

# 2021 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2021

공주당 👑 팀 소개



INDEX

01

**PURPOSE**

- 구조물 규정 분석
- 지진파 분석

02

**CONCEPT**

- 재료 물성치 분석
- 설계 방향
- 텐세그리티
- 설계 최종 모델

03

**PROCESS**

- 도출과정

04

**CONCLUSION**

- 예상 동적 거동
- 입면도 & 평면도
- 내역서

**김철구 교수님**

이화여자대학교 교수  
지도 교수

**문다영**

제안서 작성  
지진파 분석

**이주현**

구조해석  
시공성 분석

**조용인**

구조해석  
도면 작성

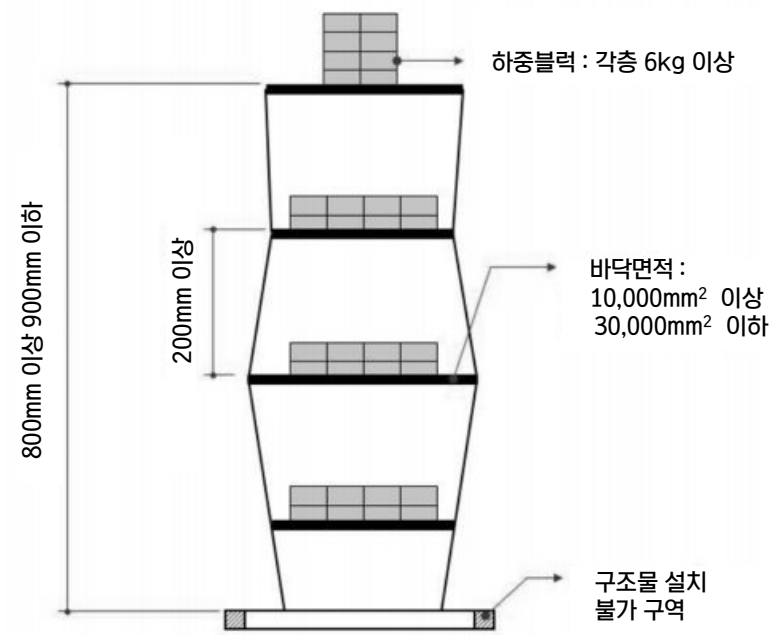
**황채림**

아이디어 구상  
지진파 분석

# 01. PURPOSE

## 구조물 규정 분석

### 구조물 규정



### 구조물 제작 및 심사기준

- ① 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
- ② 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
- ③ 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- ④ 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
- ⑤ 설계지진 초과 시 구조물의 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- ⑥ 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 심미성과 창의성을 추구하는 설계
- ⑦ 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

### 부재 가격 규정

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

# 01. PURPOSE

## 지진과 분석

### 유효수평지반가속도 & 지반증폭계수

500년 유효수평지반가속도 = 0.3g

2400년 유효수평지반가속도 = 0.6g

단주기 지반응답증폭계수( $F_a$ ) = 1.5

1초주기 지반응답증폭계수( $F_v$ ) = 1.5

### 설계스펙트럼 가속도

단주기 설계스펙트럼 가속도( $S_{DS}$ ) =  $S \times 2.5 \times F_a \times 2/3$

500년 -> 0.75g & 2400년 -> 1.5g

1초주기 설계스펙트럼 가속도( $S_{D1}$ ) =  $S \times F_v \times 2/3$

500년 -> 0.3g & 2400년 -> 0.6g

### 지진의 고유주기

$$T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$$

500년&2400년 -> 0.08 sec

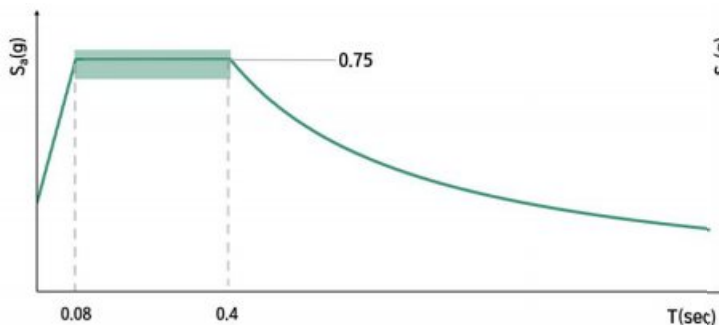
$$T_S = S_{D1} / S_{DS}$$

500년&2400년 -> 0.4 sec

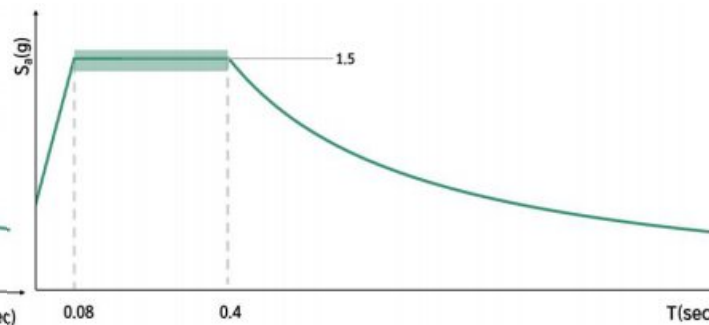
$$T_L = 5 \text{ sec}$$

### 설계응답스펙트럼

500년 주기



2400년 주기



“0.08~0.4sec에서 설계스펙트럼 가속도 최대”  
“지진 가속도 0.7g에서 파괴유도”


# 2. CONCEPT

## 재료 물성치 분석

### MDF Strip 탄성계수

“캔틸레버 보의 처짐 공식을 응용한 탄성계수 값 산출”  $E = \frac{PL^3}{3\delta I}$   
 P : 하중(N), L : 길이(mm),  
 $\delta$  : 변위(mm), I : 단면 2차 모멘트(mm<sup>4</sup>)

단일 부재 (4mm x 6mm)

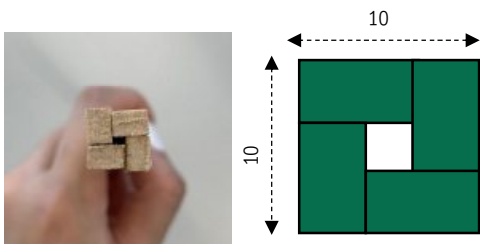
	하중 (N)	2.4
	평균 5회 변위 (mm)	7.7
	평균 탄성계수 (MPa)	1489.3

기둥 부재 (10mm x 10mm)

	하중 (N)	9.5
	평균 5회 변위 (mm)	2.82
	평균 탄성계수 (MPa)	1372.4

### MDF Strip 기둥 단면

“단면 2차 모멘트 공식으로 부재의 강축과 약축 고려”



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

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

$$I_x = I_y$$

X, Y축이 같은 힘으로 저항하기 위해  
 균일한 단면 성능 가진 정사각형 단면 기둥 사용

## 설계 방향

### 내진 구조



건물의 강성을 증가시켜  
 구조물 내력을  
 이용해 지진 하중에 저항

층별 내진 성능 목표에  
 부합하는 가새 설정

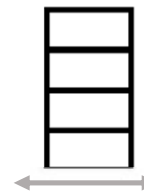
### 제진 구조



제진장치 이용해 지진에너지를  
 상쇄하여 구조물 제어

선택적인 제진층 적용

### 면진 구조



건물과 지반을 분리해  
 구조물이 받는  
 지진 에너지를 분산

# 2. CONCEPT

## 텐세그리티

### 텐세그리티

“TENSEGRITY = Tension + Structure Integrity”

자기응력(Self-stress)으로 전체 구조물 강성을 유지하는 핀 접합 구조물의 특수한 형태로 연속의 인장재 안에 불연속의 압축재가 결합하여 이루어지는 구조물



부재 수가 적어 가벼운 무게를 가짐  
동일 양의 재료로 더 많은 하중 지지  
탄성을 가져 하중을 빠르게 이동시켜 지진이나 진동에 잘 대응

압축재 - MDF Strip / 인장재 - 면줄

### 텐세그리티 실험

삼각 단면



-> 약 3kg 하중 지지

사각 단면



딱 찬 기둥 (12mmx12mm)의 사각 단면 실험 결과,  
약 50kg의 하중을 지지하여 지나치게 강성을 키운다고 판단

대회 규정에 알맞은 파괴유도를 위한 정밀설계와 경제성을 위해  
속 빈 기둥 (10mmx10mm)의 사각 단면 텐세그리티 구조 채택

육각 단면



-> 약 11kg 하중 지지

# 2. CONCEPT

## 설계 최종 모델

### X자 가새 + 거сет 플레이트

- 중심 가새 골조로 횡력에 저항
- 강성을 높여 내진성능 향상
- 마찰 면적 증가로 각 부재 간 접촉력 증대
- 남은 Strip과 Plate 활용으로 경제성 향상



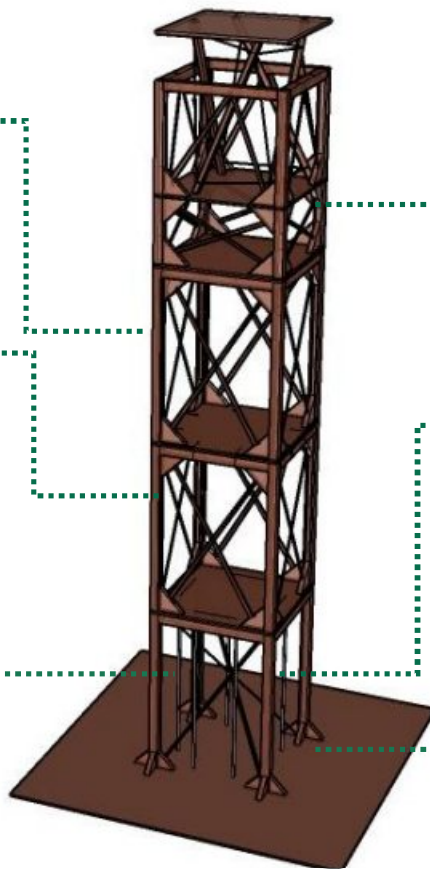
### 마찰 플레이트 형성

- 면줄로 연결된 슬라브 사이 A4지로 슬라브 층의 마찰력을 이용해 구조물 변위를 줄여주는 역할



### 전도방지용 면줄

- 2층 슬래브와 기초판을 실로 연결해 전도 방지
- 실의 인장력을 통한 복원력 확보



### 텐세그리티 + 역V형 가새

- 면줄과 기둥 사이 힘의 균형을 이용한 안정성과 미적 요소 추가
- 횡력 저항 보강을 위한 한 층 내 2가지 구조 합성
- 텐세그리티 변형 후 안정적인 하중 전달을 위한 역V형 가새 설치



### X자 중심 가새

- 축력이 집중되는 1층에 좌굴 방지 위한 횡구속 X자 중심 가새 설치



### 기둥 보강 플레이트

- 하단부 파단 방지
- 밀면 전단력 보강
- 슬라브 제작 후 남은 Plate 활용



# 3. PROCESS

## 도출 과정

### 텐세그리티 구조

기둥 종류



팍 찬 기둥

파괴 유도 위한  
적정 강도 확보 목표



속 빈 기둥

단면 형상



육각형

대회 층고 규정 미충족  
하중 블록 자리 확보 불가



사각형

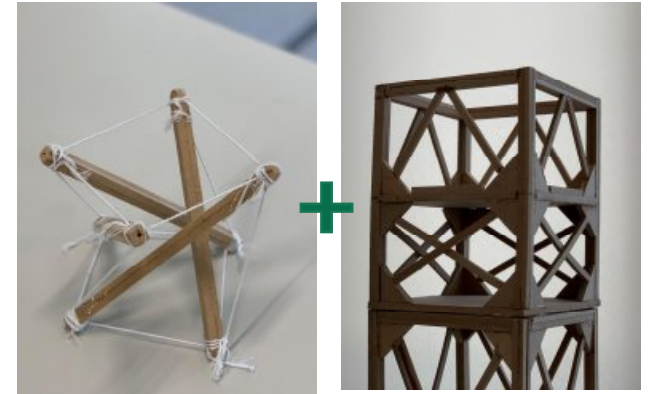
### 4층 - 합성 구조

합성 구조 사용

텐세그리티는 지진하중에 대한 횡력저항에 어려움이 있어  
상부 슬라브가 쉽게 기울어지고 부재 파단이 일어나므로,  
이를 방지하기 위한 수직 부재인 기둥 필요

역 V형 가새 사용

텐세그리티 정사각형 단면은 중력하중이 가해진 뒤  
마름모 꼴로 변형되고 이때의 하중이 보로 전달  
이때 4층의 상층부는 보와 텐세그리티의 기둥이 만나는  
지점에서 가새가 안정적으로 하중 전달을 받기 위해  
**X자 가새가 아닌 역 V형 가새 사용**



# 3. PROCESS

## 구조물 실험



- 강재를 이용한 하중블록 설치
- 손수레를 이용한 진동대 실험
- 스마트폰 가속도계 사용

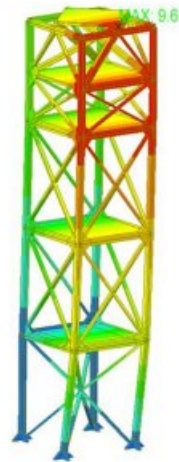
1층-2층 사이 전도방지용 면줄 파단을 확인

이후 정밀한 실험을 통해 목표한 시점에서 면줄 파단을 유도

## MIDAS 해석

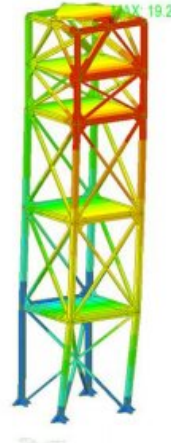
### 건축물 거동 확인

500년 재현주기



최대 변위 : 9.6mm  
중요도 계수 : 2.7

2400년 재현주기



최대 변위 : 19.2mm  
중요도 계수 : 5.4

### 모드 현상

EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
1	7.0353	1.1197	0.8931	3.335e-093
2	15.0856	2.4010	0.4165	1.0493e-070
3			0.4165	1.8244e-070
4			0.1136	3.2174e-052
5			0.1136	6.6190e-051
6			0.1033	6.1258e-063
7			0.0655	8.1959e-046

건축물의 고유주기  
0.8931 (sec)



MODE 1

주기 : 0.8931sec



MODE 3

주기 : 0.4165sec



MODE 6

주기 : 0.1033sec

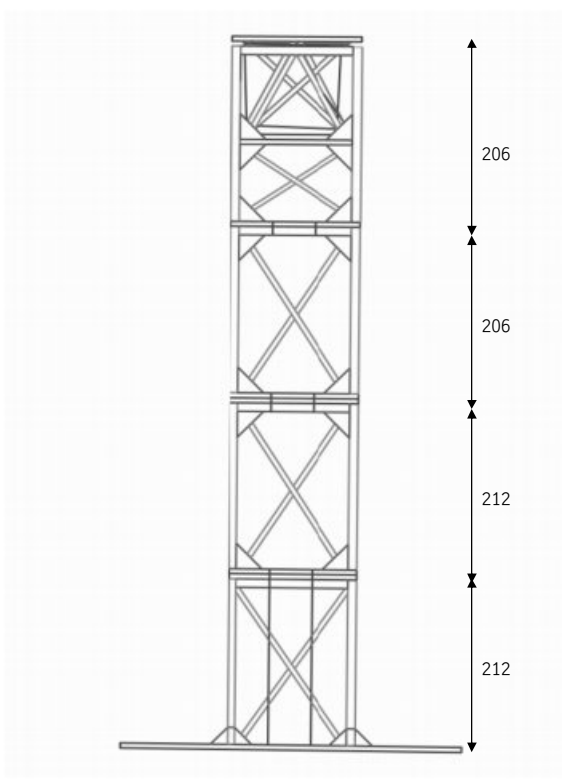
내진성능수준에 부합하도록 내진특등급으로 설계



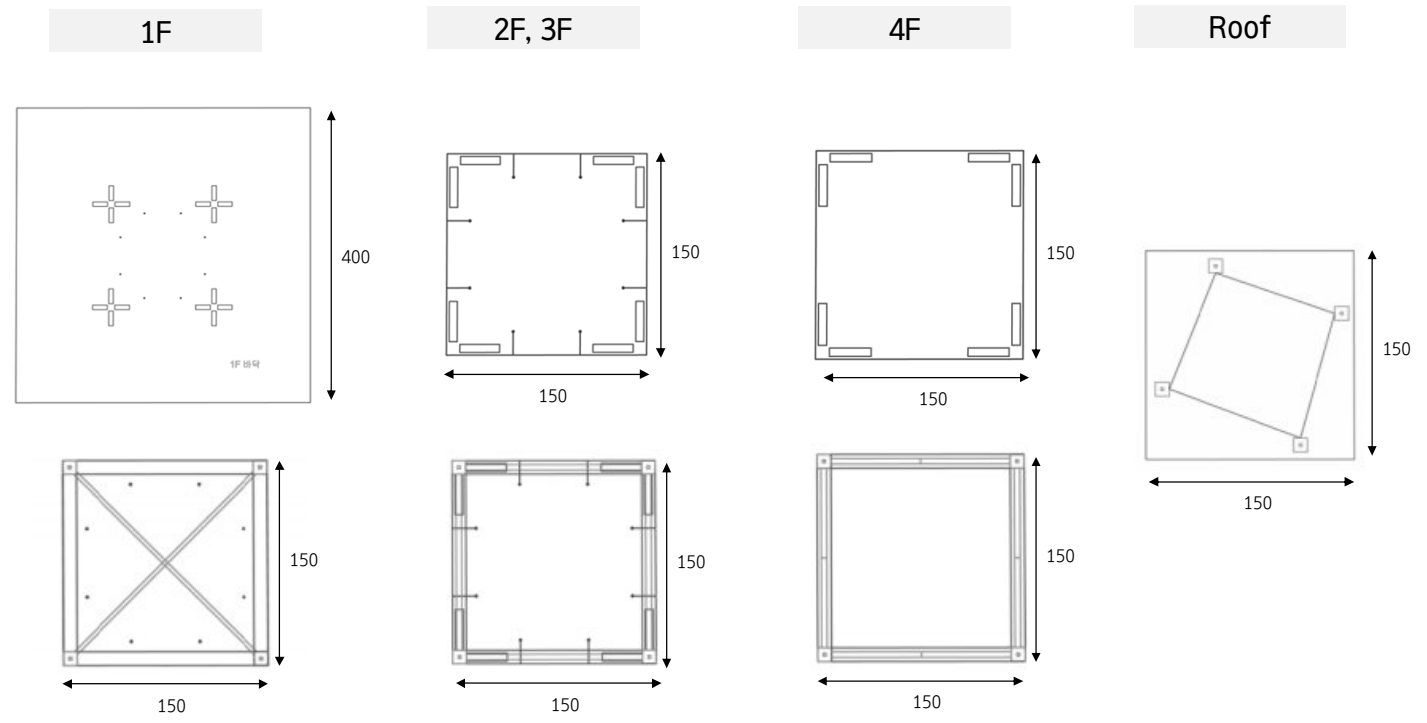
# 4. CONCLUSION

## 입면도 & 평면도

입면도



평면도



# 4. CONCLUSION

## 내역서

재료명	규격	부재명	단위 수량	단가 (백만원)	비용 (백만원)	합계 (백만원)		
MDF Base	400mm x 400mm x 6mm	기초판	1	-	-	-		
MDF Plate	200mm x 200m x 6mm	바닥 슬라브	4		400			
		마찰 플레이트	2	100	200			
		합성 슬라브	1		100	700		
MDF Strip	600mm x 4mm x 6mm	1,2,3F 기둥	16		160			
		1,2,3,4F 보	16		160			
		1F 가새	2	10	20			
		2,3F 가새	3		30			
		4F 기둥	6		60			
		4F 하층부 가새	2		20			
		4F 상층부 가새	2		20			
		텐세그리티-기둥	5		50	520		
		면줄	600mm	전도방지용 실	4		40	
				마찰 플레이트 연결	1	10	10	
텐세그리티-단변	3			30				
텐세그리티-장변	2			20	100			
A4지	A4	마찰 플레이트	1	10	10	10		
접착제	20g	접착제	2	200	400	400		
총 금액						1730		



**거сет 플레이트, 보강 플레이트  
하중블록 낙하 방지턱**

-> 슬라브 제작 후 남는 Plate 부재  
재활용으로 경제성 확보

총 금액 **1730 백만원** 예상