

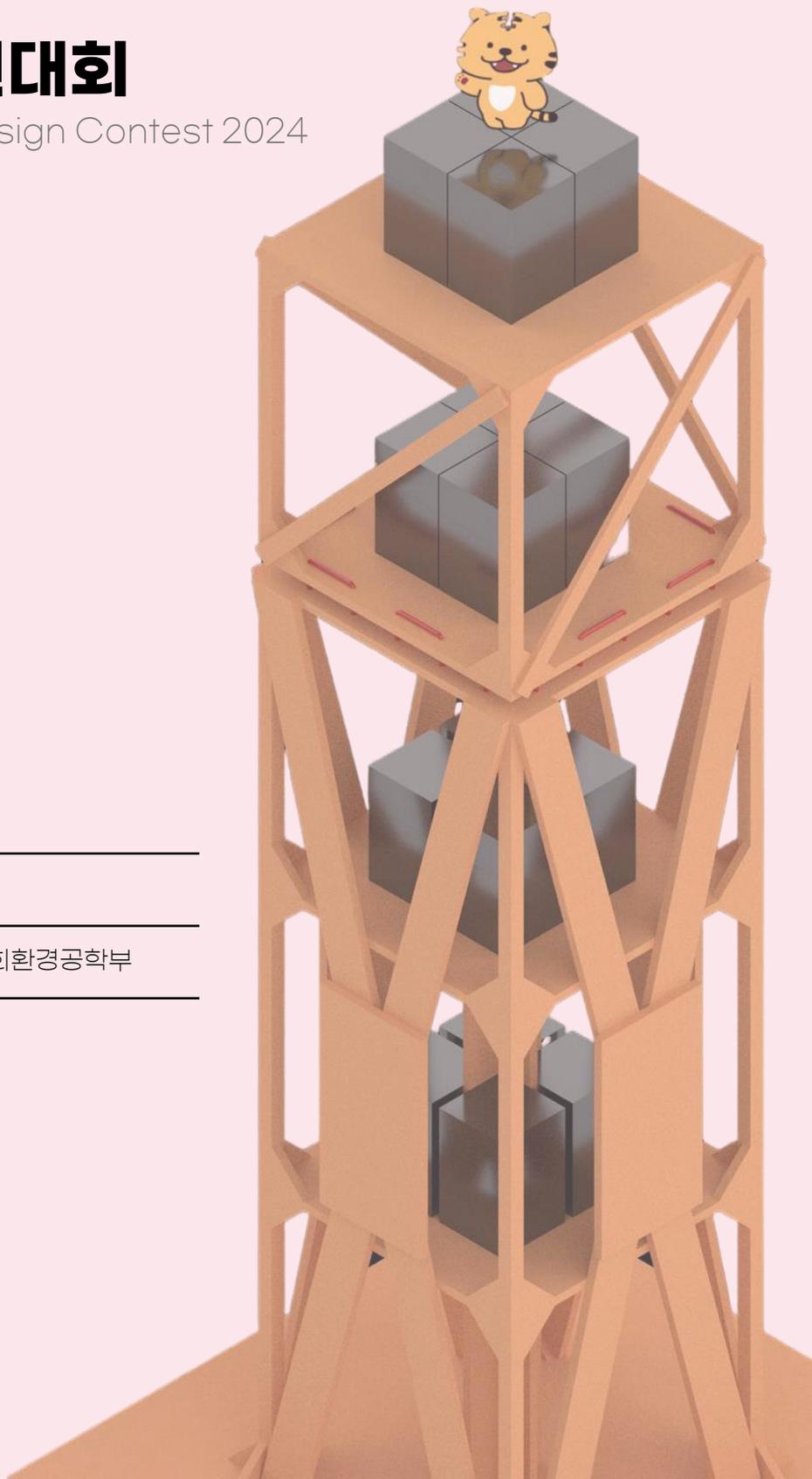
2024 구조물 내진설계 경진대회

Seismic-Structural Design Contest 2024

지도교수 정동혁 교수님

팀 명 석우의 문단속

소 속 고려대학교 건축사회환경공학부



01 Intro	1. 팀 소개
	2. 대회 규정 분석
	3. 지진파 분석
	4. 재료 물성치 분석
02 Main	5. 구조 설계 분석
	6. 고유치 해석
	7. 실험 및 분석
	8. 붕괴 메커니즘 설계
03 Conclusion	9. 평면도 및 입면도
	10. 시공성 분석
	11. 경제성 분석

1 | 팀 소개

➤ 소속 대학



➤ 지도교수

고려대학교 건축사회환경공학부
정동혁 교수님 자문 및 지도교수

➤ 팀원 소개

김석우

- ✓ 팀장
- ✓ Rhinoceros 모델링
- ✓ 구조물 제작

이종혁

- ✓ CAD 도면작업
- ✓ Abaqus 해석
- ✓ Sketchup 모델링
- ✓ 구조물 제작

김민지

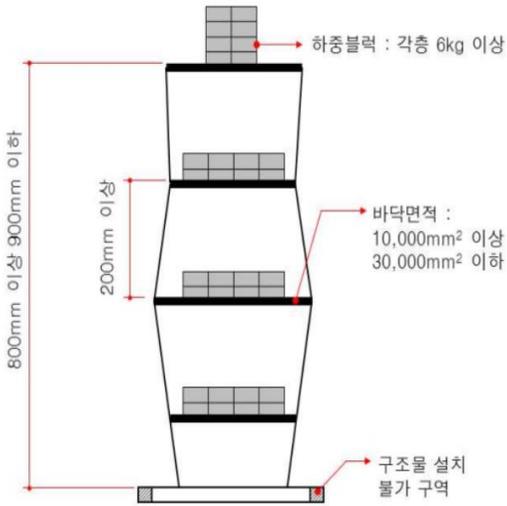
- ✓ MIDAS 구조해석
- ✓ 구조물 제작

김수현

- ✓ 제안서 작성
- ✓ 구조물 제작

2 | 대회 규정 분석

• 구조물 규정



• 재료 세부 규정

재료명	단위	규격	단가(백만원)
MDF Base	개	400mm*400mm*6mm	기본제공
MDF Plate	개	200mm*200mm*6mm	100
MDF Strif	개	600mm*4mm*6mm	10
고무줄	식	600mm	40
A4지	장	A4	10
접착체	개	20g	200

0.7g에서 붕괴 유도

3 | 지진파 분석

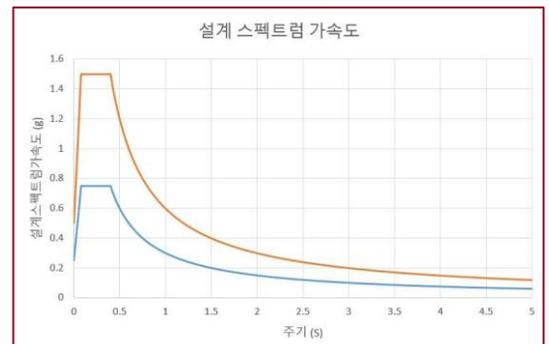
제현주기 (년)	유효수평지반 가속도 (S)	위험도 계수 (I)	지진구역 계수 (Z)
500	0.3g	1	0.3g
2400	0.6g	2	0.3g
지반응답증폭계수			
단주기 (Fa)		1.5	
1초 주기 (Fv)		1.5	

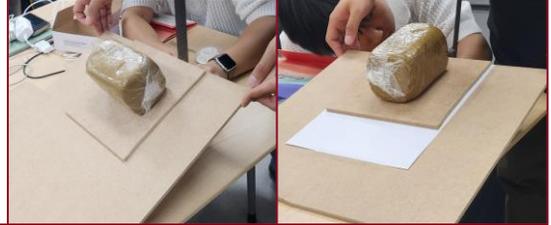
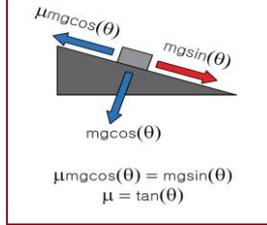
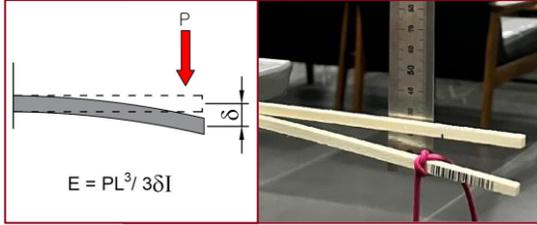
$S_{DS} = S * 2.5 * Fa * \frac{2}{3}$ $S_{D1} = S * Fv * \frac{2}{3}$	500년	2400년
	단주기 설계스펙트럼 가속도 (S_{DS})	0.75g
1초주기 설계 스펙트럼 가속도 (S_{D1})	0.3g	0.6g

구조물의 고유주기 (500년&2400년)	
$T_0 = 0.2S_{D1}/S_{DS}$	0.08sec
$T_S = S_{D1}/S_{DS}$	0.4sec

0.08 ~ 0.4sec 에서 설계 스펙트럼 가속도 최대

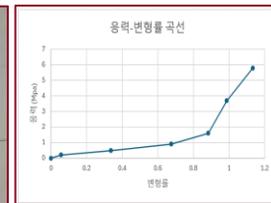
구조물의 고유주기가 0.08 ~ 0.4sec 을 벗어나도록 설계





기둥 부재 물성치		
부재 종류	MDF	목재 (Strip 대체)
하중(g)	250	250
길이(cm)	16	16
단면 2차 모멘트(mm ²)	180	44.24
처짐(mm)	14	20
탄성계수 (MPa)	1329	1692

정지마찰계수 비교		
	MDF-MDF	MDF-A4
$\mu = \tan\theta$	0.4695	0.3202

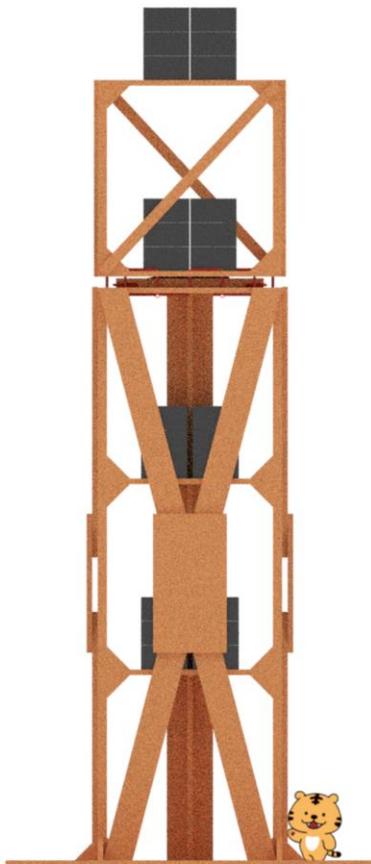


단면적	7.0684 mm ²			
길이	480 mm			
변위	변형률	무게(g)	하중(N)	응력(N/mm ²)
0	0	0	0	0
27	0.05625	154	1.51074	0.213731538
161	0.33542	354	3.47274	0.491304963
324	0.675	654	6.41574	0.907665101
424	0.88333	1154	11.3207	1.601598664
474	0.9875	2654	26.0357	3.683399355
544	1.13333	4154	40.7507	5.765200045

고무줄 탄성계수 실험	
단면적(mm ²)	탄성계수(MPa)
7.0684	1.608

1.0 이하의 변형률 데이터를 기준으로 탄성계수 산정

5 | 구조 설계 분석 - 아이디어 도출 과정



사면의 메가 브레이스, 중심부 코어

- 건물의 강성 증대
 - 내진 성능 확보
- 건물의 고유주기를 줄이는 단점 발생



상층부 면진 시스템 도입

- 3층과 4층 사이에 설치
- 메가 브레이스와 코어 영역 층 충분히 확보
- 면진 성능 확보

→ 하단부 강성 증가로 인한 고유주기 감소 해소

MEGA-Brace

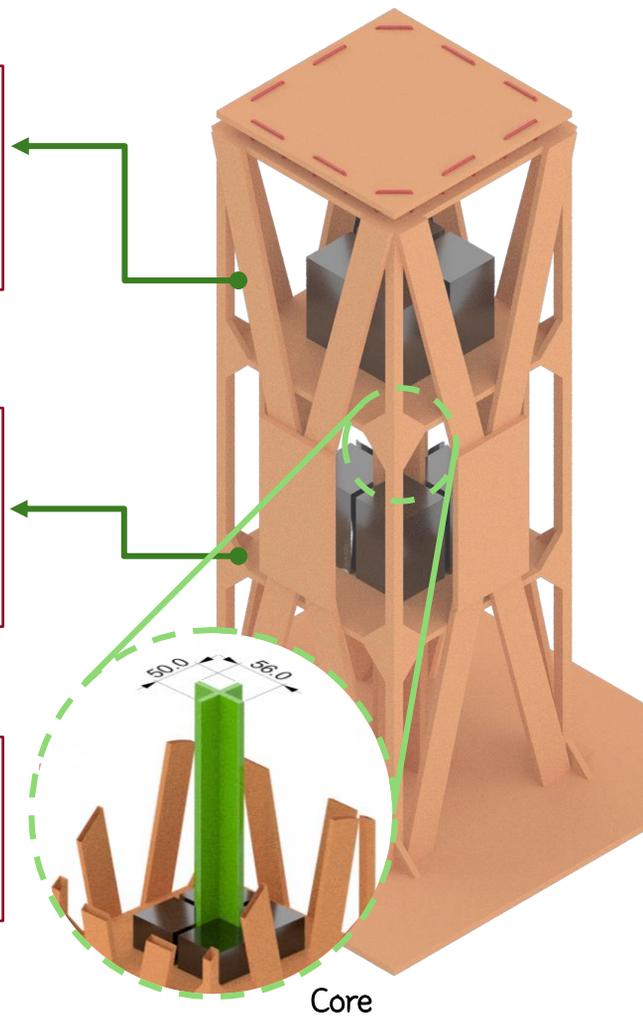
- ✓ 구조물의 강성을 향상시켜 전체적인 안정성 확보
- ✓ 횡력을 효과적으로 저감하여 건물의 좌굴 및 변형 방지
- ✓ 지진 시 발생하는 하중을 분산시켜 구조물의 피해 최소화

Gusset plate

- ✓ 각 층의 기둥과 슬라브, 1층 기둥과 기초판을 견고하게 연결
- ✓ 일체적인 거동을 통한 안정성 확보
- ✓ 구조물의 강성과 내구성 향상

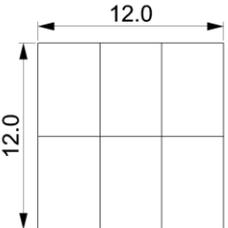
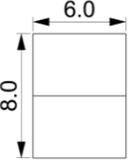
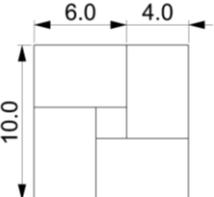
CORE

- ✓ 구조물의 중심부를 견고하게 하여 강성 및 안정성 확보
- ✓ 십자 형태로 제작하여 비틀림 저항성 향상시킴
- ✓ 또한, 구조물 내부의 공간을 효율적으로 사용 가능

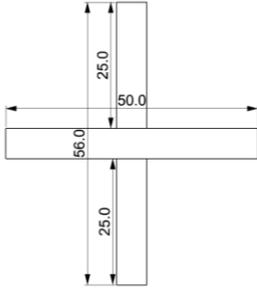
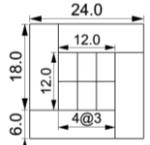


Core

Column Selection

단면 모양	단면2차 모멘트 $I(mm^4)$	세장비	Cost (M)
	832	67.94	220
	256	115.47	110
	1728	57.735	330

Core Selection

단면 모양	단면2차 모멘트 $I(mm^4)$	세장비	Cost (M)
	88,600 (강축) 63,400 (약축)	19.46	220
	27,648	28.87	110

10X10 column , + shape core select !

면진 장치

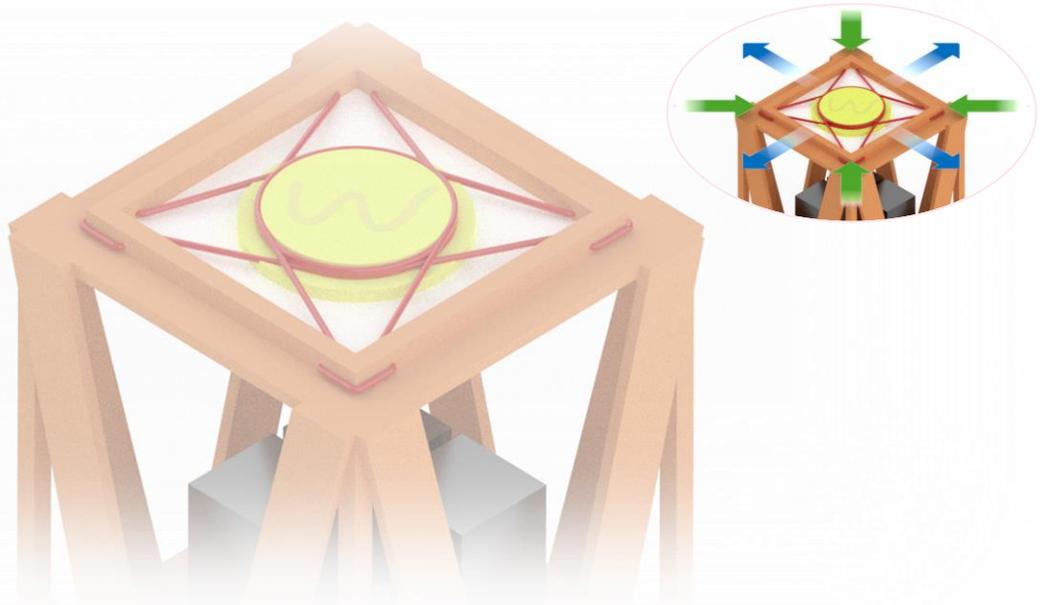
- 내진 설계에 의해 증가한 구조물의 강성 증가 정도를 일부 상쇄하여, 구조물의 고유주기를 증가시킨다.
- 상층부에 전달되는 지진 하중을 줄이기 위해, 12kg의 하중을 받는 4층 바닥과 3층 천장 사이 격리장치로 면진 장치를 도입하였다.

면진 받침의 구조

MPS 면진 받침과 같이, 360도 어느 방향으로의 변위도 제어할 수 있도록 아래 그림과 같이 원형의 기둥과 4방향으로의 고무줄 부재로 면진 받침을 구성하였다.

수평 방향 고무줄 Self Centering

그림 2와 같이 4층의 이동방향과 반대 방향으로 고무줄의 복원력이 작용하여, 지진의 진동에너지를 흡수하며 진동 이후 구조물의 위치를 복원시킨다.



A4 용지

면진 장치의 중요한 특성인 낮은 수평강성을 가지기 위해 면진 장치의 상부와 하부 사이에 상대적으로 마찰계수가 낮은 A4용지를 부착하여 마찰을 줄였다.

상부와 하부를 잇는 수직 방향 고무줄 부재

면진 받침의 상부와 하부가 진동 중 분리되지 않도록 두 판을 타공하여 고무줄을 꿰는 방식으로 기둥을 만들어 분리를 제한하였다.



그림1 - 면진장치 구조

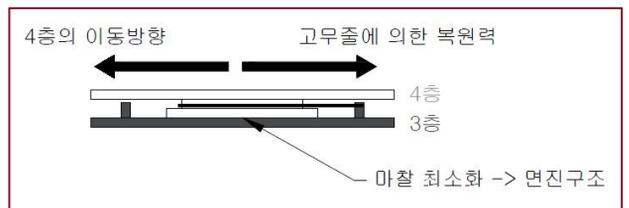


그림2 - 진동 시 복원력 방향

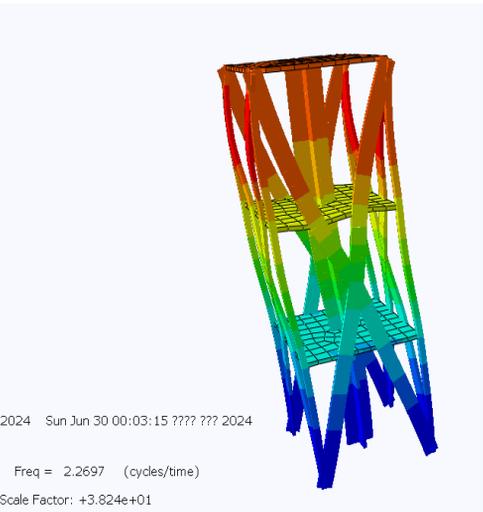
Abaqus 해석프로그램을 이용해 구조물 고유치 해석 진행
 탁월주기와 구조물의 주기를 비교/분석



단순 기둥 - 슬래브 고유치 해석

- 구조물의 고유 주기 - 5.93sec
- 탁월주기(0.08~0.4sec) 에 크게 벗어나 지진과 공진 할 가능성 적음
- 내진성능의 부족으로 side-sway 와 같은 큰 횡방향 변형이 일어날 가능성 존재

→ 구조물의 내진성능 보강 필요

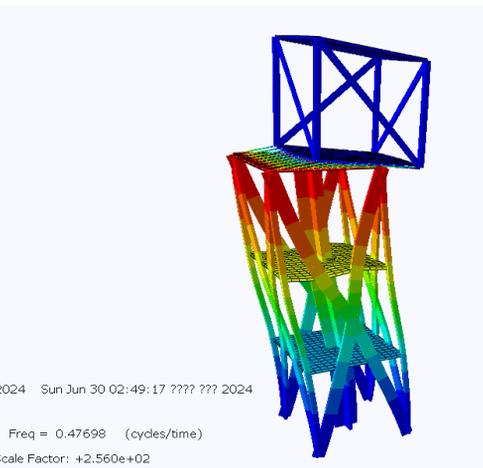


코어와 메가 브레이스의 고유모드에 미치는 영향 분석

구조물의 내진성능을 보강하기 위해 코어와 메가 브레이스 구조 사용

- 구조물의 고유 주기 - 0.44sec
- 구조물의 강성이 크게 증가하면서 고유주기가 짧아지는 단점 발생
- 탁월주기(0.08~0.4sec) 에 매우 근접해 주어진 구조물이 지진과 공진할 가능성이 큼

→ 3층과 4층 사이 **면진구조**를 도입해 주어진 모드의 고유 주기를 늘리고자 시도



면진장치를 포함한 구조물의 고유모드 분석

구조물의 고유주기를 늘리고 움직임을 제어할 수 있는 중간 면진구조 적용

- 구조물의 고유 주기 - 2.096sec
- 면진 고무줄의 영향으로 지배 모드에서 구조물의 고유 주기가 길어 짐
- 탁월주기(0.08~0.4sec)와 멀어지며 지배적인 모드 형상이 지진과 공진 할 가능성이 적어짐

→ 면진구조를 유지하면서 상·하 변위만 제어하는 방향으로 설계

- 인공지진파의 경우 1/30 초와 2초 주기를 가지는 파동의 조합으로 형성되기 때문에 단주기와 장주기에서 구조물의 거동을 동시에 파악할 필요성이 존재
- 특정 주기에서 가속도를 변화시키며 실험진행

진동대 실험



단주기에서 실험 : 손수레를 이용한 실험의 경우 규칙적인 짧은 주기에서의 실험에 한계가 있어, 진동대를 이용해 단주기에서 구조물의 거동 분석
0.5초 주기에서 가속도를 점차 늘려가며 실험 진행

1축 지진 실험 : 실험 장비의 한계로 1축방향의 지진에 대해서만 실험가능.
비교적 장 주기의 영역에서 실험은 손수레를 이용하기로 결정

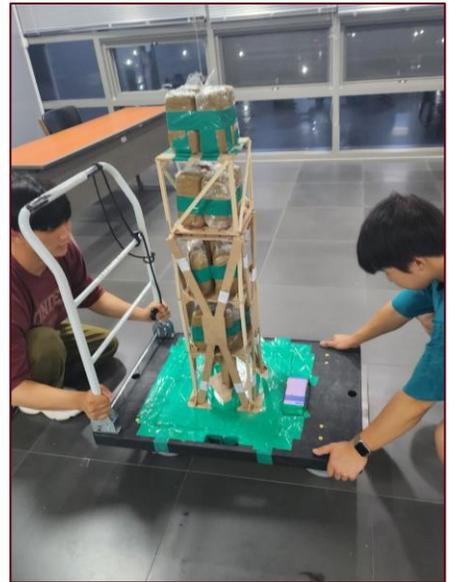
해석 프로그램과 비교 : Abaqus modal analysis 에서 결과와 유사한 거동 형상을 보임. 구조물의 지진과의 공진이 나타나지 않음

손수레 실험

장주기에서 실험 : 1초 주기에서 구조물의 거동 분석
휴대폰 어플리케이션을 활용해 가속도를 확인하고 점차 늘려가며 실험 진행

2축 지진 실험 : 진동의 방향을 시간에 따라 다르게 조합하여 불규칙적인 방향의 진동상태 구현

해석 프로그램과 비교 : 낮은 지반가속도 에서는 Abaqus modal analysis 에서 결과와 유사한 거동을 보임. 하지만 지반가속도가 약 0.5g 를 넘어가는 경우, 4층 구조물이 관성력에 의해 위 아래로 크게 뜨는 현상이 발생



대략 0.6g 강도에서 파괴되는 것을 확인
0.7g 파괴 유도를 위한 면진구조 보강필요

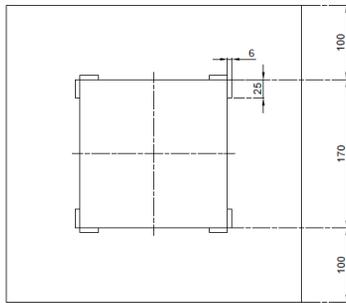


비교적 강성이 약한 3층과 4층 사이 면진 시스템이 0.7g에서 파단 되도록 유도

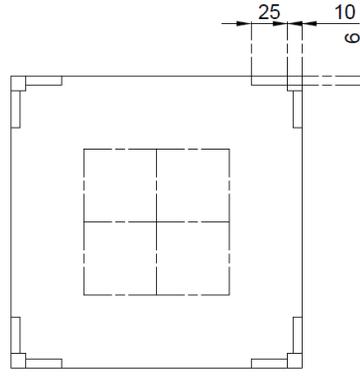


- 0.7g 파단을 위해 면진 시스템의 변위를 제한하는 고무줄의 양 조절
- 4개 변에 각 5개의 수직 방향 고무줄(총 20개) 설치했을 때, 고무줄의 복원력이 크지 않아 예상보다 큰 변위가 발생하는 것을 확인
- 또한, 구조물 내에 관성력에 따른 추가적인 하중 부담과 횡방향 변위가 발생하는 것을 확인
- 고무줄의 적정량을 한 변에 10개로 수정

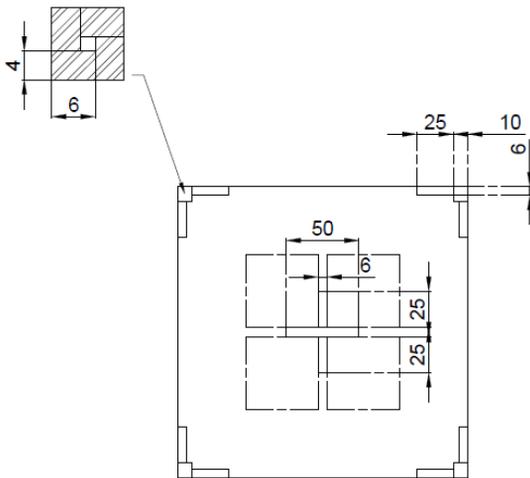
9 | 평면도 및 입면도



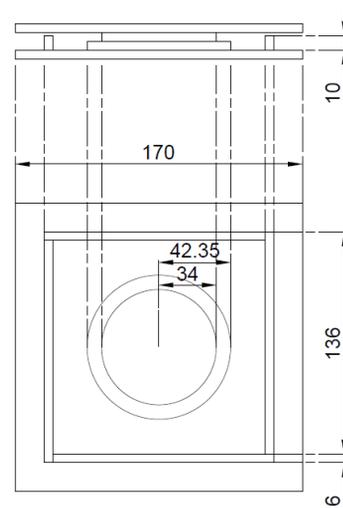
기초 평면도



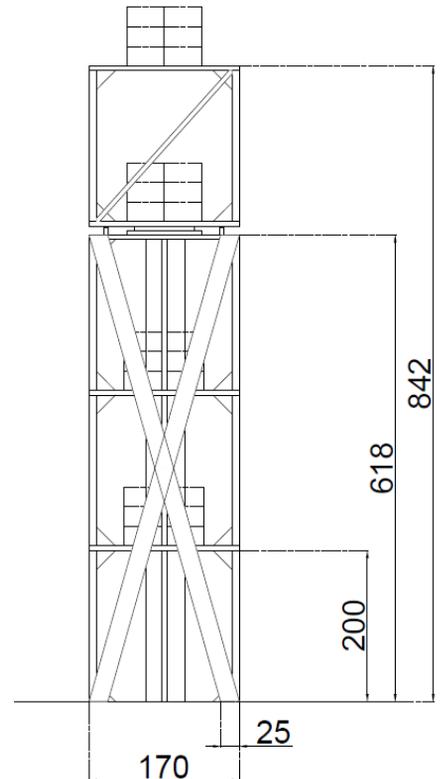
4층 바닥 평면도



1,2,3층 바닥 평면도



면진 장치 구조



입면도

10 | 시공성 분석 - 공정표

구분		소요시간										
		1시간				2시간				3시간		
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
재료 제작	부재 작도	■	■									
	거šet 플레이트			■								
	기둥 및 가새			■	■							
	메가 브레이싱			■	■							
	면진 장치				■							
	코어				■	■	■					
구조 시공	하층부 제작					■	■	■				
	면진장치								■	■		
	상층부 제작										■	■
마감	하중 블록 설치							■				
	기초판 부착								■			
총 공정시간										2시간 45분		

11 | 경제성 분석 - 원가 관리

부재명	부재 규격	수량	부재명	부재 규격	수량
기둥	10*10*200	16	면진 장치 벽	6*10*154	4
바닥	170*170*600	5	면진 판 1	D 68 (원)	1
고무줄	200	1	면진 판 2	D 85 (원)	1
거šet 플레이트	25*25*6 (직각삼각형)	72	4층부 가새	8*6*291	3
메가 브레이싱	25*6*641	8	코어 가로판	25*200*6	12

재료명	부재 규격	단가(백만원)	수량	합계(백만원)
MDF base	400mm*400mm*6m m	기본제공	1	-
MDF plate	200mm*200mm*6m m	100	10	1000
MDF strip	600mm*4mm*6mm	10	29	290
고무줄	600mm	40	2	80
A4 용지	A4	10	2	20
접착제	20g	200	2	400
총 합액(백만원)				1790