



2025 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2025

한국교통대학교 건축공학과 설계 제안서

팀 명 단 단 목 직

팀 원 정 성 훈

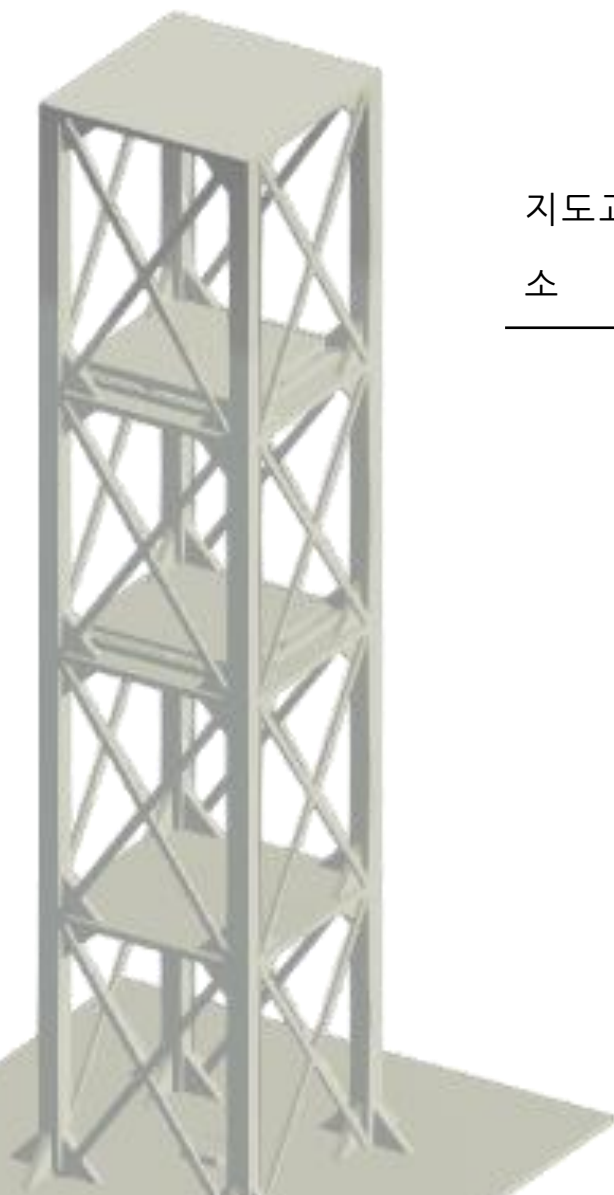
정 원 철

천 우 진

김 연 우

지도교수 손 동 희 교수님

소 속 한국교통대학교 건축공학과



팀 구성

손 동 희 교수님

자문 및 지도교수

정 성 훈 팀장

MIDAS 분석

물성치 분석

구조해석

구조물 제작 및 실험

정 원 철

설계 전략 구상

시공 원가관리

물성치 분석

구조물 제작 및 실험

천 우 진

진동대 실험 총괄

3D 모델링

CAD 설계도면 작성

구조물 제작 및 실험

김 연 우

설계제안서 작성

지진파 분석

시공 공정관리

구조물 제작 및 실험

목 차

01 성능목표 설정

1.1 대회 주제

1.2 대회 규정 및 심사 기준 분석

1.3 지진파 분석

02 구조 시스템 설정

2.1 설계 전략 선정

03 재료 물성치

3.1 기둥 단면 설정

3.2 MDF strip 4*6 탄성계수

3.3 MDF 기둥 (16*16) 탄성계수

3.4 스트링 고무줄 탄성계수

3.5 접착제 접착응력

04 진동대 실험 및 분석

4.1 실험 목적 및 방법

4.2 파괴 시, 층 별 변위 비교

05 MIDAS 구조해석 기반 실험결과 검증

5.1 최대 변위 및 모멘트

5.2 고유주기 산정

06 최종모델

6.1 입면도/ 평면도

6.2 최종 모델 설계 전략의 기대효과

07 원가 및 시공성 검토

7.1 경제성 분석_ 원가관리 내역서

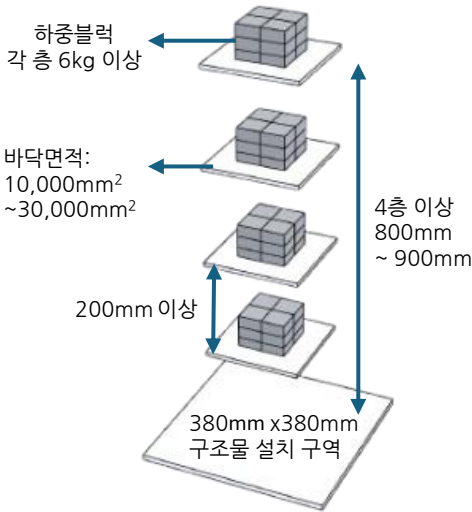
7.2 시공성 분석_ 공정표

01 성능목표 설정

1.1 대회 주제 구조물 붕괴 방지를 위한 내진 설계

1.2 대회 규정 및 심사 기준 분석

▶ 구조물 규정



▶ 심사 기준 분석

- 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
- 설계지진 초과 시 구조물의 붕괴 메커니즘을 고려한 파괴를 유도하는 정밀한 설계 → **0.7g 파단 목표**
- 시공성과 경제성, 심미성과 창의성을 추구하는 설계
- 구조해석 능력 외 도면화 수량산출 및 내역작성 기술

▶ 성능 목표

재현주기	성능목표
500년	기능수행, 즉시복구, 장기복구, 인명보호 수준 만족
2400년	붕괴방지 수준 만족

1.3 지진파 분석

▶ 유효수평지반 가속도(S) 및 지반응답 증폭계수

재현주기	500년	2400년
유효수평지반 가속도(S)	0.3g	0.6g
위험도 계수(I)	1	2
지진구역 계수(Z)	0.3g	0.3g
단주기 지반응답증폭계수(F _a)		1.5
1초 주기 지반응답증폭계수(F _v)		1.5

▶ 설계 응답 스펙트럼

설계 스펙트럼 가속도	500년	2400년
단주기 설계 스펙트럼 가속도(S _{D1})	0.75g	1.5g
1초주기 설계 스펙트럼 가속도(S _{DS})	0.3g	0.6g

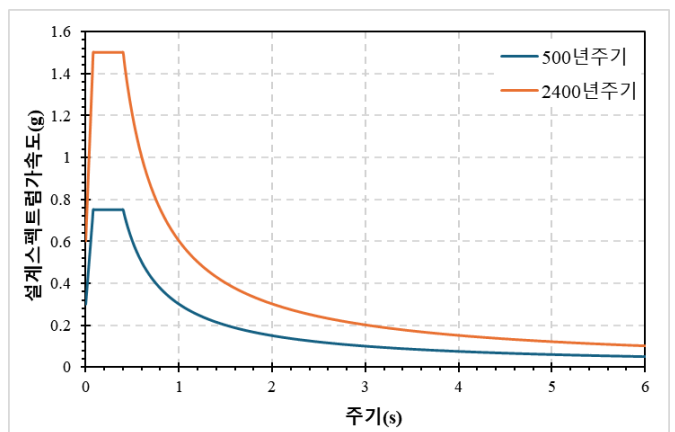
$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times \frac{2}{3} \quad S_{D1} = S \times F_v \times \frac{2}{3}$$

▶ 구조물의 고유주기

구조물의 고유주기(500년, 2400년)	
$T_0 = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	0.08sec
$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	0.4sec

T₀: 응답스펙트럼의 급경사 구간의 시작 주기
T_s: 평탄한 응답구간의 끝 주기

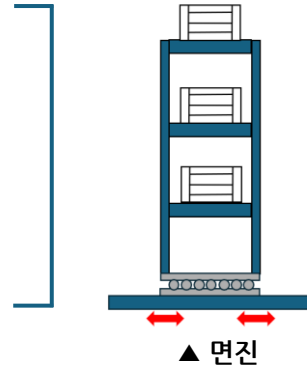
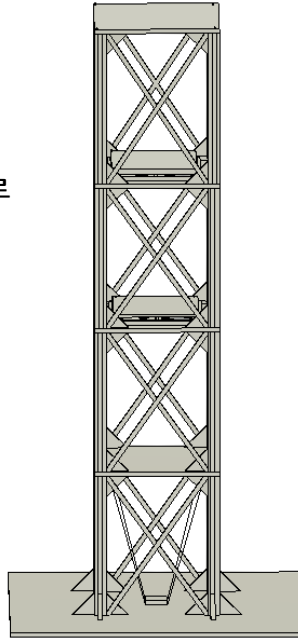
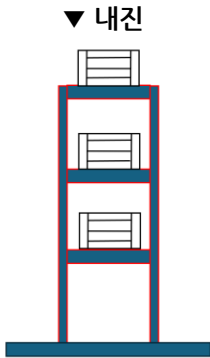
- ▷ 부재(기둥) 의 단면크기 증가-단면크기 증가에 따른 질량의 증가로 구조물의 고유주기를 조절
- ▷ 구조물의 고유주기와 500년 주기와 2400년 주기의 일치로 인해 발생하는 공진효과를 면진장치와 프리텐션 장치로 제어



02 구조 시스템 설정

2.1 설계 전략 선정

내진구조 계획: 지진력을 구조물의 내력으로 감당함.
 하부층에 내진 적용
 → 내진 시스템 적용으로 높은 강성으로 지진력에 파괴되지 않도록 함.



면진구조 계획: 구조물의 상하부를 분리하여 전도 위험성을 낮추고 에너지를 소산함.
 상부층에 면진장치 설치
 → 상부층 작용 관성력 최소화 및 하부층과 상부층의 구조물 분리 거동 유도

03 재료 물성치

3.1 기둥 단면 설정

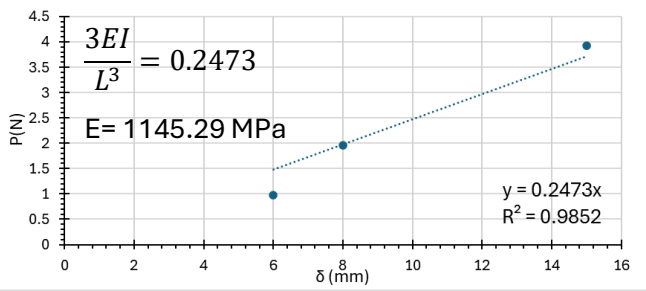
	case1	case2	case3
단면			
단면2차모멘트	$I = \frac{8 \times 12^3}{12} = 1,152mm^4$	$I = \frac{10 \times 10^3}{12} - \frac{2 \times 2^3}{12} = 832mm^4$	$I = \frac{16 \times 16^3}{12} - \frac{8 \times 8^3}{12} = 5,120mm^4$
단가	13.33(백만원)	13.33(백만원)	26.66(백만원)
접착면적	96mm ²	96mm ²	192mm ²

- ▷ case2 기둥 대비 case 3 기둥은 단가와 접착면적은 2배, 단면2차모멘트 성능은 약 6.15배
- ▷ 2way 진동을 고려해 x,y축 강성이 동일한 정사각형 모양 기둥 선택
- ▷ 시공성과 경제성을 고려하여 case2 선택 → test1, test2에 적용
- ▷ 기둥 안 쪽에 고무줄의 프리텐션 적용 및 슬래브-기둥 접착면적 증가를 위해 case3 선택 → test3, test4에 적용

3.2 MDF strip 4*6 탄성계수

$$\triangleright E = \frac{PL^3}{3\delta I} \text{ (캔틸레버 보 변위 식)}$$

P(g)	100/200/400
L(mm)	100
I(mm ⁴)	72
E(MPa)	1145.278

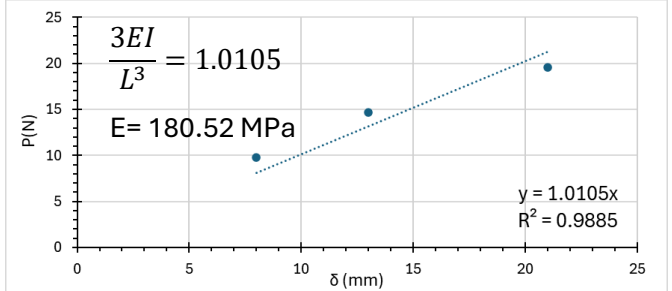


- ▷ 하중 증가에 따른 처짐 거동을 총 3회 시험으로 계측
- ▷ P-δ 그래프에서 선형 회귀 분석을 통해 탄성계수 도출.

3.3 MDF 기둥 (16*16) 탄성계수

$$\triangleright E = \frac{PL^3}{3\delta I} \text{ (캔틸레버 보 변위 식)}$$

P(kg)	1/ 1.5/ 2
L(mm)	140
I(mm ⁴)	5120
E(MPa)	180.5216

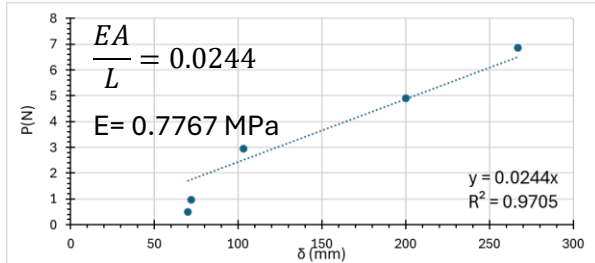


- ▷ 하중 증가에 따른 처짐 거동을 총 3회 시험으로 계측
- ▷ P-δ 그래프에서 선형 회귀 분석을 통해 탄성계수 도출.

3.4 스트링 고무줄 탄성계수

$$\triangleright E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{PL}{A\Delta L} \text{ (후크의 법칙)}$$

P(g)	50/100/300/500/700
L(mm)	100
A(mm ²)	3.14159
E(MPa)	0.776676



- ▷ 하중 증가에 따른 처짐 거동을 총 5회 시험으로 계측.
- ▷ P-δ 그래프에서 선형 회귀 분석을 통해 탄성계수 도출.

3.5 접착제 인장강도

$$\triangleright \sigma = \frac{M}{I} y$$

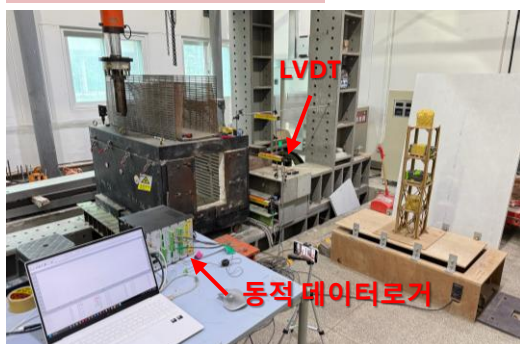
	1차	2차
P(g)	1,300	1,400
L(mm)	80	80
y(mm)	8	8
I(mm ⁴)	5,120	5,120
σ(MPa)	1.5925	1.715
σ(MPa)	1.65375	



- ▷ 총 2번의 시험 시행 후, 기둥이 떨어지는 순간의 하중을 측정.
- ▷ 접착제의 접착응력은 두 값의 평균값으로 함.
- ▷ 접착제의 인장저항능력이 한계상태일 것으로 예상됨에 따라 해석결과 기반 구조물 **성능목표 예측**

04 진동대 실험 및 분석

4.1 실험 목적 및 방법



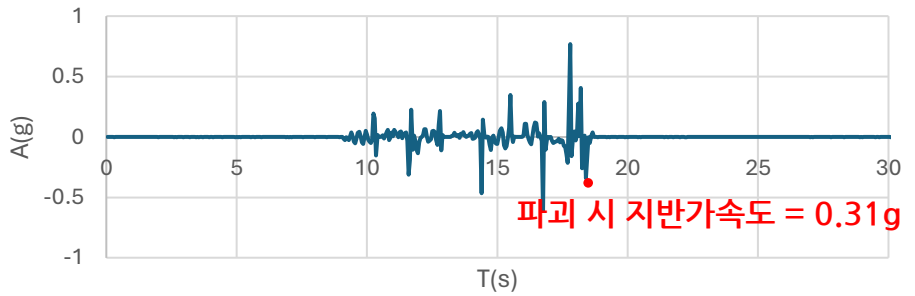
- ▷ 진동대에 LVDT 설치 및 **측정변위를 수치미분하여 지반가속도 계측**
- ▷ 진동대로 0.1g씩 증가시키며 가짐.
- ▷ 각 층에 LVDT를 연결하여 동적 데이터 측정 장치로 실시간 변위 측정
- ▷ 측정된 변위를 활용해 가속도 계산
- ▷ 파괴 시점의 가속도 기반 해석 값과 실험 변위를 비교하여 검증 수행





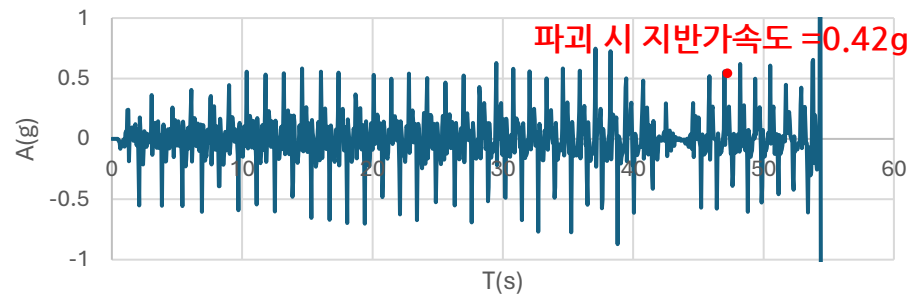
▶ 1차: 무보강(내진)

▷ 파괴원인 : 2층의 거сет 플레이트와 기둥의 접착력 부족으로 2층 기둥 탈락 후, 2층 기둥 중 하나에서 기둥 부러짐.



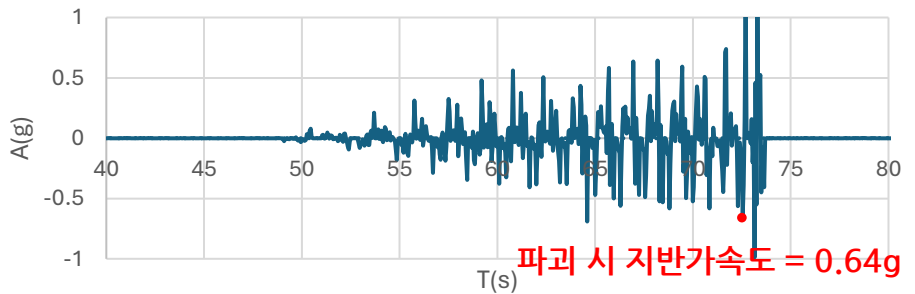
▶ 2차: 1차 + 가새, 3F 4F 면진장치, 프리텐션 고무줄 삽입

▷ 파괴원인 : 1층 기둥의 접착력 부족으로 슬래브와 기둥 분리. 기둥 사이의 고무줄이 접착제로 인해 프리텐션 거동 작용X



▶ 3차: 2차 + Case3 기둥(16*16)

▷ 파괴원인 : 기둥과 기초판이 분리되며 하중을 버티지 못함.

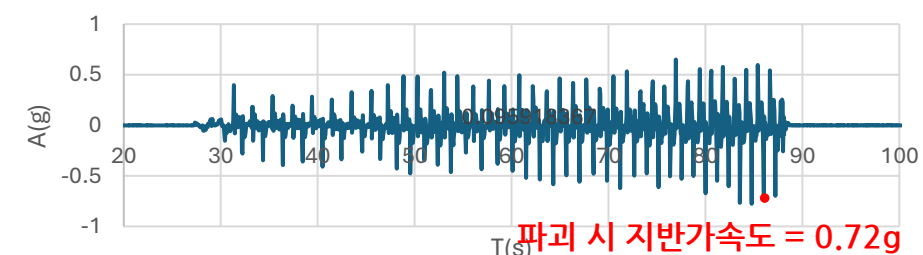


▶ 보강 대책 : 하부 프리텐션+경제성 확보를 위한 면진층 가새 제거



▶ 4차: 3차 + 1F 2F 보강(거сет플레이트, 프리텐션), 3F 4F 가새 제거

▷ 파괴원인 : 상부층 가새 제거로 인해 횡변위를 저항하지 못해 파괴.

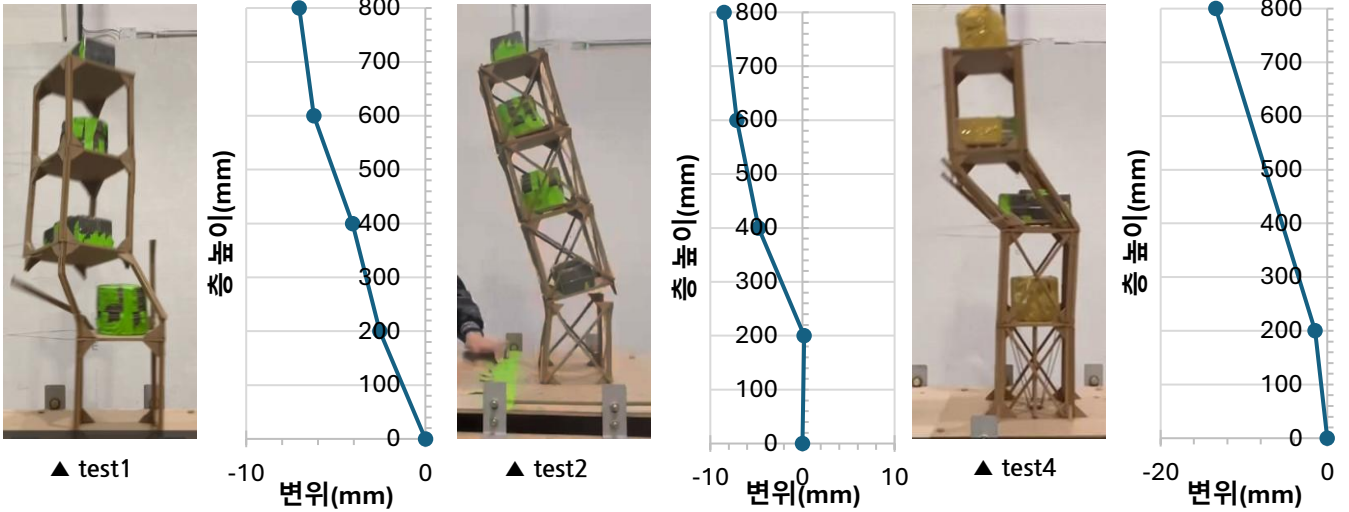


▶ 보강 대책 : 실험은 1방향 진동 기준이나, 2방향 진동 시 가진에 따라 비보강 골조에 집중되는 모멘트 방지를 위한 상부층 추가 가새 설치

04 진동대 실험 및 분석

4.2 파괴 시, 층별 변위 비교

▷ LVDT로 층별 변위를 계측하여 파괴 시점의 가속도 해석 결과와 실제 변위를 비교 분석



05 MIDAS 구조해석 기반 실험결과 검증

구조해석 목표 : 내진구조시스템의 효과 및 기둥에 발생 모멘트, 기둥-슬래브 접합부에 발생하는 응력을 실험결과와 비교하여 지진하중 및 중력하중에 대한 안전성 확보

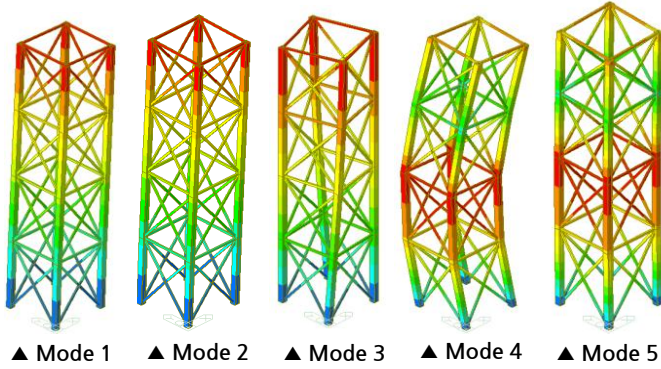
5.1 최대 변위 및 모멘트

수직하중 + 2400년 재현주기의 하중조합에서 최대변위 및 모멘트

A (기둥 10x10)		B (A + 전체층 X자 가새)		C (B + 기둥 단면 증가 16x16)	
최대 변위	최대 모멘트	최대 변위	최대 모멘트	최대 변위	최대 모멘트
370.615 mm	3987.5 Nmm	17.5456 mm	257.2 Nmm	9.6072 mm	950.6 Nmm
휨 응력: 23.963 MPa		휨 응력: 1.547 Mpa		휨 응력: 1.485 MPa	

- ▶ 가새 유무에 따라 최대 변위 크게 감소. → 상/하부층 가새 모두 적용
- ▶ C모델 기둥의 휨응력: $\sigma = \frac{M}{I} y = 1.485 \text{ MPa} < 1.63 \text{ Mpa}$ (접착제 인장강도) ... OK
- ▶ 접착면적 증가를 위한 기둥 단면 형상 변화로 상부층 모멘트 감소 및 하부층 모멘트 집중 → 기둥 단면성능 증대에 따른 최대변위 감소 확인
- ▶ 하부층 최대 모멘트 발생 지점에 거сет 플레이트를 통한 보강

5.2 고유주기 산정



▷ Eigenvalue Analysis(고유치 해석)

구조물의 질량과 강성을 기반으로 고유 진동 모드와 그에 따른 고유 진동수를 계산해 구조물의 모드 형상을 분석.

▷ 진동 모드

주파수에서 구조물이 진동하는 변형 패턴. 서로 다른 진동수를 가짐.

▷ 고유주기(고유진동수)

구조물에 외력과 감쇠가 작용하지 않은 상태에서 구조물의 강성과 질량에 의해 발생하는 자유진동의 진동수.

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

▷ 질량 참여율

특정 모드가 구조물의 전체 질량에 얼마나 기여하는 지를 나타내는 비율.

▶ 고유주기: 0.1393sec (질량 참여율이 큰 Mode1)

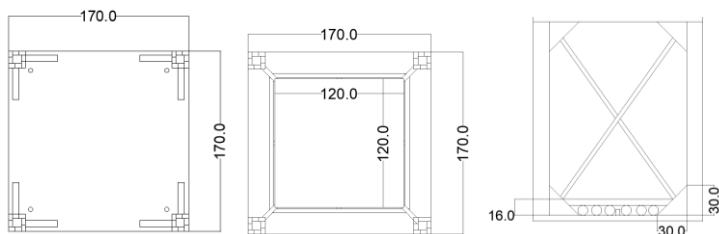
▶ 고유 진동수: 45.16 HZ

Mode	UX	UY	UZ	RX
Mode No.	Frequency rad/sec	Frequency cycle/sec	Period sec	Tolerance
1	45.0908	7.1764	0.1393	1.12E-16
2	45.0908	7.1764	0.1393	5.59E-16
3	60.984	9.7059	0.103	4.60E-11
4	148.6205	23.6537	0.0423	4.94E-16
5	148.6205	23.6537	0.0423	1.65E-16

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	80.4696	80.4696	0.0005	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.0005	80.4701	80.4696	80.4701	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	80.4701	0	80.4701	0	0	0	0	0	0	88.6075	88.6075
4	9.231	89.701	6.806	87.276	0	0	0	0	0	0	0	88.6075
5	6.806	96.507	9.231	96.507	0	0	0	0	0	0	0	88.6075
Mode No	TRAN-X	TRAN-Y	TRAN-Z	ROTN-X	ROTN-Y	ROTN-Z						
	MASS	SUM	MASS	MASS	MASS	MASS	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM
1	0.0193	0.0193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.0193	0.0193	0.0193	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.0193	0	0.0193	0	0	0	0	0	0	307.1023	307.1023
4	0.0022	0.0215	0.0016	0.0209	0	0	0	0	0	0	0	307.1023
5	0.0016	0.0231	0.0022	0.0231	0	0	0	0	0	0	0	307.1023

06 최종모델

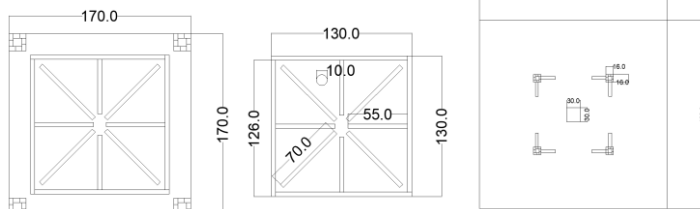
6.1 입면도/ 평면도



▲ 2F 평면도

▲ 3F 4F 평면도1

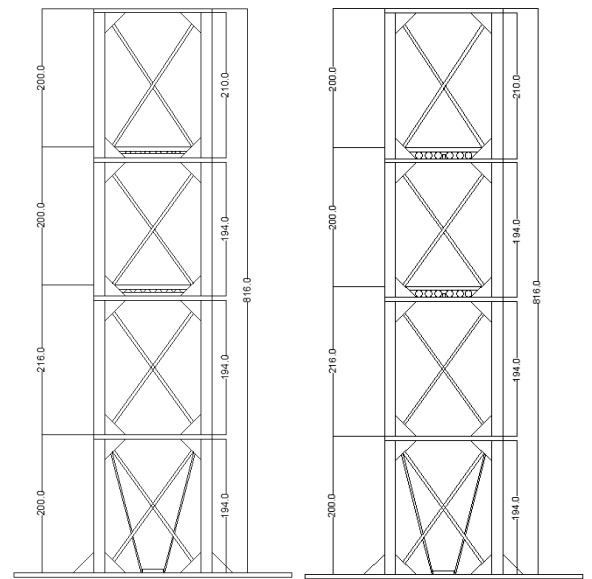
▲ 3F 4F 단면도



▲ 3F 4F 평면도2

▲ 3F 4F 평면도3

▲ 기초판 평면도



▲ 입면도

▲ 단면도

06 최종모델

6.2 최종 모델 설계 전략의 기대효과

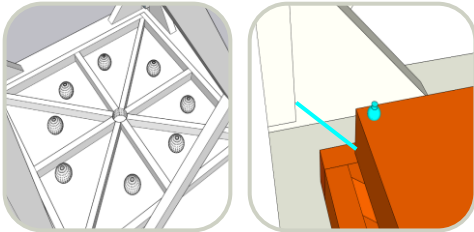
1 16x16 기둥

▷ 설계 전략

동일 재료로 기둥 부착면적 및 단면2차모멘트 최대화로 설계하여 안전성 확보

▷ 특징

- 중앙 공간을 활용해 스트링 설치 최적화
- 프리텐션 스트링의 거동 확보
- 기둥 단면 확대로 압축력 분산 효과 제공
- 거šet플레이트로 기둥 유효길이 감소 및 부착면적 최대화로 한계상태 시의 기둥 휨 강도 확보



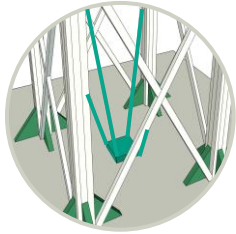
4 3층, 4층 볼 베어링과 면진장치

▷ 설계 전략

a4용지를 말아 만든 구와 그 사이에 톱밥을 활용해 구의 빈 부분을 채워 만들

▷ 특징

- 재료 재활용을 통한 지속가능한 설계
- 마찰 저감으로 면진 효과 구현
- Plate에 프리텐션 스트링을 연결해 횡방향 저항력 향상



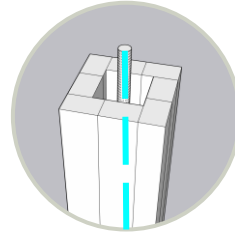
6 프리텐션 스트링

▷ 설계 전략

기초판과 2층 Plate를 스트링으로 연결하여 프리텐션 효과 구현

▷ 특징

- 기둥에 프리텐션을 주어 기둥 상하부에 저항할 수 있는 인장력 증대
- 1층부의 구조 연성 증가



2 프리텐션 스트링 (기둥 내부)

▷ 설계 전략

기둥 중심 공간에 스트링을 설치하고 슬래브 상부 천공을 통해 고정

▷ 특징

- 프리텐션 스트링을 통해 기둥 하부 및 상부의 인장저항성능 향상
- 구조물 내부 공간 활용으로 설치 효율성 증대
- 상하부 부재 간 일체화 효과

3 거šet플레이트 (슬래브-기둥 연결부)

▷ 설계 전략

슬래브와 기둥의 접합부에 거šet플레이트 사용

▷ 특징

- 구조 요소 간 하중 전달 효율 증가
- 부착부 면적 확보를 통해 기둥의 파괴를 접착부가 아닌 거šet플레이트 상부 기둥 소성힌지로 조정

5 X자 가새

▷ 설계 전략

MDF Strip X자 형태로 모든 층에 설치함.

▷ 특징

- 비틀림 및 횡력 저항력 향상
- 비교적 가벼운 자재로도 건물자체의 강성 증대

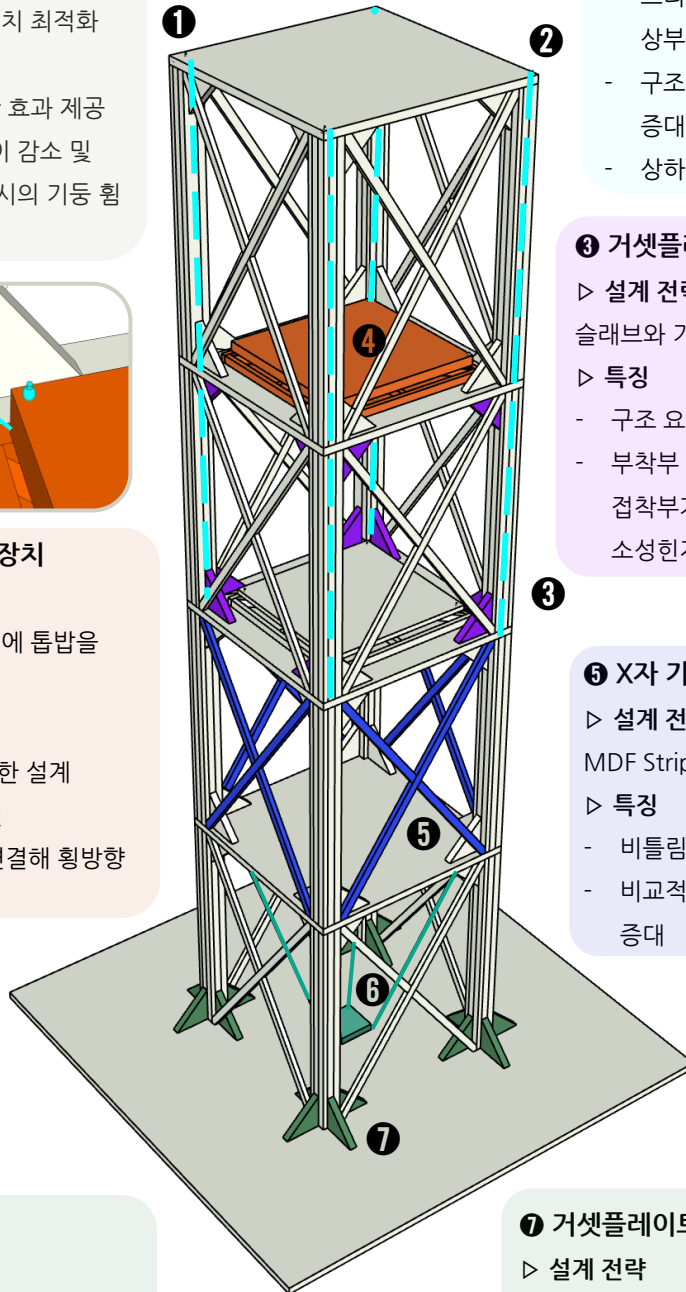
7 거šet플레이트 (4방향)

▷ 설계 전략

기초부에 4방향 거šet플레이트 적용

▷ 특징

- 기초부의 기둥과 기초판의 접착력 및 고정력 향상
- 수직 및 수평 하중 모두에 대해 기초부 강성 증대
- 균형 잡힌 응력 분포 유도



07 원가 및 시공성 검토

7.1 경제성 분석_ 원가관리 내역서

부재명	부재 규격(가로*세로*높이)	수량	사용 방법
MDF Base(기초판)	400*400*6	1	MDF base 1장
바닥1	170*170*6	4	MDF Plate 4장(남은 부분:Plate10, Plate11)
바닥2	120*120*6	2	MDF Plate 2장(남은 부분: Plate12, Plate13)
칸막이1	4*126*6	8	Plate10,Plate11 사용 → 칸막이 확보 가능
칸막이2	4*70*6	8	
칸막이3	4*55*6	8	
기둥1	6*4*210(200)	96	MDF Strip 43개 → 기둥 129개 확보
기둥2	6*4*194(180)	32	
가새	6*4*260	32	MDF strip 16개 → 가새 32개
거šet플레이트	30*30/2	72	Plate12 2장 사용 → 거šet 48개 확보 가능 plate13 2장 사용 → 거šet 32개 확보 가능
공 A4	d:10mm	1	A4*1
접착제	20g	2	록타이트 2개
고무줄	300(200)	12	고무줄 600mm 6줄

부재명	부재 규격(가로*세로*높이)	단가(백만원)	수량	합계(백만원)
MDF Base(기초판)	400mm*400mm*6mm	기본제공	1	-
MDF Strip	600mm*4mm*6mm	10	59	590
MDF Plate	200mm*200mm*6mm	100	6	600
스트링 고무줄	600mm	40	6	240
A4지	A4	10	1	10
접착제(록타이트401)	20g	200	2	400
총 액				1840

▷ 남은 MDF Plate를 잘라 칸막이와 거šet 플레이트를 확보 → 경제성 향상

7.2 시공성 분석_ 공정표

■ 정성훈 ■ 천우진 ■ 정성훈, 천우진 ■ 김연우, 정원철 ■ 정원철, 정성훈, 천우진, 김연우

구분	구분	소요시간														
		1hr					2hr					3hr				
		10min	20min	30min	40min	50min	60min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	10min	20min	30min
제작	슬래브(절단, 천공)															
	기둥(절단, 부착, 고무줄 삽입)															
	칸막이(절단)															
	가새(절단)															
	거šet(절단)															
	면진 공(제작)															
	칸막이 슬래브(부착)															
조립	하중블록(조합)															
	1-2층	기둥 부착														
		슬래브														
	3-4층	거šet 및 가새 부착														
		기둥 부착														
		슬래브 및 면진층 설치														
		고무줄 연결														
거šet 및 가새 부착																
하중블록 설치																
가새 부착																
마감	최종 보강															

총 예상 시간: 2시간 30분