



AJOU UNIVERSITY

2024 구조물 내진설계 경진대회

주제 : 내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감

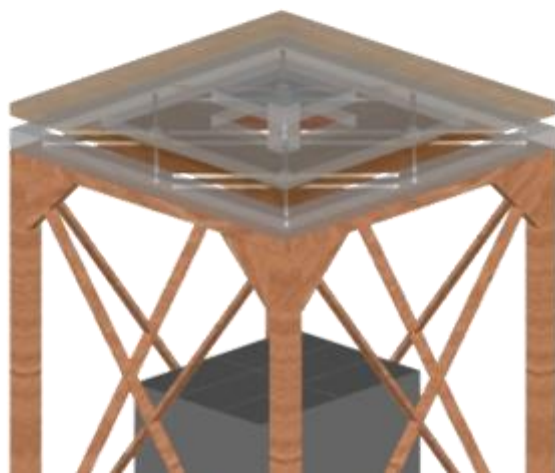
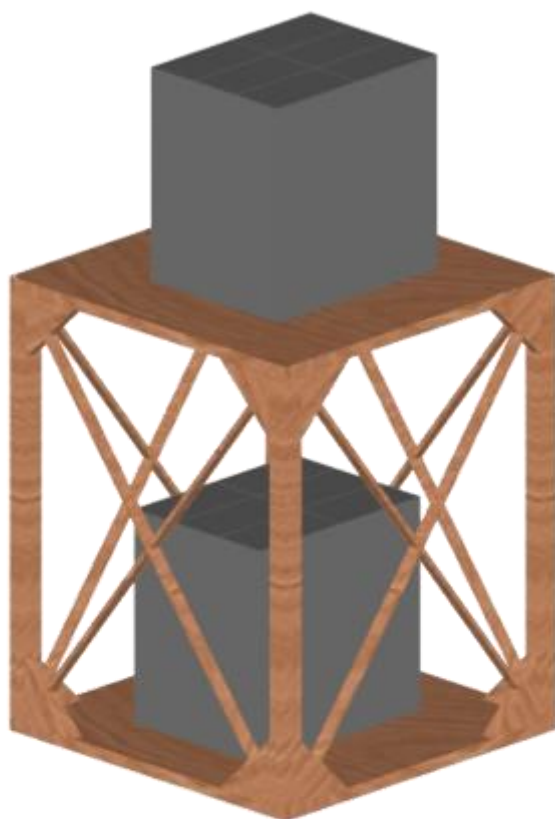
팀명 : 쿨러가유

지도교수 : 조봉호 교수님

대학 : 아주대학교 건축공학전공

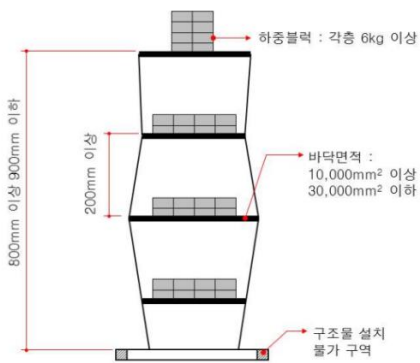
팀원 : 곽정석, 김슬아, 임채범, 임지현

‘LM 면진테이블’ 에서 착안한 구조물 내진 설계



01 구조물 규정 분석

◇ 구조물 규정 및 심사기준



재료명	규격	단가
MDF Base (기초판)	400X400X6 mm	-
MDF Strip	600X4X6 mm	10
MDF Plate	200X200X6 mm	100
스트링 고무줄	600 mm	40
A4지	A4	10
접착제	20g	200

<심사기준>

1. 구조물의 **내진설계** 목표와 성능수준의 이해
2. 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 **부재강도 평가** 능력
3. 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
4. 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
5. 구조물의 **붕괴 메커니즘을 고려한 파괴를 유도**하는 정밀한 설계
6. 설계 시공성과 **경제성**을 고려, **심미성과 창의성**을 추구하는 설계
7. 구조해석 능력 외 도면화 수량산출 및 내역작성 기술

규정
특징

- (1) 기초구조물 존재 X
- (2) MDF, 종이 등 한정된 재료

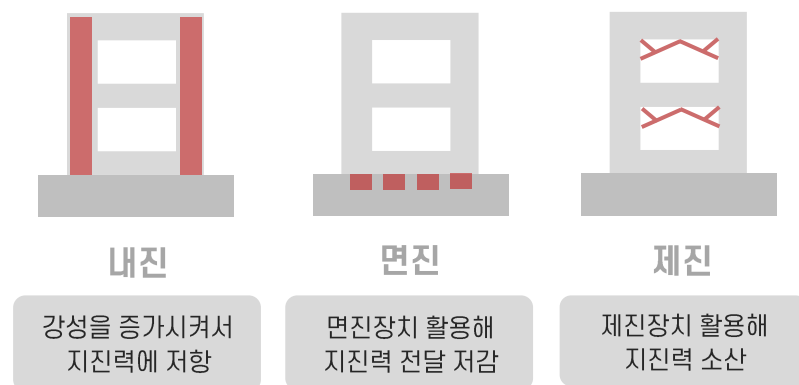
설계
목표

지진 시 거동을 예측하고,
설계규정, 부재강도를 고려해
파괴를 유도하는 설계

02 내진설계 개념

◇ 내진설계 개념

◇ 설계적용 스케치



설계안 적용 ○

- X자 가새, 가넷플레이트, 메가코어를 활용해 구조 강성이 증가하도록 설계

- 본 대회의 구조물의 물성을 고려한 내진설계 필요

설계안 적용 ○

- 본 대회 구조물의 **구조적 특성을 고려한 면진장치**의 고안 및 설계가 필요

- 면진층 설치 위치, 면진장치 구성재료 등의 고민 필요

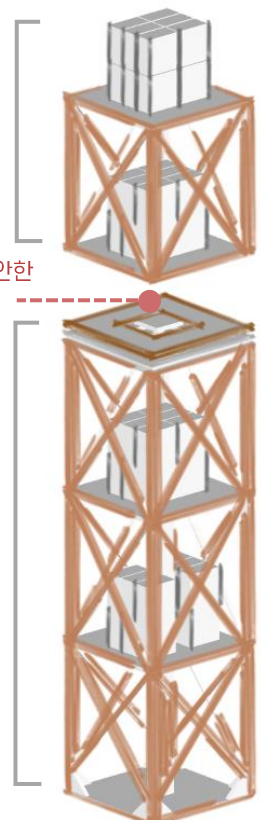
설계안 적용 ✕

- 구조물의 설계과정에서 추가적인 변수를 고려해야 해 정밀한 설계가 어려움

하중블록 12kg
면진장치를 설치해
하부 & 상부를 분리

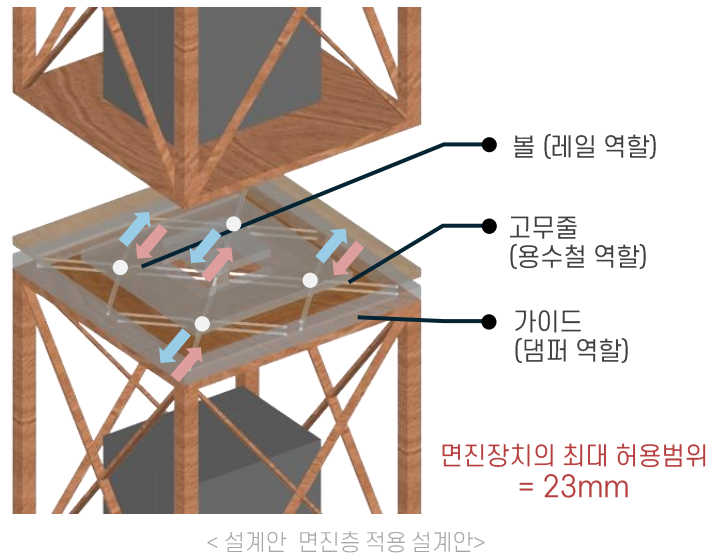
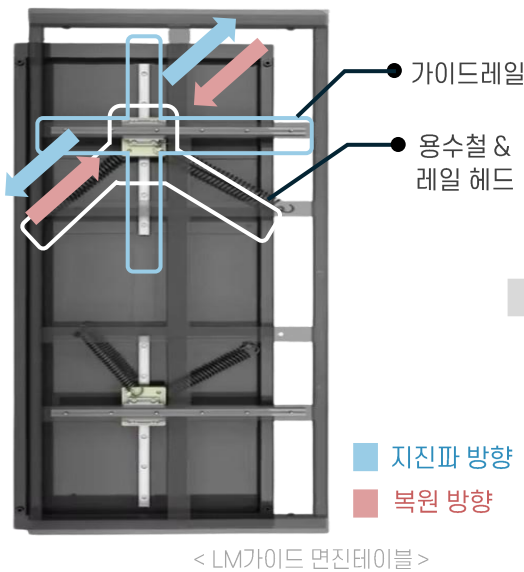
LM 면진테이블에서 착안한
중간면진층

하중블록 12kg
X자 가새, 메가코어
활용, 하부 강성 증가



03 설계안 Main Concept

◇ 'LM 면진테이블' 에서 착안한 구조물 내진 설계



Q. 왜 중간층 면진 을 활용하여 설계했는가?

- 본 대회는 지반에 기초부재 존재 X
- 기초층 면진을 선택할 경우, 지반에 면진층 변형에 따른 가동범위를 지반에 확보하지 못해 건물 전체가 지진 충격으로 인한 붕괴 위험 O

출처 : 오상훈, 「중간층 면진구조 시스템의 동적 응답특성 및 응답 저감 효율에 관한 연구」 (2013)

Q. 왜 LM면진테이블 개념을 활용했는가?

- 재료가 면줄 → 고무줄로 변경 = 탄성 활용 가능
- 면진구조에서 가장 중요한 점은 지진의 변위에 맞추어 움직이되, 너무 변위가 커 하중이 쏠려 무너지지 않도록 원래 상태로 복원되는 것 = 해당 원리로 구동되는 LM면진테이블을 차용

04 재료 물성치 분석

◇ 기둥 단면 선정

Case 1.



$$I_x = 832 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 832 \text{ mm}^4$$

하중	3N
X방향 처짐	7mm
Y방향 처짐	7mm

Case 2.



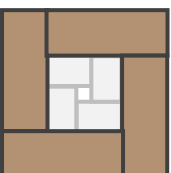
$$I_x = 512 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1,152 \text{ mm}^4$$

하중	3N
X방향 처짐	24mm
Y방향 처짐	6mm

일정 이상의 강성 지니며, 양방향 강성이 동일한 case1 선정

Mega Core



$$I_x = 18,688 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 18,688 \text{ mm}^4$$

하중	3N
X방향 처짐	24mm
Y방향 처짐	6mm

메가코어 내부를 case1로 채울 경우, I는 1.044배 증가, 물량은 1.25배 증가, 경제성을 고려해 내부에 자재 채우지 않음

◇ 고무줄 탄성실험



$$\sigma = \frac{P}{A}$$

σ : 응력
 A : 단면적
 P : 하중

$$\sigma = E \times \frac{\Delta L}{L_0}$$

E : 응력
 L_0 : 단면적
 ΔL : 하중

	하중 X	3N	6N
단면적 (mm ²)	3.14	3.14	3.14
길이 (mm)	73	245	277
변위 (mm)	0	172	204
탄성계수 (Mpa)	-	0.40549	0.68377

고무줄 탄성계수 = 평균 0.544Mpa

05 지진파 분석

◇ 지진파 수치 해석

○ 재현주기에 따른 지진파 분석

재현주기 (년)	유효수평지반가속도 (s)	위험도계수 (I)	지진구역계수 (Z)	구조물의 성능기준
500	0.3 g	1.0	0.3g	기능수행
2400	0.6 g	2.0	0.3g	붕괴방지

○ 지반 증폭계수

구분	지반 증폭계수
단주기 지반응답 증폭계수 (F_a)	0.3 g
1초 주기 지반응답 증폭계수 (F_v)	0.6 g

○ 설계 스펙트럼 가속도

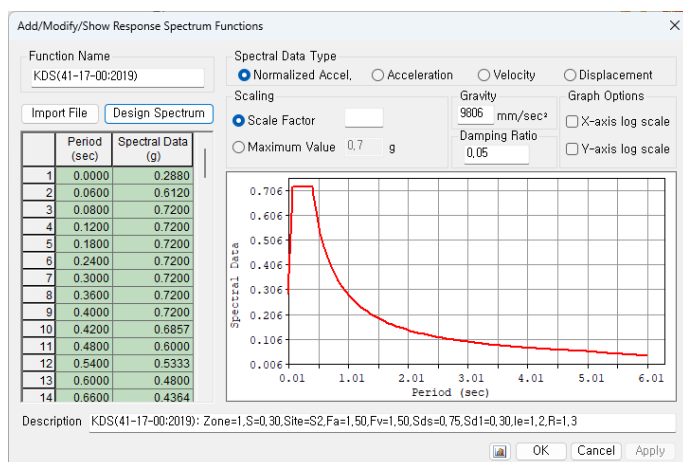
구분	수식	500년	2,400년
단주기 설계 스펙트럼 가속도 (S_{DS})	$S_{DS} = S * 2.5 * F_a * 2/3$	0.75g	1.5g
1초 주기 설계 스펙트럼 가속도 (S_{D1})	$S_{D1} = S * F_v * 2/3$	0.3g	0.6g

○ 구조물의 고유주기

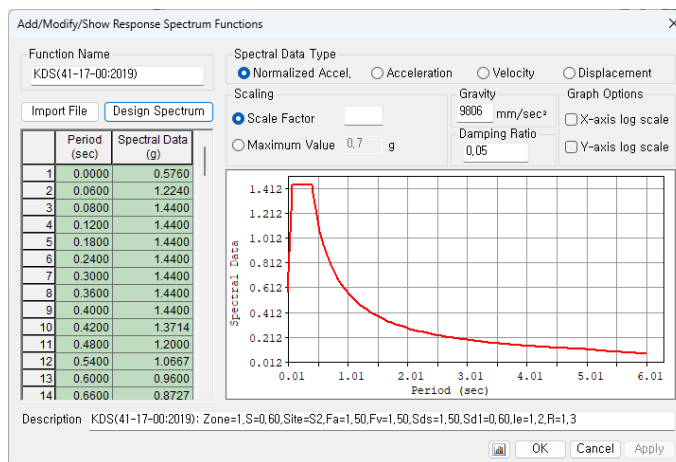
구조물의 고유주기 (500년, 2,400년)	
$T_o = 0.2 * S_{D1}/S_{DS}$	0.08 sec
$T_s = S_{D1}/S_{DS}$	0.4 sec
T_L	5 sec

0.08 ~ 0.4 sec 에서
설계 스펙트럼 가속도 최대

◇ 설계 스펙트럼 그래프 도출 및 해석



△ 500년 설계 스펙트럼 그래프

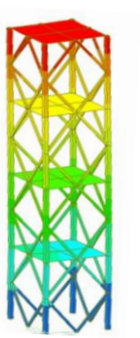
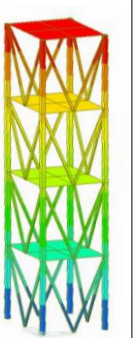
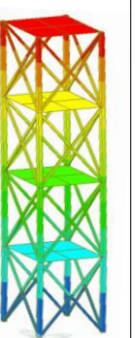
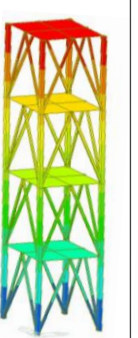
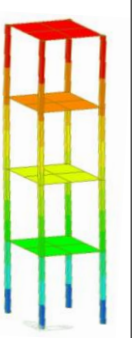


△ 2400년 설계 스펙트럼 그래프

위의 수치를 바탕으로 MIDAS GEN 을 활용하여 설계스펙트럼 그래프를 도출한 결과,
구조물의 고유주기 0.08 sec ~ 0.4 sec 에서 응답스펙트럼가속도가 최대가 됨

06 Midas 활용한 구조 분석

◇ 가새 선정

결과					
종류	K자	V자	X자	역V자	가새 없음
최대변위	9.440	14.332	8.460	10.156	140.091

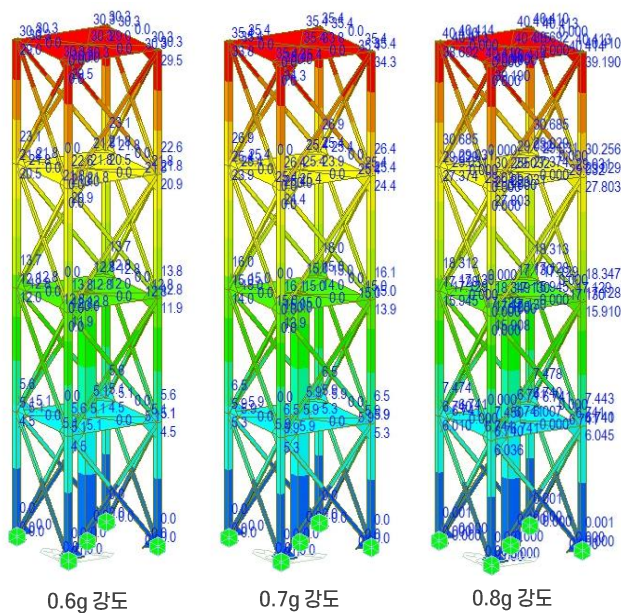
◇ 구조물 최대 변위

X자 < K자 < 역V자 < V자 <<<< 無
8.460 ← 16.55배 차이 → 140.091

Midas의 분석 결과에 따라,
지진 충격에 따른 변위가
가장 적은 **X자 가새**를 선정

◇ 붕괴 메커니즘 설계 분석

MIDAS GEN 을 활용해 측정한 **면진층의 최대변위**



심사기준을 살펴보면 '설계지진 초과 시 붕괴 메커니즘을 고려하여 파괴를 유도하는 정밀설계를 하여야 한다' 라고 제시되어 있다.

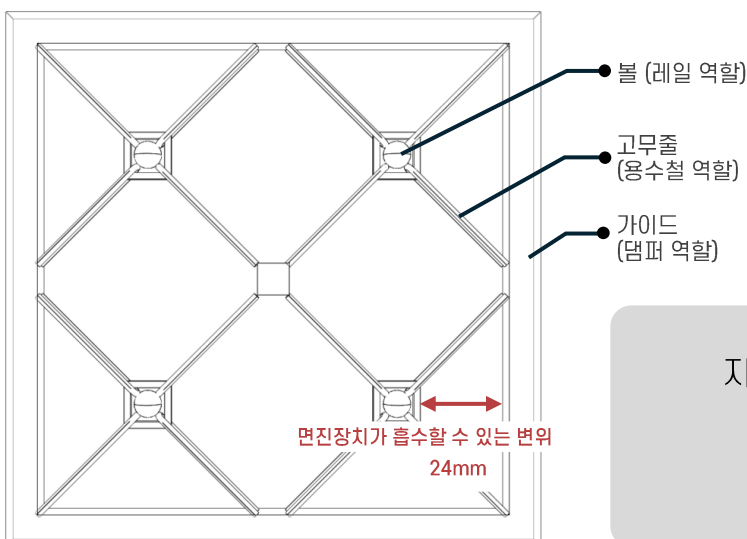
따라서 본 구조물을 면진층에서 0.7g 이하의 충격에는 견디며, **0.7g의 충격**을 받았을 때 **구조물이 붕괴하도록 설계** 하였다.

메가코어, 가새, 가새 플레이트 등 기본 설계가 완료된 상태에서 MIDAS GEN을 활용해 측정한 최대변위는 아래와 같다.

지진강도	0.6 g	0.7 g	0.8 g
최대 변위	23.1 mm	26.9 mm	30.7 mm

따라서 0.7 g 이상의 강도에서 구조의 붕괴를 유도하기 위해서는 면진층에서 **흡수되는 변위를 23.1mm 이상, 26.9mm 이하로 설계**하였다.

실험결과, 0.7g 강도의 지진에서 구조물이 붕괴함을 확인



< 면진층 평면도 >

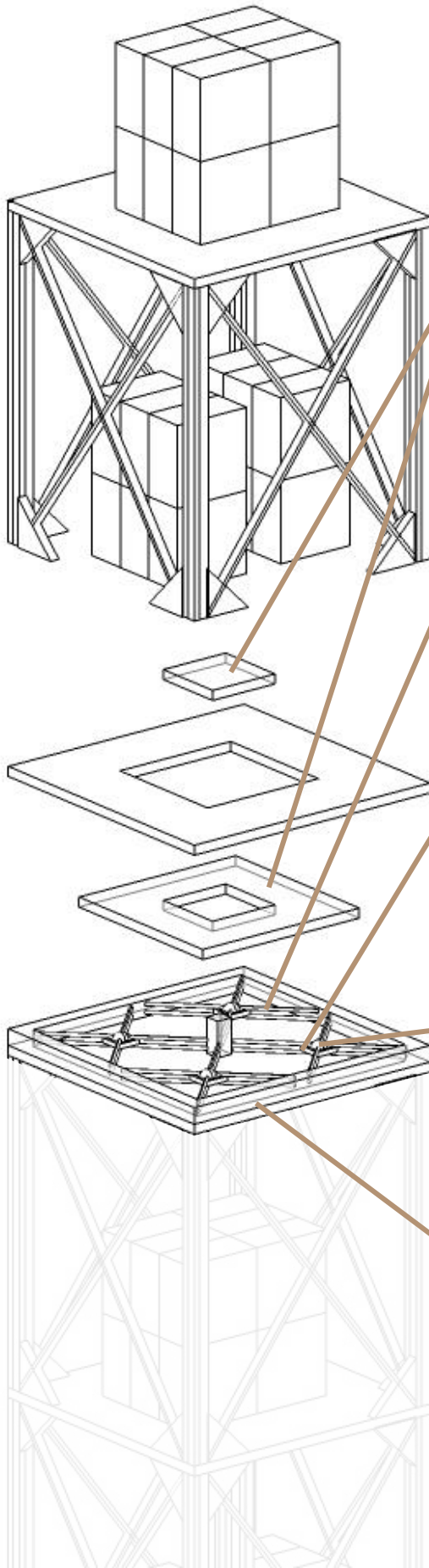
○ 면진장치와 붕괴 유도 메커니즘

- (1) 0.6g 이하 → 지진 최대변위가 23.1mm 이므로 구조물의 붕괴가 유도되지 않음
- (2) 0.7g 이상 → 지진 최대변위가 24mm 이상이므로 구조물의 붕괴를 유도하기 시작

지진의 강도에 따른 구조물의 최대변위와
고무줄의 탄성한계를 고려하여
0.7g 에서 붕괴하는 구조물 설계

07 설계안 제안 – 면진층 상부

“ 기초면을 굴착하기 어려운 본 구조물 규정을 고려하여, **중간층 면진으로 설계** 하였으며, 면진층을 기준으로 **하중이 절반으로 분할**될 수 있도록 **4층 슬래브에 면진층을 배치** “



상하부 댐퍼

면진층(4층 바닥&3층 천장)을 고무줄로 묶어주더라도, 탄성이 있는 고무줄의 특성으로 인해 수직 변위가 발생할 수 있다. 이를 예방하기 위해 상하부 움직임을 제약할 수 있는 댐퍼를 설치하여 일정 이상으로 4층 바닥이 들릴 수 없게 설계하였다.

면진층 고무줄 (용수철 역할)

4개의 볼과 각각 연결된 고무줄은 ‘LM가이드 면진테이블’에서의 용수철 역할을 수행한다. 지진 충격이 가해졌을 때 볼의 움직임이 생기더라도 탄성으로 활용해 원위치 복귀를 돕는다.

볼 케이스

볼이 자유롭게 움직이되, 움직임의 범위에 제한을 걸어주기 위해서는 볼을 잡고 있는 틀이 필요하다. 볼보다 조금 더 큰 크기의 링 (ring) 안에 볼을 넣고, 해당 링을 고무줄로 묶어 볼을 제약한다.

볼 (ball, 레일 역할)

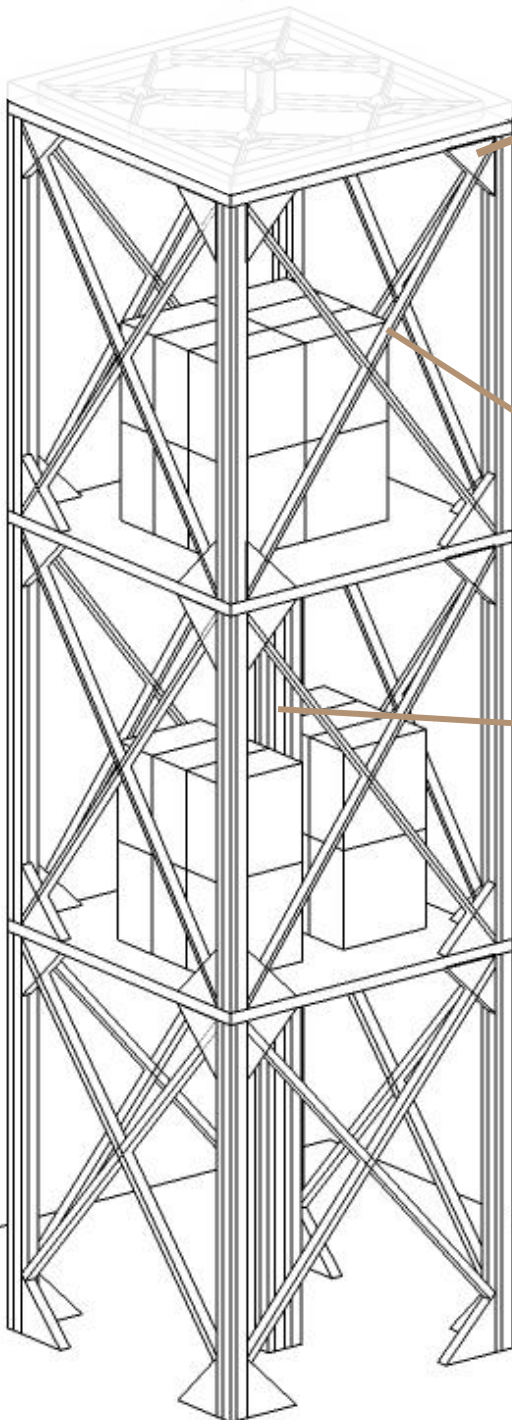
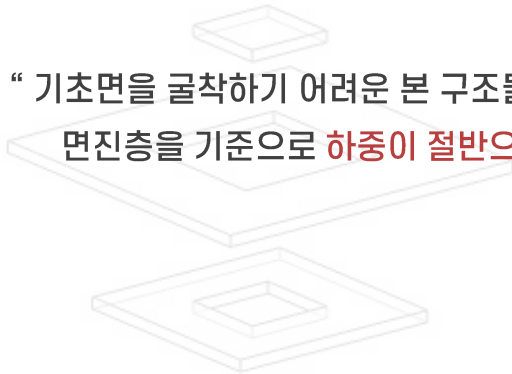
면진층에 설치된 4개의 볼은 ‘LM가이드 면진테이블’에서의 레일 역할을 수행한다. 지진 충격이 주어졌을 때 충격방향으로 면진층 상부가 움직이게 함으로써 충격을 줄인다.

가이드 (댐퍼 역할)

면진층에 위치한 4개의 볼보다 조금 낮은 높이로 둘레에 설치된 가이드는 볼이 면진층 밖으로 벗어나는 현상을 막는다.

07 설계안 제안 – 면진층 상부

“ 기초면을 굴착하기 어려운 본 구조물 규정을 고려하여, **중간층 면진으로 설계 하였으며,**
면진층을 기준으로 **하중이 절반으로 분할될 수 있도록 4층 슬래브에 면진층을 배치 “**



가셋 플레이트

기둥, 가새로 사용하는 부재인 MDF Strip은 강성이 낮기 때문에 큰 하중이 주어지면 파단될 위험이 크다. 따라서 구조 자체의 강성을 높이기 위해 모든 모서리에 가셋플레이트를 배치하였다.

X자 가새

가새를 아예 설치하지 않는 것과 비교했을 때, X자 가새를 설치하면 약 16.55배의 강성이 증가한다. 따라서 X자 가새를 모든 기둥 사이에 배치하여 강성을 높였다.

메가 코어

본 구조물의 하단부(1~2층)의 경우, 상부의 24kg 고정하중을 모두 받아야 하기 때문에 구조체가 받는 부담이 매우 크다. 따라서 이를 보강하기 위해 단면이 22mm X 22mm 인 메가코어를 1~2층에 연속으로 설치하여 강성을 높였다.

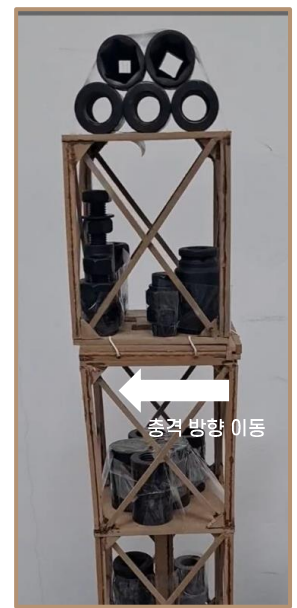
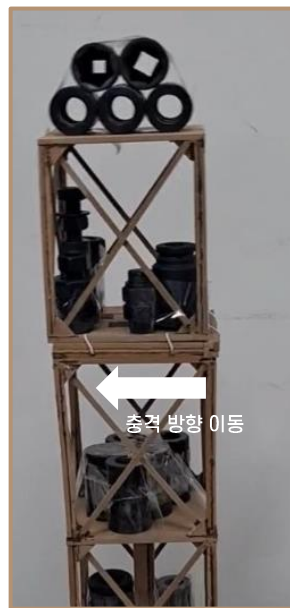
08 설계안 실험 및 보완과정

◇ 설계안 실험 및 결과 분석

○ 0.1g ~ 0.6g 충격을 가했을 때



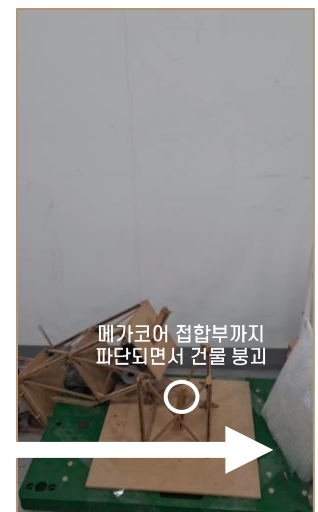
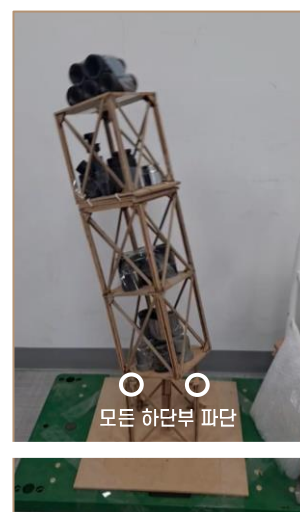
< 실험 전 >



< 0.1g ~ 0.6g 가했을 때 변화 >

0.1g ~ 0.6g 강도 가했을 때, **면진층을 기준** 으로 **상부가 충격에 맞추어 좌우로 움직이는 것** 을 확인

○ 0.7g 충격을 가했을 때



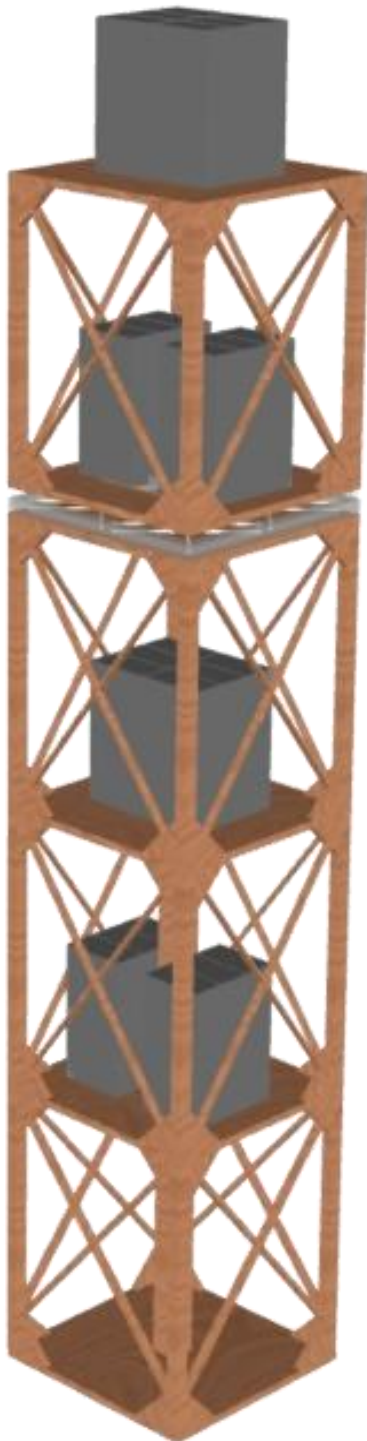
< 0.7g 가했을 때 구조물이 붕괴하는 과정 >

설계안에서 예측한 결과와 동일하게, **0.7g의 충격** 을 받았을 때 **구조물 붕괴** 의도된 시점에서 구조물이 붕괴했기 때문에 설계에서 보강할 부분 X

◇ 설계안 보완과정

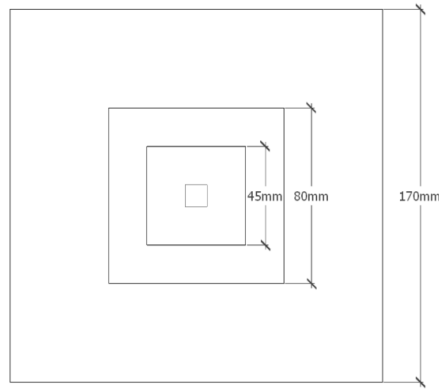
메가코어를 제작하는 **과정에서 strip 부재의 절점이 집중된 부위가 취약함** 을 확인
→ 해당 부분의 시공과정에서 **stripe의 절점부분이 모이지 않도록 보강** 하고자 함

09 설계안 도면

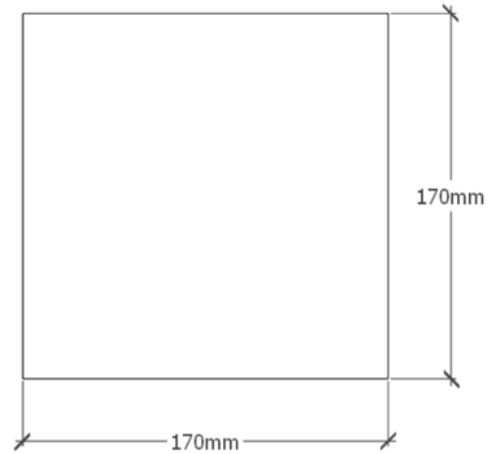


< 전체 조감도 >

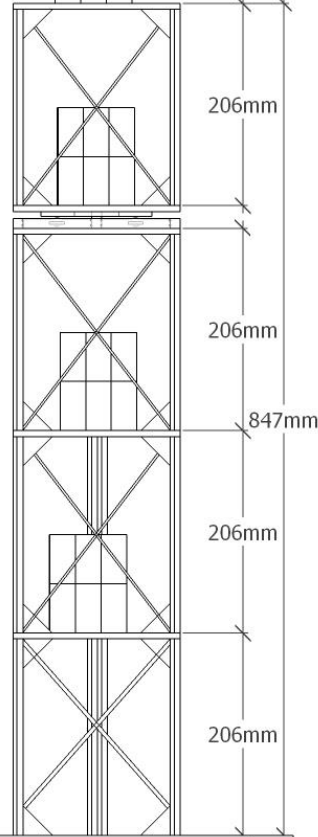
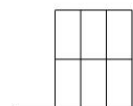
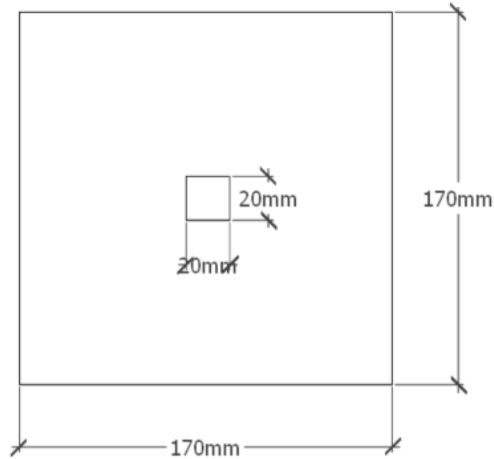
< 4층 평면도 >



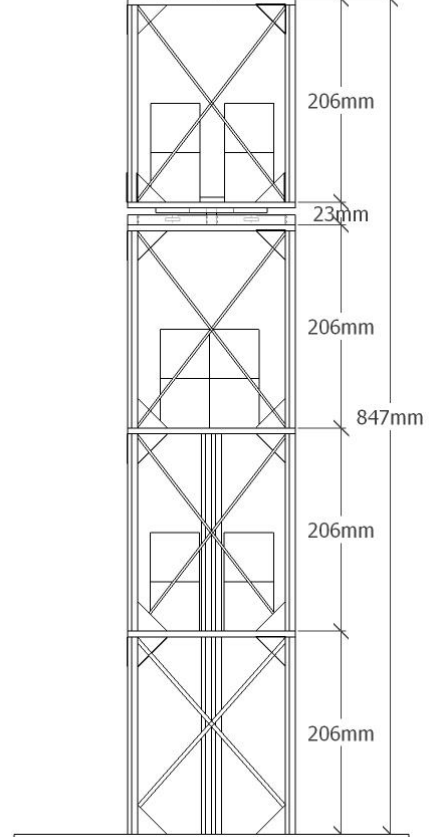
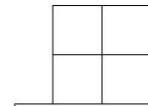
< 3, 옥상층 평면도 >



< 2층 평면도 >



< 정면 입면도 >



< 좌측 입면도 >

10 공정표 작성 및 경제성 평가

◇ 제작공정표

구분	소요시간																	
	1시간						2시간						3시간					
	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
기둥 제작																		
슬라브 제작																		
거šet 플레이트 제작																		
가세 제작																		
면진층 제작																		
기둥 및 슬라브 설치																		
면진층 설치																		
거šet 플레이트 및 가세 설치																		
접합부 보강																		
하중 설치																		

◇ 수량 계산 및 경제성 평가

부재명	부재규격	부재개수	부재명	부재규격	부재개수
기둥	200mm X 10mm X 10mm	16	면진층 고무줄 (레일)	50mm	8
2,3, 옥상층 슬래브	170mm X 170mm X 6mm	3	면진층 볼	10mm X 10mm X 6mm	8
면진층 슬래브 (4층)	170mm X 170mm X 6mm	1	면진층 댐퍼 고무줄	100mm	16
면진층 가장자리 댐퍼	170mm X 170mm X 6mm	1	1,2층 메가코어	22mm X 22mm X 406mm	1
면진층 중앙 댐퍼	45mm X 45mm X 6mm	1	가šet플레이트	20mm X 20mm X 6mm	32

재료명	규격	단가 [백만원]	수량	합계 (백만원)
MDF Base (기초판)	400mm X 400mm X 6mm	-	1	-
MDF Stripe	600mm X 4mm X 6mm	10	53	530
MDF Plate	200mm X 200mm X 6mm	100	8	800
고무줄	600mm	40	3	120
A4지	A4	10	1	10
접착제	20g	200	1	200
총액				1660