

■ 2014 구조물 내진설계 경진대회

SEISMIC STRUCTURAL DESIGN CONTEST 2014

Pre senter 김동은

INNOSYS — 성창우, 안성욱, 김백주

 부산대학교 건축공학과
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY



INDEX

Introduction	PART 1. 대회 Prologue
	PART 2. 재료 물성치 및 지진파 분석
Main Subject	PART 3. 내진설계 개념
	PART 4. 구조물 설계 및 분석
	PART 5. 최종구조물 설명
	PART 6. 경제성 분석 및 공정계획
Conclusion	마치며





PART 1. 대회 Prologue

- 팀소개
- 대회 규정 분석
- Prologue

• 팀 소개

부산대학교 건축공학과 건축구조동아리 - INNOSYS



INNOSYS (Innovative Structure System)

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.

지도교수 : 부산대학교 건축공학과

이상호 교수님

성창우(3) - 구조물 Scenario 설정
사용재료 물성치 확인
해석을 위한 Modeling

안성욱(4) - 구조물 적산
경제성 검토
설계 Feedback

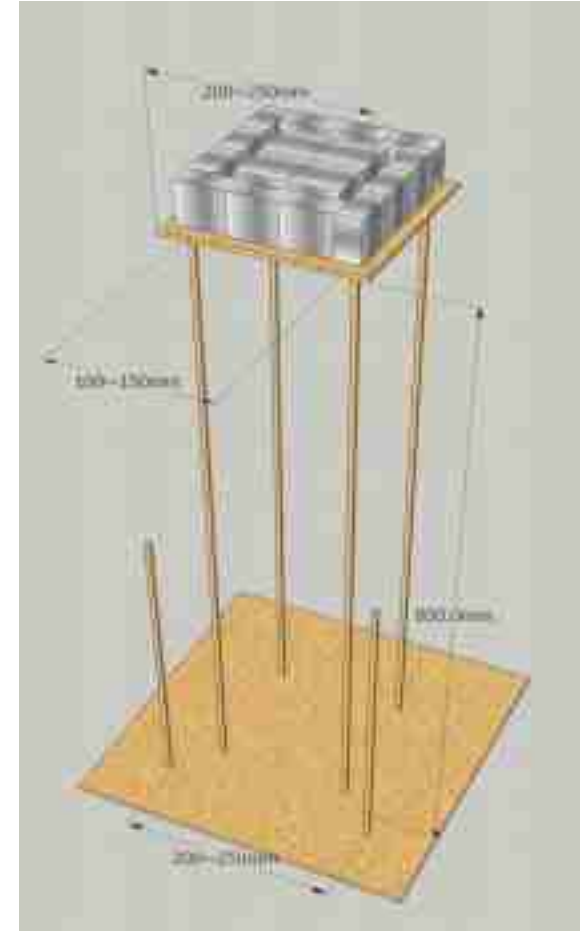
김동은(4) - 제진장치 구현 및 분석
구조물 평면형태 선정
구조물 가새형태 선정

김백주(3) - 지진파 분석, 주기 산정
구조시스템 분석
Mass의 형태 선정

• 대회 규정 분석

◎ 작품제작규격

- 1. 【구조】 기둥은 2층 이상으로 제작되어야 하며, 각 층은 규정한 크기를 정하여서 제작할 수 있어야 한다.
- 2. 【구조】 작품의 구조는 다음 각 항의 조건을 모두 만족하여야 한다.
 - ① 기둥 바닥의 평면은 100mm × 100mm 이상이어야 하며, 2층 이상에는 1층 바닥면으로부터 100mm 이상에 위치하여야 한다.
 - ② 1층 바닥의 강화제거의 부재에서 가장 멀리 떨어진 평면까지의 거리는 200mm 이상, 200mm 이하이어야 하며, 2층과 연결되는 기둥면의 폭은 100mm 이상, 200mm 이하이어야 한다.
 - ③ 기둥의 직면하여 1층과 2층이 이어져야 하며, 2층 바닥의 강도는 1층과 같거나 커야 한다.
 - ④ 2층에는 하중 분포의 변화를 감지하기 위한 사물이 설치되어야 한다.
 - ⑤ 구조도면에서의 연결은 허용되는 재질과 방법을 사용해야 한다.
 - ⑥ 바닥 면은 평면 및 거울이 가능하나, 면을 평면하여 200mm 정도 떨어진 위치, 서랍하는 것은 불가하다.
- 3. 【재료】 하중은 2층 높이 위치에서 100kg 이상(2층 하중 분포에 맞지 않을 경우)을 싣어야 하며, 하중 분포의 싣기는 다음에 규정을 지켜야 한다.
 - ① 하중 분포의 규격은 100mm × 100mm × 200mm 이하이어야 하며, 2층과 연결되는 기둥 단면의 1층에 연결되는 하중 단위에 100kg 하중 분포의 싣기 위치가 있어야 하며, 하중 규격에 맞지 않는 하중 분포를 싣지 않아야 한다.
 - ② 하중 분포의 하중 하중이 균일하고, 인형에 상응해 요양할 수 있는 하중이 싣기 가능한 것이어야 하며, 인형의 싣기 가능한 하중은 100kg 이하이어야 한다. 인형의 싣기는 100kg 이하의 하중 분포를 적용하고 싣기할 수 있다.
 - ③ 하중 분포의 싣기 위치를 이용하여 싣기만 하는 구조물에 직접 고정할 수 없다.
 - ④ 하중 분포를 고정하기 위한 보조하는 모든 지중대를 사용할 수 없다.
- 4. 【재료】 기둥은 2층 이상으로 제작되며, 제작하는 직물은 기둥의 내재 싣기하여야 한다.
 - ① 기둥은 2층의 거리는 100mm × 100mm × 100mm 이하이어야 하며, 구조물의 기둥, 기둥과 연결되는 연결(재료는 100mm)을 싣기 위한 보조하는 사용한다.
 - ② 각 층에서는 기둥을 2층에서 연결하기 위한 최소한의 크기(최소 100mm)를 적용하여야 한다.
 - ③ 구조물은 기둥을 연결하기 위한 별도의 기둥을 사용할 수 없다.
 - ④ 기둥은 평면 및 거울이어야 하며, 면을 평면하여 200mm 정도 떨어진 위치, 서랍하는 것은 불가하다.
- 5. 【재료비율】 재료 무게의 50% 이상은 2층 바닥면을 기준으로 싣어야 한다.
 - ① 기둥과 연결되는 하중 단위에 싣기된 하중 단위에 싣기 위한 보조하는 사용한다.
- 6. 【재료시간】 작품 제작에 소요되는 시간은 하중 분포를 싣기하는 시간을 포함하여 총 1시간을 초과할 수 없다.



* 단축에 대한 규정 없음

** 기둥은 상부하중을 지지하는 부재로써, 2층 하중을 지지 않으면 기둥으로 간주하지 않음.

➡ 외부골조의 존재가 가능

Prologue

우리의 땅, **독도**는 안녕하십니까?

백령도 부근 울릉도

(대한민국) 독도

日本의 주장

1. 일본은 예전부터 독도의 존재를 인식하고 있었다.
2. 한국이 예전부터 독도를 인식하고 있었다는 근거는 없다.
3. 일본은 17세기 중엽에 독도의 영유권을 확립했다.
4. 일본은 17세기말 울릉도 도해를 금지했지만, 독도 도해는 금지하지 않았다.
5. 안용복의 진술내용은 신빙성이 없다.
6. 1905년 시마네현의 독도 편입은 영유권자의 재확인이었다.
7. 주일 미군의 독도 폭격훈련구역 지정은 일본의 독도영유권을 인정한 증거다.
8. 한국은 현재 독도를 불법으로 점거하고 있다.
9. 독도의 영유권 문제는 국제사법재판소에서 해결되어야 한다.

우리의 땅, **독도**를 **일본**의 영유권주장으로 부터 보호하자!

독도, 너는 파도처럼 일렁이는 가슴에 민족의 파수병 되어
그 자리 그 곳에 묵묵히 동해에서 있구나.

독도를 확실한 우리 땅으로 만들기 위해서 가장 시급한 문제는 "독도를 사람이 사는 섬으로 만드는 길밖에 없다"는 전문가의 견해다.

그러기 위해서는 택지 개발과 도로를 개설하고 선박 접안시설과 상수원 개발, 여기에 전기를 공급해야 사람이 살 수 있다.

정부와 경상북도에서 선박 접안시설과 택지 개발, 상수원까지 개발한다고 했으니 이제, 전기의 공급이 가장 시급한 과제로 남아있다.

Prologue

독도의 에너지 개발로서 풍력발전이 적합하다

삼면이 바다인 우리나라는 해안지역과 산악지역이 많아 풍력에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 지리적인 조건을 갖추고 있다.

독도를 포함한 울릉도 부근 지역은 대마난류, 동한난류의 영향을 받는 전형적인 해양성 기후이며, 연평균 기온은 12도, 연평균 강수량은 1,240mm이다.

기상수치모델 평가에서 독도는 바람이 많은 **독도의 연평균 풍속은 4.3m/s이고 최대풍속은 25.5m/s나 된다.** 이 정도의 풍속이라면 경제성이 충분하다는 평가다.



풍력발전기의 설계주안점

- 일본등지에서 발생하는 **지진의 영향**이 독도까지 영향을 미칠 수도 있다.
- 풍력발전기 구조상 **세장**하다는 것을 고려해야한다.
- 경제성과 시공성을 고려하여 **가장 경제적이고 시공가능한 건물**을 제시한다.

PART 2. 재료의 물성치 및 지진파 분석

- 재료의 물성치 분석
- 지진파 분석
- 목표주기 설정

- MDF의 탄성계수 실험



$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (\text{캔틸레버보에서 단일하중에 의한 처짐})$$

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

A4로 보강하지않은 MDF 실험값

하중 P	변위 δ	탄성계수 E
60 g	3.5 mm	1751.8 Mpa
260 g	11 mm	2415.3 MPa
280 g	12 mm	2384.4 Mpa
320 g	14 mm	2335.7 Mpa
340 g	15 mm	2316.3 Mpa
360 g	16 mm	2299.2 Mpa
370 g	17 mm	2224.1 Mpa
420 g	22 mm	1950.8 Mpa
440 g	23 mm	1954.9 Mpa

평균 MDF탄성계수 : 2181MPa

평균 A4보강MDF탄성계수 : 2298MPa

- 마찰계수 실험 최대정지마찰력에서, $F = \mu mg$ 공식이 성립하므로 마찰계수 $\mu = \frac{F}{mg}$ 로 측정 할 수 있다.



MDF – MDF 간 마찰실험

m	F	μ
2.2 kg	11 N	0.510
2.7 kg	14 N	0.528
3.2 kg	18 N	0.573
3.7 kg	21 N	0.579
4.2 kg	24 N	0.582
4.7 kg	28 N	0.607
5.2 kg	31.5 N	0.617
5.5 kg	33.5 N	0.598
6.7 kg	40 N	0.608

Avg : 0.578

MDF – A4용지 간 마찰실험

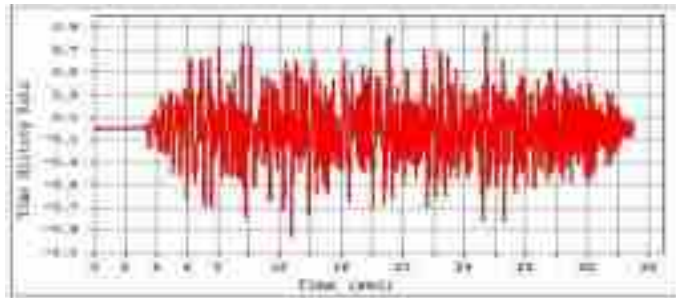
m	F	μ
2.2 kg	11 N	0.510
2.7 kg	14 N	0.528
3.2 kg	15 N	0.477
3.7 kg	18 N	0.495
4.2 kg	21.5 N	0.521
4.7 kg	23 N	0.498
5.2 kg	25 N	0.490
5.7 kg	28 N	0.5
6.2 kg	30.5 N	0.502

Avg : 0.502

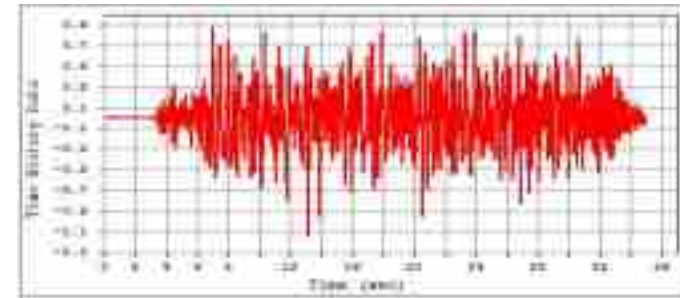
부재	MDF-MDF	MDF-A4용지	MDF-나일론실	A4용지-A4용지	A4용지-나일론실
마찰계수	0.578	0.502	0.510	0.445	0.322

- 지진파 분석

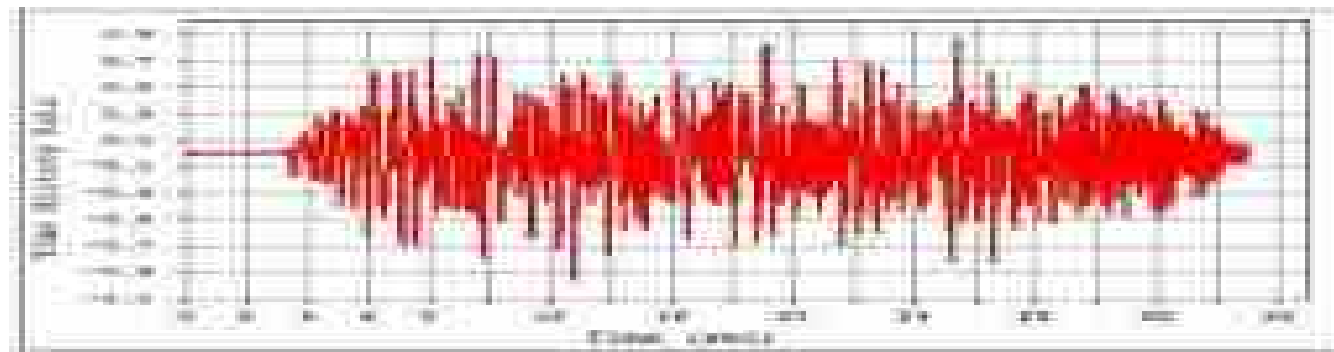
X - dir



Y - dir



X,Y 지진파 조합



탁월주기가 존재하는 구간을 분석하고 이에 대한 대비가 필요.

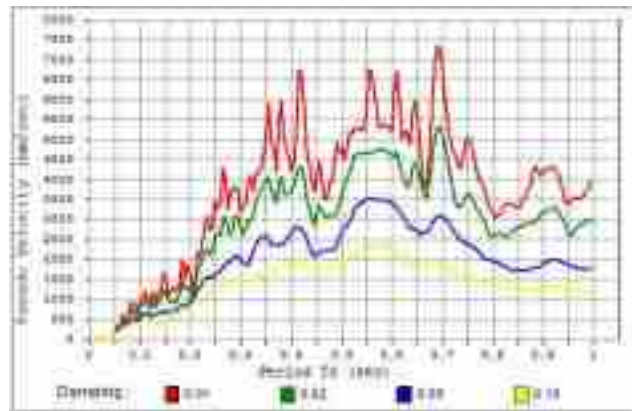
- 내부구조물설계

응답 스펙트럼 (Response Spectrum)

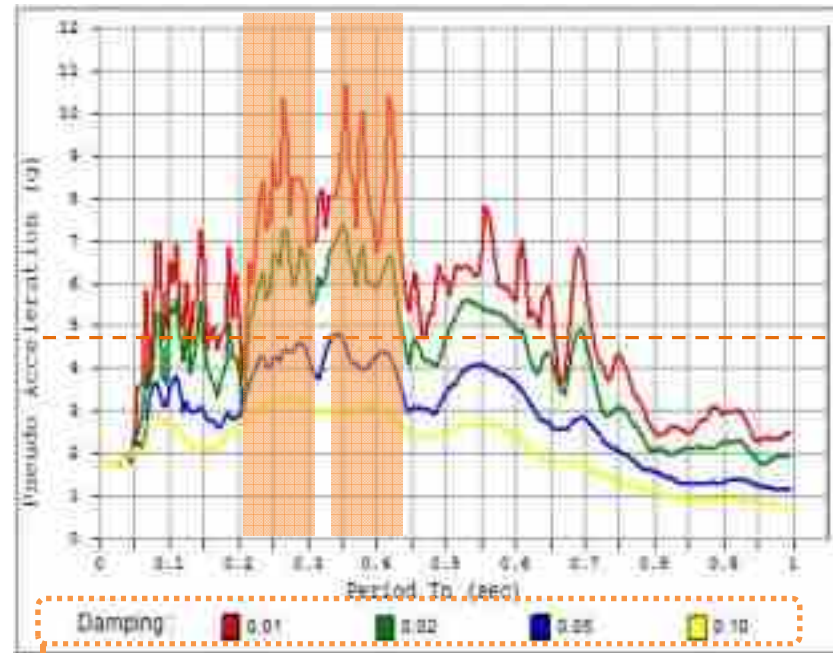
< 변위 응답 스펙트럼 >



< 유사 속도 응답 스펙트럼 >



< 유사 가속도 응답 스펙트럼 >



설정 한계
입력 가속도

다양한 감쇠비(1, 2, 5, 10%)를 적용하여 형상을 알아본 뒤
안전성 측면에서 포락하는 감쇠비 $\eta=0.01$ 에 맞추어 목표주기 설정

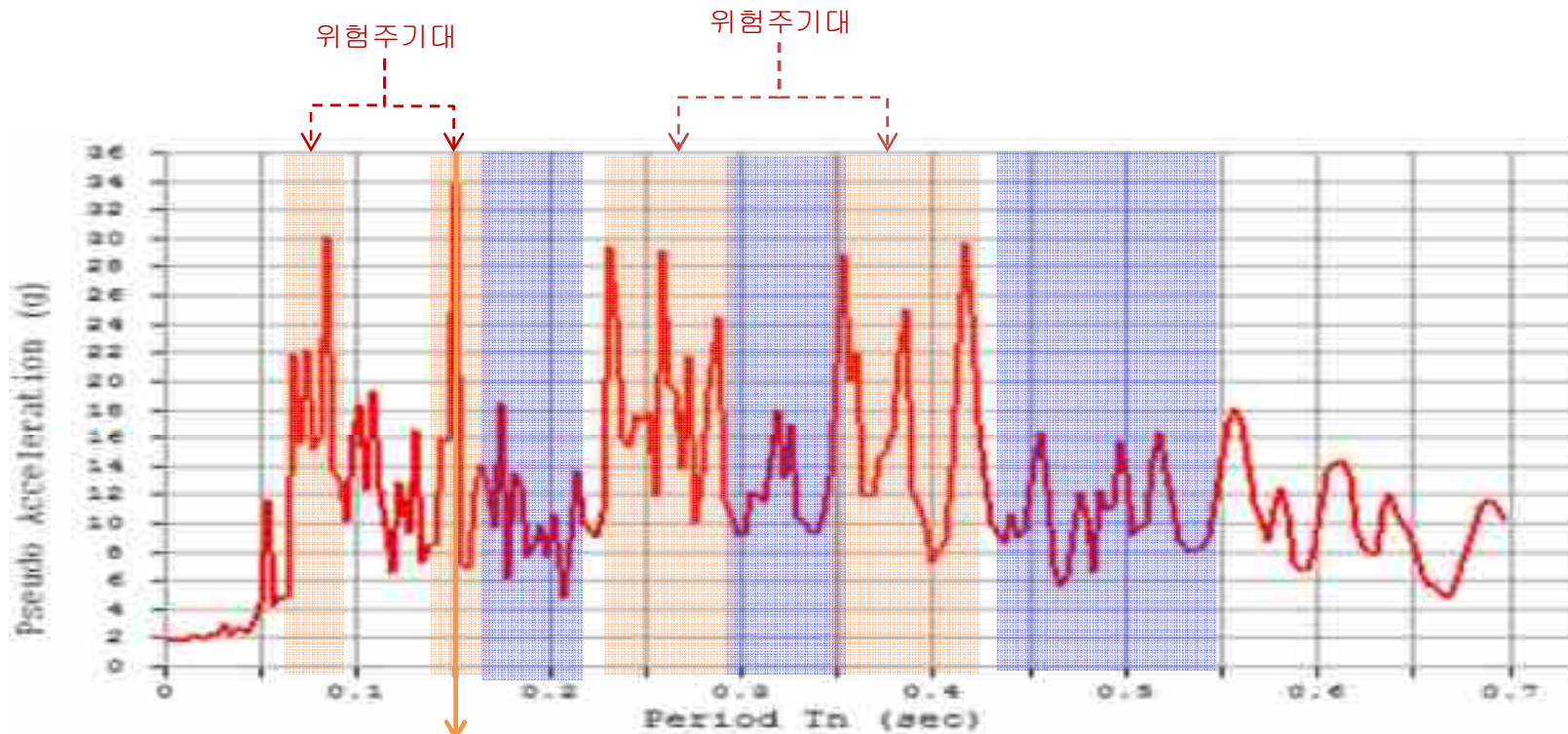


- 목표주기 설정

극단주기 :
지나친 강성확보의 필요성으로 비경제적

단주기 :
적당한 장주기로 경제적인 설계와 안정적인 거동 가능

장주기 :
구조체가 장주기화 되면 접합부 파단과 같은 여러가지 문제 발생



탁월주기

탁월 주기대인 0.14 - 0.16초대와 0.22 ~ 0.29, 0.35 - 0.42초대를 피하고

입력 가속도가 가장 낮은 0.43 ~ 0.55 대를 **목표 주기대**로 설정



PART 3. 내진설계 개념

- 개념 도입
- 개념 정립

- 개념 도입



필수

내진

■ 구조물을 지진으로 부터 보호하는 방법

지진력을 구조물의 내력으로 감당

⇒ 골조의 강성을 키운다.



가능

제진

제진장치를 이용 지진에너지를 소산

⇒ 제진장치 설치



가능

면진

구조물에 지진력의 전달을 감소

⇒ 면진장치 설치



불가능

방진

기계를 이용 진동자체를 제거

⇒ 방진기계 설치

• 개념 도입

제진

- 점탄성 감쇠기
- 점성유체감쇠기
- 항복형 감쇠기
- 동조감쇠기(TMD, TLD)
- 능동형 감쇠장치

마찰댐퍼

효율은 가장 떨어짐.

MDF, 나일론 실의 특성상
표현 할 수 있는 댐퍼의 종류에 **한계**가 있다.

면진



면진장치를 구현

다른부재의 손실이 많고
전도의 가능성이 높음

비효율적임을
알 수 있었다.

• 개념 도입

Mass가 최상부에 위치



뒤집은 단진자 운동



장주기 운동



전도 가능성



전도에 효율적으로 저항하고
큰 변위를 충분히 제어할 수 있는
시스템이 필요

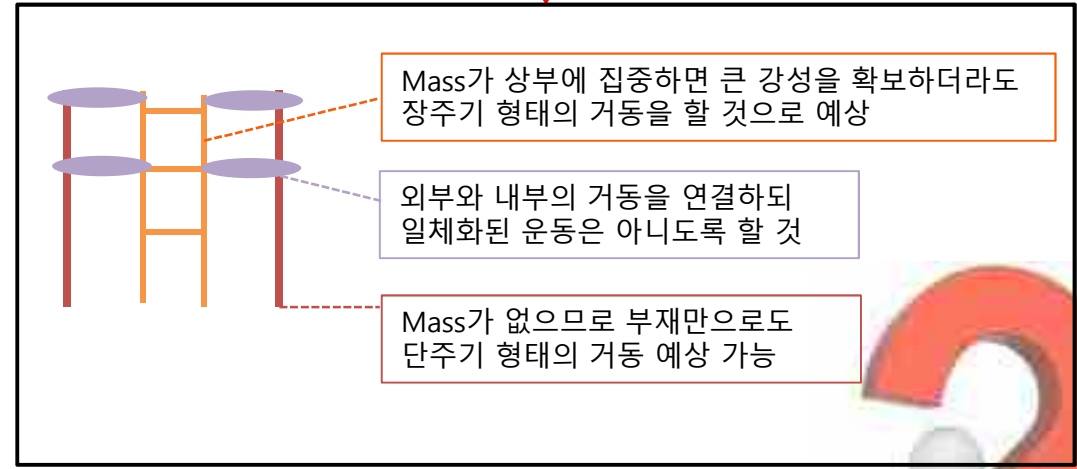
HOW?

큰 변위를 제어할 장치

입력된 지진에너지를
감소시킬 수 있는 시스템

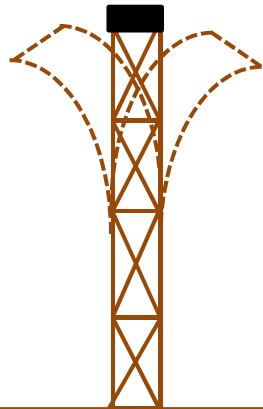
주기 차이를 이용한 상쇄 작용

마찰 댐퍼를 이용한 에너지 감소



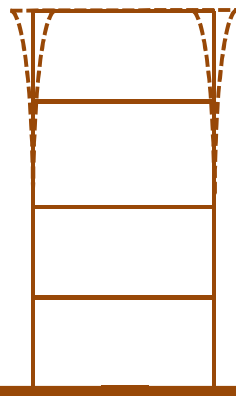
개념 정립

하중에 따른 거동 예측



큰 강성을 가진
내부골조라 하여도
집중된 Mass에 의해
큰 변위가 발생한다.

⇒ 장주기



큰 강성을 가진
골조가 아니더라도,
Mass가 없으므로
상대적으로
변위가 작게 발생

⇒ 단주기



이중골조를 가지면서 댐퍼를 사용한 구조물

댐퍼에 대한 설계안 : What? Why? How?

What : 1. 큰 변위를 제어하기 위한 장치
2. 지진에너지를 다른 에너지로 바꾸기 위한 장치

Why : 1. 내부골조는 장주기 지진파에 대해 큰 변위를 가지며 거동
2. 큰 변위는 전도 혹은 부재의 파괴를 일으킴

How : 1. 변위를 운동에너지로 변환시키는 장치
2. 마찰력을 이용한 에너지 변환
3. 탄성력을 이용한 에너지 변환
4. 인장재를 이용한 변위 제어

1. 변위를 운동에너지로 변환시키는 장치	: 실현 가능성의 어려움
2. 마찰력을 이용한 에너지 변환	: 적합
3. 탄성력을 이용한 에너지 변환	: 적합
4. 인장재를 이용한 변위 제어	: 적합



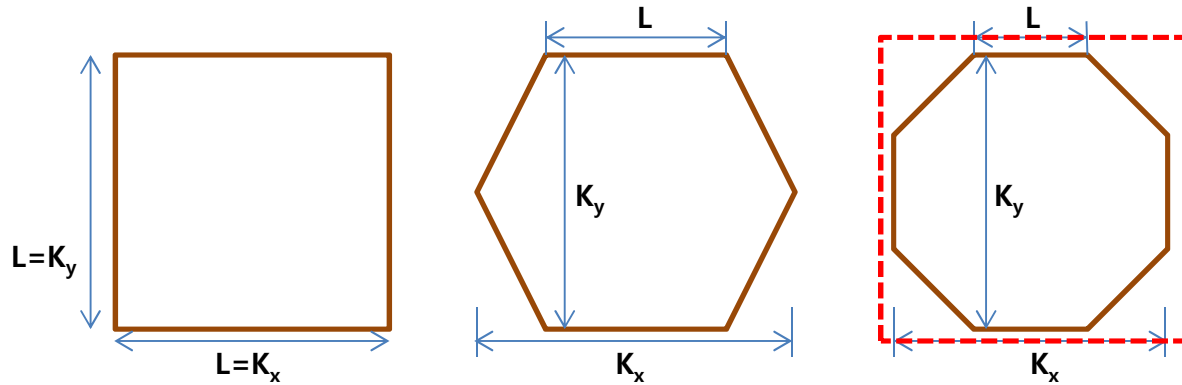
이중골조와 마찰/탄성/인장을
이용한 시스템으로 결정

PART 4. 구조물 설계 및 분석

- 내부골조 설계
- 외부골조 설계
- 댐퍼 설계
- 전체구조물 시험 및 해석

• 내부골조 설계

-내부골조 평면설계



내부골조는 상부하중을 모두 부담



가진방향에 따른 휨모멘트에 대해 충분히 저항할 수 있어야 함



경제성, 시공성보다 강성에 중점

<내부골조 부재길이>

보	4각형	6각형	8각형
층당 L	106.07	75.00	57.40
층당 2L	424.26	450.00	459.22
1~4층합계	1697.06	1800.00	1836.88
가새	4각형	6각형	8각형
층당 L	226.35	213.60	208.07
층당 2L	1810.8	2563.2	3329.12
1~4층합계	7243.2	10252.8	13316.48

*높이 200mm 마다 보가 들어가고 X가새 사용을 가정함
(부재길이 산정을 위한 가정)

<휨강성>

		4각형	6각형	8각형
L(mm)		106.07	75.00	57.40
K(mm)	X방향	106.07	150.00	138.58
	Y방향	106.07	129.90	138.58
단면2차모멘트 (mm ⁴)		10546.88	18267.72	20175.01
휨강성 (N*m ²)		23.00	39.84	44.00

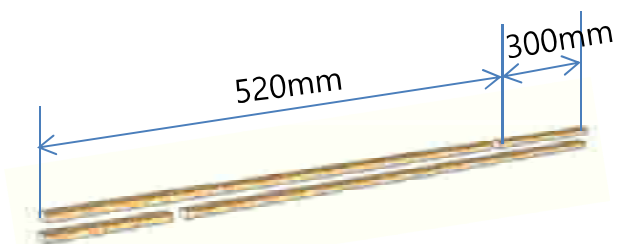


휨강성 증가

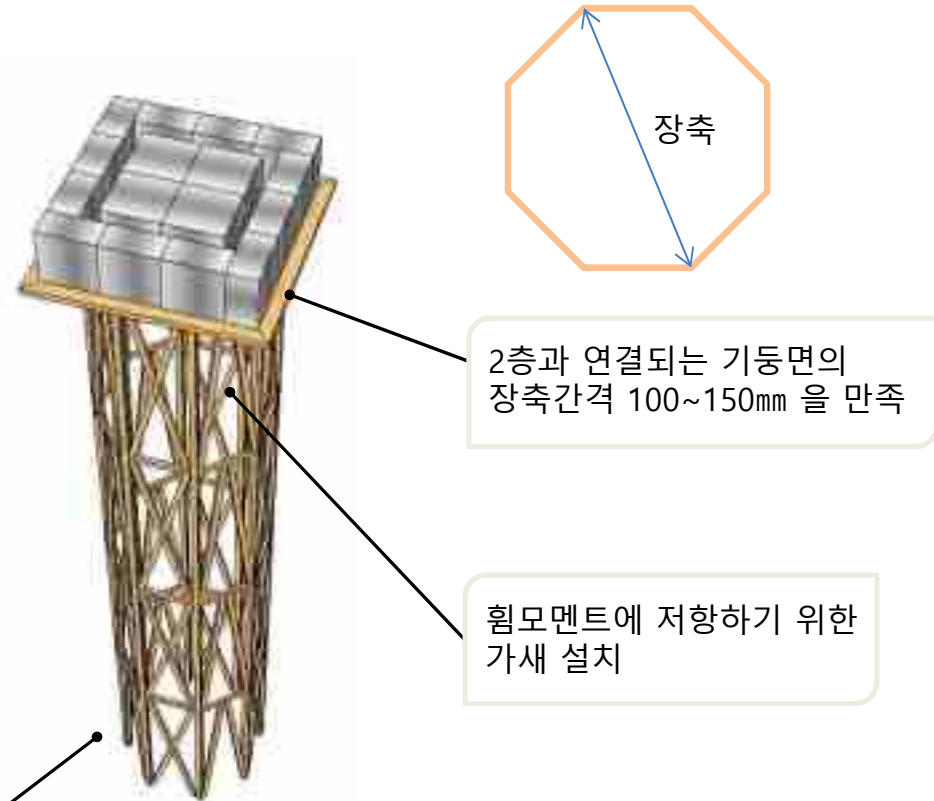
• 내부골조 설계

내부골조 설계 고려사항

- 모든 하중이 최상부에 올라감
- 2층 기둥면의 간격 규정에 적합할 것
- 수직하중에 대해 저항할 것
- 상부하중에 의한 전도고려
- 목표주기 0.49 에 맞출것







MDF길이의 최대길이 600mm 와
접합부를 고려하여 기둥 이음방법 결정



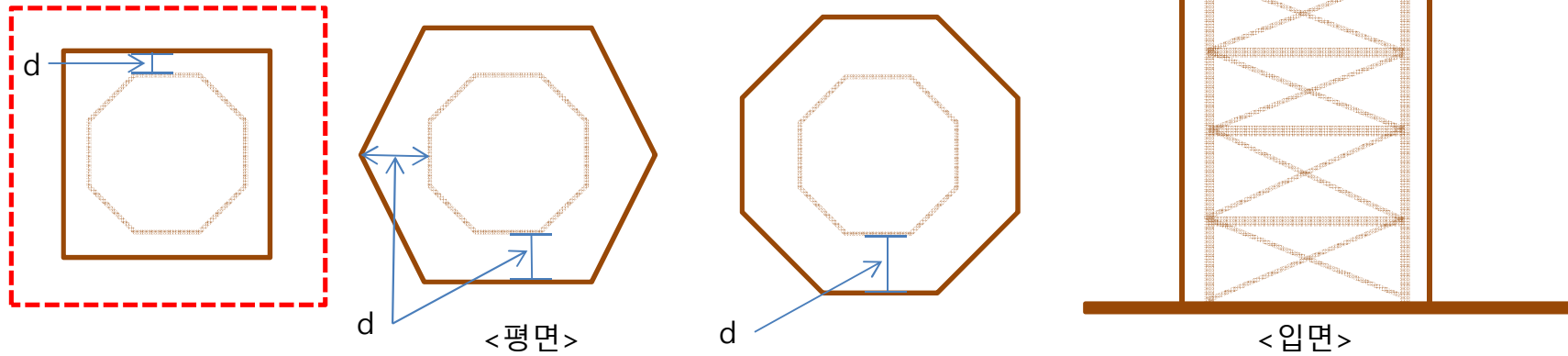
• 내부골조 설계

- 가새 별 모멘트 다이어그램

	가새	없음		가새	X,K 혼합
	주기	2.80		주기	0.580
	특징			특징	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경제성 A ▪ 강성 C ▪ 상당 장주기를 가짐 ▪ 보와 기둥접합부에 모멘트 집중 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경제성 B ▪ 시공성 B+ ▪ 강성 B+ ▪ 적절주기를 가짐 ▪ 구조물 하단부를 제외하고 모멘트 균일분포 	
	가새	X		가새	K
	주기	0.477		주기	0.670
	특징			특징	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경제성 C ▪ 시공성 B ▪ 강성 A ▪ 적절주기를 가짐 ▪ 모멘트 분포가 균일 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경제성 B+ ▪ 시공성 B+ ▪ 강성 B ▪ 장주기를 가짐 ▪ 모멘트 분포가 균일 	

- 외부골조 설계

-외부골조 평면설계



가진시 내부골조의 횡변위 발생
 내부골조와 외부골조의 충돌 가능성 有
 ↓
 내부골조와 외부골조 사이의 간격(d) 확보 필요

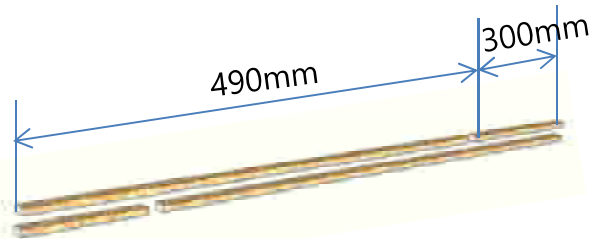


팔각형 평면 : d 가 길고, 일정함
 육각형 평면 : d 가 짧고, 일정하지 못함
사각형 평면 : d 가 짧음
but 접합부 시공성과
경제성을 고려한 결정

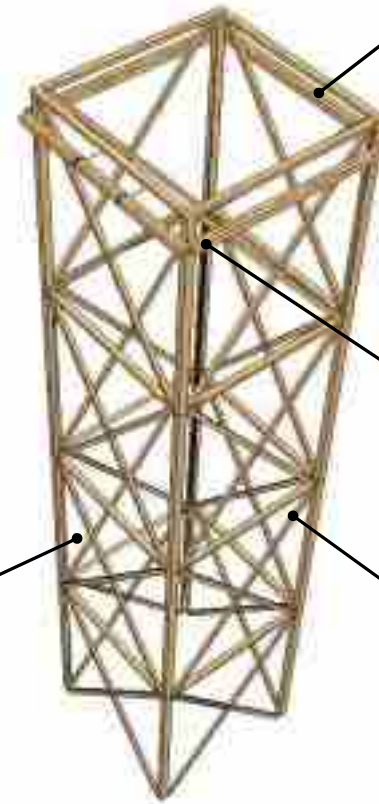
• 외부골조 설계

외부골조 설계 고려사항

- 상부하중이 외부골조에 작용하지 않음
- 외부골조는 상부플레이트의 하중을 지지해서는 안된다
- 내부구조의 변위를 제어하는 강성 확보



MDF길이의 최대길이 600mm 와
접합부를 고려하여 기둥 이음방법 결정



댐퍼를 위한
추가 보 설치

댐퍼작용에 의한 파괴
에 저항하기위해 강성 ↑

내부골조 횡변위에
저항하기 위한 가새 설치

• 댐퍼 설계

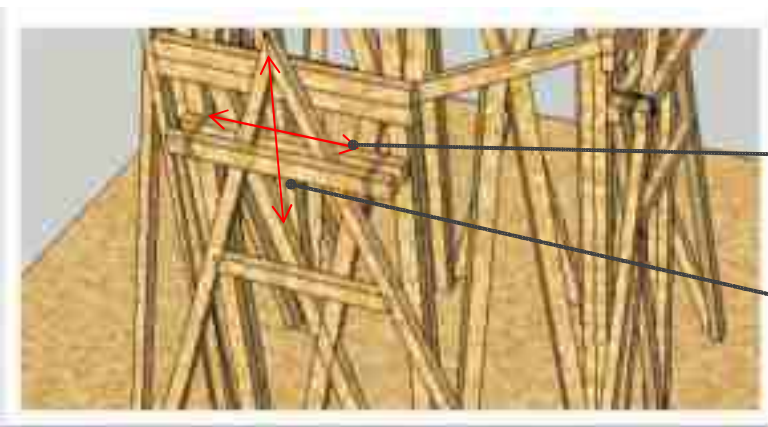


<상층부 면실 댐퍼 설계 개념>

면실을 감아서 단면적을 키우면서 작은 탄성력을 갖도록



서로의 주기차이로 인한 운동 상쇄 효과



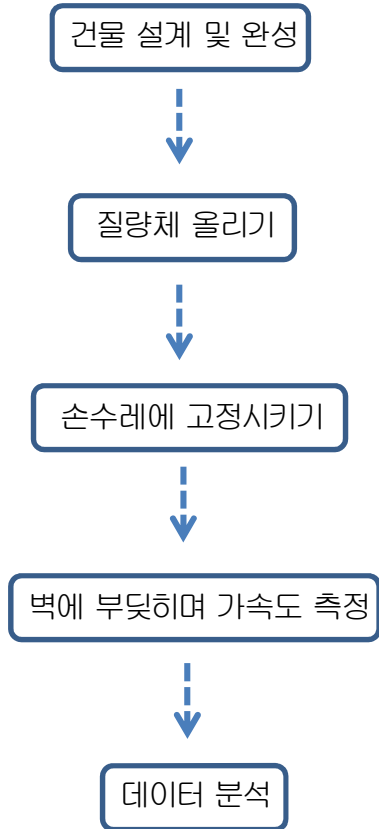
<1층 마찰 댐퍼 설계 개념>

밑에 층의 큰 밑면전단력 중 일부를 마찰력으로 전환

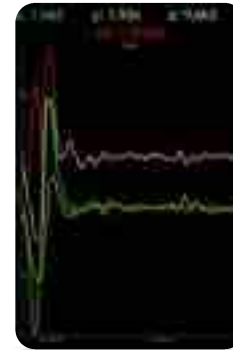
횡거동 뿐만 아니라 전도에 대해 마찰저항 가능

• 건물의 고유주기 측정

고유주기 측정 Process



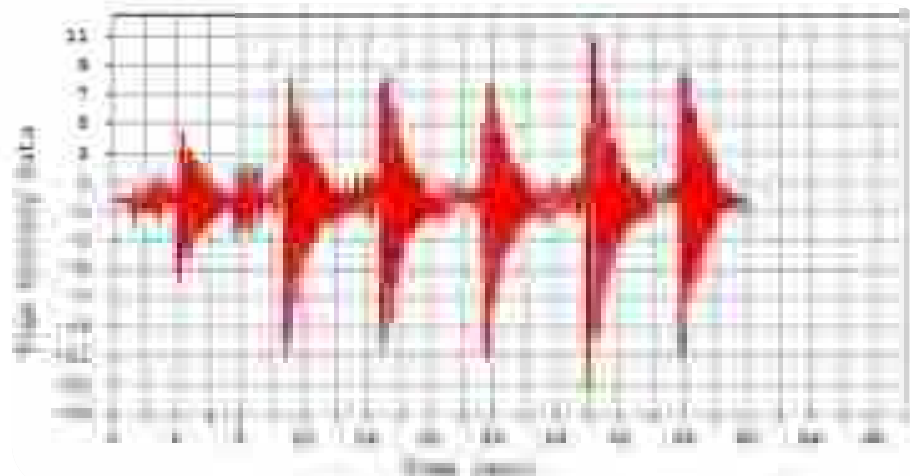
가속도 실험
(총 4번)



핸드폰을 통한
가속도 측정

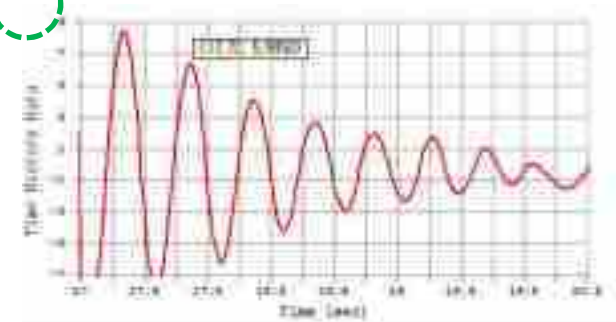
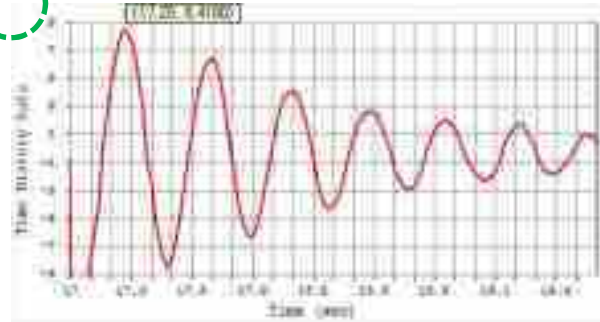


데이터값
엑셀에 입력



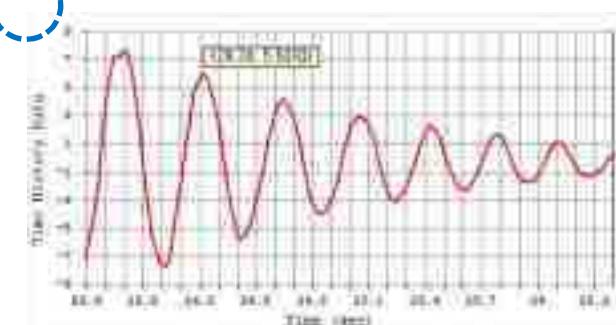
프로그램 MIDAS를 통해 데이터 값을 그래프로 변환

■ 실험 I



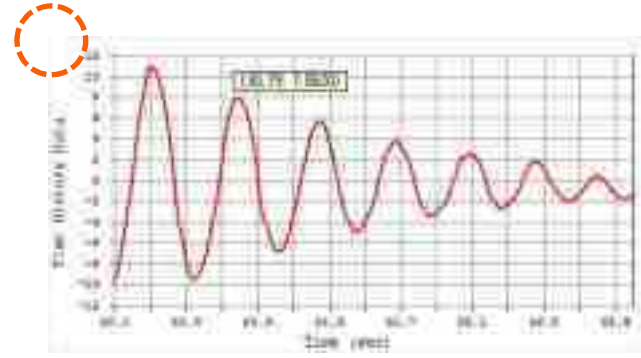
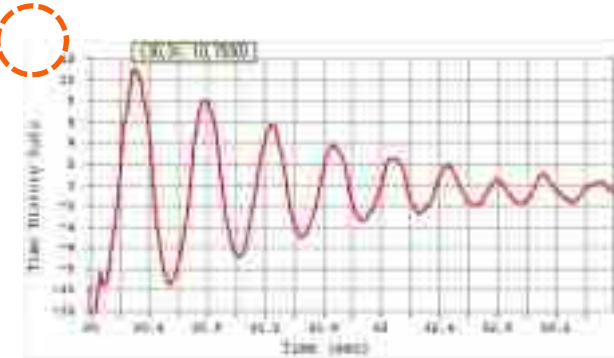
고유주기 값 : 17.72 - 17.28 = 0.44

■ 실험 II

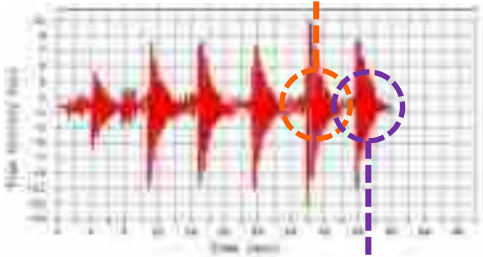


고유주기 값 : 24.24 - 23.8 = 0.44

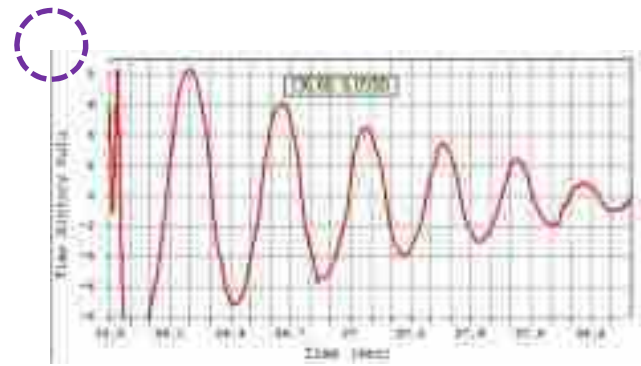
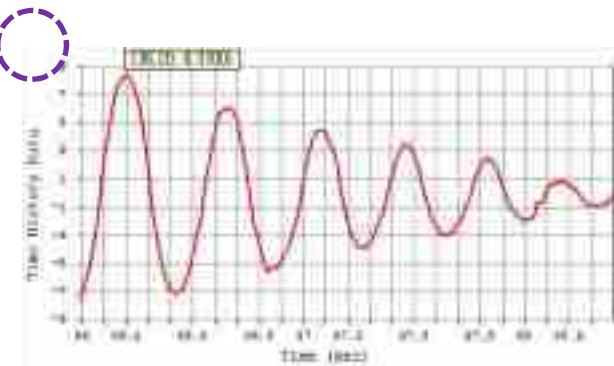
실험 III



고유주기 값 : $30.79 - 30.31 = 0.48$



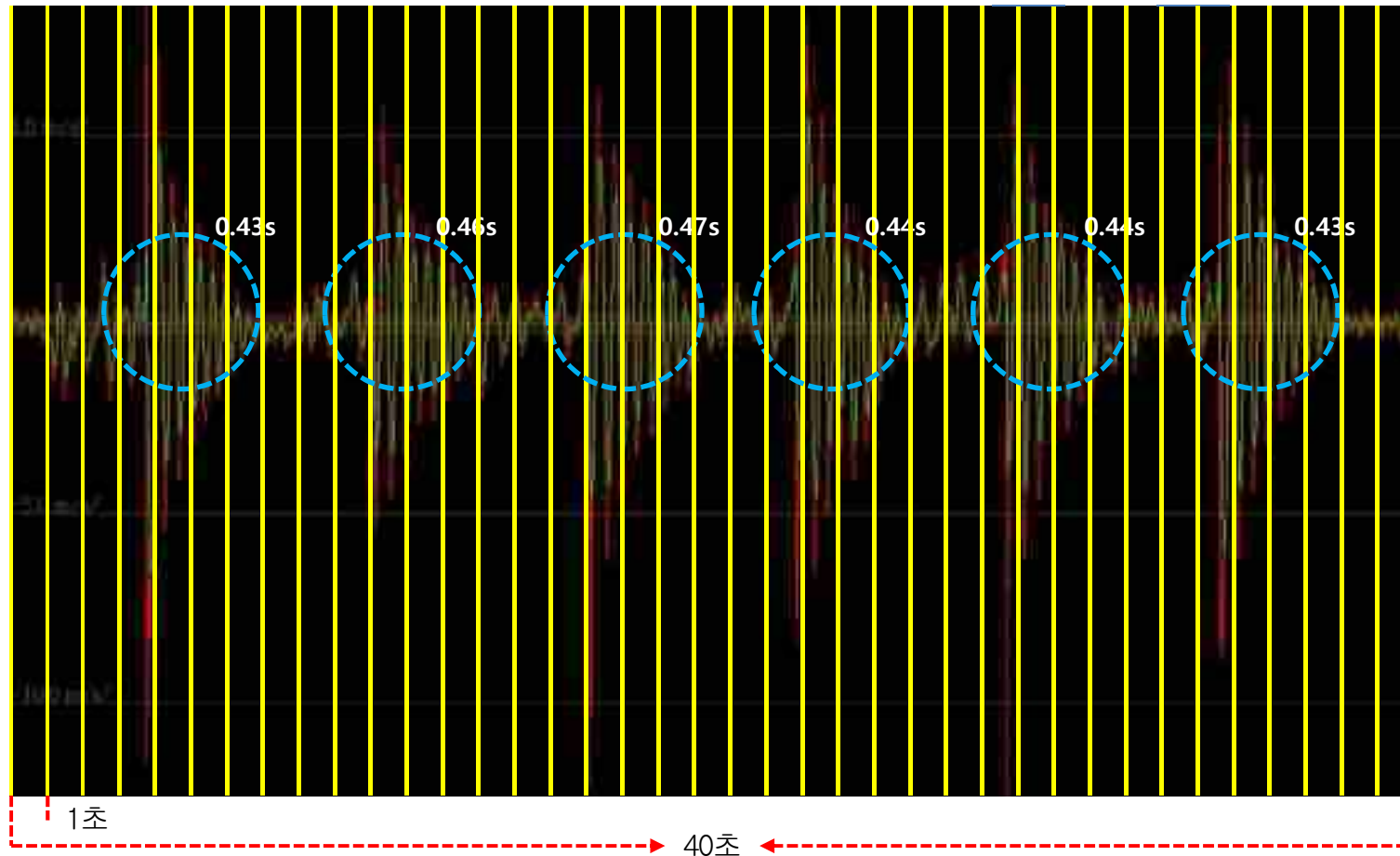
실험 IV



고유주기의 평균값 : **0.46**

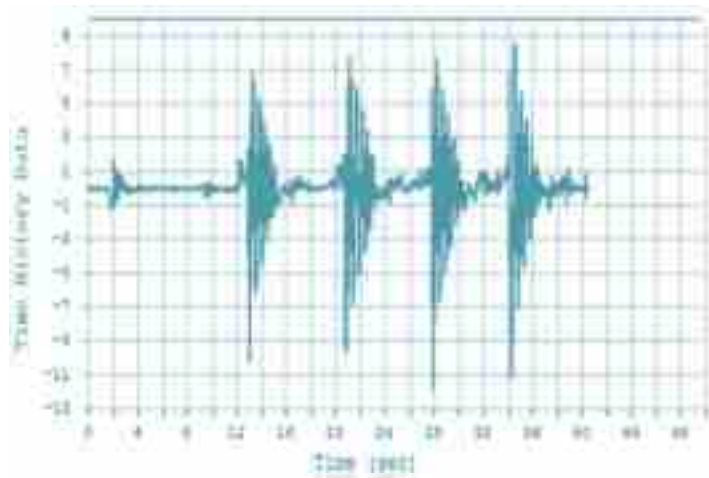
고유주기 값 : $36.68 - 36.20 = 0.48$

- 건물의 고유주기 측정(직접계산)



비례식을 이용 파장 한 주기의 길이 : 1초일때 길이 = x 초 : 1초 → 평균값 : 0.445

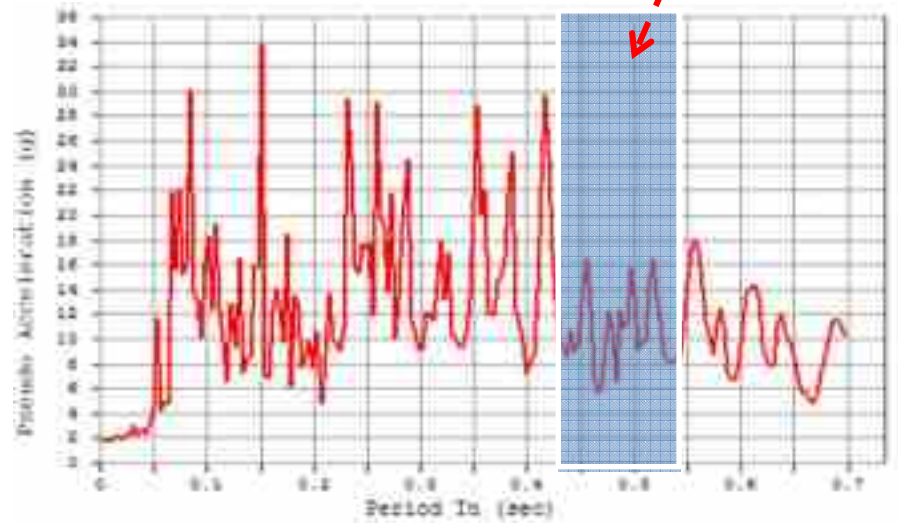
• 고유주기 실험결과



프로그램 MIDAS를 통해 데이터 값을 그래프로 변환



목표주기 : 0.43~0.55
 건물의 고유주기 최종범위 : (0.44 ~ 0.48) ^{OK!!}



PART 5. 최종구조물 설명

- 내부골조
- 외부골조
- 전체구조물

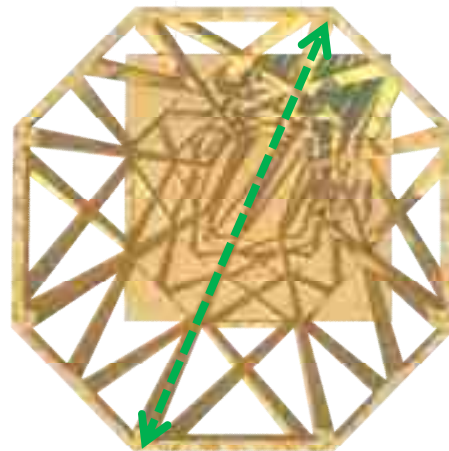
• 내부 골조

변위제어장치를 설치하기 위한 내측보조부재

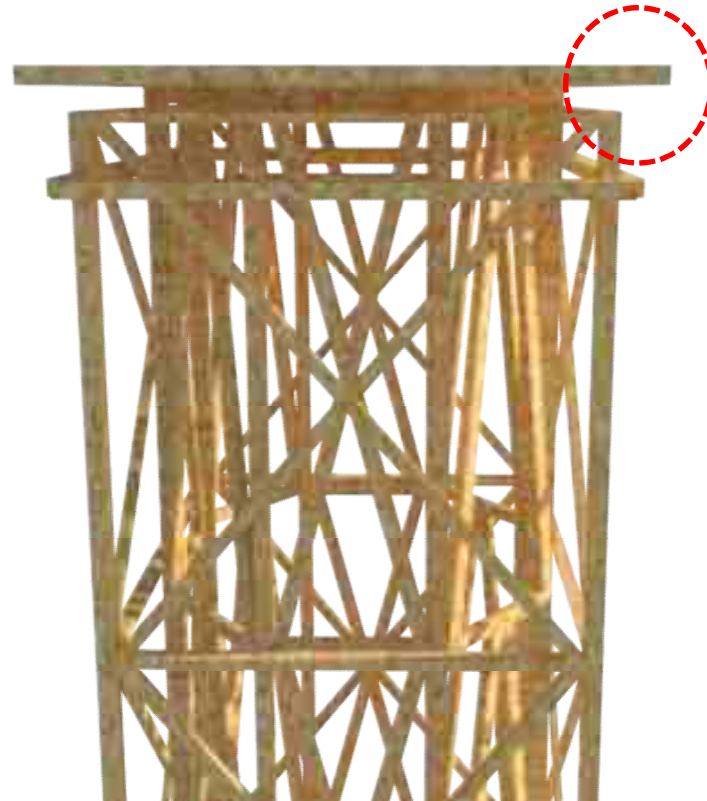
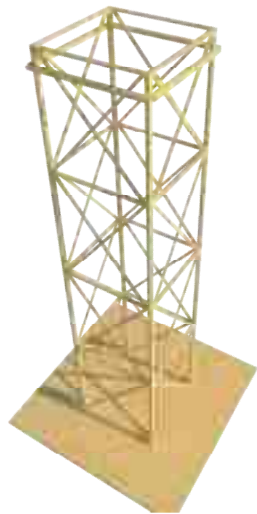
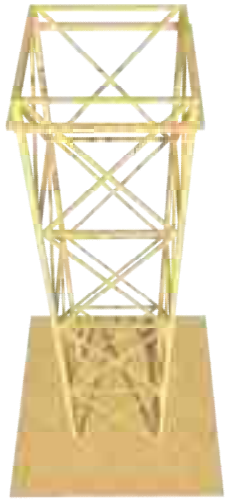
1층부 마찰댐퍼



장축 148mm

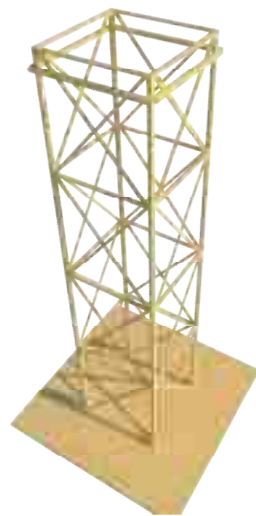
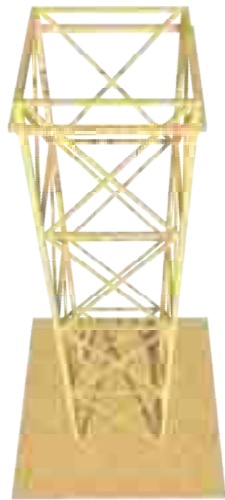


- 외부골조

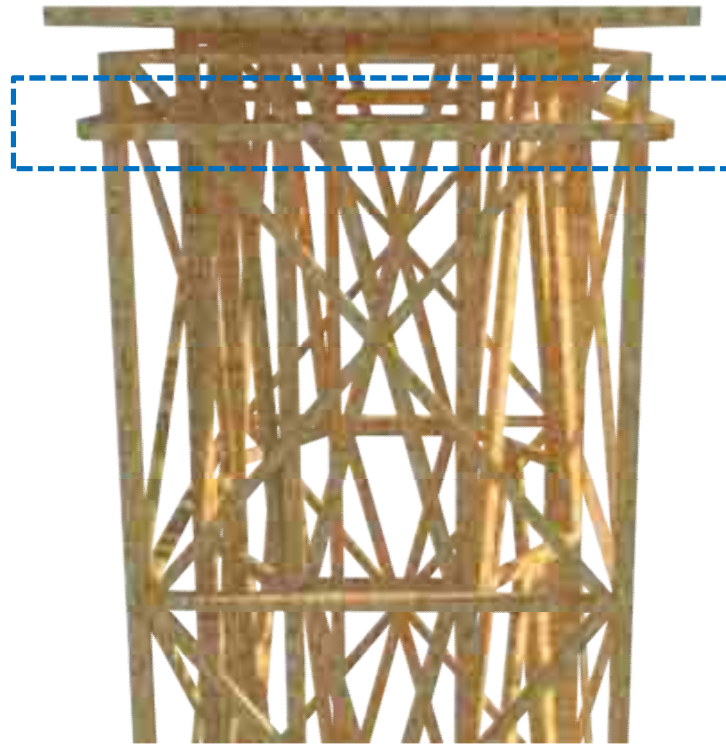


외부골조가 상부 하중을
직접적으로 **지지하지** 않음.
(기둥부재가 아님)

• 외부 골조



변위제어장치를 설치하기 위한 외측보조부재



케이블에서 착안한 아이디어

- 최종 구조물



내부골조



외부골조



최종구조물

이중골조와 마찰/탄성/인장을 이용한 시스템



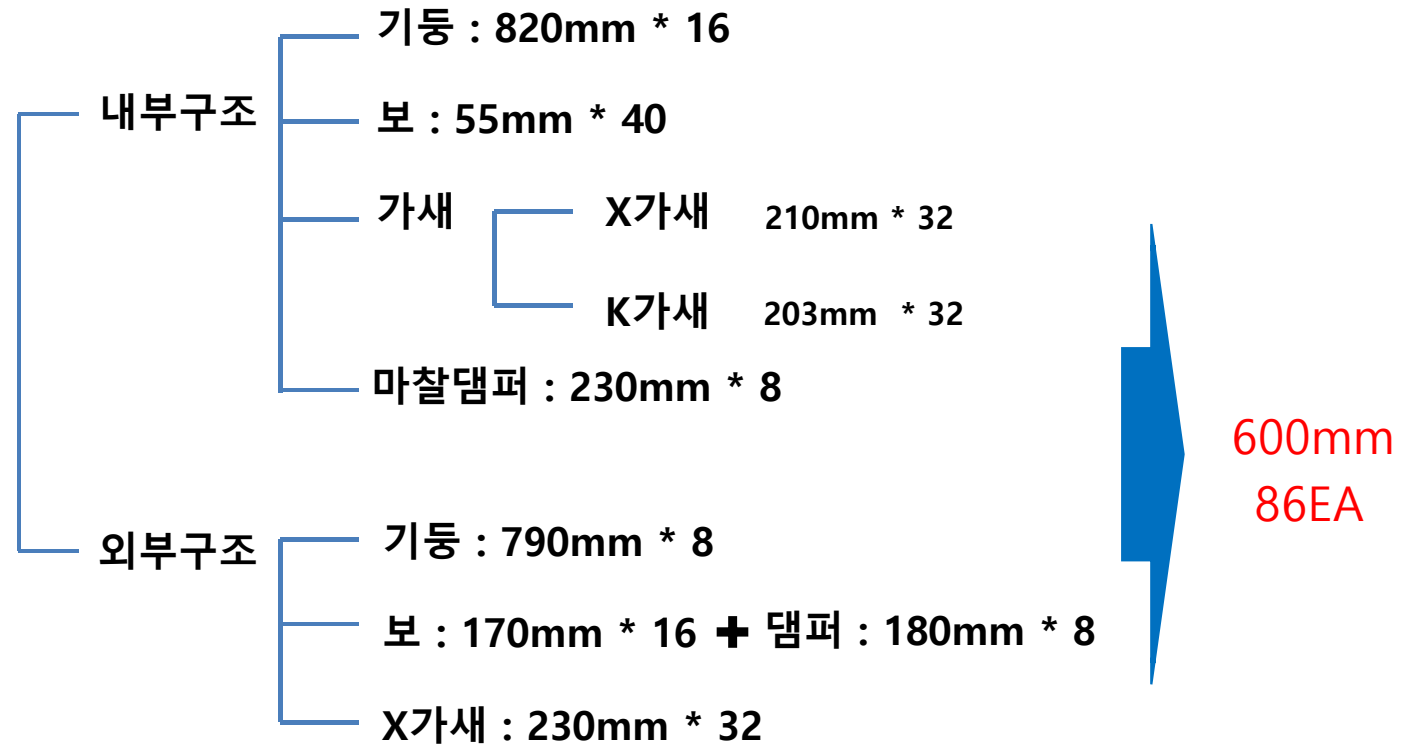
PART 6. 경제성 분석 및 공정계획

- 소요 물량 산출
- 공정계획



- 소요 물량 산출

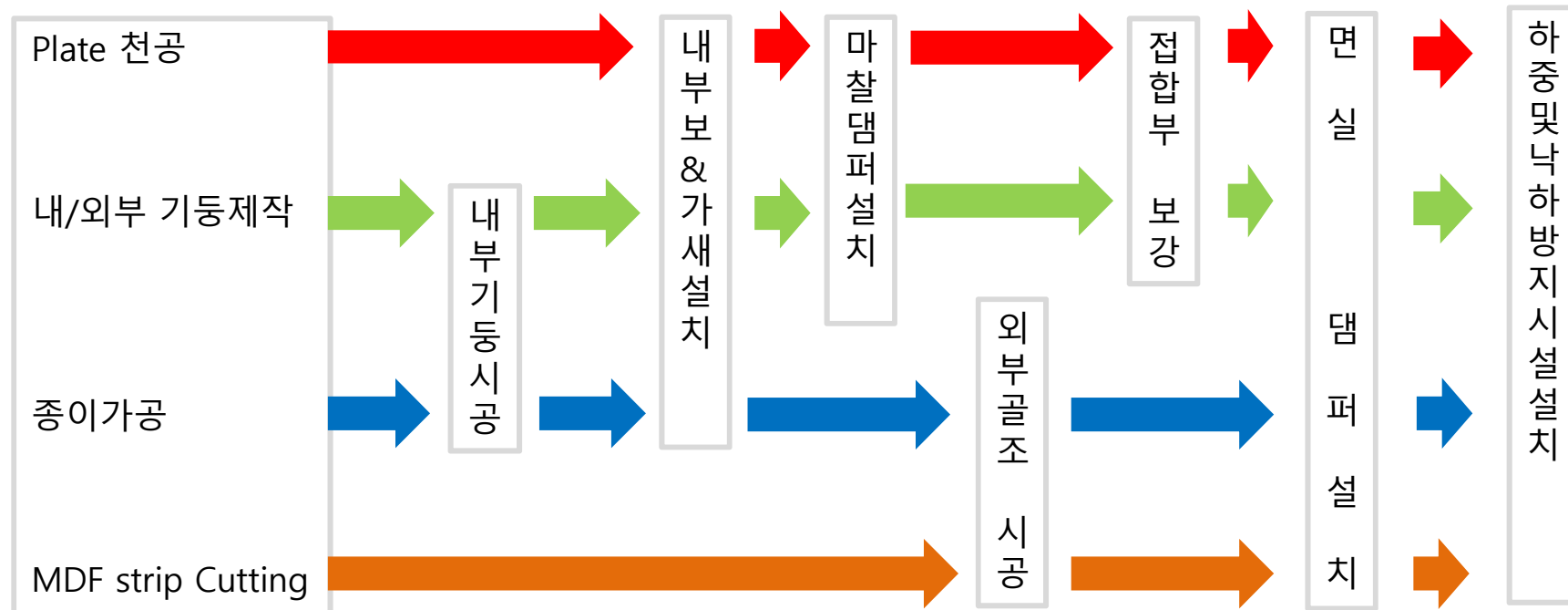
MDF Strip




소요부재	합계	구입단가(천만)	비용(천만)	총액(천만)
MDF Strip	86 EA	1	86	177
MDF Plate	1 EA	10	10	
면줄	20 EA	1	20	
접착제	3 EA	20	60	
A4용지	1 EA	1	1	



- 공정 계획



제작과정을 분배하여
 시공성의 효율을 높이고
 공기단축의 효과를 기대 할 수 있다.

An aerial photograph of a rugged, rocky island in the East Sea. The island is characterized by steep, dark brown cliffs and patches of green vegetation. A prominent white lighthouse with a red top is situated on the right side of the island. A wooden pier extends from the island into the deep blue sea. The sky is a clear, pale blue.

검푸른 바다 동해에 아득히 멀리
찬란한 태양이 빛어놓는 그 섬 하나
휘몰아 치는 파도에 아득히 멀리
찬란한 태양이 빛어놓는 그 섬 하나
억겁 세월 흘렀어도 수려한 그 자태
망망 대해의 무수한 풍랑에도
민족의 수호신 되어 가슴에 해를 담아
꿈꾸며 동해에 서 있구나.

- 박원자 詩, 독도, 너는 동해에 서 있구나-