

SEISMIC STRUCTURE DESIGN CONTEST 2024

TEAM

파동처럼 달려왔습니다

지도교수 박효선

변주형

구조 해석
구조물 제작
물성 분석

박소현

구조 해석
구조물 제작
마이다스 분석

최현우

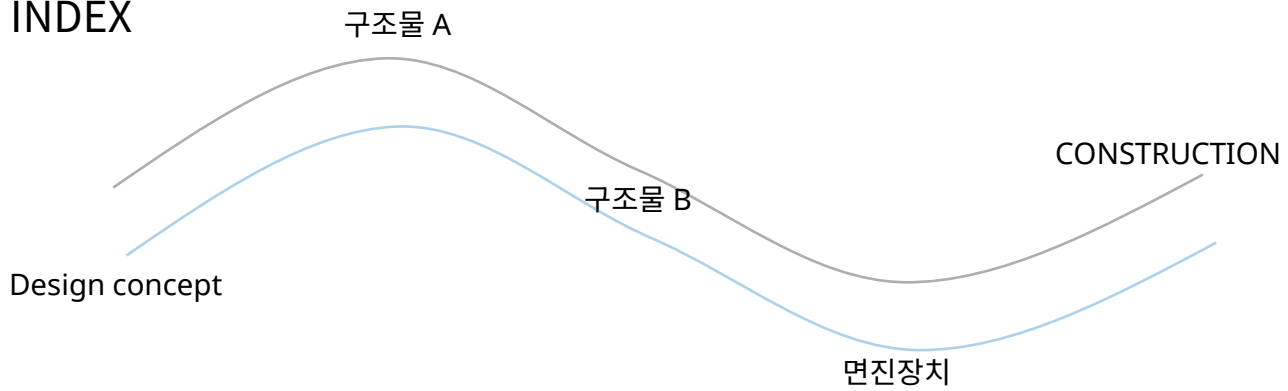
구조 해석
제안서 제작
마이다스 분석

국건

3D 모델링
도면 작성
제안서 제작



INDEX



지진파 분석

재현주기	500년	2400년
S (g)	0.3	0.6
I	1.0	2.0
Z (g)	0.3	0.3
S_{DS} (g)	0.75	1.5
S_{D1} (g)	0.3	0.6
T_0 (s)	0.08	0.08
T_s (s)	0.4	0.4
T_L (s)	5.0	5.0

$$S_{DS} = S * 2.5 * F_a * 2/3$$

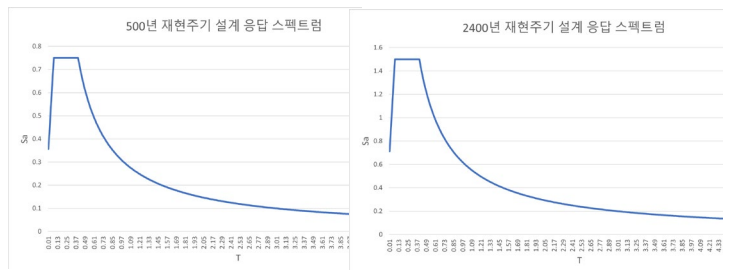
$$S_{D1} = S * F_v * 2/3$$

$$T_0 = 0.2 * S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_L = 5.0$$

$$F_a = F_v = 1.5$$



0.08~0.4sec에서 스펙트럼 가속도가 최대
건물의 고유주기가 탁월주기를 피하도록 설계

기둥 단면성능

6 * 4



$$A = 24 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 72 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 32 \text{ mm}^4$$

10 * 10



$$A = 96 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 832 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 832 \text{ mm}^4$$

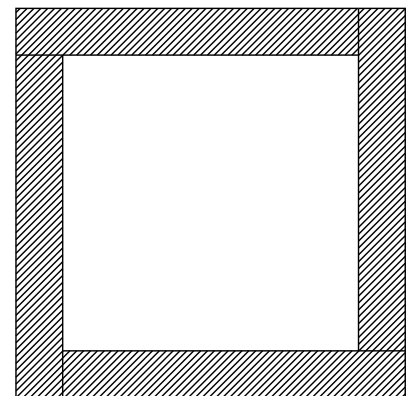
코어 단면성능

50 * 50

$$A = 900 \text{ mm}^2$$

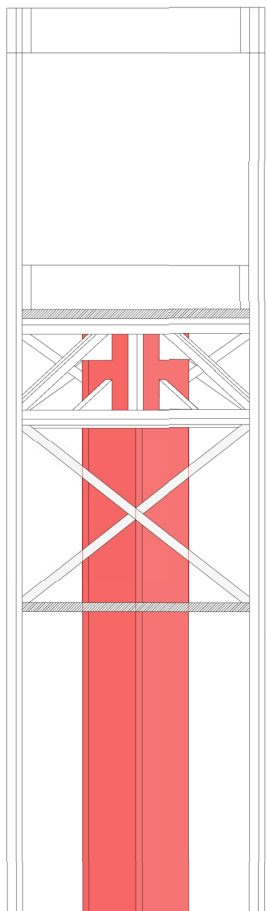
$$I_x = 347072 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 347072 \text{ mm}^4$$



INTRO

CORE & OUTRIGGER



BEARING & DAMPER

종이댐퍼

수평방향과 수직방향에 위치, 최대 이동변위를 통제
동시에 구조물 A와 B 사이강한 충격량으로 인한
UPLIFTING 및 파손 방지

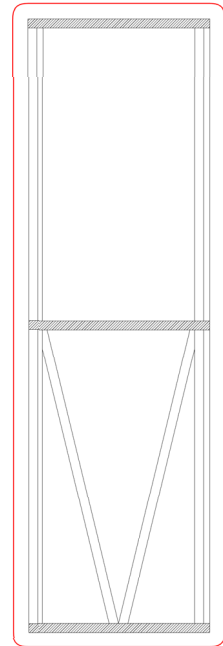


고무줄 댐퍼

고무줄의 인장력으로
인한 가속도는 변위에 비례

볼 베어링

구조물 A와 B사이의 면진장치



TMD

Tuned Massed Damper

Weak Point & Solution

저층부는 횡방향 변위가 상대적으로 크지 않으므로
흔들림을 견디는 내진 구조,
고층부는 횡방향 변위가 저층부보다 크게 발생하므로 흔들림을
줄이는 면진 구조가 적합

구조물 A

내진



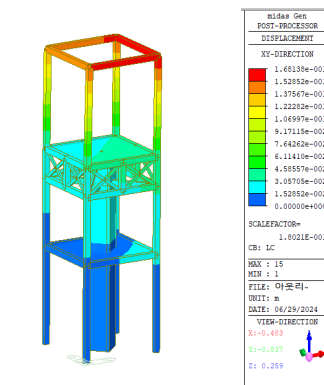
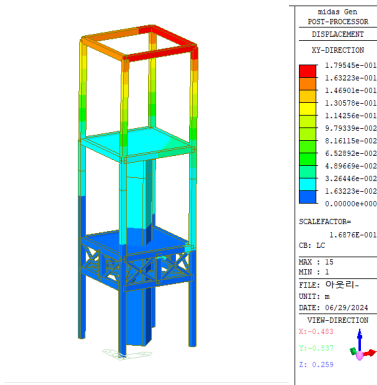
구조물 B

면진

제진

DESIGN CONCEPT

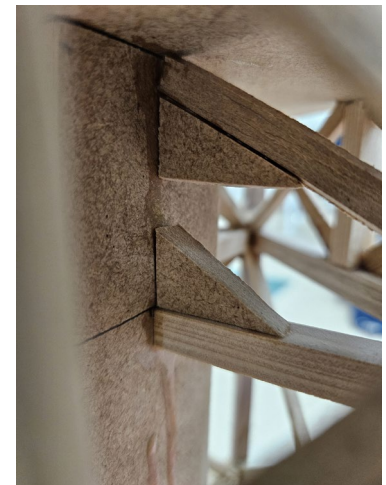
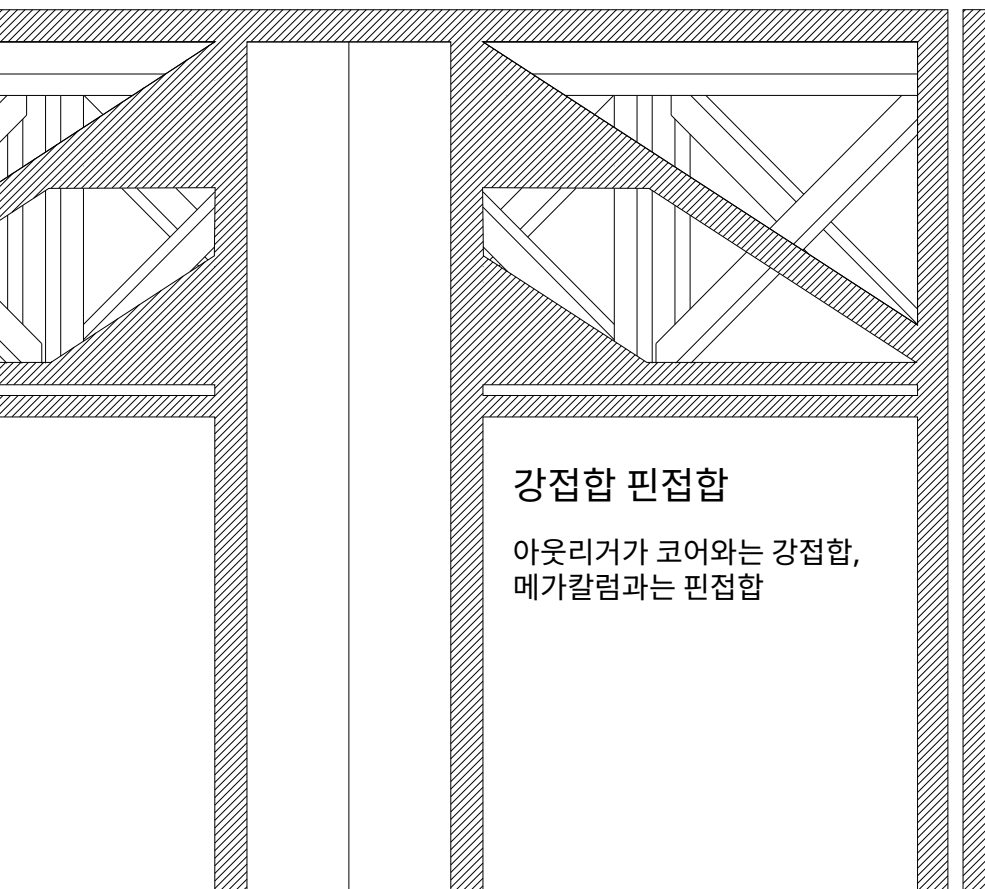
아웃리거의 위치에 따른 최대 수평 변위량



구조물A의 수평 변위량을 최소화하는
아웃리거의 위치를 실험

3층 하부에 아웃리거가 위치하였을 때
수평변위에 대한 저항성이
더 강하므로 해당 위치로 결정

CORE & OUTRIGGER



GUSSET PLATE

모따기 과정에서 MDF 자재 특성상
내구성이 저하되어 강접합으로
보기 어려움

거сет 플레이트를 통해 접촉면적을
늘리며 삼각트러스로서 작용하여
결합각 유지

구조물 A

지점 성능 평가 실험

목적:

록타이트로만 접합된 바닥판이 고정단으로 작동하는지

물리적 성능 확인

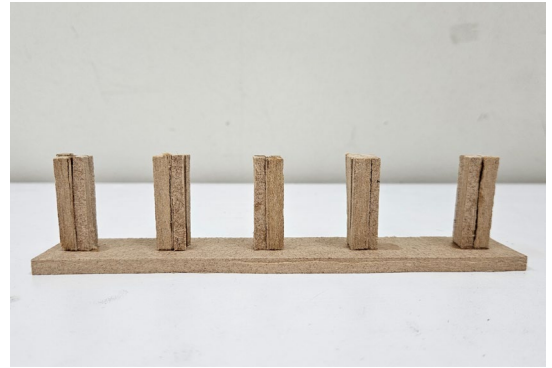
방법:

기둥 단면 모형을 MDF 합판에 록타이트로 접합

3시간 후 전단 강도와 휨 강도 측정

전단 강도 실험은 접합부 부근에서 진행, 휨 강도 실험은 바닥으로부터 40mm 떨어진

기둥 끝 지점에서 진행



전단강도실험

5회 실험의 평균 수평방향 전단력 = 11.438 kgf = 112.1 N

전단 응력

$$\nu = \frac{112.1N}{(10^2 - 2^2)mm^2} = 1.168N/mm^2$$

필요 접합 면적
218.2mm²

$$F = 26kg \times (1 \times 9.8m/s^2) = \nu \times A$$

$$A = \frac{(26 \times 9.8)N}{1.168N/mm^2} = 218.2mm^2$$

유효수평지반가속도 0.7g 고유주기 0.7sec 이므로 응답스펙트럼 가속도 1g

현재 모형의 접합면적 기준치 이상



휨강도실험

5회 실험의 평균 수평방향 휨모멘트 : 332,000 N*m

휨 응력

$$\sigma = \frac{M}{I}c = \frac{8.300N \times 40mm}{\frac{10 \cdot 10^3 - 2 \cdot 2^3}{12}mm^4} \times 5mm = 1.995N/mm^2$$

c: 도심으로부터 가장 멀리 떨어진 거리

필요 접합
단면 2차 모멘트

$$M_{total} = \sum_{i=1}^4 (F_i \times L_i) + F_M \times L_M$$

$$= 6kg \times 9.8m/s^2 \times (200mm + 400mm + 600mm + 800mm)$$

$$+ (2kg \times 9.8m/s^2) \times 400mm$$

$$= 125.440N \cdot mm^2$$

F_i : 각 층에 적재되는 하중
 L_i : 각 층 하중 적재 높이
 F_M : 구조물 자체 중량
 L_M : 구조물 중심 위치

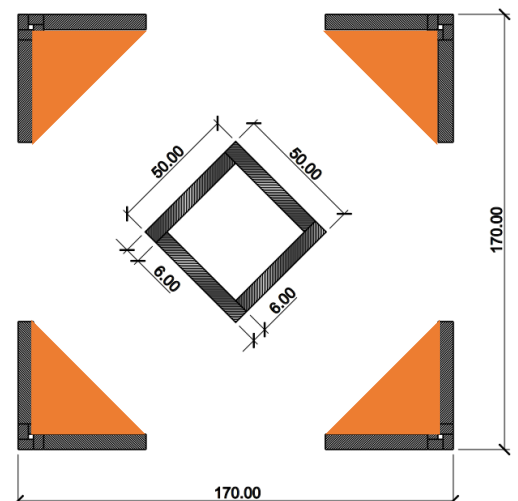
$$I = \frac{M_{total}}{\sigma} \times c = \frac{125.440N \cdot mm}{1.995N/mm^2} \cdot 85mm$$

$$= 5,344,561mm^4$$

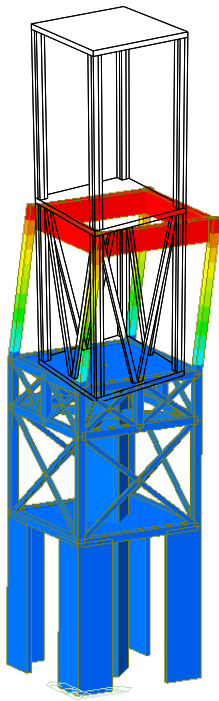
현재 지점 단면의 단면2차 모멘트 부족 (2,870,833 mm⁴)

록타이트와 톱밥으로 지점 단면성능 강화 (오른쪽 주황색 면적)

단면2차모멘트를 24,326,394 mm⁴ 로 증대



구조물 A



Mode1의 Mode Shape

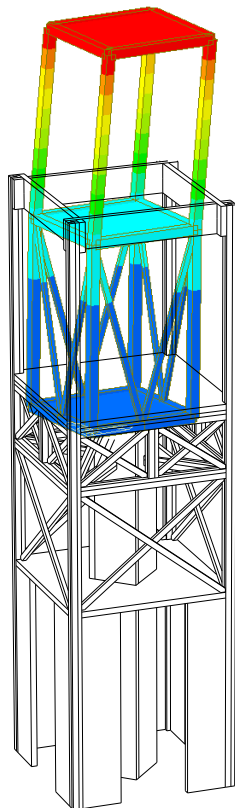
구조물 A의 고유주기

다자유도 구조물의 동적 거동은 주로 mode 1에 의해 결정
이에 따라 A의 고유주기 0.7059sec로 산정

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS					
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
	1	8.9003	1.4165	0.7059	7.1757e-016
	2	8.9003	1.4165	0.7059	1.0764e-015
	3	9.8721	1.5712	0.6365	0.0000e+000
	4	29.9760	4.7708	0.2096	3.7956e-016
	5	29.9760	4.7708	0.2096	5.1874e-015
	6	30.0619	4.7845	0.2090	2.5160e-016
	7	30.1681	4.8014	0.2083	6.6069e-008
	8	30.1782	4.8030	0.2082	2.4966e-016
	9	37.4179	5.9552	0.1679	8.1008e-012
	10	37.4179	5.9552	0.1679	8.0782e-011

구조물 B의 고유주기 조정

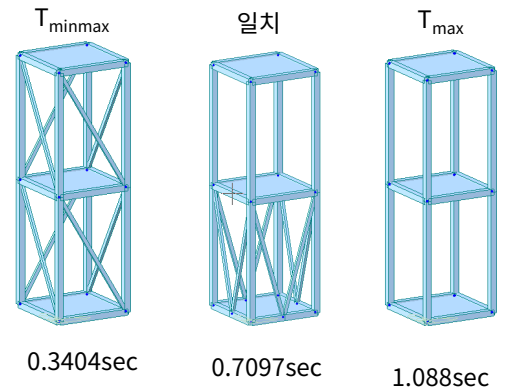
앞서 산정한 구조물 A의 고유주기 0.7059에 구조물 B의 고유주기를 동조화 시켜
구조물 B가 TMD로서 작용하도록 유도



Mode1의 Mode Shape

가새 형태에 따른 B의 고유주기

1층에만 ‘역 시웃 ‘자의 가새를
사용하였을 때 약 99.5% 일치
(오차범위 0.5%)



Node	Mode	UX	UY	UZ
EIGENVALUE A				
	Mode No	Frequency		Period
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
	1	8.8533	1.4090	0.7097
	2	8.8533	1.4090	0.7097
	3	10.7023	1.7033	0.5871
	4	27.7064	4.4096	0.2268
	5	27.7064	4.4096	0.2268
	6	30.5762	4.8663	0.2055
	7	132.7567	21.1289	0.0473
	8	142.3646	22.6580	0.0441
	9	142.3646	22.6580	0.0441
	10	153.8644	24.4883	0.0408

“ A와 B의
고유주기를
맞춤으로써
B 구조물 자체를
TMD로서
사용할 수 있다”

구조물 B

마찰계수 산정

필요성

TMD가 정상적으로 작동하기 위해서는
구조물 B가 구조물 A 위에서 자유롭게 운동할 수 있는
낮은 운동마찰계수가 요구됨

실험방법

스프링 저울을 이용하여 변위 22mm를 일으키는
최대 수평방향 힘을 측정

실험결과

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
$M_{ave}[kg]$	0.25	0.365	0.355	0.14
$F[N]$	2.45	3.577	3.479	1.372
$K[N/mm]$	0.111	0.163	0.158	0.062



Caes 1. MDF + MDF



Caes 2. MDF + 종이겹 + MDF



Caes 3. 종이 + 종이



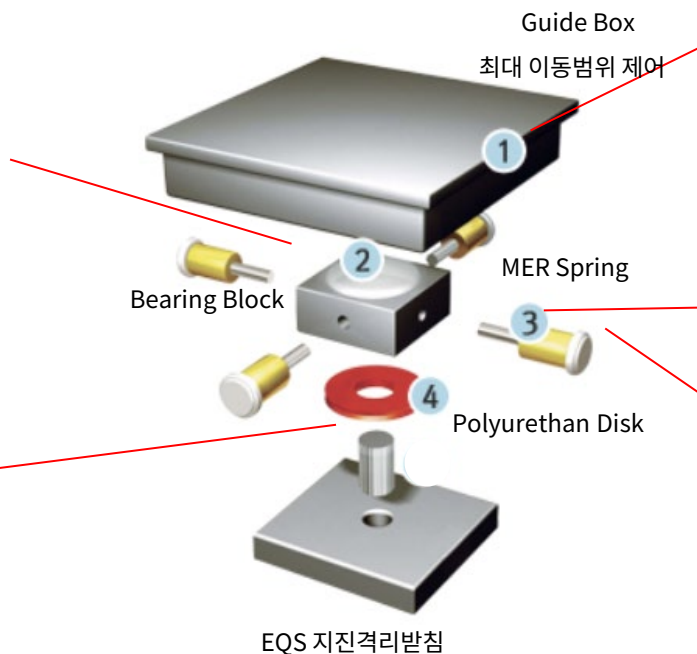
Case 4. 볼 베어링 + 종이댐퍼

Case 4. 볼 베어링 + 종이댐퍼 선택

EQS 원리의 적용



Ball Bearing
마찰감쇄



Horizontal Damper
수평변위 제어



Rubber Band
수평변위 제어



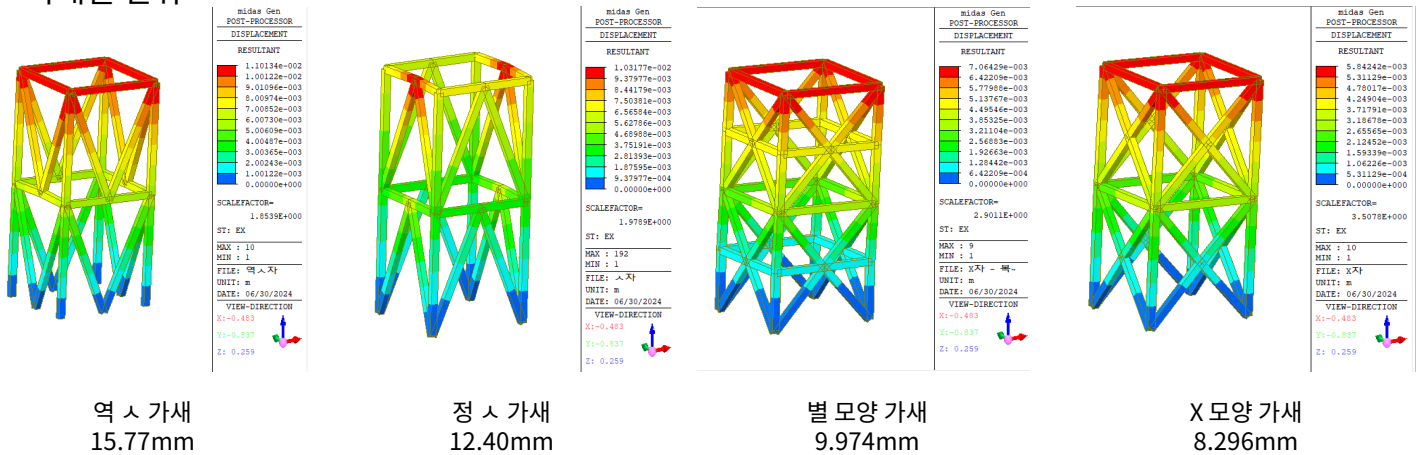
Vertical Damper
회전각변위 제어
종이댐퍼의 구조 상 회전가능

면진장치

가새 형태

가장 적은 deformation을 일으키는 가새형태를 단순화된 모형으로 산출

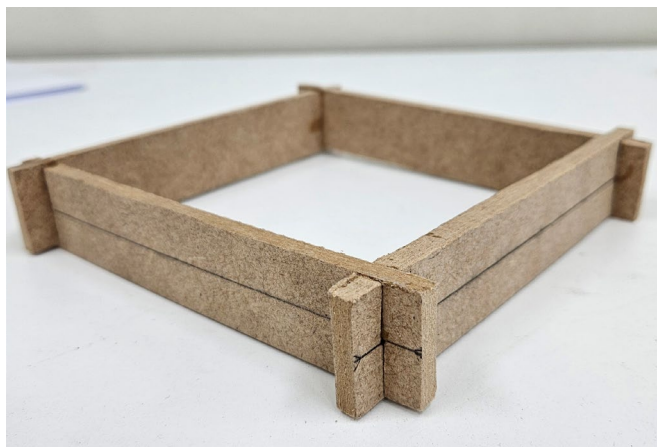
가새별 변위



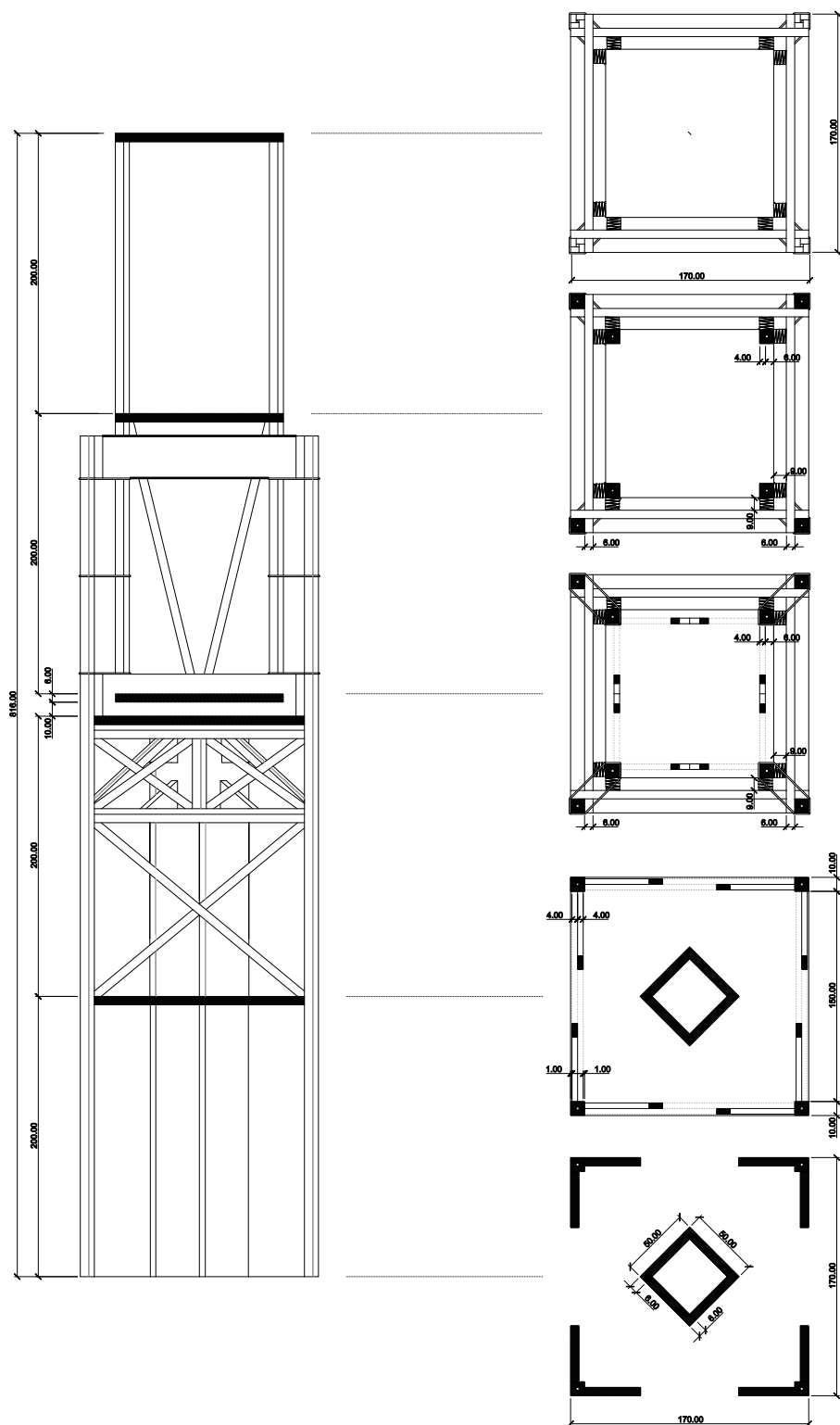
꺼맞추기

부재를 꺼맞춤으로써 가이드 박스의 접착면적을 증가시킴

댐퍼로 인한 횡하중에 방향에 상관없이 균일하게 대응할 수 있음

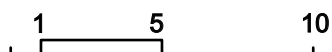


Construction



floorplan

1:5



진동대 실험

0.4g에서 3층의 '역 시옷 자' 가새의 최초 탈락 발생

고무줄 댐퍼의 개수를 3개에서 5개로 늘렸으며 A4용지로 해당 층의 가새 보강



0.4g
'역 시옷 자'
가새의 탈락



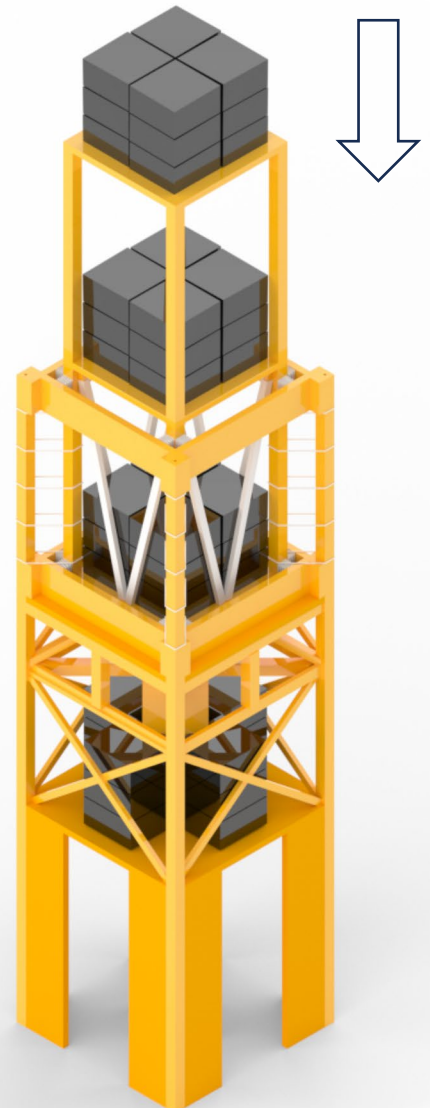
고무줄 보강

구조물 안정성 증가

A4지 보강

취약 가새 위주로, 록타이트 + A4

Construction



공정표

구분		소요시간														
		1시간						2시간						2시간 30분		
		10 분	20 분	30 분	40 분	50 분	60 분	70 분	80 분	90 분	100 분	110 분	120 분	130 분	140 분	150 분
부재 제작	부재 작도															
	기초판 및 바닥판															
	기둥 및 거더															
	아웃리거 및 가새															
	볼 및 볼 이탈 방지 판															
	종이 댐퍼															
제작	기둥 및 거더 설치															
	아웃리거 및 가새 설치															
	볼 베어링 장치 설치															
	종이 댐퍼 설치															
마감	하중 블럭 설치															
	진동대와 기초판 연결															
총 공정시간		2시간 30분														

비용산정

단위: 1,000,000 KRW

구분	개소	품목당 가격	비용	누적비용
MDF base	1	0	0	0
MDF strip	51	10	510	510
MDF plate	11	100	1100	1610
고무줄	2	40	80	1690
A4지	3	10	30	1720
록타이트	2	200	400	2120
total				2120

Construction