



응답하라! 2008
건국대학교

Structural Dynamic Design Contest 2013

튜브구조(tube structural)시스템 설계안

- 백두산이 폭발한다면? -

목 차

제 1 장	1. 팀 소개	① 팀 구성원
		② 참가 각오
	2. 대회 주제	① 백두산 화산의 전조활동
		② 튜브구조
	3. 지진에 따른 내진설계	① 공진현상
		② 내진설계
③ 내진 구조방식		
④ 내진설계 시 고려사항		
제 2 장	4. 저희 구조물은요!	
	5. 보강하기!	
	6. 만들어보자!	
	7. 결론!	

제 1 장

1. 팀 소개

① 팀 구성원

소 속	이 름	얼굴	역 할
건국대학교 토목공학과	추 프랑쵸		자문
건국대학교 토목공학과	서민성		구조해석
건국대학교 토목공학과	김은영		프로그래밍
건국대학교 토목공학과	김유정		프로그래밍
건국대학교 토목공학과	김대위		디자인

② 참가 동기 및 각오

안녕하세요. 저희는 토목공학과 08학번으로 구성된 '응답하라! 2008' 팀입니다. 학업에만 매진해오던 지난날들을 돌이켜 보니 놓쳐버린 기회들이 너무 많았습니다. 저희의 배움이 학교 안에만 있었다고 생각하니 조금은 후회가 남기도 합니다. 그래서 이번 기회를 통해 경진대회에서 배움의 결실을 맺고 싶어 동기들과 뜻을 모아 참가하게 되었습니다.

북한의 핵실험과 한반도의 지진빈도 증가로 인한 내진설계의 필요성을 느끼는 요즘, 이러한 경진대회가 도움이 될 것이라 생각했습니다.

토목공학도로서 처음 접해본 내진설계를 통해 세계 각지의 지진과 관련한 여러 문제에 대한 관심도 갖게 되었습니다. 학교가 아닌 곳에서의 배움! 뜻 깊은 배움을 위해 2008년에 가졌던 1학년의 열정과 패기를 다시금 되새기며 수상이라는 결실을 맺겠습니다!

2. 대회 주제

① 백두산 화산의 전조활동

백두산은 동북아시아 지역에서 가장 활동적이었던 화산의 하나이며 10세기 대분화는 가장 격렬한 화산활동이었다고 한다. 2002년에서 2005년까지 지하 마그마의 관입에 의한 화산성 지진의 급증 및 비정상적인 지표 변형이 발생하였다.

2002년 6월 말, 평소와는 달리 갑작스럽게 화산성 지진활동이 빈발해지고 지진규모도 증가하기 시작하였다. 2002년 6월 28일 중국 동북부 왕청현에서 리히터 지진규모 $M=7.3$ 의 심발지진이 566 km 깊이에서 발생한 후 백두산 지역에서는 화산성 지진이 급증하였다. 2003년에서 2005년 사이에는 지진규모 $M=3.7$ 까지, 월 최대 270회 정도 기록된 지진은 백두산 천지를 중심으로 그 진앙이 밀집하고 지진이 발생한 지하의 진원은 평균해수면 아래 -2 km - -3 km 이내로 집중적으로 근접하였다. 이러한 화산성 천발지진에 따라 산사면을 따라 굴절, 산사태와 붕괴 등이 일어났고, 2004년도 여름에는 극저상형의 나무뿌리 관찰되었는데, 병충의 사체는 발견할 수 없었다고 한다. 그 원인은 마그마방에서 코...

독화산가스에 의해 말라죽은 것으로 해석할 수 있었다(윤성호 외, 2007). 산가스 중 황화물과 수소의 합량이 10배 이상 갑자기 증가...

관측되었으며, GPS 관측에서 천지 좌...

6월 이후 급증하였다.

지진규모와 근발지진 특성은 여전히...

2002년 172회, 2004년도 188회, 2005년도 221회 남지...

있는 것은 사실이다. 북한 지진국에서는 2003년에 2,100여 건, 2004...

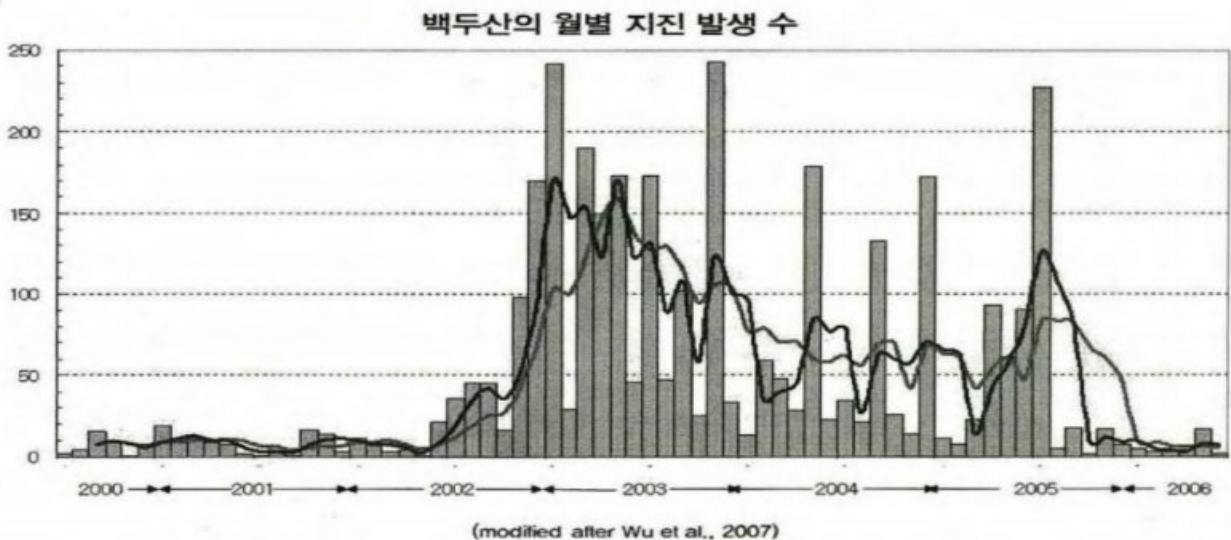
관측하였다. 그리고 가스 분출 및 온천의 온도 상승도 확인되었다. 다행히 2005...

었다. 백두산 화산 분화에 많은 관심을 가지고 있는 일본도 EWISAT 위성으로부터 백두산 천지 촬영하고 있음을 알지(2004년-2005년 3 cm 평창) 하였다(Ozawa and Taniguchi, 2006, 2007). 이로부터 Ozawa and Taniguchi는 백두산 천지 촬영대의 산정부로부터 지하 약 5 km 지점(해수면 하 2-3 km 지점)에 약 1.5x10⁶ m³ 규모의 마그마방이 존재하여 팽창한 것으로 추정하였다. 천지 주변에서 수증기에 의한 지표면의 팽창 연구에서 2002년 대비 2007년 말에는 약 10 cm 이상 부풀어 올랐음이 관측되었다. 2006년 이후 화산성 지진은 약간 줄어들었으며, 2009년 말 이후 지표면은 약간 침강하는 기미를 보이고 있으나 이는 지하 마그마방의 변동으로 해석할 수 있으므로 예의 주시할 필요가 있다.

2002년도 이후 2011년까지 발생한 화산성 근발지진의 진앙을 분석하여 보면, 천지 촬영대 일원에 밀집하여 N50W방향과 N10W-NS방향의 2조의 단층을 따라 집중 분포하고 있다.

북한의 핵시설 실험 진동이 화산 분화에도 영향을 미칠 수 있다는 우려가 계속되는 가운데 위의 자료와 더불어 우리가 백두산에 설계하는 복합쇼핑몰은 지진에 따른 내진설계를 갖춰야 된다는 결론에 도달하게 되었다.

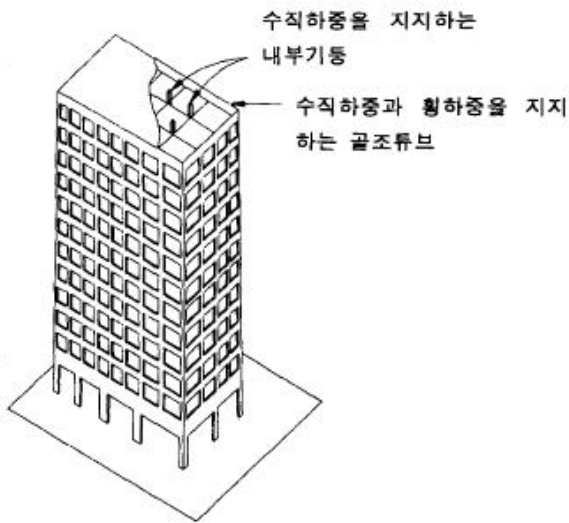
백두산의 심발지진과 화산활동 (2/3)



② 튜브구조

튜브구조는 기존 구조시스템에서의 내부코어를 건물의 외곽부로 확장시켜 외주면에 최소한의 개구부만을 뚫으로써 전체적으로 횡력에 대해 캔틸레버와 같은 거동을 하도록 하는 것이다.

그 중 골조튜브구조형식은 외주면의 튜브를 구성하는 골조들이 보통 2~4m의 스패스로 촘촘히 배치된 외부기둥들과 각 층마다 외부기둥들을 연결시켜주는 스패드럴 보로 이루어지며 외주부 골조 안쪽에 있는 내부 기둥, 벽체와 함께 연직하중의 일부부분을 저항하며 횡하중에 대해서는 튜브골조만이 모두 저항을 하는 구조시스템이다.



횡하중에 대한 저항력은 건물의 외주면을 둘러싸고 튜브를 형성하는 골조들의 모멘트 저항성능에 의해 결정되어지며 횡하중이 작용할 경우 횡하중의 방향과 평행하게 배치된 튜브골조는 마치 거대한 튜브 캔틸레버구조물의 웨브와 같은 작용을 하며, 횡하중의 방향과 직각인 튜브골조는 튜브구조물의 플랜지와 같은 작용을 한다.

또한 튜브골조의 스패간격이 작기 때문에 보통 1층의 출입구를 형성하기 위해서는 전이보를 사용하여 외부 기둥들을 제거하는 형태를 취하거나 비렌디엘 트러스를 사용하는 형식을 취하기도 한다. 그리고 골조튜브의 형태는 초기에 사각형 평면형태를 가지는 건물에서 출발하여 근래에는 삼각형이나 원형의 평면형태에도 적용되어지고 있으며, 반복적인 골조의 형태는 철골조의 경우 프리패브리케이션 공법을 사용하여 공기를 단축시킬수 있는 효율적인 시스템이다.

그러나 골조튜브시스템의 단점으로는 횡하중이 작용시 전단지연현상으로 인하여 플랜지면의 기둥들이 전체적으로 튜브구조의 플랜지역할을 하지 못하고 외곽부 기둥들의 응력이 증가함과 동시에 내부기둥들의 응력이 감소하는 현상이 나타나며 이로 인해 수평변위가 급격히 증가하여 모서리 기둥의 설계에 큰 단면적이 요구되는 결과를 나타낸다.

따라서 이러한 전단지연 현상이 발생하는 원인을 근본적으로 이해하여야만 전단지연현상을 효율적으로 제어할 수 있으며 이는 튜브시스템의 구조 설계에 있어 매우 중요한 부분을 차지한다.

골조튜브 시스템의 장단점

골조튜브시스템의 장점으로 다음과 같은 사항들이 고려된다.

- (1) 횡력저항 구조체가 건물의 외주부에 있어 횡하중에 대해 건물의 전체 폭이 저항하므로 구조물의 횡강성이 증대된다.
- (2) 건물에 가해지는 횡하중은 전적으로 튜브골조가 부담을 하므로 내부 구조는 연직하중만을 지지하므로 설계가 단순하고 기둥 및 보의 배치가 자유롭다.
- (3) 튜브구조는 시공시 동일한 형태의 반복이므로 철골조의 경우 프리패브리케이션 공법을 사용하여 공기를 단축시킬 수 있으며, 부 골조의 공장제작들이 용이하며, 현장시공도 튜브를 이루는 구조체를 전층 동일하게 함으로서 다른 시스템에 비해 훨씬 쉽다.
- (4) 경간의 축소와 부재 춤의 증가에 따른 보와 기둥의 강성이 증가한다.
- (5) 가까이 배치된 춤이 큰 외부부재로 외장재 시스템 비용을 절감한다. 즉, 외부기둥이 커튼월의 수직 밀리언 역할을 하고 기둥과 테두리보가 창이 있는 벽을 지지한다.
- (6) 외벽이 대부분의 횡력에 저항하기 때문에 내부에는 대각선 가새나 전단벽과 같은 추가적인 횡력저항 시스템이 필요 없게 되어 소요물량이 다른 시스템에 비해 절약된다.

또한 골조튜브시스템의 단점으로는 다음과 같이 제시된다.

- (1) 촘촘히 배치된 외주부 골조기둥의 간격으로 인해 창의 계획이 제한되고 내부가 어두워 질 수 있다.
- (2) 파도한 접합개소의 문제점이 발생할 수 있다.
- (3) 저층부 출입구의 제한 및 이의 해결을 위한 1~2개 층에 걸친 막대한 크기의 전이보가 필요하다.
- (4) 효율적인 튜브거동의 유도를 위해 튜브의 연속성을 유지해야 하므로 이로 인해 건물전체 체적계획이 제한을 받는다.
- (5) 전단지연현상에 의한 세장비의 제한 및 기둥응력의 부등분포 문제점

3. 지진에 따른 내진설계

① 공진현상

얼마전 테크노마트에서 발생했던 건물진동으로 모두 대피하는 소동이 있었다. 이는 공진현상에 의한 현상으로 진동체의 고유진동수에 같은 진동수의 강제력을 가했을 때, 약간의 힘으로도 대단히 큰 진동을 일으키는 현상을 말한다.

▣ 고유 진동수

진동에는 자유진동과 강제진동이 있다. 자유진동은 어떤 물체가 일시적으로 충격을 받았을 때 발생하는데, 자유진동이 일어나면 그 물체는 특정 진동수에 따라 진동하다가 서서히 멈춘다. 이 특정 진동수가 바로 물체의 고유진동수다. 이 고유진동수는 물체에 따라 다른데, 크기, 길이, 연결 상태 등 고유진동수를 다르게 하는 요소는 무수히 많다. 예를 들어 같은 기타 줄이라도 길이가 긴 것과 짧은 것은 고유진동수가 다르다. 또 길이가 같더라도 재질이나 두께에 따라 달라진다. 건물과 같은 큰 구조물이라면 부분별로 고유진동수가 일일이 셀 수 없을 정도로 다양하다. 또한, 어떠한 건축물을 전체적으로 봤을 때 큰 고유진동수가 있고, 연결 구조에 따라서 부분적으로 곳곳에 고유진동수가 있기 때문에 같은 건물이라도 외부의 충격에 따라 공진하는 부분이 달라질 수 있다.

▣ 공진현상과 면진

발생되는 지진과 고유주기가 비슷한 구조물에 작용하는 지진력은 공진현상에 따라 쉽게 구조물을 뒤흔들어 피해를 주게 된다는 사실을 이용하여, 이러한 지진파의 주기 특성을 파악함으로써 비로소 면진설계의 개념 도입이 가능해졌다. 면진구조물이란 이러한 지진동의 특성을 이용하여 구조물의 고유주기를 지진의 탁월주기 대역과 어긋나게 함으로써-지진과 구조물과의 공진을 피하게 함으로써-지진력이 구조물에 상대적으로 약하게 전달되도록 한, 즉 구조물의 고유주기를 인위적으로 길게 하여 지진의 강주기 대역을 벗어나도록 설계된 구조물이다.

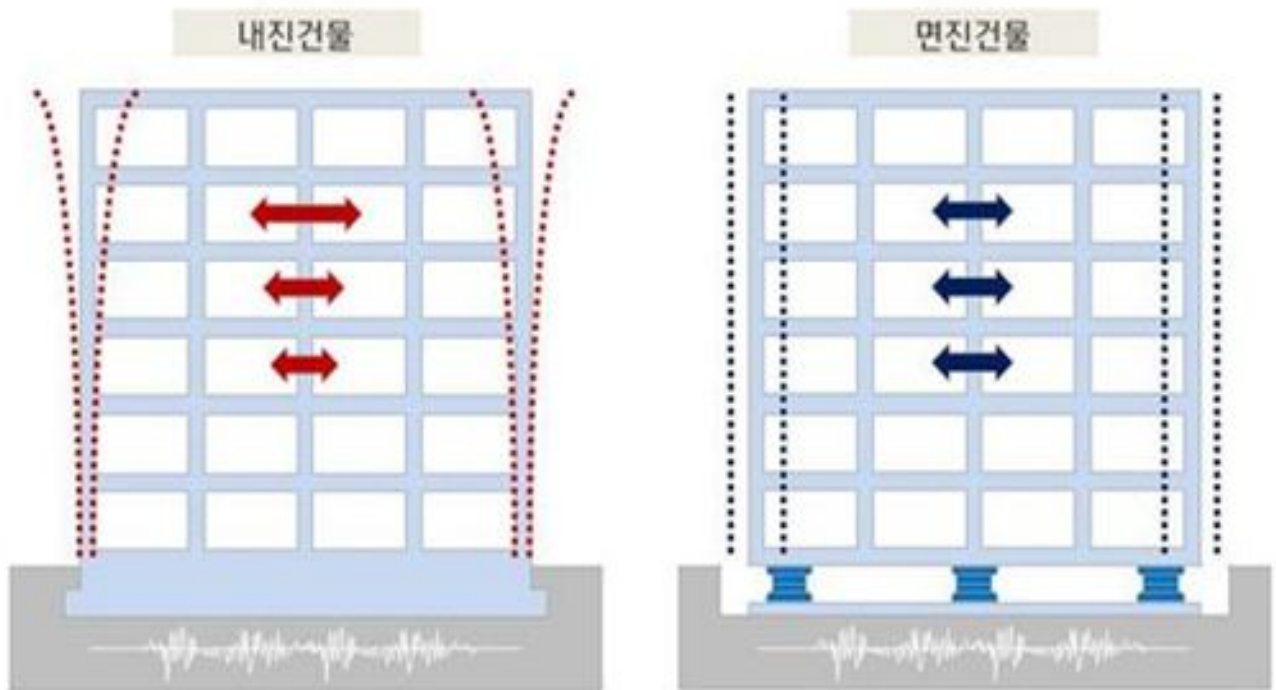
예를 들어 초고층건물이나 교각이 아주 높은 교량의 경우 그 자체의 고유주기가 충분히 길기 때문에 자동으로 면진구조물의 역할을 하게 되지만, 저층건물이나 교각의 강성이 큰 교량의 경우 지반과의 연결부에 적층고무 등을 삽입하여 구조물의 고유주기를 강제적으로 늘리기도 한다.

② 내진설계

내진설계란 지진에 견딜 수 있는 구조물의 내구성을 말한다. 지진이 일어나면 상하진동보다 좌우진동이 일어나므로 이런 수평진동을 견디게 건축물 내부의 가로축을 튼튼하게 만들어 건축물을 강화하는 것이다.

지진력을 구조물의 내력으로 견딘다는 의미도 있으나, 면진과 제진을 포함하는 의미도 지니고 있다.

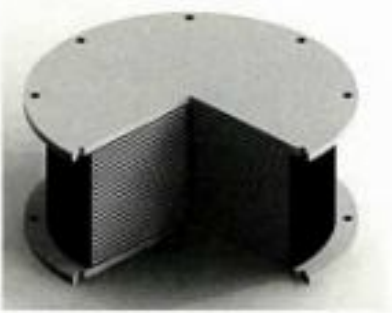
▣ 면진설계



면진이란 말 그대로 지진을 피해가겠다는 개념이다. 면진설계를 적용한 면진구조물은 구조물의 고유주기를 지진의 탁월주기 대역과 어긋나게 하여 공진을 방해함으로써 지진력이 구조물에 상대적으로 약하게 전달되도록 한 구조물이다.

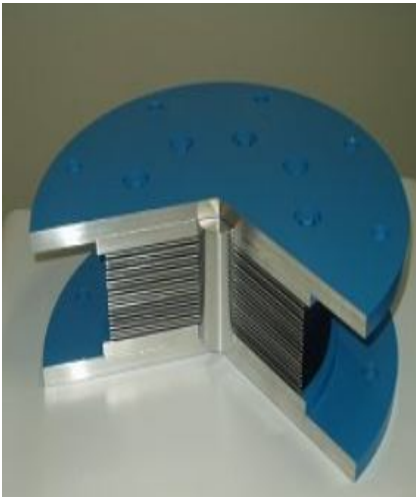
▣ 면진장치 종류 및 특징

▶ 고감쇠 고무받침



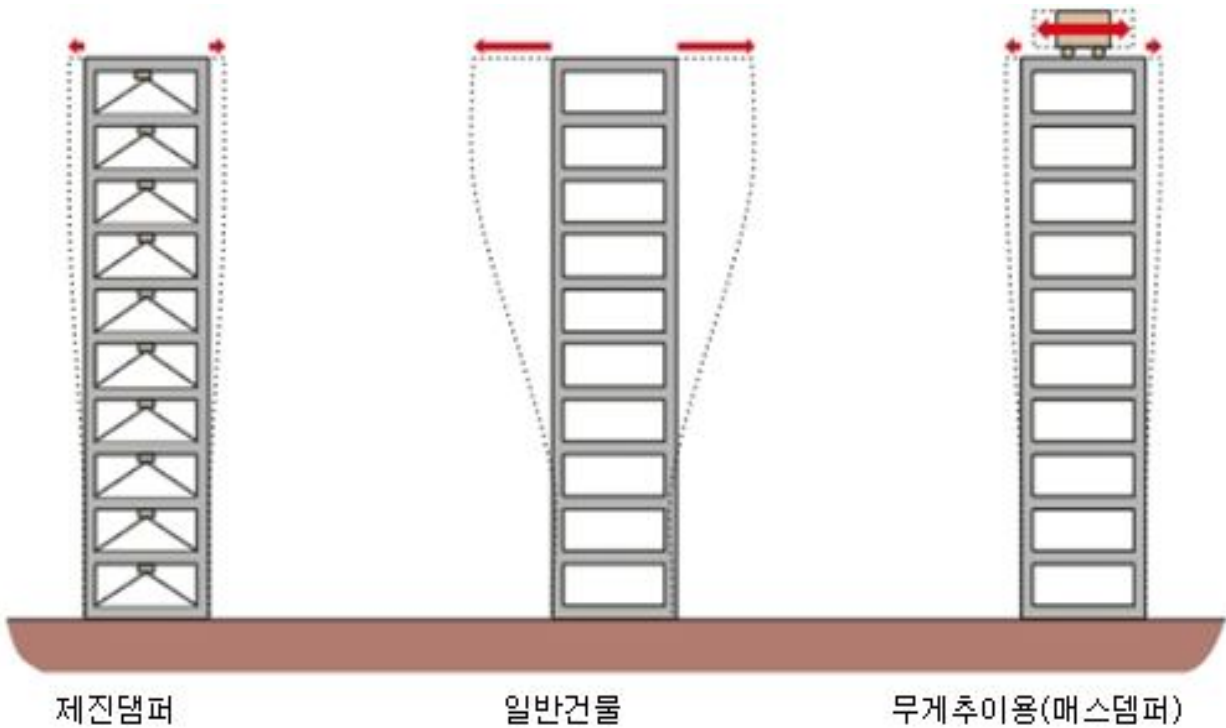
고감쇠 고무받침(HDRB)는 고무자체의 고감쇠 기능을이용하여 에너지 흡수능력을 가진 면진장치로 구조물에 탄성복원력과 10-25%의 댐핑비를 제공한다. 건물의 크기 및 특성에 따라 장주기의 강성과 적절한 에너지 소산능력을 요구할 경우에 적합한 장치이다. 고감쇠 고무는 고무분자가 갖는 스프링 요소와 특수배합에 의한 고무 분자간의 마찰감쇠요소, 분자간에 존재하는 점성체에 의한 점성감쇠 요소가 합쳐져서 전체특성이 에너지를 흡수할 수 있도록 설계가 되어있다.

▶ 주석면진받침



최근에 전세계적인 관심사로 대두되고 있는「환경에 대한 부담저하」및 「유해물질의 사용저감」이라는 슬로건으로 납을 대신하는 물질인 주석을 개발하여 사용한 면진받침이다. 주석은 기본적으로 납보다는 강성이 강한 재질로서 항복강성 및 감쇠값이 납면진받침에 비하여 1.7배 정도 우수하다는 평가를 받고 있다. 그러나 납면진받침보다 항복강성및 감쇠값이 크다는 사실은 차량하중 및 풍하중에 대한 안전성 및 지진시 변위는 줄어드는 장점은 있으나 반면에 교각에 전달하는 지진력은 그만큼 크게 전달하게 된다. 순도 99.99%의 납은 상온에서 재결정화가 이루어진다는 사실로부터 교체가 필요 없기 때문에 탄성받침의 내부에 코아 형태로 삽입된 것처럼 주석면진받침에 적용되는 주석도 상온에서 재결정화가 이루어진다는 것이 확인된 주석을 사용하는 것이 원칙으로 되어져야 한다.

▣ 제진설계



▣ 제진장치 종류 및 특징

▶ 동조질량 감쇠기



지진이나 바람에 의해 발생하는 구조물의 진동을 제어하는 감쇠장치 중, 동조질량감쇠기(Tuned Mass Damper, TMD)는 질량체, 강성, 그리고 감쇠로 구성되며, 구조물의 특정 진동수(통상 구조물의 1차모드 진동수)에 동조시켜 감쇠기의 관성력에 의하여 구조물의 에너지를 소산시키는 장치로서, 선박의 흔들림 거동을 감소시키기 위해 주로 적용되었으며, 이후 건축 및 토목 구조물의 풍응답 제어를 목적으로 적용되고 있다.

▶ 동조액체 감쇠기



지진이나 바람에 의한 동적하중에 대한 건물의 구조적 안정성을 확보하기 위해 동조질량감쇠기(tuned mass damper, 이하 TMD라 칭함.), 동조액체감쇠기(tuned liquid damper, 이하 TLD라 칭함.), 동조액체기둥감쇠기(tuned liquid column damper, 이하 TLCD라 칭함.) 등의 수동형 감쇠기가 연구되어 왔다. 특히, TLCD는 수직관 및 수평관의 기하학적 크기 및 내부 물의 수위를 조절하여 건물의 고유진동수에 동조시킨다. 하지만, 이러한 방법도 특정방향에 대해서만 감쇠기가 작용한다는 단점이 존재한다. 해상 풍력발전기의 경우 파도나 바람에 의해서 동적하중을 받게 되고, 이러한 동적하중은 그 방향성이 일정하지 않다. 그렇기 때문에 다 방향에 대해서 감쇠역할을 하는 감쇠기의 연구가 필요하다.

③내진 구조 방식(Bracing)

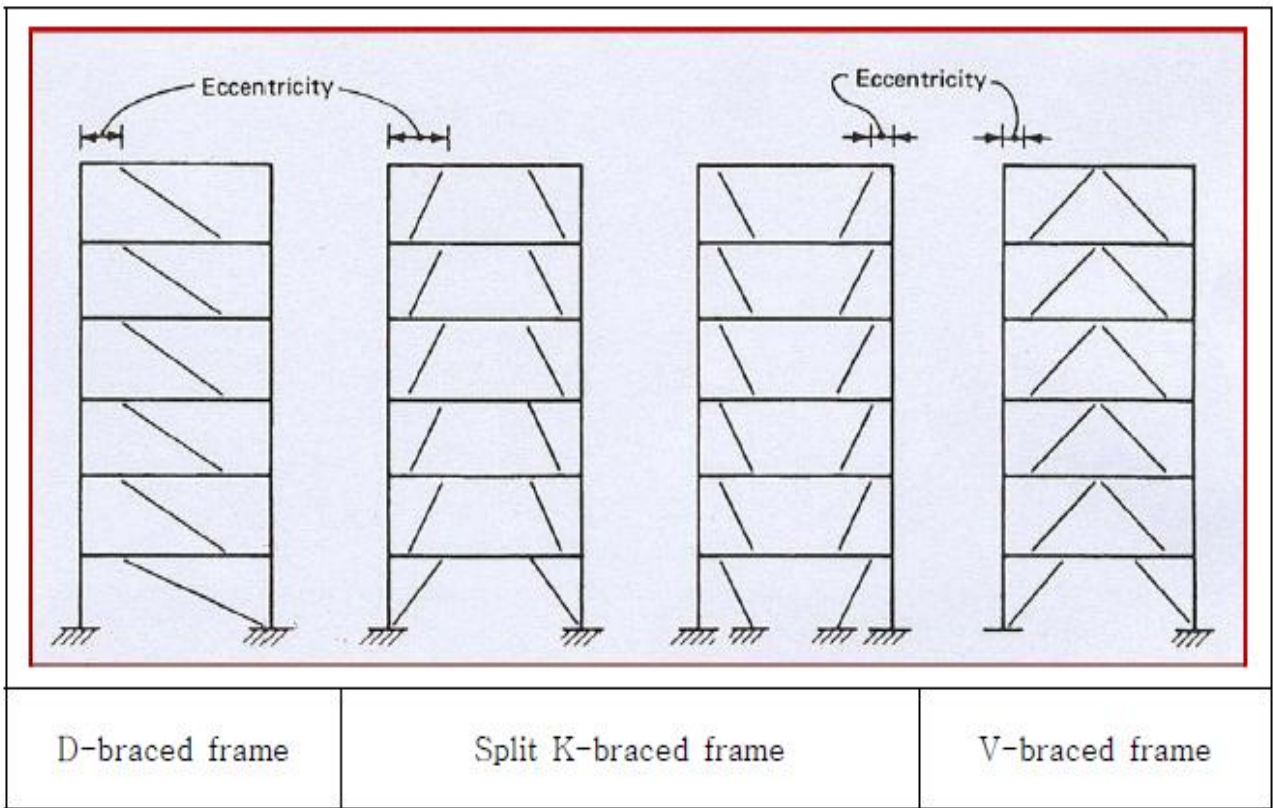
▣ 중심 가새 골조

- ▶ 모든 부재의 축이 한 점에서 교차하여 부재력=축력 이 된다
- ▶ high stiffness & Low ductility
- ▶ 높은 연성을 필요치 않는 약진 지역에 주로 사용

X Bracing	Diagonal Bracing	Diagonal Bracing
K Bracing	V Bracing	Knee Bracing

▣ 편심 가새 골조

- ▶ 휨과 전단을 골조에 유발시키기 위해 축의 편심을 이용
- ▶ 구조재의 사용량에 대한 강성의 비율은 낮게 하지만, 연성을 증진시켜 줌.
- ▶ 축의 편심에 의해 발생하는 전단 및 휨 작용이 연성을 증대시킴
- ▶ 창호와 기타 개구부의 원활한 적용을 위해 EBF가 흔히 사용됨.
- ▶ 비탄성 전단 작용과 휨작용에 의한 높은 연성으로 인해 강진 지역에 바람직하다.
- ▶ 신뢰성과 연성 향상
- ▶ high stiffness & Low ductility
- ▶ 높은 연성을 필요치 않는 약진 지역에 주로 사용

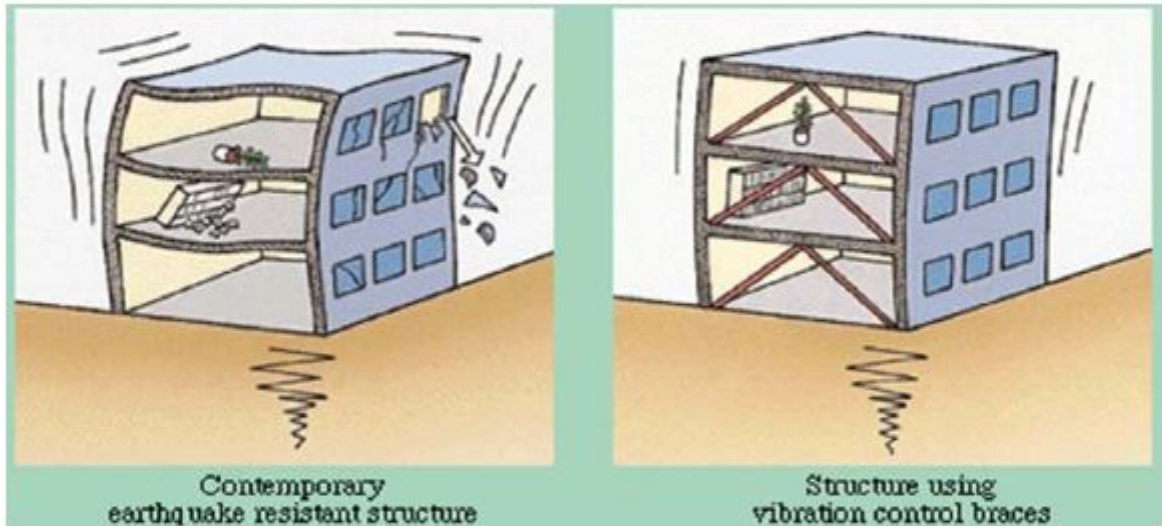


▣ 시스템 장·단점

장점	시공용이성 -> 구조용 강재 사용
	사재는 수평 전단력을 위한 강도, 강성이 충분한 최소의 부재 사용 -> 고층 구조를 위한 경제적 구조
단점	내부 평면과 개구부의 제약

▣ 에너지 소산

▶ 가새, 점성 가쇠기 등 에너지 소산 장치가 없는 경우 지진하중이 왔을 때, 하중에 의한 에너지를 건물파괴로써 대신 에너지를 흡수하여 소산할 수 있는 장치가 필요



④ 내진설계 시 고려사항

▣ 재료적 고려

▶ 내진 성능 면에서 좋은 구조는 다음과 같은 구조재료의 특성을 지녀야 한다.

▣ 구조물의 형태

▶ 건물이 외형으로서 지진에 대해 절대적으로 유리하다고 할 수 있는 이상적인 형태는 없지만 보편적으로 건물이 외형은 다음과 같은 성질을 가지는 것이 바람직하다.

▶ 간결성 또는 단순성 - 단순한 외형을 가지는 구조물이 지진 발생 시 복잡한 외형을 가지는 구조물 보다 더 좋은 거동을 한다는 것은 널리 알려진 사실이다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 복잡한 구조물보다 단순한 구조물의 거동이 훨씬 예측하기 쉽다. 예를 들어서 비정형 구조물의 거동이 미치는 비틀림의 효과는 매우 예측하기 어렵다. 둘째, 복잡한 구조물의 세부 설계보다는 단순한 구조물의 세부 설계가 훨씬 쉽다. 셋째로 단순한 구조물의 경우에는 시공하기가 훨씬 간편하다. 이와 같은 이유로 건물의 단순성은 내진 설계에서 매우 중요하다.

▶ 대칭성 - 건물 형태의 대칭은 평면에서 뿐만 아니라 입면에서도 매우 중요한 개념이다. 또한 건물의 형태와 아울러 구조적으로도 대칭을 이루어야 지진에 대하여 효율적으로 거동을 할 수 있다. 외형적이든 구조적인 이유에서든 구조물이 대칭성을 잃게 되면 비틀림의 영향이 발생한다. 이러한 경우에는 설계 시에 3차원 해석이 필요하며 세부 설계 시에도 주의가 필요하다.

▶ 안정성 - 다음과 같은 경우에 건축물이 보다 안정된다.

- ▶ 부재들의 간성이 균일하게 분포하여 있는 경우
- ▶ 지붕에서 건물의 기초까지 모든 연직부재들의 중심축이 일직선상에 놓여 있는 경우
- ▶ 모든 보들의 중심축이 일직선상에 놓여 있는 경우
- ▶ 모든 기둥과 보들이 동일한 축에 놓여 있는 경우
- ▶ 서로 연결된 철근 콘크리트 기둥과 보가 거의 같은 폭을 가지고 있는 경우
- ▶ 인접 부재간의 급격한 단면의 변화가 없는 경우
- ▶ 구조물의 연속이고 하나의 구조 재료로 이루어져 있는 경우

< 출처 >

- > **백두산 화산의 전조활동 분석 연구(Analysis of Unrest Signs of Activity at the Baegdusan Volcano) : 저자명 - 윤성효, 이정현, 문서유형 학술논문**
- > **High-rise Building Structure Lab. Sungkyunkwan Univ.**
- > **백두산 화산폭발 가능성에 대한 과학적 검토 및 대응방안 - 저자명 국회환경포럼**
- > **이중 코어를 적용한 초고층 복합튜브 구조시스템의 횡적 거동에 관한 연구 : 저자명 - 김성윤, 박성수**



2장



저희 구조물은요?!



< alphadom city >



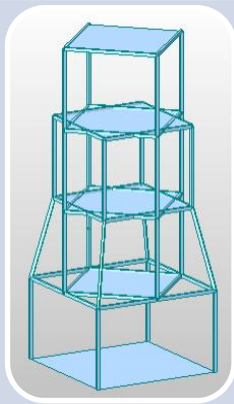
< d-cube city >



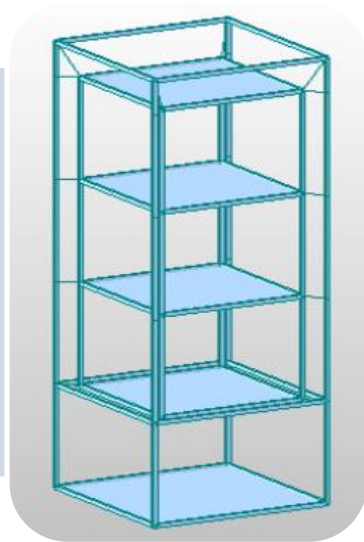
< Diamond Plaza >

쇼핑몰, 영화관, 전시관 등
각종 편의시설이 있는
Multiplex Mall !!

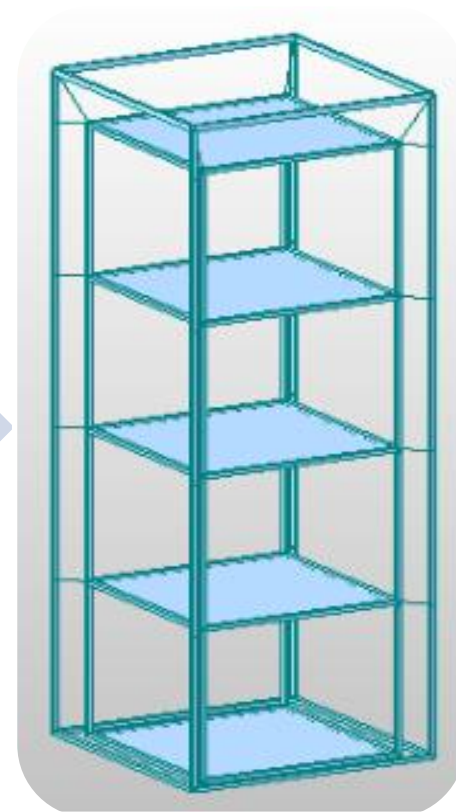
Design 결정!



모델
1

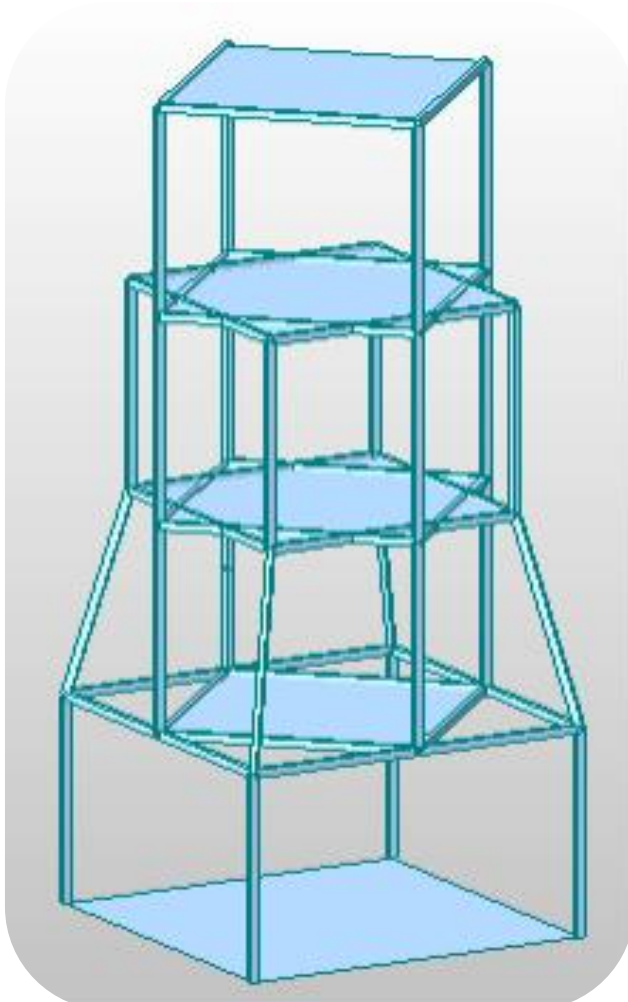


모델
2



모델
3

모델 1



착안점

- 1층면적을 넓게 만들어 안정감 주기
- 엇갈리게 배치하여 저항성 주기

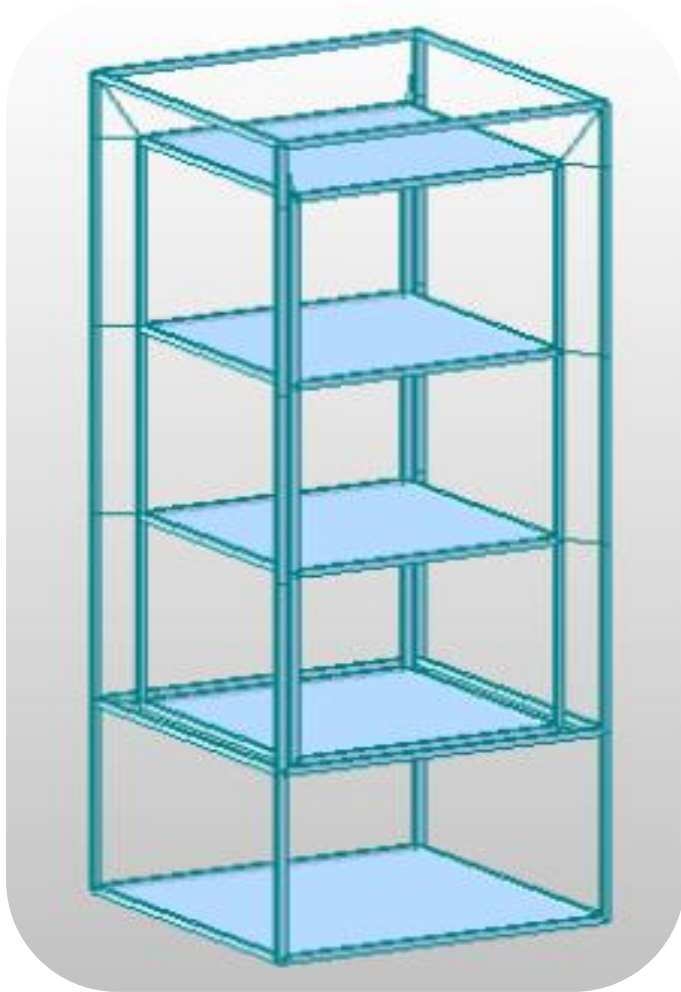
적합성

- 안정감을 줌
- 면적이 확보됨

문제점 및 개선방향

- Plate가 많아 경제성이 떨어짐
- 기둥의 배치가 어려움
- 제작시간이 오래 걸림
- 내진설계가 필요함

모델 2



착안점

- 내진설계가 필요함
- 2층에 면진 장치 설치
- 바깥기둥을 세워 제진 효과 기대

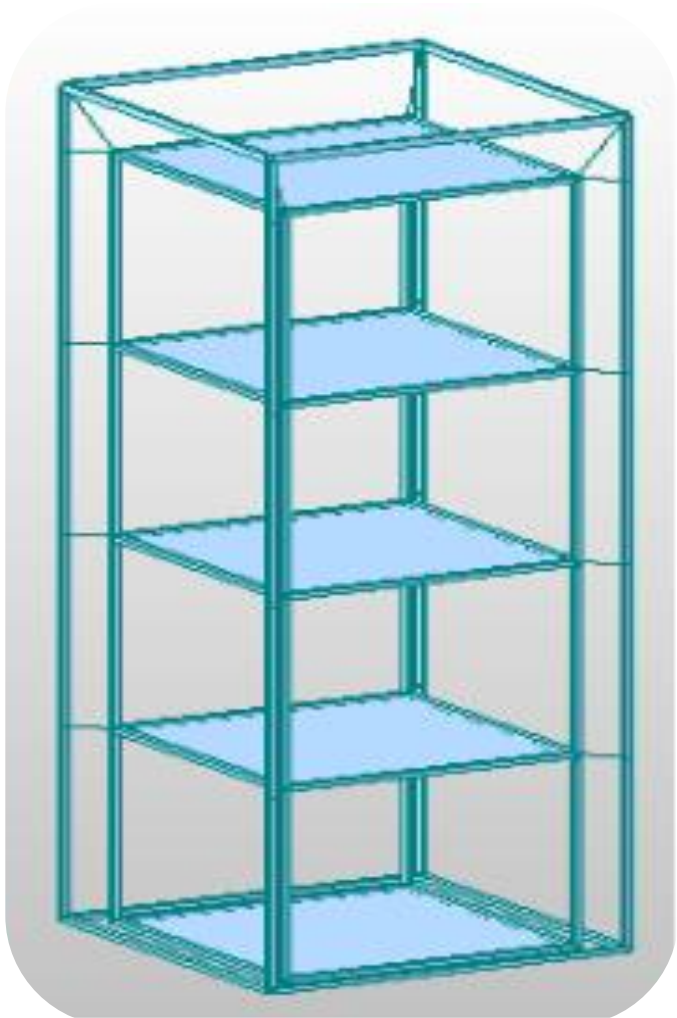
적합성

- 내부 구조의 제진으로 지진에 저항
- 내외부 구조를 실로 연결
- 분할업무를 통한 제작시간 절감

문제점 및 개선방향

- 면진 부분에 추가적인 부재 필요함
- 실의 구조적 해석이 어려움
- 안정성이 요구됨

모델 3



착안점

- 모델 2의 시공성을 고려함
- 면진 장치의 개념이해

적합성

- 제진과 면진이 이상적으로 적용된 모델!
- 분할 시공으로 제작시간 절약!

문제점 및 개선방향

- 기둥에 대한 보강이 필요함
- 가새골조 보강!

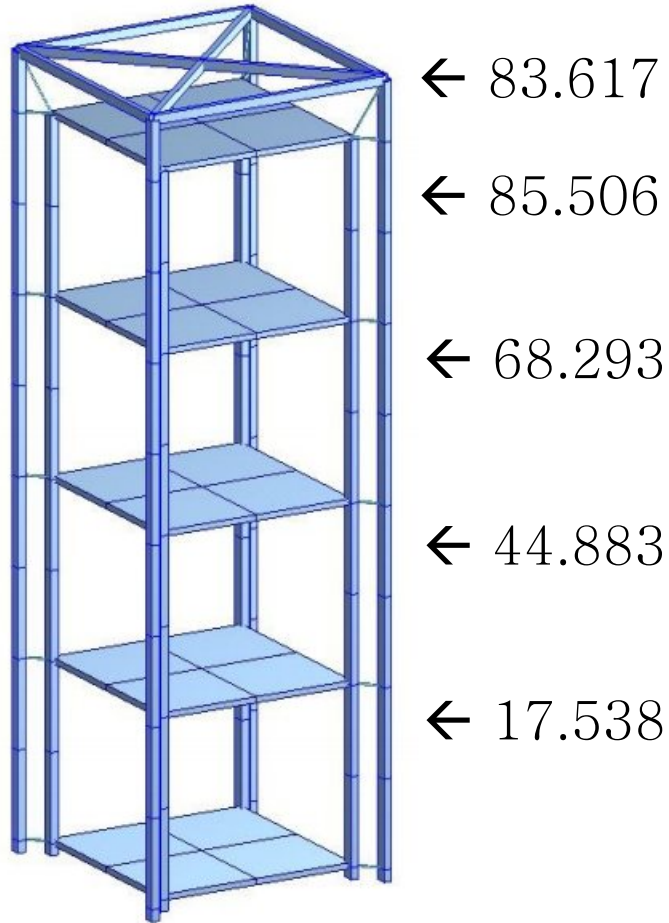
디자인 결론

		모델 1	모델 2	모델 3
착안점		구조적 안정	내진의 첨가	시공성 개선
절점 (개)		44	24	20
제작 비용	MDF Plate(개)	6	5	5
	MDF Strip(개)	$8816/600 \div 15$	$10352/600 \div 18$	$9488/600 \div 16$
	실로 절점 보강(줄)	$44/2 = 22$	$24/2 = 12$	$20/2 = 10$
	실로 Cable 표현(줄)	0	8	10
	합계 (백만원)	970	880	860
시공성 평가		오랜 시간 소요	면진 장치 부적합	내외부 구조물 동시작업가능



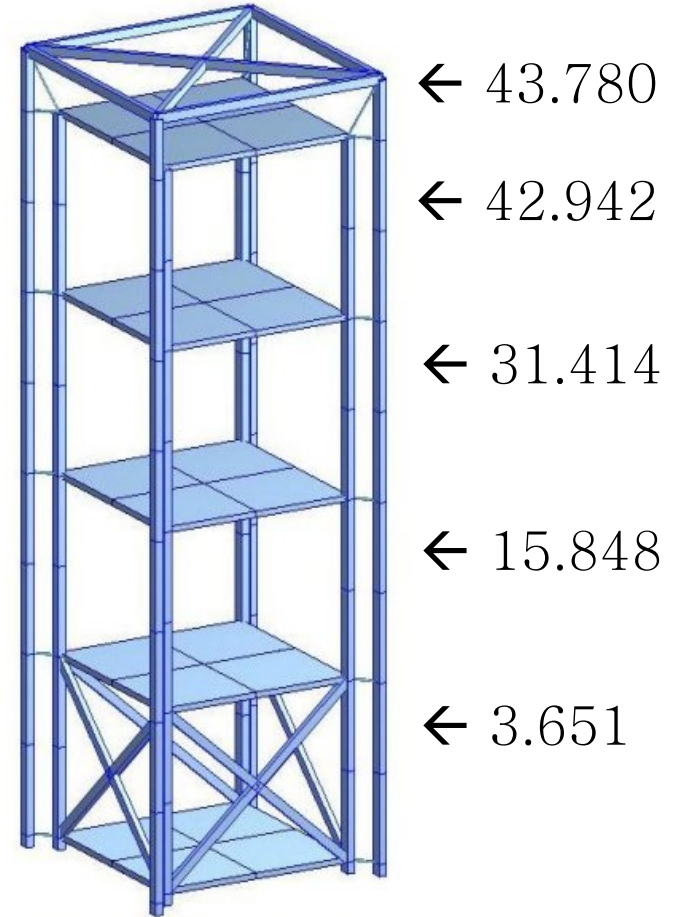
보강하기!

최대 절대 수평 변위 (mm)



+ Brace

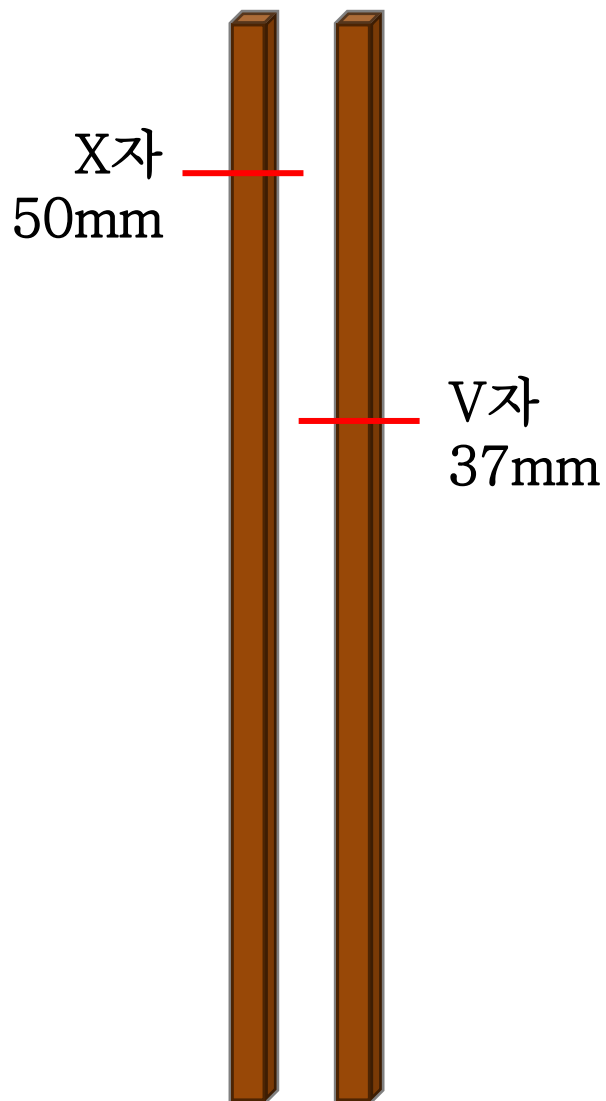
최대 절대 수평 변위 (mm)



보강하기!

brace 보강 층	변위 층	최대 변위 (mm)					안정성
		X	V	∧	∇	∧	
1층	1층	3.651	3.667	3.663	3.665	3.660	X자
	바깥기둥 Top	43.780	44.875	46.154	44.548	45.856	
2층	2층	14.167	13.947	13.754	14.052	13.836	∧자
3층	3층	28.845	29.279	29.029	29.299	28.993	X자
4층	4층	57.274	59.276	57.828	59.174	57.658	X자

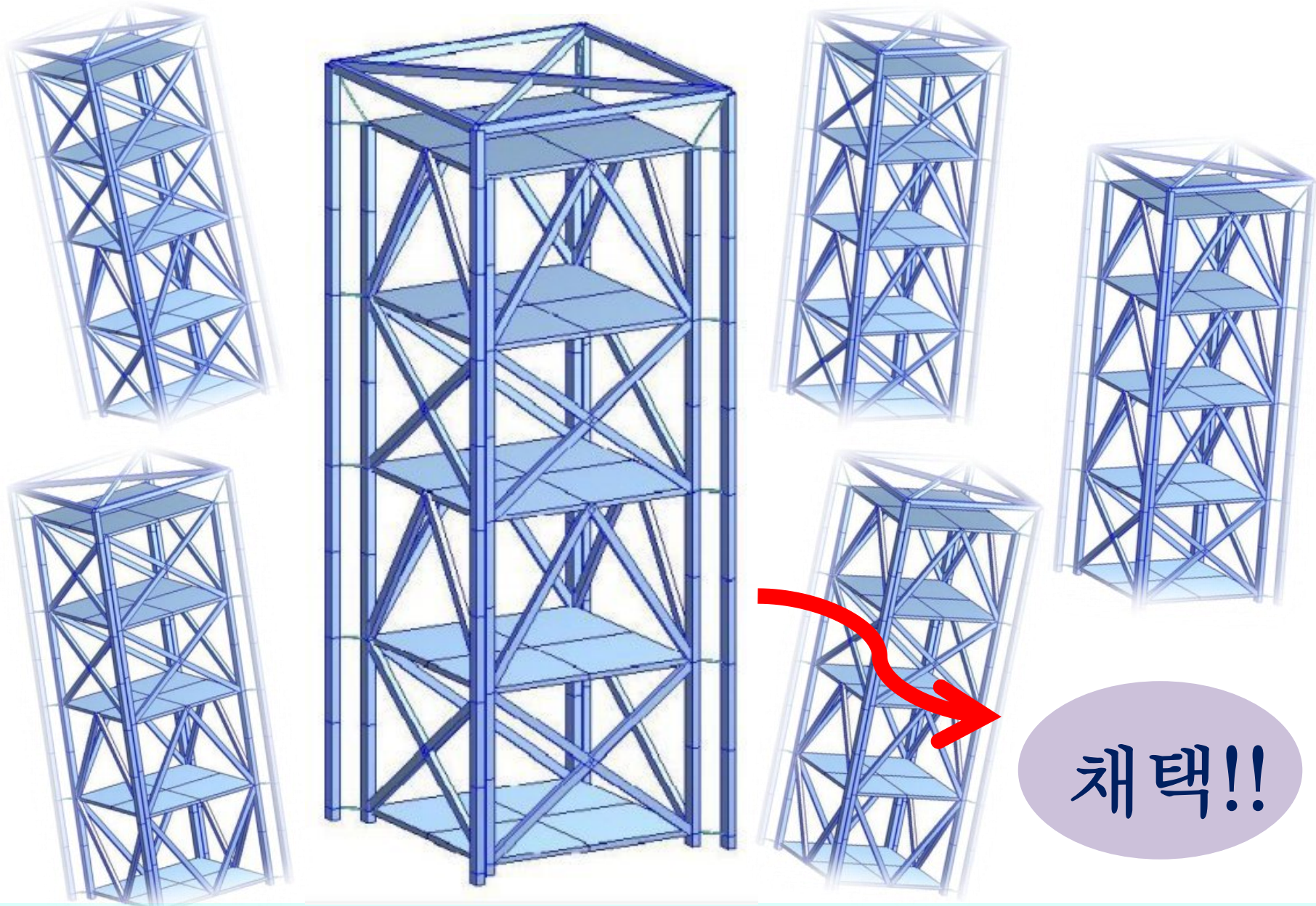
Brace 제작길이



brace 보강 층	경제성
1층	V자
2층	∧자
3층	∧자
4층	∧자

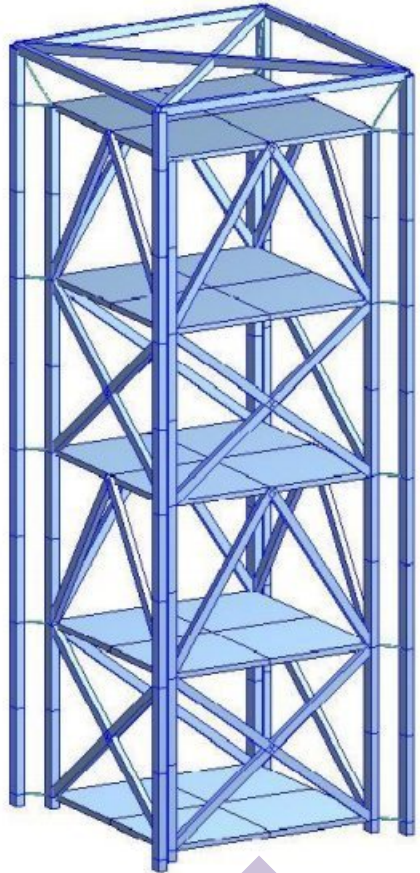
안정성, 경제성을
고려하여
총 $2 \times 3 = 6$ 가지
구조물 설계

보강하기!



채택!!

최대 절대 수평 변위 (mm)



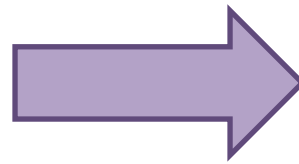
← 0.900

← 1.350

← 1.551

← 1.267

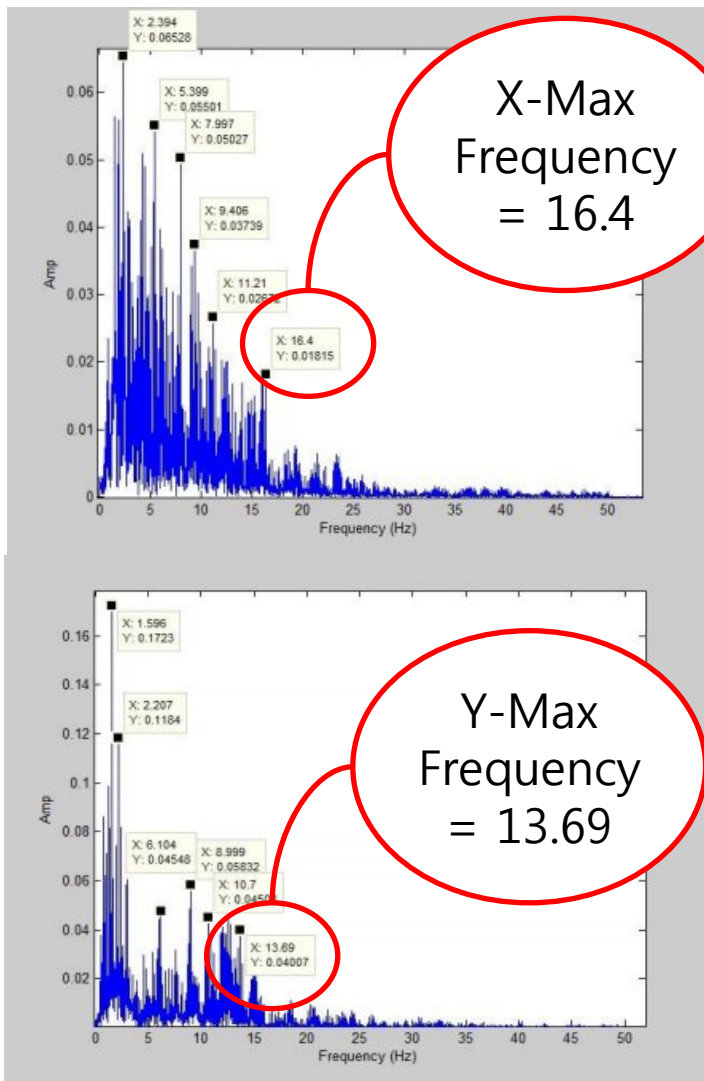
← 0.518



Brace + 면진 장치
이상적인 설계

1층 + 변
지

지진파 분석



지진
파
진동수

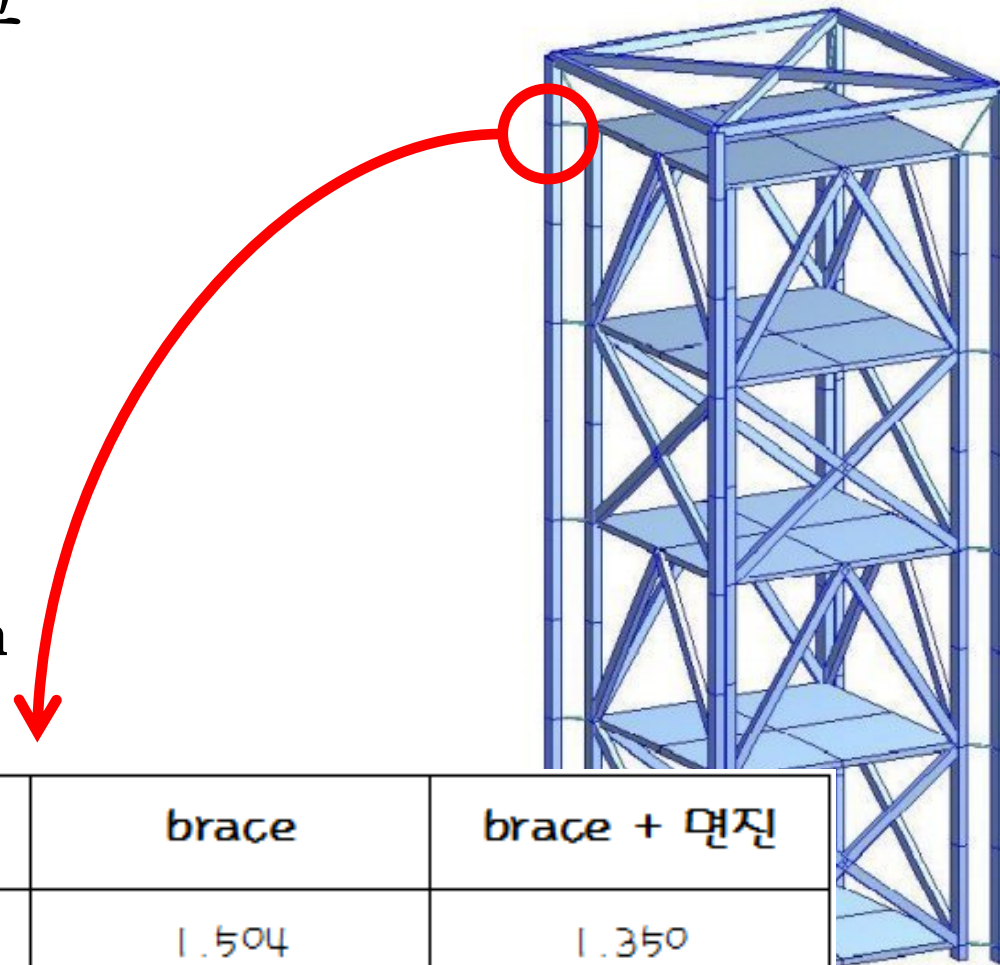
모델구조
진동수

공진방지!!

Mode No	Frequency (Hz)
1	19.77519
2	19.79738
3	23.23859
4	23.47764
5	35.19504
6	39.68679
7	40.20314
8	40.67462
9	40.76214
10	41.19166
11	41.58152
12	42.0955
13	42.53955
14	55.25501
15	55.68607
16	59.81797
17	59.83483
18	111.4923
19	112.0346

내진디자인 과정별 비교

Horizontal
Displacement & Acceleration
at Node. 288

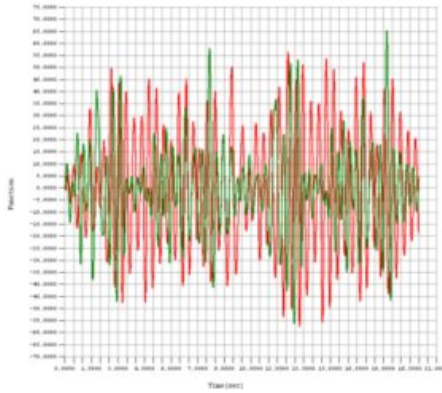


	No brace	brace	brace + 면진
Displacements (mm)	80.453	1.504	1.350
Acceleration (mm/s)	24700.202	9265.899	6830.173

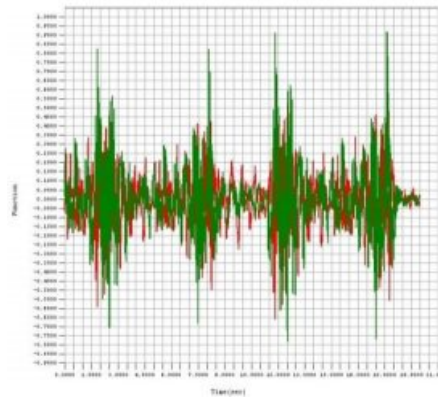
내진디자인 과정별 비교

Time History of Displacement

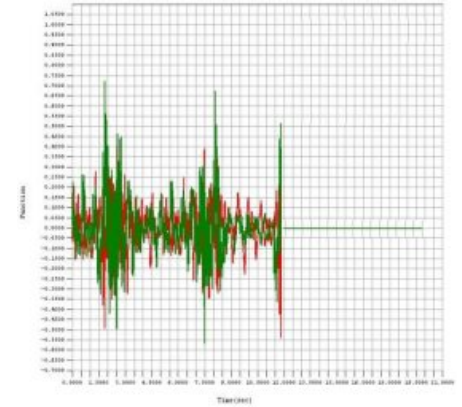
■ dis (x) ■ dis (y)



No brace

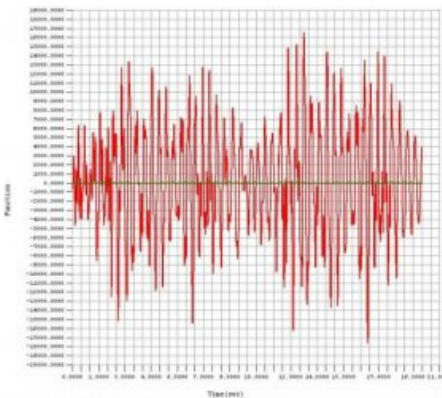


brace

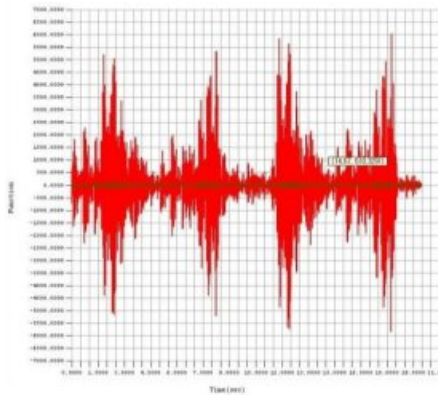


brace + 면진

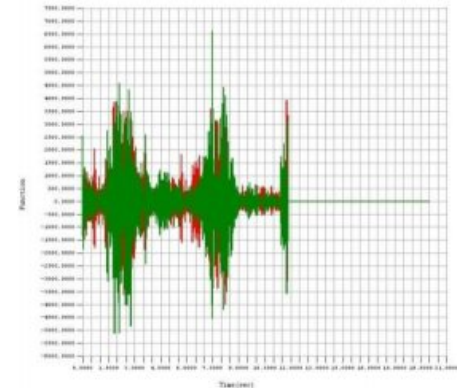
Time History of Acceleration



No brace



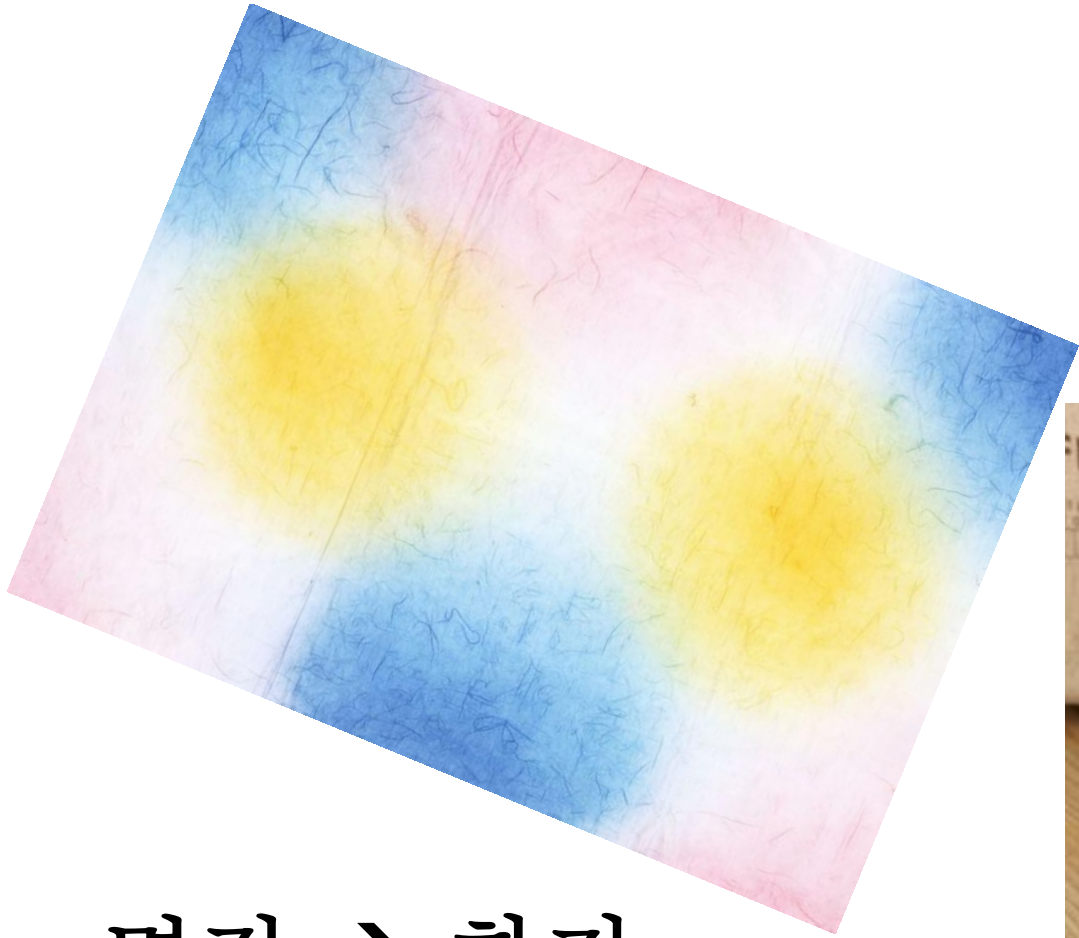
brace



brace + 면진



만들어보자!



면진 → 한지

제진 → 실



면진 장치

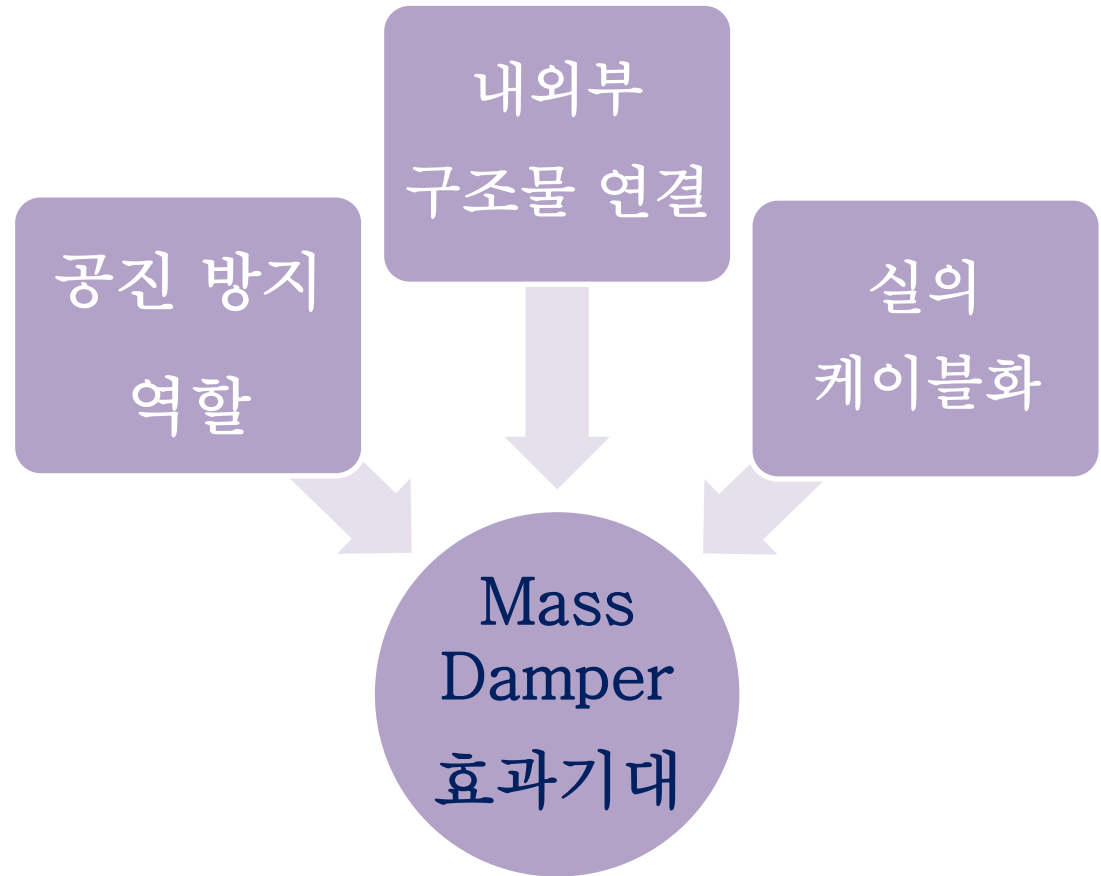


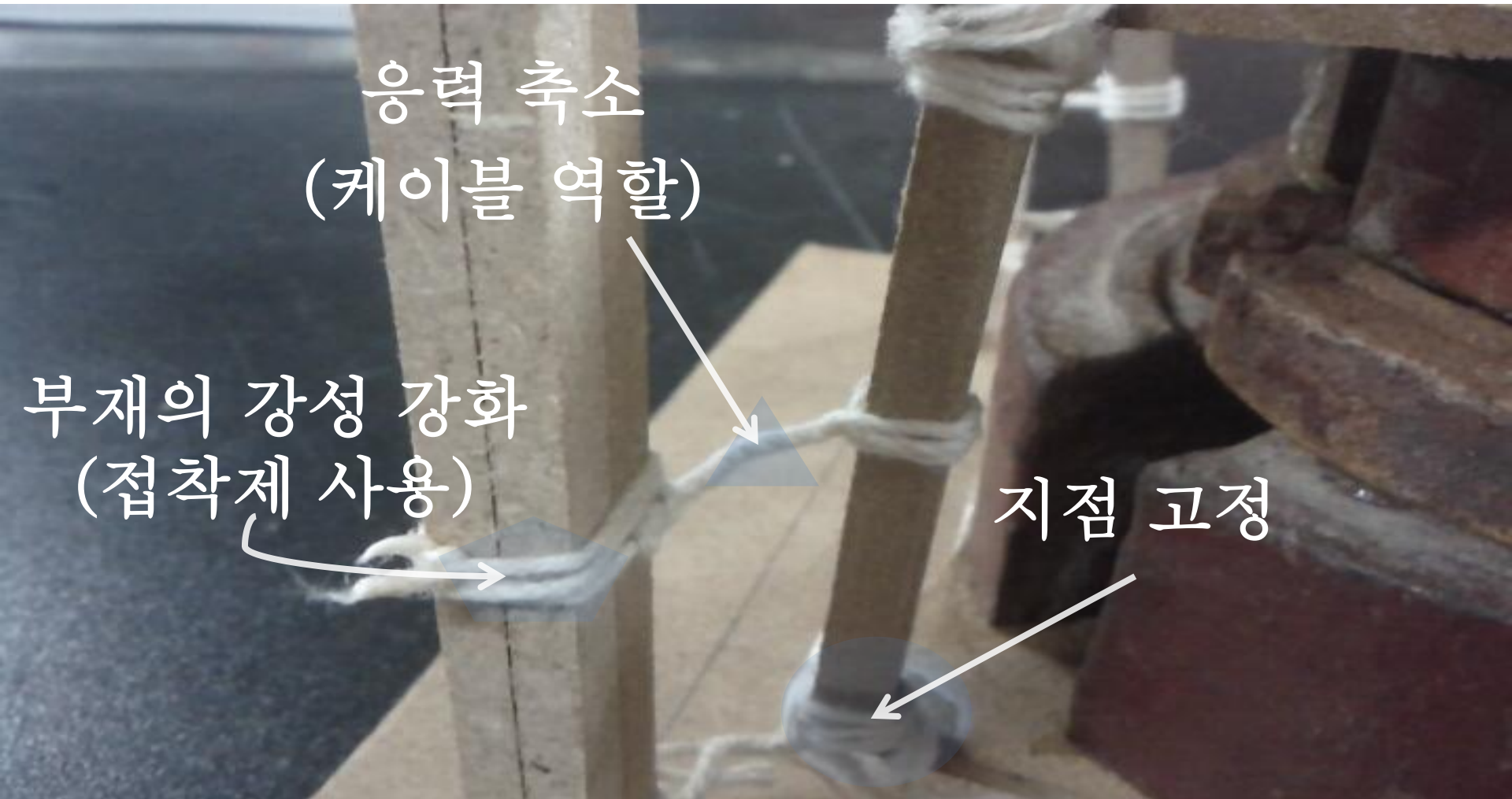
납, 고무
사용 불가

한지의 겹침
이용

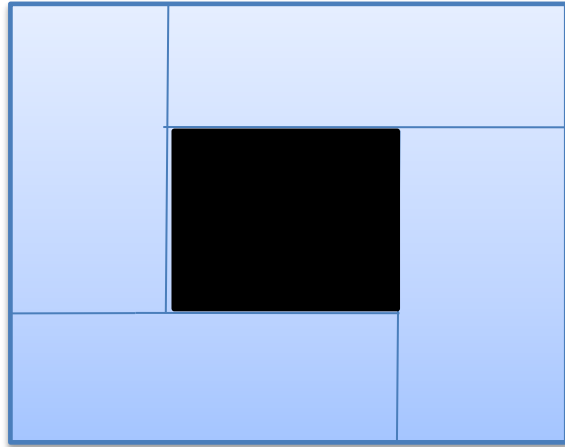
수평변위 확보
및 마찰력 기대

제진 장치



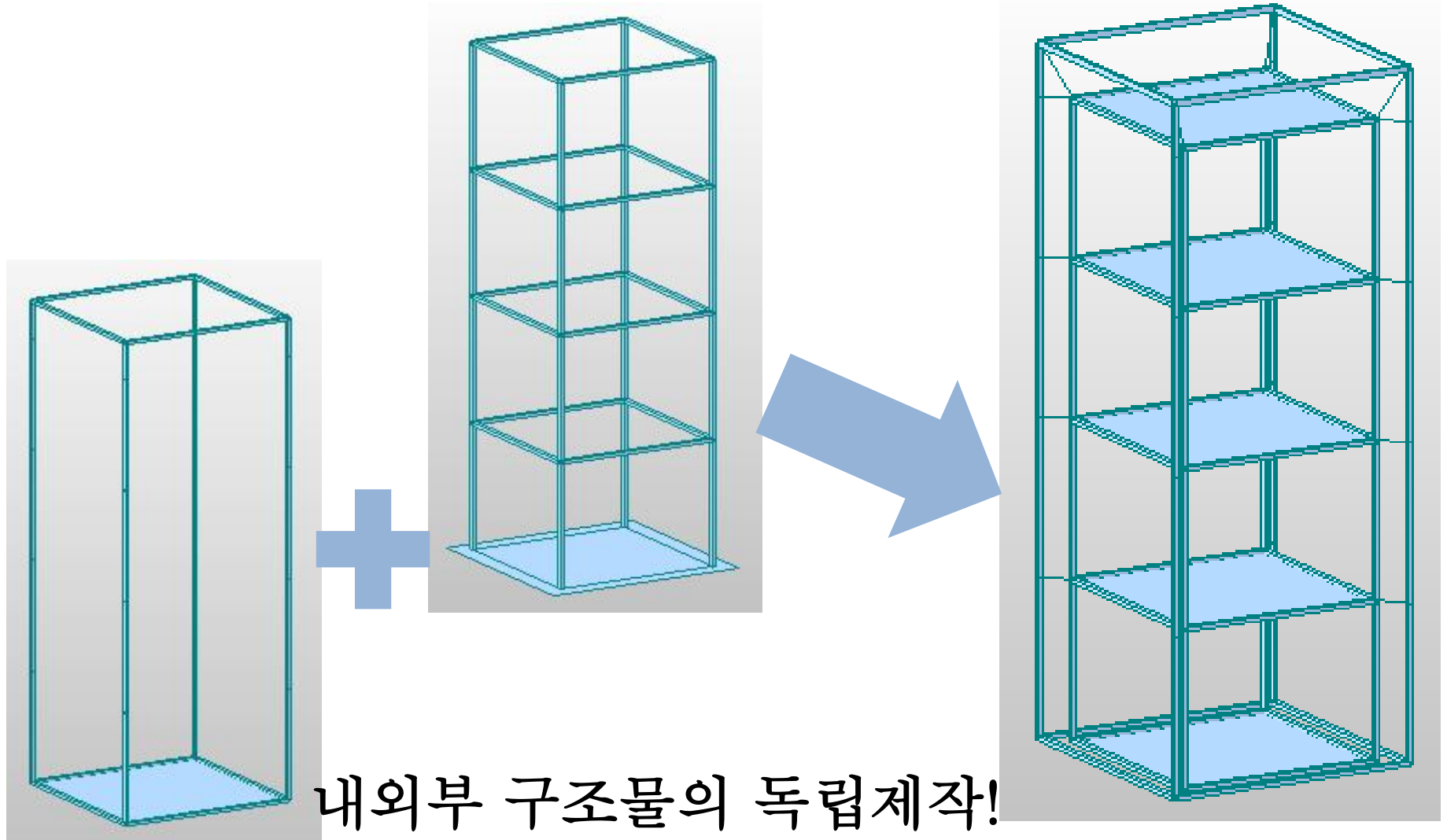


기둥단면

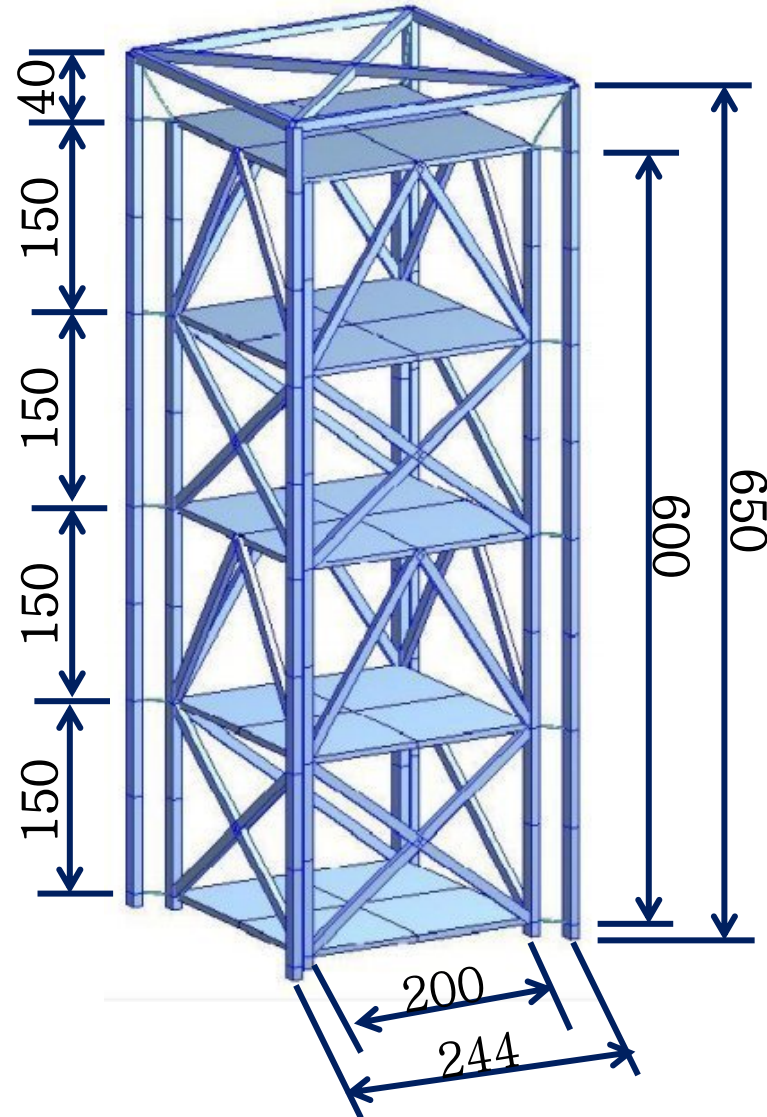


- 기둥외각을 넓혀 지진에 저항
- 문제점 : 바닥의 무주공간 면 적 확보가 어려움
- 부재의 겹침을 이용하여 관성모멘트 강화

실제 모델 제작에 대한 고려



최종 구조물의 제작길이 (mm)





Gracias!