

# 2025 구조물 내진설계 경진대회

## SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2025

구조물 붕괴 방지를 위한 내진설계

팀 명 : Y-Point

소속대학 : 연세대학교 건축공학과



**김준희** 지도교수

**팀원**

**임다원**

- 팀장
- 구조물 제작
- 도면 및 계산서 작성

**고유진**

- MIDAS 구조해석
- 구조물 제작
- 제안서 작성

**홍정의**

- 구조 해석
- 구조물 제작
- 3D 모델링

**배채운**

- 구조 해석
- 구조물 제작
- 제안서 작성

## 01

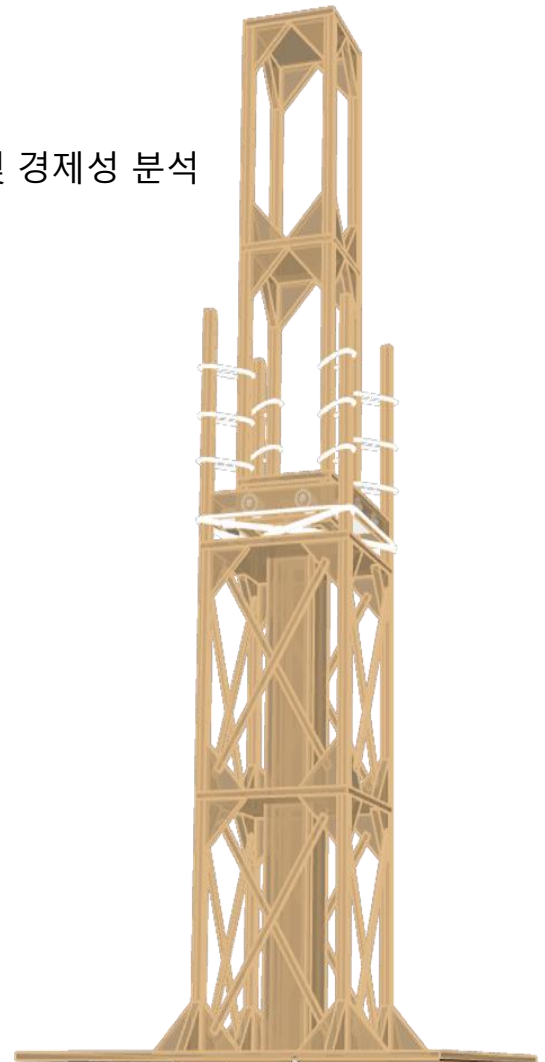
지진파 분석  
재료 물성치 분석  
설계 concept

## 02

구조 설계 및 분석  
모의 실험  
MIDAS 분석

## 03

시공성 및 경제성 분석



# 지진파 분석 요구되는 구조성능 파악

	S(g)	S <sub>DS</sub> (g)	S <sub>D1</sub> (g)	T <sub>0</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>L</sub>	I
500년	0.3	0.75	0.3	0.08	0.4	5.0	1.0
2400년	0.6	1.5	0.6	0.08	0.4	5.0	2.0

$$F_a = F_v = 1.5$$

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

$$S_{D1} = S * F_v * \frac{2}{3}$$

$$T_0 = 0.2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$Z = 0.3$$

S : 유효수평지반가속도

F<sub>a</sub> : 단주기 지반응답증폭계수

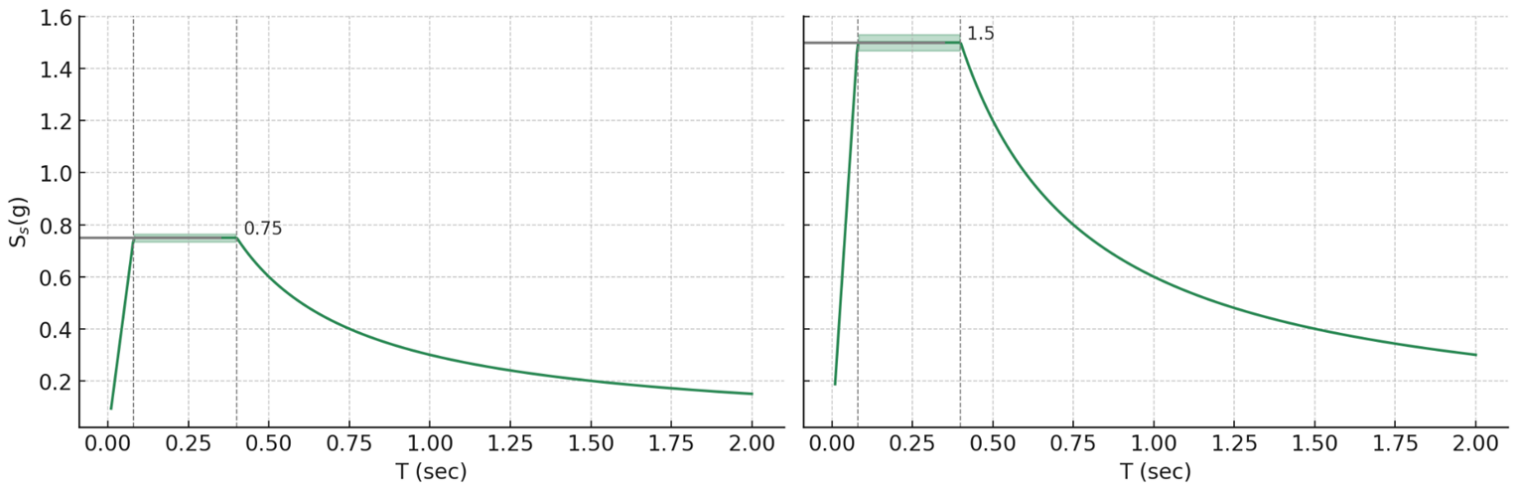
F<sub>v</sub> : 1초 주기에서 지반응답증폭계수

S<sub>DS</sub> : 단주기 설계스펙트럼 가속도

S<sub>D1</sub> : 1초 주기 설계스펙트럼 가속도

## 설계응답스펙트럼

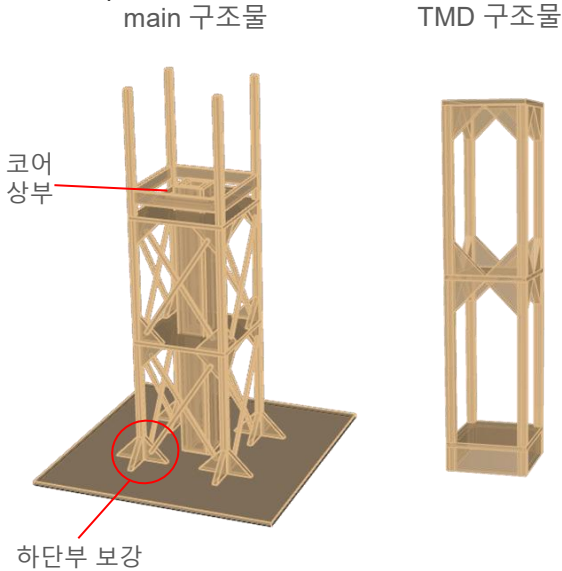
y축 Sa x축 T(sec)



∴ 0.08~0.4sec에서 설계 스펙트럼 가속도가 최대가 된다.  
 최대 설계 스펙트럼 가속도를 피해 고유주기 증가를 유도한다.  
 지진 가속도 0.7g에서 파괴를 유도한다.

# 설계 방향

가새와 거셋플레이트를 활용하여 횡력에 저항한다. TMD 구조(Tuned Massed Damper)를 이용해 제진효과를 내고, 종이 댐퍼를 이용해 충격이 전달되는 시간을 늘려 충격력을 줄인다. 볼 베어링과 같은 면진장치를 두어 TMD 위쪽 구조물을 코어 상부와 떨어뜨려 놓아 자유롭게 거동하게 해 TMD의 역할을 하도록 한다. 슬라브 제작 후 남은 플레이트를 활용해 최하단부 기둥을 보강해 하단부 파단을 방지하고 밑면 전단력을 보강한다.



**내진 구조:** 각 부재가 지진력에 저항할 수 있도록 강성을 높이는 개념이다.  
**면진 구조:** 건물과 지반을 분리하여 구조물이 받는 지진 에너지를 분산시키는 개념이다.  
**제진 구조:** 제진장치를 활용해 지진에너지를 상쇄시키는 개념이다.

오른쪽 이미지 출처 [http://nsv.co.kr/n2\\_engineering/theory\\_view.asp?dx=706&page=2&pagekey=352&search=&n=61](http://nsv.co.kr/n2_engineering/theory_view.asp?dx=706&page=2&pagekey=352&search=&n=61)

## 재료 물성치 분석 & 기둥 단면 설계

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

strip 1개 (4mm X 6mm) : 하중 3.1N 에 대한 평균 변위 6.8mm 일 때 탄성계수 **E= 2110.57 Mpa**

단면 case 분류 \_네 가지의 case는 4mm X 6mm strip으로 구성하였다.

1		3	1)	$I_x = 12 * \frac{4^3}{12} = 64mm^4$	$I_y = 4 * \frac{12^3}{12} = 576mm^4$
2		4	2)	$I_x = 10 * \frac{10^3}{12} - 2 * \frac{2^3}{12} = 832mm^4 = I_y$	
			3)	$I_x = 6 * \frac{8^3}{12} = 256mm^4$	$I_y = 8 * \frac{6^3}{12} = 144mm^4$
			4)	$I_x = 12 * \frac{8^3}{12} = 512mm^4$	$I_y = 8 * \frac{12^3}{12} = 1152mm^4$

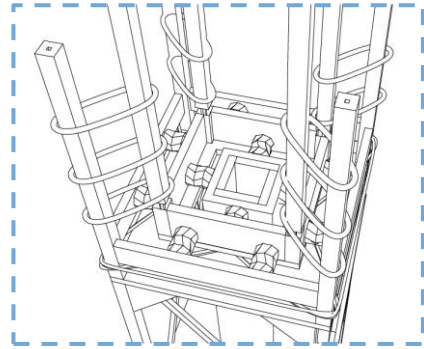
1: 12mm X 4mm                      3: 6mm X 8mm  
 2: 10mm X 10mm                    4: 12mm X 8mm

∴ case 2번과 4번이 1,3번보다 강성이 크다.  
 다만 x,y축이 동일한 힘으로 저항할 수 있도록 균등한 단면성을 갖는 2번의 단면을 기둥단면으로 결정하였다.

# 설계 CONCEPT

## TMD (Tuned Mass Damper)

- 3, 4층 구조물을 TMD로 활용하여 지진에 의한 진동 상쇄
- main structure의 3층 기둥과 고무줄로 연결하여 수평 변위 제어
- TMD 하부의 면진층에는 고무줄의 인장력을 이용한 구조물 설치



## 종이 댐퍼 & 고무줄 제진 장치

- 종이 댐퍼의 탄성력을 활용하여 제진 효과 구현
- TMD와 main structure의 기둥을 고무줄로 연결  
→ TMD의 수평 변위를 제어하고 제진 효과 구현

## 고무줄 면진 장치

- 고무줄의 탄성과 인장력을 이용해 TMD가 진동에 탄력적으로 응답하도록함

## CORE

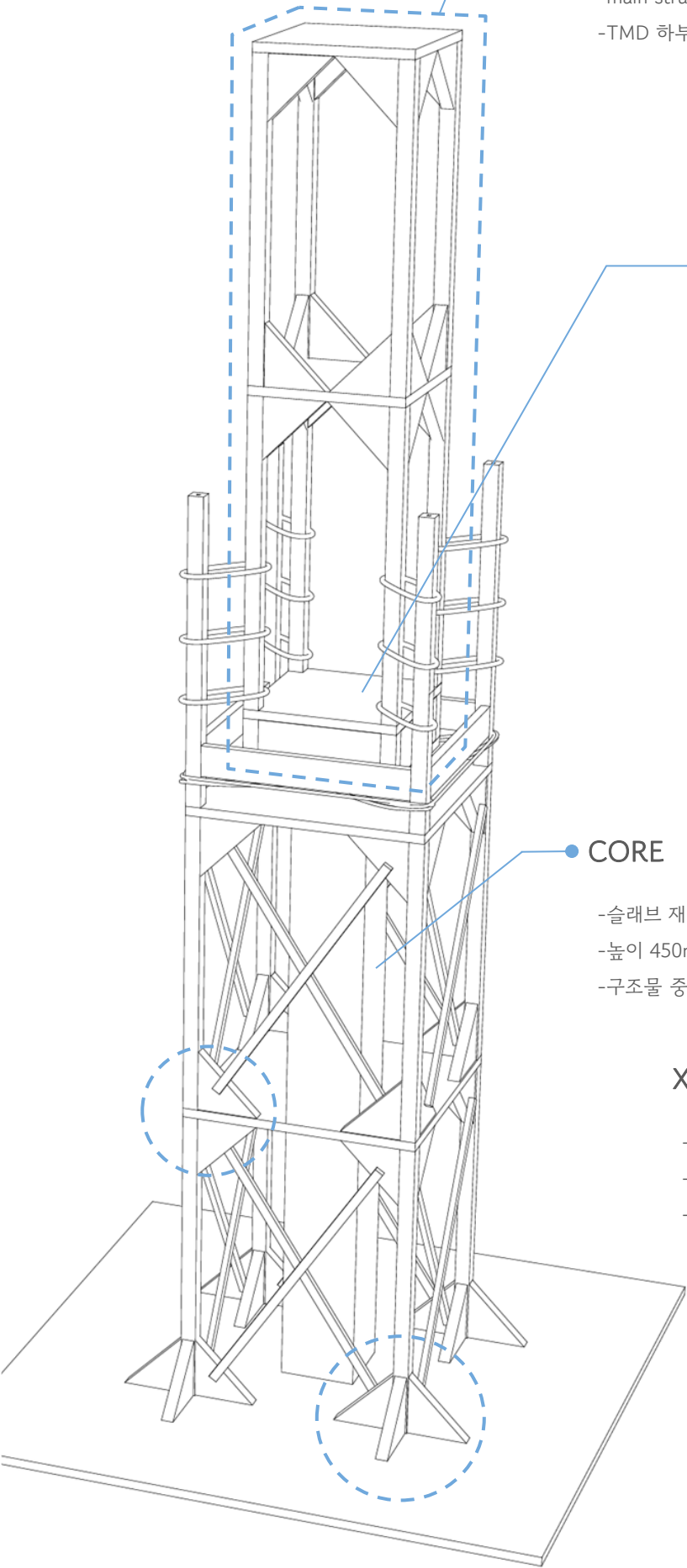
- 슬래브 재단 후 남은 MDF를 활용해 50mm x 50mm의 CORE 구성
- 높이 450mm로 TMD를 일부 관통하고 접합은 X → TMD가 자유롭게 거동 가능
- 구조물 중심에 위치하여 수평하중에 의한 비틀림 억제

## X자 가새

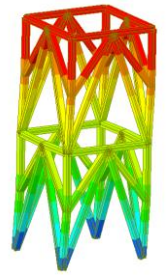
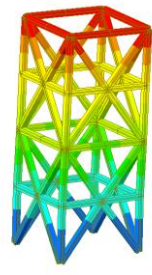
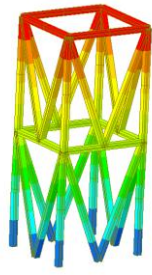
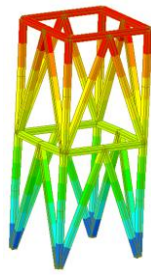
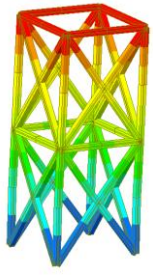
- 마이다스 분석 결과 변위가 가장 작은 X자 가새 설치
- 다른 가새에 비해 시공성이 유리한 형태 채택
- 구조물의 수평변위를 제어하여 안정성 강화

## 거셋 플레이트(GUSSET PLATE)

- 구조물의 지점과 절점에 설치하여 접합면적 확보
- 지진하중에 의한 응력 분산
- 전단력과 인장력에 저항하여 구조물 강도 보강
- 남는 MDF plate를 활용하여 TMD의 절점 보강



# 가새 선정 마이더스 분석



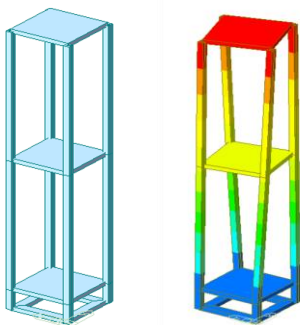
형태	X자 가새	λ자 가새	v자 가새	별모양 가새	복합 X자 가새
변위	18mm	22.5mm	38mm	18mm	21.6mm

- 가새 형태별 변위 분석 결과 변위가 가장 작은 X자 가새로 선정
- X자 가새와 별모양 가새의 변위가 크게 차이 나지 않지만 경제성과 시공성을 고려하여 X자 가새를 선택함

# 구조물 고유주기 분석 마이더스 분석

TMD가 제대로 작동하기 위해서는  
main structure와 TMD의 고유주기가 일치해야한다.

## TMD의 고유주기



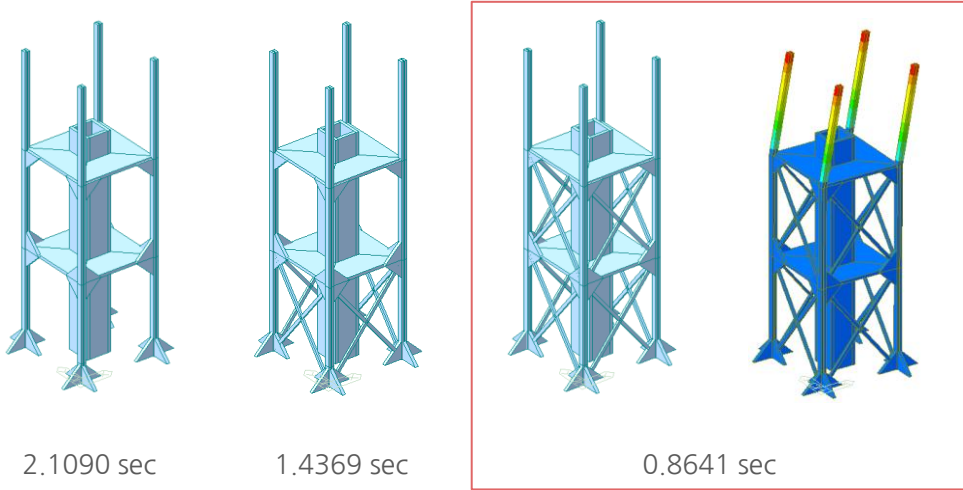
EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	7.2924	1.1606	0.8616	1.6017e-070
2	7.3012	1.1620	0.8606	1.0125e-061
3	7.3012	1.1620	0.8606	4.3704e-061
4	20.5796	3.2753	0.3053	9.2683e-055
5	20.5796	3.2753	0.3053	4.1907e-055

수평하중으로 인한 구조물의 진동과 질량 참여율을 고려하여 모드1의 결과를 선택

→ 0.8616 sec

# main structure 고유주기

X자 가새를 추가하며 TMD와 가장 유사한 고유주기를 갖는 구조물을 선택



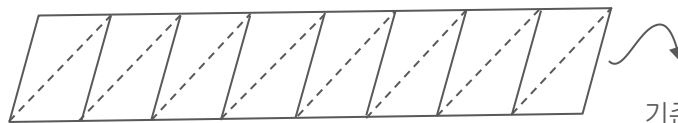
Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
<b>EIGENVALUE ANALYSIS</b>					
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
	1	7.2712	1.1572	0.8641	8.6182e-057
	2	7.2775	1.1582	0.8634	1.2093e-056
	3	8.7397	1.3910	0.7189	1.8054e-051
	4	9.7839	1.5572	0.6422	5.5590e-049
	5	9.7839	1.5572	0.6422	4.4962e-032

<1, 2층 모두 가새가 있는 경우의 고유 주기>

## 제진 장치 설계 종이 댐퍼 & 고무줄 탄성 활용



<종이 댐퍼>



TMD의 운동에 따라 발생하는 진동 에너지를 종이 댐퍼의 마찰력을 통해 감소시키고 탄성을 이용하여 제진 장치로 거동하도록 설계

기존 스프링 댐퍼 대신 비선형 거동을 유도하는 사선 접힘 패턴의 댐퍼 제작  
↓  
하중에 따라 면 간 상호작용이 변화하여 에너지 소산과 복원력 확보



<종이 댐퍼 & 고무줄 장치 설치>

TMD의 하부 기둥을 main structure의 3층 기둥과 고무줄로 연결해 고무줄의 인장력이 복원력으로 작용하도록 유도 이를 통해 TMD의 수평 변위 제어

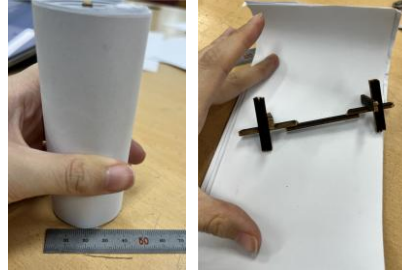
# 면진 장치 설계 고무줄 탄성 활용

TMD 하부에 위치할 면진 장치로 고무줄 탄성 활용안을 최종선택하였다.  
과정은 다음과 같다.

## 1차 시도 : 볼 베어링

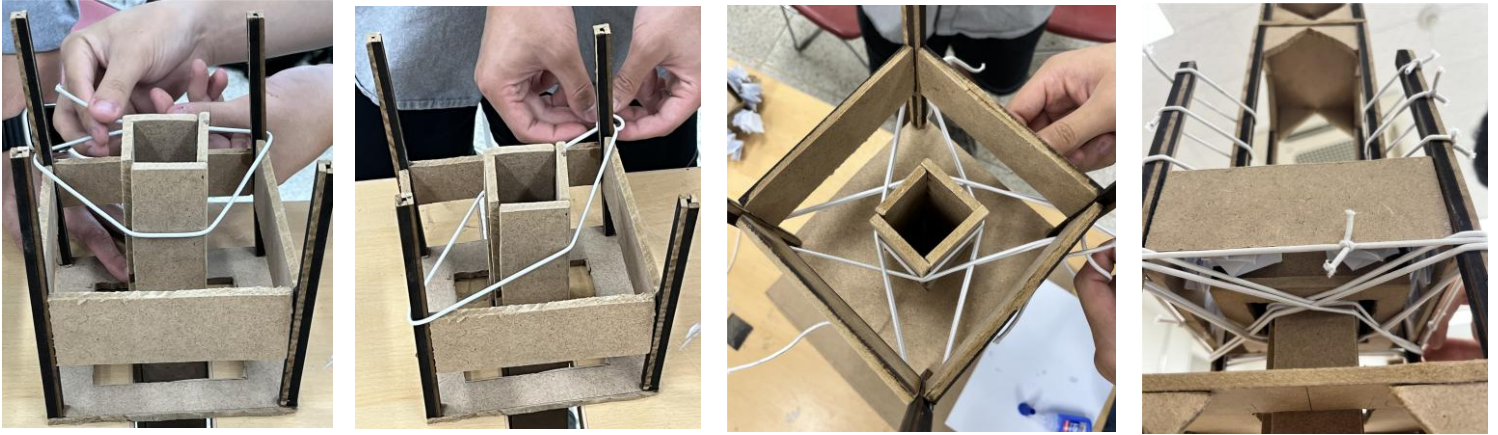
종이를 뭉쳐 볼베어링을 만들고 접착제를 이용해 마찰을 줄이려고 하였으나 모의실험 결과, 단면 플레이트 폭을 고려했을 때 볼 지름이 15mm이하가 되어야 했기 때문에 높이가 적절하지 않아 실제 거동이 면진 효과를 내기 어렵다고 판단하여 롤러를 이용하는 방안을 고려했다.

## 2차 시도 : 롤러



TMD 구조물을 코어 위로 띄울 만큼의 지름(40mm)을 갖는 롤러를 만들기 위해 남은 MDF strip으로 모양을 잡고 종이를 여러 겹 둘러서 만들었다. 그러나 면진효과를 충분히 낼 만큼 제대로 굴러가지 않고, 경계성 측면에서도 부적절했기에 다른 방법을 고려하게 됨.

## 3차 시도 : 고무줄 탄성을 활용한 면진 장치(최종 채택)



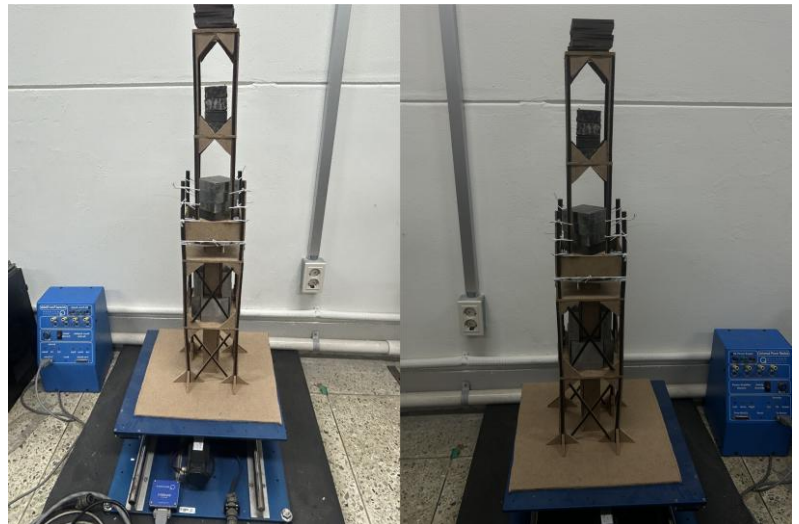
TMD 구조물이 코어와 닿지 않도록 슬래브 구멍을 더 크게 내고, 구조물이 자유롭게 이동할 수 있도록 고무줄을 이용한 면진장치를 적용했다. TMD가 너무 자유롭게 움직이면 구조물에서 이탈하거나 불안정해질 수 있기 때문에, 이를 방지하면서도 진동 에너지를 잘 흡수할 수 있도록 연결 방식을 고민했다.

그 결과, 고무줄로 코어와 TMD 기둥을 여러 방향에서 단단히 묶는 방식으로 구조를 만들었다. 일종의 받침 역할을 하는 고무줄은 탄성이 충분해 TMD가 어느 정도 자유롭게 흔들릴 수 있도록 하고, 동시에 과도하게 움직이지 않도록 한다. 이 방법으로 TMD가 구조물의 주기에 맞춰 응답하도록 하여 전체 구조의 안정성도 확보할 수 있다.

## 진동대 실험

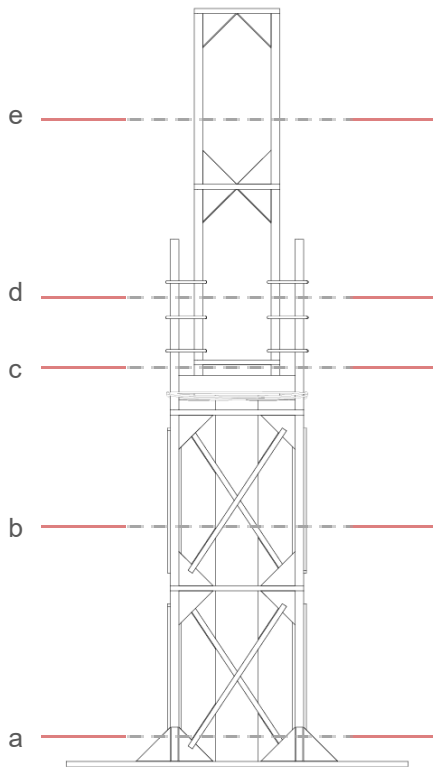
진동대 실험 진행 결과 0.5g에서 구조물 가새와 거셋플레이트 쪽의 파단이 일어났다.

종이 용수철 댐퍼에 사용되는 종이의 길이를 늘리고, 고무줄 댐퍼를 한바퀴 더 감는 방법의 보강을 진행했다.

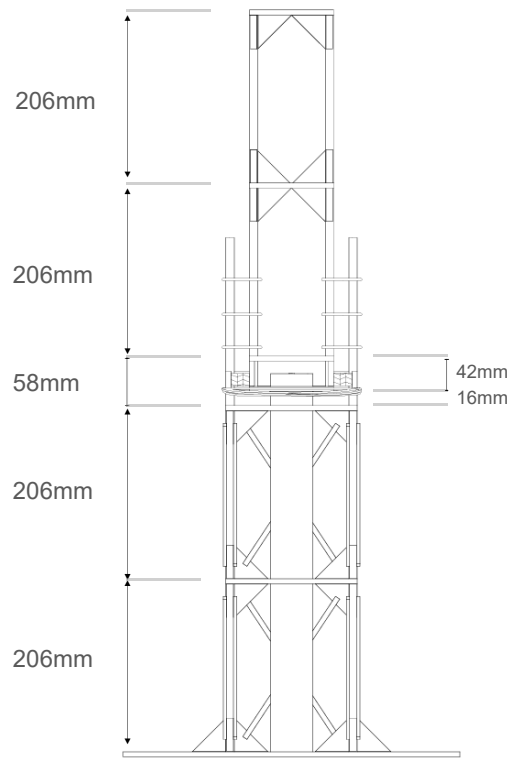


# 최종 설계안

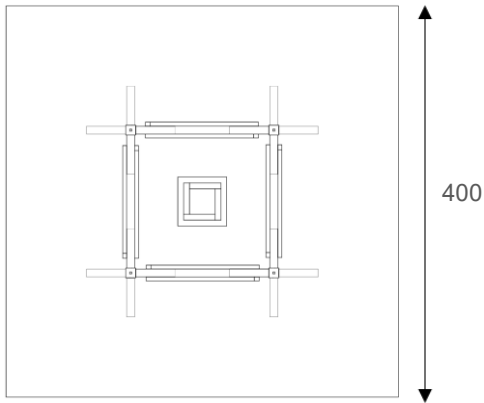
입면도



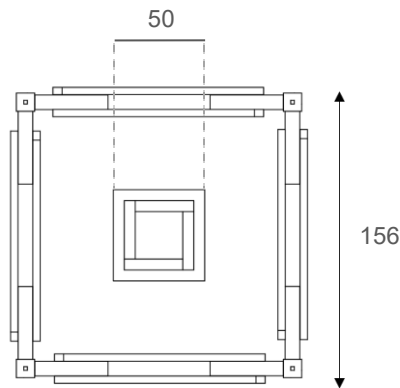
단면도



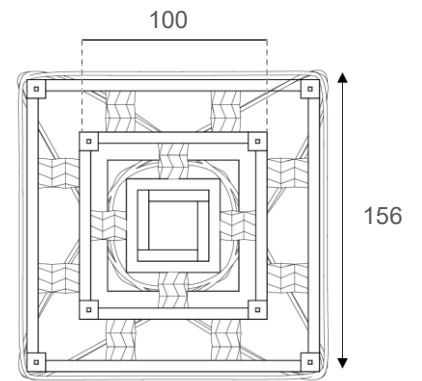
평면도



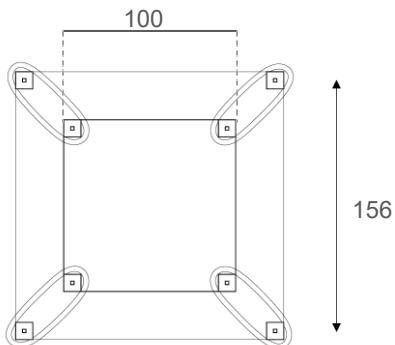
1층 평면도  
자른 평면: a



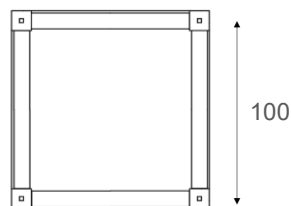
2층 평면도  
자른 평면: b



3층 평면도 (1)  
자른 평면: c  
고무줄 받침과 종이댐퍼가 다보일 수 있도록 코어 상부를 잘라 위에서 바라보았다.



3층 평면도 (2)  
자른 평면: d



4층 평면도  
자른 평면: e

# 경제성 분석

재료명	개수	단가(백만원)	합계(백만원)	비고(규격)
MDF base	1	-	-	400mm×400mm×6mm
MDF strip	33	10	330	600mm×4mm×6mm
MDF plate	7	100	700	200mm×200mm×6mm
스트링 고무줄	5	40	200	600mm
A4	6	10	60	210mm×297mm
접착제	1	200	200	20g
총액(백만원)			<b>1490</b>	

# 공정표

구분		소요 시간								
		1시간			2시간			3시간		
		20분	40분	60분	80분	100분	120분	140분	160분	180분
부재 제작	바닥판 제작 및 천공	■								
	코어 및 기둥 제작	■								
	가새 제작			■						
	종이댐퍼 제작			■						
	거셋 플레이트 제작			■						
시공	코어 및 기둥 조립				■					
	바닥과 수직부재 조립					■				
	거셋 플레이트 조립						■			
	종이댐퍼 설치						■			
	고무줄 면진장치 설치						■			
	기둥과 TMD 연결								■	
마감	하중블록 설치								■	
	최종 보강								■	
총 공정 시간							<b>2시간 30분</b>			