

Mega Substructure 개념과
마찰 층면진 개념을 복합한
4층 빌딩의 내진-면진 설계

Team.
De – Quakers

지도 교수

팀장

팀원

팀원

팀원

김재민 자문위원

유성호

자료정리 및
PPT 제작

강동영

SAP2000
구조해석,
PPT 디자인

김해종

설계 및 도면제작,
3D 모델링

전형준

재료 관리 및 실험



1. 구조물 제작 및 심사 기준

- 구조물의 내진설계 목표와 성능수준 이해
- 목표 가속도(0.7g)에서 설계한 구조물이 파괴
- 시공성, 경제성, 구조성 및 구조물의 아름다움을 충족

2. 작품 제작 규정

- 하중은 각 층에 6kg이상, 총 24kg이상의 하중블록 설치
- 4층 이상으로 제작되며 각 층은 규정된 하중을 정적으로 지지
- 각층의 높이는 200mm이상, 총 높이 800mm이상 900mm이하

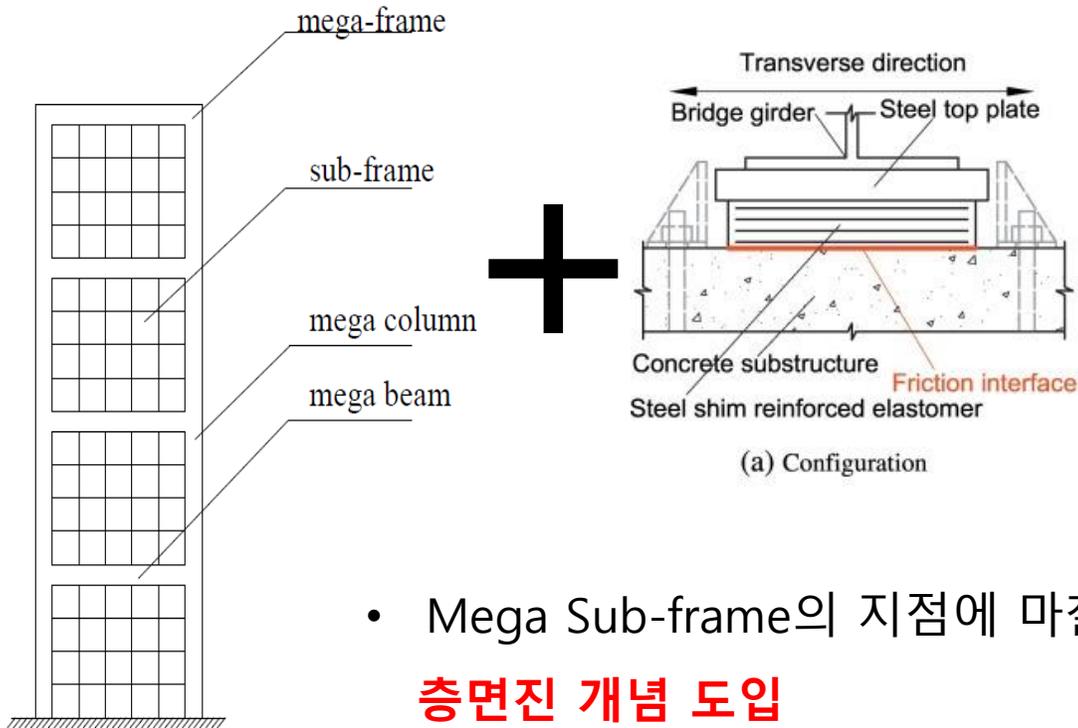
3. 설계 목표

- 단계별 모델링을 통해 최종적으로 목표 가속도(0.7g)부근에서 부재의 힘 파괴를 일으키는 대칭 구조물 설계
- 각 층의 하중블록과 바닥면과의 마찰력을 이용해 **층간면진**을 구현, 지진 하중이 끝난 후 구조물을 원상태로 돌리기 위한 복원부재의 활용
- 면진 장치의 작동 이전에 가새를 활용해 지진하중을 견딜 수 있는 내진구조 설계
- 최대 지진 가속도가 0.4g일 때 내진 성능이 확보되고, 최대 지진 가속도 0.6g 일 때, 2방향 지진하중에 의한 힘에 대한 **안전율이 1.0 이상**이 되도록 설계하며 최대 0.7g일 때 안전율이 1.0에 근접하도록 설계

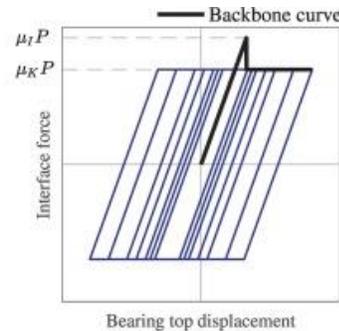
1

CHAPTER 1
Design Concept

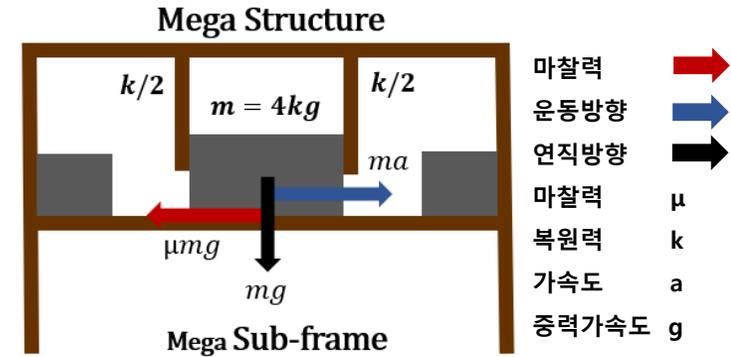
4. 설계 이론 : 면진을 활용한 구조물



- Mega Sub-frame의 지점에 마찰포트를 설치하는 **층면진 개념 도입**



1. Axial compression P
 2. Initial static coeff. of friction $\mu_I = 0.60$
 3. Kinetic coeff. of friction $\mu_K = 0.45$
- (b) Computational model for elastomer shear and sliding (without transverse retainers)



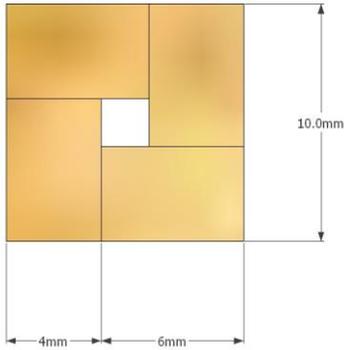
- 바닥면과의 마찰력을 이용하여 면진을 구현하며 강성 k 를 가지는 **복원부재**를 설치하여 지진 하중이 끝난 후 구조물이 제자리로 돌아오게 함
- 하중블록의 탈락을 방지하기 위해 하중블록의 일부를 벽으로 세움으로써 벽과의 충돌 에너지로 지진에너지를 감소시키는 부가적인 효과 기대
- $a \geq \mu$ 일 때 Mega Structure와 Mega - Sub Structure가 일체 거동, $a < \mu$ 부터 슬라이딩이 발생하여 면진 기능을 수행하도록 설계

2

CHAPTER 2

Design Process

1. 기둥 단면 설정



• 단면 2차 모멘트

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{1}{12}(10^4 - 2^4) = 832mm^4$$



단순보(L = 200mm)	하중(N)	$\sigma(MPa)$
1	4.622	28.887
2	4.439	27.743
3	4.469	29.116
4	4.347	27.171
5	4.439	27.743
평균	4.501	28.132
파괴 강도 $\sigma(KPa, MPa)$	28000	28

• 파괴 강도 $\sigma_u=28MPa$



단순보(L = 200mm)	중앙부 $\Delta(mm)$	E(MPa)
1	7.500	1513.272
2	7.700	1473.966
3	7.100	1598.526
4	7.900	1436.650
5	8.000	1418.692
평균	7.640	1488.221
사용E값 (KPa, MPa)	1488000	1488

• 탄성계수 E=1488MPa

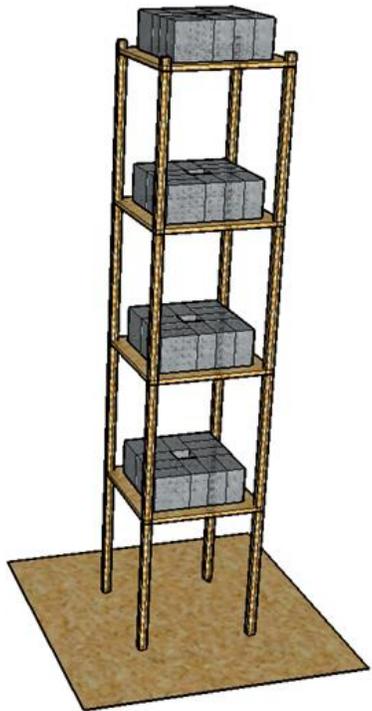
마찰계수 산정 μ	1차 높이 (cm)	2차 높이 (cm)	3차 높이 (cm)	평균 높이 (cm)	μ
Plate + 하중블록	7.300	6.500	6.200	6.667	0.354
Plate[A4] + 하중블록	8.300	10.900	9.200	9.467	0.537
Plate[A4] + 하중블록[A4]	9.700	9.100	8.900	9.233	0.520

- 마찰 계수 $\mu=0.354$ 사용 (경사 블록을 통한 실험으로 결정)
- 마찰을 활용한 면진 이론에 의해, 최대 증가속도 0.354g 까지는 내진 성능을 가질 수 있도록 설계

2

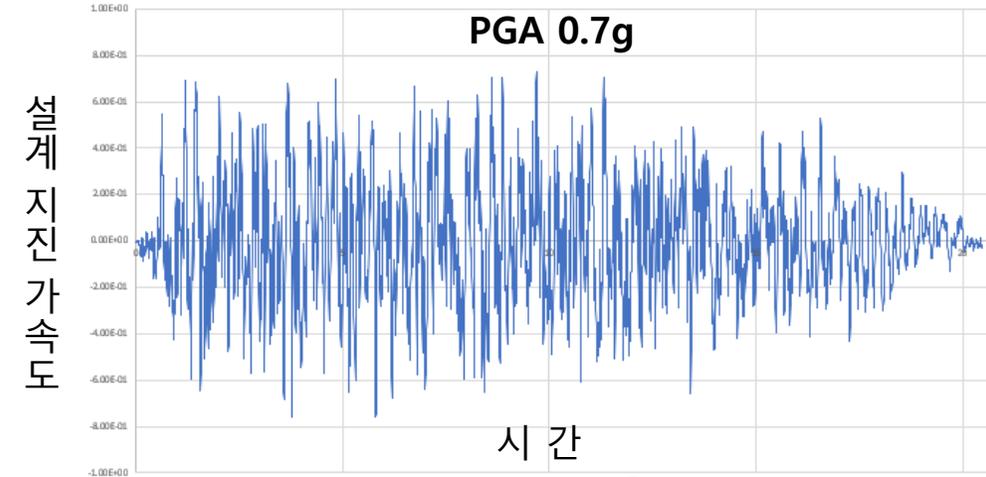
CHAPTER 2
Design Process
2. Model 선정

Model I



$f_1 = 1.477\text{Hz}$

- SAP2000 프로그램 활용 1축 인공지진파를 입력한 지진해석
- 2축 지진 입력을 고려한 1축 응력 σ_1 할증 (30% 방법 적용), 강도 감소 계수 ($\Phi=0.85$) 적용
- 각 모델의 최상층 변위와 기둥에서의 최대 모멘트 값 M 도출
- 1축 방향 휨응력 $\sigma_1 = \frac{M}{I}y$ (이 때, $I = 832\text{mm}^4, y = 5\text{mm}$), 2축 방향 휨응력 $\sigma_2 (= 1.3\sigma_1) \leq \phi\sigma_u (= 0.85\sigma_u)$
- 2축 방향에서 힘에 대한 안전율 ($FS = \frac{\sigma_u}{\sigma_2}$) 계산



$PGA = 0.4g$	최상부층 변위 $\delta(\text{mm})$	X층 기둥에서 $M_{max}(N \cdot \text{mm})$	2축 방향에 대한 휨응력 $\sigma_2(\text{MPa})$	FS
Model I	106.109	4363.636 [1층]	40.107	0.698



→ 변위를 줄여주고 전도를 방지하기 위한 가새를 추가하여 0.4g 에서 FS가 1.0 이 되도록 설계

2

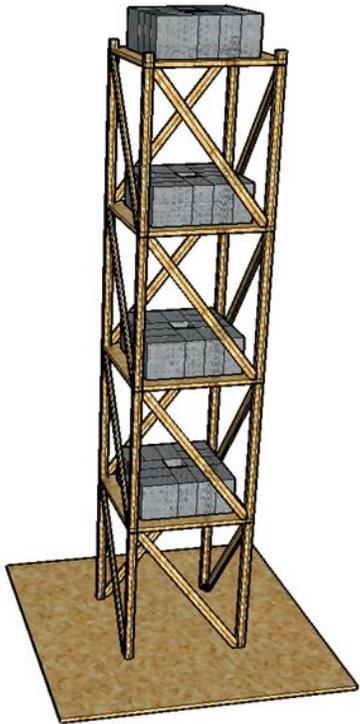
CHAPTER 2

Design Process

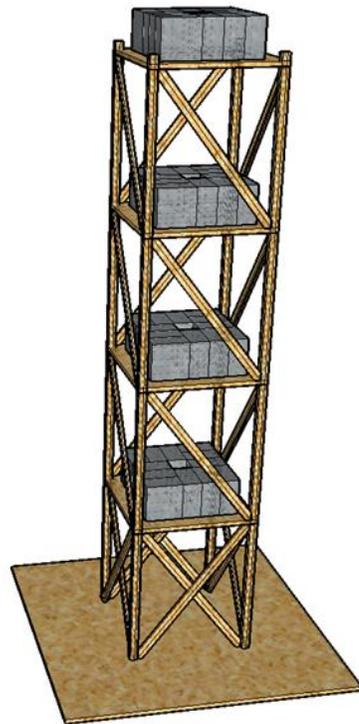
2. Model 선정

Model II-A

Model II-B



$f_1 = 6.101\text{Hz}$



$f_1 = 6.717\text{Hz}$

$PGA = 0.4g$	최상부층 변위 $\delta(mm)$	X층 기둥에서 $M_{max}(N \cdot mm)$	2축 방향에 대한 힘응력 $\sigma_2(MPa)$	FS
Model II-A	15.971	3420.727 [1층]	31.441	0.891
Model II-B	11.807	1977.455 [2층]	22.785	1.229

- 두 모델 모두 최상층 변위가 감소, 지진가속도 0.354g 이상을 버티며 지진 가속도 0.4g에서 2축 방향에서 힘에 대한 안전율이 1.0이 넘는 **Model II-B** 를 채택

$PGA = 0.7g$	최상부층 변위 $\delta(mm)$	X층 기둥에서 $M_{max}(N \cdot mm)$	2축 방향에 대한 힘응력 $\sigma_2(MPa)$	FS
Model II-B	20.663	4648.09 [2층]	39.873	0.702



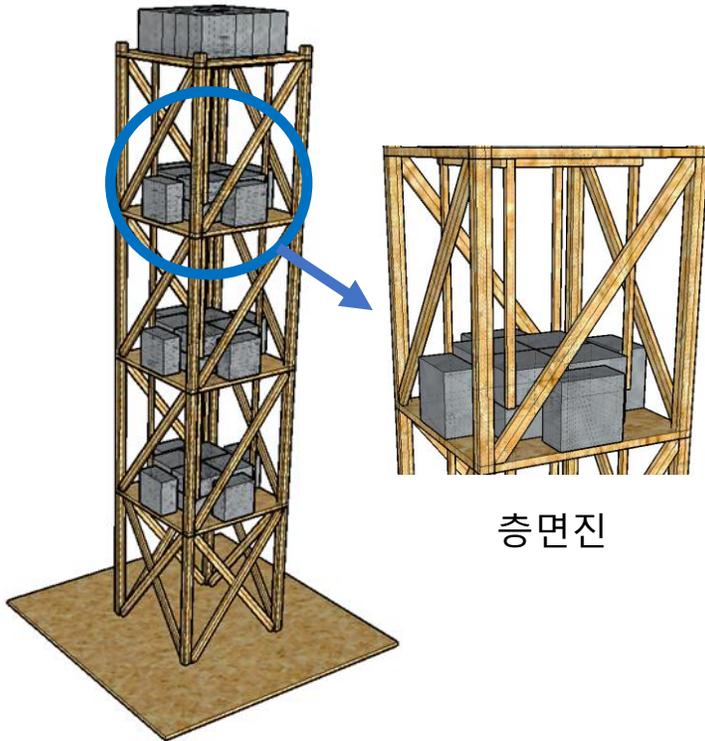
PGA=0.7g 일 때 힘에 대한 안전율이 1.0보다 작으므로 **층면진 장치 도입 필요**



2

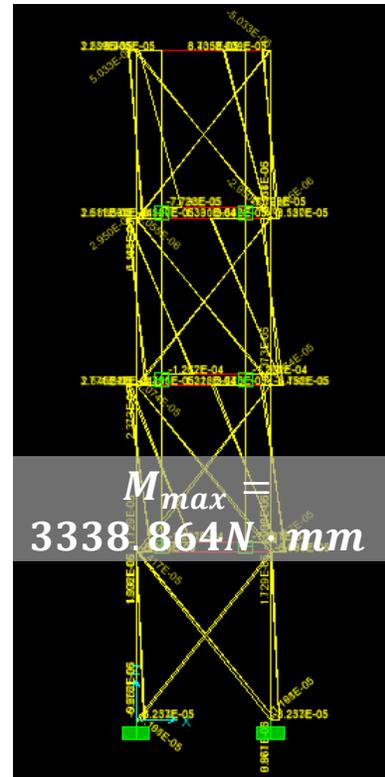
CHAPTER 2
Design Process
2. Model 선정

Model III



층면진

$f_1 = 6.639Hz$



SAP2000 해석모델

$PGA = 0.6g$	최상부층 변위 $\delta(mm)$	X층 기둥에서 $M_{max}(N \cdot mm)$	2축 방향에 대한 힘응력 $\sigma_2(MPa)$	FS
Model III	17.427	2671.091 [2층]	24.550	1.141

- $PGA=0.6g$ 일 때, 2축방향에서 힘에 대한 안전율이 1.0을 넘어 파괴되지 않을 것

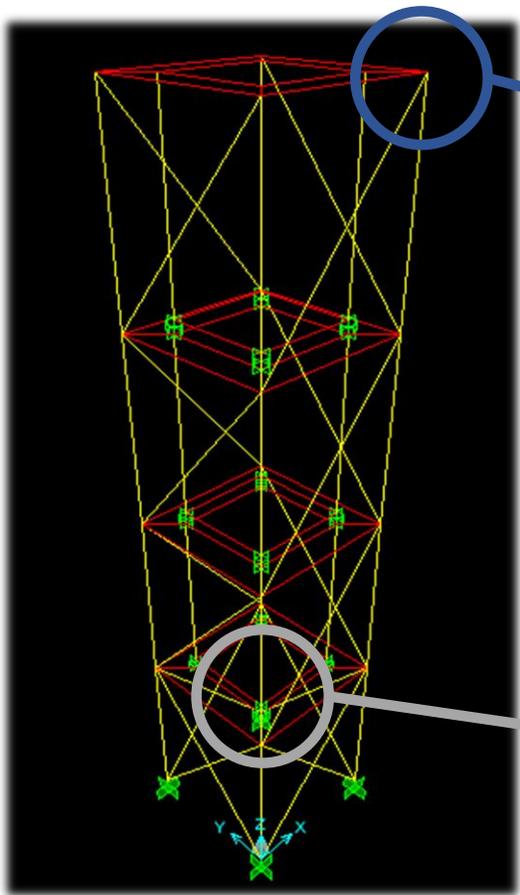
$PGA = 0.7g$	최상부층 변위 $\delta(mm)$	X층 기둥에서 $M_{max}(N \cdot mm)$	2축 방향에 대한 힘응력 $\sigma_2(MPa)$	FS
Model III	20.332	3338.864 [2층]	28.642	0.978

- $PGA=0.7g$ 일 때, 2축방향에서 힘에 대한 안전율이 1.0에 근접하여 **0.7g에서 파괴 예상**
- $PGA=0.7g$ 에서 가장 큰 힘 응력이 발생하는 **2층 최외각 기둥부의 파괴 예상**

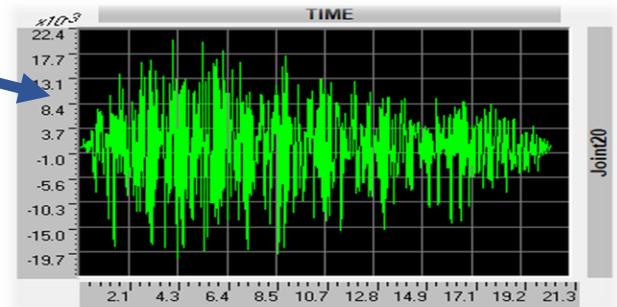
2

CHAPTER 2
Design Process

3. 변위 및 면진장치 거동

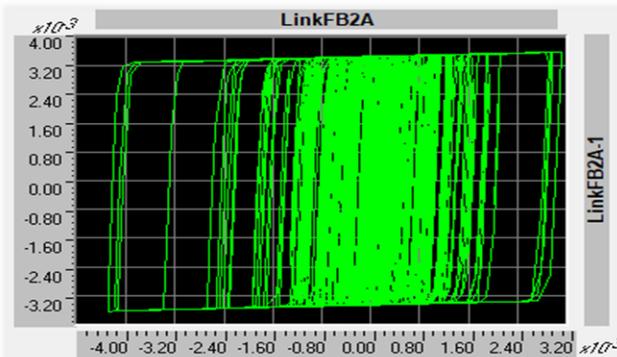


① Sap2000 Model



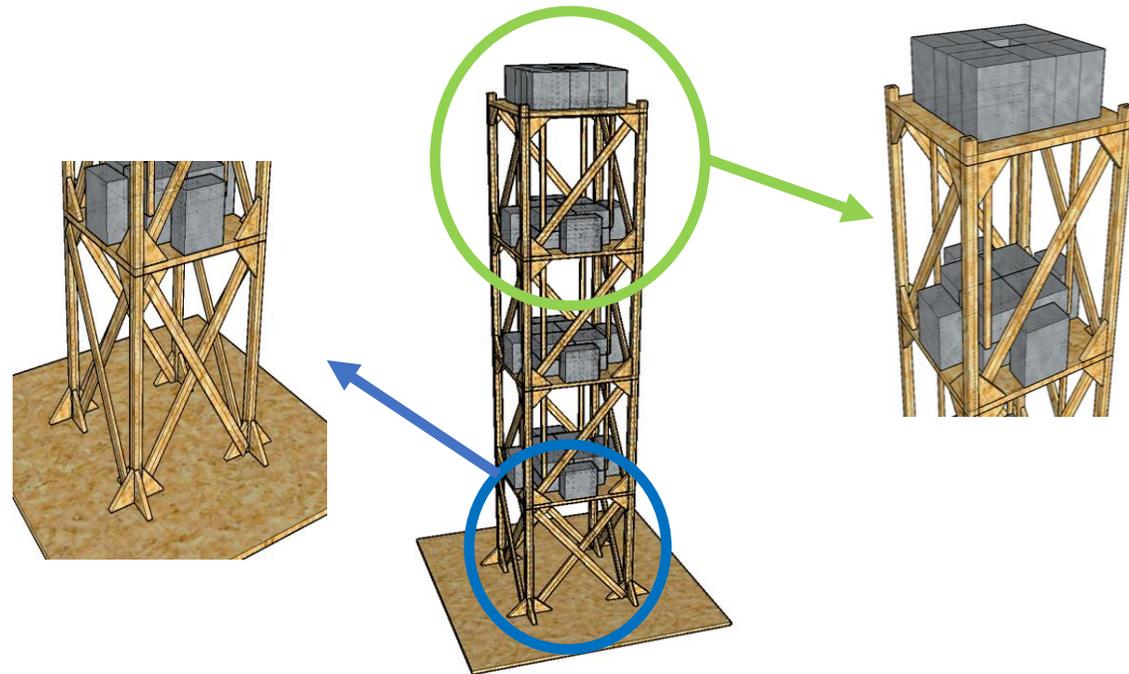
② 최상부층 시간-변위그래프

→ $\delta_{max} = 20.332mm$



③ 면진 힘-변위이력 그래프

4. Final Model 상세 제작 방법



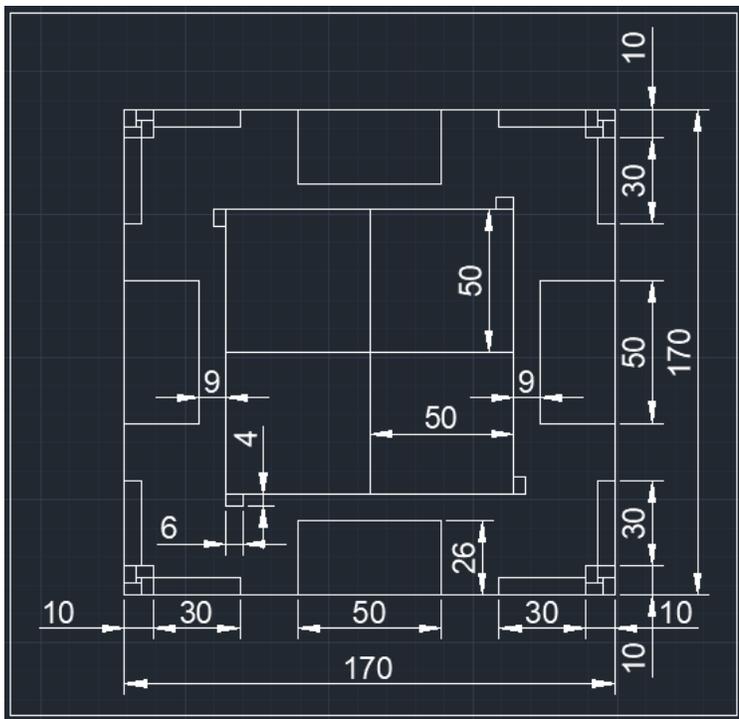
다음과 같은 목적으로 **Gusset Plate**를 추가 (30mm × 30mm × 6mm)

- 기초판과 구조물의 접촉면을 키워 구조물 전도 방지
- 시공오차를 고려하여 기둥과 가새의 **접착면 증가**

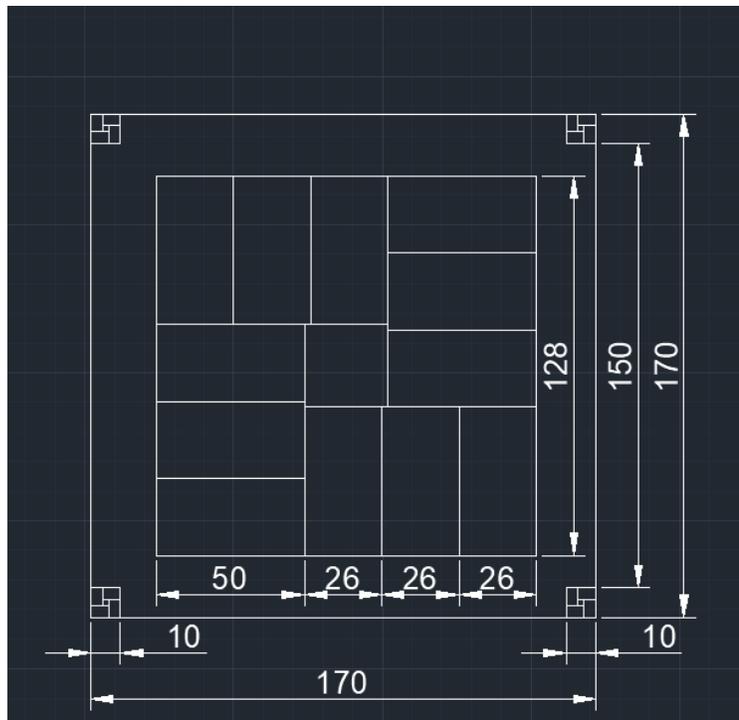
3

CHAPTER 3
Conclusion

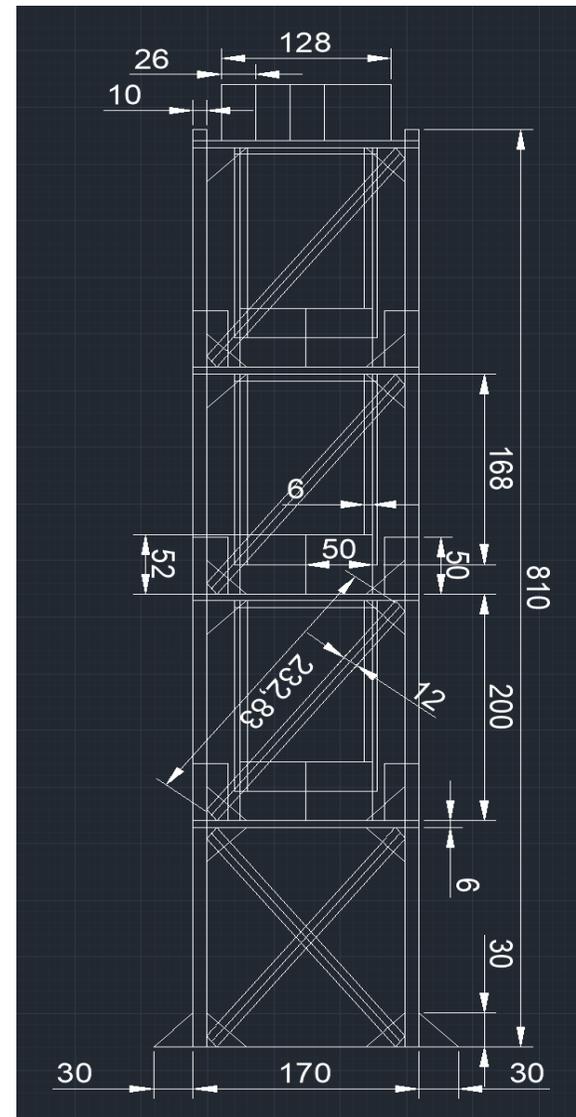
1. 도면



평면도 [2,3,4층]



평면도 [옥상]



정면도 [측면도]

3

CHAPTER 3

Conclusion

2. 내역서

재료명	단위	규격	단위수량(개)	단가(백만원)	필요 수량(개)	금액(백만원)
MDF Base (기초판)	개	400mm×400mm×6mm	1	-	1	-
MDF Strips	개	600mm×4mm×6mm	1	10	48	480
MDF Plate	개	200mm×200mm×6mm	1	100	4	400
면줄	식	600mm	1	10	-	-
A4지	장	A4	1	10	-	-
접착제	개	20g	1	200	3	600

기준 금액 (백만원)	2400
예상 금액 (백만원)	1480
여유 금액 (백만원)	920