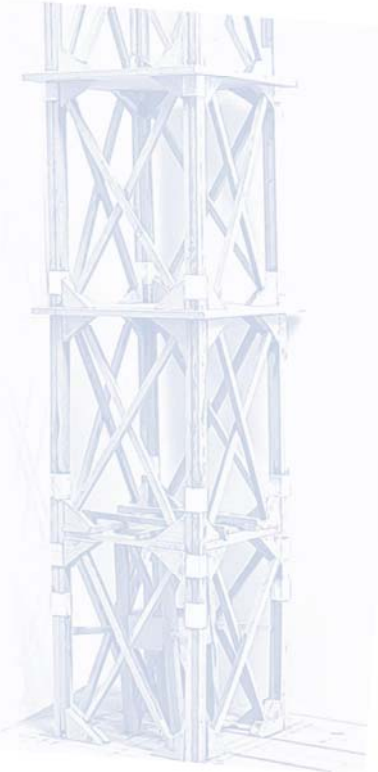


Seismic Structural Design Contest 2021

2021 구조물 내진설계 경진대회

절점 강성 조절을 통한 내진 구조물



INDEX 목 차

조선대학교 건축공학과 Builders

INTRO

- 팀원 소개
- 내진설계 개념
- 구조물 심사기준

CONCEPT

- 재료 물성치 분석
- 구조물 구성 부재
- 지진파 분석

PROCESS

- 구조물 거동 실험
- 하중 및 구조 실험
- 최종 실험

CONCLUSION

- 설계 도서
- 경제성 분석
- 시공성 분석

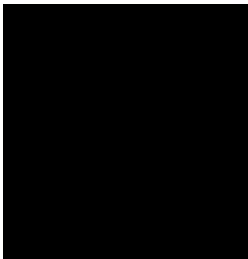
INTRO

팀원 소개

조선대학교 건축공학과 Builders > Q

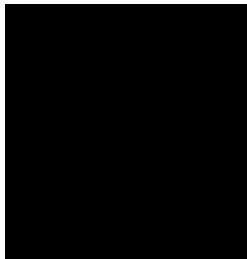
지도 교수

최재혁 교수님



- 설계 피드백

이용찬 - 팀장



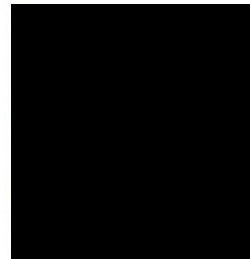
- 설계 리드
- 구조 해석

정재민



- 공정 계획
- PPT 제작

양재영



- 구조 시스템
- 도면 제작

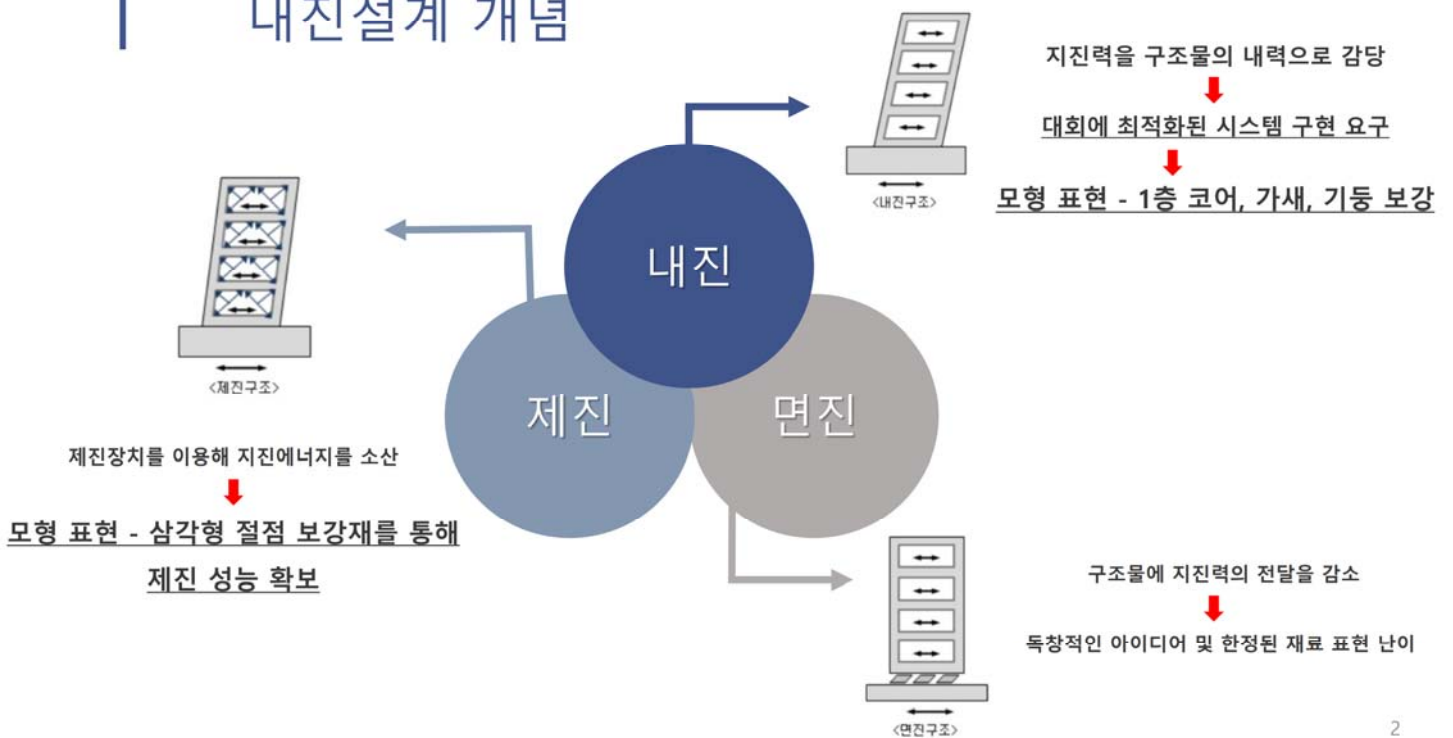
정우형



- 디자인
- 모형 모델링

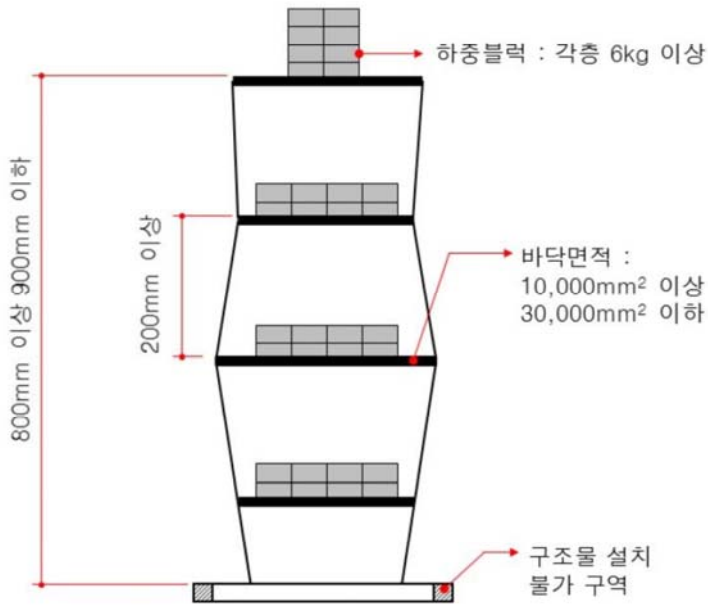
INTRO

내진설계 개념



INTRO

구조물 심사기준



하중블럭 - 각 층 6kg 이상
 하중블럭 설치 구역 - 2층, 3층, 4층, 옥상층
 하중블럭 설치 불가 구역 - 1층

구조물 높이 - 800mm 이상 900mm 이하
 제한된 바닥면적으로 인해 구조체가 높아질수록 세장비가 증가해 좌굴 예상
 기둥 높이 840mm 제작 - MDF Base 두께 및 층고 200mm 및 오차 계산

바닥 면적 - 10000mm² 이상 30000mm² 이하
 바닥 면적 14400mm² - 120mm x 120mm
 기둥 두께 및 하중블럭 규격 고려 - 하중블럭과 구조물의 일체화, 이격 발생 X

MDF Base (기초판) - 400mm x 400mm x 6mm
 구조물 설치 불가 지역 - 최외각으로부터 20mm 확보
 기초판을 절단 및 가공하여 작품 제작 활용 불가

INTRO

구조물 심사기준

◆ 구조물 제작 및 심사기준 ◆

- 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
- 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
- 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴방지 수준 내진설계
- 설계지진 초과 시 구조물의 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 심미성과 창의성을 추구하는 설계
- 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

재현주기 (년)	유효수평지반가속도 (S)
500	0.3 g
2400	0.6 g

성능목표	
재현주기 (년)	구조물의 성능 수준
500	기능수행
2400	붕괴방지

대회 규정 분석

파괴 가속도	0.2<	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
구조성B	10	12	15	18	21	24	21	18	15	12	10

구조물의 파괴는 0.7g 에서 발생 !

기능수행 구조적 손상이 발생하지 않는 상태로
 기타 요소 (e.g. 팀 표식 깃발 등)의 파손 및 낙하는 허용

붕괴방지 구조물 완전 붕괴 및 하중블록 추락
 기둥 및 가새 부재 등 수직하중을 지지하는
 부재가 3개 이상 완전 파단이 발생한 경우



CONCEPT

재료 물성치 분석



<변위 측정>

<캔틸레버 보 재하실험>

$$\text{변위 산정식 } \delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

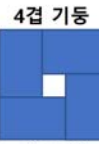
재하실험	60N 추 3회 실행
평균변위	2.5 mm

평균 탄성계수 1800Mpa 산정
해석모델 적용 편의성 위해 단순화

일반 기둥



<Case 1>



<Case 2>

<기둥 단면 산정 근거>

단면 2차 모멘트 비교

종류	Case 1	Case2
I_x	$\frac{8 \cdot 12^3}{12} = 1152 \text{mm}^2$	$\frac{10^4}{12} - \frac{2^4}{12} = 832 \text{mm}^2$
I_y	$\frac{12 \cdot 8^3}{12} = 512 \text{mm}^2$	$\frac{10^4}{12} - \frac{2^4}{12} = 832 \text{mm}^2$
결론	<Case 1>은 X축 방향의 단면 2차 모멘트 크나 X축, Y축의 힘의 균등한 분포를 위해 <Case 2>의 단면을 기둥부재로 선정	



<A4 보강 X>



<A4 보강 O>

<연결부위 A4 보강재 성능 실험>

실험 조건

지점	양단고정
하중 종류	집중하중
하중	60N
구속길이	600mm

결론

<A4 보강이 없는 경우>

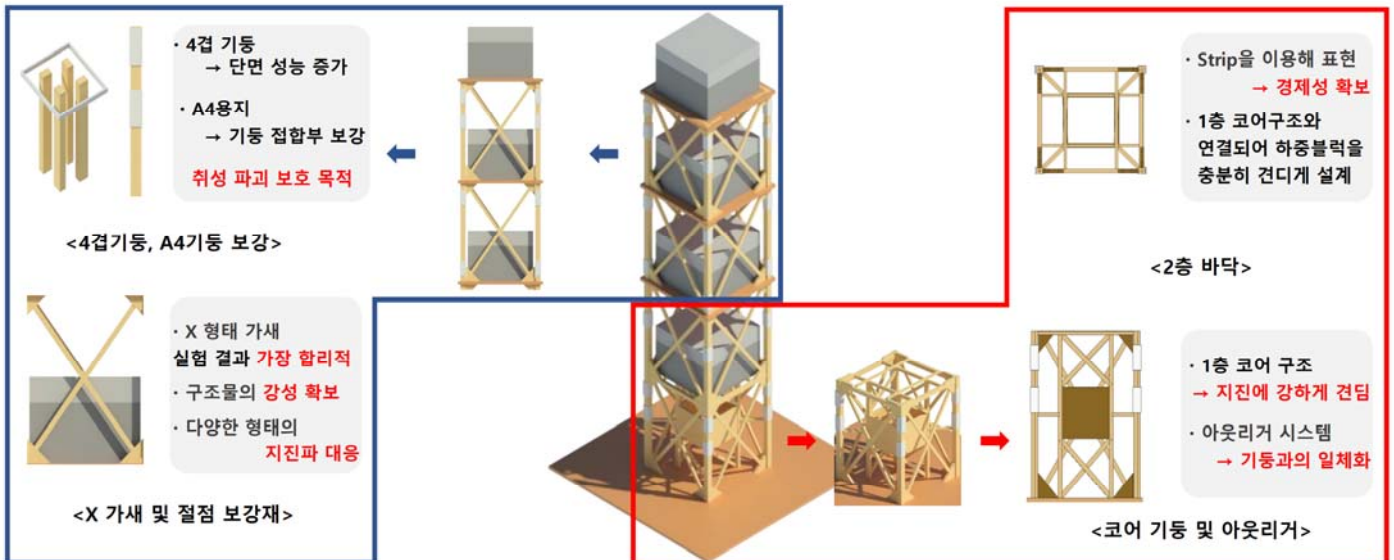
- 60N 재하실험중 버티지 못하고 파단

<A4 보강을 실시한 경우>

- 60N 재하실험 버팁에 이어 추가적인 하중 재하 버팁
- 연결부위 보강에 대해 최소 150% 이상의 구조성능 증가를 보여줌

CONCEPT

구조물 구성 부재



CONCEPT

지진파 분석

<단주기 지반증폭계수 F_a >

지반종류	지진지역		
	S≤0.1	S=0.2	S=0.3
S_1	1.12	1.12	1.12
S_2	1.4	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3
S_4	1.6	1.4	1.2
S_5	1.8	1.3	1.3

<1초주기 지반증폭계수 F_v >

지반종류	지진지역		
	S≤0.1	S=0.2	S=0.3
S_1	0.84	0.84	0.84
S_2	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.6	1.5
S_4	2.2	2.0	1.8
S_5	3.0	2.7	2.4

유효 수평지반 가속도

- 지진하중을 산정하기 위하여 국가 지진 위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 암반지반의 수평지반 운동수준을 명칭
- 행정구역에 의한 방법으로 재현주기에 다른 유효수평 지반가속도는 지진 구역계수에 각 재현주기의 위험도 계수를 곱하여 결정

$$S = Z \times I$$

<유효 수평지반 가속도 결정법>

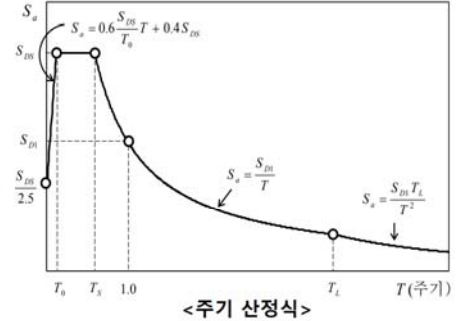
- 단주기 설계 스펙트럼 가속도 (S_{DS}) = $S \times 2.5 \times F_a \times 2/3$
(500년) = **0.495** (2400년) = **0.99**
- 1초주기 설계 스펙트럼 가속도 (S_{d1}) = $S \times F_v \times 2/3$
(500년) = **0.198** (2400년) = **0.396**

<설계 스펙트럼 가속도>

$$T_0 = 0.2 \cdot S_{d1} / S_{DS} \text{ (500년)} = \mathbf{0.08}$$

$$T_5 = S_{d1} / S_{DS} \text{ (2400년)} = \mathbf{0.4}$$

<구조물의 고유주기>



<주기 산정식>

구조물의 고유주기
0.08~0.4초 사이
최적설계를 요구

PROCESS

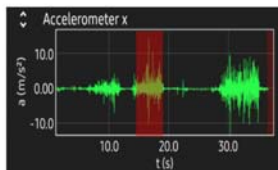
구조물 거동 실험



<실험>



<파괴 형상>



<파괴 가속도 측정>

4겹 기둥 구조

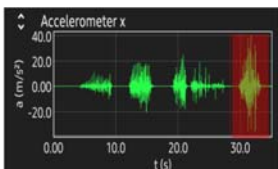
- 가장 기본이 되는 4겹 기둥구조에 대한 가속도 실험측정을 실시함
- 파괴 가속도의 기준을 잡기위해 실시한 실험



<실험>



<파괴 형상>



<파괴 가속도 측정>

4겹 기둥 구조 + X 형태 가새

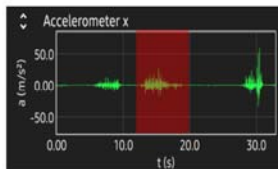
- X 형태 가새를 추가함으로써 기존의 4겹 기둥 구조보다 4배의 가속도를 버틸 수 있음
- 강해진 강성을 견뎌줄 충분한 일체화 시공이 중요한 제작 포인트



<실험>



<파괴 형상>



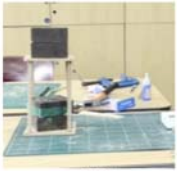
<파괴 가속도 측정>

4겹 기둥 구조 + V 형태 가새

- V 형태 가새를 추가함으로써 기존의 4겹 기둥 구조보다 2배의 가속도를 버틸 수 있음
- X 형태 가새보다 경제적이거나 시공성 및 취성 파괴 특징이 두드러져 구조체로 부적합

PROCESS

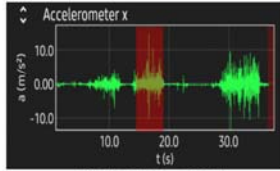
구조물 거동 실험



<실험>



<파괴 형상>



<파괴 가속도 측정>

4겹 기둥 구조

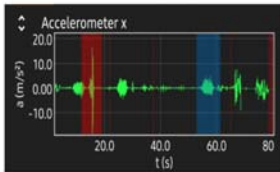
- 가장 기본이 되는 4겹 기둥구조에 대한 가속도 실험측정을 실시함
- 파괴 가속도의 기준을 잡기위해 실시한 실험



<실험>



<파괴 형상>



<파괴 가속도 측정>

4겹 기둥 구조 + 코어 기둥 및 아웃리거

- 코어 기둥을 추가함으로써 기존의 4겹 기둥 구조보다 2배의 가속도를 버틸 수 있음
- 구조물 변위 X, 구조물의 강한 강성에 비해 바닥이 버티지 못함
- 일체화 시공이 중요해 2층 바닥, 기과 연결해 코어 아웃리거 구조로 선정

PROCESS

구조물 거동 실험



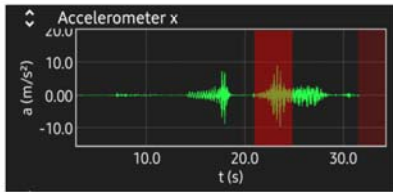
<실험 모델>



<파괴 형상>



<파괴 형상>



<가속도 측정>

X 형태 가새 + 절점보강 X

절점 보강 미적용 구조물

- $10m/s^2$ 에 도달하기 전에 뒤틀림 파괴 발생
- 단순하게 실시한 지진 실험에서도 불안한 거동이 보여짐



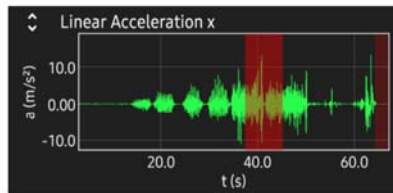
<실험 모델>



<파괴 형상>



<파괴 형상>



<가속도 측정>

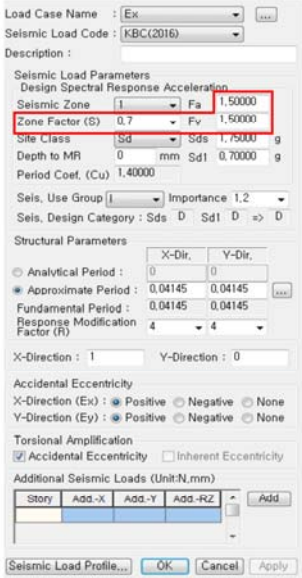
X 형태 가새 + 절점보강 O

절점 보강 적용 구조물

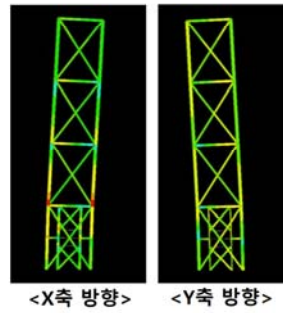
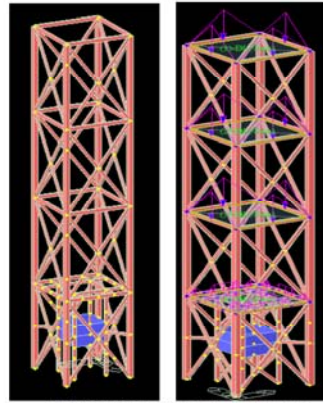
- $13m/s^2$ 의 가속도에서 파단
- 다양한 주기로 실시한 지진실험을 버팀
- 절점 보강재 = 취성 파괴 보호 및 구조물 강성 보강

PROCESS 등가 정적 해석법

<등가 정적 해석법에 의한 해석 과정>



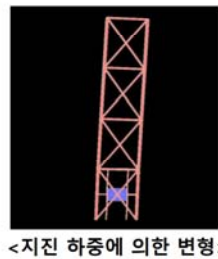
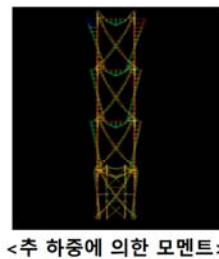
대회 규정값 입력
 유효 수평지반가속도(S) : 0.7g
 지반응답증폭계수
 1초 주기 지반응답 증폭계수 : 1.5



지진하중에 의한 변형 및 응력 확인

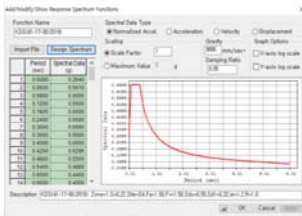
- 2층 바닥 기둥 절점부위에 응력이 집중되는 것을 확인
- 절점 보강이나 기둥부재 보강 필요
→ 집중응력 분산 필요
- 기둥 부재 보강은 절점보강에 비해 경제성이 떨어짐

→ 절점 보강을 통해 최종모델 적용

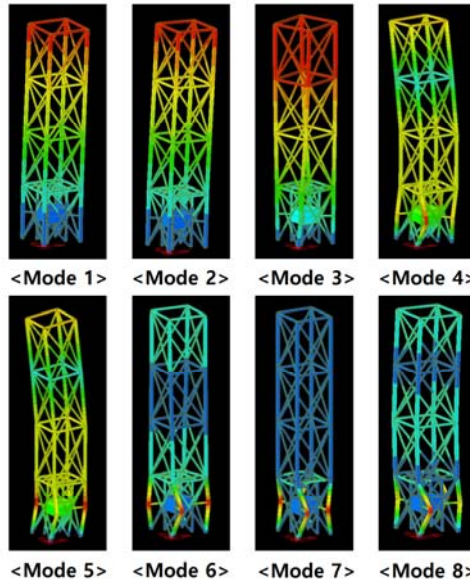
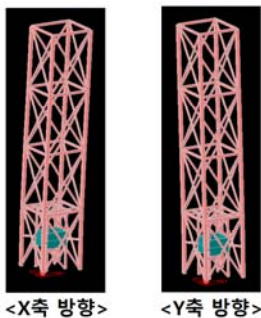


PROCESS 동적 하중 해석법

<동적 하중 해석법에 의한 해석 과정>



<응답 스펙트럼 작성>



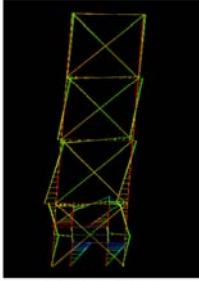
결론

- 응답 스펙트럼을 작성한 후, 동적 하중 해석을 통해 파괴모드 분석을 실시함
- 8차 모드까지 거동을 확인
- 1층 코어 아웃리거 시스템의 강성이 너무 강하면 구조물의 취성 파괴를 가져올 수 있음을 주의 사항으로 알 수 있음

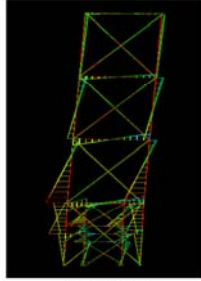
PROCESS

코어 아웃리거 해석

<코어 아웃리거 정적 해석>



<코어 가새 X>



<코어 가새 O>

가새 유무에 따른 Moment Diagram 분포 확인

코어 가새 X

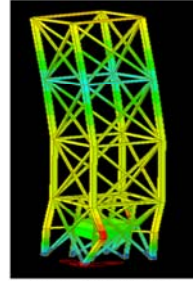
코어 부분에 모멘트 분포가 집중

코어 가새 O

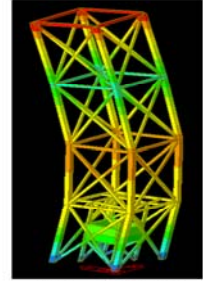
모멘트 분배가 이루어져 다른 층도 모멘트 부담을 나눠 받음

→ 힘의 균등한 분배

<코어 아웃리거 동적 해석>



<코어 아웃리거 O>



<코어 아웃리거 X>

코어 아웃리거 적용 전 후, 4차 모드 비교

코어 아웃리거 X

아웃리거 형식은 전체적인 강성확보에만 도움을 줌

코어 아웃리거 O

해석결과 국부적 파괴 즉, 취성파괴의 위험을 방지해줌

→ 코어와 기둥의 일체성 확보를 위한 용도 고려

PROCESS

최종 실험



<최종 모델>

실험 조건

- ✓ 가속도 측정 실험을 실시하기 위하여 이동식 카트에 구조물을 결합
- ✓ 스마트폰 가속도측정 어플리케이션을 통해 측정
- ✓ 총 5차의 가진을 실시
- ✓ 단주기 - 장주기로 이어지는 가진실험을 실시



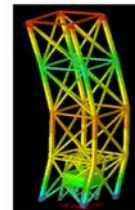
<파괴형상 1>



<파괴형상 2>



<파괴형상 3>



<Mode 4>

최종 실험 결과

기준에 해석된 Mode 4

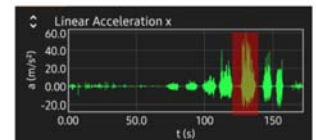
≒

실제 구조물 파괴 형상

매우 유사함



<가속도 측정>



<가속도 측정값>

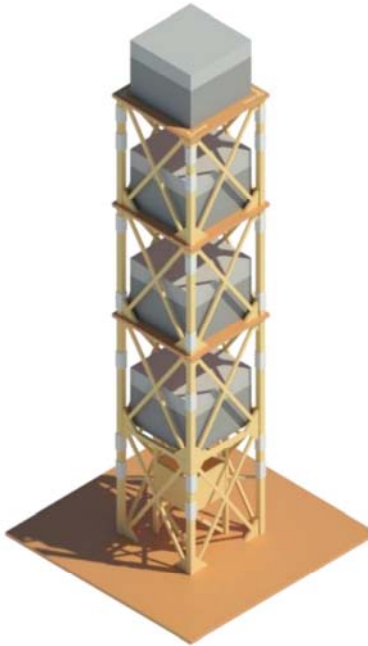
가속도 측정 결과

실험결과 0.6~0.7g 사이에 판단

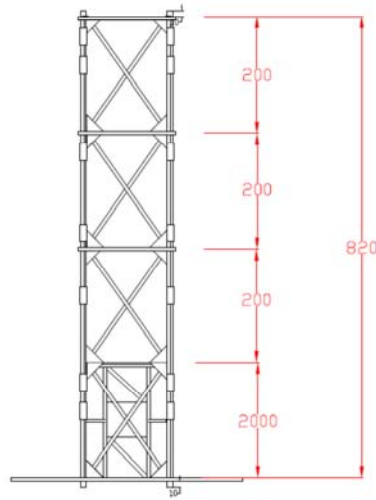
가정, 결과 최적설계 성공

CONCLUSION

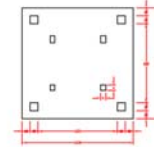
설계 도서



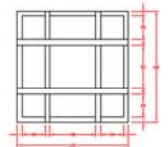
<구조물 전경>



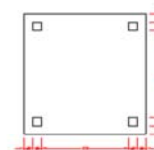
<구조물 입면>



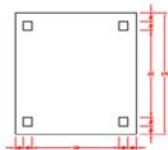
<1층 평면도>



<2층 평면도>



<3층 평면도>



<4층 평면도>

CONCLUSION

경제성 분석

재료명	규격	개수	단가 [백만원]	비용 [백만원]
MDF Base (기초판)	400mm x 400mm x 6mm	1	-	-
MDF Strip	600mm x 4mm x 6mm	48	10	480
MDF Plate	200mm x 200mm x 6mm	3	100	300
면줄	600mm	1	10	10
A4지	A4	1	10	10
접착제	20g	2	200	400
총합				1200 [백만원]

- ✓ MDF Plate를 가공해서 구조부재로 사용
- ✓ Plate 대신 선형부재 Strip으로 Slab를 구성

→ 비용 절감으로 인한 경제성 확보

CONCLUSION

시공성 분석



조선대학교 건축공학과 Builders

THANK YOU
HAVE A NICE DAY!

절점 강성 조절을 통한 내진 구조물 