

구조물 내진설계 경진대회

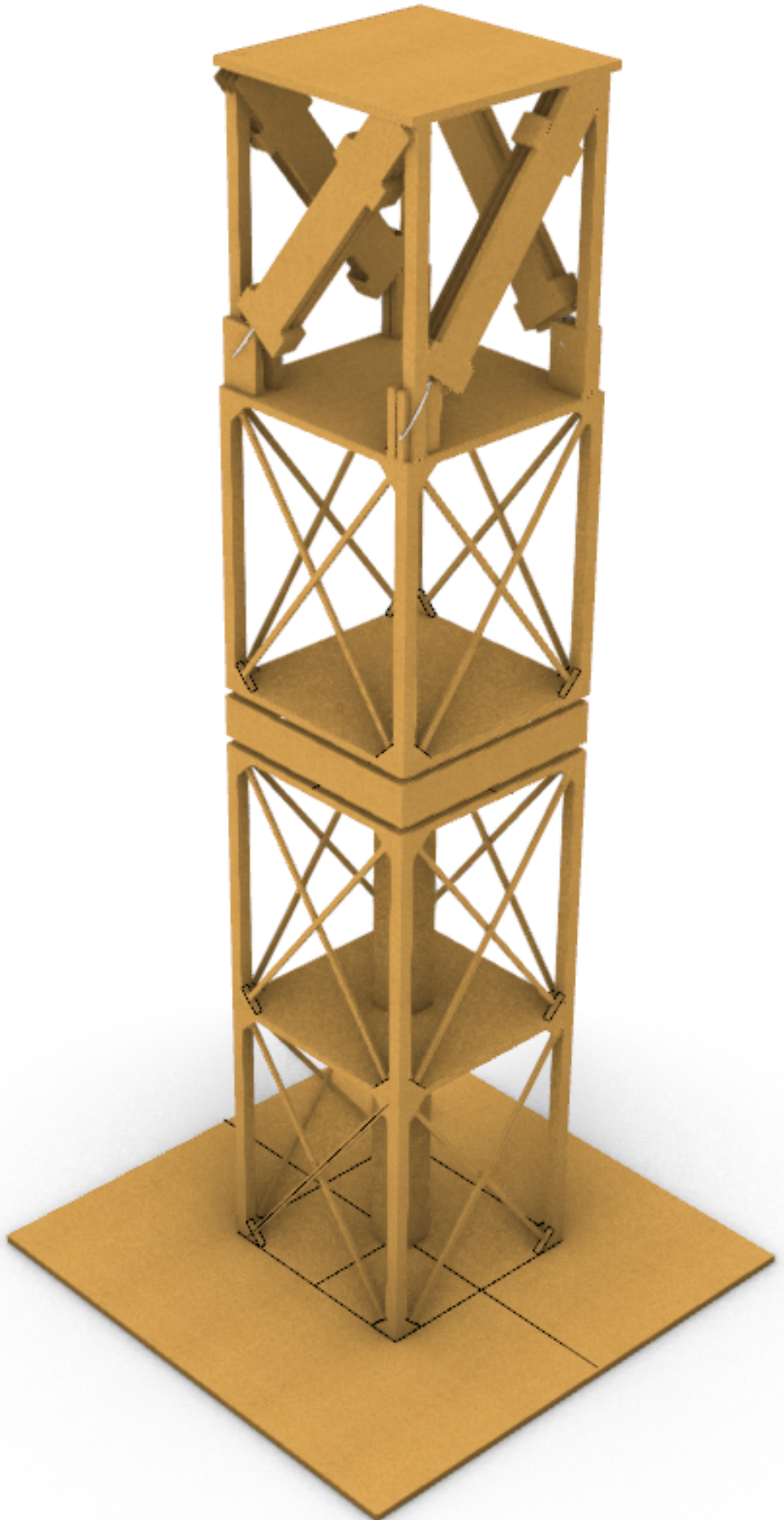
SEISMIC STRUCTURE DESIGN CONTEST 2024

구조물의 붕괴 메커니즘을 고려한 내진설계

지도 교수 : 노영숙

팀명 : 김지진선

서울과학기술대학
교



00 INTRO

- 팀 소개

01 CONCEPT

- 구조물 심사 기준
- 지진파 분석
- 분석에 따른 설계 계획
- 재료 물성치 분석

02 PROCESS

- MIDAS GEN을 통한 구조 성능 분석
- 구조 설계 분석
- 실험 결과 및 분석

03 CONCLUSION

- 최종 모형 도면
- 공정표 및 내역서

[팀 소개]

지도 교수 : 노영숙

팀명 : 김지진선

서울과학기술대학교

황선욱

총괄 팀장
아이디어 구상
PPT 제작
지진파 분석

이한세

대회 규정 분석
물성치 분석
경제성 분석

유은서

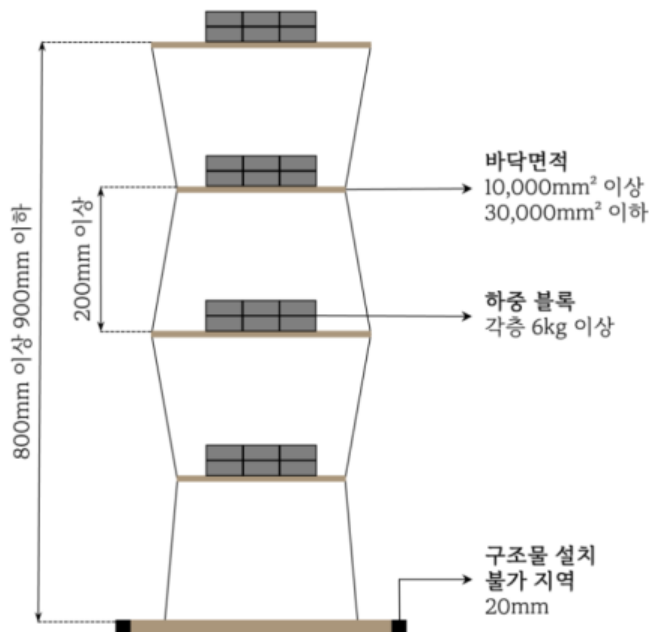
3D 모델링
PPT 제작
구조 해석

김진선

시공성 분석
지진파 분석
도면 제작

<구조물 심사 기준>

구조물 규정



세부 규정

재료명	단위	규격	단가(백만원)
MDF Base (기초판)	개	400mm*400mm*6mm	-
MDF Strip	개	600mm*4mm*6mm	10
MDF Plate	개	200mm*200mm*6mm	100
스트링 고무줄 (Φ2~3mm)	개	600mm	40
A4지	개	A4	10
접착제	개	20g	200

심사 기준

1. 구조물의 내진설계 목표와 성능수준 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

<지진파 분석>

재현주기 (년)	유효수평지반가속도 (S)
500	0.3g
2400	0.6g

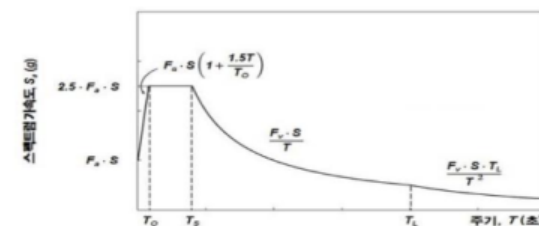
지반증폭계수	
단주기 (Fa)	1.5
1초주기 (Fv)	1.5

설계 스펙트럼 가속도	
단주기	500년 : 0.75g 2400년 : 1.5g
1초주기	500년 : 0.3g 2400년 : 0.6g

성능 목표	
재현주기 (S)	구조물의 성능 수준
500	기능 수행
2400	붕괴 방지

지진의 고유주기
$T_0 = 0.2 S_{D1}/S_{DS}$ 500년, 2400년 -> 0.08sec
$T_S = S_{D1}/S_{DS}$ 500년, 2400년 -> 0.4sec
$T_L = 5$

표준설계응답스펙트럼

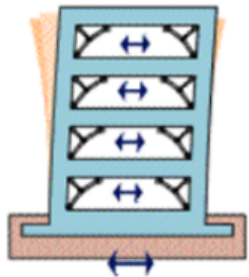


0.08 ~ 0.4 sec에서 설계 응답 스펙트럼 가속도 최대치, 지진 가속도 0.7g에서 구조물 파괴 유도 설계

<분석에 따른 설계 계획>

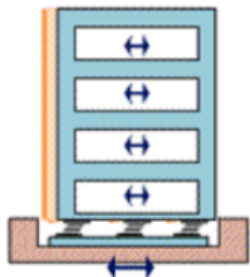
제진 구조

건물에 설치된 장치가
지진과 바람에 의한
건물의 진동을 제어함



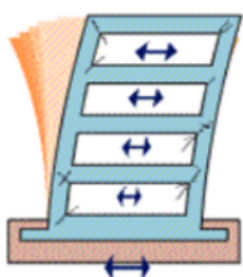
면진 구조

지반과 건물 사이에
장치를 설치하여
지진을 건물에 전달하지 않음



내진 구조

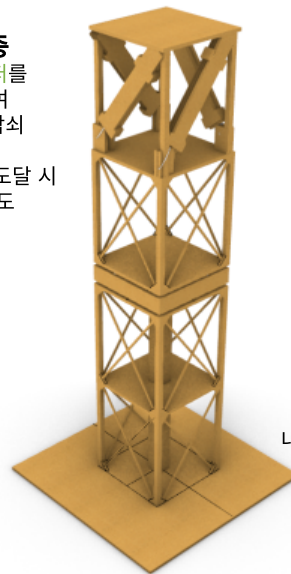
적절한 부재와 배치에
의해 강도와 점성으로
지진에 견딤



설계 적용

상부층
TMD, 댐퍼를
이용하여
지진을 감쇠

일정 가속도 도달 시
파괴 유도



하부층
수직 코어를
이용하여
강성을 강화

내진 성능을 강화

- <내진 구조> • 1,2층에 수직 코어를 이용하여 강성을 강조한 내진 하부층 구성
- <제진 구조> • 4층에 진동을 감지하고 흔들림을 억제하는 점성 댐퍼 설치
• 고무줄의 장력을 이용하여 끌어당기는 힘 강화
- <면진 구조> • 2,3층 사이 면진 구조를 사용하여 충격 받는 시간을 늘려 외부 기동으로 전달되는 충격량 감소
• 면진 구조의 중심력을 더욱 강화하기 위해 2,3층에 고무줄 연결
• 각 면마다 스트링 고무줄의 탄성을 이용하여 제자리로 오는 성질 강화

<재료 물성치 분석>

1. 탄성계수 실험 - 기둥

Case 1

-8x12 기둥
 $I_x = 1152\text{mm}^2$
 $I_y = 512\text{mm}^2$
탄성계수 = 786MPa

Case 2

-10x10 기둥
 $I_x = 832\text{mm}^2$
 $I_y = 832\text{mm}^2$
탄성계수 = 964MPa

-> 지진파의 X축과 Y축에 대해
효과적으로 저항하기 위해
균일한 단면성능을 가진 10x10
단면을 사용한 기둥을 선정

탄성계수 분석 방법



1. 탄성계수 실험 - 코어

Case 1

-30x30 기둥
 $I_x = 67500\text{mm}^2$
 $I_y = 67500\text{mm}^2$
탄성계수 = 37380MPa

Case 2

-36x36 기둥
 $I_x = 112320\text{mm}^2$
 $I_y = 112320\text{mm}^2$
탄성계수 = 11237MPa

-> 수직하중의 강화로 인한
내진 구조의 강화와 경제성을
고려하여 36x36 단면을 코어로 사용

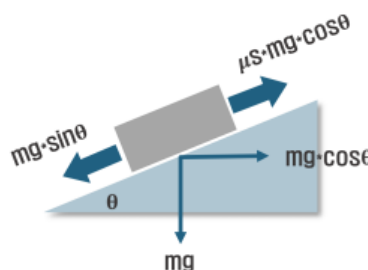
$$E = \frac{PL^3}{3\delta I}$$

P: 하중(N), L: 길이(mm),
 δ : 변위(mm), I: 단면 2차 모멘트 (mm^4)

2. 마찰력 실험 - 종이 유무

마찰력 분석 방법

판 종류	MDF - MDF	MDF - A4
임계각 (도)	20	20
정지 마찰 계수	0.36	0.32



$$mg \cdot \sin\theta = \mu_s \cdot mg \cdot \cos\theta$$

$$\mu_s = \tan\theta \quad (\mu_s: \text{정지 마찰 계수})$$

-> 면진판의 마찰력을
줄이기 위해 A4 용지
사용

3. 고무줄의 장력 실험

장력 분석 방법

탄성 계수	스트링 고무줄 10cm	스트링 고무줄 12cm
일중 묶음	0.735	0.588
이중 묶음	7.35	4.9

고무줄 길이의 변화	스트링 고무줄 10cm	스트링 고무줄 12cm
일중 묶음	4	5
이중 묶음	0.4	0.6



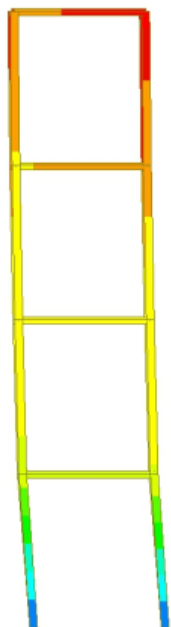
$$F = k \cdot \Delta x$$

F: 고무줄에 작용하는 힘 (장력)
k: 고무줄의 탄성 계수 (스프링 상수)
 Δx : 고무줄의 길이 변화

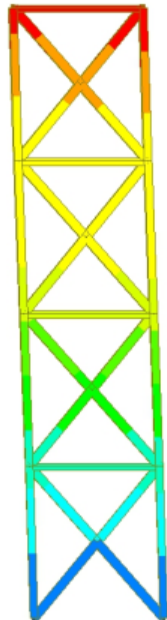
->면진 구조에서 면진판의 이동
성을 증진시키기 위해 일중 묶음
(12cm) 사용

<MIDAS GEN을 통한 구조 성능 분석>

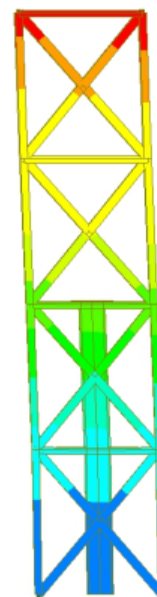
1. 일반 구조



2. X가새 구조



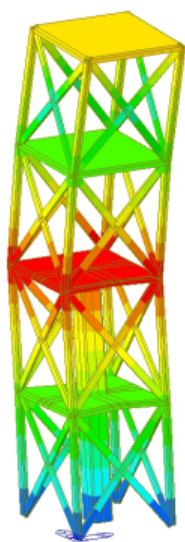
3. X가새 + 수직 코어



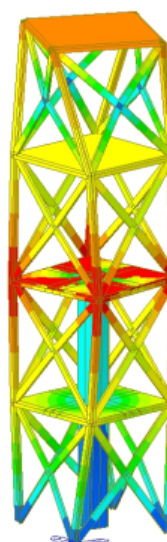
기본 구조보다 X가새가 더 안정적임을 확인

X가새 구조에 수직 코어를 결합 한 것이 더 안정적임을 확인

최종 목표 -> 0.7g에서 4층 기동 파단



2~3층 사이 연결부에 진동이 강함
-> 면진 구조 설치



4층 상단, 하단부에서 강한 힘 발생
-> 제진 구조 설치

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS					
	Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
	1	19.2260	3.0599	0.3268	6.7366e-27
	2	19.2260	3.0599	0.3268	6.7366e-27
	3	27.0235	4.3009	0.2325	6.7366e-27
	4	65.1467	10.3684	0.0964	6.7366e-27
	5	65.1467	10.3684	0.0964	6.7366e-27
	6	87.3676	13.9050	0.0719	6.7366e-27
	7	112.6222	17.9244	0.0558	6.7366e-27
	8	112.6222	17.9244	0.0558	6.7366e-27

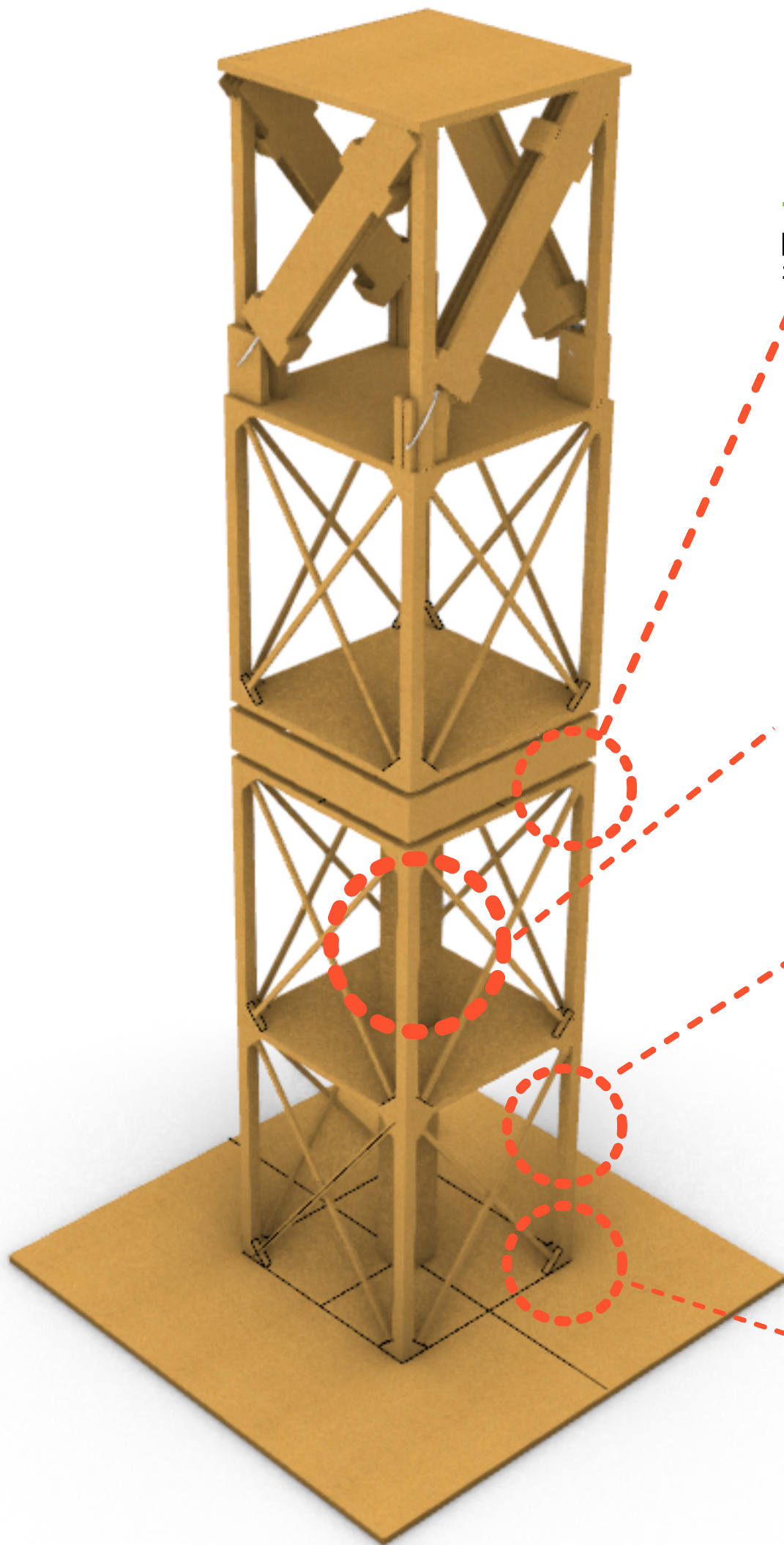
- Midas gen의 Eigenvalue Analysis를 이용한 모드해석
- Midas 해석 중 TMD 와 면진 장치를 완벽히 구현하는 것에 어려움을 느껴 실제 거동 시험을 통해 교차 검증을 해야 함
- 구조물이 부착된 수레와 간이 accelerator를 통한 고유주기 해석
- 수레에 accelerator를 부착한 뒤, 속도를 서서히 증가시켜 실험을 진행
- 설계 스펙트럼 최대 가속도를 평균적으로 피하는 것을 확인

Midas gen을 통한 설계 스펙트럼은 면진, 제진 장치의 유무로 인해 가속도 최대구간을 피하는 것을 **확인 못함**

하지만, Accelerator를 통한 설계 스펙트럼은 가속도 최대구간을 피하는 것을 **확인**

02 PROCESS

<구조 설계 분석 : 하부층>



톱밥

MDF 가공 시 나오는 톱밥을 모아 사용
절단 시 오차 발생 가능 -> 결합성 향상

MEGA CORE

기둥 제작 후 남은 MDF 사용
엇갈리게 붙여 접착면적을 키움
상부와 하부의 수직 하중 강화
정사각형으로 사면의 동등한
단면성능 확보

MEGA COLUME

Strip 4개를 엇갈리게 붙여
접착면적을 키움
시공성과 경제성을 고려하여
홈이 있게 구성

거셋 플레이스

기둥의 기초판 이탈 방지
X가새의 움직임 방지
슬래브 지지

02 PROCESS

<구조 설계 분석 : 상부층>

점성 댐퍼

각 면마다 고무줄의 장력을 이용한 흔들림 흡수
3층과 4층을 연결하는 기둥에 제작하여
면진 장치에서의 흔들림을 억제
옥상층의 하중 불력을 매개로 한 움직임 억제

Wire

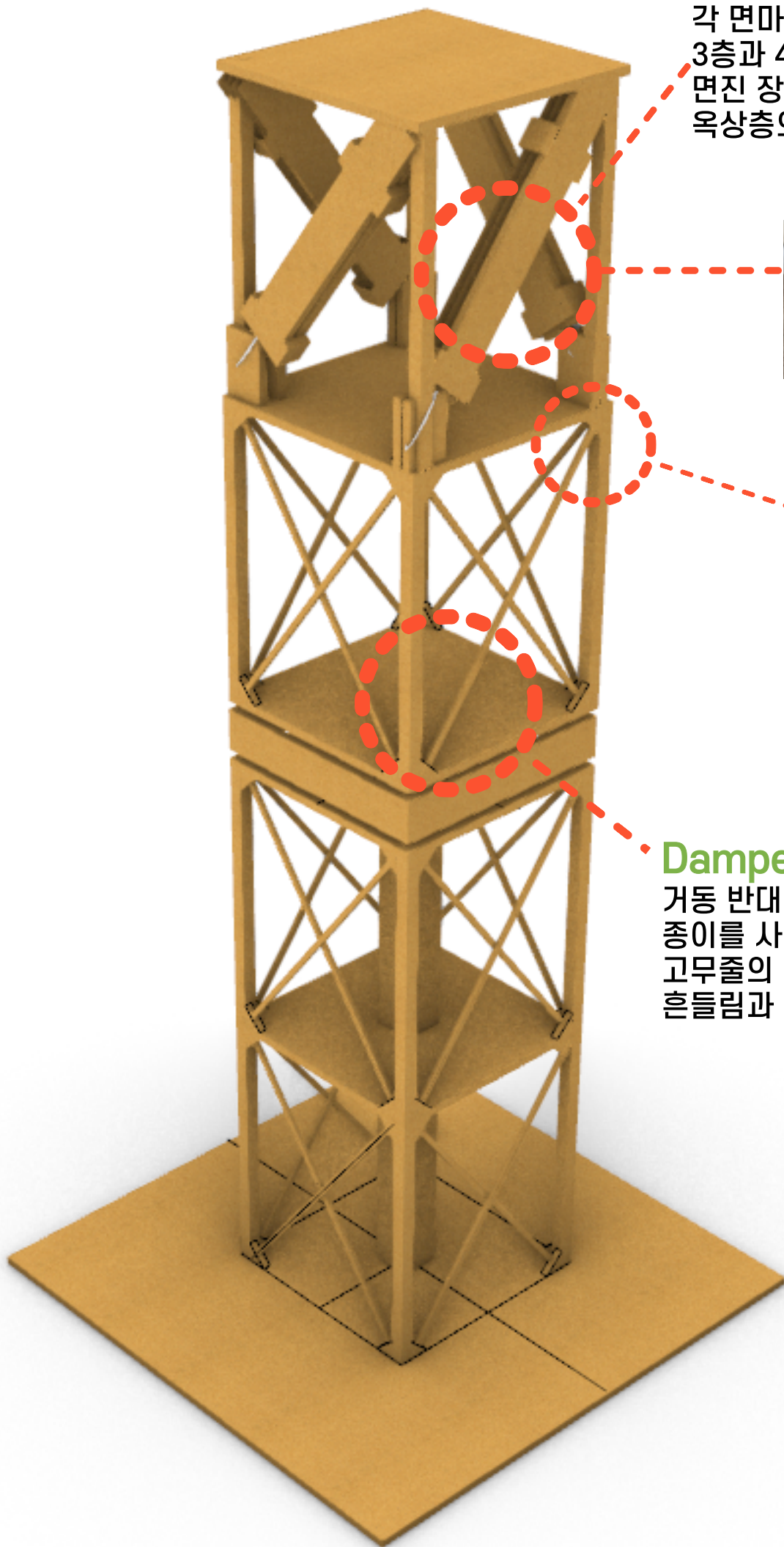
4층의 진동을 감지하여
고무줄의 장력을 통한
진동 및 기울어짐 억제

거셋 플레이트

기둥의 기초판 이탈 방지
X가새의 움직임 방지
슬래브 지지

Damper

거동 반대 방향으로의 최대변위 제어
종이를 사용하여 면진면의 마찰력 감소
고무줄의 탄성과 장력을 이용하여 상부층의
흔들림과 기울어짐 방지



<실험 결과 및 분석>



1차 모델 제작

댐퍼를 활용한 **중간층 면진** + x축으로만 제작된 **제진 구조**

- 십자가 댐퍼를 이용한 면진 장치 설치
- x축으로만 제진 장치를 설치
- 고무줄을 이용하여 상부층의 기울어짐 방지
- 2층 상단부와 3층 하단부에 제작한 고무줄로 인해 면진 능력 저하
- y축으로는 제진 능력 상실 및 4층 가새 붕괴

1차 모델링 결과 : **0.46g 파괴** -> y축으로도 진동이 일어남을 확인,
댐퍼의 이동이 자유롭지 않자 상층부 기울어짐 향상



2차 모델 제작

댐퍼를 활용한 **중간층 면진** + x,y축으로 제작된 **제진 구조**

- 십자가 댐퍼를 이용한 면진 장치 설치
- x,y 축으로 제진 장치를 설치
- 고무줄을 이용하여 상부층의 기울어짐 방지
- 3층 가새의 이른 붕괴

2차 모델링 결과 : **0.65g 파괴** -> 3층의 기동 능력의 필요성 확인,
댐퍼가 잘 작동하나 상층부의 무게가 무거움을 확인

해결 방안

- 면진 장치의 움직임을 향상시키기 위해 고무줄 길이 증가
- y축으로는 제진 능력이 없어 y축으로도 제진 장치 설치
- 1, 2층의 가새 불안정으로 톱밥을 이용한 보강
- 제진 장치의 무게를 절감

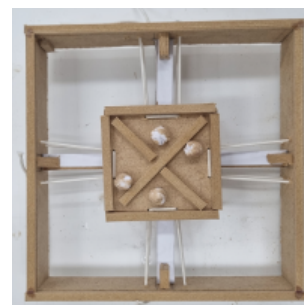
<보완 및 수정 사항>



제진 장치
무게 절감



고무줄의
길이 증가



면진 장치의
움직임 강화

1,2 차 실험 보완 및 수정

- 상부층의 무거운 무게로 인하여 고무줄의 인장력을 이용한 제진 장치 구상
- 면진 장치의 움직임에 제약이 있어 고무줄을 길게 묶어 면진 장치 움직임 향상
- 면진 장치 아래 구 모형을 한 구조물을 설치하여 움직임 향상

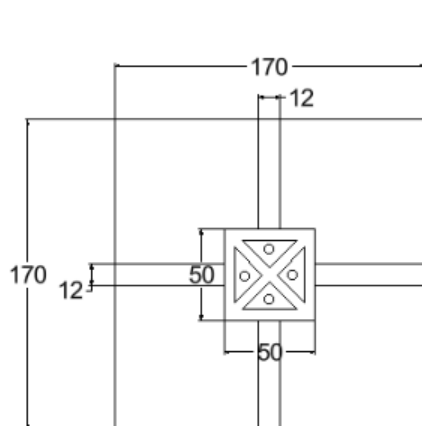
2차 실험 해석
목표 가속도에서 면진 장치를 기준으로
상부층이 **붕괴**됨을 확인



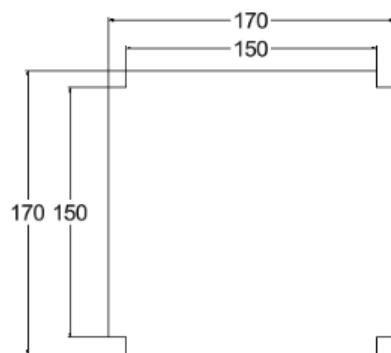
최종 보완점
상부층의 불안정으로 상부층의
내진 설계 강화

<최종 모형 도면>

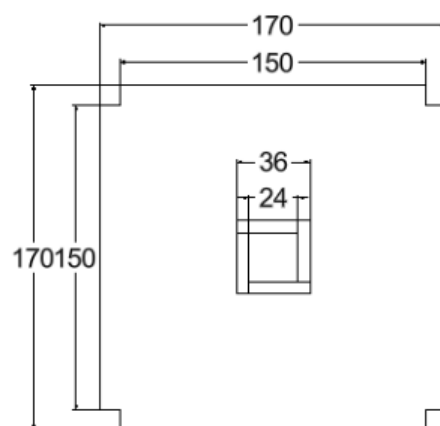
단면도



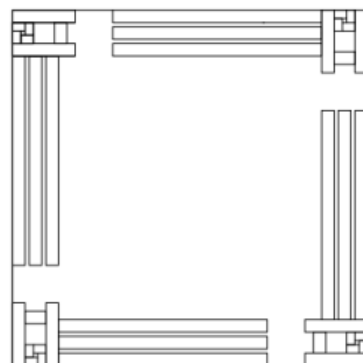
면진 장치(바닥)



3층

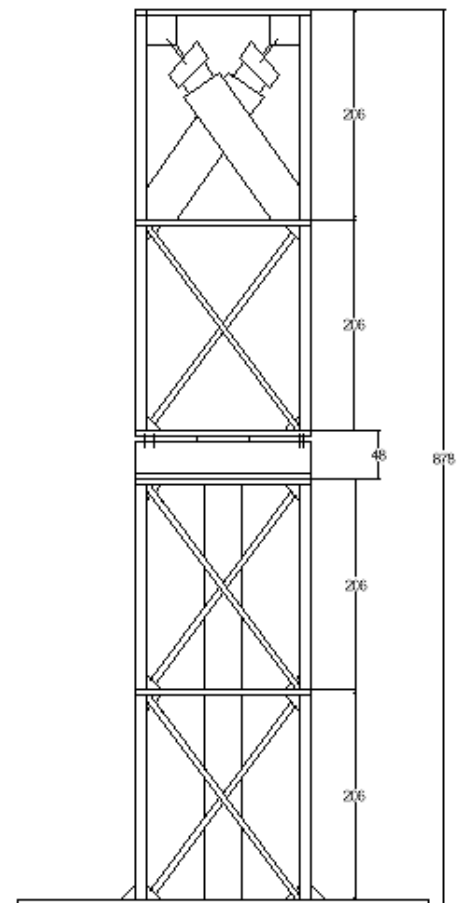


1,2층



4층

입면도



<면진 장치 세부 설명>

Wire

3층 하단부인 TMD판과 면진 구조의 연결 장치 면진 장치와 상부층의 이탈 억제
고무줄의 장력을 이용하여 위치 고정력 강화
이중으로 연결하여 상부층의 기울어짐 방지

MDM(Mobile Device Marble)

면진 장치와 2층 상단부에 설치
마찰력의 감소로 면진 장치의 움직임 강화
모든 방향으로 이동할 수 있는 능력 강화

Damper

2층 상단부와 3층 하단부에 연결
거동 반 방향으로의 최대변위 제어
A4 용지를 통한 마찰력 감소로 움직임 강화

<공정표>

구분		소요 시간																	
		1시간						2시간						3시간					
		10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분
재료 제작	기동 및 전단벽																		
	바닥판 및 기초판																		
	면진시스템																		
	제진 시스템																		
	고무줄 착도																		
	수직 코어																		
구조물 시공	기동 및 전단벽 조립																		
	이탈방지 스트립설치																		
	고무줄 조립																		
	제진 장치 조립																		
	면진 장치 조립																		
마감	하중블럭 설치																		
	진동대 기초판 연결																		
	고무줄 연결																		

- 유은서
- 이한세
- 황선욱
- 김진선
- 다같이

<내역서>

내역서	수량	단가(백만원)	합계(백만원)
MDF Strip	34	10	340
MDF Plate	9	100	900
스트링 고무줄	4	40	160
A4지	1	10	10
접착제	2	200	400
총액	1810		

총 금액 : 1810(백만원)