

2024 제15회 테크노마켓

지하주차장 무량판 구조 안전성 개선

Safety improvement for the flat-plate system of underground parking structure

국립 군산대학교 | 건축구조 전공

오정문
정택규
고수경

지도교수 이성수 교수님

CONTENTS



STEP 1

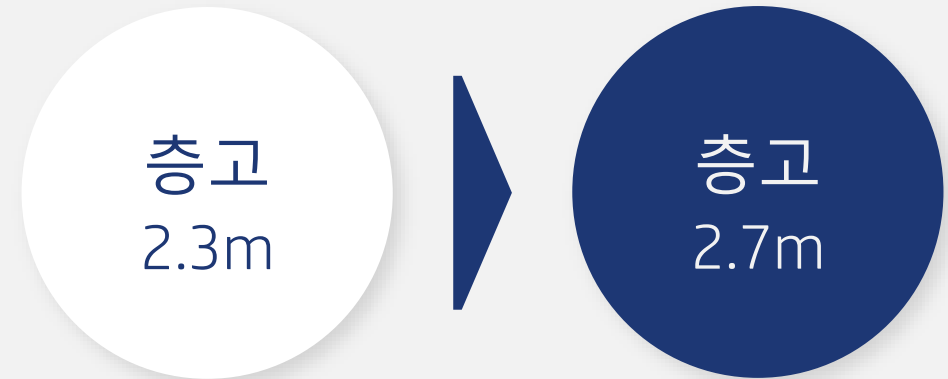
도입

- I. 배경
- II. 목적
- III. 범위

I. 배경

삼풍백화점 붕괴 이후 사용하지 않던 무량판 구조,
왜 다시 등장했을까?

2018년 6월 20일 지하주차장 층고를 2.3m에서 2.7m이상
상향하는 것으로 주택건설기준 등에 관한 규칙이 변경



라멘 구조

공사비 187억 711만원
차량 1대당 공사비 1816만원

무량판 구조

공사비 169억 1000만원
차량 1대당 공사비 1648만원

- 공사비 절감 효과는 연간 751억원으로 추산
- 차량 1대당 20% 공사비가 적게 든 것으로 추정
- 보 철근 및 거푸집량 감소, 기둥 두께 감소
- 층고 저감에 따른 물량 감소

- 비용: 약 9억원, 가구당 약 130만원의 추가비용 발생
- 지하굴착: 깊이가 깊을수록 평당 건설비가 30~50% 상승

I. 목적

현재의 대한민국 건축물, 미래의 대한민국 건축물
과연 우리는 안전한가?



빈번하게 발생되고 있는 붕괴사고로 인해 어느 때보다 건물 안전에 대한 중요성이 커지고 있음.
다양한 이유로 발생하는 무량판 구조의 붕괴, 그리고 위험방지과 안전성 개선에 대한
고민이 필요

국민의 우려 해소

무량판 구조 활성화

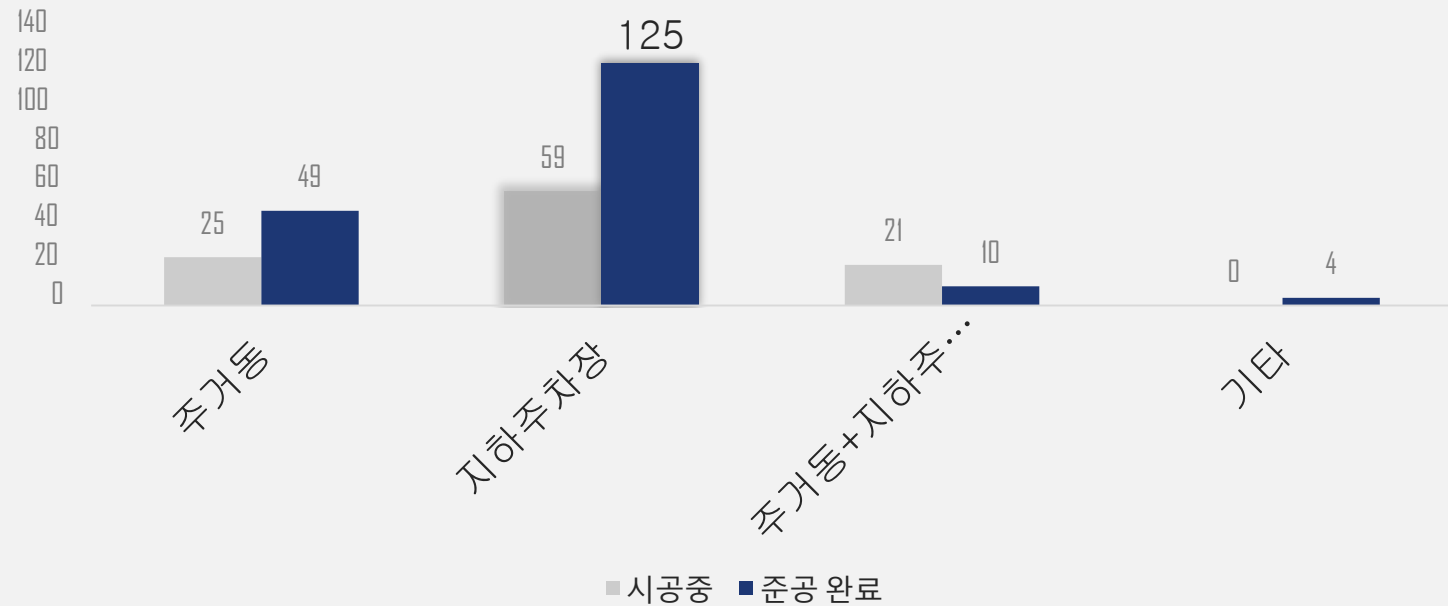
시공현장의 편의성

구조 설계의 안정성

무량판 구조 안전성 개선

| Ⅲ. 범위

- 지하주차장
- 호텔
- 상업용 건물
- 고층 건물
- 연구 센터
-
-
-



무량판 구조는 여러 건축물에 적용할 수 있지만

2017년 이후, 무량판 구조 적용 대상을 봤을 때 지하주차장의 비율이 높은 것으로 나타남
따라서 캡스톤 디자인은 **지하주차장을 대상으로 진행**

STEP 2

분석

- I. 인천검단 사고 원인 분석
- II. 무량판 구조 사고 원인 정리

I. 인천검단 사고원인 분석

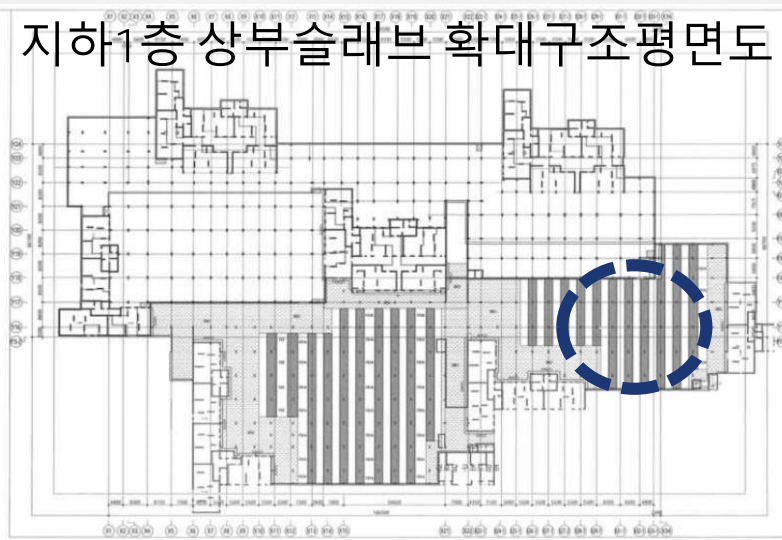


인천검단 신도시

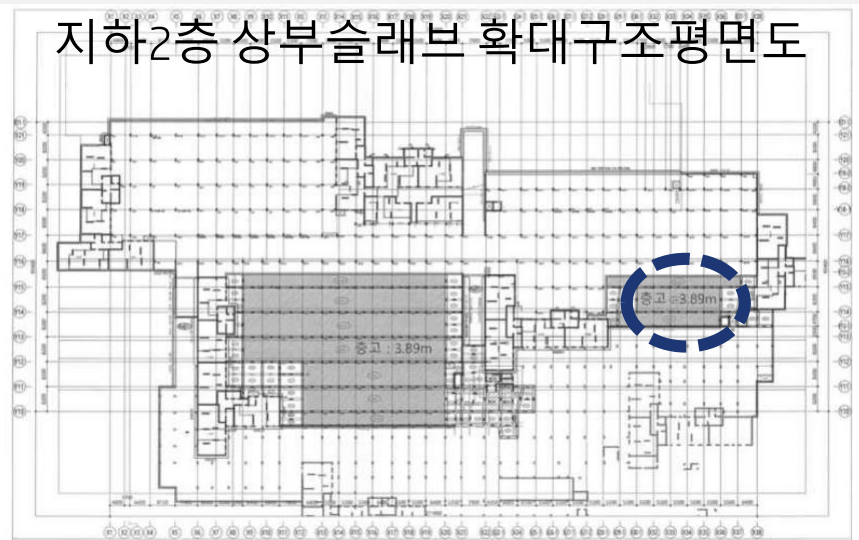
사고발생 : 2023년 4월 29일

피해규모 : 지하주차장 슬래브 연쇄 붕괴 (지하 1~2층 약 1,289m²), 인명피해 없음

지하1층 상부슬래브 확대구조평면도



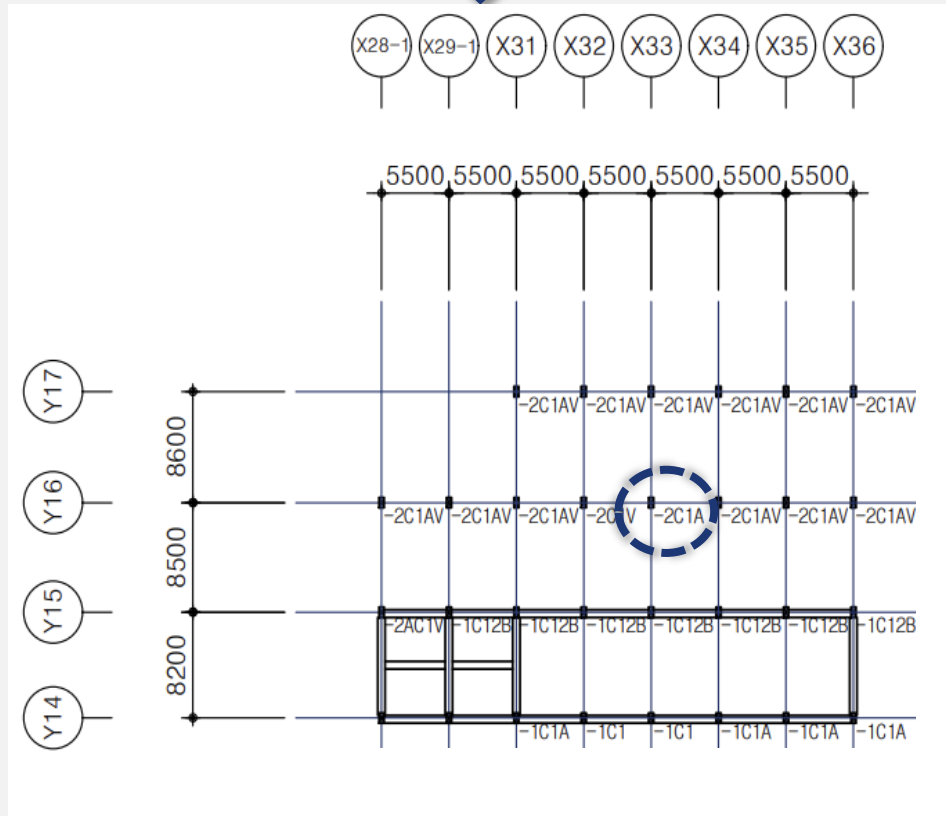
지하2층 상부슬래브 확대구조평면도



ⓘ: 연쇄 붕괴 사고 위치

I. 인천검단 사고원인 분석 - 구조 방면

사고 위치 무량판 구조 부분 평면도



| 재료강도 | | 부재사이즈 | | | | 하중 | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-----|-------------------|-------------------|-------|
| f_{ck} | f_y | THK. | C_x | C_y | d | DL | LL | V_u |
| 24 | 500 | 450 | 400 | 800 | 422 | 22.25 | 16 | 3,009 |
| MPa | MPa | mm | mm | mm | mm | kN/m ² | kN/m ² | kN |

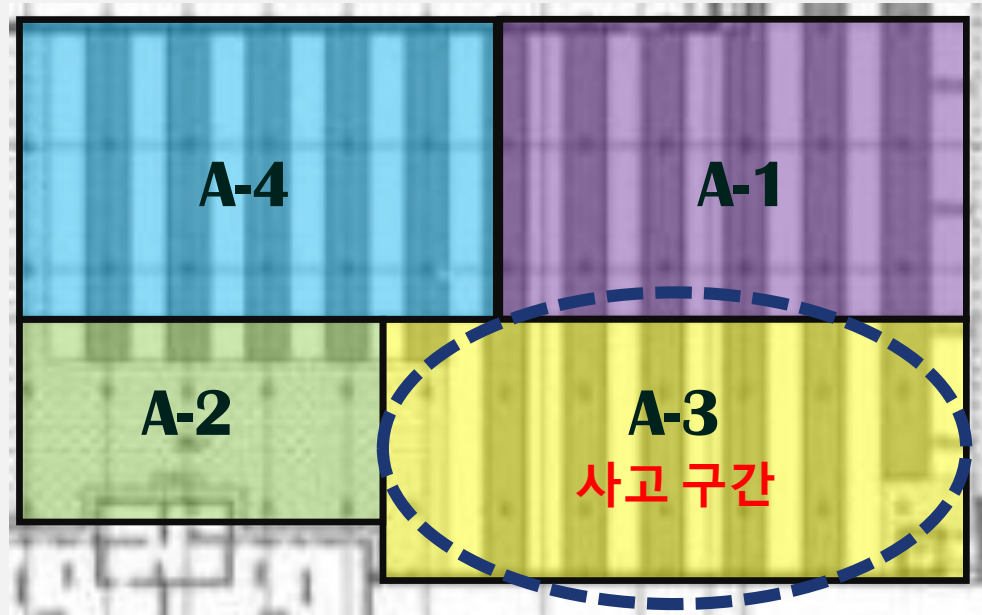
뿔림 전단 검토 : $\Phi V_c = 2,410 \text{ kN} < V_u$ 따라서 **전단 보강 필요**

전단보강근이 필요한 기둥의 경우 기둥 부재명 끝에 “V”를 표시,
하지만 **-2C1A의 기둥에서 전단보강근 설계가 되지 않았음.**

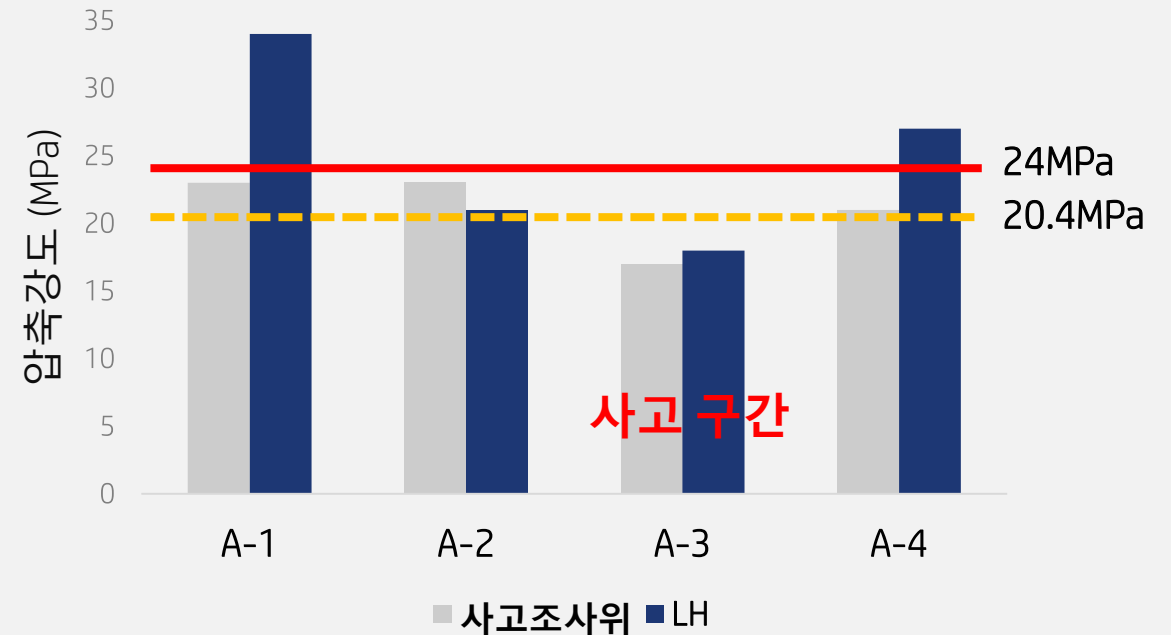
더불어 시공을 위한 구조상세설계도에서
슬래브와 기둥의 연결부 전단보강근 설계가 다수 누락

I. 인천검단 사고원인 분석 - 시공 방면

타설 일자별 구간 부분



구간별 강도 시험 결과



- 사고구간 콘크리트 강도시험 결과 설계기준 강도보다 낮게 측정
- 설계기준 강도 24MPa의 85%인 20.4MPa보다 미달

| Ⅱ. 무량판 구조 사고 원인 정리

구조 방면 원인 정리

- 구조 설계 도면 오류
- 부재 설계 오류
- 부재 크기 및 철근 배근 설계 오류
- 접합부 및 개구부 등 보강 상세 설계 오류

시공 방면 원인 정리

- 철근 간격 및 위치, 정착길이 불량
- 거푸집 및 지지대 설치 불량
- 콘크리트 설계 기준 강도 미달

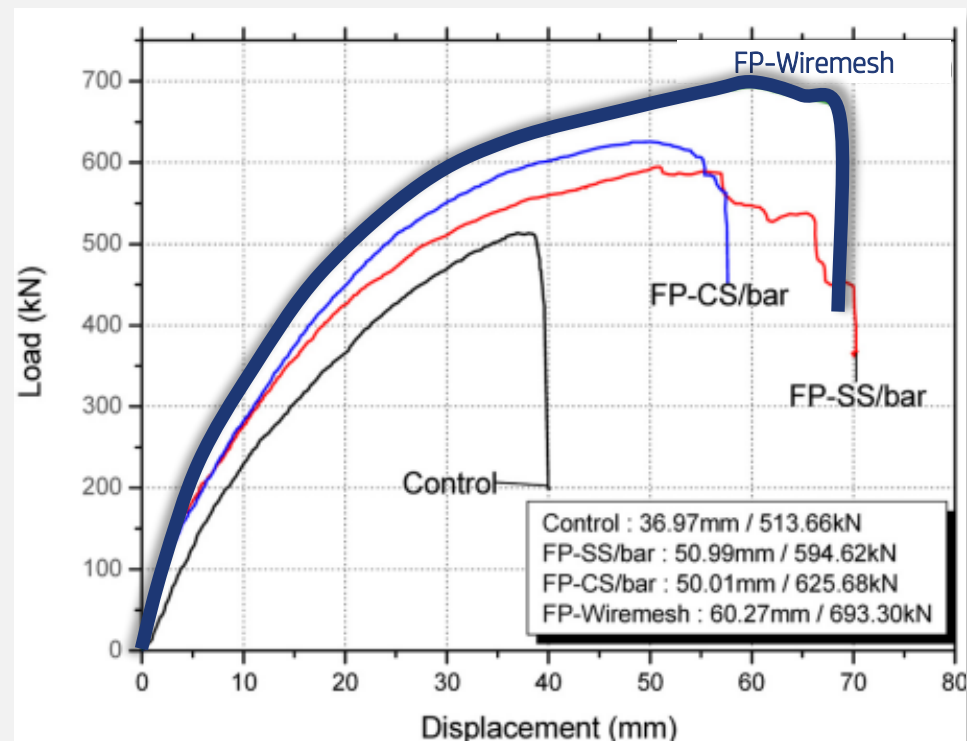
STEP 3

대안

- I. 전단보강근
- II. 래티스 거더 하프 슬래브

I. 전단보강근

| 전단보강근의 문제점 | | | |
|------------|---|------|------|
| 형상 |  | | |
| 이름 | 스터드레일 | 전단철근 | 전단헤드 |
| 구조 성능 | <ul style="list-style-type: none"> - 보강량에 비하여 보강 효과 낮음 - 설계 기준강도 미달 - 콘크리트 손상에 의한 정착문제 | | |
| 시공 성능 | <ul style="list-style-type: none"> - 배근 난이도 높음 - 철골이 무거움 - 철골공정 추가 | | |
| 경제성 | <ul style="list-style-type: none"> - 용접 비용 상승 - 특수제작 비용 - 값비싼 철강 재료 | | |

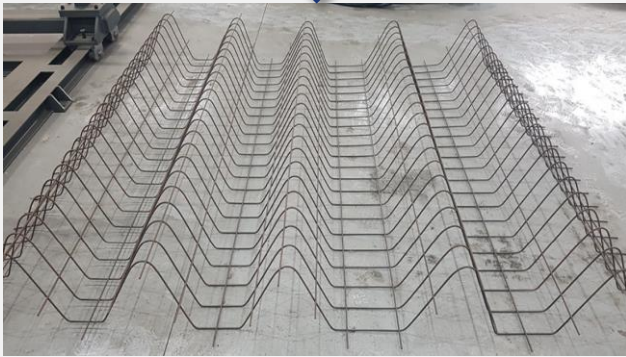


전단보강근 하중재하 실험 결과

구조성능, 시공성, 경제성을 만족시킬 수 있는 공법 필요

I. 전단보강근

절곡 와이어메쉬



래티스 바

와이어메쉬 특징 와이어메쉬를 절곡하여 접힌 부분이 전단보강역할을 함

- 기존 기술에 비해 뿔림 전단 저항 성능이 가장 높게 나타남
- 스페이서 역할을 하여 상·하부 철근의 유효춤 확보에 유리
- 배근 난이도가 낮아 시공성 향상
- 공정이 단순화 되어 생산성이 높음

래티스 바 특징 전단 보강 철근과 주 철근이 일체형으로 제작됨

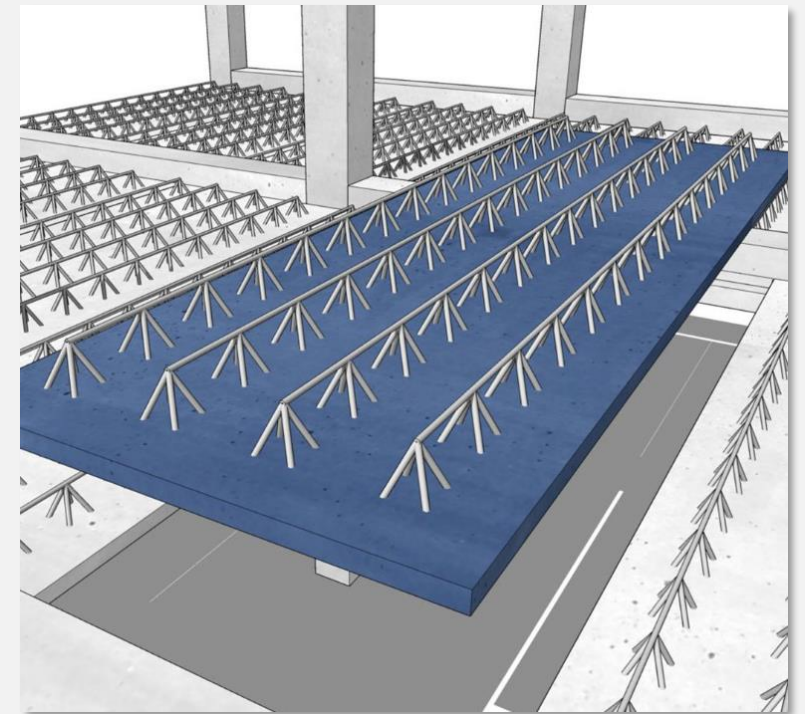
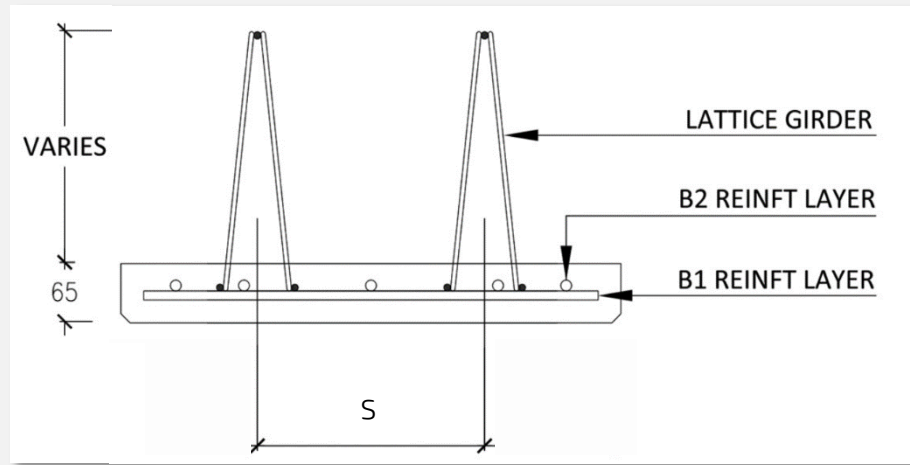
- 상·하부 정착 효과가 좋아 구조적으로 유리
- 산 부분이 수평으로 처리되어 현장 배근이 용이
- 별도의 스페이스 바 불필요
- 주 철근이 일체형으로 제작되어 작업 시간과 품이 줄어 경제적

| Ⅱ. 래티스 거더 하프 슬래브

상·하부근 및 래티스근의 3부재에 의해 구성된 것으로, 각 부재의 접점을 전기저항 용접으로 일체화한 래티스 거더

+

기존보다 현장 타설이 줄어 콘크리트 설계 강도 확보에 유리한 **부분 슬라브(HALF SLAB)공법**



- 공장에서 하부근과 래티스 거더 배근 후 65mm 콘크리트 타설하여 제작
- 현장에서 슬래브 조립 후 상부근 배근한 뒤 토평 콘크리트로 일체화

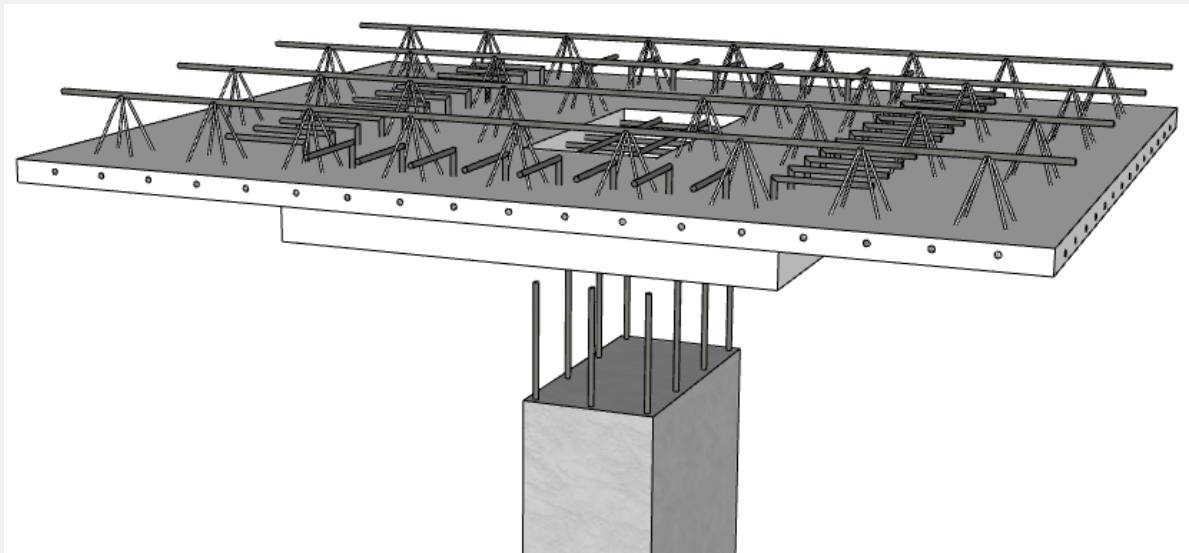
STEP 4

결론

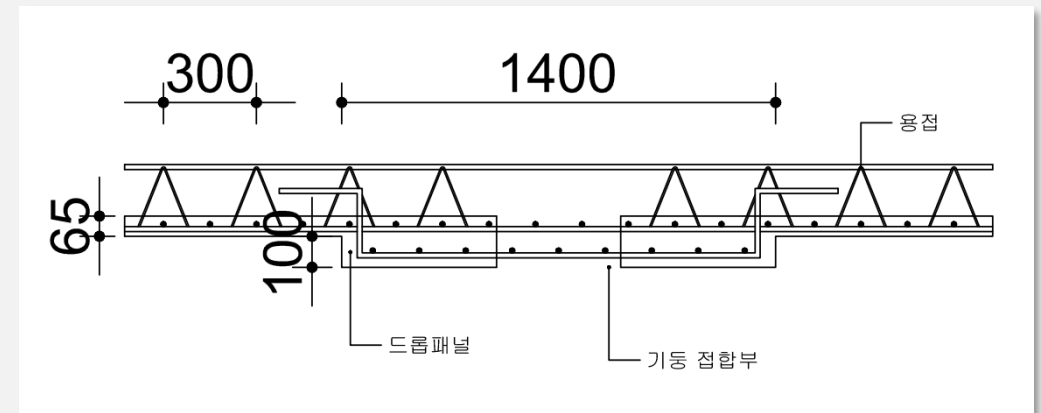
- I. 드롭패널 일체형 PC슬래브
- II. 시공 과정
- III. 결론

I. 드롭패널 일체형 PC슬래브

래티스 거더 하프 슬래브를 활용하여 무량판 구조에 사용할 수 있는 PC슬래브 고안

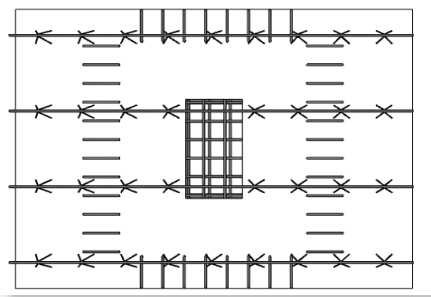


단면도



- 슬래브와 드롭패널 정착을 위해 PC화
- 공장에서 하부근, 래티스 거더, 드롭패널 철근을 배근하여 콘크리트가 타설된 PC슬래브로 제작
- 슬래브의 하부는 드롭패널이 일체화
- 상부는 드롭패널의 정착을 위한 굽힌 철근과 래티스 거더가 돌출된 형태로 운반

I. 드롭패널 일체형 PC슬래브

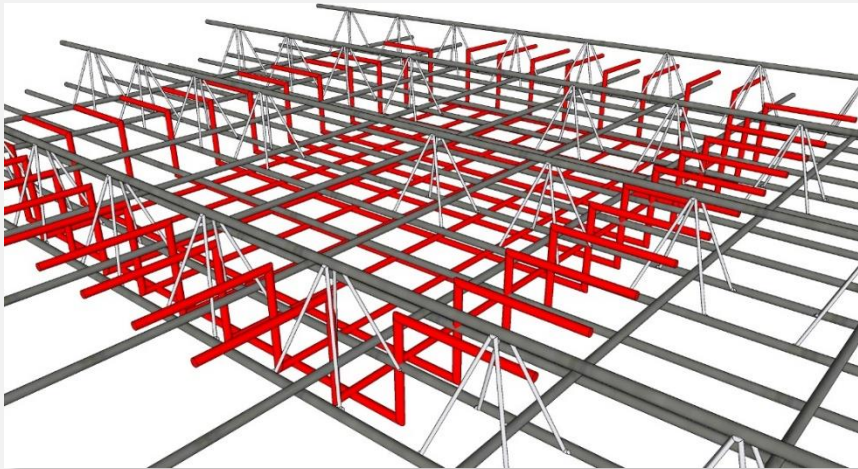


TYPE A



TYPE B

TYPE A 철근 상세



TYPE A

기둥 위에 접합되는 슬래브

- 래티스 거더가 배근된 슬래브와 드롭패널이 일체화
- 중앙부에 기둥 철근이 관통할 수 있는 개구부가 있으며
- 개구부는 토핑 콘크리트 타설 시 드롭패널 철근과 하부근이 기둥과 일체화 될 수 있도록 하는 역할

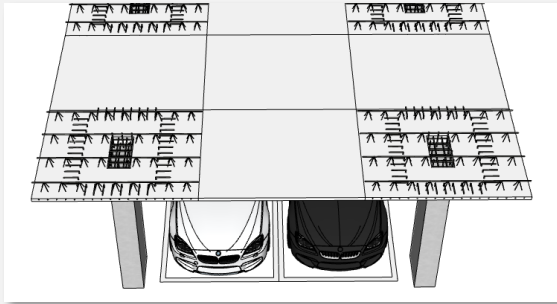
TYPE B

TYPE A 사이에 조립되는 슬래브

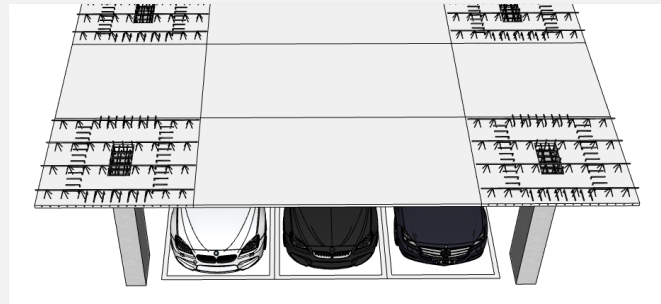
- 하부근만 배근된 슬래브
 - 기둥 경간에 맞춰 사이즈 조절
- 드롭패널과 래티스 거더로 인해 2방향 전단 보강 및 뚫림 전단 유리
 - 공장에서 제작되어 콘크리트 설계 강도 확보
 - 기존 무량판 구조에 비해 배근 난이도가 낮아 시공이 간단

즉, 무량판 구조의 안전성 향상

I. 드롭패널 일체형 PC슬래브 - 운송



차량 2대 주차



차량 3대 주차

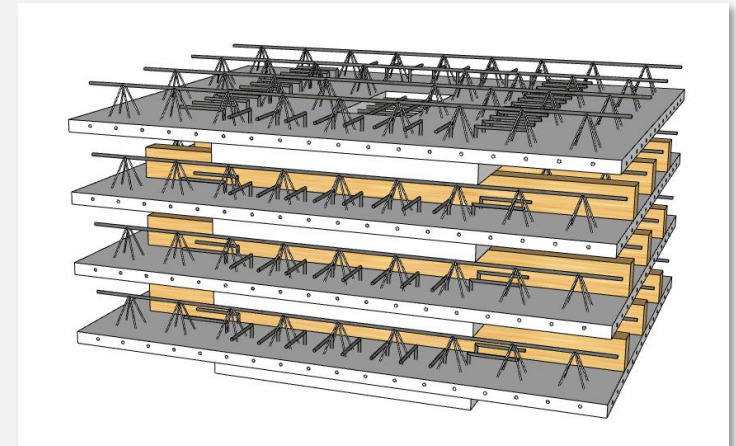
운송 관련 법규

| 구분 | 폭 | 높이 | 길이 |
|-------------|------|-------|-------|
| 일반적 제한 | 2.5m | 3.8m | 13.0m |
| 경찰서 허가 후 가능 | 3.0m | 4.15m | 17.0m |

TYPE A의 경우 2.8m*2.25m으로 고정

TYPE B의 경우 기둥 경간에 따라서 최대 5.1m의 길이로 운송 기준에 적합

또한 슬래브 적층시 각목을 슬래브 사이에 배치하여
철근의 좌굴 방지



I. 드롭패널 일체형 PC슬래브 - 동바리



하프 PC슬래브이기 때문에 거푸집 공정은 없지만 동바리 구조 계산 필요
철근의 무게와 콘크리트 중량을 감안하여 **잭서포트** 사용 예정

잭서포트는 일반 서포트에 비해 약 3배의 하중을 지지할 수 있으며
주로 **지하주차장 상부 골조**와 마감 공사를 수행할 때 활용

잭서포트의 표준 사양 $\phi 139.8 \times 4.5t$ 로, 본당 허용 내력 $F_p \approx 30.0 \text{ tf/본}$

슬래브 두께 $t = 400$, 층고 3m 로 가정했을 때

고정하중 = 9.4 kN/m^2 , 충격하중 = 4.7 kN/m^2 , 시공하중 = 1.5 kN/m^2
즉, 설계하중 = 15.6 kN/m^2 로

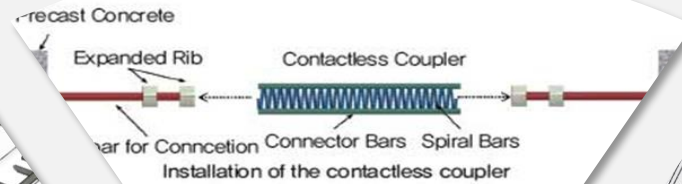
m^2 당 동바리 개수 = 0.159개

잭서포트의 간격은 **가로, 세로 2.5m 이하로 배치**

I. 드롭패널 일체형 PC슬래브 - 연결부

커플러 이음
철근의 이음마다 커플러 필요

루프 철근 활용
철근이 연속되지 않아
충분한 인장의 힘을 받기 어려움



콘크리트 주입
철근을 공간에 맞도록 조립해야
하므로 시공의 난이도가 높음

현장에서 작업이 단순해야 하고,
구조적인 안정성을 가져야 하며
범용적인 설계가 가능해야 함

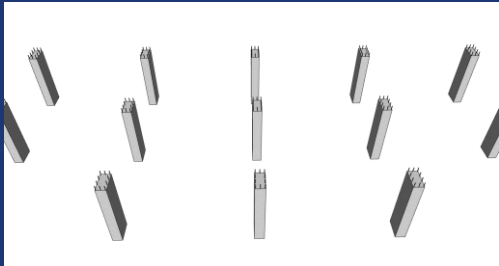
슬래브 양단부에 오목한 채움부를 형성하고
루프 철근이 돌출되도록 하여
슬래브 접합시 루프 철근을 가로지르는
철근을 배근하여 토평 콘크리트 타설

후에 실무에서의 경험을 쌓으며
깊은 고민을 해야한다고 판단

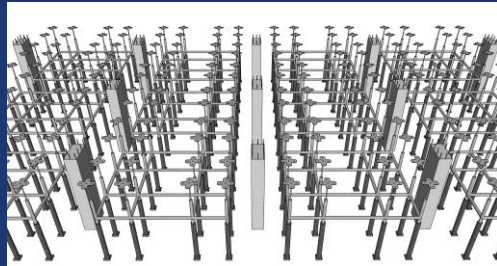
슬래브 양단부에 콘크리트를 주입할 수 있는
공간을 형성하여 돌출된 철근이 공간에
들어갈 수 있도록 조립한 후 콘크리트를 주입

| Ⅱ. 시공 과정

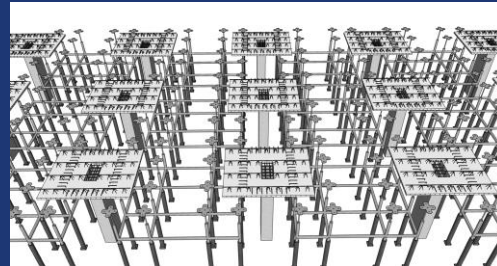
1. PC 기둥 설치



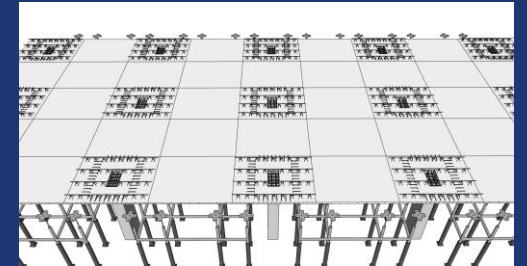
2. 동바리 설치



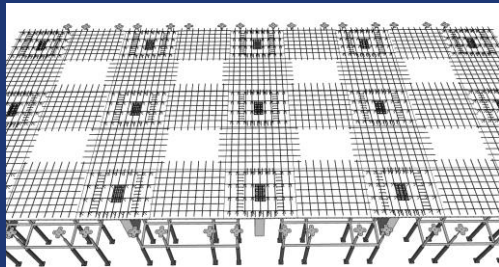
3. TYPE A 슬래브 조립



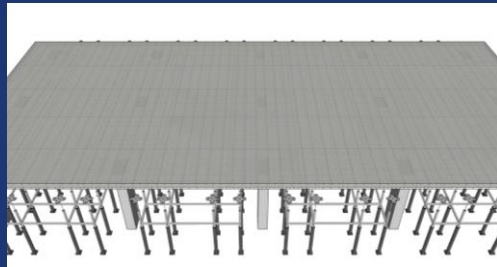
4. TYPE B 슬래브 조립



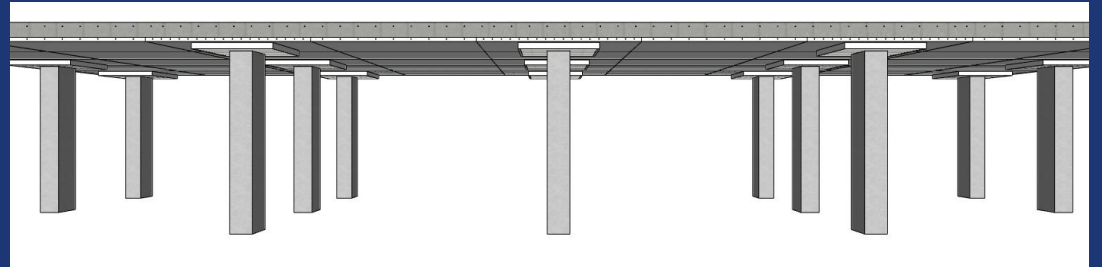
5. 상부근 배근



6. 토평 콘크리트 타설

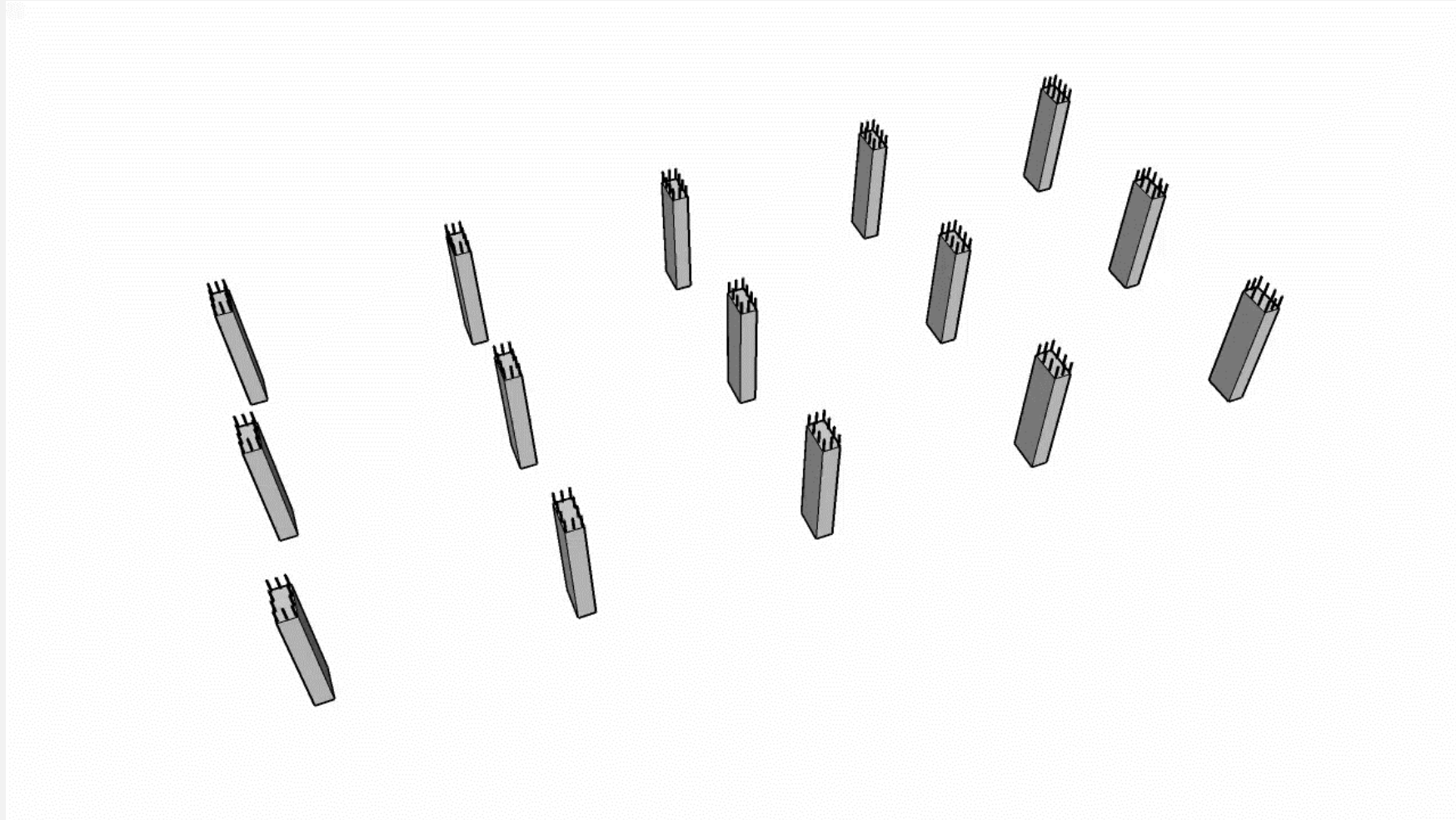


7. 콘크리트 양생 및 동바리 철거



STEP 4. 결론

| Ⅱ. 시공 과정



| Ⅲ. 결론

01. 무량판 구조 붕괴 사고 즉 무량판 구조 안전성 저하의 원인을 분석한 결과 부재 설계의 오류와 철근 배근 불량 및 부재 품질 불량의 문제점이 있었다.
02. 이러한 문제점을 방지하기 위해 상부근만 현장에서 배근하고 콘크리트를 타설하여 배근 난이도가 낮고 시공이 간단한 하프 PC슬래브의 장점을 활용하여 드롭패널 일체형 PC슬래브를 고안하였다.
03. 드롭패널 일체형 PC슬래브는 드롭패널과 래티스 거더로 인해 2방향 전단 보강에 효과적이므로 슬래브 두께를 낮출 수 있고, 공장 제작으로 콘크리트 강도가 확보되어 안전성이 향상된다.

감사합니다.