

구조물 내진설계 경진대회

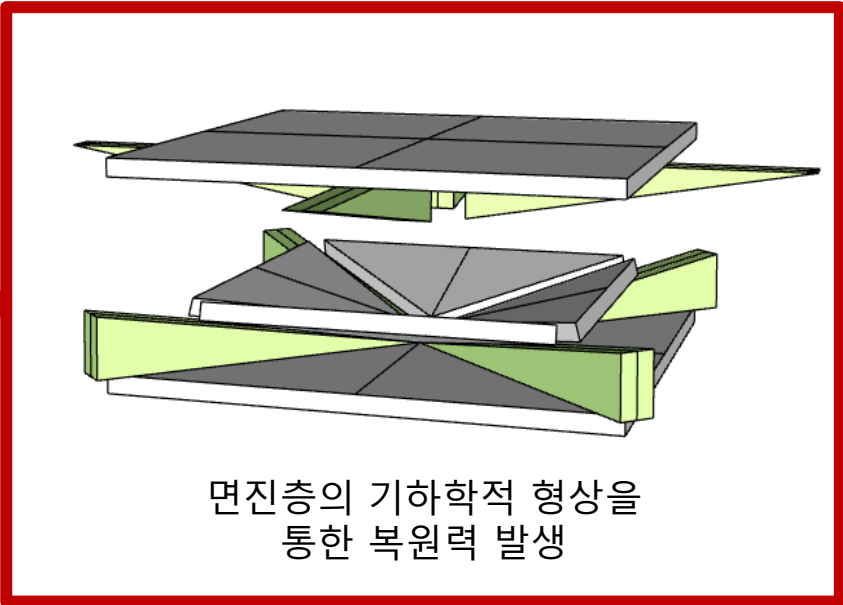
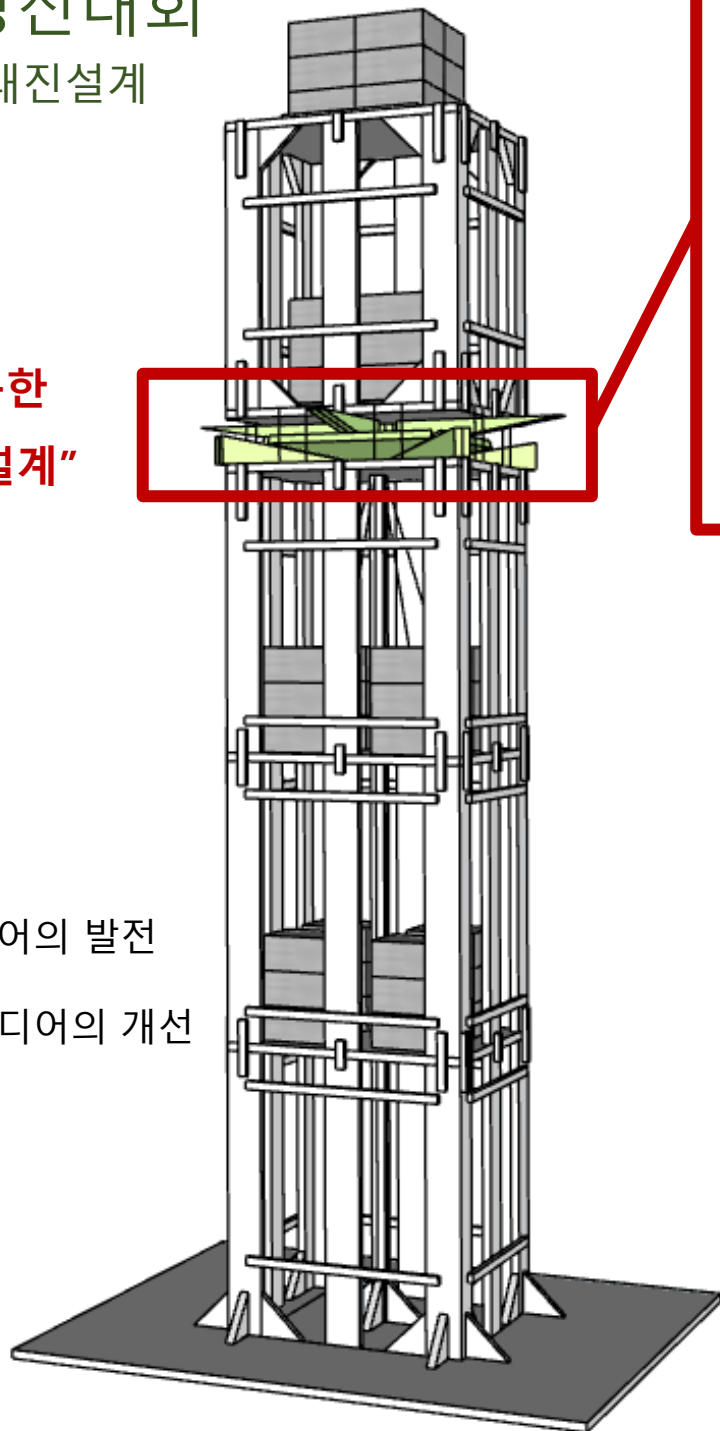
: 구조물 붕괴방지를 위한 내진설계

지도교수: 신동현 교수님

팀 명: 2놈들 봐라?

대 학: 부산대학교 건축공학과

**“경사형 면진시스템을 활용한
원점 복귀형 내진 구조체 설계”**



면진층의 기하학적 형상을 통한 복원력 발생

목차

1. 설계원리
2. 구조물 구현을 위한 아이디어의 발전
3. 목표성능 구현을 위한 아이디어의 개선
4. 최종구조물 설명
5. 경제성&시공성 분석

- 팀장**
- **최저원** 규정분석
 - 구조물 제작
 - 경제성 분석
 - 설계제안서 제작

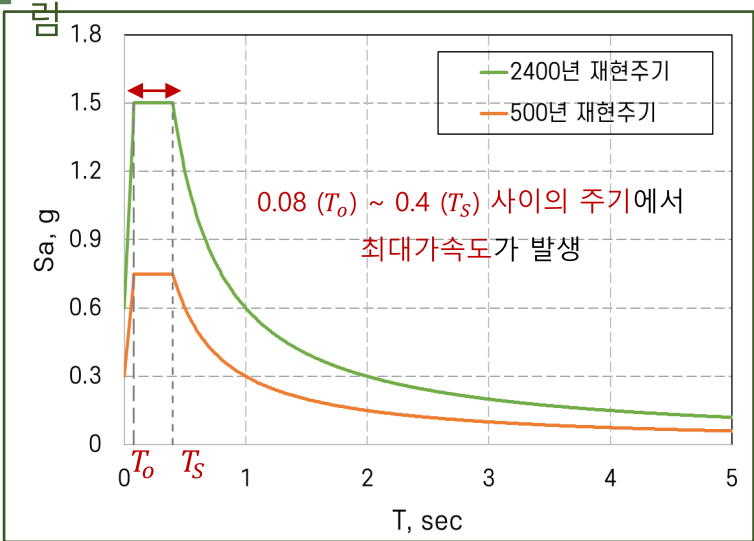
- 팀원**
- **이상민** 해석
 - 구조물 제작
 - 고유치 분석
 - 3D 모델링

- 팀원**
- **박건우** 해석
 - 구조물 제작
 - 경제성 분석
 - 물성치 분석

- 팀원**
- **이승민** 해석
 - 구조물 제작
 - 시공성 분석
 - 경제성 분석

1. 설계 원리

설계응답스펙트럼

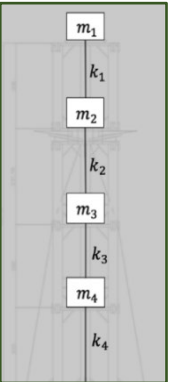


본 경진대회 성능목표

| 성능목표 | | 구조물의 파괴는 0.7g 가속도에서 발생할 것 |
|---------------------------|-----------|---------------------------------|
| 재현주기 | 구조물의 성능수준 | |
| 500년 (0.3g) | 기능수행 | |
| 2400년 (0.6g) | 붕괴방지 | |
| 설계 목표 | | |
| 구조물의 장주기화를 통해 유효가속도를 감소시킴 | | |

↓
면진장치 적용

고유치 분석



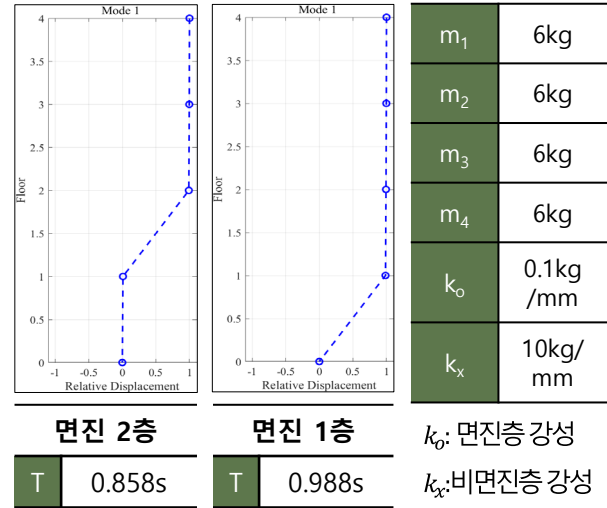
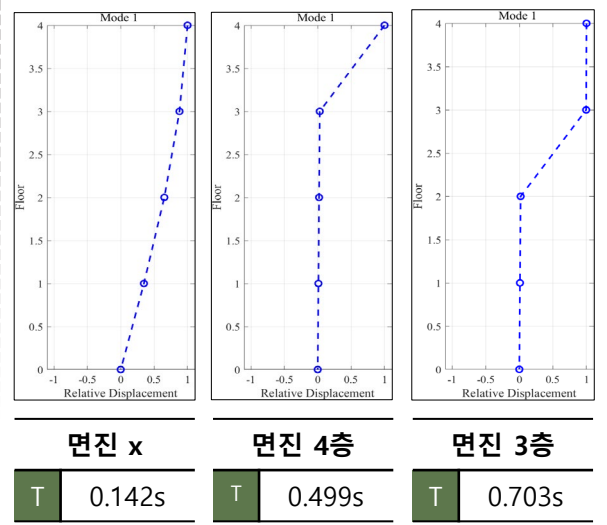
건물을 질량과 강성으로 구성된 모델로 간단화
고유치 분석을 통해 **건물의 주기 및 고유벡터**를 알 수 있음.

Trial 1: **면진층 위치**와 주기의 관계

Trial 2: **비면진층 강성**과 주기의 관계

Trial 3: **면진층 강성**과 주기의 관계

Trial 1 : 면진층 위치와 주기의 관계



Trial 1 결론

- 면진층의 적용이 장주기화에 유의미함
- 면진층의 위치가 낮을 수록 주기가 길어짐을 확인
- 건물의 2층 혹은 3층에 면진층을 적용하기로 계획.

Trial 2 : 비면진층 강성과 주기의 관계

| 비면진층 강성 | 주기 | 비면진층 강성 | 주기 |
|-----------|--------|------------|--------|
| K= 1kg/mm | 0.777s | K= 6kg/mm | 0.708s |
| K= 2kg/mm | 0.735s | K= 7kg/mm | 0.707s |
| K= 3kg/mm | 0.722s | K= 8kg/mm | 0.705s |
| K= 4kg/mm | 0.715s | K= 9kg/mm | 0.704s |
| K= 5kg/mm | 0.711s | K= 10kg/mm | 0.703s |

층강성 1~10kg/mm의 차모드

- 면진층 강성 0.1kg/mm로 설정, 이외 층강성 1~10kg/mm로 다양화
- 면진층 이외 층의 강성이 커질수록 건물 주기는 감소

Trial 3 : 면진층 강성과 주기의 관계

| 면진층 강성 | 주기 | 면진층 강성 | 주기 |
|--------------|--------|--------------|--------|
| K= 0.05kg/mm | 0.989s | K= 0.3kg/mm | 0.415s |
| K= 0.1kg/mm | 0.703s | K= 0.35kg/mm | 0.387s |
| K= 0.15kg/mm | 0.577s | K= 0.4kg/mm | 0.364s |
| K= 0.2kg/mm | 0.503s | K= 0.45kg/mm | 0.345s |
| K= 0.25kg/mm | 0.452s | K= 0.5kg/mm | 0.329s |

면진층 강성 0.05~0.5kg/mm의 1차모드

- 비면진층 강성 10kg/mm로 설정, 이외 층강성 1~10kg/mm로 다양화
- 면진층의 강성이 커질수록 건물 주기는 감소

Trial 2, 3 결론

- 면진층 강성 변화에 의한 주기의 변화가 비면진층에 비해 민감함
- 비면진층의 충분한 내진성능 확보 후 면진층의 강성 조절을 통해 건물의 장주기화를 유도하는 방향으로 설계야 계획

2. 구조물 구현을 위한 아이디어 발전

Keyword : 경사형 면진장치, 원점복원, 하부층 내진 시스템



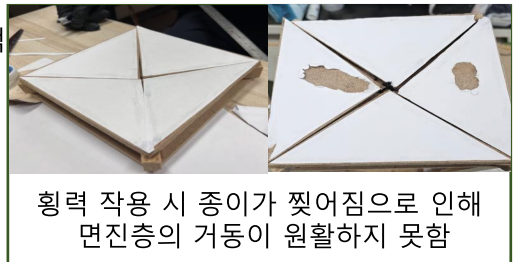
슬라이딩 면진

- 경사형 면진장치를 통한 원점복원형 면진구조물 제작
- 재료들 사이의 마찰거동을 활용하여 **유연한 거동**에 필요한 이력 거동 모사
- 경사면의 기울기를 검토하여 면진장치의 **복원력**을 확보

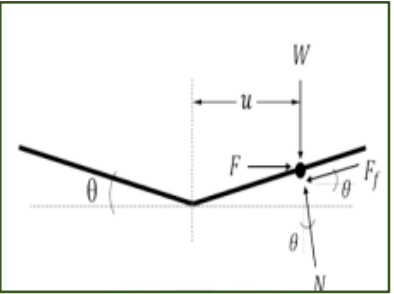
① 유연성 확보: 마찰력 검토

각 재료별 마찰력을 검토하여 면진층의 재료 선택 : 원활한 면진층 거동을 위해 MDF-A4로 선정

| | MDF-MDF | MDF-A4 | A4-A4 |
|-------|---------|--------|-------|
| μ | 0.38 | 0.24 | 0.21 |
| F | 3.72N | 2.35N | 2.06N |



② 복원력 확보: 경사면의 기울기

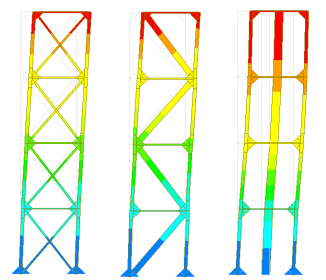


수직 방향 힘 평형 (법선 방향) $W \cos \theta + F \sin \theta = N$
 수평 방향 힘 평형 (접선 방향) $W \sin \theta - F \cos \theta + F_f = 0$

- 복원력은 구조물의 수평 변위가 발생할 수록 점진적으로 커지며, 이는 전형적인 비선형 거동을 유도

경사형 시스템은 경사면의 기울기에 의해 중력 방향으로 자연스러운 복원력이 생성

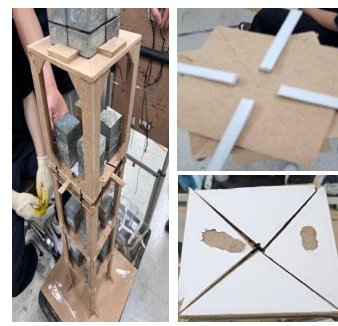
③ 하부층 내진 시스템: 등가정적 해석



- 지진의 영향을 등가 정적하중으로 환산한 후 이를 이용하여 구조물의 지진에 의한 거동을 예측
- **변위가 가장 적게 발생하는 전단벽 구조를 선택**

| | X 가새 | 일방향 가새 | 전단벽 |
|------|--------|--------|--------|
| 주기 | 0.125s | 0.122s | 0.832s |
| 최대변위 | 9.42mm | 9.06mm | 7.24mm |

4차 모델 제작 및 실험 : 0.43g 파괴



수정 : 면진층을 **사각뿔 형상**으로 기하학적 성질에 의한 복원력 증대와 마찰력으로 인한 에너지 소산 유도, 메가 코어 사용, **면진층(2층 > 3층)이동**

파괴원인 : 면진층의 상·하부에 붙인 종이 찢겨 단차 발생 및 4층의 강성 부족으로 인한 파괴, 가새나 전단벽과 같은 내진구조물을 적용하지 않았음

대책 : 단차 발생 예방, 4층의 강성 증대, 전단벽 구조 추가

5차 모델 제작 및 실험 : 0.54g 파괴

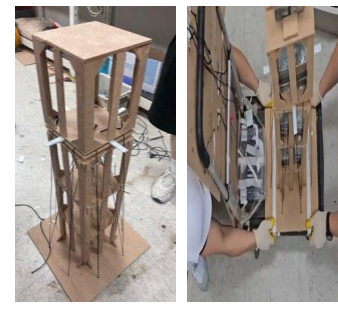


수정 : 종이 찢어짐 방지를 위해 **MDF와 A4가 맞게 재설계**, 면진층의 **각도를 16도에서 4.57도**로 수정, 1~3층 전단벽, 4층 일방향 가새 적용

파괴원인 : 4층 강성 부족으로 인한 파괴, 고무줄을 타이트하게 묶어 면진효과를 제한시킴

대책 : 4층 강성을 높일 방법, 고무줄 개수 고안

6차 모델 제작 및 실험 : 0.61g 파괴



수정 : 고무줄 개수를 줄임, 전도를 방지하기 위해 면진층의 단면 중심부터 기초판까지 이어지는 고무줄 설치

파괴원인 : 마찰력으로 인해 기하학적 성질을 이용한 면진층의 복원력이 부족함, 4층이 흔들리면서 모멘트를 견디지 못하고 전도

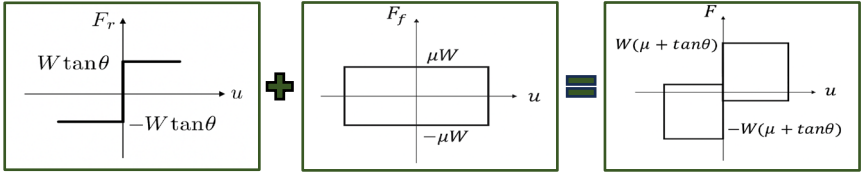
대책 : 면진층의 마찰력 감소, 전도 방지 방법 고안

기하학적 성질을 이용한 원점복귀형 면진장치 고안
 일정 변위를 넘어설 경우 전도되는 현상이 발생 → 고무줄의 사용
 면진층의 전도방지 및 효과적인 거동을 위한 면진장치의 각도와 고무줄 개수 선정

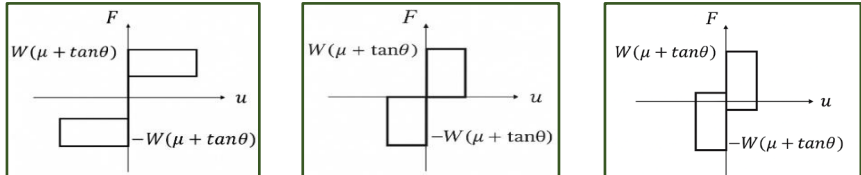
3. 목표 성능 구현을 위한 아이디어 개선

면진층 거동 개선

- 복원력은 수직하중 (W)와 경사각 θ 에 의해 정해짐
- 마찰력은 수직하중 (W)와 마찰계수 μ 에 의해 정해짐
- μ 와 θ (또는 $\tan\theta$) 값의 차이에 따라서 장치의 하중-변위 관계 및 이력 거동이 달라짐



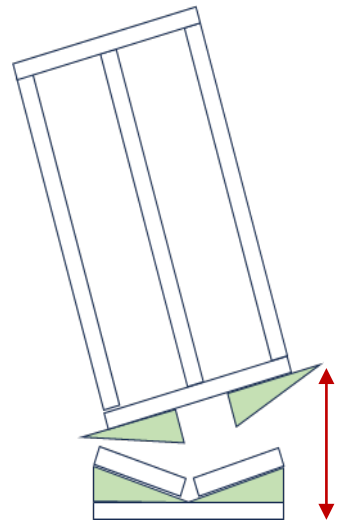
- 경사형 면진장치의 수평력 -



(a) $\tan\theta > \mu$ (b) $\tan\theta = \mu$ (c) $\tan\theta < \mu$
 - 경사각과 마찰계수의 관계에 따른 경사형 면진장치의 이력 특성 -

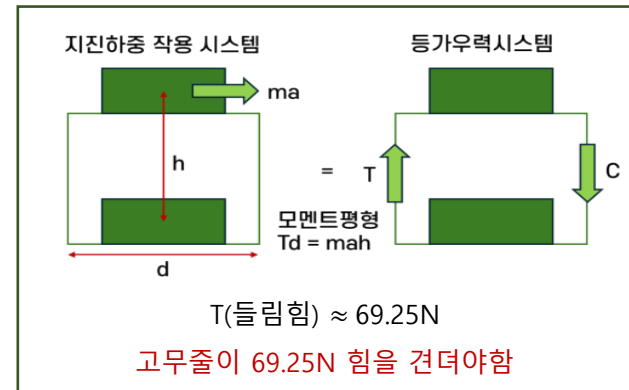
- 면진층의 경사각 16° 에서 6.8° 수정
- A4 - A4에서 MDF - A4로 수정
- 시공성과 경제성을 위해 Strip 사용

들림 현상 방지 대책

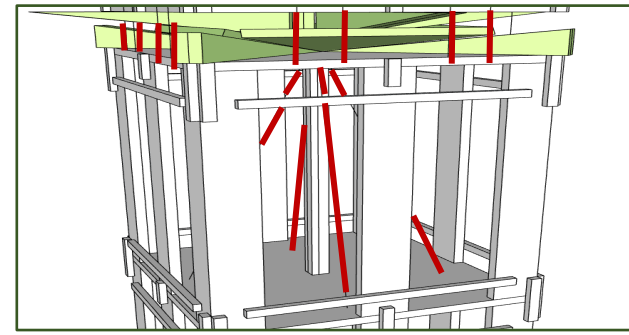


- 구조물에 가속도 발생 시 면진층 상부층이 심하게 흔들리면서 들림이 발생
- 들림으로 인한 전도 발생
- 전도 방지를 위해 고무줄 설치
- 고무줄 설치 시 전도를 방지할 수 있으나 면진층이 구속되어 효과적인 거동이 발휘되지 않을 수 있음
- 최적의 고무줄 개수 산정 및 면진층 거동 예측

① 면진층의 들림(함) 제어하기 위한 장치(고무줄 추가)



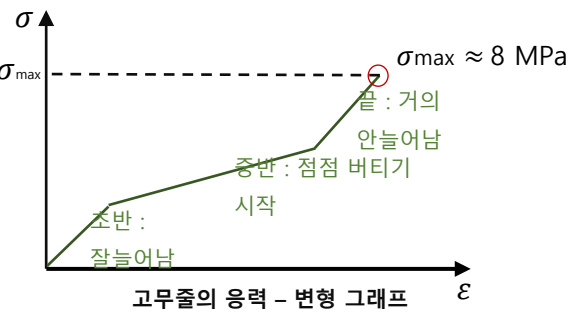
② 면진층 중심과 3층 바닥을 고무줄로 연결하여 전도 방지



③ 기둥과 바닥판 사이 접착력 증대

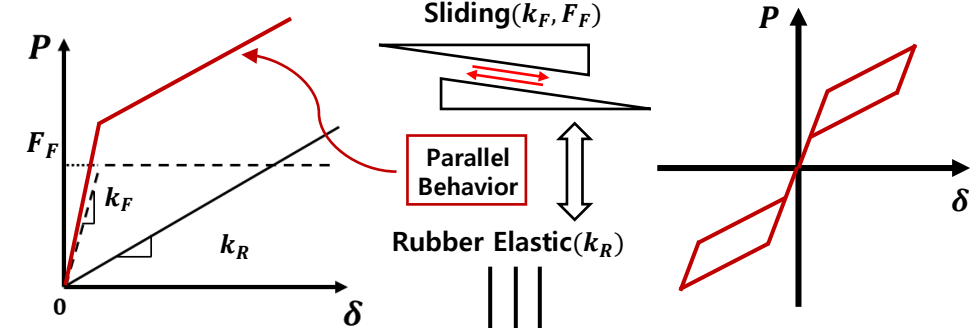
- 바닥판과 기둥 사이 찢어짐이 발생
 - 바닥판 모서리에 종이를 감싸 기둥과 바닥판의 접착력을 증대
-

고무줄 개수 산정



$\sigma_{\max} \approx 8 \text{ MPa}$
 $F_{\max, \text{한가닥}} = \sigma_{\max} \times A \approx 25.1\text{N}$
 $n = \frac{T}{F_{\max, \text{한가닥}}} = 2.76$
 → 3가닥 이상의 고무줄이 필요

면진층의 최종 거동 양상



4. 최종 구조물 설명

최종 모델 제작 및 실험

- 파괴모드 : 0.75g에서 파괴, 강성이 상대적으로 작은 4층 파괴 유도
- 수정 및 결론 : 고무줄을 면진층과 3층에 연결하여 시공성 확보, 수평 버팀대를 사용하여 시공성과 구조물의 강성 확보. 전단벽의 이탈 방지를 위해 접착부위에 종이 부재를 덧붙임. 시공정확도의 향상이 필요함을 느낌

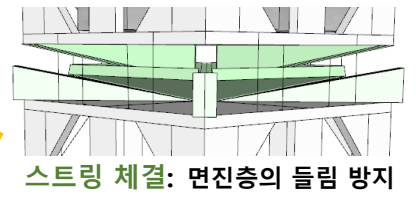
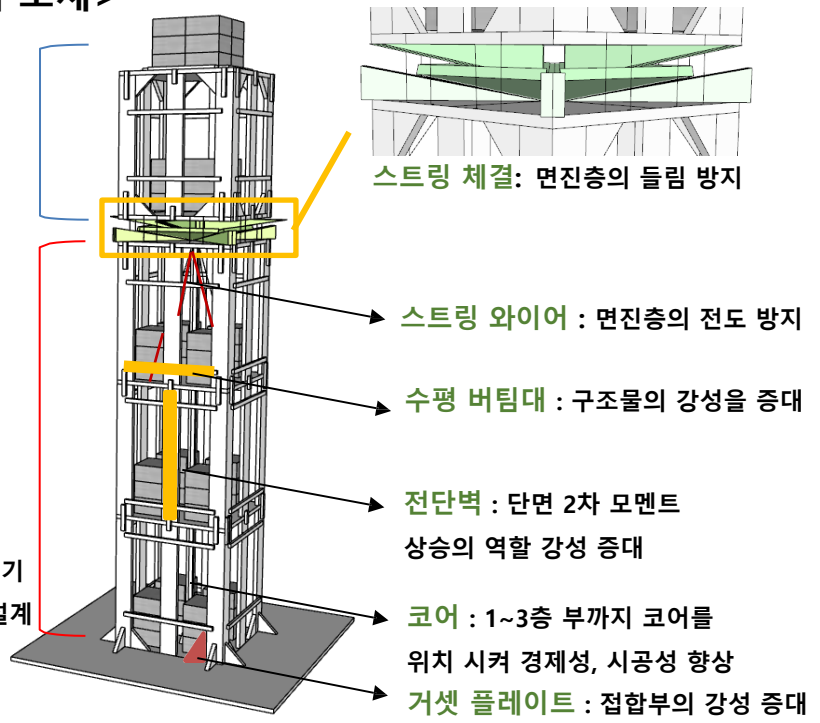
최종 구조물 Concept: 경사형 면진 시스템을 활용하여 구조체의 유연성과 복원력을 확보 및 하부층의 내진 설계로 인한 충분한 강성 확보

<경사형 면진 시스템을 이용한



면진층 상부 : 구조체 >

- 코어 X
- 경제성 확보
- 하나의 강체로
- 거동할
- 수 있도록 접합부
- 본진층 하부 :
- 면진층과의 강성
- 차이를 주기 위해
- 강성을 높임
- 면진층의 거동을
- 안정감있게 지지하기
- 위해 충분한 내진설계



스트링 체결: 면진층의 들림 방지

스트링 와이어 : 면진층의 전도 방지

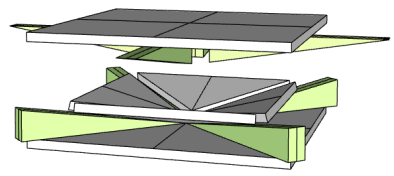
수평 버팀대 : 구조물의 강성을 증대

전단벽 : 단면 2차 모멘트 상승의 역할 강성 증대

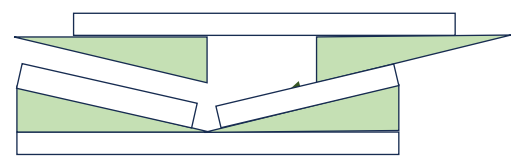
코어 : 1~3층 부까지 코어를 위치 시켜 경제성, 시공성 향상

거셋 플레이트 : 접합부의 강성 증대

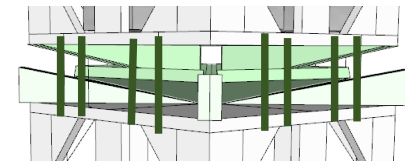
최종 모델 DETAILS



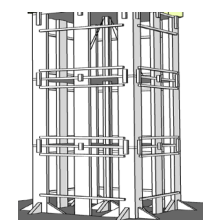
경사형 면진층



원점 복원력 시스템



들림 방지 스트링 체결



하부층의 강성 확보를 위한 내진 설계

