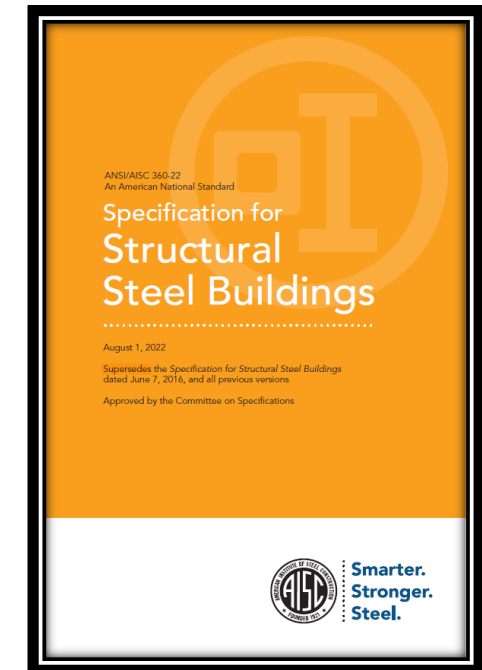
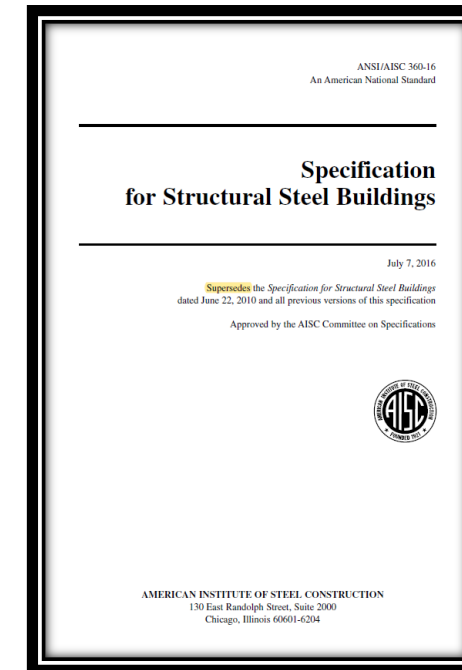
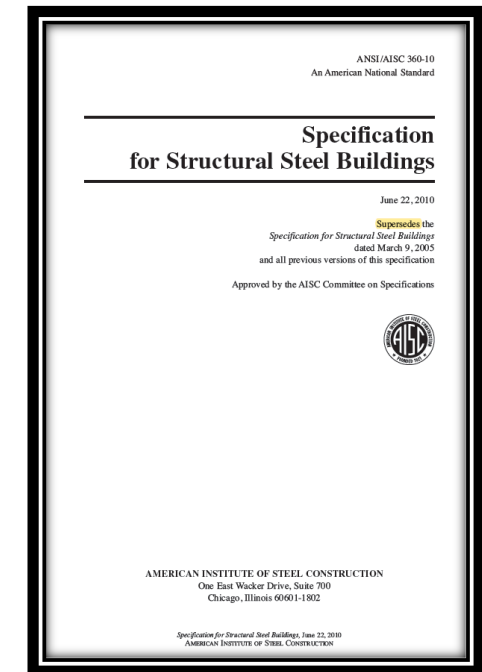
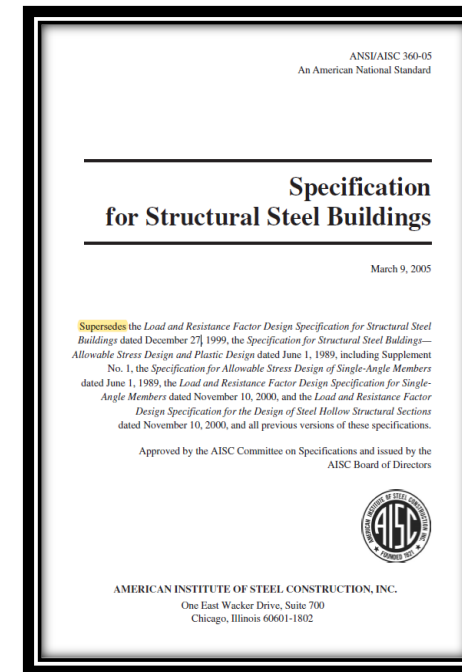
F = Load due to fluid with well defined pressures and maximum height

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

AISC 360 Specification

#WeLoveSteelConstruction

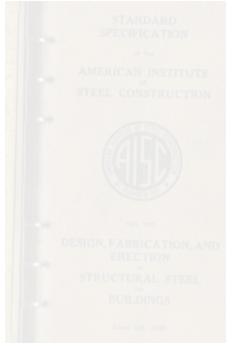
- นับจากปี ค.ศ. 2005 เป็นต้นมา **AISC** ได้มีการจัดทำ **Specification** for Structural Steel Buildings สหสกำกับ **AISC 360** โดย “ยกเลิก” การใช้คำว่า Allowable **Stress** Design แต่ใช้ Allowable **Strength** Design กำกับด้วย **ASD** ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่า การออกแบบด้วย วิธีกำลังที่ยอมให้ เรื่อยมา และจะสังเกตเห็นการ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



History of AISC Specification

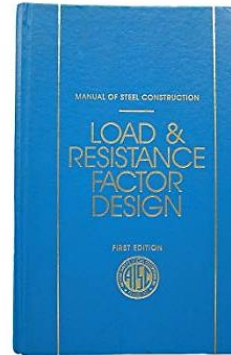
#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard
Specification
(9 p.)



1986
1st AISC LRFD
Manual

The Beginning
of Strength Era



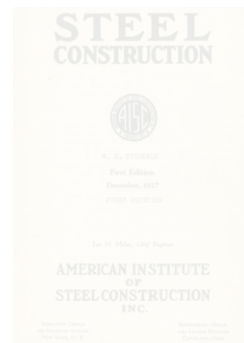
2005
1st AISC Unified
Manual

The Beginning
of Unified Era



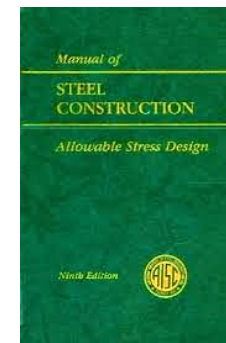
หลักการทางกฎหมาย “ต่างกรรมต่างวาระ” ที่อนุโลมให้อาคารเก่าที่ออกแบบด้วย code เก่า แล้วไม่ผิดข้อกำหนด มักทำให้ **วิศวกรเข้าใจผิด คิดว่า สามารถคำนวณออกแบบโครงสร้างได้โดยใช้ code เก่าได้** ทั้งๆ ที่ code เก่า มีจุดบกพร่อง และได้รับการแก้ไข ตัวอย่างเช่น Column equations, Leaning columns, Stability design เป็นต้น

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



1989
9th Ed AISC
ASD Manual

The End of
Stress Era



2022
Latest AISC
(Unified) Steel
Construction
Manual



AStressD vs. AStrengthD vs. LRFD

#WeLoveSteelConstruction

Check if a compact & fully laterally braced H beam is structurally safe under bending
with $d = 30 \text{ cm}$, $S_x = 600 \text{ cm}^3$, $Z_x = 750 \text{ cm}^3$, $I_x = 9,000 \text{ cm}^4$, $F_y = 3,000 \text{ ksc}$
under $M_{DL} = 8,000 \text{ kg-m}$ and $M_{LL} = 4,000 \text{ kg-m}$

AStressD

AStrengthD

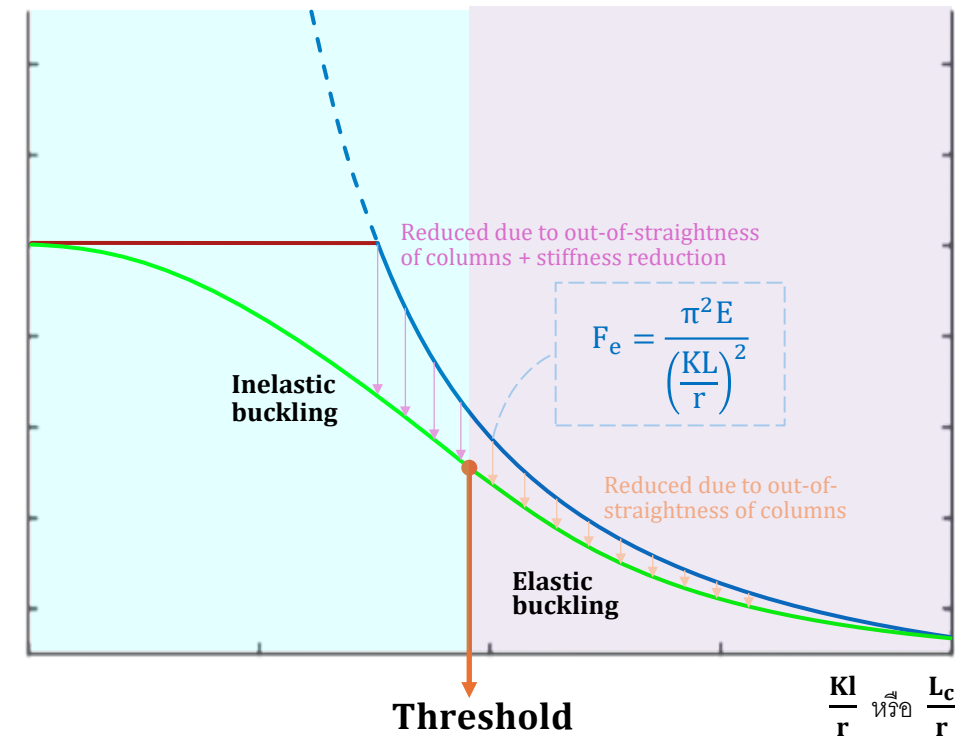
LRFD

Newer Code = More Thorough Knowledge

#WeLoveSteelConstruction

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

Stress



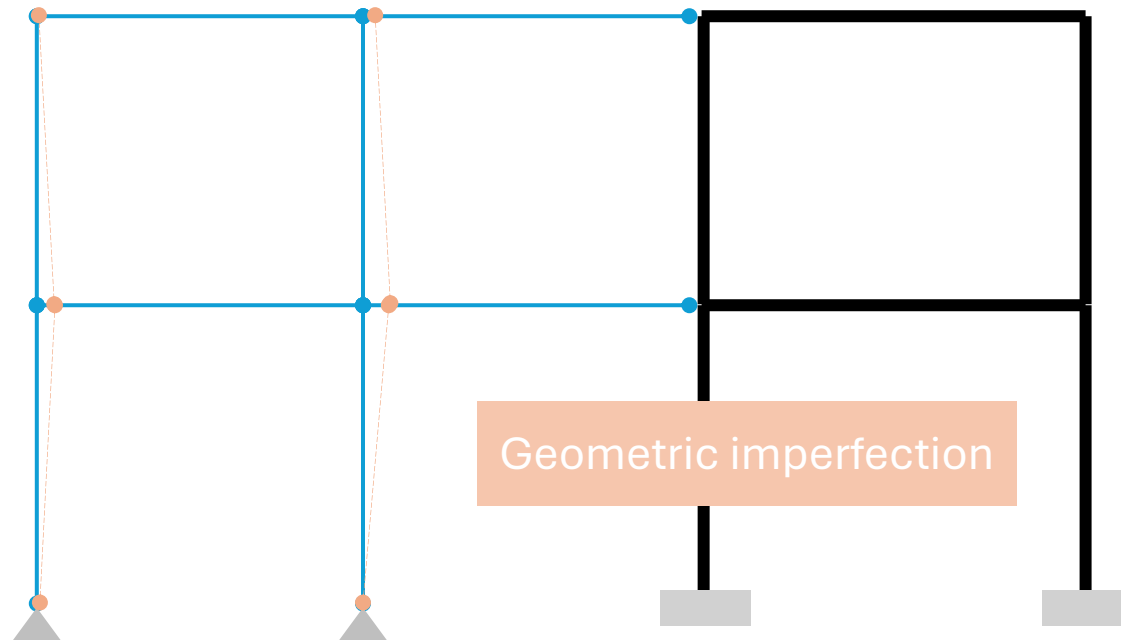
ข้อสังเกต / ข้อพิจารณา

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

Newer Code = More Thorough Knowledge

#WeLoveSteelConstruction

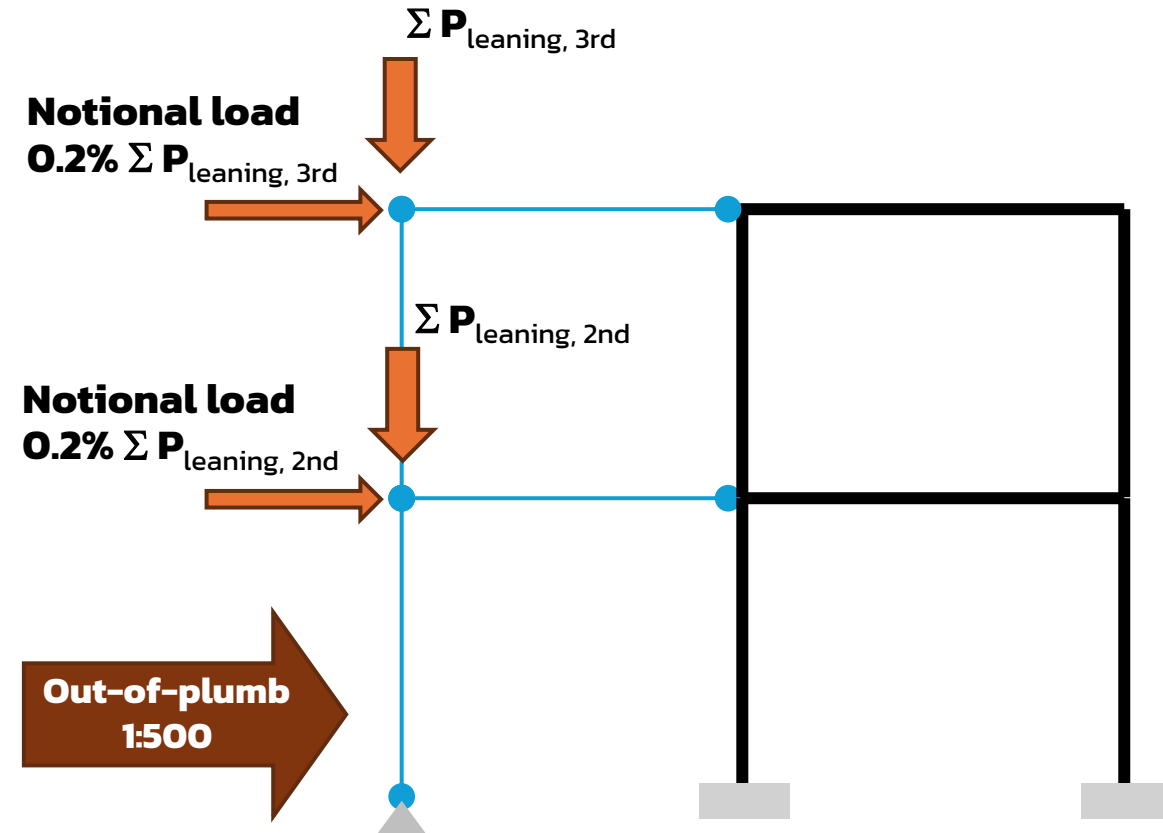
Leaning Column Concept



Extra load

vs.

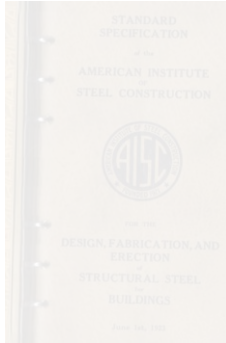
Reduced strength



History of AISC Specification

#WeLoveSteelConstruction

1921
Standard
Specification
(9 p.)



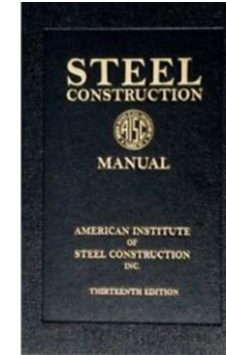
1986
1st AISC LRFD
Manual

The Beginning
of Strength Era

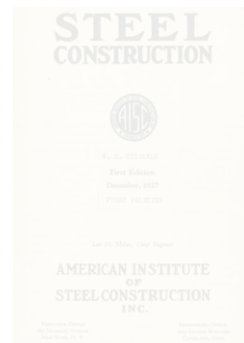


2005
1st AISC Unified
Manual

The Beginning
of Unified Era

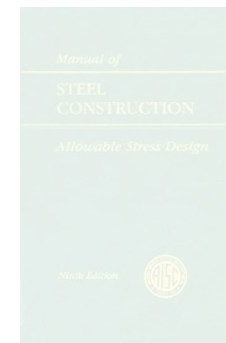


1927
1st Ed 1st Prnt
AISC Manual
(479 p.)

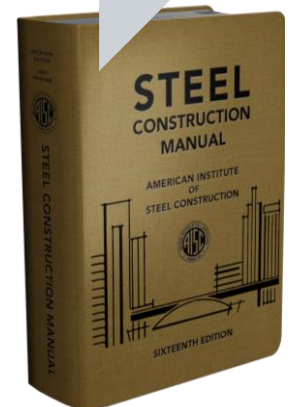


1989
9th Ed AISC
ASD Manual

The End of
Stress Era



2022
Latest AISC
(Unified) Steel
Construction
Manual



Unified Method

#WeLoveSteelConstruction

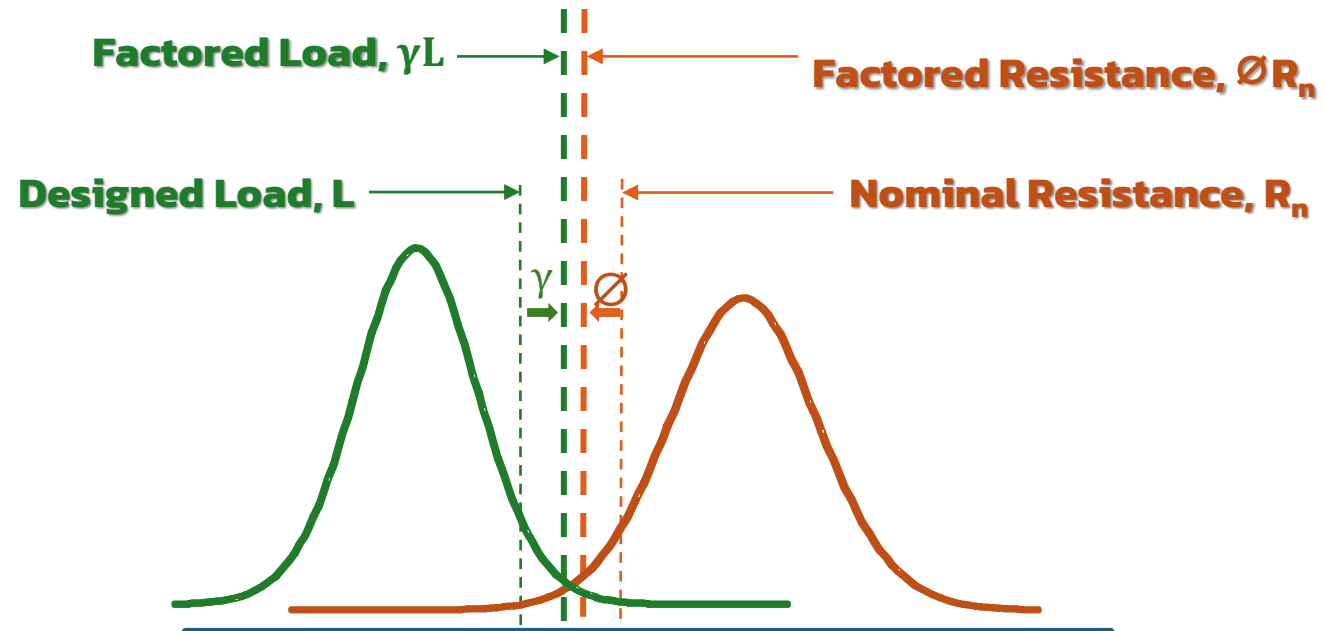
หากพิจารณาตามหลักการ **LRFD** ที่ในส่วนของการ resistance เป็นการ ลดทอนกำลังรับแรงองค์อาคาร ด้วยการนำ resistance factor (ϕ) เข้าไปคูณ กำลังระบุ (**nominal strength**) เทียบกับแรงที่กระทำกับองค์อาคาร ที่ถูกเพิ่มค่าด้วย load factor (γ) ... แต่เปลี่ยนเป็นการพิจารณา unfactored load (service load) เทียบกับกำลังรับแรงระบุ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

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

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

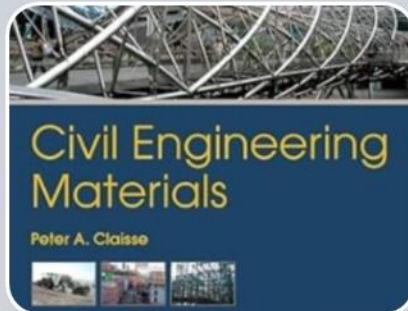
$$\Omega = \frac{\gamma}{\phi} = \frac{1.5}{\phi}$$

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



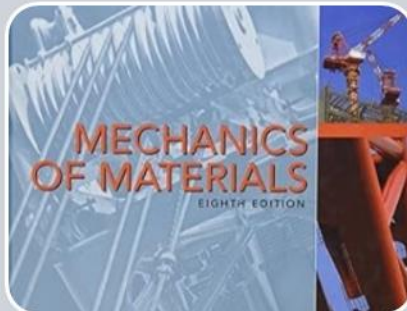
Structural Steel Fundamentals

#WeLoveSteelConstruction



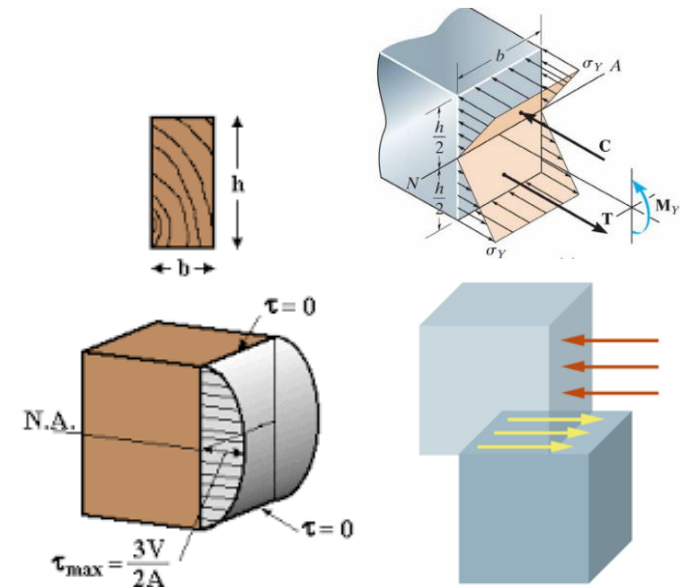
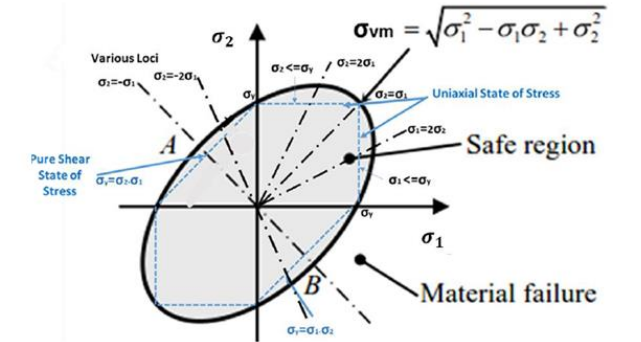
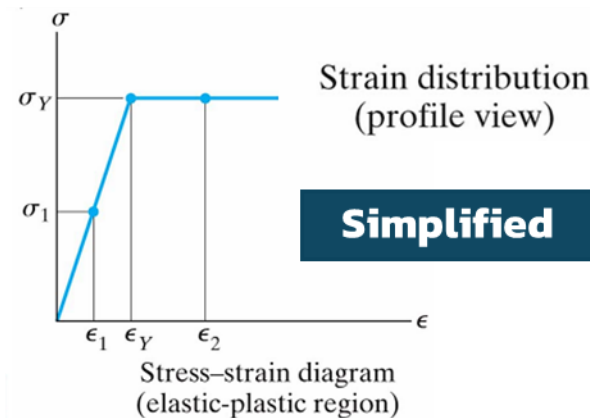
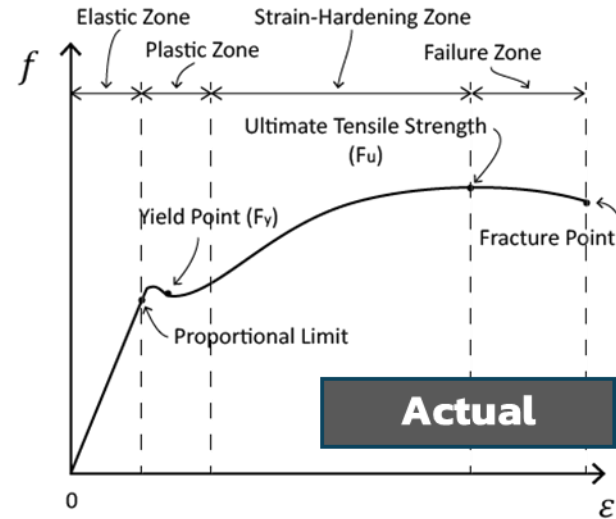
Engineering Materials

Phase Diagram
Stress-Strain
Fatigue Fracture
Cement Concrete
Timber



Mechanics of Materials

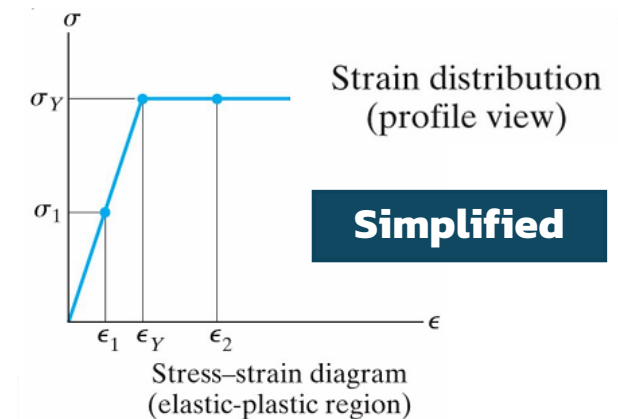
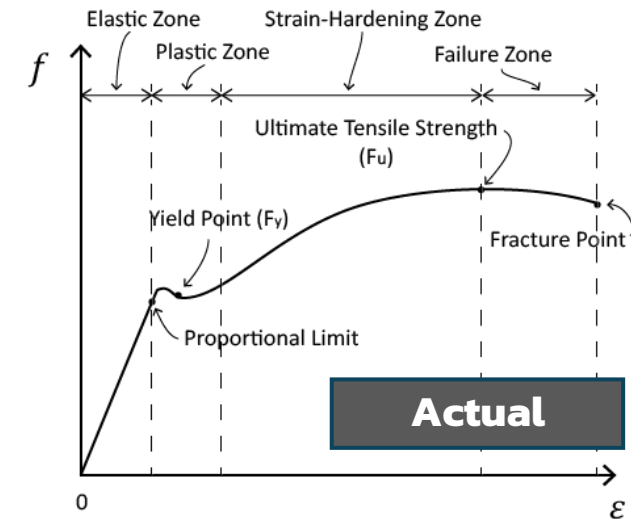
Centroid NA
Bending Theory
Column Theory
Mohr's Circle
Strain Energy



เหล็กเป็นวัสดุเหนียว (Ductile material)

#WeLoveSteelConstruction

- เหล็กต่างจากคอนกรีต ตรงที่เหล็กเป็นวัสดุเหนียว (ductile material)
 - รับแรงดึงได้ดี แต่คอนกรีตรับแรงดึงแทบไม่ได้
 - เมื่อรับแรงดึงยังไม่ถึงจุด yield แรงดึงจะเพิ่ม linearly ตามระยะที่ยืดออก หรือ $E = \text{elastic modulus} = \text{stress/strain} = (P/A)/(\Delta L/L)$ หรือ $E = PL/A\Delta L$ หรือ $P = AE/L * \Delta L$
 - เมื่อรับแรงดึงจนเลยจุด yield จะเกิด strain hardening คือรับแรงดึงได้เพิ่มแต่ไม่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น เรียกพฤติกรรมนี้ว่า strain hardening
 - ในทางการคำนวณ เมื่อเหล็กรับแรงเลยจุด yield จะพิจารณาว่ามีสภาวะ plastic สมบูรณ์คือไม่สามารถรับแรงดึงได้เลย เรียกว่าเป็น elasto-plastic material หรือ elastic-perfectly plastic material



เหล็กเป็นวัสดุเหนียว (Ductile material)

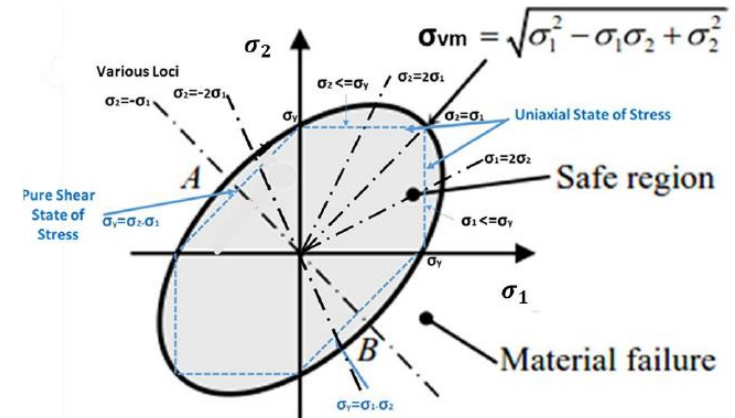
#WeLoveSteelConstruction

- เหล็กต่างจากคอนกรีต ตรงที่เหล็กเป็นวัสดุเหนียว (ductile material)
 - ลักษณะของวัสดุเหนียวอีกประการ ซึ่งเป็นข้อพิจารณาการวิบัติ หรือ yield criterion ในทางทฤษฎี คือ กำลังรับแรงเฉือน มีค่าประมาณ 60% ของกำลังรับแรงดึง หรือ $F_{vy} = 0.6F_y$ และ $F_{vu} = 0.6F_u$
 - สำหรับคอนกรีต จะมีค่า E ที่แปรผันไปตามกำลัง (f'_c) และ concrete unit weight (w_c) โดย E_c = concrete elastic modulus มีค่าเป็นไปตามสมการด้านล่าง

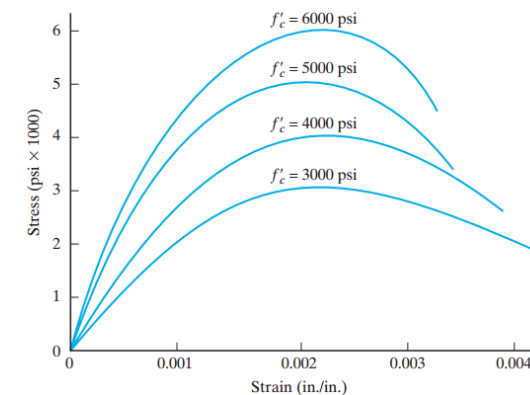
$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ (in MPa)} \quad \text{Equation 1}$$

$$E_c = w_c^{1.5} 33 \sqrt{f'_c} \text{ (in psi)} \quad \text{Equation 2}$$

Ref: ACE 318-14, section 19.2.2



Ref: <https://www.chegg.com/>

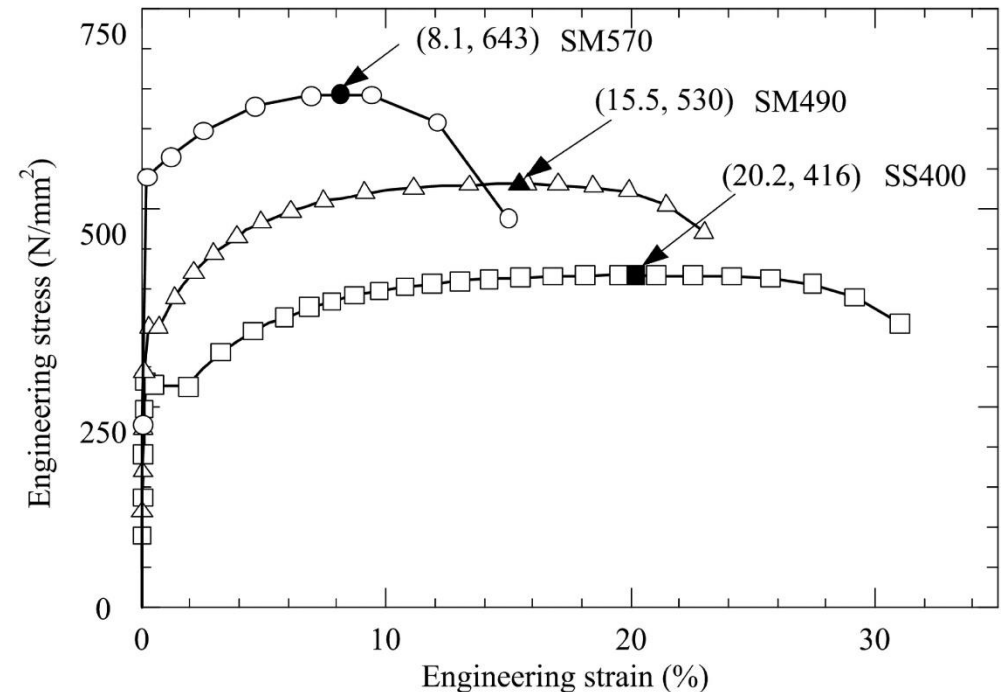


Ref: <https://www.civilengineeringforum.me/>

เหล็กทุกเกรด E คงที่ (strength $\neq$ stiffness)

#WeLoveSteelConstruction

- เหล็กเป็นมีค่า E คงที่ทุกเกรด
 - เกรดเหล็ก มีหลากหลาย เช่น SS400 SM490 SM520 ไปจนถึงกระทั่ง SM570 เกรดเหล็กสะท้อน "กำลัง (strength)" ที่แตกต่างกัน เช่น SS400 มีกำลังรับแรงดัดคราก (yield strength) หรือ $F_y \sim 245$ MPa และกำลังรับแรงดึงที่จุดฉีกขาด (tensile strength) หรือ $F_u \sim 400$ MPa
 - แต่เกรดเหล็กที่ต่างกัน ไม่ทำให้ค่า E (slope ของ stress-strain curve) เปลี่ยนไป ผลการศึกษาพบว่าค่า E เหล็ก คงที่ในทุกเกรด ที่ราว 200,000 MPa (2 ล้าน ksc)
 - ค่า E สะท้อน แรงต่อระยะการเสียรูป ซึ่งสะท้อนค่าสตีฟเนส (stiffness) จึงเป็นที่ชัดเจนว่า strength กับ stiffness นั้นแตกต่างกัน



Ref: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29BE.1943-5592.0000845>

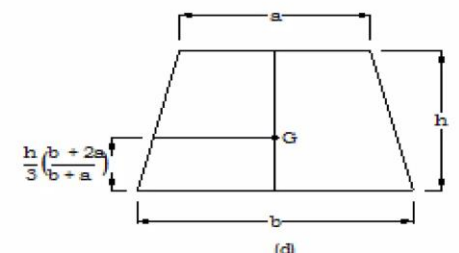
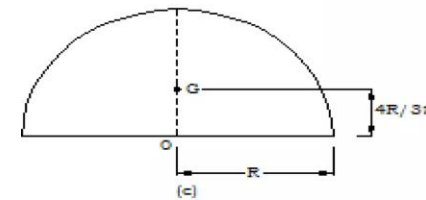
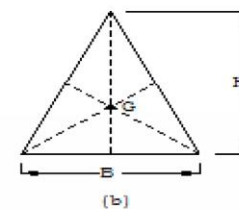
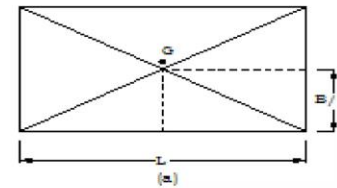
แกนศูนย์กลางและแกนสะเทิน

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อทราบขนาดมิติหน้าตัด (ที่มวลคงที่) เรา สามารถหาจุดศูนย์กลางพื้นที่ได้ จากสมการ $\bar{x} = \frac{\sum(x_i A_i)}{A_{Total}}$ และ $\bar{y} = \frac{\sum(y_i A_i)}{A_T}$ และก็สามารถตั้งแกน x y ได้เรียกว่าแกนศูนย์กลาง หรือ centroidal axis
- แต่แกนสะเทินจะต้องพิจารณา หา “จุดสะเทิน” หรือ neutral แปลว่า ไม่บวก (ไม่ดึง) และ ไม่ลบ (ไม่อัด) กล่าวคือ เมื่อองค์อาคารเกิดการดัดตัว (เช่น คาน) ส่วนหนึ่งของคานจะเกิดแรงอัด อีกส่วนจะเกิดแรงดึง โดยความเค้นอัดและดึง จะเกิดสูงสุดที่จุดบนสุดและล่างสุดของคาน แล้วค่อยๆ ลดลงเป็นศูนย์ที่จุดสะเทิน เรียกแกนนั้นว่าแกนสะเทิน หรือ neutral axis



Centre of Gravity of Plane Figure

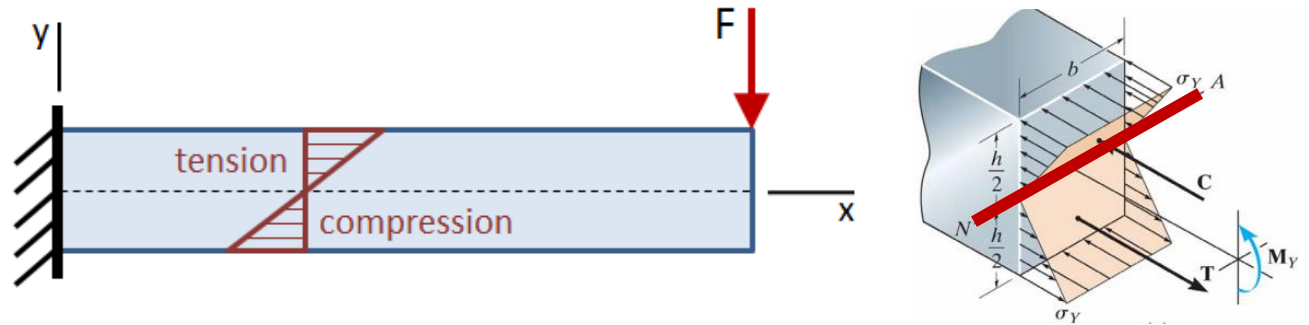


Ref: <https://www.slideshare.net/>

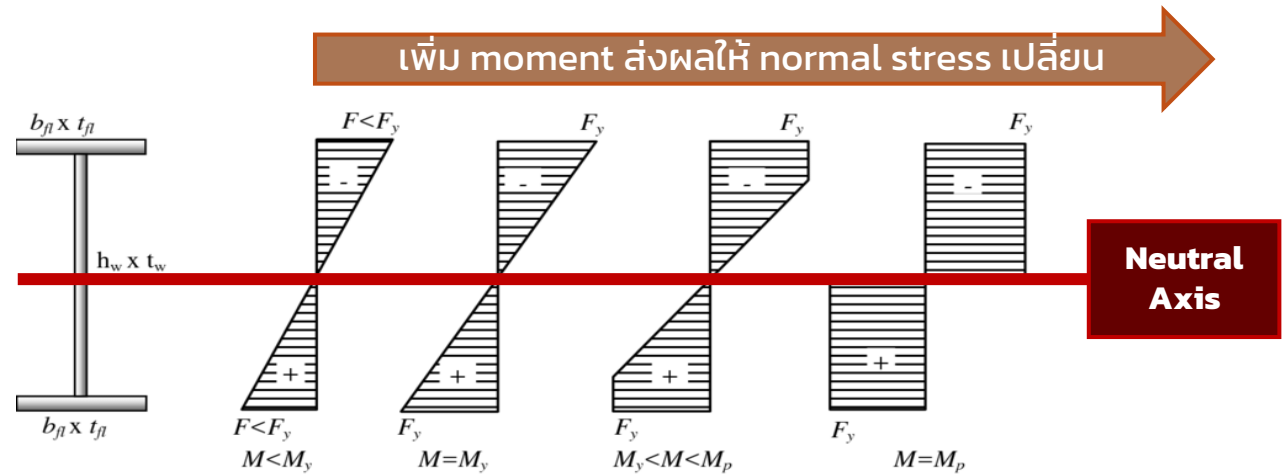
แกนศูนย์กลางและแกนสะเทิน

#WeLoveSteelConstruction

- Centroidal axis จะนำไปใช้ในการหาสมบัติต่าง ๆ ของหน้าตัดเช่น moment of inertia, radius of gyration เป็นต้น
- Neutral axis** จะนำไปใช้ในการพิจารณาหาสมบัติที่หน้าตัดเกิดการดัดตัว (flexure) เช่น section modulus ทั้ง elastic section modulus และ plastic section modulus รวมไปถึง first moment area สำหรับการหาค่า shear stress หรือ shear flow ด้วย



Ref: <https://skill-lync.com/student-projects/comparison-of-bending-in-beams-3>

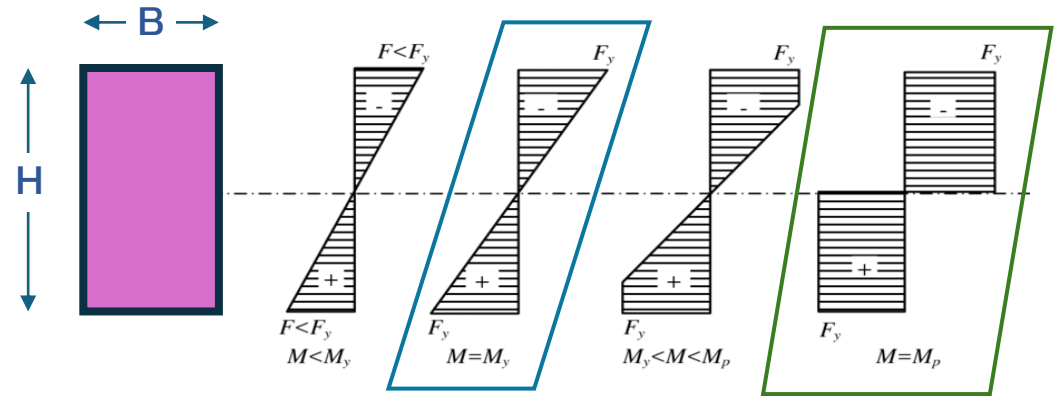


Ref: <https://www.researchgate.net/>

Elastic vs. Plastic section modulus

#WeLoveSteelConstruction

- Section modulus สะท้อน “ความสามารถในการต้านทานการดัดตัวของหน้าตัด”
 - ย้อนไปที่กำลังรับแรงดัดคราก $T_y = F_y \cdot A$ จะเห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงดัดมี 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกมาจากหน้าตัด (A) อีกปัจจัยมาจากวัสดุ (F_y)
 - สำหรับการพิจารณาการดัดตัวก็เช่นเดียวกัน กรณีไม่มีผลจาก destabilization (ส่วนรับแรงอัดเกิดการ buckle) จะได้ว่ากำลังรับโมเมนต์ดัด ขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ หน้าตัดและวัสดุ
 - กำลังรับโมเมนต์ดัด มักพิจารณาที่ 2 ระดับ คือ (1) ระดับ M_y ซึ่งเพิ่งเริ่มเกิด yield ที่จุดแรก หรือหาก moment ยังไม่ถึงจุดนี้ คานจะคงสภาพ elastic ไม่เสียรูปถาวร และ (2) ระดับที่ทุก ๆ จุดของคานเกิดการ yield เรียกว่า plastic moment หรือ M_p



Ref: <https://www.researchgate.net/>

$$M = \text{Force} * \text{Arm} = [F_y(\text{Area})] * \text{Arm}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \left[F_y \left(\frac{1}{2} * B \frac{H}{2} \right) \right] * \frac{2H}{3} \\ &= F_y \left(\frac{BH^2}{6} \right) \\ &= F_y S_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= \left[F_y \left(B \frac{H}{2} \right) \right] * \frac{H}{2} \\ &= F_y \left(\frac{BH^2}{4} \right) \\ &= F_y Z_x \end{aligned}$$

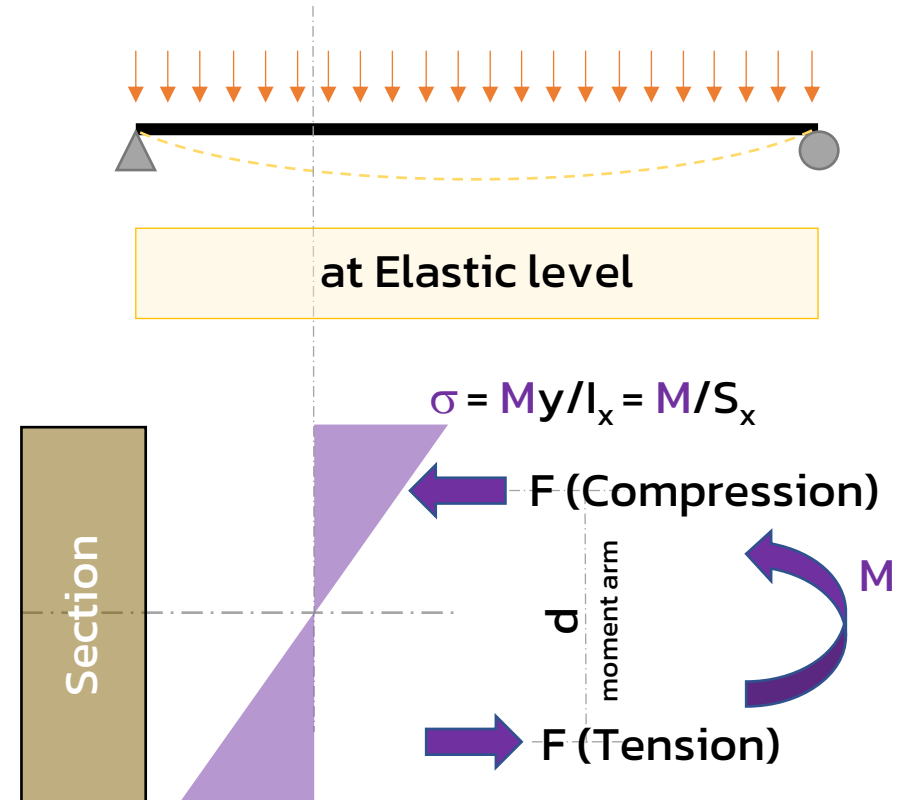
Modulus of Section ใน มอก.

#WeLoveSteelConstruction

- กำหนดด้วยสัญลักษณ์ Z_x, Z_y
- ค่าที่แสดงมี อาจคำนวณได้จาก
 - $Z_x = I_x / (H/2)$
 - เช่น H 100x50
 - $Z_x = 187 \text{ cm}^4 / [(10 \text{ cm})/2] = 37.4 \sim 37.5$

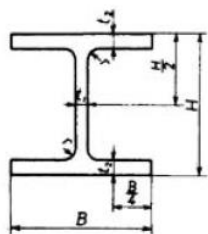
ขนาด mm	ความหนา mm	รัศมีส่วน โค้ง mm	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	มวลต่อ เมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴	รัศมีไจเรชั่น cm	มวลตุลย์ภาคตัด cm ³
H x B	t ₁	t ₂	r	a	I _x	I _y	i _x i _y Z _x Z _y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.9 3.98 1.12 37.5 5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	4.18 2.47 76.5 26.7

- $Z_y = I_y / (H/2)$

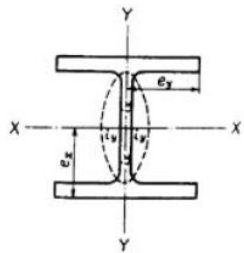


ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กตัวเอช

(ข้อ 4.1)



โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$
 รัศมีจอร์ชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$
 มอดูลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$
 $Z_y = \frac{I_y}{B - B/2}$



ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีจอร์ชัน		มอดูลัสภาคตัด	
mm	mm		mm	cm ²	kg/m	cm ⁴		cm		cm ³	
H x B	t ₁	t ₂	r	a		I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
125 x 60	6	8	9	16.84	13.2	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
125 x 125	6.5	9	10	30.31	23.8	847	293	5.29	3.11	136	47.0
148 x 100	6	9	11	26.84	21.1	1 020	151	6.17	2.37	135	30.1
150 x 75	5	7	8	17.85	14.0	666	49.5	6.11	1.66	98.8	13.2
150 x 150	7	10	11	40.14	31.5	1 640	563	6.39	3.75	219	75.1
175 x 90	5	8	9	23.04	18.1	1 210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
175 x 175	7.5	11	12	51.21	40.2	2 880	984	7.50	4.38	330	112
194 x 150	6	9	13	39.01	30.6	2 690	507	8.30	3.61	277	67.8
198 x 99	4.5	7	11	23.18	18.2	1 580	114	8.26	2.21	160	23.0
200 x 100	5.5	8	11	27.16	21.3	1 840	134	8.24	2.22	184	26.8
200 x 200	8	12	13	63.53	49.9	4 720	1 600	8.62	5.02	472	160
200 x 204	12	12	13	71.53	56.2	4 980	1 700	8.35	4.88	498	167
208 x 202	10	16	13	83.69	65.7	6 530	2 200	8.83	5.13	626	218
244 x 175	7	11	16	56.24	44.1	6 120	994	10.4	4.18	502	113
244 x 252	11	11	16	82.06	64.4	8 790	2 940	10.3	5.98	720	233
248 x 124	5	8	12	32.68	25.7	3 540	255	10.4	2.79	285	41.1
248 x 249	8	13	16	84.70	66.5	9 930	3 350	10.2	6.29	801	269
250 x 125	6	9	12	37.66	29.6	4 050	294	10.4	2.79	324	47.0
250 x 250	9	14	16	92.18	72.4	10 800	3 650	10.9	6.29	867	292
250 x 255	14	14	16	104.7	82.2	11 500	3 880	10.5	6.09	919	304

คู่มือการออกแบบอาคารเหล็ก
โครงสร้างรูปพรรณกรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย S_x โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกรอบแกน x (มิลลิเมตร³) S_y โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกรอบแกน y สำหรับหน้าตัดรูปร่างน้ำให้ใช้ค่าโมดูลัสหน้าตัดที่น้อยสุด (มิลลิเมตร³) Z_x โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกน x (มิลลิเมตร³) Z_y โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกน y (มิลลิเมตร³)

บทที่ 5

การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด

5.2.1 การคราก

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (10)$$

โดย F_y = หน่วยแรงครากต่ำสุดที่กำหนดตามชนิดของเหล็กที่ใช้ (เมกะปาสคาล) Z_x = โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกน x (มิลลิเมตร³)

5.2.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ก) เมื่อ $L_b \leq L_p$ ไม่ต้องพิจารณาภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิดข) เมื่อ $L_p < L_b \leq L_r$

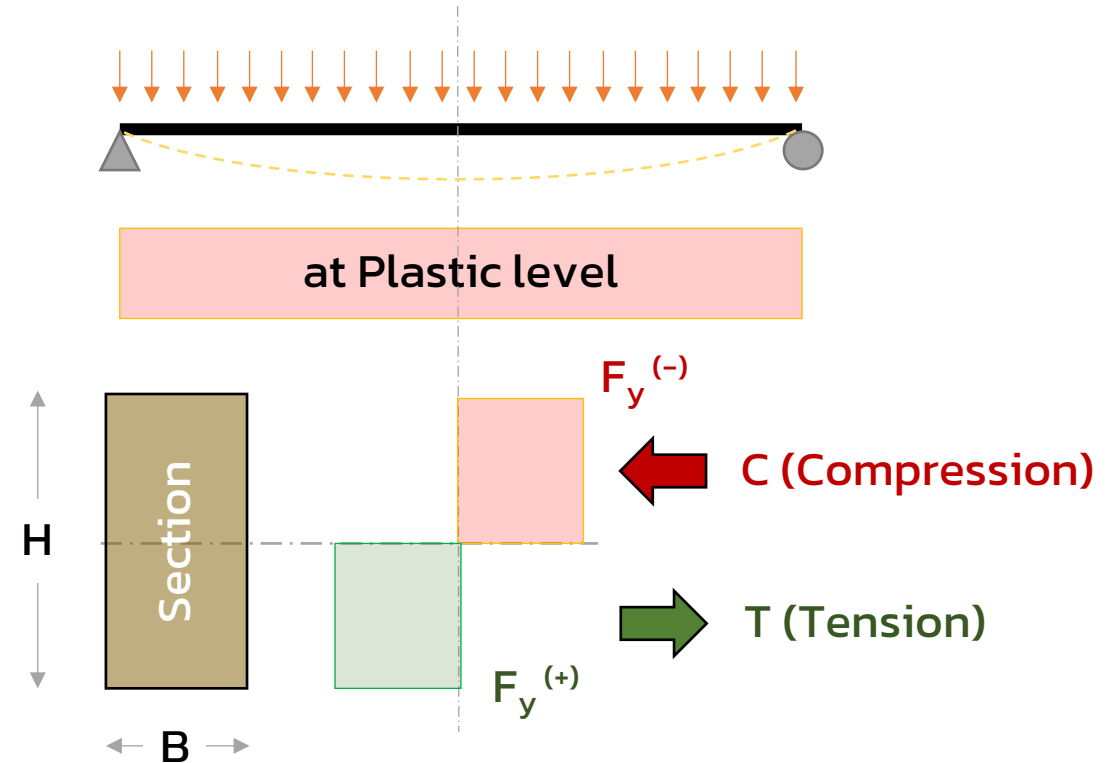
$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (11)$$

ค่า $Z_x Z_y$ ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1227 กับ ค่า $Z_x Z_y$ ตาม คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย หรือ มยผ. **เป็นคนละค่ากัน**ค่า $Z_x Z_y$ ตาม มอก. เป็นค่า "Elastic Section Modulus" ที่กำกับด้วยค่า $S_x S_y$ ตาม มยผ. โดยการคำนวณค่า $Z_x Z_y$ ที่เป็น plastic section modulus ในตารางเหล็ก ใน มอก. ไม่ได้แสดงเอาไว้ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนวณเอง

การคำนวณ Plastic section modulus

#WeLoveSteelConstruction

- ค่า Plastic section modulus ในมาตรฐาน วสท. หรือ มยพ. ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงตาม มาตรฐานอเมริกัน AISC กำหนดด้วย สัญลักษณ์ Z_x, Z_y
- ตารางเหล็ก มอก. หรือ ตารางเหล็กของผู้ผลิตเหล็กรูปพรรณ มักไม่แสดงค่า Plastic section modulus นี้ ผู้ออกแบบจึงต้องคำนวณเอง
- หลักการพิจารณา เป็นไปตาม สมดุลของแรง ที่หน้าตัด $\Sigma(\text{Force}) = 0$ และ $\Sigma(\text{Moment}) = 0$ โดย $\text{Force} = \text{stress} * A$



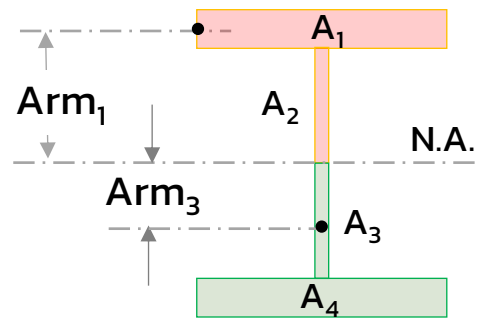
$$\text{Moment} = C \text{ (or } T) * (\text{Arm} = H/2)$$

$$\text{Force} = \text{stress} * A = F_y^{(-)} \text{ (or } F_y^{(+)}) * (\text{Area})$$

$$\text{Moment} = F_y * (\text{Area} * \text{Arm}) = F_y * Z_x$$

การคำนวณ Plastic section modulus

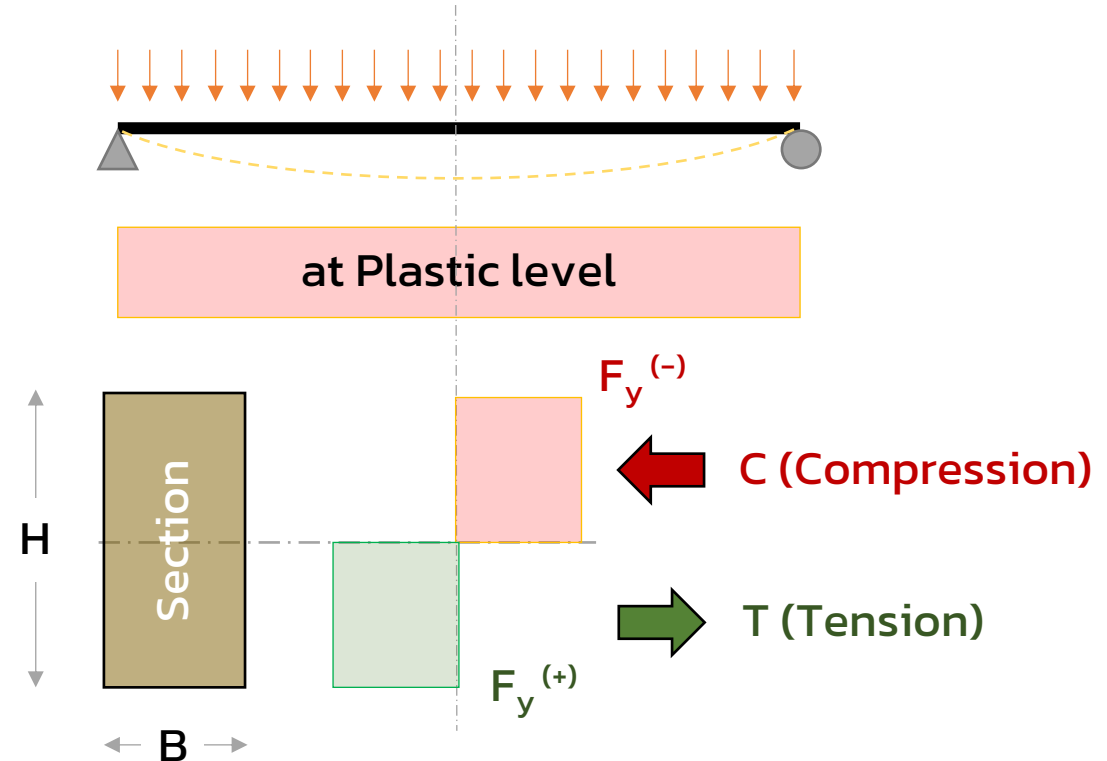
#WeLoveSteelConstruction



$$M_p = F_y * A_1 * Arm_1 + F_y * A_2 * Arm_2 + F_y * A_3 * Arm_3 + F_y * A_4 * Arm_4$$
$$= F_y * \Sigma (\text{Area} * \text{Arm}) = F_y * Z_x$$

หน้าตัดสมมาตร $A_1 = A_4$ และ $A_2 = A_3$

- ดังนั้น สำหรับ H-beam ทั่วไป ที่ F_y เท่ากันทั้งหน้าตัดสามารถหา Plastic section modulus ได้จาก การหา ผลรวมของพื้นที่คูณกับระยะห่างจากศูนย์กลางพื้นที่ถึงแกนสะเทิน (NA)
- แต่หากเป็น section ที่ประกอบขึ้นจาก plate ที่ F_y ไม่เท่ากัน ต้องพิจารณาสมดุลของแรง และ สมดุลของโมเมนต์ตามจริง



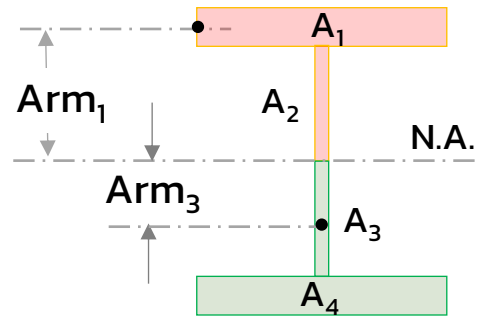
$$\text{Moment} = C \text{ (or } T) * (\text{Arm} = H/2)$$

$$\text{Force} = \text{stress} * A = F_y^{(-)} \text{ (or } F_y^{(+)}) * (\text{Area})$$

$$\text{Moment} = M_p = F_y * (\text{Area} * \text{Arm}) = F_y * Z_x$$

การคำนวณ Plastic section modulus

#WeLoveSteelConstruction



$$M_p = F_y \cdot A_1 \cdot \text{Arm}_1 + F_y \cdot A_2 \cdot \text{Arm}_2 + F_y \cdot A_3 \cdot \text{Arm}_3 + F_y \cdot A_4 \cdot \text{Arm}_4$$

$$= F_y \cdot \Sigma (\text{Area} \cdot \text{Arm}) = F_y \cdot Z_x$$

หน้าตัดสมมาตร $A_1 = A_4$ และ $A_2 = A_3$

หน้าตัดสมมาตร NA อยู่ที่กึ่งกลางความลึกคาน

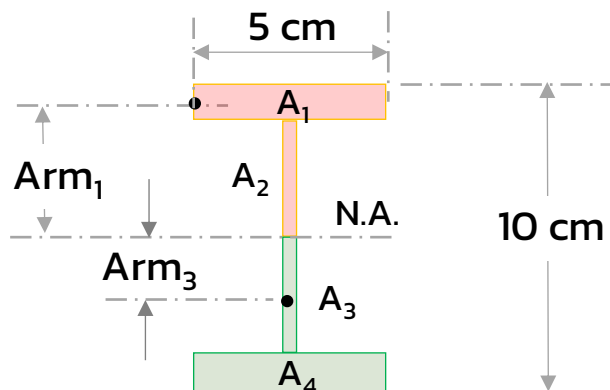
$$A_1 = 5 \cdot 0.7 = 3.5 \text{ cm}^2 = A_4$$

$$A_2 = (10 - 2 \cdot 0.7) / 2 \cdot 0.5 = 2.15 \text{ cm}^2 = A_3$$

$$\text{Arm}_1 = (10/2 - 0.7/2) = 4.65 \text{ cm} = \text{Arm}_4$$

$$\text{Arm}_2 = [(10 - 2 \cdot 0.7) / 2] / 2 = 2.15 \text{ cm} = \text{Arm}_3$$

- ตัวอย่าง 1: H 100 x 50 ($t_f = 7 \text{ mm}$ $t_w = 5 \text{ mm}$)



$$Z_x = \Sigma (\text{Area} \cdot \text{Arm}) = 2 \cdot (A_1 \cdot \text{Arm}_1 + A_2 \cdot \text{Arm}_2)$$

$$= 2 \cdot (3.5 \cdot 4.65 + 2.15 \cdot 2.15)$$

$$= 2 \cdot (16.275 + 4.6225) = 41.8 \text{ cm}^3$$

ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีจายเรชั่น		มอดุลัสภาคตัด	
mm	mm		mm	cm ²	kg/m	cm ⁴		cm		cm ³	
H x B	t ₁	t ₂	r	a		I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.9	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7

เทียบกับ $S_x = 37.5 \text{ cm}^3$

การคำนวณ Plastic section modulus

#WeLoveSteelConstruction

< Calculation	
Full Report	Export
Material Properties	
Section Properties	
A_s	11.3 cm ²
a_w	1.23
K_c	0.76
Z_x	41.8 cm ³
S_x	35.63 cm ³
I_y	14.67 cm ⁴
I_{yc}	7.29 cm ⁴
J	1.53 cm ⁴
I_x	178.15 cm ⁴
h_0	9.3 cm
r_x	3.97 cm
y	5 cm
h	8.6 cm
r_t	1.32 cm

< Calculation	
Full Report	SSI Steel Design Mobile App Check
Material Section	
b_f	5 cm
t_f	0.7 cm
H	10 cm
t_w	0.5 cm
ตัวอย่าง: H 100 x 50 ($t_f = 7 \text{ mm}$ $t_w = 5 \text{ mm}$)	

หน้าตัดสมมาตร NA อยู่กึ่งกลางความลึกคาน

$$A_1 = 5 * 0.7 = 3.5 \text{ cm}^2 = A_4$$

$$A_2 = (10 - 2*0.7)/2 * 0.5 = 2.15 \text{ cm}^2 = A_3$$

$$\text{Arm}_1 = (10/2 - 0.7/2) = 4.65 \text{ cm} = \text{Arm}_4$$

$$\text{Arm}_2 = [(10 - 2*0.7)/2]/2 = 2.15 \text{ cm} = \text{Arm}_3$$

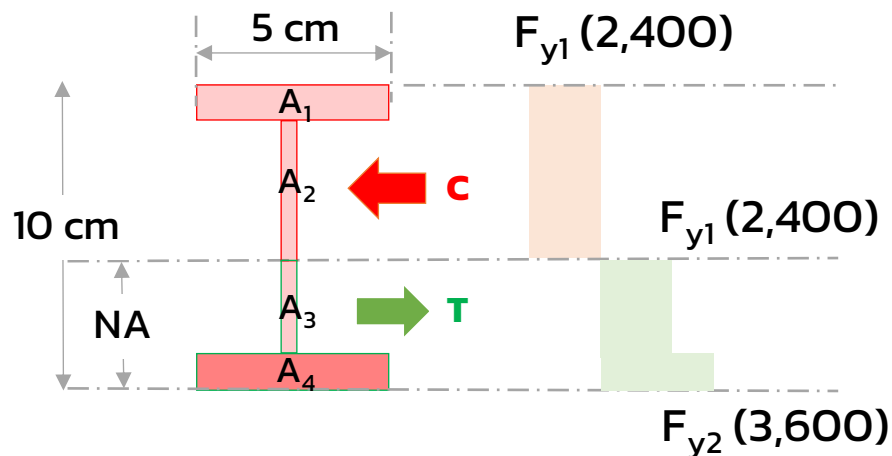
$$Z_x = \sum (\text{Area} * \text{Arm}) = 2*(A_1 * \text{Arm}_1 + A_2 * \text{Arm}_2) \\ = 2*(3.5*4.65 + 2.15*2.15) \\ = 2*(16.275 + 4.6225) = 41.8 \text{ cm}^3$$

ขนาด	ความหนา	รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย	รัศมีจายเรชั่น	มวลตุลย์ภาคตัด
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³
H x B	t ₁	t ₂	r	a	I _x	I _y	i _x i _y Z _x Z _y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.9 3.98 1.12 37.5 5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134 4.18 2.47 76.5 26.7

เทียบกับ $S_x = 37.5 \text{ cm}^3$

การคำนวณ Plastic section modulus

#WeLoveSteelConstruction



- ตัวอย่าง 2: H 100 x 50
($t_f = 7 \text{ mm}$ $t_w = 5 \text{ mm}$)
- Top flange และ Web:
 F_y 2,400 ksc
- Bottom flange:
 F_y 3,600 ksc

คำนวณหาตำแหน่งแกนสะเทิน (Neutral Axis, NA) จากสมมูลของแรง

$$\Sigma \text{ Force} = 0;$$

$$C = T:$$

$$A_1 F_{y1} + A_2 F_{y1} = A_3 F_{y1} + A_4 F_{y2}$$

$$(5 \cdot 0.7)(2,400) + (10 - NA - 0.7)(2,400) \cdot 0.5 = (NA - 0.7)(2,400) + (5 \cdot 0.7)(3,600)$$

$$3.5(2) + (9.4 - NA)(2) \cdot 0.5 = (NA - 0.7)(2) + 3.5(3)$$

$$-3.5 + 9.4 + 0.7 = 4NA$$

$$NA = 3.3 \text{ cm}$$

คำนวณหา Plastic moment (M_p) ของหน้าตัด (ทุกจุดเกิดการคราก $\sigma = F_y$)

$$M_p = A_1 F_{y1} (\text{Arm}_1) + A_2 F_{y1} (\text{Arm}_2) + A_3 F_{y1} (\text{Arm}_3) + A_4 F_{y2} (\text{Arm}_4), F_{y2} = 1.5 F_{y1}$$

$$= 3.5(10 - 3.3 - 0.7/2) F_{y1} + [0.5(10 - 3.3 - 0.7)] (10 - 3.3 - 0.7)/2 F_{y1} +$$

$$[0.5(3.3 - 0.7)] (3.3 - 0.7)/2 F_{y1} + 3.5(3.3 - 0.7/2) \cdot 1.5 F_{y1}$$

$$= 22.225 F_{y1} + 9 F_{y1} + 1.69 F_{y1} + 15.4875 F_{y1}$$

$$= 48.4 F_{y1}$$

Plastic section modulus $Z_x \sim 48.4 \text{ cm}^3$ (เดิม 41.8) จาก $F_{y, \text{bottom flange}}$ ที่มากขึ้น



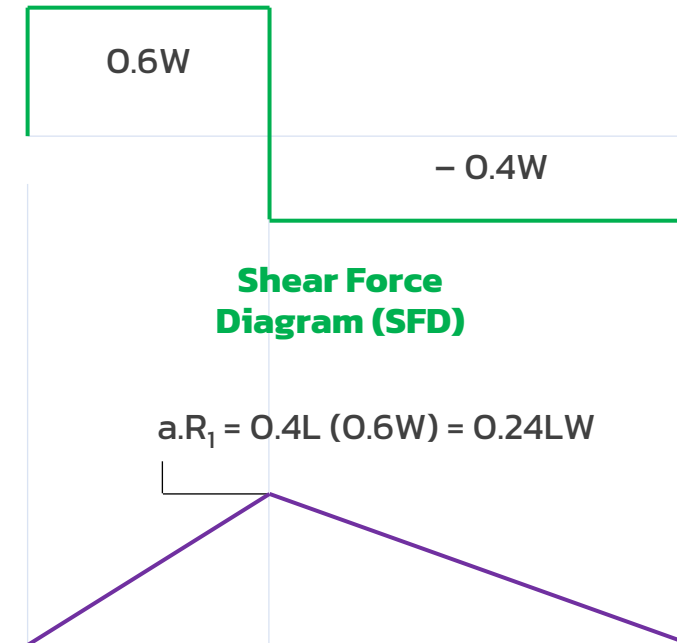
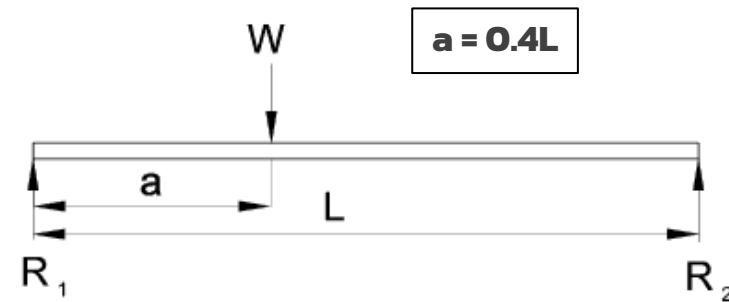
เมื่อคานรับแรง

#WeLoveSteelConstruction

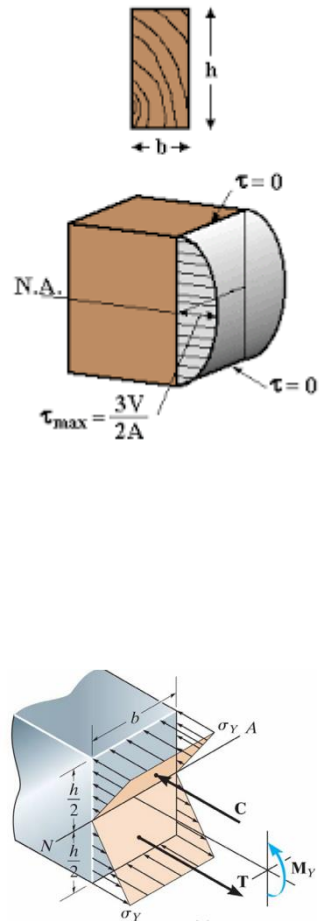
เมื่อคานรับแรง

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อคานรับแรงภายนอกที่มีกระทำตั้งฉากกับหน้าตัด เรียกว่า transverse load คานจะเกิดการแอ่นตัว วิศวกรสามารถคำนวณหาแรงภายในที่กระทำกับคาน โดยแสดงออกมาเป็น diagram ที่เรียกว่า Shear Force Diagram (SFD) แสดงขนาดและทิศทางของ แรงเฉือน และ Bending Moment Diagram (BMD) แสดงขนาดและทิศทางของ โมเมนต์ดัด
- แรงเฉือน จะส่งผลโดยตรงต่อความเค้นเฉือน (shear stress) และ โมเมนต์ดัดจะส่งผลโดยตรงต่อความเค้นตั้งฉาก (normal stress) โดย normal stress นี้จะส่งผลต่อ "เสถียรภาพของคานโดยรวม และ element ต่าง ๆ ของคาน"



Bending Moment Diagram (BMD)

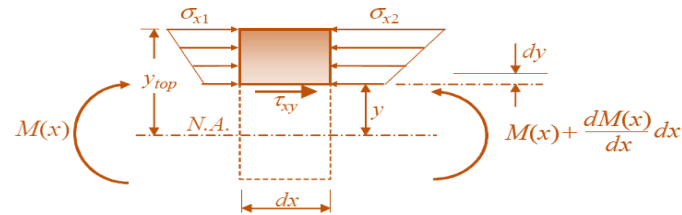
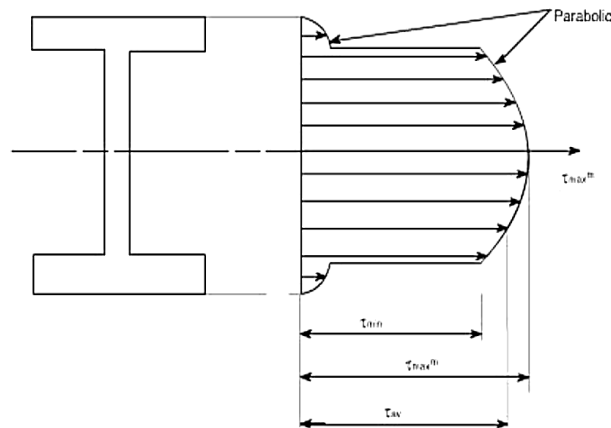


Shear stress & Shear flow in beams

#WeLoveSteelConstruction

SHEAR STRESS

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$



ผลรวมของแรงในแนวแกน $x = 0$

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0 = \int_y^{y_{top}} \sigma_{x1} t(y) dy - \int_y^{y_{top}} \sigma_{x2} t(y) dy + \tau_{xy} t(y) dx = 0$$

จัดฟอร์มสมการใหม่ โดยแทนค่า $\sigma_{\text{ที่ระยะ } x} = M(x) \cdot y / I_x$

$$\int_y^{y_{top}} \frac{M(x)y}{I} t(y) dy - \int_y^{y_{top}} \frac{(M(x) + dM(x))y}{I} t(y) dy + \tau_{xy} t(y) dx = 0$$

จัดฟอร์มสมการใหม่ โดยหารค่าทั้งหมดด้วย dx และ $t(y)$

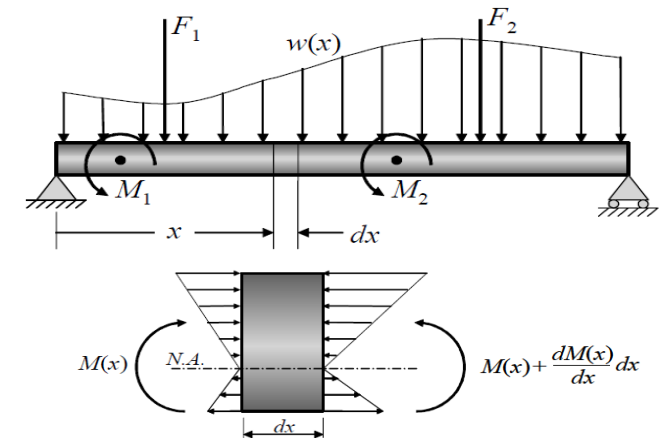
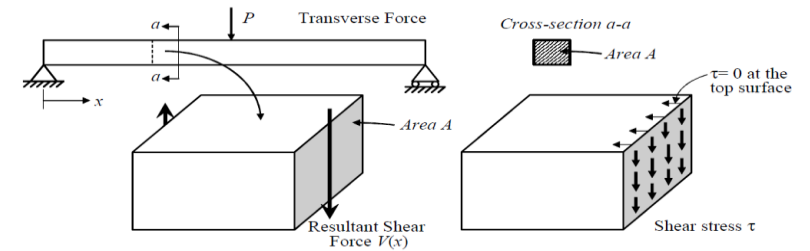
$$\tau_{xy} = \frac{dM(x)}{dx} \frac{1}{It(y)} \int_y^{y_{top}} yt(y) dy$$

แต่ $V(x) = dM(x)/dx$ จัดฟอร์มใหม่จะได้

$$\tau_{xy} = \frac{V(x)}{It(y)} \int_y^{y_{top}} yt(y) dy = \frac{V(x)Q(y)}{It(y)} = \frac{VQ}{It}$$

โดยที่ $Q(y) = \int_y^{y_{top}} yt(y) dy = \bar{y}'A'$

A' เป็นพื้นที่ที่พิจารณา และ y' เป็นระยะจาก centroid ของ A' ไปยัง N.A. ของ cross section



$$AB = R \cdot \theta$$

$$CD = (R + y) \cdot \theta$$

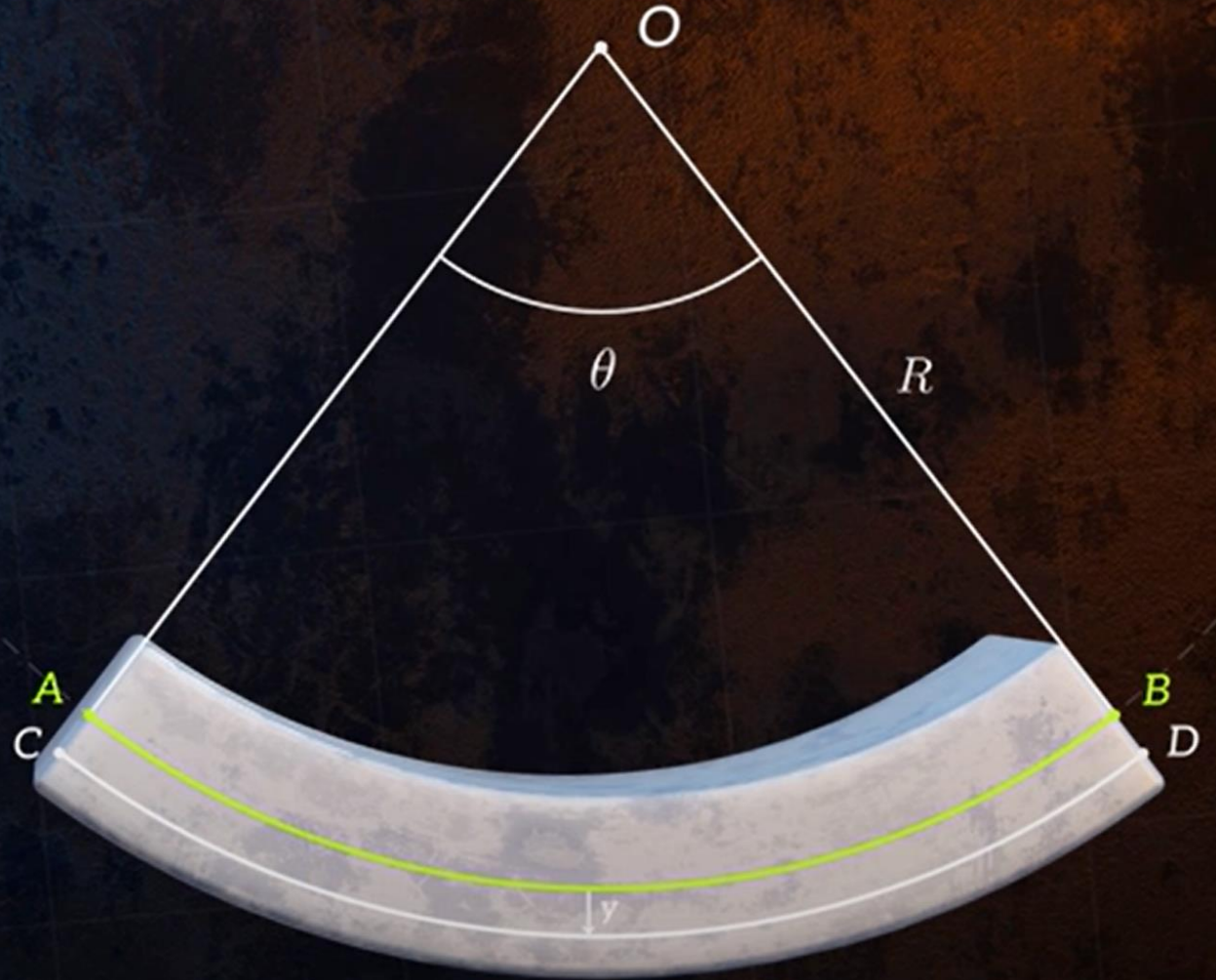
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(R + y) \cdot \theta - R \cdot \theta}{R \cdot \theta}$$

BENDING STRAIN

$$\varepsilon = \frac{y}{R}$$

BENDING STRESS

$$\sigma = \frac{E y}{R}$$



BENDING STRESS

$$\sigma = \frac{E y}{R}$$

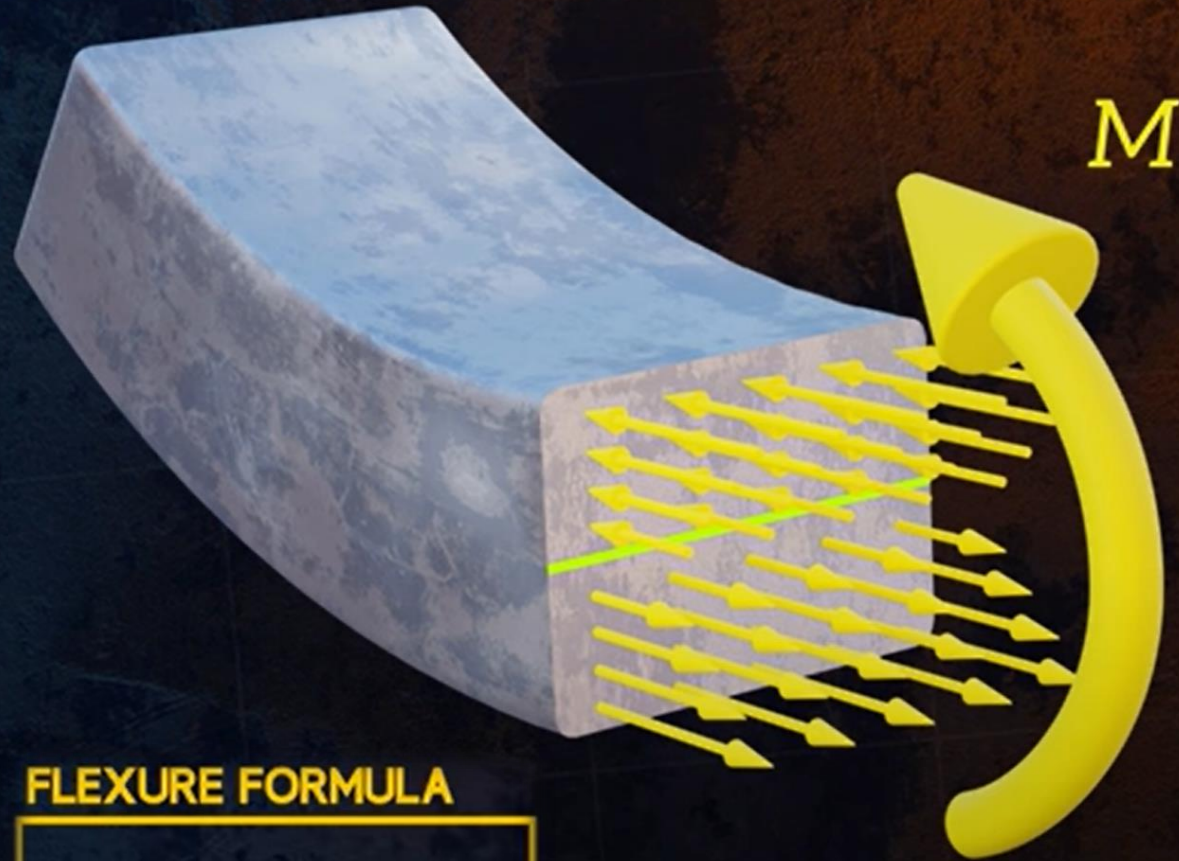
$$M = \int_A \sigma y dA$$

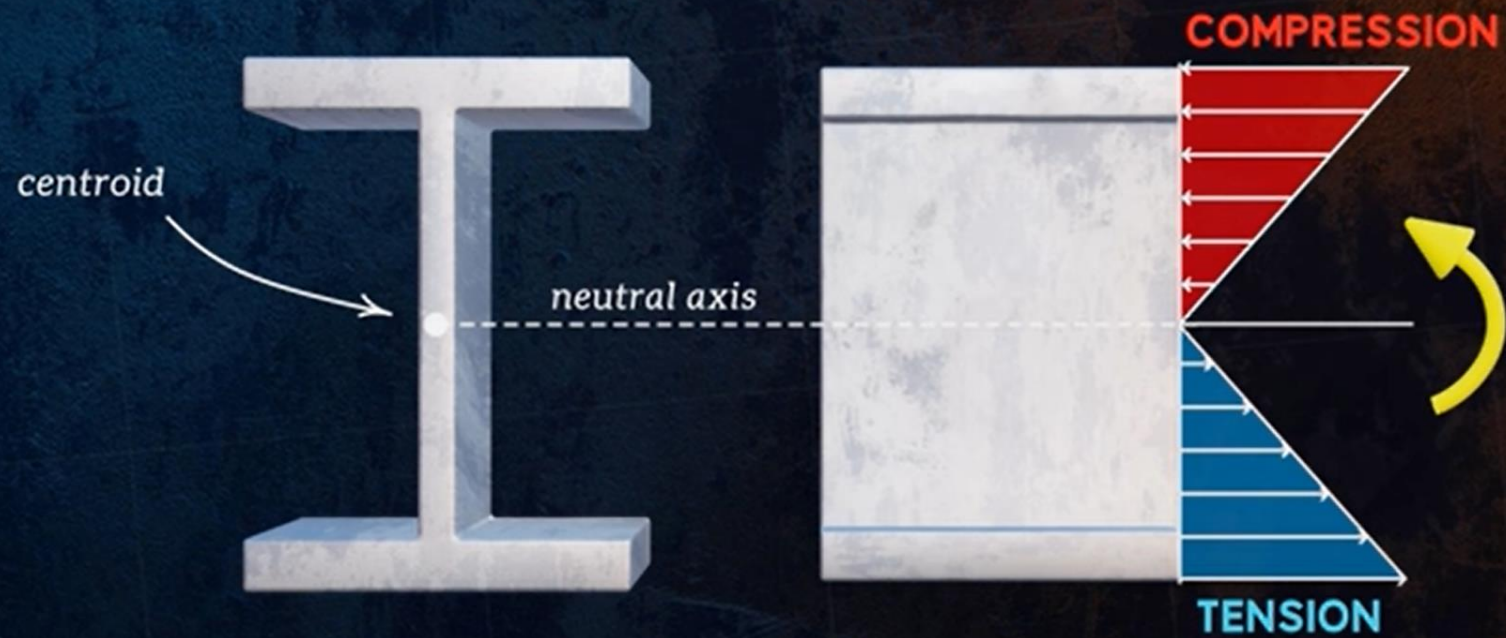
$$= \frac{E}{R} \underbrace{\int_A y^2 dA}$$

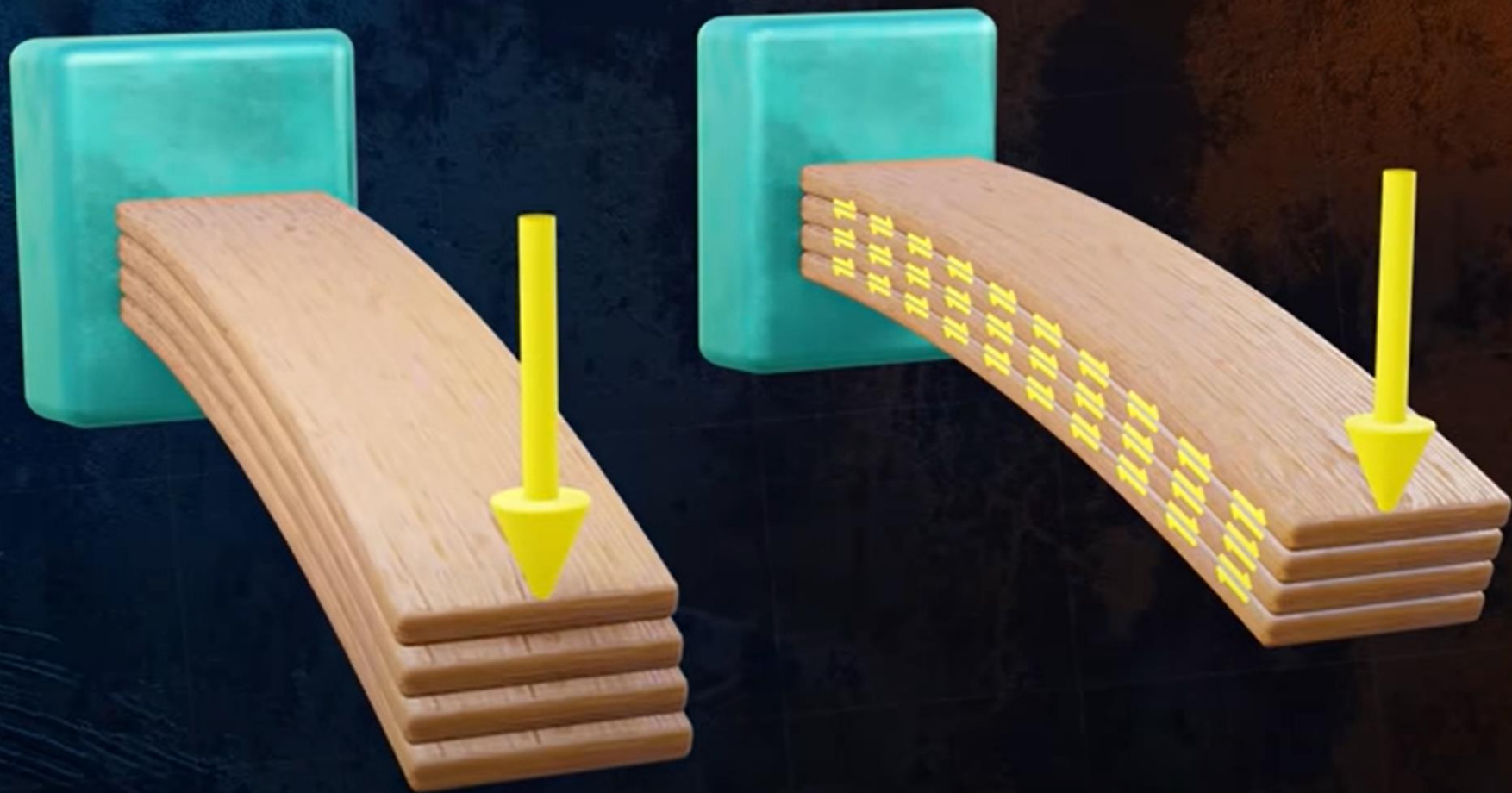
area moment of inertia I

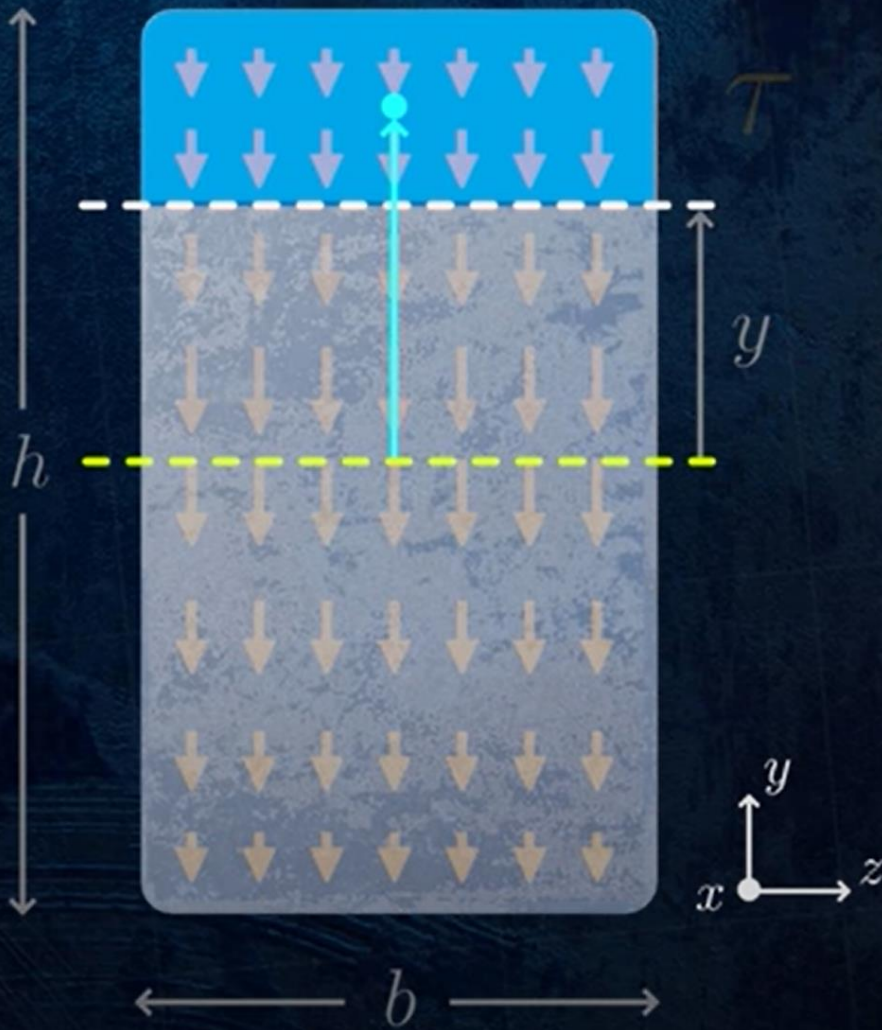
FLEXURE FORMULA

$$\sigma = \frac{M y}{I}$$







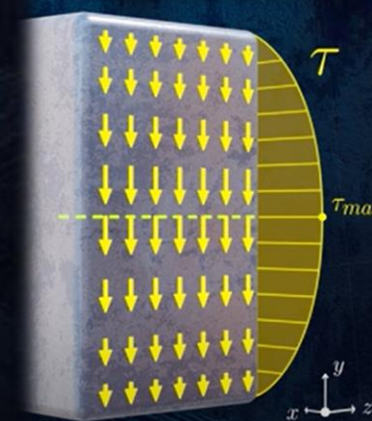


SHEAR STRESS

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

first moment of area

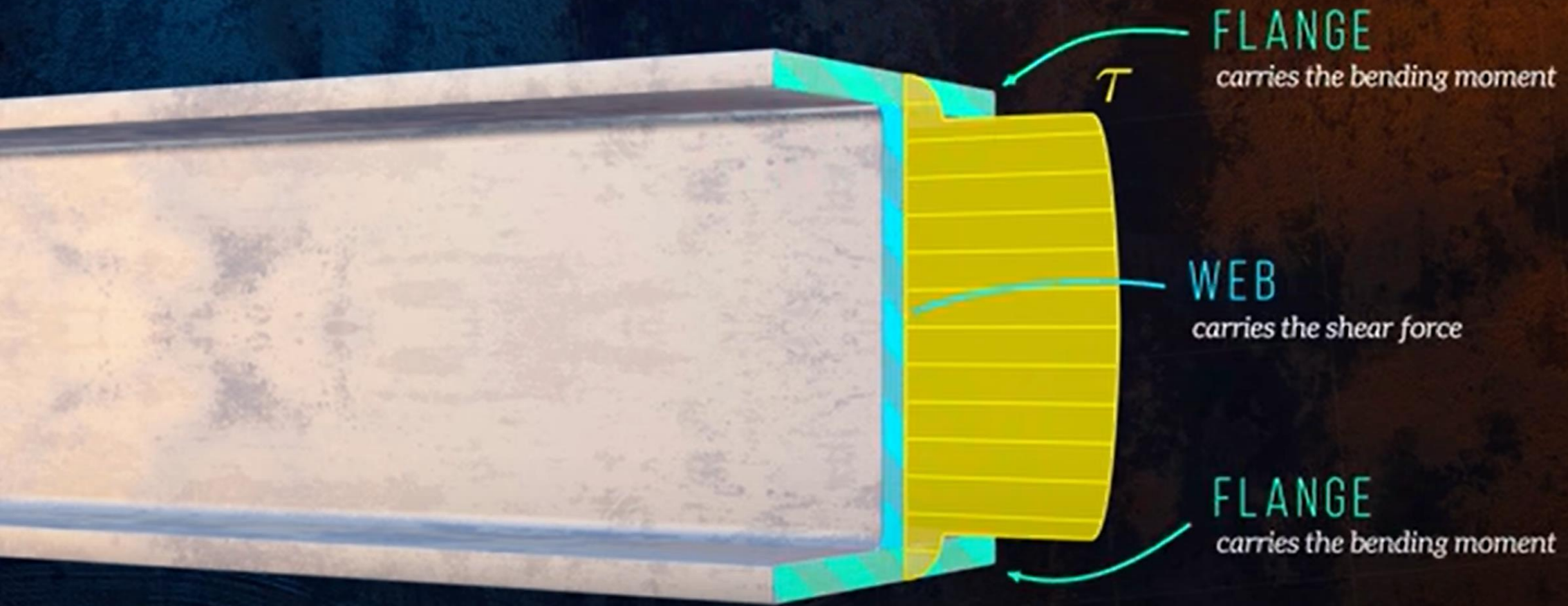
$$Q = b \left(\frac{h}{2} - y \right) \cdot \left(y + \frac{\frac{h}{2} - y}{2} \right)$$



SHEAR STRESS

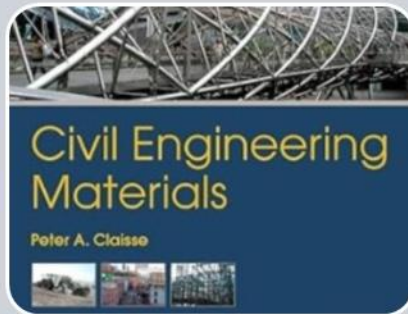
$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau = \frac{V}{2I} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$



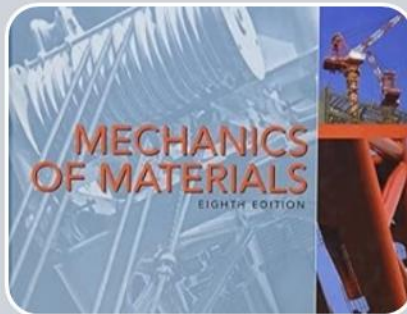
Structural Steel Fundamentals

#WeLoveSteelConstruction



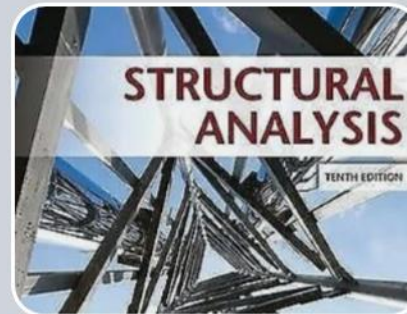
Engineering Materials

Phase Diagram
Stress-Strain
Fatigue Fracture
Cement Concrete
Timber



Mechanics of Materials

Centroid NA
Bending Theory
Column Theory
Mohr's Circle
Strain Energy



Structural Analysis

Load
Determinate
Indeterminate
Slope Deflection
Stiffness Matrix

Beam Stiffness

#WeLoveSteelConstruction

All about TRUSS (with trust)

#WeLoveSteelConstruction

Column Theory

#WeLoveSteelConstruction

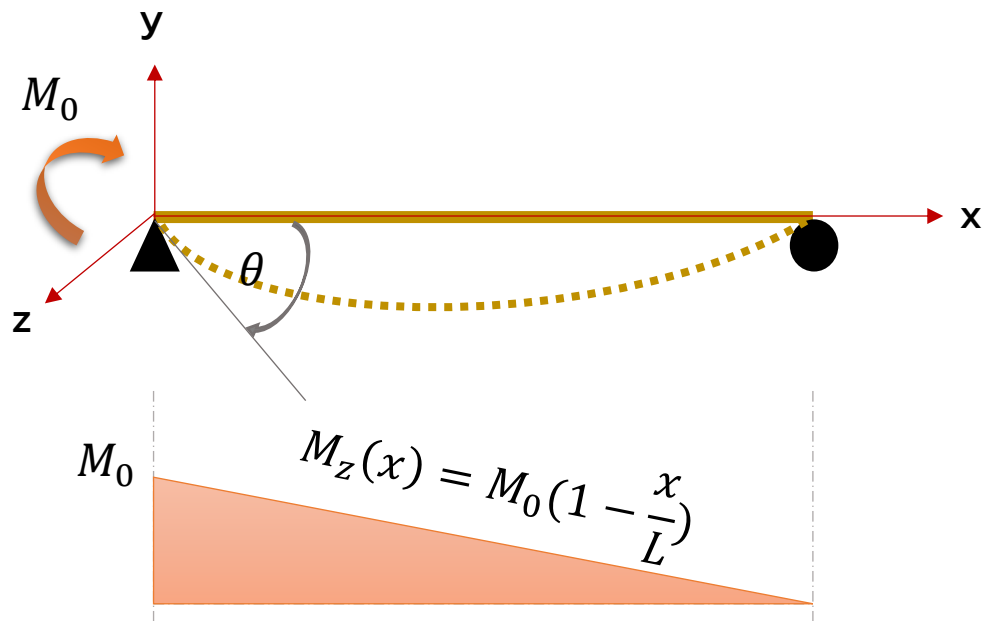
Beam Stiffness

#WeLoveSteelConstruction

- โดยทั่วไป Stiffness หมายถึงความสามารถในการต้านทานการเสียรูปหน่วย คือ แรง (Force หรือ Moment) ต่อระยะการเสียรูป (Displacement หรือ Rotation)
- Beam Stiffness จึงอาจหมายความว่า แรงที่ apply เพื่อให้เกิด deflection 1 หน่วย หรือ moment ที่ apply เพื่อให้เกิด rotation 1 หน่วย (radian)
- การพิจารณา Stiffness โดยทั่วไป จึงมักพิจารณาในช่วง elastic เพราะความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการเสียรูป เป็นแบบเชิงเส้น
- โดยทั่วไปแล้ว Beam Stiffness หาได้จากสมการ $M(x) = EI_z \cdot d^2y/dx^2$ โดย แรงหรือ Moment = $M(x)$ การเสียรูป = d^2y/dx^2 ดังนั้น EI_z = Beam stiffness
- อาจกล่าวได้ว่า โดยรวมๆ แล้วความสามารถในการต้านทานการเสียรูปของคานเหล็ก ขึ้นกับ E = Elastic modulus = 2,000,000 ksc และ I_z = Moment of inertia รอบแกนที่เกิดการดัดตัว (แกน z) หรือ Beam stiffness ไม่ขึ้นกับ F_y หรือ เกรดวัสดุ

การคำนวณ Beam Stiffness - 1

#WeLoveSteelConstruction

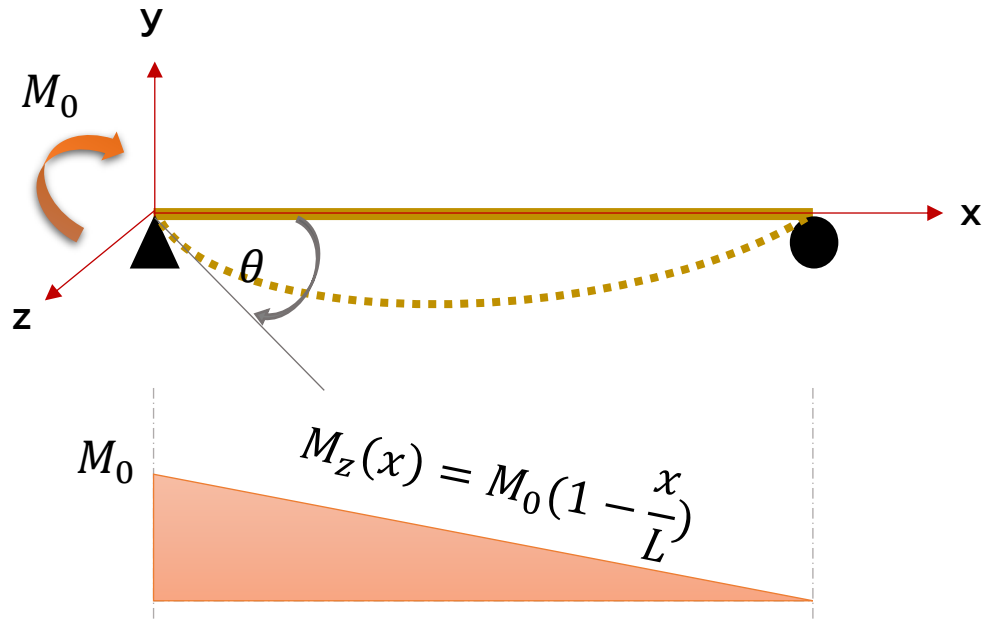


- ยกตัวอย่างเช่น simple beam มี moment กระทำที่ support ด้านหนึ่ง ต้องการหา Beam stiffness นี้
- Beam stiffness ของคานตัวหนึ่ง ขึ้นกับลักษณะและรูปแบบของแรงที่กระทำ เช่น จากตัวอย่าง ต้องการหา Beam stiffness นี้ หมายถึง ความสามารถในการต้านทาน End moment ต่อ End rotation 1 radian
- วิธีการหา Beam stiffness เริ่มจาก การหา Moment equation, $M(x) = M_0(1 - x/L)$

$$M_z(x) = M_0 \left(1 - \frac{x}{L}\right) = EI_z \frac{d^2 y(x)}{dx^2}$$

การคำนวณ Beam Stiffness - 1

#WeLoveSteelConstruction



- เป้าหมายคือ การหา $\theta(x)$ ที่ $x = 0$

$$\iint M_0 \left(1 - \frac{x}{L}\right) dx = EI_z y(x)$$

$$\frac{M_0 x^2}{2} - \frac{M_0 x^3}{6L} + C_1 x + C_2 = EI_z y(x)$$

$$x = 0, y = 0$$

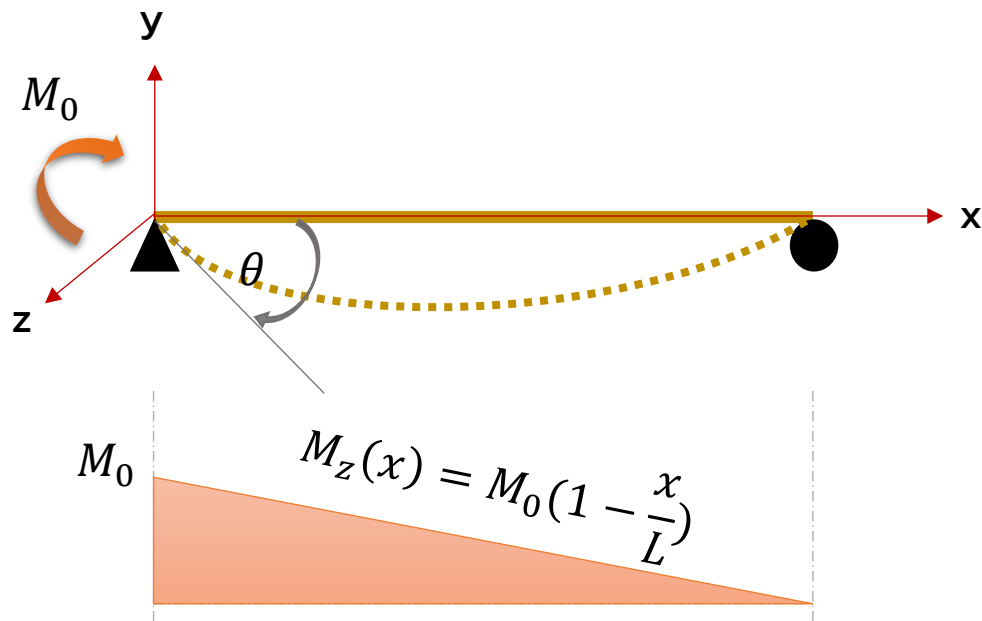
$$C_2 = 0$$

$$x = L, y = 0$$

$$\frac{M_0 L^2}{2} - \frac{M_0 L^3}{6L} + C_1 L = 0 \quad C_1 = -\frac{M_0 L}{3}$$

การคำนวณ Beam Stiffness - 1

#WeLoveSteelConstruction



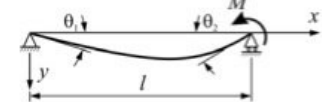
- เป้าหมายคือ การหา $\theta(x)$ ที่ $x = 0$

$$\frac{M_0}{EI_z} \left(\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6L} - \frac{Lx}{3} \right) = y(x)$$

$$\frac{M_0}{EI_z} \left(\frac{2x}{2} - \frac{3x^2}{6L} - \frac{L}{3} \right) = \frac{dy}{dx} = \theta(x)$$

$$-\frac{M_0}{EI_z} \left(\frac{L}{3} \right) = \theta(x = 0)$$

- ดังนั้น ถ้าใส่ End moment M_0 จะเกิด rotation $M_0 L / 3EI_z$ หรือ **beam stiffness ของระบบนี้** จะเท่ากับ **$3EI/L$**

9. Beam Simply Supported at Ends – Couple moment M at the right end			
	$\theta_1 = \frac{Ml}{6EI}$	$y = \frac{Mlx}{6EI} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right)$	$\delta_{\max} = \frac{Ml^2}{9\sqrt{3}EI}$ at $x = \frac{l}{\sqrt{3}}$ $\delta = \frac{Ml^2}{16EI}$ at the center
	$\theta_2 = \frac{Ml}{3EI}$		

TRUSSES

Understanding and Analysing Trusses

โดย The Efficient Engineer

https://www.youtube.com/watch?v=Hn_iozUo9m4

#WeLoveSteelConstruction

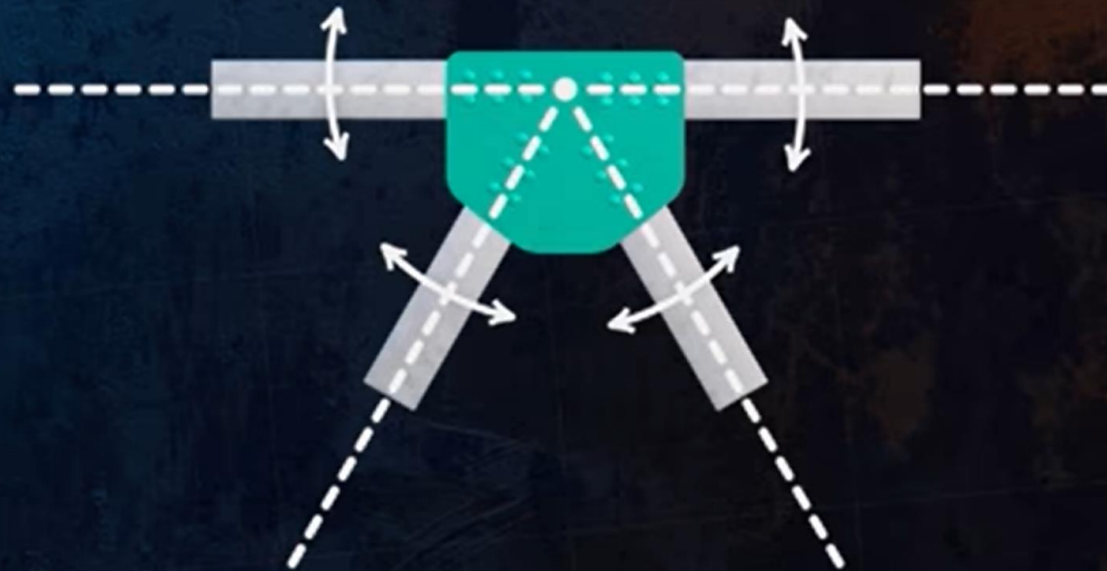
Truss หรือ โครงถัก

เป็นระบบโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจาก member ที่มีความตรงหลาย ๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยมีเงื่อนไขคือ จุดต่อของ straight member ทุกจุดต้องสามารถหมุนได้ (pin) หรืออาจกล่าวได้ว่า straight member จะไม่มีการรับ หรือ ถ่าย moment ระหว่างกันและกัน



Truss หรือ โครงถัก

จุดที่ straight member มาต่อ
เข้าด้วยกันนี้ จะมีแผ่นประกบ
(สีเขียว) มาเป็นส่วนประกอบ
เรียกว่า gusset plate



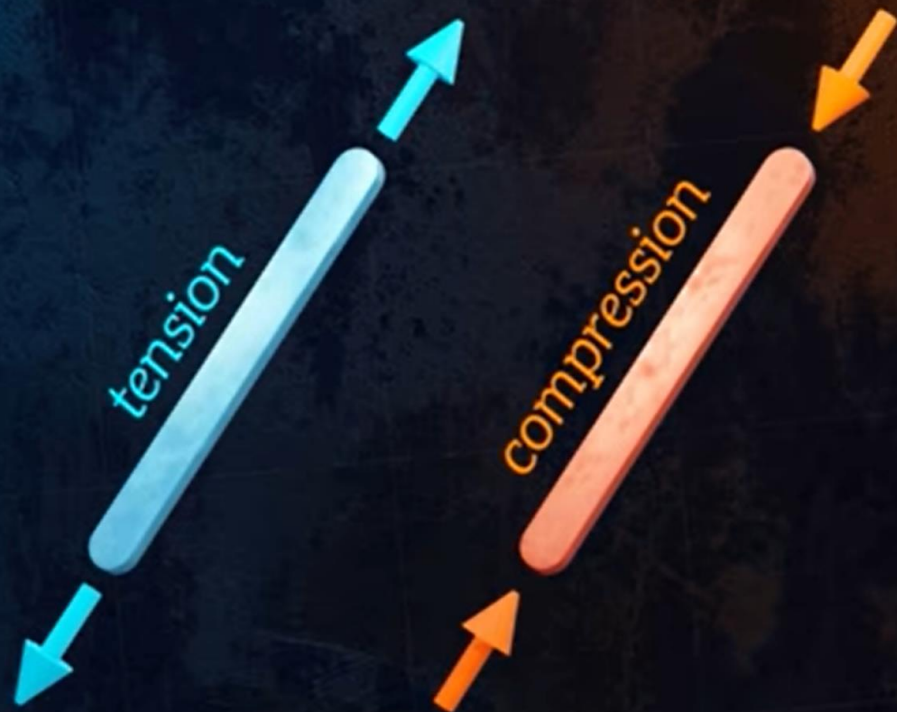
Truss หรือ โครงถัก

แรงที่กระทำกับ truss จะกระทำ
ที่จุดต่อ ที่เรียกว่า node หรือ
joint เท่านั้น จะไม่มีแรงมา
กระทำที่จุดอื่นๆ เช่น แรงในแนว
ขวาง (transverse load) ที่จุดกึ่ง
กลาง (ดังรูป) หรือ แรงประเภท
อื่น เช่น แรงบิด (torsion) มา
กระทำกับ straight member
ทุก ๆ member ของ truss

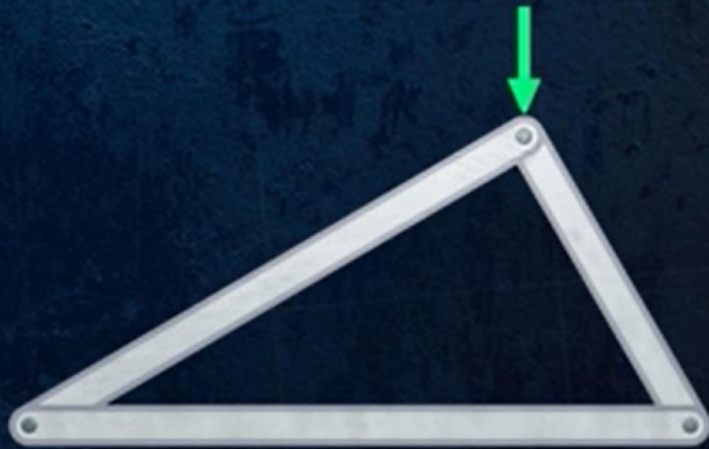


Truss หรือ โครงถัก

ด้วยสมมติฐานข้างต้น ส่งผลให้
truss (straight) member จะเกิด
แรงภายในได้เพียง 2 ประเภท
เท่านั้น คือ แรงดึง (tension)
และ แรงอัด (compression)



✓ stable



✗ unstable



รูปแบบที่มีเสถียรภาพ (stable) ของ truss คือ เป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งอาจเป็นสามเหลี่ยม ถ้ามี truss member มาประกอบเป็นรูปเหลี่ยมที่มากขึ้น จะทำให้ truss สูญเสียเสถียรภาพ (unstable) ซึ่งผู้ออกแบบสามารถ stabilize ได้โดยเพิ่ม **diagonal member** ในแนวทแยงดังรูป



Fink roof truss



Fan roof truss



King Post roof truss



Howe roof truss



Pratt roof truss



Modified Queen roof truss



Howe bridge truss



Pratt bridge truss



Warren bridge truss



Parker bridge truss



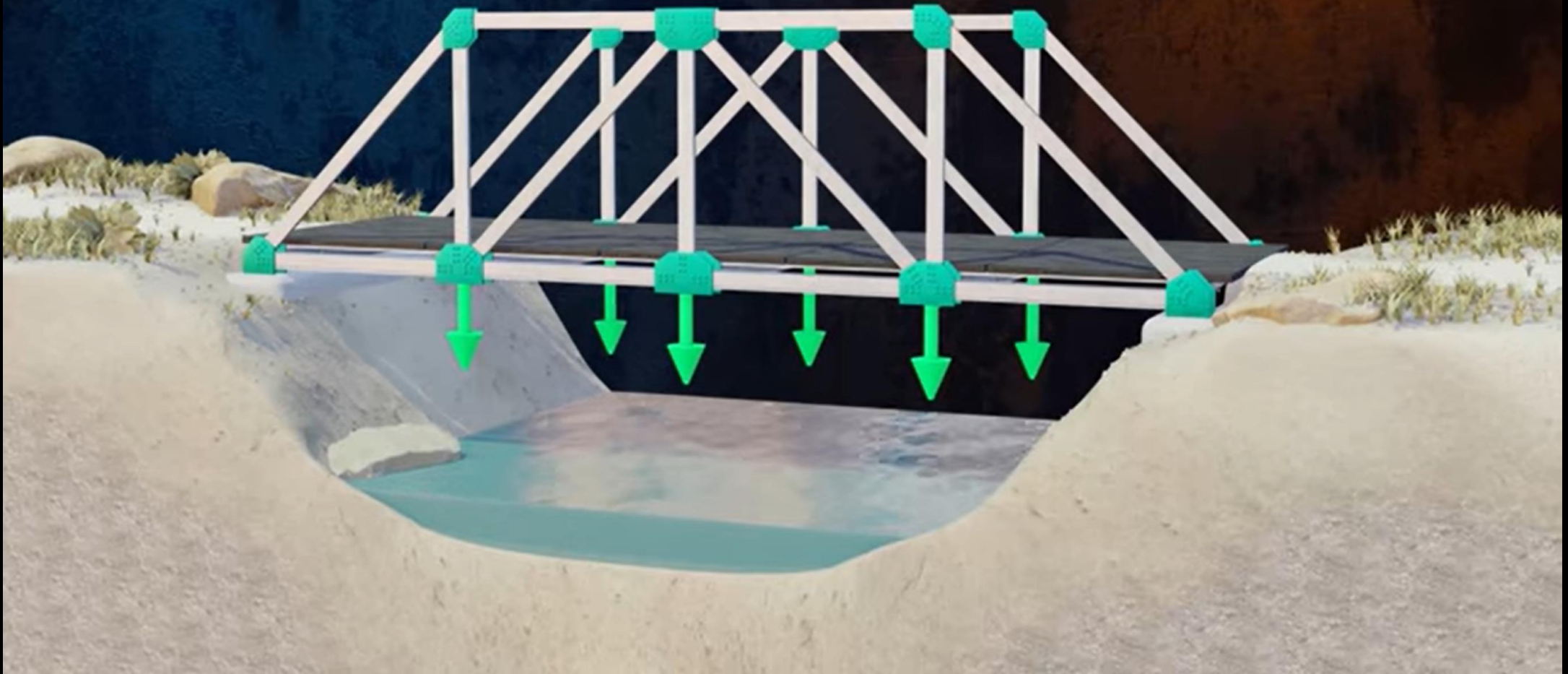
Baltimore bridge truss



K bridge truss

รูปแบบ truss มีมากมายหลายแบบดังรูป ลักษณะของแต่ละส่วนก็เป็นสามเหลี่ยม เพื่อให้เกิดความเสถียร

Truss ที่ปรากฏ แม้ว่าจะมีลักษณะเป็น 3 มิติ แต่หากพิจารณาในรายละเอียดจะพบว่าการถ่ายแรง เริ่มจาก bridge deck ถ่ายแรงลงคานซอย คานซอยถ่ายแรงลงคานหลักที่ต่อเข้ากับ truss joint (node) แรงที่เกิดขึ้นที่ truss จึงเป็น nodal force (สีเขียว) โดยสามารถแบ่งครึ่ง 3D truss ให้เป็น 2D planar truss เพื่อให้สามารถพิจารณาคำนวณได้สะดวก



หากแรงภายนอก (external force) ที่กระทำกับ truss ที่ node บริเวณ bottom chord มีค่าเท่ากับ 30 kN (3 Tons) เราสามารถจะวิเคราะห์หาคำนวณได้โดยเริ่มจาก (1) การคำนวณหา reaction ด้วยหลัก equilibrium ของ ระบบโดยรวม และจากนั้น (2) คำนวณหา “แรงภายใน (internal force)” ของ truss member แต่ละตัว ซึ่งสามารถเกิดแรงได้เพียง 2 ประเภท คือ แรงอัด (compression สีส้ม) แรงดึง (tension สีฟ้า) โดยอาศัย equilibrium ที่ node หรือ ตัดผ่าน section



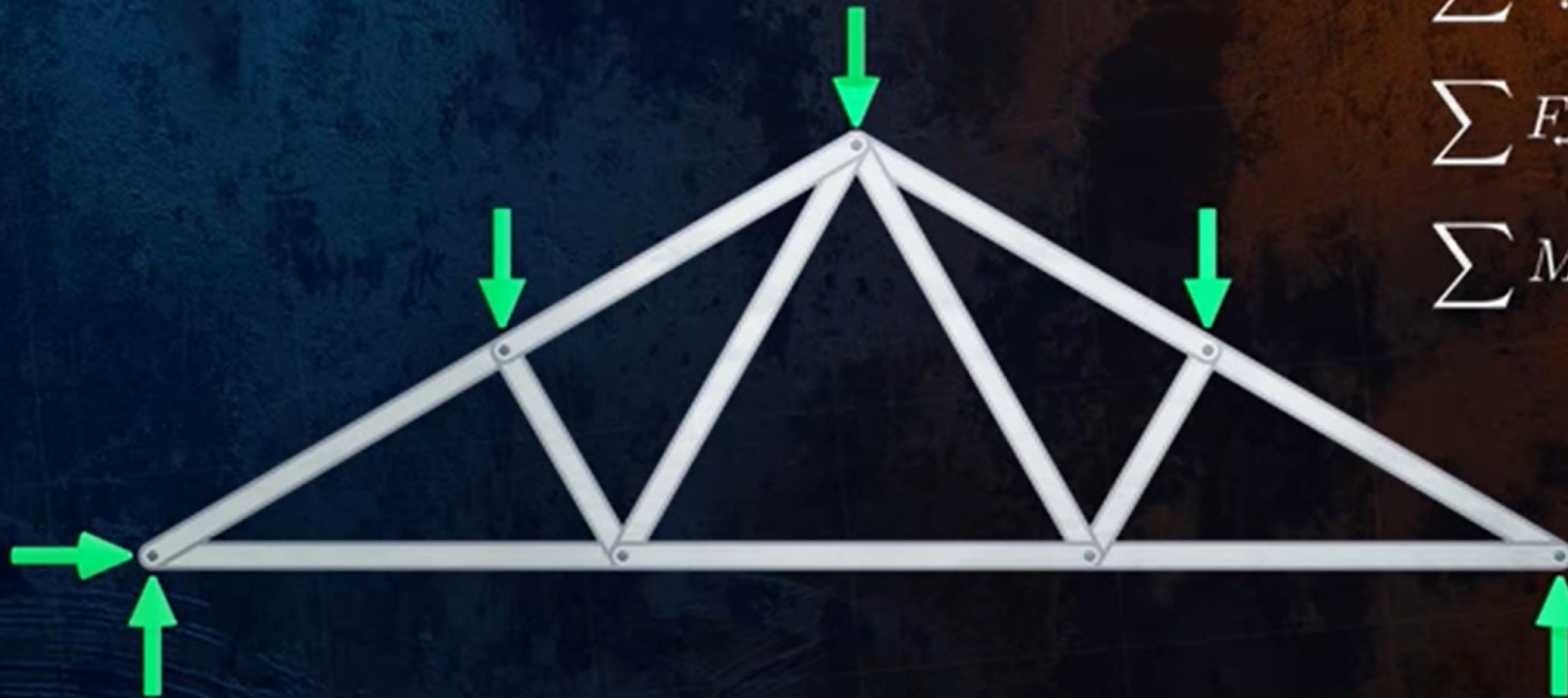
ดังนั้น การวิเคราะห์หาแรงภายใน truss member จึงสามารถคำนวณได้ 2 วิธีคือ (1) การพิจารณา equilibrium ที่ joint และ (2) การพิจารณา equilibrium เมื่อ ตัด section ผ่าน “ระนาบ (plane)” หนึ่งๆ

Method of
JOINTS

Method of
SECTIONS

① draw a free body diagram of the truss and solve **reaction forces**

หา reaction แรงปฏิกิริยาที่ support จากสมดุลของแรงภายนอกที่กระทำ



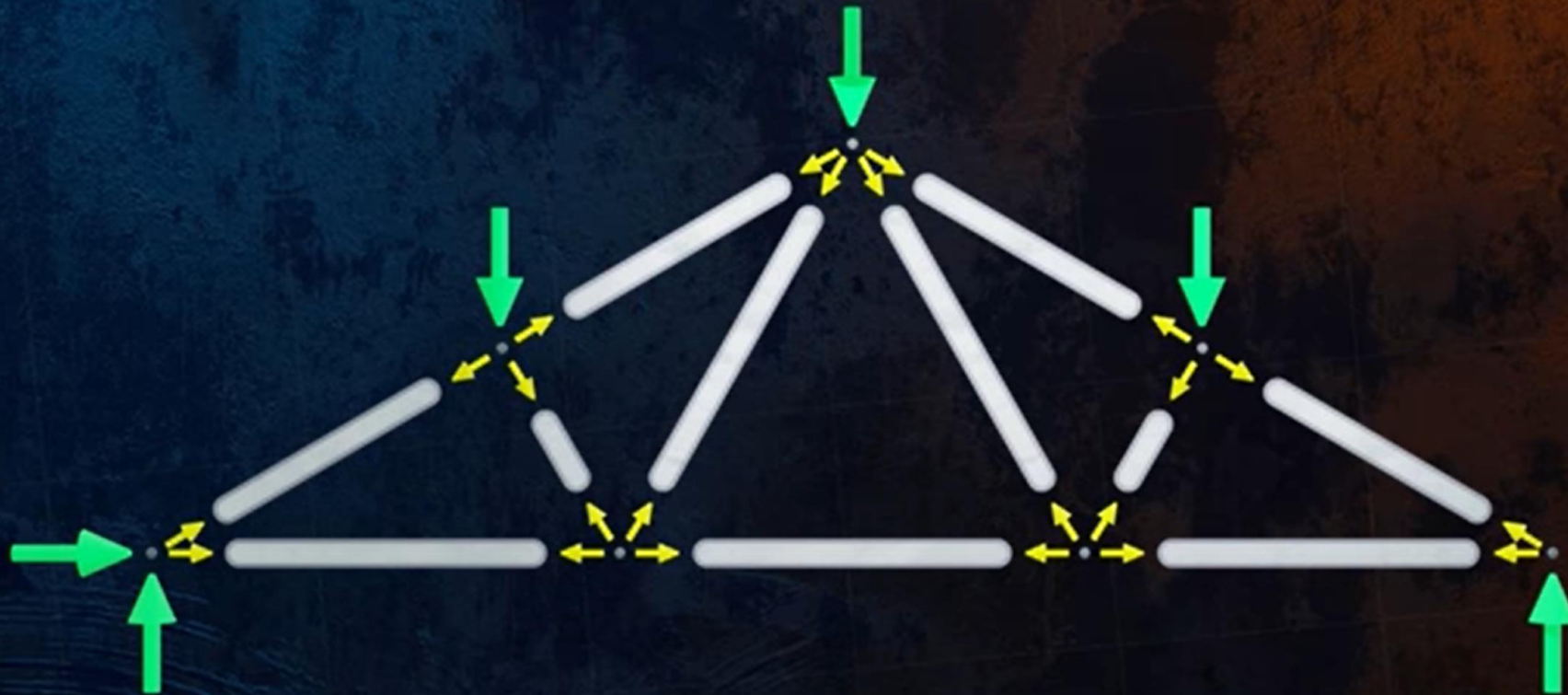
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

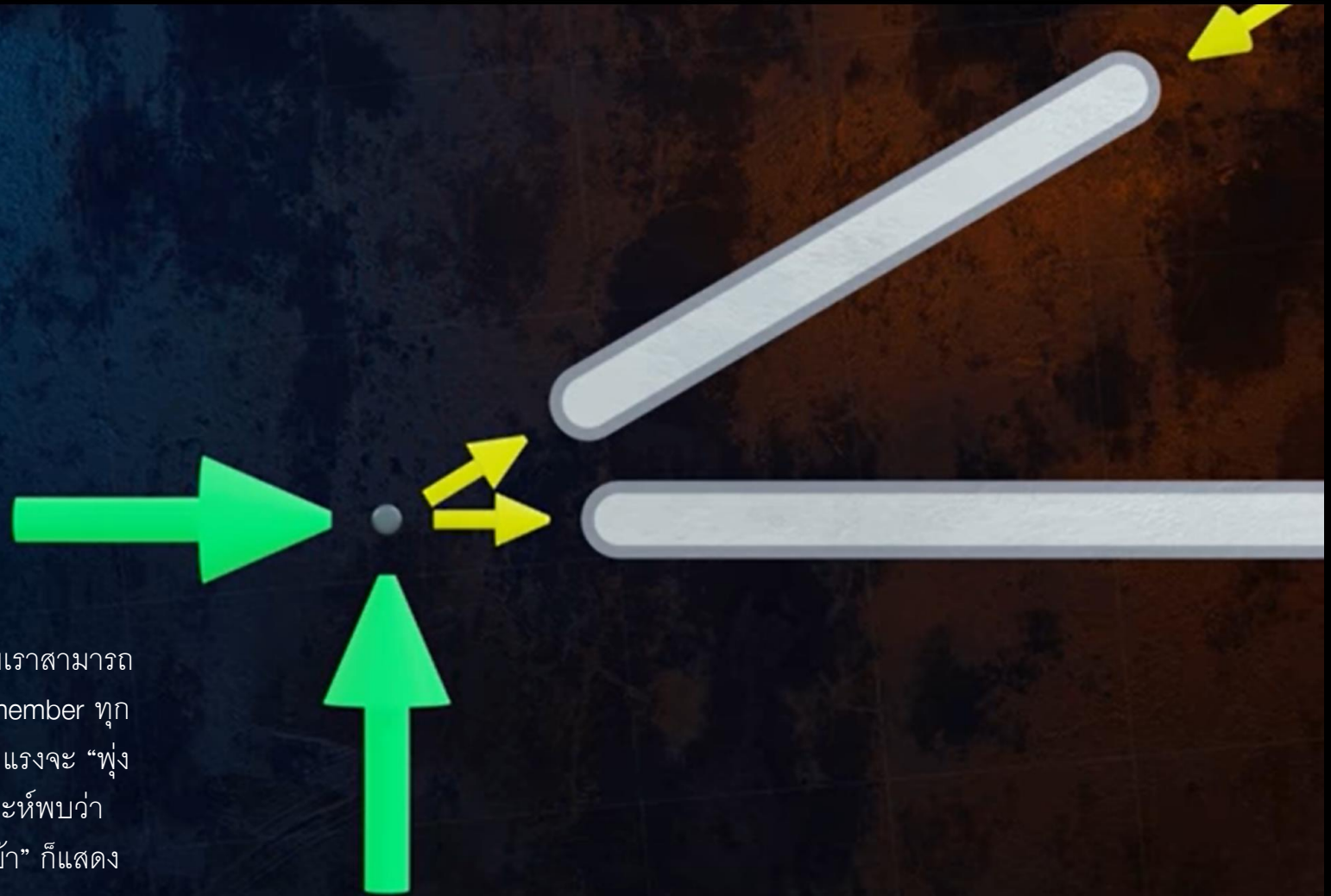
② draw a free body diagram of each joint and solve **internal forces**

พิจารณาสมดุลของแรงภายในที่ joint เพื่อหา internal force ของ truss member แต่ละตัว



$$\sum F_{\rightarrow} = 0$$

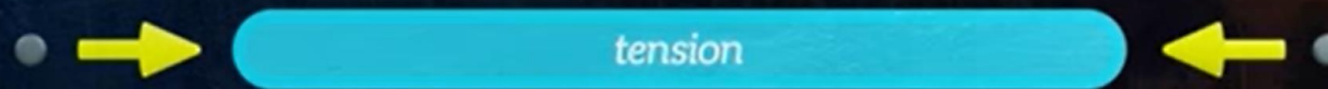
$$\sum F_{\uparrow} = 0$$



จากรูปเป็นสมดุลของแรงที่ joint โดยเราสามารถ
“ตั้งสมมติฐาน” ไปก่อนได้ว่า truss member ทุก
ตัวเกิด tension (แรงภายในเป็นบวก แรงจะ “พุ่ง
ออก” จาก node) โดยหากการวิเคราะห์พบว่า
node จะ equilibrium หากแรง “พุ่งเข้า” ก็แสดง
ว่าตั้งสมมติฐานผิด แรงภายใน truss member
เป็นลบ (-) หรือเป็น compression



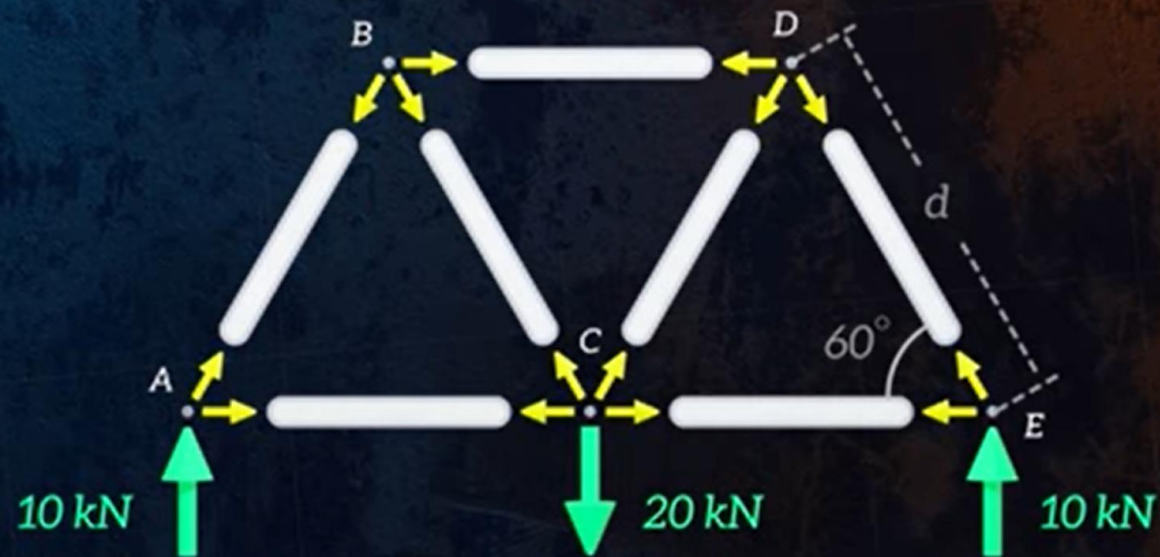
Compression member แรงอัด “เข้าหา member” ... พุ่ง “เข้าหา node”



Tension member แรงดึง “ออกจาก member” ... พุ่ง “ออกจาก node”

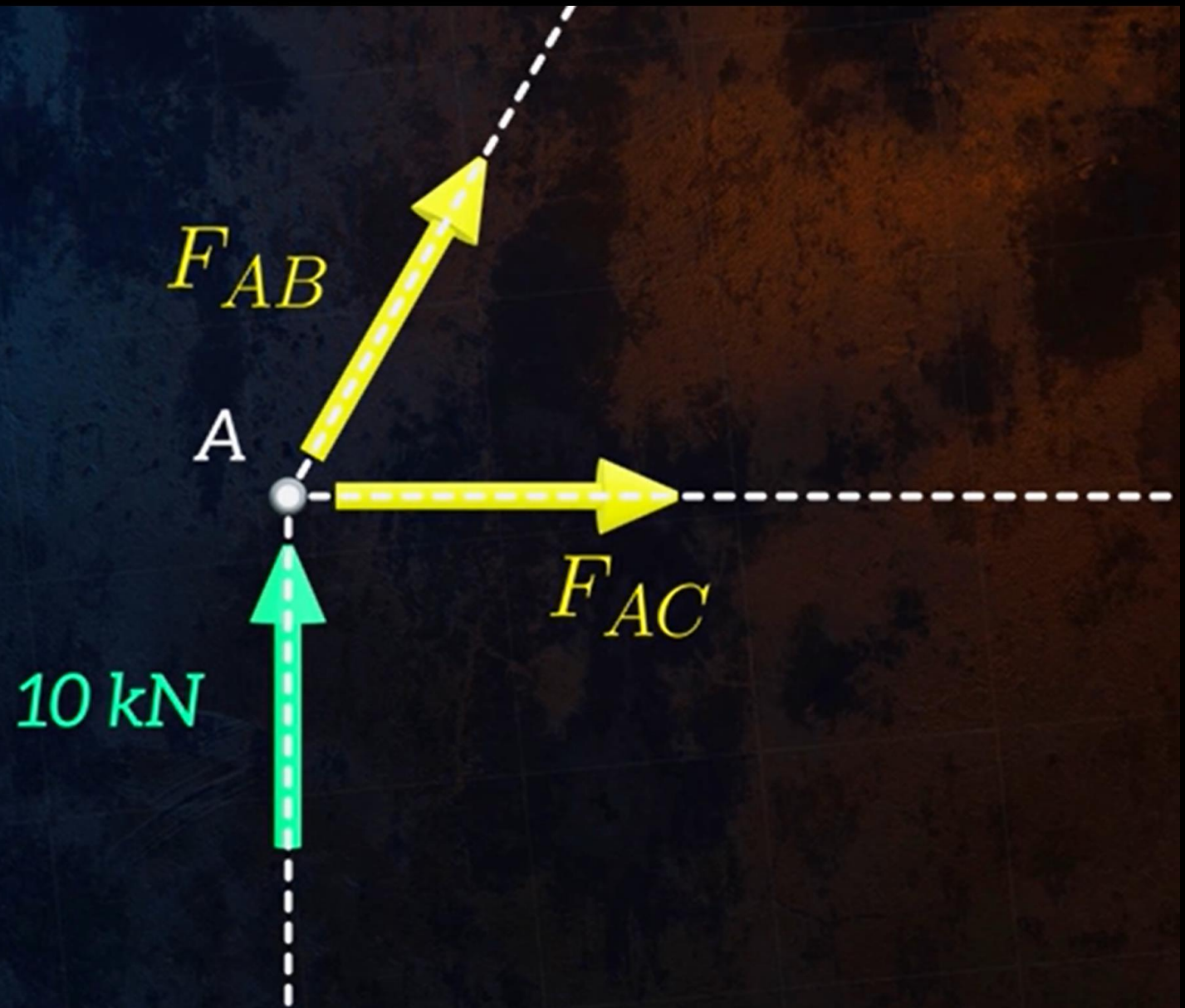
ตัวอย่าง

แรงภายนอก 20 kN กระทำ ที่กึ่งกลาง truss ดังรูป ที่ member ทุก member มีขนาดเท่ากัน (ทำมุมกัน 60 องศา)



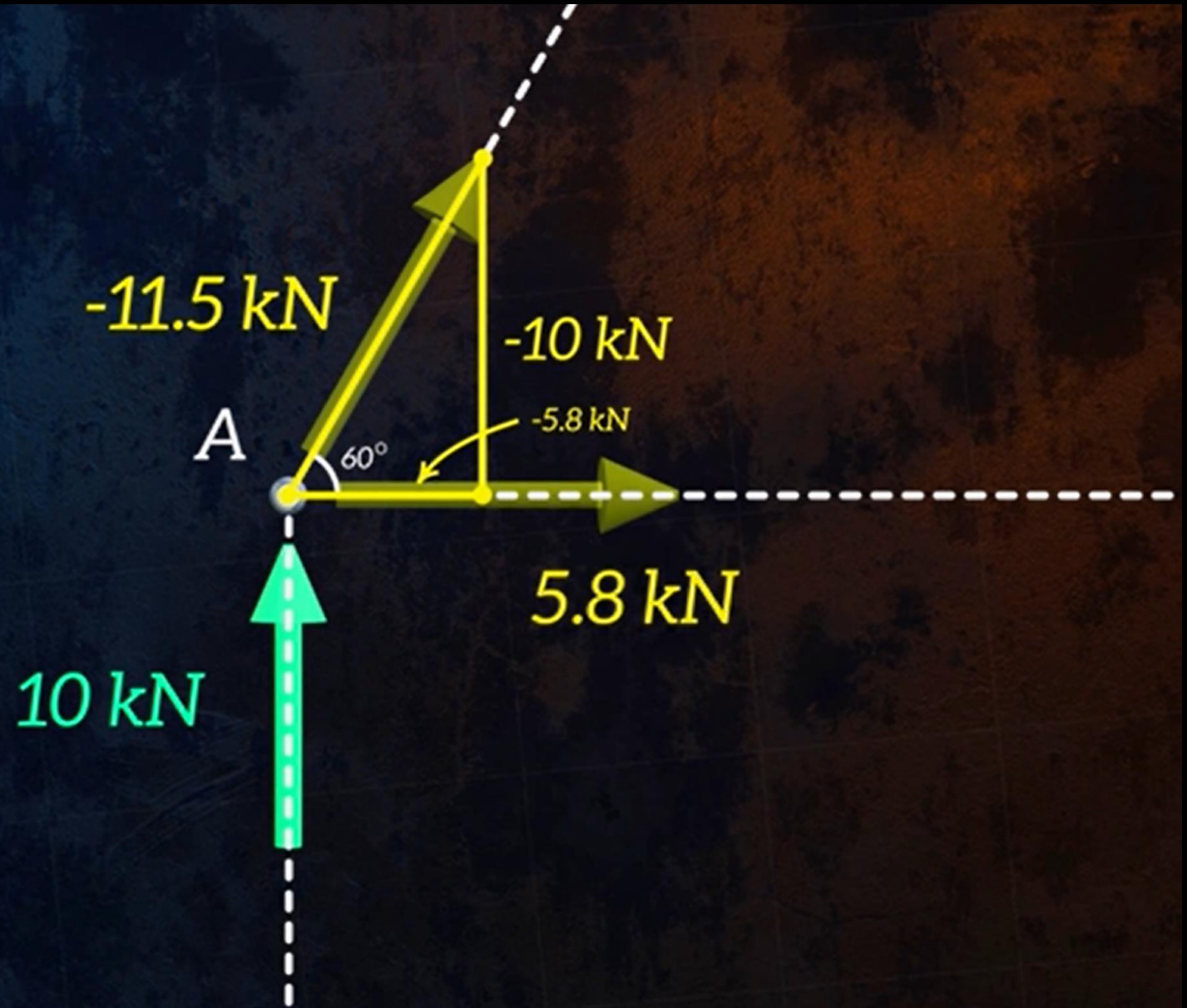
ขั้นตอนแรกสุด หา Reaction ที่ Support จาก Equilibrium ของแรงภายนอก

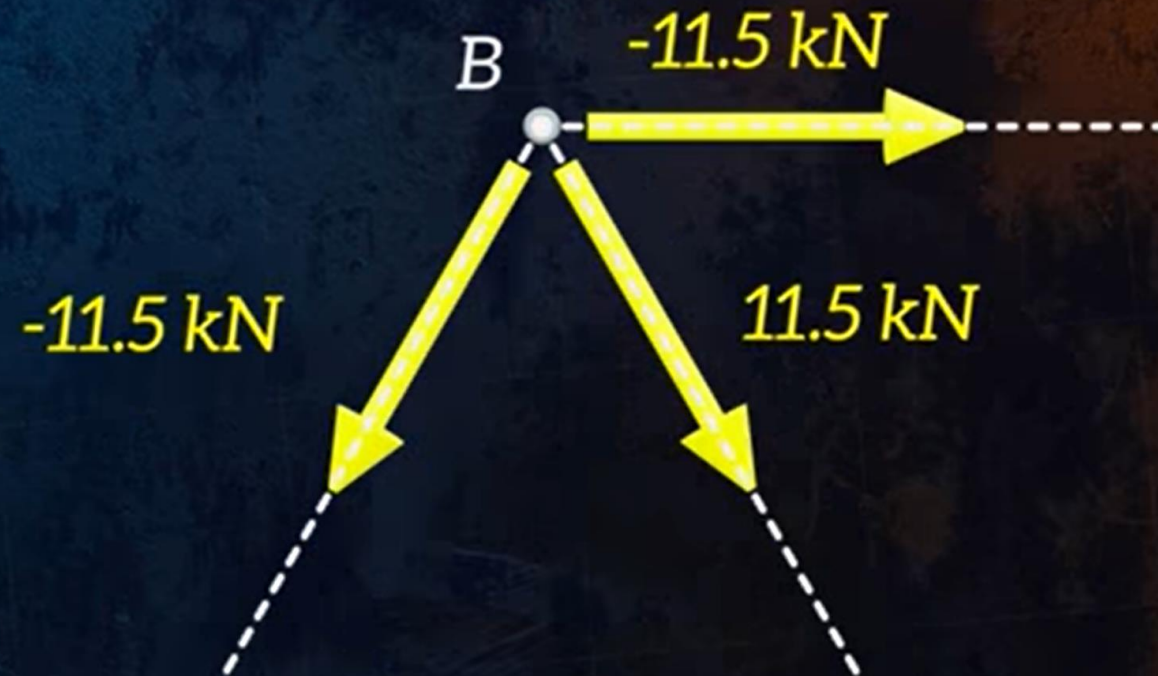
ลำดับถัดมา คือการพิจารณา equilibrium ที่ joint โดยเริ่มจากจุดที่มีแรงภายนอกมากระทำ (ที่ support สะดวกกว่าจุดอื่น เพราะมี unknown 2 แรง คือแรงใน member AB และ AC และมีสมการมารองรับ 2 สมการ คือ $\sum F_x = 0$ และ $\sum F_y = 0$ ซึ่งเพียงพอกับการ solve หา unknown

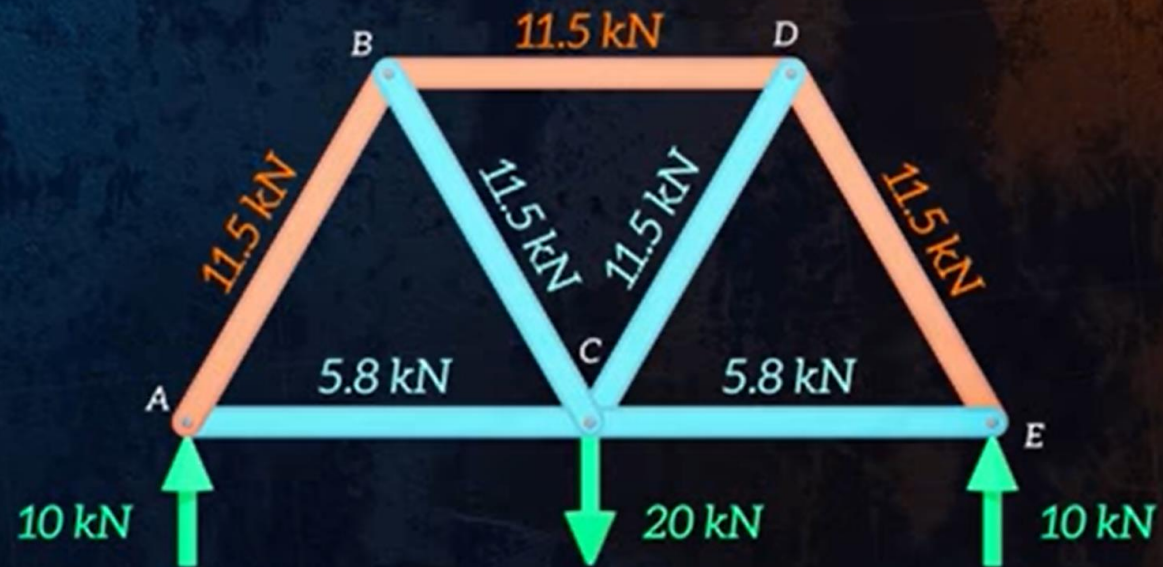


$$\sum F_{\uparrow} = 0$$

$$\sum F_{\rightarrow} = 0$$





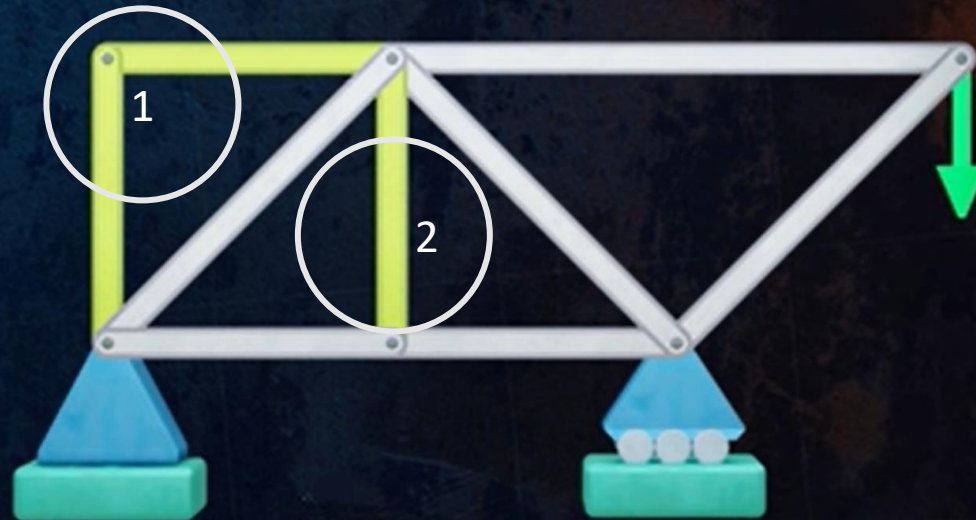


— tension
— compression

ข้อสังเกตประการหนึ่ง คือ แม้ว่าจะมีการจัดวาง truss ให้เป็น 3 เหลี่ยม แล้วก็ตาม แต่จะมี member ที่จัดวางบางรูปแบบที่ จะไม่มีแรงภายในเกิดขึ้น “ยกเว้นเสียแต่ว่าจะมี แรงภายนอกมากระทำกับ joint นั้นๆ”

- 1) กรณี truss member 2 ตัว มา join กัน โดยไม่มี แรงภายนอก ณ joint นั้นๆ
- 2) กรณี truss member ตัวที่ 3 มากระทำ “ตั้งฉาก” กับ member 2 ตัวที่อยู่ใน “ระนาบเดียวกัน” และ ที่ joint ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ

zero force members





Design for Compression Members

#WeLoveSteelConstruction

Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

At yield, $P_y = f_y \cdot A$

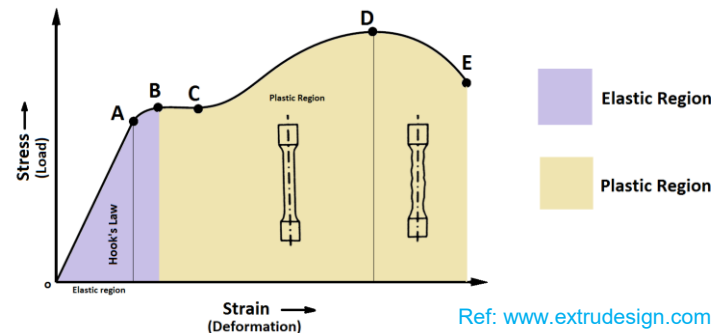
$Strength \propto [material(f_y), section(A)]$

At 1st yield, $M_y = f_y \cdot S_x$

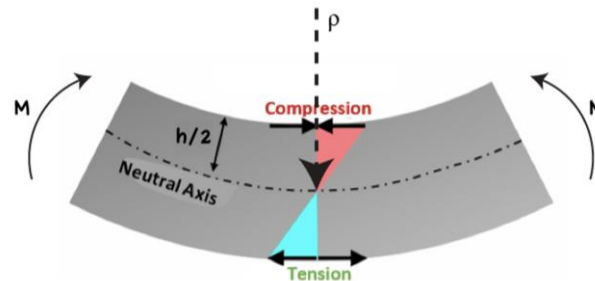
$Strength \propto [material(f_y), section(S_x)]$

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

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



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



Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

$$\begin{aligned} \text{Within elastic, } P &= \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L \\ &= \text{Stiffness} * \text{displacement} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Within elastic, } M &= EI \frac{d^2 y}{dx^2} \\ &= \text{Stiffness} * \text{displacement} \end{aligned}$$

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

Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

At yield, $P_y = f_y \cdot A$

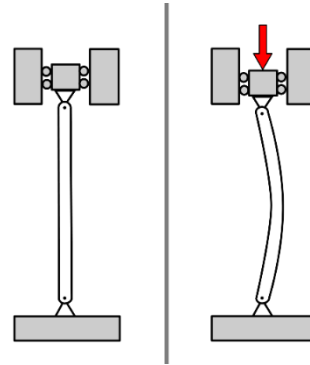
$Strength \propto [material (f_y), section(A)]$

At 1st yield, $M_y = f_y \cdot S_x$

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

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, $P = \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$
 $= Stiffness * displacement$

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

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

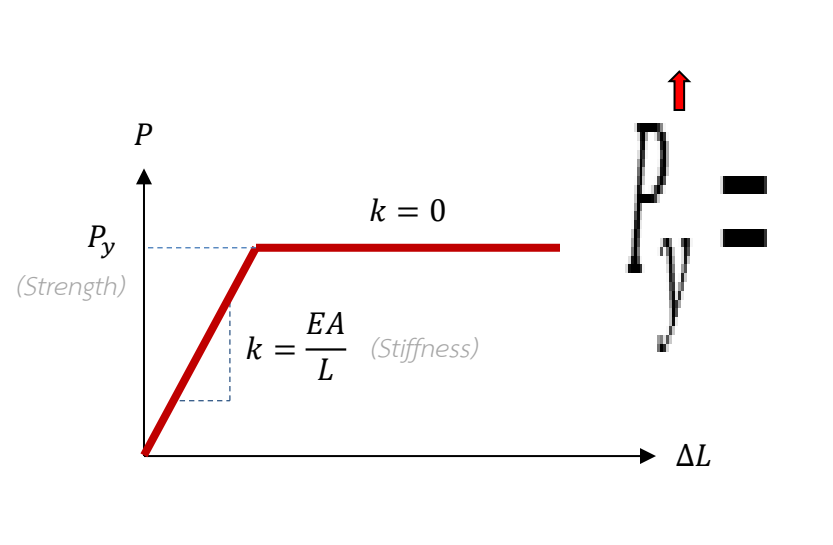
Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

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

At yield, $P_y = f_y \cdot A$



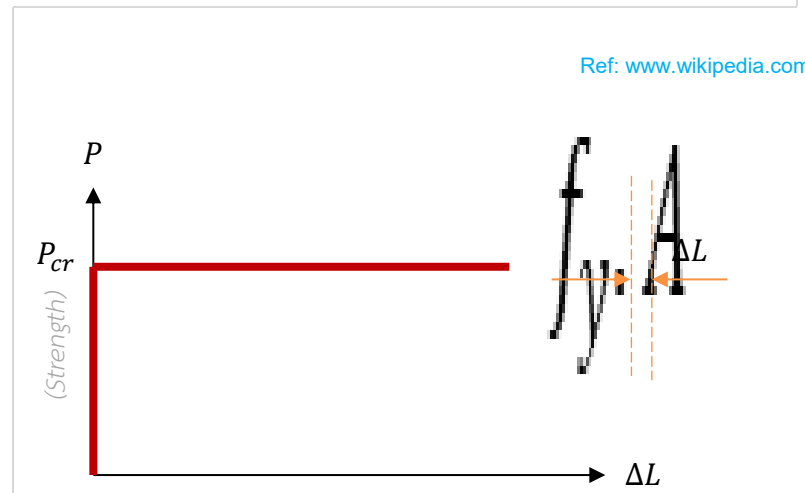
Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

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

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



Ref: www.wikipedia.com

Stability

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

รับแรงลักษณะหนึ่งๆ ได้เท่าไรถึงไม่พัง

ณ รูปร่างการเสียรูปแบบหนึ่งๆ

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

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

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

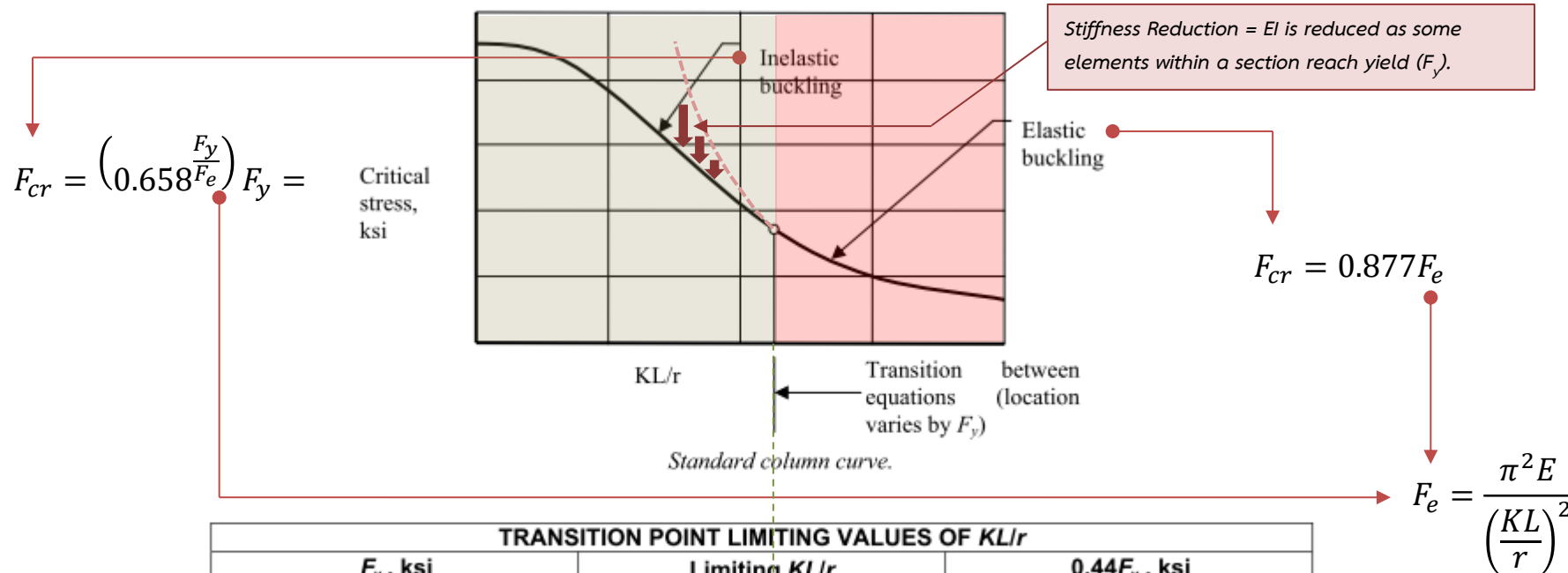
$$y(x) = C_1 \sin(\sqrt{P/EI} \cdot x) + C_2 \cos(\sqrt{P/EI} \cdot x)$$

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

Fundamental of Structural Steel Stability

AISC Load and Resistance Factor Design (AISC/LRFD)

How?



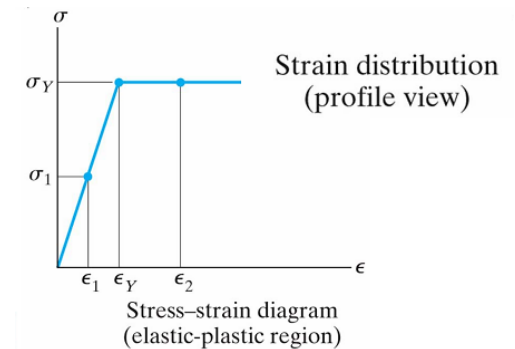
TRANSITION POINT LIMITING VALUES OF KL/r		
F_y , ksi	Limiting KL/r	$0.44F_y$, ksi
36	134	15.8
50	113	22.0
60	104	26.4
70	96	30.8

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

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

Stiffness

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



SSI BUILDING TECH



Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

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

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

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

Step 2: หาผลรวมของแรง

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

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

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

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

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

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

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

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

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

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

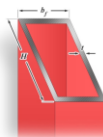
- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัด

Step 7: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัดของเสา

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

< Calculation

Insert Value



Steel Grade

Fy ksc

Fu ksc

H mm

bf mm

t mm

Lx m

Ly m

< Calculation

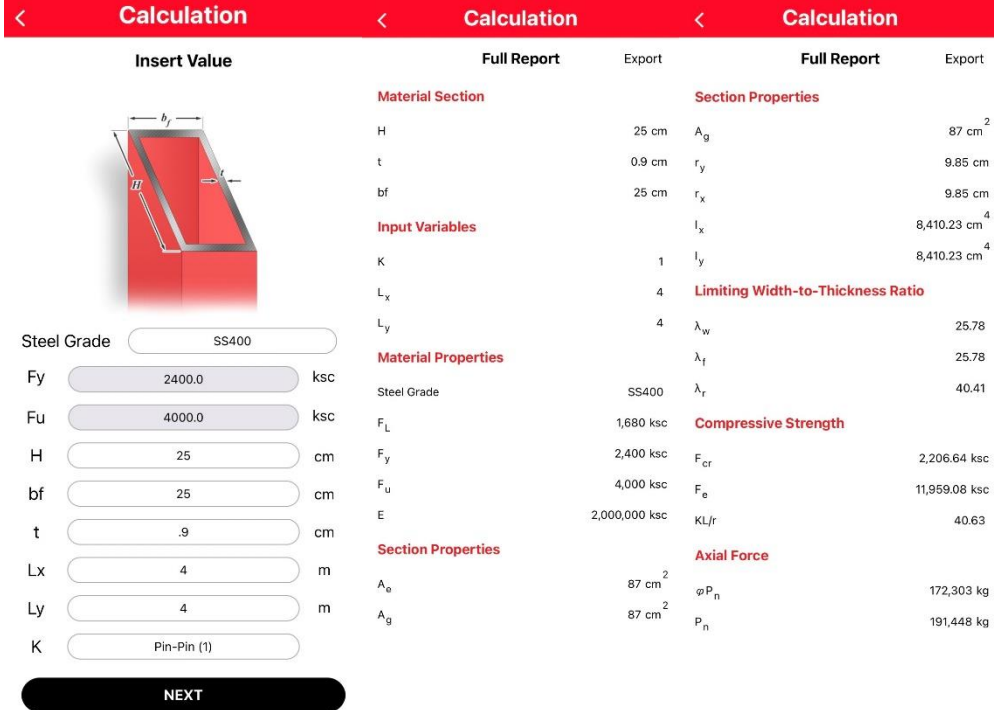
Capacity Full Report

Nominal Strength (Pn)
343,574
kg

Factored Nominal Strength (ϕP_n)
309,217
kg

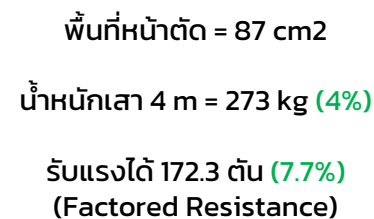


เทียบกับ Nominal strength ที่ได้จาก **SSI Steel Design App** ที่ 344 Ton (vs. 331 T จากการคำนวณมือ) ซึ่งต่างกันเล็กน้อยจากผลของ **ขอบมุมหัก (App)** vs. **ขอบมุมดัด (Hand)**



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

NEXT



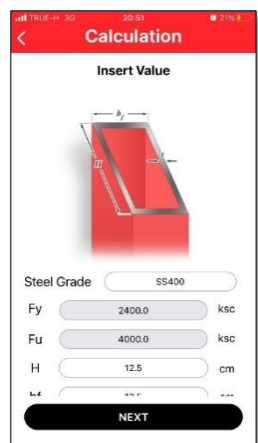
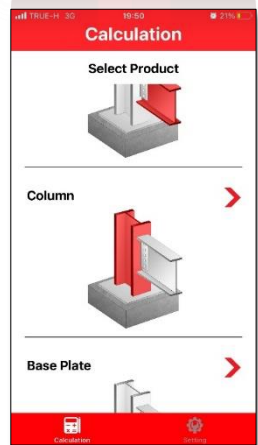
Assumptions:

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



น้ำหนักเสา 4 m = 283 kg

รับแรงได้ 158.9 ตัน
(Factored Resistance)



Nominal Compressive Strength of Members

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

Material Properties

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

เกรดเหล็ก
ที่เลือกใช้

Sectional Dimension

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

ขนาดหน้า
ตัดที่กำหนด

Section Properties

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Mobile app
คำนวณคุณสมบัติ
หน้าตัดโดยอัตโนมัติ

Limiting Width-to-Thickness Ratio

Walls of Rectangular HSS (Flange)

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

$$\lambda_f = 25.78$$

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

$$\lambda_{rf} =$$

(AISC360-16, Table B4.1a)

แสดงรายการคำนวณ
พร้อม สมการอ้างอิง

(AISC360-16, Table B4.1a)





Design for Flexural Members

#WeLoveSteelConstruction

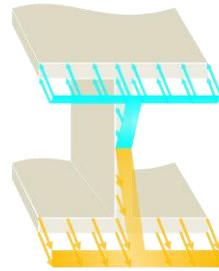


Steel Beam Design Concept

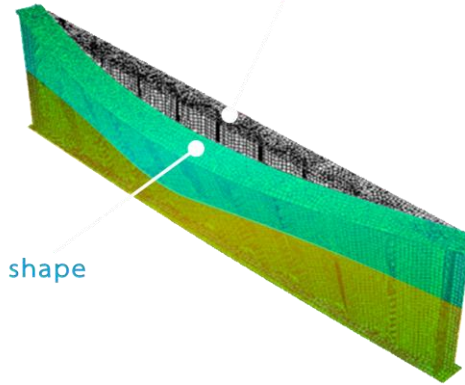
#WeLoveSteelConstruction

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

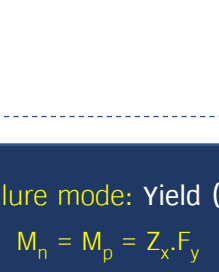
Beam Flange under Compression



Undeformed shape

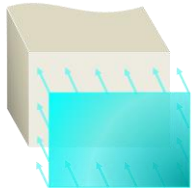


Buckled shape

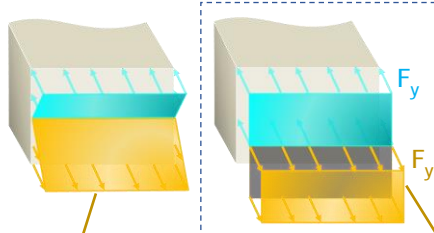


- Beam ที่การค้ำยันด้าน compression ไม่เพียงพอ ส่วนที่เป็น compression zone อาจเกิดการ buckle รอบ weak axis แต่ถูก tension zone รั้งไว้จนเกิด weak axis lateral buckling ได้อย่างไม่อิสระ แต่จะเกิดแบบบิดตัว

Column



Beam

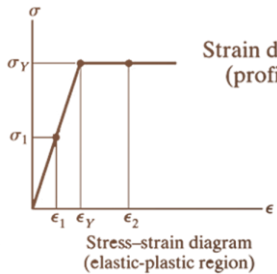
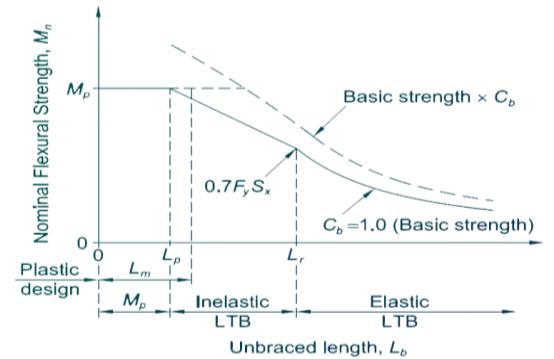


Failure mode: Yield (Y)

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

Failure mode: Lateral Torsional Buckling (LTB)

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

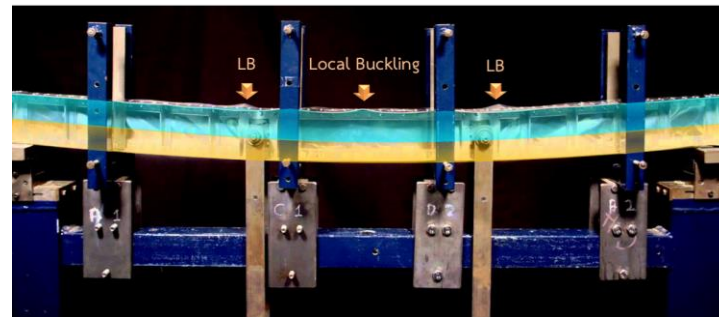


Strain distribution (profile view)

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

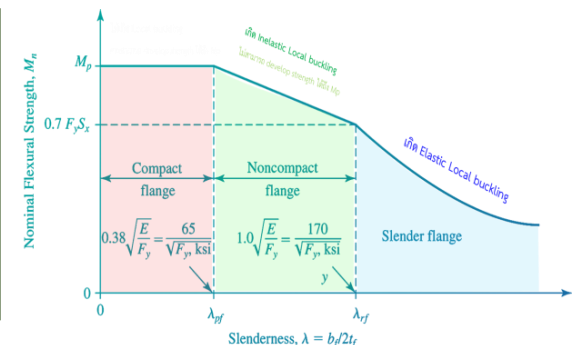
Elastic – normal stress ยังไม่ถึง F_y stress เป็นสัดส่วนกับ strain (เป็น 0 ที่แกนสะเทิน มากสุดที่ขอบ)

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



Failure mode: Local Buckling (LB)

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

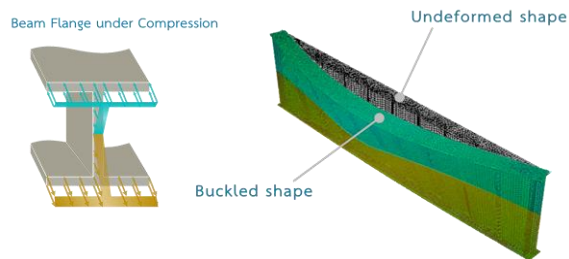


- Steel เป็น ductile material มีพฤติกรรมที่เมื่อรับแรงดึง เกิด normal stress ก็จะเป็นสัดส่วนกับการเสียรูป strain ในลักษณะเชิงเส้น (linear elastic) จนถึงจุด yield F_y เมื่อเลยจุด F_y จะเปลี่ยนเป็น nonlinear และไม่ elastic คือเมื่อเอาแรงออกจะไม่กลับสู่สภาพเดิม พฤติกรรมนี้จะถูก simplify ให้เป็น elastic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

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

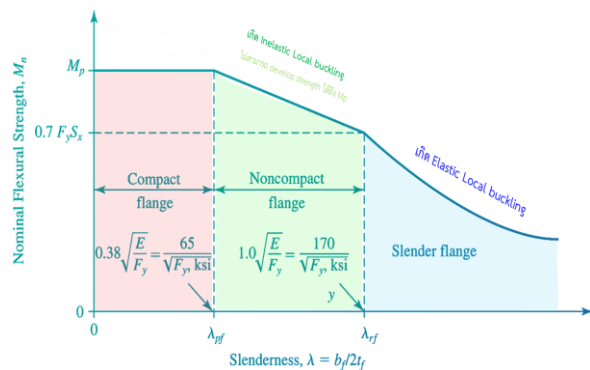
ตาราง 6.1-1 ตารางตัวเลือกสำหรับการเลือกหัวข้อบทที่ 6 (ต่อ)

หัวข้อใน บทที่ 6	หน้าตัด	ความละเอียด ของปีก	ความละเอียด ของเอว	สภาวะ ขีดจำกัด
6.2		C	C	Y, LTB
6.3		NC, S	C	LTB, FLB
6.4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
6.5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY



Steel Beam Design Procedure

#WeLoveSteelConstruction

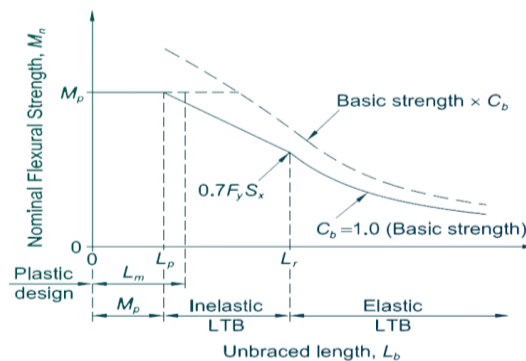
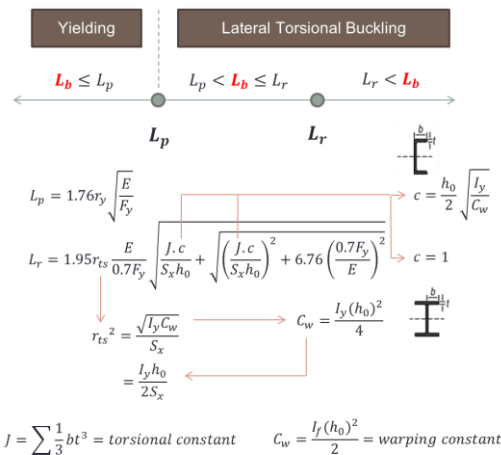


(2) ตรวจสอบพฤติกรรมคน วสท.011038
บทที่ 6 ว่าจะใช้ สมการตาม 6.2 6.3 6.4 หรือ
6.5 ขึ้นกับพฤติกรรมตาข้อ (1) โดยส่วนใหญ่
สำหรับเหล็กรูปพรรณรีดร้อน H-beam
มักจะเป็นไปตาม 6.2 หรือ 6.3 แต่สำหรับ
PEB หรือ plate girder อาจเป็นไปตาม 6.4
หรือ 6.5 ขึ้นกับ web slenderness

Optional

อาจพิจารณา moment gradient เพื่อ
เพิ่มค่ากำลังรับโมเมนต์วิกฤติ สำหรับ
กรณี LTB: $M_{cr,LTB}$ ตามสมการใน 6.1

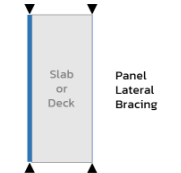
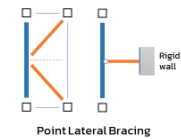
$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$



Beam lateral bracing – 2

#WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคานประเภทที่ 1
Lateral bracing
- ขณะที่เกิด beam buckling คานจะบิด buckle ออกจากข้าง ระบบ bracing มีความสามารถต้าน "lateral translation" (แต่คานหลัก สลัก อาจ บิด ตัวเกิด torsion ได้)
- 1a) Lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยัน ทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แกน จะไม่เคลื่อนตัวออกจากข้าง
- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยัน ทางข้างด้วยคานย่อยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



Beam lateral bracing – 3

#WeLoveSteelConstruction

The required shear strength of the bracing system is

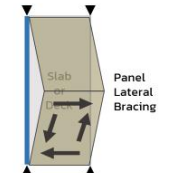
$$V_{br} = 0.01 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (\text{A-6-5})$$

and, the required shear stiffness of the bracing system is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_f C_d}{L + b} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{A-6-6a})$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{4M_r C_d}{\lambda} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (\text{A-6-6b})$$

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



Beam lateral bracing – 4

#WeLoveSteelConstruction

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

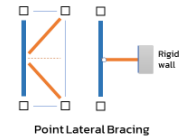
$$P_{br} = 0.02 \left(\frac{M_f C_d}{b} \right) \quad (\text{A-6-7})$$

and, the required stiffness of the brace is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10M_r C_d}{L_c k} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{A-6-8a})$$

$$\beta = \Omega \left(\frac{10 M_{\odot} C_d}{\hbar} \right) \quad (\text{AU}) \quad (A \ll 10^4)$$

- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานซอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



Beam lateral bracing – 5

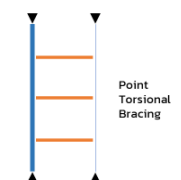
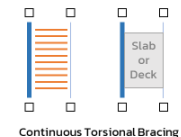
#WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน ประเภทที่ 2
Torsional bracing

- ขณะที่เกิด beam lateral buckling โดยพลวัติกรรม จะเกิดการบิด twist กลายเป็น lateral torsional buckling ไปพร้อมๆ กัน

- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน

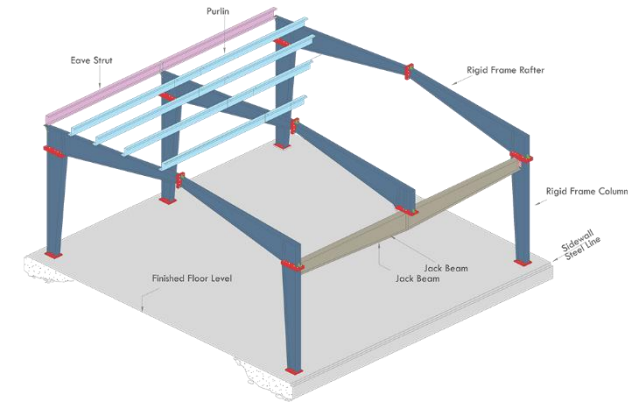
- 2b) Continuous torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย ตง (คานขอยวางถึ) หรือ deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ถัดกัน



ตรวจสอบ stiffness ของระบบการค้ำยันทางข้าง จำแนกเป็น lateral brace vs. torsional brace

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



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

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

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

Step 2: หาผลรวมของแรง
(กำลังที่ต้องการ)

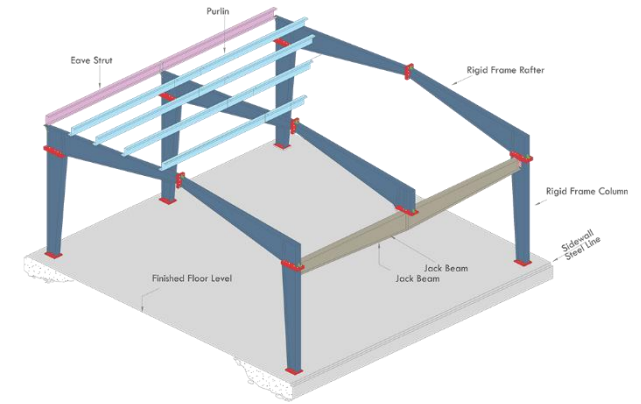


ASD	LRFD
$P_a = DL+LL$ $= 3+6$ $= 9 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(3)+1.6(6)$ $= 13.2 \text{ T}$
$M_a = P_a L/4$ $= 9*12/4$ $= 27 \text{ T-m}$	$M_u = P_u L/4$ $= 13.2*12/4$ $= 39.6 \text{ T-m}$
$V_a = P_a/2$ $= 9/2$ $= 4.5 \text{ T}$	$V_u = P_u/2$ $= 13.2/2$ $= 6.6 \text{ T}$

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

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



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

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

Step 3: ระบุลักษณะของหน้าตัด H 540x220x12x6

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

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

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

Non-compact
flange

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

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

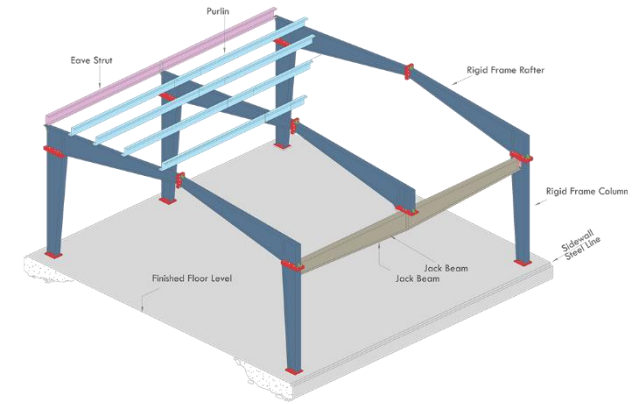
$$\lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{E/F_y} = 133$$

Compact web

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

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



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

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

Step 4: คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ

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

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

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

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

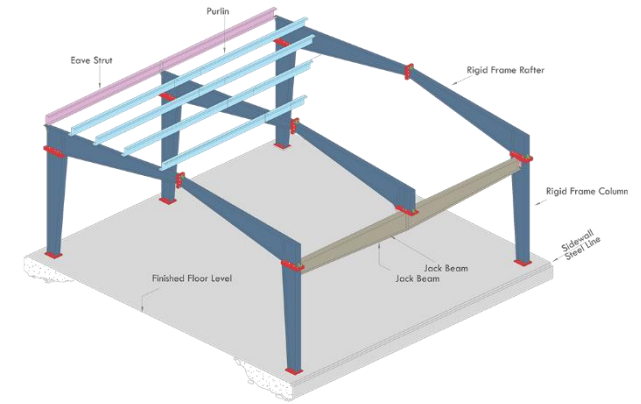
$$\begin{aligned} M_{LTB} &= C_b * \pi^2 E / (L_b / r_{ts})^2 \sqrt{[1 + 0.078 (J_c / S_x h_o) * (L_b / r_{ts})^2]} * S_x \\ &= 1.67 * 2,153 * 1,618 \text{ kg-cm} \\ &= 58,175 \text{ kg-m} \quad (\text{ถ้าพิจารณา } C_b = 1 \text{ จะได้ } M_{LTB} = 34,836 \text{ kg-m}) \end{aligned}$$

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

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

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



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

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

Step 5: คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ

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

Step 6: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

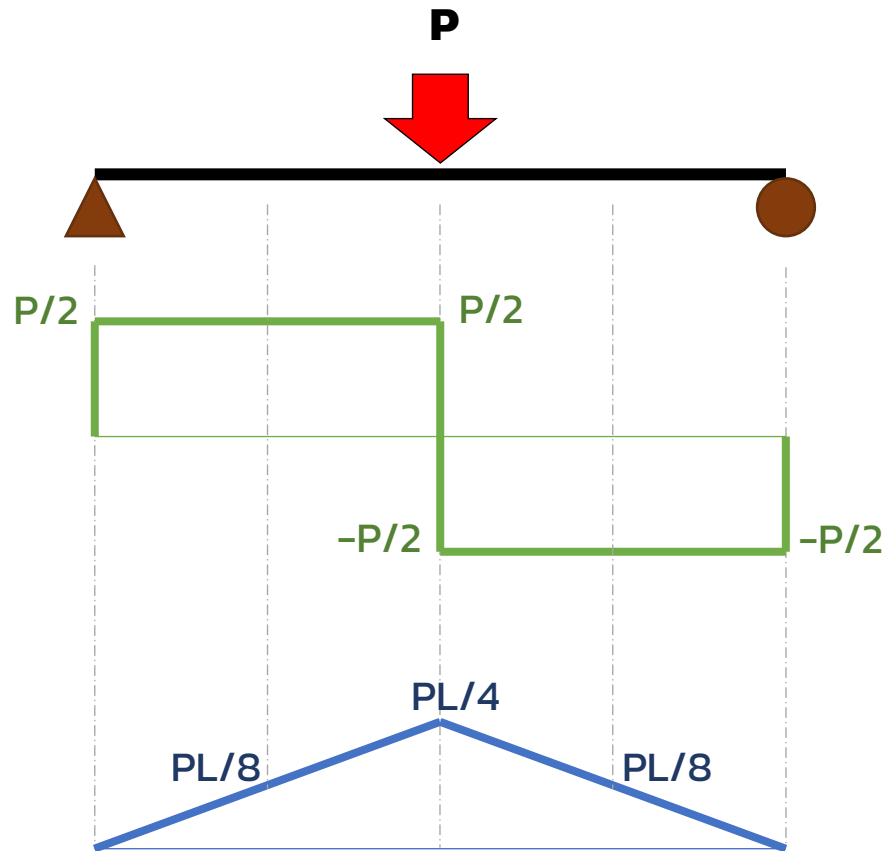
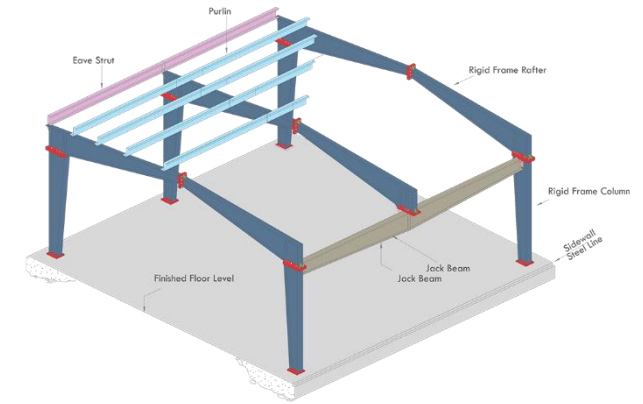
ASD	LRFD
$M_a = 27,000 \text{ kg-m}$	$M_u = 39,600 \text{ kg-m}$
$M_n / \Omega = 58,175 / 1.67 = 34,836 \text{ kg-m}$	$\gamma M_n = 0.9 * 58,175 = 52,358 \text{ kg-m}$
$V_a = 4,500 \text{ kg}$	$V_u = 6,600 \text{ kg}$
$V_n / \Omega = 49,428 / 1.67 = 29,598 \text{ kg}$	$\gamma V_n = 0.9 * 49,387 = 44,486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

Step 7: ตรวจสอบ deflection limit

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

Beam Optimization

#WeLoveSteelConstruction



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

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

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

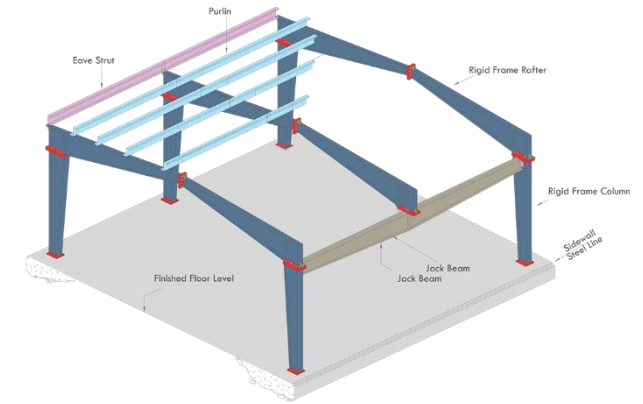
Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	40,258 kg-m
Lateral Torsional Buckling Moment	43,031 kg-m
Flange Local Buckling Moment	39,798 kg-m
Factored Nominal Moment (ϕM_n)	35,818 kg-m
Factored Nominal Shear Strength (ϕV_n)	43,157 kg

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

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

Beam Optimization

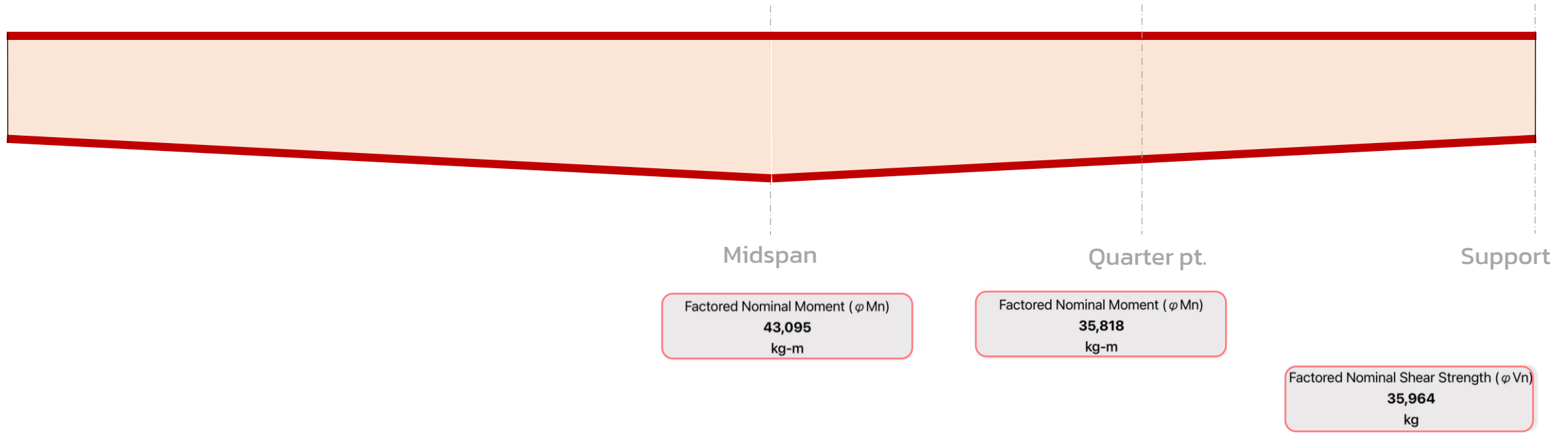
#WeLoveSteelConstruction



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

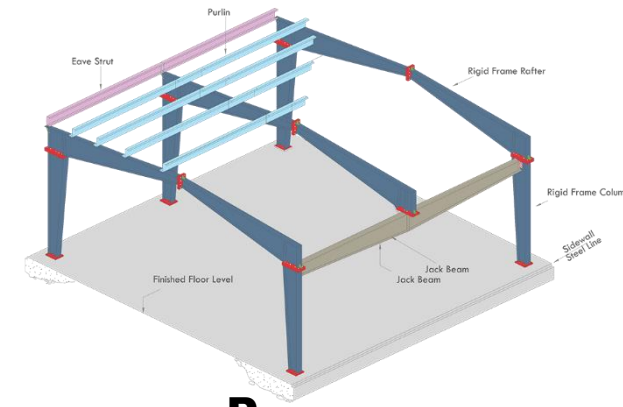
Quarter: $d = 360 \text{ mm}$
 $M_u = 19,800 \text{ kg-m}$

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



Built-up Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction

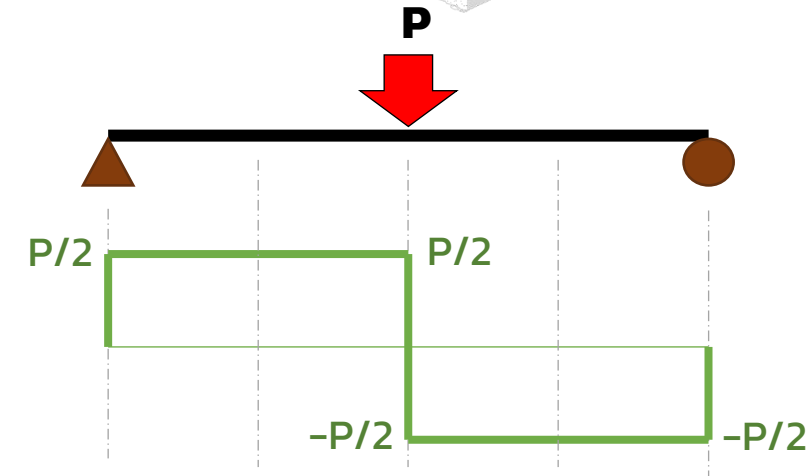


ตัวอย่าง จงออกแบบรอยเชื่อมแบบ fillet weld 2 ด้าน ระหว่าง flange และ web ของ Built-up beam ขนาด H 420x220x12x6 ($I_x = 25,085 \text{ cm}^4$) ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ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

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

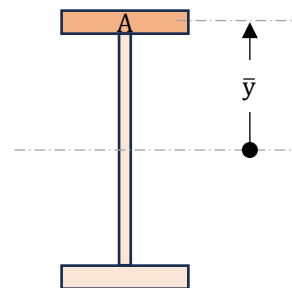
Step 1: คำนวณแรงเฉือนที่ต้องการ

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



Step 2: คำนวณ shear flow ที่ต้องการ ณ ตำแหน่งรอยเชื่อม

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

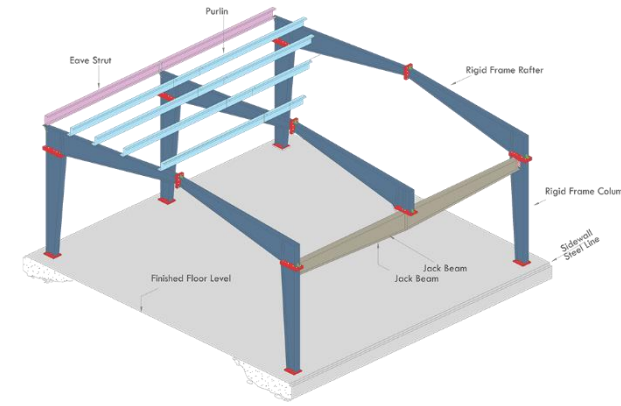


$$Q_x = [(22 * 1.2) * (42 - 1.2)/2] = 538.6 \text{ cm}^3$$

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

Built-up Beam Design Example

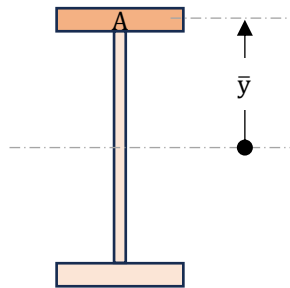
#WeLoveSteelConstruction



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

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

Step 3: กำหนดขนาดรอยเชื่อมและคำนวณกำลังรับแรงที่มี



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

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

Step 4: ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนที่มี เทียบกับกำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

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

OK

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

Contact us



LINE ID **WeLoveSteelConstruction**: @wlsc



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



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



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



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

Android:

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

