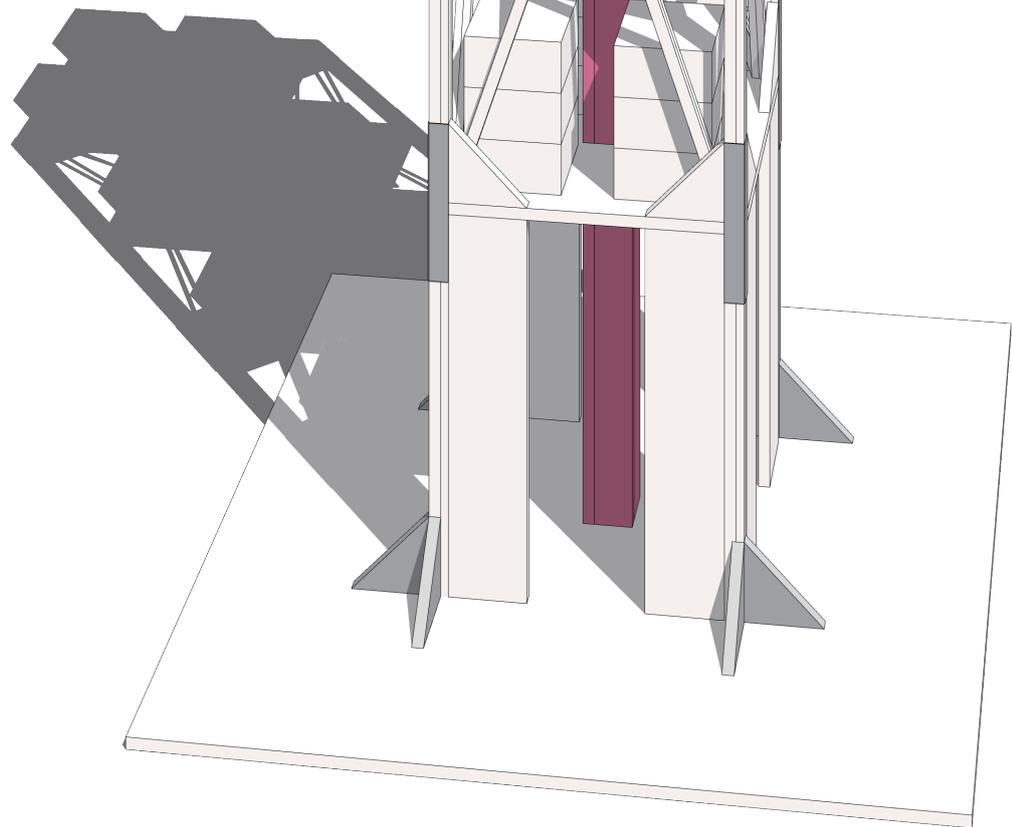
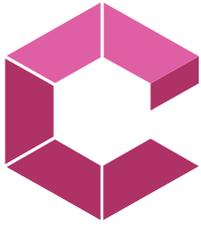

2024 구조물 내진 경진대회

SEISMIC STRUCTURE DESIGN CONTEST 2024

Team
<Trade - Off>

"구조 해석 프로그램과
붕괴 메커니즘 기반 실험을 통한
구조물의 내진 설계"





Trade - Off

“Trade-Off” 팀은 하나를 얻으면 다른 하나를 포기해야 한다는 핵심 가치를 바탕으로, 이번 대회에서 창의적인 아이디어와 혁신적이고 기능적인 구조 시스템 등을 기반으로 여러 가지가 접목된 복잡한 균형을 혁신적이고 효율적인 설계 솔루션으로 해결합니다.

<Team Member>

충북대학교 건축공학과

이원호 (4)

총괄 팀장
아이디어 구상
시공성 분석
구조물 제작

백경은 (4)

구조해석
아이디어 구상
구조 모델링
물성치 분석



이득행 교수님

자문 및 지도교수

이성중 (4)

도면제작
3D 모델링
경제성 분석
구조물 제작

정대영 (3)

제안서 작성
아이디어 구상
대회규정 분석
지진파 분석

SEISMIC STRUCTURE DESIGN CONTEST 2024

CONTENTS

I. 서론

- 대회 규정 및 심사 기준 분석
- 지진파 및 재료 물성치 분석

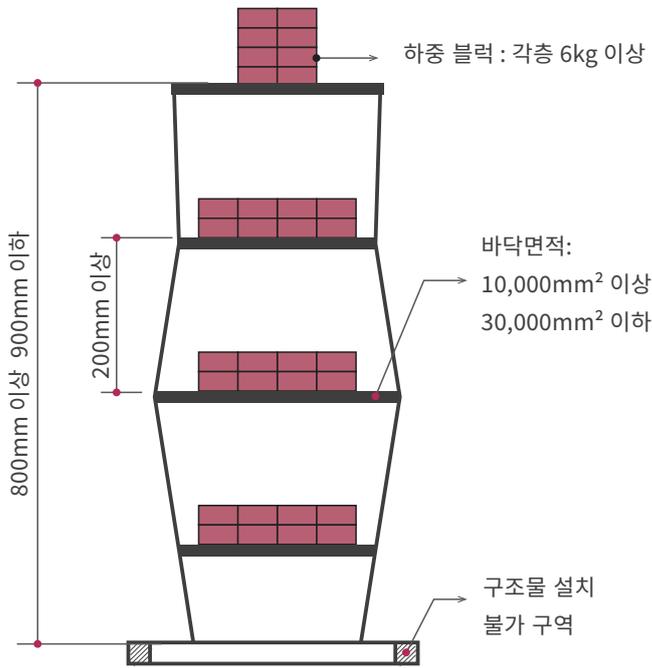
II. 본론

- 설계 방향 (내진 전략 선택)
- 구조 설계 개요
- 구조 디테일 검토
- 붕괴 메커니즘 설계
- 구조 검토 (실험 및 분석)

III. 결론

- 설계 도서 (평면도 및 입면도)
- 시공성 검토 (공정 관리)
- 경제성 검토 (원가 관리)

<구조물 제작 규정 기준>



<구조 설계 요구사항 및 조건>

구조성

지진파 분석을 통한 요구 구조성능 파괴 유도 0.7g



시공성

제작 시간
하중블록 설치 시간을 포함해 총 4시간을 초과 불가



경제성

제작 비용
1,200백만원 이하 만점, 초과 2,400백만원 이하는 차등 점수

결론

경제적이며 시공성을 갖춘 합리적인 구조 설계 진행
목표 지진 하중에서 구조물 요구성능 충족을 위한 정밀한 설계 필요

지진파 분석

<지진하중>

구분	재현주기 (년)	500	2,400
유효수평지반 가속도		0.3 g	0.6 g
위험도 계수 (I)		1	2
지진 구역 계수 (Z)		0.3 g	0.3 g
단주기 설계스펙트럼 가속도 (S _{DS})		0.75 g	1.50 g
1초주기 설계스펙트럼 가속도 (S _{D1})		0.3 g	0.6 g

구조물의 고유주기 (500년 & 2,400년)	
$T_0 = 0.2S_{D1}/S_{DS}$	0.08 sec
$T_s = S_{D1}/S_{DS}$	0.4 sec
T_L	5 sec

0.08~0.4 sec 에서 설계 응답 가속도 스펙트럼 최대

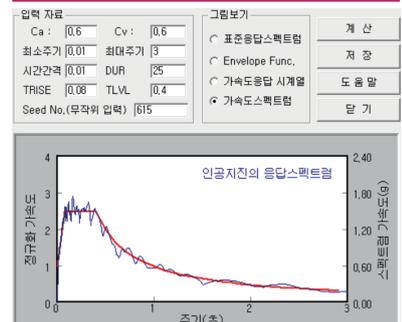
지반응답증폭 계수		S(유효지반 가속도) =Z(지진구역 계수) X I(위험도 계수)
단주기 (F _s)	1.5	$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_s \times 2/3$ $S_{D1} = S \times F_v \times 2/3$
단주기 (F _v)	1.5	

<설계 응답 스펙트럼>

500년 설계 응답 스펙트럼



2400년 설계 응답 스펙트럼



<처짐 공식을 응용하여 MDF와 실의 탄성 계수 값 산출>

MDF 단면 조합 별 강성 분석

$$I_x = \frac{6 \times 8^3}{12} = 256 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{8 \times 6^3}{12} = 144 \text{ mm}^2$$

E = 638.65 MPa

$$I_x = \frac{10^4 - 2^4}{12} = 832 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{2^4 - 10^4}{12} = 832 \text{ mm}^2$$

E = 1135.8 MPa

$$I_x = \frac{14^4 - 2^4}{12} = 3,200 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{2^4 - 14^4}{12} = 3,200 \text{ mm}^2$$

E = 1462.4 MPa

취약부위가 파손될 수 있으므로,
X축과 Y축이 동일한 단면으로
균등하게 하중 분산

MDF 탄성계수 분석(캔틸레버 보 변위(δ)식 이용)

총 3번의 실험 시행 (1) 부재 크기 : 14mm x 14mm (2) 부재 길이 : 300mm

<MEGACORE 실험>

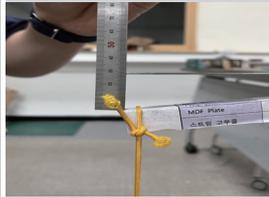


하중(N)	3회 평균 변위
14.7	52 mm
평균 탄성계수(MPa)	
1462.4	

보의 처짐공식

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

<A4 접착 후 실험>

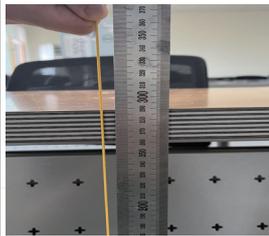


하중(N)	3회 평균 변위
14.7	28 mm
평균 탄성계수(MPa)	
1476.6	

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

스트링 고무줄 탄성 계수 분석 (변위(δ)식 이용)

총 3번의 실험 시행 (1) 부재 변형 전 길이 : 300mm (2) 부재 단면적 : 7.06mm²



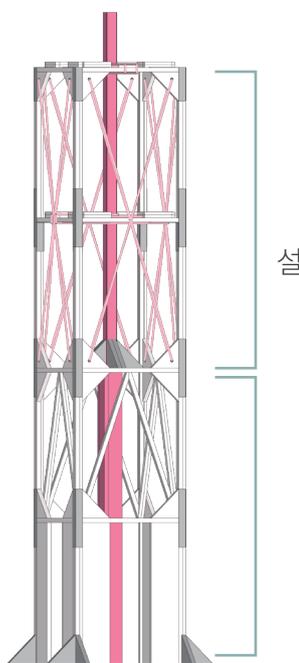
하중(N)	3회 평균 변위
9.8	360 mm
평균 탄성계수(MPa)	
1.341	

$$\delta = \frac{PL}{EI}$$

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

설계 방향 (내진 전략 선택)

[내진 + 제진 구조]

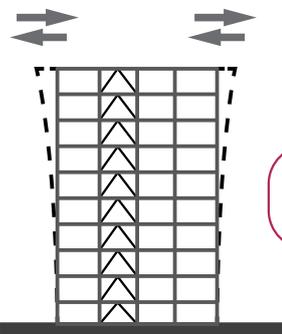


상부층

"댐핑효과를 활용한
진동 저감 장치를
설치하여 지진 에너지를 제어함."

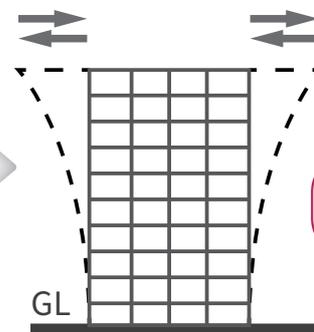
하부층

"높은 강성을 통해
지진력에 대한
내구성을 강화함."



[제진 구조]

제진장치를 이용하여
지진에너지를 상쇄시키는 방법



[내진 구조]

구조물의 강성을 증진시켜
지진력에 저항하는 방법

“상층부에서는 제진장치 설치를 통해 지진으로 인한 진동을 감소시켜 건물의 흔들림 완화”

[천공 플레이트 + 스트링 (댐핑 효과)]

플레이트를 천공하여 코어와 플레이트가 독립적으로 거동할 수 있도록 하고, 스트링을 이용해 진동을 감소시키는 댐핑 효과를 제공

[단일 유닛화 + X 댐퍼]

상층부에서 발생하는 진동을 3,4층을 단일 유닛으로 묶어, 스트링의 탄성을 사용하여 에너지를 분산시키고 감쇠 효과를 극대화

[삼각 보강재]

남는 재료를 사용하여 힘을 고르게 분산시키는 삼각형 형태를 통해 강성을 향상시켜 층간 변형을 방지

[MEGA CORE & COLUMN]

큰 단면적과 높은 탄성계수를 활용하여 구조물의 강성을 극대화하여 지진에 대한 변형을 최소화하고 구조물의 중심축추 및 기둥 역할을 강화하여 내진성을 향상

[기초 보강재]

접합부 강도를 향상시켜 하층부의 파단을 방지하고 구조체 전체의 강성을 증대

[A4 보강]

A4용지를 사용해 층간 접합부를 강화하고, MDF 플레이트의 벌어짐을 방지하여 강성 증가

[스 - 가새]

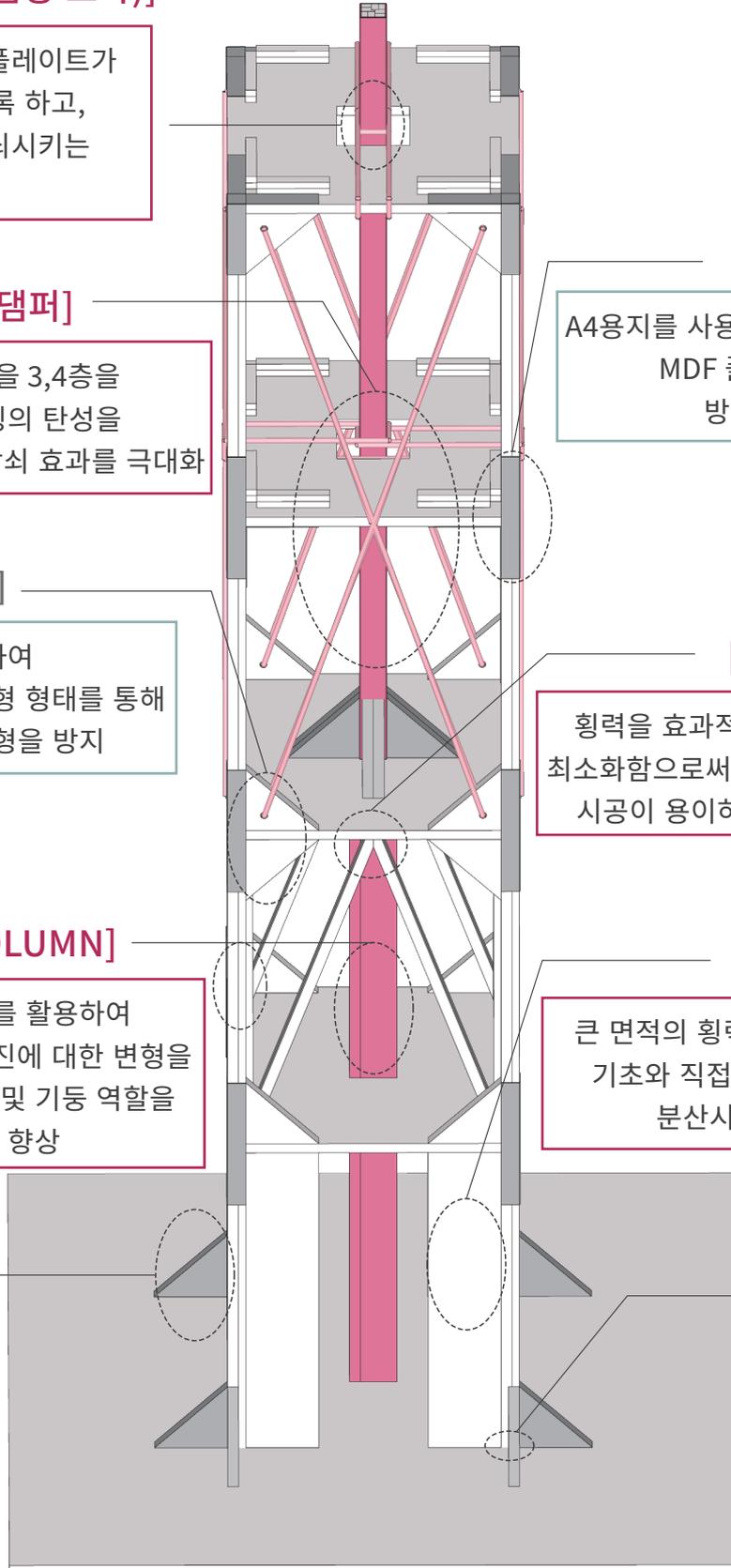
횡력을 효과적으로 분산시키고, 변형을 최소화함으로써 지진에 대한 저항력을 높임 시공이 용이하고 경제적인 이점을 제공

[전단벽]

큰 면적의 횡력 저항으로 지진력에 저항 기초와 직접 연결되어 하중을 고르게 분산시켜 안정성을 극대화

[기초 굴착]

기초와 기둥 간의 부착력을 높여 구조물의 안정성을 강화

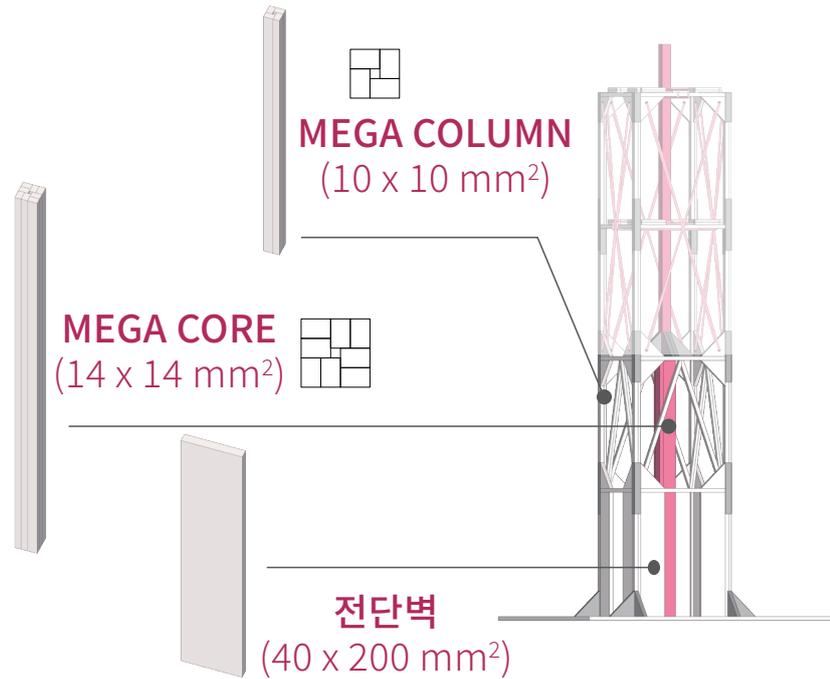


“하층부에서는 내진강화 요소를 고려해 지진 하중의 수평적인 흔들림 대비”

<하층부 목표: 내진 강화>

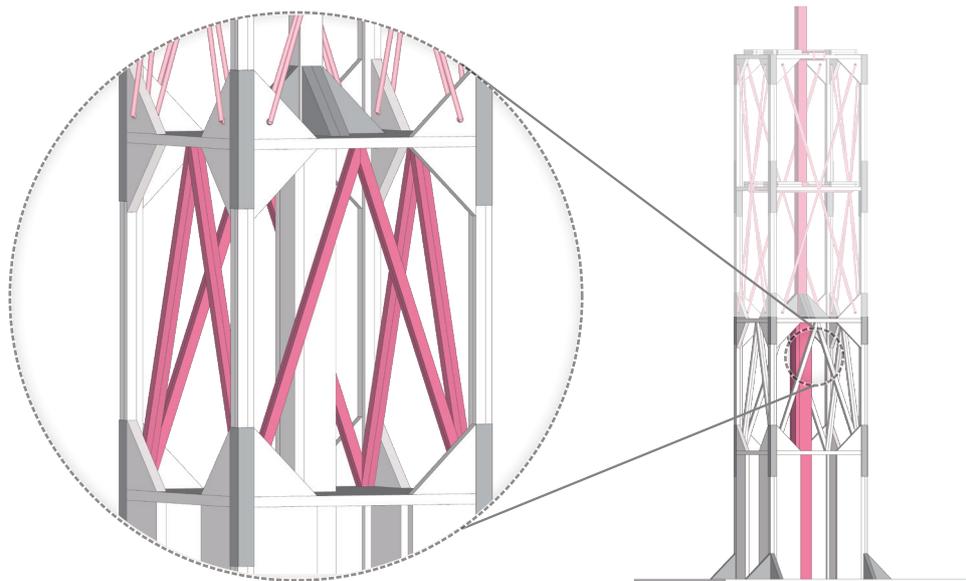
MEGA COLUMN
+
MEGA CORE
+
전단벽

중심에 위치한 메가코어를 둘러싼 4개의 메가기둥이 조화를 이루며, 전단벽을 통해 하층부로 집중되는 하중을 고르게 분산시킨다.

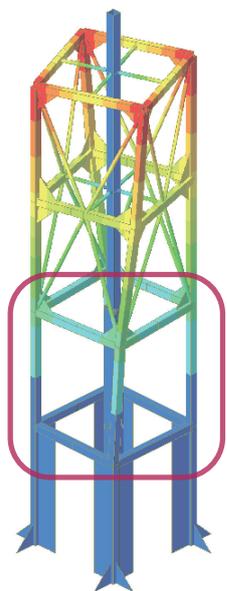


[ㄱ - 가새]

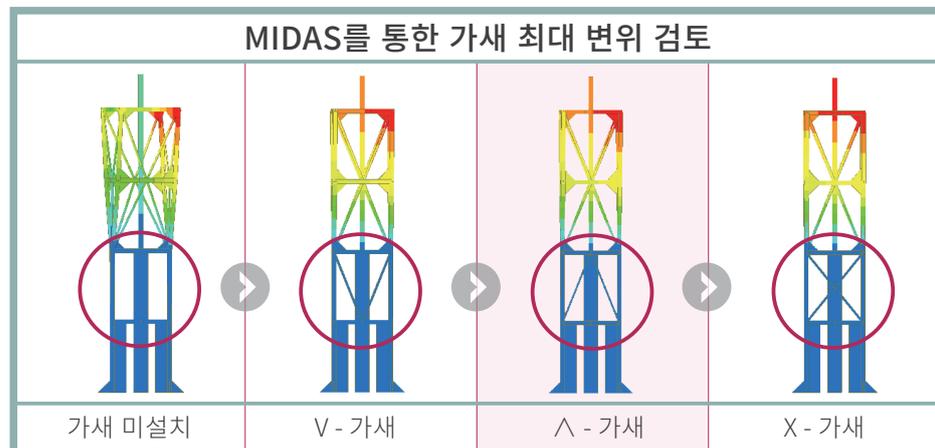
높은 강성을 요구하는 하층부에서 변위를 적절히 제어하기 위해 가새를 통해 횡력 저항력과 구조 강성을 높여 하중을 균등하게 분산시킨다.



<가새 - 변위 제어>



구조물 시뮬레이션 결과, 하층부의 변위 중 1,2층 사이에서 최대로 발생하며, 변위 제어를 위해 가새 선정

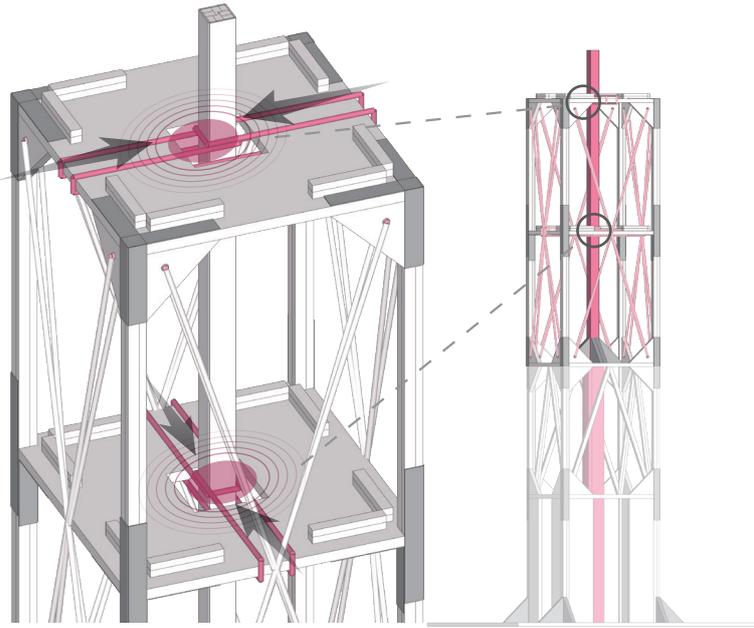


“본 구조물에서는 변위가 제일 작은 것은 X-가새 이지만, ㄱ-가새와 차이가 미비하고 경제성 및 시공성을 고려했을때, 최종적인 가새를 ㄱ-가새로 결정함”

<상층부 목표: 진동 상쇄>

[천공 플레이트 + 스트링] (댐핑 효과)

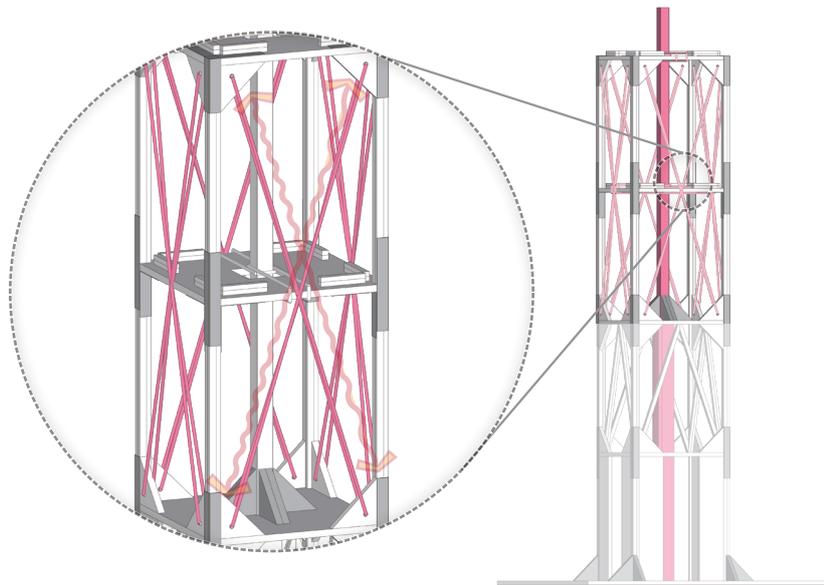
플레이트를 천공하고 강성이 큰 코어에 스트링으로 연결하여 연성 거동하는 상층부의 수평 방향의 진동을 기초로 전달하여 진동을 효과적으로 제어하였다.



[단일 유닛화 + X 댐퍼]

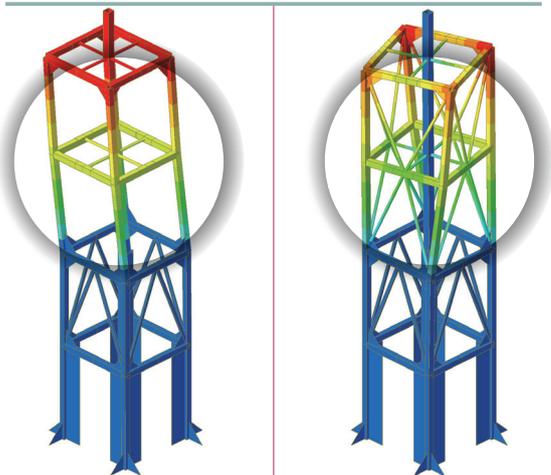
X 댐퍼가 두 층에 동시에 작용되도록 설계하였다. 이는 층간 과도한 변형을 제어하고 구조의 일체성을 유지 및 개별 층의 움직임을 줄여 전체 구조의 안정성을 향상하였다.

X 댐퍼는 스트링의 탄성을 이용하여 진동을 흡수하고 구조물의 안전성을 극대화하도록 설계하였다.



<X 댐퍼 - 주기 제어>

MIDAS를 통한 안정성 평가

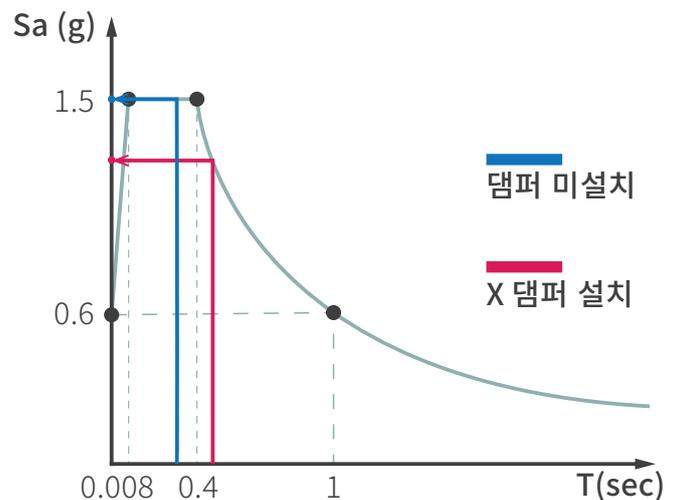


댐퍼 미설치

X 댐퍼 설치

건물 주기 : 0.2205 s

건물 주기 : 0.4346 s

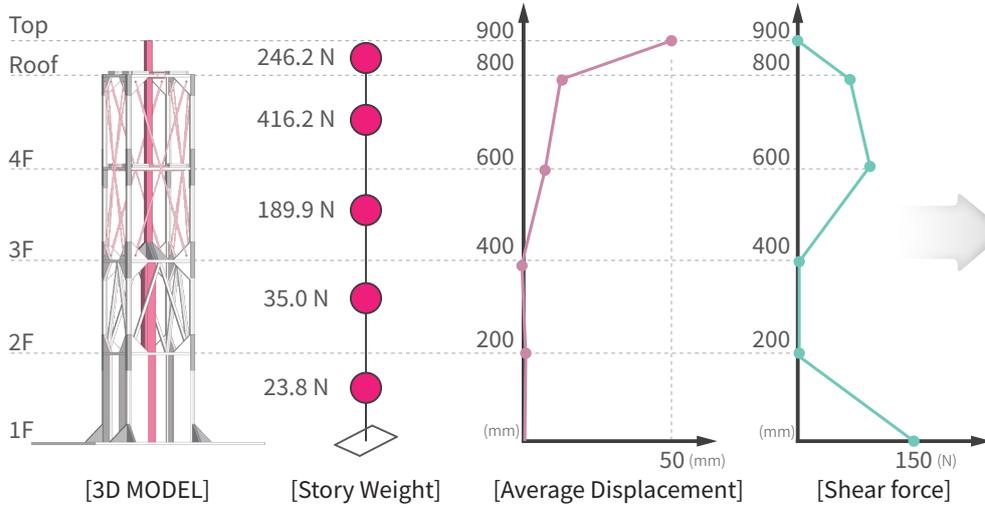


분석 결과

댐퍼 미설치 구조물의 경우 건물 주기가 0.2205s로 설계 응답 스펙트럼 가속도 최대치 구간인 0.08~0.4s에 포함되었고, X 댐퍼를 설치했을 경우 피해가는 것을 확인하였다.

<대상건물 진동제어 해석 : 하층은 강성을 통한 내진, 상층은 연성을 통한 제진>

붕괴 메커니즘 설계 시 0.7g의 가진 상태에서의 파괴를 연성부의 취약점으로 유도하고자 함



[취약점 확인 과정]

1. Midas를 통한 각 층의 무게, 변위 확인
2. 0.7g 가속도에서의 각 층의 전단력 확인
3. 건물의 무게를 질점으로 치환하였을 때, 3F와 4F 사이에 위치한 질점이 0.7g라는 유효수평지반가속도(S)에 의해 가장 큰 층 전단력(Story shear force)을 발생시킴을 확인

결론

S=0.7g에서 높이 600mm의 접합부에 위치한 부재에서의 파괴를 모형실험을 통해 유도하고자 함

구조 검토 : 실험 및 분석

<1차 구조물 실험>



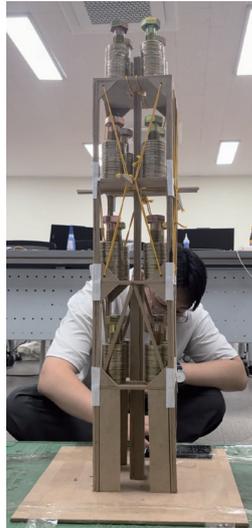
[결과]
0.7g 이상의 가진에서도 파괴 X

[문제점]
연성 거동 X

[원인]
3F, 4F사이의 삼각 보강재

<연성 거동 방해>
천공 플레이트 + 스트링의 과설계

[실험 전]



[실험 후]



[1차 → 2차 보완점]
 #1. 3F, 4F사이의 삼각 보강재 제거
 #2. 천공 플레이트 + 스트링의 스트링 수 감소

[결과]
0.6g 가진에서 접착부가 파단되며 파괴

[문제점]
0.7g 가진 전에 파단

[원인]
3F, 4F의 기둥, 슬래브 접착력 부족

<3차 구조물 실험>

[실험 전]



[실험 후]



[2차->3차 보완점]
 #1. 3F, 4F의 기둥, 슬래브 접착력 강화
 #2. 3F 중앙 코어 삼각 보강재 설치, 접합부 A4 보강

내부 코어 강성 증가

[결과]
0.7g 가진에서 파괴 (기준 만족)

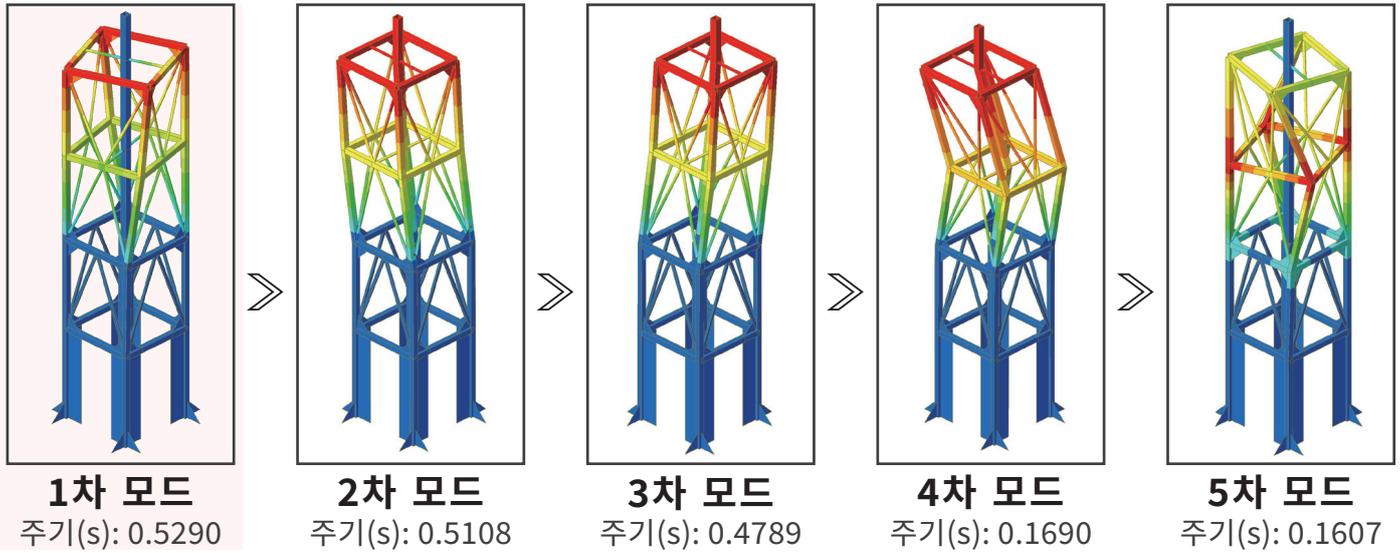
결론

상-하층부 모두 0.6g의 지진 하중을 견딜 수 있음을 확인. 목표 가속도인 0.7g 근처에서 하층부는 견디지만, 상층부에서 파단이 발생.

[0.3g 만족, 0.6g 만족, 0.7g 근처 파단 만족]

설계지진 재현주기 (년)	내진 성능 수준			붕괴방지
	기능수행	즉시복구	장기복구 인명보호	
500년	<OK>	<OK>	<OK>	
2,400년				<OK>

<최종 구조체 예상 거동> (실험을 통한 수정 및 보완)

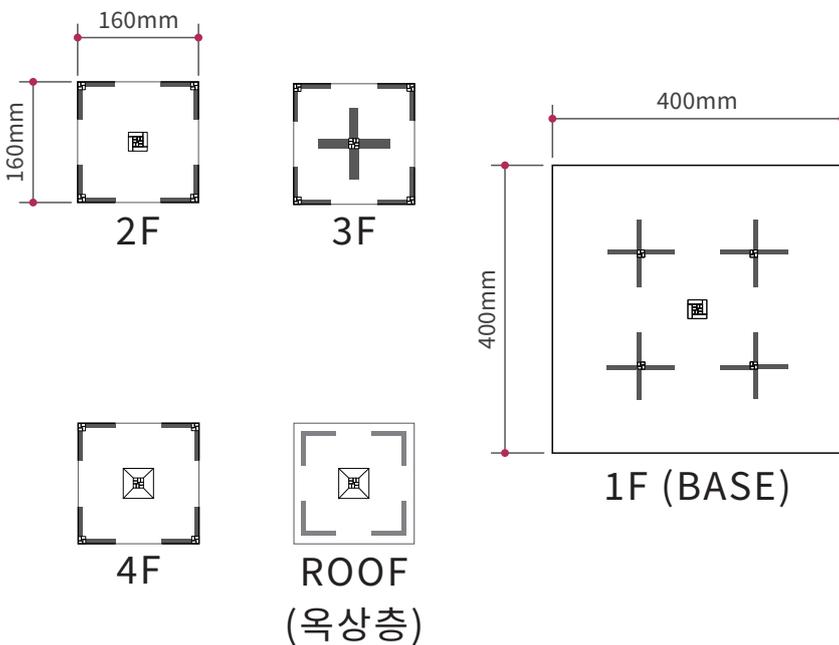


최종 구조물
결론

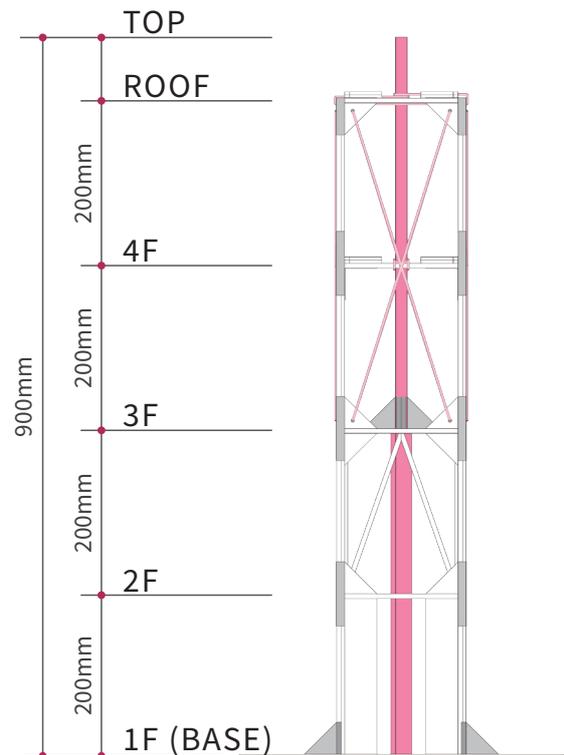
프로그램을 기반으로 설계한 최종 구조물의 질량참여율이 가장 높은 1차 모드의 주기를 확인했을 때, 설계 스펙트럼의 가속도 최대 구간(0.08~0.4s)을 피하는 것을 확인하였다. 또한, 모형실험을 통해 구조물이 내진성능 요구조건인 0.7g에서 파괴되는 것을 확인하였다.

설계 도서 (평면도 및 입면도)

#1. 평면도 SCALE = 1:10



#2. 입면도 SCALE = 1:10



<공정표>

이원호 이성중 백경은 정대영



경제성 검토 (원가 관리)

부재명	부재 규격	단위 수량	사용 개수	단가(백만원)	최저가격(백만원)
MDF Base(기초판)	400mmX400mmX6mm	1	1	-	-
MDF Strip	600mmX4mmX6mm	1	42	10	420
MDF Plate	200mmX200mmX6mm	1	6	100	600
스트링 고무줄	600mm	1	10	40	400
A4지	A4	1	2	10	20
접착제	20g	1	2	200	400

<총액>

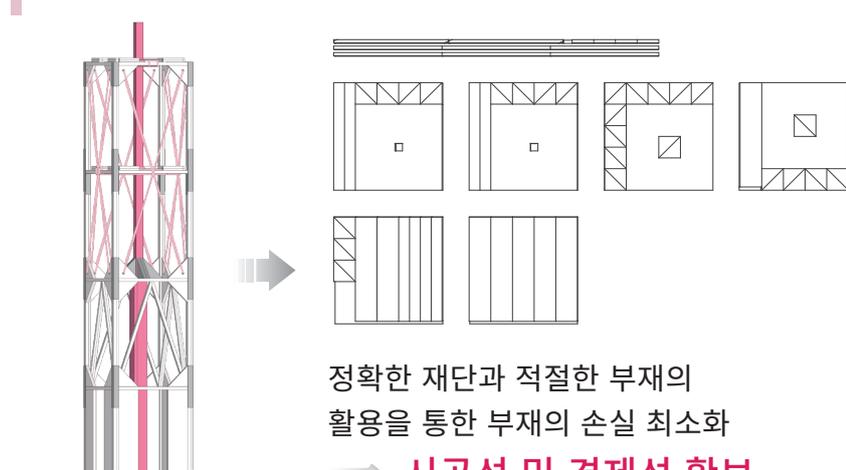
1840

단위 : 백만원

총 1,840백만원의 예산 측정,
2024년 기준 경제성 제한(2,400백만원)에
비해 560백만원 절감

부재명	부재 사용처	부재 규격	개수		
MDF Plate	슬라브	160mmX160mmX6mm	4		
	전단벽	1층 외곽	194mmX40mmX6mm	8	
		중앙 코어	1층	194mmX20mmX6mm	4
			2층	200mmX20mmX6mm	4
	삼각 보강재	40mmX40mmX6mm	48		
MDF STRIP	중앙 코어	900mmX14mmX14mm	1		
	기둥	200mmX10mmX10mm	12		
	가새	213mmX8mmX6mm	16		
	가이드 라인	40mmX8mmX6	16		
스트링 고무줄	제진	천공 스트링	600mm	2	
		X 댐퍼	600mm	8	
A4 용지	중앙 코어 보강	213mmx56mm	3		
	접합부 보강	80mmX10mm	46		
접착제	접합부	20g	2		

시공성 및 경제성 향상



정확한 재단과 적절한 부재의
활용을 통한 부재의 손실 최소화

→ 시공성 및 경제성 확보