

부산대학교 건축공학과 INNOSYS
설계 제안서

2018 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2018

“ 목표 성능수준을 고려한 구조물의 내진설계 ”



TABLE OF CONTENTS

PNU ARCHITECTURAL ENGINEERING INNOSYS
SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2018

01

INTRO

- 팀 소개
- 설계 개념
- 대회 규정 분석

02

MAIN

- 재료 물성치 분석
- 구조물 설계 및 분석
- 기술 컨셉
- 지진파
- 모델링
- 작품 제작 및 실험

03

CONCLUSION

- 경제성 및 시공성 분석
- 최종 구조물

01. INTRO



PNU ARCHITECTURAL ENGINEERING
INNOVATIVE STRUCTURE SYSTEM

- 팀 소개
- 설계 개념
- 대회 규정 분석

01 | INTRO

팀 소개



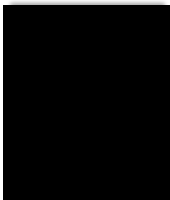
INNOVATIVE STRUCTURE SYSTEM은 부산대학교 건축공학과 구조동아리로서,
INNOvative Structure sYStem의 약자로 혁신적인 구조시스템을 뜻하며
구조물의 내진설계에 대한 기본 개념을 바탕으로 창의적인 아이디어를 접목시켜
혁신적, 기능적인 구조시스템을 개발하는데 이번 대회의 목적을 가지고 있습니다.

담당 교수님



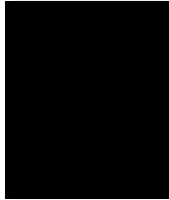
부산대학교 건축공학과
이상호 교수님

팀원 소개



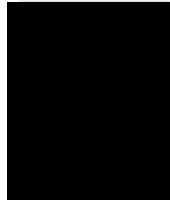
양정우(4)

- 구조해석
- 지진파 분석
- 시공성 분석
- 구조물 제작



정유석(3)

- 구조해석
- 물성치 분석
- 마이다스
- 구조물 제작



박태현(3)

- 구조해석
- 물성치 분석
- 경제성 분석
- 구조물 제작



이기원(3)

- 구조해석
- 대회규정분석
- 모델링
- 구조물 제작



설계 개념

내진

건물의 강성을 높이고 구조 자체의 강도로 지진의 흔들림에 견딤.

- 기둥의 단면적 조절, brace 설치, gusset plate 설치 등
- 단순히 강하게 만드는 것이 아닌 본 대회 규정에 맞는 구조물에 최적화된 시스템 구현.

제진

건물에 내장된 제진 장치가 지진의 흔들림을 흡수, 완화함.

- 한정된 재료 내에서의 제진 시스템 구현이 난이함.
- 본 대회에서 규정한 경제성을 고려한 효율적인 제진 시스템 구현의 필요.

면진

면진장치를 이용해 지진으로 발생하는 진동의 주기를 길게 변화시켜 건축물이 받는 에너지를 줄임.

- 한정된 재료 내에서 효율적인 면진 시스템 구현을 위한 독창적인 아이디어 필요.
- 경제성 및 시공성 철저히 고려.

설계 목표

2017년 포항 지진으로 인한 피해 사진

- 2016년 9월 12일 경주 지진, 2017년 포항 지진 발생 이후 내진설계에 대한 국민의 관심 증가.
- 구조물의 내진 성능 강화로 충분한 강성 확보.
- 효율적인 제진, 면진 시스템 구현.

대회 규정 분석

제작 규정 분석

4층 이상
총 높이 800mm~900mm

층고 200mm 이상

각 층별 하중 6kg
총 하중 24kg
(고정하중을 의미)

각 층별 바닥 면적
10,000mm²~30,000mm²

* 총 제작시간은 4시간을 초과 할 수 없다.

본 규정에 따라 세장비가 큰 건축물의 내진 설계 계획

작품 제작 재료 단가

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	-
접착제	개	20g	1	200	-

붕괴 목표

설계물 구조물의 파괴를 목표 가속도 : **0.7g**

- 지진 가속도 0.7g에 붕괴를 유도
- 실험에 의해 2, 3층 사이의 파단을 관찰 ⇨ 각 층의 기둥 분리에 의한 시공성 문제
- 1.2 층과 3.4층의 기둥을 일체화 시킨 뒤 2, 3층 사이에 면진층을 두어 0.7g의 가속도에 도달할 시 층간 큰 이탈 유도 ⇨ **면진층 파괴 유도**

면진층 제작 방법

접착제 접합을 하지않고 MDF PLATE와 종이의 마찰과 면실의 인장으로 버티고 이탈 유도

02. MAIN



- 재료 물성치 분석
- 구조물 설계 및 분석
- 기술 컨셉
- 지진파
- 모델링
- 작품 제작 및 실험

02 | MAIN

II 재료 물성치 분석

MDF 탄성 계수 측정

- 캔틸레버 보를 통한 측정
- 캔틸레버 보의 변위식 $\delta = \frac{PL^3}{3EI}$ 을 사용



하중(N)	평균변위 δ (mm)
60	3.26 * 10회 시험 평균값
평균 탄성 계수E(Mpa)	
1870.3	

MDF STRIP 휨 강도 측정

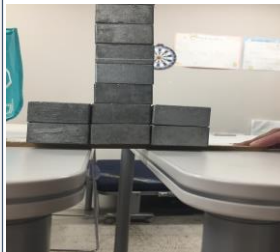
- 단순보를 통한 측정
- 휨 $f_{max} = 1.5 \frac{PL}{bh^2}$



하중(N)	경간거리L(mm)
60	37 (양단 끝부터 끝까지 거리) * 10회 시험 평균값
평균 휨강도f(Mpa)	
23.125	

MDF STRIP 전단 강도 측정

- 하중블럭을 이용한 전단 강도 측정



- 실험결과 하중블록을 전부 사용하여 하중 24kg의 하중 재하 시에도 전단 파괴가 일어나지 않음

전단 파괴의 가능성 희박함

MDF STRIP 축 강도 측정

- 측정된 탄성계수값 $E = 1870.3Mpa$ 을 이용하여 계산

- 축강도 $k = EA$ 식을 사용

부재개수	단면적 (mm^2)	축강도(N)
1	24	44,887
2	48	89,774
3	72	134,662
4	96	179,549

축 방향으로의 파괴 가능성 적음



재료 물성치 분석

면출 탄성 계수 측정

- 면출의 변위를 통한 탄성 계수 측정
- $\delta = \frac{PL}{EA}$ 식을 사용



하중(N)	평균변위 δ (mm)
40	1.4
* 10회 시험 평균값	
평균 탄성 계수E(Mpa)	
182.89	
탄성 계수가 작아 변형 능력 우수	

부재 개수 별 단면 산정

- 1개 $I_x = \frac{4 \times 6^3}{12} = 72mm^4$
 $I_y = \frac{6 \times 4^3}{12} = 32mm^4$
- 2개 $I_x = \frac{6 \times 8^3}{12} = 256mm^4$
 $I_y = \frac{8 \times 6^3}{12} = 144mm^4$
- 3개 $I_x = \frac{10 \times 8^3}{12} - \frac{4 \times 2}{12} = 426mm^4$
 $I_y = \frac{10 \times 8^3}{12} - \frac{4 \times 2}{12} = 656mm^4$
- 4개 $I_x = \frac{10^4}{12} - \frac{2^4}{12} = 832mm^4$
 $I_y = \frac{10^4}{12} - \frac{2^4}{12} = 832mm^4$

운동마찰계수 측정

A4용지-A4용지		MDF-MDF		MDF-A4용지	
하중(F)	질량(m)	하중(F)	질량(m)	하중(F)	질량(m)
3.5N	1kg	2.8N	1kg	2.5N	1kg
* 10회 시험 평균값		* 10회 시험 평균값		* 10회 시험 평균값	
운동 마찰 계수 $\mu = \frac{F}{mg}$		운동 마찰 계수 $\mu = \frac{F}{mg}$		운동 마찰 계수 $\mu = \frac{F}{mg}$	
0.3568		0.2854		0.2548	
운동 마찰 계수 비교					
A4용지-A4용지 > MDF-MDF > MDF-A4용지					
마찰력 비교를 통한 면진층 제작 재료 선정					

구조물 설계 및 분석

기둥 구성 (스트립 수) - 내진

- 각 층의 고정하중에 따라 선정
- 1층, 2층: 4개 (10mm*10mm)
- 3층, 4층: 2개 (6mm*8mm)

경제성 고려

기초판 천공으로 전도 방지



세장한 구조물이므로 면출을 이용한 전도 방지 필요

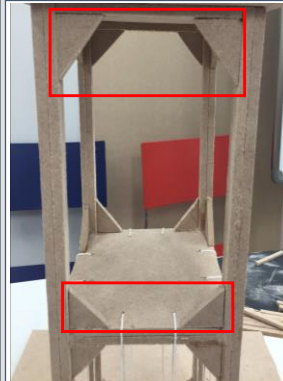
가새 유무 비교 해석

- MIDAS 프로그램을 통해 가새 유무에 따른 최대 변위 변화 파악

가새 - 무	가새 - 유
변위(mm)	변위(mm)
7.618	3.136

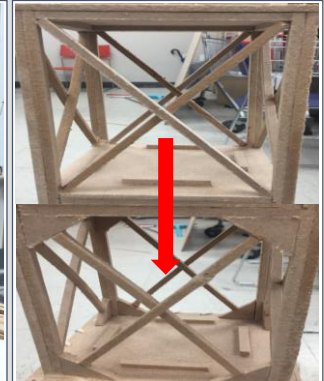
가새의 필요성 인식

거셋 플레이트 - 내진



플레이트 판을 가공하고 남은 재료를 이용 / 경제적인 설계

효율적인 가새 활용



거셋 플레이트 판을 땀으로써 가새의 길이 축소 / 경제적인 설계

II 구조물 설계 및 분석

구조해석을 통한 가새 형태 선정

△형 가새	V형 가새	/형 가새 (대각선 가새)	복합 가새	X형 가새
변위(mm) 3.342	변위(mm) 3.936	변위(mm) 5.666	변위(mm) 4.632	변위(mm) 3.136

변위가 가장 적은 X형 가새 선정

II 기술 컨셉

마찰 댐퍼

형상	개념도
<ul style="list-style-type: none"> ● 마찰댐퍼의 원리를 이용한 슬라브판 제작 	이력 형상
장/단점	
장점 : cycle당 에너지소산이 매우 큼 단점 : 비선형 해석을 요구	
<ul style="list-style-type: none"> ● 원리 : 안정적 거동을 하는 마찰재가 건물이 흡수해야 할 지진에너지를 마찰에너지로 소산시킴 ● 착안점 : MDF 판으로 비교적 편이하게 구현해낼 수 있는 댐퍼. 시공성 고려 ● 보완점 : 예상 범위의 위치 이탈 방지를 위해 면출을 이용함 보와 슬라브 간의 마찰력으로 지진 하중에 의해 부재 사이의 MDF PLATE 마찰력 초과 시 슬라브의 위치 이탈을 유도하여 면진 효과 기대	



실험 후 기술 컨셉 보완

펜들럼 면진 받침 - 미끄러짐 방식

형상
2층 옥상 3층 바닥
<ul style="list-style-type: none"> ● 펜들럼 면진 받침의 원리를 이용한 미끄럼 판을 제작하여 2층과 3층 사이에 면진층을 제작 ● A4 용지와 MDF PLATE 사이의 미끄러짐으로 구현 ● 원리 : 바닥판의 미끄러짐을 이용하여 층간 구조물 거동 분리 ● 착안점 : 제시된 재료로 매우 간편하게 면진층 구현 가능 ● 보완점 : 예상 범위의 위치 이탈 방지를 위해 면출을 이용함 면진층이 지진에너지를 감쇠시키고 목표한 시점에서 하중을 가장 많이 받는 1층의 부재 파단을 유도

지진파

내진 설계 목표 및 성능수준

설계지진 재현주기(년)	내진성능수준			
	가능수형	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
500	내진특등급	내진특등급	내진특등급	
2400				내진특등급

재현 주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수(I)	1.0	1.5	2.0	2.7	3.8	5.4

- 지반 종류 : S1 암반 지반
- 지진 구역 : I
- 지진구역 계수(Z) = 0.11g
- 위험수계수(I) : 위의 표 참고
- 본 대회에서 작품은 '내진특등급'으로 설계, 제작되어야 한다.

인공지진파

- 인공지진파 제작을 위한 설계 스펙트럼 주파수 대역은 0.5Hz ~ 30Hz
- 상관관계가 0.30이하면 두개의 지진파를 수평 2방향으로 동시에 가진

Sine Sweeping 가진

- 일정한 Peak의 정현파를 임의의 주파수 대역에서 임의 속도로 증가 또는 하강시키며 가진
- 수평 1방향(X축)으로 가진

3, 4층의 Column을 고려해 X축을 강축으로 선정

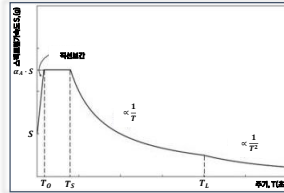
내진 설계 기준 공통적용사항

● 지진구역 및 지진구역계수 (Z, 재현주기 500년 기준)

지진구역	행정구역	지진구역 계수(Z)
I	시 서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도 경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원, 남부*	

재현 주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년	4800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

암반지반 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼



구분	α_s (단주기스펙트럼 공축계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_5	T_1
수평	2.8	0.06	0.3	3

● 유효지반가속도(S) = 5.4(I) X 0.11g(Z) = 0.594g

● 단주기 설계스펙트럼 가속도($\alpha_s \times S$) = 2.8 X 0.594g = 1.6632g

모델링

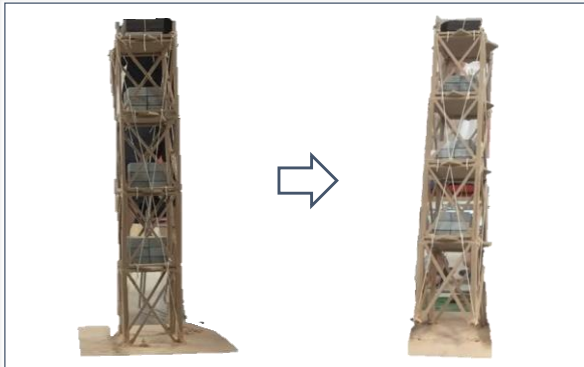
SKETCH UP 프로그램을 이용한 모델링



시공 순서에 따른 SKETCH UP MODELING

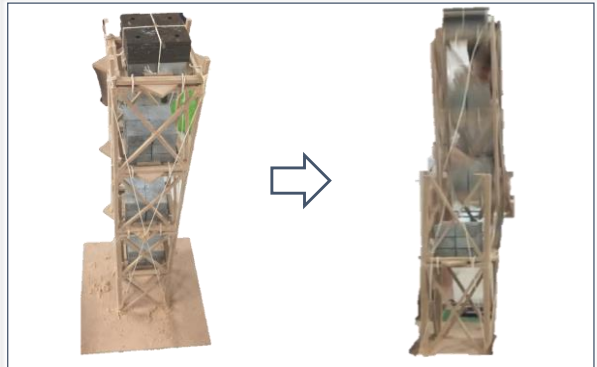
작품 제작 및 실험

1차 구조물 실험



MDF BASE와 구조물이 분리되며 전도 / 기초판 천공 정밀도와 부착 면밀도 향상

2차 구조물 실험

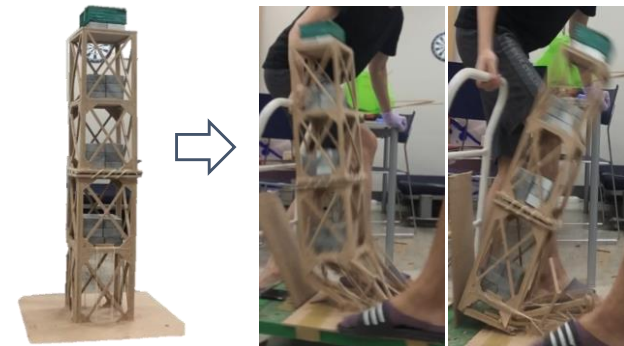


2층과 3층 사이가 이탈되며 붕괴 / 2층 3층 사이에 새로운 기술 컨셉의 면진층 제작계획 확립

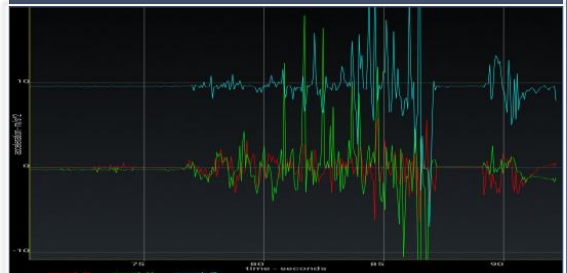
작품 제작 및 실험

3차 구조물 실험

기술 컨셉에 변화를 주어 새로운 면진층을 추가한 구조물로 실험



가속도 측정



- 휴대폰 가속도 측정 App을 통해 가속도를 측정
- 지진 가속도 0.7g에 가까운 값에서 1층 기둥의 파단을 볼 수 있었음

2차 구조물 실험 이후 새로운 컨셉의 도입 / 기대했던 면진 효과를 볼 수 있었고 1층 기둥의 파단을 확인

03. CONCLUSION



PNU ARCHITECTURAL ENGINEERING
INNOSYS

- 경제성 및 시공성 분석
- 최종 구조물

U1

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2018
03 | CONCLUSION

경제성 및 시공성 분석

최종 구조물

■ 경제성 및 시공성 분석

경제성 분석

부재명	부재 규격	부재 개수	부재명	부재 규격	부재 개수
1,2층 기둥	412mm*10mm*10mm	4	슬라브	150mm*150mm*6mm	3
3,4층 기둥	406mm*6mm*8mm	4	면진층 슬라브	170mm*170mm*6mm	2
1,2층 보	130mm*6mm*8mm	8	면진층 면줄	600mm	4
3,4층 보(강축)	134mm*6mm*8mm	4	전도방지용 면줄	600mm	8
3,4층 보(약축)	138mm*6mm*8mm	4	면진층 A4용지	A4지 1장	1

재료명	규격	단가(백만원)	수량	합계(백만원)
MDF STRIP	600mm*4mm*6mm	10	32	320
MDF PLATE	200mm*200mm*6mm	100	5	500
면줄	600mm	10	12	120
A4지	A4지 1장	10	1	10
접착제	20g	200	2	400
총액(백만원)				1350



경제성 및 시공성 분석

구분	공정표														
	소요시간														
	1시간					2시간					~				
	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분
기둥, 보 제작	■	■	■												
슬라브 제작	■	■	■	■											
면진층 제작	■	■	■	■	■										
바닥판 천공	■	■	■	■	■	■									
면진층 천공	■	■	■	■	■	■	■								
가새 제작		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
가넷플레이트 제작			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
기둥, 보 설치							■	■	■	■	■	■	■	■	■
슬라브 설치													■	■	■
가새 설치															
면진층 설치															
하중 설치															

최종 구조물

