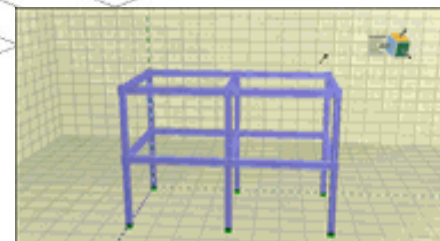
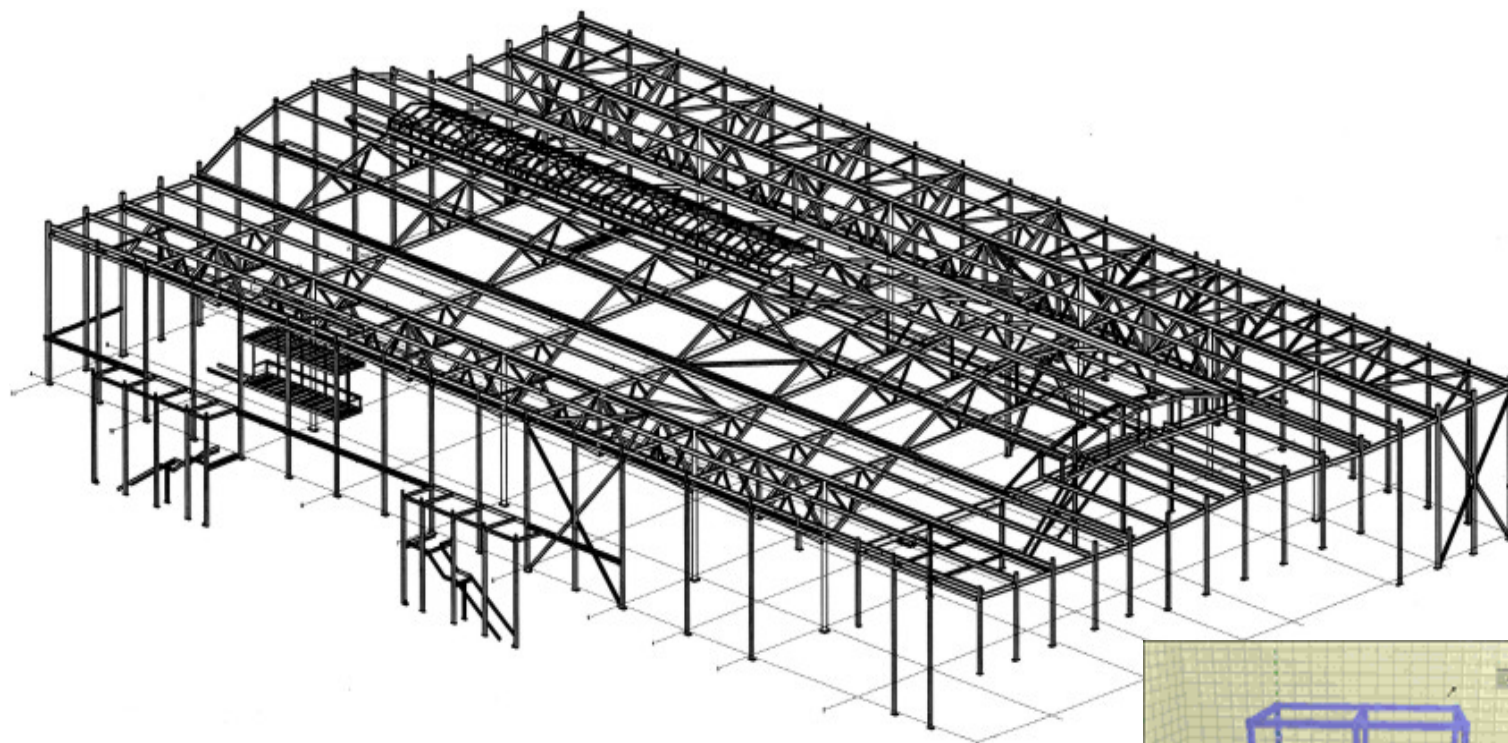


Frame Structure



Analysis as you've never seen it...

Frame Structure

เนื้อหาที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้

ถึงแม้ว่าหัวข้อเรื่องจะเป็นเรื่องของโครงสร้างเฟรม แต่เพื่อให้ครอบคลุมที่กว้างยิ่งขึ้น จะเริ่มตั้งแต่

1. ข้อดีข้อเสียของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ
2. หลักการพื้นฐานทั่วไปก่อนการออกแบบ
3. ข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆในการออกแบบ
4. มาตรฐานชั้นคุณภาพและรูปร่างหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ
5. ระบบหน่วยวัดต่างๆ
6. ประเภทและฟอร์มของโครงสร้างเหล็กที่นิยมใช้ในงานโครงสร้าง(type of steel frame use for building)

7. โครงสร้างเหล็กในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ...เน้นไปที่ 2 มิติ ☒

8. ระบบของน้ำหนักบรรทุกเพื่อการออกแบบ
9. การวิเคราะห์เพื่อการออกแบบ
10. คอมพิวเตอร์ช่วยเพื่อการออกแบบโครงสร้าง
11. การให้รายละเอียดจุดต่อที่ดีและไม่ดี
12. รวมถึงแนวโน้มในการใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณในประเทศไทย

บทนำ

การออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเพื่อใช้เป็นอาคารใช้สอย

- ในประเทศไทย(2547)ยังไม่ได้ได้รับความนิยมมากเท่าที่ควร
- นิยมใช้ในแถบประเทศที่อยู่ในโซนของแผ่นดินไหวหรือมีลมพายุค่อนข้างรุนแรง
- รวมถึงประเทศที่นิยมสร้างอาคารสูงเสียดฟ้า



Home Insurance Building
Chicago, W.L.B. Jenney
1885, first skyscraper



Guaranty Building, Louis
Sullivan, Buffalo, 1894



❶ หลักการทั่วไปเบื้องต้น(General Principles)

1.1.หลักประจำใจสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้าง

- โครงสร้างต้องมีความมั่นคง(stable)
- โครงสร้างต้องมีความแข็งแรง(strength)
- โครงสร้างต้องสวยงามตามสมัยนิยม(beautiful and new-style)
- โครงสร้างต้องประหยัดและปลอดภัย(save and safety)

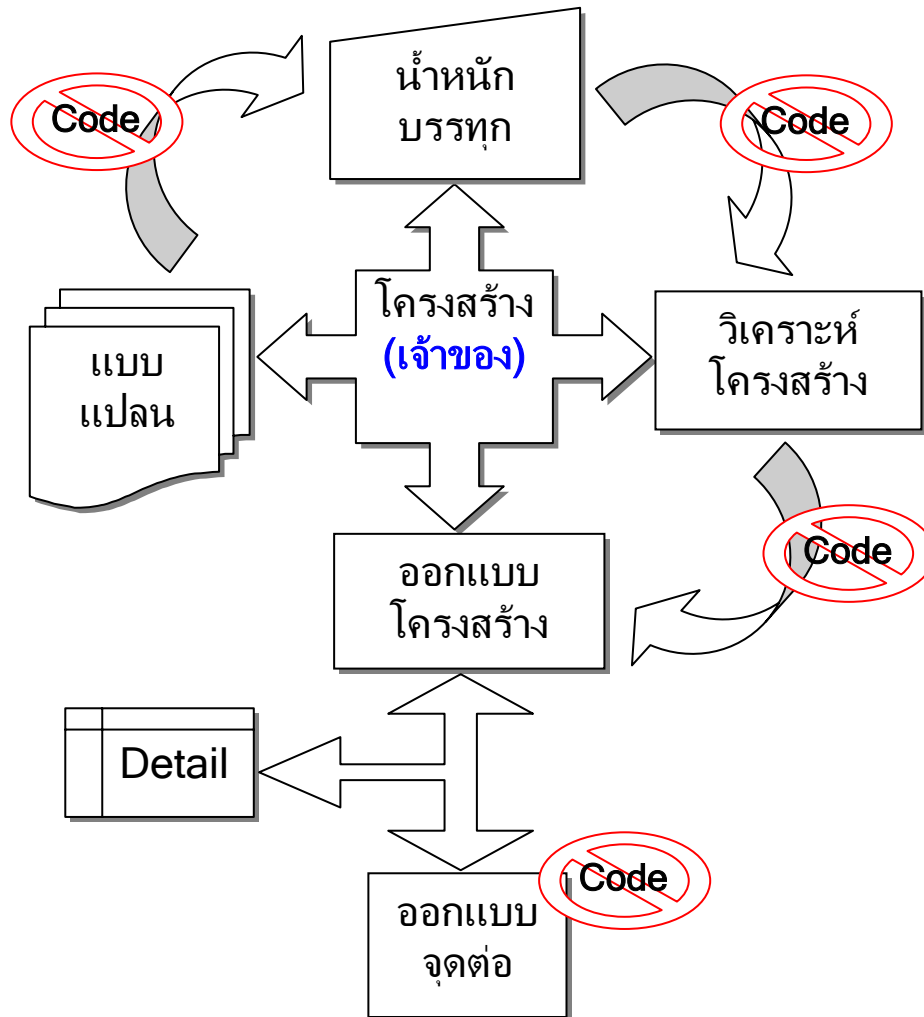
1.2.ข้อดีของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเปรียบเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- ประกอบจากโรงงานเป็นชิ้นส่วนสำเร็จ(pre-fabrication)
- มีขนาดของโครงสร้างที่เล็กลง และเบา
- เหล็กมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นตัวสูง
- เหล็กค่อนข้างที่จะมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ
- ช่วยลดมลภาวะที่จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม
- ทำการ recycle กลับไปใช้ใหม่ได้
- เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ได้ดีกว่า

1.3.ข้อด้อยของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเปรียบเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- เป็นสนิมได้โดยง่าย
- สูญเสียกำลังเมื่อถูกเผาด้วยความร้อน
- ต้องมีการบำรุงรักษาอยู่ตลอดเวลา

1.4.ขั้นตอนของการออกแบบโครงสร้าง(Step To Design)



1.5.มาตรฐาน(Code)และทฤษฎีการออกแบบ(Theory)

1.ทฤษฎีการออกแบบ(Theory)

- Working Stress Design
- Plastic Design Method
- Load Factor Design Method

2.มาตรฐานออกแบบ(Code)

- วสท.
- AISC(American Institute of Steel Construction, Inc.)
- AISI(American Iron and Steel Institute)
- AWS(American Welding Society)
- ASTM(American Society for Testing and Materials)
- ISO9000(International Standard Organization 9000)

3.มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่นิยมใช้

3.1.ASTM.(American Society for Testing and Materials)

A-36(Carbon Steel : $F_y = 250 \text{ MPa}$)A-572(High-Strength Low-Alloy Steel : $F_y = 345 \text{ MPa}$)

3.2.JIS.(Japanese Industrial Standards)

SS-400($F_y : 245 \text{ MPa}$)SM-400($F_y : 245 \text{ MPa}$)SM-570($F_y : 460 \text{ MPa}$)

3.3TIS.(Thai Industrial Standards)

1.เหล็กเส้นแบนและเหล็กเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตัน(มอก. 55)

มีหน่วยแรงดึงที่จุดกลางต่ำสุด(F_y) = 2,400 ksc.มีหน่วยแรงดึงที่จุดกลางสูงสุด(F_y) = 3,900 ksc.

2.เหล็กกลวงที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง(มอก. 107) : มี 2 ชั้นคุณภาพคือ

HS41 : $F_y = 2,400 \text{ ksc.}$; $F_u = 4,100 \text{ ksc.}$; $\delta = 23\%$ HS50 : $F_y = 3,200 \text{ ksc.}$; $F_u = 5,000 \text{ ksc.}$; $\delta = 23\%$

3.เหล็กรูปพรรณ(มอก. 116) : มี 2 ชั้นคุณภาพคือ

Fe24 : $F_y = 2,400 \text{ ksc.}$; $F_u = 4,100 \text{ ksc.}$; $\delta = 23\%$ Fe30 : $F_y = 3,000 \text{ ksc.}$; $F_u = 5,000 \text{ ksc.}$; $\delta = 23\%$ 

1.7.ระบบหน่วยวัด(Unit System)

คุณสมบัติพื้นฐาน	ระบบอังกฤษ	ระบบเมตริก	ระบบนานาชาติ ; SI.
1.ความยาว	นิ้ว(in.) , ฟุต(ft.) , หลา	มม.(mm.) , ซม.(cm.) , ม.(m.)	มม.(mm.) , ซม.(cm.) , ม.(m.)
2.พื้นที่	ตร.นิ้ว(in. ²) , ตร.ฟุต(ft. ²) , ตร.หลา	ตร.มม.(mm. ²) , ตร.ซม.(cm. ²) , ตร.ม.(m. ²)	ตร.มม.(mm. ²) , ตร.ซม.(cm. ²) , ตร.ม.(m. ²)
3.แรง	ปอนด์(lb.) , กิโลปอนด์(kip.)	กก.(kg. _f) , ตัน(T.)	นิวตัน(N.) , กิโลนิวตัน(KN.)
4.หน่วยแรง	ปอนด์/ตร.นิ้ว(lb./in. ²)	กก./ตร.ซม.(ksc.)	นิวตัน/ตร.ม.(Pa) , MPa
5.เวลา	วินาที(sec.)	วินาที(sec.)	วินาที(sec.)

$$\text{Pa} = 1 \text{ N./m.}^2$$

$$\text{lb./in.}^2 = 6.894 \text{ KN./m.}^2$$

$$\text{lb./in.}^2 = 0.07030696 \text{ Kg./cm.}^2$$

$$\text{MPa} = 10.19716 \text{ Kg./cm.}^2$$

$$\text{KN.} = 101.9716 \text{ kg.f}$$

ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

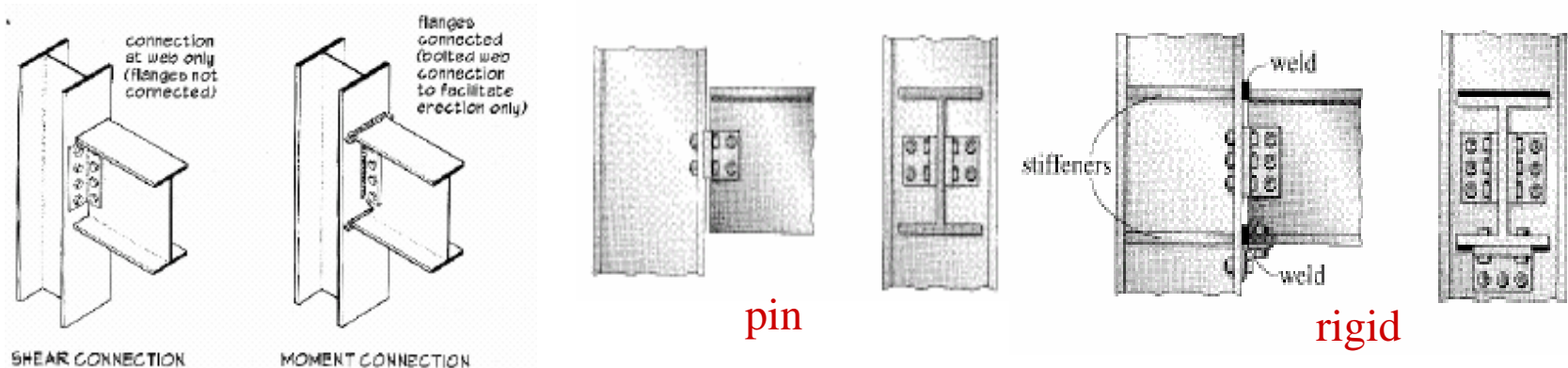
2.1.ลักษณะของการต่อหรือจุดต่อระหว่างชิ้นส่วน

โครงสร้างเหล็กรูปพรรณการออกแบบจุดต่อ(joint)ของแต่ละชิ้นส่วน(member) นิยมใช้เป็น pin & rigid ด้วยการ

- การเชื่อมประสาน
- การต่อด้านน็อต(bolt)

นิยมใช้ในอาคารสูงหรืออาคารที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่เสี่ยงต่อแรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว รวมถึงระบบของโครงสร้างที่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำในลักษณะของแรงวัฏจักร

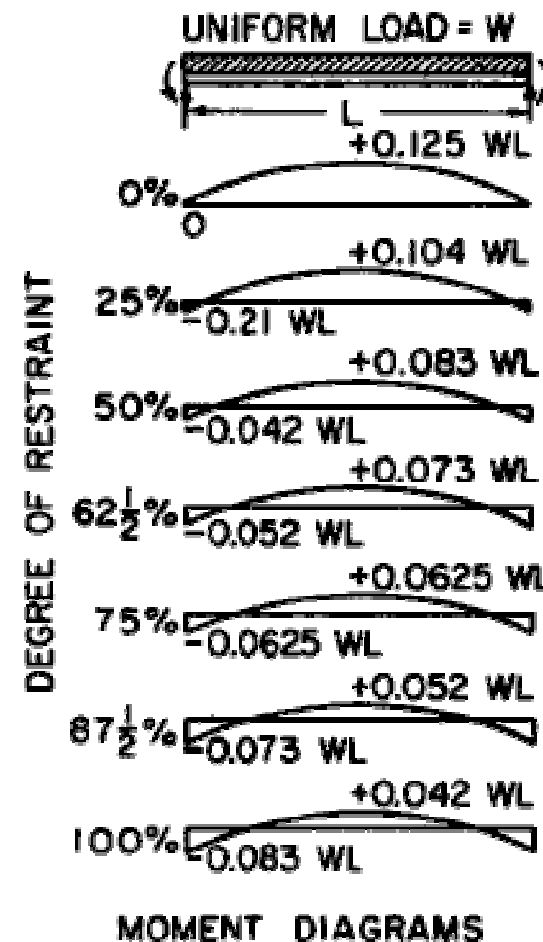
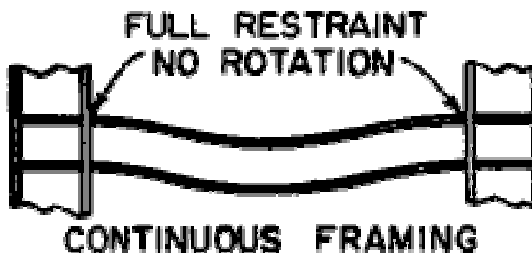
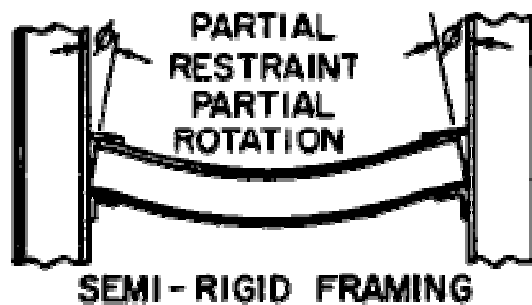
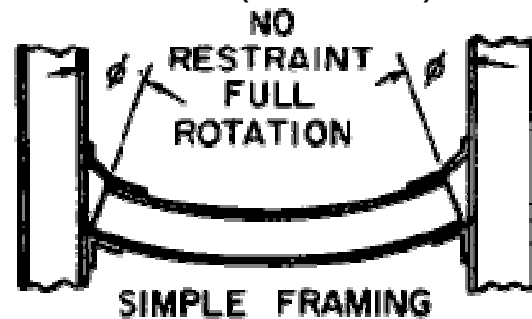
- แต่ความป็นจริงการต่อชิ้นส่วน(member) พฤติกรรมของจุดต่อ(joint)จะเป็นไปในลักษณะของ semi-rigid joint...☑



ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

อิทธิพลของระดับความอิสระ(แข็งเกร็ง)ของรอยต่อ
(member)

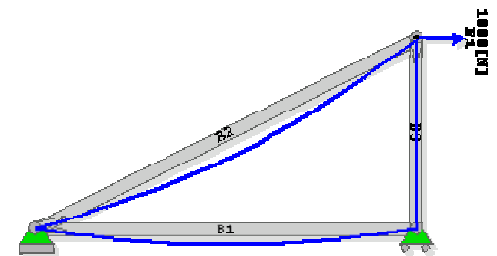
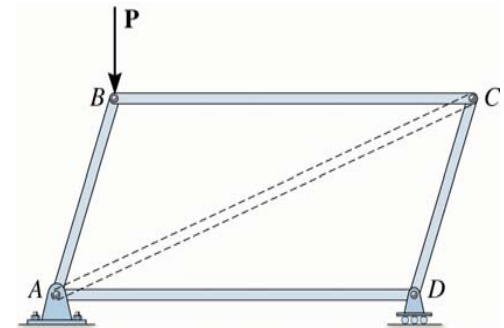
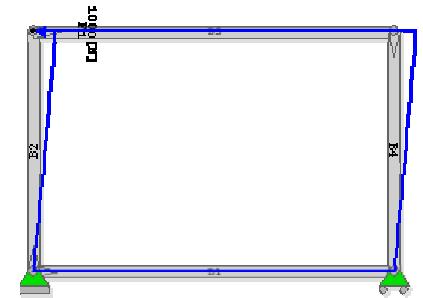
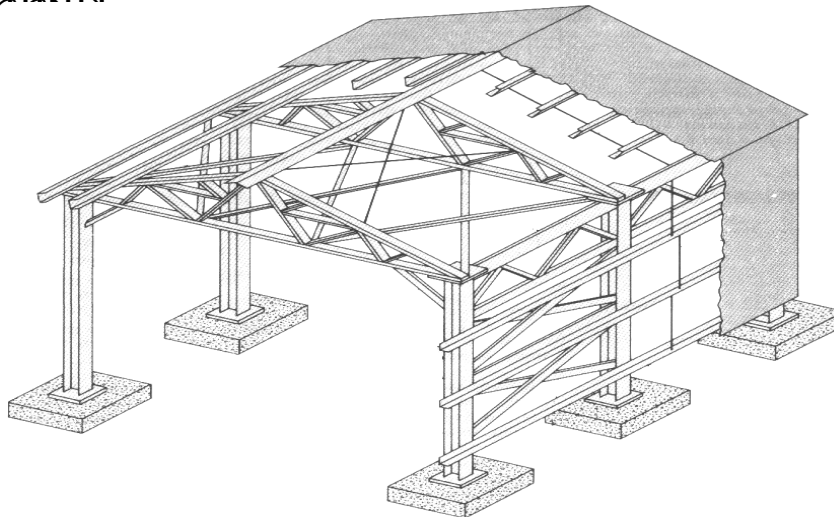
ที่มีผลต่อโมเมนต์ดัดที่ปลายชิ้นส่วน



ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

เมื่อจุดต่อ(joint)เป็น pin เพื่อให้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณมีความมั่นคง(stable)และแข็งแรง(strength) การประกอบและจัดวางชิ้นส่วน(member)ต่างๆมักเป็นไปในลักษณะของ **รูปทรงสามเหลี่ยม(triangular)**

หากขยับความไม่มั่นคงขึ้นมาอีกนิดคือประกอบโครงสร้างเป็นโครงกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะต้องมีชิ้นส่วนเสริมเพิ่มขึ้นมาทันทีนั่นคือชิ้นส่วนค้ำยันในแนวทะแยง(diagonal bracing member)นั่นเอง

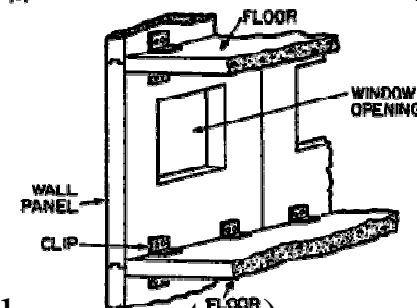
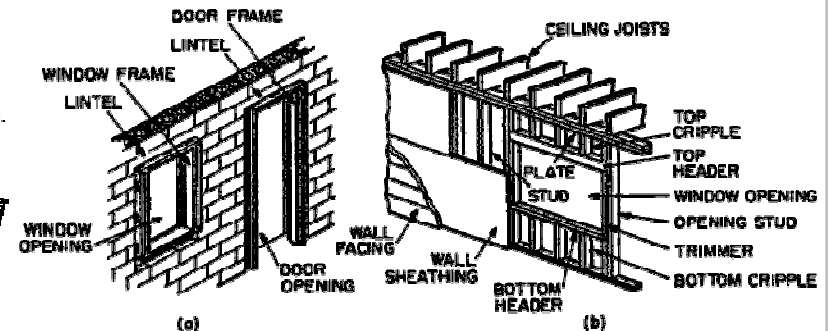
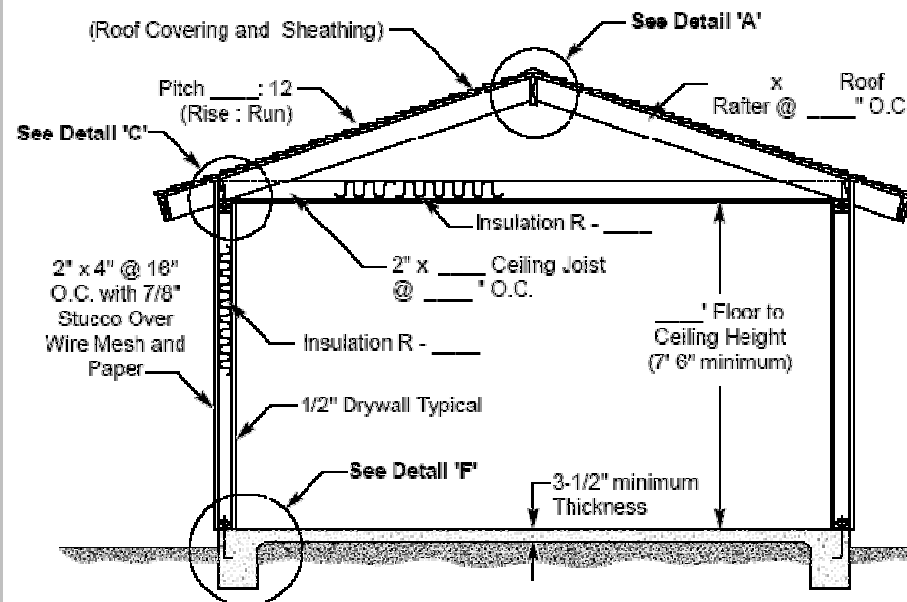


ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

2.2. โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ(steel buildings)

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆคือ

- โครงสร้างผนังรับแรงแบกทาน(bearing-wall construction)
- โครงสร้างคาน-เสา(skeleton construction)
- โครงสร้างช่วงยาวต่อเนื่อง(long-span construction)
- โครงสร้างผสม(combination steel and concrete)



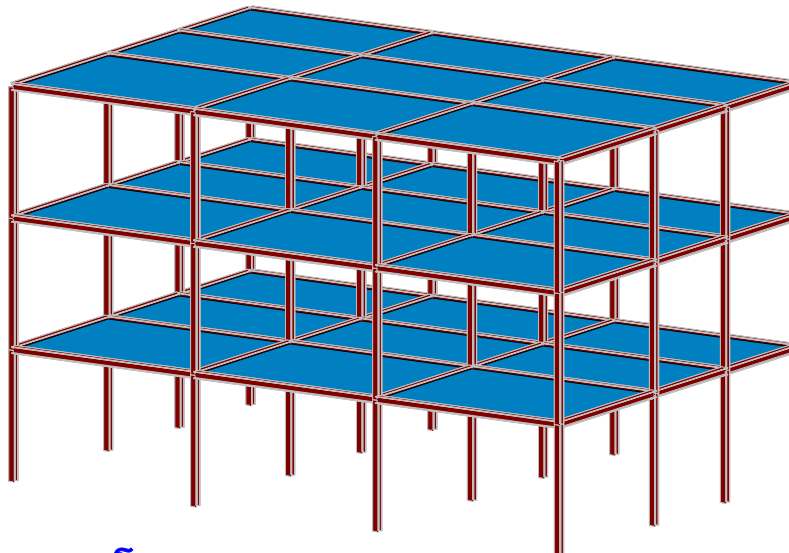
แสดงโครงสร้างผนังรับแรงแบกทาน(bearing-wall construction)

๒ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

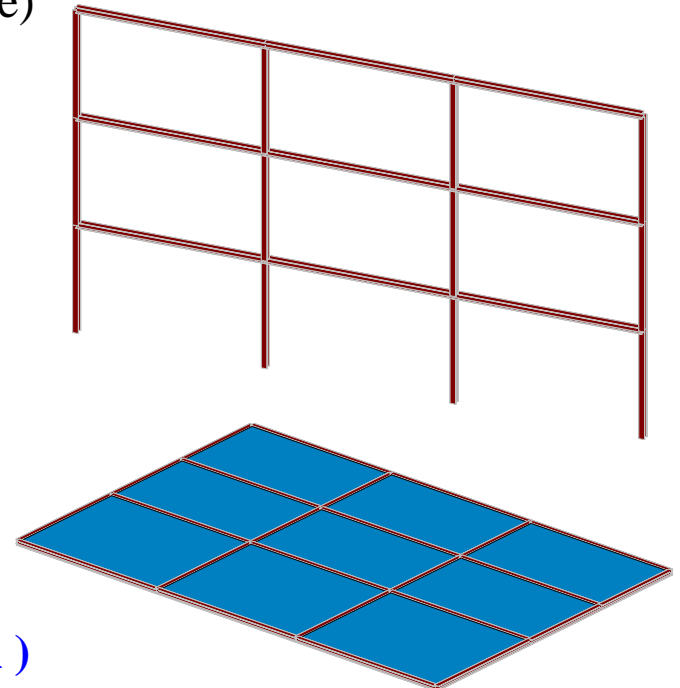
2.2.โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ(steel buildings)

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆคือ

- โครงสร้างผนังรับแรงแบกทาน(bearing-wall construction)
- โครงสร้างคาน-เสา(skeleton construction)
- โครงสร้างช่วงยาวต่อเนื่อง(long-span construction)
- โครงสร้างผสม(combination steel and concrete)



แสดงโครงสร้างคาน-เสา(skeleton construction)

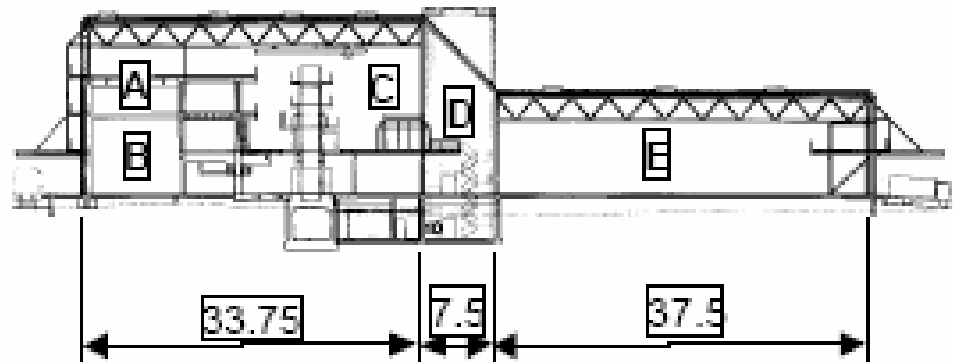
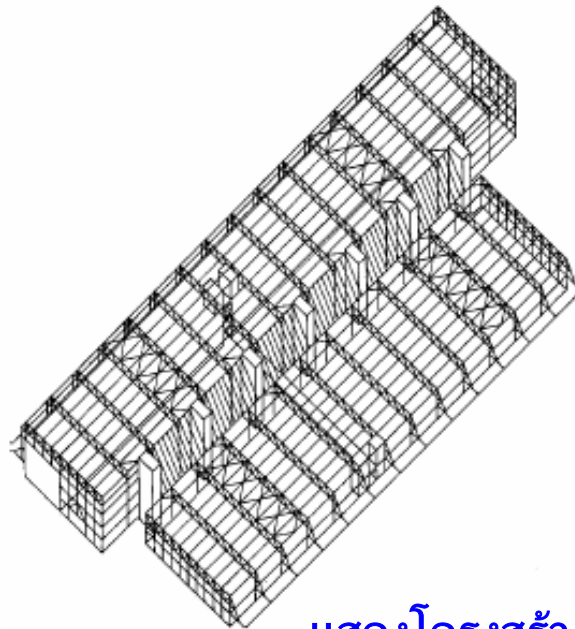


๒ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

2.2.โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ(steel buildings)

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆคือ

- โครงสร้างผนังรับแรงแบกทาน(bearing-wall construction)
- โครงสร้างคาน-เสา(skeleton construction)
- โครงสร้างช่วงยาวต่อเนื่อง(long-span construction)
- โครงสร้างผสม(combination steel and concrete)



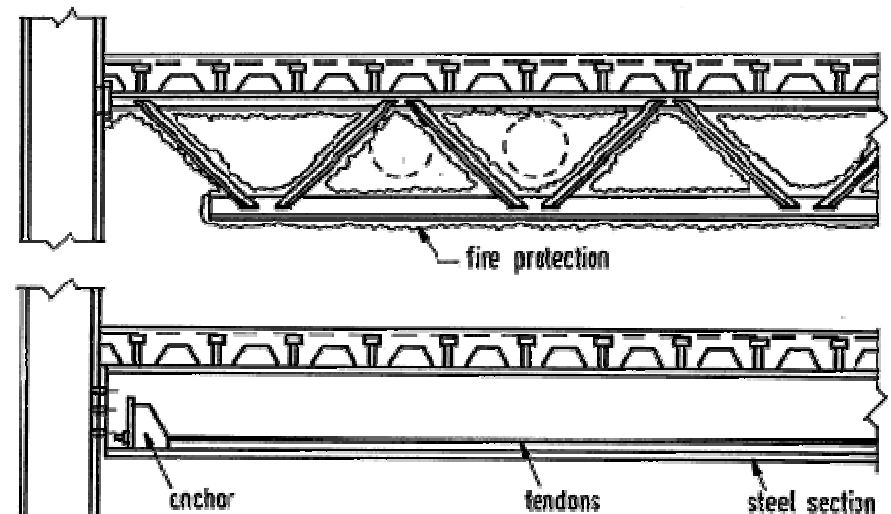
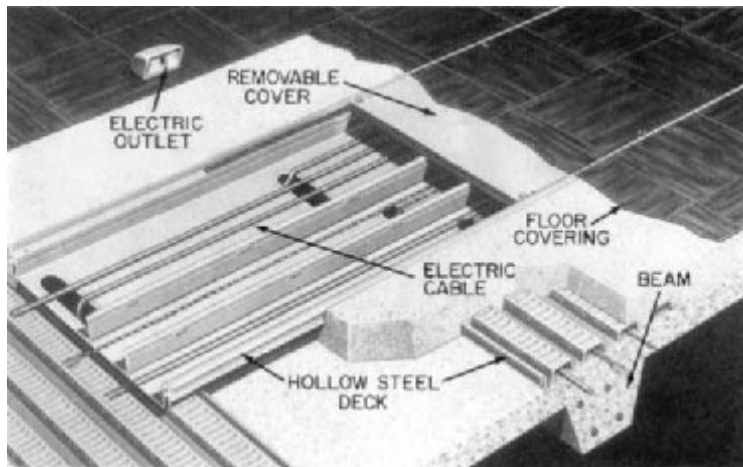
แสดงโครงสร้างช่วงยาวต่อเนื่อง(long-span construction)

๒ประเภทของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในงานโครงสร้าง (Type Of Steel Frame Use For Building)

2.2.โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ(steel buildings)

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆคือ

- โครงสร้างผนังรับแรงแบกทาน(bearing-wall construction)
- โครงสร้างคาน-เสา(skeleton construction)
- โครงสร้างช่วงยาวต่อเนื่อง(long-span construction)
- โครงสร้างผสม(combination steel and concrete)

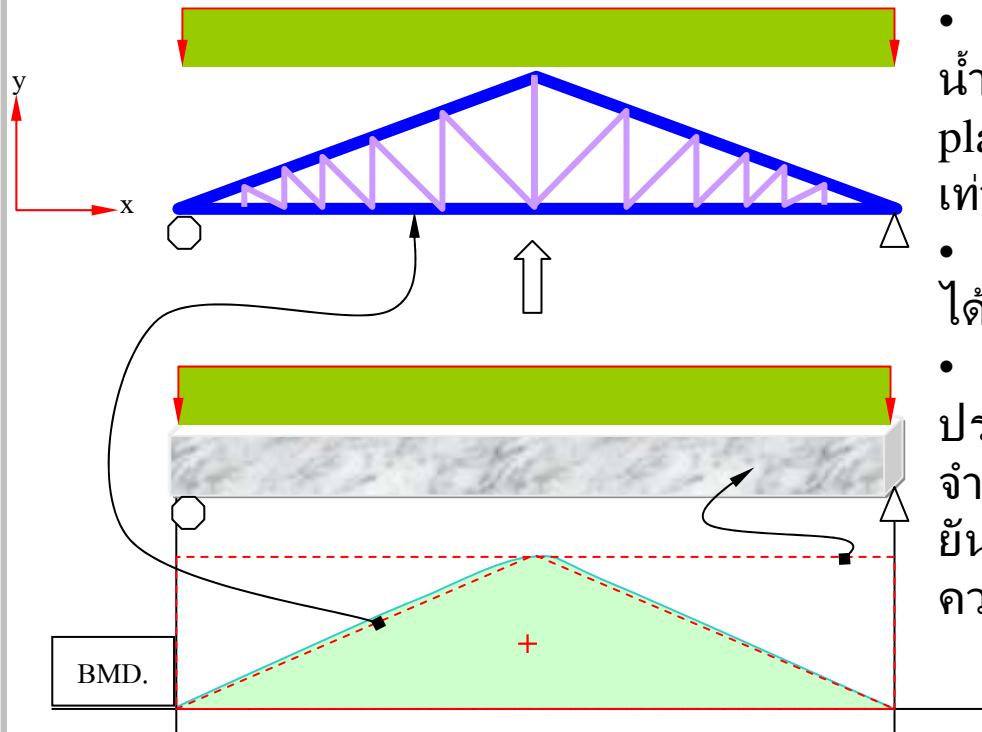


แสดงโครงสร้างผสม(combination steel and concrete)

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.1. โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Truss)



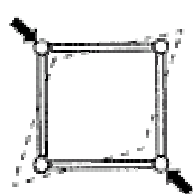
- โครงข้อหมุนจะมีความแข็งแรงในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีก็แต่เฉพาะในระนาบ(in plane)ของการวางตัวของโครงข้อหมุนเท่านั้น(ในที่นี้คือระนาบ $x-y$)
- ส่วนในระนาบอื่นจะอ่อนแอและโก่งเดาะได้โดยง่าย
- ด้วยเหตุนี้เมื่อเราใช้โครงข้อหมุนมาประกอบกันเข้าเป็นโครงสร้าง 3 มิติ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเสริมระบบค้ำยันในระนาบต่างๆเข้ามา เพื่อช่วยเพิ่มความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง(stable)

๓ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

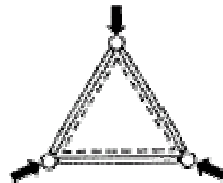
คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.1. โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Truss)

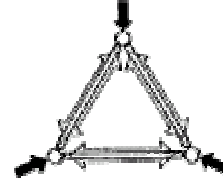
โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(truss) นิยมใช้กันมากในส่วนของโครงหลังคา(ทั้งในอาคารเพื่อพักอาศัย อาคารโรงงาน อาคารโกดัง) โครงสร้างปายโดยเฉพาะปายโฆษณา(ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่)และปายบอกหรือติดตั้งสัญญาณหรือสัญลักษณ์ต่างๆ โครงสร้างสะพาน และโครงสร้างอื่นๆ เช่น หอไอเฟล โครงสร้างของระบบค้ำยันต่างๆ



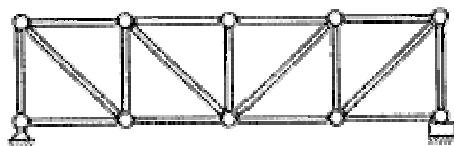
(b) Unstable configuration.



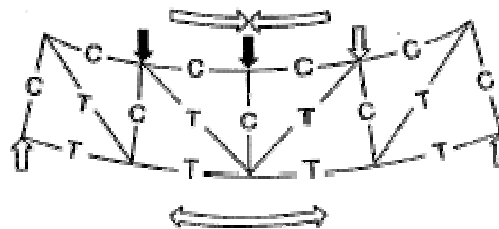
(c) Stable configuration.



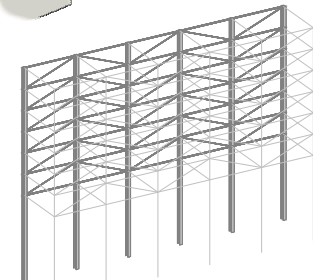
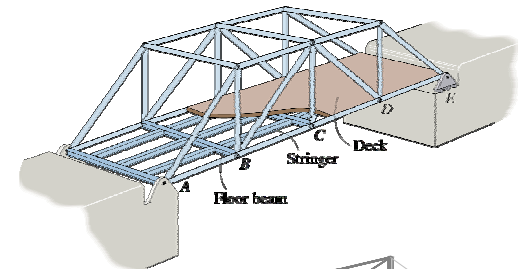
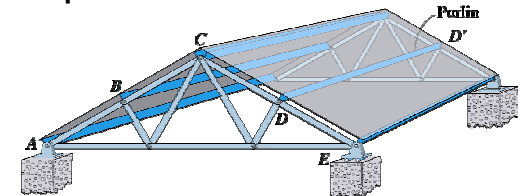
(d) Member forces.



(e) Rigid triangulated configuration.



(f) Only tension or compression forces are developed in pin-connected truss members if loads are applied only at panel (or connection) points.



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.1. โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Truss)

การวิเคราะห์หาแรงต่างๆภายในโครงข้อหมุน มีวิธีในการวิเคราะห์หลักๆอยู่ 3 วิธีคือ

1. วิธีตัดจุดต่อ(joint method) : ใช้วิธีสมดุลย์ของจุดต่อ
2. วิธีตัดแบ่งส่วน(section method) : ใช้วิธีสมดุลย์ของส่วนที่ตัดแยก
3. วิธีโดยประมาณ

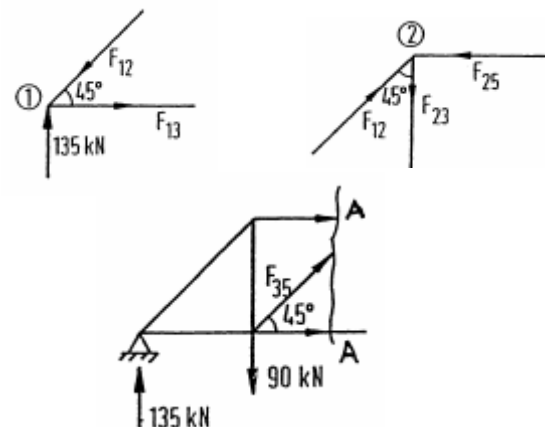
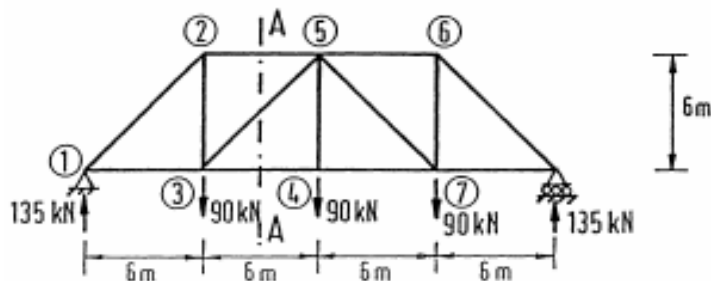
โดยการวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยวิธีตัดจุดต่อ(joint method) มักนิยมใช้เพียงสมการ $\rightarrow \sum F_x = 0$ และ $\uparrow \sum F_y = 0$ ก็สามารถทำการวิเคราะห์หาแรงในแต่ละชิ้นส่วนได้

ในขณะเดียวกันหากทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีตัดแบ่งส่วน(section method) จะใช้ทั้ง 3 สมการมารวมกันในการวิเคราะห์

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$\curvearrowright \sum M_z = 0$$

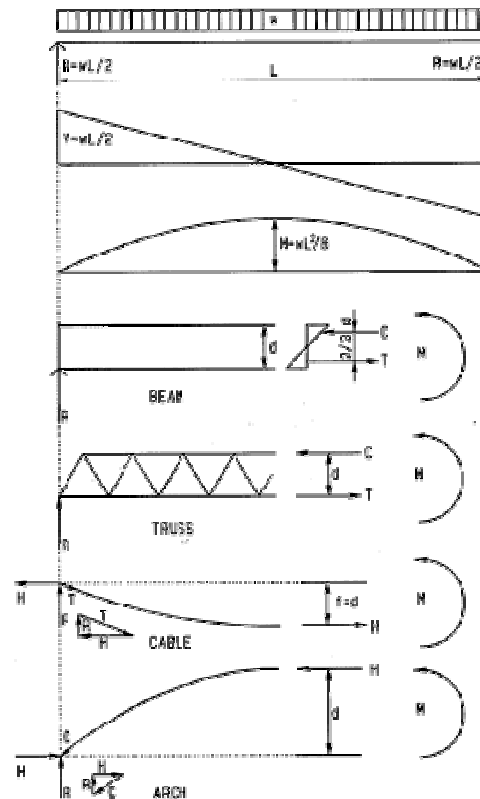


③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.1. โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Truss)

วิธีโดยประมาณ



Approximate design methods

Global moment and shear may be used to analyze not only a beam, but also a truss, cable or arch. They all resist the global moment by a horizontal couple.

The product of couple force F and its lever arm d resist the global moment:

$$M = F d$$

hence

$$F = M / d$$

Designation of force F varies for different structures:

T (tension), C (compression), H (horizontal reaction).

For simple support and uniform load M and V are:

$$M = w L^2 / 8$$

$$V = w L / 2$$

where

M = max. global moment

V = maximum global shear

w = uniform load per unit length

L = span

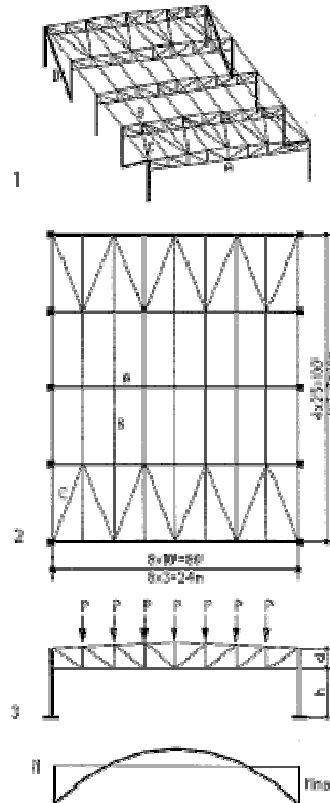
For other load or support conditions M and V are computed as for equivalent beams.

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.1. โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Truss)

ตัวอย่างการวิเคราะห์วิธีโดยประมาณ



Truss / column - frame

- Isometric
- Roof plan
- Section
- A Truss
- B Joist (should rest on truss joints only)
- C Roof braces (resist lateral load in roof plane)
- D Wall braces (transfer length lateral load to footing)
- d Effective depth (max global moment @ support)
- h height

Assume:

- Steel trusses with steel columns from moment frame to provide lateral resistance in width direction
- Truss depth $d = 8'$ @ midspan, sloping to $d = 7'$
- Height $h = 16'$
- $DL = 20\text{psf}$
- $LL = 12\text{psf}$ (60% of 20psf for tributary area $> 600\text{ft}^2$)
- $\Sigma = 32\text{psf}$

Uniform load	$w = 32\text{psf} \times 25'$	$w = 0.8\text{klf}$
Joint load	$P = 0.8 \times 10'$	$P = 8\text{k}$
Shear	$V = 7 P/2 = 7 \times 8/2$	$V = 28\text{k}$
Global moment (negative M at fixed end column support)		
$M = w L^2/14 = 0.8 \times 80^2/14$		$M = 366\text{k'}$

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.1. โครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Truss)

ข้อควรระวังในการวิเคราะห์และออกแบบโครงข้อหมุน

- ทุกชิ้นส่วนจะต้องมีลักษณะตรงไม่โค้งงอ
- ชิ้นส่วนต่างๆจะต้องเบา(ขนาดหน้าตัดเล็กๆ)จนสามารถละทิ้งน้ำหนักของตัวเอง
- แรงต่างๆที่กระทำจะต้องกระทำผ่านจุดต่อเท่านั้น
- ให้ถือว่าที่จุดต่อของแต่ละชิ้นส่วน(member) ไม่สามารถส่งถ่ายโมเมนต์ได้เลย
- หากออกแบบให้โครงข้อหมุนอ่อนมากเกินไป(แอ่นตัวมาก) จะทำให้เกิดโมเมนต์ดัด

ในบางชิ้นส่วนได้

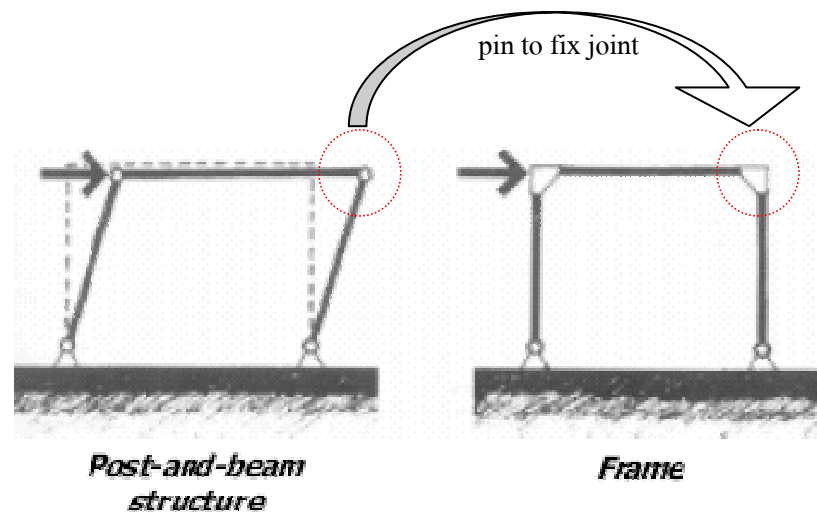
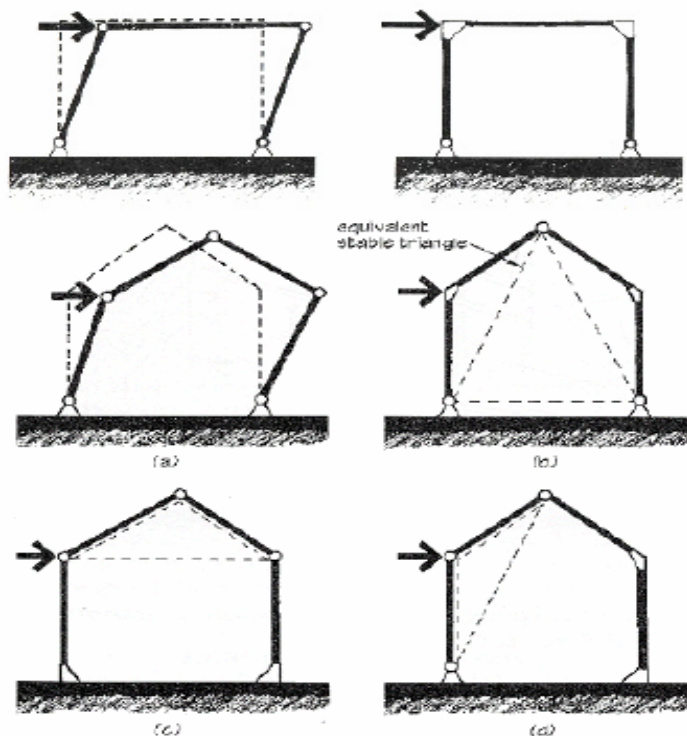
- การวางแปควรอย่างยิ่งที่จะต้องวางให้ตรงกับจุดต่อ
- ความยาวของโครงข้อหมุนกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- จะต้องมีการออกแบบจุดรองรับที่มีการเผื่อการขยับหรือขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วย
- การต่อชิ้นส่วนแนวแกนของแต่ละชิ้นส่วนผ่านจุดรวมศูนย์
- ในส่วนของชิ้นส่วน upper chord และ lower chord หากออกแบบให้มีขนาดที่ไม่คงที่ จะทำให้เกิดแรงรองในส่วนของโมเมนต์ดัดของทุกชิ้นส่วนได้

๓ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

โครงสร้างประเภทนี้สามารถรับแรงได้ทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นแรงเฉือน แรงตามแนวแกน(ทั้งแรงอัดและแรงดึง) โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดในกรณีของโครงสร้างใน 3 มิติ

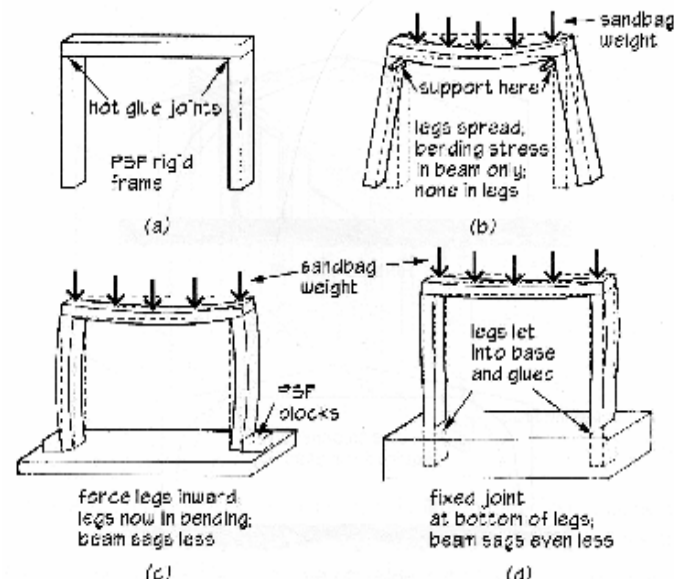
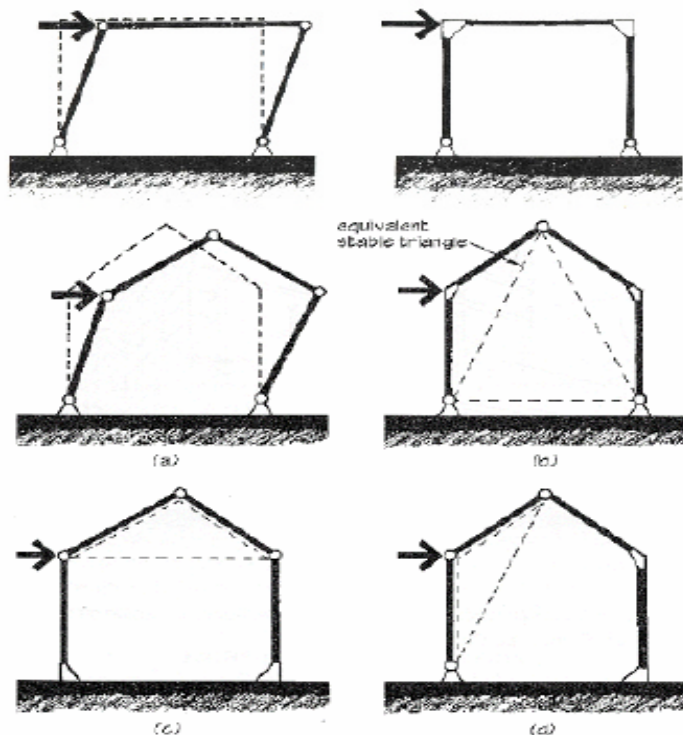


③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

โครงสร้างประเภทนี้สามารถรับแรงได้ทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นแรงเฉือน แรงตามแนวแกน(ทั้งแรงอัดและแรงดึง) โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดในกรณีของโครงสร้างใน 3 มิติ



๓ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

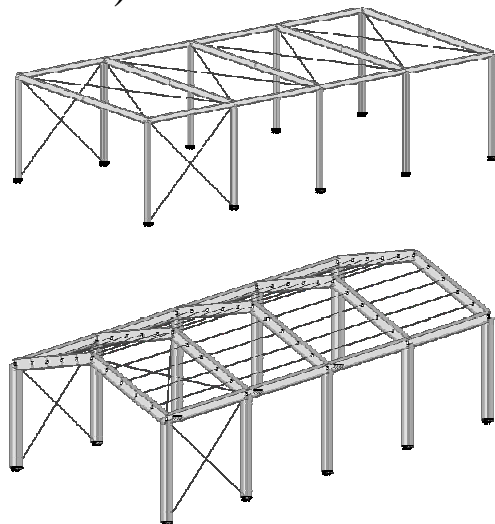
3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.1. โครงข้อแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)

ในบรรดาโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่เป็นโครงข้อแข็งทั้งหมด โครงข้อแข็งชั้นเดียวถือได้ว่าเป็นโครงสร้างที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ด้วยน้ำหนักวัสดุที่น้อยที่สุด ดังนั้นโครงสร้างประเภทนี้มักนิยมใช้กับโครงสร้างที่มีช่วงยาว(long span) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของอาคารโรงงาน เช่น portal frame อาคารคลังสินค้า อาคารสนามกีฬาในร่ม

รูปแบบที่นิยมใช้กันมากสำหรับโครงข้อแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)

ระบบของโครงข้อแข็ง (framing system)	ระยะห่างระหว่าง โครงถึงโครง (spacing , m.)	ช่วงยาว (span , m.)
Portal Frame ประเภทโครง หลังคาแบนราบ	4.5 - 6.0	Up to 12
Portal Frame ประเภทโครง หลังคาทรงจั่ว	4.5 - 9.0	Up to 40
Lattice Frames	6.0 - 9.0	> 20

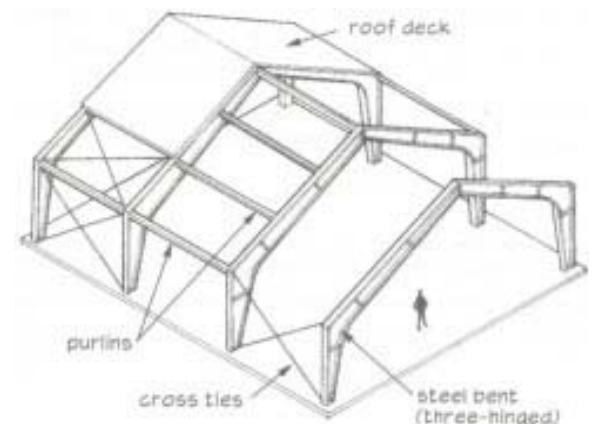
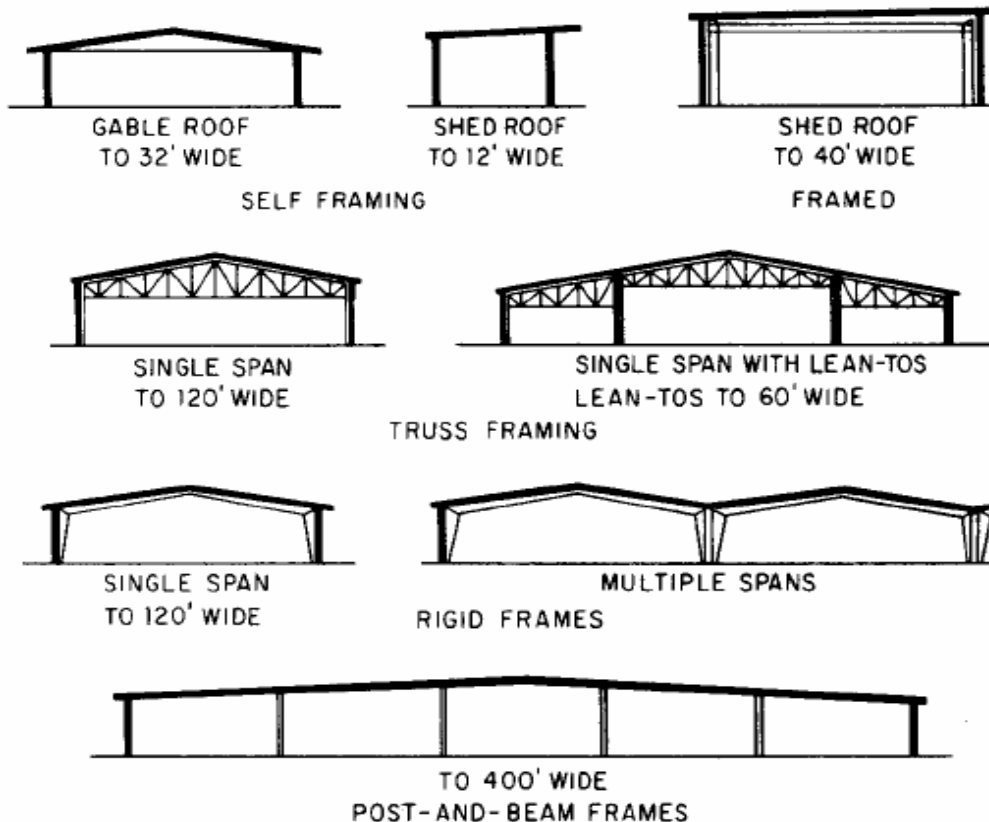


③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.1. โครงข้อแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

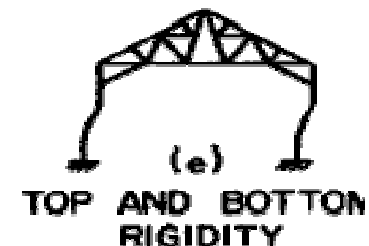
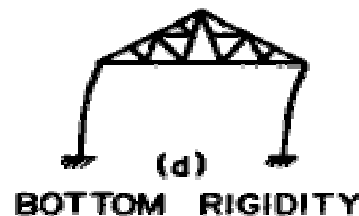
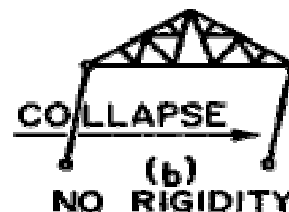
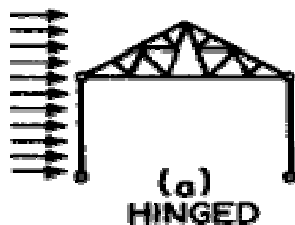
คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.1. โครงข้อแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)

ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

- แรงกระทำด้านข้าง
- ลักษณะของจตุรรองรับ



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

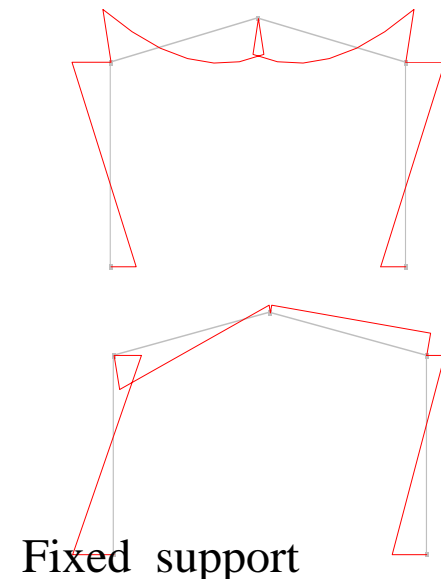
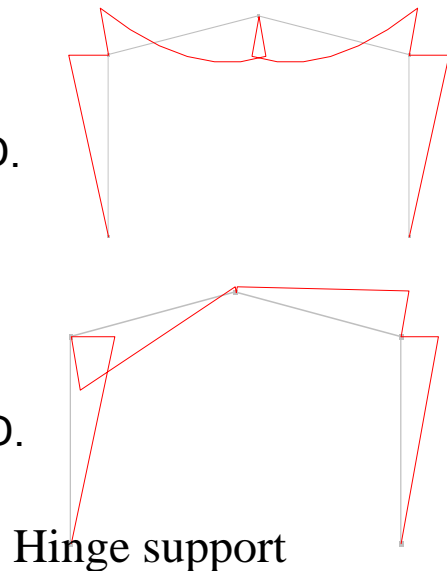
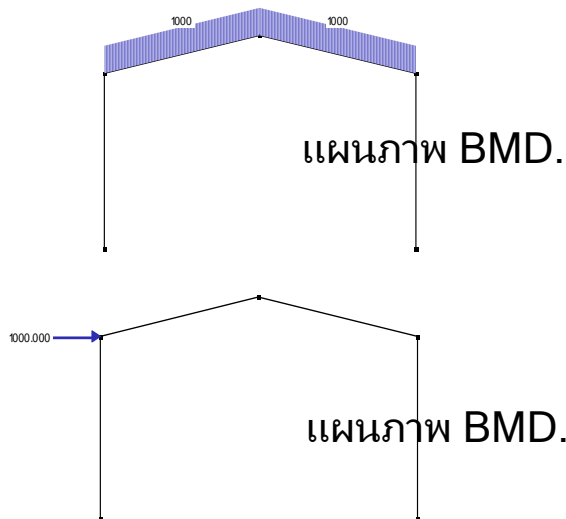
คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงสร้างแข็ง(Rigid Frame)

3.2.1. โครงสร้างแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)

ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

- แรงกระทำด้านข้าง
- ลักษณะของจุดรองรับ



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

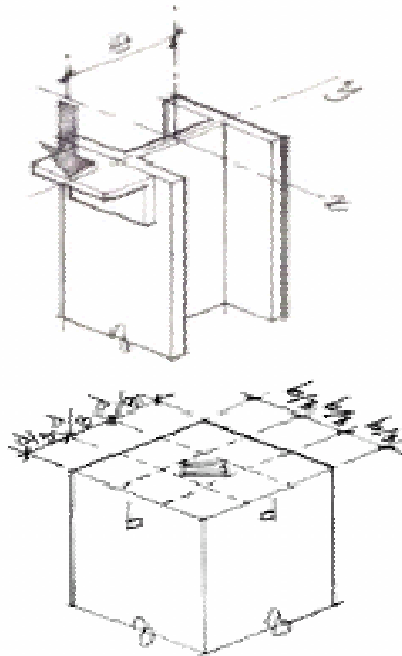
คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

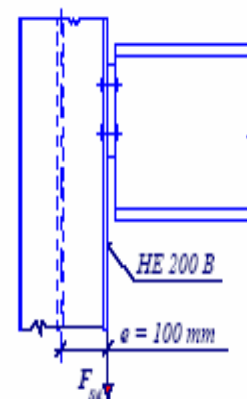
3.2.1. โครงข้อแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)

ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

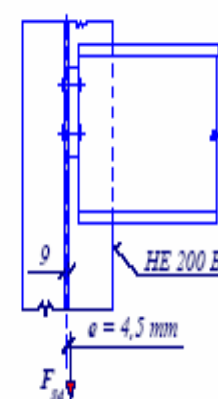
-การเยื้องศูนย์กลางของการถ่ายแรงเนื่องจากการออกแบบจุดต่อเชื่อม



a) model



b) beam connected to web



c) beam connected to flange



d) header plate connection

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

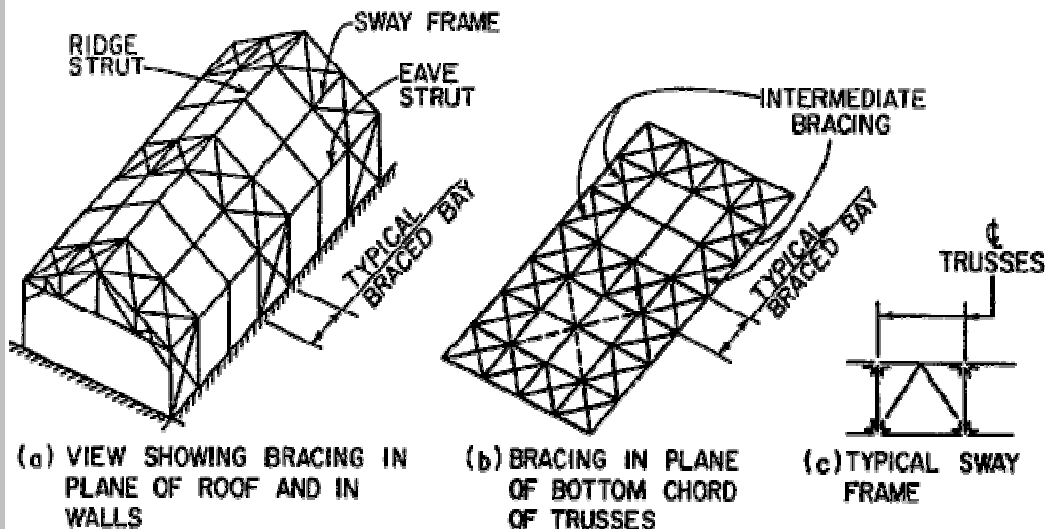
3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.1. โครงข้อแข็งชั้นเดียว(Single-Story Frame)

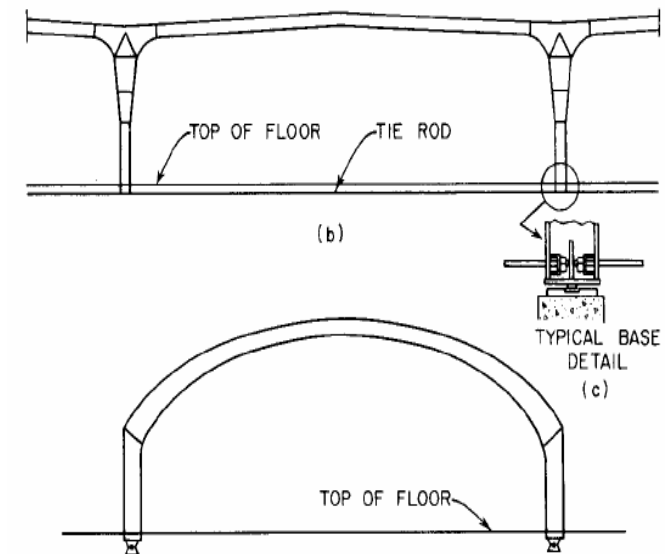
ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

-ระบบการค้ำยัน และการป้องกันแรงถีบที่ฐานเสา

ระบบการค้ำยัน



การป้องกันแรงถีบที่ฐานเสา



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

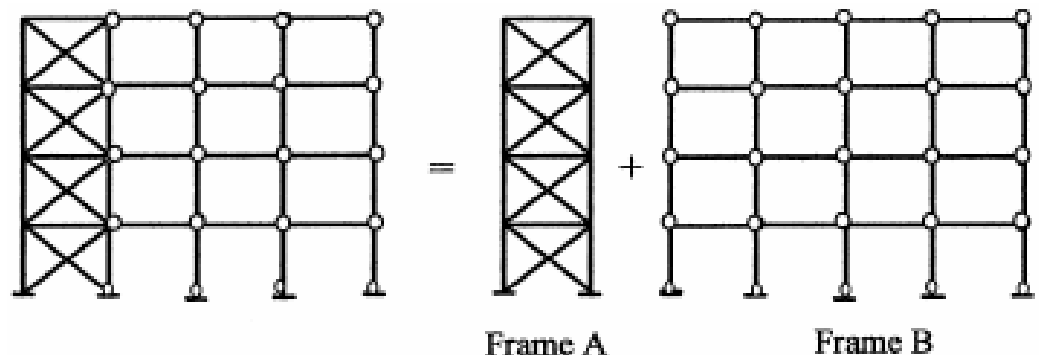
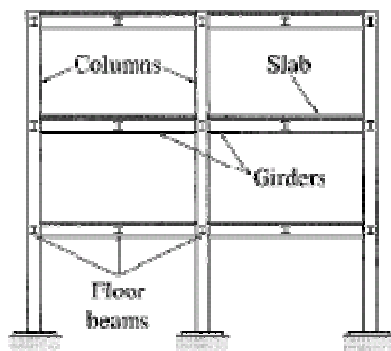
3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

โครงข้อแข็งเหล็กหลายชั้น(multistory steel frame) ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบที่เป็นคานและเสาและต่อเชื่อมกันเกิดเป็นโครงสร้างในระบบ 2 และ 3 มิติ

ความมีเสถียรภาพของโครงสร้างต่อการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง(lateral load) ขึ้นอยู่กับ

- ระบบค้ำยัน(braced frame)

- ต้านทานได้ด้วยตัวของมันเอง(unbraced frame) แต่จุดต่อเชื่อมระหว่างคาน-เสา จะต้องเป็นแบบ rigid joint



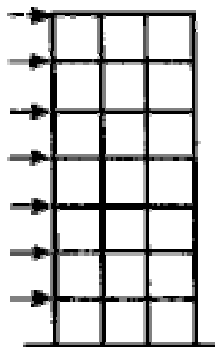
③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

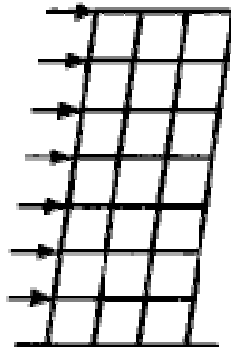
3.2. โครงสร้างแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงสร้างแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

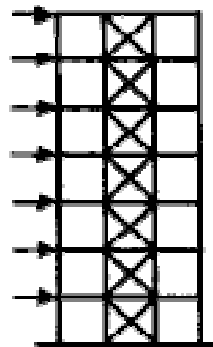
โดยทั่วไปแล้วระบบโครงสร้างแข็งหลายชั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆคือ โครงสร้างที่สามารถเซหรือเสีรูปด้านข้างได้(sway frame) และ โครงสร้างที่ไม่สามารถเซหรือไม่เสีรูปด้านข้าง(non-sway frame)



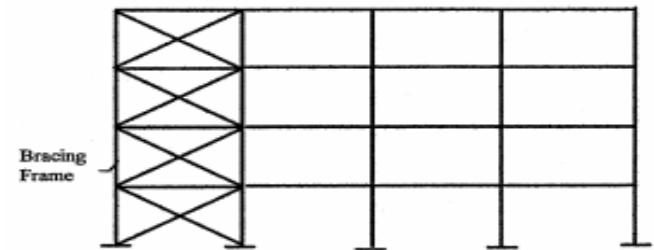
(a)



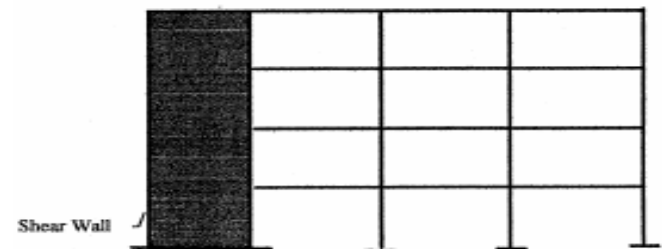
(b)



(c)



(a)



(b)

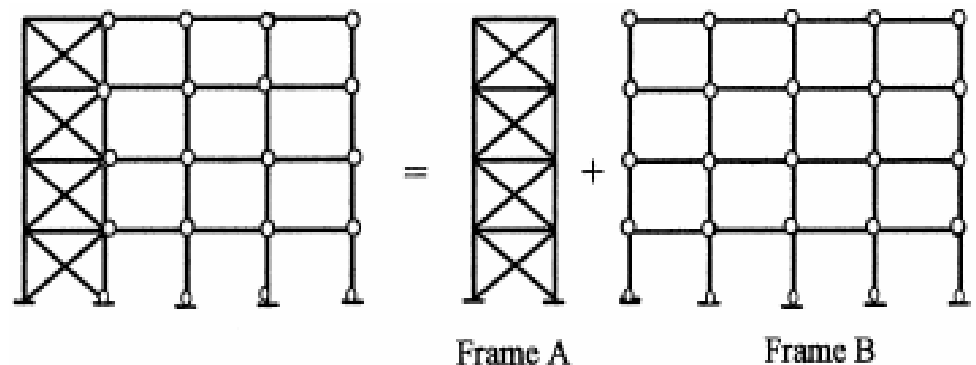
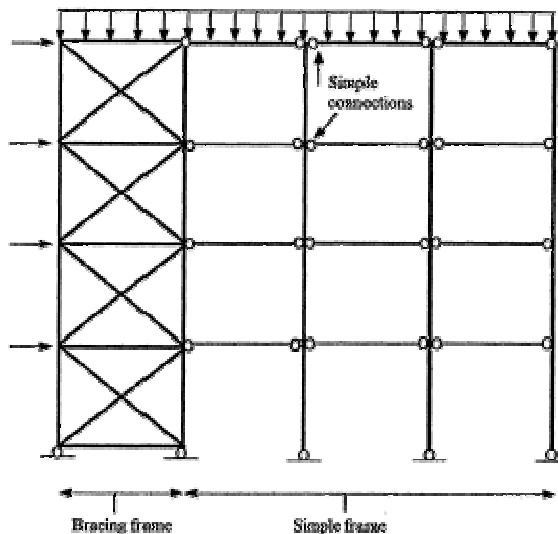
③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

ระบบโครงข้อแข็งหลายชั้นที่ใช้กันปกติทั่วไปคือ โครงข้อแข็งอย่างง่าย(simple braced frame) ซึ่งโครงสร้างในลักษณะดังกล่าวจะสามารถรับแรงได้ทั้งแรงในแนวดิ่งด้วยตัวของมันเอง และสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างด้วยระบบของค้ำยัน ส่วนความมีเสถียรภาพของโครงข้อแข็งก็ขึ้นอยู่กับระบบค้ำยันดังกล่าวด้วย



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงสร้างแข็ง(Rigid Frame)**3.2.2. โครงสร้างแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)****1. โครงสร้างแข็งอย่างง่าย(Gravity Frames or Simple Frame)**

การวิเคราะห์(analysis)และออกแบบ(design)ส่วนค้ำยัน(bracing frame)

- ที่จุดตัด(ต่อ)กันของชิ้นส่วนถือว่าเป็นแบบจุดต่อหมุน(pin-connected)
 - เสาจะไม่มีการรับโมเมนต์ใดๆ จะรับก็แต่เฉพาะแรงตามแนวแกนที่ส่งผ่านมาจากระบบพื้น หาได้โดยอาศัยหลักการของพื้นที่ประกอบหรือพื้นที่เทียบเท่า(tributary areas)
 - ให้คิดว่าโครงสร้างในส่วนนี้เป็นโครงสร้างอย่างง่าย(statically determinate)
- ดังนั้นในการวิเคราะห์หาแรงภายใน สามารถหาได้โดยการใช้สมการสมดุลเพียง 3 สมการเท่านั้น

- หากสังเกตให้ดีโครงสร้างประเภทนี้ สามารถออกแบบเป็นโครงสร้างที่ไม่มีการโย้หรือเสียรูปด้านข้าง(non-sway frame)ได้

การออกแบบ(design)คานส่วนโครงสร้างหลัก(simple frame)

จากสมมุติฐานที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นั้นหมายความว่าคานสามารถออกแบบเป็นแบบคานช่วงเดียวอย่างง่าย(simple beam)ได้

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

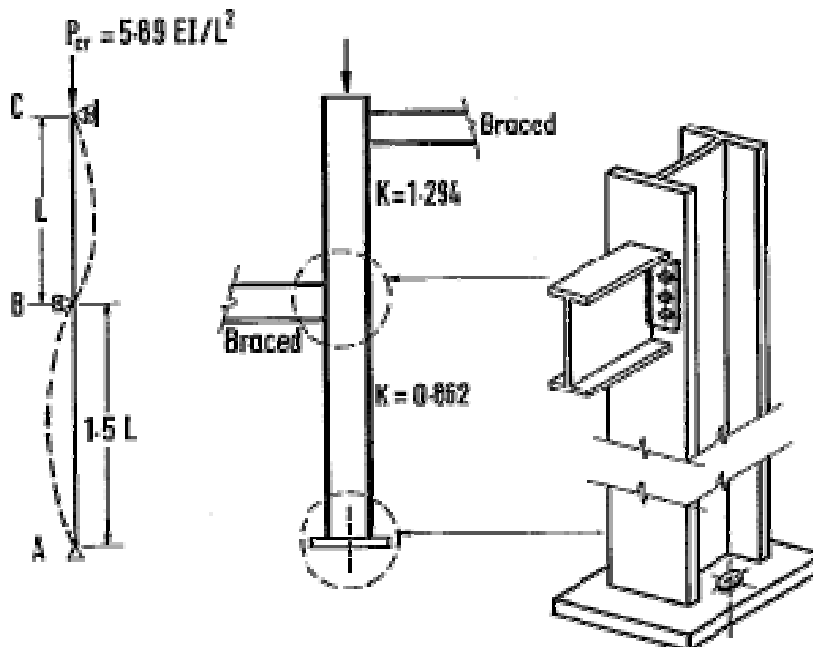
3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

1. โครงข้อแข็งอย่างง่าย(Gravity Frames or Simple Frame)

ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

-ความยาวประสิทธิผลในการออกแบบเสา



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
BUCKLED SHAPE OF COLUMN IS SHOWN BY DASHED LINE						
THEORETICAL K' VALUE	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
RECOMMENDED DESIGN VALUE WHEN IDEAL CONDITIONS ARE APPROXIMATED	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
END CONDITION CODE						
	ROTATION FIXED AND TRANSLATION FIXED ROTATION FREE AND TRANSLATION FIXED ROTATION FIXED AND TRANSLATION FREE ROTATION FREE AND TRANSLATION FREE					

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

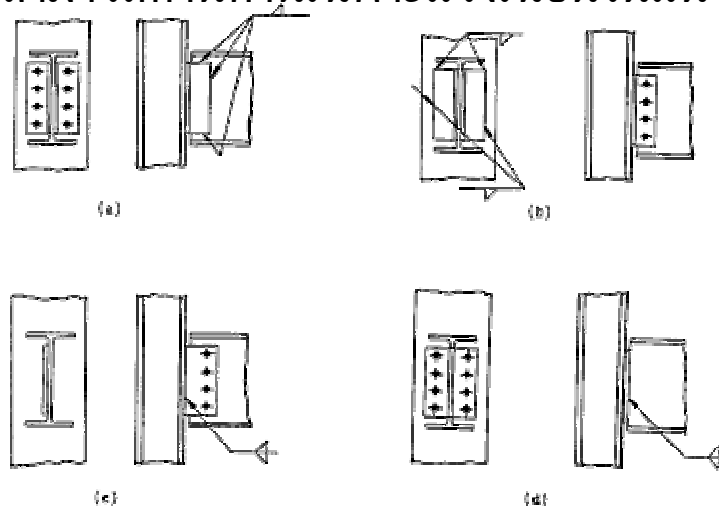
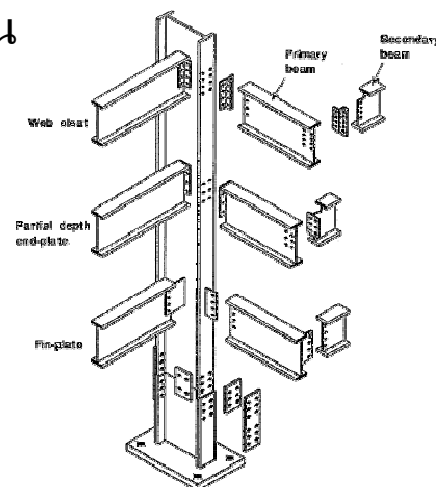
3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

1. โครงข้อแข็งอย่างง่าย(Gravity Frames or Simple Frame)

ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

-จุดต่ออย่างง่าย(simple connection) ในที่นี้หมายถึงจุดต่อที่ไม่สามารถส่งถ่ายโมเมนต์ได้ ซึ่งโดยรวมก็คือจุดต่อที่สามารถหมุนได้(pined connection) ดังนั้นในการวิเคราะห์และออกแบบรวมถึงการให้รายละเอียดรอยต่อดังกล่าวก็ต้องเป็นแบบจุดต่อหมุนรอยต่อระหว่าง คาน-เสา มักออกแบบเพื่อให้สามารถต้านทานเฉพาะแรงเฉือนในแนวดิ่งที่ส่งถ่ายมาจากคาน



③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

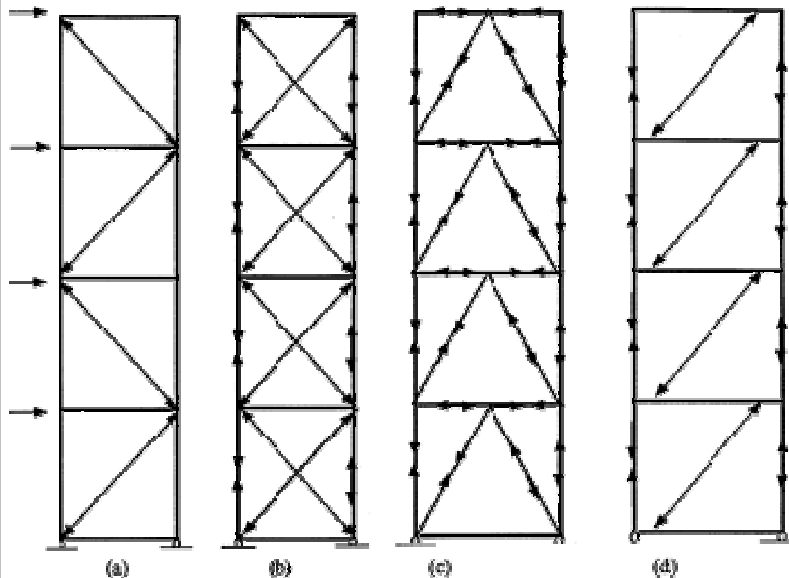
คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

2. โครงข้อแข็งที่มีระบบค้ำยัน(Frames with brace connection)

จุดประสงค์หลักของการใส่ระบบค้ำยันเข้ามาในโครงข้อแข็งหลายชั้น ก็เพื่อใช้เป็นองค์อาคารหลักในการต้านทานระบบของแรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม แรงจากแผ่นดินไหว หรือแม้กระทั่งแรงที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักของทั้งองค์อาคารที่มีแนวแรงไม่ผ่านจุดศูนย์ถ่วง



ระบบค้ำยันแบบ (c) ชิ้นส่วนค้ำยันในแนวเอียงทั้งสอง จะรับแรงเฉพาะตามแนวแกนเนื่องจากแรงลมเท่า(wind axial force)นั้น

ระบบค้ำยันแบบ (a) ชิ้นส่วนดังกล่าวจะทำหน้าที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด

ระบบค้ำยันแบบ (b) ชิ้นส่วนค้ำยันในแนวเอียงทั้งสอง (วางไขว้กัน) จะรับแรงไม่พร้อมกัน(จะผลัดกันรับแรงเมื่อแรงภายนอกกระทำสลับด้าน) โดยแรงที่เกิดในชิ้นส่วนทั้งสองคือแรงดึง

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

3. โครงข้อแข็งที่ไม่ต้องมีระบบค้ำยัน(Unbraced Rigid Frames)

ในกรณีของโครงข้อแข็งที่ไม่ต้องมีระบบค้ำยันเข้ามารองรับระบบของแรงกระทำด้านข้าง ดังนั้นระบบของจุดต่อระหว่าง คาน-เสา จะต้องเป็นแบบข้อต่อแข็งเกร็ง(rigidly joint) ซึ่งสามารถต้านทานโมเมนต์ได้

เมื่อมีระบบของแรงกระทำด้านข้างมากระทำ แรงดังกล่าวจะถูกต้านทานด้วยระบบ คาน-เสา ของโครงข้อแข็ง(ในลักษณะของการต้านทานการดัด) และเมื่อโครงสร้างดังกล่าวเกิดการแอ่นตัว ลักษณะของการแอ่นตัวหรือเสียรูปของระบบ คาน-เสา จะเป็นลักษณะของ shear mode ดังนั้นในการออกแบบ คาน เสา ของโครงสร้างในระบบนี้ จะถูกควบคุมด้วยค่าของความแข็งเกร็งต่อการดัด(bending stiffness)

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

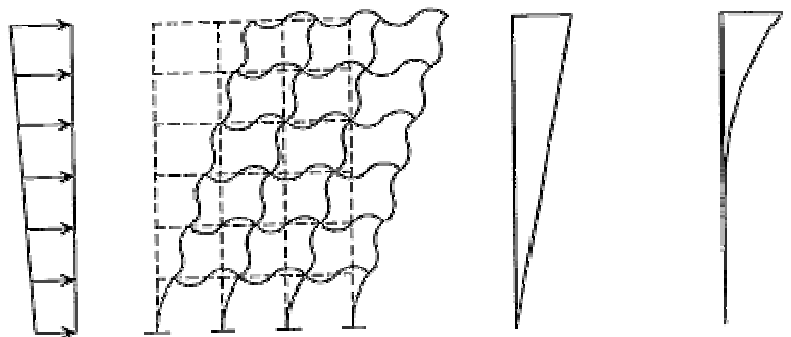
คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

3. โครงข้อแข็งที่ไม่ต้องมีระบบค้ำยัน(Unbraced Rigid Frames)

เมื่อมีระบบของแรงกระทำด้านข้างมากระทำ แรงดังกล่าวจะถูกต้านทานด้วยระบบคาน-เสา ของโครงข้อแข็ง(ในลักษณะของการต้านทานการดัด) และเมื่อโครงสร้างดังกล่าวเกิดการแอ่นตัว ลักษณะของการแอ่นตัวหรือเสียรูปของระบบ คาน-เสา จะเป็นลักษณะของ shear mode ดังนั้นในการออกแบบ คาน เสา ของโครงสร้างในระบบนี้ จะถูกควบคุมด้วยค่าของความแข็งเกร็งต่อการดัด(bending stiffness)



Lateral Load

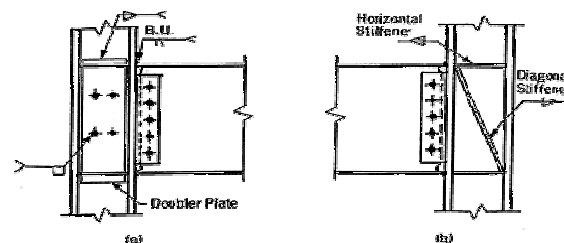
Sidesway of Unbraced Frame

Shear Buckling Component

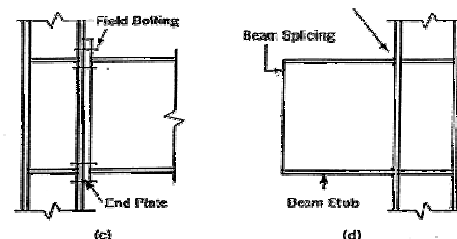
Column Shortening Component

(a)

(b)



ข้อต่อแบบแข็งเกร็ง(rigid joint)



(c)

(d)

③ โครงสร้างในระบบ 2 มิติ(Two-dimensional structure)

คือโครงสร้างที่การวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ในระนาบเดียวกัน(เช่น xy , xz , yz) รวมถึงรูปแบบของการส่งถ่ายแรงก็อยู่ในระนาบดังกล่าวด้วย

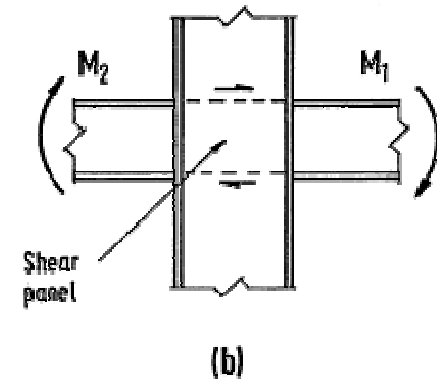
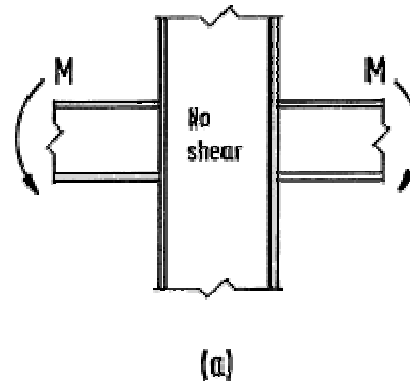
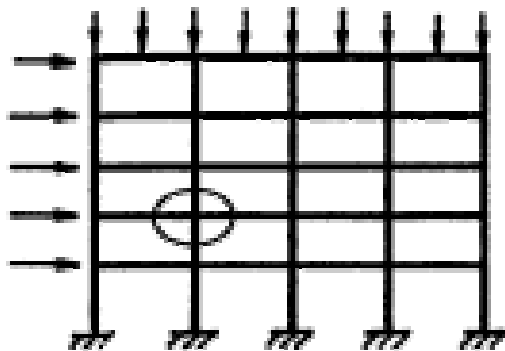
3.2. โครงข้อแข็ง(Rigid Frame)

3.2.2. โครงข้อแข็งหลายชั้น(Multistory Frame)

3. โครงข้อแข็งที่ไม่ต้องมีระบบค้ำยัน(Unbraced Rigid Frames)

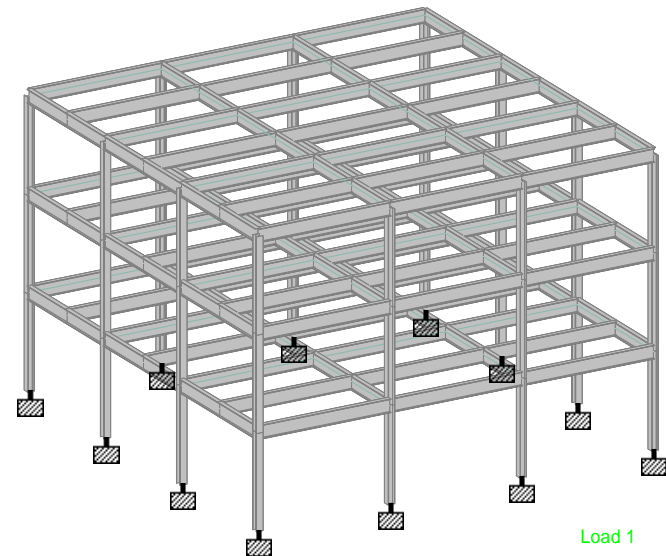
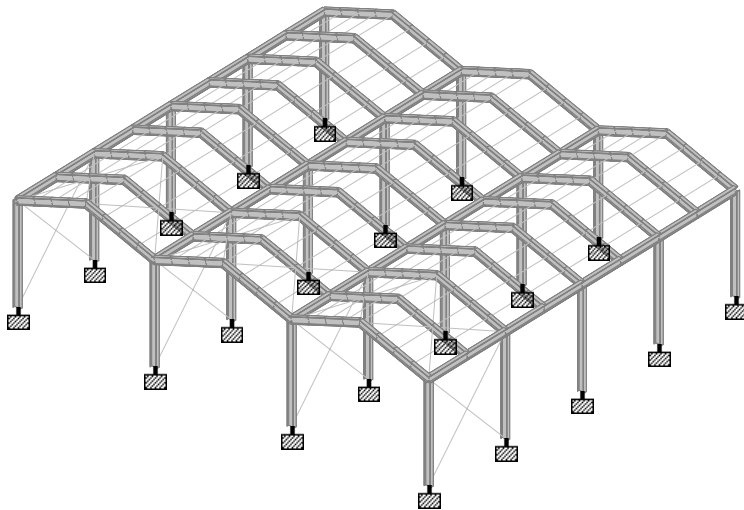
ข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์และออกแบบ

- สำหรับการออกแบบข้อต่อแบบแข็งเกร็งของโครงสร้างประเภทนี้คือ ในกรณีที่มีระบบของแรงมากระทำด้านข้าง จะมีการส่งถ่ายแรงเฉือนผ่านแผ่นแฉกของชิ้นส่วน(member)ที่เป็นเสาในระนาบของข้อต่อดังกล่าว



๔ โครงสร้างในระบบ 3 มิติ

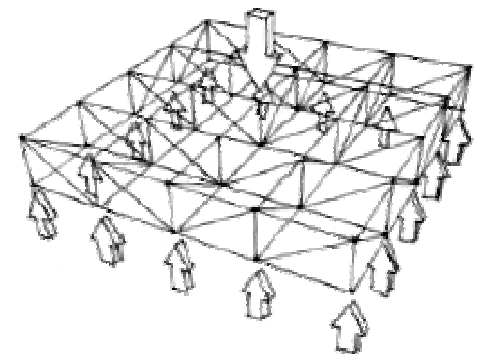
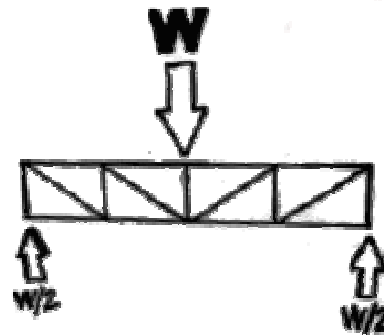
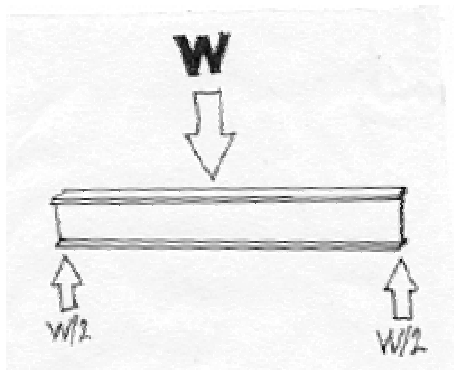
คือโครงสร้างที่มีการวางตัวของชิ้นส่วน(member) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (ชิ้นส่วน) ไม่อยู่ในระนาบเดียวกันรวมอยู่ด้วย ดังเช่นคานหลักตัวริม ดังแสดงในรูป ซึ่งนอกจากจะรับแรงในระนาบของตัวเองแล้ว ยังต้องรับน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากคานชอยซึ่งวางตัวอยู่ในอีกระนาบหนึ่งด้วย ซึ่งข้อสังเกตอย่างหนึ่งคือ จะมีส่วนของโมเมนต์บิดกระทำร่วมด้วย



④ โครงสร้างในระบบ 3 มิติ

4.1.ความเป็นมา

แนวความคิดทั่วไป(general concept)ของโครงสร้าง 3 มิติ(space frame)คือ เป็นความพยายามที่จะใช้วัสดุต่างๆให้เกิดประสิทธิภาพให้มากที่สุดในการรับแรง ซึ่งโดยเริ่มแรกแล้วลักษณะของชิ้นส่วน(member)ที่นิยมใช้สร้างหรือประกอบเป็นโครงสร้าง 3 มิติ จะเป็นชิ้นส่วนตัน เช่น solid beam ซึ่งเมื่อมองดูแล้วจะเห็นว่าเป็นการใช้วัสดุที่ไม่ประหยัด กล่าวคือ แทนที่จะใช้วัสดุมากในการต้านทานแรงในส่วนที่มีมาก แล้วใช้วัสดุเพียงเล็กน้อยต้านทานแรงที่มีนิดหน่อยหรือไม่มีแรงเลย และในขณะเดียวกันวัสดุในส่วนที่ไม่ได้ใช้ไปเพื่อต้านทานแรงใดๆเลย กลับมีผลกระทบต่อตัวโครงสร้างเองคือเป็นการเพิ่มน้ำหนักโดยใช่เหตุ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะใช้วัสดุเฉพาะในส่วนที่มีแรงมากกระทำ ที่เห็นชัดเจนอย่างเช่นในกรณีของโครงสร้างกรอบ(frame structure) เช่น โครงข้อหมุน(truss frame) และ โครงข้อแข็ง(rigid frame)



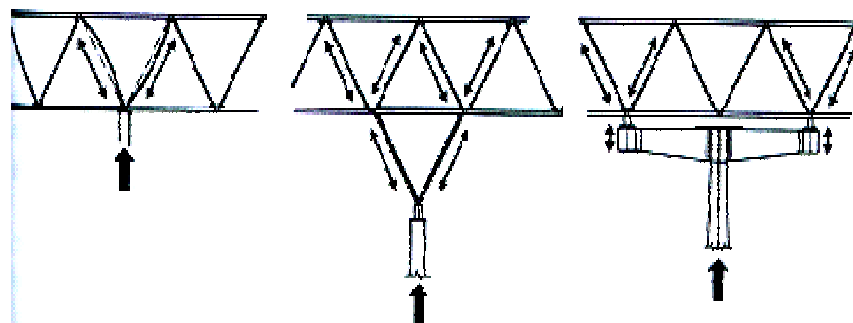
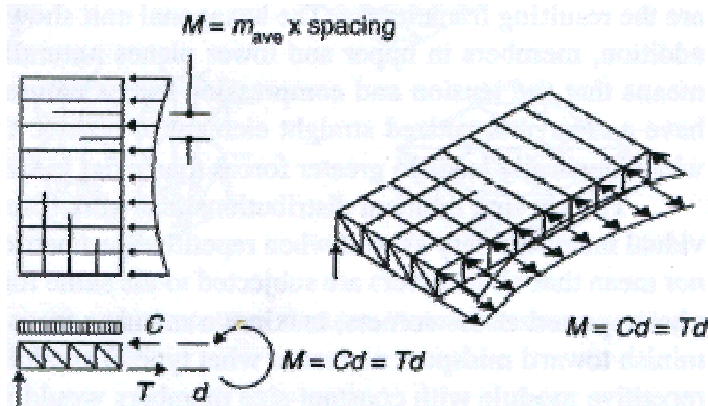
④ โครงสร้างในระบบ 3 มิติ

4.2.หลักการพื้นฐาน(basic concept)

โครงสร้าง 3 มิติสามารถที่จะมีรูปแบบ(form)หรือรูปทรงของโครงสร้าง เป็นได้ทั้งแบบแบนราบ(flat)หรือเป็นแบบทรงโค้ง(curve surface)ก็ได้ โดยในช่วงแรกๆที่มีการใช้โครงสร้าง 3 มิติ นั้น จะเป็นในลักษณะของระบบโครงสร้างระบบกริด(grid)ชั้นเดียว ซึ่งรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ประกอบกันจะเป็นแบบแข็งเกร็ง(rigid joint)

โครงสร้างดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ดีในการช่วยกระจายระบบน้ำหนักบรรทุก(โดยเฉพาะกรณีของน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ)ไปยังองค์อาคารที่เป็นโครงสร้างหลักหรือโครงสร้างที่รองรับโดยตรง

ในขณะที่ความสามารถในการต้านทานการดัดซึ่งถ้าหากว่ามีโมเมนต์ดัดเกิดขึ้นมาก ความสามารถในการต้านโมเมนต์ดัดที่มากขึ้นของระบบโครงสร้างกริด(grid) ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนชั้นของระบบโครงสร้างกริด(grid)ให้มากขึ้นขึ้น



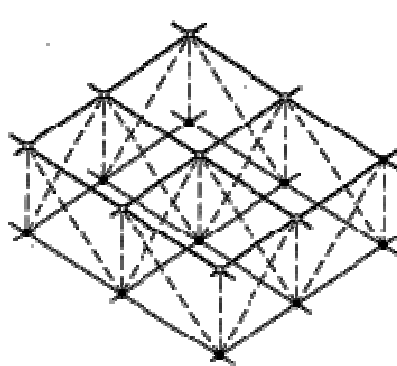
④ โครงสร้างในระบบ 3 มิติ

4.3. ข้อดีของโครงสร้าง 3 มิติ (advantage of space frame)

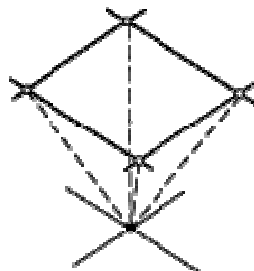
- ที่สำคัญมากคือโครงสร้าง 3 มิติจะมีน้ำหนักเบา
- โครงสร้าง 3 มิติสามารถที่จะแยกผลิตเป็นส่วนๆ สำเร็จรูปจากโรงงานคราวละมากๆ ได้ จากนั้นจึงเคลื่อนย้ายไปยังจุดก่อสร้าง แล้วประกอบขึ้นส่วนย่อยๆ
- โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานช่างฝีมือที่ชำนาญโดยเฉพาะ
- โครงสร้าง 3 มิติถึงแม้ว่าจะมีน้ำหนักเบา แต่ก็มีความแข็งแรง (stiff) มากเพียงพอต่อการต้านทานระบบของแรงที่มากระทำได้ด้วยตัวมันเองได้ ยกเว้นระบบแรงที่ไม่สมมาตรหรือระบบแรงกดเป็นจุดที่มีขนาดสูงๆ เท่านั้น

4.4. รูปแบบของโครงสร้าง 3 มิติ สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทคือ

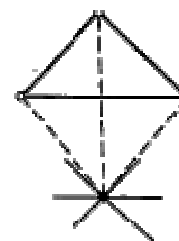
1. ระบบกริดหลายชั้น (double layer grid)



(a)



(b)



(c)

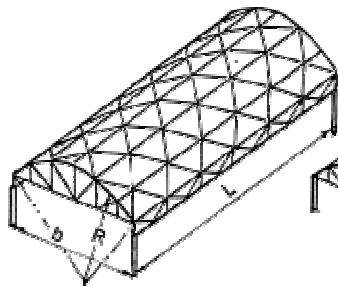
④ โครงสร้างในระบบ 3 มิติ

4.3. ข้อดีของโครงสร้าง 3 มิติ (advantage of space frame)

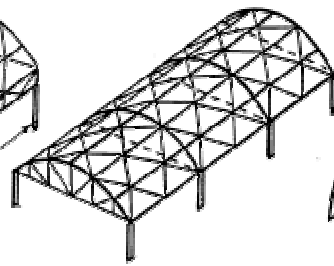
- ที่สำคัญมากคือโครงสร้าง 3 มิติจะมีน้ำหนักเบา
- โครงสร้าง 3 มิติสามารถที่จะแยกผลิตเป็นส่วนๆ สำเร็จรูปจากโรงงานคราวละมากๆ ได้ จากนั้นจึงเคลื่อนย้ายไปยังจุดก่อสร้าง แล้วประกอบขึ้นส่วนย่อยๆ
- โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานช่างฝีมือที่ชำนาญโดยเฉพาะ
- โครงสร้าง 3 มิติถึงแม้ว่าจะมีน้ำหนักเบา แต่ก็มีความแข็งแรง (stiff) มากเพียงพอต่อการต้านทานระบบของแรงที่มากระทำได้ด้วยตัวมันเองได้ ยกเว้นระบบแรงที่ไม่สมมาตรหรือระบบแรงกดเป็นจุดที่มีขนาดสูงๆ เท่านั้น

4.4. รูปแบบของโครงสร้าง 3 มิติ สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทคือ

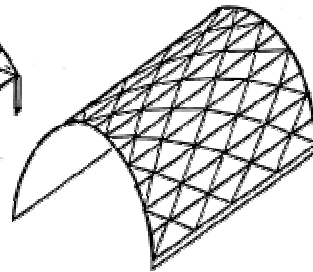
2. โครงถักทรงผิวโค้ง (lattice shell)



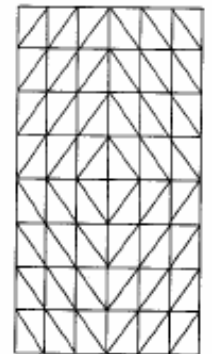
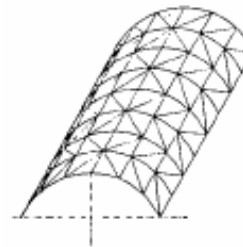
(a)



(b)



(c)



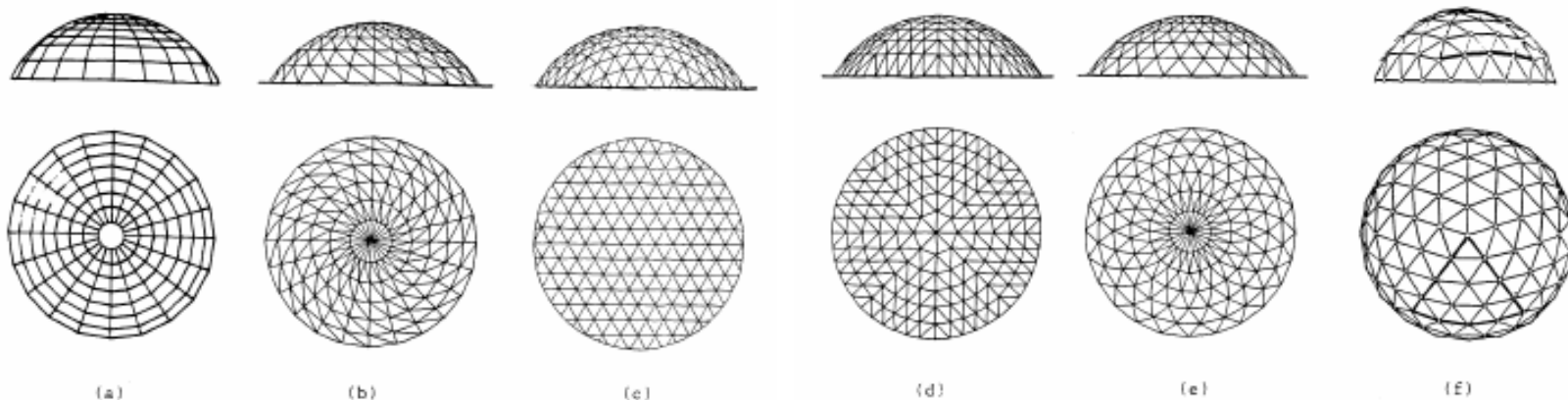
④ โครงสร้างในระบบ 3 มิติ

4.3. ข้อดีของโครงสร้าง 3 มิติ (advantage of space frame)

- ที่สำคัญมากคือโครงสร้าง 3 มิติจะมีน้ำหนักเบา
- โครงสร้าง 3 มิติสามารถที่จะแยกผลิตเป็นส่วนๆ สำเร็จรูปจากโรงงานคราวละมากๆ ได้ จากนั้นจึงเคลื่อนย้ายไปยังจุดก่อสร้าง แล้วประกอบขึ้นส่วนย่อยๆ
- โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานช่างฝีมือที่ชำนาญโดยเฉพาะ
- โครงสร้าง 3 มิติถึงแม้ว่าจะมีน้ำหนักเบา แต่ก็มีความแข็งแรง (stiff) มากเพียงพอต่อการต้านทานระบบของแรงที่มากระทำได้ด้วยตัวมันเองได้ ยกเว้นระบบแรงที่ไม่สมมาตรหรือระบบแรงกดเป็นจุดที่มีขนาดสูงๆ เท่านั้น

4.4. รูปแบบของโครงสร้าง 3 มิติ สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทคือ

3. โครงถักทรงกลม (Braced domes)



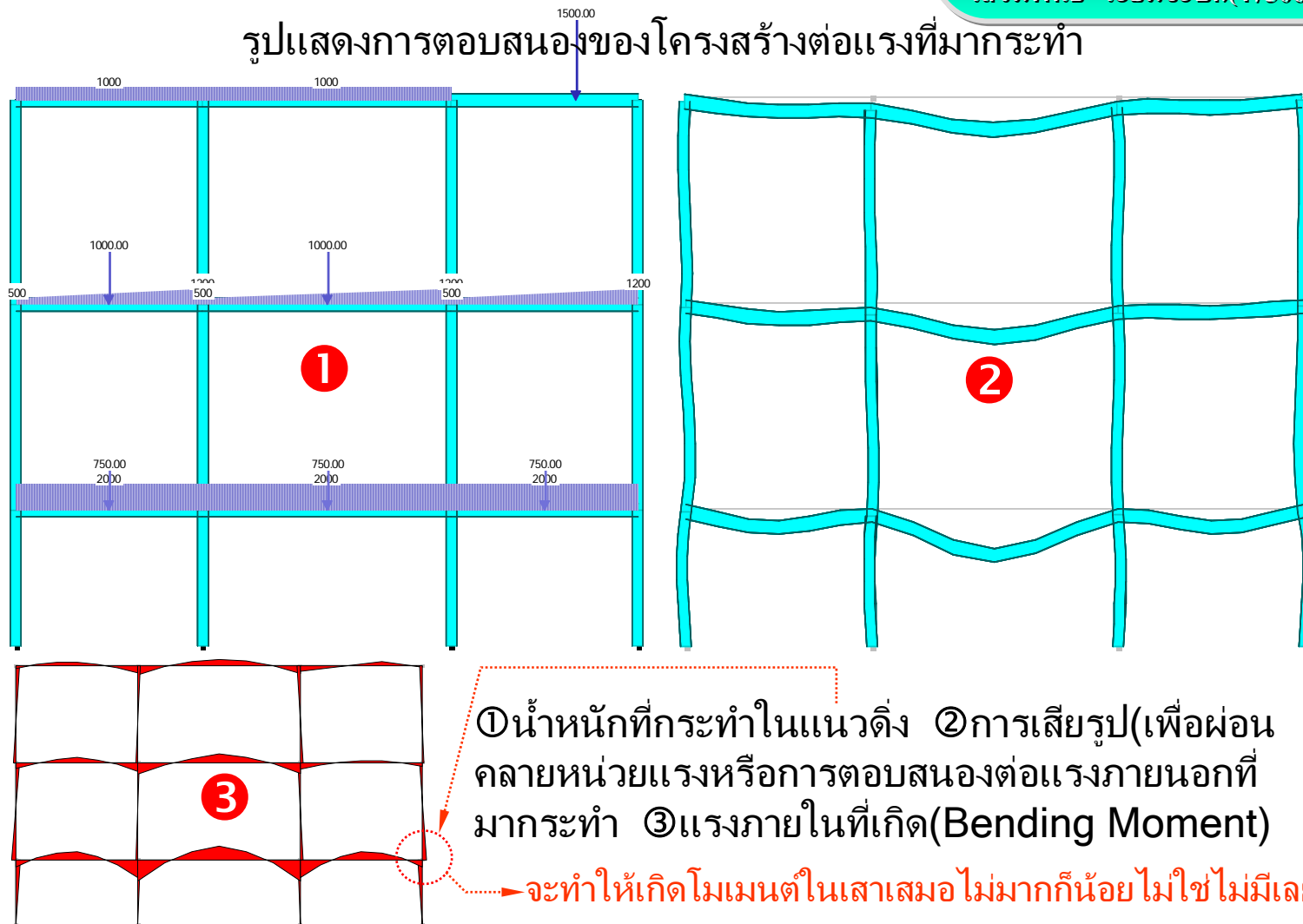
๕ น้ำหนักบรรทุกเพื่อการออกแบบโครงสร้าง>Loading

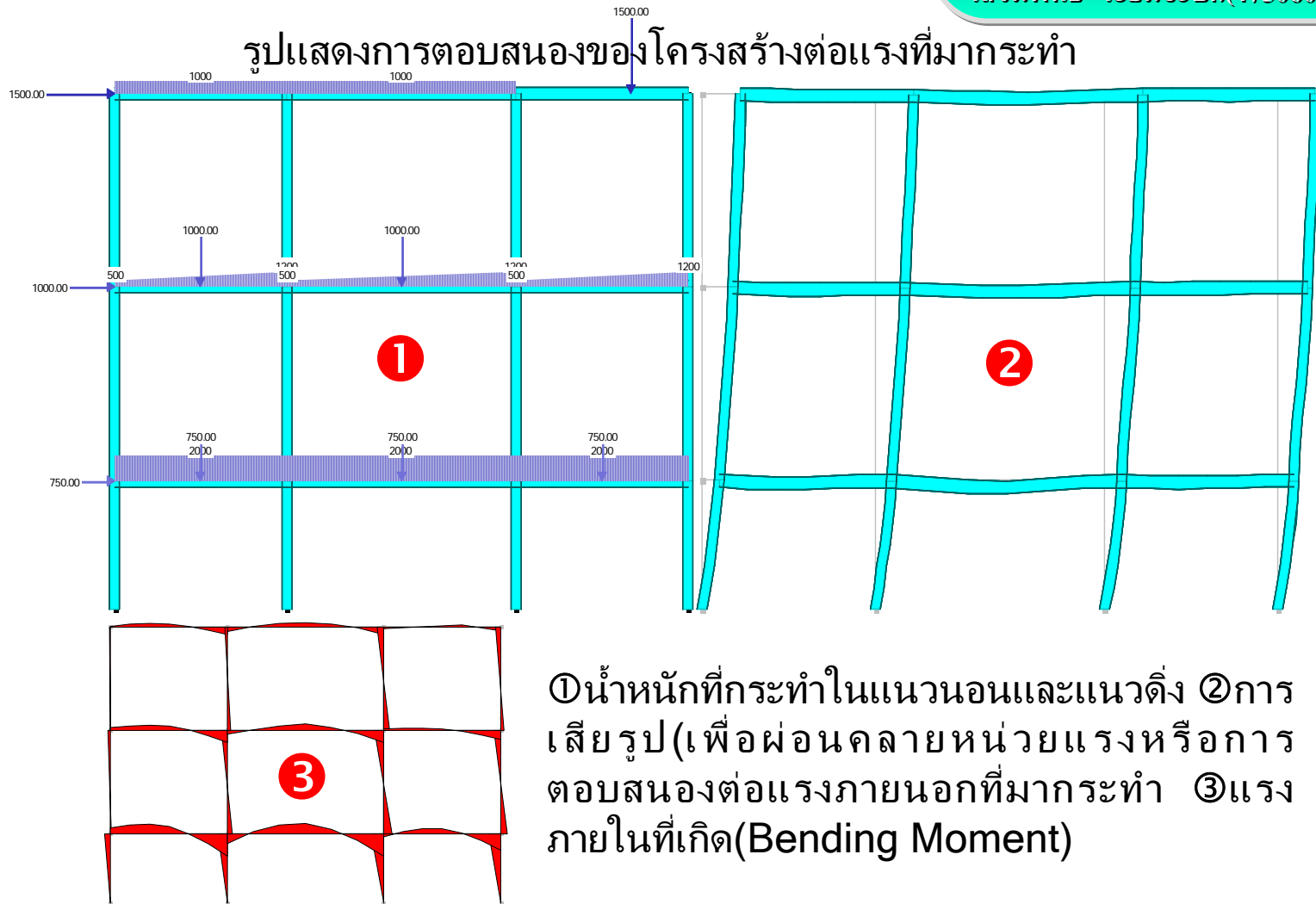
น้ำหนักบรรทุกในสภาพความเป็นจริงนั้น น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างมีอยู่ด้วยกันในหลายรูปแบบและหลายลักษณะ ทั้งนี้โดยภาพรวมแล้วขึ้นอยู่กับลักษณะหรือประเภทของโครงสร้าง สภาพการใช้งานของโครงสร้าง สภาพและลักษณะภูมิประเทศของแต่ละท้องที่ ดังนั้นค่าของน้ำหนักในเชิงตัวเลขที่กระทำต่อโครงสร้างก็จะแตกต่างกันออกไปมากบ้างน้อยบ้างตามมาตรฐานของแต่ละท้องที่ ที่ได้มีการบันทึก เก็บสถิติ หรือจากการรวบรวมวิจัยจากหลายๆ หน่วยงาน และได้มีการยอมรับและใช้กันทั่วไป เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนดังนั้นในที่นี้ ผู้เขียนจึงได้ทำการจำแนกน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างออกเป็น ๒ กลุ่มหลักๆ คือ(ไม่รวมแรงอันอาจเกิดจาก การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ - การหดตัวของฐานราก - Creep & Shrinkage)

① น้ำหนักที่กระทำในแนวดิ่ง(Gravity Load or Vertical Load) : ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก เช่น น้ำหนักบรรทุกตายตัว น้ำหนักบรรทุกจร(ทั้งที่กระทำต่ออาคารและสะพาน) น้ำหนักหิมะ น้ำหนักวัสดุตกแต่ง น้ำหนักประกอบอื่นๆ ฯลฯ

② น้ำหนักที่กระทำในแนวนอน(Horizontal Load) : ซึ่งโดยรวมแล้วจะเกิดจากอิทธิพลของธรรมชาติเป็นหลัก เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว โคลนถล่ม น้ำหลาก แรงดันดินด้านข้าง แรงดันน้ำ แรงสั่นสะเทือนจาก Moving Load แรงจากการพุ่งชน(เช่น ท่อนซุงหรือเรือ เครื่องบิน รถทุกชนิด ชีปนาวิธ) ฯลฯ

รูปแสดงการตอบสนองของโครงสร้างต่อแรงที่มากกระทำ





❏ ความรู้เสริม

❏ น้ำหนักบรรทุกทุกตายตัว(Dead Load ; DL.)

“คือน้ำหนักที่ถูกยึด ฝัง หรือตรึงให้อยู่กับที่(โครงสร้าง) รวมถึงน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง(Self Weight ; SW.)”

❏ น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load ; LL.)

“คือน้ำหนักที่ไม่ถูกยึด ฝัง หรือตรึงให้อยู่กับที่(โครงสร้าง) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายหรือเคลื่อนไหวได้โดยง่าย ทั้งที่เคลื่อนที่โดยธรรมชาติเองหรือโดยการใส่กำลังงานให้โดยมนุษย์”

1. น้ำหนักที่กระทำในแนวดิ่ง(Gravity Load or Vertical Load)

① น้ำหนักตัวโครงสร้างเอง(Self Weight ; SW.) : ซึ่งสามารถหาได้โดยตรงจากขนาดของโครงสร้าง และหน่วยน้ำหนัก(Unite Weight)ของตัวโครงสร้างเอง เช่น

- คานคอนกรีตเสริมเหล็ก $SW. = 2,400 \times \text{กว้าง(ม.)} \times \text{ลึก(ม.)} ; \text{กก./ม. หรือ kg./m.}$

- ผนัง-คريب คอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 2,400 x กว้าง(1 ม.) x สูง(ม.) ; กก./ม. หรือ kg./m.
- เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 2,400 x พื้นที่หน้าตัดเสา(ตร.ม.) x สูง(ม.) ; กก. หรือ kg.
- ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก(ฐานแผ่) SW. = 2,400 x กว้าง(ม.) x ยาว(ม.) x หนา(ม.) ; กก. หรือ kg.
- บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 12 x ความสูงลูกตั้ง(ชม.)

บันไดห้องเบน

$$\frac{24 \times \text{ความหนา(ชม.)}}{\text{ลูกนอน(ชม.)}} \times \sqrt{\text{ลูกนอน(ชม.)}^2 + \text{ลูกตั้ง(ชม.)}^2}$$

; กก./ตร.ม./ม. หรือ กก./ม.

- โครงหลังคา(Truss) : คำนวณน้ำหนักโดยประมาณ

1. โครงหลังคาเหล็กรูปพรรณ

- 1.024 x ความยาวโครงถักวัดจากปลายถึงปลาย(ม.) ; กก./ตร.ม.
- ประมาณ 7% - 15% ของน้ำหนักบรรทุก
- $\frac{\text{ความยาวโครงถัก(ม.)}}{3} + 5$; กก./ตร.ม.

2. โครงหลังคาไม้

- $\theta > 30$ องศา ; $1.024 \times$ ความยาวโครงถักวัดจากปลายถึงปลาย(ม.)
; กก./ตร.ม
- $\theta < 30$ องศา ; $0.688 \times$ ความยาวโครงถักวัดจากปลายถึงปลาย(ม.)
+ 8.54 กก./ตร.ม.

หมายเหตุ : จากที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าหากเป็นวัสดุอย่างอื่น เช่น ไม้ เหล็ก อะลูมิเนียม ดิน หิน น้ำ ก็สามารถหาน้ำหนักได้โดยการ คูณหน่วยน้ำหนักของวัสดุกับขนาดหรือมิติของโครงสร้างนั้นๆ

② น้ำหนักวัสดุตกแต่ง(Finishing Load ; FL.) : ดูในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัวของวัสดุ(2545)

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุก	หน่วย
คอนกรีตฉาบ(หน่วยน้ำหนัก)	2,323	กก./ลบ.ม.
คอนกรีตเสริมเหล็ก(หน่วยน้ำหนัก)	2,400	กก./ลบ.ม.
คอนกรีตอัดแรง(หน่วยน้ำหนัก)	2,450	กก./ลบ.ม.
ไม้(หน่วยน้ำหนัก)	1,100	กก./ลบ.ม.

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุก	หน่วย
คอนกรีตล้วน(หน่วยน้ำหนัก)	2,323	กก./ลบ.ม.
คอนกรีตเสริมเหล็ก(หน่วยน้ำหนัก)	2,400	กก./ลบ.ม.
คอนกรีตอัดแรง(หน่วยน้ำหนัก)	2,450	กก./ลบ.ม.
ไม้(หน่วยน้ำหนัก)	1,100	กก./ลบ.ม.
เหล็ก(หน่วยน้ำหนัก)	7,850	กก./ลบ.ม.
แผ่นยิปซัม	880	กก./ลบ.ม.
ปูนฉาบ	1,685	กก./ลบ.ม.
ดินทั่วไป	1,600	กก./ลบ.ม.
ดินแน่น	1,900	กก./ลบ.ม.
กระเบื้องราง	18	กก./ลบ.ม.
กระเบื้องลอนคู่	14	กก./ตร.ม.
กระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก	12	กก./ตร.ม.
กระเบื้องลูกฟูกลอนใหญ่	17	กก./ตร.ม.
สังกะสี	5	กก./ตร.ม.
Metal Sheet	5 - 10 ; t * 7,850	กก./ตร.ม.
แปไม้(สำหรับงานทั่วไป)	5	กก./ตร.ม.
แปเหล็ก(สำหรับงานทั่วไปที่ช่วงไม่ใหญ่มาก)	7 - 10	กก./ตร.ม.

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุก	หน่วย
พื้นไม้หนา 1 นิ้ว รวมตรง	30	กก./ตร.ม
อิฐมอญก่อครึ่งแผ่นฉาบเรียบสองด้าน	180	กก./ตร.ม
อิฐมอญก่อเต็มแผ่นฉาบเรียบสองด้าน	360	กก./ตร.ม
ผนังก่ออิฐมวลเบา	90	กก./ตร.ม
ผนังกระจก	5	กก./ตร.ม
ผนังกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มม.	7	กก./ตร.ม
ผนังกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 8 มม.	14	กก./ตร.ม
ผนังอิฐบล็อกหนา 10 มม.	100	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล็อก 10 มม.	100 - 150	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล็อก 15 มม.	170 - 180	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล็อก 20 มม.	220 - 240	กก./ตร.ม
ฝ้าไม้ ½" รวมคร่าว	22	กก./ตร.ม
ผนังก่ออิฐบล็อกแก้ว	90	กก./ตร.ม
ผนังเซลโลกริต + ไม้คร่าว	30	กก./ตร.ม
ผนังแผ่นเอสเบสโต้ล็กส์	5	กก./ตร.ม
* กระเบื้องคอนกรีต เช่น ซีแพ็คโมเนียร์ *	50 - 60	กก./ตร.ม

③ น้ำหนักประกอบ(etc.)อื่นๆ : เป็นน้ำหนักที่ถูกนำมาเกาะยึดหรือตรึงเข้ากับตัวโครงสร้าง ส่วนการเลือกใช้ว่าจะมีขนาดของน้ำหนักเท่าใดนั้น มีทั้งอ่านจากตารางที่เป็นที่ยอมรับ อ่านจากเค็ตตาล็อก คำนวณหาจากสมการ Empirical ต่างๆ รวมไปถึงการใช้โดยกำหนดขึ้นจากประสบการณ์ของแต่ละท่าน ซึ่งโดยรวมแล้วตัวเลขที่นำมา มักจะเป็นค่าโดยประมาณ เช่น

- ราวบันได ราวระเบียง ผนังกันห้องสำเร็จรูป ม่าน-มู่ลี่ ระบบงานฝ้า เพดานต่างๆ ประตู-หน้าต่าง(รวมถึง Block Out ต่างๆ) อุปกรณ์ด้านสุขภัณฑ์ ระบบแอร์ต่างๆ งานระบบ Pressure ต่างๆ โทรทัศน์-พัดลม ดวงโคมไฟฟ้า และตู้ควบคุมต่างๆ งานรับสัญญาณดาวเทียม เสาอากาศวิทยุ-โทรทัศน์ ป้ายโฆษณา ถังน้ำสำเร็จรูป ระบบลิฟท์ ระบบเครนและHoist โต๊ะ-เก้าอี้ใน ส่วนที่ยึดอยู่กับที่(เช่น ห้องเรียน โรงภาพยนตร์ ห้องประชุม ฯลฯ) ระบบ อุปกรณ์ฉายภาพต่างๆ ระบบอุปกรณ์ช่วยระบายอากาศ-ความร้อน-ควันต่างๆ ระบบกันเสียงกันความร้อนกันไฟไหม้ต่างๆ ระบบเครื่องจักรกลต่างๆ ฯลฯ ตัวเลขที่จะใช้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ รวมถึงเค็ตตาล็อกแนะนำสินค้าต่างๆ

- อุปกรณ์ของงานระบบต่างๆ เช่น ระบบท่องานประปา-สุขาภิบาล-ระบายน้ำ ระบบท่อดับเพลิงต่างๆ ระบบท่อแอร์ ระบบไฟฟ้า(ท่อ+ราง) ระบบท่อแก๊ส ฯลฯ ตัวเลขที่จะใช้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

④ น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load ; LL.) : บนอาคาร

ให้ใช้ตามมาตรฐานของ วสท.(ข้อกำหนด) และ เทศบัญญัติ กทม.(ข้อกำหนด) หรือใช้ตามข้อกำหนด-กฎหมาย ที่ประกาศใช้ในแต่ละท้องที่ที่จะทำการออกแบบและก่อสร้าง

น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร : ดในตารางที่ 2(ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่แนะนำให้ใช้ โดยค่าในตารางดังกล่าวได้เผื่อน้ำหนักที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ในกรณีเหตุสุดวิสัยหรือน้ำหนักบรรทุกที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะก่อสร้าง รวมถึงได้เผื่อน้ำหนักเพื่อป้องกันการสั่นไหวของอาคารไว้ด้วย)

ตารางที่ 2 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร(2548)

ประเภทและส่วนประกอบของอาคาร	น้ำหนักบรรทุก (กก./ตร.ม.)
1.หลังคา(ที่มุงด้วยวัสดุแผ่นมุงทั่วไป)	30(50)
2.หลังคาคอนกรีตหรือกันสาด	100
3.ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล รวมถึงห้องน้ำ-ห้องส้วม	150
4.อาคารชุด หอพัก โรงแรม ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อพักอาศัย ห้องคนไข้พิเศษโรงพยาบาล	200

ตารางที่ 2 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของ
อาคาร(2548)

ประเภทและส่วนประกอบของอาคาร	น้ำหนักบรรทุก (กก./ตร.ม.)
5.อาคารสำนักงาน ธนาคาร	250
6. (ก.)โรงเรียน โรงพยาบาล วิทยาลัย มหาวิทยาลัย อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว และ ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ (ข.)ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ อาคารชุด อาคารสำนักงานและธนาคาร หอพัก โรงแรม	300
7. (ก.)ตลาด ภัตตาคาร ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือ ในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์นั่งหรือรถจักรยานยนต์ (ข.)ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน วิทยาลัย มหาวิทยาลัย	400
8. (ก.)โรงกีฬา อัฒจันทร์ พิพิธภัณฑ์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บ เอกสารและพัสดุ (ข.)ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ภัตตาคาร โรงมหรสพ หอประชุม ห้องประชุม หอสมุดและห้องสมุด	500
9.ห้องเก็บหนังสือของหอสมุดหรือห้องสมุด	600
10.ที่จอดรถหรือเก็บรถบรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800

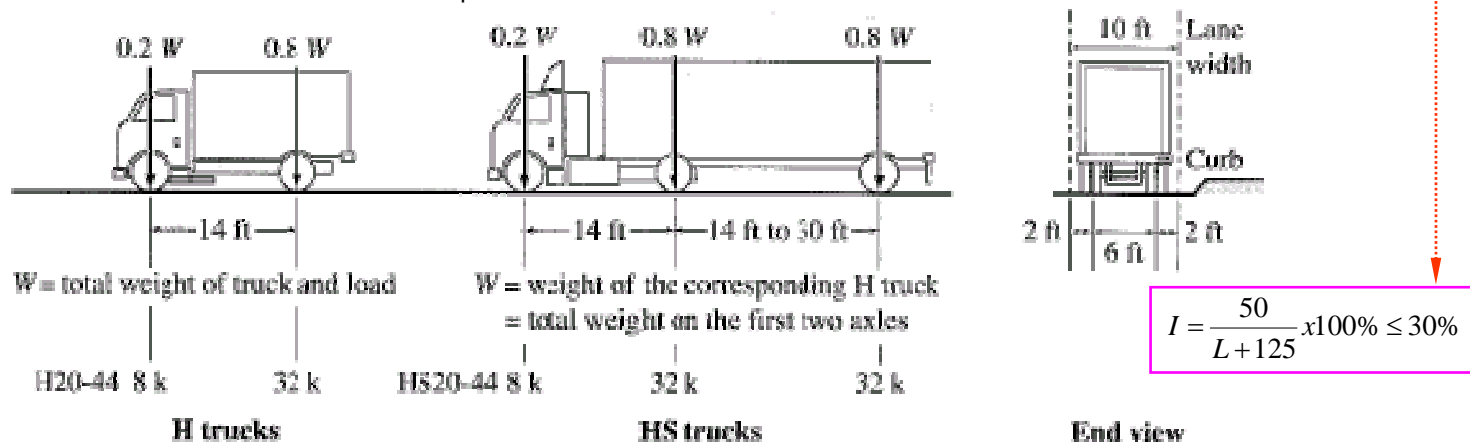
เนื่องจากว่าน้ำหนักบรรทุกจรดังกล่าว(ในตารางที่ 2) มีโอกาสหรือเป็นไปได้น้อยที่จะเกิดขึ้นหรือกระทำพร้อมๆกันเต็มพื้นที่ที่ออกแบบ ดังนั้นในกรณีของการออกแบบอาคารสูง(23 ม. ; 2548) จึงมีมาตรฐานออกมาเพื่อลดน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวลง ทั้งนี้เพื่อให้ค่าที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงให้มากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าการลดน้ำหนักบรรทุกจร(2548)

ลำดับชั้นที่มีการลดน้ำหนักบรรทุกจร	อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกบนพื้นที่แต่ละชั้น (%)
หลังคาหรือดาดฟ้า ชั้นที่1และ2นับถัดจากหลังคา-ดาดฟ้า	0
ชั้นที่ 3 นับถัดจากหลังคา-ดาดฟ้า	10
ชั้นที่ 4 นับถัดจากหลังคา-ดาดฟ้า	20
ชั้นที่ 5 นับถัดจากหลังคา-ดาดฟ้า	30
ชั้นที่ 6 นับถัดจากหลังคา-ดาดฟ้า	40
ชั้นที่ 7 นับถัดจากหลังคา-ดาดฟ้า และชั้นต่อไปอีก	50

⑤ น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load ; LL.) : บนสะพาน ⇒ ตัดตอนมาบางส่วน(ไม่รวมแรงจากการเบรก การออกตัว แรงหนีศูนย์กลางจากการเข้าโค้ง และ Impact Load)

① น้ำหนักบรรทุกจรบนสะพานเนื่องจากรถที่วิ่ง



$$I = \frac{50}{L + 125} \times 100\% \leq 30\%$$

② น้ำหนักบรรทุกจรเทียบเท่า(ใช้เทียบหรือตรวจสอบขนาดน้ำหนักข้างบน)

H15/HS15 : for $V = 19,500 \text{ lb}$; for $M = 13,500 \text{ lb}$
H20/HS20 : for $V = 26,000 \text{ lb}$; for $M = 18,000 \text{ lb}$

$\omega = H15/HS15 = 480 \text{ lb/ft}$; $H20/HS20 = 640 \text{ lb/ft}$ ของช่องจราจร



③ น้ำหนักบรรทุกจรบนทางเท้าเนื่องจากคนเดินเท้า(และรถจักรยานยนต์)

พื้นทางเท้า - คาน - และส่วนที่รองรับพื้นทางเท้าหรือคาน จะต้องออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกจรได้ $415 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$

2. น้ำหนักที่กระทำในแนวนอน(Horizontal Load)

①แรงลม(Wind Load ; WL.) : ในการวิเคราะห์โครงสร้างจำเป็นต้องคำนึงถึงผลจากการกระทำของแรงลม ซึ่งแรงลมที่กระทำต้งฉากกับอาคารหาได้จาก

แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง = แรงดันด้านเหนือลม + แรงดูดด้านใต้ลม

$$P = 0.004826 C_d V^2 ; kg./m.^2$$

C_d = สปส.ของรูปร่างและสัดส่วนของอาคาร(ทั้งด้านเหนือและใต้ลม)

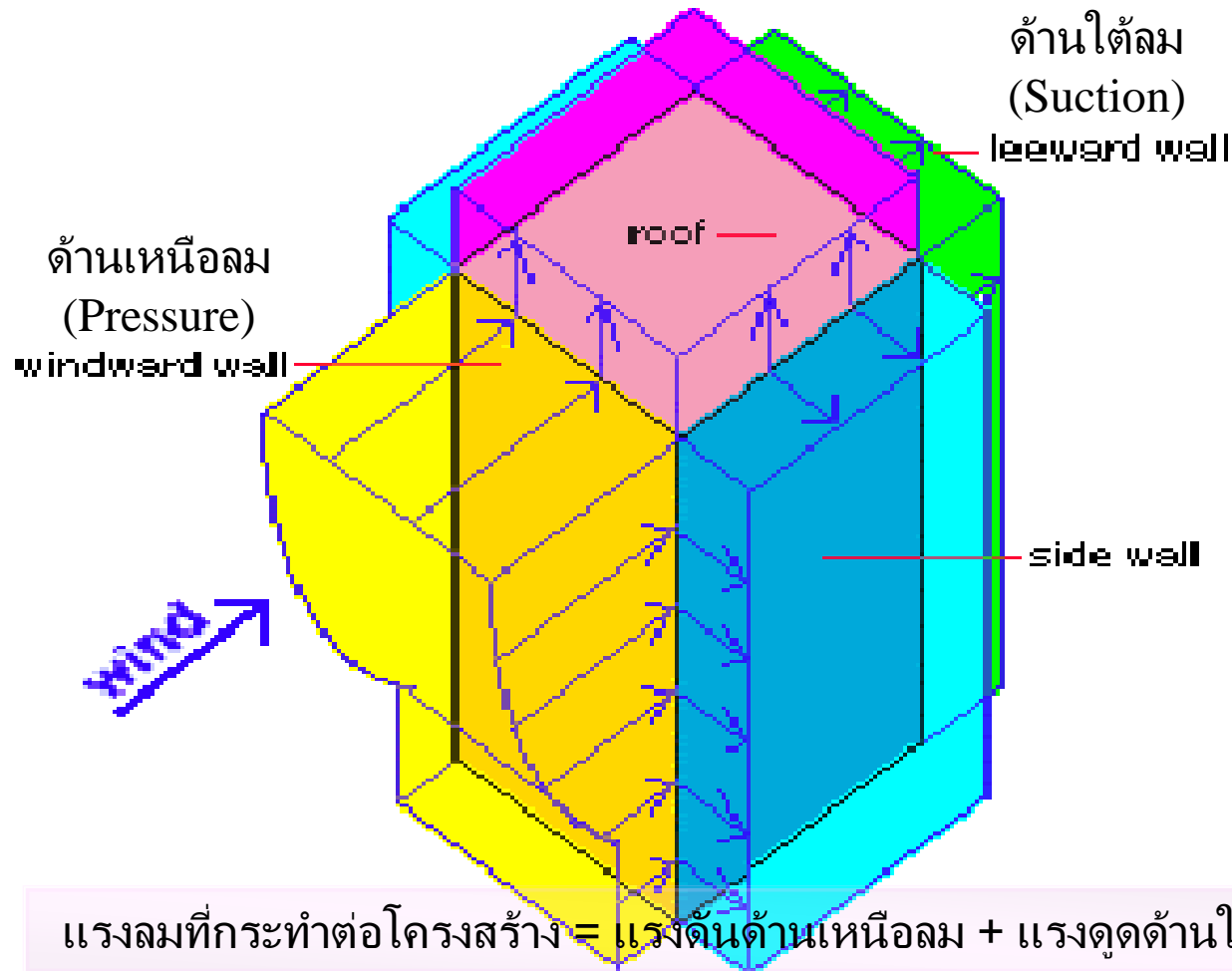
V = ความเร็วลม ; km./hr.

แต่ถ้าหากไม่มีผลการทดสอบหรือข้อมูลจริงใดๆ หรือไม่มีเอกสารอ้างอิงใดๆที่เป็นที่หน้าเชื่อถือ ให้ใช้ค่าแรงลมตามเทศบัญญัติ กทม. ดังแสดงในตารางที่ 4 ตารางที่ 4 แสดงเทศบัญญัติ กทม . พ.ศ. 2522 ว่าด้วยเรื่องแรงลม

ความสูงของอาคาร/ส่วนประกอบอาคาร	หน่วยแรงลมที่ใช้ต่ำสุด(กก./ตร.ม.)
สูงไม่เกิน 10 เมตร(จากพื้นผิวโลก)	50
สูงอยู่ในช่วง 10 - 20 เมตร(จากพื้นผิวโลก)	80
สูงอยู่ในช่วง 20 - 40 เมตร(จากพื้นผิวโลก)	120
สูงกว่า 40 เมตร(จากพื้นผิวโลก)	160

Types Of Steel Frame Used For Buildings

เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



Wind pressure on buildings

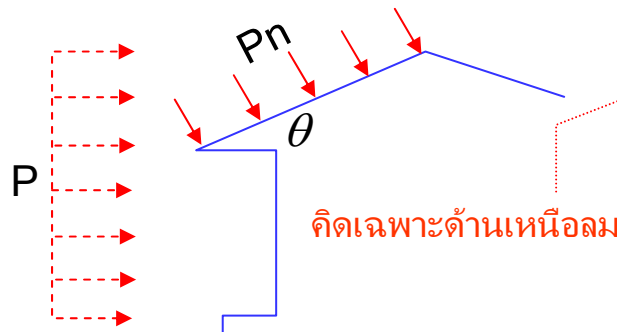
ตารางแสดงตัวอย่างแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง เมื่อคำนวณจากข้อมูลจริงที่มีการตรวจวัด(ความเร็วลม)ในพื้นที่จริง(ขอให้สังเกตค่าแรงลมที่ใช้จากตารางที่ 4 เทียบกับตารางข้างล่างนี้ ที่ระดับความสูงใกล้เคียงกัน)

สถานีตรวจอากาศ	ความสูง (เมตร)	ความเร็วลมสูงสุด (กม. ต่อชั่วโมง)	หน่วยแรงลมสูงสุด (กก. ต่อ ตร.ม.)
กรุงเทพฯ (เอกมัย)	33	148	152
กรุงเทพฯ (ดอนเมือง)	19	157	172
ชลบุรี เช่น	14	167	193 >50
สัตหีบ	10	135	127
ปราจีนบุรี เช่น	11	130	117 >50
แม่ฮ่องสอน	10	150	156
แพร่	12	126	110
พิษณุโลก	13	124	107
อุดรธานี	13	130	117
มุกดาหาร	11	148	152
อุบลราชธานี	25	148	152
นครสวรรค์	14	130	117
นครศรีธรรมราช	15	148	152
สงขลา	18	141	138

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

หมายเหตุ :

- 1.ค่าของแรงลมที่แสดงในตารางที่ 4 เป็นแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง “รูปทรง 4 เหลี่ยม” เท่านั้น
- 2.แรงลมดังกล่าวเป็นแรงลมที่กระทำในแนวราบที่ “ตั้งฉาก” กับตัวโครงสร้าง เท่านั้น
- 3.หากโครงสร้างใดวางขวางทิศทางลมและ/หรืออยู่ในที่โล่ง การเลือกใช้ค่าแรงลมควรเพิ่มค่าแรงลมดังกล่าวให้มากกว่าค่าที่แสดงในตารางตามสภาพพื้นที่ และตามความเหมาะสม
- 4.กรณีที่แรงลมกระทำไม่ตั้งฉากกับโครงสร้างที่ต้องการออกแบบ จะต้องทำการแตกแรงลมให้มาอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับโครงสร้างนั้นๆก่อน แล้วจึงจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายใน เช่น การออกแบบแปโครงหลังคา



$$P_n = \frac{2P \sin \theta}{1 + \sin^2 \theta}; \text{kg./m.}^2$$

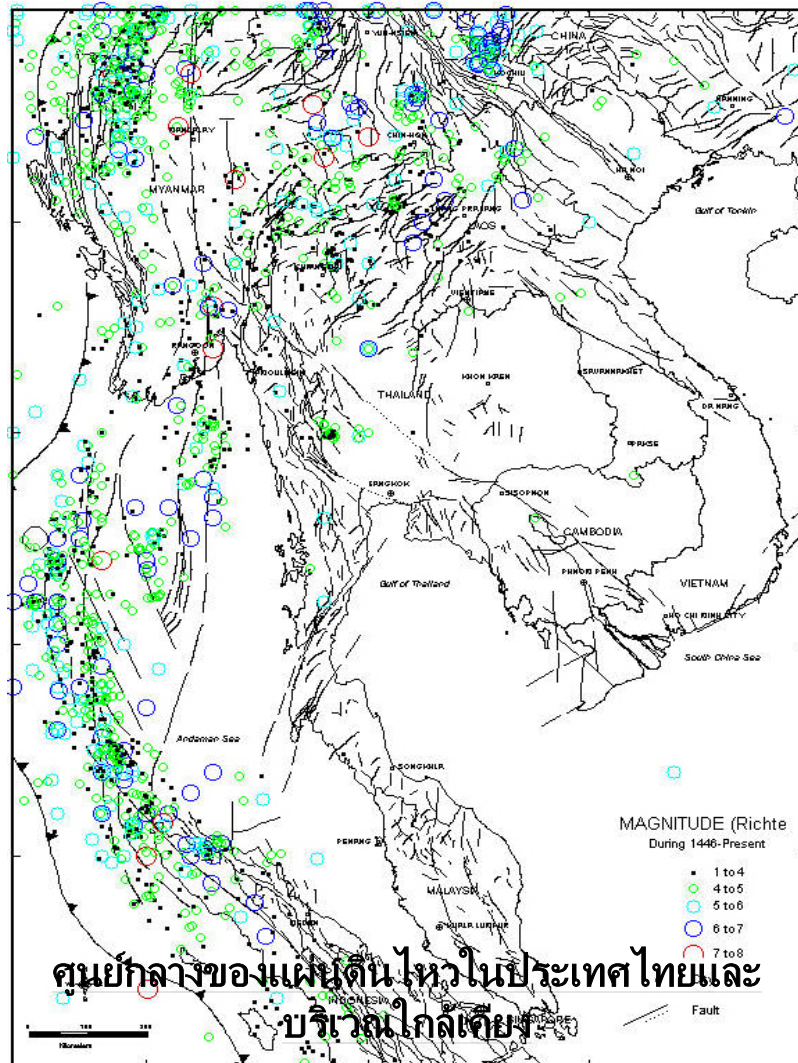
เมื่อ P = แรงลมตามเทศบัญญัติ

θ = ความชันของหลังคา ; องศา

☑5.มาตรฐานแรงลมล่าสุดโดย วสท. ดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.eit.or.th>

②แรงจากแผ่นดินไหว(Seismic Load : Earthquake ; EQ.)

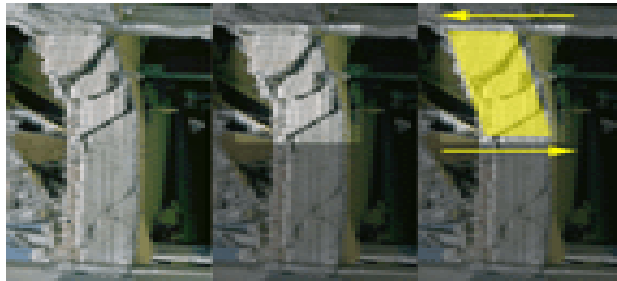
ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ค่อนข้างโชคได้ตั้งอยู่บริเวณที่เป็นแนวแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ของโลก แต่เชื่อว่าปลอดภัยจากภัยแผ่นดินไหว ในประวัติศาสตร์ได้มีการบันทึกการเกิดแผ่นดินไหวถึงขนาดทำให้เมืองโยนกนครยุบตัวลงเกิดเป็นหนองน้ำใหญ่ ปัจจุบันเกิดแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้บ่อยครั้งโดยเฉลี่ยปีละ 5 - 6 ครั้ง ส่วนใหญ่จะเกิดแผ่นดินไหวรู้สึกได้บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตก รวมทั้งอยู่บนอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร แหล่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบจะอยู่ทั้งภายในและภายนอกประเทศส่งแรงสั่นสะเทือนเป็นบริเวณกว้างตามขนาดแผ่นดินไหว แผ่นดินไหวบริเวณทะเลอันดามันสุมาตราตอนบน ในประเทศพม่า ตอนใต้ของประเทศจีน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ถ้ามีขนาดใหญ่พอก็จะส่งแรงสั่นสะเทือนมาถึงประเทศไทย ส่วนแผ่นดินที่เกิดจากแนวรอยเลื่อนในประเทศส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งซึ่งมักทำให้เกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลางเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุด 5.9 ริคเตอร์ เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526 บริเวณอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ครั้งนั้นทำให้เกิดความรู้สึกสั่นสะเทือนไปไกล สำหรับประเทศไทยความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินสิ่งก่อสร้างยังมีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้ เมื่อวันที่ 11 กันยายน 2537 แผ่นดินไหวที่บริเวณ อ.พาน และ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย ขนาด 5.1 ริคเตอร์ ก่อความเสียหายต่ออาคารหลายแห่ง เช่น โรงพยาบาลอำเภอพาน โรงเรียนและวัด บางแห่งเสียหายถึงขั้นใช้การไม่ได้ ซึ่งนับเป็นครั้งแรกที่ภัยแผ่นดินไหวเห็นได้ชัดเจนในประเทศไทย จากเหตุการณ์ที่อำเภอศรีสวัสดิ์นำไปสู่การจัดตั้งคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติ มีการผลักดันให้กระทรวงมหาดไทยออกกฎกระทรวงเรื่องแผ่นดินไหว(กฎกระทรวงฉบับที่ 49 พ.ศ. 2540)



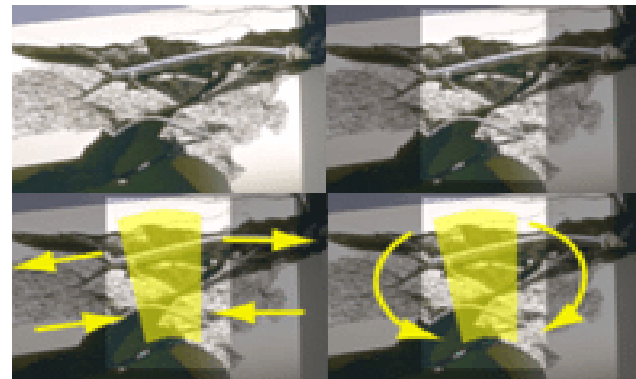
เครื่องวัดความสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว(ผลพลอยได้)เครื่องแรกในไทย ถูกติดตั้งที่จังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ.2505 โดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและตรวจจับการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ของประเทศสหภาพโซเวียต(ในขณะนั้น) จากนั้นในปี พ.ศ.2506 กรมอุตุนิยมวิทยาได้ทำการก่อสร้างและติดตั้งสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวขึ้นที่จังหวัดสงขลา โดยงบประมาณจากองค์การยูเนสโก

นอกจากจะมีที่จังหวัดเชียงใหม่และสงขลาแล้ว ปัจจุบัน(2545)ยังมีหน่วยวัดดังกล่าวอยู่ที่ จังหวัดนครราชสีมา เชื้อนภูมิพล เชื้อนเขาแหลม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดเลย

ผลเสียหายต่อโครงสร้างอันเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหว



ผลเสียหายจาก **Shear**



ผลเสียหายจาก **Bending Moment**

📖 การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อต้านแรงแผ่นดินไหวนั้นปัจจุบันมีอยู่ ๒ วิธี คือ

① วิธีพลศาสตร์ : ยุ่งยากและใช้ค่าใช้จ่ายสูง

② วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (ใช้กับอาคารสูงไม่เกิน 75 เมตร) : ไม่ยุ่งยาก
เหมือนวิธีแรก จึงอนุโลมให้ใช้วิธีนี้แทนได้แต่ก็มีข้อจำกัดค่อนข้างเยอะ

โดยวิธีนี้มีสมมติฐานว่า “แรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหวต่อโครงสร้าง
(แรงเฉือนที่ฐานโครงสร้าง)” หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V = ZIKCSW$$

โดยแรงเฉือนดังกล่าวจะแบ่ง
กระจายไปเป็นแรงกระทำด้านข้าง
ยังชั้นต่างๆของโครงสร้างต่อไป

Z = สปส. ขึ้นอยู่กับเขตแผ่นดินไหว

zone 1 ; $Z = 0.1875$

zone 2 ; $Z = 0.375$

I = สปส. ขึ้นอยู่กับความสำคัญของโครงสร้าง(1-1.5)

K = สปส. ขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้าง(0.67-1.33)

C = สปส. ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง =

$$\frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12$$

S = สปส. ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นดินและโครงสร้าง(1-1.5)

W = น้ำหนักของโครงสร้าง

📖 ส่วนการออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านแรงแผ่นดินไหวนั้น ต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบของ SEAOC(สมาคมวิศวกรโครงสร้างแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย) และมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหว ที่ประกาศใช้ตาม กฎกระทรวงฉบับที่ ๔๙ (พ.ศ.๒๕๔๐) ซึ่งมีผลบังคับใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อรองรับแผ่นดินไหวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๔๐ ภายในพื้นที่ ๑๐ จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน ตาก และ กาญจนบุรี ซึ่งใช้บังคับกับอาคารประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ก.อาคารสาธารณะ (เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม หอประชุม โรงเรียน โรงแรม ฯลฯ) และอาคารที่จำเป็นเพื่อการบรรเทาสาธารณะภัยต่างๆ (เช่น โรงพยาบาล สถานีดับเพลิง ฯลฯ)
- ข.อาคารที่เก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ ฯลฯ
- ค.อาคารที่มีความสูงเกิน ๑๕ เมตร

หมายเหตุ :

รายละเอียดการออกแบบด้านนี้ ผู้เขียนแนะนำให้ศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือ “การออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว(SEISMIC DESIGN OF STRUCTURES)” เขียนโดย ดร.สัจจา บุญยจักร

แผนที่แบ่งเขตแผ่นดินไหวตามกฎหมายว่าด้วยแรงแผ่นดินไหวของประเทศไทย

แผนที่แบ่งเขตแผ่นดินไหวในประเทศไทยแบ่งได้เป็น ๓ เขต คือ
-เขตพื้นที่0(Zone 0) มีความ
รุนแรงน้อยกว่า V หน่วยเมอร์แคลลี
อาคารที่อยู่ในเขตนี้อาจสั้นไหวบ้าง
แต่ไม่มีอันตราย

-เขตพื้นที่1(Zone 1) มีความ
รุนแรง V-VI หน่วยเมอร์แคลลี
อาคารที่อยู่ในเขตนี้อาจเสียหายบ้าง

-เขตพื้นที่2(Zone 2) มีความ
รุนแรง VI-VII หน่วยเมอร์แคลลี
อาคารที่อยู่ในเขตนี้อาจเสียหายปาน
กลาง

เขต 0 : ไม่จำเป็นต้องออกแบบอาคารรับแรงแผ่นดินไหว

เขต 1 : มีความเสี่ยงน้อยแต่อาจมีความเสียหายบ้าง

เขต 2 : มีความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายในระดับปานกลาง

3.การวิเคราะห์โครงสร้าง(Structure Analysis)

จากระบบของน้ำหนักดั่งที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นว่ามียู่ในหลายรูปแบบด้วยกัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าในบางครั้งอาจมีน้ำหนักมากกว่าหนึ่งรูปแบบกระทำต่อโครงสร้างพร้อมๆกัน หรือในบางครั้งอาจมีเพียงรูปแบบเดียวๆกระทำเมื่อเป็นเช่นนี้ ดังนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้าง เราจำเป็นจะต้องแยกการวิเคราะห์ไปในหลายๆกรณีตามลักษณะการกระทำของน้ำหนักที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าแรงภายใน(เช่น โมเมนต์ดัด-บิด , แรงเฉือน , แรงตามแนว , แรงรวมอื่นๆรวมไปถึงการเสีรูปทั้งเชิงเส้น Δ และ เชิงมุม θ) สูงสุด จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวไปออกแบบต่อไป แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการที่จะทำให้เราทราบค่าสูงสุดของระบบแรงภายในดังกล่าวได้ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับกรณีการกระทำของน้ำหนักแต่อย่างเดียว แต่ยังรวมถึงลักษณะของการจัดวางตัวของน้ำหนักในแต่ละกรณีด้วยโดยทั่วไปแล้ว กรณีของน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง มักจะประกอบด้วย ③ กรณีหลักๆ โดยกรณีที่ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะถูกเลือกไปเป็นน้ำหนักบรรทุกเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป(การทำอย่างนี้ ง่าย-สะดวก-รวดเร็ว...แต่ถ้าไม่จำเป็นแล้ว ผู้เขียนเองไม่ขอแนะนำ) ที่ถูกต้องแล้วค่าแรงภายในสูงสุดที่จะนำไปออกแบบ ควรเป็นค่าที่ได้จากการทำ Envelope ที่ได้จากการ Combined Force แต่ละชนิด(M_b, N, V)จากน้ำหนักทั้ง ③ กรณี(รายละเอียดดูเพิ่มเติมได้ในเรื่องของ “การออกแบบคาน”)

AISC-LRFD Factored Load Combinations

- 1.4D
- 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr or S or R)
- 1.2D + 1.6(Lr or S or R) + (0.5L or 0.8W)
- 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr or S or R)
- 1.2D ± 1.0E + 0.5L + 0.2S
- 0.9D ± (1.3W or 1.0E)

See Segui, Section 2.3 and AISC Manual Specifications (Part 16) Section A4 (p. 16.1.-6) and Commentary A4 (p. 16.1.-171)

AISC-LRFD Resistance Factors

member	resistance factor	limit states
Tension	$\phi = 0.90$	yielding
	$\phi = 0.75$	fracture
Compression	$\phi = 0.85$	buckling or yielding
Beams	$\phi_b = 0.9$	bending
	$\phi_v = 0.9$	shear
Welds	same as for member actions	
Fasteners	$\phi = 0.75$	all

๑ การวิเคราะห์เพื่อการออกแบบ

6.1. การวิเคราะห์อันดับหนึ่ง (First Order Analysis)

การวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง (First Order Analysis) : เป็นการวิเคราะห์หาแรงในโครงสร้างที่ตอบสนองต่อระบบแรงภายนอกในระดับเริ่มแรกหรือในระดับเบื้องต้นที่ทำกันทั่วไป ซึ่งทฤษฎีการวิเคราะห์ดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า “รูปร่างส่วนต่างๆของโครงสร้างจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงใดๆ ภายใต้ระบบของแรงภายนอกที่มากกระทำ ไม่ว่าทั้งก่อนและภายหลังที่ระบบแรงภายนอกกระทำ” ซึ่งแรงต่างๆที่วิเคราะห์หาได้ในขั้นนี้ ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างทั้ง ASD. และ LRFD. ยอมให้นำมาใช้ออกแบบได้

6.2. การวิเคราะห์อันดับสอง (Second Order Analysis)

การวิเคราะห์อันดับที่สอง (Secondary Order Analysis หรือ P- Δ) : เป็นการวิเคราะห์หาแรงในโครงสร้างที่ตอบสนองต่อระบบแรงภายนอก โดยรวมถึงแรงในโครงสร้างที่จะเกิดขึ้น หรืออาจเกิดขึ้นเมื่อระบบโครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใดก็แล้วแต่ เช่น การยัดหดตัวของโครงสร้างเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การล้าของโครงสร้าง การแอ่นตัว (ทั้งเชิงเส้น และ เชิงมุม) การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของระบบฐานราก ความไม่สมดุลหรือขาดเสถียรภาพของโครงสร้างขณะก่อสร้าง หรือความไม่มีประสิทธิภาพของการทำงาน (เช่น ความผิดพลาดในการตรวจสอบระยะต่างๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการหนีศูนย์หรือเยื้องศูนย์ได้)

๑ การวิเคราะห์เพื่อการออกแบบ**6.3. วิธีในการวิเคราะห์โครงสร้าง****6.3.1. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์**

ที่มักเห็นนิยมใช้ในวงการวิศวกรรมไทย เช่น STAAD Pro , SAP2000 , ETAB , ROBOT , MIDAS , XSTEEL , RISA 3D , RAM Advance , Visual Analysis & Design , Dr. Frame 3D , SPACE GASE , FEA Anlysis & Design , IdcadObject ฯลฯ

6.3.2. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยประมาณ

1. Approximate Analysis ของโครงสร้างที่ถูกกระทำโดยแรงในแนวดิ่ง
2. Approximate Analysis ของโครงสร้างที่ถูกกระทำโดยแรงกระทำทางด้านข้าง : โดยวิธี Portal Method
3. Approximate Analysis ของโครงอาคารที่ถูกกระทำโดยแรงกระทำทางด้านข้าง : โดยวิธี Cantilever Method

6.4. ข้อควรคำนึงถึงในการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

- การโก่งตัวและการสั่นของโครงสร้างเหล็ก

การสั่นไหวเนื่องจากมนุษย์อันเนื่องมาจากพฤติกรรมของมนุษย์ เช่น การเดิน การกระโดด การเต้นกิจกรรมเข้าจังหวะ การเชียร์กีฬา(กรณีของอาคารยิมเนเซียมและอิมเจอร์รี่เชียร์) การจัดงานเลี้ยงสังสรรค์ต่างๆ

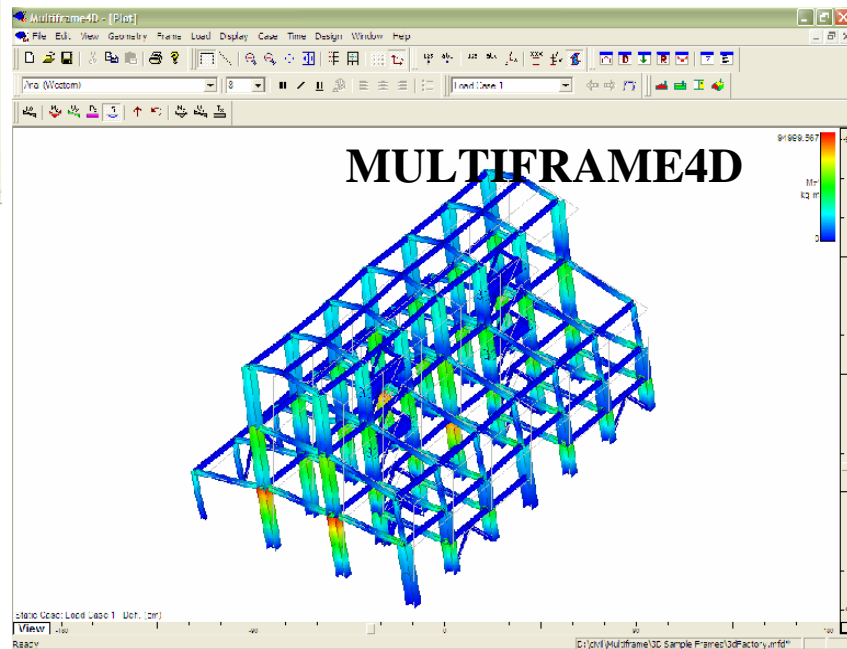
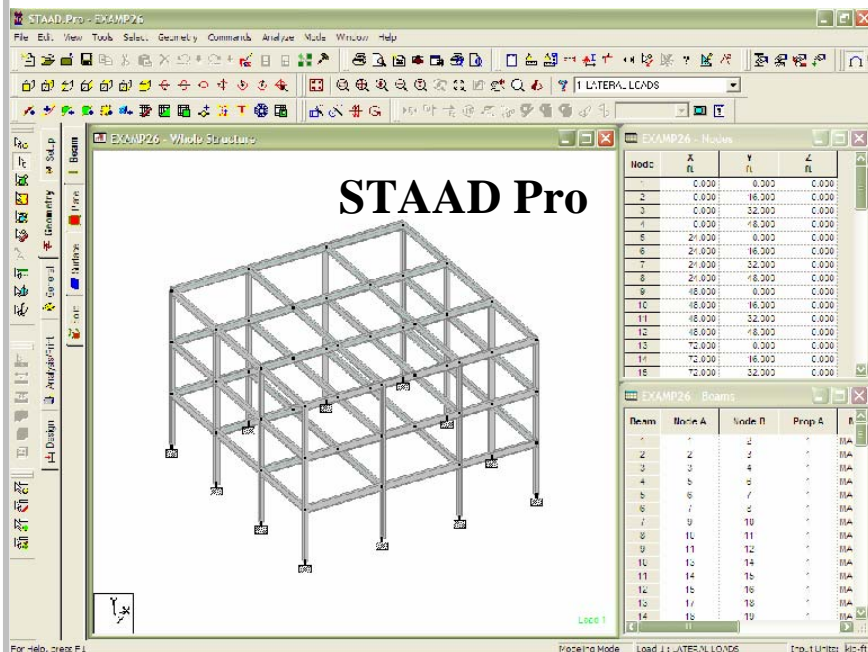
การสั่นไหวเนื่องจากเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น แอร์ตั้งพื้นหรือติดผนัง เครื่องจักรยนต์โรงงานต่างๆ

การออกแบบ โครงสร้างเหล็ก

Types Of Steel Frame Used For Buildings

๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



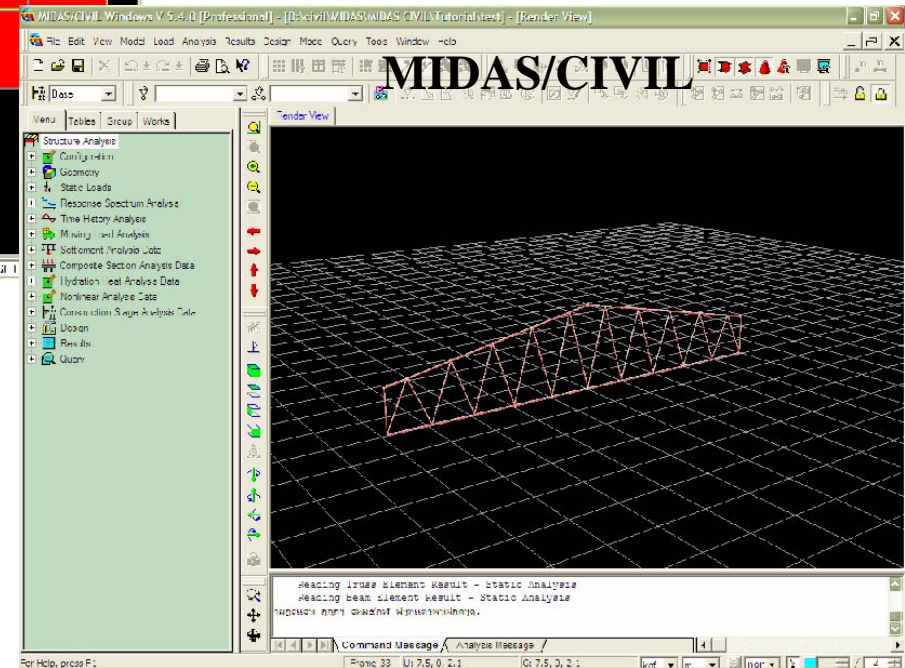
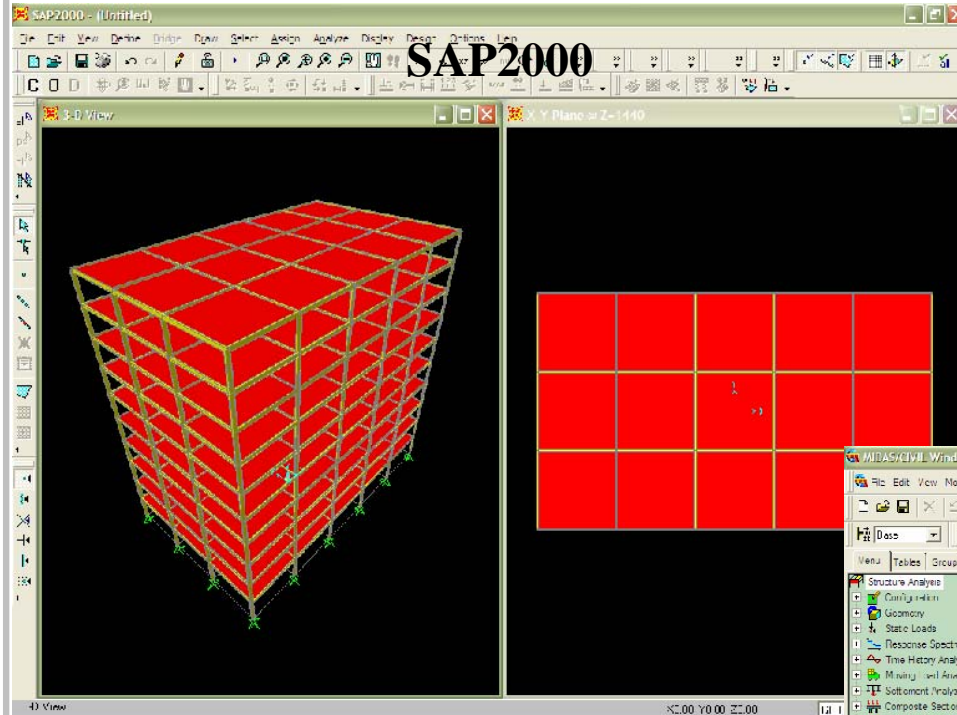
การออกแบบ

โครงสร้างเหล็ก

Types Of Steel Frame Used For Buildings

๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)

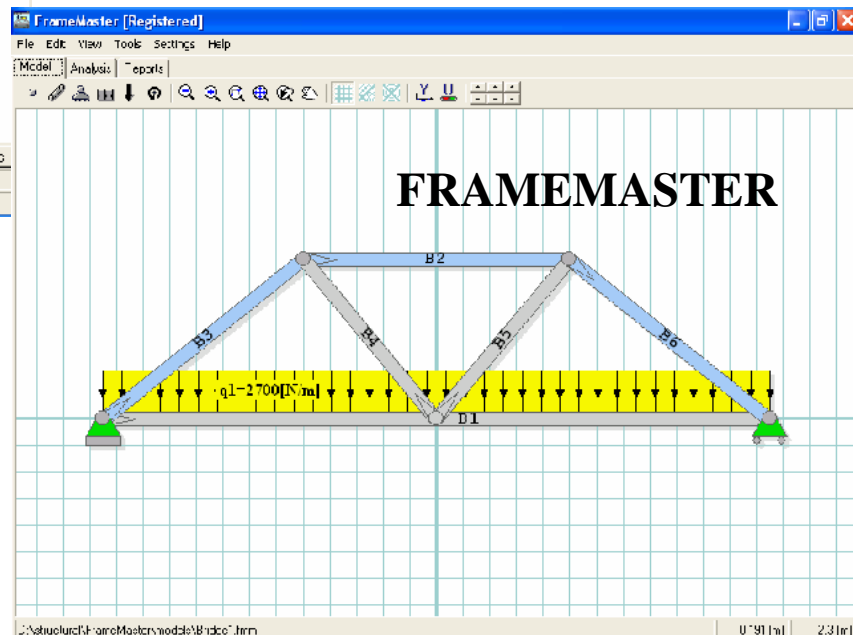
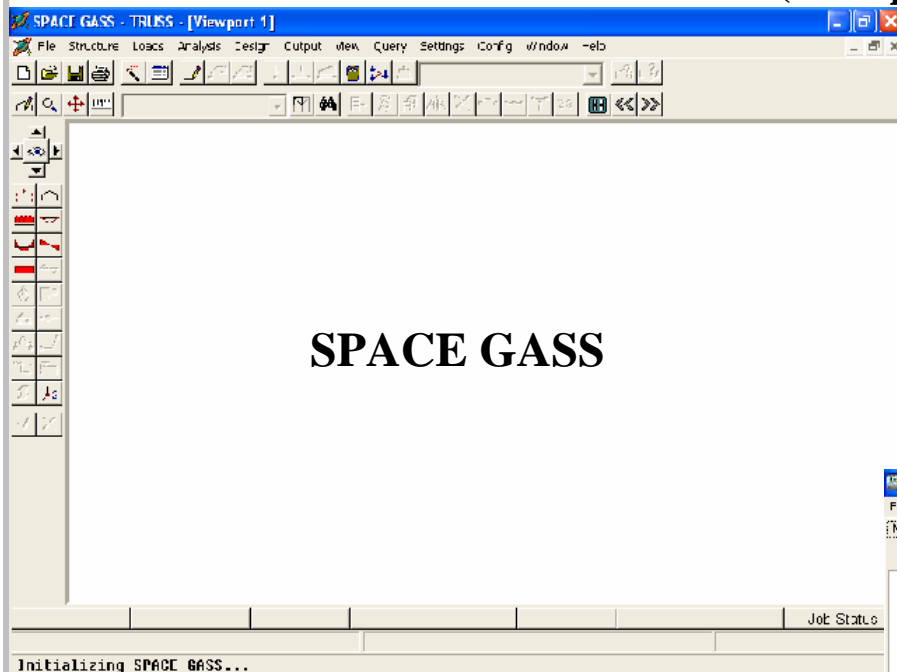


การออกแบบ โครงสร้างเหล็ก

Types Of Steel Frame Used For Buildings

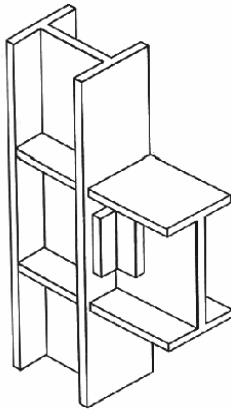
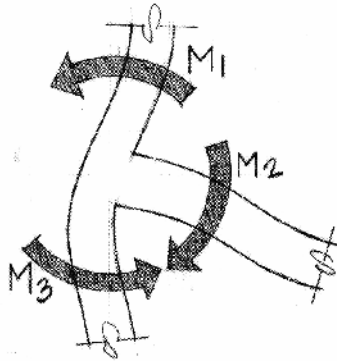
๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



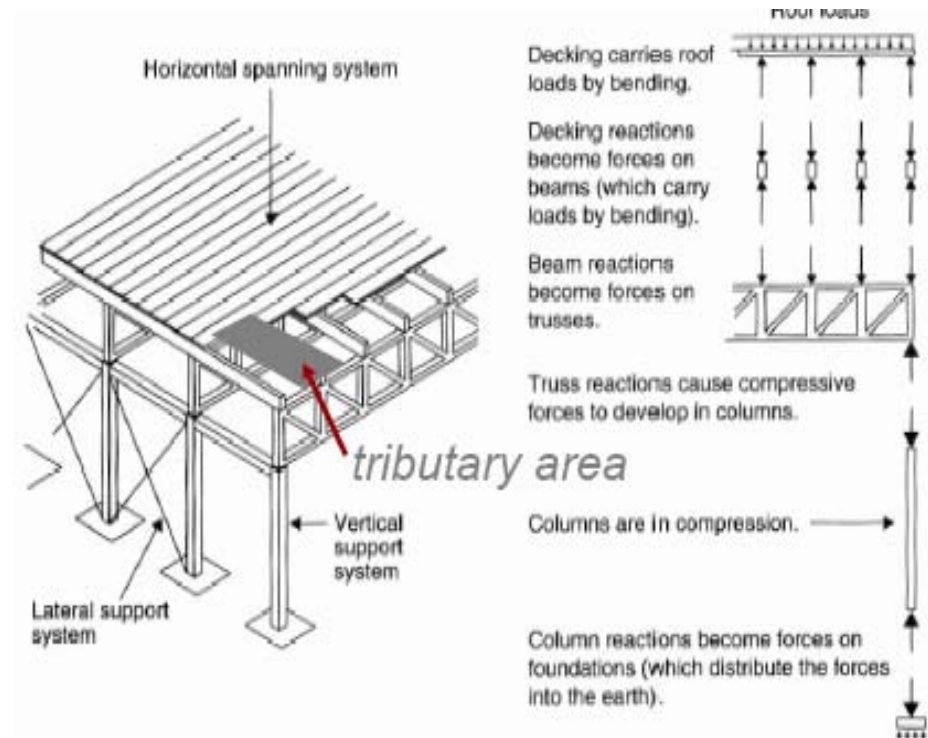
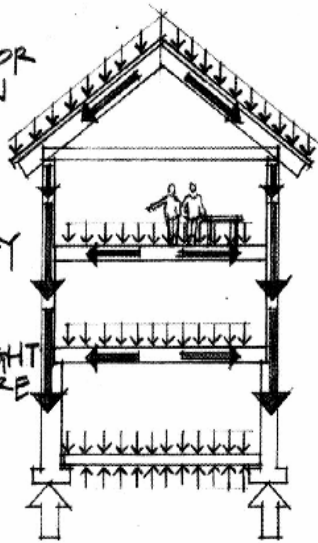
๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

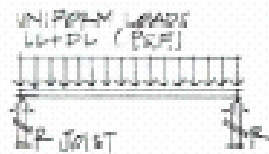
- SNOW OR ROOF LL FOR NON-SNOW AREAS
- USE AND OCCUPANCY
- SELF-WEIGHT OF STRUCTURE
- GROUND REACTION



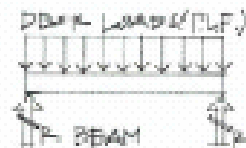
๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธ์ เอี่ยมอะบก(475060064-7)

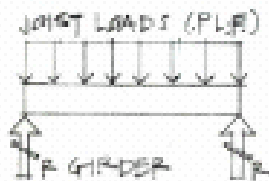
Load Paths



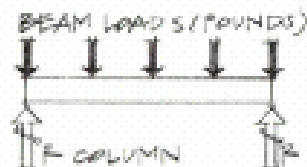
(a) FBD—decking.



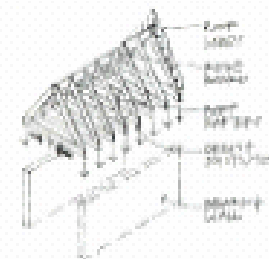
(b) FBD—joists.



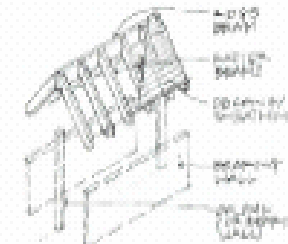
(c) FBD beams.



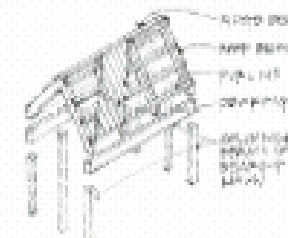
(d) FBD—girder.



(e)



(f)



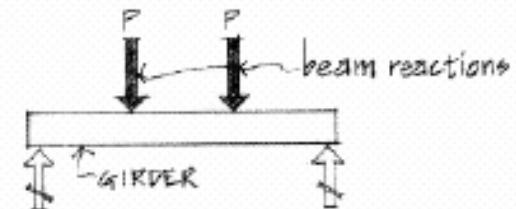
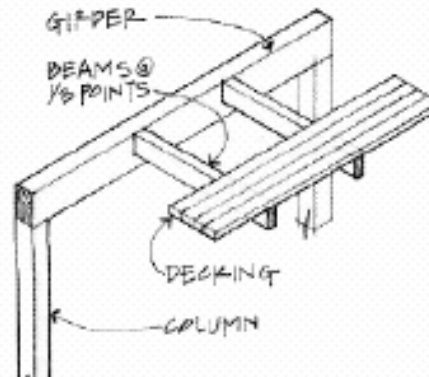
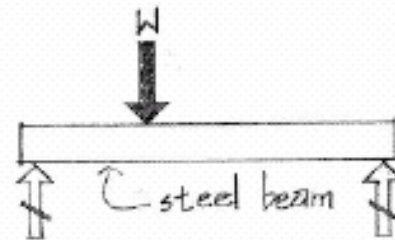
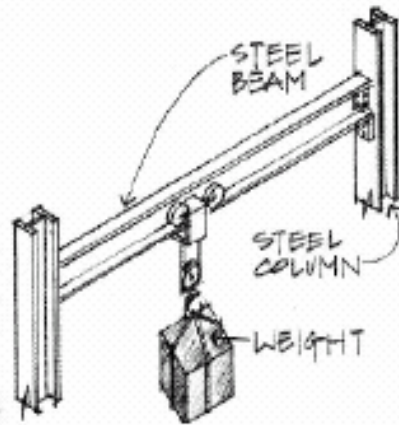
การออกแบบ

โครงสร้างเหล็ก

Types Of Steel Frame Used For Buildings

๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)

• foundations

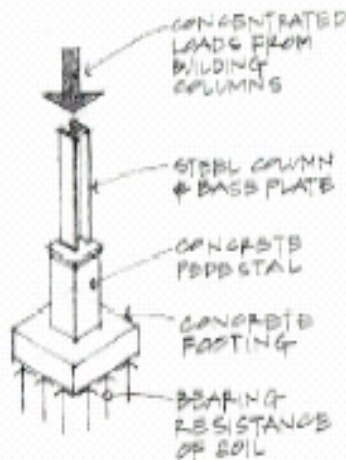


Figure 4.24 Spread footing.

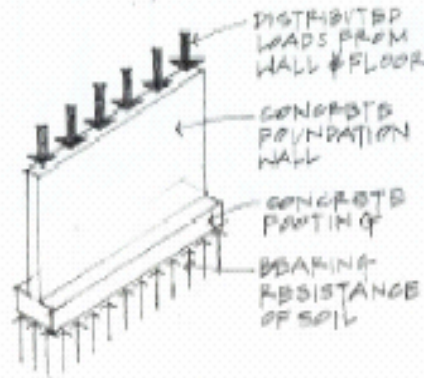


Figure 4.25 Wall footing.

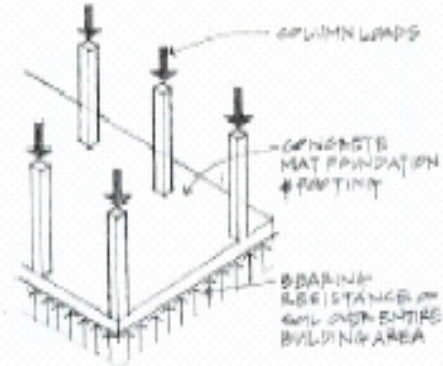


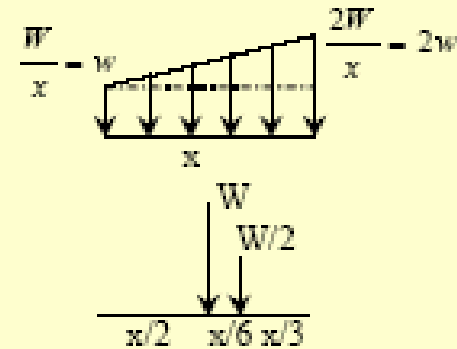
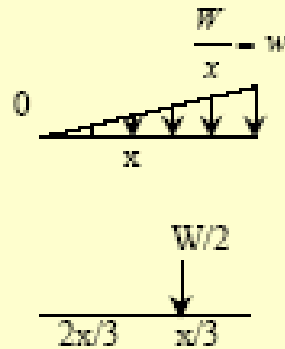
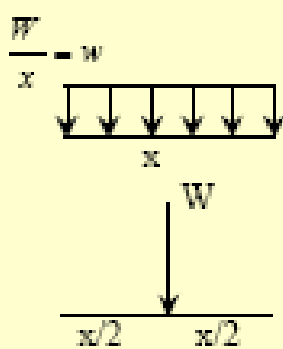
Figure 4.26 Mat or raft foundation.

๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)

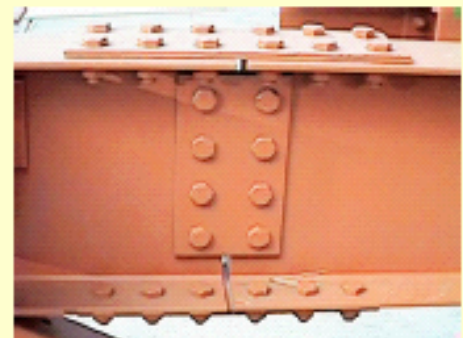
Load Areas

- *area is width \times "height" of load*



Bolts

- *bolted steel connections*



๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

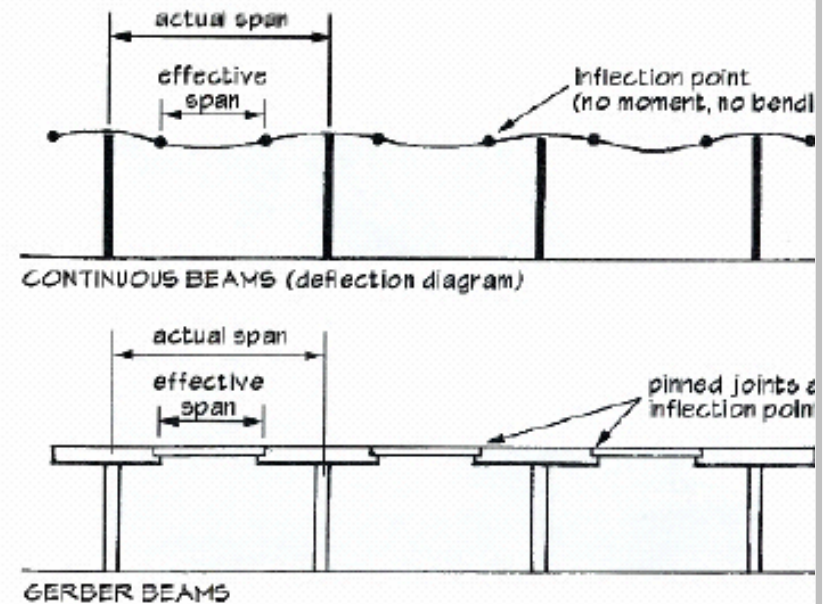
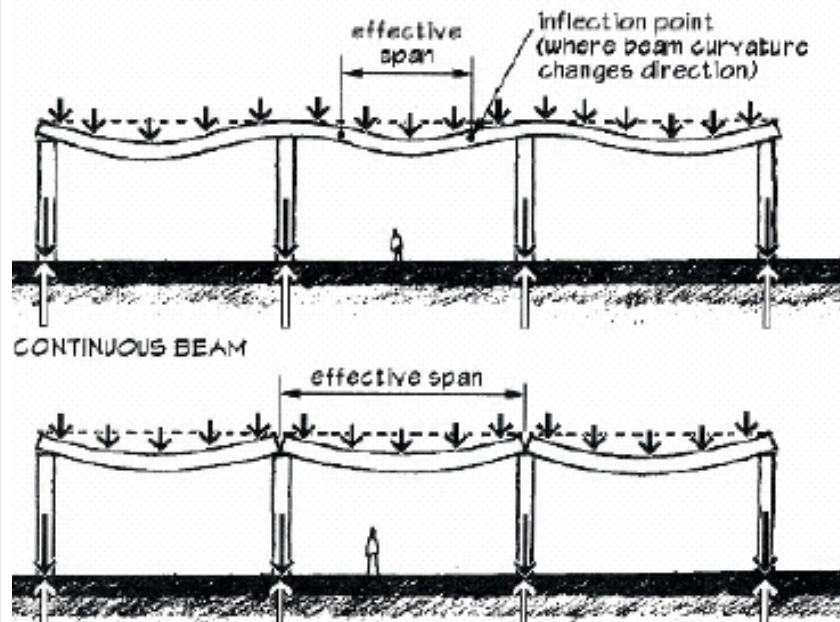
เสริมพันธุ์ เยี่ยมจะบก(475060064-7)

- welded steel connections*



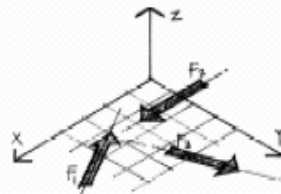
๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)

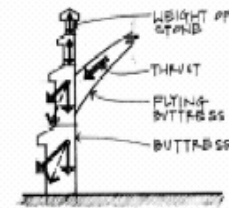


Force System Types

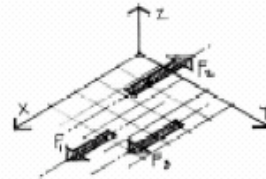
- *coplanar*



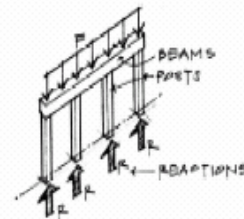
Coplanar—All forces acting in the same plane.
Figure 2.17(b) Rigid bodies.



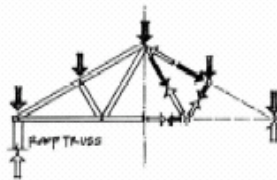
Forces in a buttress system.



Coplanar, parallel—All forces are parallel and act in the same plane.
Figure 2.17(c) Rigid bodies.



A beam supported by a series of columns.



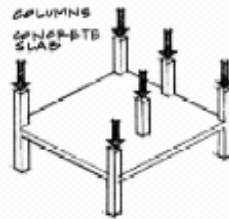
Loads applied to a roof truss.



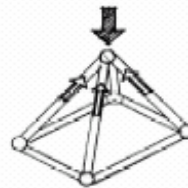
Coplanar, concurrent—All forces intersect at a common point and lie in the same plane.
Figure 2.17(d) Particle or rigid body.

Force System Types

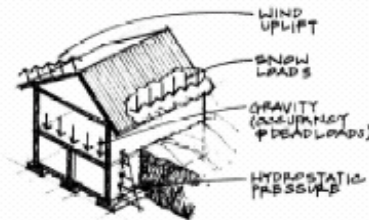
- space



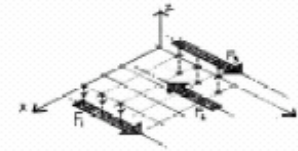
Column loads in a concrete building.



One component of a three-dimensional space frame.

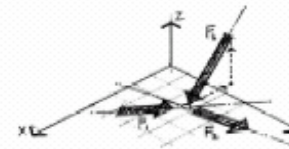


Array of forces acting simultaneously on a house.



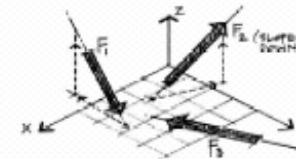
Noncoplanar, parallel—All forces are parallel to each other, but not all lie in the same plane.

Figure 2.17(e) Rigid bodies.



Noncoplanar, concurrent—All forces intersect at a common point but do not all lie in the same plane.

Figure 2.17(f) Particle or rigid bodies.

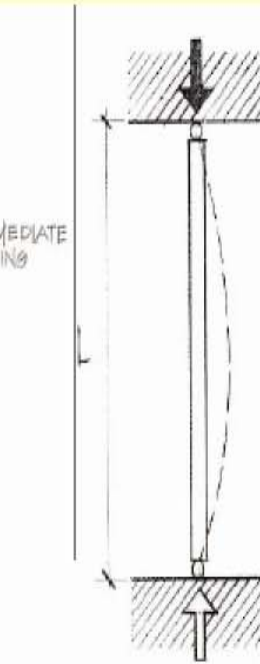
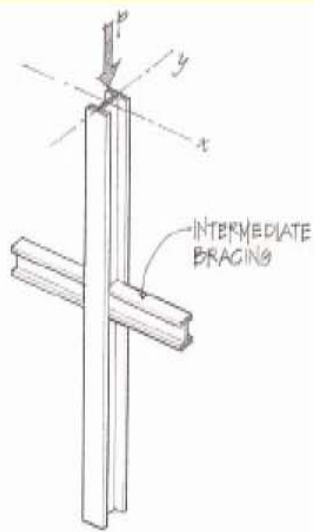


Noncoplanar, nonconcurrent—All forces are skewed.

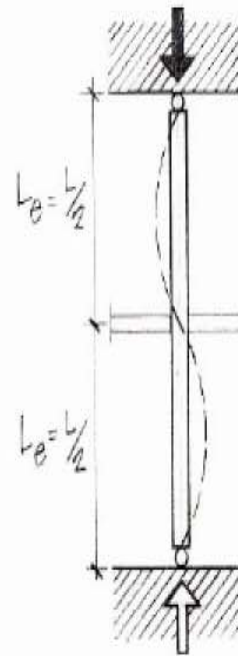
Figure 2.17(g) Rigid bodies.

๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

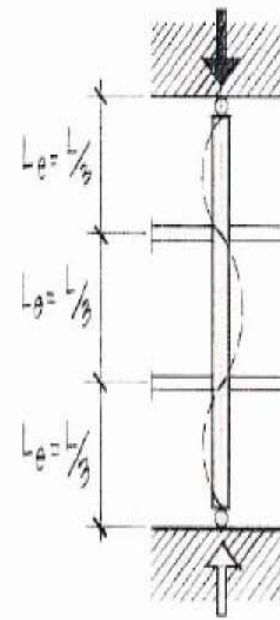
เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



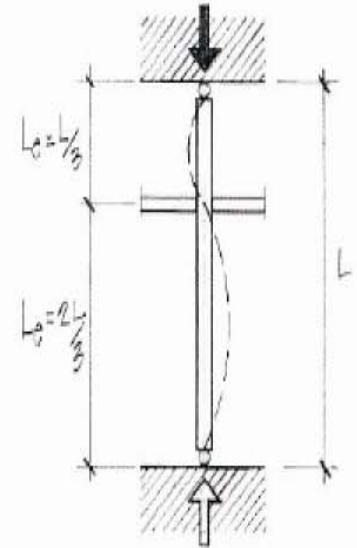
(a) No bracing.



(b) Braced at midpoint.



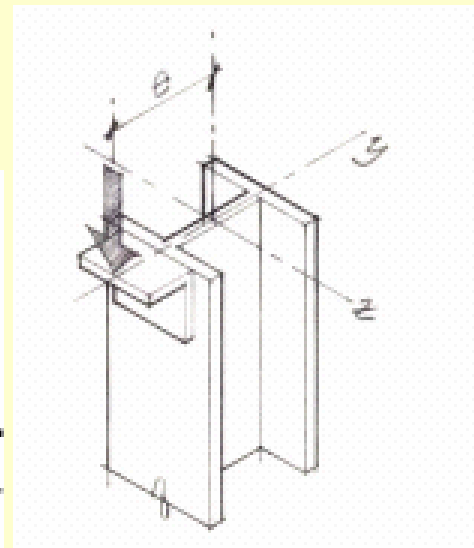
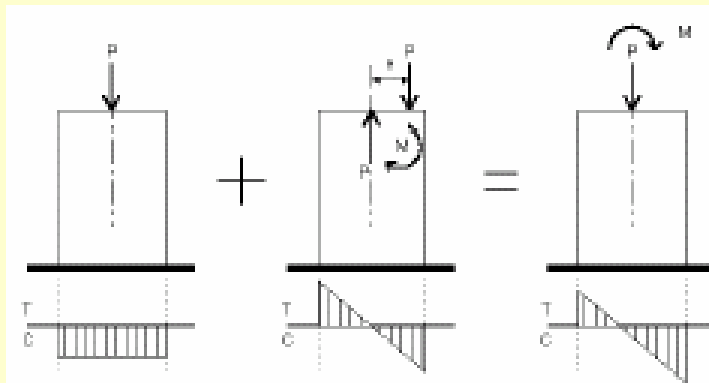
(c) Third-point bracing.



(d) Asymmetric bracing.

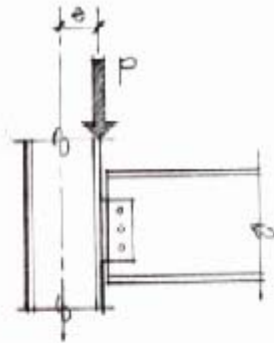
๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

- *centric*
 - *allowable stress from strength or buckling*
- *eccentric*
 - *combined stresses*

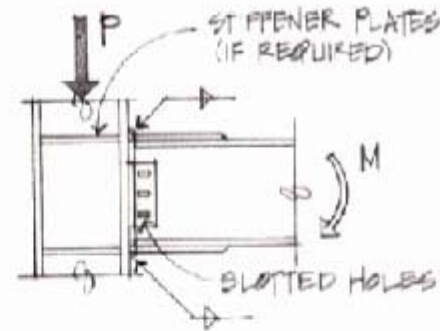


๗ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม(Computer Aid)

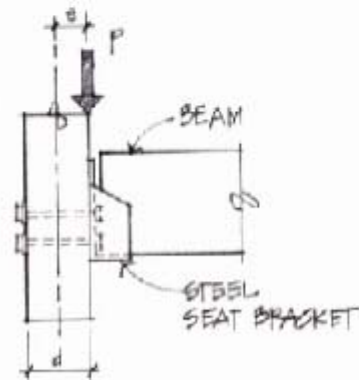
เสริมพันธุ์ เอี่ยมจะบก(475060064-7)



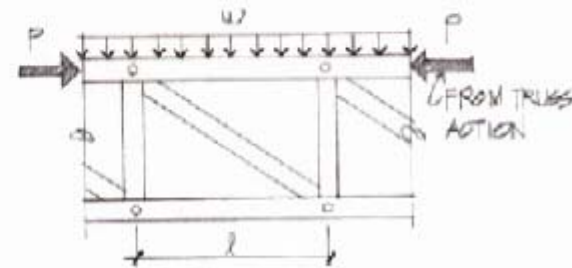
(a) Framed beam (shear) connection.
 $e = \text{Eccentricity}; M = P \times e$



(b) Moment connection (rigid frame).
 $M = \text{Moment due to beam bending}$



(c) Timber beam-column connection.
 $e = d/2 - \text{eccentricity}; M = P \times e$



(d) Upper chord of a truss—compression plus bending.
 $M = \frac{w l^2}{8}$