



# Team info.

## Team : T.O.P

한국기술교육대학교  
건축공학부

지도교수  
이승재 교수님

한국기술교육대학교의 내진구조 전문가 이승재 교수님의 지도 하에 있는 학생들로 이루어진 팀 T.O.P는 내진구조와 창의성을 모두 접목해 내진 성능, 설계능력 뿐 아니라 창의성, 경제성 등 다양한 분야에서 TOP를 이루자는 취지 하에 결성되었다.

한국기술교육대학교  
건축공학부 09

팀장 유시현

한국기술교육대학교  
건축공학부 11

김환이

한국기술교육대학교  
건축공학부 13

최서원

한국기술교육대학교  
건축공학부 13

이율리

2015 SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST

# 초고층 건축물의 내진설계





Introduction

Design

Structure

Conclusion



# Introduction - 대회 개요

대회주제

## 대한민국의 **랜드마크**를 지켜라!



2005년 3월 일본 후쿠오카발 지진파가 국내로 전달되면서  
부산의 고층 건물들이 심하게 흔들림

↓

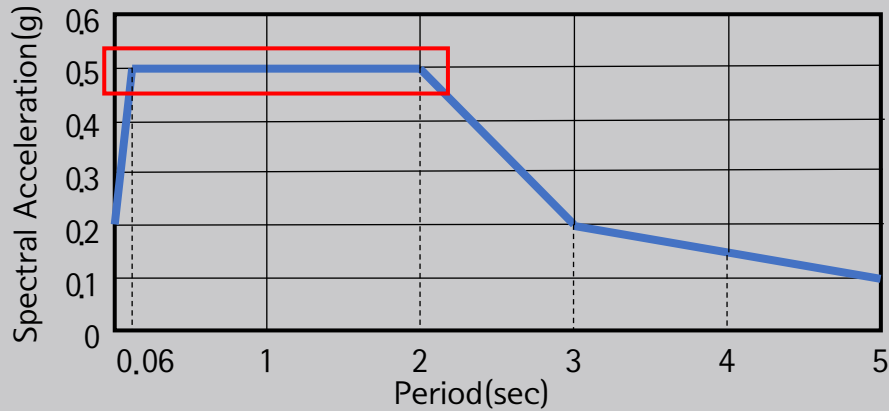
국내 내진 설계 기준보다 더 큰 지진이나 여진이 전달되어 오는 경우  
또는 지진파가 연약지반에서 증폭되어 **장주기화** 되는 경우

↓

연약지반에 신축될 **세장비가 큰** 국내 최고층 건물에  
**장주기 지진파**가 도달할 것을 대비

# Introduction - 규정 분석

## 지진파 분석



\* 지진파형이 주어지지 않아 구체적인 FFT의 분석이 불가능

\* 최대 응답가속도 주기대역은 0.06 ~ 2초로 너무 넓어 특정 주파를 잡기 어려움

→ **장주기와 단주기** 모두를 고려한 설계

## 규정 분석

[작품 제작 규정[구조]②] 각 층 바닥면적은 **10,000mm<sup>2</sup> 이상, 30,000mm<sup>2</sup> 이하**이어야 한다. (하략)

[작품 제작 규정[구조]④] 각 층 높이는 **200mm 이상**으로, 총 높이는 **800mm 이상 900mm 이하**가 되어야 하며, (하략)

[홈페이지 커뮤니티질문과 답변 18번 기사물] 1층 하부의 **면진층은 층고에서 제외**, 바닥과 바닥 사이의 면진은 층고에 포함

→ 면적 10,000mm<sup>2</sup>과 30,000mm<sup>2</sup>은 정사각형 기준으로 한 변의 길이가 각각 100mm, 약 173mm로서 굉장히 작은 값.

총 높이가 규정이 800mm인 것을 고려하면 **상당히 큰 세장비를 가진 구조물**이 만들어질 것임을 알 수 있음



# Design - 디자인 Flow

## 요코하마 빌딩



- \* 옥상부 제진 시스템 설치  
→ TMD(Tuned Mass Damper)를 이용해 변위 축소
- \* 층간 면진 시스템 설치  
→ 장주기성 지진파에 의한 고층부의 힘 방지

## 디자인 방향

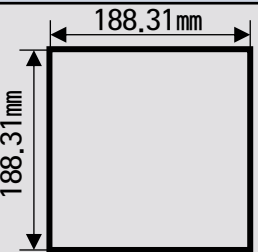
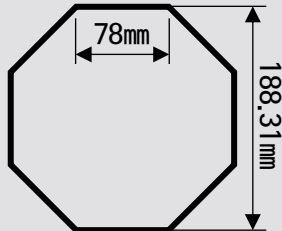
- \* 층간 면진 시스템  
→ 바닥면적 규정을 만족시킴과 동시에 지진에 의한 변위를 분산시켜 효과적 면진 거동 기대 가능
- \* TMD 시스템  
→ 현재 주어진 MDF Strip, 면실 등의 재료로는 구현이 불가능할 것으로 예상

층간 면진 시스템 적용

# Structure - 단면 설계

## 외부 구조물

### 휨강성 계산

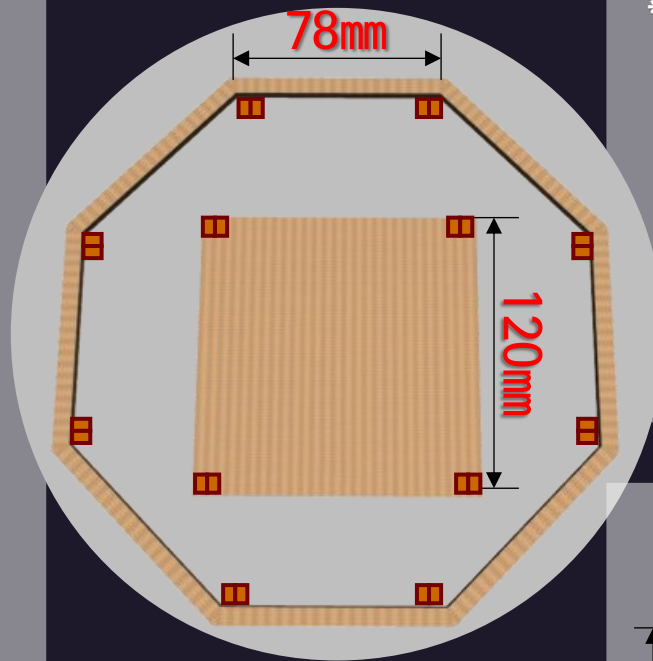
직사각형	정팔각형
	
$L = 188.31\text{mm}$ $I = \frac{bh^3}{12} = 74,645,420\text{mm}^4$ $EI = 162801661020\text{N} \cdot \text{mm}^2$	$L = 188.31\text{mm}$ $I = \frac{bh^3}{12} - \frac{bh^3}{36}$ $= 103,759,931\text{mm}^4$ $EI = 226300409511\text{N} \cdot \text{mm}^2$

휨강성 증가

정팔각형 단면 선택

단 변의 길이는 내부 구조물과의 변위 차이를 확보해  
 면진 효과를 높이기 위해 **최대 바닥면적 기준인**  
**30,000mm<sup>2</sup>**을 최대한 만족하도록 계산함

## 내부 구조물

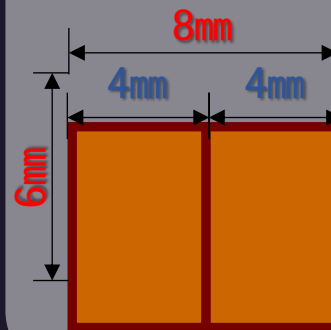


\* 정사각형 모양으로 만들며 외부 구조물과의 변위 차이를 확보하기 위해 최소 바닥면적 기준인 10,000mm<sup>2</sup>를 최대한 만족하도록 계산한다.

\* 단 반드시 기둥과 댐퍼, 하중블록이 위치할 수 있도록 여유 면적을 두도록 한다.

→ 120mm × 120mm

## 기둥 시공방법



\* X축, Y축 어느 방향에서 지진이 가해지더라도 최대한 안정적으로 저항하도록 **정사각형에 가까운 단면**을 이루도록 붙여 시공한다.

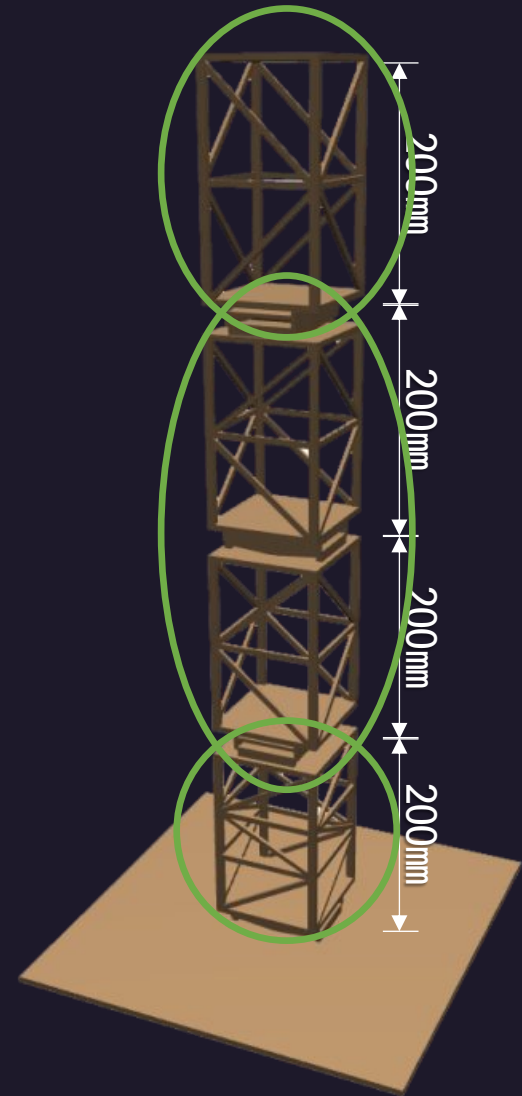
# Structure - 내부 구조물

## <설계 목표>

1. 장주기에 저항하여 피해를 최소화한다.
2. 하중 24kg를 견딜 수 있는 강성을 지닌다.
3. 면진을 이용하여 에너지를 흡수한다.
4. 큰 하중을 버텨야 하는 하부층에는 가새를 더 많이 배치한다.
5. 층고와 총 높이는 최대한 줄여 세장비를 줄이되 면진 시스템과 관련된 층고 규정을 참고한다.

## 설계 결과

- \* 층간 면진장치를 적용하여 공진현상을 막고 변위를 분산시킴
- \* 외부구조물과 연결되는 제진장치를 설치하여 변위를 제어함
- \* 1층은 가새를 3단으로 배치해 강성을 더욱 높임
- \* 층고는 규정의 최소값인 200mm를 기준으로 맞춤





# Structure- 내부 구조물

## 단면응력계산

### 1. 수직 응력 계산

$$P = m \times a$$

$$A = (4 \times 6) \times 8 = 192mm^2$$

$$F = \frac{P}{A}$$

### 2. 전단 응력 계산(500gal = 500 cm/s<sup>2</sup> = 5 m/s<sup>2</sup>)

$$F = m \times 5 m/s^2$$

### 3. 휨모멘트 계산

$$M = F \times x$$

층	수직응력	전단응력	휨모멘트
1층	1.225MPa	120N	81600MPa
2층	0.919MPa	90N	46800MPa
3층	0.613MPa	60N	21600MPa
4층	0.316MPa	30N	6000MPa

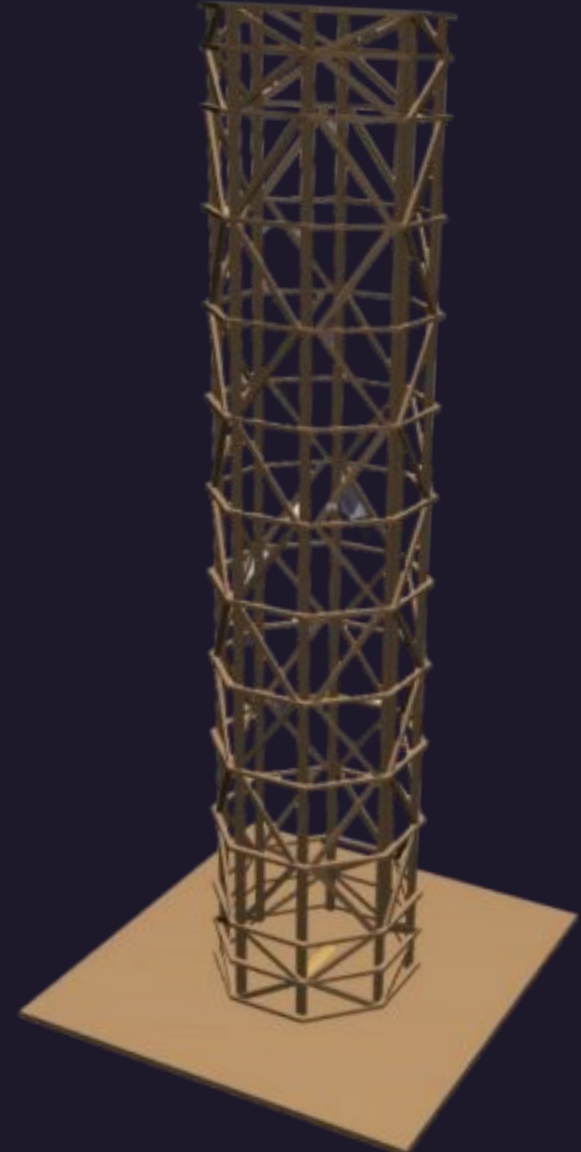
# Structure - 외부 구조물

## <설계 목표>

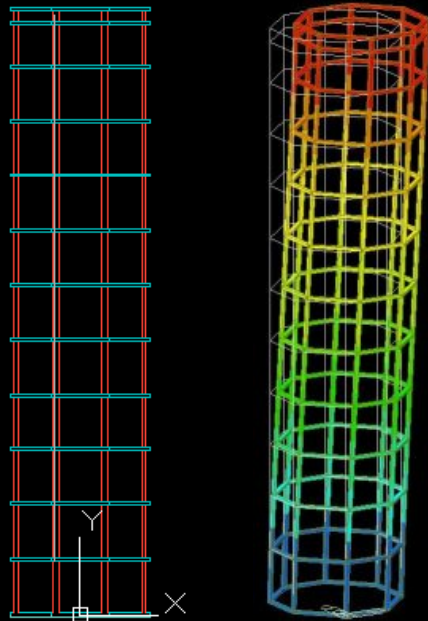
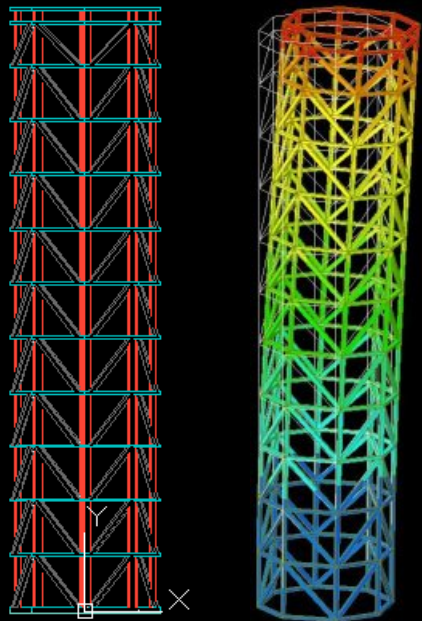
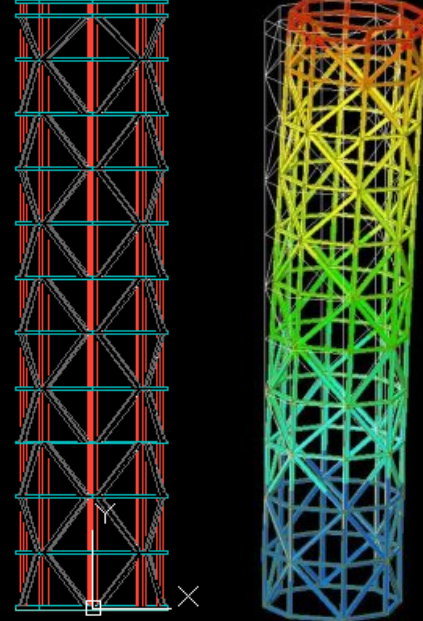
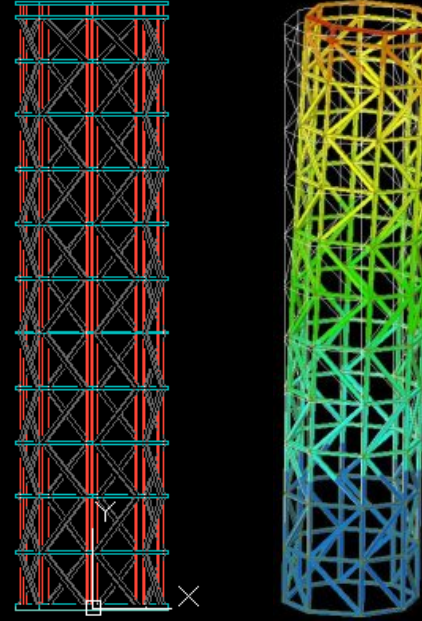
1. 강성을 높여 단주기에 대비해 피해를 최소화한다.
2. 내부 구조물의 변위를 제어한다.
3. 하부가 견고히 지지되어야 안전성을 높일 수 있으므로 하부를 보강하도록 한다.
4. 최상층 천장 쪽에는 낙하방지 역할이 가능한 가새 등이 없으므로 별도의 구조물을 설치한다.

## 설계 결과

- \* 가장 변위가 적은 가새 모양을 적용  
→ 마이더스를 통해 최대변위가 가장 작은 모양을 선택
- \* 벨트 트러스의 간격을 조정하여 강성을 높임  
→ 최하단 3개 벨트의 간격은 40mm, 그 이후로는 80mm 를 적용
- \* 내부구조물 최상단 위 30mm 간격으로 벨트 트러스와 가새를 추가 설치해 낙하방지



# Structure - 외부 구조물

형태	가새가 없는 구조	삐기형 가새	X형 가새	물결형 가새
카드 모델 & 마이더스 모델				
최대변위	4342.202mm	285.596mm	<b>278.774mm</b>	366.687mm
결론	최대변위가 가장 작은 X형 가새를 외부구조물의 가새로 최종 선택			

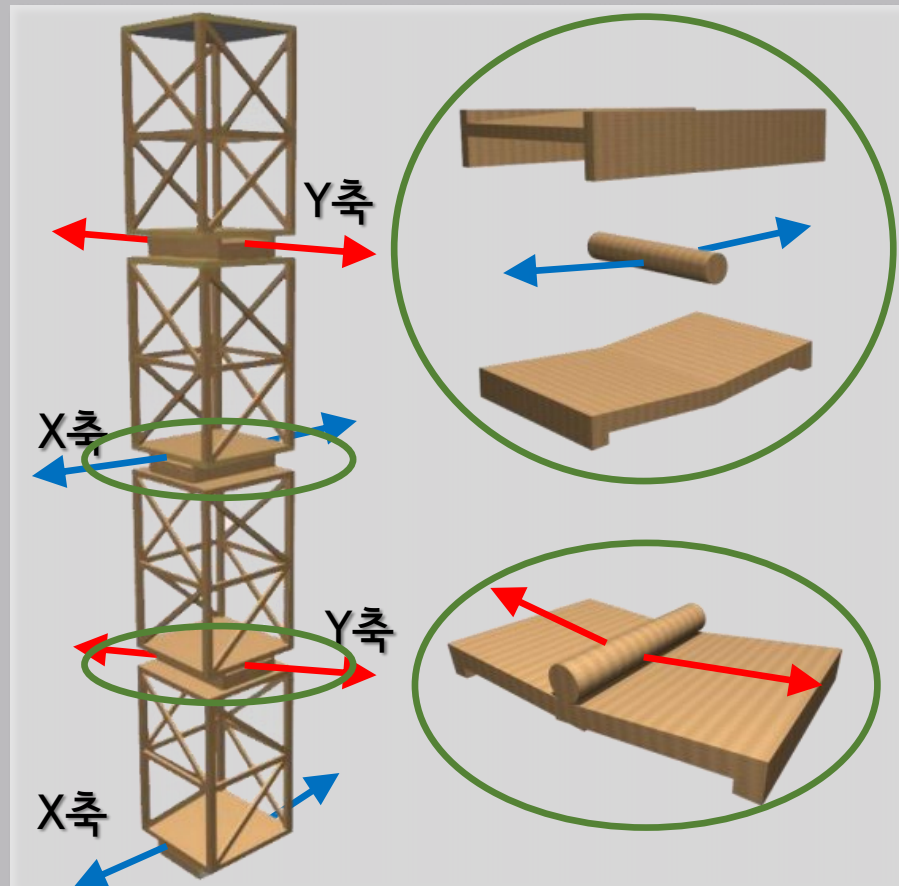
\* 지점조건 : 최하단 8개 지점은 X, Y, Z축에 모두 고정

\* 하중조건 : 최상단 8개 지점에 수직방향으로 각 3kg, 수평방향으로 각 30kg씩 재하  
(물성치는 주어진 MDF Strip에 맞춰 설정)



# Structure – 면진 시스템

## 롤러-레일 시스템



### 구성 : 레일 바닥 + 볼 + 레일 윗판

- \* 층과 층 사이에 면진장치를 적용하고
- \* 장주기에 의한 큰 변위에 대비해 변위를 분산시켜 내부 구조물과 외부 구조물의 층들을 방지함과 동시에 공진현상을 방지할 수도 있음
- \* 각 층의 면진 장치의 방향을 X,Y를 번갈아 배치해 다양한 지진 파형에 대비할 수 있도록 함
- \* 바닥과 윗판 모두 경사를 주어 복원력을 증가시킴
- \* 바닥 양쪽에 벽을 추가하여 축과 수직방향으로 어긋날 위험 방지

# Structure - 제진 시스템

## 도르래 댐퍼

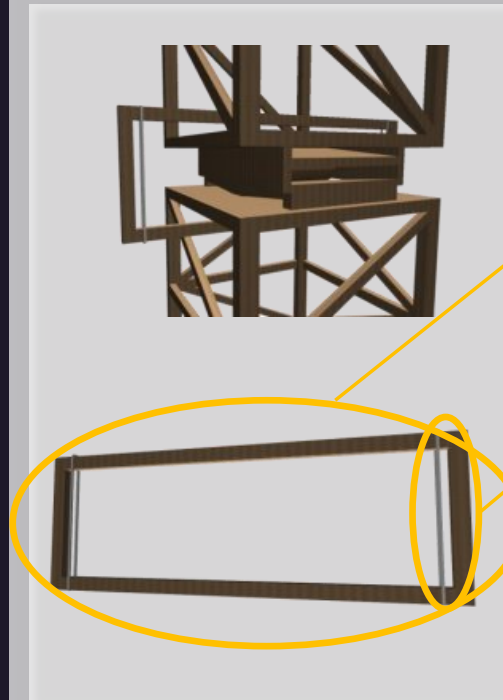


구성 : 원형 축 + 면실

\* 원형 축을 외부 구조물 수평 부재에 끼워 동일 방향으로 거동하는 면진 시스템이 적용된 층끼리 도르래의 원리를 적용해 일정 변위 이상 거동하지 않도록 제어해 안전성을 높임

→ 내·외부 구조물 사이의 변위가 굉장히 작은 상황에서 오히려 면진 시스템의 거동 효과를 떨어뜨리는 역효과를 낼 수 있다는 문제점

## 탄성 사각 프레임 댐퍼



구성 : 사각 프레임 + 면실 댐퍼

\* 면진 장치의 거동 방향과 동일 방향으로 사각 프레임을 설치  
\* 외부 구조물의 수평부재와 사각 프레임을 부착해 고정시킨 상태에서 프레임 안쪽으로 약간의 공간을 남겨두고 실을 팽팽하게 설치, 탄성 효과를 기대함

→ 내부구조물과 외부구조물 사이의 간격이 좁아 생길 수 있는 충돌 문제를 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 기대

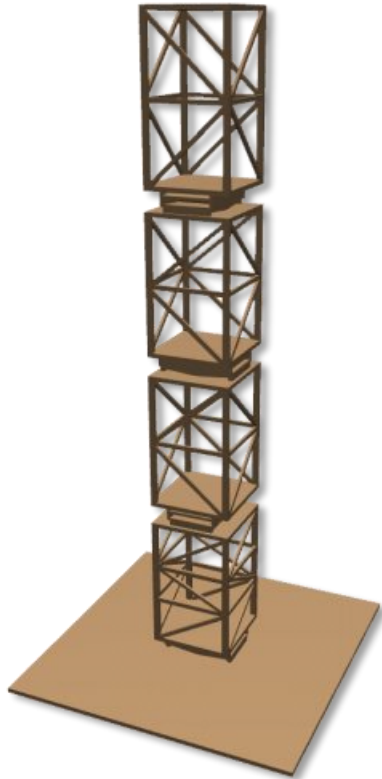
탄성 사각 프레임 댐퍼 적용

# Conclusion - 최종 모델

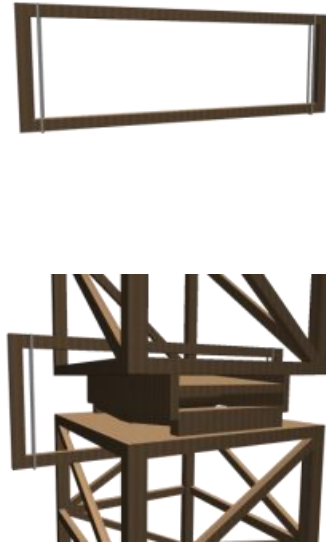
면진 시스템



내부구조물



댐퍼



외부구조물



전체 구조물





# Conclusion – 경제성 분석

요소		규격	개수(개)	단가(백만원)	총계(백만원)	
내부	층	바닥, 천장	200mmx200mmx6mm(MDF Plate)	8	100	800
		기둥	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	7	10	70
		가새	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	14	10	140
	면진(롤러-레일시스템)	레일 바닥	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	2	10	20
		레일 윗판	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	2	10	20
		볼	200mmx200mmx6mm(MDF Plate)	0 (층 바닥, 천장용 Plate의 여백 사용)	100	0
		어긋남 방지벽	200mmx200mmx6mm(MDF Plate)		100	
외부		기둥	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	24	10	240
		보	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	15	10	150
		가새	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	15	10	150
댐퍼		프레임	600mmx4mmx6mm(MDF Strip)	3	10	30
		실	600mm	3	10	60
접착제		·	20g	2	200	400
합계		참고 : 감점되지 않는 제작비용의 한도 2400(백만원)			2080	
경제성 총평		87%(감점되지 않는 제작비용의 한도에 대한 제작비용)				



# Conclusion – 문제점 및 개선 사항

1. 외부 구조물 하단부의 견고함을 높이기 위해 Base Plate에 천공하여 기둥을 고정, 일체화 시키도록 할 것
2. 내·외부 구조물의 거동을 체크해 가새의 수, 가로 부재의 수 등을 조절해 보다 경제성을 고려한 시공이 이루어지도록 할 것
3. 댐퍼가 충분히 거동할 수 있을 만큼의 면적을 확보할 것
4. 내, 외부 구조물의 제작과 그 사이에 댐퍼를 설치하는 과정에서 시공상의 복잡함을 줄일 수 있는 방법을 고려할 것