

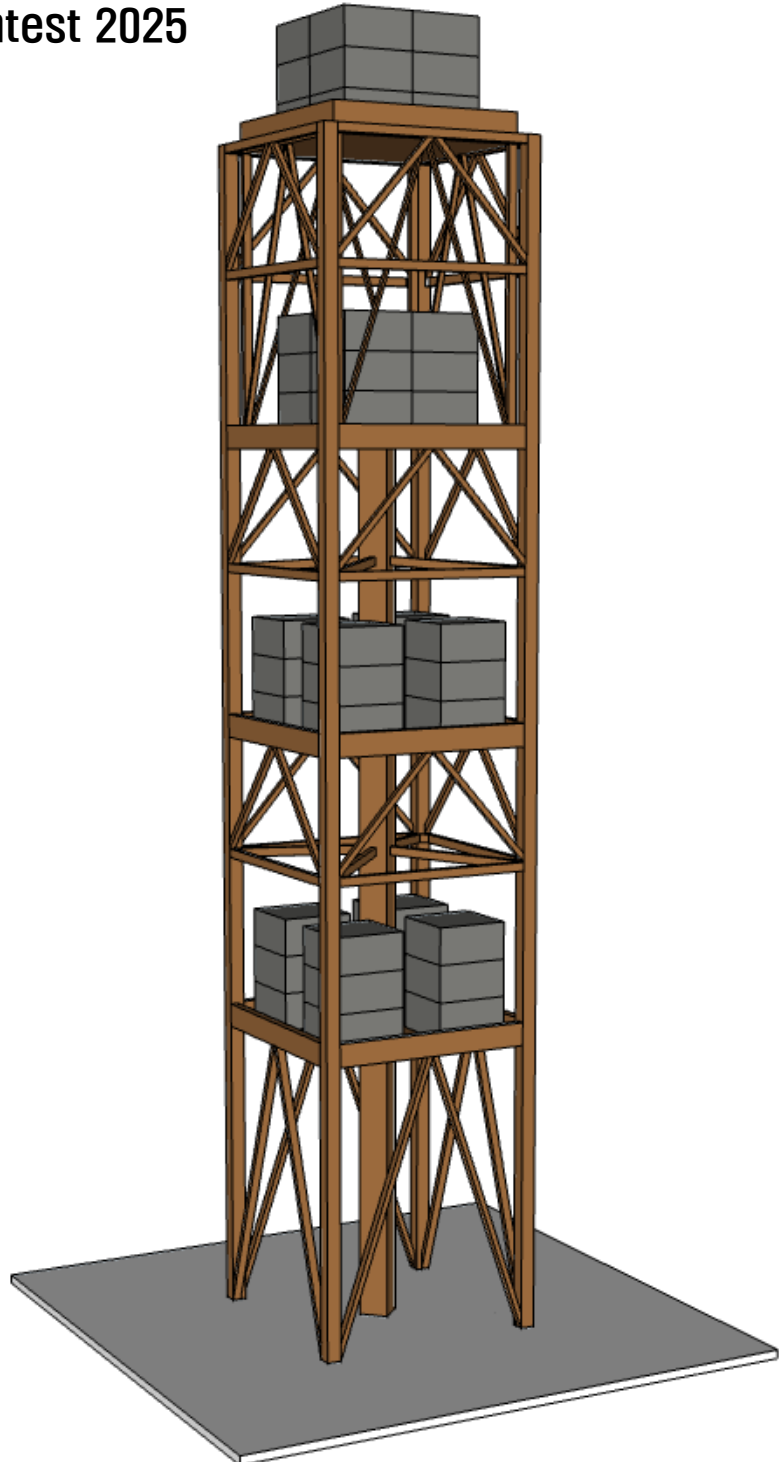
# 2025 구조물 내진설계 경진대회

## Seismic Structural Design Contest 2025

지도교수 : 이경구 교수님

팀 명 : 마천추

대 학 : 단국대학교 건축공학전공



## Table of Contents

### 1. INTRO

- 팀 소개
- 구조물 심사 기준
- 내진 설계 개념
- 지진파 분석
- 재료 물성치 분석

### 2. MAIN

- 구조물 설계 분석
- 구조 해석
- 붕괴 메커니즘
- 평면도 & 입면도

### 3. CONCLUSION

- 경제성 분석
- 시공성 분석

## Team Introduction

### TEAM

마천주

### 자문위원

이경구 교수님 자문 및 지도교수

## MEMBERS

#### 추윤서 팀장

- 구조해석
- MIDAS 모델링
- 설계제안서 작성

#### 김회주 팀원

- 구조해석
- 대회규정분석
- MIDAS 모델링
- 설계제안서 작성

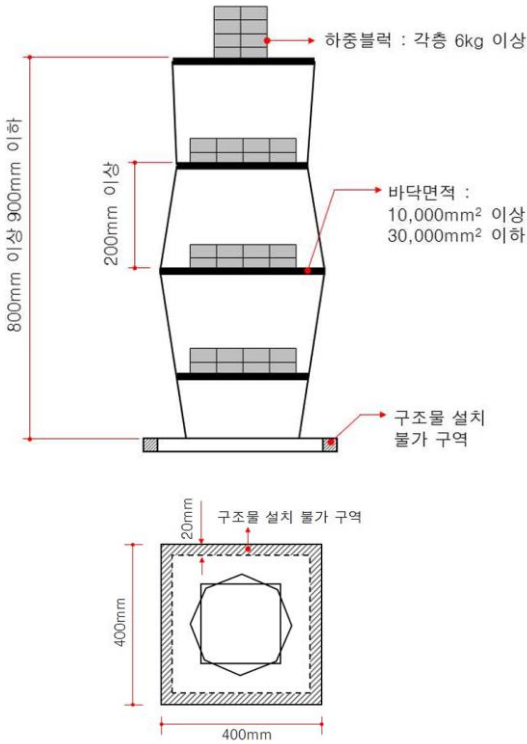
#### 한태령 팀원

- 구조해석
- 대회규정분석
- 경제성 분석
- 설계제안서 작성

#### 조성민 팀원

- 재료 물성치 분석
- 시공성 분석
- 도면 작성

# 구조물 심사 기준

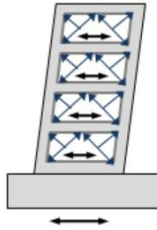
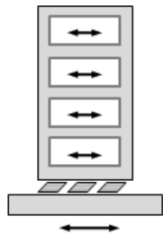
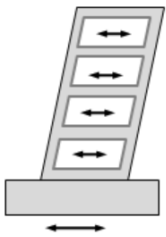


## 작품 심사기준

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

재료명	단위	규격	단위수량	단가(백만원)
MDF Base	개	400 × 400 × 6	1	1개 기본제공
MDF Strip	개	600 × 4 × 6	1	10
MDF Plate	개	200 × 200 × 6	1	100
String	식	600 mm	1	40
A4	장	A4	1	10
접착제	개	20 g	1	200

# 내진 설계 개념



**내진설계**

구조물 자체의 내력을 강하게 만들어 지진하중을 직접적으로 저항하는 설계 방식

**면진설계**

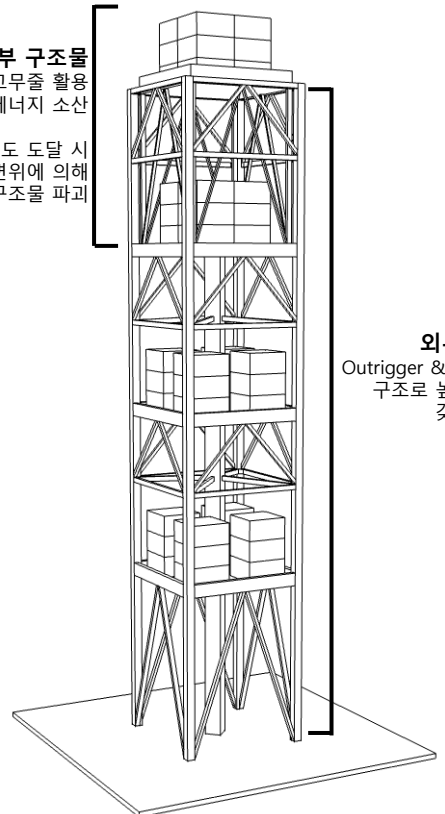
지진의 진동을 면진 장치를 사용해서 구조물로의 전달을 완화하는 설계 방식

**제진설계**

구조물 내부에 제진장치를 설치하여 지진하중을 흡수하거나 소산시켜서 지진력을 감소시키는 설계 방식

상부 내부 구조물  
종이 댐퍼, 고무줄 활용  
지진 에너지 소산

일정 가속도 도달 시  
변위에 의해  
외부 구조물 파괴



**외부 구조물**  
Outrigger & Belt Truss  
구조로 높은 강성을 갖도록 설계

코어와 외부 기둥을 연결하는 아웃리거 & 벨트트러스 구조를 적용하여 외부 구조물의 자체 내력을 강하게 만들어 설계하고, 구조물 상부에 4층 부분에 내부 구조물을 종이댐퍼, 고무줄 등을 활용하여 지진 에너지를 소산시키도록 설계를 진행한다.

# 지진파 분석

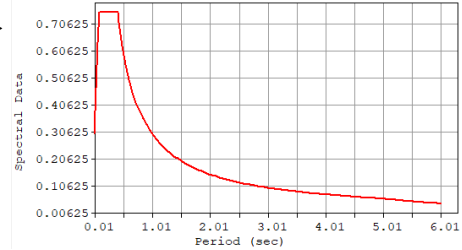
재현주기	500년	2400년	구조물 고유주기 (500년, 2400년)	
유효수평지반가속도 (S)	0.3 g	0.6 g	$T_0$	0.08 sec
위험도계수 (I)	1.0	2.0	$T_s$	0.4 sec
지진구역계수 (Z)	0.3 g	0.3 g	$T_L$	0.4 sec

## 지진응답증폭계수

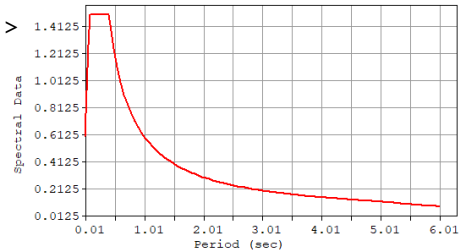
단주기 ( $F_a$ )	1.5
1초 주기 ( $F_v$ )	1.5

설계 스펙트럼 가속도	500년	2400년
단주기 설계 스펙트럼 가속도 ( $S_{DS}$ )	0.75 g	1.5 g
1초 주기 설계 스펙트럼 가속도 ( $S_{D1}$ )	0.3 g	0.6 g

< 500년 >



< 2400년 >



# 재료 물성치 분석

## 기둥 & 코어 단면 성능

<외부 기둥>



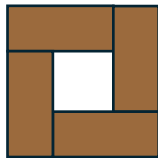
$A = 96 \text{ mm}^2$   
 $I_x = 832 \text{ mm}^4$   
 $I_y = 832 \text{ mm}^4$

<내부 기둥>



$A = 24 \text{ mm}^2$   
 $I_x = 72 \text{ mm}^4$   
 $I_y = 32 \text{ mm}^4$

<코어>



$A = 336 \text{ mm}^2$   
 $I_x = 12992 \text{ mm}^4$   
 $I_y = 12992 \text{ mm}^4$

## 마찰계수 측정 실험

- MDF판 - A4 정지 마찰 계수
- $\mu = wg \sin \theta / wg \cos \theta$
- $V = \mu \times w \times g$

V (N)	74.2 N
정지마찰계수	0.631

## 기둥 물성치 실험

- 외부 기둥 탄성계수
- $\delta = PL^3/3EI$
- 부재 길이 570 mm

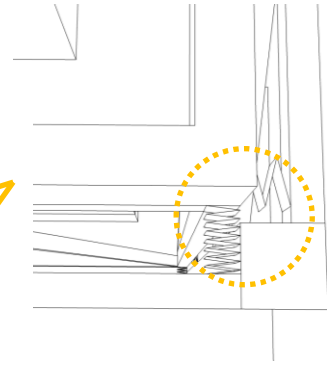
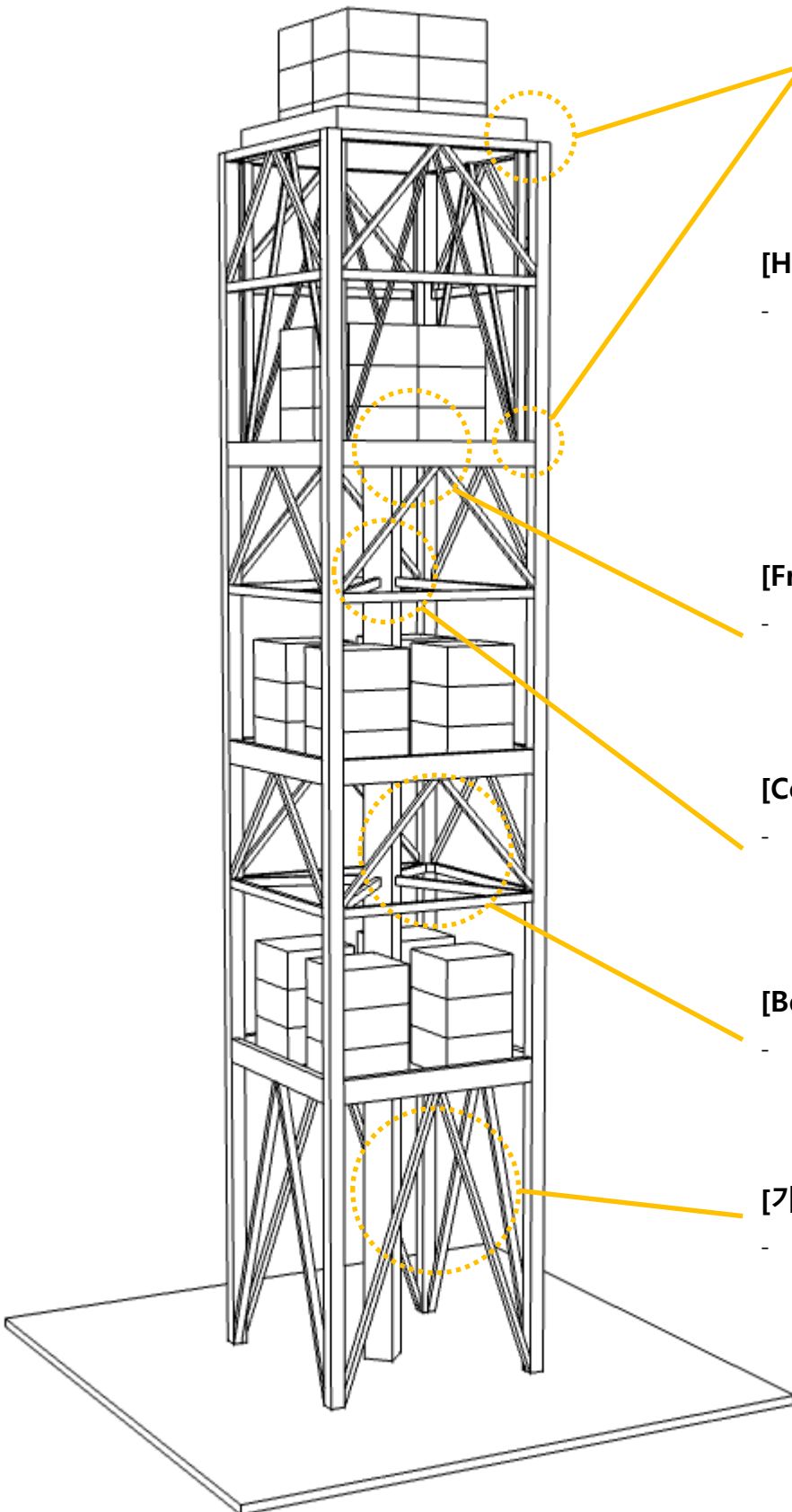
P (N)	0.98 N (100 g)
처짐 (mm)	54 mm
단면2차모멘트	832 $\text{mm}^4$
탄성계수 (E)	1347 MPa

## 스트링 물성치 실험

- 스트링 탄성계수
- $E = PL/A\Delta L$
- 부재 길이 500 mm

P (N)	0.98 N (100 g)
단면적	3.14 $\text{mm}^2$
변위(mm)	235 mm
탄성계수	0.664 MPa

# 구조물 설계 분석



## [Horizontal Damper & String]

- 상부의 내·외부 구조물의 기둥 사이에 설치하여 댐퍼의 압축, 고무줄의 인장을 통해 내부 구조물의 변위를 제한하고, 내부 구조물의 진동에 의한 충격 및 파손을 방지

## [Friction Damper]

- 외부 구조물의 슬래브와 내부 구조물의 슬래브 사이에 A4용지 댐퍼를 설치하여 마찰력으로 지진 에너지를 소산

## [Core & Outrigger]

- 1~3층 까지 구조물 중심부에 코어를 설치하고 아웃리거로 외부 기둥과 연결하여 구조물의 휨강성 증가

## [Belt Truss]

- 2, 3, 4층 외부 구조물에 설치하여 외부 기둥을 연결, 횡력 저항 성능 향상

## [가새]

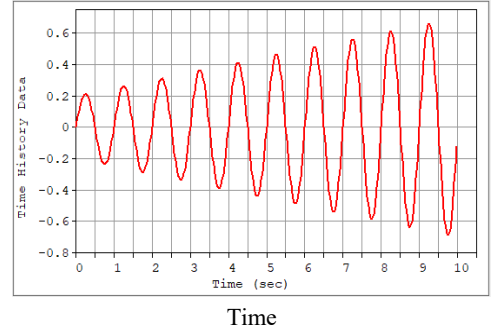
- 수평 전단력을 부담하고 변위를 제한

# 구조 해석

본 설계에서는 MIDAS Gen 이용하여 구조해석을 진행하였다. 실제 구조물 실험 시 적용될 인공지진하중과 동일한 하중을 사용하여 시간이력해석 (Time History Analysis)을 수행하였다. 해당 시간 이력 함수는 구조물의 동적응답을 평가하기 위한 인공지진파로 Ground Acceleration으로 작용하며, 구조물 전체에 진동을 유도하여 약 0.7 g의 최대 가속도 수준에서 파괴되도록 설계되었다.

$$F(t) = (A+C)t \cdot \sin(2\pi ft)$$

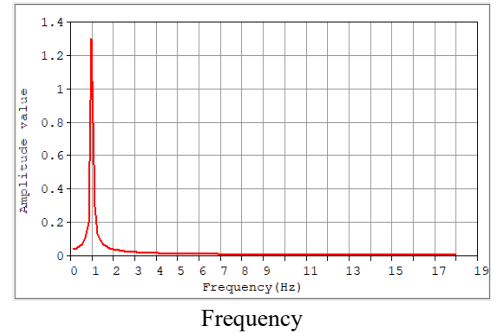
항목	값	설명
A	0.2 g	초기 진폭
C	0.05 g/s	진폭 점증률
f	1.0 Hz	주파수 (고유진동수 대응)
D	0	감쇠 없음
PA	0°	위상 없음



## Structural Design Summary

구조물에 지반가속도 형태의 인공지진하중을 입력하여 시간에 따른 응답을 평가하였다. 입력파는 시간에 따라 진폭이 점차 증가하도록 설계되어 반복적 에너지 입력과 누적 손상을 유도한다.

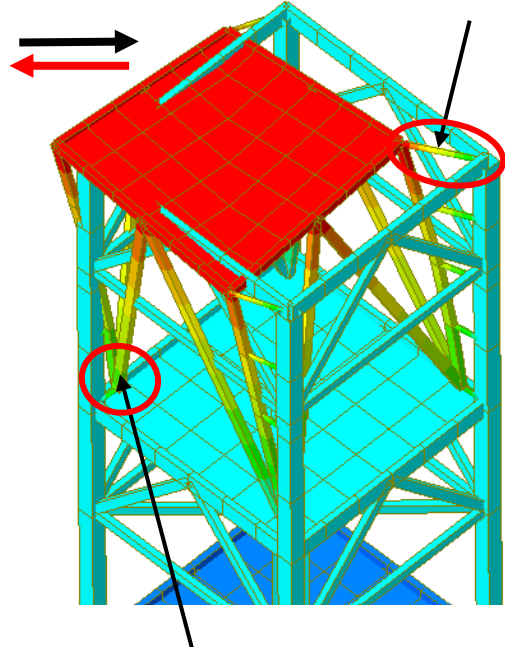
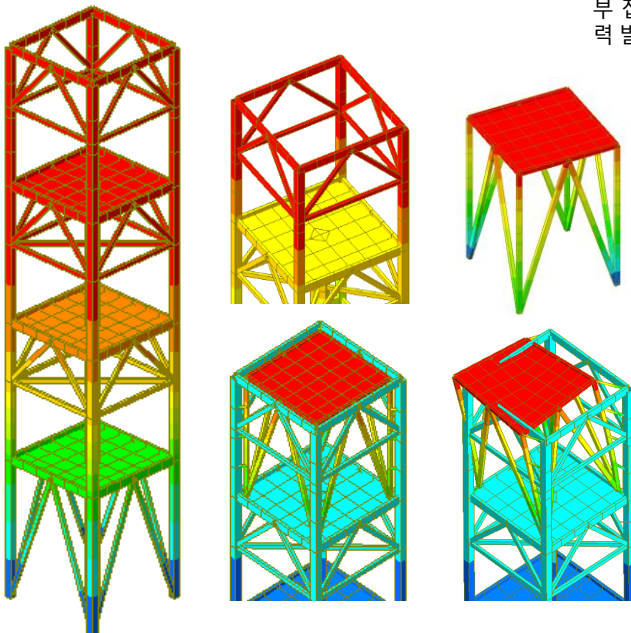
- Time Domain: 약 0.7 g 수준에서 파괴 유도되도록 설정
- Frequency Domain: 약 1.0 Hz 에서 뚜렷한 피크, 공진에 의한 응답 극대화
- 실험의 재현성을 확보하여 파괴 시점과 거동을 정밀하게 예측가능



# 구조 해석

수평력 작용 시 외부 구조물과 내부 구조물은 반대 방향으로 거동, 슬래브 상부 접촉면에서 상대 운동에 의한 마찰력 발생

내·외부 구조물은 탄성 연결체로 연결된 것으로 가정, 구조물 진동 시 고무줄에 인장력이 발생하여 반복 진동을 통해 에너지를 점진적 소산 (스프링과 조건 동일)



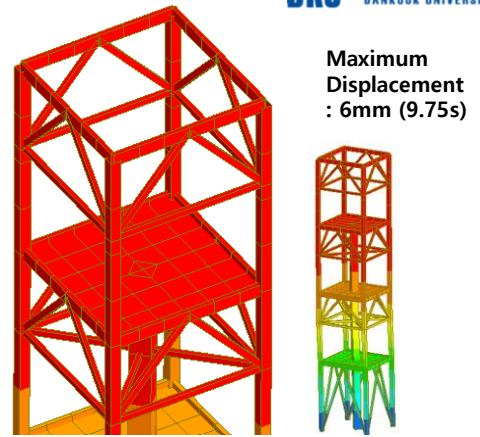
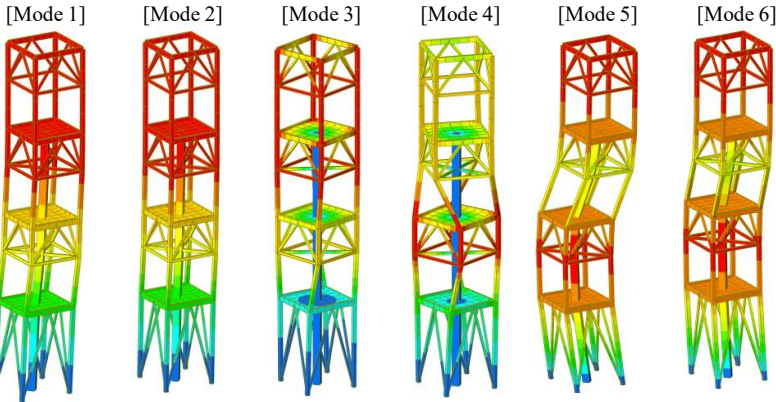
## Vibration Control Design Concept

본 구조물은 외부 구조물 내부에 별도의 내부 구조물을 삽입하여 전체 고유주기를 조절하도록 설계되었다. 내부 구조물에는 고무줄 연결 및 스프링 메커니즘을 통해 댐퍼 역할을 수행하며, 과도한 변위를 제어하고 약 0.7 g의 지반가속도에서 구조물의 파괴를 유도한다. 결과적으로 내부 구조물은 공진 유도와 함께 에너지 소산 및 변위 제어 기능을 수행하는 핵심 장치로 작용한다.

절점에 Point Spring Boundary 기능을 활용하여 종이 댐퍼 가스프링 역할을 수행하도록 설계

거동 시 일방향 저항 메커니즘을 구현하고 내부 구조물의 상하 움직임을 제어하여 외부 구조물과의 상호작용 및 구조적 에너지 소산 유도

# 구조 해석



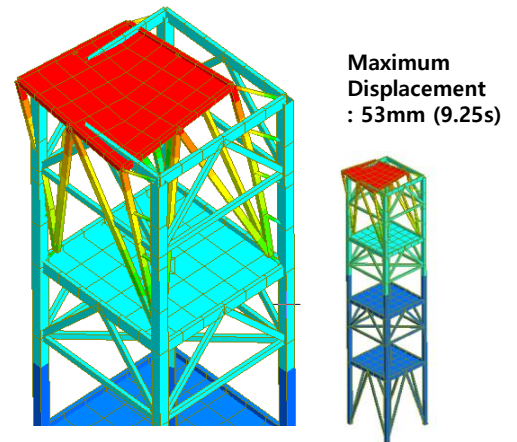
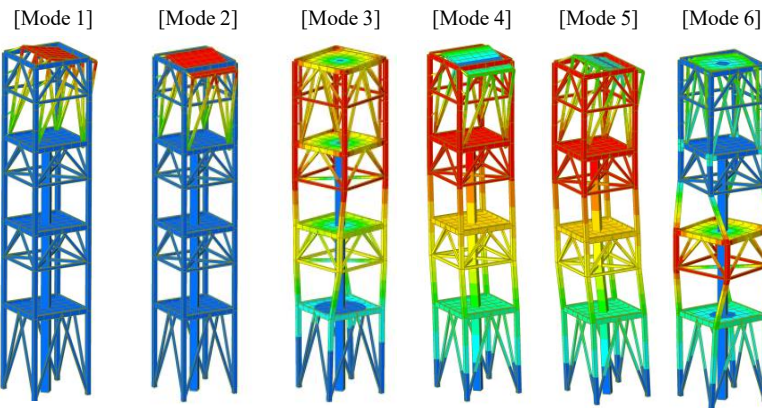
Eigenvalue Analysis

Mode No.	Frequency		Period (sec)	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)		
1	43.85	6.98	0.143	1.18 E-16
2	43.85	6.98	0.143	2.37 E-16
3	47.67	7.59	0.132	4.00 E-16
4	116.16	18.49	0.054	1.93 E-12
5	120.12	19.12	0.052	1.68 E-13
6	120.12	19.12	0.052	1.66 E-13

- ① 외부 구조물의 고유치해석을 진행하여 Mode별 고유주기 산정
- ② 각 방향별 질량참여율이 가장 높은 Mode 1, Mode 2의 Period를 외부 구조물의 고유주기로 산정
- ③ 0.2 g ~ 0.7 g의 선형 Ground Acceleration을 통해 최대변위 산출

→ 외부 구조물의 횡저항능력 검증이 되었으며, 내부 구조물을 포함시켜 고유주기를 증가시킬 필요가 있음

# 구조 해석



Eigenvalue Analysis

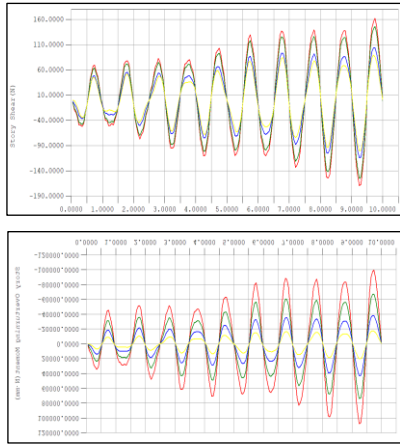
Mode No.	Frequency		Period (sec)	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)		
1	11.32	1.80	0.555	4.44 E-16
2	11.32	1.80	0.555	4.44 E-16
3	35.74	5.69	0.176	1.78 E-16
4	45.19	7.19	0.139	3.34 E-16
5	45.19	7.19	0.139	3.34 E-16
6	98.58	15.69	0.064	4.03 E-11

- ① 내부 구조물이 포함된 구조물의 고유치해석을 진행하여 Mode별 고유주기 산정
- ② 각 방향별 질량참여율이 가장 높은 Mode 1, Mode 2의 Period를 외부 구조물의 고유주기로 산정
- ③ 0.2g~0.7g의 선형 Ground Acceleration을 통해 최대변위 산출

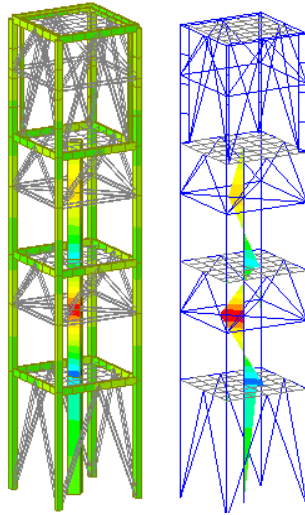
→ 내부 구조물로 인해 고유주기가 설계 스펙트럼 최대 가속도 0.4 s이상으로 안정

→ Damper를 추가하여 내부 구조물의 최대 변위를 조절하여 0.7 g에서의 파괴모드 유도

# 구조 해석



Story shear/moment



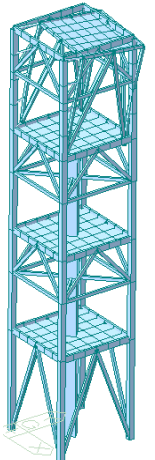
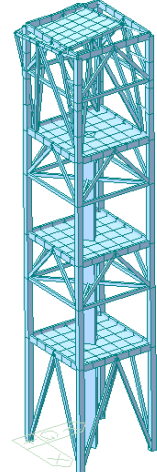
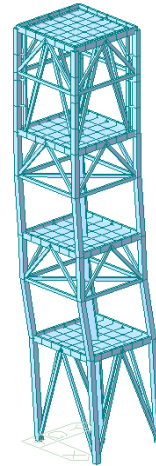
## Incremental Collapse Mechanism

- 0.2 g (8 mm): 초기 진동 단계에서 구조물의 최대 변위는 8 mm로, 안정적인 범위 내에서 에너지 분산됨
- 0.4 g (35 mm): 진폭이 증가하며 구조물의 변위도 급격히 증가함
- 0.7 g (53 mm): 최대하중으로 구조적 응력이 집중되며 설계된 파괴 메커니즘에 따라 구조물의 붕괴가 유도됨.

Maximum Displacement : 8 mm (0.2 g)

Maximum Displacement : 35 mm (0.4 g)

Maximum Displacement : 53 mm (0.7 g)



## Lateral Load Distribution Analysis

전단력과 모멘트 값은 특정 주기에서 안정적인 패턴을 나타내며, 아웃리거 골조가 주요 층에서 전단력과 모멘트를 코어로 효과적으로 전달함으로써 상부로 갈수록 전단력과 모멘트가 점진적으로 감소하는 양상을 보인다.

- 횡저항 성능: 구조물 중간 및 상단의 변형을 줄이고 안정성 강화
- 변위 제어: 층 간 상대 변위를 감소시켜 균형 잡힌 구조 거동 유도
- 응력 집중 완화: 주요 응력 집중 부위를 효과적으로 분산

# 붕괴 메커니즘

## 붕괴 메커니즘

1. 내부 구조물이 외부 구조물을 파괴:  
지진 하중이 0.7 g에 도달할 때 내부 구조물에서 발생하는 최대 변위에 의해 외부 구조물의 손상 및 붕괴 발생
2. 내부 구조물 자체가 붕괴:  
내부 구조물의 최대 변위 상태에서 외부 구조물과의 연결부에 응력 집중이 발생하며, 자중 및 인장력으로 인해 내부 구조물 자체의 붕괴 발생

## 변위 조절을 위한 댐퍼 시스템

최대 변위를 조절하기 위해 0.7 g에서의 파괴변위에 맞춰 설계된 댐퍼 시스템을 적용하였다. 이를 통해 내부 구조물의 변위가 의도된 파괴모드를 구현할 수 있도록 조정된다.

### 1. 종이 댐퍼:

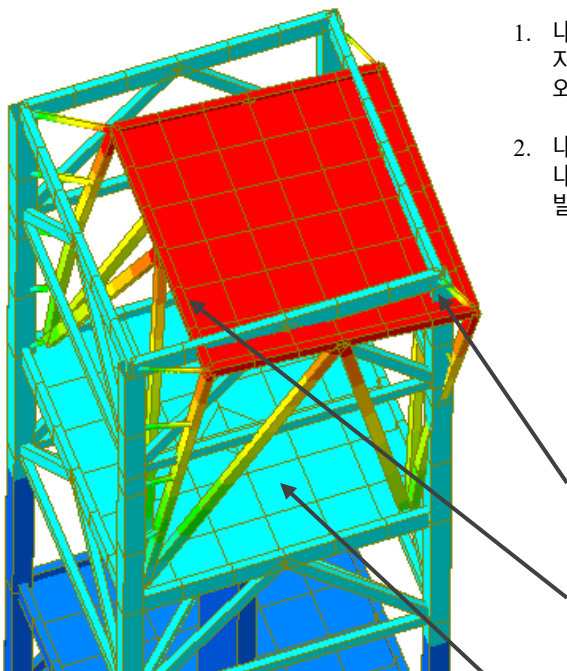
수평 변위를 종이 댐퍼가 흡수하여 과도한 수평 변위 방지

### 2. 기둥 간 고무줄 인장력:

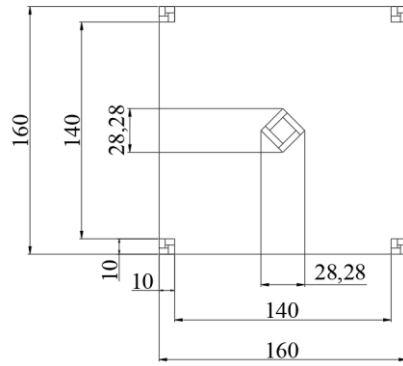
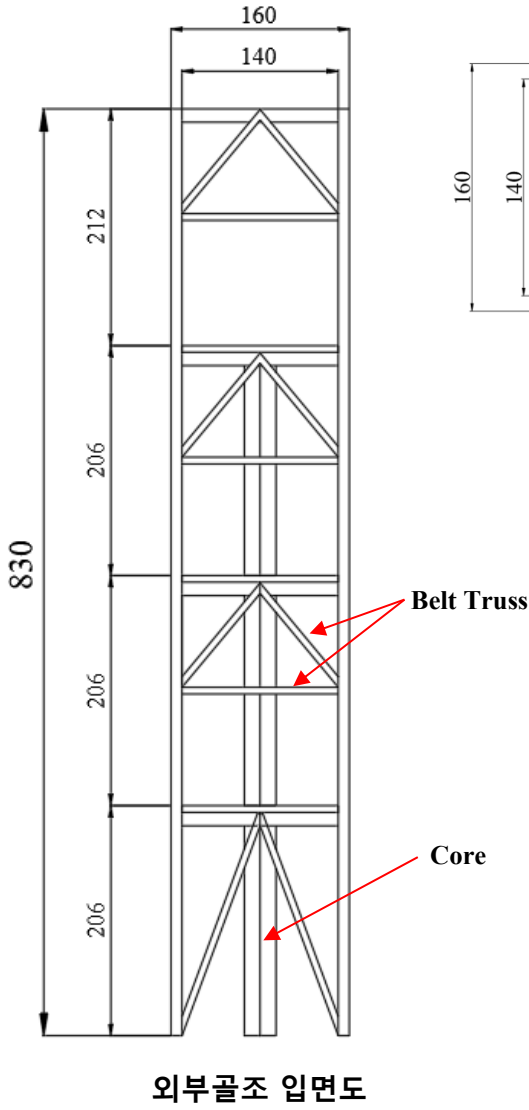
내·외부기둥 사이에 고무줄을 연결하여 수평 이동 제한 및 안정적 변위 유지

### 3. 내부 구조물 하부 종이 마찰 감쇠:

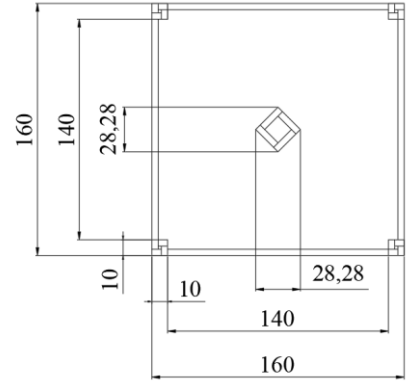
내부 구조물 바닥 하부에 종이 마찰감쇠를 설치하여 지진 에너지를 효과적으로 소산하고, 변위를 0.7 g에서의 파괴 조건에 최적화



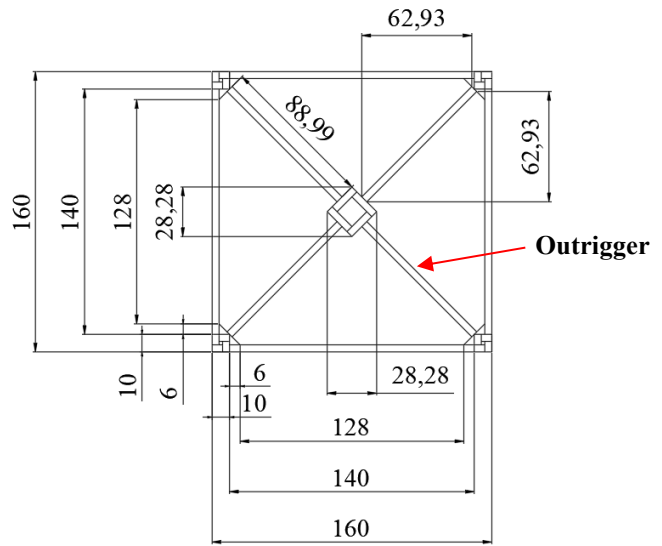
# 평면도 & 입면도



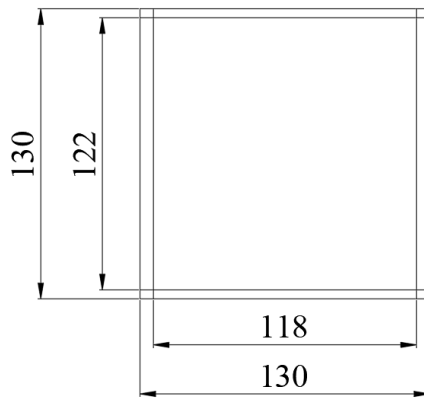
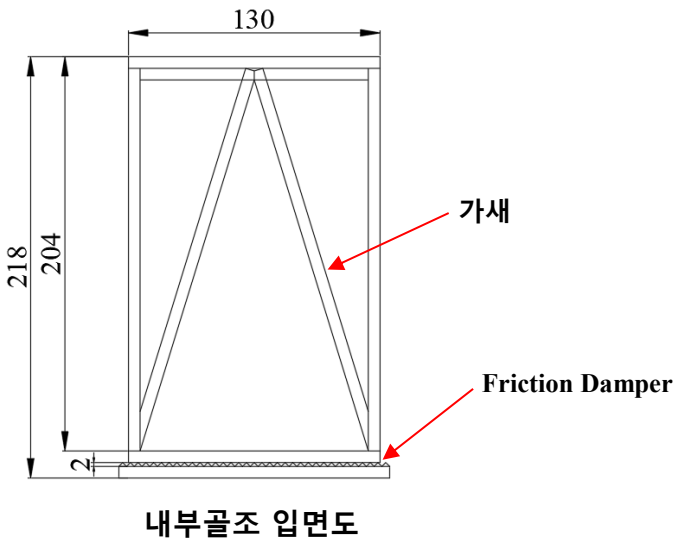
1층 평면도



4층 평면도



2~3층 평면도



4~5층 평면도

# 경제성 분석

부재명	규격	수량	비고	부재명	규격	수량	비고
슬래브-A	160 mm × 160 mm × 6 mm	3	가장자리 10mm 정사각형으로 제단	보-A	140 mm × 6 mm × 4 mm	32	해당부재 2개를 이용하여 제작
슬래브-B	130 mm × 130 mm × 6 mm	2	-	보-B	136 mm X 6 mm × 4 mm	8	-
메가코어	200 mm × 14 mm × 6 mm	12	해당부재 4개를 이용하여 제작	아웃리거	89 mm × 6 mm × 4 mm	8	-
외각기둥부재-1	600 mm × 6 mm × 4 mm	12	1번과 2번 부재를 조합하여 제작	가새	210 mm × 6 mm × 4 mm	16	-
외각기둥부재-2	230 mm × 6mm × 4 mm	12		블록이탈방지판-A	108 mm × 6 mm × 4 mm	16	해당부재를 2개 이용하여 제작
내부기둥	200 mm × 6 mm × 4 mm	4	-	블록이탈방지판-B	58 mm × 6 mm × 4 mm	64	해당부재를 2개 이용하여 제작
벨트트러스부재-1	140 mm × 6 mm × 4 mm	12	1번과 2번 부재를 조합하여 제작	거šet플레이트	6 mm × 6 mm × 4 mm	16	정삼각형
벨트트러스부재-2	110 mm × 6 mm × 4 mm	24		종이 댐퍼	200 mm × 200 mm	1	-

재료명	규격	단위수량	단가	사용개수	비용 (백만원)
MDF Base	400 mm × 400 mm × 6 mm	1	기본제공	1	0
MDF Strip	600 mm × 6 mm × 4 mm	1	10	63	630
MDF Plate	200 mm × 200 mm × 6 mm	1	100	6	600
String	600 mm	1	40	1	40
A4지	297 mm × 210 mm	1	10	2	20
접착제	20 g	1	200	2	400

총합 금액

1690

# 시공성 분석

