

2025 Seismic Structural Design Contest



# 2025 구조물 내진설계 경진대회

내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감

건국대학교 사회환경공학부 B-BOLD 팀



지도교수: 하동호 교수님  
팀원: 박태영, 고승호, 양은서, 김서진

박태영 (4학년)  
- 지진파 분석  
- 구조해석  
- 구조물 제작

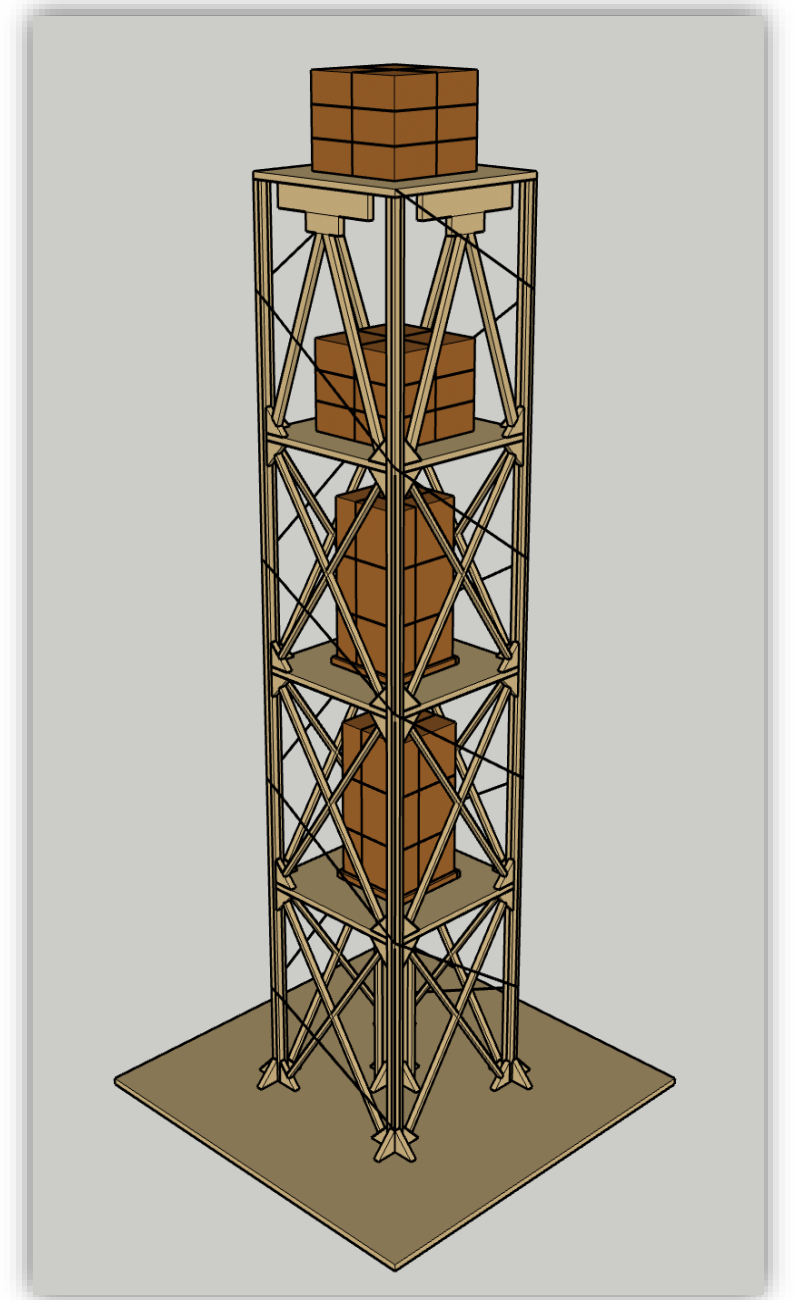
고승호 (4학년)  
- 모델링  
- 구조해석  
- 구조물 제작

양은서 (4학년)  
- 구조해석  
- 시공성/경제성 분석  
- 구조물 제작

김서진 (4학년)  
- 보고서 작성  
- 물성치 분석  
- 구조물 제작

## INDEX

- 01 설계 개요
- 02 주요 설계 (1)
- 03 주요 설계 (2)
- 04 구조해석 및 실험
- 05 최종 설계안



# 설계 개요

✓ **핵심 전략**: KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준에 기반하여, 실제 내진구조의 원리를 모형에 효과적으로 적용

## 설계 목표

### 구조성

- 지진력에 대한 구조의 거동 평가
- 실험 결과에 의한 구조물의 내진성능 평가

### 경제성 - 시공비용

### 시공성 - 시공속도

## 내진 설계 아이디어

분류	전략	효과	참고
현실 내진 솔루션 구현	죽순형 메가칼럼	수직 부재 일체화 및 강성 집중	테이퍼드 칼럼
	이력형 마찰 댐퍼 (상부층)	마찰력 기반 에너지 소산 → 제진 효과 확보	초고층 빌딩 제진장치
	수동 제어 기반 구조 적용	에너지 소산 및 P-Δ 효과 최소화	-
KDS 기반 전략	수직재 연속성 확보	절단부 교차 접합을 통한 약점 분산 및 연속성 확보	KDS 41 17 00 1.5 (5)
	정형 대칭 평면 구성	비정형 지양 → 비틀림 최소화	KDS 41 17 00 5.3, 1.5 (2)
	질량 중심 = 강성 중심 설계	지진력 방향 무관한 균등 하중 전달	
목조 건축 구조 창의성	외부 와이어 감기 / 나선형 보강	강도-강성 최적화, 부재 일체화	유전자 구조 모사, 내진용 나선철근
	끼워맞춤 방식 접합	마찰 기반 연성 확보, 무기계적 연결 시공	전통 목조 건축 방식
시공성-경제성 설계 최적화	틈밥 충전재 활용	유격 보정 및 접합력 향상, 시공성 개선	가공 잔재 재활용, 환경친화 설계
	부재 치수 최적화	재단 낭비 방지 및 자재 효율 확보	치수 표준화(예: 기둥 825mm)
시공성-경제성 설계 최적화	규격화-정밀 가공	시공 오차 최소화, 접합 정확도 및 내진 일체성 확보	-

## 지진파 분석

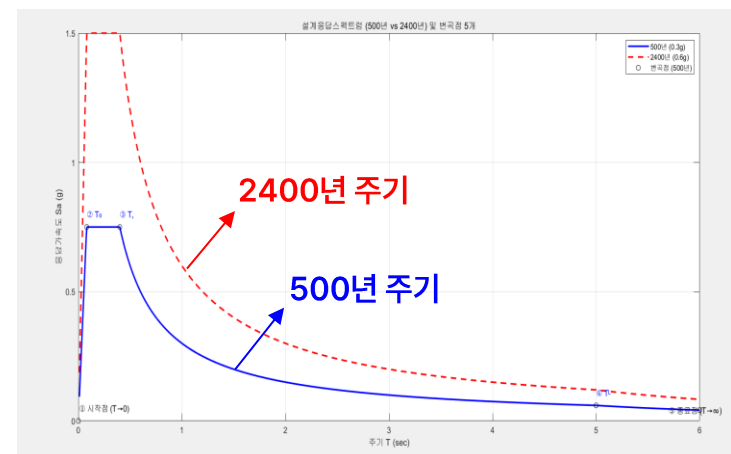
재현주기 (년)	유효수평지반가속도 (S)	단주기 지반응답증폭계수(Fa) 및 1초 주기 지반응답증폭계수 (Fv)	구조물의 성능 수준
500	0.3g	1.5	기능수행 (즉시복구, 장기복구, 인명보호)
2400	0.6g		붕괴방지 수준

	500년	2400년
단주기 설계 스펙트럼 가속도	0.75g	1.5g
1초 주기 설계 스펙트럼 가속도	0.3g	0.6g

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times \frac{2}{3}, S_{D1} = S \times F_v \times \frac{2}{3}$$

구조물의 고유주기 500년, 2400년	
$T_0 = 0.2 \times S_{D1} / S_{DS}$ (변곡점)	0.08 sec
$T_S = S_{D1} / S_{DS}$ (변곡점)	0.4 sec
$T_L$ (장주기)	5 sec

### 설계 응답 가속도 스펙트럼



"0.08~0.4 sec에서 설계 스펙트럼 가속도 최대"

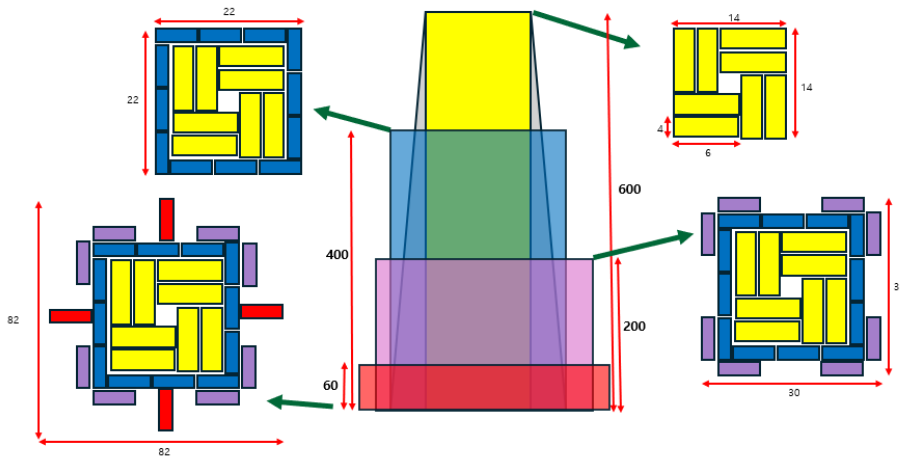
### 구조물 설계 목표

지진 가속도 0.7g에서 구조물이 의도적으로 붕괴되도록 유도 → 정밀한 붕괴 메커니즘 설계를 통해 평가 기준에 따른 파괴 목표 충족

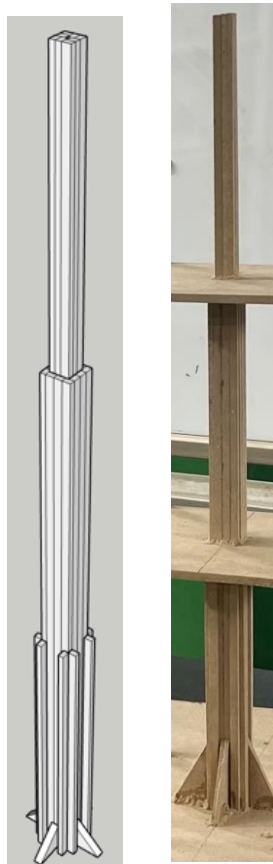
설계 스펙트럼에서 가장 위험한 주기대(탁월주기 0.08초 ~ 0.4초)를 회피하도록 설계 → 고유주기를 조정하여 스펙트럼 최대가속도 영역에서 벗어남

탁월주기에서 발생하는 지진하중에도 구조물이 견딜 수 있도록 설계 → 내진성능 확보를 위한 강성과 감쇠 요소 최적화

죽순형 메가칼럼



- 3층까지 이어지는 코어 기둥
- 테이퍼드 칼럼(Tapered Column)의 형태
- 최상부: 14×14 → 하부: 22×22
- 중앙에 위치하며 상부에서 하부로 갈수록 단면 폭이 증가 (죽순형)
- 점진적 단면 축소를 통한 효과적인 층별 응력 분포 유도
- 좌굴 방지 효과, 큰 압축력/모멘트에 대응
- 풍하중, 지진하중 효과적 흡수 및 전달
- 휨 강성 증대

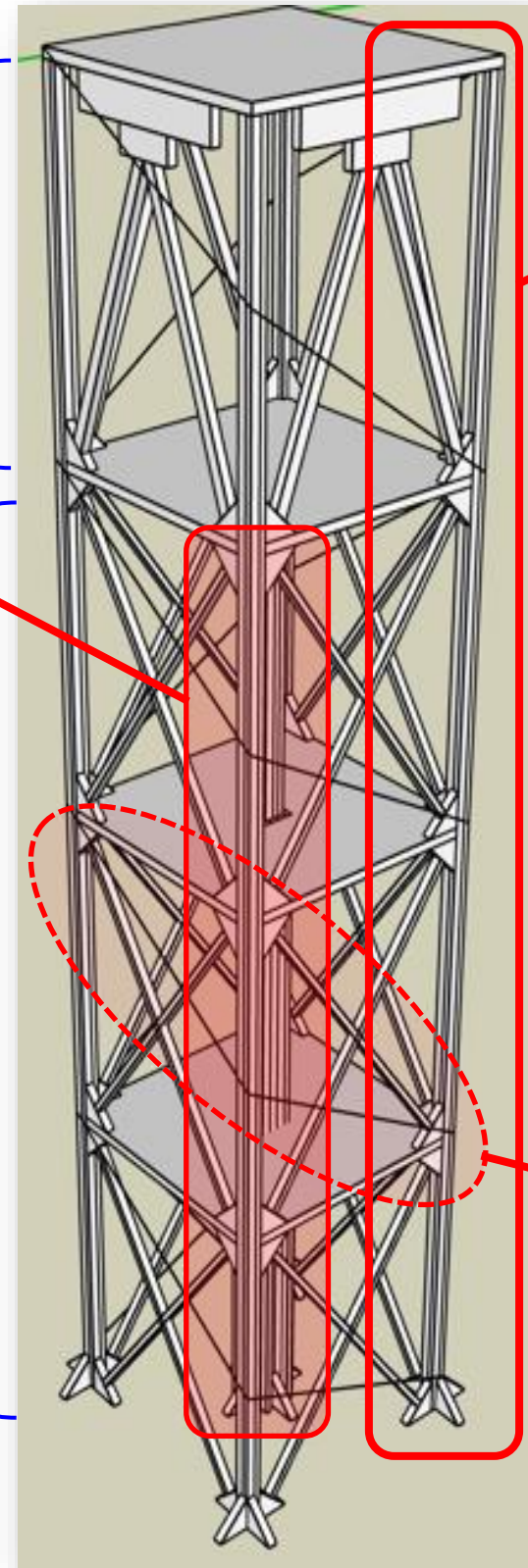


상부

: 상층부의 횡방향 변위를 제진 장치로 제어

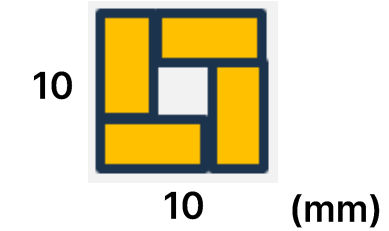
하부

: 아래로 갈수록 높은 강성 확보를 위한 메가칼럼과 삼각현치



외곽기둥 일체화

< 기둥 단면 10\*10 >

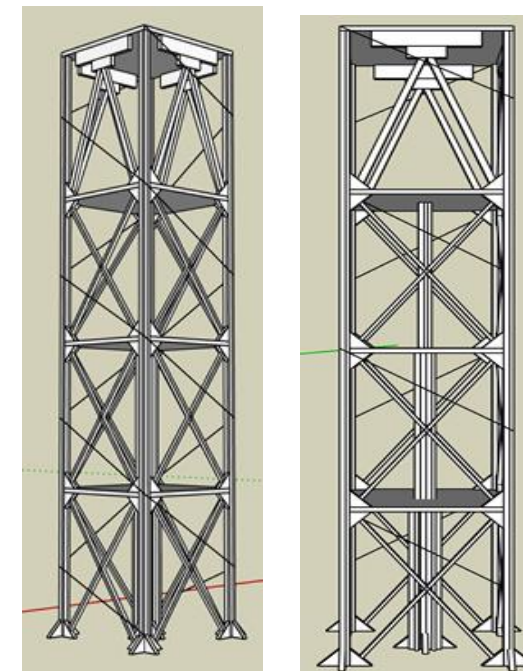



< 기둥 길이 치수 >  
 단면 1: 600 + 225  
 단면 2: 375 + 450  
 단면 3: 150 + 600 + 75  
 단면 4: 525 + 300

∴ 10mm×10mm×825mm

- 구조물 전체적 일체화 & 연속성
- 전체구조가 하나의 통합된 시스템
- 기둥을 구성하는 4개의 부재의 접합부를 분산시켜, 연속성 확보 및 접합 시공 오차 감소
- 외각 기둥 부재 최대 사용 (600mm)
- KDS 41 규정에 따라, 가급적 수직재는 연속성 & 급격한 변화 없도록 설계
- 기둥의 접합부 취약성 대비

외부 나선형 와이어

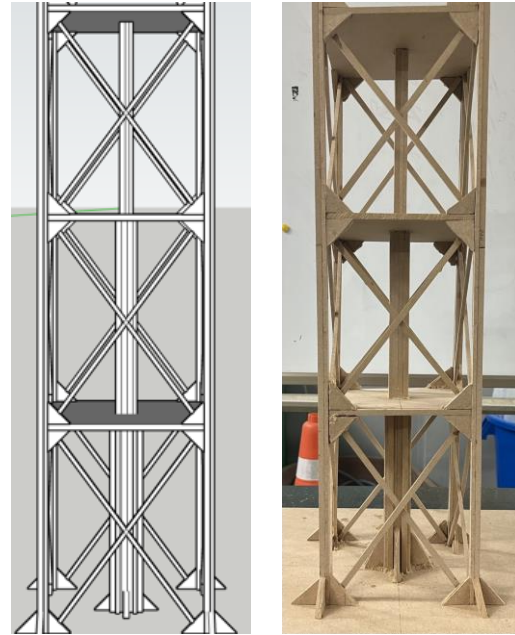


- 외부에서 나선형으로 감아, 나선형 줄이 기둥 외곽을 지지 → 횡력/좌굴 저항 강화
- 전단력 경로를 분산시켜, 전단 보강에 기여
- 줄을 장력 상태로 감아, 구조물 전체에 가압 → 균열 억제 및 연성 확보 (= 프리 스트레싱 효과)
- 간접적 감쇠기 역할 수행
- DNA 구조에서 착안한 Double Helix Curve 

# 주요 설계 (2)

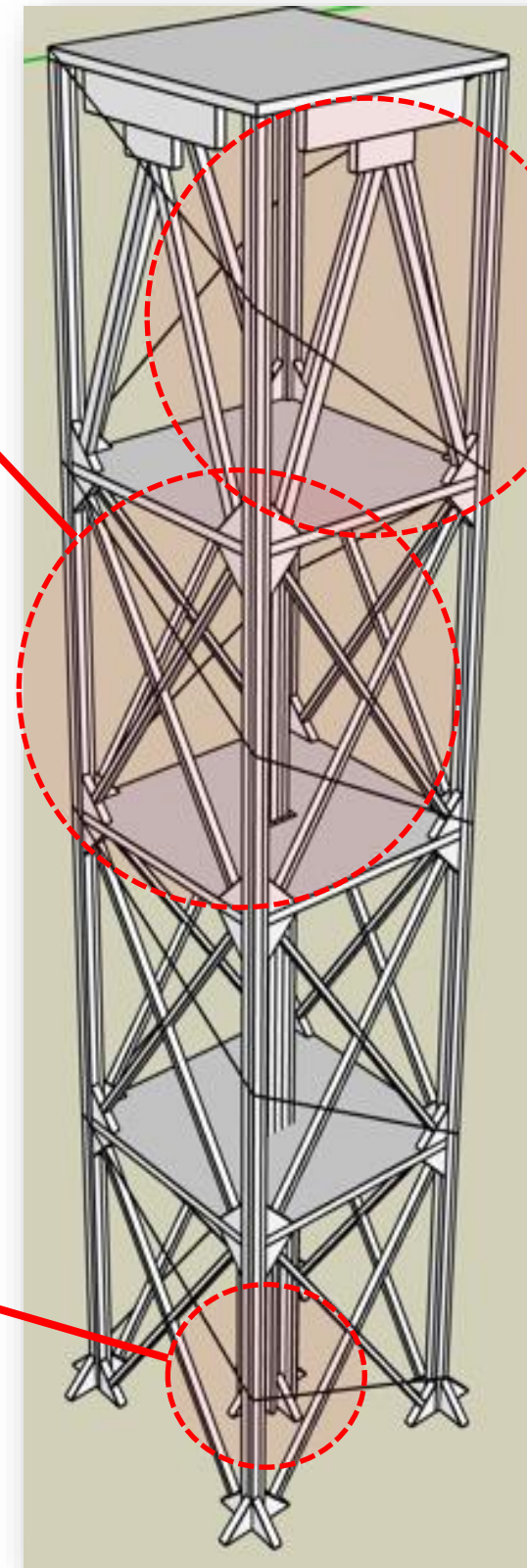
## X자 가새

- 1~3층 X자 가새
- X자형은 가장 기본적, 효율적인 방식
- 강성과 연성의 균형이 우수
- 양방향 지진하중 대응 우수
- 대각선 2개 → 에너지 이중 분산
- 응력 분산 효과  
→ 좌굴/인장/파단 감소
- 휨 강성 및 전단 저항 극대화
- 구조적 대칭성 → 비틀림 억제

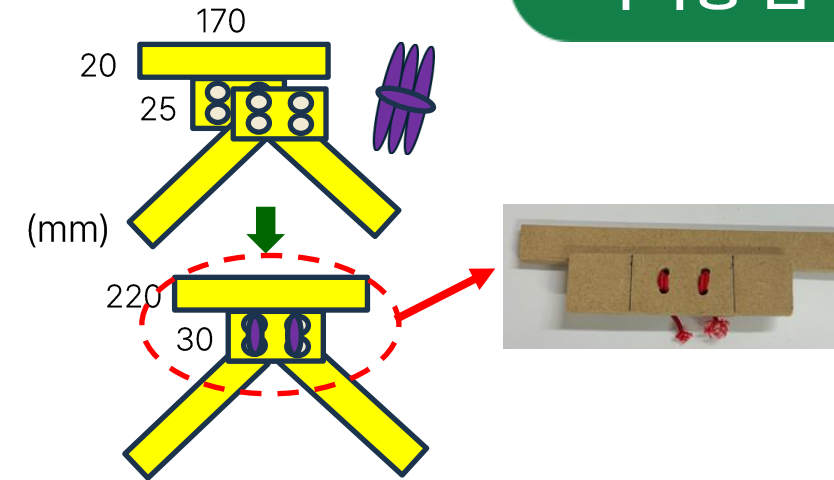


## 톱밥 활용 구조 공법

- 톱밥 충전형 감쇠 시스템을 적용한 친환경 내진 구조물
- 충전형 감쇠재 방식: 구조물의 기초 또는 접합부에 톱밥을 충전 → 마찰 감쇠 및 에너지 흡수 가능
- 복합 소재와의 결합: 접착제와 함께 압축하여, 내구성과 밀도 보완
- 비용 절감 및 시공/복구 용이성
- 지속가능한 자재 사용



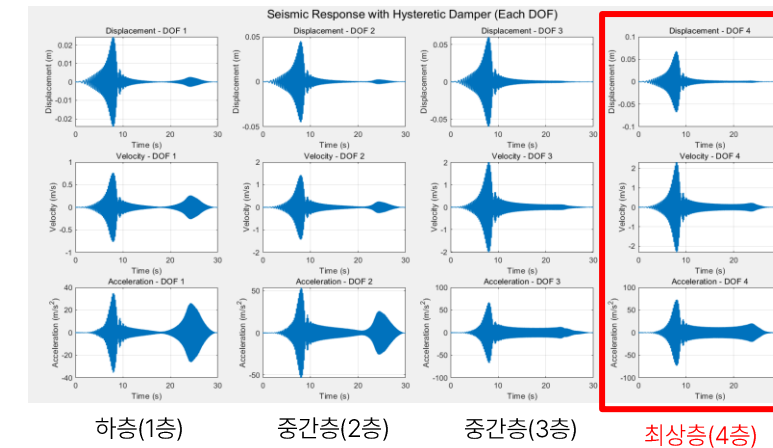
## 이력형 댐퍼



- 4층 이력형 댐퍼 + A자 가새 + 면줄
- 최상층 횡방향 진동 제어
- 0.7g 이상의 가속도에서 구조물의 붕괴 메커니즘 유도
- 지진에 대해 소성변형을 유도 + 에너지 흡수
- 댐퍼만 교체 가능 → 피해 부위 최소화

### 이력형 마찰 댐퍼의 성능 평가

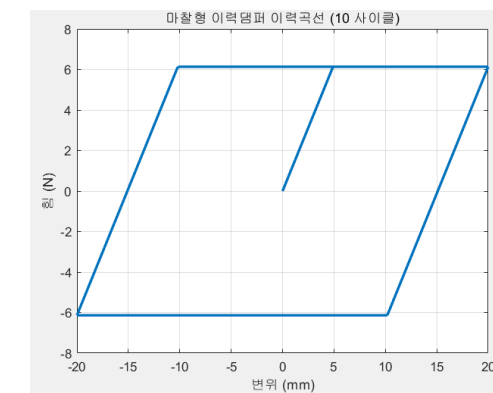
#### 1) 댐퍼 설치 구조물이 지진하중을 받을 때, 각 층의 자유도 해석



#### < 최상층 분석 결과 >

- 최상층(DOF 4)은 이력형 마찰 댐퍼가 설치되는 층임.
- 변위, 속도, 가속도의 진폭이 모두 초기에 가장 크지만, 빠르게 감소
- 최상층(DOF 4)의 안정 → 상부 하중 탈락 방지 + 구조 붕괴 방지에 기여
- ∴ 최상층에 이력형 마찰 댐퍼 배치하는 전략은 효과적임.

#### 2) 이력형 마찰 댐퍼의 이력 곡선



한계 마찰력	6.13 N
사이클당 에너지 소산량	0.369 N·m
전체 에너지 소산량 (10회)	0.369×10=3.687 N·m
4방향 중 1방향으로만 작동 시, 10회 에너지 소산량 (X축 방향)	0.369×10×2=7.374 N·m

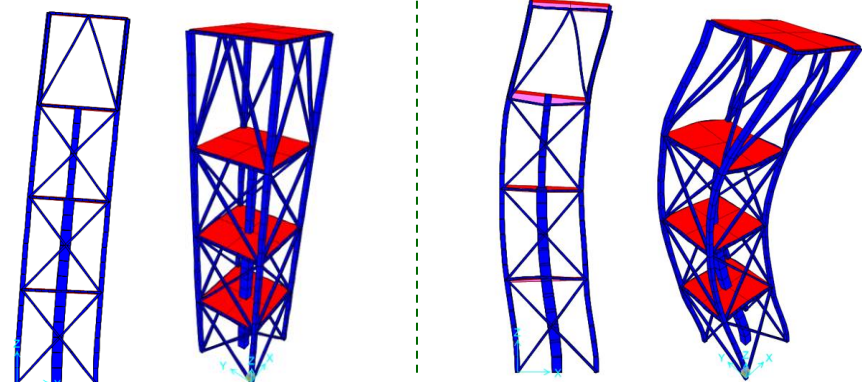
> 30hz 기준으로 30초 가진 → 사이클 횟수: 10회  
 > 지진이 X축 방향으로만 작용할 경우, X축 방향의 댐퍼 2개만 작동한다. ∴ 한 방향(=X축 방향) 작동 시 전체 소산 에너지는 1개당 소산량 X2  
 > 이력 곡선의 면적 = 한 사이클 에너지 소산량

➤ 결론 : 에너지 소산량 이상의 에너지가 가해지면, 이력형 댐퍼의 기능 상실로 인해 A자 가새 파단.

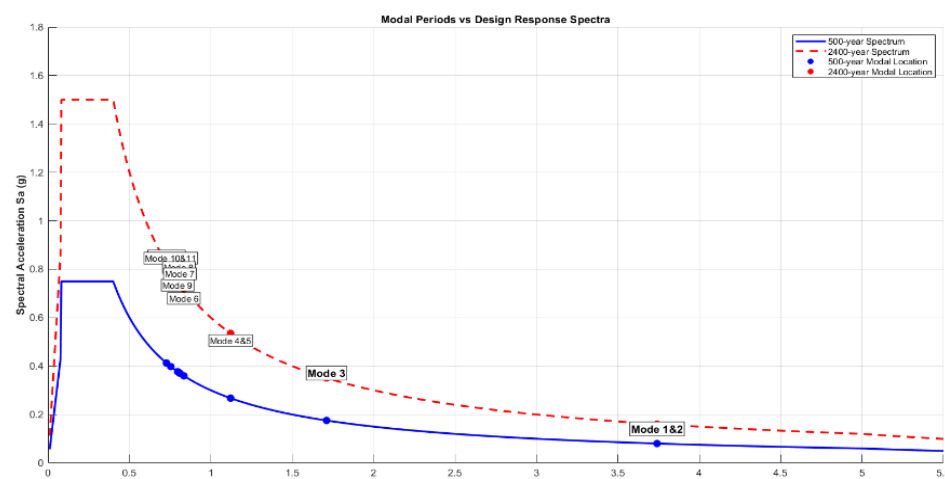
전산구조해석 (SAP 2000 & Matlab)

1. 모드 해석 & 설계 응답 스펙트럼

- 1차, 2차 모드 (Mode 1&2)
- 4차, 5차 모드 (Mode 4&5)



EIGENVALUE ANALYSIS			
Mode No.	Period (sec)	Frequency (Hz)	주요 의미
1	3.740	0.267	가장 큰 질량 참여율로 예상되는, 주요 모드
2	3.740	0.267	Mode 1과 동일, 대칭 변형 가능성
3	1.710	0.585	고차 횡 모드 가능성
4~5	1.121	0.892	더 높은 횡/비틀림 모드 가능성
6~12	0.727~0.834	1.2~1.37	고차모드로 세부 진동 거동 조절



➤ 결론: 구조물의 주요 고유주기는 설계 스펙트럼의 최대 응답구간(0.08~0.4초)을 명확히 벗어났으므로 공진 위험이 낮다.

2. 외곽기둥 및 메가칼럼의 변위

- 외곽기둥

Joint Displacements of Exterior Column			
Joint No.	U1	U2 (X축 방향)	U3
10 (최상부)	0.000103	0.204752	0.020108
9	0.000149	0.138665	0.019981
8	0.000192	0.084846	0.016228
7	0.000298	0.035647	0.009725
6 (최하부)	0	0	0

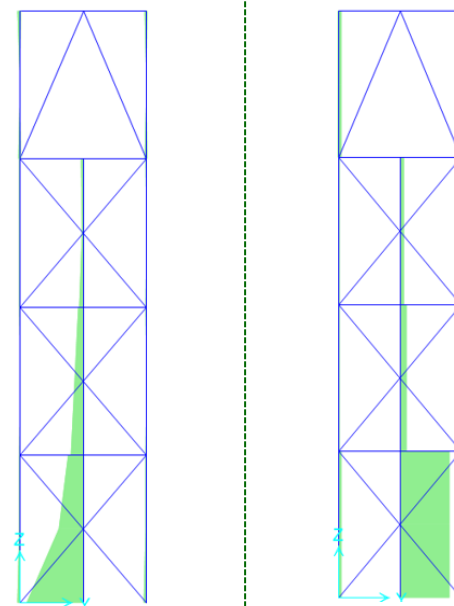
- 메가칼럼

Joint Displacements of Mega Column			
Joint No.	U1	U2 (X축 방향)	U3
24 (최상부)	0.000099	0.138796	0.001182
23	0.0000596	0.085036	0.000731
22	0.000058	0.035823	0.000401
21 (최하부)	0	0	0

➤ 결론: 기둥-메가칼럼 연계 설계가 잘 이루어짐  
→ 변형 집중 없이 에너지가 잘 분산됨

3. 응력 및 전단력 분포

- 전단력도
- 모멘트도

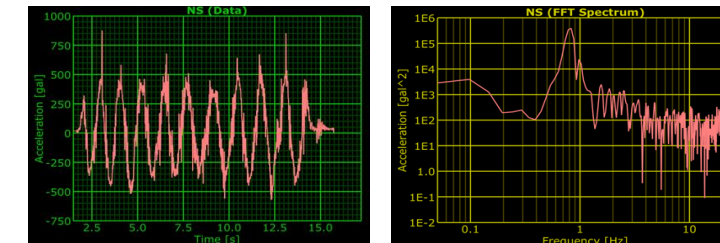


➤ 결론: 구조 전체는 메가칼럼이 축 하중을 주로 부담하고, 하단부 가새는 횡방향 하중에 대해 저항한다.

실험분석

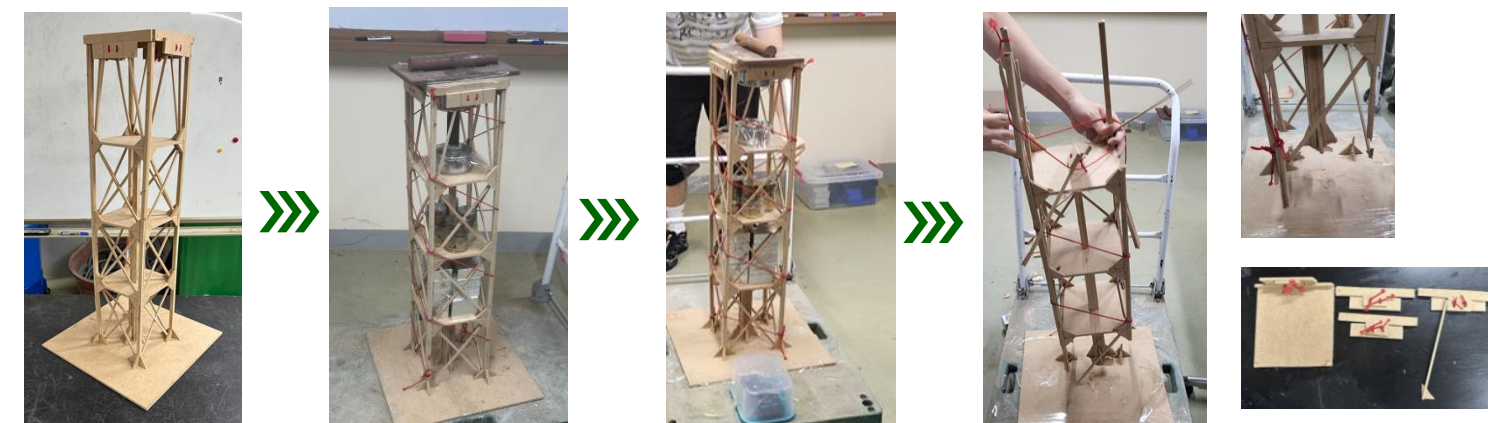
1. 입력 지진파 정보

- 입력 파형: 1축 최대 0.7g 진폭의 정현파(sine파) 기반 인공지진파
- 진동대 가진 범위: 0.3g~0.7g
- 주에너지 주파수 대역: 약 0.5~30.0 Hz



2. 실험과정

- 모델 제작
- 하중 블록 배치 후 와이어 설치
- 진동대 실험 진행

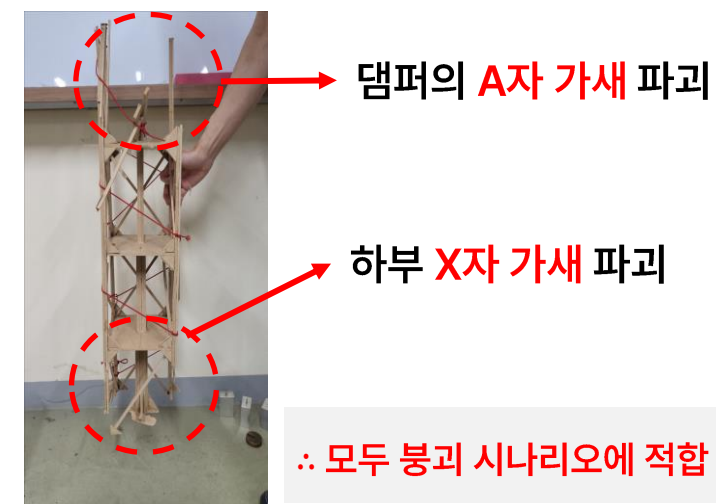


- 하부 가새부터 파괴 + 0.7g에서 뺄힘 파괴 발생 + 상부층 댐퍼 기능 상실

3. 실험결과

인공 지진파	구조 응답	주요 관찰 사항
0.3g	비탄성거동 시작	하부 가새에서 최초 변형 발생, 에너지 집중 확인됨
0.7g	구조물 붕괴	하부 가새 이탈 및 파단 발생, 구조물 전체 파괴 진행

4. 구조물 파괴 양상

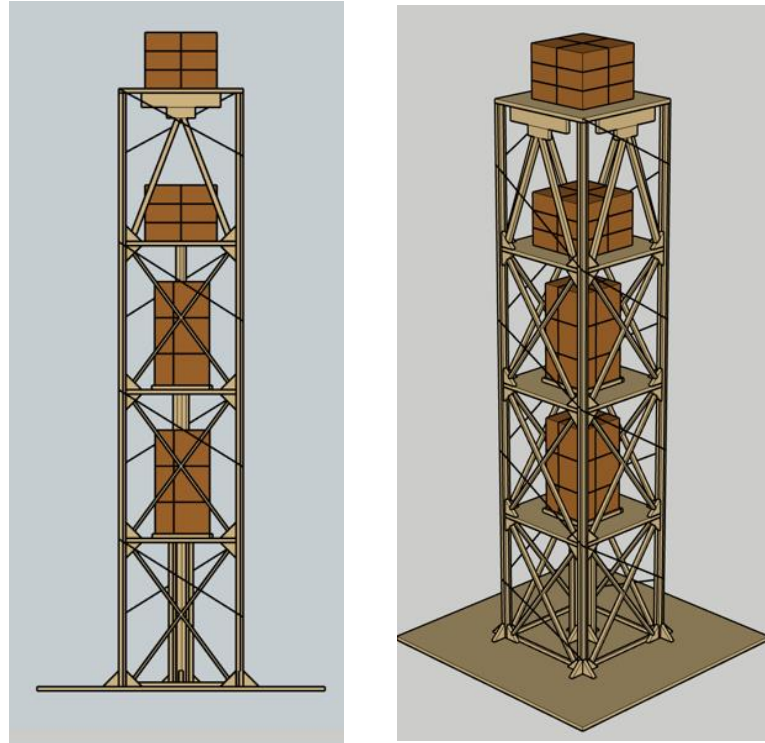


∴ 모두 붕괴 시나리오에 적합

5. 추가 고려 사항

- 시공 오차 최소화
- 하중 블록 배치 유의
- 남는 스트립 활용

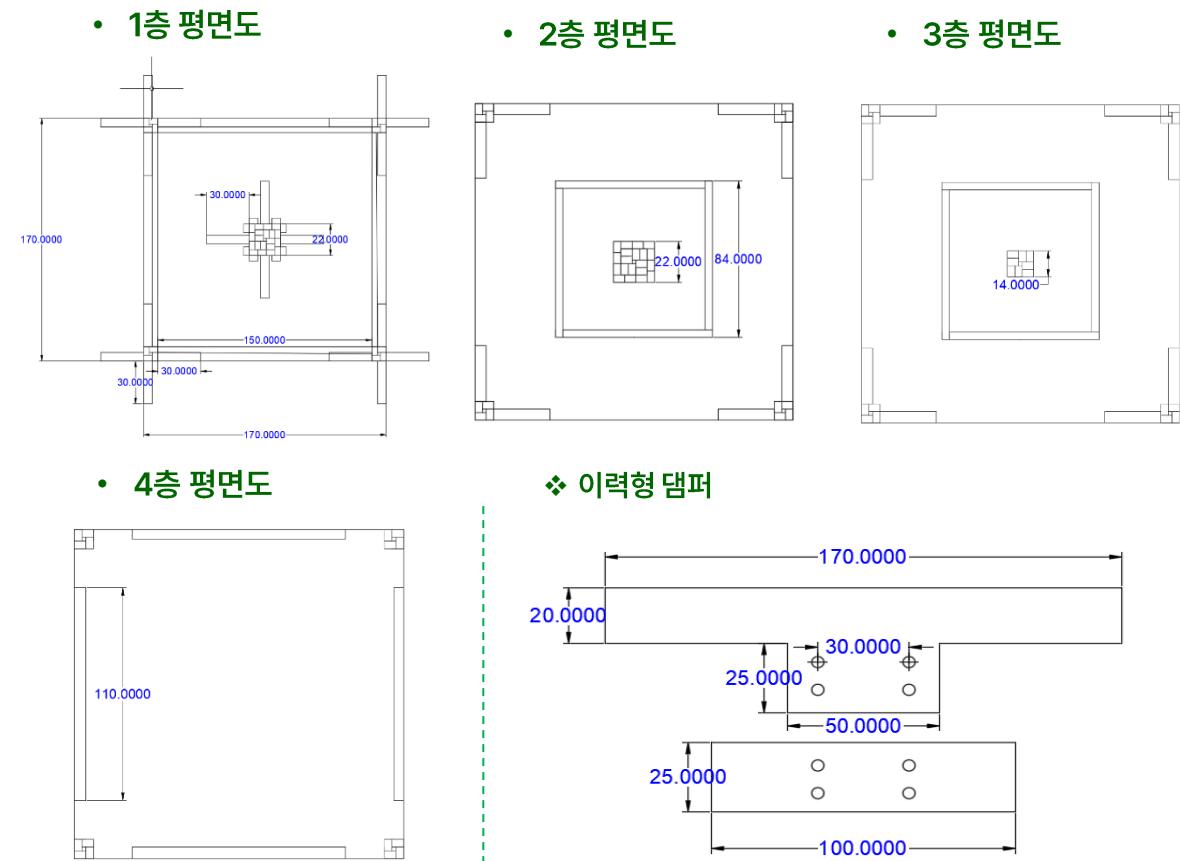
## 최종설계안



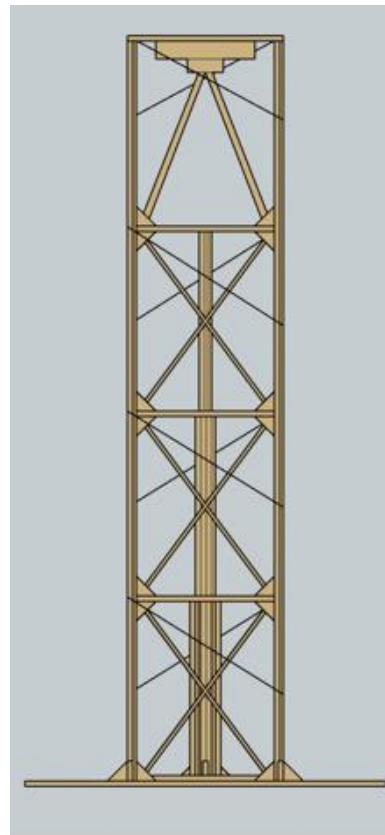
**< 붕괴 메커니즘 >**

- 전략 1: 하단부 가새에서 전단력과 모멘트에 의한, 부재 차원의 파단 유도
- 전략 2: 최상층 이력형 댐퍼의 기능 상실로 인한 A자 가새 파단 유도

## 평면도



## 입면도



## 경제성

종류	부재규격	단가(백만원)	개수	금액(백만원)
MDF Base	400mm*400mm*6mm	-	1	0
MDF Plate	200mm*200mm*6mm	100	6	600
MDF Strip	600mm*4mm*6mm	10	60	600
고무줄	600mm	40	7	280
접착제	20g	200	2	400
종이	1장	10	2	20
<b>총 합계(백만원)</b>				<b>1900</b>

## 공정표

구분	구분	소요시간																		
		1시간						2시간						3시간						
		10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	
재단 및 제작	바닥판 재단 및 천공																			
	메가 칼럼 제작																			
	칼럼 제작																			
	현치, 거셋 플레이트 재단																			
	이력형 댐퍼 제작																			
조립 및 시공	가새 재단																			
	층별 플레이트 조립																			
	바닥판 부착																			
	현치 시공																			
	가새 조립																			
	출기초 시공																			
	이력형 댐퍼 부착																			
	외부 스트링 브레이싱																			
	하중 블럭 조립																			
	마무리	하중 블록 설치																		
최종 마무리																				
<b>최종 공정 시간</b>		<b>총 2시간 소요</b>																		