

앵커식 자유지지 널말뚝벽의 설계용 간편식

Simplified Formulae for Free Earth Supported Anchored Sheet-Pile Wall

김기웅* · 권민석** · 백영식***

Kim, Khi-Woong · Kwon, Min-Seok · Paik, Young-Shik

Abstract

Sheet piles are often used to build continuous walls for the waterfront structures, and also used for some temporary structures, such as the braced cuts. Sheet pile walls may be divided into two basic categories that is cantilever and anchored.

Stock(1992) developed an expedient format for determining the depth, maximum bending moment and anchor force of sheet pile wall for cantilever and free earth supported anchored wall. But, that is useful only in case that water table exists above the dredge line.

In this study, a simplified formulae was developed for the design of the anchored free earth supported sheet pile wall both in sand and clay by solving the derived equations and regression analysis. It can be used whether the ground water table is above or under the dredge line.

Keywords : Sheet pile, Free earth supported method, Anchored sheet-pile wall, Penetration depth, Anchor force, Simplified formulae

요 지

널말뚝의 보다 편리한 설계를 위하여 지하수위가 굴착선 위에 있을 때 설계시 수계산을 하지 않고 근입깊이, 앵커장력, 그리고 최대 휨모멘트를 구할 수 있는 설계용 도표가 개발되어 있다. 그러나 기존의 설계용 도표는 지하수위가 굴착선 위에 있을 경우와 앵커의 설치위치와 단위중량비가 제한적인 경우(Stock, 1992)에 한하여 개발되어 있어 설계에 많은 제약을 받는다.

다양한 설계조건에서도 설계에 편리하게 이용할 수 있는 간편식을 개발하였다. 널말뚝의 기하학적 조건과 흙의 토성치를 변화시켜 근입깊이, 앵커장력 그리고 최대 휨모멘트 등의 결과값을 얻어 이를 회귀분석을 통하여 사용하기 편리한 간편식을 개발하였다.

주요어 : 널말뚝, 자유지지보법, 앵커식 널말뚝, 근입깊이, 앵커장력, 간편식

* 정회원 · 시립인천전문대학 토목과 교수

** 경희대학교 대학원 토목공학과 박사수료

*** 정회원 · 경희대학교 토목건축공학부 교수

1. 서론

널말뚝은 일반적으로 항만이나 호안, 수로 등의 수리 구조물 공사 및 지반 굴착시의 가설 흙막이 구조 등 다양한 종류의 토목 구조물 또는 가설물 연속벽으로 설계되어 최소의 근입깊이와 경제적인 단면으로 최대 휨모멘트에 저항하는 것을 목적으로 한다. 널말뚝은 크게 자립식 널말뚝과 앵커식 널말뚝으로 나눌 수 있으며, 지반조건에 따라 토압 분포가 달라진다. 이들의 토압분포 이론은 고전적 토압이론을 이용한 분포로서 실제 토압분포와는 상이하나 안정성과 계산의 편리성 측면에서 유용하게 사용되고 있다.

널말뚝의 보다 편리한 설계를 위하여 지하수위가 굴착선 위에 있을 때 설계시 수계산을 하지 않고 근입깊이, 앵커장력, 최대휨모멘트를 구할 수 있는 설계용 도표가 개발되어 있다(김기웅, 1998; 1999). 그러나 이들 설계용 도표는 앵커의 위치나 단위중량비 등이 제한된 경우에 한하여 몇 개의 도표가 개발되어 있을 뿐이다. 그리고 이들 설계용 도표가 현장조건과 맞지 않을 경우에는 보간법을 사용하여야 하는 기능상의 문제점도 있다.

본 연구에서는 앵커식 자유지지 널말뚝의 지하수위와 지반조건에 따른 설계용 도표를 제시하고, 다양한 설계조건 하에서도 설계과정을 단순화 할 수 있는 간편식을 제안하고자 한다.

2. 앵커식 자유지지 널말뚝벽의 수식 유도

설계용 도표를 구하기 위해 먼저 흙의 토성치와 널말뚝의 기하학적 조건을 정하고, 각 지반의 지하수위의 위치에 따른 경우에 대한 수식을 정리하였다. 각 경우의 수식에 대하여 흙의 토성치와 널말뚝의 기하학적 조건의 범위와 간격을 정하고, 근입깊이비, 앵커장력비, 그리고, 최대 휨모멘트비의 데이터를 정리하여 도표화하였다.

기준에 개발된 설계용 도표는 앵커의 설치위치, n 가 0.25 인 경우에만 국한되어 개발되어 있다. 본 논문에서는 단위중량비, m 을 0.4, 0.5, 0.6 그리고 앵커 설치위치를 0.1H, 0.2H, 0.3H인 경우로 다양화하여 지하수위에 따른 자유지지 널말뚝의 근입깊이비, 앵커장력비, 최대 휨모멘트비를 도표화하였다.

또한, 지하수위 위치와 앵커의 위치를 굴착깊이, H에 관한 함수로 표시하고, 수식의 정리를 통하여 최소관입깊이

는 굴착깊이, 앵커장력과 최대 휨모멘트가 $\gamma H^2 K_a$ 와 $\gamma H^3 K_a$ 와 비례관계에 있음을 정의하였다. 널말뚝에 작용하는 토압의 분포는 지하수위의 영향에 따라 달라지므로 ①지하수위가 없을 때, ②굴착선 위에 있을 때, ③굴착선 아래에 있을 때로 구분하여 수식을 정리하였다.

2.1 사질토 지반의 경우

2.1.1 지하수위가 없는 경우

지하수위가 없을 때 토압분포는 그림 1과 같이 나타낼 수 있는데 토압계수비를 $K_b/K_a = n$ 으로 놓고, B점에서는 널말뚝의 회전변위는 있으나 수직 수평방향의 변위가 없는 한지로 가정한다. 이러한 가정을 이용하여 근입깊이, D를 구한다. B점에서 $\sum M_B = 0$ 이므로

$$R_a \cdot d_1 - R_p \cdot d_2 = 0 \quad (1)$$

$$\gamma H^2 K_a \left\{ \frac{1}{3} (1-n) d^3 + \frac{1}{2} [(1-n)(1-n) + (1-n)d - \frac{1}{2} n + \frac{1}{3}] \right\} = 0 \quad (2)$$

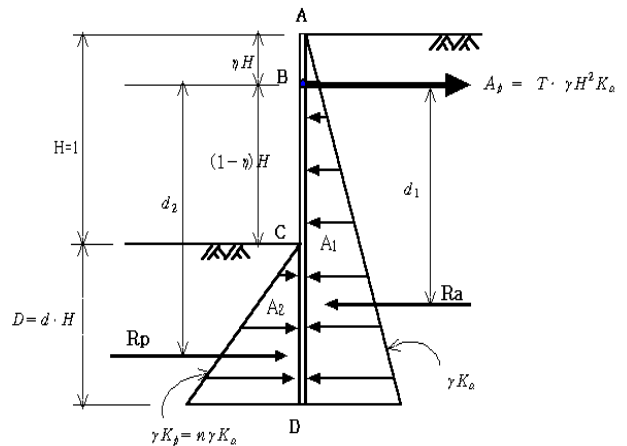


그림 1. 지하수위가 없는 사질토 지반에서 자유지지 널말뚝의 토압분포

식 (2)를 정리하여 근입깊이비, $d (= D/H)$ 값을 얻는다. 앵커의 장력, A_p 를 널말뚝 전체에 대하여 $\sum H = 0$ 인 조건을 이용하면,

$$\frac{A_p}{\gamma H^2 K_a} = \frac{1}{2} [(1+d)^2 - nd^2] \quad (3)$$

여기서, $A_p/\gamma H^2 K_a$ 를 앵커장력비라 하고, 이를 T로 놓으면 $A_p = T \cdot \gamma H^2 K_a$ 이 된다.

최대 휨모멘트는 A~C 구간에서 전단력이 0인 지점에서 발생하므로 지표면에서 M_{\max} 가 발생하는 지점까지의 거리를 βH 라 하고,

$M_{\max} = T(\beta - n)\gamma H^3 K_a - \frac{1}{6} \beta^3 \gamma H^3 K_a$ 을 정리하면,

$$M(= \frac{M_{\max}}{\gamma H^3 K_a}) = T(\beta - n) - \frac{1}{6} \beta^3 \quad (4)$$

여기서, 전단력 $S=0$ 인 조건을 이용하여

$$A_p - \frac{1}{2} \gamma \beta^2 H^2 K_a = 0$$

$$\beta = \sqrt{2T} \quad (5)$$

즉, 식 (5)를 식 (4)에 대입하여 최대 휨모멘트를 구할 수 있다.

2.1.2 지하수위가 굴착선 위에 있는 경우($0 \leq \alpha \leq 1$)

B점에서 $\sum M_B = 0$ 이므로

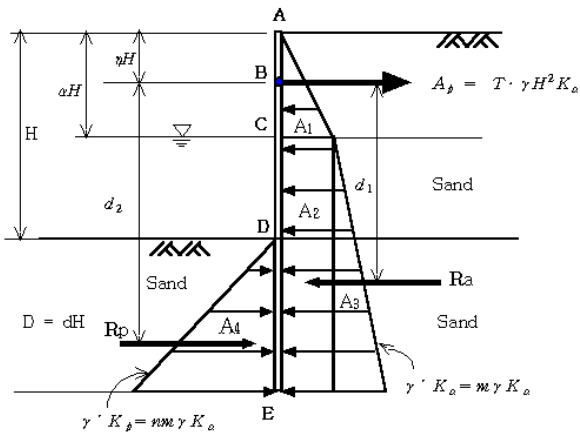


그림 2. 사질토지반에서 굴착선 위쪽에 지하수위가 있을 경우

$$\frac{1}{3} m(n-1)d^3 + \frac{1}{2} [nm(1-n) + m(a+n) - a - 2m]d^2 - (1-n)[a + m(1-a)]d + \frac{1}{6} (1-m)(a - 3n)a^2 + (1-m)(n - \frac{1}{2})a + \frac{1}{2} m(n - \frac{2}{3}) = 0 \quad (6)$$

식 (6)을 정리하여 근입깊이비 $d(= D/H)$ 값을 얻는다. 앵커의 장력은 널말뚝 전체에 대하여 $\sum H = 0$ 인 조건을 이용하면,

$$T = \frac{1}{2} [a^2 + 2a(1-a+d) + m(1-a+d)^2 - nmd^2] \quad (7)$$

- I) 최대 휨모멘트가 지하수면 위에서 발생하는 경우의 휨모멘트비는 식 (4)와 같다.
- II) 최대 휨모멘트 발생위치가 지하수면 아래에 있는 경우, 전단력 $S=0$ 이 되는 조건으로 풀면,

$$\beta = \frac{-a(1-m) + \sqrt{a^2(1-m) + 2mT}}{m} \quad (8)$$

최대 휨모멘트, M_{\max} 는

$$\gamma H^3 K_a \left\{ T(\beta - n) - \frac{1}{6} [3a\beta(\beta - a) + a^3 + m(\beta - a)^3] \right\}$$

이 된다.

그러므로, 휨모멘트비는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{M_{\max}}{\gamma H^3 K_a} = T(\beta - n) - \frac{1}{6} [(m-1)(\beta - a)^3 + \beta^3] \quad (9)$$

2.1.3 지하수위가 굴착선 아래에 있는 경우 ($1 \leq \alpha \leq 1+x$)

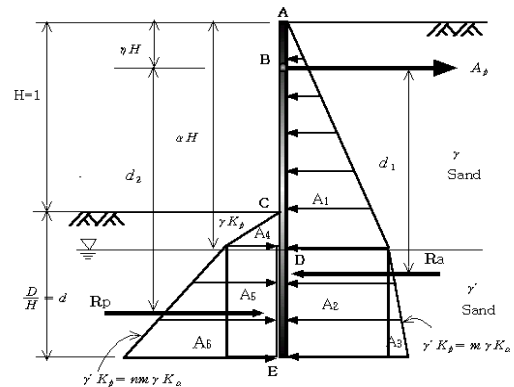


그림 3. 사질토 지반에서 굴착선 아래에 지하수위가 있을 경우

B점에서 $\sum M_B = 0$ 이므로,

$$C_1 d^3 + C_2 d^2 + C_3 d + C_4 = 0 \quad (10)$$

여기서, $C_1 = \frac{1}{3} m(n-1)$

$$C_2 = \frac{1}{2} [(n-1)m(2-a-n) + (n-1)a - n]$$

$$C_3 = (1-n)[(1-a)(n-1)(m-1) - 1]$$

$$C_4 = \frac{1}{6} (a-1)(2+a-3n)(m-1)(n-1) - \frac{1}{6} (2-3n)$$

식 (10)를 정리하여 근입깊이비 $d (= D/H)$ 값을 얻는다.

앵커 장력, A_p 는 널말뚝 전체에 대하여 $\sum H = 0$ 인 조건을 이용하여 $A_p = T \cdot \gamma H^2 K_a$ 로 치환할 수 있다.

$$T = \frac{1}{2} [a^2 - n(1-a)^2 + 2\{a + n(1-a)\} (1+d-a) + m(1-n)(1+d-a)^2] \quad (11)$$

또한, 최대 휨모멘트비, M_{\max} 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

2.2 점성토 지반의 경우

2.2.1 지하수위가 없는 경우

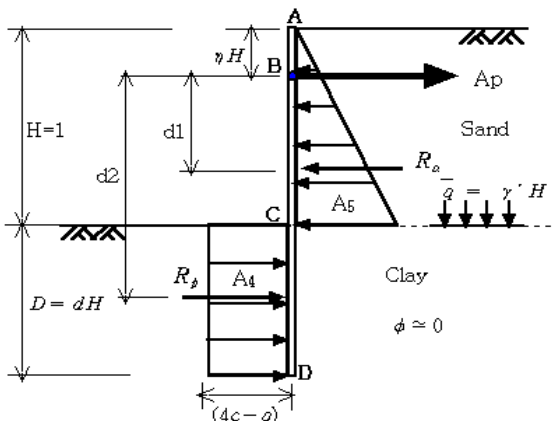


그림 4. 지하수위가 없는 점성토 지반에서 자유지지 널말뚝의 토압분포

B점에서 $\sum M_B = 0$ 이므로,

$$D^2 + 2(H - \eta H)D - \frac{2\bar{\gamma} R_a}{(4c - q)} = 0 \quad (12)$$

여기서, $C_R = \frac{4c - q}{\bar{\gamma} H K_a}$

식 (12)를 정리하여 근입깊이비 $d (= D/H)$ 값을 얻는다. $\sum H = 0$ 인 조건을 이용하여 앵커의 장력비, T를 구하면,

$$T = \frac{1}{2} - C_R d \quad (13)$$

그리고, 최대 휨모멘트비, M_{\max} 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

2.2.2 지하수위가 굴착선 위에 있는 경우

B점에서 $\sum M_B = 0$ 이므로, d에 대하여 다시 정리하면,

$$D^2 + 2(H - \eta H)D - \frac{2\bar{\gamma} R_a}{(4c - q)} = 0 \quad (14)$$

여기서, $\frac{4c - q}{\bar{\gamma} H K_a} = C_R$ 로 치환할 수 있다.

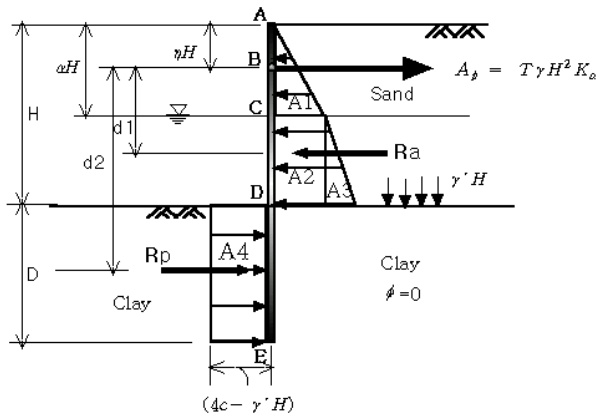


그림 5. 지하수위가 굴착선 위에 있을 경우 널말뚝의 토압분포(점성토 지반에서 성토의 경우)

앵커의 장력을 널말뚝 전체에 대하여 $\sum H = 0$ 을 이용하면,

$$T = \frac{1}{2} [(m-1)(1-\alpha)^2 + 1] - C_R d \quad (15)$$

- I) 최대 휨모멘트 발생위치가 지하수면 위에 있는 경우의 휨모멘트비는 식 (4)와 같다.
- II) 최대 휨모멘트 발생위치가 지하수면 아래에 있는 경우의 휨모멘트비는 식 (9)와 같다.

3. 널말뚝 설계용 간편식

3.1 데이터 생성

앵커식 자유지지 널말뚝의 간편식을 도출하기 위하여 우선 사질토와 점성토로 나누고, 사질토의 경우 토압분포를 지하수위가 없는 경우와 굴착선 위와 아래에 있는 경우로 나누었다(점성토의 경우 지하수위가 없는 경우와 지하수위가 굴착선 위에 있는 경우로 나누어 가정).

각 경우의 토압분포로부터 앵커장력비, 근입깊이비, 그리고 휨모멘트비 등을 유도 정리하였다.

표 1. 설계조건으로 사용한 토질정수 및 지하수위의 범위

토 질 정 수		초기값	최종값	간 격
단위중량비 $m = \gamma' / \gamma$		0.4	0.6	0.05
지하수위 α	굴착면 위	0	1	0.1
	굴착면 아래	1	1.7	0.1
흙의 내부마찰각 ϕ		20	40	1
앵커 위치 η		0.1	0.4	0.05
점성비 $C_R = \frac{4c-g}{\gamma H K_a}$		0.1	4	0.1

입력자료와 널말뚝 설계요소의 상관관계를 파악한 후 이로서 여러 간편식을 추측하였다. 그리고 이를 회귀분석하여 최적의 간편식을 구하였다. 최적의 간편식은 널말뚝 설계시 앵커장력, 근입깊이, 최대 휨모멘트를 구하는 식으로 편리하게 이용될 수 있다.

사질토의 경우, 지하수위가 굴착선 위와 아래에 있는 경

우에 토압분포가 달라지므로 회귀식 또한 지하수위에 따라 다르게 나타난다. 그러나 점성토의 경우 지하수위가 굴착선 아래에 있는 경우는 지하수위가 굴착선에 접하는 경우와 같다.

3.2 회귀분석

3.2.1 상관관계 분석

널말뚝의 설계요소(D, A_p, M_{max})를 산정할 때 영향을 미치는 기하학적 변수는 지하수위 α , 앵커깊이 η , 단위중량비 m , 토압계수비 n 등이 있다. 이러한 입력자료와 설계요소와의 상관 관계를 파악하기 위해 SPSS V7.5 윈도우즈용 회귀분석 프로그램을 이용하였고, 이를 회귀분석하여 최적의 간편식을 구하였다(김기웅 등, 2000).

3.2.2 모형식 추정

C상관관계 분석을 통해 기하학적 변수 α, η, m, n 는 서로 독립적이고, 설계요소와는 밀접한 상관성을 가짐을 밝혔으므로(김기웅 등, 2000) 간편식 개발을 위해 먼저 이들을 이용하여 여러 모형식을 추정한다. 간편식의 기본 형태는 다음과 같다.

$$D = H \cdot A_1 (K_p / K_a)^{A_0} \quad (16)$$

$$A_p = \gamma H^2 K_a \cdot B_1 (K_p / K_a)^{B_0} \quad (17)$$

$$M_{max} = \gamma H^3 K_a \cdot C_1 (K_p / K_a)^{C_0} \quad (18)$$

식 (16)에서 식 (18)를 정리하면,

$$K_a (K_p / K_a)^{B_0} = K_a^{1-2B_0}$$

여기서, $1-2B_0 = B_2$ 로 치환한다. 또한 C_0 도 같은 방식으로 치환한다.

따라서, 최소 근입깊이, 최소 앵커장력, 최대 휨모멘트를 구하기 위한 간편식은 아래와 같이 구한다.

1) 사질토의 경우

$$D = A_1 \cdot HK_a^{A_2} \quad (19)$$

$$A_p = B_1 \cdot \sqrt[3]{H^2 K_a}^{B_2} \quad (20)$$

$$M_{\max} = C_1 \cdot \sqrt[3]{H^3 K_a}^{C_2} \quad (21)$$

2) 점성토의 경우

$$D = A_1 \cdot HC_R^{A_2} \quad (22)$$

$$A_p = B_1 (\sqrt[3]{H^2 K_a}) \cdot C_R^{B_2} \quad (23)$$

$$M_{\max} = C_1 (\sqrt[3]{H^3 K_a}) \cdot C_R^{C_2} \quad (24)$$

여기서, $A_1 = a_{11} + a_{12}a + a_{13}n + a_{14}m$
 $A_2 = a_{21} + a_{22}a + a_{23}n + a_{24}m$
 $B_1 = b_{11} + b_{12}a + b_{13}n + b_{14}m$
 $B_2 = b_{21} + b_{22}a + b_{23}n + b_{24}m$
 $C_1 = c_{11} + c_{12}a + c_{13}n + c_{14}m$
 $C_2 = c_{21} + c_{22}a + c_{23}n + c_{24}m$

3.3 간편식의 검증

간편식과 필산을 분석한 결과 최대 10% 내의 오차가 발생하였으나 실제 설계에서 안전율을 1.2이상 사용하고 있는 점을 감안하면 허용범위 내에 있다고 판단된다. 간편식에 의한 해가 필산에 의한 해에 비해 다소 차이가 생기는 원인은 실제 데이터 분포가 비선형인 형태를 가지므로 회귀분석에 의해 추적된 곡선은 단지 실제 수치에 대한 근사치를 나타내기 때문이다. 그러므로 안전측 설계를 하고자 할 때는 안전율을 보수적인 값으로 선택하는 것이 바람직하다고 사료된다.

대체로 널말뚝 선단부 근처에 지하수위가 있을 때 간편식이 필산에 비해 적은 값을 나타내어 이 부분에서는 보수적인 안전율을 택하는 것이 바람직하다.

4. 결론

사질토 지반 및 점성토 지반에 관입된 앵커식 자유지지 널말뚝에 대하여 설계요소와 토질정수 간의 상관관계를 규명하고, 토성치와 기하학적 조건을 규칙적으로 변화시켜 가면서 구한 널말뚝의 최소 근입깊이와 최소 앵커장력, 최대 휨모멘트 값을 회귀분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자유지지 널말뚝의 소요 관입깊이는 굴착깊이 H에, 앵커장력은 $\sqrt[3]{H^2 K_a}$ 에, 그리고 휨모멘트는 $\sqrt[3]{H^3 K_a}$ 에 각각 완전히 비례함을 확인하였다.
2. 지하수위 파악이 곤란하여 널말뚝을 안전측으로 설계하고자 할 때는 지하수면이 굴착선과 일치한다고 생각하면 된다. 점성토의 경우, 지하수위가 굴착선 아래에 있는 경우의 설계요소는 지하수면이 굴착선과 일치하는 경우와 같다.
3. 간편식은 널말뚝의 설계에 있어서 계산과정에 소요되는 시간을 단축시키고 오차를 감축시켜주며, 수계산에 대한 검산식으로 이용할 경우 오류를 줄여 줄 수 있어 합리적이고 경제적인 설계에 기여할 것이라 본다.
4. 회귀분석을 통해 설계용 간편식을 아래와 같이 제안한다.

점성토지반 자유지지 널말쪽의 설계요소	지하 수위		없을경우	굴착선위	점성토지반 자유지지 널말쪽의 설계요소	지하 수위		없을경우	굴착선위
	기호					기호			
근입깊이 $D = A_1 \cdot HC_R^{A_2}$ $A_1 = a_{11} + a_{12} \cdot a + a_{13} \cdot n + a_{14} \cdot m$ $A_2 = a_{21} + a_{22} \cdot a + a_{23} \cdot n + a_{24} \cdot m$	A ₁	a ₁₁	0.2954	0.1066	근입깊이 $D = A_1 \cdot HC_R^{A_2}$ $A_1 = a_{11} + a_{12} \cdot a + a_{13} \cdot n + a_{14} \cdot m$ $A_2 = a_{21} + a_{22} \cdot a + a_{23} \cdot n + a_{24} \cdot m$	A ₁	a ₁₁	0.2954	0.1066
		a ₁₂	0	0.1390			a ₁₂	0	0.1390
		a ₁₃	-0.2661	-0.1920			a ₁₃	-0.2661	-0.1920
		a ₁₄	0	0.1278			a ₁₄	0	0.1278
	A ₂	a ₂₁	-0.8046	-0.9230	A ₂	a ₂₁	-0.8046	-0.9230	
		a ₂₂	0	0.0741		a ₂₂	0	0.0741	
		a ₂₃	0.0056	0.0551		a ₂₃	0.0056	0.0551	
		a ₂₄	0	0.1124		a ₂₄	0	0.1124	

앵커장력 $A_P = B_1(\gamma H^2 K_a) \cdot C_R^{B_2}$ $B_1 = b_{11} + b_{12} \cdot a + b_{13} \cdot n + b_{14} \cdot m$ $B_2 = b_{21} + b_{22} \cdot a + b_{23} \cdot n + b_{24} \cdot m$	B ₁	b ₁₁	0.2048	0.0662	앵커장력 $A_P = B_1(\gamma H^2 K_a) \cdot C_R^{B_2}$ $B_1 = b_{11} + b_{12} \cdot a + b_{13} \cdot n + b_{14} \cdot m$ $B_2 = b_{21} + b_{22} \cdot a + b_{23} \cdot n + b_{24} \cdot m$	B ₁	b ₁₁	0.2048	0.0662
		b ₁₂	0	0.1602			b ₁₂	0	0.1602
		b ₁₃	0.2625	0.1898			b ₁₃	0.2625	0.1898
		b ₁₄	0	0.0591			b ₁₄	0	0.0591
	B ₂	b ₂₁	-0.1461	-0.0421	B ₂	b ₂₁	-0.1461	-0.0421	
		b ₂₂	0	-0.0785		b ₂₂	0	-0.0785	
		b ₂₃	0.2053	0.2034		b ₂₃	0.2053	0.2034	
		b ₂₄	0	-0.0941		b ₂₄	0	-0.0941	

최대 휨모멘트 $M_{max} = C_1(\gamma H^3 K_a) \cdot C_R^{C_2}$ $C_1 = c_{11} + c_{12} \cdot a + c_{13} \cdot n + c_{14} \cdot m$ $C_2 = c_{21} + c_{22} \cdot a + c_{23} \cdot n + c_{24} \cdot m$	C ₁	c ₁₁	0.0994	0.0376	최대 휨모멘트 $M_{max} = C_1(\gamma H^3 K_a) \cdot C_R^{C_2}$ $C_1 = c_{11} + c_{12} \cdot a + c_{13} \cdot n + c_{14} \cdot m$ $C_2 = c_{21} + c_{22} \cdot a + c_{23} \cdot n + c_{24} \cdot m$	C ₁	c ₁₁	0.0994	0.0376
		c ₁₂	0	0.0469			c ₁₂	0	0.0469
		c ₁₃	-0.1458	-0.1105			c ₁₃	-0.1458	-0.1105
		c ₁₄	0	0.0340			c ₁₄	0	0.0340
	C ₂	c ₂₁	-0.2099	-0.0996	C ₂	c ₂₁	-0.2099	-0.0996	
		c ₂₂	0	-0.0688		c ₂₂	0	-0.0688	
		c ₂₃	0.0144	-0.0386		c ₂₃	0.0144	-0.0386	
		c ₂₄	0	-0.0817		c ₂₄	0	-0.0817	

(접수일자 : 2002. 6. 11)

기 호

- | | |
|---------------------|--------------------|
| A_p : 앵커장력 | d : 근입깊이비 |
| C_R : 점성비 | m : 단위중량비 |
| D : 근입깊이 | n : 토압계수비 |
| H : 굴착깊이 | a : 지하수위 |
| K_a : 주동토압계수 | n : 앵커의 설치위치 |
| K_p : 수동토압계수 | γ : 습윤단위중량 |
| M : 휨모멘트비 | γ' : 수중단위중량 |
| M_{max} : 최대휨모멘트비 | ϕ : 흙의 내부마찰각 |
| T : 앵커장력비 | |

참 고 문 헌

1. 김기웅, 양우식(1998), 사질토 지반 앵커식 고정지지 널말뚝 설계용 간편식. 한국농공학회지, 제 20권, 제 6호, pp. 89~94.
2. 김기웅, 백영식(1999), 사질토 지반의 자립식 널말뚝 설계용 간편식. 한국산업기술학회지, 제 1권, 제 2호, pp. 123~131.
3. 김기웅, 양우식, 백영식(2000), 앵커식 널말뚝벽의 설계용 도표와 간편식의 개발-고정지지 널말뚝의 등가보 해석. 한국지반공학 회 논문집, 제 16권, 제 1호, pp. 19~30.
4. 한국지반공학회(1997), 굴착 및 흙막이 공법. 지반공학시리즈, pp. 49~82.
5. Bowles, J. E.(1988), Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill, 4th ed., pp. 580~643.
6. Das, B. M.(1987), Theoretical Foundation Engineering. Elsevier, pp. 103~159.
7. Das, B. M.(1995), Principles of Foundation Engineering. PWS Pul. Comp., pp. 326~365.
8. Cernica, J. N.(1995), Geotechnical Engineering Foundation Design. John Wiley & Sons, Inc., pp. 339~375.
9. Craig, R. F.(1992), Soil Mechanics. Chapman and Hall, pp. 213~229.
10. Nataraj, M. S. and Hoadley, P. G.(1984), Design of Anchored Bulkheads in Sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110, April, pp. 505~515.
11. Pile Buck®(1987), Steel Sheet Piling Design Manual. Pile Buck, pp. 56~74.
12. Scott, C. R.(1980), An Introduction to Soil Mechanics and Foundations. 3rd, ed., Applied Science Publishers, LTD., pp. 235~244.
13. Stock, J. F.(1991), Development of Design Graphs for Cantilever and Anchored Steel Sheet Piles. Youngstown State University.
14. Tsinker, G. P.(1983), Anchored Sheet Pile Bulkhead : Design Practice. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, August, pp. 1021~1038.
15. Turabi, D. A. and Balla, A.(1968), Distribution of Earth Pressure on Sheet-Pile Walls. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 94, November, pp. 1271~1301.