

부산대학교 건축공학과 “건공부대” 설계제안서

## 2021 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2021

### “구조물의 최적 내진설계”

## INDEX

### I INTRODUCTION

1. 팀 소개
2. 설계 개념
3. 지진파 분석
4. 구조물 심사 기준 분석

### II MAIN PROJECT

1. 재료 물성치 분석
2. 구조물 설계 및 분석
3. 구조물 실험 과정
4. 최종 구조물 제작

### III CONCLUSION

1. 평면도·입면도
2. 경제성 분석
3. 시공성 분석

## INTRODUCTION

- 팀 소개
- 설계 개념
- 지진파 분석
- 구조물 심사 기준 분석

### 01 INTRO | Team Introduction

Team Introduction

Team name "건공부대"

담당 교수님



"건공부대"는 부산대학교 건축공학과 구조동아리  
INNOSYS의 구성원들이 모여 만든 팀으로, 건축구조에 대한  
기본 개념을 바탕으로 창의적이면서 튼튼한 구조물을 통해  
한 단계 앞서 나아가겠다는 목표를 가지고 있습니다.

부산대학교 건축공학과

이상호 교수님

#### 팀원소개

김재희 (3)

- 구조해석
- 면진구조 구상
- 재료 물성치 시험
- 구조물 제작

박시연 (4)

- 구조해석
- 면진 구조 구상
- 재료 물성치 시험
- 구조물 제작

석지홍 (3)

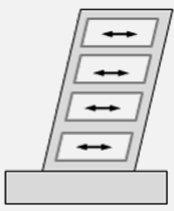
- 구조해석
- 경제성 분석
- 시공성 분석
- 구조물 제작

이우인 (3)

- 구조해석
- 구조물 심사 기준 분석
- 도면 제작
- 구조물 제작

## 01 INTRO | 설계 개념

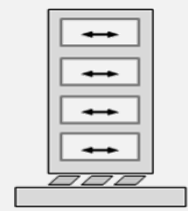
Design Concepts



**내진 구조**

구조물의 강도와 강성을 키워 구조물의 변형이나 손상으로 지진에너지를 흡수, 저항하는 시스템

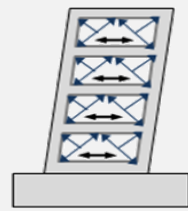
단순히 강하게 만드는 것이 아니라 본 대회에 최적화된 시스템 구현을 요구



**면진 구조**

구조물과 지반 사이에 면진층을 설치하여 면진 상부로 지진동이 전달되지 않도록 하는 시스템

한정된 재료에서 효율적인 시스템 구현이 난이하여 독창적인 아이디어가 필요



**제진 구조**

건물에 설치된 제진장치에 변형을 집중시켜 지진에너지를 흡수함으로써 건물의 진동을 저감시키는 시스템

제진 장치를 설치하는 위치에 따라서 성능이 달라져 정확한 내력 산정이 어려움

## 01 INTRO | 지진파 분석

Earthquake wave Analysis

내진 설계 목표 및 성능 수준 분석				
지진하중				
유효수평지반가속도				
재현주기(년)	유효수평지반가속도(S)			
500	0.3g			
2400	0.6g			
지반증폭계수				
설계스펙트럼 작성시 단주기 지반응답증폭계수( $F_a$ )와 1초 주기 지반응답증폭계수( $F_v$ )는 1.5로 가정				
성능 목표				
설계 지진 재현 주기(년)	기능수행	즉시 복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
500	만족	만족	만족	
2400				만족
진동대 실험 규정				
인공지진파		Sine Sweeping 지진		
<ul style="list-style-type: none"> <li>인공지진파 제작을 위한 설계 스펙트럼 주파수 대역은 0.5Hz ~ 30Hz</li> <li>상관관계가 0.30이하인 두 개의 지진파를 수평 2방향(X축, Y축)으로 동시에 가진</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>일정한 Peak의 정현파를 임의의 주파수 대역에서 임의 속도로 증가 또는 하강시키면서 가진</li> <li>수평 1방향(X축)으로 가진</li> </ul>		

내진 설계 기준 공통 적용 사항							
• 지진구역 및 지진구역계수(Z, 재현주기 500년 기준)							
지진구역	행정구역						지진구역계수(Z)
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종					0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경남, 경북, 전북, 전남					
재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년	4800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6
• 지반 종류 : S <sub>2</sub> 옅고 단단한 지반							
• 지진 구역 : I							

지진파 분석		
지반증폭계수	유효수평지반가속도 (S) = Z x I	
Fa	1	
Fv	1	
✓ 500년 = 0.297    ✓ 2400년 = 0.594		
설계 스펙트럼 가속도	구조물의 고유 주기	
단주기 설계 스펙트럼 가속도( $S_{DS}$ ) $= S \times 2.5 \times F_a \times \frac{2}{3}$	$T_0 = \frac{0.2S_{D1}}{S_{DS}}$	$T_0 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
✓ 500년 = 0.495    ✓ 2400년 = 0.99	✓ 500년, 2400년 = 0.08	✓ 500년, 2400년 = 0.4
1초 주기 설계 스펙트럼 가속도( $S_{D1}$ ) $= S \times F_v \times \frac{2}{3}$	$T_L = 5\text{초}$	
✓ 500년 = 0.198    ✓ 2400년 = 0.396	<b>0.08 ~ 0.4sec에서 설계 스펙트럼 가속도 최대</b>	



## 01 INTRO | 구조물 심사 기준 분석

Structure Review Criteria Analysis

### 제작 규정 분석



본 규정에 따라 세장비가 큰 건축물의 내진 설계 계획

### 부재 가격 규정 분석

재료명	단위	규격	단위수량(개)	단가 (백만원)	비고
MDF Base	개	400mm*400mm*6mm	1	-	여유분 1개
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	록타이트 401

### 붕괴 목표

설계물 구조물의 파괴시 목표 가속도 : **0.7g**

- 1, 2층과 3, 4층의 기둥을 일체화 시킨 뒤
- 2, 3층 사이에 면진층을 두어 0.7g의 가속도에 도달할 시 층간 큰 이탈 유도

### 면진층 제작 방법

접착제 접합을 하지 않고 MDF PLATE와  
면실 롤러의 **마찰**과 **면실의 인장**으로 버티고 이탈 유도

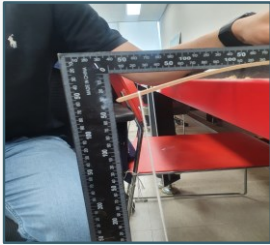
## MAIN SUBJECT

- 재료 물성치 분석
- 구조물 설계 및 분석
- 구조물 실험 과정
- 최종 구조물 제작

## 02 MAIN | 재료 물성치 분석

Material Properties Analysis

### MDF 탄성계수

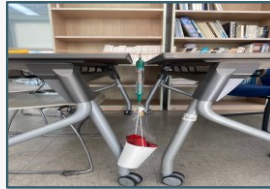


캔틸레버 보의 변위식을 이용

$$\text{변위 } \delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

하중 (N)	평균 10회 변위 (mm)
80	3.55
하중 (N)	평균 탄성계수 (Mpa)
80	1876.1

### MDF 휨 강도



단순보의 처짐을 이용

$$\text{변위 } \delta_{Max} = 1.5 \frac{PL}{bh^2}$$

하중 (N)	경간거리 (mm)	평균 탄성계수 (Mpa)
12	120	22.5

\* b = 6mm, h = 4mm

KS 정밀도 섬유판 품질 기준  
평균값인 25형과 유사

### MDF 축 강도

- 축강도 · 축계수  $K = EA$  를 이용
- 탄성계수 E는 앞서 구한 1876.1Mpa를 이용

부재 개수	단면적 (mm <sup>2</sup> )	축강도 (N)
1	24	45,026.4
2	48	90,052.8
3	72	135,079
4	96	180,105



보유한 하중 블록 24kg 모두를  
재하해도 파괴되지 않음

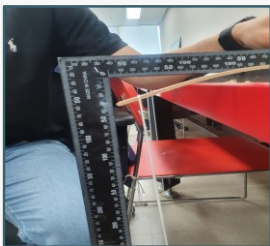
축방향으로 강도가 우수하여  
파괴 가능성이 작음

전단파괴의 가능성 희박

## 02 MAIN | 재료 물성치 분석

Material Properties Analysis

### 면줄 탄성계수



면줄의 변형을 통해  
인장강도 및 탄성계수를 측정

$$\text{변위 } \delta = \frac{PL}{EA}$$

인장강도 (N)	탄성계수 (Mpa)
198.4	1247.7

### 부재 단면에 따른 강성 비교

1개		$I_x = \frac{4 \times 6^3}{12} = 72 \text{ mm}^4$ $I_y = \frac{6 \times 4^3}{12} = 32 \text{ mm}^4$
2개		$I_x = \frac{6 \times 8^2}{12} = 256 \text{ mm}^4$ $I_y = \frac{8 \times 6^3}{12} = 144 \text{ mm}^4$
4개		$I_x = \frac{8 \times 12^2}{12} = 1152 \text{ mm}^4$ $I_y = \frac{12 \times 8^2}{12} = 512 \text{ mm}^4$
4개		$I_x = \frac{10^4}{12} - \frac{2^4}{12} = 832 \text{ mm}^4$ $I_y = \frac{10^4}{12} - \frac{2^4}{12} = 832 \text{ mm}^4$

취약 부분에 의해 전체 구조의 성능이 결정되므로  
균등한 단면을 사용하여 더 큰 단면 성능을 확보

### 마찰계수 측정

MDF - MDF		MDF - A4		MDF - Strip	
하중 (F)	질량 (m)	하중 (F)	질량 (m)	하중 (F)	질량 (m)
3.4N	6kg	3.1N	6kg	3.2N	6kg
운동마찰계수		운동마찰계수		운동마찰계수	
0.0578		0.0527		0.0544	

### 운동마찰계수 비교

MDF-MDF > MDF-Strip > MDF-A4

마찰계수 실험 결과, MDF-A4의 마찰계수가 가장 작음을 확인  
▶ 경제성과 실험을 통해 면실과 A4를 면진층 제작 재료로 선정

## 02 MAIN | 구조물 설계 및 분석

Structure Design and Analysis

### 내진 구조 요소

#### 기둥



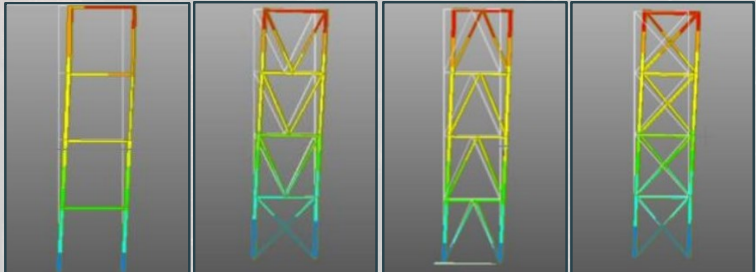
- 스트립 4개를 붙여 1개의 기둥으로 사용
- 더 큰 단면 성능을 확보해 내진 성능 향상

#### 거šet 플레이트



- 슬라브를 제작하고 남은 MDF Plate를 활용
- 기둥과 보 사이에 설치하여 구조물의 강성을 높여 내진 성능을 향상

#### 가새



#### 가새 미설치

변위 : 7.864mm

#### V자형 가새

변위 : 3.984mm

#### 삼각형 가새

변위 : 3.323mm

#### X자형 가새

변위 : 3.095mm

▶ 횡력에 잘 저항하여 변위가 가장 적게 생긴 X자형 가새 선정

- 기둥을 제작하고 남은 MDF Strip을 활용

- 부재의 강성을 높여 내진 성능을 향상

## 02 MAIN | 구조물 실험 과정

Structure Experiments Process

### 1차 구조물 설계



- 줄을 꼬아 4방향으로 배치하여 면진층을 구성
- 바닥판에 일정한 간격으로 줄을 배치하여 면진층 효과 기대

### 2차 구조물 설계



- 1차와 동일하게 줄을 꼬아 4방향으로 배치하여 면진층을 구성
- 내·외부 가새가 구조물을 잘 지지될 수 있게 거šet 플레이트에 고정

### 1차 구조물 파단



기초와 1층 바닥 간의 일체력 부족으로 전도 현상이 발생해 구조물이 파괴됨

### 1차 구조물 보완

- 기초판 천공 후 기둥을 접합하여 일체력을 향상
- 기둥과 기초판 사이에도 거šet 플레이트를 설치

### 2차 구조물 파단



면진층의 전도 현상으로 인해 2층과 3층 사이에서 파단이 일어나게 됨

### 2차 구조물 보완

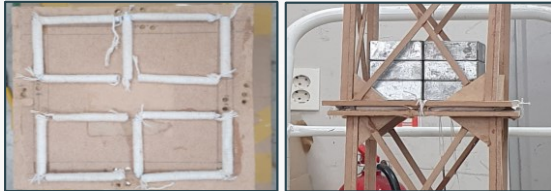
- 면진층 전도현상을 막기 위해 2층 천장과 3층 바닥판을 면실로 연결
- 전도를 방지하되 변위를 구속하지 않기 위해 실을 사선으로 연결



## 02 MAIN | 구조물 실험 과정

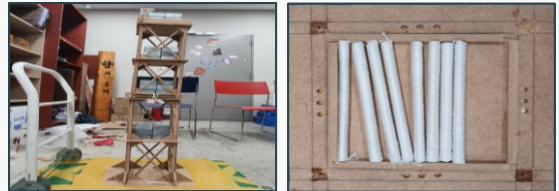
Structure Experiments Process

### 3차 구조물 설계



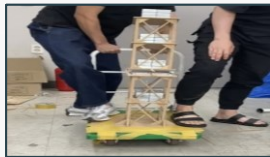
- 마찰면을 줄이기 위해 A4용지를 말고 면실을 감아 원형으로 제작
- 면진층 상부의 전도를 구속하기 위해 2층 천장과 3층 바닥판을 면실로 고정

### 4차 구조물 설계



- 기존 1,2,3차 모델링에서 문제점이었던 전도와 면진 장치 기능을 보완
- 마찰 계수 시험을 통해 면진 롤러 장치를 구성

### 3차 구조물 파단

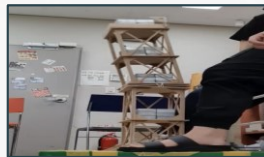


전도 방지 면줄이 면진 효과를 일으키기 위한 범위까지 구속하여 면실이 끊어짐

### 3차 구조물 보완

- 2층 천장과 3층 바닥판을 고정하는 면실의 길이를 조절하여 전도를 방지함과 동시에 면진 효과를 위한 변위가 가능하도록 함

### 4차 구조물 실험 결과



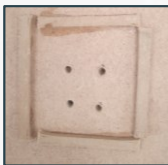
2,3차 실험을 통해 확정적인 면진층 컨셉을 도입하여 기대했던 면진 효과 확인

지진 가속도 0.7g~0.8g 일 때, 면진층에서 파단이 발생하여 본 대회 규정을 만족

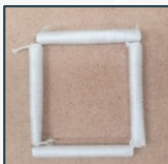
## 02 MAIN | 최종 구조물 제작

Final Structure Creation

### 면진층 컨셉 변화



A4-MDF 간의 마찰계수가 가장 작게 나온 것을 이용하여 면진층 하부는 Strip을 사각형으로 배치하고 면진층 상부는 A4용지를 붙임



### A4용지를 말아서 실로 감은 뒤 사각형 형상으로 고정

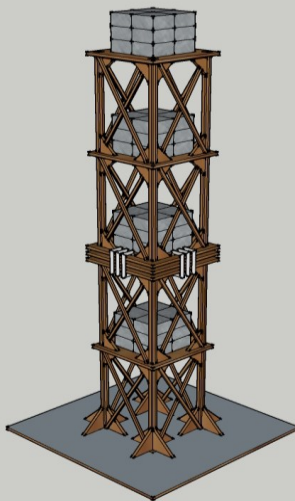
- 마찰면을 줄이기 위해 면진 장치를 원형으로 제작
- A4용지를 말고 그 위에 실을 감은 뒤 사각형으로 배치



### 롤러를 제작하여 면진층 바닥에 배치

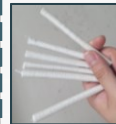
- 롤러를 제작하여 상부 구조물과 하부 구조물이 별개의 거동을 할 수 있도록 함

### Sketch-Up을 이용한 최종 모델링



### 면진 구조 요소

#### 면진 롤러



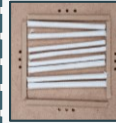
- A4용지 1/4크기를 말고 그 위에 면줄을 감음
- 면진층 하부 구조물과 면진층 상부 구조물의 거동을 분리시킴

#### 전도 방지줄

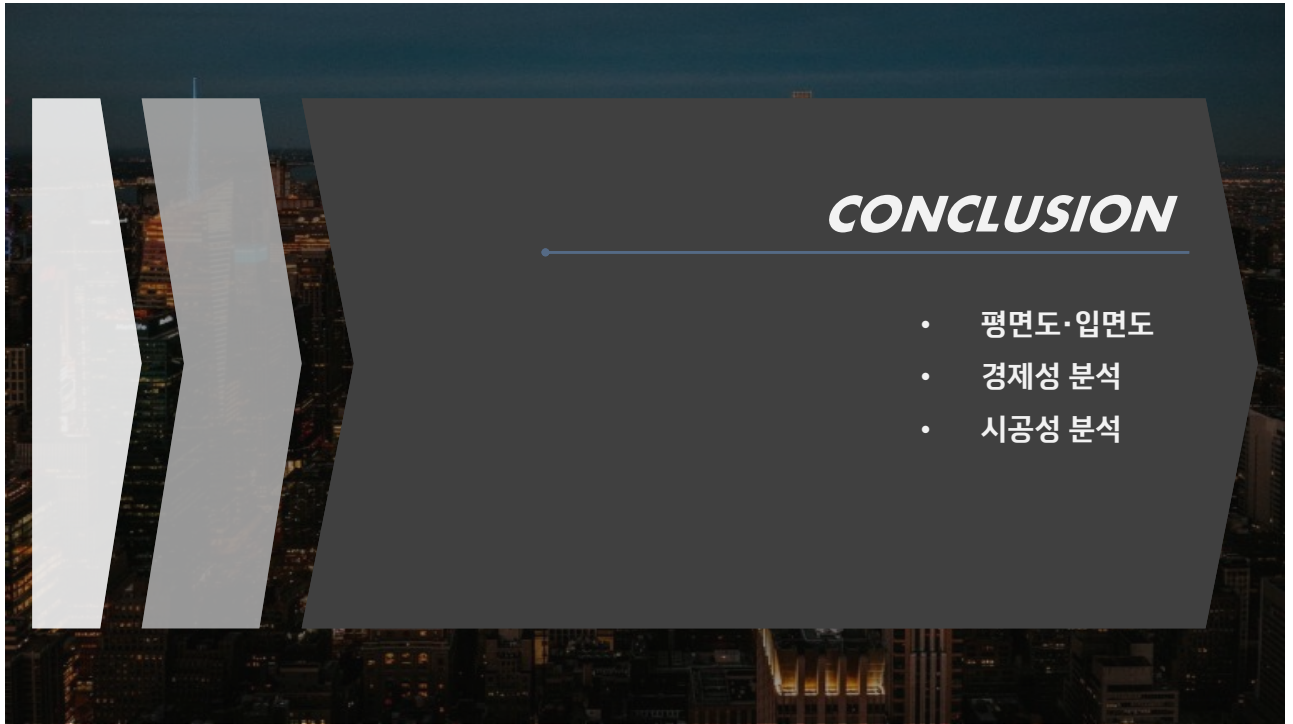


- 면진층 상부 구조물의 전도 방지를 위해 3층 바닥과 2층 천장을 면줄로 고정
- 면진 효과를 위해 면줄을 고정할 때 Strip을 끼워 여유길이를 확보함

#### 면진 판 구성



- X Y축으로 개별적으로 거동하여 면진 효과를 발생시키기 위해 X축과 Y축으로 각각 면진판을 배치



SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2021 건공부대

**03 CONCLUSION | 평면도·입면도**  
Floor Plan & Elevation

**평면도**

기초 및 1층 바닥 평면도      2, 4층 바닥 평면도

면진층 바닥 평면도      3층 바닥 평면도

**입면도**

정면도      측면도

부산대학교 건축공학과

16



## 03 CONCLUSION | 경제성 분석

Economic Analysis

경제성분석					
부재명	부재규격	부재 개수	부재명	부재규격	부재 개수
기둥	424*10*10mm	8	면진용 A4용지	210*297mm	4
보	120*6*4mm	16	면진층 면줄	600mm	9
슬라브	160*160*6mm	3	면진층 롤러판	108*6*4mm	8
면진층 슬라브	170*170*6mm	3	전도방지 면줄	600mm	1
가새	230*6*4mm	16	거šet 플레이트	3.5*3.5*6mm	56
	180*6*4mm	16		5*5*6mm	16

재료명	규격	단가(백만원)	수량	합계(백만원)
MDF PLATE	200*200*6mm	100	7	700
MDF STRIP	600*6*4mm	10	40	400
면줄	600mm	10	10	100
A4 용지	210*297mm	10	4	40
접착제	20g	200	3	600

총액(백만원) **1840(백만원)**

## 03 CONCLUSION | 시공성 분석

Operability Analysis

