

목구조 설계 및 실습

Chapter 3: Design loads

장상식

충남대학교 그린건축연구실(*CNUTim*)

Introduction

- 하중의 종류
 - Vertical load: dead load, live load, snow load
 - Horizontal(Lateral) load: wind load, seismic load
- 구조설계는 수직하중 계산부터 실시
- 구조계산: 실제 건축과는 반대방향으로 진행
 - 상부의 제일 작은 치수의 부재로부터 구조계산 실시

Vertical load: Dead load

◦ 구조부재 자체의 무게

- 골조(framing), 덮개(sheathing), 단열재 (insulation), 석고보드(gypsum board) 등의 영구적인 부착물
- 냉난방 장치, 물탱크 등의 설비의 무게
- 여러 가지 재료의 무게 표 또는 제조업체가 제공하는 표 사용

○ 단위 변환

- Us unit, Meter unit, SI unit
- Us unit: lbs, ft, in, psf, psi
- Meter unit: kgf, m, cm, kgf/cm², kgf/m²
- SI unit: N, m, mm, Pa, MPa(N/mm²)

○ 목구조의 dead load(DL)

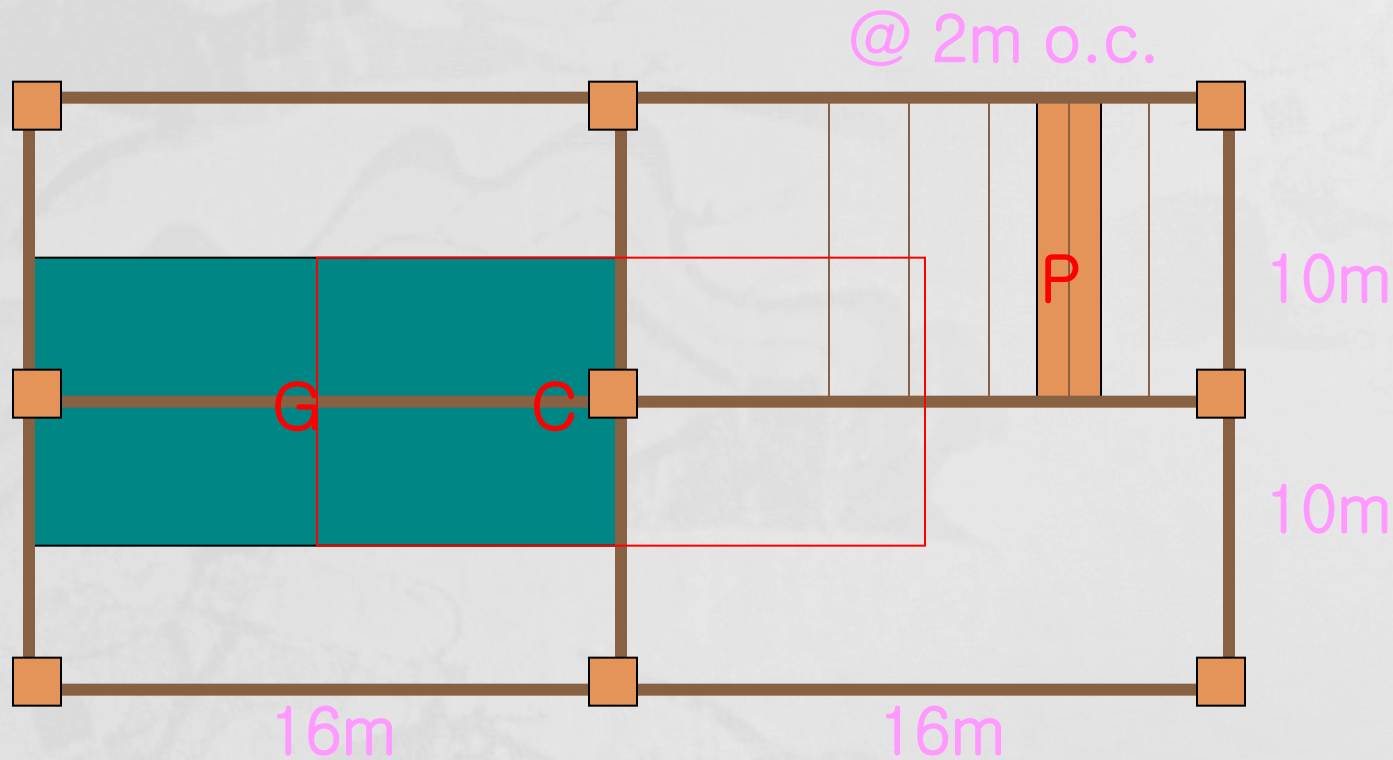
- 사용재료와 구성에 따라서 차이
- 7~20psf
- 예: RDL
 - Roofing: 6.5psf
 - Plywood(1/2" thick): 1.5psf
 - Framing(2x12@16"o.c.): 3.2psf
 - Insulation: 0.5psf
 - Ceiling: 2.0psf
 - **RDL = 13.7 ≅ 14psf**

- 예: FDL

- Concrete: 12.5psf
- Sheathing(1 1/8" thick plywood): 3.4psf
- Framing(4x12@4'o.c.): 2.5psf
- Frame for sound insulation(2x4@24"o.c.): 0.7psf
- Ceiling(1/2" thick gypsum board): 2.5psf
- FDL = 21.6psf ≒ 22psf

○ Tributary area(영역): 해당 부재에 하중을 전달하는 것으로 가정되는 면적

- Tributary area(영역): 해당 부재에 하중을 전달하는 것으로 가정되는 면적



Vertical load: Live load

- 사람, 가구, 작업자, 건축장비, 장식물 등과 같이 영구적으로 고정되지 않은 하중
- 각 나라의 건축법규에 별도로 정함
 - UBC: 주거용 건물 - 40psf
 - 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙:
주거용 건물 - 200kgf/m²

Roof live load(RLL)

- UBC(1997): Table 16-C

- Method 1: 지붕 부재의 영역과 경사에 따라서 unit RLL 값을 표에서 찾아서 사용
- Method 2: 계산식을 이용하여 unit RLL 값을 계산하여 사용

$$R = r(A - 150)$$

$$R = 23.1 \left(1 + \frac{DL}{RLL} \right)$$

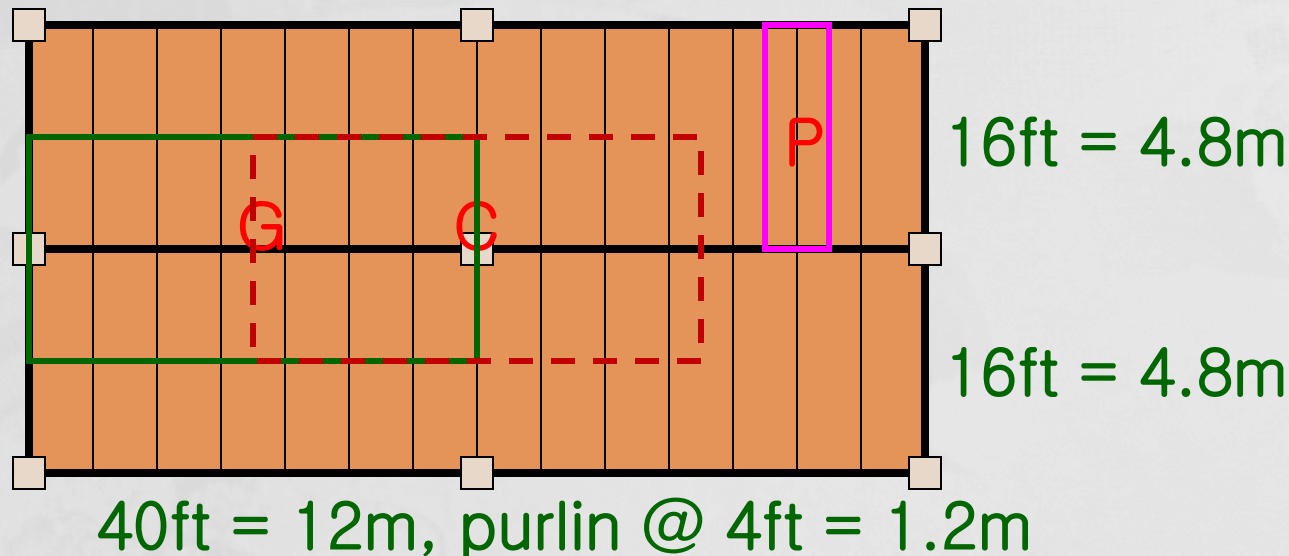
$$R = \text{Maximum of Table 16-C (Method 2)}$$

○ UBC Table 16-C

지붕경사	Method 1			Method 2		
	영역(ft ²)			균일분포 하중(psf)	감소율, r(%)	최대감소, R(%)
	X 0.0929 m ²					
	0-200	201-600	601 이상			
	균일분포하중(psf)					
	X 0.0479kN/m ²					
0 ≤ < 4/12	20	16	12	20	0.08	40
4/12 ≤ < 1	16	14	12	16	0.06	25
1 이상	12	12	12	12	감소가 허용되지 않음	
천막	5	5	5	5		
온실 등의 농업시설	10	10	10	10		

Example(Roof live load)

- 평지붕, $RDL=8\text{psf}=39.06\text{kgf/m}^2$



Method 1

○ P:

$$A = 64\text{ft}^2 < 200$$

$$\therefore \text{RLL} = 20\text{psf}$$

$$W = (\text{DL} + \text{RLL})(B) = (8 + 20)(4) = 112\text{lb/ft}$$

○ G:

$$A = 320\text{ft}^2, 200 < 320 < 600$$

$$\therefore \text{RLL} = 16\text{psf}$$

$$W = (8 + 16)(16) = 384\text{lb/ft}$$

○ C:

$$A = 320\text{ft}^2, 200 < 320 < 600$$

$$\therefore \text{RLL} = 16\text{psf}$$

$$P = (8 + 16)(320) = 7680\text{lb}$$

Method 2

○ P:

$$A = 64\text{ft}^2 < 150$$

∴ no reduction of RLL

$$W = (DL+RLL)(B) = (8+20)(4) = 112\text{lb/ft}$$

○ G:

$$A = 320\text{ft}^2 > 150$$

$$R = r(A-150) = 0.08(320-150) = 13.6\%$$

$$R = 23.1(1+DL/RLL) = 23.1(1+8/20) = 32.3\%$$

$$R = 40\%, \quad \therefore RLL = 20(1.0-0.136) = 17.3\text{psf}$$

$$W = (8+17.3)(16) = 404\text{lb/ft}$$

○ C:

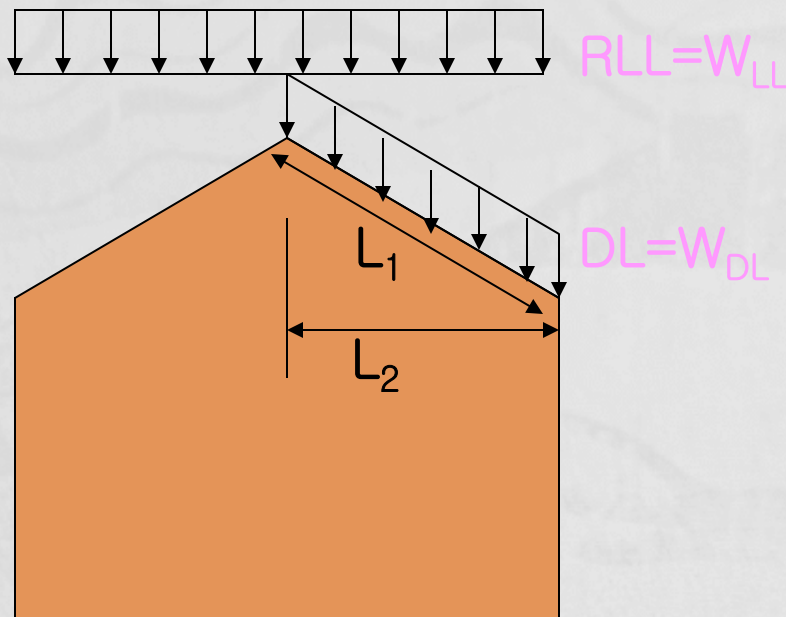
$$A = 320\text{ft}^2 > 150, \quad G\text{와 동일}$$

$$\therefore RLL = 17.3\text{psf}$$

$$P = (8+17.3)(320) = 8090\text{lb}$$

○ 범규의 RLL: 수평면에 적용

- 평지붕의 경우: DL와 직접 합산 가능
- 경사지붕의 경우: DL은 경사면을 따라 측정
- 경사지붕의 경우에는 DL과 RLL을 같은 기준으로 평가 후 합산 가능



$$W_{TL} = W_{DL} \left(\frac{L_1}{L_2} \right) + W_{LL}$$

$$W_{TL} = W_{DL} + W_{LL} \left(\frac{L_2}{L_1} \right)$$

Floor live load(FLL)

○ 건축법규

- 미국(UBC): 40psf
- 우리나라(건축물의 구조기준 등에 관한 규칙):
200kgf/m²
- 150ft² 이하의 작은 영역에 적용
- 영역이 증가할수록 단위 FLL은 감소
- 100psf 이상의 FLL 또는 공공건물의 경우에는 단위 FLL 감소 불가
- 계산공식은 RLL의 경우와 동일
- $R_{\max} = 40\%$ (수평부재), 60% (수직부재)

○ 계산공식

$$R = r(A - 150)$$

$$R = 23.1 \left(1 + \frac{DL}{RLL} \right)$$

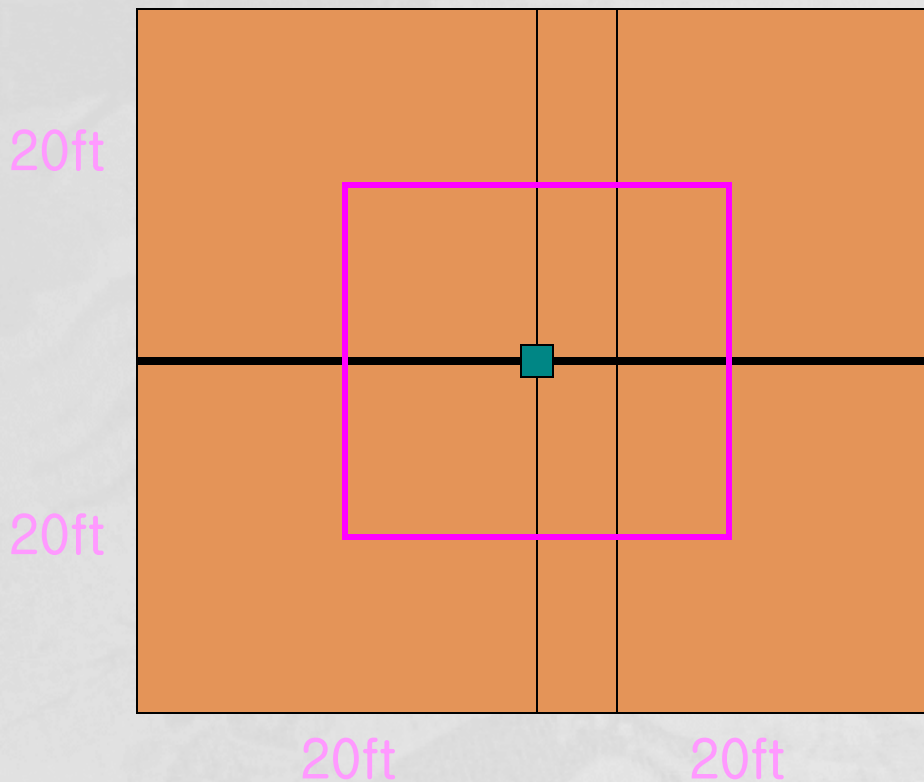
$$R_{max} = 40\% (\text{수평부재})$$

$$R_{max} = 60\% (\text{수직부재})$$

- $r = 150\text{ft}^2$ 를 넘는 바닥영역에 대하여
 ft^2 당 0.08%의 감소비율

Example

- FDL = 10psf, FLL = 40psf



$$A = 400\text{ft}^2 > 150$$

$$R = r(A - 150) = 20\%$$

$$R = 23.1\left(1 + \frac{DL}{FLL}\right) = 28.9\%$$

$$R = 40\%$$

- $FLL = 40(1.0-0.2) = 32\text{psf}$
- $TFL = DL + FLL = 10 + 32 = 42\text{psf}$
- 기둥에 작용하는 하중
 $P = 42 \times 400 = 16,800\text{lb} = 16.8\text{k}$

Deflection limit

- Failure of a structure
 - 건축물의 붕괴
 - 건물의 전체 또는 일부분의 과도한 변형
- 건식벽을 지지하는 천장
 - $\Delta_{LL} \leq L/360$
 - $\Delta_{(KDL+LL)} \leq L/240$
 - 건조재: $K = 0.5$
 - 비건조재: $K = 1.0$
- 건식벽을 지지하지 않는 천장: 집성재 구조
 - $\Delta_{LL} \leq L/240$
 - $\Delta_{(KDL+LL)} \leq L/180$

Ponding failure(집수 파괴)

- 평지붕에서 물의 고임에 의하여 발생
- 이를 방지하기 위하여 최소한의 지붕 경사 필요
 - $\frac{1}{4}$ (in/ft) 이상의 지붕경사 필요
 - 물이 고인 경우를 대비하여 총하중과 물의 무게를 고려한 설계: 강성과 강도 증가
- Glulam: 제작 시에 camber 부여
 - 장기하중에 의한 처짐 + $\frac{1}{4}$ (in/ft)의 경사
- 목조주택에서 평지붕의 설치는 가능하면 피하는 것이 바람직함

Vertical load: Snow load

- 주로 지붕구조에 작용
 - 발코니, 테크 등의 개방구조에도 작용
- 지역별로 편차가 매우 큼
- 수평면에 대한 하중으로 법규에 규정
- 지붕경사에 따른 감소계수 적용
- UBC: 20psf 이상, 20도 이상의 경사

$$R_s = \frac{SL}{40} - \frac{1}{2}$$

R_s = 적설하중의 감소량(psf/°)
 SL = 적설하중(psf)

적설하중의 계산

$$S_f = C_b \times C_e \times C_t \times I_s \times S_g \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

- $S_g =$ 기본지상적설하중(0.5kN/m²)

지역	지상적설하중 (kN/m ²)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구 전주, 울산, 광주, 부산, 충무, 목포, 여수, 제수, 서귀포, 진주 울진, 이천	0.5
인천	0.8
속초	2.0
강릉	3.0
울릉도, 대관령	7.0

- $C_b =$ 기본지상적설하중계수 = 0.7
- $C_e =$ 노출계수(A(0.8), B(0.9), C(1.0), D(1.1), E(1.2))

주 변 환 경	
A. 지형, 높은 구조물, 나무 등 주변환경에 의해 모든 면이 바람막이가 없이 노출된 지붕이 있는 거센바람 부는 지역	0.8
B. 약간의 바람막이가 있는 거센바람 부는 지역	0.9
C. 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕 하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.0
D. 바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.1
E. 바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲 지역으로서, 촘촘한 침엽수	1.2

- $C_t =$ ^{사이에 위치한 지붕} 온도계수(난방구조물(1.0), 비난방구조물(1.2))
- $I_s =$ 중요도계수(특(1.2), 1(1.1), 2(1.0), 3(0.8))

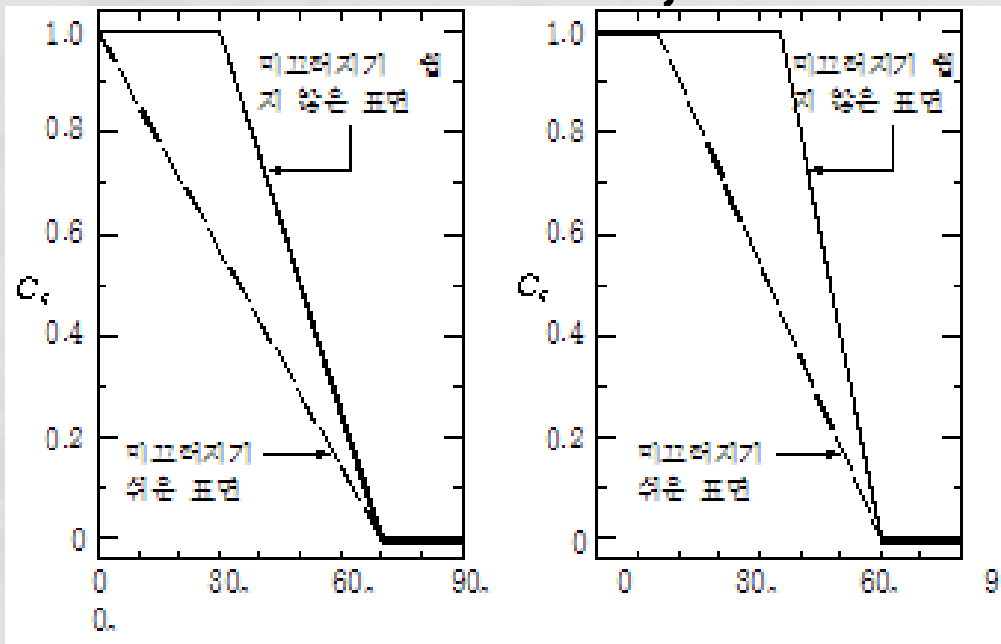
적설하중의 감소

$$S_s = C_s \times S_f \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

- C_s = 지붕경사도계수

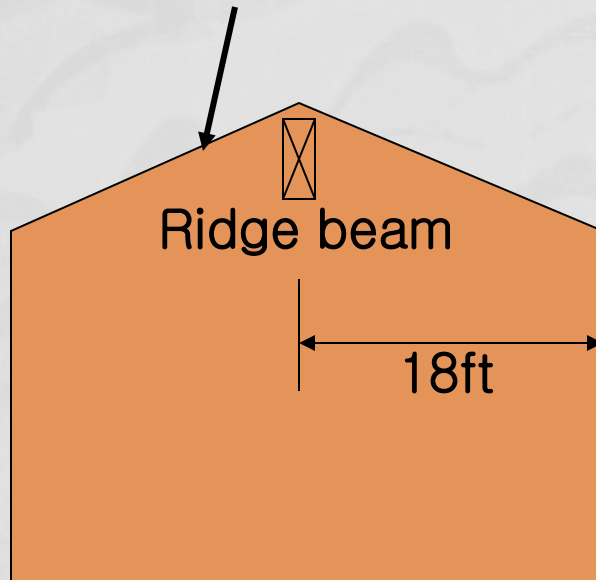
- 따뜻한 지붕, 차가운 지붕

- 미끄러지기 쉬운 표면, 미끄러지기 쉽지 않은 표면



Example(snow load)

- RDL = 10psf(경사면), SL= 75psf(수평면)
 - 지붕경사 = 6/12
 - Rafter @ 4ft o.c.



$$\theta = \tan^{-1} \frac{6}{12} = 26.6^\circ > 20$$

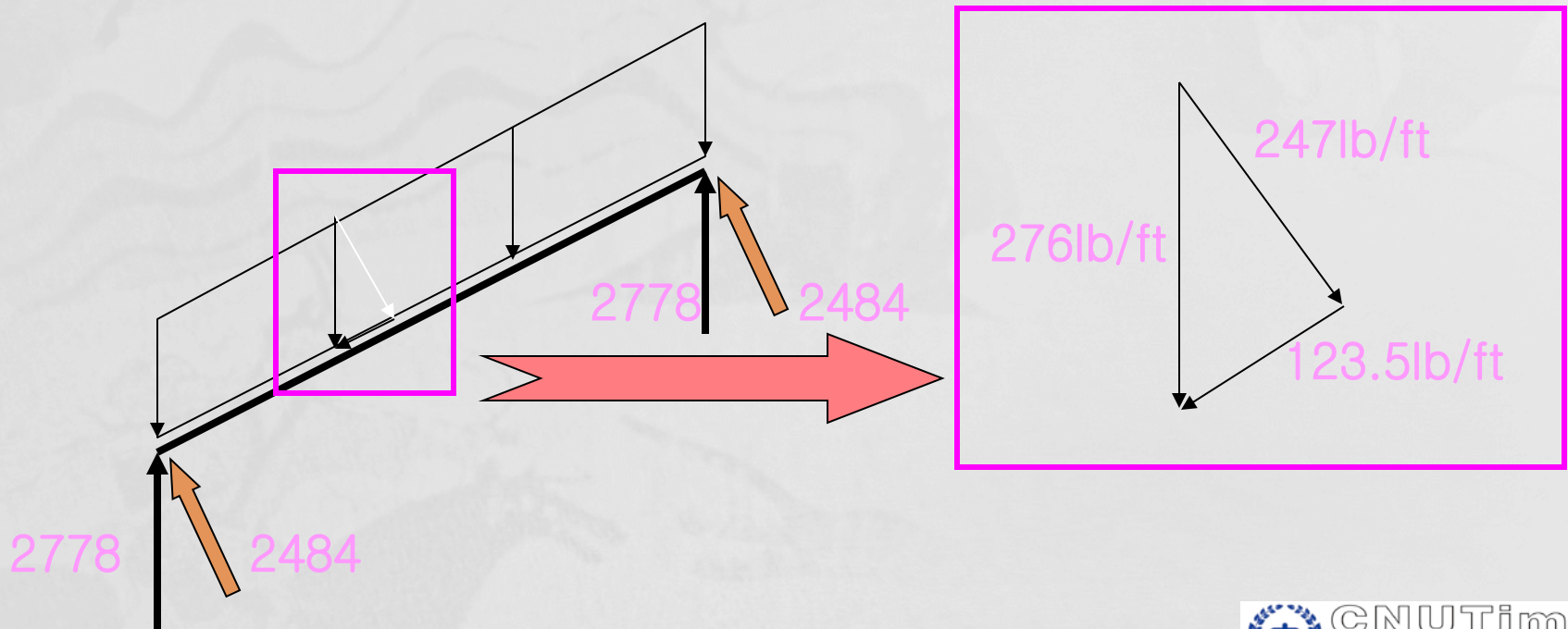
$$\therefore R_s = \frac{SL}{40} - \frac{1}{2} = 1.38 \text{ psf} / ^\circ$$

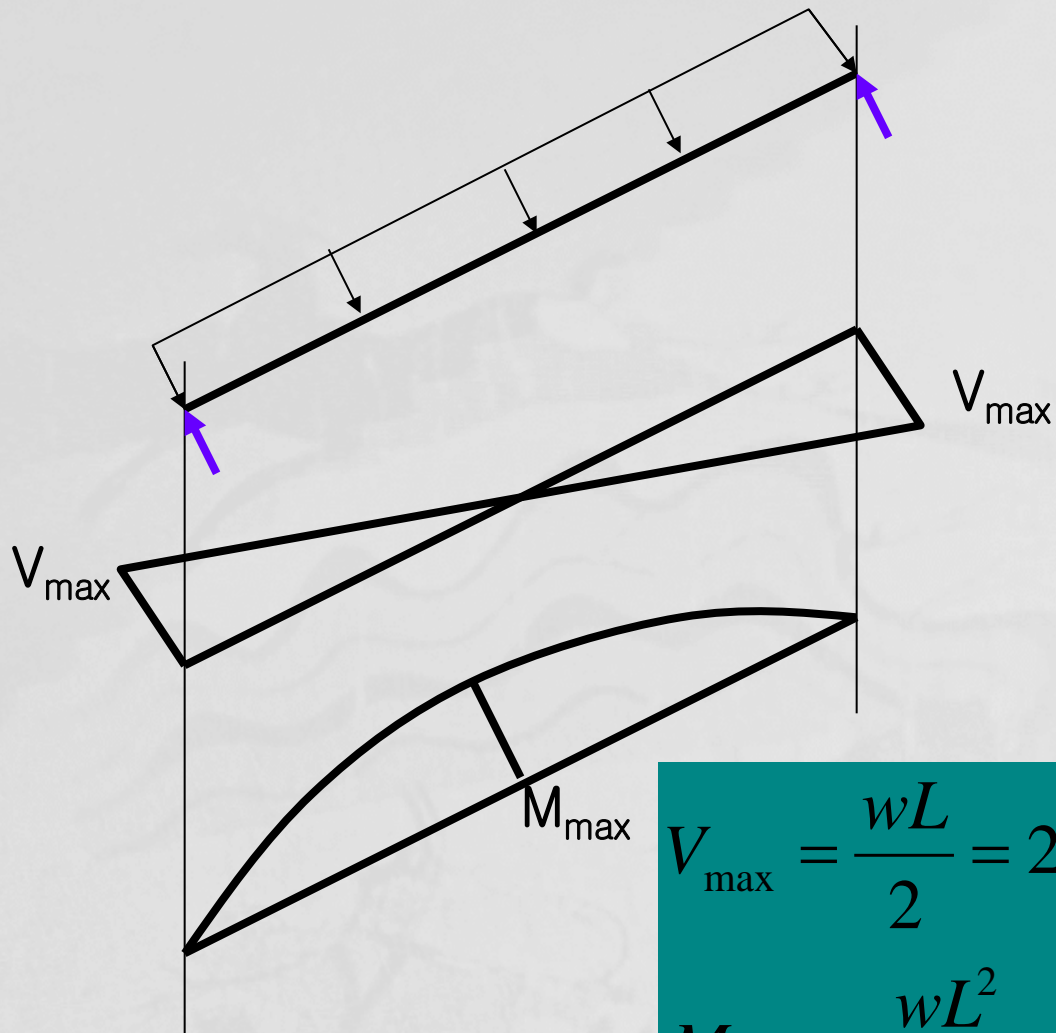
$$SL = 75 - 1.38(26.6 - 20) \approx 66 \text{ psf}$$

○ 총하중

- Left rafter(경사면): 경사길이 20.12ft

$$W_{TL} = \left(66 \frac{18}{20.12} + 10\right)4 \approx 276 \text{ lb / ft}$$





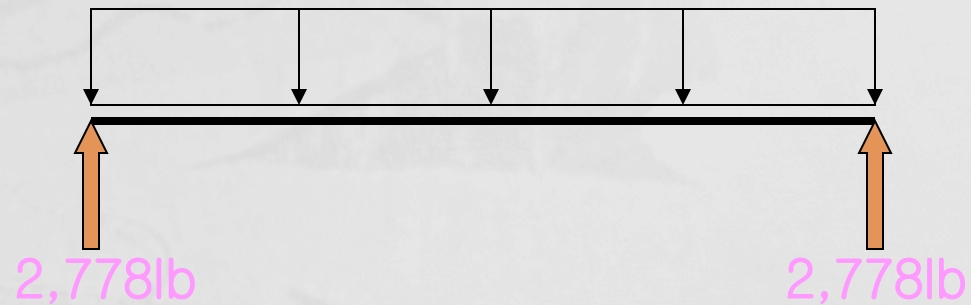
$$V_{\max} = \frac{wL}{2} = 2,480lb = 2.48k$$

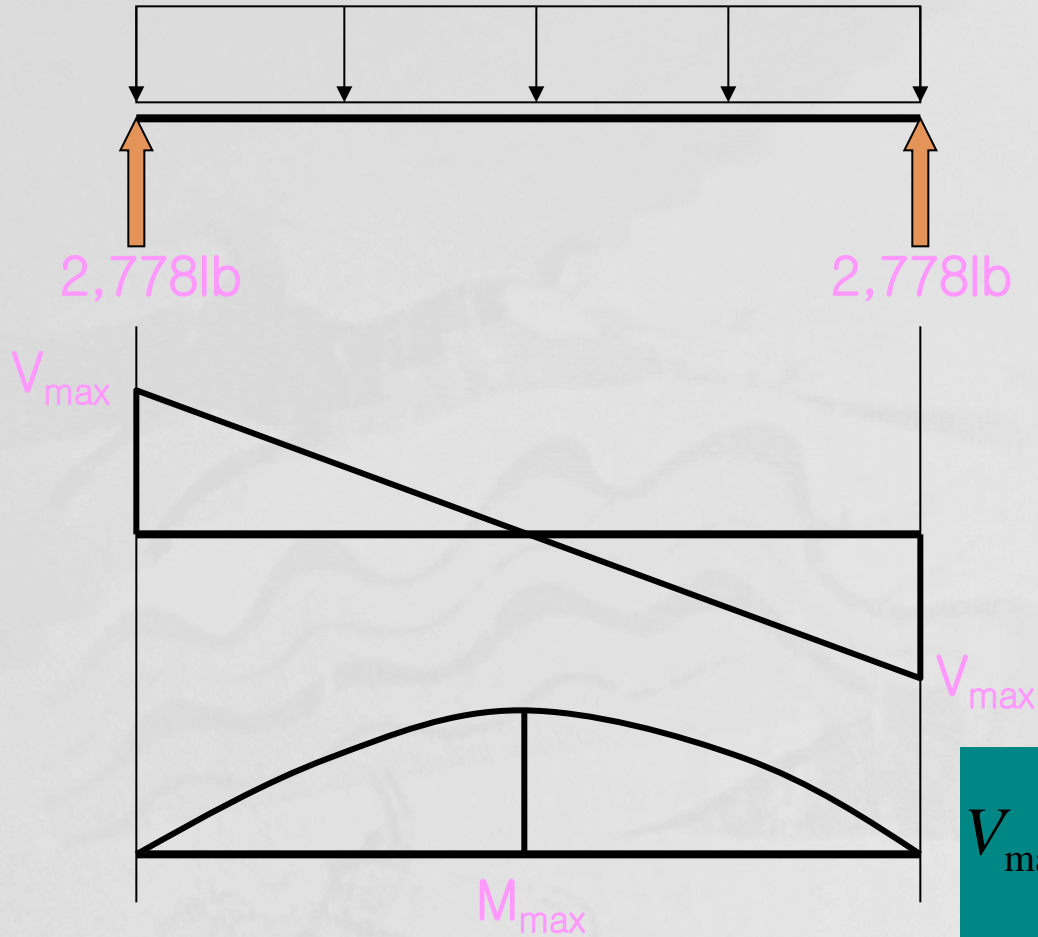
$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} = 12,500lb - ft = 12.5 ft - k$$

○ 총하중

- Right rafter(수평면): 수평길이 18ft

$$W_{TL} = (10(\frac{20.12}{18}) + 66)(4) \approx 309lb / ft$$





$$V_{\max} = \frac{WL}{2} = 2,778lb$$

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} = 12,515lb - ft$$