KNU 강원대학교

2019 구조물 내진설계 경진대회

[목표성능 수준을 고려한 구조물의 내진 설계]

강원대학교 건축공학과

F.L.E.X.

주최 지진방재연구센터 후원 행정안전부 국토교통부 국립재난안전연구원 산학협동재단 국립재난안전연구원 KAIA 국토교통과학기술진흥원 국토교통연구인프라운영원 BRITISH COUNCIL 협찬 MTS ORB ktl Swic 사단법인 한국면진재료협회 사단법인 한국건축구조기술사회

팀 소개

F oundation
L essen
E arthquake
X(acc) eleration

"기초가 지진 가속도를 줄이다"

김태완 교수님

지도교수

김 진 영 (팀장)	손 승 환	이 희 섭	조 창 희
팀장 총괄 마이다스 구조해석	안정성 검토 부재상세 설계 자료조사	규정분석 개선책 제안 이론정리	3D모델링 도면제작 경제성/시공성검토

KNU 강원대학교

목 차

1. 분석 및 방향성 설정
- 규정 분석
- 설계 방향
- 물성치 분석
- 기둥 단면 선정

2. 구조물 검토
- 구조설계 및 분석
- 설계스펙트럼
- 안전성 검토
- 실험 및 개선

3. 설계 도서
- CAD 도 면 & 3D 모델링
- 내역서
- 공정표

KNU 강원대학교

1. 분석 및 방향성 설정

- 규정 분석

대회 규정

- 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
- 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재 강도 평가 능력
- 500년 빈도 지진발생 시 기능수행 수준 내진설계
- 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴 방지 수준 내진설계
- 설계 지진 초과 시 구조물의 파괴 유도하는 정밀한 설계
- 시공성과 경제성을 고려하고 구조물의 아름다움을 추구하는 설계
- 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성 기술

국민안전처 기준 (내진설계기준 공통사항)

① 기능수행

'기능수행' 수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 경미하여 그 구조물이나 시설물의 기능이 유지될 수 있는 성능 수준을 말한다.

② 붕괴방지

'붕괴방지' 수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 매우 큰 손상 이 발생할 수는 있지만 구조물이나 시설물의 붕괴로 인한 대규모 피해를 방지하고, 인명 피해를 최소화하는 성능수준을 말한다.

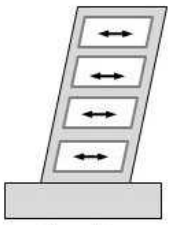
KNU 강원대학교

1. 분석 및 방향성 설정

- 설계 방향

✓ **내진**

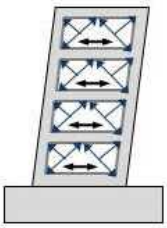
구조물의 내구성을 높여
지진하중을 버텨주는
시스템



<내진구조>

제진

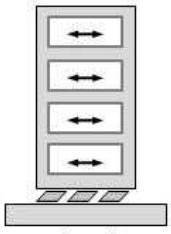
구조물에 전달되는
지진하중의 에너지를
감쇠시켜 저항하는 시스템



<제진구조>

✓ **면진**

지진하중의 에너지가
구조물에 직접 전달 되는 것을
막는 시스템



<면진구조>

내진 설계

-> 강성이 증가

-> 고유주기가 짧아짐

면진 설계

-> 고유주기가 길어짐

구조물의 강성을 충분하게
확보하면서 적절하게
구조물의 주기를 조절

KNU 강원대학교

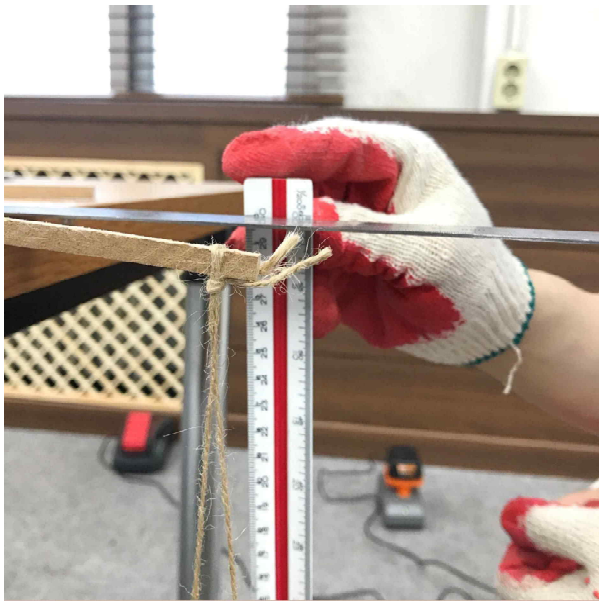
1. 분석 및 방향성 설정

- 물성치 분석

탄성계수 측정

무게 (g)	하중 (N)	길이 (mm)	단위 (mm)	단면2차모멘트 (mm^4)	탄성계수 (MPa)
50	0.49	150	9.67	72	2,375.3
100	0.98	150	19.2	72	2,392.6
149	1.46	150	27.8	72	2,462.1
199	1.95	150	38.7	72	2,362.2
245	2.40	150	47.8	72	2,354.5

평균 탄성계수 : 2389.3MPa



KNU 강원대학교

1. 분석 및 방향성 설정

- 물성치 분석

휨 강도 측정

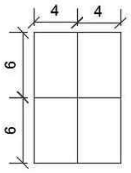
무게(g)	P_{max} (N)	길이 (mm)	b (mm)	h (mm)	M_{max} (kN·m)	휨 강도 (MPa)
4,803	47.1	200	4	6	2,353.47	24.51
4,871	47.7	200	4	6	2,386.79	24.86
4,782	46.9	200	4	6	2,343.18	24.41
4,926	48.3	200	4	6	2,413.74	25.14
4,778	45.9	200	4	6	2,295.16	23.91

평균 휨 강도 : 24.57MPa

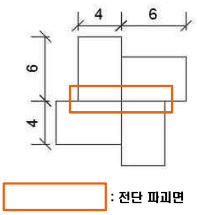
KNU 강원대학교

1. 분석 및 방향성 설정

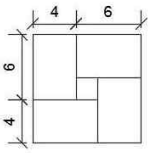
- 기둥 단면 선정



$$I_x = \frac{8\times12^3}{12} = 1{,}152m\,m^4$$
$$I_y = \frac{12\times8^3}{12} = 514m\,m^4$$



$$I_x = \left(\frac{6\times4^3}{12} + 6\times4\times3^2\right) + \left(\frac{4\times6^3}{12} + 6\times4\times2^2\right)$$
$$+ \left(\frac{6\times4^3}{12} + 4\times6\times3^2\right) + \left(\frac{4\times6^3}{12} + 4\times6\times2^2\right) = 832m\,m^4$$
$$I_y = \left(\frac{6\times4^3}{12} + 6\times4\times3^2\right) + \left(\frac{4\times6^3}{12} + 6\times4\times2^2\right)$$
$$+ \left(\frac{6\times4^3}{12} + 4\times6\times3^2\right) + \left(\frac{4\times6^3}{12} + 4\times6\times2^2\right) = 832m\,m^4$$



$$I_x = \frac{10\times10^3}{12} - \frac{2\times2^3}{12} = 832m\,m^4$$
$$I_y = \frac{10\times10^3}{12} - \frac{2\times2^3}{12} = 832m\,m^4$$

결론

- 세 단면의 단면적은 모두 $96m\,m^2$로 동일
- 첫 번째 단면은 두 개의 축이 편심거리가 다름
- 두 번째 단면은 전단 파괴면이 한 면으로 연결됨

→ 세 번째 단면 채택

KNU 강원대학교

2. 구조물 검토

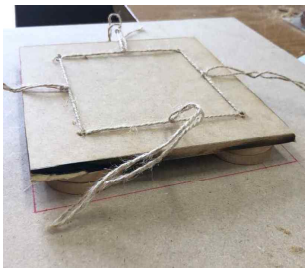
- 구조 설계 및 분석

외부 구조물

지진에 의한 수평 하중의 경우
외부 골조에 수평 변위를
감소 시킬 수 있는 가새를
설치하여 횡력에 저항하고
외부 기둥을 통해 지반에 전달.

내부 코어

가새 없이 기둥과 보만으로
수직 하중과 수평 하중을 지탱



면진 구조

구조물과 지반과의 분리

⬇

면진 장치 작동

⬇

- 건물의 최대 가속도 감소
- 건물의 주기가 길어짐
- 지진 발생시 상부구조의 지진반응 감소

KNU 강원대학교

2. 구조물 검토

- 설계 스펙트럼 분석

유효수평지반가속도 [S] = $S = Z \times I$ ➡

- 500년 재현주기

유효수평지반가속도 (S_{500}) = 0.297

- 2400년 재현주기

유효수평지반가속도 (S_{2400}) = 0.594

지진구역	지진 구역 계수(Z)
Ⅰ	0.11g
Ⅱ	0.07g

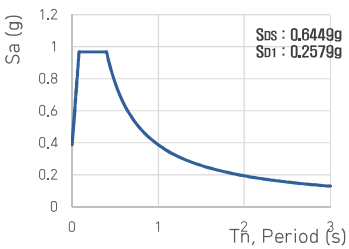
- 지반종류 : S_2(얕고 단단한 지반)
- 지진구역 : Ⅰ
- 지진구역 계수 (Z) = 0.11g
- 위험도계수 (I) = 500년, 2400년 재현주기

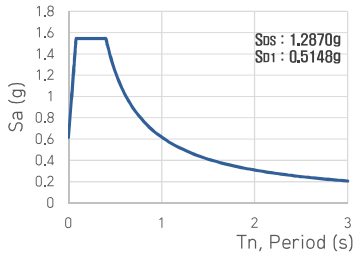
재현주기	위험도계수(I)					
	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년
위험도계수(I)	1.0	1.5	2.0	2.7	3.8	5.4

➡ 위험도 계수 (I)의 경우 본 대회에서 임의로 선정한 것을 사용

설계지진 재현주기(년)	내진성능수준			
	기능수행	즉시복구	장기복구/ 인명보호	붕괴방지
500	내진특등급	내진특등급	내진특등급	
2400				내진특등급

➡ 내진성능수준에 부합하도록 **내진특등급**으로 설계





EIGENVALUE ANALYSIS

Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
1	44.5725	7.0939	0.1410	1.9460e-025
2	44.5725	7.0939	0.1410	1.9460e-025
3	56.7121	9.0260	0.1108	1.9460e-025
4	129.7531	20.6508	0.0484	1.9460e-025
5	129.7531	20.6508	0.0484	1.9460e-025
6	194.7630	30.9975	0.0323	1.9460e-025
7	223.5112	35.5729	0.0281	1.9460e-025
8	223.5112	35.5729	0.0281	1.9460e-025
9	278.5624	44.3346	0.0226	1.9460e-025
10	358.6345	57.0785	0.0175	1.9460e-025

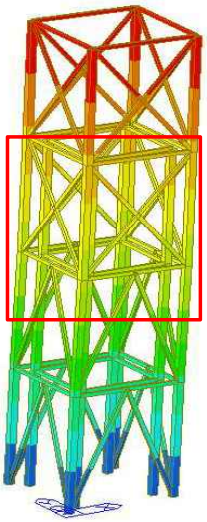
➡ **건축물의 고유주기**
0.1410(sec)

KNU 강원대학교

2. 구조물 검토

- 안정성 검토

- 건축물 거동 확인

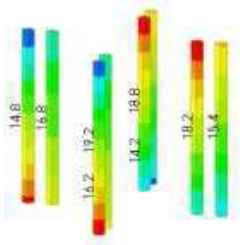


구조물의 층간 변위는
2층과 3층 사이에서
많이 발생하는 것으로 확인

- 허용기준 만족 여부 확인

허용기준
부재 : MDF의 휨 강도 실험을 통한 **휨 응력 : 24.57**

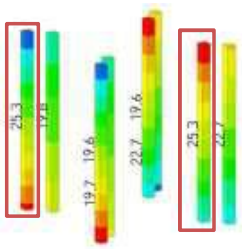
- 500년 재현주기



→ 구조물 3층의 응력 < 24.57

구조물의 부재가 파괴되지 않으므로
500년 재현주기에 기능수행 성능목표 만족

- 2400년 재현주기

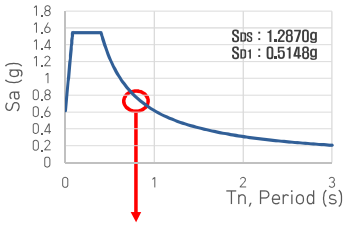


→ 구조물 3층의 응력 > 24.57

구조물의 2개 부재에서 파괴
2400년 재현주기에 붕괴방지 성능목표 만족

대회 기준
지진 가속도별 최고 가점 : 0.7g

2400년 재현주기 설계 스펙트럼

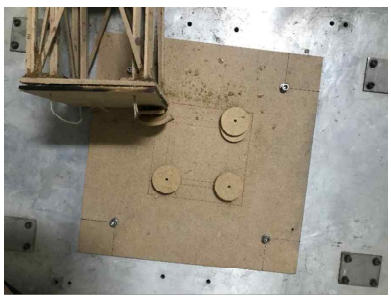


대회기준 0.7g 파괴에 맞는 구조물 설계

KNU 강원대학교

2. 구조물 검토

- 실험 및 개선



건물의 강성은 만족

But! 면진 장치 부분 파괴

→

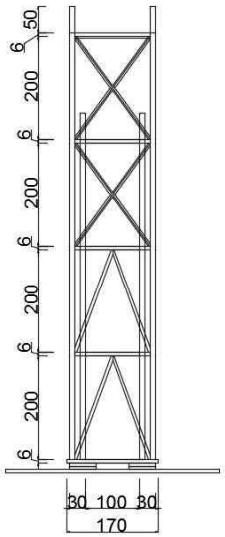
전도 방지 케이블
&
면줄 두께 증가

KNU 강원대학교

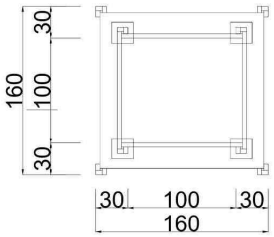
3. 설계도서

- CAD 도면

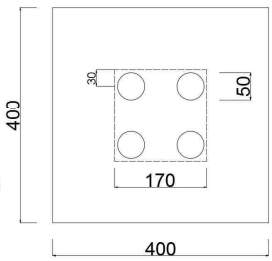
• 정면도

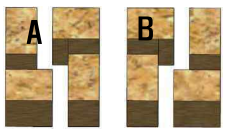


• 평면도

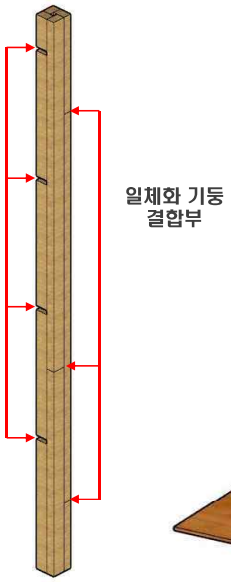


• 바닥판 & 면진구조





- 3D 모델링



KNU 강원대학교

3. 설계도서

- 내역서

STRIP 산출 내역

구분	길이 (mm)	수량 (개)	MDF Strip (개)	나머지 (mm x 개)
기둥	600	12	12	-
	394	8	8	206 x 8
	350	8	8	250 x 8
	200	4	0(206 x 4)	-
	194	36	4(393 x 16)	406 x 4
	150	4	0(206 x 4)	56 x 4
	112	8	0(406 x 4)	182 x 4
	106	4	1	176 x 1
	56	16	1(182 x 3)	376 x 1
	50	4	0(56 x 4)	-
보	112	12	12	488 x 12
	207	16	16	393 x 16
가새	240	32	0(488 x 12 + 250 x 8)	-

물량 산출 내역

재료명	총 수량(개)	단가(백만)	비용(백만)	총액 (백만)
MDF Strip	62	10	620	1,960
MDF Plate	4(슬라브)	100	600	
	2(면진기초)			
면줄	14	10	140	
A4 지	-	10	-	
접착제	3	200	600	

총액 1,960(백만) 예상

KNU 강원대학교

3. 설계도서

- 공정표

공정 목록	소요시간								
	0시간			1시간			2시간		
	20분	40분	60분	20분	40분	60분	20분	40분	60분
Base 천공									가공팀
슬래브 및 보강재 제작									조립팀
슬래브 및 보강재 천공									전체
보, 가새 제작									
기둥 및 면진장치 제작									
내부기둥 및 슬래브 설치									
외부기둥 설치, 기초·구조물 결합									
기본 골조 완성									
하중블록 설치									
가새 설치									
최종완성									

약 2시간 30분 소요 예상

KNU 강원대학교