การออกแบบอาคารพักอาศัย

อาคารพักอาศัยในที่นี้จะกล่าวเฉพาะบ้านพักอาศัยขนาดใหญ่ แต่ไม่รวมถึงอพาร์ตเมนต์หรือคอนโดมิเนียม โรงแรม เนื่องจากบ้านพักอาศัยจะมีชิ้นส่วนพื้นฐานที่ครบถ้วนหากเข้าใจและออกแบบบ้านพักอาศัยได้แล้ว การออกแบบอาคารขนาดใหญ่ก็ไม่ใช่เรื่องยาก

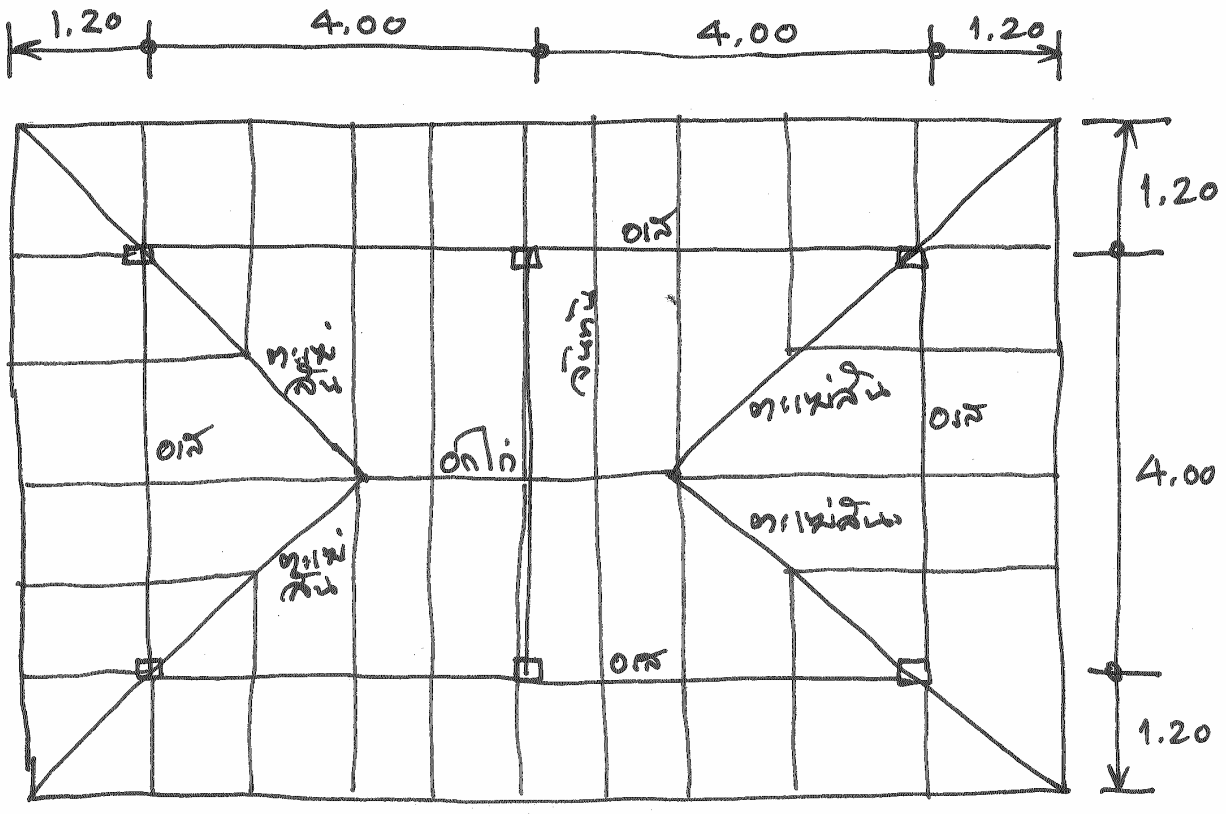
อาคารพักอาศัยที่ใช้เป็นตัวอย่างนี้จะมีระบบโครงสร้างเป็นผนังคานเสาธรรมดา มีหลักคิดโครงสร้างเหล็ก หลักการออกแบบที่สำคัญ คือ "ออกแบบจากส่วนที่ฝากไปหาผู้รับฝาก" เช่น.

หลังคา การเมื่อง ฝากบนแป(หรือระแนง) แปฝากบนจันทัน จันทันฝากบนอเส,อกไก่, ตะเข้สัน ตะเข้ราง อกไก่, ตะเข้สันตะเข้ราง ฝากบนตั้ง ตั้งฝากบนขื่อ อเส, ขื่อฝากบนเสา

โครงสร้างรับ คสล. พื้น และ ผนังใด ฝากบนคาน คานย่อย ฝากบนคานหลัก คาน ฝากบนคานหรือเสา เสาฝากบนฐานราก

พื้นคงมีที่ใช้ ว่าที่ควรจะทบทวน การออกแบบ คือ กลศาสตร์ของวัสดุ, กำลังวัสดุ, ทฤษฎีโครงสร้าง และ การวิเคราะห์โครงสร้าง, การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก, การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยผสมผสานความรู้ที่ได้มาทั้งหมด ร่วมกับความคิดสร้างสรรค์ เป็นผลการออกแบบ

การออกแบบโครงหลังคา



การออกแบบหลังคาหรือระแนง

อัตราส่วน ถ้าเป็นกระเบื้องคอนกรีต เช่น MONIA ระยะวัสดุแผ่นระแนงห่างกันประมาณ 0.30 m และลอนกันห่างกันไม่เกิน 1 m หากใช้ระแนงสำเร็จรูป ลอนกันห่างกันไม่เกิน 0.80 m มุมเอียง $\geq 35^\circ$

น้ำหนักบรรทุกจร ทั่วไป (กฎกระทรวงฯ 6) 30 kg/m^2 แต่ใน กทม. 50 kg/m^2

น้ำหนักกระเบื้อง	54	kg/m^2
น้ำหนักระแนง	15	kg/m^2
น้ำหนัก sarking	6	kg/m^2

สำหรับ sarking เป็นเหล็กเคลือบสีลอนตื้นเหลี่ยมคม หมุดอยู่ที่ตัวระแนง เพื่อรองรับน้ำหนักที่ส่งจากกระเบื้อง ทั้งยังป้องกันลมตีกระเบื้องเปิดด้วย

สมมติจะออกแบบระแนงสำหรับกระเบื้องคอนกรีต ดังนี้

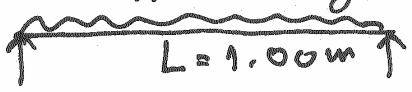
น้ำหนักบรรทุกสด	50	kg/m²
น้ำหนักกระเบื้อง	54	kg/m²
น้ำหนักระแนง	15	kg/m²
น้ำหนัก sarking	6	kg/m²
น้ำหนักรวม w_1 =	125	kg/m²

x = ระยะเรียงของระแนง = 0.30 m

$w = w_1 x = 125 \times 0.30 =$ 37.5 kg/m

w = น้ำหนักแผ่บนระแนง 1 ตัว

L = ระยะห่างระหว่างจันทัน = 1.00 m



แม้ว่าระแนงจะเป็นคานต่อเนื่องที่มี span เท่ากัน แต่ M^- ที่จันทันตัวที่สองจะมีค่า $\frac{wL^2}{8}$ เหมือน simple beam ดังนี้น

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{37.5 \times 1.00^2}{8} = 4.6875 \text{ kg.m}$$

$$S = \frac{100M}{F_b} = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 4.6875}{0.6 \times 2400} = 0.33 \text{ cm}^3$$

S = section modulus ของหน้าตัด

เหล็ก Light guage $1'' \times 1''$ หนา 0.047 นิ้ว (1.2 mm)
มี $Z = 0.0535\ in.^3 \times 2.54^3 = 0.8767\ cm^3 > 0.33\ cm^3$ ใช้ได้

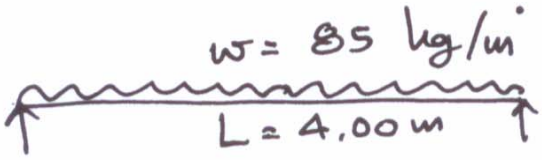
เลือกใช้ระแนง ☒ - $1'' \times 1'' \times 1.2$ mm. @ 0.30 m.

การมีวัสดุมุง การเผื่อลอน (เล็ก, ใหญ่, คู่) ในปัจจุบัน แนะนำใช้กระเบื้องลอนคู่ ซึ่งมีการใช้ตัวและแตกยากกว่าลอนเล็ก ลอนใหญ่ ความยาวกระเบื้อง 1.20 m ระยะเกยของกระเบื้อง 0.20 m. แปเสี้ยงห่างกัน 1.00 m มุมเอียงหลังคา $\geq 15°$ น้ำหนักกระเบื้อง 15-25 kg/m^2 สำหรับกระเบื้องลอนคู่ หนา 5 mm. ควรใช้ 20 kg/m^2

ออกแบบแป รองรับกระเบื้องลอนคู่ ระยะห่างแป 1.00 m ระยะห่างจันทัน (โครงหลังคา) 4.00 m. ใช้แปตัว [ตามมาตรฐานก่อสร้างในต่างจังหวัดที่ใช้กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 6 มีดังนี้

น้ำหนักบรรทุกจร (กฎกระทรวงฯ 6)	30	kg/m^2
กระเบื้องลอนคู่	20	kg/m^2
แป	10	kg/m^2
ฝ้า + ตะล่าฝ้า	25	kg/m^2
น้ำหนักบรรทุกรวม $w_1 =$	85	kg/m^2

x = ระยะเสียงแป = 1.00 m
$w = w_1 x = 85 \times 1.00 = 85$ kg/m
w = น้ำหนักบนแป 1 ตัว



$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{85 \times 4.00^2}{8} = 170 \text{ kg.m}$$

$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 170}{0.6 \times 2400} = 11.806 \text{ cm}^3$$

ใช้เหล็ก [-100x50x20x2.3 mm. ที่ $S_x = 16.1 \text{ cm}^3 > 11.806$

ใช้ระยะแป [-100x50x20x2.3 mm. @1.00 m.

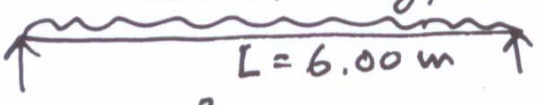
กรณีหลังคาสังกะสีมุงหลังคา, เหล็กรีดลอน (metal sheet) จะใช้ระยะแป 1.50 m. มุมเอียงหลังคาหากเป็นหลังคาสังกะสีควรจะไม่น้อยกว่า 15° แต่ถ้าเป็น metal sheet ควรจะไม่น้อยกว่า 5°

ออกแบบแปรับ metal sheet ระยะห่างโครงหลังคา 6.00 m. สร้างที่จังหวัดปทุมธานี อยู่ในเขต อบต.

น้ำหนักมรรตุกลร	30	kg/m²
Metal sheet	5	kg/m²
แป	10	kg/m²
น้ำหนักรวม $w_1 =$	45	kg/m²

x = ระยะเรียงแป = 1.50 m.

$w = w_1 x = 45 \times 1.50 = 67.5 \text{ kg/m}$



$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{67.5 \times 6.00^2}{8} = 303.75 \text{ kg.m}$$

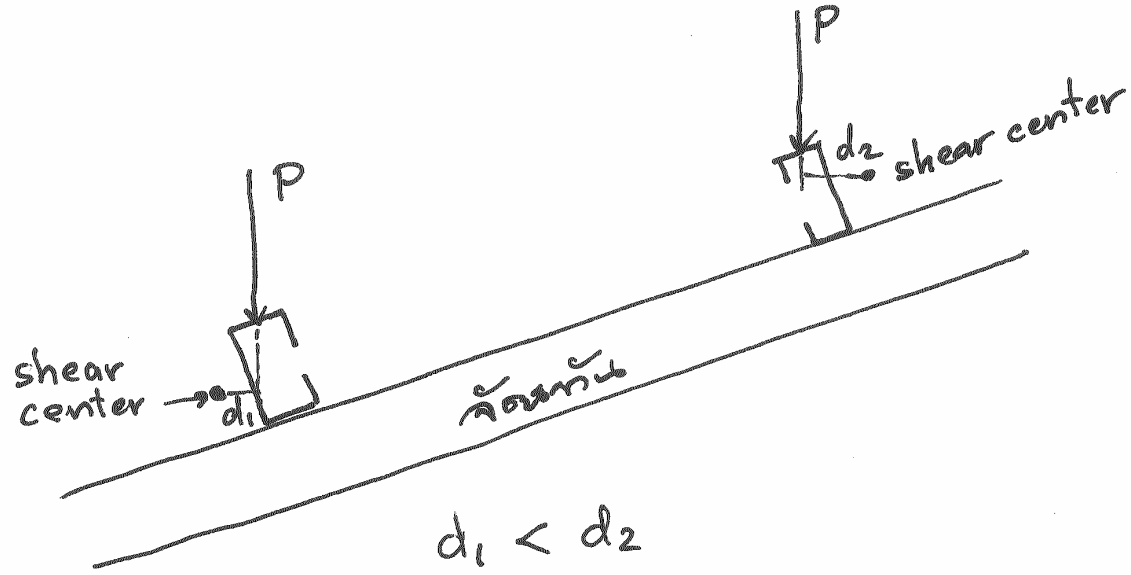
$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 303.75}{0.6 \times 2400} = 21.09 \text{ cm}^3$$

ใช้แป [-150×50×20×2.3 mm. @1.50 m

มี $S_x = 28 \text{ cm}^3$

หลักยึดแปและช่วงยึดไม่ให้แปบิดตัว ระยะห่างไม่เกิน 3.00 m บริเวณจันทันหรือ truss ไม่ต้องมีขนาดหลักยึดแป RB 9 mm.

การวางแป [- ต้องให้ตัวนอ้ำหงายขึ้น เพื่อให้แนวแรงใกล้ shear center แปละบิดตัวยาก



$d_1 < d_2$

$Pd_1 < Pd_2$

บิดน้อย บิดมาก

การออกแบบเสาเข็ม

ตามแปลนโครงหลังคา เสาเข็มที่ยาวที่สุด 2.00 ช่วง 1.00 m ระยะห่างเสาเข็ม $x = 1.00$ m.

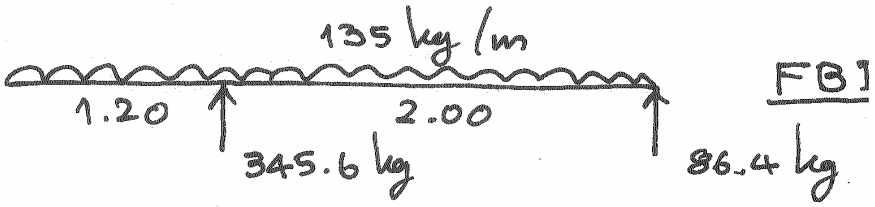
น้ำหนักจากแป $w_1 = 125$ kg/m.^{2} (MONIA)

$w_2 = w_1 x = 125 \times 1.00 = 125$ kg/m

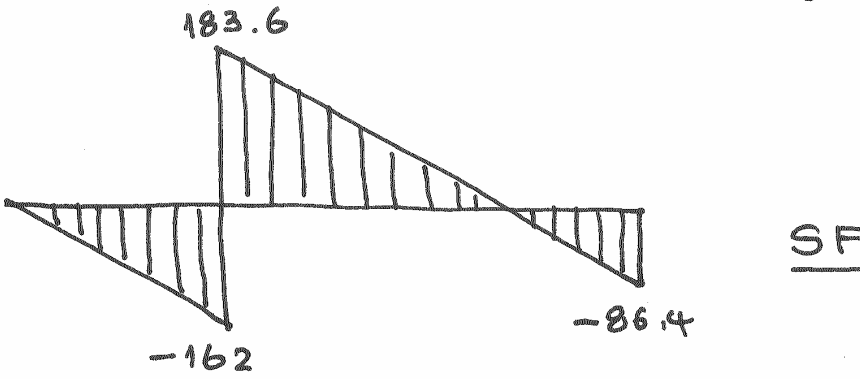
น้ำหนักเสาเข็ม $= 10$ kg/m

น้ำหนักรวม $w = 135$ kg/m

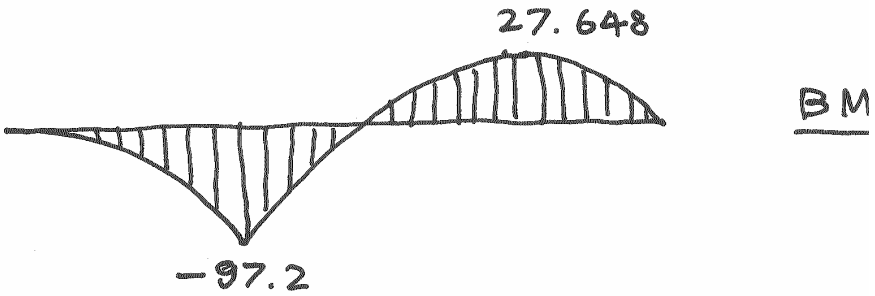
เขียน Free-body diagram หา reaction เขียน Force Diagram (SFD), Bending Moment Diag (BMD)



FBD



SFD



BMD

$M = 97.2$ kg.m

$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 97.2}{0.6 \times 2400} = 6.75 \text{ cm}^3$$

ใช้ [- 100×50×20×2.3 mm. @1.00 m

มี $S_x = 16.1 \text{ cm}^3 > 6.75 \text{ cm}^3$

ในการออกแบบนอกจากจะต้องพิจารณา bending stress ยังต้องระวัง deflection $\leq \frac{L}{360}$ (สำหรับ I)

การออกแบบอกไก่

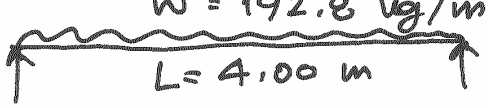
จากผลการออกแบบลิ่นทัน (@ 1.00 m) แรงที่ลิ่นทันถ่ายลงอกไก่ขนาด 86.4 kg เมื่อคิดสองข้างและทำเป็น distributed load จะได้ดังนี้

แรงจากลิ่นทัน $= \frac{2 \times 86.4}{\text{ระยะลิ่นทัน } 1.00 \text{ m}} = 172.8$ kg/m

น้ำหนักอกไก่ ≈ 20 kg/m

น้ำหนักรวม $= 172.8 + 20 = 192.8$ kg/m

ความยาวอกไก่ L = 4.00 m.



$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{192.8 \times 4.00^2}{8} = 345.6 \text{ kg.m}$$

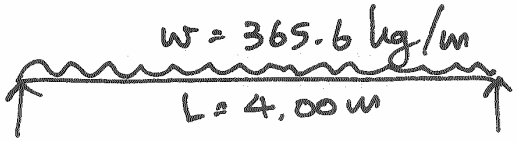
$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 345.6}{0.6 \times 2400} = 24 \text{ cm}^3$$

ใช้ 2- [-100×50×20×2.3mm. รูป [] มี $S_x = 32.2 \text{ cm}^3$

การออกแบบคาน จากผลการออกแบบคานต้นทาง (@1.00 m)

แรงที่ถ่ายลงคานคือ 345.6 kg. ต้านเดียว

น้ำหนักจากคานต้นทาง	345.6	kg/m
น้ำหนักคาน	20	kg/m
น้ำหนักรวม	365.6	kg/m



$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{365.6 \times 4.00^2}{8} = 731.2 \text{ kg.m}$$

$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 731.2}{0.6 \times 2400} = 50.78 \text{ cm}^3$$

ใช้ 2-[-150×50×20×2.3 mm [] มี $S_x = 2 \times 28 = 56 \text{ cm}^3$

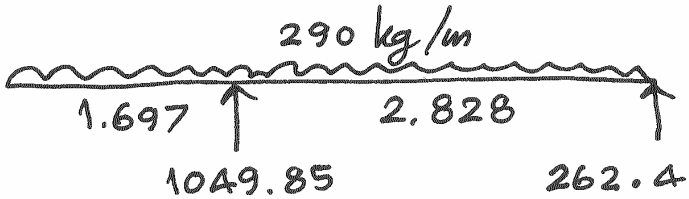
การออกแบบตะเฆ่สัน

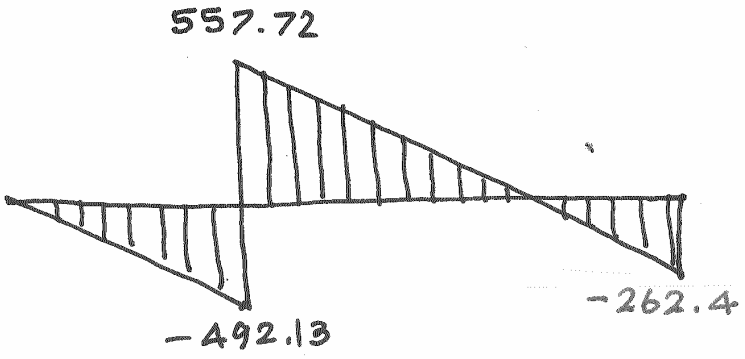
ตะเฆ่สันตะเฆ่รางรับน้ำหนักจากคานต้นทาง แต่ในการออกแบบจะวิเคราะห์จากพื้นที่ข้างเคียงคือตัวแทนตะเฆ่สันกว้าง 2.00 m, น้ำหนักจากระเบียง 125 kg/m² เผื่อน้ำหนักคานต้นทางอีก 20 kg/m² เป็น 125+20 = 145 kg/m² ต่อพื้น

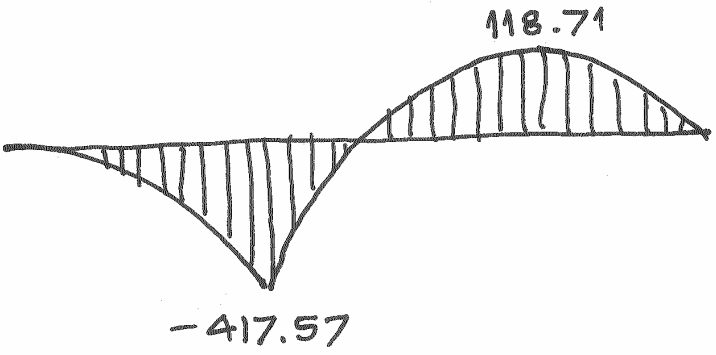
$$w = 145 \times 2.00 = 290 \text{ kg/m}$$

ความยาวช่วงใน $= 2.00\sqrt{2} = 2.828$ m

ความยาวช่วงขอบ $= 1.20\sqrt{2} = 1.697$ m







$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 417.57}{0.6 \times 2400} = 28.998 \text{ cm}^3$$

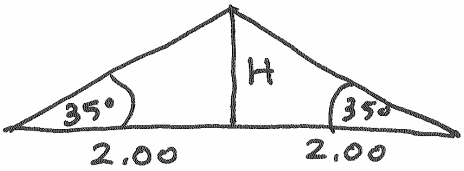
ใช้ 2-[-150x50x20x2.3 mm. [] มี $S_x = 56. \text{ cm}^3$

ออกแบบตัง

ตัง เป็นเสาสั้นตัวนขื่อสั้นมารับอกไก่หรือตะเฆ่ ซึ่งตามแปลนจะประมาณว่าพื้นที่หลังคาขนาด 2.00x2.00 ถ่ายลงตัง

$$P = 145 \times 2.00 \times 2.00 = 580 \text{ kg.}$$

ความสูงของตังเมื่อหลังคาเอียง 35°



$H = 2.00 \tan 35^\circ = 1.40$ m.

สมมติใช้ 2-[-100×50×20×2.3 mm ฝากัน [] จะได้

$r = r_x = 3.95$ cm., $A = 2 \times 5.172 = 10.344$ cm^2

สูตรตามใน AISC

$$C_c^2 = \frac{2\pi^2 E}{F_y} = \frac{2\times\pi^2\times 2.04\times10^6}{2400} = 16778.3$$

$$C_c = \sqrt{16778.3} = 129.53$$

$$R = \frac{Kl}{r} = \frac{KH}{r} = \frac{1.0\times140}{3.95} = 35.443 < C_c$$

$R < C_c$;

$$F_a = \frac{\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{R}{C_c}\right)^2\right]F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{R}{C_c}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{R}{C_c}\right)^3}$$

$$F_a = \frac{\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{35.443}{129.53}\right)^2\right]\times 2400}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{35.443}{129.53}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{35.443}{129.53}\right)^3}$$

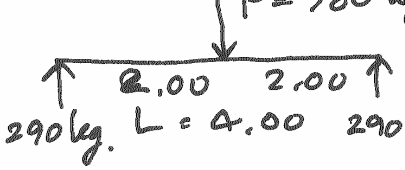
$$F_a = \frac{P}{A} = 1307.6 \text{ ksc.}$$

$P = 1307.6 \times 10.344 = 13,526$ kg $\gg$ 580 kg.

ดังนั้น [] - 100×50×20×2.3 mm. เป็นตัวที่

การออกแบบเพลาพ่อ

น้ำหนักจากตัวที่ 580 kg กระทำ

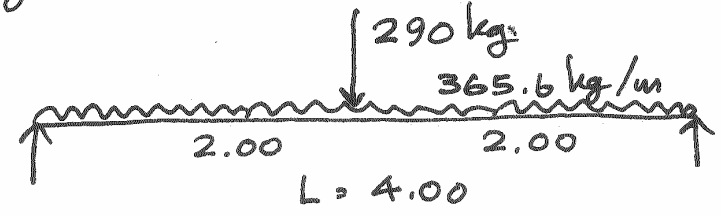


$$M = \frac{PL}{4} = \frac{580\times4.00}{4} = 580 \text{ kg.m}$$

$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100\times580}{0.6\times2400} = 40.28 \text{ cm}^3$$

ใช้ [-150×50×20×2.3 mm. มี $S = 56\ cm^3$

ถ้าวางขื่อฝากอยู่ด้านบนและล่างในแปลนหลังคา จะต้องออกแบบอีกใหม่ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกแผ่ 365.6 kg/m เพิ่ม Point load จากขื่อ 290 kg



$$M = \frac{wL^2}{8} + \frac{PL}{4} = \frac{365.6 \times 4.00^2}{8} + \frac{290 \times 4.00}{4}$$

$$M = 1021.2\ kg.m$$

$$S = \frac{100M}{0.6F_y} = \frac{100 \times 1021.4}{0.6 \times 2400} = 70.92\ cm^3$$

ใช้ข้อ [-150×50×20×3.2 mm มี $S_x = 74.8\ cm^3$

การคำนวณแรงลมบนหลังคาจั่ว

(บทที่ 2, การออกแบบอาคาร, มคอ.สถ. ใหม่ล่าสุด ปรับปรุงล่าสุด)

สูตร $$\boxed{P = C_e C_q q_s I_w}$$

P = แรงดันลม , kg/m^2

C_e = ส.ป.ก. ภูมิประเทศ ชุดทาง

C_q = ส.ม.ส. แรงดัน ขึ้นกับมุม θ

I_w = ส.ป.ส. ความสำคัญอาคาร สำหรับอาคารพักอาศัย มีค่าเท่ากับ 1.0

$q_z = 0.004826V^2$ = แรงดันลม หน่วย kg/m^2

V = ความเร็วลมที่ความสูง 10 m จากพื้นดิน ความเอียง 50 ปี หน่วย km/hr

ตารางค่าสัมประสิทธิ์ C_e

ความสูงจากพื้นดิน, m	ภูมิประเทศ D	ภูมิประเทศ C	ภูมิประเทศ B
0-4.5	1.39	1.06	0.62
6	1.45	1.13	0.67
7.5	1.50	1.19	0.72
9	1.54	1.23	0.76
12	1.62	1.31	0.84
18	1.73	1.43	0.95
24	1.81	1.53	1.04

ภูมิประเทศ D = ชายทะเล, ติดแม่น้ำ

ภูมิประเทศ C = ที่ราบ, ทุ่งโล่ง ไม่มีอะไรบัง

ภูมิประเทศ B = มีอาคาร, ต้นไม้สูง 6 m ขึ้นไปบดบัง

ค่าสัมประสิทธิ์ C_q

ด้านปะทะลม

$\theta_1 < 10^\circ$	$C_q = -0.7$
$\theta_1 = 10^\circ$	$C_q = -0.9$
$10^\circ < \theta_1 < 37^\circ$	$C_q = 0.3 - \frac{6}{130}(37-\theta_1)$
$\theta_1 = 37^\circ$	$C_q = 0.3$
$\theta_1 > 37^\circ$	$C_q = 0.4$

ด้านหลังลม

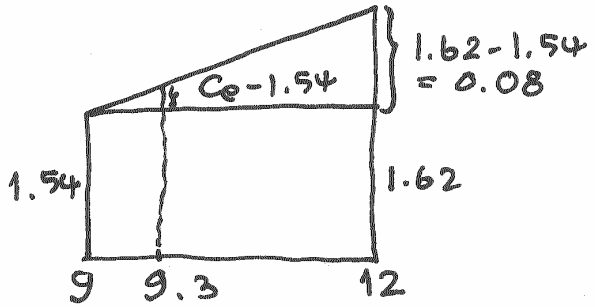
$0 < \theta \leq 90^\circ \qquad C_q = -0.7$

ถ้า P เป็น + แรงอัดตั้งฉากหลังคา
P เป็น − แรงดูดตั้งฉากหลังคา

ตัวอย่าง อาคารพักอาศัยชายทะเล มุมเอียง 15° ระดับความสูงที่กึ่งกลางหลังคา 9.30 m ความเร็วลมในรอบ 50 ปี ที่ระดับความสูง 10 m จากพื้นดิน 100 km/hr จะมีแรงดันลมด้านหน้าทะเลลม (หน้าหาทะเล) และด้านหลังลม (หน้าหาแผ่นดิน) เท่าใด

สูตร $P = C_e C_q q_s I_w$

ค่า C_e ของภูมิประเทศ D ชายทะเล ที่ความสูง 9 m มีค่า 1.54 และที่ความสูง 12 m มีค่า 1.62 หาค่าที่ความสูง 9.3 m โดย interpolation



$$\frac{C_e - 1.54}{1.62 - 1.54} = \frac{9.3 - 9}{12 - 9}$$

$$C_e = 1.54 + 0.08 \times \frac{0.3}{3}$$

$$C_e = 1.548$$

มุม $\theta_1 = 15^\circ$ อยู่ระหว่าง 10° กับ 37° ดังนั้น

$$C_q = 0.3 - \frac{6}{130}(37 - 15) = -0.715$$

ค่า $I_w = 1.00$ (อาคารพักอาศัย)

$$q_s = 0.004826 v^2 = 0.004826 \times 100^2 = 48.26 \text{ kg/m}^2$$

ด้านปะทะลม

$P = 1.548 \times (-0.715) \times 48.26 \times 1.00 = -53.444 \text{ kg/m}^2$

p เป็นแรงดูดพยายามยกขึ้น $= 53.444 \cos 15^\circ = 51.623 \text{ kg/m}^2$

แรงลมจะไปลดน้ำหนักกระเบื้องลง

ด้านหลังลม

$C_q = -0.7$ เพราะ $0 < \theta_2 \leq 90^\circ$

$P = 1.548 \times (-0.7) \times 48.26 \times 1.00 = 52.294 \text{ kg/m}^2$

p เป็นแรงดูด พยายามยกขึ้น $52.294 \cos 15^\circ = 50.513 \text{ kg/m}^2$

แรงลมจะไปลดน้ำหนักกระเบื้องลง

การคำนวณแรงลม ควรศึกษาเพิ่มเติมจาก "การออกแบบอาคาร" ผศ. ดร. ไพบูลย์ ศิริญญาคะไพ (240.-)

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กวิธีหน่วยแรงใช้งาน (WSD: Working stress design)

ในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กทุกครั้ง ต้องคำนวณพารามิเตอร์ในการออกแบบ (design parameters) ทุกครั้ง

f_c' = กำลังประลัยของคอนกรีต, ksc.
(ทรงกระบอก ϕ 15 cm สูง 30 cm อายุ 28 วัน)

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม, ksc $\leq$ 5600 ksc.

SR-24, $f_y = 2400$ ksc.
SD-30, $f_y = 3000$ ksc.
SD-40, $f_y = 4000$ ksc.
SD-50, $f_y = 5000$ ksc.

$f_c = 0.375 f_c' \leq 65$ ksc. (ยกเว้น วย.ที่ทำได้มากกว่า 65 ได้)

$f_s = 0.5 f_y \leq 1700$ ksc.

SR-24, $f_s = 1200$ ksc.

SD-30, $f_s = 1500$ ksc.

SD-40, $f_s = 1700$ ksc.

สำหรับ SD-50 ต้องใช้เหล็กเสริม

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,040,000}{15100\sqrt{f_c'}} \approx \frac{135.099}{\sqrt{f_c'}}$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}}$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$R = \frac{1}{2} f_c k j \quad \text{ksc.}$$

$v_{cb} = 0.29\sqrt{f_c'}$ = หน่วยแรงเฉือนแบบยึดหน่วง, ksc.

$v_{cp} = 0.53\sqrt{f_c'}$ = หน่วยแรงเฉือนแบบคานทั่วไป, ksc.

$v_{ct} = 1.32\sqrt{f_c'}$ = หน่วยแรงเฉือนปลอดที่ยอมให้

= หน่วยแรงเฉือนรวมที่ยอมให้ กรณีที่ไม่มีแรงดึง

$v_{ctt} = 1.65\sqrt{f_c'}$ = หน่วยแรงเฉือนรวมที่ยอมให้ กรณีที่มีแรงดึง