

# 柱列式 흙막이벽의 設計에 관한 研究

## A Study on Design of Earth-Retaining Structure Constructed by a Row of Bored Piles

洪 元 杓\*  
Hong, Won Pyo

### Abstract

A row of bored piles has been used in several excavation works to retain the earth. This excavation bracing system has much effect on low-vibration and low-noise during construction. The system is also effective to provide protection to the adjacent existing ground and structures.

For the purpose of establishment of a logical design method for the bored piles, first, a theoretical equation to estimate the resistance of piles is derived. Because arching action of soils between piles is considered in the equation, the characteristics of soils and the installation condition of piles would be considered logically from the beginning.

Then a method is investigated to decide the interval ratio of piles. According to the method, the interval between piles can be decided from the information of the Peck's stability number, the coefficient of lateral earth pressure and the internal friction angle of soil.

Finally, a design method is presented for the bored piles used for excavation work. In the presented design method, such factors as depth of excavation, pile diameter, interval between piles, pile length below bottom of excavation and pile stiffness, can be selected systematically.

### 要 旨

柱列式 흙막이벽은 低振動, 低騒音의 利點이 있고 周邊地盤이나 隣接構造物에 미치는 惡影響이 적은 이유로 인하여 굴착工事의 흙막이工으로 많이 채택된다. 이러한 柱列式 흙막이벽用 말뚝의 合理的 設計法을 確立시킬 것을 目的으로 本論文에서는 말뚝의 低抗力 算定理論式이 먼저 誘導된 후 말뚝設置間隔比의 決定法도 設定된다. 本 低抗力 算定理論式의 誘導 時에는 말뚝 사이 地盤의 Arching 現象이 取摺되므로써, 地盤의 特性과 말뚝의 設置狀態가 처음부터 合理的으로 考慮된다.

한편, 本論文에서 設定된 말뚝設置間隔比의 決定法에 의거하면, 말뚝의 設置間隔이 Peck의 安定數, 地盤의 側壓係數 및 內部摩擦角으로부터 算定될 수 있다.

마지막으로 굴착깊이, 말뚝直徑, 말뚝設置間隔, 말뚝根入長 및 말뚝剛性を 體系的으로 選定할 수 있는 設計法이 提案된다.

\* 正會員·中央大學校 工科大學 助教授, 土木工學科

## 1. 序 論

都市內에서 地下鐵이나 地下室과 같은 地下構造物을 築造하기 위한 굴착을 실시할 경우는 土地利用에 대한 制約條件으로 인하여 통상 흙막이工을 設置한 후 鉛直굴착을 실시하게 된다. 그러나 이러한 굴착으로 인하여 發生되는 많은 公害는 周邊住民들에게 경제적, 정신적 피해를 주게 된다<sup>(1)</sup>. 예를 들면, 말뚝打入으로 發生하는 振動과 騒音, 地盤굴착으로 인한 周邊地盤의 沈下等을 代表的으로 열거할 수 있다. 따라서 이들 公害없이 安全한 굴착작업을 실시할 수 있는 工法을 개발하고자 함이 오래전서 부터의 가장 큰 당면문제이다. 이러한 必要性으로 인하여 開發 使用되고 있는 方法 중에 하나가 柱列式 흙막이壁을 이용한 굴착工法이다<sup>(2)</sup>.

이 工法은 直徑이 300~1200 mm 인 圓柱狀의 現位置콘크리트말뚝을 一定間隔으로 혹은 隣接시켜 現場에서 地中에 처서 흙막이壁을 형성시킨 후 버팀보(strut)나 떠장(wale)으로 혹은 앵커(anchor)로 흙막이壁을 지지시키면서 굴착을 실시하는 方法이다. 여기서 現位置콘크리트말뚝은 각종 천공기계로 말뚝設置위치를 굴착하고, 그 内部에 組立鐵筋이나 H型剛 등의 鋼材를 삽입한 후 콘크리트 혹은 모르터를 넣어 製作한다. 이 工法은 H말뚝과 같은 既製말뚝을 타격에 의하여 地中에 설치하는 工法에 비하여 低振動, 低騒音의 利點이 있음은 물론이고 周邊地盤이나 隣接構造物에 미치는 悪影響도 적다. 그밖에도 굴착工事に 대한 安全性이 높기 때문에 日本에서 도 RGP, PIP 등의 명칭으로 많이 利用되고 있다<sup>(2)</sup>.

이 흙막이壁을 구성하는 말뚝의 配列方法으로는 여러종류가 사용되나 지금 현재는 말뚝支持 機能의 究明이 不確實한 관계로 말뚝 사이의 間隔을 열어 놓는 方法보다는 말뚝을 隣接시키거나 약간씩 중복되게 설치하는 方法이 많이 사용되고 있다. 그러나 地下水位가 낮아서 遮水의 必要性이 그다지 크지 않은 경우는 말뚝을 一定間隔으로 設置하는 것이 보다 경제적이라고 思慮된다. 단, 이 경우는 말뚝 사이의 間隔을 어떻

게 결정할 것인가 하는 어려움이 수반된다. 말뚝이 間隔을 두고 설치되어 있으면 말뚝 사이의 地盤에는 arching 現象이 發生하여 地盤의 붕괴로부터 말뚝이 抵抗될 수 있게 된다<sup>(21)</sup>. 그러나 말뚝間隔을 너무 크게 하면 말뚝 사이의 地盤이 流動과괴되어 흙막이壁으로서의 機能을 발휘할 수 없게 된다. 따라서 주변지반의 影響을 最少限으로 할 수 있는 범위 내에서 간격이 最大가 되도록 말뚝간격을 결정함이 가장 바람직 할 것이다.

여기에 本論文에서는 말뚝을 一定間隔으로 設置한 柱列式 흙막이壁의 흙막이 機能을 究明하고 말뚝 사이의 地盤의 arching 현상을 잘 고려하여 말뚝間隔의 合理的 設計法을 設定하고자 한다.

## 2. 흙막이말뚝의 抵抗力

그림 1은 直徑이  $d$ 인 RC말뚝을 現位置에서  $D_1$ 의 中心間隔으로 一列로 設置한 柱列式 흙막이壁의 正面圖와 平面圖이다. 또한 사진 1은 柱列式 흙막이壁을 設置하여 굴착을 실시한 한 現場의 사진이다.

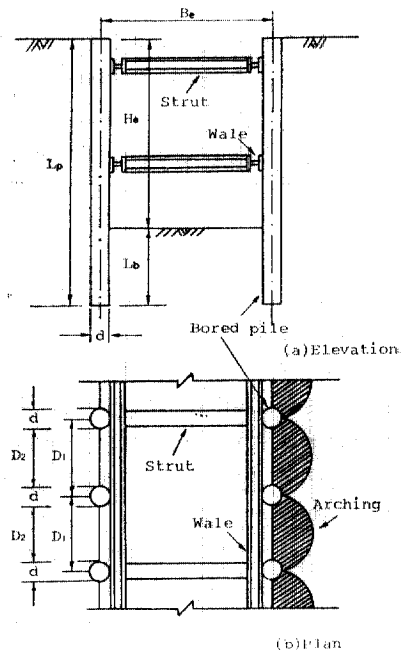


그림 1. 柱列式 흙막이壁



寫眞 1. 現場 사진

말뚝을 設置한 후 굴착이 진행됨에 따라 말뚝 사이의 地盤은 말뚝列과 直角方向으로 移動하려고 할 것이다. 이 경우 말뚝의 移動이 버팀보(strut)와 띠장(wale) 등으로 구속되어 있으면, 말뚝 사이의 地盤에는 arching 現象이 發生하게 되어 地盤移動에 말뚝이 抵抗할 수 있게 된다<sup>(21)</sup>. 따라서 柱列式 흙막이壁에 使用된 흙막이 말뚝의 設計에 있어서는 이 말뚝의 抵抗力을 適合하게 算定하여야 함이 무엇보다도 重要할 것이다. 왜냐하면, 이 抵抗力이 過小하게 算定되면 工事費가 過多하게 들 것이며, 抵抗力이 過大하게 算定되면 말뚝 사이의 地盤이 流動하여 흙막이壁의 崩壞를 초래하기 때문이다.

말뚝의 抵抗力은 地盤의 狀態와 말뚝의 設置 狀態에 影響을 받을 것이므로 말뚝저항력 算定時에는 이들 要素의 影響을 잘 考慮하여야만 한다.

이러한 抵抗力은 側方變形地盤 속의 受動말뚝에 作用하는 側方土壓 算定理論式<sup>(3-8)</sup>을 應用함으로써 算出할 수 있다. 이 側方土壓은 말뚝周邊地盤이 Mohr-Colomb의 파괴기준을 만족하는 狀態에 도달하려 할 때까지 發生 가능한 土壓을 의미한다. 따라서 말뚝이 충분한 剛性을 가지고 있어 이 土壓까지 충분히 견딜 수 있다면, 말뚝 주변지반은 塑性狀態에 달하지 않는 彈性領域에 存在하게 될 것이다. 이 事實은 바꾸어 이야기 하면 上記式으로 算定된 側方土壓이란 수치는 말뚝 사이 地盤에 塑性破壞가 發生됨이 없이 充分한 剛性을 가진 말뚝이 地盤의 側方移動

에 저항할 수 있는 最大値에 해당함을 의미한다. 地盤의 側方移動에 저항할 수 있는 이러한 말뚝의 特性을 利用하여 말뚝은 斜面의 安定을 증가시키는 目的으로도 많이 使用되고 있다<sup>(9-12)</sup>. 따라서 흙막이用 말뚝도 굴착지반의 安定을 위하여 사용될 수 있음을 예측할 수 있다<sup>(13,21)</sup>.

斜面和 같은 側方變形地盤의 경우는 말뚝列 前後面에 地盤이 存在하는 關係로 말뚝列 前後面의 土壓差를 구하여 말뚝에 作用하는 側方土壓으로 하였다<sup>(3-8)</sup>. 이와 같은 側方變形地盤 속에 設置된 圓形斷面의 受動말뚝에 作用하는 側方土壓  $p$ 의 算定理論式은 다음과 같이 誘導提案한 바 있다<sup>(8)</sup>.

$$p = c \left[ D_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{G_1(\phi)} \left\{ \frac{G_4(\phi)}{G_3(\phi)} \left( \exp \left( \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) G_3(\phi) \right) - 1 \right) + \frac{G_2(\phi)}{G_1(\phi)} \right\} - D_1 \frac{G_2(\phi)}{G_1(\phi)} \right] + \sigma_H \left[ D_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{G_1(\phi)} \exp \left( \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \times G_3(\phi) \right) - D_2 \right] \quad (1)$$

여기서  $G_1(\phi) = N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1$ ,  $G_2(\phi) = 2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2}$ ,  $G_3(\phi) = N_\phi \tan \phi$ ,  $G_4(\phi) = 2N_\phi^{1/2} \tan \phi + 1$ ,  $N_\phi = \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$ 이다.

또한, 上記式중  $c$ 는 地盤의 粘着力,  $\phi$ 는 地盤의 內部摩擦角,  $D_1$ 은 말뚝中心間隔(그림 1 참조),  $D_2$ 는 말뚝순간격( $D_1 - d$ ),  $\sigma_H$ 는 말뚝列 前面에 作用하는 土壓이다.

한편, 地盤의 內部摩擦角이 0인 粘土地盤의 경우는 式(1)대신 다음 式을 使用한다<sup>(8)</sup>.

$$p = c D_1 \left( 3 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) + \sigma_H (D_1 - D_2) \quad (2)$$

그러나, 흙막이 말뚝의 경우는 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 말뚝列 前面이 굴착지반에 해당하므로 말뚝列 前面에 作用하는 土壓  $\sigma_H$ 는 作用하지 않게 된다. 따라서, 柱列式 흙막이壁用 말뚝의 水平抵抗力  $p$ ,은 受動말뚝의 側方土壓 算定理論式 (1) 및 (2)에  $\sigma_H = 0$ 을 代入한 側方土壓  $p$ 와 等置시킬 수 있다. 이와 같이 말뚝 주변 지반이 塑性領域에 막 들어서려고 할 때 말뚝에 作用하는 側方土壓을 말뚝의 抵抗力으로 하고 이 側方土壓에 충분히 견디게끔 말뚝의 剛性和 흙

막의 支持工을 設計設置하면 말뚝背面的 地반은 彈性領域에 존재하게 된다.

우선, 地반의 内部摩擦角이 0이 아닌 경우의 말뚝 抵抗力  $p_r$ 은 式 (1)로부터 式 (3)과 같이 구하여 진다.

$$p_r = cD_1 \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{G_1(\phi)} \left\{ \frac{G_4(\phi)}{G_3(\phi)} \left( \exp \left( \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) G_3(\phi) \right) - 1 \right) + \frac{G_2(\phi)}{G_1(\phi)} \right\} - \frac{G_2(\phi)}{G_1(\phi)} \right] \quad (3)$$

粘土의 경우는 式(2)로부터 式 (4)와 같이 구하여 진다.

$$p_r = cD_1 \left[ 3 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right] \quad (4)$$

粘着力이 전혀 없는 完全 건조된 모래의 경우는 式 (3)에서 알 수 있는 바와 같이 本理論式의 사용이 불가능하다. 실제 地盤의 경우를 생각하면, 이런 地盤의 굴착時, 굴착으로 인한 굴착면의 應力解放이 發生하면 흙이 自立을 할 수 없어 붕괴될 것이다. 그러나 모래 地반이라 하여도 수분이 存在하게 되면 걸보기 粘着力이 存在하게 되므로 이 걸보기 粘着力을 구하여 上記 式 (3)을 사용하여야 한다.

이상의 檢討로부터 式 (3)과 (4)를 보다 簡便한 形態의 式으로 정리하기 위하여 저항력계수  $K_r$ 을 도입하면, 式 (3)과 (4)로부터 단위폭당으로 환산한 말뚝의 抵抗力  $p_r/D_1$ 은 式 (5)과 같은 형태로 정리될 수 있다.

$$\frac{p_r}{D_1} = K_r c \quad (5)$$

여기서

$$K_r = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{G_1(\phi)} \left\{ \frac{G_4(\phi)}{G_3(\phi)} \left( \exp \left( \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) G_3(\phi) \right) - 1 \right) + \frac{G_2(\phi)}{G_1(\phi)} \right\} - \frac{G_2(\phi)}{G_1(\phi)} \quad (\phi \neq 0 \text{의 경우})$$

$$K_r = 3 \ln \frac{D_1}{D_2} - \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \quad (\phi = 0 \text{의 경우}) \quad (6)$$

저항력계수  $K_r$ 은 式 (6)에서 알 수 있는 바와 같이  $\phi$ 와  $D_2/D_1$ 의 函數이므로 이들 사이의 關係를 圖示하여 보면 그림 2와 같다. 여기서  $D_2/D_1$ 은 말뚝의 設置狀態를 나타내는 變數로서  $D_2/D_1$ 이 0에 근접할수록 말뚝間隔은 좁은 것

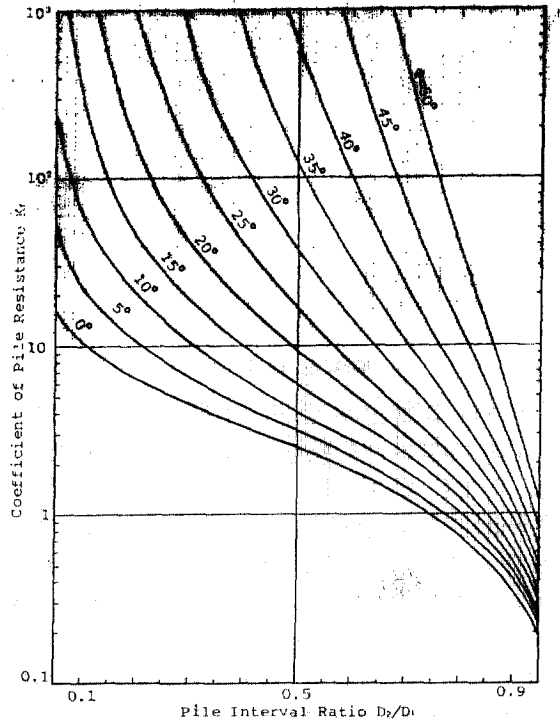


그림 2. 말뚝저항계수

을 의미하며,  $D_2/D_1$ 이 1에 근접할수록 말뚝間隔이 넓은 것을 의미한다. 이 그림에 의하면,  $D_2/D_1$ 이 0에서 1로 커질수록 즉 말뚝間隔이 커질수록 저항력계수  $K_r$ 은 감소하여 말뚝 抵抗力  $p_r$ 도 감소함을 알 수 있다. 이는 말뚝間격이 넓어지면 기대할 수 있는 말뚝의 抵抗力은 그만큼 감소하게 됨을 의미한다. 한편, 말뚝間격이 一定한 경우는 内部摩擦角  $\phi$ 가 증가할수록  $K_r$ 이 증가하여  $p_r$ 이 증가한다. 또한 式 (5)로부터도 粘着力  $c$ 가 증가할수록  $p_r$ 도 증가한다. 즉 地盤強度가 큰 견고한 地盤일수록 말뚝의 抵抗力도 커짐을 알 수 있다.

이상의 檢討로부터 本 抵抗力 算定理論式에는 地盤의 特性和 말뚝의 設置狀態가 잘 考慮되어 있음을 알 수 있다. 또한,  $K_r$ 과  $D_2/D_1$  및  $\phi$ 의 關係를 나타낸 그림 2를 이용하면 式 (3)과 (4)에 의거하지 않고도 말뚝의 抵抗力을 용이하게 算出할 수 있다.

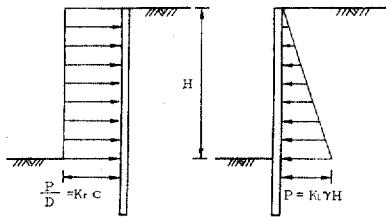
### 3. 말뚝設置間隔

#### 3.1. 設定方法

앞장에서 說明한 흙막이말뚝의 抵抗力이라함은 흙막이벽에 作用하는 側壓이 이 抵抗力 以上으로 될 때 말뚝사이의 地盤에는 塑性破壞가 發生하여 흙막이벽으로서의 기능을 발휘하지 못하게 됨을 意味한다.

따라서 柱列式 흙막이벽用 말뚝을 設置할 수 있는 말뚝의 最大間隔은 이 말뚝의 抵抗力이 흙막이벽에 作用하는 側壓과 一致하는 경우의 말뚝間隔으로 制限될 것이다.

여기서 굴착깊이에 따른 흙막이벽에 作用하는 側壓과 흙막이 말뚝의 抵抗力의 分布를 圖示하면 그림 3과 같다.



(a) 흙막이말뚝의 저항력 (b) 흙막이벽에 작용하는 側壓

그림 3. 柱列式 흙막이벽의 저항력과 側壓

우선, 흙막이 말뚝의 抵抗力은 式 (5)에서 알 수 있는 바와 같이 깊이에 無關하여 그림 3(a)와 같은 矩形分布를 하게 된다.

한편, 흙막이벽에 作用하는 側壓은 여러 가지 方法으로 구할 수가 있으나 가장 一般的인 側壓分布는 그림 3(b)와 같은 三角形分布를 들 수 있다.

이 側壓分布중 最大側壓  $p(t/m^2)$ 는 다음式으로 表現될 수 있다.

$$p = K_L \gamma H \quad (7)$$

여기서,  $H$ 는 굴착깊이,  $\gamma$ 는 地盤의 單位體積重量,  $K_L$ 은 側壓係數이다.

말뚝間隔은 最大側壓이 作用하는 位置에서 側壓과 抵抗力을 等置시키므로써 얻을 수 있다. 따라서 式 (5)과 (7)로부터 式 (8)을 얻는다.

$$K_r c = K_L \gamma H \quad (8)$$

式 (8)로부터 말뚝의 저항력계수  $K_r$ 은 式(9)와 같이 된다.

$$K_r = K_L \cdot \frac{\gamma H}{c} \quad (9)$$

여기서  $\gamma \cdot H/c$ 는 peck의 安定數(Stability Number)<sup>(14)</sup>  $N_s$ 와 一致하므로 式 (9)는 式 (10)으로 고쳐쓸 수 있다.

$$K_r = K_L \cdot N_s \quad (10)$$

式 (10)으로부터 말뚝의 抵抗力係數  $K_r$ 은  $K_L$ 과  $N_s$ (즉, 地盤의 粘着力, 單位體積重量, 側壓係數 및 굴착깊이)를 알면 결정되는 係數임을 알 수 있다. 그러나 이 抵抗力係數  $K_r$ 은 式 (6)에서 안 바와 같이 말뚝간격  $D_2/D_1$ 과 地盤의 內部摩擦角  $\phi$ 의 函數이기도 하다. 따라서 式 (6)과 (10)을 연결시키므로써 흙막이 말뚝의 設置間隔을 구할 수 있을 것이다. 즉 굴착을 실시할 地盤의 地盤條件과 굴착깊이가 알려지면 式 (10)으로 저항력계수  $K_r$ 이 구하여지고  $K_r$ 이 구하여지면 이러한  $K_r$ 이 얻어질 수 있게  $D_2/D_1$ 을 式 (6)으로부터 구하면 된다.

이상과 같은 흙막이 말뚝의 設置間隔의 決定方法을 圖示하면 그림 4와 같다. 그림 4는  $N_s - K_r - D_2/D_1$  사이의 關係圖를 나타낸다. 즉 左側半의  $N_s$ 와  $K_r$  및  $K_L$ 의 관계는 側壓係數가  $K_{L,1}$ 인 경우 地盤의 安定수가  $(N_s)_1$ 이면 그림 중의 화살표에 따라  $(K_r)_1$ 을 구할 수 있다.

또한 右側半의  $K_r$ 과  $D_2/D_1$  및  $\phi$ 의 관계로 地盤의 內部摩擦角이  $\phi_1$ 인 경우  $(K_r)_1$ 으로부터

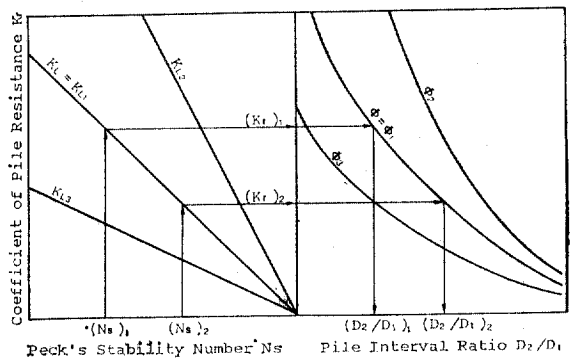


그림 4. 흙막이말뚝設計 概略圖

화살표의 方向에 따라  $(D_2/D_1)_1$ 을 구할 수 있다. 한편 安定數가 Peck의 기준<sup>(14)</sup>에 따라 不適合하다고 판단되어 굴착깊이를 수정할 경우는 安定數가  $(N_s)_2$ 로 변경되며 역시 同一한 方法으로  $(D_2/D_1)_2$ 를 구할 수 있다. 地盤의 內部摩擦角과 側壓係數가 다른 경우는 各各 다른 曲線(즉,  $\phi_2, \phi_3 \dots$  및  $K_{L2}, K_{L3} \dots$ )을 사용하여 同一方法으로 계산할 수 있다.

### 3.2. 흙막이壁에 作用하는 側壓

흙막이壁에 作用하는 側壓은 Rankin 土壓方法<sup>(15)</sup> Terzaghi-Peck 方法<sup>(16)</sup>, Tschebotarioff 方法<sup>(17)</sup>, 日本建築學會方法<sup>(18)</sup>, 日本道路協會方法<sup>(19)</sup>, 등이 있다. 이들 方法은 흙막이壁의 剛性에 따라 分類適用된다.

즉 剛性이 큰 흙막이壁인 경우의 側壓은 그림 3(b)와 같은 형태의 Rankine 土壓公式이나 經驗公式을 利用한다<sup>(18,20)</sup>. 이 경우 側壓係數  $K_L$ 은 Rankine의 主動土壓係數  $K_a (= \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}))$ 를 사용하거나 경험식<sup>(18,19)</sup>에 의한 0.2~0.8을 사용한다. 그러나 흙막이壁의 變位를 적극적으로 억제하여야 할 경우는 主動土壓係數  $K_a$  대신 정지토압계수  $K_0$ 를 사용함이 좋다.

한편 흙막이벽에 어느 정도의 可撓性이 있는 경우는 Terzaghi-Peck 方法<sup>(16)</sup>이나 Tschebotarioff 方法<sup>(17)</sup> 등의 경험적 提案値를 使用한다. 우선, 그림 5는 Terzaghi와 Peck이 1941년에 버틸보의 軸力計測値로부터 흙막이벽에 作用하는 側壓分布를 提案하였다가 1967년에 다시 修正提案한 土壓分布이다<sup>(16)</sup>. 이 側壓分布를 사용시에는 最大側壓値(0.65  $K\gamma H$ , 1.0  $K\gamma H$ , 0.2~0.4  $\gamma H$ )에서  $\gamma H$ 를 제외한 나머지 部分을 側壓係數  $K_L$ 로 한다.

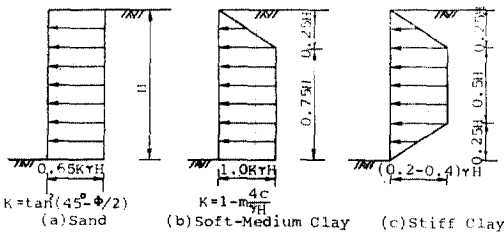


그림 5. Terzaghi-Peck의 側壓分布<sup>(16)</sup>

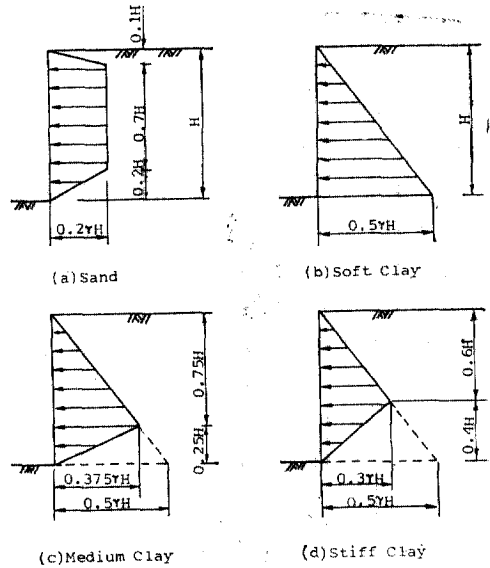


그림 6. Tschebotarioff의 側壓分布<sup>(17)</sup>

그림 6은 Tschebotarioff에 의하여 1951년 提案된 側壓分布이다<sup>(17)</sup>. 따라서 이 側壓分布를 사용할 경우 側壓係數  $K_L$ 은 砂質土, soft clay, medium clay, stiff clay에 대하여 각각 0.2, 0.5, 0.375, 0.3의 값을 使用한다.

그밖에도 上載荷重이나 構造物의 荷重이 作用할 경우는 이들 荷重으로 인한 側壓의 增加量  $\Delta p$ 를 고려하여야 한다. 이 경우에는 最大側壓의 위치를 조사하여 그 위치에서 側壓과 말뚝의 저항력  $p$ 이 같도록 式 (11)과 같이하여 저항력 계수  $K$ 을 구한다.

$$K \cdot c = p + \Delta p \quad (11)$$

### 4. 말뚝의 設計法

柱列式 흙막이壁을 合理的으로 設計하기 위하여서는 地盤條件, 굴착규모 및 말뚝條件이 適合하게 고려되어야만 한다.

3章에서의 考察로부터 알 수 있는 바와 같이 흙막이 말뚝의 設計時 考慮될 수 있는 要素로는  $c, \phi, \gamma$ 와 같은 地盤條件과 側壓係數, 굴착깊이, 말뚝直徑 및 말뚝間隔을 들 수 있다. 이외에도 굴착하부지반의 붕괴를 방지시키기 위한 말뚝 根入長과 말뚝剛性을 들 수 있다. 따라서 柱列式 흙막이壁用 말뚝의 設計에는 이들 要

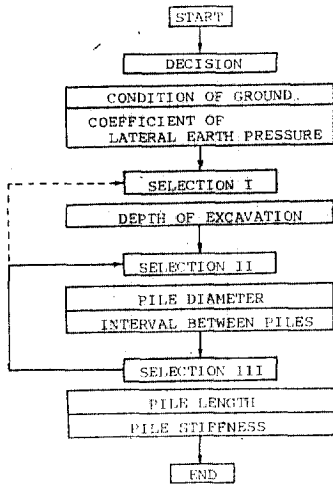


그림 7. 柱列式 흙막이말뚝의 設計順序

素가 體系的으로 考慮되어야 함이 合理的인 것이다.

이러한 設計法의 設計順序를 block chart로 圖示하면 그림 7과 같이 整理될 수 있을 것이다. 우선, 現場調査와 室內實驗 등에 의하여 地形, 地質, 土質 等の 地盤條件이 決定된다. 이와 同時에 이 地盤條件으로부터 흙막이壁에 作用하는 側壓을 산정하기 위한 側壓係數를 決定한다. 이 側壓係數는 3.2節에서의 說明에 의거하여 決定될 수 있다.

다음으로 地下構造物의 規模와 設置位置에 따라 굴착깊이를 選定한다. 굴착깊이가 선정되면 그림 4에서 說明한 方法에 의거하여 말뚝間隔比의 限界值가 算定될 수 있다. 따라서 이 限界 말뚝間隔比內에 間隔比가 存在하도록 말뚝의 直徑과 말뚝設置間隔을 選定한다.

마지막으로 말뚝直徑과 말뚝間隔이 選定되면 말뚝의 根入長과 말뚝剛性を 選定한다. 말뚝의 根入長은 굴착下部地盤이 굴착內部로 滑動破壞하지 않을 充分한 길이가 되도록 선정하며, 말뚝剛性は 말뚝의 側方變形을 最大限으로 억제하여 柱列式 흙막이壁으로서의 기능을 충분히 발휘하도록 철근량, H형강의 치수를 결정한다. 또한 여기서는 말뚝의 剛性を 보강하기 위하여 버팀보와 떠장 혹은 앵커의 흙막이壁 支持構造物의 設計도 실시되어야 한다.

이 段階에서 만족할 만한 選定이 이루어질 수 없는 경우는 그림 7에 圖示된 바와 같이 選定 II로 feed back하여 말뚝直徑과 말뚝間隔을 수정, 선정할 수 있다. 또한 경우에 따라서는 選定 I까지 feed back하여 굴착깊이도 다시 선정하여 수정할 수도 있다. 그러나 굴착깊이의 경우는 地下構造物의 規模에 의하여 선정되는 경우가 많으므로 이러한 경우는 드물 것이다.

이와 같이 設計한 以外에도 地下水에 의한 영향이 극심하거나 지반 변형을 특히 制限하여야 하는 경우는 上記와 같이 設計한 말뚝사이에 모르타말뚝을 연속設置하여, 遮水壁으로서의 기능을 발휘할 수 있게 한다. 이 경우 철근이나 H型剛으로 보강한 RC 말뚝의 設置間隔은 上記 設計法에 의하여 決定함이 바람직하다고 思慮된다.

## 5. 結 論

柱列式 흙막이壁用 말뚝을 一定間隔으로 配列設置하기 위한 設計法의 確立을 目的으로 실시한 研究로 다음과 같은 結果를 얻을 수 있었다.

1. 말뚝사이 地盤의 arching 現象을 考慮함으로써 地盤의 特性和 말뚝의 設置狀態를 보다 合理的으로 考慮할 수 있는 흙막이 말뚝의 抵抗力算定理論式을 유도 할 수 있었다.

2. 地盤特性和 굴착規模에 의하여 정하여지는 Peck의 安定數 側壓係數 및 內部摩擦角으로부터 흙막이말뚝의 設置間隔比  $D_2/D_1$ 의 限界值를 決定할 수 있는 方法이 확립되었다.

3. 地盤特性이 알려진 지반에서의 흙막이 말뚝의 設計法이 提案되었다. 이 設計法에서는 굴착깊이, 말뚝直徑, 말뚝設置間隔, 말뚝根入長 및 말뚝剛性が 體系的으로 選定된다.

## 感謝의 말

本研究 수행에 도움을 준 正友開發(株)의 권우용씨에게 감사의 뜻을 표하는 바이다.

## 參 考 文 獻

1. 日本土質工學會：掘削にとりあう公害とその對策, 東京, 1978.
2. 梶原和敏：柱列式地下連續壁工法, 鹿島出版會, 東

- 京 1984.
3. Matsui, T., Hong, W.P. and Ito, T.: "Earth pressures on piles in a row due to lateral soil movements", *Soils and Foundations*, Vol. 22, No. 2, 1982, pp. 71~81.
  4. 洪元杓: "粘土地盤속의 말뚝에 작용하는 側方土壓" 大韓土木學會論文集, 第2卷, 第1號, 1982, pp. 45~52.
  5. 洪元杓: "모래地盤속의 말뚝에 작용하는 側方土壓" 大韓土木學會論文集, 第3卷, 第3號, 1983, pp. 63~69.
  6. 洪元杓: "側方變形地盤속의 줄말뚝에 작용하는 土壓", 大韓土木學會論文集, 第4卷, 第1號, 1984, pp. 59~68.
  7. 洪元杓: "受動말뚝에 작용하는 側方土壓", 大韓土木學會論文集, 第4卷, 第2號, 1984, pp. 77~88.
  8. 洪元杓: "側方變形地盤속의 圓形말뚝에 작용하는 土壓의 算定", 中央大學校論文集, 自然科學編, 1983, pp. 319~328.
  9. Winterkorn, H.F. and Fang, H.-Y.: *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1975, pp. 395~398.
  10. Poulos, H.G. and Davis, E.H.: *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1980, pp. 160~161.
  11. Ito, T., Matsui, T. and Hong, W.P.: "Design method for stabilizing piles against land slide-one row of piles." *Soils and Foundations*, Vol. 21, No. 1, 1981, pp. 21~37.
  12. Ito, T., Matsui, T. and Hong, W.P.: "Extended design method for multi-row stabilizing piles against landslide", *Soils and Foundations*, *ibid*, Vol. 22, No. 1, 1982, pp. 1~13.
  13. 권우용: 土留말뚝에 작용하는 土壓算定式, 中央大學校 碩士學位論文, 1982.
  14. Peck, R.B.: "Deep excavation and tunneling in soft ground", *Proc. 7th ICSMFE, State of the Art Volume*, 1969, pp. 225~285.
  15. Terzaghi, K. and Peck, R.B.: *Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1967, pp. 193~201.
  16. *Ibid.*, pp. 394~413.
  17. Tschebotarioff, G.P.: *Foundation, Retaining and Earth Structures, 2nd Ed., International Student Edition*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1973, pp. 415~457.
  18. 日本建築學會: 建築基礎構造設計基準·同解説, 東京, 1974, pp. 400~403.
  19. 日本道路協會: 道路土工擁壁·カルバト·假設構造物工指針, 東京, 1977, pp. 179~183.
  20. 日本土質工學會: 土留あ構造物の設計法, 東京, 1978, pp. 30~58.
  21. Bowles, J.E.: *Foundation Analysis and Design, 3rd Ed.*, McGraw-Hill, Tokyo, 1982, pp. 516~547.

(接受: 1985. 1. 30)