ระบบโครงสร้างเหล็กเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวและนวัตกรรมแห่งอนาคต

We ❤ Steel Construction

2nd Mini Course

April 2, 2025

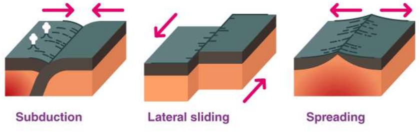
ทีมงาน We Love Steel Construction และบริษัทในเครือ SSI Group ขอแสดงความเสียใจต่อผู้สูญเสีย จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว 28 มีนาคม 2568 ทุกๆ ท่าน

ขอวิศวกรทุกๆ ท่าน จงได้โปรดเตือนตัวท่านเองว่า นับจากนี้ "แผ่นดินไหว" จะไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไป จะอยู่กับวิศวกรชาวไทย อยู่ในข้อกำหนดการออกแบบ มาตรฐานวัสดุ และการศึกษาวิจัยและพัฒนาจากภาคการศึกษาของไทยไปอีกนานแสนนาน

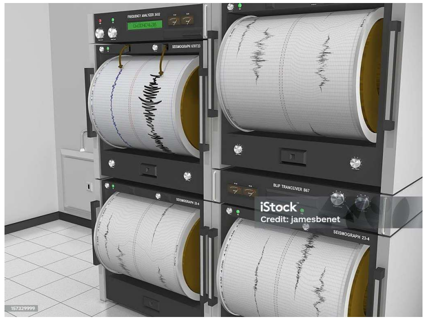
Earthquake

#WeLoveSteelConstruction

- แผ่นดินไหว เกิดจากปรากฏการณ์ที่แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ (plate tectonic) ทั้งแบบมุดตัว เคลื่อนออกทางข้าง หรือเคลื่อนตัวออกจากกัน ด้วยเหตุที่โลหะหลอมละลายใต้เปลือกโลกยัง active อยู่ต่อเนื่อง
- แผ่นดินไหวเมื่อเกิดขึ้นสามารถเกิดได้ทุกทิศทาง เกิดรุนแรงและเกิดถี่บริเวณแนวรอยเลื่อน (fault) วัดความรุนแรงโดยอุปกรณ์ที่ชื่อว่า seismograph วัดการขยับตัวของพื้นดิน (ground motion) ตามเวลา (t)
- การคำนวณออกแบบอาคารที่สามารถรับมือต่อการเกิดแผ่นดินไหวอาศัยหลักการทางสถิติ โดยการพิจารณาโอกาสเกิดด้วย คาบการกลับ (return period) **MRI** (**M**ean **R**ecurrence **I**nterval) หรือ **MCE** (**M**aximum **C**onsidered **E**arthquake) ณ ความรุนแรงหรือ magnitude หนึ่ง ๆ โดยหากข้อมูลที่เก็บมีจำนวนมาก ก็จะทำให้ความถูกต้องในการประเมินเชิงสถิติเพิ่มขึ้น



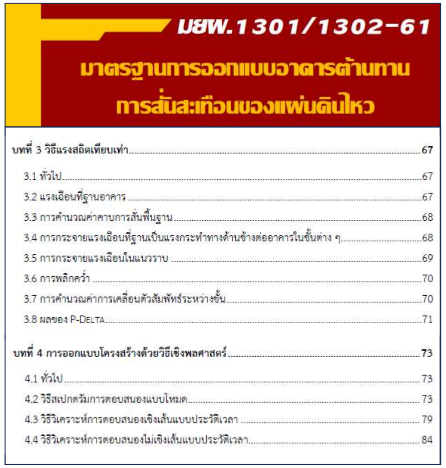
Source: www.byjus.com



Design for Earthquake

#WeLoveSteelConstruction

- การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว อ้างอิง มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1301/1302 กำหนดวิธีการคำนวณไว้ 2 วิธีคือ
  1) วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Static Equivalent) เป็นการ "แปลง" แรงแผ่นดินไหวที่มีลักษณะ dynamic ให้เป็นแรงสถิต static โดยใช้หลักสมดุลและหลักการทางพลังงาน
  2) วิธีเชิงพลศาสตร์ มีทั้งวิธีสเปคตรัมการตอบสนองแบบโหมด (modal response spectrum) และวิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา (time history analysis) ทั้งแบบเชิงเส้น (linear) และไม่เชิงเส้น (non-linear)
- วิธีแรกเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว อาจไม่ต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ซับซ้อน แต่วิธีที่ 2 จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และข้อมูลแผ่นดินไหว seismic wave ที่เหมาะสม



มยผ.1301/1302-61

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

บทที่ 3 วิธีแรงสถิตเทียบเท่า 67
3.1 ทั่วไป 67
3.2 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร 67
3.3 การคำนวณค่าคาบการสั่นพื้นฐาน 68
3.4 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำทางด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่าง ๆ 68
3.5 การกระจายแรงเฉือนในแนวราบ 69
3.6 การพลิกคว่ำ 70
3.7 การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น 70
3.8 ผลของ P-DELTA 71
บทที่ 4 การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ 73
4.1 ทั่วไป 73
4.2 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด 73
4.3 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา 79
4.4 วิธีวิเคราะห์การตอบสนองไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา 84

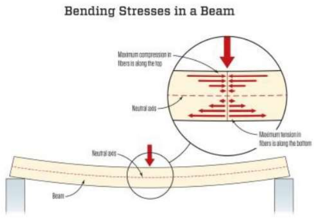
การออกแบบโครงสร้างเพื่อความปลอดภัย

#WeLoveSteelConstruction

Strength Design

#WeLoveSteelConstruction

- มิติในการออกแบบโครงสร้าง หลัก ๆ แล้ว มี 2 มิติ คือ (1) ออกแบบเพื่อความปลอดภัย **Strength design** (2) ออกแบบเพื่อความรู้สึกปลอดภัย Serviceability design
- **Strength design** เป็นการพิจารณาออกแบบให้กำลังโครงสร้าง (**resistance** ปัจจุบัน เรียกว่า available strength) **มากกว่า**ผลจากแรงภายนอกที่กระทำ (**load** ปัจจุบันเรียกว่า required strength)
- การพิจารณา ทำคู่ขนานกันไประหว่าง**การวิเคราะห์โครงสร้าง** เพื่อหาผลจาก load ทั้ง moment, shear หรือ axial และ**การคำนวณกำลัง** ทั้ง moment capacity, shear capacity หรือ axial capacity



$M_a = PL/4$

$M_p = F_y Z_x$

$M_a \le M_p/\Omega$

Seismic (strength) Design

#WeLoveSteelConstruction

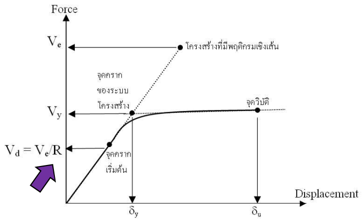
- หากพิจารณาวิธีการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว ด้วย**วิธีแรงสถิตเทียบเท่า ความซับซ้อน**ของการออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว คือ การหา **load** หรือ ผลจากแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร
- **เหตุผล**สำคัญเป็นเพราะ (1) seismic load ไม่สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ ดังเช่น live load เพราะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาก (2) structural system มีผลต่อ load ทั้งมวลอาคาร **mass (m)** ความสามารถต้านทานการเสียรูป **stiffness (k)** และ (3) ความเหนียวของระบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว **ductility (R)**
- **การพิจารณา** นอกจากจะต้องทราบ localized parameter ต่าง ๆ แล้ว ยังอาจต้องทำการ “สมมติ” ปัจจัย **(m, k, R)** ที่อาจเกี่ยวข้องกับ seismic load

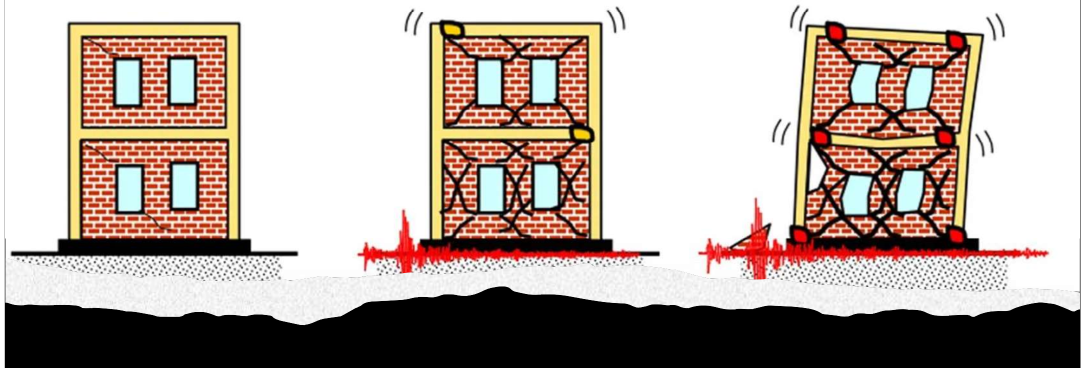
Energy Method	Simple Harmonic Motion
Forces to move an object attached to spring	$s(t) = A\sin(\omega t)$
$F = Stiffness.Displacement$	$v(t) = d\frac{s(t)}{dt} = \omega A\cos(\omega t)$
	$a(t) = d\frac{v(t)}{dt} = -\omega^2 A\sin(\omega t)$

$F = k.s = k.A\sin(\omega t)$

$F = m.a = m.\omega^2 A\sin(\omega t)$

$\omega^2 = \frac{k}{m}$





พื้นฐานพลศาสตร์กับวิศวกรรมโครงสร้าง

#WeLoveSteelConstruction

Natural Frequency

#WeLoveSteelConstruction

- ระบบหนึ่ง ๆ อาจเป็น structure หรือ non structure จะมีสมบัติทางพลศาสตร์ (dynamic property) เฉพาะตัว เช่น สายกีตาร์ที่ถูกขึงตึงไม่เท่ากัน มีขนาดสายไม่เท่ากัน จะให้เสียงที่ (ความถี่) ต่างกัน
- อาคารก็เช่นเดียวกัน หากสมมติมีเชือกเส้นหนึ่ง ยึดเข้ากับโครงสร้างอาคาร แล้วต่อเข้ากับรถลาก ... จากนั้นทำการลากดึงอาคารจนถึงจุดหนึ่ง แล้วทำการ "ตัดเชือก" >>> อาคารจะเกิดการสั่น ขวาไปซ้าย ซ้ายไปขวา ด้วย **ความถี่ (หน่วยรอบต่อวินาที)** หรือ**คาบการสั่น**ซึ่งเป็นส่วนกลับของความถี่ **(หน่วยวินาทีต่อรอบ)** **คงที่** แต่ขนาด (amplitude) ค่อย ๆ จะลดลงจากการสลายพลังงาน ด้วยผลของสมบัติในการหน่วง (damping) จนกระทั่งหยุดสั่น ความถี่ของการสั่นดังกล่าว เรียกว่า **ความถี่ธรรมชาติ** หรือ **natural frequency**, f_n ในขณะที่คาบการสั่นดังกล่าว เรียกว่า **คาบการสั่นธรรมชาติ** หรือ **natural period**, T_n
- พฤติกรรมนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทดสอบสะพานรูปแบบ dynamic load test เพื่อวิเคราะห์ถึง สมรรถนะในการต้านทานการเสียรูป (stiffness) ที่อาจเปลี่ยนแปลงจากการเสื่อมสภาพของสะพาน

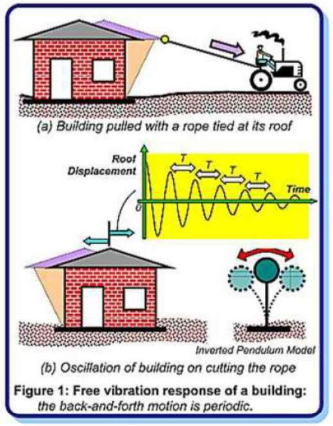


Figure 1: Free vibration response of a building: the back-and-forth motion is periodic.

Ground Motion (Pulse)

#WeLoveSteelConstruction

เมื่อเกิดการสั่นกระชากของพื้นดิน

↓

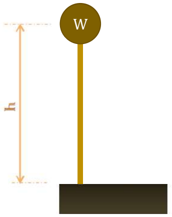
Mass พยายามไม่เคลื่อนที่

↓

เกิดการสั่นของ Mass อย่างอิสระ

↓

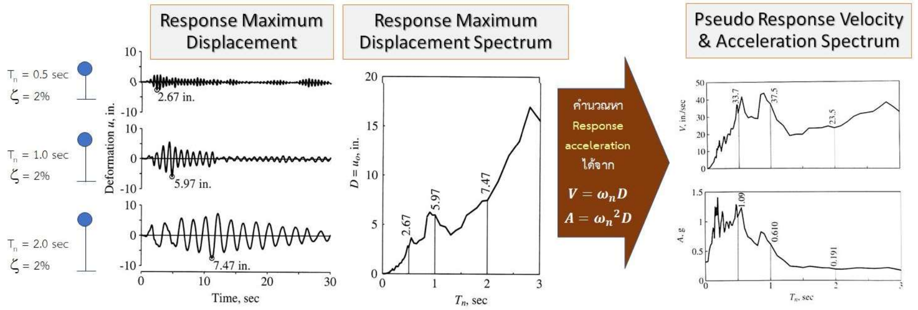
หยุดด้วย damper สลายพลังงาน



Ground Motion (Wave)

#WeLoveSteelConstruction

- การสั่นของพื้น (แผ่นดินไหว) มีลักษณะเฉพาะ มีความถี่การสั่นของพื้นเฉพาะตัว จะส่งผลต่อผลตอบสนองของ system ที่ mass และ stiffness หรือคาบการสั่นธรรมชาติ **natural period** [T_n = 2π√(m/k)] ของตัวอาคารที่ไม่เท่ากัน หน่วยงานกำกับจึงมักพัฒนาสเปคตรัมผลตอบสนองให้ผู้ออกแบบใช้คำนวณหาแรงในรูปของ **สเปคตรัมความเร่งตอบสนอง acceleration response spectrum**



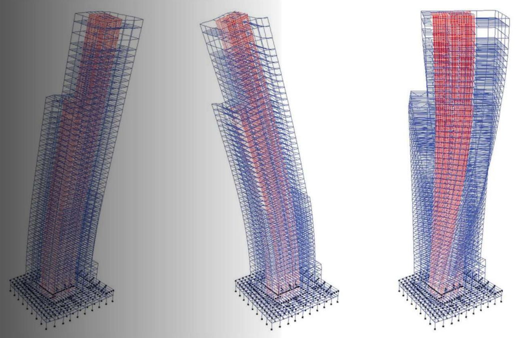
Building Response to Ground Motion

#WeLoveSteelConstruction

- ความถี่ในการสั่นของพื้น (แผ่นดินไหว) ที่ระดับความรุนแรง (magnitude) หนึ่ง ๆ ส่งผลต่อตัวอาคารแตกต่างกันไป
- อาคารสูง จะมี lateral stiffness น้อย (ใช้แรงน้อยในการ displace อาคาร 1 หน่วย) หากคลื่นแผ่นดินไหวมีความถี่ต่ำ คาบการสั่นสูง (ใช้เวลานานในการสั่น 1 รอบ) จะส่งผลให้อาคาร ตอบสนองอย่างรุนแรง
- อาคารเตี้ย จะมี lateral stiffness มาก หากคลื่นแผ่นดินไหวมีความถี่สูง จะส่งผลให้อาคาร ตอบสนองอย่างรุนแรง
- ทั้งนี้ demonstration ทั้งหมด เป็นเพียง SDOF ที่กำหนดให้สั่นใน pattern เดียว แต่อาคารสามารถสั่นได้หลากหลายรูปแบบ

ปรัชญาการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการวิบัติจากแผ่นดินไหว

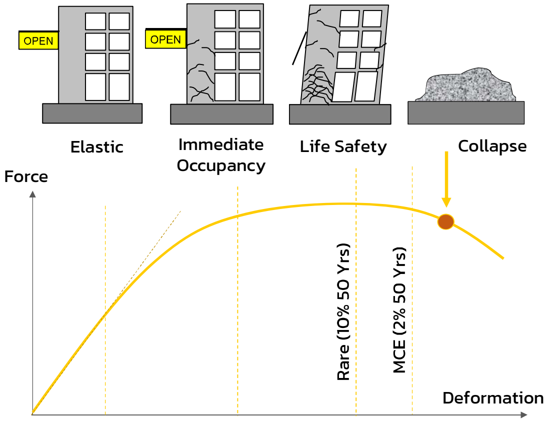
#WeLoveSteelConstruction



Seismic Design Philosophy

#WeLoveSteelConstruction

- การออกแบบโครงสร้างหากไม่ต้องการให้ member เกิดการเสียรูปถาวร ต้องออกแบบให้วัสดุยังอยู่ในช่วง elastic
- แต่การคงสภาพ **elastic** ต้องทำระบบรับแรงด้านข้างให้มี stiffness สูงมาก
- ข้อเสีย (1) สิ้นเปลือง (2) สลายพลังงานได้น้อย … พลังงาน = แรง * การเสียรูป โครงสร้างที่ elastic จะเสียรูปได้น้อย
- เมื่อสลายพลังงานได้น้อย อาคารจะไม่หยุดสั่นได้ง่าย ด้วยเหตุผลด้านต้นทุนค่าก่อสร้างและสมรรถนะในการสลายพลังงาน ปัจจุบันจึงมักออกแบบให้อาคารมีพฤติกรรมในช่วง **inelastic** ที่อาจส่งผลต่อ damage ของตัวอาคาร แต่ไม่เกิดการ collapse

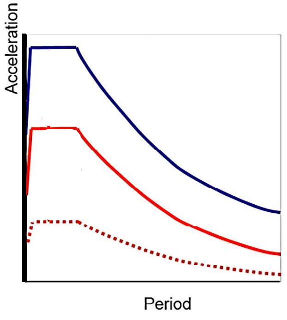


EQ Load vs. System Ductility (R)

#WeLoveSteelConstruction

- หากพิจารณา acceleration response spectrum ที่ระดับคาบการสั่นธรรมชาติของตัวอาคาร (**T_n**) ต่างๆ เมื่อทราบ **T_n** ก็จะได้ ความเร่ง (แสดงในรูป ค่าคงที่คูณกับ g = 9.81 m/s^2) โดยหากทราบ "น้ำหนัก W ของอาคาร" ก็จะสามารถหา แรงที่กระทำกับ mass ที่เท่ากับ base shear ได้ จาก F = ma = (W/g)*(ค่าคงที่*g)
- ความเร่งดังกล่าว เป็นความเร่งที่ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ณ **M**aximum **C**onsidered **E**arthquake (**MCE**) ที่ 2,475 ปี หรือพิจารณาโอกาสเกิดแผ่นดินไหวเกินค่าดังกล่าวที่ ความเป็นไปได้ 2% ใน 50 ปี
- ในการออกแบบ ลดทอนแรงแผ่นดินไหวที่ **MCE** ลงเหลือ 2/3***MCE** เรียก **D**esign **B**asis **E**arthquake (**DBE**) และท้ายที่สุด นำ**ความเหนียว**ของระบบต้านแผ่นดินไหว (**R**) มาหารเพื่อนำไปคำนวณโครงสร้าง

From **MCE** to **DBE**
and finally … **EQ load**



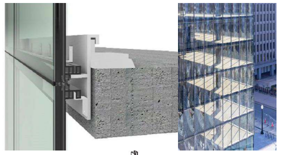
การถ่ายแรงแผ่นดินไหวไปสู่ระบบรับแรงทางข้างของอาคาร

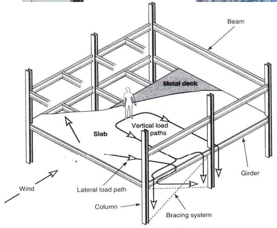
#WeLoveSteelConstruction

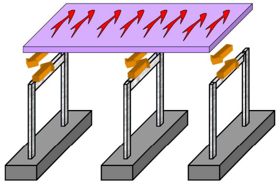
Lateral Load Transfer

#WeLoveSteelConstruction

- แรงทางข้าง (lateral load) หลัก ๆ แล้ว ประกอบไปด้วย แรงลม (wind load, W) และแรงแผ่นดินไหว (earthquake load, EQ) แรงทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว คือ เป็น dynamic load มีทิศทางกลับไปกลับมา ส่งผลต่อการสั่นไหวของตัวอาคาร และไม่กระทำต่อเนื่องแช่ค้าง (transient load)
- แรงลมกระทำกับเปลือกอาคาร ถ่ายเข้าสู่ตัวอาคารผ่านโครงเคร่ารองรับเปลือกอาคาร ที่ติดตั้งเข้ากับคานหรือพื้น ซึ่งทำหน้าที่เป็น diaphragm ถ่ายแรงทางข้างเข้าสู่ ระบบรับแรงทางข้าง (lateral system)
- แรงแผ่นดินไหว เกิดจากการสั่นของพื้นไปเหนี่ยวนำให้มวลอาคาร (mass) เกิดแรงกระทำ ซึ่ง mass ของตัวอาคาร หลัก ๆ จะเป็นพื้นและคาน ของแต่ละชั้น กระทำ ณ center of mass แล้วถ่ายผ่าน diaphragm เข้าสู่ระบบรับแรงทางข้าง



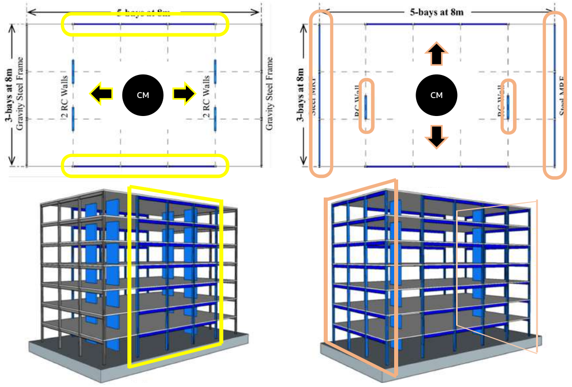




Earthquake Load Transfer

#WeLoveSteelConstruction

- แรงแผ่นดินไหว (EQ) ที่กระทำ ณ ตำแหน่ง center of mass (CM) จะถ่ายไปยัง lateral system ผ่าน diaphragm (แผ่นพื้น) โดย lateral system ที่ stiffness สูง ณ ทิศทางหนึ่ง ๆ ก็จะรับ EQ มากกว่า lateral system ที่ stiffness ต่ำกว่า
- ปกติการพิจารณา ณ พิจารณาทั้งแกน x (E-W) และ แกน y (N-S) ของตัวอาคาร ซึ่งต้องพิจารณา กำลังรับแรงของ lateral system ในแต่ละทิศทาง ตามระดับของแรงที่แตกต่างไปตาม stiffness ของ lateral system แต่ละตัว

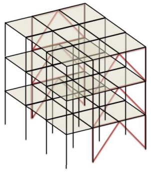


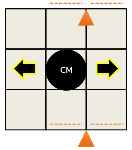
Ref: www.researchgate.net

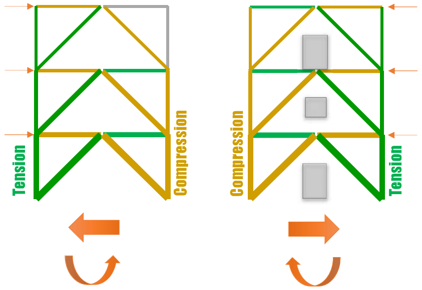
Cantilevered Beam or Truss

#WeLoveSteelConstruction

- วิศวกรที่ออกแบบคานเหล็ก (steel beam) หรือโครงถัก (truss) ได้ ย่อมสามารถออกแบบขนาด member ของ lateral system ได้ โดยพิจารณา internal force ซึ่งอาจเป็น shear/normal stress ใน beam element หรือ axial load ใน truss member
- ระบบ lateral system เป็นเสมือนการพิจารณาคานหรือโครงถักยื่น cantilevered beam or truss ต่างกันเพียง แรงแผ่นดินไหวจะกระทำกลับทิศไปมา แต่ cantilevered beam/truss มักจะกระทำในทิศทางตามแรงโน้มถ่วงของโลกทิศทางเดียว ส่งผลให้การออกแบบ tension/compression zone มีลักษณะที่กลับทิศไปมาได้



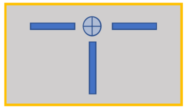




Lateral System Arrangement

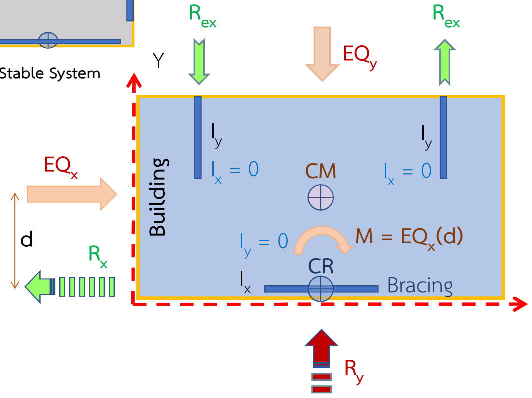
#WeLoveSteelConstruction

- การจัดตำแหน่งของ lateral system ซึ่งอาจเป็น RC shear wall หรือ Steel moment or braced frame มีส่วนสำคัญต่อเสถียรภาพของโครงสร้าง
- จุดศูนย์กลางที่แรงแผ่นดินไหวกระทำ คือ **CM** แต่จุดศูนย์กลางของระบบต้านทานแรงแผ่นดินไหวคือ Center of Rigidity, **CR** หาก **CM** และ **CR** อยู่ตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน ก็จะก่อให้เกิด แรงจากผลของการเยื้องศูนย์ อาคารเกิดการเสียรูปแบบบิดตัว (torsional mode) หากจัดตำแหน่งไม่ดี อาจส่งผลต่อการเสียเสถียรภาพ และการวิบัติของอาคารในที่สุด



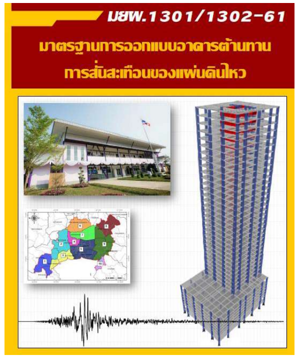
Unstable System

Stable System



การออกแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวตามกฎหมายไทย

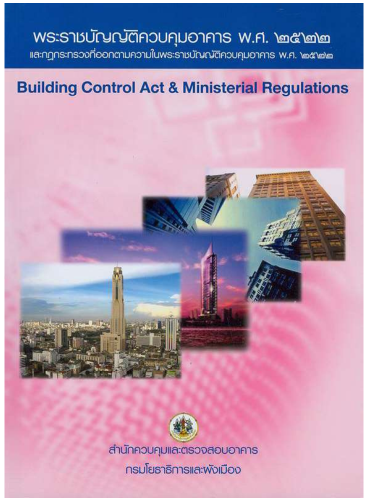
#WeLoveSteelConstruction



กฎหมาย vs. มาตรฐาน

#WeLoveSteelConstruction

- กฎหมายเกี่ยวกับงานอาคาร เป็นไปตาม **พรบ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522** โดย พรบ. ได้การกำหนดนิยาม กรอบการปฏิบัติกว้างๆ
- รายละเอียดทางเทคนิคขยายความใน**กฎกระทรวงฯ ประกาศกระทรวงฯ** และ**มาตรฐานกรมโยธาฯ (มยผ.)**
- **เกณฑ์จำกัดสิทธิ** กำหนดไว้ใน พรบ. ควบคุมอาคาร และกฎกระทรวงฯ ในขณะที่**เกณฑ์ทางเลือก** กำหนดไว้ใน ประกาศกระทรวงฯ และ มยผ. (optional)
- แต่อย่างไรก็ดี ต้องตรวจสอบด้วยว่า กฎกระทรวงฯ มีการอ้างถึง ประกาศกระทรวงฯ หรือ มยผ. หรือไม่ เพราะจะเข้า**เกณฑ์จำกัดสิทธิ** ต้องปฏิบัติตาม



กฎกระทรวง

#WeLoveSteelConstruction

- กฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร มี 2 ฉบับ ฉบับหลักเป็น **กฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร พ.ศ. 2566** ซึ่งแสดงข้อกำหนดเพื่อการออกแบบ เช่น load combination, factor of safety, fire rating สำหรับป้องกันโครงสร้างเหล็ก เป็นต้น ซึ่งเป็นฉบับที่รวมกฎกระทรวงฉบับเก่า 3 ฉบับ คือ กฎ 6 กฎ 48 และ กฎ 60 (ยกเลิกกฎกระทรวง 3 ฉบับแล้วยกร่างฉบับใหม่นี้ทดแทน)

กฎกระทรวง
กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๖๔

กฎกระทรวง
กำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร
และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร
พ.ศ. ๒๕๖๖

กฎกระทรวง

#WeLoveSteelConstruction

- **กฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้างฯ 2566** ไม่ได้ระบุอะไรมากนักเกี่ยวกับการคำนวณแรงแผ่นดินไหว ระบุเพียงให้คำนวณออกแบบตาม กฎกระทรวงฯ แผ่นดินไหว พ.ศ. 2564

หมวด ๕
แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ข้อ ๑๘ การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ให้เป็นไปตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

กฎกระทรวง
กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๖๔

กฎกระทรวง
กำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร
และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร
พ.ศ. ๒๕๖๖

กฎกระทรวง

#WeLoveSteelConstruction

- กฎกระทรวงอีกฉบับ เป็น **กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564** โดยจำแนกจังหวัดในประเทศไทย ออกเป็น 3 โซน ประกอบด้วย โซนเฝ้าระวังระดับต่ำ โซนเฝ้าระวังระดับปานกลาง และโซนเฝ้าระวังระดับสูง พร้อมระบุประเภท อาคารที่ต้องทำรายละเอียดรอยต่อ และต้องออกแบบให้โครงสร้างให้มีความเหนียว โดยอ้างถึง "วิธีการออกแบบ" ในประกาศอีกฉบับ

กฎกระทรวง
กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๖๔

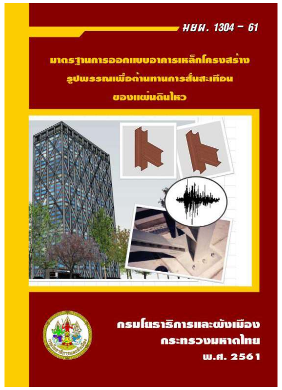
กฎกระทรวง
กำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร
และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร
พ.ศ. ๒๕๖๖

มาตรฐานการออกแบบ

#WeLoveSteelConstruction

ดังนั้น การดำเนินการให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงฯ 2564 จึงต้องปฏิบัติให้สอดคล้องกับมาตรฐาน 2 ฉบับนี้

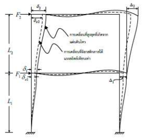
- กรมโยธาฯ ได้จัดทำมาตรฐานการออกแบบ ที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างเหล็ก 2 ฉบับ
- **มยผ. 1301/1302** กล่าวถึง แนวทางในการคำนวณแรงแผ่นดินไหว ในแต่ละโซน กับอาคารที่มีระบบรับแรงทางข้างรูปแบบต่างๆ ซึ่งมีระดับความเหนียวไม่เท่ากัน
- **มยผ. 1304** กล่าวถึงรายละเอียดวิธีการคำนวณ member และ จุดต่อ พร้อมการทำ detail เพื่อให้ได้ระดับความเหนียวตามที่ต้องการ

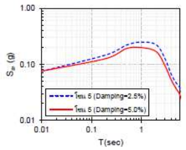


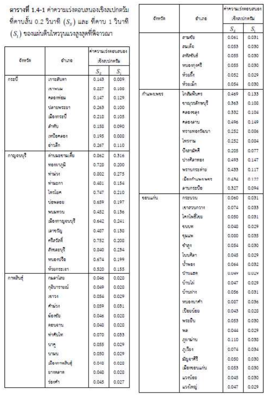
มยผ. 1301/1302

#WeLoveSteelConstruction

- **มยผ. 1301/1302** ได้แสดง "วิธีการคำนวณหาแรงแผ่นดินไหว" ไว้ 2 วิธี คือ **(1) วิธีแรงสถิตเทียบเท่า static equivalent** (2) วิธีเชิงพลศาสตร์ โดยแบ่งเป็น 2.1) modal analysis และ 2.2) time history analysis
- วิธีการ (2) นอกจากต้องมี computer และ software ที่เพียงพอแล้ว ยังต้องมี ชุดข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงในอดีตของประเทศไทย + ประสบการณ์วิศวกรที่สูง เหมาะกับอาคารที่ซับซ้อน
- ดังนั้น **วิธี (1) จึงเป็นวิธีที่แนะนำสำหรับโครงสร้างทั่วไป ไม่ซับซ้อน**





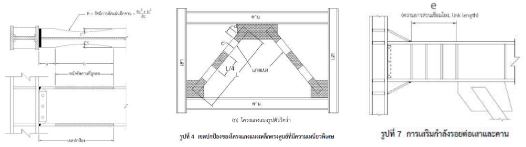


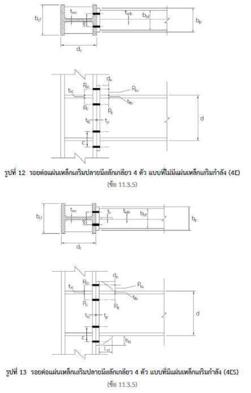
มยผ. 1304

#WeLoveSteelConstruction

- **มยผ. 1304** แสดงรายละเอียดวิธีการคำนวณระบบรับแรงด้านข้างรูปแบบ
  - CBF (Concentric Brace Frame)
  - EBF (Eccentric Brace Frame)
  - MRF (Moment Resisting Frame)

  พร้อมระบุ protected zone เป็นบริเวณ "ห้ามแตะต้อง" ห้ามเจาะรู ห้ามเชื่อม ฯลฯ
- การคำนวณและทำรายละเอียดทั้งหมด ตาม **มยผ. 1304** ก็เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขใน **มยผ. 1301/1302** อันส่งผลต่อ connection และ lateral system ที่มีความเหนียว **(ductility, R)** ตามที่เป็น designer's assumption ที่ใช้ **R** ในการลดทอนแรงแผ่นดินไหว





ประกาศกระทรวงฯ แผ่นดินไหว 2564

#WeLoveSteelConstruction

เล่ม ๑๓๘ ตอนพิเศษ ๒๗๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

หมวด ๔

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ข้อ ๙ การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในบริเวณที่ ๒ และบริเวณที่ ๓ ให้ใช้วิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

(๑) วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

(๒) วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

(๓) วิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา

โดยการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตาม (๑) ให้เป็นไปตามหมวด ๕ และให้ใช้ได้กับกรณีใดกรณีหนึ่งตามข้อ ๑๑ ส่วนการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลาตาม (๒) และ (๓) ให้เป็นไปตามมาตรฐานอื่นที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและกรมโยธาธิการและผังเมืองเห็นชอบ

ข้อ ๑๒ การรวมผลของแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวกับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งให้ใช้ได้ดังต่อไปนี้

(๑) วิธีรวมผลของแรงที่ไม่ต้องคำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง ให้ใช้วิธีรวมผลของแรงดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับการออกแบบโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก

๐.๗๕(๑.๔D + ๑.๗L) + ๑.๐E (สมการ ๑)

๐.๙D + ๑.๐E (สมการ ๒)

(ข) สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

๑.๐D + ๐.๗E (สมการ ๓)

๑.๐D + ๐.๕๒๕E + ๐.๗๕L (สมการ ๔)

๐.๖D + ๐.๗E (สมการ ๕)

(๒) วิธีรวมผลของแรงที่คำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้าง กรณีวิธีการออกแบบที่เลือกใช้กำหนดให้คำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้างในการออกแบบองค์อาคารบางองค์อาคาร ให้ใช้วิธีรวมผลของแรง ดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับการออกแบบโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก

๐.๗๕(๑.๔D + ๑.๗L) + $\Omega_0 E$ (สมการ ๖)

๐.๙D + $\Omega_0 E$ (สมการ ๗)

(ข) สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

๑.๐D + $\Omega_0 E$ (สมการ ๘)

๑.๐D + ๐.๕๒๕$\Omega_0 E$ + ๐.๗๕L (สมการ ๙)

๐.๖D + ๐.๗$\Omega_0 E$ (สมการ ๑๐)

ประกาศกระทรวงฯ แผ่นดินไหว 2564

#WeLoveSteelConstruction

เล่ม ๑๓๘ ตอนพิเศษ ๒๗๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

หมวด ๕

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ข้อ ๑๘ ให้คำนวณแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Seismic Base Shear, V, มีหน่วยเป็นนิวตัน) ดังนี้

$$V = C_s W \quad \text{(สมการ ๑๑)}$$

โดยที่ C_s คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว ตามข้อ ๑๙

W คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร (นิวตัน) ตามข้อ ๒๐

ข้อ ๑๙ ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหว (C_s) คำนวณจาก

$$C_S = S_a\left(\frac{I}{R}\right) \quad \text{(สมการ ๑๒)}$$

โดยที่ S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารจากรูปที่ ก-๑ รูปที่ ก-๒ หรือรูปที่ ก-๖

R คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง ตามที่กำหนดในผนวก ง ท้ายประกาศนี้

I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร ตามที่กำหนดในข้อ ๒๓

หาก C_S ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า ๐.๐๑ ให้ใช้ค่า ๐.๐๑

ข้อ ๒๔ การกระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่าง ๆ (F_x มีหน่วยเป็นนิวตัน) ให้คำนวณจาก

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{(สมการ ๑๖)}$$

และ

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \quad \text{(สมการ ๑๗)}$$

โดยที่ C_{vx} คือ ตัวประกอบการกระจายในแนวดิ่ง

w_i และ w_x คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้น i และ x ตามลำดับ (นิวตัน)

h_i และ h_x คือ ความสูงที่ระดับชั้น i และ x ตามลำดับ (เมตร)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

$k = 1.0$ เมื่อ $T \le 0.5$ วินาที

$k = 1 + \frac{T - 0.5}{2}$ เมื่อ $0.5 < T < 2.5$ วินาที

$k = 2.0$ เมื่อ $T \ge 2.5$ วินาที

ข้อ ๒๕ แรงเฉือนในแนวราบ ณ ชั้นใด ๆ ของอาคารที่เกิดจากแรงสถิตเทียบเท่า (V_x มีหน่วยเป็นนิวตัน) ให้คำนวณจาก

$$V_x = \sum_{i=x}^{n} F_i \quad \text{(สมการ ๑๘)}$$

ประกาศกระทรวงฯ แผ่นดินไหว 2564

#WeLoveSteelConstruction

เล่ม ๑๓๘ ตอนพิเศษ ๒๗๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ข้อ ๒๗ การก่อสร้างอาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่ ๑ หรือในบริเวณที่ ๒ กับบริเวณที่ ๓ ที่มีการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ประเภท ก ตามข้อ ๗ อย่างน้อยผู้ออกแบบต้องออกแบบรายละเอียดของโครงสร้างในแนวดิ่งตามข้อกำหนดของโครงสร้างในแนวดิ่งของระบบโครงสร้างนั้นที่มีความเหนียวปานกลาง ตามที่กำหนดในมาตรฐานอื่นที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและกรมโยธาธิการและผังเมืองเห็นชอบ กรณีที่ยังไม่มีมาตรฐานในเรื่องดังกล่าวที่กรมโยธาธิการและผังเมืองเห็นชอบ การออกแบบรายละเอียดโครงสร้างให้มีความเหนียวตามข้อนี้ให้กระทำโดยนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือได้รับการรับรองโดยนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม โดยนิติบุคคลนั้นต้องมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองการออกแบบนั้น

ประกาศกระทรวงฯ (น่าจะออกใน Q1/67)

#WeLoveSteelConstruction

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

เรื่อง การออกแบบโครงสร้างอาคารและลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร

หมวด ๕

แรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ข้อ ๒๕ การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวให้เป็นไปตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ทั้งนี้ กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๖๔ ได้กำหนดให้ในพื้นที่ ๔๓ จังหวัดตามรายชื่อในผนวก ข ท้ายประกาศนี้ อาคารประเภทตามที่กฎกระทรวงกำหนดต้องมีการออกแบบเพื่อรองรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวให้เป็นไปตามกฎกระทรวง

การออกแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว ตามกฎหมายไทย

#WeLoveSteelConstruction

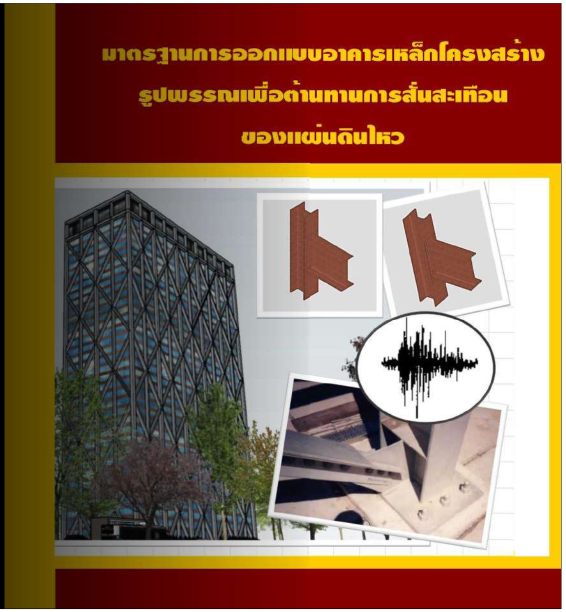
จำกัดสิทธิ

ไม่จำกัดสิทธิ์

มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

มยผ. 1304

#WeLoveSteelConstruction



Introduction

#WeLoveSteelConstruction

- **มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1304)** มาตรฐานหลักที่อ้างอิงคือ **AISC 341: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings** โดยสำหรับจุดต่อบางประเภท เช่น จุดต่อรับโมเมนต์ สำหรับโครงข้อแข็ง (moment frame) อ้างอิง **AISC 358: Prequalified Connections for Special and Intermediate Moment Frames for Seismic Application**

มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1304 - 61) ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการคำนวณออกแบบตามข้อกำหนดของกฎกระทรวงฯ และมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวดังกล่าว โดยระบบต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่ครอบคลุมในมาตรฐานฉบับนี้ได้แก่ ระบบโครงต้านทานแรงดัดและระบบโครงแกงแนง โดยมาตรฐานฉบับนี้มีเนื้อหาประกอบด้วย 1) ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับคุณสมบัติวัสดุประเภทหน้าตัด คุณสมบัติของลวดเชื่อม และข้อกำหนดองค์อาคารและรอยต่อ ตามที่ระบุในบทที่ 1 ถึงบทที่ 4 2) ข้อกำหนดการออกแบบระบบต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวประเภทต่างๆ ตามที่ระบุในบทที่ 5 ถึงบทที่ 10 และ 3) การออกแบบจุดต่อระหว่างเสาและคานให้มีความเหนียวตามข้อกำหนด ซึ่งผู้ออกแบบสามารถใช้รายละเอียดการออกแบบจุดต่อตามที่ระบุในบทที่ 11 หรือใช้วิธีการทดสอบรอยต่อภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรตามที่ระบุในบทที่ 12 หรือใช้ข้อกำหนดอื่นๆ ตามที่ระบุในมาตรฐาน AISC 358-10 ได้

ในฐานะหัวหน้าโครงการจัดทำมาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ผมใคร่ขอขอบคุณคณะที่ปรึกษาทุกท่านที่ได้ร่วมกันดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณคณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิที่กรมโยธาธิการและผังเมืองแต่งตั้ง ประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ คุณธนา แก้วกระจ่าง และคุณสยมภู เฮนะเกษตร ที่ได้ให้คำชี้แนะในการจัดทำมาตรฐานฉบับนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ)
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
หัวหน้าโครงการฯ

How to approach

#WeLoveSteelConstruction

- มาตรฐาน **มยผ. 1304** เสมือนการหา "ความต้านทาน" ทั้งกำลังรับโมเมนต์ของจุดต่อ และ **"แนวทางในการทำรายละเอียดจุดต่อ"** เพื่อให้ระบบโครงสร้างเหล็กที่รับแรงแผ่นดินไหวนี้ มี "ความเหนียว" ตามสมมติฐานของการคำนวณ "แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง"
- ในส่วนของการคำนวณ "แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง" นี้ ผู้ออกแบบสามารถอ้างอิงได้จาก **มยผ. 1301/1302-61** ด้วยวิธี static equivalent ในการกระจาย base shear ที่หาได้จาก response spectrum acceleration ซึ่งเป็น "ความเร่ง acceleration" ที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร ที่ "คาบการสั่นธรรมชาติ natural period" หนึ่งๆ โดย base shear ดังกล่าวก็กระจายไปสู่ แรงที่กระทำในแต่ละชั้น หรือ story force ด้วยวิธี static equivalent
- โดยพื้นฐาน แผ่นดินไหวที่เกิดในแต่ละพื้นที่นั้นไม่เท่ากัน ทั้ง **ขนาด magnitude** และ **ความถี่ frequency** เมื่อเกิดแผ่นดินไหว หากอาคารมี frequency ที่ใกล้กับความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหว ก็จะเกิด **กำทอน (resonance)** ความเร่งขยายค่า โดยไปคูณกับมวลได้ **แรง** ดังนั้นความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดกับตัวอาคารจึงขึ้นกับทั้ง **magnitude** ของแผ่นดินไหว และ **frequency** ของตัวอาคาร

Expected material strength – 1

#WeLoveSteelConstruction

- สำหรับวิศวกรผู้ออกแบบที่ยังไม่มีประสบการณ์ออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงแผ่นดินไหว จำเป็นต้องทำความเข้าใจในเชิงหลักการและแนวคิดก่อนว่า concept ในปัจจุบัน มองว่า **เป้าหมายในการออกแบบคือ อาคารไม่พังถล่มลงมา แต่อาคารอาจเสียรูป** ผิดรูป ปีกบิดงอ ฯลฯ โดยที่ไม่เกิดการฉีกขาดของ member และ connection ที่เป็นจุดต่อของ member
- ดังนั้นหาก member มีกำลังวัสดุที่สูงมากกว่า กำลังที่ระบุตามมาตรฐาน เช่น SS400 ระบุ F_y 245 MPa ซึ่งเป็นเหตุการณ์ปกติ ที่ค่ากำลังที่ระบุในมาตรฐานจะเป็น "กำลังต่ำสุด" ซึ่งหมายถึง ต่ำสุดจากการเก็บตัวอย่าง ในขั้นตอนการตรวจควบคุมคุณภาพ (โดยเจ้าหน้าที่ตรวจสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เช่น สมอ. เป็นต้น) เช่น SS400 ทั่วไป จะมี F_y ราว 280-300 MPa (ซึ่งดีสำหรับการออกแบบอาคารทั่วไป) **ค่ากำลังที่เกินกว่าระบุนี้ อาจส่งผลในเชิงลบต่อระบบโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวได้**
- โดยปกติเราออกแบบกำลังรับโมเมนต์ของ connection ให้สูงกว่ากำลังรับโมเมนต์ของ beam แต่หาก beam มีกำลังสูงกว่ากำลังระบุมาก beam ก็จะไม่คราก (เพราะ expected yield สูงกว่า nominal) แต่ connection จะวิบัติไปก่อน ในการพิจารณาจึงได้มีการกำหนด R_y = Expected yield/Nominal yield และ R_t = Expected tensile/Nominal tensile

ตารางที่ 1 ค่า R_y และ R_t ของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

(ข้อ 3.2)

ประเภทของหน้าตัดเหล็ก	มอก.	R_y	R_t
เหล็กรูปพรรณขึ้นรูปร้อน และเหล็กแท่ง (hot-rolled structural shapes and bars)			
• ASTM A36/A36M	SM 400, SS 400	1.5	1.2
• ASTM A1043/1043M Gr.36 (250)	-	1.3	1.1
• ASTM A572/572M Gr.50 (345) or 55 (380) ASTM A913/A913M Gr.50 (345), 60 (415), or 65 (450) ASTM A588/A588M, ASTM A992/A992M	SS 540, SM 570	1.1	1.1
• ASTM A1043/A1043M Gr.50 (345)	-	1.2	1.1
• ASTM A529 Gr.50 (345)	SM 520	1.2	1.2
• ASTM A529 Gr.55 (380)	-	1.1	1.2
เหล็กรูปพรรณหน้าตัดกลวง (hollow structural sections, HSS)			
• ASTM A500/A500M (Gr.B or C), ASTM A501	HS 41, HS 50	1.4	1.3
ท่อกลม (pipe):			
• ASTM A53/A53M	HS 41, HS 50, HS 51	1.6	1.2
เหล็กแผ่น (plates, strips and sheets)			
• ASTM A36/A36M	SM 400, SS 400	1.3	1.2
• ASTM A1043/1043M Gr.36 (250)	-	1.3	1.1
• A1011/A1011M HSLAS Gr.55 (380)	-	1.1	1.1
• ASTM A572/572M Gr.42 (290)	SM 490	1.3	1.0
• ASTM A572/A572M Gr.50 (345), Gr.55 (380), ASTM A588/A588M	-	1.1	1.2
• ASTM 1043/1043M Gr.50 (345)	-	1.2	1.1
เหล็กเสริม (steel reinforcement)			
• ASTM A615, ASTM A706	-	1.25	1.25

Expected material strength – 2

#WeLoveSteelConstruction

- ค่า R_y R_t **สะท้อน "ความแปรปรวน" ของกำลังวัสดุ** โดยเหล็กเกรดต่ำ ๆ ก็จะมี ความแปรปรวน มากกว่าเหล็กเกรดสูง ทำให้ค่าเฉลี่ย ที่ใช้คำว่า "Expected" อยู่ห่างจากค่าต่ำสุดที่เป็นค่าระบุ หรือ "Nominal" เช่น เกรด SS400 (A36) ค่า R_y สูงถึง 1.5 และ R_t สูงถึง 1.2 สะท้อนว่า ถ้าเรานำ SS400 ไปทดสอบ กำลังครากที่เราน่าจะได้ มีค่าราว 245x1.5 = 368 MPa ในขณะที่ กำลังรับแรงดึง ราว 400x1.2 = 480 MPa
- ค่า R_y และ R_t นี้ จึงไปปรากฏอยู่ในมาตรฐานการออกแบบ มยผ. 1304 ในหลากหลายตำแหน่ง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากำลังรับแรงของ อะไรก็ตามที่มาต่อเข้ากับองค์อาคารที่ต้านทานแผ่นดินไหว seismic-resisting system member จะไม่เกิดการวิบัติในลักษณะที่ส่งผลต่อ performance ของโครงสร้างโดยรวมไป **ก่อนที่** member เองจะเกิดการคราก

4.2.1 การค้ำยันองค์อาคารที่มีความเหนียวปานกลาง

การค้ำยันต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) คานต้องได้รับการค้ำยันทั้งปีกบนและปีกล่าง หรือได้รับการค้ำยันต้านทานการบิด

(2) คานต้องได้รับการค้ำยันให้เพียงพอกับกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการ (required flexural strength, M_r)

$$M_r = R_y F_y Z \quad \text{(วิธี LRFD)} \qquad (1)$$

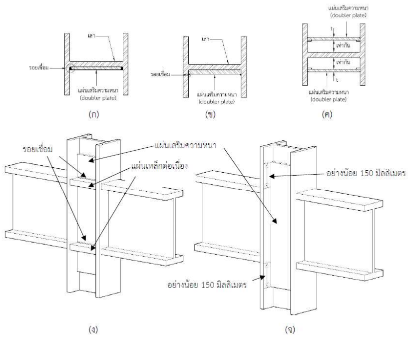
$$M_r = R_y F_y Z / 1.5 \quad \text{(วิธี ASD)} \qquad (2)$$

ในการยึดด้วยสลักเกลียวในการต่อทาบเสา รอยต่อต้องมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดอย่างน้อยเท่ากับ $R_y F_y Z_x$ สำหรับวิธี LRFD หรือ $R_y F_y Z_x / 1.5$ สำหรับวิธี ASD โดยที่ Z_x คือ โมดูลัสพลาสติกของหน้าตัดรอบแกน x ของเสาที่มีขนาดเล็กกว่า กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการของการต่อทาบเอวเสาต้องไม่น้อยกว่า $\sum M_{pc} / H$ สำหรับวิธี LRFD หรือ $\sum M_{pc} / (1.5H)$ สำหรับวิธี ASD โดยที่ $\sum M_{pc}$ คือ ผลรวมของกำลังรับโมเมนต์ดัดพลาสติกระบุของเสาที่อยู่เหนือและอยู่ใต้รอยต่อทาบเสา

MRF column detail

#WeLoveSteelConstruction

- ดังที่ได้กล่าวว่า เป้าหมายของระบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว คือรักษาเสถียรภาพตัวอาคาร **ไม่ให้อาคารเกิดการถล่ม** แต่อาคารเกิดการเสียรูป ผิดรูป ได้ การที่อาคารเกิดการเสียรูปถาวร แปลว่าจะมีส่วนของ member บาง member เกิดการคราก yield ขึ้น
- การ yield นี้นอกจากจะยอมให้เกิดขึ้นกับโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้แล้ว ยังเป็น mechanism ที่ช่วย **"สลายพลังงาน"** ที่เกิดจากพลังงานแผ่นดินไหวภายนอกอันมหาศาล (งาน = แรง * ระยะการเสียรูป) โดยหากระบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวสามารถเสียรูปได้ "หลายรอบ" เพราะแผ่นดินไหวเกิดการสั่น เป็นวงรอบ ซ้าย-ขวา หน้า-หลัง สลับไปมา ก็จะช่วยให้ performance ของระบบต้านทานแรงแผ่นดินไหวดีมากยิ่งขึ้น
- ความสามารถในการ "สลายพลังงาน" ที่เรียก **"ความเหนียว"** ดังกล่าวนี้ ไม่สามารถคำนวณหาออกมาได้ ต้องทำการทดสอบโดยกำหนดรูปแบบ (prequalified) ของระบบการต่อเชื่อมประกอบ แล้วไปทดสอบว่าได้กี่รอบ (กี่ cycle) แล้วจึงมาจัดหมวดหมู่ออกเป็น ระบบเหนียวพิเศษ (special) เหนียวปานกลาง (intermediate) หรือ เหนียวปกติ (ordinary) ต่อไป



รูปที่ 2 ตัวอย่างการต่อยึดแผ่นเสริมความหนากับหน้าตัดเสา

(ข้อ 7.3.3)

Seismic resisting system vs. "R"

#WeLoveSteelConstruction

- รูปแบบของระบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณต้านทานแผ่นดินไหว มีหลายประเภท แต่ละประเภทมี "**ความเหนียว**" ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งไปแสดงที่ ค่า "**R**" ในตาราง 2.3-1 ใน มยผ. 1301/1302-61 ค่า **R** นี้ มีส่วนสำคัญในการ "หาแรง" ที่กระทำกับตัวอาคาร คือไปลดทอน base shear ที่คำนวณจาก response spectrum ซึ่งทำให้แรงที่กระทำไปยังอาคารแต่ละชั้น ลดน้อยลงมาก

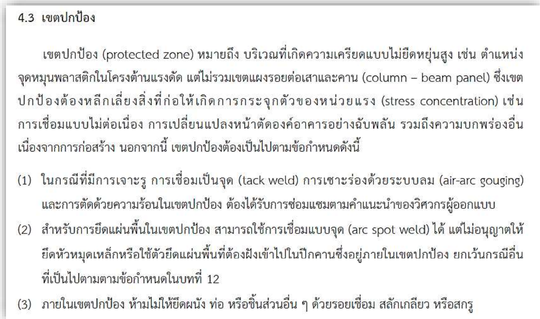
ตารางที่ 2.3-1 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Overstrength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ R	Ω_0	C_d	ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	3	2.5	3	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)++	4	2.5	4	√	√	X
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ++	5	2.5	4.5	√	√	X
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (แบบหล่อในที่ หรือ แบบหล่อสำเร็จ) (Precast or Cast-in-Place Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame) ++	8	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง หรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	X	X
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	*
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility / Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ(Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	X
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	*
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	X	X
7. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	X

Protected Zone

#WeLoveSteelConstruction

- เขตปกป้อง protected zone เป็นบริเวณที่ "ต้องหลีกเลี่ยง" การเชื่อม การเจาะรู การตัดบาก ฯลฯ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะเป็นบริเวณที่ sensitive ต่อการวิบัติแบบฉับพลัน

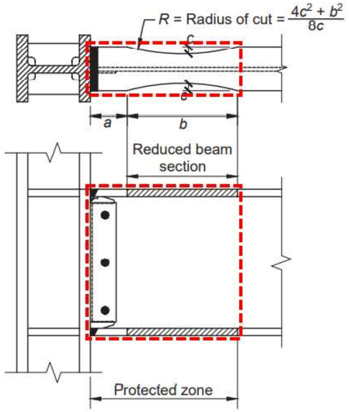

4.3 เขตปกป้อง

เขตปกป้อง (protected zone) หมายถึง บริเวณที่เกิดความเครียดแบบไม่ยืดหยุ่นสูง เช่น ตำแหน่งจุดหมุนพลาสติกในโครงต้านแรงดัด แต่ไม่รวมเขตแผงรอยต่อเสาและคาน (column – beam panel) ซึ่งเขตปกป้องต้องหลีกเลี่ยงสิ่งที่ก่อให้เกิดการกระจุกตัวของหน่วยแรง (stress concentration) เช่น การเชื่อมแบบไม่ต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดองค์อาคารอย่างฉับพลัน รวมถึงความบกพร่องอื่นเนื่องจากการก่อสร้าง นอกจากนี้ เขตปกป้องต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ในกรณีที่มีการเจาะรู การเชื่อมเป็นจุด (tack weld) การเซาะร่องด้วยระบบลม (air-arc gouging) และการตัดด้วยความร้อนในเขตปกป้อง ต้องได้รับการซ่อมแซมตามคำแนะนำของวิศวกรผู้ออกแบบ

(2) สำหรับการยึดแผ่นพื้นในเขตปกป้อง สามารถใช้การเชื่อมแบบจุด (arc spot weld) ได้ แต่ไม่อนุญาตให้ยึดหัวหมุดเหล็กหรือใช้ตัวยึดแผ่นพื้นที่ต้องฝังเข้าไปในปีกคานซึ่งอยู่ภายในเขตปกป้อง ยกเว้นกรณีอื่นที่เป็นไปตามตามข้อกำหนดในบทที่ 12

(3) ภายในเขตปกป้อง ห้ามไม่ให้ยึดผนัง ท่อ หรือชิ้นส่วนอื่น ๆ ด้วยรอยเชื่อม สลักเกลียว หรือสกรู



Ref: https://www.ideastatica.com/de/support-center/capacity-design-aisc

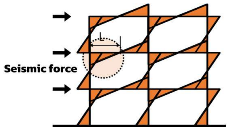
Steel Moment Frame

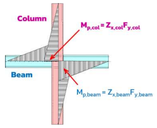
#WeLoveSteelConstruction

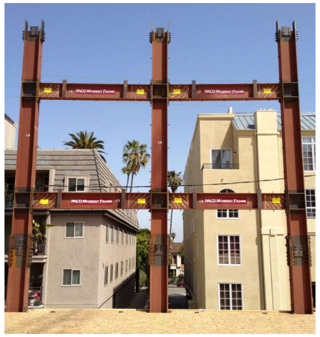
Ordinary Moment Frame (OMF)	Intermediate Moment Frame (IMF)	Special Moment Frame (SMF)
• R = 3.5 • Min inelastic deformation • ไม่ระบุ protected zone • เชื่อมปีก เสา/คาน ต้องเป็น CJP • FR & PR permitted • FR: $M_n = 1.1R_yM_p$ • FR: V_n สอดคล้องกับ M_n โดย $E_{mh} = 2*(1.1R_yM_p)\ L_{cf}$ • พิจารณา Overstrength factor	• R = 4.5 • Limit inelastic deformation • กำหนด protected zone • ไม่กำหนด requirement บริเวณ panel zone และ เชื่อมปีก เสา/คาน ต้องเป็น CJP ยกเว้นระบุเป็นอย่างอื่นใน AISC358 • Connection: Story drift ≥ 0.02 เรเดียน และ $M_n \geq 0.8M_p$ • Connection: V_n สอดคล้องกับ M_n โดย $E_{mh} = 2*(1.1R_yM_p)\ L_{cf}$	• R = 8 • ผลรวมของ Column plastic moment "ต้องมากกว่า" ผลรวมของ Beam plastic moment • กำหนด requirement บริเวณ panel zoneและ เชื่อมปีก เสา/คาน ต้องเป็น CJP • Connection: Story drift ≥ 0.04 เรเดียน และ $M_n \geq 0.8M_p$ • Connection: V_n สอดคล้องกับ M_n โดย $E_{mh} = 2*(1.1R_yM_p)\ L_{cf}$

Steel Moment Frame

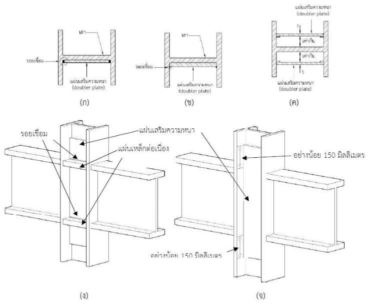
#WeLoveSteelConstruction







Ref: www.pacosteel.com/smart-moment-frames/



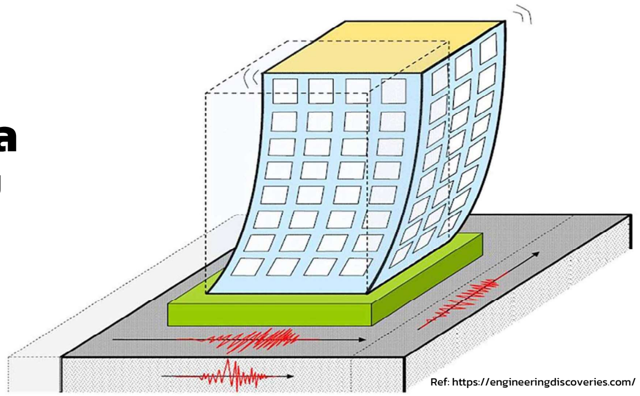
รูปที่ 2 ตัวอย่างการต่อยึดแผ่นเสริมความหนากับหน้าตัดเสา

Special Moment Frame (SMF)

- R = 8
- ผลรวมของ Column plastic moment "ต้องมากกว่า" ผลรวมของ Beam plastic moment
- กำหนด requirement บริเวณ panel zoneและ เชื่อมปีก เสา/คาน ต้องเป็น CJP
- Connection: Story drift ≥ 0.04 เรเดียน และ $M_n \geq 0.8M_p$
- Connection: V_n สอดคล้องกับ M_n โดย $E_{mh} = 2*(1.1R_yM_p)\ L_{cf}$

ปัจจัยจากแผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อแรงที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร

#WeLoveSteelConstruction

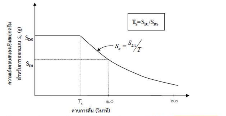


Ref: https://engineeringdiscoveries.com/

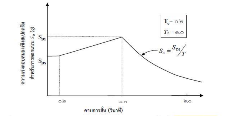
Fundamental

#WeLoveSteelConstruction

- ยิ่งแผ่นดินไหวมีความรุนแรง (high earthquake magnitude) ยิ่งส่งผลรุนแรงต่อตัวอาคาร (high seismic force to buildings)
- ความถี่ของการสั่นของพื้นดิน (ground vibration) มีผลต่ออาคารมาก หากไปส่งผลให้ **ความถี่การสั่นของตัวอาคาร (building vibration frequency)** "พ้อง (resonate)" กับ **ความถี่ธรรมชาติของตัวอาคาร (building natural frequency)** ซึ่งขึ้นกับ stiffness (k) และ mass (m) ของตัวอาคาร
- การคำนวณแรงแผ่นดินไหว โดยหลักการเริ่มจากการนำพิกัดที่อาคารตั้งอยู่ ไปตรวจสอบค่าความเร่งตอบสนอง เพื่อนำไปคูณกับ mass (m) ของตัวอาคาร ในการหา base shear แล้วกระจาย base shear ไปสู่ story force



รูปที่ ก-๑ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพ ที่มีค่า $S_{D1} \le S_{DS}$



รูปที่ ก-๒ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า สำหรับพื้นที่นอกแอ่งกรุงเทพ ที่มีค่า $S_{D1} > S_{DS}$

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_S	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_1
เชียงใหม่ (ต่อ)	ฝาง	๑.๐๓๘	๐.๒๘๒
	พร้าว	๐.๙๕๓	๐.๒๓๘
	เมืองเชียงใหม่	๐.๙๖๓	๐.๒๔๘
	แม่แจ่ม	๐.๘๙๑	๐.๒๔๒
	แม่แตง	๐.๙๙๒	๐.๒๖๐
	แม่ริม	๐.๙๘๔	๐.๒๕๔
	แม่วาง	๐.๙๓๖	๐.๒๔๘
	แม่อาย	๑.๐๘๐	๐.๓๑๗
	แม่ออน	๐.๘๖๗	๐.๑๘๗
	เวียงแหง	๑.๐๓๒	๐.๒๗๔
	สะเมิง	๐.๙๖๗	๐.๒๕๘
	สันกำแพง	๐.๙๒๖	๐.๒๓๐
	สันทราย	๐.๙๗๓	๐.๒๕๑
	สันป่าตอง	๐.๙๓๘	๐.๒๔๔
	สารภี	๐.๙๒๗	๐.๒๓๖
	หางดง	๐.๙๓๑	๐.๒๔๓
	อมก๋อย	๐.๘๕๗	๐.๒๔๔
	ฮอด	๐.๘๔๙	๐.๒๓๗

$$V = C_s S_a W$$

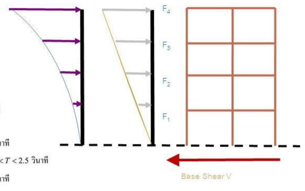
$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{x} w_i h_i^k}$$

$k = 1.0$ เมื่อ $T \le 0.5$ วินาที

$k = 1 + \frac{T - 0.5}{2}$ เมื่อ 0.5 วินาที $< T <$ 2.5 วินาที

$k = 2.0$ เมื่อ $T \ge 2.5$ วินาที



กรณี T_n มาก ๆ (Flexible) กรณี T_n น้อย ๆ (Rigid)

ความสำคัญของอาคาร

#WeLoveSteelConstruction

- อาคารแต่ละประเภท จำเป็นต้อง "ตั้งอยู่" แม้เกิดภัยพิบัติรุนแรง เช่น อาคารอพยพหนีภัย ศูนย์บัญชาการ ฯลฯ ต่างจากอาคารบางประเภทที่เมื่อเกิดแผ่นดินไหวระดับไม่รุนแรงก็พังวิบัติ (บางส่วน) ก็ไม่ส่งผลเสียหายต่อสาธารณะ เช่น โรงเรือนเกษตร อาคารชั่วคราว เป็นต้น **ประกาศกระทรวงฯ จึงได้กำหนดความสำคัญตามแต่ละประเภทของอาคาร ซึ่งส่งผลต่อแรงแผ่นดินไหวที่ต้องใช้ออกแบบอาคาร**

เล่ม ๑๓๘ ตอนพิเศษ ๒๗๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

ข้อ ๒๓ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (*I*) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ประเภทความสำคัญ	ค่าตัวประกอบความสำคัญ
ประเภทความสำคัญ I (น้อย)	๑.๐๐
ประเภทความสำคัญ II (ปกติ)	๑.๐๐
ประเภทความสำคัญ III (มาก)	๑.๒๕
ประเภทความสำคัญ IV (สูงมาก)	๑.๕๐

ตารางที่ ๓ การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคาร และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อย เมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร อาคารชั่วคราว อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ เป็นต้น	I (น้อย)
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ I (น้อย) III (มาก) และ IV (สูงมาก)	II (ปกติ)
(๑) โรงมหรสพ หอประชุม ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ สถานีขนส่ง สถานบริการ หรือท่าจอดเรือ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หกร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๒) หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หรือสถานศึกษา ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๓) หอสมุด ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สองพันตารางเมตรขึ้นไป (๔) ตลาด ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การค้า ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันห้าร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๕) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน สถานให้บริการดูแลผู้สูงอายุ หรือสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สามร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๖) สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ (๗) เรือนจำตามกฎหมายว่าด้วยราชทัณฑ์ (๘) อาคารที่ทำการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย ที่มีพื้นที่สาธารณะตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๙) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป (๑๐) อาคารประเภทอื่น ๆ ที่สามารถรองรับผู้มาใช้สอยอาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป	III (มาก)
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อการช่วยเหลือและบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า หรือโรงผลิตและเก็บน้ำประปา (๒) คลังสินค้าที่ใช้เป็นสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตรายประเภทวัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี	IV (สูงมาก)

ผลจากสภาพชั้นดินที่รองรับอาคาร

#WeLoveSteelConstruction

- สภาพชั้นดินมีผลต่อแรงที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร การสั่นของพื้นดินที่เกิดกับอาคารที่ตั้งอยู่บริเวณดินอ่อน (เช่น กทม. และปริมณฑล) จะส่งผลให้ พลังงานที่เกิดจากการสั่นของพื้นดิน ถูกกักเก็บ ไม่สลายออกได้ง่าย
- ทั้งนี้คลื่นที่ส่งผ่านจากพื้นดินที่เกิดการสั่นไหว จะมีทั้งคลื่นที่อยู่ผิวดิน และคลื่นที่อยู่ใต้ดิน ชั้นดินที่อ่อนที่อยู่ใต้ดินจะส่งคลื่นได้ไกล (คล้ายกับคลื่นวิทยุ FM AM ที่คลื่น AM ส่งได้ไกลกว่า FM แต่ FM ทะลุทะลวงได้ดีกว่า AM)
- การคำนวณแรงแผ่นดินไวจึงต้องนำค่าสัมประสิทธิ์ ทั้ง F_a และ F_v ไปพิจารณาคำนวณ เพื่อ "ลด" หรือ "เพิ่ม" แรงที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร ตามลักษณะชั้นดินที่รองรับตัวอาคาร (จากผลสำรวจดิน) จำแนกประเภท ชั้นดิน A เป็นหินแข็ง ไปยังชั้นดิน E เป็นดินเหนียวอ่อน

ตารางที่ ก-๒ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_a

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ ๐.๒ วินาที				
	$S_S \le$ ๐.๒๕	$S_S =$ ๐.๕๐	$S_S =$ ๐.๗๕	$S_S =$ ๑.๐๐	$S_S \ge$ ๑.๒๕
A	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘
B	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐
C	๑.๒	๑.๒	๑.๑	๑.๐	๑.๐
D	๑.๖	๑.๔	๑.๒	๑.๑	๑.๐
E	๒.๕	๑.๗	๑.๒	๐.๙	๐.๙
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณี ๆ ไป				

ตารางที่ ก-๓ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ ๑.๐ วินาที				
	$S_1 \le$ ๐.๑๐	$S_1 =$ ๐.๒๐	$S_1 =$ ๐.๓๐	$S_1 =$ ๐.๔๐	$S_1 \ge$ ๐.๕๐
A	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘
B	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐
C	๑.๗	๑.๖	๑.๕	๑.๔	๑.๓
D	๒.๔	๒.๐	๑.๘	๑.๖	๑.๕
E	๓.๕	๓.๒	๒.๘	๒.๔	๒.๔
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณี ๆ ไป				

ผลจากความเหนียวของระบบรับแรงด้านข้าง

#WeLoveSteelConstruction

- ระบบรับแรง แบ่งเป็น **(1) ระบบรับแรงในแนวดิ่ง** (gravity system) เช่น เสา คาน พื้น รับ DL LL ตามทิศทางแรงโน้มถ่วงของโลก (แนวดิ่ง) และ **(2) ระบบรับแรงด้านข้าง** (lateral system) ที่รับแรงลม แรงแผ่นดินไหว
- **(1) ระบบรับแรงในแนวดิ่ง** ปกติแล้วจะรับแรงกระทำแช่ค้าง ไม่เปลี่ยนทิศหรือเปลี่ยนขนาดมากนัก จึงไม่ต้องการความเหนียว (**ductility, R**) แต่สำหรับ **(2) ระบบรับแรงด้านข้าง** ด้วยลักษณะของแรงที่เกิดการเปลี่ยนทิศไปมา แรงกระทำเบาบ้างหนักก็มี **ระบบรับแรงด้านข้าง** จึงต้องมีความเหนียว
- **ความเหนียว (R)** คำนวณด้วยสมการไม่ได้ ต้องทดสอบ ตามรูปแบบ detail หนึ่งๆ อีกทั้งการทดสอบมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น มาตรฐานจึงมีการกำหนดลักษณะเฉพาะในการทำรายละเอียดของระบบรับแรงด้านข้าง เพื่อให้ระบบนั้นๆ มีความเหนียว (R) ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ โดยค่า **R** นำไปใช้ "หารแรง" ที่ได้จาก acceleration response spectrum

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ R	ค่าตัวประกอบ Ω_0	ค่าตัวประกอบ C_d	ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว ข	ค	ง
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X

สรุปภาพรวมการหาแรงแผ่นดินไหว

#WeLoveSteelConstruction

พิกัดอาคาร → **ลักษณะการใช้งานอาคาร** → **สภาพชั้นดิน** → **รูปแบบ lateral system**

- พิกัดอาคาร
  - หาความเร่ง S_s (short)
  - หาความเร่ง S_1 (1 sec)
- ลักษณะการใช้งานอาคาร
  - หาตัวประกอบความปลอดภัย Importance factor
- สภาพชั้นดิน
  - หาตัวคูณ จากลักษณะชั้นดิน F_a (ใช้กับ S_s) และ F_v (ใช้กับ S_s)
- รูปแบบ lateral system
  - หาความเหนียว (R) เพื่อลดทอนแรงแผ่นดินไหว

จังหวัด	อำเภอ	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_S	ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม S_1
แม่ฮ่องสอน	ขุนยวม	๐.๘๘๘	๐.๒๐๘
	ปางมะผ้า	๑.๐๕๙	๐.๒๗๐
	ปาย	๑.๐๑๙	๐.๒๖๙
	เมืองแม่ฮ่องสอน	๐.๙๖๒	๐.๒๒๗
	แม่ลาน้อย	๐.๘๓๗	๐.๑๙๙
	แม่สะเรียง	๐.๘๓๒	๐.๑๙๕
	สบเมย	๐.๘๓๔	๐.๒๐๑

ข้อ ๒๓ ค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร (I) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ประเภทความสำคัญ	ค่าตัวประกอบความสำคัญ
ประเภทความสำคัญ I (น้อย)	๑.๐๐
ประเภทความสำคัญ II (ปกติ)	๑.๐๐
ประเภทความสำคัญ III (มาก)	๑.๒๕
ประเภทความสำคัญ IV (สูงมาก)	๑.๕๐

ตารางที่ ก-๒ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดินที่ ณ ที่ตั้งอาคาร F_a

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ ๐.๒ วินาที				
	$S_S \le$ ๐.๒๕	$S_S =$ ๐.๕๐	$S_S =$ ๐.๗๕	$S_S =$ ๑.๐๐	$S_S \ge$ ๑.๒๕
A	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘
B	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐
C	๑.๒	๑.๒	๑.๑	๑.๐	๑.๐
D	๑.๖	๑.๔	๑.๒	๑.๑	๑.๐
E	๒.๕	๑.๗	๑.๒	๐.๙	๐.๙
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณี ๆ ไป				

ตารางที่ ก-๓ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร F_v

ประเภทของชั้นดิน	ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณาที่คาบ ๑.๐ วินาที				
	$S_1 \le$ ๐.๑๐	$S_1 =$ ๐.๒๐	$S_1 =$ ๐.๓๐	$S_1 =$ ๐.๔๐	$S_1 \ge$ ๐.๕๐
A	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘	๐.๘
B	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐	๑.๐
C	๑.๗	๑.๖	๑.๕	๑.๔	๑.๓
D	๒.๔	๒.๐	๑.๘	๑.๖	๑.๕
E	๓.๕	๓.๒	๒.๘	๒.๔	๒.๔
F	จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของดินเป็นกรณี ๆ ไป				

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ R	ค่าตัวประกอบ Ω_0	ค่าตัวประกอบ C_d	ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว ข	ค	ง
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ R	ค่าตัวประกอบ Ω_0	ค่าตัวประกอบ C_d	ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X

ตัวอย่างการหาแรงแผ่นดินไหว 1

#WeLoveSteelConstruction

อาคาร 4 ชั้น (footprint 200 sqm)
สูง 12 m แต่ละชั้นพื้น flat slab หนา 20 cm คิด DL อื่นๆ เทียบเท่าคอนกรีตหนา 5 cm รวม 25 cm
DL = 4*0.25*200*2500
= 500,000 kg (W = mg)
m = 500,000/g

พิกัดอาคาร ปาย แม่ฮ่องสอน → **ลักษณะการใช้งานอาคาร** ทั่วไป → **สภาพชั้นดิน** Rock (B) → **รูปแบบ lateral system**

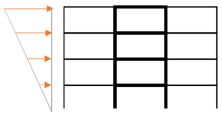
$S_{MS} = F_a S_s = 1.019g$
$S_{M1} = F_v S_1 = 0.269g$

$S_{DS} = 2/3 * S_{MS} = 0.679g$
$S_{D1} = 2/3 * S_{M1} = 0.179g$

T = 0.03H = 0.03*12 = 0.36 sec

S_a = min (S_{D1}/T, S_{DS})
= min (0.179g/0.36, 0.679g)
= 0.498g

V_B = I/R * S_a * Building Weight
= 1.0/3.5 * 0.498g * 500,000/g
= 71,164 kg



V_B = 71,164 kg

ตัวอย่างการหาแรงแผ่นดินไหว 1

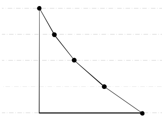
#WeLoveSteelConstruction

อาคาร 4 ชั้น (footprint 200 sqm)
สูง 12 m แต่ละชั้นพื้น flat slab หนา 20 cm คิด DL อื่นๆ เทียบเท่าคอนกรีตหนา 5 cm รวม 25 cm
DL = 4*0.25*200*2500
= 500,000 kg (W = mg)
m = 500,000/g

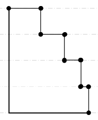
พิกัดอาคาร ปาย แม่ฮ่องสอน → **ลักษณะการใช้งานอาคาร** ทั่วไป → **สภาพชั้นดิน** Rock (B) → **รูปแบบ lateral system**

- พิกัดอาคาร
  - หาความเร่ง S_s = 1.019g
  - หาความเร่ง S_1 = 0.269g
- ลักษณะการใช้งานอาคาร
  - อาคารทั่วไป I = 1.0
- สภาพชั้นดิน
  - F_a = 1.0, F_v = 1.0
- รูปแบบ lateral system
  - O-MRF, R = 3.5

C_{v4} = (12*w/4)/[3*w/4 + 6*w/4 + 9*w/4+12*w/4] = (12/4)/(30/4)

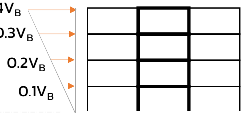


Bending Moment Diagram



Shear Force Diagram

C_{v4} = 0.4 — $0.4V_B$
C_{v3} = 9/30 = 0.3 — $0.3V_B$
C_{v2} = 6/30 = 0.2 — $0.2V_B$
C_{v1} = 0.1 — $0.1V_B$



V_B = 71,164 kg

ตัวอย่างการหาแรงแผ่นดินไหว 2

#WeLoveSteelConstruction

อาคาร 3 ชั้น (footprint 200 sqm)
สูง 9 m แต่ละชั้นพื้น flat slab หนา 20 cm คิด DL อื่นๆ เทียบเท่าคอนกรีตหนา 5 cm รวม 25 cm
DL = 3*0.25*200*2500
= 375,000 kg (W = mg)
m = 370,000/g

พิกัดอาคาร เมือง ระนอง → **ลักษณะการใช้งานอาคาร** ทั่วไป → **สภาพชั้นดิน** Soft rock (C) → **รูปแบบ lateral system**

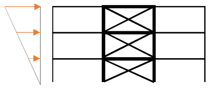
$S_{MS} = F_a S_s = 0.372g$
$S_{M1} = F_v S_1 = 0.167g$

$S_{DS} = 2/3 * S_{MS} = 0.248g$
$S_{D1} = 2/3 * S_{M1} = 0.111g$

T = 0.03H = 0.03*9 = 0.27 sec

S_a = min (S_{D1}/T, S_{DS})
= min (0.111g/0.27, 0.248g)
= 0.248g

V_B = I/R * S_a * Building Weight
= 1.0/5.5 * 0.248g * 375,000/g
= 16,909 kg



V_B = 16,909 kg

ตัวอย่างการหาแรงแผ่นดินไหว 2

#WeLoveSteelConstruction

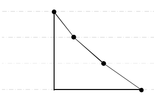
อาคาร 3 ชั้น (footprint 200 sqm)
สูง 9 m แต่ละชั้นพื้น flat slab หนา 20 cm คิด DL อื่นๆ เทียบเท่าคอนกรีตหนา 5 cm รวม 25 cm
DL = 3*0.25*200*2500
= 375,000 kg (W = mg)
m = 375,000/g

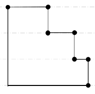
พิกัดอาคาร เมือง ระนอง
- หาความเร่ง $S_s = 0.310g$
- หาความเร่ง $S_1 = 0.098g$

ลักษณะการใช้งานอาคาร ทั่วไป
- อาคารทั่วไป
  I = 1.0

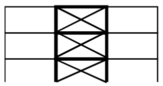
สภาพชั้นดิน Soft rock (C)
- $F_a = 1.2$
  $F_v = 1.7$

รูปแบบ lateral system
- S-CBF, R = 5.5


Bending Moment Diagram


Shear Force Diagram

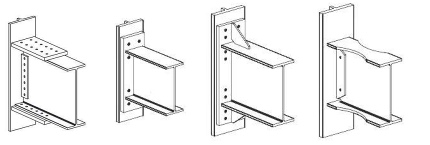
C_{v3} = (9*w/3)/[3*w/3 + 6*w/3 + 9*w/3] = 9/18 = 0.50 $0.50V_B$
C_{v2} = 6/18 = 0.33 $0.33V_B$
C_{v1} = 3/18 = 0.17 $0.17V_B$



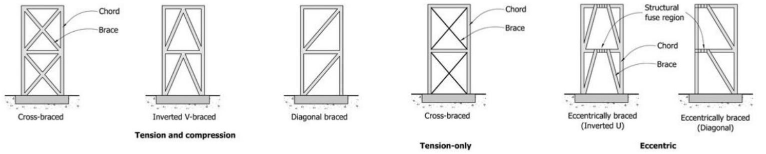
V_B = 16,909 kg

ระบบโครงสร้างเหล็กต้านทานแรงแผ่นดินไหว

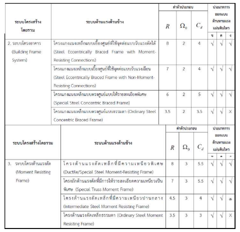
#WeLoveSteelConstruction


O-MRF (R = 3.5) I-MRF (R = 4.5) S-MRF (R = 8)

รูปแบบ lateral system
- หาความเหนียว (R) เพื่อลดทอนแรงแผ่นดินไหว

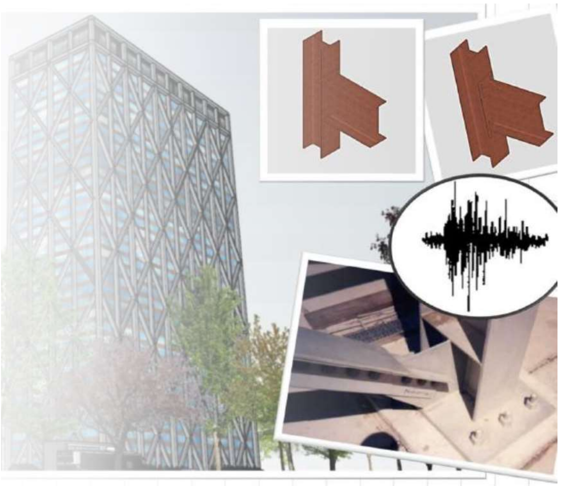


O-CBF (R = 3.5) S-CBF (R = 6) EBF + MRF (R = 8) EBF no MRF (R = 7)



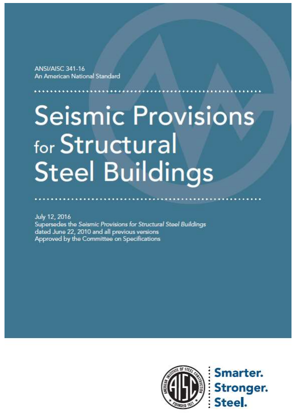
ทำโครงสร้างเหล็กอย่างไรให้เหนียว

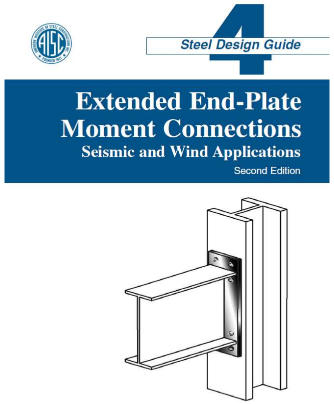
#WeLoveSteelConstruction



มาตรฐานและแนวปฏิบัติของสหรัฐอเมริกา

#WeLoveSteelConstruction





มาตรฐานและแนวปฏิบัติของสหรัฐอเมริกา

#WeLoveSteelConstruction

CHAPTER 5

REDUCED BEAM SECTION (RBS) MOMENT CONNECTION

5.1. GENERAL

In a reduced beam section (RBS) moment connection (Figure 5.1), portions of the beam flanges are selectively trimmed in the region adjacent to the beam-to-column connection. Yielding and hinge formation are intended to occur primarily within the reduced section of the beam.

5.2. SYSTEMS

RBS connections are prequalified for use in special moment frame (SMF) and intermediate moment frame (IMF) systems within the limits of these provisions.

5.3. PREQUALIFICATION LIMITS

1. Beam Limitations

Beams shall satisfy the following limitations:

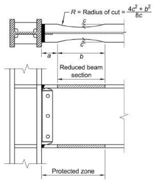


Fig. 5.1. Reduced beam section connection.

CHAPTER 6

BOLTED UNSTIFFENED AND STIFFENED EXTENDED END-PLATE MOMENT CONNECTIONS

6.1. GENERAL

Bolted end-plate connections are made by welding the beam to an end-plate and bolting the end-plate to a column flange. The three end-plate configurations shown in Figure 6.1 are covered in this section and are prequalified under the AISC *Seismic Provisions* within the limitations of this Standard.

The behavior of this type of connection can be controlled by a number of different limit states including flexural yielding of the beam section, flexural yielding of the end-plates, yielding of the column panel zone, tension rupture of the end-plate bolts, shear rupture of the end-plate bolts, or rupture of various welded joints. The design criteria provide sufficient strength in the elements of the connections to ensure that the inelastic deformation of the connection is achieved by beam yielding.

6.2. SYSTEMS

Extended end-plate moment connections are prequalified for use in special moment frame (SMF) and intermediate moment frame (IMF) systems.

Exception: Extended end-plate moment connections in SMF systems with *concrete structural slabs* are prequalified only if:

(1) In addition to the limitations of Section 6.3, the nominal beam depth is not less than 24 in. (610 mm);

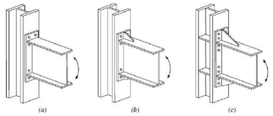


Fig. 6.1. Extended end-plate configurations: (a) four-bolt unstiffened, 4E; (b) four-bolt stiffened, 4ES; (c) eight-bolt stiffened, 8ES.

ANSI/AISC 358-10
ANSI/AISC 358s1-11
An American National Standard

Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications

Including Supplement No. 1

2010
(includes 2011 supplement)

Supersedes ANSI/AISC 358-05 and ANSI/AISC 358s1-09

Approved by the AISC Connection Prequalification Review Panel and issued by the AISC Board of Directors

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION
One East Wacker Drive, Suite 700
Chicago, Illinois 60601-1802

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของสหรัฐอเมริกา

#WeLoveSteelConstruction

CHAPTER 7

BOLTED FLANGE PLATE (BFP) MOMENT CONNECTION

7.1. GENERAL

Bolted flange plate (BFP) moment connections utilize plates welded to column flanges and bolted to beam flanges. The top and bottom plates must be identical. Flange plates are welded to the column flange using complete-joint-penetration (CJP) groove welds and beam flange connections are made with high-strength bolts. The beam web is connected to the column flange using a bolted shear tab with bolts in short-slotted holes. Details for this connection type are shown in Figure 7.1. Initial yielding and plastic hinge formation are intended to occur in the beam in the region near the end of the flange plates.

7.2. SYSTEMS

Bolted flange plate connections are prequalified for use in special moment frame (SMF) and intermediate moment frame (IMF) systems within the limitations of these provisions.

Exception: Bolted flange plate connections in SMF systems with *concrete structural slabs* are only prequalified if the concrete structural slab is kept at least 1 in. (25 mm) from both sides of both column flanges. It is permissible to place compressible material in the gap between the column flanges and the concrete structural slab.

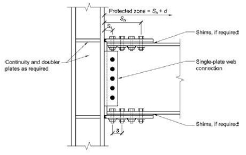


Fig. 7.1. Bolted flange plate moment connection.

CHAPTER 8

WELDED UNREINFORCED FLANGE–WELDED WEB (WUF-W) MOMENT CONNECTION

8.1. GENERAL

In the welded unreinforced flange-welded web (WUF-W) moment connection, inelastic rotation is developed primarily by yielding of the beam in the region adjacent to the face of the column. Connection rupture is controlled through special detailing requirements associated with the welds joining the beam flanges to the column flange, the welds joining the beam web to the column flange, and the shape and finish of the weld access holes. An overall view of the connection is shown in Figure 8.1.

8.2. SYSTEMS

WUF-W moment connections are prequalified for use in special moment frame (SMF) and intermediate moment frame (IMF) systems within the limits of these provisions.

8.3. PREQUALIFICATION LIMITS

1. Beam Limitations

Beams shall satisfy the following limitations:

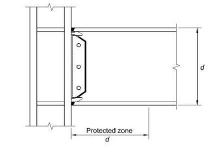


Fig. 8.1. WUF-W moment connection.

ANSI/AISC 358-10
ANSI/AISC 358s1-11
An American National Standard

Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications

Including Supplement No. 1

2010
(includes 2011 supplement)

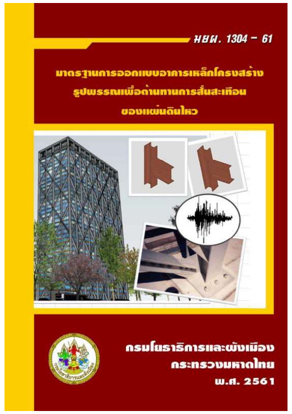
Supersedes ANSI/AISC 358-05 and ANSI/AISC 358s1-09

Approved by the AISC Connection Prequalification Review Panel and issued by the AISC Board of Directors

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION
One East Wacker Drive, Suite 700
Chicago, Illinois 60601-1802

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

#WeLoveSteelConstruction



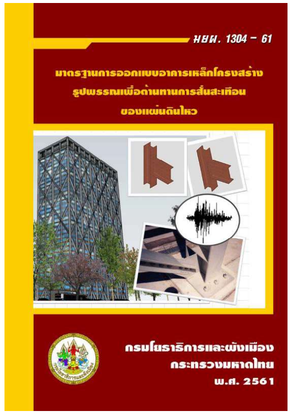
1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้เป็นรายละเอียดประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทานความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้รายละเอียดการคำนวณออกแบบองค์อาคารและรอยต่อของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณให้มีความเหนียวและความมั่นคงแข็งแรงภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

- **มยผ. 1304** ได้กำหนดรายละเอียดครอบคลุมโครงแกงแนงแบบตรงศูนย์ Concentric Braced Frame (CBF) และโครงแกงแนงแบบเยื้องศูนย์ Eccentric Braced Frame (EBF) ตลอดจนโครงต้านแรงดัด Moment Resisting Frame (MRF) ทั้งแบบธรรมดา Ordinary แบบเหนียวปานกลาง Intermediate และเหนียวพิเศษ Special

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

#WeLoveSteelConstruction



บทที่ 5

โครงต้านแรงดัดธรรมดา

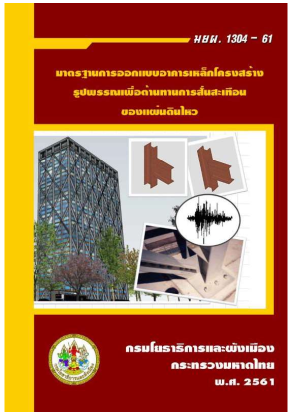
R = 3.5

ระบบโครงต้านแรงดัด (moment resisting frame) เป็นระบบโครงสร้างที่ได้รับความนิยมในการออกแบบอาคารสำหรับต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยระบบโครงสร้างอาจเป็นระบบโครงต้านแรงดัดธรรมดา (ordinary moment resisting frame, OMF) โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง (intermediate moment resisting frame, IMF) หรือโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ (special moment resisting frame, SMF) การวิเคราะห์และออกแบบระบบโครงต้านแรงดัดธรรมดาพิจารณาให้มีการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นน้อยกว่าระบบอื่น เนื่องจากระบบโครงต้านแรงดัดธรรมดามีความเหนียวน้อย จึงต้องทำการออกแบบให้มีกำลังในการรับแรงด้านข้างมากกว่าระบบอื่น ส่งผลให้โครงต้านแรงดัดธรรมดามีความสามารถในการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นได้น้อยทั้งในองค์อาคารและรอยต่อ

- **มยผ. 1304** ได้กำหนดรายละเอียดครอบคลุมโครงแกงแนงแบบตรงศูนย์ Concentric Braced Frame (CBF) และโครงแกงแนงแบบเยื้องศูนย์ Eccentric Braced Frame (EBF) ตลอดจน**โครงต้านแรงดัด Moment Resisting Frame (MRF)** ทั้งแบบธรรมดา **Ordinary** แบบเหนียวปานกลาง Intermediate และเหนียวพิเศษ Special

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

#WeLoveSteelConstruction



R = 4.5

บทที่ 6

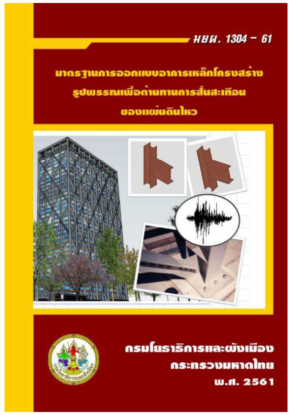
โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง

โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง จัดเป็นโครงต้านแรงดัดที่สามารถเกิดการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นได้มากกว่าโครงต้านแรงดัดธรรมดาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 5 การจัดให้ระบบโครงสร้างเป็นแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง คือการออกแบบให้ชิ้นส่วนโครงสร้างมีความสามารถต้านทานการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งการเสียรูปดังกล่าว เกิดจากการครากดัดของคานและเสาและการครากเฉือนของเขตแผงรอยต่อเสาและคาน

- **มยผ. 1304** ได้กำหนดรายละเอียดครอบคลุมโครงแกงแนงแบบตรงศูนย์ Concentric Braced Frame (CBF) และโครงแกงแนงแบบเยื้องศูนย์ Eccentric Braced Frame (EBF) ตลอดจน**โครงต้านแรงดัด Moment Resisting Frame (MRF)** ทั้งแบบธรรมดา Ordinary แบบ**เหนียวปานกลาง Intermediate** และเหนียวพิเศษ Special

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

#WeLoveSteelConstruction



R = 8

บทที่ 7

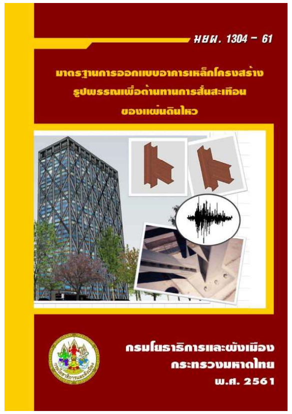
โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ

โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ จัดเป็นโครงต้านแรงดัดที่สามารถเกิดการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นได้มากกว่าโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 6 การจัดให้ระบบโครงสร้างเป็นแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ คือการออกแบบชิ้นส่วนเสาให้มีกำลังรับแรงสูงกว่ากำลังรับแรงของคานภายหลังการเกิดสภาวะครากและพฤติกรรมความเครียดแข็งเพิ่มขึ้น ชิ้นส่วนเสาต้องสามารถเกิดการครากเนื่องจากแรงดัดได้ ส่งผลให้ระบบโครงสร้างมีความสามารถต้านทานการเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่นได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบโครงต้านแรงดัดธรรมดาหรือโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง

- **มยผ. 1304** ได้กำหนดรายละเอียดครอบคลุมโครงแกงแนงแบบตรงศูนย์ Concentric Braced Frame (CBF) และโครงแกงแนงแบบเยื้องศูนย์ Eccentric Braced Frame (EBF) ตลอดจน**โครงต้านแรงดัด Moment Resisting Frame (MRF)** ทั้งแบบธรรมดา Ordinary แบบเหนียวปานกลาง Intermediate และ**เหนียวพิเศษ Special**

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

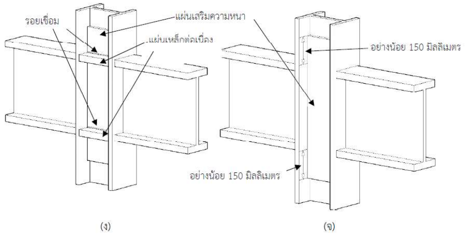
#WeLoveSteelConstruction



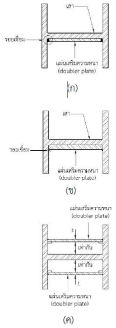
บทที่ 7

โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ

R = 8

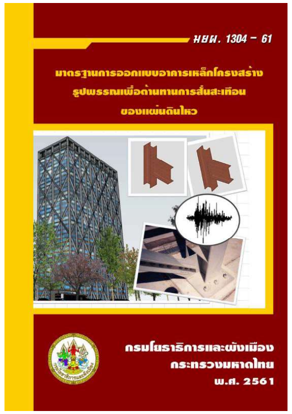


รูปที่ 2 ตัวอย่างการต่อยึดแผ่นเสริมความหนากับหน้าตัดเสา (ข้อ 7.3.3)



มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

#WeLoveSteelConstruction



บทที่ 11

การออกแบบรอยต่อเสาและคานที่มีความเหนียว

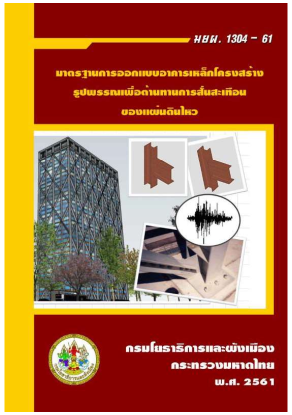
ในบทนี้ให้ข้อกำหนดการออกแบบรอยต่อที่มีความเหนียวสำหรับโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางและโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษตามมาตรฐาน AISC 358-10 ซึ่งรอยต่อเสาและคานที่เป็นไปตามข้อกำหนดในบทนี้มีความเหนียวเพียงพอสำหรับระบบต้านแรงแผ่นดินไหว รอยต่อที่ออกแบบตามข้อกำหนดไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบความเหนียวเพิ่มเติม รายละเอียดการออกแบบรอยต่อเสาและคานในบทนี้ ครอบคลุมด้วยกัน 4 ประเภท ได้แก่ รอยต่อลดหน้าตัดคาน รอยต่อแผ่นเหล็กเสริมปลายมีสลักเกลียวแบบที่ไม่มีและแบบที่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (bolted unstiffened and stiffened extended end-plate moment connections) รอยต่อยึดแผ่นปีกด้วยสลักเกลียว (bolted flange plate moment connection, BFP) และ รอยต่อยึดแผ่นเอวและแผ่นปีกด้วยรอยเชื่อมไม่เสริมกำลัง (welded unreinforced flange-welded web moment connection, WUF-W) การคำนวณออกแบบรอยต่อให้คำนวณด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) ตามมาตรฐาน AISC 360-10 และตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ โดยรอยต่อสามารถใช้ได้ในโครงสร้างต้านทานการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่ออกแบบด้วยวิธี LRFD หรือวิธี ASD ได้

prequalified

RBS
End plate
Flange plate
Welded FP

มาตรฐานและแนวปฏิบัติของไทย

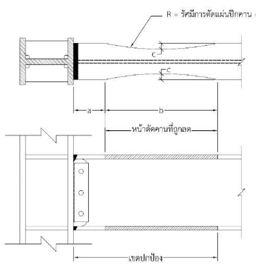
#WeLoveSteelConstruction



11.2 รอยต่อลดหน้าตัดคาน

Reduced Beam Section (RBS)

รอยต่อลดหน้าตัดคานดังแสดงในรูปที่ 9 ใช้วิธีการลดบางส่วนของหน้าตัดคานบริเวณใกล้กับรอยต่อเสาและคาน เพื่อให้เกิดการครากและจุดหมุนพลาสติกที่ตำแหน่งของการลดหน้าตัด รอยต่อประเภทนี้สามารถใช้ได้ในโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางและโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ



รูปที่ 9 รอยต่อลดหน้าตัดคาน

อัตราส่วนของโมเมนต์ดัดในเสาและคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(ก) สำหรับระบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ อัตราส่วนของโมเมนต์ดัดในเสาและคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในบทที่ 7 โดยที่

$$\sum M^*_{pb} = \sum \left(M_{pr} + M_{uv}\right) \quad (32)$$

โดยที่ M_{pr} = $C_{pr} R_y F_y Z_{RBS}$ (นิวตัน · มิลลิเมตร)

M_{uv} = โมเมนต์ดัดเพิ่มเติมจากการขยายแรงเฉือนจากกึ่งกลางส่วนการลดหน้าตัดคานถึงกึ่งกลางเสา โดยที่ $M_{uv} = V_{RBS}\left(a + 0.5b + 0.5d_c\right)$ (นิวตัน · มิลลิเมตร)

V_{RBS} = แรงเฉือนที่กึ่งกลางส่วนการลดหน้าตัด คำนวณตามขั้นตอนที่ 4 ของข้อ 11.2.4 (นิวตัน)

a และ b = ระยะตามที่แสดงในรูปที่ 9 (มิลลิเมตร)

d_c = ความลึกของเสา (มิลลิเมตร)

(ข) สำหรับระบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลาง อัตราส่วนโมเมนต์ดัดในเสาและคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในบทที่ 6

โครงต้านแรงดัด (MRF)

#WeLoveSteelConstruction

Ordinary — **R = 3.5**

Intermediate — **R = 4.5**

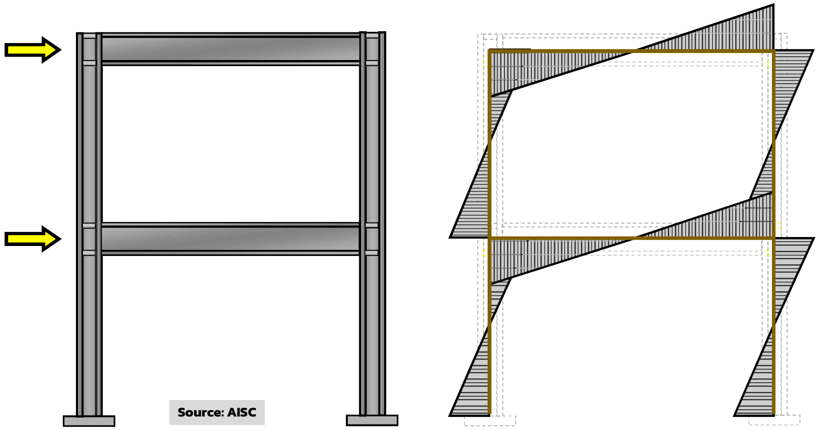
Special — **R = 8**

How do we know which one is O or I or S?

โครงต้านแรงดัด
Moment
Resisting
Frame
(MRF)

โครงต้านแรงดัด (MRF)

#WeLoveSteelConstruction



R = 3.5

R = 4.5

R = 8

โครงต้านแรงดัด
Moment
Resisting
Frame
(MRF)

โครงต้านแรงดัด (MRF)

#WeLoveSteelConstruction

R = 3.5

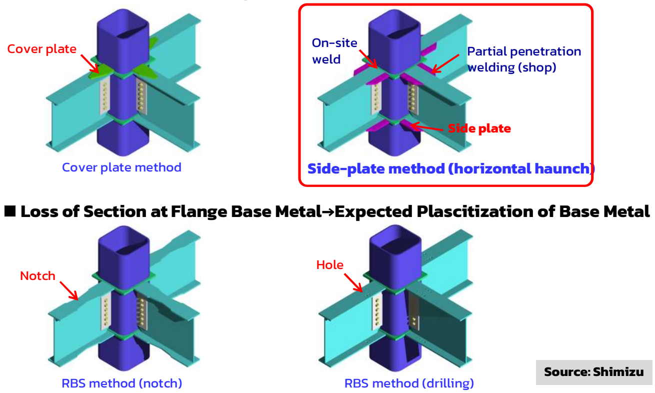
R = 4.5

R = 8

โครงต้านแรงดัด
Moment
Resisting
Frame
(MRF)

■ **Increase of Section of Flange→Reduction of Stress at Weld**

■ **Loss of Section at Flange Base Metal→Expected Plascitization of Base Metal**



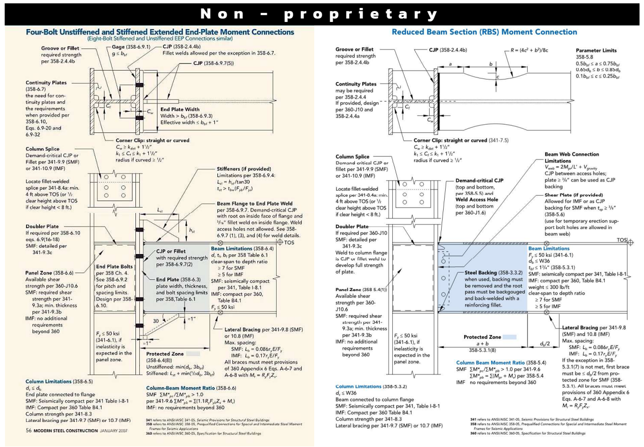
โครงต้านแรงดัด (MRF)

#WeLoveSteelConstruction

R = 3.5

R = 4.5

R = 8



Proprietary

โครงต้านแรงดัด
Moment
Resisting
Frame
(MRF)

โครงต้านแรงดัด (MRF)

#WeLoveSteelConstruction

R = 3.5

R = 4.5

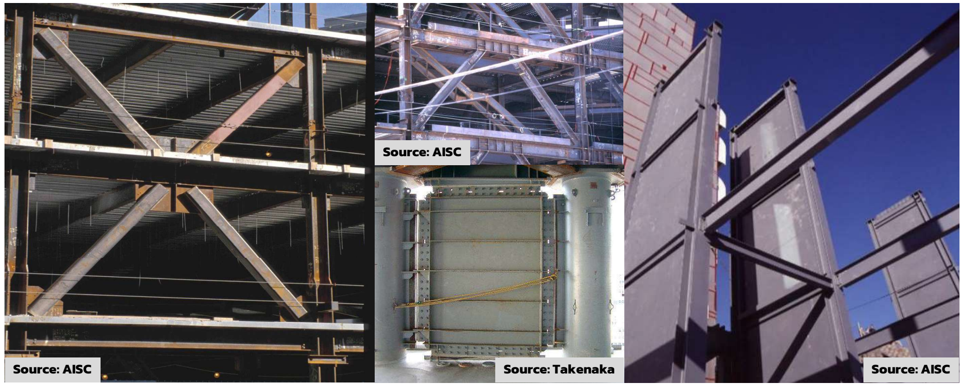
R = 8

โครงต้านแรงดัด
Moment
Resisting
Frame
(MRF)

ระบบรับแรงทางข้างอื่น ๆ

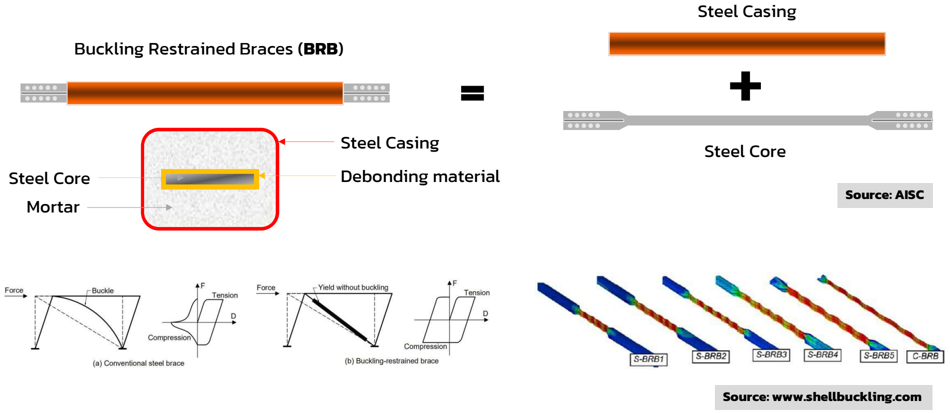
#WeLoveSteelConstruction

	R
Ordinary Steel Concentrically Braced Frame	3.5
Special Steel Concentrically Braced Frame (CBF)	6.0
Steel Eccentrically Braced Frame + Moment Connection	8.0
Steel Eccentrically Braced Frame (EBF)	7.0
Steel Plate Shear Wall (SPSW)	7.0



Innovative System: (1) BRB

#WeLoveSteelConstruction



Innovative System: (2) SPSW

#WeLoveSteelConstruction

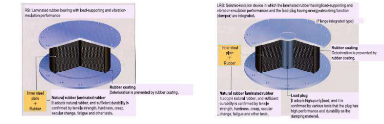
Innovative System: (3) Base Isolation

#WeLoveSteelConstruction

Elastomeric Isolator

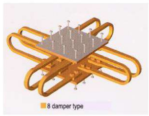
NRB : Natural rubber bearing

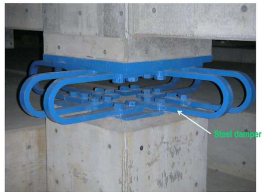
LRB : Lead plug rubber bearing



Damper

SD : Steel damper



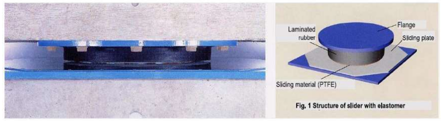


Lead plug-type laminated rubber isolator (LRB)

Natural rubber-laminated isolator (NRB)

Slider with elastomer

- NSR : Slider with elastomer

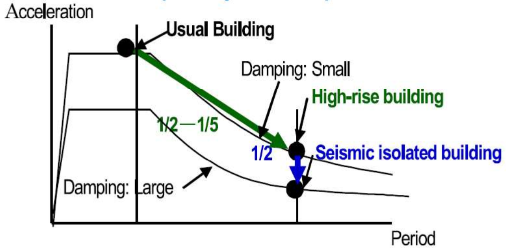


Source: Kitamura, "Control of Vibrations in Steel-structure Buildings", Tokyo University of Science

Innovative System: (3) Base Isolation

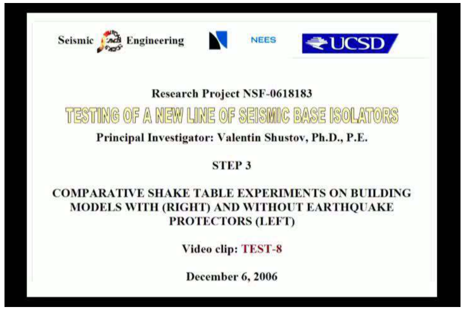
#WeLoveSteelConstruction

- Reduction of acceleration due to longer period: 1/2~1/5
- Reduction of response by use of damper: 1/2 max.



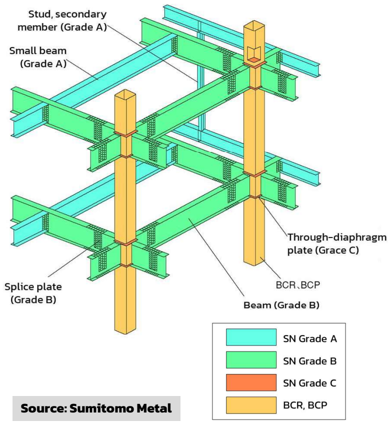
Acceleration Response Spectrum

Source: Kitamura, "Control of Vibrations in Steel-structure Buildings", TUS



Innovative JP Steel Material & Product

#WeLoveSteelConstruction



Source: Sumitomo Metal

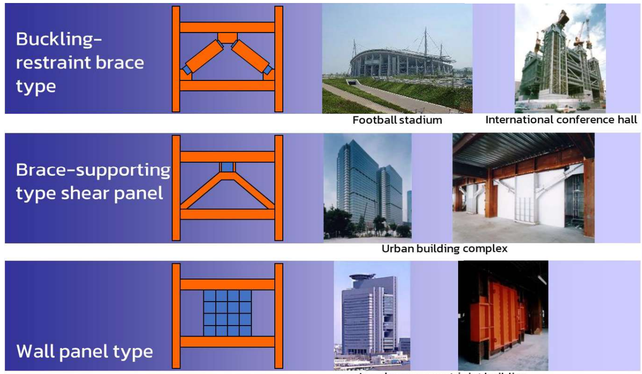
	Seismic resistance		Weldability					Thickness-direction property	Nominal section dimension property
	YR Upper limit	YP Upper limit	$_{0}E_{V}$ Lower limit	C Upper limit	P Upper limit	S Upper limit	Ceq Upper limit		
SS400	—	—	—	—	0.050	0.050	—	—	—
SM400A SM490A	—	—	—	0.23 0.20	0.035	0.035	—	—	—
SM400B SM490B	—	—	27J	0.20 0.18	0.035	0.035	—	—	—
SM400C SM490C	—	—	47J	0.18	0.035	0.035	—	—	—
SN400A	—	—	—	0.24	0.050	0.050	—	—	○
SN400B SN490B	80%	○	27J	0.20 0.18	0.030	0.015	0.36 0.44	—	○
SN400C SN490C	80%	○	27J	0.20 0.18	0.020	0.008	0.36 0.44	○	○

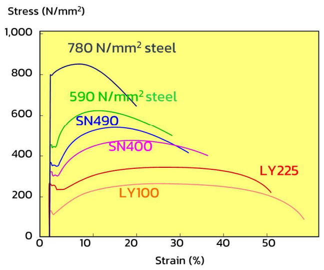
<B> **Deformation capacity and weldability** → Major framing members such as column and beam

<C> **Grade B + Thickness-direction property** → Weld built-up box column, through-diaphragm plate

Innovative JP Steel Material & Product

#WeLoveSteelConstruction





Source: Sumitomo Metal

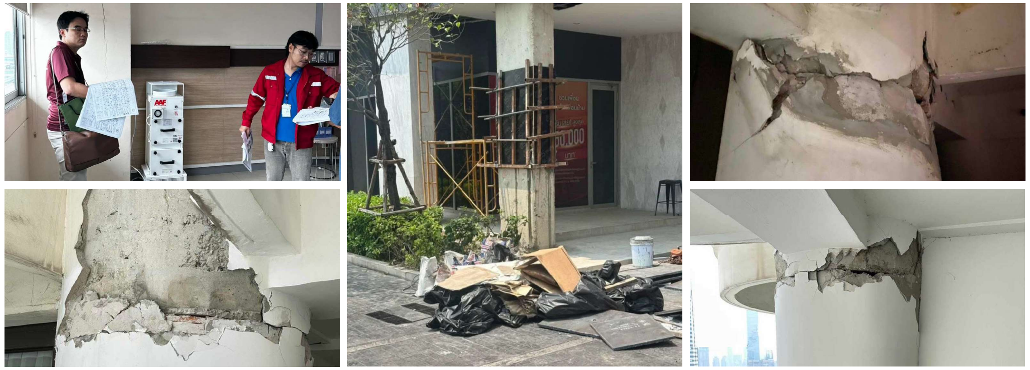
Japan Building Standard Law

#WeLoveSteelConstruction

- **Primary design;** **Elastic design for Medium earthquake, seismic intensity up to 5**
  Damage does not occur in the structure (deformation does not remain).

- **Secondary design;** **Plastic design for Major earthquake, seismic intensity up to 6 or less to 6 or more:**
  Although damage occurs in the structure, collapse is prevented and human life is safely secured (deformation remains in the building structure even after earthquake).

*Recently, seismic-isolation & vibration-control structures have made progress.
It has become possible to design that causes nearly no damage even during major earthquake.



Need help!!!

#WeLoveSteelConstruction

Be friend with us via ...

LINE ID **WeLoveSteelConstruction**: @060tlizi

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