

INNOSYS <INNOvative Structure sYStem>

- 부산대학교 건축공학과 구조동아리 -



INNOSYS는 부산대학교 건축공학과 구조 동아리로서 혁신적인 구조시스템을 뜻하며 건축구조에 대한 기본 개념을 바탕으로 창의적인 아이디어를 접목시켜 혁신적, 기능적인 구조 시스템을 개발하는데 이번 대회 목적을 가지고 있습니다.

지도교수님 : 부산대학교 건축공학과

이상호 교수님

김철민(3)

- 전체적인 구조물 형태 결정
- 구조설계분석 및 피드백
- 구조물의 경제성 및 시공성 검토

오지현(3)

- 지진파 분석 및 해석
- 구조물의 최적 주기 산정
- 재료의 물성치 측정 및 분석

하희수(4)

- 구조해석Modeling
- 구조물 안전성 검토 및 분석
- 건물의 내진능력 검토

한원빈(4)

- 평면 및 입면형태 결정
- 3D Modeling
- Damper 구현

2015 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2015

- 초고층 건물은 지진에 과연 안전한가?!



주최 :  **지진방재연구센터**
SEISMIC SIMULATION TEST CENTER

후원



협찬  **ktl 한국산업기술시험원**
SGS MTS DRB

Table of Contents

Part 1. 대회 Prologue

- ✓ Prologue
- ✓ 대회 규정 분석

Part 3. 내진설계

- ✓ 평면형태 설계
- ✓ 내부골조 설계
- ✓ 외부골조 설계
- ✓ 내-외부 연결부 설계
- ✓ 전체 구조물 해석

Part 2. 재료 및 지진파 분석

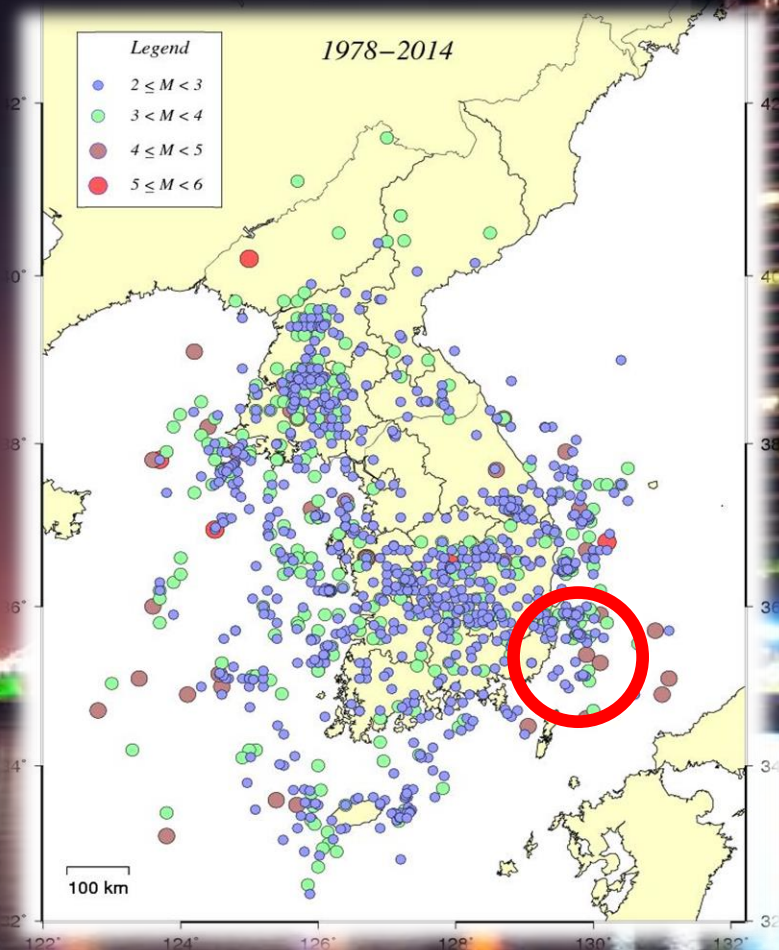
- ✓ 재료 물성치 분석
- ✓ 지진파 분석

Part 4. 결론

- ✓ FeedBack
- ✓ 최종 구조물
- ✓ 기타 IDEA



The Prologue



해운대, 장주기 지진을 이겨라 !!

여름철 해운대로 몰려드는 인파는 매일 평균 100만 명이다. 해안가의 경우 육지보다 강진이 발생할 가능성이 높으며 특히 해운대 같은 연약지반에 지진이 발생할 경우 장주기화 될 가능성이 있다. 때문에 100만 인파를 지킬 수 있도록 초고층건물의 내진설계가 필요하다.

구조물 제작 및 심사기준의 착안점

- ① 금번 대회의 목표 구조물은 **세장비가 큰 장주기형 초고층 건물**입니다.
- ① 그러나 이들 **초고층 건물**은 대부분 장주기성 진동 특성을 가지기 때문에 **장주기성 지진파에는 취약한 단점이 있습니다.**
- ② **연약한 지반 특성에 의해 지진파가 증폭되고 장주기화 될 가능성이 더욱 높아집니다.**

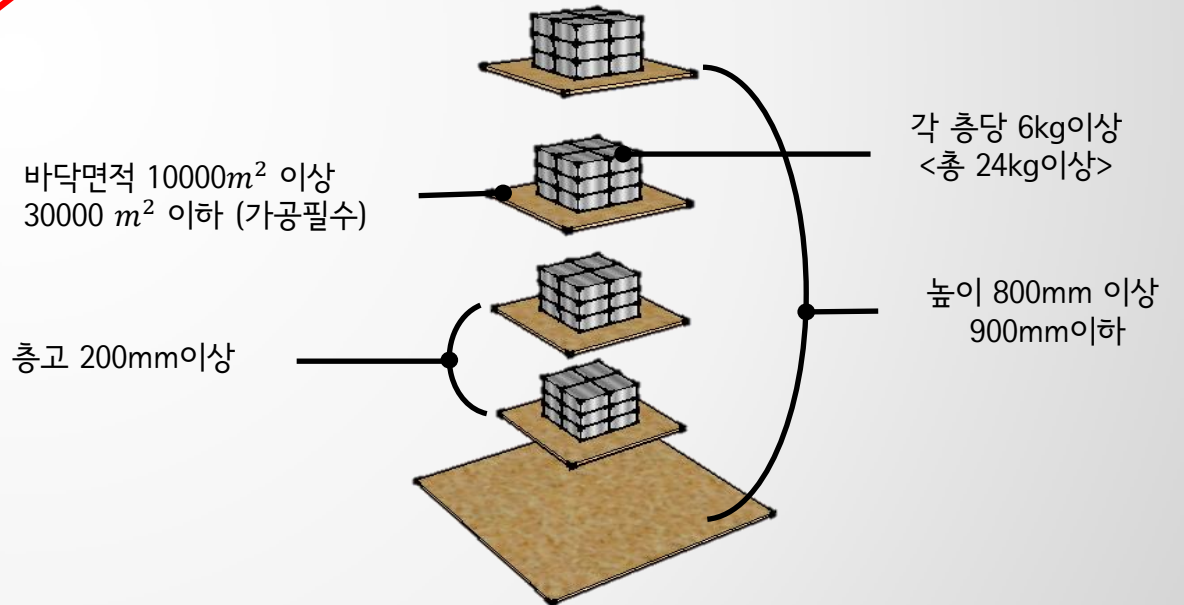
작품 제작 규정

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 기층판은 1층의 바닥면이 되며, 최상층은 견장층 가져야 한다(최상에도 하중물류를 설치해야 함).
 - ② 각 층의 **바닥 면적은 10,000㎠ 이상, 30,000㎠ 이하**이어야 한다. 여기서 바닥 면적의 산정 기준은 **최외각 기둥 부재를 이은 면적으로 정의**한다.
 - ③ 바닥은 반드시 연유 이부고 있을 필요는 없다. 예를 들어 몇 개의 선형 부재(Strip)를 연결한 형태도 가능하다.
 - ④ 각 층의 **높이는 200mm 이상으로, 층 높이가 800mm 이상 900mm 이하**가 되어야 하며, 각 층간은 부딪힐 경계를 가지고 있어야 한다.
 - ⑤ 각 층에는 하중 물류의 낙하를 방지하기 위한 시설이 설치되어야 한다.
 - ⑥ 구조부재의 연결은 제공되는 제작 재료만을 사용하여야 한다.
3. [하중] 하중은 각 층에 **6kg 이상**의 강재 하중물류세트(하중 물류 개당 0.5kg)를 설치하며, **층 24kg 이상**의 하중물류가 설치되어야 한다. 하중물류의 설치는 다음의 규정을 만족하여야 한다.
 - ① 하중물류의 규격은 26mm x 50mm x 50mm(길이x가로x세로)이며, 자유로운 배치가 가능하다.
 - ② 1층 바닥에는 하중물류를 설치하지 않으며, 1층 바닥을 제외한 나머지 층의 바닥면과 최상층 상부면에는 하중물류를 설치하여야 한다. 예를 들어 4층의 모형인 경우, 최소한 6 kg 하중물류세트 4조가 필요하다.

착안점

규정

1. 세장비가 큰 초고층 건물
 - 높은 세장비로 인한 좌굴에 대한 방지가 필요
2. 연약지반에 의한 지진파의 증폭
 - 해운대는 해변가에 위치한 만큼 연약지반이기 때문에 지진이 오면 장주기화 될 가능성이 높으므로 이를 방지해야 함



$$E = \frac{PL^3}{36I} \text{ (캔틸레버보에서 단일하중에 의한 처짐)}$$

$$E = \frac{\text{무게}(kg) \times 9.81m/s^2 \times (100mm)^3}{3 \times \text{변위}(mm) \times 32mm^4}$$

변위 $\delta(mm)$	하중 $P(g)$	탄성계수 $B(N/mm^2 = MPa)$
4	0.47824	1245.417
6	0.83104	1442.778
8.5	1.19364	1462.794
11	1.61994	1534.034
13	2.17854	1745.625
18	2.80084	1620.856
22	3.42804	1623.125

평균 MDF 탄성계수 : 1524.947 MPa

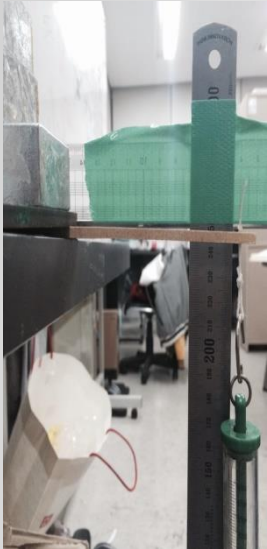
$$F = \mu mg \text{ (마찰력 공식에 의한 값)}$$

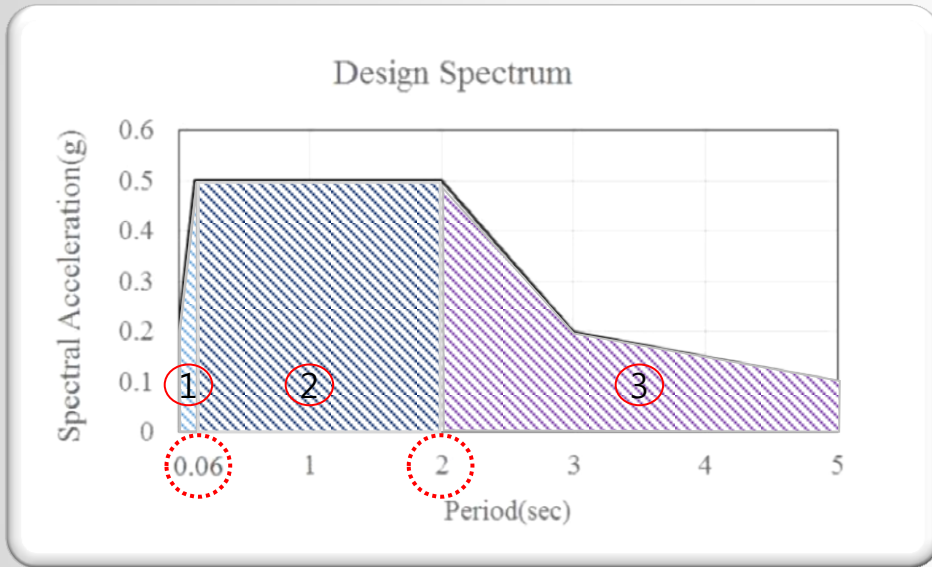
따라서 $\mu = \frac{F}{mg}$ 로 구할 수 있다.

m (kg)	F (N)	마찰계수 μ
2.0	11	0.561
2.5	14	0.571
3.0	16	0.544
3.5	22	0.641
4.0	24	0.612
4.5	27	0.612
5.0	29	0.591

평균 MDF-MDF 마찰계수 : 0.590

평균 MDF-A4 마찰계수 : 0.512



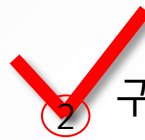


→ 주어진 응답스펙트럼을 통해 건물의 고유주기가 0.06초에서 2초 사이일 경우 다른 경우보다 높은 가속도를 받는 것을 알 수 있다.

① 구조물의 주기를 0.06초 미만으로 설계



강성을 키우기 위해 많은 MDF사용으로 인한
경제성 저하



② 구조물의 주기를 0.06초에서 2초 사이에서 설계



Damper 사용

역기적인 제진 or 면진장치를 이용하여 가속도를 절감시켜야함

③ 구조물의 주기가 2초가 넘도록 설계

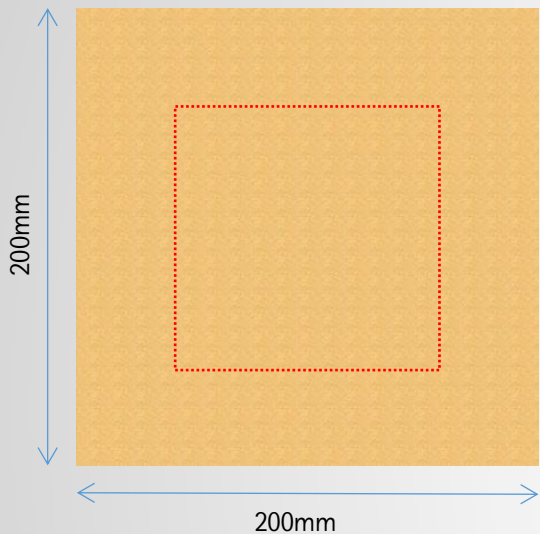


구조물의 전도 우려가 있음

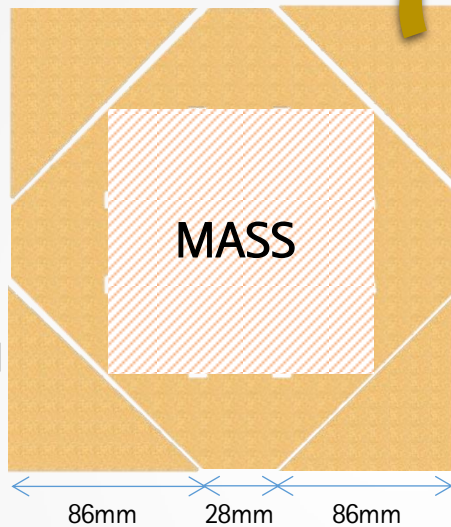
평면형태설계

바닥 및 기둥

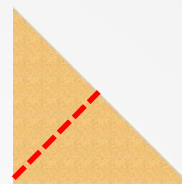
<Plate 제작>



바닥 면적 규정을 위해
플레이트 가공



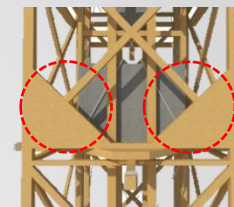
플레이트 절단



남은 부분 절단
부위 작도



가공 후 남은 부분
절반 절단



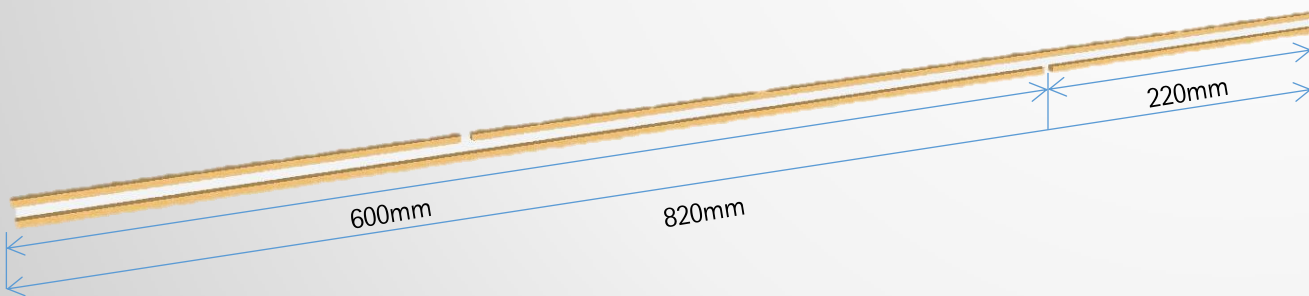
절단 후 각층
강접재료로 사용



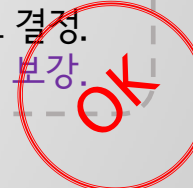
휨강성증대를 위해 팔각형의 형태로 가공
(가공 후 총 바닥면적= $40000 - 86^2 \times 2 = 25208mm^2$)



<기둥 제작>



바닥의 두께 및 시공성 용이를 위해 기둥 길이를
총 820mm로 결정.
이음부는 A4용지를 이용하여 보강.

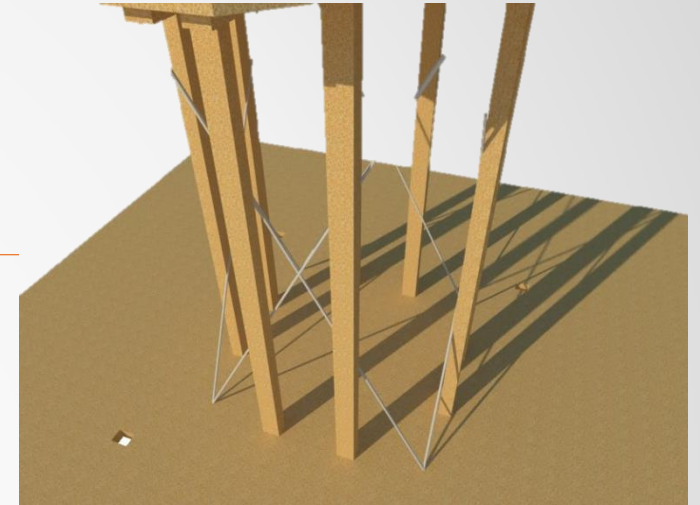
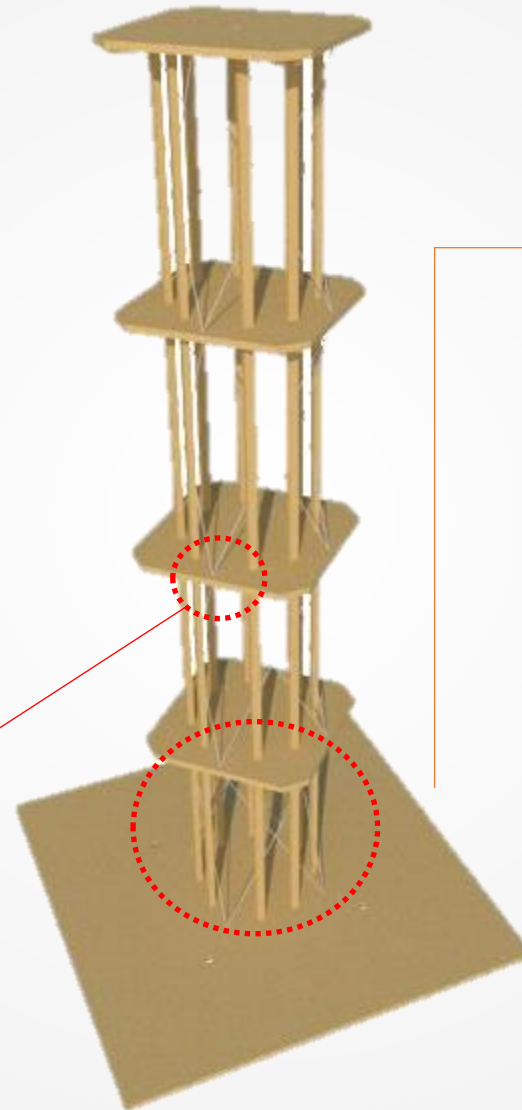
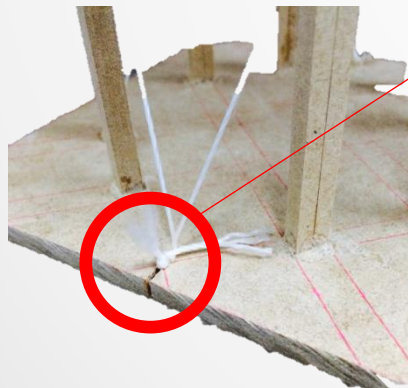


내부골조의 조건

- ✓ 내부골조에 하중이 들어가므로 수직하중에 대한 저항이 필요
- ✓ 충분한 연성을 지니면서 적당한 장주기를 가져야 함
- ✓ 휨, 비틀림에 대한 충분한 강성확보를 위한 팔각형 평면

- ✓ 플레이트 부분에 홈을 파서 끼우는 방법으로 시공

→ 면줄 가새의 시공성 증대



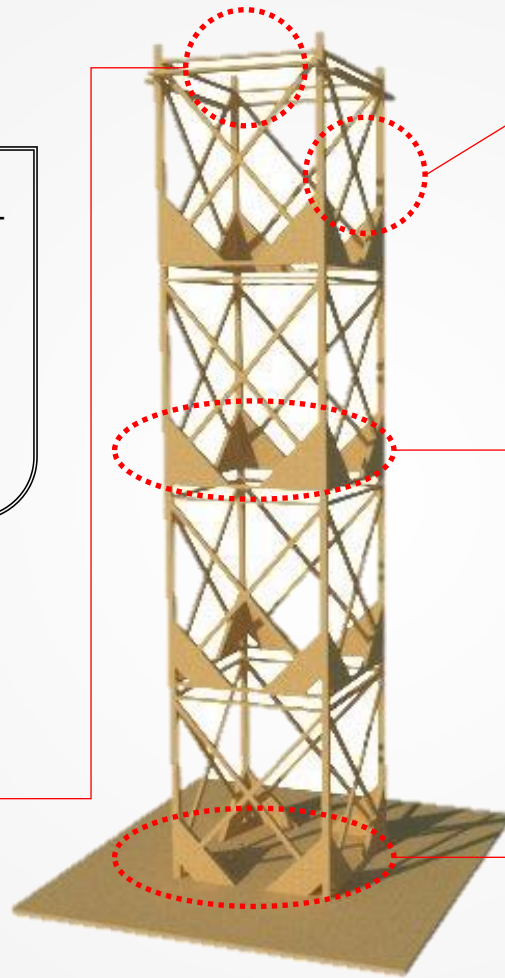
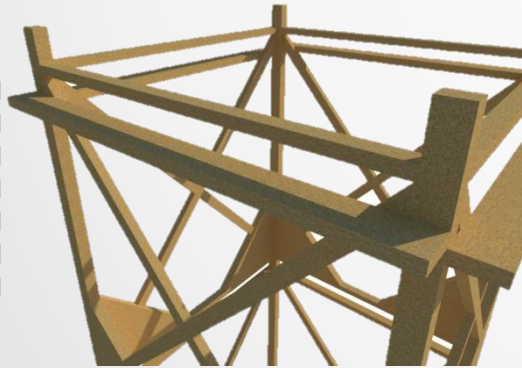
내부골조 면줄가새를 이용

- ✓ MDF 보다 뛰어난 인성을 가지기 때문에 건물의 연성이 증대
- 건물의 주기가 길어져 적당한 주기를 확보
- ✓ 취성파괴의 우려가 없어 건물이 안정적

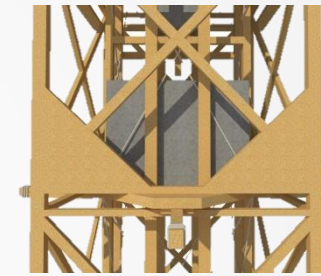
외부골조의 조건

- ✓ 내부유요소의 수평하중에 대한 충분한 강성 및 내구성 확보
- ✓ 내부골조의 변위를 제어할 만한 공간이 필요
- ✓ 시공성과 경제성 증대를 위한 사각형 평면

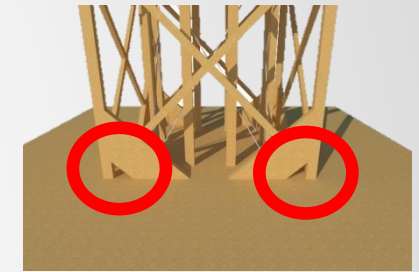
- ✓ TwistedDamper 설치를 위한 추가 보 설치



외부골조의 강성을 위해 MDF를 이용하여 가새설치



<3층 강접>

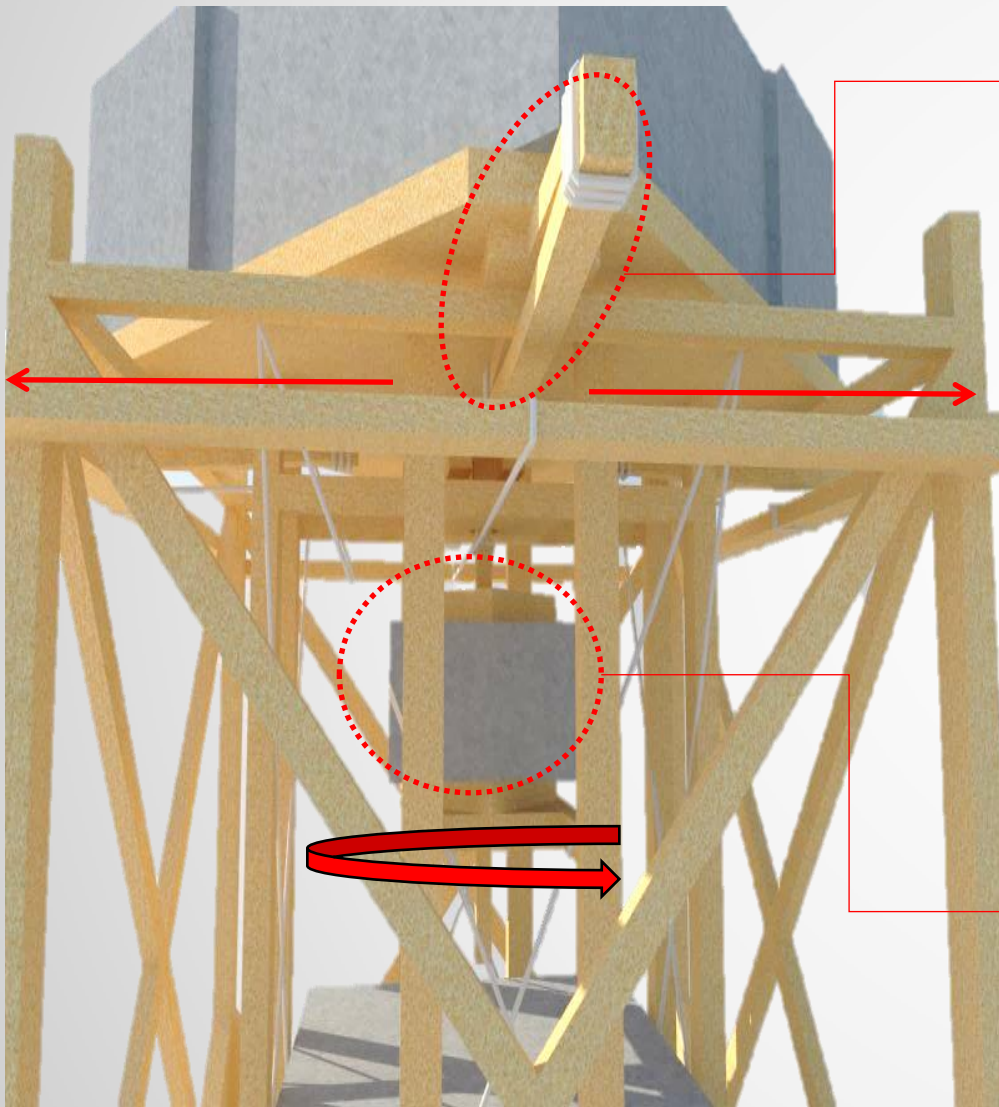


<1층 강접>

플레이트 절단 후 남은 부분을 강접재료로 사용

→ 건물의 강성 증대 및 가새 시공성 및 경제성 향상

1층과 2층은 접합용이성을 위하여 직각부분을 절단

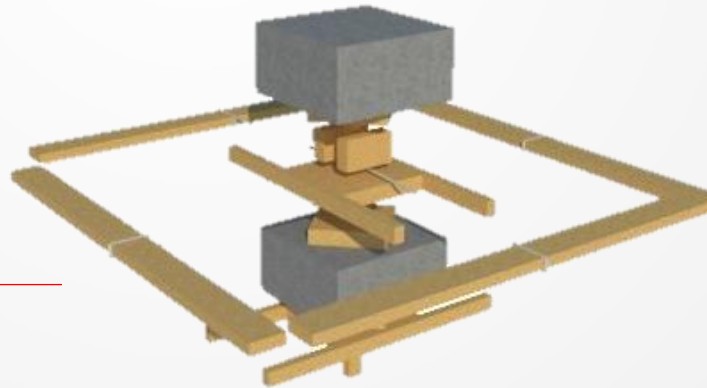


①



<마찰 Damper>

②



<Twisted Damper>

내-외부 연결부를 마찰댐퍼로 이용

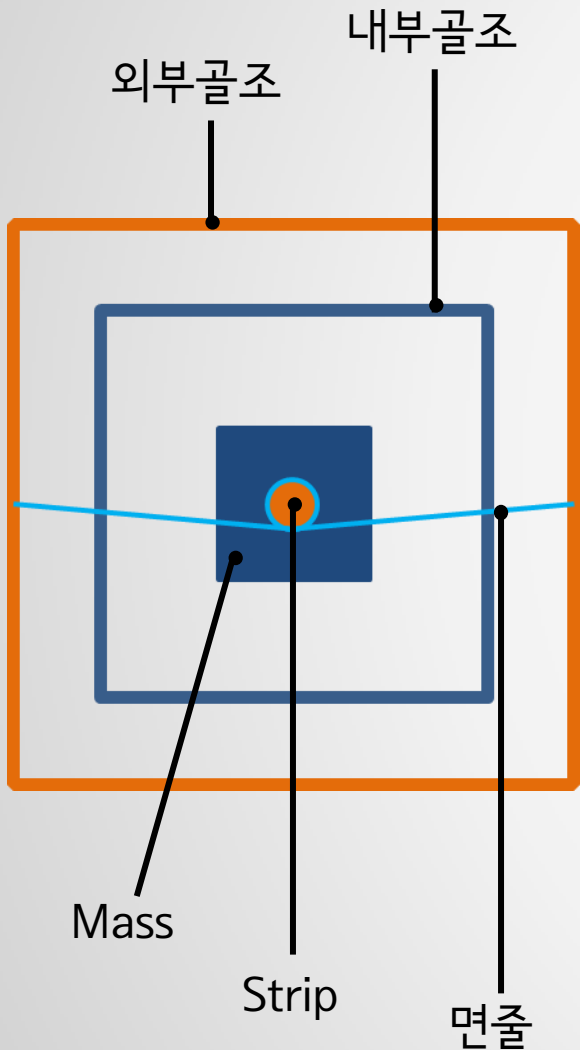
→ 내부골조가 움직임에 따라 외부 골조와의 마찰력으로 에너지를 소산

내부골조에 위치한 Twisted Damper

→ 외부골조가 움직임에 따라 내부골조에 위치한 Twisted Damper가 회전 운동에너지를 전환

Twisted Damper

작동원리



- 정지 → 운동



Damper의 정지관성에 의해 건물의 가속도를 절감 시키고 에너지를 운동에너지로 전환 시킴.

반대로
운동

- 좌운동 → 우운동



반대로 움직일 경우 원래 움직이던 방향으로 운동관성이 생겨 건물의 가속도 절감.

<MIDAS를 이용한 주기 측정>

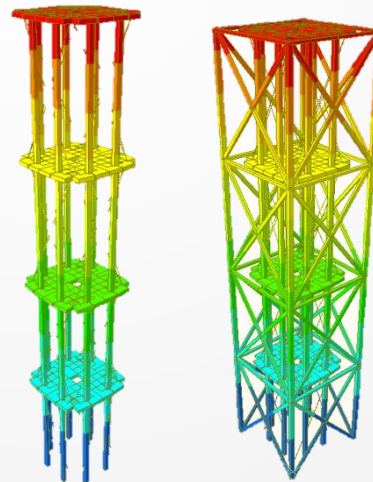


내부골조(팔각형 평면)

외부골조(사각형 평면)



마찰 Damper, Twisted Damper를 이용하여 내-외부 골조 사이에 전달되는 에너지를 소산 또는 전환 하는 이중 골조 시스템



내부골조의 주기가 외부골조와 Damper에 의해 전체구조물이 되면 약 0.17초가 나왔고 실제 구조물을 진동 할 시 고유주기가 0.17 ~ 0.69 사이로 나타날 것으로 예상

EIGENVALUE ANALYSIS			
Mode No	Frequency		Period (sec)
	(rad/sec)	(cycle/sec)	
1	9.1127	1.4503	0.6895
2	9.1792	1.4609	0.6845
3	27.6676	4.4034	0.2271

→ 내부골조의 주기 (0.6895)

EIGENVALUE ANALYSIS			
Mode No	Frequency		Period (sec)
	(rad/sec)	(cycle/sec)	
1	36.1333	5.7508	0.1739
2	36.4359	5.7989	0.1724
3	147.8769	23.5353	0.0425

→ 전체구조물의 주기 (0.1739)

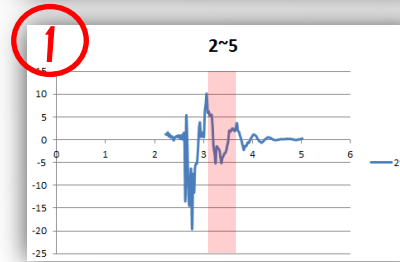
최종구조물

실제모델실험

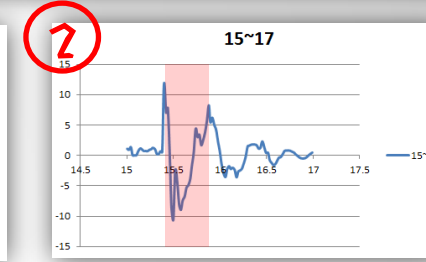
휴대폰 가속도 측정 어플을 이용, 가속도 측정 실험



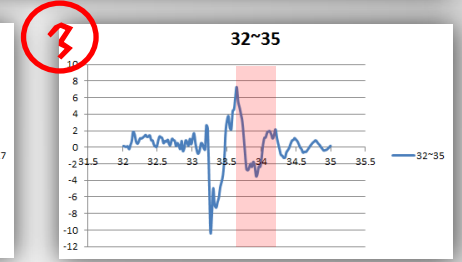
<최종구조물의 건물주기>



주기 : 0.61



주기 : 0.43



주기 : 0.55

최종구조물의 주기 범위 : 0.43 ~ 0.61

→ 예상주기와 유사

<더 생각해보기>

- ✓ 마찰Damper 및 Twisted Damper의 정확한 에너지 소산량 파악이 난해
- ✓ 외부골조에 확보한 공간 이상으로 내부골조가 변위를 일으킬 때 발생하는 충격에 대한 대처방안 필요

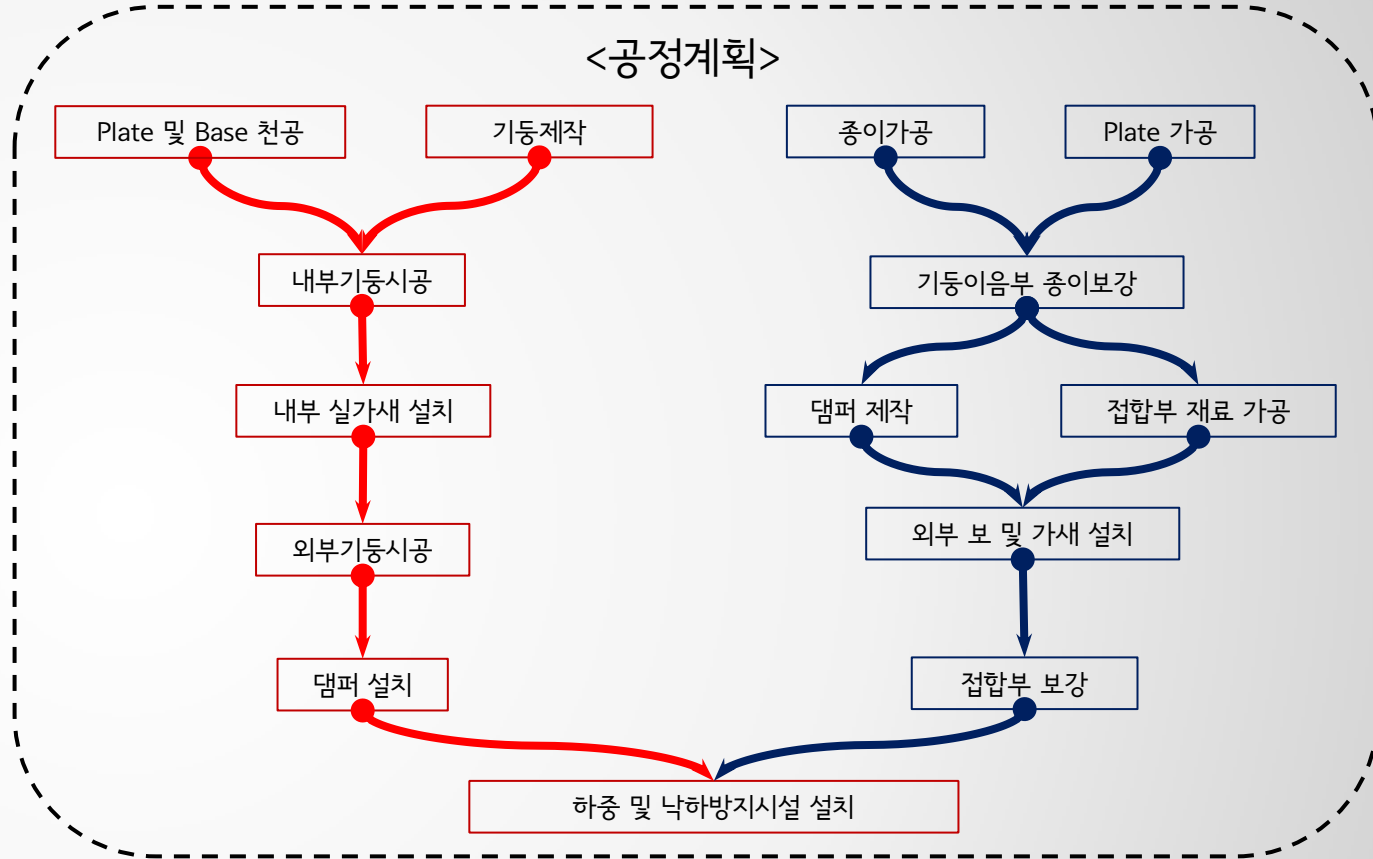


<물량산출>

구분		길이(mm)	필요수량(EA)	총 필요 수량(EA)
내부	기둥(MDF Strip)	822	8	24
	X형가새(면줄)	600	16	16
외부 (MDF Strip)	기둥	822	4	12
	X형가새	200	32	11
	보	160	32	7+남은 Strip 사용
Twisted Damper	연결부(면줄)	600	2	2
	연결부(MDF Strip)	110	4	남은 Strip 사용
	매스부착부 (MDF Strip)	20	9	남은 Strip 사용
마찰Damper	플레이트 부착부 (MDF Strip)	100	32	6
	고정면줄	200	32	11
보강	기둥이음부	A4 size	.	1
	1-2층 연결부(면줄)	300	8	4

재료명	필요수량(EA)	단가(백만)	비용(백만)	합계(백만)
MDF Strip	60	10	600	1,740
MDF Plate	4	100	400	
면줄	33	10	330	
A4지	1	10	10	
접착제	2	200	400	

<공정계획>



2인 1조로 역할을 분담하여 시공 효율을 높이고 공기를 단축시켜 **시공성을 높이도록** 하였다.

끝으로..

기타 IDEA

Recycle



1층 강접을 바깥 쪽 부착 시
가새의 시공성이 떨어져 **안
쪽으로 부착**



마찰댐퍼를 플레이트 윗부분에 외
부골조의 보부재를 들어올려 스트
립을 끼워 제작시 마찰력이 작아
효과미비, 공간확보가 용이한 플
레이트 아래에 마찰댐퍼 설치

Etc..



동조질량감쇠기(TMD)를 면실의 탄성을
이용해 구현해보았지만 실제 운동 시
효과를 보지 못했다.



남은 스트립을 이용하여 윗부분을 강접
해보았지만 더 약한 힘에 접합부위가 파
괴됨.

한때는 불가능하다고 생각한 것이
결국에는 가능한 것이 된다.

K. 오브라이언

Thank You For Reading !