

항만구조물의 기초처리공법 중 수치 PROGRAM을 이용한 강제치환 예상 추정선에 관한 연구

이상화 · 이영재
동아대학교 토목공학과

A Study on the Numerical Model for Predicting Depth of Replacement and Consolidation by Embankment on Weak Soil

SANG-HWA LEE AND YOUNG-JAE LEE

School of Civil Engineering, Dong-a University, Pusan 604-714, Korea

KEY WORDS: Heave 응기, Replacement 강제치환, Fill load 성토하중, Bearing power of ground 지반지지력, Settlement 침하, Consolidation 압밀, A line of fill replacement 강제침하예성선

ABSTRACT: The estimation of soil stabilization is of great importance concerning the construction of structures on weak soil. A typical model of soil stabilization is considered as replacement, which is based on ground at failure due to direct loading on weak soil. The calculation of the line of predicting settlement was carried out using RPL and DIKE programs. The DIKE program is showing a tendency to excel totally about this embankment of the seadike. Hereafter, This program will be contributed widely to the construction of offshore structures on weak soil.

1. 서 론

港灣 構造物을 建設하기 위해서는 우선 改良 對象인 地盤의 成層狀態와 各층의 力學的 性質을 잘 調査하고, 構造物의 特性을 把握한 후 對策을 樹立해야 하며, 所要工期, 軟弱地盤 改良 공정의 適用性은 改良目的, 對象 地盤, 施工 및 環境條件의 側面에서 最適 工法을 選定해야 한다.

工法 中 代表的인 強制置換 工法에 있어 強制置換 豫想 推定線을 數值 Program인 RPL, DIKE를 利用하여 推定하였다.

2. 본 론

2.1 強制置換 工法

強制置換 工法이란 양질 材料를 直接 軟弱地盤上에 投下하여 그 自重으로 基礎 地盤에 破壞를 일으켜 軟弱土를 周圍로 排除하여 置換하는 工法이다.

Fig. 1과 같이 급속히 盛土된 양질토는 基礎 地盤을 破壞시키면서 下層으로 陷沒하여, 軟弱土를 축방 및 전방으로 부풀게 해서 일단 安定된다.

이 상태로 다시 전방으로 盛土를 하면 다시 같은 滑動破壞를 일으켜 하층으로 陷沒하여, 軟弱土는 배제되고 부풀어 오른다. 이것을 반복하면서 軟弱層을 배제, 양질의 土砂로 置換하게 된다.

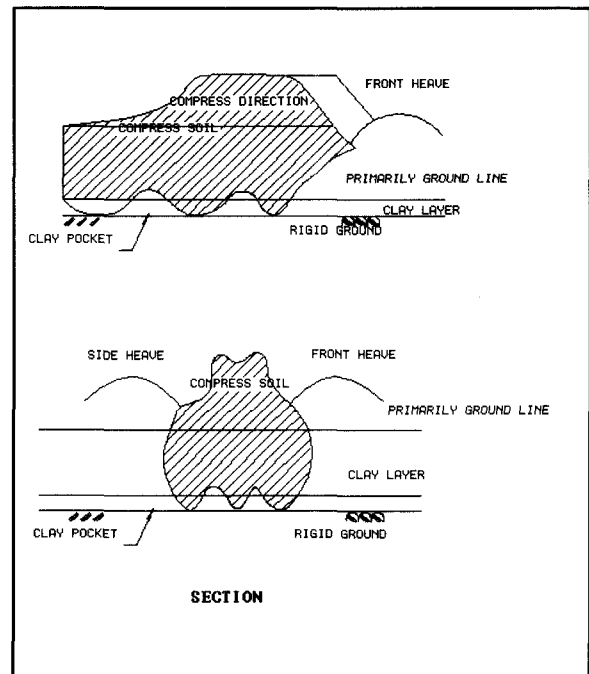


Fig. 1 A concept drawing of replacement

2.2 強制置換 深度 推定

2.2.1 深度 推定 方法

- 原地盤 應力 考慮한 地中應力 平衡法
- 隆起範圍 圖表法
- 圓弧滑動 解析法

(1) 原地盤 應力 考慮한 地中應力 平衡法

체 盛土에 의한 增加應力에 置換된 部分의 單位重量과 原地盤의 單位重量 차이에 의한 增加應力을 더하여 鉛直應力을 산정하고 이 應力과 地盤極限 支持力(Qult)을 비교하여 置換 깊이를 算定하는 方法

- $\sigma_v = \Delta\sigma + (\gamma'_1 - \gamma'_2) D_f$
 - $Q_{ult} = CN_c + \gamma'_2 D_f$

- 여기서, Q_{ult} : 地盤 極限 支持力 (t/m^2)
 σ_v : 鉛直應力 (t/m^2)
 $\Delta\sigma$: 堤体 盛土에 의한 應力增加量 (t/m^2)
 γ'_1 : 置換堤体の 水中單位重量 (t/m^3)
 γ'_2 : 原地盤의 水中單位重量 (t/m^3)
 C : 原地盤의 粘着力 (t/m^2)
 N_c : 支持力 係數
 D_f : 置換 깊이 (m)

(2) 隆起 範圍 圖表法

日本 建設省 및 日本 道路工團 등의 施工 事例를 根據로 한 파괴직전 (F.S = 1.0)에 있어서 隆起 範圍 圖表를 利用하는 方法

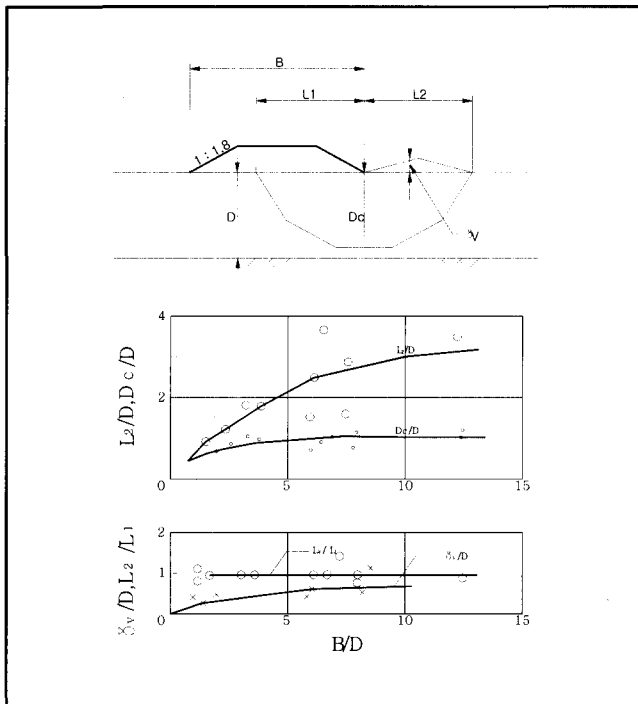


Fig. 2 A range of drawing heave based on construction example

(3) 圓弧滑動 解析法

盛土部 하부의 임의의 置換 깊이까지 斜面 安定 解析을 한 후 安全率이 1.0이 되는 深度를 置換 深度로 假定하는 方法

2.2.2 檢討 方法

軟弱地盤上에 盛土할 때 地盤의 支持力이 盛土 荷重보다 적으면 原地盤의 上부분이 進단 파괴된 후 소성 유동을 일으켜 옆으로 밀려 올라가면서 盛土体가 置換 沈下되며 이것을 强制 置換이라 한다. 또 强制置換이 일어난 후에도 하부에 粘性土層이 있을 때는 增加된 荷重으로 인하여 장기간에 걸쳐 壓密沈下가 발생한다.

이러한 强制置換 豫想 推定線을 구하는 데는 一般的으로 상기 3가지중 1) 原地盤 應力 考慮한 地中應力 平衡法인 RPL, DIKE 등의 PROGRAM이 利用되고 있으며, 그 原理는 다음과 같다.

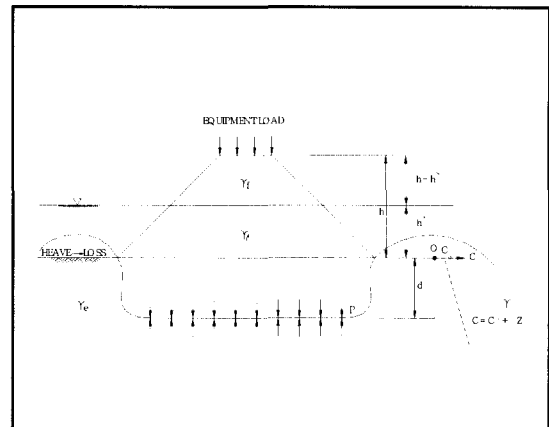
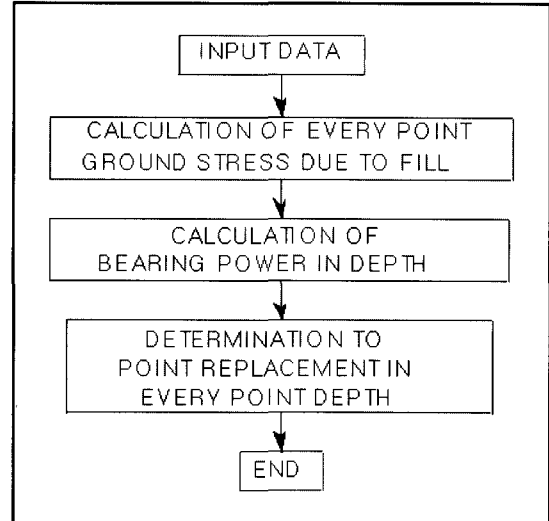


Fig. 3 Replacement caused by fill load

(1) 地中應力 計算 方法 및 適用

(가) 强制置換 깊이

强制置換 깊이 d는 地盤의 非排水 剪斷强度 C_u 와 盛土 높이 그리고 盛土材의 單位重量, 그리고 施工方法 등에 의하여 決定된다. 이러한 地盤의 소성 유동 거동을 精確히 해석하는 것은 매우 어려운 문제이다. 近似 解析으로 테르자기의 支持力 公式를 利用한 置換 沈下 깊이 推定 方法은 다음과 같다. 置換 깊이에서 상재 荷重 P와 支持力 q_u 는 平衡상태에 있으므로,

$P = q_u$ 이다.

여기서,

- P : 깊이 d에서의 作用荷重
- qu : 깊이 d에서의 地盤의 極限 支持力
- P = 堤体 盛土로 인한 荷重增加量 (Ps)+置換된 部分의 重量 (Pd)+裝備 荷重 (Pt)

* 堤体が 반무한으로 넓게 盛土될 경우

$$P_s = \gamma f \cdot (h-h_w) + \gamma' f \cdot h_w$$

$$P_d = \gamma f \cdot d$$

裝備荷重 Pt 는 Fig. 4와 같이 荷重分布를 1 : 2 로 보면

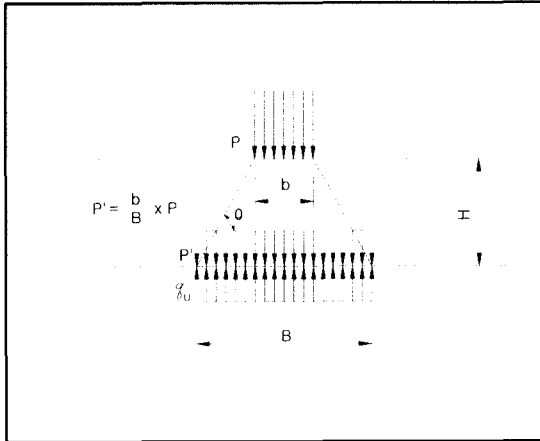


Fig. 4 Distribution of truck load

$$P_t = PL / [(a + h + d) (b + h + d)]$$

여기서, PL : 트럭의 후륜荷重 (ton)

a : 후륜의 접지길이 (m, 보통 0.2m)

b : 후륜의 접지폭 (m, 보통 0.5m) 이다.

① 上部荷重에 따른 地中應力

○ 一般的으로 堤体는 반무한 넓이로 盛土되지 않으므로 그럴 경우의 堤体 盛土로 인한 地中應力은 Boussinesq, Weatergaard, Foster and Ahlin, Newmark 등의 方法으로 구할 수 있으며 여기서는 Boussinesq 의 方法으로 구하였다.

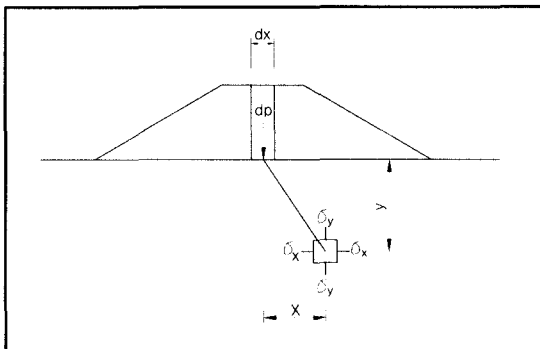


Fig. 5 Ground stress caused by seadike load

○ 그림과 같이 堤体의 미소폭 dx에 作用하는 荷重을 dp, 荷重

으로 부터 x, y 만큼 떨어진 點에서의 垂直應力 增加分 dσy 는

$$d\sigma_y = 2 dp y^3 / (\pi R^4) = 2 dp / \{\pi y (1 + x^2 / y^2)^2\}$$

이다.

이것은 堤体 전쪽에 대하여 積分하면 σy를 구할 수 있다.

② 極限 支持力

○ 粘性土 地盤의 極限 支持力 qu는 다음과 같다.

$$q_u = C \cdot N_c + \gamma' \cdot d$$

여기서, C : 基礎 地盤의 粘着力

$$(t/m^2)$$

Nc : 支持力 係數

γ' : 基礎地盤 흙의 單位 重量 (t/m³)

d : 隆起된 높이를 포함 한 基礎 地盤의 置換 深度 (m)

○ Nc는 支持力 係數로서의 여러 가지 값이 提案되어 있다.

構造物 基礎 設計 基準 Nc = 5.3

Prandtl Nc = 5.14

Terzaghi Nc = 5.7

Fellenius Nc = 5.52

Myerhof and Hansen

$$N_c = 5.14 \text{ (DIKE PROGRAM에 適用)}$$

Mandel and Salencon

$$N_c = 5.14 + 0.47 \times \left(\frac{B}{h} - 1.40 \right)$$

(RPL PROGRAM에 適用)

여기서, B : 재하폭

h : 軟弱地盤 두께

③ 置換 深度 推定

○ 粘土의 비배수강도(Cu)는 깊이에 따라 增加하므로 아래 Fig. 6와 같이 上部荷重 P 와 地盤支持力 qu는 地盤深度가 깊어짐에 따라 增加한다. 이 두개의 선이 交叉하는 點의 깊이 d가 近似的으로 구한 置換 深度이다.

$$q_u = P$$

$$5.3 C_u + q = \gamma (h - h_w) + \gamma' (h_w + d) + \text{裝備荷重}$$

○ 상기 식을 그래프로 나타내면 다음과 같다.

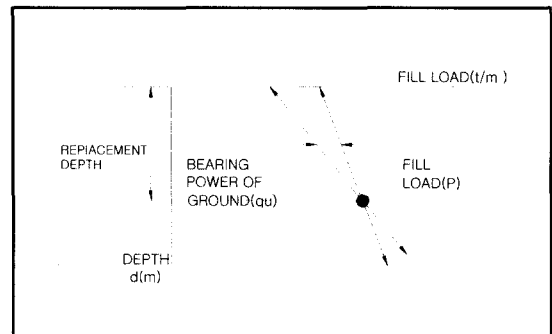


Fig. 6 Interaction of drawing fill load and replacement depth

○ 이 두개의 선이 교차하는 점의 깊이 d가 近似的으로 구한 置換 沈下깊이라 할 수 있다. 이러한 置換 깊이는 盛土材를 施工하는 方法에 따라, 地盤의 교란도에 따라 다르고 盛土材와 置換 隆起되는 粘土 사이에 作用하는 側面 摩擦力과 粘土層 塑性 流動의 時間 遲延 效果가 무시되는 등 計算値와 실제치 가 달라질 要因이 많기 때문에 施工中の 精確한 置換 깊이는 확인시추로 確認하여야 한다.

(나) 壓密沈下の 計算

① 壓密沈下量 計算

粘性土 地盤위에 堤防을 盛土했을 때 地중속에서 過剩 間隙 水壓이 發生하게 되고, 이 過剩 間隙 水壓은 粘性土의 낮은 透水性 때문에 오랜 時間을 두고 배수가 되며 地盤의 壓密 沈下를 일으키게 된다. 地盤의 壓密 沈下는 다음 식에 의하여 計算할 수 있다.

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right)$$

여기서 C_c : 압축지수
 e_0 : 초기 간극비
 H : 점토층의 두께
 P_0 : 初期 有效應力
 ΔP : 增加應力

또 다층인 粘性土의 경우는

$$S = \sum \left[\frac{C_{ci} \cdot H_i}{1 + e_{oi}} \log \left(\frac{P_{oi} + \Delta P_i}{P_{oi}} \right) \right]$$

이때 첨자 i 는 i 번째 층을 나타낸다.

이 식은 正規壓密狀態($P_c < P_0$)의 경우이며

또 過壓密狀態($P_c > P_0$)인 粘土에서는 다음과 같이 計算될 수 있다.

$P_0 < P_0 + \Delta P \leq P_c$ 일 경우

$$S = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right)$$

$P_0 + \Delta P \leq P_c < P_0$ 일 경우

$$S = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_c} \right)$$

여기서 P_c : 先行壓密荷重

C_s : Swelling Index

(보통 $C_s = \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} C_c$)

② 沈下時間의 計算

土層의 어느 壓密度까지 壓密되는데 要하는 時間은 그 壓密度에 對應하는 時間係數에서 計算된다. 이 時間係數 $I_v = C_v / H^2 \cdot t$ 이므로 所要時間

$t = H^2 / C_v \cdot I_v$ 로 된다.

Fig. 7과 같이 C_v 가 다른 다중 地盤에서의 沈下時間은 다음과 같이 計算할 수 있다.

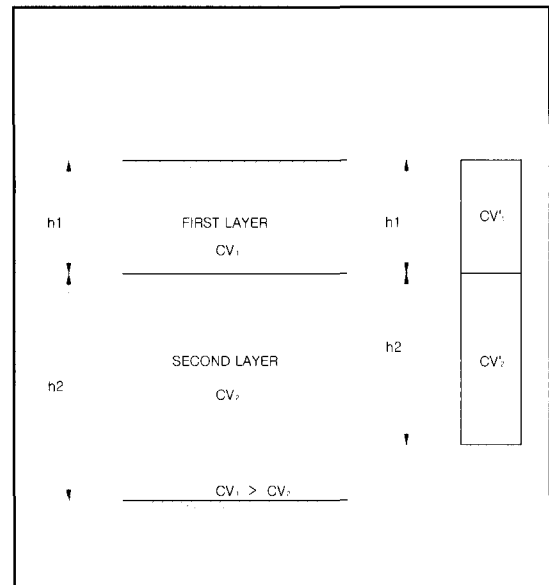


Fig. 7 Thickness change layer differ from value of Cv

그림에서와 같이 (C_{v1}, h_1), (C_{v2}, h_2)인 두 개의 층은 각각 일면 배수조건에 있으므로 최대 배수장은 $H_1 = h_1, H_2 = h_2$ 로 된다.

이 두개의 층은 壓密係數가 C_{v1} 인 하나의 층으로 취급하려면 제2층의 두께를 아래식으로 구하고, 전체를 $h = h_1 + h_2$ 의 두께를 가지고 $C_v = C_{v1}$ 인 단일층으로 생각할 수 있다.

$$h'_2 = h_2 \sqrt{\left(\frac{C_{v1}}{C_{v2}} \right)}$$

(2) 强度 增加率 算定 方法 및 適用

体の 置換 斷面 形狀 決定에 가장 중요한 것이 基礎 原地盤의 强度 增加率 決定이며, 이를 산정하는 方法에는 크게 3가지로 大別할 수 있다.

① 地盤强度를 利用한 方法

$$C = K \cdot Z + C_0$$

여기서 C : 强度增加후 粘着力 (t/m^2)

K : 粘着力 增加 係數

Z : 기준점으로 부터의 깊이

② Skempton & Henkel의 제안식

$$\frac{S_u}{P} = 0.11 + 0.0037 PI \quad (\text{단 } PI > 10)$$

여기서, PI : 소성지수 (%)

③ Hansbo의 제안식

$$\frac{S_u}{P} = 0.45 LL \quad (\text{단 } LL > 40)$$

여기서, LL : 액성한계

Table 1 Relation between value and method

Method	PI Hean value	LL Hean value	Strengthin crease	Selection
Skempton & Henkel	34.4	-	0.237	
Hansbo	-	61.2	0.275	
Method caused by ground strength	-	-	0.017	○

②, ③식을 이용한 강도증가율은 비슷하였고, ①식에 의한 강도증가율은 0.017을 보였으며, 본 검토에서는 현장여건에 적합하게 산출한 ①식을 이용한 강도증가율 0.017로 채택

2.2.3 置換 断面 形状

本 研究는 평택 생산기지 3차 확장사업 매립지의 北側護岸을 適用하여 檢討하였다.

(1) RPL에 의한 檢討

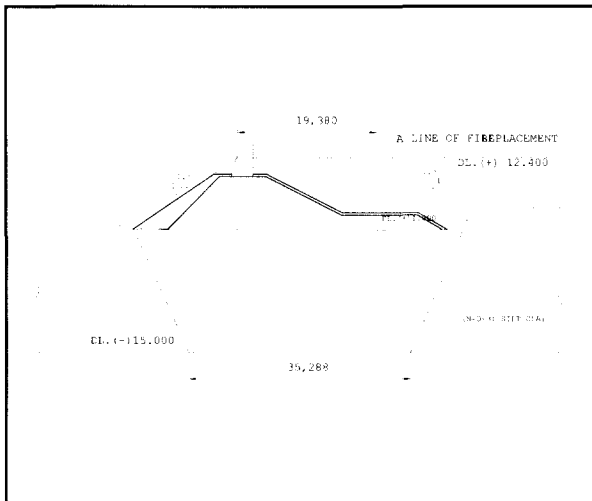


Fig. 8 The line of predicting replacement depth

(2) DIKE에 의한 檢討

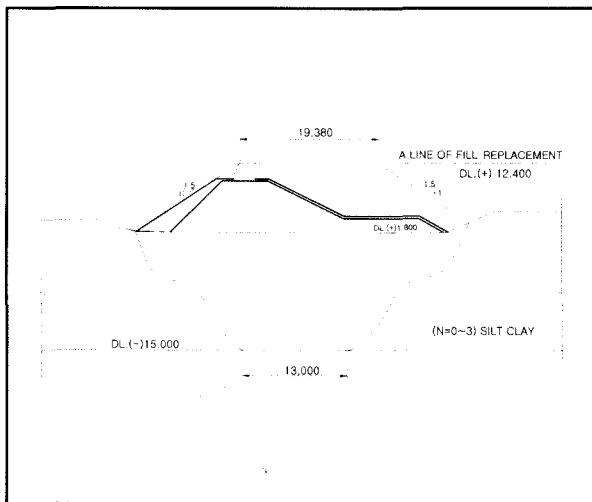


Fig. 9 The line of predicting replacement depth

3. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) RPL과 DIKE를 이용한 計算 結果 置換 깊이와 置換 形状에 있어서는 유사한 傾向을 보이니, 置換된 地面폭은 RPL PROGRAM의 結果가 더 넓게 分布하였다.
- (2) RPL은 壓密沈下量까지 考慮된 總 沈下量을 算定할 수 있었다.
- (3) RPL보다 DIKE의 結果가 여러 現場의 實際 施工 結果와 類似한 形状을 보이는 만큼 실제의 設計에서도 後者의 境遇가 適用되는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 강도증가율은 0.017로 채택하였다.
- (4) 地域에 따라서는 地盤의 여러 不確實性 要因이 많으므로 반드시 施工 확인보링에 의한 추가 安定檢討가 必要한 實定이며, 必須的으로 計測管理 System의 構築이 切實히 要求됨.

참 고 문 헌

水原カ et all.(1987). “軟弱地盤 着底式 防波堤の水利特性 について”, 海岸工學 講演會 論文集, 第34回, pp 631~635.
 천병식(1998). “지방공학”, pp 563~567.
 Braja M. das(1984). “Principles of Foundation Engineering”, pp 134~135.
 Braja M. das(1994). “Advanced Soil Mechanics”, pp 333~387.
 Joseph E. Bowles(1996). “Foundation Analysis and Design”, Fifth Edition, pp 329~336.

2000년 4월 7일 원고 접수
 2000년 8월 2일 수정본 채택