

การออกแบบระบบค้ำยัน โครงสร้างเหล็ก

We ❤️ Steel Construction

2nd Mini Course
April 2, 2025

Advanced Steel Design

แนวทศออกแบบระบบค้ำยันโครงสร้างเหล็ก

อบรมวัน พุธที่ 2 เมษายน 2568
เวลา 10.00-12.00 น.

ผ่าน

ZOOM ONLINE

+ 2 CPD

คลิกเพื่อ
ลงทะเบียน

* จะรู้ได้อย่างไรว่าทำค้ำยันนั้นจก หรือที่เราเรียกกันว่า lateral bracing / torsional bracing หรือค้ำยันที่ยึดต่อเข้ากับคานเหล็กจะต้องมีขนาดเท่าไรทั้งนี้ จะเพียงพอสำหรับคานเหล็กที่จะรองรับน้ำหนัก เช่น uniform load หรือ point load *

Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรหรือไม่พัง

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)}

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

Stress (σ) = Strain(ϵ) • Elastic Modulus (E)

Ref. www.extrudesign.com

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

Ref. www.chegg.com

Stiffness

Ability to resist deformation

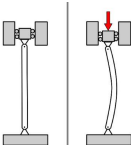
รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

Within elastic, $P = \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} E A = \frac{EA}{L} \Delta L$
= 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	Stability	Stiffness	
Ability to resist forces	Ability to resist a specific force with respect to a deformed shape	Ability to resist deformation	
รับแรงได้เท่าไรจึงไม่พัง		รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน	
At yield, $P_y = f_y \cdot A$	 Ref: www.wikipedia.com $P_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} A$	Within elastic, $P = \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$ = Stiffness • displacement	
$Strength \propto \{material (f_y), section(A)\}$		$Stiffness \propto \{material (E), section(A), length(L)\}$	
At 1 st yield, $M_y = f_y \cdot S_x$		Within elastic, $M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$ = Stiffness • displacement	
$Strength \propto \{material (f_y), section(S_x)\}$	$Stability \propto \{material (E), section(A), length(L)\}$	$Stiffness \propto \{material (E), section(I), length(L)\}$	

Fundamental of Structural Steel Stability

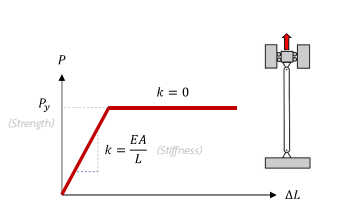
Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

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

At yield, $P_y = f_y \cdot A$



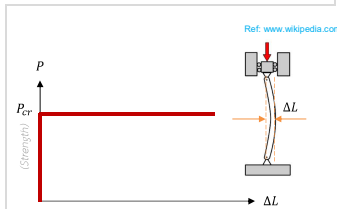
Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเลี้ยวรูปมากแค่ไหน

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

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



Stability

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

รับแรงลักษณะหนึ่งๆ ได้เท่าไรถึงไม่พัง ณ รูปร่างการเลี้ยวรูปแบบหนึ่งๆ

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

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

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

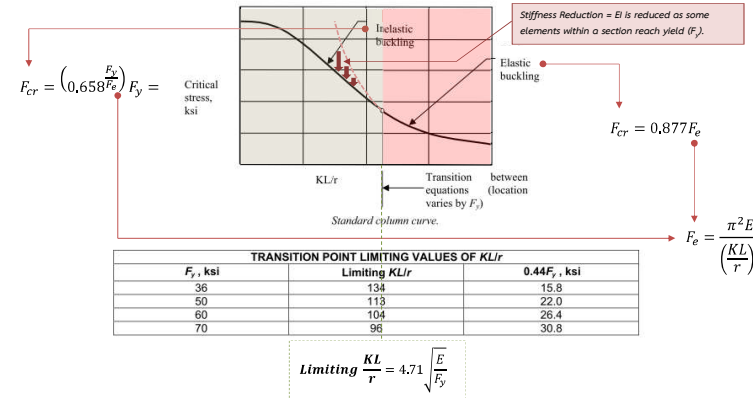
$$y(x) = C_1 \sin(\sqrt{P/EI} \cdot x) + C_2 \cos(\sqrt{P/EI} \cdot x)$$

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

Fundamental of Structural Steel Stability

AISC Load and Resistance Factor Design (AISC/LRFD)

How?



Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัดต่อ 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 $(L_c/r)_{limit}$ ดังนั้นเสาเป็นพฤติกรรม inelastic buckling
- Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด $(b/t)_{limit} = 1.40 \sqrt{E/F_y} = 1.40 \sqrt{(2,000,000/370)} = 32.5$ มากกว่า $b/t = (250-12 \cdot 2)/12 = 18.8$ เป็น compact section ไม่ต้องพิจารณา local buckling
- Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ $F_e = \pi^2 E / (L_c/r)^2 = \pi^2 (2,000,000) / (51.9)^2 = 7,322 \text{ ksc}$ $F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e} \cdot F_y = (0.658)^{(370/7,322)} \cdot 370 = 2,995 \text{ ksc}$ $P_n = P_{cr} = F_{cr} \cdot A = 2,995 \cdot 110.5 = 330,911 \text{ kg} = 331 \text{ Tons}$

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัดต่อ 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 $(L_c/r)_{limit} = 4.71 \sqrt{E/F_y} = 4.71 \sqrt{(2,000,000/370)} = 109.5$

Column Design Example

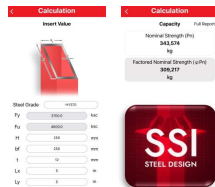
#WeLoveSteelConstruction

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

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และ H 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



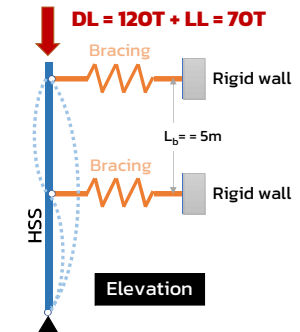
เทียบกับ Nominal strength ที่ได้จาก SSI Steel Design App ที่ 344 Ton (vs. 331 T จากการคำนวณมือ) ซึ่งต่างกันเล็กน้อยจากผลของ ขอบมุมหัก (App) vs. ขอบมุมดัด (Hand)

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 สวมติปปลาย ทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

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



ต้องตรวจสอบทั้ง stiffness และ strength ของ Bracing

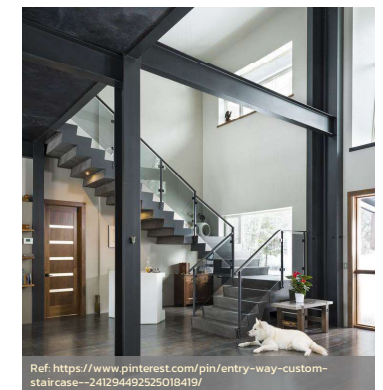
Design for Stability of Members

#WeLoveSteelConstruction

Structural Design Procedure

#WeLoveSteelConstruction

- ในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง วิศวกรผู้ออกแบบ (structural designer) จะเป็นผู้กำหนดเงื่อนไข และ สมมติฐานต่างๆ สำหรับการออกแบบโครงสร้าง ทั้งการออกแบบ เสา คาน จุดต่อ ฯลฯ
- เช่น สำหรับ “เสา” สถาปนิกเป็นผู้กำหนดความสูงระหว่างชั้น (floor-to-floor height, f2f height) โดยวิศวกรผู้ออกแบบ “อาจ” พิจารณาว่า floor plate (คานพื้น) มีความเพียงพอต่อการต้านทานการเสยรูปที่ปลาย “เสา” หรือ f2f height = **column unbraced length** ในแต่ละทิศทางหรือไม่
- เช่น สำหรับ “คาน” สถาปนิก เป็นผู้กำหนดตำแหน่งช่องเปิดที่ floor plate เพื่อใช้เป็นช่องบันได หรือกำหนดตำแหน่งทางเชื่อม (bridge) โดยวิศวกรจะเป็นผู้กำหนดลักษณะการจัดวางตำแหน่ง คานหลัก คานรอง และยังเป็นผู้พิจารณา ระยะ **beam unbraced length** ที่ใช้ในการออกแบบคาน

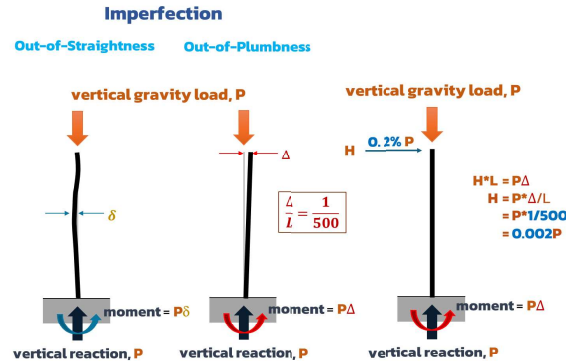


Ref: <https://www.pinterest.com/pin/entry-way-custom-staircase--241294492525018419/>

External Force Destabilization - 1

#WeLoveSteelConstruction

- ในการคำนวณกำลังรับแรงของ “เสา” วิศวกรผู้ออกแบบจะพิจารณากำหนด **column unbraced length** ในแต่ละทิศทาง จากตำแหน่งการค้ำยันที่ปลายเป็นหลัก เช่น ตำแหน่งตอม่อที่ติดกับ column base plate ตำแหน่งคานพื้นชั้นบน หรือ ตำแหน่งหลังคาชั้นดาดฟ้า เป็นต้น
- เราอาจจะทราบว่ “เสา” ทุกต้น มีความไม่สมบูรณ์แบบ (imperfection) เป็นธรรมดา ทั้งการไม่ตรงแนว (out of straightness) และการไม่ตั้งตั้งเป๊ะ (out of plumbness) และเราก็พอจะทราบแล้วว่า ความไม่สมบูรณ์แบบดังกล่าวนี้ส่งผลให้ **Destabilization** หรือการสูญเสียเสถียรภาพของเสาเพิ่มขึ้น **เมื่อระดับของแรง (P) เพิ่มขึ้น**

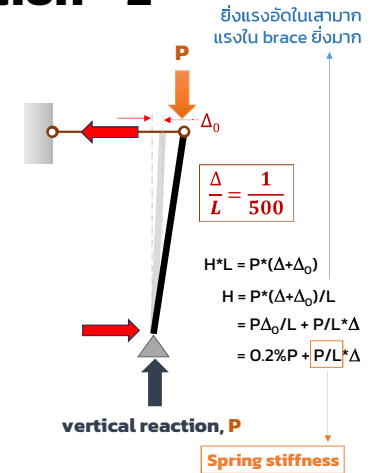


External Force Destabilization - 2

#WeLoveSteelConstruction

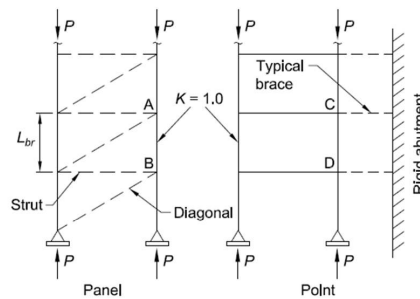
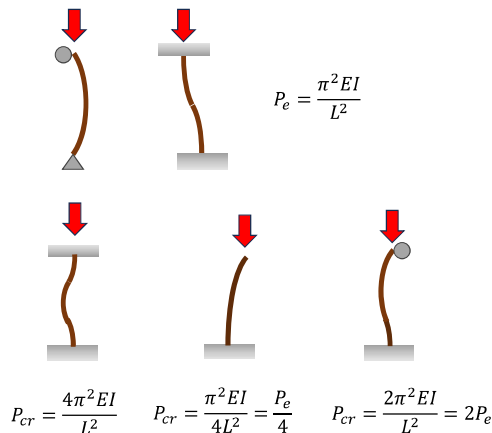
Discussion on Tension Member

- Tension Member** ต้องแข็งแรง มีกำลัง **strength** เพียงพอ “ไม่คราก” “ไม่ขาด”
 - Compression member จะวิบัติจากการเกิด flexural buckling $P = P_{cr} = P_e = \pi^2 EI / L^2$
- Tension Member** ต้องไม่ยืดมากจนเกินไป
 - การที่ **Tension Member** ยึดมากจนเกินไป จะส่งผลให้เกิด horizontal force ที่ member มาก จากแรง P
 - Horizontal force จะส่งผลให้เกิด internal moment ใน column ส่งผลให้ demand (combined axial bending) เพิ่มขึ้น
 - ดังนั้น ต้องควบคุม **stiffness** ของ **Tension Member** ให้เหมาะสม



External Force Destabilization - 3

#WeLoveSteelConstruction



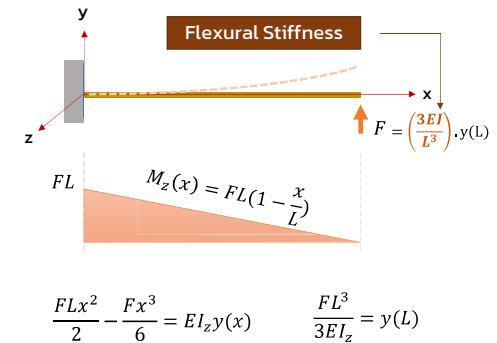
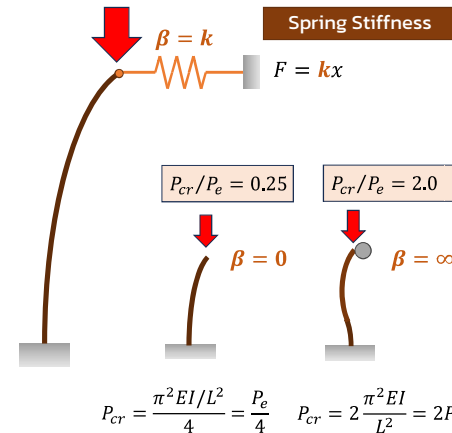
(a) Column bracing

Fig. C-A-6.1. Types of bracing.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 7

External Force Destabilization - 4

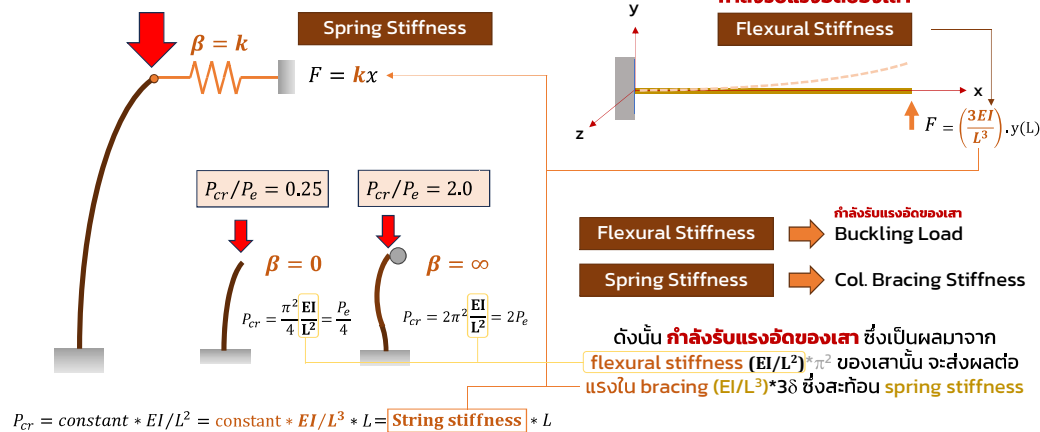
#WeLoveSteelConstruction



ถ้าใส่ Concentrated Load P ในทิศทาง y+ จะเกิด displacement (uplift) $FL^3/3EI$ หรือ beam stiffness ของระบบนี้ จะเท่ากับ $3EI/L^3$

External Force Destabilization - 5

#WeLoveSteelConstruction



External Force Destabilization - 6

#WeLoveSteelConstruction

- การพิจารณากำลังรับแรงอัดของ "เสา" เริ่มต้นจากการคำนวณ Euler's buckling load, P_e ซึ่งขึ้นกับ flexural stiffness (EI) และระยะปราศจากการค้ำยัน (L_c) ขององค์อาคารรับแรงอัด $P_e = \pi^2 EI / L_c^2$
- จากภาพ แกนตั้ง (y axis) เป็นกำลังรับแรงอัดของ compression member หนึ่งเทียบกับ P_e และ แกนนอน (x axis) เป็นค่า normalized column bracing stiffness
- ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่า ยิ่ง bracing stiffness สูง (ค่าทางแกน x สูง) ขึ้นเท่าใด ก็ต้อง apply แรงอัด P_{cr} มากขึ้น (แกน y สูงขึ้น) เพื่อทำให้องค์อาคารรับแรงอัดเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ (ที่ critical load)

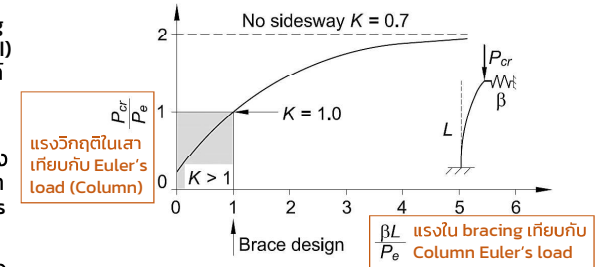


Fig. C-A-6.2. Cantilevered column with a variable stiffness brace at its top.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

External Force Destabilization - 7

#WeLoveSteelConstruction

- ที่ $P_{cr}/P_e = 1$ หรือ $P_{cr} = P_e = \pi^2 EI / L_c^2$... ค่า normalized column bracing stiffness = $\beta L / P_e = 1$ หรือ $P_e = \beta L$ โดยที่ β = spring stiffness ที่ปลาย หรือ $\beta_1 = \pi^2 EI / L^3$
- ที่ระดับแรงวิกฤตต่างๆ เช่น $P_{cr}/P_e = 0.25$ หรือ $P_{cr} = (1/4) * P_e = (1/4) * \pi^2 EI / L_c^2$ หากนำหลักการ Effective Length Method (ELM) เข้ามาใช้จะพบว่า $K = 2.0$ จะเป็นกรณีเกิด sway ที่ปลายเสา หรืออธิบายได้ว่า $\beta L / P_e = 0$ ซึ่งเป็นกรณีที่ β = spring stiffness = 0 เป็น cantilevered column
- ที่ระดับแรงวิกฤตมาก เช่น $P_{cr}/P_e = 2$ หรือ $K = 0.7$ จะเป็นกรณีที่ปลายเสาเป็น roller (no sway) หรืออธิบายได้ว่า $\beta L / P_e = \infty$ ซึ่งเป็นกรณีที่ β มีค่าสูงมากๆ เมื่อเทียบกับ P_e

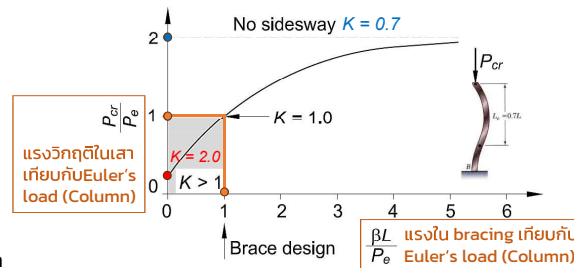
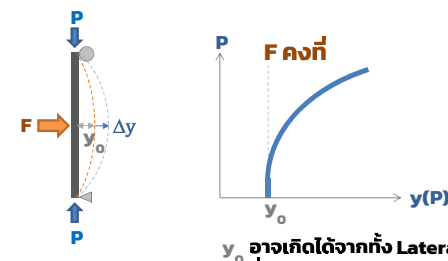


Fig. C-A-6.2. Cantilevered column with a variable stiffness brace at its top.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

Structural Steel Stability Fundamental

With initial transverse deformation (y_0 , imperfection), deformation will be increased exponentially when subjected to more axial load.

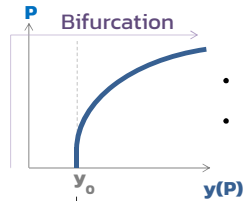


y_0 อาจเกิดได้จากทั้ง Lateral Load หรือ Imperfection ซึ่ง Imperfection อาจเกิดได้จากทั้ง

- (1) member out-of-straightness (ประมาณ 1/1,000) และ/หรือ
- (2) erection out-of-plumbness (ประมาณ 1/500)

Structural Steel Stability Fundamental

Therefore, bifurcation is not the true behavior of axial compression consideration.



- Bifurcation นี้ เป็นพฤติกรรมที่ไม่ได้เกิดขึ้นจริง
- สิ่งที่เกิดขึ้นจริงคือการเกิด Deformation Amplification

จาก Lateral Load หรือ
จาก Imperfection (out-of-straightness)

External Force Destabilization - 8

#WeLoveSteelConstruction

- หากพิจารณาแกนนอน ว่าเป็นระยะ total displacement ($\Delta + \Delta_0$) ที่ปลายเสา เมื่อเทียบกับการเสียรูปเมื่อเริ่มต้น initial displacement (Δ_0) จากการติดตั้งเสาไม่ได้ตั้ง (ตามเกณฑ์การติดตั้งหลุดถึงได้ไม่เกิน $L_{br}/500 = 0.002L_{br}$)
- จะเห็นว่า ระดับของแรง P ที่เพิ่มขึ้น จะไปทำให้ displacement (Δ) ที่เกิดจากแรง P เพิ่มขึ้นมาก หาก spring stiffness มีค่าเป็นไปตามทฤษฎี หรือ $\beta = \beta_i$ ideal spring stiffness $= P_e/L = \pi^2 EI/L^3$ (ค่าคงที่)
- แต่หากเพิ่ม spring stiffness เป็น 2 เท่า $\beta = 2\beta_i$ พบว่า spring displacement (Δ) จะเพิ่มตามระดับของแรง P แบบเชิงเส้นจนถึงจุดหนึ่ง จะเกิดการ destabilized (แทบ) ไม่เกิด sidesway แต่จะเสียเสถียรภาพจาก pin-pin buckling, $P = P_e$

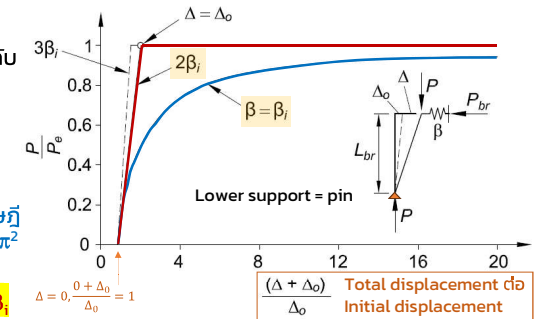


Fig. C-A-6.3. Effect of initial out-of-plumbness.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

External Force Destabilization - 9

#WeLoveSteelConstruction

- หากพิจารณาแกนนอน ว่าเป็นแรงใน column bracing P_{br} ที่ % เมื่อเทียบกับแรงอัด P ที่กระทำกับเสา โดยที่ initial displacement คงที่ ($\Delta_0 = 0.002L_{br}$)
- ระดับ P_{br} จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงอัด P เพิ่มขึ้น หาก column bracing stiffness มีค่าเท่ากับ ideal stiffness $\beta = \beta_i = P_e/L$ ระบบเกิด sidesway ($P < P_e$)
- หาก column bracing stiffness มีค่าเป็น 2 เท่าของ ideal stiffness $\beta = 2\beta_i = 2P_e/L$ จะได้ว่าที่ระดับของแรงใน column bracing รว 0.4% ของแรง P ($P_{br} = 0.004P$) เสาที่รับแรงอัด P จะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพจาก pin-pin buckling, $P = P_e$ (แทบ) ไม่เกิด sidesway

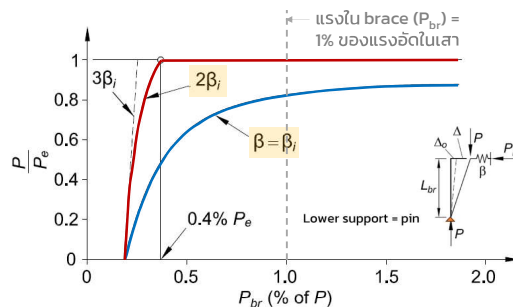
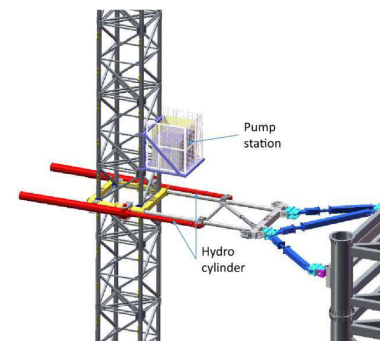


Fig. C-A-6.3. Effect of initial out-of-plumbness.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

Stability Bracing

#WeLoveSteelConstruction



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

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

Related References

#WeLoveSteelConstruction

- **AISC 360-16** ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับ Member Stability Bracing ไว้ใน Appendix 6 โดยมาตรฐาน **วสท. 011038-22** มาตรฐานเพื่อการออกแบบอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ได้ระบุไว้ใน ภาคผนวก จ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร
- ในมาตรฐานทั้ง 2 ฉบับ ล้วนระบุให้ ระบบค้ำยันต้องมีกำลัง **strength** (ความสามารถในการต้านทานแรง) และสติฟเนส **stiffness** (ความสามารถในการต้านทานการเสียรูป) ที่มากเพียงพอ
- การค้ำยันแบบแผง (panel bracing) ใช้สำหรับการควบคุมการเบี่ยงเบนเชิงมุม ในขณะที่การค้ำยันแบบจุด (point bracing) ใช้สำหรับการควบคุมการเคลื่อนตัวของ member ณ แขนงที่ถูกค้ำยัน โดยไม่มีผลใดๆ กับตำแหน่งที่ถูกค้ำยันอีกจุดที่อยู่ติดกัน

APPENDIX 6 MEMBER STABILITY BRACING

This appendix addresses the minimum strength and stiffness necessary to provide a braced point in a column, beam or beam-column.

The appendix is organized as follows:

- 6.1. General Provisions
- 6.2. Column Bracing
- 6.3. Beam Bracing
- 6.4. Beam-Column Bracing

User Note: Stability requirements for lateral force-resisting systems are provided in Chapter C. The provisions in this appendix apply to bracing that is not generally included in the analysis model of the overall structure, but is provided to stabilize individual columns, beams and beam-columns. Guidance for applying these provisions to stabilize trusses is provided in the Commentary.

6.1. GENERAL PROVISIONS

Bracing systems shall have the **strength** and **stiffness** specified in this Appendix, as applicable. Where such a system braces more than one member, the strength and stiffness of the bracing shall be based on the sum of the required strengths of all members being braced. The evaluation of the stiffness furnished by the bracing shall include the effects of connections and anchoring details.

User Note: More detailed analyses for bracing strength and stiffness are presented in the Commentary.

A panel brace (formerly referred to as a relative brace) controls the angular deviation of a segment of the braced member between braced points (that is, the lateral displacement of one end of the segment relative to the other). A point brace (formerly referred to as a nodal brace) controls the movement at the braced point without direct interaction with adjacent braced points. A continuous bracing system consists of bracing that is attached along the entire member length.

Ref: Appendix 6, AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings"



ภาคผนวก จ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร | 311

ภาคผนวก จ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร

ภาคผนวกนี้กล่าวถึงกำลังและสติฟเนสต่ำสุดที่จำเป็นเพื่อกำหนดตำแหน่งที่ถูกค้ำยันในเสา คาน หรือคาน-เสา โดยเนื้อหาประกอบด้วย 4 ข้อหลัก คือ

จ.1 ข้อบังคับทั่วไป

➔ จ.2 ค้ำยันในเสา

จ.3 ค้ำยันในคาน

จ.4 ค้ำยันในคาน-เสา

หมายเหตุ: ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพสำหรับระบบต้านแรงด้านข้างได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ส่วนข้อบังคับในภาคผนวกนี้ให้ใช้สำหรับค้ำยันที่โดยทั่วไปแล้วไม่ได้รวมอยู่ในแบบจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวมแต่มีไว้เพื่อทำให้เสา คาน และคาน-เสามีเสถียรภาพ

๑.2 ค้ำยันในเสา

อนุญาตให้ทำการค้ำยันด้านข้างที่ตำแหน่งปลายหรือที่ตำแหน่งภายในตลอดความยาวของแต่ละเสาโดยใช้การค้ำยันแบบแผง (Panel Brace) หรือการค้ำยันแบบจุด (Point Brace / Nodal Brace)

หมายเหตุ: ข้อนี้ระบุเฉพาะข้อกำหนดของการค้ำยันด้านข้างเท่านั้น โดยสมมติให้การค้ำยันด้านข้างของเสากระทำ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงเฉือน (Shear Center) ของเสา ในกรณีที่ค้ำยันด้านข้างไม่มีส่วนช่วยต้านการบิด อาจทำให้เสาคิดการโก่งเดาะแบบบิดได้ ดังที่ระบุไว้ในข้อ 5.4 ในกรณีที่ค้ำยันด้านข้างเยื้องออกจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงเฉือน อาจทำให้เสาคิดการโก่งเดาะแบบบิดตามแกนที่ถูกยึดตั้ง

๑.2.1 การค้ำยันแบบแผง

ระบบการค้ำยันแบบแผง (Panel Brace) ต้องมีกำลังและสติฟเนสตามที่ระบุไว้ในข้อนี้ รอยต่อของระบบค้ำยันกับเสาต้องมีกำลังตามที่ระบุไว้ในข้อ ๑.2.2 สำหรับจุดค้ำยัน ณ บริเวณดังกล่าว

หมายเหตุ: ถ้าสติฟเนสของรอยต่อของระบบการค้ำยันแบบแผงมีค่าใกล้เคียงกับสติฟเนสของตัวระบบค้ำยันแบบแผงเอง ระบบการค้ำยันแบบแผงและรอยต่อกับเสาทำหน้าที่เป็นระบบการค้ำยันแบบแผงและแบบจุดที่เรียงต่อกันเป็นอนุกรม ในกรณีดังกล่าวอาจทำการประเมินโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเลือกตามที่ระบุไว้ในข้อ ๑.1

กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการของระบบค้ำยัน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของเสาคำนวณจาก

$$V_{br} = 0.005P_r \quad (๑-1)$$

และสติฟเนสแบบเฉือนที่ต้องการของระบบค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{2P_r}{L_{br}} \right) \text{ (LRFD)} \quad (๑-2ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{2P_r}{L_{br}} \right) \text{ (ASD)} \quad (๑-2ข)$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

โดยที่

L_{br} = ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันภายในแนงที่พิจารณา (มม.)

P_r = ค่ากำลังตามแกนที่ต้องการของเสากายในแนงที่พิจารณา โดยใช้การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกใน LRFD หรือ ASD (นิวตัน)

๑.2.2 การค้ำยันแบบจุด

กำลังที่ต้องการของค้ำยันแบบจุด (Point Brace / Nodal Brace) ที่บริเวณปลายและตำแหน่งภายใน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของเสาคำนวณจาก

$$P_{br} = 0.01P_r \quad (๑-3)$$

และสติฟเนสที่ต้องการของค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{8P_r}{L_{br}} \right) \text{ (LRFD)} \quad (๑-4ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{8P_r}{L_{br}} \right) \text{ (ASD)} \quad (๑-4ข)$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

โดยที่

L_{br} = ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยัน (มม.)

P_r = ค่ากำลังตามแกนที่ต้องการสูงสุดของเสากายในช่วงความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยัน โดยใช้การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกใน LRFD หรือ ASD, (นิวตัน)

Column lateral bracing - 1

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อเสาค้ำยันรับแรงอัดมากเกินไป จะเกิดการหดสั้นลง ในสภาพอีลาสติก (elastic shortening) เมื่อแรงอัดยังไม่น่าหนัก และในขณะเดียวกัน ก็จะมีพฤติกรรมที่จะเกิดการดัดตัวรอบแกนอ่อน (weak-axis flexure)
- ความขรุขระ รอบแกนอ่อน จะพิจารณาด้วยตัวแปร L_b/r โดยที่ L_b คือความยาวที่ปราศจากการค้ำยัน (unbraced length) และ r คือ รัศมีจอร์เจียน ซึ่งมีค่าเท่ากับรากที่สองของโมเมนต์เฉื่อยต่อพื้นที่หน้าตัด $\sqrt{I/A}$ โดยที่ทั้ง L_b และ r ต้องพิจารณาในทิศทาง (แกน x แกน y ของหน้าตัด) ที่ให้ค่า L_b/r สูงที่สุด ซึ่งสะท้อนความขรุขระมากที่สุด
- ประเด็นสำคัญคือ ความยาว L_b เป็นความยาวระหว่างจุดที่มีการค้ำยันทางข้างสมบูรณ์ column lateral bracing มีทั้ง strength และ stiffness ที่มากเพียงพอ column รับแรงได้ถึง flexural buckling โดยที่ bracing ยังดีอยู่



Ref: <https://oldstructures.nyc/2018/07/24/structural-stability-lateral-bracing/>

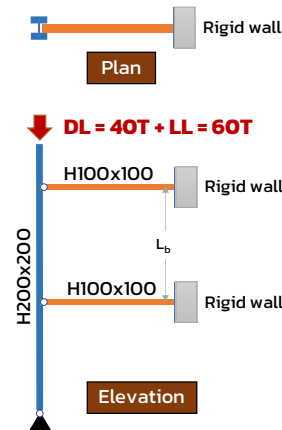


Ref: <https://interdemo.com.au/recent-past-projects/#5>

Column lateral bracing – 3 (Example)

#WeLoveSteelConstruction

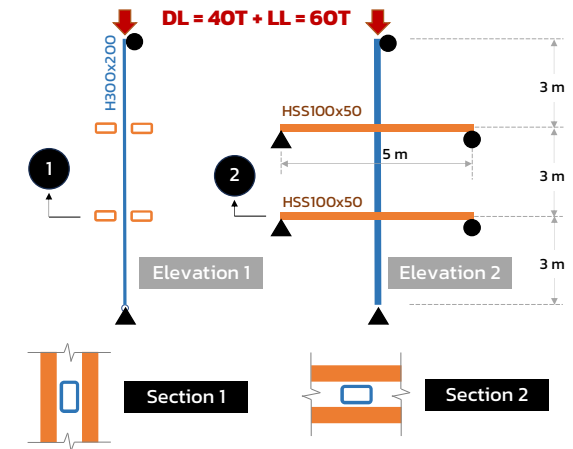
- Column: H200x200x7x10, $F_y = 365$ MPa, $L_b = 3$ m
Bracing: H100x100x6x8, $F_y = 365$ MPa, $L_{br} = 4$ m
Loading: DL = 40T LL = 60T
- แรงที่กระทำกับ Column bracing = $0.01P_r = 0.01 \times 100 = 1T$
ตรวจสอบขนาด Column bracing ว่า **Strength** เพียงพอหรือไม่
ด้วย **SSI Steel Design Mobile Application** ได้ P_n (H100x50)
= 1.59T หรือ P_{allow} (ASD) = $1.59/2 = 0.8T < 1T$ **Not OK**
- เพิ่มขนาด Column bracing เป็น H100x100x6x8 จะได้ $P_n = 14.4T$ หรือ P_{allow} (ASD) = $14.4/2 = 7.2T > 1T$ **OK**
- ตรวจสอบขนาด Column bracing ว่า **Stiffness** เพียงพอหรือไม่
 β_{br} (ASD) = $\Omega (8P_r/L_{br}) = 2 * (8 \times 100/3) = 533$ T/m = 5,333 kg/cm
เทียบกับ Axial stiffness ของ Column bracing = $\beta_b = AE/L = (21.9 \text{ cm}^2)(2,000,000 \text{ ksc})/400 \text{ cm} = 109,500 \text{ kg/cm} > 5,333 \text{ kg/cm}$ **OK**



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยค้ำยันตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยค้ำยันตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 1: คำนวณ required compressive strength

ASD	LRFD
$P_a = DL + LL = 40 + 60 = 100$ T	$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(40) + 1.6(60) = 144$ T

Step 2: คำนวณ required brace force (required moment)

ASD	LRFD
$P_r = P_a = 100$ T	$P_r = P_u = 144$ T
$P_{br} = 0.01 \times P_r = 1$ T $M_{br} = P_r L/4 = 1 \times 5/4 = 1,250$ kg-m	$P_{br} = 0.01 \times P_r = 1.4$ T $M_{br} = P_r L/4 = 1.4 \times 5/4 = 1,705$ kg-m

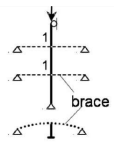
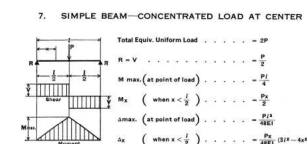
Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยค้ำยันตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\beta_{br} = \Omega * (8 \frac{P_r}{L_{br}}) = 2 * (8 * \frac{100T}{3m}) = 533.3$ T/m	$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} * (8 \frac{P_r}{L_{br}}) = \frac{1}{0.75} * (8 * \frac{144T}{3m}) = 512$ T/m



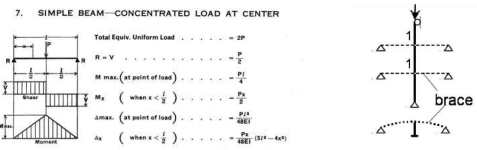
Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาต่อเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$I_{br} = \frac{\beta_{br} L^3}{48E}$ $= \frac{533.3 \times 1,000 \times 5^3}{48 \times 2 \times 10^7}$ $= 6,944.01 \text{ cm}^4$	$I_{br} = \frac{\beta_{br} L^3}{48E}$ $= \frac{512 \times 1,000 \times 5^3}{48 \times 2 \times 10^7}$ $= 6,666.67 \text{ cm}^4$



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาต่อเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

6.2. COLUMN BRACING

$$\beta_i = \left(4 - \frac{2}{n} \right) \frac{P_i}{L_{br}} \quad (C-A-6-5)$$

The most severe case (many braces) is adopted for the brace stiffness requirement in Equation A-6-4, i.e., $\beta_{br} = 2 \times 4P_i / L_{br}$. The brace stiffness in Equation A-6-4 can be multiplied by the following ratio to account for the actual number of braces:

$$\left(\frac{2n-1}{2n} \right)$$

In Equation A-6-4, when the actual brace spacing is less than the value of the effective length, L_{br} , that enables the column to reach P_i , the calculated required stiffness may become quite conservative since the stiffness equations are inversely proportional to L_{br} . In such cases, L_{br} can be taken equal to L_{cx} . This practice constitutes a simple method of designing for partial bracing; that is, bracing that is sufficient to develop the member's required strength but is not sufficient to develop the member's strength based on $L_c = L_{br}$. This substitution is also permitted for beam point lateral bracing in Equation A-6-8.

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาต่อเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

$$\frac{2n-1}{2n} = \frac{2 \times (2)-1}{2 \times 2} = 0.75$$

ASD	LRFD
$L_{cx} = 3.97 \text{ m } (P_a = 100 \text{ T})$ $\beta_{br} = 0.75 \times \left[\Omega \times \left(8 \frac{P_{br}}{L_{br}} \right) \right]$ $= 0.75 \times \left[2 \times \left(8 \times \frac{100}{3.97} \right) \right]$ $= 302.26 \text{ T/m}$ $= 3,022.6 \text{ kg/cm}$	$L_{cx} = 4.14 \text{ m } (P_u = 144 \text{ T})$ $\beta_{br} = 0.75 \times \left[\frac{1}{\phi} \times \left(8 \frac{P_{br}}{L_{br}} \right) \right]$ $= 0.75 \times \left[\frac{1}{0.75} \times \left(8 \times \frac{144}{4.14} \right) \right]$ $= 278.26 \text{ T/m}$ $= 2,782.6 \text{ kg/cm}$

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาต่อเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$L_{cx} = 3.97 \text{ m } (P_a = 100 \text{ T})$ $\beta_{br} = 3,022.6 \text{ kg/cm}$	$L_{cx} = 4.14 \text{ m } (P_u = 144 \text{ T})$ $\beta_{br} = 2,782.6 \text{ kg/cm}$
$I_{br} = \frac{\beta_{br} L^3}{48E}$ $= \frac{3,022.6 \times 5^3}{48 \times 2 \times 10^7}$ $= 3,935.68 \text{ cm}^4$	$I_{br} = \frac{\beta_{br} L^3}{48E}$ $= \frac{2,782.6 \times 5^3}{48 \times 2 \times 10^7}$ $= 3,623.18 \text{ cm}^4$

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง

- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 4: คำนวณ available brace strength

จาก SSI Steel Design App
คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดของ HSS 100x50x3.2 mm
 $M_n = 708 \text{ kg-m}$



Step 5: คำนวณ available brace stiffness

จาก SSI Steel Design App
คำนวณ stiffness (moment of inertia) ของ HSS 100x50x3.2 mm
 $I_x = 118.72 \text{ cm}^4$
 $I_y = 39.52 \text{ cm}^4$

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง

- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 6: ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Check brace strength

ASD	LRFD
$M_a = 1.25 \text{ T-m}$	$M_u = 1.705 \text{ T-m}$
$M_n/\Omega = 0.708/1.67 = 0.424 \text{ T-m} < M_a$ NG	$\phi M_n = 0.9*(0.708) = 0.637 \text{ T-m} < M_u$ NG

Check brace stiffness

ASD	LRFD
$I_{br} = 3,935.68 \text{ cm}^4$	$I_{br} = 3,623.18 \text{ cm}^4$
$I_x = 118.72 \text{ cm}^4 < I_{br}$ NG	$I_x = 118.72 \text{ cm}^4 < I_{br}$ NG

ต้องเพิ่มขนาดของ bracing member (HSS100x50x3.2 ไม่พอ)

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- ตัวอย่าง จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลัดจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง

- Step 1: คำนวณ required compression force
- Step 2: คำนวณ required bracing force
- Step 3: คำนวณ required bracing stiffness
- Step 4: คำนวณ available bracing strength
- Step 5: คำนวณ available bracing stiffness
- Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 6: ตรวจสอบ brace strength & stiffness

เพิ่มขนาดของ bracing member เป็น HSS250x150x6.0

Check brace strength

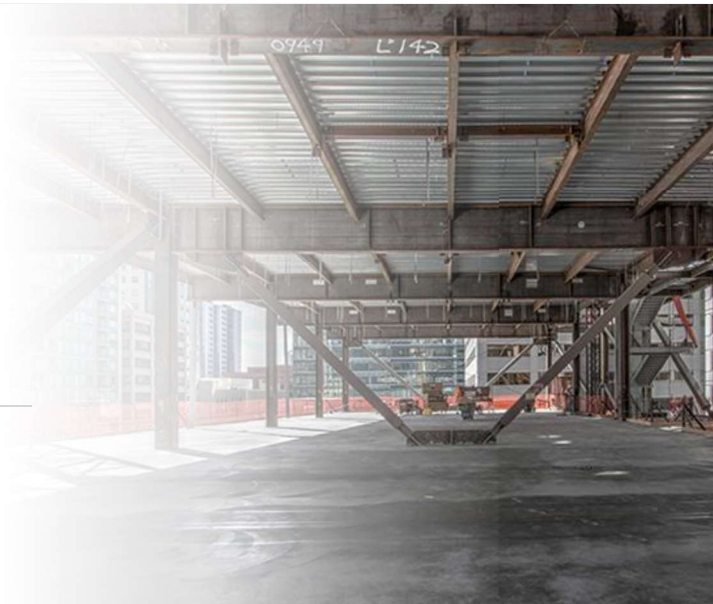
ASD	LRFD
$M_a = 1.25 \text{ T-m}$	$M_u = 1.705 \text{ T-m}$
$M_n/\Omega = 9.3/1.67 = 5.57 \text{ T-m} > M_a$ OK	$\phi M_n = 0.9*(9.3) = 8.37 \text{ T-m} > M_u$ OK

Check brace stiffness

ASD	LRFD
$I_{br} = 3,935.68 \text{ cm}^4$	$I_{br} = 3,623.18 \text{ cm}^4$
$I_x = 4,028 \text{ cm}^4 > I_{br}$ OK	$I_x = 4,028 \text{ cm}^4 > I_{br}$ OK

การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน Beam lateral bracing

#WeLoveSteelConstruction





ภาคผนวก ฉ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร

ภาคผนวกนี้กล่าวถึงกำลังและสถิติในสภาวะที่จำเป็นเพื่อกำหนดตำแหน่งที่ถูกค้ำยันในเสา คาน หรือคาน-เสา โดยเนื้อหาประกอบด้วย 4 ข้อหลัก คือ

ฉ.1 ข้อบังคับทั่วไป

ฉ.2 ค้ำยันในเสา

➔ ฉ.3 ค้ำยันในคาน

ฉ.4 ค้ำยันในคาน-เสา

หมายเหตุ: ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพสำหรับระบบต้านแรงด้านข้างได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ส่วนข้อบังคับในภาคผนวกนี้ให้ใช้สำหรับค้ำยันที่โดยทั่วไปแล้วไม่ได้รวมอยู่ในแบบจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวมแต่มีไว้เพื่อทำให้เสา คาน และคาน-เสามีเสถียรภาพ

ฉ.3 ค้ำยันในคาน

คานต้องถูกยึดรั้งด้านการหมุนรอบแกนตามยาวที่ตำแหน่งฐานรองรับ ในกรณีที่มีการออกแบบสมมติให้ตำแหน่งที่ถูกค้ำยันอยู่ระหว่างตำแหน่งฐานรองรับ การค้ำยันด้านข้าง การค้ำยันด้านการบิด หรือการค้ำยันทั้งสองแบบรวมกัน ต้องป้องกันไม่ให้เกิดการจัดสัมผัสของปีกบนและล่าง (เพื่อป้องกันการบิด) สำหรับกรณีขององค์อาคารภายใต้การดัดโค้งคู่ (Double Curvature) จุดเปลี่ยนเว้าไม่ถือว่าเป็นตำแหน่งที่ถูกค้ำยันยกเว้นจะมีการค้ำยันที่บริเวณนั้น

ข้อกำหนดที่ระบุไว้ในข้อนี้ใช้สำหรับการค้ำยันขององค์อาคารซึ่งมีเหล็กทรงตัว I ที่สมมาตรแกนเดียวและสมมาตรทั้งสองแกน ภายใต้การดัดในระนาบที่สมมาตรและไม่มีแรงกระทำตามแกน

ฉ.3.1 การค้ำยันด้านข้าง การค้ำยันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด buckling ออกทางข้าง ??

การค้ำยันด้านข้างต้องติดตั้งที่หรือบริเวณที่ใกล้กับปีกคานที่รับแรงอัด ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้

- (1) ที่ปลายอิสระของคานยื่น ค้ำยันด้านข้างต้องติดตั้งที่หรือบริเวณที่ใกล้กับปีกบนของคานที่รับแรงดึง
- (2) สำหรับคานที่ถูกค้ำยันภายใต้การดัดสองโค้ง ค้ำยันต้องติดตั้งที่หรือบริเวณที่ใกล้กับทั้งสองที่ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดเปลี่ยนเว้ามากที่สุด

สำหรับการค้ำยันด้านข้างของคาน อนุญาตให้ใช้การค้ำยันแบบแผงหรือการค้ำยันแบบจุดก็ได้

ฉ.3.1.1 การค้ำยันแบบแผง อะไรคือการค้ำยันแบบแผง??

ระบบการค้ำยันแบบแผงต้องมีกำลังและสถิติในสภาวะที่ระบุไว้ในข้อนี้ รอยต่อของระบบค้ำยันกับองค์อาคารต้องมีกำลังตามที่ระบุไว้ในข้อ ฉ.3.1.2 สำหรับจุดค้ำยัน ณ บริเวณดังกล่าว

หมายเหตุ: ผลกระทบของสถิติในสภาวะรอยต่อที่มีต่อระบบการค้ำยันแบบแผงต้องประเมินตามที่ระบุไว้ในหมายเหตุของข้อ ฉ.2.1

กำลังรับแรงเฉือนของโครงสร้างระบบค้ำยันคืออย่างไร??

กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการของระบบค้ำยันคำนวณจาก

ต้องเช็คทั้ง กำลังและสถิติในเสา??
$$V_{br} = 0.01 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (ฉ-5)$$

สถิติในเสาสองแบบของโครงสร้างระบบค้ำยันคืออย่างไร??

และสถิติในเสาสองแบบที่ต้องการของระบบค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \text{ (LRFD)} \quad (ฉ-6ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \text{ (ASD)} \quad (ฉ-6ข)$$

โดยที่

- C_d = 1.0 ในทุกรูปแบบ
- = 2.0 สำหรับค้ำยันคู่โดยใช้จุดยึดคานยาวที่สุด สำหรับกรณีคานยาวเกินกว่า 10 ฟุต
- L_{br} = ระยะยาวจากค้ำยันค้ำยันในแนวตั้งที่พิจารณา (mm)
- M_r = กำลังรับแรงดัดที่พิจารณาจากขาคานในแนวตั้งที่พิจารณา โดยใช้การดัดคู่ที่ใกล้กับคาน (mm-kN) หรือ (ft-kip)
- h_o = ระยะระหว่างจุดยึดค้ำยันค้ำยัน (mm)

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

ฉ.3.1.2 การค้ำยันแบบจุด อะไรคือการค้ำยันแบบจุด ต่างจากการค้ำยันแบบแผงอย่างไร??

กำลังที่ต้องการของค้ำยันแบบจุดที่ปลายและที่ตำแหน่งภายใน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของคานคำนวณจาก

$$P_{br} = 0.02 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (ฉ-7)$$

และสติฟเนสที่ต้องการของค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10 M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (ฉ-8ก)$$

ทำไมคิดค้ำยันแบบการต้านทานแรงในแนวแกน??

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10 M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (ฉ-8ข)$$

$$\phi = 0.75 \quad (\text{LRFD})$$

$$\Omega = 2.00 \quad (\text{ASD})$$

โดยที่

L_{br} = ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันซึ่งอยู่ติดกับจุดค้ำยัน (mm.)

M_r = ค่ากำลังโมเมนต์ดัดที่ต้องการสูงสุดของคานภายในช่วงความยาวที่ปราศจากการค้ำยันซึ่งอยู่ติดกับจุดค้ำยัน โดยใช้การคูณด้วยปัจจัยบรรทุกใน LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มม.)

ฉ.3.2 การค้ำยันด้านการบิด กรณีไหนเป็นการค้ำยันด้านการบิด??

ค้ำยันด้านการบิดอนุญาตให้ติดตั้งที่บริเวณใดของหน้าตัดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งที่บริเวณใกล้กับปีกคานรับแรงอัด

ฉ.3.2.1 การค้ำยันแบบจุด กรณีไหนเป็นการค้ำยันด้านการบิด แบบเป็นจุด??

กำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการของค้ำยัน รอบแกนตามยาวของคานคำนวณจาก

$$M_{br} = 0.02 M_r \quad (ฉ-9)$$

และสติฟเนสแบบดัดที่ต้องการของค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}} \right)} \quad (ฉ-10)$$

โดยที่

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \frac{2.4 L}{n E I_{yeff}} \left(\frac{M_r}{C_b} \right)^2 \quad (\text{LRFD}) \quad (ฉ-11ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \frac{2.4 L}{n E I_{yeff}} \left(\frac{M_r}{C_b} \right)^2 \quad (\text{ASD}) \quad (ฉ-11ข)$$

$$\beta_{sec} = \frac{3.3 E}{h_o} \left(\frac{1.5 h_o t_w^2}{12} + \frac{t_{st} b_s^3}{12} \right) \quad (ฉ-12)$$

$\frac{M_r}{C_b}$

= ค่าสูงสุดของกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการหารด้วยตัวคูณการบิดของโมเมนต์ ภายในช่วงความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยันโดยใช้การคูณด้วยน้ำหนักบรรทุกใน LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มม.)

b_s

= ความกว้างของแผ่นเสริมสติฟเนส สำหรับแผ่นเสริมสติฟเนสแบบด้านเดียว (mm.)

c

= ระยะจากแกนเสกถึงจุดที่รับหน่วยแรงดัดสูงสุด (mm.)

n

= จำนวนของด้านที่ลูกค้ำยันตลอดความยาวช่วง

t

= ระยะจากแกนเสกถึงจุดที่รับหน่วยแรงดัดสูงสุด (mm.)

t_w

= ความหนาของเยื่อคาน (mm.)

t_{st}

= ความหนาของแผ่นเสริมสติฟเนส (mm.)

β_T

= สติฟเนสที่ต้องการของระบบค้ำยันโดยรวม (นิวตัน-มม./เรเดียน)

β_{sec}

= สติฟเนสด้านการบิดเฉื่อยของเยื่อ ค้างรวมของแผ่นเสริมกำลังตามขวางของเยื่อด้วย (นิวตัน-มม./เรเดียน)

ฉ.3.2.2 การค้ำยันแบบต่อเนื่อง กรณีไหนเป็นการค้ำยันด้านการบิด แบบต่อเนื่อง??

สำหรับการค้ำยันด้านการบิดแบบต่อเนื่อง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

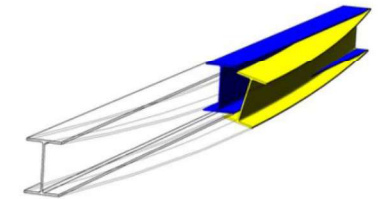
- (1) กำลังของค้ำยันที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยความยาวของคานคำนวณจากสมการที่ ฉ 9 หารด้วยความยาวที่ปราศจากการค้ำยันสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้กับคานซึ่งขึ้นอยู่กับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการ M_r โดยกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการ M_r ต้องใช้ค่าที่สูงที่สุดตลอดความยาวช่วงของคาน
- (2) สติฟเนสของค้ำยันที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยความยาวของคานคำนวณจากสมการที่ ฉ-10 และ ฉ-11 โดยใช้ค่า $L/n = 1.0$
- (3) สติฟเนสด้านการบิดเฉื่อยของเยื่อคำนวณจาก

$$\beta_{sec} = \frac{3.3 E t_w^3}{12 h_o} \quad (ฉ-13)$$

Beam lateral bracing - 1

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อคานเกิดการดัดตัวจากโมเมนต์บวก (M^+) คานจะเกิด compression zone ด้านบนและ tension zone ด้านล่างซึ่ง compression zone ด้านบนนี้ก็พยายามจะ buckling รอบแกนอ่อน



- โมเมนต์ (M^+) มาก compression ที่ top chord ยิ่งมาก ขนาดของ lateral bracing ยิ่งต้องมาก ทั้งมิติของความสามารถต้านทานแรง strength และความสามารถต้านทานการเสถียร stiffness

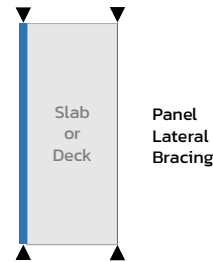
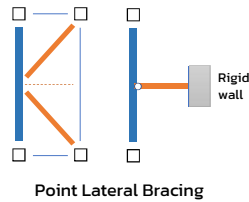


- การพิจารณา เริ่มจากจำแนกประเภทการค้ำยันทางข้างสำหรับคาน AISC 360-16: Appendix 6 จำแนกออกเป็น 2 ประเภท

Beam lateral bracing - 2

#WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน ประเภทที่ 1
Lateral bracing
- ขณะที่เกิด beam buckling คานจะไม่ buckle ออกทางข้าง ระบบ bracing มีความสามารถต้าน "lateral translation" (แต่คานหลัก สีฟ้า อาจบิด ตัวเกิด torsion ได้)
- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แทบจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง
- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



Beam lateral bracing - 3

#WeLoveSteelConstruction

The required shear strength of the bracing system is

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

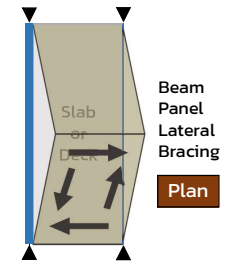
and, the required shear stiffness of the bracing system is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (A-6-6a)$$

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

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

- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือน โดยพิจารณา ที่ 1% ของแรงอัดใน compression flange = $0.01M_r/h_o$
- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสถียรจากแรงเฉือน ของ Slab/Deck



Beam lateral bracing - 4

#WeLoveSteelConstruction

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

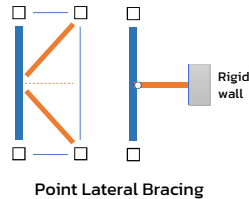
$$P_{br} = 0.02 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (A-6-7)$$

and, the required stiffness of the brace is

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

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (A-6-8b)$$

- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับแรงอัด โดยพิจารณา ที่ 2% ของแรงอัดใน compression flange = $0.02M_r/h_o$

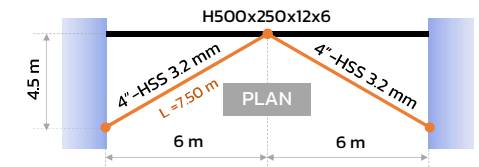
- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสถียรจากแรงอัด ของ คานชอยค้ำยันทางข้าง

Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางข้าง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางข้าง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" ขนาด 3.2 mm เกรด SS400

- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness



Step 1: คำนวณ required strength

ASD	LRFD
$W_a = DL + LL = 400 + 800 = 1,200 \text{ kg/m}$	$W_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(400) + 1.6(800) = 1,760 \text{ kg/m}$
$M_a = W_a L^2 / 8 = 1,200 \cdot 12^2 / 8 = 21,600 \text{ kg-m}$	$M_u = W_u L^2 / 8 = 1,760 \cdot 12^2 / 8 = 31,680 \text{ kg-m}$
$P_{br} = 0.02 (M_r C_d / h_o) = 0.02 (M_r / 47.6)$	$P_{br} = 0.02 (M_r C_d / h_o) = 0.02 (M_r / 47.6)$

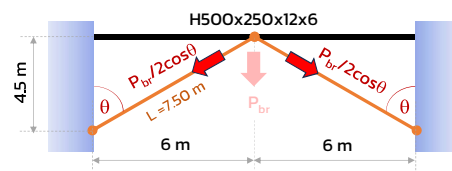
Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 2: คำนวณ required brace force

ASD	LRFD
$P_{br} = 908 \text{ kg}$	$P_{br} = 1,331 \text{ kg}$
Required brace force = P_{brf}	Required brace force = P_{brf}
$P_{brf} = P_{br}/2\cos\theta$	$P_{brf} = P_{br}/2\cos\theta$
$= 908/2*(4.5/7.5)$	$= 1,331/2*(4.5/7.5)$
$= 756 \text{ kg}$	$= 1,109 \text{ kg}$

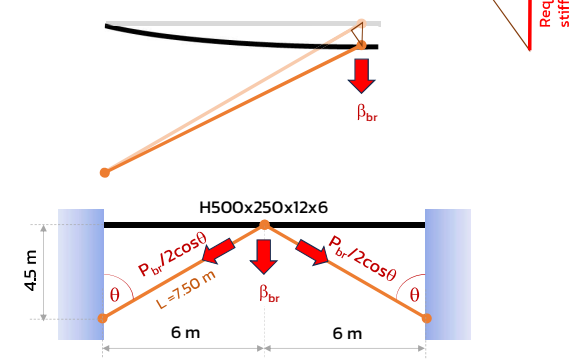


Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness



Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\Omega = 2.00$	$\phi = 0.75$
$M_r = M_a$	$M_r = M_a$
$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10M_r C_d}{L_{br} h_0} \right)$	$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10M_r C_d}{L_{br} h_0} \right)$
$= 2.00 \left(\frac{10(21,600) * 1.0}{6.0(0.476)} \right)$	$= \frac{1}{0.75} \left(\frac{10(31,680) * 1.0}{6.0(0.476)} \right)$
$= 151,261 \text{ kg/m}$	$= 147,899 \text{ kg/m}$

Step 4: คำนวณ Available braced strength

ASD	LRFD
$\Omega = 1.67$	$\phi = 0.90$
$\frac{P_n}{\Omega} = 3,512/1.67 = 3.22 \text{ T}$	$\phi P_n = 0.90 * 3,512 = 3.16 \text{ T}$



Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\beta_{br} = 151,261 \text{ kg/m}$	$\beta_{br} = 147,899 \text{ kg/m}$

Step 5: คำนวณ available brace stiffness

Stiffness ในทิศทางของ actual bracing = AE/L โดย $P_{brf} = AE/L * \Delta$

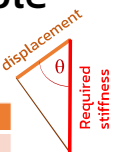
Required stiffness อยู่ในทิศทางตั้งฉากกับแนวยาวของคาน

แต่ $P_{brf} = P_{br}/2\cos\theta$ และ $P_{brf} = AE/L * \Delta = AE/L * \Delta_{br} \cos\theta$

หรือ $P_{br}/2\cos\theta = AE/L * \Delta_{br} \cos\theta$

$$P_{br} = [2AE/L \cos^2\theta] \Delta_{br}$$

Available brace stiffness



Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นที่กลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400

- **Step 1:** คำนวณ required moment

- **Step 2:** คำนวณ required brace force

- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness

- **Step 4:** คำนวณ available brace strength

- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness

- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\beta_{br} = 151,261 \text{ kg/m}$	$\beta_{br} = 147,899 \text{ kg/m}$

Step 5: คำนวณ available brace stiffness

$$\beta = \frac{2AE\cos^2\theta}{L} = \frac{2(11.17)(2 \times 10^7)(\frac{4.5}{7.5})^2}{600} = 26,808 \text{ kg/cm} = 2,680,800 \text{ kg/m} > \beta_{br} \quad \text{OK}$$

Step 6: ตรวจสอบ brace strength & stiffness

ASD	LRFD
$P_n/\Omega = 3.22 T > P_{br} = 1.52 T \quad \text{OK}$	$\phi P_n = 3.16 T > P_{br} = 2.22 T \quad \text{OK}$



Beam lateral bracing - 5

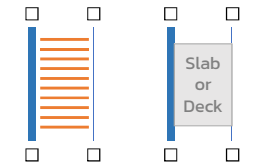
#WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน ประเภทที่ 2 Torsional bracing

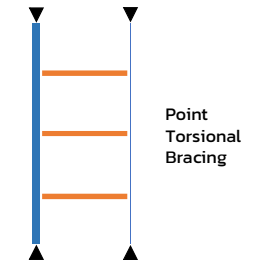
- ขณะที่เกิด beam lateral buckling โดย พฤติกรรม จะเกิดการบิด twist กลายเป็น lateral torsional buckling ไปพร้อมๆ กัน

- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานซอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน

2b) Continuous torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย ตง (คานซอยวางถึ) หรือ deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน



Continuous Torsional Bracing



Beam lateral bracing - 6

#WeLoveSteelConstruction

About the longitudinal axis of the beam, the required flexural strength of the brace is:

$$M_{br} = 0.02M_r \quad (\text{A-6-9})$$

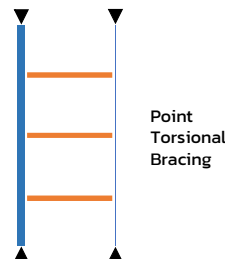
and, the required flexural stiffness of the brace is:

$$\beta_{br} = \frac{\beta_T}{1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}} \quad (\text{A-6-10})$$

- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานซอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน

- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ของ คานซอยที่นำมาค้ำยัน โดยพิจารณา ที่ 2% ของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคาน = $0.02M_r$

- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถด้านการเสียดทานจากโมเมนต์ของ คานซอยที่นำมาค้ำยัน



Beam lateral bracing - 7

#WeLoveSteelConstruction

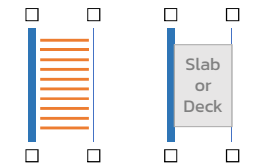
- (a) The brace strength requirement per unit length along the beam shall be taken as Equation A-6-9 divided by the maximum unbraced length permitted for the beam based upon the required flexural strength, M_r . The required flexural strength, M_r , shall be taken as the maximum value throughout the beam span.

- (b) The brace stiffness requirement per unit length shall be given by Equations A-6-10 and A-6-11 with $L/n = 1.0$.

- (c) The web distortional stiffness shall be taken as:

$$\beta_{sec} = \frac{3.3E_r I_w^3}{12h_o} \quad (\text{A-6-13})$$

2b) Continuous torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย ตง (คานซอยวางถึ) หรือ deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน



Continuous Torsional Bracing

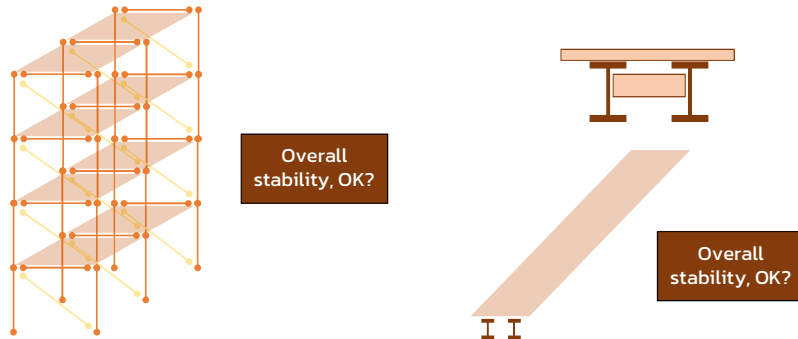
- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ของ คานซอยที่นำมาค้ำยัน โดยพิจารณา ที่ 2% ของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคาน = $0.02M_r$

- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถด้านการบิดตัวของ web คานหลักจากโมเมนต์ ที่เกิดกับคานหลัก

Overall stability of system

#WeLoveSteelConstruction

ทั้งนี้ ผู้ออกแบบควรต้องเข้าใจด้วยว่า เสถียรภาพในภาพรวม (overall stability) ก็มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาด้วย ไม่เฉพาะ compression member (เสา) หรือ flexural member (คาน) ตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น



Purlin Lateral Bracing

#WeLoveSteelConstruction

- Purlin หรือ แป เมื่อรับแรง จะเกิดการดัดตัว (flexure) โดยถ้าจุดต่อ purlin เป็นแบบ pin end ปีกบนจะเกิด compression
- การค้ำยัน purlin ใช้ metal sheet เป็น Panel lateral bracing ซึ่งต้องตรวจสอบ shear strength และ stiffness ของ metal sheet ว่าเพียงพอไหม เทียบกับ moment ที่เกิดกับ purlin
- ในกรณีเกิด reverse moment จากความดันลมภายใน อาจ brace purlin ด้วย tie rod ที่ปีกล่าง ซึ่ง จะเกิด compression



Truss or Rigid Frame Lateral Bracing

#WeLoveSteelConstruction

- ปกติ Truss girder หรือ Rigid frame มักจะถูกออกแบบให้ต้องรับแรง gravity load และ uplift จาก internal pressure อันเนื่องมาจากแรงลม
- การกลับทิศไปมาของ tension / compression ส่งผลให้การค้ำยันทางข้างต้องค้ำทั้งปีกบนด้วย purlin และปีกล่างด้วย fly brace
- ลักษณะการค้ำเป็น Point lateral bracing โดยต้องพิจารณาทั้ง axial strength และ stiffness ของ purlin (เหมือนพิจารณาเสาที่ถูkc้ำยันด้วย metal sheet)



Be friend with us via ...

