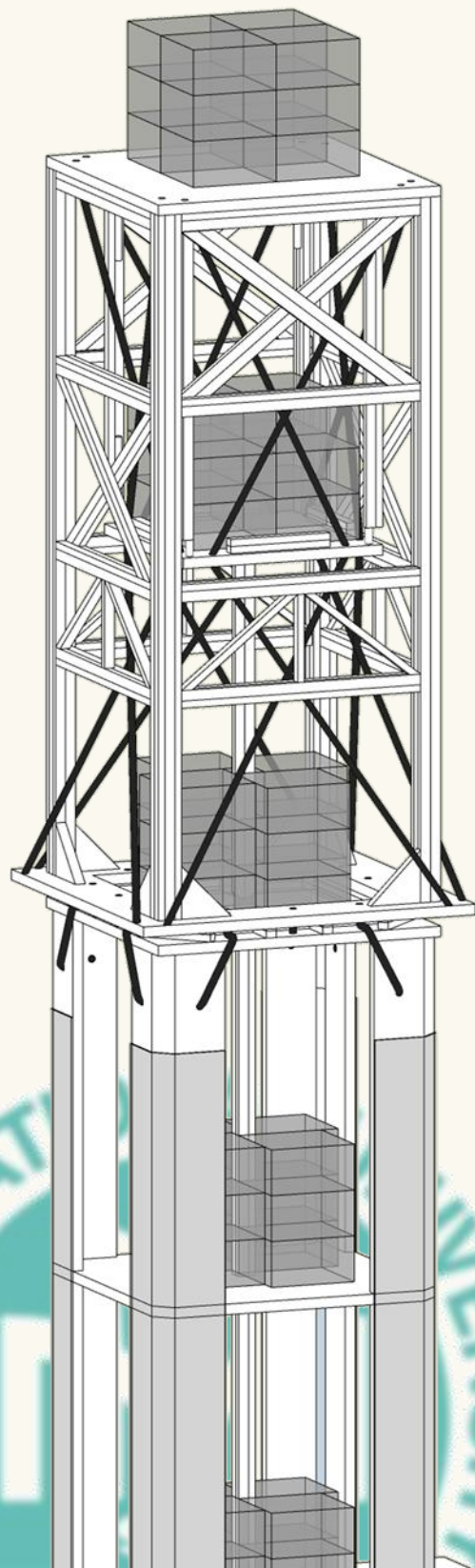


2025 구조물 내진설계 경진 대회

SEISMIC STRUCTURE DESIGN CONTEST 2025

목포대학교 건축공학과
TEAM : 목디스크



지도교수
: 김영호 교수님

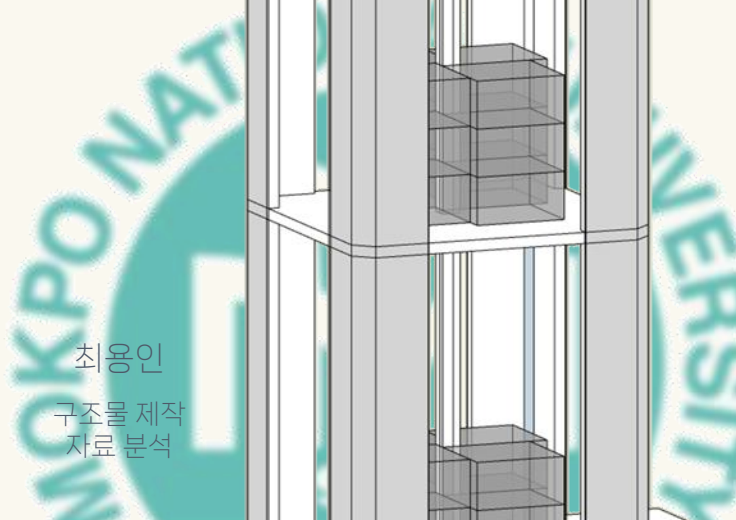
팀원

홍레오나르도
마이다스 모델링
구조해석

김세윤
PPT 제작
아이디어 제시

김수현
구조물 제작
경제성 분석

최용인
구조물 제작
자료 분석



INDEX

#01. INTRO

구조물 심사기준 ----- P.02
 물성치 분석 ----- P.03
 지진파 분석 ----- P.04

#02. MAIN

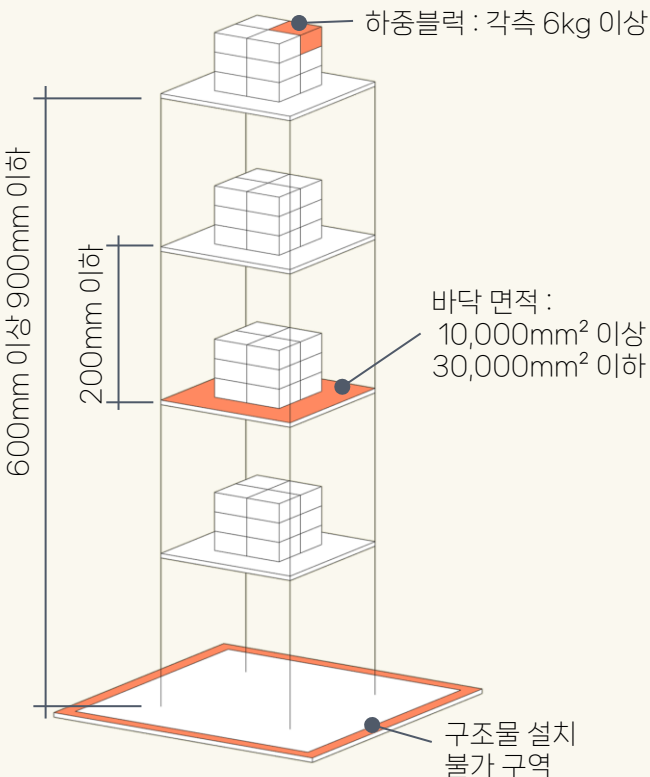
설계 방향 ----- P.04
 설계 분석 ----- P.05
 실험 분석 ----- P.07

#03. CONCLUSION

설계 도면 ----- P.09
 경제성 평가 ----- P.10
 공정표 분석 ----- P.10

#. 구조물 심사기준

구조물 규정



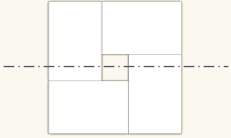
구조물 제작 및 심사 규정

- 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
- 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
- 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
- 설계지진 초과 시 구조물의 붕괴 메커니즘을 고려한 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 심미성과 창의성을 추구하는 설계
- 구조해석 능력의 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

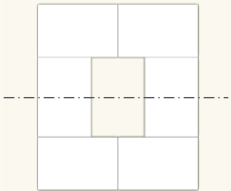
부재 단가 규정

재료명	단위	규격	단가(백만원)
MDF Base	개	400mm*400mm*6mm	-
MDF Strip	개	600mm*4mm*6mm	10
MDF Plate	개	200mm*200mm*6mm	100
고무줄	식	600mm	40
A4지	장	A4	10
접착제	개	20g	200

기둥 물성치 분석



사용 위치	P(N)	길이(mm)	단면2차모멘트(mm ⁴)	처짐(mm)	탄성계수(Mpa)
하층부 코어	15	200	832	12	4006.41

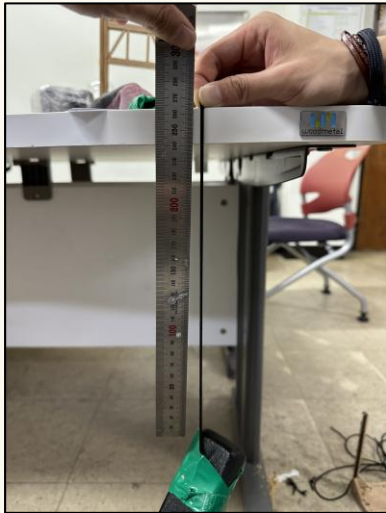


사용 위치	P(N)	길이(mm)	단면2차모멘트(mm ⁴)	처짐(mm)	탄성계수(Mpa)
상층부 기둥	15	400	3201.3	20	4997.96

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

P : 하중 I : 단면 2차 모멘트
L : 길이 δ : 변위

고무줄 물성치 분석



Case #.1 : 결면 본드칠 X	
P(N)	10
단면적(mm)	3.14
초기길이(mm)	100
나중길이(mm)	270
변형(mm)	170
탄성계수(Mpa)	1.84

본드칠 하지 않은 고무줄 사용시 구조물에 발생하는 **문제점**

#.1 고무줄과 구조물 간의 **접착이 느슨**해져 구조적 일체화의 문제 발생

#.2 제진층에 사용된 짧은 고무줄은 **과도한 변형**으로 인해 탄성 복원이 제대로 이루어 지지않아 **감쇠 성능이 저하**됨



Case #.2 : 결면 본드칠 O	
P(N)	10
단면적(mm)	3.14
초기길이(mm)	100
나중길이(mm)	120
변형(mm)	20
탄성계수(Mpa)	15.6

본드칠 한 고무줄 사용시 구조물에 발생하는 **이점**

#.1 고무줄이 **구조체와 일체화**되어 장력이 안정적으로 작동함

#.2 **변형이 제한**되어 제진층의 응답이 안정되고 **진동 제어력이 증가**함

#. 지진파 분석

유효수평지반가속도	
재현주기(년)	유효수평지반가속도(S)
500	0.3g
2400	0.6g

구분	500년	2400년
위험도 계수 (I)	1	2
지진구역계수 (Z)	0.3g	0.3g

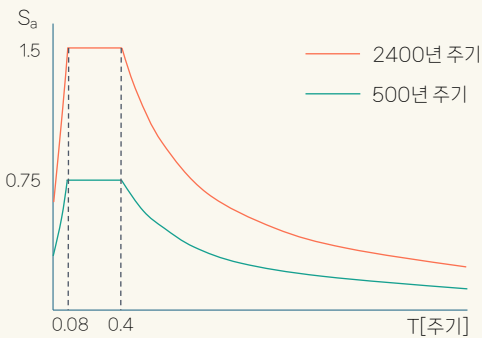
지반응답증폭계수	
단주기 (Fa)	1.5
1초 주기 (Fv)	1.5

구분	500년	2400년
단주기 설계 스펙트럼 가속도(SDS)	0.75g	1.5g
1초 주기 설계 스펙트럼 가속도(SD1)	0.3g	0.6g

지반응답증폭계수	
T0=0.2SD1/SDS	0.08 sec
TS=SD1/SDS	0.4 sec
TL	5 sec

$S_{DS} = S * 2.5 * Fa * \%$ $S_{D1} = S * Fv * \%$

설계 응답가속도 스펙트럼



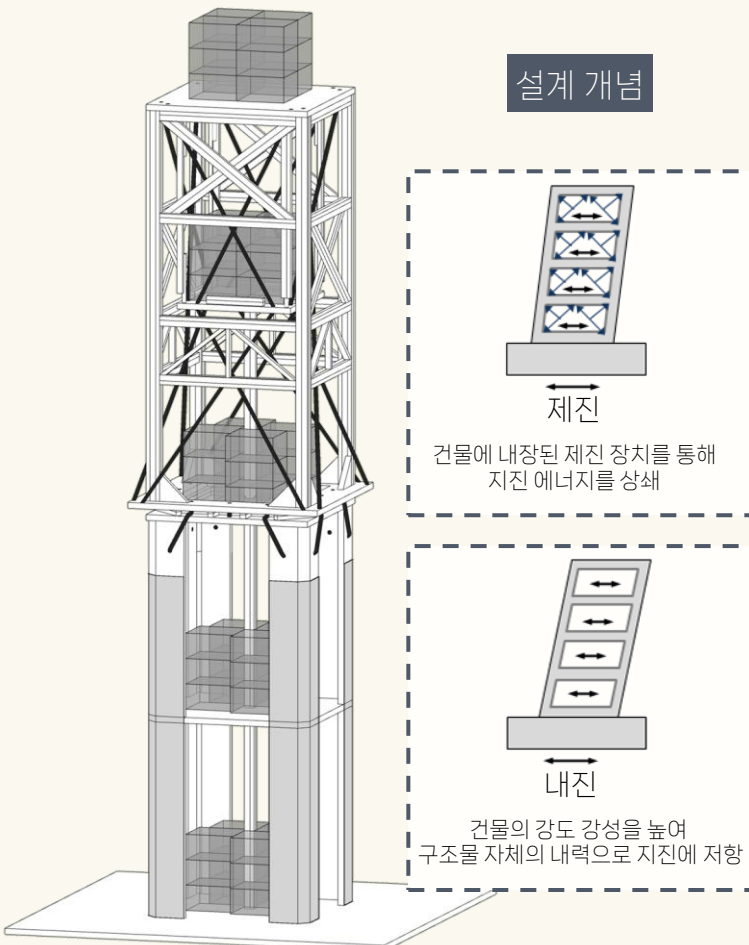
S_a = 스펙트럼 가속도 (g)
 T_0 = 구조물의 고유주기 (초)

$S_a = 0.6 \frac{S_{DS}}{T_0} T + 0.4 S_{DS}$ ($T \leq T_0$)
 $S_a = S_{DS}$ ($T_0 < T \leq T_s$)
 $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$ ($T_s < T$)

$T_0 = 0.2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
 $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

- 0.08 ~ 0.4 sec 에서 설계 스펙트럼 가속도 최대
- 0.7g에서 파괴 유도

#. 설계 방향



설계 개념

설계 컨셉

상층부#연성구조

- : 상대적으로 유연하게 움직이며 감쇠작용을 수행
- : 벨트트러스, 브레이스+가새

하층부# 강체구조(내진)

- : 고강성 벽체형 기둥을 두어 고강성 확보
- : 엷지 컬럼, 센터 코어

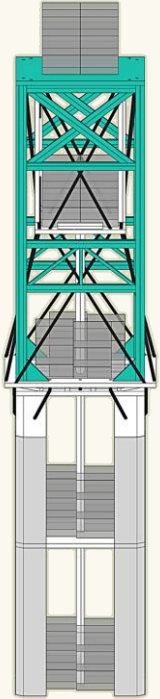
제진층# 상쇄작용(제진)

- : 상·하층을 분리, 변위를 허용하여 수평력 완화
- : 기둥과 바닥연결, 상·하부면 연결

감쇠층# TMD유닛

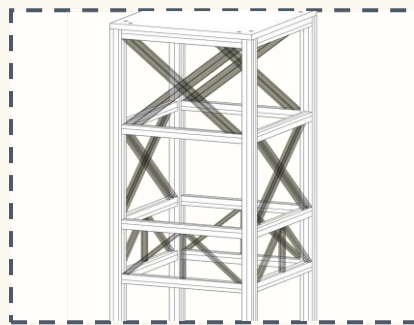
- : 루프층에 매달린 질량체를 통해 진동 에너지 흡수
- 질량 분배기둥, 양단 힌지기둥

연성체 상부구조



외곽 프레임

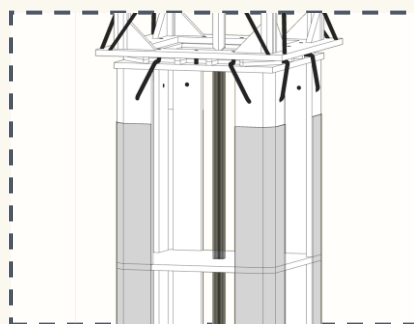
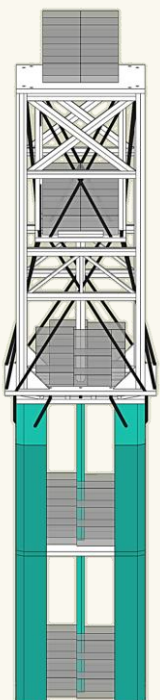
- : 단면2차 모멘트를 극대화한 부재들로 구성하여 횡변위 발생을 유도
- : 상층부 전체를 일체화된 질량체로 유지하고 TMD유닛과 면진 작용을 버틸 수 있는 프레임 역할 수행



가새 + 벨트 트러스

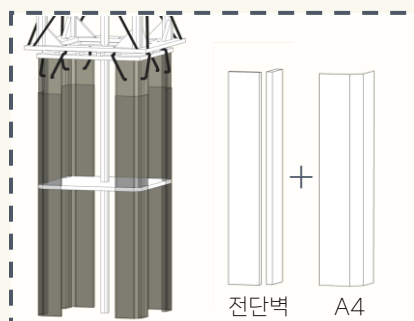
- : 가새는 불균형 배치, 벨트 트러스는 상층부 중간 지점에 배치
- : 불균형 응력에 대응하는 연성 보완, 수직 및 횡력 저항 시스템 구축

강성체 하부구조



Center-Column

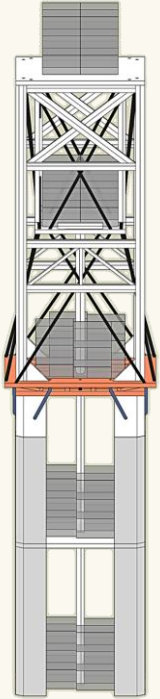
- : 하중 직하 지지, 모든 상부 하중이 중심으로 집중된 상태에서 메가 코어는 하중을 바로 수직으로 전달하여 불필요한 편심이 줄어듬



L-Edge Column

- : 모서리를 비워 응력 집중 완화, 외부 A4 보강을 통한 결속력 강화
- : 구조물 외곽 모서리에 비틀림과 응력 집중이 발생하는 것을 모서리를 비워 둠으로써 급격한 응력 상승 감소

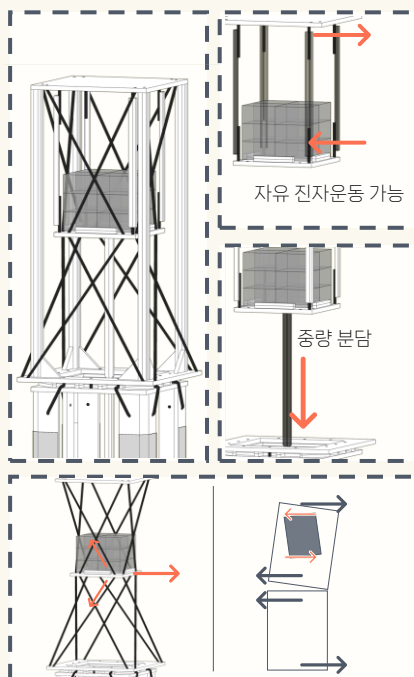
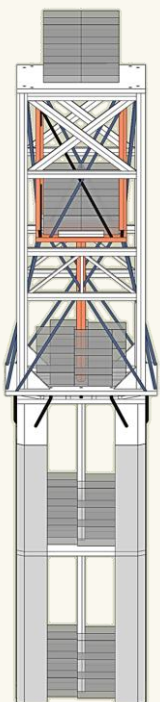
제진층 상하분리



이중 테이블

- : 상·하층 사이를 연결하고, 고무줄을 제진 시스템이 작용할 수 있게 다중배치
- : 마찰면을 감소시켜 효과적인 업리프트 형성
- : 제한 길이와 장력 설정 → 과도한 변형 억제
- : 상대운동 허용 → 진동주기 증가 → 진동응답 감소

감쇠층 TMD유닛



매달림 기동

- : 상하 연결부를 힌지로 작동하게 하여 모멘트가 발생하지 않아, 자유로운 진자 운동을 유도

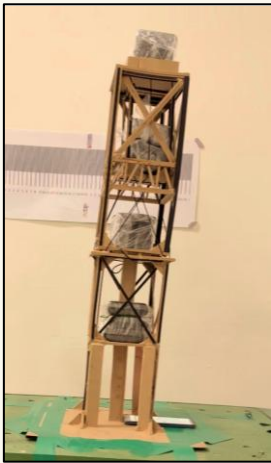
중량 분배 기동

- : 댐퍼와 동일 방향으로 움직일 수 있도록 홈에 맞춰 고정
- : TMD유닛의 움직임 조절이 효과적

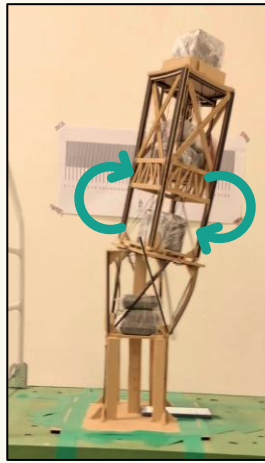
진동 조절 고무줄

- : TMD유닛의 진자 운동을 제어 가능한 범위로 제한하기 위한 고무줄
- : 내부 감쇠 요소처럼 작용하여 반복 진동 억제

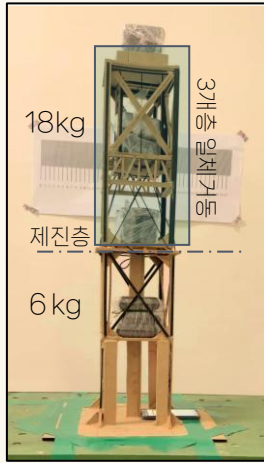
1차 실험



모델 실험

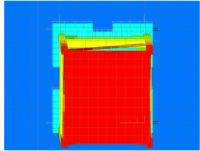


파괴[0.3g]

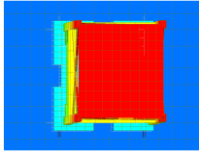


파괴 분석

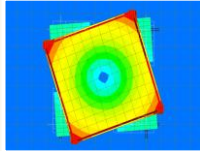
#. 모드 분석을 통한 파괴모드 확인



mode1



mode2



Mode3[파괴]

: 매스 치환율이 가장 높은 1,2차 모드에선 수평저항 가능
: 3차 모드에선 비틀림 저항의 취약함이 나타남

설계 개요

- : 상부 구조물은 고무줄로 매달린 TMD유닛으로 구성되어 감쇠 효과를 유도함
- : 제진층을 이용해 상부와 하부의 일체거동으로 인한 전도 방지
- : 하층부 내진 성능을 위한 전단벽 설치

한계 분석

- : 제진층의 고무줄 제어 위치가 하층부에서 시작하여 3개층을 구속하는 효과
- : 3개층의 일체거동으로 인한 2층 기둥의 저항 부담 증가
- : 하층부 기둥의 비대칭 전단벽 배치로 인한 비틀림 발생, 외각기둥 강성부족으로 인한 파괴

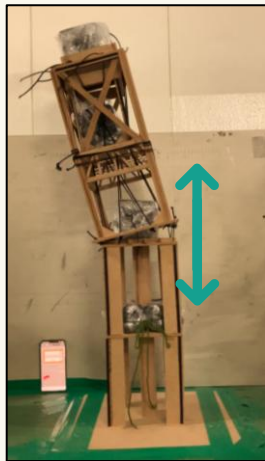
개선 및 대응 전략

- : 3개층 구속에 의한 일체거동을 2개층 구속으로 완화
- : 외곽기둥을 단면 2차 모멘트가 큰 부재로 변경하여 강성보강
- : 전단벽의 대칭적 배치와 위치 조정을 통해 하층부의 강성 증대 및 비틀림 작용 방지

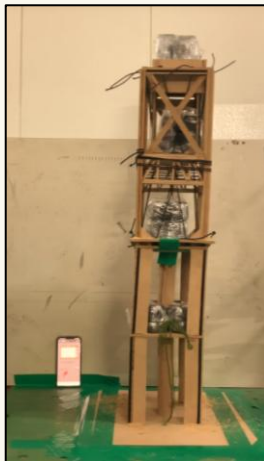
2차 실험



모델 실험



파괴[0.48g]



파괴 분석

#. 진동조절 고무줄 : 추가실험



상하장력

자유거동시 tmd의 무게로 인한 충돌 발생. 상하방향 장력으로 인한 좌우방향 감쇠효과 저하 상하방향 인발현상 발생



좌우장력

자유거동시 tmd의 무게로 인한 충돌 발생. 상하방향 장력으로 인한 좌우방향 감쇠효과 저하 상하방향 인발현상 발생

설계 개요

- : TMD유닛에 의한 상층부의 붕괴기구 유도
- : 진동 조절 고무줄 도입을 통한 TMD기구의 과도한 수평변위 조절
- : 제진 층의 고무줄 제어 위치를 상층부로 변경하여 상층부가 부담하는 하중을 18kg에서 12kg으로 감소.

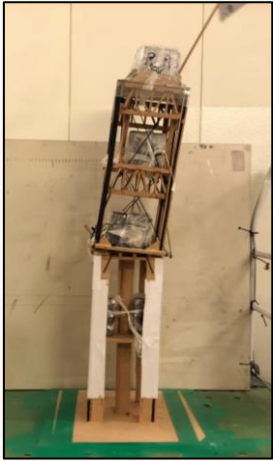
한계 분석

- : TMD유닛의 부담 하중 과다로 위상 운동의 중량가속도가 과도하게 발생
- : 제진층의 고무줄 장력 부족으로 TMD유닛의 위상운동 이전에 제진층 파괴
- : 제진층 구속 후 실험 진행 시 상층부 바닥판의 인발로 인한 MDF플레이트 뜯김 현상 발생>위상운동 발생 X

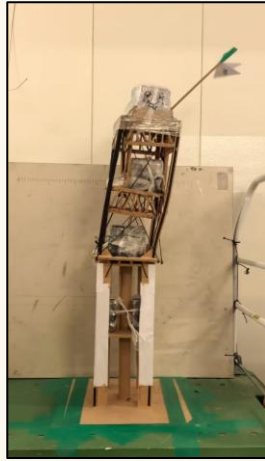
개선 및 대응 전략

- : TMD유닛의 부담 하중을 중량 분배기둥을 배치하여 하부로 전달
- : TMD유닛의 위상운동과 제진층의 효과적인 제진 작용을 위한 진동 조절 고무줄 추가실험 진행
- : 기둥의 뜯김 현상 방지를 위한 기둥간 연결 보강 대책 및 경계성 절약 대책 강구

최종실험



모델 실험



파괴[0.67g]



파괴 분석

설계 개요

- : 진동 조절 고무줄을 통해 TMD유닛에 위상 상층부의 진동 상쇄와 동시에 제진층에의한 진동주기 확보
- : TMD유닛에 힌지 절점 기동을 도입하여 효과적인 위상차 반응으로 감쇠 작용 강화
- : A4용지를 이용한 기동의 인발, MDF판의 뜯김 현상 방지

한계 분석

- : 상부 구조체에 TMD유닛의 장력 부담으로 인한 압축력 부담 증가, 좌굴현상으로 인한 부풀림 발생
- : 하층부에 메가코어 및 기동+전단벽등 내진 설계 과설계, 경제성 저하
- : 0.5g 이상에서 비틀림 저항 부족

개선 및 대응 전략

- : 상부 부재의 비틀림 저항을 위해 벨트 트러스와 가새의 다중 배치
- : 상층부의 좌굴에 의한 부풀림 현상 방지를 위해 수평 스트러트에 A4를 부착하여 보강
- : 하층부 과설계 개선 및 효과적인 내진 설계를위해 엣지 컬럼을 사용

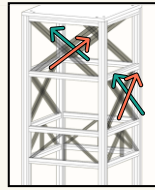
#. 도입 요소



Void Edge Column



Hinge & Support

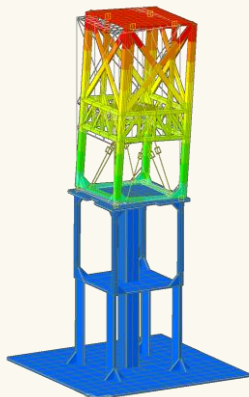


가새 힘의 방향

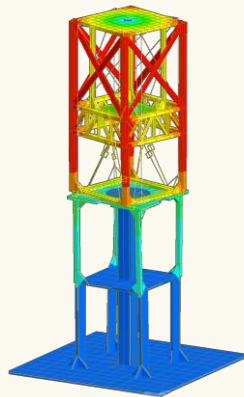
#. 고유주기 분석



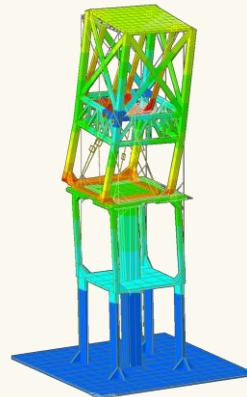
mode1



mode2



mode3



mode4



mode5

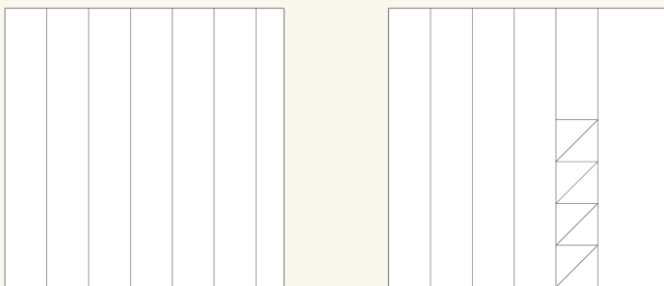
Mode No	Frequency		Period
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	12.9988	2.0688	0.4834
2	13.0127	2.0710	0.4829
3	31.1189	4.9527	0.2019
4	50.5703	8.0485	0.1242
5	51.2086	8.1501	0.1227

CONCLUSION

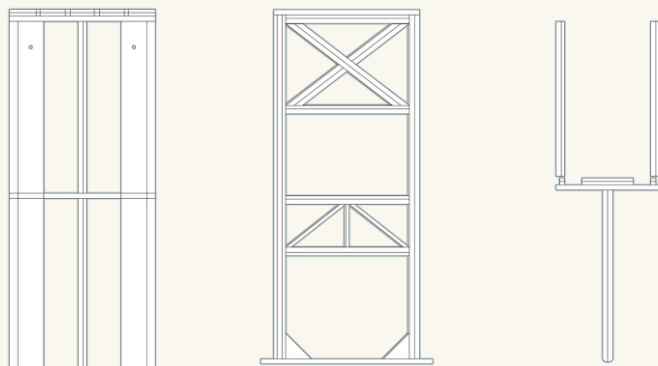
매스 치환율이 가장 높은 mode1, mode2의 고유주기는 0.4834로 설계 스펙트럼 최대 가속도 구간인 0.08s~0.4s 를 피함



#. 시공 설계



MDF plate (200X200X4)
부재 재단 계획



상층부

하층부

TMD유닛

주요 구조물 조립 후
고무줄을 이용하여 각층을 연결

재료명	부재 구격 (가로X세로X높이)	단가 (백만원)	개수	한계 (백만원)
MDF Base	400mmX400mmX6mm	-	1	-
MDF Strip	200mmx200mmX6mm	100	53	530
MDF Plate	600mmX6mmX4mm	10	7	700
스트링 고무줄	600mm	40	3	120
A4용지	A4	10	2	20
접착제	20g	200	2	400

총 금액 : 1770만원

#. 공정표

구분		소요시간											
		1시간				2시간				3시간			
		15분	30분	45분	60분	15분	30분	45분	60분	15분	30분	45분	60분
설계	기동 및 코어	■	■										
	보강재 및 슬래브	■	■										
제작	기동 및 코어		■	■	■								
	보강재 제작			■	■	■	■						
	슬래브 제작		■	■	■								
	제진층 제작			■	■								
	제진층 모듈 제작				■	■	■						
시공	기동 및 슬래브					■	■	■					
	가새 및 거싯플레이트					■	■	■	■				
	제진층					■	■	■					
	고무줄								■	■	■		
마감	하중블럭설치								■	■			
	진동대기초판 연결										■	■	

총 소요 시간 : 2시간 40분