

# Coulomb 이론을 이용한 인장균열 및 주동토압

Tension Crack and Active Earth Pressure by Using Coulomb's Theory

정 성 교\*<sup>1</sup>

Chung Sung - Gyo

이 만 열\*<sup>2</sup>

Lee, Man - Yeol

김 문 규\*<sup>3</sup>

Kim, Moon - Kyu

---

---

## Abstract

Even though the Coulomb's earth pressure theory has been mainly used in practice, the general equation does not exist yet, which is applicable to retaining wall backfilled by cohesive soils. Here, for gravity walls backfilled by cohesive soils, some equations have been derived by newly using the Coulomb's theory, for the cases of drained and undrained analyses, and for the cases of neglecting and considering the tension crack, respectively. Both the active earth thrust and the depth of tension crack under different conditions were tabulated.

## 요 지

Coulomb토압이론은 실무에서 주로 사용되고 있음에도 불구하고 점성토로 뒤채움된 옹벽에 대한 일반적인 조건에 적용할 수 있는 토압이론식이 존재하지 않는다. 여기서는 점성토로 뒤채움한 중력식 옹벽에 대해서 배수 및 비배수 해석으로 인장균열이 무시된 경우와 고려된 경우에 각각 토압이론식을 유도하였다. 그리고 상기의 조건들에 대해서 전주동토압과 인장균열 깊이를 구하여 설계도표를 작성하였다.

Keyword : Coulomb's theory, Earth pressure, Tension crack, Active thrust,  $c-\phi$  soil

---

---

\*<sup>1</sup> 정회원, 동아대학교 토목공학과 교수

\*<sup>2</sup> 정회원, 동아대학교 건설기술연구소 특별연구원

\*<sup>3</sup> 정회원, 동아대학교 토목공학과 박사과정

## 1. 서 론

옹벽은 각종 건설공사에서 가장 흔히 사용되고 있는 흙막이 구조물 중의 하나로써, 옹벽에 작용하는 토압을 정확히 산출하는 문제는 토질역학에서 가장 기초적이고 필수적인 사항이다.

각종 토질역학의 기본서에서 수평토압을 나타내는 부분에서는 비점성토와 점성토로 뒤채움된 경우들에 대하여 Rankine 과 Coulomb이론에 의한 이론식들을 소개하고 있다. 여기서 보면, Rankine이론은 벽면의 마찰 및 부착력을 고려하지 못하여 덜 정교하며, 옹벽의 배면이 경사진 경우에는 직접 적용할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점 때문에 Coulomb이론을 사용토록 일반적으로 권장하고 있다. 그러나, 기존의 연구결과에서 보면 점성토로 뒤채움된 중력식 옹벽에 작용하는 토압을 Coulomb이론으로 부터 산출할 경우에 이들의 방법이 불명확하거나 또는 충분히 이론적인 접근을 하지 못하였다.(Berry & Reid, 1987; Bowels, 1988; Ingold, 1978; Lambe & Whitman, 1979; Lee et al, 1983; NAVFAC, 1982; Terzaghi, 1943; US Army Corps of Engineers, 1989; 김상규, 1993)

점성토로 뒤채움된 옹벽에서 주동상태시에 발생하는 인장균열을 고려하여 산출한 주동토압은 대부분 옹벽배면이 연직이며, 뒤채움의 지표면이 수평인 경우에 국한하여 유도되어 있다. 그리고 옹벽배면과 뒤채움 흙의 지표면이 경사진 경우에는 현재까지 해석해를 보여주지 않고 단지 도해법에 의존하고 있는 실정이다.(정성교 외, 1996)

따라서, 본 연구에서는 점성토로 뒤채움한 중력식 옹벽에 대하여 Coulomb이론을 사용하여 인장균열을 무시한 경우와 고려한 경우에 대하여 각각 배수해석 및 비배수해석에 의하여 주동토압 이론식을 유도하고자 한다. 그리고 새로이 유도된 이론식에 의하여 실무에 직접 사용할 수 있는 설계도표를 나타내고자 한다.

## 2. 인장균열을 무시한 경우의 전주동토압

### 2.1 배수해석

그림 1과 같이 흙체기 ABC는 토압에 의한 벽체의 반력  $P_w$ 와 벽면 AC에 작용하는 전부착력  $C_w$ , 흙체기의 무게  $W$ , 활동선 BC에 따른 흙의 반력  $P_o$ 와 전점착력  $C$ 가 평형상태를 이룰 때 힘의 평형방정식을 적용할 수 있다. 흙체기의 무게  $W$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = (\overline{BC} \cdot \overline{AD}/2) (\gamma) \\ = \frac{\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \theta)}{\sin^2 \alpha \sin(\theta - \beta)} (\gamma H^2 / 2)$$

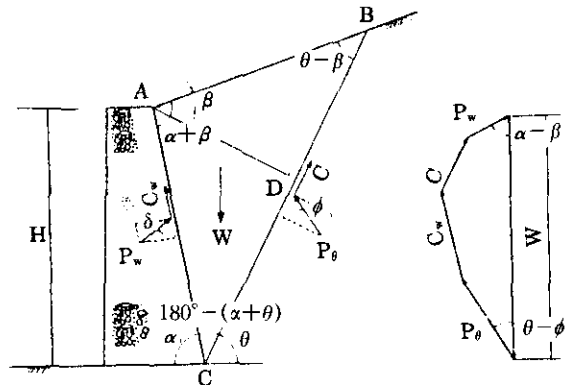


그림 1. 인장균열을 무시한 경우의 배수해석 조건

흙체기에 작용하는 힘들에 대해 연직 평형방정식을 취하여 그 결과를 정리하면 다음 식 (1)과 같이 된다.

$$W = P_w \cos(\alpha - \delta) + P_o \cos(\theta - \phi) \\ + C_w \sin \alpha + C \sin \theta \quad (1)$$

수평 평형방정식을 취하면 다음 식과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$P_w = \frac{\sin(\alpha - \delta)}{\sin(\theta - \phi)} P_o - \frac{\cos \alpha}{\sin(\theta - \phi)} C_w \\ + \frac{\cos \theta}{\sin(\theta - \phi)} C \quad (2)$$



$C_u$ , 그리고 흙체의 전무게  $W$ 가 평형상태를 이룰 때 힘의 평형방정식을 적용할 수 있다.

흙체기 ABC의 무게  $W$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = (\overline{BC} \overline{AD} / 2) (\gamma) \\ = \frac{\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \theta_1)}{\sin^2 \alpha \sin(\theta_1 - \beta)} \left( \frac{\gamma H^2}{2} \right)$$

흙체기 ABC에 작용하는 힘들에 대하여 연직 평형방정식을 적용하면 식 (6)과 같고,

$$P_{wu} \cos \alpha + P_u \cos \theta_1 + C_w \sin \alpha + C_u \sin \theta_1 = W \quad (6)$$

수평 평형방정식을 적용하면 식 (7)과 같다.

$$P_u = [P_{wu} \sin \alpha - C_w \cos \alpha + C_u \cos \theta_1] / \sin \theta_1 \quad (7)$$

식 (7)을 식 (6)에 대입하면 식 (8)과 같이 된다.

$$(\cos \alpha + \sin \alpha \cot \theta_1) P_{wu} + (\sin \alpha - \cos \alpha \cot \theta_1) C_w + (\sin \theta_1 + \cos \theta_1 \cot \theta_1) C_u = W$$

여기서,

$$C_w = c_w \overline{AC} = c_w H / \sin \alpha$$

$$C_u = c_u \overline{BC} = c_u H \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha \sin(\theta_1 - \beta)}$$

$C_w$  = 벽면에 작용하는 부착력

$C_u$  = 비배수상태에서 흙의 접착력

식 (8)을 다시 정리하면 전주동토압  $P_{wu}$ 가 식 (9)와 같이 얻어진다.

$$P_{wu} = K_{Av} (\gamma H^2 / 2) - K_{Ac} (c_u H) \quad (9)$$

여기서,

$$K_{Av} = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + 2\theta_1)}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_1)} q$$

$$K_{Ac} = \frac{\sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta + 2\theta_1)}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_1)} r a_u \\ + \frac{s}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_1)}$$

$$q = \sin(\alpha + \beta) / \sin^2 \alpha$$

$$r = 1 / \sin \alpha$$

$$s = 2 \sin(\alpha + \beta) / \sin \alpha$$

$a_u = c_w / c_u$  : 비배수상태에서 흙의 접착력에 대한 벽면에 작용하는 부착력의 비

식 (9)를 무차원으로 표시하면 식 (9a)와 같다.

$$K_A = P_{wu} / (\gamma H^2 / 2) = K_{Av} - 2 K_{Ac} M_u \quad (9a)$$

여기서  $M_u = c_u / (\gamma H)$ .

그림 2에서 수평면과 파괴면이 이루는 임계 각  $\theta_1$ 를 결정하기 위하여 전주동토압  $P_{wu}$ 가 최대되는 조건, 즉  $\partial P_{wu} / \partial \theta_1 = 0$ 로 하여 임계 각  $\theta_1$ 을 구하면 식 (10)과 같다.

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \frac{(A^2 + B^2 - BD) + A \sqrt{(A^2 + B^2 - D^2)}}{2(A^2 + B^2)} \right]^{0.25} \quad (10)$$

여기서,

$$A = [\cos \alpha \cos(\alpha + \beta) - \cos \alpha \cos(\alpha - \beta)] q (\gamma H / 2) \\ + \{ [\cos(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \beta)] r a_u + \cos(\alpha - \beta) s \} (c_u)$$

$$B = [\sin \alpha \cos(\alpha + \beta) - \cos \alpha \sin(\alpha - \beta)] q (\gamma H / 2) \\ + \{ [\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)] r a_u + \sin(\alpha - \beta) s \} (c_u)$$

$$D = \sin \beta q (\gamma H / 2) + r a_u (c_u)$$

### 3. 인장균열을 고려한 경우의 전주동토압

#### 3.1 배수상태

그림 3은 인장균열이 발생된 경우에 대하여



$$K'_{AC,t} = \left[ \frac{\sin e - \sin(f+2\theta_t)}{\cos c - \cos(d+2\theta_t)} r a_n + \frac{s}{\cos c - \cos(d+2\theta_t)} \right] (1 - (z_c/H))$$

$$K'_{AT,t} = \frac{\cos a - \cos(b+2\theta_t)}{\cos c - \cos(d+2\theta_t)} \cdot t \left[ (z_c/H) (1 - (z_c/H)) \right]$$

$$\begin{aligned} a &= \alpha + \phi & f &= \alpha - \beta - \phi \\ b &= \alpha - \phi & q &= \sin(\alpha + \beta) / \sin^2 \alpha \\ c &= \alpha + \beta - \delta - \phi & r &= 1 / \sin \alpha \\ d &= \alpha - \beta - \delta - \phi & s &= 2 \cos \phi \sin(\alpha + \beta) / \sin \alpha \\ e &= \alpha + \beta - \phi & t &= \cos \beta / \sin \alpha \end{aligned}$$

식 (15)를 무차원으로 표현하면 식 (15a)와 같이 된다.

$$K'_{AT} = P_{AD} / (\gamma H^2 / 2) = K'_{AT,t} - 2 K'_{AC,t} M + 2 K'_{AT,t} \quad (15a)$$

여기서  $M = c' / (\gamma H)$ .

그림 3으로 부터 수평면과 파괴면이 이루는 임계각  $\theta_t$ 를 구하기 위해서 전주동토압  $P_{AD}$ 가 최대가 되는 조건, 즉  $\partial P_{AD} / \partial \theta_t = 0$ 로 하여 임계각  $\theta_t$ 를 구하면 식 (16)과 같이 구해진다.

$$\theta_t = \sin^{-1} \left[ \frac{(A^2 + B^2 - BD) + A \sqrt{(A^2 + B^2 - D^2)}}{2(A^2 + B^2)} \right]^{0.75} \quad (16)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A &= (\cos b \cos c - \cos a \cos d) q (1 - z_c/H) (\gamma H / 2) \\ &+ [(\cos d \sin e - \cos c \sin f) r a_n + \cos d s] (c') \\ &+ (\cos b \cos c - \cos a \cos d) t (z_c/H) (\gamma H) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= (\sin b \cos c - \cos a \sin d) q (1 - z_c/H) (\gamma H / 2) \\ &+ [(\sin d \sin e + \cos c \cos f) r a_n + \sin d s] (c') \\ &+ (\sin b \cos c - \cos a \sin d) t (z_c/H) (\gamma H) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \sin g q (1 - z_c/H) (\gamma H / 2) + \cosh r a_n (c') \\ &+ \sin g t (z_c/H) (\gamma H) \end{aligned}$$

$$g = b - d = \beta - \delta, \quad h = d - f = -\delta$$

### 3.2 비배수 상태

그림 4는 인장균열이 발생된 경우에 대하여 비배수 해석을 위한 것이다. 전절 3.1과 같이 인장균열의 깊이는 토압이 0이 되는 곳까지로 정의한다. 앞의 2.2절의 전주동토압을 나타낸 식 (9)를 깊이에 대하여 미분하여 0으로 취하면 인장균열의 깊이  $z_{cu}$ 가 얻어진다.

$$p_a = K_{AV} (\gamma z) - K_{AC} (c_u) = 0$$

또는 인장균열의 깊이  $z_{cu}$ 는

$$z_{cu} = \frac{K_{AC}}{K_{AV}} \left( \frac{c_u}{\gamma} \right) \quad (17)$$

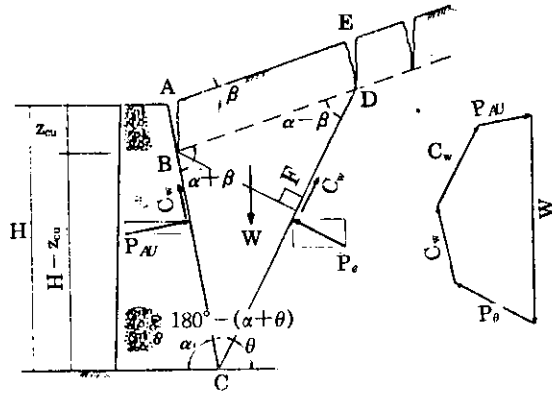


그림 4. 인장균열을 고려한 경우의 비배수해석 조건

포화된 점성토로 뒤채움된 중력식 옹벽에서 인장균열이 발생하였을 경우 비배수 해석에 의하여 전주동토압을 산출하기로 한다. 전절에서와 같이 인장균열은 옹벽배면과 평행하게 발생되었다고 가정한다. 그림 4에서 흙쌓기 ABCDE에서 수평토압(벽체의 반력)  $P_{AU}$ , 벽면 BC에 작용하는 전부착력  $C_w$ , 파괴면 CD에서의 반력  $P_\theta$  및 전점착력  $C_s$ , 그리고 흙쌓기 전체의 무게  $W$ 가 평형상태를 이룬다고 가정하면

힘의 평형방정식을 적용할 수 있다.

흙재기 ABCDE의 무게 W는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W &= \square ABDE + \triangle BCD \\ &= (\gamma) \{ C_1(H - z_{cu}) z_{cu} \} + (\overline{CD} \overline{BF} / 2) (\gamma) \\ &= \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \theta_{t1})}{\sin \alpha \sin(\theta_{t1} - \beta)} (H - z_{cu}) z_{cu} (\gamma) \\ &\quad + \frac{\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \theta_{t1})}{\sin^2 \alpha \sin(\theta_{t1} - \beta)} \frac{\gamma(H - z_{cu})^2}{2} \end{aligned}$$

흙재기 ABCDE에 작용한 힘들에 대하여 연직 평형방정식을 적용하면 식 (18)과 같다.

$$P_{At} \cos \alpha + P_b \cos \theta_{t1} + C_w \sin \alpha + C_u \sin \theta_{t1} = W \quad (18)$$

수평 평형방정식을 적용하면 식 (19)와 같다.

$$P_b = [ P_{At} \sin \alpha - C_w \cos \alpha + C_u \cos \theta_{t1} ] / \sin \theta_{t1} \quad (19)$$

식 (19)를 식 (18)에 대입하면 식 (20)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} W &= (\cos \alpha + \sin \alpha \cot \theta_{t1}) P_{At} \\ &\quad + (\sin \alpha - \cos \alpha \cot \theta_{t1}) C_w \\ &\quad + (\sin \theta_{t1} + \cos \theta_{t1} \cot \theta_{t1}) C_u \quad (20) \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} C_w &= c_w \overline{BC} = c_w (H - z_{cu}) / \sin \alpha \\ C_u &= c_u \overline{CD} = c_u (H - z_{cu}) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha \sin(\theta_{t1} - \beta)} \end{aligned}$$

식 (20)에 W를 대입하여 정리하면 식 (21)과 같이 전주동토압  $P_{At}$ 가 얻어진다.

$$P_{At} = K_{At,t} (\gamma H^2 / 2) - K_{At,c} (c_u H) + K_{At,\alpha} (\gamma H^2) \quad (21)$$

여기서,

$$\begin{aligned} K_{At,t} &= \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + 2\theta_{t1})}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_{t1})} q (1 - z_{cu} / H)^2 \\ K_{At,c} &= \left[ \frac{\sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta + 2\theta_{t1})}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_{t1})} r a_u \right. \\ &\quad \left. + \frac{s}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_{t1})} \right] (1 - z_{cu} / H) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{At,\alpha} &= \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + 2\theta_{t1})}{\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta + 2\theta_{t1})} \\ &\quad \cdot t [ (z_{cu} / H) (1 - z_{cu} / H) ] \end{aligned}$$

$$q = \sin(\alpha + \beta) / \sin^2 \alpha$$

$$r = 1 / \sin \alpha$$

$$s = 2 \sin(\alpha + \beta) / \sin \alpha$$

$$t = \cos \beta / \sin \alpha$$

식 (21)을 무차원으로 표시하면 식 (21a)와 같다.

$$K_{At} = P_{At} / (\gamma H^2 / 2) = K_{At,t} - 2K_{At,c} M_u + 2K_{At,\alpha} \quad (21a)$$

$$\text{여기서 } M_u = c_u / (\gamma H).$$

그림 4에서 수평면과 파괴면이 이루는 임계각  $\theta_{t1}$ 를 결정하기 위하여 전주동토압  $P_{At}$ 가 최대가 되는 조건, 즉  $\partial P_{At} / \partial \theta_{t1} = 0$ 로 하여 임계각  $\theta_{t1}$ 를 구하면 식 (22)와 같다.

$$\theta_{t1} = \sin^{-1} \left[ \frac{(A^2 + B^2 - D^2) + A \sqrt{(A^2 + B^2 - D^2)}}{2(A^2 + B^2)} \right]^{1/2} \quad (22)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A &= [ \cos \alpha \cos(\alpha + \beta) - \cos \alpha \cos(\alpha - \beta) ] q \\ &\quad \cdot (1 - z_{cu} / H) (\gamma H / 2) + [ \cos(\alpha - \beta) \\ &\quad \cdot \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \beta) ] r a_u \\ &\quad + \cos(\alpha - \beta) s \{ (c_u) + [ \cos \alpha \cos(\alpha + \beta) - \cos \alpha \\ &\quad \cdot \cos(\alpha - \beta) ] t (z_{cu} / H) (\gamma H) \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= [ \sin \alpha \cos(\alpha + \beta) - \cos \alpha \sin(\alpha - \beta) ] q \\ &\quad \cdot (1 - z_{cu} / H) (\gamma H / 2) + [ \sin(\alpha + \beta) \\ &\quad \cdot \sin(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta) ] r a_u \\ &\quad + \sin(\alpha - \beta) s \{ (c_u) + [ \sin \alpha \cos(\alpha + \beta) \\ &\quad - \cos \alpha \sin(\alpha - \beta) ] t (z_{cu} / H) (\gamma H) \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \sin \beta q (1 - z_{cu} / H) (\gamma H / 2) + r a_u (c_u) + \\ &\quad \sin \beta t (z_{cu} / H) (\gamma H) \end{aligned}$$

표 1. 배수 해석에 의한 인장균열의 깊이 및 선주동토압

$\alpha$ (deg.)	$\beta$ (deg.)	$\phi$ (deg.)	$\delta$ (deg.)	M=0.00		M=0.03		M=0.06		M=0.09	
				Z <sub>c</sub>	K <sub>A1</sub>	Z <sub>c</sub>	K <sub>A1</sub>	Z <sub>c</sub>	K <sub>A1</sub>	Z <sub>c</sub>	K <sub>A1</sub>
80	0	20	0	0.000	(0.559) 0.559	0.067	(0.484) 0.487	0.134	(0.409) 0.419	0.202	(0.334) 0.357
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.530) 0.530	0.077	(0.449) 0.452	0.153	(0.368) 0.380	0.230	(0.287) 0.314
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.520) 0.520	0.081	(0.436) 0.440	0.162	(0.352) 0.366	0.243	(0.268) 0.299
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.514) 0.514	0.085	(0.426) 0.430	0.170	(0.339) 0.354	0.255	(0.252) 0.285
		30	0	0.000	(0.407) 0.407	0.078	(0.343) 0.346	0.156	(0.280) 0.290	0.233	(0.217) 0.239
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.384) 0.384	0.088	(0.316) 0.319	0.175	(0.249) 0.261	0.263	(0.182) 0.208
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.378) 0.378	0.092	(0.308) 0.312	0.185	(0.238) 0.251	0.277	(0.168) 0.198
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.377) 0.377	0.097	(0.304) 0.307	0.194	(0.230) 0.245	0.291	(0.157) 0.189
		40	0	0.000	(0.287) 0.287	0.091	(0.235) 0.238	0.181	(0.183) 0.193	0.272	(0.131) 0.153
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.273) 0.273	0.101	(0.218) 0.221	0.202	(0.163) 0.174	0.302	(0.108) 0.133
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.273) 0.273	0.106	(0.215) 0.218	0.212	(0.157) 0.170	0.318	(0.099) 0.127
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.277) 0.277	0.111	(0.216) 0.219	0.222	(0.154) 0.168	0.334	(0.092) 0.123
	10	20	0	0.000	(0.654) 0.654	0.069	(0.563) 0.564	0.136	(0.474) 0.482	0.203	(0.386) 0.406
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.632) 0.632	0.077	(0.533) 0.534	0.152	(0.437) 0.446	0.227	(0.341) 0.367
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.626) 0.626	0.081	(0.523) 0.525	0.160	(0.423) 0.434	0.238	(0.324) 0.353
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.623) 0.623	0.085	(0.516) 0.518	0.167	(0.412) 0.424	0.248	(0.309) 0.341
		30	0	0.000	(0.461) 0.461	0.078	(0.388) 0.389	0.156	(0.316) 0.324	0.234	(0.244) 0.265
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.440) 0.440	0.087	(0.363) 0.364	0.174	(0.286) 0.296	0.260	(0.210) 0.235
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.437) 0.437	0.091	(0.357) 0.358	0.182	(0.277) 0.287	0.272	(0.197) 0.225
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.438) 0.438	0.095	(0.354) 0.355	0.190	(0.270) 0.282	0.284	(0.187) 0.217
		40	0	0.000	(0.318) 0.318	0.091	(0.260) 0.261	0.181	(0.203) 0.210	0.272	(0.145) 0.165
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.305) 0.305	0.100	(0.244) 0.245	0.200	(0.183) 0.192	0.299	(0.122) 0.146
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.306) 0.306	0.104	(0.242) 0.244	0.208	(0.178) 0.188	0.313	(0.114) 0.140
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.312) 0.312	0.109	(0.244) 0.246	0.218	(0.175) 0.187	0.327	(0.106) 0.136
	20	20	0	0.000	(1.015) 1.015	0.088	(0.727) 0.725	0.149	(0.589) 0.595	0.211	(0.470) 0.490
			(1/3) $\phi$	0.000	(1.044) 1.044	0.098	(0.713) 0.712	0.164	(0.561) 0.570	0.231	(0.431) 0.458
			(1/2) $\phi$	0.000	(1.064) 1.064	0.103	(0.711) 0.710	0.171	(0.552) 0.563	0.240	(0.417) 0.447
			(2/3) $\phi$	0.000	(1.089) 1.089	0.108	(0.712) 0.712	0.177	(0.545) 0.558	0.249	(0.405) 0.438
		30	0	0.000	(0.548) 0.548	0.082	(0.456) 0.455	0.160	(0.368) 0.373	0.236	(0.283) 0.301
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.534) 0.534	0.090	(0.435) 0.434	0.175	(0.341) 0.349	0.258	(0.250) 0.274
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.535) 0.535	0.094	(0.432) 0.431	0.181	(0.334) 0.342	0.268	(0.239) 0.265
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.540) 0.540	0.097	(0.432) 0.431	0.188	(0.329) 0.338	0.278	(0.229) 0.258
		40	0	0.000	(0.360) 0.360	0.092	(0.294) 0.293	0.183	(0.228) 0.233	0.273	(0.162) 0.180
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.350) 0.350	0.100	(0.279) 0.279	0.199	(0.209) 0.216	0.297	(0.140) 0.162
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.354) 0.354	0.104	(0.279) 0.279	0.206	(0.205) 0.213	0.308	(0.132) 0.157
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.363) 0.363	0.108	(0.283) 0.283	0.214	(0.204) 0.213	0.321	(0.125) 0.154



$\alpha$ (deg.)	$\beta$ (deg.)	$\phi$ (deg.)	$\alpha\delta$ (deg.)	M=0.00		M=0.03		M=0.06		M=0.09	
				Z.	$K_{\Delta}$	Z.	$K_{\Delta}$	Z.	$K_{\Delta}$	Z.	$K_{\Delta}$
90	0	20	0	0.000	(0.490) 0.490	0.086	(0.406) 0.410	0.171	(0.322) 0.337	0.257	(0.238) 0.271
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.458) 0.458	0.099	(0.368) 0.372	0.197	(0.277) 0.295	0.296	(0.187) 0.227
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.447) 0.447	0.105	(0.353) 0.358	0.210	(0.259) 0.279	0.315	(0.165) 0.210
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.438) 0.438	0.111	(0.341) 0.346	0.222	(0.244) 0.265	0.333	(0.146) 0.195
		30	0	0.000	(0.333) 0.333	0.104	(0.264) 0.268	0.208	(0.195) 0.209	0.312	(0.125) 0.158
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.308) 0.308	0.119	(0.235) 0.239	0.238	(0.162) 0.179	0.357	(0.088) 0.127
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.301) 0.301	0.127	(0.225) 0.230	0.253	(0.149) 0.168	0.380	(0.073) 0.116
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.297) 0.297	0.134	(0.218) 0.223	0.268	(0.138) 0.159	0.402	(0.058) 0.106
		40	0	0.000	(0.217) 0.217	0.129	(0.161) 0.165	0.257	(0.105) 0.120	0.386	(0.050) 0.082
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.202) 0.202	0.146	(0.143) 0.147	0.292	(0.084) 0.101	0.439	(0.025) 0.064
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.199) 0.199	0.155	(0.138) 0.142	0.310	(0.076) 0.095	0.466	(0.014) 0.057
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.200) 0.200	0.164	(0.134) 0.139	0.329	(0.068) 0.090	0.495	(0.002) 0.051
	10	20	0	0.000	(0.569) 0.569	0.087	(0.469) 0.473	0.173	(0.371) 0.387	0.258	(0.273) 0.311
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.541) 0.541	0.099	(0.433) 0.438	0.195	(0.327) 0.348	0.292	(0.223) 0.268
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.531) 0.531	0.104	(0.420) 0.425	0.206	(0.310) 0.333	0.308	(0.202) 0.252
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.524) 0.524	0.109	(0.409) 0.415	0.216	(0.295) 0.320	0.323	(0.183) 0.237
		30	0	0.000	(0.374) 0.374	0.104	(0.295) 0.299	0.208	(0.218) 0.234	0.312	(0.140) 0.176
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.350) 0.350	0.118	(0.267) 0.272	0.235	(0.184) 0.204	0.352	(0.103) 0.146
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.343) 0.343	0.125	(0.257) 0.263	0.248	(0.172) 0.193	0.372	(0.087) 0.135
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.340) 0.340	0.131	(0.250) 0.256	0.262	(0.161) 0.185	0.392	(0.073) 0.125
		40	0	0.000	(0.238) 0.238	0.129	(0.176) 0.180	0.258	(0.115) 0.131	0.386	(0.054) 0.089
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.222) 0.222	0.145	(0.158) 0.162	0.289	(0.093) 0.112	0.434	(0.029) 0.071
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.220) 0.220	0.153	(0.153) 0.158	0.306	(0.085) 0.106	0.459	(0.018) 0.064
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.221) 0.221	0.161	(0.150) 0.155	0.323	(0.078) 0.101	0.486	(0.006) 0.058
	20	20	0	0.000	(0.883) 0.883	0.105	(0.601) 0.610	0.184	(0.457) 0.483	0.263	(0.330) 0.380
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.889) 0.889	0.117	(0.575) 0.585	0.203	(0.419) 0.449	0.291	(0.282) 0.342
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.897) 0.897	0.122	(0.566) 0.577	0.212	(0.404) 0.436	0.304	(0.263) 0.327
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.907) 0.907	0.128	(0.559) 0.572	0.220	(0.391) 0.426	0.316	(0.245) 0.314
		30	0	0.000	(0.441) 0.441	0.108	(0.344) 0.349	0.211	(0.251) 0.271	0.313	(0.161) 0.203
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.420) 0.420	0.120	(0.317) 0.323	0.234	(0.219) 0.242	0.348	(0.123) 0.173
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.415) 0.415	0.125	(0.309) 0.315	0.245	(0.207) 0.232	0.365	(0.108) 0.162
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.414) 0.414	0.131	(0.303) 0.310	0.256	(0.197) 0.224	0.381	(0.094) 0.153
		40	0	0.000	(0.267) 0.267	0.130	(0.197) 0.201	0.258	(0.128) 0.146	0.386	(0.060) 0.099
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.252) 0.252	0.144	(0.179) 0.184	0.287	(0.106) 0.127	0.429	(0.035) 0.081
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.250) 0.250	0.151	(0.174) 0.180	0.301	(0.098) 0.121	0.452	(0.024) 0.074
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.253) 0.253	0.159	(0.172) 0.178	0.316	(0.091) 0.117	0.476	(0.012) 0.068

$\alpha$ (deg.)	$\beta$ (deg.)	$\phi$ (deg.)	$\alpha\delta$ (deg.)	M=0.00		M=0.03		M=0.06		M=0.09	
				Z <sub>c</sub>	K' <sub>A1</sub>	Z <sub>c</sub>	K' <sub>A1</sub>	Z <sub>c</sub>	K' <sub>A1</sub>	Z <sub>c</sub>	K' <sub>A1</sub>
100	0	20	0	0.000	(0.433) 0.433	0.111	(0.337) 0.342	0.222	(0.240) 0.262	0.333	(0.144) 0.192
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.398) 0.398	0.129	(0.295) 0.302	0.259	(0.192) 0.219	0.388	(0.089) 0.149
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.385) 0.385	0.138	(0.279) 0.286	0.276	(0.172) 0.202	0.414	(0.066) 0.132
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.375) 0.375	0.147	(0.265) 0.273	0.294	(0.153) 0.187	0.441	(0.044) 0.117
		30	0	0.000	(0.270) 0.270	0.143	(0.193) 0.198	0.287	(0.115) 0.138	0.430	(0.038) 0.088
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.245) 0.245	0.167	(0.163) 0.170	0.333	(0.082) 0.109	0.500	(0.000) 0.061
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.237) 0.237	0.178	(0.153) 0.160	0.357	(0.068) 0.098	0.535	(-) 0.051
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.232) 0.232	0.190	(0.143) 0.152	0.381	(0.055) 0.089	0.571	(-) 0.043
		40	0	0.000	(0.158) 0.158	0.193	(0.097) 0.103	0.387	(0.036) 0.060	0.580	(-) 0.028
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.144) 0.144	0.224	(0.079) 0.086	0.448	(0.015) 0.044	0.673	(-) 0.015
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.140) 0.140	0.240	(0.073) 0.081	0.480	(0.005) 0.038	0.721	(-) 0.011
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.139) 0.139	0.257	(0.067) 0.076	0.515	(-) 0.033	0.773	(-) 0.007
	10	20	0	0.000	(0.500) 0.500	0.113	(0.387) 0.396	0.223	(0.275) 0.305	0.334	(0.165) 0.227
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.467) 0.467	0.128	(0.346) 0.357	0.255	(0.227) 0.263	0.381	(0.110) 0.184
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.455) 0.455	0.136	(0.330) 0.342	0.270	(0.208) 0.246	0.404	(0.086) 0.167
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.445) 0.445	0.144	(0.316) 0.329	0.285	(0.190) 0.232	0.426	(0.065) 0.152
		30	0	0.000	(0.301) 0.301	0.144	(0.214) 0.223	0.287	(0.128) 0.156	0.430	(0.042) 0.102
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.275) 0.275	0.165	(0.184) 0.194	0.329	(0.094) 0.127	0.493	(0.004) 0.075
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.267) 0.267	0.175	(0.173) 0.184	0.350	(0.080) 0.116	0.524	(-) 0.064
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.262) 0.262	0.186	(0.164) 0.176	0.371	(0.067) 0.107	0.557	(-) 0.055
		40	0	0.000	(0.171) 0.171	0.194	(0.105) 0.113	0.387	(0.039) 0.067	0.580	(-) 0.033
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.156) 0.156	0.222	(0.087) 0.096	0.444	(0.018) 0.051	0.666	(-) 0.020
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.153) 0.153	0.237	(0.080) 0.091	0.473	(0.008) 0.045	0.711	(-) 0.015
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.151) 0.151	0.252	(0.075) 0.086	0.505	(-) 0.039	0.760	(-) 0.010
	20	20	0	0.000	(-) (-)	0.129	(0.496) 0.518	0.231	(0.339) 0.390	0.336	(0.199) 0.288
			(1/3) $\phi$	0.000	(-) (-)	0.143	(0.459) 0.484	0.257	(0.293) 0.350	0.375	(0.144) 0.246
			(1/2) $\phi$	0.000	(-) (-)	0.150	(0.445) 0.471	0.269	(0.274) 0.334	0.393	(0.121) 0.230
			(2/3) $\phi$	0.000	(-) (-)	0.156	(0.434) 0.461	0.281	(0.257) 0.320	0.411	(0.099) 0.215
		30	0	0.000	(0.353) 0.353	0.147	(0.248) 0.262	0.288	(0.147) 0.186	0.430	(0.048) 0.123
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.328) 0.328	0.165	(0.218) 0.233	0.324	(0.112) 0.156	0.485	(0.010) 0.095
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.320) 0.320	0.174	(0.207) 0.223	0.342	(0.098) 0.145	0.512	(-) 0.084
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.316) 0.316	0.183	(0.198) 0.215	0.360	(0.086) 0.136	0.540	(-) 0.075
		40	0	0.000	(0.190) 0.190	0.195	(0.116) 0.127	0.387	(0.043) 0.077	0.581	(-) 0.039
			(1/3) $\phi$	0.000	(0.175) 0.175	0.220	(0.097) 0.110	0.438	(0.021) 0.060	0.659	(-) 0.026
			(1/2) $\phi$	0.000	(0.171) 0.171	0.233	(0.091) 0.104	0.465	(0.012) 0.054	0.701	(-) 0.020
			(2/3) $\phi$	0.000	(0.170) 0.170	0.247	(0.086) 0.100	0.494	(0.002) 0.049	0.747	(-) 0.015

\* 괄호 속의 값은 인장균열을 무시할 경우의 값이다.

표 2. 비배수 해석에 의한 인장균열의 깊이 및 전주동토폰

$\alpha$ (deg.)	$\beta$ (deg.)	$\frac{a_w}{c_w/c_u}$	M=0.05		M=0.10		M=0.15		M=0.20		
			$Z_w$	$K_{A1}$	$Z_w$	$K_{A1}$	$Z_w$	$K_{A1}$	$Z_w$	$K_{A1}$	
80	0	0	0.084	(0.845) 0.852	0.168	(0.675) 0.703	0.252	(0.504) 0.569	0.336	(0.334) 0.448	
		1/3	0.097	(0.819) 0.829	0.193	(0.623) 0.661	0.290	(0.426) 0.512	0.387	(0.230) 0.382	
		1/2	0.102	(0.808) 0.818	0.205	(0.600) 0.642	0.307	(0.392) 0.488	0.409	(0.184) 0.354	
		2/3	0.108	(0.797) 0.809	0.215	(0.578) 0.625	0.323	(0.360) 0.466	0.430	(0.141) 0.330	
		1.0	0.117	(0.777) 0.791	0.234	(0.540) 0.575	0.351	(0.302) 0.427	0.467	(0.064) 0.486	
	5	0	0.123	(0.963) 0.990	0.172	(0.746) 0.775	0.253	(0.555) 0.621	0.336	(0.367) 0.425	
		1/3	0.139	(0.955) 0.994	0.195	(0.705) 0.744	0.287	(0.484) 0.572	0.380	(0.267) 0.400	
		1/2	0.147	(0.952) 0.996	0.205	(0.686) 0.730	0.303	(0.453) 0.551	0.402	(0.222) 0.377	
		2/3	0.154	(0.948) 0.996	0.214	(0.669) 0.718	0.317	(0.423) 0.532	0.421	(0.181) 0.336	
		1.0	0.168	(0.943) 0.979	0.231	(0.638) 0.695	0.342	(0.369) 0.497	0.455	(0.104) 0.537	
	10	0	-	(-) -	-	(-) -	0.259	(0.624) 0.701	0.337	(0.408) 0.486	
		1/3	-	(-) -	-	(-) -	0.289	(0.564) 0.667	0.378	(0.314) 0.464	
		1/2	-	(-) -	-	(-) -	0.302	(0.536) 0.652	0.396	(0.271) 0.444	
		2/3	-	(-) -	-	(-) -	0.314	(0.510) 0.638	0.413	(0.231) 0.401	
		1.0	-	(-) -	0.267	(0.818) 0.922	0.336	(0.462) 0.602	0.442	(0.156) 0.625	
	90	0	0	0.100	(0.800) 0.810	0.200	(0.600) 0.640	0.300	(0.400) 0.490	0.400	(0.200) 0.360
			1/3	0.115	(0.769) 0.782	0.231	(0.538) 0.591	0.346	(0.307) 0.427	0.462	(0.076) 0.290
			1/2	0.122	(0.755) 0.770	0.245	(0.510) 0.570	0.367	(0.265) 0.400	0.490	(0.020) 0.260
			2/3	0.129	(0.742) 0.758	0.258	(0.484) 0.550	0.387	(0.225) 0.375	0.516	(-) 0.234
			1.0	0.141	(0.717) 0.737	0.283	(0.434) 0.514	0.424	(0.151) 0.331	0.566	(-) 0.189
5		0	0.133	(0.910) 0.943	0.203	(0.663) 0.710	0.301	(0.440) 0.540	0.460	(0.219) 0.396	
		1/3	0.149	(0.895) 0.938	0.231	(0.610) 0.672	0.343	(0.353) 0.485	0.456	(0.098) 0.330	
		1/2	0.156	(0.889) 0.934	0.243	(0.586) 0.655	0.361	(0.313) 0.461	0.481	(0.042) 0.303	
		2/3	0.162	(0.883) 0.929	0.255	(0.563) 0.639	0.379	(0.275) 0.438	0.505	(-) 0.278	
		1.0	0.173	(0.831) 0.916	0.276	(0.520) 0.609	0.411	(0.203) 0.396	0.548	(-) 0.234	
10		0	-	(-) -	-	(0.775) -	0.304	(0.495) 0.619	0.401	(0.244) 0.447	
		1/3	-	(-) -	-	(0.739) -	0.341	(0.415) 0.577	0.450	(0.126) 0.389	
		1/2	-	(-) -	0.265	(0.722) 1.115	0.357	(0.378) 0.558	0.472	(0.071) 0.364	
		2/3	-	(-) -	0.274	(0.706) 0.919	0.372	(0.343) 0.539	0.493	(0.018) 0.341	
		1.0	-	(-) -	0.289	(0.675) 0.808	0.399	(0.276) 0.494	0.531	(-) 0.299	

$\alpha$ (deg.)	$\beta$ (deg.)	$a_u$ ( $=c_w/c_u$ )	M=0.05		M=0.10		M=0.15		M=0.20	
			$Z_{cu}$	$K_{A1}$	$Z_{cu}$	$K_{A1}$	$Z_{cu}$	$K_{A1}$	$Z_{cu}$	$K_{A1}$
100	0	0	0.119	(0.773) 0.788	0.238	(0.531) 0.589	0.358	(0.289) 0.419	0.477	(0.047) 0.278
		1/3	0.138	(0.736) 0.755	0.276	(0.456) 0.533	0.413	(0.176) 0.349	0.551	(-) 0.204
		1/2	0.146	(0.718) 0.740	0.293	(0.421) 0.508	0.439	(0.123) 0.319	0.586	(-) 0.174
		2/3	0.155	(0.701) 0.726	0.309	(0.387) 0.485	0.464	(0.073) 0.292	0.618	(-) 0.148
		1.0	0.170	(0.670) 0.699	0.340	(0.325) 0.442	0.510	(-) 0.244	0.680	(-) 0.104
	5	0	0.148	(0.881) 0.924	0.241	(0.588) 0.662	0.358	(0.319) 0.472	0.477	(0.052) 0.315
		1/3	0.168	(0.859) 0.915	0.274	(0.521) 0.616	0.408	(0.209) 0.409	0.544	(-) 0.246
		1/2	0.177	(0.849) 0.910	0.289	(0.490) 0.596	0.431	(0.158) 0.381	0.575	(-) 0.216
		2/3	0.186	(0.839) 0.904	0.304	(0.460) 0.577	0.453	(0.109) 0.356	0.604	(-) 0.190
		1.0	0.203	(0.820) 0.884	0.331	(0.402) 0.540	0.493	(0.016) 0.309	0.658	(-) 0.146
	10	0	-	(-) -	-	(0.689)	0.360	(0.360) 0.555	0.477	(-) 0.369
		1/3	-	(-) -	-	(0.636) 1.010	0.403	(0.256) 0.505	0.536	(-) 0.306
		1/2	-	(-) -	-	(0.611) 0.883	0.423	(0.207) 0.482	0.563	(-) 0.279
		2/3	-	(-) -	-	(0.587) 0.829	0.441	(0.160) 0.459	0.588	(-) 0.253
		1.0	-	(-) -	-	(0.540) 0.745	0.475	(0.069) 0.838	0.635	(0.067) 0.212

\* 괄호 속의 값은 인장균열을 무시할 경우의 값이다.

#### 4. 계산예

접성토로 뒤채운한 중력식 옹벽에 대하여 Coulomb이론을 사용하여 배수해석 및 비배수 해석을 수행하였다. 수동상태에 대해서는 기존의 해석결과가 여러 책자에서 이미 소개되어 있으므로, 여기서는 주동상태에 대하여 인장균열을 무시한 경우와 고려한 경우를 각각 나타내었다.

배수해석의 경우는 옹벽배면의 경사각  $\alpha$ 가 80°, 90° 및 100°이며, 지표면의 경사  $\beta$ 가 0°, 10° 및 20°인 경우에  $\phi$ 가 20°, 30° 및 40°이며,  $\delta$ 가 0으로 부터 (2/3) $\phi$ 로 변하며,  $M(=c'/\gamma H)$ 이 0.0, 0.03, 0.06 및 0.09일 때의 조건에 대하여 표 1과 같이 인장균열의 깊이와 전주동토압을 나타내었다. 여기서 전주동토압은 무차원값

( $P_A/\gamma H^2/2$ )으로 나타내었으며, 괄호 속의 값은 인장균열을 무시하였을 경우에 대한 것이다. 표 1에서 보면, 전주동토압은  $\beta$ 가 증가할수록 또한  $\alpha$ ,  $\phi$ ,  $\delta$  및  $M$ 이 감소할수록 전주동토압이 무시한 경우에 비하여 크게 산출되고 있다. 인장균열을 고려할 경우에 인장균열의 깊이는 점착력이 커질수록 커져서, 인장균열을 무시한 경우에 비하여 차이가 증가하는 경향이 있다. 그리고  $M$ 값이 대략 0.1보다 클 경우에는 전주동토압은 대개(-)값으로 얻어졌다.

비배수 해석의 경우  $\phi_u=0$  해석이며,  $\alpha$ 가 80, 90 및 100°이며,  $\beta$ 가 0, 5 및 10°이며,  $a_u(=c_w/c_u)$ 이 0.0에서 1.0으로 변하며,  $M_u$ 가 0.05, 0.1, 0.15 및 0.2인 경우에 대하여 전주동토압과 인장균열의 깊이를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보면,  $\beta$ 가 증가할수록 또한  $\alpha$ ,  $a_u$  및  $M_u$ 가 감소

소할수록 전주동토압은 증가하고 있다. 인장균열의 깊이도 표 1에서와 같이  $M_v$ 가 증가할수록 커지며, 인장균열을 무시한 경우에 비하여 차이도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그리고 이 표에서 빈공간으로 나타난 부분은 계산이 불가능한 경우이다.

## 5. 결 론

점성토로 뒤채움한 중력식 옹벽에 대하여 Coulomb 이론을 사용하여 배수 및 비배수 해석을 각각 수행하여 해석해를 얻었다. 두 해석에서 각각 인장균열의 깊이를 구하였으며, 이 깊이를 무시한 경우와 고려한 경우에 대하여 전주동토압의 해석해를 얻었다. 장차 실무에 직접 이용할 수 있도록 일반적인 조건에 대하여 상기의 해석해를 사용하여 설계도표를 작성하였다.

## 참 고 문 헌

1. Berry, D.L. and Reid, D. (1987), An introduction to soil mechanics, McGraw Hill Book Company, pp.168~183.
2. Bowles, J. E. (1988), Foundation analysis and design, 4th ed., McGraw Hill Book Company, New York, NY, pp.502~504.
3. Craig, R. F. (1992), Soil mechanics, 5th ed., Chapman & Hall, pp. 197~203.
4. Ingold, T.S. (1978), "Some Simplifications of Coulomb's Active Earth Pressure Theory", Ground Engineering, UK, May.
5. Lambe, T.W., and Whitman, R.V. (1979), Soil mechanics, SI version, John Wiley & Sons, pp.168~171, pp.342~347.
6. Lee, I. K. & Herington, J.R. (1972), "Effect of Wall Movement on Active and Passive Pressures," JGE, ASCE, 98(6), pp.625~640.
7. Lee, I. K. et al (1983), Geotechnical engineering, Pitman Publishing Inc., pp.261~268.
8. NAVFAC DM-7.2 (1982), Foundations and earth structures : Design manual 7.2, Depart-

ment of the Navy, U.S. Naval Facilities Engineering Command.

9. Terzaghi, K. (1943), Theoretical soil mechanics, John Wiley & Sons, pp.96~99.
10. US Army Corps of Engineers (1989), Engineering and design: Retaining and flood walls, Engineer Manual No. 1110-2-2502, Department of the Army, U. S. Army Corps of Engineers.
11. 김상규 (1993), 토질역학(이론과 응용), 청문각, pp.253~255.
12. 정성교·허대영·이만렬 (1996), "c- $\phi$ 흙으로 뒤채움한 중력식 옹벽에 작용하는 정적토압", 한국지반공학회지 Vol 12 No 4. pp.47-60.

(접수일자 1996. 4. 8)

## 부 록

옹벽의 뒤채움시에 벽면을 따라 유발되는 전단응력은 뒤채움흙의 전단강도와 같지 않다는 ( $\tau_w \neq \tau_f$ ) 것이 Lee & Herington(1972)의 연구에서 밝혀졌다.

Mohr응력원인 그림 5에서  $\tau_w$ 와  $\tau_f$ 의 관계는 식 (A-1)와 같이 표현된다.

$$\frac{\tau_w}{\sigma_w + c' \cot \phi} = \frac{\sin \phi \sin 2\kappa}{1 - \sin \phi \cos 2\kappa} \quad (A-1)$$

식 (A-1)를 다시 정리하면  $\tau_w$ 는 식 (A-2)와 같다.

$$\tau_w = \left( \frac{\cos \phi \sin 2\kappa}{1 - \sin \phi \cos 2\kappa} c' \right) + \sigma_w \left( \frac{\sin \phi \sin 2\kappa}{1 - \sin \phi \cos 2\kappa} \right) \quad (A-2)$$

그림 5에서  $\tau_w = c_w + \sigma_w \tan \delta$ 의 관계가 있으므로, 여기서 벽면에 작용하는 부착력  $c_w$  및 벽면의 마찰각  $\tan \delta$ 는 식(A-3) 및 식(A-4)와 같이 표현할 수 있다.

$$c_w = \frac{\cos \phi \sin 2\kappa}{1 - \sin \phi \cos 2\kappa} c' \quad (A-3)$$

$$\tan \delta = \frac{\sin \phi \sin 2\kappa}{1 - \sin \phi \cos 2\kappa} c' \quad (\text{A-4})$$

여기서 식 (A-3)를 무차원의 접착력 비 ( $a_n$ )로 나타내면 식 (A-5)와 같다.

$$a_n = c_w / c' = \frac{\sin \phi \sin 2\kappa}{1 - \sin \phi \cos 2\kappa} \quad (\text{A-5})$$

각도  $2\kappa$ 는 Mohr 응력원에서 기하학적인 관계로부터 구할 수 있다.

$$2\kappa = 180 - 2\alpha - 2\beta + 2\omega \quad (\text{A-6})$$

식 (A-6)으로 부터 미지의 각  $2\kappa$ 를 구하면 식 (A-7)과 같이 표현된다.

$$2\omega = 2\alpha + 2\beta - \delta + \sin^{-1}(\sin \delta / \sin \phi) - 180^\circ \quad (\text{A-7})$$

따라서, 배수조건에서  $a_n$ 은  $\phi$  및  $\delta$ 의 함수임을 알 수 있다.

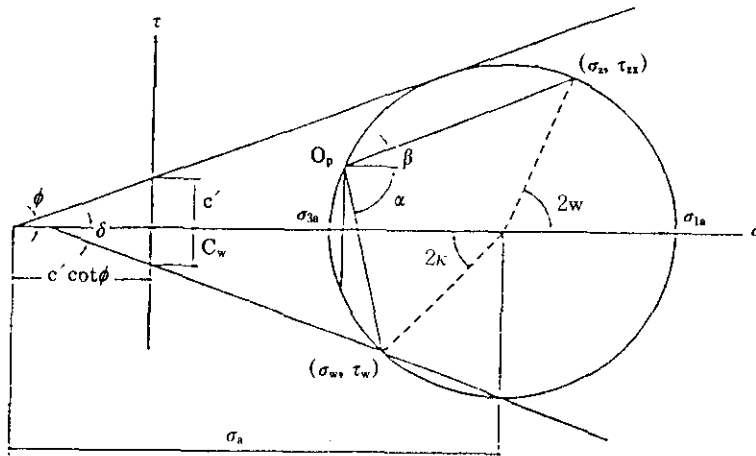


그림 5. 배수상태에서 벽면의 전단응력을 위한 Mohr 응력원(주동상태)