Timber and Steel Design

Lecture 11 – Roof Design

- Types of Roof
- Roof Rafter
- Bracing of Truss
- Loading on Truss & Purlin
- Secondary Truss

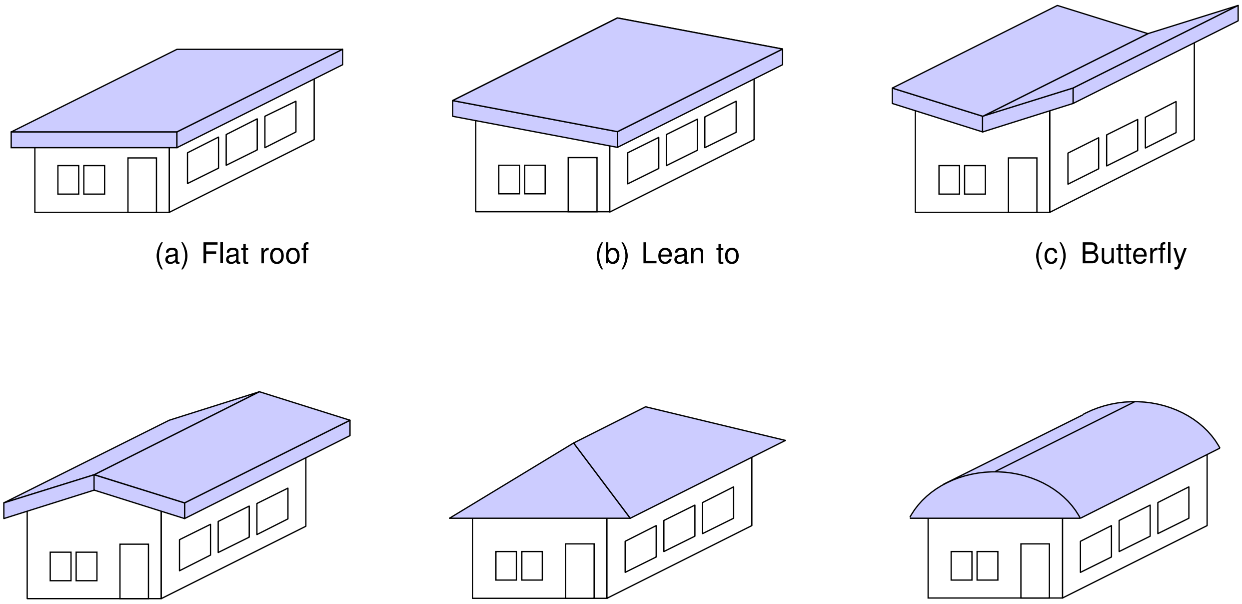
Mongkol JIRAVACHARADET

SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTE OF ENGINEERING

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

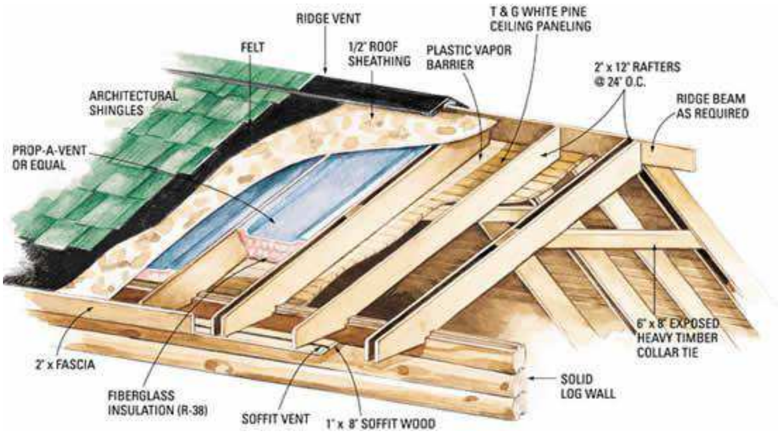
Types of Roof

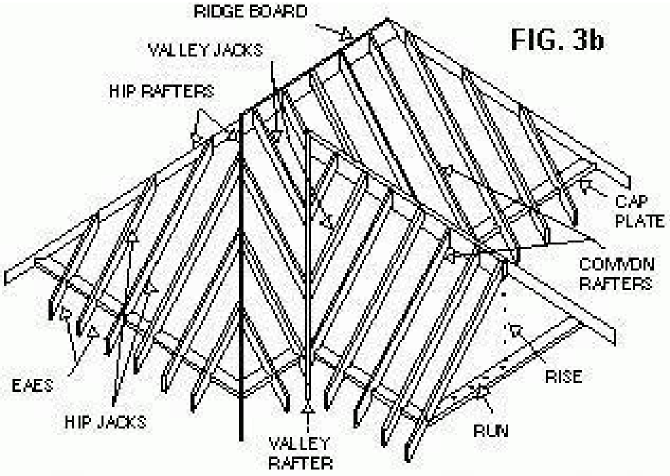


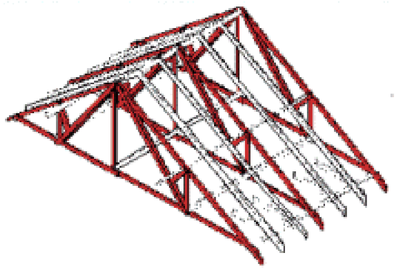
(a) Flat roof (b) Lean to (c) Butterfly

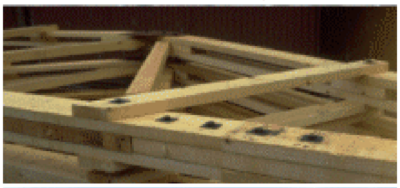
(d) Gable (e) Hip (f) Curve

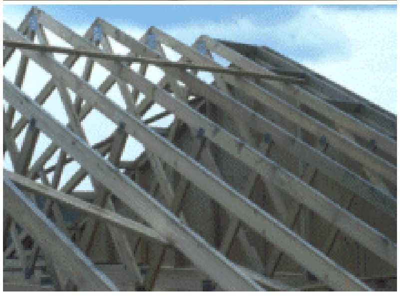
Roof Rafter

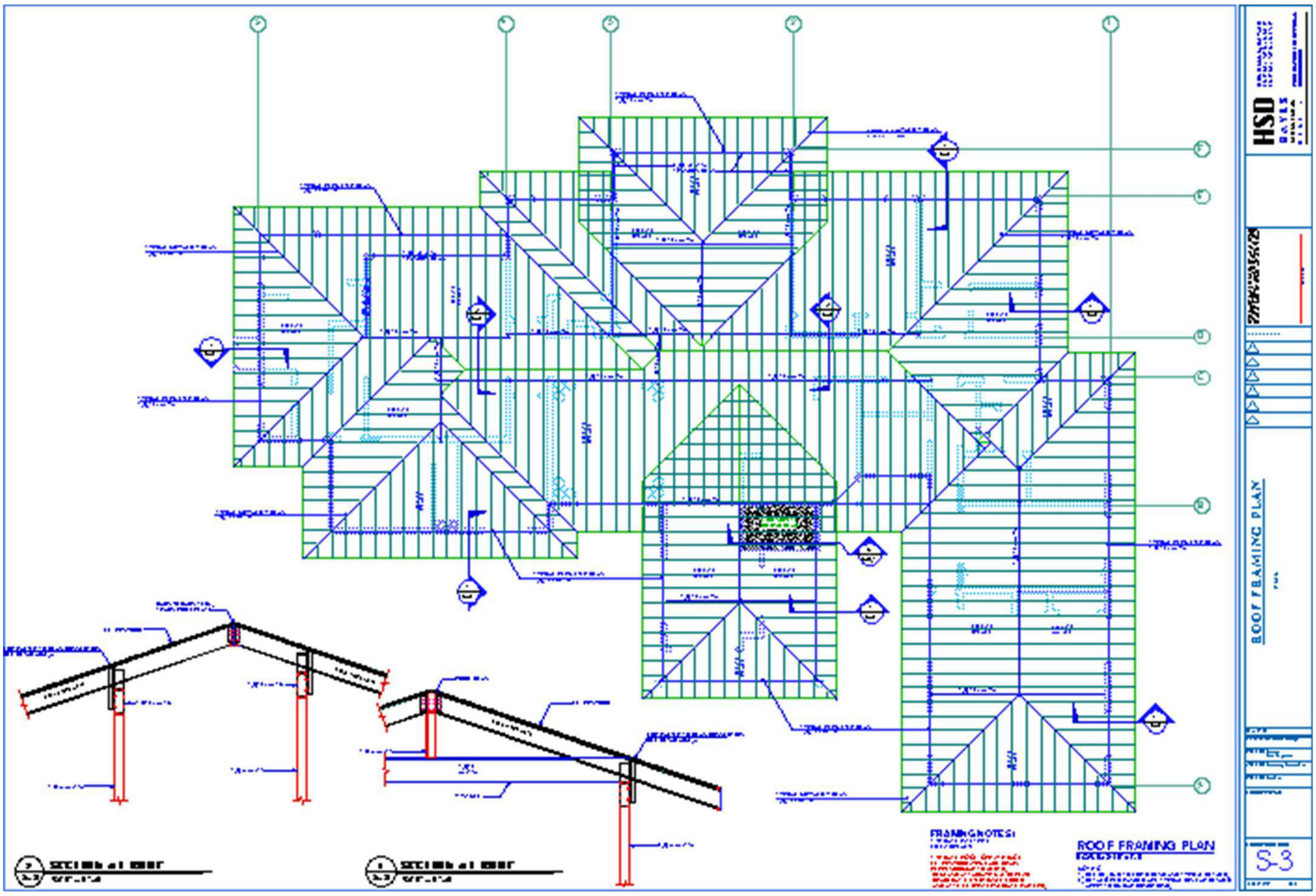

RIDGE VENT
T & G WHITE PINE
CEILING PANELING
FELT
1/2" ROOF
SHEATHING
PLASTIC VAPOR
BARRIER
2" x 12" RAFTERS
@ 24" O.C.
ARCHITECTURAL
SHINGLES
RIDGE BEAM
AS REQUIRED
PROP-A-VENT
OR EQUAL
6" x 8" EXPOSED
HEAVY TIMBER
COLLAR TIE
2" x FASCIA
SOLID
LOG WALL
FIBERGLASS
INSULATION (R-38)
SOFFIT VENT
1" x 8" SOFFIT WOOD

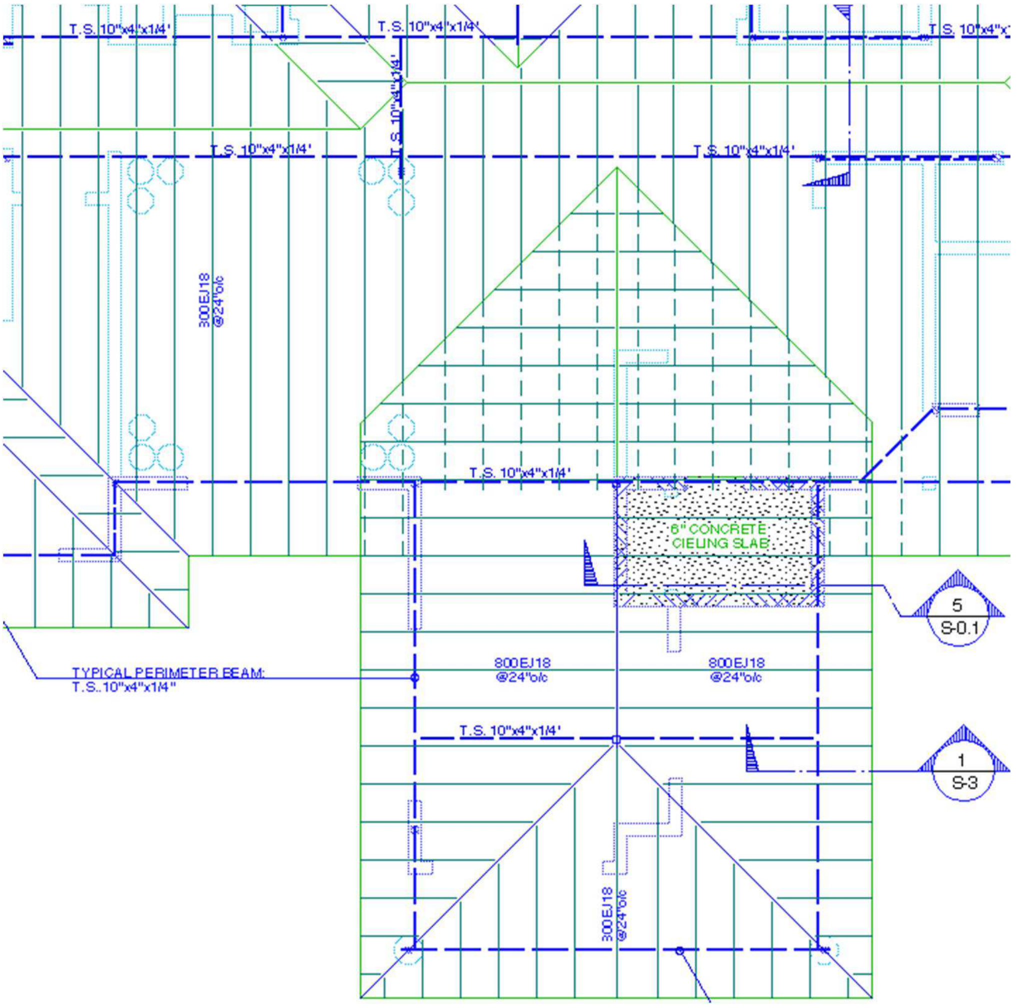

RIDGE BOARD
FIG. 3b
VALLEY JACKS
HIP RAFTERS
CAP
PLATE
COMMON
RAFTERS
RISE
EAES
HIP JACKS
VALLEY
RAFTER
RUN



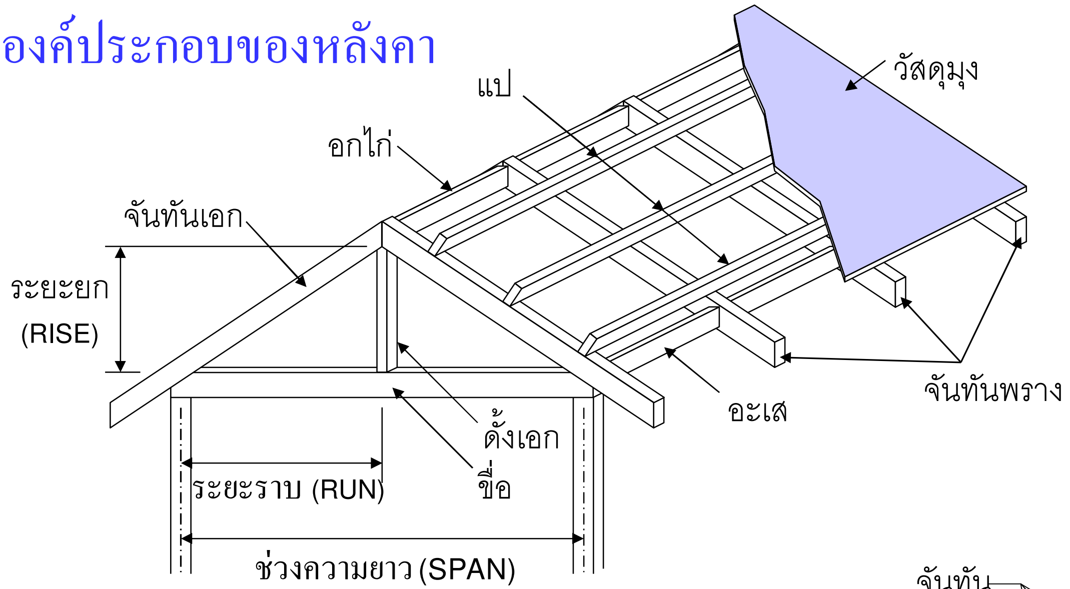


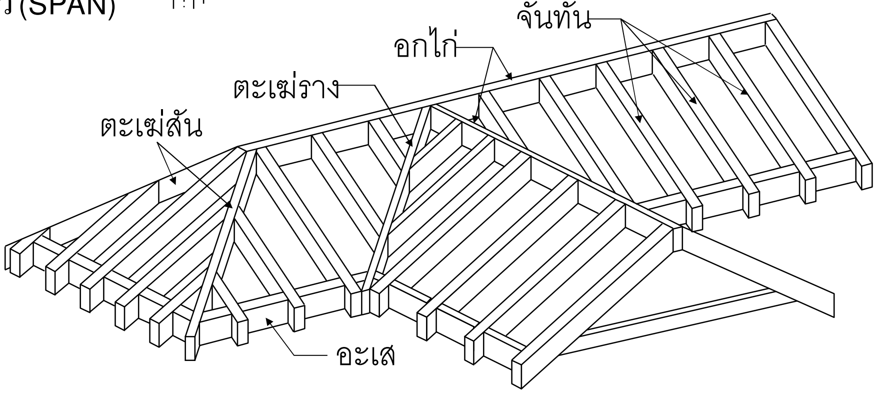



HSD
ROOF FRAMING PLAN
FRAMING NOTES:
ROOF FRAMING PLAN
S-3



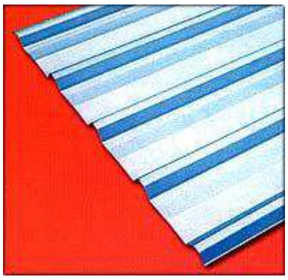
องค์ประกอบของหลังคา





Roofing Materials

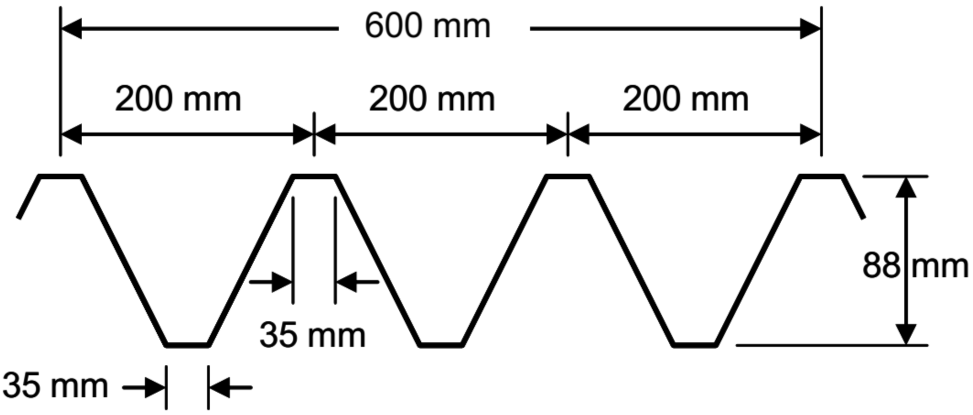
วัสดุมุง	มุมยกหลังคา ที่เหมาะสม	น้ำหนัก ต่อ ตร.ม.	ระยะห่างแป
กระเบื้องลอนคู่ (กระเบื้องซีเมนต์เส้นใย)	10, 15, 20 องศา	15 ก.ก./ตร.ม.	1.0 – 1.2 ม.
กระเบื้องซีแพคโมเนีย (กระเบื้องคอนกรีต)	30 - 35 องศา	50 ก.ก./ตร.ม.	0.32 – 0.34 ม.
แผ่นเหล็กรีดลอน (Metal sheet)	MIN. 1 - 2 องศา	5 ก.ก./ตร.ม.	1.0 – 2.0 ม.



Metal Sheet

Example of Metal Sheet Data

t	W		I_x	S_x
mm	kg/m	kg/m^2	cm^4	cm^3
0.4	3.09	5.15	47.12	10.76
0.5	3.87	6.45	60.80	13.00
0.6	4.58	7.63	75.70	16.20
0.8	6.02	10.03	105.0	24.50
1.0	7.45	12.42	134.0	28.80
1.2	8.96	14.93	164.0	35.00



Metal Sheet Design Example :

Select purlin spacing = 2 m

Select metal sheet t = 0.4 mm (W = 5.15 kg/m^2, I_x = 47.12 cm^4, S_x = 10.76 cm^3)

Dead Load = 0.6x5.15 = 3.09 kg/m

Live Load = 0.6x30 = 18.00 kg/m

Total Load = 3.09 + 18 = 21.09 kg/m

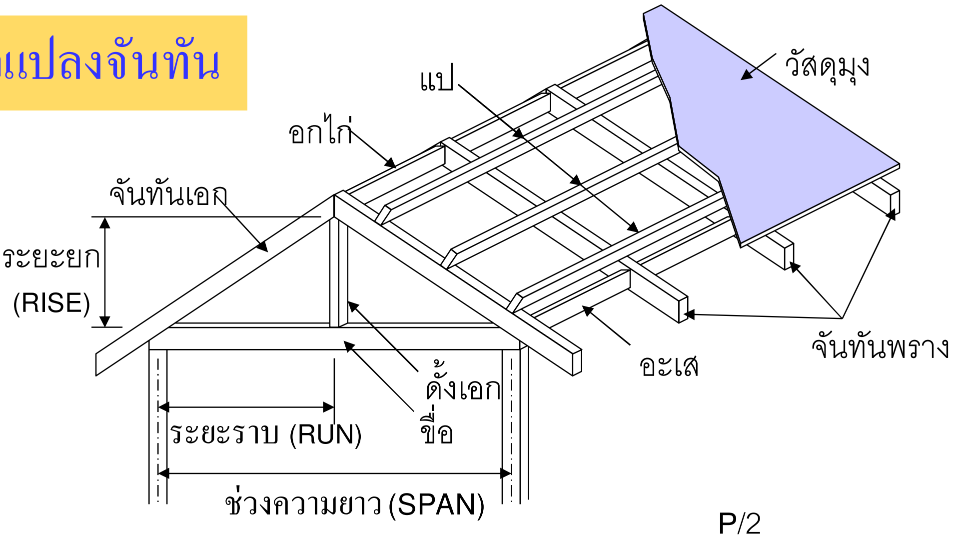
Bending Moment = 21.09x2^2/8 = 10.55 kg-m

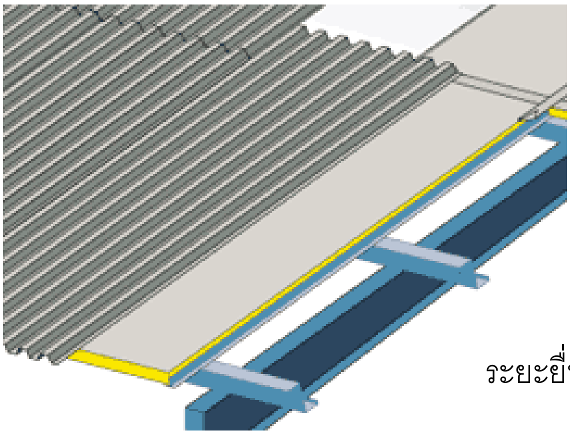
Bending Stress = 1,055/10.76 = 98.05 < 1,500 kg/cm^2 **OK**

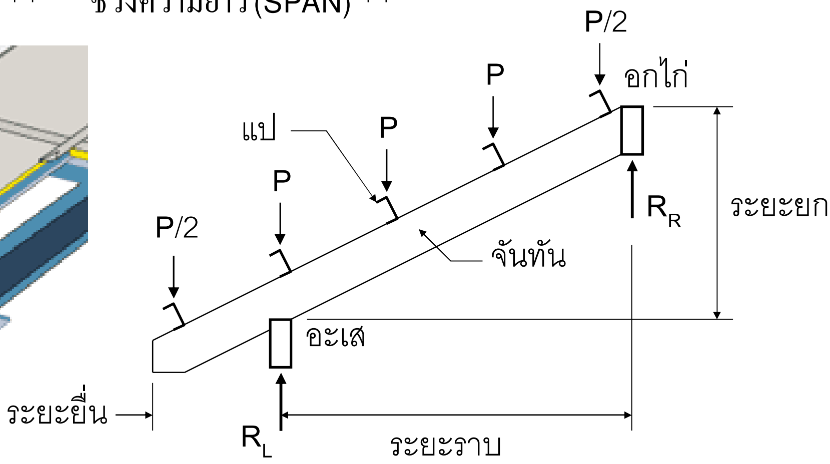
$$\text{Deflection} = \frac{5 \times 0.2109 \times 200^4}{384 \times 2.04 \times 10^6 \times 47.12} = 0.0457 \text{ cm}$$

Allowable deflection = L/300 = 200/300 = 0.67 cm **OK**

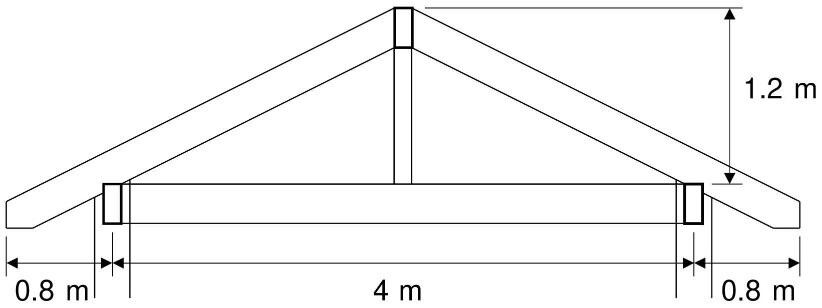
การรับน้ำหนักจากแปลงจันทัน





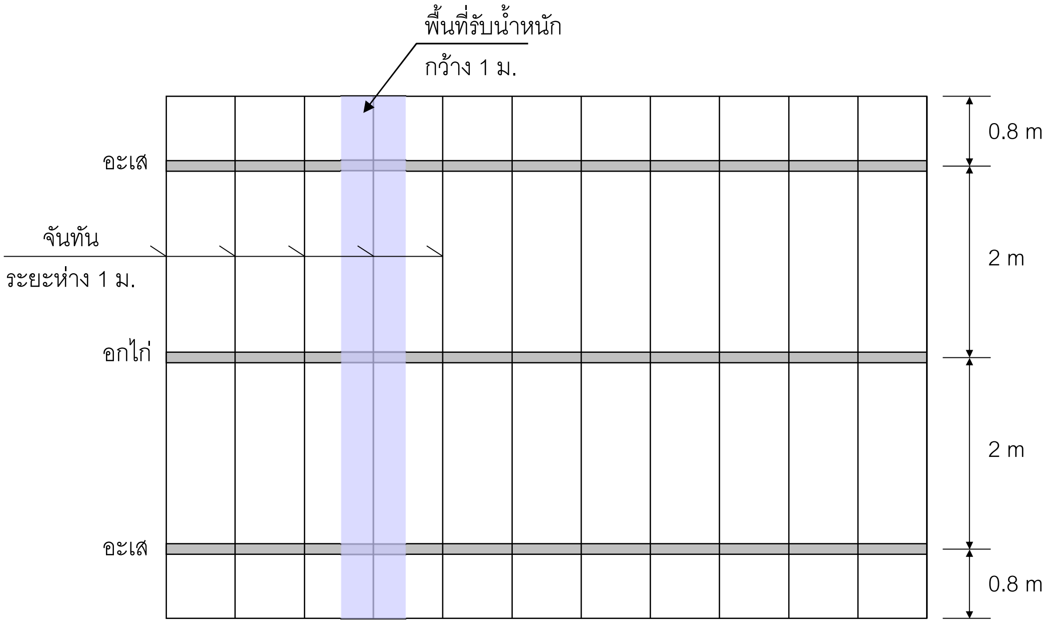


ตัวอย่างที่ 11-1 จงออกแบบจันทัน อะเส และอกไก่ในโครงหลังคาทรงจั่วดังแสดงในรูปข้างล่าง หลังคามุงด้วยกระเบื้องซีแพคโมเนีย



วิธีทำ คำนวณน้ำหนักบรรทุกหลังคา

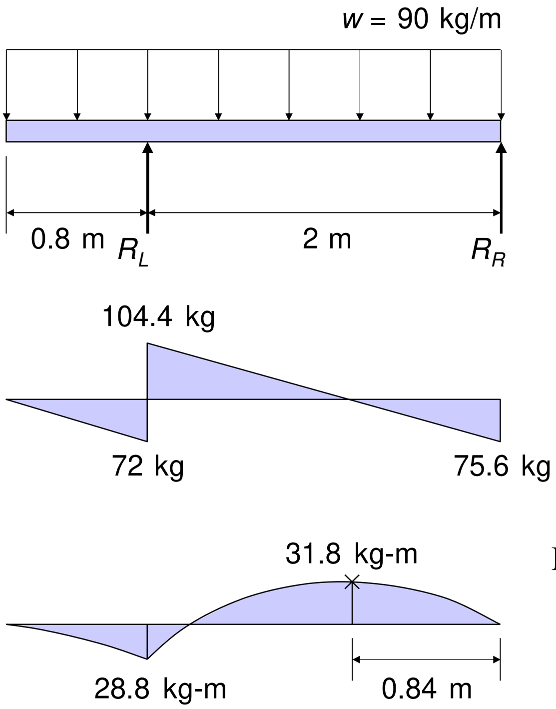
น้ำหนักบรรทุกจร	=	30	กก./ตรม.
น้ำหนักกระเบื้องซีแพคโมเนีย	=	<u>50</u>	กก./ตรม.
น้ำหนักรวม	=	<u>80</u>	กก./ตรม.



จันทันวางห่างกัน 1.0 เมตร มีพื้นที่รับน้ำหนักกว้าง 1.0 เมตร

น้ำหนักลงจันทัน = 80×1.0	=	80	กก./ม.
น้ำหนักจันทันโดยประมาณ	=	<u>10</u>	กก./ม.
รวมน้ำหนักลงจันทันทั้งหมด	=	90	กก./ม.

พิจารณาช่วงคานในแนวราบ ช่วงภายในจากอกไก่ถึงอะเส 2 ม. และช่วงยื่น 0.8 ม.



พิจารณาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับทั้งสอง

R_L = (1/2) (90) (2.8)2 / 2.0 = 176.4 ก.ก.

R_R = (90) (2.8) – 176.4 = 75.6 ก.ก.

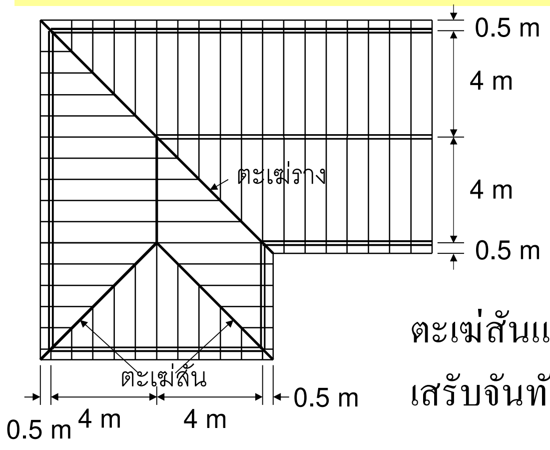
M_{max} = 31.8 ก.ก.-ม.

F_b = 0.60(2,500) = 1,500 ก.ก./ซม.^{2}

$S = M_{max}/F_b$ = 31.8(100)/1,500 = 2.12 ซม.^{3}

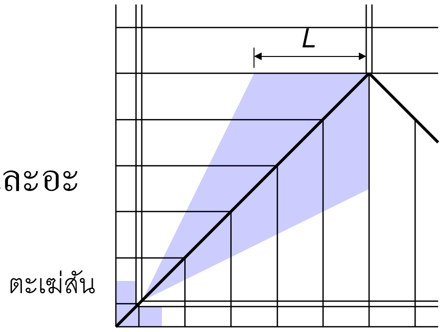
เลือกหน้าตัดจันทัน □ 50×25 ม.ม. หนา 1.6 ม.ม. (S_x = 2.81 ซม.^{3})

ตัวอย่างที่ 11-2 จงออกแบบตะเฆ่สันและตะเฆ่ราง ในโครงหลังคาทรงปั้นหยาดังมีแปลนหลังคาแสดงในรูป หลังคามุงด้วยกระเบื้องซีแพคโมเนีย ระยะห่างระหว่างจันทันคือ 1 เมตร



วิธีทำ ประมาณน้ำหนักบรรทุกหลังคารวมน้ำหนักจันทันเป็น 90 ก.ก./ตร.ม.

ตะเฆ่สันและตะเฆ่รางช่วยอกไก่และอะเสรับจันทัน จะทำมุม 45 องศา

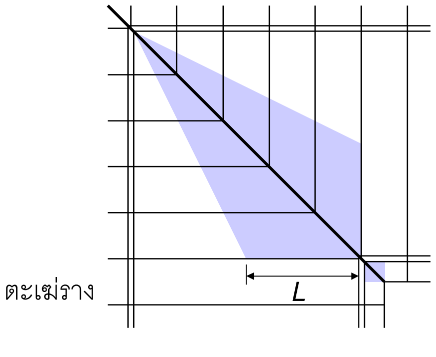


พิจารณาน้ำหนักบรรทุก โดยใช้วิธีพื้นที่รับน้ำหนัก

ช่วงความยาวในแนวราบ $= \sqrt{4^2 + 4^2}$ = 5.66 เมตร

ช่วงยื่นในแนวราบ $= \sqrt{0.5^2 + 0.5^2}$ = 0.707 เมตร

ความยาว **L** ของพื้นที่รับน้ำหนัก = 4.0/2 = 2.0 เมตร



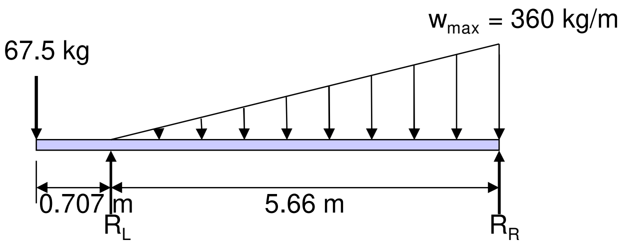
น้ำหนัก w_{max} ของสามเหลี่ยม = 2L(น้ำหนักบรรทุกหลังคา) = 2(2.0)(90)

= 360 ก.ก./ม.

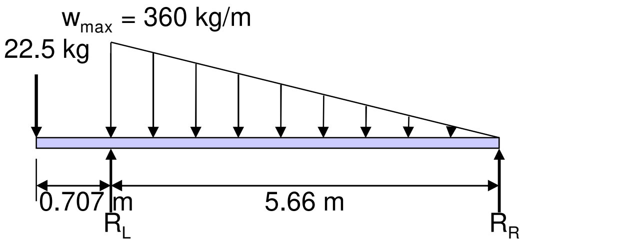
น้ำหนักที่ปลายยื่นตะเฆ่สัน = 3(0.5)2(90) = 67.5 ก.ก.

น้ำหนักที่ปลายยื่นตะเฆ่ราง= (0.5)2(90) = 22.5 ก.ก.

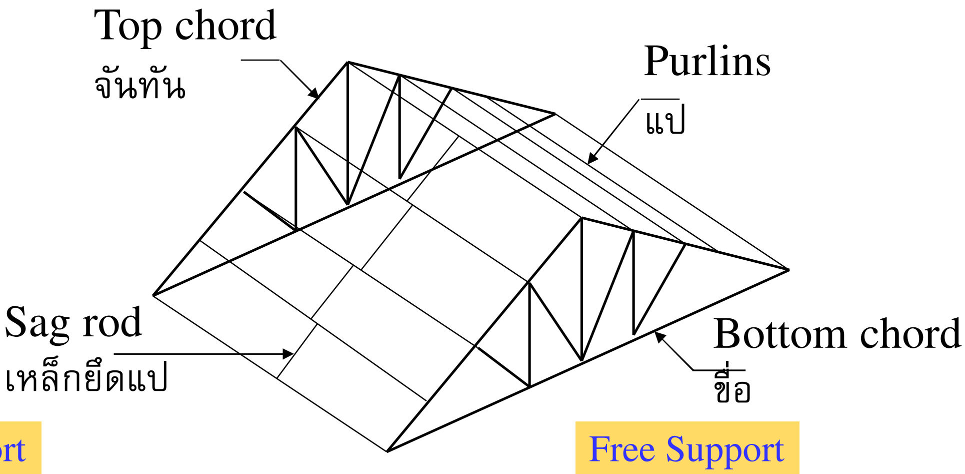
ตะเฆ่สัน:



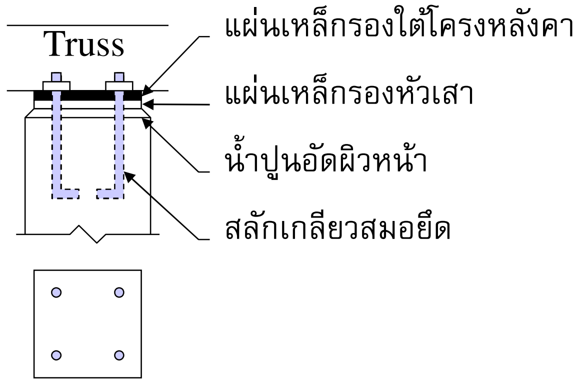
ตะเฆ่ราง:



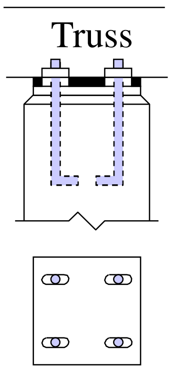
Roof Truss



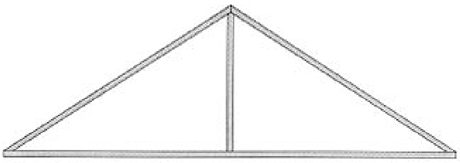
Fixed Support



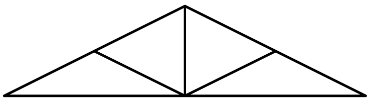
Free Support



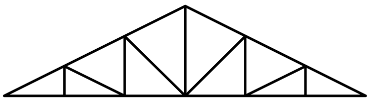
Types of Trusses



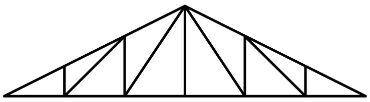
King Post This is the most basic truss type. Primarily used for simple structures with short spans.



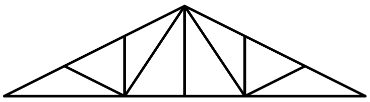
King Post Truss



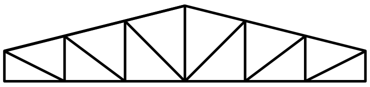
Pratt Truss



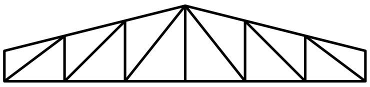
Howe Truss



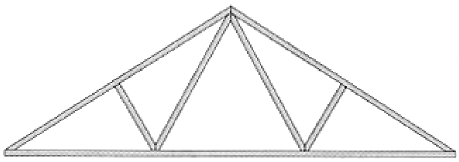
Fan Truss



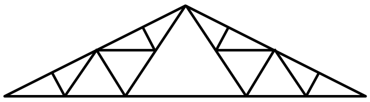
Pratt Truss



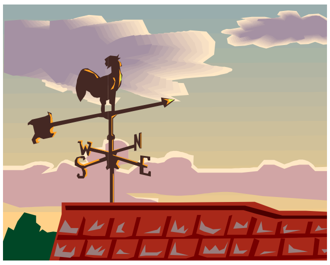
Howe Truss

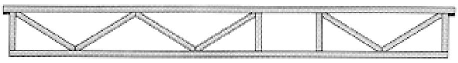


Fink Capable of longer spans than the King Post, adding further design flexibility.

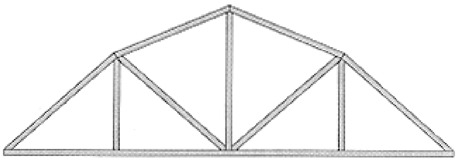


Fink Truss

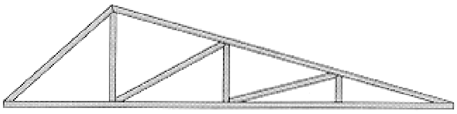




Flat - Using this truss can reduce the amount of wall area that needs to be sheathed.



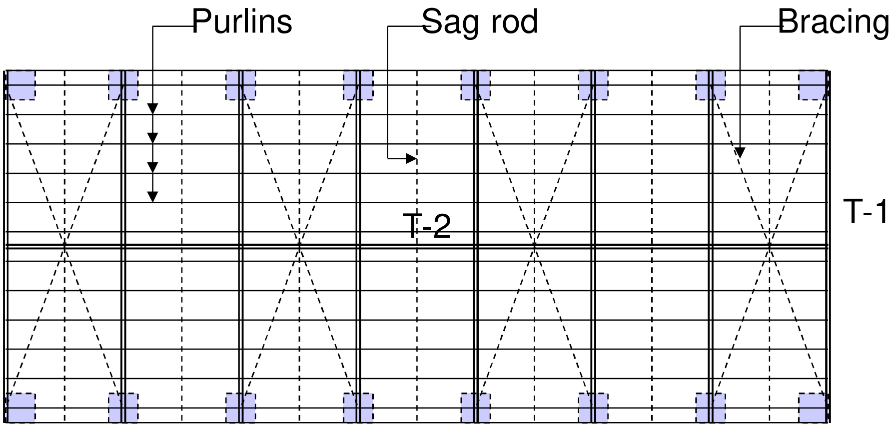
Gambrel This truss is often used in agricultural buildings and barns.

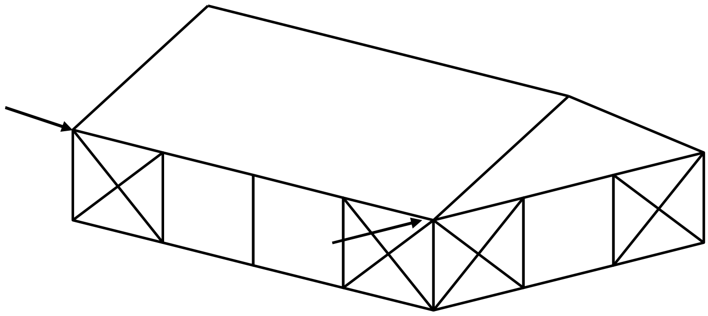


Double Pitch or Dual Pitch An asymmetrical truss used where the designer wants a change in roof appearance.

Hip This is one section of a hip roof system.

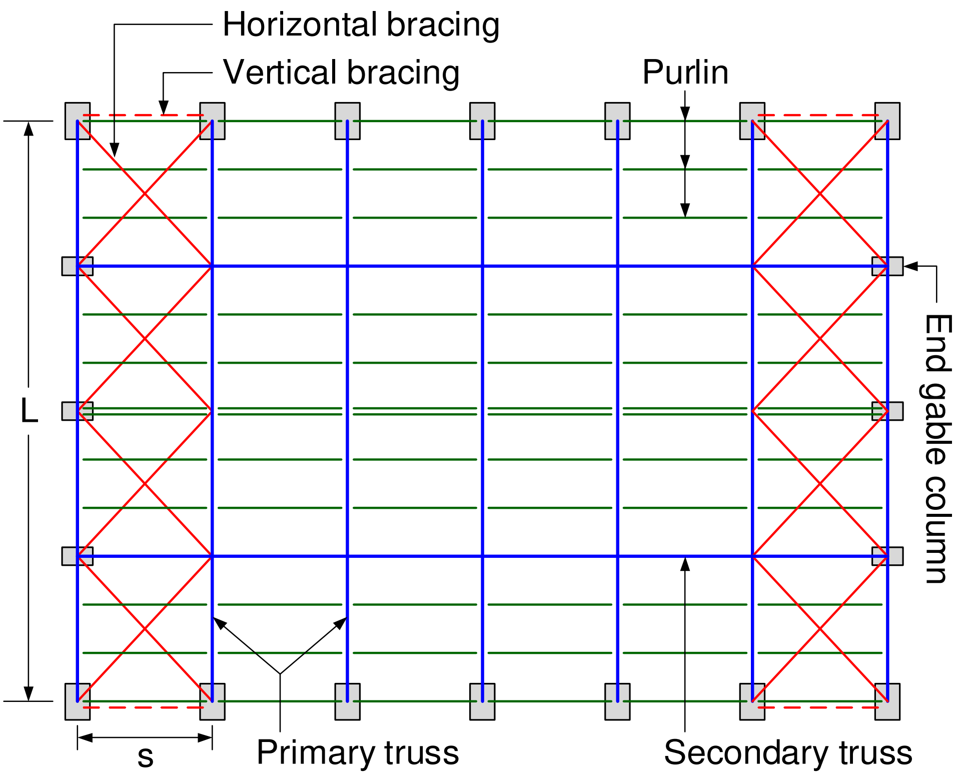
Bracing of Trusses





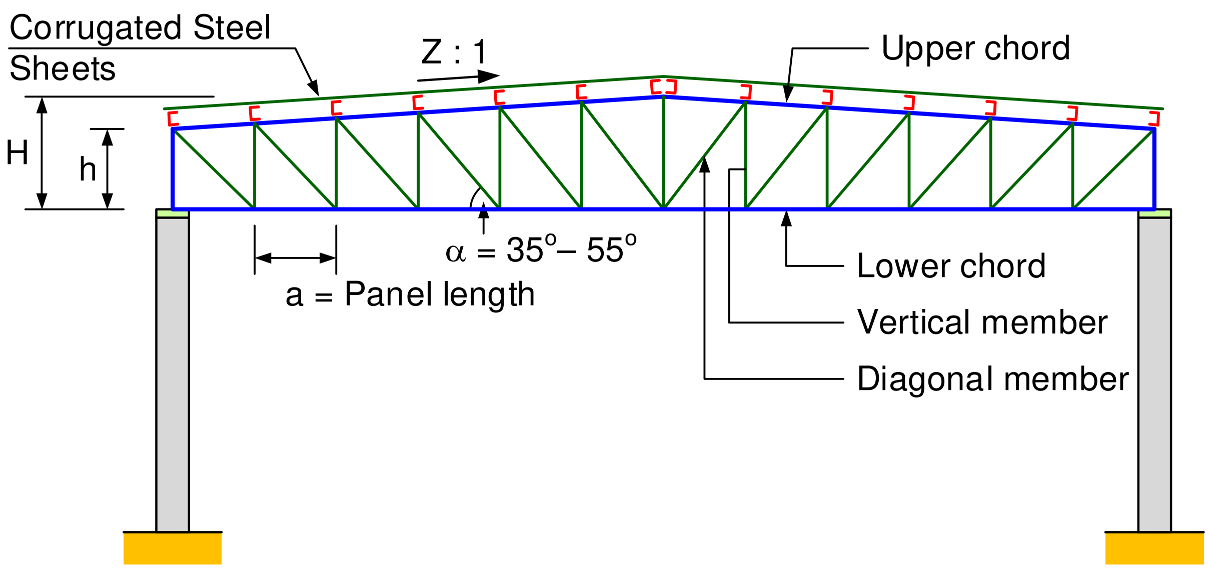
Frame Layout

Roof Truss supported on concrete column



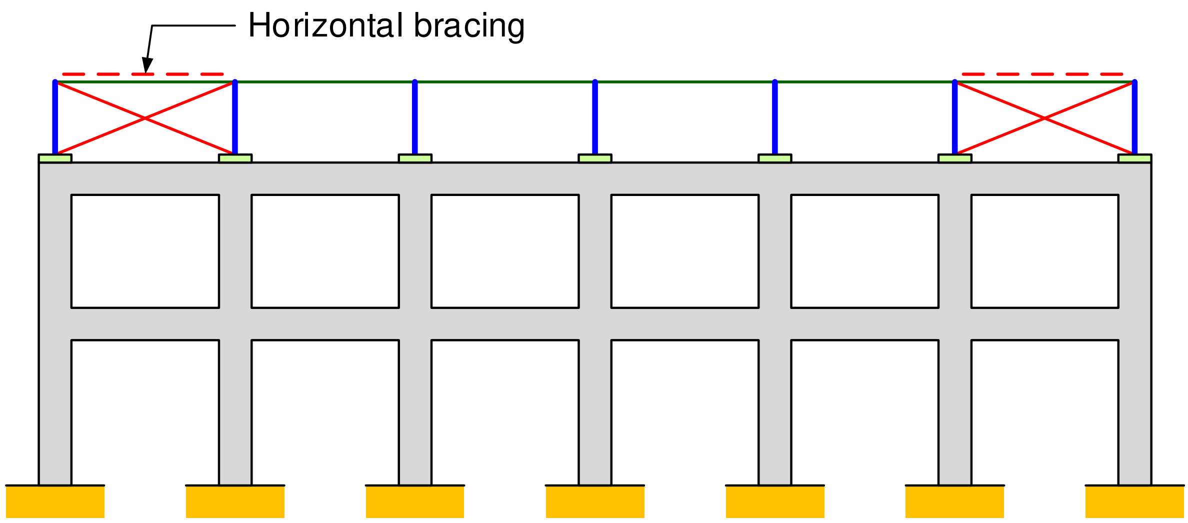
Frame Layout

Roof Truss supported on concrete column



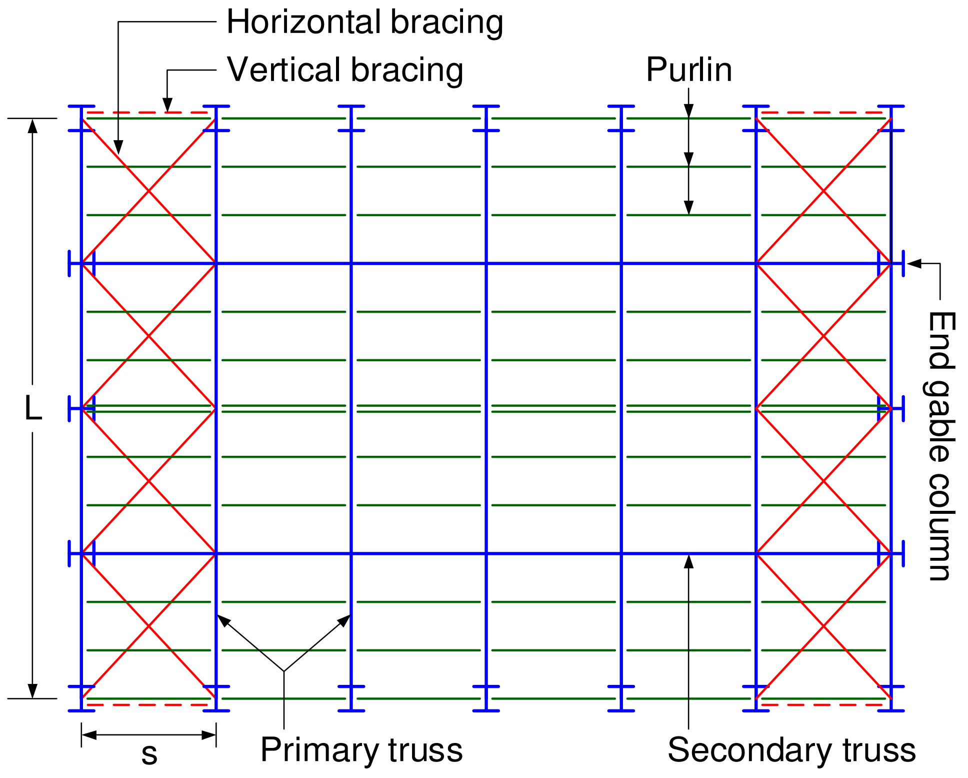
Frame Layout

Roof Truss supported on concrete column



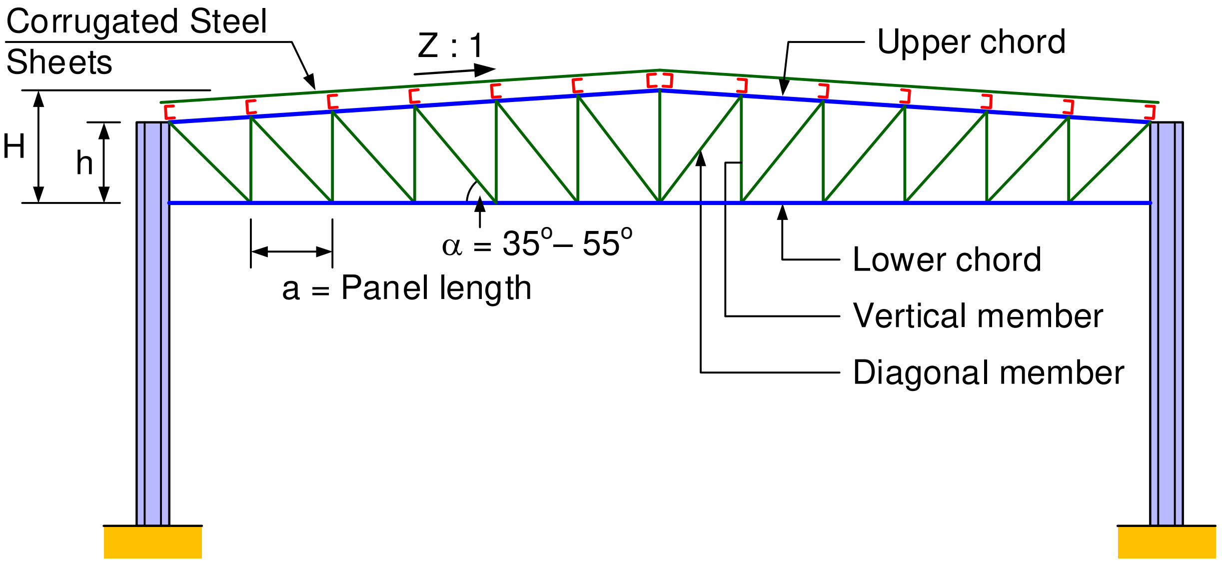
Frame Layout

Roof Truss supported on steel column



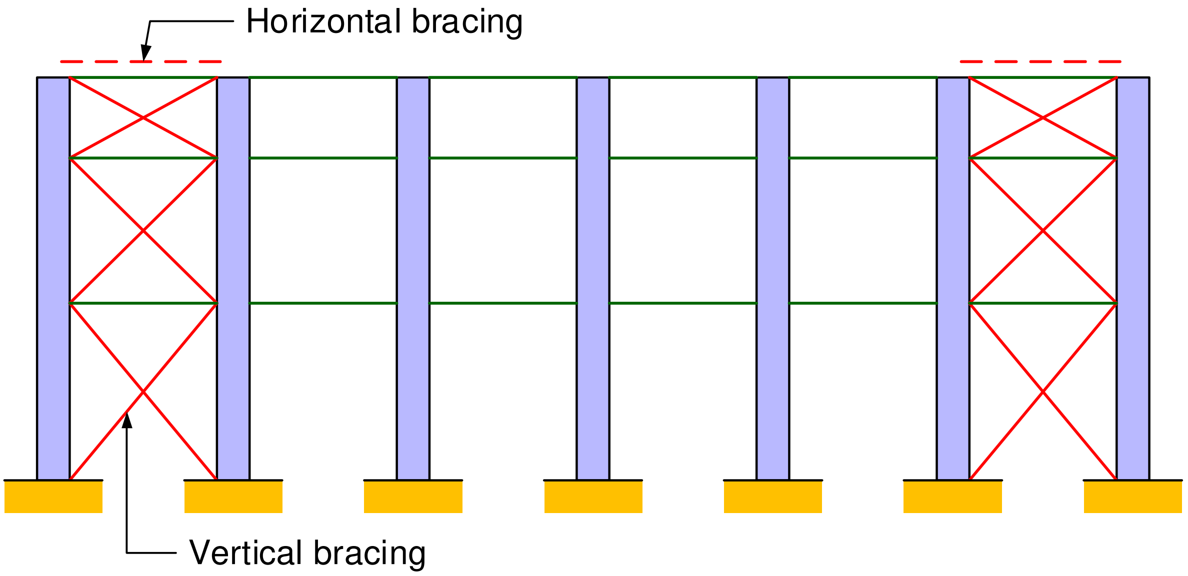
Frame Layout

Roof Truss supported on steel column



Frame Layout

Roof Truss supported on steel column



Frame Layout

- **Main system (truss or frame) should be placed in the short direction.**

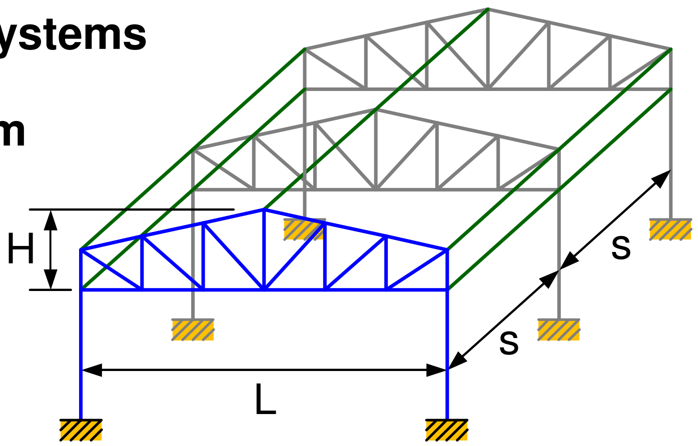
- **Spacing between main systems**

  $$s = 6 \pm 2 \text{ m} = (4 \rightarrow 8) \text{ m}$$

- **Depth of main truss (H) :**

  $$H = \frac{L}{12 \rightarrow 16}$$

  where L = span of main truss



Frame Layout

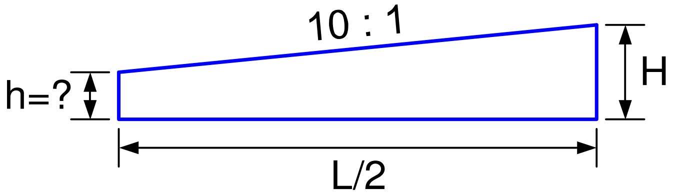
- **Slope of upper chord of truss Z : 1 = 5 : 1 → 20 : 1**

(a) take Z : 1 = 10 : 1

$\therefore$ **get** $h = H - (L/2)(1/Z)$

$h_{min} = 1.0$ m

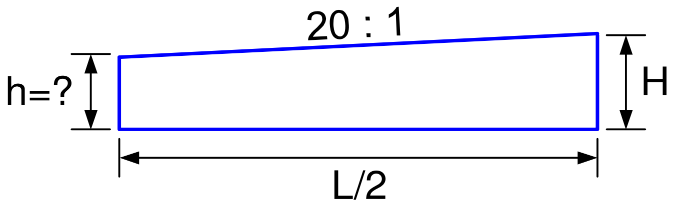
if $h < 1.0$ m



(b) reduce slope to 20 : 1

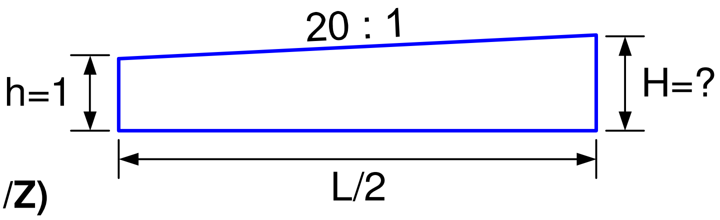
$\therefore$ **get** $h = H - (L/2)(1/Z)$

if $h < 1.0$ m

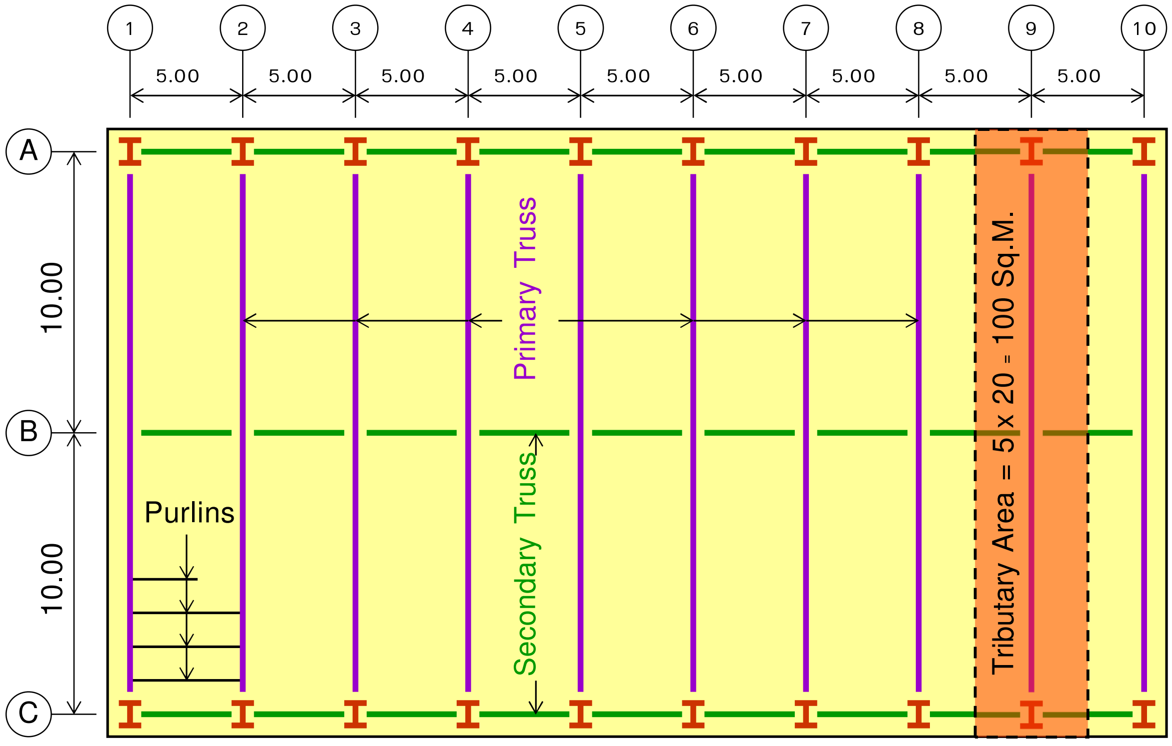


(c) take h = 1.0 m with slope = 20 : 1

$\therefore$ **get** $H_{new} = h + (L/2)(1/Z)$

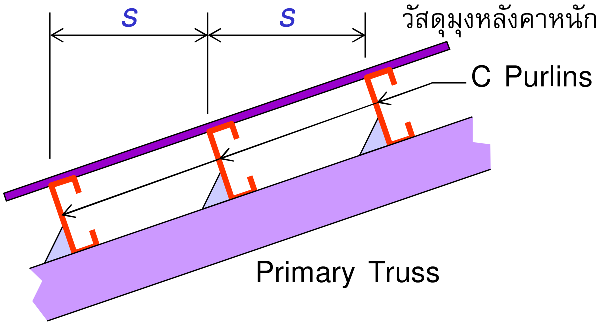


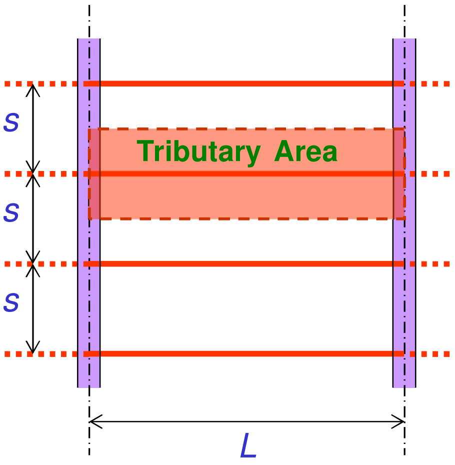
Loading on Trusses



Roof Plan

Loading on Purlin





แปห่างกัน *s* เมตร ช่วงยาว *L* เมตร

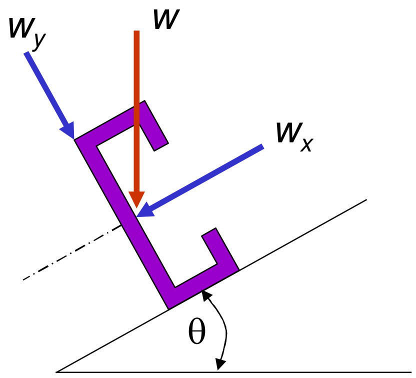
น้ำหนักบรรทุกจร + น้ำหนักวัสดุมุงหลังคา	=	**น้ำหนักรวม**	กก./ตรม.
น้ำหนักบรรทุกต่อความยาวถ่ายลงแป	=	**น้ำหนักรวม** × **s**	กก./ม.
น้ำหนักแปโดยประมาณ	=	6	กก./ม.

รวมเป็นน้ำหนักถ่ายลงแปทั้งหมด

Design of Purlins

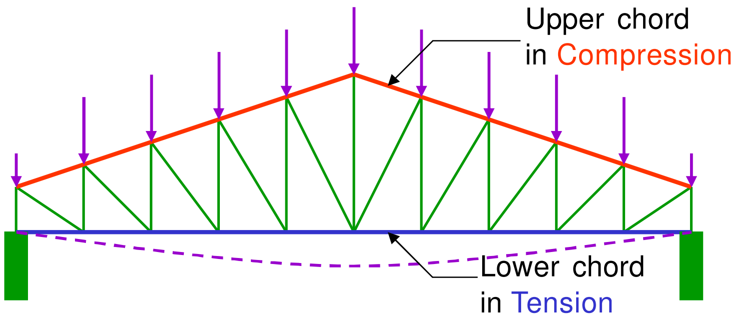
$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x}, \quad M_x = \frac{w_y l^2}{8}, \quad w_y = w\cos\theta + w_{wind}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y}, \quad M_y = \frac{w_x l^2}{8}, \quad w_x = w\sin\theta$$



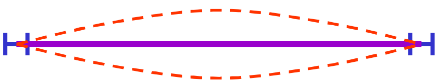
$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{f_{bx}}{0.66F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y} \leq 1.0$$

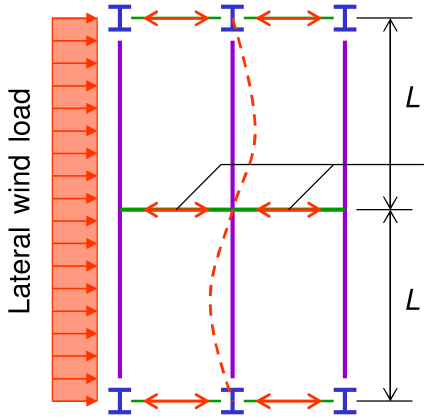
Secondary Truss



Primary Truss under Loading

Lateral Buckling of upper chord in primary truss

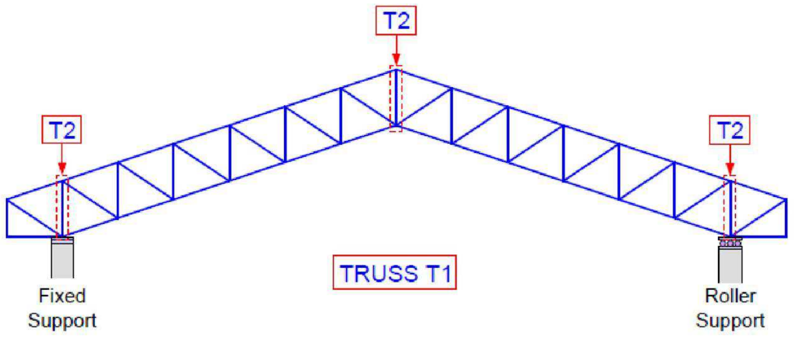




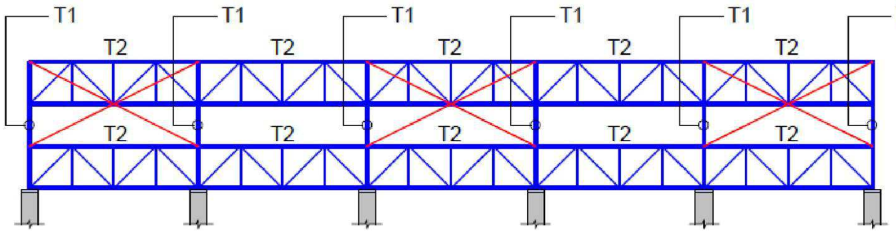
Secondary Truss helps Primary Truss for

- Lateral wind load
- Lateral buckling of upper chord $L/r \leq 200$
- Stability

ลักษณะการวิบัติ เหล็กรูปพรรณโครงหลังคาจะยืดหดตัวตามอุณหภูมิ สิ่งที่สำคัญ คือ การกำหนดที่รองรับแบบหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller Support) และที่รองรับแบบยึดแน่น (Fixed Support)



รูปด้านหน้าแสดงโครงถักหลัก T1

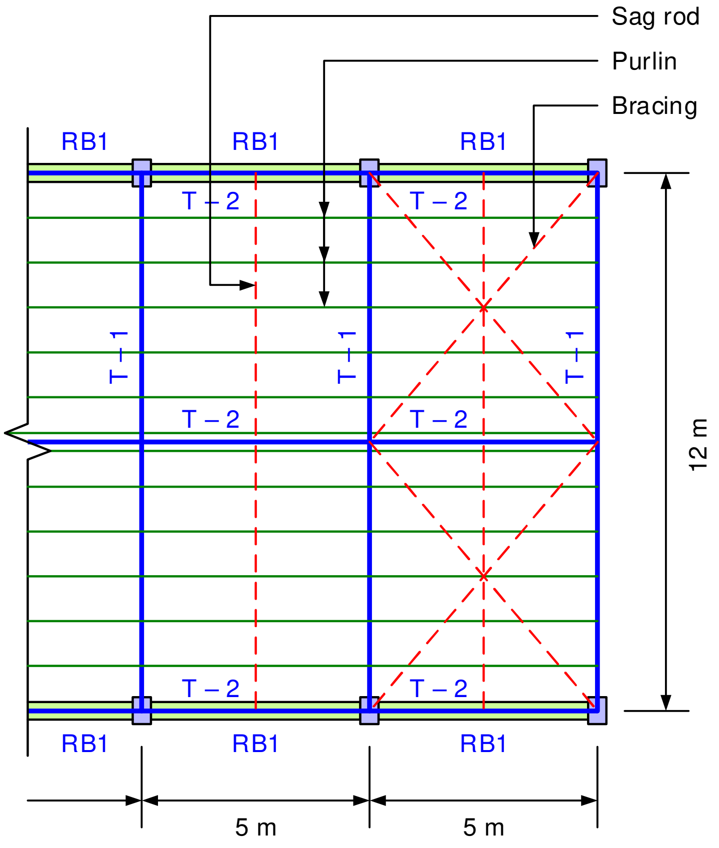


รูปด้านข้างแสดงโครงถักรอง T2

เครดิตภาพและเนื้อหาจาก : http://mypageblog.com/showsearch.php?userid=12&social=Attawut&word=%C3

จุดรองรับโครงถักข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่น (Fixed Support) ส่วนอีกข้างจะเป็นแบบเคลื่อนที่ได้(Roller Support) เนื่องจากโครงหลังคามีการยืดหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ตัวอย่างการออกแบบโครงถักหลังคา



โครง **T–1** ช่วงยาว 12 เมตร

วางห่างกัน 5 เมตร

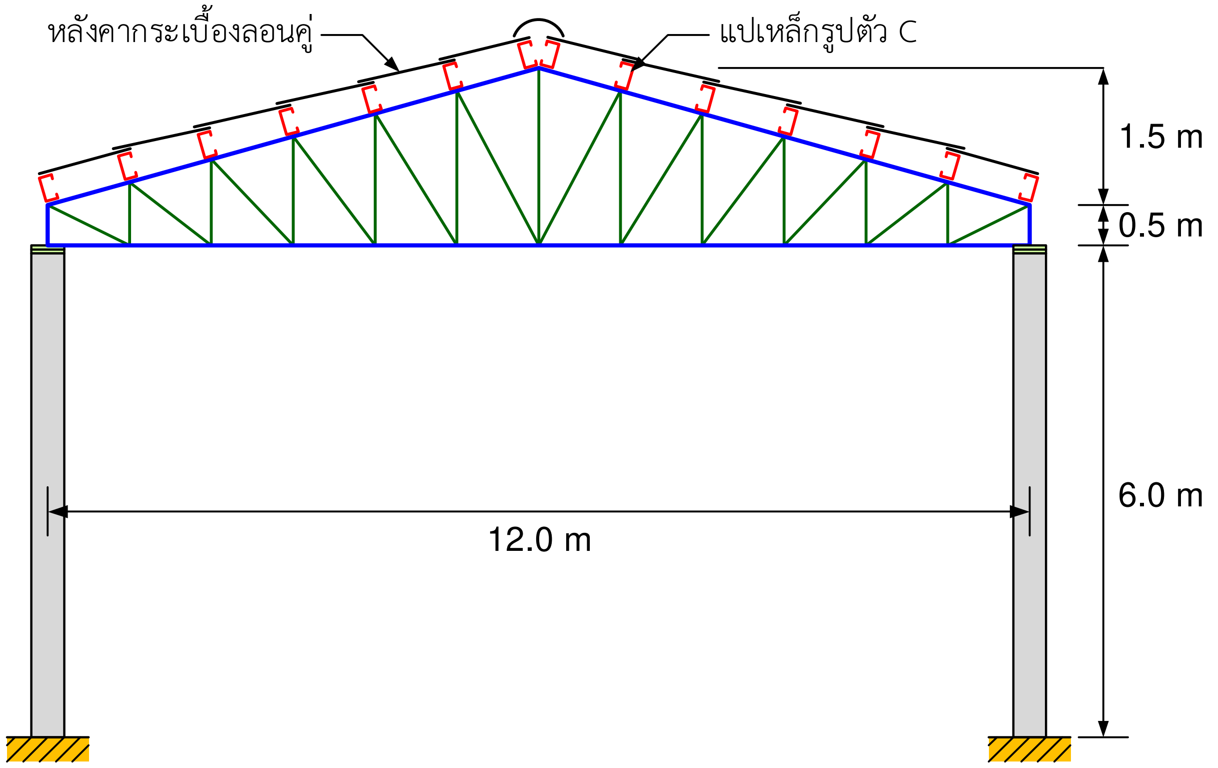
กระเบื้องลอนคู่ 14 กก./ตรม.

น้ำหนักบรรทุกจร 30 กก./ตรม.

เหล็ก : F_y = 2,500 กก./ตรซม.

และ E = 2.1 x 10^6 กก./ตรซม.

แปลนโครงสร้างหลังคา



รูปตัดตามขวาง

การออกแบบแป:

น้ำหนักบรรทุกจร	=	30 กก./ตรม.
น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่	=	14 กก./ตรม.
น้ำหนักรวม	=	44 กก./ตรม.

แปห่างกัน 1.0 เมตร ยาว 5.0 เมตร

น้ำหนักลงแป = 44 x 1.0 = 44 กก./ม.

น้ำหนักแปโดยประมาณ = 6 กก./ม.

รวมน้ำหนักลงแปทั้งหมด = 44 + 6 = 50 กก./ม.

$$w_x = 50\sin 14.04^0 = 12 \text{ kg/m}, \quad M_y = \frac{12\times 5^2}{8} = 38 \text{ kg - m}$$

$$w_y = 50\cos 14.04^0 = 49 \text{ kg/m}, \quad M_x = \frac{49\times 5^2}{8} = 153 \text{ kg - m}$$

ค่าที่ต้องการของ $S_x = \frac{M_x}{F_{bx}} = \frac{153(100)}{0.66(2,500)} = 9.27\ cm^3$

เลือกใช้แป C125x50x20x2.3 มม. (S_x = 21.9 ซม.^{3}, S_y = 6.22 ซม.^{3},

I_x = 137 ซม.^{4}, I_y = 20.6 ซม.^{4}, หนัก 4.51กก./ม.)

หน่วยแรงจากโมเมนต์ดัดรอบแกน x : $f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} = \frac{153(100)}{21.9} = 698.6\ kg/cm^2$

หน่วยแรงจากโมเมนต์ดัดรอบแกน y : $f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{38(100)}{6.22} = 610.9\ kg/cm^2$

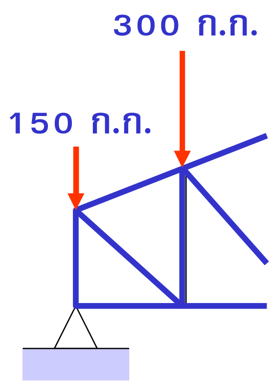
$$\frac{f_{bx}}{0.66F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y} = \frac{698.6}{0.66(2,500)} + \frac{610.9}{0.75(2,500)} = 0.75 \le 1.0$$ **OK**

ตรวจสอบการโก่งแอ่น: $\Delta_{max} = \frac{5wl^4}{384EI} = \frac{5(49/100)(500)^4}{384(2.1\times10^6)(137)}$

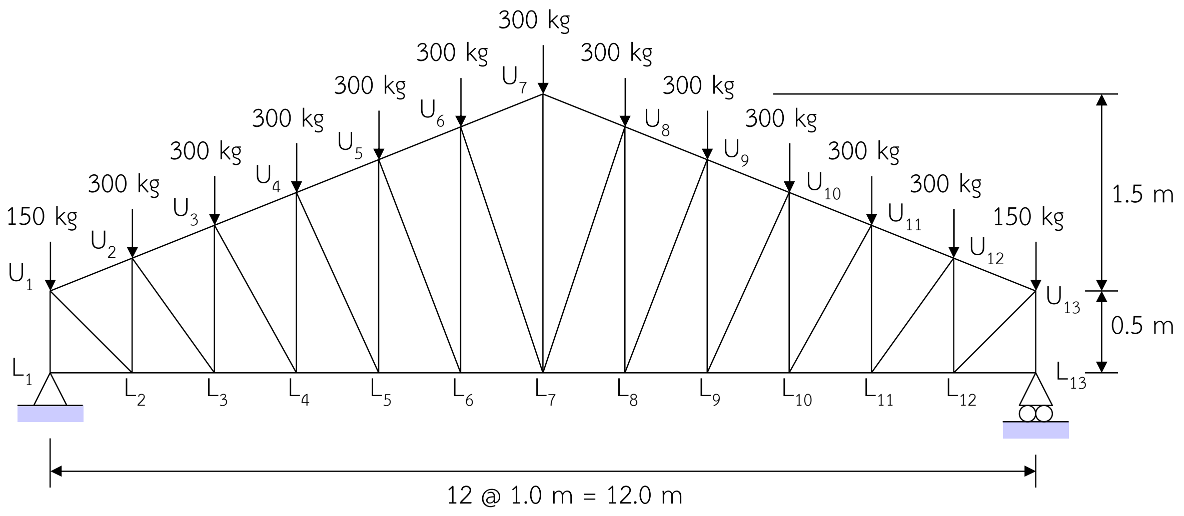
$$= 1.38\ cm < \left(\frac{l}{300} = \frac{500}{300} = 1.67\ cm\right)$$ **OK**

การออกแบบโครงหลังคา T-1:

ระยะห่างระหว่างโครง T-1	=	5 เมตร
น้ำหนักบรรทุกจร	=	30 ก.ก./ตรม.
น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่	=	14 ก.ก./ตรม.
ฏ้าหนักแป (ค่าที่แท้จริง+เหล็กยึดแป)	=	6 ก.ก./ตรม.
น้ำหนักโครงหลังคา (ประมาณ)	=	10 กก./ตรม.
รวมน้ำหนักทั้งหมด	=	60 ก.ก./ตรม.
ฏ้าหนักลงจุดต่อภายใน = 60 × 5 × 1	=	300 ก.ก.
ฏ้าหนักลงจุดต่อภายนอก = 60 x 5 x 0.5	=	150 กก.



โครงหลังคา T-1



ความลาดเอียงหลังคา $\theta = \tan^{-1}\frac{1.5}{6} = 14.04^{o} < 18^{o}$ ดังนั้นไม่ต้องคิดแรงลม

จากการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงในองค์อาคารได้ดังนี้

	องค์อาคาร	น้ำหนักบรรทุก(กก.)	ความยาว(ม.)
Lower Chord: ขื่อ	$L_1L_2 = L_{12}L_{13}$	0	1.00
	$L_2L_3 = L_{11}L_{12}$	2200(T)	1.00
	$L_3L_4 = L_{10}L_{11}$	3000(T)	1.00
	$L_4L_5 = L_9L_{10}$	3240(T)	1.00
	$L_5L_6 = L_8L_9$	3200(T)	1.00
	$L_6L_7 = L_7L_8$	3000(T)	1.00
Upper Chord: จันทัน	$U_1U_2 = U_{12}U_{13}$	2267(C)	1.03
	$U_2U_3 = U_{11}U_{12}$	3092(C)	1.03
	$U_3U_4 = U_{10}U_{11}$	3339(C)	1.03
	$U_4U_5 = U_9U_{10}$	3298(C)	1.03
	$U_5U_6 = U_8U_9$	3092(C)	1.03
	$U_6U_7 = U_7U_8$	2783(C)	1.03

	องค์อาคาร	น้ำหนักบรรทุก(กก.)	ความยาว(ม.)
Vertical Bracing:	$L_1U_1 = L_{13}U_{13}$	1800(C)	0.50
	$L_2U_2 = L_{12}U_{12}$	1100(C)	0.75
	$L_3U_3 = L_{11}U_{11}$	600(C)	1.00
	$L_4U_4 = L_{10}U_{10}$	240(C)	1.25
	$L_5U_5 = L_9U_9$	50(T)	1.50
	$L_6U_6 = L_8U_8$	300(T)	1.75
	L_7U_7	1050(T)	2.00
Diagonal Bracing:	$L_2U_1 = L_{12}U_{13}$	2460(T)	1.12
	$L_3U_2 = L_{11}U_{12}$	1000(T)	1.25
	$L_4U_3 = L_{10}U_{11}$	339(T)	1.41
	$L_5U_4 = L_9U_{10}$	64(C)	1.60
	$L_6U_5 = L_8U_9$	360(C)	1.80
	$L_7U_6 = L_7U_8$	604(C)	2.02

ออกแบบท่อนขื่อ (Lower Chord)

แรงมากสุดเกิดขึ้นใน L_4L_5 และ L_9L_{10} = 3,240 กก. (T) ยาว 1.0 เมตร

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $F_t = 0.60F_y = 0.60(2,500)$ = 1,500 กก./ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ $A_g = 3,240 / 1,500$ = 2.16 ซม.^{2}

เลือกหน้าตัด L 50 × 50 × 4 มม. ($A_g = 3.89$ ซม.^{2}, $r_{min} = 0.98$ ซม.)

ถ้าเลือกใช้การต่อโดยใช้เชื่อมต่อหนึ่งขาของเหล็กฉาก (ลองใช้ $U = 0.85$)

พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล $A_e = 0.85A_g = 0.85(3.89)$ = 3.31 ซม.^{2}

แรงที่หน้าตัดประสิทธิผลรับได้ $= 0.5F_uA_e = 0.5(4,000)(3.31)$

= 6,620 กก. > 3,240 กก. **OK**

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด, $L/r = 100/0.98$ = 102 < 300 **OK**

ออกแบบท่อนจันทัน (Top Chord)

แรงมากที่สุด U_3U_4 และ $U_{10}U_{11} = 3{,}339$ กก. (แรงอัด) ความยาว 1.03 เมตร

สมมุติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้, $F_a = 1{,}000$ กก./ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ, $A = 3{,}339/1{,}000 = 3.34$ ซม.^{2}

เลือกหน้าตัด L 50 × 50 × 4 มม. ($A_g = 3.89$ ซม.^{2}, $r_{min} = 0.98$ ซม.)

อัตราส่วนความชะลูด, $L/r = 103/0.98 = 105$

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้, $F_a = 876.2$ กก./ซม.^{2}

หน้าตัดรับแรงอัดได้ $= (3.89)(876.2) = 3{,}408$ กก. $>$ 3,339 กก. **OK**

ออกแบบท่อนยึดดิ่งและท่อนยึดทแยง

1) ท่อนรับแรงดึง:

แรงดึงมากที่สุดเกิดขึ้นใน L_2U_1 และ $L_{12}U_{13}$ = 2,460 กก. ยาว 1.12 เมตร

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, $F_t = 0.60F_y$ = 0.60(2,500) = 1,500 กก./ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่ต้องการ, A_g = 2460/1500 = 1.64 ซม.^{2}

เลือกหน้าตัด L40 x 40 x 3 มม. (A = 2.35 ซม.^{2}, r_{min} = 0.78 ซม.)

ถ้าเลือกใช้การต่อโดยใช้การเชื่อมยึดหนึ่งขาของเหล็กฉาก

พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล, $A_e = 0.85A_g = 0.85(2.35) = 2.00$

แรงที่หน้าตัดประสิทธิผลรับได้ $= 0.5(4{,}000)(2.00) = 4{,}000$ กก. $> 2{,}460$ กก. **OK**

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด, $L/r = 112/0.78 = 143.6 < 300$ **OK**

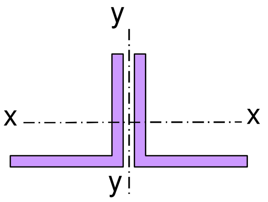
2) ท่อนรับแรงอัด:

แรงอัดมากที่สุดเกิดขึ้นใน L_7U_6 และ L_7U_8 = 604 กก. ความยาว 2.02 เมตร

อัตราส่วนความชะลูด $L/r = 202/0.78 = 259 > 200$ **NG**

เลือกหน้าตัดใหญ่ขึ้น L65 x 65 x 6 มม. (A = 7.53 ซม.^{2}, r_{min} = 1.27 ซม.)

หรือใช้หน้าตัดคู่ 2-L40 x 40 x 3 มม. (A = 2(2.35) = 4.70 ซม.^{2})



I_x = 2(3.45) = 6.90 ซม.^{4} ← **Control**

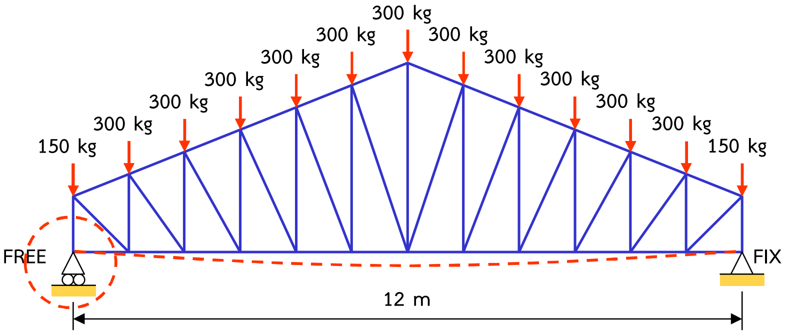
I_y = 2(3.45) + 4.70(1.07)^2 = 12.28 ซม.^{4}

$r_{min} = \sqrt{6.90/4.70} = 1.21$ cm

อัตราส่วนความชะลูด $L/r = 202/1.21 = 167 < 200$ **OK**

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้, F_a = 387.7 กก./ซม.^{2}

หน้าตัดรับแรงอัดได้ = (4.70)(387.7) = 1,822 กก. > 600 กก. **OK**



Max. Deflection:

From analysis,

Δ_{max} = 1.64 cm

< [1200/300 = 4.0 cm] **OK**

Free (Roller) Support Design:

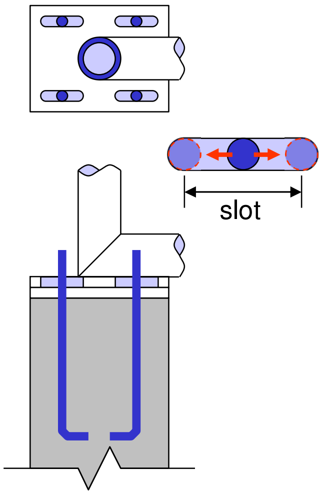
ช่วงความยาวโครงถัก = 12 เมตร

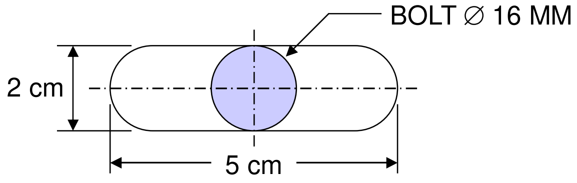
สัมประสิทธิ์การยืดตัวเหล็กโครงสร้าง α = 12×10^{-6} /^{o}C

ความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ΔT = 40 ^{o}C

$\alpha\Delta TL$ = 12×10^{-6}×40×1,200 = 0.576 cm

Slot length = 2 × 0.576 + 1.6 = 2.75 cm **USE 5 cm**





End of Lecture 11