

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  
INNOSYS

- 팀 소개
- 설계 개념
- 대회 규정 분석

# 01 | INTRO

## 팀 소개



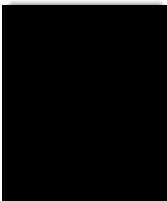
INNOSYS는 부산대학교 건축공학과 구조동아리로서,  
INNOvative Structure sYStem의 약자로 혁신적인 구조시스템을 뜻하며  
구조물의 내진설계에 대한 기본 개념을 바탕으로 창의적인 아이디어를 접목시켜  
혁신적, 기능적인 구조시스템을 개발하는데 이번 대회의 목적을 가지고 있습니다.

## 담당 교수님



부산대학교 건축공학과  
이상호 교수님

## 팀원 소개



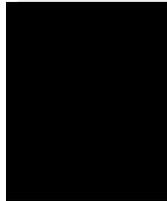
**양정우(4)**

- 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  
10,000mm<sup>2</sup>~30,000mm<sup>2</sup>

\* 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 $\delta$ (mm)
60	3.26 * 10회 시험 평균값
평균 탄성 계수E(Mpa)	
1870.3	

#### MDF STRIP 휨 강도 측정

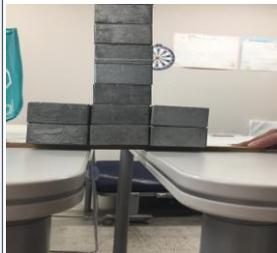
- 단순보를 통한 측정
- 휨 $f_{max} = 1.5 \frac{PL}{bh^2}$



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 $\delta$ (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

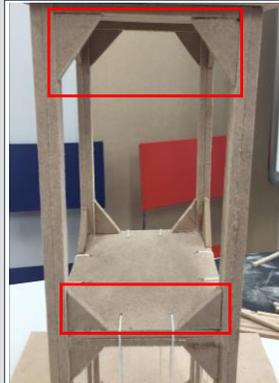
가새 유무 비교 해석

- MIDAS 프로그램을 통해 가새 유무에 따른 최대 변위 변화 파악

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

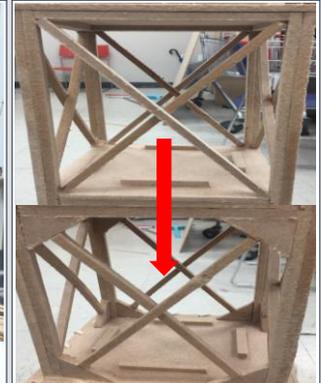
가새의 필요성 인식

거šet 플레이트 - 내진



플레이트 판을 가공하고 남은 재료를 이용 / 경제적인 설계

효율적인 가새 활용



거šet 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)	변위(mm)	변위(mm)	변위(mm)	변위(mm)
3.342	3.936	5.666	4.632	3.136

변위가 가장 적은 X형 가새 선정

II 기술 컨셉

**마찰 댐퍼**

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



실험 후 기술 컨셉 보완

**펜들럼 면진 받침 - 미끄러짐 방식**

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

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 0.30이하는 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

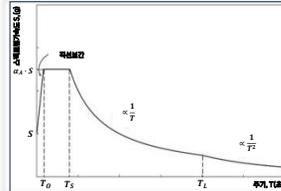
내진 설계 기준 공통적용사항

● 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	$\alpha_A$ (단주기스펙트럼 증폭계수)	전이주기(sec)		
		$T_0$	$T_0.5$	$T_2$
수평	2.8	0.06	0.3	3

- 유효지반가속도(S) = 5.4(I) X 0.11g(Z) = 0.594g
- 단주기 설계스펙트럼 가속도( $\alpha_A \times S$ ) = 2.8 X 0.594g = 1.6632g

모델링

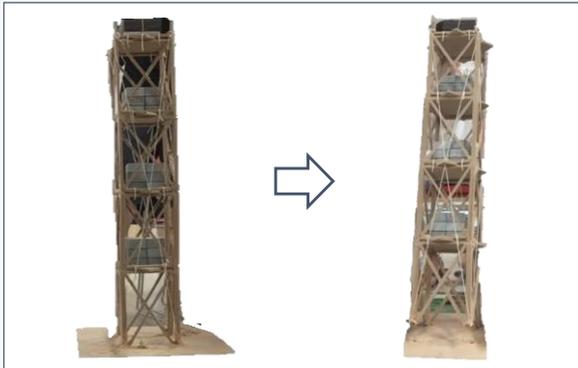
SKETCH UP 프로그램을 이용한 모델링



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

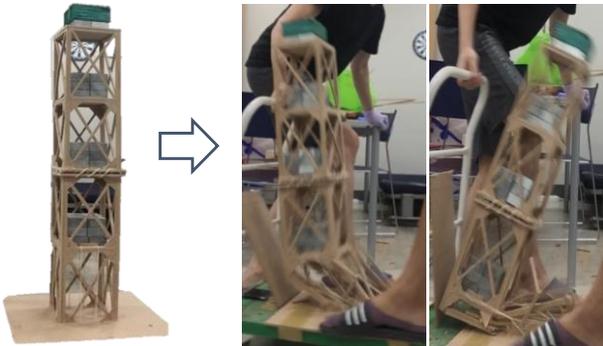


2층과 3층 사이가 이탈되며 붕괴 / 2층 3층 사이에 새로운 기술 컨셉의 면진층 제작계획 확립

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  
INNO SYS

- 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)				<b>1350</b>



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		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
거šet플레이트 제작			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
기둥, 보 설치							■	■	■	■	■	■	■	■	■
슬라브 설치													■	■	■
가새 설치															
면진층 설치															
하중 설치															

최종 구조물

