

2024 구조물 내진설계 경진대회

지도 교수: 노영숙 교수님

TEAM NAME: JOYNT

주관 :  지진방재연구센터
SEISMIC RESEARCH AND TEST CENTER

 부산대학교
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY

 국토교통연구인프라운영원

서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공

INDEX

01. 서론

팀 & 조원 소개
대회 규정 분석
지진파 분석
내진 설계 개념
물성치 분석

02. 본론

기술분석
구조 특성 소개
MIDAS 분석
실험 결과값 분석
구조물 변화 과정
입면도&평면도

03. 결론

원가계산표
공정표

팀 & 조원 소개

<자문위원>

서울과학기술대학교
건축학부 건축공학전공
노영숙 교수님 (자문 및 지도교수)



JOYNT(조인트)는
서울과학기술대학교 대표 건축구조동아리입니다.
우리나라 말로 '줄눈 혹은 이음'이라 하고
다른 의미로 'JOY and TRY' 이라는 의미로
건축구조를 탐구하고 창의적인 생각을 공유합니다.
학생들이 모여 새롭고 혁신적인 구조시스템을
연구하고 적용해보고자 합니다.

<팀원소개>



팀장 양찬식

- 설계 제안서 작성
- 구조 해석
- 공정표 작성
- 구조물 제작



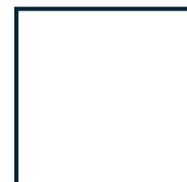
팀원 이하늘

- MIDAS 분석
- 구조해석
- 지진파 분석
- 구조물 제작



팀원 배민철

- 모델링
- PPT 제작
- 도면 작성
- 구조물 제작



팀원 서정환

- 아이디어 제시
- 물성치 분석
- 경제성 분석
- 구조물 제작

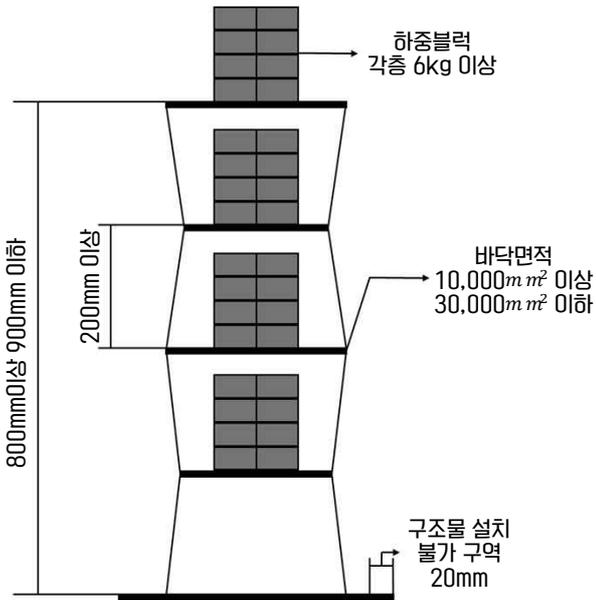
대회 규정 분석

구조물 제작 및 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. 설계지진 초과 시 구조물의 붕괴 메커니즘을 고려한 파괴를 유도하는 정밀한 설계
6. 심미성과 창의성을 추구하는 설계 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 구조해석 능력 외 도면화 수량산출 및 내역작성 기술

작품 제작 재료

| 재료명 | 단위 | 규격 | 단위수량 [개] | 단가 [백만원] |
|------------------|----|-----------------|----------|----------|
| MDF Base(기초판) | 개 | 400mm×400mm×6mm | 1 | - |
| MDF Strip | 개 | 600mm×4mm×6mm | 1 | 10 |
| MDF Plate | 개 | 200mm×200mm×6mm | 1 | 100 |
| 스트링 고무줄 (φ2~3mm) | 식 | 600mm | 1 | 40 |
| A4지 | 장 | A4 | 1 | 10 |
| 접착제 | 개 | 20g | 1 | 200 |



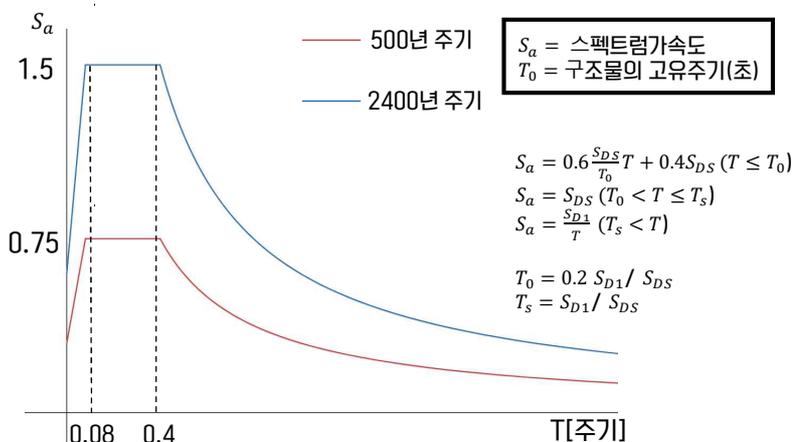
지진파 분석

| 재현주기 [년] | 유효수평지반가속도 [S] | 성능수준 | 위험도계수 [I] | 지진구역계수 [Z] | 단주기 / 1초 주기 지반응답증폭계수 [F _a , F _v] |
|-----------------------------------|---------------|------|-----------|-------------------------------------|---|
| 500 | 0.3g | 기능수행 | 1 | 0.3g | 1.5 |
| 2400 | 0.6g | 붕괴방지 | 2 | 0.3g | |
| 단주기 설계 스펙트럼 가속도[S _{DS}] | | | | 1초 주기 설계 스펙트럼 가속도[S _{D1}] | |
| 500 | 0.75g | | | 0.3g | |
| 2400 | 1.5g | | | 0.6g | |

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3$$

$$S_{D1} = S \times F_v \times 2/3$$

설계응답가속도스펙트럼



- 0.08sec ~ 0.4sec에 설계 응답 스펙트럼 가속도 최대치
- 지진 가속도 0.7g에서 파괴 유도 설계

내진 설계 개념



지진파

내진

적절한 부재와 배치에 의해 강도와 점성으로 지진에 저항



지진파

제진

건물에 설치된 장치가 지진과 바람에 의한 건물의 진동을 제어



지진파

면진

지반과 건물 사이에 면진장치를 설치하여 지진에너지를 분산



면진 설계

층간면진시스템, 에너지 소산 Beam 설치를 통한 면진 시스템 구축

A4용지 부착을 통한 마찰력 저감

내진 설계

벨트트러스, 아웃리거, X가새를 이용해 강성 증가

내진+면진 설계 적용

물성치 분석

| 구분 | 8mm x 12mm | 10mm x 10mm | 22mm x 22mm |
|-------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| 단면도 | | | |
| 단면2차모멘트 $I (m^4)$ | $I_x=1152$ $I_y=512$ | 832 | 16320 |
| 탄성계수 $E (N/m^2)$ | $E_x=518.0$ $E_y=1163.6$ | 954.7 | 292.0 |

→ X축과 Y축 양방향에서 동등한 단면성능을 확보하기 위해 10mm x 10mm를 최외각 기둥, 22mm x 22mm를 코어기둥으로 활용

실험사진 및 방법

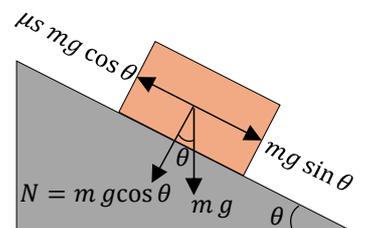


$$E = \frac{PL^3}{3\delta l}$$

단면별 실험 3회 실시하여 평균값으로 산정

정지마찰계수 측정실험

| 구분 | MDF-MDF | MDF-A4 | A4-A4 |
|--------|---------|--------|-------|
| 실험 | | | |
| 임계각 | 40도 | 31도 | 27도 |
| 정지마찰계수 | 0.84 | 0.6 | 0.51 |



$$\mu_s m g \cos \theta = m g \sin \theta$$

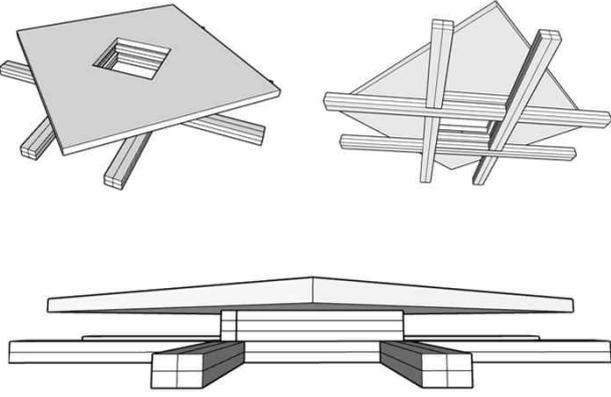
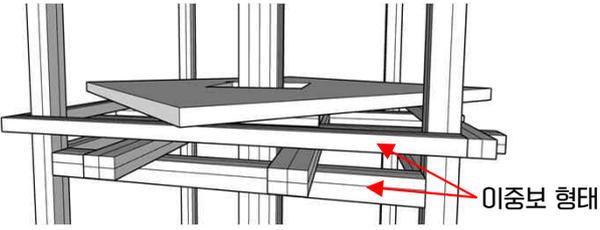
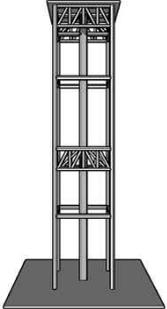
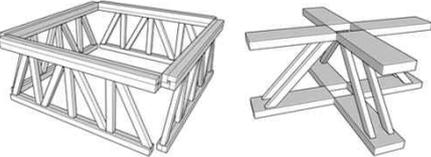
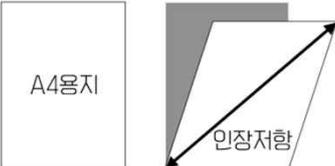
$$\mu_s = \tan \theta$$

(μ_s : 정지마찰계수)

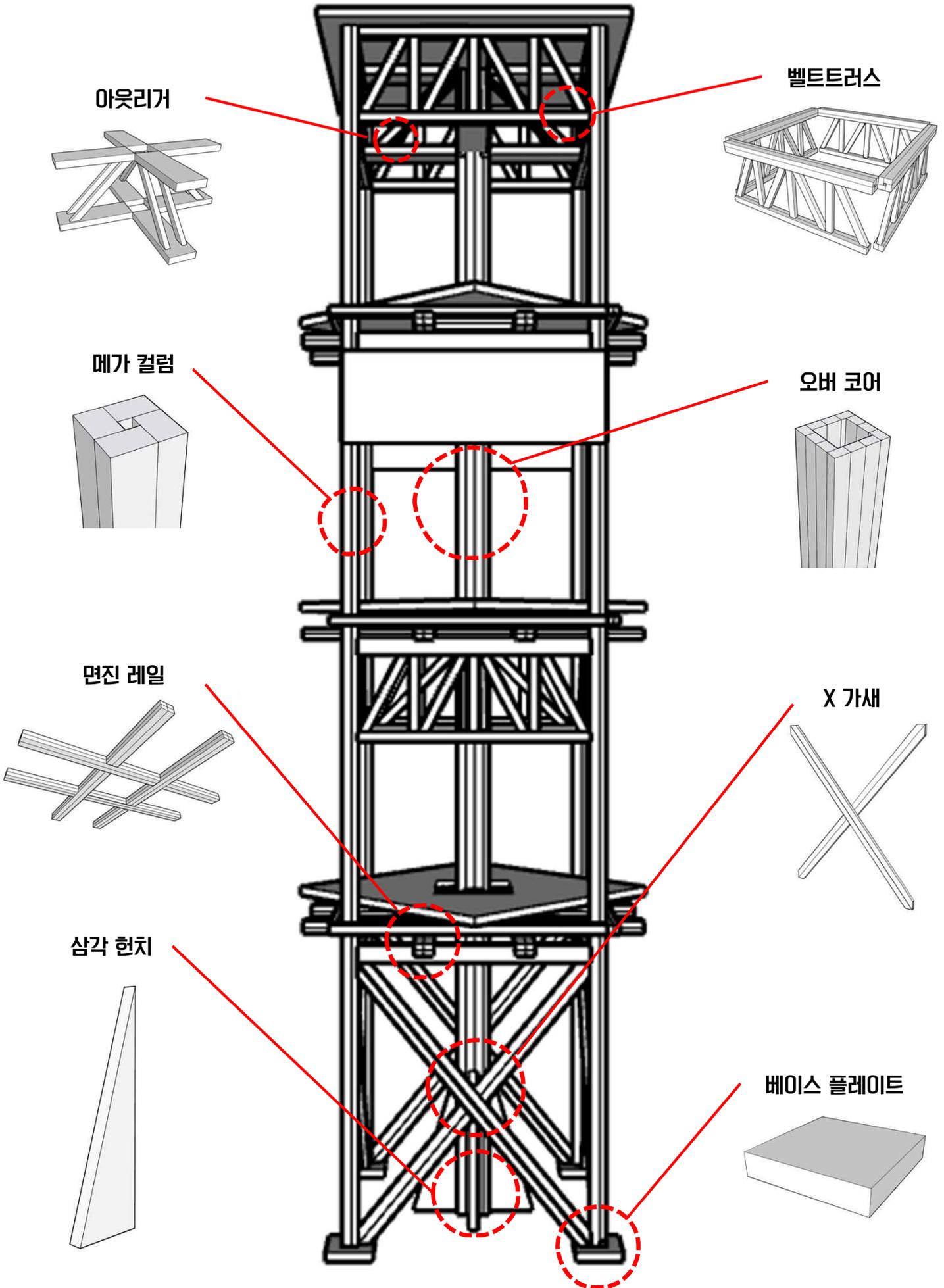
위의 실험을 통해 A4-A4 사이의 정지마찰계수 값이 가장 작은 것을 알 수 있다.

슬라브·보 사이의 마찰력을 통한 에너지소산과 면진시스템의 거동을 동시에 수행할 수 있는 MDF-A4 선택

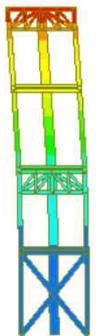
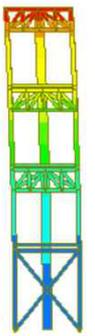
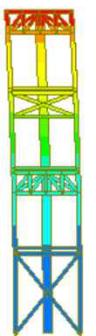
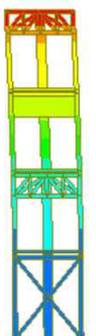
기술 분석

| 주요 기술 | 상세 내용 |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">층간 면진 시스템</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • 지진 하중을 층별로 분산 • 코어 설치를 위한 슬라브 중앙 천공 • 코어 설치를 통한 최대 변위 제한으로 2차 효과 방지 • 바닥판에 고정하중이 작용함으로써 규정 3-①을 준수 • 면진 레일의 균일한 강성확보를 위한 접합부 바람개비 형태 및 이중시공 • 슬라브를 45도 회전시켜 최외각 기둥과의 충돌 방지 및 슬라브 면적 확보 • 슬라브와 면진 레일 간의 간격 확보를 통해 에너지 소산 Beam과의 충돌 방지 |
| <p style="text-align: center;">에너지 소산 Beam(이하 'Beam')</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • 슬라브와 Beam 사이의 마찰력으로 운동E를 열E로 변환시킴으로써 에너지 소산 >> 건물구조에 전달되는 하중 완화 • 이중보 형태로 슬라브의 이탈 방지 • 최외각 기둥을 감싸면서 띠철근의 역할 수행하여 좌굴 방지 |
| <p style="text-align: center;">오버코어 시스템</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • 오버코어는 기초부터 옥상까지 연결되어 중심축 역할 • 벨트트러스와 아웃리거는 코어와 최외각 기둥을 결합하여 건물의 횡력 저항성능을 높임으로써 코어의 비틀림과 휨을 줄여 전체적인 구조 강성을 증가 • 두 시스템의 조합을 통해 코어와 외곽기둥의 상호작용을 최적화하여 건물이 동적하중에 대해 보다 균형 잡힌 저항 성능을 발휘하도록 유도 |
| <p style="text-align: center;">벨트트러스 & 아웃리거</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • 코어가 옥상 슬라브를 통해 최외각 기둥과 보와 일체화 >> 외골조의 안정성과 구조적 통합성을 확보 |
| <p style="text-align: center;">A4 전단벽</p>  | <ul style="list-style-type: none"> • A4 자체의 강한 인장저항성 활용 • 벽면에 평행한 횡력을 지지하는 전단벽으로 작용 • 3층 벽으로 설치 -> 강판전단벽의 역할 수행 |

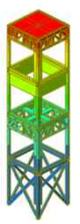
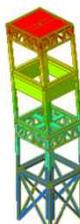
구조 특성 소개



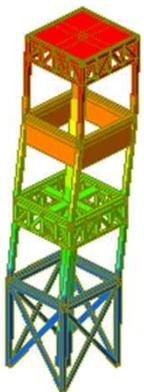
MIDAS 분석

| 3층 형태 | BASE 모델 | 벨트트러스 | X자 가새 | A4 |
|----------|---|---|---|---|
| MODELING |  |  |  |  |
| 변위 | 6.94mm | 2.35mm | 2.61mm | 4.56mm |

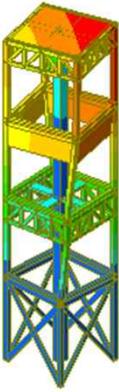
3층의 과도한 강성을 조절하기 위해 3층보강재로 **A4** 채택

| 500년 재현 주기 | 2400년 재현 주기 |
|---|---|
|  |  |
| 최대변위 : 7.54mm | 최대 변위 : 16.4mm |

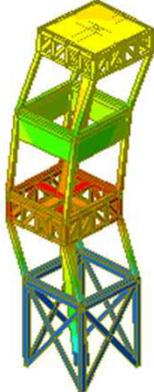
1차,2차모드



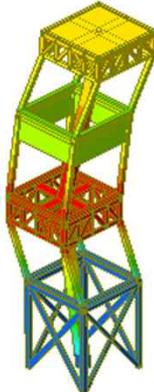
3차모드



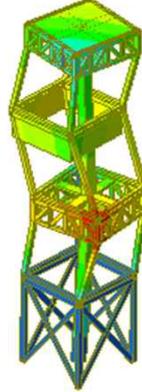
4차모드



5차모드



6차모드



| Mode No. | Period(sec) |
|----------|-------------|
| Mode 1,2 | 0.8775 |
| Mode 3 | 0.6581 |
| Mode 4 | 0.6435 |
| Mode 5 | 0.5287 |
| Mode 6 | 0.4508 |

Mode 1 - Mode 6 중 질량 참여율이 가장 큰 Mode 1 & Mode 2
Mode 1,2의 주기 : 0.8775sec

고유주기 0.8775s로 설계 스펙트럼 가속도 최대구간
0.08~0.4sec을 피하는 것을 확인

1차 실험결과 및 문제점

실험목표 : 0.7g에서 3층 기동 파단

1. 면진 레일의 작동

- ✓ 추의 무게로 인한 슬라브의 눌림으로 에너지소산 Beam과의 마찰력이 과도하게 발생하여 면진 시스템의 원활한 거동 실패

2. 슬라브-레일 연결재와 에너지소산 Beam의 충돌

- ✓ 슬라브-레일 연결재가 마름모 형태로 부착되어 모서리부분과 에너지소산 Beam과의 충돌발생

3. 기초판과의 접합

- ✓ 기초판과 구조물이 제대로 접합되지 못하여 1층에서의 뽐힘 파괴 발생

4. 상층부의 과도한 강성

- ✓ 상층부에서 벨트트러스, 아웃리거, X자 가새 등의 과도한 설계로 목표 가속도를 초과한 0.97g에서 1층 파단

<실험 전>



<실험 결과>



0.97g
뽐힘 파괴

개선안 및 2차 실험결과

<종이 댐퍼 설치>



<실험 결과>



0.66g
3층 기동 파단

1. 슬라브-레일 연결재 높이 10mm -> 12mm

- ✓ 슬라브-레일 연결재의 높이를 높임으로써 에너지소산 Beam과의 과도한 마찰을 줄여 원활한 면진 시스템의 거동 유도

2. 슬라브-레일 연결재 방향 재설정

- ✓ 슬라브-레일 연결재를 정사각형 형태로 재설정하여 에너지소산 Beam과의 충돌 방지

3. Base Plate와 Haunch

- ✓ 베이스 플레이트를 설치하고 코어보강재를 삼각 헌치로 교체하여 기초판과 구조물의 접착면을 늘림으로써 뽐힘 파괴 방지

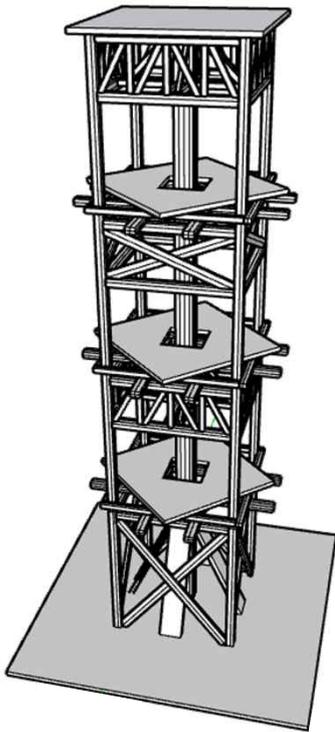
4. 3층부 X자 가새 제거

- ✓ 3층부의 X자 가새를 제거하여 3층부의 강성 감소 -> 3층 파단 유도

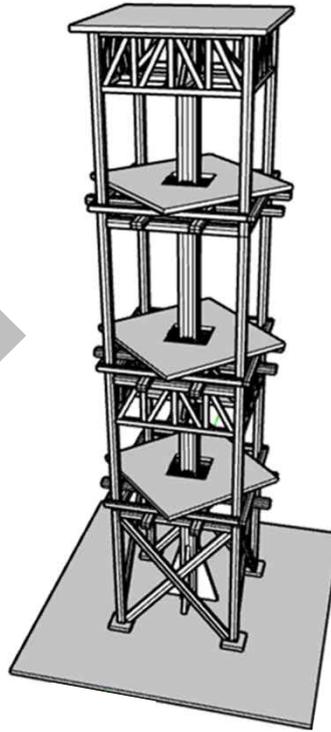
목표 가속도 0.7g에서의 파단을 위해

3층에 A4 전단벽 설치

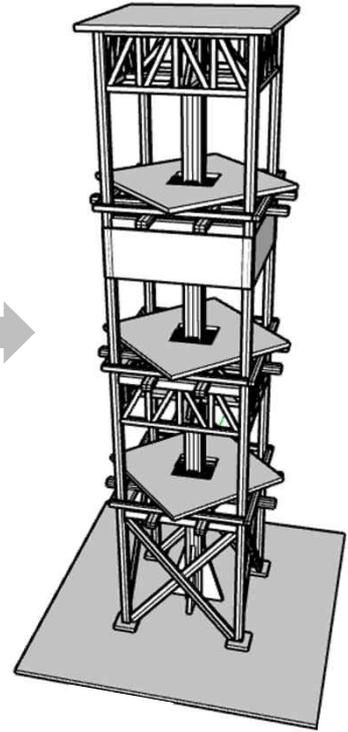
구조물 변화과정



1차 실험 구조물

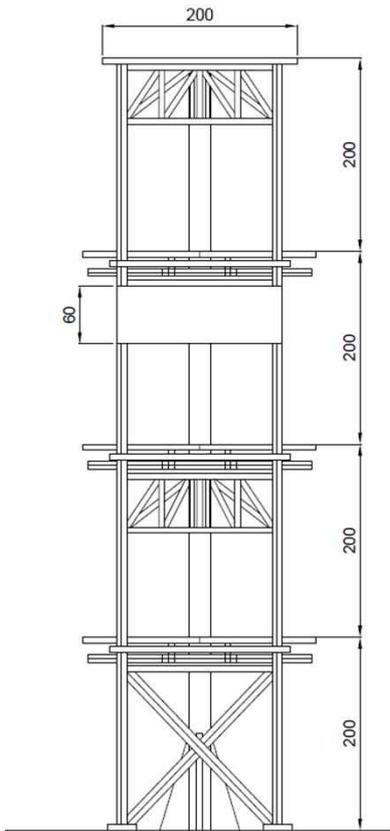


2차 실험 구조물

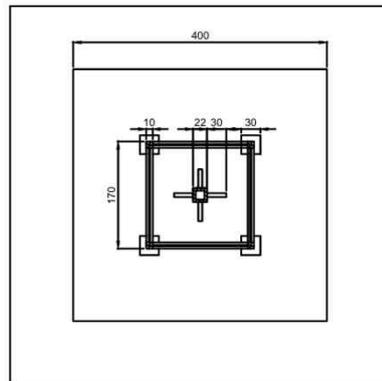


최종 구조물

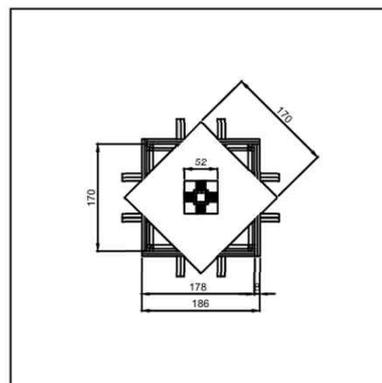
입면도&평면도



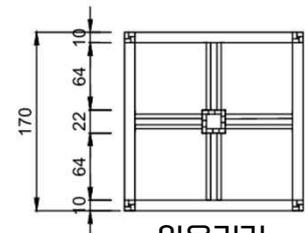
입면도



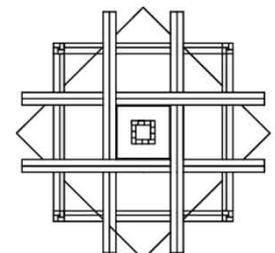
1층 평면도



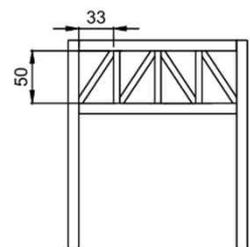
2·3·4층 평면도



아웃리거



면진 시스템



벨트 트러스

원가계산표

| 재료명 | 규격 | 부재명 | 단가[백만원] | 사용수량 | 비용[백만원] |
|--------------|---------------------|----------------|---------|------|---------|
| MDF Base | 400mm x 400mm x 6mm | 기초판 | - | 1 | - |
| MDF Plate | 200mm x 200mm x 6mm | 바닥슬래브 | 100 | 4 | 400 |
| | | Base Plate | | 여분활용 | |
| | | Haunch | | | |
| MDF Strip | 600mm x 4mm x 6mm | 아웃리거 | 10 | 18 | 1050 |
| | | 코어기둥 | | 24 | |
| | | 메가기둥 | | 8 | |
| | | 1층 X 가새 | | 18 | |
| | | 보 | | 32 | |
| | | 슬래브 받침 | | 5 | |
| 벨트트러스 & 아웃리거 | | | | | |
| 스트링 고무줄 | 600mm | - | 40 | 0 | - |
| A4지 | A4 | 마찰력 감소 부재 & 댐퍼 | 10 | 4 | 40 |
| 접착제 | 20g | - | 200 | 3 | 600 |
| Total | | | | | 2,090 |

총 소요 비용 2억 900만원

공정표

양찬식 서정환 이하늘 배민철 전원

| 구분 | 작업명 | 소요시간 | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1시간 | | | | 2시간 | | | | 3시간 | | |
| | | 15분 | 30분 | 45분 | 60분 | 15분 | 30분 | 45분 | 60분 | 15분 | 30분 | 45분 |
| 작도 | 기초·슬래브·기둥 | | | | | | | | | | | |
| 제작 | 기초 및 슬래브 천공 | | | | | | | | | | | |
| | 기둥 및 코어 | | | | | | | | | | | |
| | 보 | | | | | | | | | | | |
| | 면진 시스템 (슬래브 받침) | | | | | | | | | | | |
| | X 가새 | | | | | | | | | | | |
| | 벨트트러스 및 아웃리거 | | | | | | | | | | | |
| | 시공 | 코어 및 최외각 기둥 조립 | | | | | | | | | | |
| 2층 조립 | | | | | | | | | | | | |
| 3층 조립 | | | | | | | | | | | | |
| 4층 조립 | | | | | | | | | | | | |
| 옥상 조립 | | | | | | | | | | | | |
| 가새 조립 | | | | | | | | | | | | |
| 벨트트러스 및 아웃리거 조립 | | | | | | | | | | | | |
| 코어 보강 | | | | | | | | | | | | |
| 마감 | 하중블럭 설치 | | | | | | | | | | | |
| | 마무리 작업 | | | | | | | | | | | |
| 총 공정시간 | | 2시간 45분 | | | | | | | | | | |

총 공정 시간 2시간 45분