

인천 서구 아파트 건설공사 중 슬래브 붕괴사고 사고조사 보고서

2023. 7.



국토교통부

건설사고조사위원회

제출문

국토교통부 장관 귀하

본 보고서를 “인천 서구 아파트 건설공사 중 슬래브 붕괴사고 사고조사 보고서”로 제출합니다.

2023년 7월

건설사고조사위원회 위원장 홍 건 호

<건설사고조사위원회 명단>

구 분		성 명	소 속	직 책
위원장		홍건호	호서대학교	교수
간 사		황인상	국토안전관리원	실장
위원	간사(대내)	김〇〇	〇〇대학교	교수
	건축시공	류〇〇	〇〇대학교	교수
		배〇〇	〇〇대학교	교수
		신〇〇	〇〇공사	차장
		오〇〇	〇〇대학교	교수
		정〇〇	〇〇기술사사무소	대표
	건축구조	김〇〇	〇〇대학교	교수
		김〇〇	〇〇엔지니어링	대표
		김〇〇	〇〇구조기술사사무소	대표
		정〇〇	〇〇엔지니어링	대표
	법률	임〇〇	법무법인 〇〇	변호사

본 사고조사보고서는 민·형사 관련 재판 등 법률적인
판단이 요구되는 곳에 적용할 수 없으며, 유사원인에 의한
건설사고의 예방에 활용할 수 있습니다.

국토교통부 인천 서구 아파트 건설공사 중
슬래브 붕괴사고
건설사고조사위원회

본 보고서의 무단복제를 절대 금합니다.

목 차

제1장 개요	1
1.1 조사 목적	1
1.2 조사 개요	1
1.3 사고현장의 일반 현황	2
1.4 사고 개요	5
 제2장 설계도서 분석	 9
2.1 설계도면 및 구조계산서 검토	9
2.2 공사관련기준 등 검토	47
2.3 계약관련법령 등 검토	77
2.4 소결	81
 제3장 현장조사	 83
3.1 사고현장 현황 조사	83
3.2 시공품질 조사	85
3.3 전단배근 시공상태 조사	110
3.4 사고구간 하중재하 상황 검토	111
3.5 청문조사	117
3.6 소결	117
 제4장 붕괴 시뮬레이션	 120
 제5장 붕괴 원인분석	 123

5.1 구조안전	123
5.2 공사관리	137
5.3 소결	140
제6장 재발방지대책	142
6.1 구조안전 측면	142
6.2 시공품질 측면	143
6.3 공사관리 측면	144
제7장 결론	146
7.1 붕괴원인	146
7.2 재발방지대책	147
참고문헌	150
검토자료 목록	152
부록	153

제1장 개 요

1.1 조사 목적

본 건설사고조사위원회 조사의 목적은 「건설기술 진흥법」 제68조에 따라 사고조사위원회를 구성, 사고현장을 방문하여 사고관련 정보를 수집, 검토하고 사고의 경위 및 원인 조사, 재발방지대책을 보고서로 작성하여 유사사고가 발생하지 않도록 제도적, 기술적 대책 및 대안을 제시함에 있다.

1.2 조사 개요

1.2.1 위원회 구성

- 위원장을 포함한 12명의 위원으로 구성함.

표 1.2.1 위원 명단

구 분		성 명	소 속	직 책
위원장		홍건호	호서대학교	교수
간 사		황인상	국토안전관리원	실장
위원	간사(대내)	김○○	○○대학교	교수
	건축시공	류○○	○○대학교	교수
		배○○	○○대학교	교수
		신○○	○○공사	차장
		오○○	○○대학교	교수
		정○○	○○기술사사무소	대표
	건축구조	김○○	○○대학교	교수
		김○○	○○엔지니어링	대표
		김○○	○○구조기술사사무소	대표
		정○○	○○엔지니어링	대표
	법률	임○○	법무법인 ○○	변호사

1.2.2 조사계획

(1) 기간

- 2023.05.09. ~ 2023.07.01.

(2) 조사내용

- 현장조사 : 2023.05.09, 2023.05.22., 2023.06.01. (3차례)
- 청문조사 : 2023.06.01
- 설계도서 및 기준 검토
- 실측 및 시료채취 시험결과 분석
- 구조해석 및 시뮬레이션
- 재발방지대책 마련

(3) 결과보고서 작성 및 제출

1.3 사고현장의 일반현황

1.3.1 공사개요¹⁾

- 공 사 명 : 인천검단 AA13-2BL 공공주택사업
- 공 사 비 : 1,600억원
- 공사 기간 : 2021.05.27. ~ 2023.10.27
- 용 도 : 공동주택 (아파트 및 부대복리시설)
- 공사 규모 : 지하2층, 지상 14층 ~ 지상 25층
- 건축 면적 : 6,958.79m²
- 연 면 적 : 149,745.09m²
- 건축 구조 : 철근콘크리트 벽식구조

1) 국토안전관리원 건설사고 초기현장조사 보고서, 건축도면 설계개요 등 발췌

1.3.2 공사관계자 정보 2)

- 공사관계자
 - 발주청: 한국토지주택공사
 - 시공책임형 건설사업관리자: 지에스건설(주) 공동수급체
 - 설계사: (주)유선엔지니어링건축사사무소 공동수급체
 - 감독권한대행 등 건설사업관리자: (주)목양종합건축사사무소 공동수급체
 - 시공사: 지에스건설(주) 공동수급체
- 하도급
 - 구조설계: (주)형상엔지니어링(구조계산)
(주)형상이엔지건축사사무소기술사사무소(구조도면)
 - 시공: 상하건설(주) (철콘·비계구조물해체공사업)
아세아종합건설 (조경식재·시설물공사업)

1.3.3 현장 위치 3)

- 현장 주소 : 인천광역시 서구 원당동 531

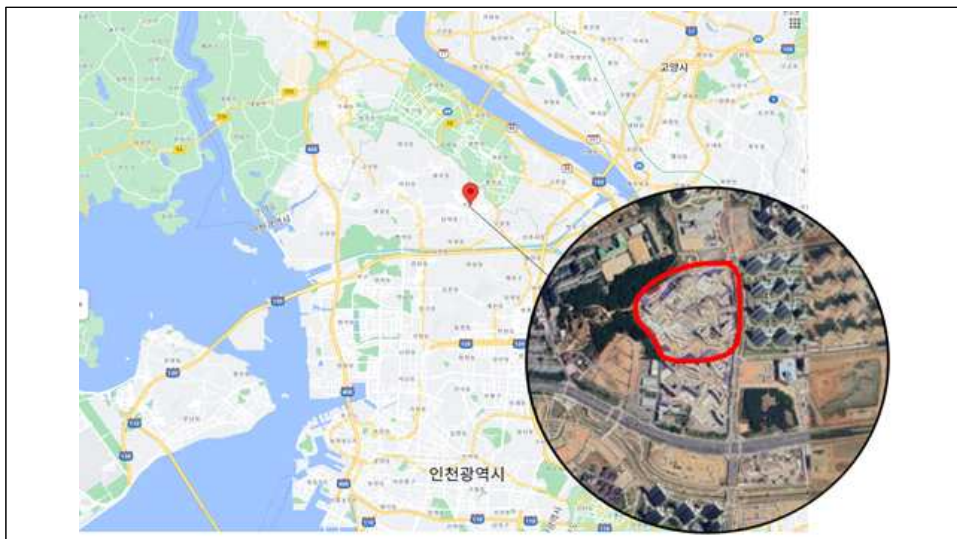


그림 1.3.1 현장 위치도

2) 국토안전관리원 건설사고 초기현장조사 보고서 등 발췌
3) 주소는 초기현장보고서 발췌, 위치도는 구글지도, 단지배치도와 입면도는 건축도서, 조감도는 사업 홈페이지 (http://lhgdaa13-2.co.kr/B/sub02_01.html)에서 발췌, 사고지점 표시는 초기현장보고서 발췌



그림 1.3.2 조감도

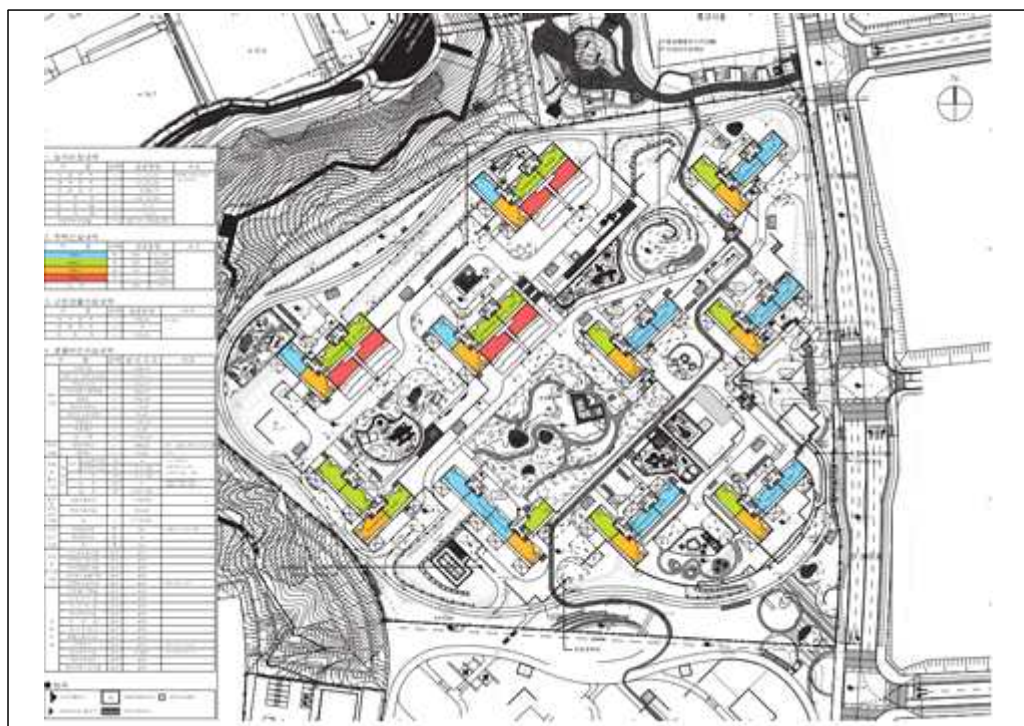


그림 1.3.3 단지배치도

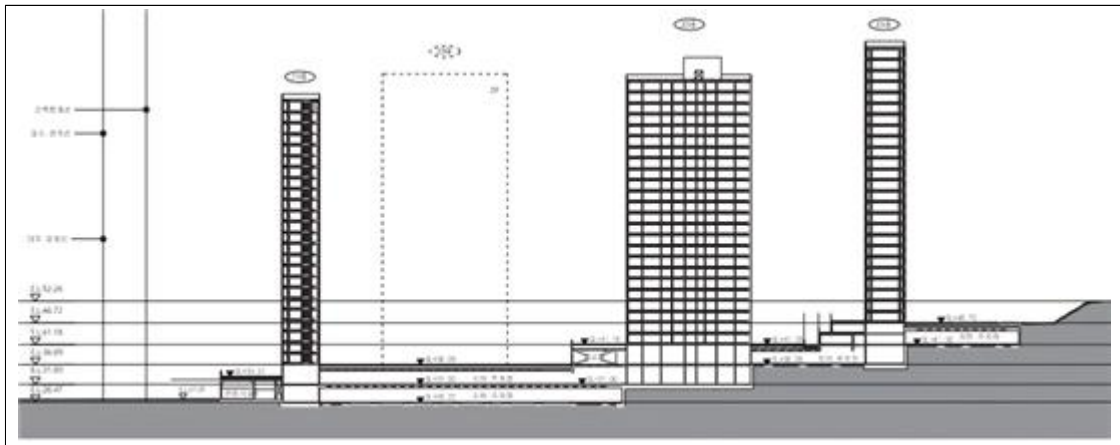


그림 1.3.4 대지 종단면도

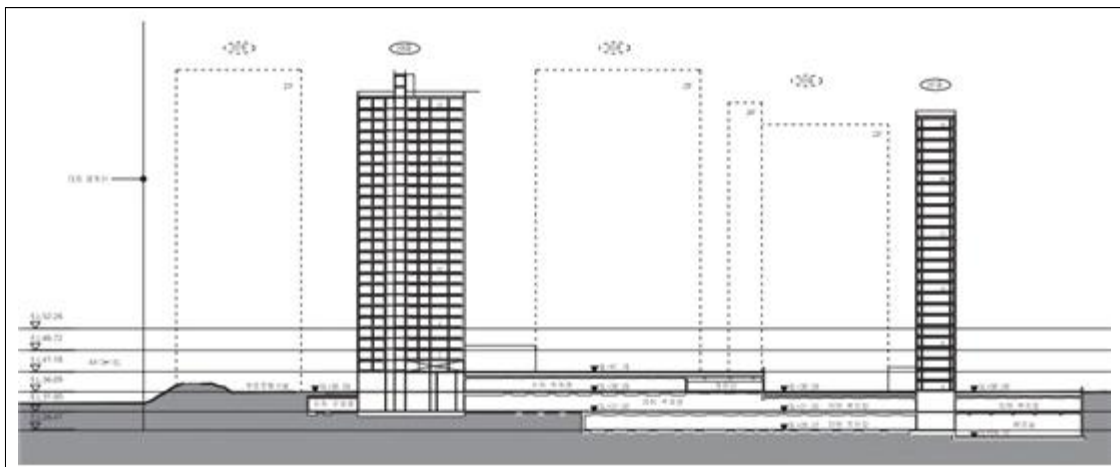


그림 1.3.5 대지 횡단면도

1.4 사고 개요

1.4.1 사고 유형

- 202동과 203동 사이 지하 1층 상부 슬래브 및 지하 2층 상부 슬래브의 붕괴

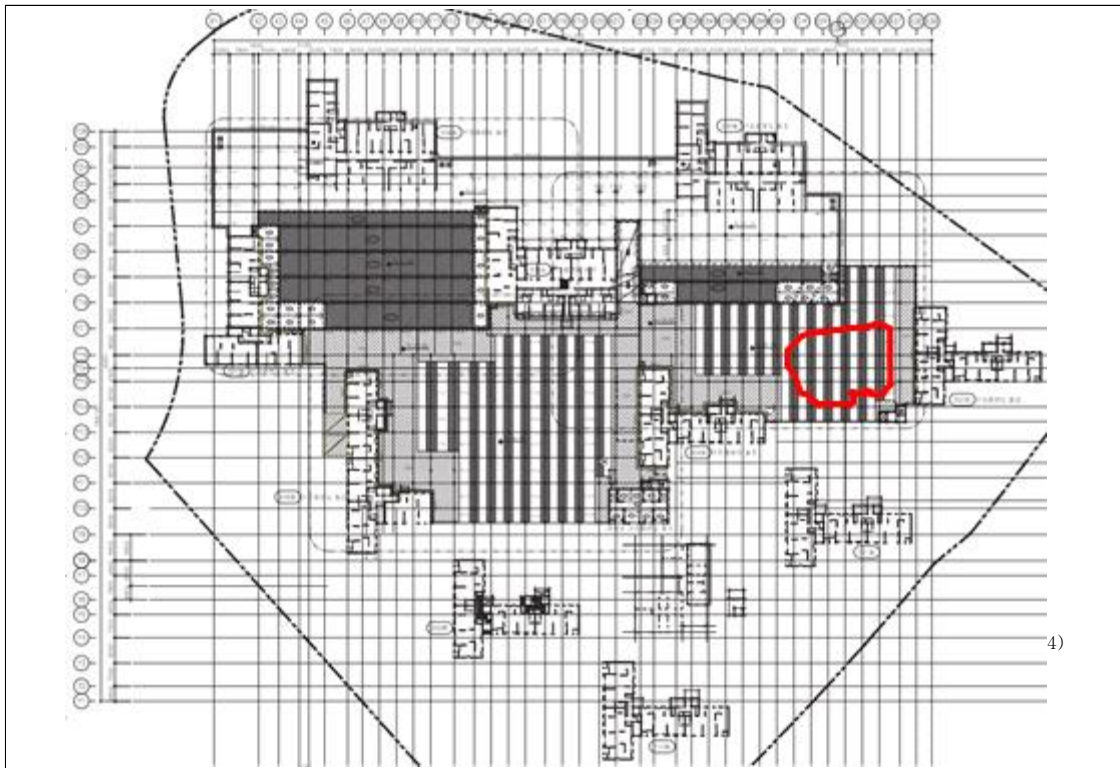


그림 1.4.1 지하 1층 상부슬래브 사고 위치도 (: 사고위치)



그림 1.4.2 지하 2층 상부슬래브 사고 위치도 (: 사고위치)

4) 준공도면 AS-103. 104 발체

5) 준공도면 AS-103. 104 발체

1.4.2 사고 경위

- 2023년 4월 29일 23시 25분 경 202동과 203동 사이 지하 1층 상부 슬래브 (면적 : 약 1104m²) 붕괴와 이로 인한 지하 2층 상부 슬래브 (면적 : 약 185m²) 연쇄 붕괴
- 사고발생 시각이 늦은 밤 시각이었던 관계로 인명피해는 없음

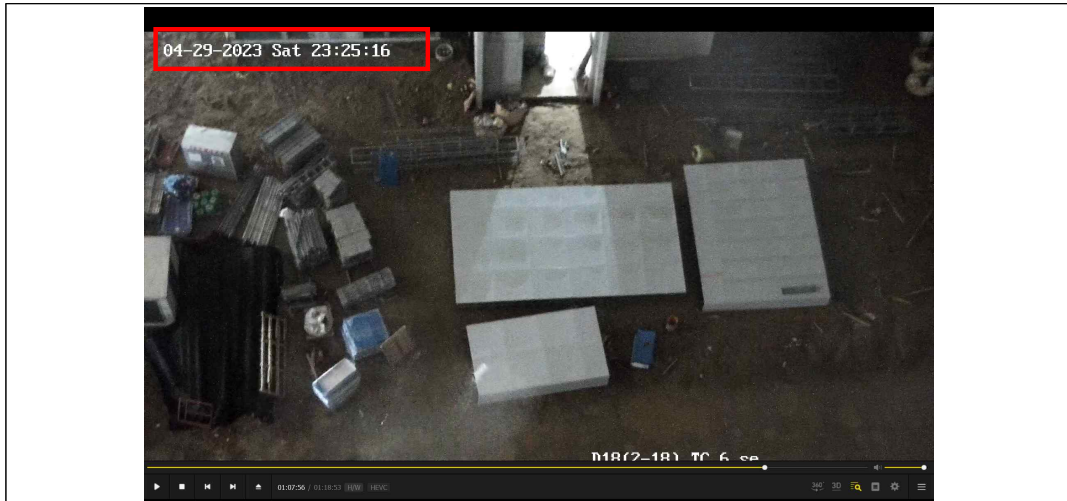


그림 1.4.3 사고 부위 인근 CCTV 화면 (: 발생시각)

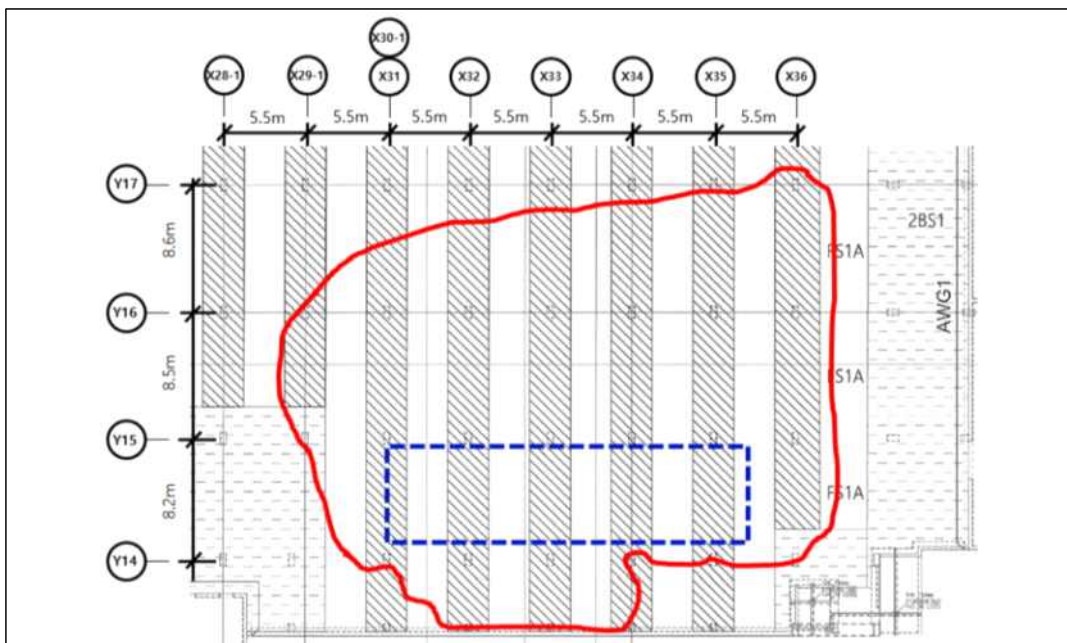


그림 1.4.4 사고 확대위치도 (: 지하1층, : 지하2층)⁶⁾

6) 지하주차장 코어샘플채취도 발췌

1.4.3 피해 상황

- 인적 피해 : 없음
- 구조물 주요 파손 : 지하 1층 상부 슬래브, 지하 2층 상부 슬래브 및 보



그림 1.4.5 붕괴사고 현장 내부 (지하 1층)



그림 1.4.6 붕괴사고 현장 내부 (지하 2층)

제2장 설계도서 분석

2.1 설계도면 및 구조계산서 검토

2.1.1 개요

(1) 지하주차장 개요

표 2.1.1 지하주차장 개요⁷⁾

구조형식		지하외벽으로 둘러싸인 지하구조시스템 철근콘크리트 무량판구조 + one-way 라멘구조
용도		지하주차장, 저수조, 전기실, 발전기실
건물규모		지하 4층
층고		지하주차장(4개층) + 26.22/ + 31.00 / + 36.09 / + 41.18
적용기준		건축구조기준(KDS 41 00, 국토교통부)
지하수위		부상검토 및 부재설계 : G.L-0 ~ -1.58m 부상방지 설계 : 영구배수공법 적용
사용재료	철근	직경 D13 이하 : SD500 직경 D16 이상 : SD600
	콘크리트	보,기둥,벽체,기초,슬래브: $f_{ck} = 24\text{MPa}$
지진하중		지진 구역계수(Z): 0.22 (설계유효지반가속도(S): 0.176)
		지반종류 : S3 (보통암 출현깊이 20m 이하)
		반응수정계수(R): 3.0
		중요도계수(IE) : 1.2
		변위증폭계수(Cd) : 2.5
각 실별 활하중		실내주차장 : 6.0 kN/m^2 노상주차장 : 12.0 kN/m^2
슬래브 두께		지붕 : 450(300)mm, 지하층 : 150mm, 램프 : 300mm, 외부계단 : 300mm

7) 구조도면 AS-01 지하주차장 도면목록표 및 구조설계개요 참조

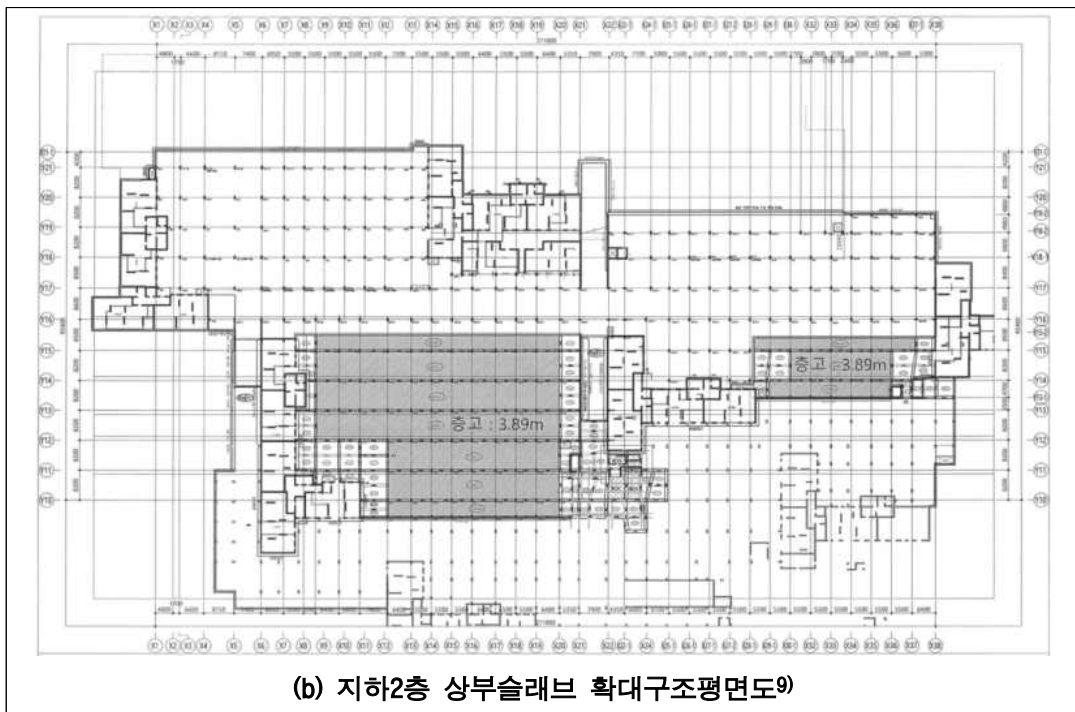
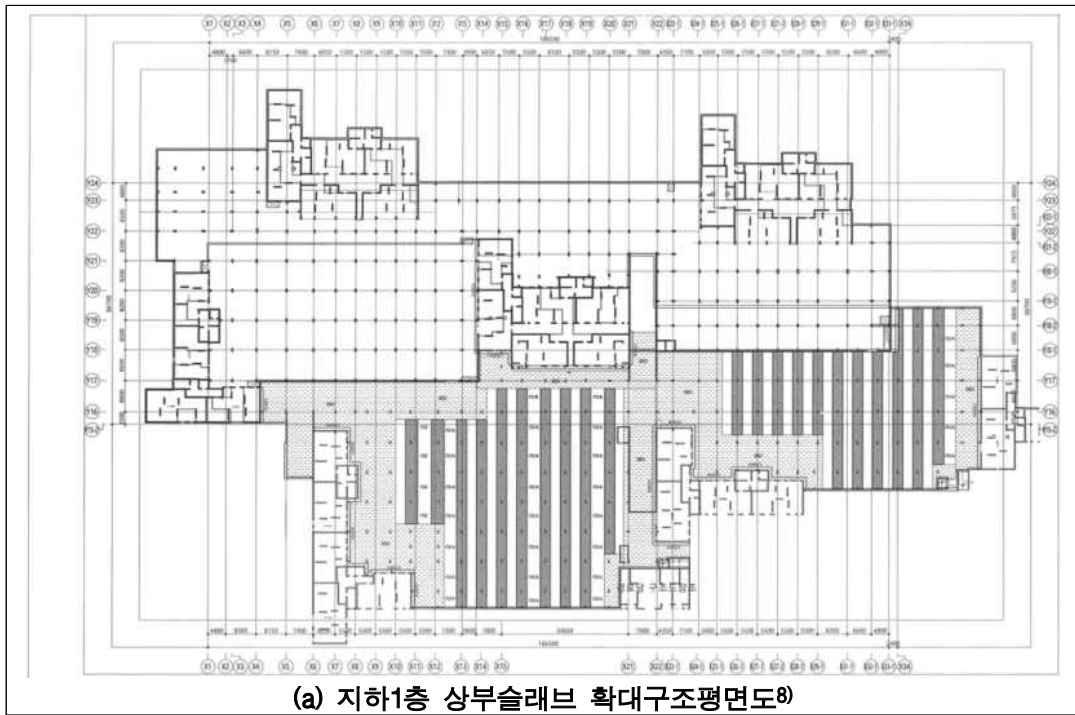


그림 2.1.1 지하주차장 확대구조평면도

8) 구조계산서 p089 지하주차장 구조도 +41.18 LEVEL(무량판)

9) 구조계산서 p067 지하주차장 구조도 +36.09 LEVEL

(2) 사고발생구간

- 사고발생구간 지하1층은 기둥이 가로방향(X29-1 ~ X36열)으로 5.5m, 세로방향(Y14 ~ Y17열)으로 8.2m, 8.5m, 8.6m 간격으로 배치되어 있음. (그림 2.1.2 참조)

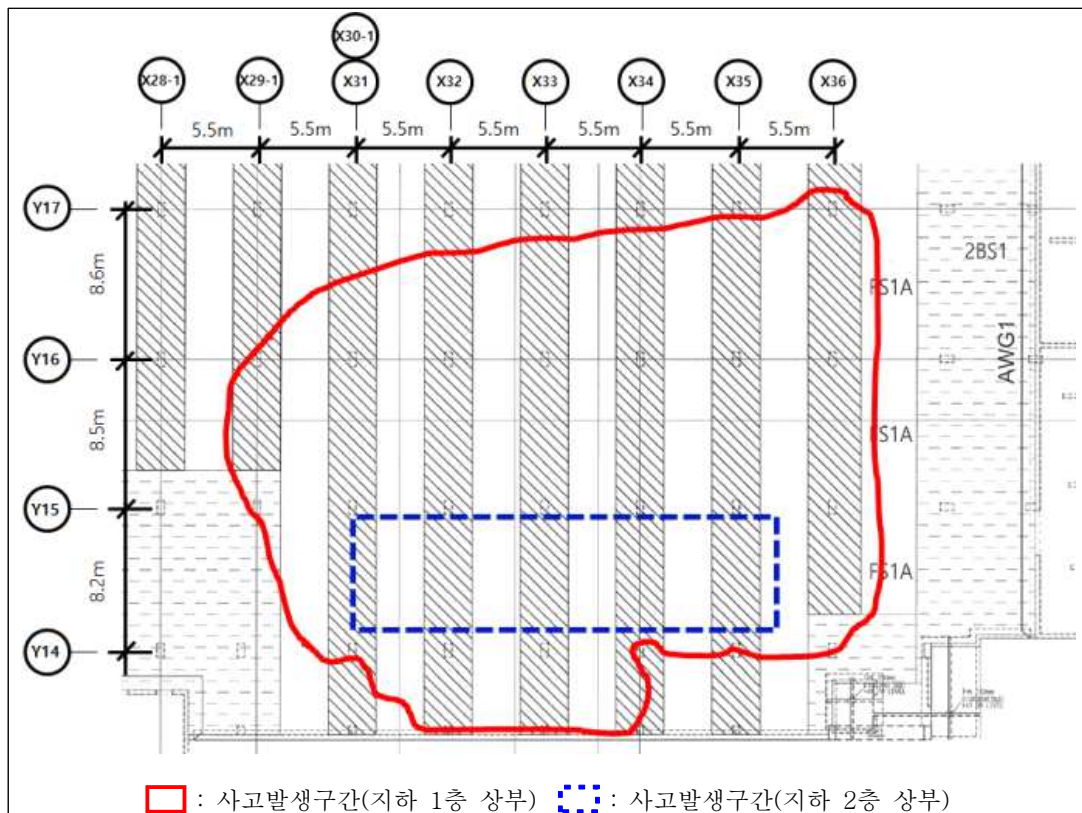


그림 2.1.2 사고발생구간 지하 1층 상부 바닥구조¹⁰⁾

2.1.2 설계하중 산정의 적정성

(1) 구조계산서 설계하중

- 구조계산서 상의 설계하중은 그림 2.1.3과 같음.

10) 구조계산서 p070 +36.09 LEVEL 확대구조평면도-3(발췌)

지하주차장_RC 슬래브		단위 : N/m ²			
지상층바닥(토피 1.1m인 경우)_RC Slab		D.L	L.L	D+L	1.2D+1.6L
상재하중 (t= 1100)		19800	12000		
누름콘크리트 (t= 100)		2300			
아스팔트쉬트방수 (t= 2겹)		150			
콘크리트 슬라브 (t= 250)		6000			
		28250	12000	40250	53100
* 총중량 180kN 초과하는 차량에 대한 출입이 제한되는 경우에 해당함. 기타의 경우 개별 산정할 것.					
지하1층 바닥(지하2층 주차장인 경우) - RC Slab		D.L	L.L	D+L	1.2D+1.6L
무근콘크리트 (t= 150)		3450	6000		
액체방수2차 (t= 14)		300			
콘크리트 슬라브 (t= 150)		3600			
		7350	6000	13350	18420

그림 2.1.3 구조계산서 설계하중¹¹⁾

(2) 설계도면에 따른 하중

- 지하 2층 상부슬래브는 건축도면의 실내재료마감표를 참조하였음.
- 지하 1층 상부슬래브의 경우 건축도면에 별도의 재료마감표는 없어 건축 단면상세도에 표시된 마감재료를 참조하였으며, 구조도면에 “주차장 상부 토피를 최대 1.2m(순수토심 1.1m) 이내로 시공”하도록 명기되어 있어 이를 참조하였음. (그림 2.1.4 참조)
- 설계도면에 따른 하중은 표 2.1.2와 같음.

■ 실내재료마감표						
층 별	실 명		바 닥			
			바 탕	마 감	두께	-
지 하 주 차 장	지하 주차장	지하1층	시트방수/PE필름1겹/ 무근콘크리트(설유보강재)	에폭시바닥마감재	140	
		지하2층 (최하층)	THK45 배수판/ 무근콘크리트(설유보강재)	에폭시바닥마감재	180	
	램프		지정방수/ 무근콘크리트(설유보강재)	문양처리	100	
	전기실/발전기실		THK45 배수판/ 무근콘크리트(설유보강재)	에폭시바닥마감재	180	
	열교환실/펌프실		THK45 배수판/ 무근콘크리트(설유보강재)	에폭시바닥마감재	180	

(a) 실내재료마감표¹²⁾

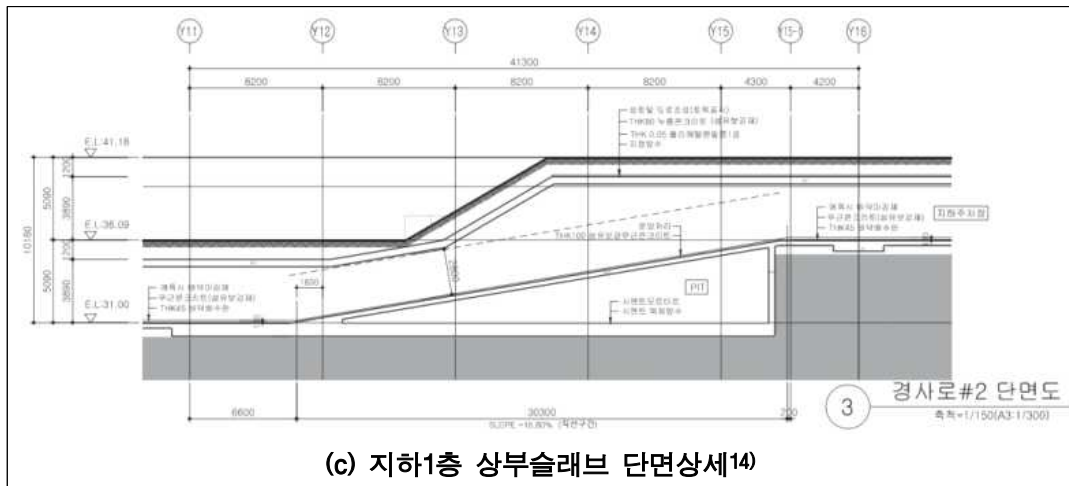
11) 구조계산서 p006

12) 건축도면 BA-001 실내의 재료마감표-1 (발체)

5. 기 타

주차장 상부 토피는 최대 1.2m (순수토심 1.1m) 이내로 시공
- 차량통과 예상부위는 서포트 설치할것.

(b) 지하1층 주차장 상부 토피 지침¹³⁾



(c) 지하1층 상부슬래브 단면상세¹⁴⁾

그림 2.1.4 설계도면의 마감상세

표 2.1.2 설계도면에 따른 하중산정표

층	고정하중 (N/mm ²)		비고
지하1층 상부슬래브	상재하중 (t=1,100mm)	19,800	평균두께
	누름콘크리트(t=80mm)	1,840	
	폴리에틸렌필름 1겹	150	
	콘크리트슬래브 (t=375mm)	9,000	
	합계 (콘크리트슬래브 자중 제외)	21,790	
	합계 (콘크리트슬래브 자중 포함)	30,790	
지하2층 상부슬래브	무근콘크리트 (t=140mm)	3,220	평균두께
	PE필름1겹	50	
	시트방수	150	
	데크플레이트	160	
	콘크리트슬래브 (t=190mm)	4,560	
	합계 (콘크리트슬래브 자중 제외)	3,580	
	합계 (콘크리트슬래브 자중 포함)	8,140	

13) 구조도면 AS-01 지하주차장 도면목록표 및 구조설계개요(발체)

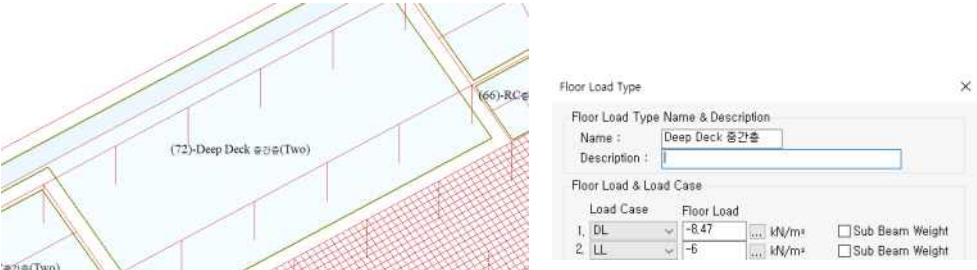
14) 건축도면 BA-132 경사로#3 평면도, 단면도 (발체)

(3) 구조해석 시 적용하중

- 구조해석 시 적용한 하중은 그림 2.1.5와 같음.

Element	LoadCase	CmdType	LoadType	Edge/Face	Direction	VX (m)	VY (m)	VZ (m)	Projection	PU (kN/m ²)	P1 (kN/m ²)	P2 (kN/m ²)
43028	DL	Pressure	Pressure	Face #1	Global Z	0.00	0.00	0.00	No	-22.25	0.00	0.00
43028	LL	Pressure	Pressure	Face #1	Global Z	0.00	0.00	0.00	No	-16.00	0.00	0.00
43029	DL	Pressure	Pressure	Face #1	Global Z	0.00	0.00	0.00	No	-22.25	0.00	0.00
43029	LL	Pressure	Pressure	Face #1	Global Z	0.00	0.00	0.00	No	-16.00	0.00	0.00
43030	DL	Pressure	Pressure	Face #1	Global Z	0.00	0.00	0.00	No	-22.25	0.00	0.00
43030	LL	Pressure	Pressure	Face #1	Global Z	0.00	0.00	0.00	No	-16.00	0.00	0.00

지하1층 상부슬래브 부분 Pressure Load로 적용
(D.L = 22.25kN/m²(자중제외), L.L = 16.00kN/m²)



지하2층 상부슬래브 부분 Floor Load로 적용
(D.L = 8.47kN/m²(자중포함), L.L = 6.00kN/m²)

그림 2.1.5 구조해석 시 적용하중¹⁵⁾

표 2.1.3 설계하중 검토

단위 : N/mm²

구분		구조계산서	설계도면	해석파일	비고
지하1층 상부슬래브	고정하중	22,250	21,790	22,250	콘크리트슬래브 자중제외
	활하중	12,000	-	16,000	
지하2층 상부슬래브	고정하중	7,350	8,140	8,470	콘크리트슬래브 자중포함
	활하중	6,000	-	6,000	

(4) 설계하중 산정의 적정성 분석 결과 및 요약

- 지하 1층 상부슬래브, 지하 2층 상부슬래브에 적용된 설계하중을 구조계산서와 설계도면, 구조해석 각각에 대하여 비교, 검토하였음.
- 지하 1층 상부슬래브 고정하중의 경우 콘크리트 슬래브 자중을 제외한 고정하중은 서로 큰 차이가 없는 것으로 확인되었음. 콘크리트 슬래브 자중은 해석파일에서 적절하게 고려된 것으로 확인되었음.
- 지하 1층 상부슬래브 활하중의 경우 구조계산서와 해석파일이 서로 다른 것으로 확인되었으나, 제공된 자료와 청문 등을 통해 확인한 결과 최종적으로는 해석파일에 적용된 활하중(16,000N/mm²)으로 구조설계가 수행된 것으로

15) 구조해석파일 참조

로 확인되었음.

- 지하 2층 상부슬래브 고정하중의 경우 구조해석 시 구조계산서에 명시된 고정하중 보다 큰 하중이 적용된 것으로 확인되었음.
- 지하 2층 상부슬래브 활하중의 경우 구조계산서와 구조해석이 동일하게 적용된 것으로 확인되었음.

2.1.3 구조해석의 적정성

(1) 검토구간 구조시스템 - 지하 1층

- 검토구간 지하 1층은 기둥이 가로방향(X28-1~X36열)으로 5.5m, 세로방향(Y14~Y17열)으로 8.2m, 8.5m, 8.6m 간격으로 배치되어 있음. Y14, Y15열 기둥의 경우 “-1”로, Y16, Y17열 기둥의 경우 “-2”로 기둥 부재명이 구분되어 있으며, 전단보강근이 필요한 기둥의 경우 기둥 부재명 끝에 “V”를 표시하였음. (그림 2.1.6 및 표 2.1.4 참조)



16) 구조계산서 p070 + 36.09 LEVEL 확대구조평면도-3(발체)

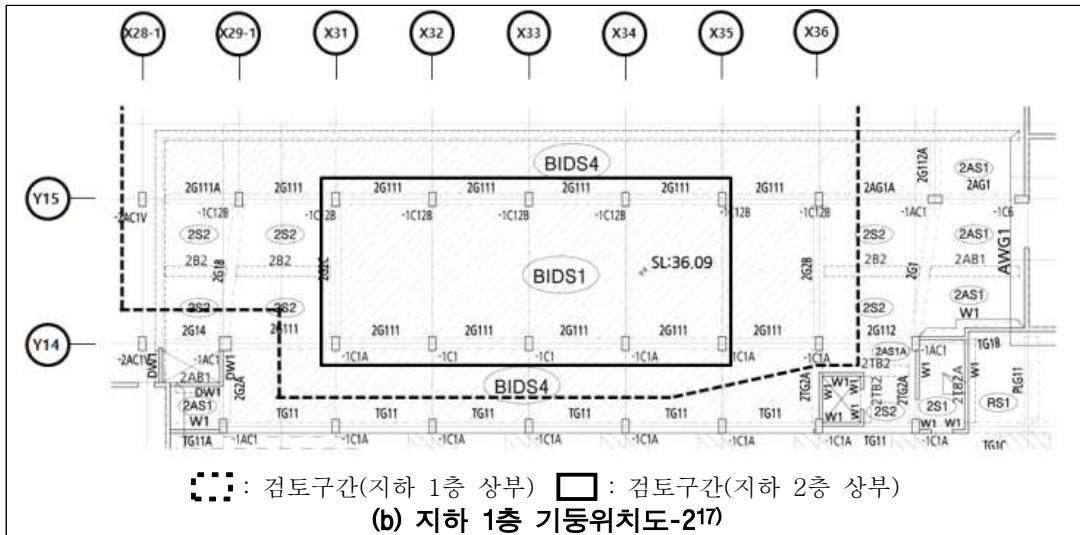


그림 2.1.6 검토구간 지하 1층 기둥위치도

표 2.1.4 검토구간 지하 1층 기둥 부재명

X열 Y열	X28-1	X29-1	X30-1 (X31) ¹⁾	X32	X33	X34	X35	X36
Y17	-	-	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
Y16	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1V	-2C1A	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
Y15	-2AC1V	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B
Y14	-	-	-1C1A	-1C1	-1C1	-1C1A	-1C1A	-1C1A

주기 1) : 동일한 열 위치가 구조계산서 지하주차장 구조도 +41.18 LEVEL(무량판)와 +36.09 LEVEL에서 다르게 표시되어 있음(괄호 안이 구조도 +41.18 LEVEL 열 번호임)

- 지하 1층 상부바닥은 주열대의 경우 두께 450mm, 중간대의 경우 두께 300mm의 단차이가 있는 플랫폼레이트 구조(FS1)로 설계되었음. (그림 2.1.7 참조)

17) 구조도면 +36.09 LEVEL 확대구조평면도-2(발체)(구조계산서 p073 +36.09 LEVEL 확대구조평면도-6와 동일)

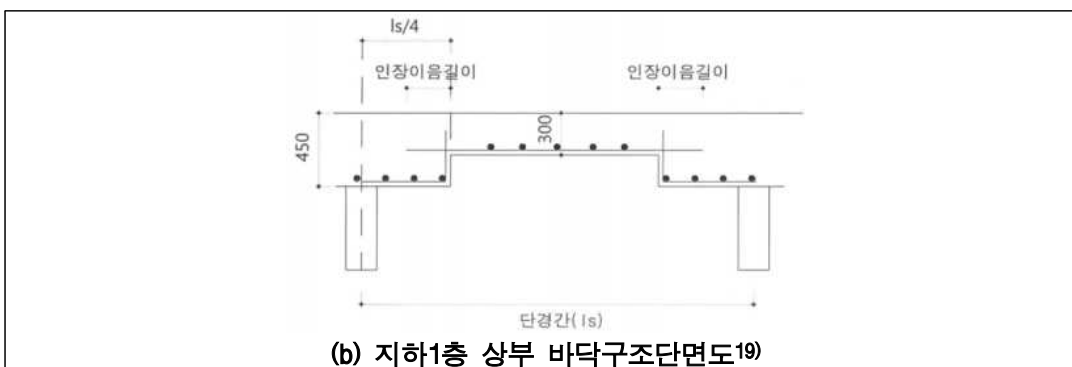
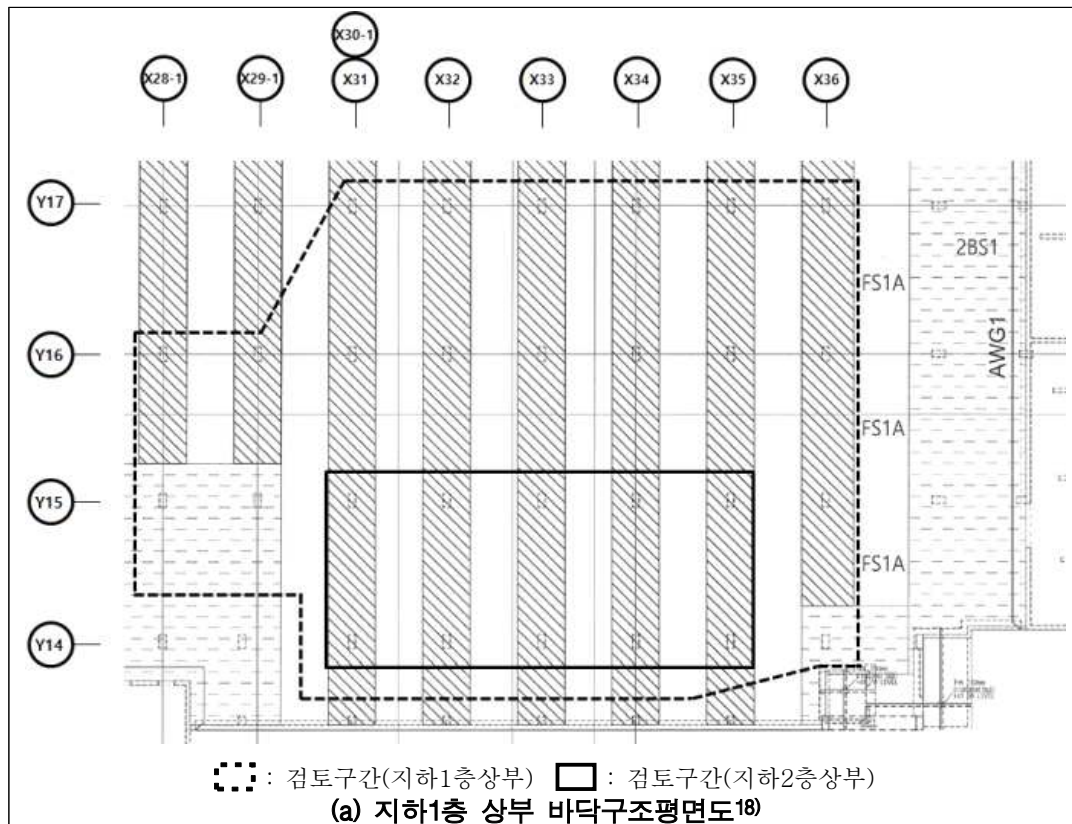


그림 2.1.7 검토클러스터 지하 1층 상부 바닥구조

(2) 검토클러스터 구조시스템 - 지하 2층

- 검토클러스터 지하 2층은 기둥이 가로방향(X30-1 ~ X36열)으로 5.5m, 세로방향(Y14 ~ Y15열)으로 8.2m로 배치되어 있음. (그림 2.1.8 및 표 2.1.5 참조)

18) 구조계산서 p092 + 41.18 LEVEL 확대구조평면도(무량판)-3(발췌)

19) 구조계산서 p104 지하주차장 무량판슬래브 배근 상세-1(발췌)

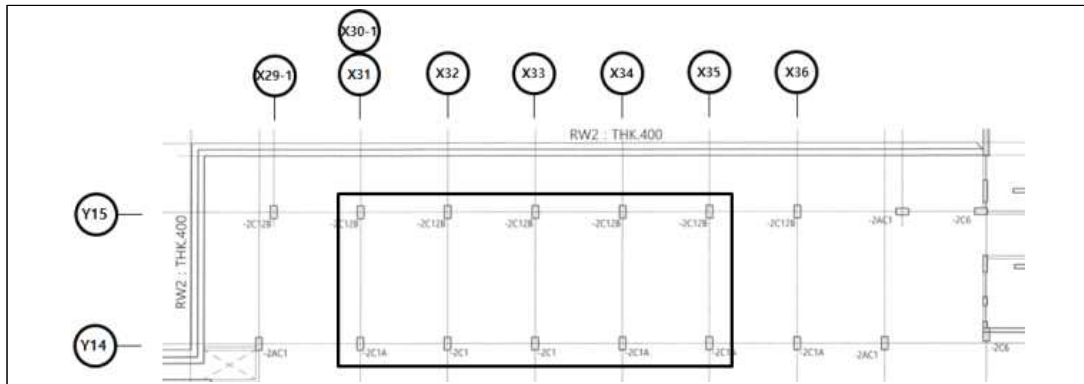


그림 2.1.8 검토구간 지하 2층 기둥위치도²⁰⁾

표 2.1.5 검토구간 지하 2층 기둥 부재명

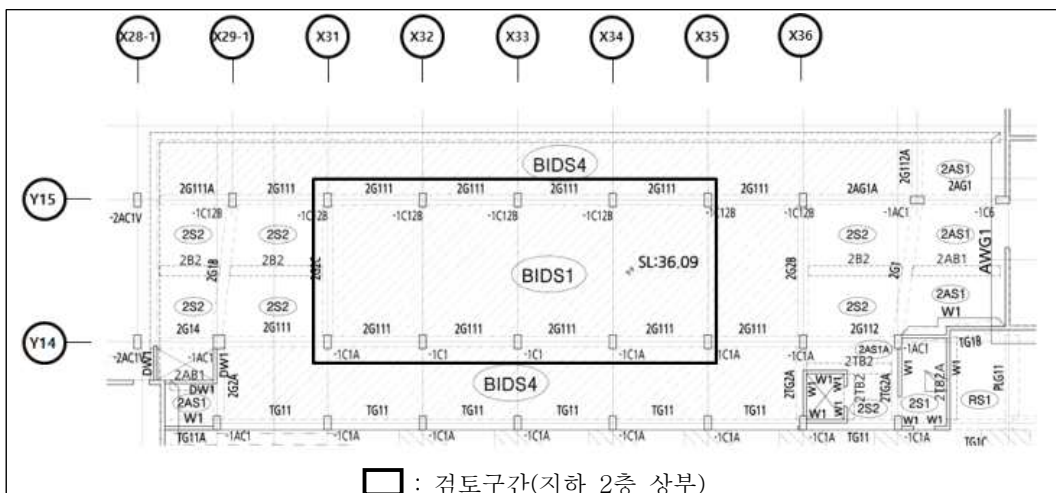
X열 \ Y열	X29-1	X30-1 (X31) ¹⁾	X32	X33	X34	X35	X36
Y17							
Y16							
Y15	-	-2C12B	-2C12B	-2C12B	-2C12B	-2C12B	-
Y14	-	-2C1A	-2C1	-2C1	-2C1A	-2C1A	-

주기 1) : 동일한 열 위치가 구조계산서 지하주차장 구조도 + 41.18 LEVEL(무량판)와 + 36.09 LEVEL에서 다르게 표시되어 있음(괄호 안이 + 41.18 LEVEL 열 번호임)



: 지하2층에는 없는 기둥임

- 지하 2층 상부바닥은 Y14열, Y15열 방향으로 1방향 보(2G111 : 600x600)가 있고, Y15~Y16 8,200mm 경간은 춤이 큰 데크(Deep Deck) 슬래브(BKDS1)로 설계되었음. (그림 2.1.9 참조)



□ : 검토구간(지하 2층 상부)

그림 2.1.9 지하2층 상부 바닥구조평면도²¹⁾

20) 구조계산서 p061 + 31.00 LEVEL 확대구조평면도-3(발체)

21) 구조계산서 p073 + 36.09 LEVEL 확대구조평면도-6(발체)

(3) 검증모델

- 검토구간 설계의 적정성 확인을 위하여 구조설계 시 사용한 구조해석 프로그램인 Midas GEN과 Midas SDS를 동일하게 사용하되 별도의 구조해석 모델링을 통해 적정성을 검토하였음.

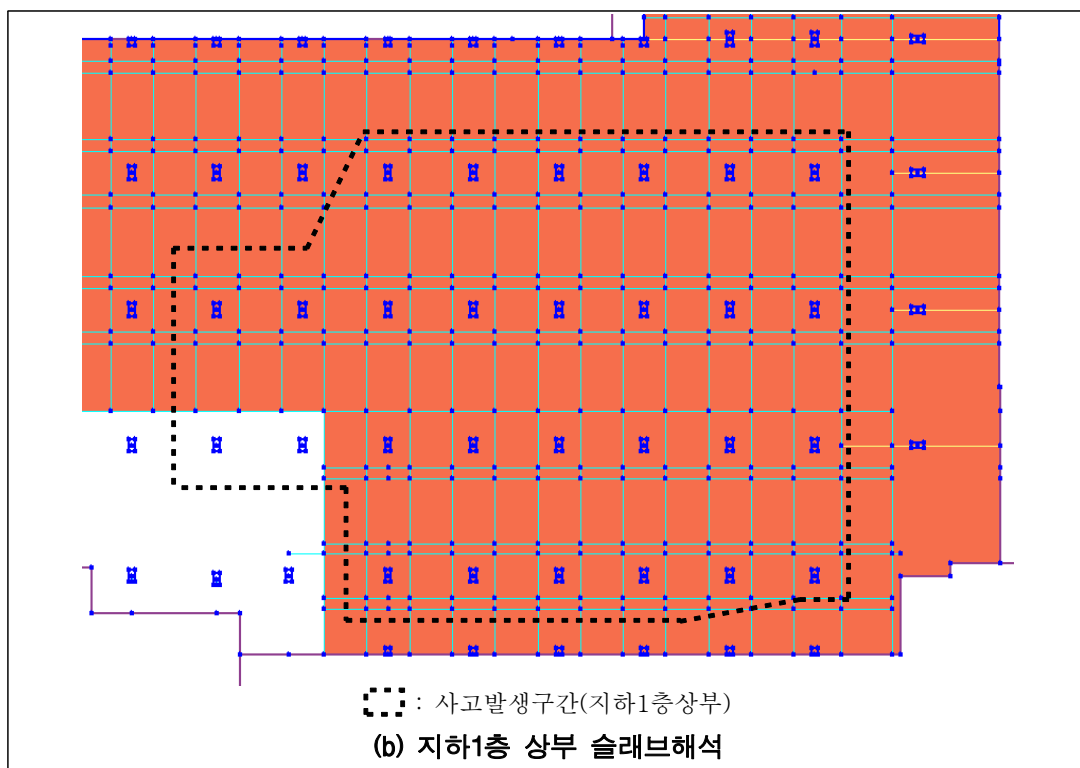
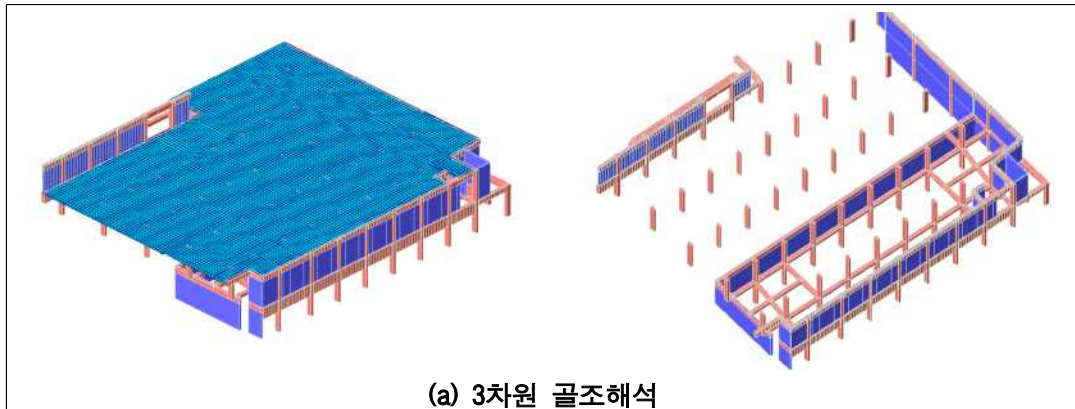


그림 2.1.10 검토구간 검증모델

(4) 전단보강근 설계용 기둥반력 비교

- 검증모델(Midas Gen)에서 연직하중조합(1.2DL+ 1.6LL)에 대한 기둥반력(F_z , M_x , M_y)을 구조계산서와 동일한 방법으로 구하여 구조계산서의 구조해석결과와 비교, 검토하였음. (그림 2.1.11~2.1.13, 표 2.1.6, 표 2.1.7)

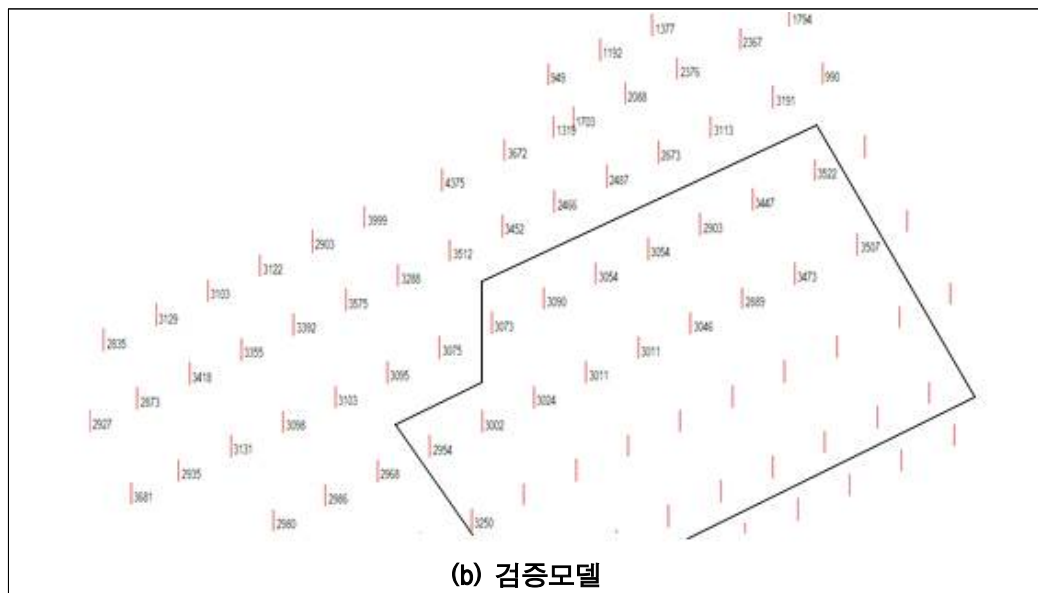
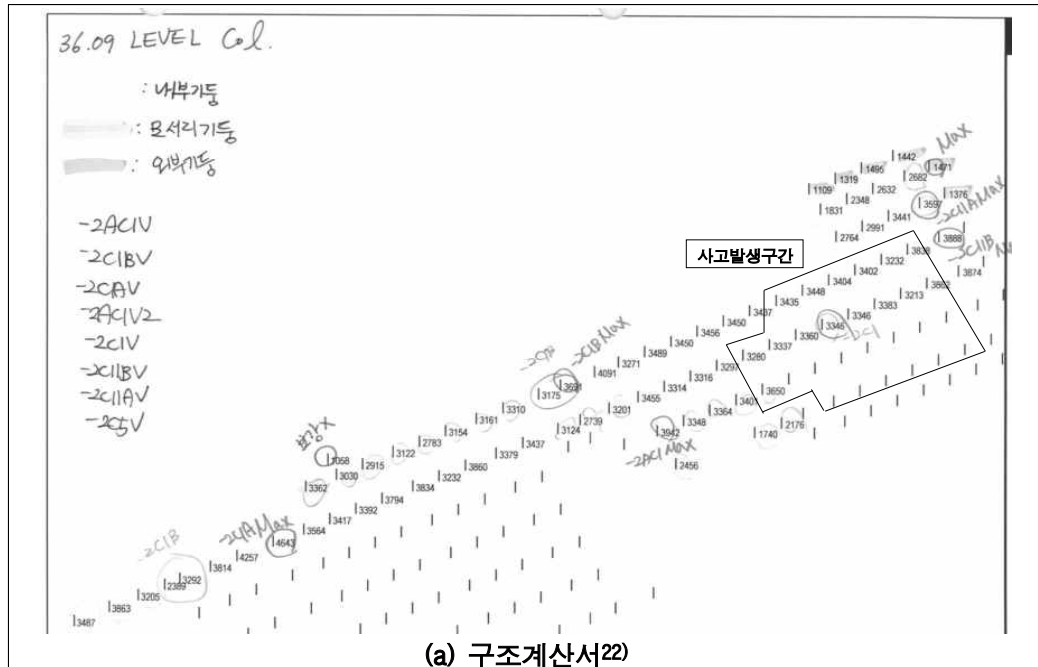


그림 2.1.11 기둥 반력 비교 (축력 : 1.2DL+1.6LL)

22) 구조계산서 p402 + 36.09 LEVEL Col. Reaction Force(발체)

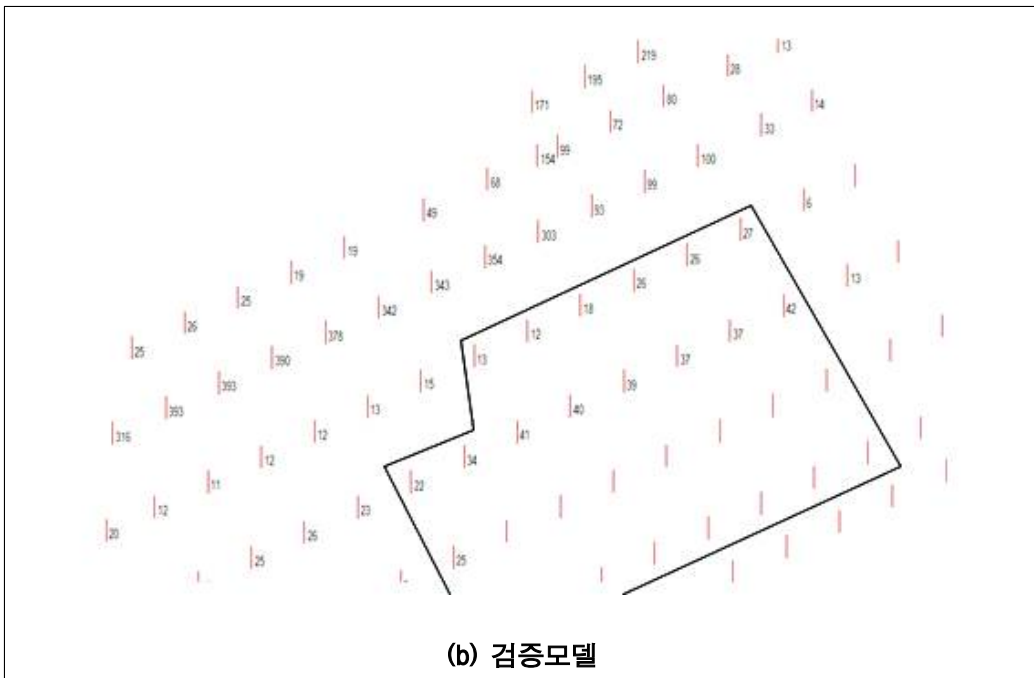
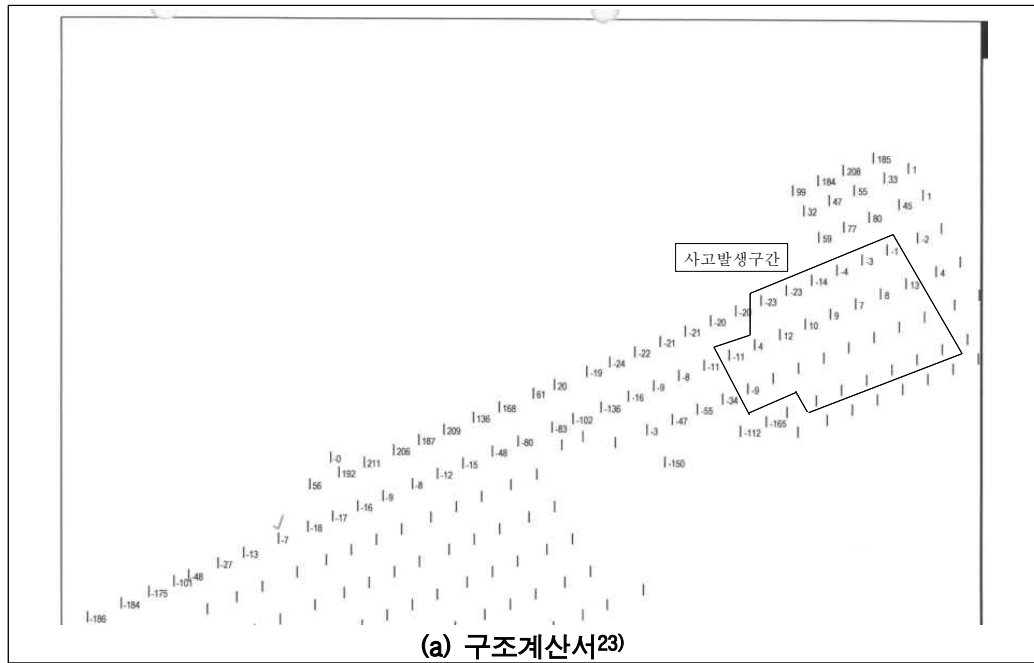


그림 2.1.12 기둥 반력 비교 (모멘트-X : 1.2DL+1.6LL)

23) 구조계산서 p403 + 36.09 LEVEL Col. Moment-X(발체)

표 2.1.6 구조계산서 기둥 반력 (1.2DL+1.6LL)

X열 Y열		X28-1	X29-1	X31	X32	X33	X34	X35	X36
Y17	부재명			-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
	축력(kN)	-	-	3435	3448	3404	3402	3232	3838
	모멘트-X(kN.m)			-23	-23	-14	-4	-3	-1
	모멘트-Y(kN.m)			-1	0	-3	3	-11	40
Y16	부재명	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1V	-2C1A	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
	축력(kN)	3280	3337	3360	3346	3346	3383	3213	3862
	모멘트-X(kN.m)	-11	4	12	10	9	7	8	13
	모멘트-Y(kN.m)	0	1	-2	0	-1	1	-10	41
Y15	부재명	-2AC1V	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B
	축력(kN)	3650							
	모멘트-X(kN.m)	-9							
	모멘트-Y(kN.m)	13							
Y14	부재명			-1C1A	-1C1	-1C1	-1C1A	-1C1A	-1C1A
	축력(kN)	-	-						
	모멘트-X(kN.m)								
	모멘트-Y(kN.m)								

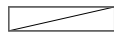
 : 구조계산서에 반력이 표시되어 있지 않은 기둥

표 2.1.7 검증모델 기둥 반력 (1.2DL+1.6LL)

X열 Y열		X28-1	X29-1	X31	X32	X33	X34	X35	X36
Y17	부재명			-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
	축력(kN)	-	-	3073	3090	3054	3054	2903	3447
	모멘트-X(kN.m)			13	12	18	26	26	27
	모멘트-Y(kN.m)			-5	-5	-7	-2	-15	32
Y16	부재명	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1V	-2C1A	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
	축력(kN)	2954	3002	3024	3011	3011	3046	2889	3473
	모멘트-X(kN.m)	22	34	41	40	39	37	37	42
	모멘트-Y(kN.m)	-5	-3	-6	-5	-5	-3	-14	33
Y15	부재명	-2AC1V	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B
	축력(kN)	3250	3662	3861	3680	3725	3737	3611	4257
	모멘트-X(kN.m)	25	157	196	21	14	13	17	182
	모멘트-Y(kN.m)	2	7	-15	-6	-11	-10	-15	3
3Y14	부재명			-1C1A	-1C1	-1C1	-1C1A	-1C1A	-1C1A
	축력(kN)	-	-	3651	3240	3312	3317	3241	3130
	모멘트-X(kN.m)			-121	43	49	48	45	-47
	모멘트-Y(kN.m)			-25	-4	-11	-9	-15	-15

(5) 휨설계용 휨모멘트 비교

- 검증모델(Midas SDS)에서 연직하중조합(1.2DL+ 1.6LL)에 대한 주열대 및 중간대의 방향별(Mxx, Myy) 단부 모멘트와 중앙부 모멘트를 구조계산

서와 동일한 방법으로 구하여 구조계산서의 구조해석결과와 비교 및 검토 하였음. (그림 2.1.14~2.1.17, 표 2.1.8~2.1.11)

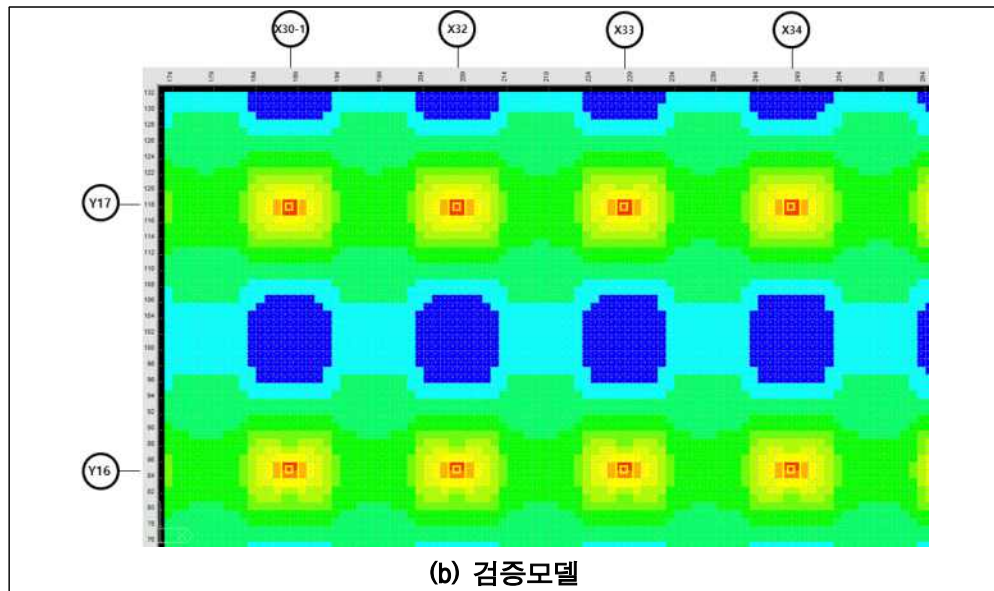
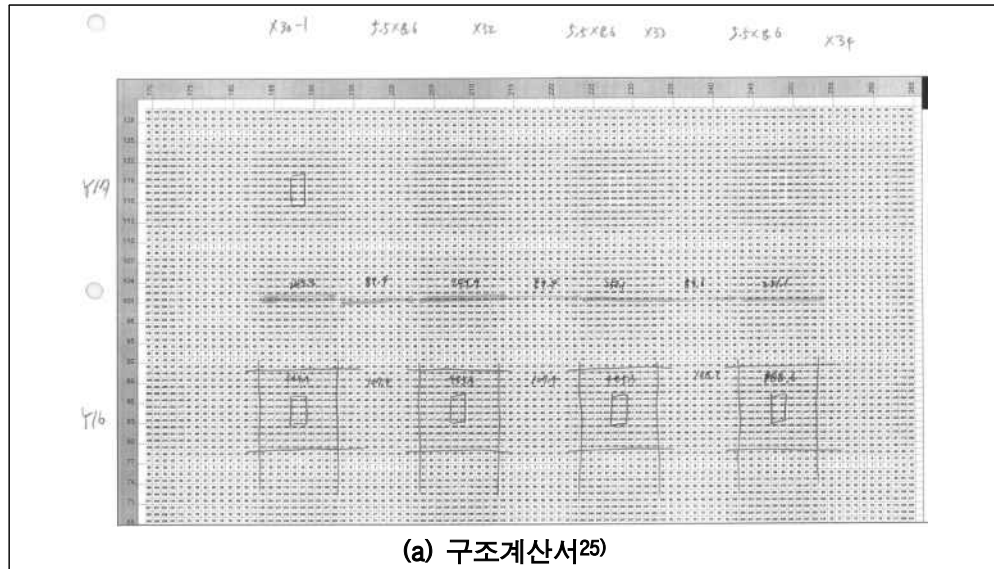


그림 2.1.14 휨모멘트 비교 (Moment-Myy : 1.2DL+1.6LL)

25) 구조계산서 p252 + 41.18 LEVEL Moment-Myy(발체)

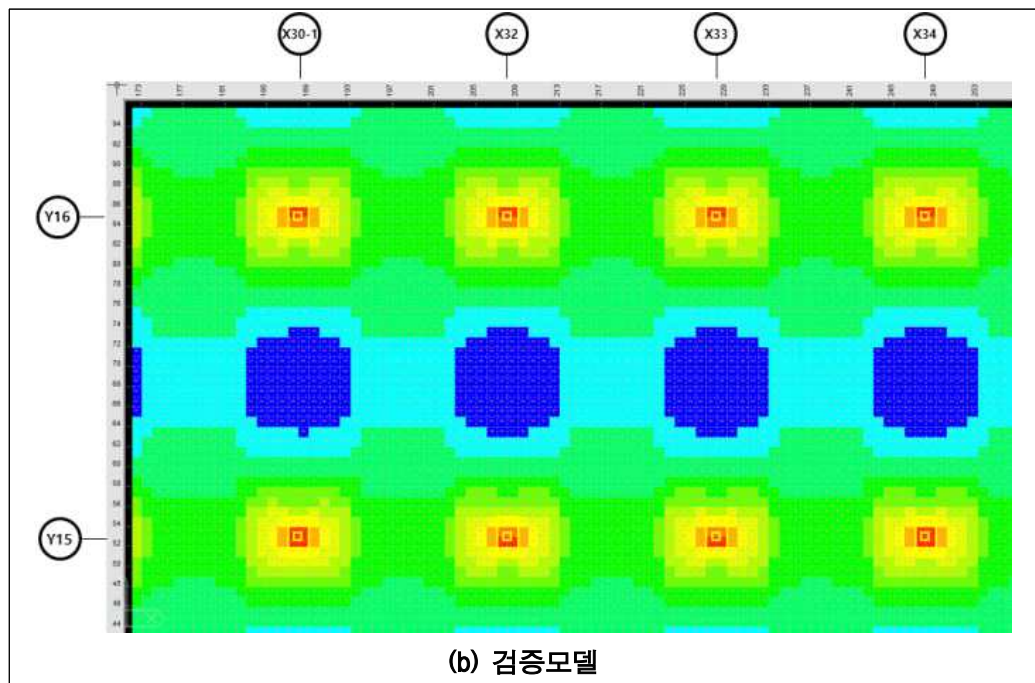
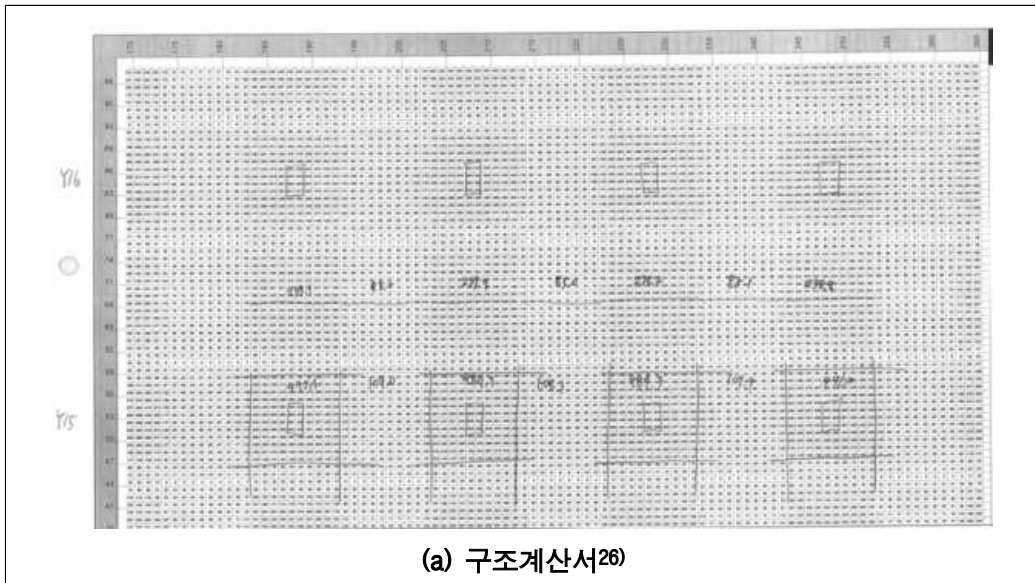


그림 2.1.15 휨모멘트 비교 (Moment-Myy : 1.2DL+1.6LL)

26) 구조계산서 p253 + 41.18 LEVEL Moment-Myy(발체)

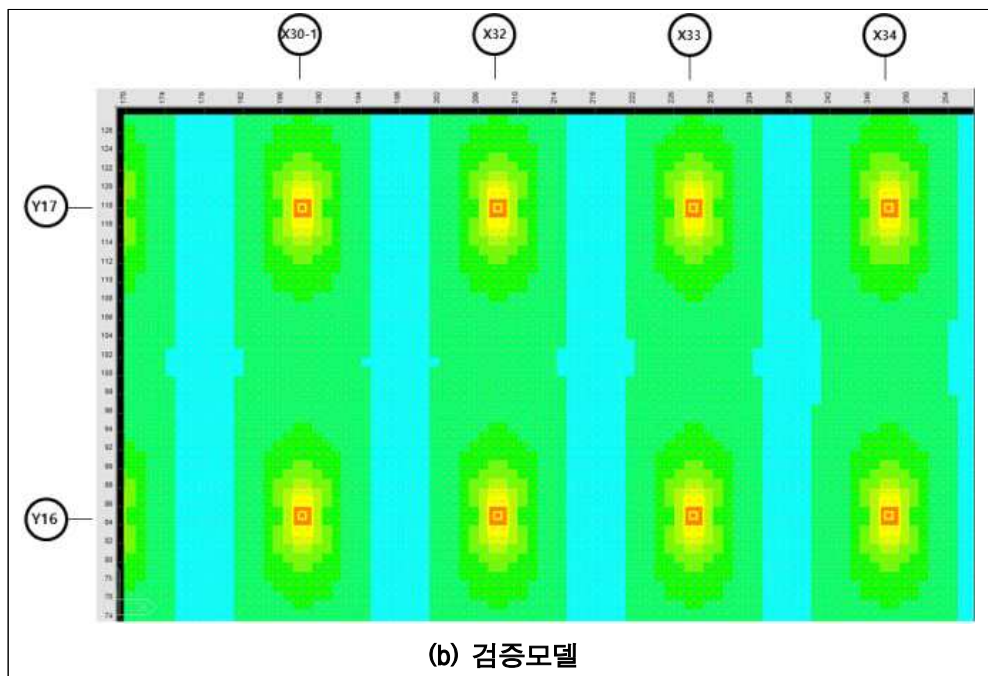
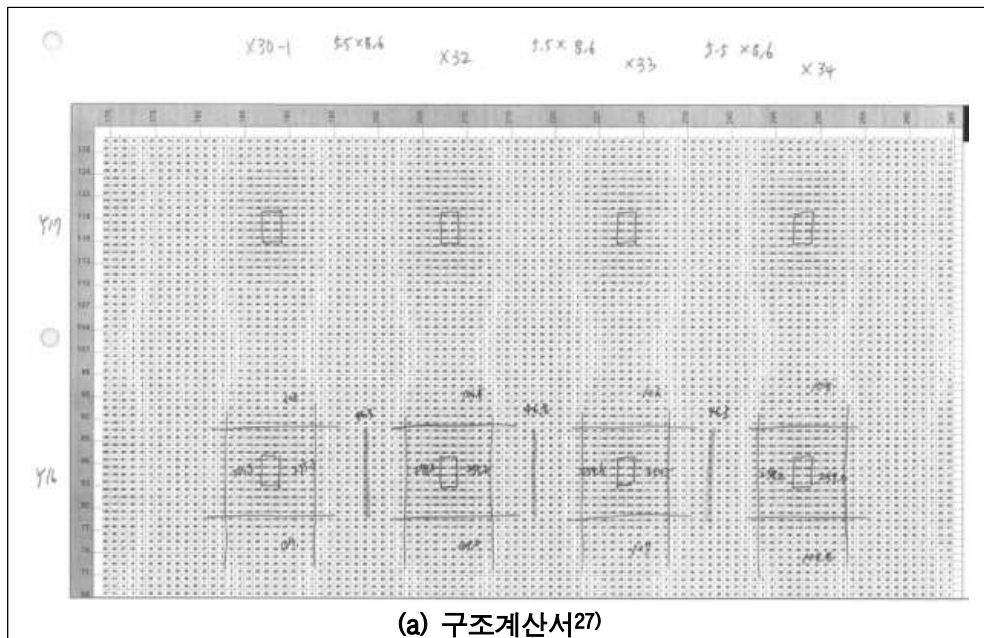


그림 2.1.16 휨모멘트 비교 (Moment-Mxx : 1.2DL+1.6LL)

27) 구조계산서 p257 + 41.18 LEVEL Moment-Mxx(발체)

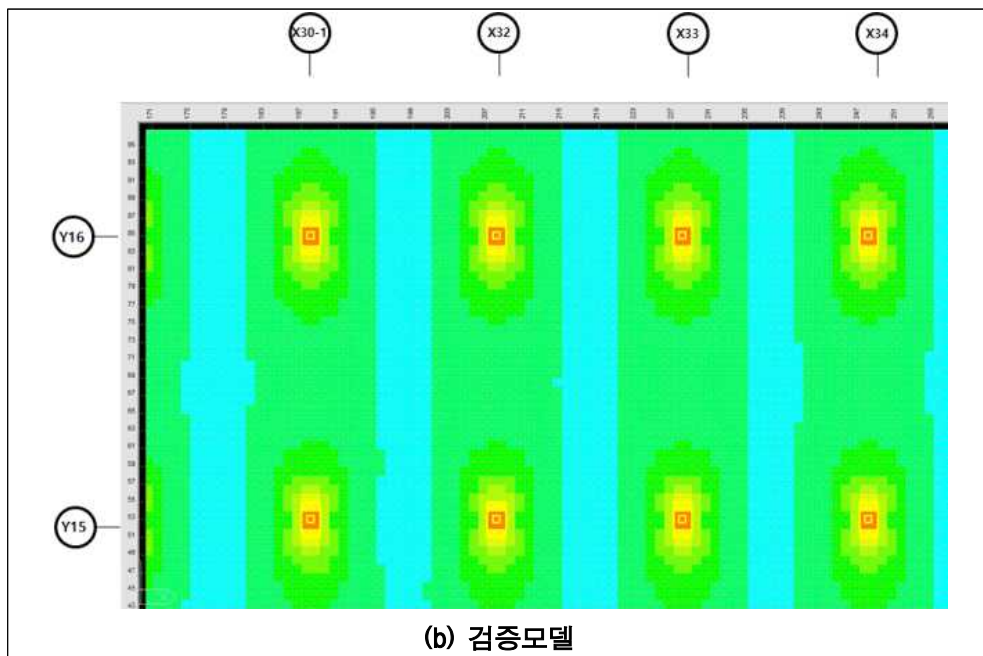
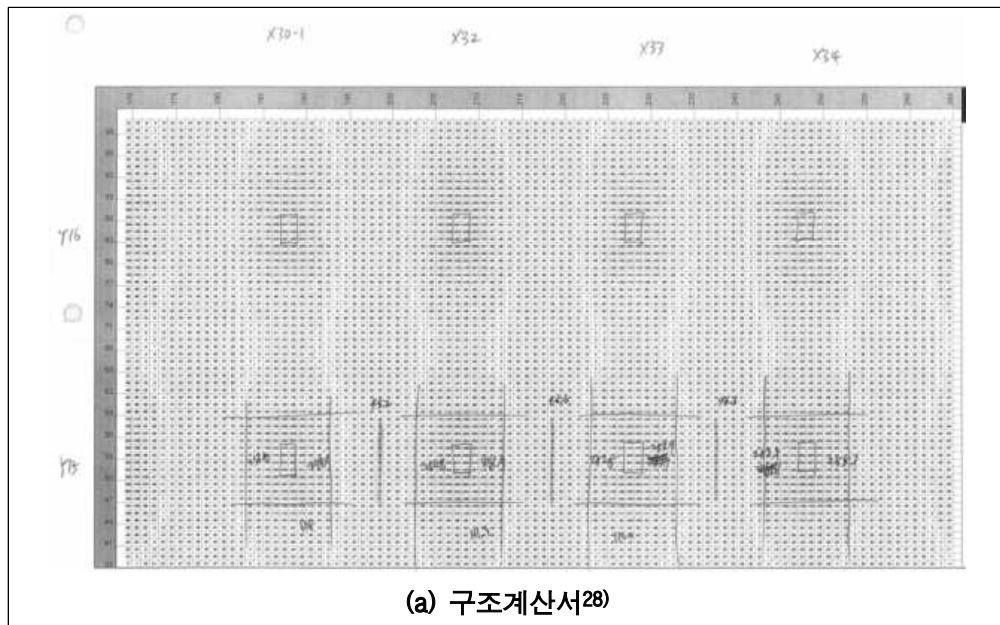


그림 2.1.17 휨모멘트 비교 (Moment-Mxx : 1.2DL+1.6LL)

28) 구조계산서 p258 + 41.18 LEVEL Moment-Mxx(발체)m

표 2.1.8 구조계산서 휨모멘트 Myy (1.2DL+1.6LL, unit : kN · m)

X열 Y열	X30-1		X32		X33		X34
Y17							
단부	-	-	-	-	-	-	-
중앙부	249.8	89.4	249.9	89.4	250.4	89.6	251.1
단부	484.9	107.4	485.3	107.4	485.3	108.9	488.6
Y16							
단부	-	-	-	-	-	-	-
중앙부	237.1	85.0	237.9	85.0	238.2	85.1	238.8
단부	495.1	109.0	487.9	108.3	489.3	109.4	491.0
Y15							

표 2.1.9 검증모델 휨모멘트 Myy (1.2DL+1.6LL, unit : kN · m)

X열 Y열	X30-1		X32		X33		X34
Y17							
단부	-	-	-	-	-	-	-
중앙부	282.9	99.6	278.4	99.8	278.8	100.2	280.0
단부	540.8	119.7	541.0	119.8	541.0	121.0	545.0
Y16							
단부	-	-	-	-	-	-	-
중앙부	269.4	94.9	265.2	95.0	265.4	95.0	266.0
단부	553.3	121.3	544.3	121.0	545.8	122.1	547.0
Y15							

표 2.1.10 구조계산서 휨모멘트 Mxx (1.2DL+1.6LL, unit : kN · m)

X열 Y열	X30-1	단부	중앙부	단부	X32	단부	중앙부	단부	X33	단부	중앙부	단부	X34
Y16		255.3	46.3	255.1		255.2	46.8	254.6		254.2	46.3	258.2	
		107.0	-	107.0		107	-	107		107	-	108.8	
Y15		254.7	45.2	250.8		251.3	46.6	252.5		251.9	46.6	253.9	

표 2.1.11 검증모델 휨모멘트 Mxx (1.2DL+1.6LL, unit : kN · m)

X열 Y열	X30-1	단부	중앙부	단부	X32	단부	중앙부	단부	X33	단부	중앙부	단부	X34
Y16		289.5	52.4	284.5		284.5	52.9	284.0		283.8	52.5	288.0	
		119.0	-	119.0		119.0	-	119.0		121.0	-	121.0	
Y15		289.3	53.2	284.7		285.3	53.5	286.5		285.8	53.0	288.3	

(6) 구조해석의 적정성 분석 결과 및 요약

- 검토구간의 구조계산서 상에 제시된 지하 1층 기둥 반력과 검증모델을 통해 산정한 기둥 반력을 비교한 결과, 구조계산서의 기둥반력이 큰 것으로

확인되었음.

- 검토구간의 구조계산서 상에 제시된 지하 1층 상부슬래브의 휨모멘트와 검증모델을 통해 산정한 휨모멘트를 비교한 결과 구조계산서의 휨모멘트가 검증모델 해석 결과보다 작은 것으로 확인되었음.

2.1.4 주요 구조부재 설계의 적정성

주요 구조부재 설계의 적정성 검토구간은 2.1.3절과 동일한 구간이며 슬래브 이방향 뚫림전단 및 휨, 데크슬래브, 보, 기둥 설계의 적정성을 검토하였음.

(1) 지하1층 상부슬래브 이방향 뚫림전단 검토

- 구조계산서 상 검토구간 지하1층 상부 슬래브에 대한 이방향 뚫림전단 검토는 “-2C1A”, “-2C1”, “-2AC1” 기둥에 대해서 수행되었으며, “-1C12B”, “-1C1”, “-1C1A” 기둥에 대한 뚫림전단 검토 내용은 구조계산서에 포함되어 있지 않음.
- 구조설계 시 지하1층 상부 슬래브 뚫림전단 검토용 응력은 3차원 해석모델의 기둥반력 결과를 적용하였음. (그림 2.1.11~그림 2.1.13, 및 표 2.1.6 참조)
- 이방향 뚫림전단 검토 결과 전단보강근이 필요한 기둥의 경우 기둥 부재명 끝에 “V”를 표시하였음.
- 구조계산서에 뚫림전단 검토 내용이 포함되어 있지 않은 “-1C12B”, “-1C1” 및 “-1C1A” 기둥과 X33/Y16 “-2C1A” 기둥은 “V” 표시가 되지 않아 전단보강근이 설치되지 않은 것으로 보임. (표 2.1.12 참조)

표 2.1.12 구조계산서 상 전단보강근이 설치되지 않은 기둥 ( 표시 기둥)

X열 \ Y열	X28-1	X29-1	X31	X32	X33	X34	X35	X36
Y17	-	-	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
Y16	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV	-2C1V	-2C1A	-2C1AV	-2C1AV	-2C1AV
Y15	-2AC1V	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B	-1C12B
Y14	-	-	-1C1A	-1C1	-1C1	-1C1A	-1C1A	-1C1A

- 구조계산서의 “-2C1AV”, “-2C1V”, “-2AC1V” 기둥에 대한 뚫림전단 검토 내용을 요약하면 표 2.1.13과 같음.

표 2.1.13 지하1층 상부슬래브 이방향 뚫림전단 검토 (구조계산서 요약)²⁹⁾

기둥명	기둥 크기 (mm)	슬래브 두께 (mm)	설계하중			ΦV_c (kN)	V_u	판정 $\Phi V_c > V_u$	전단보강근			
			P_u (kN)	M_{ux} (kN.m)	M_{uy} (kN.m)				단변	장변	보강 구간 (mm)	$\Phi V_c'$ (kN)
-2C1AV	400 x 800	450	4,643	-7	-41	1,517	4,572	전단 보강 필요	4-D13 @100	8-D13 @100	1,700	4,715
-2C1V	400 x 800	450	3,346	10	0	1,517	3,361	전단 보강 필요	4-D13 @100	8-D13 @100	1,100	3,384
-2AC1V	400 x 800	450	3,942	-3	-31	1,652	3,194	전단 보강 필요	4-D13 @100	8-D13 @100	1,400	4,050

- 구조계산서의 전단보강근 배근 상세는 다음과 같음.

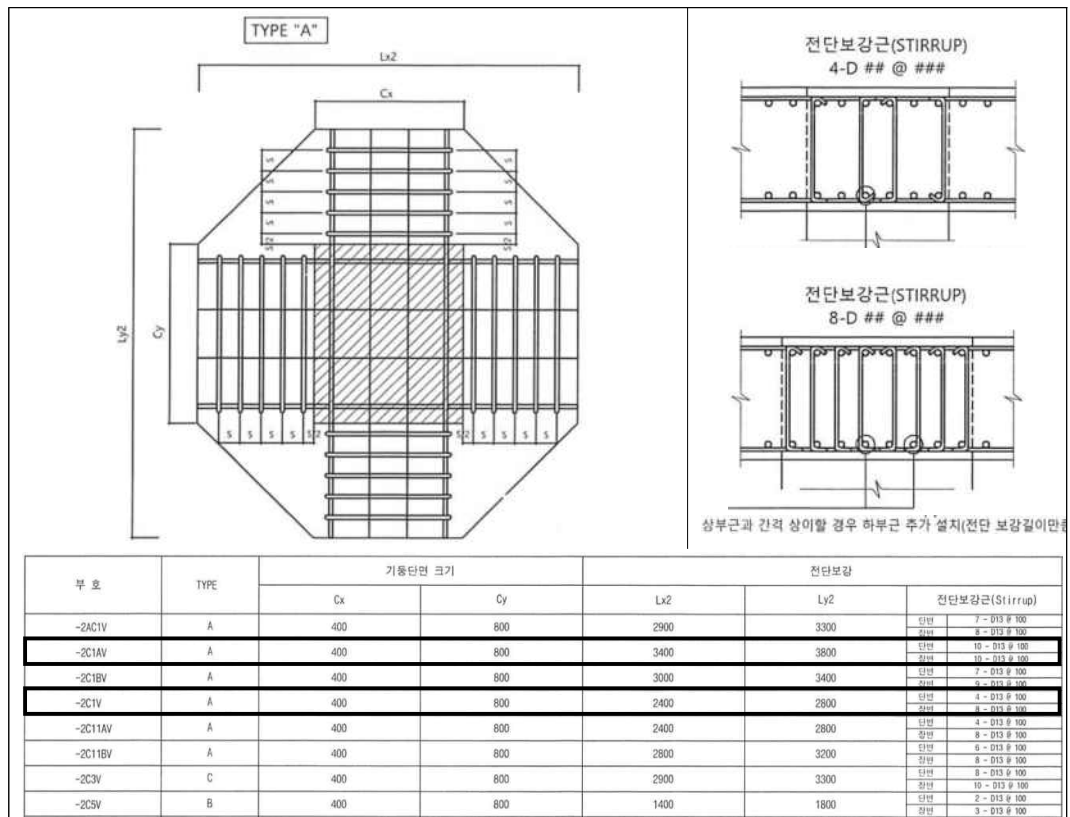


그림 2.1.18 구조계산서 전단보강근 상세 ³⁰⁾

- 구조계산서의 계산근거에 따른 전단보강근과 구조계산서의 전단보강근 배근도를 비교해 본 결과는 표2.1.14와 같음.
- 비교 결과 각각의 배근이 서로 다른 것으로 확인되었음. -2C1AV의 구조

29) 구조계산서 p407 ~ p414 KCI 2012 이방향 뚫림전단 검토 참조

30) 구조계산서 p107 지하주차장 지붕층 슬래브 전단보강근 일람표 (무량판) - +41.18 LEVEL(발체)

계산서 계산 시 단변방향 4-D13@100, 장변방향 8-D13@100으로 계산되었는데 배근상세는 단변 및 장변방향 전단보강근은 10-D13@100으로 적용되었음. -2C1A, -2C1V 및 -2AC1V 전단보강근 보강구간도 계산식과 배근도가 차이가 있는 것으로 확인되었음.

표 2.1.14 지하1층 상부슬래브 이방향 뚫림전단 배근 검토

기둥명	기둥 크기 (mm)	슬래브 두께 (mm)	전단보강근 (구조계산서 계산식)				전단보강근 (구조계산서 배근도)			
			단변	장변	보강구간 (mm)	총수량 (개)	단변	장변	보강구간 (mm)	총수량 (개)
-2C1AV	400 x 800	450	4-D13 @100	8-D13 @100	<u>1,700</u>	384	10-D13 @100	10-D13 @100	<u>1,500</u>	560
-2C1V	400 x 800	450	4-D13 @100	8-D13 @100	<u>1,100</u>	240	4-D13 @100	8-D13 @100	<u>1,000</u>	216
-2AC1V	400 x 800	450	4-D13 @100	8-D13 @100	<u>1,400</u>	312	7-D13 @100	8-D13 @100	<u>1,250</u>	344

- 구조계산서의 계산근거에 따른 전단보강근과 구조계산서의 전단보강근 배근도가 상이하므로 구조계산서의 전단보강근 배근도를 기준으로 뚫림전단 설계의 적정성을 확인한 결과 전단보강근이 배근되어있는 “-2C1AV”, “-2C1V”, “-2AC1V”의 경우 구조적으로 안전하지만, 전단보강근이 배근되어 있지 않은 “-1C12B”, “-1C1” 및 “-1C1A” 기둥과 X33/Y16 “-2C1A” 기둥은 내력이 부족한 것으로 확인되었음.

표 2.1.15 지하1층 상부슬래브 이방향 뚫림전단 검토 (적정성 확인 결과)

기둥명	기둥 크기 (mm)	슬래브 두께 (mm)	설계하중			ΦV_c (kN)	V_u	판정 $\Phi V_c > V_u$	전단보강근				판정
			P_u (kN)	M_{ux} (kN.m)	M_{uy} (kN.m)				단변	장변	보강구간 (mm)	$\Phi V_c'$ (kN)	
-2C1AV	400 x 800	450	3,473	42.0	33.0	1,652	3,421	전단 보강 필요	10-D13 @100	10-D13 @100	1,700	4,956	적합
-2C1V	400 x 800	450	3,011	40.0	-5.0	1,652	2,955	전단 보강 필요	4-D13 @100	8-D13 @100	1,100	3,754	적합
-2AC1V	400 x 800	450	3,250	25.0	2.0	1,652	3,194	전단 보강 필요	7-D13 @100	8-D13 @100	1,250	4,356	적합
-1C12B	400 x 800	450	4,257	181	4.0	1,652	4,201	전단 보강 필요	-	-	-	-	부적합
-1C1A	400 x 800	450	3,651	-121	-25	1,652	3,601	전단 보강 필요	-	-	-	-	부적합
-1C1	400 x 800	450	3,312	49.0	-11.0	1,652	3,262	전단 보강 필요	-	-	-	-	부적합

(2) 지하1층 상부슬래브 휨설계 검토

- 구조계산서에 지하1층 상부 슬래브에 대한 설계 근거는 포함되어 있지 않음.
- 휨내력 검토 결과에 따른 휨배근 상세는 그림 2.1.19와 같음.

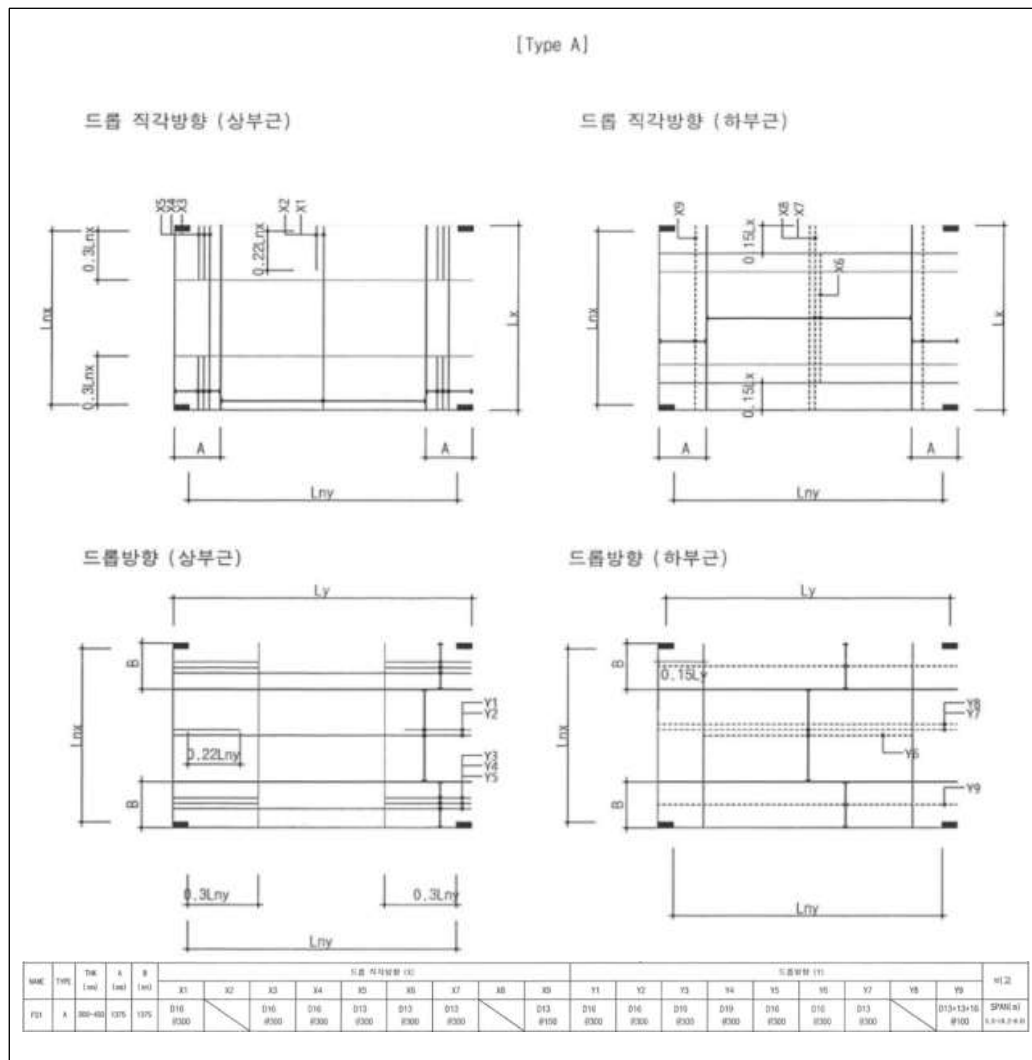


그림 2.1.19 구조계산서 힘배근 상세³¹⁾

- 검증모델을 통해 산정한 부재력으로 해당구간 FS1 슬래브에 대한 휨설계 검토 결과는 표 2.1.16과 같음.

31) 구조계산서 p102 지하주차장 지붕층 슬래브 일람표 1(무량판)(발체)

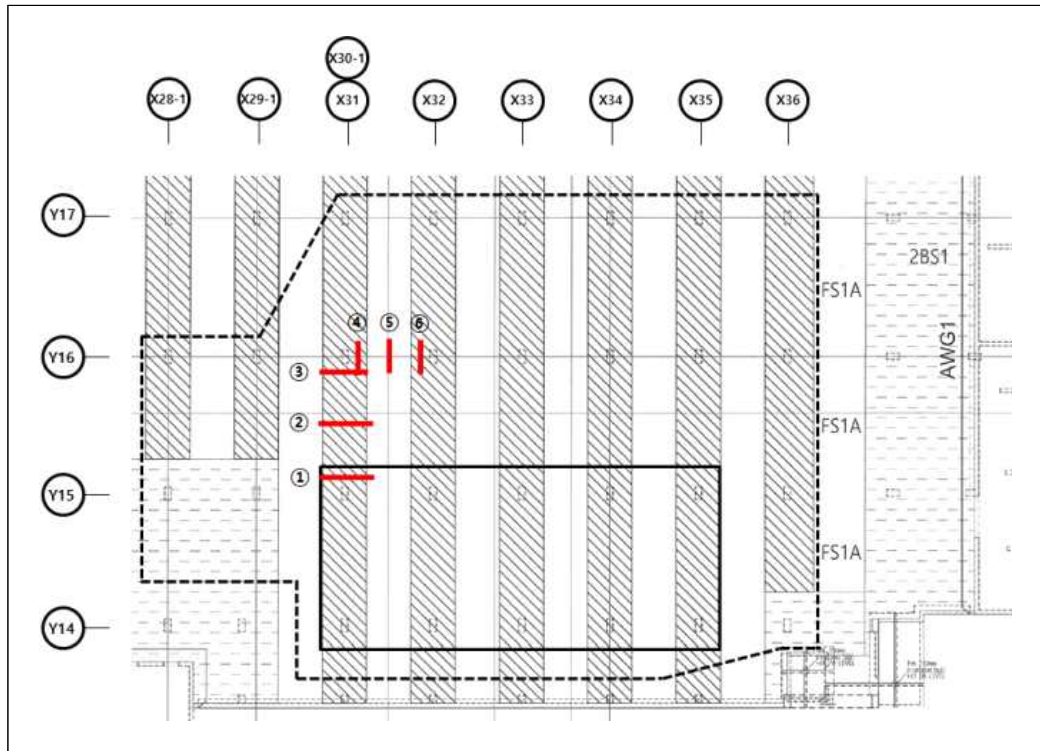


그림 2.1.20 슬래브 휨 내력 검토 위치

표 2.1.16 슬래브 휨 내력 검토 (지하1층 상부슬래브)

검토 위치	부호	Mu	ϕM_n	Mu / ϕM_n	비고
		kN-m/m	kN-m/m		
①	-	553.3	514.2	1.076	Say O.K
②	+	269.4	287.6	0.937	적합
③	-	540.8	514.2	1.052	Say O.K
④	-	289.3	348.3	0.831	적합
⑤	+	53.2	164.1	0.324	적합
⑥	-	284.7	348.3	0.817	적합

(3) 지하2층 상부 데크슬래브 설계 검토

- 지하2층 상부 데크슬래브(BIDS1)에 대한 배근상세는 그림 2.1.21과 같음.

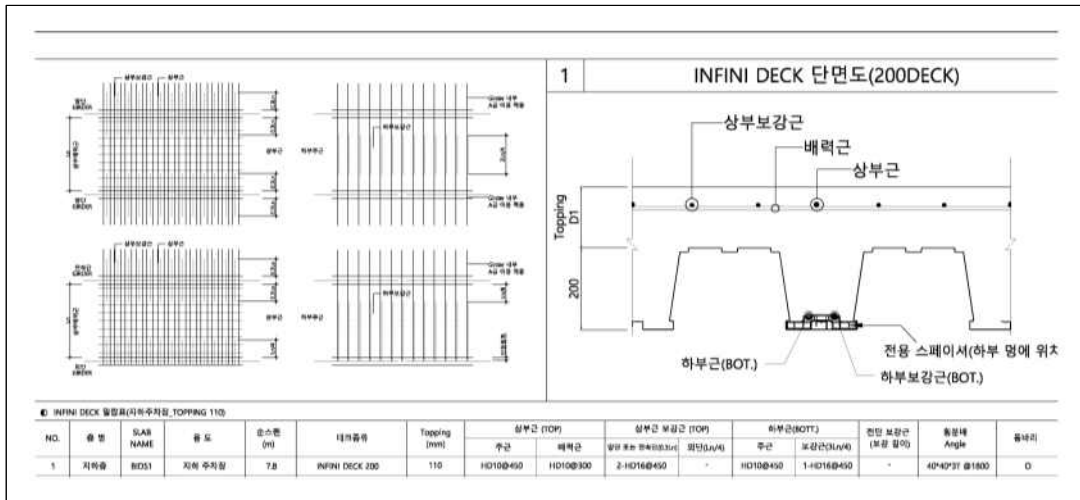


그림 2.1.21 구조계산서 데크슬래브 상세³²⁾

- 검토구간 지하2층 상부 데크슬래브(BIDS1)에 대한 구조계산서 내 배근과 설계도서 배근 비교검토 결과는 표 2.1.17과 같음.

표 2.1.17 지하2층 상부 데크슬래브 배근 검토

부재명	슬래브 두께 (mm) ¹⁾	설계 경간 (mm)	배근 (구조계산서 배근도)				배근 (설계도서 배근도)				비고
			주근	단부 보강근	중앙부 보강근	배력근	주근	단부 보강근	중앙부 보강근	배력근	
BIDS1	310	7,800	D10 @450	2-D16 @450	1-D16 @450	D10 @300	D10 @450	2-D16 @450	1-D16 @450	D10 @300	일치

1) 슬래브두께는 상부 콘크리트와 하부 리브 콘크리트를 포함한 두께

- 지하2층 상부 데크슬래브(BIDS1)에 대한 설계 적정성 검토 결과는 표 2.1.18과 같음.

표 2.1.18 지하2층 상부 데크슬래브 검토 (구조계산서 요약)³³⁾

부재명	슬래브 두께 (mm) ¹⁾	설계 경간 (mm)	설계하중		모멘트 (kN.m/m)				전단력 (kN/m)		판정
					중앙부		단부				
			D.L	L.L	ϕM_n	M_u	ϕM_n	M_u	ϕV_n	V_u	
BIDS1	310	7,800	8.47	6.00	35.6	33.8	50.7	46.2	53.6	32.3	적합

1) 슬래브두께는 상부 콘크리트와 하부 리브콘크리트를 포함한 두께

32) 구조도면 AS-165 INFINI DECK 표준상세도 참조

33) 데크슬래브 구조계산서 p4~6 참조

(4) 보 설계 검토

- 구조계산서의 보(2G111)에 대한 검토 내용을 요약하면 표 2.1.19와 같음.

표 2.1.19 지하 2층 상부 일방향 보 검토 (구조계산서 요약)³⁴⁾

부재명	부재 크기 (mm)	모멘트 (kN.m)						전단력 (kN)			
		단부(I)		중앙부		단부(J)		단부		중앙부	
		ϕM_n	M_u	ϕM_n	M_u	ϕM_n	M_u	ϕV_n	V_u	ϕV_n	V_u
2G111	600 x 600	813.9	748.2	492.3	453.0	829.7	787.7	735.4	647.5	330.1	326.4

- 구조계산서 상의 보(2G111) 배근도는 그림 2.1.22와 같음.

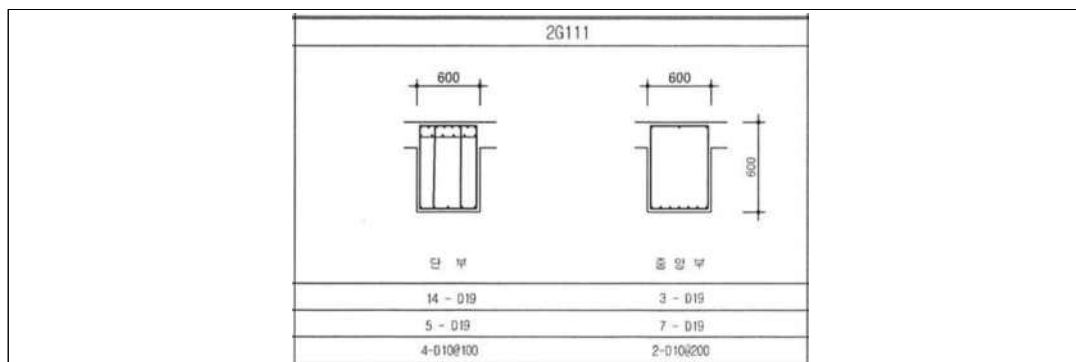


그림 2.1.22 보 배근 상세³⁵⁾

- 구조계산서의 계산 근거에 따른 배근과 구조계산서의 보 배근도를 비교한 결과 서로 다른 것으로 확인하였음. (표 2.1.20 참조)
- 2G111의 구조계산서 배근도에서의 단부상부근은 14-D19이나, 구조계산서 계산 시에는 13-D19으로 적용되었음.

표 2.1.20 지하2층 상부 일방향 보 배근 검토

부재명	부재 크기 (mm)	배근 (구조계산서 계산식)				전단보강근 (구조계산서 배근도)				판정
		단부 상부근	중앙부 하부근	단부 상부근	단부 전단철근	단부 상부근	중앙부 하부근	단부 상부근	단부 전단철근	
2G111	600 x 600	<u>13</u> -D19	7-D19	14-D19	2-D10 @50	<u>14</u> -D19	7-D19	14-D19	4-D10 @100	

34) 구조계산서 p512 참조

35) 구조계산서 p140 지하주차장 보 일람표-2(발체)

- 검토구간 보에 대한 구조계산서 계산식과 구조계산서 배근도 배근이 상이하므로 검증모델을 통해 설계 적정성을 확인하였음. 설계 적정성 확인 시 배근은 구조계산서 배근도의 배근을 적용하여 검토하였음. (표 2.1.21 참조)

표 2.1.21 지하2층 상부 일방향 보 검토

부재명	부재 크기 (mm)	모멘트 (kN.m)						전단력 (kN)				판정
		단부(I)		중앙부		단부(J)		단부		중앙부		
		ϕM_n	M_u	ϕM_n	M_u	ϕM_n	M_u	ϕV_n	V_u	ϕV_n	V_u	
2G111	600 x 600	853.4	675.4	502.9	416.0	853.4	726.5	744.0	627.3	340.6	317.3	적합

(5) 기둥 설계 검토

- 구조계산서의 기둥에 대한 검토 내용을 요약하면 표 2.1.22와 같음.

표 2.1.22 지하1층 기둥 검토 (구조계산서 요약)³⁶⁾

부재명	부재 크기 (mm)	축력 (kN)		모멘트 (kN.m)				전단력 (kN)			
				X		Y		X		Y	
		ΦP_n	P_u	ΦM_n	M_u	ΦM_n	M_u	ΦV_n	V_u	ΦV_n	V_u
-2C1A(V)	400 x 800	5728	5634	13.03	3.441	81.72	21.55	380.1	51.56	481.4	180.1
-2C1(V)	400 x 800	5961	5683	27.51	0.520	84.90	1.573	413.7	108.9	501.3	200.9
-2AC1A	500 x 800	6810	6611	35.09	7.576	117.8	25.80	613.3	25.53	649.4	65.06
-1C12B	400 x 800	4795	4650	8.338	4.211	42.52	21.56	398.7	55.51	473.9	171.5
-1C1A	400 x 800	4216	3962	21.44	19.72	172.7	166.0	386.1	81.75	476.0	167.3

- 기둥에 대한 구조계산서 상의 기둥 배근도는 그림 2.1.23과 같음.

36) 구조계산서 p667 ~ 728 참조

22 - D22 D10 @ 300	20 - D22 D10 @ 300	12 - D22 D10 @ 300	10 - D22 D10 @ 300	22 - D22 D10 @ 125

그림 2.1.23 구조계산서 기둥 배근 상세³⁷⁾

- 구조계산서의 계산 근거에 따른 배근과 구조계산서의 기둥 배근도를 비교해 본 결과 일부 기둥 배근이 서로 다른 것으로 확인되었음. (표 2.1.23 참조)
- 2AC1A 기둥 후프근이 구조계산서 계산시 300mm으로 산정되었으나 구조계산서 배근도는 단변, 장변 후프근은 간격이 125mm으로 적용되었음.

표 2.1.23 지하1층 기둥 배근 검토 (구조계산서 요약)³⁸⁾

부재명	부재크기 (mm)	배근 (구조계산서 계산식)			배근 (구조계산서 배근도)			판정
		주근	후프근		주근	후프근		
			단변	장변		단변	장변	
-2C1A(V)	400x800	20-D22	5-D10 @300	3-D10 @300	20-D22	5-D10 @300	3-D10 @300	일치
-2C1(V)	400x800	22-D22	5-D10 @300	3-D10 @300	22-D22	5-D10 @300	3-D10 @300	일치
-2AC1A	500x800	22-D22	5-D10 @ <u>300</u>	3-D10 @ <u>300</u>	22-D22	5-D10 @ <u>125</u>	3-D10 @ <u>125</u>	-
-1C12B	400x800	12-D22	4-D10 @300	3-D10 @300	12-D22	4-D10 @300	3-D10 @300	일치
-1C1A	400x800	10-D22	4-D10 @300	<u>3</u> -D10 @300	10-D22	4-D10 @300	<u>2</u> -D10 @300	-

- 검토구간 기둥에 대한 구조계산서 계산식 배근과 구조계산서 배근도의 배근이 상이하므로 검증모델을 통해 설계 적정성을 확인하였음. 설계 적정성 확인 시 배근은 구조계산서 배근도의 배근을 적용하여 검토하였음. (표 1.2.24 참조)

37) 구조계산서 p149 ~ 151 지하주차장 기둥 일람표(발췌)

38) 구조계산서 p684, p687, p689, p697, p707 RC Column Checking Result

표 2.1.24 지하1층 기둥 검토

부재명	부재 크기 (mm)	축력 (kN)		모멘트 (kN.m)				전단력 (kN)				판정
				X		Y		X		Y		
		ϕP_n	P_u	ϕM_n	M_u	ϕM_n	M_u	ϕV_n	V_u	ϕV_n	V_u	
-2AC1A	500 x 800	6810	6114	409.4	54.87	33.55	4.497	859.5	53.85	893.7	70.89	적합
-1C1A	400 x 800	4561	3933	2.214	1.201	148.9	80.72	322.0	61.03	383.2	117.3	적합

(6) 주요 구조부재 설계의 적정성 분석 결과 및 요약

- 검토 구간 지하 1층 상부 슬래브에 대한 이방향 뚫림전단 검토 결과, 전단보강근이 설치되지 않으면 슬래브의 이방향 뚫림전단 내력이 부족한 것으로 평가되었음. (표 2.1.15 참조)
- 구조계산서에 슬래브 휨 설계 근거가 제시되지 않아 검증모델을 통해 산정한 부재력을 통해 휨설계 적정성을 확인한 결과, 일부 구간의 응력비 ($M_u/\phi M_n$)가 1.0을 약간 초과하는 부분이 있지만 전체적으로는 구조계산서의 설계 결과가 적정한 것으로 판단됨. (표 2.1.16 참조)
- 구조계산서 상에 제시된 지하 2층 상부 데크슬래브 설계자료를 검토한 결과, 구조계산서의 설계 결과가 적정한 것으로 판단됨. (표 2.1.18 참조)
- 지하 2층 상부 일방향 보(2G111)에 대하여 검증모델의 부재력을 통하여 설계 적정성을 확인한 결과, 구조계산서의 설계 결과가 적정한 것으로 판단됨. (표 2.1.21 참조)
- 검토구간 기둥에 대하여 설계 적정성을 확인한 결과, 적정한 것으로 판단됨. (표 1.2.24 참조)

2.1.5 설계도면 검토

(1) 부재 표기 방식

- 동일 레벨 구조도면에 기둥부재 층 표기가 혼재되어 있음.
- EL + 36.09 LEVEL 구조도면에서 Y13-1 ~ Y15-1열은 지하1층 “-1”, Y15-1 ~ Y18은 지하2층 “-2”로 표현됨.

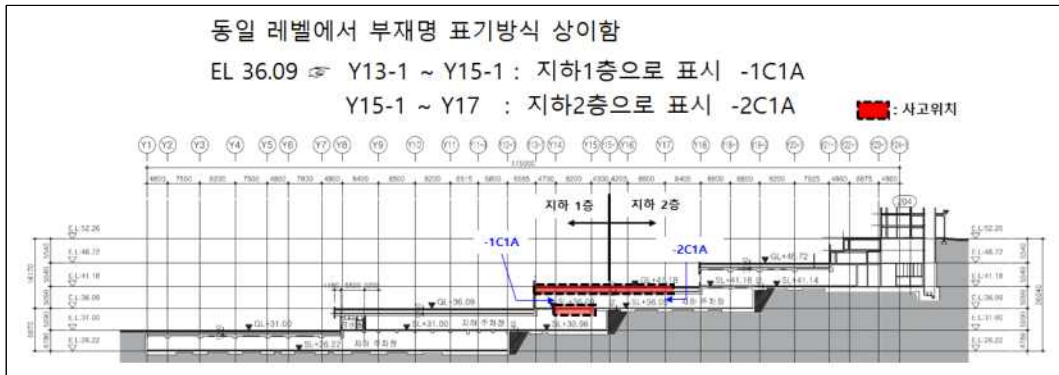


그림 2.1.24 기둥 표기방식 경계³⁹⁾

(2) 구조일반사항⁴⁰⁾

- 무량판슬래브 관련 상세 내용은 없음.

(3) 무량판슬래브 배근도

- 구조계산서와 구조도면 일치함.

(4) 데크슬래브 배근도

- 구조계산서와 구조도면의 데크슬래브 부재명이 상이함 (BIDS1, BKDS1).

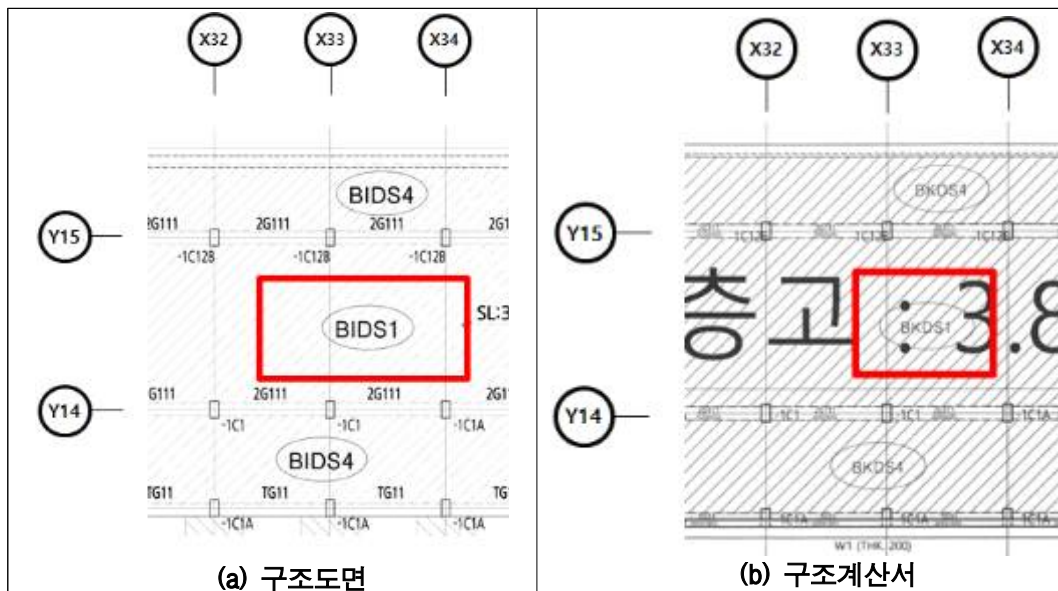


그림 2.1.25 지하2층 바닥구조평면도⁴¹⁾

39) 설계도면 지하주차장 중, 횡 단면도-2(발체)

40) 구조도면 철근콘크리트 구조일반사항 AS 01 ~ 08

41) 구조도면 지하주차장 +36.09 LEVEL 확대구조평면도-2(발체)

(5) 전단보강근 상세

- 구조계산서와 구조도면이 일치함.

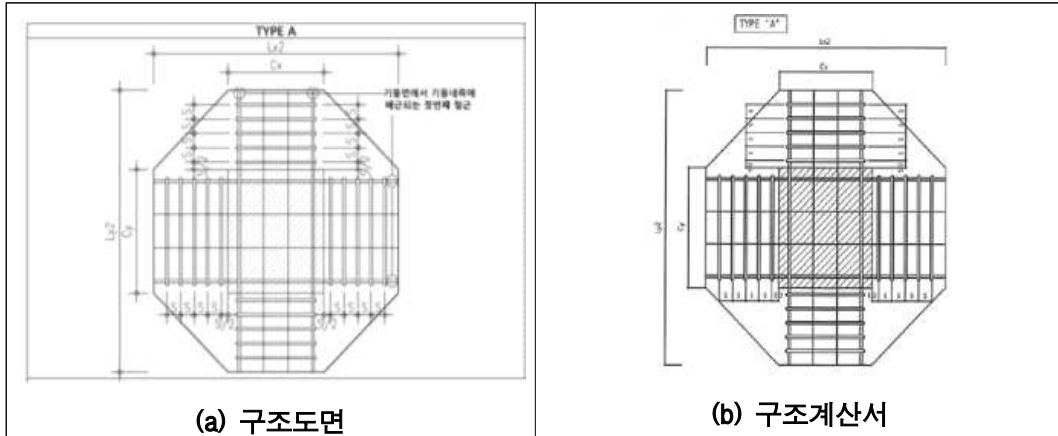


그림 2.1.26 전단보강근 상세도-142)

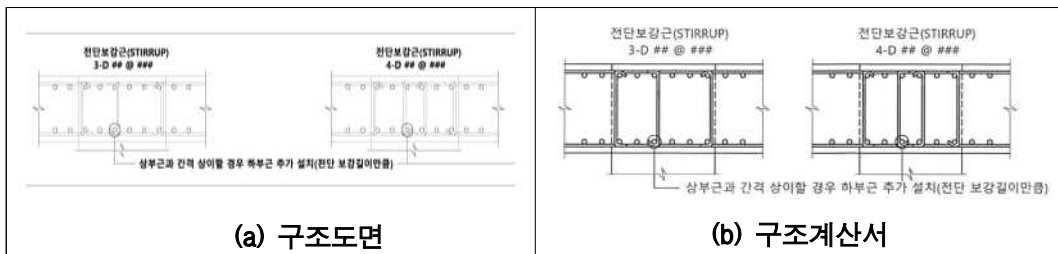


그림 2.1.27 전단보강근 상세도-2

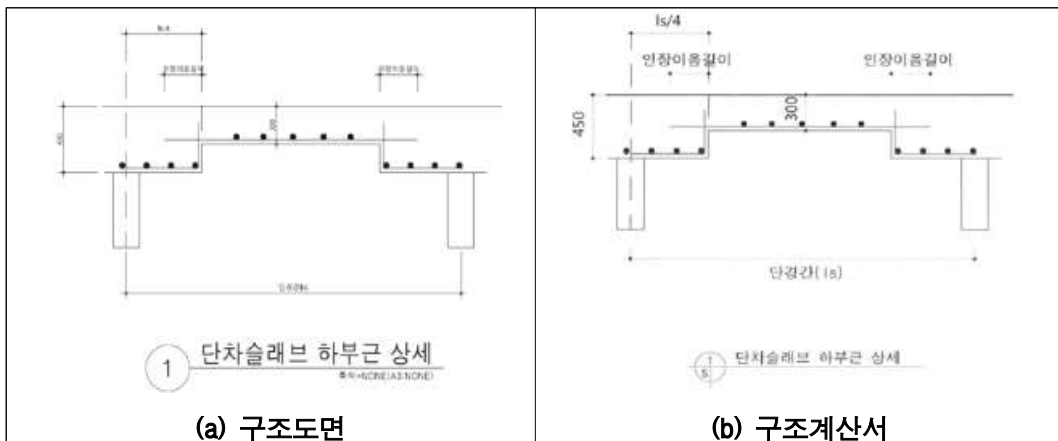
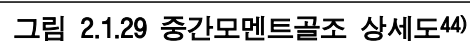


그림 2.1.28 단차슬래브 하부근 상세43)

42) 구조도면 지하주차장 무량판슬래브 일람표(발체)

43) 구조도면 지하주차장 무량판슬래브 단차 하부근 상세(발체)

- 중간모멘트골조의 보, 기둥 배근상세 내용 확인함.



44) 구조도면 철근콘크리트 구조일반사항 AS 01 ~ 08

(7) 기둥 배근일람 검토

- 지하 2층 -2AC1 기둥의 배근이 구조계산서와 구조도면이 상이함.

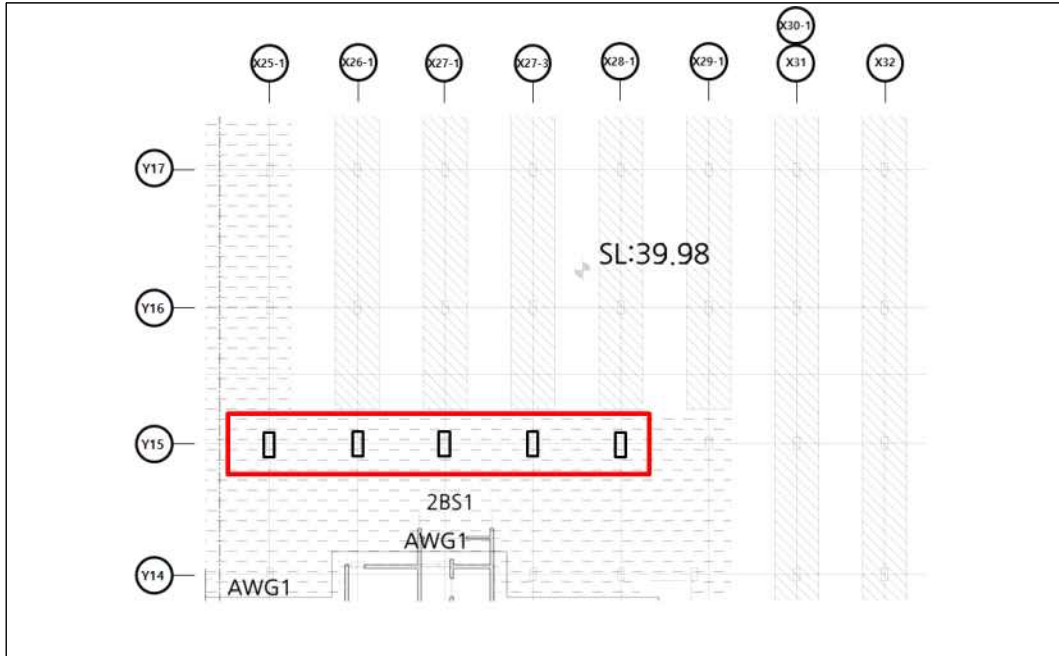


그림 2.1.30 검토 기둥 위치도⁴⁵⁾

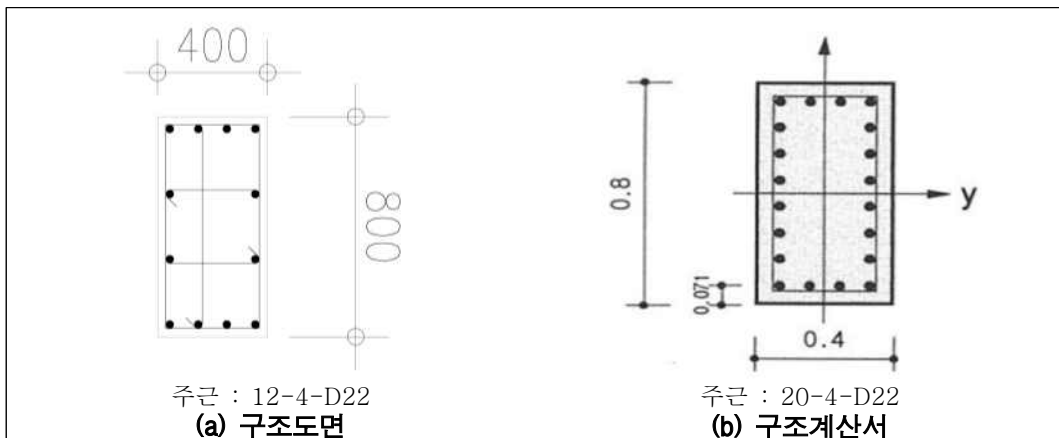


그림 2.1.31 구조계산서와 구조도면 기둥 배근 비교⁴⁶⁾

45) 구조도면 지하주차장 +41.18 LEVEL 확대구조평면도-2(발체)

46) 구조도면 지하주차장 기둥 일람표-3(발체)

2.1.6 배근상세도 검토

(1) 슬래브 배근상세

- 가로방향 하부근의 배근이 구조도면과 배근상세도가 일치함.
(그림 2.1.32, 표 2.1.25 참조)

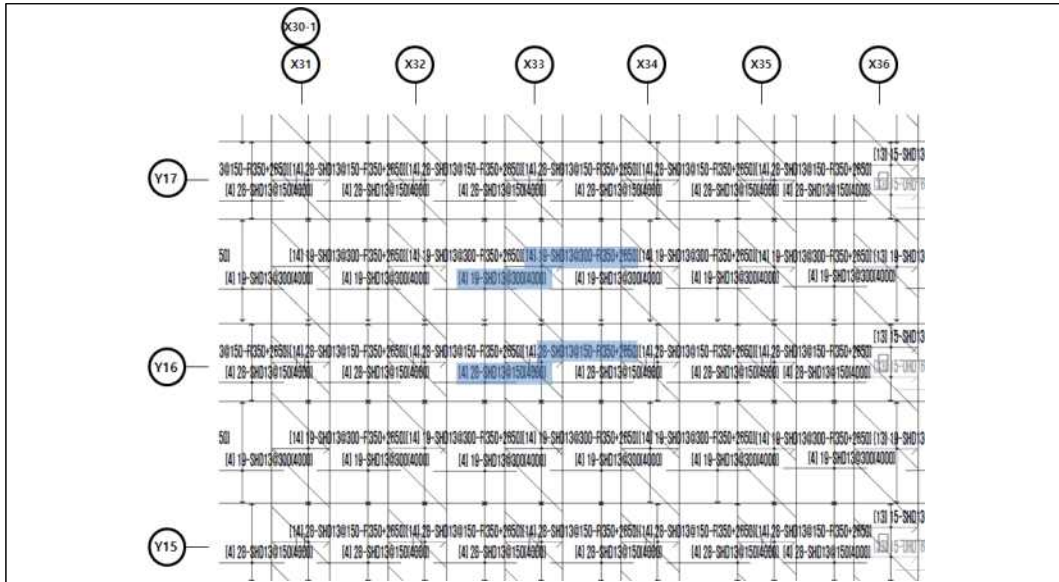


그림 2.1.32 가로방향 하부근 배근상세도⁴⁷⁾

표 2.1.25 가로방향 하부근 배근 검토 (구조도면 요약)

부재명	슬래브 두께 (mm)	위치	배근 (배근상세도 배근도)	배근 (구조도면 배근도)	비고
			하부근	하부근	
FS1	300 ~ 450	주열대	28-SHD13@150	D13@150	일치
	300 ~ 450	중간대	19-SHD13@300	D13@300	일치

47) 배근상세도 202,203동 주변 주차장 지하1층 무량판슬래브 철근배근도(발체)

- 가로방향 하부보강근의 배근이 구조도면과 배근상세도가 일치함.
(그림 2.1.33, 표 2.1.26 참조)

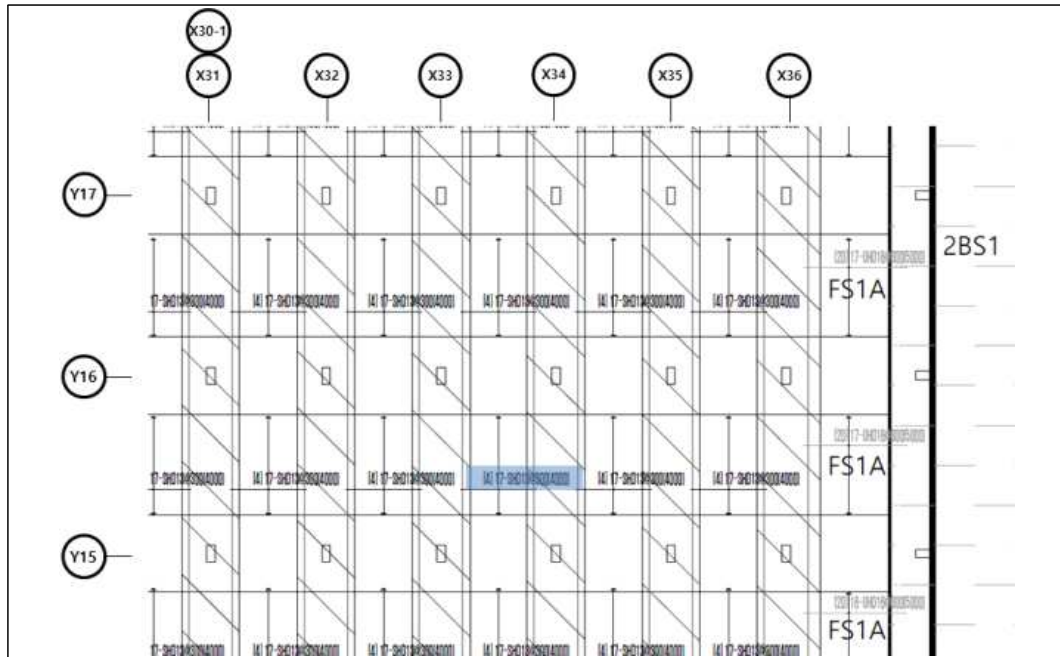


그림 2.1.33 가로방향 하부보강근 배근상세도⁴⁸⁾

표 2.1.26 가로방향 하부보강근 배근 검토

부재명	슬래브 두께 (mm)	위치	배근 (배근상세도 배근도)	배근 (구조도면 배근도)	비고
			하부근	하부근	
FS1	300 ~ 450	주열대	17-SHD13@300	D13@300	일치

48) 배근상세도 202,203동 주변 주차장 지하1층 무량판슬래브 철근배근도(발체)

- 세로방향 하부근의 배근이 구조도면과 배근상세도가 일치함.
(그림 2.1.34, 표 2.1.27 참조)

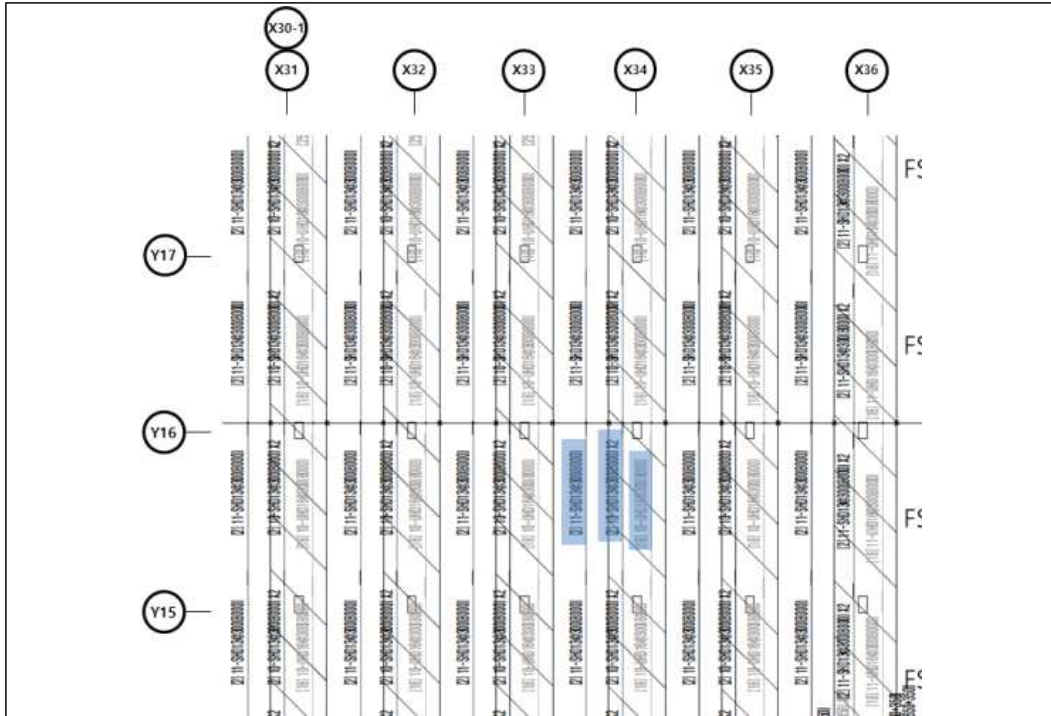


그림 2.1.34 세로방향 하부근 배근상세도⁴⁹⁾

표 2.1.27 세로방향 하부근 배근 검토 (구조도면 요약)

부재명	슬래브 두께 (mm)	위치	배근 (배근상세도 배근도)	배근 (구조도면 배근도)	비고
			하부근	하부근	
FS1	300 ~ 450	주열대	10-SHD13@300x2 10-UHD16@300	D13+ D13+ D16@100	일치
	300 ~ 450	중간대	11-SHD13@300	D13@300	일치

49) 배근상세도 202,203동 주변 주차장 지하1층 무량판슬래브 철근배근도(발체)

- 세로방향 하부보강근의 배근이 구조도면과 배근상세도가 일치함.
(그림 2.1.35, 표 2.1.28 참조)

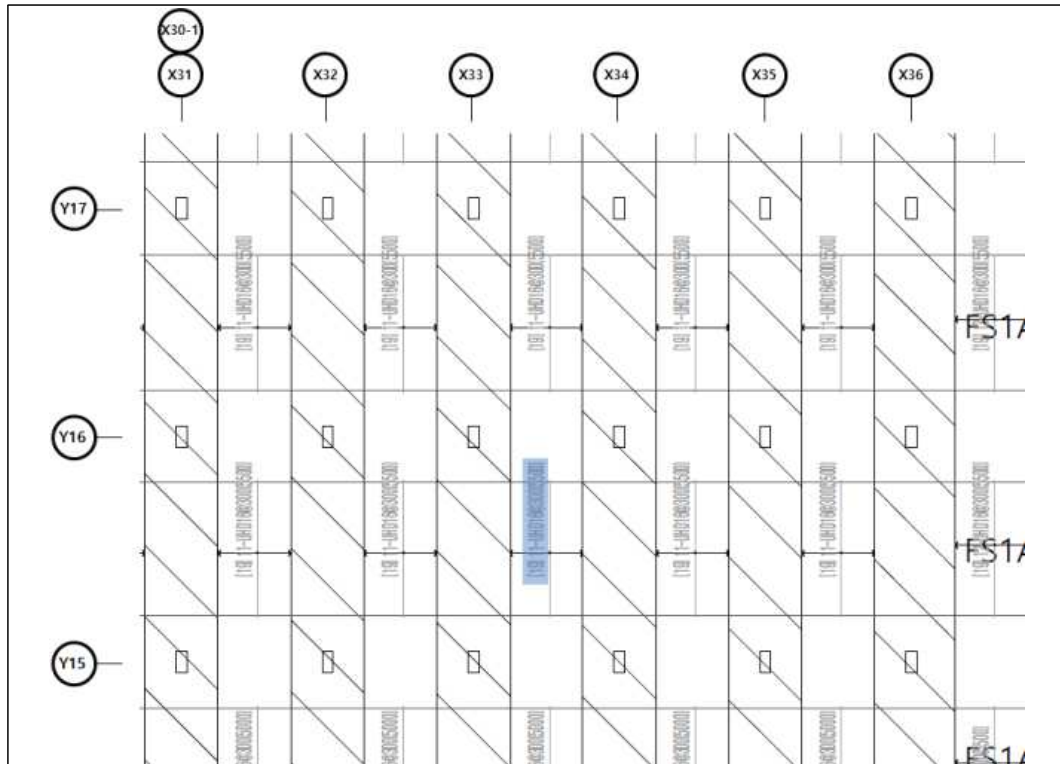


그림 2.1.35 세로방향 하부보강근 배근상세도⁵⁰⁾

표 2.1.28 세로방향 하부보강근 배근 검토

부재명	슬래브 두께 (mm)	위치	배근 (배근상세도 배근도)	배근 (구조도면 배근도)	비고
			하부근	하부근	
FS1	300 ~ 450	주열대	11-UHD16@300	D16@300	일치

50) 배근상세도 202,203동 주변 주차장 지하1층 무량판슬래브 철근배근도(발체)

- 배근상세도 검토 결과 철근이 동일한 위치에 이음된 것으로 확인되었음.
(그림 2.1.36 참조)

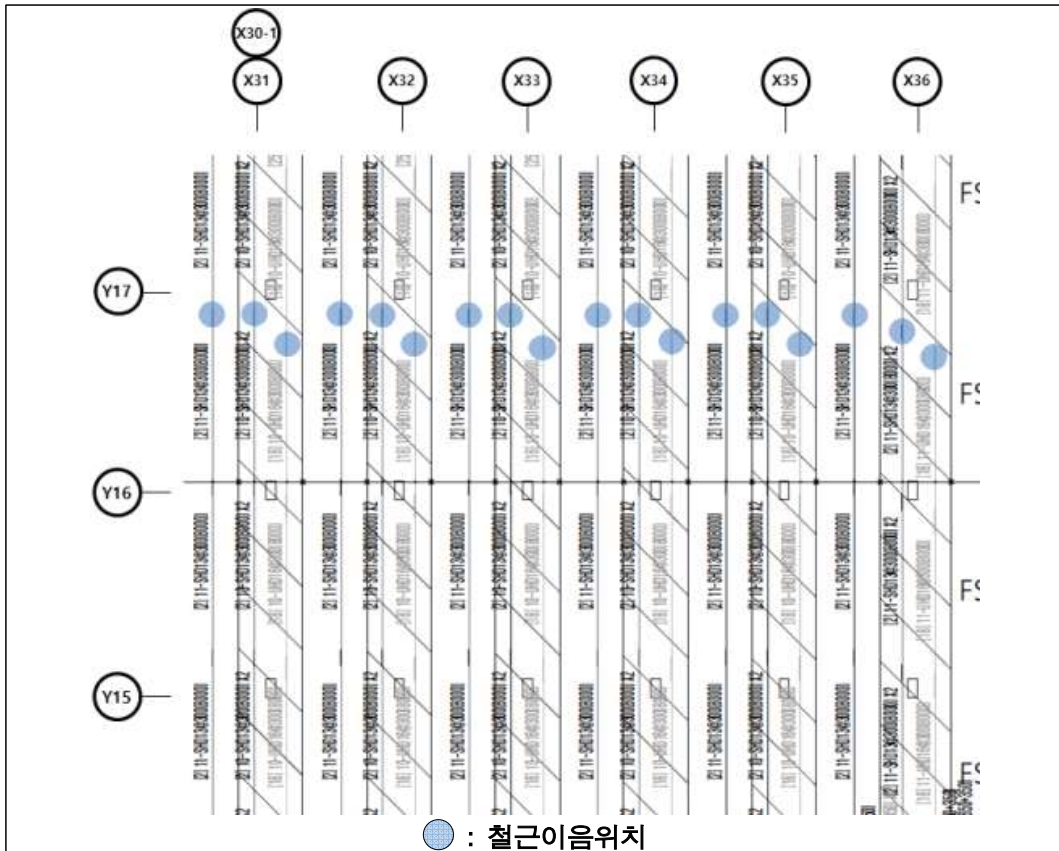


그림 2.1.36 세로방향 철근이음 위치도⁵¹⁾

(2) 전단보강근 배근상세

- 배근상세도에 전단보강근 관련 상세 내용은 없음.

2.2 공사관련기준 등 검토

2.2.1 관련 법령

(1) 건설기술 진흥법

- 건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침 [국토교통부고시 제 2023-153호]

51) 배근상세도 202,203동 주변 주차장 지하1층 무량판슬래브 철근배근도(발체)

- 건설공사 안전관리 업무수행 지침 [국토교통부고시 제2022-791호]
- 건설공사 품질관리 업무지침 [국토교통부고시 제2022-30호]

(2) 건설산업기본법

(3) 하도급거래 공정화에 관한 법률

(4) 건축법

- 건축구조기준 [국토교통부고시 제2022-570호]
- 건축물의 설계도서 작성기준 [국토교통부고시 제2016-1025호]
- 건축공사 표준시방서 [국토교통부고시 제2022-571호]
- 조경기준 [국토교통부고시 제2021-1778호]

2.2.2 관련 공사기준

(1) 국가건설기준(KDS, KCS)

- KDS 14 20 01 콘크리트구조 설계(강도설계법) 일반사항
- KDS 14 20 22 콘크리트구조 전단 및 비틀림 설계기준
- KDS 34 00 00 조경설계기준
- KDS 34 30 15 인공지반식재기반
- KDS 41 12 00 건축물 설계하중
- KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준
- KCS 14 20 10 일반콘크리트
- KCS 11 20 20 흙쌓기(성토)
- KCS 14 20 11 철근공사
- KCS 14 20 12 거푸집 및 동바리
- KCS 14 20 41 서중 콘크리트
- KCS 34 00 00 조경공사 표준시방서
- KCS 34 40 15 인공식재기반 식재

(2) LH 기준(LHCS)

- LHCS 10 10 05 25 건축공사 일반사항
- LHCS 10 10 05 30 조경공사 일반
- LHCS 11 20 20 흙쌓기(성토)

- LHCS 11 20 21 식생지반 조성
- LHCS 14 20 10 05 콘크리트
- LHCS 14 20 11 05 철근 전문
- LHCS 34 30 11 인공식재기반조성
- LH 설계지침(구조)
- LH 시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서
- LH 공사계약일반조건 및 특수조건

(3) 기타 건설사업관리자 기준

- 건설사업관리업무수행계획서
- 건설사업관리절차서
- 건설사업관리검측업무지침
- 중점품질관리계획
- 월간 건설사업관리보고서

2.2.3 관련 공사기준 및 시행 현황

(1) 콘크리트 타설관리(2022.7.6.)

- 건설사업관리기술인 업무일지(그림 2.2.1)에 2022년 7월 6일 가야 및 정서진에서 레미콘을 공급받아 202동 지하주차장 상부 슬래브에 콘크리트 타설한 것으로 기록되어 있음.

2022년07월06일(수요일)		작 성 자	
보조/검측 감리원 업무일지		직 책	
		성 명	강기현
공사명 : 인천점단 AA13-1BL 및 AA13-2BL 아파트 건설공사 시공단계 감독권한대행 등 (통합)건설사업관리용역			
개인별 종합	<ul style="list-style-type: none"> - 공사일보 확인 및 공정 추진 일정 확인 - 201동 압출 셋팅작업 - 202동 지붕층 주차장 타설 - 202~203동 주변주차장 지붕층 주차장 슬라브 철근배근 - 202동 지붕층 주차장 바닥 거푸집 설치 - 203동 주차장 지붕층 슬라브 철근배근 - 203동 지붕층 주차장 바닥 거푸집 설치 - 203동 1F 바닥 단열재 설치 마감 - 레미콘 품질 접수 - 도면 검토 및 숙지 - 공달문서 확인 		

그림 2.2.1 건설사업관리기술인 업무일지

- 2022년 7월 7일에 수직부재 거푸집을 탈형하기 위해 압축강도 테스트를 실시하였으나 건설사업관리기술인 업무일지에는 기록이 없으며, 압축강도 시험값(표 2.2.1)은 기준을 상회하여 적정함.

표 2.2.1 수직부재 거푸집 탈형용 압축강도 시험값

가야		정서진	
기준	시험값	기준	시험값
5N/mm ²	9.3N/mm ²	5N/mm ²	9.1N/mm ²

- 2022년 7월 13일에 7일 압축강도 테스트를 실시하였으나 건설사업관리 기술인 업무일지(그림 2.2.2)에는 기록이 없으며 압축강도 시험값(표 2.2.2)은 기준을 상회하여 적정함.

2022년 07월 13일(수요일)

보조/접촉 관리원 업무일지

공사명 : 인천광역시 AA13-1BL 및 AA13-2BL 아파트 건설공사 시공단계 감독면한대행 등 (통합)
관리구역

*** 이종우(건축기술인) 과무대행, 고 재업 상무 ***

개인별 종합

1. 107동 스타브 concrete 준비 완료 / 우천(복우)으로 인하여
명일로 연기함 !

1) 지표면 빗물 자연 배수, 침사지 보완

2) 가설 전기 전선 지면에서 이격 및 결지 확인, 감전 방지
지시함

3) 전일 타설한 108동 9층 바닥 습윤 양생(서중 콘크리트)
시 및 확인함.

4) 지상 가공된 천마, 미널 방호 조치 지시함.

2. 전일 타설 레미콘 출장 확인 서명 : 남종사 (케이오이 FC주식)

3. 설계도서 검토

1) 사업승인조건, 분할 공고 내용, LH가가검단 체크리스트
달 현장 공사 진행중 적용 부분 선 체크

과 장	
의 재	
성 명	이종우

그림 2.2.2 건설사업관리기술인 업무일지

표 2.2.2 7일 압축강도 시험값

가야		정서진	
기준	시험값	기준	시험값
17.7N/mm ²	20.9N/mm ²	17.7N/mm ²	20.9N/mm ²

- 2022년 7월 20일에 수평부재 압축강도 테스트를 실시하였으며, 압축강도 시험값(표 2.2.3)은 기준을 상회하여 적정함.

표 2.2.3 수평부재 거푸집 탈형용 압축강도 시험값

가야		정서진	
기준	시험값	기준	시험값
24N/mm ²	26.1N/mm ²	24N/mm ²	26N/mm ²

- 2022년 8월 3일에 28일 압축강도 테스트를 실시하였으나 건설사업관리 기술인 업무일지(그림 2.2.3)에는 기록이 없으며, 압축강도 시험값(표 2.2.4)은 기준을 상회하여 적정함.

〈“갑”지〉

2022년08월03일(수요일)		작 성 자	
보조/검측 감리원 업무일지		직 책	
		성 명	이승우
공사명 : 인천검단 AA18-1BL 및 AA18-2BL 아파트 건설공사 시공단계 감독연한대행 등 (통합)건설사업 관리용역			
개인별 종합	- 현장 휴무에 따른 작업 대기 - 서류검토 및 정리 : 월간보고 대비 시공확인서 정리 및 관리대장 정리 : 감리일지 스캔 정리 - 시방기준 및 관련법규 검토 - 설계도서 검토		
시간대별	업 무 내 용 (6하 원칙에 의거)		
08:30 ~ 17:30	1. 현장 휴무에 따른 작업 대기 2. 서류검토 및 정리 - 월간보고 대비 시공확인서 정리 및 관리대장 정리 - 감리일지 스캔 정리 3. 시방기준 및 관련법규 검토 - 마감관련 시방서 및 관련기준/법규 검토 4. 설계도서 검토 - 마감관련 모델하우스 건립도면, 마감자재리스트 등 검토 및 숙지 - 1BL 설계도서 검토		

그림 2.2.3 건설사업관리기술인 업무일지

표 2.2.4 28일 압축강도 시험값

가야		정서진	
기준	시험값	기준	시험값
24N/mm ²	32.4N/mm ²	24N/mm ²	32.1N/mm ²

- 2022년 7월 6일 콘크리트 타설 후 이용차량을 보면 레미콘차량, 펌프카, 굴착기, 지게차가 운행하였으나 지하주차장 상부 슬래브에는 철근 등 자재만 일부 야적하여 관리된 상태로 초과된 상부하중은 없음.



그림 2.2.4 콘크리트 타설 후 이용차량 현황

(2) 콘크리트 타설관리(2022.7.28.)

- 건설사업관리기술인 업무일지(그림 2.2.5)에 2022년 7월 28일 삼덕 및 KYPC에서 레미콘을 공급받아 202동 지하주차장 상부 슬래브에 콘크리트 타설한 것으로 기록되어 있음.

2022년 07월 28일(목요일)			
프로젝트/감독 관리원 업무일지		과 설 자	
		지 회	
		성 명	신수정
공사명 : 인천경안 AA18-101 및 AA18-201 아파트 건설공사 시공단계 감독관리대행 등 (통합)건설사업 관리용역			
개인별 종합	- 시공사 공사과업일보 확인 및 현장확인 - 대내 수신문서(시공사 발송서류) 확인 및 공람 - 대내 발신문서(지시부) 확인 및 공람 - 대외 수신문서 확인 및 공람 - 철근콘크리트공사 시공확인 : 202동 및 208동 주변주차장 - 주간공정회의 실시		
시간대별	일 부 내 용 (6차 원칙에 의거)		
08:30~12:00	1. 시공사 공사과업일보 확인 및 현장확인 - 202동 3F 바닥 콘크리트 확인 - 202동~208동 지중층 주차장 바닥 타설확인 - 207동 B1F 주차장 기둥 철근배근 확인		

그림 2.2.5 건설사업관리기술인 업무일지

- 2022년 7월 29일에 수직부재 거푸집을 탈형하기 위해 압축강도 테스트를 실시하였으며, 압축강도 시험값(표 2.2.5)은 기준을 상회하여 적정함.

표 2.2.5 수직부재 거푸집 탈형용 압축강도 시험값

삼척		KYPC	
기준	시험값	기준	시험값
5N/mm ²	8.6N/mm ²	5N/mm ²	8N/mm ²

- 2022년 8월 13일에 4일 압축강도 테스트를 실시하였으나 건설사업관리 기술인 업무일지가 누락되었으며, 압축강도 시험값(표 2.2.6)은 기준을 상회하여 적정함.

표 2.2.6 7일 압축강도 시험값

삼척		KYPC	
기준	시험값	기준	시험값
17.7N/mm ²	21.3N/mm ²	17.7N/mm ²	21N/mm ²

- 2022년 8월 11일에 수평부재 압축강도 테스트를 실시하였으며, 압축강도 시험값(표 2.2.7)은 기준을 상회하여 적정함.

표 2.2.7 수평부재 거푸집 탈형용 압축강도 시험값

삼척		KYPC	
기준	시험값	기준	시험값
24N/mm ²	25.5N/mm ²	24N/mm ²	26.1N/mm ²

- 2022년 8월 25일에 28일 압축강도 테스트를 실시하였으며 건설사업관리 기술인 업무일지(그림 2.2.6)에 기록되어 있으며, 압축강도 시험값(표 2.2.8)은 기준을 상회하여 적정함.

표 2.2.8 28일 압축강도 시험값

삼척		KYPC	
기준	시험값	기준	시험값
24N/mm ²	31.3N/mm ²	24N/mm ²	31.5N/mm ²

2022년 08월 25일 (목요일)		작 성 자	
보조/검측 감리원 업무일지		직 책	
		성 명	김재훈
공사명 : 인천경단 AA13-1BL 및 AA13-2BL 아파트 건설공사 시공단계 감독관한대행 등 (통합)건설사업 관리구역			
개인별 종합	* 공사일보 확인 및 공정 추진 일정 확인 * 202동 5층 slab 배근 검측 * 202동 5층 conc. 타설 * 203동 3층 slab 먹줄놓기 확인 * 203동 3층 conc. 시험 확인 * 감리단 회의(전속) * 도면 검토 및 숙지 * 공람문서 확인		
시간대별	업 무 내 용 (6하 원칙에 의거)		
08:30~12:00	* 공사일보 확인 및 공정 추진 일정 확인 * 202동 5층 slab 배근 검측 * 203동 3층 slab 먹줄놓기 확인 * 203동 conc. 시험 확인 * 감리단 회의(전속) * 공람문서 확인		
13:00~17:30	* 202동 5층 slab 콘크리트 타설 확인 * 도면 검토 및 숙지 * 공람문서 확인		

그림 2.2.6 건설사업관리기술인 업무일지

- 2022년 7월 28일 콘크리트 타설 후 이용차량을 보면 레미콘차량, 펌프카, 굴착기, 지게차가 운행하였으나 2022년 7월 6일 타설한 지하주차장 상부 슬래브에는 1톤 공사차량과 철근 등 자재 일부 야적하여 관리된 상태로 초과된 상부하중은 없음.



그림 2.2.7 콘크리트 타설 후 이용차량 현황

(3) 거푸집동바리 해체관리(2022.7.6./ 7.28.)

- 콘크리트 표준시방서 KCS 14 20 12 거푸집 및 동바리⁵²⁾에서는 콘크리트 압축강도를 시험할 경우 거푸집널의 해체 시기는 그림 2.2.8과 같으며, 콘크리트 압축강도 기준에 맞게 강도 확인 후 거푸집널을 해체함.

부재		콘크리트 압축강도(f_{cu})
기초, 보, 기둥, 벽 등의 측면		5 MPa이상
슬래브 및 보의 밑면, 아치 내면	단층구조인 경우	설계기준압축강도의 2/3배 이상 또한, 최소강도 14MPa 이상
	다층구조인 경우	설계기준 압축강도 이상 (필러 동바리 구조를 이용할 경우는 구조계산에 의해 기간을 단축할 수 있음. 단, 이 경우라도 최소강도는 14 MPa 이상으로 함)

그림 2.2.8 콘크리트 표준시방서 KCS 14 20 12

- KCS 14 20 10 일반콘크리트⁵³⁾ 3.4.1 일반사항에 의하면 “콘크리트는 타설한 후 소요기간까지 경화에 필요한 온도, 습도조건을 유지하며, 유해한 작용의 영향을 받지 않도록 충분히 양생하여야 한다. 구체적인 방법이나 필요한 일수는 각각 해당하는 조항에 따라 구조물의 종류, 시공 조건, 입지조건, 환경조건 등 각각의 상황에 따라 정하여야 한다.”라고 되어 있으며, LH 공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)⁵⁴⁾ 2.4 철근콘크리트의 2.4.1 RC조인 경우 주요검사항목에 의하면 거푸집 제거 후 거푸집 존치기간 준수여부를 확인하게 되어 있음.

2.4 철근콘크리트	
2.4.1 RC조인 경우	
공정단계별	주요검사항목
거푸집 제거 후	1. 거푸집 존치기간 준수여부 2. 콘크리트 상태확인 (재료분리, 균열, 침하) 3. 콘크리트 타설두께 확인 4. 발코니 난간턱 보양상태 확인 5. 결로방지재 상태확인(이음부, 틈, 훼손부위)

그림 2.2.9 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)

52) 콘크리트 표준시방서 KCS 14 20 12(발췌)

53) 콘크리트 표준시방서 KCS 14 20 10(발췌)

54) LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)(발췌)

- 시공사에서 제출한 공사일지 및 출력일보55)에 의하면 2022년 7월 6일 타설한 지하층 상부 슬래브는 2022년 8월 8일에 거꾸집동바리 해체를 실시하였으며, 2022년 7월 28일 타설한 지하층 상부 슬래브는 2022년 8월 30일에 거꾸집동바리를 해체함.

공 사 일 지

공 사 명 : [100989] 인천광역시인천연안 AA13-1BL 5공구, AA13-2BL 6공구 및 인천신촌 아파트 건설공사

1. 공 사 후 질

일자	2022년08월08일	날씨	비	기온	최고	26	최저	28	단
구 분	내 용	근로자	1	1	1	1	1	1	1
<토목공사>	- 2BL 106동 출구로 터파기 60K 작업 - 2BL 205동 입 주차장 포장공사 - 1, 2BL 현상내 잔여잔수 - 현상 및 외부도로 상수관리 작업 <골조공사,1BL> - 102~103동 81F 주차장 돌바리 해체작업 - 105동 6층 골기둥 하역 및 10층 1차 세대철거작업 - 동 주면 철소 및 단상 구간 철소 - 세대 건물 기공설 작업 <습식공사,1BL> - 101동 3층 외주 간층 2차 마감작업 - 101동 지하 계층상고 비탈면정리작업 - 105동 DA 불복합기 - 105동 지하 주차장 기둥 및 벽체 마감작업 - 107동 304호 생활세대 세공 - 107동 동문 마감작업 <내장목공사,1BL> - 107동 8~9층 허락역세권 작업 - 102동 1,2호 2~3층 세대 목재공 작업 - 107동 101,301호 세대 단열 작업 <골조공사,2BL> - 207, 208, 210동 타설 전 수검 확인 - 각 동 세대철거 및 정리 - 각 동 주차장 거꾸집 동체 정리 - 각 동 환기 및 미장 면처리 - 2011동, 202동 81F 지주벽 해체작업 <습식공사,2BL> - 210동 외부 8층 면처리 - 207, 209동 내부 간층	1	1	1	1	1	1	1	1

그림 2.2.10 공사일지 및 출력일보

55) 시공사에서 제출한 공사일지 및 출력일보(발체)

- 28일 압축강도 확인 후 거푸집동바리를 해체하여 KCS 14 20 10 일반콘 크리트 3.4.1 일반사항 및 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 2.4 철근 콘크리트의 2.4.1 RC조 거푸집 준치기간 준수를 적절히 하였으며, 2022년 8월 16일 주간공정회의⁵⁶⁾에서 건설사업관리단은 시공사에 동바리 관리를 지시함.

[발치 33호서식] 회의록(4.3.5 관련)

[지시 2%, 확인 98% !!]

회의록

시공명	인천권역 AA13-10L 및 AA13-20L 아파트 건설공사 (동행)건설사업관리영역					
제 목	22년 08월 3주차 주간공정회의(서면)					
일 시	2022. 08. 16.		장 소			
참석자	소 속	직 위	성 명	소 속	직 위	성 명
	건설사업관리단	단장	박용복	건설사업관리단	소장	이병희
	간사	김재민	차장	박종민	과장	김재민
	부장	이승우	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
	과장	김재민	과장	김재민	과장	김재민
주요 내용 : 1. 회의내용						

공 증 별 내 용

조치계획

○공무

- 현물 사용 없음

○건설

- 서중콘크리트 관리종자-보양, 습윤 살수 급속건조 방지 바닐보양 등
- 옥상마루층 단열관리 종자-옥상층의 콘크리트, 흙벽돌
- 옥상층 콘크리트 관리 및 수직도 관리 철저(주차장 상부 차양층에서 4주 방수관리 및 방수 불량, 방수도 관리 철저)
- 콘크리트 타설 후 자재 적재 및 충격 금지
- 거푸집 해체 후 단열한 자재관리와 건축공사 적기 시공으로 불시 응급 대비 철저 확보
- 공사공정관리로 인한 우레에 따른 안전대책과 소관공사대비 준공준비 철저
- 안전관리 철저

○토목

- 거푸집 해체 후 산출물 자재관리와 건축공사 적기 시공으로 불시 응급 대비 철저 확보
- 공사공정관리로 인한 우레에 따른 안전대책과 소관공사대비 준공준비 철저
- 안전관리 철저

○기계

- 공종관리 적정관리 완료 후, 추후 주의(Safety)상 각층(Safety)
- 단원제대내 각종 노출물 관리 방안 및 설치, 관리, 점검 등 철저
- 주기 대비 사전 설치 관리 철저 및, 안전 주의 철저
- 세대 내부 전 작업에 의한 LIFT 조차 설치 철저

○안전

- 철 인발 등, 도목 PTW 철저 철저

○책임

1. 층간소음기준 확보를 위한 공사공사시 사용기준 준수 철저
 - 층간소음 사후 확인제 대비
 - 사용기준 준수 : 바닥탄도 관리기준 확보 등
2. 강품 수직보양판 관여를 조속 설치 및 낙하물방지판 설치기준 준수
 - 13-1층 : 101동 조속 설치
 - 13-2층 : 201동, 202동 외
 - 설치높이, 설치간격, 관리기준 등 기준 준수
 - 수직보양판의 재방부 및 풍세부위 업도록 보양판 설치

그림 2.2.11 회의록

(4) 동바리 설치 및 관리

- 콘크리트 표준시방서 KCS 14 20 12 거푸집 및 동바리의 3.3.2에 의하면 “거푸집 및 동바리를 해체한 직후 재하의 경우는, 동바리를 해체한 후에 그 당시 재령에서 저항할 수 있는 강도를 초과하는 하중이 해당 부재에 재하 될 경우 사전 구조검토를 통해 하중재하 전 동바리 해체 및 재설치 여부를 결정하고, 필요한 경우 동바리를 해체하지 않고 준치하거나 적절한 동바리를 재설치 하여야한다.”라는 내용에 따라 시공사에서는 콘크리트공사 안전관리계획서 [보완4차]⁵⁷⁾에 지하주차장 상부 슬래브에 공사차량 통행에 대해 구조검토를 실시하여 건설사업관리단에 제출하였으나 상부 토사가 없는 상태에서 공사차량이 운행하는 조건만 동바리 설치 계획을 검토함.
- 토목 및 조경용 토사가 적재된 상태에서 공사 차량이 운행되는 조건의 동바리 재설치 여부는 검토되지 않음.

56) 건설사업관리단에서 제출한 회의록(발체)

57) 시공사에서 제출한 공사차량 운행에 따른 지하주차장 지붕층 구조검토(발체)

인천검단 AA13-2 블록

공사차량 운행에 따른 지하주차장 지붕층 구조검토

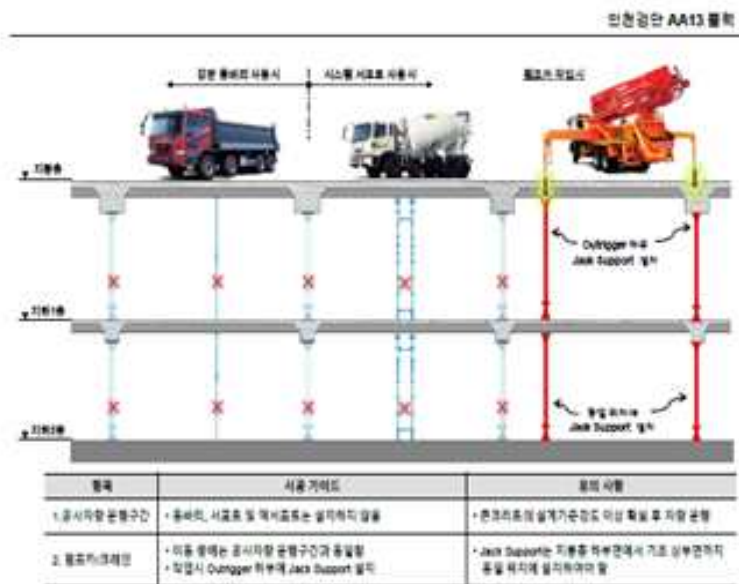
2021. 08. 09

GS 건설
건축수행본부 건축기술팀

Executive Summary

인천검단 AA13-2 블록 공사현장 지하주차장 지붕층 바닥 상부에 폼프카, 레이콘차량, 덤프트럭 등 공사용 차량 운행 및 작업시 구조 안전성 검토를 실시하였습니다.

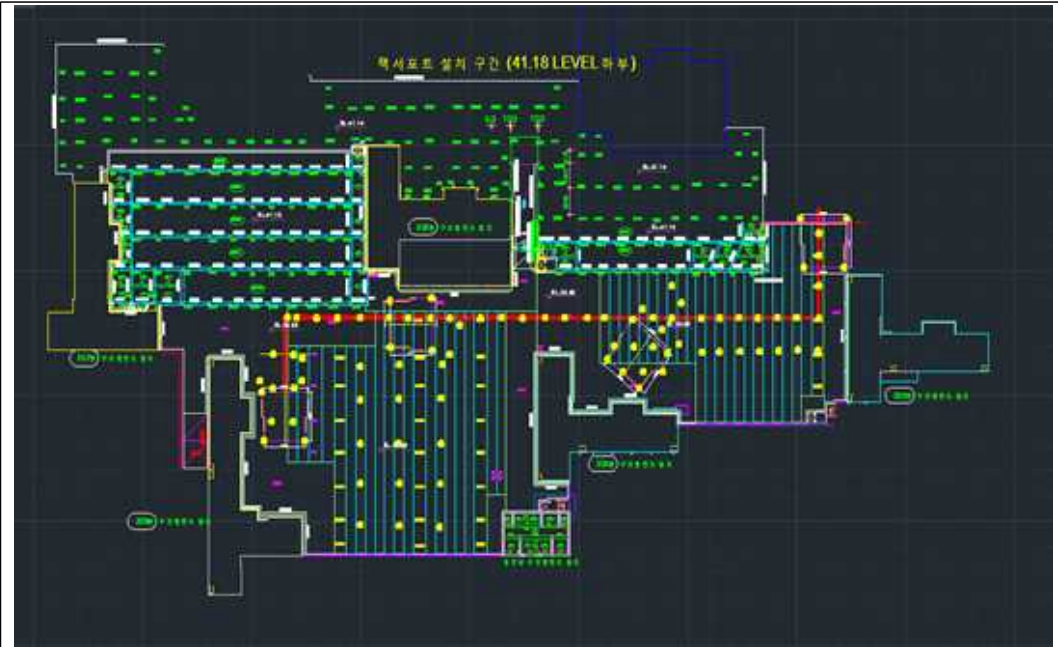
지붕층 공사용 차량 운행 구간은 당초 무근콘크리트, 토사 등 마감(THK.1200 mm)이 시공되는 것으로 설계되어 있고, 바닥의 설계 활하중 16kN/m^2 이 고려되어 있어 공사용 차량 운행에 대한 슬래브 및 보의 내력상 이상이 없는 것으로 검토 되었습니다. 그러나, 폼프카 등의 아웃리거 하부에는 하중이 집중되므로 아웃리거 하중을 기초로 전달할 수 있도록 검토서상의 보강안과 같이 Jack Support 를 설치하시기 바랍니다.



[지붕층 공사차량 운행시 세포트 설치안-Deep Deck 하부]

그림 2.2.12 공사차량 운행에 따른 지하주차장 지붕층 구조검토

- 동바리 설치위치는 “공사차량 운행에 따른 지하주차장 지붕층 구조검토”에서 제시한 위치에 맞게 설치하고 관리되었음.



동바리 설치 위치 도면



202동 주변 동바리 설치 현황



203동 주변 동바리 설치 현황

그림 2.2.13 동바리 설치계획 도면 및 설치 현황

- 월간 건설사업관리보고서⁵⁸⁾에 의하면 건설사업관리단과 시공사 회의 시 작성한 회의록에도 동바리 관리에 대한 내용이 제시되어 동바리는 적절하게 관리되었다고 판단되나 콘크리트 표준시방서 KCS 14 20 12 거푸집 및

58) 월간 건설사업관리보고서(발체)

동바리의 3.3.1에 의하면 거푸집 및 동바리는 콘크리트가 자중 및 시공 중에 가해지는 하중을 지지할 수 있는 강도를 가질 때까지 해체할 수 없으며, 해체 시기 및 순서는 책임기술자의 승인을 받아야 한다. 라고 명시되어 있으나 책임건설사업관리기술인의 업무일지에 승인한 기록은 없음.

[illegible]

그림 2.2.14 회의록

- LH 설계지침(구조)⁵⁹⁾ 9. 공사 중 슬래브 동바리 설치기준에 의하면 “구조설계 시 적용된 토파하중과 활하중(12kN/m²) 및 DB24 차량하중(일시적)에 대해 검토한 결과 불안전하여 동바리 추가가 필요하다.(단기하중 검토첨부). 또한 일시적 차량하중에 충격 계수(1.3)를 적용하여 검토한 결과 불안정한 것으로 확인되어 동바리 추가가 필요하다.(장기하중 검토)”고 규정되어 있으며, 동바리 존치기간을 “지하주차장 동바리 제거일(차량통로 활용일)부터 지붕 타설의 완료 시점으로 한다.”고 명시되어 있어 시공사는 LH 설계지침(구조)에 의하여 지붕 타설 완료 후 동바리를 제거하였음.

Korea Land & Housing Corporation
설계지침(구조) (제99)호 / 2018.02.27 제정

설계지침(구조)

2019. 02

운용부서	담당자	전화번호
주택관리과	이종훈	055-922-5925

9. 공사 중 슬래브 액서토트 설치기준

(1) (1) 하중 검토 결과
구조설계 시 적용된 토파하중과 활하중(12kN/m²) 및 DB24 차량하중(일시적)에 대해 검토한 결과 불안정하여 액서토트 추가가 필요하다. (단기하중 검토첨부). 또한 일시적 차량하중에 충격 계수(1.3)를 적용하여 검토한 결과 불안정한 것으로 확인되어 액서토트 추가가 필요하다. (장기하중 검토).

(2) (2) 적용방안
① 설치기준
지하주차장 상부에 단지 우측입구나 주 가설도어가 위치하여 빈번한 공사를 차량통행으로 차통차로 인해 하중에 따른 구조적 손상을 위해 액서토트를 설치한다.
② 존치기간
지하주차장 동바리 제거일(차량통로 활용일)부터 지붕 타설의 완료 시점으로 한다.
- 예시: (20층 기준) 총알공사기간 + 2층 이상 층수 × 12일 + (20층-1층) × 22일
③ 수량산출
액서토트 설치수량은 현장여건(차량통행계획)에 따라 결정되므로 설계단계에서는 설치수량을 특정할 수 없어 주차장 전면적을 기준으로 0.06본/m² 적용(말주시)한다.

(3) (3) 액서토트 설치시 고려사항
① 액서토트 시공계획서(구조검토서)에 따라 현장별 수량 및 존치기간을 산정하여 현장 구조검토서 충격하중(1.3)을 포함하는 것을 검토한다.
② 구조적의 본크리트 강도가 설계기준강도 이상 달성되도록 충분히 양생한 후, 차량 및 자재를 적재한다. 단, 양생기간이 부족한 경우 재검토를 수행한다.
③ 부득이 액서토트 미설치기간을 통행 시, 차량 교통을 1대씩 서행하도록 제한한다.
④ 과도한 지체 발생으로 상황력에 의한 부도면트가 발생하지 않도록 유의 하며, 현장별 구조검토사항에 따라 부도면트 발생 유무부위 절단보강 조치한다.

그림 2.2.15 LH 설계지침(구조)

- 2023년 2월 6일 및 2023년 3월 10일 건설사업관리 업무일지(그림 2.2.16)에 의하면 202동 및 203동 지붕층 타설이 완료되었다고 볼 수 있음.
- 시공사는 LH 설계지침(구조) 9. 공사 중 슬래브 동바리 설치기준에 의거하여 동바리를 제거하고 2023년 4월 10일부터 2블럭 지하주차장 상부 슬래브에 뿔칠을 실시함.

⁵⁹⁾ LH 설계지침(구조)(발체)

《"갑"지》		《"갑"지》	
2023년 02월 08일(월요일)		2023년 03월 10일(금요일)	
보조/검측 감리원 업무일지		보조/검측 감리원 업무일지	
작 성 자		작 성 자	
직 책		직 책	
성 명 김재훈		성 명 김재훈	
공사별 : 인천첨단 AA13-1BL 및 AA13-2BL 아파트 건설공사 시공단계 감독원인대행 등 (통합)건설사업 관리용역		공사별 : 인천첨단 AA13-1BL 및 AA13-2BL 아파트 건설공사 시공단계 감독원인대행 등 (통합)건설사업 관리용역	
개인별 종합 <ul style="list-style-type: none"> • 공사일보 확인 및 공정추진일정 확인 • 콘크리트 압축시험 입회 • 옥상조형물공사 시공계획서 검토 • 202동 3-4호 세대 지붕층 구조물 벽체 절근배근 검측 • 202동 3-4호 세대 지붕층 구조물 벽체 거주집 설치 확인 • 도장공사 시공방식(LH 유권해석) 검토 • 202동 14층 1-2호 세대 지붕 파라펫 절근배근 검측 • 202동 14층 1-2호 지붕 파라펫 거주집 설치 • 도면검토 및 시방서 확인 • 공발문서 확인 • 업무일지 작성 		개인별 종합 <ul style="list-style-type: none"> • 공사일보 확인 및 공정추진일정 확인 • 203동 지붕층 바닥(3-4호세대) 콘크리트 시험 입회 • 203동 지붕층 바닥(3-4호세대) 콘크리트 타설(09:00-14:00) • 203동 1-2호 세대 파라펫 타설(14:00-15:30) • 도장공사 최종 시공계획서 검토 및 검토의견서 작성, 제출 • 201동 25층 지붕층 바닥 거주집 및 통바라 설치 • 도면검토 및 시방서 확인 • 공발문서 확인 • 업무일지 작성 	
시간대별		시간대별	
08:30-12:00		08:30-12:00	
업무 내용 (8시간 원칙에 의거) <ul style="list-style-type: none"> • 공사일보 확인 및 공정추진일정 확인 • 콘크리트 압축시험 입회 • 옥상조형물공사 시공계획서 검토 • 202동 3-4호 세대 지붕층 구조물 벽체 절근배근 검측 • 202동 3-4호 세대 지붕층 구조물 벽체 거주집 설치 • 도장공사 시공방식(LH 유권해석) 검토 		업무 내용 (8시간 원칙에 의거) <ul style="list-style-type: none"> • 공사일보 확인 및 공정추진일정 확인 • 203동 지붕층 바닥(3-4호세대) 콘크리트 시험 입회 • 203동 지붕층 바닥(3-4호세대) 콘크리트 타설(09:00-14:00) • 203동 1-2호세대 옥탑 파라펫 콘크리트 타설(14:15:30) • 도장공사 최종 시공계획서 검토 및 검토의견서 작성, 제출 	
13:00-17:30		13:00-17:30	
<ul style="list-style-type: none"> • 202동 1-2호 세대 지붕 파라펫 절근배근 검측 • 202동 1-2호 세대 지붕 파라펫 거주집 설치 • 도면검토 및 시방서 확인 • 공발문서 확인 • 업무일지 작성 		<ul style="list-style-type: none"> • 201동 25층 지붕층 바닥 거주집 및 통바라 설치 • 도면검토 및 시방서 확인 • 공발문서 확인 • 업무일지 작성 	

그림 2.2.16 건설사업관리 업무일지

- 설계사 사고원인분석 보고서⁶⁰⁾에 의하면 시공사는 LH 설계지침(구조) 9. 공사 중 슬래브 동바리 설치기준에 의거하여 동바리를 해체하였음.



그림 2.2.17 붕괴 직후 동바리 해체 구간 현황⁶¹⁾

60),61) 설계사에서 제출한 사고원인분석 보고서(발체)

(5) 조경공사⁶²⁾

- 지하주차장 상부 슬래브 방수공사 및 누름콘크리트, 토목공사 및 조경공사를 위한 마감 단면도는 그림 2.2.18과 같음.

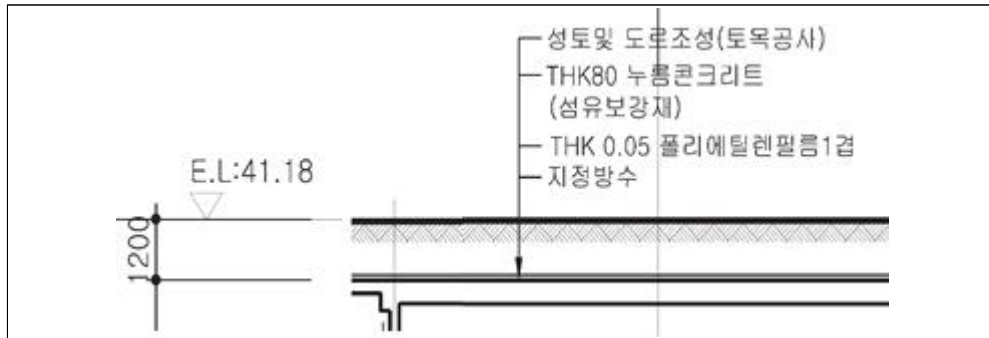


그림 2.2.18 지하주차장 상부 슬래브 마감 단면도

- 토목 및 조경공사 작업 현황⁶³⁾은 토목용 토사를 24톤 덤프트럭으로 반입하여 굴착기를 이용하여 평탄화 작업을 한 뒤, 조경공사의 EPS블럭을 설치하기 위해 토목용 토사를 굴착기를 이용하여 굴착한 후 EPS를 설치하지 않는 공간에 적재하고, EPS블럭 설치한 후에 다시 되메우기를 실시하였으며, 토목 및 조경공사 현황은 그림 2.2.19와 같음.

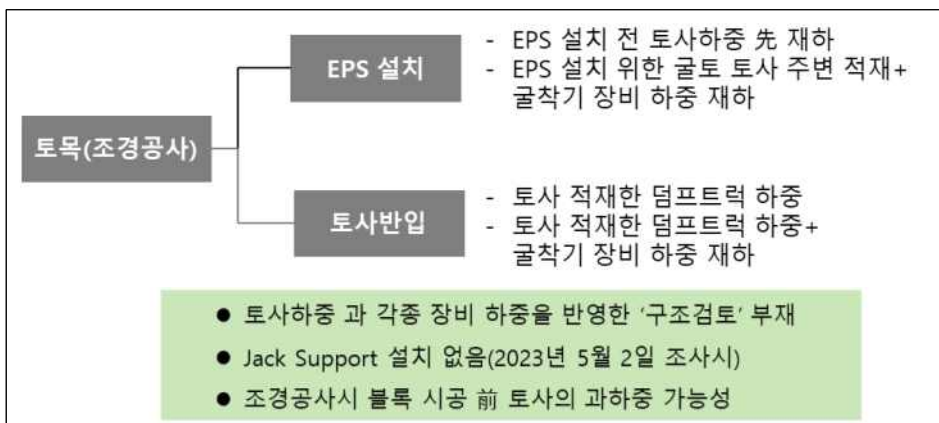


그림 2.2.19 지하주차장 상부 슬래브 조경공사 현황

- 토목공사 시 각종 장비 하중을 반영한 구조검토가 이루어지지 않았으며, 지하주차장 상부 슬래브에는 동바리가 제거된 상태에서 뿔칠 공사를 진행하고 있어 조경공사 시 EPS블럭 설치 전 토사의 과하중 가능성이 있음.

62) 시공사 제공자료(발체)

63) 시공사 제출자료 및 동영상(2023.4.29.)(발체)

- 시공순서상 하중 변화 과정을 보면 지하주차장 상부 슬래브에 동바리가 제거된 상태에서 토목공사의 토사적재를 위한 각종 장비 운영 및 조경공사의 EPS블럭을 설치한 후 2023년 4월 29일의 10.3mm의 강우가 하중 증가를 키웠다고 판단되며 하중 변화과정은 그림 2.2.20과 같음.



그림 2.2.20 하중 변화 과정

(6) KCS 14 20 01 콘크리트공사 일반사항 및 KCS 14 20 11 철근공사⁶⁴⁾ 준수 여부

- KCS 14 20 01 콘크리트공사 일반사항의 3.2 철근공사에 의하면 “설계 도면에 따라 표준화된 철근 공작도를 작성하여 책임기술자의 승인을 받은 후 철근을 가공 및 조립하여야 한다.”라고 명시되어 있음.
- KCS 14 20 01 철근공사의 1.4 철근공사 일반에 의하면 “설계도면에 따라 철근상세도를 작성하여 책임기술자의 승인을 받은 후 철근을 가공 및 조립하여야 한다.” 3.1.2 철근의 조립에 의하면 “철근은 조립이 끝난 후 철근상세도에 맞게 조립되어 있는지를 검사하여야 한다.”라고 명시되어 있음.
- 시공사 제출 서류에 의하면 철근상세도 작성을 하여 책임기술자의 승인을 받는 과정에서도 전단보강근이 누락된 것을 인지하지 못한 채 승인하고 시공사에 통보하였음. 그림 2.2.21의 철근상세도에도 205동은 전단보강근 상세도가 있으나, 202동/ 203동은 전단보강근이 누락된 것을 확인할 수 있음.
- 2023년 6월1일 청문회에서 시공사가 붕괴된 부위는 철근상세도 작성 시 전단보강근을 누락하였고, 철근 작업자도 누락 부분을 발견하지 못하였으며, 건설사업관리단도 철근상세도와 현장 배근상태 검측에서도 누락된 것

64) KCS 14 20 01 콘크리트공사 일반사항 및 KCS 14 20 11 철근공사(발췌)

을 발견하지 못하고 콘크리트 타설을 승인함.

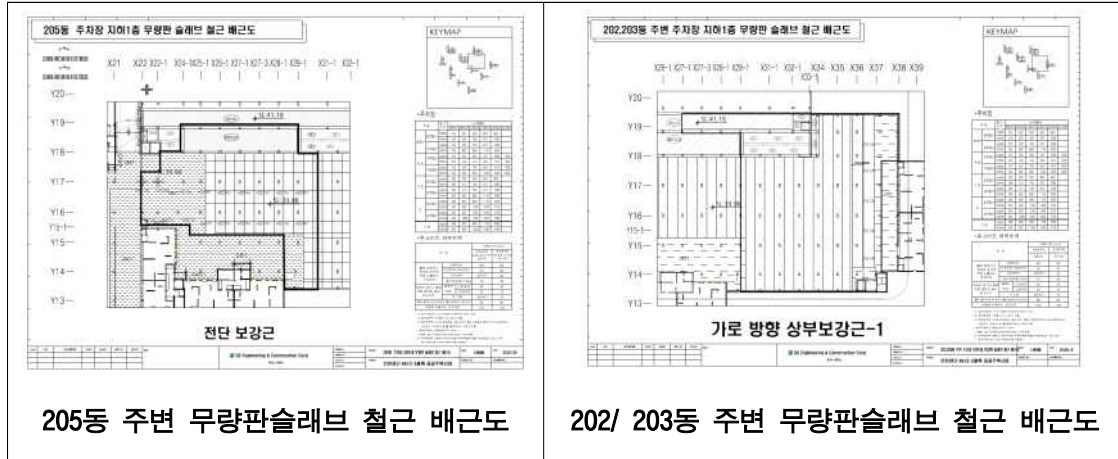


그림 2.2.21 철근상세도

(7) LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 건축공사 일반사항⁶⁵⁾ 준수 여부

- LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 부록 1의 공사사진 촬영대상부위에
4. 철근·콘크리트는 기초, 슬래브, 보, 기둥, 옹벽 및 개구부 철근배근상태를
확인하도록 규정하고 있는데 실시하지 않은 것으로 판단됨.

건축공사 일반		LHCS 10 10 05 25
부록 1		
공사사진 촬영대상 부위		
공종별	부 위	비 고
1. 가설공사	가설참고, 사무소, 시험실, 가설물타리 등 가설물	· 내역수량 참조
2. 토공사	터파기 전,후 지반현황사진	· 흙막이, 지하수위 등 지내력 확인이 가능하도록 전경, 주요부위 촬영
3. 지장 및 기초	말뚝 시험타	· 관입량, 최종관입량 확인 가능하도록 촬영
	말뚝 분할타 전경	· 할타 중 보강조치한 사항
	말뚝 구멍마개 및 두부점리 상태	· 말뚝철근 기초침착깊이 · 말뚝 균열상태
4. 철근·콘크리트	기초, 슬래브, 보, 기둥, 옹벽 및 개구부 철근배근상태	· 배근간격, 피복두께, 이름 및 정착길이, 청소상태 (주)참조
	형틀 간격재, 버팀대	· 간격재 및 버팀대의 배치간격
	콘크리트 양생	· 보온덮개(가마니 등)배치, 사용상태
	기초 거푸집 제거 후	· 기초 규격

그림 2.2.22 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 건축공사 일반사항(공사사진 촬영대상 부위)

65) LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 건축공사 일반사항(발체)

- 7월 건설사업관리일지⁶⁶⁾ 및 기타 제출 사진에도 철근 배근간격 확인 사진은 있으나 피복두께, 이음 및 정착길이, 청소상태에 대한 사진은 없음.
- 즉 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)의 공사사진 촬영대상부위에 맞게 사진촬영이 이루어지지 않았다고 판단됨.

검 측 체 크 리 스톱						
공	중	철근관리팀공사	검 측 일 자	2022년 07월 05일		
세	부	공	0140, 철근배근	위 치 및 부위	202동 B1F 주차장 (K29-1-37/ Y15-Y19-2)	
검 사 항 목	공사기준 (시방서)	시공자		관리자		조 차 사 항
		1차	2차	1차	2차	
1. 철근배근 규격 및 배근 간격은 도면과 일치하는지 확인하였는가?	도면	○	✓			
2. 수직, 수평철근의 굵기 및 가공 상태를 확인하였는가?	U45 14.20 11.05	○	✓			
3. 이음 및 정착상태를 확인하였는가?	도면	○	✓			
4. 피복두께는 설계와 일치하는가?	도면	○	✓			
5. Spacer(간격재) 설치여부 및 간격을 확인하였는가?	U45 14.20 11.05	○	✓			
6. 보강근 설치상태 확인하였는가? (계구부 포함)	도면	○	✓			
7. 골육상태를 확인 하였는가?	U45 14.20 11.05	○	✓			
8. 스리팅에 결상, 개수, 자름은 도면대로 설치되었는가?	도면	○	✓			
9. 기둥의 X,Y방향의 배근은 확실한가?	도면	○	✓			
특기사항:						
시공자 확인	현동호	건설사업관리팀 조 측		김서권		
시공자 재확인	[인]	건설사업관리팀 조 측		[인]		

202동 주차장 슬래브 검측체크리스트

사 진 대 지			
현장일지 AA13-1,2BL 하역트건설공사			
			
위 치	202동 B1F 주차장 Roof Slab	공 종	건축
사 진 일 령	무량한 지용박막 철근배근(FS1A)	일 자	2022. 07.05
			
위 치	202동 B1F 주차장 Roof Slab	공 종	건축
사 진 일 령	무량한 지용박막 철근배근(FS1A)	일 자	2022. 07.05

202동 주차장 슬래브 검측 사진

그림 2.2.23 7월 건설사업관리보고서

- LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)⁶⁷⁾의 구조물 확인부위는 지하주차장의 기초는 기둥+기초부위, 벽체는 토압받는 벽체, 슬래브는 슬래브 연결부위, 기둥, 보는 교차부 및 내·외부로 되어있으나 무량판(플랫슬래브)구조에 대한 확인 부분은 제시되지 않아 건설사업관리단 및 시공사가 혼선이 발생할 우려가 있음.
- LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)의 사진 정리방법에 의한 사진 정리자료는 없음.

66) 7월 건설사업관리일지(발췌)

67) LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25(발췌))

부록 1 표 2 지하주차장				
부위			위치	비고
기초	기둥+기초	기둥(벽체)하부 기초 하부근 기둥(벽체)철근 기초 정착	지하층	주차장동별, 배근별 1개소
벽체	토압받느벽체	주 · 부배근 위치	지하층	
슬래브	슬래브 연결 부위	슬래브+보+슬래브 연결부위	해당층	
기둥, 보	교차부	기둥 + 보(X방향)+보(Y방향) 교차부 보 + Beam 교차부(연속, 불연속단) 필로티 보 + 벽체	지상층	
	내 · 외부	스터럽, 락업 철근 첫단위치 및 설치 상태		

2. 사진 정리방법

좌측	우측
시공상세도면	시공(배근) 사진

2. 사진 정리방법

좌측	우측
시공상세도면	시공(배근) 사진

그림 2.2.24 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 건축공사 일반사항
(구조물 확인 부위 및 사진 정리방법)

- LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)⁶⁸⁾에 의하면 RC조인 경우에는 콘크리트 타설 준비 완료 후 주요검사항목에서는 슬래브 철근규격 및 배근간격을 확인하게 되어있으나, 구체적으로 무량판(플랫슬래브)구조에 대한 검사항목은 없어 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 보완 검토가 필요함.

2.4 철근콘크리트	
2.4.1 RC조인 경우	
공정단계별	주요검사항목
콘크리트 타설 준비 완료 후	1. 조립시 부재규격 및 설치간격 확인 (받침목, 장선, 명예) 2. 단열층 및 방수층 설치상태 3. 매설물 위치확인 (앵커철물, 드레인, 슬리브, 전기박스) 4. 슬래브 철근규격 및 배근간격 확인 5. 개구부 및 각종 슬리브 박스 주위 보강근 배근 상태 6. 응벽 마구리 청소구멍 설치, 청소상태확인 7. 결로방지재 규격, 틈새 및 부착상태 확인 8. 고정못 및 부착식 간격제 배치상태

그림 2.2.25 LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25) 건축공사 일반사항(주요검사항목)

(8) 중점품질관리계획 준수 여부

- “건설공사 품질관리 업무지침” 및 “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침”에 맞게 건설사업관리자는 중점품질관리계획(그림 2.2.26)⁶⁹⁾을 작성하여 발주청에 보고하고, 시공사에 통보하여 중점품질관리계획이 시공사의 품질관리계획에 반영되도록 하였음.

68) LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25(발체))

69) 중점품질관리계획(발체)

- 중점품질관리 대상 선정 기준(그림 2.2.26)은 품질관리가 소홀해지기 쉬운 공종, 하자발생 빈도가 높은 공종, 시공 후 시정이 어려운 공종, 작업 조건이 어려운 공종, 기타 품질 불량 시 인근이나 타 공종에 영향이 큰 공종으로 하였으며, 대상 공종은 철근콘크리트공사, 방수공사(설계도면 적용공법에 따름), 단열공사, 바닥충격을 성능확보를 위한 정밀시공, 실내공기질 측정, 포장공사 정밀시공, 수압시험 확인으로 누수 방지, 환기덕트 품질 확보, 전기배관, 배선공사 품질 확보, 전기실/ 접지공사, 승강기 설치 품질 확보 공종으로 선정함.

중점 품질 관리 계획

인천검단 AA13-1BL 및 AA13-2BL 아파트 건설공사

발주처 : 한국토지주택공사
(Rev.0 : 20210401)

MOKYANG
ARCHITECTS & ENGINEERS

관리구분	관 리 본 <input checked="" type="checkbox"/> 배부번호:	
	비관리본 <input type="checkbox"/> 배부번호:	

회 일	관 측 1	관 측 2	도 제	기 계	관 기/통신	소 방	양 전

인천검단 AA13-1 및 AA13-2BL 건설사업관리단

- 1 - MOKYANG

4 중점 품질관리 대상 공종

1 대상 공종 선정 기준

- 대상 공종 선정 기준은 본 공사의 설계도서, 시방서, 공정계획 등을 검토하여 아래 사항을 기준으로 선정 함
- 품질관리가 소홀해지기 쉬운 공종
- 하자 발생 빈도가 높은 공종
- 시공 후 시정이 어려운 공종
- 작업 조건이 어려운 공종
- 기타 품질 불량 시 인근 부위 또는 타 공종에 영향이 큰 공종 등

2 대상공종

- 철근콘크리트공사
 - 지하층 주차장 슬래브 및 벽체와 부대시설의 철근배근/ 거푸집 조립/ CON'C타설
 - 아파트 기준층 골조와 트랜스퍼거더의 철근배근/ 거푸집 조립/ CON'C타설
 - 골조 완성 후 중장비 이동통로구간의 적설보트 설치(구조계산)
- 방수공사(설계도면에 적용공법에 따름)
 - 주차장 중간층 : 쉬트 및 우레탄도막방수
 - 주차장 지붕층 : 쉬트 방수, 결합부위 우레탄도막방수
 - 아파트 내부 : 시멘트방수, 결합부위 우레탄도막방수, 트래쉬주위 고무아스팔트방수
 - 아파트 지붕층 : 쉬트 방수 등
- 단열공사
 - 내장공사 직접, 간접 단열, 경량 벽체 공사
 - 창호공사 단열 사출 (기타 상황제 등)
- 바닥충격음 성능확보를 위한 정밀시공
- 실내공기질 (베이크 아웃) 측정 : 실내공기질 사후 측정에 대비
- 포장공사 정밀시공
- 수압시험 확인으로 누수 방지
- 환기덕트 품질 확보
- 전기배관, 배선 공사 품질 확보
- 전기실 / 접지공사
- 승강기 설치 품질 확보

- 5 - MOKYANG

그림 2.2.26 중점 품질관리 계획

- 건설사업관리자가 작성한 중점품질관리계획의 대상 공종 예상 문제점(그림 2.2.27)에 의하면 철근공사는 기둥 주열부 전단 보강근 설치 누락 등, 콘크리트공사는 일 평균 4℃이하가 예상되는 경우의 콘크리트 품질관리 문제 등, 동바리 관리는 중장비차량의 중량 검토 및 구조계산서 미비치, 차량 이동구간의 동바리 수량, 간격 미준수 문제 등이 포함되어 콘크리트공사 시 예상되는 문제점은 전체적으로 제시하였으나, 실제 여름철 콘크리트공사에서 중요한 서중 콘크리트 관리부분은 누락됨.

5 대상 공종 예상 문제점	
대상 공종	예 상 문 제 점
철근공사	<ul style="list-style-type: none"> - 조립(결속선 부속)으로 인한 처짐 및 탈락) - 철근간격 유지 부속 - 변곡지점의 피복두께 부속 시공 - 주근철근의 이음 위치 불량 - 기둥 주열부 전단 보강근의 설치 누락 - 주열대와 주단대 변곡지점의 철근 누락 - 철근의 정착길이 부속 - 고임대 및 버팀대 수량 부속 - 코어(벽체) 계단실) 중간 보강철근 애근 미 준수 문제 - 역선교 상시공선교의 오차로 인한 피복두께 미확보 문제 - 트랜스퍼 거더 철근 정착 길이, 피복두께 미준수
콘크리트공사	<ul style="list-style-type: none"> - 일 평균 4℃이하가 예상되는 경우의 콘크리트 품질관리 문제 - 콘크리트의 재료관리 및 Cold Joint 문제 - 콘크리트 타설시 한 곳에 집중 타설 문제 - 모서리 부분이나 경이음부 콘크리트 충전 부속 문제 - 콘크리트 타설 시 레이아웃 미제거 문제 - 구조물 이음부의 치밀작업 및 예복시 도포 미준수 문제 - Con' c 바닥 양생 전 차재 격차 문제 (충격에 의한 강도저하) - Con' c 양생기간 미준수 문제 - 응결 및 초기 경화 전에 상수 혹은 빙결 설치로 현상제 불량 - 트랜스퍼 거더 정착근 품질 미확보
대상 공종	예 상 문 제 점
거푸집공사	<ul style="list-style-type: none"> - 계단실 타설 전 간부 수평 부속제 문제 - 강도/양생 방법도(음력) 미준 - 동바리 콘크리트간 미준수 - 슬래브 처짐 - 벽의 처짐 및 배부름 - 상/하층간 이어치기(부위) 미준 - 서포트 수직불량 - 청소불량 - 거푸집 자체의 사용횟수 초과 - 유격, 수직도, 표면 요철의 현상 불허 미준수 문제 - 청소 하루 경사방향 (박 > 완으로 역주행) 문제 - 박리제 도포량 및 지수관 설치상태 적정성 문제 - 동바리 및 수평재 설치 간격 미준수 문제 - 슬래브 조인트 관리 미준
작 서포트 관리	<ul style="list-style-type: none"> - 동장미차량의 중앙 강도 및 구조제안서 미 미지 - 상/하층의 각 서포트 수직관리 - 차량 이동구간의 각 서포트 수량, 간격 미준수 문제 - 윈드크 등 중량비 세팅위치 미 검토 - 오이스트 허복중 적서포트 미 설치로 인한 균열 발생 - 지형추차장 차량진입으로 균열 발생 - 지형추차장 각 서포트 일회 이동에 의한 균열 발생

그림 2.2.27 중점 품질관리 계획 대상 공종 예상 문제점

- 중점품질관리계획의 대상 공종 관리계획(그림 2.2.28)에서 철근배근공사는 기둥 주열부 뚫림전단 파괴를 방지하기 위한 전단 보강근의 배근 확인, 이음위치는 원칙적으로 콘크리트에 항상 압축응력이 발생하고, 응력이 적은 부분에 배근하고 이음이 한곳에 집중하지 않고 서로 엇갈리게 배근한다 등, 동바리 관리는 주차장의 허용중량 등 구조검토를 받았는지 확인, 작업하중 중량을 반드시 확인 등이 포함되어 있음.

중점품질관리계획 중점품질관리 공종의 세부관리항목		중점 품질관리대상 세부관리항목		중점 품질관리대상 세부관리항목	
대상공종	중점 품질관리대상 세부관리항목	대상공종	중점 품질관리대상 세부관리항목	대상공종	중점 품질관리대상 세부관리항목
<p>[중점 관리대상]</p> <p>1. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>2. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>3. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>4. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>5. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>6. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>7. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>8. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>9. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>10. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p>		<p>[중점 관리대상]</p> <p>1. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>2. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>3. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>4. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>5. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>6. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>7. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>8. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>9. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>10. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p>		<p>[중점 관리대상]</p> <p>1. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>2. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>3. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>4. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>5. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>6. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>7. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>8. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>9. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p> <p>10. (중점 관리 대상) 건물 외벽면 마감 공사의 품질을 관리한다.</p>	

그림 2.2.29 중점품질관리계획 중점품질관리 공종의 세부관리항목

- 건설사업관리자의 중점품질관리계획은 적절하게 작성되었다고 볼 수 있으나, 중점품질관리계획에서 제시한 무량판(플랫슬래브)구조의 전단보강근70) 및 동바리 관리는 소홀하였으며, 한중 콘크리트 관리만큼 중요한 서중 콘크리트 관리가 누락되어 KCS 14 20 41 서중 콘크리트에 의한 관리는 다소 미흡하다고 볼 수 있음.

사진 대지



내 용 -2ACTV 전단보강근 (#36.06 Level 208동 주변 주차장)



내 용 -2C1BV 전단보강근 배근 (#41.06 Level 203동 주변 주차장)

사 진 대 지

인원집단 AA13-1.28. 아미르건설공사



위 치 202-209동 지붕을 주차장 슬래브

사 전 실 명 철근배근 완료 후

일 지 2022.07.27



위 치 202-209동 지붕을 주차장 슬래브

사 전 실 명 철근배근 완료 후

일 지 2022.07.27

208동 주변 무량판구조 전단보강근 검측 202동 주변 무량판구조 전단보강근 미검측

그림 2.2.30 전단보강근 관리

70) 건설사업관리단 제출서류(발체)

- 건설사업관리자는 “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침”⁷¹⁾ 제56조 및 한국토지주택공사 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”⁷²⁾에 의거하여 “검측업무지침”⁷³⁾을 작성하여 한국토지주택공사의 승인을 득한 후 검측업무 시행함.

표 2.2.9 검측업무지침 작성기준 관련규정

“건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제56조	한국토지주택공사 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”
<p>⑪ 건설사업관리기술인은 다음 각 호의 검측업무 수행 기본방향에 따라 검측업무를 수행하여야 한다.</p> <p>1. 현장에서의 시공확인을 위한 검측은 해당 공사의 규모와 현장조건을 감안한 『검측업무지침』을 현장별로 작성·수립하여 발주청의 승인을 득한 후 이를 근거로 검측업무를 수행. 다만, 「검측업무지침」은 검측하여야 할 세부공종, 검측절차, 검측시기 또는 검측빈도, 검측체크리스트 등의 내용을 포함.</p>	<p>⑩ 건설사업관리기술인은 다음 각 호의 검측업무 수행 기본방향에 따라 검측업무를 수행하여야 한다.</p> <p>1. 해당 공사의 규모와 현장조건을 감안한 『검측업무지침』을 현장별로 작성·수립하여 LH의 승인을 득한 후 이를 근거로 검측업무를 수행. 다만, 「검측업무지침」은 검측하여야 할 세부공종, 검측절차, 검측시기 또는 검측빈도, 검측체크리스트 등의 내용을 포함.</p>

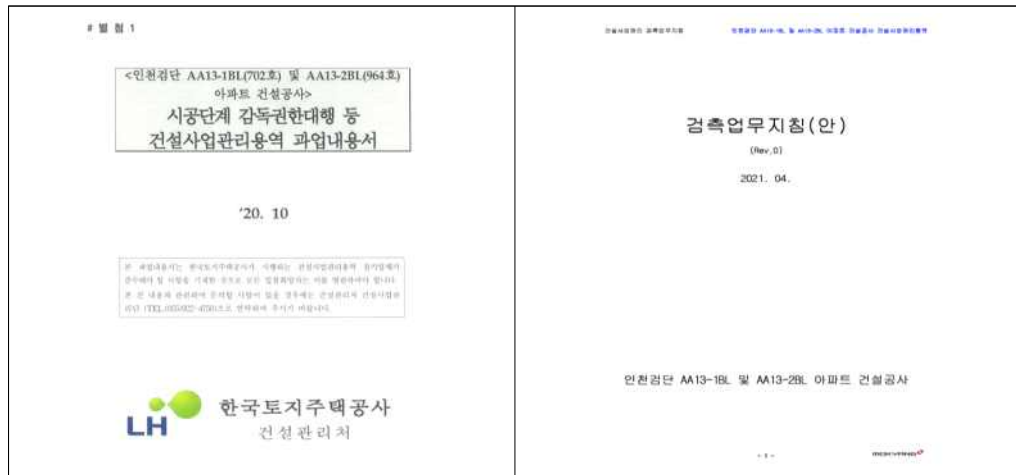


그림 2.2.31 과업내용서 및 검측업무지침

- “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제56조 및 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”에 의거하여 수립된 “검측업무지침”은 시공관련자에게 배포하여 주지시켜야 하고, 확실한 이행을 위한 교육을 시켜야 한다. 라고 규정하고 있는데 실질적인 작동이 이루어지지 않아 붕괴에 이르게 된 것은 관련규정을 미준수 한 것으로 판단됨.

71) “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침”(발체)

72) “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”(발체)

73) 건설사업관리단 제출서류(발체)

표 2.2.10 검측업무지침 주지 및 교육 관련규정

“건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제56조	한국토지주택공사 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”
2. 수립된 검측업무지침은 모든 시공관련자에게 배포하여 주지시켜야 하고, 보다 확실한 이행을 위한 교육 실시.	2. 수립된 검측업무지침은 모든 시공관련자에게 배포하여 주지시켜야 하고, 보다 확실한 이행을 위한 교육 실시.

- “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제56조 및 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”에서는 검측업무는 1차는 시공사 담당기술인이 검측체크리스트를 첨부한 검측요청서 작성하여 건설사업기술인에게 제출하면 2차는 건설사업기술인이 검측을 실시하고, 책임 건설사업기술인의 확인 후 문서로 시공사에게 통지하게 되어 있으나, 한국토지주택공사의 “주요공사 시공확인서”에는 별도로 책임건설사업관리기술인의 확인절차가 누락되어 “주요공사 시공확인서” 개정 검토가 필요함.

표 2.2.11 검측업무지침 관련규정

“건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제56조

⑫ 건설사업관리기술인은 다음 각 호의 검측절차에 따라 검측업무를 수행하여야 한다.

1. 검측체크리스트(별지 제36호 서식)에 의한 검측은 1차적으로 시공자의 담당기술인이 점검하여 합격된 것으로 확인한 후, 그 확인한 검측체크리스트를 첨부하여 검측요청서를 건설사업관리기술인에게 제출하면 현장확인 검측을 실시하고, 그 결과를 서면으로 통보.

한국토지주택공사 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”

⑪ 건설사업관리기술인은 다음 각 호의 검측절차에 따라 검측업무를 수행하여야 한다.

1. 검측체크리스트(국토부 고시 “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 별지 제36호 서식)에 의한 검측은 1차적으로 시공자의 담당기술인이 검측체크리스트를 첨부하여 검측요청서를 건설사업관리기술인에게 제출하면 건설사업관리기술인은 그 내용을 검토하여 현장확인 검측을 실시하고, 책임건설사업관리기술인의 확인 후 문서로 시공사에게 통지.

“건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침”의 검측요청서

한국토지주택공사 “시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서”의 주요공사 시공확인서

(별지 제36호 서식)

(별첨표준서) 주요공사 시공확인서 제 2판(2022.)

검측요청서 결과 통보내용

주요공사 시공확인서

(별첨표준서) 공사 시공확인서

1 검측요청서 및 검측결과통보

검측요청서

번호 : 20 . . .

발출 : ○○공사 책임건설사업관리기술인 ○○○

다음과 같은 세부공정에 대하여 검측요청 하오니 검사 후 승인하여 주시기 바랍니다.

위 치	및	종 류
검 측	부	위
검 측	요 구	일 기
검 측	기	항

붙임 : 시공자의 검측 체크리스트, 시험결과, 시공자의 바깥 및 도면, 공사 참여자(기술원 포함) 실명부

시공사 (인)

책임건설사업관리기술인 (인)

검측결과 통보

번호 : 20 . . .

발출 : ○○공사 현장대리인 ○○○

문서번호 ○○○로 검측요청 한 것에 대하여 20 검측한 결과를 다음과 같이 통보합니다.

1. 검측결과

2. 지시사항

붙임 : 건설사업관리기술인의 검측 체크리스트

검측건설사업관리기술인 (인)

책임건설사업관리기술인 (인)

※ 작성요령

1. 재검측시에는 붉은 글씨로 “재”를 우측 상단에 작성합니다.

2. 시공자가 재검측 요청할 때에는 잘못 시공한 기술자의 설명을 받아 그 명단을 첨부하여야 합니다.

3. 3부 작성하여 시공사, 건설사업관리기술인 각 1부를 보관하여야 합니다.

주요공사 시공확인서

(별첨표준서) 공사 시공확인서

[중 략]

① 공시번호 : AA12-2 (22-22-철종-지9-24호) ③ 공시 성 : 책임건설사업관리기술인

② 발주일자 : 2022. 07. 27 ④ 공시 지역 : 인천광역시(NA7-18, 동 248, 249호, 250호)

⑤ 시공관리대상 : 공로지의 지반강화 및 도로부 ⑥ 공사명 : 2022-2024년 차량용 주차장 부설공사

부 공시명 : 대한 시공확인서 (별첨표준서)

⑦ 총괄감독자 : 1차 장 동 호 (인) 2차 함영태 (인) 3차 이 재 복 (인)

⑧ 현장감독자 : 1차 장 동 호 (인) 2차 함영태 (인) 3차 이 재 복 (인)

⑨ 감독직위자 : 1차 2022. 07. 28 2차 3차

■ 시공확인서 제36조제1항 제2호에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

31세에 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

부 부속 (별첨표준서) 제36조제1항 제2호에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑨ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑨ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑨ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑨ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑨ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑨ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑩ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑪ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑫ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑬ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑭ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑮ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑯ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑰ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉑ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉒ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉓ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉔ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉕ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉖ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉗ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉘ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉙ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉚ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉛ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉜ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉝ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉞ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㉟ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊱ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊲ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊳ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊴ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊵ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊶ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊷ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊸ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊹ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊺ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊻ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊼ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊽ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊾ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

㊿ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

① 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

② 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

③ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

④ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑤ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑥ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑦ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한 시험결과, 감독직위자 확인일자, 확인일자

⑧ 공시명 : 부속한 시험결과에 대한

- 2022년 7월 6일 및 2022년 7월 28일 타설한 “주요공사 시공확인서”의 사진대지⁷⁴⁾에서도 전단보강근 시공상세도가 누락되어 중점품질관리계획에서 제시한 전단보강근 검측은 하지 않은 것으로 판단됨.

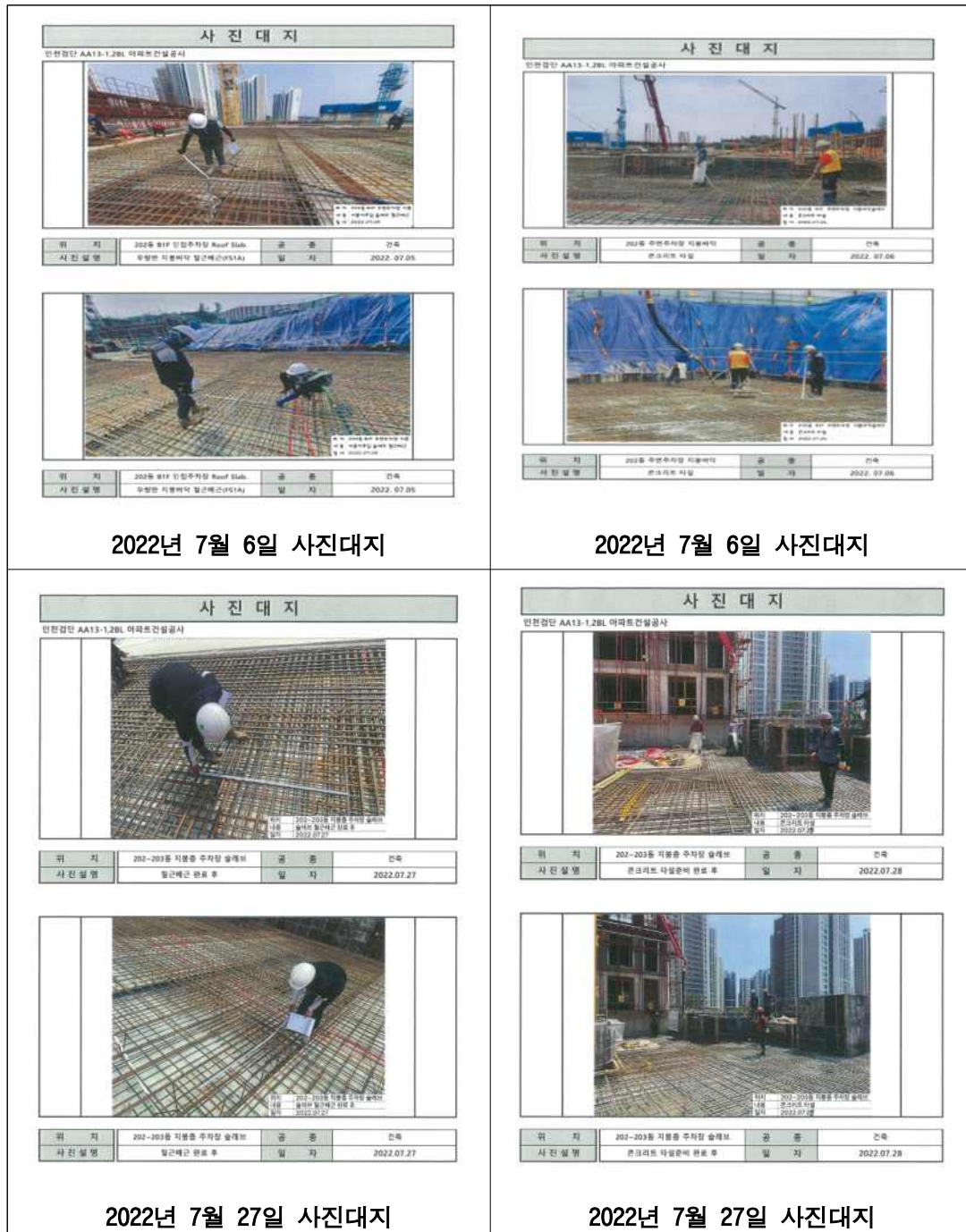


그림 2.2.32 주요공사 시공확인서 사진대지

74) 7월 건설사업관리보고서(발췌)

(9) 설계도서 검토 준수 여부

- 시공사에서 제출한 인천검단 AA12-2BL 진행경과⁷⁵⁾에 의하면 착공승인이 2021년 5월 21일에 되었으나 구조설계서는 미확정된 상태였음. 이후 2021년 9월 17일에 구조설계서가 확정됨에 따라 건설사업관리자 및 시공사는 구조검토 지연이 발생되고, 공사 진행에 영향을 미쳤다고 판단됨.

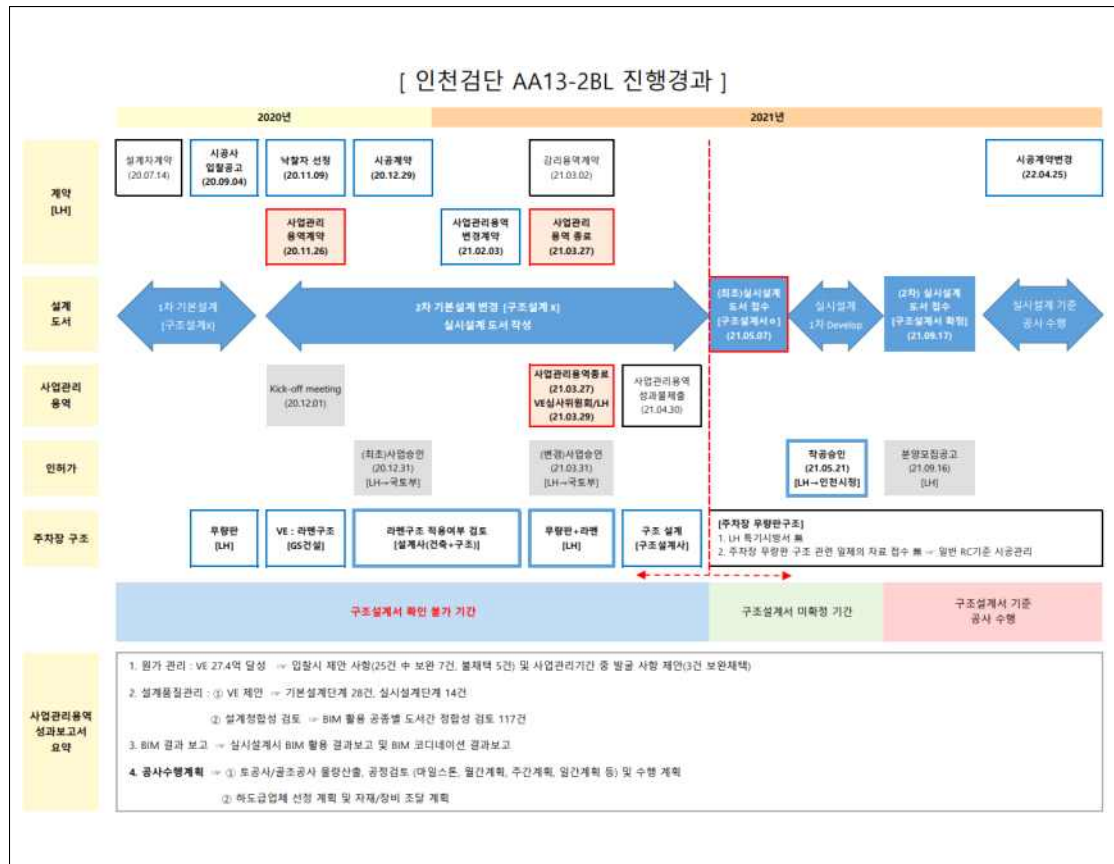


그림 2.2.33 인천검단 AA12-2BL 진행경과

- 인천검단 AA12-2BL 진행경과에 의하면 2021년 5월 21일에 구조설계가 미확정된 상태에서 착공승인이 되었음
- 한국토지주택공사는 “건설기술 진흥법” 제48조 및 동법 시행규칙 제41조 및 “건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제51조에 의한 설계도서 작성 및 검토업무를 수행할 수 있는 제반 여건 제공이 미흡하다고 판단됨.

75) 시공사 제출서류(발채)

표 2.2.12 “건설기술 진흥법” 제48조 및 동법 시행규칙 제41조

“건설기술 진흥법” 제48조 및 동법 시행규칙 제41조

제48조(설계도서의 작성 등) ② 제1항에 따라 설계도서를 제출받은 건설엔지니어링사업자, 건설사업자 또는 주택건설등록업자는 해당 건설공사를 시공하기 전에 설계도서를 검토하고 그 결과를 발주청에 보고하여야 한다.

⑤ 건설엔지니어링사업자는 설계도서를 작성할 때에는 구조물(가설구조물을 포함한다)에 대한 구조검토를 하여야 하며 그 설계도서의 작성에 참여한 건설기술인의 업무 수행내용을 국토교통부장관이 정하는 바에 따라 적어야 한다.

⑥ 제1항부터 제5항까지의 규정에 따른 설계도서의 작성, 검토 및 확인에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.

규칙 제41조(설계도서의 검토 등) ① 법 제48조제2항에 따라 건설사업관리용역사업자, 건설사업자 또는 주택건설등록업자가 설계도서에 대하여 검토해야 할 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 설계도서의 내용이 현장 조건과 일치하는지 여부
2. 설계도서대로 시공할 수 있는지 여부
3. 그 밖에 시공과 관련된 사항

“건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침” 제51조

제51조(공사착수단계 설계도서 등 검토업무) ② 건설사업관리기술인은 설계서 등의 공사계약문서 상호간의 모순되는 사항, 현장 실정과의 부합 여부 등 현장시공을 중심으로 하여 해당 건설공사 시공이전에 적정성을 검토하여야 하며, 특히 기술지원기술인은 주요구조부(가시설물을 포함한다)를 포함한 기술적 검토사항과 공사감독자가 요청한 사항을 검토하여야 한다. 이 경우, 검토내용에는 다음 각 호의 사항 등이 포함되어야 한다.

4. 설계도면, 시방서, 구조계산서, 산출내역서 등의 내용에 대한 상호 일치여부.

(10) 하도급 검토

- 하도급에 대한 적정여부 검토⁷⁶⁾는 시공사에서 하도급 계약서류를 작성하여 건설사업관리자에게 제출하였으며, 건설사업관리자는 “건설산업기본법”, “하도급거래 공정화에관한법률”, 공사계약 일반조건 및 특수조건, LH건설관리지침에 맞게 검토하여 한국토지주택공사에 제출하였으므로 하도급에 대한 적정여부 검토는 적절하게 이루어짐.

76) 건설사업관리단 제출서류(발체)

2.3 계약관련법령 등 검토

2.3.1 관련 법령

(1) 시공책임형 건설사업관리

- 건설산업기본법

제2조 (정의)

9. “시공책임형 건설사업관리”란 종합공사를 시공하는 업종을 등록한 건설사업자가 건설공사에 대하여 시공 이전 단계에서 건설사업관리 업무를 수행하고 아울러 시공 단계에서 발주자와 시공 및 건설사업관리에 대한 별도의 계약을 통하여 종합적인 계획, 관리 및 조정을 하면서 미리 정한 공사 금액과 공사기간 내에 시설물을 시공하는 것을 말한다.

제26조(건설사업관리자의 업무 수행 등)

③ 건설사업관리자는 발주자를 위하여 선량한 관리자의 주의로 위탁받은 업무를 수행하여야 한다.

⑦ 제1항부터 제6항까지의 규정은 시공책임형 건설사업관리자가 수행하는 건설사업관리에도 적용한다.

- 건설기술 진흥법

제48조 (설계도서의 작성 등)

① 설계 업무를 수행하는 건설엔지니어링사업자는 설계도서를 작성하여 해당 건설공사에 대한 건설사업관리 업무를 수행하는 건설엔지니어링사업자, 건설사업자 또는 주택건설등록업자에게 제출하여야 한다.

② 제1항에 따라 설계도서를 제출받은 건설엔지니어링사업자, 건설사업자 또는 주택건설등록업자는 해당 건설공사를 시공하기 전에 설계도서를 검토하고 그 결과를 발주청에 보고하여야 한다.

- 건설기술 진흥법 시행규칙

제41조(설계도서의 검토 등)

① 법 제48조제2항에 따라 건설사업관리용역사업자, 건설사업자 또는 주택건설등록업자가 설계도서에 대하여 검토해야 할 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 설계도서의 내용이 현장 조건과 일치하는지 여부
2. 설계도서대로 시공할 수 있는지 여부
3. 그 밖에 시공과 관련된 사항

(2) 설계

- 건설기술 진흥법

제48조 (설계도서의 작성 등)

① 설계 업무를 수행하는 건설엔지니어링사업자는 설계도서를 작성하여 해당 건설공사에 대한 건설사업관리 업무를 수행하는 건설엔지니어링사업자, 건설사업자 또는 주택건설등록업자에게 제출하여야 한다.

- 건설기술 진흥법 시행규칙

제40조 (설계도서의 작성)
 ① 발주청또는 설계 업무를 수행하는 건설엔지니어링사업자는 다음 각 호의 기준에 따라 설계도서(설계도면, 설계명세서, 공사시방서, 발주청이 특히 필요하다고 인정하여 요구한 부대도면과 그 밖의 관련 서류를 말한다. 이하 같다)를 작성해야 한다.
 1. 설계도서는 누락된 부분이 없고 현장기술인들이 쉽게 이해하여 안전하고 정확하게 시공할 수 있도록 상세히 작성할 것

(3) 감독권한대행 등 건설사업관리

- 건설산업기본법

제26조(건설사업관리자의 업무 수행 등)
 ③ 건설사업관리자는 발주자를 위하여 선량한 관리자의 주의로 위탁받은업무를 수행하여야 한다.

- 건설기술 진흥법

제39조(건설사업관리 등의 시행)
 ⑥ 제2항에 따라 건설사업관리를 수행하는 건설엔지니어링사업자는 다음 각 호의 업무를 수행하여야 한다. 이 경우 건설엔지니어링사업자는 소속 건설기술인 중 대통령령으로 정하는 건설기술인에게 해당 업무의 수행을 지시하여야 한다.
 1. 시공이 설계도면 및 시방서의 내용에 적합하게 이루어지고 있는지에 대한 확인

- 건설기술 진흥법 시행령

제59조(건설사업관리의 업무범위 및 업무내용)
 ③ 감독 권한대행 등 건설사업관리에는 다음 각 호의 업무가 포함되어야 한다.
 3. 시공이 설계도면 및 시방서의 내용에 적합하게 이루어지고 있는지에 대한 확인(제101조의2제1항 각 호의 가설구조물이 시공상세도면 및 시방서의 내용에 적합하게 설치되었는지에 대한 확인을 포함한다)
 8. 설계내용의 현장조건 부합성 및 실제 시공 가능성 등의 사전검토

(4) 시공

- 건설산업기본법

제7조 (건설 관련 주체의 책무)
 ③ 건설사업자는 다음 각 호의 사항을 성실히 이행할 책무를 진다.
 1. 시설물의 품질과 안전이 확보되도록 건설공사 및 건설용역에 관한 법령을 준수할 것
 3. 설계도서(設計圖書), 시방서(示方書) 및 도급계약의 내용 등에 따라 성실하게 업무를 수행할 것

2.3.2 계약관계 검토

(1) 시공책임형 건설사업관리 : 지에스건설㈜ 공동수급체

- 시공책임형 CM 사업관리계약(2020. 11. 26.)
- 시공책임형 CM 입찰안내서(2020.09.)

1.2 용어의 정의

3. “시공책임형CM 사업방식”이라함은 공공주택건설사업을 수행함에 있어 설계검토 등 사업관리역량 및 시공역량을 모두 보유한 종합건설업체를 실시설계단계에 조기 선정하여 발주자가 선정한 설계사와 협업을 통하여 설계를 수행하고 이후 종합건설업체와 시공계약을 체결하여 그 금액 범위 내에서 공사를 수행하는 사업방식을 말한다. 이러한 발주제도 도입의 목적은 시공 노하우와 함께 BIM 프로세스를 적용하여 설계에 사전 반영함으로써 시공성을 향상(설계오류, 재시공 감소)하고 설계-시공의 연계를 통한 사업비, 공사기간 등 공사관리의 효율성을 제고함과 동시에 국민들에게 품격 높은 주택을 공급하여 주거수준 향상을 도모하고 쾌적한 주거생활에 이바지함에 있다.
- 8.“사업관리계약자”라함은 입찰안내서에 따라 작성한 사업계획서 및 입찰서를 LH에 제출하여 제반절차에 따라 평가받아 가장 우수한 입찰자로 선정하여 통지된 자로서, 공사의 효율적인 시행과 완성을 위하여 시공계약 전까지 제시한 사업관리계획서에 따라 실시설계를 LH와 공동으로 검토 관리하는 자를 말한다.
- 11.“사업관리계약”이란 시공책임형CM으로 발주된 공사계약에 따라 실시설계단계에서 설계검토 등 사업관리 범위 등을 정하여 사업을 수행하기로 약정하는 계약을 말한다.

1.10 과업 수행 시 준수 사항

- (14) 계약상대자 등은 입찰안내서에 정해진 기간 내에 실시설계를 완료될 수 있도록 사업관리용역을 수행하여야 한다.
- (18) 계약상대자 등은 입찰안내서에 따라 공사계약체결 전까지 공사수행에 필요한 실시설계단계 사업관리용역을 수행하며, 실시설계 수행 시 주·월간진도보고서를 발주자에게 제출하여야 한다.

2.7 사업관리용역 주요업무에 따른 참여자간 업무구분

주요 건설용역 업무		발주처	설계사	계약상 대자	비 고	
설계 관리	설계서 작성		○	△		
	설계서 검토 및 대안 제시	◎	△	○		
	설계서 승인(변경사항 포함)	○				
	3D BIM 모델링		△	○		
	2D도면과 3D모델 비교 검토		△	○		
	3D 조율(Coordination)	△	△	○	필요 공종	
	VE 활동	1) VE 요소 발굴	◎	◎	○	
		2) VE 검토	◎	◎	○	
		3) VE 승인	○			
	시방서 작성		○	◎	계약상대자 : 신공법 등 VE 제안 관련 특기시방서 작성	
	시공성 검토		△	○		
	설계사합동회의체(BRM)	△	◎	○		
공사비 관리	전체 공사비관리	◎	△	○	변경사항 추적관리 포함	
	공사비 산출 및 견적		△	○		
시공 계획 수립	공정계획 수립 및 최적화	△		○	인력, 자재/장비, 가설공사, 작업동선 등	
	공사수행계획 수립			○		
	자재 구매조달 계획	△		○	지급자재 포함	

※ ◎: 공동수행, ○: 주관, △: 지원

※ 공사비 산출 및 견적 : (설계사) 물량산출/설계가산출, (계약상대자) VE제안 산출금액 추가 자료 작성 및 실행예가 산출

(2) 설계(건축) : ㈜유선엔지니어링건축사사무소 공동수급체

- 설계용역계약서(2020. 7. 14.)
- 공동수급협정서(2020. 5. 25.)
- 하도급(전문협력) - ㈜형상엔지니어링(구조계산)
(주)형상이엔지건축사사무소기술사사무소(구조도면)

(3) 감독권한대행등건설사업관리(시공단계) : ㈜목양종합건축사사무소 공동수급체

- 시공단계 감독권한대행 등 (통합)건설사업관리용역계약서(2021. 3. 2.)
- 시공단계 감독권한대행 등 (통합)건설사업관리용역계약서(2023. 2. 16)
- 공동수급 운영 협약서(2021. 4. 20.)

(4) 시공 : 지에스건설㈜ 공동수급체

- 건설공사 도급계약서(2020. 12. 29.)
- 공동수급협정서
- 하도급 - 상하건설㈜(철콘·비계구조물해체공사업)
아세아종합건설(조경식재·시설물공사업)

2.4 소결

2.4.1 설계 도면 및 구조 계산서 검토

- 지하 1층 상부슬래브, 지하 2층 상부슬래브에 적용된 설계하중을 구조계산서와 설계도면, 구조해석 각각에 대하여 비교, 검토한 결과, 지하 1층 상부 슬래브 자중은 구조해석파일에서 적절하게 고려되었으며, 해석파일에 적용된 활하중으로 구조계산이 수행된 것을 확인하였음. 지하 2층 상부 슬래브의 고정하중은 구조계산서에 명시된 고정하중 보다 큰 하중으로 구조해석을 수행하였고, 활하중의 경우에는 구조계산서와 구조해석에 동일한 하중이 적용되었음.
- 검토 구간의 검증 모델을 다시 구현하여 수행한 구조해석 결과를 구조계산서와 비교한 결과, 지하 1층 기둥의 반력은 구조계산서가 크고, 지하 1층 상부 슬래브의 휨모멘트는 구조계산서가 작은 것으로 확인되었음.
- 검토 구간 지하 1층 상부 슬래브의 이방향 뿔림전단 검토 결과, 전단보강근이 설치되지 않으면 이방향 뿔림전단 내력은 부족한 것으로 평가됨.
- 검토 구간 기둥, 지하 1층 상부 슬래브 휨 설계, 지하 2층 상부 데크슬래

브 설계, 지하 2층 상부 일방향 보에 대해서는 구조계산서의 설계 결과가 적정한 것으로 판단됨.

- 설계도면 검토 결과, 구조부재 일부에서 배근 등이 구조계산서와 구조도면 상에 상이하게 나타남.

2.4.2 공사관련기준 등 검토

- 콘크리트 타설 관리는 일부 건설사업관리기술인 업무일지에 기록이 누락된 경우도 있으나 압축강도 시험결과는 기준을 상회하여 적정함.
- 거꾸집동바리 해체관리는 적정하게 이루어짐.
- 이후 지하주차장 상부에 토사가 없는 상태에서 공사차량 운행하는 조건으로만 동바리 설치 계획을 검토함.
- 조경공사 시 지하주차장 상부 슬래브에는 LH 설계지침(구조) 9. 공사 중 슬래브 동바리 설치기준에 의거하여 동바리를 해체하고, 뿔칠 공사를 진행하던 상태로서 토사의 과하중 가능성이 있으며, 토사 적재, 각종 장비 운영 등을 반영한 구조검토는 없었음.
- 건설사업관리자 중점품질관리계획에 전단보강근에 대한 내용은 작성되어 있었으나, 서중 콘크리트 관리부분은 누락되어 있음.
- 건설사업관리자의 철근작업상세도 확인 및 승인 과정에서 전단보강근 누락을 발견하지 못하였으며, 현장 배근상태 검증에서도 누락된 것을 발견하지 못하고 콘크리트 타설 승인함.
- LH공사 시방서(LHCS 10 10 05 25)의 공사사진 촬영대상부위 및 사진 정리방법에 의한 사진 촬영과 사진 정리 자료가 없음.
- 착공승인 시점에 구조설계서가 미확정된 상태로 발주청이 설계도서 작성 및 검토 업무를 수행할 수 있는 제반 여건 제공이 미흡하였다고 판단됨.
- 하도급에 대한 적정 여부 검토는 적정하게 이루어짐.

2.4.3 계약관련법령 등 검토

- 시공책임형 건설사업관리의 입찰안내서에 따르면, 발주처는 설계서 승인과 VE 승인을 주관하고, 설계사는 설계서와 시방서 작성을 주관하며, 계약대상자는 설계서 작성을 제외한 대부분의 설계관리 업무와 공사비 관리업무, 시공계획 수립업무를 주관하도록 되어 있음.

제3장 현장조사

3.1 사고현장 현황 조사

- 사고 발생 후 5월 10일, 5월 22일, 6월 1일 등 3차례에 걸쳐 방문하여 확인한 사고현장 상황은 다음과 같음.
 - 지하 1층과 지하 2층 상부 슬래브가 뚫림전단의 형태로 붕괴되면서 기둥은 그대로 남아 있고(그림 3.1.1, 3.1.2), 붕괴된 지하 1층 상부 슬래브 위에 적재되어 있던 토사와 EPS 블록 등이 하부로 내려와 있는 상태였음. (그림 3.1.3, 3.1.4)
 - 사고 인근 슬래브는 동바리로 받쳐져 있었으며, 외부로 노출된 붕괴 부위는 천막으로 덮여 있었음. (그림 3.1.5, 3.1.6)
 - 붕괴된 지하 1층 상부 슬래브 주변으로 철근 이음을 했던 위치를 확인하였고(그림 3.1.7), 붕괴부위 인근 기둥 주변으로 전단보강이 되지 않은 채 철근이 노출되어 있는 부분을 확인하였음. (그림 3.1.8)
 - 지하 2층에서는 상부 슬래브가 붕괴되면서, 토사가 바닥까지 흘러내려 오고 스틸데크 파괴와 인근 보의 전단 균열이 관찰되었음. (그림 3.1.9)



그림 3.1.1 슬래브 붕괴



그림 3.1.2 잔존 기둥



그림 3.1.3 지하로 흘러내린 토사



그림 3.1.4 지하로 흘러내린 EPS 블록



그림 3.1.5 동바리 받침



그림 3.1.6 외부 전경



그림 3.1.7 철근 이음 부위



그림 3.1.8 전단보강근 미배근

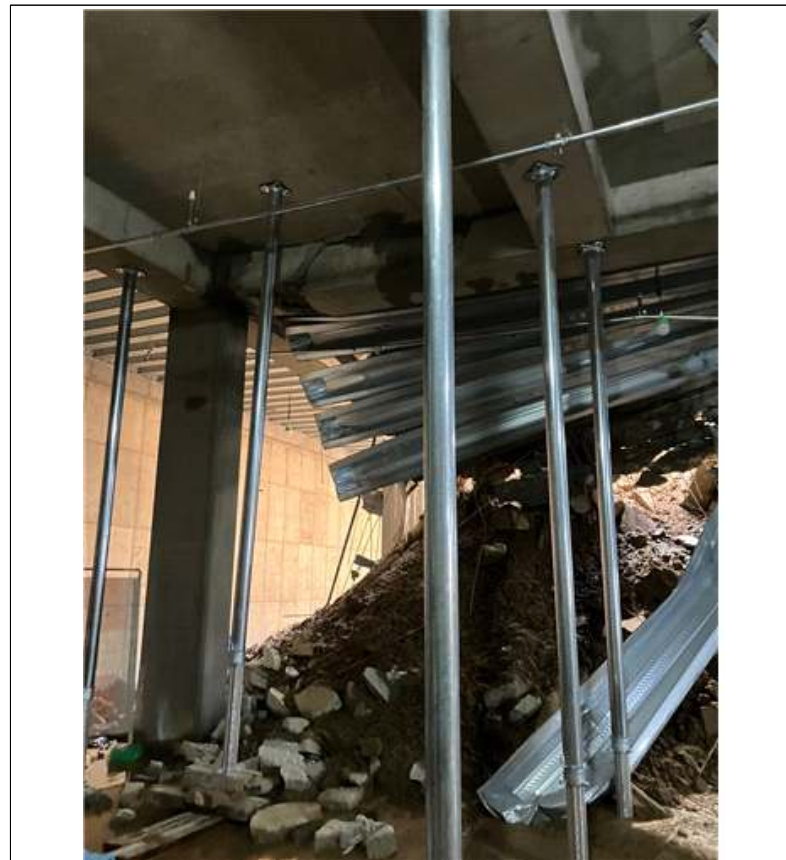


그림 3.1.9 지하 2층 슬래브 붕괴 및 보 전단 균열

3.2 시공품질 조사

3.2.1 레미콘 공사개요

(1) 레미콘 공통사항

- 붕괴 사고 구간을 포함하는 지하 1층 상부 슬래브 전체는 2022년 7월 6일, 7월 11일, 7월 28일, 8월 25일 4차례에 걸쳐 가야, 한일, 고려, 삼덕, 정서진, KYPC 등 총 6개 업체의 레미콘이 타설되었음. 타설일, 업체명, 타설량은 표 3.2.1과 같으며, 타설 레미콘의 공통 기본 사양은 표 3.2.2에 나타내었음.

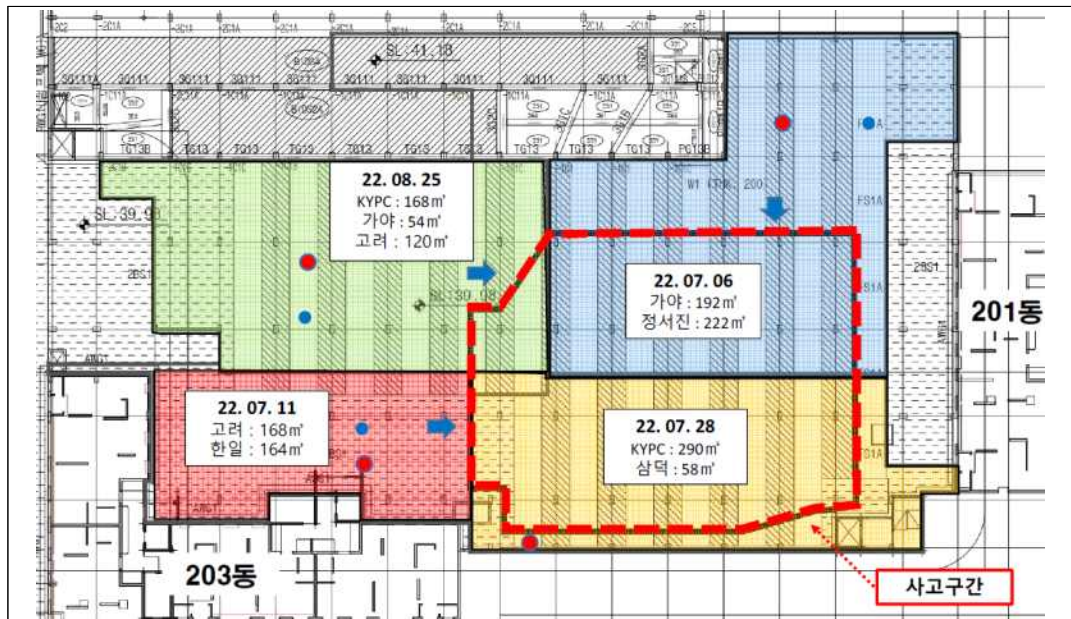


그림 3.2.1 타설 레미콘 정보 및 사고구간

표 3.2.1 타설 레미콘 정보 (타설일, 업체명, 타설량 등)

No.	타설일	업체명-1	업체명-2	업체명-3	비고
1	2022.07.06	가야(192 m ³)	정서진(222 m ³)	-	사고구간
2	2022.07.11	한일(164 m ³)	고려(168 m ³)	-	
3	2022.07.28	삼덕(58 m ³)	KYPC(290 m ³)	-	사고구간
4	2022.08.25	가야(54 m ³)	고려(120 m ³)	KYPC(168 m ³)	사고구간(일부)

표 3.2.2 타설 레미콘 공통 기본 사양

구분	사양
레미콘 규격	25-24-150
시멘트 종류	1종 보통 포틀랜드시멘트
혼화제	고성능 AE 감수제 (B×0.8%)
혼화제	플라이애시 2종 (B×10%)
품질시험구분	슬럼프(150 mm), 공기량(4.5±1.5 %), 염화물 함유량(0.3 kg/m ³), 공시체 강도시험(24 N/mm ²)

(2) 레미콘 배합설계

- 표 3.2.3은 레미콘(25-24-150규격)의 납품업체별 시방배합표를 요약·정리한 것임.

표 3.2.3 콘크리트 배합표

W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m³)	단위질량(kg/m3)				HRWR (kg/m³)	납품 업체	
			OPC	FA	S	G			
47.1	47.5	165	315	35	839	935	2.80 (B×0.8%)	가야	
			350						
47.8	48.6	165	310	35	871	929	2.76 (B×0.8%)	정서진	
			345						
47.1	47.5	165	315	35	839	935	2.80 (B×0.8%)	KYPC	
			350						
47.3	49.2	165	314	35	892	921	2.79 (B×0.8%)	삼덕	
			349						
47.0	49.4	165	316	35	881	906	2.81 (B×0.8%)	고려	
			351						
47.1	48.6	165	315	35	437	437	928	2.80 (B×0.8%)	한일
			350		874				

※ W/B : 물-결합재비, S/a : 잔골재율, OPC : 보통 포틀랜드시멘트(1종), FA : 플라이애시(2종), W : 물, S : 부순 잔골재, G : 부순 굵은골재, HRWR : 고성능AE감수제

(3) 레미콘 생산(원재료 관리 등) 현황조사

- 표 3.2.4는 레디믹스트 콘크리트 배합승인서의 콘크리트 배합표에서 각 레미콘사별 사용재료의 현황을 요약·정리한 것임.

표 3.2.4 각 레미콘사의 사용재료 현황

레미콘사 사용재료	가야	KYPC
시멘트	°보통 포틀랜드시멘트(1종:한라시멘트, 옥계) : 밀도 3.15	°보통 포틀랜드시멘트(1종:한라시멘트, 옥계) : 밀도 3.15
잔골재	°부순 잔골재(케이와이PC, 인천) : 표건밀도 2.60(조립률 3.09)	°부순 잔골재(케이와이PC, 인천) : 표건밀도 2.60(조립률 3.1)
굵은골재	°부순 굵은골재(케이와이PC, 인천) : 표건밀도 2.62(조립률 6.89)	°부순 굵은골재(케이와이PC, 인천) : 표건밀도 2.62(조립률 6.82)
혼화재	°플라이애시(2종:한국서부발전, 태안) : 밀도 2.2	°플라이애시(2종:한국서부발전, 태안) : 밀도 2.2
혼화제	°고성능AE감수제 표준형(실크로드, 아산)	°고성능AE감수제 표준형(실크로드, 음성)

레미콘사 사용재료	정서진	삼덕
시멘트	°보통 포틀랜드시멘트(1종:한라시멘트, 옥계) : 밀도 3.13	°보통 포틀랜드시멘트(1종) : 밀도 3.15
잔골재	°부순 잔골재(이지엠, 강화도) : 표건밀도 2.60(조립률 2.95)	°부순 잔골재 : 표건밀도 2.63(조립률 3.09)
굵은골재	°부순 굵은골재(도현, 인천) : 표건밀도 2.62(조립률 6.80)	°부순 굵은골재 : 표건밀도 2.63(조립률 6.95)
혼화재	°플라이애시(2종:한국기초소재, 영흥화력) : 밀도 2.14	°플라이애시(2종) : 밀도 2.2
혼화제	°AE감수제 표준형(실크로드, 평택)	°고성능AE감수제

레미콘사 사용재료	고려산업케이알	한일
시멘트	°보통 포틀랜드시멘트(1종:성신양회, 단양) : 밀도 3.14	°보통 포틀랜드시멘트(1종:한일시멘트, 단양) : 밀도 3.15
잔골재	°부순 잔골재(금강, 서구) : 표건밀도 2.59(조립률 3.05)	°부순 잔골재S1(수성자원개발, 인천) : 표건밀도 2.61(조립률 3.04) °부순 잔골재S2(수성자원개발, 인천) : 표건밀도 2.61(조립률 3.04)
굵은골재	°부순 굵은골재(금강, 서구) : 표건밀도 2.60(조립률 6.90)	°부순 굵은골재(수성자원개발, 인천) : 표건밀도 2.62(조립률 6.82)
혼화재	°플라이애시(2종:고려에프에이, 당진) : 밀도 2.23	°플라이애시(2종:한국서부발전, 태안) : 밀도 2.20
혼화제	°고성능AE감수제(한일산업, 천안)	°고성능AE감수제(한일산업, 천안)


3.2.2 레미콘 품질검토항목

(1) 지방배합보고서[표준/서중]

- 콘크리트(슬럼프, 공기량, 염화물 함유량, 압축강도)시험·검사 작업일지
- 콘크리트(거푸집 탈형용 압축강도)시험·검사 작업일지
- 사진대지(생콘크리트 물성시험, 압축강도 시험)
- 레디믹스트 콘크리트 배합표
- 콘크리트 시방배합 설계 내역서

(2) 콘크리트 시험·검사작업일지

- 콘크리트(슬럼프, 공기량, 염화물함유량, 압축강도)시험·검사 작업일지
- 사진대지(생콘크리트 물성시험, 압축강도 시험)
- 레미콘 시공품질관리 점검표
- 레미콘 계량오차 점검표
- 현장 배합 설계표
- 골재 입도 및 표면수
- 공정관리 입도시험
- 계량오차 검사(생산자료 리스트)

레미콘 품질시험 · 검사대장(2BL)			
공사명 : 인천첨단AA13-2BL 아파트건설공사 자재명 : 레디믹스트콘크리트			
<레미콘 품질시험 검사대장>			
원장명 : 인천첨단AA13-2BL 아파트건설공사			
시행번호	SQ-E-02-01-361	작성일자	2022년 7월 5일
시공종류	25~24-150	생성자	정서현
타설일자	2022년 7월 6일	최고/최저/평균	33.2/25.2/29.0
시공부위	202동 주차장 지하1층 지붕 콘크리트로본도	중량률%	29.3%
후주의 무체물		시행일자	2022년 7월 5일
<콘크리트 시험 검사 작업일지-1>			
사진 대지			
항 목 명	인천첨단AA13-2BL 아파트건설공사	시공부위	2022 동 주차장 지하1층 지붕
시험종류	25-24-150	태상형	192mm
타설일자	2022년 7월 6일	윤영환씨	카메라
1회		배관 두께를 측정하는 사진	시행일자 2022년 7월 5일
2회			3회
			
<콘크리트 시험 검사 작업일지-2>			
<사진대지>			
레이콘 시공품질관리 점검표			
공사명	인천첨단AA13-2BL 아파트건설공사	점검일자	2022년 7월 6일
자 재 품 질 관리 담당	가야 자재반입팀	수량	192mm
검사담당자와 기술인	소속 : ㈜중앙종합건축사무소 성병 이슬무 시행		
사용자	소속 : 자체소재센터	성명	한정훈 시행
시공위치	주요부분	202동 부위	202동 주차장 지하1층 지붕
<레이콘 시공품질관리 점검표>			
<현장배합 설계표>			

제출 일자: 2022. 7. 6.

그림 3.2.2 레미콘 품질 검토 항목 예시

3.2.3 레미콘 품질점검 결과

(1) 레미콘 원재료 품질의 적정성

- LH 시방서상 자재 품질관리 규정은 국가건설기준 일반콘크리트 KCS 14 20 10의 (2.자재)에 의거하여 KS 규격이내의 원재료를 사용하도록 규정하고 있음.

○ 자재 품질관리

- KCS 14 20 41(2.3)을 따르며, (2)번 항목을 추가하여 적용하고, 이 외의 사항은 LHCS 14 20 10 05(2.4)를 따름 즉, 일반콘크리트 KCS 14 20 10의 (2.자재)에 의거하여 KS 규격이내의 원재료 사용함

- 당 현장의 경우 레미콘 제조사별 사용 원재료(시멘트, 혼화재료, 굵은골재 및 잔골재, 화학혼화제)는 원재료 공급업체에서 제출한 시험성적서 상 관련 품질규격을 모두 만족하는 것으로 나타났음. 그러나 실제 레미콘에 사용된 원재료의 품질 적정성을 정확하게 평가하는 것에는 한계가 있음.

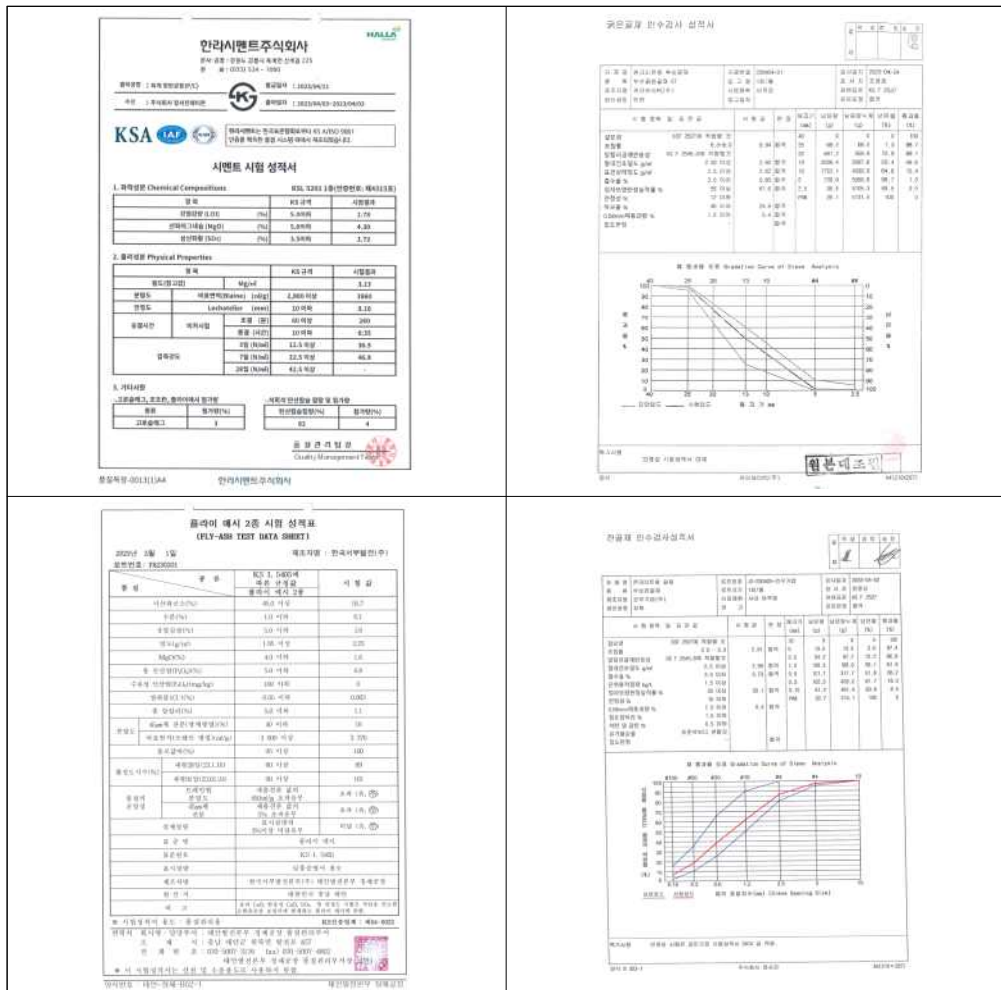


그림 3.2.3 원재료 시험성적서 일례

(2) 레미콘 시방배합

- 현장에 납품된 레미콘은 LH 시방서에 의해 배합설계가 되었으며 이 경우 LHCS 14 20 10 05에 따르면 국가건설기준 일반콘크리트 [KCS 14 20 10] 2.2 배합에 따르도록 규정하고 있음.

□ 일반콘크리트 배합 (LHCS 14 20 10 05)
 - 국가건설기준센터 일반콘크리트[KCS 14 20 10] 2.2 배합을 따른다.
 □ 서중 콘크리트 배합 (LHCS 14 20 41)
 - 국가건설기준센터 서중 콘크리트[KCS 14 20 41] 2.2 배합 규정에 의거하며, 이 외의 사항은 LHCS 14 20 10 05 (2.2)로 일반콘크리트[KCS 14 20 10] 2.2 배합을 따른다.

- 당 현장에 납품된 6개 레미콘사의 시방배합을 검토한 결과 국가건설기준 일반콘크리트 [KCS 14 20 10] 2.2 배합규정에 의거하여 배합설계가 이루어진 것으로 판단됨.
- 표 3.2.5에 나타난 바와 같이 시방배합 실험결과 레미콘의 슬럼프, 공기량 및 염화물량은 모두 관련 규격 범위 이내의 값을 나타냈으며, 배합강도의 경우 변동성의 관점에서 시방배합 강도보다 10~20%(최대 20%)의 분포를 보여 다소 높게 나타났음.

표 3.2.5 레미콘사별 시방배합의 압축강도 변동성

레미콘사	W/B (%)	S/a (%)	슬럼프 (mm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m3)	압축강도(N/mm2)			변동성(%)
						7일	28일		
							시방배합 강도	배합강도	
가야	47.1	47.5	160	4.2	0.023	25.9	31.8	28.4	12
정서진	47.8	48.6	150	4.6	0.0065	22.4	31.3	27.3	15
KYPC	47.1	47.5	150	4.5	0.029	26.5	31.8	28.4	12
삼덕	47.3	49.2	150	5.5	0.043	26.2	31.5	28.7	10
고려	47.0	49.4	150	4.5	0.047	20.8	33.6	27.8	20
한일	47.1	48.6	150	4.3	0.069	22.6	33.1	28.6	15

- KYPC/가야의 경우 2021년 6월 제출한 시험배합보고서의 본문 내용 중 콘크리트용 혼화재료로써 플라이애시(C2)를 결합재량의 10%를 치환하여 사용하였으나 콘크리트 시방배합 설계 내역서[p.3~p.11 참조]에 있어서는 슬래그파우더(C3)를 사용한 것으로 단순 오기하였음. 또한 콘크리트 시방배합 설계 내역서(25-24-150 규격)에서는 적용시방기준의 기준 슬럼프값이 설계조건 슬럼프(150±25 mm)값과 동일하여야 하나 80 mm로 오기하였음 (그림 3.2.4 참조).

[illegible]

콘크리트 배합설계 시험

시험구명	1	2	3	25	-24.3	-19.2	시공자	홍준기
시험일자	2020년 10월 5일						학번	20190101

① W/W의 단위 (단위: 배합량)

W/W (%)	W/W (%)	W	C1	C2	C3	S1	S2	ADP	ADP2
40.3	48.1	165	560	0	47	0	791	5.0	7.2
45.3	47.7	165	520	0	36	0	825	9.6	2.97
50.3	48.1	165	290	0	33	0	899	934	2.62

② 공시체 제작 및 압축강도 시험결과

W/W (%)	R/W	공시체 제작량	시험일자	시험결과
40.3	2.481	2020년 10월 15일	2020년 10월 15일	2020년 10월 15일
45.3	2.208	2020년 10월 15일	2020년 10월 15일	2020년 11월 2일
50.3	1.988	2020년 10월 15일	2020년 10월 15일	2020년 11월 2일

③ 압축강도 결과

배합량 (kg/m³)	40.3	45.3	50.3
R/W	2.481	2.208	1.988
재질명	2월강도	2월강도	2월강도
28.0	34.0	24.0	30.0
27.8	34.0	24.2	29.7
27.8	35.2	24.5	29.2
27.8	34.4	24.0	29.1
배합강도 (MPa)	90	121	85
배합강도 (MPa)	90	121	85

④ 2월강도 20MPa 6월강도

재질명	28.4	6월	47.7
-----	------	----	------

⑤ 강도변화 그래프

R/W	Strength (MPa)
0.988	28.4
2.208	34.0
2.208	24.0
2.481	29.7

계산에 의한 B/W 결정

(1) 방법 1) 첫 3번까지 W/O로 2.22회 중개해서 선행분류 대용량에서 B/W를 구한다.

예, 50/70 g/L, a2, a3 일때의 양도치 M1, M2, M3라고 하면 6.28 = A + B×B/W에서 A와 B를 산출

$$A = [a2(M1 - [a3(M2 / B)] - 10^4)$$

$$B = [a3(M1 - [a2(M2 / B)] - 10^4)$$

계기치

$$[a2] = a1^2 + a2^2 + a3^2$$

$$[a] = a1^2 + a2^2 + a3^2$$

$$[aM] = a1^2M^2 + a2^2M^2 + a3^2M^2$$

$$[M] = M1^2 + M2^2 + M3^2$$

(2) 방법 2)

구분	1 Batch	2 Batch	3 Batch
용-검출치(100/100) (%)	40.3	45.3	50.3
B/W(a2)	2.401	2.208	1.988
0.030(M2)	34.8	29.6	26.8

[a ~ b]

(3) 계산

$$[a2] = 2.401^2 + 2.208^2 + 1.988^2 = 14.993$$

$$[a] = 2.401 + 2.208 + 1.988 = 6.677$$

$$[aM] = (2.401 \times 34.4) + (2.208 \times 29.6) + (1.988 \times 26.8) = 203.186$$

$$[M] = 34.4^2 + 29.6^2 + 26.8^2 = 30.6$$

$$[aM] = [14.993 + 66.4] / (6.677 + 30.6) = 203.186 / 37.0 = 5.48888 \approx 5.49$$

$$B/W = [3 \times 203.186] / (6.677 + 30.6) = 609.558 / 37.0 = 16.4745 \approx 16.5$$

$$B/W = (2.401 + 8) / (16.2 + 2.125)$$

page 10

목차(목차2페이지)

시험배합의 결정

시험구명	1	2	3	25	0	24.0	0	150
------	---	---	---	----	---	------	---	-----

① 조반

물-합성재료비(w/w) (%)	조반용제비(w/w) (%)	조반용제비(w/w) (%)	조반용제비(w/w) (%)	조반용제비(w/w) (%)	조반용제비(w/w) (%)
47.1	47.5		155		480

조반용제비(w/w) (%)	0.8	%
조반용제비(w/w) (%)	0	%

② 합성 조반용제

조반용제	합성조반용제	합성조반용제	합성조반용제	합성조반용제	합성조반용제
W/R	47.1	0.453	0.471	1.0	0
		0.05			47.5

③ 재료별 성분

원재료명	원재료명					원재료명	원재료명	원재료명	원재료명
시멘트 (C1)	165	/	47.5	=	30	=	115	kg	100.0
골재(20 메쉬 (C2))	165	/	47.5	=	0	=	0	kg	0.0
골재(30 메쉬 (C3))	165	/	47.5	=	10	=	35	kg	19.9
단공목 (C4)	0	=	2.60	=	0	=	0	kg	0.0
부속 조반용제 (C5)	322.8	=	2.60	=	899	kg	322.8	679.1	55.94
부속 골반용제 (C6)	256.5	=	0.62	=	935	kg	356.5	54.10	kg
혼화제 (AD1)	350	=	0.8	/	100	=	2.6	kg	148.00
혼화제 (AD2)	350	=	0	/	100	=	0.00	kg	0.00
시멘트 (C6)	165	kg					165.0		9.90

④ 시험배합 결과별 결정

시험구명	W/R (%)	W/R (%)	W/R (%)	C1	C2	C3	S1	S2	AD1	AD2
47.1	47.5	165	935	0	35	0	899	935	2.60	0.00

page 11

제125호(50C)

그림 3.2.4 KYPC(주) 레미콘 시방배합 설계내역 일례

(3) 레미콘 시방배합 시험 검사 승인 결과

- 시방배합에 의한 콘크리트 관련 시험 결과는 시험검사자, 현장대리인 및 건설사업관리 기술인의 승인을 받은 것으로 확인하였음.

• 특히, 모든 항목(강도, 슬럼프, 공기량, 염화물량 등)에서 특이사항은 없었으며, 28일의 압축강도의 경우 모든 레미콘이 31.3~32.4MPa의 강도발현 특성을 나타내어 서류상 설계기준압축강도 24MPa를 크게 상회하는 것으로 나타났다.

그림 3.2.6 현장 배합표 일례

표 3.2.6 레미콘 받아들이기 품질검사 시험결과

타설 일자	슬럼프 (mm)	공기 량 (%)	염화 물량 (kg/m³)	콘크리트 온도 (℃)	압축강도(N/mm²)						납품 업체
					7일			28일			
2022.07.06	170 165	5.0 4.8	0.131 0.129	29.5	20.9	21.0	20.7	32.4	32.5	32.3	가야
					20.9			32.4			
	160 160	4.0 5.3	0.166 0.091	29.3	21.1	20.8	20.9	31.7	32.6	32.1	정서진
					20.9			32.1			
2022.07.11	165 170	4.0 4.5	0.03 0.068	28.7	22.3	20.7	21.4	31.3	32.5	32.1	한일
					21.5			32.0			
	165 160	5.0 4.2	0.082 0.034	29.5	20.8	21.7	21.0	31.7	32.9	31.3	고려
					21.2			32.0			
2022.07.28	150 160	4.7 5.4	0.067 0.021	28.8	20.9	21.4	20.6	31.6	31.4	31.5	KYPC
					21.0			31.5			
	170	4.0	0.092	27.9	20.9	21.2	21.8	30.6	32.1	31.1	삼덕
					21.3			31.3			
2022.08.25	165	4.8	0.036	27.0	21.6	22.0	21.1	31.3	32.1	31.8	가야
					21.6			31.7			
	160 160	4.3 4.8	0.054 0.044	26.2	21.2	21.3	21.0	31.5	31.8	31.8	KYPC
					21.2			31.7			
	165	4.5	0.066	28.7	21.9	20.7	21.3	31.7	31.9	32.3	고려
					21.3			32.0			

타설일자	콘크리트 시험·검사 사진대지	
2022. 07.06		
		
2022. 07.11		
		







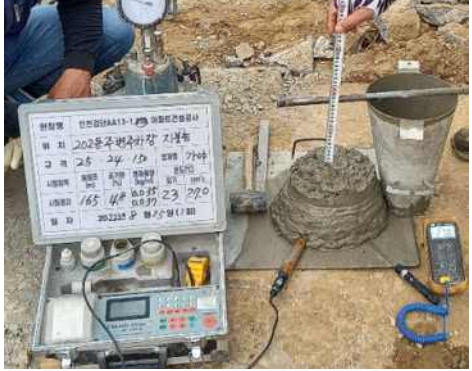
2022. 07.28	 <p>KYPC 1차</p>	 <p>KYPC 2차</p>
	 <p>삼덕</p>	
2022. 08.25	 <p>KYPC 1차</p>	 <p>KYPC 2차</p>
	 <p>고려</p>	 <p>가야</p>

그림 3.2.7 레미콘 받아들이기 품질검사 사진대지

콘크리트(슬럼프, 공기량, 염화물함유량, 압축강도) 시험 · 검사 작업일지

현장명 : 인천광역시AA13-29B, 인천항29B공사	타설량	192.4
시공현황 : 50-E-02-01-360	타설종류	29B
시공종류 : 25-24-150	생산자	KVIC
타설일자 : 2022년 7월 6일	최고/최저/평균	33.2/25.2/29.0
시공부위 : 202동 주차장 지하1층 지붕	콘크리트층온도	29.5℃

측정기종, 슬럼프, 염화물함유량				시험일자	2022년 7월 6일
시 험 결 과				기준	판정
슬럼프 (mm)	①			170	합격
	②			165	
	③			150 ± 25	
공기량시험 (%)	①	압박기공기량(%)	중량수용계수	공기량(%)	합격
	②	5.2	0.2	5.0	
	③	5.0	0.2	4.8	
염화물 함유량시험 (μg/g)	①	속성치(CI - %)		단위체중수당 (μg/g)	합격
	②	0.0333	0.0719	0.0780	
	③	0.0804	0.0883	0.0784	

※7일 압축강도				시험일자	2022년 7월 13일						
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정						
5-1	100.0	100.0	100.0	170000	21.5	20.9	14.8MPa	21.9	17.7MPa	적합	31.8
5-2	100.0	100.0	100.0	170000	21.5	21.8	14.8MPa	21.9	17.7MPa	적합	31.8
5-3	100.0	100.0	100.0	169000	21.3	20.7	14.8MPa	21.3	17.7MPa	적합	31.8

※28일 압축강도				시험일자	2022년 8월 3일					
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정					
5-1	100.0	100.0	100.0	260000	32.8	32.8	31.8MPa	32.8	34.0MPa	합격
5-2	100.0	100.0	100.0	250000	32.7	31.7	31.8MPa	32.7	34.0MPa	합격
5-3	100.0	100.0	100.0	250000	32.8	32.8	31.8MPa	32.8	34.0MPa	합격

시공인사 : 양현준 (인) 현장 : 김대진 (인) 이원희 (인) 건설사업관리 : 김윤민 (인) 이승우 (인) 사인

109_134/2022.08.10 13:28/인천광역시AA13-11복합공공주택(인)29B공사 (this material without permission)

콘크리트(슬럼프, 공기량, 염화물함유량, 압축강도) 시험 · 검사 작업일지

현장명 : 인천광역시AA13-29B, 인천항29B공사	타설량	222.4
시공현황 : 50-E-02-01-361	타설종류	29B
시공종류 : 25-24-150	생산자	KVIC
타설일자 : 2022년 7월 6일	최고/최저/평균	33.2/25.2/29.0
시공부위 : 202동 주차장 지하1층 지붕	콘크리트층온도	29.3℃

측정기종, 슬럼프, 염화물함유량				시험일자	2022년 7월 6일
시 험 결 과				기준	판정
슬럼프 (mm)	①			160	합격
	②			160	
	③			150 ± 25	
공기량시험 (%)	①	압박기공기량(%)	중량수용계수	공기량(%)	합격
	②	4.2	0.2	4.0	
	③	5.5	0.2	5.3	
염화물 함유량시험 (μg/g)	①	속성치(CI - %)		단위체중수당 (μg/g)	합격
	②	0.1263	0.0820	0.0660	
	③	0.0267	0.0741	0.0554	

※7일 압축강도				시험일자	2022년 7월 13일						
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정						
5-1	100.0	100.0	100.0	171000	21.8	21.1	14.8MPa	21.8	17.7MPa	적합	31.8
5-2	100.0	100.0	100.0	169000	21.4	20.8	14.8MPa	21.4	17.7MPa	적합	31.8
5-3	100.0	100.0	100.0	171000	21.8	20.9	14.8MPa	21.8	17.7MPa	적합	31.8

※28일 압축강도				시험일자	2022년 8월 3일					
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정					
5-1	100.0	100.0	100.0	262000	32.9	31.9	31.7MPa	32.9	34.0MPa	합격
5-2	100.0	100.0	100.0	250000	31.8	30.8	31.7MPa	31.8	34.0MPa	합격
5-3	100.0	100.0	100.0	250000	32.4	32.4	31.8MPa	32.4	34.0MPa	합격

시공인사 : 양현준 (인) 현장 : 김대진 (인) 이원희 (인) 건설사업관리 : 김윤민 (인) 이승우 (인) 사인

109_134/2022.08.10 13:27/인천광역시AA13-11복합공공주택(인)29B공사 (this material without permission)

콘크리트(슬럼프, 공기량, 염화물함유량, 압축강도) 시험 · 검사 작업일지

현장명 : 인천광역시AA13-29B, 인천항29B공사	타설량	290.4
시공현황 : 50-E-02-01-411	타설종류	KVIC
시공종류 : 25-24-150	생산자	KVIC
타설일자 : 2022년 7월 29일	최고/최저/평균	32.4/25.1/28.4
시공부위 : 202동 주차장 지붕층	콘크리트층온도	28.8℃

측정기종, 슬럼프, 염화물함유량				시험일자	2022년 7월 30일
시 험 결 과				기준	판정
슬럼프 (mm)	①			150	합격
	②			160	
	③			150 ± 25	
공기량시험 (%)	①	압박기공기량(%)	중량수용계수	공기량(%)	합격
	②	4.9	0.2	4.7	
	③	5.6	0.2	5.4	
염화물 함유량시험 (μg/g)	①	속성치(CI - %)		단위체중수당 (μg/g)	합격
	②	0.0375	0.0448	0.0411	
	③	0.0138	0.0124	0.0131	

※7일 압축강도				시험일자	2022년 8월 4일						
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정						
5-1	100.0	100.0	100.0	169000	21.5	20.9	14.8MPa	21.9	17.7MPa	적합	32.0
5-2	100.0	100.0	100.0	173000	22.1	21.4	14.8MPa	21.9	17.7MPa	적합	32.0
5-3	100.0	100.0	100.0	167000	21.3	20.6	14.8MPa	21.3	17.7MPa	적합	32.0

※28일 압축강도				시험일자	2022년 8월 25일					
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정					
5-1	100.0	100.0	100.0	252000	31.8	30.8	31.8MPa	31.8	34.0MPa	합격
5-2	100.0	100.0	100.0	257000	32.7	31.7	31.8MPa	32.7	34.0MPa	합격
5-3	100.0	100.0	100.0	264000	33.3	32.3	31.8MPa	33.3	34.0MPa	합격

시공인사 : 양현준 (인) 현장 : 김대진 (인) 이원희 (인) 건설사업관리 : 김윤민 (인) 이승우 (인) 사인

콘크리트(슬럼프, 공기량, 염화물함유량, 압축강도) 시험 · 검사 작업일지

현장명 : 인천광역시AA13-29B, 인천항29B공사	타설량	58.4
시공현황 : 50-E-02-01-412	타설종류	58.4
시공종류 : 25-24-150	생산자	KVIC
타설일자 : 2022년 7월 29일	최고/최저/평균	32.4/25.1/28.4
시공부위 : 202동 주차장 지붕층	콘크리트층온도	27.9℃

측정기종, 슬럼프, 염화물함유량				시험일자	2022년 7월 29일
시 험 결 과				기준	판정
슬럼프 (mm)	①			170	합격
	②			150 ± 25	
	③			150 ± 25	
공기량시험 (%)	①	압박기공기량(%)	중량수용계수	공기량(%)	합격
	②	4.2	0.2	4.0	
	③	5.5	0.2	5.3	
염화물 함유량시험 (μg/g)	①	속성치(CI - %)		단위체중수당 (μg/g)	합격
	②	0.0887	0.0938	0.0938	
	③	0.0887	0.0938	0.0938	

※7일 압축강도				시험일자	2022년 8월 4일						
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정						
5-1	100.0	100.0	100.0	171000	21.9	21.2	14.8MPa	21.9	17.7MPa	적합	32.5
5-2	100.0	100.0	100.0	171000	22.5	21.8	14.8MPa	22.5	17.7MPa	적합	32.5

※28일 압축강도				시험일자	2022년 8월 25일					
시공현황	시험일자	시험종류	시험결과	기준	판정					
5-1	100.0	100.0	100.0	242000	30.4	29.5	30.6MPa	30.4	34.0MPa	합격
5-2	100.0	100.0	100.0	248000	31.4	30.5	30.6MPa	31.4	34.0MPa	합격
5-3	100.0	100.0	100.0	260000	32.7	31.7	30.6MPa	32.7	34.0MPa	합격

시공인사 : 양현준 (인) 현장 : 김대진 (인) 이원희 (인) 건설사업관리 : 김윤민 (인) 이승우 (인) 사인

그림 3.2.9 콘크리트 시험 · 검사 작업일지

3.2.4 시험체 채취 개요

(1) 시험체 채취 개요

- 서류상의 품질항목에 대한 검토와 더불어, 콘크리트 비파괴검사(슈미트해머, 초음파법, 조합법), 코어강도시험 등을 실시하여 설계기준압축강도 만족 여부를 확인하였음.
- 콘크리트 강도시험을 위한 코어시험체는 각 업체별 타설구간의 총 6개소(지하 1층 상부 슬래브 4개소 12EA, 지하 2층 상부 슬래브 2개소 6EA)에서 습식으로 채취($\Phi 100\text{mm}$)하였음. 코어시험체 채취는 사고구간을 포함하고 근처 유사 타설 일자 콘크리트를 포함하는 범위에서 실시하였음.
- 철근의 경우, 지하 1층 상부 슬래브 2개소 (6EA, D13*3EA, D16*3EA)에서 샘플을 채취하여 KS D 3504 철근 콘크리트용 봉강의 품질 기준 부합 여부에 대하여 평가를 실시하였음.
- 코어시험체 채취 위치, 철근 시험체 채취 위치 및 전반적인 시험체 채취 과정은 그림 3.2.10에 정리하여 나타내었음.

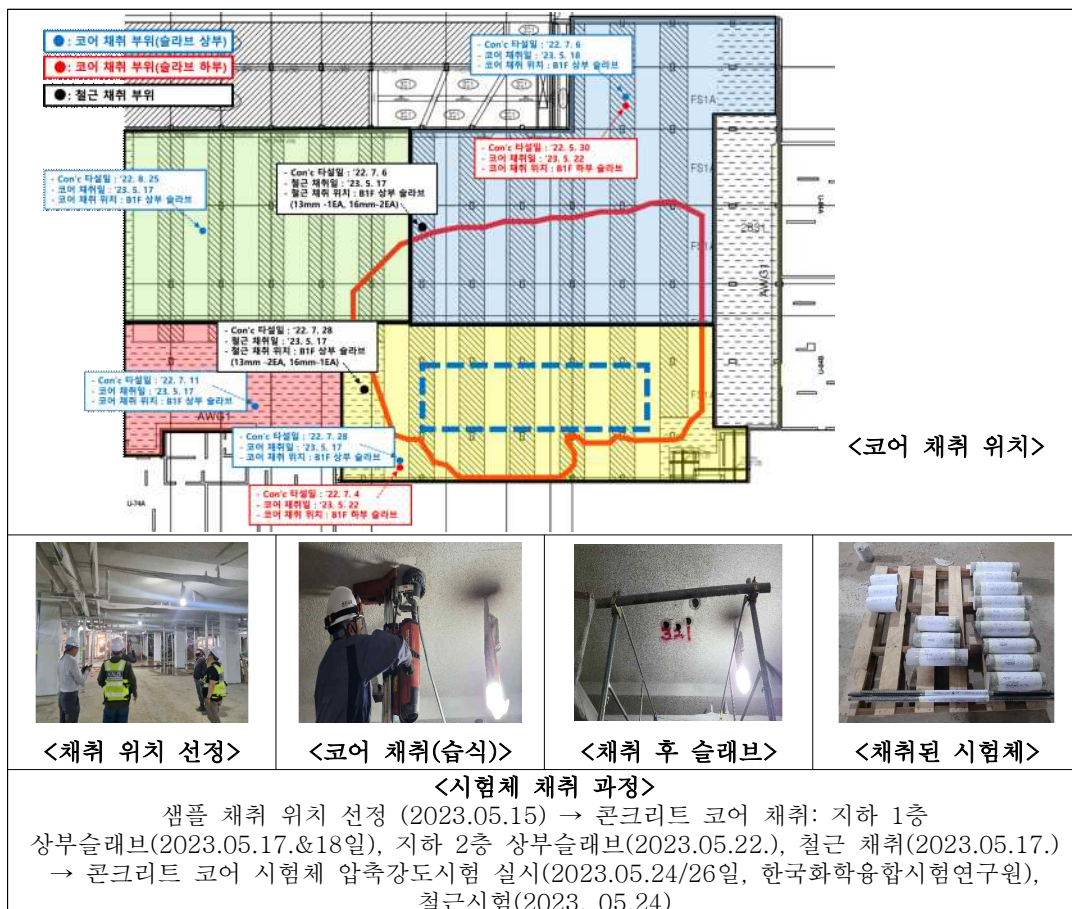
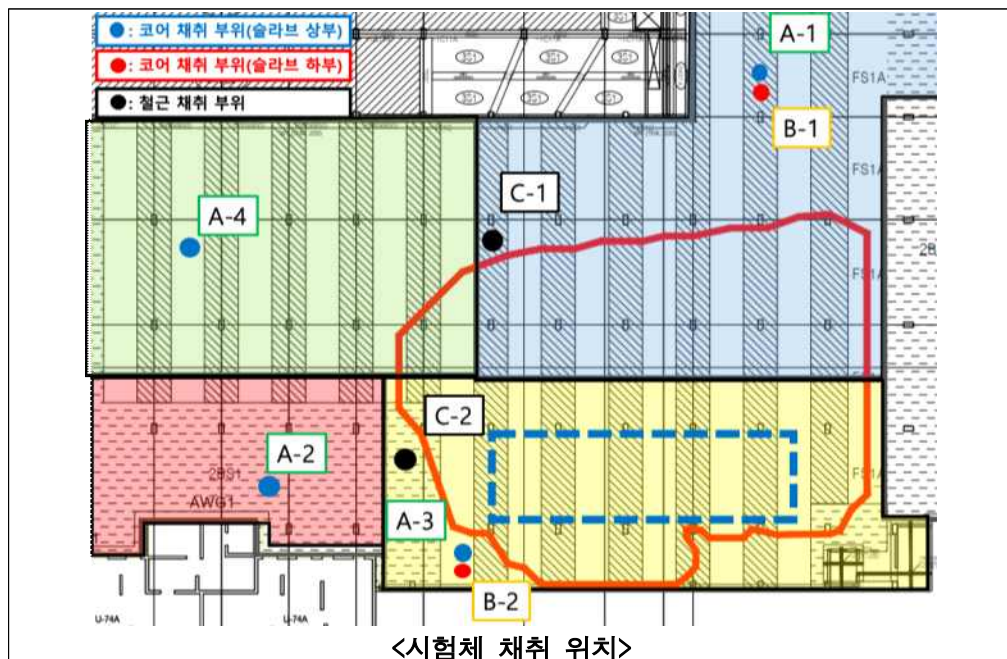


그림 3.2.10 코어 채취 위치 및 콘크리트 타설일 정보, 시험체 채취 과정

3.2.5 코어채취 시험체 강도측정 결과

(1) 콘크리트 건전도 평가 결과

- 그림 3.2.11 및 표 3.2.7에 채취 위치별 코어 시험체 압축강도 시험 결과를 정리하여 나타내었음. A-1, A-4(지하 1층 상부) 구간과 B-2(지하 2층 상부) 구간의 압축강도 시험결과값의 경우, 설계기준 강도값(24MPa)과 코어강도(20.4MPa=기준강도대비 85%)와 비교하여 동등 또는 상회하는 것으로 확인되었음. 그러나, A-2, A-3(지하 1층 상부)는 각각 21MPa, 16.9 MPa로 설계기준압축강도 값을 만족하지 못하는 것으로 확인되었음. 특히, 사고구간과 동일한 구간인 A-3의 경우 코어의 강도기준(20.4MPa)도 만족하지 못하는 것으로 확인되었음. 단, 사고구간에 근접한 구조체의 경우, 사고의 영향(충격 등)으로 인해 미세한 균열이 구조체내에 발생하여 코어 채취 이전에 강도가 저하되었을 가능성을 완전히 배제하기 어려움.
- 전체 코어 압축강도의 범위는 설계기준강도(24MPa) 대비 70%~142%, 코어기준강도(20.4MPa)대비 83%~167%로 강도 편차가 매우 큰 것이 확인되었음. 단, 지하 1층 상부슬래브(평균: 24.7 MPa, 표준편차: 7.28)와 지하 2층 상부슬래브(평균:23.1MPa, 표준편차:4.62) 간의 큰 강도차이는 없었음.



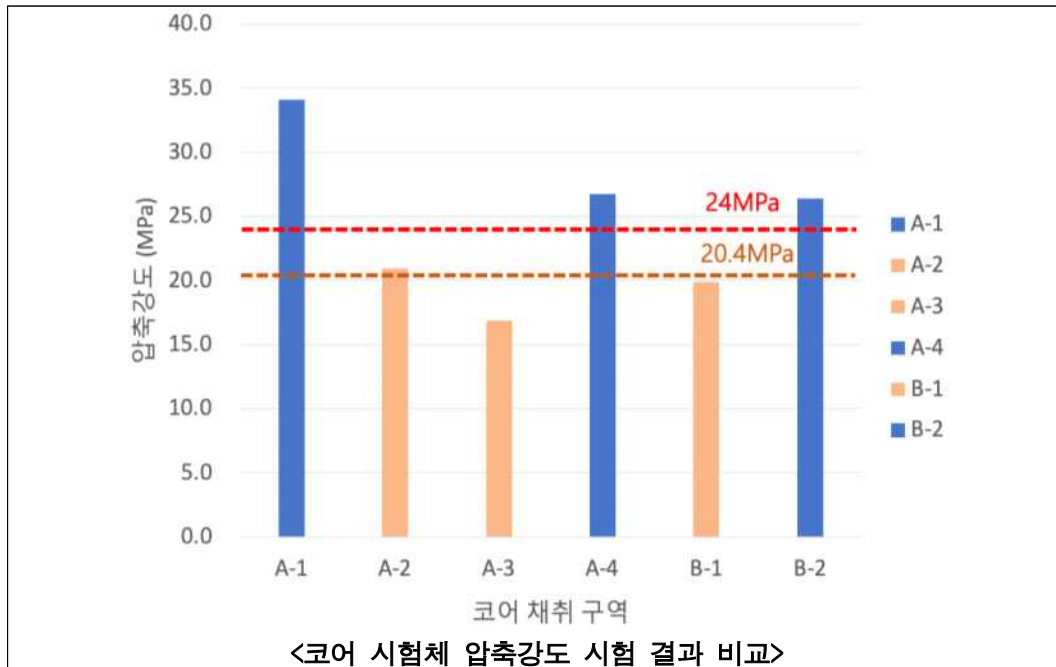


그림 3.2.11 시험체 채취 위치 및 코어 압축강도 시험 결과 비교

표 3.2.7 위치별 코어 시험체 압축강도 시험 결과(지하1층 및 지하2층 상부 슬래브)

코어 위치	시험체-1 (MPa)	시험체-2 (MPa)	시험체-3 (MPa)	평균 (MPa)	표준편차	타설일시
A-1	32.2	33.9	36.2	34.1	2.01	220706
A-2	18.4	23.6	20.9	21.0	2.60	220711
A-3	16.5	15.8	18.3	16.9	1.29	220728
A-4	24.3	23.3	32.7	26.8	5.16	220825
B-1	21.5	20.3	17.8	19.9	1.89	220530
B-2	26	26.8	26.4	26.4	0.40	220704

- 비파괴 검사 및 코어강도 시험 결과 비교를 표 3.2.8 및 그림 3.2.12에 나타내었음. 전체적으로 초음파법과 조합법을 사용해 측정한 결과가 반발경도법에 비해 낮은 강도를 나타내었음. 또한 사용추정식에 따른 결과값의 편차가 매우 큰 것으로 확인하였음. 반발경도법 결과는 A-2, A-4구간을 제외한 A-1은 설계기준압축강도를 만족하는 것으로 확인하였음. 조합법(일본 건축학회, RILEM 식 추정 평균값)을 이용하여 추정한 압축강도는 설계기준 강도 대비 68%~90%로 확인되어 기준값을 만족하지 못하는 것으로 확인하였음. 다만, 사고구간인 A-3는 측정가능한 부분이 없어 측정하지 못하였음.

- 초음파 및 조합법을 활용하여 강도를 추정한 결과, A-1, A-2, A-4에서 설계기준 강도를 만족하지 못하는 것으로 확인하였음. 비파괴 검사와 코어 강도 시험결과간 특별한 상관관계는 확인되지 않았음. 구간별 반발 정도법, 초음파법, 조합법을 사용한 비파괴시험 전체 결과는 각각 표 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11, 3.2.12, 3.2.13, 3.2.14, 3.2.15 에 정리되어 있음.

표 3.2.8 비파괴 검사 및 코어 강도 시험 결과 비교(지하 1층 상부 슬래브)

코어 위치	X위치	Y위치	반발경도 (MPa)	초음파 (MPa)	조합법 (MPa)	코어 (MPa)
A-1	X35	Y-18~Y-18-1	27.9	17.5	21.7	34.1
A-2	X27-1~X27-3	Y-14~Y-15	22.1	18.1	17.2	21
A-3	X29-1~X31-1	Y-14~Y-15	측정X	측정X	측정X	16.9
A-4	X26-1~X27-1	Y-16~Y-17	19.1	20.1	16.3	26.8

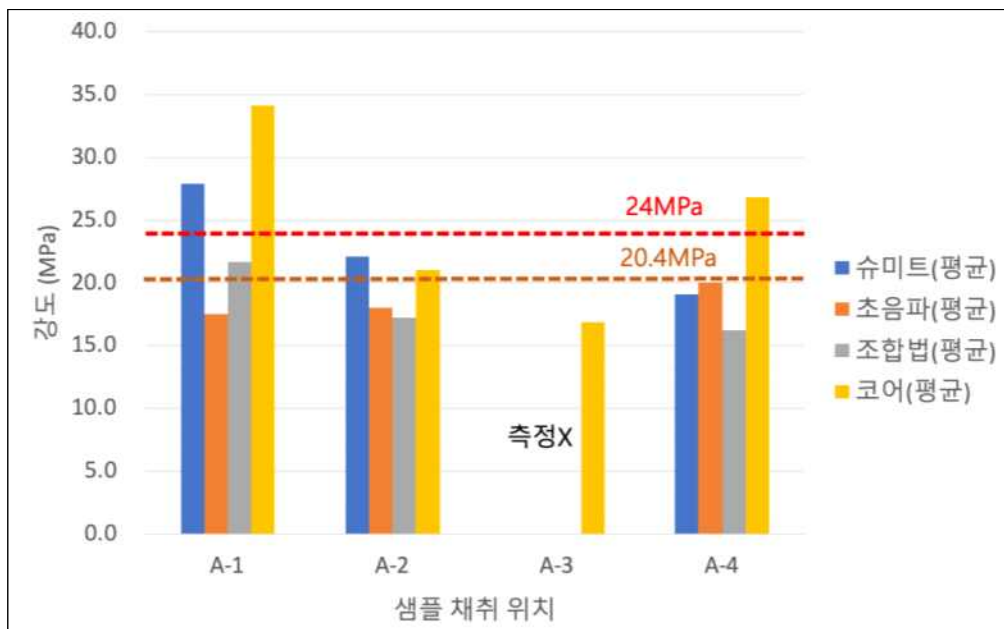


그림 3.2.12 비파괴 검사 vs 코어 강도 시험 결과 비교

표 3.2.9 반발 경도법(슈미트해머)에 의한 콘크리트 압축강도 조사 비교표

적 용 공 식	일본재료학회식 (공식1)				일본건축학회식 (공식2)				경년보정계수 (3000일 이상)	
	$F_c = 1.27 \times R_o - 18.0$				$F_c = (7.3 \times R_o + 100) \times 0.098$				0.7	

구 분	측 정 강 도 / 부 재 (개소)									평균강도
	기둥		보		슬래브		벽체		소 계	
	강도	개소	강도	개소	강도	개소	강도	개소	개소	MPa
지하1층 Section 1	20.5	2	-		24.2	2	-		4	22.4
지하1층 Section 2	26.5	2	-		22.3	6	-		8	23.4
지하1층 Section 3	-		-		20.6	4	-		4	20.6
소 계		4				12			16	22.4

구 분	평균추정강도		설계기준강도	
	MPa		MPa	
인천 사고조사 현장	22.4		24.0	

표 3.2.10 초음파법에 의한 압축강도 조사 비교표

적 용 공 식	일본건축학회식 (공식1)				일본재료학회식 (공식 3)			
	$F_c = (215V_d - 620) \times 0.098$				$F_c = (102 \times V_d - 117) \times 0.098$			

구 분	측 정 강 도 / 부 재 (개소)									평균강도
	기둥		보		슬래브		벽체		소 계	
	강도	개소	강도	개소	강도	개소	강도	개소	개 소	MPa
지하1층 Section 1	21.1	2	-	0	21.2	2	-	0	4	21.1
지하1층 Section 2	20.0	2	-	0	18.3	6	-	0	8	18.7
지하1층 Section 3	-	0	-	0	19.1	4	-	0	4	19.1
소 계		4		0		12		0	16	19.4

구 분	평균추정강도		설계기준강도	
	MPa		MPa	
인천 사고조사 현장	19.4		24.0	

표 3.2.11 반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도 측정 결과표

위 치	부재명	부재명	내부/외부	표면 상태	측정 위치	반발경도값					반발 경도 평균값 (R)	타격 각도	습윤 보정	보정반발 경도(Ro)		환산강도 (Fc)		재형 보정	추정압축 강도(Fc) MPa
														ΔR	R ₀	공식1	공식2		
지하1층 Section 1	X18/ Y18	기둥	내부	건전부	중앙부	33.0	36.0	36.0	39.0	34.0	34.1				34.1	25.3	34.2	0.7	20.8
						32.0	36.0	33.0	35.0	33.0									
						30.0	32.0	33.0	33.0	34.0									
					단부	37.0	34.0	34.0	35.0	33.0	33.3				33.3	24.2	33.6	0.7	20.2
						33.0	32.0	+41	32.0	34.0									
						34.0	+27	31.0	32.0	28.0									
지하1층 Section 1	X16~17/ Y36~37	슬래브	내부	건전부	중앙부	43.0	+27	42.0	+51	47.0	39.9	90		-3.9	36.0	27.8	35.6	0.7	22.2
						39.0	46.0	35.0	32.0	33.0									
						+25	41.0	42.0	43.0	38.0									
					단부	44.0	43.0	+50	33.0	39.0	45.4	90		-3.5	41.9	35.2	39.8	0.7	26.2
						44.0	44.0	46.0	39.0	46.0									
						42.0	52.0	40.0	45.0	45.0									
지하1층 Section 2	X35/ Y19-1	기둥	내부	건전부	중앙부	36.0	38.0	40.0	39.0	39.0	37.3				37.3	29.3	36.4	0.7	23.0
						37.0	40.0	36.0	35.0	40.0									
						36.0	38.0	39.0	37.0	38.0									
					단부	39.0	31.0	36.0	36.0	35.0	47.2				47.2	41.9	43.5	0.7	29.9
						49.0	49.0	46.0	47.0	47.0									
						48.0	49.0	47.0	52.0	48.0									
지하1층 Section 2	X36~37/ Y18~18-1	슬래브	내부	건전부	중앙부	35.0	36.0	37.0	36.0	35.0	37.1	90		-4.1	32.9	23.8	33.3	0.7	20.0
						35.0	34.0	32.0	45.0	39.0									
						41.0	39.0	+48	38.0	39.0									
					단부	32.0	36.0	34.0	43.0	38.0	37.4	90		-4.1	33.3	24.3	33.6	0.7	20.3
						36.0	37.0	40.0	44.0	38.0									
						44.0	36.0	37.0	37.0	37.0									
지하1층 Section 2	X35/ Y18~18-1	슬래브	내부	건전부	중앙부	35.0	38.0	35.0	37.0	36.0	48.0	90		-3.3	44.7	38.8	41.8	0.7	28.2
						46.0	47.0	49.0	50.0	48.0									
						48.0	49.0	46.0	48.0	47.0									
					단부	48.0	55.0	46.0	47.0	47.0	47.2	90		-3.3	43.8	37.7	41.2	0.7	27.6
						46.0	46.0	50.0	47.0	49.0									
						49.0	49.0	46.0	47.0	47.0									
지하1층 Section 2	X34~35/ Y17~18	슬래브	내부	건전부	중앙부	40.0	38.0	34.0	33.0	32.0	35.7	90		-4.2	31.5	22.0	32.3	0.7	19.0
						34.0	36.0	36.0	38.0	39.0									
						+44	39.0	33.0	34.0	38.0									
					단부	33.0	37.0	34.0	38.0	33.0	35.8	90		-4.2	31.5	22.0	32.3	0.7	19.0
						37.0	+48	32.0	42.0	32.0									
						36.0	35.0	36.0	35.0	37.0									
지하1층 Section 3	X26-1~27-1/ Y16~17	슬래브	내부	건전부	중앙부	37.0	38.0	41.0	33.0	35.0	34.9	90		-4.3	30.6	20.9	31.7	0.7	18.4
						35.0	35.0	34.0	42.0	32.0									
						31.0	35.0	30.0	35.0	+43									
					단부	34.0	34.0	31.0	34.0	38.0	36.8	90		-4.2	32.6	23.4	33.1	0.7	19.8
						36.0	35.0	36.0	37.0	37.0									
						36.0	41.0	42.0	39.0	39.0									
지하1층 Section 3	X27-1~27-3/ Y14~15	슬래브	내부	건전부	중앙부	36.0	35.0	38.0	33.0	35.0	39.4	90		-4.0	35.4	27.0	35.1	0.7	21.7
						37.0	40.0	+50	38.0	42.0									
						40.0	40.0	39.0	36.0	41.0									
					단부	36.0	45.0	45.0	40.0	35.0	40.4	90		-3.9	36.5	28.3	35.9	0.7	22.5
						38.0	38.0	38.0	42.0	38.0									
						44.0	41.0	42.0	39.0	42.0									

표 3.2.12 초음파법에 의한 콘크리트 압축강도 측정 결과표

위 치	부재명	부재명	측정위치	초음파 측정(Vp)			압축강도(Fc)		평균값
				길이(mm)	시간(μ s)	속도(km/s)	공식1	공식3	
지하1층 Section 1	X18/Y18	기둥	중앙부	400	109.8	3.64	16.0	24.9	20.5
			단부	400	107.5	3.72	17.6	25.7	21.7
지하1층 Section 2	X35/Y19-1	기둥	중앙부	400	114.9	3.48	12.6	23.3	18.0
			단부	400	106.9	3.74	18.1	25.9	22.0

표 3.2.13 초음파법에 의한 콘크리트 압축강도 측정 결과표 (표면법)

위 치	부재명	부재명	측정위치	초음파 측정(Vp)				결정계수(R ²)	압축강도(Fc)		평균값
				전달거리(mm)	전달시간(μ s)	간접속도(기울기)	직접법 환산속도		공식1	공식2	
지하1층 Section 1	X16-17/ Y36-37	슬래브	중앙부	100	24.5	3.56	3.74	99.4%	18.1	15.8	16.9
				200	55.1						
				300	76.7						
				400	113.6						
				500	134.7						
			단부	100	25.8	3.86	4.05	92.8%	24.7	26.2	25.5
				200	53.3						
				300	73.7						
				400	118.2						
				500	113.5						
지하1층 Section 2	X36-37/ Y18-18-1	슬래브	중앙부	100	27.5	3.57	3.75	100.0%	18.3	16.3	17.3
				200	56.1						
				300	83.7						
				400	110.8						
				500	140						
			단부	100	24.3	3.69	3.87	98.1%	20.9	20.3	20.6
				200	56.9						
				300	90.3						
				400	112.4						
				500	129.5						
지하1층 Section 2	X35- Y18-18-1	슬래브	중앙부	100	25.4	3.57	3.75	99.9%	18.3	16.2	17.2
				200	49.5						
				300	79.3						
				400	109						
				500	135.4						
			단부	100	28.9	3.59	3.77	99.8%	18.7	16.8	17.8
				200	53.4						
				300	85.9						
				400	109						
				500	140						
지하1층 Section 2	X34-35/ Y17-18	슬래브	중앙부	100	26.3	3.59	3.77	97.7%	18.8	16.9	17.9
				200	56.5						
				300	95.3						
				400	115						
				500	132.9						
			단부	100	30.6	3.63	3.81	99.1%	19.5	18.1	18.8
				200	66.1						
				300	85.8						
				400	111						
				500	144.8						
지하1층 Section 3	X26- 1-27-1/ Y16-17	슬래브	중앙부	100	40.5	3.79	3.98	98.9%	23.1	23.8	23.4
				200	68						
				300	86.8						
				400	113						
				500	148.5						
			단부	100	25.6	3.56	3.73	99.4%	17.9	15.6	16.7
				200	48.5						
				300	73.3						
				400	104.6						
				500	137.3						
지하1층 Section 3	X27- 1-27-3/ Y14-15	슬래브	중앙부	100	39.3	3.57	3.74	98.6%	18.1	15.9	17.0
				200	56.6						
				300	82.6						
				400	115.8						
				500	148						
			단부	100	26.5	3.64	3.82	98.6%	19.7	18.4	19.1
				200	52.4						
				300	72.2						
				400	106.1						
				500	138.2						

표 3.2.14 조합법에 의한 압축강도 조사 비교표

적용 공식	RILEM 식 (공식 1)						일본 건축학회식 (공식 2)			
	$F_c = F_c' \cdot 0.85 \times 0.098$ $\log 10 F_c' = 0.3794 V_p + 0.01149 R_o + 0.4332$						$F_c = (8.2 R_o \times 0.9 + 269 V_p - 1094) \times 0.098$			

구 분	측 정 강 도 / 부 재 (개소)									평균강도
	기둥		보		슬래브		벽체		소 계	
	강도	개소	강도	개소	강도	개소	강도	개소	개 소	MPa
지하1층 Section 1	14.0	2	-		21.6	2	-		4	17.8
지하1층 Section 2	17.6	2	-		17.6	6	-		8	17.6
지하1층 Section 3	-		-		16.7	4	-		4	16.7
소 계	-	4	-		-	12			16	17.4

구 분	평균추정강도		설계기준강도	
	MPa		MPa	
인천 사고조사 현장	17.4		24.0	

표 3.2.15 조합법에 의한 콘크리트 압축강도 측정 결과표

위 치	부재명	부재명	측정위치	반발경도	초음파속도	환산압축	압축강도(Fc)		평균값
				(Ro)	(Vp)	강도(Fc')	공식1	공식2	
지하1층 Section 1	X18/ Y18	기둥	중앙부	34.1	3.64	161	13.4	13.5	13.5
			단부	33.3	3.72	169	14.0	14.9	14.5
지하1층 Section 1	X16-17/ Y36-37	슬래브	중앙부	36.0	3.74	185	15.4	17.5	16.4
			단부	41.9	4.05	283	23.6	30.0	26.8
지하1층 Section 2	X35/ Y19-1	기둥	중앙부	37.3	3.48	152	12.7	11.5	12.1
			단부	47.2	3.74	248	20.7	25.5	23.1
지하1층 Section 2	X36-37/ Y18-18-1	슬래브	중앙부	32.9	3.75	172	14.3	15.5	14.9
			단부	33.3	3.87	193	16.1	19.0	17.5
지하1층 Section 2	X35/ Y18-18-1	슬래브	중앙부	44.7	3.75	235	19.5	24.0	21.8
			단부	43.8	3.77	233	19.4	23.9	21.6
지하1층 Section 2	X34-35/ Y17-18	슬래브	중앙부	31.5	3.77	169	14.1	15.1	14.6
			단부	31.5	3.81	174	14.5	16.0	15.2
지하1층 Section 3	X26-1-27-1/ Y16-17	슬래브	중앙부	30.6	3.98	197	16.4	19.9	18.1
			단부	32.6	3.73	167	13.9	14.8	14.4
지하1층 Section 3	X27-1-27-3/ Y14-15	슬래브	중앙부	35.4	3.74	182	15.2	17.1	16.1
			단부	36.5	3.82	200	16.7	19.8	18.3

- 본 조사결과(국토부 건설사고조사위)와 타기관(LH)의 비파괴 및 코어강도 시험결과를 비교 평가하였음. 그림 3.2.11에 나타낸 코어 채취 구간(A-1, A-2, A-3, A-4)과 동일 레미콘(4종류의 타설일별, 22.07.06, 22.07.11, 22.07.28, 22.08.25)타설 구간 또는 가장 유사한 부위의 슬래브, 동일 레미콘의 벽체 또는 기둥에서 채취한 코어 결과의 평균값을 도출하여 비교하였음. 비파괴 검사의 경우, 보정반발경도(R_0) 및 초음파속도(V_d)를 코어강도는 시험체의 평균 압축강도를 비교평가 하였음.
- 표 3.2.16에 나타낸 바와 같이, LH에서 측정한 반발경도값은 전체적으로 본 조사결과보다 큰 값을 나타냈으나, 초음파 속도는 본 조사결과에 비해 낮은 수준인 것으로 확인하였음. 또한, LH에서 비파괴 검사 조합법(RILEM식)으로 구한 전체 조사구간의 평균 콘크리트 압축강도 추정값은 9.2~14.9MPa로 설계 기준강도의 38%~62%수준인 것으로 확인되었음. 이는 본 조사결과내 조합법(RILEM식과 일본 건축학회식 평균값)을 이용하여 도출한 압축강도값의 범위 68%~90%보다도 더 낮은 수준임. 비파괴 검사 결과, 기관별 조합법에 활용된 식이 상이하여 결과값의 차이가 다소 발생할 수 있으나, 전체적으로 설계기준강도값을 만족하지 못하는 것으로 확인되었음. 특히, 사고구간과 직접적으로 관련이 있는 A-3구간의 경우 다른 구간에 비해 상대적으로 낮은 반발 경도 및 초음파속도를 나타내었음.

표 3.2.16 국토부, LH 비파괴 검사 결과 비교(지하 1층 상부 슬래브 및 벽체)

코어위치 (국토부)	X위치	Y위치	반발경도 (R_0)	속도 (V_d)
A-1(슬래브)	X35	Y-18~Y-18-1	44.3	3.76
A-2(슬래브)	X27-1~X27-3	Y-14~Y-15	36	3.78
A-3(슬래브)	X29-1~X31-1	Y-14~Y-15	측정X	측정X
A-4(슬래브)	X26-1~X27-1	Y-16~Y-17	31.6	3.86
측정위치 (LH)	X위치	Y위치	반발경도 (R_0)	속도 (V_d)
A-1-1(슬래브)	X35	Y19	53.4	2.630
A-1-2(슬래브)	X35	Y19	52	3.154
A-1-3(슬래브)	X36	Y18	40.3	2.454
A-1-4(슬래브)	X36	Y18	41	2.499
A-1-5(슬래브)	X37	Y14	42.9	2.078
A-2-1(슬래브)	X27-3	Y14	44.6	2.579
A-2-2(슬래브)	X27-3	Y14	47.6	2.600
A-3-1(슬래브)	X37	Y14	40.3	1.670
A-3-2(보)	X37	Y13-1	40	1.561
A-3-3(보)	X37	Y13-1	41.8	2.897
A-4-1(슬래브)	X27-1	Y16	47.6	3.090
A-4-2(슬래브)	X27-1	Y16	42.5	3.334

- 코어 압축강도를 비교해본 결과(표 3.2.17 및 그림 3.2.13), 본 조사위의 코어 강도는 설계기준값 대비 70%~142%의 분포를 나타내었고, LH의 조사결과에서는 약 67~95%의 분포를 나타내는 것을 확인하였음. 특히, A-3의 경우 비슷한 값(16.9MPa, 16.15MPa)을 나타냈으며, 두 경우 모두 설계기준압축강도(24MPa)과 코어의 강도기준(20.4MPa=기준강도대비 85%)를 만족하지 못하였음. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 사고구간 콘크리트의 압축강도가 설계기준압축강도를 만족하지 못하였을 가능성이 높으나, 사고구간에 근접한 구조체의 경우, 사고의 영향으로 인해 코어 채취 이전에 강도가 저하되었을 가능성을 완전히 배제하기는 어려움. 또한, 콘크리트의 강도는 타설 및 양생시 환경(온도 및 습도), 표면 수분관리, 다짐, 마무리 작업 등의 다양한 인자의 영향을 종합적으로 받을 수 있어, 본 조사에서 확인된 콘크리트 강도저하의 직간접적인 이유를 단순화하기에는 어려움이 있음.

표 3.2.17. 국토부, LH 코어 압축강도 테스트 결과 비교(지하 1층 상부 슬래브 및 벽체)

코어위치 (국토부)	X위치	Y위치	코어강도 (MPa)	
A-1(슬래브)	X35	Y-18~Y-18-1	34.1(142%)	
A-2(슬래브)	X27-1~X27-3	Y-14~Y-15	21(88%)	
A-3(슬래브)	X29-1~X31-1	Y-14~Y-15	16.9(70%)	
A-4(슬래브)	X26-1~X27-1	Y-16~Y-17	26.8(112%)	
코어위치 (LH)	X위치	Y위치	코어강도 (MPa)	구간평균 (MPa)
A-1-1(기둥)	X32-1~X34	Y18	18.53(77%)	22.76(94.8%)
A-1-2(슬래브)	X30~X31	Y17~Y18	27.93(116%)	
A-1-3(슬래브)	X34~X35	Y18~Y19	25.10(105%)	
A-1-4(기둥)	X35~X36	Y19	19.47(81%)	
A-2-1(슬래브)	X27-1~X27-3	Y15~Y15-1	18.77(78%)	22.77(94.9%)
A-2-2(슬래브)	X26-1~X27-1	Y15~Y15-1	24.5(102%)	
A-2-3(슬래브)	X25-1~X26-1	Y15~Y15-1	29.27(122%)	
A-2-4(기둥)	X25-1~X27-1	Y14~Y15	18.53(77%)	
A-3-1(벽)	X37~X38	Y14	17.20(72%)	16.15(67.3%)
A-3-2(벽)	X37~X38	Y13-1~Y14	15.10(63%)	
A-4-1(슬래브)	X27-3~X28-1	Y17~Y18	19.97(83%)	21.42(89.3%)
A-4-2(슬래브)	X26-1~X27-1	Y17~Y18	23.60(98%)	
A-4-3(슬래브)	X25-1~X26-1	Y18~Y19	20.73(86%)	
A-4-4(기둥)	X25-1~X27-3	Y18	21.37(89%)	

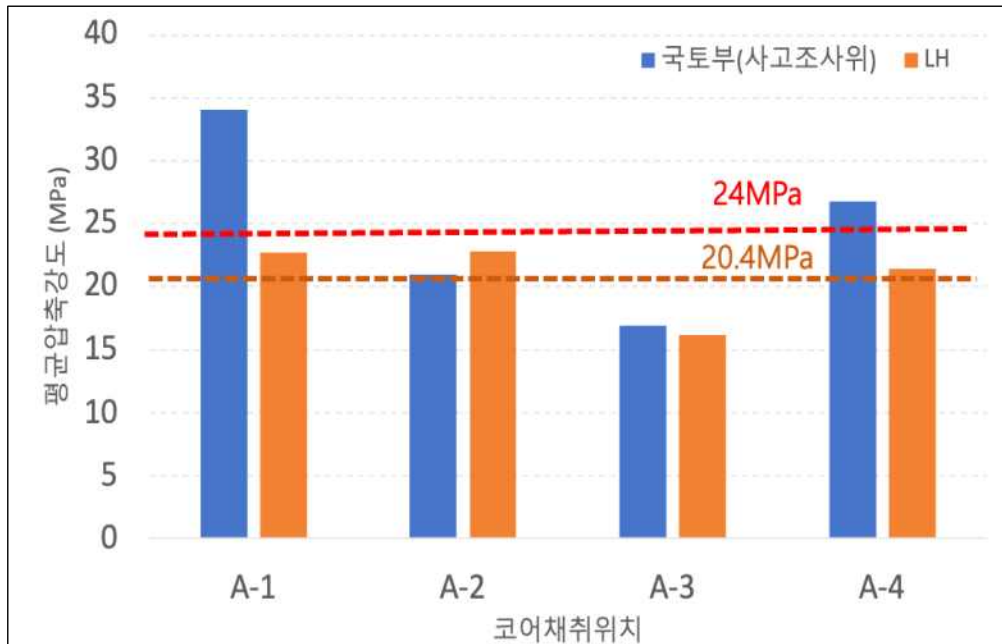


그림 3.2.13 유사구간 코어 평균 압축강도 비교 결과

(2) 철근 품질 검토 결과 (시험 결과)

- 철근 시험체 채취 위치 및 철근 품질 기준을 표 3.2.18에 나타내었음. 채취한 SD 500 D13과 SD 600 D16철근의 품질을 검토하기 위하여 항복강도, 인장강도, 연신율, 인장강도와 항복강도간 비율을 측정하였으며, 그 결과를 표 3.2.19에 나타내었음. KS D 3504:2021(철근 콘크리트용 봉강)의 기준과 비교한 결과, 채취시료가 모든 항목에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

표 3.2.18 시험체 채취 위치 및 철근 품질 기준(KS D 3504:2021)

종류 기호	항복점 또는 항복 강도 N/mm ²	인장 강도* N/mm ²	인장 시험편	연신율* %	굽힘성	
					굽힘 각도	안쪽 반지름
SD300	300 ~ 420	항복 강도의 1.15배 이상	2호에 준한 것, 3호에 준한 것	16 이상, 18 이상	180°	D 16 미만 : 공칭 지름의 2배 D 16 이상 D 22 미만 : 공칭 지름의 2.5배
SD400	400 ~ 520	항복 강도의 1.15배 이상	2호에 준한 것, 3호에 준한 것	16 이상, 18 이상	180°	
SD500	500 ~ 650	항복 강도의 1.08배 이상	2호에 준한 것, 3호에 준한 것	12 이상, 14 이상	135°	
SD600	600 ~ 780	항복 강도의 1.08배 이상	2호에 준한 것, 3호에 준한 것	10 이상	90°	
SD700	700 ~ 910	항복 강도의 1.08배 이상	2호에 준한 것, 3호에 준한 것	10 이상	90°	

<시험체 채취 위치>

<KS D 3504:2021 철근 콘크리트용 봉강>

표 3.2.19 철근 시험 결과

No.	채취구간	봉강종류	인장강도 (N/mm ²)	항복강도 (N/mm ²)	연신율(%)	인장강도/ 항복강도
1	C-1	SD500 D13	681	532	16	1.28
2	C-2	SD500 D13	653	531	18	1.23
3	C-2	SD500 D13	669	554	16	1.21
4	C-1	SD600 D16	787	688	11	1.14
5	C-1	SD600 D16	778	679	13	1.15
6	C-2	SD600 D16	771	660	13	1.17

3.3 전단배근 시공상태 조사

3.3.1 사고구간 인근 전단보강근 탐사 결과

- 아래 그림과 같이 사고구간 인근의 기둥 12개를 대상으로 전단보강근 유무를 조사한 결과, 설계도면상 전단보강근이 표기되어 있고 실제로 시공도 이루어진 경우가 4개소, 설계도면에는 전단보강근이 표기되어 있으나 실제로 시공이 이루어지지 않은 곳이 4개소, 기타 조사가 불가능한 곳이 4개소로 조사되었음.

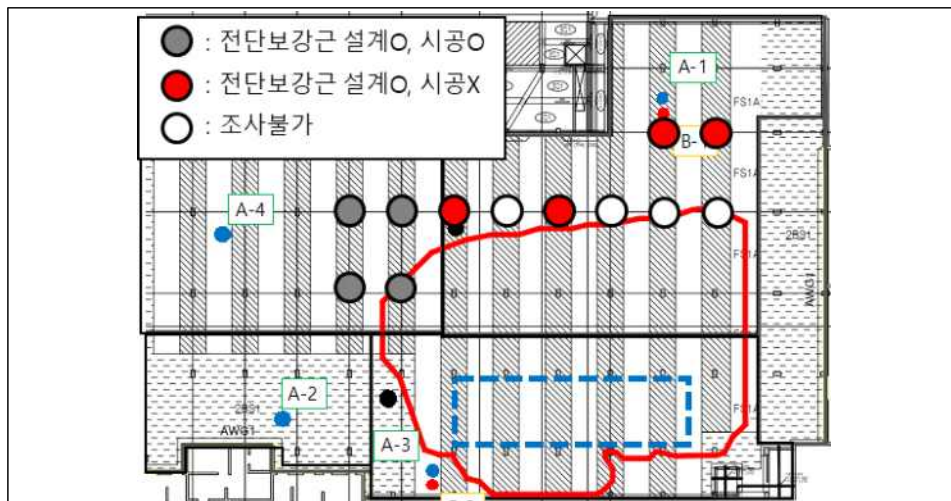


그림 3.3.1 사고구간 인근 전단보강근 탐사 결과

표 3.3.1 전단보강근 구조설계와 시공상태 비교

구분	개소
설계도면·시공 일치 (●)	4
설계도면·시공 불일치 (●)	4
조사불가 (○)	4
합계	12

3.3.2 전단보강근 시공 현황

- 청문조사를 통해, 사고 이후 시공사에서 무량판으로 시공된 전체 구간에 대해 철근탐사를 이용하여 전단보강근 시공여부를 자체조사하였음을 확인하였음. 시공사 자체 조사에 의하면 전체 399개소 중 전단보강근이 누락된 곳은 총 292개소이며, 그 중 37개소는 구조도면에 전단보강근 표현이 되어 있으나 시공되지 않은 경우에 해당하며, 나머지 255개소는 구조도면에 전단보강근 표현이 되어 있지 않아 누락된 것으로 파악하고 있었음.

표 3.3.2 시공사에서 자체파악한 전단보강근 시공 현황⁷⁷⁾

구분			개소
구조설계결과 전단보강근이 불필요한 경우			29
구조설계결과 전단보강근이 필요한 경우	구조도면에 표현된 경우	시공된 경우	78
		시공되지 않은 경우	37
	구조도면에 표현되지 않은 경우	시공되지 않은 경우 (구조도면에 표현되지 않은 경우 모두 시공되지 않은 것으로 봄)	255
합계			399

3.4 사고구간 하중재하 상황 검토

3.4.1 설계 하중의 적절성

77) 청문조사시 시공사 발표자료

무량판 구간 기동

	설계 반영			설계 미반영	보강 불필요	합계
	시공	미시공	소계			
Lv.41.18	46	32	78	108	12	198
Lv.36.09	32	5	37	147	17	201
소 계	78	37	115	255	29	399

- 구조계산서 상의 흙의 고정하중으로부터 토사의 밀도는 1800 kg/m^3 으로 설계된 것으로 확인됨. 다만, 흙은 함수량에 따라 밀도가 변화할 수 있으며, 그림 3.4.1에 나타낸 바와 같이 수분 포화상태인 경우에는 토사 (점토 또는 점질토)의 밀도가 1800 kg/m^3 을 초과할 수 있음.
- 그러나, 이는 완전 포화된 상태에서의 밀도이며, 그림 3.4.2에 나타낸 것과 같이 4월 29일(토요일) 사고 당시 일 강수량이 10.3 mm에 불과하였기 때문에 토사의 밀도는 1800 kg/m^3 으로 추정하는 것이 합리적임.

종 별	형 상	단위중량(kg/m³)	비고
암	석	암	자연상태
	화강암	2,600~2,700	
	사암	2,300~2,710	
	현무암	2,400~2,790	
자	갈	암	
	건조	2,700~3,200	
	습기	1,600~1,800	
모	래	조	
	건조	1,700~1,800	
	습기	1,500~1,700	
	포화	1,700~1,800	
점	토	조	
	건조	1,200~1,700	
	습기	1,700~1,800	
점	질 토	화	
	포	1,800~1,900	
	통의 것	1,500~1,700	
	보력이 섞인 것	1,600~1,800	
	력이 섞이고 습한 것	1,900~2,100	
모래질 흙	점토사	1,700~1,900	
자갈 섞인 토	점토사	1,700~2,000	
자갈 섞인 모래	점토사	1,900~2,100	
호박 돌	점토사	1,800~2,000	
사석	점토사	2,000	
조약 돌	점토사	1,700	

그림 3.4.1 흙의 조건에 따른 밀도 (건설공사 표준 품셈)

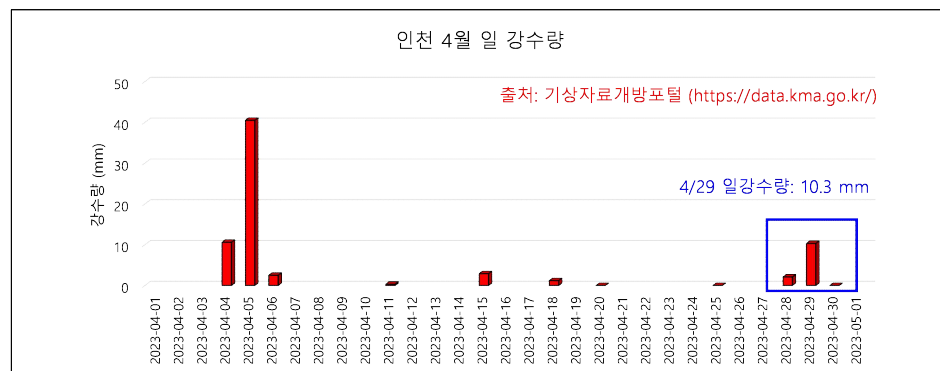


그림 3.4.2 2023년 4월 일강수량 기록

3.4.2 토사로 인한 적재 하중 산정

(1) 토사의 적치 높이 및 상태

- 그림 3.4.3에 나타낸 것과 같이 일부 붕괴구간 슬래브 (특히 전단철근이

배근되지 않은 A-2, A-3 구간)에는 설계 높이 이상의 토사가 적치되었음. 기록상 토사 이외의 기타 적재물은 거의 없었던 것으로 판단됨(그림 3.4.4 참조). 다만, 그림 3.4.5에 나타낸 것과 같이 2023년 4월 27일 ~ 28일에 걸쳐 14.1톤의 B/H 06W 장비와 1톤 롤러를 이용한 터파기/되메우기 작업이 수행되었음.

- 사고 발생 당일 (2023년 4월 29일, 토요일)에 인천지역에는 약한 비가 내렸으며, 이에 따라 토사는 약간의 수분을 머금고 있었을 것으로 추정됨.

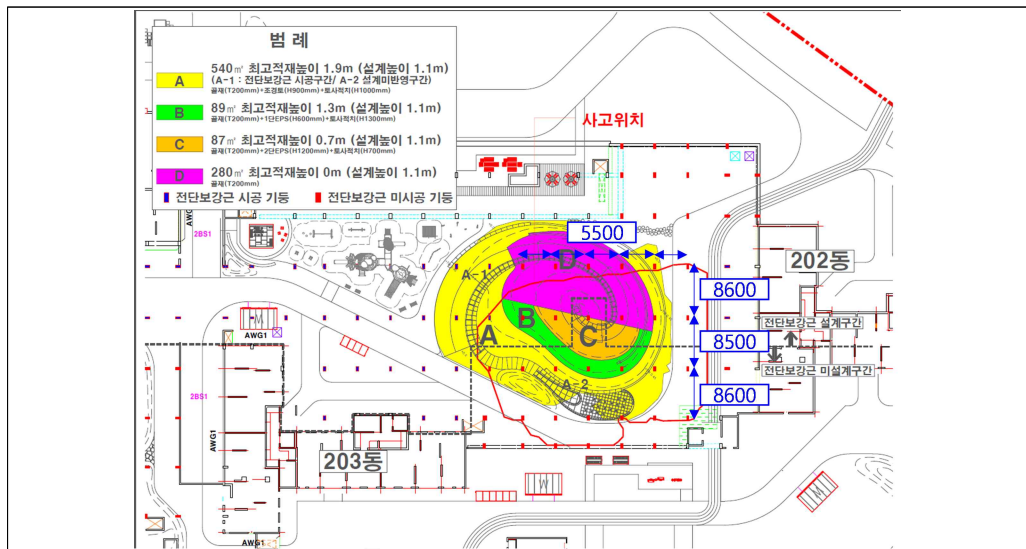


그림 3.4.3 붕괴 사고 위치에서의 토사 적재 높이 (실측)



그림 3.4.4 붕괴 사고 위치에서의 적재물 현황



그림 3.4.5 조경토 작업을 위한 장비 운용

(2) 작용하중 산정 및 전단 검토

- 그림 3.4.6의 파란색 영역에서는 설계 높이를 초과하는 총 2.1 m의 토사 [골재(T200 mm) + 조경토 (H = 900 mm) + 토사적치 (H = 1,000 mm)]가 적치되어 있었음. 사고 발생 당일의 기상 상황을 고려하여 토사가 수분을 함유하고 있다고 가정하고 토사의 밀도를 $1,800 \text{ kg/m}^3$ 으로 가정한다면, 단위면적당 작용하는 하중은 슬래브 자중, 누름콘크리트, 폴리에틸렌필름 1겹, 설비/천정, 토사의 무게를 종합적으로 고려하여 다음과 같이 산정할 수 있음.

- 단위면적당 하중 (슬래브 자중 + 누름콘크리트 + 폴리에틸렌필름 1겹 + 설비/천정 + 토사 무게):

$$(24 \text{ kN/m}^3 \times 0.45 \text{ m}) + 1.84 \text{ kN/m}^2 + 0.15 \text{ kN/m}^2 + 0.3 \text{ kN/m}^2 + (18 \text{ kN/m}^3 \times 2.1 \text{ m}) = 50.89 \text{ kN/m}^2$$

(슬래브 두께 = 450 mm)

$$(24 \text{ kN/m}^3 \times 0.3 \text{ m}) + 1.84 \text{ kN/m}^2 + 0.15 \text{ kN/m}^2 + 0.3 \text{ kN/m}^2 + (18 \text{ kN/m}^3 \times 2.1 \text{ m}) = 47.29 \text{ kN/m}^2$$

(슬래브 두께 = 300 mm)

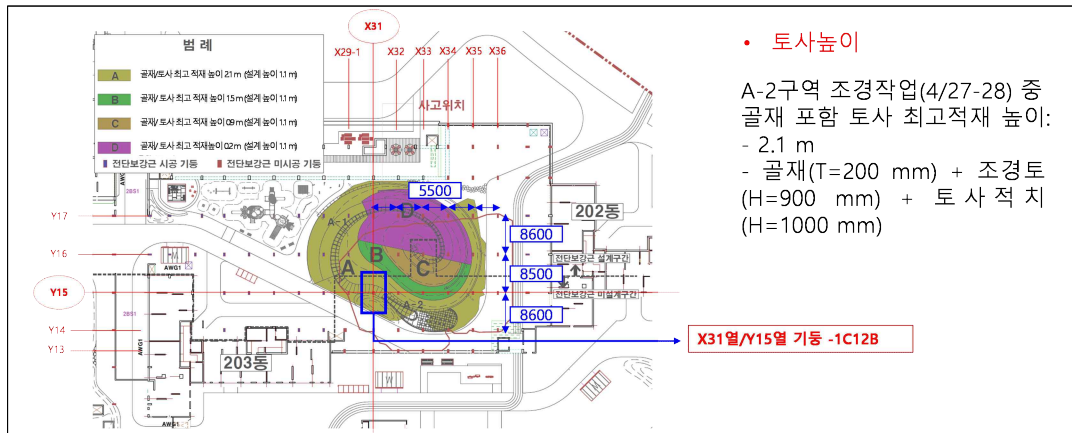


그림 3.4.6 토사의 높이가 높은 영역에서의 하중 추정

- 위와 동일한 계산 과정을 통해 붕괴구간의 구역별, 슬래브 두께별 적재하중을 추정하면 그림 3.4.7과 같음.

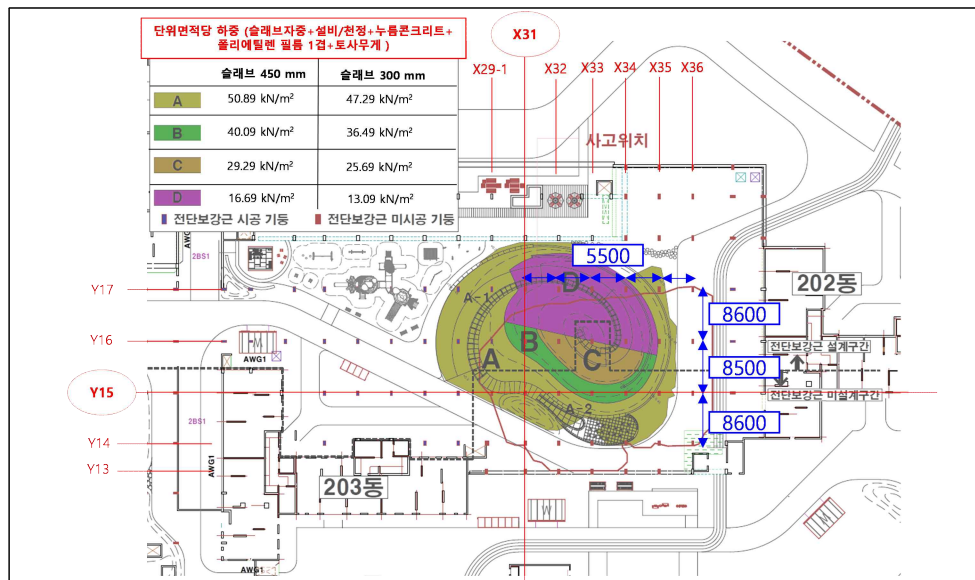


그림 3.4.7 구역별 작용하중 추정

- 그림 3.4.6에 나타난 것과 같이 적재하중이 컸던 것으로 예상되는 X31월/Y15월 기둥(-1C12B)을 대상으로 붕괴시 슬래브 위험단면에 작용하는 전단력은 다음과 같이 산정할 수 있음.

- 뚫림 전단 부하면적 (그림 3.4.8 참조):

$$(8.55 \times 2.75) - (1.167 \times 0.767) = 22.6 \text{ m}^2 \text{ (슬래브 두께 = 450 mm)}$$

$$(8.55 \times 5.5) - (8.55 \times 2.75) = 23.5 \text{ m}^2 \text{ (슬래브 두께 = 300 mm)}$$

- 2방향 전단 위험단면에 작용하는 전단력:

$$(50.89 \text{ kN/m}^2 \times 22.6 \text{ m}^2) + (47.29 \text{ kN/m}^2 \times 23.5 \text{ m}^2) = 2,263 \text{ kN}$$

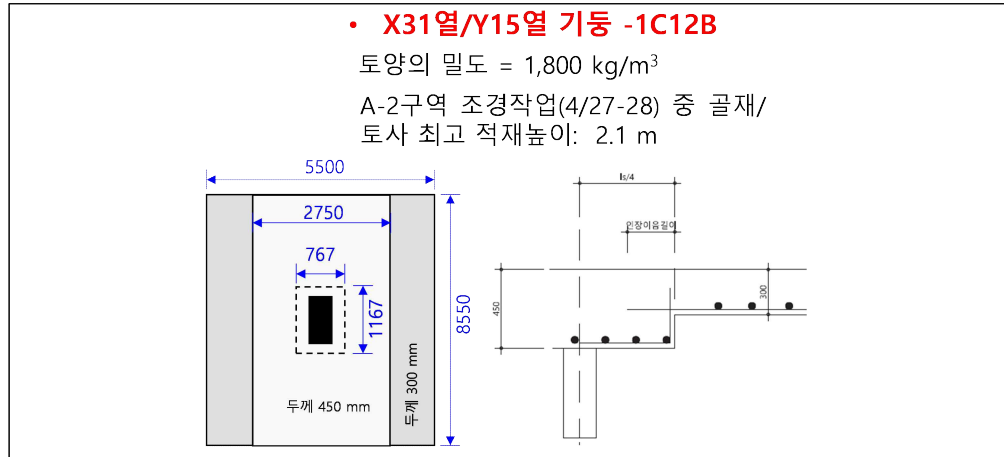


그림 3.4.8 슬래브 위험단면 및 뚫림 전단 부하면적

- 결과적으로 사고 발생 당시 X31열/Y15열 기둥(-1C12B) 위치에서는 슬래브 위험단면에 약 2,263 kN의 전단력(V_u)이 작용하고 있었을 것으로 추정되며, 이는 그림 3.4.9에 나타난 바와 같이 강도감소계수를 고려하지 않은 슬래브 콘크리트 전단강도($V_n = 1781 \text{ kN}$) 보다도 큰 수준임. 따라서, 무량관슬래브 내에 전단철근이 배근되어 있지 않은 구간의 붕괴 위험도는 매우 높았던 것으로 판단됨.
- 또한, 만약 그림 3.4.5에 나타난 장비하중 (약 150 kN)이 부하면적 내에 작용한다고 가정한다면 슬래브 위험단면에 작용하는 전단력은 약 2,413 kN (약 6.6%)까지 증가함. 비록, 붕괴 당시에는 슬래브에 장비가 거치되어 있지는 않았으나, 장비 운용 당시 슬래브에 손상을 주었을 가능성은 있음.

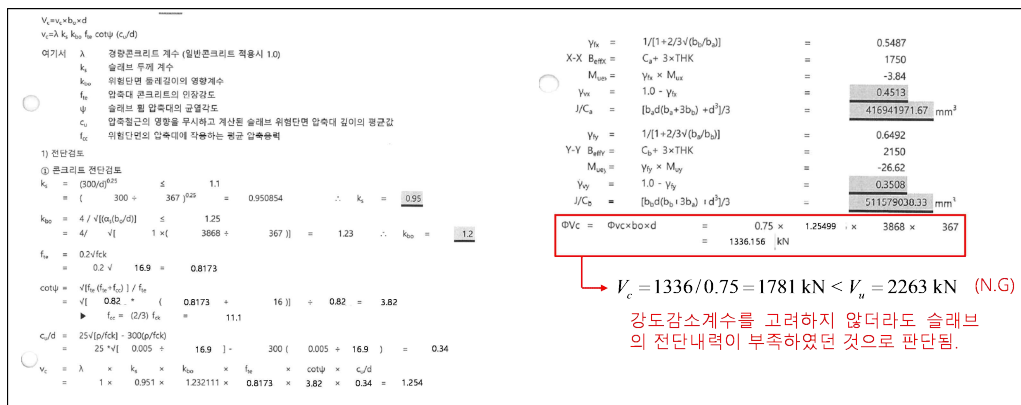


그림 3.4.9 작용하중 추정치와 슬래브의 콘크리트 전단강도

3.5 청문조사

3.5.1 청문 조사의 개요

- 청문 일시와 장소
 - 2023년 6월 1일 14:45 ~ 17:35
 - 사고현장(인천 서구) 현장사무소내 안전교육실
- 청문 대상자와 주요 질의 내용은 아래 표 3.5.1에 정리하였으며, 질의 응답 내용은 요약하여 부록에 첨부하였음.

표 3.5.1 청문대상자 리스트 및 주요 질의 내용

대상기관	주요 질의 내용
구조엔지니어	구조시스템 계획 배경, 구조설계의 계산근거, 구조도면 작성 방식 등
시공사	전단보강근 누락 파악경위, 전단보강근 누락 원인, 콘크리트 품질관리 기준 및 시험 수행 등
건설사업관리자	검측 세부내용(시공관리 기준, 사진촬영, 품질관리 시험 등), 배근상세도 작업 및 승인절차 등
하도급 (철근콘크리트)	철근콘크리트 가공, 작업 방식 및 검측 절차, 작업 근거 도서, 콘크리트 시공상태 확인 등
하도급 (조경)	토사작업의 방식, 작업 중 토사 높이 및 작업 차량 상세, 토사 작업 중 시공사 협의 사항 등

3.6 소결

3.6.1 사고현장 현황조사

- 사고 발생 후 2023년 5월 10일, 5월 22일, 6월 1일 등 3차례에 걸쳐 현장 방문하여 지하 1층 상부 슬래브의 붕괴 및 잔존 기둥 인근 전단보강근 배근 상태, 지하 2층 상부 슬래브 붕괴 및 보 전단 균열 등을 확인하였음.

3.6.2 시공품질 조사

- 시방배합보고서, 콘크리트 시험·검사작업일지 등의 서류상의 품질항목 검토와 더불어, 콘크리트 비파괴 검사(슈미트해머, 초음파법, 조합법), 코어강도시험 등을 실시함.
- 콘크리트 코어강도시험을 위해 5월 17일과 18일, 22일에 콘크리트 코어를 채취하였으며, 5월 24일과 26일에는 압축강도 시험을 실시함. 슈미트해머와 초음파 검사는 5월 8일과 9일에 걸쳐 실시함. 철근은 5월 17일에 채취하여 5월 24일에 시험하였음.
- 서류상의 품질항목 검토 결과, 사고 구간을 포함하는 지하 1층 상부 슬래브에는 총 6개 업체의 레미콘이 타설되었으며, 받아들이기 품질검사에서 타설 업체명, 염화물량 등에 있어 일부 관리소홀에 의한 오기가 발견되었으나, 굳은 콘크리트 및 굳지 않은 콘크리트의 품질특성은 기준을 만족하였음.
- 코어채취 시험체의 압축강도 측정 결과, 사고구간과 가장 근접한 구간에서 채취된 시험체는 설계기준압축강도(24MPa) 및 코어의 강도기준(20.4MPa)을 만족하지 못하는 것으로 확인되었음. 다만, 사고구간에 근접하여 있으므로 붕괴시 충격 등의 영향으로 미세한 균열이 발생하여 코어채취 이전에 강도가 저하되었을 가능성을 완전히 배제하기는 어려움.
- 비파괴 검사 중 반발경도법에 의한 결과는 조사된 구간 중 일부에서 설계 기준강도를 불만족, 초음파법 및 조합법에 의한 강도 추정 결과는 조사된 구간에서 설계 기준강도를 만족하지 못하는 것으로 나타났음.
- 본 조사결과를 타기관(LH)의 시험결과와 비교평가 한 결과, 비파괴 검사 결과는 기관별 조합법에 활용된 식이 상이하여 결과값의 차이가 다소 발생할 수 있으나, 전체적으로 설계 기준강도를 만족하지 못하는 것으로 확인되었음. 코어 채취 시험체의 압축강도와 관련하여 본 조사결과와 LH 시험결과 모두 설계기준압축강도와 코어의 강도기준을 만족하지 못하였음.
- 철근 채취 시료를 이용한 품질 검토결과는 기준을 만족하였음.

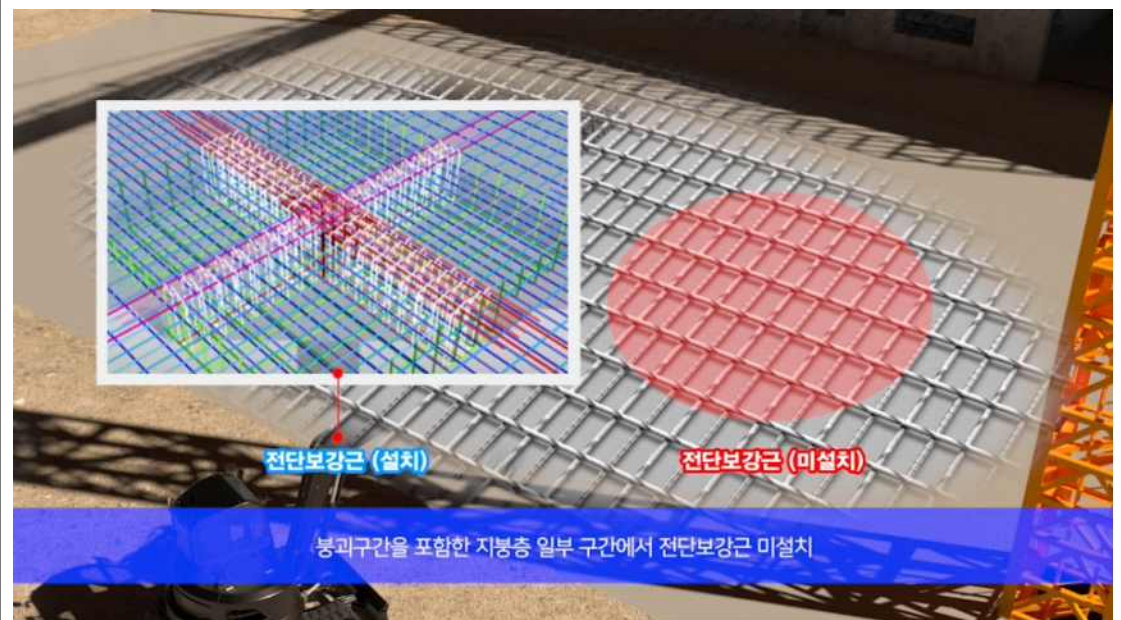
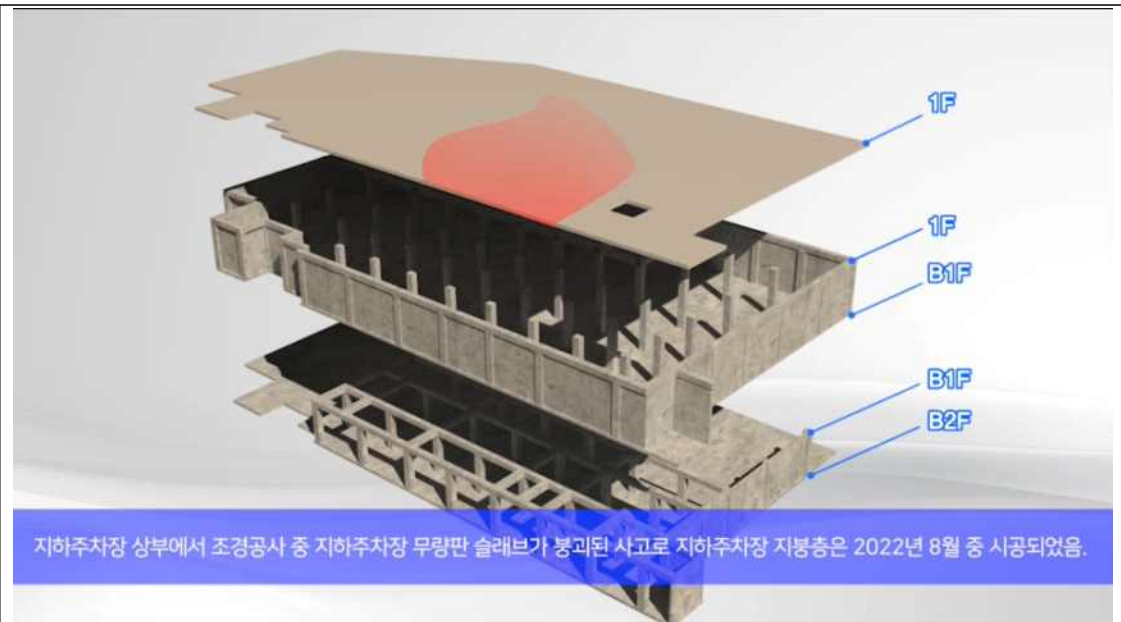
3.6.3 전단배근 시공상태 조사

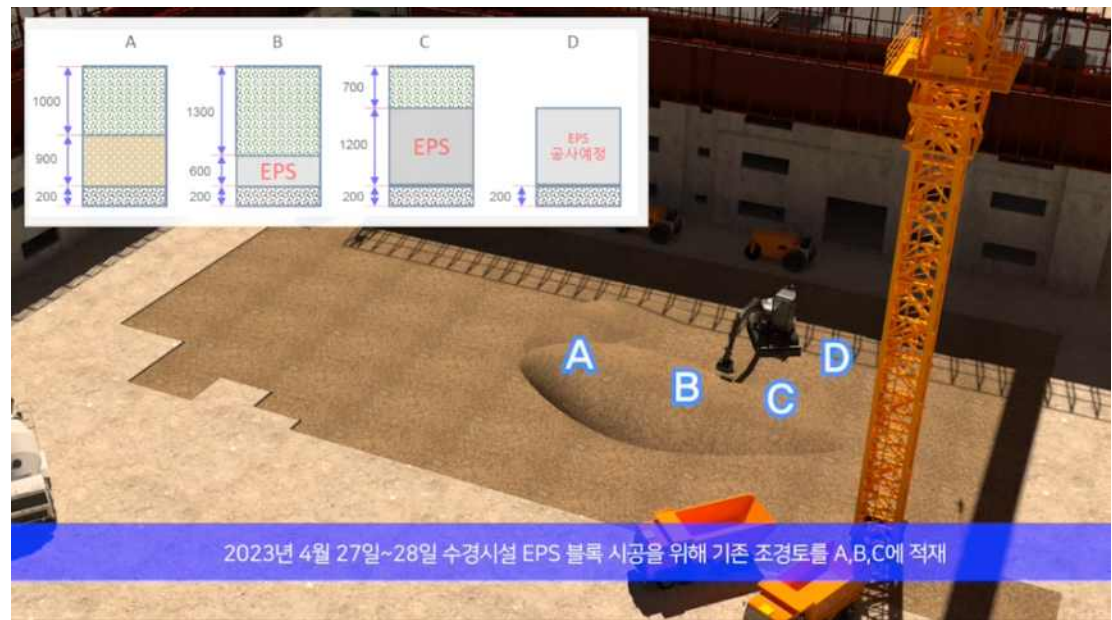
- 사고구간 인근 기둥을 상대로 전단배근 시공상태를 조사한 결과 설계와 시공이 일치하지 않는 기둥이 조사 대상 12개소 중 4개소로 조사되었으며, 시공사에서 무량판 구간에 대해 철근 탐사를 이용하여 전단보강근 시공여부를 조사한 결과에서도 구조도면에 표현되어 있으나 시공이 되지 않은 경우와 구조도면에 표현되어 있지 않아 시공이 되지 않고 전단보강근이 누락된 경우가 다수 있는 것으로 확인되었음.

3.6.4 사고구간 하중재하 상황 검토

- 토사의 밀도는 사고 당시(4/29) 일 강수량(10.3 mm)을 감안하더라도 1800 kg/m^3 추정치 합리적임.
- 기타 별도의 적재물은 거의 없었던 것으로 판단되나, 붕괴사고 전 4월 27일(목요일) ~ 28일(금요일)에 B/H06W장비(14.1톤)와 1톤 롤러를 이용한 터파기/되메우기작업이 수행되었음.
- 토사밀도, 사고 구간에서의 토사/골재 적재높이(최고 2.1m), 강우 상태를 고려하여 산정한 작용하중은 슬래브 두께 450mm 고려시 50.89 kN/m^2 , 슬래브 두께 300mm 고려시 47.29 kN/m^2 임.
- 적재하중이 컸던 것으로 예상되는 기둥을 대상으로 슬래브 위험단면에 작용하는 전단력을 산정하면 2263 kN으로 슬래브의 전단내력인 1781kN 보다 크게 작용하여 무량판슬래브 내에 전단철근이 배근되어 있지 않은 구간의 붕괴 위험도는 매우 높았던 것으로 판단됨.
- 붕괴사고 전인 4월 27일 ~ 28일에 장비하중이 부하면적 내에 작용한다고 가정한 경우 슬래브 위험단면에 작용하는 전단력은 약 6.6% 증가함.

제4장 붕괴 시뮬레이션





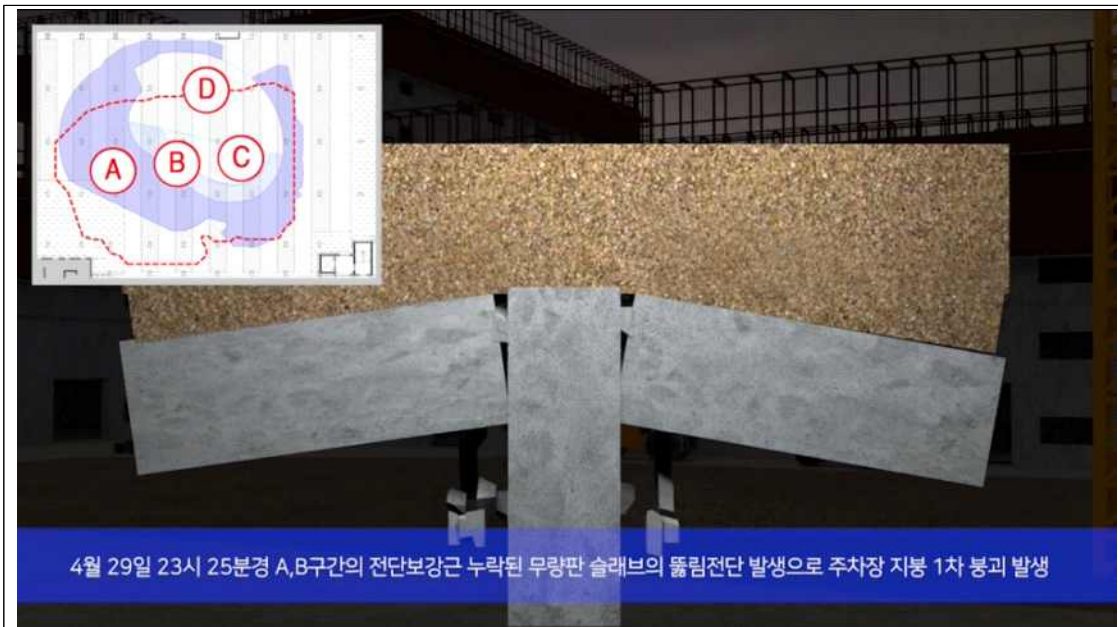


그림 4.1. 붕괴 시뮬레이션 주요 내용

제5장 붕괴 원인분석

5.1 구조안전

5.1.1 구조해석 일반사항

(1) 재료강도

- 콘크리트
 - 설계기준압축강도 : $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ (구조계산서 참조)
 - 현장조사 콘크리트 강도 : $f_{ck} = 16.9 \text{ MPa}$
 - 현장조사 콘크리트 강도는 사고조사위원회에서 실시한 코어 강도시험 결과를 반영하였음.
- 철근
 - $f_y = 500 \text{ MPa}$ - D13 이하 / $f_y = 600 \text{ MPa}$ - D16 이상
 - 구조계산서를 참조하였으며, 사고조사위원회에서 실시한 철근 품질 점검 결과 채취시료가 설계강도를 만족하는 것으로 나타나 구조계산서 상의 강도를 반영하였음.

표 5.1.1 재료강도

구분		설계 강도	현장조사 강도
콘크리트 강도	전체	C24 ($f_{ck} = 24 \text{ MPa}$)	$f_{ck} = 16.9 \text{ MPa}$ (2022.07.28. 타설)
철근 강도	D13 이하	SD500 ($f_y = 500 \text{ MPa}$)	
	D16 이상	SD600 ($f_y = 600 \text{ MPa}$)	

표 5.1.2 코어시험강도 결과

구 분	시료구분	코어채취 부재	압축강도 시험 결과	평 균
사고조사위원회	시료 1	슬래브	16.5 MPa	16.9 MPa
	시료 2	슬래브	15.8 MPa	
	시료 3	슬래브	18.3 MPa	

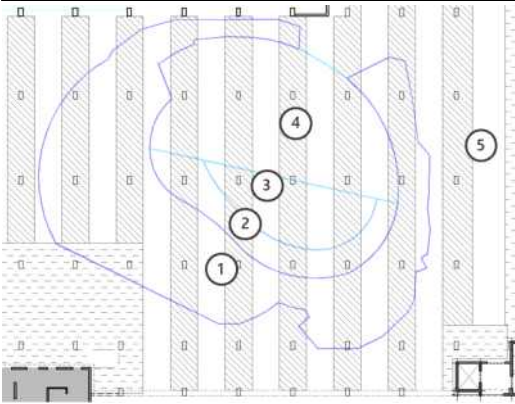
5.1.2 붕괴 시 하중

붕괴 원인의 분석을 위해 붕괴 당시의 하중을 반영하여 해석을 수행하였음.

(1) 고정하중

- 4월 27일, 4월 28일에 EPS블록 설치를 위해 조경토를 이동하였으며, 당시 조경토의 높이를 반영하여 고정하중을 산정하였음.

표 5.1.3 고정하중

하중 반영 구간	골재/토사 최고 적재높이(m)	슬래브 두께(mm)		
		T450	T300	
	①	2.1	50.89kN/m ² (+ 17.84)	47.29kN/m ² (+ 17.84)
	②	1.5	40.09kN/m ² (+ 7.04)	36.49kN/m ² (+ 7.04)
	③	0.9	29.29kN/m ² (- 3.76)	25.69kN/m ² (- 3.76)
	④	0.2	16.69kN/m ² (- 16.36)	13.09kN/m ² (- 16.36)
	⑤	0.2	16.69kN/m ² (- 16.36)	13.09kN/m ² (- 16.36)

*() 안의 값은 설계 하중 대비 붕괴 당시 하중의 증감 값임.

(2) 활하중

- 장비하중 : 16.0kN/m² 적용 (25ton 기준)
- 『주차장 지붕층 토피상부 공사차량 운행에 따른 구조검토(GS건설)』 참조

종 류	제조사	차량 중량	최대적재량	차량총중량	전 장	전 폭	전 고
24 톤	IVECO	132.0 kN	240.0 kN	372.0 kN	8.565 m	2.495 m	3.100 m
25 톤	IVECO	132.0 kN	255.0 kN	387.0 kN	8.565 m	2.495 m	3.100 m



(W = 차량중량)

$$W = 1.3(\text{충격계수}) \times 0.75 \times (\text{차량} + \text{적재})$$

$$= 1.3 \times 0.75 \times (132.0 + 255.0) = 377.3 \text{ kN}$$

$$P1(0.05W) = 0.05 \times 377.3 = 24.5 \text{ kN}$$

$$P2(0.15W) = 0.15 \times 377.3 = 56.6 \text{ kN}$$

$$\text{한산등분포 하중} = \frac{56.6}{4.4} = 12.86 \text{ kN/m}$$

$$\left(\frac{1.825}{2} + 0.1 + 1.2 \right) \times \left(\frac{1.38}{2} + 0.1 + 1.2 \right) = 4.4$$

그림 5.1.1 25톤 트럭 기준 적용 활하중 산정식

5.1.3 구조안전성 검토

구조안전성 검토를 위해 구조설계 시 사용한 구조해석 프로그램 Midas Gen 을 사용하였으며, 2장에서 사용한 검증 모델링을 통해 검토를 진행하였음.

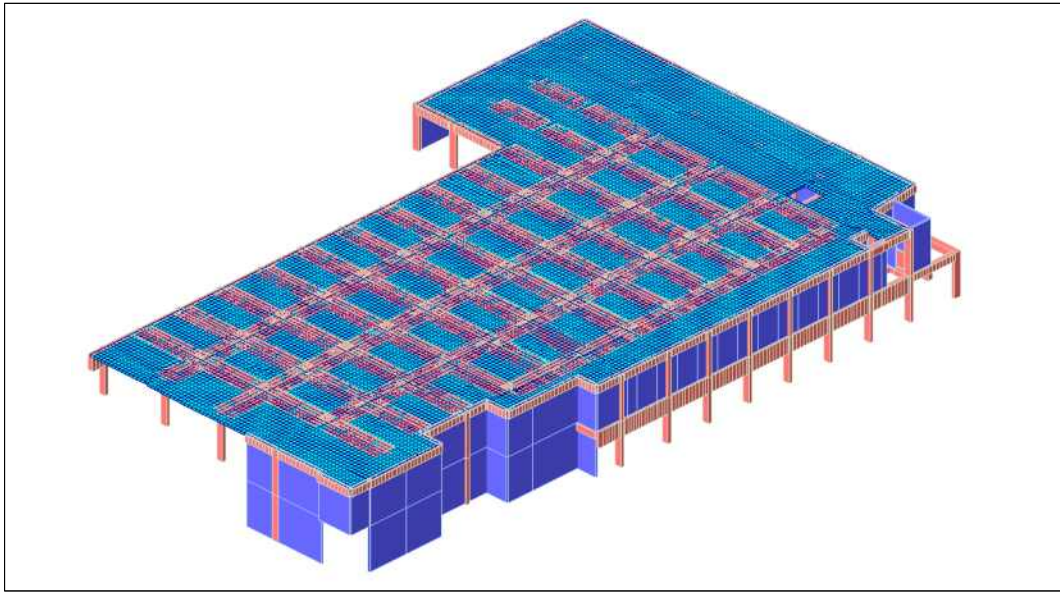


그림 5.1.2 구조해석 모델링

5.1.3.1 개요

- 하중조합 : $1.0D + 1.0L$ (활하중 저감 미적용)
- 강도감소계수 : KDS 14 20 90 4.2.4 평가를 위한 강도감소계수 적용

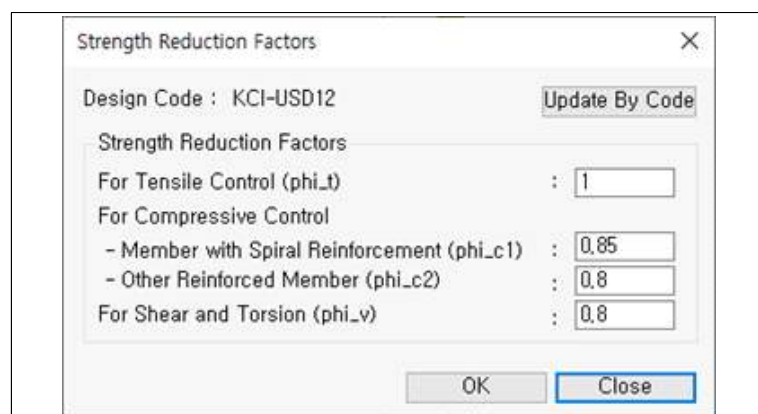


그림 5.1.3 강도감소계수

- 기본 슬래브 두께 300mm, 드롭 패널 적용하여 슬래브 450mm 구간에 적용.
- 설계하중에서 산정한 고정하중을 구간별로 적용.

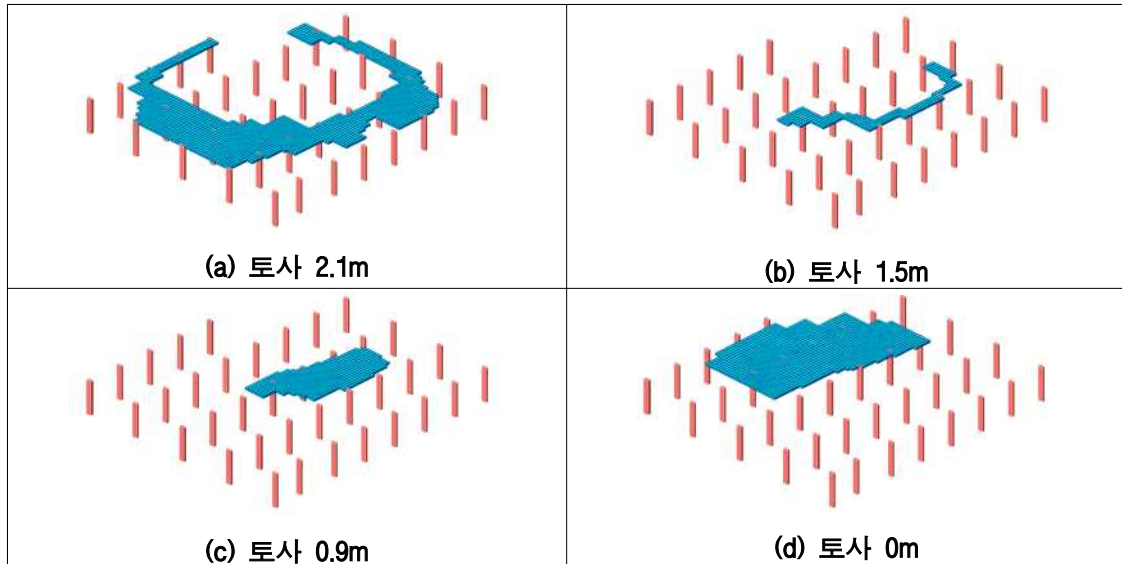


그림 5.1.4 토사 높이에 따른 하중 입력 구간

5.1.3.2 슬래브 전단응력검토

- 전단 보강근 시공 여부는 현장조사를 통해 확인하였으며, 전단 보강근 유무에 따른 전단 강도를 산정한 후 기둥 축력에 따른 슬래브의 전단력 검토를 수행하였음.



그림 5.1.5 붕괴구간 전단보강근 시공여부

(1) 전단강도 산정

- 전단강도 산정 시 현장조사 콘크리트 강도를 적용하였으며, 강도감소계수는 고려하지 않았음.
- 전단 보강근 확인이 불가능한 경우에는 전단보강근이 없는 것과 동일한 강도로 슬래브 전단력 검토를 수행하였음.

표 5.1.4 전단강도 산정

	전단강도 산정식	설계기준압축강도 (C24)	현장조사 강도 (C16.9)
전단보강근이 있는 경우	$V_c + V_s$	5,054 kN	4,818 kN
전단보강근이 없는 경우 전단보강근 확인 불가	V_c	2,024 kN	1,781 kN

(2) 슬래브 전단응력 검토

- 설계하중보다 적게 적재된 구간 : 전단보강근 없이 전단강도 확보
- 설계하중보다 초과하여 적재된 구간 : 전단 보강근이 있는 경우에는 전단강도 확보, 전단보강근이 없는 경우에는 전단강도 미확보

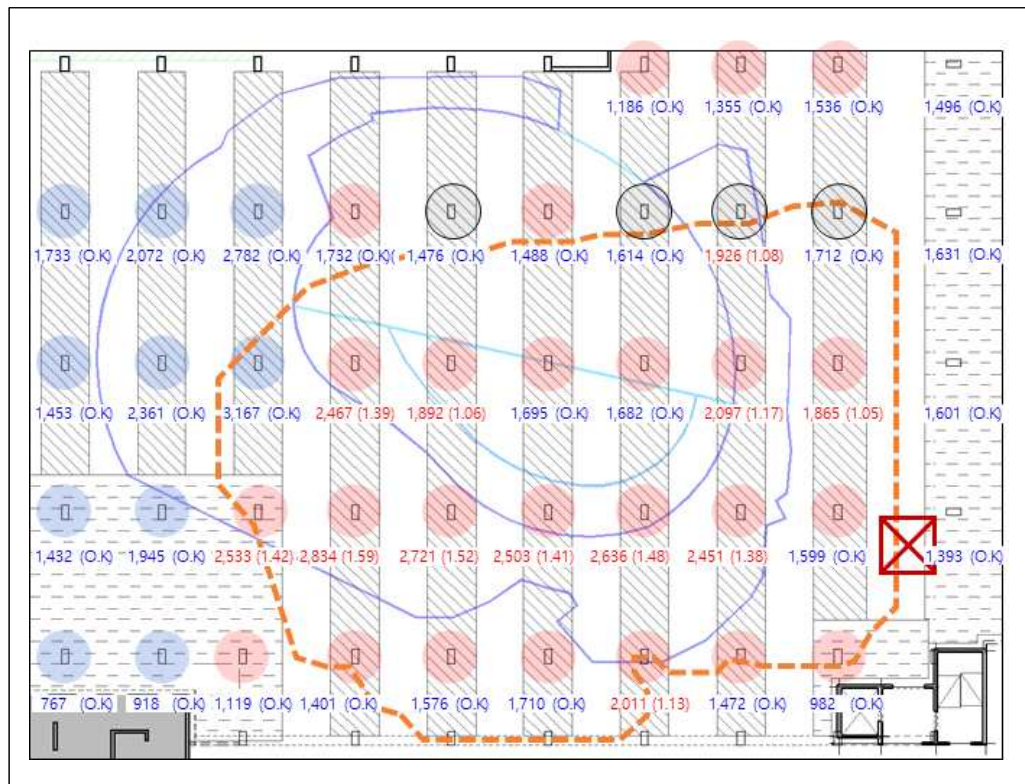


그림 5.1.6 전단보강근 검토 결과

(3) 검토 결과

- 전단강도를 확보하지 못한 구간은 초과하중 영역 및 붕괴구역과 유사한 형태로 분포되어 있음.
- 전단강도를 확보하지 못한 구간은 총 12개소이며, 이 중에서 4개소에 대해서는 강도 저하로 인하여 전단강도를 확보하지 못한 것으로 나타났으며, 나머지 8개소에 대해서는 설계강도(C24)를 확보해도 전단강도가 부족한 것으로 나타났음.

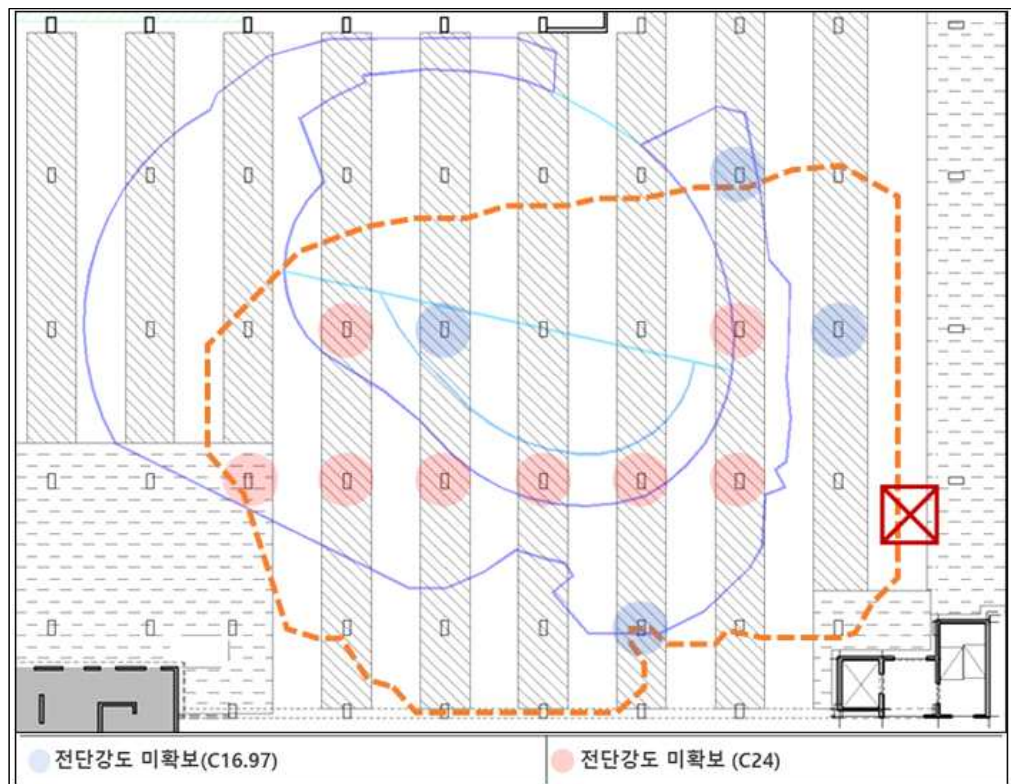


그림 5.1.7 전단강도 미확보 구간

5.1.3.3 슬래브 휨응력검토

- 구조 상세도 및 시공상세도를 통해 배근 상태를 확인 후에 휨강도를 산정하였음. 각 방향별 상부근, 하부근에 대해 설계 휨강도를 산정한 후 슬래브의 휨 응력과 비교하여 검토하였음.

(1) X방향 상부근



그림 5.1.8 슬래브 X방향 상부근 설계 휨강도

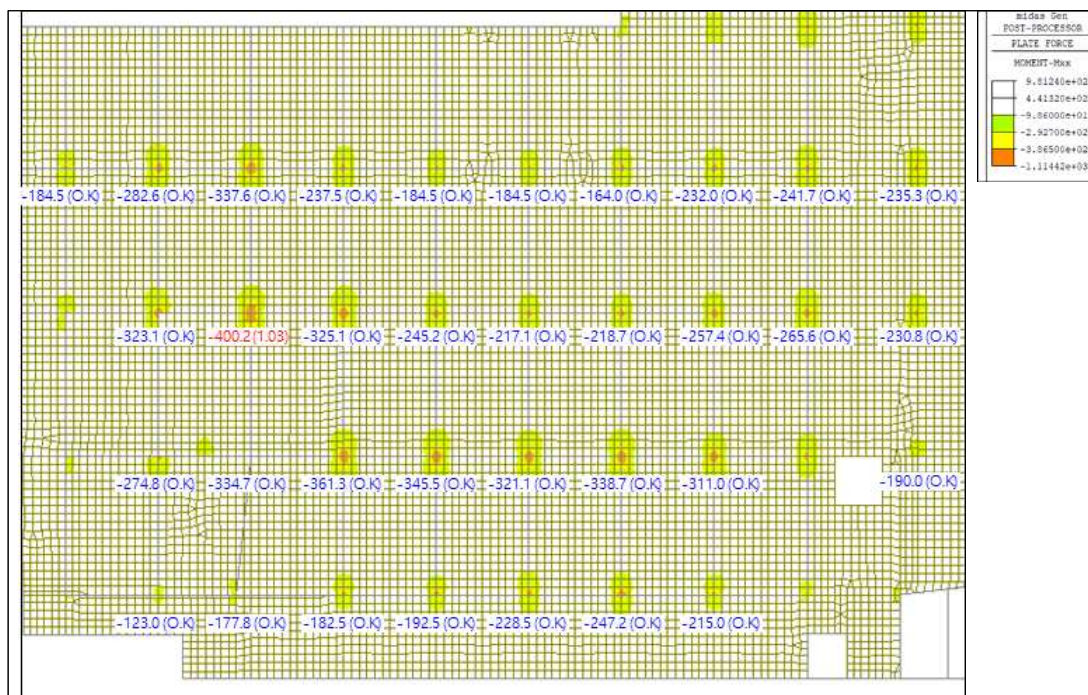


그림 5.1.9 슬래브 X방향 상부근 ratio

(2) X방향 하부근



그림 5.1.10 슬래브 X방향 하부근 설계 휨강도



그림 5.1.11 슬래브 X방향 상부근 ratio

(3) Y방향 상부근

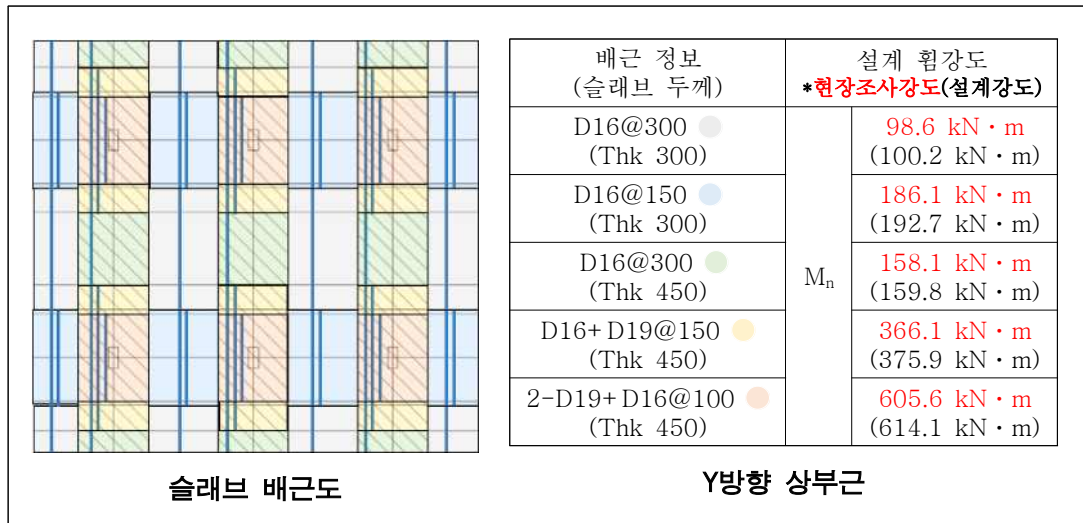


그림 5.1.12 슬래브 Y방향 상부근 설계 휨강도

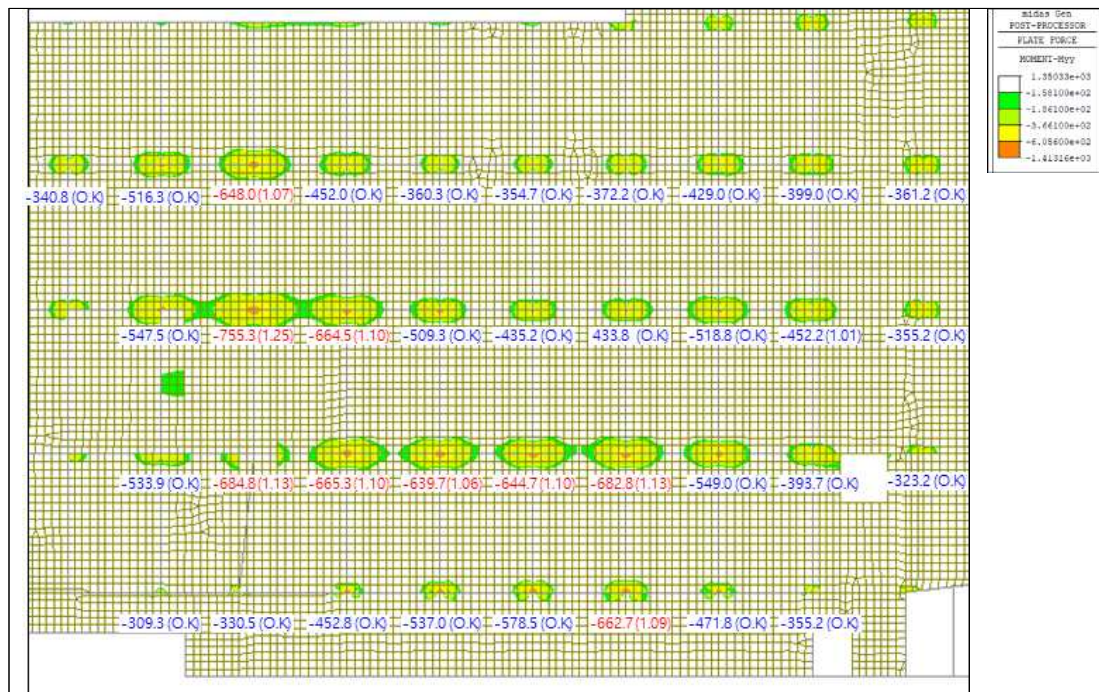


그림 5.1.13 슬래브 Y방향 상부근 ratio

(4) Y방향 하부근

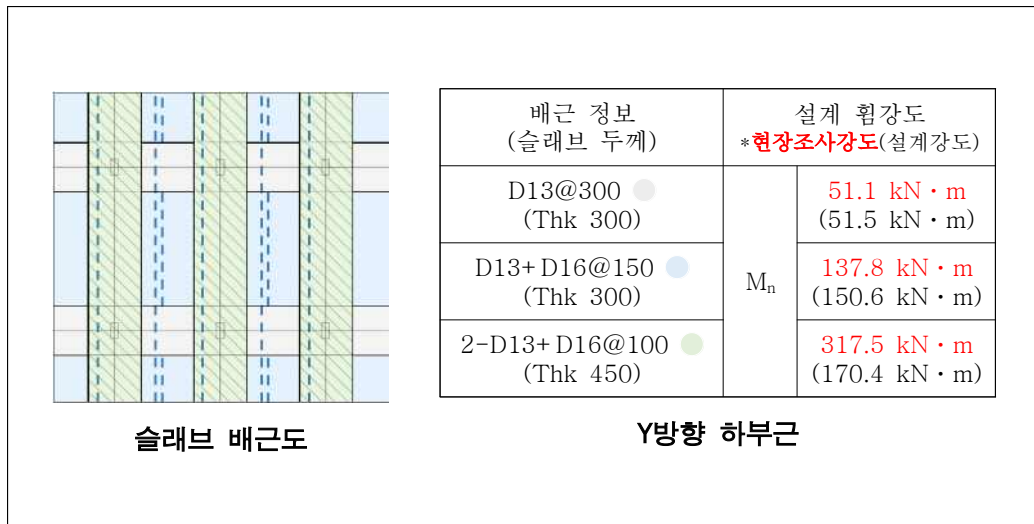


그림 5.1.14 슬래브 Y방향 하부근 설계 휨강도

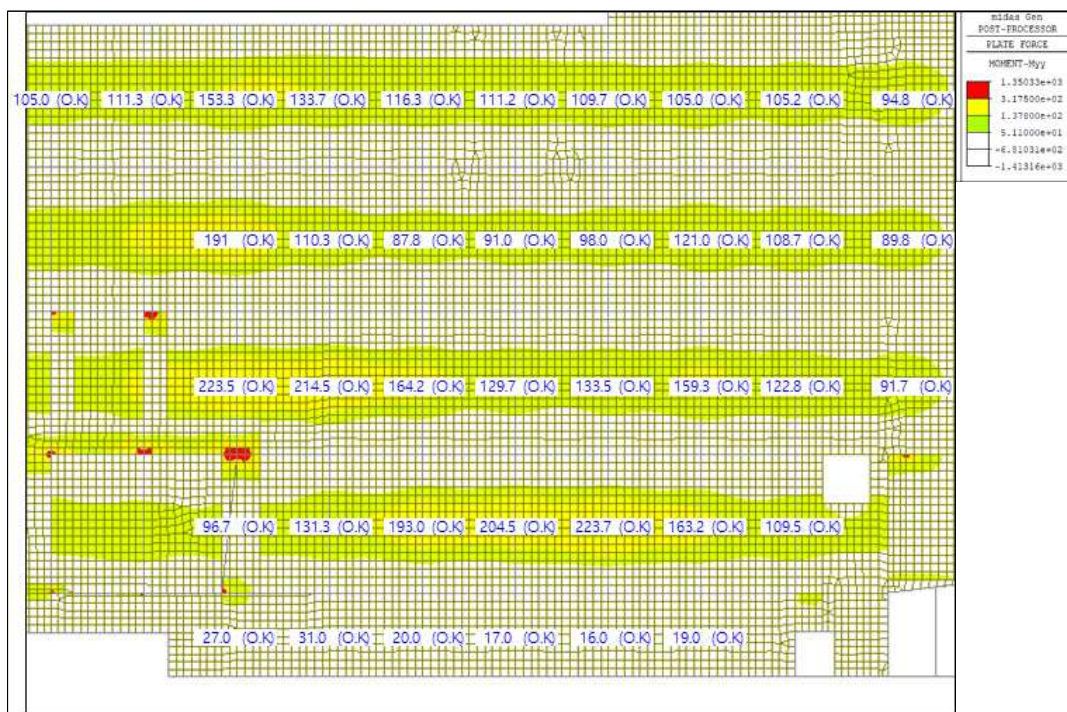


그림 5.1.15 슬래브 Y방향 하부근 ratio

(5) 검토 결과

- 설계하중보다 적게 적재된 구간 : 휨강도 확보
- 설계하중보다 초과하여 적재된 구간 : 일부 휨강도 미확보
- 휨강도를 확보하지 못한 구간은 초과하중 영역에 분포되어 있음

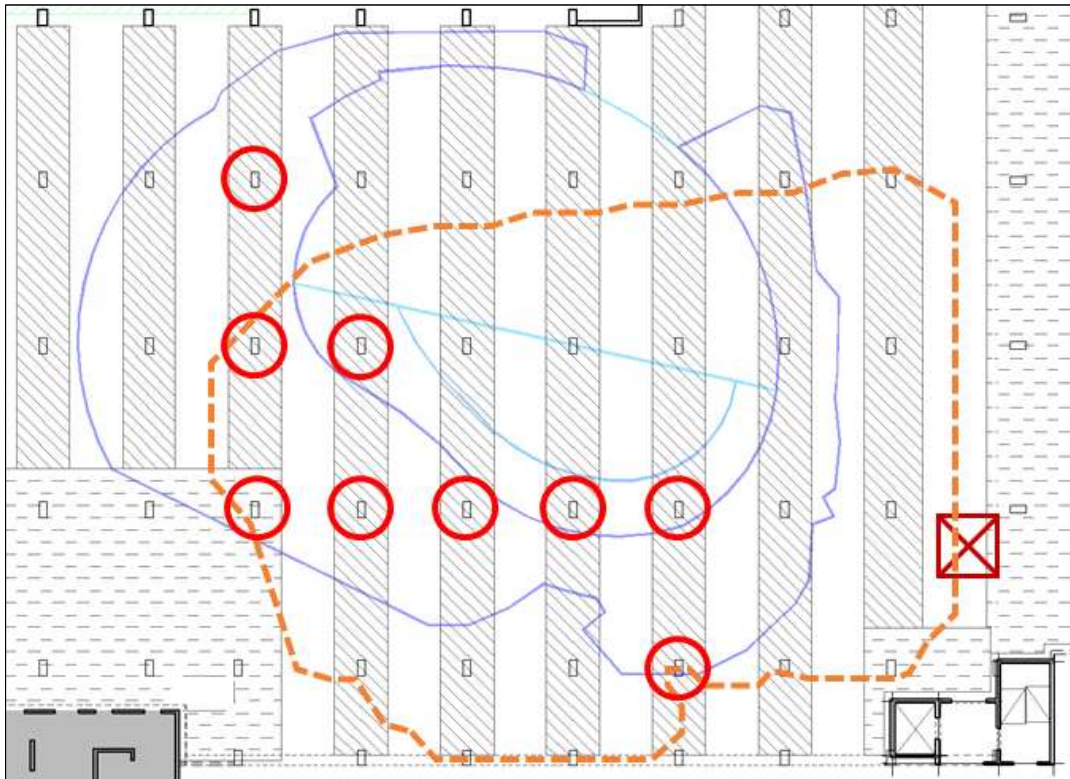


그림 5.1.16 휨강도 미확보 구간

5.1.3.4 검토 결과

- 현장조사 콘크리트 강도 및 붕괴 시 하중에 따른 구조안전성 검토를 실시하였음. 슬래브 전단력 검토 결과, 초과하중이 작용하는 구간에 전단보강근이 배근되지 않은 경우 전단강도를 확보하지 못하는 것으로 나타났음. 전단강도를 확보하지 못하는 구간은 붕괴구역과 유사한 분포로 형성되어있는데, 이 중 일부는 콘크리트의 설계기준압축강도 적용 시에는 전단강도를 확보하는 것으로 나타났으나, 대부분은 설계기준압축강도에서도 전단강도를 확보하지 못하였음.
- 슬래브 휨응력 검토 결과, 초과하중이 작용하는 일부 구간에서 휨강도를 확보하지 못하는 것으로 나타났음.

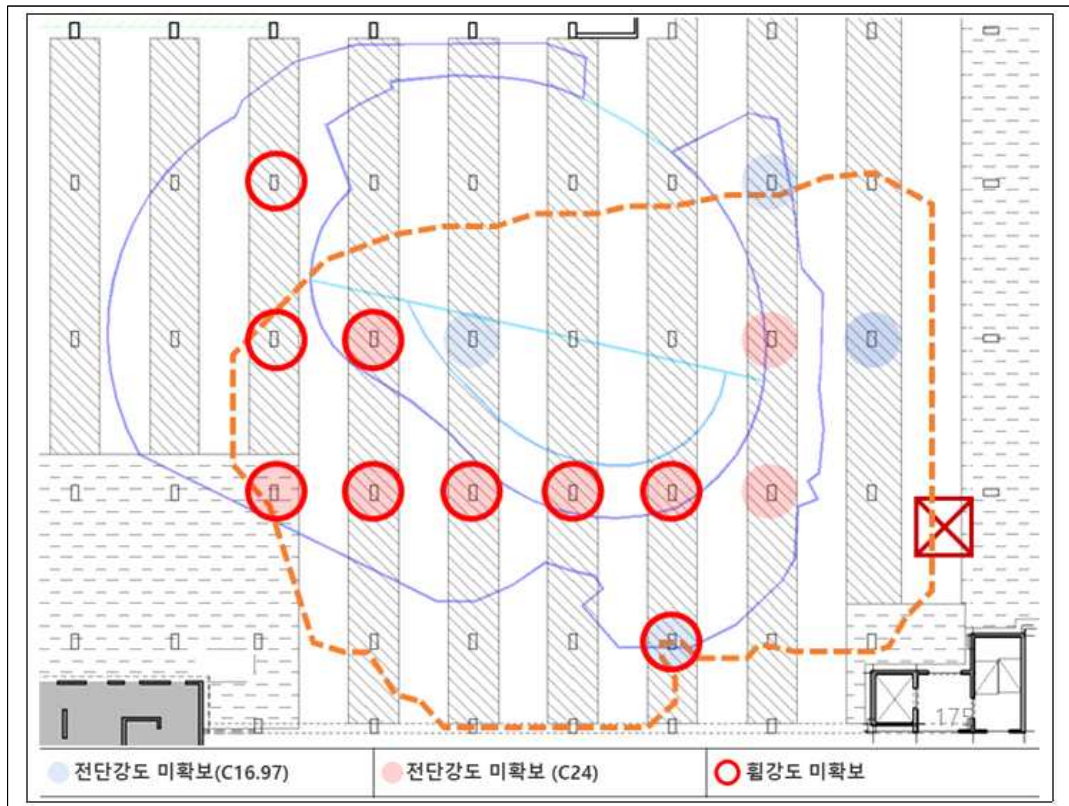


그림 5.1.17 구조안전성 검토 결과

5.1.3.5 붕괴원인 분석

- 전단보강근이 미설치된 구역에 설계하중을 초과하는 하중이 작용하게 되면서 뚫림전단 파괴가 발생하여 붕괴가 일어난 것으로 추정되며, 위와 같은 해석 결과를 종합하여 예상 붕괴 시나리오를 다음과 같이 작성하였음.

5.1.4 붕괴 시나리오

붕괴 시나리오는 붕괴 전 시공현황(조경공사 관련 자료 참고), 붕괴 시 CCTV 및 붕괴 시 구조안전성 검토 내용을 바탕으로 구성하였음.

(1) 붕괴 전

- 2023.04.03., 2023.04.04., 2023.04.08.에 골재 + 조경토 0.9m 반입하여 성토하고 평탄화 작업 진행함.

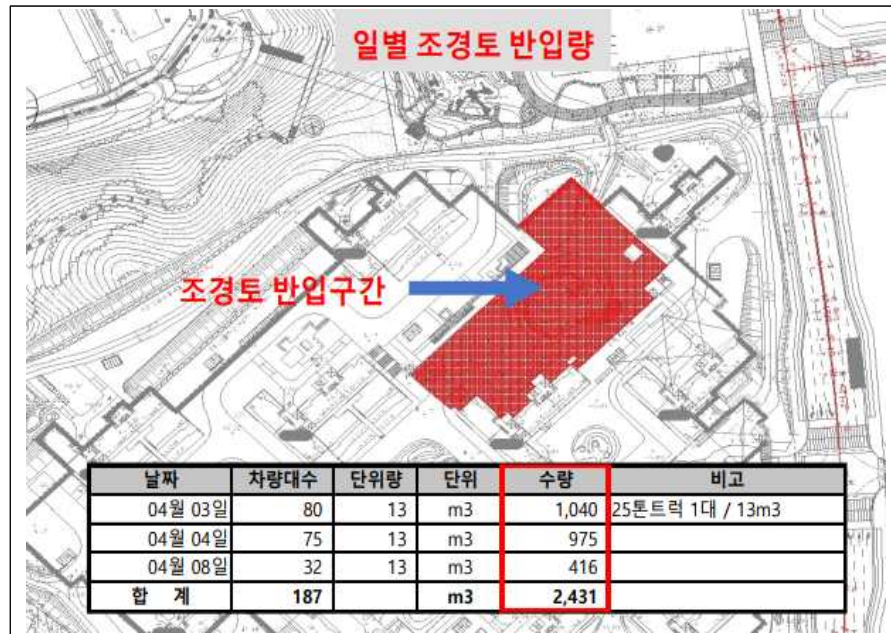


그림 5.1.18 일별 조경토 반입량

- 2023.04.27., 2023.04.28. - EPS 블록 설치를 위해 장비B/H06W(1대), 1톤로라(1대)를 운용하여 조경토 반출 없이 측면에 흙을 이동하여 공사함.



그림 5.1.19 EPS 블록 시공 시 투입된 장비 현황

(2) 1차 붕괴

- 조경토가 1.3m이상 적재된 곳에서부터 전단 내력 부족으로 인하여 뚫림 전단현상이 발생하여 주변 슬래브가 연속으로 붕괴된 것으로 추정됨.

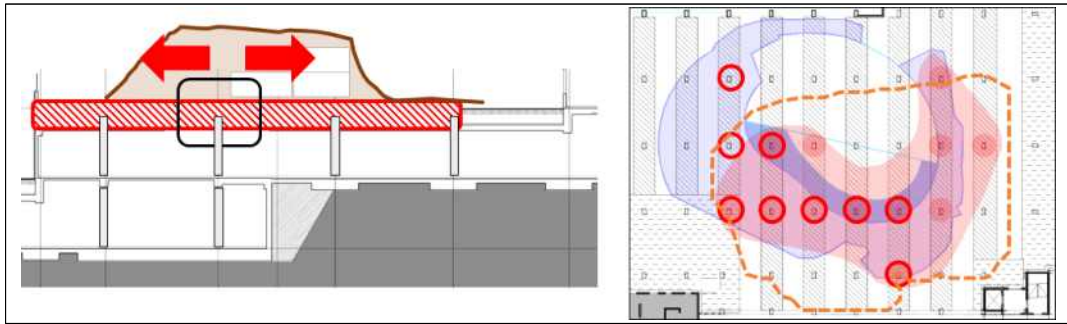


그림 5.1.20 1차 붕괴구간

- 붕괴영상에서 1차 붕괴 시 해당구역의 토사가 한번에 쓸려내려감. 따라서 1차 붕괴 시 지붕층 슬래브는 동시에 무너졌을 것으로 추정됨.



그림 5.1.21 1차 붕괴 시 CCTV

(3) 2차 붕괴

- 1차 붕괴로 인해 지하 1층 기초 및 데크슬래브에 붕괴 잔해와 조경토가 하부로 떨어지는 충격에 의해 지하 2층까지 2차 붕괴 발생함.

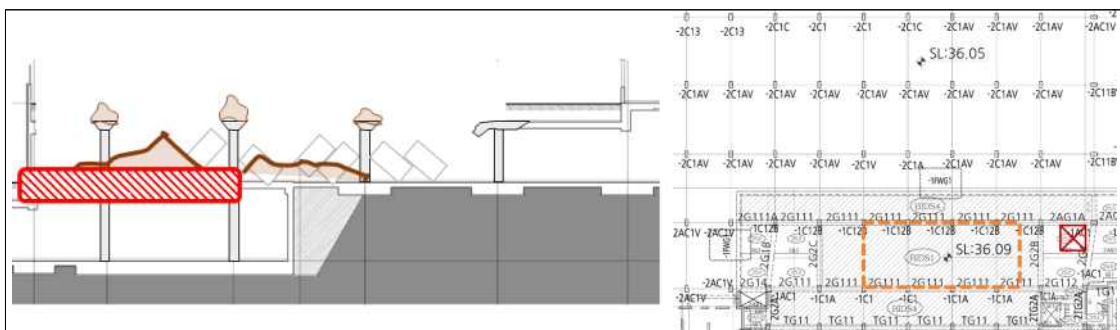


그림 5.1.22 2차 붕괴구간

- 1차 붕괴에서 2차붕괴까지 영상으로 확인한 결과 약 3초 정도 소요되었으며, 2차 붕괴로 인한 충격으로 타워크레인 기초에 충격이 가해지면서 영상에서는 2차 충격의 진동이 더 큰 것으로 예상됨.

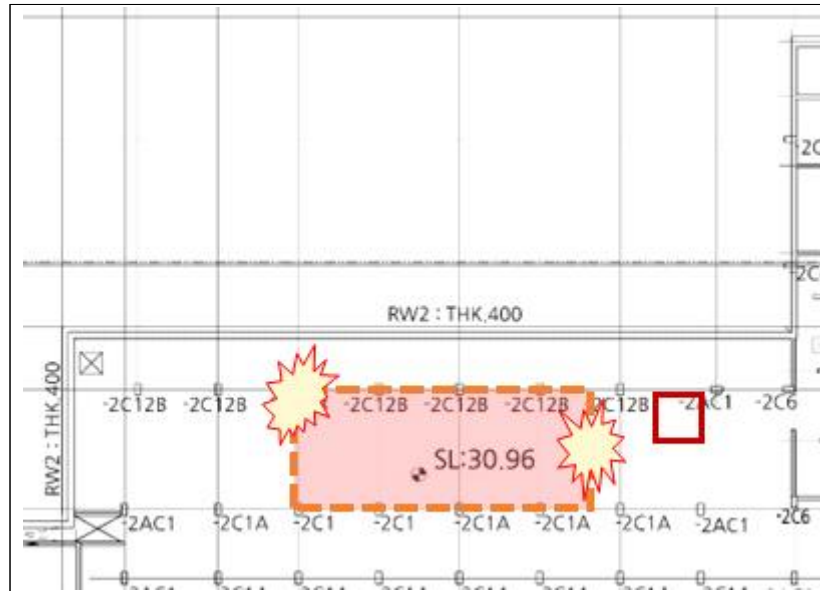


그림 5.1.23 SL + 30.96 붕괴구간 및 타워크레인 기초

5.2 공사관리

5.2.1 계획 단계(발주/입찰/계약 단계)

- 이 아파트의 건설계획 단계(2020년 7월 설계사 계약)에서는 지하주차장 슬래브는 무량판구조 형식으로 되어 있었고, 건설사업자(시공사) 선정 후 및 계약이 진행되는 과정에서, 건설사업자는 지하주차장 슬래브를 라멘구조로 VE 제안(2020년 11월)함.

5.2.2 설계변경 및 승인 단계

- 건설사업자(시공사)가 지하주차장 슬래브를 라멘구조로 VE 제안(2020년 11월) 한 후 설계사, LH, 구조엔지니어 등이 이를 검토하고, 설계 변경 심의회를 거쳐 최종적으로 무량판(플랫슬래브)구조와 라멘 구조를 혼용한 형태로 승인됨(2021년 3월).

5.2.3 구조 설계 단계

- 이 아파트의 전체 구조시스템은 콘크리트 벽식 구조이며 지하주차장 부분은 무량판구조와 라멘구조를 혼용한 형태로써, 구조설계는 국가건설기준 “KDS 14 20 01 콘크리트구조(강도설계법) 일반 사항(1.6 설계고려사항, 부록 2.3 하중)”, “LHCS 14 20 10 콘크리트”에 근거하여 통상적으로 설계한 것으로 판단됨.
- 붕괴 구간 지하주차장 슬래브 상부가 콘크리트 인공지반식재기반(KCS 34 30 15) 임을 고려할 때, 구조설계 단계에서 인공지반식재기반 식재공사(KCS 34 40 15, LHCS 34 30 11) 과정에서 이루어지는 각종 공사(토공사, 조정 시설 공사 등)와 관련한 시공 하중(식재 종류, 토사 조성 높이(최대 심근성 교목, 대교목은 1.5 m), 배수용 자갈층 200mm, 기타 부속 자재 등에 대한 정보가 정확히 제공되지 않은 것으로 판단됨.
- 붕괴 구간 지하주차장 슬래브에 대한 구조설계는 현행의 “건축물 설계하중(KDS 41 12 00), 건축물 콘크리트구조 설계기준((KDS 41 20 00), 콘크리트구조 전단 및 비틀림 설계기준(KDS 14 20 22)”에 따라 통상적으로 설계된 것으로 판단되나, 시공을 위한 구조상세설계도(철근배근상세도)에서는 슬래브와 기둥의 연결부에서 전단보강근 설계가 다수 누락되었음.

5.2.4 실시설계(철근배근상세도, Shop Drawing) 단계

- 구조도면을 기초로 한 철근배근상세도(Shop Drawing) 작성(시공사) 과정에서 붕괴된 슬래브와 기둥 연결부에서의 전단보강근 표시가 다수 누락되었고, 철근배근상세도(Shop Drawing)에 따라 철근 검측을 실시하고, 승인(건설사업관리자)하는 과정에서도 이를 발견하지 못하였음.

5.2.5 시공 단계(철근공사/콘크리트 공사/조정 공사)

(1) 철근 공사 관리

- 철근 공사는 국가건설기준(KCS 14 20 11 철근 공사, LHCS 14 20 11 05 철근 전문)에 근거하여 통상적으로 진행된 것으로 판단됨. 다만 국가건설기준에는 본 사고와 관련한 무량판구조에 대한 구체적인 철근 공사 기준을 별도로 규정하고 있지는 않음.
- 무량판구조의 특성을 고려하여 철근 공사에 대한 별도의 관리기준이 없

는 관계로 이 아파트 지하주차장 슬래브에 대한 철근배근 작업자(철근콘크리트공사업자)는 전단보강근이 누락된 철근배근상세도(Shop Drawing)를 가지고 통상적으로 작업을 진행한 것으로 판단됨.

(2) 콘크리트 공사 관리

- 콘크리트 공사는 국가건설기준(KCS 14 20 10 일반콘크리트 공사, LHCS 14 20 10 콘크리트)에 근거하여 통상적으로 작업을 진행한 것으로 판단됨.
- 콘크리트 받아들이기 시험의 기록과 거푸집 및 동바리의 관리 기록 등은 대체적으로 국가건설기준에 적합한 것으로 나타남.
- 그러나, 코어채취에 의한 구조체 콘크리트 강도시험을 실시한 결과, 사고 구간 부위의 콘크리트 강도가 설계기준압축강도 및 코어의 강도기준에 미달하는 것으로 나타남.

(3) 조경 공사 관리

- 조경 공사는 국가건설기준(KCS 11 00 00 지반공사, KCS 11 20 20 흙쌓기, LHCS 11 20 20 흙쌓기(성토))에 근거하여 통상적으로 작업을 진행한 것으로 판단됨. 다만 국가건설기준, 건설사업자 혹은 건설사업관리자 자체 기준에는 본 사고와 관련한 무량판구조의 콘크리트 슬래브 상부에서 진행되는 조경공사(인공지반식재기반)에 따라 발생할 수 있는 취약점을 고려한 구체적인 안전관리 기준은 없음.
- 이에 현장에서는 조경토 운반·하차·쌓기·흙고르기·관련 중장비 이동하는 공사(토목공사), EPS 블록 설치·조경토 이동 및 쌓기·관련 중장비의 이동(조경공사)에 대한 집중적 안전 관리가 이루어지지 않은 상태에서 통상적인 방법에 따라 공사가 진행되었음.
- 붕괴된 지하주차장 1층 상부 슬래브 공사를 위한 바닥 거푸집 설치, 동바리 설치(2022년 6월, 7월), 철근 배근 작업 후 콘크리트를 타설한 후 양생기간을 거쳐 해체(2022년 8월, 9월)하였음. 동바리 해체 후 천정 뿔철공사 등이 이루어졌고, 2023년 4월 조경공사를 위한 조경토 반입, 하차, 포설 등이 이루어졌고, 4월 27, 28, 29일에 조경용 EPS블록 설치를 위한 조경토 이동 쌓기 작업이 진행되었음. 다만 이때, 무량판슬래브의 상부 하중 관리를 위한 동바리의 재설치는 없었음.

5.2.6 검토·확인·검사 단계(감리 단계)

- 설계 및 시공, 시공 전·중·후의 검토·확인·검사 등을 위한 “건설사업관리 업무수행계획서”는 현행의 국가건설기준(KDS, KCS, LHCS)에 근거하여 작성되었다고 판단되나, 지하주차장 무량판구조의 특성을 고려한 구체적인 관리계획의 수립은 미흡함.
- 건설사업관리검측업무지침 3. 주요공사 시공확인시점 및 검사범위, 4. 공정단계별 주요 검사항목, 철근 배근 후 배근상태 검사 기준, 검측체크리스트 등에서 지하주차장 무량판슬래브와 기둥의 접합부에 대한 철근 배근 작업, 조경공사 시 조경토 조성이나 식재 작업의 경우 슬래브에 미치는 하중 부가 영향에 대한 관리 지침은 없음.
- 다만 건설사업관리자가 사업 초기에 작성한 ‘중점품질관리계획’ 중 중점 품질관리항목(철근콘크리트 공사) 세부관리항목(p. 23 철근공사, p. 24 콘크리트 공사)에서는 “무량판슬래브에 대한 철근 배근 작업과 콘크리트 타설에 대한 관리”가 명시되어 있었으나, 실제 구조설계도면 검토 단계, 시공상세도 작성 단계, 철근배근 검사 단계 등 시행단계에서는 전단보강근이 누락된 상태를 확인하지 못하였음.

5.3 소결

- 아파트 지하주차장 슬래브 붕괴의 1차적 원인으로는 ① 전단보강근 미설치에 따른 슬래브 전단내력 부족, ② 조경공사 등 설계하중을 초과하는 시공하중에 대한 조치 미흡, ③ 붕괴구간 콘크리트 재료의 품질 저하로 분석되었음. 특히, 전단보강근 미설치와 관련해서는 전단보강근 관련 구조해석시의 구조계획과 구조계산서 상 부재일람표의 불일치, 시공 시 일부 구간 전단보강근 설치 누락, 구조도면과 철근배근상세도(Shop Drawing)의 상세 미흡, 배근상세도 검토 및 승인 시의 전문성 결여 등에서 기인된 것으로 도출되었음.
- 또한, 붕괴사고의 간접적 원인으로는 ① 무량판슬래브 접합부 배근상태 등에 대한 검측 미흡 ② 조경공사 등 시공하중 적재 시에 대한 구조검토 및 확인 미흡 ③ 무량판구조의 안전확보를 위한 설계기준과 표준시방서의 미흡이 도출됨.
- 이상의 붕괴 원인분석 결과를 담당업무별로 구분하여 정리하면 다음의 표 5.3.1과 같음.

표 5.3.1 담당 업무별 주요 문제점

담당업무	주요 문제점
설계 (구조설계)	<ul style="list-style-type: none"> 구조계산서 상 구조부재의 전단보강근 설치 여부 작성 오류 구조도면 작성 중 사고구간 외 일부 부재의 부재일람이 구조계산서와 상이하게 작성
시공	<ul style="list-style-type: none"> 설계서 검토 및 대안제시, 배근상세도 작성과정에서 전단보강근 누락 부재 미확인 시공과정에서 설계도면에 나타나 있는 전단보강근 설치 일부 누락 조정공사 등 시공하중 작용에 대한 구조검토 미실시 현장 콘크리트 강도부족에 대한 관리 부실
건설사업관리 (감리)	<ul style="list-style-type: none"> 설계도서 및 배근상세도 승인과정에서 전단보강근 누락 미확인 무량관슬래브 시공과정에서 전단보강근 배근에 대한 검측 미실시
발주	<ul style="list-style-type: none"> 설계서 검토 및 승인 과정 미흡 품질관리계획서 승인 과정 미흡

제6장 재발방지대책

6.1 구조안전 측면

(1) 무량판구조의 구조안전 확보

- 무량판구조는 층고 확보 등의 장점이 있으나, 슬래브의 전단파괴에 취약하여 구조적 안전성 확보를 위해서는 설계와 공사관리 등 전반적인 관리가 필요함. 전단파괴는 취성파괴에 해당하며 그 파괴 특성상 전조증상(균열)부터 붕괴까지 급격히 일어날 수 있으며, 발생하는 경우 그 충격으로 주변 구조부재에 연쇄붕괴를 일으켜 극심한 인명 및 재산상의 피해를 유발할 수 있음.
- 따라서, 건축법에 따라 국토교통부장관이 고시하는 특수구조 건축물에 무량판구조를 포함하여 구조안전에 관한 심의절차와 구조감리를 강화할 필요가 있음.
- 또한, 현재 국가건설기준센터에서 개발 중인 무량판구조 건축설계기준을 조속히 도입하고 이와 연계된 표준시방서를 개발하여 무량판구조에 대해서는 별도의 기준으로 설계 및 공사관리가 철저하게 이루어질 수 있도록 함.

(2) 특수구조 건축물 구조협력 범위 확대

- 특수구조 건축물에 대하여 관계법령에서 규정하고 있는 관계전문기술자와의 협력에서 구조물의 형식에 따라 책임구조기술자의 참여범위를 확대할 필요가 있음.
- 관계법령에서 규정하는 상세시공도면 중 구조관련 상세도는 전문성을 보유한 관계전문기술자의 협력을 받도록 개선이 필요함.
- 특수구조 건축물 중 무량판구조나 전이구조 건축물 등과 같이 붕괴 시 인명피해가 발생했거나 발생할 가능성이 큰 건축물은 붕괴취약 건축물로 규정하여 설계 및 시공을 독립된 제3자가 검증하는 안전확인 절차 도입을 고려할 필요가 있음. 이 절차는 미국에서도 채택하고 있으며 플로리다 붕괴 사고 방지대책에도 제3자 검증의 중요성을 강조하고 있음.

(3) 건축물 구조안전을 위한 책임주체 제도 정비

- 현재 제도상 건축물은 구조계산 및 설계도서작성(건축구조기술사, 건축사)→도서검토 및 철근배근상세도 작성(시공사)→감리 및 검측(감리) 등으로 절차별 책임주체가 달라짐에 따라 오류 발생 가능성이 상존하고 있음.

- 특히, 구조안전과 관련한 절차에서는 관련 전문성을 가진 인력의 참여가 필요하나, 일반적으로 건축분야에서는 구조전문가는 구조계산 이후 절차에 참여가 어려운 실정임.
- 따라서, 건축구조기술사 등 구조전문가가 공사의 구조관련 도서 작성 및 시공 중 구조검토에 참여할 수 있는 방안을 검토할 필요가 있음.

(4) 구조검사 범위 확대 및 디지털매체 활용

- 국토교통부고시 건축구조기준 중 구조검사 및 실험의 특별검사 항목을 확대하고 무량판구조 등 특수한 형태의 구조형식에 대한 구체적 검사 절차 및 항목을 도입할 필요가 있음.
- 또한, 공사의 효율적 관리와 관리주체간 명확한 의사전달 및 관리기록을 위해 디지털 매체를 활용한 도서와 검측자료 관리가 필요함.

6.2 시공품질 측면

(1) 관계법령에서 규정하고 있는 품질관리자의 배정으로 시공현장에서의 레미콘 등 구조재료에 대한 보다 철저한 품질관리 시행(품질관리자 겸직 금지 규정 준수 강화)

- 현재 2022년 12월에 개정된 “건설기술 진흥법” 시행규칙 제50조 제4항에서는 공사규모에 따라 현장의 품질관리자 배정 기준을 고시하고 있으나, 여전히 다수의 현장에서는 품질관리자를 겸직으로 운영하고 있는 실정임. 따라서, 최소한 법에서 정하는 품질관리자의 배정과 교육으로 현장에서의 철저한 품질관리를 확보할 필요가 있음.

(2) 현장의 콘크리트 품질기준 확보 개선

- 현재 국가건설기준센터에서 연구 중인 현장양생 공시체 시험기준을 조속히 도입하여 실제 현장에서 사용된 콘크리트와 같은 환경에서 제작된 시험체의 시험을 통해 현장 콘크리트의 품질을 정확하게 확인할 수 있는 제도정비가 필요함.
- 또한, 현장양생 공시체의 시험결과에 따른 콘크리트 품질관리를 위하여 건설사업관리기술인의 확인 및 승인절차를 개선할 필요가 있음.
- 이외에도 탄소저감 정책에 따른 시멘트 강도 저하 및 콘크리트용 골재 확보 어려움에 따른 저품질의 부순잔골재 및 부순굼은골재 유통 등 레미콘의 품질향상을 위한 근본적인 대책의 수립도 필요할 것으로 판단됨.

(3) 서중 콘크리트 관리 강화

- KCS 14 20 41 서중 콘크리트에서 일평균 기온이 25℃를 초과하는 경우 서중 콘크리트로 시공하도록 되어 있고, 재료와 시공에 대하여 규정하고 있음에도 상대적으로 한중 콘크리트의 시공은 주의하여 관리하는 반면, 서중 콘크리트에 대해서는 품질관리가 미흡하므로 이에 대한 규정을 보완하고 관리를 강화할 필요가 있음.

(4) 동바리 구조 검토 대상에 대한 가이드라인 개발

- KCS 14 20 12 거푸집 및 동바리에서 시공하중 등에 의한 동바리의 설치 등에 대하여 규정하고 있으나, 현장에서 구조검토가 필요한 항목의 여부에 대한 판단이 어려우므로, 이 사고와 같은 조경공사 등을 포함하여 현장에서 발생할 수 있는 다양한 하중 초과 항목에 대한 가이드 라인을 개발하여 제공할 필요가 있음.

6.3 공사관리 측면

(1) 설계 및 시공기준 간의 연계성 검토 정비

- 이 사고에서 붕괴된 지하주차장 상부슬래브는 조경 등을 위한 공간으로 활용되는 “인공식재기반(콘크리트 슬래브)”에 해당함. 하지만 건축물 하중 설계기준(KDS 41 12 01)에는 이러한 “인공식재기반”에서의 시공 하중 등에 대해 명확히 규정하고 있지 않음.
- 지하주차장 1층 상부 슬래브는 현행의 “인공식재기반조성(LHCS 34 30 11)”에 따라 조경토 흙쌓기, 조경 공사를 하고 있으며, 흙쌓기는 자연지반(흙)을 대상으로한 흙쌓기 기준(지반공사(KCS 11 00 00), 흙쌓기 KCS 11 20 20, LHCS 11 20 20 흙쌓기(성토))에 따르고 있어 두 기준 간에 시공 하중에 대한 정의가 불명확함.
- 이러한 이유로 구조설계단계에서 인공식재기반에서 이루어지는 조경 공사 등에 관한 시공 하중(수목의 경우 1.5m 토심 고려, 배수용 골재 등)이 정확히 반영되지 못함. (건축물 구조설계와 조경설계가 이원화 됨).
- 따라서, KDS 41 12 00 건축물 설계하중, KDS 34 30 15 인공지반식재기반(심근성 교목의 경우 생육 최소 토심 1.5m), LHCS 34 30 11 인공식재기반조성(수목의 경우 일반토사용 시 토심 1.5m) 등 KDS와 LHCS 기준 간의 연계 사항 검토 및 정비가 필요함.

(2) 시공사 및 감리 업무 개선

- 관련 법령 및 지침 상에 무량판구조의 특성을 고려하여 안전 및 품질관리 항목이 반영되도록 관련 지침 정비가 필요함.

(3) 검측 자료의 디지털화 강화

- 공정별, 공사일자별, 공사부위별 공사관리의 효율화와 체계적 관리를 위하여 공사관리 항목의 시스템화 및 디지털화 등의 관리 강화 방안을 마련할 필요가 있음.
- 또한, 드론과 같은 디지털 장비 활용 근거를 마련하고, 활용방안을 강화하여 추진해야 함.

제7장 결론

국토부 건설사고조사위원회는 2023년 인천 서구 아파트 건설공사 중 슬래브 붕괴사고와 관련하여, 2023년 5월 9일부터 2023년 7월 1일까지 사고 원인 파악 및 재발방지 대책 마련을 위한 조사를 실시하였음. 효율적인 조사를 위해 조사위원의 전문분야에 따라 구조안전, 시공품질, 공사관리, 법률의 측면으로 나누어 조사하였으며, 조사 내용으로는 현장 및 청문 조사, 설계도서 및 기준 검토, 실측 및 시료채취 시험결과 분석, 구조해석 및 시뮬레이션, 재발방지대책의 도출 등이 있었음. 조사결과를 종합한 결론은 아래와 같음.

7.1 붕괴 원인

7.1.1 직접적 원인

(1) 전단보강근 미설치에 따른 전단내력 부족

- 전단보강근 관련 구조해석 시의 구조계획과 구조계산서 상 부재일람의 불일치
- 시공 시 일부 구간 전단보강근 설치 누락
- 구조도면과 배근상세도의 상세 미흡 및 배근상세도 검토 및 승인 시의 전문가 참여 결여

(2) 조경공사 등 설계하중을 초과하는 시공하중에 대한 조치 미흡

- 시공 중 흙쌓기, 토심, 골재, 작업차량 등으로 인한 설계하중 초과 발생 및 이에 대한 조치 미흡

(3) 붕괴구간 콘크리트의 재료품질 저하

- 받아들이기 품질검사 결과 모두 기준을 만족하였음에도 불구하고, 사고 이후 붕괴구간에서 채취된 콘크리트 시험체는 기준 불만족

7.1.2 간접적 원인

(1) 무량판슬래브 접합부 배근상태 등에 대한 검측 미흡

- 무량판구조에서는 슬래브의 뚫림전단 파괴를 방지하기 위한 접합부 전단 보강이 매우 중요한 요소임에도 불구하고, 검측 미흡으로 인해 전단보강근 미설치 및 누락 사실 미인지

(2) 조정공사 등 시공하중 적재 시에 대한 구조검토 및 확인 미흡

- 시공 중 설계하중 초과상황에 대한 구조적 안전성 검토 및 확인 미흡으로 인해 동바리 재설치 등의 관련 조치 부족

(3) 무량판구조의 안전 확보를 위한 설계기준과 표준시방서 미흡

- 무량판구조의 설계 및 공사관리를 위한 별도의 설계기준이나 표준시방서 미흡이 당 현장의 전단보강근 미설치 및 시공하중에 대한 조치 부족으로 연결

7.2 재발방지대책

7.2.1 구조안전 측면

(1) 무량판구조의 구조안전 확보

- 건축법에 따라 국토교통부장관이 고시하는 특수구조 건축물에 무량판구조를 포함하여 구조안전 심의 절차 강화
- 현재 개발 중인 무량판구조 건축설계기준의 조속한 도입과 이와 연계된 표준시방서의 개발

(2) 특수구조 건축물 구조협력 범위 확대

- 특수구조 건축물 중 구조물의 형식에 따라 책임구조기술자의 참여 범위 확대 필요
- 구조관련 시공상세도에 관계전문기술자의 협력을 받도록 절차 개선
- 무량판구조와 같은 붕괴취약 건축물에 대해 제3자 검증제도의 도입 고려

(3) 건축물 구조안전을 위한 책임주체 제도 정비

- 건축구조기술사 등 구조전문가가 공사의 구조관련 도서 작성 및 시공 중 구조검토에 참여할 수 있는 방안 검토 필요

(4) 구조검사 범위 확대 및 디지털매체 활용

- 건축구조기준 중 구조검사 및 실험의 특별검사 항목을 확대하고 무량판 구조 등 특수한 형태의 구조형식에 대한 구체적 절차 및 항목의 도입
- 공사의 효율적 관리를 위한 디지털 매체를 통한 도서 및 검측자료 관리

7.2.2 시공품질 측면

(1) 관계법령에서 규정하고 있는 품질관리자의 배정과 교육으로 시공현장에서의 레미콘 등 구조재료에 대한 보다 철저한 품질관리 시행

(2) 현장의 콘크리트 품질 확보 개선

- 현재 국가건설기준센터에서 연구 중인 현장양생 공시체 시험기준의 조속한 도입
- 현장양생 공시체에 의한 콘크리트 관리를 위한 감리 및 승인절차 개선

(3) 서중 콘크리트 관리 강화

- 일반적으로 관리되는 한중콘크리트의 시공에 비해 서중 콘크리트의 품질 관리 미흡함에 따른 관리 강화 필요

(4) 동바리 구조 검토 대상에 대한 가이드라인 개발

- 조경공사 등을 포함하여 현장에서 발생할 수 있는 다양한 하중 초과 항목에 대한 동바리 구조검토 대상 가이드라인을 개발하여 제공 필요

7.2.3 공사관리 측면

(1) 설계 및 시공기준 간의 연계성 검토 정비

- KDS 41 12 00 건축물 설계하중, KDS 34 30 15 인공지반식재기반, LHCS 34 30 11 인공식재기반조성 등 기술기준 간의 연계 사항 검토 및 정비 필요

(2) 시공사 및 감리 업무 개선

- 무량판구조의 특성을 고려하여 안전 및 품질관리 항목이 반영되도록 관련 지침 정비

(3) 검측자료의 디지털화 강화

- 공정별, 공사일자별, 공사부위별 공사관리의 효율화와 체계적 관리를 위하여 공사관리 항목의 시스템화, 디지털화를 통한 관리 강화방안 마련
- 드론 등 디지털매체의 활용근거 및 활용방안 강화 추진 필요

참고문헌

- (1) 건설산업기본법
- (2) 건설기술 진흥법
- (3) 건설기술 진흥법 시행령
- (4) 건설기술 진흥법 시행규칙
- (5) KDS 14 20 01 콘크리트구조 설계(강도설계법) 일반사항
- (6) KDS 14 20 22 콘크리트구조 전단 및 비틀림 설계기준
- (7) KDS 14 20 90 콘크리트구조 내구성 설계 기준
- (8) KDS 34 00 00 조경설계기준
- (9) KDS 34 30 15 인공지반식재기반
- (10) KDS 41 12 00 건축물 설계하중
- (11) KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준
- (12) KCS 14 20 00 콘크리트공사 표준시방서
- (13) KCS 14 20 10 일반콘크리트
- (14) KCS 11 20 20 흙쌓기(성토)
- (15) KCS 14 20 11 철근공사
- (16) KCS 14 20 12 거푸집 및 동바리
- (17) KCS 14 20 41 서중 콘크리트
- (18) KCS 34 00 00 조경공사 표준시방서
- (19) KCS 34 40 15 인공식재기반 식재
- (20) LHCS 10 10 05 25 건축공사 일반사항
- (21) LHCS 10 10 05 30 조경공사 일반
- (22) LHCS 11 20 20 흙쌓기(성토)
- (23) LHCS 11 20 21 식생지반 조성
- (24) LHCS 14 20 10 05 콘크리트
- (25) LHCS 14 20 11 05 철근 전문
- (26) LHCS 34 30 11 인공식재기반조성
- (27) LH 설계지침(구조)
- (28) LH 시공단계 감독권한대행 등 건설사업관리용역 과업내용서
- (29) LH 공사계약일반조건 및 특수조건
- (30) KS D 3504 철근 콘크리트용 봉강의 품질 기준
- (31) 건설공사 표준 품셈
- (32) 기상자료 개방포털
- (33) 구글지도
- (34) 건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침

- (35) 하도급거래 공정화에 관한 법률
- (36) 건설공사 품질관리 업무지침
- (37) 건설공사 안전관리 업무수행 지침

검토자료 목록 (해당 공사 관련 서류)

- (1) 국토안전관리원 건설사고 초기현장조사 보고서(보고일시 : 2023년 5월 1일)
- (2) 구조계산서
- (3) 건축도면
- (4) 구조도면
- (5) 배근상세도
- (6) 건설사업관리업무수행계획서
- (7) 건설사업관리절차서
- (8) 건설사업관리검측업무지침
- (9) 중점품질관리계획
- (10) 월간 건설사업관리보고서
- (11) 시공사 콘크리트공사 안전관리계획서
- (12) 시공사 주차장 지붕층 토피상부 공사차량 운행에 따른 구조검토
- (13) 시공사 제공 전단보강근 조사 자료 및 CCTV 영상 등
- (14) 시공사 제공 인천검단 사고원인 분석 의견서
- (15) 시공사 제공 조경토 반입량 및 조경 장비 관련 자료

부록

A.1 청문조사 질의응답 요약

(1) 구조엔지니어

질 의	응 답
1. 설계 활하중 적용	<ul style="list-style-type: none"> 라멘 부분을 제외하고는 구조계산서와 모델링에 설계 활하중 16kN/m² 로 동일하게 적용됨
2. 최종 버전	<ul style="list-style-type: none"> 2021년 5월 자 구조 계산서가 최종 버전임
3. 데크 슬래브 계산서 누락	<ul style="list-style-type: none"> 데크 슬래브 부분은 외주 업체가 설계하고 구조설계사무소에서는 결과 검토를 수행함. 나중에 제출하겠음
4. 시공상세도 작성시 구조 설계사의 확인 여부	<ul style="list-style-type: none"> 시공상세도는 시공사에서 작성하고 이 과정에서 구조설계사무소가 따로 관여하지는 않음
5. 같은 레벨에서 층이 다르게 표시된 근거	<ul style="list-style-type: none"> 같은 레벨에서 -2와 -1의 표기가 병기된 것은, 같은 레벨에 있더라도 밑에 기초를 면하고 있는 기둥에는 -2를 부여하고, 밑에 지하 2층을 면하고 있으면 -1로 표기했기 때문임
6. 전단보강근 표기 방법	<ul style="list-style-type: none"> 기둥표기에 V가 붙여진 것은 전단보강근이 배근되어야 함을 의미하며, 무량판구조시스템이 있는 부분에는 전부 전단보강근을 배근하도록 계획하였음.
7. 설계시 토사 고려 방법	<ul style="list-style-type: none"> 붕괴 부분 상부의 토사는 설계 당시 마감 포함하여 노사 높이 1.1m 에 맞추어 설계함 토사 하중에 자갈 무게를 따로 고려하지는 않음 다만 붕괴전 비가 많이 와서 포화상태의 흙이 많이 쌓였을 수 있음
8. 무량판 계획의 근거	<ul style="list-style-type: none"> 초기 계획은 one-way 였으나 시공사 측에서 주차장 진입 높이를 고려하여 무량판으로 수정제안하였음

(2) 시공사

질 의	응 답
1. 언론에 발표한 전단철근 누락 내용의 상세와 파악 경위	<ul style="list-style-type: none"> • 언론에 발표한 내용은 전체 399개소 중 37개소가 시공단계에서 전단보강근이 누락된 것으로 발표한 것임 • 누락 개소의 판단은 레이저스캔 철근탐사로 실시한 결과와 사고구간을 근거로 하였음
2. 전단철근 누락 원인	<ul style="list-style-type: none"> • 누락은 시공상세도부터 발생했다고 판단하고 있음 • 시공상세도는 감리승인사항임에 따라 감리신청을 하였으며, 양이 많아 시간적으로 구조설계사의 검토를 다시 받지 않음
3. 전단철근 시공방식	<ul style="list-style-type: none"> • 배근상세도에 표기된 전단철근의 개수와 간격은 설계사의 의도대로 이해하고 있으며, 전단보강근 시공이 된 곳은 배근상세도 대로 하부를 걸어 체결하였음
4. 콘크리트 품질관리 기준	<ul style="list-style-type: none"> • 레미콘 품질관리를 기준으로 강도체크 하고 기준 외로 임의로 추가한 시험은 없음 • 기준에 의거하여 품질관리대장을 작성하였기 때문에 같은 날 오전과 오후에 두 번 타설한 경우에도 관리대장은 한번만 작성되었을 것으로 생각됨
5. 물성평가 시험횟수 기준	<ul style="list-style-type: none"> • 물성평가는 3회씩 하도록 되어 있으며, 염화물 테스트의 경우에는 3회를 수행하였으나, 더 적은 횟수가 기록된 것에 대해서는 추후 확인 예정
6. 토사	<ul style="list-style-type: none"> • 토사 높이는 1.1m로 관리하였으며, 자갈은 배수층을 위해 존재하는 것으로, 흙 무게만으로 계산하더라도 설계에 큰 문제가 없는 것으로 판단함
7. 무량판 계획의 근거	<ul style="list-style-type: none"> • 입찰과정에서는 자사의 특성화된 슬래브로 계획하였는데, 적용검토를 할 때 일부는 무량판, 일부는 자사 슬래브로 변경한 것을 LH에서 수용함

(3) 건설사업관리자

질 의	응 답
1. 무량판구조에 대한 시공관리 기준	<ul style="list-style-type: none"> 무량판구조는 RC구조에 준하여 관리를 하였음
2. 시공 후 사진촬영 유무	<ul style="list-style-type: none"> 검측기준에 따라 전체 사진은 찍었지만 접합부 등의 상세사진을 찍는 기준은 없어서 모든 부위별 사진이 존재하지는 않음. 다만, 사고부위 이외에 전단보강근이 배근된 사진은 있음
3. 감리인원	<ul style="list-style-type: none"> 상주감리인원은 25명이며, 계약 당시 LH 배치기준상 인원임
4. 품질관리 확인 담당	<ul style="list-style-type: none"> 시료채취 및 시험 당시 시공사 품질관리자가 직접하는 것을 확인함
5. 전단보강근 인지 여부	<ul style="list-style-type: none"> 설계도면에 V로 표기된 것이 전단보강근 배근이 필요한 부위임을 인지하고 있음 다만, 설계도면상 붕괴부위 상부에는 V가 표기되었으나 누락된 것이고, 아래쪽은 도면에 V 표기가 없어서 전단보강근이 없는 것으로 판단해서 도면대로 전단보강근을 넣지 않고 시공하지 않은 것임 전단보강근이 누락되었다는 것은 사고 이후에 실시한 시공사에서 레이저스캔 결과로 인지함
6. 시공상세도 작업 및 승인 절차	<ul style="list-style-type: none"> 설계도면을 보고 V가 들어가 있는 부분에는 전단보강이 되도록 시공상세도를 그리게 되고, 건설관리사업단에서 시공상세도를 검토해서 승인을 내리도록 되어 있는데, 여러 타입이 혼재되어 있다보니 누락한 것으로 생각함
7. 시공상세도 승인 담당	<ul style="list-style-type: none"> 시공상세도에 대한 승인은 한 사람이 하도록 되어 있지만 전체적으로 나오는 것이기 때문에 각 동의 담당자들이 확인하도록 되어 있음
8. 붕괴 부위 토사 작업 방식	<ul style="list-style-type: none"> 토사를 3일간 받았는데, 받는 즉시 골고루 퍼주는 작업을 했기 때문에 편심이 작용했을 가능성은 없음
9. 무량판 계획 인지 시점	<ul style="list-style-type: none"> 실시설계 도면을 받은 시점부터 무량판구조로 되어 있었음

(4) 하도급 (철근콘크리트)

질 의	응 답
1. 철근콘크리트 작업 검측 절차	<ul style="list-style-type: none"> • 시공이 완료된 후 감리에서 왔을 때 도면에 있는 것이 빠져 있으면 지적을 받고 수정하도록 되어 있음, • 붕괴 부분도 검측단계는 다 마쳤음. • 철근콘크리트 업체에서 사진은 직접 찍지 않고 검측 담당자가 주로 찍음
2. 철근콘크리트 작업시 근거되는 도서	<ul style="list-style-type: none"> • 구조도면과 시공상세도를 함께 보면서 작업하고, 두 도면이 상이할 때는 구조담당자와 상의해서 작업함. 다만, 전단철근 배근이 누락된 부위에서 철근 담당자가 구조도면과 시공상세도가 상이한 것을 따로 파악하지 못함
3. 철근 가공 및 조립 절차	<ul style="list-style-type: none"> • 철근 가공은 시공사에서 주문하고 공장에서 가공해서 들어온 것을 현장에서 조립함, 야적은 흙바닥에 하였음
4. 거푸집 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 철근콘크리트 업체에서 시공계획 발주하면서 자재 등의 부분을 시공계획서에 넣고 승인받아서 작업함
5. 콘크리트 타설시 시공성	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프 150mm는 무난하게 타설됨. 차량 대기가 없어서 슬럼프가 떨어지는 현상 발생하지 않음
6. 콘크리트 양생 기간 동안 작업 방식 및 차량 이동 여부	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 타설 후 곧바로 비닐을 덮는 방식으로 하루 동안 양생하고, 다음 날 비닐을 걷고 살수를 하였으며, 그 다음 날에는 작업자가 먹매김 작업을 하였음. • 거푸집이 해체되는 약 28-30일간 상부로 차량 지나갈 수 없었음
7. 콘크리트 탈형 후 균열 관찰 여부	<ul style="list-style-type: none"> • 잔균열은 있었을 수 있지만 큰 균열은 거의 없었음 • 붕괴 전 지하 1층 상부 슬래브의 균열 조짐 같은 것은 없었음

(5) 하도급 (조경)

질 의	응 답
1. 토사 작업의 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 조경업체에서는 토사 성형부터 작업함 (토사 성토까지는 토목에서 담당함)
2. EPS 블록 설치 중 편심 발생 가능 여부	<ul style="list-style-type: none"> • EPS 설치 작업의 방식은 붕괴부위 상부와 하부로 절반씩 나누어 하기로 시공사와 협의함 • 터파기 해놓은 흙을 1m 이상 쌓지 않는 것으로 시공사로부터 구두로 작업지시를 받음. 관련한 작업지시서는 문서로 따로 받지 않음 • 이에 따라 무게가 치우치지 않도록 펼쳐가면서 작업함. • EPS 설치할 구간의 흙을 반만 파서 옆에다 놓고 EPS를 설치한 후 되메우기 작업을 하는 방식인데, 붕괴 전날 상부 쪽 되메우기 작업까지 끝난 상황임
3. 해당 부위 사진 촬영 여부	<ul style="list-style-type: none"> • 시공사와 감리에서 검측했던 서류는 있음
4. EPS 블록 설치 중 토사 적재 높이	<ul style="list-style-type: none"> • 900mm 높이의 EPS 블록을 설치하는 도중 터파기했던 흙은 직각으로 쌓아올리지 않고 펼쳐 넘기기 때문에 1 m 내외에서 작업하였음
5. 토사 작업 중 시공사에서 무량판을 근거로 안내받은 주의 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 작업과정에서는 시공사로부터 무량판구조라는 이유로 다른 주의 사항을 안내받지는 않았음
6. 토사 작업 중 작업 차량 관련	<ul style="list-style-type: none"> • 작업차량은 1톤 몰러, 굴착기 한 대(14.5톤 정도)였음 • 4월 27일 작업 끝나고 굴착기는 하부에 사무실이 있어서 내려왔고 1톤 몰러는 성토된 토사 위에 있었음(붕괴 위치에서는 벗어나서 있었음).