

2024 구조물 내진설계 경진대회 본선 발표

구조물의 지진 피해 저감을 위한 탄성도르래 - 면진 복합 구조 설계제안서

이화여자대학교 이구동성

김철구 지도교수

김민영 팀장

설계 아이디어 구상

상세 설계

설계 제안서 총괄

김민경 팀원

설계 아이디어 구상

물성치 분석

시공-원가 관리

나오영 팀원

설계 아이디어 구상

3D 모델링

CAD 설계도면 작성

윤채은 팀원

설계 아이디어 구상

지진파 분석

시공-공정 관리

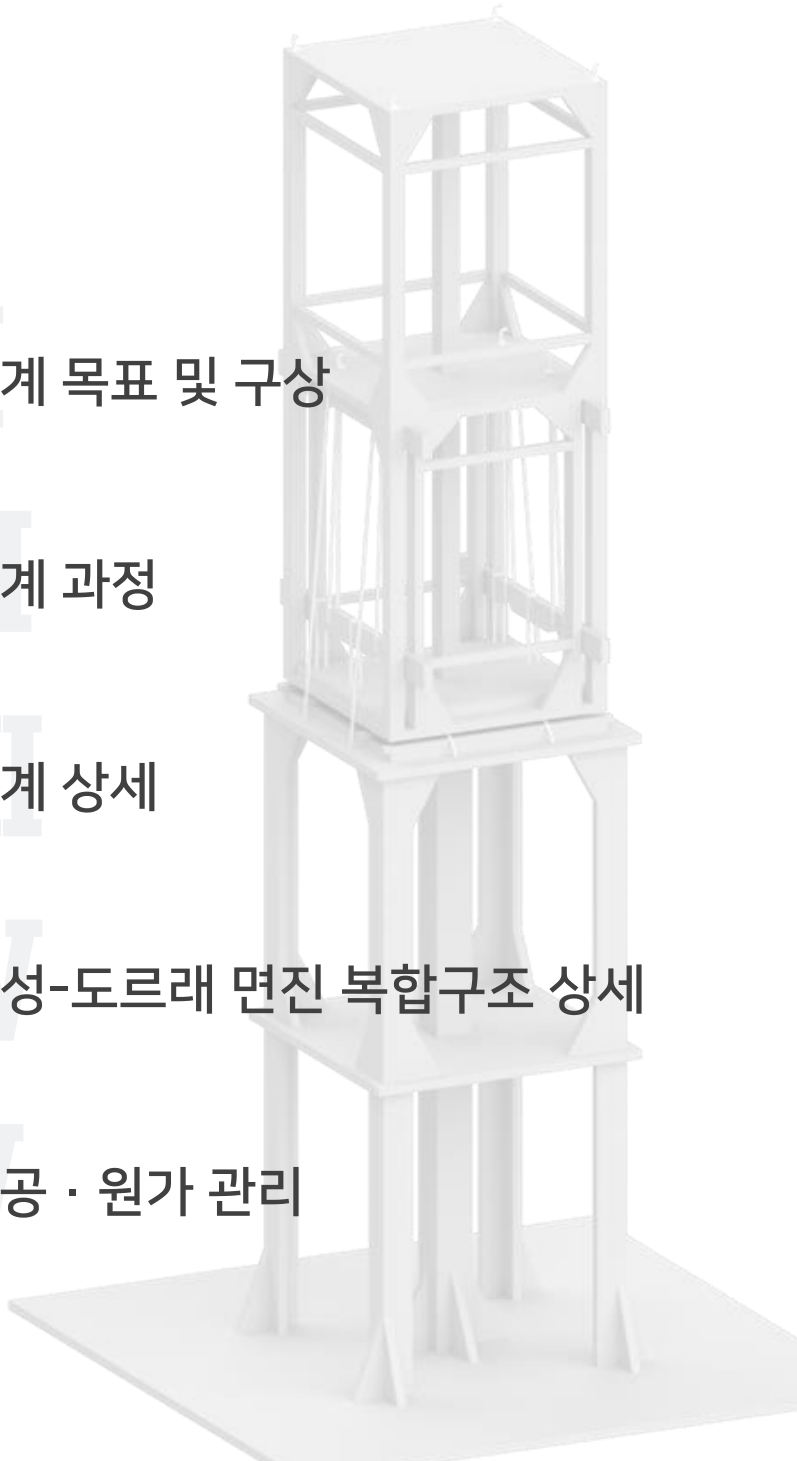
I
설계 목표 및 구상

II
설계 과정

III
설계 상세

IV
탄성-도르래 면진 복합구조 상세

V
시공 · 원가 관리



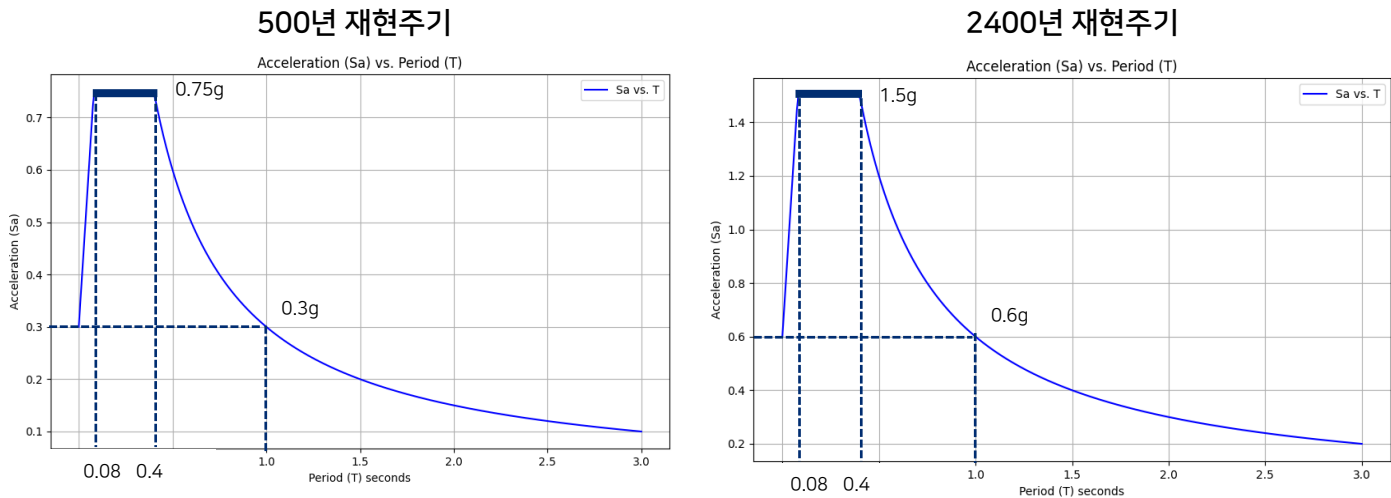
I. 설계 목표 및 구상

설계 목적 “내진설계를 통한 구조물 지진 피해 저감

- 설계지진 초과 시 파괴를 유도하는 정밀한 설계
- 시공성, 경제성, 심미성, 창의성을 추구하는 설계

재현주기		유효수평지반가속도	성능 목표	500년	기능수행	장기복구	즉시복구/ 인명보호
500년	0.3g			2400년	붕괴방지		
2400년	0.6g						

설계 응답스펙트럼



재현주기	최대 설계 응답스펙트럼	최대 가속도	1초 주기 가속도
500	0.08sec ~ 0.4sec	0.75g	0.3g
2400		1.5g	0.6g

- 1초 주기 가속도 0.6g까지 붕괴방지
- 1초 주기 가속도 0.7g 일 때 구조물이 파괴되도록 설계

설계 아이디어 구상

- 1

내진설계 이론, 동역학 기초, 일반물리학, 구조역학, 재료역학 등 이론 학습
부재 접합 종류, 타워크레인의 원리 등 시공 공법 학습

2

록타이트 경화 원리 학습 및 고무줄, MDF의 물성치 분석 등 재료 특성 파악

3

내진, 제진, 면진 구조가 포함된 설계안으로 기존 내진설계 공법 구현 후 실증 실험
- 4

기존 내진 설계 공법인 면진 구조에 물리학, 건축 시공 공법을 융합하여 구조물 지진피해를 저감할 수 있는 설계 아이디어 구상

→

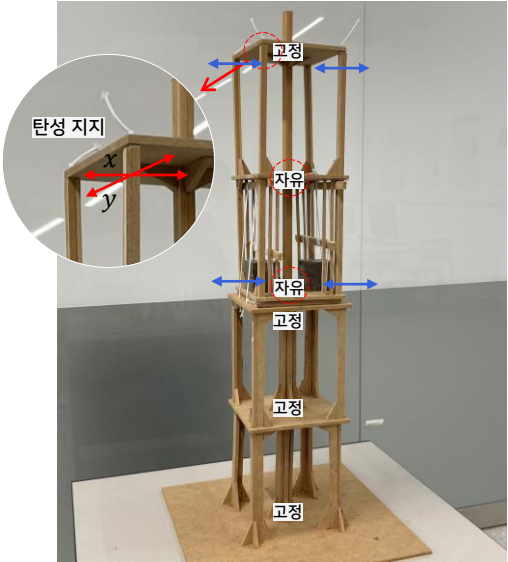
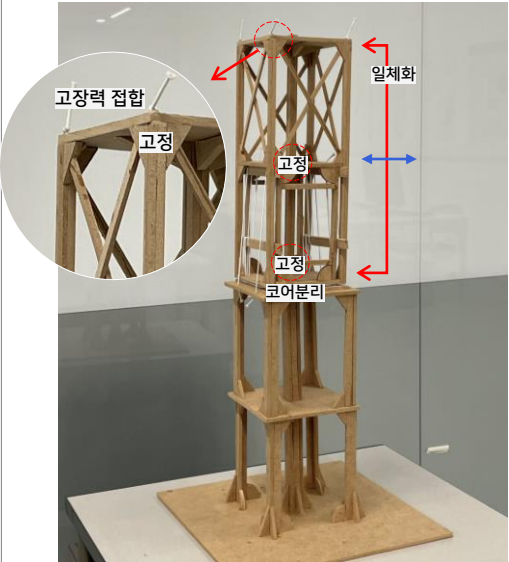
용수철, 도르래의 원리를 활용한 탄성도르래-면진 복합 구조

→

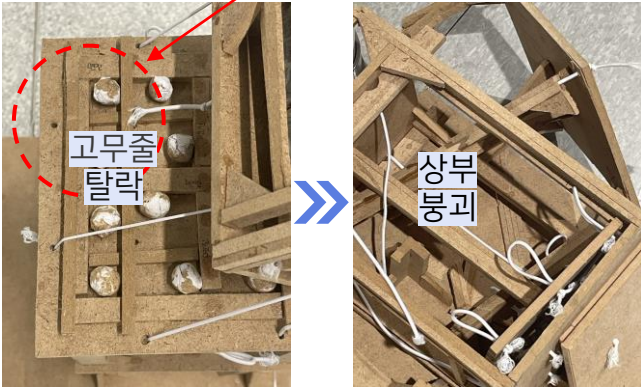
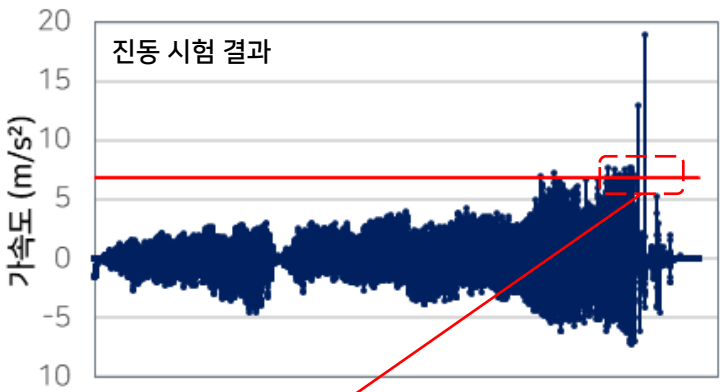
고장력 볼트에서 착안한 플레이트와 기둥의 탄성 에너지 접합

II. 설계 과정

구조물 피해 최소화 및 0.7g 붕괴 유도 과정

초기 설계안	중간 설계안	최종 설계안
		
0.4g 붕괴	1.1g 붕괴	0.7g 붕괴
1~4층 코어 일체화 1~2층 - 코어 - 옥상 슬래브 고정 3~4층 기둥 - 옥상 슬래브 분리	1~2층, 3~4층 코어 분리 3~4층 기둥 - 옥상 슬래브 일체화 3~4층 내진 보강	- 면진 장치 수정 - 도르래 설계 수정 3~4층 가새 수정
→ 옥상에 하중이 가해지면서 옥상 플레이트와 3~4층 기둥 접합, 마찰로 인해 기둥 상부 xy축 자유 거동 x → 옥상 슬래브와 3~4층 기둥의 일체 거동으로 인해 뒤틀림 변위 발생	→ 면진 구슬이 중심으로 이동하여 단차 발생, 3~4층이 곡선으로 흔들림 → 분담 하중이 커 도르래가 하중 분산 시스템으로 역할 x → 1.1g 붕괴로 과설계 상태	→ 면진판, 3~4층 수평 변위 유도 → 탄성도르래의 3층 하중 분산 → 0.7g에서 상부 구조물 붕괴 → 0.6g까지는 구조부재의 손상이 발생하지 않아 지진 피해 최소화

최종 설계안 내진성능 실험결과

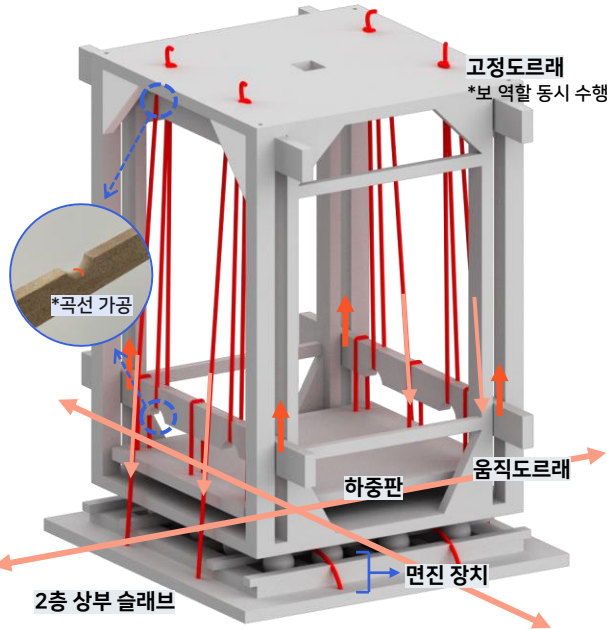


- 0.6g까지 구조 부재 탈락 또는 구조물 손상이 발생하지 않음
- 약 0.7g에서 상부 구조물과 하부 구조물의 위상차가 커지면서 2, 3층을 연결하는 고무줄이 빠져 붕괴 발생
- 최종 설계안 확정

* 진동 시험 방법: 카트에 구조물을 고정한 뒤 카트를 흔들어 점진적으로 진동 강도를 증가시키고, 카트에 가속도계를 부착하여 가속도를 측정하였다.

III. 탄성-도르래 면진 복합구조 상세

탄성도르래 설계



복합도르래 구현

- 하중판과 4개의 복합 도르래 설치
- 3층 상부와 2층 상부에 도르래 줄 연결

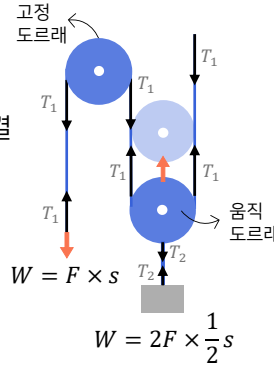
고정도르래 설치 |
플레이트와 기둥에 접합하여 고정
움직도르래 설치 |
레일을 따라 움직이도록 비고정 설치

탄성에너지 활용

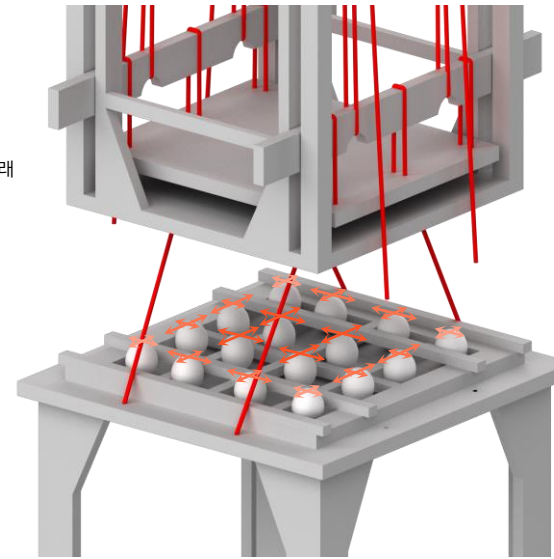
- 도르래 고무줄을 팽팽하게 당겨 매우 긴장한 상태로 연결
→ 고무줄의 탄성에너지가 하중판을 잡아 당기는 힘으로 작용

$$F = -kx \quad W = \frac{1}{2} kx^2$$

면진 장치와 하부 구조물에 직접적으로 전달되던
3층의 고정하중을 탄성도르래가 잡아당기며 부담



면진 장치 설계



면진 장치 설계

- 2층과 3층 사이에 면진 장치 설치
- 2층 상부 슬래브에 16개의 면진 구슬 배치
- 지진동에 의한 xy축 자유 이동으로 면진판의 수평 변위 유도

위치 선정 이유

- 지면과 구조물 사이에 면진 장치 설치 시 장치가 견뎌야 하는 수직 하중 증가
- 고정하중을 포함한 구조물 전체의 수직 하중을 부담할 수 있는 면진 장치를 제작하기 에 시공성, 경제성 측면에서 한계 발생

면진 장치를 3층과 2층의 중간에 설치하여
4층·옥상층 고정하중과 상부 구조물 자중만
부담하도록 설계

탄성도르래-면진 복합 구조의 지진 피해 저감 메커니즘

지진 발생 시 면진 구조에 의해
상하부 구조물의 위상 차 발생



도르래의 고무줄에
추가적인 인장력이 가해짐



고무줄에 걸리는 탄성위치에너지 증가
도르래가 하중판을 당기는 힘이 증가



하부 구조물로 전달되던
충격 하중을 위로 분산



구조물 지진 피해 저감

탄성도르래 작동

	하중블록 설치 x		하중블록 6개 설치 (3kg)		하중블록 12개 설치 (6kg=3층 고정하중)		진동 시험(영상 캡처)
	고무줄의 탄성 에너지로 인해 하중판이 상승해 있는 상태		하중에 의해 하중판이 중간까지 내려온 상태		하중에 의해 하중판이 3층 바닥까지 내려온 상태		도르래 줄의 에너지 증가로 하중판이 위로 당겨지는 힘 증가

IV. 설계 상세

접합부 설계

- 기둥에 부착된 고무줄에 인장력을 가해 옥상층 하중판과 탄성 접합
- 고장력 볼트에서 착안

탄성도르래

- 복합 도르래로, 3층의 고정하중 부담
- 고무줄을 강하게 당겨 긴장하게 연결
- 횡력 작용 시, 하중 분산

면진 장치

- 2층 상부에 면진 구슬을 넣어 볼베어링 시스템 구현
- 상부 구조물 기초판과 하부 구조물 천장을 고무줄로 연결해 상부 구조물 탈락 방지

ㄱ자 기둥

- MDF Plate 부재를 ㄱ자 모양으로 배치한 기둥
- 횡력에 대한 저항성 높임

헌치 설치

- 수직부재와 수평부재가 만나는 접합부에 설치
- 코어 기둥과 옥상 슬래브 연결
- 옥상층 하중을 코어로 전달

코어 기둥(3~4층)

- MDF Strip 7개를 부착해 코어 기둥 제작
 - 옥상층과 3층 하중 부담
- $I_x = 2,016\text{mm}^4$
 $I_y = 2,744\text{mm}^4$

코어 분리

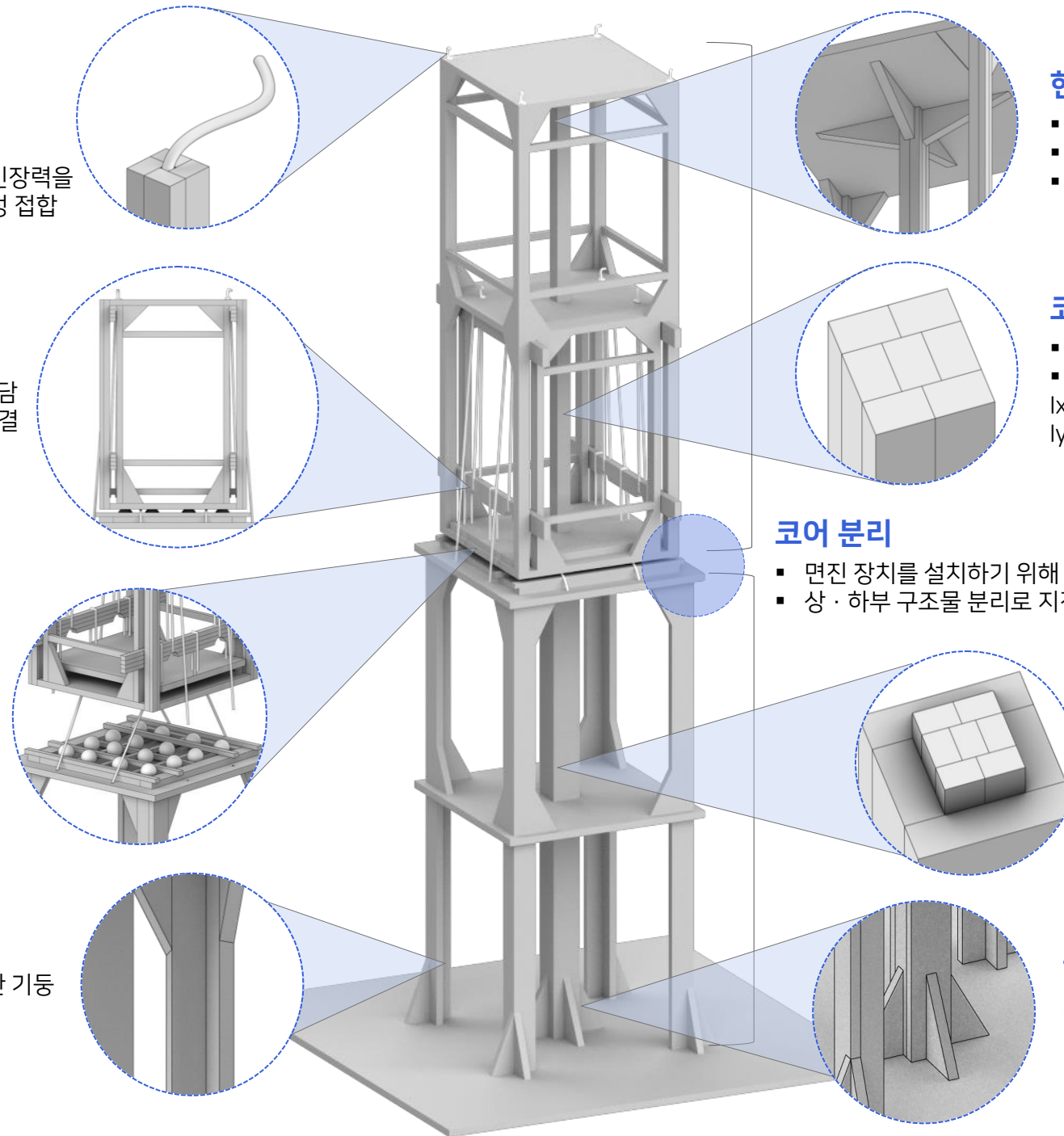
- 면진 장치를 설치하기 위해 상부 하부 코어 분리
- 상·하부 구조물 분리로 지진 발생 시 관성력으로 인한 상부구조물 휨 감소

코어 기둥(1~2층)

- MDF Strip 7개로 만든 코어 기둥 4면에 플레이트 부재를 붙여 제작
 - 상부에서 전달되는 하중 부담
 - 코어 기둥 강성 증가시켜 구조적 안정성 높임
- $I_x = 29,952\text{mm}^4$
 $I_y = 35,152\text{mm}^4$

헌치 설치

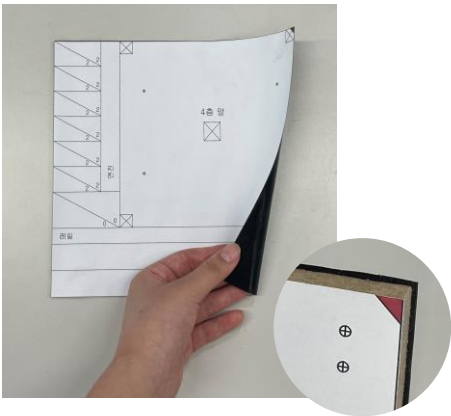
- 코어, 기둥과 기초판을 연결하는 헌치 설치
- 고정하중 및 구조물의 자중을 기초판으로 전달



V . 시공 · 원가 관리

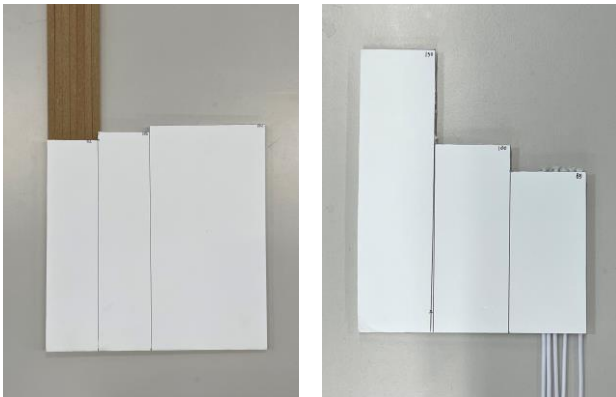
사전 준비 단계

설계 도면 준비



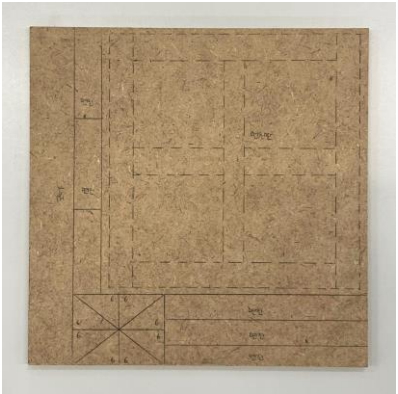
- 절단(실선), 부착(점선), 부재종류 등을 표시한 플레이트 가공용 도면을 먹지에 붙여 준비
- 작도 시 플레이트 앞뒤 도면 방향이 헷갈리지 않도록 컬러 마킹
- 스트립, 고무줄을 빠르게 절단하기 위해 설계된 치수에 맞춰 길이를 표시한 자를 자체제작

스트립, 고무줄 절단



구조물 제작 단계

도면 먹매김



숙련도 관리

- 전동공구 활용, 헌치 절단 등 숙련도를 요구하는 작업은 각각 담당자를 지정
- 여러 번의 구조물 제작 과정에서 작업자 숙련도 향상 및 시간 단축 효과



민경: 플레이트 절단, 면진 구슬 제작



민영: 플레이트 천공, 도르래 제작



오영: 스트립 절단, 기둥 제작



채은: 헌치 절단, 구조물 조립

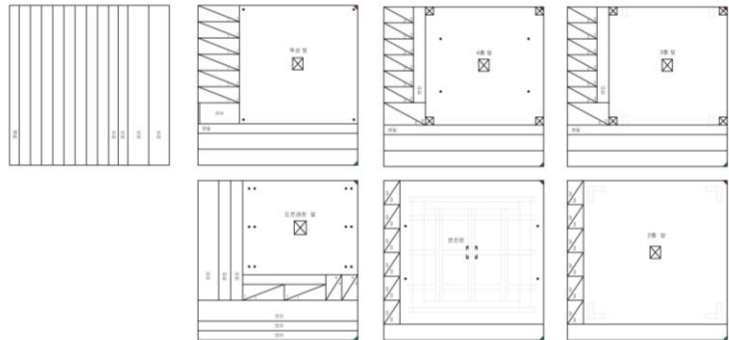
공정표

구분		소요시간														
		1시간						2시간						3시간		
		10분	20분	30분	40분	50분	60분	70분	80분	90분	100분	110분	120분	130분	140분	150분
준비	작도	■	■	■												
부재 가공	기둥		■	■	■											
	슬래브		■	■	■	■										
	헌치			■	■	■	■									
	도르래				■	■	■	■	■							
	면진 장치					■	■	■	■	■						
	가새									■						
구조물 시공	구조물 조립					■	■	■	■	■	■					
	헌치 설치							■	■	■	■	■		■		
	도르래 시공							■	■	■	■	■	■			
	면진 장치 시공									■	■	■	■	■	■	
마감	하중블록 설치														■	■
	가새 설치															■

총 2시간 30분 소요(예정)

부재 설계 및 원가표

- MDF 플레이트 최적 효율 가공으로 경제성 확보
- 플레이트 가공 후 나온 톱밥을 활용해 면진 구슬 제작



재료 원가		
재료	단가 (백만원)	물량
MDF Base	0	1개
MDF Strip	10	32개
MDF Plate	100	7개
스트링 고무줄	40	5개
A4지	10	1개
접착제	200	2개
총합		1,630

총 1,630,000,000 원

2024 구조물 내진설계 경진대회 본선 발표

감사합니다

- 팀 이구동성 -



지진방재연구센터
SEISMIC RESEARCH AND TEST CENTER