



1



2

01 팀 소개

INNOSYS



INNOSYS는 부산대학교 건축공학과 구조 동아리입니다.
 INNOSYS는 INNOvative Structure sYStem의 약자로 혁신적인 구조시스템을 뜻하며
 구조물의 내진설계에 관한 기본 개념을 바탕으로 창의적인 아이디어를 접목시켜
 혁신적, 기능적인 구조시스템을 개발하는데 이번 대회의 목적을 가지고 있습니다.

담당 교수님

부산대학교 건축공학과
오상훈 교수님

팀원 소개

이영찬(3학년)

- 구조해석
- 지진파분석
- MIDAS
- 구조물 제작

김용현(3학년)

- 구조해석
- 모델링
- PPT 제작
- 구조물 제작

유다혜(3학년)

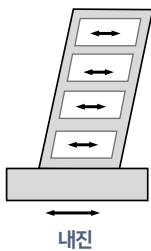
- 구조해석
- PPT 제작
- 물성치 분석
- 구조물 제작

오다윤(3학년)

- 물성치 분석
- 시공성 분석
- 경제성 분석
- 구조물 제작

02 설계 개념

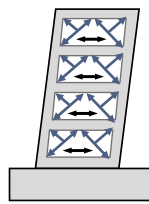
내진 설계 개념



내진

건물의 강도·강성을 높여 구조물 자체의 내력으로 지진에 저항

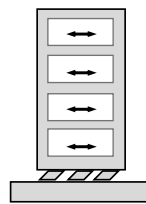
- 기둥의 단면 조절, 거셋플레이트, 가새 설치 등
- 단순히 강하게 만드는 것이 아닌, 본 대회에 최적화된 시스템 필요



제진

건물에 내장된 제진장치를 통해 지진 에너지를 상쇄

- 한정된 재료 내에서의 제진 시스템 구현이 난이
- 제진장치 설치 장소에 따른 내력산정이 까다로움



면진

면진장치를 이용하여 건물의 주기를 길게 변화시켜 지진력의 전달을 저감

- 한정된 재료 내에서 효율적인 면진 시스템 구현을 위해 독창적인 아이디어 필요

Concept

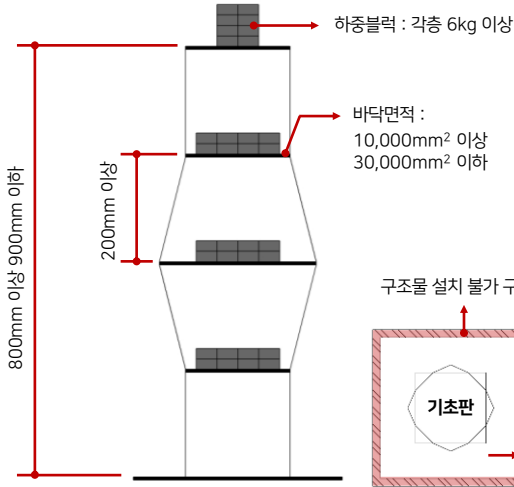


- 건물에 작용하는 충격을 최소화할 수 있는 내진구조 선정
- 독창적인 아이디어를 통한 면진 시스템 구현
- 한정된 재료 내에서 시공성과 경제성을 철저히 분석하여 효율적인 시스템 적용 예정

03 대회 규정 분석



구조물 제작 규정



작품 제작 재료 규격 및 단가

재료명	단위	규격	단위수량[개]	단가[백만원]
MDF Base (기초판)	개	400mm×400mm×6mm	1	-
MDF Strip	개	600mm×4mm×6mm	150	10
MDF Plate	개	200mm×200mm×6mm	10	100
면줄	식	600mm	10	10
A4지	장	A4	5	10
접착제	개	20g	3	200

진동대 실험 규정

본 대회에서 적용하는 성능수준은 다음과 같습니다.

설계지진 재현주기(년)	내진성능수준			
	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
500	내진특등급	내진특등급	내진1등급	내진2등급
2400				내진특등급

구조물 파괴 시의 목표 가속도 : **지반가속도 0.7g**

5

부산대학교 건축공학과 PUSAN NATIONAL UNIVERSITY DEPARTMENT OF ARCHITECTURAL ENGINEERING

Main Subject

1. 재료 물성치 분석
2. 지진파분석
3. 기술컨셉
4. 구조물 설계 및 분석
5. 1차모델링
6. 2차모델링

6

01 재료 물성치 분석



MDF 탄성계수



캔틸레버 보의 처짐식 : $\delta = \frac{PL^3}{3EI}$

하중(P)	경간거리(L)	변위(δ)
4.9 N	50 mm	3.4 mm
평균 탄성계수(E)		
1876.5 MPa		

MDF Strip 축강도

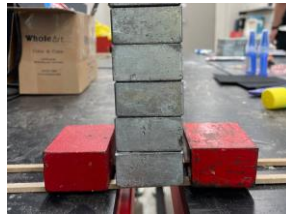
축강도 식 : $k = EA$

부재개수	단면적	축강도
1	24 mm ²	45,036 N
2	48 mm ²	90,072 N
3	72 mm ²	135,108 N
4	96 mm ²	180,144 N

앞서 측정한 MDF의 탄성계수 이용

→ 축강도가 충분히 크므로 축방향으로의 파괴 가능성 낮음

MDF Strip 전단강도

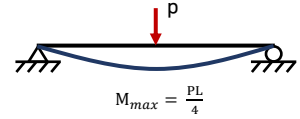


하중블럭을 이용하여 전단 강도 측정

하중블럭을 전부 재하(24kg)하여도 전단파괴가 일어나지 않음

→ 전단파괴의 가능성 낮음

MDF Strip 휨강도



단순보의 처짐식 : $\delta = \frac{PL^3}{48EI}$

$\sigma_{b,max} = \frac{M}{I} y_{max}$

* $I = \frac{bh^3}{12}$, $y_{max} = \frac{h}{2}$

⇒ $\sigma_{max} = 1.5 \frac{PL}{bh^2}$

하중(P)	경간거리(L)
9.8 N	150 mm
평균 휨강도(σ)	
22.97 MPa	

01 재료 물성치 분석



면줄 탄성계수



면줄의 변형을 통해 인장강도와 탄성계수 측정

면줄의 변위식 : $\delta = \frac{PL}{EA}$

하중(P)	변위(δ)
40 N	1.4 mm
평균 탄성계수(E)	
182.89 MPa	

부재 단면 당 강성 비교

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

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

$I_x = \frac{6 \times 8^3}{12} = 256 \text{ mm}^4$

$I_y = \frac{8 \times 6^3}{12} = 144 \text{ mm}^4$

$I_x = \frac{8 \times 12^3}{12} = 1152 \text{ mm}^4$

$I_y = \frac{12 \times 8^3}{12} = 512 \text{ mm}^4$

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

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

- 약축과 강축으로 단면2차모멘트가 균일한 단면을 사용하여 구조물의 강성 확보

마찰계수 측정

용수철저울로 끌어 움직이기 바로 직전의 저울 눈금 조사

- 운동마찰계수

$\mu = \frac{F}{mg}$

< A4지-A4지 >

하중(F)	질량(m)
4.3 N	1 kg
운동마찰계수(μ)	
0.439	

< MDF-MDF >

하중(F)	질량(m)
6 N	1 kg
운동마찰계수(μ)	
0.621	

< MDF-A4지 >

하중(F)	질량(m)
5 N	1 kg
운동마찰계수(μ)	
0.510	

< MDF-면줄 >

하중(F)	질량(m)
4.2 N	1 kg
운동마찰계수(μ)	
0.429	

< A4지-면줄 >

하중(F)	질량(m)
3.5 N	1 kg
운동마찰계수(μ)	
0.357	

✓ 운동마찰계수 비교

A4-면줄 < MDF-면줄 < A4-A4 < MDF-A4 < MDF-MDF

02 지진파 분석



유효수평지반가속도 및 지반증폭계수

재현주기(년)	유효수평지반가속도(S)	구분	지반증폭계수
500	0.3g	F_a	1.5
2400	0.6g	F_b	1.5

설계스펙트럼가속도

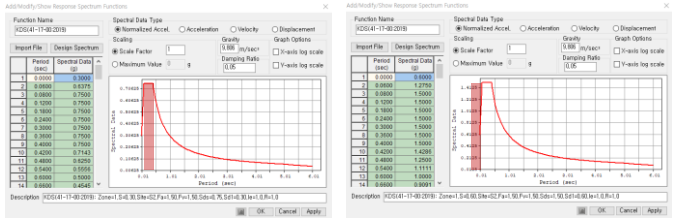
- 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) = $S \times 2.5 \times F_a \times 2/3$
 - 500년 : 0.75g
 - 2400년 : 1.5g
- 1초주기 설계스펙트럼가속도(S_{D1}) = $S \times F_b \times 2/3$
 - 500년 : 0.3g
 - 2400년 : 0.6g

구조물의 고유주기

- $T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$ - 500년 & 2400년 : 0.08 sec
- $T_S = S_{D1} / S_{DS}$ - 500년 & 2400년 : 0.4 sec
- $T_L = 5$ sec

설계스펙트럼 해석

앞서 계산한 값들을 바탕으로 MIDAS 프로그램을 활용하여 설계스펙트럼 그래프 도출



▶ 재현주기 500년

▶ 재현주기 2400년

고유주기 0.08 sec ~ 0.4 sec 에서 구조물의 응답스펙트럼가속도가 최대가 됨

02 지진파 분석



지진파 생성 (EQ Maker)

< 입력값 >

- EQ Maker

$$T_S = \frac{C_v}{2.5C_a}, \quad 2.5 C_a = S_{DS}$$

- KDS 17 00 00 - 2019

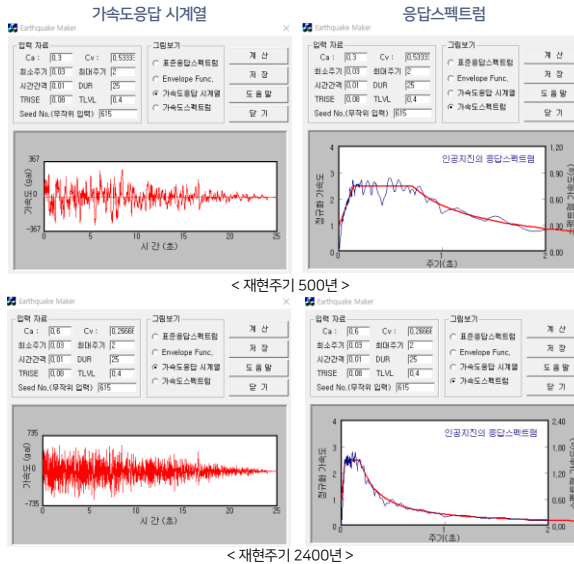
$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

• 주기

- 최소주기 : $30 \text{ Hz} = 1/30 = 0.03 \text{ sec}$
- 최대주기 : $0.5 \text{ Hz} = 1/0.5 = 2 \text{ sec}$

• 최대응답스펙트럼 가속도 구간

- Trise = 0.08 sec
- TLVL = 0.4 sec



< 재현주기 500년 >

< 재현주기 2400년 >

앞서 계산한 값들을 바탕으로 EQ Maker를 활용하여 인공지진파 생성

해석한 설계스펙트럼과 유사한 결과값을 가짐을 확인

03 기술 컨셉



Strip에 면줄을 감은 면진 장치 개발

- 한정된 재료내에서 **경제성 확보**를 위해 단가가 가장 낮은 **A4와 면실** 활용을 우선시
- 마찰계수 실험을 통해 마찰계수가 가장 낮은 **A4-면줄**을 면진층 재료로 선정

Concept Drawing



- 두 재료의 접착을 구현하기 위해 Strip에 면줄을 감은 면진장치 탄생
- 경제성을 고려해 기동 제작 후 남은 잉여 Strip 부재 활용

면진 장치의 모델링 및 제작



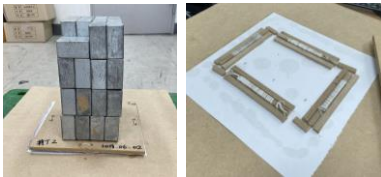
▲ 3D 모델링



▲ 실물 모델 제작 (잉여 Strip에 면줄을 감은 면진 장치)

- Strip에 면줄을 감아 원통 형태로 면진 장치 제작
- 면진 장치의 크기를 작게하여(길이 5~6cm) 접촉면적을 줄여 **Ball-Bearing** 효과를 통해 마찰력을 줄임
- 면진장치의 변위를 유지해주는 **가이드라인** 설치

면진장치 성능 실험



▲ 하중분력을 재하해 면진 성능 시험 및 구동 확인

면진장치를 통해 고유주기를 장주기 영역으로 벗어나게 함으로써 건물로 전달 되는 **지진에너지를 감소**시킴



실험 결과

- 의의 : 한정된 재료 안에서 **독창적인 면진장치** 구현
- 장점 : 마찰계수가 적은 재료를 사용하여 건물의 구조적 안전성 향상
- 단점 : 스트립에 실을 감을때 시공 균질성 고려

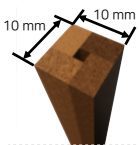
면진 장치 보완점

- 예상 범위의 위치 이탈 방지를 위해 면줄을 이용하여 변위 발생 제한
- 실제 구조물의 하중과 높이로 인한 모멘트의 증가 고려 필요
- Strip에 면줄을 2중으로 감았을 때의 효과 확인 필요

04 구조물 설계 및 분석



메가칼럼 사용



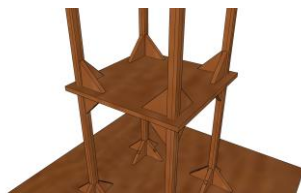
모든 면에서 단면2차모멘트가 같은 즉, 강성이 같은 단면으로 설정

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

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

- 강축과 약축의 구분이 없으므로 어느 한 방향으로의 취약한 부분이 없음
- 단면을 증가시켜 세장비가 낮아져 좌굴하중을 증가시키는 효과가 있음
- 구조물의 내진 성능을 보강하는 방법으로 메가칼럼을 사용하여 구조체의 강도를 높임
- 기초판과 기둥과의 접합면을 넓힐 수 있으므로 강성 확보 가능

거셋플레이트 설치



- 기둥과 슬래브의 접합 부분에 사용하여 구조물의 강성을 높여 내진성능을 향상시킴
- 거셋플레이트 판을 덧셈함으로써 가새의 길이 축소, 경제적인 설계 가능
- Plate를 가공하고 남은 재료를 이용

톱밥 사용



- Plate 및 Strip 가공 시 나오는 톱밥을 모아 접합시에 사용하여 접합 강도를 높임
- 록타이트 접착제와 톱밥이 만나 구조물에서의 강접합을 구현

가새 설치



- 내진 구조가 적용된 하부구조물에는 강성확보를 위해 우수한 X자형 가새 사용
- 섬유질의 A4지를 가새에 말아 Strip의 파괴를 막고, 부재의 강성을 높여 내진성능 향상 가능
- 기둥을 제작하고 남은 MDF Strip을 활용

04 구조물 설계 및 분석



면진장치 및 면진판 설계



Strip에 면줄을 2중으로 감음

- 하중블럭 24kg를 모두 재하하면 면실이 압축되어 면진장치로써 역할을 못할 가능성이 있음
- 2중으로 감아 그 압축효과를 절감시킴



면진판 1,2단 비교실험

- MDF Plate를 한 개 더 쓴 것에 비해 그 면진 효과가 미미하여 경제성을 위하여 면진판을 1단으로 조정

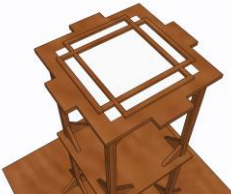
면진장치와 맞닿는 면을 A4지로 덧댐

- 마찰력에 의한 면진효과 감소를 최소화하기 위해 면실과 접촉하는 면을 A4지로 덧댐



전도방지 목적

- 상부층의 과도한 상대변위로 인한 전도를 방지하기 위해 면줄을 사용하여 한계 범위를 설정함
- 매듭을 묶을 때, Strip 2개를 덧대어 상부 구조물이 움직일 수 있는 여유폭을 줌



가이드라인 설치

- 면진장치의 거동을 제한하기 위한 가이드 라인 설치
- 진동 시, 면진장치의 탈락 방지
- x축, y축 양방향의 지진에너지 감소효과 확보를 위해 면진장치를 2방향으로 설치



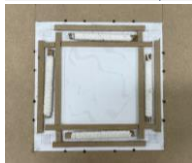
- 가이드 장치를 설치하여 상부구조물의 이탈 및 추가적인 전도 방지
- Plate를 가공하고 남은 재료를 이용

05 1차 모델링



1차 모델링 일시: 2021.06.19 11:00~16:30
 에어컨 상시 가동을 통해 실험실 내 온도과 (상대)습도는 일정 (18°C, 40%)

면진층	슬래브	구조보강부재
1층 슬래브-기초판	1,2층 : 170mm × 170mm	거셋 플레이트
x	3,4,지붕 : 150mm × 150mm	X자형 가새



▲ 면진 시스템



▲ 톱밥을 이용해 부재 이용부 마감



▲ 1차 구조물 모델링 완성



▲ 시공불량 발생



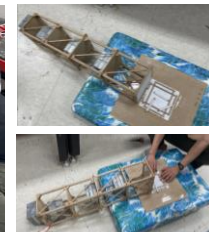
▲ 거셋 플레이트와 X자 가새를 통해 구조 보강

1차 모델링 진동 시험

※ 시험 방법: 스티로폼 판 위에 구조물을 고정 후 정주기와 단주기로 구분해 1축으로 흔들



▲ 시험 준비



▲ 구조물 파단 (진체)



▲ 구조물 파단 (면진판)

1차 모델 파단원인

- 1차 모델링 결과, 1층 면진층에서 면진 기능을 수행하지 못하고 시험 시작 2초만에 전도 발생 (0.2g~0.3g 파단)
- 상부층 150mm*150mm의 슬래브 판과 기둥 접착 시 시공불량 가능성이 높고 진동시 접합 부분에서의 기둥 탈락 위험이 있음



1차 모델 파단보완

- 전도모멘트 증가로 건물의 불안정성이 야기되어 중간층(2~3층) 면진 시스템을 도입
- 슬래브 판을 160mm*160mm로 확장하여 슬래브에 기둥을 끼워 넣어 시공성과 안정성 확보

06 2차 모델링

2차 모델링 일시: 2021.06.19 13:00~16:30
 에어컨 상시 가동을 통해 실험실 내 온도와 (상대)습도는 일정 (18℃, 40%)

면진층	슬래브	구조보강부재
2-3층 슬래브	2층: 170mm × 170mm	거셋 플레이트
c 자형 가이드라인	3,4,지붕: 160mm × 160mm	X자형 가새

1차 모델링의 보완



기둥과 슬래브의 일체화

- 160mm × 160mm 슬래브 판에 기둥을 끼워 넣어 기둥과 슬래브를 일체화 하여 시공성과 안정성을 확보

중간층 면진층 (2~3층)

- 면진층을 2층과 3층 사이에 위치시킴으로써 면진 효과 확보와 더불어 상부층으로 전달되는 지진에너지를 감소



4방향의 거셋 플레이트 설치

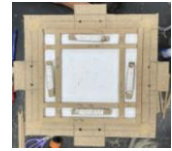


- 기초가 뜨는 것을 방지하고 1층 기둥과 기초의 일체화 및 충분한 강도를 확보하기 위해 4방향의 거셋 플레이트 설치

- 톱밥과 록타이트를 활용해 기초와 거셋 플레이트의 이음부를 매꾸어 추가적인 강성 확보

전도방지 면진 시스템 메커니즘

- 3층 바닥 슬래브를 상부 면진판으로 활용
- 상호 마찰계수가 가장 낮은 A4와 면질의 마찰을 이용한 면진판 구획
- 면진 장치의 변위를 제한하기 위해 가이드라인 설치



▲ 들뜸부를 포함한 면진판



▲ c 자형의 가이드장치



▲ 면진층에 설치한 전도방지 Strip

- x, y 축 양방향으로 면줄 매듭 및 전도방지 Strip을 설치해 구조물의 전도를 방지
- 'c' 자형의 가이드장치를 통해 면진판의 거동을 제한하고 추가적으로 구조물의 전도를 방지

가새의 내력 확보



- 가새의 파단 방지 및 강성을 확보하기 위해 A4지를 감싸고 잉여 Strip을 덧대어 보강

- 톱밥과 록타이트 점착제를 활용해 가새 및 Strip 이음부를 매꾸 내력 보강

06 2차 모델링

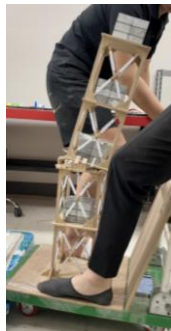
2차 모델링 진동 시험 및 결과 분석



▲ 2차 구조물 모델링 완성



▲ 구조물 진동 시험



가속도 측정 및 구조물의 거동 분석



- 24kg 하중에 대한 구조물 거동 실험에서 평균 0.4g~0.5g 가속도에서 안정적인 거동을 확인할 수 있었음
- 구조물의 파단은 평균 0.7 ~ 0.85g 가속도에서 이뤄짐
- 면진 장치를 통해 구조물의 고유주기를 장주기화하여 상부구조물이 원활한 면진거동을 지님

▲ 지진계 Application

시험 결과 및 파단 분석

- 면진층에서 부재의 파단을 유도하였고 면진 거동을 가지다가 실이 끊어지면서 파단됨
- 1차 모델링에서의 문제점이었던 전도와 면진장치의 기능수행을 보완할 수 있음
- 'c' 자 가이드라인, 면줄, Strip등을 통해 전도방지와 면진장치 기능수행의 최적화된 설계 조건을 구현



▲ 구조물 파단결과

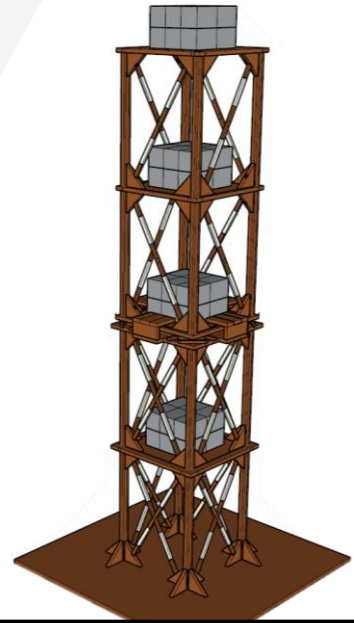
시험 준비 및 방법

- 1차 모델링 진동 시험방법과는 다르게 x,y축 양방향으로의 거동을 확인하기 위해 바퀴가 달린 수레에 구조물을 고정하여 시험
- 진동 시험 시, 기초판의 추가 들림을 방지하기 위해 기초판을 발로 밟아 시험 진행
- 기초판에 휴대폰을 고정하고 지진계 Application을 통해 가속도 측정



Conclusion

1. 최종구조물
2. 경제성 분석
3. 시공성 분석

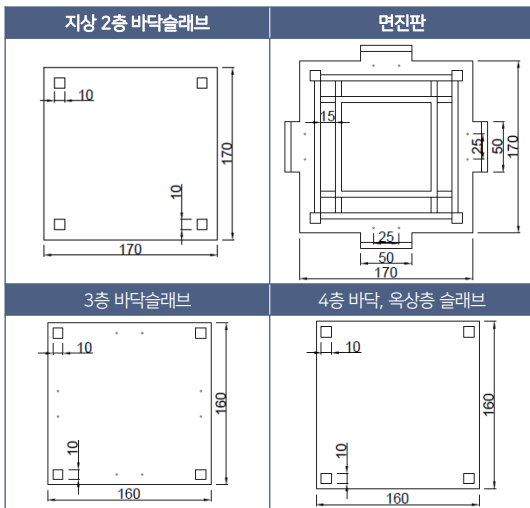


17

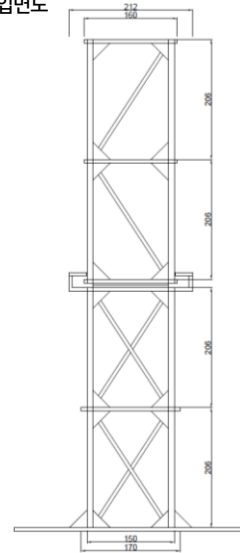
01 최종 구조물



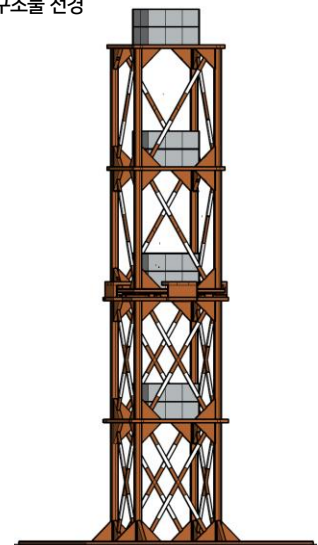
평면도



입면도



구조물 전경



18

02 경제성 분석

경제성 분석

경제성 분석					
부재명	부재규격	부재개수	부재명	부재규격	부재개수
기둥	420mm × 10mm × 10mm	32	전도방지 장치	40mm × 25mm × 6mm	8
2층 슬래브	170mm × 170mm × 6mm	1	면진층 A4용지	A4 용지 1개	1
3,4,옥상 슬래브	160mm × 160mm × 6mm	3	가새보강용 A4용지	A4 용지 1개	1
면진층 슬래브	200mm × 200mm × 6mm	1	가새	180mm × 6mm × 4mm	24
면진장치 면줄	600mm	8	가새 보강	25mm × 6mm × 4mm	16
면진층 전도방지 면줄	600mm	2	거šet플레이트	35mm × 35mm × 6mm	72

재료명	규격	단가[백만원]	수량	합계(백만원)
MDF Base (기초판)	400mm × 400mm × 6mm	-	1	0
MDF Strip	600mm × 4mm × 6mm	10	38	380
MDF Plate	200mm × 200mm × 6mm	100	5	500
면줄	600mm	10	10	100
A4지	A4	10	2	20
접착제	20g	200	2	400
총액(백만원)				1400

03 시공성 분석

시공성 분석

구분	공정표														
	소요시간														
	1시간					2시간					-				
	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분
기둥제작	■														
슬라브제작	■														
바닥판, 면진층 천공		■													
면진층 제작		■													
기둥설치			■												
슬라브, 면진층설치			■												
거šet플레이트 제작				■											
가새 제작						■									
거šet플레이 설치							■								
가새설치							■								
하중 설치													■		