

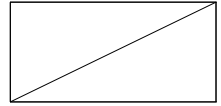
경기도 안산시 사동 1639-24 자이센터프라자 공사

흙막이 붕괴 사고조사 보고서

2021. 3.



지하사고조사위원회



경기도 안산시 사동 1639-24 자이센터프라자 공사

흙막이 붕괴 사고조사 보고서

2021. 3.



지하사고조사위원회

제 출 문

경기도지사 귀하

이 보고서를 「경기도 안산시 사동 1639-24 자이센터프라자 공사
흙막이 붕괴 사고조사 보고서」로 제출합니다.

2021년 3월

경기도 지하사고조사위원회 위원장 이규환

< 경기도 지하사고조사위원회 위원 명단 >

구 분	성 명	소 속	직 위
위원장	이 규 환	건양대학교	교수
위원	정 영 훈	경희대학교	교수
	조 국 환	서울과학기술대	교수
	백 용	한국건설기술연구원	선임연구위원
	조 성 민	한국도로공사	단장
	신 호 희	(주) 신한이엔씨	대표이사
	윤 태 국	(주) 다윈이엔씨	기술연구소장
	권 정 호	법무법인 향법	변호사

이 사고조사보고서는 민·형사 관련 재판 등 법률적인
판단이 요구되는 곳에 적용할 수 없으며, 유사 원인에
의한 지반침하사고의 예방에 활용할 수 있습니다.

경기도 지하사고조사위원회

본 보고서의 무단복제를 절대 금합니다.

목 차

제1장 개요	1
1.1 조사목적	2
1.2 공사개요	2
1.2.1 공사 현황	2
1.2.2 공사 참여사	3
1.3 조사위원회 활동	4
1.3.1 조사위원회 구성현황	4
1.3.2 추진 경과	4
제2장 흙막이 붕괴사고 현장 조사	7
2.1 개요	8
2.2 조사 방법	8
2.2.1 자료조사	9
2.2.2 현장조사	10
2.2.3 관계자 대면조사	11
2.2.4 흙막이 벽체 안정성 해석	12
2.3 흙막이 붕괴사고 현황	12
2.3.1 붕괴 직전	12
2.3.2 붕괴사고 경과	13
2.3.3 붕괴사고 현황	15
2.3.4 응급복구 현황	18
제3장 사고 원인 분석	20
3.1 개요	21
3.2 흙막이 붕괴원인 분석	22

3.2.1	지반조사 보고서	22
3.2.2	흙막이 공법 설계변경	30
3.2.3	흙막이 설계변경 사유	32
3.2.4	S.C.W 흙막이 해석시 사용한 설계 정수	33
3.2.5	설계정수에 대한 흙막이 해석 및 분석	36
3.2.6	현장시공과정에 대한 흙막이 해석	43
3.2.7	흙막이 계측자료 분석	54
3.3	사업 및 공사관리 분석	61
3.3.1	사업추진 경위 및 인허가 상황	61
3.3.2	인허가 관련 검토	63
3.3.3	감리업무의 검토	67
3.3.4	지하안정영향평가 검토	71
제4장	재발방지를 위한 개선사항 제안	73
4.1	개요	74
4.2	인·허가 관련 사항	74
4.2.1	안산시 현장점검 현황	75
4.2.2	인허가 업무개선 방안	76
4.3	설계 및 시공관련 사항	79
4.3.1	설계 및 설계 변경시 개선사항	79
4.3.2	시공시 개선사항	79
4.3.3	계측관리시 개선사항	79
제5장	결론	81
참고문헌	86

그림 목차

그림 1.1	안산시 사동 자이센터프라자 신축공사 현장 위치도	3
그림 1.2	안산시 사동 자이센터프라자 조감도	5
그림 1.3	안산시 사동 자이센터프라자 건물 배치	5
그림 1.4	안산시 사동 자이센터프라자 남측면도 및 서측면도	6
그림 1.5	안산시 사동 자이센터프라자 북측면도 및 동측면도	6
그림 2.1	사고조사위원회 현장 방문	10
그림 2.2	1, 2차 붕괴현장 전체전경	15
그림 2.3	흙막이 버팀보지지 구조체	16
그림 2.4	굴착계획 단면도	16
그림 2.5	7, 8 단계 굴착 현황	17
그림 2.6	1, 2차 붕괴구간 관련 사진	17
그림 2.7	남측도로부 균열 및 배면 인장균열	18
그림 2.8	단계별 응급복구 현황	19
그림 2.9	붕괴현장 응급복구 종료 현황	19
그림 3.1	조사지역 지질도	23
그림 3.2	다솔/서강토질 지반조사 시추 위치도	24
그림 3.3	토질정수에 대한 흙막이 해석 결과	36
그림 3.4	지하수위 측정을 위한 오거천공	38

그림 3.5 피압대수층 단면도	40
그림 3.6 지하수위에 대한 흠막이 해석 결과	41
그림 3.7 굴착 시공 단면도(2020년 1월 8일 시공현황)	43
그림 3.8 굴착 단면도(7단 하부 과굴착)	43
그림 3.9 과굴착에 대한 흠막이 해석 결과	44
그림 3.10 엄지말뚝 시공오차에 대한 흠막이 해석 결과	47
그림 3.11 크람셀 추가하중에 대한 흠막이 해석 결과	49
그림 3.12 모든 붕괴 요인을 고려한 흠막이 해석 결과	51
그림 3.13 계측기 설치 위치도	54
그림 3.14 1차 붕괴구간의 지중 수평변위계 계측결과	59
그림 3.15 사업수행체계	62
그림 4.1 서울시 도시기반시설본부 안전점검 방안	78

표 목차

표 1.1 조사위원회 추진 경과	4
표 2.1 자료조사 내용	9
표 2.2 청문조사 참석자	11
표 2.3 붕괴사고 경과	14
표 3.1 단계별 사고 원인 분석을 위한 검토항목	21
표 3.2 다솔 시추조사 결과	24
표 3.3 서강토질 시추조사 결과	24
표 3.4 표준관입시험에 의한 지층분석(주)다솔엔지니어링	24
표 3.5 표준관입시험에 의한 지층분석(주)서강토질	24
표 3.6 (주)다솔엔지니어링 공내지하수위 측정결과	27
표 3.7 (주)서강토질 공내지하수위 측정결과	27
표 3.8 (주)다솔엔지니어링 실내토질시험결과	28
표 3.9 (주)서강토질 실내토질시험결과	28
표 3.10 (주)다솔엔지니어링 가시설 설계 지반정수	33
표 3.11 (주)서강토질 가시설 설계 지반정수	34
표 3.12 원설계 및 변경설계시 사용한 퇴적층의 강도정수	34
표 3.13 건축공사장 품질 및 안전관리 실태 감찰 결과	35
표 3.14 서강토질 해석조건에서 적용한 지하수위	39

표 3.15 계측항목별 계측기 설치수량	55
표 3.14 흙막이 가시설 구간에서의 관리기준치 선정	56
표 3.16 사업 주요 변경사항	62
표 3.17 사업 승인 절차 및 관련 공문	63

제1장

개요

1.1 조사목적

1.2 공사개요

1.3 지하사고조사위원회 활동

제1장 개요

1.1 조사목적

「경기도 지하사고조사위원회」(이하 “조사위원회”라 한다)는 2021년 1월 13일 12시 48분경 경기도 안산시 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 현장에서 발생한 흙막이 붕괴사고에 대하여, 자료조사, 현장조사, 관계자 대면조사 및 해석 결과를 근거로 사고의 원인을 규명하고 유사한 사고가 재발하지 않도록 기술적, 제도적 대책 및 대안을 제시하는 데 목적이 있다.

1.2 공사개요

경기도 안산시 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 현장의 일반현황은 다음과 같다.

1.2.1 공사현황

- 공 사 명 : 경기도 안산시 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 (“자이센터프라자”)
- 공사기간 : 2020. 7. 1. ~ 2022. 2. 28. (17개월)
- 공 정 률 : 8.5% (2021. 1. 13. 기준)
- 공사금액 : 28,230백만원
- 층 수 : 지하 4층 / 지상 13층
- 대지면적 : 2,667.9m²
- 건축면적 : 1,773.94m² (건폐율 : 66.49%)
- 건축구조 : 철근콘크리트
- 주 용 도 : 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설
- 지 역 : 일반상업지역, 지구단위계획구역
- 주차대수 : 194대
- 현장위치 : 경기도 안산시 상록구 사동 1639-24번지

1.2.2 공사 참여사

구 분	공사 참여사	비고
인·허가	<ul style="list-style-type: none"> 경기도 안산시 <ul style="list-style-type: none"> 건축디자인과 (2020. 3. 24. 건축허가) 	
시행사	<ul style="list-style-type: none"> 교보자산신탁(주) : 원 시행사 (주)아르코 : 시행 대행사 	
설계사	<ul style="list-style-type: none"> 설계사무소 : 대한도시건축 건축사사무소 흙막이공사 원설계사 : (주)다솔엔지니어링 <ul style="list-style-type: none"> (1차 지반조사 6공) : (주)다솔엔지니어링 흙막이공사 변경설계사 : (주)서강토질 <ul style="list-style-type: none"> 기술검토 : (주)서강토질 위촉 토질 및 기초 기술사 (2차 지반조사 2공) : (주)서강토질 	
시공사	<ul style="list-style-type: none"> 시공사 : 상도종합건설(주) 흙막이공사 시공 하도급사 : 대훈토건(주) 	
감리사	<ul style="list-style-type: none"> 감리사 : 대원건축사사무소(주) 굴토감리사 : (주)서강토질 	
지하안전 영향평가	<ul style="list-style-type: none"> 전문기관 : (주)다솔엔지니어링, (주)이도 공동도급 	
계측	<ul style="list-style-type: none"> 전문기관 : 하나원엔지니어링(주) 	
안전관리계획	<ul style="list-style-type: none"> 안전관리계획 작성사 : (주)두손안전기술 	

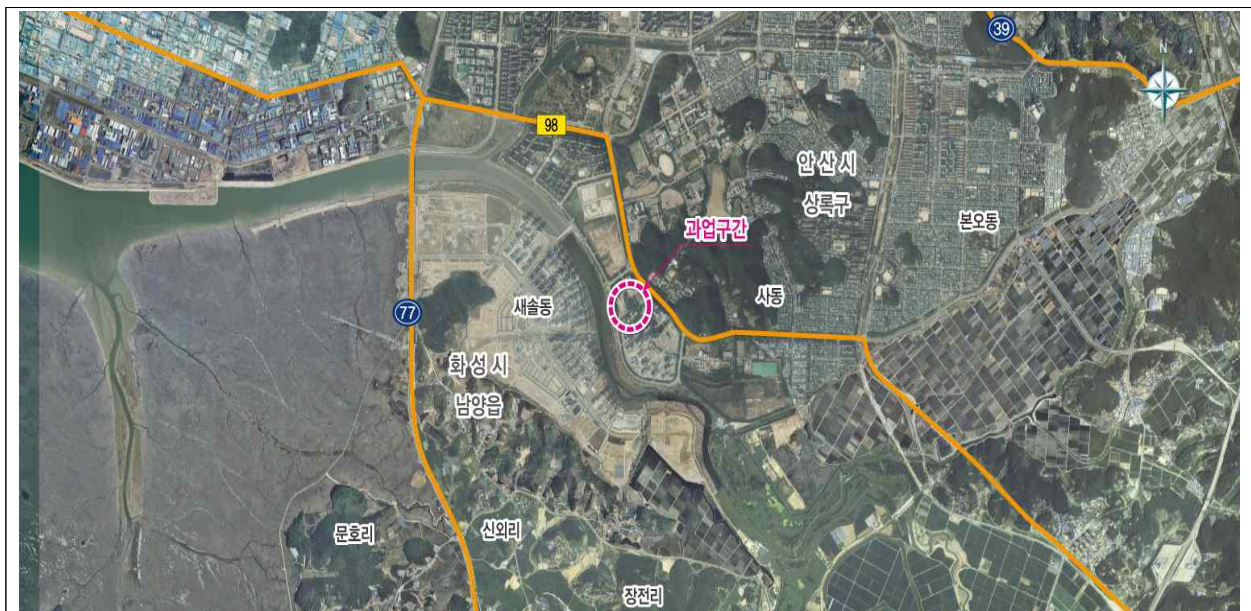


그림 1.1 경기도 안산시 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 현장 위치도

1.3 조사위원회 활동

1.3.1 조사위원회 구성 현황

- 위원장 : 이규환(건양대학교 교수)
- 위 원 : 분야별 7명(토목 6명, 법률 1명)
- 활동기간 : 2021. 1. 21. ~ 3.31.

1.3.2 추진 경과

조사위원회는 6차에 걸친 회의를 개최하였고(1차 회의시 합동으로 현장조사를 실시함), 안산시, 원설계사, 설계변경사, 시공사, 시공 하도급사, 감리사, 굴토감리사, 계측사, 안전관리계획서 작성사 등 관련 기관에서 제출한 자료에 대하여 검토하였다. 또한, 공사 관계자들에게 사고조사 분석과 관련된 질문서를 보내고, 서면으로 답변을 받았으며, 3차 회의 시 대면으로 질의응답을 시행하였다. 그리고, 사고 원인분석과 개선방안 도출을 위해 해석적 검증과 개별 현장조사를 병행하였다.

표 1.1 조사위원회 추진 경과

구 분	일 시	내 용
1차	2021. 1.21.(목)	<ul style="list-style-type: none"> • 조사위원회 착수 및 위원장 선출 • 안산시 : 사고발생현황, 응급복구 현황 보고 • 초기 현장 확인 내용 보고
2차	2021. 1. 29.(금)	<ul style="list-style-type: none"> • 자료검토 내용 공유 및 토의 • 사고 원인 규명을 위한 방안 공유 • 공사 관계자에 대한 서면질의서 작성
3차	2021. 2. 5.(금)	<ul style="list-style-type: none"> • 관련자 대면조사 • 사고 보고서 작성 및 해석적 검증 방안 논의
현장조사	2021. 2. 15.(월)	<ul style="list-style-type: none"> • 안산시 담당자와 업무 개선사항 검토 • 시공사 현장소장과 사고 원인 사항 검토
해석적 검증	2021. 2.6.~2.25.	<ul style="list-style-type: none"> • 설계정수 변경, 8단 지보재 미설치로 인한 과굴착, 지하수위 변경, 크랩셀 추가 하중, 근입장 부족에 따른 영향 등을 검증
4차	2021. 2. 26.(금)	<ul style="list-style-type: none"> • 업무개선 사항 검토 및 해석적 검증에 대한 검토
보고서 검토	2021. 2.27.~3.14.	<ul style="list-style-type: none"> • 최종보고서(안) 검토 및 위원별 의견 조율
5차	2021. 3. 15.(월)	<ul style="list-style-type: none"> • 사고 원인 분석 결과 및 결론에 대한 논의
6차	2021. 3. 29.(월)	<ul style="list-style-type: none"> • 최종보고서 완료 보고



그림 1.2 안산시 사동 자이센터프라자 조감도



그림 1.3 안산시 사동 자이센터프라자 건물 배치도

제2장

흙막이 붕괴사고 현장 조사

2.1 개요

2.2 사고조사 방법

2.3 붕괴 현장조사

제2장 흙막이 붕괴사고 현장 조사

2.1 개요

흙막이 붕괴사고 조사를 위해 인허가 및 사업 시행 관계자료, 계약서류, 설계도서, 공사 및 안전 점검 관련 자료 등 건설 관련 자료조사를 포함하였다. 이와 함께, 사업 및 공사 관련자의 청문조사, 흙막이 구조안정해석 등을 실시하였다. 흙막이 붕괴사고 조사를 위해 “조사위원회 회의”를 수시로 개최하였으며, 조사 결과와 진행 상황을 분석하고, 붕괴원인 조사에 필요한 관련 자료검토를 통해 사고 원인을 밝히고자 하였다.

2.2 조사 방법

경기도 지하사고 조사위원회에서 수행한 주요 조사항목은 다음과 같다.

- **자료조사** : 사업승인, (원)설계, 설계변경, 시공, 흙막이 공사, 계측, 안전관리계획서 관련 자료
- **현장 조사** : 사고현장 조사, 관계자 대면조사
- **지형 및 지반조사** : 당 현장의 지반조사 및 인접 현장의 지반조사 자료의 비교 분석
- **해석적 검증** :
 - 원설계에 대한 검토
 - 설계변경사에서 입수한 입력 자료에 대한 검증
 - 8단 지보재 미설치로 인한 과굴착의 영향 검증
 - 설계변경시 지하수위 변경에 따른 영향 검증
 - 크람셸(clamshell) 굴착기의 추가 하중에 의한 영향 검증
 - 근입장 부족에 따른 영향 검증 등
- **흙막이 붕괴 원인분석**
- **개선사항 도출 및 제안**

2.2.1 자료조사

자료조사는 흙막이 붕괴사고의 원인을 분석하고 개선사항을 도출하는 데 가장 중요하고, 기본이 되는 사항이다. 자료조사의 세부 내용은 다음과 같다.

표 2.1 자료조사 내용

구분	조사항목	세부 내용
인허가 자료	인허가 관련	<ul style="list-style-type: none"> 공사 인허가 자료 <ul style="list-style-type: none"> 인허가 접수 공문 및 자료 사본 인허가 절차 요약 (안산시 조례 포함)
	지하안전법 관련	<ul style="list-style-type: none"> 지하안전영향평가 계약서류 및 보고서 <ul style="list-style-type: none"> 소규모 지하안전영향평가 보고서 지하안전확보방안 및 이의 조치 결과 처리 내용
	착공 관련	<ul style="list-style-type: none"> 착공 서류 <ul style="list-style-type: none"> 착수계 제출 공문 및 자료 도면 일반시방서, 특별시방서, 안전관리계획서
	계약 관련	<ul style="list-style-type: none"> 계약서류 <ul style="list-style-type: none"> 시행사와 시공사 계약, 시행사와 감리사 계약서류 계측사와 계약 내용
설계변경 자료	시공사	<ul style="list-style-type: none"> 설계변경 절차, 관련법 조항 <ul style="list-style-type: none"> 설계변경 사유
	감리사	<ul style="list-style-type: none"> 설계변경 관련 접수 공문
지반조사 자료	시추조사 자료	<ul style="list-style-type: none"> 지반조사 보고서
계측자료	계측자료	<ul style="list-style-type: none"> 계측 계약에 따른 계측 현황 주간, 월간 계측 보고서

2.2.2 현장조사

흙막이 붕괴사고 현장에 대한 방문 조사는 2차에 걸쳐 진행하였다.

가. 1차 현장 방문 조사

조사위원회는 붕괴사고 후 8일이 지난 시점에 현장을 방문하여 현장소장 등 공사 관계자로부터 사고에 대한 설명을 듣고 현장 상황을 조사하였다. 사고 직후 현장 조사에 참여한 경기지하안전지킴이 위원으로부터 사고 직후의 현장 상황에 대한 보고도 받았다.

- 조사 위원 : 조사위원회 위원 전원
- 조사 일시 : 2021. 1. 21.(목) 12:30~14:00



그림 2.1 사고조사위원회 현장 방문

나. 2차 현장 방문 조사

3차 회의에서 관계자 대면조사를 마친 후에 현장을 방문하여 대면조사 당시 지적된 사항에 대하여 관계자들의 의견을 청취하였다.

- 조사 위원 : 윤태국 위원
- 조사 일시 : 2021. 2. 15.(월) 9:00~12:00
- 면담 대상 : 안산시 건축허가 팀장 외 1인 / 상도 종합건설 현장소장

2.2.3 관계자 대면조사

흙막이 붕괴사고 원인 규명을 위한 청문 조사는 “자이센터프라자” 공사 관계자를 대상으로 질문서를 송부하여 서면으로 답변을 받고, 이를 바탕으로 위원회 회의시 대면으로 안산시, 설계사, 시공사, 계측사, 안전관리계획 수행사 등의 의견을 청취하였다.

- 조사 위원 : 조사위원회 위원 전원
- 조사 일시 : 2021. 2. 5.(금) 10:00~13:00
- 조사 장소 : 경기 테크노파크 기술고도화동 1층 창조교육실

표 2.2 청문 조사 참석자

구분	소속	직위	비고
인·허가관청	안산시	건축디자인과장	
		건축허가팀장	
		주무관	
흙막이 원설계사	다솔엔지니어링	전무	
설계변경사	서강토질	사장	
시공사	상도종합건설	현장소장	
	대훈토건	이사	
감리사	대원건축사사무소	이사	
	서강토질	사장	
안전관리계획 작성사	두손안전기술	이사	
계측사	하나원엔지니어링	이사	

2.2.4 흙막이 구조물의 안정성 검토

흙막이 붕괴사고에 대한 안정성 검토를 위하여 설계자들이 사용한 동일한 전산프로그램¹⁾을 이용하여 다음 사항들을 검토하였다.

- 소규모 지하안전영향평가에 적용한 지반 전단강도 정수를 적용한 경우의 SCW 흙막이 벽체(설계변경된 공법)의 구조적 안전성
- 지하수위 차이(설계변경시 하향)에 따른 흙막이 벽체의 안정성 변화
- 8단 지보재 미설치에 대한 흙막이 벽체의 안정성 (과굴착 영향 검토)
- 크람셸 장비의 가시설 근접 작업에 따른 상재하중 추가에 대한 흙막이 벽체의 안정성
- 엄지말뚝 근입장 축소에 대한 흙막이 벽체의 안정성
- 기타 설계변경 및 시공시 붕괴 유발요인을 모두 고려한 해석적 검증

2.3 흙막이 붕괴사고 현황

2.3.1 붕괴 직전

가. 작업 현황

“자이센터프라자 신축공사” 현장의 흙막이 붕괴사고 당일인 2021년 1월 13일 수요일 공사일지에 따르면, 작업 인부 35명이 현장에 투입되어 기초 단차 부위에 흙막이 설치, 파일 두부 정리, 기초바닥 터파기 사토 반출 및 레벨 확인 등의 작업을 하였다.

시공사 현장소장의 진술에 따르면, 사고 당일 오전 11시 30분경 토목업체 관리자가 좌북측 상단 지하 4단, 5단 띠장 부위 흠메우기 부위에서 흙막이 구조물의 터짐소리가 심하게 난다는 보고를 받았고, 11시 50분경 현장에 긴급 대피를 지시하였다.

1) 마이더스아이티가 흙막이 가시설에 대한 2차원 해석 및 설계를 위해 개발한 범용 지반해석 프로그램인 MIDAS Geo X. 흙막이 원설계자인 ㈜다솔엔지니어링과 변경설계자인 서강토질에서 사용.

나. 현장 기상

사고 당일 공사일지에 기록된 기상 현황은 흐린 날씨에 영상 2℃의 기온이었다. 해당 지역에는 기상관측소가 설치되어 있지 않아 인접 지역의 기상청 정보를 참고하면, 경기도 수원시의 일 강수량은 사고 전일인 1월 12일에 1.5mm였고, 사고 당일인 13일, 익일인 14일에는 강수량이 없었다. 사고 당일 수원시의 평균기온은 1.7℃였다.

2.3.2 붕괴사고 경과

2021년 1월 13일(수요일) 12시 15분경, 흙막이 가시설 벽체(SCW) 및 버팀대(사방향 스트럿)에서 붕괴가 발생하면서 1차로 북서측에서 붕괴가 발행하였다. 1차 붕괴시 지보재는 사방향 스트럿이 1~7단까지 붕괴되었다. 당일 19:10분경에 1차 붕괴에 따른 구조적 불균형과 편토압으로 인하여 추가적인 2차 붕괴가 발생하였다. 현장소장의 신속한 대피 조치로 인명피해는 발생하지 않았으나, 흙막이 가시설의 일부가 붕괴되고 남측의 인접도로에 일부 균열이 발생하였다. 사고 경과를 국토안전관리원(조사일: '21.1.13.~'21.1.15.)의 보고서²⁾를 참고하여 표 2.3에 요약하였다.

2) 경기도 안산시 상록구 사동 흙막이 가시설 붕괴사고 조사 보고서('21.1.20.)

표 2.3 붕괴사고 경과³⁾

일자	일 시	내용
1.13	11:30	• 띠장 흙 메우기 부분에서 소리 발생, 작업자 대피
	12:15	• 북서측 흙막이 벽체 및 지보재 붕괴 발생(1차 붕괴): 지보재는 사방향 Strut 1~7단 붕괴(최종 굴착 후 8단 시공 전)
	16:00	• 지하매설물 관리기관 현장 확인: 한전, 안산도시개발, 삼천리(주) 등 • 도로통제 내용을 자이 2차아파트 입주민에게 통보함 • 노선버스 변경 / 안산시 상록경찰서 도로통제 협조요청
	17:00	• 서울지방국토관리청 현장조사(지하안전영향평가 관련)
	19:10	• 남서측 흙막이 벽체 및 지보재 붕괴 발생(2차 붕괴): 1차 붕괴에 따른 구조적 불균형 및 편토압으로 인한 연쇄적 붕괴
	19:30	• 자이 2차 아파트 정전(19:30~20:00)
	22:00	• 국토교통부, 경기도에 지반침하 사고 보고
1.14	~11:00	• 1, 2차 붕괴 구간에 토사 되메우기 작업 진행: 붕괴구간에 대한 되메우기 작업(덤프 및 백호)중 국토원 조사관의 도로부 균열 폭 및 연장 증가(진행성으로 판단) 확인 후 모니터링 요청, 되메우기 작업으로 인한 도로부 3차 붕괴가 예상되어 작업 중단함
	12:00	• 경기도, 안산시, 자문위원 등과 굴착 내부 되메우기에 대한 방법 논의 후, 도로부 3차 붕괴 방지를 위한 남측(도로부)의 굴착 내부 저면부터 레미콘 타설 결정(압성토 효과): 이후 레미콘 및 펌프카가 현장에 도착했으나, 작업을 진행하지 못하고 철수함(레미콘 타설시 구조체 안전 확보가 어렵다는 사유)
	20:30	• 붕괴된 굴착 현장에 대한 금일 추가적인 조치가 없음을 확인, 심야시간 중 3차 붕괴 시 긴급출동을 위해 현장 대리인 등과 연락망 구축 후 철수함
1.15	08:00	• 전일 경기도, 안산시, 현장 관계자의 유선상 협의 하에 1차 붕괴 지점에 장비 진입로를 확보하여 토사 되메우기 작업 착수
	09:00	• 1, 2차 붕괴지점의 하부 빈 공간으로 지속적인 토사가 유입됨에 따라 작업자 안전 확보를 위해 작업 중지
	12:00	• 자문위원 및 현장 관계자 재협의 후 사업부지 동측에 장비 진입로 확보 후 토사 되메우기 작업 착수
1.21	24:00	• 흙막이 내부 토사 되메움 작업 완료

3) 사고 시간은 구두보고에 의한 상황도 포함되어 실제와 약간 차이가 있을 수 있음

2.3.3 붕괴사고 현황



그림 2.2 1, 2차 붕괴현장 전체 전경

흙막이 벽체의 변위를 유발하는 일반적인 원인은, 1) 흙막이 벽체의 휨, 2) 버팀대의 탄소성변형, 3) 버팀대의 온도하중, 4) 버팀대 설치의 시간적 지체(단계별 설치), 5) 벽체 근입깊이 부족, 6) 과다 굴착, 7) 굴착지반 약화(물 영향, 이완 등) 등이다.

모서리부에 설치하는 경사 스트럿은 띠장에 수직으로 설치하는 스트럿에 비하여 강성이 작고 지반변위 억제 효과도 작으므로, 토압이 큰 연약지반에서는 가급적 모서리부에 1~2개 이상 사용해야 하며, 지반 조건이 좋더라도 너무 길어지지 않도록 해야 한다.

스트럿은 개별 부재의 좌굴 검토는 물론 전체 구조가 좌굴에 대해 안정하도록 가새 보강재(브레이싱, bracing)를 배치하여야 한다. 스트럿에 직각 방향으로 설치하는 좌굴 방지용 브레이싱은 흙막이벽의 끝까지 연장해야 한다.

이 사고현장의 경우에도 흙막이 구조물에서 일반적으로 빈번하게 발생하는 가시설 벽체(SCW)의 버팀대(사방향 스트럿)에서 붕괴가 발생하였다. 특히, 1, 2차 붕괴가 일어난 곳은 버팀보와 토류벽의 각도가 39° 로서 좌굴에 취약한 점을 가지고 있다.

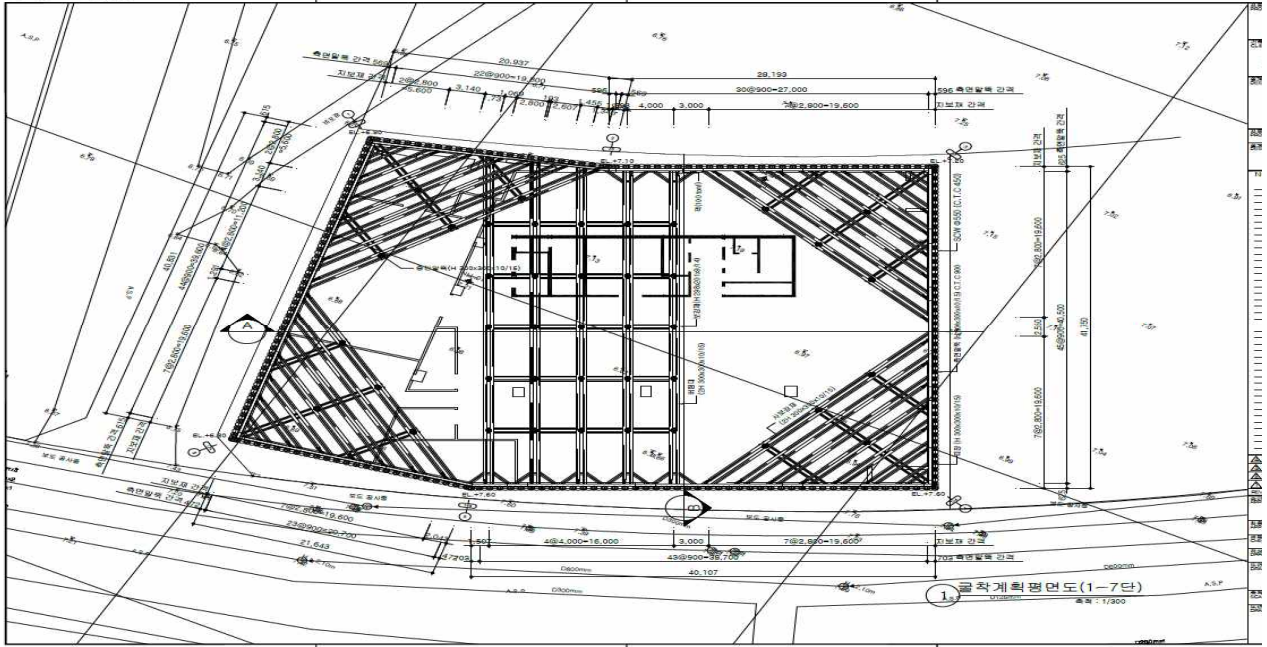


그림 2.3 흙막이 버팀보지지 구조체

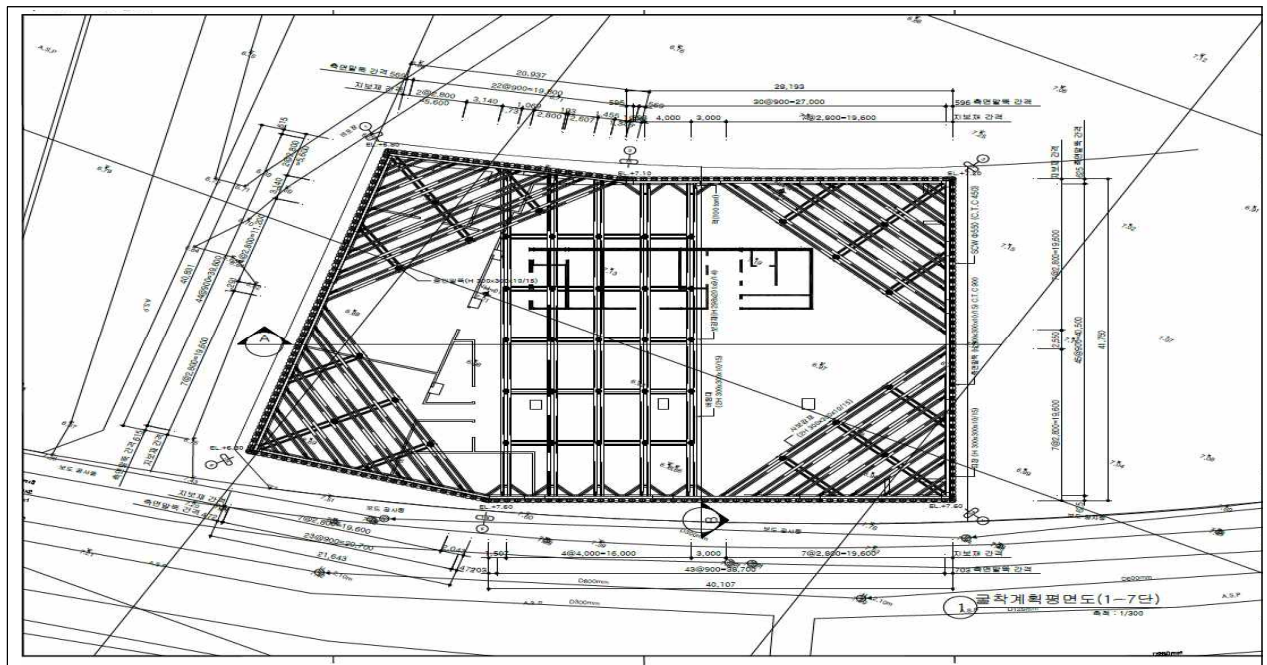


그림 2.4 굴착계획 단면도4)

그림 2.5의 8단 버팀보 위치에서 50cm 굴착 후 버팀보를 설치해야 하는 설계와 달리 7단 설치 부위에서 굴착완료면까지 깊이는 최대 4.81m로 설계보다 2m이상 과굴착이 되었다.

4) 안산 사동 90BL 근린생활 신축공사 (주)서강토질 2020.7

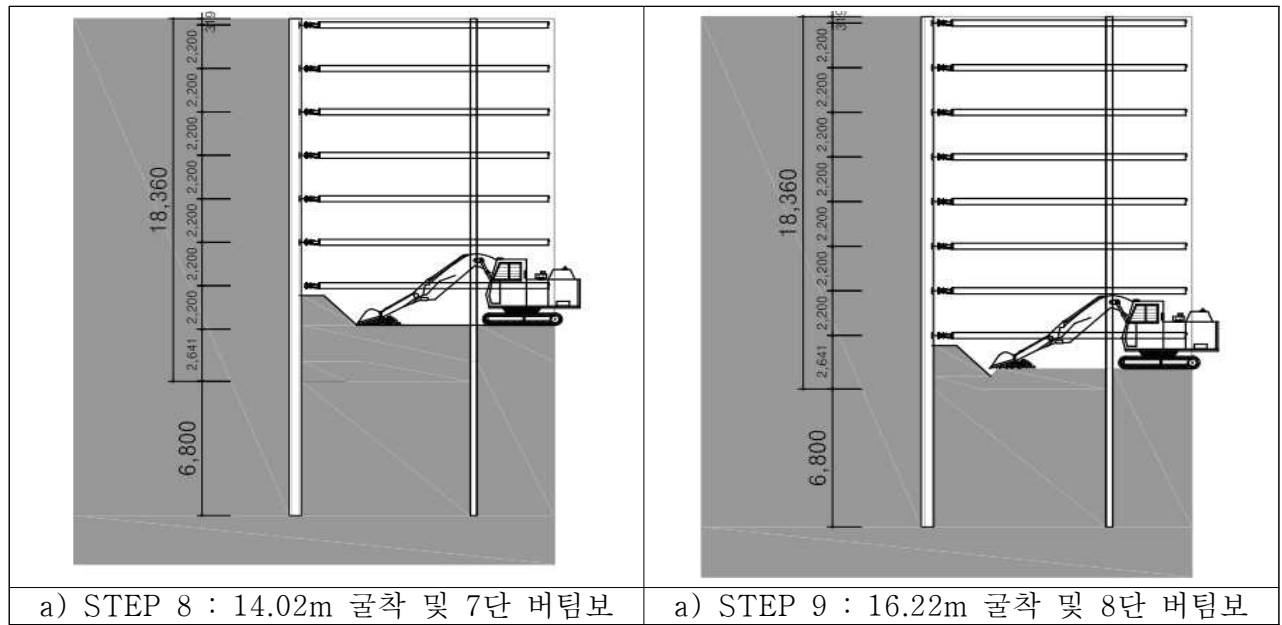


그림 2.5 7, 8 단계 굴착 현황⁵⁾

1월 13일 11:30경 띠장 흙메우기부에서 소리가 발생하여, 작업자를 대피시킨 직후인 12:15경 북서측 흙막이 벽체와 지보재에서 그림 2.6(사진1)과 같이 붕괴가 발생하였다.

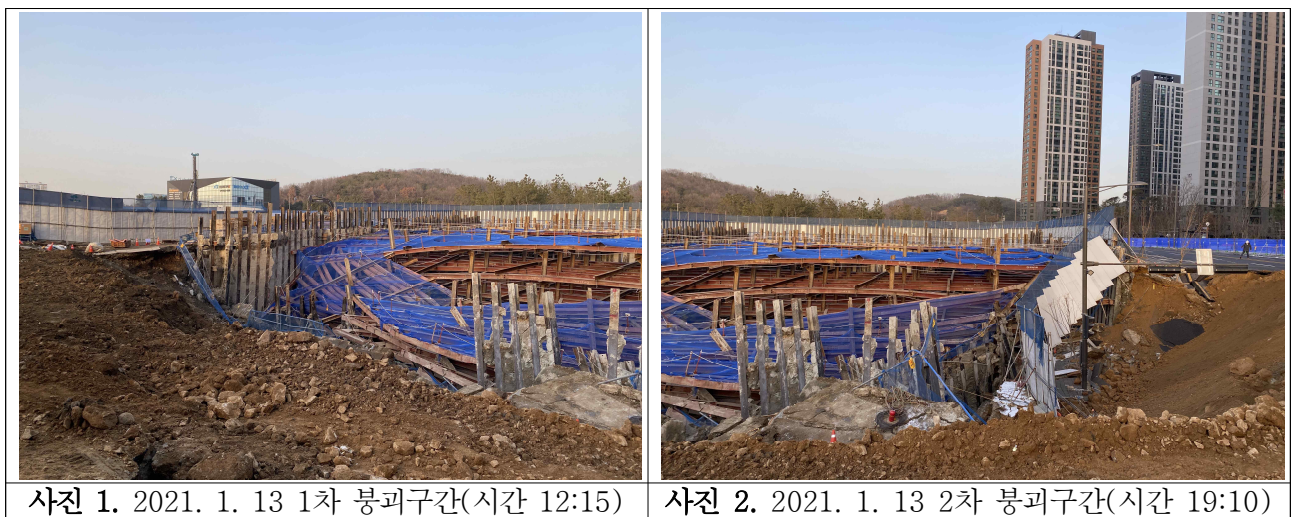


그림 2.6 1, 2차 붕괴구간 관련 사진

그림 2.6의 사진 2와 같이 1차 붕괴에 따른 구조적 불균형과 편토압으로 인한 연쇄적 붕괴로 남서측 흙막이 벽체 및 지보재에서 2차 붕괴가 발생하였으며, 1차 및 2차 붕괴에 이어 흙막이 구간의 토사 함몰의 영향으로 인접한 도로부와 흙막이 주변지반에서 그림

5) 안산 사동 90BL 근린생활 신축공사 (주)서강토질 2020.7

2.7과 같이 균열이 발생하였다.



그림 2.7 남측도로부 균열 및 배면 인장균열

2.3.4 응급복구 현황

그림 2.8과 같이 사고 당일 1차 및 2차 붕괴 일부 구간에 대해 19시부터 14일 12시까지 되메우기 작업을 시행하여 추가 붕괴를 방지하고자 하였고, 안전 펜스 및 안전 테이프를 설치해 위험구간으로의 접근금지 조치를 하였다.

- 2차 붕괴 때 유실된 도로 구간 약 300㎡에 대해서도 되메우기를 시행하고 노상 크랙 부위에 크랙 게이지를 부착해 변이 계측을 시행하였다.
- 전면 도로의 추가 유실을 방지하기 위해 1월 15일부터 공사 현장 터파기 내부 전체를 되메우기 작업을 시행하였다.

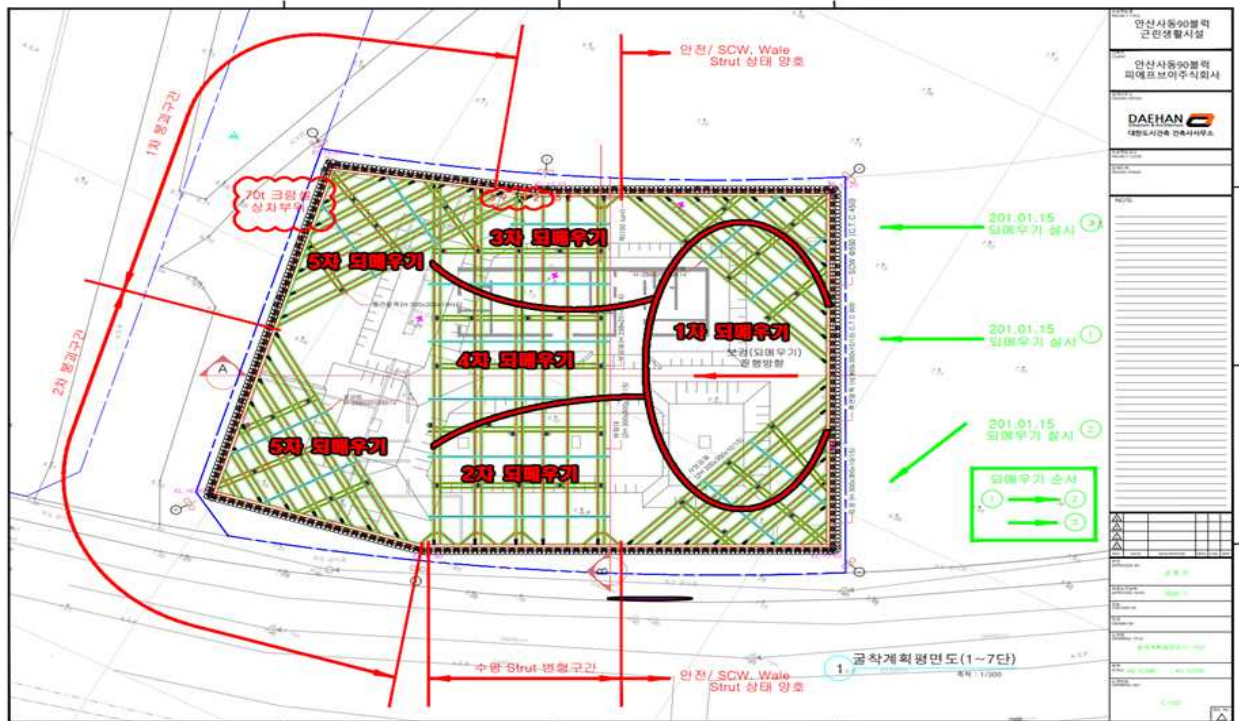


그림 2.8 단계별 응급복구 현황

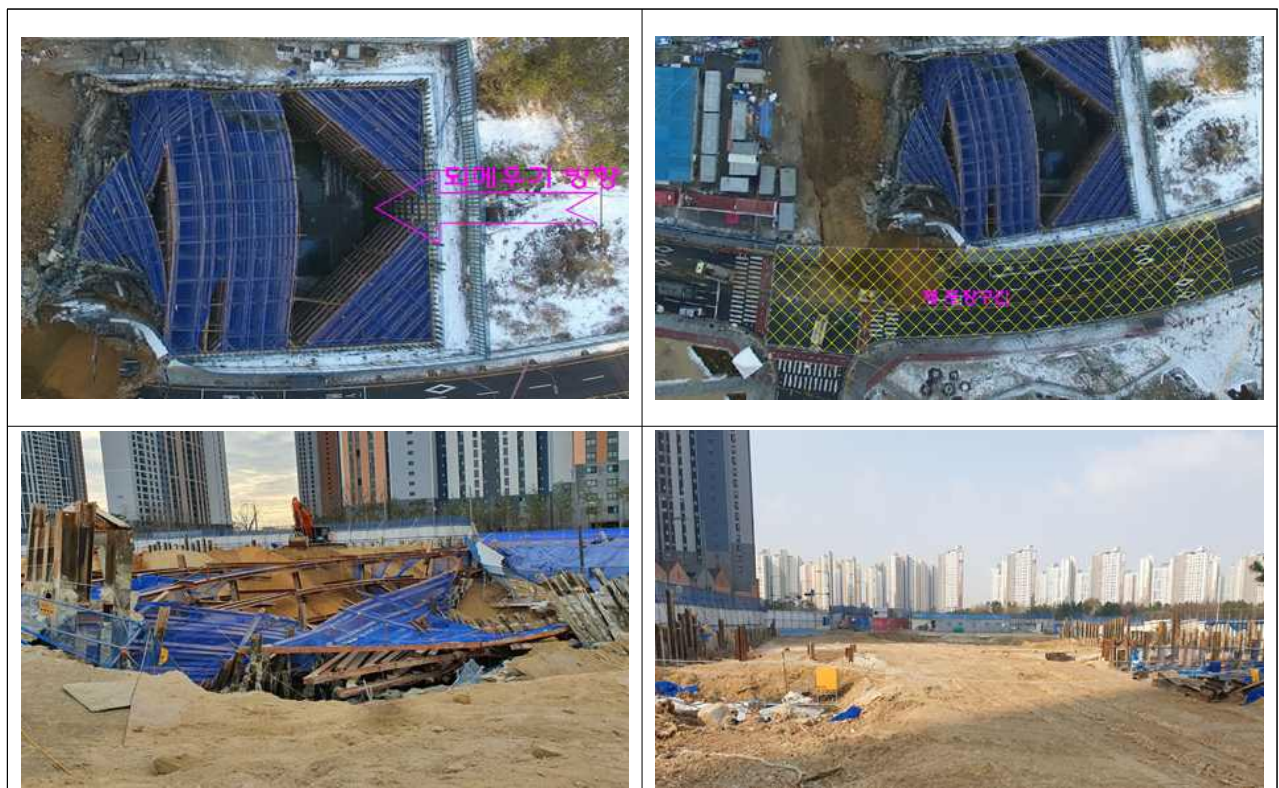
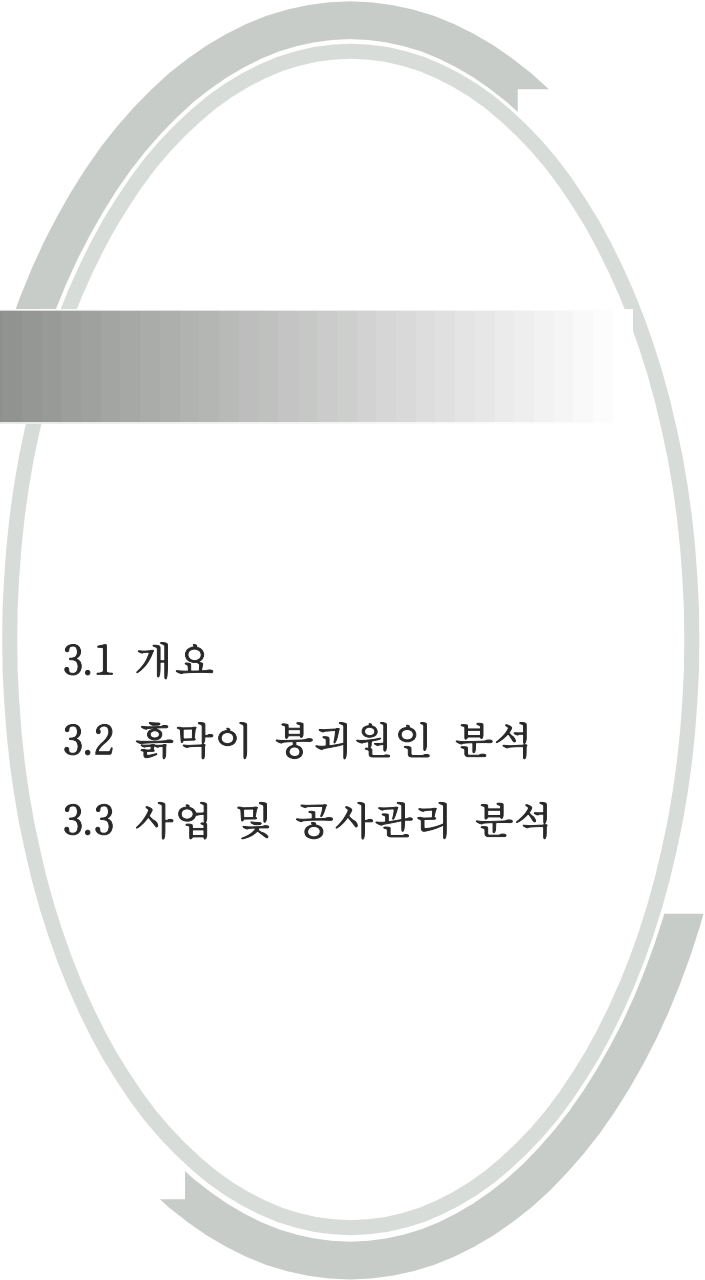


그림 2.9 붕괴현장 응급복구 종료 현황



제3장

사고 원인 분석

3.1 개요

3.2 흠막이 붕괴원인 분석

3.3 사업 및 공사관리 분석

제3장 사고 원인 분석

3.1 개요

흙막이 붕괴사고의 원인 규명을 위하여 인·허가부터 시공까지 단계별로 나누어 분석하였다. 원인 분석은 크게 흙막이 붕괴원인과 사업 및 공사관리 문제점으로 구분하여 기술하였다.

표 3.1 단계별 사고 원인 분석을 위한 검토항목

구분	관련기관 및 내용	주요 검토항목
승인 단계	<ul style="list-style-type: none"> 건축위원회 심의 신청(2019.10.30., 시행사→안산시) 건축경관위원회 통합심의(2019.12.20.) 	
허가	<ul style="list-style-type: none"> 건축허가 접수(2020.2.13.) 허가(2020.3.24) 	
설계 변경	<ul style="list-style-type: none"> 원설계사에 설계변경 요청 : 불가 통보 다른 설계사를 지정하여 설계변경 시행 	<ul style="list-style-type: none"> 설계변경 적정성의 문제 지반정수, 지하수위 적용 문제
설계 변경 승인 요청	<ul style="list-style-type: none"> 설계변경으로 건축위원회 심의(2차) 접수(2020.4.29.) 건축허가 변경 접수(2020.5.25.) 건축경관위원회 서면심의(2020.6.15.) 건축허가 변경 완료(2020.6.16.) 	<ul style="list-style-type: none"> 건축위원회 심의 문제 지하안전영향평가 여건 변경에도 시행사가 안산시에 보고하지 않은 문제
착공	<ul style="list-style-type: none"> 사업 착공 신고(2020.6.29.) 	
시공	<ul style="list-style-type: none"> 안산시 3분기 현장점검(2020.9.14.) 안산시 4분기 현장점검(2020.10.21.) 	<ul style="list-style-type: none"> 안산시의 현장점검 문제
	<ul style="list-style-type: none"> 붕괴 전 7단 지보재만 설치(2020.12.27.) 	<ul style="list-style-type: none"> 현장여건 불일치 설계 및 과굴착의 문제 굴토감리사의 문제
	<ul style="list-style-type: none"> 붕괴사고 전 계측 이상치 발생(2020.12.24.) 	<ul style="list-style-type: none"> 계측관리의 문제
	<ul style="list-style-type: none"> 흙막이 붕괴사고 발생 - 1차 북서측 : 2021. 1. 13. 12:15 - 2차 남서측 : 2021. 1. 13. 19:10 	<ul style="list-style-type: none"> 붕괴사고 후 안전 조치 문제

3.2 흙막이 붕괴원인 분석

3.2.1 지반조사 보고서

가. 지형 특성

안산시(安山市)는 대한민국 경기도의 남서부 서해안에 위치하는 시이다. 북쪽으로 시흥시와 안양시, 동쪽으로 군포시와 의왕시, 수원시, 남쪽으로 화성시와 접하고 있으며 대부분은 월경지(越境地)이다.

안산시의 지세는 강원도 북부에서 남남서 방향으로 달리는 광주산맥의 말단부 남쪽에 위치한다. 따라서 시의 북동부는 비교적 높은 산지가 형성되어 있으며, 해안을 따라 서부와 남부는 저평한 평야 지대를 이루고 있다.

조사지역은 행정구역상 경기도 안산시 사동 일원에 위치하고 있다. 주요도로 현황은 국도 39호선과 국도 42호선은 확장되어 수인산업도로가 되었고, 국도 47호선은 서울~안산 간의 4차선 고속화도로가 되었다. 1988년에 경부선 금정역에서 안산까지의 안산선이 개통되었다. 조사지역 북쪽에는 마산(麻山, 246m)·수리산(瑈理山, 474m)이 시흥시와 경계를 이루고, 동남쪽에는 나봉산 같은 100m 내외의 구릉이 남북으로 지난다.

중앙에는 광덕산(光德山, 205m)·가사미산(可使美山, 142m) 등이 솟아 있다. 조사지역의 서쪽엔 시화호가 위치하고 있고 안산천·신길천·화정천·구룡천·반월천 등의 소지류 천이 바다로 흘러든다. 이들 하천 유역과 해안에는 평야가 발달하고 있는데, 하천수와 저수지 물은 관개용수 또는 생활용수로 이용된다.

나. 지질 특성

공사 현장 일대의 지질은 한국지질자원연구원에서 발간한 도폭(축척 1:50,000)을 참고하였으며, 선캠브리아기의 연천계(連川系)와 대비되는 부천계(富川系)에 해당하는 퇴적기원(堆積起源)의 변성암류(變成岩類), 시대 미상의 화성암류(火成岩類), 중생대 퇴적암류(堆積岩類)와 이들 모든 지층을 관입(貫入)한 백악기의 맥암류(脈岩類) 및 제4계의 충적층(沖積層)으로 구성되어 있다.

변성암류는 전역에 걸쳐 넓은 분포를 보여 주며 화강암질 편마암, 백운모 편암(白雲母 片岩), 흑연 편암(黑鉛 片岩), 흑운모 편암(黑雲母 片岩), 흑운모 대상편마암(黑雲母 帶狀片麻岩) 및 우백화강암질 편마암(優白花崗岩質 片麻岩) 등으로 구성되며, 습곡작용에 의하여 반복되어 분포하기도 한다.⁶⁾

안산시에는 안산천, 반원천, 화정천 일대의 하천유역과 간척사업이 시행되었던 구해안선 일대의 평탄지를 따라서 저지대가 분포하여, 하천을 따라 발달되어 있는 평탄지는 대부분 하상 퇴적물로 덮여 있고, 해안선을 따라 간척된 곳은 해상 퇴적물로 덮여 있다.

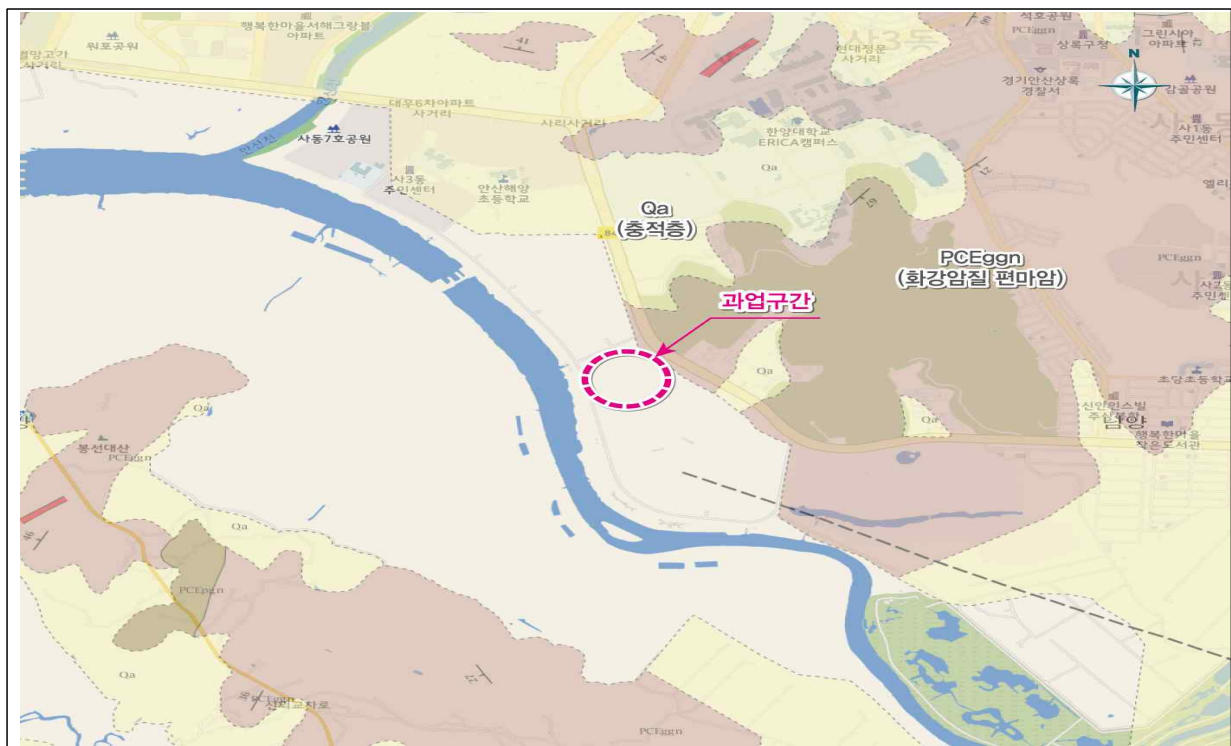


그림 3.1 조사지역 지질도(1:50,000 남양 도폭, 1972년)

다. 시추조사

시추위치도에 표시한 바와 같이 각 조사지점을 답사한 후 지층의 구성상태, 지반의 공학적 성질 등 전반적인 자료를 획득할 수 있도록 NX규격 6개소에 대한 지반조사를 시행하였다. 지층분포는 전체적으로 상부로부터 매립층, 퇴적층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층으로 분포한다.⁷⁾

6) 지반조사보고서 2020.2 ㈜다솔엔지니어링

7) 지반조사보고서 2020.2 ㈜다솔엔지니어링

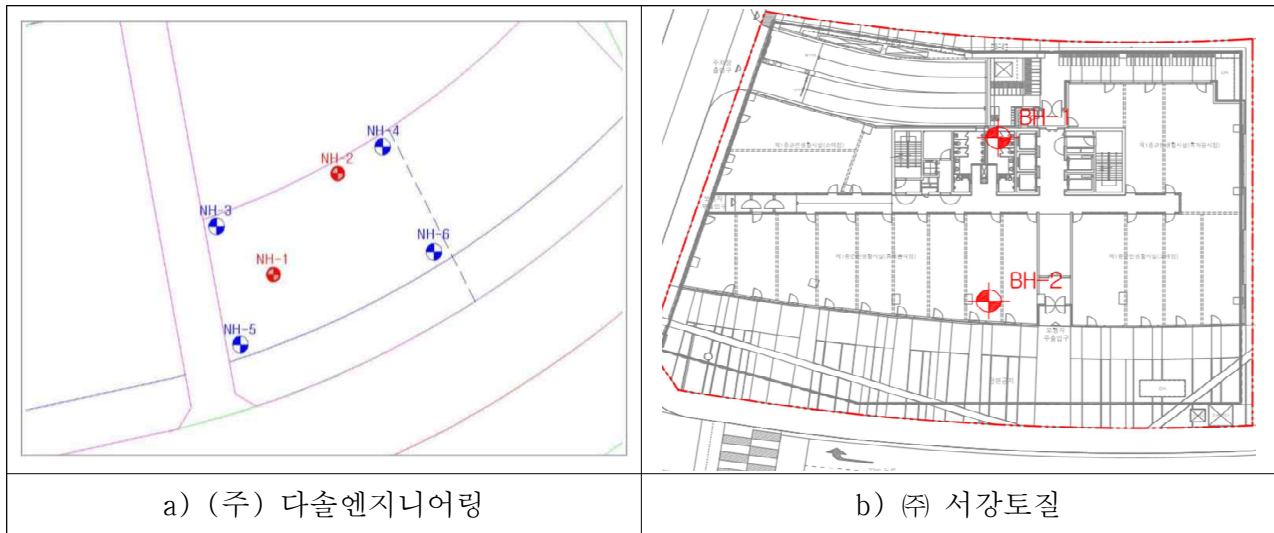


그림 3.2 다솔/서강토질 지반조사 시추 위치도⁸⁾

표 3.2 다솔 시추조사 결과⁹⁾

구분	공번	지반고 EL(+).m	지층별 분포상태 및 층후 (m)					
			매립층	퇴적층	풍화토	풍화암	연암	총심도
NX	NH-1	7.21	1.6	20.0	2.9	7.5	—	32.0
	NH-2	7.23	5.0	15.2	—	7.3	—	27.5
	NH-3	6.72	3.9	14.9	12.2	2.8	3.2	37.0
	NH-4	7.12	4.8	14.0	1.2	17.5	3.0	40.5
	NH-5	6.65	3.7	16.1	5.9	19.3	3.0	48.0
	NH-6	6.78	4.7	15.3	0.6	19.3	3.1	43.0
합계			23.7	95.5	22.8	73.7	12.3	228.0

표 3.3 서강토질 시추조사 결과¹⁰⁾

공 번	매립층	퇴적층		풍화토	풍화암	계	SPT(회)
		실트질 점토	자갈섞인 실트질 모래				
NH-1	3.3	14.7	2.9	1.1	5.0	27.0	27
NH-2	4.2	13.0	2.7	3.1	5.0	28.0	28

8) 지반조사보고서 2020.2 (주)다솔엔지니어링 / 2020.5 (주)서강토질

9) 지반조사보고서 2020.2 (주)다솔엔지니어링

10) 지반조사보고서 2020.5 (주)서강토질

표 3.4 표준관입시험의 의한 지층분석-(주)다솔엔지니어링¹¹⁾

표준관입시험 결과					
공 번	매립층	퇴적층	풍화토층	풍화암층	SPT(회)
NH-1	11/30	2/30~36/30	50/22~50/12	50/4~50/1	32
NH-2	4/30~50/17	2/30~28/30	—	50/4~50/2	27
NH-3	3/30~5/30	2/30~41/30	24/30~50/2	50/3~50/2	33
NH-4	2/30~0/26	3/30~23/30	50/22	50/9~50/1	37
NH-5	—	2/30~6/30	22/30~50/15	50/9~50/1	44
NH-6	3/30~10/30	2/30~30/30	50/12	50/5~50/1	39

지층	N값	층분포	N값 분포
매립층	2/30~50/17		
퇴적층	2/30~36/30		
풍화토	22/30~50/2		
풍화암	50/9~50/1		

지 층	층 후(m)	구 성 상 태	N치 TCR/RQD(%)
매립층	1.0~5.0	• 자갈 및 모래섞인 실트, 자갈섞인 모래, 점토섞인 모래, 실트섞인 점토로 구성, 매우 느슨~매우 조밀한 상대밀도, 연약~견고한 연경도, 습윤, 갈색	2/30~50/17
퇴적층	14.0~20.0	• 실트섞인 점토, 모래섞인 실트, 실트섞인 모래, 점토섞인 모래, 자갈섞인 모래로 구성, 느슨~조밀한 상대밀도, 연약~중간의 연경도, 습윤, 갈색~암회색	2/30~36/30
풍화토	0.6~12.2	• 실트섞인 모래로 구성, 매우 조밀한 상대밀도, 완전풍화, 습윤, 갈색	22/30~50/2
풍화암	2.8~19.3	• 굴진시 실트섞인 모래로 분해, 심한풍화, 매우 조밀한 상대밀도, 습윤, 갈색	50/9~50/1
연암	3.0~3.2	• 기반암은 편마암 확인, 심한풍화~보통풍화, 약함~보통강도, 암편~단주상 코어회수, 암회색	62~84/0~27

11) 지반조사보고서 2020.2 (주) 다솔, pp.36~38

표 3.5 표준관입시험에 의한 지층분석 (주)서강토질¹²⁾

표준관입시험 결과						
시추공번	지층구분	구성성분	심도 (m)	두께 (m)	N치 (회/cm)	비고
BH - 1	매립층	자갈섞인 실트질 모래	0.0~3.3	3.3	7/30~13/30	SPT
	퇴적층	실트질 점토	3.3~18.0	14.7	2/30~4/30	SPT
	퇴적층	자갈섞인 실트질 모래	18.0~20.9	2.9	18/30~45/30	SPT
	풍화토	실트질 모래	20.9~22.0	1.1	50/20	SPT
	풍화암	기반암의 풍화대	22.0~27.0	5.0	50/5~50/1	SPT
BH - 2	매립층	자갈섞인 실트질 모래	0.0~4.2	4.2	5/30~13/30	SPT
	퇴적층	실트질 점토	4.2~17.2	13.0	2/30~4/30	SPT
	퇴적층	자갈섞인 실트질 모래	17.2~19.9	2.7	22/30~35/30	SPT
	풍화토	실트질 모래	19.9~23.0	3.1	30/30~50/12	SPT
	풍화암	기반암의 풍화대	23.0~28.0	5.0	50/8~50/2	SPT

"N"치 분포도	결 과
	<p>·그림에 나타난 바와같이 층 하부로 갈수록 높은 "N"치를 보이고 있으며, 특히 연약한 퇴적층이 분포하는 지표하 3.0~18.0m 구간에서 낮은 값을 보이고 있음.</p>

지층	지 층 요약
퇴적층 (점성토)	<ul style="list-style-type: none"> ·과거 지표수의 이동으로 인해 퇴적되어 형성된 토사층으로 13.0~14.7m의 두께로 분포하고 있으며, 실트질 점토로 구성. ·부분적으로 모래 혼재. ·측정된 "N"치는 2/30~4/30회로 대단히 연약 내지 보통 상태를 나타냄. ·회색 내지 암회색의 색조를 보임.
퇴적층 (사질토)	<ul style="list-style-type: none"> ·과거 지표수의 이동으로 인해 퇴적되어 형성된 토사층으로 2.7~2.9m의 두께로 분포하고 있으며, 자갈섞인 실트질 모래로 구성. ·측정된 "N"치는 18/30~45/30회로 보통 조밀 내지 대단히 조밀한 상태를 나타냄. ·갈색 내지 회갈색의 색조를 보임.

12) 지반조사보고서 2020.2 (주)서강토질, pp.36~38

(주)서강토질에서 수행한 지반조사 결과에 의하면 과거 지표수의 이동으로 인해 퇴적되어 형성된 퇴적층으로 13.0~14.7m의 두께로 분포하고 있으며, 실트질 점토로 구성, 부분적으로 모래 혼재, 측정된 N치는 2/30~4/30회로 대단히 연약 내지 보통 상태를 나타냄, 회색 내지 암회색의 색조를 보인다고 기술하였다.

라. 공내지하수위 측정¹³⁾

각 시추공별 지하수위는 24시간 이후 안정된 상태에서 측정하였으며, 그 결과는 표 3.6 및 3.7와 같으며, 계절 및 지형의 변화나 주위의 여건, 시간의 경과 등에 따라 변동이 예상된다.

표 3.6 (주)다솔엔지니어링 공내지하수위 측정결과¹⁴⁾

공번	지하수위(GL.-m)	분포지층	공번	지하수위(GL.-m)	분포지층
NH-1	7.1	퇴적층	NH-4	7.8	퇴적층
NH-2	7.7	퇴적층	NH-5	6.1	퇴적층
NH-3	6.1	퇴적층	NH-6	6.9	퇴적층

표 3.7 (주)서강토질 공내지하수위 측정결과¹⁵⁾

공번	지하수위(GL.-m)	분포지층
BH-1	7.5	퇴적층
BH-2	7.0	퇴적층

흙막이공법 원설계사인 (주)다솔엔지니어링에서 수행한 공내지하수위 측정 결과, 현장의 지하수위는 GL(-)6.1~7.8m로 나타났으며, 변경설계사인 (주)서강토질의 지하수위 측정 결과는 GL(-)7.0~7.5m로서, 유사한 결과를 보여준다.

13) 지반조사보고서 2020.2 (주)다솔엔지니어링

14) 지반조사보고서 2020.2 (주)다솔엔지니어링

15) 지반조사보고서 2020.5 (주)서강토질

마. 토질 물성 시험 및 강도 정수¹⁶⁾

표 3.8 (주)다솔엔지니어링 실내토질시험결과¹⁷⁾

공 변	심 도 (m)	함수비 $W_n(\%)$	밀도 ρ_s (g/cm ³)	액성 및 소성 시험 (%)		체분석 시험 (%)					통 일 분 류 (USCS)
				LL	PI	No.4	No.10	No.40	No.200	0.002mm	
NH-1	5.0	40.0	2.71	49.2	24.4	100.0	99.1	96.8	92.9	28.2	CL
	12.0	27.7	2.67	39.5	17.2	100.0	97.6	85.3	42.0	5.6	SC
	18.0	9.4	2.65	N.P	N.P	49.4	35.6	19.0	10.4	—	GP-G M
NH-2	2.0	13.9	2.67	25.6	6.1	100.0	97.2	79.8	26.1	2.8	SC
	9.0	41.7	2.72	54.5	27.3	100.0	100.0	99.8	99.4	35.6	CH
	15.0	43.1	2.72	56.9	29.3	100.0	100.0	98.0	94.0	31.3	CH
NH-3	15.0	43.1	2.72	56.9	29.3	100.0	100.0	98.0	94.0	31.3	CH
NH-4	9.0	34.6	2.69	N.P	N.P	100.0	100.0	99.9	98.9	9.2	ML
NH-5	15.0	30.3	2.70	39.4	16.5	100.0	99.7	91.2	63.3	12.3	CL
NH-6	6.0	35.6	2.71	40.7	20.1	100.0	100.0	100.0	99.3	16.9	CL

표 3.9 (주)서강토질 실내토질시험결과¹⁸⁾

공 변	심도 (m)	함수비 (%)	비중	시료상태		점착력 (kN/m ²)	내부마찰각 (Deg)
				높이 (cm)	직경 (cm)		
BH - 1	5.0	39.5	2.72	3	6	30.43	15.3
BH - 2	10.0	38.3	2.73	3	6	31.16	16.5

16) 지반조사보고서 2020.2 (주)다솔엔지니어링

17) 지반조사보고서 2020.2 (주)다솔엔지니어링, pp.44

18) 지반조사보고서 2020.5 (주)서강토질, pp.22

바. 지반조사 성과 분석 결과

지반조사보고서를 검토한 결과, 최대 굴착깊이 20m에 이르는 이번 흙막이 공사가 연약지반에서 진행됨에도 지반조사와 지질구조 분석이 충분하게 수행되지 않았음을 확인하였다.

원설계사인 (주)다솔엔지니어링은 현장조사(시추조사, 공내지하수위 측정, 장기지하수위 측정), 현장시험(표준관입시험, 현장투수시험, 하향식 탄성과탐사, 공내전단시험, 공내재하시험) 및 실내시험(토질물성시험과 일축압축강도시험)을 통하여 설계정수를 산정하였다. 청문조사에서 토류벽 해석에 사용한 흙의 강도정수는 현장의 지반상태가 연약하여 불교란 시료 채취가 어려워져서 경험식을 사용하였다고 답변하였다.

변경설계사인 (주)서강토질은 시추조사, 표준관입시험, 공내지하수위 측정, 실내토질 시험을 수행하였다. 불교란(UD) 시료를 이용하여 비중과 함수비는 측정하였으나 액소성한계 시험은 이루어지지 않았고, 2회의 직접전단시험에서 구한 강도정수를 토류벽 해석에 활용하였다.

표준관입시험을 통한 토층 분석은 (주)다솔엔지니어링과 (주)서강토질이 유사한 결과를 보여 준다. 퇴적층의 함수비도 (주)다솔엔지니어링은 30.3~43.1%, (주)서강토질은 38.3~39.5%로서 유사하다.

이번 공사가 진행된 현장은 해안지역에 퇴적된 연약층이 비교적 두껍게 분포하고 있어, 설계나 시공시 지반정수의 산정이 매우 중요하다. 그러나 점성토층에 적합하지 않은 표준관입시험에만 주로 의존하고, 전단강도 등 지반정수 산정을 위한 적절한 역학시험을 실시하지 않았다.

또한, 조사 성과가 불충분할 경우 주변 지반의 사례나 문헌에 제시된 값과 비교를 통해 신중하게 안전측의 강도정수나 지하수위를 선정하여 해석에 사용해야 함에도, 2회의 시험강도 값을 대푯값으로 사용하고, 지반조사시 확인된 지하수위를 무시하고 현장 오거시험으로 구한 지하수위를 변경설계에 사용하는 등 지반공학적 해석의 신뢰성을 충분히 확보하지 못한 것으로 판단된다.

3.2.2 흙막이 공법 설계변경

흙막이 공법의 변경설계 시 채택한 S.C.W.(Soil Cement Wall) 벽체는 원설계에 적용된 슬러리월 지중연속벽(D.Wall)에 비하여 시공이 간편하고 경제적인 반면, 상대적으로 강성이 작고, 주변 변위가 커서 일반적으로 연약지반이나 자갈층 등에는 적합하지 않다. 또한, 연약지반에서 구조물 설계시에는 매우 신중하게 강도정수를 산정해야 하는데, 구조적 안정성 측면에서 불리한 공법으로 설계를 변경하면서 원설계 당시의 강도정수와 지하수위 조건을 상이하게 적용하였다.

□ 원 설계(다솔엔지니어링)



굴착공법	<ul style="list-style-type: none"> 슬러리월로 구성된 토류벽 구조물을 고강도 강관 버팀보로 지지하며 굴착 	
	슬러리월	<ul style="list-style-type: none"> 레미콘(CON'C) : $f_{ck}=40\text{MPa}$ ($T=1,000\text{mm}$) 주철근 : $f_y=500\text{MPa}$ 전단철근 : $f_y=400\text{MPa}$
재료	고강도 강관	<ul style="list-style-type: none"> D406.4 x 7T(SHT460) D406.4 x 12T(SHT460)
	Wale	<ul style="list-style-type: none"> H - 300 X 300 X 10 X 15 (SS400) H - 350 X 350 X 12 X 19 (SS400)

□ 변경설계(서강토질)

굴착공법	벽체공법	<ul style="list-style-type: none"> S.C.W공법($\Phi 550, c.t.c450$)
		<ul style="list-style-type: none"> 주철근 : $f_y=600\text{MPa}$ 전단철근 : $f_y=400\text{MPa}$
재료	Wale	<ul style="list-style-type: none"> H-300x300x10x15(1~5단) H-350x350x12x19(6~8단)
	Strut	<ul style="list-style-type: none"> H-300x300x10x15(ctc:3.0m)
	보강재	<ul style="list-style-type: none"> H-298x201x9x14
	Jack	<ul style="list-style-type: none"> 100톤 유압잭
	중간말뚝	<ul style="list-style-type: none"> H-300x300x10x15(SS400)
	S.C.W 강도	<ul style="list-style-type: none"> $f_{ck}=3\text{Mpa}$

다. 흙막이 설계 공법 변경¹⁹⁾

변경설계자는 흙막이 공법 비교시 원설계 공법인 지중연속벽(D.Wall)공법과 장단점 비교 분석을 해야 하나, 원설계와 관련이 없는 CIP(Cast In Placed Pile)공법과 비교하였다.

구 분	C.I.P (Cast In Placed Pile)	S.C.W (Soil Cement Wall)
공 법 개 념 도		
공 법 개 요	<ul style="list-style-type: none"> ① 일정심도까지 천공(필요시 공벽유지를 위한 Casing 사용) ② H-Pile or 철근케이지 설치 ③ 콘크리트 타설 	<ul style="list-style-type: none"> ① 3축 Auger를 이용하여 원지반을 교반하며 엄지말뚝 근입심도까지 천공 ② H-Pile 근입
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 강성체로서 흙막이벽 역할이 가능. • 강성이 커서 배면토의 수평변위를 억제할 수 있어 안정적임 	<ul style="list-style-type: none"> • 안정처리를 저압으로 주입하므로 굴삭 교반하는 범위 이외에 안정처리체가 유출, 침투하는 경우가 없음. • 전 시공 벽체가 겹치게 시공 가능하므로 접속부의 차수 성능이 좋음
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 천공후 철근망 삽입, 레미콘 타설등으로 공정이 복잡하여 시공속도가 타공정에 비하여 느림 • 공사비가 고가 • 별도의 차수공법이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 장비가 대형이므로 협소지역에서는 시공이 불리함. • 사력층등 견고한 지층에서는 천공이 불가
적용성	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 사질토, 사력층 및 풍화암층 가능 • 암반층 시공 불량 	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 사질토 적용가능
선 정	-	●
총 합 평 가	<ul style="list-style-type: none"> • 본 부지의 지층분포는 매립층과 퇴적층에 해당하는 점토 및 모래등이 두텁게 분포하고 그 하부에 풍화토 및 풍화암의 순으로 구성되어 있고 지하수위는 12m 정도에 분포하고 있음. • 시공성 및 안정성 확보를 위해 S.C.W 공법을 적용함. 	

19) ㈜서강토질 흙막이 설계보고서, I. 흙막이 설계 설명서, pp. 7

3.2.3 흠막이 설계변경 사유

가. 설계변경 사유

흠막이 공법이 당초의 지중연속벽에서 SCW로 변경되는 과정에서 가시설 벽체의 구조적 안전성에 대한 심의는 이루어지지 않았다. (주)서강토질에서 조사위원회에 제출한 설계변경 사유는 다음과 같다.

- 경기도 지하 사고조사위원회 질의 답변서(2021. 2월 5일, 경기테크노파크)

□ 지하사고 조사 위원회 질문 : 설계변경 의뢰 기관 및 설계변경을 한 사유는?

□ 변경 설계자 답변내용:

1. 설계변경 의뢰기관

2020년 6월 16일 안산시로부터 변경된 설계도서에 의한 건축 허가서를 교부 받았습니다.

2. 설계변경 사유

- ① 기존 흠막이 벽체는 지하연속벽으로 설계되어 있는데, 주변에 대규모 아파트 단지가 인접해 있어 지하연속벽에 의한 시공시 소음이 상당하여 지속적인 민원이 있을 것으로 예상하였습니다.
- ② 기존 설계의 점토층이 강도정수가 너무 작고 수위가 높게 계산되어 추가 조사를 통한 실내시험과 지하수위 재측정 결과를 반영한 결과 S.C.W 공법의 적용이 가능한 것으로 판단하였습니다.

나. 흠막이 설계변경에 따른 인허가 관청(안산시 보고 여부)

흠막이 설계변경에 대하여 건축·경관위원회 통합심의 절차를 이행하였으며, 시방서와 흠막이 설계도서와 흠막이 설계 구조계산서를 제출하였다.

- 흙막이 변경공법에 대한 심의에 대한 안산시 건축디자인과 답변²⁰⁾

「건축법 시행령」 제5조의 5(지방건축위원회) 제1항 제4호에 따라 우리시에서는 지질 및 지반, 구조분야 심의위원으로 구성된 **구조전문위원회**를 별도로 구성하여 운영하고 있으나, 해당 건축물은 특수구조건축물 및 다중이용 건축물에 해당되지 않아 구조안전 심의대상이 아닙니다.

아울러 지질조사서 및 흙막이 공법의 검토는 구조안전 심의시 검토되는 사항으로, **건축위원회 심의기준 [별표 2]**에 따라 건축 허가 후 착공신고 이전에 지질조사서, 흙막이공법 및 도면, 구조 계산서 등을 제출하여 구조전문위원회를 별도로 개최하여 심의하고 있습니다.

3.2.4 S.C.W 흙막이 해석시 사용된 설계 정수

변경설계자는 현장에서 단 2회의 실험으로 얻은 지반 강도를 그대로 설계정수로 사용하였다. 특히, 표 3.10과 같이 퇴적 점토층에 대해 해석시 사용한 점착력과 내부마찰각은 원설계값에 비해 상당히 큰 값으로 설계값 사용에 대한 신뢰성 검토가 필요하다.

지하수위도 원설계자나 변경설계자의 지반조사 결과와 상이한 현장 Auger시험에서 측정된 값을(지반조사시의 지하수위보다 5m 낮게) 적용한 것은 신뢰성이 떨어진다고 볼 수 있다.

실내 전단시험에 대한 시료 상태나 시험장면에 대한 내용은 제출되지 않아 확인할 수 없었다. 시료 채취는 변경설계자(2차 지반조사 업체와 동일함, (주)서강토질)가 하였으며, 실내 시험업체는 시료의 교란 여부에 대해서는 파악하고 있지 않은 것으로 확인되었다.

표 3.10 (주) 다솔엔지니어링 가시설 설계 지반정수

구분		단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비	수평지반 반력계수 (kN/m²)	투수계수 (cm/sec)
매립층		18.0	0	25	7.7	0.41	15,000	6.69×10 ⁻³
퇴 적 층	점성토	17.5	<u>15.0</u>	<u>10</u>	5.0	0.40	10,000	6.29×10 ⁻⁴
	사질토	18.0	5.0	30	18.4	0.39	24,000	1.67×10 ⁻³
풍화토		19.0	26.8	31	61.0	0.38	33,000	4.28×10 ⁻⁴
풍화암		21.0	31.1	33	375.0	0.37	40,000	3.83×10 ⁻⁵

20) 경기도 지하사고조사위원회 질의 답변서(안산시 건축디자인과)

표 3.11 (주) 서강토질 가시설 설계 지반정수

구분	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비	수평지반 반력계수 (kN/m ²)	투수계수 (cm/sec)
매립층	18.0	0	25	7.7	0.41	15,000	6.69×10^{-3}
퇴적층	점성토	<u>30</u>	<u>15</u>	5.0	0.40	10,000	6.29×10^{-4}
	사질토	5.0	30	18.4	0.39	24,000	1.67×10^{-3}
풍화토	19.0	26.8	31	61.0	0.38	33,000	4.28×10^{-4}
풍화암	21.0	31.1	33	375.0	0.37	40,000	3.83×10^{-5}

변경설계자가 시행한 가시설 구조물 해석에서 원설계 및 지하안전영향평가를 작성한 원설계자가 도출한 지반정수를 적용하여 해석적 검증을 시행하였다. 표 3.11과 표 3.12에서 알 수 있듯이 원설계 가시설 공법인 슬러리월공법과 변경설계 공법인 SCW공법 해석시 토질정수중 퇴적점성토의 점착력과 마찰각의 값이 상이하게 적용되었으며, 나머지 토질 설계정수는 동일하다.

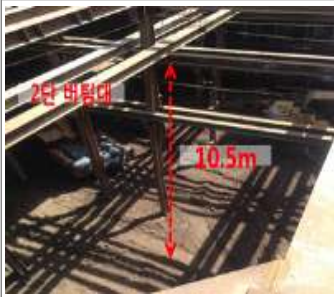







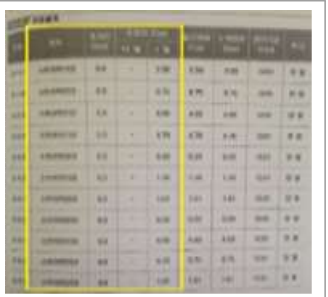
표 3.12 원설계 및 변경설계시 사용한 퇴적층의 강도정수

구 분	토층	점착력(kPa)	내부마찰각(deg)	비 고
원설계 (주) 다솔엔지니어링	퇴적층 (점토층)	15 (시험 값 없음)	10 (시험 값 없음)	경험식에 의한 산정
변경설계 (주) 서강토질		30 (30.43~31.16)	15 (15.3~16.5)	직접전단시험 결과 값 적용 ²¹⁾

참고로, 행정안전부(2019.8.29.)에서 배포한 ‘건축공사장 품질 및 안전관리 실태 감찰’ 결과(표 3.8)에서는 “과다굴착”과 “흙막이 공법의 변경”을 지하굴착공사시 발생하는 일반적인 사고범주에 포함하고 있다.

21) 지반조사보고서에는 직접전단시험 결과에 시험자 직인이 없음, 시료에 대한 근거자료 미제출됨

표 3.13 '건축공사장 품질 및 안전관리 실태 감찰'결과(행정안전부 2019.8.29.)

사례	주요 지적 사항		
지하굴착 공사분야	<p>•(과다 굴착으로 흙막이 붕괴 우려) 버팀대 등 가시설을 설치하면서 단계적으로 굴착하지 않고 최소 2.4m에서 최대 10.5m까지 과다 굴착</p>		
			
	지하 터파기 과다 굴착	터파기 과다 굴착(2.4~3m)	터파기 과다 굴착(5.5m)
	<p>•(흙막이 공법 무단 변경) 소음 등 민원을 이유로 흙막이 없이 굴착, 안전기울기를 준수하지 않고 굴착하거나 승인받은 공법(CIP) 보다 안전성이 취약한 공법(H PILE+토류판)으로 무단 변경</p>		
			
	어스앵커 흙막이 (허가 도면)	흙막이 가시설 없이 굴착	CIP공법(안전관리계획)
	<p>•(흙막이 조립도와 다르게 시공, 계측 불량) 흙막이에 사용되는 철골자재 누락, 볼트 미체결, 용접 미실시 등 조립도와 다르게 부실 시공하여 흙막이 변형이 발생하거나 지반, 흙막이 등의 변화를 측정하는 계측기 부족 설치, 허위 계측 등</p>		
			
	흙막이 철골자재 누락(3단)	흙막이 가시설 변형(휘어짐)	계측기 설치없이 계측보고서 허위작성

3.2.5 설계정수에 대한 흠막이 해석 및 분석

가. 토질정수에 대한 검토

지하안전영향평가시 적용된 원설계자의 지반정수를 설계 변경된 SCW 공법 흠막이 구조계산시 입력하여 검토한 결과는 strut 5~8단에서 볼트 수량이 부족한 것으로 확인되었으며 띠장(wale) 부위에서 4~8단의 휨응력과 전단응력에서 허용응력 이상으로 검토되어 토류벽에 위험 요소로 작용하였다.

측면말뚝(H-300x300x10x15)휨응력과 전단응력에서 허용응력 이상으로 확인되었으며 흠막이 벽체 수평변위 역시 허용변위 1.8배인 66.509mm가 발생되었다.

- 조사위원회에서 수행한 해석 결과(MIDAS Geo X 프로그램 이용)

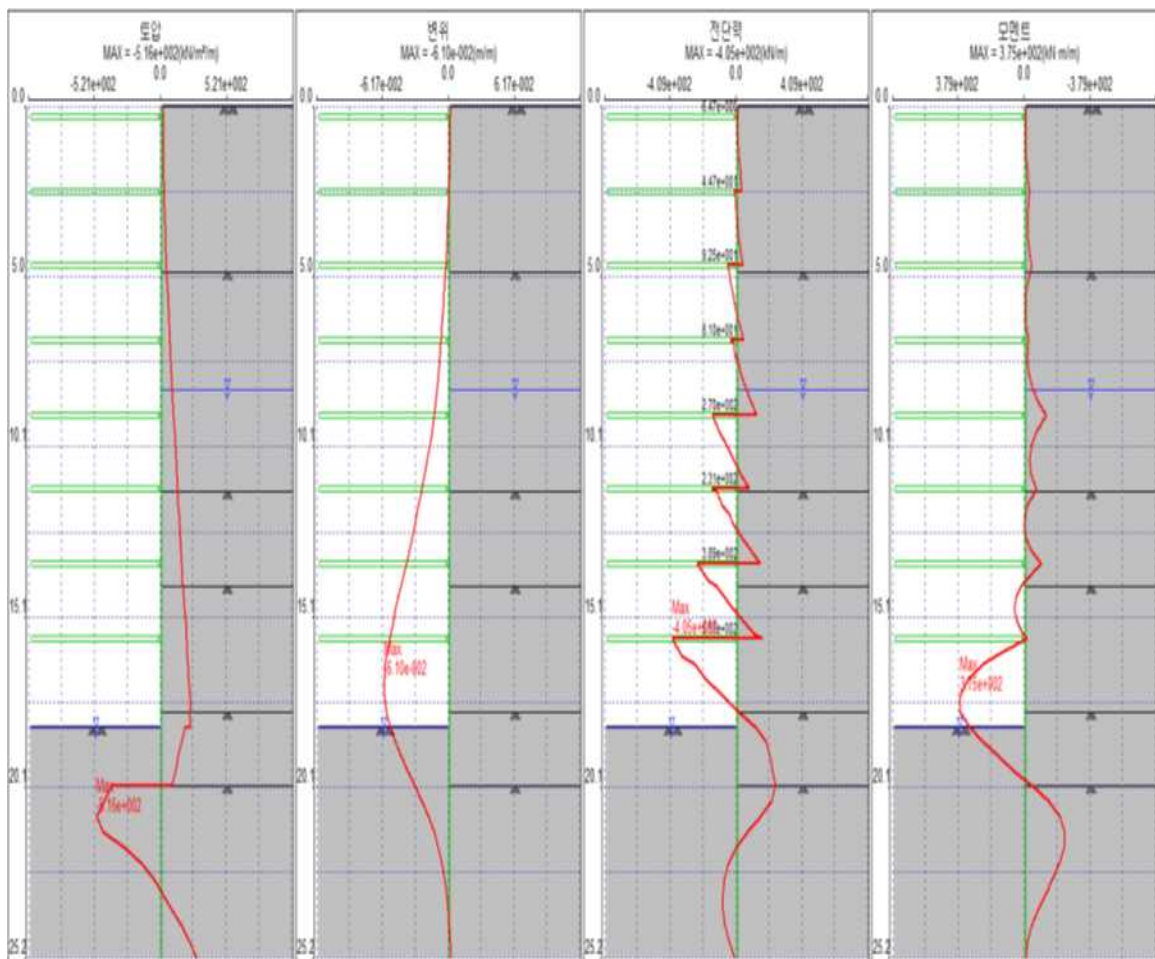


그림 3.3 토질정수에 대한 흠막이 해석 결과

• 사보강 Strut

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
Strut-5 2H 300x300x10/15	9.12	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	79.623	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
Strut-6 2H 300x300x10/15	11.32	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	118.250	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
Strut-7 2H 300x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	108.842	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
Strut-8 2H 300x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	100.043	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 띠장

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
Strut-4 H 300x300x10/15	6.92	휨응력	128.909	192.945	O.K		
		전단응력	134.342	121.500	N.G		
Strut-5 H 300x300x10/15	9.12	휨응력	245.056	192.945	N.G		
		전단응력	255.384	121.500	N.G		
Strut-6 H 350x350x12/19	11.32	휨응력	219.915	197.916	N.G		
		전단응력	279.512	121.500	N.G		
Strut-7 H 350x350x12/19	13.52	휨응력	201.644	197.916	N.G		
		전단응력	256.290	121.500	N.G		
Strut-8 H 350x350x12/19	15.72	휨응력	184.558	197.916	O.K		
		전단응력	234.573	121.500	N.G		

• 측면말뚝

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
흙막이벽(우) H 300x300x10/15	-	휨응력	248.044	192.945	N.G	합성응력	N.G
		압축응력	7.429	201.779	O.K	수평변위	N.G
		전단응력	157.894	121.500	N.G	지지력	O.K

- 흙막이 벽체설계

부 재	구간 (m)	단면검토				비 고
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정	
흙막이벽(우)	0.00~18.36	설계안전율을 고려한 2.046MPa 이상으로 설계해야 한다.				

- 흙막이벽체 수평변위

부 재	시공단계	최대수평변위(mm)	허용수평변위(mm)	비 고
흙막이벽(우)	CS22 : 6단 해체 및 벽체	66.509	36.720	NG

나. 지하수위에 대한 검토

지하수위 측정결과 원설계자는 GL(-)6.1~7.9m, 변경설계자는 GL(-)7.0~7.5m로 유사한 결과값을 보여 주었다. 그러나 설계변경을 위한 지하수위는 지반조사에서 조사된 지하수위와 별도의 오거보링을 통한 지하수위를 적용하였다.

조사위원회는 설계변경시 오거 천공으로 확인한 지하수위(GL(-)12.0m) 대신에 원설계시 적용한 지하수위와 인근의 시추공에서 확인한 지하수위(GL(-)7.0m)를 적용한 경우에 대하여 해석적 검토를 하였다.



사진 1. 천공사진(2020.3.1.)



사진 2. 오거천공 이후 공내 촬영
(하부에서 상부로 촬영)

그림 3.4 지하수위 측정을 위한 오거천공

표 3.14 서강토질 해석조건에서 적용한 지하수위

구 분	지하수위	비 고
당초 설계시 (지반조사 결과)	GL(-)7.0m	검증시 적용
설계 변경시 (오거천공 결과)	GL(-)12.0m	

1) 지하수위 산정 근거

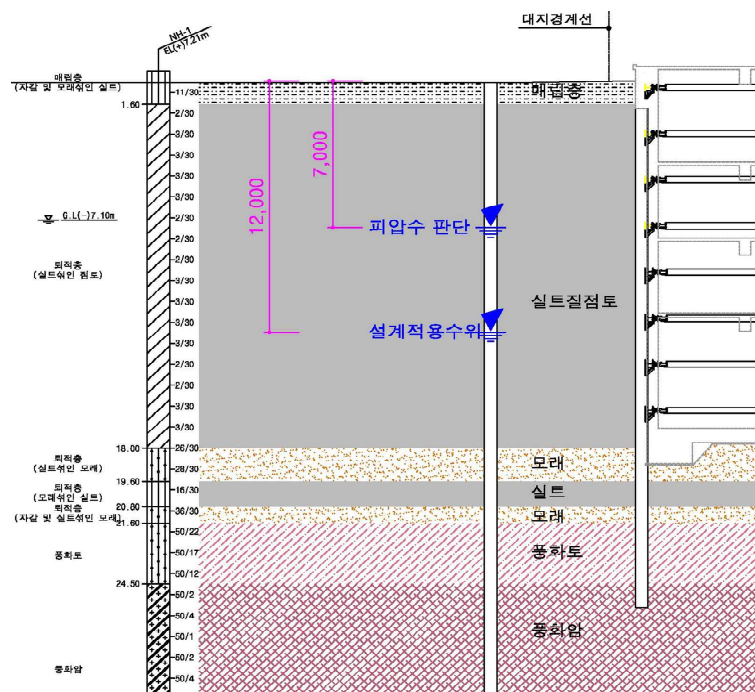
SCW 설계시 적용한 지하수위는 시추조사에서 적용한 지하수위보다 낮은 GL(-)12m이다.

- (주) 서강토질 흙막이 설계 설명서, 제2장 설계정수 및 가시설 설계 검토 pp.722)

시추조사를 통해 확인한 지하수위는 G.L(-)7m 부근에 위치하는 것으로 나타나지만 금번 AUGER를 통한 시험굴착 결과 **10m 하부에 분포**하는 것으로 확인되었다.

- 지하수위 설정근거에 대한 경기도 지하사고조사위원회 질의에 서강토질 답변서²³⁾)

지층분포를 고려할 때 하부의 모래층이 대수층 역할을 하고 상부 성토하중 등에 의해 추가로 과잉간극수압이 발생하여 수위계를 따라 수위가 높아진 것으로 판단하였습니다.



22) S.C.W흙막이 설계보고서(주)서강토질)

23) 경기도 지하사고조사위원회 질의 답변서(주)서강토질)

피압대수층(confined aquifer, artesian aquifer)에 관정을 굴착하면 구속력(confining pressure) 때문에 피압대수층 최상부의 압력은 대기압보다 높아서 수두가 대수층의 상부경계 또는 대수층 상위에 있는 불투수층 바닥면 보다 더 높게 올라간다(그림 3.5). 피압대수층 내에 굴착된 관정의 수두는 지하수 자체의 체적변화보다는 피압대수층에 작용하는 구속압에 의해서 더 큰 영향을 받는다. 피압대수층 내에 설치된 관정인 피압정의 수위는 피압대수층의 수두와 같다. 우리나라도 부산 낙동강 일대의 델타지역과 같이 매우 두꺼운 점토층이 분포하는 곳에서는 피압대수층이 관찰되는 경우가 있다.

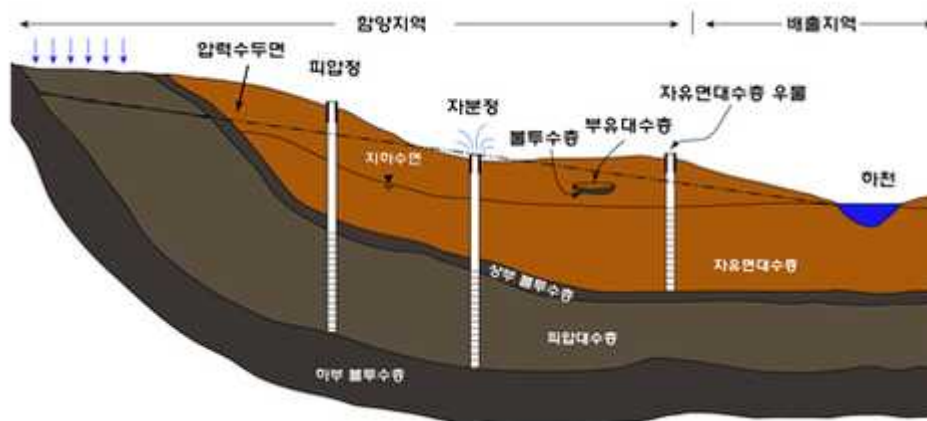


그림 3.5 피압대수층 단면도(네이버 지식백과)

사고 현장과 인접한 ‘그랑시티자이’의 1차 지반조사 보고서에 의하면 지하수위는 약 GL(-)5.7m~(-)7.7m 정도 깊이에 분포한다. 사고 현장에서 계측된 지하수위는 1회차 조사인 2020년 11월 3일~6일 사이에 GL(-)7.31m~8.10m로 나타났으며 붕괴사고 직전인 2021년 1월 8일~12일 사이에 계측된 지하수위는 GL(-)7.94m~8.40m로 나타났다.

시추공에서 측정된 지하수위는 시추용 작업수와 지층의 투수성에 영향을 받기 때문에 실제 지하수위와 다를 수 있지만 현장 오거시험에서 측정한 수위를 근거로만 피압대수층이 존재한다고 판단하는 것은 어렵다. 즉, 이 지역에서 피압대수층의 실재 여부는 확인하지 못하였다.

2) 지하수위에 대한 해석 결과

지반조사시 확인된 지하수 위치를 G.L(-)7.0m로 적용한 구조 검토결과는 사보강

스트럿에서 볼트 수량 부족과 strut 5~8단에서 전단응력이 허용응력 이상으로 발생하였다.

측면말뚝 전단응력은 허용값 이상으로 발생하였으며, 벽체의 수평변위도 허용값보다 크게 발생하여 토류벽의 위해 요소로 작용함을 알 수 있었다.

- MIDAS Geo X 프로그램 해석결과

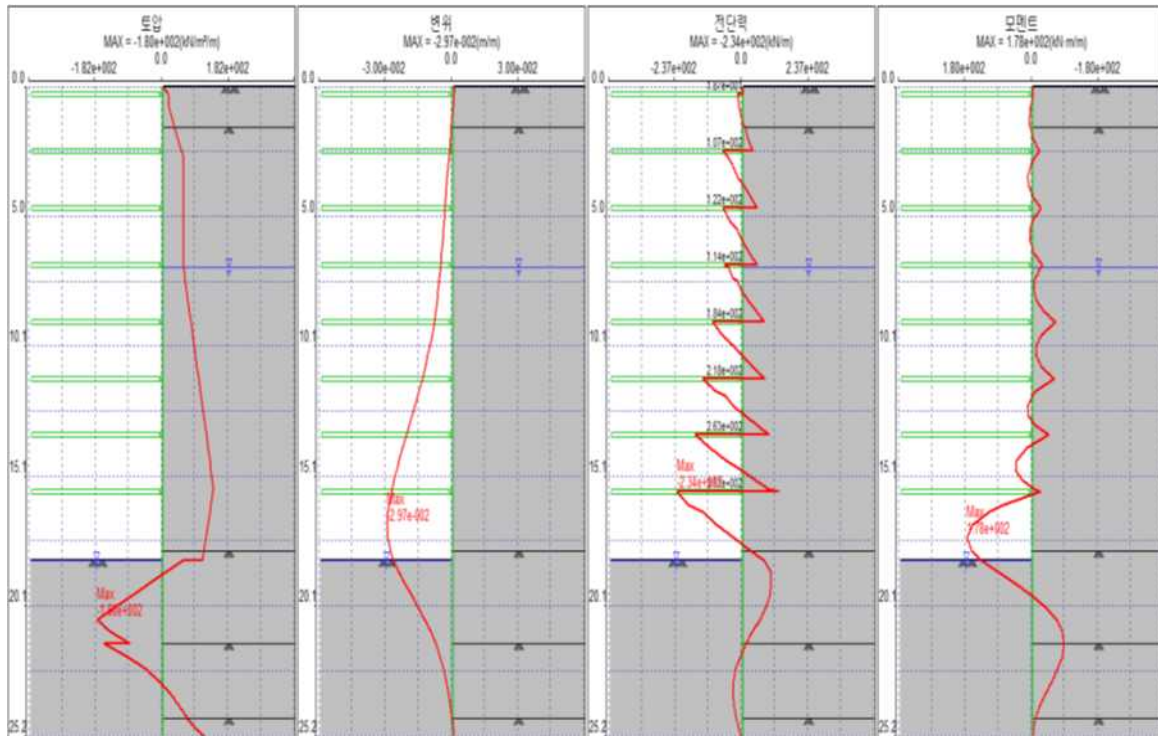


그림 3.6 지하수위에 대한 흙막이 해석 결과

- 사보강 Strut

부재	위치 (m)	단면검토				비고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
사보강 Strut-Strut-6 2H 300x300x10/15	11.32	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	91.212	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-7 2H 300x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	82.879	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-8 2H 300x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	102.211	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 띠장

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정	
Strut-5 H 300x300x10/15	9.12	휨응력	136.487	192.945	O.K	
		전단응력	142.240	121.500	N.G	
Strut-6 H 350x350x12/19	11.32	휨응력	167.407	197.916	O.K	
		전단응력	212.775	121.500	N.G	
Strut-7 H 350x350x12/19	13.52	휨응력	151.225	197.916	O.K	
		전단응력	192.206	121.500	N.G	
Strut-8 H 350x350x12/19	15.72	휨응력	188.767	197.916	O.K	
		전단응력	239.923	121.500	N.G	

• 측면말뚝

부 재	위 치	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
흙막이벽(우) H 300x300x10/15	-	휨응력	166.318	192.945	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	7.429	201.779	O.K	수평변위	N.G
		전단응력	123.359	121.500	N.G	지지력	O.K

▪ 사보강 Strut

부 재	위 치	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
흙막이벽(우) H 300x300x10/15	-	휨응력	166.318	192.945	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	7.429	201.779	O.K	수평변위	N.G
		전단응력	123.359	121.500	N.G	지지력	O.K

▪ 흙막이 벽체 설계

부 재	구간 (m)	단면검토				비 고
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정	
흙막이벽(우)	0.00 ~ 18.36	설계안전율을 고려한 1.687MPa 이상으로 설계해야 한다.				

▪ 흙막이 벽체 수평변위

부 재	시공단계	최대수평 변위(mm)	허용수평 변위(mm)	비 고
흙막이벽(우)	CS21 : 7단 해체 및 벽체	39.568	36.720	NG

3.2.6 현장 시공과정에 대한 흠박이 해석

가. 과굴착

시공사에서 굴착공사를 실시함에 있어 7단 지보재만 설치한 상태에서 최하단의 장비를 운영하여 굴착하기 위하여 8단 지보재 없이 과굴착을 실시한 것으로 조사되었으며, 이는 시공사, 굴착하도급사, 굴토 감리사로부터 대면조사시 증언하였다.

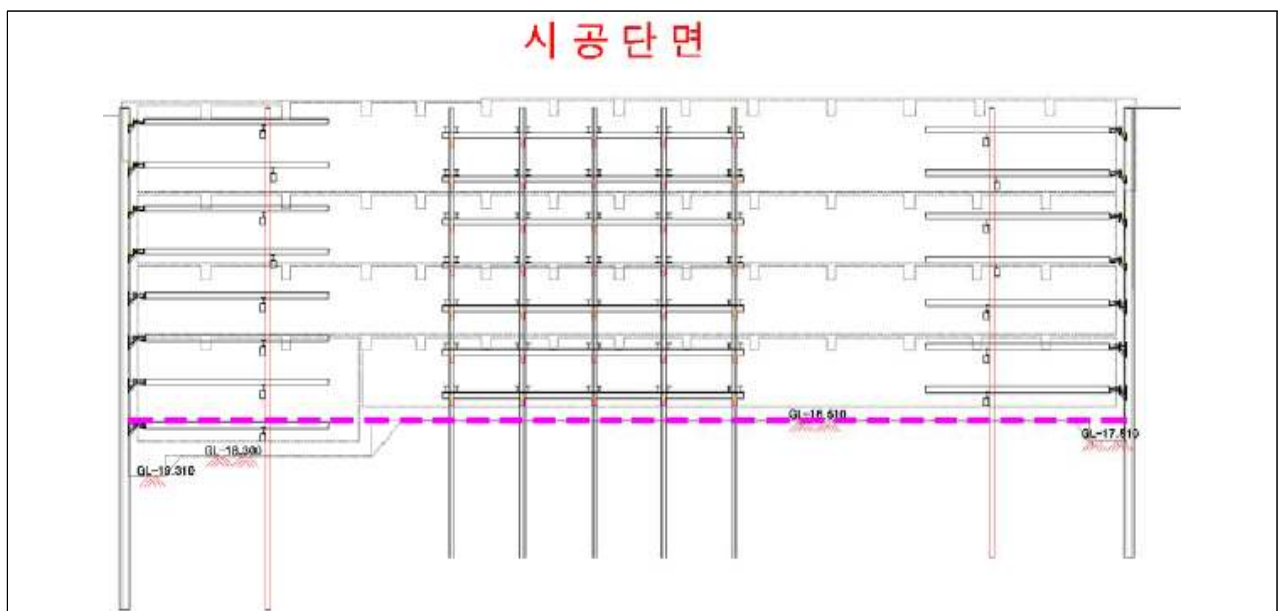


그림 3.7 굴착 시공 단면도(2020년 1월 8일 시공현황)



그림 3.8 굴착 단면도(7단 하부 과굴착 사진)

1) 해석적 검토

7단 버팀보에서 사고 직전의 바닥면 깊이까지(과굴착) 시공사가 굴착하면서, 7단 지보재만 설치한 상태에서 비지지장 거리는 약 4.81m로 산정되었다. 또한, 설계변경시 산정한 지반정수를 입력함으로써 지반붕괴 요인 중 시공요인을 해석적 검증하고자 하였다.

2) 과굴착에 대한 해석결과

스트럿 8단 미설치 후 굴착진행중 비지지장의 길이 4.81m로 입력하여 구조계산을 실시하였다. 구조계산 결과 사보강 스트럿 6~7단 부위 볼트 수량이 부족한 것으로 나타났다. 또한, 띠장 6~7단에서 전단응력이 증가하여 흙막이 벽체 수평변위 역시 1.7배 이상 발생한 것으로 해석되었다.

• MIDAS Geo X 프로그램 해석결과

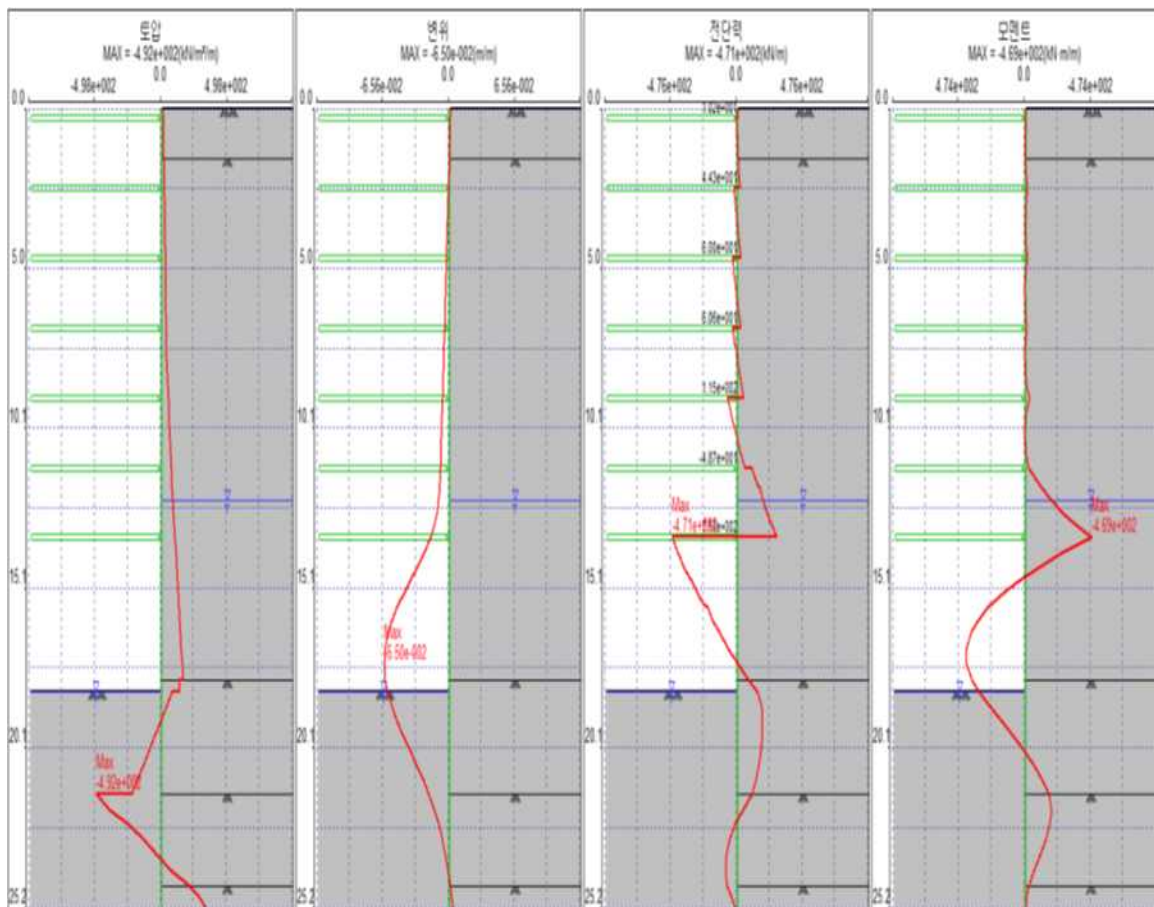


그림 3.9 과굴착에 대한 흙막이 해석 결과

• 사보강 Strut

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	판정		
사보강 Strut-Strut-6 2H 300x300x10/15	11.32	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	93.259	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-7 2H 300x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	133.471	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-8 2H 300x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	47.929	171.096	O.K	볼트수량	O.K
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 띠장

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	판정		
Strut-6 H 350x350x12/19	11.32	휨응력	171.383	197.916	O.K		
		전단응력	217.828	121.500	N.G		
Strut-7 H 350x350x12/19	13.52	휨응력	249.474	197.916	N.G		
		전단응력	317.081	121.500	N.G		
Strut-8 H 350x350x12/19	15.72	휨응력	83.353	197.916	O.K		
		전단응력	105.941	121.500	O.K		

• 측면말뚝

부 재	위 치	단면검토				비 고	
		구분	발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	판정		
흙막이벽(우) H 300x300x10/15	-	휨응력	310.621	192.945	N.G	합성응력	N.G
		압축응력	7.429	201.779	O.K	수평변위	N.G
		전단응력	164.105	121.500	N.G	지지력	O.K

• 흙막이 벽체

부 재	구간 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	판정		
흙막이벽(우)	0.00 ~ 18.36	설계안전율을 고려한 1.445MPa 이상으로 설계해야 한다.					

▪ 흙막이 벽체 수평변위

부 재	시공단계	최대수평변위(mm)	허용수평변위(mm)	비 고
흙막이벽(우)	CS15 : 굴착 18.36 m	64.954	36.720	NG

나. SCW 공법 시공시 엄지말뚝 시공 오차

1) 엄지말뚝의 시공오차

상도종합건설 현장소장의 증언에 의하면 SCW 공법 시공시 엄지말뚝의 시공오차는 하도급사인 대훈토질에서 주관을 하였으며, 이와 관련된 자재의 납품리스트, 송장 등은 확인하지 않았다. 엄지말뚝의 시공오차에 대해서 굴토 감리자는 확인을 하지 않은 것으로 답변하였다.

- 경기도 지하 사고 조사위원회 질의 답변서(2021. 2월 5일, 경기도 테크노 파크)

경기도 사고조사위원회 질의 내용:

- 1) 설계도면상 엄지말뚝의 근입깊이와 실제 시공한 근입깊이. 신재 및 고재 사용 여부.

대훈토질 답변 내용:

- 1) 설계 도서상 빔길이 22.919m~24.719m, 근입 깊이 5.86m~7.4m
- 2) 실반입 빔길이 21m~23m, 실제 시공한 근입 깊이 2.98m~3.74m
- 3) 신재로 사용 하였습니다.
- 4) 굴착계획전개도 첨부

2) 해석적 검토

현장에서는 SCW 벽체 내부의 엄지말뚝의 근입깊이를 설계와 다르게 시공하였다. 이 역시 설계변경시 산정한 지반정수를 적용하여 조사위원회의 재해석을 통해 붕괴 요인 중 시공 요인을 해석적으로 검증하고자 하였다.

3) 해석결과

근입깊이 부족에 따른 해석결과는 6~8단 띠장의 전단응력 증가로 나타났으며, 근입장 부위 최종 굴착단계 안전율이 0.818로서 기준값인 1.20에 미달되어, 흙막이 벽체는 붕괴 직전까지 매우 불안정한 상태였을 것으로 추정된다.

■ MIDAS Geo X 프로그램 해석결과

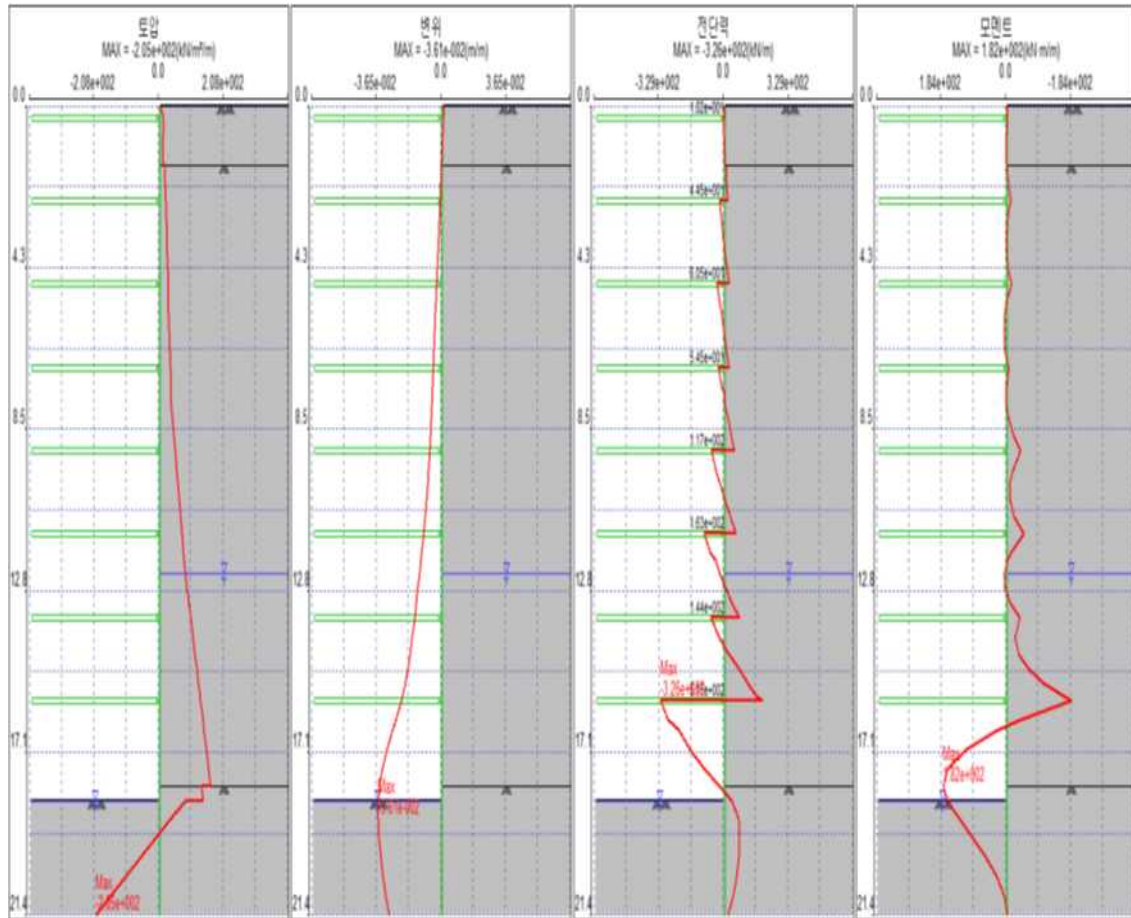


그림 3.10 엄지말뚝 시공오차에 대한 흙막이 해석 결과

• 사보강 Strut

부재	위치 (m)	단면검토				비고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
사보강 Strut-Strut-6 2H 300x300x10/15	11.32	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	75.112	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-7 2H 300x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	64.865	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-8 2H 300x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	93.202	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 띠장

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정	
Strut-6 H 350x350x12/19	11.32	휨응력	136.140	197.916	O.K	
		전단응력	173.034	121.500	N.G	
Strut-7 H 350x350x12/19	13.52	휨응력	116.241	197.916	O.K	
		전단응력	147.743	121.500	N.G	
Strut-8 H 350x350x12/19	15.72	휨응력	171.272	197.916	O.K	
		전단응력	217.686	121.500	N.G	

• 측면말뚝

부 재	위 치	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
흙막이벽(우) H 300x300x10/15	-	휨응력	135.556	192.945	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	7.429	201.779	O.K	수평변위	O.K
		전단응력	108.606	121.500	O.K	지지력	O.K

• 흙막이 벽체 수평변위

부 재	시공단계	최대수평변위 (mm)	허용수평변위(mm)	비 고
흙막이벽(우)	CS17 : 굴착 18.36 m	36.103	36.720	OK

• 근입장 검토

구분	균형깊이 (m)	적용 근입깊이 (m)	주동토압 모멘트 (kN·m)	수동토압 모멘트 (kN·m)	근입부 안전율	적용 안전율	판정
최종 굴착 단계	20.782	3.000	1070.140	875.840	0.818	1.200	N.G
최종 굴착 전단계	2.422	5.140	1712.316	3306.534	1.931	1.200	OK

다. 크람셸 장비 하중 추가에 의한 토압 증가

1) 크람셸 장비 하중 재하

현장에서 굴착공사를 시행함에 있어 토사를 외부로 배출하기 위하여 크람셸을 사용하였으며, 이는 설계 또는 설계변경시 고려되지 않은 사항으로서 토압 증가의 요인이 된다. 이에 크람셸 하중을 고려하여 토압증가로 인한 해석적 검토를 실시하였다.

2) 해석 결과

토사 굴착 및 상차를 위한 크람셸 추가 하중 입력결과 사보강 strut 6~8단 bolt 수량부족과 wale 6~8단에서 허용응력 이상으로 발생하였다.

• MIDAS Geo X 프로그램 해석결과

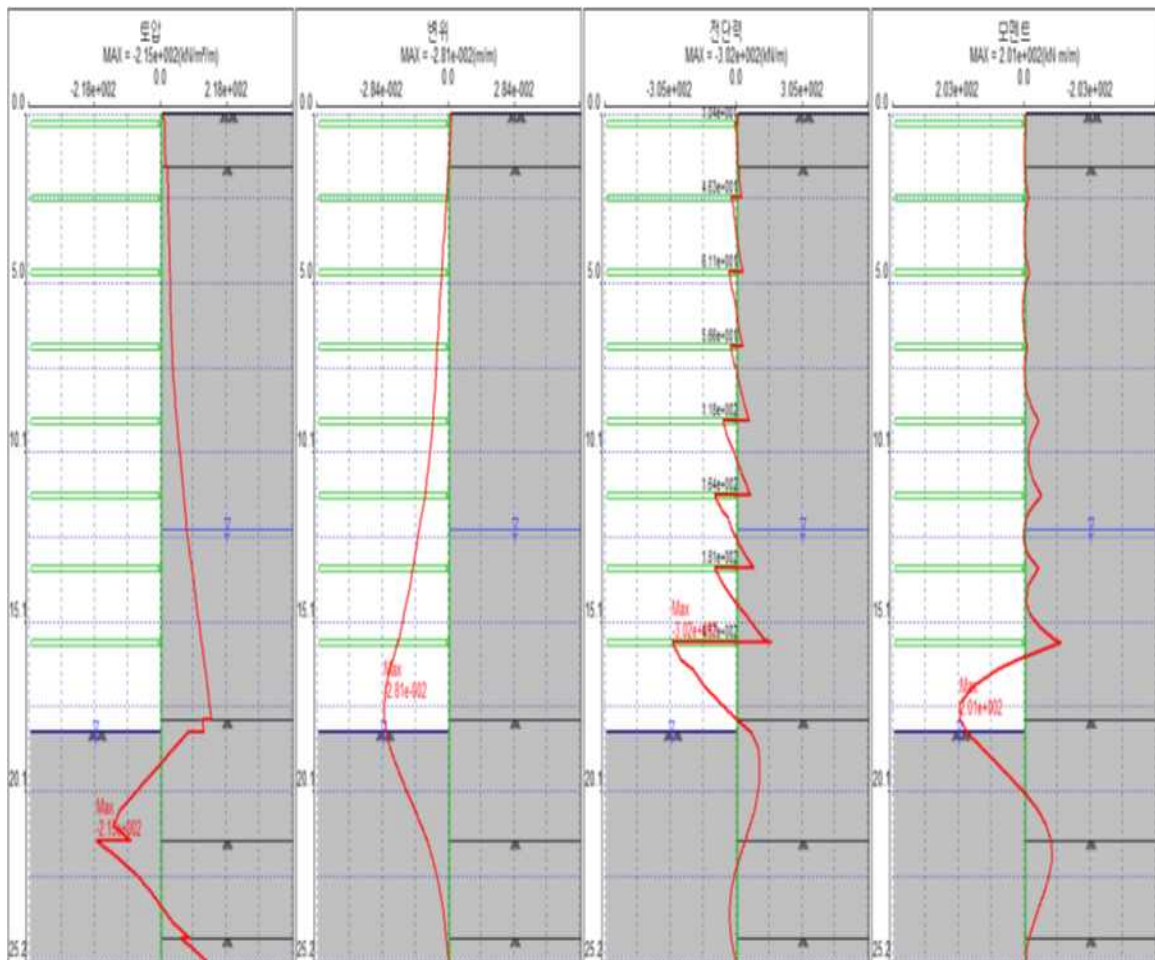


그림 3.11 크람셸 추가하중에 대한 흙막이 해석 결과

• 사보강 Strut

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
사보강 Strut-Strut-6 2H 300x300x10/15	11.32	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	75.575	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-7 2H 300x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	67.428	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-Strut-8 2H 300x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	83.240	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 띠장

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
Strut-6 H 350x350x12/19	11.32	휨응력	137.041	197.916	O.K		
		전단응력	174.178	121.500	N.G		
Strut-7 H 350x350x12/19	13.52	휨응력	121.219	197.916	O.K		
		전단응력	154.069	121.500	N.G		
Strut-8 H 350x350x12/19	15.72	휨응력	151.926	197.916	O.K		
		전단응력	193.097	121.500	N.G		

라. 설계변경 및 시공시 붕괴유발요인을 모두 고려한 해석

1) 해석시 고려사항

변경 설계로 인한 주요 붕괴유발 요인에는 지반정수 및 지하수 산정의 오류들 들 수 있다. 또한, 시공중에 붕괴를 일으킨 주 요인에는 과굴착, 근입장 부족, 크람셀에 의한 토압 증가등의 요소가 있다. 설계 변경시의 붕괴 유발 요인과 시공시 붕괴 유발요인을 모두 고려한 경우에 대한 해석적 검증을 통하여 흙막이 붕괴 유발 요인의 타당성과 붕괴 여부를 검토 하였다.

2) 해석 결과

설계시 오차와 시공시 오차에 대한 요인들을 전산 입력하여 구조계산한 결과 다음과 같은 문제점이 발생하였다. 구조계산 결과 지보재 7단에서 허용응력 이상값이 도출되었다. 또한, 사보강 strut 6~8단 볼트 수량이 부족하였으며 압축응력이 증가하였다. 5~8단 띠장에서 휨응력과 전단응력이 증가하는 결과가 도출되었다. 측면말뚝(H-300x300x10x15)에서는 휨응력 및 전단응력이 각각 4배와 2.2배로 증가되었으며 흙막이 벽체 수평변위가 10배 이상 발생되어, 흙막이 벽체의 안정성을 확보하지 못하였다.

• MIDAS Geo X 프로그램 해석결과

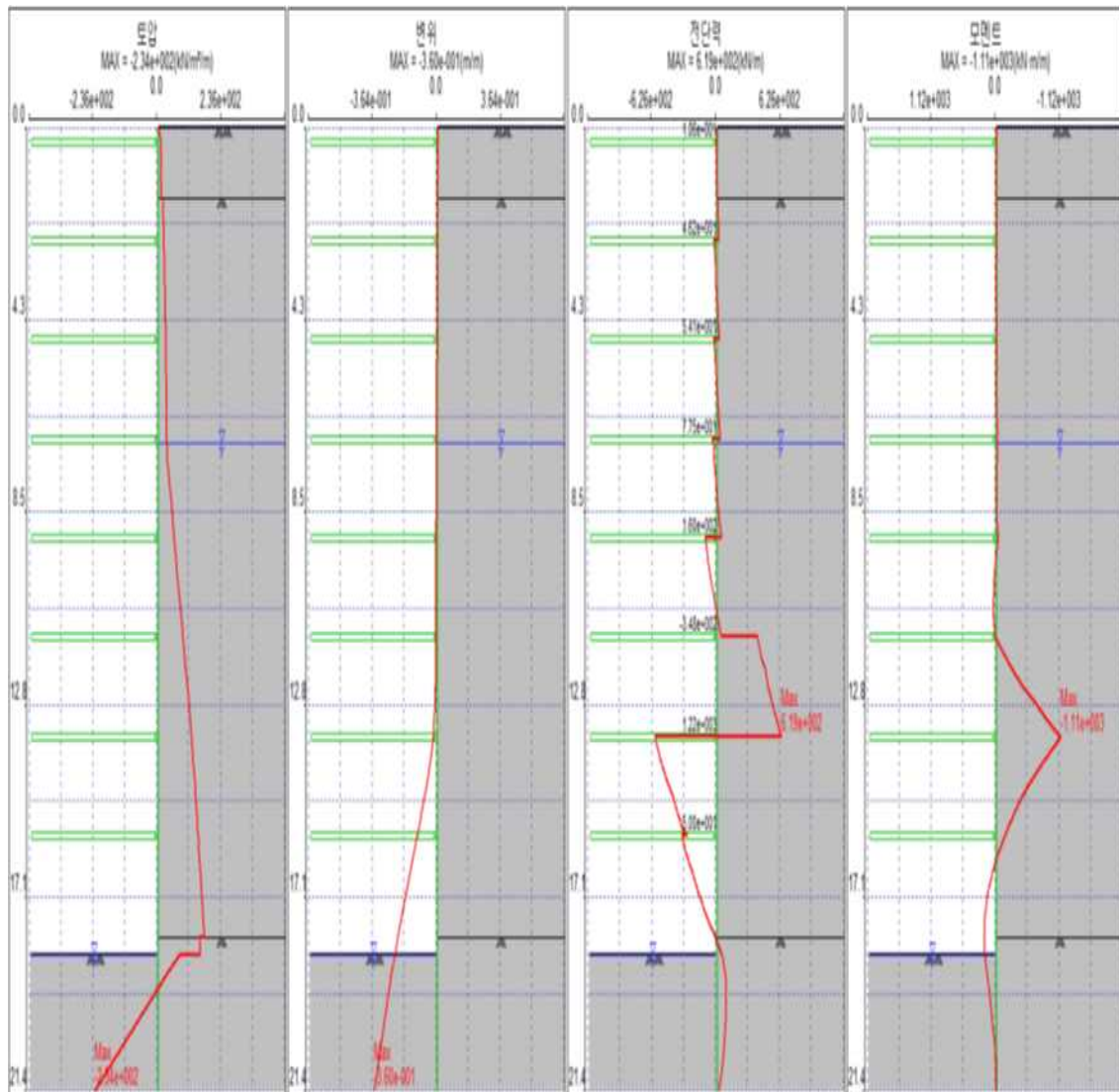


그림 3.12 모든 붕괴 요인을 고려한 흙막이 해석 결과

• 지보재

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
Strut-7 2H 300x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	N.G
		압축응력	245.844	171.096	N.G		
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
Strut-8 2H 300x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	66.325	171.096	O.K		
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 사보강 Strut

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
사보강 Strut-6 2H 00x300x10/15	11.32	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	119.732	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-7 2H 00x300x10/15	13.52	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	N.G
		압축응력	251.938	171.096	N.G	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		
사보강 Strut-8 2H 00x300x10/15	15.72	휨응력	8.272	175.545	O.K	합성응력	O.K
		압축응력	67.877	171.096	O.K	볼트수량	N.G
		전단응력	2.778	121.500	O.K		

• 띠장

부 재	위 치 (m)	단면검토				비 고
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정	
Strut-5 H 300x300x10/15	9.12	휨응력	137.691	192.945	O.K	
		전단응력	143.494	121.500	N.G	
Strut-6 H 350x350x12/19	11.32	휨응력	222.793	197.916	N.G	
		전단응력	283.170	121.500	N.G	
Strut-7 H 350x350x12/19	13.52	휨응력	479.538	197.916	N.G	
		전단응력	609.492	121.500	N.G	
Strut-8 H 350x350x12/19	15.72	휨응력	122.090	197.916	O.K	
		전단응력	155.177	121.500	N.G	

• 측면말뚝

부 재	위 치	단면검토				비 고	
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정		
흙막이벽(우) H 300x300x10/15	—	휨응력	785.481	192.945	N.G	합성응력	N.G
		압축응력	7.429	201.779	O.K	수평변위	N.G
		전단응력	270.905	121.500	N.G	지지력	O.K

• 흙막이 벽체 설계

부 재	구간 (m)	단면검토				비 고
		구분	발생응력(MPa)	허용응력(MPa)	판정	
흙막이벽(우)	0.00~18.36	설계안전율을 고려한 1.546MPa 이상으로 설계해야 합니다.				

• 흙막이 벽체 수평변위

부 재	시공단계	최대수평변위(mm)	허용수평변위(mm)	비 고
흙막이벽(우)	CS15 : 굴착 18.36 m	379.326	36.720	NG

• 근입검토

구분	균형깊이 (m)	적용 근입깊이 (m)	주동토압 모멘트 (kN·m)	수동토압 모멘트 (kN·m)	근입부 안전율	적용 안전율	판정
최종 굴착 단계	18.878	3.000	1299.044	875.840	0.674	1.200	NG
최종 굴착 전단계	0.518	7.340	1733.631	5402.181	3.116	1.200	OK

3.2.7 흙막이 계측자료 분석

가. 흙막이 계측 현황

흙막이 계측은 (주)하나원엔지니어링에서 수행하였으며 계측관리는 주 2회 계측하고, 매주 보고서를 제출하였다. 1차 계측보고서(2020년 11월 3일~2020년 11월 6일)에는 당 현장의 관리기준과 계측결과 분석 내용이 제시되어 있다. 현장계측은 2021년 1월 8일부터 ~2021년 1월 12일까지 시행되었으며 2021년 1월 13일 붕괴 전날까지 총 13차에 걸쳐 계측보고서가 제출되었다.

표 3.15 계측항목별 계측기 설치수량

구분	지하안전영향평가 협의시	설계변경시
지중경사계	8개소	7개소
지하수위계	8개소	7개소
변형률계	91개소	40개소
지표침하계	8개소	7개소

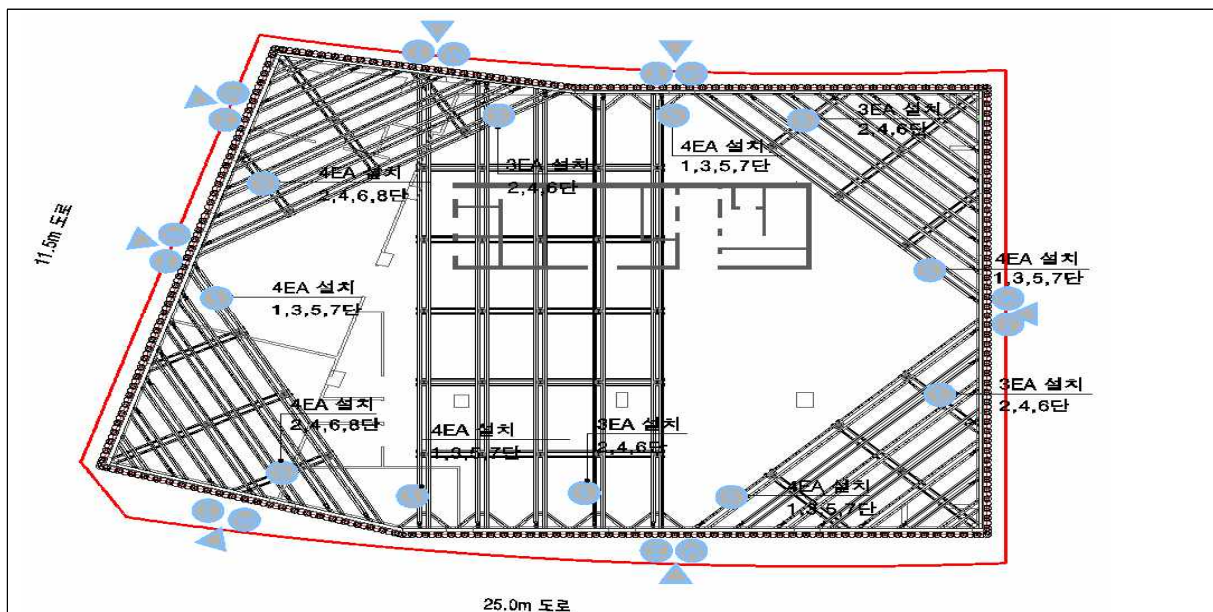


그림 3.13 계측기 설치 위치도

나. 지하안전영향평가 보고서 계측관리 기준²⁴⁾

• 계측치 관리기준

○ 대상지역의 계측치 관리기준은 표준단면 분류기준에 따라 표준단면을 분류하고 표준단면별 계측치 관리기준을 적용하였다.
○ 대상지역의 토사층심도가 20.2~24.5m이고 최대 굴착심도는 18.13m 이므로 토사층심도/굴착심도는 111.4~135.1%로 산정되어 지반Ⅲ에 해당하고, 벽체는 강성벽체, 수직방향 지보간격은 6.3~7.0m, 수평방향 지보간격은 1.8~2.0m 이므로 표준단면 Ecase 18에 해당되므로 관리기준을 Ecase 19로 제시한다.

• 대상지역 표준단면 분류

지반분류	흙막이 벽체 형식	지보간격(수직)	지보간격(수평)	범례
지반Ⅲ	강성벽체	6.3~7.0m	1.8~2.0	Ecase 19

• 계측치 관리기준 선정

계측항목	계측치 관리기준			비고
	1차 관리기준(안전)	2차 관리기준(주의)	3차 관리기준(위험)	
지중경사계	$F = 1.2$	$F = 1.0$	$F = 0.8$	$F = \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측변형량(예측)}}$
	$\delta = 2\text{mm}$	$\delta = 4\text{mm}$	$\delta = 10\text{mm}$	7일 변화량(δ)
지표침하계	설계예상치	설계예상치 * 1.25	25	Ecase 19
버팀대응력계	설계예상치	설계예상치 * 1.25	부재허용치	Ecase 19
지하수위계	0.5m/day	0.75m/day	1.0m/day	—

24) 소규모지하안전영향평가 보고서 2020년 3월, (주)다솔엔지니어링, pp. 7-18~7-19

다. 변경 설계도서 계측관리 기준²⁵⁾

- 시공관리나 안전관리를 위한 계측자료 관리방법에는 절대치관리와 예측관리가 있다. 절대치관리란 시공전에 설정된 관리기준치와 실측치를 비교/검토하여 공사의 안전성을 확인하는 방법이다.
- 예측관리는 다음 단계이후의 예측치와 관리기준치를 비교/검토하여 사전에 공사의 안전성 및 시공방법을 검토하는 것이다.

표 3.15 흙막이 가시설 구간에서의 관리기준치 선정

측정항목	안전·위험의 판정기준치	판 정 법			
		관리지표(관리기준)	위험	주의	안전
측 압 (토압,수압)	설계시에 이용한 토압분포(지표면에서 각단계 근입깊이)	$F_1 : \frac{\text{설계시에 이용한 토압}}{\text{실측에 의한 토압(예측)}}$	$F_1 < 0.8$	$0.8 \leq F_1 \leq 1.2$	$F_1 > 1.2$
벽체변형	설계시의 추정치	$F_2 : \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측에 의한 변형량(예측)}}$	$F_2 < 0.8$	$0.8 \leq F_2 \leq 1.2$	$F_2 > 1.2$
Strut축력	부재의 허용축력	$F_5 : \frac{\text{부재의 허용축력}}{\text{실측의 축력(예측)}}$	$F_5 < 0.7$	$0.8 \leq F_5 \leq 1.2$	$F_5 > 1.2$

• 지중경사계 관리기준

1차 관리기준	2차 관리기준	3차 관리기준	비 고
$1.2 < \frac{\text{설계값}}{\text{실측값}}$	$0.8 \leq \frac{\text{설계값}}{\text{실측값}} \leq 1.2$	$0.8 > \frac{\text{설계값}}{\text{실측값}}$	-

• 지하수위계 관리기준

1차 관리기준	2차 관리기준	3차 관리기준
0.5 m/day 미만	0.5 m/day ~ 1 m/day	1 m/day 초과

• 변형률계 관리기준

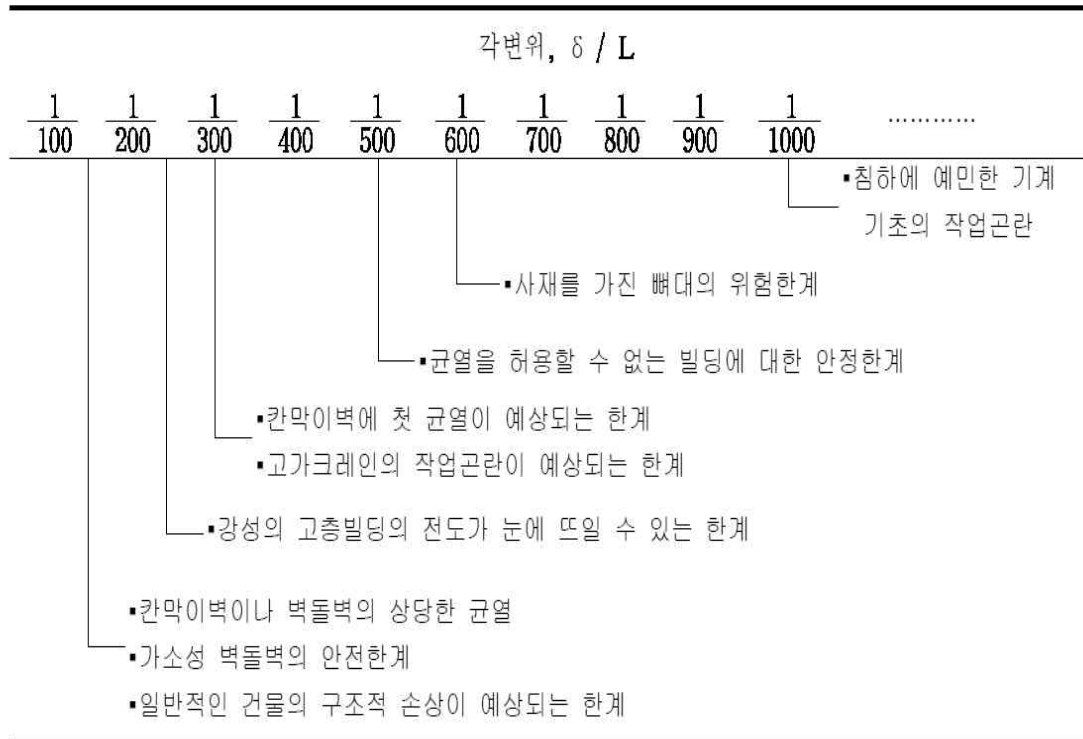
1차 관리기준	2차 관리기준	3차 관리기준
실측축력 < 설계축력	설계축력 < 실측축력 < 설계축력*1.25	설계축력*1.25 < 실측축력 > 부재허용치

25) ㈜서강토질 흙막이 설계 설명서 pp.42~43

- 구조물경사계 관리기준

○ 일반적으로 건물기초지반의 부등침하에 따른 건물의 경사 방향에 대한 허용한계는 다음과 같으며, 당 현장은 아래의 부등침하량 항목에서 건물경사계의 관리기준을 설정.

- 구조물에 대한 각변위의 한계(Bjerrum, 1963)



1차 관리기준	2차 관리기준	3차 관리기준	비 고
1/500 이하	1/300 ~ 1/500	1/300 이상	

라. 지중경사계 계측결과²⁶⁾

1) 결과 요약

구분 NO	설치 위치	설치 심도 G.L(-m)	굴착 심도 G.L(-m)	측정치	측정치	측정치	변위량 (mm)	관리 기준 (mm)	검토 결과
				01월 05일	01월 08일	01월 12일			
I - 1	[도면참조]	22.0	17.5	26.58	29.60	31.12	4.54	35.0	안 정
I - 2	[도면참조]	22.0	17.5	25.40	27.26	30.97	5.57	35.0	안 정
I - 3	[도면참조]	22.0	16.5	22.42	24.35	32.04	9.62	33.0	안 정
I - 4	[도면참조]	22.0	16.5	24.88	29.15	32.00	7.12	33.0	안 정
I - 5	[도면참조]	22.0	16.5	24.28	25.48	32.72	8.44	33.0	안 정
I - 6	[도면참조]	22.0	17.5	25.17	26.34	31.98	6.81	35.0	안 정
I - 7	[도면참조]	22.0	17.5	26.585	28.70	32.93	6.34	35.0	안 정

※ 각 변위 : 굴착고 / 최대변위, [최대변위->A/B방향변위 : A:(+)현장방향 B:(-)배면방향]

• 관리기준치

안	정	☛	1/500
주	의	☛	1/300
특	별	☛	1/200

2) 결과 분석

- 경사계는 굴토진행시 인접지반 수평 변위량과 위치, 방향 및 크기를 실측하여 토류 구조물 각 지점의 응력상태 판단목적에 있다.
- 현재 당 현장 굴착작업은 G.L(-)17.5m으로 굴착 작업이 진행중이다. 전반적으로 굴착 고 깊이와 진행에 따라 지중경사계의 변위가 발생하였습니다.
- 금주 지중경사계 측정결과 최대 측정값은 32.93mm 이내에서 측정되었다. 현장 주변을 하루 1회 이상 육안점검 및 세심한 관찰을 통하여 안전한 시공이 될 수 있도록 관찰이 요구된다.

26) 자이 센터프라자 신축공사 계측관리보고서 11회, (주)하나원엔지니어링, pp.7

• 지중경사계 계측관리 기준

구 분	지중경사계 계측관리 관리기준			비 고
	1차 관리기준(안전)	2차 관리기준(주의)	3차 관리기준(위험)	
설계도서 (지안평)	24.97mm (설계값의 80%)	29.97mm (설계값의 100%)	37.46mm (설계값의 120%)	
계측 보고서	35.00mm (H × 0.2%)	58.33mm (H × 0.3%)		H=17.50m (굴착심도)

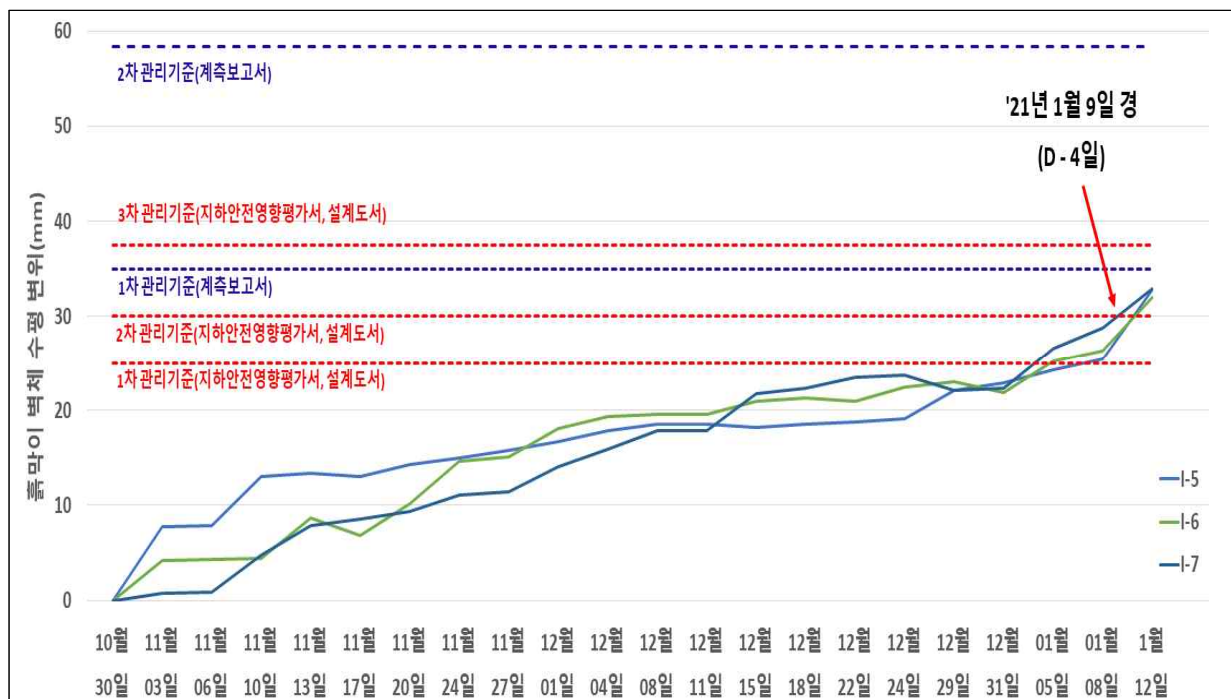


그림 3.14 1차 붕괴구간의 지중 수평변위계 계측 결과

계측시 계측관리 기준은 지하안전영향평가 보고서나 설계도서에서 제시한 기준을 따라야 하나 계측보고서에서는 그 기준을 따르지 않고 서울지하철 9호선 계측 관리기준에 제시되어 있는 1/200, 1/300, 1/500의 관리기준을 적용하였다. 그러나 2015년 5월 서울지하철 계측관리 요령 개선안에 의하면 서울지하철의 경우도, 관리기준이 1/700, 1/500, 1/300로 변경되었다.

설계값의 100% 변위값은 29.97mm로 붕괴 전날인 2021년 1월 12일 계측값은 30.97~32.93mm로 이미 설계값을 초과하였다.

마. 지하수위계 계측결과²⁷⁾

1) 결과 요약

구분 NO	설치 위치	초기 수위 G.L(m)	측정치	측정치	측정치	주간 변위량(m)	누적 변위량(m)	검토 결과
			01월 05일	01월 08일	01월 12일			
W - 1	[도면참조]	-7.50	-7.93	-8.03	-8.15	-0.22	-0.65	안정
W - 2	[도면참조]	-7.65	-7.88	-7.84	-7.94	-0.06	-0.29	안정
W - 3	[도면참조]	-7.68	-8.00	-8.13	-8.18	-0.18	-0.50	안정
W - 4	[도면참조]	-7.67	-7.86	-7.91	-7.96	-0.10	-0.29	안정
W - 5	[도면참조]	-8.11	-8.22	-8.31	-8.40	-0.18	-0.29	안정
W - 6	[도면참조]	-7.37	-8.10	-8.05	-8.12	-0.02	-0.75	안정
W - 7	[도면참조]	-7.41	-7.90	-7.96	-7.99	-0.09	-0.58	안정

• 관리기준치(일일변화량)

안	정	☐	0.5m / DAY 미만
주	의	☐	0.5~1.0m / DAY
특	별	☐	1.0m / DAY이상

※일일 변화량=(금회측정-전회측정)/기간(7일)

2) 결과 분석

- 지하수위 변화를 실측하여 각종 계측자료에 이용, 이외 지하수위의 변화원인 분석 및 관련 대책 수립함에 있다.
- 금주 지하수위계 측정결과 최대변위 -8.40m에 수위가 위치하고 있는 것으로 측정되었으며, 주간 수위 변화량은 -0.22m이내에서 나타내었다.
- 이는 1차 관리기준치 [0.5m/day미만]범위 이내에서 안정적인 측정되고 있다.

27) 자이센터프라자 신축공사 계측관리보고서 11회, (주)하나원엔지니어링, pp.8

라. 계측관리 기준 및 문제점 분석

(계측관리) 계측관리를 시행함에 있어 계측관리 기준치는 지하안전영향평가서에 제시하고 있는 기준을 따라야 한다.

계측사인 (주)하나원엔지니어링 담당이사는 “지하안전영향평가서(보고서)의 내용을 확인하지 못했다”라고 답변하였다.

이 현장은 「지하안전관리에 관한 특별법」(이하 “지하안전법”이라 한다) 제21조(협약의 내용의 이행 및 관리·감독 등)에 의하여 소규모 지하안전영향평가를 실시하고, 이의 결과는 안전관리계획서에 적용하고 현장에서 이를 활용하여야 하지만 이를 적용하지 않은 것으로 확인되었다.

설계도서와 지하안전영향평가서에서 제시하고 있는 2차 관리기준을 초과하였으나, 다음과 같이 미흡한 조치가 발생하였다.

- 관리기준 초과시 조치요령 미준수
- (계측사)측정빈도 증가, (시공사, 감리)현장조사 및 공사중단 여부 검토, (발주처)현장확인
- 지하안전영향평가서에서 제시하고 있는 계측관리기준을 임의로 변경하여 적용함에 따라 구조물의 이상 거동에 대한 대응이 이루어지지 않음

(주)하나원엔지니어링 계측담당 이사는 이상변위를 인지하고 대훈토건 담당 이사에게 유선으로만 보고하고 별도의 공문이나 서면보고는 없는 것으로 확인되었다. 또한 정확한 보고 시점도 적시하지 못하고 있는 것으로 대면조사시 확인되었다.

(주)하나원엔지니어링 계측 담당이사는 당초 설계 대비 계측기 수량 축소 설치(변형률계 수량 50%)하였으며, 이에 대해서는 별도의 의견을 제시하지 못하였다.

3.3 사업 및 공사 관리 분석

3.3.1 사업추진 경위 및 인허가 상황

이 사업은 안산사동90블록피에프프브이 주식회사에서 2020. 3. 24. 연면적 27,269.7㎡의 근린생활시설 건축물로 허가를 득하였다.

2020. 4. 14. 건축주를 주식회사 아르코로 변경하였다. 이후 흙막이 공법 변경을 포함한 설계변경을 하여 2020. 6. 16. 허가 변경을 득하였다(연면적 27,208.33㎡).

2020. 6. 29. 착공신고 후 건축주를 교보자산신탁주식회사로 변경, 공사에 착수하였다. 사업수행체계는 아래와 같다.

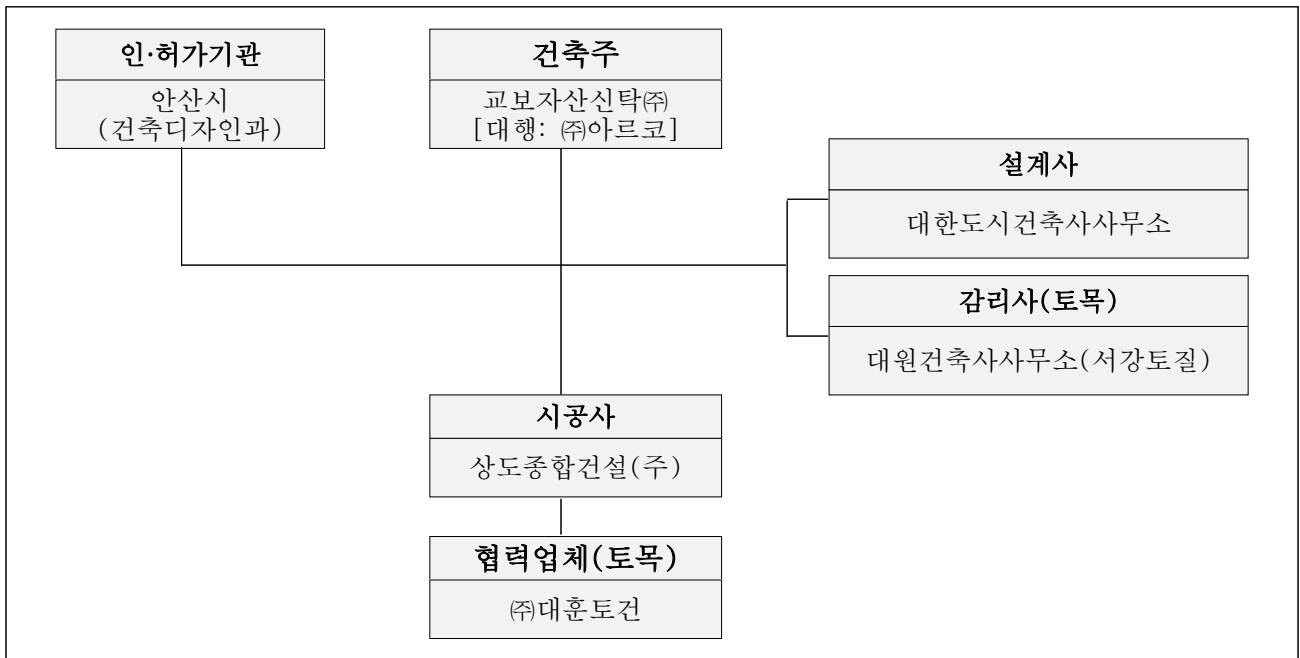


그림 3.15 사업수행체계

표 3.16 사업 주요 변경사항

구분	처리일	건축주	설계자	시공사	감리자
최초 건축허가	2020.3.24.	안산사동90블록 피에프브이(주)	대한 도시 건축 건축사 사무소	—	—
건축관계자 변경	2020.4.14.	(주)아르코		—	—
건축경관공동 위원회 심의	2020.6.15.	(주)아르코		—	—
건축허가 변경	2020.6.16.	(주)아르코		상도종합건설 (주) [(토공) 대훈토건]	대원건축사 사무소 [(굴토) 서강토질]
착공신고	2020.6.29.	(주)아르코			
건축관계자 변경	2020.6.30	교보자산신탁(주)			

3.3.2 인허가 관련 검토

가. 사업승인 절차검토

이 사업과 관련하여 인허가 절차를 요약하면 다음과 같다.

표 3.17 사업 승인 절차 및 관련 공문

일시	관계기관	관련 공문
2019.10.30.	• 건축위원회 심의 신청 1차	• 민원신청확인서
2019.12.20.	• 건축경관위원회 통합심의	• 결과 : 조건부 의결
2020.2.13.	• 건축허가 접수	• 민원신청확인서
2020.3.24.	• 건축허가 득	• 건축허가시 흠막이도면(D/Wall 공법 + 강관지보재) • 건축허가시 흠막이 구조계산서
2020. 3. 25. ~ 4.28.	• 설계변경	
2020.4.29.	• 설계변경에 따른 건축위원회 심의 접수	• 민원신청확인서 • (SCW공법 + H/B지보재)
2020.5.25.	• 건축허가 변경 접수	• 민원신청확인서
2020.6.15.	• 건축경관위원회 서면심의	• 서면심의
2020.6.16.	• 건축허가 변경 완료	• 건축허가 변경 신청시 흠막이도면 (SCW공법 + H/B지보재) • 건축허가 변경 신청시 흠막이 구조계산서
2020.6.29.	• 사업 착공 신고	

- **(건축위원회 1차 심의 신청)** 건축위원회 1차 심의는 2019.10.30.에 신청하였으며 이는 민원신청확인서를 통하여 확인하였음
- **(건축경관위원회 1차 심의)** 건축경관위원회 통합심의를 2019.12.20.에 실시하였으며, 심의 결과 「조건부 의결」 하였다. 이때, 심의를 시행한 위원을 검토한 결과, 건축 전공 위원 4명, 경관 전공 위원 1명 등 5명이 참여하여, 모두 13건의 사전 검토의견을 반영한 것으로 파악되었다.
- **(건축허가)** 건축허가는 2020.3.24.에 안산시 건축디자인과에서 처리하였다.
- **(설계변경)** 설계변경은 건축법 제24조제3항에 의거하여 「공사 시공자는 설계도서가 현장 여건상 불합리할 경우에는 건축과 공사감리자의 동의를 받아 서면으로 설계자에게 설계변경을 요청」 할 수 있도록 되어 있다. 반면, 대면조사시 시공사, 원설계사, 공사감리자에게 확인한 결과, 감리자는 시공 전의 단계로써 계약 체결 전인 것으로 확인되었으며, “시행사에게 이와 관련한 일체의 공문으로 설계변경을 요청하지 않았음”을 답변하였다.

건축법 제24조(건축시공) ③ 공사시공자는 설계도서가 이 법과 이 법에 따른 명령이나 처분, 그 밖의 관계 법령에 맞지 아니하거나 공사의 여건상 불합리하다고 인정되면 건축주와 공사감리자의 동의를 받아 서면으로 설계자에게 설계를 변경하도록 요청할 수 있다. 이 경우 설계자는 정당한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.

- **(건축위원회 2차 심의 신청)** 시공사 주관하여 설계변경회사에서 작성된 설계변경 내용을 심의 받기 위하여 건축위원회 2차 심의를 2020.4.29.에 신청하였으며 동일한 이유로 건축허가 변경을 2020. 5. 25.에 접수하였다.
- **(건축경관위원회 2차 심의)** 건축경관위원회 통합심의를 2020.6.15.에 서면으로 실시하였다. 이때, 심의를 시행한 결과, 심의의견은 건축 2건, 도시 1건, 교통 1건, 소방 6건 등 모두 11건의 의견이 제시되었다.

- 즉, 이러한 결과는 지하층 18m 이상 굴착을 하고, 설계변경 역시 흙막이벽체 및 지보공법이 변경됨에도 불구하고 건축 관련 규정에 따라 심의대상에서 제외되어 지반전문가의 검토가 생략되었다.

※ 안산시에서는 건축 관련 규정상 구조전문위원회의 심의대상이 아니므로 기술검토자(토질 및 기초기술사)의 날인과 건축사의 공문만 확인하고, 설계변경을 허가한 사실을 확인하였다.

나. 건축경관위원회 심의

본 사업과 관련하여 건축경관위원회 심의와 관련한 내용은 다음과 같다.

- 해당 건축물은 지하 4층/지상 13층의 근린생활시설 용도로 분양하는 면적이 3,000 m² 이상에 해당하여 「건축물 분양에 관한 법률」 및 「안산시 건축조례」에 따라 2019. 12. 20, 2020. 6. 12 등 2회의 건축·경관공동위원회 심의를 하였다.
- 건축위원회 심의기준[국토교통부고시 제2018-510호]에 건축·경관공동위원회는 건축물의 배치, 형태, 입면 등 기본적인 건축계획 내용에 대하여만 심의토록 되어 있다.
- 「건축법 시행령」 제5조의 5(지방건축위원회) 제1항 제4호에 따라 안산시의 지질 및 지반, 구조분야 심의위원으로 구성된 구조전문위원회를 별도로 구성하여 운영하고 있으나, 해당 건축물은 특수구조건축물 및 다중이용 건축물에 해당되지 않아 구조안전 심의대상이 아닌 것으로 확인되었다.
- 지반조사 보고서 및 흙막이 공법의 검토는 구조안전심의시 검토되는 사항으로, 건축위원회 심의기준에 따라 건축허가 후 착공신고 이전에 지질조사서, 흙막이공법 및 도면, 구조계산서 등을 제출하여 구조전문위원회를 별도로 개최하여 심의하는 것으로 확인되었다.

건축법 시행령 제2조제17호 “다중이용 건축물”

가. 다음의 어느 하나에 해당하는 용도로 쓰는 바닥면적의 합계가 5천제곱미터 이상인 건축물

- 1) 문화 및 집회시설(동물원 및 식물원은 제외) 2) 종교시설 3) 판매시설 4) 운수시설 중 여객용 시설 5) 의료시설 중 종합병원 6) 숙박시설 중 관광숙박시설

나. 16층 이상인 건축물

건축법 시행령 제2조제18호 “특수구조 건축물”

가. 한쪽 끝은 고정되고 다른 끝은 지지(支持)되지 아니한 구조로 된 보·차양 등이 외벽(외벽이 없는 경우에는 외곽 기둥을 말한다)의 중심선으로부터 3m 이상 돌출된 건축물

나. 기둥과 기둥 사이의 거리(기둥의 중심선 사이의 거리를 말하며, 기둥이 없는 경우에는 내력벽과 내력벽의 중심선 사이의 거리를 말한다. 이하 같다)가 20m 이상인 건축물

다. 특수한 설계·시공·공법 등이 필요한 건축물로서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 구조로 된 건축물

안산시 건축조례 제8조(기능) ① 위원회는 법 제4조 및 영 제5조의5제1항 각 호에 관한 사항과 다음 각 호의 사항을 심의한다. <개정 2015.01.06.>

1. 7층 이상이거나 연면적 2천제곱미터 이상인 건축물의 건축(다만, 공업지역과 경관위원회 심의대상은 제외한다)
2. 「건축물 분양에 관한 법률」 제3조에 따른 건축물의 건축에 관한 사항
3. 「주택법」 제16조에 따른 사업계획 승인대상 공동주택의 건축 (조경·토지의 굴착·색채계획 등을 포함한다) 등에 관한 사항
4. 그 밖에 다른 법령 등에서 심의하도록 규정한 사항과 시장이 필요하다고 인정하여 부의하는 사항

3.3.3 감리업무의 검토

가. 상주감리에 대한 상황

- (상주감리업무에 대한 상황)

감리자는 건축법 시행령 제19조(공사감리) 제7항에 따라 감리업무를 철저히 수행하고 안전사고를 미연에 방지하여야 하나 업무 관련 사항을 소홀히 함으로 인하여 사고가 발생하게 되었다. 또한, 같은 법 시행령 제91조의3 제3항에 따라 관계전문기술자와의 협력이 원활히 이루어지지 않았다.

건축법 시행령 제19조(공사감리) ① 법 제25조 제1항에 따라 공사감리자를 지정하여 공사감리를 하게 하는 경우에는 다음 각 호의 구분에 따른 자를 공사감리자로 지정하여야 한다.<개정 2009. 7. 16., 2010. 12. 13., 2014. 5. 22., 2018. 12. 11., 2020. 1. 7.>

1. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우: 건축사

가. 법 제11조에 따라 건축허가를 받아야 하는 건축물(법 제14조에 따른 건축신고 대상 건축물은 제외한다)을 건축하는 경우

나. 제6조제1항제6호에 따른 건축물을 리모델링하는 경우

⑤ 공사감리자는 수시로 또는 필요할 때 공사현장에서 감리업무를 수행해야 하며, 다음 각 호의 건축공사를 감리하는 경우에는 「건축사법」 제2조제2호에 따른 건축사보(「기술사법」 제6조에 따른 기술사사무소 또는 「건축사법」 제23조제9항 각 호의 건설기술용역사업자 등에 소속되어 있는 사람으로서 「국가기술자격법」에 따른 해당 분야 기술계 자격을 취득한 사람과 「건설기술 진흥법 시행령」 제4조에 따른 건설사업관리를 수행할 자격이 있는 사람을 포함한다. 이하 같다) 중 건축 분야의 건축사보 한 명 이상을 전체 공사기간 동안, 토목·전기 또는 기계 분야의 건축사보 한 명 이상을 각 분야별 해당 공사기간 동안 각각 공사현장에서 감리업무를 수행하게 해야 한다. 이 경우 건축사보는 해당 분야의 건축공사의 설계·시공·시험·검사·공사감독 또는 감리업무 등에 2년 이상 종사한 경력이 있는 사람이어야 한다.

<개정 2009. 7. 16., 2010. 12. 13., 2014. 5. 22., 2015. 9. 22., 2018. 9. 4., 2020. 1. 7., 2020. 4. 21.>

1. 바닥면적의 합계가 5천 제곱미터 이상인 건축공사. 다만, 축사 또는 작물 재배사의 건축공사는 제외한다.
2. 연속된 5개 층(지하층을 포함한다) 이상으로서 바닥면적의 합계가 3천 제곱미터 이상인 건축공사
3. 아파트 건축공사
4. 준다중이용 건축물 건축공사

⑥ 공사감리자는 깊이 10미터 이상의 토지 굴착공사 또는 높이 5미터 이상의 옹벽 등의 공사(「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제2조제14호에 따른 산업단지에서 바닥면적 합계가 2천제곱미터 이하인 공장을 건축하는 경우는 제외한다)를 감리하는 경우에는 건축사보 중 건축 또는 토목 분야의 건축사보 한 명 이상을 해당 공사기간 동안 공사현장에서 감리업무를 수행하게 해야 한다. 이 경우 건축사보는 해당 공사의 시공·감독 또는 감리업무 등에 2년 이상 종사한 경력이 있는 사람이어야 한다. <신설 2020. 4. 21.>

⑦ 공사감리자가 수행하여야 하는 감리업무는 다음과 같다. <개정 2013. 3. 23., 2020. 4. 21.>

1. 공사시공자가 설계도서에 따라 적합하게 시공하는지 여부의 확인
2. 공사시공자가 사용하는 건축자재가 관계 법령에 따른 기준에 적합한 건축자재인지 여부의 확인
3. 그 밖에 공사감리에 관한 사항으로서 국토교통부령으로 정하는 사항

⑧ 제5항 및 제6항에 따라 공사현장에 건축사보를 두는 공사감리자는 다음 각 호의 구분에 따른 기간에 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 건축사보의 배치현황을 허가권자에게 제출해야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2014. 11. 28., 2020. 4. 21.>

1. 최초로 건축사보를 배치하는 경우에는 착공 예정일부터 7일
2. 건축사보의 배치가 변경된 경우에는 변경된 날부터 7일
3. 건축사보가 철수한 경우에는 철수한 날부터 7일

⑨ 허가권자는 제8항에 따라 공사감리자로부터 건축사보의 배치현황을 받으면 지체 없이 그 배치현황을 「건축사법」에 따른 건축사협회 중에서 국토교통부장관이 지정하는 건축사협회에 보내야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2020. 4. 21.>

건축법 시행령 제91조의3(관계전문기술자와의 협력)

③ 깊이 10미터 이상의 토지 굴착공사 또는 높이 5미터 이상의 옹벽 등의 공사를 수반하는 건축물의 설계자 및 공사감리자는 토지굴착 등에 관하여 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 「기술사법」에 따라 등록된 토목 분야 기술사 또는 국토개발 분야의 지질 및 지반기술사의 협력을 받아야 한다.

굴토 감리 용역계약서

1. 용역명 : 안산 사동 908L 흙막이 감리용역
2. 공사위치 : 경기도 안산시 사동 908L(1639-24)
3. 공사개요
 - 1) 대지면적 : 약 2,667.60㎡
 - 2) 용도 : 근린생활시설
 - 3) 업무범위 : 굴토공사 감리(가시설공사)
 - 4) 감리형태 : 비상주감리
4. 계약금액 : 일금 일천이백만원정(₩12,000,000원) - V.A.T 별도
5. 용역기간 : 굴토공사 착공시 ~ 버팀보 해체시까지
"갑"과 "을"은 본 계약서에 의거하여 감리계약을 체결하고 각각 1부씩 보관한다.

2020년 5월 29 일

갑) 주 소 : 경기도 안산시 단원구 광덕1로 163, 207호(고잔동)
상 호 : 주식회사 아르코
대 표 : 김 만 식 (인)



을) 주 소 : 경기도 하남시 미사대로 550 현대미사 936호
상 호 : 주식회사 서강토질
대표이사 : 장 창 열 (인)



나. 감리보고서의 부실

- (비상주 감리) 비상주 감리는 설계 변경사인 (주)서강토질에서 수행하였으며, 제출된 감리 보고서를 확인한 결과, 감리자의 서명이 누락되어 있어 실제 보고서가 작성된 시점은 정확히 파악할 수 없는 상태였다.²⁸⁾

공사명	안산 사동 자이 센타프라자 신축공사		
일 시	2020. 1. 8	굴토감리원	(주)서강토질
업 무 내 용			
공 경 회 의	<ul style="list-style-type: none"> - 시공사 : 상도종합건설㈜ - 토목시공사 : 대훈토건 - 토목감리사 : 주식회사 서강토질 		
금 주 공 경	<ul style="list-style-type: none"> - 버팀보 시공을 위한 굴착 - 7단 시공 		
차 주 공 경	<ul style="list-style-type: none"> - 버팀보 시공을 위한 굴착 - 8단 시공 		
감 리 의 견	<ul style="list-style-type: none"> - 굴착시 과굴착에 주의하고 굴착즉시 버팀대 설치 할 것. - 최종 단계굴착은 7단 및 8단 버팀대 설치 후 굴착작업에 임할 것 - 주변에 주택지가 위치하고 있어 민원 발생이 없도록 공사장 주변의 청결 상태를 수시 점검할 것 - 피장 및 버팀보 설치시 설치간격 및 단계별 굴착계획 준수할 것. - 계획은 주2회 실시하고 자료를 공유할 것 - 토사 반출시 세분작업 철저히 할 것 		

28) 날짜 오류, 2020.1.8.은 2021.1.8.로 수정되어야 함

3.3.4 지하안전영향평가 검토

■ 지하안전영향평가 협의 현황

- (당초) 평가서 검토의뢰('19.12.19), 의견회신('20.1.8), 협의 완료('20.2.3)
 - (변경) 사업계획 변경('20.5)에 따른 지하안전확보방안 미제출
- * 지하안전법 제18조 제3항에 따라 지하개발사업자는 사업계획 변경 등에 따른 지하 안전확보방안에 대하여 승인기관의 장의 검토를 받아야 함

지하안전법 제18조(협의 내용의 조정 및 사업계획 등의 변경·재협의 등)

② 지하개발사업자는 제15조 및 제16조에 따라 협의한 사업계획 등을 변경하는 경우에는 사업계획 등의 변경에 따른 지하안전확보방안을 마련하여 이를 변경되는 사업계획 등에 반영하여야 한다.

③ 승인등을 받아야 하는 지하개발사업자는 제2항에 따른 지하안전확보방안에 대하여 미리 승인기관의 장의 검토를 받아야 한다. 다만, 국토교통부령으로 정하는 경미한 변경사항에 대하여는 그러하지 아니하다.

④ 승인기관장등은 제2항 및 제3항에 따라 지하안전 확보방안을 마련하거나 검토하는 경우로서 해당 사업계획 등의 변경된 내용이 지하안전에 영향을 줄 수 있다고 대통령령으로 정하는 사항에 해당하는 경우에는 국토교통부장관에게 재협의를 요청하여야 한다.

지하안전법 시행령 제20조(사업계획등의 변경·재협의) ① 법 제18조제3항 본문에 따른 검토를 요청받은 승인기관의 장은 해당 지하안전확보방안이 법 제18조제4항에 따른 재협의 요청 대상에 해당하는지 여부에 대하여 검토하여 승인등을 받아야 하는 지하개발사업자에게 통보하여야 한다.

② 법 제18조제4항에서 “해당 사업계획 등의 변경된 내용이 지하안전에 영향을 줄 수 있다고 대통령령으로 정하는 사항에 해당하는 경우”란 다음 각 호의 경우를 말한다.

<개정 2018. 12. 31., 2020. 1. 7.>²⁹⁾

1. 굴착깊이의 변경이 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우

가. 법 제15조 및 제16조에 따라 협의한 사업계획등에 반영된 깊이보다 3미터 이상 깊어지는 경우

나. 법 제15조 및 제16조에 따라 협의한 사업계획등에 반영된 깊이보다 깊어져 법 제23조에 따른 소규모 지하안전영향평가 대상사업이 법 제14조에 따른 지하안전영향평가 대상사업에 해당하게 되는 경우

2. 굴착면적이 법 제15조 및 제16조에 따라 협의한 사업계획등에 반영된 면적보다 30퍼센트 이상 증가하는 경우

3. 흙막이·차수(遮水) 공법이 법 제15조 및 제16조에 따라 협의한 사업계획등에 반영된 공법과 달라지는 경우

③ 법 제18조제4항에 따라 재협의를 요청하려는 승인기관장등은 법 제18조제2항에 따라 지하안전확보방안을 마련한 날 또는 제1항에 따른 검토를 완료한 날부터 90일 이내에 다음 각 호의 사항이 포함된 재협의 요청서를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 이 경우 승인등을 받아야 하는 지하개발사업자는 제1항에 따른 통보를 받은 날부터 75일 이내에 승인기관의 장에게 재협의 요청서를 제출하여야 한다.

29) 부칙(대통령령 제30338호, 2020. 1. 7.) 제2조에 따라 영 시행(2020. 7. 1.) 이후 사업계획등의 내용을 변경하는 경우부터 적용하게 되어 있어 현재는 흙막이공법 변경시 지하안전영향평가 재협의 대상이나 본 현장은 설계변경(흙막이공법 변경) 후 2020. 6. 29. 착공하여 적용받지 않음.



제4장

재발방지를 위한 개선사항 제안

4.1 개요

4.2 인·허가 관련 사항

4.3 설계 및 시공 관련 사항

제4장 재발방지를 위한 개선사항 제안

4.1 개요

재발방지대책은 사업시행자, 인허가 기관 그리고 공사참여자인 시공자, 감리자의 업무 및 활동과 관련되는 사업(행정) 관리 측면과 사고의 물리적 원인이 되었던 설계 및 시공과 관련한 기술적 측면으로 검토하였다.

사고 현장의 공사가 현재 진행 중이므로 사고 현장의 유사사고 예방을 위한 현장 유의사항, 그리고 흠막이 공사를 포함하는 굴토공사 사고의 재발방지를 통한 안전 확보 방안으로써 재발방지대책 및 개선방안을 제안하고자 한다.

4.2 인·허가 관련 사항

- 안산시에서는 건축 관련 규정에 근거하여 건축위원회를 운영한 것으로 확인되었다.
- 경기도 차원에서는 일산, 분당, 평촌을 중심으로 매립지 위에 건설된 신도시 및 부천, 시흥, 과천 등의 충적층 지반에 대해서는 흠막이 공사에 대한 심의를 강화할 필요가 있다. 이러한 지역에 대한 구분은 경기도 지하안전관리계획에 수록할 필요가 있다.
- 흠막이 벽체의 강성은 일반적으로 H Pile + 토류판 → 강널말뚝 → SCW공법 → CIP 공법 → D/Wall 공법 순으로 증가한다고 알려져 있다.³⁰⁾ 설계변경시 강성이 큰 공법으로 변경되는 경우는 큰 문제가 없으나, 강성이 줄어드는 경우로 설계가 변경되는 경우나, 원설계보다 지반강도 정수나 지하수위를 보수적으로 하여 설계를 변경하는 경우에는 지반전문가의 심의를 거치는 방법을 고려할 필요가 있다.

30) (주)스마트엔지니어링(1999), 흠막이 벽체를 지지하기 위한 버팀대 선행하중 공법(4th Edition), 스마트엔지니어링.

4.2.1 안산시 현장점검 현황

가. 사고 현장의 현장점검

본 현장은 2020년도 안산시 안전점검 대상에 해당되어 2020년 3, 4분기 안전 점검을 시행하였다. 점검 결과, 3분기 안전점검(2020. 9. 14.)시에는 터파기 공사 시 안전에 유의할 것을 지적하였고, 4분기 안전점검(2020. 10. 21.)에서는 특이사항이 없는 것으로 되어 있다.

나. 안산시의 건설 현장점검 현황

1) 안산시 현장점검

- 안산시에서는 총공사비 50억원 이상, 연면적 10,000㎡ 이상 대형 건축공사장에 대하여 안전점검을 매 분기마다 시행한 것으로 조사되었다.
- 안산시 관내의 건축사를 중심으로 안전점검을 실시함으로써 다양한 공정으로 되어 있는 건설현장의 사황을 점검할 수는 없는 것으로 확인되었다.

2) 주공정 파악의 어려움

- 안산시 관내에서 연간 건축허가 건수는 1,607건(2018년도 안산시 통계년도 기준)으로서 공사장별로 주공정의 파악이 불가능한 것으로 확인되었다.

※ 시·군에서의 실질적인 현장점검을 위해 전담부서 신설 및 상위기관인 경기도 지원 필요

4.2.2 인허가 업무개선 방안

가. 시·군 건설·지하안전 업무를 통합한 전담부서(팀) 신설

1) 기존 시·군 조직의 한계

- 경기도 내 시·군의 경우 현장점검을 실질적으로 수행하기에는 전담 인력이 부족한 것이 현실이다.

2) 시·군 현장점검 전담부서

- 시·군에서는 건설공사 현장점검 전담부서를 신설하여, 건설기술진흥법, 지하안전관리에 관한 특별법 등 관계 법령에 따른 점검이 중복되지 않도록 건설공사 현장점검 관련 업무를 일원화한다.
- 현장점검의 실효성을 높이기 위해 신설되는 전담부서에서 건설공사 현황 및 안전관리체계를 구축하여, 주요 공정 시 필요한 점검이 누락되지 않도록 관리한다.
- 굴착공사 등 공사 특성에 따른 주요 공정에 적합한 맞춤형 현장점검을 관련 전문가 참여 하에 지속적으로 실시한다.

나. 건설공사 안전관리계획과 연계한 현장점검 강화

1) 현 제도의 구조적 한계

- 지하안전법 제10조에 따라 지하개발사업자는 건설기술진흥법 제62조에 따른 건설공사의 안전관리계획에 지하안전영향평가(소규모 포함)에 관한 사항을 반영하게 되어 있고, 시장·군수(인·허가기관의 장)는 이를 검토하게 되어 있으나 인·허가부서와 지하안전 관련 부서가 상이한 경우가 대부분이다.

2) 시·군 전담부서를 통한 건설공사 안전관리 강화

- 건설공사 안전관리계획 검토 단계부터 공사 중 현장점검까지 시·군 전담부서에서 관련 업무를 담당하는 방안을 검토한다.
- 시·군 전담부서에서는 건설공사 안전관리계획과 연계하여 건설공사의 계획 단계부터 준공까지 안전 관련 업무를 지속할 수 있도록 적정 인력을 확보한다.

다. 경기도의 지원 역할 제고

- 경기도에서는 시·군의 현장점검 지원을 위한 전문가 인력 Pool(경기지하안전지킴이 등) 및 예산을 확보한다.
- 시·군에 신설되는 전담부서와 맞춤형 현장점검 실시를 위한 도↔시·군 간 상시 협업 체계를 구축한다.

※ 산업재해 예방을 위한 노동안전지킴이 지원사업은 별도 추진

라. 경기지하안전지킴이의 활성화

(부산시 사례) 부산광역시 건축위원회 운영세칙에 의하면 시 위원회의 심의대상을 조례로 결정하였다.

- 이 중 토질 기초 분야 체크리스트 제31항에 의하면 「시공과정에 외부 전문가 자문 운영의 필요성 여부」를 판단하게 하였다.

경기도 차원에서 현재 운영 중인 경기지하안전지킴이의 활용을 다음과 같이 확대하는 것을 제안함

- (당초) 경기도와 시군간 유기적인 협력체계를 구축하여 지하안전관리를 추진
- (변경) 당초 + 흙막이 구조물 중 일정 규모 이상의 대상에 대한 외부전문가 자문운영
- 토목분야(시공, 구조, 지반)와 안전분야 전문가 pool을 구성하여 현장당 1~2명을 지정
- 현장점검 주기 : 2회/월
- 권한 : 경기지하안전지킴이가 해당 현장에서 점검 및 자문한 내용은 현장에 필히 반영 하여야 한다. 반영한 결과는 매월 인허가 기관 및 시행사에 보고하여야 한다. 이것이 불가할 경우, 정당한 사유를 관련 근거를 첨부한 후, 인허가 기관에 제출하여야 한다.
- 의무 : 경기 안전지킴이가 고의나 해태에 의하여 흙막이 사고 발생시, 경기지하안전지킴이 활동을 3년간 중지시킨다.

※ 서울시 도시기반시설본부의 안전점검 방안은 참고로 하는 방안도 검토함(그림 4.1)

- 분야별(구조, 토질 및 기초, 안전분야) 외부 전문위원과 합동으로 월 안전점검 횟수를 1현장에 2~3회 이상으로 실시하여 현장 안전관리 상태 강화
 - 안전관리과 : 1~2회/월 이상 점검
 - 공사장 여건에 따라 직원 또는 외부위원과 합동으로 점검조 편성
 - 공사부서 : 2회 이상/월
 - 자체점검 1회/월, 합동점검 1회/월
- 건설사업관리단 및 현장 안전관리자 일일점검 체계유지
 - 현장 관리자들에게 안전대책 시행 여부를 일일 점검하여 일지에 기록하게 하고 점검을 통해 상시안전관리 강화



- 공사관리관 담당 현장의 안전현황 파악 및 안전 관심도를 증대하기 위하여 외부전문위원과 함께 안전점검 시행

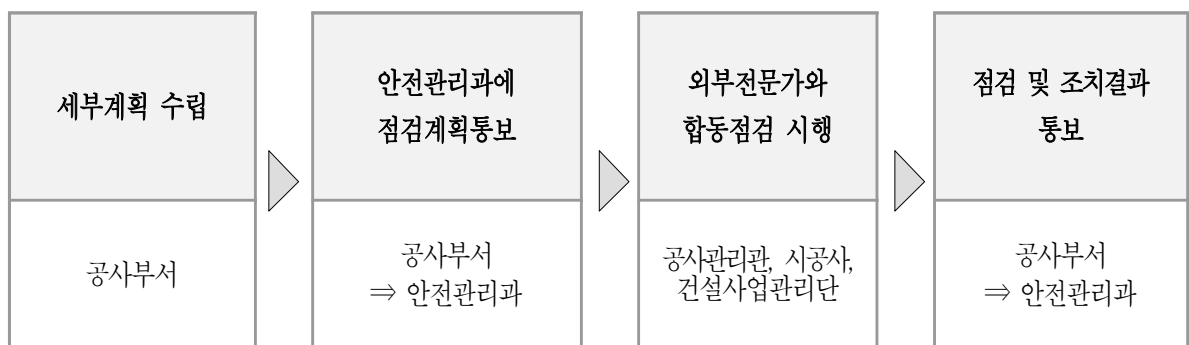


그림 4.1 서울시 도시기반시설본부 안전점검 방안

4.3 설계 및 시공 관련 사항

4.3.1 설계 및 설계변경시 개선사항

- (지반정수 산정) 설계시 지반정수는 현장시험, 실내시험 및 문헌자료 등을 종합적으로 비교 분석하여 각 지층별로 지반정수를 산정한다.
- (지하수위 적용) 설계 지하수위는 국가관측망, 보조관측망, 시추공내 지하수위, 하천수위, 수치 해석 결과 등을 종합적으로 고려하여 가장 보수적인 값을 적용한다(지하안전관리 업무 지침, 국토교통부 고시 제 2021-14호).
- (최하단 지보재) 지보재 설계시 최하단에 설치되는 strut 등의 지보재는 장비 동선을 위한 최소한의 높이를 확보해야 한다. 이것이 불가할 경우 대책방안을 제시하여야 한다.
- (시공시 동선) 지반 굴착시 굴착 주변지반의 여유 부지가 있어 토사 반출 및 건축 자재 적재를 할 수는 있으나 이를 고려하여 흙막이 구조물의 안전성을 확보하는 것을 원칙으로 한다. 이것이 불가할 경우 복공계획 등의 대책 방안을 제시하여야 한다.

4.3.2 시공시 개선사항

- (흙막이 단계별 근거 제시) 시공사는 각 단 지지 구조체 설치시 이는 완료 보고 및 근입장 시공 내용 일체를 감리단과 시행사에 제출하여야 한다. 이때, 각 단계로 사진 또는 동영상 자료를 제출해야 한다.

4.3.3 계측관리 개선사항

- 흙막이 구조물의 계측관리기준은 지하안전영향평가서에 제시하고 있는 기준을 따르도록 한다.

- 흠막이공사에 따른 관리기준치는 주변 시설물에 미치는 영향이 발생하기 직전의 단계를 위험단계로 보는 것이 공사 수행자의 자세가 되어야 하는 것이 바람직하다 판단되므로, 관리기준을 설정함에 있어서 공사 전에 주변시설물 현황을 살피고 현장관련기술자들과 충분히 상의하여 엄격한 관리기준을 설정 하고 시공에 임하여야 한다.
- 관리기준을 초과한 계측치가 측정된 경우는 현장에 설계시 예상하지 못했던 이상변위가 발생한 상황이므로 현장특성을 면밀히 파악하여 그 특성에 맞는 시공관리를 필요로 하는 상황으로 보아야 하므로 아래와 같은 시공관리방안을 제안한다.
- 계측사는 공사중 흠막이 계측시 이상 징후를 발견하는 경우(특히, 지중경사계)에는 시공사, 감리사 및 시행사에게 계측 수행 후 즉시 유선과 문자로 보고해야 한다. 이것이 불가한 경우 이의 대책방안을 제시하여야 한다.
- 계측사는 공사 중 각 단별로 지지구조체의 안정성 확인 자료를 제출하여야 하며 볼트로 시공된 부위에 대해서는 볼트 안전관리 내용도 확인하여 제출해야 한다.
- 계측사는 지하수위 조사를 시행함에 있어 흠막이 공사 전, 공사 중, 복토 완료 후, 준공시의 지하수 변동사항을 조사하여야 하며, 준공서류 제출시 이를 제출해야 한다.
- 계측은 현장 상황에 따라 수동 및 자동계측을 병행하여 실시해야 하며 현장에서 위험성이 크다고 판단되는 곳은 자동계측을 통하여 실시간 모니터링을 한다.

제5장

결론

제5장 결론

2021년 1월 13일 12시 48분경 경기도 안산시 사동 1639-24번지 자이센터프라자 공사 현장에서 발생한 흙막이 붕괴사고에 대하여 정확한 원인을 규명하기 위해 구성된 「경기도 지하사고조사위원회」에서 자료조사, 현장조사, 지형 및 지질조사, 해석적 검증, 대면조사 등을 통하여 사고 원인을 조사하였으며 사고 조사에 대한 결론은 다음과 같다.

5.1 설계변경

- **(지반정수)** 원설계 및 지하안전영향평가 보고서(주, 다솔엔지니어링) 작성을 위해 지반 조사를 시행하였으며, 이때의 지반 정수는 표준관입시험 결과와 경험식 등의 자료를 이용하여 산정하였다. 설계변경(주, 서강토질)시에는 추가로 2공의 지반조사를 시행한 후, 실내직접전단시험(주, 성은토질) 결과를 이용하여 지반정수를 산정하였다. 설계변경시 지반정수는 원설계의 지반정수에 비하여 매우 큰 값(점착력 15kPa→30kPa, 내부마찰각 10°→15°)을 취하여 흙막이 벽체를 설계하였다. 그러나, 교란시료의 여부, 직접전단시험의 대표성 등을 고려할 때, 현장과 부합하는 지반 정수로 판단할 수는 없다. 이에 대한 해석적 검증 결과, 5단 지보재의 볼트응력이 부족한 결과와도 일치하는 것으로 분석되었다. 일반적인 설계변경시, 원설계 강도정수를 그대로 이용하는데 본 현장과 같이 강도정수를 높여서 적용하는 경우는 일반적으로 합리적이지 못하다. 또한, 원설계보다 강도정수는 높이고 지하수위를 낮춘 상태에서 구조적 안정성이 낮은 구조물로 설계변경이 됨에도 불구하고 제출된 변경공법의 구조적 안정성에 대한 전문가의 검토가 이루어지지 않았다.
- **(지하수위)** 원설계시는 지하수위를 산정함에 있어 현장에서 시추공 내 지하수위를 산정 (GL(-)7.0m) 하였으나, 설계변경시에는 현장 오거시험에서 측정한 지하수위가 피압수이기 때문에 실제 지하수위는 더 낮다고 판단하여 (GL(-)12.0m)를 적용하였다. 붕괴 전 날인 2021년 1월 12일 현장에서 측정한 지하수위 계측값은 (GL-7.94~8.40m)이었

다. 이를 비교 분석하기 위하여 인접 현장의 지하수위와 비교한 결과, 원설계시 적용한 지하수위가 타당한 것으로 분석되었다. 이에 대한 해석적 검증 결과, 5단 지보재의 볼트응력 등이 부족한 결과와도 일치한다.

- 결과적으로 지반조사에서 확인된 지하수위와 붕괴 직전까지 측정된 계측결과를 볼때 피압수에 대한 정확한 근거없이 현장 오거시험에서 나타난 결과를 피압수로 판정하여 지하수위를 12m로 저하시켜 해석에 적용한 것은 지하수위를 잘못 적용한 것으로 판단된다.

5.2 현장 시공³¹⁾

- **(과굴착)** 시공사에서 7단 지보재만 설치한 상태에서 최하단의 장비를 운영하여 굴착하기 위하여 8단 지보재 없이 과굴착을 실시한 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 감리보고서 및 대면 질의 응답시 확인할 수 있었다. 이에 대한 해석적 검증 결과, 비지지장 거리를 4.81m 적용시, 6단 지보재의 볼트응력, 띠장 등이 부족한 결과와도 일치한다.
- **(SCW공법 시공시 엄지말뚝 길이의 부족)** SCW공법 시공시 엄지말뚝 길이는 설계도서상 22.9191m~24.719m로 되어있으나, 실제 시공 길이는 21~23m로 시공한 것으로 되어있었으며, 질의·답변서 등을 통하여 확인하였다. 이에 대한 해석적 검증 결과, 6단 사보강 지보재에서 응력이 부족할 뿐 아니라, 근입장의 안전율이 0.818로서 적용 안전율 1.2를 만족하지 않는 것으로 분석되었다.
- **(크랩셀 하중)** 현장에서 굴착공사를 시행하면서 토사를 외부로 배출하기 위하여 크랩셀을 사용하였으며, 설계변경시 고려되지 않은 사항으로서 토압 증가의 요인이 되었다. 이에 대한 해석적 검증 결과, 6단 사보강재의 볼트응력, 띠장 등이 부족한 결과와도 일치한다.

31) 건설산업기본법 제7조제3항에 의하면 건설사업자는 설계도서(시방서 포함)의 내용 등에 따라 성실하게 업무를 수행하여야 하고, 건설기술진흥법 제48조 및 동법 시행규칙 제41조에 의하면 건설사업자는 시공하기 전에 설계도서를 검토하여 현장조건과의 일치 여부, 설계도서대로 시공 가능여부 등을 검토하도록 하고 있습니다.

5.3 흠막이 계측

- **(계측관리기준)** 계측관리 기준치는 지하안전영향평가서에 제시하고 있는 기준을 따라야 하나, 계측사에서는 지하안전영향평가서(보고서)의 내용을 확인하지 못한 상태에서 임의의 계측관리기준을 적용하였다.
- **(계측 이상 징후 보고 체계)** 계측 결과, 2020년 12월 이후 이상 징후가 발견되었으나, 이는 유선으로만 보고하고, 공문 등의 자료를 통한 보고 및 대책 수립 회의 등은 없는 것으로 확인되었다.
- **(계측기 설치 개소)** 계측기 설치 개수는 지하안전영향평가 보고서에서 제시한 계측기 수량에 비하여 부족하게 설치한 것으로 확인되었다.

5.4 굴토감리

- **(상주감리에 대한 상황)** 건축법 시행령 제19조(공사감리) 제7항에 의한 감리업무 소홀로 인해 사고가 발생되었고, 같은 법 시행령 제91조제3항에 의한 관계전문기술자와의 협력이 원활히 이뤄지지 않았다.
- **(감리업무)** 감리업무를 수행하면서 감리보고서가 부실하게 작성되어 있을 뿐 아니라, 현장에서의 과굴착, SCW공법 시공시 엄지말뚝 길이 부족, 크람셀 하중에 의한 토압 증가 등에 대한 감리업무가 제대로 이루어지지 않은 것으로 확인되었다.

5.5 지하안전영향평가 변경 보고

- **(지하안전영향평가 협의 위반)** 지하안전법 제18조에 의거 설계변경시 지하개발사업자는 지하안전확보방안을 승인기관에 보고해야 하나, 이를 보고하지 않은 것으로 확인되었다.

사고조사위원회의 조사결과를 종합하면, 금번 흠막이 붕괴사고의 원인은 원설계보다 강

성이 작은 흙막이 공법으로의 설계변경(기존, D/Wall + 강관 STRUT → 변경, SCW공법 + H/Beam STRUT), 지반정수 및 지하수위 선정의 오류, 토류벽체 시공시의 과굴착, 엄지말뚝 길이 오차로 인한 근입장 부족, 크람셀 하중으로 인한 토압 증가, 계측 관리기준 미준수 등 설계, 시공, 감리, 계측 등이 제대로 이루어지지 않아 발생한 복합적인 요인에 의한 사고라고 판단된다.

또한, 지하안전영향평가에서 제시한 계측관리기준을 따르지 않아 관리기준을 초과하여 계측 DATA가 이상징후를 보임에도 불구하고 즉시 현장에서 대책을 강구하지 못한 계측사의 오류, 설계변경을 실시하고도 지하안전확보방안을 제시하지 않은 점 등이 복합적으로 작용하여 금번 흙막이 붕괴 사고가 발생된 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 가설흙막이 설계기준, KDS 213000(2016).
1. 경기도 안산시 사동 90블럭 근생시설 신축공사 지반조사보고서, (주)다솔엔지니어링, (2019.10).
2. 경기도 안산시 상록구 사동 흙막이 가시설 붕괴사고 조사 보고서, 국토안전관리원(2021.1.)
3. 구리시 땅꺼짐 사고조사 보고서, 국토교통부 중앙사고조사위원회(2020.12).
4. 구조물 기초설계 기준, 국토교통부(2016).
5. 구조물기초설계기준 해설, 사단법인 한국지반공학회(2015).
6. 굴착 및 흙막이 공법, 사단법인 한국지반공학회(2002).
7. 서울지하철 계측관리요령 개선(안), 서울특별시 도시기반시설본부(2015)
8. 안산 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 소규모지하안전영향평가, (주) 안산시 사동90블록 피에프브이(2019.12).
9. 안산 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 협의내용 이행조치 요청서, 서울지방국토관리청(2021.1).
10. 안산사동 90BL 근린생활시설 신축공사 구조계산서, (주)다솔엔지니어링(2020.1).
11. 안산사동 90BL 근린생활시설 신축공사 지반조사보고서, (주)다솔엔지니어링(2020.2).
12. 안산사동 90BL 근린생활시설 신축공사 지반조사보고서, (주)서강토질(2020.5).
13. 안산사동 90BL 근린생활시설 신축공사(흙막이), (주)다솔엔지니어링(2020.1).
14. 안산사동 90BL 근린생활시설 흙막이 설계보고서 (주)서강토질(2020.5).
15. 안산시 사동 90BL 근린생활시설 신축공사 지반조사보고서, (주)서강토질(2020).
16. 안산시 사동 90블럭 주거복합 2구역 신축부지 지반조사보고서, (주)지에스이앤씨(2016.8).
17. 용인 물류센터 외벽붕괴 사고조사보고서, 국토교통부 건설사고조사위원회(2018.2).
18. 자이 센타프라자 신축공사 계측관리 보고서, (주)하나원엔지니어링(2021).
19. 지하굴착에 따른 붕괴유형의 고찰, International Symposium on Urban Geotechnics / Septe mber 25~26 , 2009/Incheon/Korea, 이중재외, pp.660~670.
20. 최신 흙막이 구조물 설계 및 시공, 제28회 한국지반공학회 지반굴착기술위원회 계속교육, 사단법인 한국지반공학회(2017).
21. 흙막이 시공관리의 주안점, SK 건축기술팀 류길상(2005).

22. 흙막시 가시설의 현황과 붕괴사례, 한국지반공학회 기술강좌(2019) 한국지반공학회 지반, Vol.35, No.4, pp.50-67
23. 흙막이 가시설의 설계 및 시방의 주요사항(2019) 한국지반공학회 지반, Vol.35, No.5, pp.44-58
24. 흙막시 가시설의 현황과 붕괴사례, 한국지반공학회 기술강좌(2019) 한국지반공학회 지반, Vol.35, No.6, pp.35-47