

2024년도 구조물 내진설계 경진대회

소속 : 한양대학교

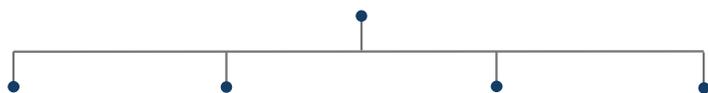
팀명 : 핫한대

지도교수 : 한상환 교수님

팀원 : 김지승, 원종훈, 채윤호, 홍민국

한상환 교수님

한양대학교 건축공학부
자문교수 및 지도교수



김지승

지진파 분석
수계산, 해석
구조물 제작

원종훈

구조 프로그램
대회규정 분석
구조물 제작

채윤호

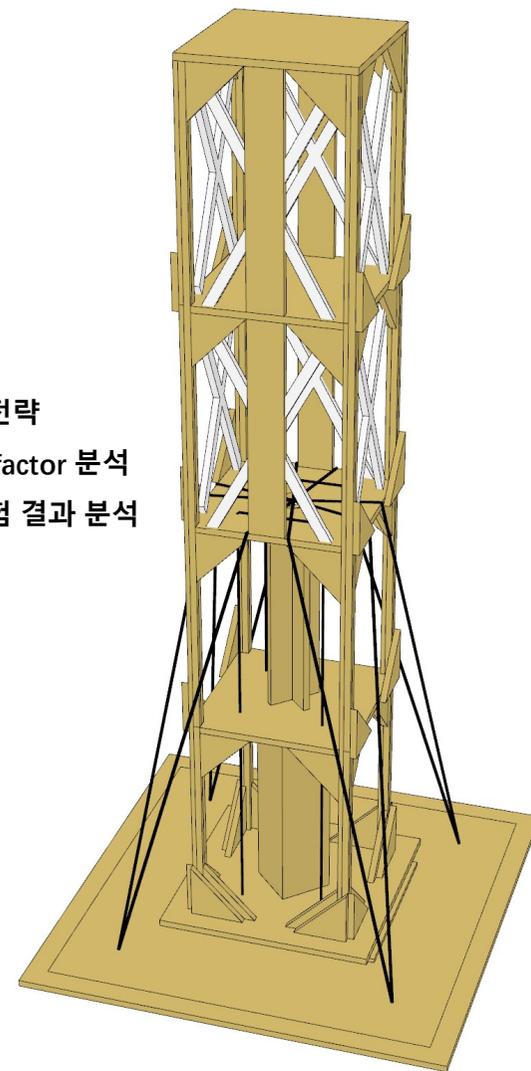
물성치 분석
구조물 제작
실험 결과 분석

홍민국

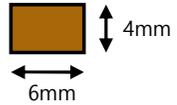
캐드 도면 제작
실험 결과 분석
구조물 제작

목차

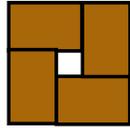
- ✓ 물성치 분석 및 구조전략
- ✓ 수 계산 및 프로그램 factor 분석
- ✓ 해석 프로그램 및 실험 결과 분석
- ✓ 최종 구조 개요
- ✓ 공정표 및 원가 관리



물성치 분석



$$I = \frac{bh^3}{12}$$



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

단면성 및 시공성 우수와 xy축 지진파에 효과적인 정사각형 단면 선정



재료명	규격	단가 []백만원	비고	실제 휨강도	인장강도
MDF Base	400×400×6mm	-	기본제공	-	-
MDF Strip	600×4×6mm	10	-	0.002KN·m	측정불가
MDF Plate	200×200×6mm	100	-	-	-
스트링 고무줄 (2~3mm)	600mm	40	-	-	-
A4지	A4	10	-	-	0.23KN
접착제	20g	200	록타이트	-	-

구조 전략

아이디어 선정 과정

- ✓ 초기 진동에 대한 저항을 내진으로 해결 시도 하였지만 많은 부재 사용으로 인한 경제성 측면에서 재검토 필요하다 판단, 면진으로 해결 시도
- ✓ 2way 방향이 가능한도록 종이를 구 형태로 만들어서 시도 또한 A4 용지를 바퀴처럼 사용하여 단방향 이동이 가능한 면진장치 2개를 이어 시도 하지만 실제 실험에 적용시 사선 거동으로의 면진 작용 안됨
- ✓ 종합적으로 경제성과 내진효율을 위해 X축 방향으로는 면진, Y축 방향으로는 내진, 제진이 가장 적합하다 판단하여 최종적으로 Y축 방향의 구조물 거동에 대한 정확한 해석을 통해 목표한 가속도에서 파괴 유도



내진을 통한 지진 저항



2way 면진 장치

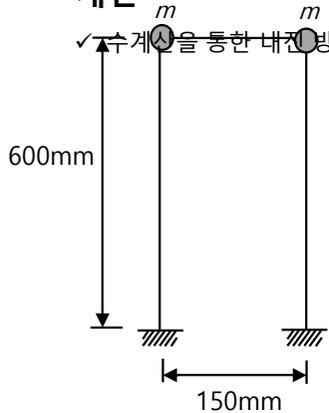


1way 면진 장치

1차 분석 - 기본 조건 수 계산

내진방향 (1way) 방향으로 평면화 하여 수

계산



수계산을 통한 내진 방향의 횡방향의 힘 균형을 계산
(1) 기본 방정식

$$M_{AB} = \frac{2EI}{l} (2\theta_A + \theta_B - 3R) + C_{AB} \text{ 에서 } \theta_{A \sim D} = 0, \text{ 하중항} = 0$$

$$M_{AB} = M_{BA} = M_{CD} = M_{DC} = \frac{-6EI}{l} R, R = \frac{\Delta}{l} \text{ 대입}$$

(2) 층 방정식

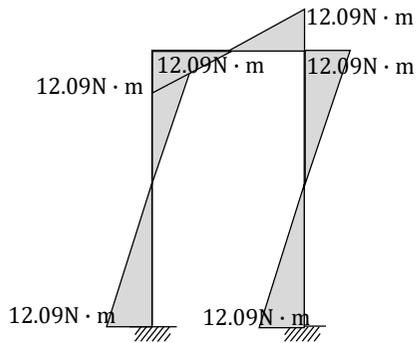
$$\frac{M_{AB} + M_{BA} + M_{CD} + M_{DC}}{l} + P = 0, R = \frac{\Delta}{l} \text{ 대입, } \frac{-24E}{l^3} \Delta = P$$

$$\therefore k = \frac{24EI}{l^3} = 314.3 \text{ N/m}, m = 2 \times 12 = 24 \text{ kg}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{24}{314.3}} = 1.736 \text{ sec}$$

구조물의 종류	감쇠율(%)
• 용접강구조 프리스트레스가 완전히 상실되지 않은 프리스테레스트 콘크리트조	5~7
• 프리스트레스가 완전히 상실된 프리스테레스트 콘크리트조	7~10
• 철근콘크리트조	10~15
• 볼트나 리벳으로 조립된 강구조	15~20
• 볼트로 조립된 목구조	
• 못으로 조립된 목구조	

<Nathan Newmark 감쇠비 표>



2. 저감쇠 자유진동 계산
자연계에 있는 대부분의 구조물은 저감쇠상태이므로 그에 따른 식을 계산, 정립된 감쇠비 표 참고 (mdf 합판과 본드 접합을 고려하여 감쇠율 13% 적용)

$$T_d = T \times \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}, \xi = \text{감쇠비}$$

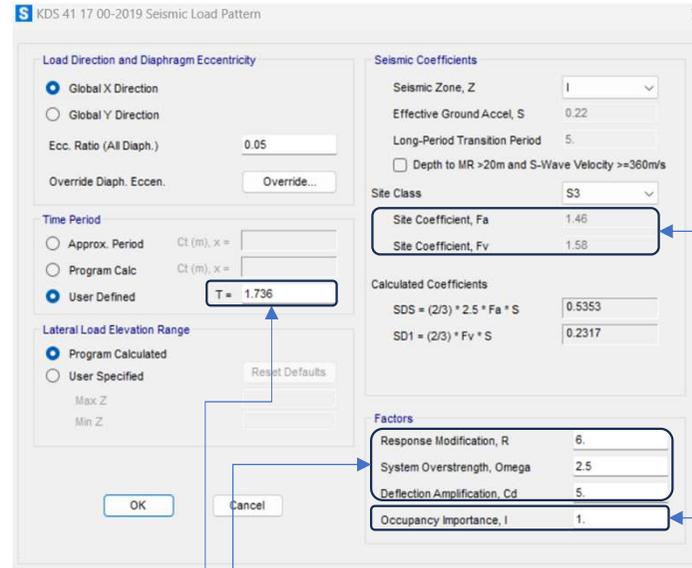
$$T_d = 1.736 \times \frac{1}{\sqrt{1-0.13^2}} = 1.751 \text{ sec}$$

3. 수평력에 의한 휨모멘트 산정
(1) 수평력 산정
가속도- 주기 관계도표를 참조하면, $a = 0.343(g)$ 이므로, $a = 3.358 \text{ m/s}^2$
 $\therefore P = m \cdot a = 24 \times 3.358 = 80.59 \text{ N}$

(2) M 산정

$$M_{AB} = M_{BA} = M_{CD} = M_{DC} = \frac{P \cdot l}{4} = \frac{80.59 \times 0.6}{4} = 12.09 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2차 분석 - 해석 프로그램 Factor



프로그램 상에서 F_a 와 F_v 를 규정 수치인 1.5와 근접하게 설정

가설구조물로서 중요도(3) 선정

수계산을 통해 산정된 주기값

철골 특수중심가새골조

- ✓ 지진력에 대해서 효과적인 저항 제공
- ✓ 가새를 통해 횡변위에 대한 보강
- ✓ MDF 합판으로 단일 재료로 부재 구성

건축물의 중요도	내진등급	중요도계수(I_E)
중요도(특)	특	2.5
중요도(1)	I	1.2
중요도(2,3)	II	1.0

<중요도계수 (KDS 41 17 : 2019)>

기본지진력저항시스템	반응수정계수 R	시스템초과강도계수 Ω_0	변위증폭계수 C_d
철골 특수중심가새골조	6	2.5	5

2차 분석 - 해석 프로그램

해석 모델링

하중 블럭

실제 하중블럭과 유사한 효과를 부여하기 위해 soild요소로 자중을 부여하여 한 블럭에 1.5kg의 하중을 부여함

종이 가새

Sap2000의 부재 선택 중 종이 가새가 인장력만을 버틸 수 있다는 가정으로 'undeformed cable' 로 설정 및 UTM기에서 추출한 데이터 물성치 입력

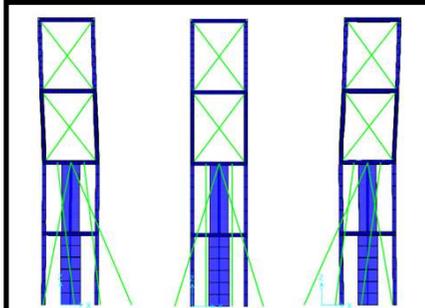
와이어

고무줄의 최대변위에 따른 최대 인장강도를 기입하여 'undeformed cable'로 가정하였음

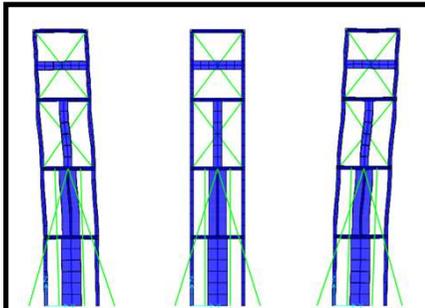
면진 장치

X축 변위만을 고정하지 않는 지지를 설정해서 X축으로의 면진상태를 가정
이는 면 종이 롤러의 효과와 동일한 상황의 해석을 기대할 수 있음

해석 결과



<ZY 뷰>
면진 효과가 일어나고 있음으로 구조물의 전체 변위가 아주 적게 일어나고 있다.



<ZX 뷰>
면진 효과가 없는 방향이므로 구조물 자체의 변위가 크지만 그에 대비한 제진 요소를 추가하여서 잘 버티고 있는 모습이다. 이 부분의 종이 가새의 파괴를 유도할 계획이다.

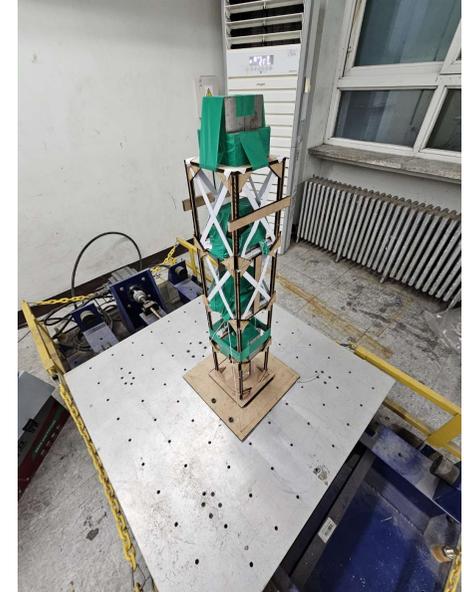
3차 분석 - 실험

1차 실험



파괴 강도 : 0.3g
파괴 패턴 : 상단부 기둥의 휨파괴, 가새의 접착부분 파괴
원인 분석 : 기둥의 연결 방법 기둥의 취약한 부분을 만들어 응력집중현상 발생
해결방법 : 기둥의 연결 위치를 다르게 만들어 응력집중현상을 방지, 가새의 연결방법 변경

2차 실험



파괴 강도 : 0.66g
파괴 패턴 : 가새의 접착부분 파괴, 건물 전체의 점핑현상
원인 분석 : y축 방향의 지진파 발생시 건물의 점핑현상 발생
해결방법 : 건물의 점핑현상을 막기 위해 고무줄의 변형률 증가를 통해 인장력 증가, 점핑 파괴를 막기 위한 추가 고무줄 설치

최종 구조 개요



거셋 플레이트

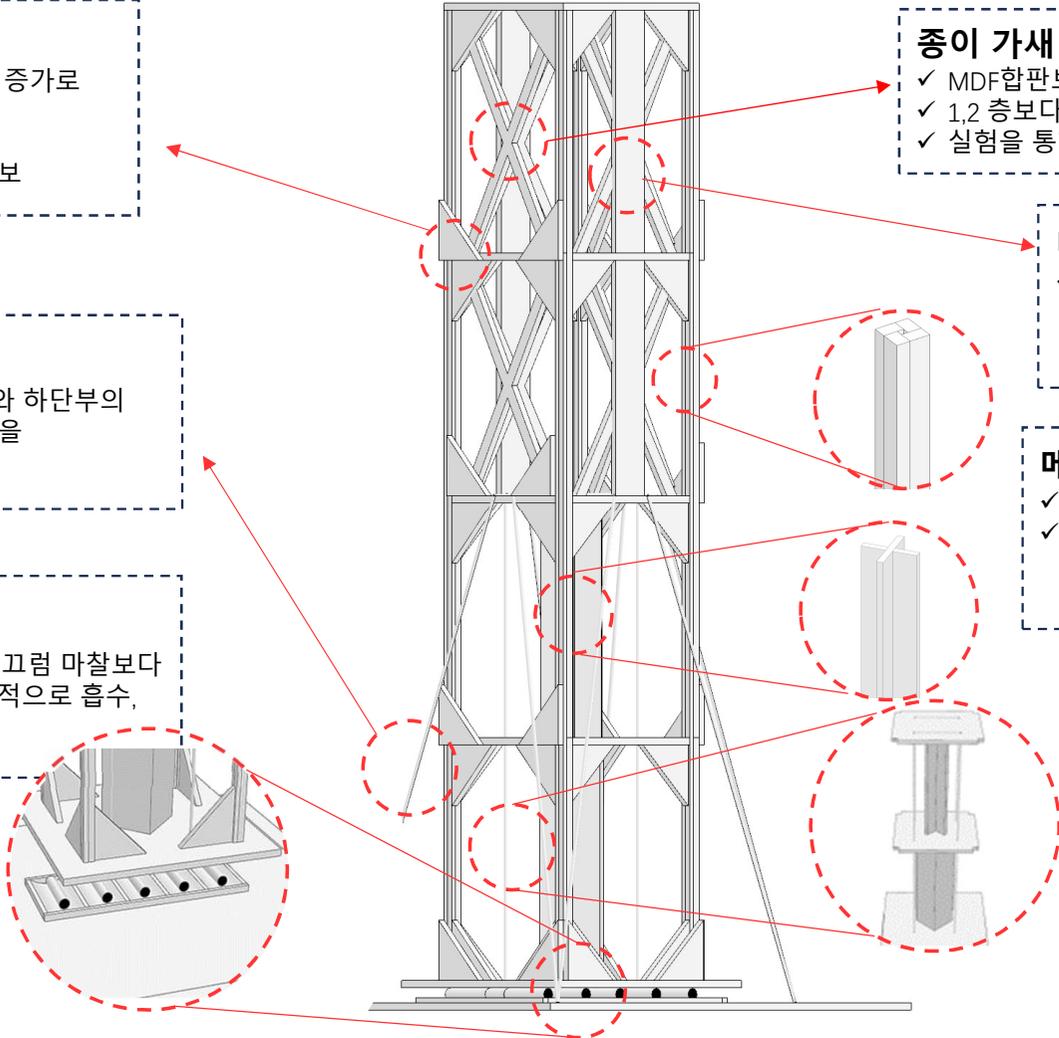
- ✓ 바닥판과 기둥사이의 저착 면적 증가로 기둥의 이탈방지
- ✓ 구조물의 강성향상
- ✓ 자투리 부재를 사용한 경제성확보

와이어

- ✓ 후크의법칙을 고려하여 상단부와 하단부의 길이차로 인한 인장력차이 발생을 방지하기위해 세밀한길이조정

면진장치

- ✓ 구름저항을 고려, 상대적으로 미끄럼 마찰보다 적은 마찰로 지진에너지를 효과적으로 흡수, 분산시켜 구조물의 충격완화



종이 가새

- ✓ MDF합판보다 가격대비 더 좋은 인장력 및 시공성
- ✓ 1,2 층보다 변위가 큰 3,4층에 변위 제어를 위해 가새 배치
- ✓ 실험을 통한 가새 두께 선정으로 0.7g에서 최종 가새 파괴유도

내진보강기둥

- ✓ 면진으로 보강되지 않은 축의 휨 모멘트를 저항하기 위해 3,4층에 추가 기둥배치

메가컬럼

- ✓ 일체형 10*10*839mm 기둥 구조
- ✓ 일정한 단면과 각 strip 연결 위치를 다르게 배치하여 이음구간 분리, 응력집중을 방지하여 전체적인 강도 균일하도록 유도

프리스트레스 코어 기둥

- ✓ 기초와 구조체의 일체성을 확보하기 위해 프리스트레스 공법을 활용하여 코어 생성
- ✓ 기초와 상단부 바닥판의 인장력을 활용하여 지진으로 인한 모멘트 저항

시공성 분석 - 공정표

제작 내용		소요시간																	
		1시간						2시간						3시간					
		10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분
작도	기초,바닥 작도	■																	
	보강재 작도	■																	
제작	기둥 제작	■																	
	기초, 바닥 제작		■																
	코어 제작				■														
	보강재 제작		■																
	고무줄 제작							■											
	면진장치 제작	■																	
시공	기둥, 코어 조립			■															
	면진장치 조립			■															
	보강재 조립									■									
	고무줄 조립											■							
마감	하중블럭 설치												■						
	마무리 작업														■				
총 공정 시간												2시간 30분							

시공성 분석 - 원가 관리

종류	부재명	개수	단가(백만원)	비용(백만원)
MDF Strip	기둥	23	10	230
MDF Plate	슬라브, 플레이트	7	100	700
고무줄	인장재	4	40	160
접착제	록타이트	2	200	400
A4	인장재, 면진장치	8	10	80
합계				1530