

2024년 구조물 내진설계 경진대회

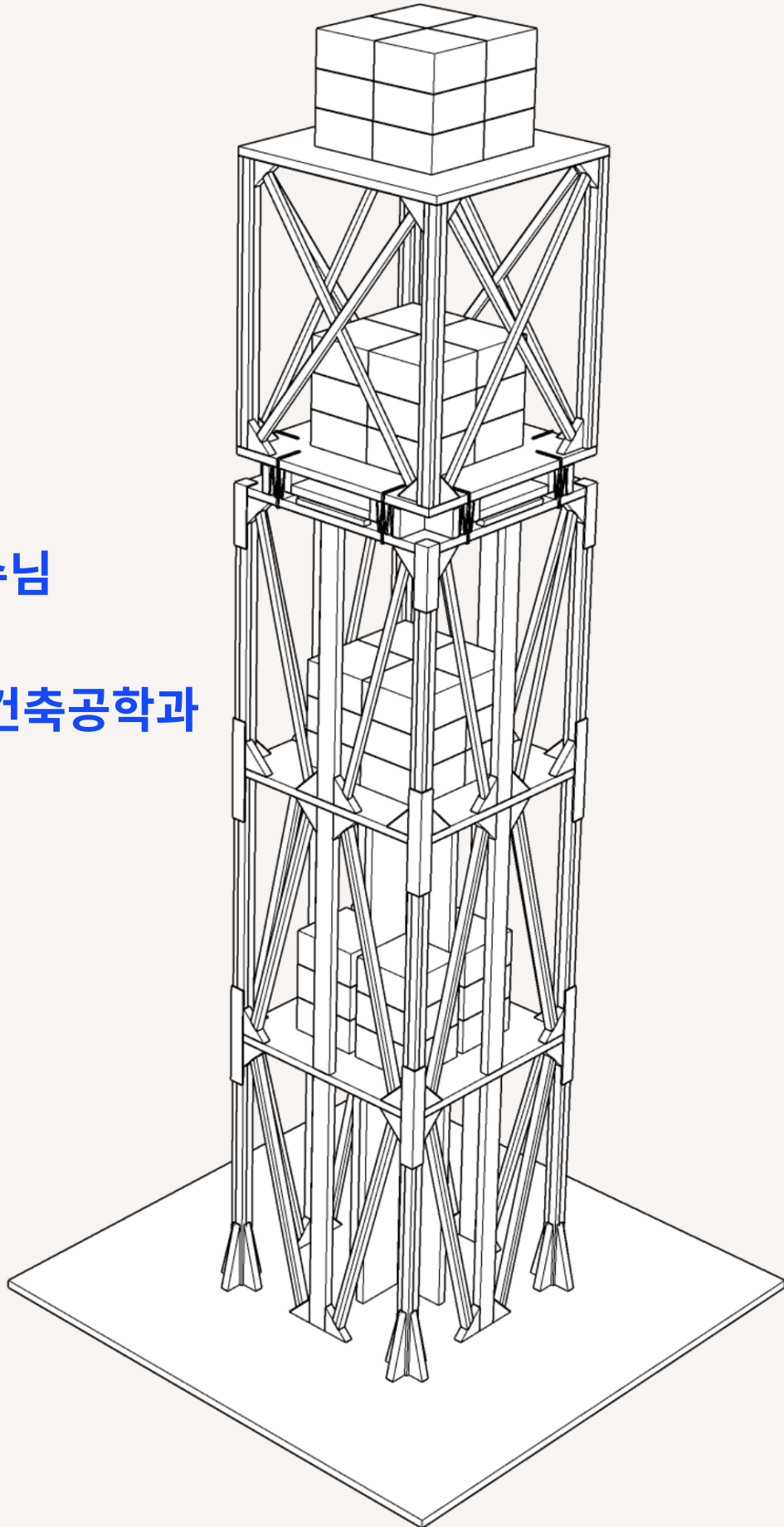
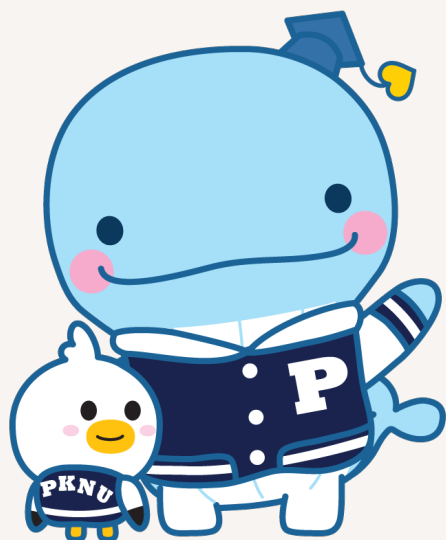
SEISMIC STRUCTURE DESIGN CONTEST 2024

대회 주제 : 내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감

지도 교수님: 박민재 교수님

팀 명: LA 다이겨쓰

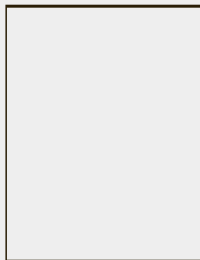
대 학: 국립 부경대학교 건축공학과



팀소개

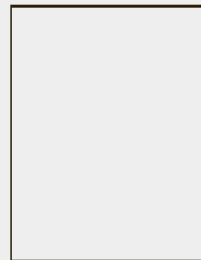
TEAM NAME
LA 다이겨쓰

박민재 교수님
자문위원



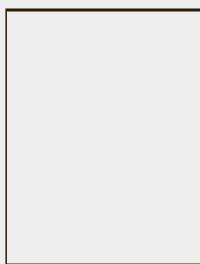
팀장 정민영

구조해석 및 총괄
모델링
설계제안서 작성



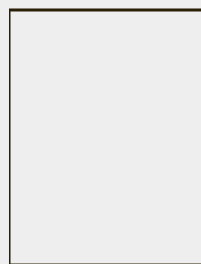
팀원 배성훈

지진파분석
마이다스 해석
물량산출



팀원 이정민

대회 규정 분석
물량 산출
경제성 분석



팀원 이준환

물성치 분석
공정표 작성
경제성 분석

INDEX

01

INTRO

대회 규정 분석
내진설계 방향
지진파 분석
물성치 분석

02

MAIN

마이다스 해석
면진판 설계
실험 및 분석
구조설계 분석

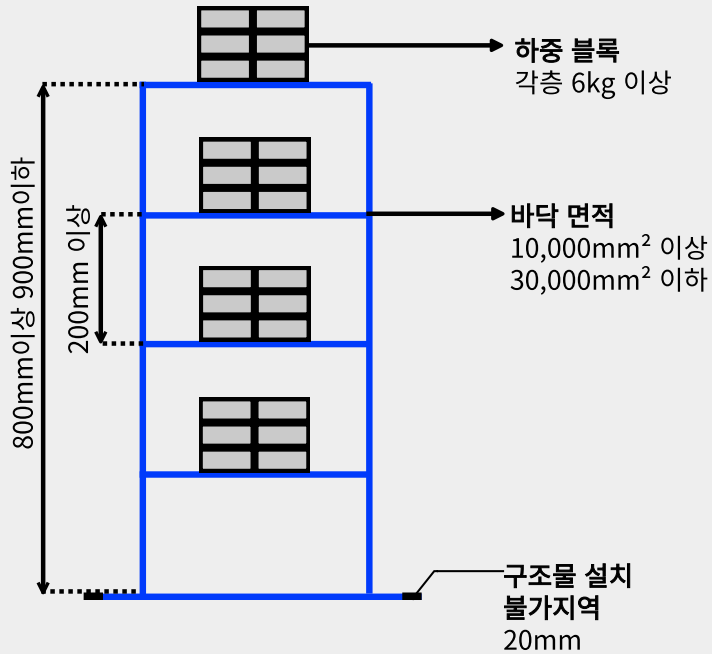
03

CONCLUSION

고유주기 산정 및 감쇠비 측정
평면도&입면도
경제성 분석
시공성 분석

대회 규정 분석

▷ 구조물 규정



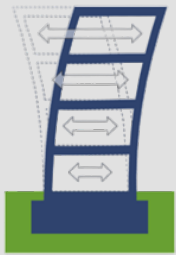
▷ 제작 재료

재료명	단위	규격	단가(백만원)
MDF Base	개	400mm×400mm×6mm	1개 기본제공
MDF Strip	개	600mm×4mm×6mm	10
MDF Plate	개	200mm×200mm×6mm	100
스트링 고무줄	식	600mm	40
A4지	장	A4	10
접착제	개	20g	200

▷ 심사 기준

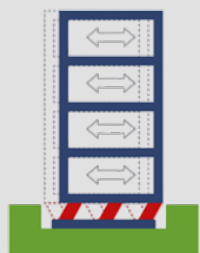
1. 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
2. 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
3. 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
4. 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
5. 설계지진 초과 시 구조물의 붕괴 메커니즘을 고려한 파괴를 유도하는 정밀한 설계
6. 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 심미성과 창의성을 추구하는 설계
7. 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

내진설계 방향



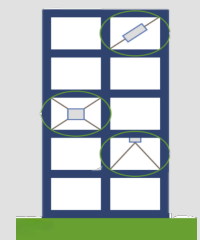
내진구조

구조물의 강도 및 강성을 높여 구조물 자체의 내력으로 지진에 저항



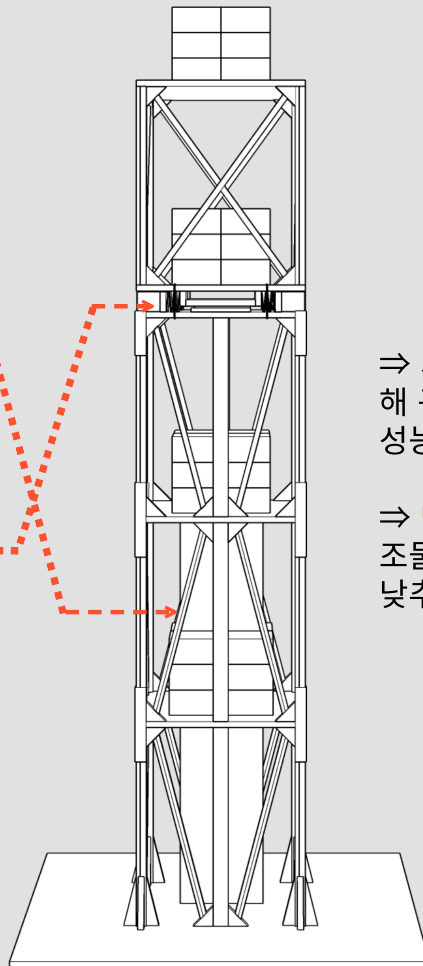
면진구조

면진장치를 통해 지면으로부터 구조물에 전달되는 지진력을 차단하는 방식



제진구조

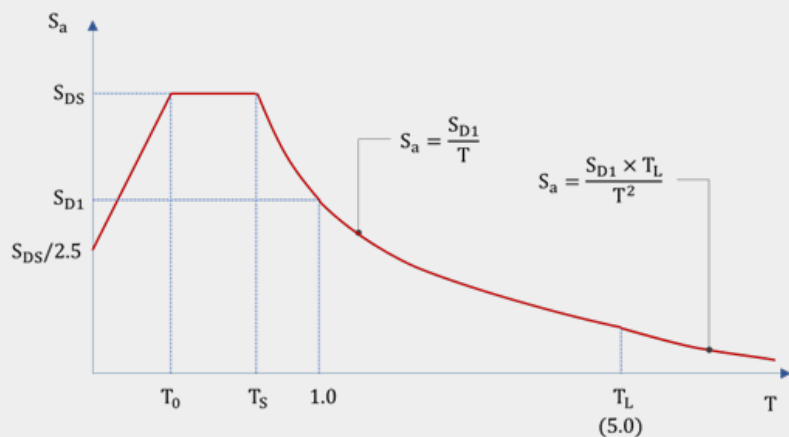
기계장치를 통해 구조물에 가해지는 지진력을 감소시키는 방식



⇒ 가새와 코어같은 구조적인 보강을 통해 구조물의 전체적인 강성을 높여 **내진** 성능을 강화

⇒ **면진**장치를 구조물의 중간에 넣어 구조물의 상하부를 분리하여 전도위험성을 낮추고 에너지를 소산

지진파 분석



0.08 ~ 0.4sec 에서
설계스펙트럼가속도 최대



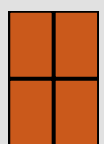
구조물이 0.4sec 이상의 고유주기를 갖도록 설계
0.7g에서 구조물 붕괴 목표

재현주기 (년)	유효수평지반 가 속도(S)	단주기 지반응답 증폭계수 (Fa)	단주기 지반응답 증폭계수 (Fv)	단주기의 설계 스펙트럼 가속도(S_{DS})	1초주기의 설계 스펙트럼 가속도(S_{D1})	T_0 (초)	T_s (초)
500	0.3g	1.5	1.5	0.75g	0.3g	0.08	0.4
2400	0.6g	1.5	1.5	1.5g	0.6g	0.08	0.4

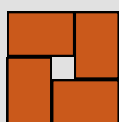
$$\therefore T_0 = 0.2S_{D1}/S_{DS}, T_s = S_{D1}/S_{DS}$$

물성치 분석

▷ 기둥 단면 산정



CASE1
A = 96mm²
 $I_x = 1,152\text{mm}^4$
 $I_y = 512\text{mm}^4$



CASE2
A = 96mm²
 $I_x = 832\text{mm}^4$
 $I_y = 832\text{mm}^4$



양방향 진동을 고려해 약축
이 없는 CASE2 기둥 선택

▷ 탄성계수 산정 (캔틸레버 보의 처짐식과 훅의 법칙을 이용해 탄성계수 산정, $E = PL^3/3I\delta$, $E = PL/A\Delta L$)

- 기둥 부재(10mm×10mm)

	무게	9.8N
	평균 5회 처짐	3mm
	길이	100mm
	탄성계수	1306.6MPa

- MDF Plate(15mm×6mm)

	무게	9.8N
	평균 5회 처짐	10mm
	길이	100mm
	탄성계수	1210MPa

- MDF Strip(6mm×4mm)

	무게	1.96N
	평균 5회 처짐	18mm
	길이	100mm
	탄성계수	1134.26MPa

- 스트링 고무줄(ø2mm)

	무게	4.9N
	평균 5회 변위	28mm
	길이	50mm
	탄성계수	2.79MPa

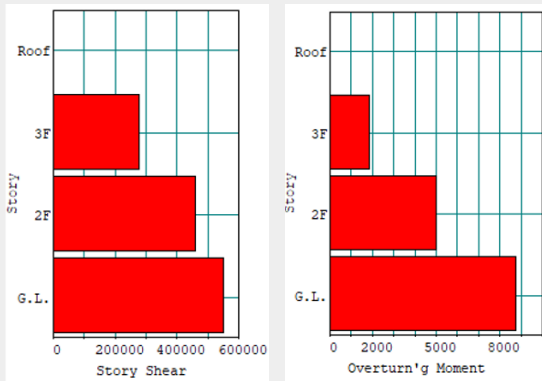
마이다스 해석

▷ 가새 선정

가새종류	V가새	혼합형가새	X가새
변형형상			
최대변위(mm)	0.75	0.46	0.34
가새비용(백만원)	80	80	120

변위 : V 가새 > 혼합형 가새 > X 가새
 비용 : X 가새 > V 가새 = 혼합형 가새
 ⇒ 비용과 변위를 모두 얻을 수 있는
혼합형 가새 선택

▷ 보강량 설정



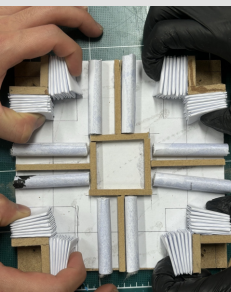
최하층 방향으로
전도모멘트 및 밀면 전단력
누적되는 특성

하부층으로 갈수록
강성 증대
 +
 상부층으로 갈수록
보강량 감소

면진판 설계

▷ 면진판 발전 방향

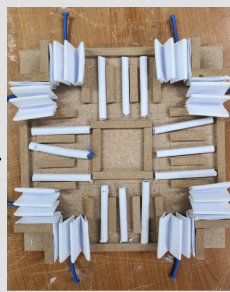
	롤러(EA)	면진판 높이(mm)	롤러 구획
1차 면진판	8	30	X
2차 면진판	12	20	X
최종 면진판	12	20	O



1차 면진판



2차 면진판

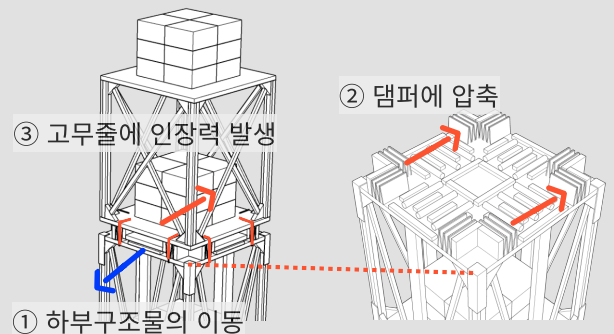


최종 면진판

- 롤러의 개수를 늘려 면진판 성능 확보
- 댐퍼의 두께를 줄여 수평변위 조절
- 면진판 높이 낮춰 전도위험 감소

- 롤러의 구획을 통해 이탈방지
- 고무줄을 통해 수평, 수직 변위조절

▷ 면진판 거동 분석



지진하중에 의해 하부구조물 이동(①)
 (상부구조 롤러에 의해 관성과 반대방향으로 이동)

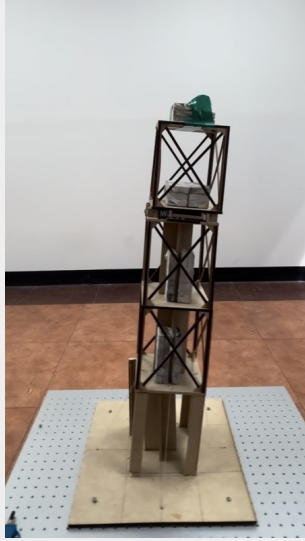
↓
 댐퍼에 압축(②)

↓
 고무줄에 인장력 발생(③)

⇒ 댐퍼의 압축을 통한 **충격흡수**와
 고무줄의 인장력을 통해 **에너지 소산**

실험 및 분석

▷ 1차 모델링



□ 강성확보

1층 전단벽, 2,3,4층 X 가새, 3층까지 코어 설치

□ 결과

가속도 0.35g에서 1층 전단벽과 2층 바닥판이 떨어져 면서 붕괴

□ 원인 분석

1층과 2층의 구조가 달라 응력전달이 제대로 되지 않아 붕괴

□ 발전 방향

응력전달이 잘되도록 층별 구조 동일하게 설계, 면진판의 수직변위 제한

▷ 2차 모델링



□ 강성확보

혼합형 가새, 접합부 A4 보강, 재생 플레이트 설치, 3층까지 코어 설치

□ 결과

가속도 0.45g에서 1층 기둥과 바닥판이 떨어져 붕괴 (500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준을 만족)

□ 원인 분석

1층 기둥에 응력이 집중되고, 1층부재와 바닥판의 접합면적이 부족해 붕괴

□ 발전 방향

기둥과 바닥판 접합부 보강, 면진판의 수평변위 제한

▷ 3차 모델링



□ 강성확보

혼합형 가새, 접합부 A4 보강, 재생 플레이트 설치, 스티프너 설치, 3층 코어제거

□ 결과

가속도 0.72g에서 3층 기둥과 면진판이 떨어져 붕괴 (2400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준을 만족)

□ 원인 분석

3층 코어를 제거해 층간 강성차이를 통해 3층 기둥이 파괴 되면서 의도했던 **붕괴 매커니즘**을 통해 파단

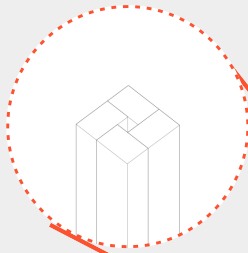
□ 최종 구조물 선정

3층 기둥 접합부도 추가적인 보강하여 **최종구조물** 선정

구조 설계 분석 : 하부층

메가 칼럼

- 약축이 없는 기둥
- Strip 4개를 이용하여 강성증대
- Strip 600mm를 층 높이 200mm으로 절단해 사용 부재낭비방지



혼합형 가새

- V 가새와 역 V가새를 번갈아 가며 배치
- 횡력에 저항
- 하부층 강성 증대

헌치

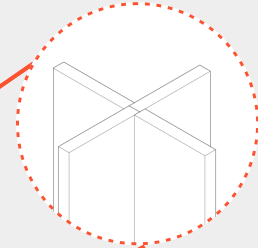
- 응력이 집중되는 부위를 강화
- 기둥의 탈락 방지
- 가새 시공의 용이성

재생 플레이트

- 바닥판을 만들고 남는 부재를 재활용
- 수직하중을 분담
- 외곽 부재가 늘어나며 비틀림에 저항

십자 코어

- 십자형태의 코어 옆에 하중블럭이 모여 있으므로 속이 찬 코어의 효과
- 전단력이 많이 작용하는 1층과 2층에 설치
- 하부층 강성 확보와 변형의 최소화
- 가로와 세로 길이 동일하게 설계, 양방향의 동등한 성능 확보

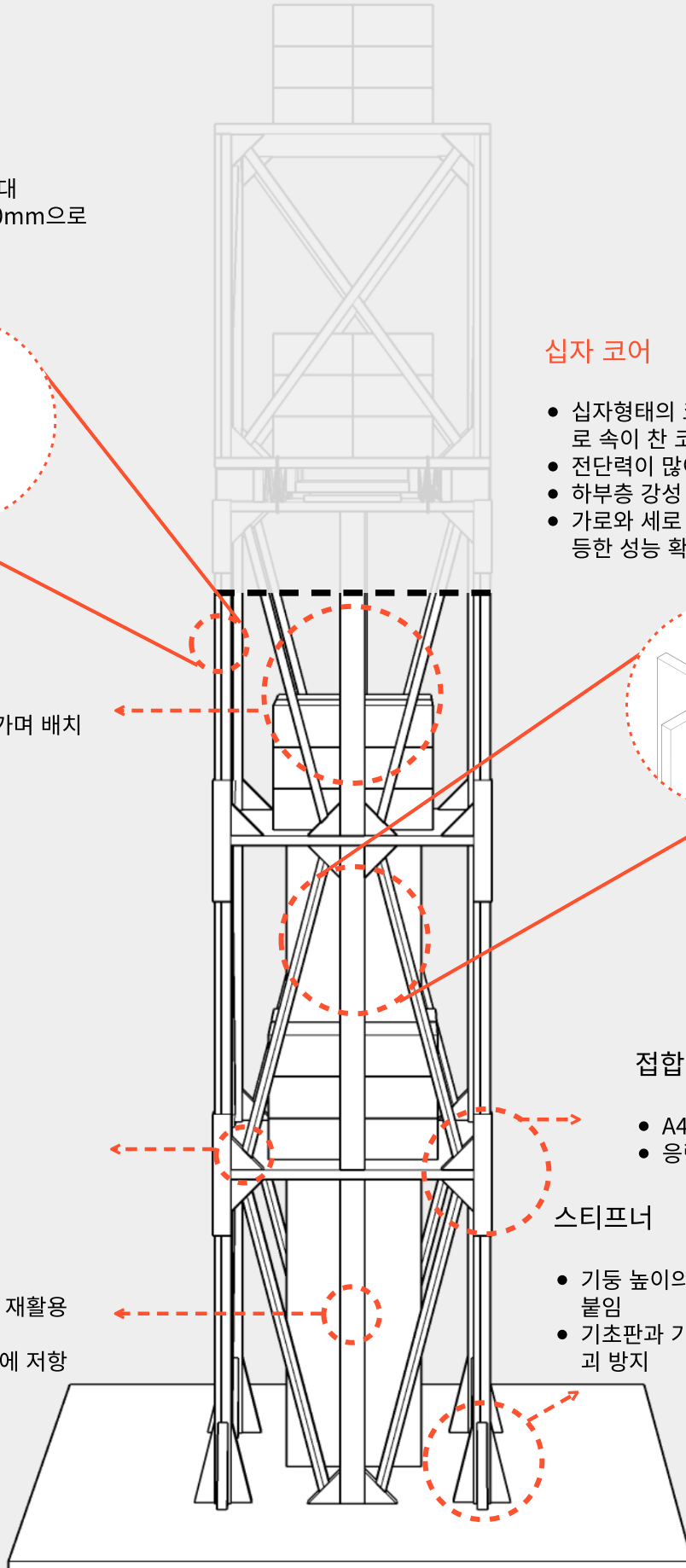


접합부 보강

- A4의 1/4를 접어서 만들
- 응력이 집중되는 접합부의 탈락방지

스티프너

- 기둥 높이의 1/4 크기로 남는 플레이트를 잘라 붙임
- 기초판과 기둥의 부착력 증대와 전도로 인한 파괴 방지



구조 설계 분석 : 상부층

X 가새

- 면진판 위 상부층의 변위가 가장 큼
- 변위가 가장작은 X 가새 전방향배치

WIRE (고무줄)

- 수직, 수평 변위를 제한하기 위해 고무줄을 플레이트에 부착
- 고무줄이 잘 늘어나기 때문에 짧게 잘라 고무줄의 복원력을 크게함
- 셀프 센터링 효과

십자 플레이트

- 면진판 위에서 슬라이딩 하며 상부구조와 연결
- 면적을 최대한 넓게 만들어 안정적 거동
- 높이를 낮게 하여 전도 방지

충격완화댐퍼

- 면진판에서 십자플레이트가 슬라이딩하면서 하부에 주는 충격을 종이댐퍼가 흡수
- 수평으로 최대변위 제어
- 종이를 충분히 접어 제작하여 소요의 탄성 확보

롤러

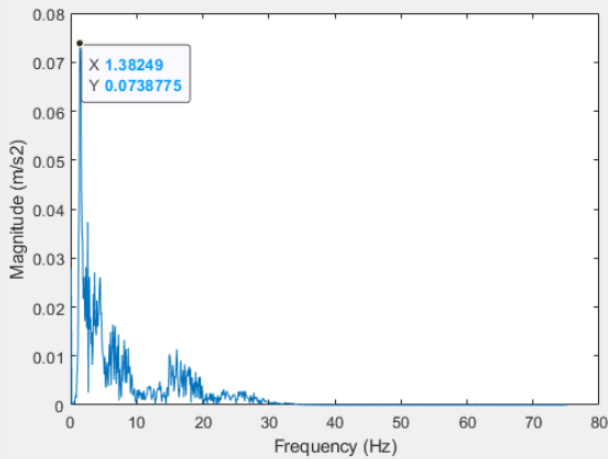
- 십자플레이트가 슬라이딩 하기 위해 원통형으로 제작
- 종이를 말기전 고무줄을 부착한뒤 제작하여 원통형의 형태이고 찌그러짐 발생하지 않음
- 구획시 여유를 두어 여러방향 진동에 대한 성능 확보

면진판

- 3층과 4층 사이에 면진판을 설치하여 전도의 위험을 낮춤
- 면진판 위에서 상부 구조물이 슬라이딩 하면 에너지 소산되면서 구조물의 장주기화
- 마찰이 크지 않아 실험을 통해 양방향롤러가 한판에 있어도 된다고 판단

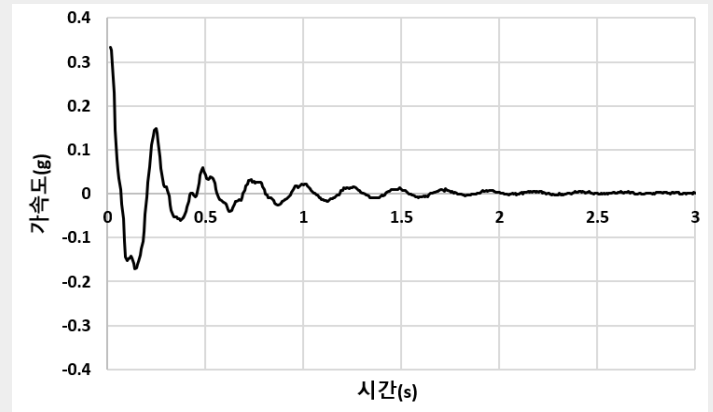
고유주기 산정 및 감쇠비 측정

▷ 고유주기 산정



- 공진주파수 탐색시험을 통해 고유 진동수를 측정
- 측정된 고유진동수는 1.38Hz 이므로 구조물의 고유주기는 0.725 sec
- 구조물은 최고 스펙트럼가속도 범위 (0.08~0.4sec)를 벗어남

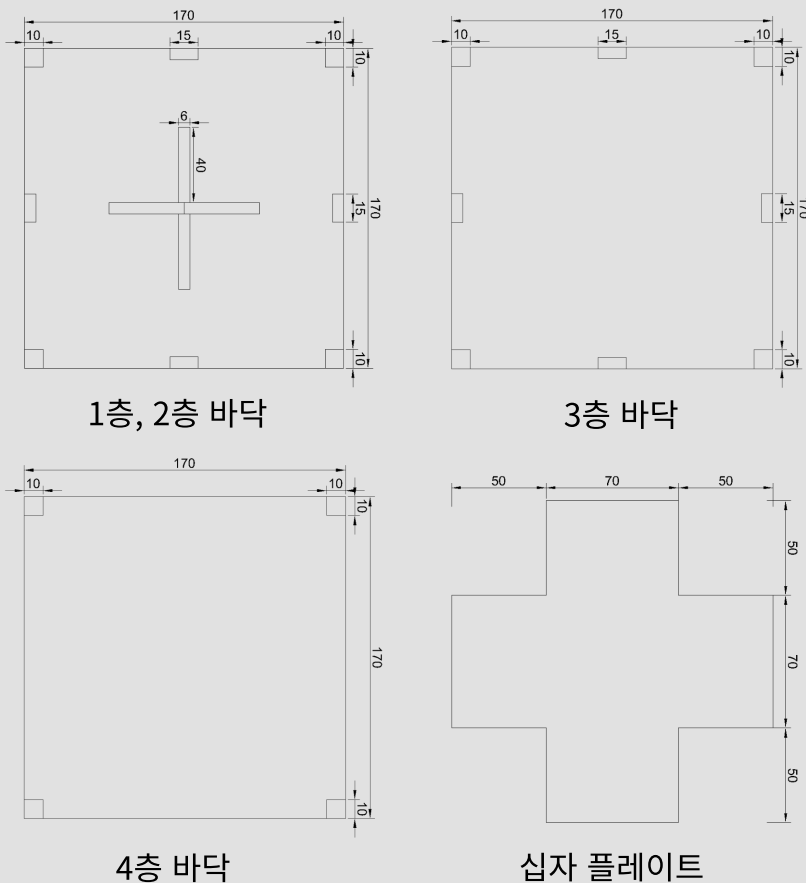
▷ 감쇠비 측정



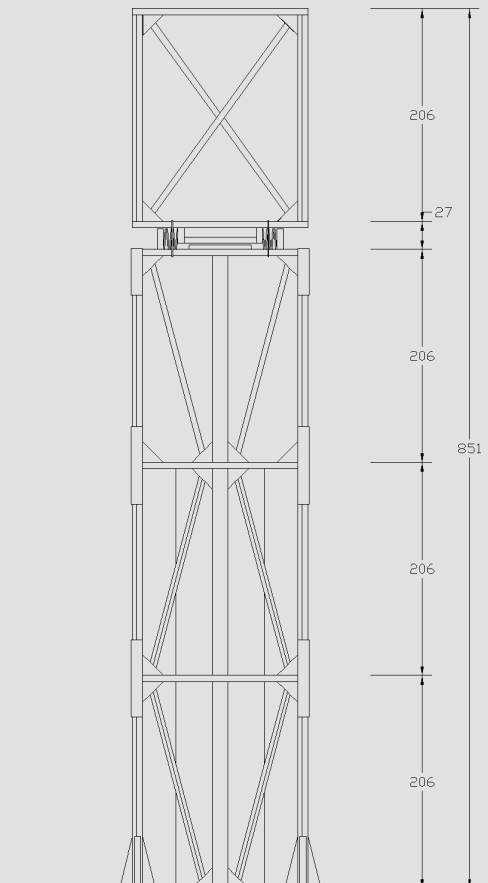
- 자유진동실험을 통해 구조물의 감쇠비 측정
- 신뢰도를 높이기 위해 3회의 자유진동실험을 통해 평균 감쇠비 측정
- 평균 감쇠비는 14.05%로 적절한 면진이 되었음

평면도&입면도

▷ 평면도



▷ 입면도



경제성 분석 - 원가관리

부재명	부재규격(가로×세로×높이)	수량	부재명	부재규격(가로×세로×높이)	수량
메가칼럼	10mm×10mm×200mm	16	바닥판	170mm×170mm×6mm	6
재생 플레이트	15mm×6mm×200mm	12	가새	4mm×6mm×200mm	16
십자 코어	40mm×6mm×200mm	8	2겹가새	8mm×6mm×200mm	16
롤러	45mm(ø6mm)	12	변위제한 고무줄	5mm	8
충격완화댐퍼	210mm×148.5mm	8	접합부 보강(A4)	210mm×75mm	12

재료명	부재 규격	단가(백만원)	수량	합계(백만원)
MDF Base	400mm×400mm×6mm	-	1	
MDF Strip	600mm×4mm×6mm	10	44	440
MDF Plate	200mm×200mm×6mm	100	8	800
스트링 고무줄	600mm	40	2	80
A4지	A4	10	9	90
접착제	20g	200	3	600
총 합계 (백만원)				2010

시공성 분석 - 공정표

구분		소요시간									
		1시간				2시간				3시간	
		15분	30분	45분	60분	15분	30분	45분	60분	15분	30분
설계	기초, 플레이트 작도										
재료가공	플레이트 및 헌치 제단										
	롤러 제작										
	충격완화 댐퍼 제작										
	기둥, 코어 제작										
	면진판 제작										
시공 및 조립	기둥, 코어 설치										
	가새, 하중블럭 설치										
	헌치, 스티프너 설치										
	A4 설치										
총 공정 시간										2시간 30분	