

2025 구조물 내진설계 경진대회 설계제안서



팀명 | 김홍내진설계

지도 | 김홍진 교수님

소속 | 경북대학교 건축공학과



팀장(3)
윤동준

3D 모델링
물성치 분석
구조물 제작
실험

팀원(4)
박진형

구조해석 및 분석
경제성 분석
구조물 제작
실험

팀원(3)
서영호

PPT 작성
시공성 분석
구조물 제작
실험

팀원(4)
이채현

CAD 도면 작성
MIDAS 모델링
구조물 제작
실험

CONTENTS

01 INTRO

대회 규정 분석
내진 설계 개념
지진파 분석

02 MAIN

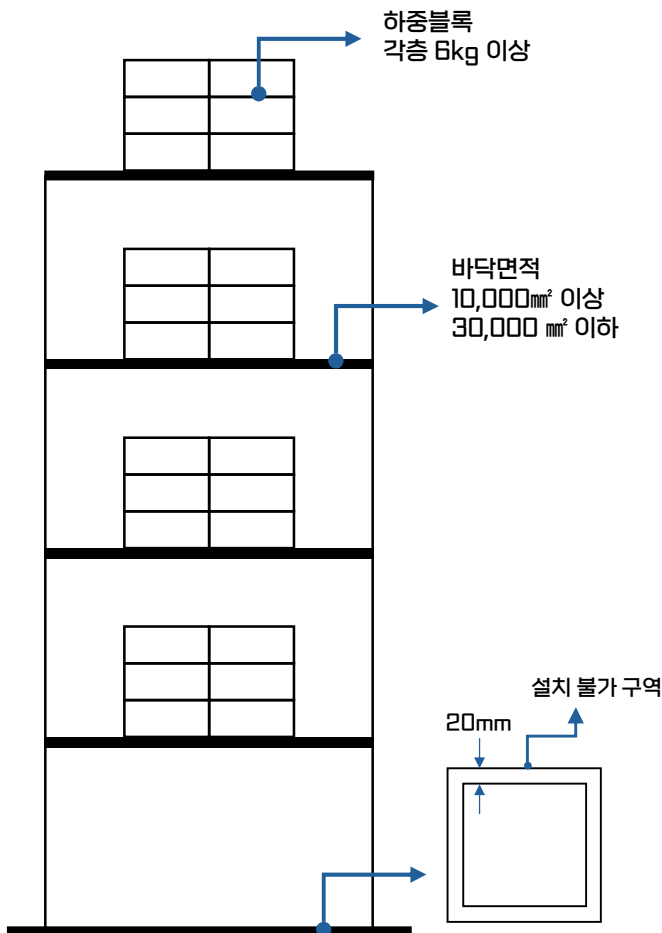
물성치 분석
마이더스 해석
아이디어 구상
1차 실험 분석
최종 실험 분석

03 CONCLUSION

최종 디자인
평면도 및 입면도
경제성 측정 및 적산
공정표 작성

대회 규정 분석

제작 규정



층고 200mm 이상

전체 800mm 이상 900mm 이하

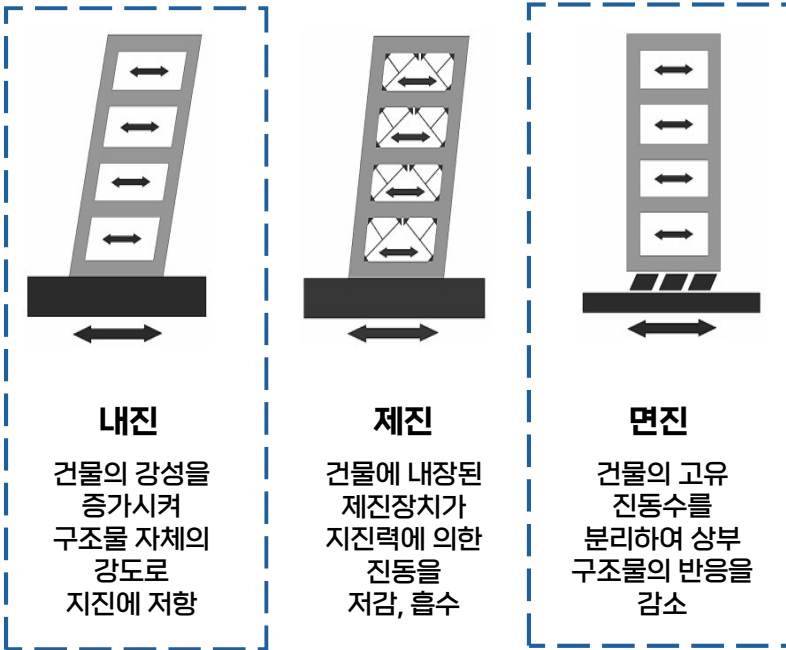
설계 목표

- 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
- 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
- 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- 2400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
- 설계지진 초과 시 구조물의 붕괴 매커니즘을 고려한 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 심미성과 창의성을 추구하는 설계
- 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

재료 및 예산

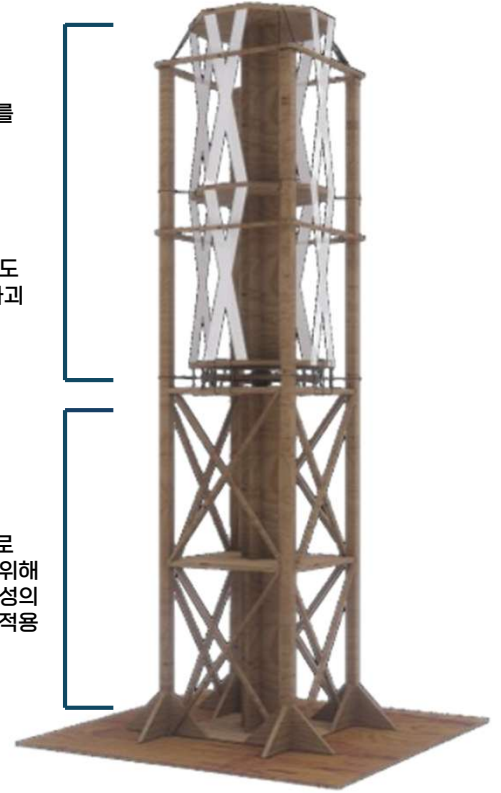
재료명	규격(mm)	단가 (백만원)	비고
MDF Base (기초판)	400x400x6	-	기본 제공
MDF Strip	600x4x6	10	
MDF Plate	200x200x6	100	
스트링 고무줄 (Φ 2~3mm)	600	40	
A4지	A4	10	
접착제	20g	200	록타이트 401

내진 & 제진 & 면진



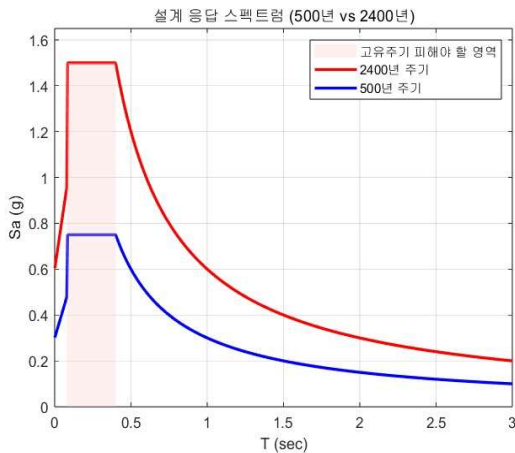
면진장치를 활용하여 상층부로 갈수록 증가하는 지진 감쇠 일정 가속도 도달 시 파괴 유도

상부층의 거동을 안정적으로 지지하기 위해 충분한 강성의 내진설계 적용



내진구조와 면진구조를 통해
구조물의 강성 증가 + 구조물의 지진 에너지 분산
0.7g에서 파단 유도하는 효율적인 내진설계 유도




지진파 분석



0.08 ~ 0.4 sec에서 설계 스펙트럼 가속도 최대

지반 응답 증폭 계수		위험도계수	
F_a	1.5	500년	1
F_v	1.5	2400년	2
유효 수평 지반 가속도(S)		지진구역계수(S_{DS})	
500	0.3g	500	0.3g
2400	0.6g	2400	0.3g
단주기 설계 스펙트럼 가속도(S_{DS})		1초 주기 설계 스펙트럼 가속도(S_{D1})	
500	0.75g	500	0.3g
2400	1.5g	2400	0.6g
구조물 고유주기 (500년&2400년)			
$T_0=0.2 S_{D1} / S_{DS}$		0.08 sec	
$T_s= S_{D1} / S_{DS}$		0.4 sec	

물성치 분석

구분	12mm x 12mm	10mm x 10mm	8mm x 12mm
단면도			
단면2차모멘트 (mm ⁴)	$I_x I_y = 832$	$I_x I_y = 832$	$I_x = 1152$ $I_y = 512$

여러 단면의 단면2차모멘트를 계산하여 구조적 성능을 비교한 결과, 첫 번째와 두 번째 단면(12x12mm, 10x10mm)은 동일한 값인 832mm⁴로 유사한 강성을 가지는 것으로 확인됨. 이에 따라 구조적 안전성은 유지하면서도 제작의 용이성과 자재 활용 측면에서 유리한 2번째 단면(10x10mm)을 최종적으로 채택함.

전단강도 실험

접합부 종류	일반기둥	기둥+톱밥	기둥+거сет플레이트
실험과정			
전단력[F]	52.92N	131.32N	199.92N
면적[A]	96mm ²		
전단응력[v=F/A]	0.551N/mm ²	1.388N/mm ²	1.873N/mm ²

1층 기둥부에 일반기둥, 기둥+톱밥, 기둥+거сет 플레이트의 세 가지 접합 방식에 대해 전단강도 실험을 수행한 결과, 기둥+거сет 플레이트 방식이 가장 높은 전단응력(1.873 N/mm²)을 나타내며 우수한 저항 성능을 보임. 이에 따라 해당 모델을 최종 접합방식으로 선정함.

기둥+거сет 플레이트 채택

마찰계수 실험

실험조건	측정된 마찰력 [kgf]	측정된 힘[N]	수직항력 [N]	마찰계수
록타이트판+판	0.125	0.125x9.8=1.225	9.8	0.125
종이불인판 + 판	0.95	0.95x9.8=9.31		0.95
볼베어링 판	0.02	0.02x9.8=0.196		0.02

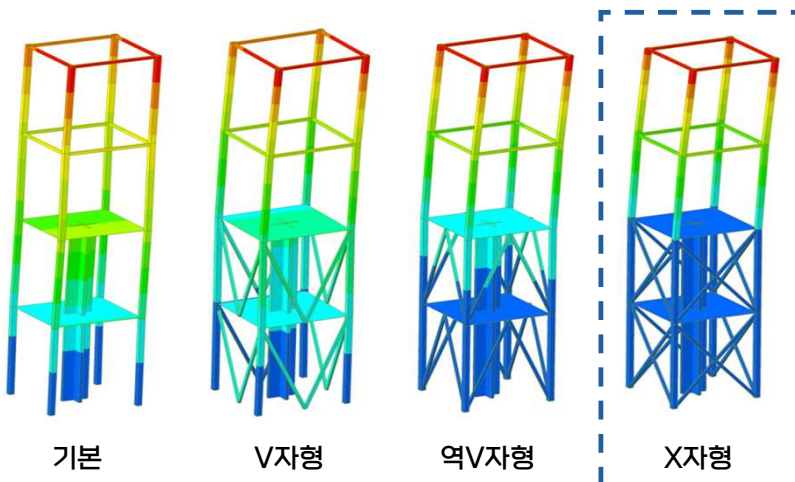


판 + 록타이트판 종이불인판+판 볼베어링판

록타이트판, 종이불인판, 볼베어링판 세 가지의 마찰계수를 비교하여 가장 마찰계수가 낮은 볼베어링 판을 선정하여 면진구조의 거동을 자유롭게 만들고 동시에 면진성능을 높임.

$$\mu = \frac{F_{\text{마찰}}}{N}$$

마이다스 해석



Midas를 이용한 가새 분석 및 결정

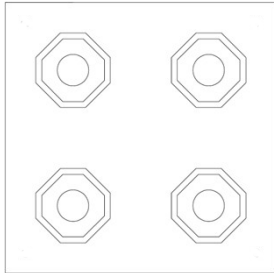
기본 < V자형 < 역V자형 < X자형

변위가 가장 작게 나타난 X자형 가새를 하층부에 적용하여 강성 확보

아이디어 구상

지진이나 외력에 의한 상하판의 상대 변위에 유연하게 대응하고, 회전과 이동이 가능한 구조로 에너지 분산 및 이탈 방지를 동시에 구현함. 단순한 구조로도 내구성, 유지보수 용이성, 실험 반복성에서 유리한 장점을 가져 볼베어링을 선택함.

초기 아이디어



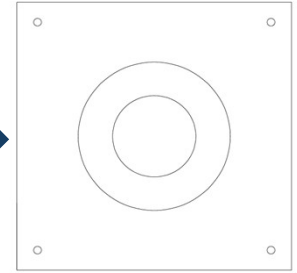
- 볼베어링을 4개로 제작하여 각각 부착
- 볼케이스도 평면에 부착

적용 결과



- 볼베어링의 효과는 나왔으나 볼케이스의 강성 부족
- 동일 크기의 볼베어링 제작의 한계를 느낌

개선 방안

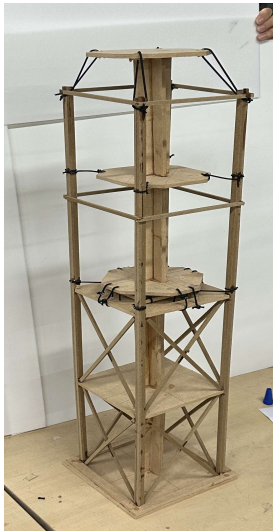


- 볼케이스의 강성을 높일 방안 고안
- 볼베어링의 개수를 1개로 축소

※ 학교측의 도움을 받아 1방향지진파진동대 이용해 실험

실험 과정 및 분석

#1차 실험



제작 방안

- 1) 면진구조물 단면을 팔각형으로 하여 하중 분산 효과 유도함
- 2) 메가칼럼과 내부구조물을 고무줄로 연결하여 치우침 방지
- 3) 고무줄 장력으로 볼케이스를 공중에 띄워 바닥판과의 마찰 방지

실험 결과

- 0.4g에서 구조물 붕괴
- ▷ 3층 중앙 메가코어 상부와 바닥 판 사이가 분리되어 파단



문제점 분석

- 1) 3층 중앙 메가코어 상부와 바닥판 사이의 접합부에서 접착력이 부족하여 3,4층 분리 거동 현상이 발생됨
- 2) 종이로 만든 볼베어링의 강성 부족으로 압축되어 볼베어링의 효과를 제대로 발휘하지 못함
- 3) 150 x 150mm의 면진구조물 단면 크기 협소로 추 넣을 공간이 부족하여 추 이탈이 우려됨

※ 학교측의 도움을 받아 1방향지진파진동대 이용해 실험

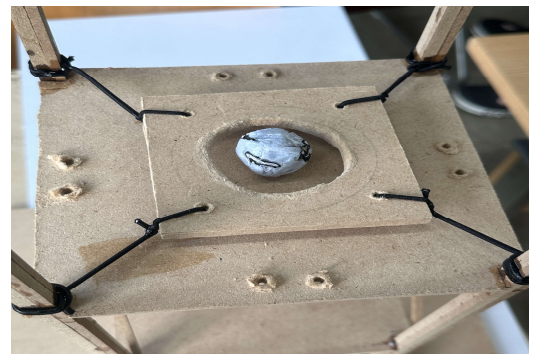
실험 과정 및 분석

#최종 실험



개선 사항

- 1) 부재 제작 시 생기는 틈밥을 사용하여 접착력 증진 및 기둥-슬래브 간 수평맞춤
- 2) 종이로 만든 X자 가새를 추가하여 면진구조물의 비틀림 현상 및 강도 증대
- 3) 볼베어링 제작 시 종이와 스트링 고무줄, 톱밥을 혼합하여 볼베어링의 강성 증대
- 4) 슬래브 제작 시 남은 부재로 거셋 플레이트를 제작하여 메가칼럼의 강성 증대
- 5) 면진구조물 단면을 160X160mm로 변경하여 추 배치 공간 확보

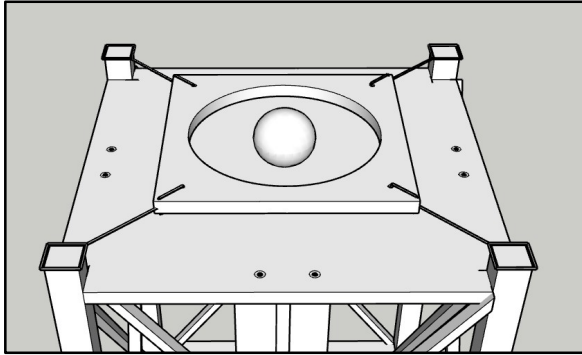


실험 결과

- 0.72g에서 구조물 붕괴
- ▷ 좌굴에 의한 메가칼럼 파단
- ▷ 0.6g까지는 구조부재의 손상이 발생하지 않아 지진 피해 최소화
- ▷ 볼베어링의 강성이 강해지면서 면진층의 거동이 효과적으로 확보됨
- 이상적인 설계안으로 판단

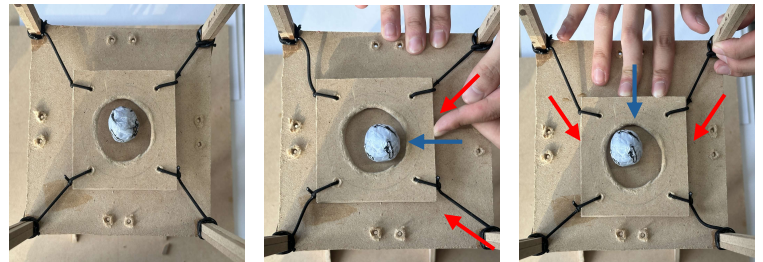
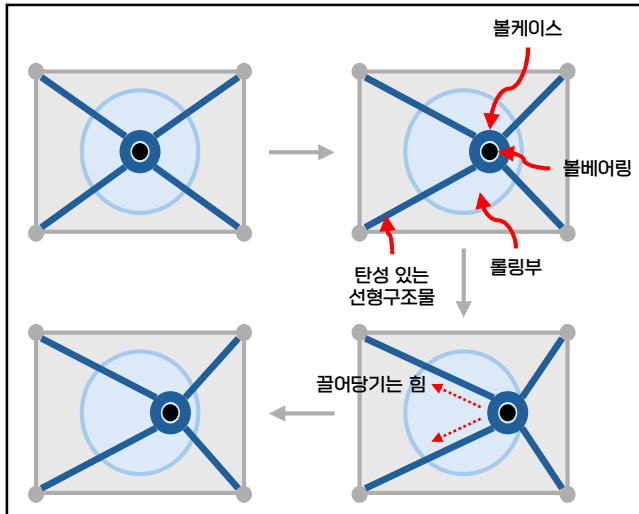
최종 디자인 - 면진구조

전체 형상



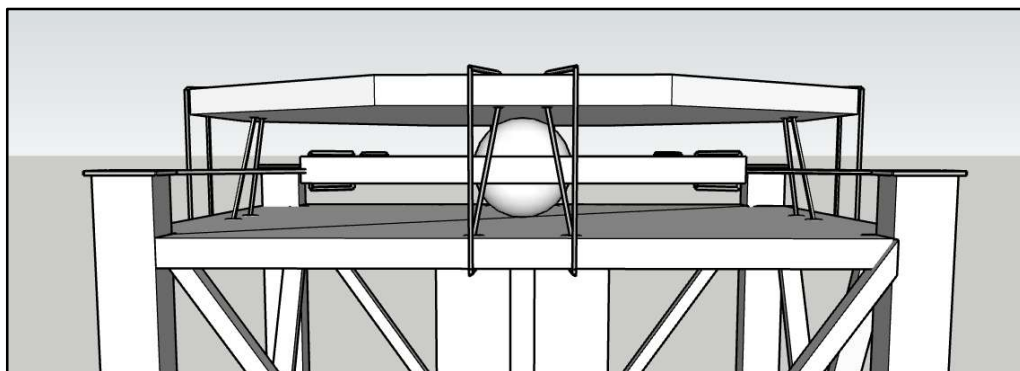
지진이나 작동 중 과도한 변위로 상·하판 사이에 과도한 간격이 발생할 경우 볼이 이탈되는 현상을 방지하여 면진 기능을 지속적으로 수행할 수 있도록 이탈 방지 구조물을 갖춘 볼베어링형 면진장치

작동 원리



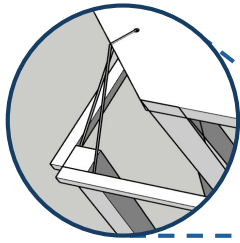
- 볼베어링을 중심으로 감싸주는 볼케이스 형성
- 볼케이스를 각형으로 형성하여 4곳에 줄 연결
- 볼베어링을 당겨 중앙으로 돌아갈 수 있도록 탄성 있는 줄 사용

구조 효과



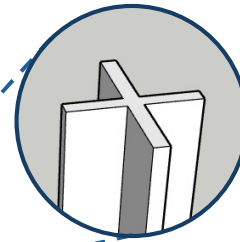
- 상판과 하판의 지나친 간격의 벌어짐으로 순간적으로 볼베어링에는 아무런 하중이 걸리지 않으면서 탄성이 있는 선형구조물에 의해 반대 방향으로 볼베어링이 끌려오게 되므로 볼베어링이 면진구동부 밖으로 나가지 않게 됨
- 또한, 볼 이탈방지 구조물은 단순한 볼 이탈방지 기능 외에도 탄성이 있는 선형구조물의 탄성을 크게 하는 경우에 볼베어링 롤링 시의 변위폭을 적게 소모하는 역할을 할 수 있음
- 즉, 볼베어링의 이동에 대한 저항 역할을 함으로써 지진 세기 대비 소모되는 볼베어링의 이동폭을 줄이는 효과를 가져와 장주기 지진에 대한 대응 유리

최종 디자인



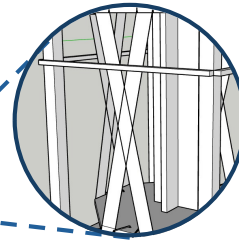
고무줄

- 일체기둥과 연결하여 횡력과 반대되는 고무줄의 장력 유도
- 내부의 면진구조물이 중심에 위치하도록 하여 편심을 줄이고 구조 안정성 높임



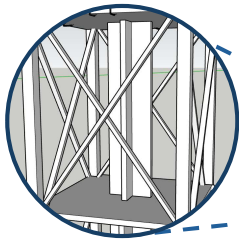
MEGA CORE

- 슬래브 제작에 사용하고 남은 MDF판 이용
- 십자 단면으로 경제성 및 시공성 확보
- 하부층 강성 확보와 변형의 최소화



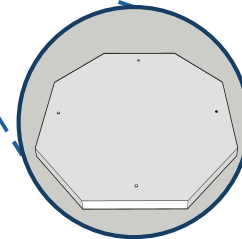
종이 가새

- 내부 구조물의 비틀림 방지
- MDF 대신 종이 사용하여 시공성 및 경제성 확보



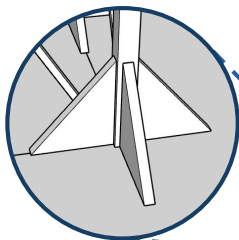
X자 가새

- 변위가 가장 작은 x형 가새를 면진 장치 밑까지 적용 구조물의 강성 증대



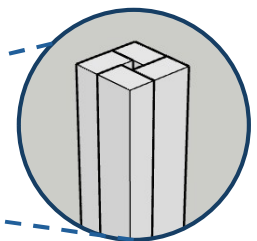
팔각형 평면

- 원형과 유사할수록 하중의 분산 효과 상승
- 시공성 고려하여 재단이 쉬운 팔각형 사용



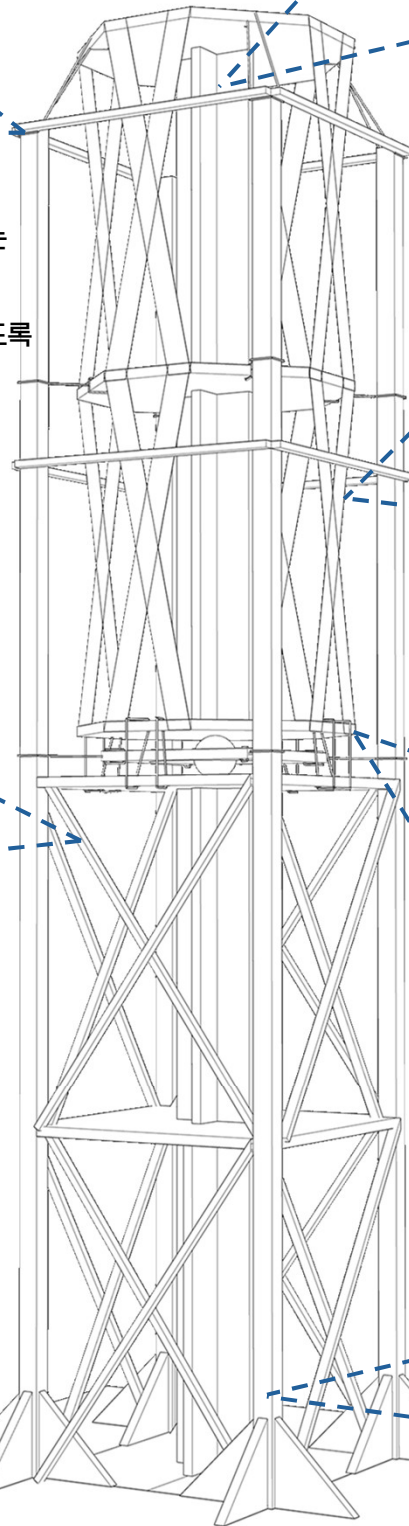
거셋 플레이트

- 슬래브 제작에 사용하고 남은 MDF판을 이용하여 시공
- 응력 집중 완화
- 국부 파괴 방지
- 기둥 접합부 좌굴저항성 확보

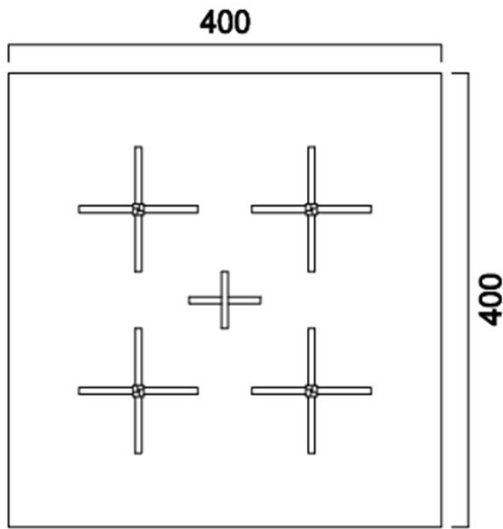


MEGA COLUMN

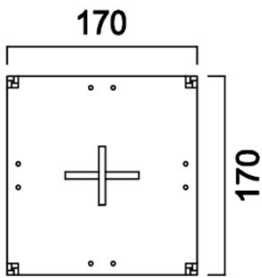
- 총길이 800mm에 이르는 일체형 기둥
- 각 막대의 이음부를 다르게 배치하여 응력 분산 유도 및 연결부 약점 최소화



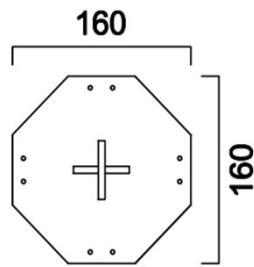
입면도 및 평면도



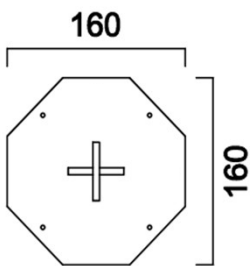
기초판



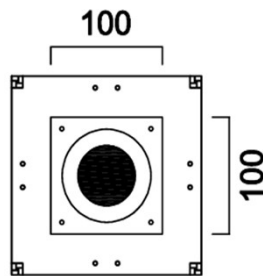
2층



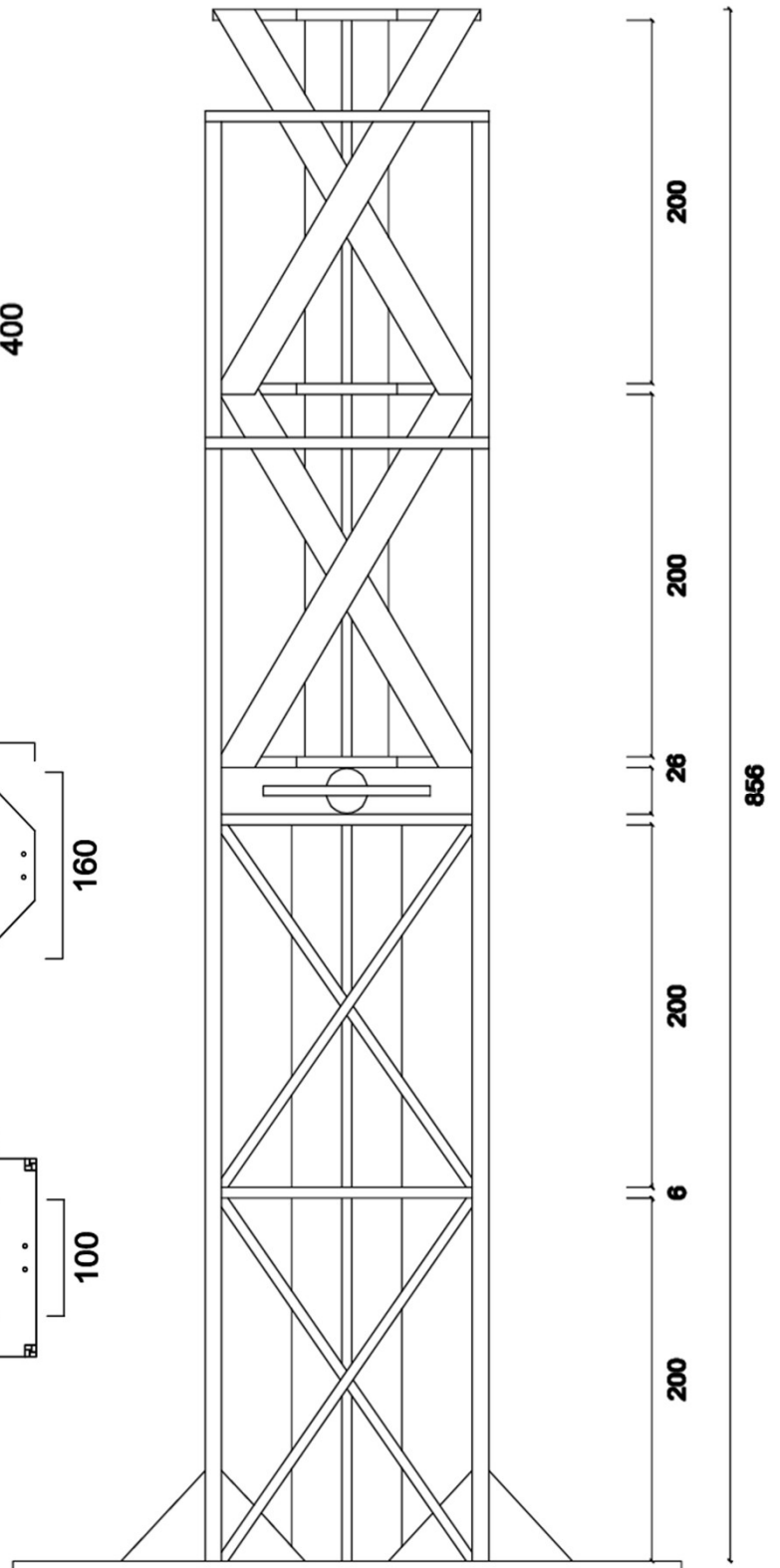
3층



4층



면진층



경제성 측정 및 적산

부재명	부재규격	단가[백만원]	부재개수[개]	합계[백만원]
MDF Base(기초판)	400mm x 400mm x 6mm	0(기본제공)	1	0
MDF Strip	600mm×4mm×6mm	10	40	400
MDF Plate	200mm×200mm×6mm	100	7	700
스트링 고무줄 (φ2~3mm)	600mm	40	7	280
A4지	A4	10	2	20
접착제	20g	200	2	400
총합금액				1800

	부재명	부재면적(mm)	부재개수
MDF strip	외곽기둥	800x10x10	24
	1,2층 X자 가새	260x4x6	8
	4층 및 옥상 층 1자 가새	170x6x4	남는자투리활용
MDF plate	1,2층 슬래브	170x170x6	2
	3,4층 슬래브 및 천장	160x160x6	2
	볼베어링 구조물	100x100x6	1
	1층 메가칼럼	200x50x6, 200x30x6(2개)	2
	2,3,4층 메가칼럼	200x50x6, 200x20x6(2개)	
스트링 고무줄	스트링 고무줄	600	7
A4	A4		2

공정표 작성

구분		소요시간								
		1시간			2시간			3시간		
		20분	40분	60분	20분	40분	60분	20분	40분	60분
제작	외곽기둥 및 가새 제작	■								
	슬래브재단 및 제작	■								
	볼베어링 제작		■							
	메가칼럼 제작		■							
조립	슬래브 및 외곽기둥 조립			■						
	메가칼럼 및 슬래브 조립			■						
	가새 조립				■					
	스트링 고무줄 연결				■					
마감	하중 설치						■			
	마무리 보강							■		
총 공정 시간								2시간 20분		