



**호서대학교**  
HOSEO UNIVERSITY



**지진방재연구센터**  
SEISMIC RESEARCH AND TEST CENTER

2024 구조물 내진설계 경진대회

Seismic Structural Design Contest

지도교수

호서대학교 건축공학과  
최인락 교수

팀 명

내진스님

대 학

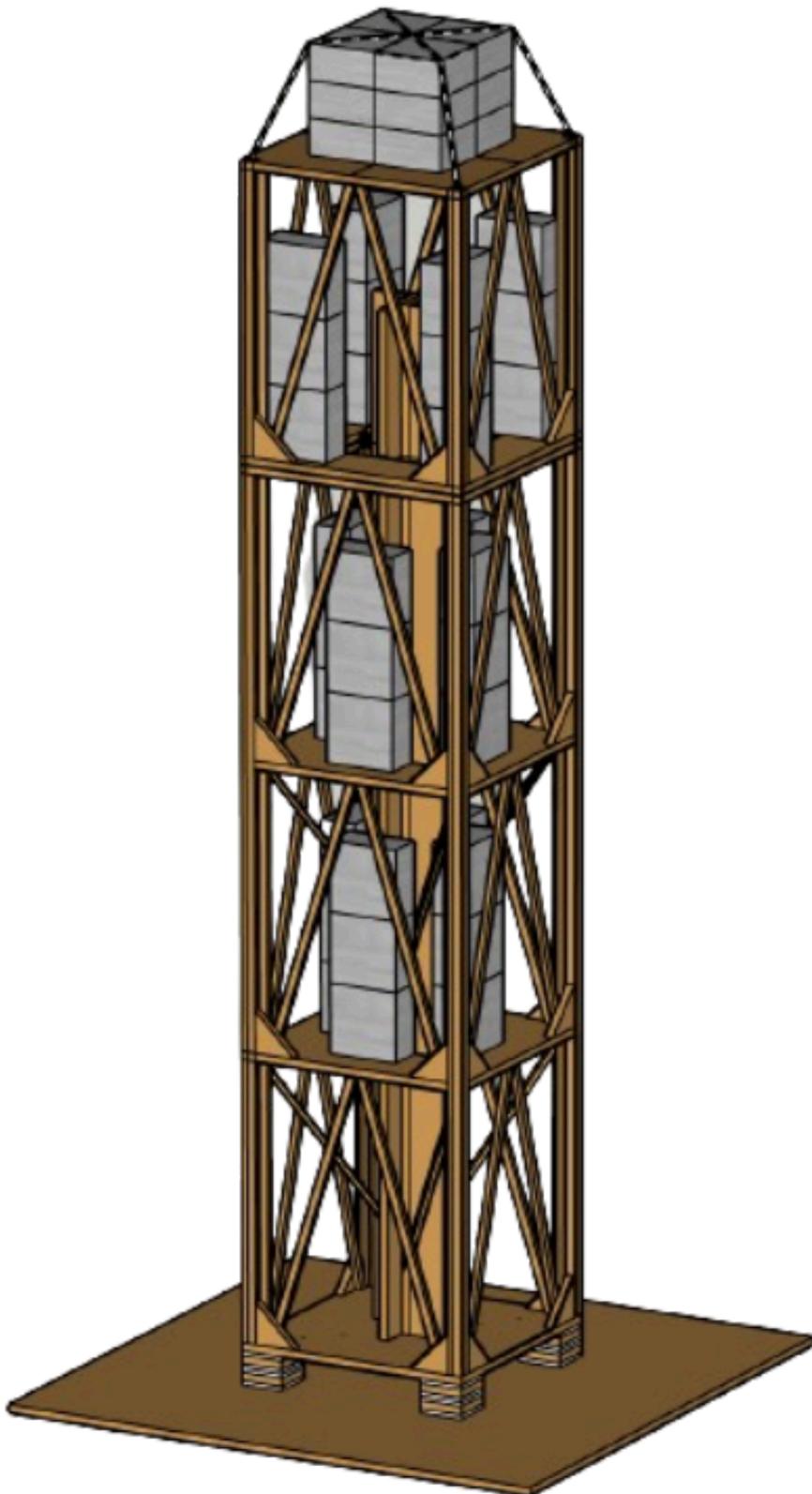
호서대학교  
건축공학과

# STRUCTURAL DESIGN

PROPSAL 2024

HOSEO UNIVERSITY

“내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감”



# INDEX

## PROPSAL 2024

### 01. INTRODUCE

팀 소개  
대회규정분석

### 02. CONTENTS

설계스펙트럼가속도 성능 목표  
설계 방향 설정  
재료 및 기둥 물성치 실험 비교  
프리스트레스 밴드  
마이더스GEN 지진 좌굴현상

### 03. CONCLUSION

모형 제작 및 1,2,3,4차 실험 분석  
설계컨셉 및 적용기술  
CAD 도면 및 SKETCH UP  
그물모양 면진장치 붕괴설계  
구조물내역서 및 공정표

호서대학교 건축공학과

## 01. 팀 소개

## 내진스님

팀장 : 김일모

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

팀원 : 이원호

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

팀원 : 모인서

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

팀원 : 정명운

- MIDAS GEN 설계
- 지진파 분석
- 구조물 제작
- 대회규정분석

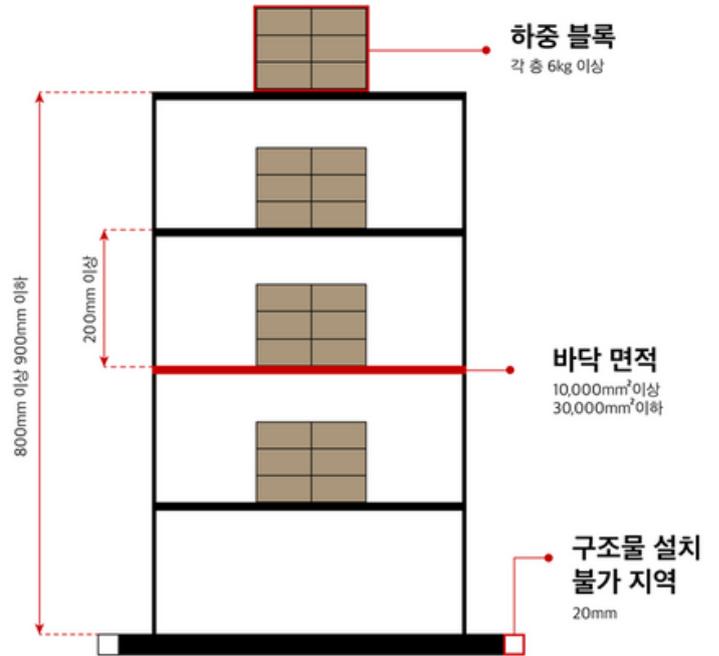
지도교수 : 호서대학교 건축공학과 최인락 교수

- 지도 및 자문

## 02. 대회 규정 분석

### • 규격 재료

재료명	단 위	규격	단 가	
MDF	BASE	개	400mmX400mmX6mm	-
	STRIP	개	600mmX4mmX6mm	10
	PLATE	개	200mmX200mmX6mm	100
스트링고무줄	식	600	40	
A4지	장	A4	10	
접착제	개	20g	200	



- 직품은 4층 이상으로 제작
- 각 층의 바닥면적 10,000mm<sup>2</sup> 이상 30,000mm<sup>2</sup> 이하
- 각 층의 높이는 200mm 이상, 총 높이 800mm 이상 900mm 이하
- 하중은 각 층에 6KG 이상의 하중블록 총 24KG 이상의 하중블록 설치
- 기초판 최외각으로부터 최소한의 공간 20mm 확보
- 제작비용 2400백만원 기준 금액 경제성 점수 부여
- 작품제작 소요 시간 총 4시간 초과 불가

## 호서대학교 건축공학과

## 03. 설계 스펙트럼 가속도 분석

### 1) 지진하중 - 유효수평지반가속도(s)

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

- 단주기설계스펙트럼가속도 ( $S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times \frac{2}{3}$ )
- 1초주기설계스펙트럼가속도 ( $S_{D1} = S \times F_v \times \frac{2}{3}$ )

$$T_0 = \frac{0.2 \times S_{D1}}{S_{DS}} \quad 500년 / 2400년 - 0.08sec$$

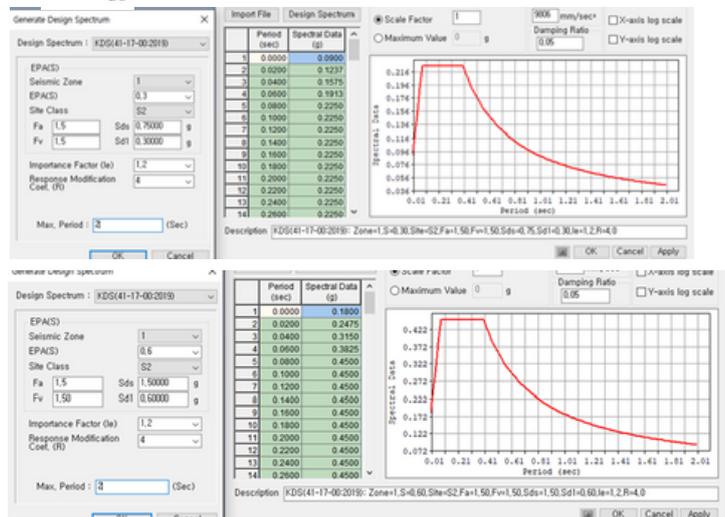
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad 500년 / 2400년 - 0.4sec \quad T = \text{구조물의 고유주기}$$

### 2) 성능목표

- 500년 재현주기 기능수행 / 즉시복구 / 인명보호
- 2400년 재현주기 붕괴방지 수준

성능목표	
재현주기(년)	구조물의 성능 수준
500	기능수행
2400	붕괴방지

-지반증폭계수: 설계스펙트럼 작성시 단주기 지반응답증폭계수( $F_e$ )와 1초 주기 지반응답증폭계수( $F_v$ )는 1.5로 가정한다.



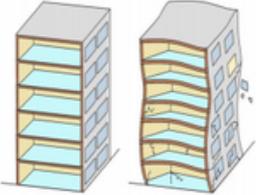
0.08 ~ 0.4sec에서 설계스펙트럼 가속도 최대

# 04. 설계 방향 설정

**내진 시스템**  
Seismic Resistant System

구조물이 변형하며 자체의 손상으로 지진에너지를 흡수하여 저항하도록 하는 시스템

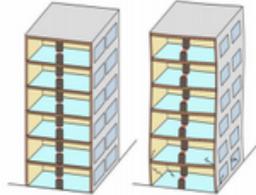
- 건물 안정성 확보
- 지진 시 구조부재의 대부분 손상 발생
- 지진 후 복구가 어려움



**제진 시스템**  
Seismic Vibration Control System

구조물에 제진장치를 설치하여 손상을 집중시켜 지진에너지를 흡수하도록 유도하여 구조체의 손상방지와 진동을 제어하는 시스템

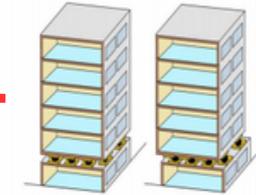
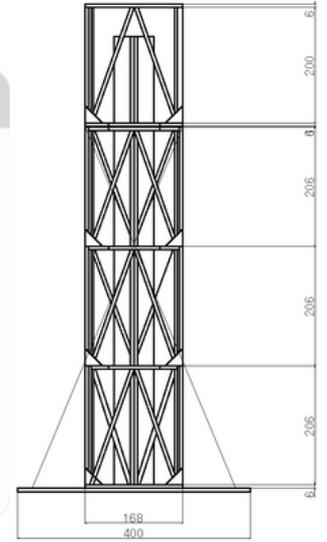
- 장치 성능에 따라 지진동, 지진력 저감
- 지진 시 일부 구조부재의 손상 발생
- 지진 후 비교적 복구가 용이함



**면진 시스템**  
Seismic Isolation System

구조물과 지반 사이에 면진층을 설치하여 장치의 거동으로 지진에너지를 흡수 및 소산시켜 상부구조물로 전달되지 않도록 하는 시스템

- 내진시스템 중 성능 가장 우수
- 변형 저감으로 외부마감, 설비시설 피해 거의 없음
- 지진 후 복구비용 거의 없음

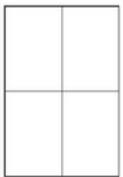
중앙 'ㄱ' 기둥, 중심 V 가새, 스가새, 거셋플레이트 사용

a4용지 마찰력 이용, 4층 이상을 기둥 안 스트링고무줄 사용

구조물과 기초판 사이 4곳의 모서리 부분에 그물 모양의 면진 장치 사용

3가지 효과를 활용한 Model 구성

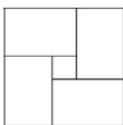
# 05. 재료 및 기둥 물성치 분석



기둥 CASE1

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

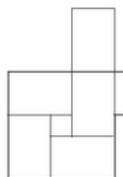
$$I_Y = 512 \text{ mm}^4$$



기둥 CASE2

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

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



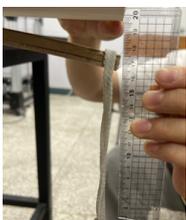
기둥 CASE3

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

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

• 2차 단면모멘트 식  $(\frac{bh^3}{12})$  사용

단면모멘트 값이 가장 크면서 슬래브와 가새 플레이트의 집착면적을 높이는데 효율적인 CASE 3 번 사용



MDF STRIP 물성치

• 캔틸레버 처짐 식 사용  $(\frac{PL^3}{3EI})$  사용

P = 9.8N  
L = 150 mm  
 $I_X = 832 \text{ mm}^4$   
 $\delta = 25 \text{ mm}$

탄성계수 E = 530MPA



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



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



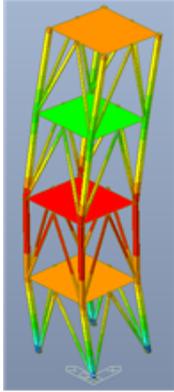
• 훅의법칙 식 사용  $(\frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{PL}{A\Delta L})$  사용

실의 물성치(E) : 1.74 N/mm<sup>2</sup>

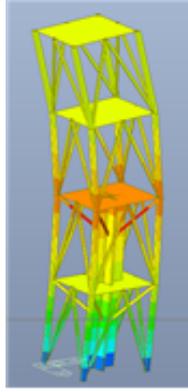
# 04. 마이더스GEN 중앙기둥 필요성 및 주기분석

- 규격 재료

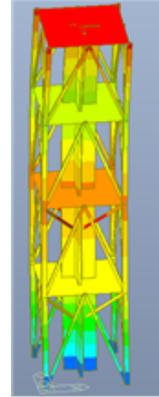
Model 1 중앙기둥 x



Model 2 2층 중앙기둥



Model 3 4층 중앙기둥



EIGENVALUE ANALYSIS						
MODE NO	Frequency		Period (sec)	tolerance		
	(rad/sec)	(cycle/sec)				
5	432.0966	68.7703	0.0145	5.1350e-46		
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT						
MODE NO	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	ZMASS(%)	SUM(%)
5	15.7559	96.8376	0.0000	96.8374	0.0000	91.2745

EIGENVALUE ANALYSIS						
MODENO	Frequency		Period (sec)	tolerance		
	(rad/sec)	(cycle/sec)				
5	577.2949	91.8793	0.0109	1.4937e-47		
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT						
MODENO	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	ZMASS(%)	SUM(%)
5	0.0000	96.1255	27.2798	92.8456	0.0000	91.3901

EIGENVALUE ANALYSIS						
MODENO	Frequency		Period (sec)	tolerance		
	(rad/sec)	(cycle/sec)				
5	704.0919	112.0597	0.0089	3.4942e-47		
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT						
MODENO	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	ZMASS(%)	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

# 호서대학교 건축공학과 05. 프리스트레스 밴드

CASE: 나무 구조물

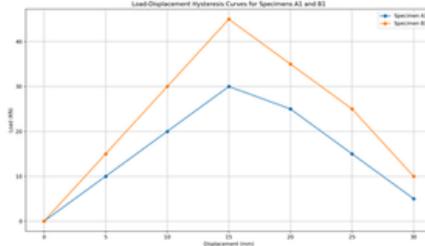


0.3%에서 파단발생

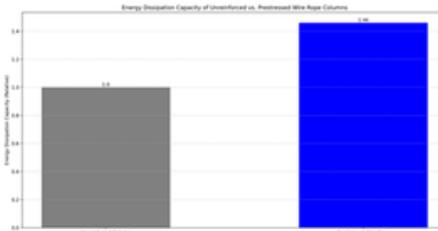
CASE2: 프리스트레스 밴드



0.41%에서 파단발생



• 파이썬 - 하중변위그래프



• 파이썬 - 에너지 소산능력 데이터

횡하중에 따른 변위값이 줄어들었으며 기울기 값이 비교적 완만하게 나와 기둥의 응력 성능 개선과 연성을 증가시킨 결과값이 도출됨.

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

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

# 06. 아이디어 구체화

최외각 기둥 안 스트링 고무줄을 이용하여 옥상층 하중블록 이탈방지 시스템

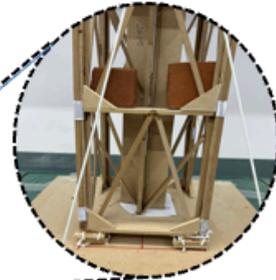


-기둥 안의 스트링 고무줄 600mm 일체형 기둥제작 및 높은 단면성능으로 인한 내진성능 향상, 외부 α4용지 부착면 본드칠로 인한 내부 스트링고무줄 탄성 방해 없음 프리스트레스트 공법을 활용한 인장력 향상 및 면진장치의 진동 제어

-4층 α4용지 마찰력으로 움직임 향상 마찰계수가 낮은 종이-종이를 이용하여 면진효과 극대화

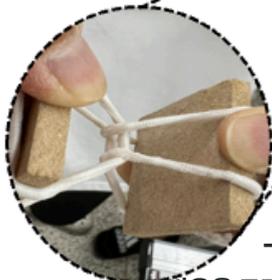
-ΓL 기둥 이음시공을 통하여 접합면적 증대 및 안전성 확보, 700mm의 일체형 중앙기둥으로 +, □ 단면 모양보다 접합성 과 하중블록 설치구역 확보, 4층 슬래브 높이보다 높게 배치하여 과도한 면진효과로 인한 이탈 방지

-부채꼴 모양 종이 댐퍼 -종이댐퍼를 활용한 충격 흡수 및 탄성을 이용한 진동 완화, 부채꼴 모양으로 접착면 향상

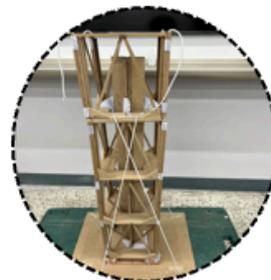


-1,2층 'V, X'자 가새 변형이 가장 많이 일어나는 1,2층 부위에 v자 가새를 사용하여 강성 증가 및 내진성능 향상 모든층에 x자 가새대신 경제성을 고려한 v자 가새 사용 및 하중블럭 이탈방지

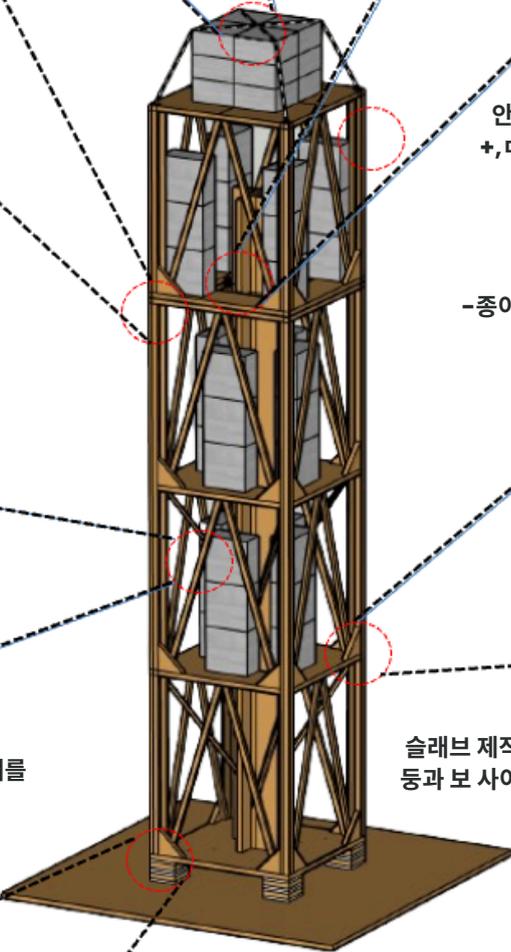
-거셋 플레이트 슬래브 제작 후 남은 mdf plate 활용하여 비용 절감 및 기둥과 보 사이에 연결하여 구조물의 내진성능 향상, 접합부 강성 증대



-바닥 면진 시스템 비용을 고려, 슬래브 샤프트 공간 mdf 판 활용 및 자투리 스트링 고무줄 사용

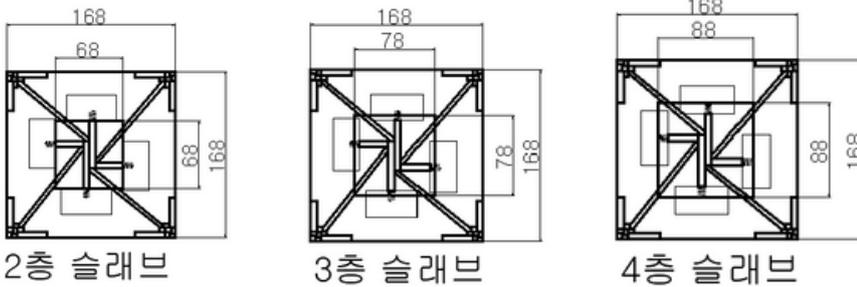


-4층 'X'자 스트링고무줄 기초에서부터 연결된 x자 고무줄을 4층 면진 상부에 위치시켜 이탈 방지 및 탄성으로 인한 복구



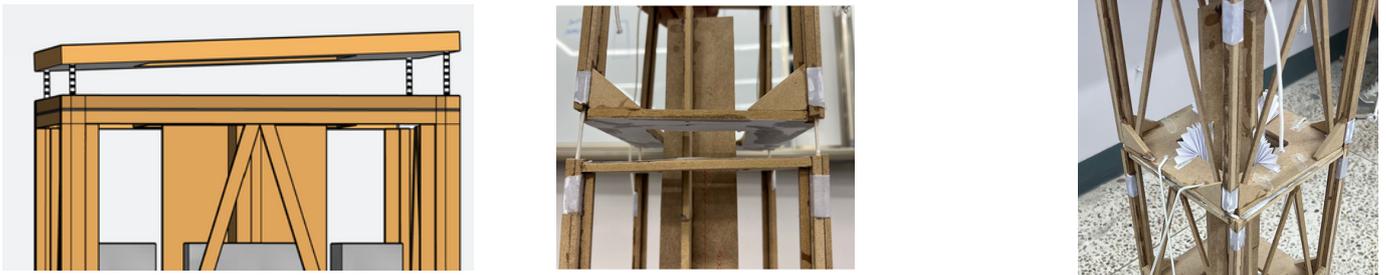
## 08. 설계 컨셉 및 적용 기술

### 01. 'ㄱ' 중심기둥 각 층의 샤프트 공간을 다르게 설계하다



지진으로 발생하는 진동의 주기를 길어지게 함에 따라 주파수를 줄여주게 하기 위해 다소 진동을 덜 받는 2층은 중심기둥의 샤프트를 맞춤재단하여 흔들림을 최소화 고정 시키고 3층은 샤프트 공간을 그보다 여유 있게 4층은 각 사이드에 10mm씩 공간을 두어 댐퍼를 설치, 스스로 진동을 컨트롤 할 수 있게 설계하여 구조적으로 안정되면서 유연하게 흔들릴 수 있도록 만든다.

### 02. 스트링 고무줄을 기둥안으로 부착 및 TMD 효과



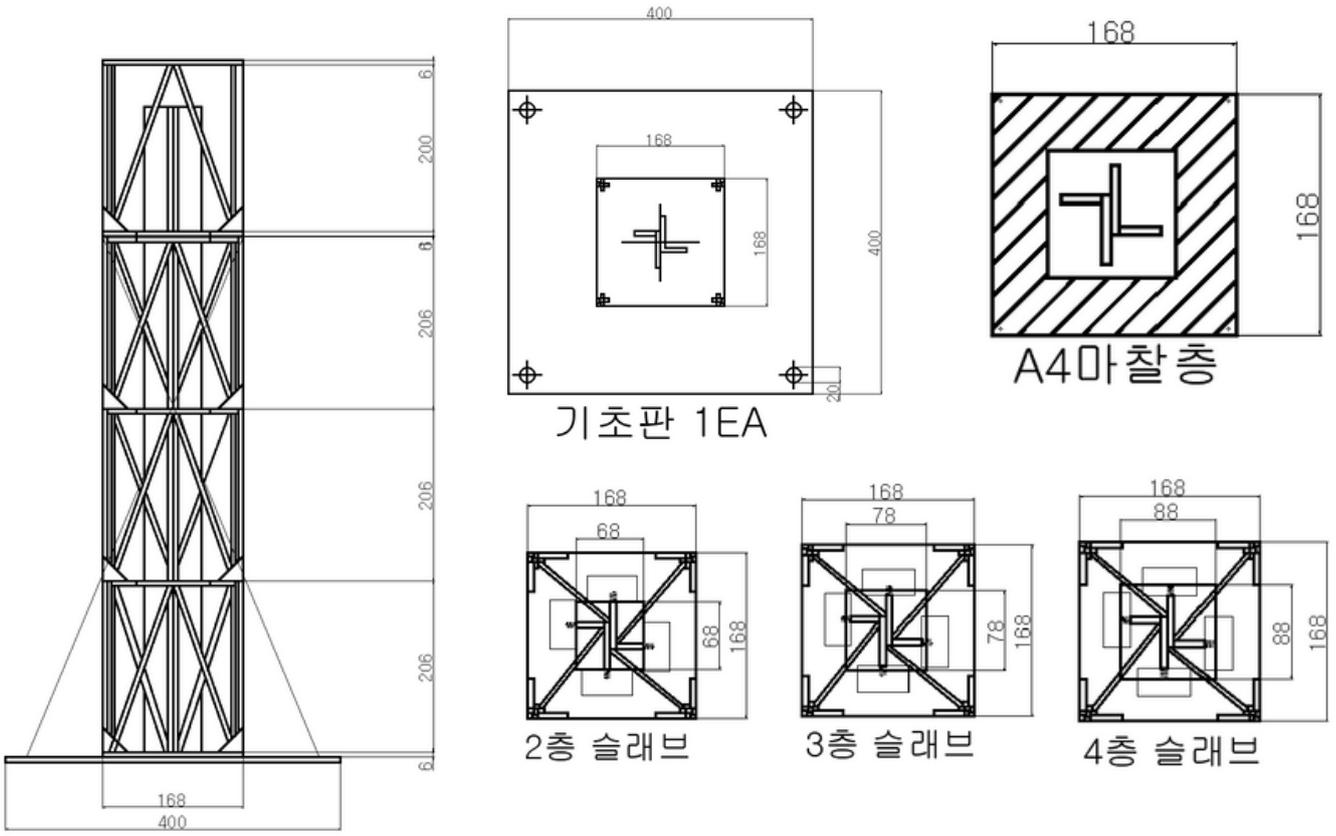
스트링 고무줄을 기둥안으로 부착, 연결하여 동조질량감쇠기 TMD효과를 이용한 4층 슬래브부터 제진층을 구성, 부채꼴 모양의 종이 댐퍼를 이용하여 제진층의 변위를 제어하며 진동이 발생하는 구조체에 건물과 같은 주기로 진동하며 관성력의 힘을 부과하여 구조체의 진동 응답을 효과적으로 저감 시킬 수 있다.

### 03. 그물모양을 착안한 면진 장치



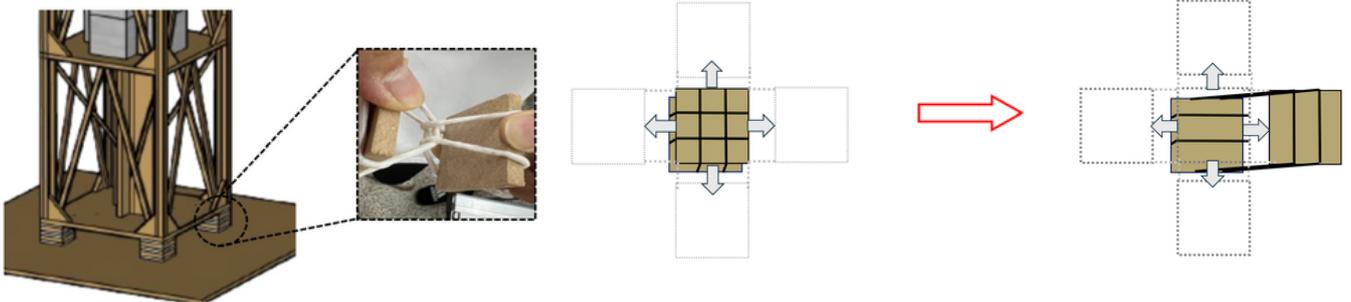
면진장치를 구조물의 모서리로 배치하여 구조물의 압축력과 하중을 분산시켜 밸런스를 잡아주며 그물모양의 면진장치는 4방위 즉 지진파의 수평방향에서 자유롭게 반응할 수 있으며 스트링 고무줄을 활용하여 높은 탄성과 복원력으로 과도한 움직임에도 이탈을 방지한다. 또한 고무줄의 지름 2-3mm 보다 높은 두께의 6mm 슬래브 판을 덧 붙여 접착력을 향상시키며 고무줄의 움직임에 걸림돌없이 면진성능을 증진시킨다.

# 08. 캐드도면



# 09. 붕괴설계 메커니즘

- 기초판에 부착된 면진장치의 붕괴



물성치 실험에 따르면

$L = 30mm, \Delta L = 69mm,$   
 $\Delta L = 2.3L$

$S_{D1}$	0.7g	
$S_a$	0.7g/0.0089	=771.57

- 0.0089 (마이다스 주기)
- M = 30kg이라면,  
 $F = M \cdot S_a = 23147.1N$  ( $F=ma$ )
- 축의 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 × 35mm MDF plate를 사용한 그물모양 면진장치의 스트링 고무줄 탄성계수 E는 위 실험을 통하여 1.74 N/mm<sup>2</sup>값을 나타내며, L와 ΔL은 2.3배의 차이를 보인다. 따라서 그물 면진장치 스트링고무줄1개의 길이가 30mm이면 탄성한계시 늘어난 길이는 69mm가 된다. 뉴턴의 운동법칙 식에따라 면진장치 위의 하중블록을 포함한 구조물 하중  $m = 30kg$ 이라 계산, a값은 마이다스 해석에서 1초주기 설계스펙트럼 가속도  $s_a = 771.57 m/sec^2$ 값을 대입하면  $F = 23147.1N$  값을 얻는다. 축의 법칙  $F = kx$ 값에서 변화길이  $x = 39mm$ 를 넣으면 용수철 상수  $k = 593.5 N/mm$ 값을 구할 수 있다. 또한 k값에서 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<sup>2</sup>에 37.1배를 계산하면 면진장치 35mm를 넘기 때문에 이탈이 발생하여 붕괴된다.

# 10. 모형 제작 및 실험

1 / 2 / 3 / 4 차 실험 및 최종모델

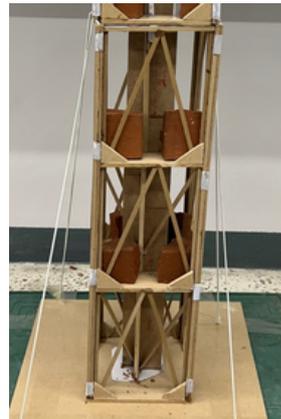
## 1차 실험

1차 실험에서 4층 기둥의 결합부 파괴가  $0.4m/s^2$  에서 발생하여 목표치  $0.4m/s^2$  에 도달하지 못해 기둥 파괴를 막기위한 기둥과 기둥사이의 'ㄱ'자 가새 설치



## 3차 실험

3차 실험 - 3차 실험에서 'ㄱ' 'ㄴ' 중심기둥의 접착부가 틀어지면 4층 이상의 슬래브 및 기둥이  $0.6m/s^2$ 에서 파괴 현상 발생중심기둥 및 기둥을 연결, 틀어짐을 방지하는 V가새 설치



## 2차 실험

2차실험 - ㄱ자 기둥 접착력 부족으로 인한 기둥 힘 전달전에 가새 탈락현상 발생 기둥과 슬래브간 힘전달을 위해 거셋플레이트 설치



## 4차 실험

4차실험- 기초판과 1층 슬래브가 전체적으로 넘어가 파괴현상이 발생, 기초판과슬래브에 접착력 향상 및 지진파 분산을 위해 면진시스템 추가



## 최종모델

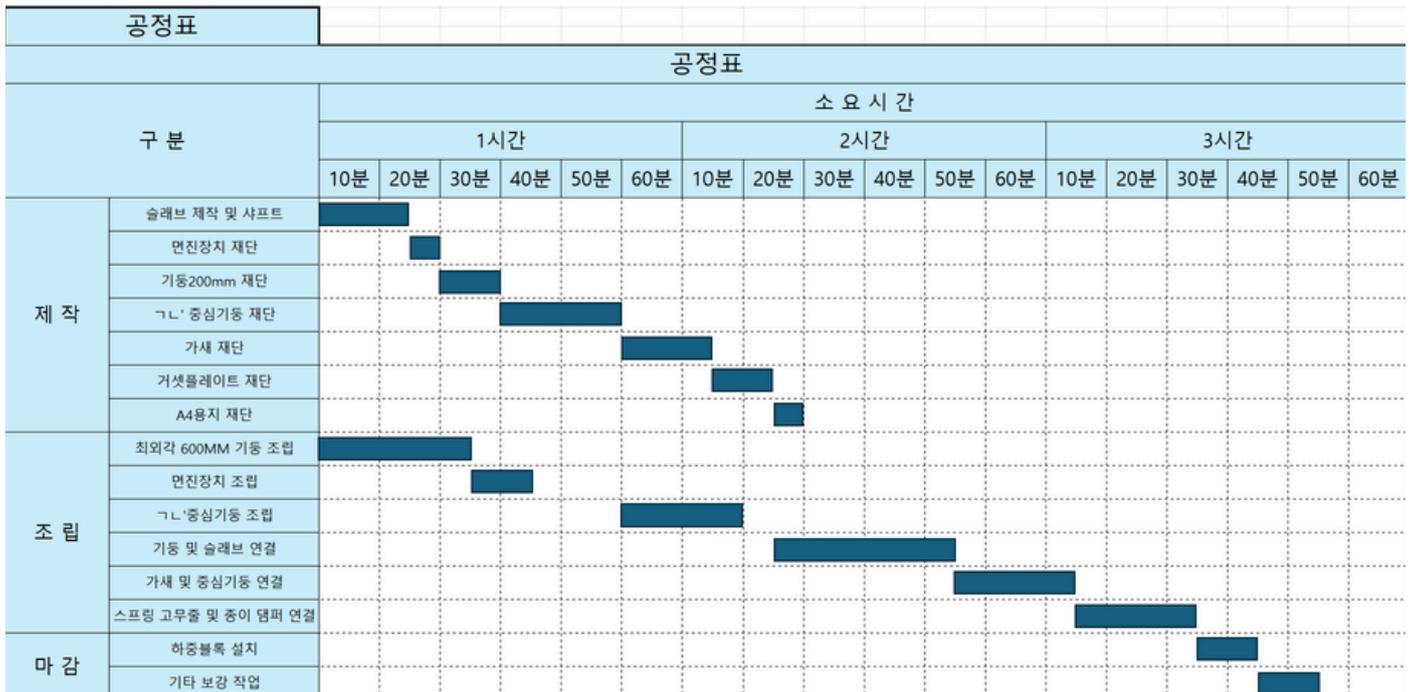


최종모델  $0.7m/s^2$  에서 파괴

## 11. 구조물 내역서

재료명		단위	규격	단위수량 [개]	단가[백만원]	비고
MDF	BASE	개	400mmX 400mmX6mm	1	-	
	STRIP	개	600mmX4mmX6mm	41	10	410
	PLATE	개	200mmX200mmX6mm	8	100	800
스트링 고무줄(Ø 2~3mm)		개	600mm	5	40	200
A4지		개	A4	2	10	20
접착제		개	20g	2	200	400
					소계	1830

## 호서대학교 건축공학과 12. 공정표



총 소요시간 2시간 45분