

[안전조사보고서]

인천 검단신도시 아파트
지하주차장 붕괴사고
안전조사 보고서

2023. 05. 08.



韓國技術士會

안전조사위원회
(건축소위원회)

1. 사고 개요

1) 공사명

○ 인천 서구 검단신도시 AA13-2블록 공공분양아파트(안단테 자이) 신축공사 현장

2) 사고발생일시 : 2023.04.29. 오후 11시 30분경

3) 사고발생장소 : 인천광역시 서구 원당동 검단신도시 내

4) 피해상황

① 사망자수(명) : -

② 부상자수(명) : -

③ 재산피해상황 : 지하주차장 1층 970㎡ 파손, 지하2층 일부 붕괴

5) 사고발생경위

○ 4월 29일(토), 오후 11시 30분경 인천시 서구 검단신도시에서 한국토지주택공사(LH)가 발주하고 GS건설이 시공 중인 자이 안단테 아파트 건설 현장 지하주차장(무량판 구조)에서 지하 1층 슬래브가 붕괴되면서 그 충격으로 지하 2층 슬래브 등 970㎡가 붕괴되는 사고가 발생

○ 기상 : 4월 29일 인천지역 일강수량 10.3mm

6) 발주처 및 시공사 :

① 발주처 : 한국토지주택공사(LH)

- 2020년 시공책임형 CM 방식

② 시공사 : GS건설 컨소시엄(동부건설, 대보건설)

③ 사고관련 하도급 : 상하건설(주)

④ 건설사업관리자 : (주)목양

7) 현장정보

○ 공사기간/공정률 : 2021.5.27.~2023.10.27.(29개월)/약 67%

○ 공사금액 : 약 1,600억원

○ 공사개요 : 지하2층~지상 25층(최대), 10개동(연면적 149.703㎡)

○ 공사현황

- 2022년 7월 콘크리트 타설과 시공작업을 진행한 후 9개월 정도 경과

- 2023년 12월 입주 예정
- 무너진 부분의 상부는 어린이 물 놀이터가 설치될 예정으로 한 달 전부터 붕괴 이틀 전까지 두께 1m의 토사 성토작업 진행
- 놀이터 구간은 초경량 EPS 블럭 시공
- 붕괴부 대부분은 수평하중에 취약한 무량판 구조

8) 사고발생 현장사진

	
<p>현장 위치도</p>	<p>현장 도면</p>
 <p>LH-Flatplate System</p> <ul style="list-style-type: none"> 구조안전성 향상 구조부재 최적상계 및 디자인 최적화 층고 축소 주차용 확대 	
<p>무량판 구조 시스템(LH)</p>	<p>기둥부 전단파괴</p>
	 <p>아파트 건설 현장에서 지하주차장 구역 무너져</p>
<p>슬래브 취성파괴</p>	<p>슬래브 취성파괴</p>



T/C 개구부 파괴



T/C 개구부 파괴



기둥부 전단파괴



중간대(단차부) 파괴



파괴로 인한 콘크리트 박락



파괴로 인한 콘크리트 박락



기둥부 전단파괴



기둥부 전단파괴

2. 사고원인분석

□ 파괴형상

- 무량판 구조의 기둥부 주열대에서 슬래브의 편칭 전단(punching shear, 뚫림전단) 파괴 발생
 - ※ 삼풍백화점 붕괴와 유사하며 파괴 현상은 기둥에서 편칭 전단 파괴 형태를 보이고 있음
- 외벽 일부구간에서는 취성파괴 발생



□ 가설을 바탕으로 한 붕괴원인 추정

1) 하중작용 과다와 설계하중 범위 내 시공하중 관리 미흡 가능성

① 설계하중을 초과한 성토하중과 충격하중 과다

- 하중 = 성토 토사의 무게+보도용 콘크리트+EPS무게+습윤(비)하중
과 공사시 장비 등의 충격하중 과다

- ※ 당일 비(인천지역 강우량 10.3mm)가 내렸고 당일 오전까지 장비 등을 활용하여 성토작업 진행했다는 증언으로 보아 함수율 증가에 따른 습윤하중 증가

- ※ 성토토사의 두께는 1m(설계도면)로 이야기가 되고 있으나 일반적으로 작업 시 덤프 등을 이용하여 하역 시 성토높이는 보통 2~3m 정도임

- ※ 성토 작업과정에서 다짐 장비의 충격 및 하역 작업 시 덤프 뒷바퀴에 따른 집중하중이 걸렸을 가능성 농후

※ LH 설계지침(구조, 지하주차장)에서는 지하주차장 지붕층 및 바닥 슬래브에 작용하는 고정하중과 활하중을 규정하고 있고 활하중 저감을 고려하지 않도록 하고 있음

② 설계하중 범위 내 시공관리 미흡

- 어린이 놀이터 구간 EPS 블록 시공구간 과하중에 대한 관리기준 미준수

※ 2023년 3월부터 붕괴구간 슬래브 상부에 토사 약 1m 성토(다짐포함)후 보도설치용 콘크리트 타설(1주일 전) 및 어린이 놀이터 구간에 기 성토된 토사를 제거하고 EPS 블록 설치 및 설토 실시(2일전)

※ 어린이 놀이터의 경우 EPS로 설계되어 있다는 것은 설계당시 하중이 많이 작용할 것으로 예상하고 EPS를 고려했을 것으로 추정됨

- 성토작업중 토목(조경)업체의 설계하중 초과에 대한 위험성 인식 미흡

※ 되메우기 작업순서 미준수(사전에 EPS 블록을 시공하고 토사를 되메우기 하여야 했으나 미준수)

③ 인공지반 배수층의 기능 미흡으로 인한 습윤하중 증가

- 슬라브 되메우기 작업 시 인공지반 배수층(배수판→배수관로) 연결 미흡에 따른 기능미비로 하중 증가

※ 배수판을 설치하였지만 연결 등 마무리 작업 미흡으로 기능 상실 농후

※ 만약 빗물이 고였다면 하중은 함수율 증가로 50%이상 증가 가능성



2) 무량판 구조(Flat slab) 설계 부실 가능성

- ① 가능성은 낮지만 구조적 취약부(기둥 접합부, 단차) 설계 미흡
 - 기둥 접합부, 슬래브 단차 등 구조적 취약부 전단철근 설계 미흡
 - 주열대 및 중간대 슬래브 유효깊이(d) 적용 오류
 - ※ 단차 플랫 플레이트의 경우, 장경간 방향의 하단철근은 주열대 및 중간대 슬래브의 유효깊이(d)를 다르게 적용하도록 하고 있음
 - ※ 장경간 방향은 두꺼운 주열대 슬래브에 배치되는 하단철근의 유효깊이를 증가시켜 소요 휨철근량을 최소화하도록 하고 있음
 - ※ 단경간 방향은 구조성능과 시공성에 따라 전체 슬래브에 대하여 얇은 슬래브를 기준으로 배치하거나, 또는 단차를 고려하여 구간별로 다른 유효깊이를 사용하도록 하고 있음
- ② 기둥과 기둥사이 연속붕괴방지 철근 미배치
- ③ 설계 시 공사 중 취약부에 발생할 수 있는 활하중(작업하중, 충격하중) 고려 미흡
 - 시공 중 T/C 개구부 등 폐합되지 않은 취약부 구조검토 미반영
 - ※ T/C 개구부(Open구간)와 단부 폐합 미흡으로 인한 구조적 취약
 - ※ 설계단계에서 시공 중 개구부 발생에 따른 구조적 영향유무 검토 미흡
 - 초과 성토하중+강우에 따른 물 영향+공사차량 등 미검토



3) 부실시공 가능성

① 지하주차장 내 잭 서포트(Jack Support) 조기 철거

- 마감작업 등 사유로 조속 철거

※ 조속 철거로 인해 슬래브 상부에 작용하는 습윤한 성토하중과 충격하중 등을 기둥 전단위험구역에 허용된 전단력 이상의 하중을 이겨내지 못하고 편칭파괴 발생

② 슬래브 콘크리트 강도 부족 및 콘크리트와 철근의 부착력 부족 등 품질관리 미흡

- 2022.7. 콘크리트 타설 당시 우기, 혹서기, 레미콘 원자재 파동으로 품질관리 미흡

※ 지하주차장 콘크리트가 타설된 시기는 2022년 7월로써 이때는 혹서기(우기철)로서 레미콘 자재에 대한 품질관리 미흡 가능성

※ 2022년 원자재 파동으로 레미콘 수급 곤란과 사고발생 3년 전 검단신도시에서 레미콘 물타기 사건 논란이 있었음

- 분할(이어치기) 타설 시 구조적 취약부에서 실시 등 검토 미흡

※ 구조적으로 문제가 없는 곳에서 이어치기를 해야 하나 구조적 취약부에서 이어쳤을 가능성

- 거푸집 존치기간 미준수

- 철근과 콘크리트의 부착력 미비

※ 기둥부의 철근이 슬래브에서 매끄럽게 뽑혀 있고, 철근과 콘크리트가 박리되어 피복두께가 깔끔하게 분리되어 있으며 철근에 콘크리트가 전혀 남아 있지 않은 상태임

※ 지하주차장 슬래브 하부 철근 피복두께 부위가 완전히 박리된 상태임

③ 철근 배근 미흡

- 철근 이음위치 미흡(동일 위치에서 겹이음 실시)

※ 철근 이음부는 집중되지 않도록 배근해야 하나 이음을 동일한 선상에 배치(철근을 한곳에서 이음)

- 기둥부 전단철근 보강 미흡

※ 무량판 시공시 기둥과 슬래브 사이의 철근 배근을 상세도면에 따른 배근 미흡에 따른 편칭 전단(punching shear, 뚫림전단) 현상 발생

※ 주열대와 중간대 단차 부위 철근 배근 적절성 미흡

- 기능공(외국인)에 의한 철근배근 방법 등 기능역량 미흡

※ 도면해독, 철근 상세도면에 따른 시공방법, 관리감독 미흡

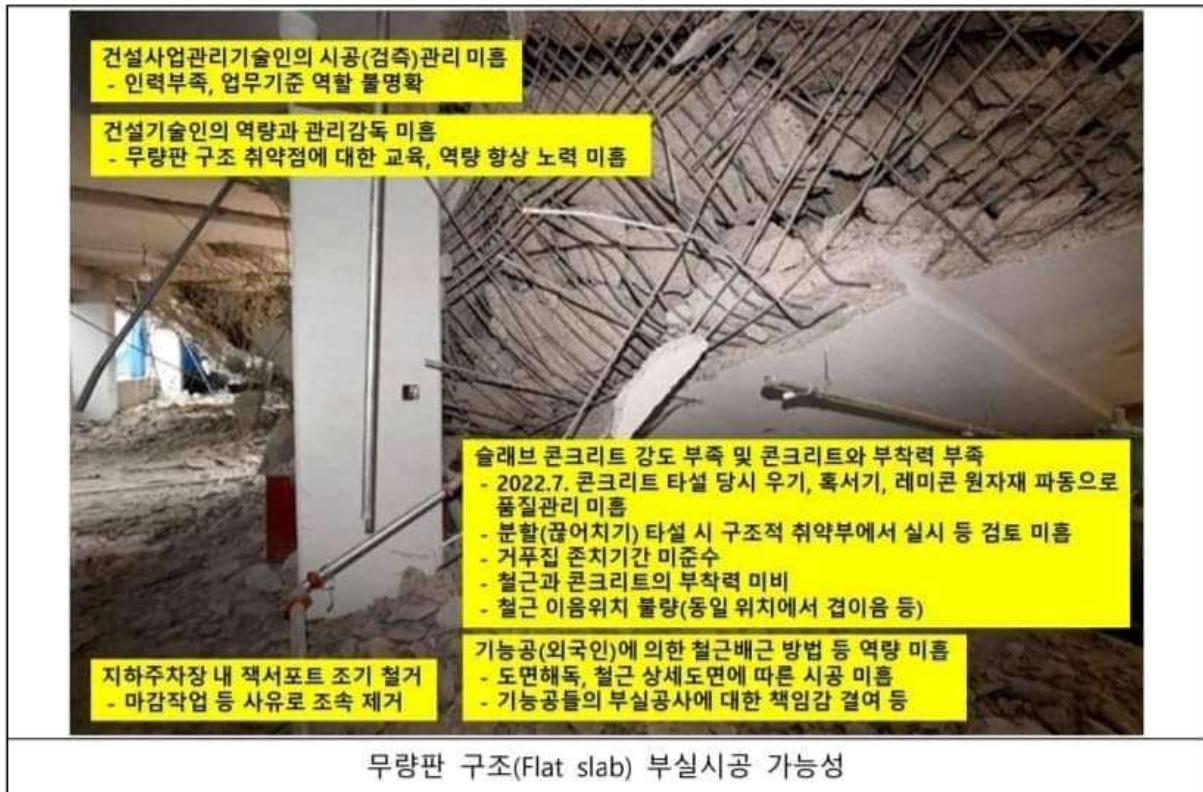
※ 기능공들의 부실공사에 대한 책임감 결여 등

④ 시공 중 T/C 개구부 등 폐합되지 않은 취약부 구조검토 미반영

- T/C 개구부(Open구간)와 단부 폐합 미흡으로 인한 구조적 취약

※ 시공 중 개구부 발생에 따른 구조적 영향유무 검토 미흡

※ T/C 개구부 등을 반영하여 구조해석을 실시한 후 시공 관리를 실시하여야 하나 미흡



4) 기타 관리감독 미흡 가능성

① 건설사업관리기술인의 공사(검측)관리 미흡

- 인력부족, 업무기준 역할 불명확 등에 따른 공사(검측)관리 미흡

※ 일은 많고 일할 사람은 없어 현장 관리 여건 미흡

② 건설기술인의 역량과 관리감독 미흡

- 무량판 구조 취약점에 대한 교육, 역량 향상 노력 미흡

※ 기술변화에 따른 교육 부족, 기술자 책임의식 미흡

※ 자주 접하는 방식이 아닌 무량판 단부 캔틸레버, 단차 등 취약부 시공관리 능력 가능성

- ③ 공사 관계자간 설계하중, 안전, 품질 등 상호 정보공유 미흡
 - 무량판 구조의 시공관리 등에 대한 정보 공유 미흡
- ④ 시공사 제안에 대한 발주청(LH) 승인 미흡
 - 설계나 시공과정에서 시공사 제안사항에 대해 발주청(LH)의 기준 절차를 벗어났다는 이유로 제안사항 미 반영 가능성
- ⑤ 기능공의 기능능력 저하에 따른 품질확보 미흡
 - 기능공의 도면 해독, 기능역량 저하, 책임의식 미흡
 - ※ 외국인 근로자 다수로 기능능력 저하, 이에 따른 관습적 관리감독에 따른 의식 저하
- ⑥ 설계용역(50억)과 건설사업관리용역(123억) 수주관련 전관 특혜로 인한 부실 가능성
 - LH 전관 영입을 한 업체가 수주하여 영업비 증가로 부실 가능성
 - ※ 경제정의실천시민연합(경실련) 주장

4. 권고 및 향후 조치

- 1) 무량판 구조의 시공관리 등에 대한 기술인, 기능인 역량 강화
 - 건설기술인, 건설사업관리기술인, 기능공 등을 대상으로 자주 접하는 방식이 아닌 무량판 단부 캔틸레버, 기둥부, 단차 등 취약부에 대한 구조개념 이해, 철근배근 등 시공관리 역량강화 필요
 - 관련 내용 교육 강화와 관련 기술인, 기능인들의 책임감 인식 강화
- 2) 설계시 미 반영된 구조검토 부분에 대하여 시공시 추가적인 구조검토를 통한 시공중 보강 철저
- 3) 공사 관계자간 무량판 시공에 대한 설계하중, 안전, 품질 등 상호 정보공유 체계 구축 운영
 - 되메우기 작업전 슬라브 설계강도에 대한 위험성의 관계기술인(토목, 조정)간 프로세스 공유
- 4) 갑을관계가 아닌 발주자와 시공사, 건설사업관리기술인간 업무 협업 보장
- 5) 사고발생시 건설기술인과 기능인의 책임제도 개선 필요
- 6) 건설사업관리기술인의 적정 인력 배치 및 명확한 업무 기준 수립

언론 보도자료(한국기술사회 안전조사위원회)

- 인천 검단신도시 아파트 지하주차장 붕괴사고 원인-

- 인천 검단 아파트 붕괴사고 원인과 관련해 한국기술사회(회장 장덕배)는 자체적으로 안전조사위원회를 구성하여 사고원인을 추정하고 향후 개선되어야 할 권고사항을 제시하였다.
- 한국기술사회 안전조사위원회(위원장 최명기, 대한민국산업현장교수단 교수)는 건축구조, 건축시공, 건축품질, 건설안전, 토질 및 기초 기술사 등 7명으로 구성되어 이번 사고와 관련하여 무량판 구조 설계의 적절성과 시공 및 품질관리 측면에서 발생 원인을 추정했다.
- 사고가 발생한 원인으로는 설계당시 고려했던 하중보다 더 큰 하중이 작용했고, 설계하중 범위 내에서 시공하중 관리를 하여야 되나 그러지 못해 발생했을 가능성을 가장 큰 것으로 보았다. 붕괴를 유발한 하중은 성토 토사의 무게와 보도용 콘크리트 무게, EPS 무게, 사고 당일 내린 비의 영향으로 인한 습윤 하중과 성토 작업 시 다짐 장비와 운반 장비 등의 충격하중이 작용하여 발생한 것으로 추정하고 있다.
- 무량판 구조 설계와 관련해서는 가능성은 극히 낮지만 구조적 취약부인 기둥 접합부나 단차 부위에서 보강설계가 잘못되었을 경우에는 붕괴가 될 수도 있다는 의견을 제시했다. 특히 공사 중 발생할 수 있는 T/C(타워 크레인) 개구부 등 구조적 취약부에 대해서는 구조검토 영향을 무시하고 무리하게 시공하다가 사고가 발생했을 가능성도 제기했다.
- 시공과 관련해서는 지하주차장 내 하중 지지를 위한 임시 잭 서포트의 조기 철거와 함께 슬래브 콘크리트 강도 부족 및 콘크리트와 철근의 부착력 부족 등 품질관리가 미흡하여 붕괴됐을 가능성을 제기했다. 그 외에 전단철근 배근 미흡과 구조적 취약부에서 이어치기 미흡 등도 붕괴를 유발한 요인으로 추정했다.
- 관리감독 측면에서는 건설사업관리기술인의 공사(검측)관리 미흡, 건설기술인의 역량과 관리감독 미흡, 공사 관계자간 설계하중, 안전, 품질 등 상호 정보공유 미흡, 시공사 제안에 대한 발주청(LH) 승인 미흡, 기능공의 기능능력 저하에 따른 품질확보 미흡 등이 이번 사고와 연관이 있었을 것으로 보고 있다.
- 한국기술사회 안전조사위원회에서는 재발방지대책으로 무량판 구조의 시공관리 등에 대해 기술인과 기능인들의 역량 강화와 책임의식 향상을 주문했다. 또한 설계시 미 반영된 구조검토 부분에 대하여 시공 시에는 추

가적인 구조검토를 통한 시공 중 보강 철저와 공사 관계자간 무량판 시공에 대한 설계하중, 안전, 품질 등 상호 정보공유 체계 구축 운영이 필요하다고 밝혔다. 아울러 갑을관계가 아닌 발주자와 시공사, 건설사업관리기술인간 업무 협업 보장, 사고발생시 건설기술인과 기능인의 책임제도 개선, 건설사업관리기술인의 적정 인력 배치와 명확한 업무 기준이 수립되어야 동종의 사고를 예방할 수 있을 것으로 보았다.

- 붕괴사고가 난 인천 검단 아파트 신축공사 현장은 공정을 67%로서 오는 10월 준공을 앞두고 있는 상황이다. 입주예정자들은 발주처인 LH(한국토지주택공사)와 시공사 GS건설을 상대로 안전진단 결과 관계없이 '전면재시공'을 요구하고 있는 실정이다. 이번 사고는 인천 검단 신도시에서 지난달 29일 시공 중인 아파트 지하주차장 슬래브가 무너졌지만 다행히 인명피해는 없었다.



하중 작용 과다와 설계하중 범위 내 시공하중 관리 미흡
 - 성토하중(1m이상)+보도용콘크리트+EPS 무게
 - 강우(10.3mm)에 따른 토사의 습윤하중(배수층 역할 미흡)
 - 성토 작업시 장비 등의 충격하중

어린이 놀이터 EPS 블록 시공구간 과하중에 대한 관리기준 미준수
 - 되메우기 작업순서 미준수(EPS 블록 시공 전 토사 되메우기 시행)

시공중 T/C 개구부 등 폐합되지 않은 취약부 구조검토 미반영

되메우기 작업전 토목(조정) 등과 취약부 붕괴 등 구조적 문제점 협의 미실시
 - 도급인, 수급인, 건설사업관리기술인 간 협의 등

무량판 구조(Flat slab) 설계 부실 가능성

- 구조적 취약부(기둥 접합부) 전단철근 설계 및 배근 미흡
- 기둥과 기둥사이 연속붕괴방지 철근 배근 미흡
- 무량판 구조 취약부(단차 부위 등) 설계 미흡

공사중 발생할 수 있는 활하중(작업하중, 충격하중) 설계시 미고려

- T/C 개구부, 단차 부위 등
- 초과 성토하중+강우에 따른 물 영향+공사차량 등 미검토

아파트 건설 현장에서 지하주차장 구역 무너져

건설사업관리기술인의 시공(검측)관리 미흡

- 인력부족, 업무기준 역할 불명확

건설기술인의 역량과 관리감독 미흡

- 무량판 구조 취약점에 대한 교육, 역량 향상 노력 미흡

슬래브 콘크리트 강도 부족 및 콘크리트와 부착력 부족

- 2022.7. 콘크리트 타설 당시 우기, 혹서기, 레미콘 원자재 파동으로 품질관리 미흡
- 분할(끊어치기) 타설 시 구조적 취약부에서 실시 등 검토 미흡
- 거푸집 존치기간 미준수
- 철근과 콘크리트의 부착력 미비
- 철근 이음위치 불량(동일 위치에서 겹이음 등)

기능공(외국인)에 의한 철근배근 방법 등 역량 미흡

- 도면해독, 철근 상세도면에 따른 시공 미흡
- 기능공들의 부실공사에 대한 책임감 결여 등

지하주차장 내 잭서포트 조기 철거

- 마감작업 등 사유로 조속 제거