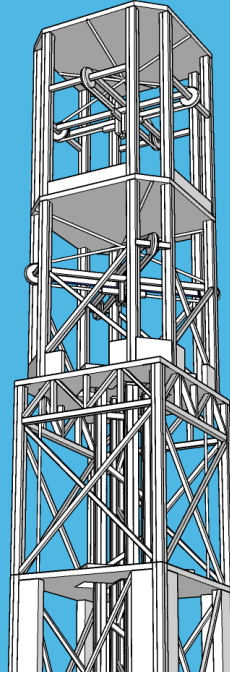


Seismic Structure Design Contest
2022 내진설계 경진대회
설계 제안서



요지부동 搖之不動

경 상 국 립 대 건축 공 학 과
Architectural Engineering



1

TEAM



담당교수님
경상국립대학교 건축공학과
유석형 교수님

요지부동 搖之不動

흔들리지 않는 자세로 내진설계의 기본 개념에 바탕을 둔 정밀한 설계와 창의적인 아이디어를 융합하여 가장 안전한 구조시스템 및 장치를 개발하는 팀입니다.

팀원

고관욱(4)

- ▶ 총괄
- ▶ 도면 작성
- ▶ 아이디어 구체화
- ▶ MIDAS 해석
- ▶ 구조물 제작

김선형(2)

- ▶ 3D 모델링
- ▶ 시공성/경제성 분석
- ▶ 아이디어 도출
- ▶ 공정표 작성
- ▶ 구조물 제작

최창림(3)

- ▶ 3D 모델링
- ▶ 재료 재단
- ▶ 구조물 제작

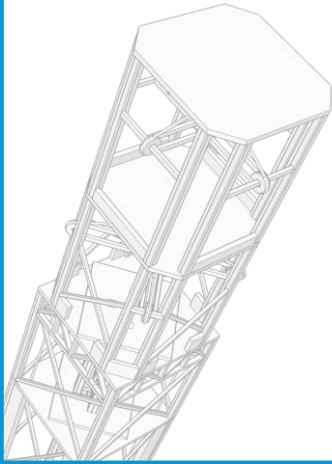
김혜련(2)

- ▶ 물성치 분석
- ▶ 수량 산출
- ▶ 구조물 제작

2

CONTENTS

주제: 다층 구조물 한계상태를 고려한 상세 내진설계



01 설계개요

대회규정 분석, 설계방향

02 구조설계

구조물 설계

03 실험과정

재료 물성치 분석, MIDAS 결과, 기술 concept, 실험

04 최종모형

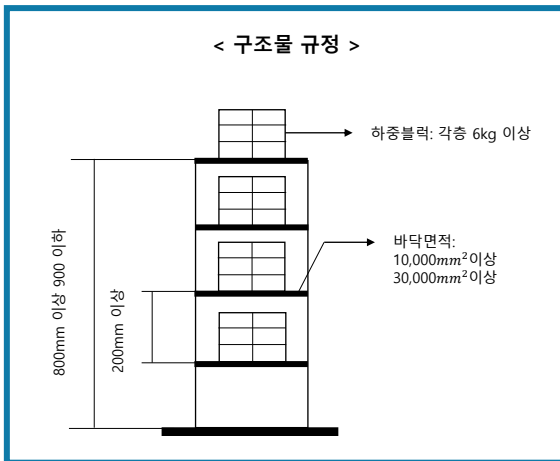
평면도 및 입면도, 수량 산출, 공정표

3

INTRO

1 대회규정 분석

< 구조물 규정 >



< 구조물 제작 및 심사 규정 >

- ① 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
- ② 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
- ③ 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- ④ 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
- ⑤ 설계지진 초과 시 구조물의 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- ⑥ 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 심미성과 창의성을 추구하는 설계
- ⑦ 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

< 부재 단가 규정 >

재료명	단위	규격	단위수량[개]	단가 [백만원]	비고
MDF Base (기초판)	개	400mm×400mm×6mm	1	-	기본제공
MDF Strip	개	600mm×4mm×6mm	1	10	
MDF Plate	개	200mm×200mm×6mm	1	100	
면줄	식	600mm	1	10	
A4지	장	A4	1	10	
점착제	개	20g	1	200	룩타이트 401

4

INTRO

1

대회 규정 분석

지진과 분석

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

지반증폭계수	
단주기 지반응답증폭계수(F_d)	1.5
1초 주기 지반응답증폭계수(F_v)	1.5

0.08~0.4sec에서 설계 스펙트럼 가속도 최대

설계 스펙트럼 가속도	
단주기 설계 스펙트럼 가속도(S_{DS}) = $\frac{S \times 2.5 \times F_d \times 2}{3}$	
500년-> 0.75g	2400년 -> 1.5g
1초 주기 설계 스펙트럼 가속도(S_{D1}) = $\frac{S \times F_v \times 2}{3}$	
500년-> 0.3g	2400년-> 0.6g

“유효수평지반가속도 0.3g 기능수행 유효수평지반가속도0.6g 붕괴방지”

탁월주기 계산	
$T_0 = \frac{0.25 D_1}{S_{DS}}$	
500년&2400년	0.08sec
$T_5 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	
500년&2400년	0.4sec

탁월주기에 구조물의 고유주기를 맞춰 정밀한 설계 유도

< 500년 재현주기 지진 >

< 유효수평지반가속도 0.7g >

< 2,400년 재현주기 지진 >

5

INTRO

2

설계 방향

내진

구조물의 강성을 증가시켜 지진력에 저항하는 기술

제진

제진 장치를 통해 에너지를 소산시키는 기술

면진

건물과 지반 사이에 전단변형 장치를 설치하여 지반과 건물을 분리시키는 기술

내진 설계

강성 증가

-> 가새

+

제진 설계

에너지 소산을 통해 구조물에 전달되는 진동 저감

-> 마찰댐퍼&도르레 + 마찰슬래브

내진과 제진 설계를 통해 구조물의 강성과 감쇠비를 증가시켜 효율적이고 정밀한 내진설계

6

3

MAIN

3

구조물 설계

팔각형 슬래브 이용하여 도르래를 8방향으로 설치

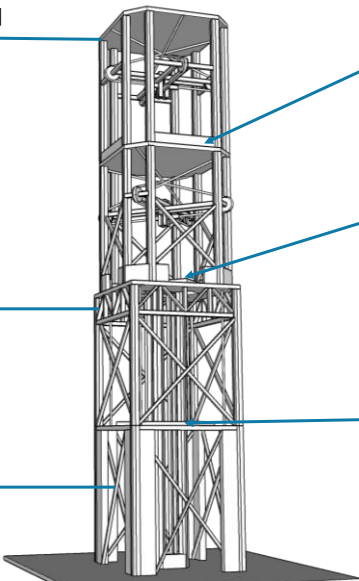
수직적 불연속에 대비한 트러스 전이보

내부 코어기둥 사이를 트러스로 보강하고, 1층과 2층을 날개벽과 X자 가새로 보강하여 강성을 높임

전단보강 플레이트로 접합부 전단 파괴 최소화

내부 코어기둥과 마찰 슬래브를 3D 핀접합으로 연결하여 2축 진동에 대비

고정하중을 지지하며 코어기둥과 일체화된 마찰 슬래브와 외각기둥과 연결된 슬래브 사이 마찰력 유도



7

MAIN

4

재료 물성치 분석

< MDF Strip >

$I_x(\text{강축}) = \frac{4 \times 6^3}{12} = 72 \text{mm}^4$

$I_y(\text{약축}) = \frac{6 \times 4^3}{12} = 32 \text{mm}^4$

캔틸레버 보의 처짐식 $E = \frac{PL^3}{36I}$




< MDF 메가기둥 >

$I_x = \frac{10 \times 10^3}{12} - \frac{2 \times 2^3}{12} = 832 \text{mm}^4$

$I_y = \frac{10 \times 10^3}{12} - \frac{2 \times 2^3}{12} = 832 \text{mm}^4$

캔틸레버 보의 처짐식 $E = \frac{PL^3}{36I}$




< MDF 레일기둥 >

$I_x = \frac{10 \times 12^3}{12} - \frac{6 \times 4^3}{12} = 1408 \text{mm}^4$

$I_y = \frac{12 \times 10^3}{12} - \frac{4 \times 6^3}{12} = 928 \text{mm}^4$

캔틸레버 보의 처짐식 $E = \frac{PL^3}{36I}$



P(N)	길이 (mm)	단면2차모멘트 (mm ⁴)	처짐 (mm)	탄성계수 (Mpa)	MDF 평균탄성계수 (Mpa)
3.92	50	72 (강축)	7	324	447
			3	756	
			7	324	
			5	453	
			6	378	
			6	378	

P(N)	길이 (mm)	단면2차모멘트 (mm ⁴)	처짐 (mm)	탄성계수 (Mpa)	MDF 평균탄성계수 (Mpa)
3.92	100	832 (강축)	5	314.1	413.564
			3	523.5	
			4	392.62	
			5	314.1	
			3	523.5	
			3	523.5	

P(N)	길이 (mm)	단면2차모멘트 (mm ⁴)	처짐 (mm)	탄성계수 (Mpa)	MDF 평균탄성계수 (Mpa)
3.92	100	1408 (강축)	5	185.6	204.16
			4	232	
			4	232	
			5	185.6	
			5	185.6	
			5	185.6	

8

MAIN

4
재료
물성치
분석

< MDF 메가기둥 전단응력 산정 >

-단순보 최대 전단응력 식 사용

$$v_{max} = \frac{3P_{max}l}{bh^2}$$

비지지 길이(mm)	파괴 무게(kg)	응력(Mpa)	평균 전단 강도(Mpa)
100	13.6	20.00	20.375
	14.0	20.58	
120	11.6	20.46	
	11.2	19.76	
	12.0	21.17	
150	9.2	20.28	

< 실 탄성계수 >

-축의 법칙 이용

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Pl}{A\Delta l}$$

P(N)	길이 (mm)	단면적 (mm ²) A = $\frac{\pi D^2}{4}$	변형길이 (mm)	탄성계수 (Mpa)	실의 평균탄성계수 (Mpa)
9.8	217	D=1.3mm A=1.3273mm ²	5	320.4	324.6
			5.5	291.3	
			4.5	356.0	
			4.7	340.9	
			5.1	314.7	

< MDF-MDF 마찰계수 >

$$\mu = \frac{wg \sin \theta}{wg \cos \theta} = \tan \theta$$

정지마찰계수: $\mu = \tan \theta = 0.48$
 수평반력: $V = 0.48 \times 6 \times 9.8 = 28.224N$
 필요 가속도: $a = 28.224 \div 6 \div 9.8 = 0.48g$

9

MAIN

5
MIDAS
결과분석

고유치 해석

마찰댐퍼 감쇠효과

주기	0.2264sec	0.1551sec	0.0836sec	0.0617sec
참여질량	1차(TRAN-X)28.8% 2차(TRAN-Y)28.7%	(ROTN-Z)64.1%	3차(TRAN-X)16.2% 4차(TRAN-Y)16.1%	(ROTN-Z)31.0%

고차모드 지배

➡

m계수법에 의한 성능평가

제진효과에 따른 응답가속도 감소된 응답스펙트럼(0.7g기준)

마찰댐퍼에서 제진효과로 인한 응답가속도 감소

↓
 관성력 감소

F(관성력) ↓ = ma (응답가속도) ↓

10

MAIN
5
MIDAS
결과분석

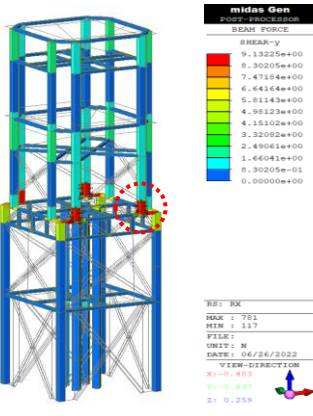
구조해석 결과

"500년 재현주기 지진 기능수행
2400년 재현주기 지진 붕괴방지"

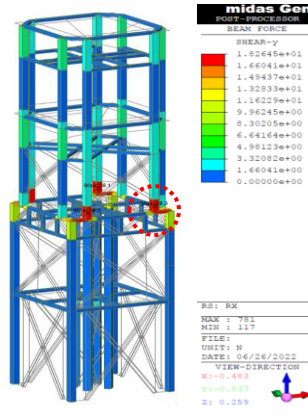


0.7g에서 구조물의 붕괴 유도

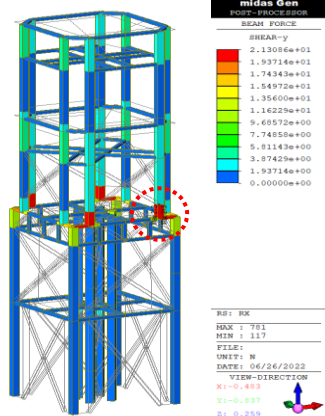
500년 재현주기 지진



2400년 재현주기 지진



유효수평지반가속도 0.7g



MAIN
5
MIDAS
결과분석

내진성능 평가

< 안전율 검토(응답스펙트럼 해석) >

안전율 검토	0.3g (500년 재현주기 지진)	0.6g (2400년 재현주기 지진)	0.7g
전단강도(설점값, v_d)	20.3Mpa	20.3Mpa	20.3Mpa
소요전단용력(v)	9.1Mpa	18.2Mpa	21.3Mpa
안전율(β)	2.23 > 1... OK	1.11 > 1... OK	0.95 < 1...NG

파괴가속도 0.7에서 안정성 부분에서 NG 발생
기둥 및 가새 부재 등 수직하중을 지지하는 부재가 3개이상 파단
→ 구조물 붕괴

0.7g에서 3층 기둥 및부분의 전단파괴 유도

< 층간변위 검토(m계수법) >

Story	Load Case	Story Height (mm)	Allowable Story Drift Rat.			Maximum Drift of All Vertical Elements					Drift at the Center of Mass					
			ID	LS	CP	Node	Story Drift Rate	Story Drift Rate	Remarks	Performance	Story Drift (mm)	Story Drift Rate	Remarks	Performance		
0.3g LS	SP	200.00	0.03	0.075	0.15	195	14.8856	0.0728	OK	OK	LS	14.9852	0.0728	OK	OK	LS
	CP	200.00	0.03	0.075	0.15	187	4.8869	0.0232	OK	OK	LS	4.8961	0.0232	OK	OK	LS
	WF	200.00	0.03	0.075	0.15	3	1.6161	0.0047	OK	OK	LS	1.6160	0.0047	OK	OK	LS
0.6g CP	SP	200.00	0.03	0.075	0.15	5	3.2262	0.0161	OK	OK	LS	3.2261	0.0161	OK	OK	LS
	CP	200.00	0.03	0.075	0.15	3	1.6161	0.0047	OK	OK	LS	1.6160	0.0047	OK	OK	LS
	WF	200.00	0.03	0.075	0.15	3	1.6161	0.0047	OK	OK	LS	1.6160	0.0047	OK	OK	LS
0.7g Collapse	SP	200.00	0.03	0.075	0.15	195	24.8209	0.1241	OK	OK	CP	25.1724	0.1249	NG	Collapse	
	CP	200.00	0.03	0.075	0.15	187	10.7111	0.0536	OK	OK	LS	10.7109	0.0536	OK	OK	LS
	WF	200.00	0.03	0.075	0.15	3	3.7689	0.0188	OK	OK	LS	3.7688	0.0188	OK	OK	LS

※구조물의 성능수준별 허용 층간변위각은 구조체가 MDF인 것을 감안하여 임의로 설정한 값 사용.

내진성능평가	0.3g (500년 재현주기 지진)	0.6g (2400년 재현주기 지진)	0.7g
안전율 검토	OK	OK	NG
층간 변위 검토	LS	CP	COLLAPSE

500년 재현주기 지진에 기능수행과, 2400년 재현주기 지진에 붕괴방지를 만족하고, 0.7g에서 파괴하는 형상을 보임

MAIN 6 기술 concept

“외부골조와 내부골조로 분리하고 그 사이에 마찰력 유도”

< 내부골조 >

< 외부골조 >

트러스 전이부로 수직적 불연속에 대비

2층과 3층 슬래브를 실로 연결하여 전도 방지

X자 가새와 날개벽으로 강성 확보

전단 보강 플레이트로 코어기둥의 전단 방지

2, 3층의 고정하중을 코어기둥으로 전달함과 동시에 외부 골조 슬래브와 마찰 슬래브 판의 마찰력을 이용하여 감쇠

트러스로 코어기둥 보강

13

MAIN 6 기술 concept

3층과 4층의 마찰댐퍼와 도르래를 8방향으로 연결

-> 가진 시 층간변위가 발생할 때 대각선 방향의 실이 당겨지며 도르래가 힘의 방향을 수평 방향으로 바꿔 마찰댐퍼 작동

각 방향에 생기는 지진 에너지를 마찰 에너지로 바꿔주어 구조물의 감쇠 유도

14

MAIN

7
실험
과정

1차 모델링 진동 시험

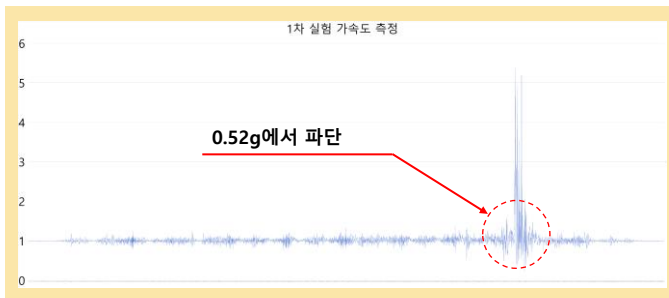
< 1차 모델 파단 원인 >

- 1차 실험 결과, 3층 슬래브에서 수직재의 어긋남으로 인해 슬래브 판의 모멘트 발생으로 슬래브 처짐 현상 발생하여 구조물 붕괴

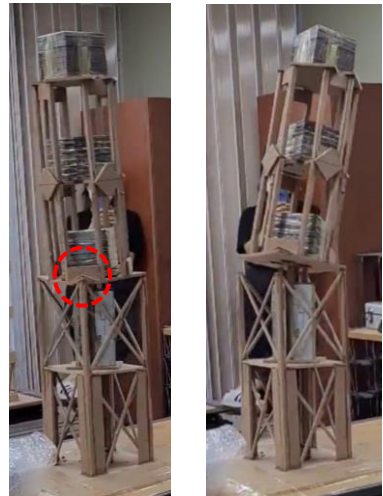
< 1차 모델 파단 보완 >

- 3층 슬래브 밑에 트러스 전이보로 보강하여 슬래브 지지

< 가속도 측정 >



< 1차 실험 >



15

MAIN

7
실험
과정

2차 모델링 진동 시험

< 2차 모델 파단 원인 >

- 2차 실험 결과, 3층 하중블럭의 핀 이탈이 발생하여 기둥에 충격이 가해져 반대편 트러스 전이보의 모멘트의 발생으로 트러스 부분의 파단

< 2차 모델 파단 보완 >

- 2층 슬래브와 3층 슬래브를 천공한 후 실로 연결하여 진도 방지
- 트러스 전이보로 1차 실험의 붕괴 원인인 슬래브 처짐 현상 방지 확인

< 가속도 측정 >



< 2차 실험 >



16

MAIN

7
실험
과정

보강재의 시공성 및 경제성 분석

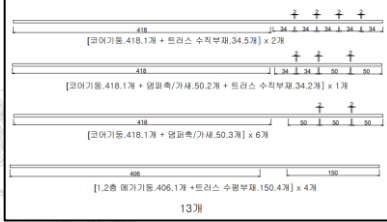
종류	3층 전단 보강 플레이트		3층 슬래브 처짐 보완		1층 외각기둥 보강 (날개벽)	
	30×96	25×20	트러스	플레이트	200×30	200×25
시공성	2	1	3	2	2	2
경제성	3	1	1	3	3	2
안정성	1	3	2	1	2	2
선정	25×20 플레이트		트러스		200×25 날개벽	

※ 1~3으로 표시되어 있는 숫자는 작을수록 유리함
 ※ 선정 기준: 시공성+경제성+안정성 합산 낮은 순,
 동점일 시 1순위-경제성, 2순위-시공성, 3순위-안정성

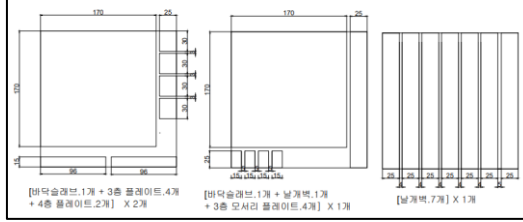
최종구조물



MDF Strip



MDF Plate

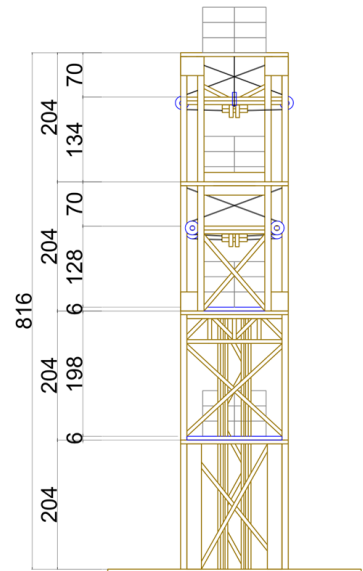
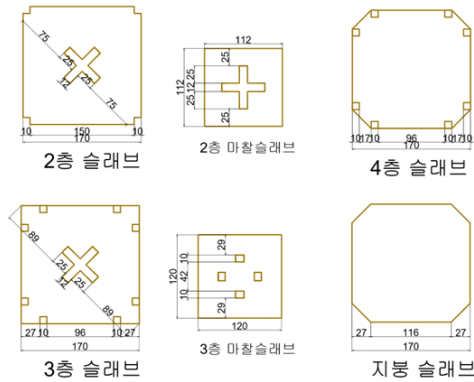
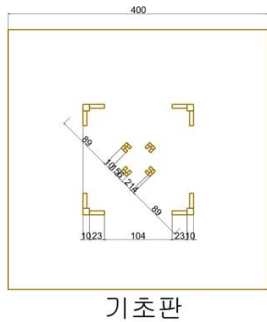


CONCLUSION

8
평면도
입면도

평면도

입면도



CONCLUSION

9
수량산출

부재명	용도	단가(백만원)	사용수량(개)	비용(백만원)
MDF Base	기초판	-	1	0
MDF Strip	기둥	10	64	640
	가새			
	트러스			
	도르래축			
	댐퍼			
MDF Plate	슬래브판	100	6	600
	전단 보강 플레이트			
	날개벽			
	코어기둥 보강재			
	도르래			
A4	도르래 마감	10	1	10
면줄	도르래 연결	10	6	60
	2, 3층 연결			
접착제	부재들 간의 접착	200	2	400
총합				1710

19

CONCLUSION

10
공정표

고관욱	
김선형	
최창림	
김혜련	
모두	

구분	부재명	30분	60분	90분	120분	150분	180분	210분	240분
		1시간		2시간		3시간		4시간	
재료제작	슬래브 제작 및 천공								
	전단보강 Plate 제작								
	도르래 천공								
	날개벽 제작								
시공	코어기둥 제작								
	기둥 제작								
	도르래 제작								
	댐퍼 제작								
	가새 및 Plate 접착								
작도	재료 연결								
	슬래브 길이 작도								
	Plate 용도별 작도								
	날개벽 작도								
	Strip 길이 작도								

20