

시립발달장애인복지관 별관 증축공사

확 마 이 구 조 계 산 서

2022. 05.



제 출 문

귀사와 계약 체결한 '시립발달장애인복지관 별관 증축공사'중 흠막이 가시설 계획에 따른 구조검토를 성실히 수행 완료하고 그 성과를 본 계산서에 수록 제출합니다.

2022년 05월

(주) 지 에 스 지 이 엔 지
서울시 금천구 가산디지털1로 58, 1601호

TEL.02-6677-5678, FAX.02-6337-4725

대 표 이 사 이 성 만

토질 및 기초 정 태 역
기 술 사 (981550100120)



엔지니어링사업자 신고증

명 칭 (주)지에스지머엔지

대표자성명 이성민

소 제 지	서울특별시 금천구 가산디지털1로 58 에이스한솔타워 1601호	전화번호 (FAX,E-Mail)	02-6677-5678 02-6337-4725
-------	---------------------------------------	----------------------	------------------------------

신고번호 제 E-09-004966 호

엔지니어링업	기술부문	건설 등	1 개 부문
	전문분야	토착지질 등	1 개 분야

신고번호

엔지니어링 컨설팅업	기술부문	등	개 부문
	전문분야	등	개 분야

신고연월일 2019-04-05

「엔지니어링산업 진흥법」 제21조제1항 및 같은 법 시행규칙 제7조에
따라 위와 같이 신고하였음을 증명합니다.

원본대조필

2021년 02월 26일

한국엔지니어링협회장



98-1-130651
주 의 시 함

1. 국가기술자격증은 관계자의 요청이 있을 때에는 이를 제시하여야 합니다.
2. 갱신등록대상자는 등록 또는 갱신 등록의 유효기간 만료전 1년에서 30일 이내에 갱신등록을 하여야 하고 갱신등록을 하기 전에 보수교육을 받아야 합니다.
3. 국가기술자격취득자는 취소와 취업중인 사업체에 변동이 있을 때에는 이를 지체없이 신고하여야 합니다.
4. 국가기술자격증은 타인에게 대여하거나 이증취급을 하게되면 국가기술자격법 제18조의 규정에 의하여 1년이하의 징역 또는 500만원 이하의 벌금형을 받게 되며, 동법 시행령 제33조의 규정에 의하여 기술자격이 취소되거나 6월이상 3년이하의 기간동안 기술자격이 정지됩니다.
5. 기술자격이 취소, 정지된 자는 지체없이 기술자격증을 주무부장관에게 반납하여야 합니다.

국가기술자격증

등록번호 981550100120

성명 정태익

기술자격종목 및 등급 0390



토질 및 기초 기술사

주인등록번호 670917-1101615

주소 경기 수원시 권선구 당수동
218번지1호 10동5반
삼정아파트 206-1004

환적년월일 98년 10월 12일
등록년월일 98년 10월 12일
발령년월일 98년 10월 12일

한국산업인력공단 이사장

소장의 직인, 실인 또는 청인(청공)이 없는 것은 무효임.

원본대조필



목 차

1. 설 계 개 요	1
1.1 공사개요	1
1.2 현장위치 및 주변현황	1
1.3 과업부지 지반조건	2
2. 흙막이공법 검토	5
2.1 흙막이공법 선정시 고려사항	6
2.2 흙막이벽 공법비교	6
2.3 굴착공법과 흙막이 버팀형식	9
2.4 차수공법 비교	11
2.5 공법선정	12
2.6 흙막이 설계기준	12
2.7 토질정수 산정기준	19
3. 굴착공사에 따른 인접시설물의 영향검토	31
3.1 일반사항	31
3.2 지반굴착에 따른 주변지반 예상침하량	34
3.3 진동관리지침	37
3.4 소음관리지침	38
3.5 분진관리지침	42
3.6 지하수유출에 대한 대책	43
3.7 인접구조물에 대한 보강대책	44
3.8 지하매설물에 대한 보강대책	44
3.9 공사시 유의사항	47
3.10 피해예방 및 안전대책	47
4. 단면별 검토결과	48
4.1 굴착계획평면도	49
4.2 단면 A-A'(좌) 검토결과	50
4.3 단면 B-B'(좌) 검토결과	52

5. 계측관리 계획서	55
5.1 계측관리 목적	55
5.2 계측기 설치계획	57
5.3 계측기 항목 선정기준	60
5.4 계측기기의 선택 및 수량, 빈도	61
5.5 계측자료의 수집	62
5.6 계측관리 결과 및 자료분석	63
5.7 계측기기의 관리항목	65
5.8 평가 및 활용기법	69
5.9 관리기준 초과시 조치요령	74

6. PROGRAM OUTPUT

6.1 MIDAS GEOX PROGRAM OUTPUT

01 설계개요

1.1 공사개요

1.2 현장위치 및 주변현황

1.3 과업부지 지반조건

1. 설계개요

본 설계보고서는 『시립발달장애인복지관 증축공사』의 지하굴착 및 지하구조체 공사에 적용된 지하굴착 가시설 흙막이 구조물 검토를 목적으로 작성되었음.

본 현장의 주변현황 및 지반조건을 고려하여 합리적이고 경제적인 공법을 선정, 가시설 흙막이벽체 및 지보공법을 설계하였으며, 굴착시 흙막이 벽체의 거동으로 인한 영향을 해석하여 굴착공사로 인한 전반적인 지하구조체의 안정성을 검토하였음.

1.1 공사개요

- 1) 공 사 명 : 시립발달장애인복지관 별관 증축공사
- 2) 현장위치 : 서울특별시 동작구 여의대방로20나길
- 3) 지하굴착 공사개요 : 흙막이 가시설 공법

<표 1.1.1> 공사개요

구 분	내 용
■ 굴착 대상토질	지표로부터 매립토층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 보통암, 경암순으로 분포
■ 구간별 굴토심도	E.L.(+)8.49~14.59m (Hmax=8.59m, E.L.+17.55기준)
■ 구간별 벽체공법	H-PILE : H-300X200X9X14 (C.T.C 600~1,800, SHP275(w))
■ 구간별 지보공법	STRUT 공법 : H-300X300X10X15 (SS275)
■ 구간별 차수공법	S.G.R GROUTING (Ø500, C.T.C 400)

4) 작용프로그램

- Midas Geox Ver.480 (흙막이 탄소성해석)

1.2 현장위치 및 주변현황

1) 현장위치

주변현황	
동측	●보라매공원
서측	●여의대방로20나길
남측	●봉천로
북측	●보라매공원



1.3 과업부지 지반조건

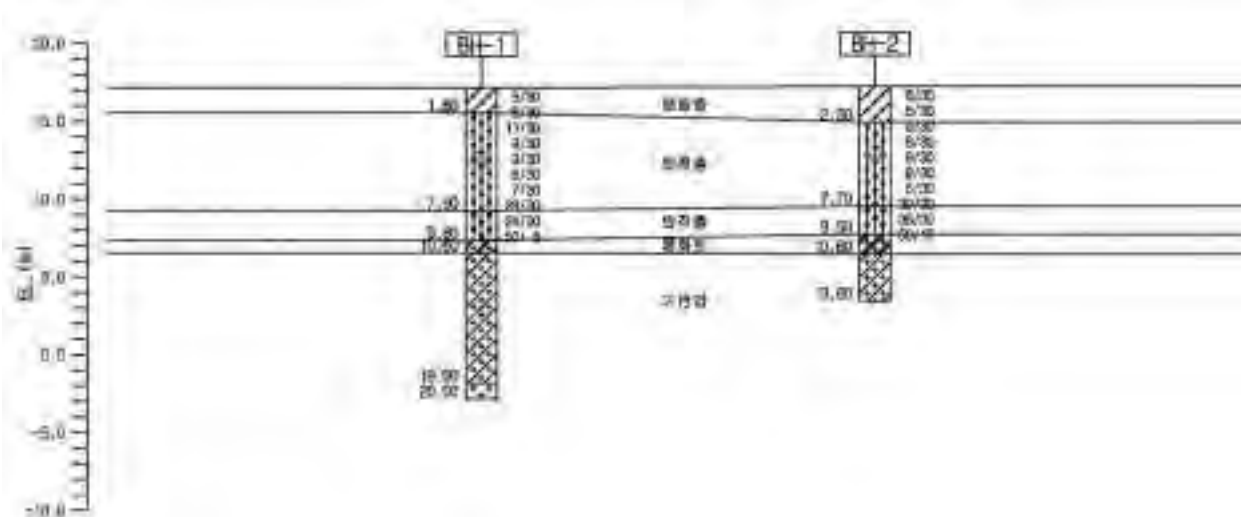
1) 지반조사 현황

과업지역에 분포하는 지층의 성상과 지층별 지반 공학적 특성, 토공 특성 등을 파악하기 위해 시추조사는 BH-4공을 시추하였다.

지반조사 위치도



지층 단면도



2) 지반조사 결과

조사된 지층은 상부로부터 매립층 풍화토층, 풍화암 순으로 구성되어 있다. 이에 대한 지층 분포특성은 아래 표와 같다.

공 번	매립층	퇴적층 (SM)	퇴적층 (GM)	풍화토	풍화암	기 반 압		합계
						보통압	경압	
BH-1	1.6	6.3	1.9	-	0.8	8.4	1.0	20.0
BH-2	2.3	5.4	1.8	1.8	-	3.0	-	13.8

3) 지층분포도

구 분	분 포 현 황
매 립 층	본 층은 지표하 1.6~2.3m 층후로 분포하며, 색조는 암갈색을 띤다. 구성 성분은 점토질 모래로 자갈이 일부 섞여 구성된다. 표준관입시험결과 N값은 5/30~6/30으로 N값 대비 상대밀도는 느슨한 상태를 보이며, 함수상태는 습윤 상태를 보인다.
퇴 적 층	본 층은 모래, 자갈, 점토 등의 하천 퇴적물에 의한 층적층으로 매립층 하부에 분포하고 본 조사지역에서 모래, 자갈로 확인된다. - 모래 : 매립층 하부에서 5.4~6.3m 층후로 분포한다. 색조는 암갈색을 띠며, 구성성분은 실트질 모래이나 하부로 갈수록 중·조립 모래의 함량이 높게 나타난다. 표준관입시험 결과 N값은 5/30~11/30(회/cm)로 N값 대비 상대밀도는 느슨~보통조밀한 상태를 나타내며, 함수상태는 습윤 상태를 보인다. - 자갈 : 퇴적 모래층 하부에서 1.8~1.9m 층후로 분포한다. 색조는 암갈색을 띠며, 구성성분은 실트 및 모래섞인 자갈로 나타난다. 표준관입시험 결과 N값은 24/30~38/30(회/cm)로 N값 대비 상대밀도는 보통조밀~조밀한 상태를 나타내며, 함수상태는 습윤 상태를 보인다.
풍 화 토	풍화토층은 BH-2 시추공 심도 9.5m에서 1.3m 층후로 확인되고 색조는 암갈색을 띠며 구성성분은 실트질 모래이다. 표준관입시험 결과 N값은 50/17(회/cm)로 매우조밀한 상대밀도를 보이고 함수상태는 습윤 상태를 보인다.
풍 화 암	풍화암층은 N값 50/10(회/cm)이상의 매우조밀한 상대밀도를 보이는 풍화대로서 매우 견고한 지반으로 BH-1 시추공의 지표하 9.8m 심도에서 0.8m의 층후로 분포하고 색조는 암갈색을 띠며, 굴진시 실트질 모래로 분해된다. 풍화암층의 N값은 50/5의 범위를 보이며, 풍화도는 완전풍화 상태를 나타낸다.
기 반 암	- 보통암 : 지표하 10.6~10.8m 심도에서 출현하며, 색조는 암회색을 띠나 조금씩 차이는 존재하고, 풍화도는 심한풍화~약간풍화 상태를 나타내며, 강도는 약함~강함 정도를 보인다. TCR(전체코아회수율)은 73~89%, RQD(암질지수)는 26~36%이다. - 경암 : 경암층은 BH-1 시추공에서 확인되고 지표하 19.0m 심도에서 출현한다. 색조는 암회색을 띠고, 풍화도는 보통풍화~신선 상태를 나타내며, 강도는 보통강함~매우강함 정도를 보인다. TCR(전체코아회수율)은 85%, RQD(암질지수)는 63%이다.

4) 지하수위 측정결과

공 번	공내 지하수위(m)			해당 지층	비고
	24시간 경과	48시간 경과	72시간 경과		
	GL(-)	GL(-)	GL(-)		
BH-1	4.4	4.7	4.7	퇴적층	
BH-2	4.3	4.4	4.5	퇴적층	

02 **흙막이공법 검토**

2.1 흙막이공법 선정시 고려사항

2.2 흙막이벽 공법비교

2.3 급속공법과 흙막이 비탈형식

2.4 차수 공법 비교

2.5 공법선정

2.6 흙막이 설계기준

2.7 토질정수 설계기준

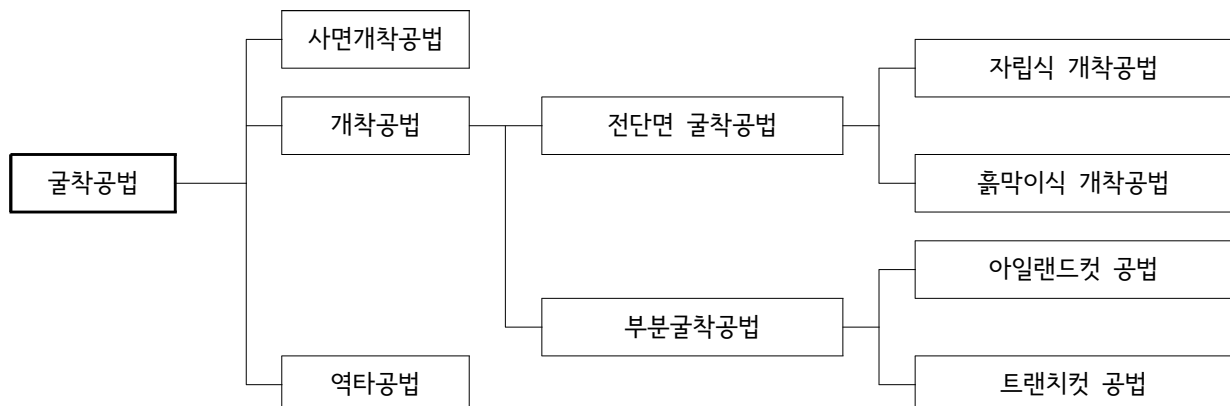
2. 흙막이공법 검토

- 1) 지하굴착공사 공법 선정은 흙막이벽의 안정성, 경제성 및 시공성을 고려하여 결정되어야 함.
- 2) 또한, 도심지에서의 굴착과 같이 기존 구조물이나 건물이 근접하여 있을 때에는, 흙막이벽 자체의 안전 뿐만 아니라 인접건물에 대한 안정성도 확보되어야 하며, 침하, 균열 등을 방지할 수 있는 공법이어야 함.
- 3) 이러한 목적을 위하여 흙막이공법과 굴착공법을 비교·검토하고 현장여건을 감안하여 최적의 공법이 선정될 수 있도록 하여야 함.

○ 공법 선정시 고려되어야 할 일반적인 검토항목 및 굴착공법의 종류는 다음과 같음.



[그림 2.1] 흙막이 설계시 고려사항



[그림 2.1] 굴착공법의 종류

2.1 흠막이공법 선정시 고려사항

흠막이공법 선정에 있어 먼저 다음과 같은 항목에 대해 조사 검토를 한 후, 결과를 분석하여 형식을 선정해야 함.

1) 설계목적의 검토

- ① 토질에 알맞은 토류벽 형태 적용
- ② 토류벽체 시공 및 암반 굴착공사시의 진동 및 소음의 영향
- ③ 암반을 포함한 지층상태와 지하층 깊이와의 관계
- ④ 시공의 난이도와 경제성(주변의 과잉 침하에 따른 손해 배상 포함)
- ⑤ 굴착 깊이와 토류벽체의 근입깊이 설계(지지층과 불투수성까지 연장필요성 검토)

2) 지형에 대한 검토

- ① 지형조건
- ② 인접구조물의 유무
- ③ 지형의 고저차
- ④ 자재 운반로의 유무

3) 자질 및 토질에 대한 검토

토류구조물의 설계를 위한 지반조사는 본체구조물과 함께 실시하는 것이 일반적이나, 필요에 따라 본체 설계와는 별도 관점에서 조사함. 엄지말뚝방식, 널말뚝방식에서는 지표면 가까운 지층의 역학적 성질, 지하수의 높이, 지하수량 등이 중요하지만 본체 구조물에서는 지지층의 지내력이 중요함. 특히, 연약지반에 있어서는 지반조사는 물론 유사지반의 시공 실적을 참고하는 것이 좋음.

4) 인접구조물에 대한 검토

- ① 기존구조물의 기초형식 및 근입깊이
- ② 토류구조물과 기존 구조물의 상호관계
- ③ 토류구조물안정에 영향을 줄 것으로 예상되는 범위내의 지반성질
- ④ 공사가 진행됨에 따라 지하수위 저하에 따른 인접지반의 침하

2.2 흠막이벽 공법비교




- 1) 지하 흠막이 공법의 선정은 경제성은 물론 안전한 지하공사의 진행과 공기, 시공성등 모든 여건을 공통적으로 만족 할 수 있어야 함.
- 2) 기초 터파기의 깊이 및 지반상태, 벽체를 지지시키는 방법에 따라서 내부 토공사로 인한 지반의 거동 및 흠막이벽의 안정성에 영향을 미침.
- 3) 또한, 흠막이 공사로 인한 지반침하는 시공면적과 관련 지을 때 깊이에 따라 밀접한 관계가 있음. 이것은 인접대지 건물의 재산권과 공익시설의 위험부담 면적증가도 포함됨.
- 4) 지하 터파기시에 흠막이벽 외부의 수위는 급격히 저하되는데 깊이가 깊을수록 영향을 미치는 반경 또한 증가되고 지하수위 저하의 결과가 침하에도 영향을 미침.
- 5) 침하가 적을지라도 깊은 기초파기가 형성되는 지층의 총 침하량을 최소화해야함.

○ 흠막이 벽체의 개요 및 장·단점 비교표는 다음과 같음.

<표 2.2.1> 흠막이벽체 공법비교표(1)

구분 종류	공법개요	장점	단점	적용
엄지말뚝 + 목재 흠막이판 공법	천공후 H-PILE PILE을 근입 한 후, 단계굴착과 동시에 나무널말뚝을 엄지말뚝 사이 에 끼워서 토사의 붕괴를 막으며 굴착하는 공법	<ul style="list-style-type: none"> •공사비 저렴 •강재의 재사용가능 •굴토중 취약부의 목재 흠막이판 두께조절로 보강 가능 •개수성 공법으로 수압이 작용하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> •배면부 토사이완으로 인접한 구조물의 피해 우려됨 •차수성이 없음 •투수성이 큰 지반에서는 별도의 차수공법이 요구됨 •보일링 및 히빙 현상이 발생하기 쉬움 	●
C.I.P공법	로터리 보링기로 천공하여 안정액으로 공벽을 보호하고 콘크리트를 타설하여 토류 벽체를 형성한 후 굴착하는 공법	<ul style="list-style-type: none"> •지반의 종류에 무관 •협소한 장소에도 장비 투입 가능 •강성이 커서 배면수의 수평 변위 억제가 가능 •저진동, 저소음 	<ul style="list-style-type: none"> •비교적 고가 •공과 공사와의 이음부 취약 •공내 슬라임 발생 •암반 천공 난이 •보조차수공이 요구됨 	
Sheet Pile공법	바이프로 함마에 의한 SHEET PILE 압입	<ul style="list-style-type: none"> •차수 및 벽체강성이 큼 •지반침하 및 안정성 양호 •차수성은 매우 양호 	<ul style="list-style-type: none"> •적용연장이 짧으면 비경제적임 •타입시 소음이 비교적 큼 	
S.C.W공법	Auger에 의한 천공 인발시 중공 Rod를 통해 시멘트 밀크를 주입하면서 원지반과 교반H-Pile or 강관삽입	<ul style="list-style-type: none"> •시공속도가 빠르다. •시공관리가 용이함 •토류벽체의 선시공 후 굴착 으로 초기 변위를 최소화 할 수 있다. •차수가 동시에 이루어짐 •진동 및 소음이 적다. 	<ul style="list-style-type: none"> •하부 견고한 지반에는 시공이 어렵다. •SC/W자체로서 강성이 적으므로 H-Pile이 비교적 소요된다. 	
지하연속벽 공법	패널 천공기로 좁고, 깊게 굴착하고 슬러리 안정액을 투입하여 공벽을 보호하고, 철근망 건입후 콘크리트를 타설하여 지중에 연속벽체를 형성후, 굴착하는 공법	<ul style="list-style-type: none"> •주변 위해 최소화 •본체 구조물로 사용 가능 •벽의 강성을 자유롭게 조절 이 가능 •차수성이 크고 심도조절이 쉬움 	<ul style="list-style-type: none"> •高價의 공법 •고난도의 기술을 요함 •시공회사가 한정됨 •철저한 품질관리가 요구됨 	
숏크리트 공법	굴착 후, 빠른 시간내에 압축공기를 이용하여 모르 타르나 콘크리트를 붓어붙여 벽체를 형성	<ul style="list-style-type: none"> •암반표면에 밀착하여 표층 암반과 일체화되어 이완 방지 •표면암반의 풍화방지 •급결재에 의하여 조기에 강도 발휘 •거푸집이 필요 없고 급속 시공 가능하며 시공성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> •리바운드로 인한 재료손실 발생 •작업시 먼지 발생 •면이 고르지 못하고 수밀성 적음 	

<표 2.2.2> 흙막이벽체 공법비교표(2)

구분	H-PILE+토류판 공법	CIP 공법	SLURRY WALL 공법
공법개요	천공기로 천공하여 H-PILE을 삽입하고, 굴착하면서 토류판을 설치하는 공법	지중을 오거 또는 T-4로 천공하여 철근망과 PILE을 삽입한 후 콘크리트를 타설하여 연속벽체를 형성하는 공법	지중에 크고 깊은 Tranch를 만들어 Bentonite 용액으로 지반안정을 한 후 굴착하고, 굴착된 곳에 조립된 철근을 삽입하여 콘크리트를 타설하고 지중에 벽체를 형성하는 공법
개요도			
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동 영향 적음 자재 재사용 가능 시공이 간단하며 경험이 풍부함. 차수성 벽체시 차수 필요 벽체 변형이 큼. 토사유출 가능성 있음 토류판과 지반의 여굴로 주변지반 침하우려 	<ul style="list-style-type: none"> 벽체강성이 커 배면지반의 변위를 최소화하여 굴착시 인접건물에 영향이 적음 불규칙한 굴착 평면형태에 적용성 우수 협소한 현장에서도 시공 가능 C.I.P간 연결성 불량 및 수직도 관리필요 별도의 차수공법 필요 깊은 굴착시 시공시 재료분리 우려 	<ul style="list-style-type: none"> 벽체강성 및 차수성이 좋음 단면의 강성이 크므로 대심도 굴착시 영구벽체로 사용가능 굴착에 따른 지표침하 최소 공사비 고가 및 장비규모가 큼 철저한 시공관리 요망 협소한 공간에서 장비거치 문제 PANEL 이음부 연결시 하자발생 요인이 많음
현장 적용성	<ul style="list-style-type: none"> 시공실적이 풍부하고 경제적이며 현장여건상 연암의 조기출현으로 H-Pile 토류판 공법을 적용함 	<ul style="list-style-type: none"> 시공성, 가시설 구조물 안정성이 우수하고 별도의 차수공법이 필요하나, 인접건물 및 도로부의 굴착에 의한 영향을 최소화 할 수 있어 강성벽체인 본 공법의 적용성이 가장 우수할 것으로 사료되어 적용 채택 	<ul style="list-style-type: none"> 벽체강성이 우수하여 배면에 침하 발생이 최소화 하여 도심지 굴착에 적합하나 본 현장은 공간이 협소하여 대형장비 반입이 불가하며. 굴착 하부에 암반이 출현하여 시공 능률이 저하가 예상되므로 적용 공법에서 제외
적용	○		

2.3 굴착공법과 흙막이 버팀형식

1) 버팀방법의 선정기준

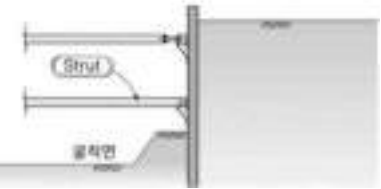


버팀방법의 선정시 흙막이벽의 선정과정과 크게 다르지 않으나, 지지방법에 따른 강성과 강도, 내부 토공계획, 토공시 지반상태, 벽체를 지지하는 방법에 따른 안정성, 공기 등을 감안하여 본 공사의 버팀방법을 선정하였다.

2) 굴착공법에 따른 흙막이 버팀형식 공법비교는 다음과 같다.

<표 2.3.1> 흙막이버팀형식 공법비교표(1)

공법종류	공법기요	특 정		작용
		장 점	단 점	
O P E N C U T 공 법	(경사) 버팀대 공법	<ul style="list-style-type: none"> •재질이 균일하여 신뢰할 수 있음 •시공이 간단함 •재사용이 가능하여 경제적임 	<ul style="list-style-type: none"> •강재의 수축이나 접합부의 취약 •강재종류 및 평면계획에 안정성이 있다 	○
	그라운드 앵커공법	<ul style="list-style-type: none"> •굴착 및 지하구조물의 작업능률이 양호함 •굴착 평면 및 단면계획이 자유로움 •Pre-Stress를 가하기 때문에 주변 지반의 침하를 최소화 할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> •G/Anchor를 설치할 여유 공간이 필요함 •대지 밖으로 시공되는 앵커의 경우 사전에 소유자의 동의를 구해야 하며, 그에 따른 민원 발생의 여지가 있음 	
	사면 개착 공법	<ul style="list-style-type: none"> •토류벽, 버팀을 필요로 하지 않는 경제적인 공법임 •공기가 비교적 빠름 	<ul style="list-style-type: none"> •넓은 부지를 필요로 함 •연약지반의 경우 깊은 굴착에 부적합 •되메우기 토량이 많음 	
	쏘일 네일링 공법	<ul style="list-style-type: none"> •별도의 흙막이벽체가 필요 없으며, 쇼크리트 전면판을 설치함. •충격, 진동하중등에 유연하게대처 할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> •상대적 변위가 크게 발생 •토질조건에 제한이 있음 	
슬래브 지지공법	지하층의 벽체, 슬라브 및 보를 상방향에서 하방향으로 구축하면서 굴착하고 동시에 상부 구조물을 축조하는 방법	<ul style="list-style-type: none"> •건물본체를 흙막이벽체로서 이용하므로 주변영향이 거의 없음 •지중굴착공사와 지상구조물공사가 병행되므로 공기가 단축됨 •가설 재료가 적게 든다. 	<ul style="list-style-type: none"> •작업공종이 복잡하므로 시공능률 저하됨 •슬라브와 벽체의 연결부의 처리가 문제됨 •밀폐공간상 작업이 되므로 작업 환경이 취약함 •건축물의 방수처리가 어려움 	
Island 공법	개착공법과 버팀공법을 조합한 공법으로 굴착평면 주변에 흙막이벽체를 형성 내측에 비탈면을 남기고 중앙 부분의 굴착 구조물을 구축하여 흙막이벽과의 버팀을 설치한 후, 나머지 부분을 굴착하는 공법	<ul style="list-style-type: none"> •대단면 굴착에 유리 •히빙방지에 유리 •장변 버팀보의 단점을 방지 •대지 경계면 가까이 까지 지하부분 시공가능 	<ul style="list-style-type: none"> •작업공정이 복잡함 •소규모 굴착에는 작업성이 떨어짐 •주변부시공시 공간의 협소로 작업성이 떨어짐 •주변부시공시 굴착 및 배수에 대한 사전계획수립이 요구됨 	
Trench 공법	Island 공법의 비탈면을 남기는 결점을 개선한 공법으로 구조물의 외주부를 버팀대 공법으로 흙막이하여 건물의 본체를 구축한 후, 이를 흙막이로 이용 내부를 굴착 후 지하의 본 건물 구조체를 완성하는 공법	<ul style="list-style-type: none"> •대단면 굴착에 유리 •Heaving 방지에 유리 •장변 Strut의 단점을 방지 •대지 경계면에 근접하여 지하부분 시공 •중앙 부분을 작업 공간으로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> •공정이 복잡하다 •소규모 굴착에는 작업성이 떨어짐 •주변부시공시 공간의 협소로 작업성이 떨어짐 •이중으로 흙막이벽이 설치됨 	

<표 2.3.2> 흙막이버팀형식 공법비교표(2)

구 분	버팀보(Strut)	앵커(Earth Anchor)	건축 슬래브(Slab) 지지
개요도			
시 공 개 요	<ul style="list-style-type: none"> •토류벽체 시공 •단계별 굴착 후 피장 설치 •버팀대 거치 •유압잭을 이용하여 버팀대에 Prestress를 가함 	<ul style="list-style-type: none"> •토류벽체 시공 •단계별 굴착 후 피장 설치 •어스앵커 시공을 위한 천공 •앵커체 삽입 및 그라우팅 주입 •앵커체 인장, 정착 	<ul style="list-style-type: none"> •토류벽체 시공 •굴착전 기둥(철골기둥) 및 말뚝시공 •단계별 굴착 후 본 구조물(Slab 또는 철골 보) 설치
적 용 조 건	<ul style="list-style-type: none"> •굴착규모가 중규모 이하로써 평면 형상이 사각형 일 때 적용 •외부용지에 여유가 없을 때 	<ul style="list-style-type: none"> •굴착면적이 넓을 때 •양호한 앵커체 정착지반이 있고 지하수위가 높지 않을 때 	<ul style="list-style-type: none"> •지상 및 지하층 공사를 동시에 진행시 또는 지하층 공사 완료 후 지상층 공사를 진행시 적용
적 용 토 질	<ul style="list-style-type: none"> •연약한 점토 또는 느슨한 상태의 매립, 퇴적 사질토 지반에 대해 적용성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> •보통조밀한 상태~매우 조밀한 상태의 토층 •풍화암 또는 암반층지지 가능 	<ul style="list-style-type: none"> •모든 토질에 적용 가능
장 점	<ul style="list-style-type: none"> •굴착면적이 좁고 깊을 때 유리, 연약한 지반도 시공가능 •자재를 재사용, 경제적 •비교적 변형이나 파괴를 조기에 판별 가능 •시공후 보강이 용이 함 	<ul style="list-style-type: none"> •작업공간이 넓어 기계화 시공이 가능, 공기가 단축 •앵커의 국부적인 파괴가 토류구조물 전체의 파괴로 이어지지는 않음 	<ul style="list-style-type: none"> •가설 버팀보 대신 본구조 철골 프레임 또는 Slab를 이용하므로 공정 단순, 공기단축 가능 •별도의 복공 불필요 •가설 지지체 해체공정 불필요 •지지체 공간 확보에 따른 장비의 작업성 향상
단 점	<ul style="list-style-type: none"> •굴착평면의 크기에 제한 (1번의 길이 50~60m한도) •버팀보가 내부의 굴착 및 구조물 공사에 지장을 줌 •시공상 초기 버팀대 설치가 어려워 배면 변형 초래 	<ul style="list-style-type: none"> •천공시 지하수 유입에 의한 지하수위 저하 •ANCHOR 설치시 부지 지주의 동의 요함 •주변에 지하구조물이나 매설물이 있을 때 시공 불가 	<ul style="list-style-type: none"> •건축구조 설계 및 지하 흙막이벽설계가 동시에 진행 되어야 함 •정밀시공 및 엄격한 품질관리 요구 •하자발생시 보수, 보강이 어려움 (추가 보수 보강 비용 증가) •Ramp 및 Open 구간에서는 가설 구조체 필요
적 용	○		

2.4 차수공법 비교

가) 흙막이 차수공법 공법비교표

<표 2.4.1> 흙막이 차수공법 공법비교표

구분	LW 공법 (Labile Water Glass)	S.G.R 공법 (Space Grouting Rocket System)
공 법 개 요	<ul style="list-style-type: none"> •약액이 상부로 분출하는 것을 방지하기 위하여 외관과 원지반간을 Seal그라우팅하고 더블 패커로 임의의 심도로부터 주입하는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> •천공후 자중에 이중관을 설치하고 주입시 특수첨단장치에 의한 저압주입으로 현지반에 균일하게 주입한다. 큰 공극을 위한 주입목적의 급결체와 침투주입을 위한 완결체 주입을 지반에 따라 복합주입 비율을 조정하여 한정주입이 되도록 하는 공법
시 공 순 서	<ol style="list-style-type: none"> ① 소정의 심도까지 천공하고 케이싱을 동시 삽입 ② 맨젯 튜브를 삽입 ③ Seal재 그라우팅 ④ 케이싱 인발 ⑤ Seal재 양생 (24시간) ⑥ 목표한 대상구간에 그라우팅 	<ol style="list-style-type: none"> ① 이중관 ROD에 의한 천공 ② 특수선단장치(Rocket)작동 ③ 주입(상승시 Step주입)
주 입 재 료	<ul style="list-style-type: none"> •시멘트 + 혼화제 (A액:물유리용액, B액:경화제) 	<ul style="list-style-type: none"> •Grout 약액 + Cement
공 법 장단점	<ul style="list-style-type: none"> •취급이 간편하고 공사비 저렴 •장비가 소규모로 작업공간 작음 •시공실적이 많음 •시멘트 주입시 선단장치 막힘 발생 •주입효과를 높이기 위한 관리가 어려움 •장기간 경과시 내구성 저하 (용탈현상 발생 가능) 	<ul style="list-style-type: none"> •모든지반에 차수 및 지반보강이 가능하다. •급결(6-12초), 완결(60-120초) 주입재의 Gel Time을 조절하여 한정주입이 가능하다. •지반파악, 주입재 Gel Time과 공법에 대한 숙련공을 요함 •약액의 용탈현상으로 내구성 약함 •사력층에서는 주입효과가 떨어진다.
적 용 토 질	<ul style="list-style-type: none"> •점토질을 제외한 모든 지질 •사질지반에서 매우 우수 	<ul style="list-style-type: none"> •점토질을 제외한 모든 지질 •사질지반에서 매우 우수
적 용		○

2.5 공법선정

1) 굴착 및 지층현황

본 현장의 굴착은 Hmax=8.59m까지 이루어지며, 지반조사 결과를 통해 지층조건은 상부로부터 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 보통암, 경암의 순서로 이루어져 있음을 확인하였다. 지하수위는 지표하 GL-4.50m~4.70m에 풍화토에 위치하는 것으로 조사되었다.

2) 흙막이 벽체 공법의 선정

본 현장은 지하 1층으로 소규모 굴착에 해당하여, 주변에 도로 및 건물로 이루어져 있어 시공성 및 현장 여건 등을 고려하여 시공 실적이 풍부하고 경제적인 흙막이 벽체 공법인 H-PILE+토류판 공법을 적용하였다.

3) 흙막이 지보 공법의 선정

본 현장은 굴착 면적이 작으며, 주변에 도로 및 건물이 위치한 여건을 고려하여 타 대지 침범이 없이 안정성 확보가 가능하고, 이상 변위 발생 시 보수 보강이 용이한 내부지보 방식인 STRUT 공법을 적용하였으며, 2차 시공 구간인 연결통로는 대지경계 여유가 있어 OPNE CUT 공법을 적용하였다.

4) 흙막이 차수 공법의 선정

본 현장은 사업부지 내 지반조사를 근거로 시공성이 용이하고, 그라우트 품질 확보가 우수한 S.G.R 그라우팅 공법을 적용하였다.

5) 굴착공법의 선정

구 분	공 법	비 고
벽 체 공 법	H-PILE+토류판 공법	H-300×200×9×14 (C.T.C 600~1,800)
지 보 공 법	STRUT 공법	H-300×300×10×15
차 수 공 법	S.G.R 그라우팅 공법	Ø500, C.T.C 400

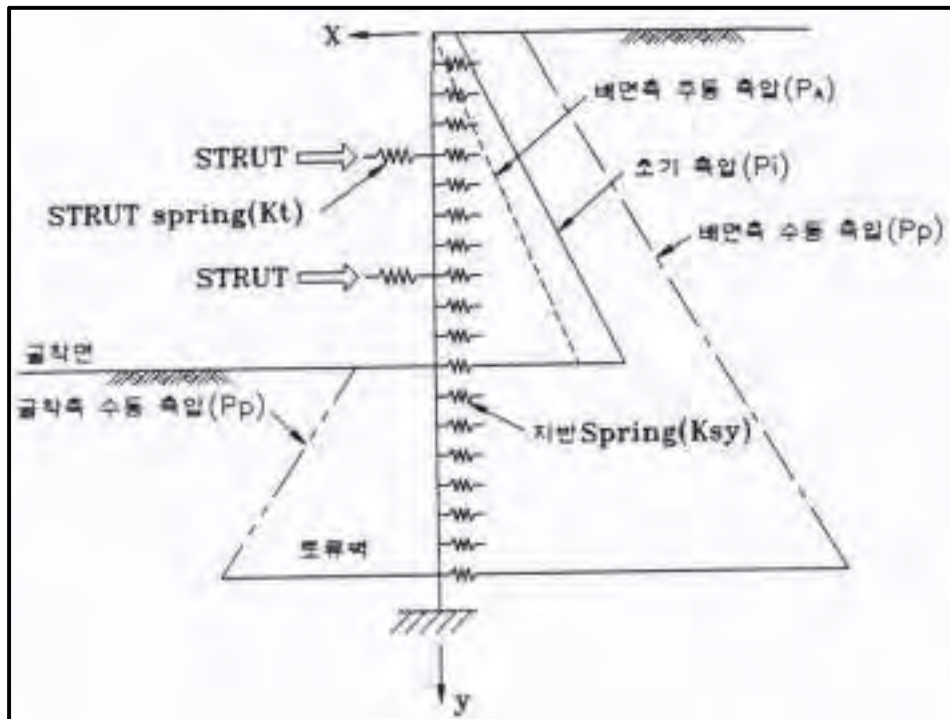
2.6 흙막이 설계기준

1) 흙막이 구조물 해석방법

가) 흙막이탄소성해석

Project에 사용된 구조해석 Program은 “Midas Geox Program Ver.480” 으로서 단계별 지하 굴착에 대한 탄소성 해석 프로그램임.

본 Program은 탄,소성 Beam-Spring Model 로서 단계별 굴착과 지보공에 따른 흙막이벽의 변위, 전단력, 휨 모멘트 및 지보공의 축방향력을 계산함.



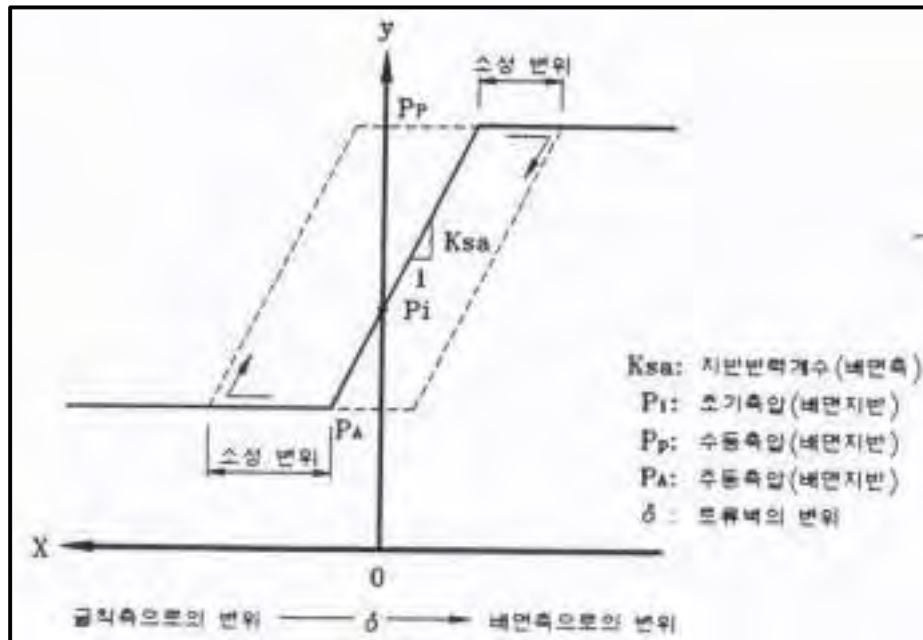
<그림 2.5.1> 기본구조 Model

본 Model 에서 하중과 변형에 대한 기본식은 다음과 같이 표시됨.

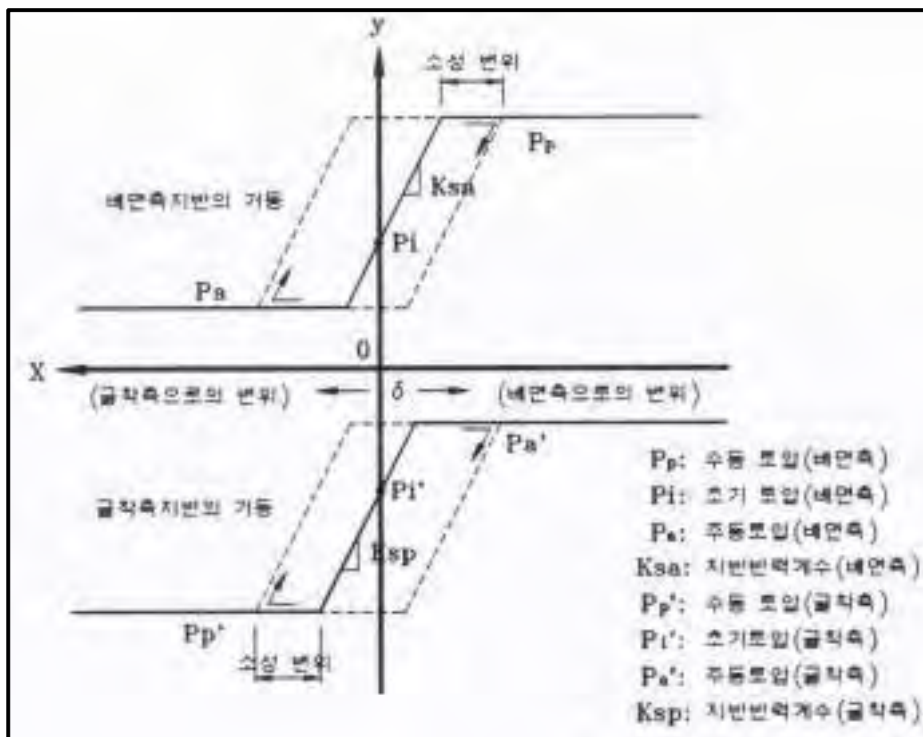
$$EI \frac{d^4x}{dy^4} + \frac{A \cdot E'}{L} x = P_i - K_s x \quad \dots\dots\dots (\text{식 } 1)$$

- 여기서
- E : 흙막이 벽체의 탄성계수
 - I : 흙막이 벽체의 단면 2차 Moment
 - A : 지보공의 단면적
 - E' : 지보공의 탄성계수
 - L : 지보공의 길이
 - Pi : 초기토압(주로 정지토압이 사용됨)
 - Ks : 지반의 수평방향 지반반력계수
 - X : 깊이 y지점에서의 벽체의 x 방향변위

굴착심도 이상부분 및 굴착심도 이하부분에서의 변위와 탄소성관계는 각각 다음 그림과 같음.



<그림 2.5.2> 굴착면 이상부분의 지반 Spring 거동



<그림 2.5.3> 굴착면 이하부분의 지반 Spring 거동

(아래 식)의 좌변에서 보는 바와 같이 계산 초기에 작용시킨 토압 P_i 는 벽체의 변위에 1차적으로 비례하여 증감됨. 그러나, 이 토압은 “변위 - 탄소성관계” 그림에서 보는 바와 같이 주동토압과 수동토압의 범위(최소 및 최대한계치)이내에 있어야 하며, 그 범위를 벗어나는 변위가 발생할 때의 토압은 한계토압으로 되고 지반 반력계수를 0(Zero)으로 한 후 반복계산이 계속됨. 그전 반복계산시의 토압과 현재 계산시의 토압의 차이가 미리 정해둔 오차이내 일 때 계산을 종료함.

탄소성 해석에서의 기본 원칙과 가정은 다음과 같음.

지보공 설치지점의 수직벽에는 지보공의 수평간격, 단면적, 길이, 재료의 탄성계수로 구해지는 탄성 Spring 지점이 부가됨.

$$K_{\text{support}} = \frac{A \times E}{L \times \text{Space}} \times \cos(\theta)$$

위의 지보공에 대한 탄성지점은 그 지보공이 설치될 때 이미 발생되었던 변위량에 해당하는 선행변위를 가지는 것으로 고려됨.

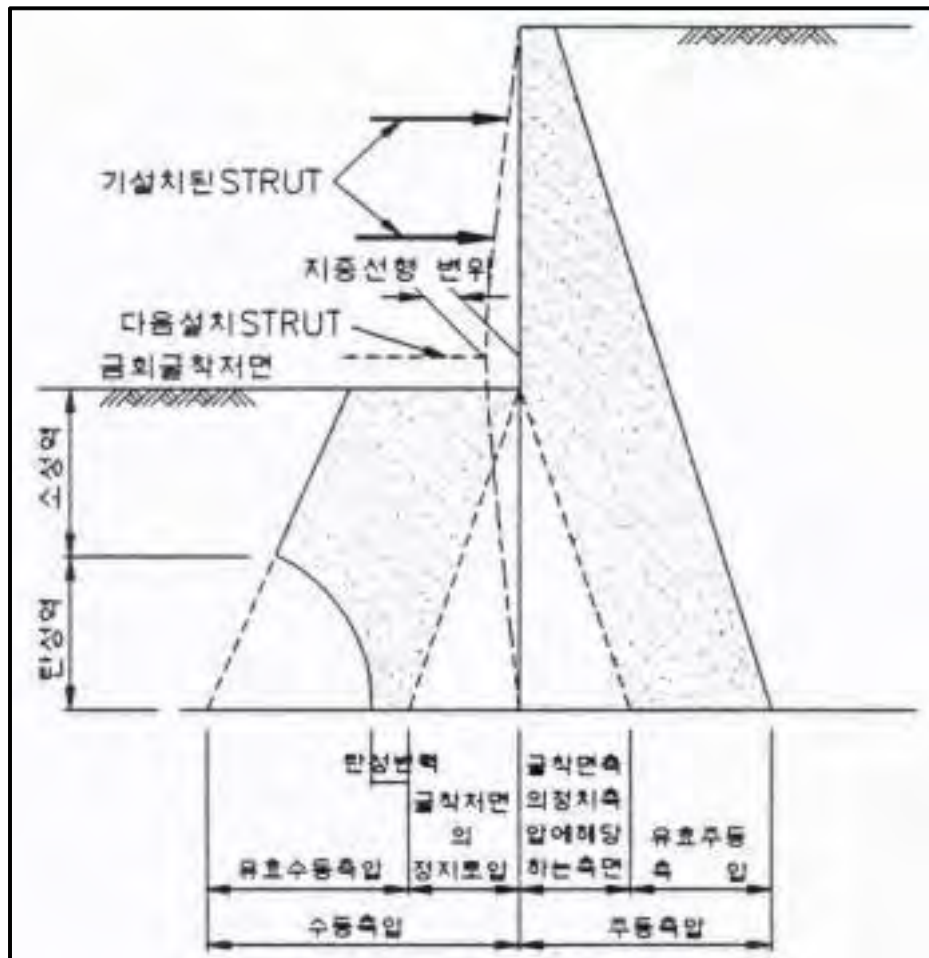
각 굴착단계에서 작용토압은 계산초기에 정지토압을 작용시키고 토류벽체의 변위에 1차 비례하여 수정되나 다음과 같은 한계를 넘지 않는다.

초기토압 : P_i

수정토압 : $P_i \pm K_{\text{soil}} \times \text{displacement}$

한계토압 : 주동토압 \leq 토압 \leq 수동토압

위의 범위를 벗어나는 조건이 될 때 토압은 한계토압으로 되며 지반의 Spring 상수는 0으로 수렴.



<그림 2.5.4> 탄소성법에서의 변위와 토압

2) 흙막이 구조물 설계기준 및 일반사항

가) 설계 적용기준 및 제원

○ 토류벽용 가설구조 강재의 적용허용 응력

토류벽에 사용하는 강재(SS400)는 가설재임을 고려하여 장기 허용응력의 1.5배를 취하며, 용접이음의 허용응력은 현장용접이므로 장기허용응력의 90%를 적용한다. 도로교시방서의 강교편에 수록된 설계계산에 사용되는 물리계수 및 허용응력을 표로서 나타낸 것임.

<표 2.5.1> 설계계산에 사용되는 물리계수

종 류	물 리 계 수
강재 및 주강의 탄성계수	21 x 10 ⁵ N/cm ²
주철의 탄성계수	10 x 10 ⁶ N/cm ²
강재의 전단탄성계수	10 x 10 ⁶ N/cm ²
강재 및 주강의 포아송비	0.30
주철의 포아송비	0.25

<표 2.5.2> 허용응력의 증가계수

구 분	하 중 외 조 합	증가계수
1	주하중(P) + 주하중에 해당하는 특수하중	1.00
2	주하중(P) + 주하중에 해당하는 + 온도변화의 영향(T)	1.15
3	주하중(P) + 주하중에 해당하는 + 풍하중(W)	1.25
4	주하중(P) + 주하중에 해당하는 + 온도변화의 영향(T) + 풍하중(W)	1.35
5	주하중(P) + 주하중에 해당하는 특수하중 + 제동하중 (BK)	1.25
6	주하중(P) + 주하중에 해당하는 특수하중 + 강재에 대하여 ℒ 철근콘크리트에 대하여 + 충돌하중 (CO)	1.70 1.50
7	풍화중(W)만 고려할 때	1.20
8	제동하중(BK)만 고려할 때	1.20
9	사하중(D) + 지진의 영향(EQ) + 온도변화의 영향(T) + 프리스트레스 의 영향(PS+PCR+PSH) + 크리이프의 영향(CR) + 건조수축의 영향 (SH)	1.70
10	가설시 하중(ER) 가)	1.25

주 : 가) 가설할 때의 하중에 대한 증가계수는 가설시에 대한 계산에 사용되는 여러 조건이
본 구조물에 대한 계산에 사용되는 여러 조건과 같은 정밀도를 갖는 경우에 적용.

<표 2.5.3> 부재별 허용응력 (MPa)

종 류		일반구조용 압연강재 SS-400, SM400, SMA490	SM490	비 고
축방향 인장 (순 단면적)		210	285	140×1.5 = 210 190×1.5 = 285
축방향 압축 (총 단 면)		$\ell / r \leq 20$ 인 경우 210	$\ell / r \leq 15$ 인 경우 285	ℓ (cm) : 유효 좌굴장 r (cm) : 단면 2차 반경
		$20 < \ell / r < 93$ 인 경우 210-1.30 (ℓ / r -20)	$15 < \ell / r < 80$ 인 경우 285-1.95 (ℓ / r -16)	
		$93 \leq \ell / r$ 인 경우 $1,800,000/6,700+(\ell / r)^2$	$80 \leq \ell / r$ 인 경우 $1,800,000/5,000+(\ell / r)^2$	
휨 응 력	인 장 연 (순 단 면)	210	285	ℓ (cm) : 플랜지의 고정점간의 거리 b (cm) : 압축 플랜지의 폭
	압 축 연 (총 단 면)	$\ell / b \leq 4.5$ 인 경우 210	$\ell / b \leq 4.0$ 인 경우 285	
		$4.5 < \ell / b \leq 30$ 인 경우 210-3.6(ℓ / b -4.5)	$4.0 < \ell / b \leq 30$ 인 경우 285-5.7(ℓ / b -4.0)	
전 단 응 력 (총 단 면)		120	165	
지 압 응 력		315	420	강관과 강관
용 접 강 도	공 장	모재의 100%	모재의 100%	
	현 장	모재의 90%	모재의 90%	

<가설 흙막이 설계기준 KDS 21 30 00: 2020>

<표 2.5.4> 고장력 볼트의 허용응력 (MPa)

고장력 볼트의 종류	인장(F_t , Mpa)	전단(F_v , Mpa)	비 고
F8T	250	120	
F10T	310	150	

<강구조면 연결 설계기준 KDS 14 30 25: 2019>

나) 흙막이구조를 설계시 적용되는 안전율

<표 2.5.5> 적용 안전율

조 건			기 준 치	비 고
지반의 지지력			2.0	극한지지력에 대하여
활 동			1.5	활동력(슬라이딩)에 대하여
전 도			2.0	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사 면 안 정			1.1	1년 미만 단기안정성
근입깊이			1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부의 안정	보일링	가설(단기)	1.5	사질토 대상 단기는 굴착시점을 기준으로 2년 미만임
		영구(장기)	2.0	
	히 빙		1.5	점성토
지 반 앵 커	사용기간 2년미만		1.5	인발저항에 대한 안전율
	사용기간 2년이상		2.5	

<가설 흙막이 설계기준 KDS 21 30 00: 2020>

3) 흙막이 구조를 적용 설계기준

가) 설계기준

- 해석방법

1) 토압 계산 공식 : Rakine 토압 공식

2) 구조 해석 방법

탄 · 소성 Beam-Spring Model 로서 단계별 굴착과 지보공에 따른 흙막이벽의 변위, 토압 응력 (전단력, 모멘트) 및 지보공의 축방향력을 계산하는 Midas GeoX 로 최대응력을 계산 한 후 부재를 검토하였다.

나) 가설 흙막이 검토기준

구 분	내 용	
적 용 하 중	<ul style="list-style-type: none"> 상재하중 : 13.0 kN/m² • 온도하중(120~150 kN) : 120 kN 적용 	
	<ul style="list-style-type: none"> 인접건물 : 지상1층 (15kN/m²), 지상 일반층 (14kN/m²), 지하층(30kN/m²) 적용, 최상층 (16kN/m²) 	
지하굴착 안정해석 (적용 Program)	구 분	<ul style="list-style-type: none"> 가설 흙막이 안정성 해석
	해석방법	<ul style="list-style-type: none"> 탄소성 해석 (Midas-GeoX)
	설계적용	<ul style="list-style-type: none"> 가설벽체 가설 지보재의 안정성 검토
검토기준	<ul style="list-style-type: none"> 구강재 활중계수 0.9 적용 KDS 설계기준 (21 30 00, 2020) 적용 	
근입 안전율	<ul style="list-style-type: none"> Fs=1.2 적용 	

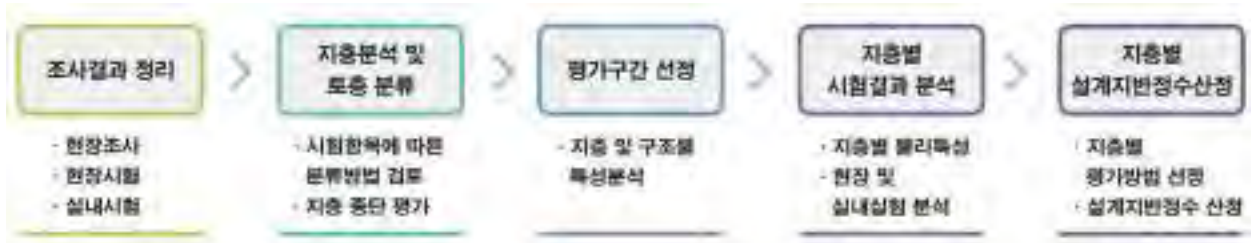
※ 단위면적당 인접건물하중값은 「지하안전영향평가매뉴얼, 국토교통부」 적용

2.7 토질정수 산정기준

1) 설계지반정수 산정

가) 지반정수 산정방향

< 설계지반정수 산정 절차 >



나) 문헌자료 및 경험식 검토

- 각 지층별 설계지반정수는 대상지반의 형성이력과 토질 또는 암석특성에 따라 편차가 커지므로, 다양한 문헌자료 및 경험식에서 제시한 지반 특성 값의 범위를 분석함으로써 설계지반정수의 적정성을 확보하여야 한다.
- 이에 따라 각종 문헌 및 설계기준, 지침서 등 금회 설계지반정수 산정시 이용된 자료를 다음과 같이 수록하였다.

< 재료의 단위중량(건설공사표준품셈, 2019) >

종 별	형 상	단위중량(kN/m ³)	비 고
암 석	화 강 암	26 ~ 27	자연상태
	안 산 암	23 ~ 27.1	"
	사 암	24 ~ 27.9	"
	현 무 암	27 ~ 32	"
자 갈	건 조	16 ~ 18	"
	습 기	17 ~ 18	"
	포 화	18 ~ 19	"
모 래	건 조	15 ~ 17	"
	습 기	17 ~ 18	"
	포 화	18 ~ 20	"
점 토	건 조	12 ~ 17	"
	습 기	17 ~ 18	"
	포 화	18 ~ 19	"
점 질 토	보 통	15 ~ 17	"
	역이 섞인 것	16 ~ 18	"
	역이 섞이고 습한 것	19 ~ 21	"

< 흙의 종류별 일반적인 토성치(Hough, 1969) >

흙의 종류	입경 (mm)		D ₁₀ (mm)	균등 계수	간극비		건조단위중량 (kN/m³)			습윤단위중량 (kN/m³)		수중단위중량 (kN/m³)	
	Dmax	Dmin			Cu	emax	emin	최소	다짐 100%	최대	최소	최대	최소
조립토													
(1) 균등한 흙													
균질하고 균등한 모래 (세립 또는 중립)	-	-	-	1.2~ 2.0	1.0	0.4	13.3	18.4	18.9	13.5	21.7	8.3	11.7
균등한 무기질 실트	0.05	0.005	0.012	1.2~ 2.0	1.1	0.4	12.8	-	18.9	13.0	21.7	8.2	11.7
(2) 입도가 양호한 흙													
실트질 모래	2.0	0.005	0.02	5~ 10	0.9	0.3	13.9	19.5	19.5	14.1	22.7	8.7	12.7
균질한 세립 내지 조립 모래	2.0	0.05	0.09	4~6	0.95	0.2	13.6	21.1	22.1	13.8	23.8	8.5	13.8
운모질 모래	-	-	-	-	1.2	0.4	12.2	-	19.2	12.3	22.2	7.7	12.2
실트질 모래와 자갈	100	0.005	0.02	15~ 300	0.85	0.14	14.3	-	23.4	14.4	24.7	9.0	14.7
혼합토													
모래질 또는 실트질 점토	2.0	0.001	0.003	10~ 30	1.8	0.25	9.6	20.8	21.6	16.0	23.5	6.1	13.5
자갈 또는 암편섞인 실트질 점토	250	0.001	-	-	1.0	0.20	13.5	-	22.4	18.4	24.2	8.5	14.2
입도양호한 자갈, 모래, 실 트와 점토 혼합토	250	0.001	0.002	25~ 1000	0.7	0.13	16.0	22.4	23.7	20.0	25.0	9.9	15.0
점성토													
점토(점토 30~50%)	0.05	0.5μ	0.001	-	2.4	0.50	8.0	16.8	17.9	15.1	21.3	5.0	11.3
콜로이드점토 (2μ이하 50%)	0.01	10Å	-	-	12	0.60	2.1	14.4	17.0	11.4	20.5	1.3	10.5
유기질토													
유기질 실트	-	-	-	-	3.0	0.55	75	35	0.64	-	1.76	1.39	2.10
유기질점토 (점토 30~50%)	-	-	-	-	4.4	0.70	81	41	0.48	-	1.60	1.29	2.00

주)지반간극비 : 조립토의 e_{max} 상태는 건조되거나 약간 축축할 때 될 수 있음

점토의 e_{max} 상태는 완전히 포화되었을 때 될 수 있음

주)조립토의 최소단위중량은 e_{max} 일 때이고 모든 포화된 흙의 수중단위중량은 포화단위중량에서 물의 단위중량을 뺀 값임

주)위 표의 조립토의 비중을 2.65, 점토는 2.7, 유기질토는 2.6으로 가정한 것임

< 토공재료의 개략적인 토질정수(도로설계요령, 2009) >

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/m ³)	내부마찰각 (°)	점착력 (kPa)	분류기호 (USCS)
흙 쌓 기	자갈 및 자갈섞인 모래	다진것		20	40	0	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0	
	사 질 토	다진것		18	25	30이하	SW, SC
자 연 지 반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		21	40	0	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0	SW, SC
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	30이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0	
	점 성 토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)		18	25	50이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)		17	20	30이하	
		무른 것(손가락으로 약하게 눌러 조금 들어감)		17	20	15이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)		17	20	50이하	CH, MH, ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)		16	15	30이하	
		무른 것(손가락으로 약하게 눌러 조금 들어감)		14	10	15이하	

< Typical Properties of Compacted Soils(NAVFAC DM 7.2-39) >

분류기호 (USCS)	건조단위중량 (kN/m ³)	최적함수비 (%)	점착력(kPa)		내부마찰각 (°)	CBR
			다짐상태	포화상태		
SW	17.7~20.6	9.0~16.0	0	0	38	20~40
SP	15.7~18.6	12.0~21.0	0	0	37	10~40
SM	17.7~19.6	11.0~16.0	50.0	20.6	34	10~40
SM-SC	17.7~20.6	11.0~15.0	50.0	14.7	33	-
SC	16.7~19.6	11.0~19.0	74.5	10.8	31	5~20
ML	15.7~18.6	12.0~24.0	67.3	8.9	-	15 이하

< 흙의 간극률, 간극비 및 밀도(Bowles, 1970)(토질역학 제3판, 김상규) >

흙의 종류	흙 의 상 태	간극률 (%)	간극비	단위중량(kN/m³)		
				건조	전체	포화
모래질 자갈	느슨	38 ~ 42	0.61 ~ 0.72	14 ~ 17	18 ~ 20	19 ~ 21
	촘촘	18 ~ 25	0.22 ~ 0.33	19 ~ 21	20 ~ 23	21 ~ 24
거친모래, 중간모래	느슨	40 ~ 45	0.67 ~ 0.82	13 ~ 15	16 ~ 19	18 ~ 19
	촘촘	25 ~ 32	0.33 ~ 0.47	17 ~ 18	18 ~ 21	20 ~ 21
균등한 가는모래	느슨	45 ~ 48	0.82 ~ 0.82	14 ~ 15	15 ~ 19	18 ~ 19
	촘촘	33 ~ 36	0.49 ~ 0.56	17 ~ 18	18 ~ 21	20 ~ 21
거친 실트	느슨	45 ~ 55	0.82 ~ 1.22	13 ~ 15	15 ~ 19	18 ~ 19
	촘촘	35 ~ 40	0.54 ~ 0.67	16 ~ 17	17 ~ 21	20 ~ 21
실 트	연약	45 ~ 50	0.82 ~ 1.22	13 ~ 15	16 ~ 20	18 ~ 20
	중간	35 ~ 40	0.54 ~ 0.67	16 ~ 17	17 ~ 21	20 ~ 21
소성이 작은 모래	견고	30 ~ 35	0.43 ~ 0.49	18 ~ 19	18 ~ 19	18 ~ 22
	연약	50 ~ 55	1.00 ~ 1.22	13 ~ 14	15 ~ 18	18 ~ 20
균등한 가는모래	중간	35 ~ 45	0.54 ~ 0.82	15 ~ 18	17 ~ 21	19 ~ 21
	견고	30 ~ 35	0.43 ~ 0.54	18 ~ 19	18 ~ 22	21 ~ 22

< N값과 모래의 상대밀도 및 내부마찰각의 관계(Terzaghi and Peck, 1948) >

N 값	연경도	상대밀도 (Dr, %)	내부마찰각(°)	
			Peck	Meyerhof
0 ~ 4	매우느슨	0.0 ~ 15	28.5 이하	30 이하
4 ~ 10	느슨	15 ~ 35	28.5 ~ 30	30 ~ 35
10 ~ 30	중간	35 ~ 65	30 ~ 36	35 ~ 40
30 ~ 50	조밀	65 ~ 85	36 ~ 41	40 ~ 45
50 이상	매우조밀	85 ~ 100	41 이상	45 이상

< 모래의 상태에 따른 N값과 마찰각의 관계식(Dunham, 1954) >

N값과의 상관관계	관계식	N=10	N=30
입자가 둥글고 입도분포가 균등한 모래	$\phi = \sqrt{12N} + 15$	26	34
입자가 둥글고 입도분포가 좋은 모래, 또는 입자가 모나고 입도분포가 균등한 모래	$\phi = \sqrt{12N} + 20$	31	39
입자가 모나고 입도분포가 좋은 모래	$\phi = \sqrt{12N} + 25$	36	44

< 풍화암의 내부마찰각(도로설계요령, 2009) >

구 분		T.C.R (%)	R.Q.D (%)	내부마찰각 (°)	비 고
풍 화 암	지반공학회	22	50	35.0	1991년
		21	30	35.0	1996년
		20	50	30.0	1997년
	비탈면안정	19	30	35.0	1996년

< 각종 흙의 탄성계수와 포아송비(Das, 1995) >

흙의 종류	변형계수(kN/m ²)	포아송비(u)
느슨한 모래	10,000 ~ 24,000	0.2 ~ 0.4
중간정도 조밀한 모래	17,000 ~ 28,000	0.25 ~ 0.4
조밀한 모래	35,000 ~ 55,000	0.3 ~ 0.45
실트질 모래	10,000 ~ 17,000	0.2 ~ 0.4
모래 및 자갈	69,000 ~ 172,000	0.15 ~ 0.35
연약한 점토	2,000 ~ 5,000	-
중간 점토	5,000 ~ 10,000	0.2 ~ 0.5
견고한 점토	10,000 ~ 24,000	

< 현장시험결과와 탄성계수(구조물기초설계기준 해설, 2018)>

구 분	탄성계수(Es, kN/m ²)	
	SPT	CPT
모 래	Es = 766N Es = 500(N+15) Es = 18000+750N Es = (15200 ~ 22000)lnN	Es = (2 ~ 4)qc Es = 2(1+Dr2)qc
점토질 모래	Es = 320(N+15)	Es = (3 ~ 6)qc
실트질 모래	Es = 300(N+6)	Es = (1 ~ 2)qc
자갈섞인 모래	Es = 1200(N+6)	-
연약점토	-	Es = (6 ~ 8)qc
점 토 (Su : 비배수전단강도)	Ip > 30, 또는 유기질 Ip < 30, 또는 단단함 1 < OCR < 2 OCR > 2	Es = (100 ~ 500)Su Es = (500 ~ 1500)Su Es = (800 ~ 1200)Su Es = (1500 ~ 2000)Su

< 경험식을 통한 SPT와 이용한 Es값의 산정 >

구 분		제 안 식				
Schmertmann(1978)		$E = \alpha N / 10$				
		여기서, E : 변형계수(MPa), α : 변수, N : N값				
		구 분	실트 또는 모래질 실트	세립 또는 중립모래	조립모래	자갈질모래 또는 자갈
		α	4	7	10	12 ~ 15
Bowles (1988)	모래	$E_s = 0.5(N+15)$ (MPa)				
	점토질 모래	$E_s = 0.32(N+15)$ (MPa)				
	실트질 모래	$E_s = 0.3(N+6)$ (MPa)				
	자갈섞인 모래	$E_s = 1.2(N+6)$ (MPa)				
Hisatake		$E_s = 0.5N + 7$ (MPa)				
도로교 표준시방서		$E_s = 2.8N$ (MPa)				

< 파쇄 상태에 따른 암반의 전단강도(도로설계요령, 2009) >

구 분		암반파쇄상태		전단강도	
		T.C.R (%)	R.Q.D (%)	내부마찰각 (°)	점착력 (kPa)
풍화암, 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우		20 이하	10 이하	30	100
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	연암반	20 ~ 30	10 ~ 25	33	130
	보통연암	40 ~ 50	25 ~ 35	35	150
	경암반	70이상	40 ~ 50	40	200

< 지반별 지반정수의 적용범위(지반조사편람, 2006) >

구 분	단위중량 γ_t (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (v)
풍화토	17 ~ 20	0.0 ~ 10.0	25 ~ 30	20 ~ 40	0.50
풍화암	20 ~ 22	10.0 ~ 30.0	30 ~ 35	100 ~ 200	0.30 ~ 0.40
연 암	23 ~ 25	30.0 ~ 60.0	30 ~ 40	200 ~ 400	0.25 ~ 0.30
보통암	24 ~ 26	60.0 ~ 150.0	35 ~ 40	400 ~ 1,000	0.25
경 암	25 ~ 27	150.0 ~ 200.0	35 ~ 45	1,000 ~ 4,000	0.20
극경암	26 ~ 27	200.0 ~ 500.0	40 ~ 45	4,000 ~ 8,000	0.20

▶ 수평지반반력계수 산정방법

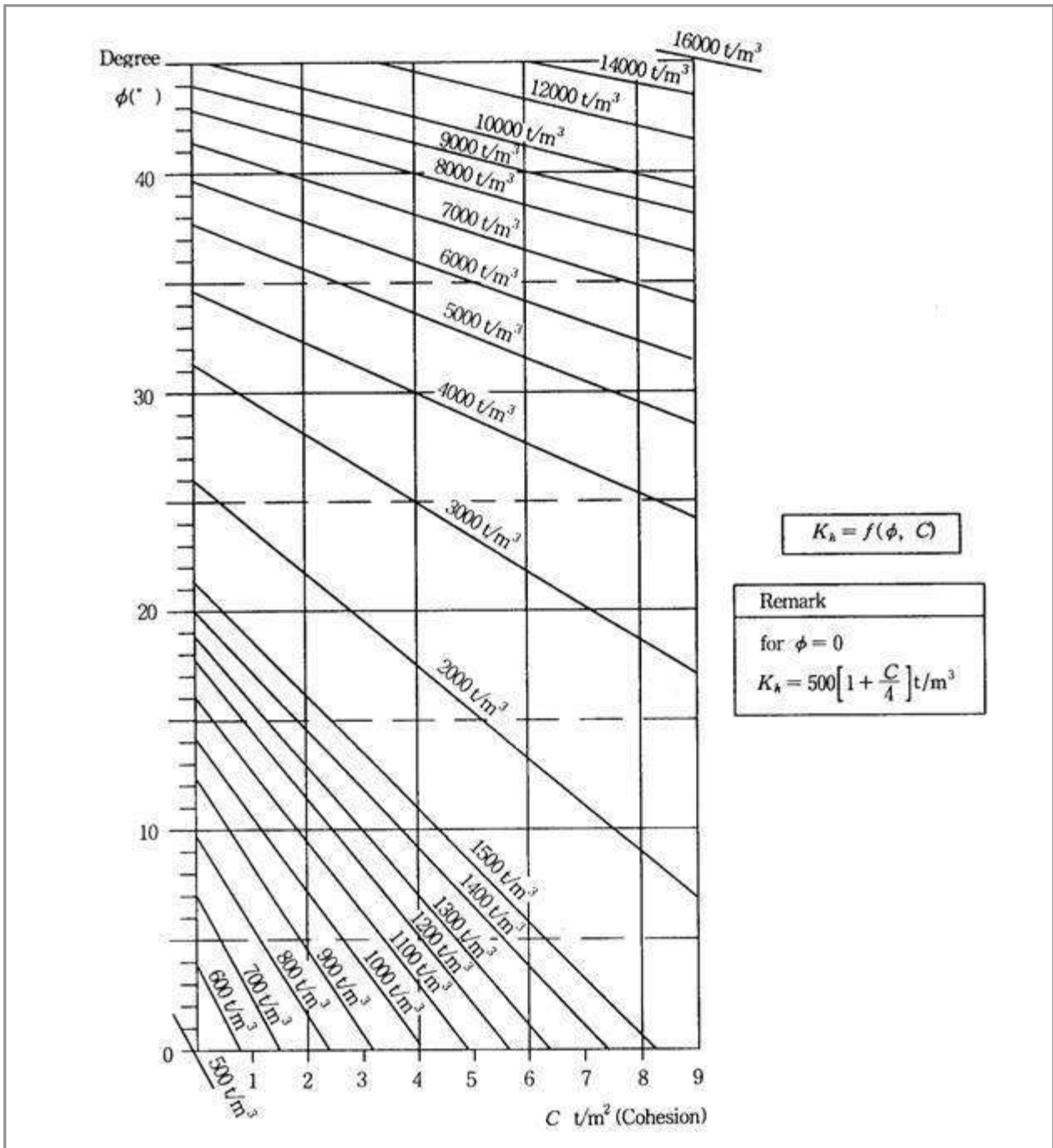
일반적으로 수평지반반력계산은 Hukuoka법과 Solatanche법으로 많이 산정되며 산정방법은 다음과 같다.

■ Hukuoka법

$$K_h = 0.691 \times N^{0.406}$$

■ Solatanche법---각 토층별 ϕ , c 값에 따라 아래 표에서 산정

<SOLETANCHE에 의한 K_h >



▶ 수리해석을 위한 설계지반정수

■ 균열빈도에 따른 투수계수

암반의 상태	특 징	투수계수(cm/sec)
균열 간격이 매우 좁은 상태	높은 투수성 암반	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^2$
균열 간격이 보통인 상태	보통 투수성 암반	$1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-2}$
균열 간격이 매우 넓은 상태	약간 투수성 암반	$1.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-5}$
균열 간격이 없을때	불투수성 암반	1.0×10^{-9} 이상

■ 통일분류(U.S.C.S)에 의한 투수계수

구 분	투수계수(cm/sec)	구 분	투수계수(cm/sec)
GW	1.0×10^{-2} 이하	SC	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$
GP	1.0×10^{-2} 이하	ML	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-3}$
GM	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	CL	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$
GC	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$	OL	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-4}$
SW	1.0×10^{-3} 이하	MH	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-4}$
SP	1.0×10^{-3} 이하	CH	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$
SM	$1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	OH	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-6}$

다) 설계지반정수 산정 결과

- 문헌자료, 경험식, 현장 시험값을 종합적으로 비교·검토하여 합리적으로 산정하였다.
- 지반 조사 시험 값을 최우선으로 적용하였으나, 지반 조사의 한계성으로 인해 타 값의 범위에서 벗어날 경우 이를 배제하고 안전측(보수적) 설계가 수행될 수 있도록 설계지반정수를 산정하였다.

▶ 토사층 단위중량 및 강도정수 산정결과

■ 단위중량 산정결과

구 분	구성성분	도로설계요령	Tomlinson	지반조사편람	적 용(kN/m³)
매립층	실트질 모래	17.0~20.0	15.0~17.0	-	17.0
퇴적층 (실트질 모래)	실트질 모래	17.0~20.0	15.0~17.0	-	17.0
퇴적층 (실트 및 모래 섞인 자갈)	실트 및 모래 섞인 자갈	17.0~20.0	17.0~19.0	-	20.0
풍화토	실트질 모래	18.0~20.0	19.0~21.0	17.0~20.0	19.0

■ 점착력 산정결과

구 분	N	도로 설계 요령	지반조사 편람	경험식(N값)			현장시험	적 용 (kPa)
				Ohsaki	Terzaghi & Peck	Dunham		
매립층	5	0.0	-	3.3	3.0	3.5	-	0.0
퇴적층 (실트질 모래)	8	0.0	-	4.0	4.9	5.6	-	0.0
퇴적층 (실트 및 모래 섞인 자갈)	30	0.0	-	9.5	18.3	20.8	-	0.0
풍화토	50	30이하	10~30	14.5	30.5	34.7	21.5	21.5

■ 내부마찰각 산정결과

구 분	N	도로 설계 요령	경험식(N값)				현장시험	적 용 (kPa)
			Ohsaki	Meyerhof	Terzaghi & Peck	Dunham		
매립층	5	25.0	25.0	33.8	28.5	22.7	-	23.0
퇴적층 (실트질 모래)	8	25.0	27.6	34.5	29.4	24.8	-	25.0
퇴적층 (실트 및 모래 섞인 자갈)	30	25.0	39.5	40.0	36.0	34.0	-	31.0
풍화토	50	30.0	46.6	45.0	42.0	39.5	28.6	28.6

▶ 풍화암 단위중량 및 강도정수 산정결과

구 분	한국도로공사 (1996)	지반조사편람 (2006)	한국지반 공학회	적 용
단위중량 (kN/m³)	-	20~22	20 ~ 22	20.0
점착력 (kPa)	100	100~300	30 ~ 50	30.0
내부마찰각 (°)	30	30~35	30 ~ 35	30.0

▶ 보통암 설계정수 산정결과

구 분	지반조사편람	도로설계요령	현장시험	적 용
단위중량(kN/m³)	24 ~ 26	-	26.78	26.78
점착력(kPa)	60 ~ 150	150	-	60.0
내부마찰각(°)	35 ~ 40	35	-	35.0

▶ 경암 설계정수 산정결과

구 분	지반조사편람	도로설계요령	적 용
단위중량(kN/m³)	25 ~ 27	-	27.0
점착력(kPa)	150 ~ 200	200	150.0
내부마찰각(°)	35 ~ 45	40	40.0

▶ 수평지반반력계수 산정결과

지 층	적용 N값	Hukuoka방법	Soletanche방법	적 용 (kN/m³)
매립층	5	13,300	17,000	13,300
퇴적층(실트질 모래)	8	16,100	19,000	16,100
퇴적층(실트 및 모래섞인 자갈)	30	27,500	29,000	27,500
풍화토	50	33,800	29,780	29,780
풍화암	50	33,800	36,760	33,800
보통암	-	-	63,000	63,000
경암	-	-	100,000	100,000

▶ 설계지반정수 적용

구 분	N값 (Avg.)	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	수평지반 반력계수 (kN/m²)
매립층	5	17.0	0.0	23.0	13,300
퇴적층 (실트질 모래)	8	17.0	0.0	25.0	16,100
퇴적층 (실트 및 모래섞인 자갈)	30	20.0	0.0	31.0	27,500
풍화토	50	19.0	21.5	28.6	29,780
풍화암	50	20.0	30.0	30.0	33,800
보통암	-	26.78	60.0	35.0	63,000
경암	-	27.0	150.0	40.0	100,000

03 굴착공사에 따른 인접시설물의 영향검토

3.1 일반사항

3.2 지반굴착에 따른 주변지반 예상침하량

3.3 진동관리지침

3.4 소음관리지침

3.5 분진관리지침

3.6 지하수유출에 대한 대책

3.7 인접구조물에 대한 보강대책

3.8 지하매설물에 대한 보강대책

3.9 공사시 유의사항

3.10 피해예방 및 안전대책

3. 굴착공사에 따른 인접시설물의 영향검토

3.1 일반사항

1) 안전진단

- ① 현장주변의 주택 및 건물, 공공 시설물에 대한 민원이 예상되는 부분은 시공자가 시공 전에 반드시 정부가 공인하는 기관에 안전진단을 하여 착공이전의 상태를 기록 보존하여야 함.
- ② 민원이 야기되면 재차 안전진단을 실시하여 당초 시행한 안전진단과 비교하여 민원인과의 마찰을 최소화 될 수 있도록 조치하여야 함.
- ③ 건물주는 시공자와 계약전 반드시 사전 사후의 안전 진단비에 대한 비용 일체를 계약에 기술하여야 함.

2) 굴착에 따른 인접지반의 침하

굴착공사로 인하여 인접지반의 침하가 발생할 수 있는 일반적인 요인으로는 다음 사항을 열거할 수 있음.

- ① 주위 매설물의 매립상태가 불완전할 경우 말뚝관입시 천공작업의 진동으로 인한 압축침하
- ② 토류벽의 변위에 따른 배면토의 이동으로 인한 침하
- ③ 지하수 유출시 토사가 함께 배수되어 발생하는 침하
- ④ 배수에 의한 점성토의 압밀침하
- ⑤ 굴착바닥의 연약한 지반인 경우 지반의 팽창(Heaving)으로 인한 배면지반의 침하
- ⑥ 되메우기시 뒷채움 시공불량으로 인한 배면지반의 이동 및 침하
- ⑦ 엄지말뚝 인발시 진동 및 인발후의 처리불량에 따른 침하
- ⑧ 2차적인 원인으로서 위에 열거한 1차 원인에 의해 발생한 침하로 인접된 상하수도 관거의 파손으로 일시적으로 많은 물이 유출, 토사가 대량으로 유출되어 발생하는 함몰 침하

이상의 원인들은 주로 일반적인 목재 흠막이판 설치 공법으로 굴착하는 경우 나타나는 것으로 본 굴착공사는 이러한 문제점들을 최대한 억제하기 위하여 시공시 각별한 주의가 필요함.

3) 토류벽 변위의 발생원인

토류벽에 변위가 발생하는 원인으로는 다음과 같은 요인이 있음.

- ① 토류벽의 휨
- ② 버팀대의 탄소성 변형
- ③ 버팀대 설치의 시간적 지체(단계별 설치)
- ④ 앵커의 Relaxation
- ⑤ 토류벽 근입 깊이의 부족

㉠ 토류벽의 휨

토류벽의 휨(Bending)은 버팀대의 변형과 일체로 나타남. 휨량은 굴착시 최하단 버팀대 위치에서 굴착말면 가상 지지점까지의 거리와(굴착깊이 및 지반조건에 좌우됨) 토류벽체의 강성(Rigid-ity Stiffness) 그리고 지반조건에 따라 다르게 됨.

㉢ 버팀대의 변형

버팀대의 압축 변형으로서는 자체의 탄성적 변형 및 좌굴에 의한 변형과 토류벽 사이의 연결부에 의한 변형이 있음.(앵커인 경우 좌굴 변형을 제외한 변형) 탄성 및 좌굴에 의한

변형은 온도응력을 포함한 설계응력으로부터 정확하게 추정 할 수 있으나, 후자는 시공상 배려에 의하여 좌우되므로 연결부를 가능한 밀착시켜야 함. 종래로부터 실시되어온 버팀대에 대한 선행하중 (Pre-Stressing)의 도입에 유의할 필요가 있음.

㉔ 버팀대 가설시 시간적 지체

버팀대 및 어스앵커 가설시 시간적 지체로 일어나는 토류벽의 변형에는 지나치게 깊게 굴착하여 일어나는 경우와 설치를 지연시켜 일어나는 두 가지 경우가 있음.

전자는 지점 사이가 크게 벌어져 큰 변형이 발생하고 후자의 경우에는 지반의 Creep 특성에 따라 다르지만 버팀대의 실측기록에 의하면 점성토 지반에서는 4~8일 정도(단, 액상의 연약지반 제외) 모래지반에 있어서는 2~3일 정도 이후에 버팀대의 반력이 최대가 되는 것으로 알려져 있음. 따라서, 버팀대 및 어스앵커는 가급적 조기에 설치하는 것이 바람직하고 굴착규모가 큰 경우에는 공구를 분할 할 필요가 있음.

㉕ 토류벽의 근입 깊이에 대한 영향

토류벽의 근입 깊이가 부족하면 근입부가 이동, 변형되어 하부지반을 활동회전 시키거나 토류벽의 변형을 크게 함. 이 영향은 비교적 광범위하고 그 양도 크며, 지하수위가 높은 모래질 지반에서는 Boiling에 대한 영향을 검토하여야 하는데 근입깊이의 영향이 매우 큼.

4) 토류벽(흙막이벽)의 수평변위

굴착에 따른 흙막이벽의 최대 수평변위는 굴착되는 지층, 굴토깊이, 지하수위 등에 따라 발생되며, 이에 따른 제안값은 다음과 같다.

① 굴착시 흙막이벽의 최대수평변위

항 목	지반조건	흙막이구조물	제안값 및 측정값	제안자
토류벽의 최대 수평변위량	단단한 점토, 잔적토, 모래	• 널말뚝 • 엄지말뚝+토류판	1.0%H	Peck(1969)
	조밀한 사질토, 빙적토(till)	스트러트지지	0.2%H보다 작음 (타이백인 경우에는 보통 더 작음)	NAVFACDM-7.2 (1982)
	단단한 균열성점토 (stiff fissured clays)	-	시공의 질적 상태에 따라 0.5%H, 또는 그 이상까지 이룰 수 있음	
	연약한 점토지반	-	0.5%H~2.0%H	
	단단한 점성토, 잔적토, 모래	강성이 작은 것부터 큰 것까지 다양함	0.2%H(이값은 평균치이며, 상한지 0.5%H, 하한치는 0.15%H임)	Clough&O'Rourke (1990)
	실트질모래와 실트질 점토가 변갈아가며 지반을 형성	대부분 지하연속벽 과 스트러트 지지	0.2%H~0.5%H	CHang Yu-Ou등 (1993)
	암반을 포함한 다층지반으로 수성된 서울지역 4개 현장	• H형 말뚝 • 지하연속벽	0.2%H	이종규 등(1993)

H: 최종굴토깊이 (굴착 및 흙막이공법, 한국지반공학회, p253)

② 굴착에서의 수평변위량 사례

위 치	지지방법	굴착깊이 (m)	최대평변위 (mm)	변위깊이 x100	지반조건
Chicago	널말뚝, 버팀보	11.40	58.00	0.51	연약한 점토
Oslo, Vaterland	널말뚝, 버팀보	9.00	23.00	0.25	연약한 점토
San Francisco	널말뚝, 버팀보	15.00	21.00	0.14	연약점토위 9m성토
South Africo	지하연속벽, 앵커	14.70	76.00	0.52	단단하고 균열있는 점토
South Africo	지하연속벽, 앵커	14.70	38.00	0.26	단단하고 균열있는 점토
South Africo	지하연속벽, 앵커	22.90	38.00	0.16	단단하고 균열있는 점토
South Africo	지하연속벽, 앵커	14.70	19.00	0.13	단단하고 균열있는 점토
South Africo	지하연속벽, 앵커	18.30	25.00	0.14	약하고 균열있는 점토
Buffalo, N.Y.	목재널말뚝, 타이백	6.40	10.00	0.16	5.4m느슨한 모래층 아래 조밀한 모래와 자갈
Buffalo, N.Y.	목재널말뚝, 타이백	11.20	53.00	0.47	5.4m느슨한 모래층 아래 조밀한 모래와 자갈
Bloomsbury, Lomdon	지하연속벽, 버팀보	16.00	12.00	0.07	자갈층 아래 런던점토
Westminster Palace Yard	지하연속벽, 버팀보	12.00	20.00	0.17	자갈층 아래 런던점토
Zurich	지하연속벽, 버팀보	20.00	36.00	0.18	호수퇴적토와 빙퇴석
N.Y, World Trade Center	지하연속벽, 앵커	17.70	66.00	0.37	모래
London, Guildhall	지하연속벽, 앵커	9.70	10.00	0.10	자갈층 아래 단단한 점토층
London, Bloomsbury	지하연속벽, 앵커	10.00	4.00	0.04	자갈층 아래 단단한 점토층
London, Victoria St	지하연속벽, 앵커	8.00	3.00	0.04	자갈층 아래 단단한 점토층
London, Vauxhall	지하연속벽, 앵커	14.50	22.00	0.15	자갈층 아래 단단한 점토층
London, Neasden	지하연속벽, 앵커	8.00	50.00	0.62	단단한 런던점토

흙막이설계와 시공 (저:오정환, p106)

※ 굴착시 흙막이벽체의 허용변위는 여러 문헌에 따른 결과를 검토하여 $1/300H(0.3\%H)$ 를 기준하여 검토함
(여기서 H : 굴착깊이)

3.2 지반굴착에 따른 주변지반 예상침하량

1) 침하의 산정 방법

토류벽의 횡방향 범위는 버팀굴착 주위의 지반침하를 유발함. 이것을 일반적으로 지반손실(Ground Loss)이라 하는데 지반손실은 인접 구조물 기초 또는 지하 매설물에 대하여 침하를 유발시켜 피해가 발생 하므로 근접시공에서 매우 중요한 문제가 됨. 토류벽의 변위에 따른 주변지반의 침하는 토류벽 변위의 실측, 또는 계산에 의하여 구하고 그 변위로 부터 주변지반 침하를 추정하는 방법과 버팀구조와 주변지반을 일체로 하여 해석하는 방법이 있음.

어느 경우거나 토류벽의 횡방향 변위를 해석하는 방법에 지배되는데 현재까지 제안된 예측방법을 살펴보면 다음과 같음.

- ① Peck(1969)의 곡선 : 계측 결과의 이용
- ② Caspe(1966)의 방법 : 이론적 방법
- ③ Clough et al.(1989)방법 : 계측결과 및 FEM 해석
- ④ Roscoe, Wroth 및 기타 : 소성론 개념
- ⑤ Tomlison의 방법 : FEM 해석을 위한 Simulation
- ⑥ Frey et al. 의 방법

따라서, 굴착의 시공계획에 있어서는 굴착에 따른 주변지반의 변형을 추정하고 인접건물에 대한 영향에 대하여 검토하여야 하는데 침하추정 방법은 상기와 같이 많으며 주장하는 학자에 따라서도 상당한 차이가 있으나, 여기서는 Caspe의 방법 (1966)에 의하여 다음과 같은 단계로 구하였음.

2) 구조계산에 의한 예상 침하량

Caspe(1966)는 굴착공사시 토질조건 및 공사의 규모에 따른 침하 영향거리 및 침하량을 아래와 같이 제안

- 침하영향거리

$$D = H_t \times \tan (45-\phi/2) \text{ ————— (식 1)}$$

여기서, $H_t = H_w + H_p$: 굴착선 하부의 거리

H_w : 굴착선의 흙막이벽 높이

H_p : $\phi = 0$ 인 경우 : B

$\phi > 0$ 인 경우 : $0.5 \times B \times \tan (45+\phi/2)$

(B = 굴착폭, ϕ = 흙의 내부 마찰각)

- 지반에 발생하는 침하량

$$S_w = 4 \times V_s / D \text{ ————— (식 2)}$$

여기서, V_s : 흙막이벽의 총 수평 변위

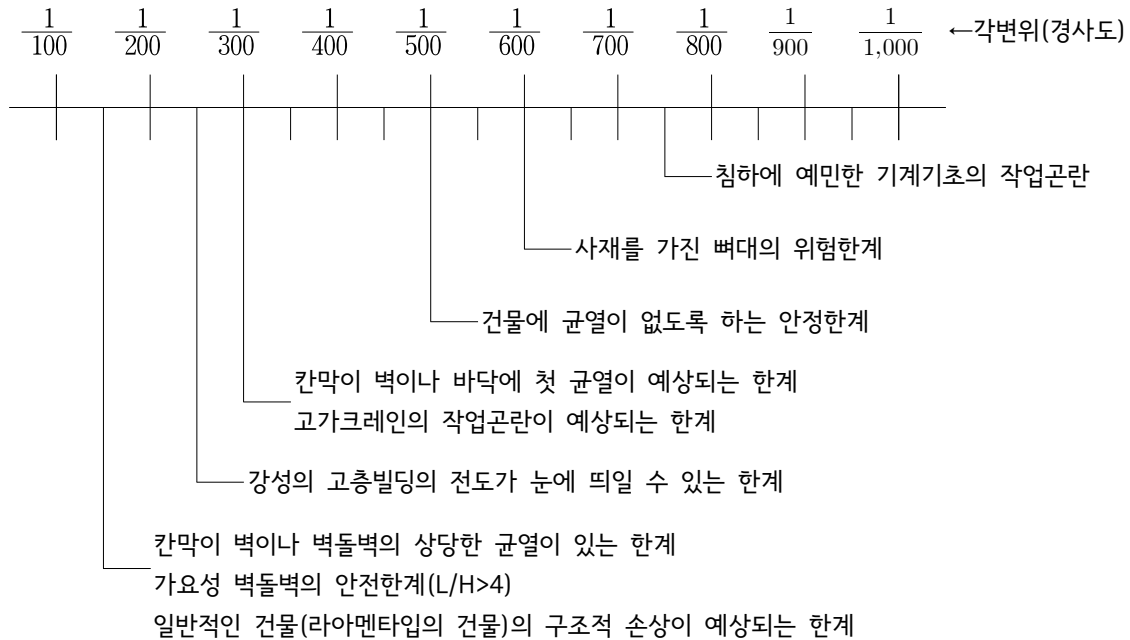
- 거리별 침하량 : $S_i = S_w \times [(D - x) / D]^2$ ——— (식 3) 으로 나타난다.

여기서, x : 굴착면으로 부터의 거리

- 주변도로 침하, 균열상태 및 주변 지하 매설물에 대한 안전 여부를 수시로 점검하여 굴착 공사로 인한 주변 도로와 구조물에 피해가 발생치 않도록 주의하여야 함. 또한, 굴토 공사 시 철저한 단계별 굴착 및 시공 관리를 행하여야 할 것임.

3) 여러 가지 구조물에 대한 안정한계

여러 가지 구조물에 대한 최대 허용침하량 및 각 변위에 대한 안정한계치는 아래와 같음.



<그림 3.2.1> 구조물별 허용침하량 및 각변위에 대한 안정치

<표 3.2.1> 침하량의 허용기준

(단위:cm)

구 분	구조종별	본크리프보통조		합근본크리프조	
	기초형식	연 속 기 조	독 립 기 조	연 속 기 조	원 통 기 조
압밀침하의 경우 허용최대 침하량	표 준 치	2	5	10	10~(15)
	최 대 값	4	10	20	20~(30)
압밀침하의 경우 허용 상대침하량	표 준 치	1	1.5	2	2~(3)
	최 대 값	2	3	4	4~(6)
즉시침하의 경우 허용 침하량	표 준 치	1.5	2	2.5	3.5~(4)
	최 대 값	2	3	4	6~(8)

(주) ()는 보의 춤이 크거나 2층슬래브 등으로 충분히 강성이 클 경우

<표 3.2.2> 여러가지 구조물의 최대허용침하량

침하 형태	구조물의 종류	최대 침하량
전 체 침 하	배수시설	15.0 ~ 30.0 cm
	출 입 구	30.0 ~ 60.0 cm
	부등 침하의 가능성	2.5 ~ 5.0 cm
	석적 및 벽돌 구조	5.0 ~ 10.0 cm
	벼대 구조	7.5 ~ 30.0 cm
전 도	굴뚝, 사이로, 매트	
	탑, 굴뚝	0.004 S
	물품적재	0.01 S
부 등 침 하	크레인 레일	0.003 S
	빌딩의 벽돌 벽체	0.0005 S ~ 0.002 S
	철근 콘크리트 벼대 구조	0.003 S
	강 벼대 구조 (연적)	0.002 S
	강 벼대 구조 (단순)	0.005 S

S : 기둥사이의 간격 또는 임의의 두점 사이의 거리

4) 지중매설관의 허용침하량

지반변위가 발생할 때 지중매설관은 지지형태에 따라 응력 상태가 변하므로 관의 지지 형태에 의한 응력을 산정하여 매설관 재료의 허용응력과 비교후 침하량을 구하고, 기능상 매설관의 Joint 형태에 따라 제한된 Joint의 허용 휨각도로 부터 침하량을 구하여 두 조건을 만족시키는 필요, 충분조건의 침하량을 허용 침하량으로 하여, 굴착에 의한 지반변위(횡방향 이동 및 침하)를 검토한 결과가 지중매설관이 예상 파괴면 범위 내에 있다면 다음과 같은 조건으로 검토하여야 함.

- ① 굴착깊이(H)
- ② 암반의 위치
- ③ 지하수위
- ④ 굴착면으로 부터의 이격거리(L)
- ⑤ 매설관의 매설깊이(D)
- ⑥ 매설관 재료의 종류 및 크기
- ⑦ 매설관 내용물 및 중요도

3.3 진동관리지침

국내에서는 이미 서울지하철과 부산지하철 건설시 진동속도의 기준이 제시된 바 있기 때문에 이를 예를 들면 다음과 같음.

<표 3.3.1> 서울지하철 기준

(단위: cm/sec, Kine)

건물의 등급	I	II	III	IV
분 류	문 화 재	주택, 아파트 실금이 있는 정도	상가(crack)이 없는 상태	철근 콘크리트 빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용진동치	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

<표 3.3.2> 부산지하철 기준

(단위: cm/sec, Kine)

분 류	문화재	주택, 아파트	상가	철근콘크리트 빌딩 및 공장	COMPUTER 시설물
건물기초에서의 허용진동치	0.2	0.5	1.0~4.0	0.2	0.2

(주) 위의 규준은 충격진동에 관한 규정이며, 연속진동인 경우는 충격진동 허용치의 1/3을 적용

<표 3.3.3> 건교부 기준

(단위: cm/sec, Kine)

건물의 등급	I	II	III	IV
분 류	문 화 재	주택, 아파트 실금이 있는 정도	상가(crack)이 없는 상태	철근 콘크리트 빌딩 및 공장
허용진동치	0.2	0.3~0.5	1.0	1.0~5.0

작업 시작시에 진동측정계측을 시행하고 허용기준과 비교 검토하여 허용기준 초과시 작업을 중단하고 감독자와 상의하여 원활한 시공이 이루어 질 수 있도록 하여야 하며, 계측을 시행한 진동측정자료는 보관하도록 함.

3.4 소음관리지침

<표 3.4.1> 생활소음 규제기준의 범위

[단위: dB(A)]

대 상 지 역	시간대별 소음원		아침, 저녁 (05:00~ 07:00) (18:00~ 22:00)	주 간 (07:00~ 18:00)	야 간 (22:00~ 05:00)
가. 주거지역, 녹색지역, 관리지역 중 취락지구, 주거개발진흥지구 및 관광휴양개발진흥지구, 자연환경보존지역, 그 밖의 지역에 있는 학교, 종합병원, 공공도서관	확 성 기	옥외설치	60 이하	65 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공 장		50 이하	55 이하	45 이하
	사 업 장	동일건물	45 이하	50 이하	40 이하
		기 타	50 이하	55 이하	45 이하
	공사장		60 이하	65 이하	60 이하
나. 그 밖의 지역	확 성 기	옥외설치	65 이하	70 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공 장		60 이하	65 이하	55 이하
	사 업 장	동일건물	50 이하	55 이하	45 이하
		기 타	60 이하	65 이하	55 이하
	공사장		65 이하	70 이하	50 이하

1. 소음의 측정 및 평가기준은 “환경분야 시험, 검사 등에 관한 법률” 제6조 제1항 제2호에 해당하는 분야에 따른 환경 오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률”에 따른다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사 사전신고대상 기계, 장비를 사용하는 작업시간이 1일 3시간 이하일 때는 +10dB, 3시간 초과 6시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파소음의 경우 주간에만 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.
6. 2010년 12월31일 까지는 발파작업 및 브레이커, 향타기, 향발기, 천공기, 굴삭기(브레이커 작업에 한한다)를 사용하는 공사작업이 있는 공사장에 대하여는 주간에만 규제기준치(발파소음의 경우 비고 제6호에 따라 보전된 규제기준치에+3dB을 보정한다.

7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에만 -5dB규제기준치에 보정한다.

가. 주거지역

나. “의료법”에 따른 종합병원, “초, 중등교육법” 및 “고등교육법”에 따른 학교, “도서관법”에 따른 공공도서관의 부지 경계로부터 직선거리 50m이내의 지역

8. “동일 건물”이란 “건축법” 제2조에 따른 건축물로서 지붕과 기둥 또는 벽이 일체로 되어 있는 건물을 말하며, 동일 건물에 대한 생활소음 규제기준은 다음 각 먹에 해당하는 영업을 행하는 사업장에만 적용한다.

가. “체육시설의 설치, 이용에 관한 법률” 제2조에 따른 학원 및 교습소 중 음악교습을 위한 학원 및 교습소

나. “학원의 설립, 운영 및 과외교습에 관한 법률” 제2조에 따른 학원 및 교습소 중 음악교습을 위한 학원 및 교습소

다. “식품위생법 시행령” 제21조 제8호 다목 및 라목에 따른 단란주점영업 및 유흥주점영업

라. “음악산업진흥에 관한 법률” 제2조 제13호에 따른 노래연습장업

마. “다중이용업소 안전관리에 관한 특별법 시행규칙” 제2조 제4호에 따른 법률

<표 3.4.2> 생활진동 규제기준의 범위

[단위: dB(V)]

시간대별 대상지역	주 간 (06:00~22:00)	심 야 (22:00~06:00)	비 고
가. 주거지역, 녹색지역, 관리지역 중 취락지구, 주거개발진흥지구 및 관광휴양개발진흥지구, 자연환경보존지역, 그 밖의 지역에 있는 학교, 종합병원, 공공도서관	65 이하	60 이하	
나. 그 밖의 지역	70 이하	65 이하	

1. 진동의 측정 및 평가기준은 “환경분야 시험, 검사 등에 관한 법률” 제6조 1항 제2호에 해당하는 분야에 대한 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률”에 따른다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장 진동규제기준은 주간의 경우 특정공사 사전신고대상 기계, 장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파진동의 경우 주간에만 규제기준치에 +10dB을 보정한다.

1) 진동 및 소음에 대한 대책

- ① 내부굴착은 토공장비(Poclain, Backhoe)등을 최대한 활용하여 굴착하며, 굴착장비에는 소음 방지기를 부착함.
- ② 공사장 주변 울타리 보완으로 방음벽 효과

<표 3.4.2> 특정 건설 작업의 소음레벨

작업구분	작업기계명	소음레벨		
		1M	10M	30M
말뚝박기기계, 말뚝뽑기기계 및 천공기를 사용하는 타설 작업	디젤파일해머	105~130	92~110	88~98
	바이브로해머	95~105	84~91	74~80
	스팀해머, 에어해머	100~130	97~108	85~97
	파일엑스트랙터	-	94~96	84~90
	어스드릴	83~97	77~84	67~77
	어스오거	68~82	57~70	50~60
	베노트 보링머신	85~97	79~82	66~70
리벳박기 작업	리벳팅 머신	110~127	85~98	74~86
	임팩트렌치	112	84	71
착암기를 사용하는 작업	콘크리트 브레이커 싱커드릴, 핸드해머, 잭해머, 크롤러 브레이커	94~119	80~90	74~80
	콘크리트 커터	-	82~90	76~81
굴착정리 작업	불도우저, 타이어 도우저	83	76	64
	파워 셔블, 백호우	80~85	72~76	63~65
	드레그 크레인, 드레그 스크레이퍼	83	77~84	72~73
	크램של	83	78~85	65~75
공기압축기를 사용하는 작업	공기압축기	80~85	74~92	67~87
다짐작업	로드롤러, 템핑롤러, 타이어롤러, 진동롤러, 진동컴팩터, 임팩트롤러	-	68~72	60~64
	래머, 탬퍼	88	74~78	65~59
콘크리트아스팔트 혼합 및 주입 작업	콘크리트 플랜트	100~105	83~90	74~88
	아스팔트 플랜트	100~107	86~90	80~81
	콘크리트 믹서차	83	77~86	68~75
전동공구를 사용하여 베껴내기 및 콘크리트 마무리 작업	그라인더	104~110	83~87	63~75
	피크해머	-	78~90	72~82
파쇄 작업	쇠공	-	84~86	69~72
	철골타격	95	90~93	82~86
	화약		90~103	90~97

<표 3.4.3> 진동측정 비교표

가속도 레벨(dB)	가 속 도 A(cm/sec ²)	속 도 V(cm/sec)	변 위 y(mm)
66	2.00	0.06	0.017
67	2.24	0.06	0.017
68	2.51	0.07	0.020
69	2.82	0.08	0.023
70	3.16	0.09	0.026
71	3.55	0.10	0.029
72	3.98	0.11	0.032
73	4.47	0.13	0.038
74	5.01	0.14	0.041
75	5.62	0.16	0.046
76	6.31	0.18	0.052
77	7.08	0.20	0.058
78	7.94	0.22	0.064
79	8.91	0.25	0.072
80	10.00	0.28	0.081
81	11.22	0.32	0.093
82	12.59	0.35	0.101
83	14.13	0.40	0.116
84	15.85	0.45	0.130
85	17.78	0.50	0.145
86	19.95	0.56	0.162
87	22.39	0.63	0.182
88	25.12	0.71	0.200
89	28.18	0.79	0.229
90	31.62	0.89	0.258
91	35.48	1.00	0.289
92	39.81	1.12	0.324
93	44.67	1.26	0.365
94	50.12	1.41	0.408
95	56.23	1.58	0.457
96	63.10	1.78	0.515
97	70.79	2.00	0.579
98	79.43	2.24	0.648
99	89.13	2.51	0.723
100	100.00	2.82	0.816

주) 지반 진동 이론과 실제 p19, 건설연구사

∴ 진동레벨(가속도레벨)과 속도와의 관계식 - 주파수가 8Hz 이상인 경우

$$Y = 20 \times \log V + 71$$

Y : 진동레벨(dB), V : 진동속도(mm/sec)(peak 치)

3.5 본진점막지침

국내의 대기환경보전법 시행규칙 제9조 <표 3.9> "먼지배출 허용기준"에 의하며 건설공사장에서 발생하는 먼지는 $120\text{mg}/\text{Sm}^3$ 이하로 규정되어 있으므로 굴착공사 진행 중에 이러한 기준이 만족될 수 있는 조치를 취하여야 함. 이와 관련하여 동 시행규칙 제49조 제2항의 비산먼지 발생억제시설에 관한 기준 중 굴착공사와 관련된 일부분을 발췌하면 <표 3.10> "비산먼지 발생억제 시설에 관한 기준"과 같음.

<표 3.5.1> 먼지배출 허용기준

오염 물질	배출 시설	적용기간 및 배출 허용기준		
		1994년 12월31일 까지	1995년 1월 1일 ~ 1998년12월31일	1999년 1월 1일 이후
먼지	가. 발전시설 및 일반 보일러			
	1) 액체연료 사용시설			
	① 배출가스량이 $200,000\text{m}^3$ /시간 이상의 시설	$100(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$60(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$150(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하
	② 배출가스량이 $60,000\text{m}^3$ /시간 이상 $200,000\text{m}^3$ /시간 미만의 시설	$150(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$100(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$150(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하
	③ 배출가스량이 $30,000\text{m}^3$ /시간 이상 $60,000\text{m}^3$ /시간 미만의 시설	$200(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$150(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$150(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하
	나. 석면제품 제조가공 시설중			
	1) 방사, 집면, 탈판시설	$30(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$30(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$30(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하
	2) 기타시설	$100(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$100(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$100(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하
	다. 기타시설	$120(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$120(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하	$120(4)\text{m}^3/\text{Sm}^3$ 이하

비고 : 1. 배출허용기준란의 ()는 표준산소농도(O_2 의 %)

2. 보일러중 일반보일러, 소각보일러 및 소각시설에 적용되는 배출가스량 산정은 시설용량으로 하며, 시설의 고장 등을 대비하여 예비로 설치된 시설의 시설용량은 포함하지 않음.

3. 먼지의 (다. 기타시설)중 액체 및 고체연료를 사용하는 간접가열 시설의 경우에는 일반보일러의 기준을 적용.

<표 3.5.2> 비산먼지 발생억제 시설에 관한 기준

배 출 공 정	시설에 관한 기준
1. 상적 및 하차	<p>가. 이동식 국소배기장치(진공흡인시설) 등을 설치할 것.</p> <p>나. 작업장 주위에 고정식 또는 이동식 살수시설(반경 5cm 이상 수압 3kg 이상)을 설치 운영하여 작업중 재비산이 없도록 할 것</p> <p>다. 풍속이 평균 초속 8m 이상일 경우에는 작업을 중지할 것</p> <p>라. 위의 각호와 동등하거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치할 것</p>
2. 수송 (토사운송업의 경우에는 '가', '나' 및 '바'에 한 한다.)	<p>가. 적재물이 흘림, 비산되지 않도록 덮개 등을 설치할 것.</p> <p>나. 적재함 상단의 수평 5cm 이하까지만 적재할 것.</p> <p>다. 도로가 비포장 사설도로인 경우</p> <p>(1) 비산분진 발생원으로부터 비포장시설도로 연장이 1km 미만일 때는 포장할 것</p> <p>(2) 비포장도로 연장이 1km 이상의 경우 비포장도로 반경 500m 이내에 10가구 이상의 주거시설이 있을 경우 해당 부락으로부터 반경 1km 이상을 포장할 것.</p> <p>라. 다음 규격의 세륜 및 세차시설을 설치할 것.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수조의 넓이 : 수송차량의 1.5배 이상 - 수조의 깊이 : 20cm 이상 - 청정수 순환을 위한 침전조 및 배관을 설치할 것. <p>마. 다음 규격의 측면 살수시설을 설치할 것.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 살수높이 : 수송차량의 바퀴부터 적재함 - 살수길이 : 수송차량 전장의 1.5배 이상 - 살 수 압 : 3kg/cm² 이상 <p>바. 수송차량은 세륜 및 세차후 운행하도록 할 것</p> <p>사. 위의 각호와 동등하거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치할 것.</p>
3. 채광·채취공정	<p>가. 살수시설(수압 1kg/cm² 이상)을 설치하여 정기적인 청소를 실시할 것.</p> <p>나. 발파시 발파공에 젖은 가마니 등을 덮거나 적정 방지시설 설치후 발파를 실시할 것.</p> <p>다. 작업시 이동식 국소배기장치를 설치토록 할 것.</p> <p>라. 작업후 잔여물은 재비산되지 않도록 할 것.</p> <p>마. 풍속이 평균 포속 8m 이상인 경우는 작업을 중지할 것.</p> <p>바. 위의 각호와 동등하거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치할 것.</p>

3.6 지하수유출에 대한 대책

무리한 굴착으로 주변에 침하가 발생하여 지하매설물의 매물로 인한 상·하수도 및 가스관등의 파손이 발생, 일시적으로 집중하중이 토류벽체에 영향을 미치는 경우, 굴착시 벽체 부위의 누수 발생의 정확한 원인규명 및 보강공법 대책을 강구하여 감독자와 협의 후 시공하여야 함.

3.7 인접구조물에 대한 보강대책

굴착시 과도한 지반변위 및 침하가 발생되지 않도록 벽체 조성시 충분한 품질관리 및 단계별 굴착시 지보재의 조기설치로 주변침하를 최소화하여야 함.

3.8 지하매설물에 대한 보강대책

지하 굴착작업으로 주변지반의 평형성 상실에 의한 지반침하로 지하매설물의 파손에 이은 생각치 못한 큰 사고가 발생할 수 있으므로 현장주변에 매설되어 있는 지장물(가스관, 전력 공급관, 통신관, 상수도, 하수도등)을 면밀히 파악, 안전 상태를 관찰하여, 굴착시 변위발생 억제를 위해 지보재를 신속히 설치 하므로써 지하 매설물의 손괴를 방지할 수 있음.

현장주변 지장물의 보호를 위한 수칙으로는,

1) 사전 통보의 실행

공사 착공전에 해당 지장물을 관리하고 보존하는 기관에 사전통보를 하여야 함.

2) 관로를 눈으로서 확인

관로는 반드시 정열상태로 매설된다고는 할 수 없으며, 관로의 시굴에 있어서는 전체 줄수를 노출시켜 줄수, 매설깊이, 위치를 확인 사전조사를 할 때는 반드시 관련기관의 직원 입회하에서 수행함. 입회 없이 맨홀, 핸드홀의 뚜껑을 열고 내부를 조사하려고 해서는 안되며, 특히 통신맨홀의 뚜껑은 벗겨져서 속으로 떨어지기 쉽고 잘못해서 떨어뜨려 내부의 케이블 및 관거를 손상시킬 수있음.

3) 공사중의 연락 체계의 통실

지중 매설물의 매설위치에 관한 정보나 사전 협의에서 필요한 사항은 해당 작업현장의 전원이 숙지하여야 함. 특히, 공사진행 중에 교대가 많은 건설기계의 오퍼레이터 혹은 해당 공사의 도중에 참가하는 신규 작업반, 교체반, 신규 종사자에 대해서도 철저하게 숙지 시켜며, 또한 입회 요청일자 변경에 대해서는 확실하게 연락하여 반드시 입회시키도록 함.

4) 매설물 근접 작업시의 안전 배려

- ① 굴착 시공시 지중매설물 위를 굴착할 때는 매설 위치에서 원칙적으로 1.5m 이내는 인력굴착을 실시. 상황에 따라 표면층 이외를 인력굴착을 실시하며, 인력으로 굴착시 매설물에 해가 되지 않도록 세심한 주의가 필요함. 심침봉의 사용은 최대한 피하는 것을 원칙으로 하며, 부득이 사용할 때는 매설물에 해가 되지 않도록 세심한 주의가 필요함. 또한, 기계 터파기의 경우에도 버킷 날의 길이에 주의해야 함.
- ② 말뚝 박기, 뿔기 시공시 지중 매설 상황을 시굴로서 확인하고 시공한다. 말뚝 박기 위치는 지중 매설물에서 50cm 이상 이격시킴.
50cm 이상 잡을 수 없는 상황일 때는 말뚝 박기의 진동, 충격이 전달되지 않도록 관로로 노출 시킨 후에 신중하게 안전을 확인하면서 시공. 말뚝 빼기시에도 진동, 충격이 전달되지 않도록 주의해야 함.
- ③ 약액주입 시공시 약액주입 천공을 하기 전에 지중매설물 상황을 시굴로서 확인하고 안전거리를 확보하면서 시공. 또한 약액이 관로 안에 들어갈 수 있으므로 필요에 따라 사전, 사후의 관로 통과시험을 하고, 사전통지가 필요함.
- ④ 가설공사, 부대 공사시 지하 시설에 근접할 때는 주의를 기울여야함.

- ⑤ 맨홀에 근접하는 작업시 맨홀, 핸드홀 주변을 기계로 깎아낼 때 목부분, 몸체에 충격을 주지 않도록 시공에 주의를 요함.
- ⑥ 가공 선로 시설에 접근하는 작업시 지하 매설물뿐만 아니라 가공 선로 시설에 대해서도 거리를 유지하도록 배려함.
- ⑦ 화기에 대한 안전 배려 : 노출 통신시설 및 전기 시설에 근접해서 화기를 사용할 때에는 열차폐 물을 설치하여 직접적인 영향을 피함.
- ⑧ 압력, 충격, 진동에 대한 안전 배려 : 굴착시 지중 매설물 주변에서 부적절한 하중, 충격, 진동을 주지 않도록 배려함.
- ⑨ 지중매설물에 대한 안전 의식의 고양 : 지중 매설물이 사회 전반에 미치는 중요성에 대한 인식을 주의시킴과 동시에 지중 매설물에 대한 안전의식 고양을 도모하는 시공 자세가 필요함.

5) 굴착 공사에 따르는 가스관의 보호

노출된 주변 가스관의 보호 대책으로는,

- ① 고정 조치
- ② 옆흔들리기 방지 장치의 설치 : 봉강 및 형강, 와이어 로프, 철선을 이용하여 좌우 이동 유격을 방지.
- ③ 매달기 조치
굴착으로 인한 가스관이 노출되었을 때 또는 물뜨기 장치, 가스차단장치, 정압기, 불순물을 제거 하는 장치 또는 용접이외의 방법으로 접합부가 2개 이상 있을 때에는 봉강 및 형강, 와이어 로프, 철선을 이용하여 매달기 간격을 2.5m 내외로 하여 실시함.
- ④ 받침 조치
가스관의 침하에 의한 파손 방지를 위하여 콘크리트, 철재 또는 목재를 이용하여 받침 지지방식을 적용하며 지지시 지지대의 간격은 2.5m 이내로 제한함.
- ⑤ 배면 방호
2단 엄지 말뚝 천공에 의한 가스관을 노출시켜 수시로 점검하는 것으로 대별할 수 있으며, 구조물의 발파진동에 대한 영향을 검토해야 함.

6) 전력 공급관의 보호

- ① 매달기 방호
강재, 와이어로프, 목재, 콘크리트재를 사용하여 전용보에서 기설 구조물을 매달기함.
- ② 받침 방호
매달기 방호와 같은 재료를 사용하여 가설물, 기설 구조물, 원지반에 받침.
- ③ BOX 방호
케이블이 직접 노출되지 않도록 각종 케이블 방호재를 사용하여 직접 또는 간접적으로 감싸기 방호함.
- ④ 지반 개량
매설물 주변의 원지반, 영향 범위의 원지반을 약액 주입, 특수재료(생석회등), 양질의 토사로 부분 또는 전면적으로 바꾸는 등 지반을 개량.
상기의 사항은 단독으로 실시되는 것이 아니라 두 가지 이상의 방법을 병용하여 현장실정에 맞게 적용하도록 함.

7) 통신관의 보호

통신공사 시설의 방호 공사 및 지장물 이전 공사는 전용회선의 안정성을 확보하기 위하여 원칙으로는 통신공사가 하기로 되어 있으며 통신관 방호 방법은 통신공사 지하 시설이 굴착 갭 안에 노출할 때에는 굴착규모에 따라 개개의 임시 방호를 하고 공사 복구의 단계에서 각각 본 방호를 함.

대규모 굴착에서 맨홀이 굴착 갭 안에 노출되고 매달기 방호를 필요로 할 때에는 몸체를 파괴하는 것을 원칙으로 하고 몸체의 가설 맨홀을 만들어 케이블을 보호함. 관로 및 직매케이블의 경우는 매달기 보호를 표준으로 함. 진동의 영향이 큰 장소의 매달기 방호는 전용 매달기보를 만들어서 함.

특히, 진동이 심한 교차점에서는 받침 방호가 바람직하며, 되메우기 전에는 본 방호공사 및 해당 지하시설을 재검토함.

8) 상수도관의 보호

지하 굴착에 따른 수도관의 손상은 엄지 말뚝 천공에 의한 파손, 흙막이 시공 불량, 굴착 기계에 의한 관체 파손, 매달기 지보공의 방호불량, 교차부 간격의 부족에 따른 침하 접촉, 지하수 저하에 의한 고르지 않는 침하, 되메우기 불량에 의한 고르지 않는 침하에 의한 것이 대부분으로 공사 착수 전에 관할의 수도 사업소와 공사의 종별, 규모, 시공 방법을 사전 협의함과 동시에 매설관의 구경, 점용 위치, 흙덮기를 조사함. 또한, 현장의 지상조사(제수 밸브, 소화전, 공기 밸브에 의함), 줄파기에 의해 관의 위치를 충분히 확인하고 공사중에는 작업원에게 관의 위치를 확실하게 파악해야 함.

또한, 수도관은 하수 관거와는 달리 국부적으로 굴곡하고 있는 장소가 있으므로 작업장소에서 관을 확인한 후 굴착 작업해야 함.

흙막이 공사시 배면의 관의 파손원인으로는,

- ① 토류벽체 근입 깊이 부족으로 인한 배면측 침하
- ② 띠장 및 버팀대가 토압에 견디지 못하여 과도한 변위 발생
- ③ 지하수 배수에 의한 고르지 못한 침하
- ④ 목재 흙막이판 사용시 배면 뒷채움 불량으로 인한 침하
- ⑤ 관과 토류벽체가 교차하고 있는 장소에서 충분한 흙막이가 되지 않을 때
- ⑥ 빗물, 배수, 용수, 누수로 인한 주변 지반의 침하

이상의 사항을 생각할 수가 있으며 이러한 원인을 제거함과 동시에 사전에 방호조치를 실시하여 함.

9) 하수관의 보호

지중에 매설되어 있는 하수관거의 파손은 직접적인 피해 효과가 나타나지 않으므로 경시하기 쉬운 면이 있으나, 장기적인 면에서 파악될 때는 주변 지반의 이완 및 호우시 흐름의 저해 때문에 내수범람을 일으키거나 토사 유출에 의한 주변 지반 함몰에 의한 중대한 사고의 원인이 됨.

따라서, 이와 같은 손상, 사고를 최소한으로 막기 위해 굴착 공사를 할 때는 공사 구역 내의 하수도 시설의 조사, 입회, 점검을 하게끔 되어 있으므로 반드시 하수도 관리자에게 시공통지 혹은 입회 의뢰서의 수속을 해야 함.

굴착 공사시 발생하는 하수관거 파손 원인,

- ① 흙막이 공사시 배면측 변위 발생에 따른 주변 침하에 의한 토사 붕괴 및 노면 침하
- ② 매달기 방호 및 받침 방호의 불비
- ③ 지하수 배수에 의한 압밀 침하
- ④ 지하수 배수시 침전조의 불비에 따른 관거내 토사 퇴적시 불균등하중 증대

- ⑤ 믹서, 콘크리트펌프카의 기구 세정, 청소에 의한 콘크리트, 몰탈의 관거 유입
- ⑥ 주입 공사에 따른 약액, 모르타르의 관거내 유입
- ⑦ 되메우기 방법의 불량 및 받침 방호의 불비에 따른 관거의 이동 및 파손과 되메우기 후의 침하에 의한 손상
- ⑧ 시공업자 및 작업원의 무지, 부주의에 의한 손상

3.9 공사시 유의사항

굴착공사와 관련된 인근지반의 침하를 극소화하기 위해서는 다음 사항에 대해 유의해야 함.

- 1) 현장 책임자는 본 토류벽설계도와 인접대지경계선 및 본 건물의 지하 외벽선, 지반고 등을 검측하여 토류벽의 중심선 및 천공 깊이를 확인한 후 시공해야 함.
- 2) 토류벽은 설계심도까지 관입되도록 철저한 시공관리가 필요함.
- 3) 굴착공사 기간 중에 장마 또는 호우를 만날 것에 대비하여(지표수가 침투하여 토류벽 사이로 토사가 유출되는 것을 방지하기 위하여) 토류벽 배면은 시멘트 또는 아스팔트로 포장 하거나 배수로를 개설하여 굴착장내로 우수의 유입을 방지해야함.
- 4) 버팀보 설치 이전에 다음 단계의 굴착을 무리하게 진행하는 것은 인접지반의 침하는 물론 토류구조물의 안전에도 문제가 생기므로 적기에 설치하는 것이 매우 중요함.
- 5) 토류벽 시공 및 굴토공사는 자격 있는 전문업체에서 책임시공 해야함.
- 6) 토류벽 가설을 위한 중장비 가동시 인접건물 또는 주변지반에 중장비 자중, 또는 진동, 충격에 의해 악영향이 가지 않도록 유의해야 하며 특히 보도(매설관) 상에서 작업시는 조강 콘크리트포장(t=20cm) 등을 하여 하중을 최대한 분산시켜 매설물이 손상이 없도록 하여야 한다.
- 7) 토류벽 시공시 또는 굴착공사시 중장비의 암반 굴착 등으로 인해 발생될 수 있는 진동에 대해 수시로 체크하여 조치하는 등 철저히 시공관리 해야함.
- 8) 굴착 중 지층 상황을 반드시 확인하도록 하며, 시공 중 지층 변화시 재검토 후 시공토록 하여야 한다.

3.10 피해예방 및 안전대책

흙막이 구조물 설계도는 제공된 지질조사 보고서에 나타난 토층의 성질을 근거로 작성 되었으므로 실제 시공중 토층 구성이 지질조사 보고서 내용과 다르거나, 지반침하 등에 관한 실측 결과에 따라서는 피해예방을 위하여 설계변경이 이루어져야 함. 또한, 시공중에 나타난 자료로 판단할 때 피해방지를 위하여 설계 변경이 필요한 경우 감독자는 시공자에게 설계변경, 피해예방 및 각종 피해복구에 대한 건의를 할 수 있으며, 이때 시공자는 이 문제를 감독자와 협의하여 적절한 조치를 취해야 함. 이상의 피해예방을 위하여 시방서에 명시된 사항은 피해를 최대한 예방하기 위한 기술적인 원칙에 불과하므로 시공자는 이 조항에 대한 충실한 이행은 물론이고 현장에서의 안전사고, 피해의 예방과 이를 위한 실측(토류 구조물의 변형, 지반침하 등의 주기적인 측정)에 최선을 다하고 필요에 따라서는 감독자의 협조와 설계자의 자문을 요청하여 안전한 공사가 되도록 하여야 함. 또한, 감독자는 민원이 예상되는 부분에 대해서는 착공전에 공인 기관에 의한 안전 진단을 실시하여 민원의 소지를 최소화하여야 함.

04 단면별 검토결과

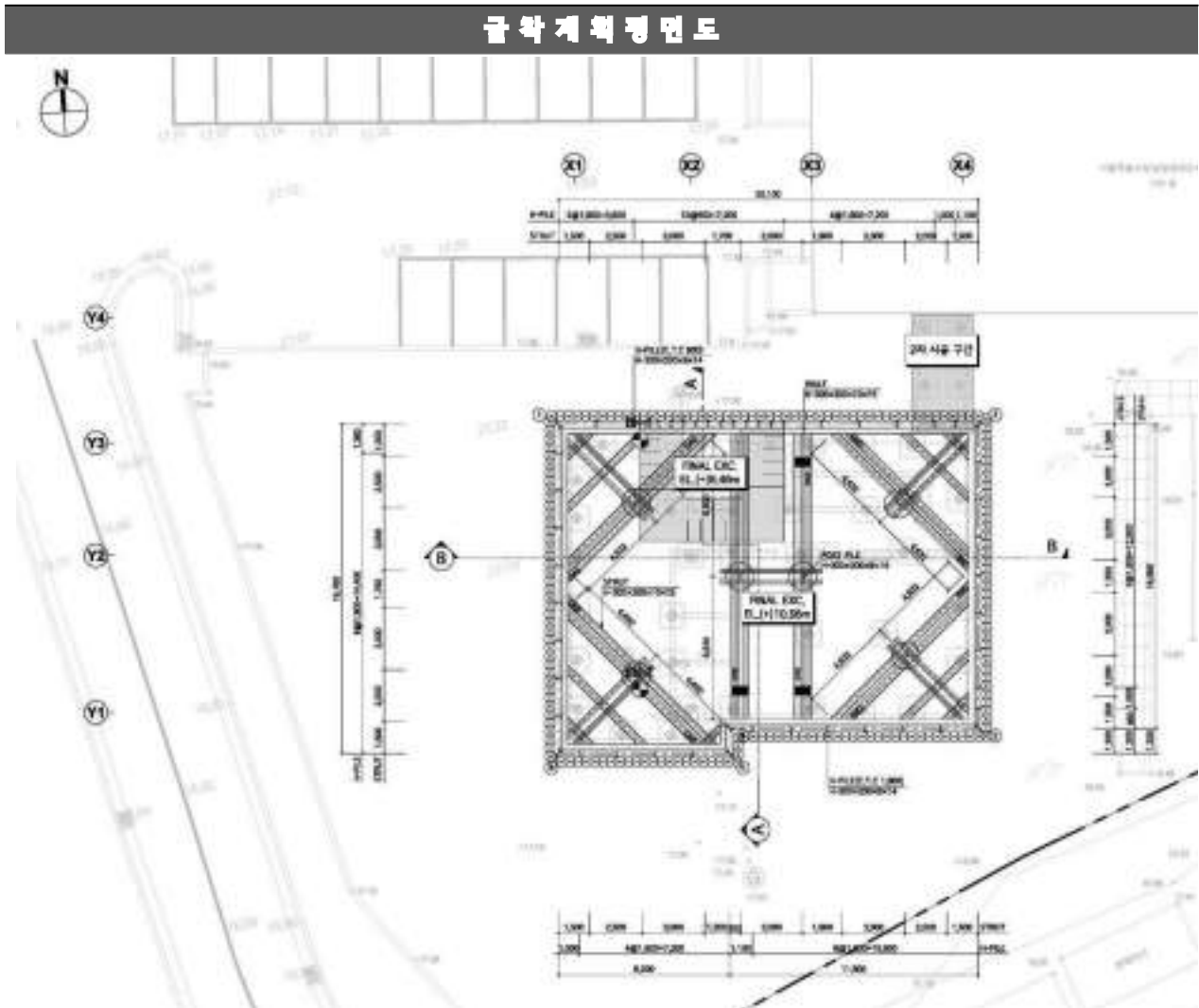
4.1 급락계획 평면도

4.2 단면 A-A(좌) 검토결과

4.3 단면 B-B(좌) 검토결과

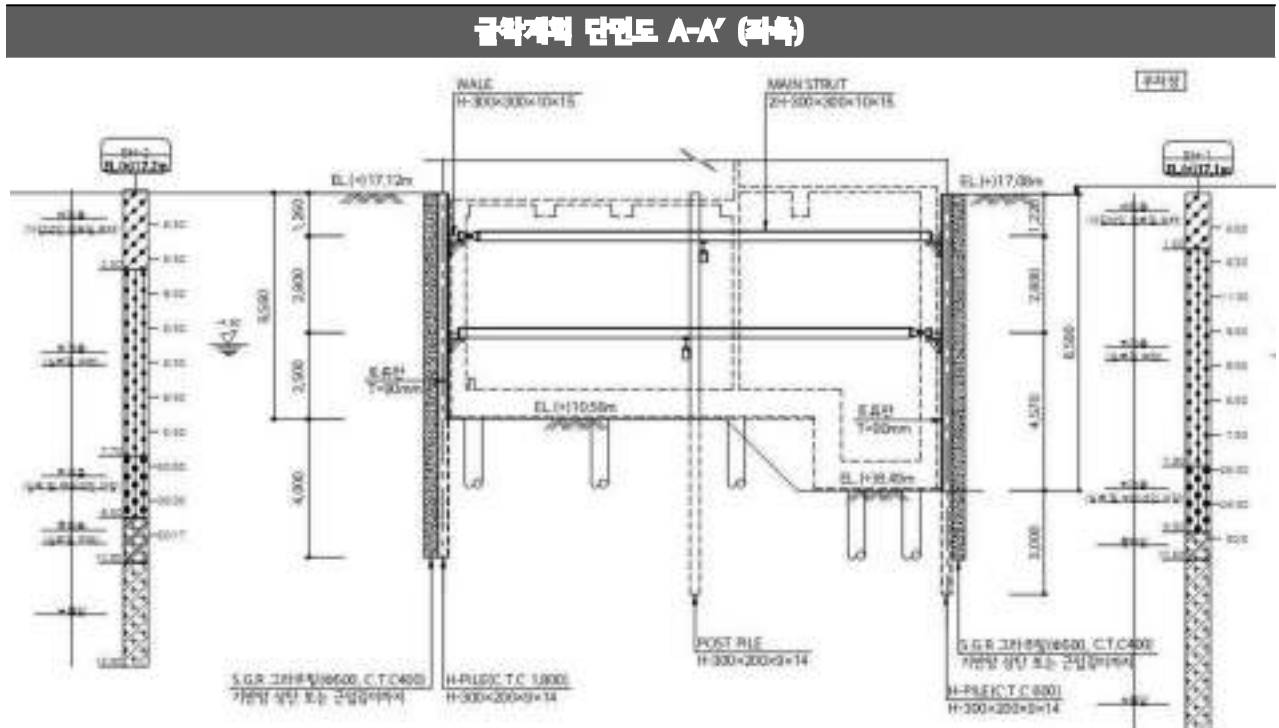
4. 단면별 검토결과

4.1 급락계획 평면도



4.2 단면 A-A'(좌) 검토결과

1) 급락개척 A-A'(좌) 검토결과



2.1) 흙막이벽체 수평변위

급락심도	최대수평변위(mm)	허용수평변위(mm)	판 정	비 고
6.56m	17.925	19.680	O.K	허용변위 : 0.30%H

2.2) H-PILE 응력검토

구 분	활용력(MPa)			압축응력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
H-PILE	123.543	183.076	67.48	5.998	206.143	2.91	65.951	121.500	54.28

2.3) 흙막이벽체 근입깊이 검토

구 분	저항모멘트(Mp)	작용모멘트(Ma)	안전율(Fs=1.20)	비 고
근입깊이 4.0m	1242.963	539.058	2.306	O.K

2.4) 스트럿 응력검토

구 분	활용력(MPa)			압축응력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
1단 STRUT	5.744	184.245	3.12	14.065	153.120	9.19	2.315	121.500	1.91
2단 STRUT	5.744	184.245	3.12	20.836	153.120	13.61	2.315	121.500	1.91

2.5) 띠장 응력검토

구 분	활용력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
1단 WALE	43.518	201.645	21.58	43.840	121.500	36.08
2단 WALE	76.048	201.645	37.71	76.612	121.500	63.06

2.6) 침하 검토

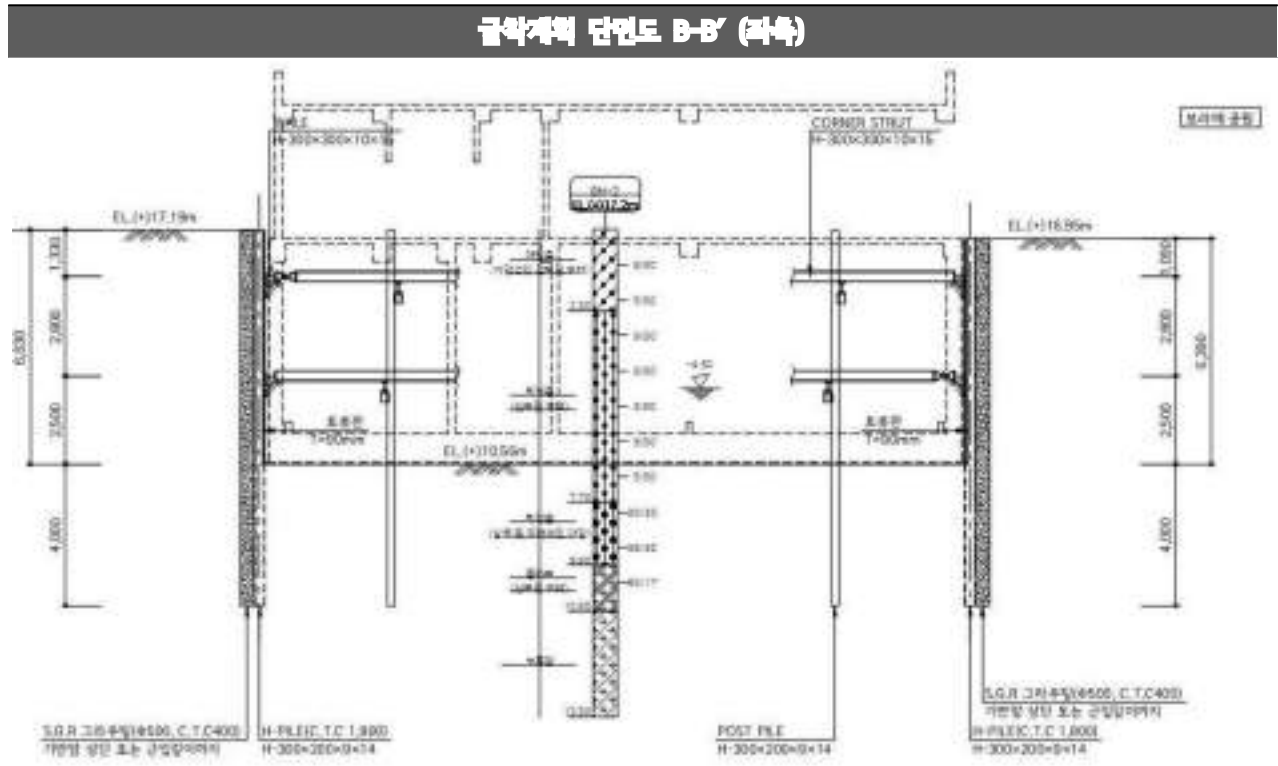
구 분	발 생 각변위	허 용 각변위	안전성 평가
침하검토	1/2,553	1/500	O.K

2.7) 토류판 검토

구 분	활용력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
토류판 T=90mm	14.602	18.000	81.72	0.531	1.600	33.20

4.3 단면 B-B'(좌) 검토결과

1) 급락개벽 B-B'(좌) 검토결과



2.1) 흠막이벽체 수평변위

급락심도	최대수평변위(mm)	허용수평변위(mm)	판정	비고
6.63m	18.563	19.890	O.K	허용변위 : 0.30%H

2.2) H-PILE 응력검토

구분	휨응력(MPa)			압축응력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
H-PILE	125.745	183.076	68.68	5.998	206.143	2.91	66.381	121.500	54.64

2.3) 흠막이벽체 근입깊이 검토

구분	저항모멘트(Mp)	작용모멘트(Ma)	안전율(Fs-1.20)	비고
근입깊이 4.0m	1242.963	543.308	2.288	O.K

2.4) 스트럿 응력검토

구 분	활용력(MPa)			압축응력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
1단 STRUT	14.544	175.545	9.42	37.130	153.120	24.25	5.556	121.500	4.57
2단 STRUT	16.544	175.545	9.42	54.79	153.120	35.78	5.556	121.500	4.57

2.5) 띠장 응력검토

구 분	활용력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
1단 WALE	46.058	201.645	22.84	46.400	121.500	38.19
2단 WALE	76.041	201.645	37.71	76.604	121.500	63.05

2.6) 침하 검토

구 분	발 생 각변위	허 용 각변위	안전성 평가
침하검토	1/3,266	1/500	O.K

2.7) 토류판 검토

구 분	활용력(MPa)			전단응력(MPa)		
	발생	허용	비율(%)	발생	허용	비율(%)
토류판 T=90mm	14.710	18.000	81.72	0.535	1.600	33.45

05 **계측관리 계획서**

- 5.1 계측관리 목적**
- 5.2 계측기 설치계획**
- 5.3 계측기 항목 선정기준**
- 5.4 계측기기의 선택 및 수량, 빈도**
- 5.5 계측자료의 수집**
- 5.6 계측관리 결과 및 자료분석**
- 5.7 계측기기의 관리항목**
- 5.8 평가 및 활용기법**
- 5.9 관리기준 초과시 조치요령**

5. 계측관리 계획서

5.1 계측관리 목적

본 계획서는 본 사업부지의 신축공사와 관련한 지하 굴토 흙막이 공사의 계측수행을 위한 것으로 현장의 지층조건과 지하굴토심도, 주변여건, 설계 및 시공방법 등을 고려하여 가장 안전하고 경제적이며, 시공이 용이한 최적의 공사가 이루어 질수 있도록 계획되었으며, 현장계측이란 설계단계에서 예측한 지반거동의 불확실성으로 인한 문제점을 시공 중에 발견하여 설계시 예측된 정량적 분석정도를 시공에 FEED BACK 함으로써 예기치 못한 사고를 미연에 방지하고, 설계 및 시공 방법을 적절히 수정하여 공사의 안전성과 경제성을 도모하는데 그 목적이 있으며, 계측계획은 굴착에 따라 토질이 즉각적으로 반응하지 않으므로 일반적으로 다음 항목들이 검토되어 수립된다.

- (1) 현장공사 개요 및 규모
- (2) 현장 지반 및 인접 건물
- (3) 계측목적에 따른 계측항목과 수량
- (4) 계측기 설치, 유지관리 방안
- (5) 계측수행에 맞는 인원 확보
- (6) 계측 결과의 출력, 분석 및 시공반영 체제 수립

현장계측은 다음과 같은 목적에서 행하여진다.

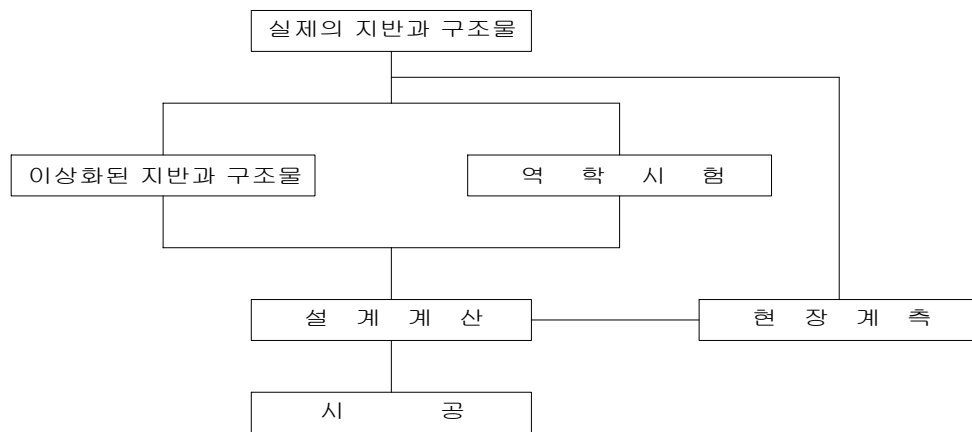
- (1) 계획 시 지반조건에 관한 지식의 부족에 기인한 설계상의 결점을 시공기간 중에 발견하여 제거 하기위한 수단
- (2) 굴착공사가 지반에 미치는 영향과 그에 따른 지반의 변화가 구조물에 미치는 영향에 대해서 정보를 제공하기 위한 수단
- (3) 계측자료를 분석하여 설계의 과다, 과소 여부를 판단하여 경제적인 설계를 위한 보강 및 수정을 할 수 있다
- (4) 얻어진 자료를 역해석하여 설계시 가정된 토질정수와 비교하여 현장에 맞는 적절한 토질조건을 규정 할 수 있다
- (5) 축적된 자료를 통해 차후 설계에 적용하여 합리적인 설계가 되도록 한다

현장계측은 이상의 5가지의 큰 목적을 위해 행하여지지만 그 역할에 의해서 아래의 6개의 목적으로 분류된다.

- (1) 긴급한 위험의 징후발견을 위한 계측
- (2) 시공중에 중요한 정보를 얻기위한 계측
- (3) 시공법을 개선하기 위한 계측
- (4) 법적소송을 대비하여 도움이 되는 계측
- (5) 공사지역의 특수한 경향을 파악하기 위한 계측
- (6) 이론을 검증하기 위한 계측

이상에서 살펴본 바와 같이 현장계측은 여러 가지 목적을 위해 실시되는 경우가 많다.

따라서 계측을 성공적으로 실시하기 위해서는 각 목적마다의 충분한 사전검토가 매우 중요하다. 일반적으로 계측의 목적은 현장에서 발생할 수 있는 설계와 시공사이의 기술적인 격차를 최소화 하여 안정성, 경제성, 합리성을 극대화 하는데 볼 수 있다.



< 계측목적 Flow Chart>

특히, 계측수행에 필요한 3요소는 다음과 같다.

(1) 신뢰성 있는 계측기기

굴착공사 계측기기는 일반적으로 지반 및 가시설의 변형이 정확히 반영되어질 뿐만 아니라 응력 값으로의 환산 값이 신뢰성을 가져 허용치에 대한 안전성 또는 보강에 반영을 검토할 수 있어야 한다.

(2) 자질을 갖춘 계측 수행자

최근 들어 계측기 자체의 괄목할 만한 성장에도 불구하고 계측기 사용자의 자질은 이를 따르지 못한 경우가 있어 계측의 실패가 종종 발생하였다.

계측 수행자는 최소한 계측기의 원리를 이해하여야 하며 계측을 통하여 자기가 수행하는 작업의 성공적인 완결을 위해서 계측을 최대한 활용할 수 있는 자질을 구비해야 한다.

(3) 현장과의 상호보조

계측 작업은 시공과 병행하여 이루어지므로 가능한 시공 공정에 지장을 주지 않아야 하며 시공자가 계측에 대한 개요를 인식하여 설치 및 설치후의 관리에 문제가 발생치 않도록 한다.

5.2 계측기 설치 계획

합리적이고 안전한 시공이 되기 위한 자료를 정확하고 신속하게 수집하기 위해서는 체계적인 계측계획이 사전에 수립되어야 하며 계획단계에서 검토되어야 할 사항들은 다음과 같다

(1) 계측계획 수립의 일반사항

계측계획은 수립단계에서 일반적으로 다음과 같은 사항들이 충분히 검토 되어야한다

항 목	내 용	비 고
인접구조물 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 주변 도로망 파악 - 인접 건물의 배치 및 노후 상태 파악 - 인접건물의 토질 특성 파악 	
구조물 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 본 구조물 및 인접 주요 구조물의 특성 파악 - 지반 지지 주체의 특성 - 자연적, 인위적 현상의 상호관계 	
지질 및 토질특성	<ul style="list-style-type: none"> - 광역적 지형, 지질의 특성 - 해당 지역의 지지 기반층 생성과 발달과정 파악 - 지질 및 토질의 공학적 특성 	
설계특성	<ul style="list-style-type: none"> - 하중분포 및 하중전달 역학관계의 이해 - 지반공학적 상수의 평가 - 재료역학적 상수의 평가 - 수치해석 모델의 이해 - 수치해석 결과의 평가 - 안전율의 적용 	
지보부재 및 시공 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 가설구조 및 기타부재의 거동특성 - 시공순서 및 시공 단계별 시간개념 - 지층변화 및 지하수 유동예측 - 시공상 취약요소의 파악 	
계측기기 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 작동원리 및 설치기법 - 측정범위 및 측정오차 - 측정방법 및 경제성 - 내구성 및 계기간의 상호 호환성 - 목적에 부합되는 적용 방법 	

(2) 계측계획에 대한 검토사항

항 목	내 용
계 측 빈 도	- 계측 항목별로 시공 진행도 및 변화 속도등을 검토후 결정
계 측 방 법	- 수동, 반자동, 자동등의 방법 검토
처리 System	- 측정기, 컴퓨터 종류, 용량, 통신방법등 환경정비 상태점검
계 측 체 제	- 전임자, 담당자 선정, 시스템 구축, 조직에 대한 장기적인 체제확립

(3) 계측기기 배치에 대한 검토사항

항 목	내 용
계측 목적과의 부합성	- 계측목적 및 해석상 합치한 장소선정과 배치간격, 수량 및 심도검토
시 공 사 항	- 선행부분, 가장 취약하다고 판단되는 부분 검토 - 시공과정에 대한 합리성 검토 - 자연조건 및 주변 여건 고려
전체관리 및 집중관리	- 한 계기가 부담 할 수 있는 영역검토 - 주 계측단면, 보조계측 다면의 산정
계 기 보 수	- 가설물, 중기등에 대한 장애 - 장기간 계측하는 경우의 설비

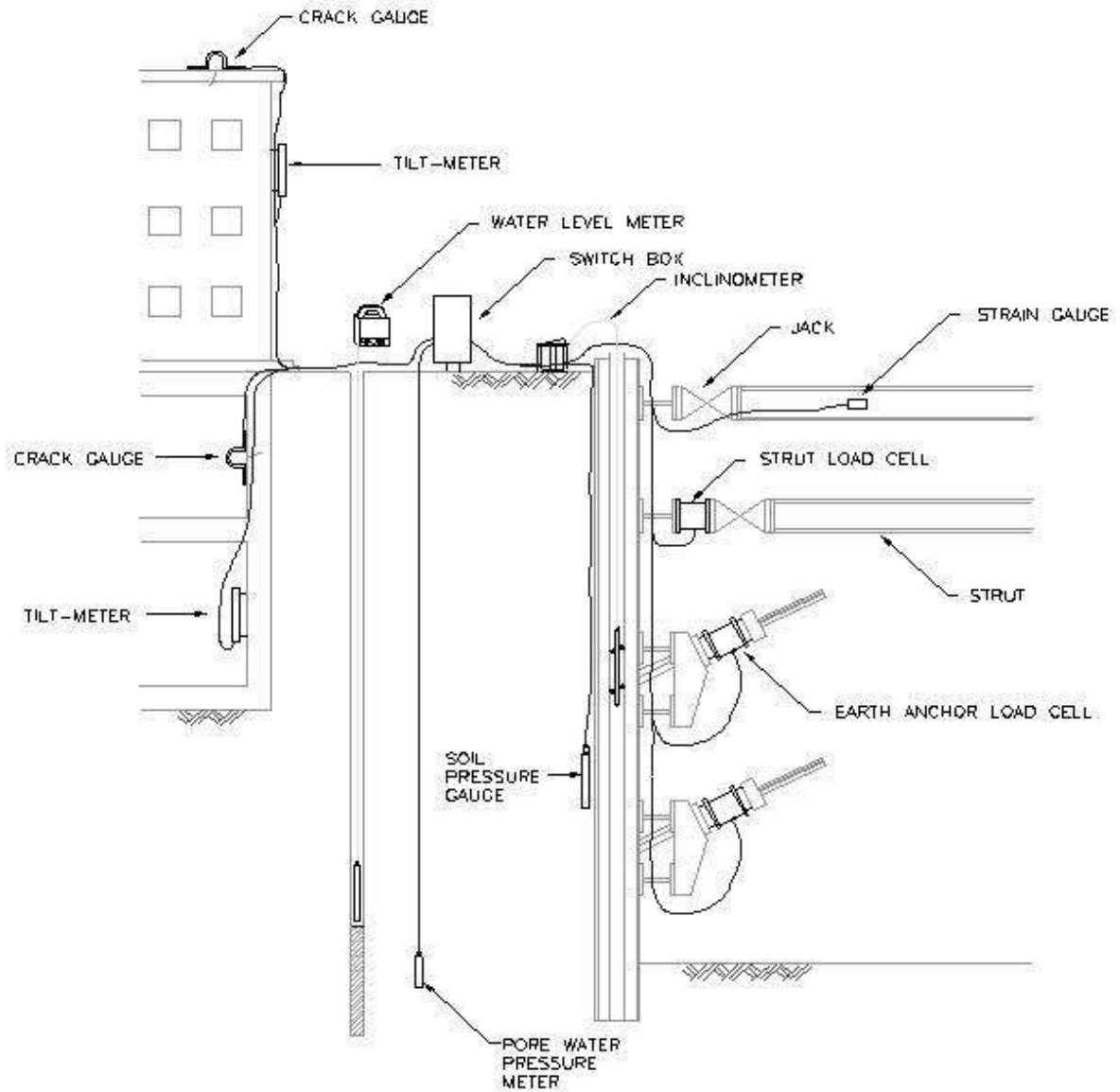
(4) 계측위치 선정시 검토사항

계측위치 선정에 있어서 지보공이나 흙막이벽 등에 대하여 여건이 허락하면 안전상, 현장관리상, 연구 목적상 부합되는 모든 위치에 행하는 것이 좋겠지만 실제로는 그렇지 못하므로 계측위치는 흙막이벽 공사 전체에서 판단하여 계측효율이 가장 좋고 큰 변형이 예측되는 대표단면을 선정하여야하며 이를 위해 계기의 배치를 결정할 때에는 다음의 사항을 유의 할 필요가 있다

- ① 주변 구조물의 존재에 의해 결정되는 계측항목에 대해서는 그 구조물의 위치를 중심으로 흙막이 구조물을 대표하는 장소에 계기를 배치한다
- ② 설계의 불확실성에 의해 결정되는 계측항목에 대해서는 그 요인에 따라 배치한다
- ③ 조기에 시공되는 위치에 우선적으로 배치하며 계측 결과는 Feed Back 할 수 있는 장소로 한다
- ④ 계측결과 해석상 상호관련 된 계측항목에 대응하는 계기는 가능한 한 근접시켜 배치한다
- ⑤ 계기고장의 가능성을 염두에 두어 적절한 배치를 한다
- ⑥ 계기의 설치 및 배선이 확실히 행해질수 있는 위치로 한다
- ⑦ 보링 등으로 지반조건이 충분히 파악되고 있는 장소로 한다
- ⑧ 인접해서 중요 구조물이 있는 장소
- ⑨ 교통량이 많아 이로 인한 하중의 증감이 있는 장소
- ⑩ 흙막이 구조물이나 지반에 특수한 조건이 있어 그것이 공사의 영향을 미친다고 생각하는 장소

흙막이벽에 작용하는 토압, 수압, 벽체의 응력, 축력, 주변지반의 침하, 굴착지반의 변위, 지하수위등과 밀접한 관계가 있고 이들의 연교성을 잘 파악 할 수 있는 곳에 중점 배치하여야한다

계측기 설치 표준 상세도



5.3 계측기 항목 선정기준

일상적인 계측 항목 선정시 고려사항은 공사에 의한 영향 범위와 인접된 구조물의 기초형태 및 구조물의상태, 굴토공법의 종류 등을 고려하여 선정되어야 하며, 또한 현장 형상 등을 고려하여 응력의 집중이나 토압의 변화 등을 고려하여 모든 조건의 파악이 가장 용이한 지점을 선정하여야 한다.

본 공사 구간에서 야기 될 수 있는 현상에 대하여 우선적으로 선정되어야 할 계측 항목을 요약 정리하면 아래표와 같다.

<표> 계측의 기본항목

예 상 되 는 현 상	기 본 항 목
- 배면지반의 거동 및 수평변위 발생이 클 것으로 예상되는 경우	지중경사계, 지표침하계
- 엄지말뚝 및 띠장, 버팀보에 변형이 예상되는 경우	변위계, 하중계
- 버팀보, 앵커의 거동이 클 것으로 예상 되는 경우	하중계, 변위계
- 인접구조물에 피해가 예상되는 경우	건물경사계, 지표침하계
- 지반조건상 굴토에 의한 지하수의 감소효과를 검토하는 경우	지하수위계, 지표침하계
- 지중매설물의 침하가 예상되는 경우	지표침하계, 지중경사계, 층별침하계

5.4 계측기기의 선택 및 수량, 빈도

1) 계측기기의 선택

계측 자료의 정확성, 이용의 용이성, 경제성 등을 고려하여, 다음과 같은 점들을 고려하여 기기를 선택하는 것이 일반적이다.

- ① 계측기기의 정도, 반복정밀도, 강도, 계측범위 및 신뢰도가 계측목적에 적합할 것.
- ② 구조가 간단하고 설치가 용이할 것
- ③ 온도, 습도에 대해 영향을 적게 받고 보정이 간단할 것
- ④ 계측기기로 인해 공사에 지장을 초래하지 않을 것
- ⑤ 예상변위나 응력보다 계측기의 측정 기능 범위가 클 것
- ⑥ 계기오차를 유발할 수 있는 계측기 고장 발견이 용이할 것
- ⑦ 가격이 경제적인 것

2) 계측기 수량 및 빈도

굴토 지반의 거동은 일일 굴토량과 작업기계, 기상(우천) 등에 영향을 받으므로 DATA의 변화속도의 안정성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적절한 측정빈도를 설정해야 한다.

DATA의 변화속도가 빠른 계측 항목의 측정 빈도는 높이고 반대로 장기간에 걸쳐 변화량이 미세한 계측항목은 빈도를 낮추는게 좋으며, 안전과의 관련성이 깊은 계측 항목은 높일 필요가 있다.

계측빈도는 공사의 진행상황에 따라 결정되지만 일반적으로 주 1회 정도 측정한다.

현장 여건을 판단하여 효과적으로 결정하여야 하며 계측기간은 공사전, 공사중, 공사 후를 구별하여 공사전의 계측기는 예측계측이 포함되어야 하고, 공사후의 계측에는 유지관리를 포함해야 한다.

계 측 항 목	측 정 목 적	단계별 측정빈도			설 치 위 치
		굴착전	굴착중	되메우기	
지중수평 변위측정	굴착에 따른 지반의 심도별 수 평변위량을 측정하여 수평방향 의 지반이완 영역 및 가설 구 조물의 안전도 판단	1회/일 (3일간)	2회/주	1회/주	과다한 변위가 예상되는 쪽,중요한 건물이 인접 한 쪽에 설치
지하수위 측정 (수위계)	굴착으로 인한 수위 변동 및 차수벽의 효과 확인	1회/일 (1일간)	1회/일	1회/주	중요 건물이 인접한 쪽 에 설치
지중침하 측정	각 지층별 침하량의 변위를 파 악하여 보강대상 및 범위를 결 정하여 최종 침하량을 예측	1회/일 (3일간)	2회/주	1회/주	중요 건물이 인접한 곳 에 우선 설치
응 력 측 정 (변형계)	심도별 엄지 말뚝 및 버팀보피 창에 걸리는 응력 측정으로 부 재의 안전도 판단	3회/일 (1일간)	2회/주	1회/주	동일 단면의 각 굴착 단 계별 설치
하 중 측 정 (하중계)	어스앙카 및 버팀보 부재의 압 축력 및 인장력을 측정함으로 공사시 지반상태 예측	1회/일 (3일간)	2회/주	1회/주	버팀보,어스앙카 등 가설 여건에 따라 선정 동일 단면에서 굴착 단계별 설치
건물기울기 측정 (Tiltmeter)	굴착 공사시 주변 건물이나 지 반에 설치하여 측정지점의 경 사 정도 측정	3회/일 (1일간)	2회/주	1회/주	측벽지하실, 옥상부에 각각 설치
균 열 측 정	변위량,변위속도 및 수렴상태 등을 파악하여 굴착에 따른 주 위 건물의 영향 및 안정성 판 단	3회/일 (1일간)	2회/주	1회/주	균열이 진행 예상되는 지점 2개소 예상

주) 계측 빈도는 공사 여건, 계측결과 등에 따라 증감 할 수 있음

계측기의 위치 선정은 시공안전상, 연구 목적상 부합하려면 모든 위치에 설치하는 것이 가장 이상적이나 현장 여건상 그렇지 못하므로 계측위치는 토류공사 전체에서 판단하여 계측효율이 가장 좋고 큰 변형이 예측되는 토류단면을 선정하여야 하는데 일반적으로 고려해야 할 사항은 아래와 같다.

- ① Boring 조사 등으로 지반조건이 충분히 파악되는 장소
- ② 토류구조물을 대표하는 장소
- ③ 초기에 사용 할 수 있고 계측결과를 Feed Back 할 수 있는 장소
- ④ 인접해서 중요구조물이 있는 장소
- ⑤ 토류구조물이나 지반에 특수한 조건이 있어 그것이 공사에 영향을 미칠 것으로 예견되는 장소.

5.5 계측자료의 수집

계측기기의 초기측정은 신뢰성 있는 기초자료로 활용할 수 있도록 시공 전에 얻어져야 한다.

자료수집 빈도는 공사정도에 따라 적절하게 결정되어야 하며 구조물의 급격한 응력변화나 주변구조물에 공사로 인한 문제점이 발견되면 그 빈도를 증가시켜야 할 것이다.

현장에서 얻어진 자료는 즉시 공사현황 및 기상상태 등을 고려하여 분석하고 도표 등으로 가시화 함으로써 토류구조물의 현재 상황을 판단하고 이를 예측치와 비교하여 그 차이에 대한 연구를 통해 제 원인을 규명하여 공사의 안전성 및 적합성을 판단해야 한다.

신속한 대처를 위해 야장 등을 통한 수동 계측시스템보다는 입력부터 분석후 자료작성까지 자동화 할 수 있는 자동데이터 시스템이 요망되고 있다.

본 회사는 데이터를 얻는 몇 가지 수동 작업을 나머지 분석, 출력 전 과정을 전산화하여 자료의 신뢰성을 제공하고 있다.

5.6 계측관리 결과 및 자료 분석

계측관리의 주된 목적은 공사도중 관찰된 거동과 이론적 해석에 의한 예상치와의 차이를 규명함으로써 공사의 합리성을 판단하여 위험요소를 제거하고 전반적인 시공수준을 향상시키고 경비절감의 효과를 이루는데 있다. 또한 이러한 기술적 경험을 축적하여 체계화 시킴으로 차후 설계시 이를 반영하여 보다 합리적이고 경제적인 설계를 추구하는 데 있다고 볼 수 있다.

공사 초기부터 굴착에 의한 영향이 종결되는 시점까지 얻어지는 계측자료는 보통 그 양이 방대하여거동을 분석하는데 어려움이 있을 수 있다.

따라서 이 자료를 시공 단계별 또는 일자별로 정리하여 도표화하고, 적절한 이론으로 제분석하여 거동 양상을 가시화 하여야 한다. 이러한 작업을 통해 일정한 추세를 규명하고 이론치와 비교하여 그 차이를 시공 상황에 비추어 원인을 규명 할 수 있다.

현장관리, 안전관리를 위한 계측관리 방법으로서 현재 이용되고 있는 방법은 다음과 같다.

1) 관측한계치의 설정

① 절대치 관리방법

절대치 관리방법이란 시공전에 설정된 관리기준치와 예측치를 비교 검토하여 그 시점에서의 공사의 안정성을 확인하는 방법이다.

② 예측관리 방법

예측관리 방법은 다음단계 이후의 예측치와 관리기준치를 비교 검토하고 사전에 공사의 안전성을 확인하거나 현재 시공되고 있는 시공법의 검토를 확인하는 방법이다.

여기서, 예측치란 현 단계까지의 굴착상태의 실측치에 기초해서 얻어진 토질성질을 나타내는 제정수와 차 단계 굴착 이후의 토류구조물의 거동을 추정한 값이다.

절대치 관리는 계측결과에 대해서 즉시 대응할 수 있다는 점에서 일반적으로 일상의 안전관리에 이용되고 있다.

반면에 예측관리는 조기에 가설구조물의 거동을 추정할 수 있고, 대응책도 충분히 검토할 수 있지만 계측 SYSTEM이 대규모화함에 따라 경제적인 면에서 부담이 크므로 일반적으로 대규모 굴착공사나 중요한 계측의 경우에 한정해서 이용되고 있다.

2) 관리치

관리치는 가설구조물과 주변지반의 변형 등을 발생시켜도 영향이 없다고 결정할 수 있는 범위를 허용치라고 결정한다.

관리치는 허용변위와 허용응력으로 나타낼 수 있고 가설구조물의 설계계산치와 실측치가 명확하게 나타 낼 수 있을 때는 관리치를 그에 따라 비교적 용이하게 결정할 수 있다.

그래서 관리치는 구조물의 종별, 굴착형식, 지반의 지지조건에 덧붙여 관리에 의해 판단되는 기준 등을 전체적으로 생각해서 결정하여야 한다.

즉, 관리치가 유일한 값으로 100% 신뢰할 수 있다고 할 수 없으므로 시공단계에 대응해서 1차 관리치, 2차 관리치로 나누고 1차 관리치까지는 계측치와 구조물의 상황을 비교하여 여기에 따른 관리치의 신뢰성에 맞춰 안전을 확보하는 패턴을 채택한다.

3) 관리계획

아래 표는 2차 관리치가 생긴 후에 추가대책을 실시하여 추가 대책의 수정의 예를 설명하는 것이다.

< 표.> 관리기준치 수정 예

관 리 항 목	1차 검토항목		1차 검토항목		관 리 기 준 치		
	항 목	계측기기	항 목	계측기기	1차관리	2차관리	한계관리
구조물의	응 력	응력계	응 력	응력계	0.6×허용	0.8×허용	0.9×허용
파괴에 대해	변 위	경사계	변 위	경사계	“	“	“
안전점검	외 형	육안, LEVEL	외 형	LEVEL	“	“	“

위 표에서 각 측정기기별 측정결과에 따라 관리기준을 다음과 같이 설정할 수 있다.

- 측정치 ≤ 1차 관리기준치 : 안 전
- 1차 관리기준치 ≤ 한계관리치 : 측정 빈도 배가, 감시체제 강화
- 한계관리치 ≤ 측정치 : 공사 중단, 안전대책 강구

5.7 계측기기의 관리항목

계측기기가 정상적으로 작동되어 현장상황을 대표할 수 있는 DATA를 얻기 위해서는 작업자가 설치 목적 및 방법을 숙지하고, 계측기기의 사전점검을 통해 공사 진행 중 파손으로 인한 자료의 손실이 없도록 유의하여야한다.

중요 지점에는 예기치 않은 계측기기의 이상 및 고장, 설치 오류 등에 대비하여 이를 대신할 수 있는 여유분이 설치되는 것이 바람직하다.

본 현장에서는 상기와 같이 현장여건 등을 고려하여 다음과 같이 계측기를 선정하여 공사 기간동안 공사 시 거동을 측정하도록 하였다.

- ① 지 중 경 사 계(Inclinometer)
- ② 지 하 수 위 계(Watermeter)
- ③ 변 형 룰 계(Strain Gauge)
- ④ 건 물 경 사 계(Tilt Meter)
- ⑤ 균 열 측 정 계(Crack Gauge)
- ⑥ 지 표 침 하 계(Surface Settlement)

1) 자중경사계 (Inclinometer)

① 목 적

지중에 소요 깊이까지 케이싱을 설치하고 측정 소자를 집어넣어 일정 간격으로 케이싱의 경사를 읽어 중심도에 따른 수평 변위량을 측정하여 흙막이 구조물의 연속적인 횡방향 변위를 측정한다.

② 설 치

현장의 특성과 주어진 상황에 따라서 보링, Casing의 처리, Grout의 방법은 현장마다 차이가 있을 수 있으나 일반적인 경우 아래와 같은 방법으로 설치를 한다.

㉠ Side Pile의 근입 심도까지 보링을 한다.

Hole의 지름은 100-200mm 정도이되 100mm 정도로 하는 것이 설치에 편리하다.

㉡ 경사계 케이싱의 한쪽 끝을 Cap으로 씌우고 Rivet Kit를 사용하여 Riveting을 한다.

㉢ 미리 Casing과 Coupling을 Rivet로 조합시켜 놓고 Sealing처리를 한다.

㉣ 측정 방향을 설정하여 홀에 A와 B의 방향을 표시한다.

㉤ 조립된 Casing을 차례로 Hole내에 넣어 측정방향과 Key way의 방향을 맞추어 설치한다.

㉥ Steel Casing을 제거하여 Grouting을 한다.

㉦ Grout재로 완전히 채운 후 경사계 케이싱의 끝부분을 Protective cover로 덮고 보호막을 만들어 잘 보호 되도록 한다.

㉧ Grout재가 양생된 후 침하된 부위에 다시 Grout재를 채운다.

㉨ Grout를 하는 과정에서 측정방향에 대한 위치가 변경되지 않도록 유의해야 한다.

㉩ 만약 설치도중에 공내의 물에 의한 부력에 영향을 받는다면 케이싱내에 맑은 물을 부어 넣어 부력을 제거하도록 해야 한다.

③ 측 정

Probe의 Position을 측정 방향에 맞추어 경사계관 내부의 Key way를 따라 밀어 넣는다.

계획 심도까지 Probe를 내린 후 지시계의 스위치를 켜다.

50cm씩 표시된 케이블을 Assembly에 맞추어 올리며 계측을 하고 계측된 값은 자동적으로 지시계에 수록되며 필요한 자료를 원하는 때에 즉시 뽑아내어 사용한다.

2) 지 하 수 위 계 (Water Level)

지하수위에 대해서는 설계시에 고려된 지하수위를 기준으로 하여 실측된 지하수위가 설계 수위보다 높을 경우가 안전에 대한 주위 대상이 되어, 실측 토압과의 관계로부터 위험 여부를 판정하게 된다.

투수성 지반에서 지하수위보다 깊게 터파기 할 경우 흙막이 벽체의 앞 뒷면의 수위차로 인한 침투수압에 의해 Boiling현상이 발생하기 때문에 지반의 유효응력이 감소되어 지지력 감소, 소멸이나 토립자의 이동으로 인한 흙막이 벽체 및 주변 지반이 파괴 될 수 있다.

① 설치목적

굴착 공사에서 공사 진행과 안전적인 측면에서의 가장 밀접한 관계가 있는 지하수의 흐름을 파악함으로써 수위증강에 따른 토압증감, 수위변화속도, 지반침하발생 여부 등을 파악하여 효율적인 공사 진행을 위한 계측 항목이다.

② 구성 및 원리

수위계의 설치에 Casagrande Type Tip에 P.V.C pipe를 연결하여 굴착공 내에 삽입하여 고정시키며, 측정시 사용되는 Indicator는 센서인 Probe와 길이 단위가 표시된 Cable로 구성되어 있다.

측정 원리는 Probe의 끝에 전기의 극을 노출시켜 물을 통하여 통전되게하여 Indicator에서 부저가 울리게 되어 있다.

③ 설치 및 계측방법

- ㉠ 천공경의 지름을 직경 60mm 이상으로 소정 깊이까지 보링한다.
- ㉡ Cacagrande Type Piezometer Tip과 P.V.C Standpipe를 Coupling으로 연결한 굴착공 내에 삽입한다.
- ㉢ 삽입 완료후 투수성이 현장과 유사한 흙으로 여굴을 채운다. 이때 입도가 너무커서 공극이 생기지 않도록 주의한다.
- ㉣ 상단에 지표수가 유입 되지 않도록 콘크리트 모르타르로 주의를 포장한 후 보호장치를 한다.
- ㉤ 계측을 위하여서는 보호장치의 상부 뚜껑을 열고 Probe를 넣는다.
- ㉥ 부저가 울리는 지점에서 상하로 움직여 지하 수위계의 위치를 정확히 확인한다.
- ㉦ 확인된 지점까지 들어간 Cable의 길이를 측정하여 기록한다.
- ㉧ 기록된 자료를 경과 날짜와 연관시켜 분석한다.

④ 결과 분석

계측 자료를 얻기 위하여는 굴착 현장에서 일정한 간격으로 1열배치 하는 것이 매우 효과적인 것이다. 그러나 대부분의 도심지 굴착공사 현장에서는 여유부지가 없는 관계로 부지 경계선에 근접되게 설치하게 된다.

그러므로 영향거리나 피해발생 가능성 및 토류벽체 차수성 등의 판정을 공정과 지하수위면의 변화로 행하는 것이 한계이다.

3) 변 형 륜 계 (Strain Gauge)

굴착시 버팀보가 부담하는 응력을 관찰하는 방법에는 유압잭 (Hydraulic Jacks), Whittemore Point, Soild Type Load Cells, Resistive Gauges, Photoelastic Indicators 및 표면부착식 변형률 측정계(Surface Mounted Strain Gauge)등을 이용한 방법 등이 제안되어있다.

이들 중에서 비교적 제품이 견고하며 적용범위가 광범위하여 지하굴착 현장에서 많이 이용되고 있는 진동현식 변형률 측정계에 관하여 언급 하고자 한다.

진동현(Vibroting Wire Type)식 변형률 측정계는 현에서 발생하는 진동수(Frequency)가 현의 인장에 비례(The natural frequency of a wire is directly proportional to the tension in the wire.)한다는 원리를 이용한 방법이다.

즉, 부재 상에 고정되어 있는 두 지점에 현이 설치되어 있는 경우, 부재에서 응력변화가 발생 하였을때 고정점 사이의 거리가 변화하므로 현의 인장상태가 달라져서 현의 진동수가 감소 혹은 증가된다. 따라서 버팀보 등의 부재에 변형률 측정계를 설치하여 외부에서 현에 진동을 주어 그 때의 진동수를 측정하면 측정계가 부재의 응력상태를 알 수 있게 된다.

① 설치 목적

Strain Gauge는 Strut 또는 철근에 설치하여 배면토압에 의한 지보반력을 측정하여 설계축력과 비교함으로써 가시설 구조물의 안정성을 검토 하는데 있다.

② 구성

표면부착식 변형률 측정계의 구성은 부착을 위한 Tip, 센서, Cable, 보호장치 및 Indicator 로 되어 있다.

③ 설치 및 측정방법

- ㉓ 변형에 민감한 지점을 선정하여 측점으로 선택 결정한다.
- ㉔ Beam(또는 철근)의 내측으로 선정하여 부착면을 고르게 정리하여 부착한다.
- ㉕ Sensor를 부착하고 보호 Plate를 덮어 고정시킨다.
- ㉖ 고정된 계기를 보호하기 위한 적당한 보호장치를 설치한다.
- ㉗ 버팀보(또는 철근)에 설치할 경우에는 특히 충격에 대하여 견딜수 있게 특별한 주의를 하여야 한다.
- ㉘ 감지선을 연결하여 계측 실시지점으로 연결시킨다.
- ㉙ Cable 을 연결하여 정리한 후 초기치를 측정한다.

④ 결과분석

측정되어 기록된 결과치는 미소지점에서 발생한 변형율로서 일반적으로 설치한 부재에 비하여 매우 미세한 변형이다. 다시 말하면 센서에서 읽혀지는 값이 온도나 진동과 같은 외부요인에 의하여 차이가 나는 것이 일반적이다.

항간의 센서는 온도에 대한 보정이 Indicator에서 이루어지는 것도 있고, 온도를 감지할 수 있는 온도계(Thermometer)가 내장된 것이 있어 온도에 대하여 결과에 보정을 할 수 있게 되어 있다.

그러나 실무에 있어서 온도에 대한 고려를 하기가 상당히 번거로운 것이 사실이므로 계측기를 매번 일정한 온도로 보정하여 실시하면 비교적 정확한 자료를 얻을 수 있다.

분석된 자료의 평가 기준으로는 크게 3가지를 들 수 있다.

첫째 : 변형율로 계산된 응력이나 축력을 기준으로 평하는 경우 버팀보나 역타공법(Top Down Method)의 Beam에 설치한 경우로서 시방서에 규정된 콘크리트나 강재의 허용응력과 비교하여 안정성을 평가

둘째 : 휨 모멘트를 기준으로 하는 경우 복공 구간의 I-Beam이나 버팀보 상의 상·하 플렌지나 엄지말뚝의 플렌지에 설치하여 휨응력이 주(主)가 되는 구조체의 경우 안정성을 평가할 경우

셋째 : 전단력을 기준으로 평가하는 경우 버팀보 보다는 엄지말뚝과 같이 배면토압에 의하여 휨모멘트가 작용되어 전단력이 주(主)가 되는 구조체인 경우, 시방서에서 규정하는 허용 기준치와 비교하여 안정성을 평가할 경우

위의 3가지 경우 외에도 계기가 설치된 부재에서 발생한 변형율을 순수 수평 변위량으로 환산하여 토류벽체의 거동을 유출하여 내부 경사계와 같은 수평변위의 계측을 실시하지 못한 부위에 대한 안정성을 판단하려고 하는 노력을 하고 있다.

4) 경사계 (Tilt Meter)

① 설치목적

인위적 또는 자연적인 영향으로 인접 주요 구조물 옹벽 등의 부등침하로 인한 경사 변형상태를 측정하기 위하여 설치되어진다.

② 구 성

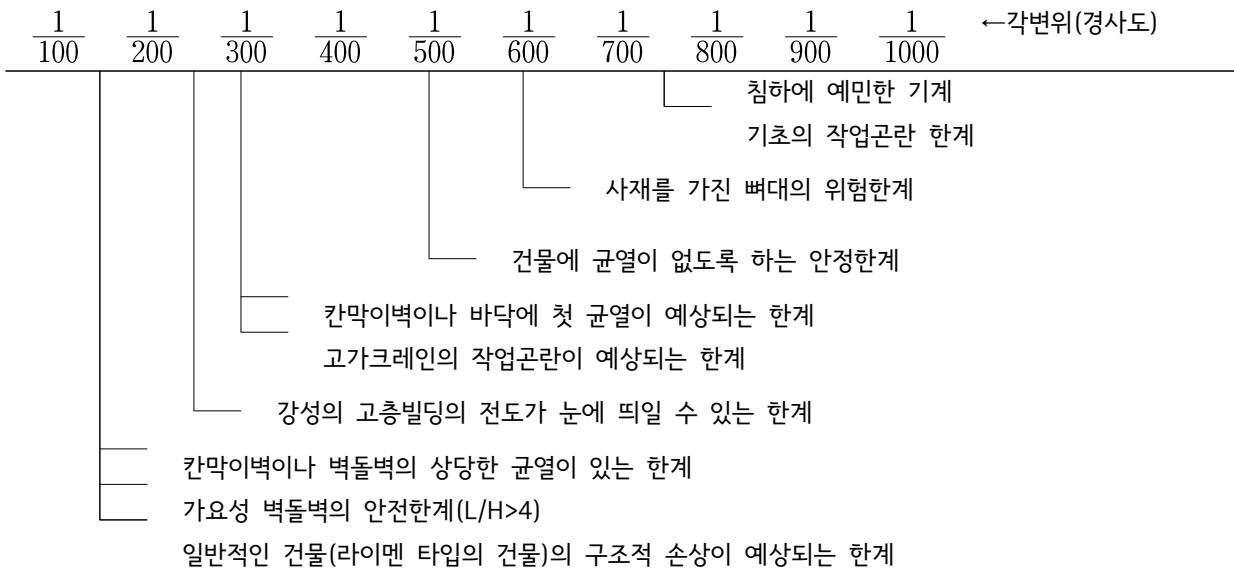
본 Tiltmeter는 Tilt Casing, Sensor, Cable 및 Indicator로 이루어져 있다.

③ 설치 및 측정방법

- ㉓ 현장에 근접한 방향의 위치를 선정한다.
- ㉔ Tilt Casing을 부착시킨다.
- ㉕ Sensor에서 지시계 (Indicator)로 기울기를 측정한다.
- ㉖ 경사계, 수위계, 변형률계 등의 계측 결과치와 비교 검토하여 분석한다.

④ 결과분석

지하굴토 공사에서의 인접구조물의 변위는 주변지반의 부등 침하나 지하수위 저하에 의한 압밀 침하의 영향이며, 이에 따른 각 변위를 Bjerrum은 아래 그림과 같이 규정한다.



5) 균열 측정계 (Crack Gauge)

① 사용목적

건물등 주요 구조물의 균열 진행여부를 확인하고 균열의 폭을 측정한다.

② 적용범위

- ㉠ 흙막이 및 터널등 기타 공사로 인한 인접구조물의 균열측정
- ㉡ 도로 등의 표면균열이나 팽창지점 측정
- ㉢ 옹벽이나 기타 구조물의 균열폭 측정

③ 설치 및 측정

- ㉠ 설치위치를 선정한다
- ㉡ 균열면을 고른다
- ㉢ crack meter를 양단면에 부착시킨다
- ㉣ 초기치를 계측한다

6) 지표 침하계

① 사용목적

지표면에서 관측되는 수직 침하량 및 수평이동측량

② 설치방법

- ㉠ 소요크기의 철판에 STEEL ROD를 수직으로 용접한다.
- ㉡ 제작이 완료된 침하판을 지표면에 ROD가 면직이 되도록 설치한다.

③ 측정방법

현장부근에 굴착의 영향이 미치지 않을 부동점을 설치하고, 그점을 기준으로 측정하고자 하는 침하판 위의 ROD를 수준 측량하여 침하량 및 수평 이동량을 측정한다.

5.8 평가 및 활용기법

계측한 자료가 설정된 관리기준치와 비교하여 다소간의 차이를 보일 경우에는 별 문제가 없지만 과소하거나 과대할 경우는 시공과 설계에 대하여 재고할 필요가 있다.

다시 말하면 실측치가 관리기준치의 한계 이상일 경우는 위험한 단계로 판단하여 현장에 신속히 긴급대책을 수립하여 조치 후 재 설계(대개 보강 설계)를 실시하여야 하며 한계치 이하로 실측치가 측정될 경우는 합리적이고 경제적인 범위내에서 재설계를 고려할 수 있는 것이다.

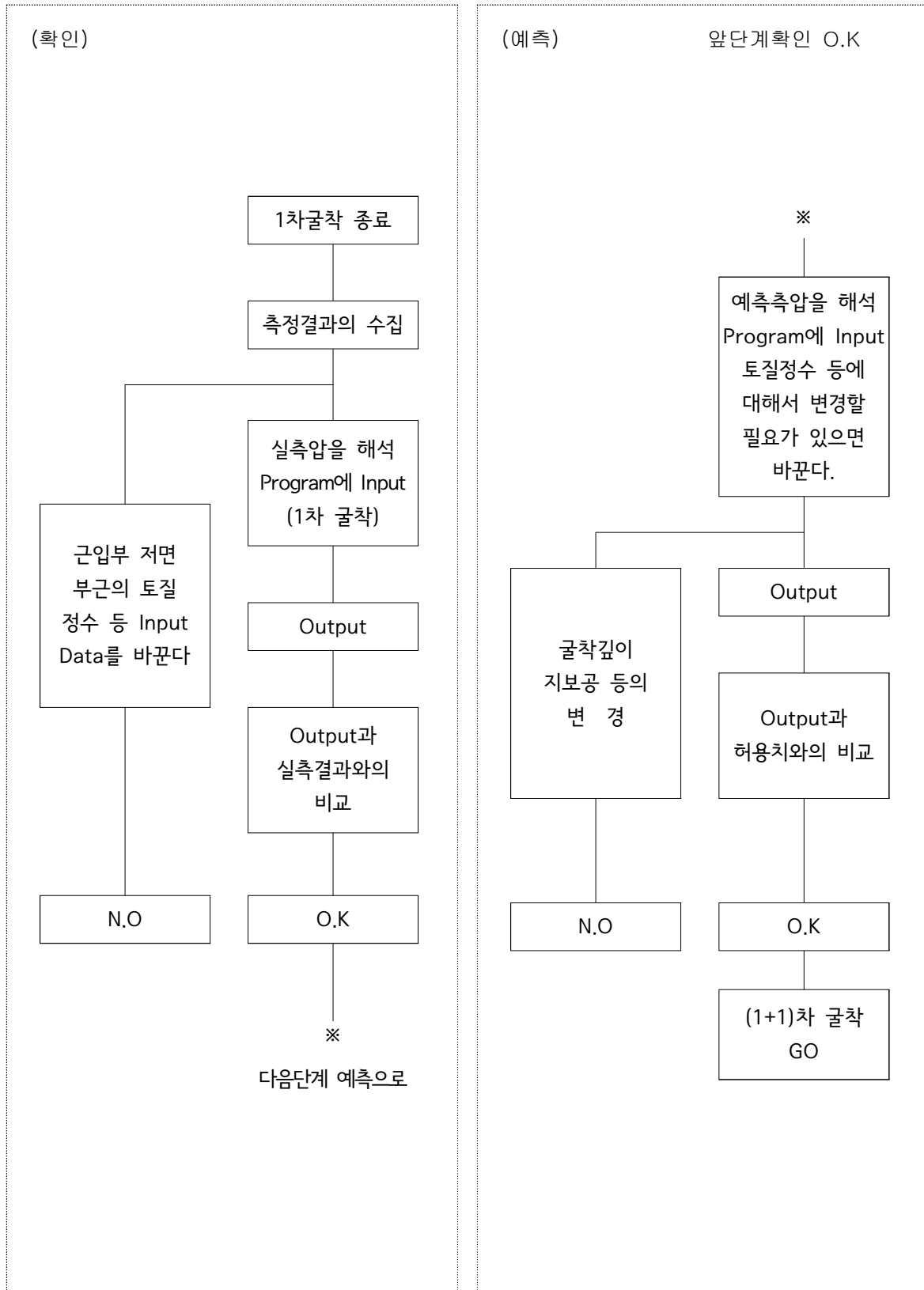
현장관리와 안전관리를 위한 계측관리 기법으로는 절대치관리와 예측관리로 나눌 수 있다.

절대치관리란 시공전에 미리 설정한 관리기준치와 실측치를 비교, 검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 평가하는 방법이며, 예측관리는 이전 단계의 실측치에 의하여 예측된 다음 단계의 예측치와 관리기준치를 대비하여 안전성 여부를 판정하는 기법이다.

절대치 관리기법은 계측결과에 대해서 신속하게 대처할 수 있어서 현장에서의 단순관리에 많이 이용하고 있다. 이에 반하여 예측관리는 조기에 토류구조물의 거동을 Computer를 통하여 Simulation하여 추정하므로 보다 합리적인 관리를 할 수 있으나 계측 System이 대규모가 되어 경제적인 면에서 부담이 크므로 이 방법은 대규모 토류공이나 중요한 계측에 이용된다.

실무에 있어서 시공관리나 안전관리를 목적으로 예측관리기법이 채택된 경우에는 위의 2가지 관리기법을 병용하는 것이 일반적이다.

다음그림은 각 작업단계가 종료한 시점에서 확임과 예측관리를 Flow Chart로 나타낸 것이다.



<그림> 예측관리방법의 흐름도

1) 절대차량평가법

현장에서의 관리기법으로 효과적인 이 기법에서 가장 어려운 것은 관리 기준치를 어떻게 정할 것인가이다. 이에 대하여 일본에서 정하여 사용한 관리기준치 결정기준은 다음과 같다.

<표> 절대관리기준치를 결정하는 기준

구 분	대 상 물	기 준 의 범 위
토 류 구 조 물	토류벽의 응력	$\frac{\text{장} + \text{단}}{2} \sim \text{단}$
	토류벽의변형	$\frac{1}{200}$ or 설계여유 이하
	Strut 축력	$\frac{\text{장} + \text{단}}{2} \sim \text{단}$
	Strut의 평면도	$\frac{1}{100}$
	Wale	$\frac{\text{장} + \text{단}}{2} \sim \text{단}$
주 변	주변지반의 침하	경사 : $\frac{1}{500} \sim \frac{1}{200}$
	주변매설물	
	Gas	
	상수	
	하수	
	지하철	
	주변건물	경사 : $\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{300}$

※ 장 : 장기허용응력도, 단 : 단기허용응력도

설정된 절대기준치에 대하여 1차 관리기준치를 부재의 허용응력일 경우와 벽체의 변형 및 배면토압 등에 대하여 80-100%로 정하여 관리를 행하도록 하였으며 2차 관리 기준치는 허용응력과 설계시의 변위량으로 규정지어 그 이상일 경우는 공사를 중지하고 토류벽체의 전반적인 검토가 이루어져야 된다.

이에 대한 개략적인 1,2차 관리기준치의 일례는 다음과 같다

<표> 1, 2차 관리기준치의 일례

제 목 항목	비 고 의 대 상	관 리 기 준 치	
		제 1 차 값	제 2 차 값
① 측압, 수압	설계 측압 분포 (지표면~각단계, 굴착깊이)	100%	-
② 벽체 응력	i) 철근의 허용인장응력도	80%	100%
	ii) 허용 휨모멘트	80%	
	iii) 콘크리트의 허용압축응력도	80%	
③ 벽체 변형	계획시의 계산치	100%	-

<표> 토류공사의 안전시공 관리를 행한 기준의 일례

측정항목	안전위험의 판정 기준치	판 정 표			
		지표 (판타기준)	위험	주 의	안 전
측 압 (토압, 수압)	설계시에 이용한 토압분포 (지표면에서 각 단계 근입깊이)	$F1 = \frac{\text{설계시에 이용한 토압}}{\text{실측에 의한 측압(예측)}}$	$F1 < 0.8$	$0.8 \leq F1 \leq 1.2$	$F1 > 1.2$
벽체 변형	설계시의 추정치	$F2 = \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측의 변형량(예측)}}$	$F2 < 0.8$	$0.8 \leq F2 \leq 1.2$	$F2 > 1.2$
토류벽내 응 력	철근의 허용인장응력	$F3 = \frac{\text{철근의 허용인장응력}}{\text{실측의 인장응력(예측)}}$	$F3 < 0.8$	$0.8 \leq F3 \leq 1.0$	$F3 > 1.2$
	토류벽내 허용 휨 모멘트	$F4 = \frac{\text{허용 휨 모멘트}}{\text{실측에 의한 휨모멘트(예측)}}$	$F4 < 0.8$	$0.8 \leq F4 \leq 1.0$	$F4 > 1.2$
Strut 축력	부재의 허용축력	$F5 = \frac{\text{부재의 허용 축력}}{\text{실측의 축력(예측)}}$	$F5 < 0.7$	$0.7 \leq F5 \leq 1.2$	$F5 > 1.2$
굴착저면의 Heaving량	T.W Lambe에 의한 허용 Heaving량		실측결과 가 위험 영역에 Plot 되는경우	실측결과가 주의 영역에 Plot되는 경우	실측결과가 안전 영역에 Plot 되는경우
침 하 량	각 현장마다 허용치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용 침하량을 지정하고, 그 허용 침하량을 넘으면, 위험 또는 주의신호로 판단한다.			
부등침하량	건물의 허용 부등 침하량	기둥간격에 대한 부등 침하량의 비	1/300 이 상	1/300~1/500	1/500 이 하

이상에서 설명한 것과 같이 절대관리치를 설정한 후 측정을 계속하여 측정결과치가 관리치에 접근하면 계측빈도를 높이는 등의 감시체제를 강화하고, 측정치가 더욱 증가하는 영향을 나타내면 시공을 중단해서라도 그 발생 원인을 찾아내 그 대책을 강구해야 한다.

이 기법은 경험이 적은 기술자라도 안전성의 판단이 어느 정도 가능하다는 장점은 있으나, 이상의 발견시 대응이 늦어질 우려가 있다.

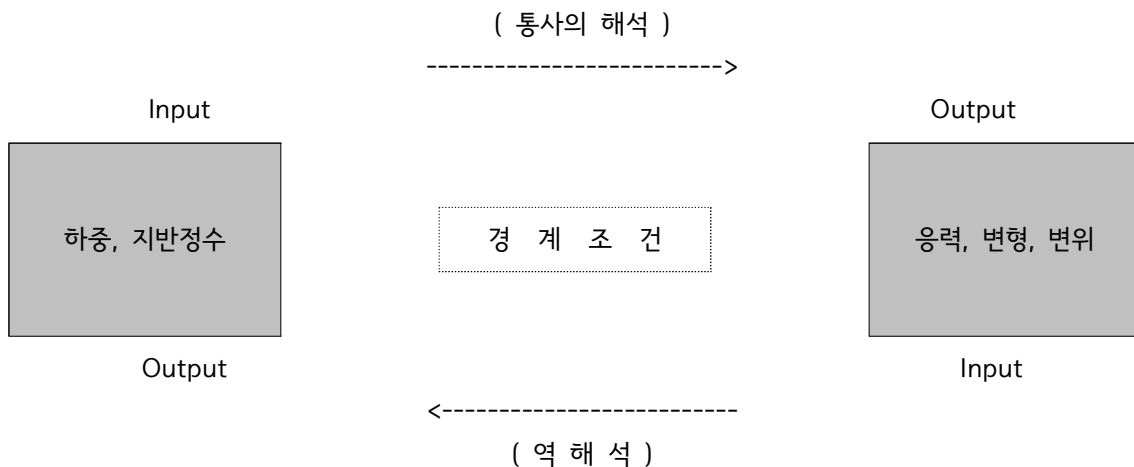
2) 예측관리

예측관리기법이라는 것은 선행굴착에 대한 측정결과에서 토질정수, 벽체 및 지보공의 특성치를 구해 그 값을 이용하여 다음 단계굴착 이후의 벽체와 지보공의 거동을 Simulation하고, 안전하다고 판단되면 굴착공사를 진행하고 문제가 있으면 대책을 강구하며 그 대책에 대해서 다시 Simulation을 행해 안전을 확인해서 공사를 진행하는 방법이다.

본 기법은 계측의 자동화와 Computer의 보급이 선행되어 저야 적용이 가능한 것이지만, 점차 현장에 Computer 보급이 일반화되어 가고 있으며 시공관리 및 안전관리에 현장계측이 요구되는 추세로 보아 예측관리 기법을 적용하는 사례가 증가되고 있다.

전술한 바와같이 이 기법은 조기에 발견할 수 있다는 장점이 있으나, 비교적 숙련된 기술자가 필요하며 비용도 절대치관리기법 보다 많이 드는 단점이 있다.

그림에 나타난 바와 같이 통상의 해석이 하중이나 토질정수를 Input Data로 하여 경계조건하에서 응력, 변형, 변위를 Output으로 얻게 되는 반면, 본 기법에서는 역으로 실측 변위를 Input data로 해서 토질정수를 Output으로 얻게 되는 역해석 혹은 동정문제 (Identification Problem) 수법이 이용된다.



역해석의 기본개념은 “토질정수를 포함하는 구성식에 의한 예측변형과 실측변형과의 차이가 최소로 되도록 최적의 토질정수를 결정한다.”라고 하는 것으로 이것은 자동제어의 분야에서 사용되는 최적화 수법에 지나지 않는다.

역해석이나 차후 토류구조물의 변형을 예측하기 위해 가장 중요하고 또한 연구가 활발히 진행되고 있는 것은 흙의 구성식에 관한 것이다.

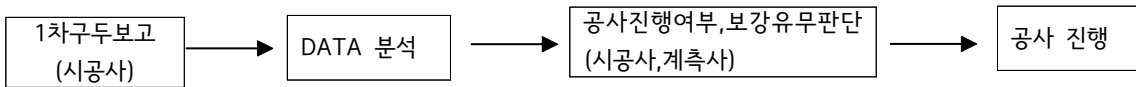
현재 사용되고 있거나 제안된 Model은 30여종에 달하고, 가장 간단한 탄성체 Model은 탄성계수와 포아송비가 토질정수로 되지만 이것은 실제와 현상을 충실히 반영할 수 없다.

그래서 일반적으로 계측에 활용되는 해석방법은 비교적 실제의 현상을 충실히 반영할 수 있는 탄소성법이나 유한요소법이다.

5.9 품질기준 초과시 조치 요령

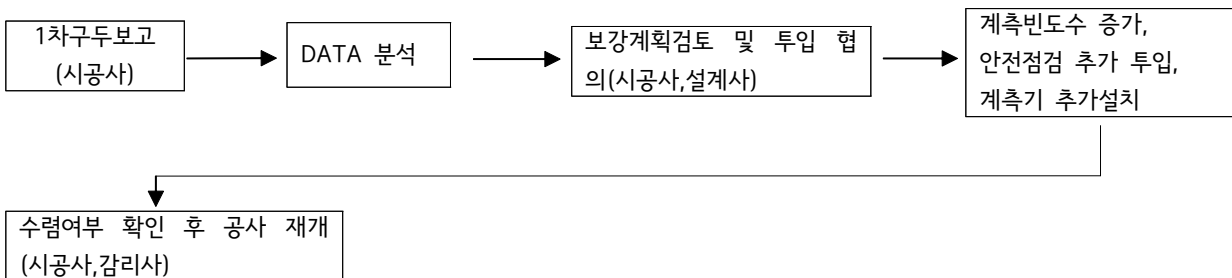
1) 1차 품질기준치 초과시(1단계 : 주의단계)

측정기기 점검 및 재측정 (센서, 케이블점검)→필요시
추가설치, 주변지반 및 시설물 일체 점검(육안점검)



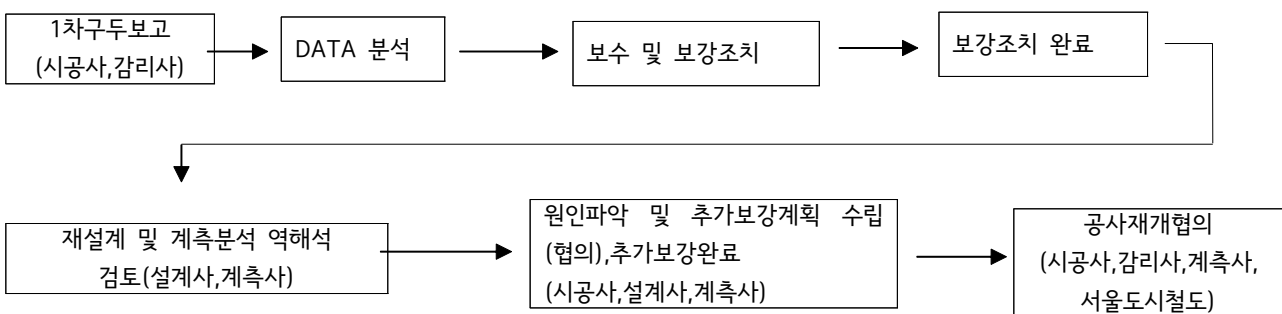
2) 2차 품질기준치 초과시(2단계 : 정보단계)

1차 관리 기준 조치요령을 토대로 원인 분석 및 대책수립 측정빈도 증가(매 시간 측정) 및 현장 보수보강 및 구조물 안전 점검시행, 계측기 추가 설치



3) 3차 품질기준치 초과시(3단계 : 위험단계)

현장 공사 중지 후 보수 및 보강 완료 실시 후 조치요령과 설계 및 계측분석등을 통한 원인
제거후 공사재개



06 PROGRAM OUTPUT

6.1 MIDAS GEOX PROGRAM OUTPUT

MIDAS GEOX PROGRAM OUTPUT

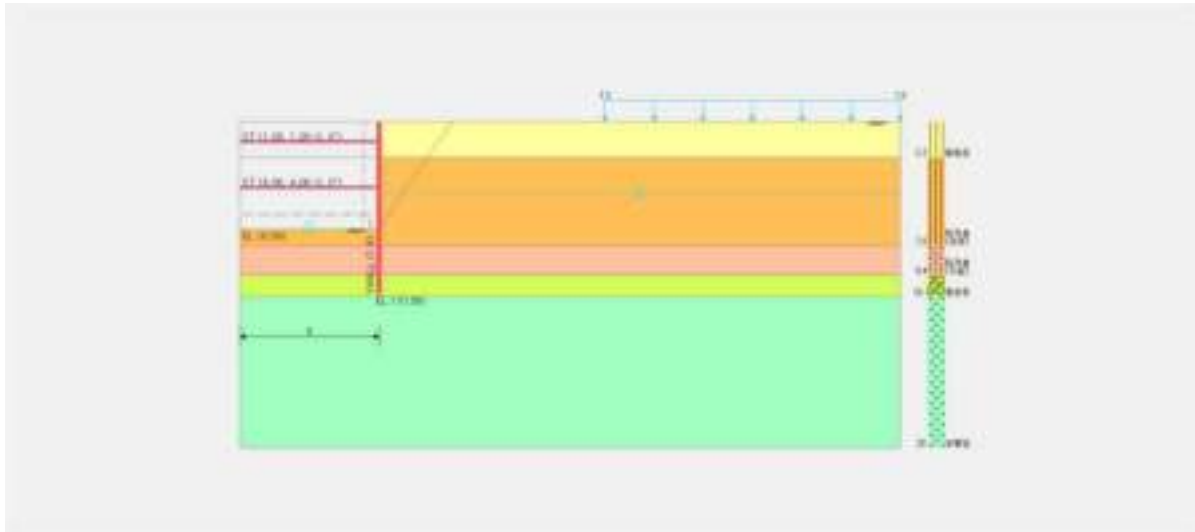
1.A-A(좌측) 설계계산서

목 차

- 1.표준단면
- 2.설계요약
- 3.설계조건
 - 3.1 가시설 구조물 공법 및 사용강재
 - 3.2 재료의 허용응력
 - 3.3 적용 프로그램
- 4.지보재 설계
 - 4.1 Strut 설계 (Strut-1)
 - 4.2 Strut 설계 (Strut-2)
- 5.띠장 설계
 - 5.1 Strut-1 띠장 설계
 - 5.2 Strut-2 띠장 설계
- 6.측면말뚝 설계
 - 6.1 흙막이벽(우)
- 7. 흙막이 벽체 설계
 - 7.1 흙막이벽(우) 설계 (0.00m ~ 6.56m)
- 8.전산 입력 정보
- 9.해석결과

1. 표준단면

1.1 표준단면도



1.2 지층조건

번호	이름	깊이 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ ([deg])	N값	지반탄성계수 (kN/m ²)	수평지반 반력계수 (kN/m ³)
1	매립토	2.22	17.00	18.00	0.00	23.00	5	-	13300.00
2	퇴적층(모래)	7.62	17.00	18.00	0.00	25.00	8	-	16100.00
3	퇴적층(자갈)	9.42	20.00	21.00	0.00	31.00	30	-	27500.00
4	풍화토	10.72	19.00	20.00	21.50	28.60	50	-	29780.00
5	보통암	20.00	26.78	27.78	60.00	35.00	50	-	63000.00
6	뒤채움	-	20.00	21.00	0.00	31.00	30	27500.00	27500.00

1.3 사용부재

가. 흙막이벽

번호	이름	형상	단면	재질	하단깊이 (m)	수평간격 (m)
1	흙막이벽(우)	H-Pile	H 298x201x9/14	SS275	10.56	1.8

나. 지보재

번호	이름	단면	재질	설치깊이 (m)	수평간격 (m)	대칭점 길이 (m)	초기작용력	개수
1	Strut-1	H 300x300x10/15	SS275	1.26	3	8	100	2
2	Strut-2	H 300x300x10/15	SS275	4.06	3	8	100	2

다. 벽체와 슬래브

번호	이름	설치위치 (설치깊이) (m)	상단깊이 (시작위치) (m)	하단깊이 (끝위치) (m)	재질	두께 (m)	뒤채움
1	MAT	6.13	0	7.5	C27	0.86	-
2	WALL	7.5	0	6.56	C27	0.8	뒤채움

라. 상재하중

번호	이름	작용유형	작용위치	작용형식	작용하중 (kN)
1	교통하중	분포하중	배면(우측)	상시하중	$x = 13, d = 17, w1 = 13, w2 = 13$

1.4 시공단계

단계별 해석방법 : 탄소성법

토압종류 : Rankine (벽 마찰각은 내부마찰각의 0 %)

지하수위 : 고려

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.42 m, 수위차 = 2.14 m

단계	굴착깊이 (m)	지보재		벽체 & 슬래브 설치깊이 (m)	임의하중		토압변경	수압변경	토층변경
		생성	해체		작용	해체			
1	1.76	-	-	-	-	-	-	X	X
2	-	Strut-1		-	-	-	-	X	X
3	4.56	-	-	-	-	-	-	X	X
4	-	Strut-2		-	-	-	-	X	X
5	6.56	-	-	-	-	-	-	X	X
6	-		Strut-2	5.7	-	-	-	X	X
7	-		Strut-1	2.26	-	-	-	X	X
8	-	-	-	0	-	-	-	X	X

1.5 지하수위 조건

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.42 m, 수위차 = 2.14 m

번호	굴착깊이 (m)	수압종류	굴착수위	배면수위	수압변경 (깊이(h), 수압(p)) (kN, m)
1	1.76	정수압	4.42	4.42	-
2	-	정수압	4.42	4.42	-
3	4.56	정수압	4.56	4.42	-
4	-	정수압	4.56	4.42	-
5	6.56	정수압	6.56	4.42	-
6	-	정수압	6.56	4.42	-
7	-	정수압	6.56	4.42	-
8	-	정수압	6.56	4.42	-

2.설계요약

2.1 지보재

부 재	위 치 (m)	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
Strut-1 2H 300x300x10/15	1.26	휨응력	MPa	5.744	184.245	3.12%	O.K
		압축응력	MPa	14.065	153.120	9.19%	O.K
		전단응력	MPa	2.315	121.500	1.91%	O.K
		합성응력	안전율	0.123	1.000	12.34%	O.K
Strut-2 2H 300x300x10/15	4.06	휨응력	MPa	5.744	184.245	3.12%	O.K
		압축응력	MPa	20.836	153.120	13.61%	O.K
		전단응력	MPa	2.315	121.500	1.91%	O.K
		합성응력	안전율	0.168	1.000	16.79%	O.K

2.2 띠장

부 재	위 치 (m)	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
Strut-1 H 300x300x10/15	1.26	휨응력	MPa	43.518	201.645	21.58%	O.K
		전단응력	MPa	43.840	121.500	36.08%	O.K
		스티프너	웹보강 안함				
Strut-2 H 300x300x10/15	4.06	휨응력	MPa	76.048	201.645	37.71%	O.K
		전단응력	MPa	76.612	121.500	63.06%	O.K
		스티프너	웹보강 안함				

2.3 측면말뚝

부 재	위 치	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
흙막이벽(우) H 298x201x9/14	-	휨응력	MPa	123.543	183.076	67.48%	O.K
		압축응력	MPa	5.998	206.143	2.91%	O.K
		전단응력	MPa	65.951	121.500	54.28%	O.K
		합성응력	안전율	0.706	1.000	70.58%	O.K
		수평변위	mm	17.925	19.680	91.08%	O.K
		지지력	kN	50.000	1500.000	3.33%	O.K

2.4 흙막이벽체설계

부 재	구간 (m)	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
흙막이벽(우)	0.00 ~ 6.56	휨응력	MPa	14.602	18.000	81.12%	O.K
		전단응력	MPa	0.531	1.600	33.20%	O.K
		두께검토	mm	81.060	90.000	90.07%	O.K

2.5 흙막이벽체 수평변위

부 재	위 치	구분	단위	수평변위			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
흙막이벽(우)	0.0~10.6	최대변위	mm	17.925	19.680	91.08%	O.K
전체 구간	0.0~10.6	최대변위	mm	17.925	19.680	91.08%	O.K

* 최대 굴착깊이 6.6 m, 허용수평변위 0.003 H

2.6 굴착저면의 안전성

부 재	구분		단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
-	근입장	최종굴착단계	안전율	2.306	1.200	192.15%	O.K
		최종굴착전단계	안전율	4.291	1.200	357.61%	O.K
	보일링		안전율	3.708	2.000	185.42%	O.K
	히빙		안전율	-	-	-	-

3.설계조건

3.1 가시설 구조물 공법 및 사용강재

가. 굴착공법

H Pile로 구성된 가시설 구조물을 Strut (H형강)로 지지하면서 굴착함.

나. 흙막이벽(측벽)

H Pile

엄지말뚝간격 : 1.80m

다. 지보재

Strut - H 300x300x10/15 수평간격 : 3.00 m
 H 300x300x10/15 수평간격 : 3.00 m

라. 사용강재

구 분	규 격	간 격 (m)	비 고
H-PILE (측벽)	H 298x201x9/14(SS275)	1.80m	
버팀보 (Strut)	H 300x300x10/15(SS275)	3.00m	
띠장	H 300x300x10/15(SS275)	-	

3.2 재료의 허용응력

가. 허용응력 할증 계수(보정계수)

- 1) 가설구조물의 경우 1.50 (철도하중 지지 시 1.3)
- 2) 영구구조물로 사용되는 경우
 - ① 시공도중 1.25
 - ② 완료 후 1.00
- 3) 공사기간이 2년 미만인 경우에는 가설구조물로 2년 이상인 경우에는 영구구조물로 간주하여 설계한다.
- 4) 중고 강재 사용 시 0.90 (신강재의 0.9 이하, 재사용 및 부식을 고려한 보정계수)

나. 철근 및 콘크리트

1) 콘크리트의 허용응력

- ① 허용휨응력 $f_{ck} = 0.40 \times f_{ck}$
- ② 허용전단응력 $V_a = 0.08 \times f_{ck}$

2) 철근의 허용(압축 및 인장) 응력

- ① 허용휨인장응력 $f_{sa} = 0.40 \times f_y$
- ② 허용압축응력 $f_{sa} = 0.50 \times f_y$

다. 강재의 허용응력

[강재의 허용응력(가설 구조물 기준)]

(MPa)

종 류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비고
축방향 인장 (순단면)		240	315	160x1.5=240 210x1.5=315
축방향 압축 (총단면)		$0 < \ell/r \leq 20$ 240	$0 < \ell/r \leq 16$ 315	ℓ (mm) : 유효좌굴장 r (mm): 단면회전 반지름
		$20 < \ell/r \leq 90$ $240 - 1.5(\ell/r - 20)$	$16 < \ell/r \leq 80$ $315 - 2.2(\ell/r - 16)$	
		$90 < \ell/r$ $\frac{1,875,000}{6,000+(\ell/r)^2}$	$80 < \ell/r$ $\frac{1,900,000}{4,500+(\ell/r)^2}$	
휨 압 축 응 력	인장연 (순단면)	240	315	ℓ : 플랜지의 고정점간 거리 b : 압축플랜지의 폭
	압축연 (총단면)	$\ell/b \leq 4.5$ 240	$\ell/b \leq 4.0$ 315	
		$4.5 < \ell/b \leq 30$ $240 - 2.9(\ell/b - 4.5)$	$4.0 < \ell/b \leq 27$ $315 - 4.3(\ell/b - 4.0)$	
전단응력 (총단면)		135	180	
지압응력		360	465	강관과 강판
용접 강도	공 장	모재의 100%	모재의 100%	
	현 장	모재의 90%	모재의 90%	

*가설구조물의 보정계수(1.5)를 곱한 값임.

라. 강널말뚝

[강널말뚝 허용응력(가설 구조물 기준)]

(MPa)

종 류		SY300, SY300W	SY400, SY400W	비 고
휨 응 력	인장응력	270	360	※Type-W는 용접용
	압축응력	270	360	
	전단응력	150	203	

*가설구조물의 보정계수(1.5)를 곱한 값임.

마. 볼트

[볼트 허용응력]

(MPa)

볼 트 종 류	응 력 의 종 류	허 용 응 력	비 고
보 통 볼 트	전 단	150	SS275 기준
	지 압	330	
고 장 력 볼 트	전 단	225	F8T 기준
	지 압	405	SS275 기준

*가설구조물의 보정계수(1.5)를 곱한 값임.

3.3 안전성 검토

가. 가설흙막이의 안전율

[가설흙막이의 안전율 (KDS 21 30 00 : 2020 가설흙막이 설계기준)]

조 건			안전율		비 고
			기준치	적용치	
지반의 지지력			2.0	2.0	극한지지력에 대하여
활 동			1.5	-	활동력(슬라이딩)에 대하여
전 도			2.0	-	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사면안정			1.1	-	1년 미만 단기안정성
근입깊이			1.2	1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부 안정	보일링	가설(단기)	1.5	2.0	사질토 대상 단기는 굴착시점을 기준으로 2년 미만임
		영구(장기)	2.0		
	히빙		1.5	1.5	점성토
지반앵커	사용기간 2년미만		1.5	1.5	인발저항에 대한 안전율
	사용기간 2년이상		2.5		

나. 흙막이벽의 수평변위

최대수평변위는 최종 굴착깊이, 지층 등을 고려하여 산정하며, 이를 초과할 때는 주변시설물에 대한 별도의 안정성 검토가 필요하다. 최대변위량은 흙막이벽의 강성 및 굴착심도(H)를 기준으로 설정하는 것이 가장 용이하며, 일반적으로 최대 허용변위량은 아래와 같이 정하는 것이 바람직하다.

[계측관리 기준 (KCS 11 10 15 : 2018 시공중 지반계측)]

구 분	최대 허용변위량	비 고
강성 흙막이벽	0.0020 H	t ≥ 60 cm인 콘크리트 연속벽
보통 흙막이벽	0.0025 H	t ≒ 40 cm정도인 콘크리트 연속벽
연성 흙막이벽	0.0030 H	H-Pile과 흙막이판 설치하는 흙막이벽
적용값	0.0030 H	= 19.7 mm (굴착깊이 = 6.6 m)

3.4 적용 프로그램

가. midas GeoX V 5.1.0

나. 탄소성법

다. Rankine 토압

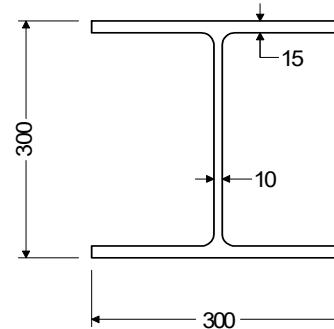
4.지보재 설계

4.1 Strut 설계 (Strut-1)

가. 설계제원

- (1) 설계지간 : 5.000 m
(2) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

w (N/m)	922.243
A (mm ²)	11980
I _x (mm ⁴)	204000000
Z _x (mm ³)	1360000
R _x (mm)	131.0
R _y (mm)	75.1



- (3) Strut 개수 : 2 단
(4) Strut 수평간격 : 3.00 m

나. 단면력 산정

- (1) 최대축력, $R_{max} = 72.336 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Strut-1 (CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체)}$
 $= 72.336 \times 3.00 / 2 \text{ 단}$
 $= 108.505 \text{ kN}$
(2) 온도차에 의한 축력, $T = 120.000 \text{ kN} / 2 \text{ 단}$
 $= 60.0 \text{ kN}$
(3) 설계축력, $P_{max} = R_{max} + T = 108.505 + 60.0 = 168.505 \text{ kN}$
(4) 설계휨모멘트, $M_{max} = W \times L^2 / 8 / 2 \text{ 단}$
 $= 5.0 \times 5.000 \times 5.000 / 8 / 2 \text{ 단}$
 $= 7.813 \text{ kN}\cdot\text{m}$
(5) 설계전단력, $S_{max} = W \times L / 2 / 2 \text{ 단}$
 $= 5.0 \times 5.000 / 2 / 2 \text{ 단}$
 $= 6.250 \text{ kN}$

(여기서, W : Strut와 간격재등의 자중 및 작업하중 5 kN/m 로 가정)

다. 작용응력 산정

- ▶ 휨응력, $f_b = M_{max} / Z_x = 7.813 \times 1000000 / 1360000.0 = 5.744 \text{ MPa}$
▶ 압축응력, $f_c = P_{max} / A = 168.505 \times 1000 / 11980 = 14.065 \text{ MPa}$
▶ 전단응력, $\tau = S_{max} / A_w = 6.250 \times 1000 / 2700 = 2.315 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

- ▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용
가설 구조물	1.50	○
영구 구조물	1.25	×

강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
-----------------------------	-----

- ▶ 축방향 허용압축응력

$$f_{cao} = 1.50 \times 0.9 \times 160.000$$

$$= 216.000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 L_x / R_x &= 5000 / 131 \\
 &= 38.168 \quad \text{---> } 20 < L_x/R_x \leq 90 \text{ 이므로} \\
 f_{cax} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (38.168 - 20)) \\
 &= 191.473 \text{ MPa} \\
 L_y / R_y &= 5000 / 75.1 \\
 &= 66.578 \quad \text{---> } 20 < L_y/R_y \leq 90 \text{ 이므로} \\
 f_{cay} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (66.578 - 20)) \\
 &= 153.120 \text{ MPa} \\
 \therefore f_{ca} &= \text{Min.}(f_{cax}, f_{cay}) = 153.120 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▶ 허용 휨압축응력

$$\begin{aligned}
 L / B &= 5000 / 300 \\
 &= 16.667 \quad \text{---> } 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로} \\
 f_{ba} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (16.667 - 4.5)) \\
 &= 184.245 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{eax} &= 1.50 \times 0.9 \times 1200000 / (38.168)^2 \\
 &= 1112.033 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▶ 허용전단응력

$$\begin{aligned}
 \tau_a &= 1.50 \times 0.9 \times 90 \\
 &= 121.500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

마. 응력검토

$$\begin{aligned}
 \text{▶ 압축응력, } f_{ca} &= 153.120 \text{ MPa} > f_c = 14.065 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K} \\
 \text{▶ 휨응력, } f_{ba} &= 184.245 \text{ MPa} > f_b = 5.744 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K} \\
 \text{▶ 전단응력, } \tau_a &= 121.500 \text{ MPa} > \tau = 2.315 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K} \\
 \text{▶ 합성응력, } &\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_b}{f_{ba} \times (1 - (f_c / f_{eax}))}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{14.065}{153.120} + \frac{5.744}{184.245 \times (1 - (14.065 / 1112.033))} \\
 &= 0.123 < 1.0 \quad \text{---> O.K}
 \end{aligned}$$

4.2 Strut 설계 (Strut-2)

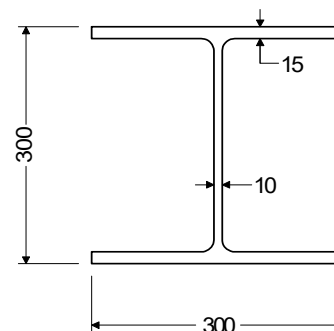
가. 설계제원

- (1) 설계지간 : 5.000 m
 (2) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

w (N/m)	922.243
A (mm ²)	11980
I _x (mm ⁴)	204000000
Z _x (mm ³)	1360000
R _x (mm)	131.0
R _y (mm)	75.1

- (3) Strut 개수 : 2 단

- (4) Strut 수평간격 : 3.00 m



나. 단면력 산정

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ 최대축력, } R_{\max} &= 126.409 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Strut-2 (CS5 : 굴착 6.56 m)} \\
 &= 126.409 \times 3.00 / 2 \text{ 단} \\
 &= 189.614 \text{ kN} \\
 (2) \text{ 온도차에 의한 축력, } T &= 120.000 \text{ kN} / 2 \text{ 단} \\
 &= 60.0 \text{ kN} \\
 (3) \text{ 설계축력, } P_{\max} &= R_{\max} + T = 189.614 + 60.0 = 249.614 \text{ kN} \\
 (4) \text{ 설계휨모멘트, } M_{\max} &= W \times L^2 / 8 / 2 \text{ 단} \\
 &= 5.0 \times 5.000 \times 5.000 / 8 / 2 \text{ 단} \\
 &= 7.813 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 (5) \text{ 설계전단력, } S_{\max} &= W \times L / 2 / 2 \text{ 단} \\
 &= 5.0 \times 5.000 / 2 / 2 \text{ 단} \\
 &= 6.250 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

(여기서, W : Strut와 간격재등의 자중 및 작업하중 5 kN/m 로 가정)

다. 작용응력 산정

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \text{ 휨응력, } f_b &= M_{\max} / Z_x = 7.813 \times 1000000 / 1360000.0 = 5.744 \text{ MPa} \\
 \blacktriangleright \text{ 압축응력, } f_c &= P_{\max} / A = 249.614 \times 1000 / 11980 = 20.836 \text{ MPa} \\
 \blacktriangleright \text{ 전단응력, } \tau &= S_{\max} / A_w = 6.250 \times 1000 / 2700 = 2.315 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

라. 허용응력 산정

▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용	강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
가설 구조물	1.50	O		
영구 구조물	1.25	X		

▶ 축방향 허용압축응력

$$\begin{aligned}
 f_{cao} &= 1.50 \times 0.9 \times 160.000 \\
 &= 216.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_x / R_x &= 5000 / 131 \\
 &= 38.168 \rightarrow 20 < L_x / R_x \leq 90 \text{ 이므로}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{cax} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (38.168 - 20)) \\
 &= 191.473 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_y / R_y &= 5000 / 75.1 \\
 &= 66.578 \rightarrow 20 < L_y / R_y \leq 90 \text{ 이므로}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{cay} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (66.578 - 20)) \\
 &= 153.120 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\therefore f_{ca} = \text{Min.}(f_{cax}, f_{cay}) = 153.120 \text{ MPa}$$

▶ 허용 휨압축응력

$$\begin{aligned}
 L / B &= 5000 / 300 \\
 &= 16.667 \rightarrow 4.5 < L / B \leq 30 \text{ 이므로}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ba} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (16.667 - 4.5)) \\
 &= 184.245 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{eax} &= 1.50 \times 0.9 \times 1200000 / (38.168)^2 \\
 &= 1112.033 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▶ 허용전단응력

$$\begin{aligned}\tau_a &= 1.50 \times 0.9 \times 90 \\ &= 121.500 \text{ MPa}\end{aligned}$$

마. 응력검토

▶ 압축응력, $f_{ca} = 153.120 \text{ MPa} > f_c = 20.836 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}$

▶ 휨응력, $f_{ba} = 184.245 \text{ MPa} > f_b = 5.744 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}$

▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 2.315 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}$

▶ 합성응력,
$$\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_b}{f_{ba} \times (1 - (f_c / f_{eas}))}$$

$$= \frac{20.836}{153.120} + \frac{5.744}{184.245 \times (1 - (20.836 / 1112.033))}$$

$= 0.168 < 1.0 \text{ ---> O.K}$

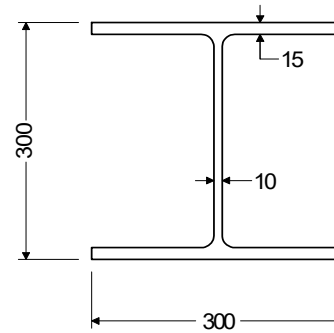
5. 띠장 설계

5.1 Strut-1 띠장 설계

가. 설계제원

(1) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

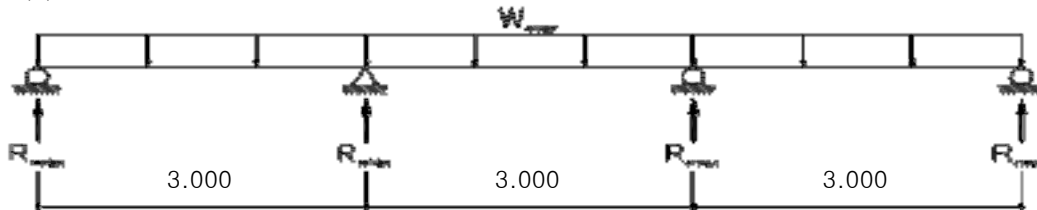
w (N/m)	922.2
A (mm ²)	11980.0
I _x (mm ⁴)	204000000.0
Z _x (mm ³)	1360000.0
A _w (mm ²)	2700.0
R _x (mm)	131.0



(2) 띠장 계산지간 : 3.000 m

나. 단면력 산정

(1) 최대 축력 적용 : 연속보 설계



$$R_{\max} = 72.336 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Strut-1 (CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체)}$$

$$P = 72.336 \times 3.00 \text{ m} / 1 \text{ ea} = 217.009 \text{ kN}$$

$$R_{\max} = 11 \times W_{\max} \times L / 10$$

$$\begin{aligned} \therefore W_{\max} &= 10 \times R_{\max} / (11 \times L) \\ &= 10 \times 217.009 / (11 \times 3.000) \\ &= 65.760 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= W_{\max} \times L^2 / 10 \\ &= 65.760 \times 3.000^2 / 10 \\ &= 59.184 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 6 \times W_{\max} \times L / 10 \\ &= 6 \times 65.760 \times 3.000 / 10 \\ &= 118.369 \text{ kN} \end{aligned}$$

다. 작용응력산정

- ▶ 휨응력, $f_b = M_{\max} / Z_x = 59.184 \times 1000000 / 1360000.0 = 43.518 \text{ MPa}$
- ▶ 전단응력, $\tau = S_{\max} / A_w = 118.369 \times 1000 / 2700 = 43.840 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용
가설 구조물	1.50	○
영구 구조물	1.25	×

강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
-----------------------------	-----

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad L / B &= 3000 / 300 \\
 &= 10.000 \quad \text{---> } 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로} \\
 f_{ba} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (10.000 - 4.5)) \\
 &= 201.645 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad \tau_a &= 1.50 \times 0.9 \times 90 \\
 &= 121.500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

마. 응력 검토

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \text{휨응력,} \quad f_{ba} &= 201.645 \text{ MPa} > f_b = 43.518 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K} \\
 \blacktriangleright \text{전단응력,} \quad \tau_a &= 121.500 \text{ MPa} > \tau = 43.840 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K}
 \end{aligned}$$

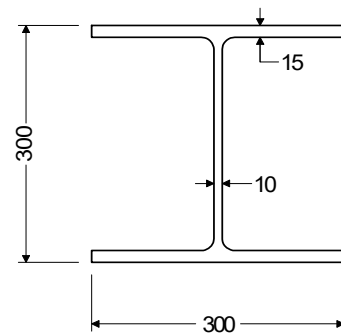
5.2 Strut-2 띠장 설계

가. 설계제원

(1) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

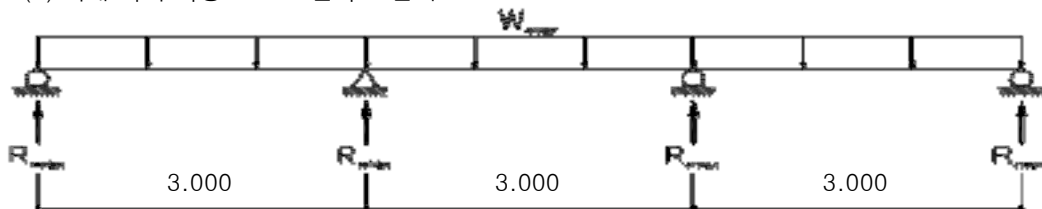
w (N/m)	922.2
A (mm ²)	11980.0
I _x (mm ⁴)	204000000.0
Z _x (mm ³)	1360000.0
A _w (mm ²)	2700.0
R _x (mm)	131.0

(2) 띠장 계산지간 : 3.000 m



나. 단면력 산정

(1) 최대 축력 적용 : 연속보 설계



$$R_{\max} = 126.409 \text{ kN/m} \quad \text{---> Strut-2 (CS5 : 굴착 6.56 m)}$$

$$P = 126.409 \times 3.00 \text{ m} / 1 \text{ ea} = 379.228 \text{ kN}$$

$$R_{\max} = 11 \times W_{\max} \times L / 10$$

$$\begin{aligned}
 \therefore W_{\max} &= 10 \times R_{\max} / (11 \times L) \\
 &= 10 \times 379.228 / (11 \times 3.000) \\
 &= 114.917 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= W_{\max} \times L^2 / 10 \\
 &= 114.917 \times 3.000^2 / 10 \\
 &= 103.426 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 6 \times W_{\max} \times L / 10 \\
 &= 6 \times 114.917 \times 3.000 / 10 \\
 &= 206.851 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

다. 작용응력산정

- ▶ 휨응력, $f_b = M_{\max} / Z_x = 103.426 \times 1000000 / 1360000.0 = 76.048 \text{ MPa}$
 ▶ 전단응력, $\tau = S_{\max} / A_w = 206.851 \times 1000 / 2700 = 76.612 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

- ▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용
가설 구조물	1.50	0
영구 구조물	1.25	×

강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
--------------------------------	-----

- ▶ $L / B = 3000 / 300$
 $= 10.000 \rightarrow 4.5 < L/B \leq 30$ 이므로
 $f_{ba} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (10.000 - 4.5))$
 $= 201.645 \text{ MPa}$
- ▶ $\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 90$
 $= 121.500 \text{ MPa}$

마. 응력 검토

- ▶ 휨응력, $f_{ba} = 201.645 \text{ MPa} > f_b = 76.048 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$
 ▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 76.612 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

6. 측면말뚝 설계

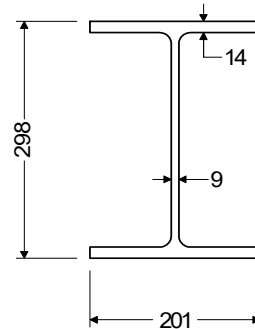
6.1 흙막이벽(우)

가. 설계제원

(1) 측면말뚝의 설치간격 : 1.800 m

(2) 사용강재 : H 298x201x9/14(SS275)

w (N/m)	641.721
A (mm ²)	8336
I _x (mm ⁴)	133000000
Z _x (mm ³)	893000
A _w (mm ²)	2430
R _x (mm)	126



나. 단면력 산정

가. 주형보 반력	=	0.000	kN
나. 주형 지지보의 자중	=	0.000	kN
다. 측면말뚝 자중	=	0.000	kN
라. 버팀보 자중	=	0.000	kN
마. 띠장 자중	=	0.000	kN
바. 지보재 수직분력	=	0.000 × 1.800	= 0.000 kN
사. 지장물 자중	=	50.000	kN
ΣP_s		=	50.000 kN

최대모멘트, $M_{\max} = 61.291$ kN·m/m ---> 흙막이벽(우) (CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체)

최대전단력, $S_{\max} = 89.034$ kN/m ---> 흙막이벽(우) (CS5 : 굴착 6.56 m)

▶ Pmax	=	50.000	kN
▶ Mmax	=	61.291 × 1.800	= 110.324 kN·m
▶ Smax	=	89.034 × 1.800	= 160.261 kN

다. 작용응력 산정

▶ 휨응력, f_b	=	$M_{\max} / Z_x = 110.324 \times 1000000 / 893000.0$	=	123.543	MPa
▶ 압축응력, f_c	=	$P_{\max} / A = 50.000 \times 1000 / 8336$	=	5.998	MPa
▶ 전단응력, τ	=	$S_{\max} / A_w = 160.261 \times 1000 / 2430$	=	65.951	MPa

라. 허용응력 산정

▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용
가설 구조물	1.50	○
영구 구조물	1.25	×

강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
-----------------------------	-----

▶ 축방향 허용압축응력

$$f_{cao} = 1.50 \times 0.9 \times 160.000 = 216.000 \text{ MPa}$$

$$L / R = 3440 / 126$$

$$27.302 \rightarrow 20 < Lx/Rx \leq 90 \text{ 이므로}$$

$$f_{ca} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (27.302 - 20))$$

$$= 206.143 \text{ MPa}$$

▶ 허용 휨압축응력

$$L / B = 3440 / 201$$

$$= 17.114 \rightarrow 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로}$$

$$f_{ba} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (17.114 - 4.5))$$

$$= 183.076 \text{ MPa}$$

$$f_{eax} = 1.50 \times 0.9 \times 1200000 / (27.302)^2$$

$$= 2173.398 \text{ MPa}$$

▶ 허용전단응력

$$\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 90$$

$$= 121.500 \text{ MPa}$$

마. 응력 검토

▶ 압축응력, $f_{ca} = 206.143 \text{ MPa} > f_c = 5.998 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 휨응력, $f_{ba} = 183.076 \text{ MPa} > f_b = 123.543 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 65.951 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 합성응력,
$$\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_b}{f_{ba} \times (1 - (f_c / f_{eax}))}$$

$$= \frac{5.998}{206.143} + \frac{123.543}{183.076 \times (1 - (5.998 / 2173.398))}$$

$$= 0.706 < 1.0 \rightarrow \text{O.K}$$

바. 수평변위 검토

▶ 최대수평변위 = 17.9 mm \rightarrow 흠막이벽(우) (CS8 : 지하층 시공완료)

▶ 허용수평변위 = 최종 굴착깊이의 0.3 %

$$= 6.560 \times 1000 \times 0.003 = 19.680 \text{ mm}$$

\therefore 최대 수평변위 < 허용 수평변위 $\rightarrow \text{O.K}$

사. 허용지지력 검토

▶ 최대축방향력, $P_{max} = 50.00 \text{ kN}$

▶ 안전율, $F_s = 2.0$

▶ 극한지지력, $Q_u = 3000.00 \text{ kN}$

▶ 허용지지력, $Q_{ua} = 3000.00 / 2.0$

$$= 1500.000 \text{ kN}$$

\therefore 최대축방향력 (P_{max}) < 허용 지지력 (Q_{ua}) $\rightarrow \text{O.K}$

7. 흙막이 벽체 설계

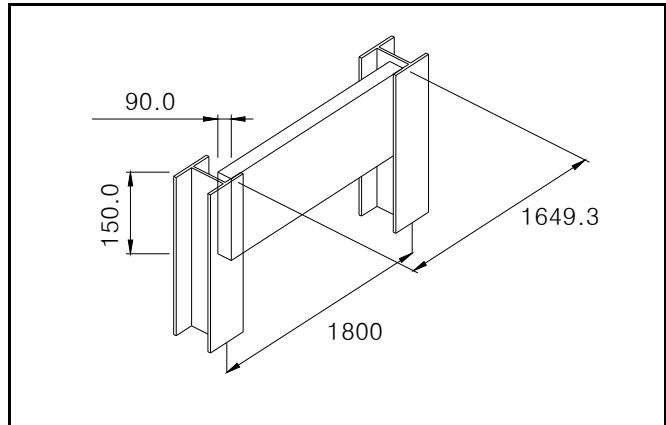
7.1 흙막이벽(우) 설계 (0.00m ~ 6.56m)

가. 목재의 허용응력 구조물기초설계기준

목재의 종류	허용응력(MPa)	
	휨	전단
침엽수	18.000	1.600
활엽수	22.000	2.400

나. 설계제원

높이 (H, mm)	150.0
두께 (t, mm)	90.0
H-Pile 수평간격(mm)	1800.0
H-Pile 폭(mm)	201.0
목재의 종류	침엽수
목재의 허용 휨응력(MPa)	18.000
목재의 허용 전단응력(MPa)	1.6



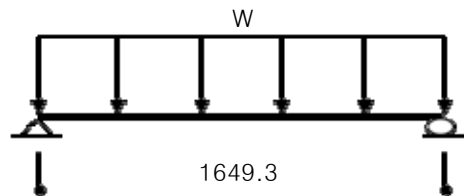
다. 설계지간

$$\text{설계지간 (L)} = 1800.0 - 3 \times 201.0 / 4 = 1649.3 \text{ mm}$$

라. 단면력 산정

$$p_{\max} = 0.0580 \text{ MPa} \quad \text{---> (CS5 : 굴착 6.56 m:최대 토압)}$$

$$\begin{aligned} W_{\max} &= \text{토류판에 작용하는 등분포하중(토압)} \times \text{토류판 높이(H)} \\ &= 58.0 \text{ kN/m}^2 \times 0.1500 \text{ m} = 8.7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



$$M_{\max} = W_{\max} \times L^2 / 8 = 8.7 \times 1.649^2 / 8 = 3.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$S_{\max} = W_{\max} \times L / 2 = 8.7 \times 1.649 / 2 = 7.2 \text{ kN}$$

마. 토류판에 작용하는 응력 산정

$$\begin{aligned} Z &= H \times t^2 / 6 \\ &= 150.0 \times 90.0^2 / 6 \\ &= 202500 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{▶ 휨응력, } f_b &= M_{\max} / Z \\ &= 3.0 \times 1000000 / 202500 \\ &= 14.60 \text{ MPa} < f_{ba} = 18.0 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \text{전단응력, } \tau &= S_{\max} / (H \times t) \\
 &= 7.2 \times 1000 / (150.0 \times 90.0) \\
 &= 0.53 \text{ MPa} < \tau_a = 1.6 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}
 \end{aligned}$$

바. 토류판 두께 산정

$$\begin{aligned}
 T_{\text{req}} &= \sqrt[4]{(6 \times M_{\max}) / (H \times f_{ba})} \\
 &= \sqrt[4]{(6 \times 3.0 \times 1000000) / (150.0 \times 18.0)} \\
 &= 81.06 \text{ mm} < T_{\text{use}} = 90.00 \text{ mm 사용 ---> O.K}
 \end{aligned}$$

8. 탄소성 입력 데이터

8.1 해석종류 : 탄소성보법

8.2 사용 단위계 : 힘 [F] = kN, 길이 [L] = m

8.3 모델형상 : 반단면 모델

배면폭 = 30 m, 굴착폭 = 8 m, 최대굴착깊이 = 6.56 m, 전모델높이 = 20 m

8.4 지층조건

번호	이름	깊이 (m)	γ_t (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)	C (kN/m²)	ϕ ([deg])	N값	지반탄성계수 (kN/m²)	수평지반 반력 계수 (kN/m³)
1	매립토	2.22	17.00	18.00	0.00	23.00	5	-	13300.00
2	퇴적층(모래)	7.62	17.00	18.00	0.00	25.00	8	-	16100.00
3	퇴적층(자갈)	9.42	20.00	21.00	0.00	31.00	30	-	27500.00
4	풍화토	10.72	19.00	20.00	21.50	28.60	50	-	29780.00
5	보통암	20.00	26.78	27.78	60.00	35.00	50	-	63000.00
6	뒤채움	-	20.00	21.00	0.00	31.00	30	27500.00	27500.00

8.5 흙막이벽

번호	이름	형상	단면	재질	하단깊이 (m)	수평간격 (m)
1	흙막이벽(우)	H-Pile	H 298x201x9/14	SS275	10.56	1.8

8.6 지보재

번호	이름	단면	재질	설치깊이 (m)	수평간격 (m)	대칭점 길이 (m)	초기작용력	개수
1	Strut-1	H 300x300x10/15	SS275	1.26	3	8	100	2
2	Strut-2	H 300x300x10/15	SS275	4.06	3	8	100	2

8.7 띠장

번호	이름	형상	단면	재질	설치깊이 (m)	설치개수
1	Strut-1	H 형강	H 300x300x10/15	SS275	1.26	1
2	Strut-2	H 형강	H 300x300x10/15	SS275	4.06	1

8.8 중간말뚝

번호	이름	형상	단면	재질	비지지깊이 (m)	중간말뚝 간격 (m)
1	중간말뚝	H-Pile	H 300x305x15/15	SS275	2.5	3

8.9 흙막이벽체

번호	이름	형식	단면		재질	설치깊이 (m)	비고
			높이(폭)	두께			
1	흙막이벽(우)	토류판	0.15	0.09	목재	0 ~ 7	

8.10 벽체와 슬래브

번호	이름	설치위치 (설치깊이) (m)	상단깊이 (시작위치) (m)	하단깊이 (끝위치) (m)	재질	두께 (m)	뒤채움
1	MAT	6.13	0	7.5	C27	0.86	-
2	WALL	7.5	0	6.56	C27	0.8	뒤채움

8.11 상재하중

번호	이름	작용유형	작용위치	작용형식	작용하중 (kN)
1	교통하중	분포하중	배면(우측)	상시하중	x = 13, d = 17, w1 = 13, w2 = 13

8.12 시공단계

단계별 해석방법 : 탄소성법

토압종류 : Rankine (벽 마찰각은 내부마찰각의 0 %)

지하수위 : 고려

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.42 m, 수위차 = 2.14 m

단계	굴착깊이 (m)	지보재		벽체 & 슬래브 설치깊이 (m)	임의하중		토압변경	수압변경	토층변경
		생성	해체		작용	해체			
1	1.76	-	-	-	-	-	-	X	X
2	-	Strut-1		-	-	-	-	X	X
3	4.56	-	-	-	-	-	-	X	X
4	-	Strut-2		-	-	-	-	X	X
5	6.56	-	-	-	-	-	-	X	X
6	-		Strut-2	5.7	-	-	-	X	X
7	-		Strut-1	2.26	-	-	-	X	X
8	-	-	-	0	-	-	-	X	X

8.13 지하수위 조건

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.42 m, 수위차 = 2.14 m

번호	굴착깊이 (m)	수압종류	굴착수위	배면수위	수압변경 (깊이(h), 수압(p)) (kN, m)
1	1.76	정수압	4.42	4.42	-
2	-	정수압	4.42	4.42	-
3	4.56	정수압	4.56	4.42	-
4	-	정수압	4.56	4.42	-
5	6.56	정수압	6.56	4.42	-
6	-	정수압	6.56	4.42	-
7	-	정수압	6.56	4.42	-
8	-	정수압	6.56	4.42	-

9. 해석 결과

9.1 전산 해석결과 집계

9.1.1 흙막이벽체 부재력 집계

* 지보재 반력 및 부재력은 단위폭(m)에 대한 값임.

시공단계	굴착 깊이	전단력 (kN)				모멘트 (kN·m)			
		Max	깊이	Min	깊이	Max	깊이	Min	깊이
	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(m)
CS1 : 굴착 1.76 m	1.76	9.84	2.2	-4.47	5.7	0.13	0.4	-14.63	3.6
CS2 : 생성 Strut-1	1.76	9.71	1.3	-16.74	1.3	1.75	4.1	-5.76	1.3
CS3 : 굴착 4.56 m	4.56	23.08	5.3	-46.88	1.3	48.95	3.6	-11.87	1.3
CS4 : 생성 Strut-2	4.56	17.42	4.1	-33.12	1.3	19.39	3.2	-9.90	1.3
CS5 : 굴착 6.56 m	6.56	37.38	4.1	-89.03	4.1	52.66	6.1	-44.96	4.1
CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체	6.56	52.00	5.7	-51.27	1.3	61.29	4.1	-12.00	1.3
CS7 : 벽체 타설 후 1단 지보재 해체	6.56	51.81	5.7	-41.89	3.2	49.73	4.4	-11.08	2.3
CS8 : 지하층 시공완료	6.56	51.81	5.7	-41.89	3.2	49.73	4.4	-11.08	2.3
TOTAL		52.00	5.7	-89.03	4.1	61.29	4.1	-44.96	4.1

9.1.2 지보재 반력 집계

* 지보재 반력 및 부재력은 단위폭(m)에 대한 값임.

* 경사 지보재의 반력은 경사를 고려한 값임.

* Final Pressure는 주동측 및 수동측 양측의 토압, 수압 기타 압력을 모두 고려한 합력이다.

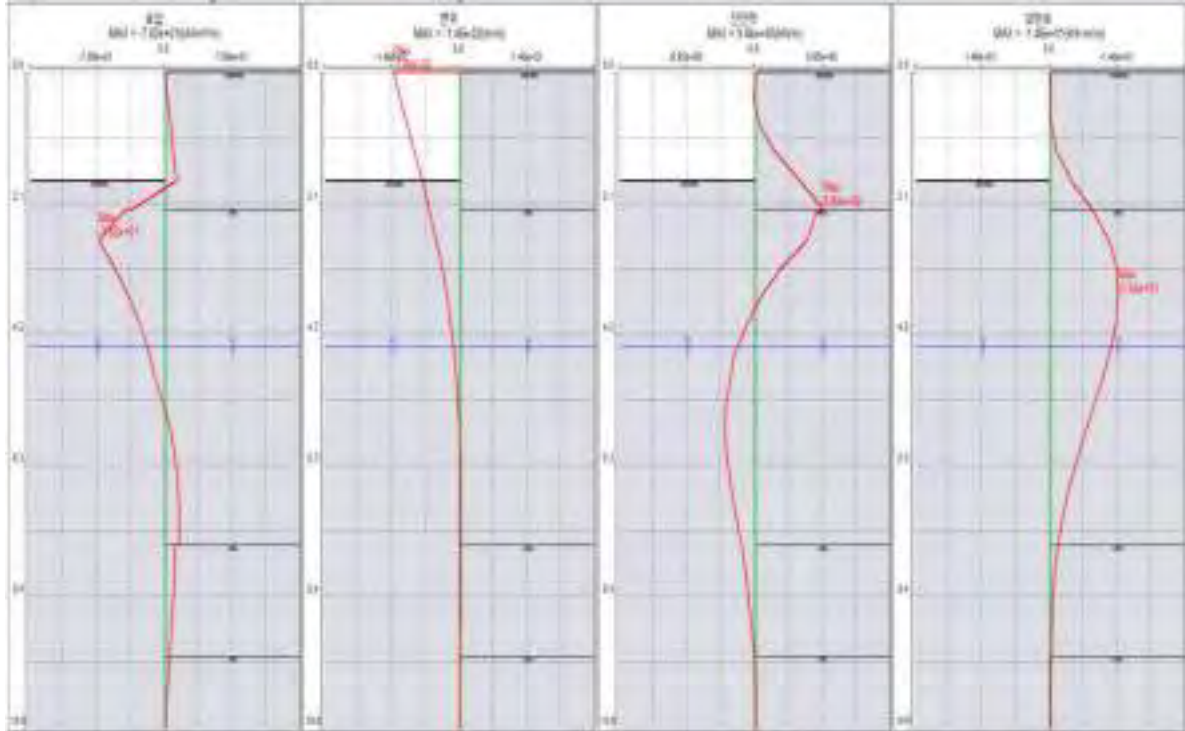
* 흙막이 벽의 변위는 굴착측으로 작용할때 (-) 이다.

* 지보공의 반력은 배면측으로 밀때 (+) 이다.

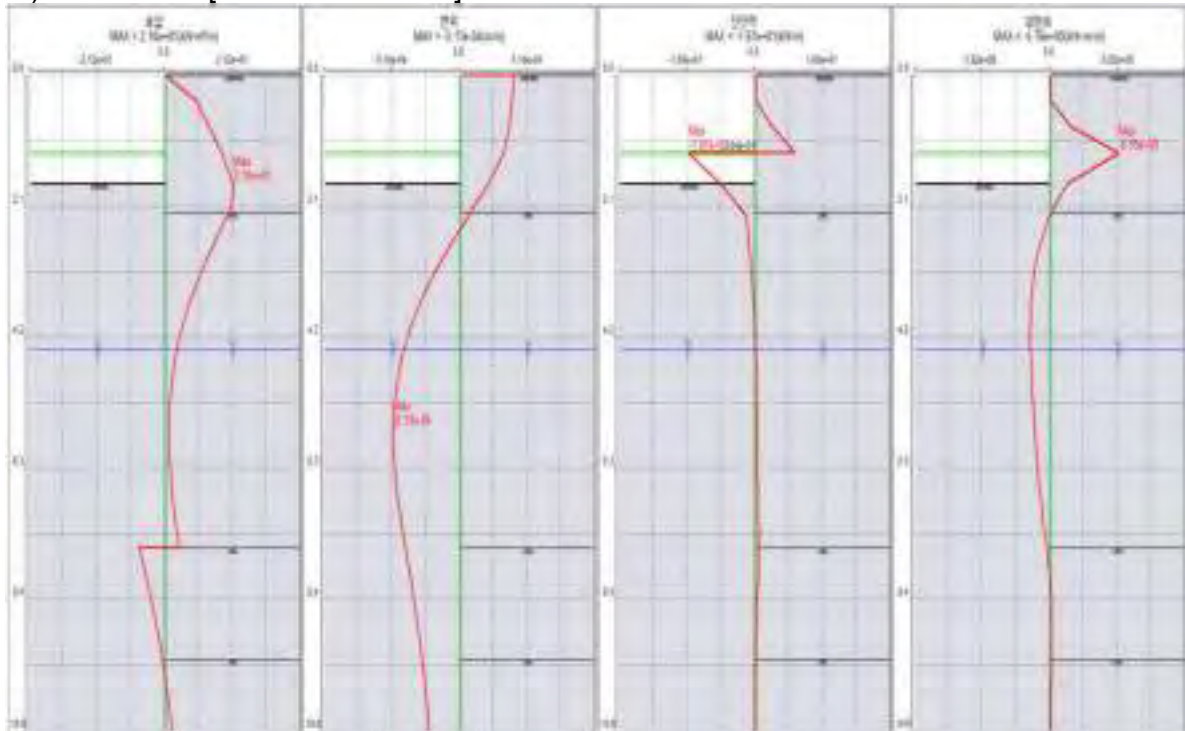
시공단계	굴착 깊이	Strut-1	Strut-2			
		1.26 (m)	4.06 (m)			
CS1 : 굴착 1.76 m	1.76	-	-			
CS2 : 생성 Strut-1	1.76	26.45	-			
CS3 : 굴착 4.56 m	4.56	67.79	-			
CS4 : 생성 Strut-2	4.56	49.68	33.33			
CS5 : 굴착 6.56 m	6.56	29.40	126.41			
CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체	6.56	72.34	-			
CS7 : 벽체 타설 후 1단 지보재 해체	6.56	-	-			
CS8 : 지하층 시공완료	6.56	-	-			
TOTAL		72.34	126.41			

9.2 시공단계별 단면력도

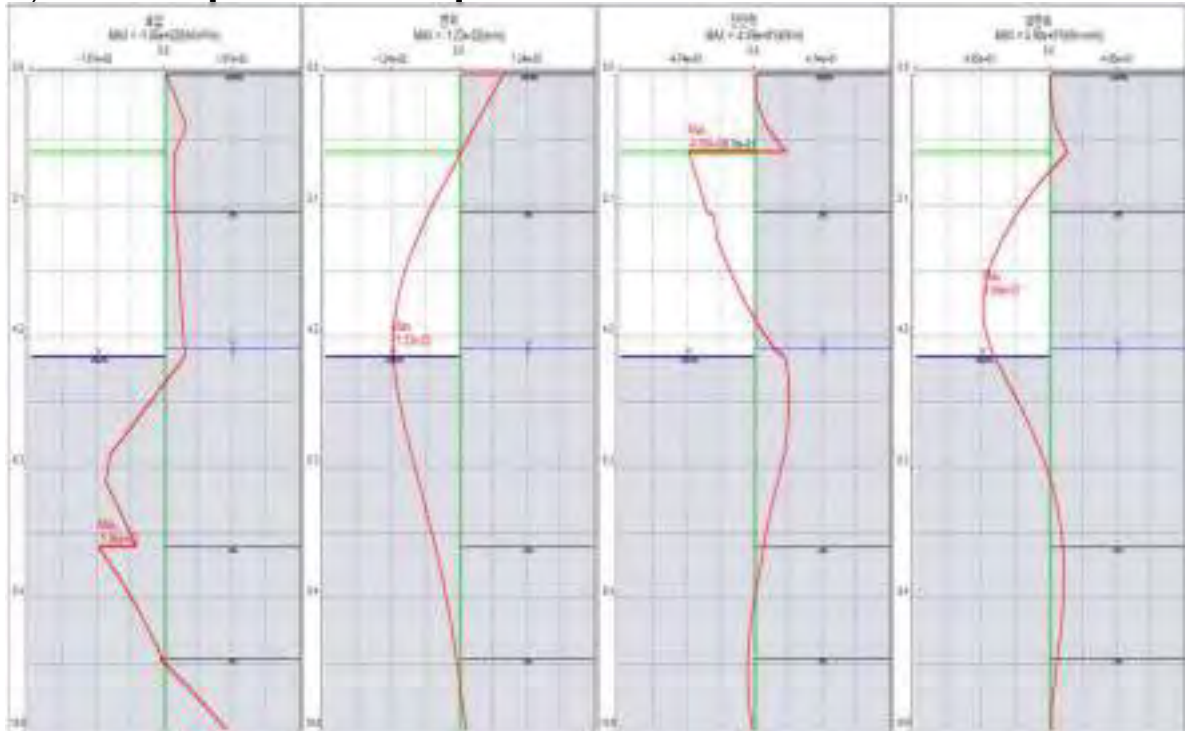
1) 시공 1 단계 [CS1 : 굴착 1.76 m]



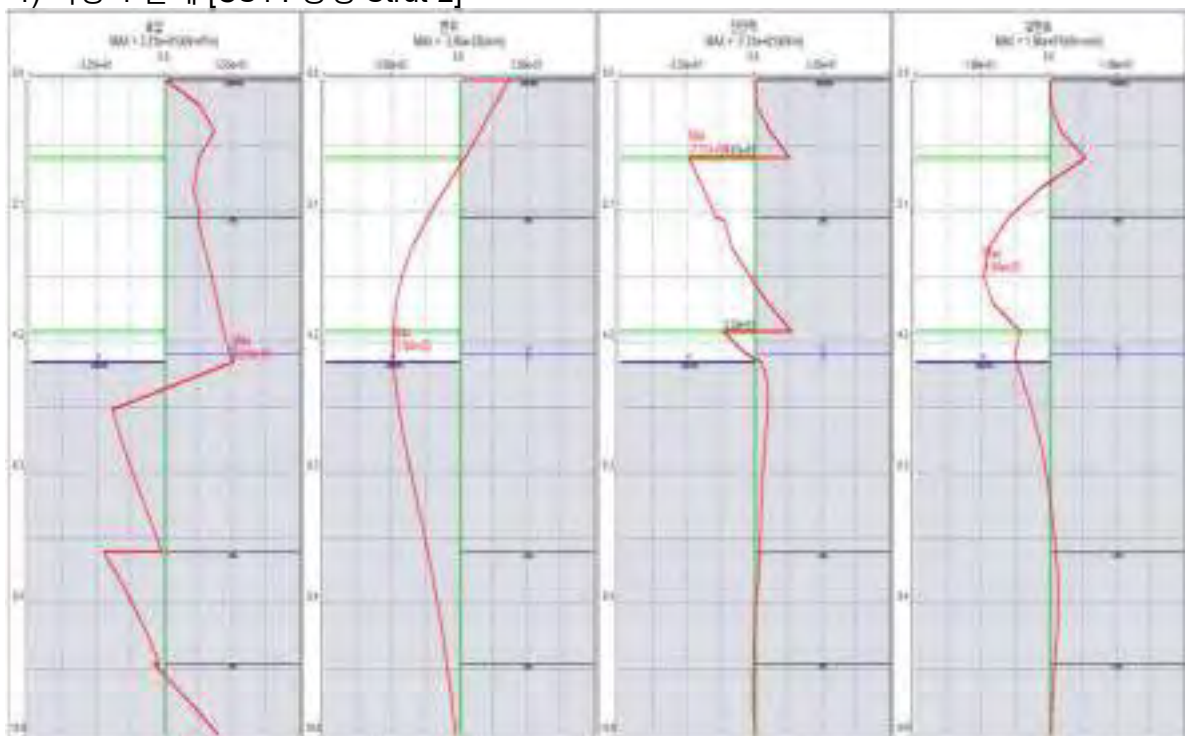
2) 시공 2 단계 [CS2 : 생성 Strut-1]



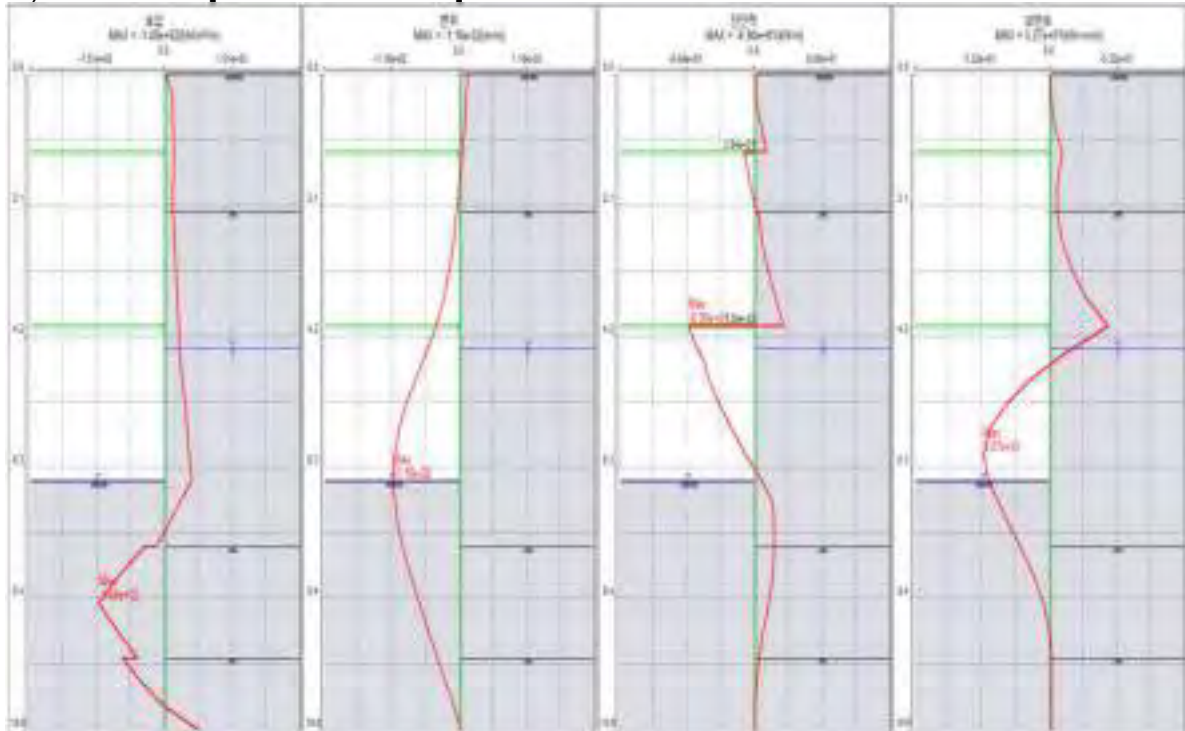
3) 시공 3 단계 [CS3 : 굴착 4.56 m]



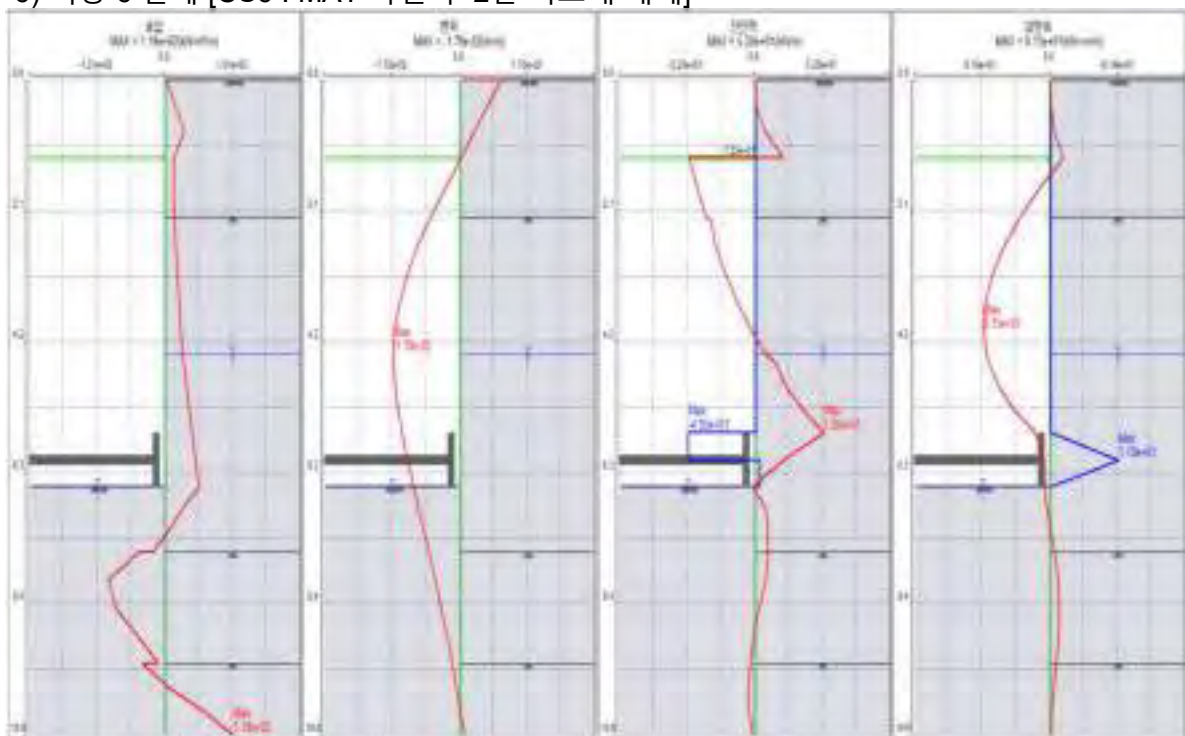
4) 시공 4 단계 [CS4 : 생성 Strut-2]



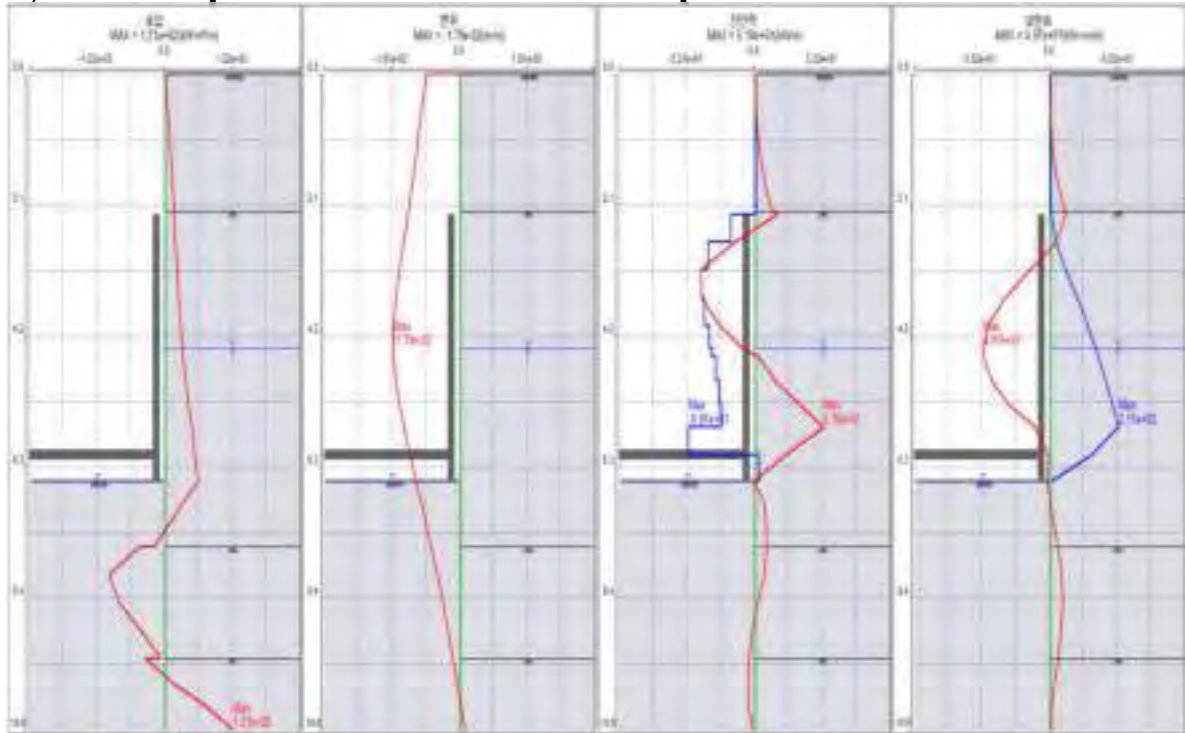
5) 시공 5 단계 [CS5 : 굴착 6.56 m]



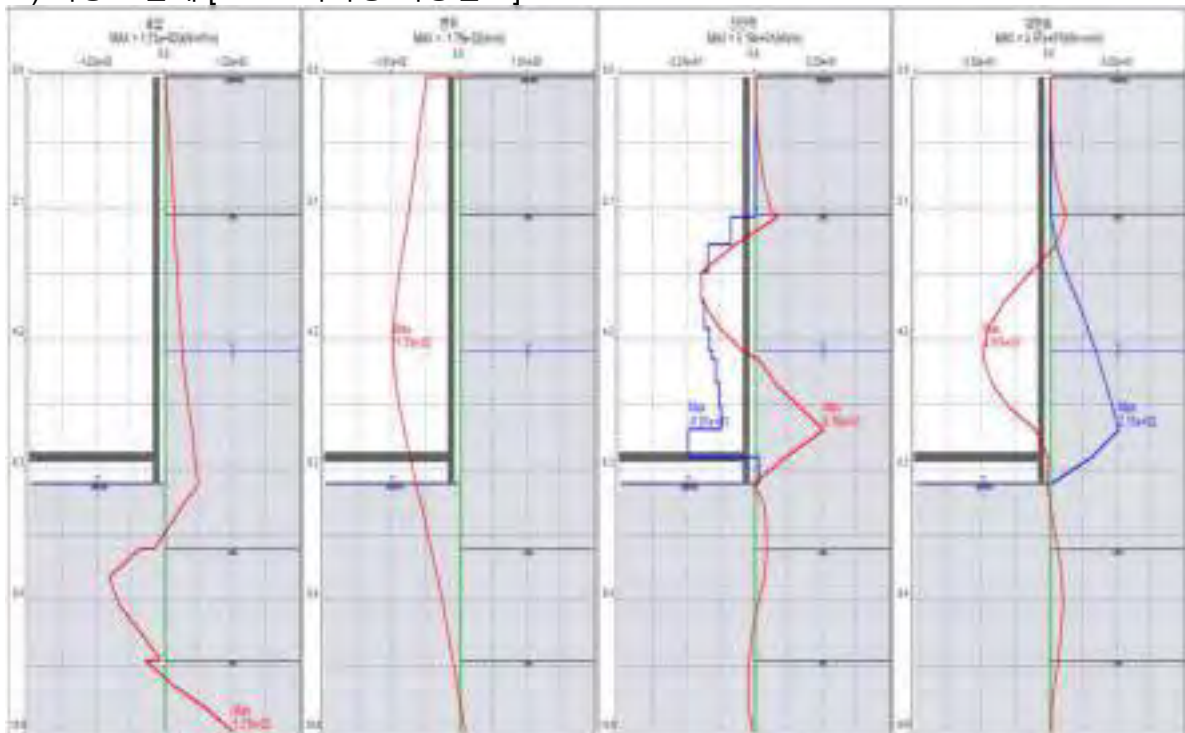
6) 시공 6 단계 [CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체]



7) 시공 7 단계 [CS7 : 벽체 타설 후 1단 지보재 해체]



8) 시공 8 단계 [CS8 : 지하층 시공완료]



9.3 근입장 검토



구분	균형깊이 (m)	적용 근입깊이 (m)	주동토압 모멘트 (kN·m)	수동토압 모멘트 (kN·m)	근입부 안전율	적용 안전율	판정
최종 굴착 단계	2.898	4.000	539.058	1242.963	2.306	1.200	OK
최종 굴착 전단계	2.853	6.000	749.804	3217.686	4.291	1.200	OK

9.3.1 최종 굴착 단계의 경우

1) 토압의 작용폭

- 주동측 : 굴착면 상부 = 1.8 m, 굴착면 하부 = 0.2 m
- 수동측 : 굴착면 하부 = 0.6 m

2) 최하단 버팀대에서 힘모멘트 계산 (EL -4.06 m)

- 주동토압에 의한 활동모멘트

굴착면 상부토압 (Pa1) = 191.561 kN 굴착면 상부토압 작용깊이 (Ya1) = 1.409 m

굴착면 하부토압 (Pa2) = 58.752 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Ya2) = 4.581 m

$Ma = (Pa1 \times Ya1) + (Pa2 \times Ya2)$

$Ma = (191.561 \times 1.409) + (58.752 \times 4.581) = 539.058 \text{ kN}\cdot\text{m}$

- 수동토압에 의한 저항모멘트

굴착면 하부토압 (Pp) = 232.12 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Yp) = 5.355 m

$Mp = (Pp \times Yp) = (232.12 \times 5.355) = 1242.963 \text{ kN}\cdot\text{m}$

* 계산된 토압 (Pa1, Pa2, Pp) 는 작용폭을 고려한 값임.

- 흙막이벽에 작용하는 집중하중에 의한 저항모멘트

수평하중 (P) = 0 kN 수평하중 작용깊이 (Y) = 0 m

$Mpl = P \times Y = 0 \times 0 = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$

모멘트하중(Mpm) = 0 kN·m

3) 근입부의 안전율

$S.F. = (Mp + Mpl + Mpm) / Ma = 1242.963 / 539.058 = 2.306$

S.F. = 2.306 > 1.2 ... OK

9.3.2. 최종 굴착 전단계의 경우

1) 토압의 작용폭

- 주동측 : 굴착면 상부 = 1.8 m, 굴착면 하부 = 0.2 m
- 수동측 : 굴착면 하부 = 0.6 m

2) 최하단 버팀대에서 힘모멘트 계산 (EL -1.26 m)

- 주동토압에 의한 활동모멘트

굴착면 상부토압 (Pa1) = 121.187 kN 굴착면 상부토압 작용깊이 (Ya1) = 1.945 m

굴착면 하부토압 (P_{a2}) = 77.044 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Y_{a2}) = 6.672 m

$$M_a = (P_{a1} \times Y_{a1}) + (P_{a2} \times Y_{a2})$$

$$M_a = (121.187 \times 1.945) + (77.044 \times 6.672) = 749.804 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 수동토압에 의한 저항모멘트

굴착면 하부토압 (P_p) = 425.872 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Y_p) = 7.556 m

$$M_p = (P_p \times Y_p) = (425.872 \times 7.556) = 3217.686 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

* 계산된 토압 (P_{a1} , P_{a2} , P_p) 는 작용폭을 고려한 값임.

- 흙막이벽에 작용하는 집중하중에 의한 저항모멘트

수평하중 (P) = 0 kN 수평하중 작용깊이 (Y) = 0 m

$$M_{pl} = P \times Y = 0 \times 0 = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

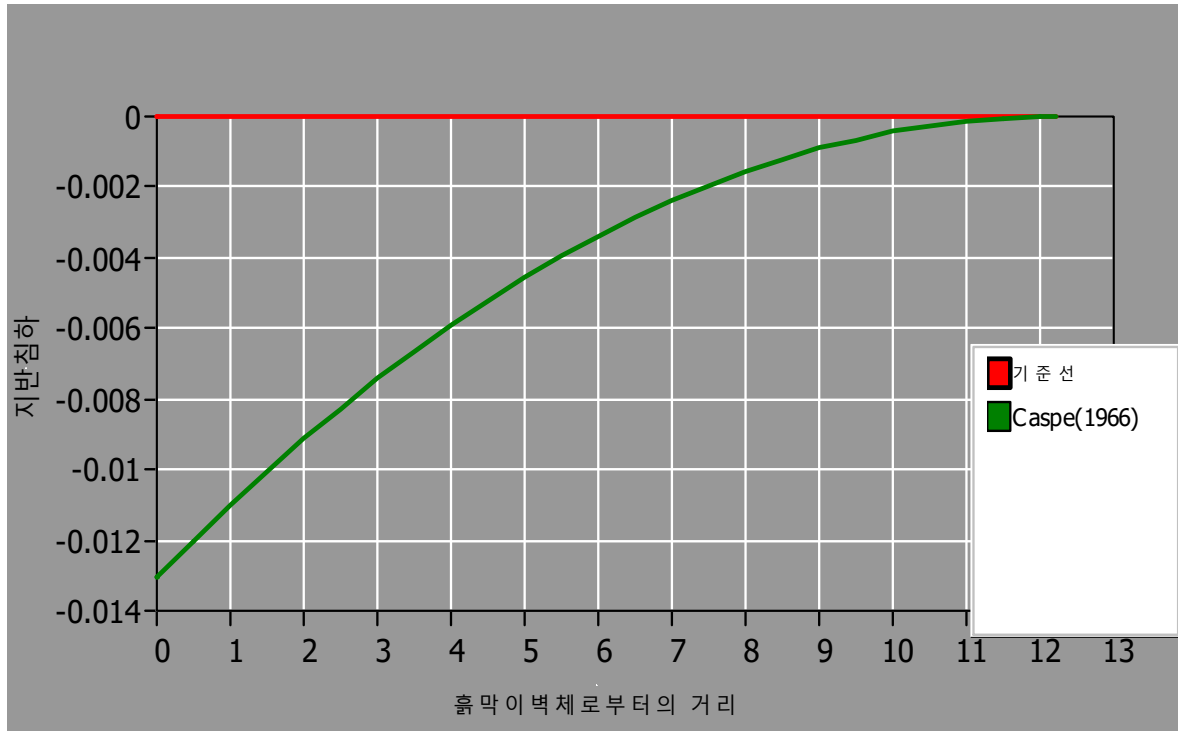
$$M_{pm} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

3) 근입부의 안전율

$$S.F. = (M_p + M_{pl} + M_{pm}) / M_a = 3217.686 / 749.804 = 4.291$$

$$S.F. = 4.291 > 1.2 \dots \text{OK}$$

9.4 굴착주변 침하량 검토 (최종 굴착단계)



9.4.1 Caspe(1966)방법에 의한 침하량 검토

1) 전체 수평변위로 인한 체적변화 (V_s)

$$V_s = -0.080 \text{ m}^3/\text{m}$$

2) 굴착폭(B) 및 굴착심도 (H_w)

$$B = 16 \text{ m}, H_w = 6.56 \text{ m}$$

3) 굴착영향 거리 (H_t)

$$\text{평균 내부 마찰각 } (\varphi) = 24.323 \text{ [deg]}$$

$$H_p = 0.5 \times B \times \tan(45 + \varphi/2)$$

$$H_p = 0.5 \times 16 \times \tan(45 + 24.323/2) = 12.395 \text{ m}$$

$$H_t = H_p + H_w = 12.395 + 6.56 = 18.955 \text{ m}$$

4) 침하영향 거리 (D)

$$D = H_t \times \tan(45 - \varphi/2)$$

$$D = 18.955 \times \tan(45 - 24.323/2) = 12.234 \text{ m}$$

5) 흙막이벽 주변 최대 침하량 (S_w)

$$S_w = 2 \times V_s / D = 2 \times -0.080 / 12.234 = -0.013 \text{ m}$$

6) 거리별 침하량 (S_i)

$$S_i = S_w \times ((D - X_i) / D)^2 = -0.013 \times ((12.234 - X_i) / 12.234)^2$$

거리 (벽면기준) (m)	지반 침하량 (mm)	절점간 침하량 (mm)	각변위 (x0.001)
0.00	-13.062	-1.046	-2.092
0.50	-12.017	-1.002	-2.005
1.00	-11.014	-0.959	-1.917
1.50	-10.056	-0.915	-1.830
2.00	-9.141	-0.871	-1.743
2.50	-8.269	-0.828	-1.655
3.00	-7.442	-0.784	-1.568
3.50	-6.657	-0.740	-1.481

4.00	-5.917	-0.697	-1.394
4.50	-5.220	-0.653	-1.306
5.00	-4.567	-0.610	-1.219
5.50	-3.958	-0.566	-1.132
6.00	-3.392	-0.522	-1.044
6.50	-2.869	-0.479	-0.957
7.00	-2.391	-0.435	-0.870
7.50	-1.956	-0.391	-0.783
8.00	-1.564	-0.348	-0.695
8.50	-1.217	-0.304	-0.608
9.00	-0.913	-0.260	-0.521
9.50	-0.652	-0.217	-0.434
10.00	-0.436	-0.173	-0.346
10.50	-0.262	-0.130	-0.259
11.00	-0.133	-0.086	-0.172
11.50	-0.047	-0.042	-0.084
12.00	-0.005	-0.005	-0.020
12.23	0.000	0.000	0.000
Max	-13.062	-1.046	-2.092

MIDAS GEOX PROGRAM OUTPUT

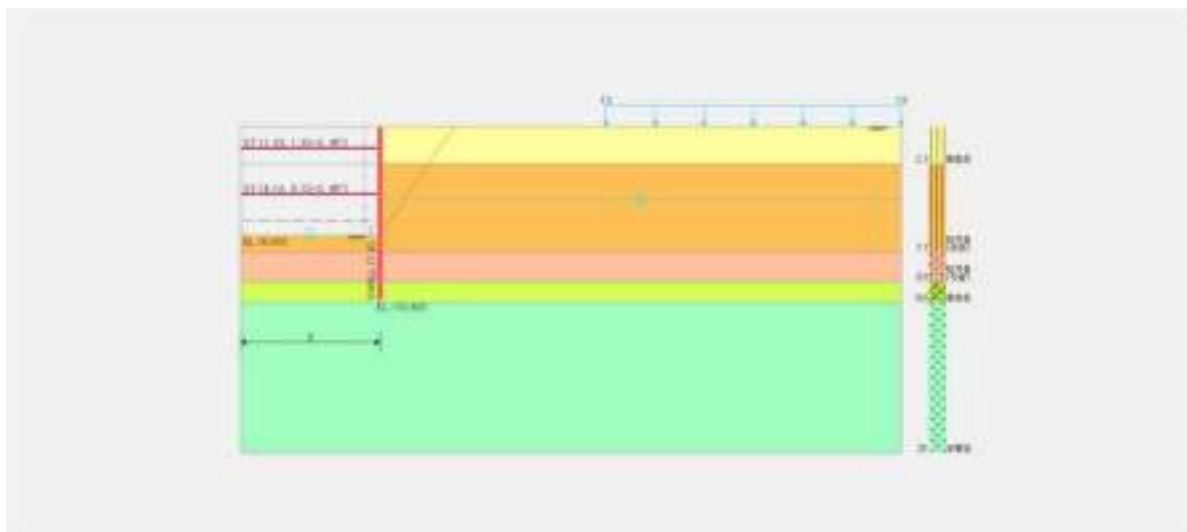
2.B-B(좌측) 설계계산서

목 차

- 1.표준단면
- 2.설계요약
- 3.설계조건
 - 3.1 가시설 구조물 공법 및 사용강재
 - 3.2 재료의 허용응력
 - 3.3 적용 프로그램
- 4.지보재 설계
- 5.사보강 Strut 설계
 - 5.1 Strut-1
 - 5.2 Strut-2
- 6.띠장 설계
 - 6.1 Strut-1 띠장 설계
 - 6.2 Strut-2 띠장 설계
- 7.측면말뚝 설계
 - 7.1 흙막이벽(우)
8. 흙막이 벽체 설계
 - 8.1 흙막이벽(우) 설계 (0.00m ~ 6.63m)
- 9.전산 입력 정보
- 10.해석결과

1. 표준단면

1.1 표준단면도



1.2 지층조건

번호	이름	깊이 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ ([deg])	N값	지반탄성계수 (kN/m ²)	수평지반 반력계수 (kN/m ³)
1	매립토	2.29	17.00	18.00	0.00	23.00	5	-	13300.00
2	퇴적층(모래)	7.69	17.00	18.00	0.00	25.00	8	-	16100.00
3	퇴적층(자갈)	9.49	20.00	21.00	0.00	31.00	30	-	27500.00
4	풍화토	10.79	19.00	20.00	21.50	28.60	50	-	29780.00
5	보통암	20.00	26.78	27.78	60.00	35.00	50	-	63000.00
6	뒤채움	-	20.00	21.00	0.00	31.00	30	27500.00	27500.00

1.3 사용부재

가. 흙막이벽

번호	이름	형상	단면	재질	하단깊이 (m)	수평간격 (m)
1	흙막이벽(우)	H-Pile	H 298x201x9/14	SS275	10.63	1.8

나. 지보재

번호	이름	단면	재질	설치깊이 (m)	수평간격 (m)	대칭점 길이 (m)	초기작용력	개수
1	Strut-1	H 300x300x10/15	SS275	1.33	3	8	100	1
2	Strut-2	H 300x300x10/15	SS275	4.13	3	8	100	1

다. 벽체와 슬래브

번호	이름	설치위치 (설치깊이) (m)	상단깊이 (시작위치) (m)	하단깊이 (끝위치) (m)	재질	두께 (m)	뒤채움
1	MAT	6.2	0	7.5	C27	0.86	-
2	WALL	7.5	0	6.63	C27	0.8	뒤채움

라. 상재하중

번호	이름	작용유형	작용위치	작용형식	작용하중 (kN)
1	교통하중	분포하중	배면(우측)	상시하중	$x = 13, d = 17, w1 = 13, w2 = 13$

1.4 시공단계

단계별 해석방법 : 탄소성법

토압종류 : Rankine (벽 마찰각은 내부마찰각의 0 %)

지하수위 : 고려

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.49 m, 수위차 = 2.14 m

단계	굴착깊이 (m)	지보재		벽체 & 슬래브 설치깊이 (m)	임의하중		토압변경	수압변경	토층변경
		생성	해체		작용	해체			
1	1.83	-	-	-	-	-	-	X	X
2	-	Strut-1		-	-	-	-	X	X
3	4.63	-	-	-	-	-	-	X	X
4	-	Strut-2		-	-	-	-	X	X
5	6.63	-	-	-	-	-	-	X	X
6	-		Strut-2	5.77	-	-	-	X	X
7	-		Strut-1	2.33	-	-	-	X	X
8	-	-	-	0	-	-	-	X	X

1.5 지하수위 조건

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.49 m, 수위차 = 2.14 m

번호	굴착깊이 (m)	수압종류	굴착수위	배면수위	수압변경 (깊이(h), 수압(p)) (kN, m)
1	1.83	정수압	4.49	4.49	-
2	-	정수압	4.49	4.49	-
3	4.63	정수압	4.63	4.49	-
4	-	정수압	4.63	4.49	-
5	6.63	정수압	6.63	4.49	-
6	-	정수압	6.63	4.49	-
7	-	정수압	6.63	4.49	-
8	-	정수압	6.63	4.49	-

2.설계요약

2.2 사보강 Strut

부 재	위 치 (m)	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
Strut-1 H 300x300x10/15	1.33	휨응력	MPa	16.544	175.545	9.42%	O.K
		압축응력	MPa	37.130	153.120	24.25%	O.K
		전단응력	MPa	5.556	121.500	4.57%	O.K
		합성응력	안전율	0.341	1.000	34.15%	O.K
		볼트수량	개	4.086	8	51.08%	O.K
Strut-2 H 300x300x10/15	4.13	휨응력	MPa	16.544	175.545	9.42%	O.K
		압축응력	MPa	54.779	153.120	35.78%	O.K
		전단응력	MPa	5.556	121.500	4.57%	O.K
		합성응력	안전율	0.459	1.000	45.92%	O.K
		볼트수량	개	6.028	8	75.36%	O.K

2.3 락

부 재	위 치 (m)	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
Strut-1 H 300x300x10/15	1.33	휨응력	MPa	46.058	201.645	22.84%	O.K
		전단응력	MPa	46.400	121.500	38.19%	O.K
		스티프너	웹보강 안함				
Strut-2 H 300x300x10/15	4.13	휨응력	MPa	76.041	201.645	37.71%	O.K
		전단응력	MPa	76.604	121.500	63.05%	O.K
		스티프너	웹보강 안함				

2.4 측면말뚝

부 재	위 치	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
흙막이벽(우) H 298x201x9/14	-	휨응력	MPa	125.745	183.076	68.68%	O.K
		압축응력	MPa	5.998	206.143	2.91%	O.K
		전단응력	MPa	66.381	121.500	54.64%	O.K
		합성응력	안전율	0.718	1.000	71.78%	O.K
		수평변위	mm	18.563	19.890	93.33%	O.K
		지지력	kN	50.000	1500.000	3.33%	O.K

2.5 흙막이벽체설계

부 재	구간 (m)	구분	단위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
흙막이벽(우)	0.00 ~ 6.63	휨응력	MPa	14.710	18.000	81.72%	O.K
		전단응력	MPa	0.535	1.600	33.45%	O.K
		두께검토	mm	81.360	90.000	90.40%	O.K

2.6 흙막이벽체 수평변위

부 재	위 치	구분	단위	수평변위			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
흙막이벽(우)	0.0~10.6	최대변위	mm	18.563	19.890	93.33%	O.K
전체 구간	0.0~10.6	최대변위	mm	18.563	19.890	93.33%	O.K

* 최대 굴착깊이 6.6 m, 허용수평변위 0.003 H

2.7 굴착저면의 안전성

부 재	구 분		단 위	단면검토			판정
				발생(필요)량	허용(적용)량	발생/허용량	
-	근입장	최종굴착단계	안전율	2.288	1.200	190.65%	O.K
		최종굴착전 단계	안전율	4.246	1.200	353.80%	O.K
	보일링		안전율	3.708	2.000	185.42%	O.K
	히빙		안전율	-	-	-	-

3.설계조건

3.1 가시설 구조물 공법 및 사용강재

가. 굴착공법

H Pile로 구성된 가시설 구조물을 Strut (H형강)로 지지하면서 굴착함.

나. 흙막이벽(측벽)

H Pile

엄지말뚝간격 : 1.80m

다. 지보재

라. 사용강재

구 분	규 격	간 격 (m)	비 고
H-PILE (측벽)	H 298x201x9/14(SS275)	1.80m	
사보강 버팀보	H 300x300x10/15(SS275)	3.00m	
띠장	H 300x300x10/15(SS275)	-	

3.2 재료의 허용응력

가. 허용응력 할증 계수(보정계수)

1) 가설구조물의 경우 1.50 (철도하중 지지 시 1.3)

2) 영구구조물로 사용되는 경우

① 시공도중 1.25

② 완료 후 1.00

3) 공사기간이 2년 미만인 경우에는 가설구조물로 2년 이상인 경우에는 영구구조물로 간주하여 설계한다.

4) 중고 강재 사용 시 0.90 (신강재의 0.9 이하, 재사용 및 부식을 고려한 보정계수)

나. 철근 및 콘크리트

1) 콘크리트의 허용응력

① 허용휨응력 $f_{ck} = 0.40 \times f_{ck}$

② 허용전단응력 $V_a = 0.08 \times f_{ck}$

2) 철근의 허용(압축 및 인장) 응력

① 허용휨인장응력 $f_{sa} = 0.40 \times f_y$

② 허용압축응력 $f_{sa} = 0.50 \times f_y$

다. 강재의 허용응력

[강재의 허용응력(가설 구조물 기준)]

(MPa)

종 류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비고
축방향 인장 (순단면)		240	315	160x1.5=240 210x1.5=315
축방향 압축 (총단면)		$0 < \ell/r \leq 20$ 240	$0 < \ell/r \leq 16$ 315	$\ell(\text{mm})$: 유효좌굴장 $r(\text{mm})$: 단면회전 반지름
		$20 < \ell/r \leq 90$ $240 - 1.5(\ell/r - 20)$	$16 < \ell/r \leq 80$ $315 - 2.2(\ell/r - 16)$	
		$90 < \ell/r$ $\frac{1,875,000}{6,000 + (\ell/r)^2}$	$80 < \ell/r$ $\frac{1,900,000}{4,500 + (\ell/r)^2}$	
휨 압 축 응 력	인장연 (순단면)	240	315	ℓ : 플랜지의 고정점간 거리 b : 압축플랜지의 폭
	압축연 (총단면)	$\ell/b \leq 4.5$ 240	$\ell/b \leq 4.0$ 315	
		$4.5 < \ell/b \leq 30$ $240 - 2.9(\ell/b - 4.5)$	$4.0 < \ell/b \leq 27$ $315 - 4.3(\ell/b - 4.0)$	
전단응력 (총단면)		135	180	
지압응력		360	465	강관과 강판
용접 강도	공 장	모재의 100%	모재의 100%	
	현 장	모재의 90%	모재의 90%	

*가설구조물의 보정계수(1.5)를 곱한 값임.

라. 강널말뚝

[강널말뚝 허용응력(가설 구조물 기준)]

(MPa)

종 류		SY300, SY300W	SY400, SY400W	비 고
휨 응 력	인장응력	270	360	※Type-W는 용접용
	압축응력	270	360	
	전단응력	150	203	

*가설구조물의 보정계수(1.5)를 곱한 값임.

마. 볼트

[볼트 허용응력]

(MPa)

볼 트 종 류	응 력 의 종 류	허 용 응 력	비 고
보 통 볼 트	전 단	150	SS275 기준
	지 압	330	
고 장 력 볼 트	전 단	225	F8T 기준
	지 압	405	SS275 기준

*가설구조물의 보정계수(1.5)를 곱한 값임.

3.3 안전성 검토

가. 가설흙막이의 안전율

[가설흙막이의 안전율 (KDS 21 30 00 : 2020 가설흙막이 설계기준)]

조 건			안전율		비 고
			기준치	적용치	
지반의 지지력			2.0	2.0	극한지지력에 대하여
활 동			1.5	-	활동력(슬라이딩)에 대하여
전 도			2.0	-	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사면안정			1.1	-	1년 미만 단기안정성
근입깊이			1.2	1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부 안정	보일링	가설(단기)	1.5	2.0	사질토 대상 단기는 굴착시점을 기준으로 2년 미만임
		영구(장기)	2.0		
	히빙		1.5	1.5	점성토
지반앵커	사용기간 2년미만		1.5	1.5	인발저항에 대한 안전율
	사용기간 2년이상		2.5		

나. 흙막이벽의 수평변위

최대수평변위는 최종 굴착깊이, 지층 등을 고려하여 산정하며, 이를 초과할 때는 주변시설물에 대한 별도의 안정성 검토가 필요하다. 최대변위량은 흙막이벽의 강성 및 굴착심도(H)를 기준으로 설정하는 것이 가장 용이하며, 일반적으로 최대 허용변위량은 아래와 같이 정하는 것이 바람직하다.

[계측관리 기준 (KCS 11 10 15 : 2018 시공중 지반계측)]

구 분	최대 허용변위량	비 고
강성 흙막이벽	0.0020 H	t ≥ 60 cm인 콘크리트 연속벽
보통 흙막이벽	0.0025 H	t ≒ 40 cm정도인 콘크리트 연속벽
연성 흙막이벽	0.0030 H	H-Pile과 흙막이판 설치하는 흙막이벽
적용값	0.0030 H	= 19.9 mm (굴착깊이 = 6.6 m)

3.4 적용 프로그램

가. midas GeoX V 5.1.0

나. 탄소성법

다. Rankine 토압

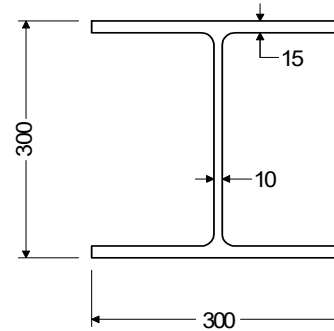
5. 사보강 Strut 설계

5.1 Strut-1

가. 설계제원

- (1) 설계지간 : 6.000 m
(2) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

w (N/m)	922.243
A (mm ²)	11980.000
I _x (mm ⁴)	204000000.000
Z _x (mm ³)	1360000.000
R _x (mm)	131.0
R _y (mm)	75.1



- (3) 버팀보 개수 : 1 단
(4) 사보강 Strut 수평간격 : 3.000 m
(5) 각도 (θ) : 45 도

나. 단면력 산정

- (1) 최대축력 , $R_{max} = 76.559 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Strut-1 (CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체)}$
 $= 76.559 \times 3.0 = 229.678 \text{ kN}$
 $= (R_{max} \times \text{사보강 Strut 수평간격}) / \text{지보재 수평간격} / \text{단수}$
 $= (229.678 \times 3.000) / 3.000 / 1 \text{ 단}$
 $= 229.678 \text{ kN}$
- (2) 온도차에 의한 축력 , $T = 120.0 \text{ kN} / 1 \text{ 단}$
 $= 120.0 \text{ kN}$
- (3) 설계축력 , $P_{max} = R_{max} / \cos \theta^\circ + T$
 $= 229.7 / \cos 45^\circ + 120.0$
 $= 444.8 \text{ kN}$
- (4) 설계휨모멘트 , $M_{max} = W \times L^2 / 8 / 1 \text{ 단}$
 $= 5.0 \times 6.0 \times 6.0 / 8 / 1 \text{ 단}$
 $= 22.500 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- (5) 설계전단력 , $S_{max} = W \times L / 2 / 1 \text{ 단}$
 $= 5.0 \times 6.0 / 2 / 1 \text{ 단}$
 $= 15.000 \text{ kN}$

(여기서, W : Strut와 간격재등의 자중 및 작업하중으로 5 kN/m 로 가정)

다. 작용응력 산정

- ▶ 휨응력 , $f_b = M_{max} / Z_x = 22.500 \times 1000000 / 1360000.0 = 16.544 \text{ MPa}$
▶ 압축응력 , $f_c = P_{max} / A = 444.814 \times 1000 / 11980 = 37.130 \text{ MPa}$
▶ 전단응력 , $\tau = S_{max} / A_w = 15.000 \times 1000 / 2700 = 5.556 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

- ▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용	강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
가설 구조물	1.50	0		
영구 구조물	1.25	×		

- ▶ 축방향 허용압축응력

$$f_{cao} = 1.50 \times 0.9 \times 160.000 \\ = 216.000 \text{ MPa}$$

$$L_x / R_x = 6000 / 131 \\ 45.802 \text{ ---> } 20 < L_x/R_x \leq 90 \text{ 이므로}$$

$$f_{cax} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (45.802 - 20)) \\ = 181.168 \text{ MPa}$$

$$L_y / R_y = 5000 / 75.1 \\ 66.578 \text{ ---> } 20 < L_y/R_y \leq 90 \text{ 이므로}$$

$$f_{cay} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (66.578 - 20)) \\ = 153.120 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = \text{Min.}(f_{cax}, f_{cay}) = 153.120 \text{ MPa}$$

- ▶ 허용 휨압축응력

$$L / B = 6000 / 300 \\ = 20.000 \text{ ---> } 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로}$$

$$f_{ba} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (20.000 - 4.5)) \\ = 175.545 \text{ MPa}$$

$$f_{eax} = 1.50 \times 0.9 \times 1200000 / (45.802)^2 \\ = 772.245 \text{ MPa}$$

- ▶ 허용전단응력

$$\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 90 \\ = 121.500 \text{ MPa}$$

마. 응력 검토

▶ 압축응력, $f_{ca} = 153.120 \text{ MPa} > f_c = 37.130 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}$

▶ 휨응력, $f_{ba} = 175.545 \text{ MPa} > f_b = 16.544 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}$

▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 5.556 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}$

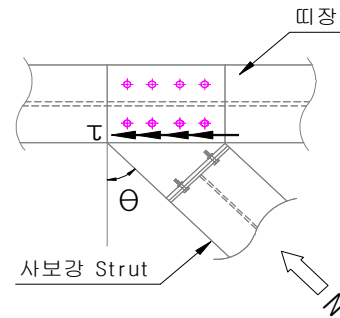
▶ 합성응력,
$$\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_b}{f_{ba} \times (1 - (f_c / f_{eax}))}$$

$$= \frac{37.130}{153.120} + \frac{16.544}{175.545 \times (1 - (37.130 / 772.245))}$$

$$= 0.341 < 1.0 \text{ ---> O.K}$$

바. 볼트갯수 산정

▶ 작용전단력 : $S_{\max} = P_{\max} \times \sin \theta^\circ$
 $= 444.814 \times \sin 45^\circ$
 $= 314.5 \text{ kN}$



$$\tau = N \cdot \sin \theta$$

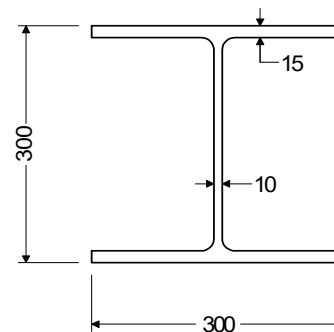
▶ 사용볼트 : F8T , M 22
▶ 허용전단응력 : $\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 150 = 202.5 \text{ MPa}$
▶ 필요 볼트갯수 : $n_{\text{req}} = S_{\max} / (\tau_a \times \pi \times d^2 / 4)$
 $= 314531 / (202.5 \times \pi \times 22.0 \times 22.0 / 4)$
 $= 4.09 \text{ ea}$
▶ 사용 볼트갯수 : $n_{\text{used}} = 8 \text{ ea} > n_{\text{req}} = 4.09 \text{ ea} \rightarrow \text{O.K}$

5.2 Strut-2

가. 설계제원

- (1) 설계지간 : 6.000 m
(2) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

w (N/m)	922.243
A (mm ²)	11980.000
I _x (mm ⁴)	204000000.000
Z _x (mm ³)	1360000.000
R _x (mm)	131.0
R _y (mm)	75.1



- (3) 버팀보 개수 : 1 단
(4) 사보강 Strut 수평간격 : 3.000 m
(5) 각도 (θ) : 45 도

나. 단면력 산정

(1) 최대축력 , $R_{\max} = 126.397 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Strut-2 (CS5 : 굴착 6.63 m)}$
 $= 126.397 \times 3.0 = 379.192 \text{ kN}$
 $= (R_{\max} \times \text{사보강 Strut 수평간격}) / \text{지보재 수평간격} / \text{단수}$
 $= (379.192 \times 3.000) / 3.000 / 1 \text{ 단}$
 $= 379.192 \text{ kN}$
(2) 온도차에 의한 축력 , $T = 120.0 \text{ kN} / 1 \text{ 단}$
 $= 120.0 \text{ kN}$
(3) 설계축력 , $P_{\max} = R_{\max} / \cos \theta^\circ + T$
 $= 379.2 / \cos 45^\circ + 120.0$
 $= 656.3 \text{ kN}$

(4) 설계휨모멘트 , $M_{\max} = W \times L^2 / 8 / 1 \text{ 단}$
 $= 5.0 \times 6.0 \times 6.0 / 8 / 1 \text{ 단}$
 $= 22.500 \text{ kN}\cdot\text{m}$

(5) 설계전단력 , $S_{\max} = W \times L / 2 / 1 \text{ 단}$
 $= 5.0 \times 6.0 / 2 / 1 \text{ 단}$
 $= 15.000 \text{ kN}$

(여기서, W : Strut와 간격재등의 자중 및 작업하중으로 5 kN/m 로 가정)

다. 작용응력 산정

▶ 휨응력 , $f_b = M_{\max} / Z_x = 22.500 \times 1000000 / 1360000.0 = 16.544 \text{ MPa}$
▶ 압축응력 , $f_c = P_{\max} / A = 656.258 \times 1000 / 11980 = 54.779 \text{ MPa}$
▶ 전단응력 , $\tau = S_{\max} / A_w = 15.000 \times 1000 / 2700 = 5.556 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용	강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
가설 구조물	1.50	O		
영구 구조물	1.25	X		

▶ 축방향 허용압축응력

$$f_{cao} = 1.50 \times 0.9 \times 160.000 = 216.000 \text{ MPa}$$

$$L_x / R_x = 6000 / 131 = 45.802 \text{ ----> } 20 < L_x/R_x \leq 90 \text{ 이므로}$$

$$f_{cax} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (45.802 - 20)) = 181.168 \text{ MPa}$$

$$L_y / R_y = 5000 / 75.1 = 66.578 \text{ ----> } 20 < L_y/R_y \leq 90 \text{ 이므로}$$

$$f_{cay} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (66.578 - 20)) = 153.120 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = \text{Min.}(f_{cax}, f_{cay}) = 153.120 \text{ MPa}$$

▶ 허용 휨압축응력

$$L / B = 6000 / 300 = 20.000 \text{ ----> } 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로}$$

$$f_{ba} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (20.000 - 4.5)) = 175.545 \text{ MPa}$$

$$f_{eax} = 1.50 \times 0.9 \times 1200000 / (45.802)^2 = 772.245 \text{ MPa}$$

▶ 허용전단응력

$$\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 90 = 121.500 \text{ MPa}$$

마. 응력 검토

▶ 압축응력, $f_{ca} = 153.120 \text{ MPa} > f_c = 54.779 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 휨응력, $f_{ba} = 175.545 \text{ MPa} > f_b = 16.544 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 5.556 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 합성응력,
$$\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_b}{f_{ba} \times (1 - (f_c / f_{eas}))}$$

$$= \frac{54.779}{153.120} + \frac{16.544}{175.545 \times (1 - (54.779 / 772.245))}$$

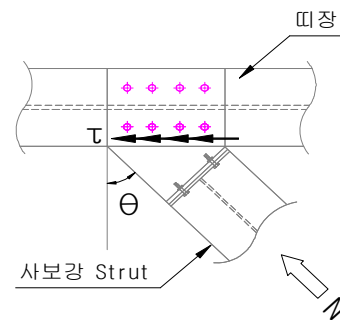
= 0.459 < 1.0 → O.K

바. 볼트갯수 산정

▶ 작용전단력 : $S_{max} = P_{max} \times \sin \theta^\circ$

$$= 656.258 \times \sin 45^\circ$$

$$= 464.0 \text{ kN}$$



$$\tau = N * \sin \theta$$

▶ 사용볼트 : F8T, M 22

▶ 허용전단응력 : $\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 150 = 202.5 \text{ MPa}$

▶ 필요 볼트갯수 : $n_{req} = S_{max} / (\tau_a \times \pi \times d^2 / 4)$

$$= 464045 / (202.5 \times \pi \times 22.0 \times 22.0 / 4)$$

$$= 6.03 \text{ ea}$$

▶ 사용 볼트갯수 : $n_{used} = 8 \text{ ea} > n_{req} = 6.03 \text{ ea} \rightarrow \text{O.K}$

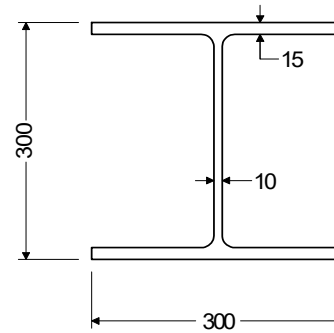
6. 띠장 설계

6.1 Strut-1 띠장 설계

가. 설계제원

(1) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

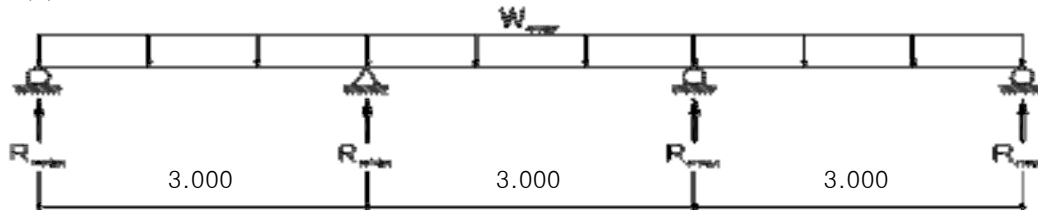
w (N/m)	922.2
A (mm ²)	11980.0
I _x (mm ⁴)	204000000.0
Z _x (mm ³)	1360000.0
A _w (mm ²)	2700.0
R _x (mm)	131.0



(2) 띠장 계산지간 : 3.000 m

나. 단면력 산정

(1) 최대 축력 적용 : 연속보 설계



$$R_{\max} = 76.559 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Strut-1 (CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체)}$$

$$P = 76.559 \times 3.00 \text{ m} / 1 \text{ ea} = 229.678 \text{ kN}$$

$$R_{\max} = 11 \times W_{\max} \times L / 10$$

$$\begin{aligned} \therefore W_{\max} &= 10 \times R_{\max} / (11 \times L) \\ &= 10 \times 229.678 / (11 \times 3.000) \\ &= 69.599 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= W_{\max} \times L^2 / 10 \\ &= 69.599 \times 3.000^2 / 10 \\ &= 62.639 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 6 \times W_{\max} \times L / 10 \\ &= 6 \times 69.599 \times 3.000 / 10 \\ &= 125.279 \text{ kN} \end{aligned}$$

다. 작용응력산정

- ▶ 휨응력, $f_b = M_{\max} / Z_x = 62.639 \times 1000000 / 1360000.0 = 46.058 \text{ MPa}$
- ▶ 전단응력, $\tau = S_{\max} / A_w = 125.279 \times 1000 / 2700 = 46.400 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용	강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
가설 구조물	1.50	0		

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad L / B &= 3000 / 300 \\
 &= 10.000 \quad \text{---> } 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로} \\
 f_{ba} &= 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (10.000 - 4.5)) \\
 &= 201.645 \text{ MPa} \\
 \blacktriangleright \quad \tau_a &= 1.50 \times 0.9 \times 90 \\
 &= 121.500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

마. 응력 검토

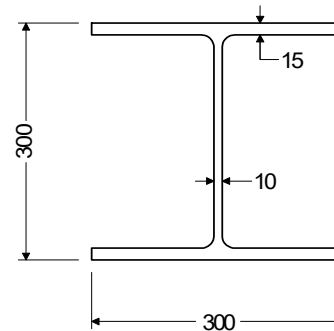
$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \text{휨응력, } f_{ba} &= 201.645 \text{ MPa} > f_b = 46.058 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K} \\
 \blacktriangleright \text{전단응력, } \tau_a &= 121.500 \text{ MPa} > \tau = 46.400 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K}
 \end{aligned}$$

6.2 Strut-2 띠장 설계

가. 설계제원

(1) 사용강재 : H 300x300x10/15(SS275)

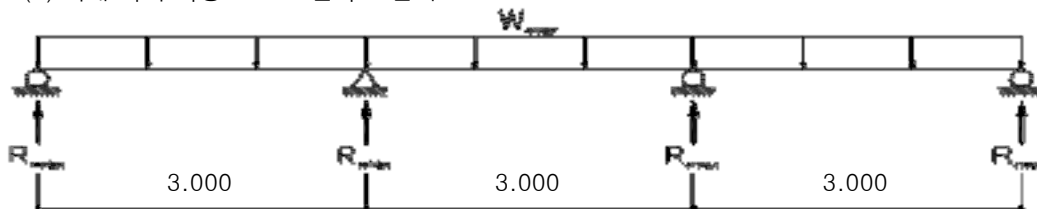
w (N/m)	922.2
A (mm ²)	11980.0
I _x (mm ⁴)	204000000.0
Z _x (mm ³)	1360000.0
A _w (mm ²)	2700.0
R _x (mm)	131.0



(2) 띠장 계산지간 : 3.000 m

나. 단면력 산정

(1) 최대 축력 적용 : 연속보 설계



$$R_{\max} = 126.397 \text{ kN/m} \quad \text{---> Strut-2 (CS5 : 굴착 6.63 m)}$$

$$P = 126.397 \times 3.00 \text{ m} / 1 \text{ ea} = 379.192 \text{ kN}$$

$$R_{\max} = 11 \times W_{\max} \times L / 10$$

$$\begin{aligned}
 \therefore W_{\max} &= 10 \times R_{\max} / (11 \times L) \\
 &= 10 \times 379.192 / (11 \times 3.000) \\
 &= 114.907 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= W_{\max} \times L^2 / 10 \\
 &= 114.907 \times 3.000^2 / 10 \\
 &= 103.416 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 6 \times W_{\max} \times L / 10 \\
 &= 6 \times 114.907 \times 3.000 / 10 \\
 &= 206.832 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

다. 작용응력산정

- ▶ 휨응력, $f_b = M_{\max} / Z_x = 103.416 \times 1000000 / 1360000.0 = 76.041 \text{ MPa}$
 ▶ 전단응력, $\tau = S_{\max} / A_w = 206.832 \times 1000 / 2700 = 76.604 \text{ MPa}$

라. 허용응력 산정

- ▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용
가설 구조물	1.50	0
영구 구조물	1.25	×

강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
--------------------------------	-----

- ▶ $L / B = 3000 / 300$
 $= 10.000 \rightarrow 4.5 < L/B \leq 30$ 이므로
 $f_{ba} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (10.000 - 4.5))$
 $= 201.645 \text{ MPa}$
- ▶ $\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 90$
 $= 121.500 \text{ MPa}$

마. 응력 검토

- ▶ 휨응력, $f_{ba} = 201.645 \text{ MPa} > f_b = 76.041 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$
 ▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 76.604 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

7. 측면말뚝 설계

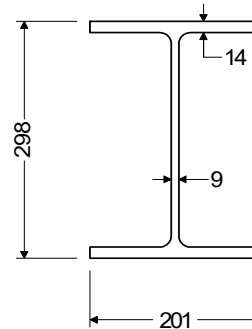
7.1 흙막이벽(우)

가. 설계제원

(1) 측면말뚝의 설치간격 : 1.800 m

(2) 사용강재 : H 298x201x9/14(SS275)

w (N/m)	641.721
A (mm ²)	8336
I _x (mm ⁴)	133000000
Z _x (mm ³)	893000
A _w (mm ²)	2430
R _x (mm)	126



나. 단면력 산정

가. 주형보 반력	=	0.000	kN
나. 주형 지지보의 자중	=	0.000	kN
다. 측면말뚝 자중	=	0.000	kN
라. 버팀보 자중	=	0.000	kN
마. 띠장 자중	=	0.000	kN
바. 지보재 수직분력	=	0.000 × 1.800	= 0.000 kN
사. 지장물 자중	=	50.000	kN
ΣP_s		=	50.000 kN

최대모멘트, $M_{\max} = 62.383$ kN·m/m ---> 흙막이벽(우) (CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체)

최대전단력, $S_{\max} = 89.615$ kN/m ---> 흙막이벽(우) (CS5 : 굴착 6.63 m)

▶ P _{max}	=	50.000	kN
▶ M _{max}	=	62.383 × 1.800	= 112.290 kN·m
▶ S _{max}	=	89.615 × 1.800	= 161.306 kN

다. 작용응력 산정

▶ 휨응력, f_b	=	$M_{\max} / Z_x = 112.290 \times 1000000 / 893000.0$	=	125.745	MPa
▶ 압축응력, f_c	=	$P_{\max} / A = 50.000 \times 1000 / 8336$	=	5.998	MPa
▶ 전단응력, τ	=	$S_{\max} / A_w = 161.306 \times 1000 / 2430$	=	66.381	MPa

라. 허용응력 산정

▶ 보정계수 : 가설 구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수 적용

구 분	보정계수	적용
가설 구조물	1.50	○
영구 구조물	1.25	×

강재의 재사용 및 부식을 고려한 허용응력 저감계수	0.9
-----------------------------	-----

▶ 축방향 허용압축응력

$$f_{cao} = 1.50 \times 0.9 \times 160.000 = 216.000 \text{ MPa}$$

$$L / R = 3440 / 126$$

$$27.302 \rightarrow 20 < Lx/Rx \leq 90 \text{ 이므로}$$

$$f_{ca} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1 \times (27.302 - 20))$$

$$= 206.143 \text{ MPa}$$

▶ 허용 휨압축응력

$$L / B = 3440 / 201$$

$$= 17.114 \rightarrow 4.5 < L/B \leq 30 \text{ 이므로}$$

$$f_{ba} = 1.50 \times 0.9 \times (160 - 1.93333 \times (17.114 - 4.5))$$

$$= 183.076 \text{ MPa}$$

$$f_{eax} = 1.50 \times 0.9 \times 1200000 / (27.302)^2$$

$$= 2173.398 \text{ MPa}$$

▶ 허용전단응력

$$\tau_a = 1.50 \times 0.9 \times 90$$

$$= 121.500 \text{ MPa}$$

마. 응력 검토

▶ 압축응력, $f_{ca} = 206.143 \text{ MPa} > f_c = 5.998 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 휨응력, $f_{ba} = 183.076 \text{ MPa} > f_b = 125.745 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 전단응력, $\tau_a = 121.500 \text{ MPa} > \tau = 66.381 \text{ MPa} \rightarrow \text{O.K}$

▶ 합성응력, $\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_b}{f_{ba} \times (1 - (f_c / f_{eax}))}$

$$= \frac{5.998}{206.143} + \frac{125.745}{183.076 \times (1 - (5.998 / 2173.398))}$$

$$= 0.718 < 1.0 \rightarrow \text{O.K}$$

바. 수평변위 검토

▶ 최대수평변위 = 18.6 mm \rightarrow 흠막이벽(우) (CS8 : 지하층 시공완료)

▶ 허용수평변위 = 최종 굴착깊이의 0.3 %

$$= 6.630 \times 1000 \times 0.003 = 19.890 \text{ mm}$$

\therefore 최대 수평변위 < 허용 수평변위 $\rightarrow \text{O.K}$

사. 허용지지력 검토

▶ 최대축방향력, $P_{max} = 50.00 \text{ kN}$

▶ 안전율, $F_s = 2.0$

▶ 극한지지력, $Q_u = 3000.00 \text{ kN}$

▶ 허용지지력, $Q_{ua} = 3000.00 / 2.0$

$$= 1500.000 \text{ kN}$$

\therefore 최대축방향력 (P_{max}) < 허용 지지력 (Q_{ua}) $\rightarrow \text{O.K}$

8. 흙막이 벽체 설계

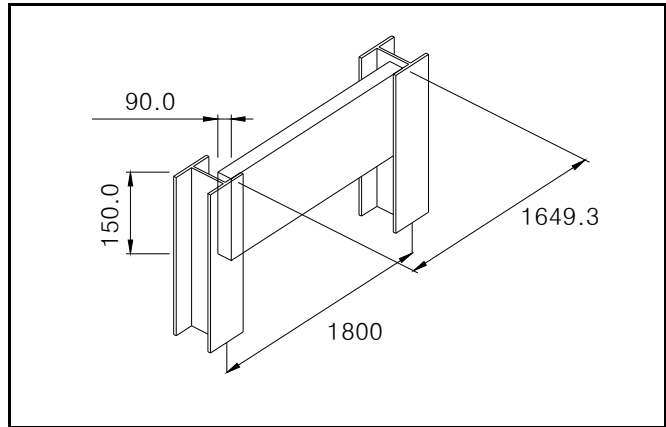
8.1 흙막이벽(우) 설계 (0.00m ~ 6.63m)

가. 목재의 허용응력 구조물기초설계기준

목재의 종류	허용응력(MPa)	
	휨	전단
침엽수	18.000	1.600
활엽수	22.000	2.400

나. 설계제원

높이 (H, mm)	150.0
두께 (t, mm)	90.0
H-Pile 수평간격(mm)	1800.0
H-Pile 폭(mm)	201.0
목재의 종류	침엽수
목재의 허용 휨응력(MPa)	18.000
목재의 허용 전단응력(MPa)	1.6



다. 설계지간

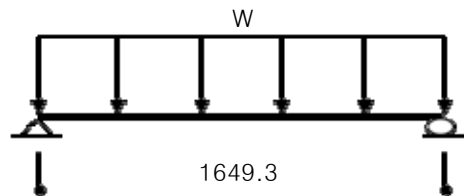
$$\text{설계지간 (L)} = 1800.0 - 3 \times 201.0 / 4 = 1649.3 \text{ mm}$$

라. 단면력 산정

$$p_{\max} = 0.0584 \text{ MPa} \quad \text{---> (CS5 : 굴착 6.63 m:최대토압)}$$

$$W_{\max} = \text{토류판에 작용하는 등분포하중(토압)} \times \text{토류판 높이(H)}$$

$$= 58.4 \text{ kN/m}^2 \times 0.1500 \text{ m} = 8.8 \text{ kN/m}$$



$$M_{\max} = W_{\max} \times L^2 / 8 = 8.8 \times 1.649^2 / 8 = 3.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$S_{\max} = W_{\max} \times L / 2 = 8.8 \times 1.649 / 2 = 7.2 \text{ kN}$$

마. 토류판에 작용하는 응력 산정

$$Z = H \times t^2 / 6$$

$$= 150.0 \times 90.0^2 / 6$$

$$= 202500 \text{ mm}^3$$

▶ 휨응력, $f_b = M_{\max} / Z$

$$= 3.0 \times 1000000 / 202500$$

$$= 14.71 \text{ MPa} < f_{ba} = 18.0 \text{ MPa} \quad \text{---> O.K}$$

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \text{전단응력, } \tau &= S_{\max} / (H \times t) \\
 &= 7.2 \times 1000 / (150.0 \times 90.0) \\
 &= 0.54 \text{ MPa} < \tau_a = 1.6 \text{ MPa} \text{ ---> O.K}
 \end{aligned}$$

바. 토류판 두께 산정

$$\begin{aligned}
 T_{\text{req}} &= \sqrt[4]{(6 \times M_{\max}) / (H \times f_{ba})} \\
 &= \sqrt[4]{(6 \times 3.0 \times 1000000) / (150.0 \times 18.0)} \\
 &= 81.36 \text{ mm} < T_{\text{use}} = 90.00 \text{ mm 사용 ---> O.K}
 \end{aligned}$$

9. 탄소성 입력 데이터

9.1 해석종류 : 탄소성보법

9.2 사용 단위계 : 힘 [F] = kN, 길이 [L] = m

9.3 모델형상 : 반단면 모델

배면폭 = 30 m, 굴착폭 = 8 m, 최대굴착깊이 = 6.63 m, 전모델높이 = 20 m

9.4 지층조건

번호	이름	깊이 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ ([deg])	N값	지반탄성계수 (kN/m ²)	수평지반 반력 계수 (kN/m ³)
1	매립토	2.29	17.00	18.00	0.00	23.00	5	-	13300.00
2	퇴적층(모래)	7.69	17.00	18.00	0.00	25.00	8	-	16100.00
3	퇴적층(자갈)	9.49	20.00	21.00	0.00	31.00	30	-	27500.00
4	풍화토	10.79	19.00	20.00	21.50	28.60	50	-	29780.00
5	보통암	20.00	26.78	27.78	60.00	35.00	50	-	63000.00
6	뒤채움	-	20.00	21.00	0.00	31.00	30	27500.00	27500.00

9.5 흙막이벽

번호	이름	형상	단면	재질	하단깊이 (m)	수평간격 (m)
1	흙막이벽(우)	H-Pile	H 298x201x9/14	SS275	10.63	1.8

9.6 지보재

번호	이름	단면	재질	설치깊이 (m)	수평간격 (m)	대칭점 길이 (m)	초기작용력	개수
1	Strut-1	H 300x300x10/15	SS275	1.33	3	8	100	1
2	Strut-2	H 300x300x10/15	SS275	4.13	3	8	100	1

9.7 띠장

번호	이름	형상	단면	재질	설치깊이 (m)	설치개수
1	Strut-1	H 형강	H 300x300x10/15	SS275	1.33	1
2	Strut-2	H 형강	H 300x300x10/15	SS275	4.13	1

9.8 중간말뚝

번호	이름	형상	단면	재질	비지지깊이 (m)	중간말뚝 간격 (m)
1	중간말뚝	H-Pile	H 300x305x15/15	SS275	2.5	3

9.9 흙막이벽체

번호	이름	형식	단면		재질	설치깊이 (m)	비고
			높이(폭)	두께			
1	흙막이벽(우)	토류판	0.15	0.09	목재	0 ~ 7	

9.10 벽체와 슬래브

번호	이름	설치위치 (설치깊이) (m)	상단깊이 (시작위치) (m)	하단깊이 (끝위치) (m)	재질	두께 (m)	뒤채움
1	MAT	6.2	0	7.5	C27	0.86	-
2	WALL	7.5	0	6.63	C27	0.8	뒤채움

9.11 상재하중

번호	이름	작용유형	작용위치	작용형식	작용하중 (kN)
1	교통하중	분포하중	배면(우측)	상시하중	x = 13, d = 17, w1 = 13, w2 = 13

9.12 시공단계

단계별 해석방법 : 탄소성법

토압종류 : Rankine (벽 마찰각은 내부마찰각의 0 %)

지하수위 : 고려

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.49 m, 수위차 = 2.14 m

단계	굴착깊이 (m)	지보재		벽체 & 슬래브 설치깊이 (m)	임의하중		토압변경	수압변경	토층변경
		생성	해체		작용	해체			
1	1.83	-	-	-	-	-	-	X	X
2	-	Strut-1		-	-	-	-	X	X
3	4.63	-	-	-	-	-	-	X	X
4	-	Strut-2		-	-	-	-	X	X
5	6.63	-	-	-	-	-	-	X	X
6	-		Strut-2	5.77	-	-	-	X	X
7	-		Strut-1	2.33	-	-	-	X	X
8	-	-	-	0	-	-	-	X	X

9.13 지하수위 조건

지하수 단위중량 = 10 kN/m³, 초기 지하수위 = 4.49 m, 수위차 = 2.14 m

번호	굴착깊이 (m)	수압종류	굴착수위	배면수위	수압변경 (깊이(h), 수압(p)) (kN, m)
1	1.83	정수압	4.49	4.49	-
2	-	정수압	4.49	4.49	-
3	4.63	정수압	4.63	4.49	-
4	-	정수압	4.63	4.49	-
5	6.63	정수압	6.63	4.49	-
6	-	정수압	6.63	4.49	-
7	-	정수압	6.63	4.49	-
8	-	정수압	6.63	4.49	-

10. 해석 결과

10.1 전산 해석결과 집계

10.1.1 흙막이벽체 부재력 집계

* 지보재 반력 및 부재력은 단위폭(m)에 대한 값임.

시공단계	굴착 깊이	전단력 (kN)				모멘트 (kN·m)			
		Max	깊이	Min	깊이	Max	깊이	Min	깊이
	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(m)
CS1 : 굴착 1.83 m	1.83	10.51	2.3	-4.84	5.8	0.16	0.4	-15.88	3.7
CS2 : 생성 Strut-1	1.83	11.93	1.3	-19.75	1.3	1.86	4.1	-7.48	1.3
CS3 : 굴착 4.63 m	4.63	23.28	1.3	-48.55	1.3	49.07	3.7	-13.94	1.3
CS4 : 생성 Strut-2	4.63	18.53	1.3	-35.27	1.3	19.45	3.2	-11.67	1.3
CS5 : 굴착 6.63 m	6.63	36.78	4.1	-89.61	4.1	54.02	6.2	-43.68	4.1
CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체	6.63	52.10	5.8	-53.09	1.3	62.38	4.1	-14.12	1.3
CS7 : 벽체 타설 후 1단 지보재 해체	6.63	51.89	5.8	-42.97	3.7	50.64	4.5	-12.15	2.3
CS8 : 지하층 시공완료	6.63	51.89	5.8	-42.97	3.7	50.64	4.5	-12.15	2.3
TOTAL		52.10	5.8	-89.61	4.1	62.38	4.1	-43.68	4.1

10.1.2 지보재 반력 집계

* 지보재 반력 및 부재력은 단위폭(m)에 대한 값임.

* 경사 지보재의 반력은 경사를 고려한 값임.

* Final Pressure는 주동측 및 수동측 양측의 토압, 수압 기타 압력을 모두 고려한 합력이다.

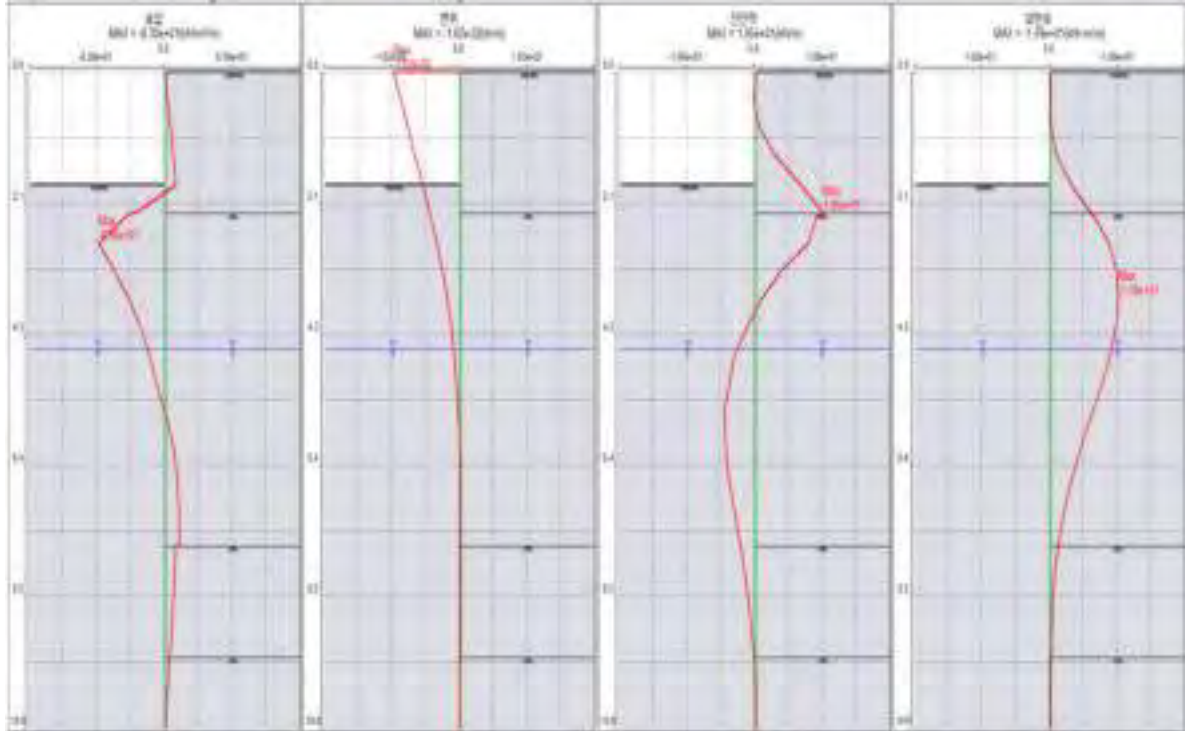
* 흙막이 벽의 변위는 굴착측으로 작용할때 (-) 이다.

* 지보공의 반력은 배면측으로 밀때 (+) 이다.

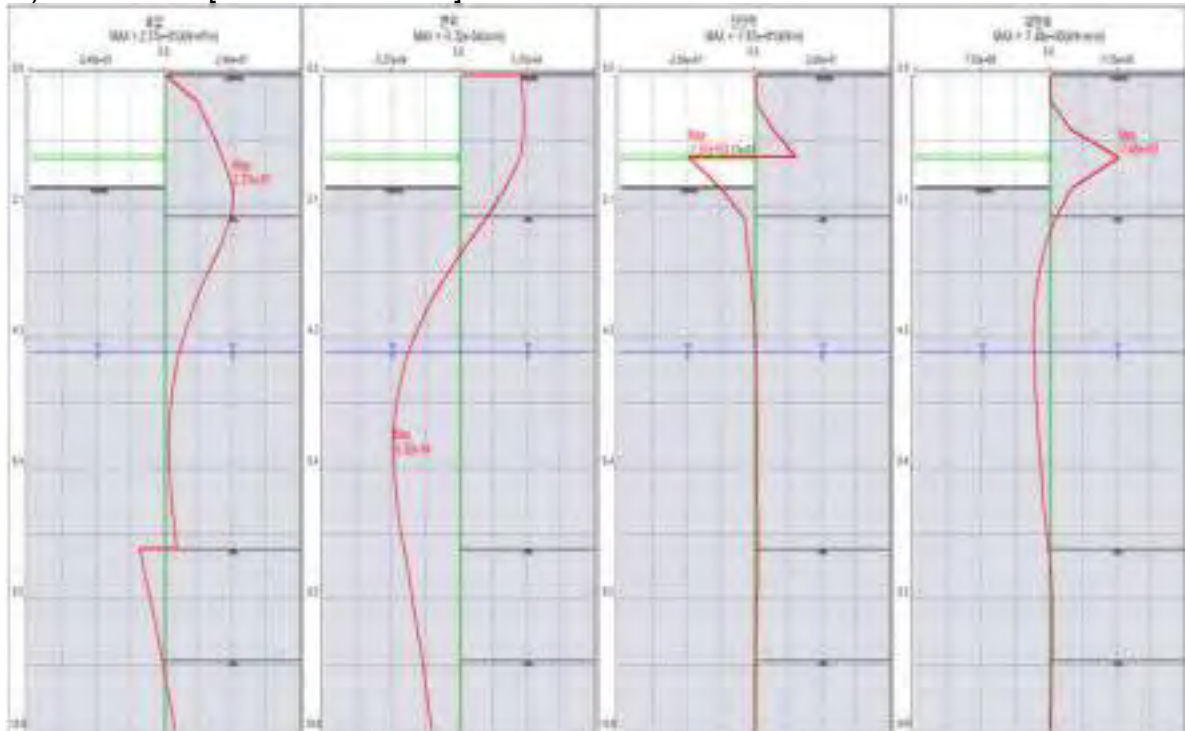
시공단계	굴착 깊이	Strut-1	Strut-2			
		1.33 (m)	4.13 (m)			
CS1 : 굴착 1.83 m	1.83	-	-			
CS2 : 생성 Strut-1	1.83	31.68	-			
CS3 : 굴착 4.63 m	4.63	71.83	-			
CS4 : 생성 Strut-2	4.63	53.79	33.35			
CS5 : 굴착 6.63 m	6.63	35.34	126.40			
CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체	6.63	76.56	-			
CS7 : 벽체 타설 후 1단 지보재 해체	6.63	-	-			
CS8 : 지하층 시공완료	6.63	-	-			
TOTAL		76.56	126.40			

10.2 시공단계별 단면력도

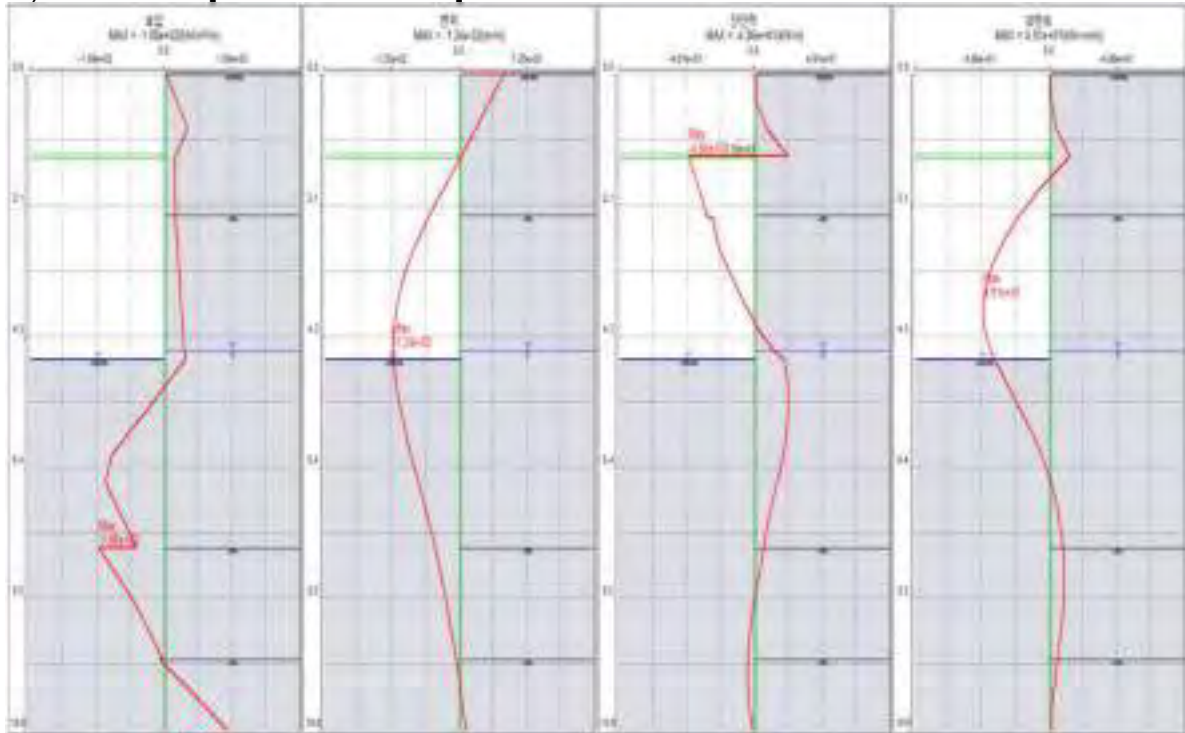
1) 시공 1 단계 [CS1 : 굴착 1.83 m]



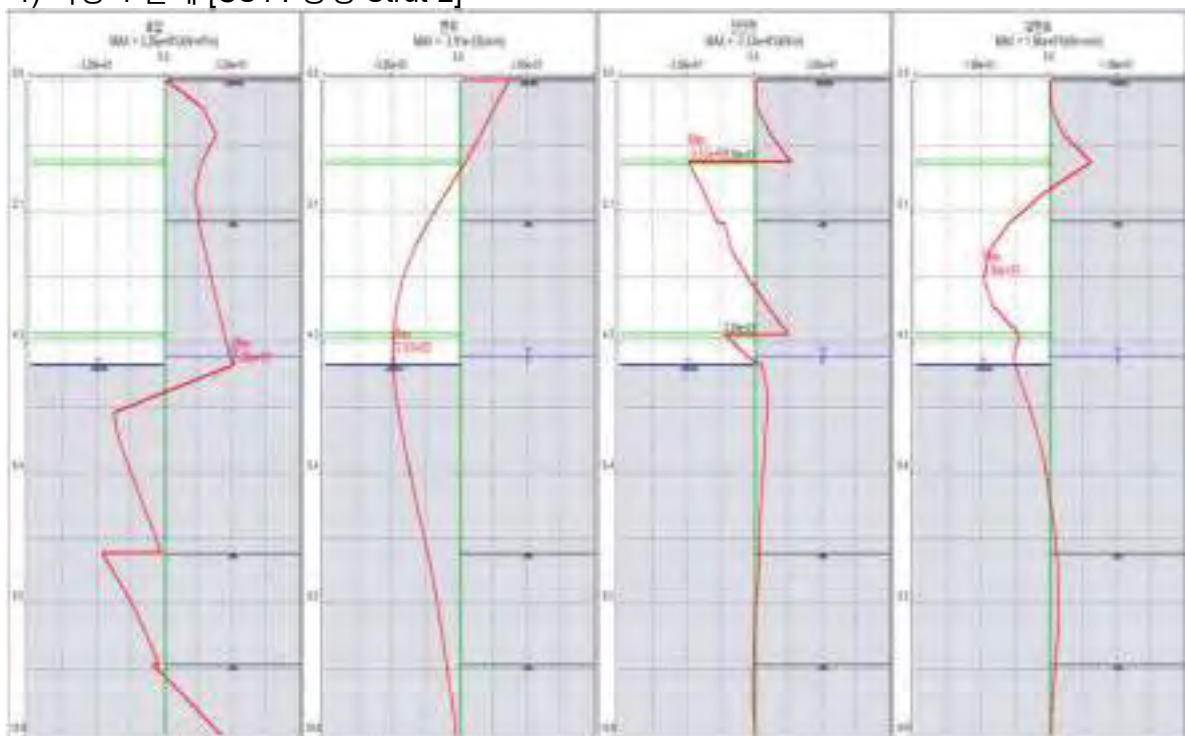
2) 시공 2 단계 [CS2 : 생성 Strut-1]



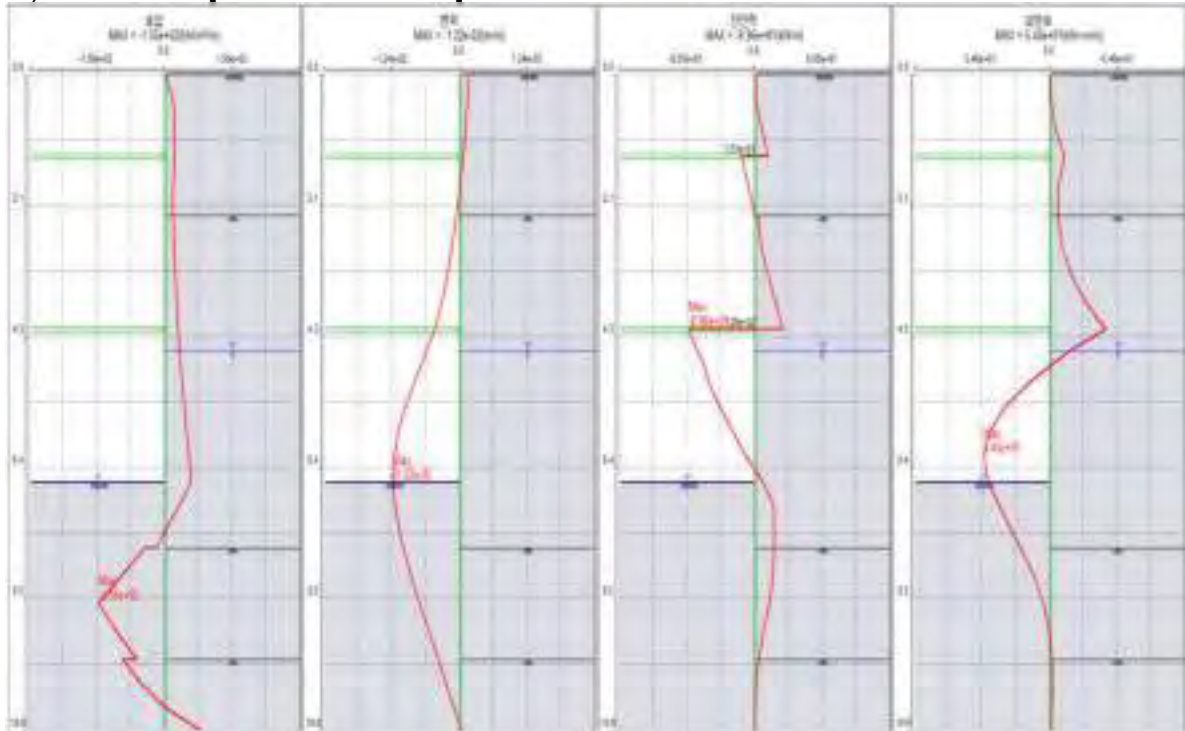
3) 시공 3 단계 [CS3 : 굴착 4.63 m]



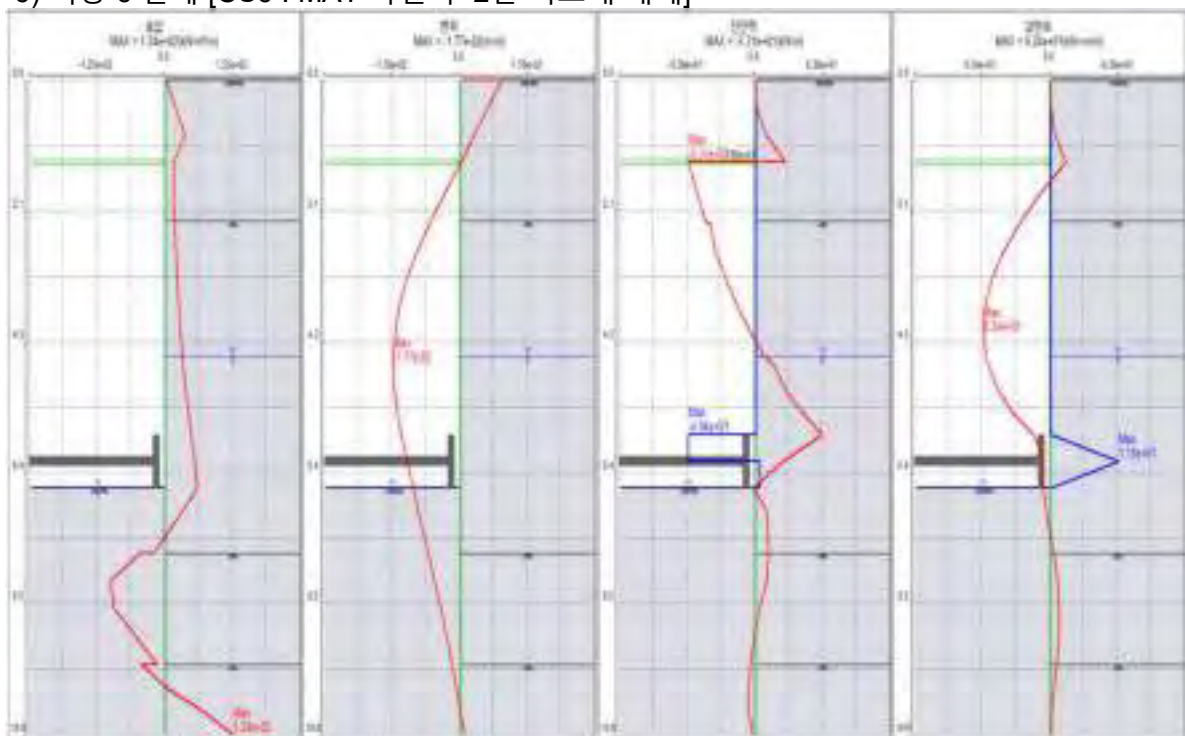
4) 시공 4 단계 [CS4 : 생성 Strut-2]



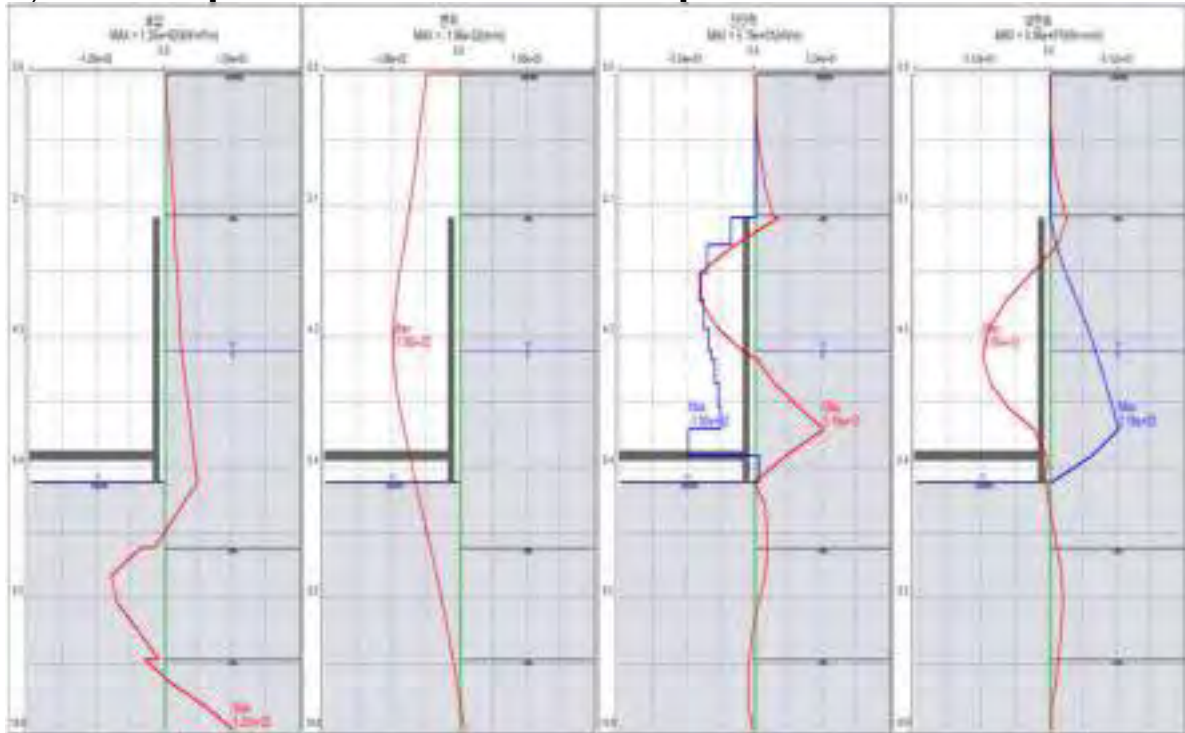
5) 시공 5 단계 [CS5 : 굴착 6.63 m]



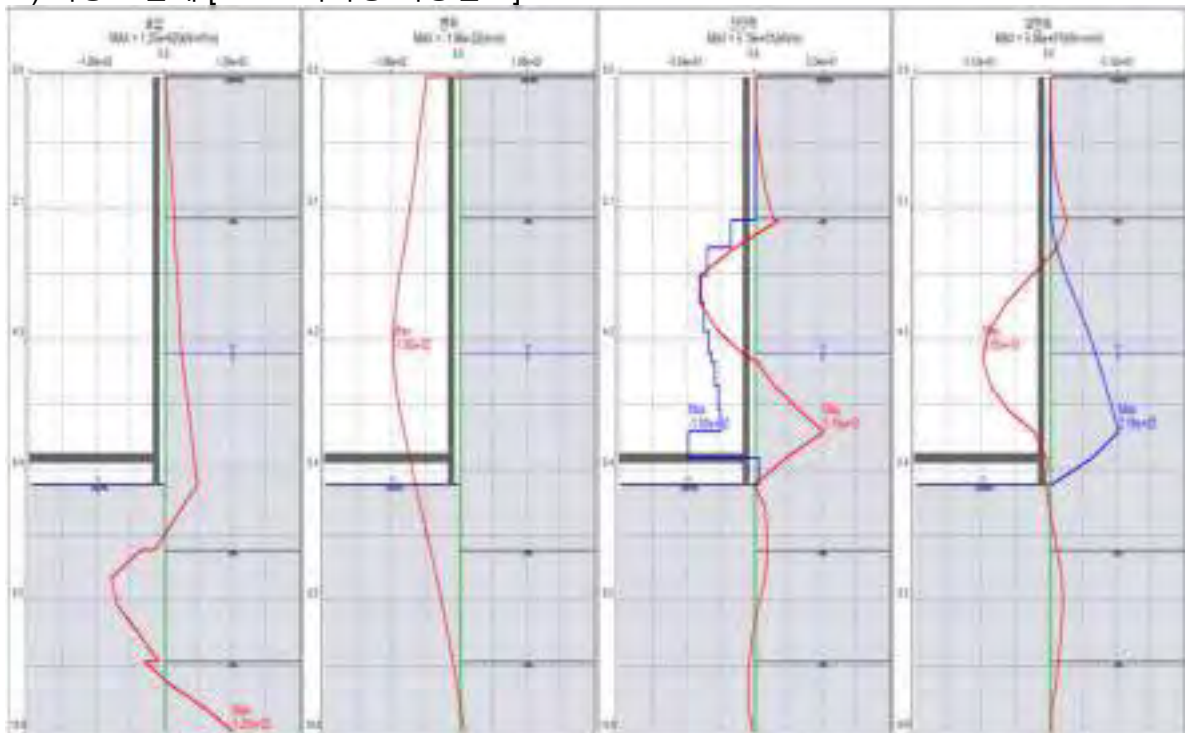
6) 시공 6 단계 [CS6 : MAT 타설 후 2단 지보재 해체]



7) 시공 7 단계 [CS7 : 벽체 타설 후 1단 지보재 해체]



8) 시공 8 단계 [CS8 : 지하층 시공완료]



10.3 근입장 검토



구분	균형깊이 (m)	적용 근입깊이 (m)	주동토압 모멘트 (kN·m)	수동토압 모멘트 (kN·m)	근입부 안전율	적용 안전율	판정
최종 굴착 단계	2.905	4.000	543.308	1242.963	2.288	1.200	OK
최종 굴착 전단계	2.880	6.000	757.888	3217.686	4.246	1.200	OK

10.3.1 최종 굴착 단계의 경우

1) 토압의 작용폭

- 주동측 : 굴착면 상부 = 1.8 m, 굴착면 하부 = 0.2 m
- 수동측 : 굴착면 하부 = 0.6 m

2) 최하단 버팀대에서 힘모멘트 계산 (EL -4.13 m)

- 주동토압에 의한 활동모멘트

굴착면 상부토압 (Pa1) = 193.753 kN 굴착면 상부토압 작용깊이 (Ya1) = 1.407 m

굴착면 하부토압 (Pa2) = 59.092 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Ya2) = 4.58 m

$$Ma = (Pa1 \times Ya1) + (Pa2 \times Ya2)$$

$$Ma = (193.753 \times 1.407) + (59.092 \times 4.58) = 543.308 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 수동토압에 의한 저항모멘트

굴착면 하부토압 (Pp) = 232.12 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Yp) = 5.355 m

$$Mp = (Pp \times Yp) = (232.12 \times 5.355) = 1242.963 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

* 계산된 토압 (Pa1, Pa2, Pp) 는 작용폭을 고려한 값임.

- 흙막이벽에 작용하는 집중하중에 의한 저항모멘트

수평하중 (P) = 0 kN 수평하중 작용깊이 (Y) = 0 m

$$Mpl = P \times Y = 0 \times 0 = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{모멘트하중}(Mpm) = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

3) 근입부의 안전율

$$S.F. = (Mp + Mpl + Mpm) / Ma = 1242.963 / 543.308 = 2.288$$

$$S.F. = 2.288 > 1.2 \dots \text{OK}$$

10.3.2. 최종 굴착 전단계의 경우

1) 토압의 작용폭

- 주동측 : 굴착면 상부 = 1.8 m, 굴착면 하부 = 0.2 m
- 수동측 : 굴착면 하부 = 0.6 m

2) 최하단 버팀대에서 힘모멘트 계산 (EL -1.33 m)

- 주동토압에 의한 활동모멘트

굴착면 상부토압 (Pa1) = 124.132 kN 굴착면 상부토압 작용깊이 (Ya1) = 1.938 m

굴착면 하부토압 (P_{a2}) = 77.579 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Y_{a2}) = 6.669 m

$$M_a = (P_{a1} \times Y_{a1}) + (P_{a2} \times Y_{a2})$$

$$M_a = (124.132 \times 1.938) + (77.579 \times 6.669) = 757.888 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 수동토압에 의한 저항모멘트

굴착면 하부토압 (P_p) = 425.872 kN 굴착면 하부토압 작용깊이 (Y_p) = 7.556 m

$$M_p = (P_p \times Y_p) = (425.872 \times 7.556) = 3217.686 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

* 계산된 토압 (P_{a1} , P_{a2} , P_p) 는 작용폭을 고려한 값임.

- 흙막이벽에 작용하는 집중하중에 의한 저항모멘트

수평하중 (P) = 0 kN 수평하중 작용깊이 (Y) = 0 m

$$M_{pl} = P \times Y = 0 \times 0 = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

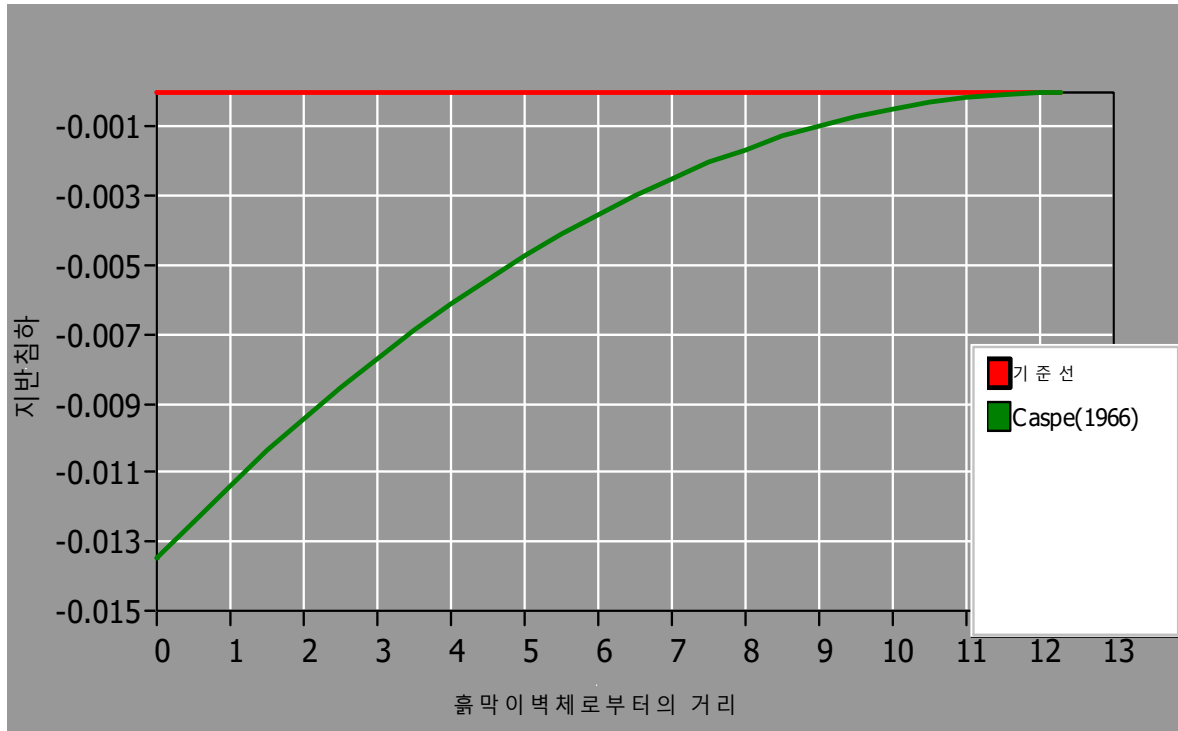
$$M_{pm} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

3) 근입부의 안전율

$$S.F. = (M_p + M_{pl} + M_{pm}) / M_a = 3217.686 / 757.888 = 4.246$$

$$S.F. = 4.246 > 1.2 \dots \text{OK}$$

10.4 굴착주변 침하량 검토 (최종 굴착단계)



10.4.1 Caspe(1966)방법에 의한 침하량 검토

1) 전체 수평변위로 인한 체적변화 (V_s)

$$V_s = -0.083 \text{ m}^3/\text{m}$$

2) 굴착폭(B) 및 굴착심도 (Hw)

$$B = 16 \text{ m}, H_w = 6.63 \text{ m}$$

3) 굴착영향 거리 (Ht)

$$\text{평균 내부 마찰각 } (\phi) = 24.309 \text{ [deg]}$$

$$H_p = 0.5 \times B \times \tan(45 + \phi/2)$$

$$H_p = 0.5 \times 16 \times \tan(45 + 24.309/2) = 12.392 \text{ m}$$

$$H_t = H_p + H_w = 12.392 + 6.63 = 19.022 \text{ m}$$

4) 침하영향 거리 (D)

$$D = H_t \times \tan(45 - \phi/2)$$

$$D = 19.022 \times \tan(45 - 24.309/2) = 12.28 \text{ m}$$

5) 흙막이벽 주변 최대 침하량 (S_w)

$$S_w = 2 \times V_s / D = 2 \times -0.083 / 12.28 = -0.013 \text{ m}$$

6) 거리별 침하량 (S_i)

$$S_i = S_w \times ((D - X_i) / D)^2 = -0.013 \times ((12.28 - X_i) / 12.28)^2$$

거리 (벽면기준) (m)	지반 침하량 (mm)	절점간 침하량 (mm)	각변위 (x0.001)
0.00	-13.471	-1.075	-2.149
0.50	-12.397	-1.030	-2.060
1.00	-11.367	-0.985	-1.971
1.50	-10.381	-0.941	-1.881
2.00	-9.441	-0.896	-1.792
2.50	-8.545	-0.851	-1.703
3.00	-7.693	-0.807	-1.613
3.50	-6.887	-0.762	-1.524

4.00	-6.125	-0.717	-1.435
4.50	-5.407	-0.673	-1.345
5.00	-4.735	-0.628	-1.256
5.50	-4.107	-0.583	-1.167
6.00	-3.523	-0.539	-1.077
6.50	-2.985	-0.494	-0.988
7.00	-2.491	-0.449	-0.899
7.50	-2.041	-0.405	-0.809
8.00	-1.637	-0.360	-0.720
8.50	-1.277	-0.315	-0.631
9.00	-0.961	-0.271	-0.541
9.50	-0.690	-0.226	-0.452
10.00	-0.464	-0.181	-0.363
10.50	-0.283	-0.137	-0.273
11.00	-0.146	-0.092	-0.184
11.50	-0.054	-0.047	-0.095
12.00	-0.007	-0.007	-0.025
12.28	0.000	0.000	0.000
Max	-13.471	-1.075	-2.149