

흙막이 구조물(Ⅷ)

김 학 문*

10. 地下連續壁 構造 壁體

10.1 개요

가설 토류벽중에서 차수와 벽체의 강성을 대체적으로 만족시킬 수 있는 벽체구조로는 원형 현장타설 철근 혹은 철골 콘크리트 pile을 연결하여 벽식토류벽을 형성하는 주열식 토류벽(contiguous pile walls)과 안정액을 이용하여 지반을 굴착하고 철근망 근입과 현장콘크리트 타설로 철근콘크리트 지하연속벽(diaphragm wall 혹은 slurry wall)을 형성하는 벽식토류벽 등이 도심지나 깊은 굴착에 가장 일반적으로 사용되고 있다.

주열식 토류벽은 비교적 암반이 높은 건물밀집지역에서 저소음, 저진동으로 인접구조물에 영향이 적은 반면에, 도심도에서의 수직도, 공기와 가설벽체로 철거가 곤란한 문제점을 보완하고 보다 차수성이 높고 가설벽체 기능뿐만 아니라 영구적인 본체구조물로서 혹은 본체구조물의 일부로서 사용할 수 있는 구조벽체로서의 지하연속벽 공법에 대한 요구가 높아지고 있다. 지하연속벽 공법은 도심지 도심도 굴착에서 주변지반의 이동 및 침하, 인접건물의 영향과 소음, 진동 등 환경문제를 해결할 수 있는 대책방안으로 가장 먼저 고려해 볼 수 있으나 암반이 높은 지역에서는 이 공법에 대한 경제성과 공사기간의 검토가 필요하다.

벽식 지하연속벽 공법은 1914년 이후 석유시추공 안정에 사용하였던 슬러리(slurry)를 사용하여 1953년 Veder가 ICOS-VEDER 공법으로 특허를 얻어 1957년 이태리 Milano 지하철 공사에 성공적으로 적용하였으며 국내에서는 1979년 삼성종합건설이 건물공사에 처음으로 시도하였다.

이 공법의 1984년 부산지하철 건설당시 전적으로 매립된 연약점토층의 도심도 굴착에서 가설 토류벽과 본체구조로서의 도심지 근접시공에서 각광을 받은후 지하철, 지하도로, 지하주차장, 지하상가, 건축구조물의 지하실, 안벽, 호안, 각종 기초구조물등에 확대 보급되고 있다.

1970년대초 불란서 Soletanche 사에서 처음 시공한 Precast 지하연속벽은 현장타설 지하연속벽의 문제점들을 보완하는 공법으로 최근 홍콩에서 지하 2~3층의 지하 본체구조물로 많이 사용되고 있다.

최근 대형화 복잡화 되어가는 도심지 지하구조물 공사를 보다 안전하게 지하연속벽 공법과 병행하여 시공할 수 있는 Top-Down공법(역타공법)도 간략하게나마 소개하고자 한다.

10.2 벽체의 특징 및 시공방법

10.2.1 벽체의 특징

지하연속벽(diaphragm wall, slurry wall) Bentonite Slurry의 안정액을 사용하여 지

* 정희원, 단국대학교 공과대학 토목공학과 부교수

반을 굴착하고, 철근망을 삽입하고 콘크리트를 타설하여 지중에 철근콘크리트 연속체를 형성한다. 일반적인 장점과 단점을 열거해 보면 다음과 같다.

• 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 유리하다.

-대지경계선까지 지하공간 이용

-강성이 크므로 주변구조물 보호에 적합하며, 주변지반의 침하가 가장 적은 공법이다.

-근입 및 수밀성이 좋아 최악의 지반조건에서도 안전한 공법이다.

• 단점

-공기와 공사비가 일반 가시설 토류벽 보다 불리(단, 영구적 벽체로 사용시는 별도)

-안정액의 처리(환경보호 측면)

-상당한 시공기술과 품질관리가 요구된다.

-영구 구조물로서의 설계상 보완점이 필요한 경우가 있다. 국내에서 일반적으로 사용되는 연속벽의 두께는 60cm, 80cm, 100cm가 있다.

10.2.2 시공방법

1) 현장타설 벽식 지하연속벽(Diaphragm Wall)

그림 10. 1의 시공단계별 공정에서 보는바와 같이 Grab으로 판넬을 굴착한후 end-pile과 철근망을 건입하고 트레머 파이프를 콘크리트를 타설하고 있다.

판넬모양은 그림 10. 2에서와 같이 본체구조물이나 가설벽의 형상에 따라 쉽게 조절이 가능하다. 설계나 시공조건을 감안하여 판넬의 모양과 크기를 조절하며 현장타설벽체 말뚝역할도 할 수 있어 기둥하중을 받을경우 Bar-

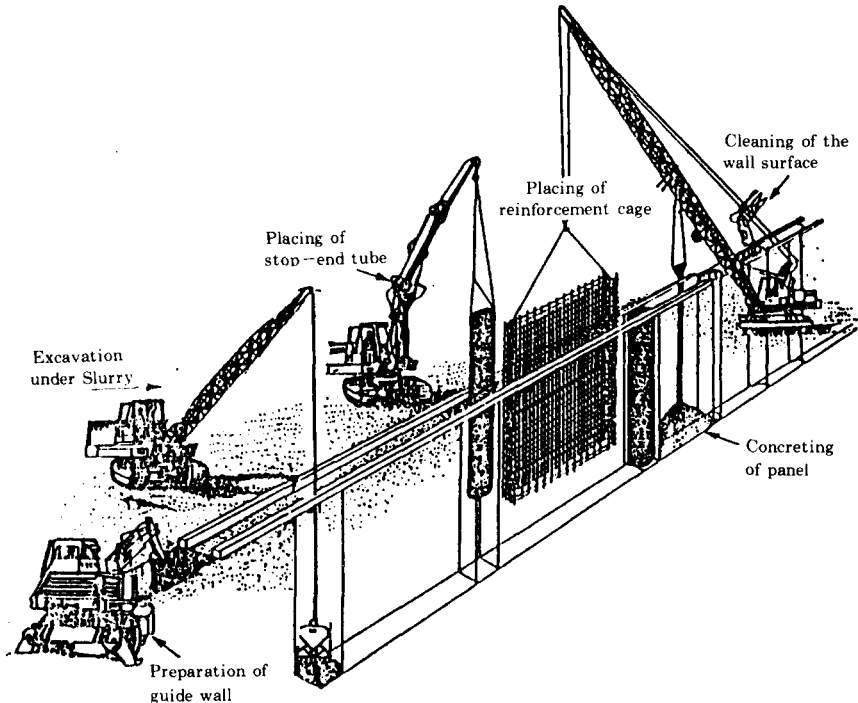


그림 10.1 지하연속벽 시공단계별 공정

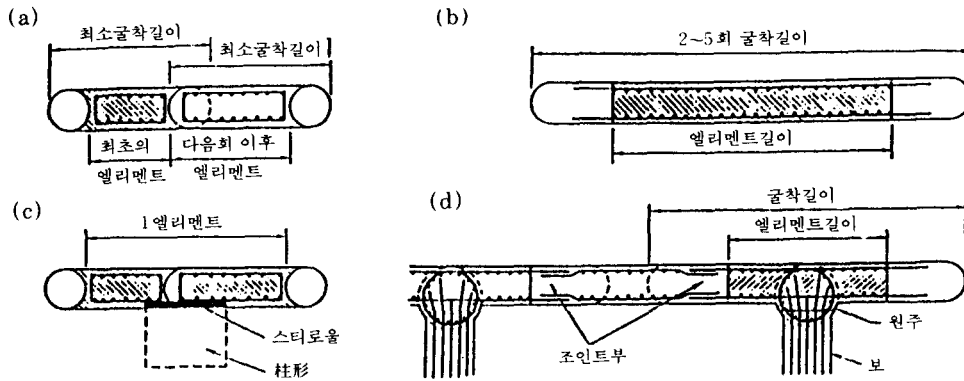


그림 10.2 판넬모양과 크기

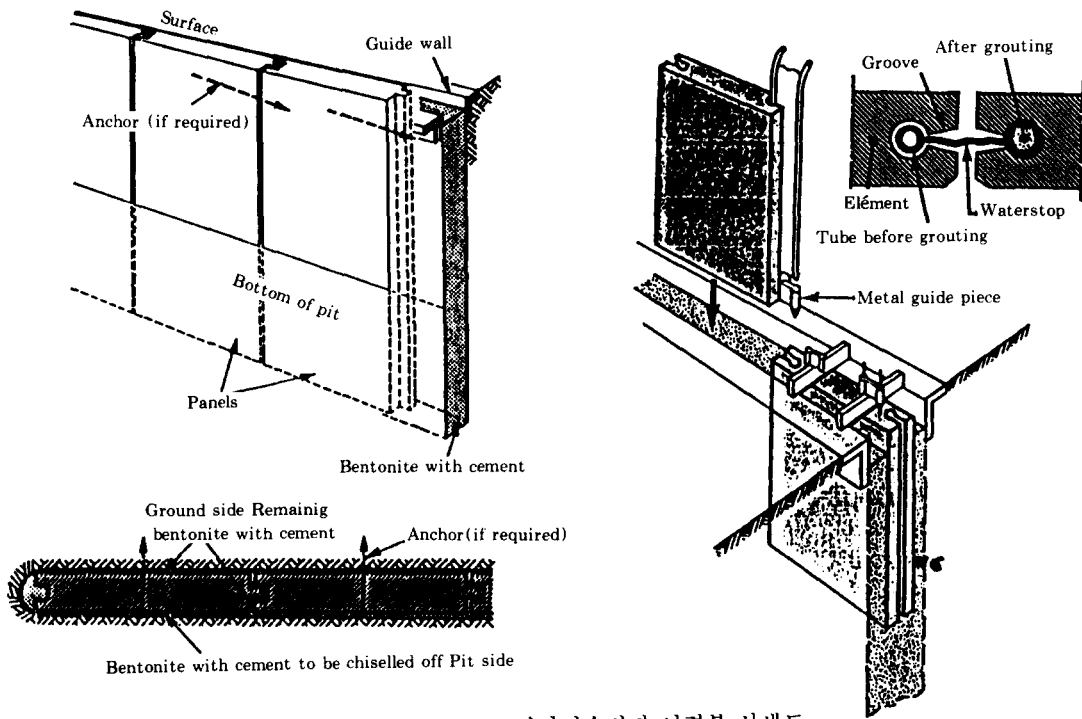


그림 10.3 P.C 지하연속벽과 연결부 상세도

rette 기초로 설계할 수도 있다.

2) Precast 지하연속벽(Prefabricated P.C)

판넬의 지하연속벽은 자경성(self hardening) 안정액을 사용하여 굴착한후 두께 20~60cm의 지상에서 제작된 P.C Panels을 굴착된 Trench 내로 진입하여 연속된 조립식 지하벽

체를 형성한다.

P.C Panels 벽체는 콘크리트의 현장타설 공정을 줄이고 얇고, 품질이 양호하며 표면이 매끈한 본체벽을 빠른 속도로 시공할 수 있는 반면 지하 3층 이상의 심도나 P.C 양생현장이 없을 경우는 적용이 곤란하다.

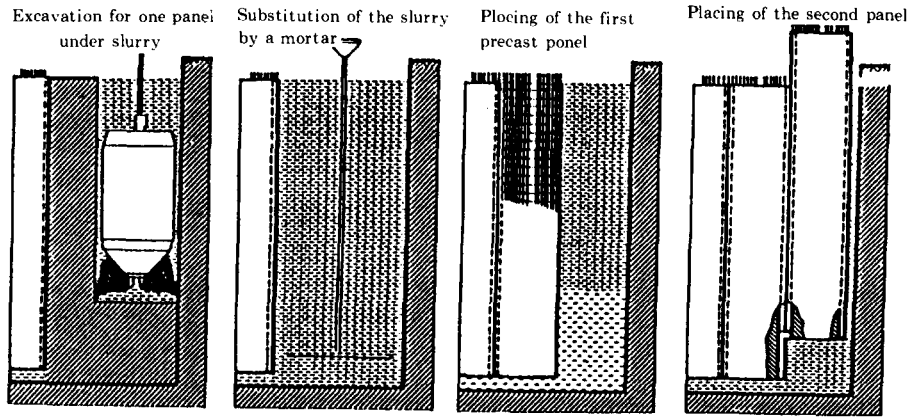


그림 10.4 P.C 지하연속벽 시공순서

10.3 설계조건 및 굴착면의 안정

10.3.1 설계계획 및 조건

지하연속벽 설계시 토류벽의 기능을 어떻게 부여하느냐에 따라서 조사방법의 범위가 결정된다. 가시설 토류벽 역할만 할 것인지 또는 영구벽체의 기능을 함께해야 되는 경우인지를 설계단계에서 확정후 그에 적합한 지형 및 지질 조사와 인접구조물이나 지하매설물에 미치는 영향평가가 검토되어야 한다.

특히 연약지반이나 지하매설물이 많은 지역, 건물이 밀집한 도심지역, 지형의 굴곡이 심한 지역등은 설계상 다음과 같은 문제점들을 예견할 수 있다.

- 지형, 지질 및 토질이 선택된 공법과 부합되는지 또는 문제점들을 분석
- 암반의 굴착과 Pile공사시 진동과 소음영향
- 암반을 포함한 지층상태와 지하실 깊이와의 관계
- 정확한 토질(지반) 정수를 추정키 위한 실내 역학실험
- 인근 구조물의 특징 및 종류와 지하매설물의 위치 파악
- 토질에 알맞은 토류벽 형태 결정(연약점토 지반에서는 강성이 큰 diaphragm wall 타입으로 변형을 감소시킴)

- 시공 난이도와 경제성(주변 과잉침하시 손해배상 포함 고려)

- 지지부재(strut, earth anchor나 영구 slab)의 선택과 배치방법

- 굴착깊이와 토류구조벽체의 깊이 설계(지층과 불투수층까지 연장 필요성 검토, 기초 밀내기 검토)

- 벽체의 두께는 주변지반의 허용침하량과 벽체의 응력상태에 따라 결정한다.

- 토압의 선정방법(주변 구조물 하중포함) : 지반과 지지조건 참고

- 벽체의 허용응력(장기, 중·단기 강도) : 시공중과 영구적 구조체일 경우

- 지하벽의 거동에 따른 토압의 변화예측
지자체와 벽체의 강성과 선행하중(anchor의 경우)의 영향

(장기, 단기 토압변화, $K_a \rightarrow K_c$)

- 계절적 지하수위의 변동과 시공중 작용할 수 있는 최대하중상태의 예측(간극수압 예견)

- 설계모델 선정(탄성, 탄소성 설계법) : 토질과 벽체거동 참조

1) 조사 및 공사계획

- 지형, 지세의 특징

지층의 형성과정, 경사구배, 지하수 및 피압수, 매립토사의 종류와 규격 지하수의 유동상태

-지반조건
지층의 혼합상태

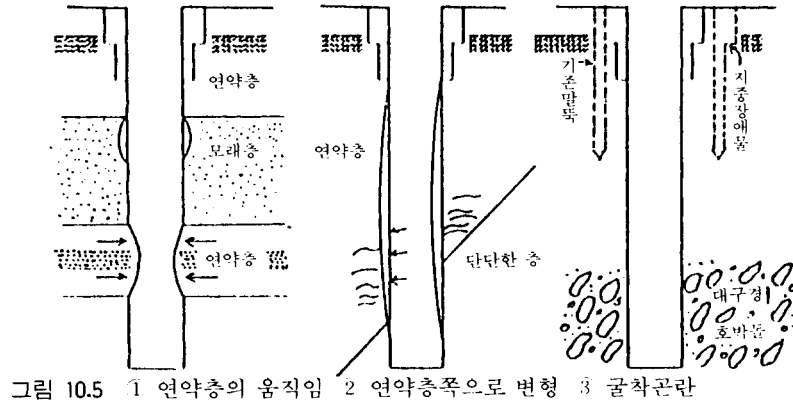


그림 10.5 1 연약층의 움직임 2 연약층쪽으로 변형 3 굴착공란

-지하수의 조건

토질보고서의 지하수위는 조사기간만 대표할 수 있으므로 계절적인 수위변화를 조사하여 공사기간에 작용할 수 있도록 최대수위를 설계에 적용할 것

-지하수질의 영향

안정액의 생산은 반드시 맑은물(오염안된)을 사용해야 하며 염분농도가 심한 해안가나, 지하수가 화학적으로 오염된 오물 매립장이나 Ca, Mg, Al 등 염류농도가 큰 Salt질 지반은 화학적 오염에 문제가 될 수 있다.

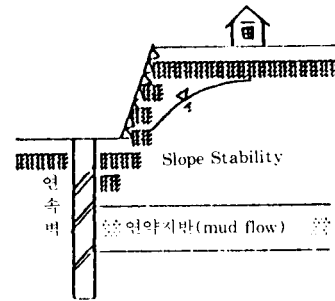
-토질조사 및 설계자료 수집

표준관입시험, Cone 관입시험, sampling 및 실내시험, 입도, 소성시험, 전단(압축, 삼축)시험, 암반의 경우 Core 샘플링(C.R와 R.Q.D 값)

주로 지층구성과 흙의 물리적, 화학적 분석, 지하수의 상태가 중요시 된다.

2) 인접구조물 및 주변침하 매설물 조사

-주변지반의 침하가 제한된 지역



-주변구조물의 안전보완 요구지역

-주변구조물의 허용침하량 산정

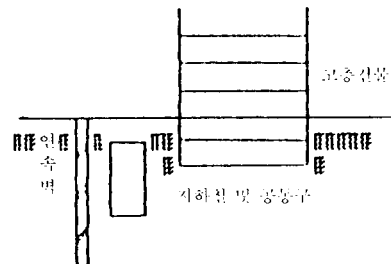
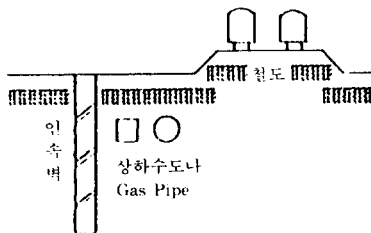
-변형의 예측으로 확실한 지지공법 적용

-Underpinning도 가능

-연약점토(mud wave 영향)

-느슨한 모래나 실트질이 지하수 아래 있을 때(지하수 유동의 침하 및 liqulfaction 조심)

-진동과 소음 제한지역



10.3.2 굴착면의 안정

지하연속벽 시공시 주변지반의 침하 및 거동을 최소화하고 영구벽체로서 안정된 지하구조벽체를 형성하기 위하여 굴착중 Trench내에 작용하는 안정액의 설계와 굴착면의 안정은 대단히 중요하다.

Trench내의 굴착면 안정은 주로 안정액 (bentonite slurry)의 정수압이 그림 10. 6과 같이 지반내에 불투수막(filter cake)을 통하여 측벽에 작용하는 토압과 지하수압을 조건으로 얻어진다.

안정액 외에 굴착면안정에 도움을 주는 요인 들로는 아래와 같으나 일부는 정량적 계산이 곤란하여 무시하는 수가 많다.

- ① 안정액의 정수압 : 불투수의 Filter Cake를 통해 전달(75~90%의 안정효과)
- ② Trench내에 있는 안정액의 전단저항력
- ③ 불투수막 (filter cake)의 강도 : 흙의 공극에 침투된 Gel 상태의 Cake와 굴착면 표면에 형성된 Surface Cake
- ④ 굴착면 상부를 지지하는 Guide Wall : 평균깊이 1.5m
- ⑤ 안정액이 띠고 있는 정전기적 힘 (electrostatic effects)
- ⑥ Arching Action

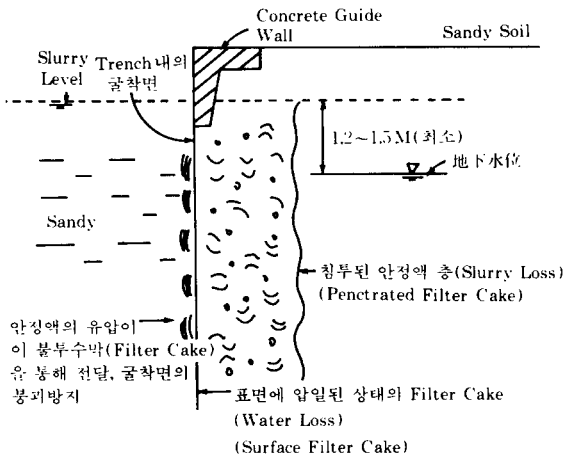


그림 10.6 안정액의 치수역할

1) 점토질 굴착면의 안정

Nash와 Jones(1063)가 발표한 점토질에서의 공식은 아래 조건하에서 안정공식이 전개된다.

-Limit States (equilibrium from Coulomb Wedge 이론) 사용

-점토의 전단강도(τ_u)는 C_u (undrained cohesion) 사용, 내부마찰각 $\phi = 0, \theta = 45^\circ$

-불투수 Filter Cake로 인하여 점토내의 양수비나 Pore Pressure에 변화 없음

$$S.F = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{4C_u}{H(\gamma - \gamma_f)} \quad (\tau_u = C_u)$$

$$\therefore H_{cr} = \frac{4C_u}{\gamma - \gamma_f} \text{ or } \gamma_f = \gamma - \frac{4C_u}{H}$$

γ_f = 안정액의 단위체적중량 (t/m^3)

γ = 점토의 단위체적중량 (t/m^3)

C_u = 점착력 (undrained) (t/m^2)

S.F = 안전율

H_{cr} = 한계높이 (critical height)

-상부재하중 (q)이 있을 경우 :

$$\therefore H_{cr} = \frac{4C_u - 2q}{\gamma - \gamma_f} \text{ or } \gamma_f = \gamma - \frac{(4C_u - 2q)}{H_{cr}}$$

위의 공식에 의하면 흙의 단위중량 (γ) = $1.9 t/m^3$, 점착력 (C_u) = $3 t/m^2$ 을 가진 점토층을 15m까지 굴착하였을때 요구되는 안정액의 단위중량 (γ_f) = $1.1 t/m^3$ 이 된다.

2) 사질토 굴착면의 안정

가정조건은 점토질의 안정해석에서의 것과 유사하며 단, 전단응력은 $\tau_R = \sigma \cdot \tan \phi' + C'$ 를 사용하였고, Limit State 설계법으로는 평면 (2D) 해석으로 단순화 하였음. (그림 10. 7 참조)

$$SF = \frac{P_f \sin \alpha \tan \phi' + W \cos \alpha \tan \phi' - U \tan \phi'}{(W \sin \alpha - P_f \cos \alpha)}$$

여기서, $W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cot \alpha$

$$P_f = \frac{1}{2} \gamma_f (nH^2)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w (mH^2) \operatorname{cosec} \alpha$$

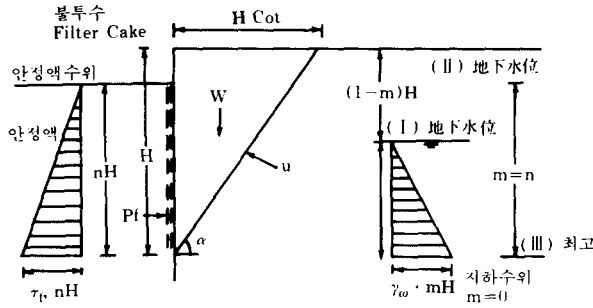


그림 10.7 사질토 굴착면의 안정 모델

- ㉑ 지하수위가 안정액의 수위와 같을 경우 (submerged sand) 위의 공식을 풀면 ($m=n=1$)

$$S.F = 2 \frac{\sqrt{(\gamma' \cdot \gamma_f')}}{\gamma - \gamma_f'} \times \tan \phi'$$

$$(\gamma' = \gamma - \gamma_w, \gamma_f' = \gamma_f - \gamma_w)$$

- ㉒ 지하수가 없을 경우 (dry soil) 위의 공식을 풀면 ($m=0, n=1$)

$$S.F = 2 \frac{\sqrt{(\gamma \cdot \gamma_f')}}{\gamma - \gamma_f'} \times \tan \phi'$$

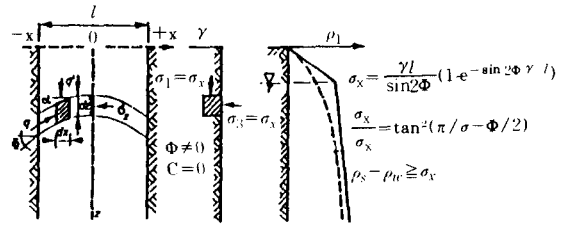
예를 들면 지하수위가 안정액의 수위와 같은 경우 (i.e. submerged sand) $S.F=1$, $\gamma'=1.0$ t/m^3 , $\phi'=32^\circ$ 인 사질토가 필요로 하는 안정액의 단위중량은 $1.32 t/m^3$ 이상 되어야 한다. 그러나 이 값은 콘크리트 타설시 요구되는 최대의 안정액 요구중량 $1.1 t/m^3$ 보다 상당히 높다.

그러므로 실제 시공상의 안정액 수위는 지하수위보다 $1.2 \sim 1.5m$ 이상 높아야 한다.

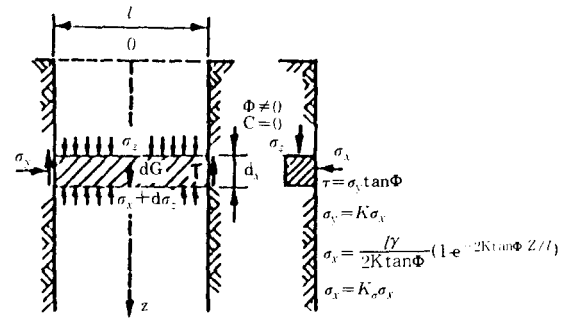
3) Arching을 고려한 안정설계

지하연속벽 굴착시 제한된 Panel 크기에 따라 상당의 Arching 효과가 작용함으로 굴착면의 안정을 유지하는데 도움을 주고 있다.

이러한 영향을 이론해석한 Janssen(1895) 공식을 인용하여 Schneebeli(1964)와 Huder(1972)가 제한된 판넬길이를 가진 Trench 해석법을 소개하였다. (그림 10. 8 참조)



(a) Schneebeli(1964)



(b) Huder(1972)

그림 10.8 SILO 이론을 적용한 TRENCH 안정설계

가장 일반적으로 사용되는 안정계산방법으로:

$$\sigma'_v = \frac{\gamma m}{K \tan \phi} \{1 - \exp^{-K \tan \frac{z}{m}}\}$$

$\gamma = \text{Soil Density}$

$m = \text{Hydraulic Radius (면적 / 주변장)}$

$$K = K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}, \phi_{mob} = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{1.2} \right)$$

$$\sigma'_h = \Sigma \gamma Z \frac{i}{\tan \phi} \cdot \frac{m}{Z} \{1 - \exp^{-K \tan \frac{z}{m}}\}$$

$\Sigma \gamma Z = \text{Effective Overburden Stress}$

$$m = \frac{\pi L^2}{8} \times \frac{2}{\pi L} = \frac{L}{4}$$

Surcharge Load (q)를 고려한 경우:

$$\sigma'_{v(q)} = q \exp^{-K \tan \frac{z}{m}}$$

$$\sigma'_h = K_a \times \frac{\gamma L}{4 K \tan \phi} \{1 - \exp^{-K \tan \frac{z}{m}}\}$$

$$+ q \exp^{-K \tan \frac{z}{m}}$$

$$\alpha = 4K \frac{\tan \phi}{L}$$

$$\sigma'_h = K_a \times \frac{\gamma}{\alpha} \{1 - \exp^{-\alpha z} + q \exp^{-\alpha z}\}$$

10.4 해석방법 및 구조형식별 설계

10.4.1 해석방법

강성이 비교적 높은 지하연속벽의 해석방법을 대별해 보면 다음과 같다.

1) 이론 및 경험토압을 사용한 자립식 벽체 간이 설계법으로 벽체 상부의 변위, 근입심도, 최대휨모멘트를 계산할 수 있다.

$$y = \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 EI} [S_0 \cos \beta x + M_0 \beta (\cos \beta x - \sin \beta x)]$$

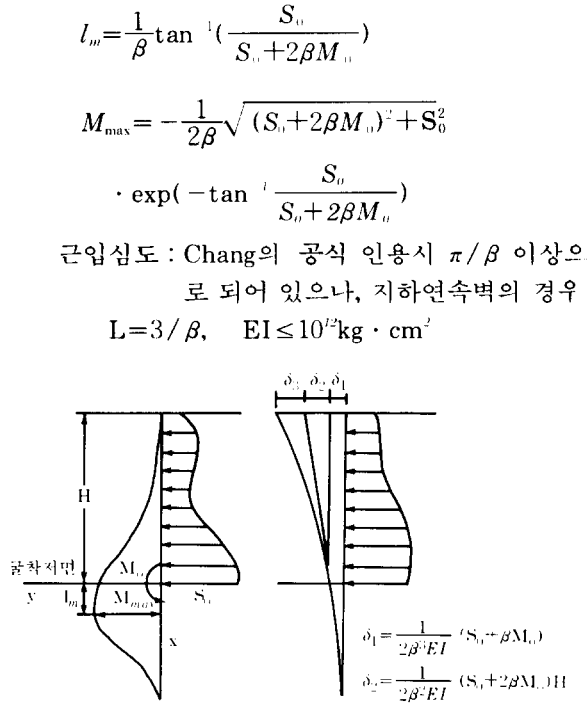
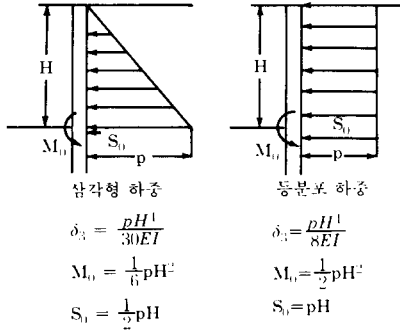


그림 10.9 자립식 벽체 간이 설계법

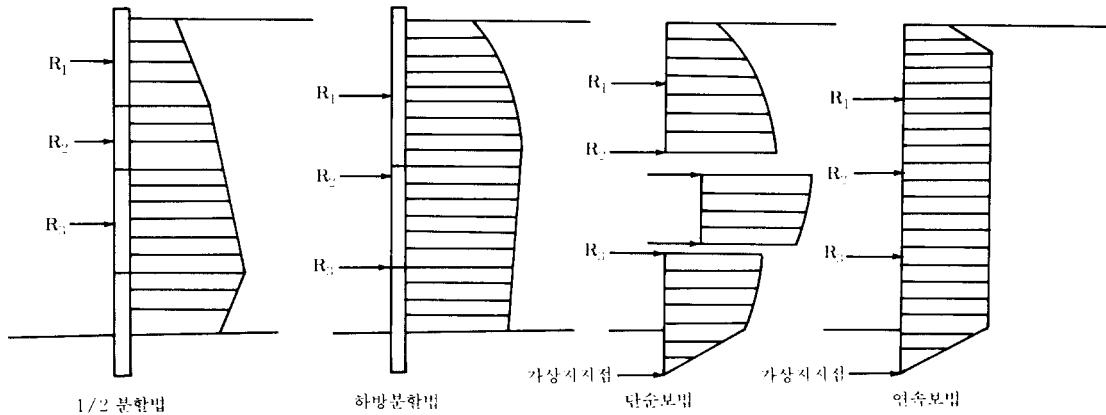


그림 10.10 경험 및 이론토압을 이용한 간이설계법

$$L = 2.5/\beta, \quad EI > 10^{12} \text{kg} \cdot \text{cm}^2$$

(L=최종 굴착면에서의 근입심도, 단위:m)

벽체상부변형량

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$$

여기서,

δ_1 : 작용토압으로 인하여 캔틸레버상태의 변형

δ_2 : 굴착면에서 변형각으로 높이(H)까지 누

적량

δ_3 : 굴착면에서의 수평변위량

2) 관용(경험) 해석법

굴착심도가 비교적 얇고 지반조건이 양호시 사용하는 방법으로 경험토압을 사용하여 1/2 분할법, 하방분할법이 있고 버팀지점을 분할하여 계산하는 단순보법과 벽체를 연속보로 가정

하는 연속보법이 있다.

굴착측의 토압은 Rankine이나 Coulomb의 소성이론 토압을 적용하며 가상지지점의 위치를 산정하여 흙속의 지지점으로 사용한다.

3) 굴착면 근입부는 Chang의 공식적용

근입부 수동토압의 수평저항은 벽체의 수평방향 변위에 비례한다고 가정하고, 버팀대는 변형 없이 단지 지점으로만 사용한다.

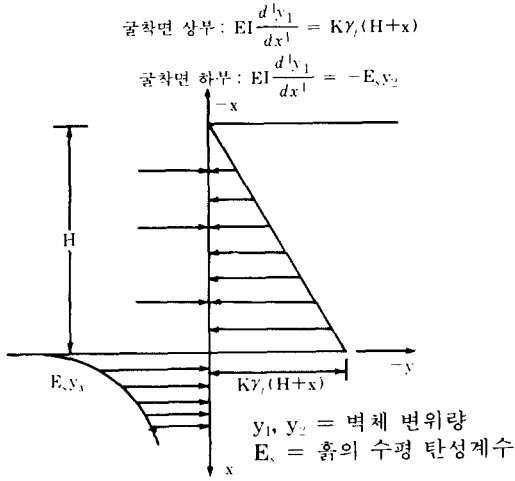


그림 10.11 탄성설계 토압

4) 탄소성(A)

굴착면 이하의 벽체에 작용하는 횡저항은 1차적으로 변위량에 따라 증가하나 수동토압(정지토압이 제외된 값)을 초과하지 않는다.

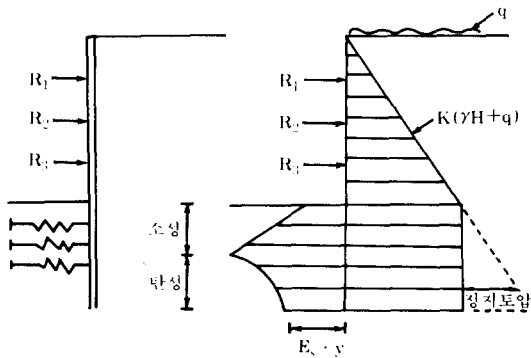


그림 10.12 탄소성 설계 모델 및 토압

5) 탄소성(B) : SOIL-STRUCTURE 상호 거동 모델

지하연속벽 수치해석에 가장 일반적으로 사용되는 Computer Program으로 탄소성 SOIL-STRUCTURE INTERACTION 모델로 벽체에 작용하는 하중인 토압은 벽체와 버팀대의 강성 및 시공방법에 따라 변하도록 되어 있어, 기존 토압이론에서 제시한 일률적인 하중 Pattern 보다는 실제 상황을 현실적으로 적용시킴으로써 경제적인 분석방법이다.

시공단계별 벽체의 변형이 연속적으로 누적됨으로 주변침하 계산에 적합하며 최대, 최소의 토압이론값을 초과하지 않도록 되어있다. (그림 10.13) 만약 실제 토압이 이들 Limit States를 초과시는 초과변형의 응력이 벽체강성을 이용하여 하부로 전달하도록 고안되었다.

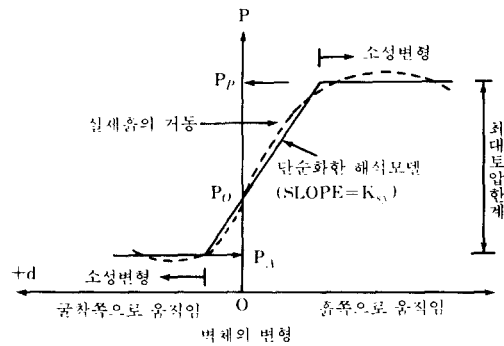


그림 10.13 벽체의 변형에 따른 토압의 변화 모델

$$\int (K_s \sigma'_v - 2C\sqrt{K_s}) dz \leq \int p dz \leq \int (K_s \sigma'_v + 2C\sqrt{K_s}) dz$$

그림에서와 같이 벽체는 유한요소의 Beam Elements로 연결되어 있고, 지지체와 벽체양측의 흙은 탄성 Springs로 가정하여 각 절점에서의 모멘트, 전단, 응력 및 변형이 계산되어지는 Subgrade Reaction Model을 따르고 있다.

계산순서

시공단계별로 아래와 같은 계산이 반복된다.

- 굴착전 초기에는 벽체의 양측토압은 정지 상태의 토압이 작용한다고 가정한다(벽체의 변형은 없다).

- 벽체의 강성 Matrix는 흙과 버팀대의 강성과 합하여 Overall 강성 Matrix 구성.

- 굴착과 더불어 증가된 버팀대 하중은 위의 Overall 강성 Matrix에 대입하여 벽체의 변위 산정.

- 벽체의 변위는 $P_1 = K\delta$ Matrix에 대입하면 토압 P_1 이 계산되고 벽체의 변형상태에 따라 전번 시공 Stage의 토압 P_0 는 현재 변위량에서 산정된 토압($K\delta$)으로부터 가감하여 현재 시공 Stage의 토압(P)이 산정된다.

$$P = P_0 \pm K\delta (= P_1)$$

- 현재 시공 Stage에서의 토압(P)는 Limit State의 Rankine 주동과 수동토압 내에 있는 지 점검하고, 필요시 보정한다.

즉, $P_p < P$ 일 경우는 P_p 로, $P_A > P$ 일 경우는 P_A 로 사용한다.

- 보정된 P 를 사용하여 다시변위를 산정하여 보정량이 무시 될 때까지 반복

10.4.2 구조형식별 부재설계

지하연속벽을 굴착중에는 토류벽으로 사용하고, 공사후 지하본체 구조물의 외벽으로 사용하는 경우가 대부분이다. 그러므로 이러한 지하연속벽은 시공중 작용할 수 있는 모든 하중조건을 만족시켜야 될뿐만 아니라 지하구조벽체의 영구적인 조건하에서도 적합한 설계를 검토해야 한다.

영구적인 조건(permanent condition or long term condition)으로 설계되는 본체 지하연속벽 설계조건이 가시설 토류벽 설계와 다른점은 아래와 같은 별도의 검토사항을 고려하여야 한다.

- 가시설 토류벽에 작용하던 주동토압은 장기적인 시간과 더불어 점진적으로 정지토압상태로 변화하므로 K_0 설계가 바람직하다.

- 토류벽에 작용하는 수압도 시공중의 지하수위보다 영구구조물 상태에서 작용할 수 있는

주변 최대의 지하수위 조건으로 설계해야 한다.

- 벽체의 버팀구조가 일반적으로 Flexible한 어스앵커나 Struts가 아닌 영구적인 지하층 콘크리트 Slab로 바뀌므로 그에 대한 강성과 변형조건이 달라진다.

- 버팀구조의 위치와 선행하중 여부도 굴착중 시공상태와 영구적 조건이 다를 것을 고려해야 한다.

지하연속벽을 본체구조물 또는 그 일부로 설계할 경우 작용하는 하중조건과 구조형식이 변화하므로 구조물 시공시와 완료후를 별도로 검토할 필요가 있다.

특히 지하벽을 본체구조물의 일부로 생각할 경우 지하연속벽과 본체구조물과의 결합방식에 따라 설계가 달라진다.

1) 단독벽 방식

이 방식은 본체구조물의 외측 구조벽으로 지하연속벽을 그대로 이용하는 경우이다. 시공중의 상태와 영구 구조물로서의 설계조건의 차이는 다음과 같다.

- 버팀구조의 위치 및 강성

- 토압이 $K_0 \rightarrow K_1$ 상태로 증가

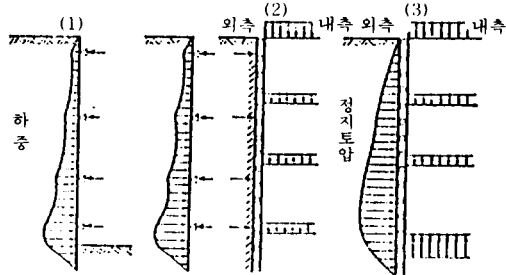
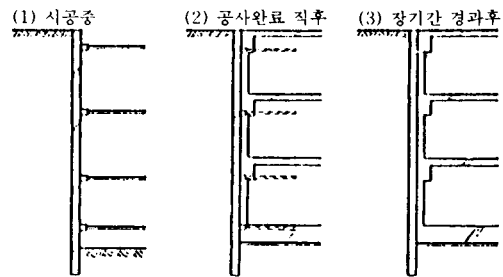


그림 10.14 단독벽에 작용하는 토압

- 되메우기 흙 및 슬래브 자중과 상재하중 고려

- 벽체변위 변화와 지하수 Level

- 버팀으로 슬래브의 온도차 및 Creep 수축 응력

2) 이중벽 방식

이중벽 방식은 지하연속 토류벽 내측에 본체 구조벽을 합쳐서 하나의 벽으로 생각하며 이들 벽 사이에는 절연용 패키징을 시공하여 전단력의 전달을 방지한다.

이 방식은 구조물의 심도가 증가하면 내벽의 두께로 조절할 수 있고, 지하외벽 심도가 짧은 경우에도 유리하다.

토압과 수압이 시공시, 공사완료후, 장기간 경과후가 모두 다르다.

별도 벽체의 설계가 번잡하므로 결합벽체 해석결과로 설계후 두 벽체의 강성비율로 배분한다.

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot M_0$$

$$N_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot N_0$$

M_0, N_0 는 결합벽체의 모멘트와 축력

(주) (2)는 지반의 K값을 고려하여 라멘의 외측에 다수의 롤러로 지지한 슬래브를 가진 구조에 라멘으로 負荷되는 하중과 버팀대의 除去하중이 적용된 것으로 한다.

10.5 설계개념과 공사시방 요약

10.5.1 설계개념

지하연속벽은 보통 영구구조물이나 그 일부로 사용되는 관계로 시공중 조건의 모든 시공 단계별 하중상태를 만족시켜야 하며, 공사완료 후에는 영구적 구조물로서(permanent, long term) 조건에 대한 안정을 검토해야 한다.

1) 시공중(construction condition) 상태의 조건

시공중 벽체 내외의 수두차와 벽체의 작용토압을 사용하여 각시공 단계별 벽체에 작용하는 휨 모멘트, 전단력 및 벽체변형을 Computer Program으로 계산한다. 이들 휨 모멘트와 전단력 Envelopes로부터 시공중 할증계수(0.8)을 곱한 값을 부재설계에 사용하는, 영국 Ove Arup and Partners 설계법이 있다.(즉, 단기, 중기허용응력을 20% 증가시키는 기준)

2) 영구적 구조물 사용시(long term permanent) 조건

시공이 완료되면 벽체는 다음과 같은 하중변화를 경험하게 될 수 있다.

- 지하수위의 변화(증가)

- 토압의 증가(주동에서 정지토압으로)

- 벽체와 지지 슬라브층의 Creep과 Shrinkage

- 그밖의 구조물 변화에 따른 하중 재분배

위의 Temporary와 Permanent 조건들을 모

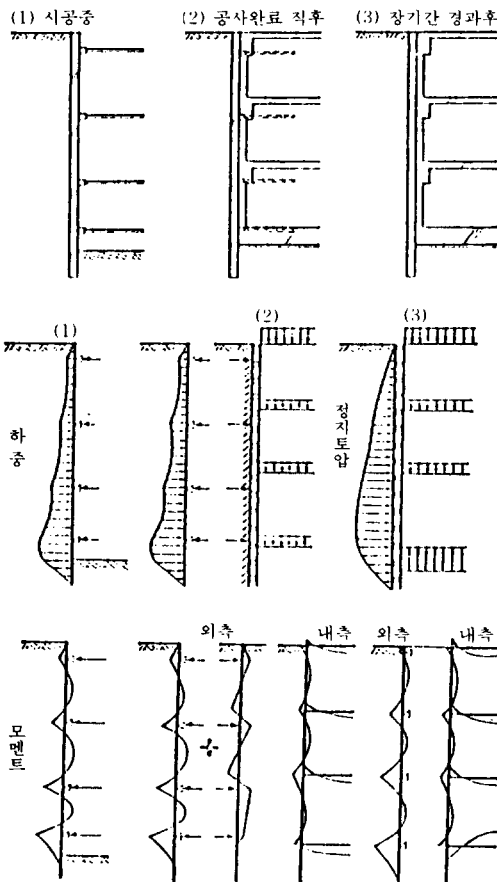


그림 10.15 이중벽에 작용하는 하중모멘트

두 만족시킬 수 있는 철근량이 지하연속벽 설계에 사용되어야 한다.

또한 시공중 지나친 벽체의 변형으로 크랙이 발생되면 영구적 구조물 사용시 강도 저하를 초래하므로 벽체의 안정을 위해 균열(cracked) 단면설계가 시행되어야 할 것이다.

가. 허용응력

벤토나이트 안정액속에서 콘크리트가 타설되기 때문에 별도의 재료강도에 대한 감소계수가 적용되고 있다.(일반적으로 0.65~0.85 내외)

허용응력 설계법 적용시,

- 일본 국유철도 규정
- 지하철 건설공사 설계지침서(설계편람) 1989. 12월 부산교통공단

① 콘크리트

설계기준강도 σ_{ck} 는 지하수위 유무와 지하수의 종류에 따라 결정된다. 일본 국유철도 규정에 의하면 일반적으로

- 지하수위가 없는 경우 : $7/8\sigma_{ck}$
- 정수중에 타설하는 경우 : $0.8\sigma_{ck}$
- 침수중에 타설하는 경우 : $0.7\sigma_{ck}$

② 철근→구조물설계 지침에 준한다.

③ 허용응력의 증가

지하연속벽이 가설구조물로 이용되는 경우

는 가시설물 설계지침에 따라 허용응력을 50% 증가시켜 사용한다. 지하연속벽이 본체구조로 이용되는 경우는 콘크리트의 허용응력을 시공도중은 25% 증가시키며, 시공 완료후에는 증가시키지 않는다.

나. 단면 결정기준

구조계산 결과에 따른 단면결정 기준은 지하구조물의 설계지침에 준하되 철근피복은 부식을 고려하여 10cm로 한다.

- 서울지하철 7호선 설계기준

다. 허용응력의 검토

① 콘크리트

설계강도는 σ_{ck} 로부터 지하수의 유무와 지하수의 종류를 고려하여 결정하며, 니수의 경우 $0.70\sigma_{ck}$ 를 적용한다.

② 철근의 허용응력은 <콘크리트 표준 시방서> (건설부, 1988) 제 3 편 16장에 따른다.

③ 허용응력의 증가

지하연속벽이 가설구조물로 이용되는 경우는 가시설물 설계지침에 따라 허용응력을 50% 할증하여 사용하며, 지하연속벽이 본구조체로 이용되는 경우는 허용응력을 할증하지 않고 지하구조물 설계지침에 준하여 설계하여야 한다.

지하연속벽 설계에 사용되는 벽체 콘크리트는 안정액내에서 트래미관을 통해 수중콘크리

표 10. 1 「국가기초표준」에 표시된 이수 중의 콘크리트 말뚝의 허용응력

(a) 콘크리트의 허용응력

(단위 : kg/cm²)

허용휨압축응력		70
허용전단응력	사인장철근의 계산을 하지 않은 경우	6.5
	사인장철근의 계산을 한 경우	18
허용부착응력	환 강	5
	이형 철근	11
허용지압응력		$(0.25 + 0.05 \frac{A_1}{A_2}) \times 210$ 단, 105 이하

- (주) 1. 콘크리트의 배합은 단위시멘트량 370kg/m³, 물시멘트비 50%이하, 슬럼프 13~18cm로 한다.
- 2. 벤토나이트 이수의 농도가 10%를 초과하는 경우는 별도로 검토하여 정하는 것으로 한다.
- 3. A₁은 말뚝의 유효단면적, A₂는 지압을 받는 면적으로 한다.

(b) 철근의 허용응력

환강 < 1,400 kg/cm ²	이형철근 < 1,600 kg/cm ²
-------------------------------	---------------------------------

표 10.2 「도로현장치기 말뚝지침」에 표시된 수중의 콘크리트 말뚝의 허용응력

(a) 콘크리트(수중에서 시공하는 경우)

올케이싱, 리버스, 이스드릴의 각 공법에 의한 말뚝에 적용한다. 이 경우의 허용응력은 다음표에 의해도 좋다.

수중콘크리트의 허용응력

(단위 : kg/cm²)

축방향압축 응 력	휨 압 축 응 력 ¹⁾	진 단 응 력		부 착 응 력 ²⁾	비 고
		복철근의 계산을 하지 않은 경우	복철근의 계산을 한 경우		
60	80	7	20	12	$\sigma_{ck} > 300$ (표준공시체)

(주) 1) 축방향력을 수반하는 경우를 포함.

2) 이형철근을 사용한 경우만.

σ_{ck} : 설계기준강도

단, 지진시에 대한 허용응력은 위 표의 값을 50%할증할 수가 있다.

수중콘크리트의 배합은 단위시멘트량 370kg/m³이상, 물시멘트비 50%이하, 슬럼프 13~18cm로 한다.

(b) 철 근

(단위 : kg/cm²)

현장치기 말뚝에 사용하는 이형철근을 원칙으로 하고, 허용응력은 오른쪽 표에 따른다.

철근의 허용응력

설계조건	재질	SD24	SD30
평 상 시		1,400	1,600
지 진 시		2,100	2,700

트 타설로 인하여 강도의 저하가 예상된다. 일본기준의 경우 안정액 내에서 타설되는 현장치기 콘크리트 말뚝을 시공하는 기준에 준용하고 있으며 유럽도 이와 유사하다.

3) 허용응력

일본의 경우 :

수중콘크리트 허용응력은 표준공시체 강도의 하한치 300kg/cm²의 80%, 즉 240kg/cm²를 설계기준강도로서 규정하고 있으며 이수 능도가 10%이상되면 더욱 감소를 요구하고 있다.

유럽이나 미국의 기준으로는 안정액 내에서 타설되는 콘크리트의 강도는 15% 감소를 허용하여 감소율 85%를 설계에 사용하고 있다. 그 이유는 양생조건이 수중에서 습윤양생되기 때문에 강도저하가 비교적 낮다고 평가하기 때문이다(참조 slurry walls, P.P. xanthakos PP. 278).

10.5.2 공사시방요약

(1) 위치, 깊이 및 폭

별도지시가 없는한 도면상에 표시된 위치에

기존 지표면 높이에서 시작하여 지반의 지질조건 및 지하벽의 토압, 수압에 따른 최소 근입까지 도달하도록 시공되어야 한다.

지하연속벽 최소두께는 구조물의 응력 해석에 따라 0.6~1.5m 또는 그 이상으로 결정한다. 지하연속벽 내부면도 이론적 표면에서 벽두께 방향으로 75mm~150mm 이하로 돌출되어야 한다. 규정한 허용치를 초과 할경우 쪼아 내거나, 또는 시멘트 주입으로 허용된 시공오차 미만으로 벽면을 유지한다.

(2) 연직오차

최대허용 오차 0.85~1.0% 이하

(3) 조인트

단위 판넬 깊이는 최대 9m를 초과하지 못하며 통상 5m를 표준으로 하여 판넬간의 연결부위는 스톱엔드파이프에 의한 인터록킹이 일반적이거나 그밖의 다른 방법으로도 가능하며 어떠한 방법이라도 조인트는 차수능력을 지녀야 한다.

(4) 재 료

콘크리트는 Type I 포틀랜드 시멘트를 사용하며, 최대골재치수는 13~25mm이하, 공기함

유율은 3~5%, 설계기준강도 210~300 kg/cm², 단위시멘트량 350kg/cm² 이상, 물시멘트비 50%이상, 슬럼프 18~21cm, 배합설계는 설계강도의 25%이상, 콘크리트 강도시험은 3개 set(8개)로 실험(7일 강도 : 3개, 28강도 : 3개, 56강도 : 2개), 지연제 사용여부는 Batch의 거리, 수송능력, 현장타설시간을 추정하여 결정하며 사용시에는 보통 4시간 정도의 지연 효과가 유지되어야 한다. 철근망은 도면상에 요구된 크기와 위치가 정확하게 일치되어야 하고 철근망과 Trench측면과는 최소 10cm 정도의 콘크리트 피복이 유지되도록 철근망에 적절한 스페이서를 사용한다. 철근 겹침이음 36×D이상, 슬라브 연결용 Dowel Bar 부착위치 허용치는 ±9mm(수직, 수평)이하.

(5) 콘크리트 타설

트레미바닥은 콘크리트면에서 최소 2~3m 이하로 유지하여야 하며 S-Wall 상부에서 1m는 기계적 수단에 의해 Vibrating하는 것이 좋다. Joint Pipe는 지연제를 사용하지 않을 경우 45분내 제거되어야 한다.

(6) 안정액의 물성은 굴착의 각 단계에 따라 가장 중요하다.

- 밀도(약 1.02~1.05)
- 점성(약 35~45sec 마쉬콘)
- PH
- 물의 양
- 모래 함량(허용한계 3%이하)

10.6 설계예

10.6.1 설계 예제 1

서울 반포지역에 지하 4층 구조물 외벽으로 80cm 두께의 지하연속벽을 설계하고자 한다. 인접 기존아파트는 파일기초로 현장에서 10m 거리에 있고 지표면에서 -23m 지점에 풍화암이 위치해 있다. 지하수위는 지표면에서 -10m 지점인 모래층이 있으며 최종굴착 Level은 G.L.-18.8m이다.(그림 10.16 참조)

1) 시공단계 :

- ① 지표면에서 풍화암까지 지하연속벽 시공

- ② G.L.-4.0m까지 굴착(1단계 굴착)

- ③ 첫단의 Strut 설치

- ④ G.L.-11.8m까지 2단계 굴착

- ⑤ G.L.-11m에 2열의 어스앵커 설치

- ⑥ 최종굴착 G.L.-18.8m까지 3단계 굴착

2) 지하연속벽의 기능 :

- ① 토류벽으로 시공중 토압, 수압등 고려

- ② 차수벽으로 굴착내부 지하수 침투방지(주변침하 예방)

- ③ 영구적 지하실 본체벽으로 사용하며 기둥하중을 암반으로 전달하는 지내력 벽체 역할

- ④ 벽체의 강성을 이용하여 어스앵커의 위치를 지하수 부근까지 내림으로 주변 지하수위변화 방지와 굴착속도를 증가

3) 설계 휨모멘트와 전단력 :

시공단계별 최대 휨모멘트와 전단력은 그림에 나타나 있다.

상부 Strut의 최대 반력은 23.49t/m이며 하부 어스앵커 반력은 101.17t/m로 2단 앵커 설치가 불가피하다.

4) 허용응력 설계법에 의한 철근량 산정 :

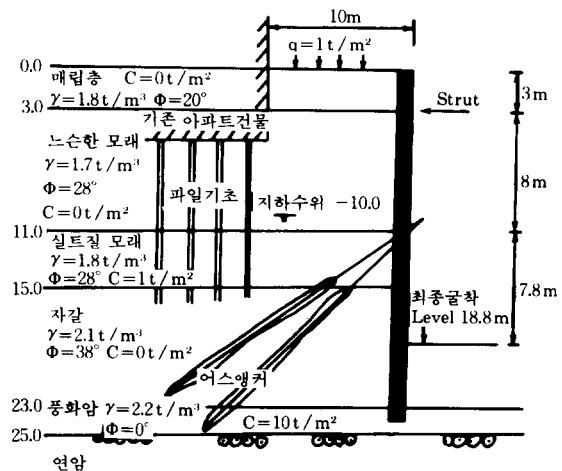


그림 10.16 연속벽 단면도

벽체 두께 : t=80cm

단면폭 : b=100cm

유효 고 : d=70cm

재료의 허용응력 :

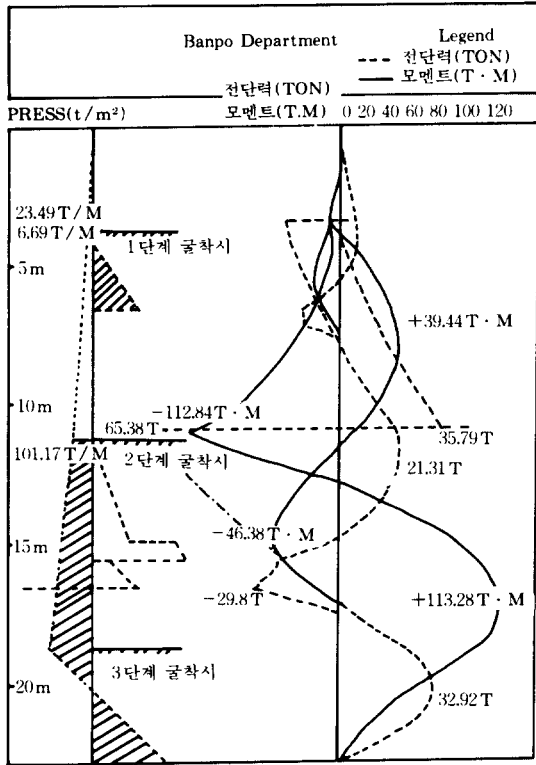


그림 10.17 시공단계별 토압분포와 모멘트 전단력도

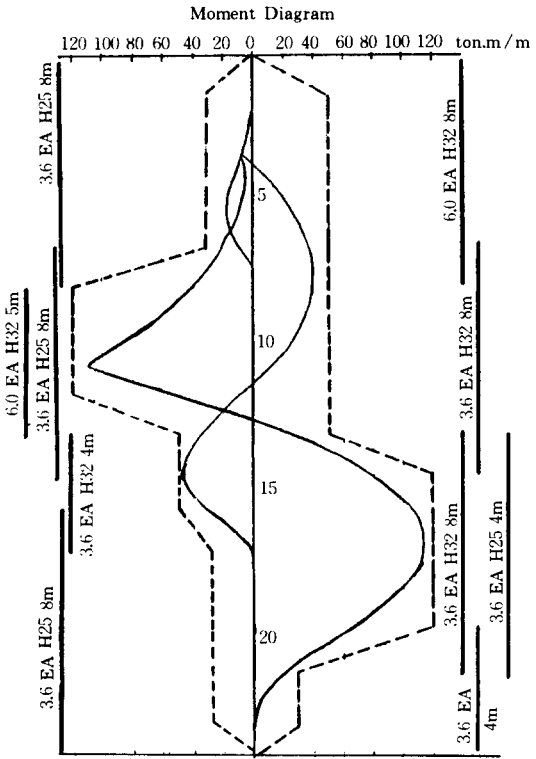


그림 10.18 Moment 분포에 따른 철근배근도

▶ Concrete : $\sigma_{ck} = 280 \text{ kg/cm}^2$, $n = 8$

허용 휨압축응력 :

$$\sigma_{ca} = 0.4(0.85\sigma_{ck}) = 95.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ (영구적 경우)}$$

$$= 1.25 \times \sigma_{ca} = 119.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ (일시적 경우, 25\% 증가)}$$

허용 전단응력 :

$$\tau_a = 0.46\sqrt{0.85\sigma_{ck}} = 7.1 \text{ kg/cm}^2$$

▶ 철근

SBD40(휨철근) : $\sigma_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{sa} = 2000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (영구적 경우)}$$

$$= 1.25 \times \sigma_{sa}$$

$$= 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (일시적 경우, 25\% 증가)}$$

가)

SBD24(전단철근) : $\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

$$\tau = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

최소 철근 : Concrete 표준시방서 5.5와 4.9 참조

$$A_s = 0.002 \times b \times t = 16.0$$

$$\therefore \text{Provide H22@200 } A_s = 19.4 \text{ cm}^2$$

10.6.2 설계 예제 2

서울대교 남측 여의도에 위치한 본 현장은 지하 3층 지상 35층 건물의 지하구조물 외벽으로 두께 80cm의 지하연속벽이 사용되었다.

1) 지하연속벽의 설치 이유 :

① 굴착중 토류벽 역할과 영구 본체구조물로 사용

② 벽체에 설치되는 기둥하중을 하부 암반층에 전달하는 파일 역할(경암층 근입으로 큰 지지력 확보)

③ 연속벽의 경암층 근입으로 차수벽 역할(인접 구조물 침하예방과 굴착공사 용이)

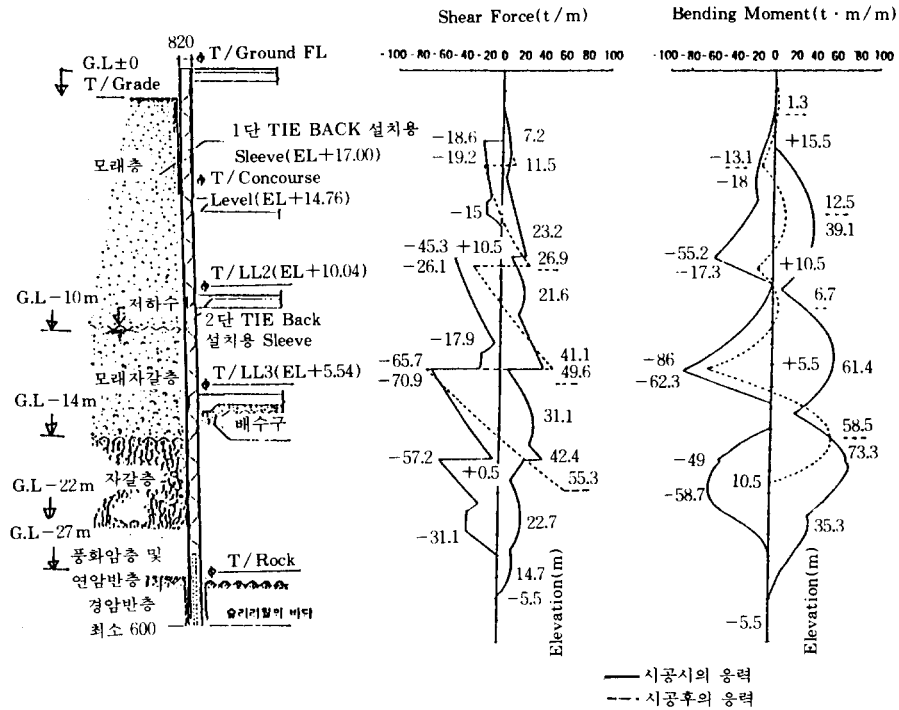


그림 10.19 지하연속벽의 시공단계별 시공시와 시공후(영구적 본체 구조로 사용)의 응력상태

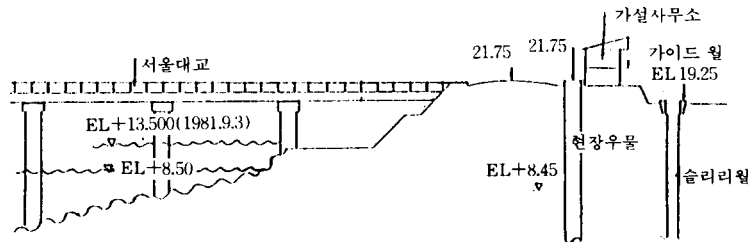


그림 10.20 수위현황도

④ 벽체 강성이용하여 2개 단의 어스앵커로 벽체지지

앵커 구멍으로 지하수유입 방지와 굴착속도 증가

2) 설계 방법

① 굴착 단계별 해석 방법 적용(벽체 변위가 누적된다.)

② 시공중 지하수위는 EL+8.50으로 현장 주변 우물에서 측정된 수입으로 연속벽 설계에 적용

③ 시공후의 응력설계는 지하수위를 EL+14.5m 1981, 9.3일자 발생된 최대 홍수위 사용, 영구적 본체 구조벽체 설계수압으로 사용

④ 시공후 응력설계는 토압을 정지토압으로 산정하고 지하 각층의 영구 Slab가 지지구조체로 작용하였음

그림 10. 19는 지하연속벽의 시공단계별 시공시와 시공후(영구적 본체구조벽으로 사용)의 응력상태를 나타내고 있다.

본 현장은 한강에 접해있어 한강수위에 민감

한 영향을 보인다. 조사된 한강의 최고수위는 1981년 9월 3일 당시 EL+13.5m였고, 공사기

간에 조사된 현장우물 수위는 EL+8.45m였으며 그림 10. 20의 수위현황도와 같다.

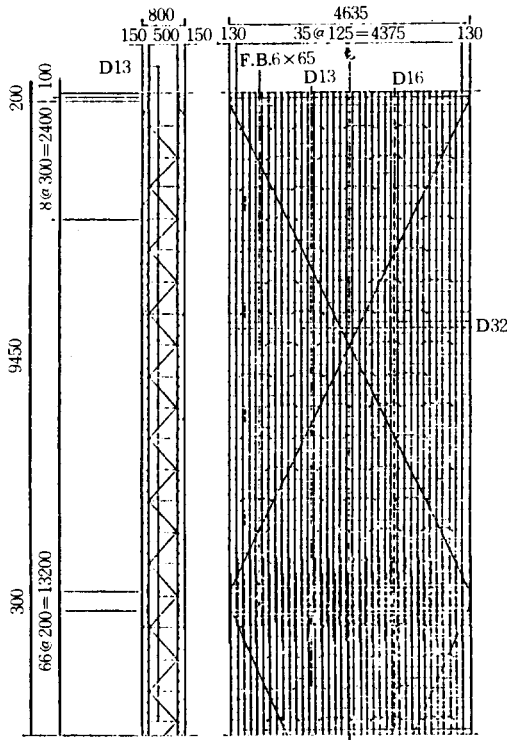


그림 10.21 철근망(Cage)배근 예

10. 7 지하연속벽을 사용한 역타공법

10.7.1 (Top-Down)의 개요 및 특징

급속한 도시화로 인한 인구집중과 교통난 등으로 도심지역의 재개발사업지하주차장, 지하역사 및 지하철, 지하도, 지하상가, 지하도시 등 지하공간의 활용이 실현화되고 있다. 이러한 지하공간 건설은 밀집된 주변 건물들의 침하방지와 최소의 교통난을 보장할 수 있는 공법 채택이 무엇보다 중요하다.

TOP DOWN공법의 최초고안자는 영국의 Mr. Arup으로, 1983년 독일의 폭격기에 대피할 수 있는 방호공 설계에 이 공법으로 원형 지하 5층 구조물을 제안하여 특허를 얻었다. 그후 본격적인 적용은 1960년대초 유럽에서 시작된 도시재개발 사업으로 주변건물 침하방지와 깊은 지하구조물 시공이 불가피해짐에 따라 더욱 보편화되었다.(그림 10. 22 참조)

TOP DOWN공법은 지하연속벽 공법(dia-phragm wall)의 장점을 이용하여 영구적인 철

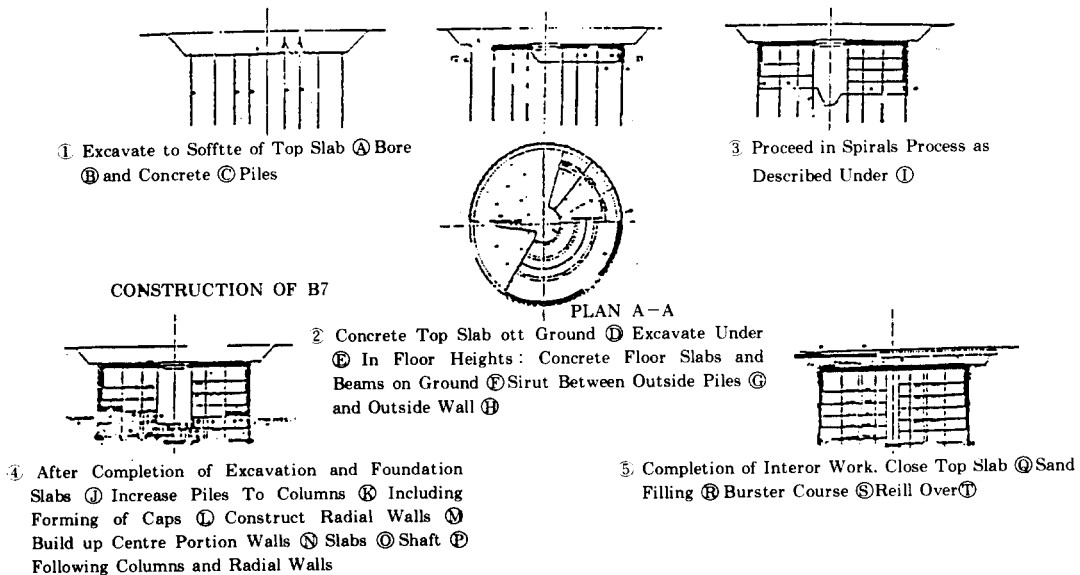


그림 10.22 TOP-Down 공법 최초 고안도 1938

근콘크리트 벽체를 시공하고, Bored Pile공법으로 영구기둥 및 기초를 완성한 후 1층 Slab부터 시공하여 벽체를 지지하는 Strut 역할을 하게 한 후 굴착하고, 다음 지하 1층 Slab를 시공하고 굴착하는 순서로 지상에서부터 시작하여 지하쪽으로 내려가며 구조물이 완료되는 역타공법이다. 현장 토공전에 외부지하벽체와 내부기둥이 시공 완료되어 지하구조물(sub-structure)과 지상구조물(super-structure)이 동시에 시공되고 완공될 수 있도록 계획할 수 있어 미국에서는 Upward-Downward Method 혹은 Sakauchi공법이라고도 불리운다.

이 공법은 재래식 Temporary(가설) 흙막이 벽인 Sheet Pile, H-pile과 나무널(timber plank), 주열식(contiguous bored pile wall) 벽체를 사용하는 공법에서 생길 수 있는 위험 부담을 모두 제거하는 동시에 주변 구조물에 영향이 미치지 않고 깊은 지하구조물을 안전하게 시공할 수 있는 해결책으로 고안되었다.

가설 흙막이 벽체에서부터 지보공(struts) System까지 시공중에 작용하는 모든 하중을 영구 구조물이 받도록 설계되어야 하기 때문에 계획, 설계, 시공 각 단계마다 토목, 건축 구조팀의 철저한 coordination을 거쳐야 본 공법의 특징을 충분히 만족시킬 수 있다.

국내외의 주요시공 사례로는

한 국

- 서울 럭키금성 다동건물
- 부산 자갈치시장내 신동아 건물
- 부산 시청옆 한국투자신탁 건물
- 서울 지하철 신정동 인입선공사
- 대전 지하상가 계통건설 구간

홍 콩

- WONG TAI SHIN지하철
- NEW HONGKONG & SHANGHAI BANK
- TAIKOO SHING & DEVELOPMENT

영 국

- BARBICAN ART CENTER
- YMCA BUILDING
- 국회지하 차고

- 대영 도서관
- 불란서
- NICK지하차고
- MARSEILLE지하철
- BRUXELLS 지하역사

이 태 리

- MILAN지하철

싱 가 폴

- MASS TRANSPORTATION

• 장 점

- 인접구조물의 보호나 연약지반 등에서 가장 안전한 공법
- 굴착심도가 깊고 상부구조물 등 공기를 줄이기 위해 적용
- 도심지에서 소음, 분진, 진동 등의 공해피해를 줄인다.
- 시공된 Slab를 작업공간으로 이용할 수 있고 전천후 작업
- 가시설이 전혀 사용되지 않아 깊은 심도에서는 경제적이다.

• 단 점

- 시공이 완료된 바닥 Slab아래에서 토공을 진행해야 되므로 굴착작업 공기 및 공사비에서 불리하다.
- 시공중 토압 및 작업 하중을 영구구조, Slab가 지탱해야 되므로 많은 구조계산 검토와 바닥두께가 증가될 필요가 생길 수 있다.
- 계측분석 및 시공관리를 철저히 해야 된다.

10.7.2 국내외의 시공사례

1) 국내 시공사례

(럭키금성 다동빌딩 top-down공사) : 그림 10.23 참조

공사기간 : 1984.10~1986.10

채택공법 : 역타공법(top-down 공법)

- 지하본체벽과 흙막이벽 : 지하연속벽공법
- 기둥과 기둥기초 : R.C.D공법
- 지하층 바닥 부력 : 영구바닥배수, SYSTEM

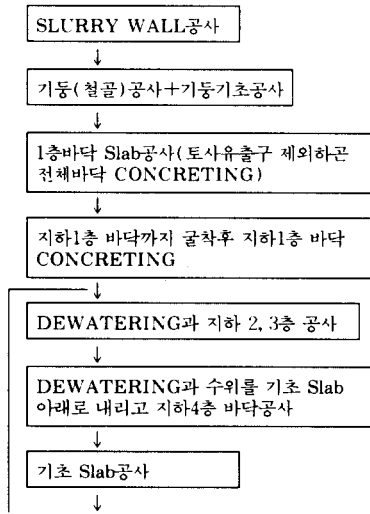
공사요약 :

-대지면적 : 65m×32m(2080m²)

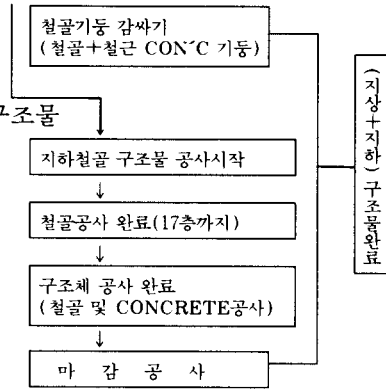
-지하연속벽 공사

가. 완전역타법(FULL TOP-DOWN)

(1) 지하구조물



(2) 지상구조물



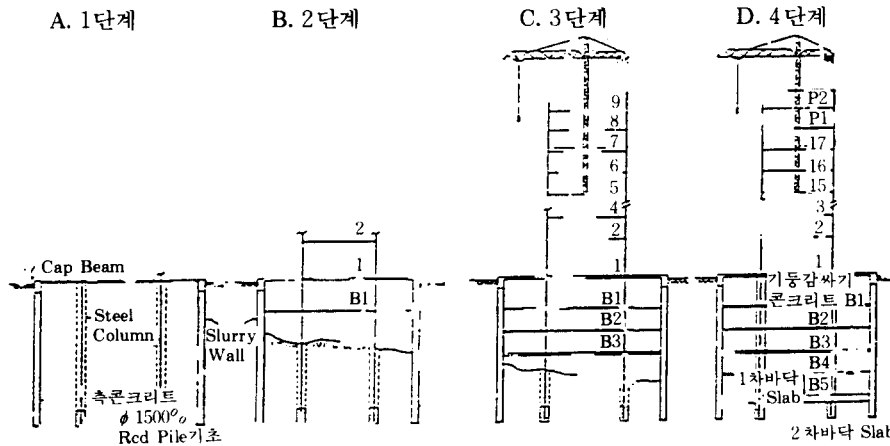
2) 국외 시공사례
런던시내의 역사적 건물들 주변에서 LONDON CLAY층을 굴착하고 지하 5층의 주차장 건설에 TOP-DOWN 공법이 적용되었다.

A. 1단계

B. 2단계

C. 3단계

D. 4단계



- | | | | |
|---|---|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) Slurry-Wall 완성 2) 기동위치에 Steel Casing Pipe(대구경 1.5M)를 설치 Clamshell과 Reverse Circulation Drill Machine을 이용 굴착. 3) 굴착후 Crane을 이용 Steel Column을 설치하고기초철근 배근용 지상에서 조립설치한다. 4) 기초부분은 콘크리트 타설하고 나머지 뒷부분은 자갈 혹은 빈배합 콘크리트를 채워 설치된 Steel Column 이동방지 5) Slurry Wall 상부 Chipping 후 Capbeam 설치 6) Ground Floor 정지후 Con'c 타설후 Ground Floor Slab(1층 Slab) 콘크리트 타설 | <ol style="list-style-type: none"> 1) Ground Floor Slab(1층 Slab) Did 2) 지하 1층부터 굴착 3) 지하 1층 Floor Slab 작업 완료후 지하 1층 굴토시작 4) Tower Crane을 설치 및 지상구조물 작업 준비 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 지하 2,3층 Floor Slab 작업완료후 지하 4층 굴착작업 2) 지상 9층 철골작업 완료 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 지하 5층 중앙부부터 굴착완료후 1차 바닥콘크리트 타설 2) 지하 5층 바닥 잔여부는 굴착후 2차바닥 콘크리트 타설 3) 지하 Column Conc 감싸기 및 Core 용벽설치(지하 5층부터 시공) 4) 지상 철골작업완료 |
|---|---|--|---|

그림 10.23 역타공법(럭키금성다동빌딩 적용사례)

14세기초에 축조된 국회의사당과 유명한 시계탑 Big Ben에서 불과 3~16m에 위치한 굴착현장의 규모는 약 65m×55m이고 굴착심도가 18.5m이다.(그림 10. 24 참조)

인근 Thames강의 높은 수위와 접해있고 지층은 두꺼운 LONDON CLAY층 상부에 느슨한 모래, 자갈층이 약 10m 정도 퇴적되어 있다.

굴착단계별 지하연속벽(diaphragm wall)의 변형과 주변지반의 거동을 예측하였고, 아울러

도심지 근접시공에 자주 적용되고 있는 TOP-DOWN 공법의 적합성을 조사하였다.

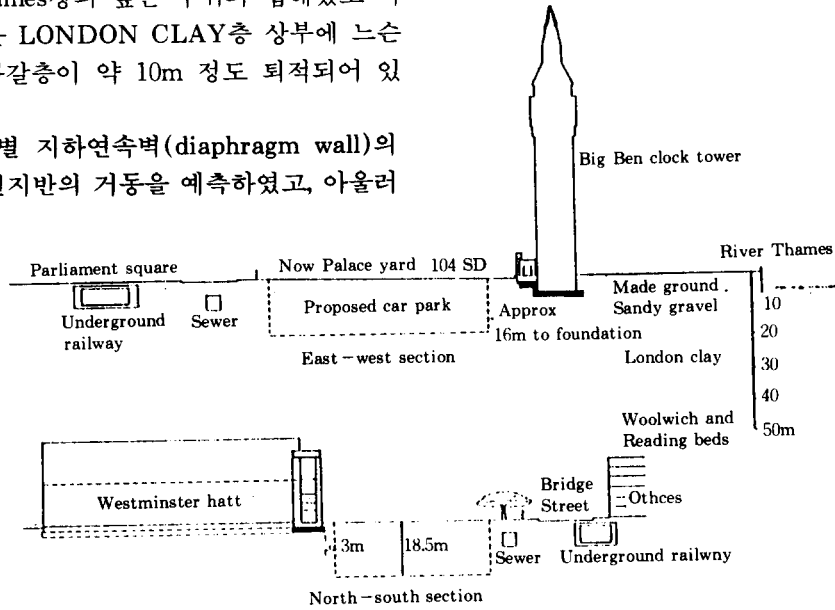
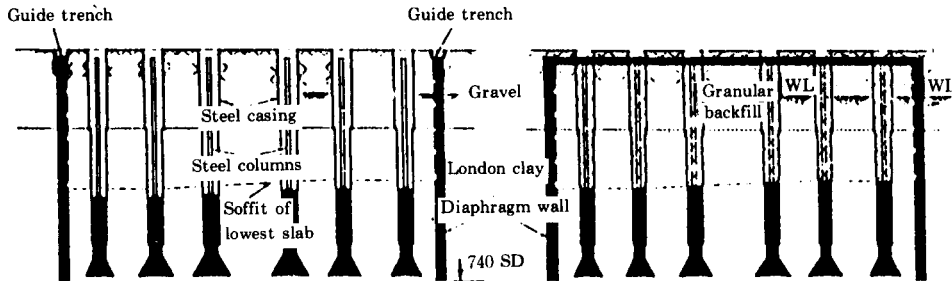


그림 10.24 지하 주차장 단면도

지하 구조물 시공 방법

지하구조물의 외벽은 두께 1m의 철근콘크리트인 지하연속벽(diaphragm wall) 공법이 채택되었고 벽체의 지지 SYSTEM은 영구적

지하층 SLAB를 상부에서부터 시공해 내려오는 TOP-DOWN 공법으로 공사방법 및 시공 순서는 그림 10.25와 같다.

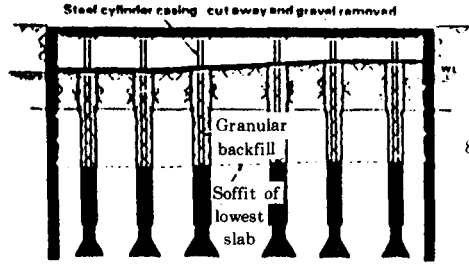


<시공단계 1>

- 두께 1m의 지하연속벽(D. Wall)시공.
- Dia 2.3m의 Steel Casing 설치.
- Auger 작업과 Steel 기둥설치후, 기초 Slab 아래부분은 철근 Conc.로 Pile 형성.

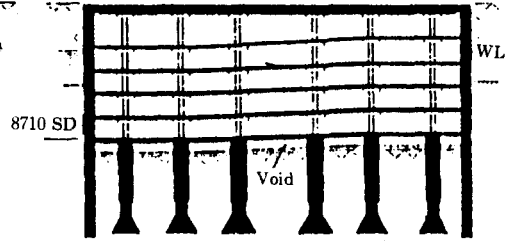
<시공단계 2>

- Casing과 Steel 기둥사이에는 폼자갈 채움.
- 1층 토공후 지반위에서 Slab 설치. 굴착토사의 반출구로 Slab부 일부는 Opening 유지.



〈시공단계 3〉

- 지하 1층까지 토사굴착후 바닥 Slab 시공.
- Dewatering 후 지하 2층 까지 굴착후 바닥 Slab 시공.
- 각 굴착 단계시 Steel Casing 제거.



〈시공단계 4〉

- 시공 3단계와 같은 방법으로 연속적으로 지하층 Slab 시공을 위에서 부터 완성해 나간다.

그림 10.25 Top-Down 공법의 시공방법

버팀대 형식과 주변침하

강성벽체인 지하연속벽 (D. wall)의 채택에 따른 버팀대의 형식이 주변지반에 미치는 영향을 조사하기 위하여 SLAB지지 형식

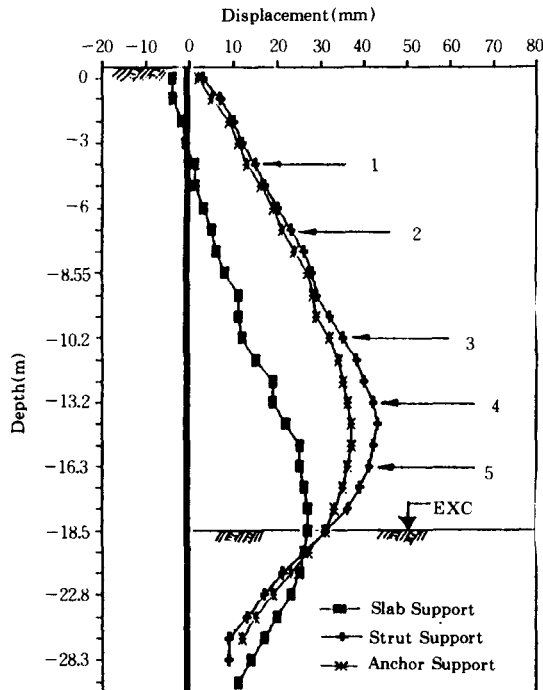


그림 10.26 연속벽의 버팀대 형식과 벽체변형

(top-down방법), Struts지지 및 earth anchor 지지 System 방식들이 서로 비교 검토되었다.

연속벽의 버팀대 형식과 벽체 변형(그림 10.26) 관계에서 영구적인 콘크리트 SLAB을 시공하면서 아래로 굴착하는 SLAB지지 형태는 Strut나 Earth Anchor 지지 방식에 비하여 벽체의 수평 변형을 3~4배 줄일 수 있음을 알 수 있다. 즉, 10~20mm 정도의 벽체변형은 강성이 큰 slab 지지로 감소시킬 수 있으며 그림 14에서와 같이 이때의 주변침하량도 벽체로부터 약 10m 거리에서 SLAB 지지형식의 수직침하량이 20mm인데 반하여 Struts 지지체의 경우는 같은지점에서 침하량이 52mm로 증가되었다.

10.7.3 역타공법 설계 및 시공시 유의사항

1) 설계시 고려사항

- (1) 지하연속벽 설계시 시공단계별 해석 검토
- (2) 건축과 충분한 협의로 지하바닥 슬라브 Type과 Opening위치 및 Size 결정
- (3) 부력 (buoyancy)을 고려한 기초바닥 슬라브 타입 선정
- (4) 기초바닥 슬라브 및 기둥공사중, 하중

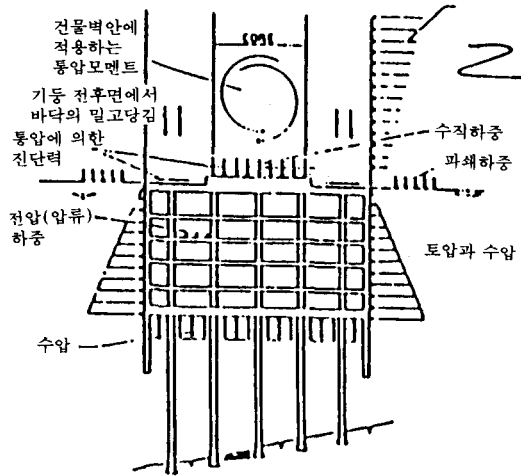


그림 10.27 깊은 지하구조물에 작용하는 외력

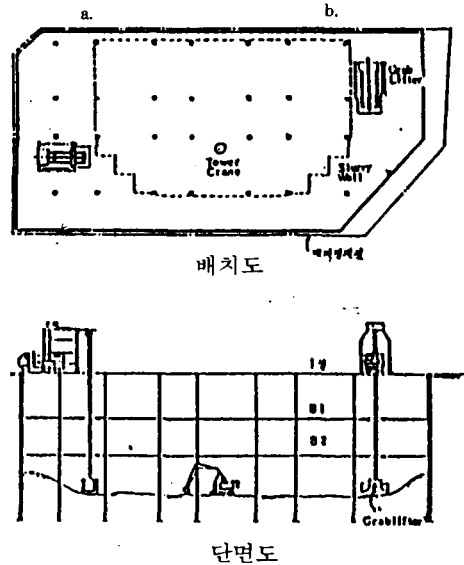


그림 10.28 逆打工事 掘土方法圖

조건과 영구적 Case의 하중조건에 만족시키는 설계과정

(5) 기둥기초 타입 결정 : R.C.D, Barrette 혹은 Drilled Caisson

(6) 지하수위 차단과 연속벽의 암반내 근입 깊이

(7) 설계자료 수집과 계측기기 운용

(8) 시공중 기둥 및 벽체의 허용수직도를 감안한 설계 안전도

(9) 각 부재 Joint의 응력보강 방법

(10) 주변 건물의 허용 침하 및 변형 검토

(11) 토압 및 수압 등 횡력에 대한 슬라브 강성

(12) 기둥 기초하중을 감안한 기초 깊이 및 시공방법

2) 시공시 유의사항

(가) 지하연속벽(diaphragm wall)공사

① 벽체의 수직도와 Panel Joint의 슬라브 제거

② 지지력이 충분하고 불투수지층으로 연속벽 근입

③ 굴반중 Bentonite액 관리, Tremie콘크리트 공사관리 철저, Standard 철근망 제작

④ 안정액 수위가 주변지하수위보다 1.5m이상 유지

(나) 기둥 및 기둥기초 공사(R.C.D공법)

① 기둥의 수직도와 Buckling점점 (temporary 시)

② R.C.D공법 Spec. 준수시공

③ 바닥슬라브와 기둥 Top 채움부에 Post Grouting

(다) 지하바닥 슬라브 시공

① 연속벽과 기둥의 전단 연속철근(dowel Bar) 손실이 없도록 확인시공

② 연속벽 주변의 연결부위에서 Opening은 가급적 피하고 자재·장비 유입구 및 토사유출구 확보

③ 굴반깊이가 깊을수록 강성의 요구가 H^2 으로 증가함

(라) 바닥슬라브 아래의 토사 굴반

① 터파기서 규정 깊이를 초과하지 말것

② Temporary Strut 설비시는 계측기기로 점검·보완 준비할 것

③ 주변 지하수위의 유동과 지반변위를 조사하여 안전하고 합리적 시공관리

④ 밀폐된 지하에서 능률적으로 굴반작업을 할 수 있는 장비조합 선정(토사반출구, 집토거

리, 작업순서 고려)

⑤ 장비 매연, 유해가스처리용 Air Duct 설치

⑥ 안전용 조명, Boiling, Piping 및 누수점검

(배) 역타공법의 Formwork

역타슬라브시공시 통상 거푸집 작업은 생략한다. 이것은 지반을 정지, 마감후 버림 콘크리트를 타설하여 그위에 철근을 배근하고 슬라브를 타설하여 방법을 주로 사용하기 때문이다. 또 다른 방법으로는 임시트러스의 설치, 달아매기(hanging form) 메탈테크에 의한 지지등이 있다. 지지방법은 슬라브의 형식이 플랫 슬라브 거더빔 와플등에 따라서 다르게 운용될 수 있으나 역타공법에서는 플랫슬라브 형식을 채택하는 것이 유리하다.

(배) 역타채용 범위

역타공법은 공법의 특성상 이음부처리에 세심한 주의를 기울여야 한다. 따라서 역타슬라브는 완전역타로 진행하고 기둥, 계단, 구조벽은 순타로 처리하는 방법도 검토될 수 있다. 완전역타로 할 것인가 부분역타로 할 것인가는 설계, 시공여건을 고려하여 결정한다.

(사) 슬라브와 기둥의 접합방법은 스테트볼트, 앵글, 트위스트바를 이용할 수 있다. 일반적으로 역타기둥의 접합은 스테트볼트에 의한 방법을 적용한다.

(아) 콘크리트 타설

역타공법에서 일반적으로 문제가 되는 것은 선타설콘크리트와 후타설콘크리트와의 타설 이음부처리이다. 이것은 구조상 응력전달에 지장이 없는 이음이 되어야 하는 문제가 따르기 때문에 중요한 사항이다. 콘크리트 타설시조강제 사용은 단시간내의 Strut 효과, Shrinkage 최소화라는 장점이 있지만 조강제에 재료를 부식시키는 유해성분 함유 여부는 반드시 검토되어야 한다.

"Movement around Excavations in London Clay." proc. 7th European Conf. SMFE, 1979. VOL 1.

2. Clough and Tsui "Performance of tie-back walls in clay", ASCE J. Geotech. Div., 100 (Dec.).
3. Craft, J.R "Diaphragm walls for the support of Deep Excavations." HKIE Seminar on June 6 1983.
4. D'Appollonia, D.J, "Cut and Cover Tunneling", U.S.Dept., Transp. F.H. Admin. San Francisco Proj. Rev. Meet, Sept. 1973.
5. Goldberg, D.T et al., "Lateral support systems and Underpinning", U.S. Dept, Transp. F.H.A. Washington DC., Vols. I-III. 1976.
6. NAVFAC. DM-7.2, "Foundations and Earth Structures." Mary 1982.
7. Skempton, A.W and Macdnald, D.H, "Allowable settlement of Building" Proc. Inst. Civ. Engrs., Part III, Vol 5, pp.727~768.
8. Xanthakos, P.P "Ground Anchors and Anchored Structures." J. Wiley & Sons. Inc, 1991, pp.564~570.
9. Xanthakos, P.P "Slurry Wall" McGraw-Hill Bokk Co., 1979, pp.278~285.
10. 김학문, "도심지 지하굴착에 적용된 Top-Down 공법의 수치해석과 실측비교" 지반공학에서의 컴퓨터 활용, 91년도 추계학술발표 논문집, 한국지반공학회.
11. 김학문, "지하연속벽", 굴착 및 흙막이 공법, 한국지반공학회, 지반공학 시리즈 3, 1992. 2월, 199~283.
12. 지하연속벽공법 설계 및 시공 핸드북, 건설도서 번역판(원본은 일본건설기계화협회에서 발간하였음), 1992. 11월, pp.42~75.
13. 지하연속공법, 건설부 기술지도서, 휘문출판사, 1989. 12월, pp.22~24.
14. 흙막이 구조물의 설계 및 시공사례, 제 1 회 학술 발표회 논문집, 단국대 공대, 1992. 10. 10, 한국지반공학회 지반굴착위원회.
15. 홍원표, 주정석, 김학문, "지하철 건설에 따른 근접시공의 문제점 및 개선방향", 지반굴착, 한국지반공학회 지반굴착위원회 학술발표집 제 2집, 1993. 6월, pp.48~94.

참 고 문 헌

1. Burland, J.B., Simpson, B. and St. John, H.D.