

흙막이 구조물(I)

홍 원 표*¹
김 학 문*²

1. 설계계획 및 조사

1.1 개요

지하구조물 시공시 굴착과 동시에 야기되는 모든 현장 내외의 문제점은 그 규모나 내용면에서 실로 다양하다. 특히 도심지나 인구밀집 지역에 위치한 흙막이 공사장의 경우는 그 피해정도가 무시하지 못할 정도로 나날이 복잡하여지고 있는 실정이다.

굴착공사에 따른 이러한 제반문제점을 계획-조사-설계-시공 등 단계별로 정리분석하여 주어진 여건하에서 가장 안전하고도 경제적인 공법선정과 합리적인 설계시공이 될 수 있도록 사전에 충분한 조사와 대책에 대한 검토가 필요하다.

계획에 앞서 우선 현장 상황을 판단하기 위하여 계획된 지하구조물의 형태를 파악하고 현장의 지형, 지세 및 인근구조물에 대한 자료분석을 비교검토하여 공사에 의한 주변영향 평가가 고려되어야 한다.

계획설계시 사용될 지층상태나 토질역학적 특성을 파악하기 위하여 지반조사가 선행되어야 하며 이를 토대로 흙막이 구조물의 종류, 굴착방법 및 배수방법을 선정할 수 있으며, 흙막이 구조물의 안정검토와 주변구조물의 침하 및 변형을 예측할 수 있다. 그러나 지반조건이나 굴착방법에 따른 많은 변화도 생길 수 있으며

로 현장계측에 의한 확인시공이 중요하다.

1.2 지반조사와 설계강도 정수

주어진 지반조건에 만족할 수 있는 안정된 설계 및 경제적 시공방법을 추구할 수 있는 흙막이 구조물의 건설은 정확하고 신중한 지반조사 자료를 이용하여 합리적인 분석이론에 필요한 설계자료를 제공함으로써 가능하게 된다.

지반조사는 공사의 규모나 지층구성 및 주변 여건에 따라 계획이 달라지겠지만 일반적으로 요구되는 내용은 다음과 같다.

-대지의 지형지세 및 굴착작업으로 인한 주변영향(주변구조물, 암반노출상태, 교통상태 등)

-굴착현장 주변의 지하매설물 조사(상·하수도, 가스, 전력통신 케이블 등의 정확한 크기, 위치, 노후상태 등)

-대지의 지질학적 특징(암반의 상태, 절리, 경사, 굴착문제, 인근구조물시공중 야기된 기록 등)

-주변 지하수의 이동상태(계절적 변화, 피압수 존재여부, 홍수시 조건, 인근 강이나 하천 범람 등)

-토층과 암반층의 두께변화와 간극수압조사 흙막이 구조물의 근입심도 결정지층(차수지층, 수직변위 방지 지층 등)

-현장지반강도 시험과 실험실의 Sample Test로 설계강도정수 결정(굴착중 지반강도의 변화를 고려할 것 : Swelling, Shrinkage or Liquefaction 효과)

-토사나 암석 및 지하수에 대한 화학분석

*¹ 정회원 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수

*² 정회원 단국대학교 공과대학 토목공학과 조교수

(현장 타설 콘크리트 벽체의 양생 및 Soil Mixing Wall의 품질관리 문제)

1.2.1 豫備調査 및 本調査

흙막이 構造物은 그것이 築造된 후 恒久的으로 혹은 정해진 期間內에 있어서 그 機能이 持續的으로 만족되도록 設計되고 施工되지 않으면 안된다. 그러기 위하여는 明確한 設計條件이 必要하며 適合한 施工條件을 設定할 必要가 있다. 더우기 그것이 實際와 合致하고 있는가 여부도 확인하여야 한다. 이러한 條件을 찾기 위하여 실시하는 것이 調査와 試驗이다.

조사대상은 地盤의 性質, 주변의 環境條件 등을 들 수 있다. 地盤의 性質에는 地形이나 地下水의 상태, 環境條件에는 交通事情이나 주변에 미치는 騒音, 振動 등의 公害問題 등이 포함된다.

(1) 豫備調査

豫備調査는 흙막이 構造物의 種類에 맞는 形式을 선정하기 위한 資料를 수집하는 단계이다. 또한 必要하게 여겨지는 本調査의 內容을 결정하기 위한 調査이기도 하다. 주변의 사전조사 항목은 표 1-1과 같다.

- ① 既存의 地盤調査나 施工資料의 收集
 - ② 地形이나 우물의 狀況調査
 - ③ 隣接構造物의 크기, 기초의 形式 및 그 狀況調査
 - ④ 周邊의 環境調査
 - ⑤ 기상조건의 變動에 의한 영향의 有無
 - ⑥ 기 타
- (2) 本調査

예비조사에 의하여 얻은 概略의 地盤條件 등으로부터 築造하려는 흙막이 構造物의 形式이 선정된다. 本調査는 여기에 對應한 設計, 施工 및 그 後의 管理에 必要하다고 생각되는 資料를 구하기 위하여 실시하는 조사이다.

地盤調査에 관한 調査事項을 알아 보면 다음과 같다.

地盤調査의 기본은 地盤의 構成을 분명히 하는 것과 各 土層의 力學的, 物理的 特性을 알기 위함이다. 이 兩者의 적절한 組合에 의하여 調査의 範圍와 試驗이 결정된다. 調査의 범위는

표 1-1 주변의 事前 調査 項目

立地條件과 주위 상황	부지의 위치, 경계선의 확인, 부지의 형상, 부지 내외의 高低差 및 基準높이, 隣接構造物(도로포함), 工作物 및 그 건설시의 상황, 騒音, 振動, 주위의 住屋 등
地形, 地史	부지 부근 全般的 地形과 위치 變천 매립지 경우 등
土質 및 地下水	土層 구성과 土質, 地下水位, 透水性 水量干滿 狀況 등
埋設物 및 장애물	舊 기초, 舊 우물, 舊 堤防, 地下埋設電線, 上·下水道, 電話線, 地下鐵
계절 및 기상	雨量, 集中豪雨 등
道路 및 交通 상황	道路의 종류, 구조, 車輛通行의 狀況, 交通制限 등
各種 申請, 제출 연락처 關係 法規	各種 申請, 제출, 연락처 關係 法規

대략 50~100m 간격으로 設計根入長+α 깊이 까지 실시한다. 또한 調査範圍檢討에 있어서는 作用應力이 미치는 범위를 고려하여 둘 必要가 있다. 또한, 말뚝을 사용하는 경우는 조사깊이를 支持層까지 하며 壓密沈下現象에 대하여는 그 층두께를 확인할 必要가 있다.

흙막이 構造物의 種類에 따른 地盤調査 項目은 표 1-2와 같다.

흙막이 壁이 축조될 수 있는가 여부의 판단,

표 1-2 地盤調査 項目

	物理特性	力學特性	壓縮特性	地下水	기 타
鋼 널 말뚝	△	○	○	○	○: 꼭 필요로 한 조사
地下連續壁	△	○	○	○	△: 가능하면 조사하는 것이 좋은 조사
Anchor 사용시	○	○	△	○	
기 타	-	○	-	○	

표 1-3 試驗項目

		物理特性	力學特性	壓縮特性	地下水
粘性土	室內試驗	<ul style="list-style-type: none"> ○ 粒度試驗 ○ 含水比試驗 ○ LL, PL 試驗 	<ul style="list-style-type: none"> 一軸壓縮試驗 ○ 三軸壓縮試驗 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 壓密試驗 ○ LL 및 含水比試驗 	<ul style="list-style-type: none"> 壓密試驗 透水試驗
	現場試驗		<ul style="list-style-type: none"> Vane 試驗 ○ DCPT ○ 平板載荷 試驗 말뚝載荷試驗 		
砂質土	室內試驗	<ul style="list-style-type: none"> ○ 粒度試驗 含水量試驗 	<ul style="list-style-type: none"> 三軸壓縮試驗 或 은 一面剪斷試驗 		
	現場試驗		<ul style="list-style-type: none"> 平板載荷試驗 말뚝載荷試驗 ○ SPT 或은 DCPT 	<ul style="list-style-type: none"> ○ SPT 或은 DCPT 平板載荷試驗 三軸壓縮試驗 或은 壓密試驗 	<ul style="list-style-type: none"> 現場透水試驗 粒度試驗 ○ 水位測定

○ 표시는 주로 사용하는 試驗方法이다.

DCPT : Dutch Cone Penetration Test

SPT : Standard Penetration Test

굴착에 따라 충분한 安定이 확보될 수 있는가, Boiling이나 Heaving이 發生하지 않을까 등의 要素를 눈여겨 볼 필요가 있다. 또한, 被壓地下水의 有無等과 함께 揚水試驗을 행할 必要가 發生할 경우도 있다.

위의 調查項目에 試驗方法을 보면 표 1-3과 같다.

(3) Borehole의 선정

현장여건에 따라 예비조사와 본조사 및 시공 확인 조사목적으로 보링을 하여 현장시험 및 시료채취에 의한 실험실 시험이 있겠으나 일반적으로 굴착공사와 지하구조물 시공에 따른 Borehole의 기능 및 역할을 표시하면 다음과 같다.

- 현장당 갯수는 3개 이상으로 지층의 변화 상태를 2방향으로 조사 할 수 있도록하고 조사 심도는 흙막이 벽체의 차수기능과 침하에 대한 지내력을 감안하여 최종굴착면 이하 충분한 깊이까지 조사한다.

- 암반이 출현하는 지역에서는 기반암의 3m

깊이까지 Core를 채취하여 확인하고, NX Type Size의 Diamond Bit를 사용하여 암반 R. Q. D 값과 강도측정에 알맞는 시료품질이 되도록 한다.

- 설계시 사용된 Borehole이 시공관리시 계측에 의하여 안전관리 역할도 할 수 있도록 미리 사용중 파손되지 않는 안전한 곳에 Borehole을 계획한다.

- 필요에 따라 대지 경계선 밖의 어스앵커 정착장 위치나 인근지반의 침하량 계산지점에 Borehole을 설치하여 보다 정확한 분석을 시행할 수 있다.

1.2.2 현장조사와 실내시험

일반적으로 토질조사 및 실내시험 자료는 건설부 발행 구조물 기초설계 기준에 제시된 방법을 참조하면 될 것이나 간략히 요약하면 다음과 같다.

a) 현장조사

- 표준관입시험 : Borehole을 이용하여 Split Spoon Sampler를 부착시켜 지반의 밀도 및 강도 측정의 자료가 되는 N 값을 얻는다. 연약지

반이나 전석이 섞인 지반에 적용함에는 문제 있음.

-정적관입시험 : 콘을 연속적으로 지반내 관입시킴으로써 선단저항력, 마찰력 및 간극수압을 동시에 측정가능, 강도정수 ϕ , c 값 추정 가능

-현장 베인시험 : 연약 점성토 지반의 비배수 전단강도 측정에 사용

-공내 재하시험 : 공내 수평재하시험으로 수평방향 지반반력계수(K_h)와 탄성변형계수(E_s)를 얻을 수 있다.

-지하수위 측정 : 지하수위와 Piezometric Head 결정

-현장투수시험 : Pumping well을 이용한 양수시험을 통하여 지반의 투수계수 결정.

-공내 탄성파시험 : 암반의 탄성파속도, 탄성계수(전단, 동적) 및 포아슨비를 추정할 수 있다.

b) 실내시험

① 토질시험

- 비중시험 (KSF-2308) } 흙의 분류
- 함수비 시험 (KSF-2306) } 및 물리적
- 입도시험 (KSF-2302) } 시험.
- 액성한계(KSF-2303) } 흙의 분류 및
- 소성한계(KSF-2304) } 강도 추정

-일축압축시험(KSF-2314) -점성토지반의 강도정수

-직접전단시험(KSF-2343) -사질토지반의 강도정수

-삼축압축시험(KSF-2346) -사질토 및 점성토지반의 강도정수

-압밀시험(KSF-2316) -점성토지반의 주변침하 예측

-투수시험(KSF-2322) -사질토 및 점성토의 유입량 산정

② 암석시험

- 비중 및 흡수율 시험
- 일축압축강도 및 삼축압축강도시험
- 탄성파 속도 측정
- 전단강도

1. 2. 3 설계강도 정수

현장시험이나 실내시험 자료분석으로 얻어

지는 결과가 흙막이구조물 설계강도 정수로 사용하기에는 아직 많은 의문점이 있으며, 과연 이러한 자료들은 구조물의 취약단면을 얼마나 정확히 대표해 줄 수 있는지, 그리고 국내 시공 현장에서 얼마나 계측결과와 잘 일치하고 있는지의 증명 여하가 설계의 안전성에 상당한 영향을 미치고 있으므로 신중한 채택과 검토가 뒤따라야 된다.

a) 사질토

표준관입시험을 통해 얻은 N 값을 이용하여 지반의 밀도와 전단강도 특성을 효과적으로 추정할 수 있다. 상대밀도 및 내부마찰각(ϕ)과 N 값과의 관계는 Peck 및 Meyerhof의 제안에 의하면 다음 표 1-4와 같다.

표 1-4 N값과 상대밀도 및 내부마찰각과의 관계

N값	상대밀도 D_r		내부마찰각(ϕ)	
			Peck	Meyerhof
0-4	매우느슨	0.0-0.2	28.5° 이하	30° 이하
4-10	느슨	0.2-0.4	28.5°-30°	30°-35°
10-30	보통	0.4-0.6	30°-36°	35°-40°
30-50	조밀	0.6-0.8	36°-41°	40°-45°
50이상	매우조밀	0.8-1.0	41° 이상	45° 이상

Dunham, 오오자끼, Peck 등이 제안한 공식 및 N값과 내부마찰각의 관계는 그림 1-1, 1-2와 같다.

한편 N값과 사질토의 내부마찰각과의 관계식으로는 다음식이 많이 사용된다.

-Dunham의 제안

$$\begin{aligned} \text{둥근 입자} \left[\begin{array}{l} \text{입도분포가 균등한 모래} \\ : \phi = \sqrt{12N} + 15 \\ \text{입도분포가 좋은 모래} \\ : \phi = \sqrt{12N} + 20 \end{array} \right] & (1-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{모난 입자} \left[\begin{array}{l} \text{입도분포가 균등한 모래} \\ : \phi = \sqrt{12N} + 20 \\ \text{입도분포가 좋은 모래} \\ : \phi = \sqrt{12N} + 25 \end{array} \right] & (1-2) \end{aligned}$$

-오오자끼의 제안 : $\phi = \sqrt{20N} + 15$ (1-2)

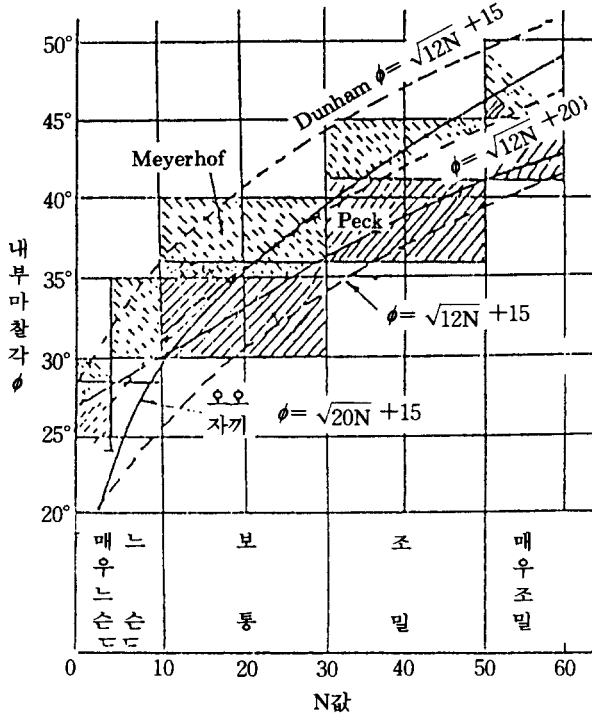


그림 1-1 N값과 내부마찰각과의 관계곡선

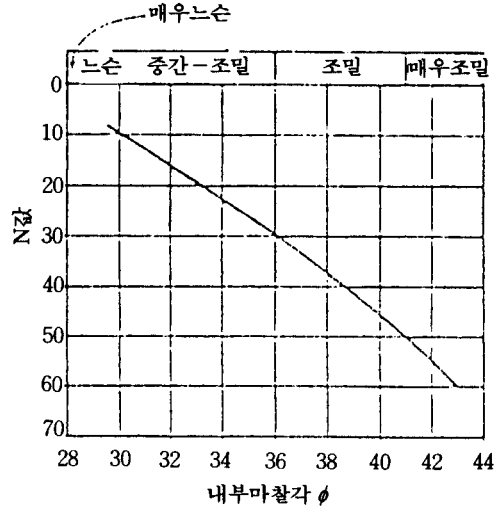


그림 1-2 사질토의 N값과 내부마찰각과의 관계 (Peck, Hanson, Thornburn)

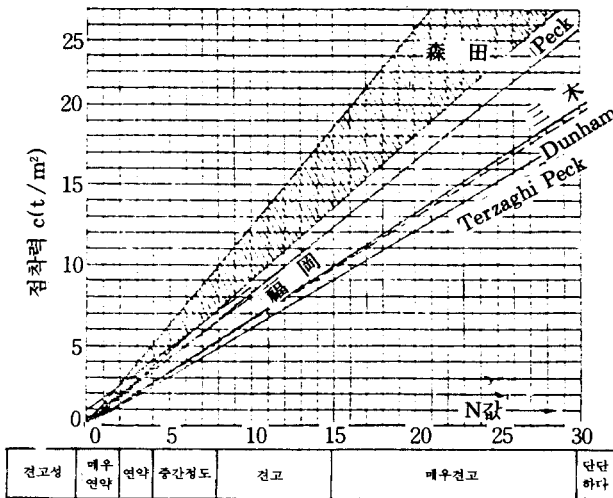


그림 1-3 N값과 점착력(c)과의 관계 (Terzaghi)

	一軸壓縮 強度 q_u (kg/cm ²)	비고
Terzaghi. Peck	$q_u = \frac{N}{8.2}$	$c = \frac{q_u}{2}$ 로 한다.
Peck	$q_u = \frac{N}{6}$	
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	
森田紀元	$q_u = \frac{N}{5.5}$	假比が 높은粘土 를 除外
福岡保	$C = 0.05 + 0.075N$ $C = 0.1 + 0.075N$	실패점도 ($N < 10$) 粘土 ($N < 10$)

b) 점성토

점성토지반에서의 표준관입시험결과인 N값은 신뢰성이 낮아 도심지 굴착공사나 근접시공이 요구되는 곳의 점성토는 정적관입시험, Vane Test 등의 현장시험과 불교란 시료에 대한 삼축압축시험 등을 시행하여 강도정수의 정확도를 증진시킬 필요가 있다.

그러나 기초계획단계의 개략설계에서는 강도정수를 N 값으로 부터 표 1-5와 그림 1-3과 같이 추정할 수 있다.

표 1-5 N값과 견고성 및 일축압축강도의 관계 (Terzaghi 와 Peck, 1948)

점토지반의 견고성	N 값	q_u (kg/cm ²)
매우 연약하다	<2	<0.25
연약하다	2-4	0.25-0.5
중 간	4-8	0.5-1.0
견고하다	8-15	1.0-2.0
매우 견고하다	15-30	2.0-4.0
단단하다	30 <	4.0 <
관계식		$q_u = N/8$

c) 암반

암반의 강도는 우선 암석의 공학적 성질로부터 추정될 수 있으며 가장 널리 사용되는 기준은 일축압축강도와 탄성계수이며 암석 분류에 사용되는 이들의 비교는 다음 표 1-6 및 1-7과 같다.

표 1-6 암석종류와 일축압축강도의 관계

암석 종류	일축압축강도 q_u (kg/cm ²)
극 경 암	2,240 이상
경 암	1,120-2,240
보 통 암	560-1,120
연 암	280-560
풍 화 암	280 이하

암석과 암반 참조(전설부 : 기술지도서 60)

표 1-7 암석분류용 탄성계수비

구 분	내 용	탄성계수비 E/q_u
H	높은비	500 이상
M	평균비	200-500
L	낮은비	200 이하

그러나 실제 흙막이 구조물에 작용하는 응력(암반의 수평력)을 계산하려면 이러한 암석의 특성 외에도 암석의 덩어리가 큰 경우는 암반 전체로서 굴착면을 향해 작용하는 활동의 가능성을 고려하는 것이 보다 합리적이라 생각된다.

풍화암이나 파쇄대가 발달된 연암에 대한 토압을 추정하기 위해 토질의 강도정수인 c, ϕ 를 사용하는 경우는 있으나, 암석 덩어리크기가 상대적으로 큰 연암에서 경암으로 이루어진 암반 굴착면은 암의 불연속면의 상태, 절리 및 균열, Joint의 간격, 불연속면의 경사각 등 지질자료를 분석하여 별도 보완조치를 필요에 따라 시행하는 것이 바람직 하겠다.

토압산정용 강도정수 c, ϕ 값 산정시 사용되는 암반의 분류방법은 대부분이 R. Q. D(Rock Quality Designation)와 암석강도, Joint간격과 상태, 지하수 등을 근거로 CSIR(South African Council for Scientific and Industrial Research) 분류, NGI(Norwegian Geotechnical Institute)분류, RMR(Geomechanics Rock Mass Rating)분류, GMR(Ground Mass Rating) 등이 있다.

이들 중 가장 널리 적용되고 있는 방법은 Bieniawski의 제시한 CSIR법으로 표 1-8에 나타낸 것이다.

그러나 암반에 대한 강도정수 c, ϕ 값의 적용에는 제한이 있을뿐더러 자연상태의 암반거동을 예측할 수 있는 사전조사가 만족스럽게 이루어질 수 없는 경우에는 현장에서 암반굴착공사 진행에 따라 노출된 암반상태를 확인하면서 보완 및 재설계를 필요에 따라 시행할 수 있다. 이때 흙막이벽 뒷부분의 암반거동은 Multipoint Extensometer 등 계측기의 도움으로 거동상태를 예측할 수 있다.

II 1-8 CSIR geomechanics classification of jointed rock masses A.

A. Classification parameters and their ratings

PARAMETER		RANGES OF VALUES					
1	Strength of intact rock material	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred	
	Uniaxial compressive strength	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa
2	Rating	15	12	7	4	2	1
	Drill core quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
3	Rating	20	17	13	8	3	
	Spacing of joints	> 3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	< 50 mm	
4	Rating	30	25	20	10	5	
	Condition of joints	Very rough surface Not continuous No separation Hard joint wall rock	Slightly rough surface separation < 1mm Hard joint wall rock	Slightly rough surfaces separation < 1mm Soft joint wall rock	Slickensided surfaces or Gouge < 5mm thick or Joints open 1-5mm Continuous Joints	Soft gouge > 5mm thick or joints open > 5mm continuous joints	
5	Rating	25	20	12	6	0	
	Inflow per 10m tunnel length	OR	None	< 25 liters/min	25-125 litres/min	> 125 litres/min	
5	joint water pressure	OR	0	00-02	02-05	> 05	
	RATIO major principal stress	OR	Completely dry	Moist only (interstitial water)	OR	OR	
5	General conditions	OR	Completely dry	Moist only (interstitial water)	OR	OR	
	Rating	10	7	4	4	0	

B. Rating adjustment for joint orientations

Strike and dip orientations of joints		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
Ratings	Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

C. Rock mass classes determined from total ratings

Rating	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Class No	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. Meaning of rock mass classes

Class No	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	10 years for 5m span	6 months for 4m span	1 week for 3m span	5 hours for 15m span	10 min for 0.5 span
Cohesion of the rock mass	> 300 kPa	200-300 kPa	150-200 kPa	100-150 kPa	< 100 kPa
Friction angle of the rock mass	> 45°	40°-45°	35°-40°	30°-35°	< 30°

The effect of joint strike and dip orientations in tunnelling

Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip		Drive against dip	
Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°
Favourable	Fair	Fair	Favourable
Very favourable	Favourable	Very unfavourable	Fair
		Very unfavourable	Irrespective of strike
			Dip 20°-45°
			Dip 0°-20°
			unfavourable

※ 1kpa ≐ 0.01kg/cm²

d) 탄성계수(E_s)

흙막이 벽체와 주변지반의 Computer model 화 작업시 지반의 강성을 탄성계수(E_s) 또는 포아슨비(μ)로 나타내거나 탄성 스프링 모델의 K_h 를 사용하여 토압과 변형을 계산하게 된다.

표 1-9 정적 탄성계수 E_s 값

토 질	E_s	
	Ksf	Mpa
점토		
매우연약	50-250	2-15
연약	100-500	5-25
중간	300-1000	15-50
단단	1000-2000	50-100
사질	500-5000	25-250
모래		
실트질	150-450	7-21
느슨	200-500	10-24
조밀	1000-1700	48-81
모래와 자갈		
느슨	1000-3000	48-144
조밀	2000-4000	96-192
점관암	3000-300,000	144-14,400
실트	40-400	2-20

※ 1ksf = 0.488kg/cm²

표 1-10 포아슨비의 범위

토 질	포아슨비(μ)
점토(포화)	0.4-0.5
(불포화)	0.1-0.3
사질점토	0.2-0.3
실트	0.3-0.35
모래(조밀)	0.2-0.4
조립(간극비=0.4-0.7)	0.15
세립(간극비=0.4-0.7)	0.25
암	0.1-0.4
얼음	0.36
콘크리트	0.15

표 1-11 표준관입시험 및 콘관입시험에 의한 E_s 추정식

토 질	SPT(kPa)	CPT
모래	$E_s = 500(N+15)$ $E_{s\ddagger} = 18,000 + 750N$ $E_s = (15,200 \sim 22,000) \ln N$	$E_s = 2 \sim 4q_c$ $E_s^\dagger = 2(1+D^2)q_c$
점토질모래	$E_s = 320(N+15)$	$E_s = 3 \sim 6q_c$
실트질모래	$E_s = 300(N+6)$	$E_s = 1 \sim 2q_c$
역질모래	$E_s = 1200(N+6)$	
연약점토		$E_s = 6 \sim 8q_c$
비배수전단강도사용시,		
점토	$I_p > 30$, 또는 유기질 점토	$E_s = 100 \sim 500c_u$
	$I_p < 30$, 또는	$E_s = 500 \sim 1500c_u$
	견고한 점토	
	$1 < OCR < 2$	$E_s = 800 \sim 1200c_u$
	$OCR > 2$	$E_s = 1500 \sim 2000c_u$

† Vesic(1970).

‡ D'Appolonia et al. (1970)

이들 지반강성계수들은 흙의 종류, 응력경로, 시험방법, 추정방법, 함수비의 변화, 시료교란상태, 응력과 변형상태 등에 따라 상당한 차이를 보일 수 있으므로 가능하면 현장시험이나 실내시험을 통해 정확하게 산정되어야 한다.

예비설계나 일반단면 가정의 계산시 사용할 수 있는 E_s 값과 포아슨비(μ)는 표 1-9 및 표 1-10과 같다. 또한 콘관입시험(CPT) 및 표준관입시험(SPT) 결과로부터 추정할 수 있는 E_s 값은 표 1-11에 있다.

e) 수평지반반력계수 (K_h)

수평지반반력계수 (K_h)는 말뚝이나 흙막이 벽체와 주변지반의 거동을 분석하기 위한 지반반력이론(subgrade reaction theory)적용시 사용된다. 지반-구조물 상호작용 모델이라 불리기도 한다. 이는 벽체의 변형량에 따라 토압의 크기가 변화될 수 있기 때문에, 흙막이벽 설계 방법 중 현실과 가장 잘 부합되는 방법으로 알려져 있어, 정확한 K_h 추정방법은 대단히 중요

하다.

① Terzaghi법

$$\text{점토지반} : K_h = \frac{P}{y} = \frac{1}{B} K_{h1} = \frac{1}{1.5B} K_{s1}$$

P=지반반력(t/ft²)

y=해당변위(ft)

K_{h1}=점토에 근입된 폭 1ft인 말뚝의 수평지반반력계수

B=말뚝 폭

K_{s1}=폭이 1ft이고 길이가 10인 구형 판의 수평지반반력계수

표 1-12 선행압밀점토의 K_{s1} 값(Terzaghi, 1955)

점토의 견고성	견고하다	매우 견고하다	단단하다
q _u (t/ft ²)	1-2	2-4	>4
\bar{k}_{s1} (t/ft ²)	5-100	100-200	>200
제안치 \bar{k}_{s1}	75	150	300

※ 1t/ft²=1.076t/m²

$$\text{사질토 지반} : K_h = \frac{P}{y} = m_b \cdot Z = n_b \frac{Z}{B}$$

m_b=수평지반반력계수와 깊이의 비

Z =수평변위 유발에 필요한 깊이

n_b=사질토에 근입된 폭 1ft인 말뚝의 수평지반반력계수

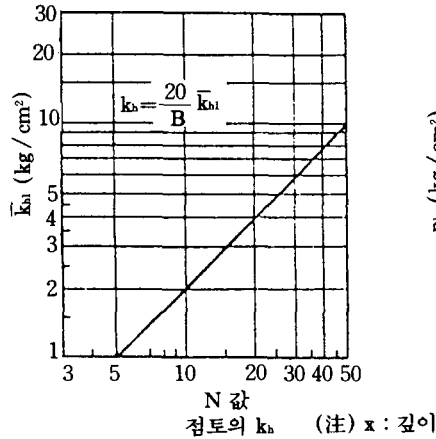


표 1-13 모래지반 속 말뚝의 n_b(t/ft³) (Terzaghi, 1955)

상대밀도	느슨	중간	조밀	
A의 범위	100-300	300-1,000	1,000-2,000	
제안치 A	200	600	1,500	
n _b	건조 혹은 습윤 모래	7	21	56
	수중모래	4	14	34

※ 1t/ft³=0.035t/m³ h_n = $\frac{Ar'}{1.35}$

② Francis(1964)법

$$K_h = 1.30^{12} \sqrt{\frac{E_s B^4}{E_p I_p}} \frac{E_s}{B(1-\mu^2)}$$

E_p, I_p=말뚝의 탄성계수와 단면2차모멘트

B=말뚝의 단면 폭

③ Chen(1978)법

Pressuremeter 시험에서 구한 E_s를 사용한다.

$$\text{사질토 지반} : K_h = \frac{3E_s}{B}$$

$$\text{점성토 지반} : K_h = \frac{1.6E_s}{B}$$

④ Bowles(1982)법

$$K_h = 80 \times (S.F) \times q_a + D q N_q \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

S.F=안전계수, q_a=c N_c+1/2BN_c

D=상수(40Kpa)

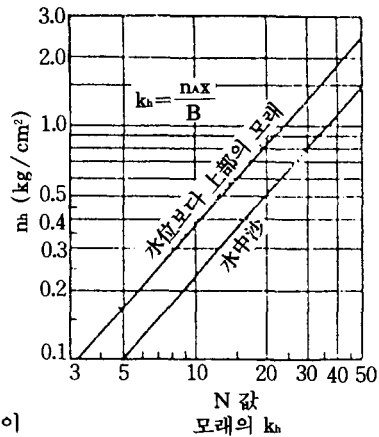


그림 1-4 모래와 점토의 N값과 수평지반반력계수와의 관계(Terzaghi)

표 1-14 K_h 의 범위(Bowles, 1982)

토 질	k_h (kcf)	k_h (MN/m) ³
조밀한 사질 자갈	1400-2500	220-400
중간밀도의 조립모래	1000-2000	157-300
중간밀도 모래	700-1800	110-280
세립 혹은 실트질, 세립 모래	500-1200	80-200
견고한 점토(습윤)	350-1400	60-220
견고한 점토(포화)	250-900	39-140
중간점토(습윤)	175-700	30-110
중간점토(포화)	75-500	10-80
연약점토	10-250	2-40

※ kcf=0.01602kg/cm³

⑤ Hukuoka법

$$K_h = 0.691 N^{0.406} (\text{kg/cm}^3)$$

N : 표준관입시험치

1.3 흠막이구조물의 선택

흠막이구조물의 시공과 굴착공사로 인하여 발생하는 주변지반의 침하와 그 밖의 피해를 최소화하고 소음, 진동 등의 공해문제를 계획, 설계단계에서 충분히 고려함으로 인하여 현장의 모든 여건에 부합될 수 있는 흠막이공법을 채택하여야 한다.

공법 선정시 고려해야 될 사항은 일반적으로 다음과 같다.

- 굴착심도 및 형상
- 지층상태와 지하수의 상황
- 주변 구조물 및 매설물 상태
- 인근 주민과 소음, 진동 등 공해 평가
- 시공시 배수 및 굴착방법
- 공사기간과 경제성
- 가설 및 영구 지하구조물 시공, 철거시 안전관리
- 주변의 유사조건에서 실시된 시공실적과 문제점 조사 결과

흠막이구조물의 선택은 대체로 차수성 여부와 벽체강성이 중요한 기준이 되고 있다. 공법

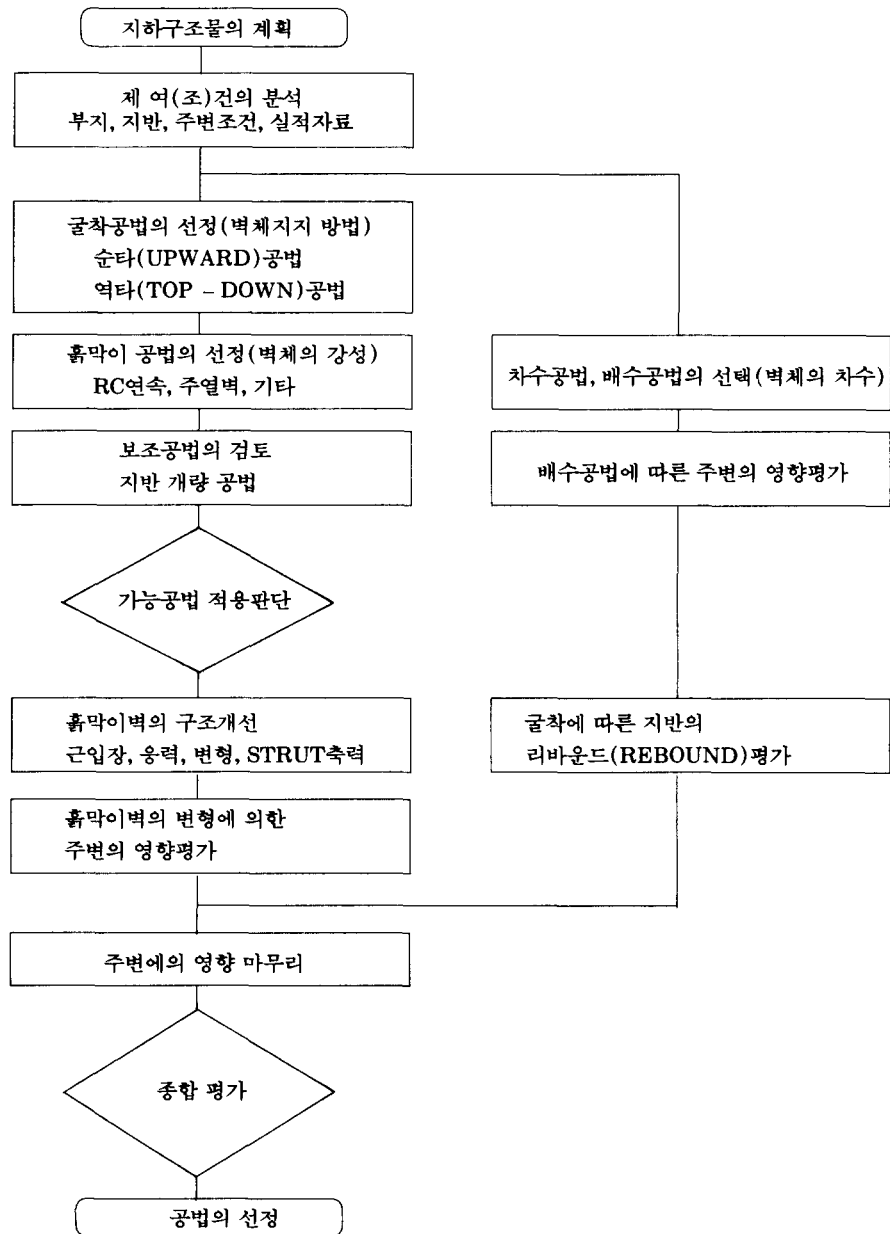
선정시 위의 조건을 대체적으로 만족시킬 수 있지만, 흠막이공의 종류와 특징이 다양함으로 신중한 검토 후 결정하여야 한다.

개착식 굴착공법의 일반적 비교는 표 1-15와 같으며 흠막이 공법선정의 흐름도는 표 1-16과 같다.

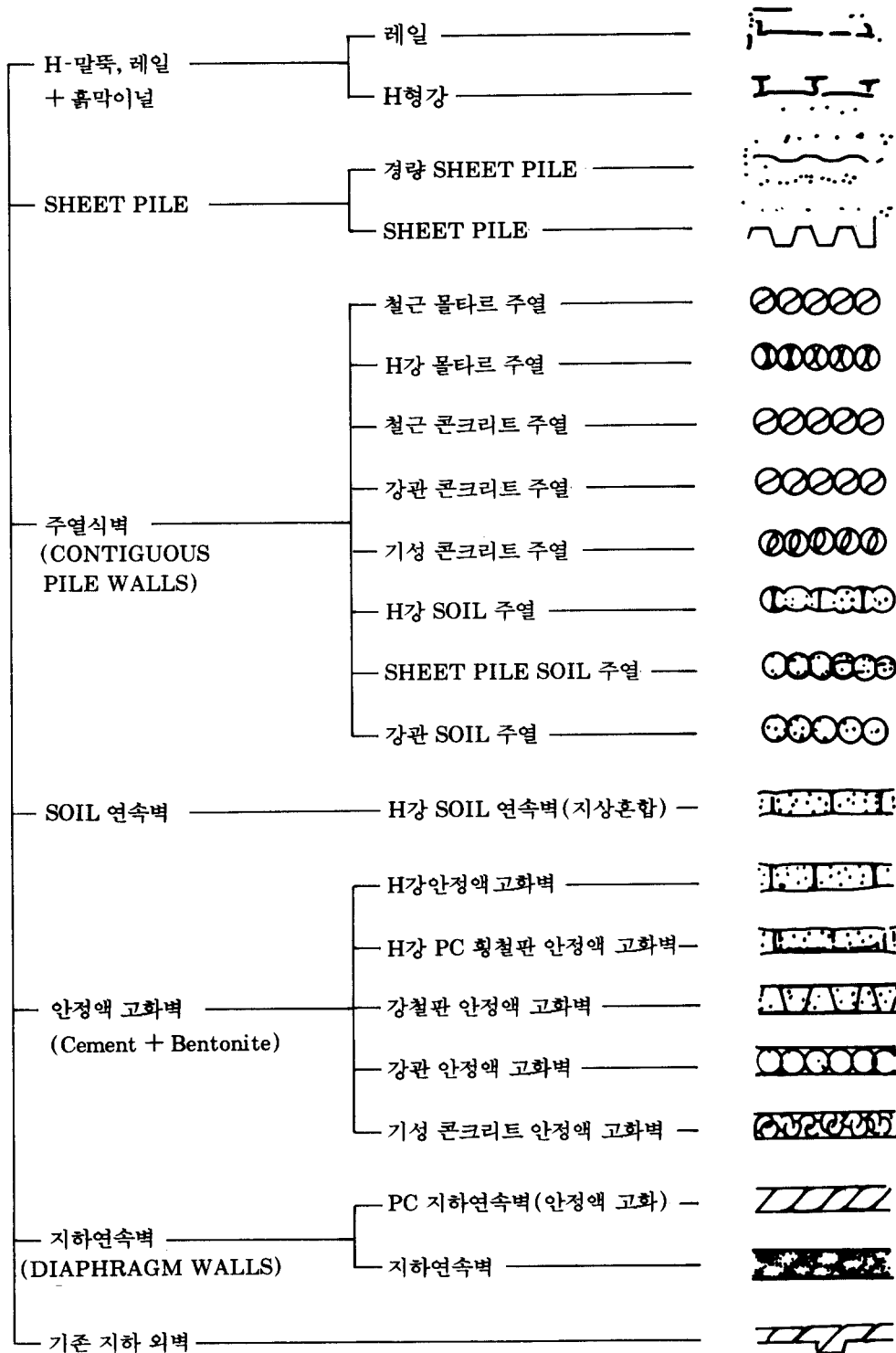
표 1-15 개착식 지하공법의 비교

굴착 공법	굴착 심도	지층 상태	시공 조건	지하 수위	경제성
강널발 뚫	20M 이내	비교적 조밀한 사질토 또는 암층, 단단한 점토 지반	공기에 유리, 작업이 간편, 하자 발생 요인이 많다.	지하수위가 있는 지반에서는 별도의 차수그라우팅 실시	양호
주열식 현장발 뚫 공법 (CIP)	20M 이내	토사 구간, 암층에서 시공이 곤란.	공기가 비교적 길다. 하자 요인이 적음.	말뚝이 음부에 보조그라우팅 실시	보통
슈트 파일 공법	15M 이내	토사구간, 암층은 시공 안됨.	공기에 유리, 시공관리 보통	벽체 자체로서 방수	보통
주열식 소일 시멘트벽 공법 (SCW)	30M 이내	토사구간, 암층은 시공 안됨.	공기에 유리, 하자 요인 적음	벽체 자체로서 방수	보통
지하 연속벽 공법	40M 이내	모든층에 적용	하자 요인 적음		불량

표 1-16 흙막이 공법의 선정 흐름도



1.3.1 흙막이벽의 종류와 특징



1) H-말뚝과 흙막이판(흙막이널)

H-말뚝 등의 엄지말뚝을 1-2m간격으로 설치하고 굴착과 동시에 이들 말뚝사이에 흙막이판을 시공한다.

장점

- 비교적 경제적인 공법이다.
- 단단한 지반에도 소음과 진동없이 시공 가능
- 시공완료후 회수해 재사용 가능
- 굴착과 동시에 벽체가 완성되므로 공기가 비교적 짧다

단점

- 차수성 벽체로는 부적합
- 흙막이판 설치시 여굴이 생겨서 주변지반의 이동과 침하 우려
- 근입부의 차수성이 나빠 Boiling, Heaving 현상이 생길 우려가 있음

2) 강 널말뚝 벽체(Sheet pile wall)

U형, H형, Z형 등의 단면인 널말뚝의 이음부를 엇물리게 연결하여 지중에 연속된 벽체를 타입하여 형성.

장점

- 차수성이 좋고 근입부분의 연속성이 유지된다.(실트나 느슨한 모래)
- 단면형성이 다양하고 재질이 균등하여 사용용도가 다양하다.
- 근입심도를 증가시킬 수 있어 비교적 연약한 지반에 대규모 시공 가능

단점

- 설치시 진동 및 소음문제로 도심지 굴착에서는 거의 사용 안함
- 단단한 지반이나 자갈, 전석이 섞인 지반은 시공 불가
- 인발시 배면지반의 이동으로 주변침하 우려
- 이음능률과 정밀도 문제로 깊은 굴착은 곤란(연성벽체)

3) 주열식 흙막이벽(Contiguous pile walls)

현장타설 콘크리트 말뚝을 연결하여 벽체를 형성하며 이들 말뚝내에는 철근 및 H형강 철골을 설치하여 벽체단면을 보강할 수 있다. 직경이 300~450mm가 많이 사용된다.

장점

- 비교적 차수성과 벽체강성이 좋다.
- 시공중 단단한 지반에도 소음, 진동이 거의 없다.
- 시공단면이 작아 인접구조물의 영향이 작고 천공벽의 붕괴 우려가 적다.
- 지지력을 향상시킬 수 있다.(경암까지 굴진 가능)
- 불균일한 평면형상에서도 쉽게 시공 가능

단점

- 깊은 심도에서는 시공 수직도 문제로 차수 그라우팅 보완 필요
- 공기가 길고 공사비가 증가된다.
- 일단 시공되면 철거가 어렵다.(남의 땅 일 경우 보상문제)
- 가설벽체로만 사용된다.

4) 지하연속벽(Diaphragm wall, Slurry wall)

Bentonite slurry의 안정액을 사용하여 지반을 굴착하고 철근망 삽입후, 콘크리트를 타설하여 지중에 철근콘크리트 연속벽체를 형성한다.

장점

- 차수성이 좋고 근입부의 연속이 보장됨
- 단면의 강성이 크므로 대규모, 대심도 굴착공사시 영구벽체로 사용될 수 있다.(Top down 공법 적용도 가능)
- 소음 및 진동이 적어 도심지공사에 적합하다.
- 대지경계선까지 시공가능하므로 지하공간 최대이용
- 강성이 커서 주변구조물 보호에 적합하며, 주변지반의 침하가 가장 적은 공법이다.
- 근입 및 수밀성이 좋아 최악의 지반조건에서도 비교적 안전한 공법이다.

단점

- 공기와 공사비가 비교적 불리(영구적 벽체사용시는 별도)
- 안정액의 처리문제와 품질관리 철저
- 상당한 기술축적이 요구된다.
- 실제상 보완점이 필요한 경우가 있을 수 있다.

표 1-19 각종 버팀(지지)공법의 개요와 특징

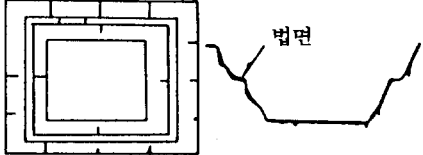
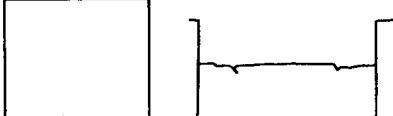

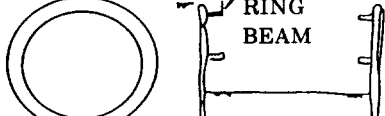





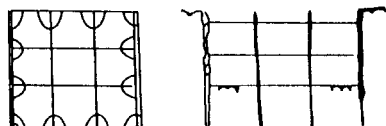
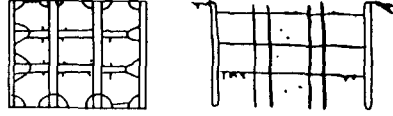

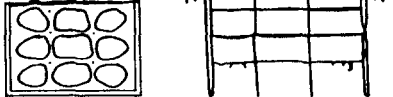
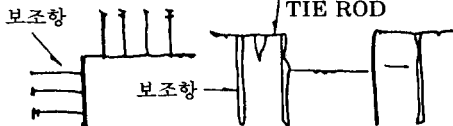
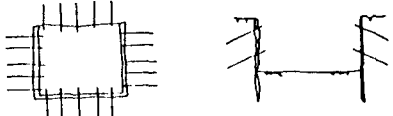

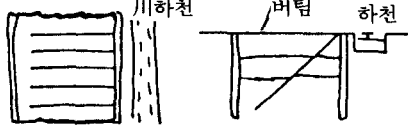
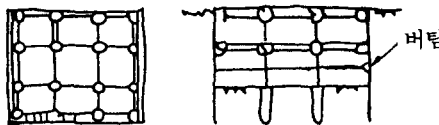

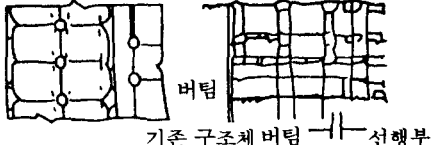
	개요	특성
① 사면 OPEN CUT		<ul style="list-style-type: none"> ·주변에 부지 필요 ·대규모 평면에 유리 ·능률적이며 경제적 ·배면 보강이 어렵다. ·지하수에 주의
② 차림		<ul style="list-style-type: none"> ·근입부 흙의 강도 필요 ·능률적이며 경제적 ·변형이 쉽다 ·사면 open cut와 병용 가능
③ 기존 구체 이용		<ul style="list-style-type: none"> ·잔여부분의 여유가 필요 ·활동에 대한 검토가 중요 ·가설적으로 이용
④ RING BEAM		<ul style="list-style-type: none"> ·원형 구조물에 최적 ·편도압에 주의 ·능률적이며 경제적 ·콘크리트 떠장이 일반
⑤ ISLAND 공법 I.		<ul style="list-style-type: none"> ·능률적이며 경제적 ·기초와 나머지 부분의 이용 시공이 필요 ·대평면에 유리
⑥ ISLAND 공법 II		<ul style="list-style-type: none"> ·아일랜드 공법으로 등장 ·반력부에 연구 필요 ·굴착이 어렵다.
⑦ ISLAND 공법 III.		<ul style="list-style-type: none"> ·역타와 병용 ·반력부에 연구필요 ·능률적이며 경제적
⑧ PS띠장 공법		<ul style="list-style-type: none"> ·경미한 흙막이에 사용 ·단부 마무리에 주의 ·굴착 용이
⑨ STRUT 공법 I		<ul style="list-style-type: none"> ·장형된 평면에 적합 ·편도압에 주의 ·능률적이며 경제적 ·옹력집중벽에 연구필요
⑩ STRUT 공법 II		<ul style="list-style-type: none"> ·가장 일반적인 공법 ·적용성이 넓다 ·배면 부터 보강이 쉽다 ·굴착이 어렵다 ·리스재 사용으로 경제적

표 1-19(계속)

	개 요	특 성
<p>⑪ 다단 SRTUT 공법Ⅲ.</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·⑩과 동일 원리 ·역타와 병용 가능 ·적용성이 넓다. ·굴착이 어렵다. ·리스재 사용으로 경제적
<p>⑫ 집중 SRTUT</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·강성이 크다 ·장대 스펠이 가능하고 굴착이 쉽다. ·고도의 시공관리가 중요 ·STRUT 제작이 번거롭다
<p>⑬ 철근 콘크리트 버팀</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·강성이 매우 크다 ·강도 발휘가 늦다 ·CREEP 변형 발생 ·PRE LOAD가 되지 않음 ·해체가 까다롭다.
<p>⑭ 보조말뚝 이용방법</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·보조 말뚝까지 거리 필요 ·흙의 강도가 필요 ·굴착이 쉽다. ·능률적이며 경제적
<p>⑮ 어스 앵커</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·앵커 설치 공간과 설치 허가 필요 ·정확성이 필요 ·대규모 평면에 유리 ·배면 보강이 어렵다.
<p>⑯ TIE ROD</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·구조물의 양측을 굴착할 때 사용 ·사이흙의 느슨함을 방지
<p>⑰ 역향 어스 앵커</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·축압의 불균형 해소 ·특수한 경우에 채용 ·신중한 검토가 필요
<p>⑱ 역타 공법 (TOP-DOWN)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·안전성이 최고 ·가설재의 절약 ·부정형 평면도 가능 ·공기 단축 가능 ·PRE LOAD가 어렵다
<p>⑲ 본체 철 골을 이 용한 버 팀</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·역타와 병용 가능 ·경제적 ·신중한 검토 필요
<p>⑳ 기존 구조체도 이용한 버팀</p>		<ul style="list-style-type: none"> ·ISLAND부의 공기 단축 가능 ·기존 구조체의 해체 수순 검토가 중요 ·고도의 시공관리 필요

4) 역타공법(Top down)

굴착작업 전에 영구구조물의 벽체와 기둥을 포함하는 기초를 완성하여 시공중 작용하는 수직구조물이 완료된 상태에서 지표면으로 부터 영구 지하바닥 슬래브를 시공하며 지하1층, 2층 순으로 건물을 시공하는 공법

장점

- 인접구조물의 보호와 연약지반등에서 가장 안전한 공법
- 지하구조물과 지상구조물을 동시 시공하면 공기 단축
- 도심지에서 소음, 분진, 진동등의 공해 피해를 줄인다.
- 시공된 슬래브를 작업공간으로 이용할 수 있는 전천후 작업
- 가시설이 전혀 사용되지 않아 깊은심도에서는 경제적이다.

단점

- 시공이 완료된 바닥 슬래브 아래에서 토공을 진행해야 됨으로 굴착작업 공기 및 공사비면에 불리하다.
- 시공중 토압 및 작업 하중을 영구구조, 슬래브가 지탱해야 됨으로 많은 구조 계산검토와 바닥두께를 증가시킬 필요가 생길 수 있다.
- 계측분석 및 시공관리를 철저히 해야된다.

각종 버팀(지지)공법의 개요와 특징이 표 1-19에 나타나 있다.

1.4 인접 구조물의 영향

1.4.1 개요

지하구조물 시공시 굴착과 더불어 생기는 벽체의 변형은 주변지반의 침하를 유발시킨다. 따라서 이 침하량을 최소화하여 주변구조물에 피해를 제거하여야 한다.

현재까지 소개된 토압이론이나 예측방법은 이 의문을 해결할 단계가 못되며, 아직은 유사한 토질조건에서 경험한 계측자료 분석에 의존하는 경향이 있다.

일부 기준침하자료 분석에 의하면 굴착공사 중 침하량보다는 지하수의 변화로 인한 침하량

이 더욱 심각함을 나타내고 있다.

飯吉은 주로 지하철 시공현장의 균열에 대한 연구에서 경험적으로 지하수위의 정도에 따른 균열거리(ℓ)와 굴착고(H)와의 관계를 다음과 같이 밝힌 바 있다.

- 지하수위가 높을때 : $\ell = 1.0 H$
- 지하수위가 낮을때 : $\ell = 0.5 H$

굴착폭은 침하에 그다지 영향을 미치지 않는다. 개착식 굴착에 있어서 흙막이벽으로 부터 2-4m 범위에서 최대지반침하가 발생하며 지반 침하영향장(L)과 굴착고(H), 최대침하량(δ)

표 1-20 각 지역에서의 최대침하량과 굴착고와의 관계

공사지역	공 구	굴착고 H(m)	최 대 침하량 δ_{max} (mm)	δ_{max} / H (%)
Oslo 지하철	Vaterland I	8.0	230	2.9
	Vaterland II	8.0	250	3.1
	Vaterland III	10.0	110	1.1
	Grönland I	8.0	190	2.4
	Grönland II	11.0	180	1.6
	Technical School	6.0	80	1.3
동 경 지하철	1k 575m	9.5	80	0.8
	2k 100m	9.4	87	0.9
	2k 225m	9.4	75	0.8
동경 시내	下町低地部	6.5	90	1.4
	山手臺地部	8.0	20	0.3

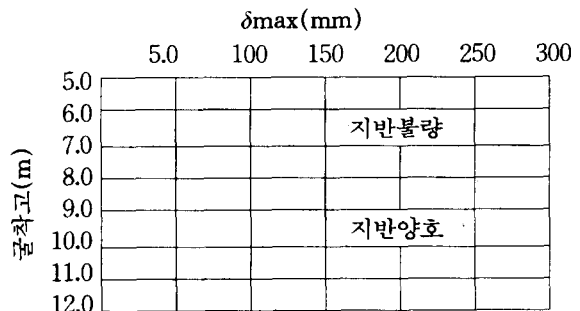


그림 1-5 최대침하량 δ_{max} 와 굴착고 H와의 관계

max)과의 상관관계는 다음과 같다.

1) 침하영향장(L : 토류벽으로 부터 침하량이 0인 점까지의 거리)과 굴착고 H와의 관계

-Oslo 지하철 : $L = (2.5-3.5)H$

-동경 지하철 : $L = 2.0H$

-동경시내 일반공사장 : $L = (2.5-4.5)H$

위 3개식을 지반의 양호와 불량에 따라 구분, 정리하면

-양호한 지반 : $L = (2.0-2.5)H$

-불량한 지반 : $L = (3.5-4.5)H$

2) 지반 최대침하량 (δ_{max})과 굴착고와의 관계

위 3개 지역의 지반최대침하량과 굴착고와의 관계를 정리하면 표 1-20과 같으며 지반의 양호, 불량에 따라 나타내면 그림 1-5와 같다. 그림 1-5를 식으로 나타내면 다음과 같다.

-양호한 지반 : $\delta_{max} = (0.3\%-0.9\%)H$

-불량한 지반 : $\delta_{max} = (1.5\%-3.0\%)H$

Peck(1969)이 현장계측을 토대로 작성된 굴착면에서부터 영향거리까지의 침하량을 지역 및 토질별로 분류한 바 있고 주변구조물을 고려한 Canada 시방규정(1985)에 의하면 앵커 벽체에 작용하는 토압의 예측은

- ① 벽체의 변형이 다소 허용될 경우 토압계수는 K_a (주동토압 계수)를 사용한다.
- ② 만약 주변 지하매설물이나 건물기초 위치가 벽체에서 거리 X 에 있을 때 $H < X < H/2$ (H 는 굴착깊이)이면 토압계수는 K 는 $K = 0.5(K_o + K_a)$ 을 사용한다. 여기서 K_o 는 정지토압계수이다.
- ③ 주변 구조물 기초위치(X) $< H/2$ 일때 토압 계수 K 는 정지토압계수 K_o 를 사용한다.

연약점토층과 단단한 점토층으로 구성된 지반의 굴착면을 널따닥과 Tie-back Anchor로 지지시켰을 경우를 조사하면 다음과 같다. 이 흙의 전단강도(c_u)는 $0.2-0.6 t/ft^2$ 였다.

설계시 추정된 점토의 전단강도를 $0.2t/ft^2$ 로 할 경우 벽체변형은 현장계측값의 3배나 컸으며 추정점토 강도를 $0.4 t/ft^2$ 로 하였을 경우

현장벽체의 변형자료와 가장 잘 일치되었다. 이 결과는 경험에 의한 흙의 전단강도 선택이 흙막이벽 설계에 상당한 중요성과 심각성을 나타냈고, 정확한 예측결과는 유사한 토질조건에서 얻어지는 상당량의 계측자료 분석이 실행되어야지만 가능하리라 생각된다.

굴착현장 주변구조물의 침하를 최소화하기 위한 방법중에는 강성이 좋은 영구지하슬래브를 시공하면서 상부구조물을 완성하여 하루로 내려오는 역타공법(Top-down method)이 안전한 방법으로 소개되어 있고, 어스앵커 사용하는 사전에 인장하여 뒷쪽으로 선행변형을 가함으로서 토압계수는 K_a 대신 K_o 로 설계되며 이때 벽체의 변형은 굴착깊이(H)의 0.2%에서 0.1%로 줄일 수 있다.(Foundation Engineering Manual, Canadian Genadian Geotechnical Society, 1985)

1.4.2 인접 구조물의 침하유발요소

- 지하굴착깊이와 크기가 클수록 침하량과 영향장이 크다.
- 벽체나 벽체저부로 통과되는 지하수 및 굴착내부로 유출되는 토사량 이동.
- 연약 점토질에서 진동에 의한 Mud wave 영향 (항타 및 굴착진동)
- 느슨한 실트, 사질토에서 Liquefaction 영향.
- 벽체의 두께는 주변지반의 허용침하량과 벽체의 응력상태에 따라 결정된다.
- 토압의 선정방법(주변구조물 하중 포함)
 - : -지반과 지지조건 참조.
- 벽체의 허용응력(장기, 단기 강도) : -시공중과 영구적 구조체일 경우.
- 지하벽의 거동에 따른 토압의 변화 예측. 지지체와 벽체의 강성과 선행하중(Anchor의 경우)의 영향.
 - (장기, 단기 토압변화, $K_a \rightarrow K_o$)
- 계절적 지하수위의 유동과 시공중 작용할 수 있는 최대 하중상태의 예측(간극 수압 예견)
- 설계 모델 선정(탄성, 탄소성 설계법) : -토질과 벽체거동 참조

1.4.3 계획 및 설계시 장애요인 해결사항

흙막이 벽체를 가설로 사용하거나 영구적 차수벽 형태인 지하연속벽등으로 설계시는 이들 구조물의 안전성과 주변영향 평가를 철저히 실시한 후 정확한 자료에 의하여 설계되어야 한다.

특히 연약지반 지역이나 지하매설물이 많은 지대, 건물이 밀집한 도심지역, 지형의 굴곡이 심한 지역은 설계상 많은 문제점을 예견할 수 있다.

- 지형, 지질 및 토질조건이 선택된 공법과 부합여부와 예상 문제점들의 분석
- 암반의 굴착과 말뚝시공시 진동 및 소음영향 평가.
- 암반을 포함한 지층상태에 부합되는 지하실 깊이의 관계
- 정확한 토질설계정수를 추정기 위한 실내역학시험과 현장시험
- 인근 구조물의 특징 및 종류와 지하 매설물의 위치파악
- 토질에 알맞는 흙막이벽 형태 결정(연약 점토지반에서는 강성이 큰 Diaphragm wall 시공으로 변형을 감소시킴)
- 시공 난이도와 경제성(주변 과잉침하시 손해배상 포함고려)검토.
- 버팀부재(Strut, Earth Anchor나 영구 Slab)의 선택과 배치방법
- 굴착깊이와 흙막이구조벽체의 깊이 설계(지지층과 불투수층까지 연장 필요성 검토, 기초밀 밀어넣기 안정검토)

참고문헌

- 1) Bieniawski Z. T. : "Rock mass classification in Rock Engineering", Proc. Symposium Exploration for Rock Engineering. Johannesburg, Vol.1, 1976.
- 2) Bowels, J. E. : "Analytical and Computer

Methods in Foundation Engineering", McGraw-Hill, 1974.

- 3) Legget, R. F, and Karrow, P. F. : "Handbook of Geology in Civil Engineering", McGraw-Hill, 1983.
- 4) NAVFAC DM 7.1, 7.2, 7.3, 1983, April.
- 5) Tomlinson, M. J. : "Foundation Design and Construction", 4th ed. Pitman 1980.
- 6) 김학문 : "지하 구조물 설계 및 시공 기술", 현대 경영 개발원, 1990.
- 7) 김학문 : "도심지 근접 시공법", 현대건설 기술 연수부, 1989.
- 8) 김학문 : "특수기초", 건설기술 교육원 보수교육 기사특별과정 토목Ⅱ, 1989.
- 9) 이종규, 정형식, 백영식, 김학문 : "POSCO 경영정보 센터 흙막이 구조물 안전 진단 보고서", 대한토목학회 출간 예정, 1991.
- 10) 이수곤 : "경부고속도로 수원-남이간 확장공사 실시 설계를 위한 토목지질 조사 보고서", 한국 동력 자원 연구소, 1991.3.
- 11) "지하 가설 구조물의 설계 계산예", 건설도서, 토목구조를 설계계산에 시리즈 ⑦, 1988.
- 12) "기초 흙막이 구조 설계 자료", 건설부, 1984. 11.
- 13) "구조물 기초 설계 기준", 건설부, 1986. 11. 개정
- 14) "최신 기초 설계. 시공 핸드북", 임태준 역, 건설 문화사, 1984.
- 15) 홍원표 : "흙막이工法", 三星綜合建設株式會社 專門實務教材, 1985.
- 16) 홍원표 : "都市內地下掘鑿의 安全性 및 影響", 大林技術情報, pp. 1~11, 1989.
- 17) 姜秉熙 · 洪元杓 · 崔廷凡 : "유니온센터오피스텔 新築工事 地下掘鑿에 따른 隣接建物の 安全性 檢討 研究 報告書", 대한토목학회, 1989.
- 18) 姜秉熙 · 洪元杓 · 崔廷凡 : "漢陽流通永東店 增築工事 地下掘土에 따른 安全性 檢討 및 對策 研究 報告書", 대한토목학회, 1989.
- 19) 洪元杓 · 李寅模 · 崔廷凡 : "水協中央會電算센터 新築工事 地下掘鑿에 따른 隣接建物の 安定性 檢討 研究 報告書, 大韓土木學會, 1990.
- 20) 백영식 · 홍원표 · 채영수 : "한국노인복지 보건의료센터 신축공사장 배면도로 및 매설물 파손에 대한 검토 연구 보고서, 대한토질공학회, 1990.