



연세대학교  
YONSEI UNIVERSITY

# 2018

구조물 내진설계 경진대회

TEAM

ORION

# ARCHINEER

박효선 교수님  
자문위원

팀장 박창욱(3)  
MIDAS 모델링  
실험

팀원 장혁주(3)  
구조계산  
실험

팀원 한수빈(3)  
설계서 작성  
PPT 작업

팀원 이채연(2)  
IDEA 제시  
CAD, 라이노 모델링

# 설계목표

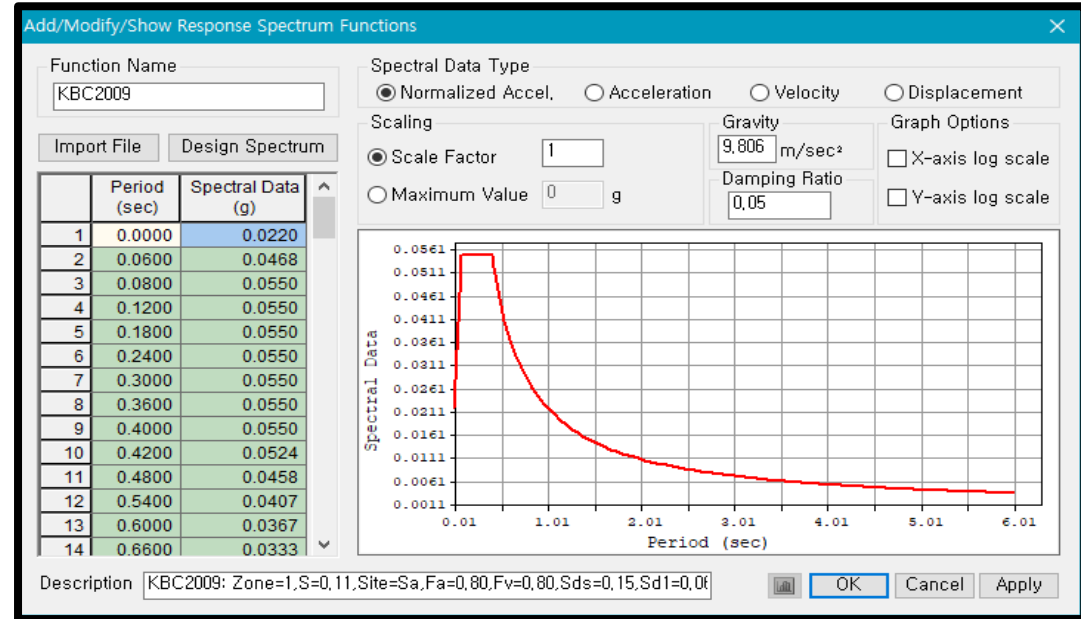
## 제작 목표

- 구조물의 목표 내진성능과 이에 최적화된 설계방법의 이해
- 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
- 지반가속도 0.7g 수준에서 구조물의 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 아름다움을 추구하는 설계
- 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

## 지반가속도 0.7g에서 파괴 유도

무조건 강하게 설계하는 것이 아니라 지반가속도 0.7g에서 파괴를 유도해야 한다. 따라서, 우리는 내부 골조의 가새가 지반가속도 0.7g에서 파괴되는 것을 목표로 아이디어를 구상하였다.

## 고유 주기 조정



고유주기 0.08~0.4sec에서 구조물의 응답 스펙트럼가속도가 최대가 된다.

따라서 공진을 피하기 위해 고유주기가 0.08~0.4sec에 포함되지 않도록 설계한다.

## 목표지진하중

- 지반종류 : S1 암반 지반    - 지진구역 : I    - 지진구역 계수(Z) : 0.11g

# 설계개요

## 외부 골조와 내부 골조

수평하중과 수직하중을 분담하기 위해서  
내부와 외부로 나누었다.

## 종이 가새

종이의 마찰력을 이용하여  
부재의 연성 파괴를 유도한다.

## 면줄

내부 골조의 하중블록과 외부 골조의 기둥을  
연결한 면줄이 매스댐퍼로 작용한다.

## 접착제 보강 기둥

외부 기둥에 록타이트를 도포하여  
부재의 탄성계수를 높임으로써 강도를 올린다.

## 기둥

기둥의 단면을 정사각형으로 설계하면  
균등한 단면 성질을 갖는다.  
기둥을 구성하는 4개의 스트립의 높이를 다르게  
설정하여 전단 파괴를 방지한다.

## 가새

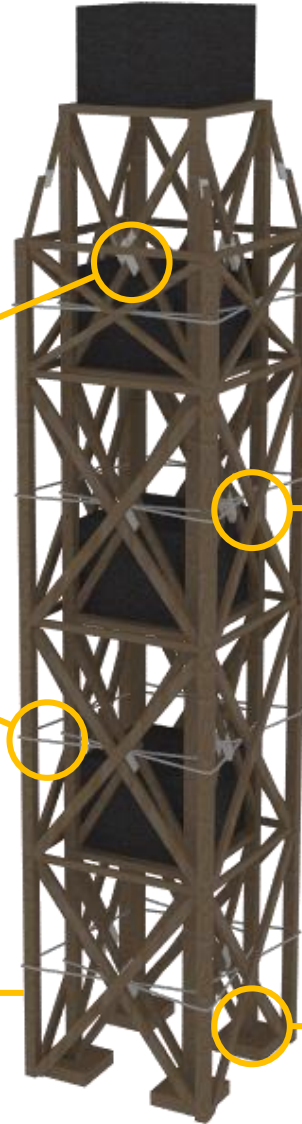
변위가 가장 작은 X자 형태를 이용한다.

## 톱밥 강접

접합부의 전단 파괴를 막기 위해  
톱밥을 이용해서 보강한다.

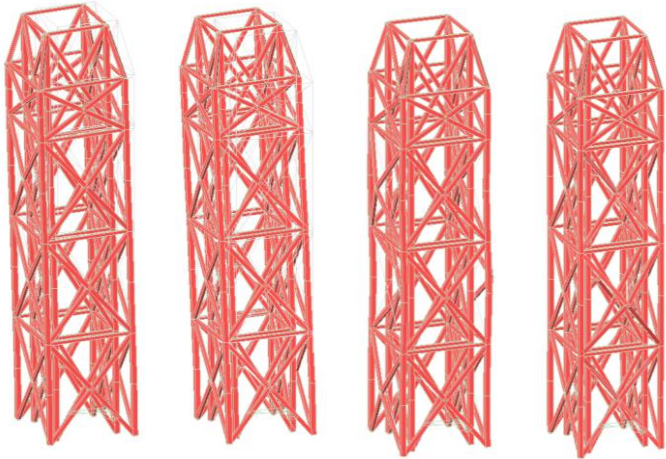
## 면진테이블

지면과 내부 골조를 분리해서 지진력을 흡수한다.



# 모델 동적해석

## Mode Shape

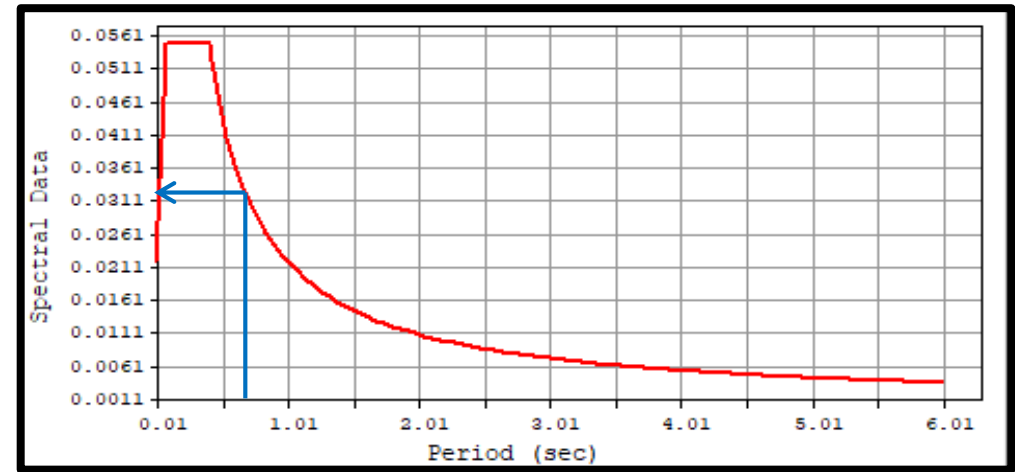


1차 모드   2차 모드   3차 모드   4차 모드

Mode No	Frequency		Period
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
	1	9.6614	1.5377
2	9.6614	1.5377	0.6503
3	18.9338	3.0134	0.3319
4	18.9338	3.0134	0.3319
5	18.9747	3.0199	0.3311
6	18.9761	3.0201	0.3311
7	19.1492	3.0477	0.3281
8	19.4844	3.1010	0.3225
9	19.4856	3.1012	0.3225
10	19.5352	3.1091	0.3216
11	19.5352	3.1091	0.3216
12	19.7143	3.1376	0.3187
13	19.7145	3.1377	0.3187
14	19.7297	3.1401	0.3185
15	19.7297	3.1401	0.3185

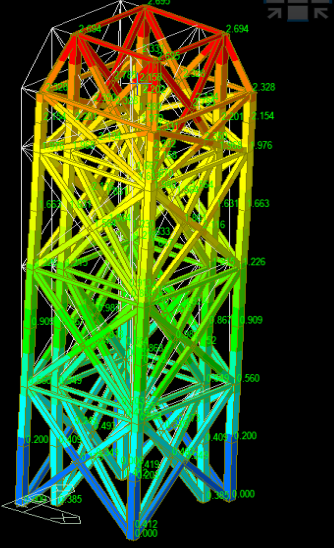
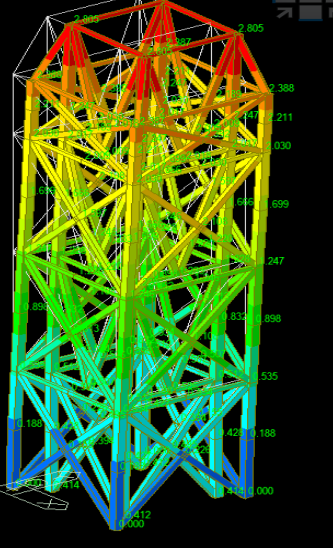
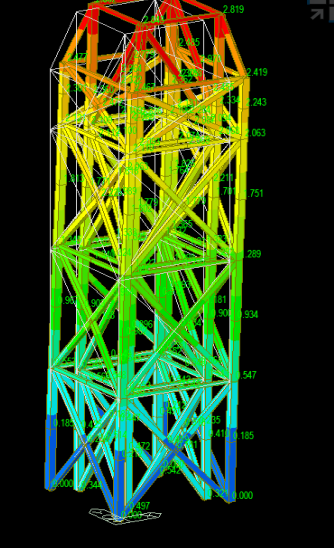
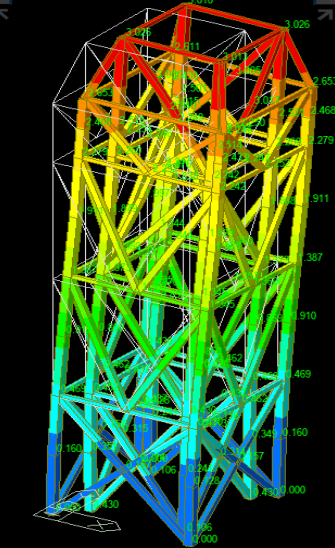
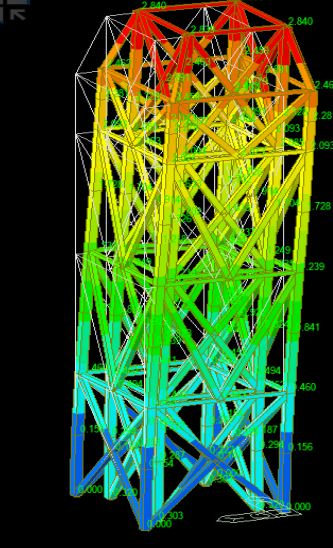
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	49.6012	49.6012	25.4435
2	25.4435	75.0447	49.6012	75.0447
3	0.3516	75.3964	0.0022	75.0469
4	0.0022	75.3986	0.3516	75.3986
5	0.0000	75.3986	0.0000	75.3986
6	0.0000	75.3986	0.0000	75.3986
7	0.0000	75.3986	0.0000	75.3986
8	0.0000	75.3986	0.0000	75.3986
9	0.0000	75.3986	0.0000	75.3986
10	1.9518	77.3504	0.2194	75.6180
11	0.2194	77.5698	1.9518	77.5698
12	0.0000	77.5698	0.0000	77.5698
13	0.0000	77.5698	0.0000	77.5698
14	0.5018	78.0716	0.2894	77.8592
15	0.2894	78.3610	0.5018	78.3610

가장 영향이 큰 1,2차모드에서의 주기가 0.6503sec 으로  
0.08~0.4sec을 피하게 설계했다.  
따라서 지진의 진동수와 달라져 공진이 일어나는 효과를 감소하였다.

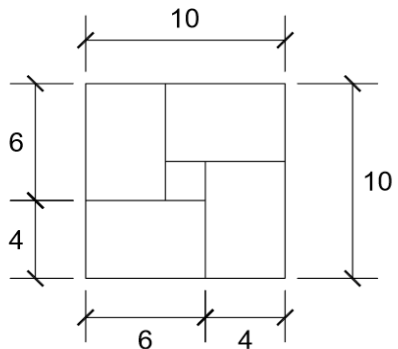


# 구조설계

## 1. 가새와 기둥

가새 형태	X자	내부 2,3,4층 V자	내부 대각	내부 대각, 외부 V자	외부 2,3,4층 V자
모델링					
최고층 변위	2,695mm	2,805mm	2.862mm	3,026mm	2,840mm

**가새**  
변위가 가장 작은  
X자 형태를 선택



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

**기둥**  
스트립 자체가 이방성 부재이지만,  
기둥 모양을 등방성으로 만들고 최대한 적은 부재를 사용하며  
2차 단면 모멘트를 최대화하는 방향으로 설계하였다.  
그리고 기둥의 전단 파괴를 방지하기 위하여  
스트립의 높이를 다르게 부착하여 제작하였다.

# 구조설계

## 2. 종이 가새

MDF strip에 종이를 감싼 후, 말려 있던 종이가 풀리면서 변위가 증가하는 원리를 이용한다. 우리는 지반가속도 0.7g일 때 종이 가새의 파단을 유도하기 위해 각 층마다 0.7g에서 파단이 날 수 있는 조건을 적용하였다.

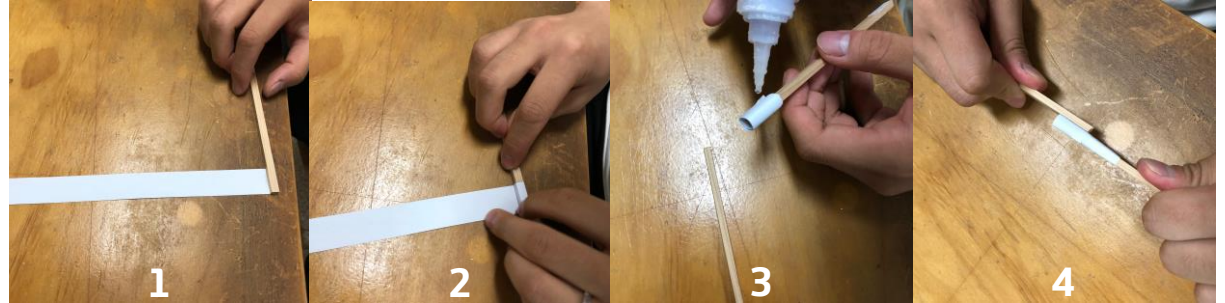


층수	가새 변위 (mm)
4	3.3
3	6.8
2	10.2
1	10.4

MIDAS 구조 해석을 통해 계산한 지반가속도 0.7g에서의 가새 변위

1층 가새와 2층가새 : 종이 10바퀴 감은 가새  
3층 가새 : 종이 4바퀴 감은 가새

### 제작 과정

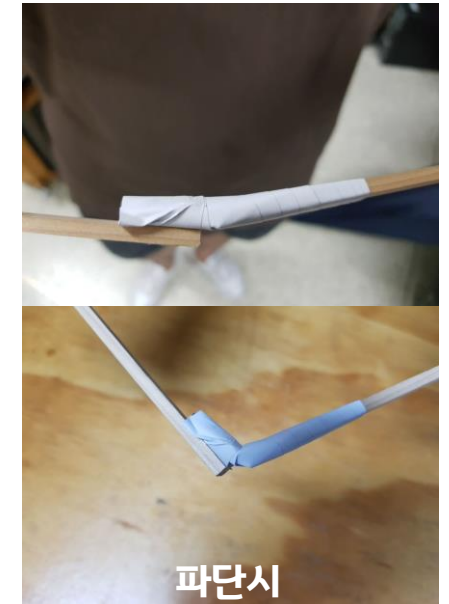


감은 바퀴 수 (번)	파괴직전 증가된 가새 변위 (mm)
2	3
3	3.5
4	5
5	7
6	7.5
7	8
8	8.5
9	9
10	10

감은 바퀴 수당 파괴되는 변위

4층 가새 : 종이 2바퀴 감은 가새  
내부 외부 연결 가새 : 종이 2바퀴 감은 가새

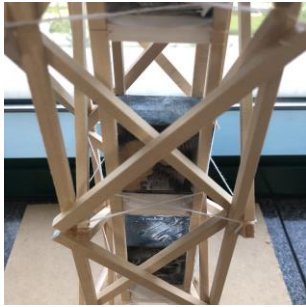
### 작동 원리



### 3. 매스댐퍼와 면진테이블

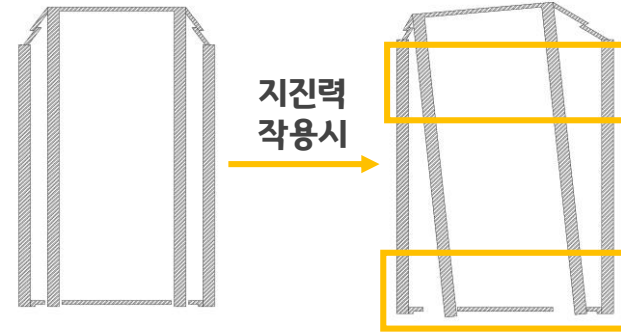
#### 매스댐퍼

내부의 하중 블럭을 외부 골조가 감싸며, 매스댐퍼 역할을 한다.



지반가속도 0.7g에서 내부골조 가새의 파단을 유도하기 때문에 매스댐퍼는 지반가속도 0.7g에서도 정상적으로 작동을 해야 한다.  
즉, 0.7g X 6kg (한 층의 고정하중)을 버텨야 한다.  
1, 2겹의 면줄은 파괴되지만, 3겹의 면줄은 하중을 견딘다.  
**따라서 3겹의 면줄로 내부골조를 감쌌다.**

## 구조설계



지진력 작용시

상층부에서는 매스댐퍼의 면줄이 변위를 잡아준다.

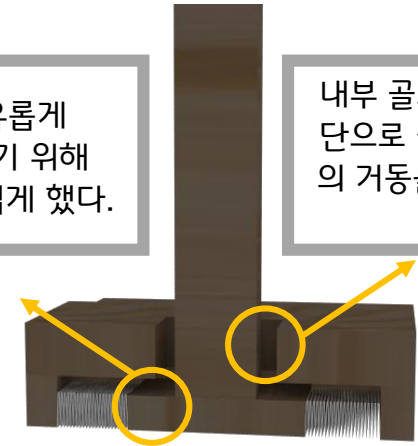
내부골조의 기초에는 면진테이블의 복원력을 이용한다.

#### 면진테이블

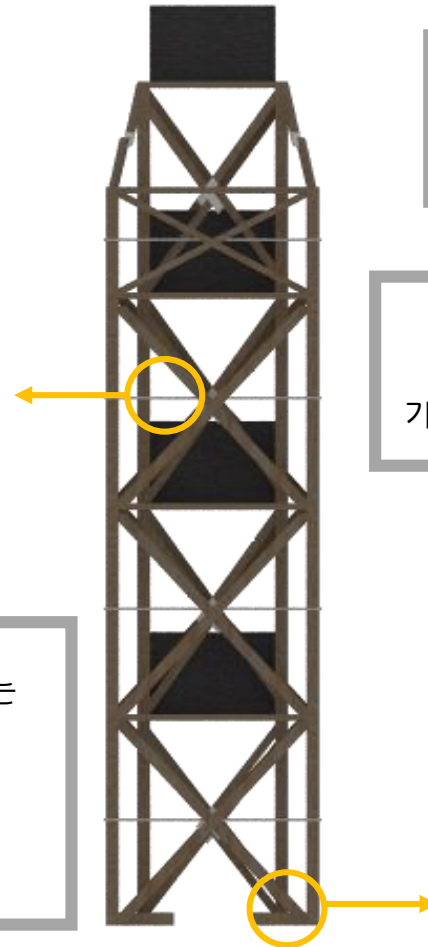
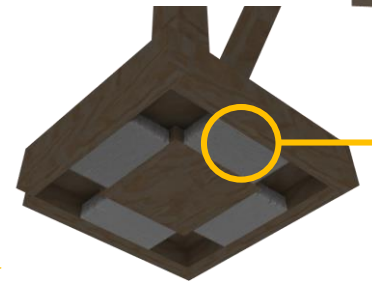
내부 골조와 지면을 분리하여 수평방향의 거동을 자유롭게 함으로써 지진력을 흡수한다.

내부 골조의 기둥이 자유롭게 움직이나, 탈락을 방지하기 위해 기둥과 바닥이 닿는 면을 넓게 했다.

내부 골조의 지점을 이동 단으로 설계하여 횡방향의 거동을 자유롭게 하였다.



종이 완충재를 설치하여 복원력을 가지도록 하였다.



## 4. 접착제 보강기둥과 톱밥 강점

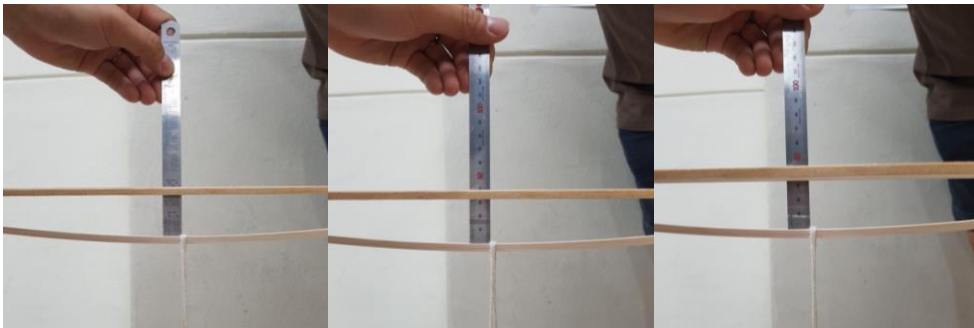
### 접착제 보강 기둥

외부 기둥에 록타이트를 도포하여 부재의 탄성계수를 높여 강도를 올린다.

#### 단순보를 이용한 FRP 성능 실험

: 단순보의 스패ん길이를 조정해가며 두 스트립의 처짐크기를 측정

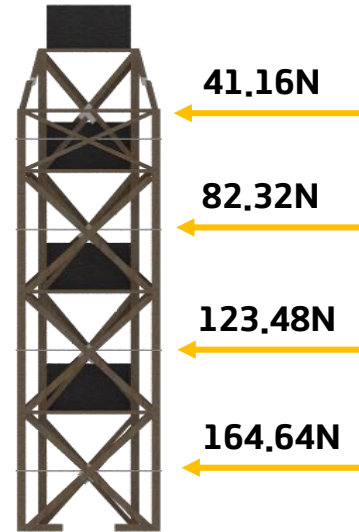
일반 스트립 처짐	보강 스트립 처짐	처짐 감쇠 효과
45	36	0.8
31	25.5	0.82
28	22	0.79
23	17.5	0.76
13.5	11.5	0.85
평균치		0.8005



# 구조설계

### FRP (섬유보강 플라스틱)

유리 및 카본 섬유로 강화된 플라스틱계 복합재료로, 경량성, 내식성, 성형성 등이 뛰어난 고성능, 고기능성 재료이다. 우리는 이에 착안하여 MDF strip에 록타이트를 덧칠하는 방법으로 기둥보강을 구현하였다.



지반 가속도 0.7g 에서 다음과 같은 층별 전단력이 작용한다. 따라서 우리는 경제성과 시공성을 고려하여 1층과 2층에 접착제 보강기둥을 설치한다.

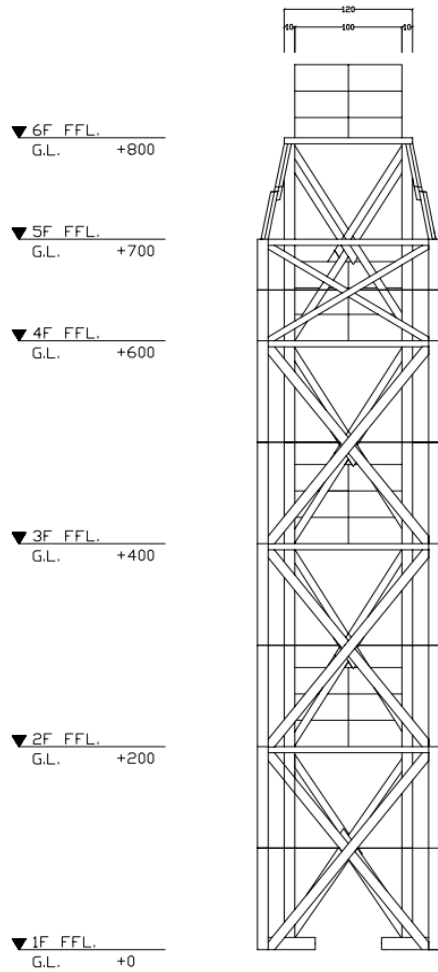
### 톱밥 강점

접합부의 전단파괴를 막기 위해 톱밥을 이용해서 보강한다.

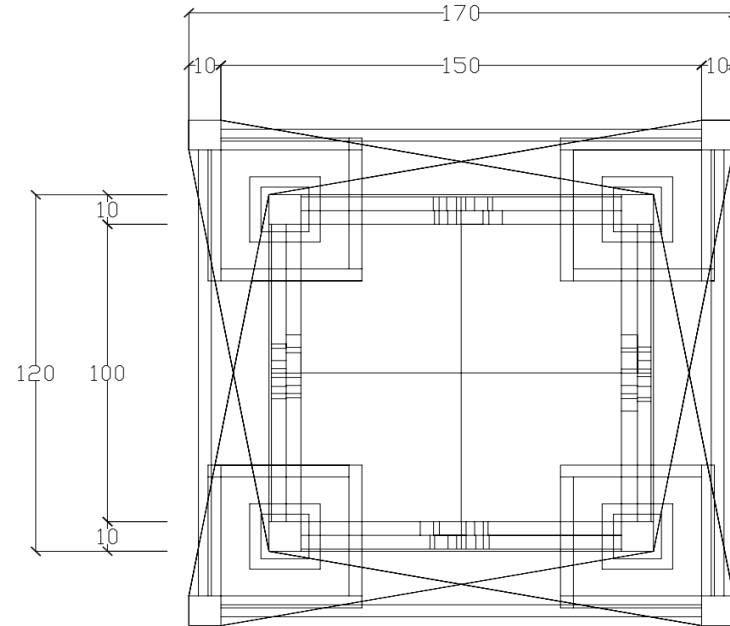




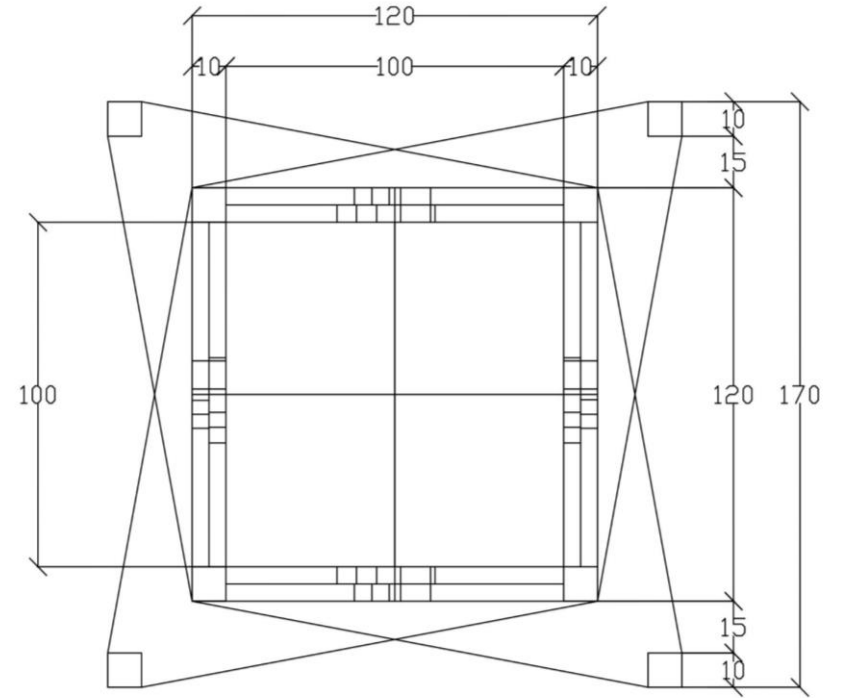
# 평면도, 입면도



입면도



면진테이블 평면도



상층부 평면도

# 예산서, 공정표

공종명		소요시간																
		1시간						2시간						3시간				
		10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	
재단		■																
기둥제작	외부			■	■													
	내부			■	■	■												
내부골조	Plate 절단			■	■													
	면진장치 절단					■	■											
	종이 용수철							■	■									
	면진판 천공							■	■									
	내부골조 조립								■	■	■							
외부골조	Girder							■	■									
	가새제작									■	■	■						
	가새설치											■	■	■				
마감	내부골조설치											■	■					
	외부골조설치													■	■			
	하중블록 접착													■	■	■		
	면줄 설치													■	■	■	■	
	마무리																■	■

	채연		역주
	수빈		창육

	규격	단가	용도	수량	총액
Plate	200mmX200mmX6mm	100	슬라브, 면진판	4	400
Strip	600mmX6mmX4mm	10	기둥, 면진판, 가새	76	760
면줄	600mm	10	매스 댐퍼	24	240
A4	210mmX297mm	10	면진판 종이 용수철, 종이 가새	3	30
접착제	20g	200	접착, FRP 기둥 보강	2	400
<b>총합</b>					<b>1830</b>