



KOREAN GEO
CONSULTANTS

지반조사/설계/계측/감리/안전진단

은평소방서 이전 건립공사(소방청사) 지하굴토 흙막이공사

설 계 서

2009.7



(주)한국지오컨설턴트
Korean Geo-Consultants Co., Ltd.

목 차

제 1 장 설계 개요

1.1 공사개요	1
1.2 검토목적	2
1.3 검토범위 및 내용	2

제 2 장 지반굴착 흙막이 공법선정

2.1 지반굴착 공법 선정시 검토사항	3
2.2 흙막이 벽체 및 지지형식의 종류	4
2.3 당 현장 흙막이 공법선정	6

제 3 장 검토를 위한 단면 및 입력자료

3.1 지반의 토질정수 추정	7
3.1.1 개 요	7
3.1.2 토질정수 추정을 위한 기본자료	7
3.2 구조검토에 적용된 토질정수 산정	20

제 4 장 흙막이구조물 안정성 검토

4.1 흙막이 구조물의 검토	23
4.1.1 구조계산 프로그램의 개요	23
4.1.2 허용기준치	24

제 5 장 계측관리 계획서

5.1 계측관리의 목적	26
5.2 계측항목 및 설치현황	26
5.3 계측관리 일반	27
5.3.1 계측기기의 선택 및 위치선정	27
5.3.2 계측빈도	28
5.3.3 계측기 설치관리 및 측정	29
5.3.4 계측자료의 수집 및 분석	30
5.4 계측관리 기준설정	31

5.4.1 절대치관리기법	31
5.4.2 예측관리기법	34
5.5 당 현장의 계측관리기준	35
5.5.1 관리기준	35
5.5.2 보강대책	36

부 록

- 가시설 SEC-A
- 가시설 SEC-B
- 가시설 SEC-C
- 사면안정검토

제1장. 설계개요

1.1 공사개요

1) 건축개요

● 공사 명	은평소방서 이전 건립공사
● 대지 위치	서울특별시 은평구 진관동 240-9번지
● 지역 지구	제2종일반주거지역, 도시개발구역/재정비촉진지구, 공공청사
● 대지 면적	6,770.50 m ²
● 인접 도로	40M(서측면)

2) 굴착개요

● 굴착 공법	▷ H-PILE+토류판 공법에 제거식 E/Anchor, STRUT로 지지	
● 굴착 깊이	GL(-)3.58 ~ 9.00m	
● 사용 부재	종 류	규 격
● 강 재 (SS 400)	엄지말뚝	H - 300 × 200 × 9 × 14 (C.T.C:1.8m)
	띠 장	H - 300 × 300 × 10 × 15
	STRUT	2H - 300 × 300 × 10 × 15
● 기타 자재	H-BEAM	H - 300 × 200 × 9 × 14
	Earth Anchor	ø12.7@4EA(C.T.C:1.8m) : 제거식
	토 류 판	150 × 1750 × 70(허용인장강도 : fca=220kg/cm ²)

1.2 검토 목적

서울시 은평구 진관동 240-9호 일대에 위치하는 본 신축 현장은 지하층 시공을 위해서는 터파기 공사가 불가피하며, 이러한 터파기 공사시 평형상태를 유지하고 있는 지반은 응력의 불균형과 힘의 재평형에 의해 토립자의 재배치가 이루어진다. 이와 같이 굴착에 따른 지반거동은 굴착배면의 변형을 유발시키고 인접 지반이 침하하는등 붕괴 사고를 일으킬 수 있다.

이러한 측면에서 본 검토는 (주)MC파트너스건축사 사무소에서 입수된 건축 계획 평·단면도를 토대로 지반 굴착시 지반 거동을 최소화 할 수 있는 최적의 흙막이 시스템을 검토하여 설계에 반영함으로써 당 현장의 터파기 공사가 합리적이고 안전한 시공이 되도록 하는데 그 목적이 있다.

1.3 검토 범위 및 내용

본 검토는 건축배치도((주)MC파트너스건축사 사무소) 및 단면도를 기본으로 굴착에 의해 작용되는 횡토압과 기타 작용하중에 대해 저항할수 있도록 적절한 흙막이 벽체 및 버팀 시스템을 계획하고 이에 따른 흙막이 벽체의 변위 및 흙막이 부재의 응력 검토를 통한 안정성을 확인하는 관점에서 그림 1.1과 같은 흐름도에 의해 범위를 설정하여 수행하였다.

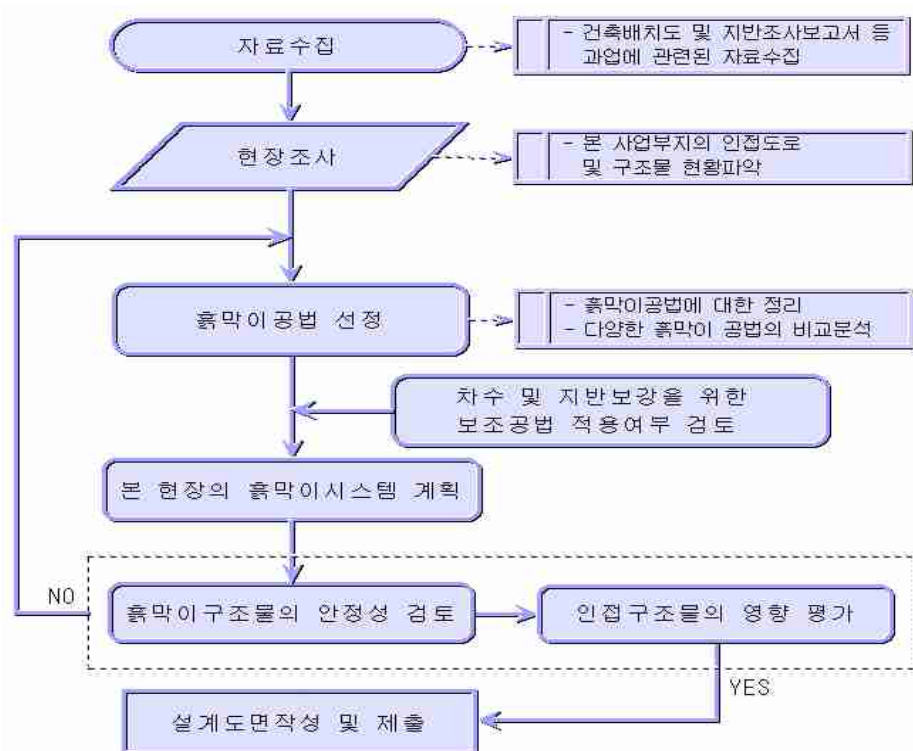


그림 1.1 과업의 흐름도

제2장. 지반굴착 흙막이 공법선정

본 사업부지는 지하층 시공을 위한 터파기로 깊이는 최대 H=11.6m를 굴착할 계획이며 인접 지반에 기존 건축 구조물, 철도 및 도로가 위치하기 때문에 흙막이가 필수적인 것으로 판단되며, 적용하기 위한 흙막이공법의 선정은 부지 및 지반조건등이 충분히 고려되고, 경제적이며 안정성이 확보된 공법으로 채택하여야 한다.

따라서, 지반굴착시 흙막이공법 선정에 있어서는 우선 다음과 같은 각 항목에 대해서 조사 검토를 하고, 그 결과를 분석하여 흙막이 형식을 선정하는 것이 필요하다.

2.1 지반굴착공법 선정시 검토 사항

1) 지형에 관한 검토

- ① 지형조건
- ② 인접 구조물 유무
- ③ 지형의 고저차
- ④ 자재 운반로의 유무

2) 지질 및 토질에 관한 검토

- ① 지층의 종류 및 역학적 성질
- ② 지하수위 높이 및 지하수량
- ③ 지지층의 지내력

3) 인접 구조물에 관한 검토

- ① 기존 구조물의 기초형식 및 근입깊이
- ② 흙막이 구조물과 기존 구조물의 상호관계
- ③ 지하수위 저하에 따른 인접지반의 침하정도

4) 시공환경에 관한 검토

- ① 현장주변의 지하 매설물 조사
- ② 소음, 진동등에 의한 민원발생 유무

5) 기타

- ① 토질에 알맞은 흙막이벽 형태 적용
- ② 시공의 난이도와 경제성
- ③ 설계 모델 설정(탄성, 소성, 탄소성 설계법)
- ④ 설계에 적용되는 상수결정(지지부재, 흙막이벽체의 형식, 굴착깊이 및 근입깊이 결정, 토압산정법 등)

2.2 흙막이벽체 및 지지형식의 종류

본 사업부지의 지하층 시공시 흙막이벽체와 지지형식으로 적용가능한 공법의 종류 및 특징은 표 2.1 및 표 2.2와 같다.

표 2.1 흙막이벽체의 종류 및 특징 비교

구분	H-pile + 토류판	C. I. P	S. C. W	강널말뚝 (Sheet Pile)	강성벽
공법 개요	· 천공하여 H형강 삽입 · 굴착하면서 토류판 설치	· 현장타설말뚝 (주열식) · 시추기로 천공 · 철근삽입후 콘크리트 타설	· 소일시멘트벽(주열식) · 지중벽으로 계획심도까지 천공후 주입재를 투입 벽체로 형성하고 H형강을 보강재로 삽입하여 흙막이벽으로 형성	· 강널말뚝을 설치하여 차수벽과 흙막이벽의 역할을 동시에 함	· Diaphragm Wall (지중연속벽) · 특수장비로 트렌치 굴착 · 철근망을 삽입 후 콘크리트 타설
장점	· 공사비 저렴 · 소음, 진동영향 · 자재 재사용가능 · 시공이 간단	· 벽체강성이 좋음 · 불규칙한 평면형에 적응성 좋음 · 인접구조물에 영향 적음 · 장비 소규모	· 별도차수 필요없음 · 토사유실 매우적음 · 공기가 짧음	· 시공이 빠름 · 특별한 시공장비가 불필요 · 수밀성 높다. · 대규모 공사에 적용	· 벽체강성이 우수 · 완전차수 가능 · 건물벽체로 사용 가능 · 대심도 굴착가능
단점	· 차수성 벽체시 차수 필요 · 벽체변형 큼 · 토사유출 가능성이 크다. · 토류판과 지반의 역골로 주변지반 침하 우려	· 기동간 연결성 불량 및 수직도 문제로 보조차수 필요 · 압축은 공기 길어 짐	· 자갈, 암층시공 곤란 · H형강 사장 · 벽체로 이용불가 · 철저한 시공 관리 요망	· 항타로 소음 발생 · 연결부가 이탈한 경우 상당히 곤란 · 사력층, 조밀한 모래지반에서는 시공곤란	· 공사비 고가 · 장비규모 큼 · 철저한 시공관리 요망
안전성	· 강성체로서의 흙막이벽 역할을 할 수 있으나 벽체 변형이 크다.	· 주열식 강성체로서의 흙막이벽 역할을 충분히 할 수 있다. (굴착깊이 15m 이내에 적용)	· 연속벽체 차수 및 흙막이벽의 2중 역할을 충분히 할 수 있다. (굴착깊이 25m까지 가능)	· 연속변형 강성체로서의 흙막이벽 역할을 충분히 할 수 있다. · 재질적인 강도와 내구성이 우수하다.	· 지중 연속벽으로서 단면 계수가 상대적으로 커 흙막이벽 및 지하층 외벽 구조체로서의 역할을 할 수 있다. · 배면부 지반의 이완을 극소화 시킬 수 있다.
차수성	· 지하수위가 있는 지반에서는 별도의 차수 그라우팅이 실시되어야 한다.	· 말뚝사이의 연결부에 누수 현상발생 가능성이 있어 말뚝 사이에 누수 방지용 보조 그라우팅을 시행	· 각종 10cm 중첩하여 시공하므로 차수효과가 우월하다.	· 접촉부의 수밀성이 우월해 차수성이 양호 · 강널말뚝 재질 자체가 수밀성 재료이다.	· 완전 차수효과 기대 (단, Element Joint 부에서 누수대책이 요구됨)
정밀성	· 원하는 위치에 H형강을 설치할 수는 있으나 토질 분포상 차수효과에 불확실성에 의해 정밀 토류재의 형성이 어렵다.	· 원하는 위치에 설계심도의 구조체를 형성시킬 수 있다.	· 원하는 위치에 대형오거에 의해 계획심도의 흙막이벽을 정확하게 형성시킬 수 있다.	· 소정의 위치에 연결부의 정밀성을 확보하는 상태에서 정확히 배열 설치가 된다.	· Guide Wall이 설치되므로 원하는 위치에 설계심도의 구조체를 정확하게 형성시킬 수 있다

표 2.2 지지형식의 종류 및 특징 비교

공 법	공 법 개요	장 점	단 점
Slope Open Cut유지	굴착 주변에 안전한 법면을 유지하면서 굴착을 하는 공법으로 침수 방지의 배수구를 만들어 비탈면의 안정을 기할 수 있다.	·흙막이벽 및 지지형식이 필요로 하지 않는 경제적 인 방법 ·공기가 빠르다.	·넓은 부지를 필요로 한다. ·연약지반에서는 깊은 굴착에 부적합 ·퇴메우기 토량이 많다.
Raker 및 Strut 공법	굴착하고자 하는 부지 주변에 흙막이벽을 설치한후 띠장과 버팀대(Strut)등의 지지보를 설치하면서 굴착하는 공법	·재질이 균일하여 신뢰할 수 있다. ·시공이 간단하다. ·재사용이 가능하여 경제적 이다.	·강재의 수축이나 접합부의 유동이 크다. ·강재의 종류 및 평면계획에 제약성이 있다.
Anchor 공법	굴착하고자 하는 부지 주변에 흙막이벽을 설치한 후 띠장과 굴착배면 지반중에 Anchor를 시공하면서 굴착하는 공법	·굴착 및 지하구조물의 작업 능률이 좋다. ·굴착평면 및 단면 계획이 자유롭다. ·Prestress를 가하기 때문에 흙막이벽체 변위 및 인접지반의 침하를 최소화 할 수 있다.	·Anchor를 설치할 여유공간 및 지지층이 필요하다. ·굴착의 순수 공사비가 다소 비싸다. ·대지 밖으로 시공되는 Anchor의 경우 사전에 소유자의 동의를 구해야 하며, 그에 따른 민원 발생의 여지가 있다.
Nailing + Shotcrete 타설공법	굴착하고자 하는 부지 주변에 Shotcrete로 흙막이벽체를 형성하고 Nailing에 의해 지지하면서 굴착하는 공법	·시공방법이 간단 ·타공법에 비해 경제적	·수직, 수평변위가 발생 ·지반조건에 제한을 받는다. ·지하수위가 높을 경우 적용하기 어렵다.
역타공법 (Top-Down)	건물 본체의 기초, 바닥 및 보를 구축한 후에 이에 의해 직접 흙막이벽에 걸리는 토압 및 수압을 부담시키면서 굴착을 진행시키는 방법	·건물 본체를 지보공으로서 이용하므로 응력도에 여유가 있다. ·지하, 지상 공사가 병행하여 시공되므로 공기가 빠르다. ·가설 재료가 적게든다.	·능률이 떨어진다. ·연결부의 처리가 문제된다. ·작업 환경이 취약 ·건축물의 방수 처리가 어렵다.

2.3 당 현장 흙막이 공법 선정

표 2.1 및 표 2.2에서 나타낸 흙막이벽체 및 지지형식들의 특징과 3.1절에서 언급한 검토사항들을 현장조건에 결부시켜 본 현장의 흙막이공법에 대한 적용성을 검토한 결과 표 3.3과 같이 흙막이 공법을 선정하였다. <그림 4.1 굴착 평면도 참조>

표 2.3 흙막이 공법 선정

구 분	적 용 공 법	공법선정 요인
흙막이 벽체 적용	H-PILE+토류관	<ul style="list-style-type: none"> 타공법에 비해 공사비가 저렴하며 당 현장과 같이 암이 조기출현하는 현장은 적용성이 우수
지지형식의 적용	Slope Open Cut	<ul style="list-style-type: none"> 사면 개착시 사면에 대한 안정성 확보를 위해 완만한 법면 형성이 요구되어 부지의 여유가 있을시 적용
	STRUT	<ul style="list-style-type: none"> 시공이 간단하고 재질이 균질하여 신뢰할 수 있고 안정성 확보가 용이하여 당 현장 일부 구간 및 코너 구간 적용
	체거식 E/A	<ul style="list-style-type: none"> 초기 Prestress를 가함으로써 초기 변위를 억제할 수 있어 효과적이며 굴착고가 깊은 구간에 적용

2.4 토사운영계획

토석정보공유시스템을 활용한 시공성 및 경제성을 높일 수 있는 사토장 조사

- 고양시 관내 국도대체우회도로현장 : 약11.4Km

제3장. 검토를 위한 단면 및 입력자료

3.1 지반의 토질정수 추정

3.1.1 개요

굴착으로 인해 지반의 평형상태가 흐트러질 경우에 나타나는 지반거동을 억제하기 위하여 흙막이 구조물을 계획하고 이를 설계 검토하는 과정중 가장 어려운 과제중의 하나가 해석하고자 하는 지반의 물성치를 결정하는 것이다. 해석에 적용하는 지반 물성치의 질은 정교한 해석방법과 관련지어 볼 때 매우 중요하다. 즉, 아무리 좋은 해석적인 방법을 사용한다 하더라도 부정확한 입력자료를 사용하면 부정확한 해석결과를 유발시킨다.

해석에 적용하기 위한 지반 물성치를 얻기 위해서 어떠한 방법을 사용하더라도, 그러한 방법은 주어진 목적에 합당하여야 만이 사용될 수 있다. 다시 말해서, 공사목적에 부합되도록 현장조사 방법이 주의 깊게 계획되어야 하며, 아울러 해석에 사용한 지반 물성치의 결정은 가능한 한 정성적인 자료보다는 정량적인 자료이어야 한다.

이러한 측면에서 본 과업대상 현장인 용산 신계구역 주택 재개발 사업 신축공사에 따른 지하층 축조를 위한 지반굴착이 미치는 영향을 검토하기 위해 필요한 지반 물성치는 각종 문헌에 명시되어 있는 기본적 성질 및 여러학자들이 제안한 상관관계와 본 사업부지의 신축공사를 위해 금회 실시된 지반조사를 토대로 토질 및 암반의 역학적 성질을 비교 분석하여 가능한 합리적인 조건 상태에서 토층 조건에 맞게 산정하였다.

3.1.2 토질정수 추정을 위한 기본자료

지반공학과 관련한 사항을 검토하기 위해 일반적으로 적용되는 지반물성치는 강도특성, 압축특성, 중량-체적에 관련된 데이터로서 각 항목에 대해서 다음과 같은 지반물성치를 산정한다.

① 강도특성(Strength Parameters)

Young계수(E), 포아송비(ν), 내부마찰각(ϕ), 점착력(c)

② 압축특성(Compression Parameters)

압축지수(c_c), 압밀계수(c_v)

③ 중량, 체적에 관련된 데이터 (Gravimetric-Volumetric data)

단위중량(γ), 간극비(e)

여기서, 연약지반에 관련하여 침하량 및 압밀소요시간을 산정하는데 적용되는 압축특성에 해당되는 지반물성치는 본 검토에 해당사항이 없으므로 강도특성과 중량, 체적에 관련된 데이터중 내

부마찰각, 점착력 및 단위중량을 산정하였으며, 지반물성치 산정을 위한 문헌자료는 다음과 같다.

1) 지반의 탄성계수 및 포아송비

표 3.1 지반의 종류에 따른 탄성계수

지 반 의 종 류		탄성계수 (kgf/cm ²)
peat		1 ~ 15
粘 土	보 드 립 다	5 ~ 40
	普 통	40 ~ 80
砂 層	느 슨 하 다	80 ~ 150
	견 고 하 다	100 ~ 200
	단 단 하 다	500 ~ 800
礫 層	密實한 砂礫	1,000 ~ 2,000
岩	질리가 있는 軟岩	1,500 ~ 3,000
	질리가 없는 硬岩	3,000 ~ α

도해토목건축 가설구조물의 해설 (명문사 P232)

표 3.2 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비

흙의 종류	탄성계수 (tf/m ²)	포아송비
느슨한 모래	1000 ~ 2400	0.20 ~ 0.40
중간정도 촘촘한 모래	1700 ~ 2800	0.25 ~ 0.40
촘촘한 모래	3500 ~ 5500	0.30 ~ 0.45
실트질 모래	1000 ~ 1700	0.20 ~ 0.40
모래 및 자갈	6900 ~ 17200	0.15 ~ 0.35
연약한 점토	200 ~ 500	-
중간 점토	500 ~ 1000	0.20 ~ 0.50
견고한 점토	1000 ~ 2400	-

구조물 기초설계기준 (한국지반공학회, 1997)

2) 지반의 탄성계수(E_s)와 N 치의 관계(1) Bowls (kgf/cm^2)

- 정규압밀된 모래 : $E_s = 5.1(N+15)$
- 포화된 모래 : $E_s = 2.55(N+5)$
- 과압밀된 모래 : $E_s = 183.6+7.56N$
- 자갈질 모래와 자갈 : $E_s = 12.24(N+6)$
- 점토질 모래 : $E_s = 3.264(N+15)$
- 실트질 모래 : $E_s = 3.06(N+6)$

여기서, 과압밀된 모래가 정규압밀상태의 모래보다 탄성계수가 크게 나타나고, $N = 40$ 인 경우 약 $200 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 의 차이가 발생한다.

(2) Schultze, Menzenbach(1966) (kgf/cm^2)

- 세사(지하수상) : $E_s = 52+3.3N$
- 세사(지하수하) : $E_s = 71+4.9N$
- 모래 : $E_s = 39+4.5N$
- 자갈섞인 모래 : $E_s = 43+11.8N$
- 모래 자갈 : $E_s = 38+10.5N$
- 실트질 모래 : $E_s = 23+5.3N$

(3) Schmertmann(1970) (kgf/cm^2)

- 실트질 모래 : $E_s = 4N$
- 중간 모래 : $E_s = 7N$
- 거친 모래 : $E_s = 10N$
- 자갈질 모래 : $E_s = (12\sim 18)N$

(4) Meigh & Nixon(1961) (kgf/cm^2)

- 실트질 모래 : $E_s = 5N$
- 가는 실트질 모래 : $E_s = 8N$
- 중간 모래 : $E_s = 10N$
- 자갈질 모래 : $E_s = (16\sim 34)N$

· 자갈 : $E_s = (24 \sim 32)N$

3) 지반의 강도정수와 N 치와의 제안식

표 3.3에서 Meyerhof의 값은 모래의 입도가 균일한 경우(uniform graded)는 적은쪽의 값을 택하고, 입도의 분포가 좋은 경우(well-graded)는 큰 쪽의 값을 택하는 것이 좋다. 표 3.4는 Dunham(1954) 및 Ohsaki가 제안한 N 치를 이용한 내부마찰각 추정식이다.

표 3.3 N 치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계

N - 값	상대밀도 (D_r)		내부마찰각 (ϕ)	
			Peck	Meyerhof
0 - 4	매우느슨	0.0 ~ 0.2	< 28.5	< 30
4 - 10	느슨	0.2 ~ 0.4	28.5 ~ 30	30 ~ 35
10 - 30	중간	0.4 ~ 0.6	30 ~ 36	35 ~ 40
30 - 50	조밀	0.6 ~ 0.8	36 ~ 40	40 ~ 45
50 <	매우조밀	0.8 ~ 1.0	40 <	45 <

표 3.4 N 치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계

구분	내부마찰각 추정식	비고
Dunham(1954)	$\phi = \sqrt{12N} + 15$	· 입자가 둥글고 입도 분포가 균일한 모래
	$\phi = \sqrt{12N} + 20$	· 입자가 둥글고 입도 분포가 좋은 모래 · 입자가 모나고 입도 분포가 균일한 모래
	$\phi = \sqrt{12N} + 25$	· 입자가 모나고 입도 분포가 좋은 모래
Ohsaki 제안	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	-

4) 통일분류법에 의한 방법(도로설계요령, 한국도로공사)

표 3.5 통일분류법으로 분류한 지반 상태에 따른 일반적인 토질정수

종 류		재료의 상태		단위 중량 (t/m ³)	내 부 마찰각 ø(deg)	점착력 c(t/m ²)	분류기호 (통일분류)
흙 쌓 기	자갈 및 자갈섞인 모래	다진것		2.0	40	0	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	2.0	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜 것	1.9	30	0	
	사 질 토	다진것		1.8	25	3 이하	SW, SC
점 성 토	다진것		1.8	15	5 이하	ML, CL MH, CH	
자 연 지 반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		2.0	40	0	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		1.8	35	0	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		2.1	40	0	GW, GP
		밀실치 않은 것		1.9	35	0	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		2.0	35	0	SW, SC
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		1.8	30	0	
	사 질 토	밀실한 것		1.9	30	3 이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		1.7	25	0	
	점 성 토	굳은 것(손가닥으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		1.8	25	5 이하	ML, CL
		약간, 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감, N=4~8)		1.7	20	3 이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		1.7	20	1.5이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		1.7	20	5 이하	CH, MH, ML
약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		1.6	15	3 이하			
무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		1.4	10	1.5 이하			

5) Rock Slope Engineering (1981)

표 3.6 대표적인 흙과 암반의 성질

설 명		단위중량 (포화상태/건조상태)		마찰각 (°)	점 착 력			
종 류	재 료	lb/ft ³	KN/m ³		lb / ft ²	kPa		
점 착 력 이 없 는 물 질	모 래	느슨한 모래, 고른 입자크기	118/90	19/14	28-34*	200 Lb/ft ² ≒ 1t/m ²	10kPa ≒ 1t/m ²	
		조밀한 모래, 고른 입자크기	130/109	21/17	32-40*			
		느슨한 모래, 혼합된 입자크기	124/99	20/16	34-40*			
		조밀한 모래, 혼합된 입자크기	135/116	21/18	38-46*			
	자 갈	자갈, 고른 입자크기	140/130	22/20	34/37*			
		모래와 자갈, 혼합된 입자크기	120/110	19/17	48/45*			
	발 파 / 파 쇄 암 석	현무암	140/110	22/17	40-50*			
		백 악	80/62	13/10	30-40*			
		화강암	125/110	20/17	45-50*			
		석회암	120/100	19/16	35-40*			
사 암		110/80	17/13	35-45*				
세 일		125/100	20/16	30-35*				
점 착 력 이 있 는 물 질	점 토	연한 벤토나이트	80/30	13/6	7-3*	200-400	10-20	
		아주 연한 유기질 점토	90/40	14/6	12-16*	200-600	10-30	
		연한, 약간의 유기성 점토	100/60	16/10	22-27*	400-1000	20-50	
		연한 빙하 점토	110/76	17/12	27-32*	600-1500	30-70	
		굳은 빙하 점토	130/105	20/17	30-32*	1500-3000	70-150	
		빙하 점토, 혼합된 입자크기	145/130	23/20	32-35*	3000-5000	150-250	
	암 석	견고한 화성암... 화강암, 현무암, 반암	**	160to190	25 to 30	35-45	720000- 1150000	35000- 55000
		변성암... 규암, 편마암, 점판암		160to180	25 to 28	30-40	400000- 800000	20000- 40000
		견고한 퇴적암... 석회암, 백운석, 사암		150to180	23 to 28	35-45	200000- 600000	10000- 30000
		연약한 퇴적암... 사암, 석탄, 백악, 세일		110to150	17 to 23	25-35	20000- 400000	1000- 20000

* 점착력이 없는 물질에서의 보다 큰 마찰각들은 붕괴나 수직응력이 낮은 상태에서 나타난 것이다.

** 무결암의 경우, 다공질 사암과 같은 재료를 제외하고는 물질의 단위중량이 포화상태와 건조 상태간에 크게 달라지지 않는다.

$$\tau = c + \frac{W \cos \theta}{A} \tan \theta$$

$$R = cA + W \cos \theta \tan \theta$$

6) 건설 교통부 도로 설계 편람

표 3.7 지반 및 지보재 특성치 적용 사례 (1998)

구 분	육십령	수리,수암	둔내	용평	대관령	죽령	구미·현풍 (퇴적암)	평 균	
경 암	$\gamma(t/m^3)$	2.7	2.6	2.62	2.7	2.7	2.68	2.7	2.66
	$E(t/m^2)$	1,500,000	2,000,000	2,000,000	800,000	1,450,000	2,000,000	2,000,000	1,800,000
	ν	0.2	0.25	0.17	0.2	0.13	0.2	0.2	0.2
	ϕ	50	50	47	50	50	45	45	50
	$c(t/m^2)$	500	500	180	200	290	200	45	300
	K_o	0.8	1.0	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.58-0.67 (0.62)	1.0	0.5-1.5	1.0
보 통 암	$\gamma(t/m^3)$	2.7	-	2.62	2.7	2.7	2.68	2.6	2.65
	$E(t/m^2)$	1,000,000	-	300,000	300,000	858,000	1,000,000	750,000	750,000
	ν	0.2	-	0.17	0.2	0.22	0.2	0.2	0.22
	ϕ	45	-	40	50	50	45	40	45
	$c(t/m^2)$	300	-	136	200	180	100	35	150
	K_o	0.8	-	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.75-0.88 (0.82)	1.0	0.5-1.5	1.0
연 암	$\gamma(t/m^3)$	2.6	2.4	2.5	2.5	2.5	2.68	2.5	2.5
	$E(t/m^2)$	500,000	80,000	79,000	100,000	300,000	500,000	200,000	300,000
	ν	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	ϕ	40	40	40	45	40	40	35	40
	$c(t/m^2)$	100	100	50	100	50	50	25	70
	K_o	0.5	0.333	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.77	1.0	0.5-2.5	0.86
풍 화 암	$\gamma(t/m^3)$	2.5	2.2	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.26
	$E(t/m^2)$	40,000	4,000	35,000	30,000	36,500	100,000	100,000	50,000
	ν	0.3	0.3	0.34	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	ϕ	35	35	36	40	36	35	30	35
	$c(t/m^2)$	50	30	10	30	10	30	15	25
	K_o	0.5	0.43	0.52	0.5	0.43	0.5	0.5-1.5	0.5
풍 화 토	$\gamma(t/m^3)$	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.89
	$E(t/m^2)$	4,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	2,000
	ν	0.35	0.3	0.35	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35
	ϕ	30	30	30	35	30	30	30	30
	$c(t/m^2)$	3	1	-	5	-	5	5	3
	K_o	0.43	0.43	0.54	0.5	0.54	0.5	0.5-1.5	0.5
S/C	Soft E	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000
	Hard E	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
R/E	E	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000

7) 기타문헌에 의한 방법

표 3.8 흙의 종류에 따른 간극비 단위중량(토질역학 이론과 응용, 김상규)

흙의 종류	흙의 상태	간극율 (%)	간극비	단위중량(t/m ³)		
				건조	전체	포화
모래질 자갈	느슨	38~42	0.61~0.72	1.4~1.7	1.8~2.0	1.9~2.1
	촉촉	18~25	0.22~0.33	1.9~2.1	2.0~2.3	2.1~2.4
거친모래, 중간모래	느슨	40~45	0.67~0.82	1.3~1.5	1.6~1.9	1.8~1.9
	촉촉	25~32	0.33~0.47	1.7~1.8	1.8~2.1	2.0~2.1
균등한 가는 모래	느슨	45~48	0.82~0.85	1.4~1.5	1.5~1.9	1.8~1.9
	촉촉	33~36	0.49~0.56	1.7~1.8	1.8~2.1	2.0~2.1
거친 실트	느슨	45~55	0.82~1.22	1.3~1.5	1.5~1.9	1.8~1.9
	촉촉	35~40	0.54~0.67	1.6~1.7	1.7~2.1	2.0~2.1
실트	연약	45~50	0.82~1.00	1.3~1.5	1.6~2.0	1.8~2.0
	중간	35~40	0.54~0.67	1.6~1.7	1.7~2.1	2.0~2.1
	단단	30~35	0.43~0.49	1.8~1.9	1.8~1.9	1.8~2.2
소성이 작은 점토	연약	50~55	1.00~1.22	1.3~1.4	1.5~1.8	1.8~2.0
	중간	35~45	0.54~0.82	1.5~1.8	1.7~2.1	1.9~2.1
	단단	30~35	0.43~0.54	1.8~1.9	1.8~2.2	2.1~2.2
소성이 큰 점토	연약	60~70	1.50~2.30	0.9~1.5	1.2~1.8	1.4~1.8
	중간	40~55	0.67~1.22	1.5~1.8	1.5~2.0	1.7~2.1
	단단	30~40	0.43~0.67	1.8~2.0	1.7~2.2	1.9~2.3

표 3.9 흙의 내부 마찰각 : 가설 구조물의 해설

종 별	상 태	단위중량 (t/m ²)	수중단위 중량 (t/m ³)	내부마찰각 (deg)	수 중 내부마찰각 (deg)
쇄 석	-	1.6~1.9	1.0~1.3	34°~ 45°	35°
자 갈	-	1.6~2.0	1.0~1.2	30°~ 40°	30°
모 래	단단한 것	1.7~2.0	1.0	35°~ 40°	30°~ 35°
	약간무른 것	1.6~1.9	0.9	30°~ 35°	25°~ 30°
	무른 것	1.5~1.8	0.8	25°~ 30°	20°~ 25°
보통흙	굳은 것	1.7~1.9	1.0	25°~ 35°	20°~ 30°
	약간 굳은 것	1.6~1.8	0.8~1.0	30°~ 35°	15°~ 25°
	부드러운 것	1.5~1.7	0.6~0.9	15°~ 25°	10°~ 20°
점 토	굳은 것	1.6~1.9	0.6~0.9	20°~ 30°	10°~ 20°
	약간 굳은 것	1.5~1.8	0.5~0.8	10°~ 20°	0°~ 10°
	부드러운 것	1.4~1.7	0.4~0.7	0°~ 10°	0°
실 트	딱딱한 것	1.6~1.8	1.0	10°~ 20°	5°~ 15°
	부드러운 것	1.4~1.7	0.5~0.7	0°	0°

표 3.10 서울시 도로설계 실무 편람의 지반정수

지층명	단위중량 (t/m ³)	점착력 C(t/m ²)	내부마찰각 φ(°)	탄성계수(×10 ⁴) (t/m ²)	포와송비
풍화토	1.7~2.0	0.0~1.0	25~30	0.2~1.0	0.35
풍화암	2.0~2.2	1.0~3.0	30~35	1.0~2.0	0.3~0.35
연암	2.3~2.5	3.0~6.0	30~40	2.0~4.0	0.25~0.3
보통암	2.4~2.6	6.0~15.0	35~40	4.0~10.0	0.25
경암	2.5~2.7	15.0~20.0	35~45	10.0~40.0	0.2
극경암	2.6~2.7	20.0~50	40~45	40.0~80.0	0.2

8) 지반반력계수 (K_h) 산정

횡방향 지반반력계수는 흙막이벽이나 말뚝과 주변의 지반거동을 분석하기 위하여 지반반력 이론(subgrade reaction theory) 적용시에 사용되고 있으나, 지반과 같은 비탄성체에서는 기준으로 하는 변위를 얼마로 하느냐에 따라서도 K_h 의 값은 달라지고 대단히 복잡한 성질을 가진 정수로서 이것을 어떻게 결정하느냐 하는 것이 어려운 문제이다. 또한, 큰 기초일 때 사용하는 지반반력계수에 대해서는 실물기초의 재하시험을 시행하기 곤란하기 때문에 충분한 연구가 되어 있지 못하므로 일반적으로 경험에 의해 결정하는 경우가 많다. 따라서, 본 검토에서는 토사에서는 일반적으로 널리 통용되고 있는 Hukuoka법을 적용하였고 연암 이상구간에서는 Soletanche 법을 적용하였다.

$$K_h = 691N^{0.406}$$

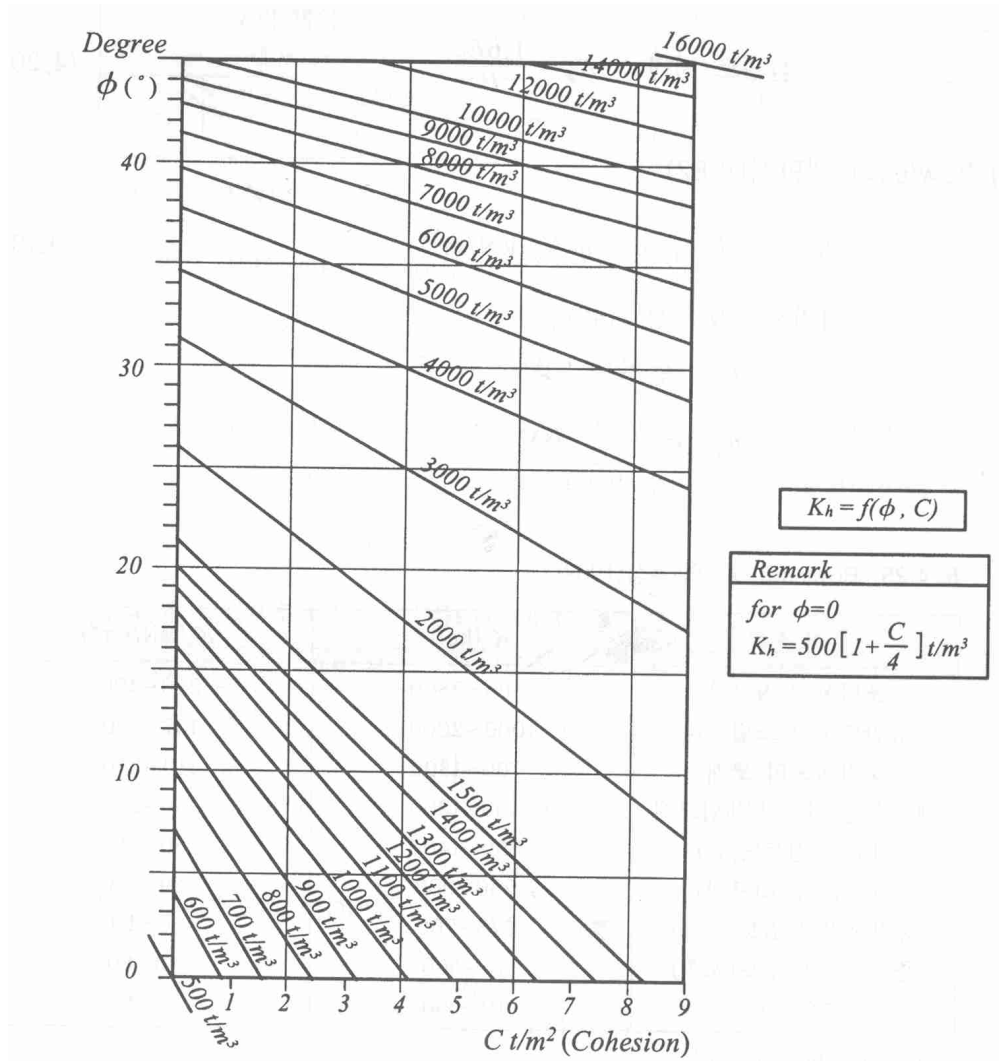


그림 3.12 Soletanche K_h

9) 적용 “N”치 보정

“N” 값의 보정 항목은 다양하나, 일반적으로 가장 큰 영향인자인 해머 종류별 에너지 효율을 포함하여, 유효상재하중, 룯드 길이, 샘플러 종류, 시추공 직경 등 5가지가 대표적이다. 이 경우 보정식은 다음과 같다.

(참고문헌 : “개정판” 지반조사결과와 해석 및 이용 p309 - 대한지반공학회)

$$N' = N \times CN \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

여기서, N' : 보정한 N값

N : 각 장비별 표준관입시험결과

CN : 유효응력에 대한 보정(N값을 이용하여 액상화 평가를 하는 경우외에는 생략)

η_1 : 해머의 에너지효율 보정계수

η_2 : 룯드길이 보정계수

η_3 : 샘플러 종류에 대한 보정계수

η_4 : 공경에 대한 보정계수

해머의 에너지효율 보정계수

$\eta_1 =$ 사용한 해머의 에너지비 /60

여기서, 사용한 해머의 에너지비 : 도넛해머일 경우 46% 적용
(한국도로공사 내부방침)

표 3.11 룯드 길이에 따른 보정계수(Skempton, 1986)

엔빌 아래의 룯드 길이(m)	보정계수(η_2)
3 ~ 4	0.75
4 ~ 6	0.85
6 ~ 10	0.95
> 10	1.00

표 3.12 샘플러 종류별 보정계수(Skempton, 1986)

샘플러 종류	효율(η_3)
라이너가 없는 경우	1.2
라이너가 있는 경우	1.0

표 3.13 시추공의 직경에 따른 보정계수(Skempton, 1986)

굴착홀 직경(mm)	효율(η_4)
65 ~ 115	1.00
150	1.05
200	1.15

표 3.14 해머 종류에 따른 룯드 에너지 비의 변화(외국 자료)

나 라	해머 종류	낙하 방식	룯드의 평균에너지 비 ERr (%)	출 처
아르헨티나	도넛	R-P	45	Seed et al (1985)
브라질	pin weight	손으로 낙하	72	Decourt (1989)
중국	자동	트립	60	Seed et al (1985)
	도넛	손으로 낙하	55	Skempton (1986)
	도넛	R-P	50	Seed et al (1985)
콜롬비아	도넛	R-P	50	Decourt (1989)
일본	도넛	툼비	78~85	Seed et al (1985) Riggs (1986)
	도넛	R-P(자아틀 2회 감음) + 특수장치	65,67	Seed et al (1985) Skempton (1986)
영국	자동	트립	73	CRL Clayton (1990)
미국	안전	R-P(자아틀 2회 감음)	55~60	Seed et al (1985) Skempton (1986)
	도넛	R-P(자아틀 2회 감음)	45	Seed et al (1985)
베네수엘라	도넛	R-P	43	Decourt (1989)

표 3.15 미국에서 룯드의 평균 에너지 비(2종류 해머, 앤빌 로프 2회 감음)

도넛해머		안전해머		비고	참고문헌
ERr(%)	시험횟수	ERr(%)	시험횟수		
53	4	72	9	실내시험	Kovacs & Salomone (1982)
48	8	52	9	현장시험	Kovacs & Salomone (1982)
-	-	55	24	-	Schmertmann & Palacios (1979)
-	-	52	5	-	Schmertmann & Palacios (1979)
48	23	-	-	N=15~45	Robertson et al (1983)
43	8	62	8	-	Robertson et al (1983)
45	-	55	-	현장시험	-

표 3.16 N치보정표

보정전 N치	보정후 N치		보정전 N치	보정후 N치	
	롯데길이 10m 이하	롯데길이 10m 초과		롯데길이 10m 이하	롯데길이 10m 초과
1	1	1	26	18	24
2	1	2	27	19	25
3	2	3	28	19	26
4	2	4	29	20	27
5	3	5	30	21	28
6	4	6	31	21	29
7	5	6	32	22	29
8	6	7	33	23	30
9	6	8	34	23	31
10	7	9	35	24	32
11	8	10	36	25	33
12	8	11	37	26	34
13	9	12	38	26	35
14	10	13	39	27	36
15	10	14	40	28	37
16	11	15	41	28	38
17	12	16	42	29	39
18	12	17	43	30	40
19	13	17	44	30	40
20	14	18	45	31	41
21	14	19	46	32	42
22	15	20	47	32	43
23	16	21	48	33	44
24	17	22	49	34	45
25	17	23	50	35	46

표 3.17 N 치보정결과

구 분	실측된 N값	롯데길이	보정 N치 값
매 립 층	6/30~19/30	10m 이하	10
풍 화 토	12/30~50/12	10m 이하	30
풍 화 암	50/10~50/2	-	50

10) 지반별 마찰 저항력 산정

표 3.18 구조물 기초 설계기준 해설

지반종류		마찰저항력(kg/cm ²)	
압 반	경 압	10 ~ 25	
	연 압	6 ~ 15	
	풍화암	4 ~ 10	
자 갈	N치	10	1.0 ~ 2.0
		20	1.7 ~ 2.5
		30	2.5 ~ 3.5
		40	3.5 ~ 4.5
		50	4.5 ~ 7.0
자 갈	N치	10	1.0 ~ 1.4
		20	1.8 ~ 2.2
		30	2.3 ~ 2.7
		40	2.9 ~ 3.5
		50	3.0 ~ 4.0
점성토	-	1.0C	

3.2 구조검토에 적용된 토질정수 산정

본 검토구간의 지반거동에 따른 안정성검토에 적용되는 각 토층의 토질정수는 3.2.2절에 언급한 경험식 및 문헌에 제안된 값을 참고하여 다음과 같이 적용하였다.

1) 매립층의 토질정수

- 구성 상태 및 Density : 실트질 모래 및 자갈, 점토, 황갈색~암갈색
: 느슨(loose)~보통조밀(medium- dense)한 상대밀도
- 적용 N 치 : 10 (표 3.17 N치보정결과 참조)

표 3.19 매립층의 토질정수

구 분	Peck-Meyerhof	Dunham, (OhSaki)	통 일 분류법	가설구조물의 해 설	적용치
γ_i (tf/m ³)	-	-	1.7~1.9	1.5~1.9	1.7
내부마찰각 ϕ (°)	28.5~35	26	25~30	25~40	25
점착력 C(tf/m ²)	-	-	0~3	-	0.0

지반반력계수 (Hukuoka 공식)=2,075t/m³

2) 풍화토층의 토질정수

- 구성 상태 및 Density : 실트질 모래, 황갈색
: 보통조밀(medium- dense)~매우조밀(very- dense)한 상대밀도
- 적용 N 치 : 30 (표 3.17 N치보정결과 참조)

표 3.21 풍화토층의 토질정수

구 분	건설교통부 도로설계편람	통 일 분류법	가설구조물의 해 설	서울시도로설계 실무편람	적용치
$\gamma_t(\text{tf/m}^3)$	1.8~2.0	1.9	1.7~2.0	1.7~2.0	1.9
내부마찰각 $\phi(^{\circ})$	30~35	30.0	35~40	25~30	30
점착력 $C(\text{tf/m}^2)$	1.0~5.0	3이하	-	0.0~1.0	1.0

지반반력계수 (Hukuoka 공식)=2,892t/m³

3) 풍화암의 강도정수

- 구성 상태 : 실트질 모래로 분해, 매우 조밀한 상대밀도, 황갈색
- 적용 N 치 : 50 (표 3.17 N치보정결과 참조)

표 3.22 풍화암의 강도정수

구 분	건설교통부 적용사례	서울시 도로설계 실무편람	적용치
$\gamma_t(\text{tf/m}^3)$	2.2~2.5	2.0~2.2	2.1
내부마찰각 $\phi(^{\circ})$	30~40	30~35	33
점착력 $C(\text{tf/m}^2)$	10~50	1.0~3.0	3.0

지반반력계수 (Hukuoka 공식)=3,383t/m³

4) 연암의 강도정수

- 구성 상태 : 절리 및 균열 발달, 보통풍화
- R.Q.D = 저조한 코아 회수율을 보임

표 3.23 연암의 강도정수

구 분	Rock slope Engineering	건설교통부 적용 사례	서울시 도로설계 실무편람	적용치
단위중량 $\gamma_t(\text{tf/m}^3)$	2.5~2.8	2.4~2.6	2.3~2.5	2.3
내부마찰각 $\phi(^{\circ})$	30.0~40.0	35~45	30.0~40.0	36
점착력 $c(\text{tf/m}^2)$	2,000 ~4,000	25~100	30~60	5.0

지반반력계수 (Soletanche 표)=5,000t/m³

5) 검토에 적용된 토질정수 요약

전술한 3.2.2항에서 흙막이구조물 설계에 적용되는 각 토층의 토질정수를 문헌에 제시된 일반적인 값 및 경험식, 기 실시된 지반조사를 토대로 산정한 결과는 표 4.24와 같이 요약된다.

표 3.24 검토에 적용된 각 토층의 토질 및 강도정수

구 분	단위중량 $\gamma_t(\text{tf/m}^3)$	내 부 마찰각 $\phi(^{\circ})$	점착력C (tf/m^2)	지반반력 계 수 $k_h(\text{tf/m}^3)$	비고
매립토	1.7	25	0.0	2,075	-
풍화토	1.9	30	1.0	2,892	-
풍화암	2.0	33	3.0	3,383	-
연 암	2.3	36	5.0	5,000	-

▷ 토사층 및 풍화암 지반반력계수는 Hukuoka 공식적용.

$$(K_h = 691N^{0.406})$$

▷ 연암이하 지반반력계수는 Soletanche 공식적용.

제4장. 흙막이구조를 안정성 검토

4.1 흙막이구조물의 검토

4.1.1 구조계산 프로그램의 개요

수치해석에 의해 흙막이 시공의 안정성 검토를 수행하기 위해서 지반굴착 탄소성 해석 Windows 프로그램인 EXCAV/W Ver 3.00 (등록번호 : 92-01-12-1799)를 사용하였다. 본 프로그램은 지반을 굴착함에 따라 단계적으로 변하는 흙막이벽체의 응력이나 변위와 지보공(Strut, Earth Anchor 등) 및 띠장 등 각 사용부재의 전단력, 휨모멘트, 축방향력 계산을 수행하는 탄소성해석 프로그램으로 탄소성 해석에 있어 기본적인 사항은 다음과 같다.

- ① 지반과 지보공 설치지점은 다음과 같은 식으로 구해지는 탄성스프링으로 한다.

$$K_s = \frac{A \cdot E_s}{S \cdot L} \cos(i)$$

여기서,

S : 지보재 간격	L : 자유장
A : 지보재의 단면적	i : 지보재 설치 경사각
E_s : 지지구조 탄성계수	K_s : 탄성지점의 스프링상수

- ② 흙막이벽의 근입은 유한장으로 하고 근입선단은 지질상태에 따라 고정, 힌지 및 자유 단중의 하나로 한다.

③ 굴착면과 배면의 지반 스프링은 각각 최대값(수동토압)과 최소값(주동토압)사이에서 거동하며, 소성영역에서는 스프링의 강성은 무시한다.

④ 굴착면 상부흙막이벽에 작용하는 토압은 단계별 굴착에 따른 벽체의 변위 등에 따라 변화하는 것으로 본다.

⑤ 벽체의 배면토압은 굴착면 위와 아래로 나누어 달리 고려한다. 즉, 굴착면 위에는 배면으로부터 주동토압이 작용한다. 또한, 굴착면 아래의 배면측은 정지토압에서 주동토압을 뺀 유효주동토압이 벽체에 작용하며 굴착면측은 벽체변위가 소성영역에 있을 때에는 유효수동토압이 작용하고 최대 수동토압에서 정지토압을 뺀 탄성영역에 있을 때도 벽체변위에 비례하는 탄성반력이 작용한다. (그림 4.1 참조)

⑥ 현재 작용토압은 주동토압과 수동토압의 범위에 있도록 하여 굴착전의 정지토압을 초기 토압으로 하여 계산한다.

⑦ 각 지보공에 대한 탄성지점은 그 지보공이 설치될 때 이미 발생된 선행변위를 가지는 것으로 고려한다.

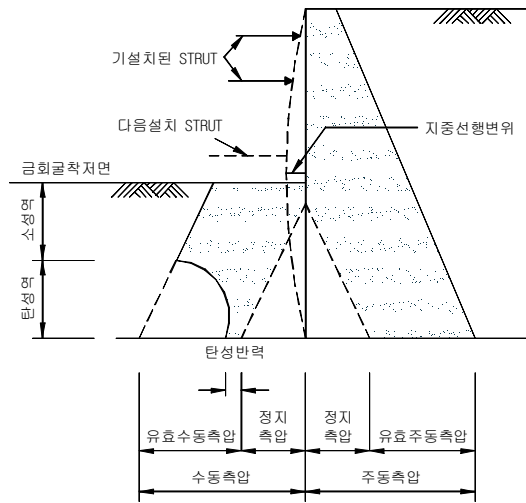


그림 4.1 탄소성법에 의한 변위와 토압

4.1.2 허용기준치

1) 토류판의 허용응력

엄지말뚝이 흙막이 벽체로 적용되는 경우 일반적인 토류판이 사용되며, 토류판의 재료가 되는 목재의 허용응력은 표 5.1과 같다.

표 4.1 목재의 허용응력도
(단위: kgf/cm²)

(단위: kgf/cm²)

허용응력 종류	목재의 종류	침엽수	활엽수
인장응력	섬유에 평행	160	220
휨응력	"	180	220
지압응력	"	160	220
	섬유에 직각	40	70
전단응력	섬유에 평행	16	24
	섬유에 직각	24	36
축방향 압축응력	섬유에 평행	$\frac{l}{v} \leq 100$ $140 - 0.96(\frac{l}{v})$	$\frac{l}{v} \leq 100$ $160 - 1.16(\frac{l}{v})$
	"	$\frac{l}{v} > 100$ $440,000(\frac{l}{v})^2$	$\frac{l}{v} > 100$ $440,000(\frac{l}{v})^2$

2) 강재의 허용응력

당 현장 흙막이구조물에 적용한 흙막이 버팀보 부재의 강재는 SS400을 사용하였으며, SS400의 허용응력은 $f_{sa} = 1,400 \text{ kgf/cm}^2$ 에 해당되나 표 5.2와 같이 가설구조물에 대해서는 허용응력값의 1.5배를 할증 가능한 것으로 도로교 표준시방서(건설교통부, 1996)에 명시되어 있다.

표 4.2 강재의 허용응력도 (단위 : kgf/cm^2)

종 류		일반구조용 압연강재 SS—400, SWS 400	SWS—490	비 고
축방향인장(순단면)		2,100	2,550	$1,400 \times 1.5 = 2,100$ $1,700 \times 1.5 = 2,550$
축방향인장(총단면)		$\frac{l}{y} \leq 20$ 일 경우 2,100	$\frac{l}{y} \leq 20$ 일 경우 2,550	l : 유효좌굴장 y : 단면2차반경
		$20 < \frac{l}{y} \leq 93$ 일 경우 $2,100 - 13\left(\frac{l}{y} - 20\right)$	$17 < \frac{l}{y} \leq 86$ 일 경우 $2,550 - 16.9\left(\frac{l}{y} - 17\right)$	
		$\frac{l}{y} > 93$ 일 경우 $\left[\frac{18,000,000}{6,700 + \left(\frac{l}{y}\right)^2} \right]$	$\frac{l}{y} > 86$ 일 경우 $\left[\frac{18,000,000}{5,700 + \left(\frac{l}{y}\right)^2} \right]$	
휨 응 력	인장면(순단면)	2,100	2,550	-
	압축면 (총단면)	$\frac{l}{b} \leq 4.5$; 2,100	$\frac{l}{b} \leq 4.5$; 2,550	l : 플랜지의 고정점간 거리
		$4.5 < \frac{l}{b} \leq 30$ $2,100 - 36\left(\frac{l}{b} - 4.5\right)$	$4.5 < \frac{l}{b} \leq 30$ $2,550 - 48\left(\frac{l}{b} - 4.3\right)$	b : 압축플랜지폭
전단응력(총단면)		1,200	1,500	-
지압응력		3,150	3,750	강관과 강판
용접강도	공 장 현 장	모재의 100% 모재의 90%	-	-

한편, 표 4.2에 나타낸 강재의 허용응력은 신규 강재의 단기하중에 대한 값으로서 금번 설계 시에는 반복 재사용 및 장기사용 등을 예상하여 보정계수(신규 강재의 90%)를 적용하였다.

제5장. 계측관리 계획서

5.1 계측관리의 목적

본 계측관리의 목적은 조사 및 설계 당시 고려하지 못한 지반의 특성과 외력등으로 지반굴착 도중 발생할 수 있는 오차를 측정하여 흙막이 구조물뿐만 아니라 인접지반에 대한 현재 상태의 안정성을 판단하고 향후 거동을 미리 예측하여 다음 단계의 정보를 신속하게 제공하며, 안전하고 경제적인 공사 수행이 가능하도록 하는데 있다.

즉, 흙막이벽이 적절한 데이터와 소프트웨어로 설계되어 있어도 몇 개의 지점에서 파악된 지반조건이 현장 지반전체를 대표하지 않을 확률이 크며, 지반과 흙막이벽의 상호작용은 공사방법, 공사기간, 순서 등 시공조건에 따라 크게 다르다. 이러한 불확실성에 대비하여 지하수위의 변화, 흙막이벽의 변위, 지점반력, 토압 및 수압의 변화, 인접대지의 침하 등이 지반굴착공사중 계속적으로 추적되도록하여 설계치와 비교, 검토되어야 한다.

따라서, 굴착에 의한 흙막이벽 및 인접지반의 전체적인 거동 경향을 파악하기 위해 계측을 수행하며, 이로인한 공사 전반에 걸쳐 안정성 및 경제성을 확보하는데 주목적이 있다.

5.2 계측항목 및 설치현황

당 현장의 굴착공사에 따른 흙막이벽 및 인접지반의 거동을 측정하기 위한 계측 관리 항목은 표 5.1에 나타낸 것과 같고, 계측기 설치 위치도는 그림 6.1과 같다.

표 5.1 계측관리 항목 및 수량

계측항목	계 기 명	설 치 목 적	수 량
수평변위	경 사 계	지반굴착시 일정간격으로 수평변위량을 측정하여 흙막이 벽체의 연속적인 횡방향 변위와 변화속도를 측정하여 현재의 안전판단 및 향후 지반거동을 사전에 예측할 목적으로 실시함.	4 개소
지하수위	지하 수위계	굴착에 따른 배면지반의 수위변동을 측정하여 설계시 적용된 수위와 비교 검토함으로써 하중증가요인 및 인접지반에 미치는 영향 상태를 검토함.	2 개소
E/A 하중계	하 중 계	E/Anchor에 작용하는 인장력 및 압축력을 측정하여 공사진행 또는 공사완료후의 지반이나 구조물의 변형을 예측하여 안정관리 자료로 활용함.	2 개소 (4 EA)

5.3 계측관리 일반

5.3.1 계측기기의 선택 및 위치선정

1) 계측기기의 선택

계측자료의 정확성, 이용성, 경제성 등을 고려하여 다음과 같은 점들을 고려하여 기기를 선택하는 것이 일반적이다.

- 계측기기의 정도, 반복 정밀도, 강도, 계측범위 및 신뢰도가 계측목적에 적합 할 것.
- 구조가 간단하고 설치가 용이할 것
- 온도, 습도에 대해 영향을 적게 받고 보정이 간단할 것
- 계측기기로 인해 공사에 지장을 초래하지 않을 것
- 예상변위나 응력보다 계측기의 측정 기능범위가 클 것
- 계기 오차 등을 유발할 수 있는 계측기의 고장 발견이 용이할 것
- 가격이 경제적일 것

2) 계측위치 선정

계측 지점을 선택함에 있어서 일반적으로 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 원위치 시험등에 의해서 지반조건이 충분히 파악되고 있는 곳
- 흙막이구조물을 대표할 수 있는 장소
- 중요구조물이 인접하여 있는 곳
- 흙막이구조물이나 지반에 특수한 조건이 있어, 그것이 공사에 영향을 미칠것으로 예상되는 장소
- 교통량이 많은 곳
- 하천 주위 등 지하수의 분포가 다량이고 수위의 상승, 하강이 빈번한 곳
- 가능한한 공사에 의해 계측기기의 훼손이 적은 곳

위와 같은 관점에서 계측지점을 선정한 후 가능한한 각종 계측기기가 동일단면에 설치되게 배치하는 것이 중요하다. 이는 수평범위, 어스앵커의 반력, 주변지반의 침하, 지하수위 등이 서로 연관성을 유지하면서 나타나고 있기 때문에 이를 종합적으로 분석하므로써 계측의 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다.

5.3.2 계측 빈도

굴착지반의 거동은 일일 굴토량과 작업기계, 기상(우천)등에 영향을 받으므로 데이터의 변화속도와 안정성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적절한 측정빈도를 설정해야 한다. 굴착 현장의 일반적인 계측 빈도는 표 6.2와 같으며, 당 현장은 다음과 같은 상황에 따라 증감될 수 있다.

1) 데이터의 변화속도

데이터가 변화하는 속도가 빠른 계측항목은 빈도를 높여야 하며, 반대로 장시간에 걸쳐 서서히 변화하는 항목은 낮은 빈도로 충분하다. 데이터의 변화속도는 계측시기, 계측항목, 측정위치 등에 따라 다르다.

2) 안전과의 관련도

안전과의 관련이 직접적인 계측항목과 간접적인 계측항목으로 분류되는데(예를 들면 전자는 응력, 후자는 하중) 직접적인 것일 수록 빈도를 높일 필요가 있다.

3) 계측빈도의 통일

각 계측항목은 상호관련의 비교검토가 필요하므로 관련항목은 동일시기에 계측을 실시하도록하고 그 중 빈도가 높은 것은 별도로 계측한다.

표 5.2 계측기기별 측정빈도

계측항목	측정시기	측정빈도	비 고
경 사 계	설치후 공사 진행중 공사 완료후	1 회/일 1 ~ 2회/주 1 ~ 2회/주	초기치 선정 다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정
하 중 계	설치후 공사 진행중 공사 완료후	1 회/일 1 ~ 2회/주 1 ~ 2회/주	초기치 선정 다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정
지하수위계	설치후 공사 진행중 공사 완료후	1 회/일(1일간) 1 ~ 2회/주 1 ~ 2회/주	초기치 선정 우천 1일후 3일간 연속측정

5.3.3 계측기 설치관리 및 측정

1) 경사계

- 경사계관의 공내 삽입시에는 관내에 맑은물을 채워서 부력에 의한 경사계관의 떠오름을 방지해야 한다.
- 경사계관은 직교하는 2방향의 변위를 측정할 수 있는 것으로써 경사계 롤러용 홈(Key Way)이 연속적인 이음에 의하여 뒤틀리지 않고 단일 평면내에 있도록 정확하게 연결되어야 한다.
- 경사계관의 여굴 채움재는 경사계관 설치지반의 강도를 고려하여 선정되어야 한다.
- 여굴에 대한 그라우팅 재주입후 경사계관 내부는 맑은 물을 이용하여 청소하여야 한다.
- 그라우팅 완료후 측정관 상부에는 뚜껑(Cap)을 설치하여 흙이나 돌부스르기 등 이물질이 투입되지 않도록 보호한다.
- 경사계관은 공사용 장비나 사람에 의하여 훼손되지 않도록 적절한 보호장치에 의하여 보호되어야 한다.
- 경사계의 측정을 시작하기전에 맑은 물이 들어있는 경사계관내에 충분히 담구어 두어서 온도에 대한 오차를 최소화 하여야 한다.
- 측정은 경사계관이 설치된 방향으로 직교하는 2방향에 대하여 측정하여야 하며 굴착면과 경사계관의 축이 일치하지 않을때는 보정하여 보고되어야 한다.
- 측정심도는 50cm 간격을 원칙으로 하되 측정된 경사각과 변위량은 공별, 심도별로 정리하여 보고하여야 한다.
- 알루미늄관을 사용할 경우 관의 부식으로 인한 막힘을 방지하기 위하여 정기적으로 한달에 1회정도 맑은물로 청소를 하여야 한다.
- 경사계 설치공의 천공직경은 경사계관 삽입후 그라우팅이 가능한 정도 이상의 직경이어야 한다.
- 경사계관과 별도로 그라우팅 파이프를 삽입할 경우는 경사계관과 그라우팅 파이프의 삽입이 가능한 직경이어야 한다.
- 경사계관을 이용하여 그라우팅을 실시하고 별도의 그라우팅 파이프를 삽입할 필요가 없는 경우에는 경사계관 외부의 공간을 그라우팅용 채움재료가 용이하게 통과하기에 충분한 직경이어야 한다.
- 천공시 공벽의 붕괴가 우려되는 지층에서는 붕괴를 방지하기 위한 케이싱을 사용하여 공벽을 보호 하여야 한다.
- 천공심도는 수평변위측정시 기준이 될 수 있도록 지반의 변위가 없다고 판단되는 견고한 지층내부 1.5m 이상이어야 한다.

- 경사계관의 하부에는 슬라임 및 그라우팅 채움재의 관내부로의 유입을 차단하기에 적합한 뚜껑을 설치하고 실리콘과 테이프를 이용하여 밀봉하여야 한다.
- 경사계관의 이음부는 그라우팅 채움재를 차단하기 위하여 실리콘 테이프등으로 밀봉하여야 한다.

2) 수위계

- 용도에 적합한 종류의 계기(공기식, 전기저항식, V.W형, 개방식등)를 선정하여 설치하여야 한다.
- Casagrande형 Open Stand Pipe일 경우는 경사계관 설치시와 같은 방법으로 천공을 하여야 한다.
- 채움용 모래는 표준체로서 #8과 #50사이의 전체 모래중 95%가 존재하는 깨끗한 모래 #200체 통과량이 2%이상이어서는 안되며, #4체에 남는 것이 있어서는 안된다.
- Tip 관입전에 깨끗한 모래로 약 30cm를 채운후 설치하여야 한다.
- 지하수위의 거동을 측정하기 위하여 설치되는 간극 수압계일 경우 여굴은 깨끗한 모래로 다짐하여 채우고 상부에서 지표수가 유입되지 않도록 적절한 조치를 하여야 한다.
- 설치후 보호 Cap을 씌우고 지표면으로 돌출된 Pipe를 보호할 적당한 보호장치를 하여야 한다.

3) 하중계

- Load Cell에 Cable을 연결 후의 영점값을 읽고 Readout Sheet에 기록한다.
- E/Anchor 스트랜드를 Center Hole 내부로 접어 넣어 Lower Plate를 거치시킨다.
- Load Cell을 거치시킨다.
- Upper Plate를 거치시킨 후 지압판을 거치하고 유압잭을 이용하여 E/Anchor를 인장시킨다.
- E/Anchor를 인장시킨 후 지시계를 이용하여 초기치를 읽는다.

5.3.4 계측자료의 수집 및 분석

계측기기의 초기 측정은 신뢰성있는 기초자료로 활용할 수 있도록 시공전에 얻어져야 한다. 자료수집 빈도는 공사정도에 따라 적절하게 결정되어야 하며 급격한 구조물의 응력 변화나 주변 구조물에 공사로 인한 문제점이 발견되면 그 빈도를 증가시켜야 할 것이다.

측정일시 사이의 공백 기간중에 발생하는 변화도 주의 깊게 관찰하여야 하며 자료수집시 공사 내용 및 주변상황, 기상조건 등을 면밀히 기록하여 성과 분석시 적절히 이용 가능할 수 있도록 조치하는 것이 바람직하다.

현장에서 얻어진 자료는 즉시 공사현황 및 기상상태 등을 고려한 분석을 통하여성과를 도표 등으로 가시화함으로써 토류구조물 및 주변건물 등의 현재 상황을 판단하고, 이를 예측치와 비교하여 그 차이에 대한 연구를 통해 제원인을 규명하여 공사의 안전성 및 적합성을 판단해야 한다.

5.4 계측관리 기준설정

현장의 안전관리를 위한 계측관리 기법으로는 절대치관리와 예측관리로 나눌 수 있다. 여기서 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.

절대치관리 기법은 계측결과에 대해서 신속하게 대처할 수 있어서 현장에서의 단순관리에 많이 이용하고 있다. 이에 반하여 예측관리는 조기에 토류구조물의 거동을 Computer를 통하여 Simulation하여 추정하므로 보다 합리적인 관리를 할수 있으나 계측 System이 대규모가 되어 경제적인 면에서 부담이크므로 이방법은 대규모 토류공이나 중요한 계측에 이용된다.

실무에 있어서 시공관리란 안전관리를 목적으로 예측관리기법이 채택된 경우에는 위의 2가지 관리기법을 병용하게 되는 것이 일반적이다.

5.4.1 절대치관리기법

1) 계측관리 기준자료

계측관리 기준치 설정에 있어서 가장 기본이 되는 변위 및 응력의 관리 기준은 지질 조건, 단면의 크기 및 형상, 굴착 공법, 주변 구조물 및 환경조건 등에 따라 각각 달라지므로 일정한 기준을 적용하는 것은 곤란한 일이지만, 각종 이론식에 의한 기준치, 유사지질 및 단면에서의 계측결과를 토대로 한 경험적 기준치에 의하여 정하게 된다.

(1) 경사계

흙막이벽체의 수평변위량과 발생위치 및 방향을 측정하기 위하여 사용하는 경사계의 계측관리 기준은 수직거리에 대한 수평변위인 경사도가 1/200로 하는 경우가 일반적이지만, 이 값외에 상호 연관이 되는 흙막이 부재의 응력, 주변지반 침하량 및 인접구조물의 경사도에 대한 계측치를 상호비교하여 검토하고 주변도로, 지하철 또는 주변구조물 등의 관리자와 협의하여 최종 결정한다.

(2) 지하수위계 및 간극 수압계

지하수위에 대해서는 설계시에 고려된 지하수위를 기준으로 하여 실측된 지하수위가 설계수위보다 높을 경우가 안전에 대한 주의대상이 되어, 실측토압과의 관계로부터 위험여부를 판정하게 된다.

투수성지반에서 지하수위보다 깊게 터파기할 경우 굴착면과 배면측의 정수두차로 인한 침투수압에 의해 보일링 현상이 발생하기 때문에 지반의 유효응력이 감소되어 지지력 감소·소멸 또는 토립자의 이동으로 인한 흠막이 벽체 및 주변지반이 파괴될 수 있다.

이와 같은 보일링에 대한 흠막이 구조물의 안정은 간극수압을 측정하여 침투에 의한 유출부의 최대 동수경사 i_{exit} 를 구함으로서 검토될 수 있으며, 보일링에 대한 관리기준치는 표 5.3과 같다.

표 5.3 보일링에 대한 관리기준치

안정	$i_{exit} < 0.25$
주의	$0.25 \leq i_{exit} < 0.57$
위험	$0.57 \leq i_{exit}$

2) 절대치관리방법 기준

현장에서의 관리기법으로 효과적인 이 기법에서 가장 어려운 것은 관리기준치를 어떻게 정할 것 인가이다. 이에 대하여 일본에서 정하여 사용한 관리기준치 결정기준은 표 6.8과 같다.

표 5.8 절대관리기준치를 결정하는 기준

구분	대상물	기준의범위
토류구조물	토류벽의 응력	(장 + 단)/2 ~ 단
	토류벽의 변형	1/200 또는 설계여유 이하
	버팀대축력	(장 + 단)/2 ~ 단
	버팀대의 평면도면	1/100
주변	지장	(장 + 단)/2 ~ 단
	주변지반의 침하	경사 : 1/500 ~ 1/200
	주변매설물	
	가스	관리담당자와 협의
	상수	
	하수	
지하철		
주변건물	경사 : 1/1000 ~ 1/300	

주) 장 : 장기허용응력 단 : 단기허용응력

안전율의 개념을 도입한 절대치관리방법은 사전에 각 항목별로 안전율을 설정하고 설계시에 사용한 추정치 및 계측결과치의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법으로 표5.9는 안전율을 이용한 절대치관리방법의 일예를 나타낸 것이다.

표 5.9 흙막이공사의 안전시공관리를 행한 기준의 일례

측정항목	안전·위험의 판정 기준치	관 정 표			
		지표 (관리기준)	위험	주 의	안 전
측 압 (토압,수압)	설계시에 이용한 토압분포(지표면에서 각 단계 근입깊이)	$F_1 = \frac{\text{설계시에 이용한 토압}}{\text{실측에 의한 측압(예측)}}$	$F_1 < 0.8$	$0.8 \leq F_1 \leq 1.2$	$F_1 > 1.2$
벽체변형	설계시의 추정치	$F_2 = \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측의 변형량 (예측)}}$	$F_2 < 0.8$	$0.8 \leq F_2 \leq 1.2$	$F_2 > 1.2$
흙막이벽내 응력	철근의 허용인장응력	$F_3 = \frac{\text{철근의 허용인장응력}}{\text{실측의 인장응력(예측)}}$	$F_3 < 0.8$	$0.8 \leq F_3 \leq 1.0$	$F_3 > 1.0$
	흙막이벽의 허용 휨 모멘트	$F_4 = \frac{\text{허용 휨모멘트}}{\text{실측에 의한 휨모멘트(예측)}}$	$F_4 < 0.8$	$0.8 \leq F_4 \leq 1.0$	$F_4 > 1.0$
버팀대 축력	부재의 허용축력	$F_5 = \frac{\text{부재의 허용축력}}{\text{실측의 축력(예측)}}$	$F_5 < 0.7$	$0.7 \leq F_5 \leq 1.2$	$F_5 > 1.2$
침하량	각 현장마다 허용치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용침하량을 지정하고, 그 허용침하량을 넘으면, 위험 또는 주의신호로 판단한다.			
부등침하량	건물의 허용부등침하량	기둥간격에 대한 부등침하량의 비	1/300이상	1/300~1/500	1/500이하

또 하나의 절대치관리방법은 설정된 절대기준치에 대하여 1차 관리기준치를 부재의 허용응력 일 경우와 벽체의 변형 및 배면 토압등에 대하여 80~100%로 정하여 관리를 행하도록 하며, 2차 관리기준치는 허용응력과 설계시의 변위량으로 규정지어 그 이상일 경우는 공사를 중지하고 흙막이벽체의 전반적인 검토가 이루어지도록 하는 것이다. 이에 대한 개략적인 1, 2차 관리 기준치의 일례는 표 5.10과 같다.

표 5.10 1, 2차 관리기준치의 일례

계 측 항 목	비 교 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 %	-

이상에서 설명한 것과 같이 절대관리치를 설정한 후 측정을 계속하여 측정 결과치가 관리치에 접근하면 계측빈도를 높히는 등의 감시체제를 강화하고, 측정치가 더욱 증가하는 경향을 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. 따라서 굴착심도가 얇은 흙막이공에 적합한 기법이다.

5.4.2 예측관리기법

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

본 기법은 계측의 자동화와 컴퓨터의 보급이 선행되어야 적용이 가능한 것이지만, 점차 현장에 컴퓨터보급이 일반화되어 가고 있으며 시공관리 및 안전관리에 현장계측이 요구되는 추세로 있어 예측관리기법을 적용하는 사례가 증가되고 있다.

전술한 바와 같이 이 기법은 조기에 발견할 수 있다는 장점이 있으나 비교적 숙련된 기술자가 필요하며 비용도 절대치관리기법보다 많이 드는 단점이 있다.

그림 6.3에 나타난 바와 같이 통상의 해석이 하중이나 토질정수를 입력데이터로 하여 경계조건하에서 응력, 변형 및 변위를 출력데이터로 얻게 되는 반면, 본 기법에서는 역으로 실측변위를 입력데이터로 하여 토질정수를 출력데이터로 얻게 되는 역해석(Back-Analysis) 기법이 이용된다. 역해석의 기본개념은 “토질정수를 포함하는 구성식에 의한 예측변형과의 차이가 최소로 되도록 최적의 토질정수를 결정한다.” 라고 하는 것으로 이것은 자동제어의 분야에서 사용되는 최적화기법에 해당된다.

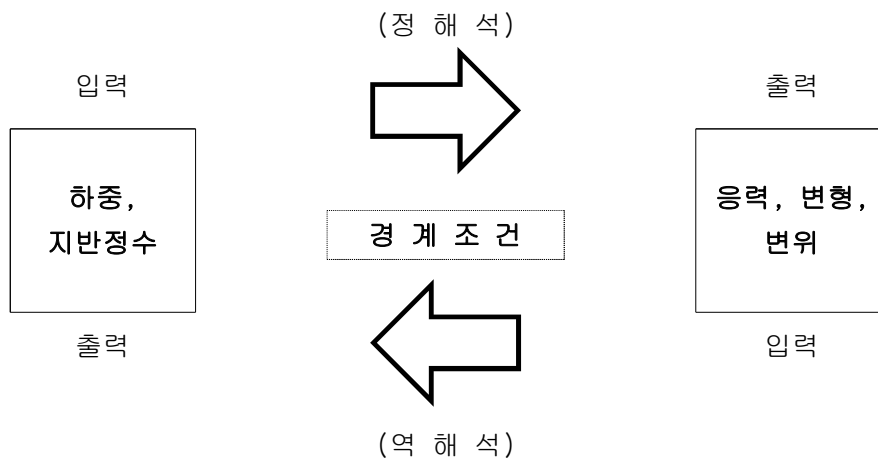


그림 6.3 역해석의 개념도

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

현재 사용되고 있거나 제안된 모델은 30여종에 달하고 이중 가장 간단한 탄성체모델은 탄성계수와 푸아송비가 토질정수로 되지만 이것은 실제의 현상을 충실히 반영할 수 없다. 따라서 일반적으로 계측에 활용되는 해석방법은 비교적 실제의 현상을 충실히 반영할 수 있는 탄소성법이나 유한요소법이다.

5.5 당 현장의 계측관리기준

당 현장의 계측관리기준치는 5.4절의 계측관리기법에 소개된 예와 굴착으로 인하여 발생하는 흙막이벽체의 변위 및 인접지반의 침하에 관한 기존의 연구결과와 문헌등을 종합하여 당 현장에 적용할 관리 기준값을 다음과 같이 선정하였다.

5.5.1 관리기준

1) 흙막이벽체 수평변위 및 인접지반침하량

당 현장의 흙막이벽체의 수평변위 및 인접지반에 발생하는 침하에 대한 관리기준치는 표 5.11 및 표 5.12에 나타난 기존의 연구결과를 토대로 표 5.13과 같이 선정하였다.

표 5.11 굴착으로 인한 최대 수평변위량 연구사례

제안자 항 목	Peck (1969)	NAVFAC DM-7.2 (1982)	Clough & O'Rourke (1990)	Chang Yu-Ou 등 (1993)	이종규 등 (1993)	양구승 (1996)	오정환(1997)	
최대수평 변 위 량	1.0%H	0.2%H 이하	평 균:0.2%H 상한치:0.5%H	0.2%H ~ 0.5%H	0.2%H 이하	0.13%H	0.28%H	0.1%H
지반조건	단단한 점 토, 잔적토, 모 래	조밀한 사질토, 빙적토(till)	단단한 점성토, 잔적토, 모 래	실트질 모래 와 실트질 점 토가 번갈아 가며 지반을 형성	암반을 포 함한 다층 지반으로 구성된 서울 지역 4개 현장	화강 풍화토	실트질 모래와 절리가 발달된 암반	조밀한 사질토, JSP 지반보강

표 5.12 굴착으로 인한 인접지반의 지표침하량 및 침하영향거리 연구사례

제안자 항 목	Peck (1969)	St. John (1975)	O'Rourke (1976)	Clough & O'Rourke (1990)		양 구 승 (1996)		오정환 (1997)	
	최대지표 침하량	0.5%H	0.3%H	0.3%H	0.15%H	0.3%H	0.28%H	0.25%H	0.42%H
최대침하 영향거리	2.5H ~3.0H	3.0H	2.0H	2.0H	3.0H	2.0H	2.0H	2.2H	1.2H
지반조건	느슨한 모래와자 갈	런던의 단단한 점토	단단한 점토층 이 중간 중간에 끼여 있는 중간 ~조밀한 모래	모래	단단~매우 견고한 점 토	실트질 모래와 모래	화강 풍화토	실트질 모래와 절리가 발달된 암반	조밀한 사질토, JSP지반 보강

표 5.13 흙막이벽체의 수평변위에 대한 관리기준치 (단위 : mm)

구 분	최종굴착깊이(M)	1차관리기준(80%)	2차관리기준(100%)	비 고
경사계	9.51~11.01	26.62~30.82	33.28~38.53	$\delta_h = 0.35\% H$

2) 하중계

구 분	1차관리기준(±20%)	2차관리기준(±30%)	비 고
하중계	9.75~14.63tonf	8.53~15.85tonf	설계축력 (T=12.19ton)

3) 변형률계

구 분	1차관리기준(70%)	2차관리기준(90%)	비 고
변형률계	70.00tonf	90.00tonf	100ton Jack 사용

5.5.2 보강대책

1차관리기준을 초과 하였을 때	2차 관리기준을 초과 하였을때
① 현장에 시공 주의 지시 ② 굴착후 지체없는 버팀보 설치 ③ 과다굴착 금지 ④ 토층확인 및 재구조 검토 ⑤ 배면측 상재하중 요인 제거 ⑥ 주변 시공여건 확인	① 발생구간 작업중지 ② 정밀한 원인분석 ③ 추가 버팀보(Nail,Strut,E/Anchor) 설치

부 록

(구조계산 OUT PUT)

사면안정검토

1. 사면 안정성 검토

GEO-SLOPE사에서 제작된 SLOPE/W는 한계평형해석 이론을 근거로 한 Window용 사면안정해석 프로그램이며, 토사사면을 대상으로 원호활동, 복합사면활동, 블록활동, 특정활동면 등에 대한 해석이 가능하다. 이 프로그램은 수리 및 지진에 관한 자료와 지반에 설치 되는 여러 가지 보강재 (NAIL, ANCHOR, REINFORCING STRIP 등)뿐만아니라 보강재의 유무와 관계없이 지반구조물의 안정성(절토 및 성토등)을 평가할 수 있다. 갑작스런 파괴나 파괴가 발생하려는 보강토 구조물에는 유용하게 사용된다. SLOPE/W는 지반내의 간극수압뿐만 아니라 NAIL의 경사와 길이의 변화, 전단강도와 휨모멘트 등을 고려할 수 있게 되었다. 이것은 보강토 벽체 설계에 사용되는 설정사항과는 크게 다르며, SOILNAIL벽체 설계시 적용되는 다양한 기하학적 변수, 즉 NAIL의 경사, NAIL의 길이, 전면판의 경사, 벽체상부의 토질특성 등을 폭넓게 변화시킬 수 있다.

전체 사면의 안정성에 대한 평가는 절편법(Bishop방법)을 이용하며, NAIL의 인발저항력과 항복응력 중 작은 것을 선택하는 혼합된 메커니즘을 사용한다.

1.1 사면 허용기준치

안정해석에서 허용안전율은 자료의 불확실성에 대한 대비 및 변형을 허용치 이내로 제한하는 기능을 한다. 이론상 안전율이 1.0 이상이면 안전한 것으로 판단되나 실제거동의 불확실성에 대한 여건을 감안하여 허용 안전율을 산정하며 표 1.1를 참조하여 표 1.2과 같이 가설 사면부에 대한 허용안전율을 산정하였다.

표 1.1 국내외 기관별 허용안전율

구 분		최 소 안 전 율	
국 내	한국도로공사	원위치시험에 의해 전단강도를 구한경우	$F_s \geq 1.7$
	도로설계요령 (1976)	일축, 삼축압축시험에 의해 강도를 구한 경우	$F_s \geq 1.5$
	한국도로공사 도로설계요령 (1992)	절토사면은 시공후 기간의 경과와 함께 불안정하게 되므로 최소안전율 삭제	-
	건설교통부	구조물 기초설계기준	$F_s \geq 1.3$
	(사)한국지반공학회	구조물 기초설계기준	$F_s \geq 1.2$
일 본	일본항만협회	항만시설 기술상의 기준, 동해설	$F_s \geq 1.3$
	일본도로공단	도로설계요령	$F_s \geq 1.5$
	일본건설성	표준적인 계획 안전율	$F_s \geq 1.1 \sim 1.3$
미 국	FEDERAL REQISTER (1997)	시공직후	$F_s \geq 1.3$
		침윤을 고려할때	$F_s \geq 1.5$
		지진을 고려할때	$F_s \geq 1.0$
	DAPPOLONIA CONSULTING INC (1975)	실내시험에 의해 강도를 구할 경우	$1.8 > F_s \geq 1.3$
		최대 지진가속도를 고려할 때	$1.5 > F_s \geq 1.2$
	해군 공병단 NAVFAC-DM (7.1 - P.329)	하중이 오래 작용될 경우	$F_s \geq 1.5$
구조물 기초인 경우		$F_s \geq 2.0$	
일시적인 하중이 작용할 경우 및 시공시		$F_s \geq 1.35$ or 1.25	
지진하중이 작용하는 경우		$F_s \geq 1.2$ or 1.15	
영 국	NATIONAL COAL BOARD (1975)	1) Peck Shear Stress(UU Test)	$1.5 > F_s \geq 1.25$
		2) Residual Shear Stress(CD Test)	$1.35 > F_s \geq 1.15$
		3) 포화된 사질토의 경우(C=0)	$1.35 > F_s \geq 1.15$
		4) 2),3)항 공히 적용되는 경우(C=0, CD Test)	$1.2 > F_s \geq 1.1$
캐 나 다	MINES BRANCH (1972)	극한강도로 설계한 경우	$F_s \geq 1.3$ or 1.5
		잔류강도로 설계한 경우	$F_s \geq 1.2$ or 1.3
		100년 주기의 지진가속도를 포함한 경우	$F_s \geq 1.1$ or 1.2
		지진이 있는 지역의 제방 하부에서 수평활동이 일어날 경우 (제방내에 갇혀 있는 세립 폐사의 강도 무시)	$F_s \geq 1.3$

표 1.2 본 과업에 적용한 허용안전율

구 분	허용안전율	비 고
가설시(건기)	$F_s \geq 1.2$	• (사)한국지반공학회-구조물기초설계기준 $F_s \geq 1.2$
가설기(우기)	$F_s \geq 1.0$	• (사)한국지반공학회-구조물기초설계기준 $F_s \geq 1.0$

1.2 한계평형 해석 안정성 검토결과

본 검토는 각 구간 표준단면을 준용하여 검토하였으므로, 실제 굴착시 토층구성이 검토조건과 다르거나 지반침하등에 관한 실측결과에 따라서, 재검토가 이루어져야 한다.

토질정수 값을 적용하여 검토한 해석결과를 요약하면 표 1.3와 같다. (자세한 계산결과는 부록 구조 계산서 참조)

1) 외적안정성 검토결과(SLOPE/W)

사면부에 대한 외적 안정성 검토는 한계 평형 해석법을 적용한 SLOPE/W 사용하였으며 해석결과는 표1.3 허용안전율보다 상회하므로 안정성은 확보되는 것으로 나타났다.

표 1.3 외적 안정성 검토

구 분	허용 안전율	해석에 의한 최소 안전율	비 고
		SLOPE/W	
TYPE - 1 (건기)	1.2	1.567	O·K
TYPE - 1 (우기)	1.0	1.099	O·K
TYPE - 2 (건기)	1.2	2.837	O·K
TYPE - 2 (우기)	1.0	2.402	O·K

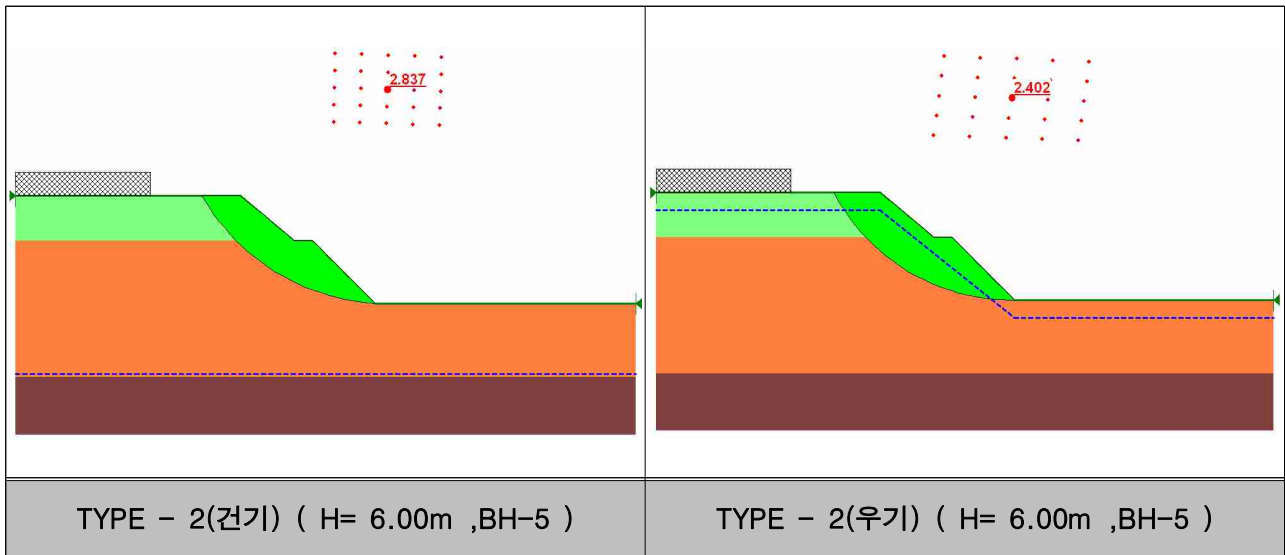
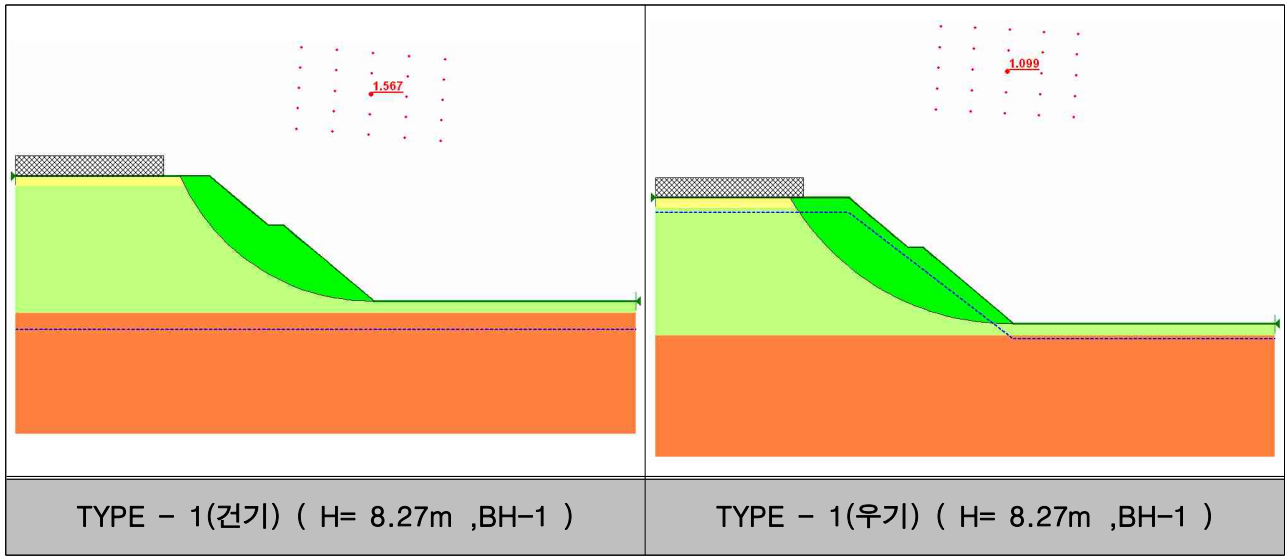


그림 1.1 SLOPE/W 안정성 검토 결과