

>> 팀 소개

단국대학교 B.G.S.

단국대 건축공학과 4학년 학생들이 모인 팀입니다. 그 동안 대학에서 배운 지식을 바탕으로 내진 설계에 대해 다시 한번 고찰해 볼 수 있는 기회를 가지고 싶습니다. 현재 단국대학교 민경원 교수님의 지도를 받으면서 이번 대회를 준비하고 있습니다. 졸업 전에 좋은 추억으로 남을 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

민경원 : 지도 교수

이상현 : 팀장, 총괄

조윤진 : MIDAS GEN 해석

신윤수 : 설계 및 해석

유보람 : 구조물 모델링

2015 SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST

구조물 내진설계 경진대회 제안서

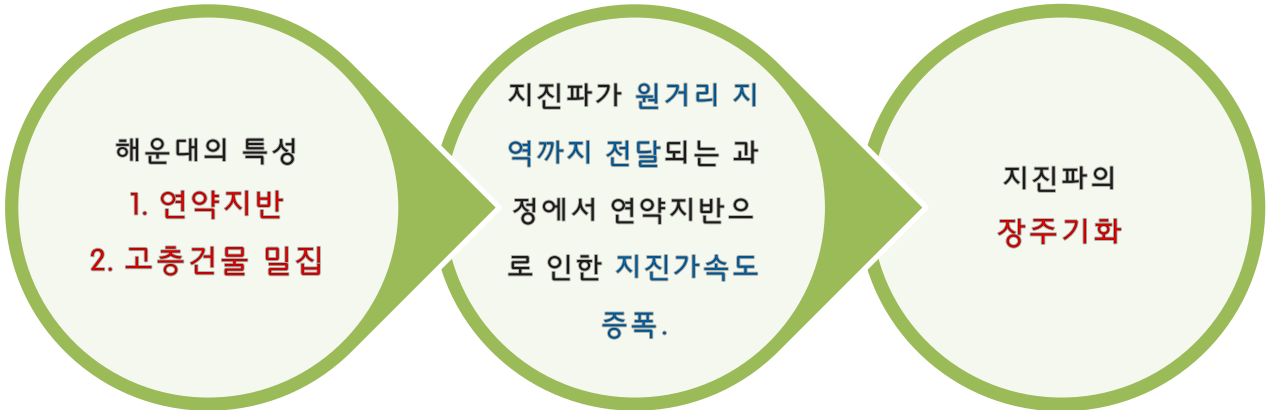
〈초고층 건축물의 내진설계〉

>> 지반 조사

現場觀察記錄					
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	土質記號	土質名 色調 觀察
1	45.17	0.8	0.8	자갈질 모래층	자갈, 암편, 중, 조립질 모래로 구성 (매립)
2				호박돌	자갈, 전석질인 호박돌층
3					안산암절암의 호박돌, 전석으로 구성
4					호박돌 크기 $\phi 30 \sim 40 \text{cm}$
5	41.07	4.9	4.1		굴진시간 6시간 10분 매우조밀 (비적층)
6					점토, 모래질인 실트층
7					완전점토화
8					모암의 조직, 구조잔존
9					습윤
10					조밀 내지 매우조밀
11					
12				점토	점토
13				점토	점토
14				점토	점토
15				점토	점토
16				점토	점토
17				점토	점토
18	27.57	18.4	13.5		시추 종료 : 18.4m

<해운대 지반 시추주상도>

발행정보한국토지주택공사, 지반조사 보고서: "93 건설 부산 해운대(4-1, 2, 3, 4 및 12-3, 4블럭)지구", 1993년, 부록1

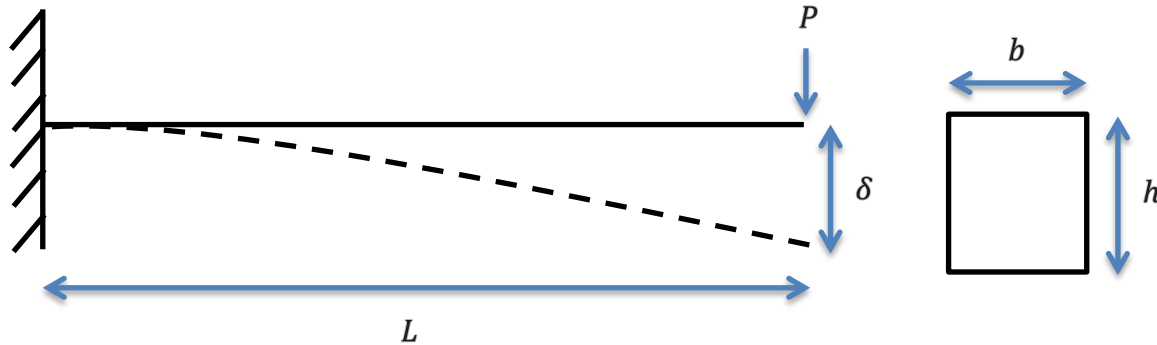


해운대 지역의 초고층 건물에 장주기 특성의 지진파가 도달

연약지반으로 인하여 높은 가속도 응답증폭이 발생

피해 발생 가능성이 높으므로 내진 설계가 필요!

>> 물성 실험(모의)



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

$$E = \frac{PL^3}{3\delta I} = \frac{PL^3}{3\delta \left(\frac{bh^3}{12}\right)} = \frac{PL^3}{\frac{bh^3}{4}\delta}$$

물성 실험을 통한 탄성계수 도출로 MIDAS GEN 시뮬레이션을 시행하였다.

그러나 본 대회 1차 모집에는 **재료 샘플이 배부되지 않는다.**

그러므로 작년 대회 자료를 참고하여 **MDF 탄성계수를 2000MPa**로 임의 설정.

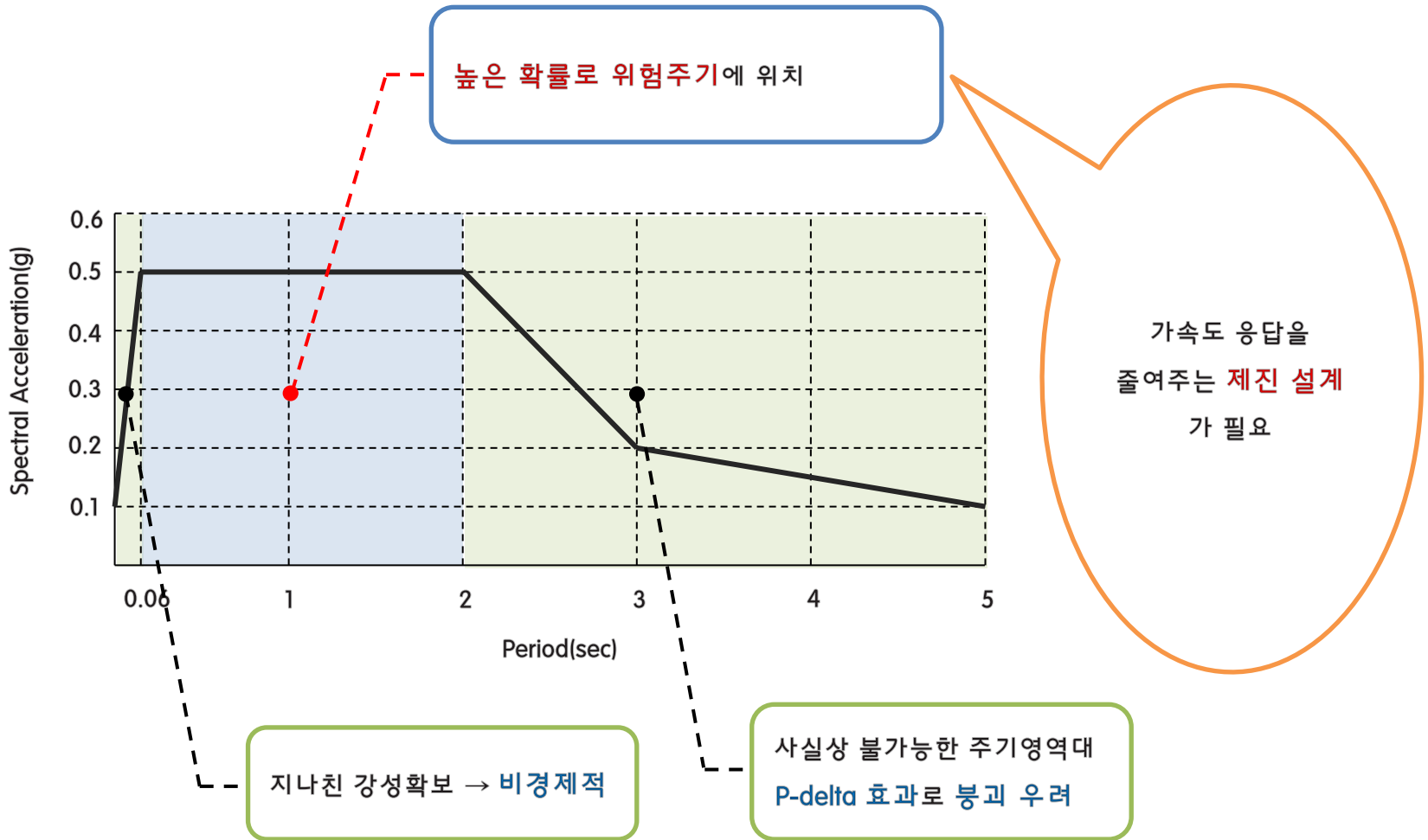
추후에 2차 모집에서 배부된 재료 샘플을 토대로 **물성 실험을 시행 예정**이다.



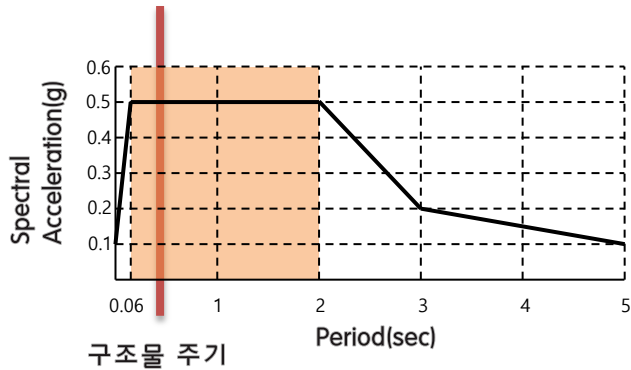
<레이저 변위계를 이용한
모의 재료 물성 실험>

>> 스펙트럼 분석

- 대회 규정 스펙트럼 주기대별 분석



» 기준 지진파 선정



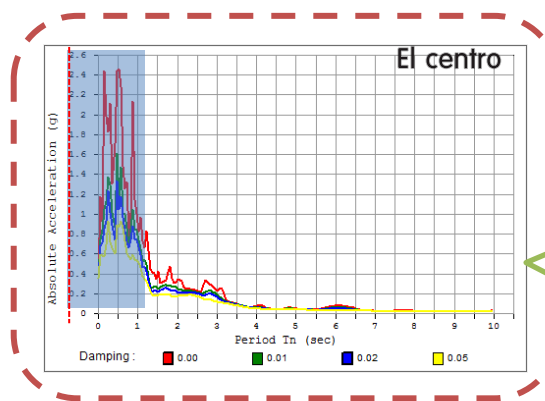
지진파 적용 이유

1. 시간이력해석

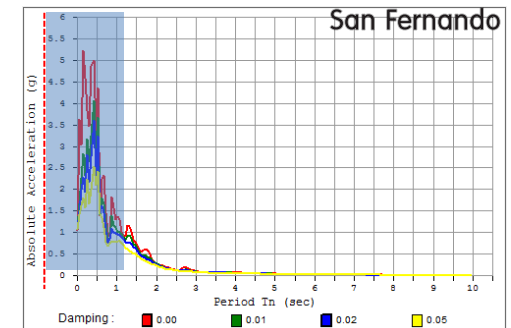
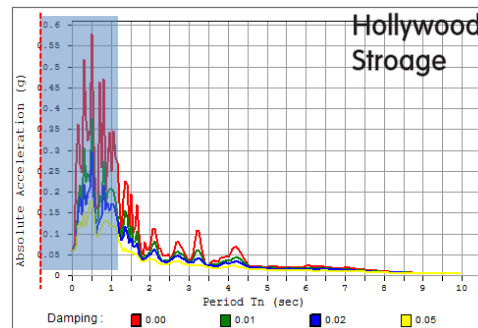
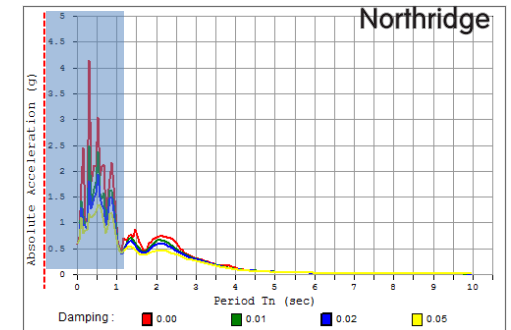
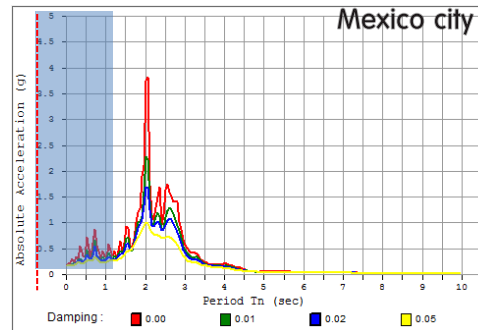
- 가속도이력을 파악하여 추후 제진장치 적용 시 효율 판단

2. 설계가속도스펙트럼의 Peak값 0.5g

- 평균값이기 때문에 더 큰 Peak가 적용될 가능성 있음
- 안전한 설계를 위해서 0.5g 이상의 지진파를 적용


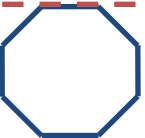
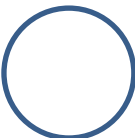


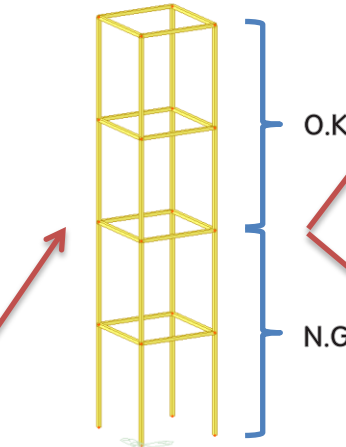
설계되는 구조물의 실제주기에서 큰 절대가속도값을 보임.
현실적인 설계를 위해 **감쇠비를 2%로 가정**



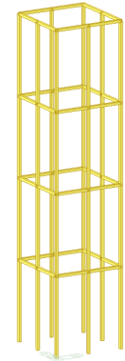
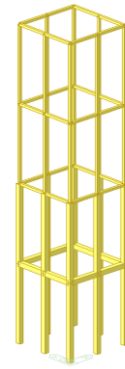
중력 저항 설계 : 기둥

면적이 30000mm^2 인 각 도형의 단면2차모멘트 (I_x, I_y, I_{xy})를 산정해보았다. 그 결과, 단면2차모멘트가 가장 크고 제작도 쉬운 **사각형**을 선택하게 되었다.

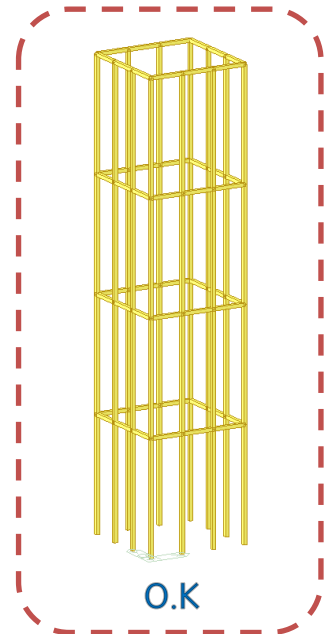
	단면2차모멘트	제작난이도
 <사각형>	$7.5 \times 10^7 \text{mm}^4$	쉬움
 <팔각형>	$7.1 \times 10^7 \text{mm}^4$	보통
 <원>	$7.0 \times 10^7 \text{mm}^4$	어려움



선정된 단면에 따라 골조를 제작하였으나 하부구조가 N.G.로 나타났다. 해결방안으로 1. 부재의 두께를 증가하는 안과 2. 부재의 수를 늘리는 안을 비교하였다.

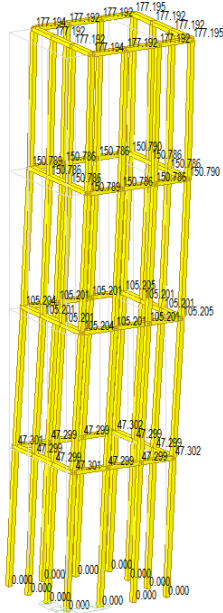


1. 부재의 두께 ↑
 기둥 두께 지나치게 커짐
 기둥 일체화 시공 불가능
 비경제적, 제작이 어려움



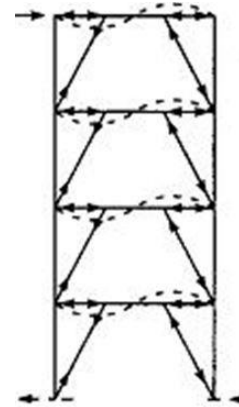
2. 부재의 수 ↑
 세장한 부재로도 중력하중에 저항 가능
 상부구조 합리적 설계 가능, 경제적
 적재하중에 따라 3,4층 기둥의 단면적을 줄여 보았으나, P-M상관도 확인 결과 휨 저항력이 부족

≫ 횡력 저항 설계 : 가새(1)

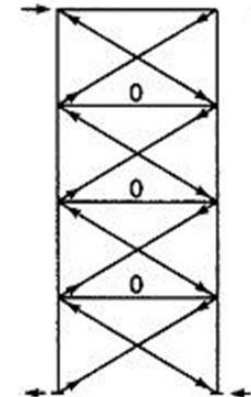


중력 저항 설계된 모델을 대상으로 MIDAS GEN을 이용하여 Et centro 지진파를 가진한 후, 층간 변위를 검토하였다. 검토 결과 4 개 층 전 구간에서 N.G로 나타났고, 횡변위 저감대책이 필요한 것을 알 수 있다.

그러므로, 횡변위 저감책으로 가새 설계를 시행하였다.



<편심가새>



<중심가새>

Load Case	Story	Story Height (mm)	Allowable Story Drift Ratio	Time/Step (sec)	Story Drift (mm)	Modified Drift (mm)	Story Drift Ratio	Remark
RMC=Not Used, Cd=1, Ie=1.5, Scale Factor=1, Allowable Ratio=0.015 Press right mouse button and click 'Set Story Drift Parameters...' menu to change RMC or Cd/Ie/Scale Factor/Allowable Ratio!								
TH(max)	4F	200.00	0.0150	5.1200	28.1087	18.7391	0.0937	NG
TH(max)	3F	200.00	0.0150	4.2700	45.6170	30.4114	0.1521	NG
TH(max)	2F	200.00	0.0150	4.2600	57.9209	38.6139	0.1931	NG
TH(max)	1F	200.00	0.0150	4.2500	47.2990	31.5327	0.1577	NG

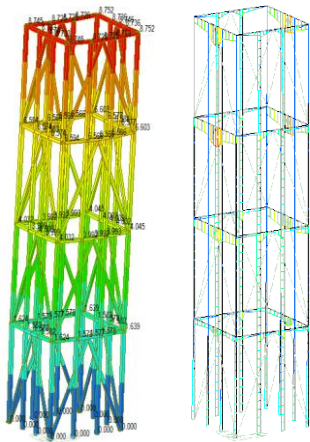
MDF의 정확한 물성을 파악할 수 없으므로 감쇠비는 안전상 2%를 가정하고 해석

층간변위 검토
모든 층 N.G.

튜브구조 특성상 스펀드럴 보에 힘의 전달이 최소화 되어야 한다. 그렇기 때문에 편심가새보다 중심가새가 더 유리하다.

≫ 횡력 저항 설계 : 가새(2)

앞 장에서 선정한 중심 가새 중, \wedge 형 가새와 X형 가새가 튜브 구조물의 거동에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 MIDAS GEN을 통해 해석을 수행하였다.

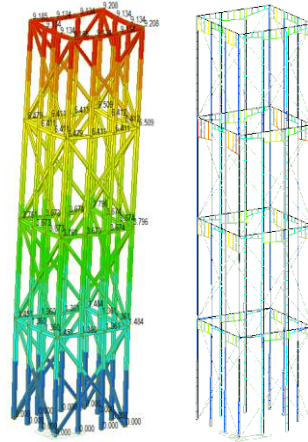


Mode No	Frequency		Period (sec)	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)		
1	35.6594	5.6754	0.1762	3.9985e-062
2	35.7114	5.6836	0.1759	5.1609e-062
3	59.7263	9.5057	0.1052	1.4113e-057
4	112.5427	17.9117	0.0556	6.8645e-050
5	113.2599	18.0259	0.0555	1.7908e-050

< \wedge 형 가새 >

최대 횡변위 : 8.7mm

고유주기 : 0.17s

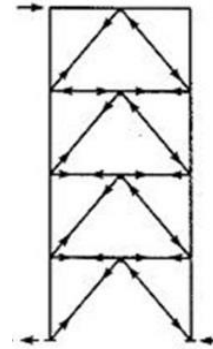


Mode No	Frequency		Period (sec)	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)		
1	36.7217	5.8444	0.1711	3.7892e-066
2	36.9031	5.8733	0.1703	3.2097e-066
3	89.8507	14.3002	0.0699	2.4686e-057
4	156.6242	24.9275	0.0401	1.3522e-049
5	156.8590	24.9649	0.0401	2.5626e-050

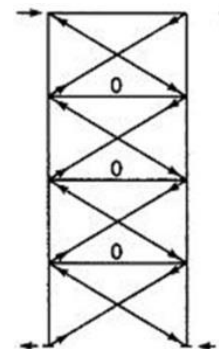
< X형 가새 >

최대 횡변위 : 9.1mm

고유주기 : 0.17s



< \wedge 형 가새 >



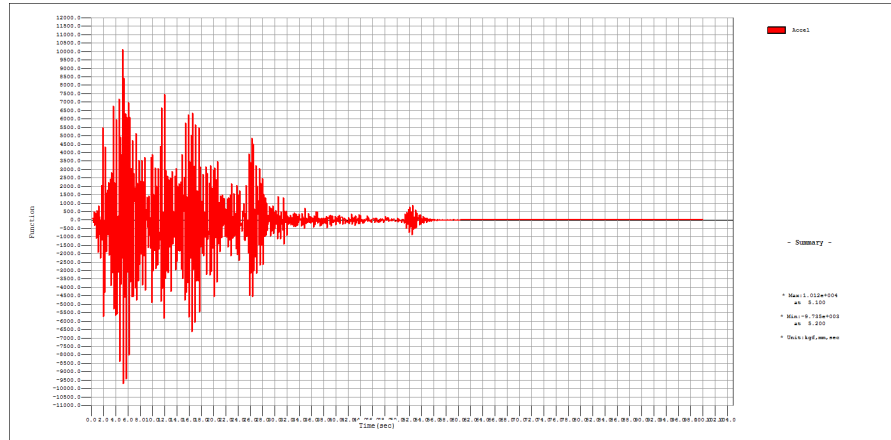
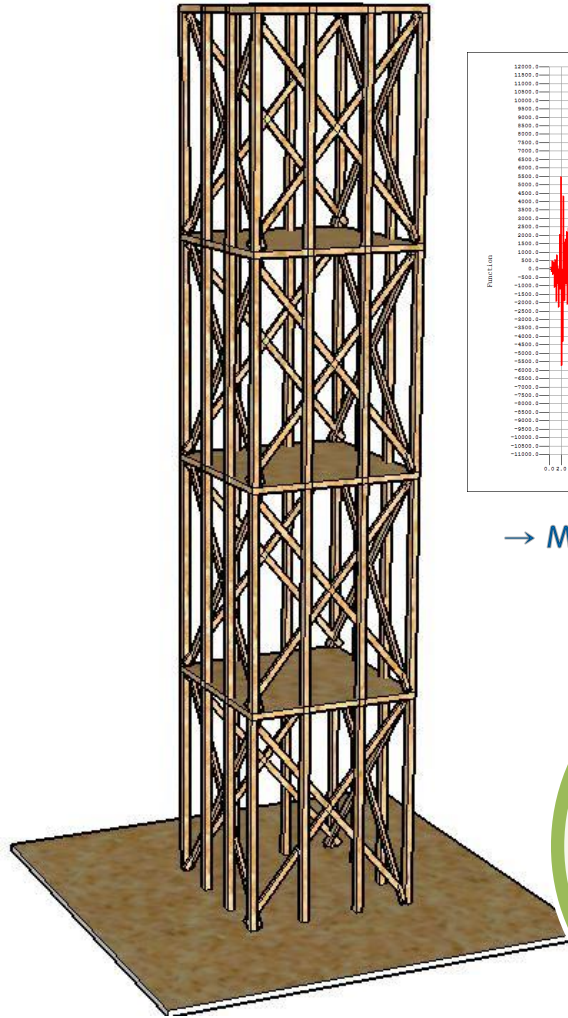
< X형 가새 >

횡력에 저항하는 성능은 \wedge 형 가새가 더 좋다. 하지만 X형 가새는 1) 튜브구조의 스펙드럴보에 발생하는 축방향이 미소하고, 2) 전단지연 완화효과 측면에서 더 유리하다.

층간변위 검토 OK

Load Case	Story	Story Height (mm)	Allowable Story Drift Ratio	Time/Step (sec)	Story Drift (mm)	Modified Drift (mm)	Story Drift Ratio	mark
RMC=Not Used, Cd=1, Ie=1.5, Scale Factor=1, Allowable Ratio=0.015 Press right mouse button and click 'Set Story Drift Parameters...' menu to change RMC or Cd/Ie/Scale Factor/Allowable Ratio!								
TH(max)	4F	200.00	0.0150	4.6700	2.7232	1.8155	0.0091	OK
TH(max)	5F	200.00	0.0150	4.6700	2.7472	1.8314	0.0092	OK
TH(max)	2F	200.00	0.0150	4.6700	2.3148	1.5432	0.0077	OK
TH(max)	1F	200.00	0.0150	4.6600	1.3587	0.9058	0.0045	OK

>> 제진 장치의 필요성 : 가속도 이력 분석



→ Max : 1.03g at 5.1s

선정한 El centro
지진파를 가진하고, 감
쇠비 2%를 가정하여 설
계된 구조물의 가속도
이력을 MIDAS GEN을 통
하여 분석해보았다.

설계한 구조물의
가속도 이력 분석

변위는 규정에 만족
하나 고강성 재료로
인하여 과도한 가속
도 응답

가속도 응답을 줄여
줄 제진 장치 필요

>> 제진 장치(1) : 동조질량감쇠기

(1) 진자 길이

구조체 1차모드 고유주기 = 진자 주기

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\begin{aligned} \therefore l &= \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 g = \left(\frac{0.17}{2\pi}\right)^2 (9.8) \\ &= 7.10\text{mm} \end{aligned}$$

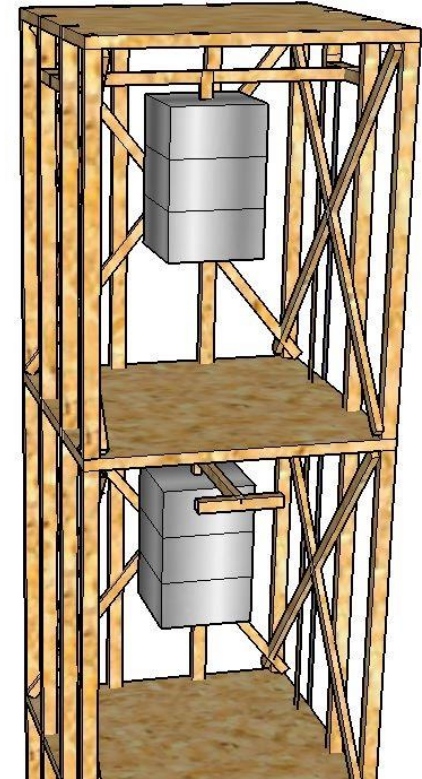
(2) 질량체

질량비 $\mu = 0.1$ 이라 가정

1차모드 참여질량 $m = 24.5\text{kg} \cdot 65.0\% = 15.9\text{kg}$

$\therefore m_{TMD} = \mu m = 0.1 \times 15.9\text{kg} = 1.59\text{kg}$

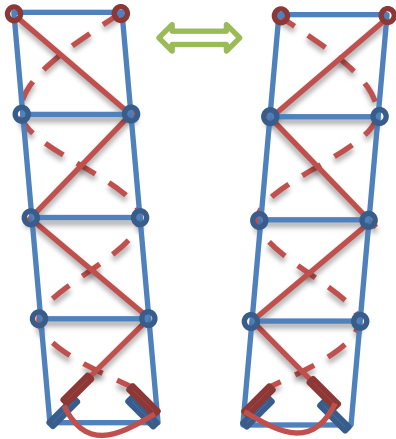
※ 구조물의 3, 4층에 각각 X방향 Y방향으로 거동하는 TMD를 따로 설치



* MDF의 중량을 0.8g/cm^3 으로 가정한 시뮬레이션 결과이므로 실제 대회에서 사용되는 MDF와 다를 수 있다.

** 고유주기는 MDF의 탄성계수가 2000MPa 로 설정한 후 가새를 제외한 전 부재가 강접합 되어있다는 가정하에 얻은 해석 값으로, 실제 모형의 시공 방법에 따라 차이가 발생할 수 있다.

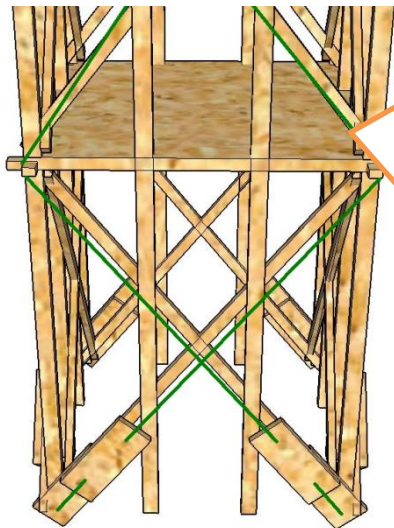
>> 제진 장치(2) : Wire Friction Damper



<Wire Friction Damper의 거동 개략도>

Wire Friction Damper :

구조물의 입면에서 면줄 두 개를 최상부 모서리의 양 끝에 각각 고정한다. 그리고 각 층 모서리 양 끝으로 면줄이 엇갈리게 내려오면서 최하층까지 연결한다. 이때 모서리 양끝에 연결된 면줄은 고정하지 않고 구조물의 거동에 따라 움직일 수 있도록 엮어만 준다. 최하층까지 엮어진 면줄의 끝은 MDF 부재와 연결된다. 구조물이 거동 하면서, 입면 전체에 연결된 면줄과 함께 MDF 부재가 운동성을 가지게 된다. 이 운동성을 가지게 된 부재는 최하부 바닥에 설치된 또 다른 MDF와 마찰을 일으키게 되며 댐퍼로서 역할을 하게 된다.

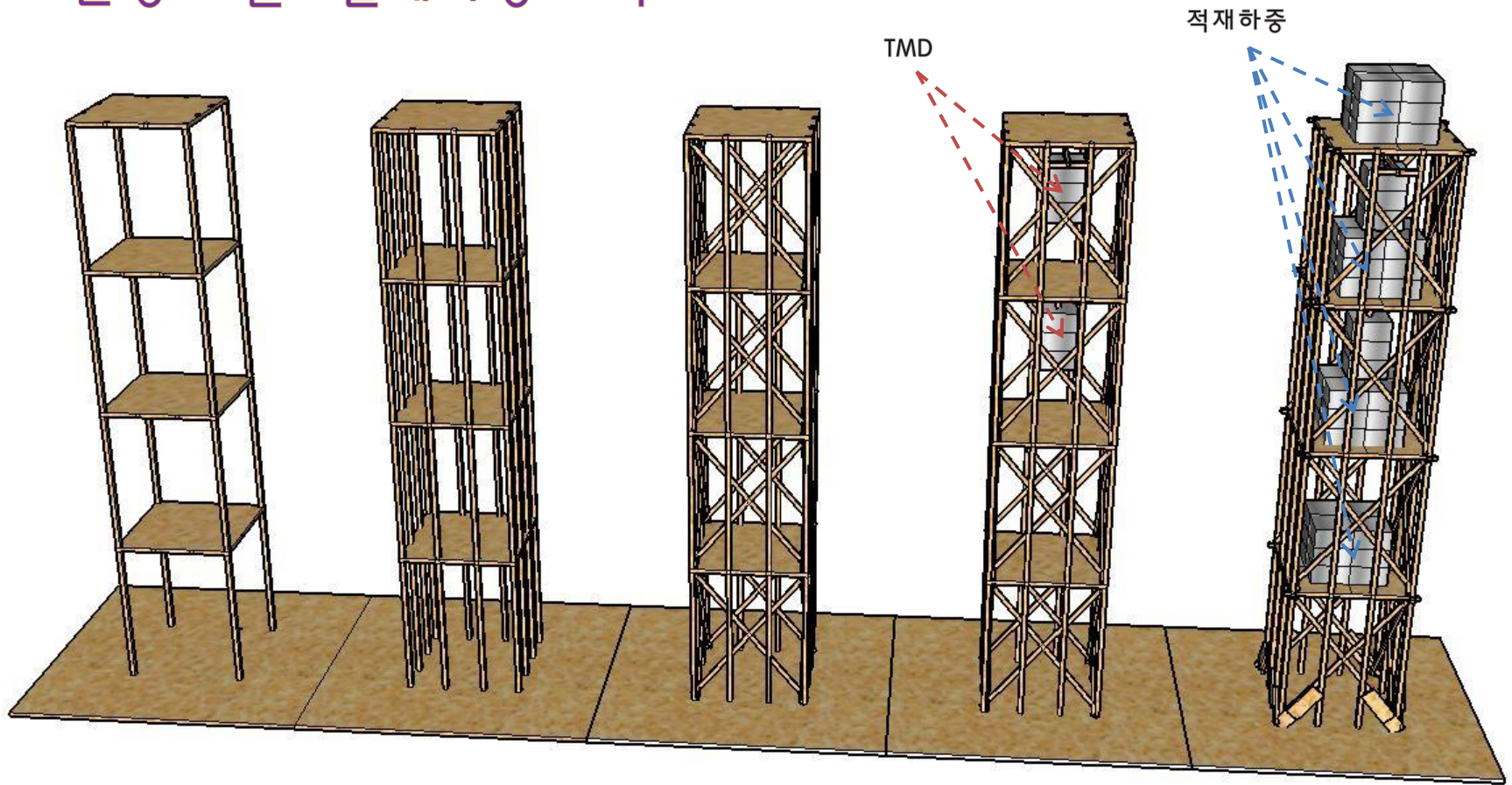


입면 전체를 감싸는 와이어와 각 층의 모서리 부분이 마찰을 일으키며 변위 저감 효과가 기대되고, 최하층 바닥의 MDF 부재끼리 마찰을 일으키며 댐퍼로서의 효율도 기대해볼 수 있다.



본 제안은 창작 기술이므로 MIDAS GEN 시뮬레이션이 불가능하다. 그러므로 추후에 직접 모델을 제작하여 효율을 분석해 볼 예정이다. 본 교동역학 연구실의 진동대로 El centro 지진파를 구현할 계획이다.

» 완성 모델 : 설계과정 요약



단면 설계
: 사각형

기둥 설계
(중력 저항)

X형 가새 설계
(횡력 저항)

제진 장치 (1)
: TMD

제진 장치 (2)
: Wire Friction
Damper

» 적산 : 비용 산출

1. 소요 물량 산출 내역

구분	단위 규격	길이	소요 개수 (EA)	총 소요 물량 (EA)
기둥 (MDF strip)	600mm x 6mm x 4mm	194mm	96	32
x형 가새 (MDF strip)	600mm x 6mm x 4mm	245mm	32	16
slab (MDF plate)	200mm x 200mm x 6mm		4	4
wire friction 댐퍼 (면줄)	600mm	600mm	16	16

2. 소요 비용 산출 내역

구분	총 소요 물량 (EA)	구입단가 (백만원)	소요비용 (백만원)	합계 (백만원)
MDF strip	48	10	480	
MDF plate	4	100	400	
면줄	16	10	160	
접착제	1	200	200	
				1,240