

# 2024 구조물 내진설계 경진대회

팀명: 우독서자



지도 교수 : 김형준 교수님

서울시립대학교

건축공학전공 교수

## 박유순

총괄 팀장  
구조 해석  
면진층 구체화  
구조물 제작

## 강성준

구조 해석  
물성치 분석  
시공성 분석  
구조물 제작

## 임윤재

시공성 분석  
경제성 분석  
모델링  
구조물 제작

## 이건

구조 해석  
지진파 분석  
도면 작성  
구조물 제작

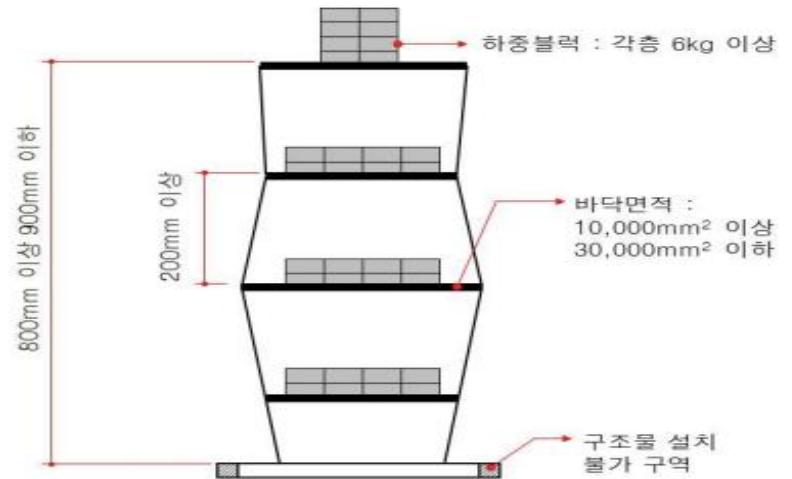
## 대회 규정 분석

1. 구조물의 내진설계 목표와 성능수준의 이해
2. 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재강도 평가 능력
3. 500년 빈도 지진발생 시 기능 수행 수준 내진설계
4. 2,400년 빈도 지진발생 시 붕괴 방지 수준 내진설계
5. 설계지진 초과 시 구조물의 붕괴 메커니즘을 고려한 파괴를 유도하는 설계
6. 심미성과 창의성, 시공성과 경제성을 고려한 구조물의 설계
7. 도면화 수량산출 및 내역작성 기술

### 평가 방식

구성	평가내용	배점 (100)	심사위원구성	
1단계	제안형식의 기능성, 독창성, 디자인 우수성	10	* 학회, 기관에서 추천한 지진(내진)분야 전문가 ↓ 지진방재연구센터 1인 국내 내진전문가 4인 = 총 5인	
	내진구조에 대한 이해 및 설계 능력	10		
2단계	설계안 설명 (발표 및 토론)	10		
	모형제작 및 Shaking Table 실험	시공성 : 10		70
		경제성 : 10		
구조성 : 50				

### 제한 사항



### 사용 재료

재료명	단위	규격	단위수량 [개]	단가 [백만원]	비고
MDF Base (기초판)	개	400mm×400mm×6mm	1	-	기본제공
MDF Strip	개	600mm×4mm×6mm	1	10	
MDF Plate	개	200mm×200mm×6mm	1	100	
스트링 고무줄 (Φ2~3mm)	식	600mm	1	40	
A4지	장	A4	1	10	
접착제	개	20g	1	200	록타이트 401

## 지진파 분석

재현주기	500년	2400년
구조물의 성능 수준	기능수행	붕괴방지
유효수평지반가속도	0.3 g	0.6 g
단주기 설계스펙트럼가속도( $S_{Ds}$ )	0.75 g	1.5 g
1초 주기 설계스펙트럼가속도( $S_{D1}$ )	0.3 g	0.6 g

지반응답증폭계수		구조물의 고유주기	
단주기 ( $F_a$ )	1초 주기 ( $F_v$ )	$T_0$	0.08 sec
1.5	1.5	$T_s$	0.4 sec
		$T_L$	5.0 sec

$$S_{Ds} = S \times 2.5 \times F_a \times \frac{2}{3}$$

$$S_{D1} = S \times F_v \times \frac{2}{3}$$

$$T_0 = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$$

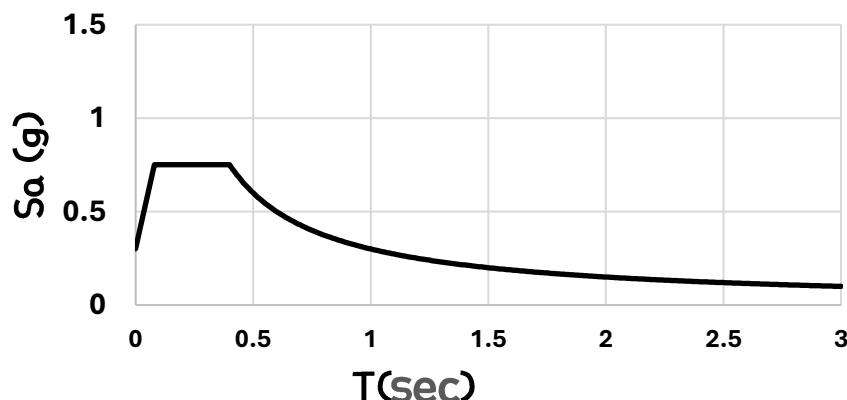
$$0 < T < T_0$$

$$S_a = 0.6 S_{Ds} / T_0 \times T + 0.4 S_{Ds}$$

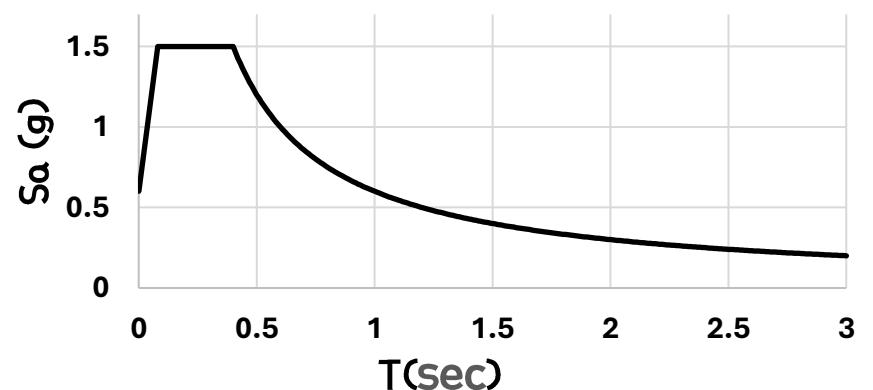
$$T_s < T$$

$$S_a = S_{D1} / T$$

500년 설계 응답 스펙트럼



2400년 설계 응답 스펙트럼



유효 수평지반 가속도 0.6g 일 때, 0.08~0.4 sec 에서 최대 응답 → 0.7g 파괴 유도

## 설계 목표

### 경제성

- MDF Plate 총 단면 활용 극대화
- 동일 길이 대비 가새 튜브 구조보다 부재량 4% 만큼 절감 가능

### 시공성

- MDF 부재 특성 고려  
가새의 연결 및 접합 위한 부재 가공과정 최소화
- 직각 접합만을 사용, 각 절점에서 시공 정확성 극대화

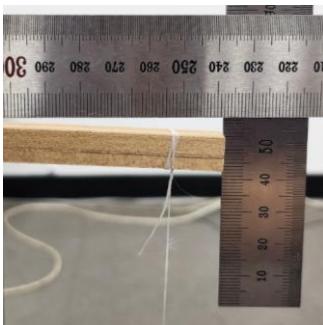
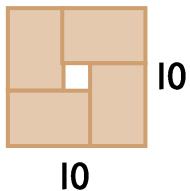
### 구조성

- 골조 튜브 구조에 코어와 아웃리거 결합한 이중 튜브 구조
- 기둥-보 접합부 단부에 소성힌지를 통한 절점파괴 유도

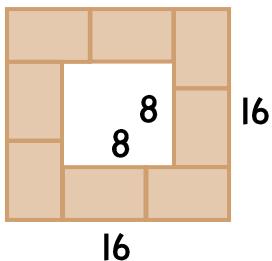
## 골조 튜브 구조와 상부층 연진을 통한 내진 구조물

## 부재 물성치

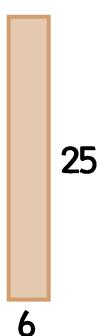
### MDF 탄성계수 (하중 5.88N)



모서리 기둥	
단면2차 모멘트 I	$10 \times 10^3 / 12 - 2 \times 2^3 / 12 = 832 \text{ mm}^2$
부재 길이 L	140 mm
변위 d	6 mm
탄성계수 E	1077 N / mm <sup>2</sup>



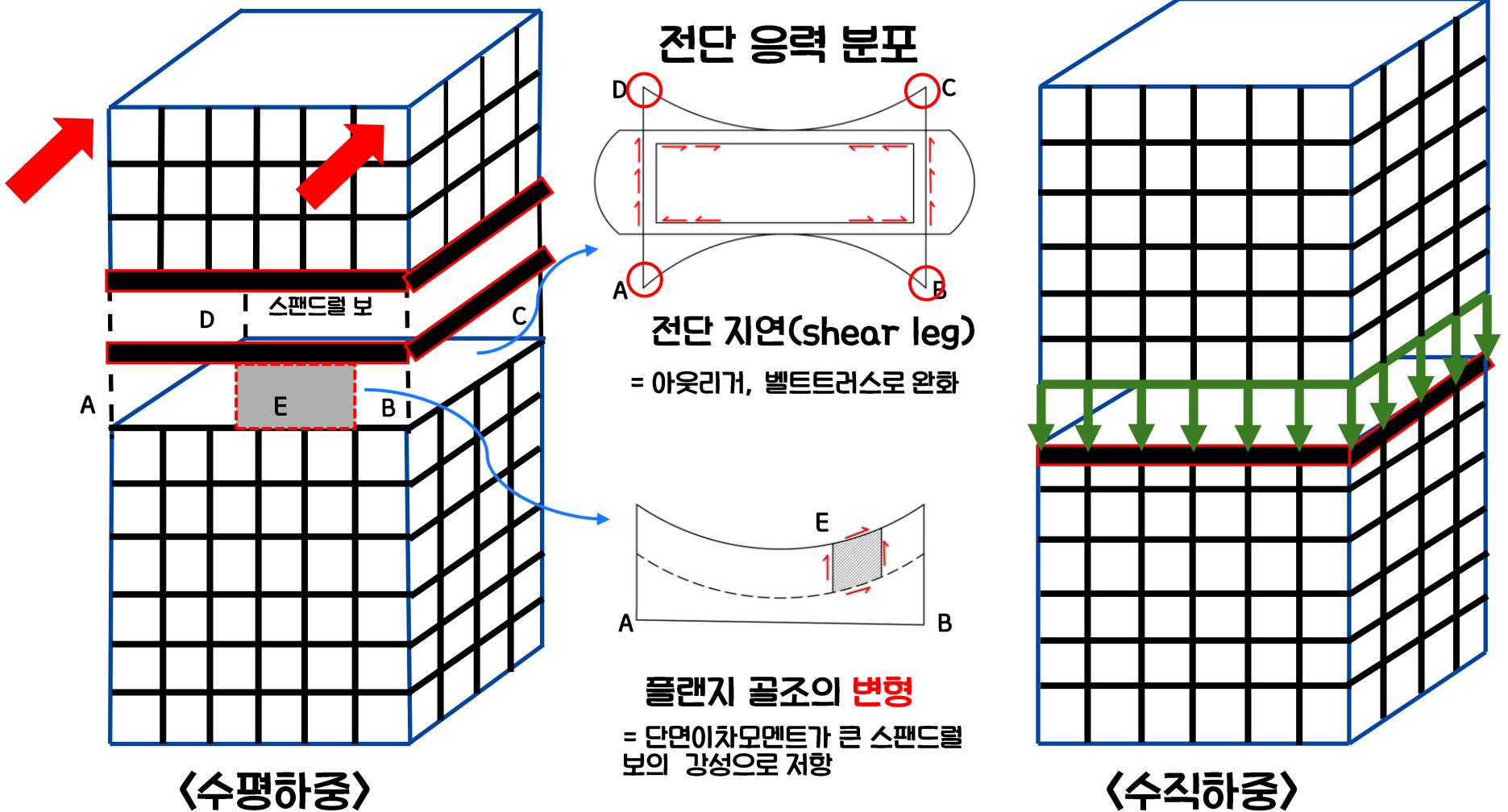
메가 기둥	
단면2차 모멘트 I	$16 \times 16^3 / 12 - 8 \times 8^3 / 12 = 5120 \text{ mm}^2$
부재 길이 L	150 mm
변위 d	1.3 mm
탄성계수 E	994 N / mm <sup>2</sup>



스팬드럴 보	
단면2차 모멘트 I	$6 \times 25^3 / 12 = 7812.5 \text{ mm}^2$
부재 길이 L	300 mm
변위 d	7 mm
탄성계수 E	968 N / mm <sup>2</sup>

“따라서 E=1000MPa 으로 가정”

## 튜브구조(Tube frame)



횡력에 평행한 골조 : 튜브의 웨브역할(전단벽 거동)

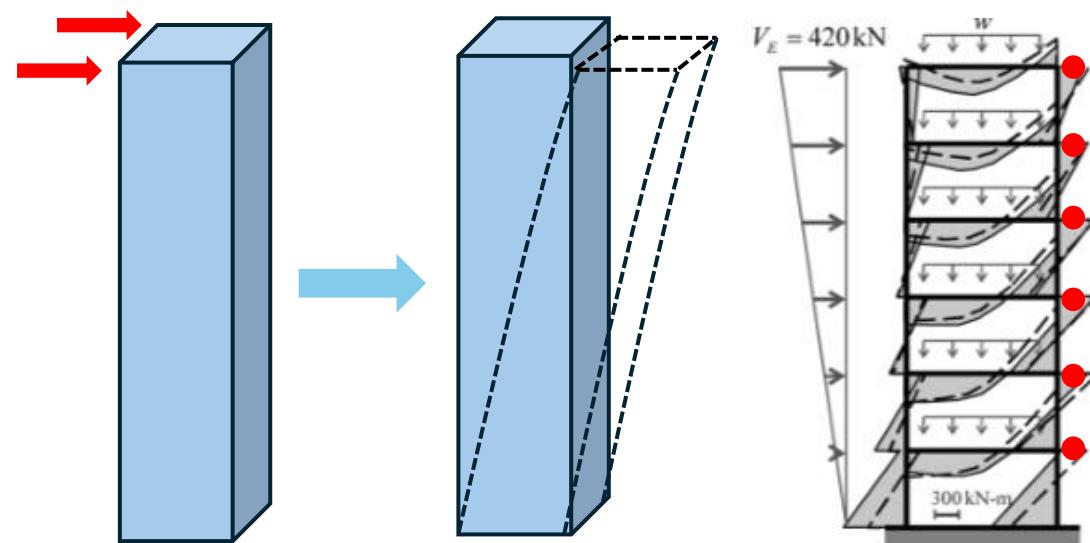
횡력에 수직인 골조 : 튜브의 플랜지 역할

등분포하중이 작용하는 골조의 **처짐**

굵이 큰 스팬드럴 보의 휨강성과

슬래브의 변형을 통해 상쇄

**굵직한 외곽기둥 + 구조물 둘레의 굵이 큰 보 = 평면을 튜브처럼 구성**



평면의 사각형 골조패널들의 모여 건물 전체가  
박스형 구조의 **캔틸레버**로써 **횡력 저항**

내부의 **코어** 배치 시 골조의 횡전단변형을  
**코어의 휨변형**으로 상쇄

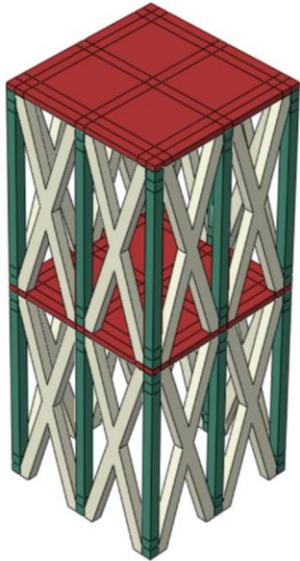
횡하중 작용시기둥-보 접합부 단부에  
**소성힌지 발생** → **절점파괴를 유도**

횡력에 대한 구조안정성 ↑

구조적 차용성 우수

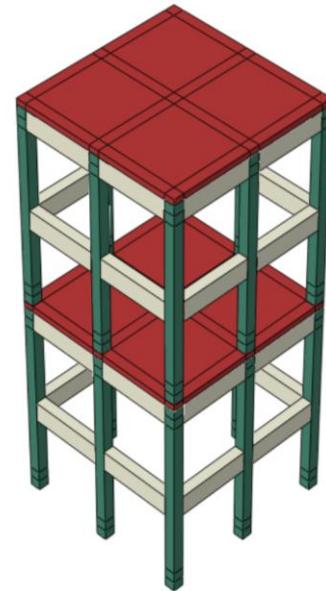
시공의 편리성

가새 튜브 구조



기둥 대비 가새 부재량 증가 = 비경제적  
MDF Strip 만으로 완벽한 **힌지 교차점 구현 불가**  
대각부재이기에 재단 및 접착에 있어 **시공이 불편**

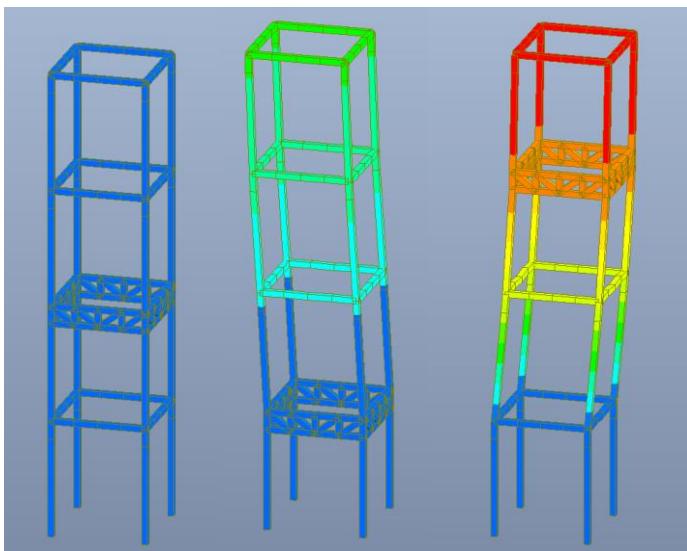
골조 튜브 구조



기둥과 보의 강접을 통해 **MDF와 접착제만으로 구현 가능**  
**직각부재만으로 구성되므로 재단 및 시공에 유리**

## 휨력 보강 위치 결정

〈Midas gen 해석결과〉



수평 변위 : 1층 > 3층 > 2층

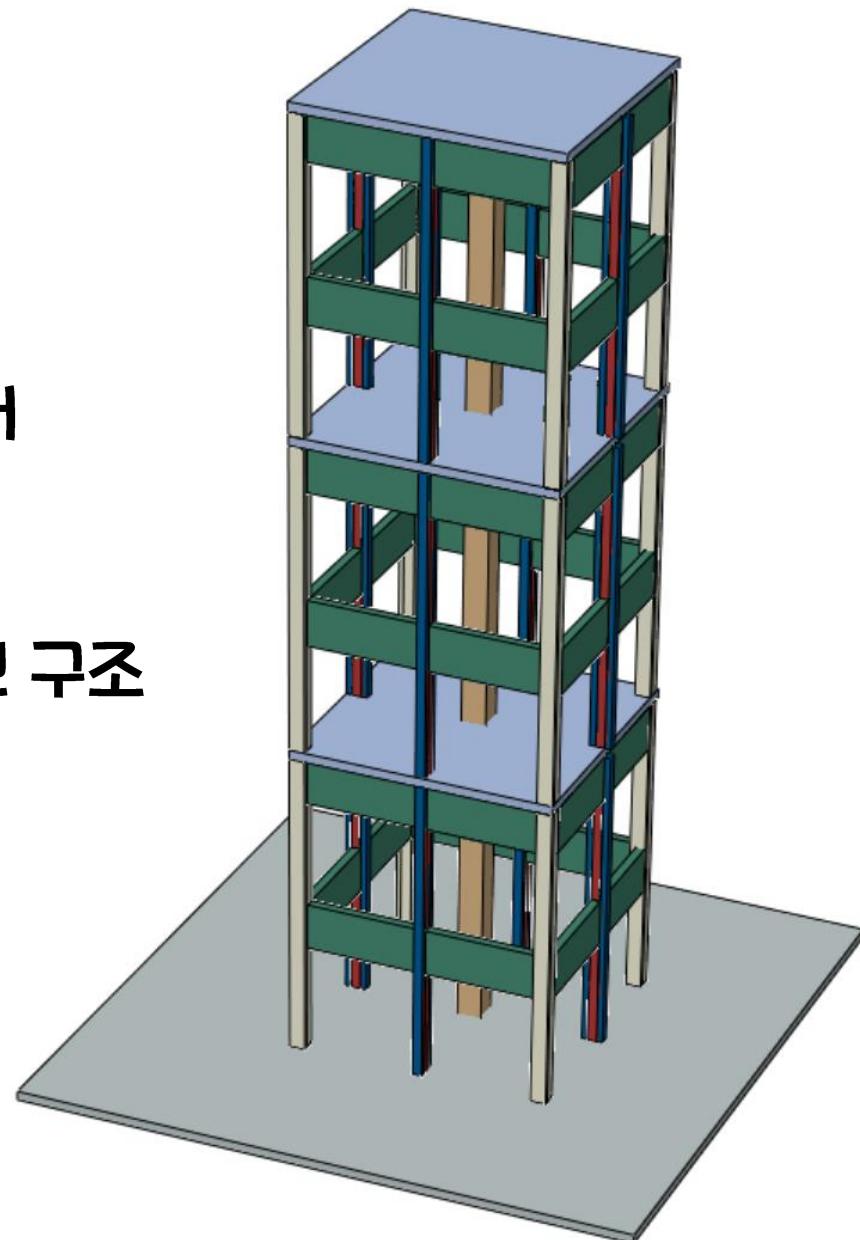
2층과 3층에 **아웃리거**를 배치

= 코어 기둥 및 외주부 기둥과 **일체화** → 전단지연 완화

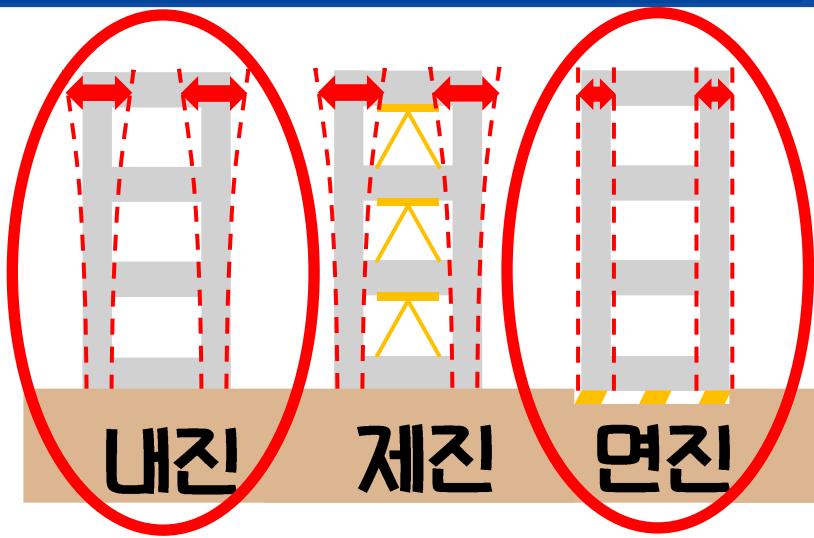
= 각층의 스패드럴 보와 **모멘트 연결되어 구속**

= 구조물 **휨강성 증대**

코어  
+  
아웃리거  
→  
= 이중 튜브 구조

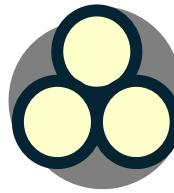


하부층 휨 강성 확보 → 상부층 **연진구조**를 통한 지진에너지 전달을 억제



## 연진 Concept

고무줄 묶음 단면



3개의 스트링 묶어 "클러" 구현  
→ 고무 스트링의 재료적 특성인 탄성복원력을 이용해 변위 제어

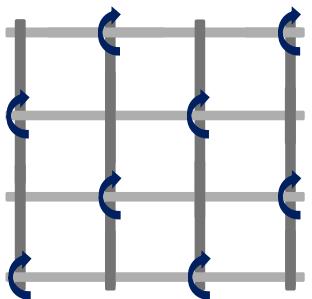


상부층 : 연진 구조 = 구조물을 분리해 지진에너지 전달 ↓  
하부층 : 내진 구조 = 3층에 해당하는 지진력을 받도록 설계

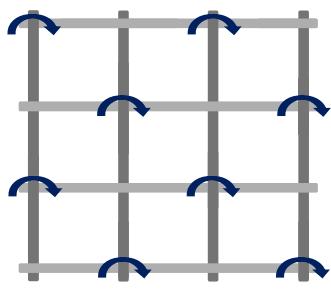
## 연진 거동의 X-Y축 분리 : 횡하중에 작용하는 변위를 X-Y축 두방향의 합력으로 대응

### A안 - 단층 이방향

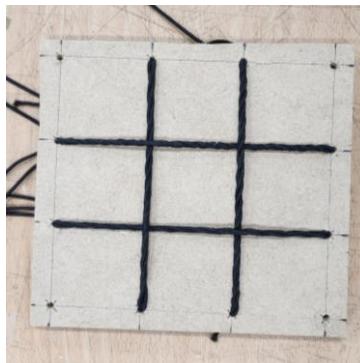
유닛 고무줄을 서로 직각 방향으로 엇갈려서 묶어 각각 서로 다른 축 방향 횡하중에 대응하도록 설계



Y축 방향 횡하중 대응



X축 방향 횡하중 대응

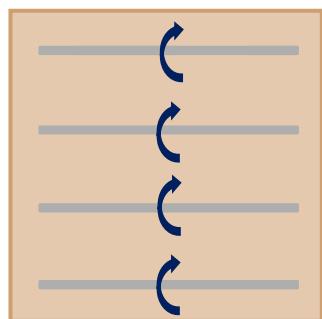


두 방향 사이 간섭으로 의도했던 연진 거동 X

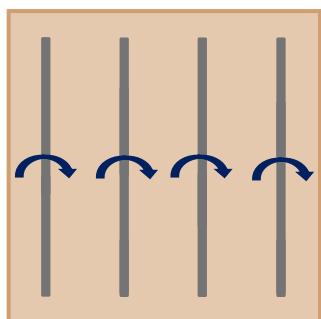
### B안 - 복층 일방향

한 방향으로만 변위가 발생하도록 연진층을 따로 배치 서로 직각 방향으로 배치된 두 개의 연진층 사이에 연진거동이 용이하도록 중간층 배치

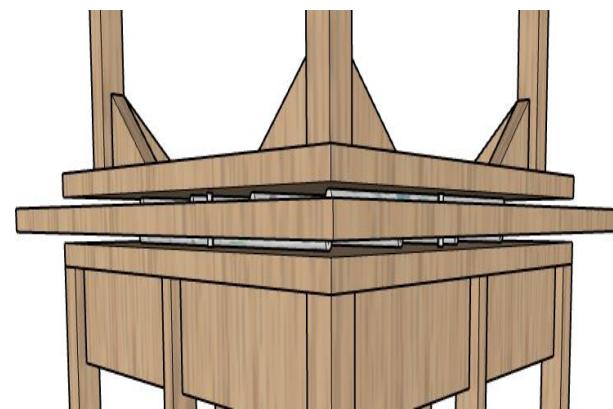
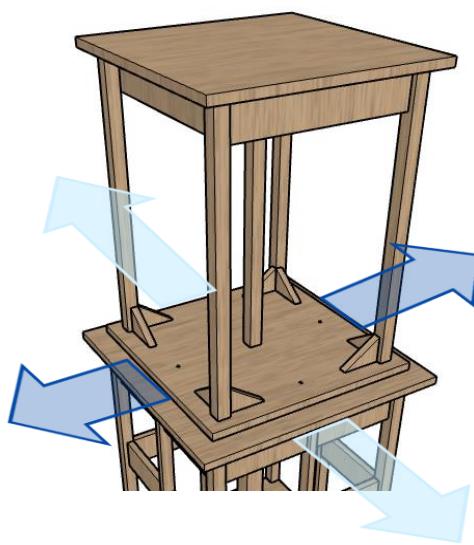
세 개의 층을 고무줄로 묶어 하나의 연진 층으로 제작



Y축 방향 횡하중 대응



X축 방향 횡하중 대응



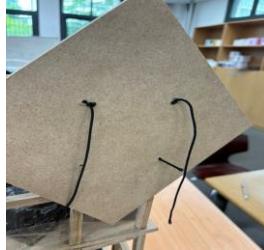
중간층의 존재로 X, Y 축 각 방향 간섭 없이 합력에 효과적으로 대응하여 연진 작용 원활

방향성 발생하지 않게 실 묶는 방향 시계, 반시계 방향 번갈아 사용





## 1차 실험 (0.5g 파괴)



### 파괴 양상

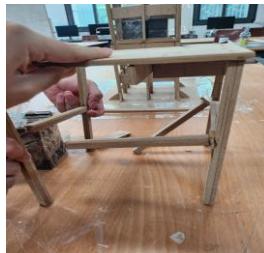
- 면진층 기둥부 전도되며 **면진층 탈락**
- 면진층 탈락되며 **고정 스트링 절단**

### 보강 사항

- 면진층 횡력 보강을 위한 **중간 보 배치**
- 기초부 **현치 추가**
- 저층부 과보강으로 판단, 경제성&시공성을 고려하여 **중간기둥 및 보의 형태 변화**



## 2차 실험 (0.6g 파괴)



### 파괴 양상

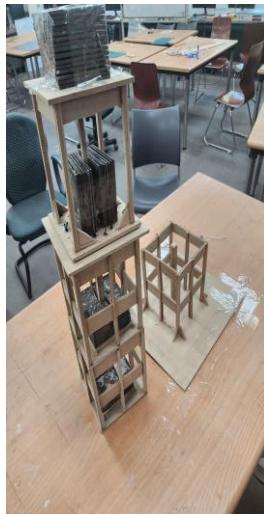
- 면진층을 세 개의 판을 잡아주는 스트링의 **마모에 인한 끊어짐 발생**
- 이후 면진층 기둥부 전도되며 **최상층 탈락**

### 보강 사항

- 1개만 사용하던 면진층 고정 스트링을 2개를 사용해 마모되는 것을 방지
- 기둥 전도 방지를 위해 **현치 추가**
- 면진층 하중블록에 대한 지지능력 확보 및 강성증대를 위해 중앙부 지지 기둥 추가
- **굵이 큰 보**를 사용해 **면진층 보강**



## 3차 실험 (0.7g 파괴)



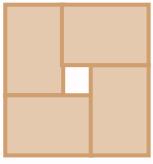
### 파괴 양상

- 오랫동안 가해진 지진하중에 의해 구조체 피로 누적으로 1층 상단부 절점의 **탈락파괴**
- 하부층의 내진구조와 상부층의 면진구조의 정상적인 거동 중 접촉불량에 의한 파괴

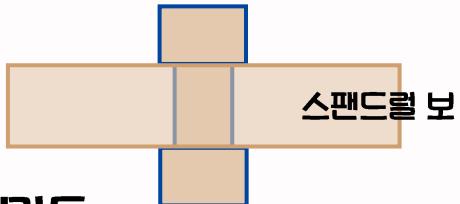
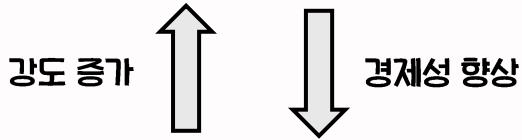


**최종구조물로 채택**

## 모서리 기둥

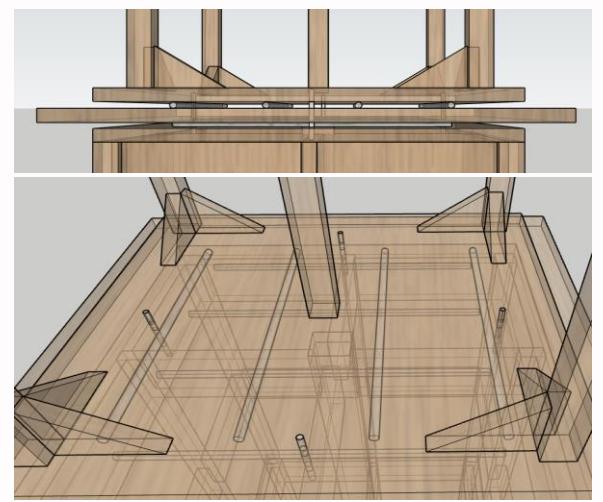
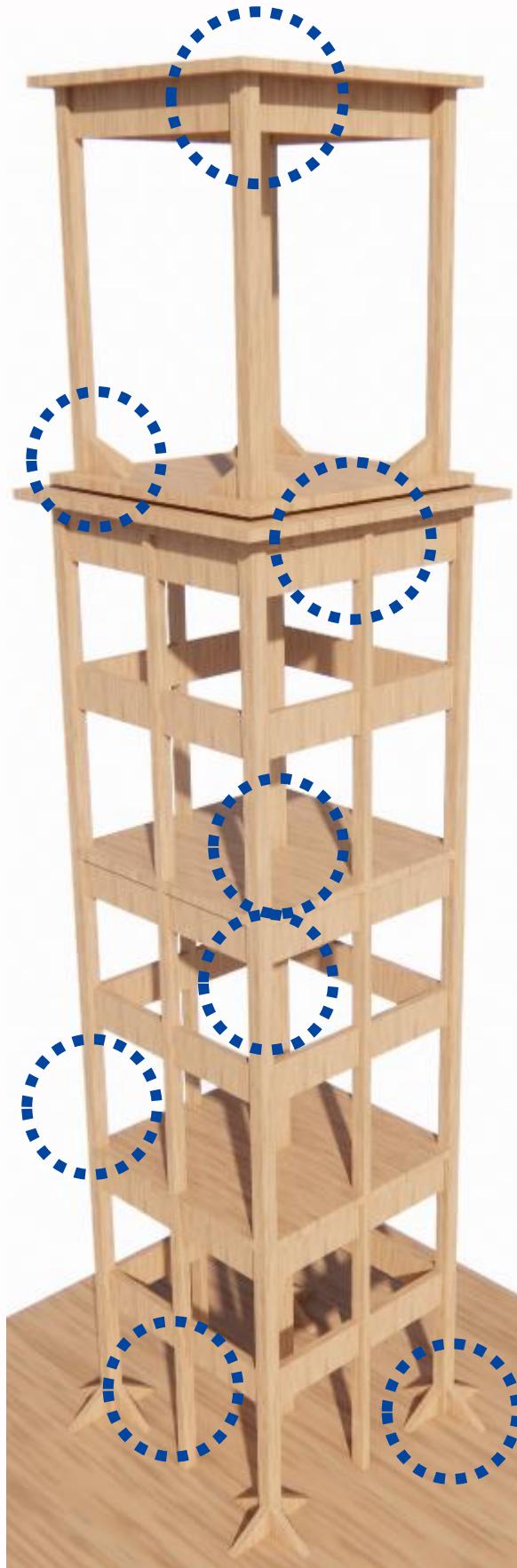


- MDF Strip 4개를 6, 4mm로 이어 붙여 시공
- 단면 정사각형으로 방향성 X



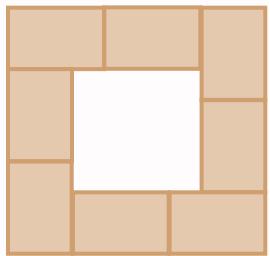
## H기둥

- 저층부 과보강 방지
- 모서리 기둥 대비 부재량 절감 → 경제성 향상
- 보 사이에 Strip 넣어 일체화
- 보와 크기가 알맞아 실용성 높음



## 연진층

- 스트링 방향성에 따른 연진층 거동 분리 (x축, y축)
- 상층부 횡변위 제어
- 연진층 거동 고려해 2겹의 스트링으로 연결 및 고정 + 연결부 접착제 사용



## 메가기둥

- 1층 슬래브 처짐 방지(200mm), 2~3층 슬래브 관통하는 406mm의 메가기둥 사용
- 속이 빈 이중 튜브 → 부재량 대비 1값 큼
- 강성 증가, 중심에서 변위 제한
- 단면 정사각형으로 방향성 X

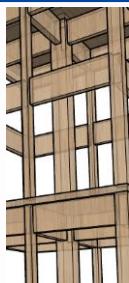


## 굵이 큰 보

- 블록 하중으로 인한 슬래브 휨 방지
- 구조체 일체화
- 전단 지연으로 인한 응력 집중 방지

## 슬래브 천공

- 슬래브 천공 후 메가 기둥 장착 → 기둥과 슬래브 간 부착력 증대
- 구조체 일체로 거동

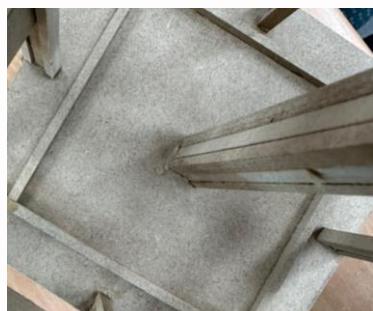


## 아웃리거

- MIDAS 분석 통한 최적 위치(2, 3층)에 설치
- 3층 아웃리거 스트링 위치 고려해 설치
- 메가 기둥과 모서리 기둥 연결해 일체로 거동
- 기둥 휨 방지

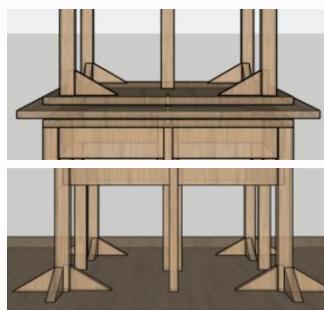
## 블록 낙하방지

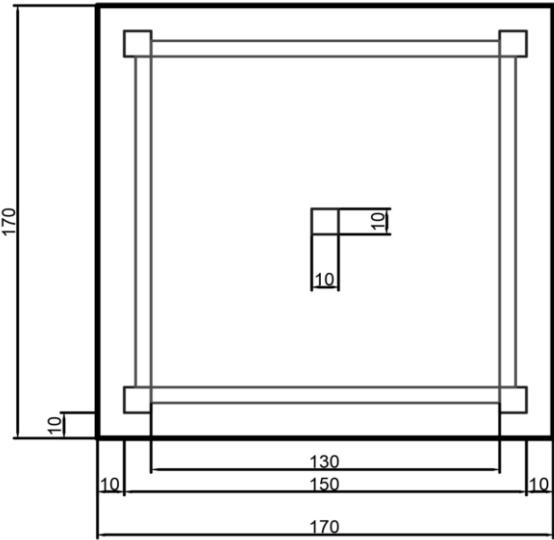
- 블록 거동 제한
- 남은 부재를 활용하여 경제성 향상
- 블록으로 인한 기둥 파괴 방지



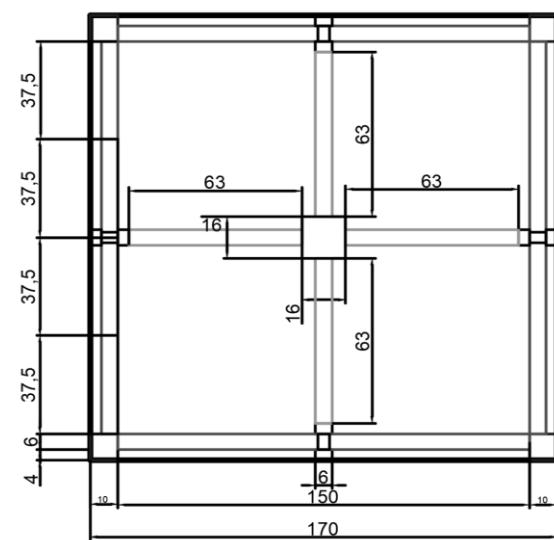
## 현치

- 베이스와의 접촉력 증대 및 절점 파단 방지
- 횡력에 의한 기둥 전도 방지
- 응력 집중부 강화
- 플레이트 총 단면 활용 극대화해 경제적

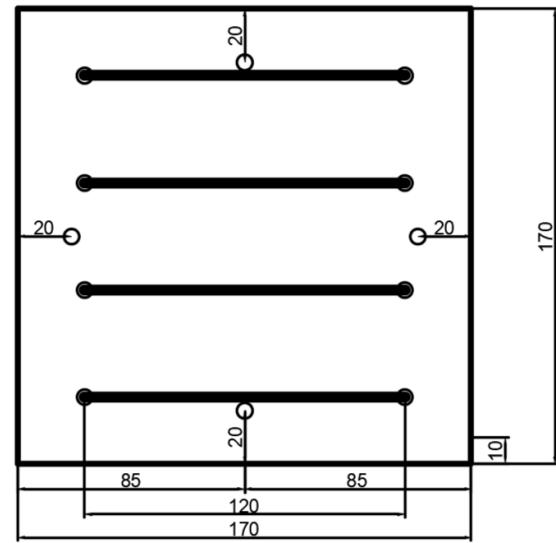
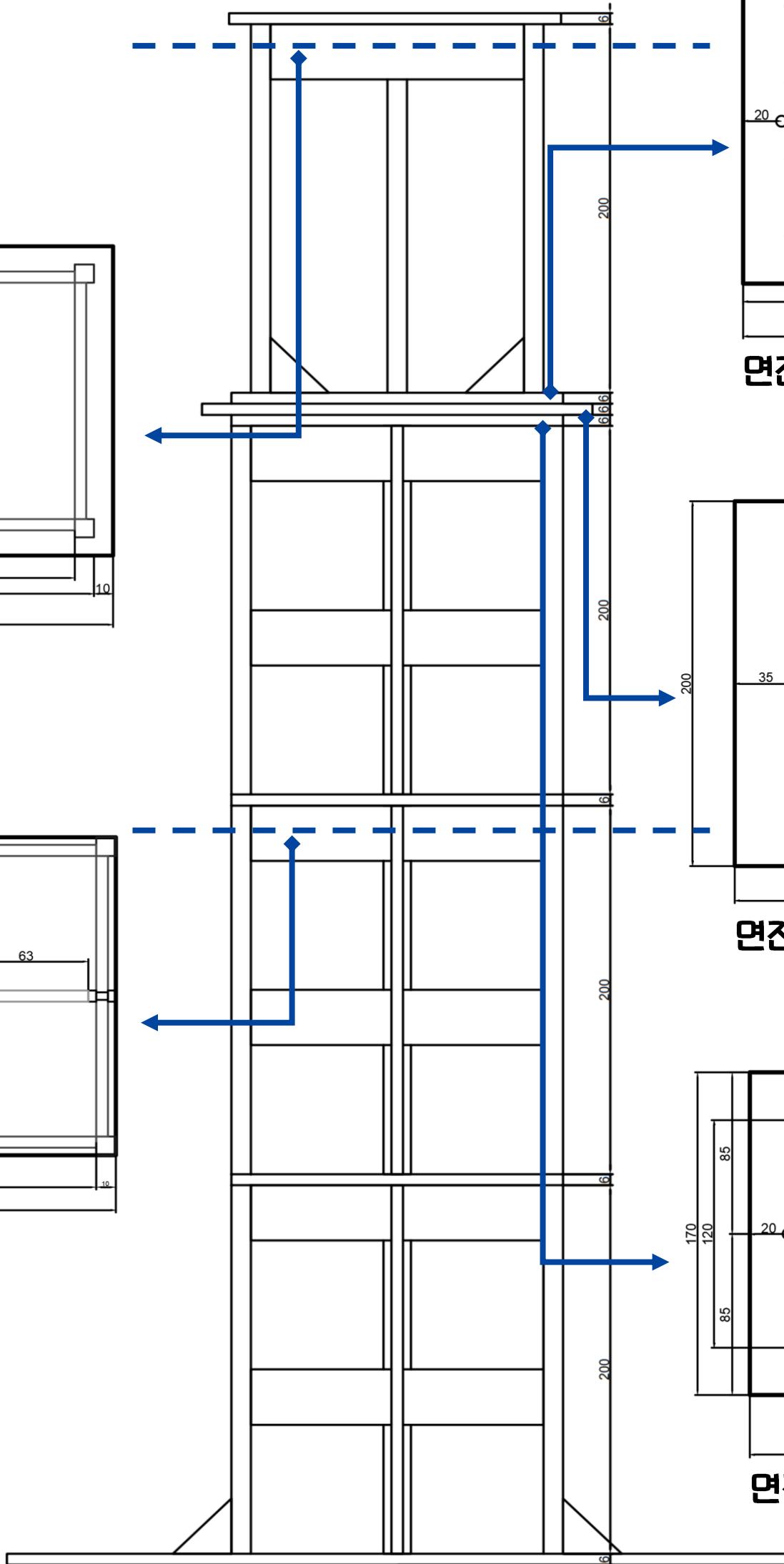




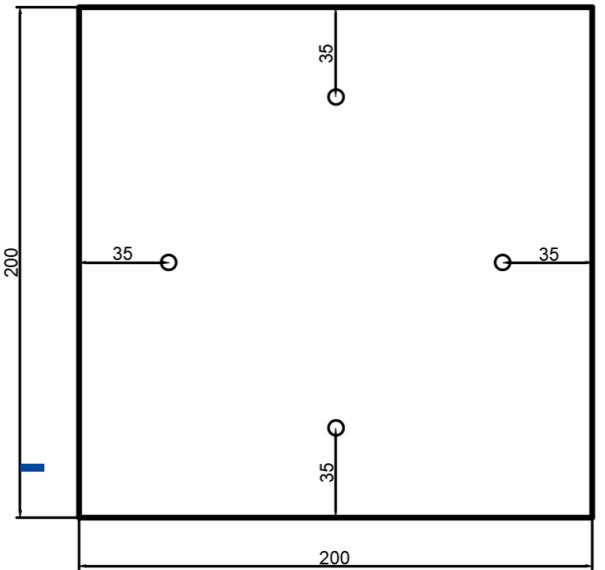
최상층



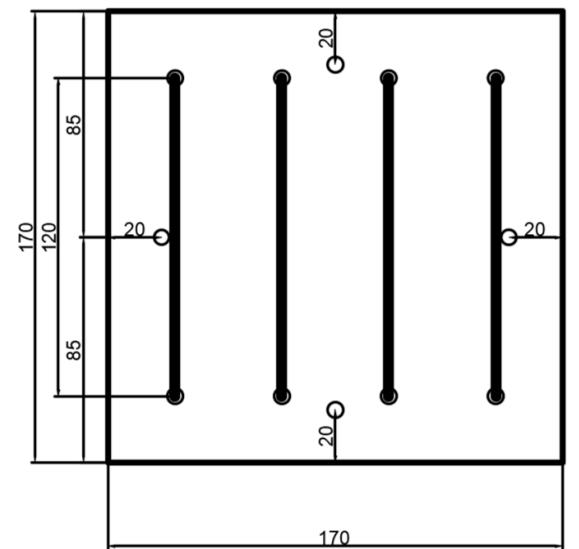
2, 3층



연진층 상부



연진층 중간부



연진층 하부

## 공정표

강성준

임윤재

이건

박유순

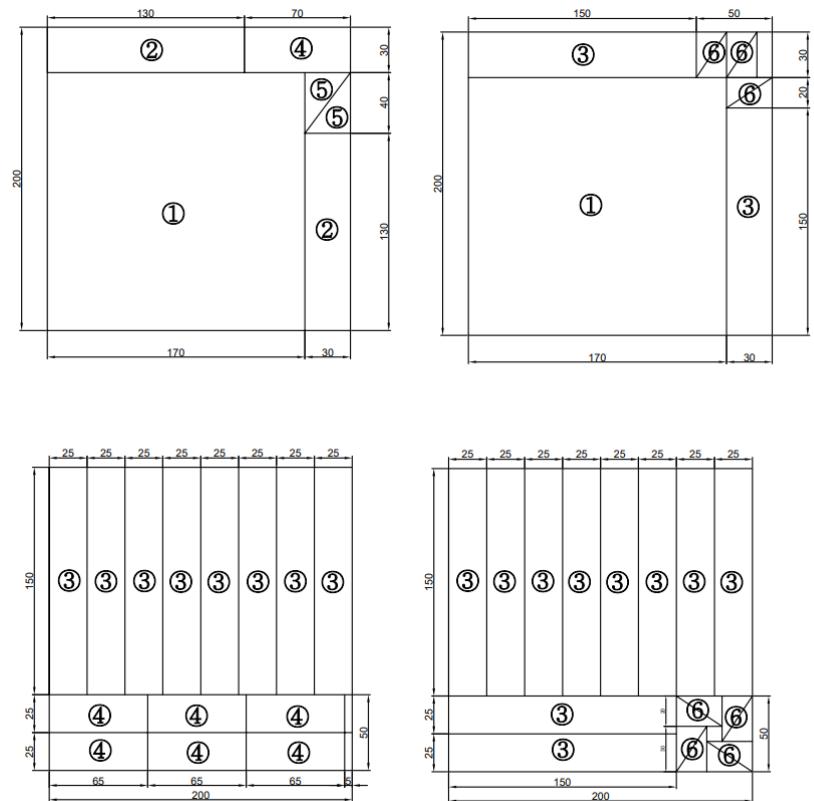
		1시간				2시간				3시간			
작도													
부재 제작	슬라브												
	보												
	현치												
	아웃리거												
	메가기둥												
	기둥												
	H기둥												
골조 올리기													
연진층 제작													
마무리 및 블록고정													

시공 시간 : 2시간 반 소요

## 물량 산출 내역서

부재별	치수	단가(백만원)	수량	금액(백만원)
모서리 기둥	10x10x200	13.33	17	226.67
메가 기둥 1	16x16x200	26.67	1	26.67
메가 기둥 2	16x16x406	54.13	1	54.13
H기둥-웹	6x4x70	1.167	24	28
H기둥-플랜지	6x4x200	3.33	24	80
스팬드럴 보 ③	6x25x150	-	24	슬래브에 포함
스팬드럴 보2 ②	6x25x130	-	4	슬래브에 포함
아웃리거 ④	6x65x25	-	8	슬래브에 포함
슬래브 1 ①	170x170x6	100	7	700
슬래브 2	200x200x6	100	1	100
현치 ⑥	30x20x6	-	16	슬래브에 포함
현치2 ⑤	40x30x6	-	8	슬래브에 포함
낙하방지			스트립 여분	
연진층 스트링	600mm	40	8	320
접착제	-	200	2	400
합계				1936

### 부재 절단 계획



재료별	단가(백만원)	수량	금액(백만원)
MDF Strip	10	46	460
MDF Plate	100	8	800
스트링 고무줄	40	8	320
A4지	10	-	-
접착제	200	2	400
합계			1980

최종금액 : 1980(백만원)