오 합 지 졸
五 合 地 捽

다섯 오 합할 합 땅 지 잡을 졸

'다섯 명이 모여 땅을 잡는다' 라는 의미로
충남대학교에는 내진설계동아리는 없지만
강구조 내진설계 연구담당 교수님의 지도하에 4명의 학부생이
지진에 안정적인 구조물을 건축하기 위해 만들어진 모임입니다.

충남대학교

[redacted]

지도교수
충남대학교 건축공학과
이강민 교수

[redacted]

하헌준
3D 모델링
구조해석

[redacted]

조병현
PPT 제작
구조물 제작

[redacted]

김대준
적산 및 경제성 검토
시공성 검토

[redacted]

김형래
내진 및 면진 시스템 설정
모델 구조설계 및 검토

No. SSD2015-28

2015 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2015

초고층 건축물의 내진설계

No. SSD2015-28

• 작품 제작 규정 분석

작품제작규정

1. **[원칙]** 작품은 4층 이상으로 제작되어야 하며, 각 층은 규정된 하중을 정적으로 지지할 수 있어야 한다.

2. **[구조]** 작품의 구조는 다음 각 항의 조건을 모두 만족해야 한다.
   ① 기초판은 1층의 바닥면이 되며, 최상층은 천정을 가져야 한다(옥상에도 하중블록을 설치해야 함).
   ② 각 층의 바닥 면적은 10,000㎟ 이상, 30,000㎟ 이하이어야 한다. 여기서 바닥 면적의 산정 기준은 최외각 기둥 부재를 이은 면적으로 정의한다.
   ③ 바닥은 반드시 면을 이루고 있을 필요는 없다. 예를 들어 몇 개의 선형 부재(Strip)를 연결한 형태도 가능하다.
   ④ 각 층의 높이는 200mm 이상으로, 총 높이 800mm 이상 900mm 이하가 되어야 하며, 각 층간은 분명한 경계를 가지고 있어야 한다.
   ⑤ 각 층에는 하중 블록의 낙하를 방지하기 위한 시설이 설치되어야 한다.
   ⑥ 구조부재의 연결은 제공되는 제작 재료만을 사용하여야 한다.

3. **[하중]** 하중은 각 층에 6kg 이상의 강재 하중블록세트(하중 블록 개당 0.5kg)를 설치하며, 총 24kg 이상의 하중블록이 설치되어야 한다. 하중블록의 설치는 다음의 규정을 만족하여야 한다.
   ① 하중블록의 규격은 26㎜×50㎜×50㎜(높이×가로×세로)이며, 자유로운 배치가 가능하다.
   ② 1층 바닥에는 하중블록을 설치하지 않으며, 1층 바닥을 제외한 나머지 층의 바닥면과 최상층 상부면에는 하중블록을 설치하여야 한다. 예를 들어 4층의 모형인 경우, 최소한 6 kg 하중블록세트 4조가 필요하다.
   ③ 하중블록은 작품 제작이 완료되고 진동대 상부에 고정된 후에 각 팀에서 선정한 2인의 팀원이 한 조로 직접 설치해야 한다. 팀에서 원하는 경우 제작 중 하중블록을 지급하고 설치할 수도 있다.
   ④ 하중블록은 접착제를 이용하여 상호간 또는 구조물에 직접 고정할 수도 있다.

4. **[기초]** 기초판은 MDF 판재로 제공되며, 제작되는 작품은 기초판 내에 설치되어야 한다.
   ① 기초판의 크기는 400㎜×400㎜×6㎜ 이며, 구조물과 기초를 연결하기 위한 용도로만 사용된다.
   ② 각 팀에서는 기초를 진동대와 연결(목재용 screw 볼트)하기 위한 최소한의 공간(최외각으로부터 20mm)을 확보하여야 한다.
   ③ 구조물과 기초를 연결하기 위한 용도로 기초판을 천공할 수 있다.
   ④ 기초판을 절단 및 가공하여 작품 제작에 활용할 수 없다.

5. **[제작비용]** 작품 제작에 필요한 제작 비용에 제한은 없으나, 2,400 백만원을 기준금액으로 하여 경제성 평가시에 반영한다.
   ① 기준금액을 초과하는 팀은 진동대 시험 전 감점 대상이 되며, 감점은 10백만원 당 5점으로 한다.

6. **[제작시간]** 작품 제작에 소요되는 시간은 하중블록을 설치하는 시간을 포함하여 총 5시간을 초과할 수 없다.

상부하중을 지지하는 부재를 기둥으로 가정
→ "외부 골조 존재 가능"

자유로운 배치 가능
→ "수직하중을 가장 분산 될 수 있도록 배치"

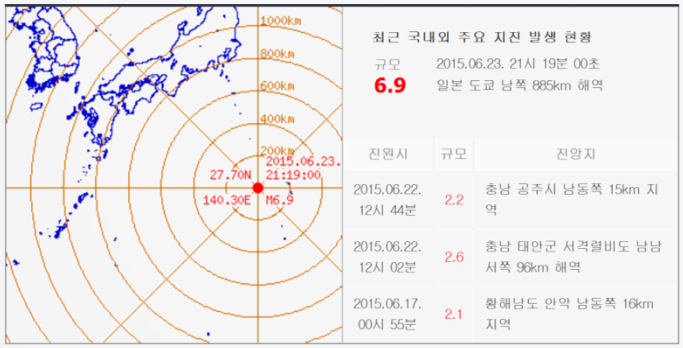
부재와 기초판의 천공으로 접합 가능
→ "기초판과 부재의 부착력 증대"

프롤로그

• 시나리오 파악

초고층 건물은 도시적 맥락에서 갖게 되는 도시공간과 경관의 이미지, 이에 따른 시각적 독자성,
도시 하부구조와 관련된 교통과 보행자 공간 및 가로변에서 전개되는 도시 활동의 다양성 등을 나타내는 또 하나의 수직도시이다.
국제적인 추세로 50층 이상의 초고층 건축물이 개별 및 단지개념으로 날로 증가하고 있으며,
미래 지향의 랜드마크 의미도 점차 강조되고 있는 초고층 건축물은
도시 속의 도시 개념으로 현대 도시기능과 제도가 강조되는 대형 프로젝트이다.

부산 해운대 관광자원으로, 랜드마크적 의미의 초고층 건물 도입



지진은 보통 지각판의 경계에서 자주 발생하는데
한국은 지각판의 경계보다 안쪽에 위치하고 있다.
국내에서 직접적으로 발생하는 지진은 규모가 작고 단주기성이 대부분이지만,
일본이나 중국 등의 인근 국가에서 발생하는 강진 또는 그 여진이
원거리로 전달되면서 장주기화 되어 국내에 도달할 가능성이 있다.

CASE 1. 2005년 3월 20일 부산 전역과 경남 일부 지역 사람들은 난데없는 지진소동을 겪었다.
일본 후쿠오카 현 서쪽 해역에서 발생한 지진의 지진파가 국내로 전달되면서
부산 지역의 고층 건물들이 심하게 흔들린 것이다

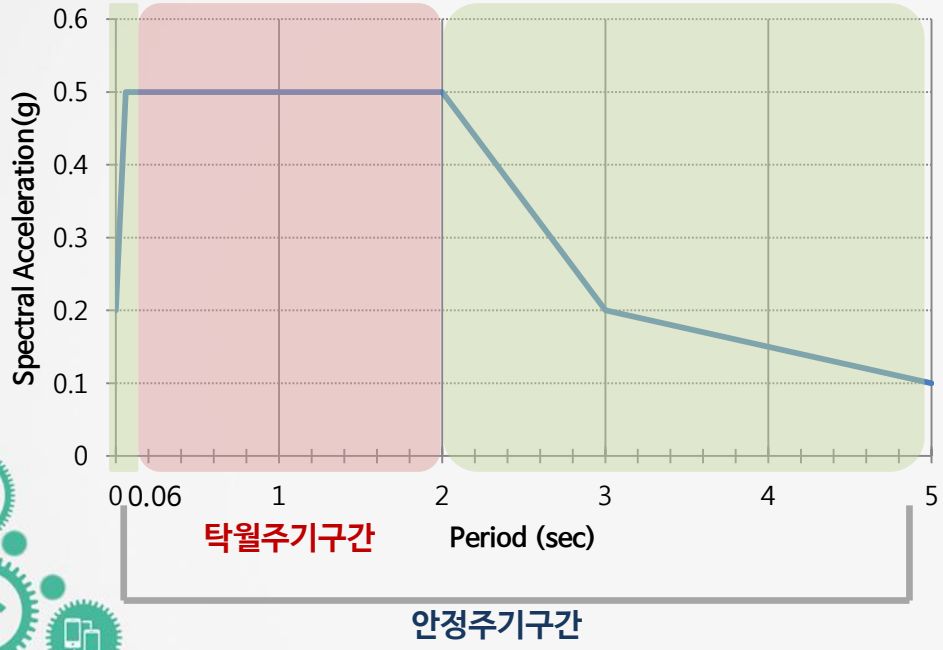
CASE 2. 최근 2015년 5월 30일 20시 24분 일본 남쪽 태평양에서
리히터 규모 8.5의 강진이 발생하였다.
도쿄 23구에 진도 4의 강한 지진이 감지되었고
제주, 광주, 전남, 부산, 울산, 경남, 경북 남동부에서도 지진이 감지되었다.

주변국 강진의 여파로 한국 또한 지진 대비 필요

“초고층 건축에서의 내진 설계 요구”

데이터 분석

- 디자인 스펙트럼 분석



탁월주기구간에서는 최대응답가속도가 작용하므로 구조물의 주기가 **안정주기구간**에 들어가야한다.

목표주기 : 0 ~ 0.06 or 2 ~ 5

장주기 구조물은 강성이 작음
장주기 지진파를 피해야함

수직하중을 버티기 위해 강성이 커야함

최적주기 : 0 ~ 0.06

데이터 분석

- 재료 물성치 분석

실험을 통한 MDF 탄성계수 측정 (20회 측정)

$$E = \frac{PL^3}{3\delta I}$$

P = 2.943N
L = 100mm
I = $32mm^4$

E = 탄성계수
P = 외력
L = 부재길이
δ = 처짐량
I = 2차단면모멘트

※ 캔틸레버 인경우의 공식

횟수	δ (mm)	E (Mpa)	횟수	δ (mm)	E (Mpa)
1	12	2555	11	16	1916
2	13	2358	12	14	2190
3	15	2044	13	13	2358
4	16	1916	14	15	2044
5	12	2555	15	16	1916
6	16	1916	16	12	2555
7	13	2358	17	16	1916
8	15	2044	18	15	2044
9	14	2190	19	14	2190
10	17	1803	20	15	2044

평균 : 2145 Mpa

실험을 통한 면줄 신장강성 측정 (10회 측정)

$$EA = \frac{PL}{\delta}$$

P = 3.1 kgf
L = 100mm

E A= 신장강성
P = 외력
L = 부재길이
δ = 변화량

횟수	δ (mm)	EA (Kgf)
1	23	13.5
2	15	20.7
3	13	23.8
4	13	23.8
5	20	15.5
6	13	23.8
7	15	20.7
8	13	23.8
9	14	22.1
10	15	20.7

평균 : 20.9 kgf

구조설계

• 디자인 개요

질량이 큰 Mass가 세장비가 큰 구조체에 균일하게 분포

↓

초고층 건물의 특징

장주기화 될 수록 강성↓ 가능성 **단주기**를 목표로 설계

↑

탁월 주기를 피하기 위한 설계를 해야 함

탁월주기에 들어가도 버틸 수 있는 장치 필요

↓

면진 시스템으로 지진의 탁월주기에 저항함

내부와 외부 구조물로 나누어 힘을 분담

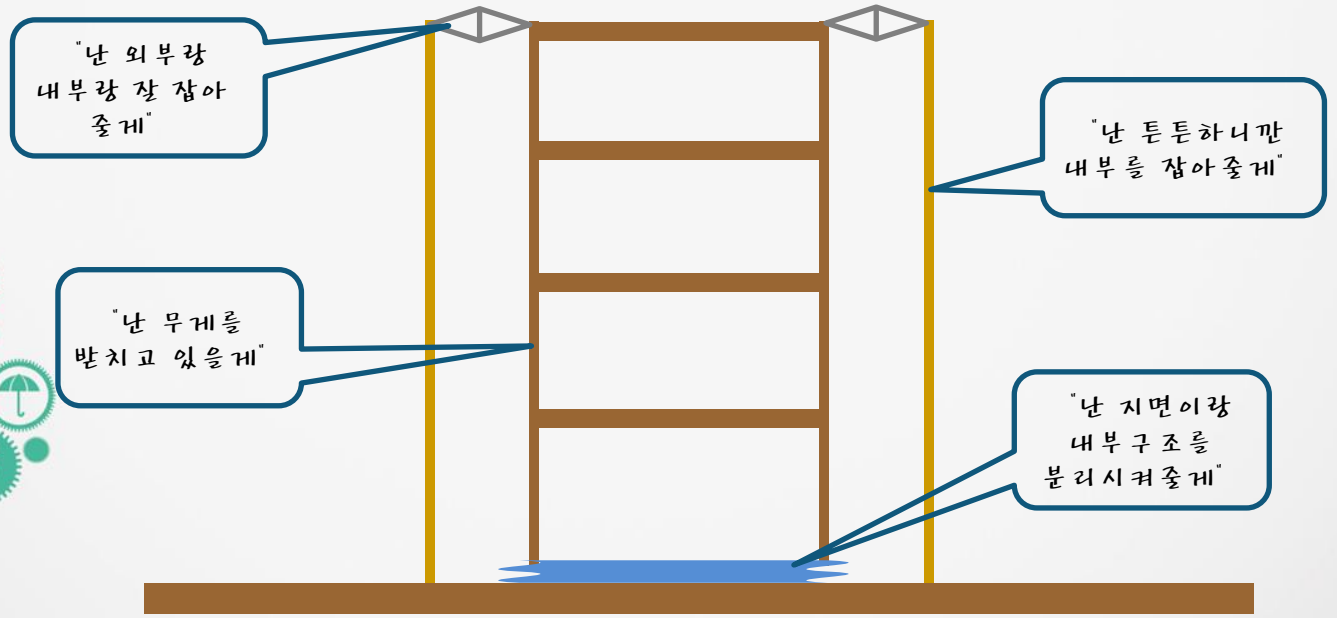
↑

수직하중과 수평하중을 분담 할 수 있는 구조 요함

외부 구조물이 내부 구조물의 거동을 제어하는 장치 요함

↓

외부구조물과 내부구조물 사이에 **댐퍼**를 설치

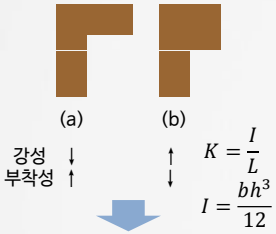


구조설계

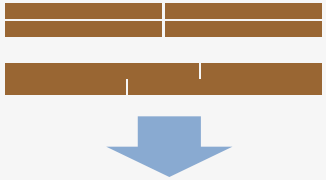
• 내부구조물 설계

단면 기둥 설정

목표성능
- 수직하중을 지지하기 위해 충분한 강성확보(단면2차모멘트)
- Strip의 접합부분에서 파단을 방지하기 위해 적절한 접합 적용



강성은 (a)가 크지만 부착성이 낮으므로 강성이 떨어질 수 있다.
그러므로 **(b)로 결정**

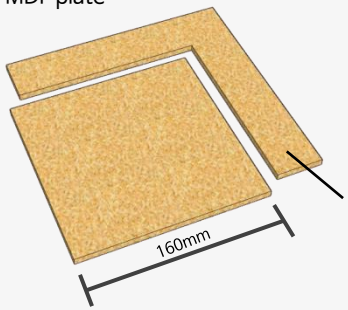


부착성 증대를 위해 부재의 맞닿는 면적을 최대로 늘림으로써 접합부분에서 파단 방지

단면 형태 설정

목표성능
- 외력을 골고루 받을 수 있는 정형 형태
- 기둥부재와 plate의 시공성을 상향 시켜야한다

MDF plate



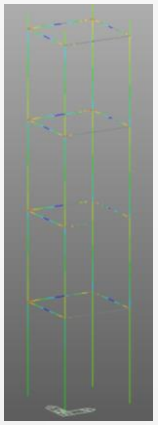
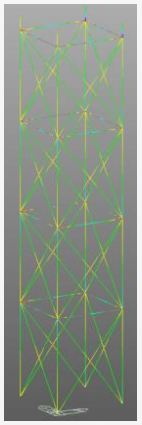
최외각 기둥을 이은 면적 :
28896 〈 30000㎟ ← **규정만족**

Base Plate와 외부 부재 연결 시 사용

시공성을 만족시키고 정형형태를 만족 시킬 수 있는 **정사각형 단면 설정**

내부구조 가새 설정

- Midas gen 이용 구조 해석

무가새		/ 가새		X 가새	
	주기		주기		주기
	0.1811		0.0289		0.0247
	경제성,시공성		경제성,시공성		경제성,시공성
	상		중		하
	강성		강성		강성
	하		중		상
	모멘트균일		모멘트균일		모멘트균일
	하		중		상

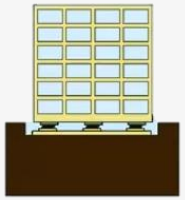
경제성과 시공성은 가장 낮지만 주기가 목표 주기에 만족하고 수직하중과 수평 하중을 버티기 위한 강성이 크고 모멘트 분포가 가장 균일

X가새 설정!

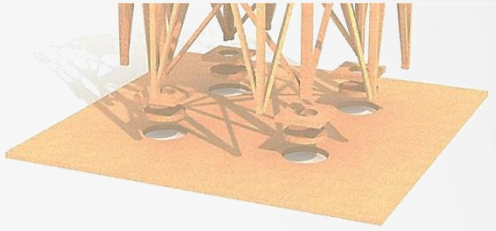
구조설계

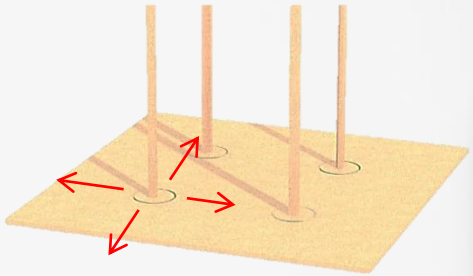
- 면진장치

면진의 정의 : 지진에 대항하지 않고 지진을 피하고자 하는 수동적인 개념이지만 상당히 경제적이고 내진여유도를 가지는 개념이다. 또한 고유주기를 인위적으로 조정하여 공진을 피하게 하여 지진이 구조물에 상대적으로 약하게 전달되도록함.



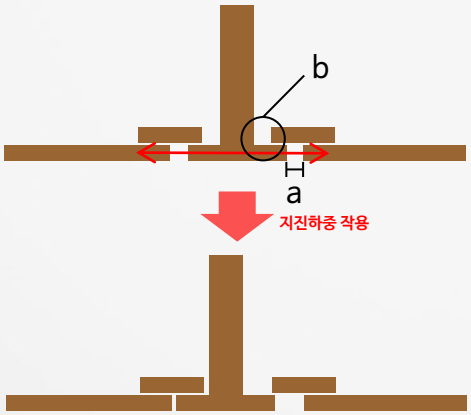
면진장치 목표 ── 내부구조물이 바닥과 횡분리
종변위 발생 금지 (구조물 상부 횡변위 과발생)
지진의 진동을 피해야함





모든 방향으로 이동 가능

- 설계 면진장치 원리



면진장치 제작 시에 a의 크기에 따라 b의 파단 가능성 좌우
→ 반복 실험을 통한 적절한 a값 산정

"지진하중 작용 시 바닥과 구조물의 횡 분리로 면진 작용"

구조설계

• 외부 구조물 설계

외부 구조물 목표 성능

- 임의의 방향에서 골고루 힘을 받을 수 있도록 단면 형태 설정
- 내부 구조물의 거동 제어
- 높은 강성 확보(단면2차 모멘트를 크게 함)
- 강성 확보로 낮은 고유주기 갖도록함

단면 형태 설정

- 시공성이 가장 높은 것은 정사각형 형태
- 힘을 가장 골고루 받는 것은 원 형태
- 시공성과 힘을 받는 형태가 골고루 있는 정팔각형 형태 설정

가새 종류 설정

- 1차 / 가새 설정

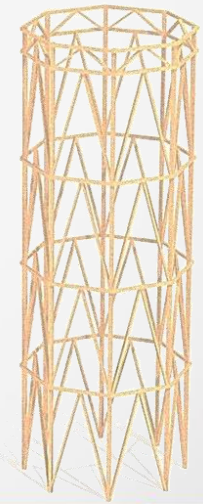
구분	결과
강성	하
주기	상
경제성	중

외부 요소의 중요한 요소인 강성을 확보하지 못해 **가새형태 변경(X가새보다 경제적인 ∧ 가새 설정)**

- 2차 ∧ 가새 설정

구분	결과
강성	상
주기	하
경제성	하

- 최종 외부 구조물 형태



고른 힘 분포 → “팔각형 단면설정”

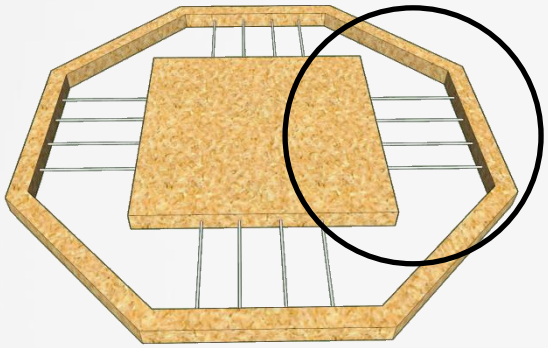
낮은 고유주기는 지진력에 취약 → “높은 강성확보”

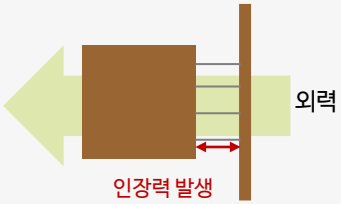
높은 강성 확보를 위한 적절한 가새 설정 → “∧ 가새 설정”

구조설계

• 내·외부 연결 설계

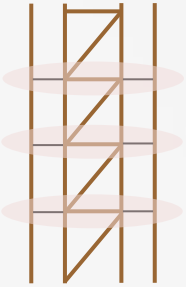
면줄의 적용





작용 원리

- 면줄의 인장력 이용
- 면줄은 변형이 자유로워서 내부 구조체가 다양한 방향으로 힘을 지지 가능
- 외부 구조물이 MDF strip 보다 탄성이 큰 면줄을 이용하여 거동 제어

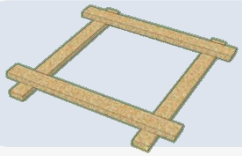


설치위치

- 1차 실험 시 최상층 까지 면줄 적용
  → **최상층 거동제어 힘듬**
- 상단부의 변위가 많이 발생
  → **최상층과 최하층 제외하고 설치**

댐퍼 설치

면줄은 최상층 거동제어 힘듬
↓
최상층 다른 형식의 장치 설치
↓
적절한 장치 고찰
↓
댐퍼 결정



◇형 댐퍼

- 횡변위 제어력 높음
- 충격 흡수력 높음
- 경제성, 시공성은 낮음

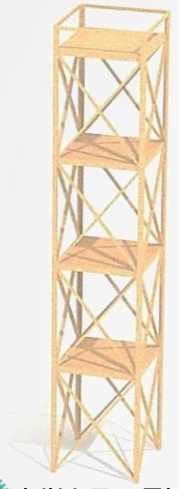
S형 댐퍼

- 횡변위 제어력 낮음
- 충격 흡수력 낮음
- 경제성, 시공성은 높음

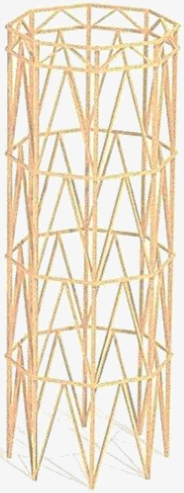
"최상층의 변위 제어력이 내부 구조물을 제어하는 데 가장 중요하므로 ◇형 댐퍼 결정"

설계 검토 및 피드백

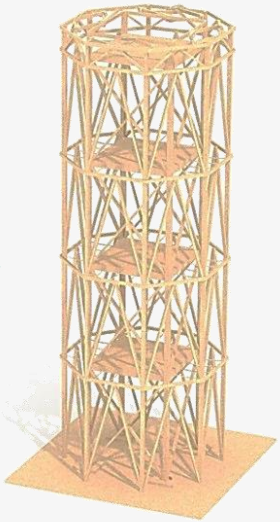
• 최종 구조물



〈내부 구조물〉



〈외부 구조물〉

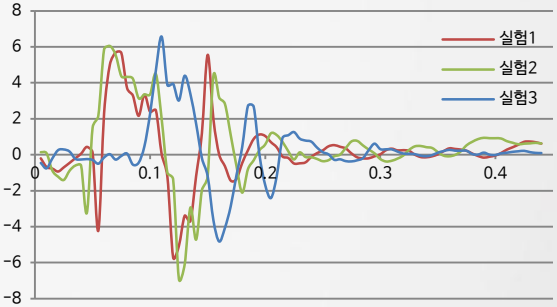


〈전체 구조물〉

실제 모형 사진

고유주기 실험

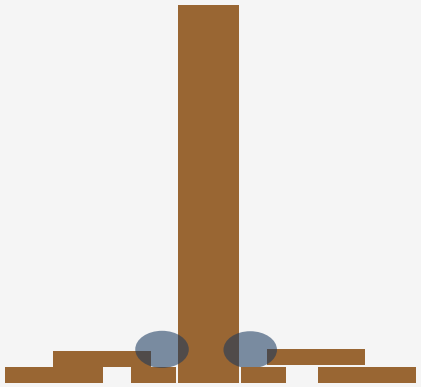
- 스마트폰 가속도 어플을 통해 구조물의 고유주기를 구함
- 구조물 최상부에 스마트폰을 설치하고 3회 실험



구분	실험주기값
실험 1	0.09
실험 2	0.105
실험 3	0.085
평균	0.093

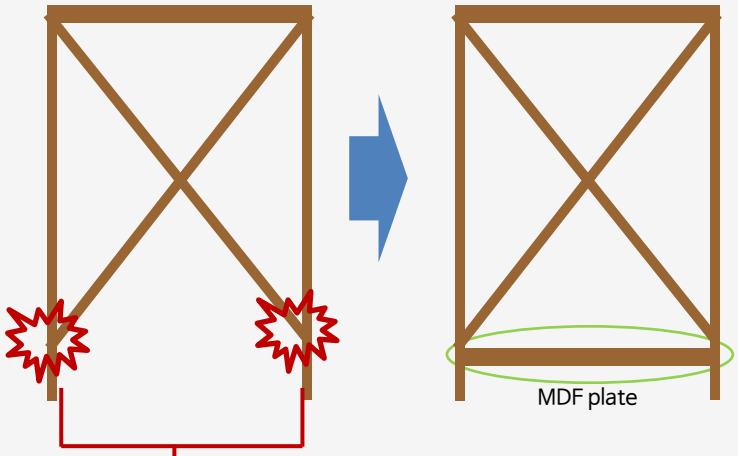
• Feedback

내부 구조물 하부



기둥부쟁와 면진 장치간의 **탈락 발생**

- ● 부분에 실뭉치를 넣어 보강
  → **기둥 하부 보강 및 충격 흡수**
- 판재를 천공해 기둥과 연결
  → **부착력 증대**

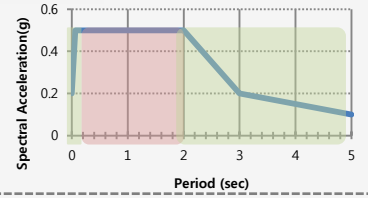


가새의 **탈락 발생**

- 기둥 하부에 MDF plate 를 설치해서 보강

• Feedback

주기 분석

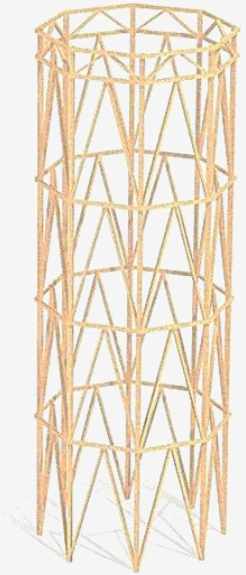


구조물 고유 주기 실험값 : 0.093

탁월 주기 구간 : 0.06 ~ 2

구조물의 고유주기 실험값이 탁월주기 구간에들어감
→ **해결방안 필요**

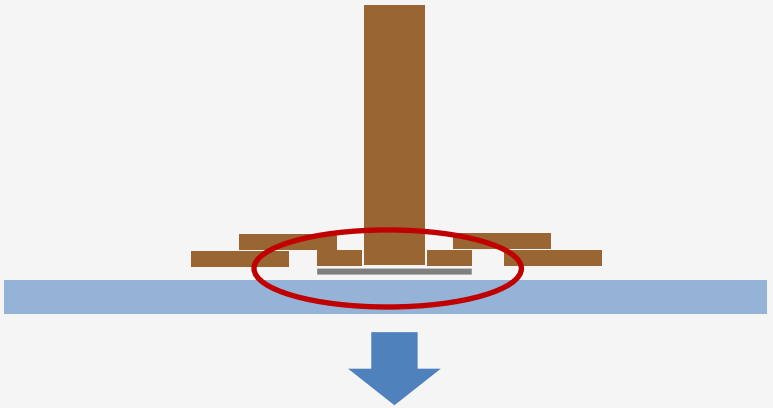
해결방안1



기본 설계한 구조물을 만들고 남은 MDF 재료들로 외부 구조물의 취약한 하단부분이나 접합부분을 보강

외부구조의 강성이 높아지므로 주기는 더 짧아 지게 된다.

해결방안2



효과적인 면진시스템을 위해 A4용지를 붙여 마찰력 ↓

면진시스템이 지진의 탁월주기에 저항성 높아짐

기타 항목 검토

• 경제성 분석

구분	재료	규격	소요 수량	단가(백만원)	총 금액(백만원)	비고
내부구조	MDF base	400mm * 400mm * 6mm	1	-	-	기본제공
	MDF plate	200mm * 200mm * 6mm	5	100	500	
	MDF strip	4mm * 6mm * 600mm	34	10	340	
	면줄	600mm	20	10	200	
외부구조	MDF strip	4mm * 6mm * 600mm	66	10	660	
	면줄	600mm	2	10	20	
기타	접착제	20g	2	200	400	
합계					2120	

합계 : 2120 〈 2400 → **기준금액 범위에 들어감**

기타 항목 검토

• 시공 계획

시공 계획	누적시간	0.5시간	1시간	1.5시간	2시간	2.5시간	3시간	3.5시간	4시간	4.5시간	5시간
	기 구	Base 천공 및 Plate 절단									
	가 공	설계치수에 따른 Strip 및 면실 절단									
	내부 조립		내부 구조물 기둥 시공		내부 구조물 Plate 설치	무게추 고정	내부 구조물 가새 설치				
	외부 조립			외부 구조물 기둥 시공	외부 구조물 수평부재 설치			외부 구조물 가새 설치			
	구조물 전체						외내부 구조물 연결		댐퍼 설치		