



KOREATECH ERS: 한국기술교육대학교 내진 구조 연구실(ERS)은 창의적인 방법으로 지진재해방지를 위하여 연구를 하는 LAB입니다. 연구실 인원 중 내진 구조 설계에 관심 있는 학부 생들이 다양한 아이디어와 창의적 해결 능력을 바탕으로 초고층 건축물의 내진 설계에 도전해보기 위하여 참여하게 되었습니다.

지도 교수
한국기술교육대학교
건축공학부
이승재 교수님

팀원 소개

김태현 (팀장)

구조 모델 설계
면진 장치 제작

지현민

경제성 검토
구조물 제작

이건희

시공 성능 검토
구조물 제작

하현주

3D 모델링
구조물 제작

초고층 빌딩 내진 설계 제안서

2015 Seismic Structural Design Contest

“

차 례

I	프롤로그	04
1	가정상황	04
2	작품 제작 규정	04
3	진동대 실험 규정	05
II	내진 설계 및 디자인 개요	05
1	구조물 내진 설계 개념	05
2	외부 구조물 단면 설계	07
3	외부 구조물 브레이스 설계	08
4	내부 구조물 단면 설계	09
5	내부 구조물 브레이스 설계	09
III	구조 시스템	10
1	단일롤러 레일 면진 시스템	10
2	Belt Truss & Outrigger 설계	11
3	면실을 이용한 범퍼 시스템	15
4	최종 설계안	15
IV	경제성 검토	16
V	개선 및 연구사항	16

I 프롤로그

1. 가정상황



일본이나 중국 등 인근 국가에서 발생하는 강진 또는 그 여진이 원거리로 전달되면서 장주기화 되어 국내에 전달될 가능성이 있습니다.



국내 초고층 빌딩이 밀집되어 있는 강가나 해안가, 매립지 등에서 인근 국가에서 발생한 지진파가 증폭되고 장주기화 될 가능성이 높아집니다.

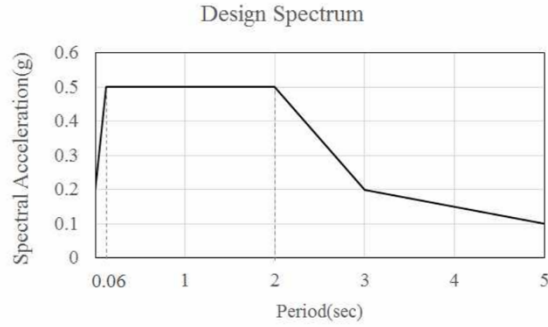


위의 사항을 고려하여 부산 해운대에(연약지반) 신축될 국내 초고층 빌딩을 (세장비가 큰 장주기형 건물) 내진설계 하시오.

2. 작품 제작 규정

- A. 4층 이상으로 제작하며 각층의 높이는 200mm이상으로 총 높이 800 ~ 900mm를 만족하여야 한다. (단, 면진 장치를 MDF Base와 면하게 설치하는 경우 면진 층으로 되어 층고에 포함되지 않는다.)
- B. 최 외각 기둥 부재를 이은 바닥 면적은 10000 ~ 30000mm²를 만족하여야 한다.
- C. 1층 바닥을 제외한 나머지 층에는 500g의 하중 블록을 활용하여 각 6kg의 적재하여야 한다. (하중 블록의 사이즈는 50×50×26이며 자유로운 배치가 가능하다.)
- D. 제공되는 제작 재료(MDF Plate, Base, Strip, 면 줄, a4용지, 접착제)만을 사용하여야 하고 MDF Plate는 절단, 가공하여 다양한 용도로 활용할 수 있으나, Plate를 절단하여 Strip과 같은 형태로 제작, 시공하는 것은 불가하다.
- E. 전원연결이 필요한 전동공구를 제외하고 재료를 가공하기 위한 공구는 각 팀에서 지참하여야 한다.
- F. 작품 제작에 필요한 제작 비용에 제한은 없으나, 2,400 백 만원을 기준금액으로 하여 경제 성 평가 시에 반영한다.

3. 진동대 실험 규정



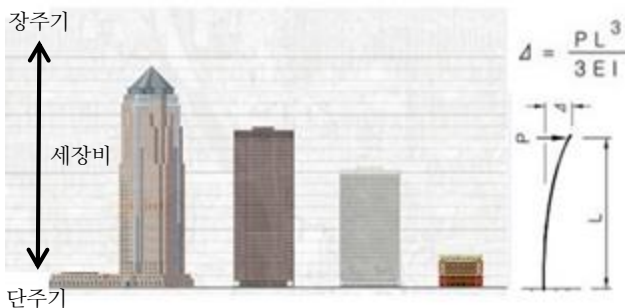
- A. 인공지진파와 Sine Sweeping 가진을 실시한다.
- B. 상관관계(Coherence)가 0.3 이하인 두 개의 지진파를 수평 2방향(X축, Y축)으로 동시에 가진 한다.
- C. 최대 응답가속도 주기 대역은 0.06 ~ 2초이다.

II. 내진 설계 및 디자인 개요

1. 구조물 내진 설계 개념

건축물이 50층 이상이고 높이가 200m이상인 건축물을 초고층 건축물이라고 합니다. 초고층 건축물의 세장비는 큼니다.

$$\text{세장비} = \frac{\text{건축물의 높이}}{\text{건축물의 폭}}$$



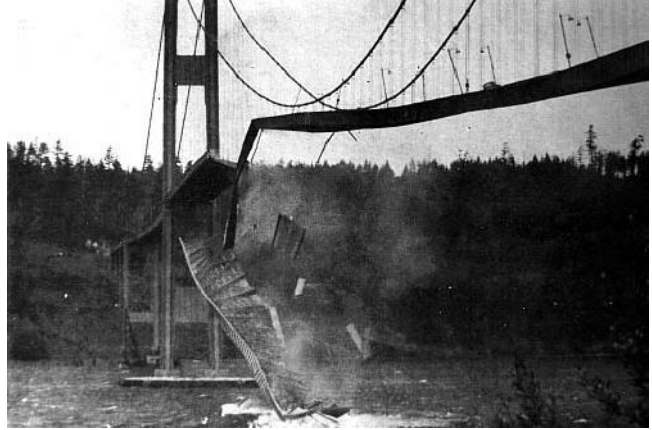
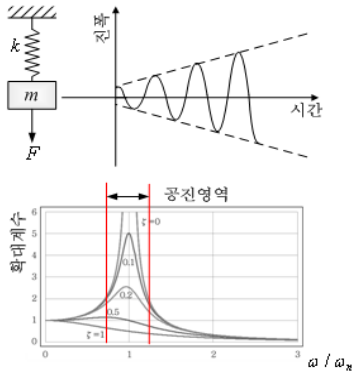
초고층 건축물들을 지각에 대하여 캔틸레버 보라고 가정하였을 경우 처짐식이 성립합니다.

$$\Delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

건축물 높이증가 ⇨ 처짐 증가 ⇨ 건축물 진동범위 증가 ⇨ 고유주기 길어짐

뉴턴의 제 2의 법칙 $F = ma$ 에 의하여 최대 응답가속도 영역인 0.06 ~ 2초를 피해서 설계?

건물의 고유주기 = 지진파의 주기 \Rightarrow 몇 배의 힘
공진효과



공진에 의한 Tacoma 교의 붕괴

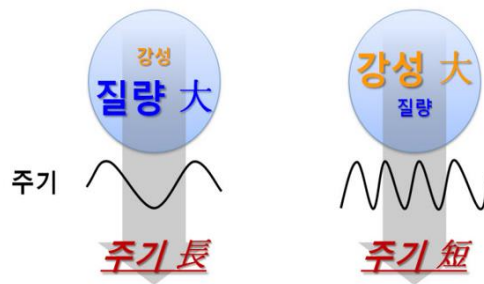
가정사항: 장주기화 된 지진파에 대한 초고층 건축물 내진 설계



고유주기를 단 주기화하여 지진파와 건축물의 공진 현상 방지

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

T = 진동주기(sec)
 m = 질량
 k = 강성



따라서,

1. 건물을 단 주기로 설계 하기 위해서는 질량을 줄이고 강성을 높여야 합니다.
2. 질량의 경우 하중블록(총 24kg)이 지배적이므로 건물의 강성을 높여 주기를 짧게 하기 위한 브레이스 설계가 중요합니다.

2. 외부 구조물 단면 설계

- ✓ 단주기 모델 설계: 세장비 낮춤
- ✓ 2015년 구조물 내진 설계 경진 대회 규정
 - : 건축물의 총 높이: 800 ~ 900mm
 - : 최 외각 기둥 부재를 이은 바닥 면적: 10000 ~ 30000mm²

도형	정사각형	정팔각형	원
폭	170mm	185mm	185mm
면적	28900mm ²	28627mm ²	26880mm ²
단면 2차모멘트	X축 = y축	X축 = y축 = 45°축	360° 모두 같음
시공 난이도	하	중	상

[바닥 면적을 만족하면서 폭을 최대로 한 도형]

✓ 설계 포인트

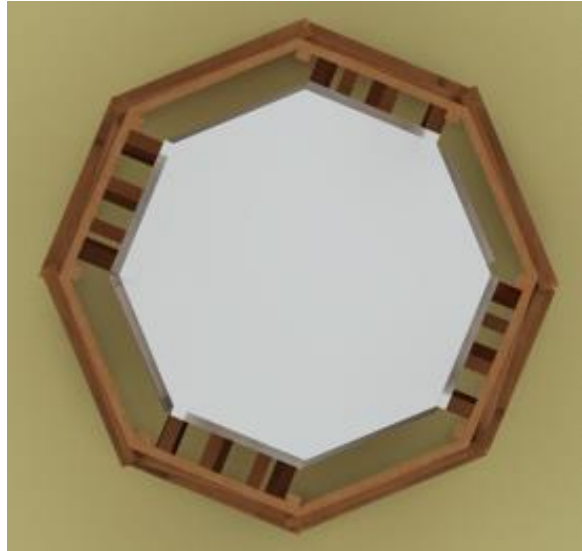
외부 구조물의 단면:

세장비를 줄일 수 있는 넓은 폭

단면 2차 모멘트가 x축=y축=대각축

⇒ 안정적인 구조

⇒ 시공이 가능한 팔각형



3. 외부 구조물 브레이스 설계

- ✓ 마이더스 해석 프로그램을 위한 MDF 물성치 분석

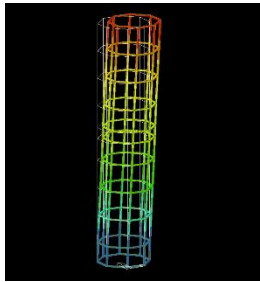
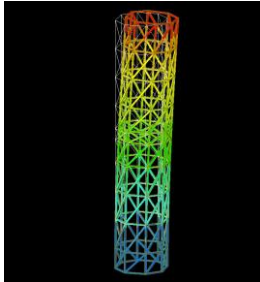
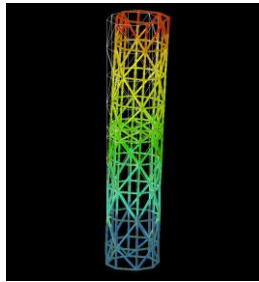
〈 문헌에서 찾은 자료 〉

KS F 3200 기준에 입각한 MDF 물성치

제품물성	단위	수치
박리 강도	N/mm ²	0.6
휨 강도	N/mm ²	35
휨 탄성 계수	N/mm ²	≥3000

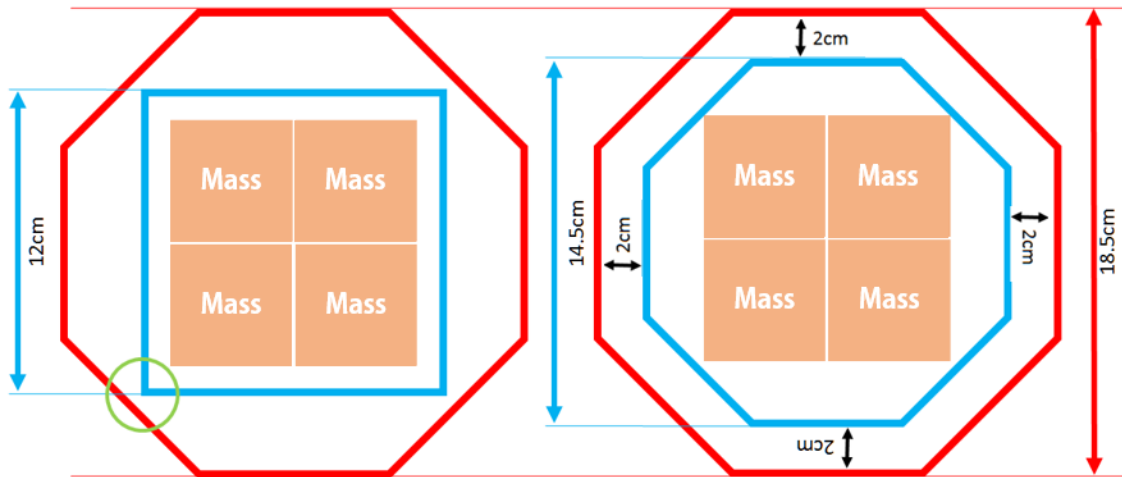


- ✓ 외부 구조물 브레이스 설계 마이더스 분석

하중을 최상위 층 각 기둥에 30kgf씩 총 240kgf를 주었다.			
형태	브레이스 없음	스파이럴 구조	다이아그리드 구조
구조물 변위 분석			
최대 변위	5723mm	333.7mm	300.5mm
결론	외부의 브레이스 모양은 다이아그리드 구조가 가장 효과적		

4. 내부 구조물 단면 설계

- ✓ 2015년 구조물 내진 설계 경진 대회 규정: 하중 블록은 자유로운 배치가 가능



- ✓ 하중 블록은 중앙에 위치하도록 설계
- ✓ x축 또는 y축에 편심 하중이 작용하지 않도록 정사각형으로 배치

내부요소의 단면을 결정하기 앞서 하중블록의 면적을 고려한 최소면적을 가진 단면으로 가진 실험을 했습니다.

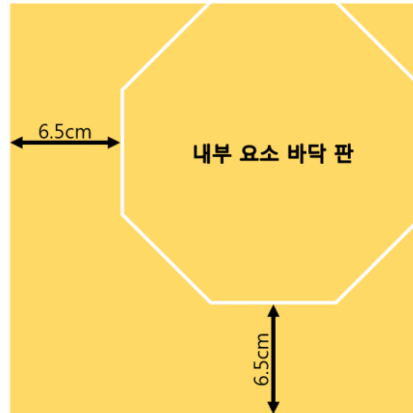
내부 구조물 단면	유격거리	비고
사각형	외부 구조물 접촉 부분이 발생	가진 실험 시 뒤틀림이 발생
팔각형	유격거리가 모든 방향에서 동일	가진 실험 시 뒤틀림이 발생하지 않음

유격거리가 모두 같고 뒤틀림이 발생하지 않는 팔각형을 내부 구조물 단면으로 채택

5. 내부 구조물 브레이스 설계

Ⅲ. 구조 시스템에서 Belt truss & Outrigger설계에서 설명

Ⅲ 구조시스템



- ✓ 2015년 구조물 내진 설계 경진 대회 규정
: MDF plate는 strip의 형태가 아닌 형태로 절단, 가공하여 다른 용도로 사용이 가능
: 전원 연결이 필요한 전동 공구를 제외한 전동 공구 사용 가능

- ✓ 바닥면적기준이 MDF plate 면적보다 작기 때문에 남은 Plate를 활용 여러 내진 구조시스템을 경제적으로 설계

1. 단일롤러 레일 면진 시스템

면진은 면진장치를 이용하여 건축물을 지반으로부터 분리하고 구조물에 작용하는 가속도 및 입력 지진에너지를 줄일 수 있는 시스템입니다.

면진 시스템의 장점

1. 구조물의 손상 방지
2. 설계의 유연성 증대
3. 비 구조재의 파손방지
4. 건물 내용물의 전도 방지 및 기능 유지

✓ 2015년 구조물 내진 설계 경진 대회 규정:

면진 시스템을 바닥 면에 설치 시 층고에 포함 되지 않고 따로 면진층을 형성하여 층 높이에 합산



- X축 방향 층과 Y축방향 층 총 2개의 층 설계
- 볼의 탈락 현상과 비틀어짐 발생을 줄이기 위하여 단일롤러 설계
- 복원력을 높이기 위하여 마찰력이 작은 평평한 MDF plate를 절단하여 경사부재 제작
- 롤러의 비틀림을 방지하고 수직력을 담당하는 수직벽 부재를 MDF plate를 절단 '제작

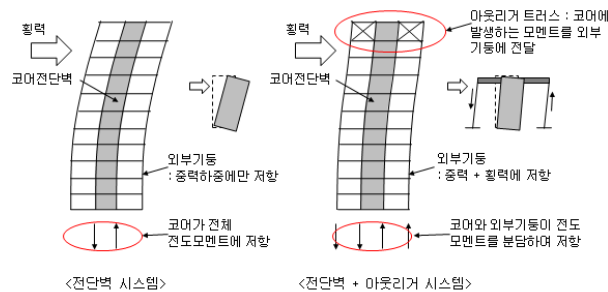
문제점 과 해결방안

원형 롤러에 대한 시공성 부족
높은 제작 비용(경제성)

: 충전식 드릴 및 서클커터 사용
: 각 층 바닥플레이트 사용 + 남은 플레이트 활용

2. Belt Truss & Outrigger 설계

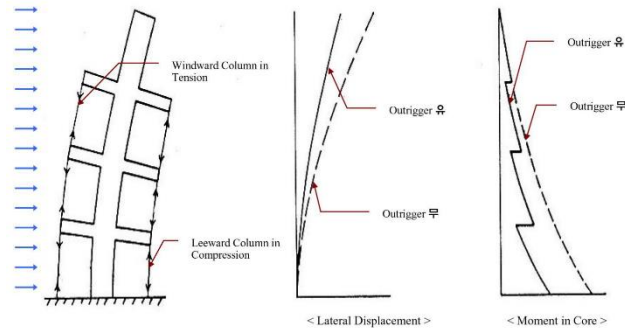
1. Outrigger 의 개요



건축물이 높아질수록 벽체만으로 횡력에 저항하는 설계 ⇨

비경제적

횡력에 저항하기 위하여 내부 코어와 외부기둥을 연결하는 강성이 큰 수평부재인 Outrigger 를 설치하여 코어벽과 외부기둥이 횡력을 서로 분담하여 저항하도록 한다면 더욱 경제적으로 설계할 수 있습니다.



코어벽과 Outrigger 함께 적용 ⇒ 코어벽체의 모멘트& 건축물 수평 변위 저감



상대적으로 전도 모멘트에 취약한 세장한 초고층 건축물에서 Outrigger 시스템 극대화

2. Outrigger 의 최적위치

Outrigger 개수	최적위치	제안
1EA	건물의 최상부에서 전체높이의 0.455위치	티라나스 (Taranath)
2EA	건물의 최상부에서 전체 높이의 0.312와 0.685 떨어진 위치	McNabb & Muvdi

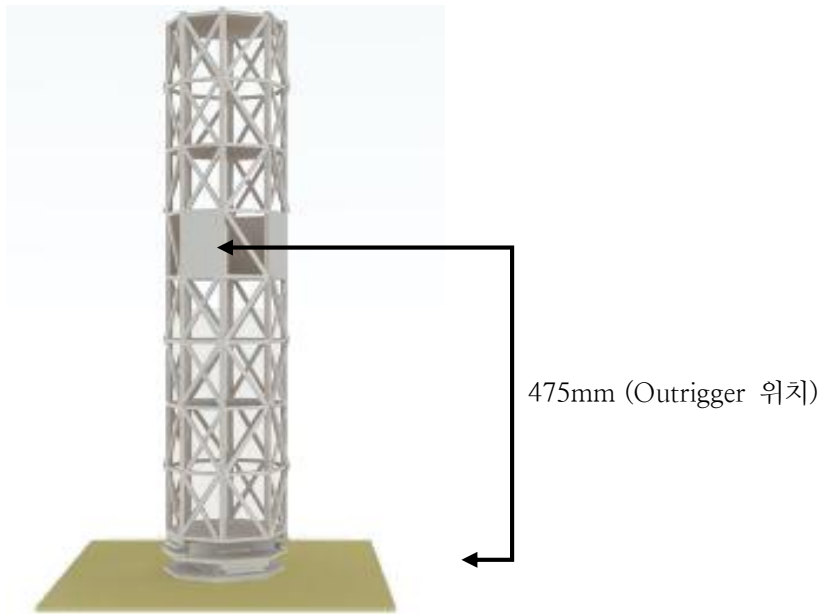
[1EA, 2EA 비교&분석]

분석 결과 1 개와 2 개의 차이 미미 ⇒ 1 개의 Outrigger 를 설치

최적 위치

$$870\text{mm}(\text{총높이}) - 0.455 \times 870\text{mm} = \underline{475\text{mm}}$$

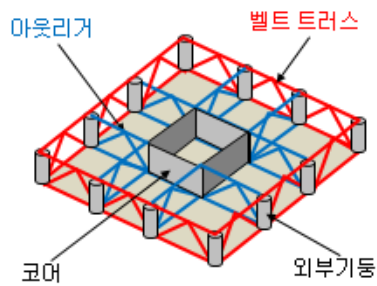
3. Outrigger 의 설계에 따른 내부 구조물 브레이스 설계



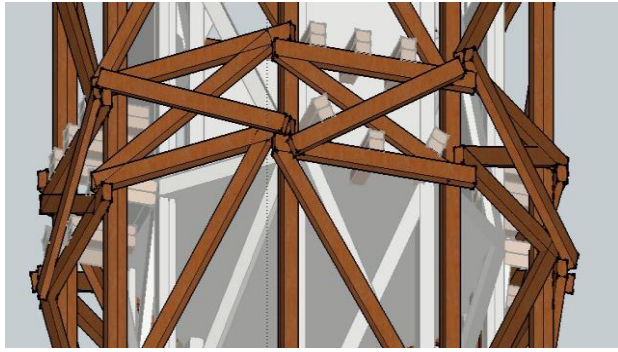
코어 벽체는 건축물에 발생하는 모든 전단력에 대하여 저항 할 수 있도록 설계

- ✓ 남은 Plate 활용한 벽체 시공
- ✓ 모든 면을 벽체로 시공 시 비경제적 ⇨ X형 브레이스 시공

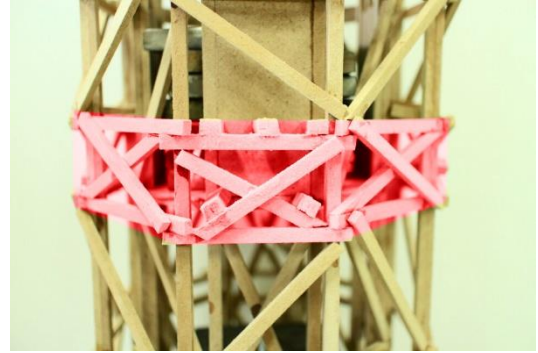
4. Belt truss 설계



Belt truss는 Outrigger와 연결하여 외부 기둥을 횡력 저항 시스템에 포함하여 횡력 저항 성능을 향상시켜 구조물량을 감소시킬 수 있는 구조 시스템입니다.



3D 버전

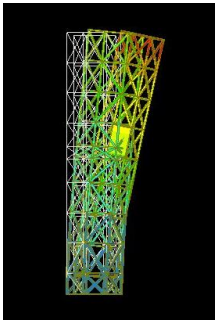
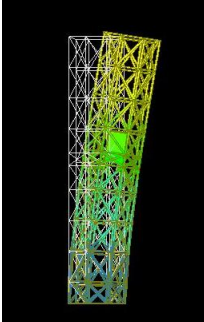
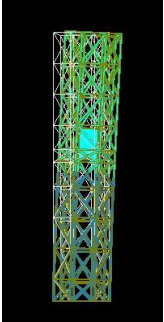


실제 모형 Belt Truss

- ✓ 높이 455~475mm부근에 8개의 외부기둥을 Truss구조로 설계
: 횡력 저항 시스템에 효과적

5. Outrigger 최종 설계 및 마이더스 해석

외부 구조물과 내부 구조물의 간격이 20mm이므로 시공성 문제가 생겨 Truss 구조가 아닌 단순한 수평 부재로만 Outrigger를 설계하여 마이더스 해석 했습니다.

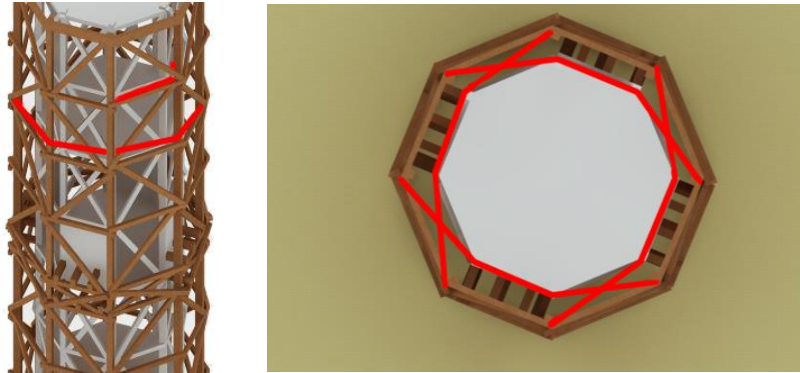
Outrigger시스템	무	무	유
상부 케이블 범퍼 시스템	무	유	유
구조물 변위 분석			
내부 구조물 변위	218.585	156.336	51.624
외부 구조물 변위	102.314	159.271	52.409
하중 조건	내부 구조물: 각 층 당 수직하중 6kgf와 수평하중 80kgf를 주었다. 외부 구조물: 각 층 당 수평하중 40kgf를 주었습니다.		
결론	상부 케이블 범퍼 시스템과 Outrigger 시스템을 병행하게 되면 구조물의 변위를 줄일 수 있습니다.		

3. 면실을 이용한 범퍼 시스템 (케이블 범퍼 시스템)

제진이란 구조물의 진동에 대응한 제어력을 가하여 구조물의 진동을 저감시키거나, 구조물의 강성을 변화시켜 구조물을 제어하는 것으로 지진 발생시 구조물로 전달되는 지진력을 상쇄하여 간단한 보수만으로 구조물을 재사용할 수 있게 하는 시스템입니다.

제진장치를 이용함으로써 얻을 수 있는 장점

1. 내진성능 향상
2. 구조물의 사용성 확보
3. 중간규모 이상의 지진발생시 손상레벨을 제어



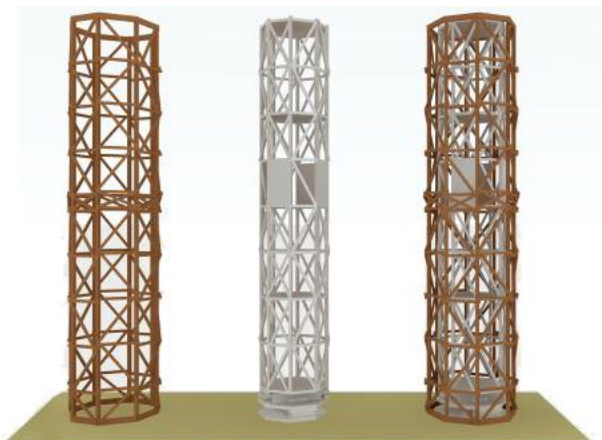
자동차에 범퍼와 같은 역할을 한다는 개념을 구조물에 적용



면실을 사용하여 범퍼 제작

제진 장치를 이용하게 되면 건축물의 비 구조재나 내부 설치물의 안전한 보호에 한계가 온다는 단점이 있으나 면진 시스템을 이용함으로써 보완했습니다.

4. 최종 설계안



IV 경제성 검토

종류		단위규격	정미량(EA)	소요량(EA) (합중5%)	단가(백만원)	합계(백만원)
내부구조물	MDF Strip	6x4x600	41	43	10	430
	MDF Plate	200x200x6	4	4	20	80
외부 구조물	MDF Strip	6x4x600	53	59	10	590
면진시스템	MDF Strip	6x4x600	1	1	10	10
	MDF Plate	200x200x6	3	3	20	60
범퍼실	면실	600mm	7	8	10	80
접착제(블록 고정용 포함)		20g	3	3	200	600
					사용금액	1850(백만원)

V 개선 및 연구사항

1. Outtrigger 모형이 간단한 수평부재가 아닌 Truss 구조로 만들 수 있도록 개선
2. Belt Truss 폭에 관한 연구
3. 케이블 범퍼 시스템의 최적 위치 찾기 및 매듭 법 개선
4. 하부 기초에 부착력 강화 방법 연구
5. 내부 구조물 바닥 플레이트(8각형) 제작 후 남은 플레이트 활용 방안 연구