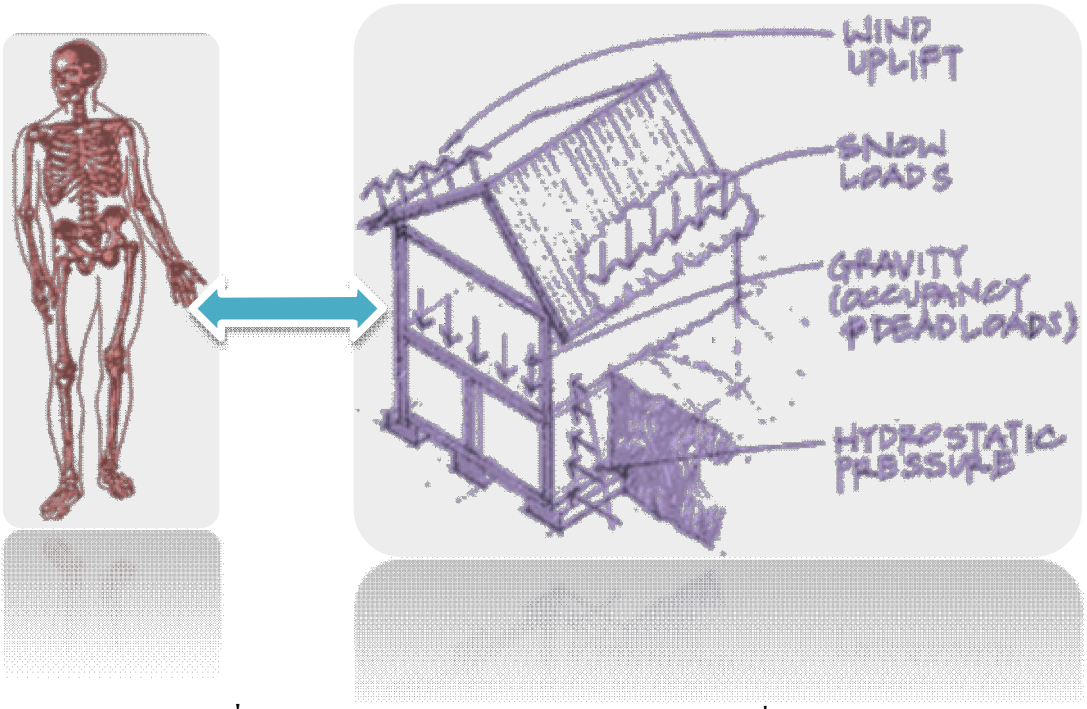
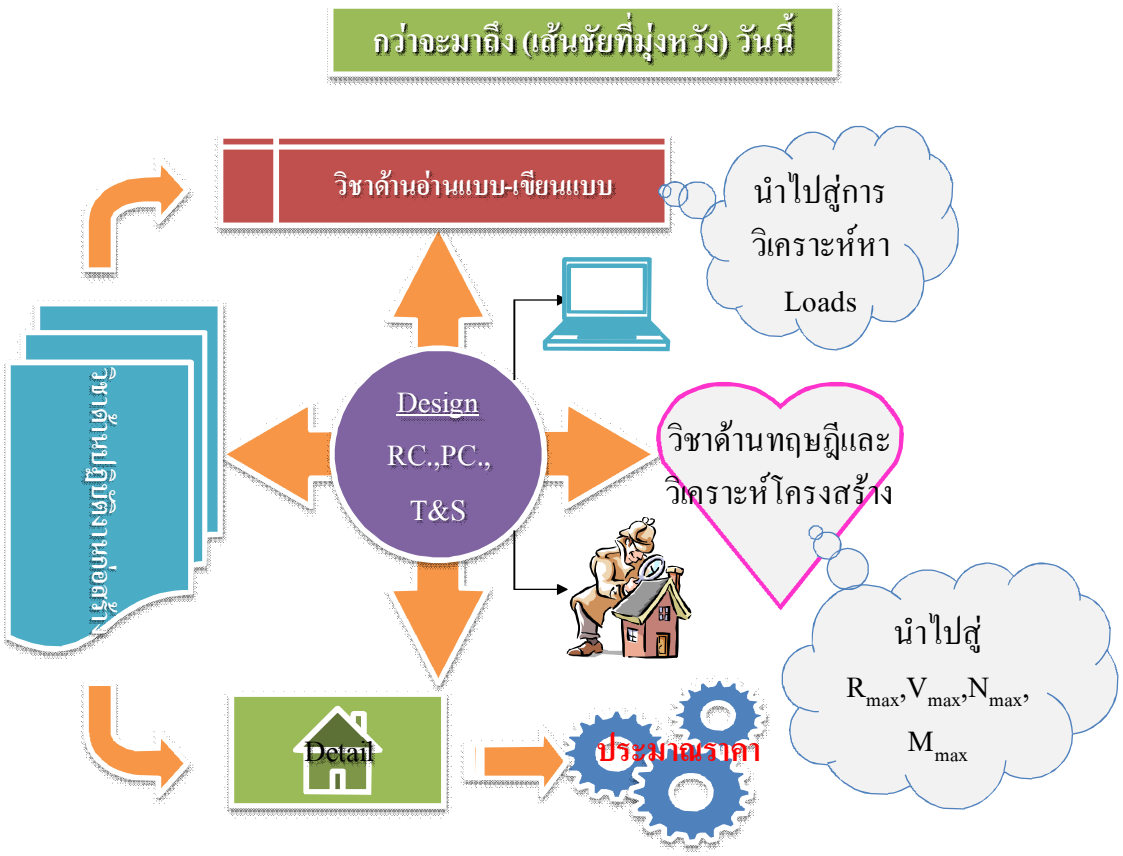
การออกแบบ ในที่นี้หมายถึงการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งก็คือส่วนที่แข็งแรงที่สุดของสิ่งปลูกสร้างทั้งหลาย โดยจะต้องมีทั้งความมั่นคง (Stable) และความแข็งแรง (Strength) ด้วย ซึ่งโดยหน้าที่หลักของส่วนดังกล่าว คือ การพยุง ค้ำ ต้าน และกระจายแรง ดังนั้นความสำคัญ คือ หากส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงสร้างเสียหาย (วิบัติ) อาจนำมาซึ่งความสูญเสียทั้งในส่วนของชีวิต (ส่วนนี้เกี่ยวเนื่องกับกฎหมายอาญา โดยเฉพาะมาตรา 227 และ 238) และในส่วนของทรัพย์สิน (ส่วนนี้เกี่ยวเนื่องกับกฎหมายแพ่ง) สิ่งหนึ่งที่ต้องการชี้ให้เห็นมากกว่าที่เป็น คือ โครงสร้างในส่วนของฐานราก (ซึ่งมักให้ความสำคัญน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งในขั้นตอนของการออกแบบโครงสร้างและการก่อสร้าง) ฐานรากก็เปรียบเสมือนกับขาและฝ่าเท้าของเรา หากพิการหรือขาดหาย การทรงตัวย่อมไม่มั่นคง พร้อมที่จะล้มได้ทุกเมื่อ เฉกเช่นเดียวกับฐานรากรากของโครงสร้างอาคาร

คำถาม!...จากรูปคุณเห็น ?... ที่เหมือนหรือแตกต่างระหว่างมนุษย์กับอาคาร



รูปที่ แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของมนุษย์กับสิ่งปลูกสร้าง

ขั้นตอนหลักในการออกแบบโครงสร้าง ทั้งในส่วนของการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างคอนกรีตอัดแรง และโครงสร้างไม้และเหล็ก ดังแสดงในรูป



รูปที่ แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

จะเห็นว่าการออกแบบโครงสร้างมีขั้นตอนหลักอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์หาและจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างที่กำลังพิจารณา ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างตามกลุ่มของน้ำหนักบรรทุกที่จัดเพื่อหาแรงปฏิกิริยาและแรงภายในสูงสุด และขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างโดยใช้แรงภายใน ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ขั้นตอนต้องอยู่ภายใต้กรอบของมาตรฐานการออกแบบ มีทั้งส่วนที่เป็นข้อกำหนด (วสท.) และส่วนที่เป็นกฎหมาย (เทศบัญญัติ กทม.) ซึ่งว่าด้วยหน่วยแรงที่ยอมให้ใช้ของวัสดุเป็นหลัก

รูปที่ แสดงขั้นตอนหลักของการออกแบบโครงสร้าง

❶ มาตรฐานเหล็กโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่นิยมใช้

ซึ่งก็คือเกรดหรือชั้นคุณภาพของเหล็กรูปพรรณ โดยในแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานในการแบ่งชั้นคุณภาพเพื่อการออกแบบที่แตกต่างกันออกไป เช่น (หมายเหตุ 1 MPa = 10.19716 Kg./cm.^{2})

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

ที่นิยมใช้มากในงานออกแบบและก่อสร้างมีอยู่ 2 เกรด คือ

- A-36 (Carbon Steel : Fy = 250 MPa)
- A-572 (High-Strength Low-Alloy Steel : Fy = 345 MPa)

2. JIS. (Japanese Industrial Standards)

ที่นิยมใช้มากในงานออกแบบและก่อสร้างมีอยู่ 2 เกรด คือ เกรด SS ใช้สำหรับโครงสร้างรองหรือโครงสร้างชั่วคราว และเกรด SM ใช้สำหรับโครงสร้างหลักทั่วๆไป

- SS-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-570 (Fy : 460 MPa)

3. TIS. (Thai Industrial Standards: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, มอก.) ได้ทำการจัดหมวดของผลิตภัณฑ์เหล็กโครงออกเป็น 3 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1. เหล็กเส้นแบนและเหล็กเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตัน (มอก. 55)

- มีหน่วยแรงดึงที่จุดคลากต่ำสุด (Fy) = 2,400 ksc.
- มีหน่วยแรงดึงที่จุดคลากสูงสุด (Fy) = 3,900 ksc.

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

- HS41: Fy = 2,400 ksc. ; Fu = 4,100 ksc. ; δ = 23%
- HS50: Fy = 3,200 ksc. ; Fu = 5,000 ksc. ; δ = 23%

ประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปกลมกลวง , สี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวง , สี่เหลี่ยมผืนผ้ากลวง

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

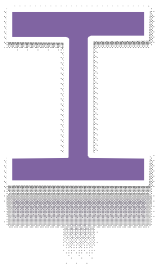
- Fe24: Fy = 2,400 ksc. ; Fu = 4,100 ksc. ; δ = 23%
- Fe30: Fy = 3,000 ksc. ; Fu = 5,000 ksc. ; δ = 23%

ประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปเหล็กฉาก , รูปตัวซี , รูปรางน้ำ , รูปตัวไอ , รูปตัวเอช

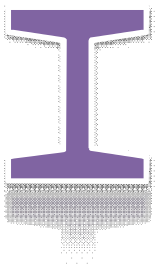
มาตรฐานของเราในปัจจุบัน (2550) ในการแบ่งเกรดก็คล้ายๆกับมาตรฐานของ JIS. ที่นิยมใช้มากในงานออกแบบและก่อสร้างประกอบด้วย

- SS-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-570 (Fy : 460 MPa)

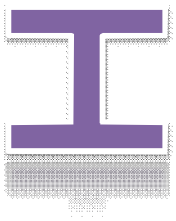
ตามมาตรฐานของ AISC. แบ่งหน้าตัดเหล็กไว้ดังนี้ W Shape = Wide Flange Shapes , M Shape = Miscellaneous Shapes , S Shape = I = American Standard , HP Shape = H-Piles , C Shape = American Standard Channels , MC Shape = Miscellaneous Channel , WT Shape = Wide Flange Tees , MT Shape = Miscellaneous Tees , ST Shape = American Standard Tees , TS Shape = Tube Steel , P Shape = Pipe , PX Shape = Extra Strong Pipe , PXX Shape= Double-Extra Strong Pipe , L Shape = Angles , 2L Shape = Double Angles…(W Shape = M Shape) ดังแสดงในรูปที่ 1.8



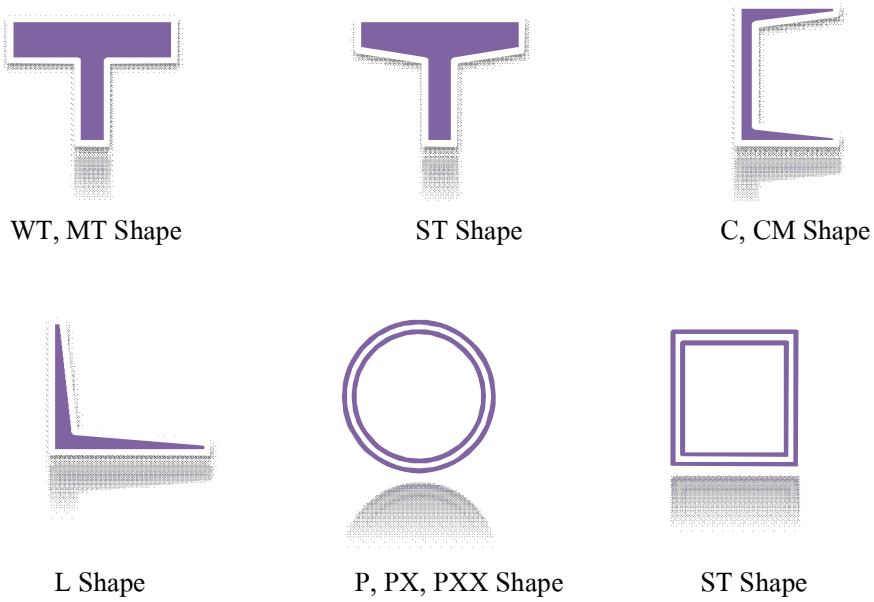
W, M Shape



I, S Shape



HP Shape



รูปที่ แสดงรูปทรงของหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณตามมาตรฐานของ AISC.

❷ หน่วยแรงที่ยอมให้ในการออกแบบ

ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆนั้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับหน่วยแรงที่ยอมให้เท่านั้น โดย

1.หน่วยแรงตามแนวแกน

- หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ fs = 0.60Fy ksc.
- หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ fs = 0.60Fy ksc.

2.หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ fv = 0.40Fy ksc.

3.หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ fb = 0.60Fy ksc.

❸ วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุก (Load)

ในสภาพความเป็นจริงหรือโครงสร้างจริงนั้น น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างมีอยู่ด้วยกันในหลายรูปแบบและหลายลักษณะ ทั้งนี้โดยภาพรวมแล้วขึ้นอยู่กับลักษณะหรือประเภทของโครงสร้าง สภาพการใช้งานของโครงสร้าง สภาพและลักษณะภูมิประเทศของแต่ละท้องที่ ดังนั้นค่าของน้ำหนักในเชิงตัวเลขที่กระทำต่อโครงสร้างก็จะแตกต่างกันออกไปมากบ้างน้อยบ้าง ตามมาตรฐานของแต่ละท้องที่ที่ได้มีการบันทึก เก็บสถิติ หรือจากการรวบรวมวิจัยจากหลายๆหน่วยงาน และได้มีการยอมรับและใช้

กันทั่วๆไปเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน ดังนั้นในที่นี้ผู้เขียนจึงได้ทำการจำแนกน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ

น้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load; DL.) คือ น้ำหนักที่ถูกยึด ฝัง หรือตรึงให้อยู่กับที่(โครงสร้าง) รวมถึงน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง (Self Weight; SW.)

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load; LL.) คือ น้ำหนักที่ไม่ถูกยึด ฝัง หรือตรึงให้อยู่กับที่ (โครงสร้าง) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายหรือเคลื่อนไหวได้โดยง่าย ทั้งที่เคลื่อนที่โดยธรรมชาติเองหรือโดยการใส่กำลังงานให้โดยมนุษย์

กลุ่มที่ 1 น้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load; DL.) ประกอบด้วย

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

- คอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 2,400 x กว้าง (ม.) x หนา (ม.) ; กก./ม. หรือ kg./m.
- คอนกรีตอัดแรง SW. = 2,450 x กว้าง(ม.) x ความหนาพื้น(ม.) ; กก./ม. หรือ kg./m. + 2,400 x กว้าง (ม.) x ความหนา topping (ม.) ; กก./ม. หรือ kg./m.
- บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 12 x ความสูงลูกตั้ง (ซม.) + $\frac{24 \times \text{ความหนา(ซม.)}}{\text{ลูกนอน(ซม.)}} \times \sqrt{\text{ลูกนอน(ซม.)}^2 + \text{ลูกตั้ง(ซม.)}^2}$; กก./ตร.ม./ม. หรือ กก./ม.
- คานคอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 2,400 x กว้าง (ม.) x ลึก (ม.); กก./ม. หรือ kg./m.
- ผนัง-ครีบ 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.
- หมายเหตุ : จากที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าหากเป็นวัสดุอย่างอื่น เช่น ไม้ เหล็ก ก็สามารถหาน้ำหนักได้โดยการ คูณหน่วยน้ำหนักของวัสดุกับขนาดหรือมิติของโครงสร้างนั้นๆ
- โครงหลังคา (Truss) แบ่งออกเป็น

1. โครงหลังคาเหล็ก
   - 1.024 x ความยาวโครงถักวัดจาก ปลาย ถึง ปลาย (ม.); กก./ตร.ม.
   - $\frac{\text{ความยาวโครงถัก(ม.)}}{3} + 5$; กก./ตร.ม.
   - ประมาณ 7% - 15% ของน้ำหนักบรรทุก
2. โครงหลังคาไม้

- θ > 30 องศา; 1.024 x ความยาวโครงถักวัดจาก ปลาย ถึง ปลาย(ม.) ; กก./ตร.ม
- θ < 30 องศา; 0.688 x ความยาวโครงถักวัดจาก ปลาย ถึง ปลาย (ม.) + 8.54 กก./ตร.ม.

2. น้ำหนักประกอบ: เป็นน้ำหนักที่ถูกนำมา เกาะ ยึดหรือตรึงเข้ากับตัวโครงสร้าง ส่วนการเลือกใช้ว่าจะมีขนาดของน้ำหนักเท่าใดนั้น มีทั้งอ่านจากตารางที่เป็นที่ยอมรับ อ่านจากแค็ตตาล็อก คำนวณหาจากสมการ Empirical ต่างๆรวมไปถึงการใช้โดยกำหนดขึ้นจากประสบการณ์ของแต่ละท่าน ซึ่งโดยรวมแล้วตัวเลขที่ว่ามามักจะเป็นค่าโดยประมาณ เช่น

- ราวบันได ราวระเบียง ผนังกั้นห้องสำเร็จรูป ม่าน-มู่ลี่ ระบบงานฝ้าเพดานต่างๆ ประตู-หน้าต่าง(รวมถึง Block Out ต่างๆ) อุปกรณ์ด้านสุขภัณฑ์ ระบบแอร์ต่างๆ งานระบบ Pressure ต่างๆ โทรทัศน์-พัดลม ดวงโคมไฟฟ้าและตู้ควบคุมต่างๆ จานรับสัญญาณดาวเทียม เสาอากาศวิทยุ-โทรทัศน์ ป้ายโฆษณา ถังน้ำสำเร็จรูป ระบบลิฟต์ ระบบเครนและHoist โต๊ะ-เก้าอี่ในส่วนที่ยึดอยู่กับที่(เช่น ห้องเรียน โรงภาพยนตร์ ห้องประชุม ลฯ) ระบบอุปกรณ์ฉายภาพต่างๆ ระบบอุปกรณ์ช่วยระบายอากาศ-ความร้อน-ควันต่างๆ ระบบกันเสียงกันความร้อนกันไฟไหม้ต่างๆ ระบบเครื่องจักรกลต่างๆ ลฯ ตัวเลขที่จะใช้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ รวมถึงแค็ตตาล็อกแนะนำสินค้าต่างๆ
- อุปกรณ์ของงานระบบต่างๆ เช่น ระบบท่องานประปา-สุขาภิบาล-ระบายน้ำ ระบบท่อดับเพลิงต่างๆ ระบบท่อแอร์ ระบบไฟฟ้า(ท่อ+ราง) ระบบท่อแก๊ส ฯล ตัวเลขที่จะใช้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

3. วัสดุตก-แต่งต่างๆ: ดูในตาราง

ตารางที่ แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัวของวัสดุ

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
แผ่นยิปซั่ม	880	กก./ลบ.ม
ปูนฉาบ	1,685	กก./ลบ.ม
ดินทั่วๆไป	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
พื้นไม้หนา 1 นิ้ว รวมตรง	30	กก./ตร.ม
อิฐมอญก่อครึ่งแผ่นฉาบเรียบสองด้าน	180	กก./ตร.ม
อิฐมอญก่อเต็มแผ่นฉาบเรียบสองด้าน	360	กก./ตร.ม
ผนังกระจก	5	กก./ตร.ม
ผนังกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มม.	7	กก./ตร.ม
ผนังกระเบื้องแผ่นเรียบหนา 8 มม.	14	กก./ตร.ม
ผนังอิฐบล๊อกหนา 10 มม.	100	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล๊อก 10 มม.	100 - 150	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล๊อก 15 มม.	170 - 180	กก./ตร.ม
ผนังคอนกรีตบล๊อก 20 มม.	220 - 240	กก./ตร.ม
ฝาไม้ ½” รวมคร่าว	22	กก./ตร.ม
ผนังก่ออิฐบล๊อกแก้วและอิฐมวลเบา	90	กก./ตร.ม
ผนังเซลโลกรีต + ไม้คร่าว	30	กก./ตร.ม
ผนังแผ่นเอสเบสโตลักส์	5	กก./ตร.ม
* กระเบื้องคอนกรีต เช่น ซีแพ็คโมเนียร์ *	50 - 60	กก./ตร.ม

กลุ่มที่ 2 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load; LL.)

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

1. น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร: ดูในตารางที่ (ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่แนะนำให้ใช้ โดยค่าในตารางดังกล่าวได้เผื่อน้ำหนักที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ในกรณีเหตุสุดวิสัยหรือน้ำหนักบรรทุกที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะก่อสร้าง รวมถึงได้เผื่อน้ำหนักเพื่อป้องกันการสั่นไหวของอาคารไว้ด้วย)

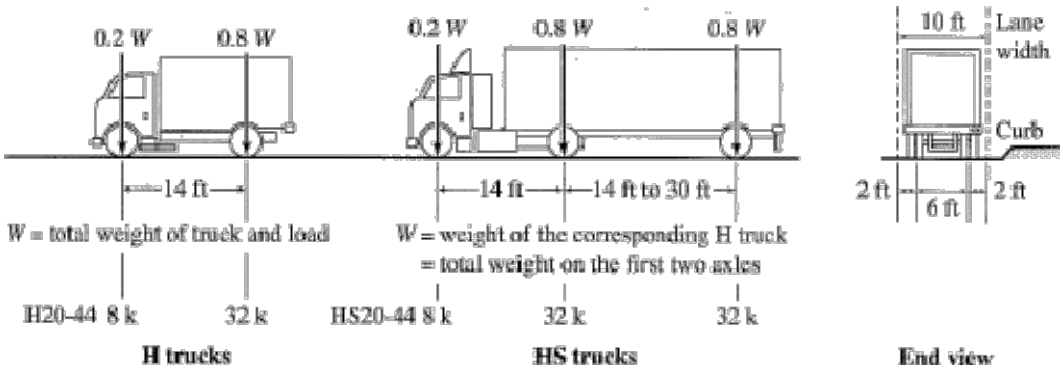
ตารางที่ แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร

ประเภทและส่วนประกอบของอาคาร	**น้ำหนักบรรทุก (กก./ตร.ม.)**
1.หลังคา(ที่มุงด้วยวัสดุแผ่นมุงทั่วๆไป)	30 (50)
2.หลังคาคอนกรีตหรือกันสาด	100
3.ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล รวมถึงห้องน้ำ-ห้องส้วม	150
4.อาคารชุด หอพัก โรงแรม ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อพักอาศัย ห้องคนไข้พิเศษโรงพยาบาล	200
5.อาคารสำนักงาน ธนาคาร	250
6. (ก.)โรงเรียน โรงพยาบาล วิทยาลัย มหาวิทยาลัย อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว และตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ (ข.)ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ อาคารชุด อาคารสำนักงานและธนาคาร หอพัก โรงแรม	300
7. (ก.)ตลาด ภัตตาคาร ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่งหรือรถจักรยานยนต์ (ข.)ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน วิทยาลัย มหาวิทยาลัย	400
8. (ก.)โรงกีฬา อัฒจันทร์ พิพิธภัณฑ์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ (ข.)ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ ตลาด ห้างสรรพสินค้า	500

ภัตตาคาร โรงมหรสพ หอประชุม ห้องประชุม หอสมุดและห้องสมุด	
9.ห้องเก็บหนังสือของหอสมุดหรือห้องสมุด	600
10.ที่จอดหรือเก็บรถบรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800

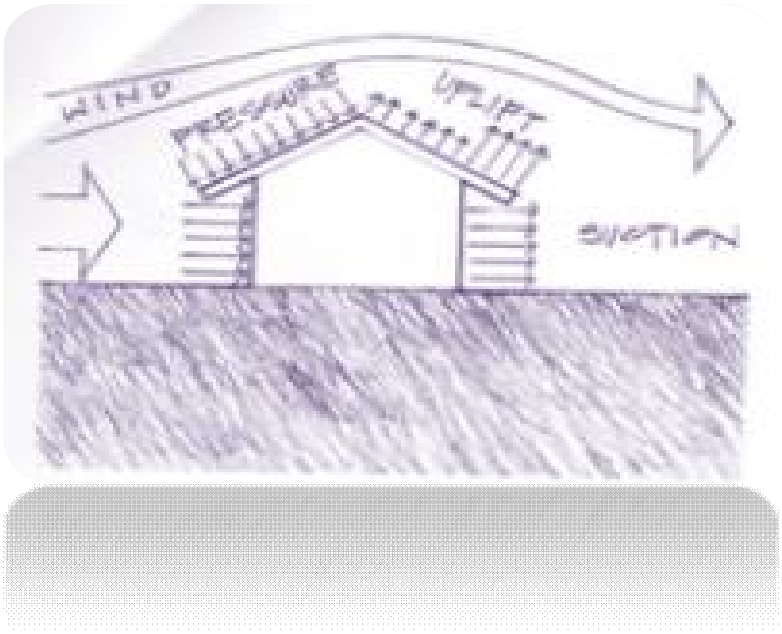
เนื่องจากว่าน้ำหนักบรรทุกจรดังกล่าวมีโอกาสหรือเป็นไปได้น้อยที่จะเกิดขึ้นหรือกระทำพร้อมๆ กันเต็มพื้นที่ที่ออกแบบ ดังนั้นในกรณีของการออกแบบอาคารสูง(23 ม.) จึงมีมาตรฐานออกมาเพื่อลดน้ำบรรทุกจรดังกล่าวลง ทั้งนี้เพื่อให้ค่าที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงให้มากที่สุด

2. น้ำหนักบรรทุกจรบนสะพาน



รูปที่ แสดงน้ำหนักบรรทุกจรเนื่องจากรถบรรทุก

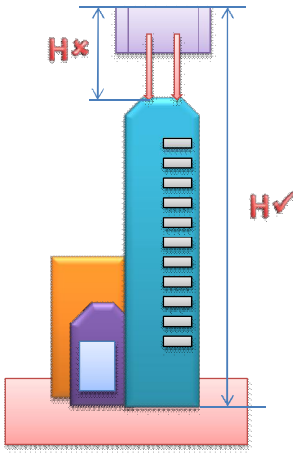
3. แรงลม (Wind Load; WL.)**:** ในกรณีที่การวิเคราะห์โครงสร้างที่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลจากการกระทำของแรงลม ดังแสดงในรูปที่ 1.11 ซึ่งถ้าหากไม่มีผลการทดสอบใดๆหรือไม่มีเอกสารอ้างอิงใดๆที่เป็นที่หน้าเชื่อถือ ให้ใช้ค่าแรงลมตามเทศบัญญัติของ กทม. ดังแสดงในตาราง



รูปที่ แสดงพฤติกรรมของแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง

ตารางที่ แสดงเทศบัญญัติ กทม . พ.ศ. 2522 ว่าด้วยเรื่องแรงลม

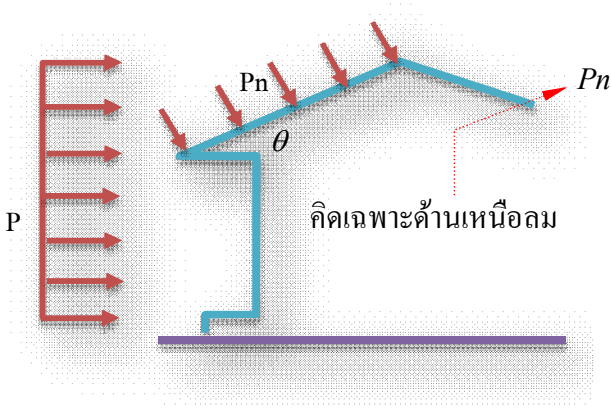
ความสูงของอาคาร/ ส่วนประกอบอาคาร	**หน่วยแรงลมที่ใช้ ต่ำสุด (กก./ตร.ม.)**
สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
สูงอยู่ในช่วง 10 – 20 เมตร	80
สูงอยู่ในช่วง 20 – 40 เมตร	120
สูงกว่า 40 เมตร	160
หมายเหตุ: ความสูงดังกล่าววัดจากพื้นผิวโลก	



หมายเหตุ

- ค่าของแรงลมที่แสดงในตาราง เป็นแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง “รูปทรง 4 เหลี่ยม” เท่านั้น
- แรงลมดังกล่าวเป็นแรงลมที่กระทำในแนว “ตั้งฉาก” กับตัวโครงสร้างเท่านั้น
- หากโครงสร้างใดวางขวางทิศทางลมและอยู่ในที่โล่ง การเลือกใช้ค่าแรงลมควร
- เพิ่มค่าแรงลมดังกล่าวให้มากกว่าค่าที่แสดงในตารางตามสภาพพื้นที่และตามความเหมาะสม

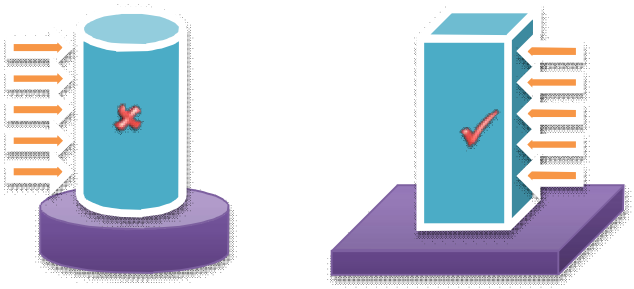
- ปัจจุบัน วสท. ได้ออกมาตรฐานแรงลมมาใหม่
- กรณีที่แรงลมกระทำไม่ตั้งฉากกับโครงสร้างที่ต้องการออกแบบ จะต้องทำการแตกแรงลมให้มาอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับโครงสร้างนั้นๆก่อน แล้วถึงจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายใน เช่น การออกแบบแปโครงหลังคา



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

เมื่อ P = แรงลมตามเทศบัญญัติ กทม.

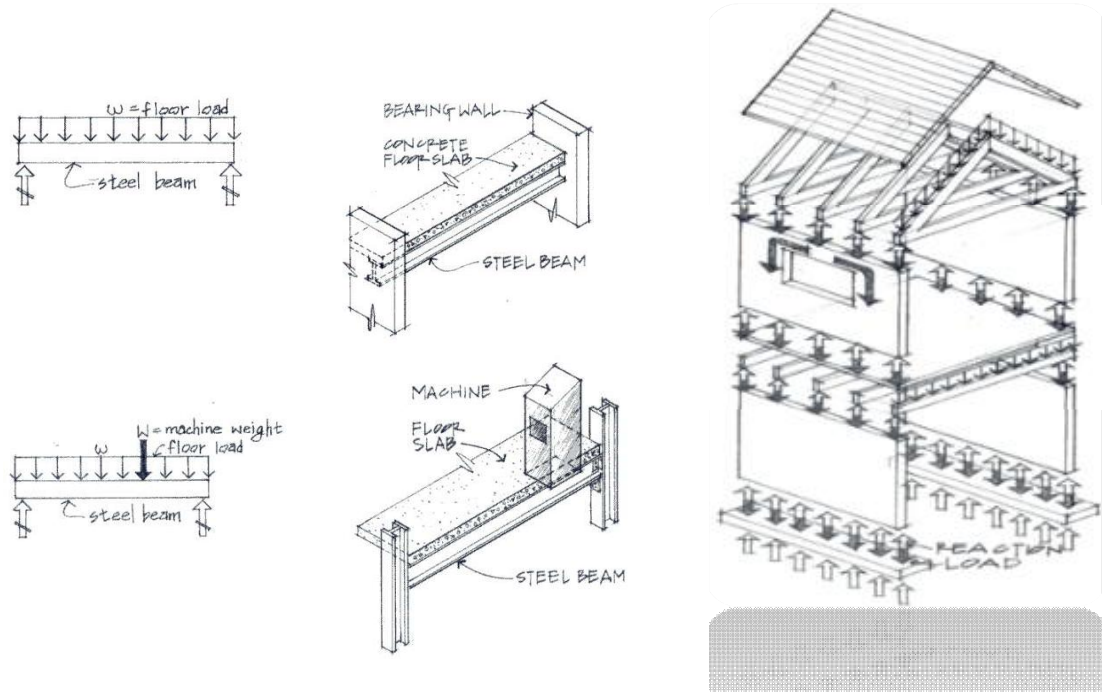
θ = ความชันของหลังคา; องศา



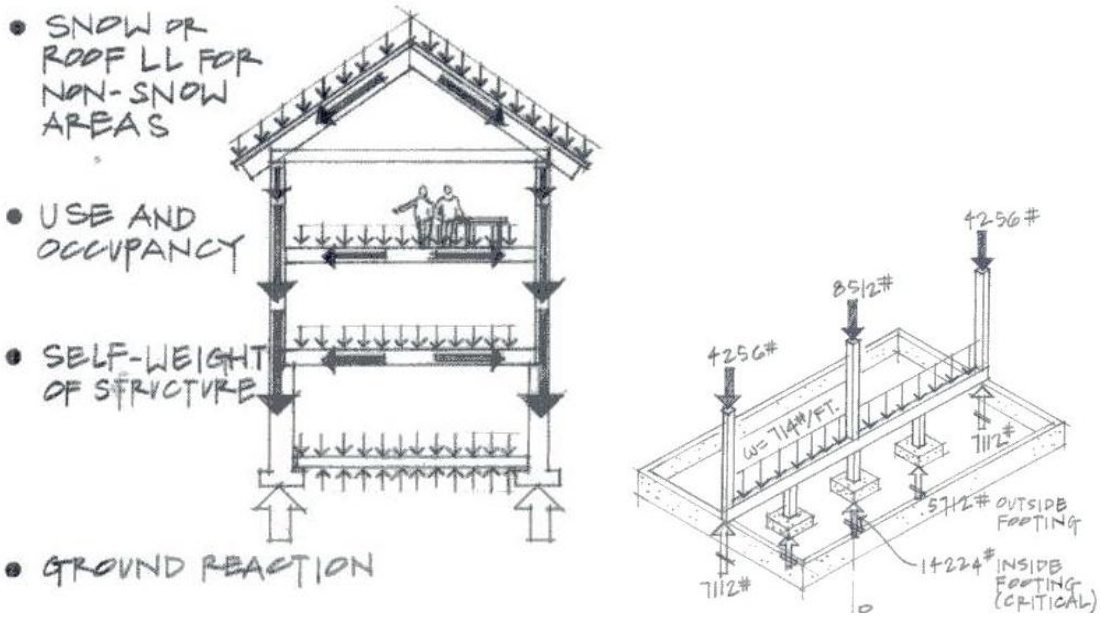
รูปที่ แสดงการกระทำของแรงลมต่ออาคาร

4 ระบบการส่งถ่ายแรง (Load Path)

หากไม่มีอะไรเป็นพิเศษ ลำดับของการส่งถ่ายแรงจะเป็นไปตามตัวอย่างแบบจำลองข้างล่างนี้คือ จากชิ้นส่วน (Member) ที่อยู่บนสุด (หรือปกติคือชิ้นส่วนที่ก่อสร้างหลังสุด) ไปยังชิ้นส่วนที่รองรับหรืออยู่ล่างสุด (หรือปกติคือชิ้นส่วนที่ก่อสร้างแรกสุด) ดังแสดงในรูป



รูปที่ แสดงแบบจำลองการส่งถ่ายแรงในองค์อาคารเมื่อมีแรงกระทำในแนวดิ่ง



รูปที่ แสดงแบบจำลองการส่งถ่ายแรงในองค์อาคารเมื่อมีแรงกระทำในแนวดิ่ง (ต่อ)

❺ การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการออกแบบ

1.การวิเคราะห์โดยละเอียด

สามารถศึกษาในรายละเอียดได้ในตำราด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง หรือใช้โปรแกรมด้านการวิเคราะห์โครงสร้างเข้าช่วย ข้อดีคือได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า ข้อเสียคือใช้เวลาที่มากกว่า (โดยเฉพาะเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการคำนวณมือ)

2.การวิเคราะห์โครงสร้างโดยประมาณ

วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโดยประมาณนั้น (มักนิยมใช้ในกรณีของคานช่วงเดียวอย่างง่าย) ซึ่งนอกจากจะช่วยทำให้กระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างมีความง่ายขึ้นแล้ว ยังก่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็ว โดยอาศัยการใช้สูตรสำเร็จผนวกกับหลักการรวมผล (Superposition) ดังนี้

2.1 วิธีการแทนค่าคงที่ (ค่าสัมประสิทธิ์ของแรง) ลงในสูตรสำเร็จ

โดยการแอ่นตัวของคานหาได้จาก

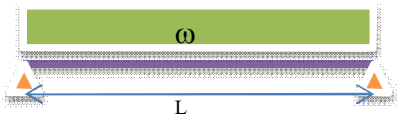
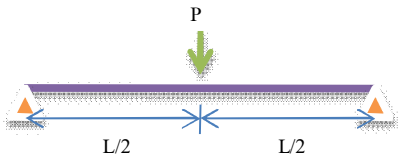
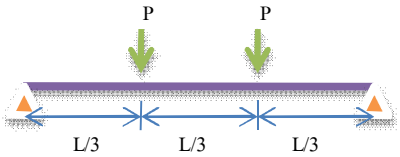
$$\Delta = D[\frac{PL^3}{IE}]$$

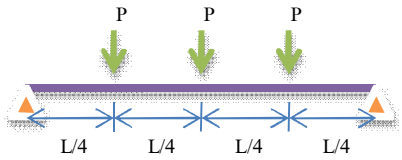
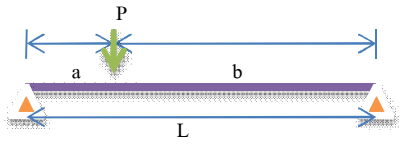
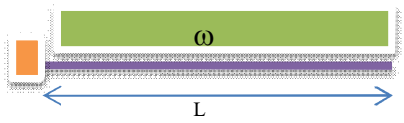
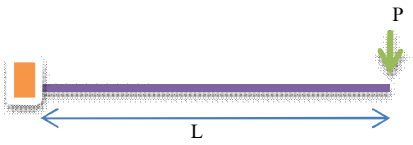
โดยโมเมนต์ดัดหาได้จาก

$$M = C[PL]$$

หมายเหตุ: ในกรณีของน้ำหนักแผ่กระจาย ต้องค่า P ด้วย ωL

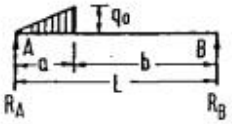
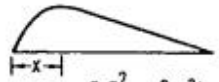
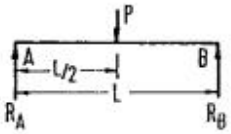
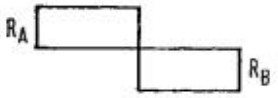
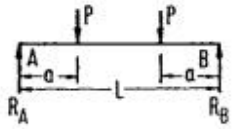
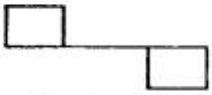
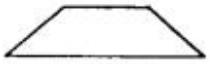
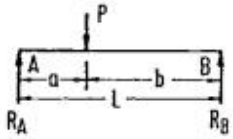
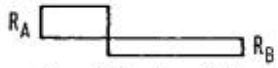
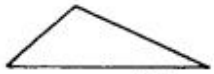
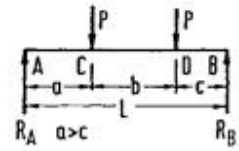
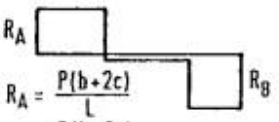
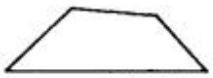
ตารางที่ แสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับใช้ในสมการสำเร็จรูปเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดและการแอ่นตัว

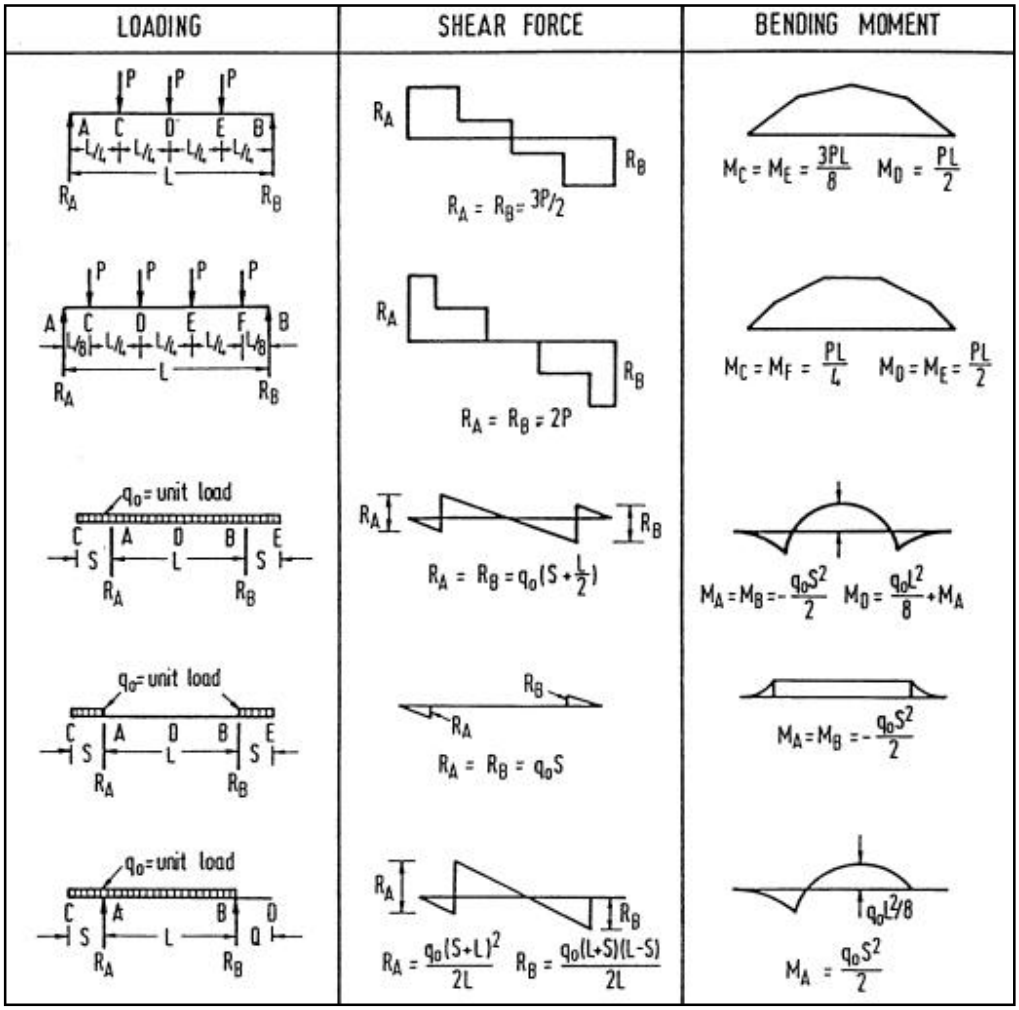
รูปแบบของคานและการรับแรง	C	D
	1/8	5/384
	1/4	1/48
	1/3	23/648

	1/2	19/384
	$ab/L^2(9\sqrt{3})$	$(a/L)[1-(a^2/L^2)]^{3/2}$
	1/2	1/8
	1	1/3

2.2 วิธีการแทนค่าลงในสูตรสำเร็จ

ดังแสดงในตาราง

LOADING	SHEAR FORCE	BENDING MOMENT
	$R_A = \frac{q_0 a}{2}(1-\frac{2s}{3})$ $R_B = \frac{q_0 a}{3} s$	 $M_{max} = \frac{q_0 a^2}{3}(1-\frac{2s}{3})^{3/2}$ when $x = a\sqrt{1-\frac{2s}{3}}$
	 $R_A = R_B = \frac{P}{2}$	$M_{max} = \frac{PL}{4}$
	 $R_A = R_B = P$	 $M_{max} = Pa$
	 $R_A = Pb/L \quad R_B = Pa/L$	 $M_{max} = \frac{Pab}{L}$
	 $R_A = \frac{P(b+2c)}{L}$ $R_B = \frac{P(b+2a)}{L}$	 $M_C = \frac{Pa(b+2c)}{L}$ $M_D = \frac{Pc(b+2a)}{L}$



❻ การออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ (โดยวิธี ASD.)

1. การออกแบบแป

1.1 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

- ความยาวจริงตามแนวแกน (L; m.)
- ความลาดเอียงของโครงหลังคา (θ)
- ชั้นคุณภาพของเหล็กที่เลือก (ทราบค่า Fy และ Fu; ksc.)
- โหลดที่กระทำซึ่งได้จากการวิเคราะห์
- แรงรวมที่กระทำในแนวดิ่ง = ω

$\omega x = \omega Sin\ (\theta)$

$\omega y = \omega Cos\ (\theta)$

$Mx = \omega Cos\theta L^2/8$

$My = \omega Sin\theta L^2/8$

ในการออกแบบแปหากมีการใส่เหล็กท่อนกันโก่งโมเมนต์ในแนวแกน y ที่จะนำไปตรวจสอบหน่วยแรงดัดหาได้ดังนี้

$My = \omega Sin\theta L^2/8$ เมื่อไม่ใส่เหล็กท่อนกันโก่ง

$My = \omega Sin\theta L^2/32$ เมื่อใส่เหล็กท่อนกันโก่งที่กลางช่วงแป

$My = \omega Sin\theta L^2/175$ เมื่อใส่เหล็กท่อนกันโก่งที่ระยะทุกๆ L/3

1.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หาค่าโมดูลัสหน้าตัดเหล็กจาก $S \geq \frac{100 * M}{0.60Fy}$ นำไปเปิดตารางเพื่อเลือกขนาดหน้าตัดเหล็ก

1.3 ตรวจสอบขนาดเหล็กที่เลือกจากตาราง คือ

หน่วยแรงดัด $[f_{bx}/0.60F_b] + [f_{by}/0.75F_b] \leq 1.0$

เมื่อ $f_{bx} = Mx/Sx$

$f_{by} = My/Sy$

ค่าการแอ่นตัว $(\Delta y) \leq L/360$

2. การออกแบบเหล็กท่อนกันโก่ง (Sag rod): ถ้ามี

ในกรณีที่แปมีระยะของการวางพาดยาว สามารถลดการดุ่งหรือแอ่นตัวในแนวแกนรองของแปลงได้ โดยการใส่เหล็กท่อนกันโก่ง

2.1 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

- จำนวนแปต่อด้านของหลังคา (N)
- ความยาวจริงตามแนวแกน (L; m.)
- ระยะห่างระหว่างเหล็กท่อนกันโก่ง (@; m.)
- ชั้นคุณภาพของเหล็กที่เลือก (ทราบค่า Fy; ksc.)
- โหลดซึ่งได้จากการวิเคราะห์

2.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กจาก

$As = [(\omega Sin\theta)(N@)]/[0.60Fy]$; ตร.ซม. เลือกขนาดของเหล็ก

ตรวจสอบ

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{\frac{\emptyset}{4}} = \frac{4L}{\emptyset} \leq 300$$

หมายเหตุ: 1. ตามมาตรฐานของ AISC ให้ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุด 5/8 นิ้ว ส่วนบ้านเรานิยมจับใส่ เช่น RB 6 mm. หรือ RB 9 mm.

3. การออกแบบโครงสร้างรับแรงดึง (ต่อด้วยการเชื่อม)

3.1 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

- ความยาวจริงตามแนวแกน (L; m.)
- ชั้นคุณภาพของเหล็กที่เลือก (ทราบค่า Fy และ Fu; ksc.)
- โหลดหรือแรงดึง (Ft; kg.) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์
- ลักษณะของการต่อเชื่อม (โดยการเชื่อมหรือด้วยน๊อต)

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กจาก 2 สมการ (ใช้ค่ามากสุดไปออกแบบ)

$$As \geq \frac{Ft}{0.60Fy}$$

$$As \geq \frac{Ft}{0.50Fu}$$

นำไปเปิดตารางเพื่อเลือกขนาดหน้าตัด

ตรวจสอบขนาดเหล็กที่เลือกจากตาราง 2 ส่วนคือ

$$[060Fy][As'] \geq Ft$$

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{(1)L}{r_{min}} \leq 240$$ (240 สำหรับโครงสร้างหลัก; 300 สำหรับโครงสร้างรอง)

หมายเหตุ : As' (พื้นที่หน้าตัดเหล็กที่เลือก) และ rmin (รัศมีไจเรชั่นเหล็กที่เลือก) เป็นค่าคุณสมบัติของเหล็กที่ได้จากการเปิดตาราง

4. การออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด

4.1 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

- ความยาวจริงตามแนวแกน (L; m.)
- ชั้นคุณภาพของเหล็กที่เลือก (ทราบค่า Fy และ Fu; ksc.)
- โหลดหรือแรงอัด (Fc; kg.) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์
- ลักษณะของการยึดที่ปลายหัว-ท้าย (จากเงื่อนดังกล่าวไขนำไปหาค่า K ได้จากตาราง)

4.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กจาก

$$As \geq \frac{Fc}{[0.50 \text{ ถึง } 0.60]Fy}$$ นำไปเปิดตารางเพื่อเลือกขนาดหน้าตัด

ตรวจสอบขนาดเหล็กที่เลือกจากตาราง 2 ส่วนคือ

$$Fac * As' \geq Fc$$

และจากเงื่อนไขของการยึดที่ปลายหัว-ท้าย เปิดตารางหาค่า K

$$\frac{KL}{r_{min}} \leq 200$$ (200 สำหรับโครงสร้างหลัก; 240 สำหรับโครงสร้างรอง)

โดยค่า Fac หาได้จากการเปรียบเทียบค่าของ $\frac{KL}{r_{min}}$ & $\sqrt{\frac{2Es\pi^2}{Fy}}$ โดย

$$\frac{KL}{r_{min}} < \sqrt{\frac{2Es\pi^2}{Fy}} \Rightarrow Fac = \frac{[1-\frac{1}{2}\left(\frac{\frac{KL}{r_{min}}}{\sqrt{\frac{2Es\pi^2}{Fy}}}\right)^2]Fy}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{\frac{KL}{r_{min}}}{\sqrt{\frac{2Es\pi^2}{Fy}}}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{\frac{KL}{r_{min}}}{\sqrt{\frac{2Es\pi^2}{Fy}}}\right)^3}$$

$$\frac{KL}{r_{min}} \geq \sqrt{\frac{2Es\pi^2}{Fy}} \Rightarrow Fac = \frac{12\pi^2 Es}{23(\frac{KL}{r_{min}})^2}$$

หมายเหตุ : Es = $2.04*10^6$ ksc (หรือ $2.10*10^6$), As' (พื้นที่หน้าตัดเหล็กที่เลือก) และ rmin (รัศมีไจเรชั่น) เป็นค่าคุณสมบัติของเหล็กที่ได้จากการเปิดตาราง

ตารางค่า K ของการออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด

	(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				

5. การออกแบบโครงสร้างรับแรงดัด

5.1 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

- ความยาวจริงตามแนวแกนระหว่างจุดรองรับ (L; m.)
- ระยะค้ำยันจริง (Lb; m.)
- ชั้นคุณภาพของเหล็กที่เลือก (ทราบค่า Fy และ Fu; ksc.)

วิเคราะห์หาค่า แรงปฏิกิริยา (R; kg.), โมเมนต์ (M; kg.-m.), แรงเฉือน (V; kg.) และ ค่าการเสียรูป (ในที่นี้เน้นที่การเสียรูปเชิงเส้น; Δ)

5.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หาค่าโมดูลัสหน้าตัดเหล็กจาก $S \geq \frac{100 * M}{0.60Fy}$ นำไปเปิดตารางเพื่อเลือกขนาดหน้าตัดเหล็ก

5.3 ตรวจสอบขนาดเหล็กที่เลือกจากตาราง 3 ส่วนคือ

$$\Delta \leq \frac{100 * L}{360}$$

$$v = \frac{V}{dt_w} \leq 0.40Fy$$

$$Mall \geq Sx * Fb'$$

โดยค่า Fb' หาได้จากการเปรียบเทียบค่าของระยะค้ำยันจริง (Lb; m.) กับระยะค้ำยันที่ยอมให้ต่ำสุด $Lc = \frac{637.2bf}{\sqrt{Fy}}$ และสูงสุด $Lu = \frac{1406000Af}{dFy}$

ถ้าระยะ Lb < Lc ให้ใช้ Fb' = (0.60 ถึง 0.66) Fy หรือใช้ค่าจากสมการตามข้อกำหนด

ถ้าระยะ Lc < Lb < Lu ให้ใช้ Fb' = 0.60Fy

ถ้าระยะ Lb > Lu ให้ใช้ Fb' $\leq$ 0.60Fy หรือใช้ค่าจากสมการตามข้อกำหนด