



호서대학교
HOSEO UNIVERSITY



지진방재연구센터
SEISMIC RESEARCH AND TEST CENTER

2024 구조물 내진설계 경진대회

Seismic Structural Design Contest

지도교수

호서대학교 건축공학과
최인락 교수

팀 명

내 진 스 님

대 학

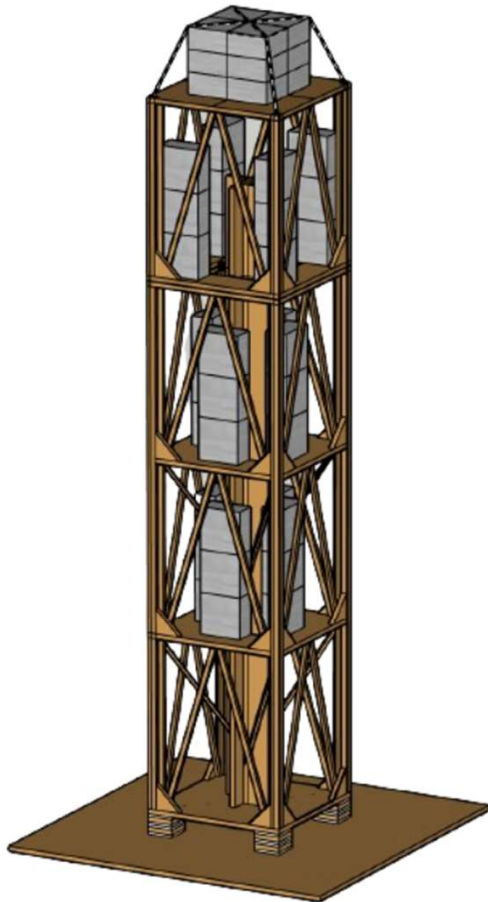
호서대학교
건축공학과

STRUCTURAL DESIGN

PROPSAL 2024

HOSEO UNIVERSITY

”내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감“



PROPSAL 2024

INDEX

01. CONTENTS

아이디어 개요

설계방향 설정 및 적용기술

02. CONCLUSION

아이디어 구체화

모형제작 실험

붕괴 매커니즘

CAD 및 예산안/공정표

팀 소개

내 진 스 님 팀

팀 장 : 이원호

- 아이디어 제안
- 구조물 치수 계산
- 구조물 제작
- 예산안 및 공정표 작성
- 재료 물성치 계산

팀 원 : 김일모

- SKETCHUP 모델링
- 구조물 치수 계산
- 구조물 제작
- 예산안 및 공정표 작성

팀 원 : 모인서

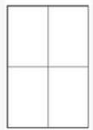
- CAD 도면설계
- 재료 물성치 계산
- 구조물 제작
- 제안서 작성

팀 원 : 정명운

- MIDAS GEN 설계
- 지진파 분석
- 구조물 제작
- 대회 규정 분석

물성치 분석

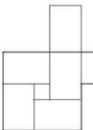
기동 CASE1



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

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

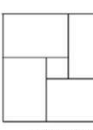
기동 CASE3



$$I_X = 936 \text{ mm}^4$$

$$I_Y = 936 \text{ mm}^4$$

기동 CASE2



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

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



MDF STRIP 물성치
P = 9.8N
L = 150 mm
 $I_X = 832 \text{ mm}^4$
 $\delta = 25 \text{ mm}$
탄성계수 E = 530MPa

◦ 2차 단면모멘트 식($\frac{bh^3}{12}$) 사용

◦ 캔틸레버 처짐 식 사용($\frac{PL^3}{3EI}$) 사용

단면모멘트 값이 가장 크면서 슬래브와 가넷 플레이트의
접착면적을 높여는데 효율적인 CASE 3 번 사용

고무줄 지름 : 2.5mm
제품명 : 스트링 고무줄
판매점 : 다이소
전체길이 600mm

실 지름 : 2.5mm
실 명 : 스트링 고무줄
실형고무줄 길이(L) : 100mm
추 무게(P) : 19.6 N
늘어난길이(ΔL) : 230mm

◦ 훅의 법칙 식 사용($\frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{PL}{A\Delta L}$) 사용

실의 물성치(E) : 1.74 N/mm^2

프리스트레스 밴드

CASE1 : 나무 구조물

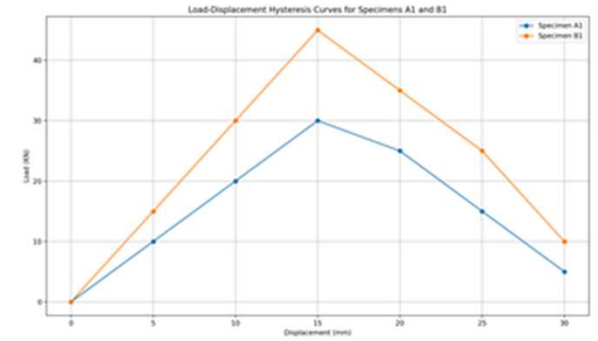


0.3g에서 파단발생

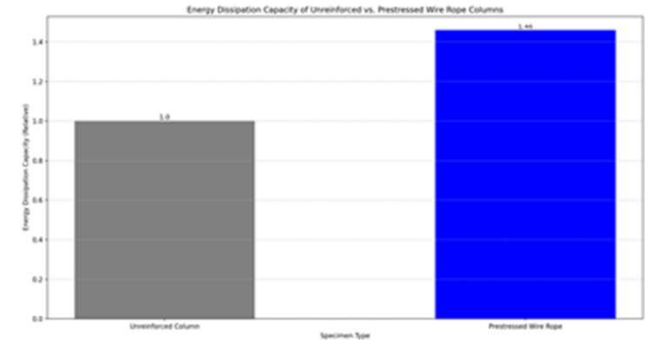
CASE2: 프리스트레스 밴드



0.41g에서 파단발생



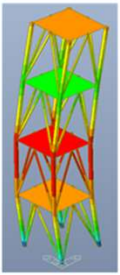
항하중에 따른 변위값이 줄어들었으며 기동기 값이 비교적 완만하
게 나와 기동의 응력 성능개선과 연성을 증가시킨 결과값이 도출됨.



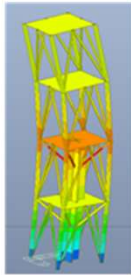
비보강 콘크리트보다 1.46배
높은 값을 나타내 내진성능이 향상된 모습을 나타내고 있다.

MIDAS GEN

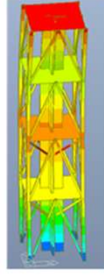
Model 1 중앙기동 x



Model 2 2층 중앙 기동



Model 3 4층 중앙 기동



EIGENVALUE ANALYSIS				
MODENO	Frequency		Period	tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
5	410.996	66.7703	0.0145	5.050e-46
MODAL PARTICIPATION MASSSES PRINTOUT				
MODENO	TRAN-X		TRAN-Y	ROT-Z ZMASS(%)SUM(%)
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
5	15.7659	96.8376	0.0000	96.8374
			0.0000	91.2745

EIGENVALUE ANALYSIS				
MODENO	Frequency		Period	tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
5	577.2849	91.8769	0.0109	1.4937e-47
MODAL PARTICIPATION MASSSES PRINTOUT				
MODENO	TRAN-X		TRAN-Y	ROT-Z ZMASS(%)SUM(%)
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
5	0.0000	96.8376	27.2788	92.8456
			0.0000	91.3901

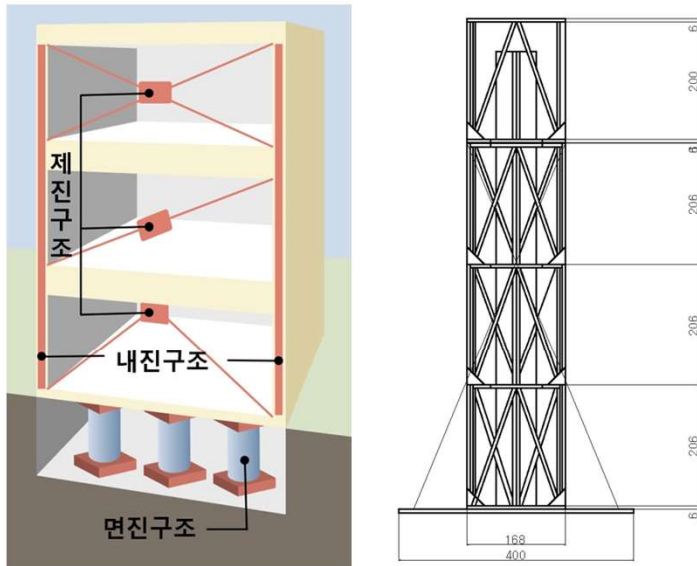
EIGENVALUE ANALYSIS				
MODENO	Frequency		Period	tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
5	704.098	112.0897	0.0089	3.4842e-47
MODAL PARTICIPATION MASSSES PRINTOUT				
MODENO	TRAN-X		TRAN-Y	ROT-Z ZMASS(%)SUM(%)
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
5	0.0000	96.3053	12.5295	95.5342
			0.0000	91.4979

가속주기 0.08~0.4 sec를 피하면서 주기가 0.0089가장 짧은 Model 3을 선택

최종결정 나무기동(비보강 콘크리트)내 스트링고무줄(프리스트레스 강선로프)로 보강된 기동에
수직 압축 하중과 수평 반복 하중을 적용받아, 지진 하중을 모사한 시험을 진행했을 때 최종 수평
변위가 증가했고, 에너지 소산 능력도 향상되어 내진성능이 증가되었다.

02. 설계방향 설정 및 적용기술

제진+내진+면진 3가지
효과를 활용한 Model 구성

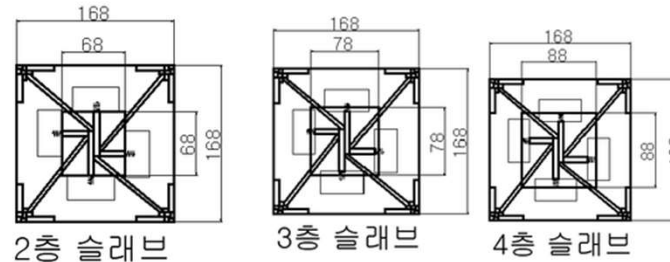


구조물 예상 거동

면진 시스템: 지진이 발생하여 지반이 흔들리기 시작할 때 지반의 움직임을 흡수, 충격을 크게 줄입니다.

제진 시스템: 면진 시스템이 초기 충격을 흡수한 후에도 진동이 건물에 전달될 때 제진 시스템이 작동하여 건물의 구조 내에서 발생하는 진동을 추가로 감소시킵니다.

01. 'ㄱ' 중심기둥 각 층의 샤프트 공간을 다르게 설계하다



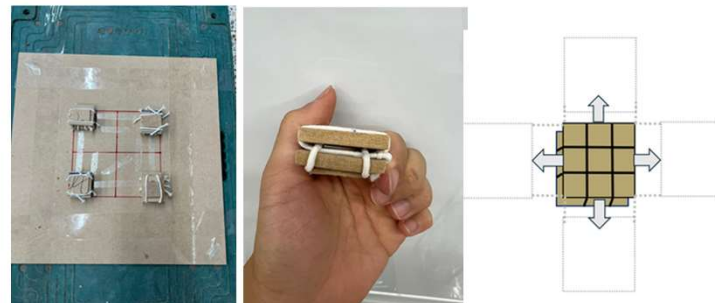
- 지진으로 발생하는 주파수를 줄이기 위해 2층은 중심기둥의 샤프트를 맞춤재단, 흔들림 최소화 고정
- 3층은 샤프트공간을 그보다 여유있게
- 4층은 10mm씩 공간을 두어 댐퍼를 설치, 진동을 컨트롤 할 수 있게 설계

02. 프리스트레스 밴드를 이용한 TMD 효과



- 스트링 고무줄을 기둥안으로 부착, TMD효과를 이용
- 4층부터 옥상까지 층을 분리, 프리텐션의 고무줄을 이용하여 제진층을 구성
- 종이댐퍼를 활용 제진층의 변위를 제어하며 구조체의 진동응답을 a4마찰을 활용하여 저감

03. 그물모양을 착안한 면진 장치



- 구조물의 모서리 배치, 압축력과 하중을 분산시켜 밸런스 잡기
- 그물모양의 면진장치는 4방위 즉 지진파의 수평방향에서 자유롭게 반응
- 스트링고무줄의 높은 탄성과 복원력으로 과도한 움직임에도 이탈을 방지



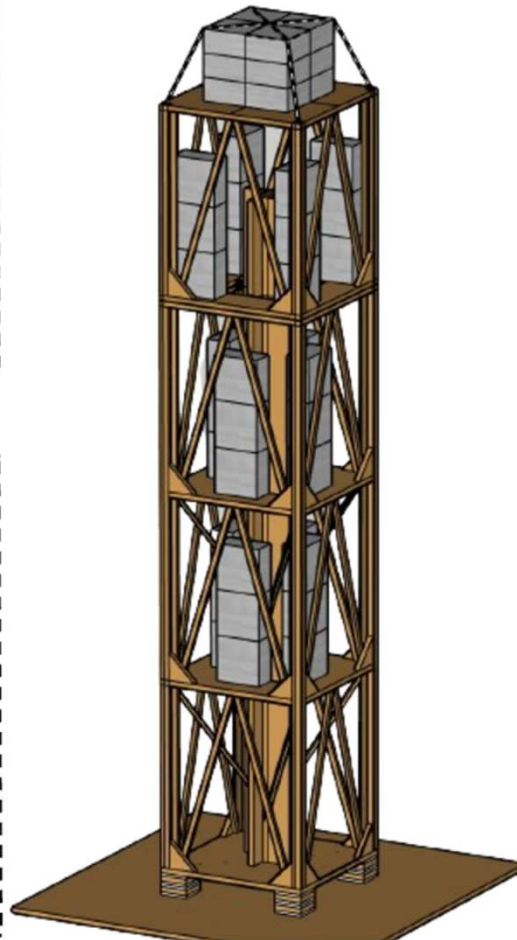
프리스트레스 밴드

- 600mm 일체형 기둥 제작
- 높은 단면성능으로 인한 내진성능 향상
- 프리스트레스트공법 활용
- 인장력 향상 및 면진장치의 진동제어
- 마찰계수가 낮은 α4용지를 이용하여 제진효과



그물모양 면진장치

- 기초판 바닥 면진 시스템
- 비용을 고려, 샤프트 공간 mdf 활용
- 6mm mdf을 덧 붙여 접착력 향상
- 고무줄간의 움직임에 걸림돌 없이 면진성능 증진



Γ, L 중앙기둥 및 부채꼴 모양 댐퍼

- 이음시공을 통한 접합면적 증대 및 안정성
- 700mm 일체형 하중블록 설치구역 확보
- 4층 슬래브보다 높게 배치, 제진층 이탈 방지
- 부채꼴 모양의 댐퍼를 활용한 충격 흡수 및 완화
- 부채꼴 모양 접착면 향상



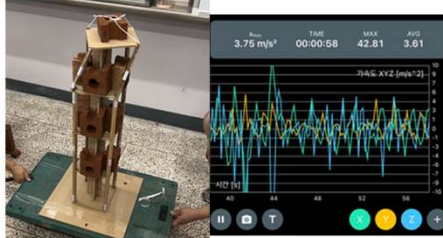
'X'자 스트링 고무줄

- 기초에서 연결한 x자 고무줄
- 4층 제진층 상부에 연결
- 이탈 방지 및 탄성으로 인한 복구
- 프리스트레스 밴드 활용 후 남은 고무줄 사용



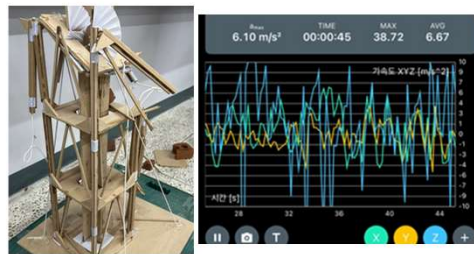
04. 모형제작 실험 및 붕괴설계 메커니즘

1차 실험



0.4g에서 4층 기둥 결합부 파괴
기둥 사이의 '사'자 가새 설치

2차 실험



'사'자 기둥 접착력 부족으로 가새 탈락현상 발생
기둥과 슬래브간 거셋플레이트 설치

3차 실험



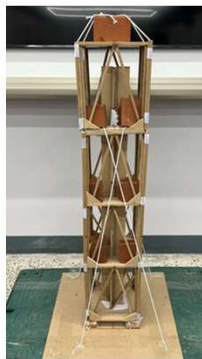
0.6g에서 'ㄱ' 중심기둥의 틀어짐 발생
중심기둥 및 기둥 방지 'V'가새 설치

4차 실험



1.0g에서 과도한 내진설계로
전체적인 쓰러짐 발생

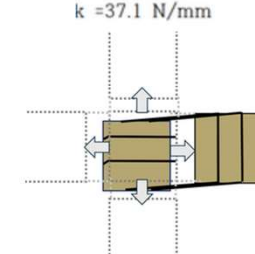
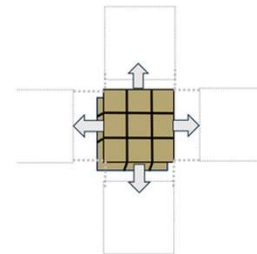
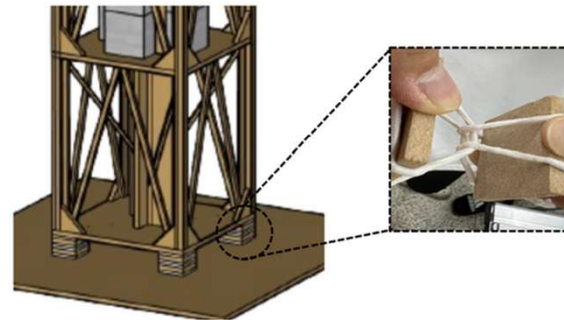
0.7g 붕괴를 위해 면진장치를
통한 붕괴설계 메커니즘



최종모델

최종모델 0.7g에서 파괴

붕괴설계 메커니즘



물성치 실험에 따르면
 $L = 30mm$, $\Delta L = 69mm$,
 $\Delta L = 2.3L$

S_{D1}	0.7g	
S_e	0.7g/0.0089	=771.57

•0.0089 (마이다스 주기)

• $M = 30kg$ 이라면,

$F = M \cdot S_e = 23147.1N$ ($F=ma$)

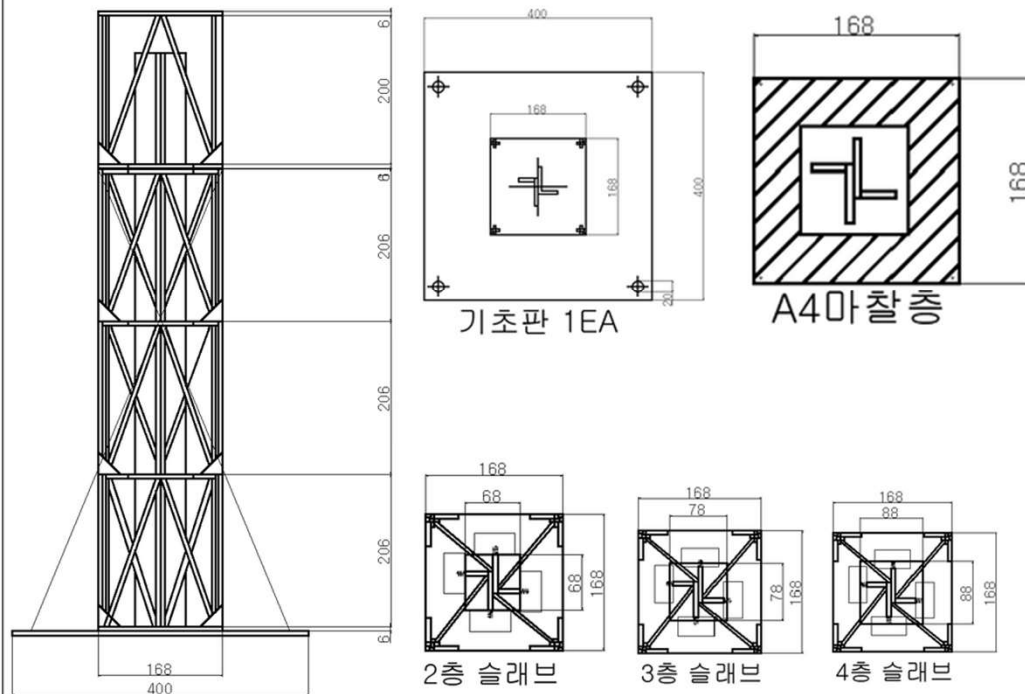
혹의 법칙 $F = -Kx$ 에 대입시 (변화길이 $X=39mm$)

용수철 상수 $K=593.5 N/mm$

• $K / (\text{면진개수} + \text{면진 고무줄}) 16 = k$

$k = 37.1 N/mm$

$35 \times 35mm$ MDF plate를 사용한 그물모양 면진장치의 스트링 고무줄 탄성계수 E 는 위 실험을 통하여 $1.74 N/mm^2$ 값을 나타내며, L 와 ΔL 은 2.3배의 차이를 보인다. 따라서 그물 면진장치 스트링고무줄1개의 길이가 30mm이면 탄성한계시 늘어날 길이는 69mm가 된다. 뉴턴의 운동법칙 식에따라 면진장치 위의 하중블록을 포함한 구조물 하중 $m = 30kg$ 이라 계산, a값은 마이다스 해석에서 1초주기 설계스펙트럼 가속도 $s_e = 771.57 m/sec^2$ 값을 대입하면 $F = 23147.1N$ 값을 얻는다. 혹의 법칙 $F = kx$ 값에서 변화길이 $x = 39mm$ 를 넣으면 용수철 상수 $k = 593.5 N/mm$ 값을 구할 수 있다. 또한 k 값에서 하나의 스트링고무줄의 늘어날 수 있는 길이는 면진장치4개, 면진장치 하나당 들어가는 스트링 고무줄 개수 4개 총 16을 나누어 $k = 37.1 N/mm$ 를 나타낸다. 따라서 지진강도 0.7g 이상에선 탄성계수 $1.74 N/mm^2$ 에 37.1배를 계산하면 면진장치 35mm를 넘기 때문에 이탈이 발생하여 붕괴된다.



제진 + 내진 + 연진 효과를 활용한 최종모델

예산안

재료명	단위	규격	단위수 량[개]	단가[백만원]	비고
MDF	BASE	개	400mmX 400mmX6mm	1	-
	STRIP	개	600mmX4mmX6m m	41	10
	PLATE	개	200mmX200mmX6 mm	8	100
스트링 고무줄(Ø 2~3mm)	개	600mm	5	40	200
A4지	개	A4	2	10	20
접착제	개	20g	2	200	400
				소계	1830

공정표

공정표		공정표																	
구 분		소 요 시 간																	
		1시간						2시간						3시간					
		10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분
제 작	슬래브 제작 및 사프트	■																	
	연진장치 재단		■																
	기둥200mm 재단			■															
	기둥 중심기둥 재단				■														
	가새 재단					■													
	가새플레이트 재단						■												
조 립	A4용지 재단							■											
	최외각 600MM 기둥 조립	■																	
	연진장치 조립		■																
	기둥 중심기둥 조립			■															
	기둥 및 슬래브 연결				■														
	가새 및 중심기둥 연결					■													
마 감	스트링 고무줄 및 종이 테이프 연결							■											
	하중분류 설치								■										
	기타 보강 작업									■									

총 소요시간 2시간 45분