

참고1

사고조사위원회(위원장: 홍건호 교수) 조사 결과

1. 사고조사위원회 개요

- (구성) 면밀한 사고원인 분석을 위해 건축구조·건축시공·법률 등 관련 분야 전문가 12명으로 구성
- (기간) '23. 5. 9(화) ~ 7. 1(토) (54일간)
- (조사) 도서검토, 현장 조사, 관계자 청문 및 시편 채취를 통한 재료 강도시험, 구조해석을 통한 붕괴 시뮬레이션 등 분석·검증절차 진행

2. 붕괴사고 발생 원인

- ① (전단보강근 미설치) 설계·감리·시공 등 부실로 보강근 미설치
 - (설계) 붕괴가 발생한 지하주차장 슬래브 인근의 도면을 분석한 결과, 구조설계 상 모든 기둥(32개소)에 전단보강근이 필요하나, 기둥 15개소가 전단보강근 미적용 기둥으로 표기
 - (감리) 철근작업상세도(Shop Drawing) 작성(시공사) 후 도면의 확인·승인하는 과정에서 이를 발견하지 못함
 - (시공) 32개소 중 붕괴된 위치 등 확인이 불가능한 기둥을 제외하고 8개소 조사 결과 4개소에서 설계와 다르게 전단보강근을 누락

<도면상 전단보강근 적용 기둥 위치>



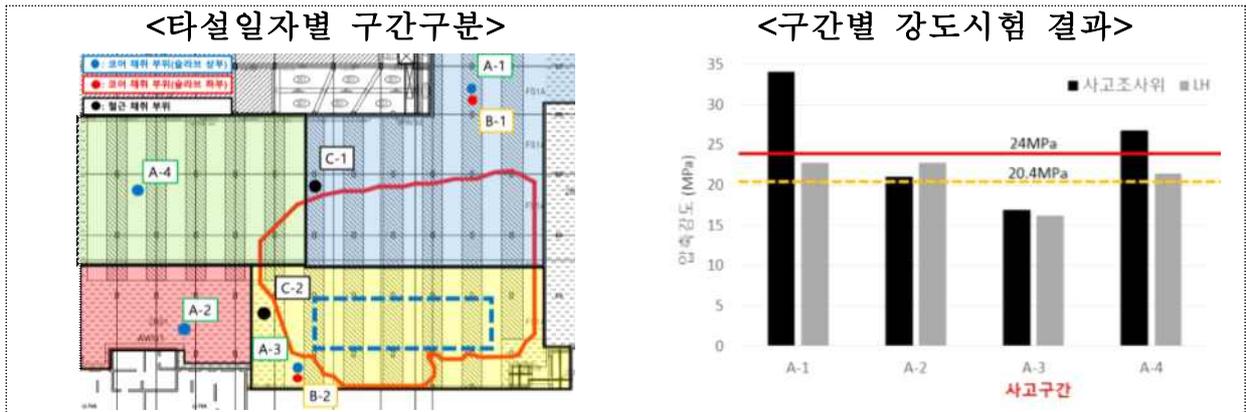
<사고구간 전단보강근 탐사 결과>



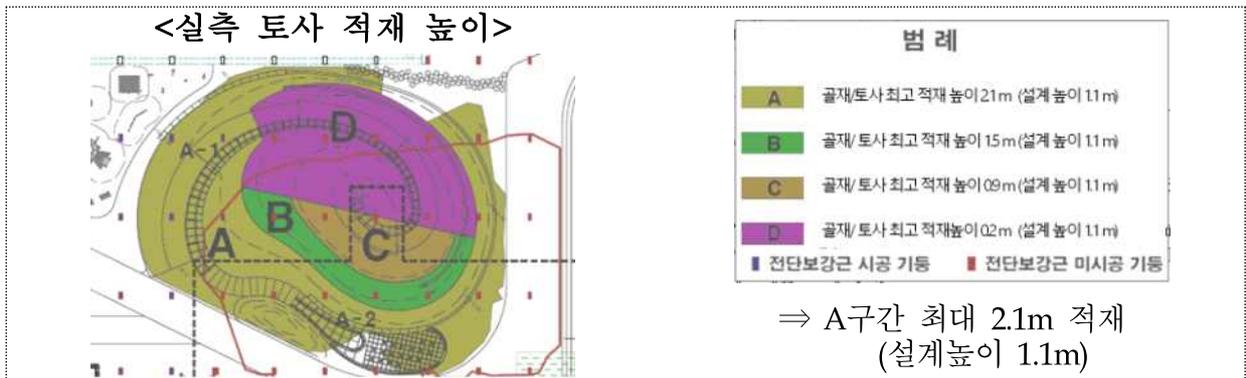
* 빨간 실선 구간=붕괴된 구간

② (콘크리트 품질 미흡) 사고구간 콘크리트 강도시험 결과 사고부위 (A-3구간)에서 설계기준 강도(24MPa)의 85%(20.4MPa)보다 낮게 측정(16.9MPa)

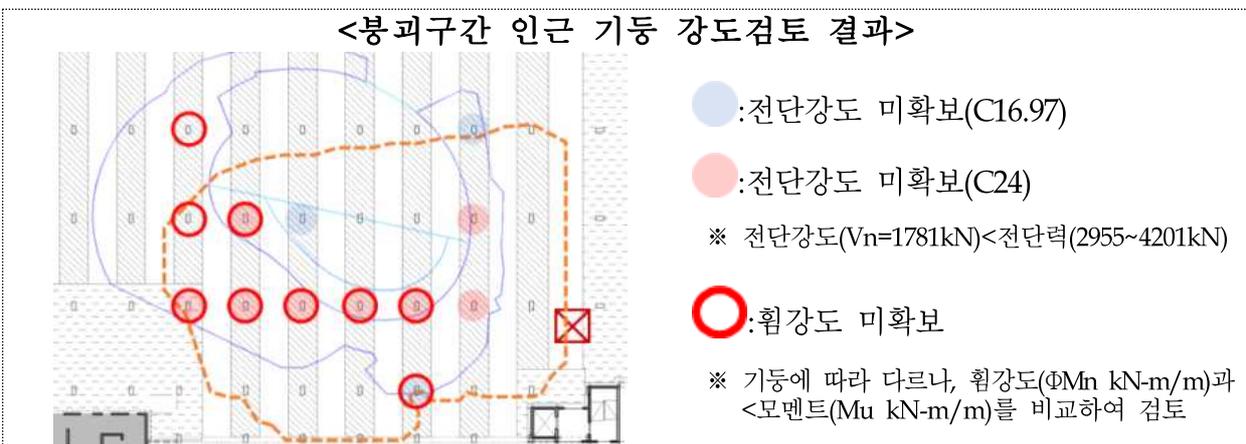
* KCS 14 20 10(일반콘크리트) 3.5.5.7 코어공시체는 콘크리트 강도의 85%를 상회해야 함



③ (추가하중 검토 미흡) 식재공사 과정에서 설계값(높이 1.1m)보다 많은 토사가 적재(최대 2.1m)되며 더 많은 하중이 가해짐

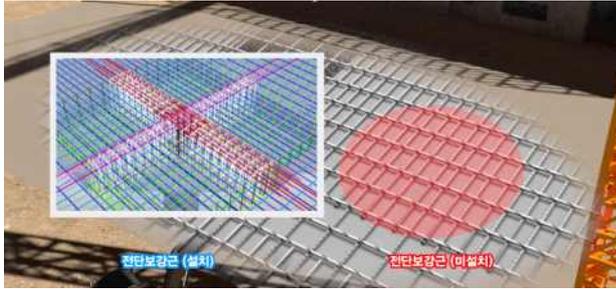


④ (구조물 분석 결과) ①~③의 영향을 고려한 분석 결과 붕괴구간 인근 기둥 32개소 중 11개소는 전단강도 부족, 9개소는 휨강도 부족 확인, 이중 7개소는 전단강도 부족, 휨강도 부족이 동시 발생

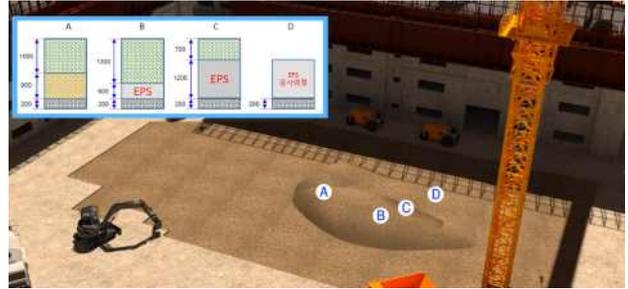


- 특히, 전단강도가 부족한 기둥 11개소에 전단보강근이 있을 경우 모두 전단강도가 확보됨을 확인

< 구조물 붕괴 과정 >



① 지하주차장 기둥 전단보강근 미설치



② D구간 EPS블록 설치를 위해 조경토를 A, B, C구간에 적재



③ 전단보강근 누락된 A,B구간의 기둥에서 슬래브의 뚫림전단으로 지붕 1차 붕괴



④ 잔해와 조경토가 하부로 떨어지는 충격으로 지하2층까지 붕괴

3. 사조위 권고 재발방지대책

- ① (구조적 안전 확보) 특수구조 건축물에 무량판 구조를 추가하는 등 심의절차를 강화하고, 설계도 오류가 발생하는 것을 방지하기 위해 구조 기술사의 확인절차 도입 등 전문가 참여 확대 필요
- ② (시공품질 측면) 레미콘 등 구조재료에 대한 철저한 품질관리와 현장의 콘크리트 품질 개선을 위한 방안* 마련
 - * 품질관리자 겸직금지 강화, 현장양생 공시체 시험기준 마련, 서중콘크리트 관리강화 등
- ③ (공사관리 측면) 무량판 구조의 검측절차 강화* 및 검측자료의 디지털화를 통한 체계적 공사관리, 건축설계기준과 조경기준 등 관련 기준간의 연계
 - * 검측 시 동영상 촬영대상에 무량판 구조 추가 등

1. 건설안전 부문

① 정기안전점검 실시 미흡

- (기 준) 「건설기술진흥법」 제62조 및 시행규칙 제59조, 「건설공사 안전관리 업무수행 지침(고시 제2021-194호)」 및 관련 현장 「안전관리계획서」에 따라

건설사업자는 지하주차장 정기안전점검을 안전점검 수행기관을 통하여 시행하고 건설사업관리용역사업자는 시행여부 등을 확인하여야 함

- ⇒ (점검) 건설사업자와 안전점검 수행기관은 골조완료(말기)시 까지 지하주차장 정기안전점검을 실시하지 않았으며, 건설사업관리용역사업자는 그 시행 여부를 확인하지 않음

② 건설공사 안전관리비 사용 부적정

- (기 준) 건설사업자는 「건설기술진흥법」 제63조에 따른 안전관리비를 건설공사의 안전관리에 필요한 비용(안전관리계획 작성 및 검토비용, 통행 안전시설 설치 및 유지관리 비용 등)외에 사용할 수 없음

- ⇒ (점검) 건설사업자는 안전관리비를 근로자용 외부주차장 운영에 따른 출퇴근 셔틀버스 임차비용(41백만원)으로 용도와 다르게 사용

2. 품질관리 부문

① 품질관리계획 수립·변경 미흡

- (기 준) 「건설기술진흥법」 제55조 따라 건설사업자는 품질관리계획을 수립하고, 시행령 제90조에 따라 건설사업관리용역사업자는 이를 검토하여야 하며 발주청은 이를 승인하여야 하며, 변경 절차도 이와 같음

「건설공사 품질관리 업무지침(고시 제2020-720호)」에 따라 건설사업자는 품질관리계획의 품질 '시험빈도' 등을 정하고, 발주자(청)은 현지실정 등을 감안하여 특히 필요하다고 인정하면 '시험빈도'를 조정할 수 있음

⇒ (점 검) 건설사업자는 콘크리트용 골재시험의 시험빈도를 관련기준(물량, 기간 등)과 다르게 '골재원마다'로 일괄적용하여 품질관리계획을 수립하였으며,

품질관리계획 변경 시 골재시험 또한 '7회'에서 '0회'로 변경하고 관련 기준(품질 시험이외 또는 직접시험)과 다르게 레미콘 공급업체 제출서류 확인으로 대체함

건설사업관리용역사업자는 이를 '이상없음'으로 검토하고 발주청은 시험 빈도 등을 조정할 '특히 필요하다고 인정할 사유'없이 승인하였음

② 품질관리 적절성 확인 미흡

○ (기 준) 「건설기술진흥법」 제55조 및 시행규칙 제52조에 따라 발주청은 건설현장의 건설사업자가 품질관리계획에 따른 품질관리를 적절하게 하는지를 연 1회 이상 확인할 수 있음

⇒ (점 검) 발주청(LH공사)은 본 공사의 품질관리계획과 레미콘 자재품질 확인이 미흡함에도 품질관리 적절성 확인을 미 실시

* 품질관리계획 최초 승인('21. 5. 3)후 현재까지 품질관리 적절성 확인 미 실시

③ 레미콘 공급원 승인시 자재품질 확인 미흡

○ (기 준) 「건설공사 품질관리 업무지침(고시 제2020-720호)」 제32조에 따라 건설사업자와 건설사업관리기술인은 레미콘공급원 승인을 위한 공급업체 사전점검 시 '골재시험 항목*에 대한 기록내용 확인을 위한 시험'을 병행하고,

* 골재의 입도, 조립률, 안정성, 표건밀도, 절건밀도, 흡수율 등

시험결과 국가건설기준(KCS 14 20 10)에 따라 잔골재의 조립률이 ±0.20 이상 변화 시 콘크리트 배합 보완·변경 등을 검토해야 함

⇒ (점 검) 건설사업자와 건설사업관리기술인은 레미콘 공급업체 13개소 중 10개소에 대한 사전점검 시 '골재시험 항목에 대한 기록내용 확인을 위한 시험'을 실시하지 아니하고,

또한, 사전점검 시 골재시험을 시행한 3개소 중 1개소의 시험결과 잔골재 조립률이 +0.31* 변화가 발생했음에도 콘크리트 배합 보완·변경 등의 검토없이 레미콘을 타설함

* 조립률 변화(±0.20 이상) : 가 조립률 2.95 → 시험결과 3.26

3. 설계/시공 부문

① 일부 구조물 설계도서 간 불일치

- (기 준) 「건설기술진흥법」 제48조에 따라 건설엔지니어링사업자(설계자)는 설계도서를 작성할 때 구조검토를 하여야 하며, 시행규칙 제40조에 따라 설계도서는 정확하게 시공할 수 있도록 작성하여야 함

동법 제48조에 따라 건설사업자, 건설사업관리용역사업자(건설사업관리기술인 포함)는 해당 건설공사를 시공하기 전에 설계도서를 검토해야 하고,

특히, 「건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침(고시제 2020-306호)」 제51조에 따라 건설사업관리기술인은 시공하기 전에 설계도면, 구조계산서 등의 상호 일치 여부를 검토해야 함

- (점 검) 설계자는 지하주차장 일부 기둥(1개), 보(32개)에 대해 구조계산서 내용과 다르게 실시설계도면을 작성하고 건설사업관리용역사업자 등은 건설공사 시공 전 이에 대한 설계도서 검토를 미흡하게 함

② 일부 구조물 설계도면과 다른 시공

- (기 준) 「건설산업기본법」 제7조에 따라 건설사업자는 설계도서, 시방서 및 도급계약의 내용 등에 따라 성실하게 업무를 수행해야 하며

현장 실시설계도면에 따라 건설사업자는 지하주차장 기둥 무량판 슬래브 주두부에 전단보강철근을 설치하고, 「건설기술진흥법」 시행령 제59조에 따라 건설사업관리용역사업자는 이를 확인하여야 함

- ⇒ (점 검) 건설사업자는 203동 주변 지하주차장 기둥 무량판 슬래브 주두부(7개소)에 전단보강철근을 설치하지 않았으며, 건설사업관리용역사업자는 해당구간 검측 시 이를 확인하지 않음

③ 구조물 구조부 강도 확인 필요

○ (기 준) 「건설산업기본법」 제7조에 따라 건설사업자는 설계도서에 따라 업무를 수행해야 하고, 현장 설계도서에 따라 아파트 및 지하주차장의 콘크리트 압축강도는 설계기준 24~27MPa을 확보해야 함

⇒ (점 검) 아파트와 지하주차장의 일부 벽체, 슬래브, 기둥 등에 대해 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도 시험(슈미트 해머 비파괴시험)으로는 정확한 강도의 확인이 어려워 추가정밀안전진단으로 확인토록 기 조치

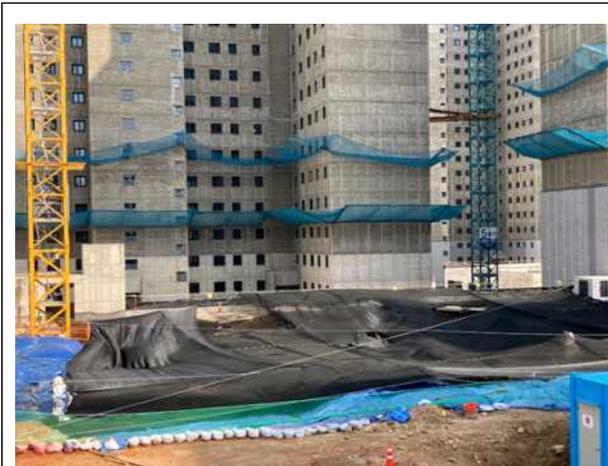
* 구조 훼손없이 콘크리트 충격 후 나온 반발력으로 강도를 추정하는 시험, 오차가능성 상존
➔ 정확한 강도확인 위해 콘크리트 코어채취 후 압축강도시험 등을 통한 정밀안전진단 필요

** 조사결과를 사고조사위원회에 통보하여 붕괴원인 조사시 참고토록 조치하고, LH의 정밀안전진단(7월말 완료예정)에서 콘크리트 강도 점검 등 통해 처분검토

참고3

인천 서구 아파트 지하주차장 붕괴사고 개요

- (時/所) '23.4.29(토) 23:25분경 / 인천 서구 원당동 531 일원
- (경위) 202동과 203동 사이 지하 1층 상부 슬래브(약 1,104 m^2) 붕괴와 이로 인한 지하 2층 상부 슬래브(약 185 m^2)의 붕괴
- ※ 사고발생 시각이 늦은 밤으로 인명피해 없음
- (원인) ① 전단보강근 미설치에 따른 전단내력 부족
② 조경공사 등 설계하중을 초과하는 시공하중에 대한 조치 미흡
③ 붕괴구간 콘크리트의 재료품질 저하

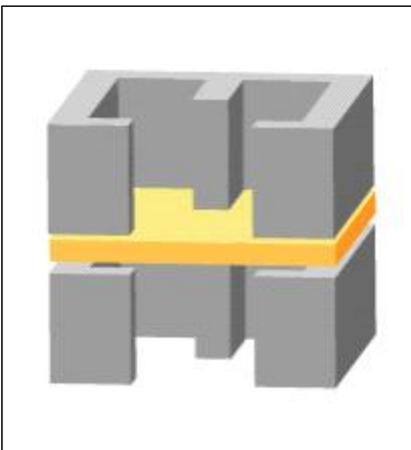


< 사고현장 외부전경 >

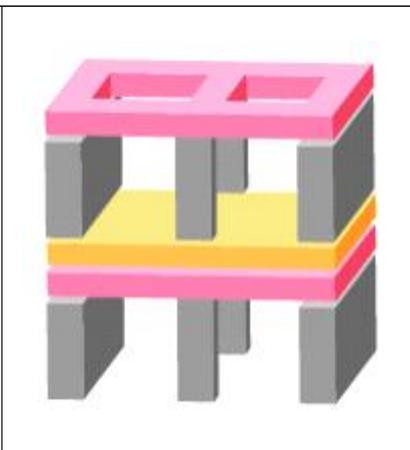


< 사고현장 내부전경 >

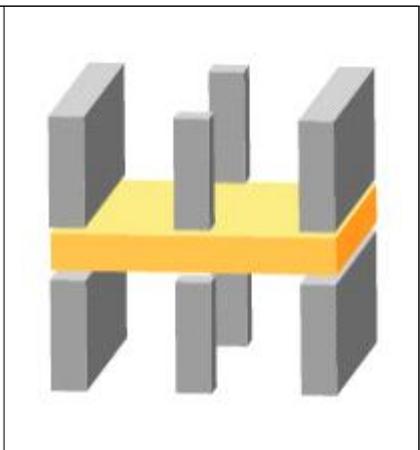
< 아파트에 주로 사용되는 구조형식 > ※ 출처: BIZ WATCH



- 벽식 구조 -



- 기둥식(라멘) 구조 -



- 무량판 구조 -