

2024 구조물 내진 설계 경진 대회

Riding a Whale to Taipei

고래 타고 타이베이



김대경 교수님

지도 교수님
구조 그 자체



박보규 (팀장)

구조 해석
지진파 분석
마이다스 모델링
구조물 제작

김재현

구조 해석
모델링 및 도면 작성
경제성 분석
구조물 제작

배민진

구조 해석
물성치 분석
공정표 작성
구조물 제작

백하은

구조 해석
PPT 제작
공정표 작성
구조물 제작



01. 설계 개요



구조 설계

▶ 구조 설계 개요 _ 내진설계를 통한 구조물의 지진피해 저감

내진설계 목표

경제성 _ 합리적인 비용 내에서 최대한의 안정성을 확보

구조성 _ 주요 부재의 손상 정도를 확인하며 주요 구조를 유지하면서 과도한 구조 설계 지양

시공성 _ 간단한 기본 구조 모듈을 바탕으로 효율적인 시공성 확보

[CASE STUDY]

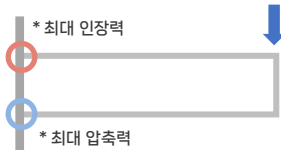


- ⇒ 모듈러 구조
- ⇒ 층별 Unit 제작
- ⇒ 단순 반복 작업

구조물 성능수준

FOCUS _ 지진 발생 후, 구조물의 각 부재에 피로가 누적될 수 있으나 기둥 등 주요부재의 기능이 유지 가능한 설계

지진 시 거동 예측



층이 큰 캔틸레버보 가정

: 지진력에 의해 외곽 기둥에 최대 인장력과 압축력이 반복적으로 발생할 것을 예상

프로젝트 핵심 목표

1. 높은 구조적 강성 확보 _ 구조물의 내구성을 증진시켜 내진 성능을 강화
2. 건물의 변형 최소화

주요 설계 전략

1. 중앙 메가 코어 설계 _ 중앙에 고강성 코어를 배치해 전체 구조물의 강성 증진
2. 반원형 절단면 적용 _ 응력 분산 및 피로 최소화를 위해 곡선형 절단면 도입

적용 해석법 : 모드해석법

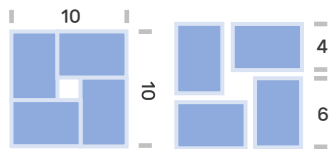
강성을 높임으로써 고차모드 참여율을 높이는 것을 목표

* 저차모드 _ 질량 참여율 & 모드 참여율이 높다

기대 효과

1. 목표 가속도 도달 _ 비틀림 & 강성 증진을 통해 목표 가속도에서 파괴되도록 설계
2. 장기 내구성 _ 다양한 진동에 고르게 대응함으로써 구조물의 피로저항성 증진

▶ 기둥 선택 & 물성치 분석



* X-Y 양방향에서 동등한 단면 성능 확보
: 정사각형 단면 선정

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \Rightarrow E = \frac{PL^3}{3\delta I}$$

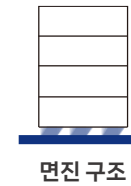
δ : 변위 (mm)
P : 하중 (N)
L : 길이 (mm)
I : 단면 2차 모멘트 (mm⁴)



하중 (N) : $0.5 \times 9.8 = 4.9$
길이 (mm) : 150
단면 2차 모멘트 (mm⁴) : 832
변위 (mm) : 8.4

탄성계수 = 788.8 (MPa)

▶ 적용 설계 구조 _ 내진 구조



면진 구조

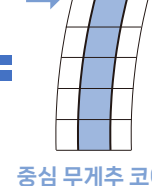


제진 구조



내진 구조

구조물의 강성 증가
⇒ 지진하중에 저항



중심 무게추 코어
⇒ 강성 높은 중심 코어



중이 전단벽
⇒ 가새 역할

▶ 지진파 분석

위험도계수 (I)	
500년	2,400년
1	2

지진구역계수 (Z)	
500년	2,400년
0.3g	0.3g

설계 스펙트럼 가속도

$$S = Z \times I \quad \text{단주기 설계 스펙트럼 가속도}(S_{DS})$$

$$= S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \quad [F_a = 1.5]$$

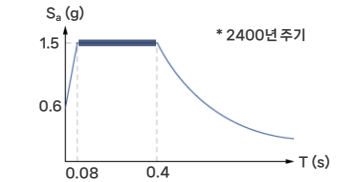
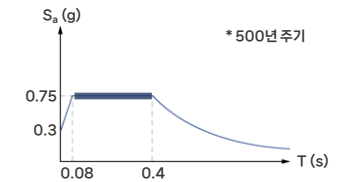
$$500\text{년} \Rightarrow 0.75g / 2400\text{년} \Rightarrow 1.5g$$

$$\text{1초 주기 설계 스펙트럼 가속도}(S_{D1})$$

$$= S \times F_v \times 2/3 \quad [F_v = 1.5]$$

$$500\text{년} \Rightarrow 0.3g / 2400\text{년} \Rightarrow 0.6g$$

지반 응답 스펙트럼



구조물의 고유 주기

$$T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS} \quad T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$$

$$500\text{년} \& 2400\text{년} \Rightarrow 0.08\text{sec} \quad 500\text{년} \& 2400\text{년} \Rightarrow 0.4\text{sec}$$

$$T_L = 3\text{sec}$$

0.08 ~ 0.4 sec 에서 설계 스펙트럼 가속도 최대

재현 주기 (년)	구조물의 성능 수준
500	기능 수행
2,400	붕괴 방지

* 구조물의 파괴는 0.7g에 정규 분포하여 발생할 것

탁월주기(0.08 ~ 0.4 sec)에 구조물의 강성을 증가시켜 응답가속도가 최대가속도에 견딜 수 있는 구조물 설계

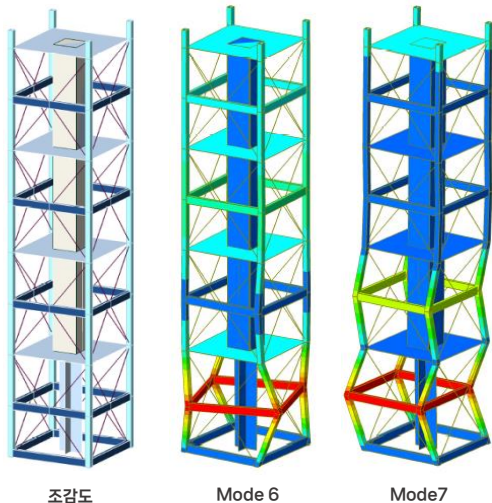
03. 모델 실험

MIDAS 구조 해석

▶ MIDAS 모델링 해석

Mode	UX	UY	UZ	RX
고유치 해석				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	22.3088	3.5505	0.2816	2.21E-16
2	22.3688	3.5601	0.2809	2.01E-16
3	24.8211	3.9504	0.2531	1.22E-16
4	66.8742	10.6434	0.094	2.01E-16
5	182.7036	29.0782	0.0344	1.04E-16
6	186.7043	29.7149	0.0337	2.01E-16
7	249.5778	39.7215	0.0252	1.01E-16

모드별 질량 참여율 출력값						
Mode No	TRAN - X		TRAN - Y		ROTN - Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	12.7377	12.7377	6.0146	6.0146	0.4313	0.4313
2	7.5728	20.3105	1.4287	7.4433	8.3347	8.7660
3	0.7523	21.0628	0.7489	8.1922	11.2487	20.0147
4	1.5465	22.6093	0.9547	9.1469	0.9748	20.9895
5	5.1883	27.7976	4.5582	13.7051	4.6572	25.6467
6	33.4554	61.2530	39.6421	53.3472	41.1329	66.7796
7	31.5786	92.8316	37.8454	91.1926	26.5172	93.2968



MIDAS 질량 참여율
: Mode 6 & 7 지배적

II

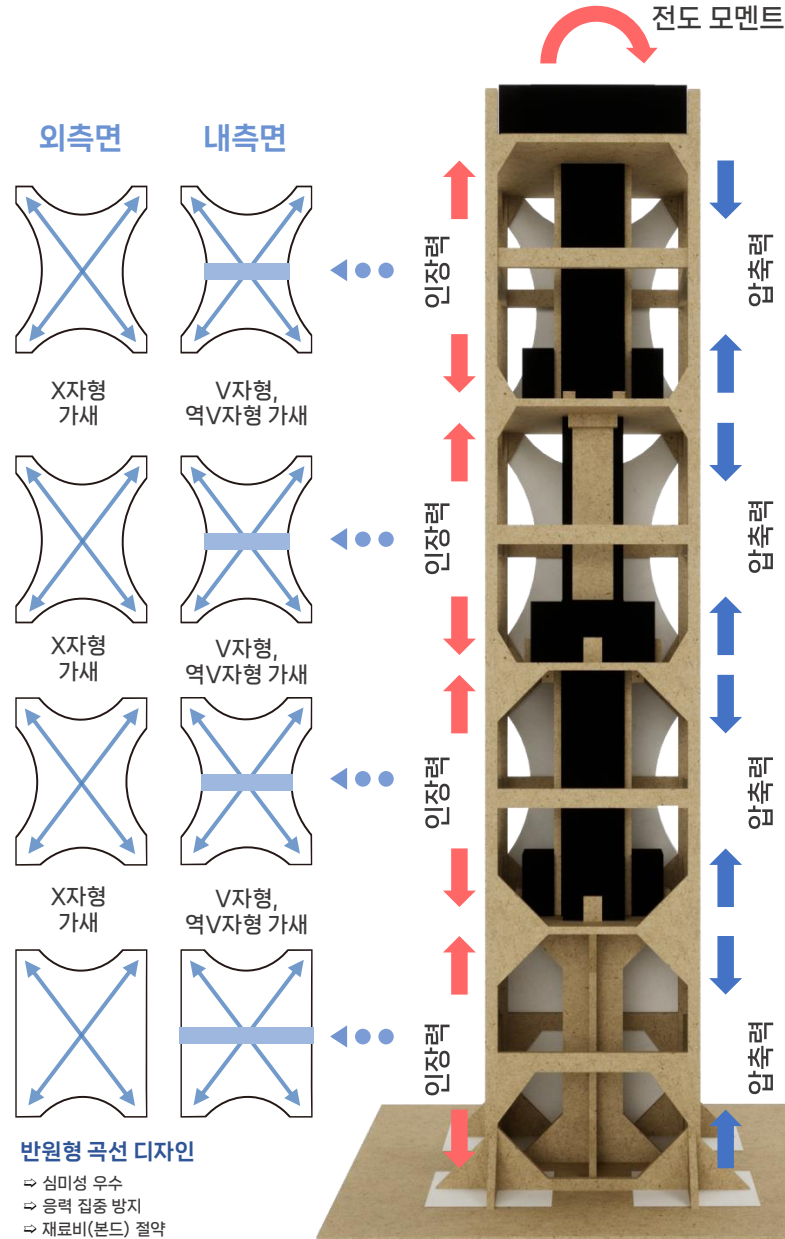
모델 실험 파괴 형상
: Mode 6 & 7 지배적

붕괴 형상 고려

⇒ 1 ~ 2층 패널존에 절점
보강용 거сет플레이트 설치

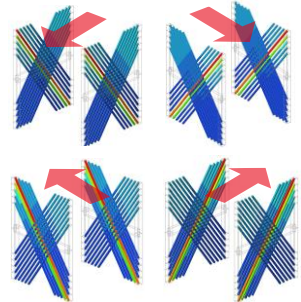
'설계 지진 초과 시 구조물의 붕괴
매커니즘을 고려한 파괴를 유도한 정밀 설계'

▶ 기둥 & 전단벽 구조 분석



전단벽 모델링 설계

가새 _ Tension only



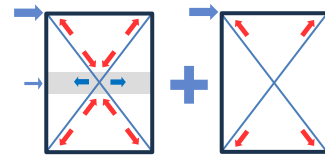
⇒ 인장력을 부담하는 부분에 대한 상세 설계

1차 설계

대각선 부재만을 고려해 최상층 node의
x, y방향 변위를 줄이는 방향으로 설계

2차 설계

중이 전단벽을 한 겹 추가하여
내측면은 중앙 브레이스와 접합시킨 벽과
외측면은 중앙 브레이스와 분리된 벽,
벽 2개를 결합해 하나의 전단벽을 구성해
V자형과 역V자형 구조를 결합함으로써
비틀림을 효과적으로 잡아준 설계를 진행



중간브레이스
직접 연결 O

: V자형 + 역V자형 가새

⇒ 전체 벽체 강성을
균일하게 분포
⇒ 큰 지진력에 대한
저항력을 증대

중간브레이스
직접 연결 X

: 유연성 ↑

⇒ 장주기 지진력에 적합
(but, 지진력의 크기가
매우 클 경우 전체 구조물의
안전성이 떨어질 수 있음)

03. 모델 실험



실제 모델 실험

면진 장치 적용



1차 : 0.3g 파괴

- 최상층 가새 탈락
- 마찰댐퍼 역할 X



2차 : 0.6g 파괴

- 면진층 추 기동 타격 후 구조물 전도



3차 : 0.5g 파괴

- 면진층 추 기동 타격 후 구조물 전도



4차 : 0.5g 파괴

- 면진층 추 기동 타격 후 기동 전단 파괴

고무줄 탄성·유연성
경제성
면진 장치 역할X

면진 장치 제거

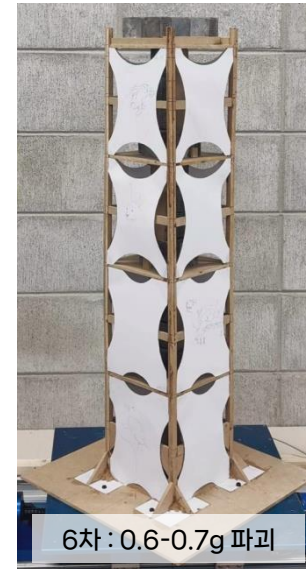


5차 : 0.6g 파괴



1층 주각부
편칭전단파괴

바닥 전단저항력 증진

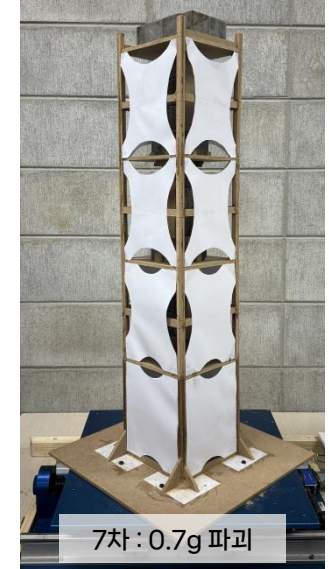


6차 : 0.6-0.7g 파괴



1층 종이 전단벽 파괴

종이 전단벽 양 옆 보강



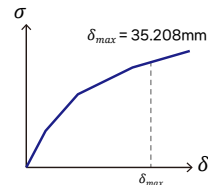
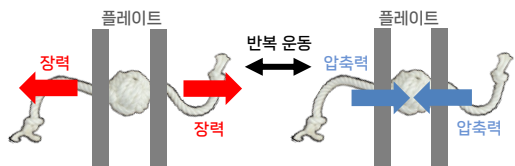
7차 : 0.7g 파괴



1층 주각부 파괴

0.7g에서 구조물 붕괴 유도

(문제점) 장력과 압축력에 의한 인장 & 압축의 반복으로 고무공의 연신율 증가



> 종이 전단벽을 통해 비틀림 & 강성 증대 <

04. 최종 모델

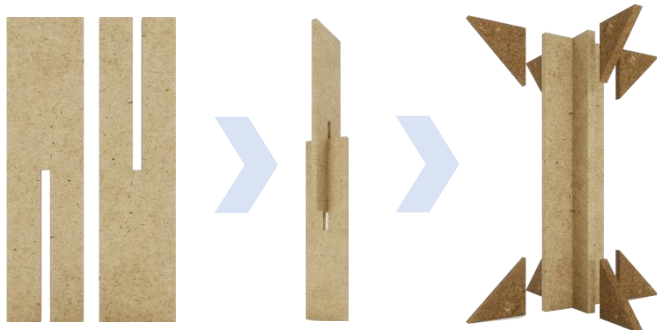
최종 모델 해석

· 종이 전단벽



전단벽 _ 강판 저항벽의 인장저항 역할
설치 위치 & 개수 : 층 당 8개씩 (면당 2장)
> 1층 : 위 아래 곡물을 살림
> 2층 : 네 면의 곡물을 살림
(대형 거셋 플레이트 크기에 형태를 맞춤)
> 3 ~ 4층 : 네 면의 곡물을 살림
(소형 거셋 플레이트 크기에 형태를 맞춤)

· 1층 중심 메가 코어



조립 방법 & 특징

- > 상부층의 무게추 48개(개당 0.5kg)의 중량을 견디기 위해 50mm 두께의 플레이트를 교차하여 코어 형성
- > 하부 코어의 횡변형을 잡아주기 위해 상·하부에 거셋 플레이트 각각 4개씩 보강

· 거셋 플레이트 & 브레이스 & 기둥



거셋 플레이트 _ 패널존 예방

설치 위치 & 개수 : 층 당 16개씩

- > 1 ~ 2층의 경우, 대형 거셋 플레이트 사용
- > 3 ~ 4층의 경우, 소형 거셋 플레이트 사용

브레이스 _ 횡력 저항 성능 향상

설치 위치 & 개수 : 층 당 4개씩

- > 1 ~ 4층 모두 동일한 두께(15mm) 사용

기둥 _ 4개의 긴 기둥 형성

설치 위치 & 개수 : 바닥 플레이트 외곽 지점부에 4개

- > 600mm 부재 4개를 300mm 4개와 600mm 2개로 나누어 엇갈리게 결합

· 2~4층 내부 중심 코어



조립 순서 & 특징

- 1) 무게추 4개를 쌓은 기둥 두 세트를 합쳐 강철 코어 기둥 형성
- 2) 강철 코어 기둥의 전단파괴를 방지하기 위한 측면 고정 플레이트 설치
- 3) 외각 기둥 부재의 상부 자투리 부분을 측면 고정 플레이트 상부 고정 및 보강
- 4) 코어 기둥 제작 후 남은 4개를 각 면에 부착
- 5) 추의 낙하 방지를 위해 플레이트의 자투리 활용

