

I. 팀 소개 Introduction

2021 구조물 내진설계 경진대회 SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2021 "구조물의 최적 내진설계" 부산대학교 건축공학과 INNOSYS



INNOSYS



INNOSYS 는 부산대학교 건축공학과 구조 동아리입니다.
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.

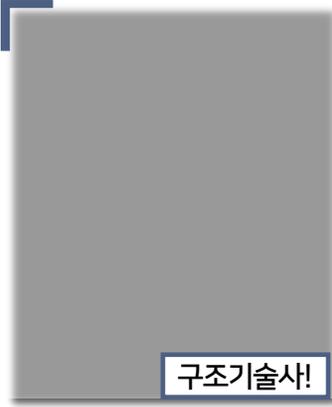


담당 교수님



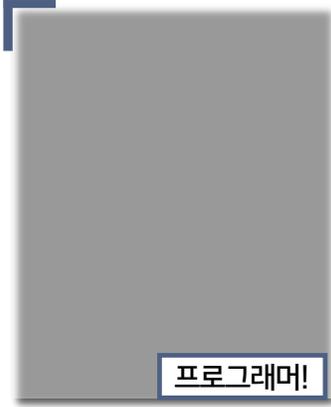
AFFILIATION :
부산대학교 건축공학과
NAME :
오상훈 교수님

팀원 소개



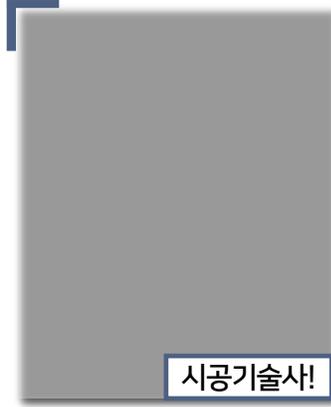
NAME :
이영찬 (3학년)
RESPONSIBILITIES :
- 구조해석
- 지진파분석
- MIDAS
- 구조물 제작

구조기술사!



NAME :
김용현 (3학년)
RESPONSIBILITIES :
- 구조해석
- 모델링
- PPT 제작
- 구조물 제작

프로그래머!



NAME :
유다혜 (3학년)
RESPONSIBILITIES :
- 구조해석
- PPT 제작
- 물성치 분석
- 구조물 제작

시공기술사!



NAME :
오다윤 (3학년)
RESPONSIBILITIES :
- 물성치 분석
- 시공성 분석
- 경제성 분석
- 구조물 제작

프로분석가!

진동대 실험 규정

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

구조물 파괴 시의 목표 가속도	지반가속도 0.7g
------------------	------------

유효수평지반가속도 및 지반증폭계수

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

설계 스펙트럼 가속도

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

구조물의 고유주기

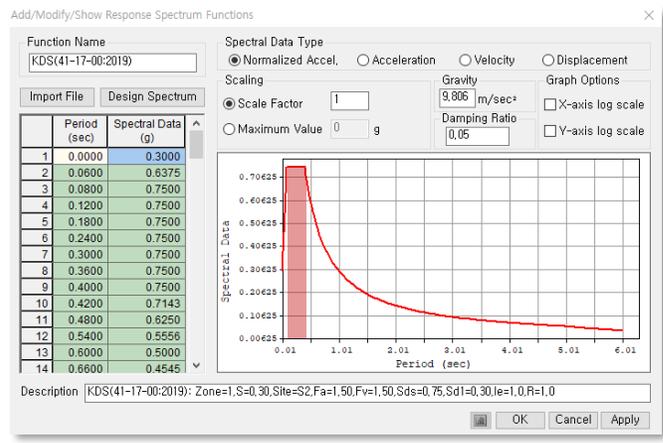
$T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$
 - 500년 & 2400년 : 0.08 sec
 $T_S = S_{D1} / S_{DS}$
 - 500년 & 2400년 : 0.4 sec
 $T_L = 5 sec$

지진파의 주기

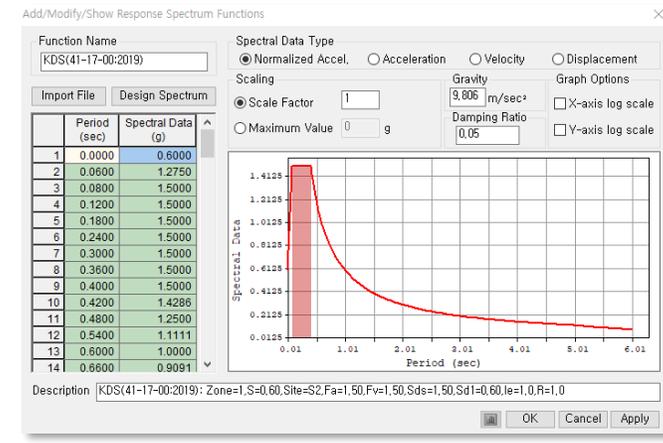
최소주기 :
 $30 \text{ Hz} = 1/30 = 0.03 \text{ sec}$
 최대주기 :
 $0.5 \text{ Hz} = 1/0.5 = 2 \text{ sec}$

설계스펙트럼 해석

재현주기 500년



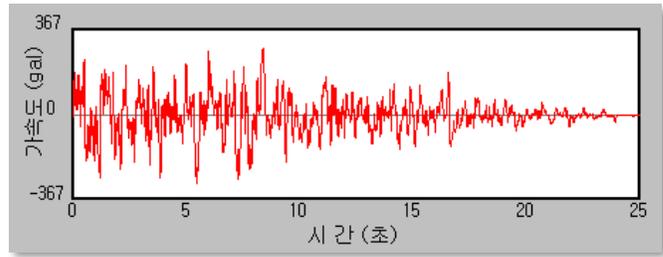
재현주기 2400년



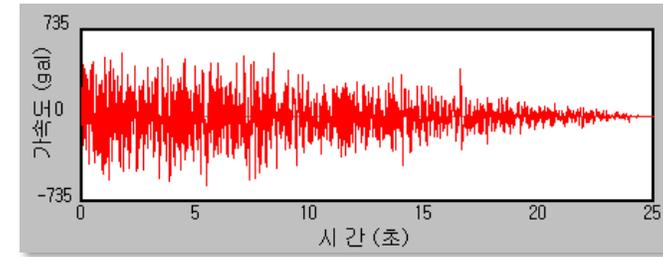
→ 고유주기 0.08 sec ~ 0.4 sec 에서 구조물의 응답 스펙트럼 가속도가 최대가 됨

인공지진파 해석

재현주기 500년



재현주기 2400년

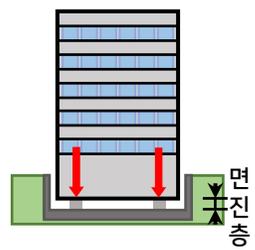


→ 단주기성의 지진파가 예상됨

해석 결과

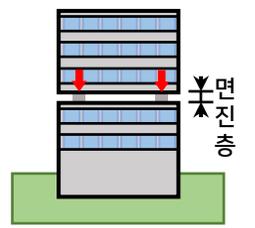
면진 구조를 통해 단주기성 지진파를 장주기화하여 지진에 대한 저항력을 상승시키는 설계

면진층의 종류



기초 면진

- 건물 하부에 면진 시스템을 설치하여 건물과 지반을 분리
- 건물 내의 고유 진동주기를 길게하여 가속도와 층간 변위를 동시에 감소
- 저층 구조물에 적합



중간층 면진

- 건물 중간에 면진 시스템을 설치하여 부분적으로 하중을 분리
- 관성력을 감소시키고 하부 골조의 소성 힌지의 발생을 방지
- 중, 고층 구조물에 적합

채택!

중간층 면진의 선택 이유

건설시장의 동향 : 고층건물의 수요 증가



구조물이 고층화됨에 따라 면진 장치가 부담해야 할 **중량 증가**

- ✓ 면진 장치의 변형과 건물기초에서 전도모멘트로 인한 구조물의 휨 문제 발생 가능성 감소
- ✓ 기초 면진 구조물에 비하여 층간 변위나 전달되는 가속도 및 층전단력 감소 가능

시공 및 사용상의 편리 : 이격거리(Clearance:클리어런스) 확보 불필요

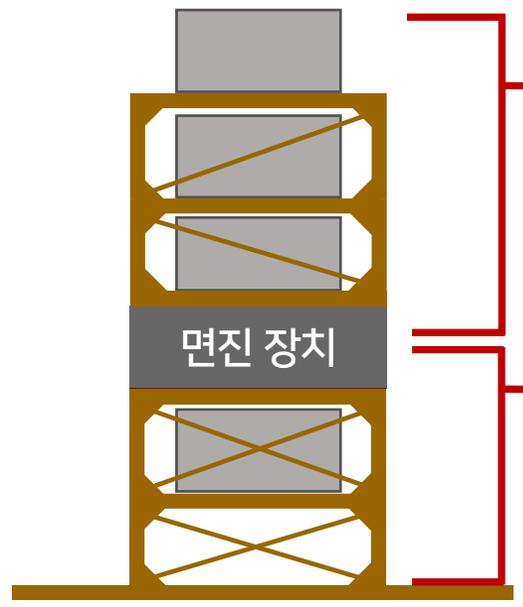
기초 면진의 경우, **이격거리 확보**를 위한 토공사가 진행되어야 하므로 그에 따른 **공사비**와 **별도의 공간**이 요구됨



- ✓ 옹벽을 만들 수 없는 경우와 경사지에 있는 경우 등에도 적용 가능
- ✓ 인명피해 및 건설현장의 안전사고 발생을 줄임

내진 설계 Concept

중간층 면진 시스템을 적용함으로써 **내진 구조**와 **면진 구조**의 **시너지**를 구현



면진 구조

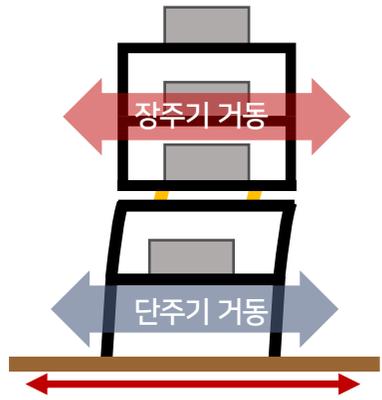
- 구조물의 고유주기 조절
- 건물에 작용하는 충격을 최소화
- 한정된 재료 내 효율적인 면진 시스템 구현

내진 구조

- 구조물의 충분한 강성·강도 확보
- 구조물 자체의 내력 증진

구조물의 예상 거동

목표 : 0.7g의 가속도가 작용할 때 **면진층에서의 파단**을 유도



상부 구조물

면진층을 지나 상부로 전달되는 지진력이 줄어들어 단주기 거동이 **장주기 거동**으로 변할 것으로 예상

하부 구조물

구조물의 전체적인 강성을 충분히 확보하여 **단주기 거동**이 예상

물성치 분석

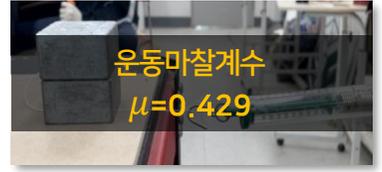
마찰계수 측정

용수철저울로 끌어 움직이기 바로 직전의 저울 눈금 조사

*운동마찰계수 $\mu = \frac{F}{mg}$

[MDF-면줄]

- 질량(m): 1kg - 하중(F): 4.2N



[A4-면줄]

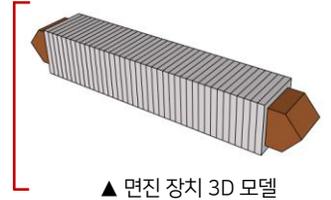
- 질량(m): 1kg - 하중(F): 3.5N



- 상호 운동마찰계수가 가장 낮은 A4-면줄을 면진 시스템의 주재료로 선정

면진장치 및 면진판 설계

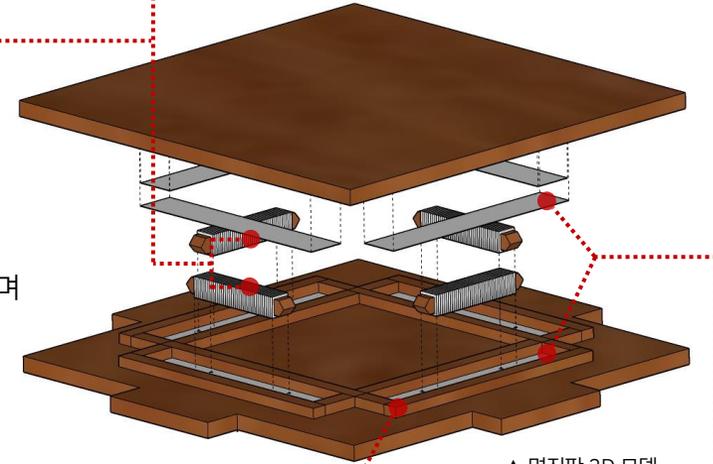
면진 장치 개발



- MDF Strip에 면실을 2중으로 감은 면진 장치 개발
- 진동 시 상·하부 면진층에서 움직이며 구조물의 진동을 감소시키는 역할
- 기둥 제작 후 남은 Strip 부재 활용

면진판 설계

[면진 장치를 2방향으로 설치해 다방향의 지진에너지에 대비]



[면진 장치의 탈락 방지 및 거동 제한을 위한 가이드 라인 설치]

면진 시스템의 거동



- 면진 장치와 면진층의 접촉면적을 최소화하여 Ball-Bearing 효과를 통한 안정적인 면진 거동 구현

[A4를 덧대 면실과의 접촉을 구현]

구조 설계

[기둥 - 메카컬럼]



- 강축과 약축의 구분이 없음
- 단면을 증가시켜 세장비가 낮아져 좌굴하중 증가

[톱밥 사용]



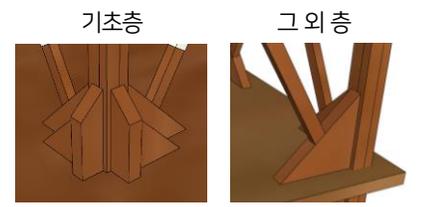
- Plate 및 Strip 가공 시 나오는 톱밥을 활용해 구조물에서의 강접합을 구현

[가새]



- 상부: / 자형 가새 >> 경제성 확보
- 하부: X 자형 가새 >> 강성 확보
- A4를 가새에 맞아 Strip의 강성을 높임

[거셋플레이트]



- 기둥과 슬래브의 접합 부분에 사용
- 횡방향의 단면 증대

[전도방지]

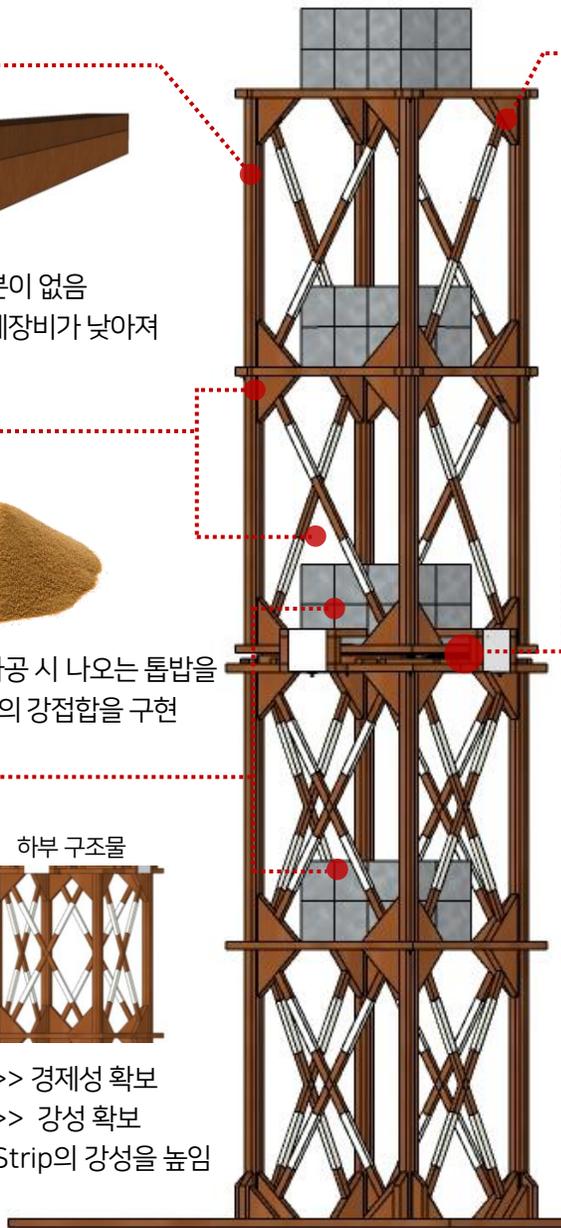


- 가이드 장치를 통해 상부구조물의 이탈 및 전도 방지
- Plate를 가공하고 남은 재료를 이용

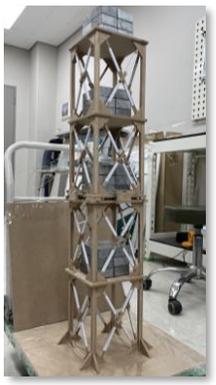
면줄을 통한 변위 제한



- 면줄을 묶어 상부층의 과도한 상대변위 방지
- 매듭 시, Strip 2개를 덧대어 여유폭 확보



진동주기에 따른 가속도 측정 실험



▲ 구조물 모델링 완성

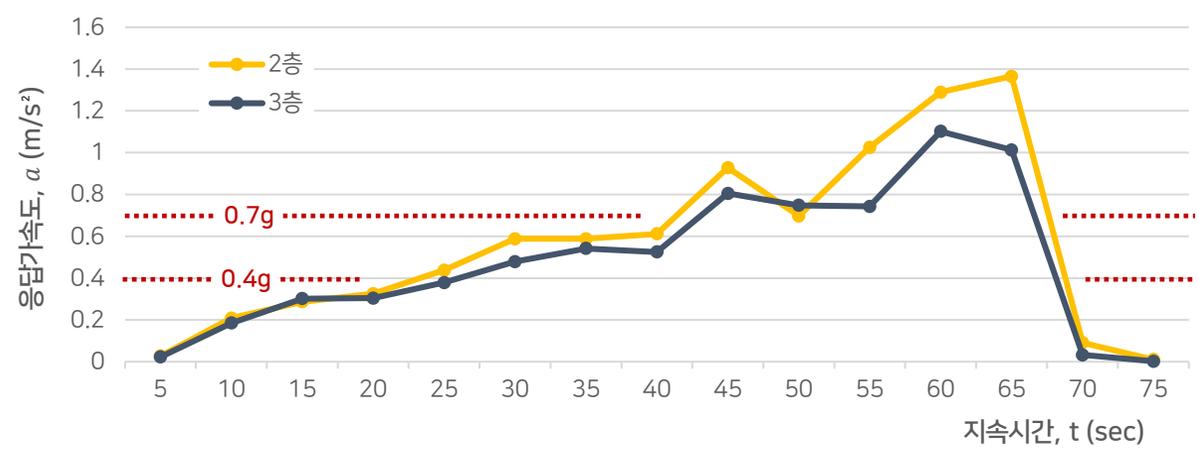


▲ 진동 시험 준비

실험 준비 및 조건

- x, y축 양방향으로의 거동을 확인하기 위해 바퀴가 달린 수레에 구조물을 고정하여 시험
- 각 층마다 휴대폰을 고정하고 지진계 Application을 통해 가속도 측정
- 2층(하부)과 3층(상부)의 가속도의 5초간 평균을 내어 그래프 도출

2, 3층 응답가속도 비교·분석

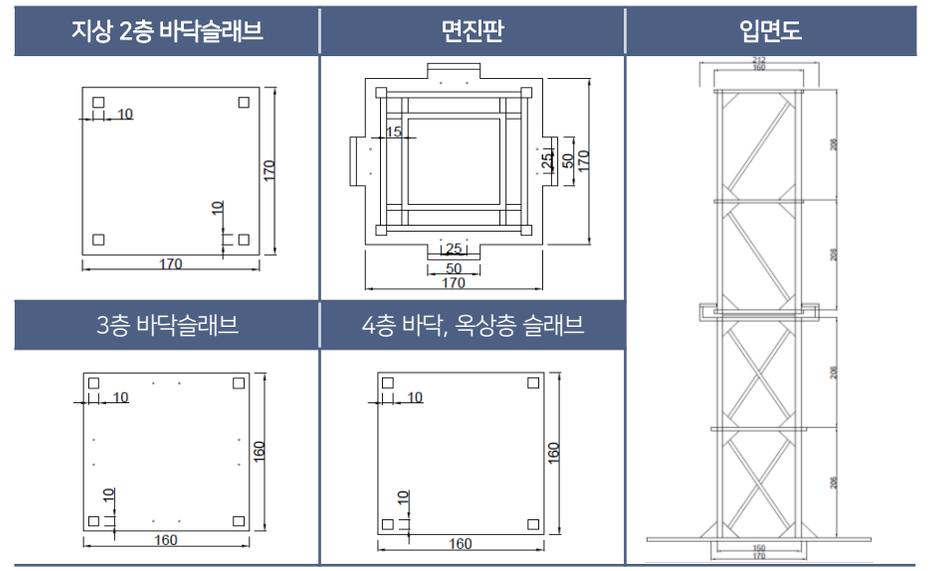


▲ 진동 시험

실험결과분석

- 태풍이나 바람과 같은 진동주기 0.3-0.4g의 약한 수평하중에서 내진 거동을 지남
- 0.4g 이후 면진 장치를 통해 구조물의 고유주기를 장주기화하여 상부구조물의 면진 거동이 시작됨
- 면진 거동을 보인 시점부터 상부와 하부의 응답가속도 간 차이 발생, 0.7g 이후부터 가속도 저감효과가 극대화 됨

평면도·입면도



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	거셋플레이트	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