

2024 구조물 내진설계 경진대회 Seismic Structural Design Contest 2024

대회주제: 내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감



부산대학교 건축공학과
INNOSYS

INNOVATIVE STRUCTURE SYSTEM의 축약어로

혁신적인 구조시스템을 뜻하며 건축구조에 대한 기본 개념을 바탕으로

창의적인 아이디어를 건축구조에 접목시켜 혁신적,

구조시스템을 개발하는 데 이번 대회의 목적을 가지고 있습니다.

MEMBERS

신동현 교수님

- 부산대학교
- 건축공학과
- 자문 및 지도교수

임광섭 팀장

- 대회규정분석
- 구조물 제작
- 경제성 분석
- 설계제안서 제작

민중현 팀원

- 구조해석
- 구조물 제작
- 시공성 분석
- 마이다스

주승호 팀원

- 구조해석
- 구조물 제작
- 시공성 분석
- 모델링

정현성 팀원

- 구조물 제작
- 경제성 분석
- 시공성 분석
- 물성치 분석

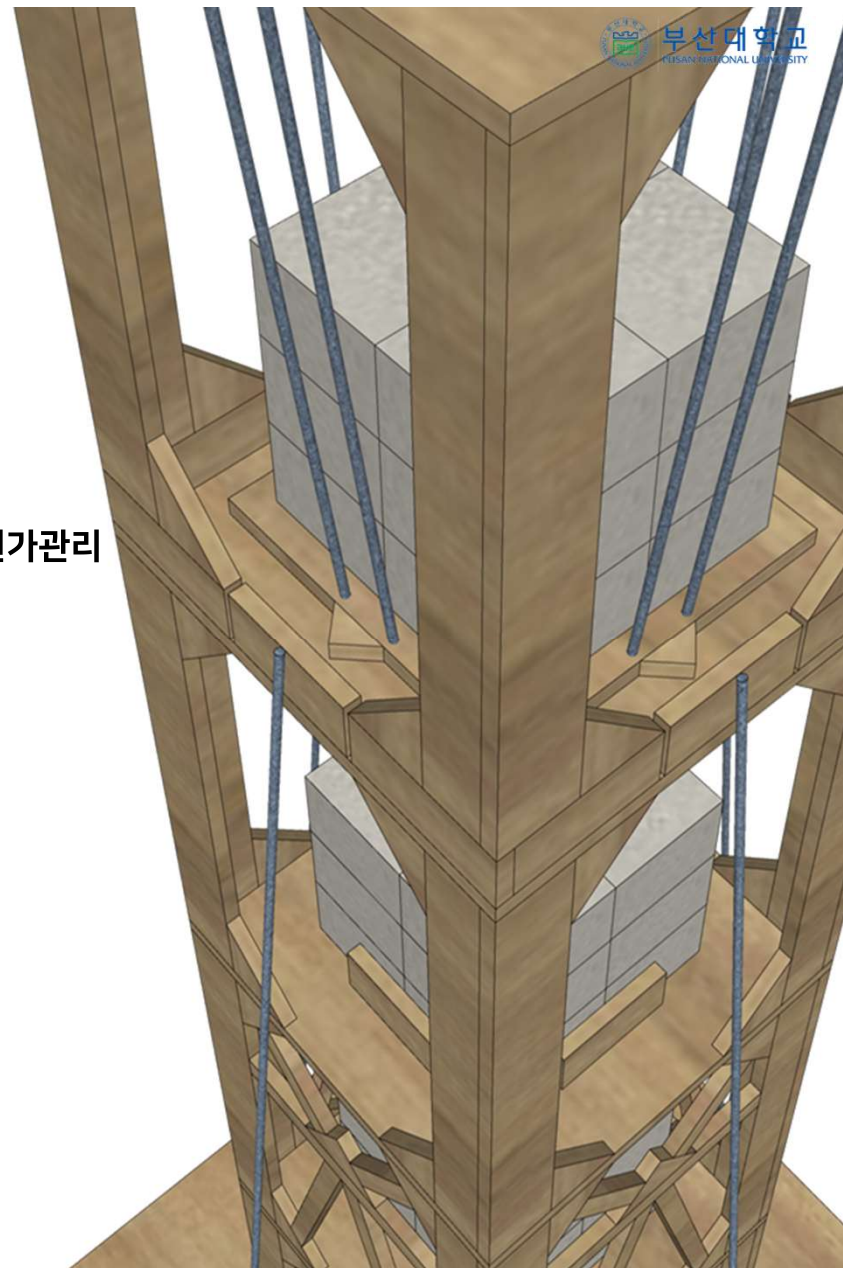
INDEX

01 설계 개요

02 메인 설계

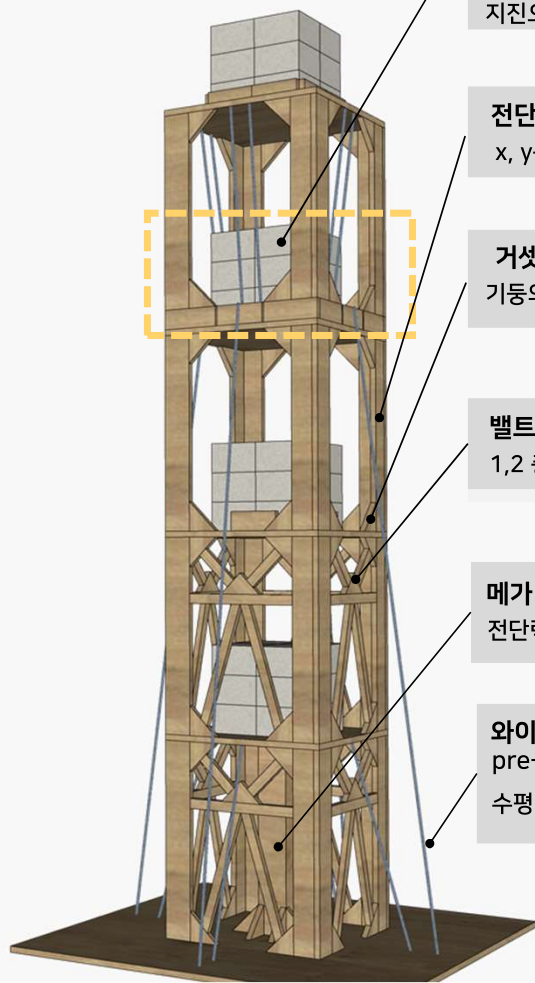
03 실험분석

04 공정표 · 원가관리



01 설계 개요

구조물의 주요 구성요소



면진 장치

구조물의 진동 주기를 증가시켜
지진으로 인한 에너지 전달 감쇠

전단벽

x, y축 방향 횡하중 저항성 확보

거셋 플레이트

기둥의 접합 면적 늘려 강성 증대

벨트트러스-가새 혼합 구조

1,2 층 횡강성 증가

메가 코어

전단력 저항

와이어

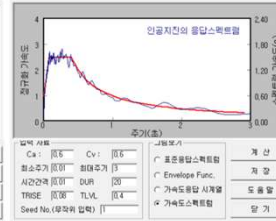
pre-stress 를 통한 구조물의
수평 변위 제어

설계 개념

500년 설계 응답 스펙트럼

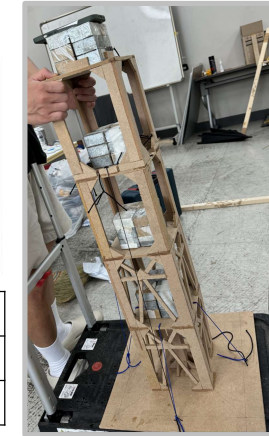
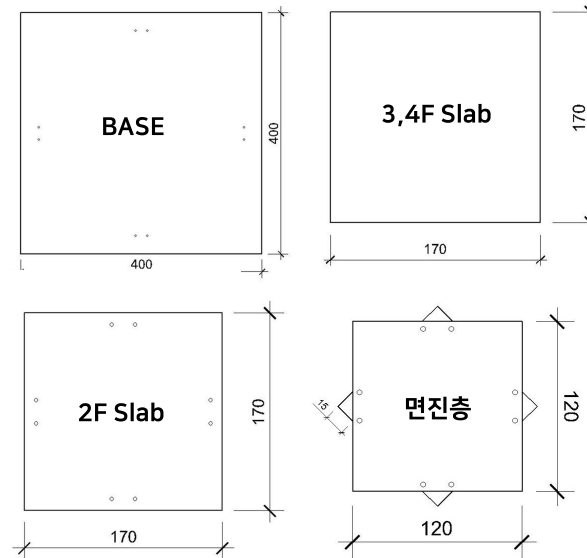


2400년 설계 응답 스펙트럼



재현주기	
500년	2400년
0.6g	0.6g

평면도 · 입면도

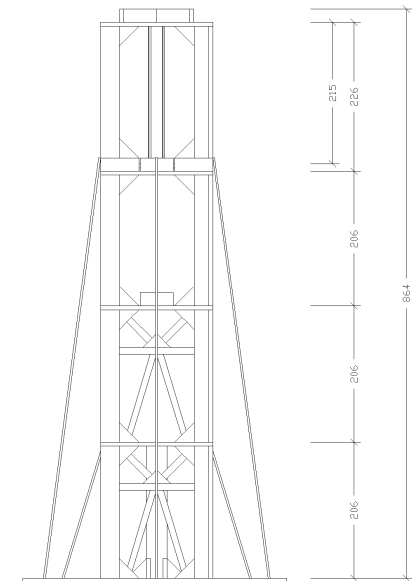


고유주기 측정결과 : 0.3s

강성을 증가시켜 가속도를 감소시키기 보다
건물의 유연성을 향상시켜 해결 하고자 함



- 상부층의 구조부재 간소화 및 면진 장치 도입
- 지반가속도 0.7g 에서 면진 모듈 거동으로 인한
면진층 파괴 유도



02 설계 중점사항

✓ IDEA 01 중간층(개별층) 면진 적용

- 대상 : 최상부층
- 효과 : 전도모멘트 등을 유발하는 요인인 최상부의 격리를 통한 취약요소 배제



기존 장치의 한계점

Rocking 현상 방지를 위해 추가의 고무줄, 기둥의 설치가 필요. 이는 경제적, 구조적 측면에서 비효율적이며 **적재하중이 크기에 면진층이 원활하게 움직이지 않는다는 문제 파악**

고무줄을 면진층 바닥 하부의 틀에 붙여 마찰을 줄이는 기존의 면진 장치로는 하중블록을 포함한 두 개 층의 하중을 제어함에 있어 다소 제한적이라고 판단



Swing design

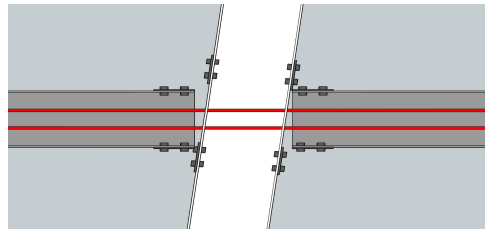
Pre-stress를 이용하여 4층 구조물의 수직하중을 감소시킴과 동시에 마찰력 최소화

- 지진하중의 방향과 같은 방향으로 움직여 작용 에너지 최소화
 - 작용 에너지를 접합면의 마찰열로 소산
 - 기둥과 고무줄의 사용량을 줄여 기존 설계안보다 경제적
- ※ 전도 모멘트 계산을 통해 rocking 현상 방지 가능 파악

✓ IDEA 02 Self-Centering System

- 대상 : 전체 골조 시스템
- 효과 : 탄성 복원력이 비교적 부족한 목재소재의 **탄성거동 확보 및 손상 최소화**

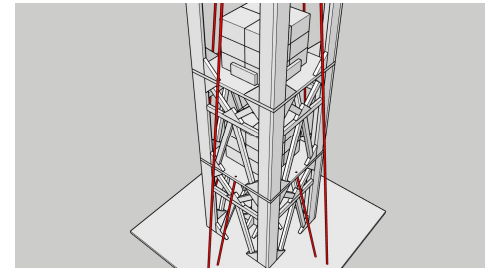
참고개념: Self-centering Beam



작동 원리

구조물의 내진성능 향상을 위해 인장력이 가해진 긴장 부재를 이용하여 횡방향 변형 발생 시 응력을 접합부에 집중시켜 보, 기둥과 같은 부재들의 손상을 최소화

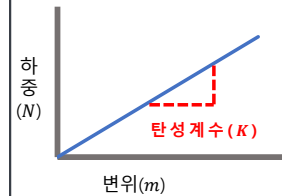
본 구조물



- 고무줄에 미리 걸린 **인장력(Pre-tension)**으로 지면과 기초 간의 접합성능을 향상시켜 전도를 방지하기 위함
- 고무줄이 Self-centering Beam에서의 긴장 부재 역할 수행

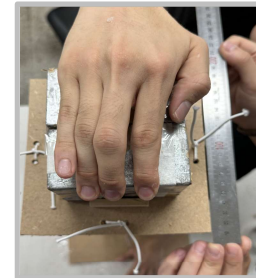
✓ Self-centering mechanism의 구현

본 구조물의 강성 (K)



$$K = F/D$$

K: 탄성계수
F: 힘
D: 변형

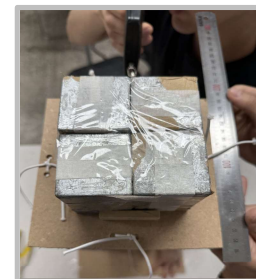


$$F = 3.4kg = 33.32N$$

$$D = 8mm = 0.008m$$

$$\therefore K = 4,165 N/m$$

파괴 하중 (F_{max})



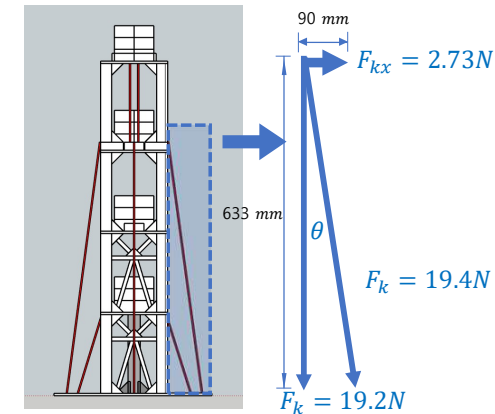
$$F_{max} = K \cdot D_{max}$$

$$D_{max} = 0.017m$$

$$K = 4,165 N/m$$

$$\therefore F_{max} = 73.2N$$

고무줄로 인한 복원력 (F_k)



$$F_{kx} = 2.73N$$

$$F_{max} = 73.2N$$

$$F_{kx}/F_{max} = 3.73\%$$

앞서 구한 해당 구조물의 파괴 하중(F_{max}), 고무줄로 인한 복원력(F_k) 두 값을 고려하면, **고무줄로 인해 대략 3.73%의 힘을 상쇄함을 확인 가능**

02 설계중점사항

붕괴 기구(Seismic Fuse)

구조물의 고유주기 측정 결과 : **0.3s** → 500년 응답스펙트럼 → **0.75g**
2400년 응답스펙트럼 → **1.5g**

진동 실험 결과 : **15m/s² (1.53g)**까지 구조부재의 파단 발생 X

Seismic Fuse
시스템 도입

작동원리

고무줄이 연결된 모듈에 pre-tension 작용
면진층 플레이트에 삼각형 모듈을 설치, 충돌로 부재 탈락 유도

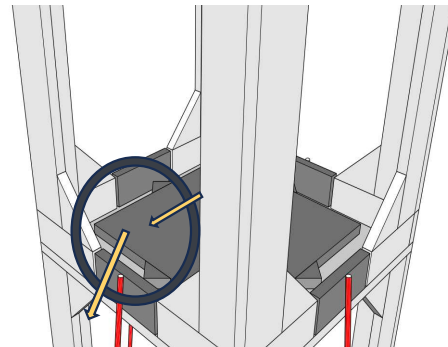
부분 인장력 소실을 통해 구조물의 불안정한 상태 유도

1. 면진층에 걸리는 힘 (지반가속도 : 0.7g)

(단일축 방향 가속도) = **7.07 m/s²**
 $F = ma = 6 \times 7.07 = \mathbf{42.42N}$
(하중 블록 질량 : 6kg)

2. 고무줄의 장력

$F_k = 11.76N$
 $F_k \sin \theta = 11.76 \cdot 0.13 = \mathbf{1.56N}$
→ **43.98N**



3. 댐퍼 모듈

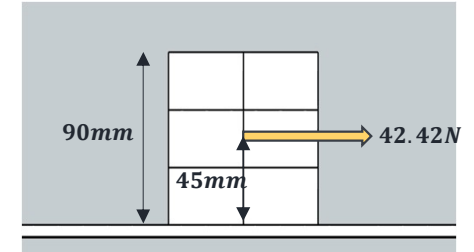
$F = 6kg \cdot 7.62m/s^2 = \mathbf{45.72N}$ 에서 파괴

목표 성능치에서 댐퍼 모듈 탈락 &
부분 인장력 소실을 통한 구조물의 불안정성 증가

전도 모멘트 계산

1. 목적

- 면진층의 효과적인 거동 확인
- 바닥판과 면진 플레이트가 일체화 되어있지 않아
전도 발생 가능성을 가능성을 검토하기 위함

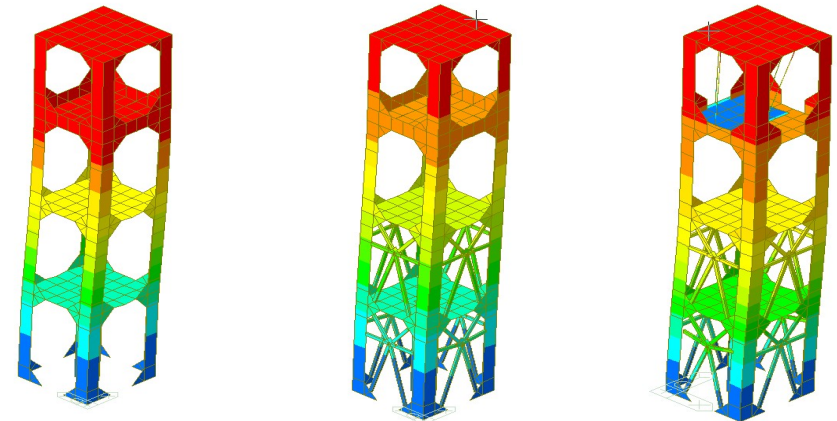


$$M_e = 42.42 \cdot 45 = \mathbf{1908.8 Nmm}$$

$$M_I = 6 \cdot 9.8 \cdot 50 = \mathbf{2940 Nmm}$$

$M_I > M_e \therefore$ 면진층 전도 방지 가능

마이다스(MIDAS) 분석



Module A	Module B	Module C
가새 X, 면진 구조 X	가새 O, 면진 구조 X	가새 O, 면진 구조 O
변위 변형 A > B > C		

가새와 면진 장치를 활용하여 효과적으로 변위제어

03 실험분석

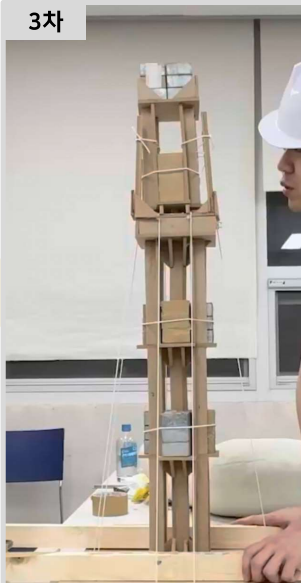
2차



0.19g 2층 기둥 슬라브 분리

- 메가컬럼 부착의 가능성 확인
- 기둥과 슬라브의 접촉면적과 부재 자체의 강성을 높이기 위하여 기둥 설계 변경

3차



0.35g 2층 전도

- 상부 구조물의 변위를 제어할 수 있는 면진 설계의 필요성 확인
- 면진층 거동 개선을 위한 설계 변경 필요
- 건물의 세장함 개선 필요 확인

4차



0.44g 면진층 기둥 파괴

- 건물의 세장함 개선 설계의 실효성 확인
- 거셋 플레이트의 구조 개선 가능성 확인
- 댐퍼의 제진 성능 불확실함 확인
- 면진 모듈과 바닥판의 마찰력 개선 필요
- 면진층 외곽기둥의 강도 증대 필요

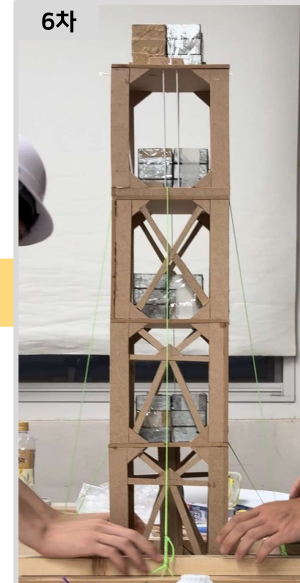
5차



0.68g 1층 기둥 기초판 분리

- 1층부 가새, 2층부 벨트 트러스 보강을 통한 하층부 강성 개선 확인
- 외곽 기둥 강도 증가 및 고무줄을 통한 면진층 거동 조절 가능성 확인
- 락킹 거동으로 인한 구조물 붕괴 메커니즘 조절이 어려움

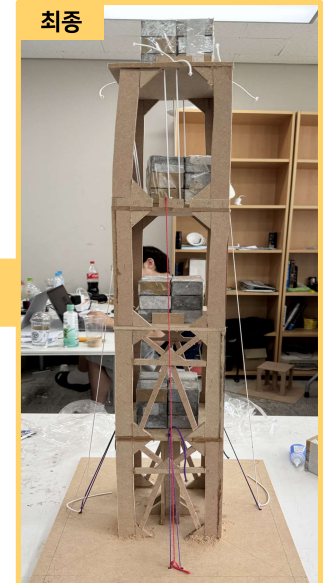
6차



0.79g 1층 기둥 기초판 분리

- 면진층 12kg → 6kg로 변경 후, 거동능력 개선 확인
- 2층 슬라브와 기초판을 string 으로 추가로 연결하여 하부층 강성 증대 확인(Self-Centering 성능 강화)
- 0.7g~0.8g 붕괴를 위한 붕괴 모듈 형성 필요

최종



0.72g Seismic Fuse 파괴



- 붕괴 메커니즘 작동을 위한 Seismic Fuse 실효성 확인

0 5 공정표 • 원가관리

부재명	부재 규격(가로 X 세로 X 높이)	수량	부재명	부재규격(가로 X 세로 X 높이)	수량
기둥부재-A	28mm X 6mm X 200mm	16	면진층 고무줄	300mm	4
기둥부재-B	22mm X 6mm X 200mm	16	1층 슬라브 고무줄	200mm	4
바닥	170mm X 170mm X 6mm	4	3층 슬라브 고무줄	400mm	4
옥상층 바닥	120mm X 120mm X 6mm	1	댐퍼 모듈-A	52mm X 6mm X 20mm	4
코어	25mm X 6mm X 200mm	4	댐퍼 모듈-B	58mm X 6mm X 20mm	4
거šet 플레이트	30mm X 30mm X 30mm	84	Seismic Fuse	45mm X 6mm X 20mm	4

부재명	부재 규격(가로 X 세로 X 높이)	단가(백만원)	수량	합계(백만원)
MDF Base	400mm X 400mm X 6mm	-	1	-
MDF Plate	200mm X 200mm X 6mm	100	11	1100
스트링 고무줄	600mm	40	6	240
접착제	20g	200	2	400
총액				1740

구분		소요 시간									
		1시간				2시간				3시간	
		15분	30분	45분	60분	15분	30분	45분	60분	15분	30분 +α
작 도	기둥, 코어										
	보강재 및 슬래브										
제 작	기둥, 코어										
	슬래브 제작 및 천공										
	보강재										
	면진층 제작										
시 공	기둥, 슬래브 시공										
	가새, 거šet플레이트										
	면진층 설치										
	고무줄 설치										
마 감	하중블럭 설치										
	진동대 기초판 연결										
총 공정 시간										2시간	