

좁은 공간의 형상에 따른 되메움 토압에 관한 연구

Lateral Earth Pressure with The Shape of Narrow Space with Backfill

허경한*
Huh, Kyung Han

Abstract

The study, with regard to unsymmetrically inclined backfilled wall, was intended to estimate the lateral earth pressure, develop the equation for lateral earth pressure and eventually identify the mutual behavior, based on the modified Kellogg theory, while changing the width between the walls, wall angle, relative density and wall friction angle. To verify the geostatic pressure obtained from the study, the results in the wake of 62 kinds of model tests performed were compared and evaluated with the behaviors based on theoretical equations. As a result, the wall inclination angle was found to be the factors affecting the earth pressure the most, when both walls were inclined unsymmetrically. And the narrower the backfill space and the larger the wall inclination angle to the horizontal level, the greater the effect of the wall friction. The equation considering the wall friction reaction indicated the value, which was closer to the actually-measured earth pressure, and when the width between the walls was narrow, the arching effect appeared to be great, thereby indicating the difference between the measured earth pressure, theoretically calculated earth pressure and the geostatic pressure proved to be insignificant.

Key words : backfill, modified Kellogg theory, geostatic pressure, unsymmetric inclination, lateral earth pressure

요 지

본 연구는 되 메움 된 굴착 양측 벽이 비대칭으로 경사진 경우에 대하여 벽체간의 폭, 벽면경사각, 상대밀도, 벽면마찰각의 크기를 변화시켜 Kellogg의 이론과 이를 보완한 수정 식으로 토압을 산정하고 또한, 벽면마찰반력을 고려한 토압 식을 제안하여 상호간 거동을 구명하였다. 이들 결과로부터 구한 지중 토압을 검증하기 위하여 총 62 종류의 모형실험을 수행한 결과를 이론식에 의한 거동과 비교, 검토하였다. 본 연구결과 양측 벽이 비대칭으로 경사진 경우, 되 메움 토압에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 벽체경사각의 크기였으며, 또한 되 메움 공간이 협소할수록 그리고 수평면과 이루는 벽체의 경사각이 클수록 벽 마찰의 영향이 크게 나타났다. 한편, 실측토압과 가장 근소한 차이를 나타낸 것은 벽면마찰반력을 고려한 제안 식으로 구한 경우였으며 또한, 벽면사이의 폭이 좁은 경우 아칭효과가 크게 나타나 실측토압 및 제안된 이론토압모두 지중 토압과 가장 근소한 차이를 나타내었다.

핵심용어 : 되 메움, 수정된 Kellogg이론, 지중토압, 비대칭경사, 토압

1. 서 론

좁은 공간 되 메움 토압에 관한 연구는 주로 각종 관을 설치하기 위하여 좁은 폭으로 굴착하여 관을 설치한 후 되 메움 한 경우에 발생하는 연직하중 및 토압에 관하여 이루어져 왔다. 최초로 Janssen은 시멘트와 곡물을 저장하는데 사용되어온 Silo에 대하여 저장물질의 내부마찰각과 벽면마찰각 등을 고려하고 여기에 평면아치개념을 도입하여 바닥면에 작용하는 연직 및 수평응력의 크기를 제안하였다. 또한, Marston과 Anderson은 원 지반을 좁게 굴착한 후 각종 상하수관, 박스 칼 버트, 가스관 등을 설치한 후 되 메움 경우

(도랑조건)에는 되 메움 하중보다 각종 구조물에 전달되는 하중은 작다고 하였으며, 원 지반 위에 각종구조물을 설치한 후 성토할 경우(제방조건)에는 성토 하중보다 구조물에 전달되는 하중이 크게 된다는 사실을 평면아치개념을 적용하여 제안하였다. Kellogg(1993)는 경사면 기울기 변화에 따른 토압계수에 Handy(1985)의 토압계수를 확장 적용하였으며, 이 경우 주응력 면이 경사진 벽체와 이루는 작은 굴착 면 중앙에서와 같이 직각이 되지 않는다고 이론적으로 검증하였다.

한편, 지금까지의 연구결과를 종합하면 Handy(1985)는 연직 한 벽면을 가진 경우, Kellogg(1993)는 대칭경사진 벽체

*정회원 · 초당대학교건설정보공학과 겸임교수 (E-mail: huh0392@naver.com)

에 대한 연구결과이고 문(1997)은 한 면은 연직이고 반대 측
은 경사진 경우에 대한 결과이다. 한편, 정 등(1997)은 대칭
및 비대칭 벽체에 관한 토압이론식을 제안하였으나 한 측벽
은 연직일 경우 일뿐 아니라 흙 썩기 이론에 의한 벽면마찰
반력을 근거로 한 경우에도 국부응력을 적용하여 토압계수를
산정 하였다.

본 연구는 위와 같은 사실에 착안하여 되 메움 된 굴착
양측 벽이 비대칭인 경우에 대하여 벽체간의 폭, 벽면경사각
을 세 가지, 상대밀도를 느슨한 경우 와 조밀한 경우의 조건
하에 벽 마찰각의 크기를 변화시켜 Kellogg(1993)의 이론,
이를 보완한 수정 식으로 토압을 산정하고 벽면마찰반력을
고려한 토압 식을 제안하여 상호간 거동을 구명하였다. 이들
결과로부터 구한 지중 토압을 검증하기 위하여 동일한 조건
으로 총 62종의 모형실험을 수행하였고 그 결과를 이론식에
의하여 산정한 결과와 비교, 검토하였다.

2. 문헌 고찰

2.1 아칭이론

지반거동을 고찰할 때 안정된 지반에서 일부 국부지반이
변형을 하게 되면 변형지반에 인접한 지점도 변형하려는 특
성을 갖는다. 또한, 지반에서의 상대변위는 변형하려는 부분
(yielding part)과 안정된 지반(stationary part)의 경계면 사이
의 전단저항에 의해 저지된다. 전단저항은 파괴되려는 부분의
흙을 계속 원래 위치에 지지시키려는 경향이 있기 때문에 이
로 인해 파괴되려는 부분의 토압은 감소하게 되고 이에 인접
한 지점의 토압은 증가하게 된다. 이와 같이 파괴 부분의 토
압이 인접부의 안정된 지반으로 토압이 변화하는 전이현상을
“아칭효과”라고 한다. 이러한 현상을 Terzaghi는 “실험실과
현장에서 접하게 되는 가장 일반적인 현상중의 하나”로 주장
하였으며, 그는 실제로 아치를 그리지는 않았지만 구조물배면
에 작용하는 흙의 비선형토압 분포를 정성적으로 설명하기
위하여 사용했다.

한편, 인접기준건물의 기초보다 깊게 굴착하여 대형구조물
을 설치한 후, 좁은 공간에 되 메움 한 지반은 일반적으로
원 지반에 비하여 느슨하게 하므로 되 메움 한 흙은 자중에
의해 압축되어 안정되는 과정에서 대형구조물의 벽면과 되
메움 지반사이에 마찰력, 되 메움 공간의 크기, 하부 폭, 경

사각, 시간 의존적인 요인 및 하중이력의 영향으로 토압거동
은 비선형 적인 분포를 나타낸다. 이를 아칭현상으로만 해석
할 것인지 논란의 여지가 있지만 많은 토질공학자들에 의하
여 아칭 효과를 설명하려는 시도가 이루어져 왔다. 특히
Janssen의 사일로(Silo)이론이 발표된 이래 Marston은 도랑내
의 구조물에 작용하는 연직하중산정에 평면아칭개념을 도입
하였으며, 이어서 Spangler는 구조물의 매설조건에 따라 세분
하여 적용하였다. 벽면에서 흙의 아칭효과 또는 “bin effect”
에 관하여 Rankine이론을 적용한 위의 연구들이 불합리하다
고 수학적으로 증명한 것은 Krynine 이었다 Krynine는 벽체
에 마찰력이 완전히 발휘될 경우, 벽체에는 토압이 작용하는
것으로 보고 토압계수는 Mohr의 응력 원을 이용하여 제안하
였다.

그 후 이를 최소주응력 방향을 고려한 현수선 아칭 개념을
도입하여 재해석한 것은 Handy(1985)이다. Handy(1985)에
의하면 되 메움 된 모래지반은 벽면에서 발생하는 마찰력으로
내부 주응력 상태는 회전하게 되며 따라서 이때의 아치는
구조물아치의 역방향인 하향의 아치가 된다고 발표하였다. 모
래지반의 이러한 아칭효과로 인하여 벽체에 가까워 질수록
최대주응력에 대한 연직 응력 비(σ_v/σ_1)는 감소하고 최대주
응력에 대한 수평 응력 비(σ_h/σ_1)는 증가하게 된다고 주장하
였다. Quinlan(1987)은 아치의 모양에 대해 의문을 제기했고
그것은 현수선이 아니라고 제안하였으며, Kellogg(1993)는 아
칭효과를 고려한 이전의 이론식들이 주로 연직 한 벽체에 적
용된 점을 감안하여 경사진 대칭단면에도 적용하였다.

2.2 대칭경사진 벽체에 대한 Kellogg의 이론

지반을 굴착할 때 Kellogg(1993)는 폭이 좁은 도랑 등이
대칭으로 경사진 경우 발생하는 연직응력이나 토압에 대하여
경사진 굴착 면에서의 주응력 변화를 고려한 Handy(1985)의
토압계수를 확장 해석하여 제안하였다. Kellogg(1993)는 벽면
경사의 영향을 미소평면요소의 폭에 반영되는 것으로 보고
양단에서의 마찰력은 그림 1(b)와 같이 연직 한 경우와 동일
하게 본 Handy(1995)의 이론을 적용하여 대칭경사각을 갖는
되 메움 공간의 미소평면요소에 대한 연직방향의 힘의 평형
방정식을 고려하면 식 (1)-식 (3)과 같다.

$$V+dV-V-B\gamma dh+2K\frac{V}{B}\mu dh=0 \quad (1)$$

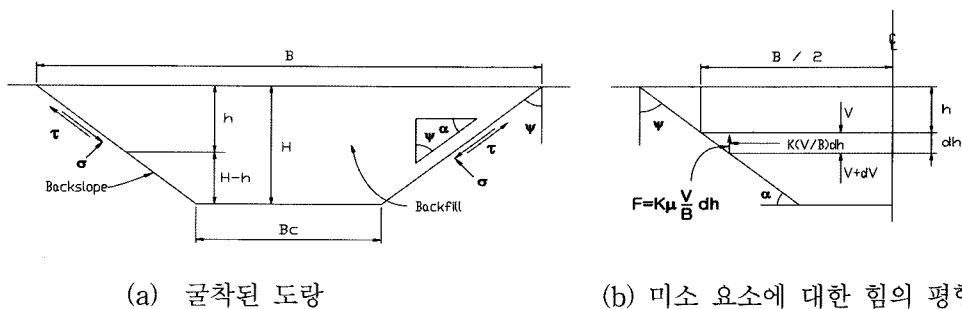


그림 1. 되 메움 공간의 벽체가 대칭으로 경사진 경우(Kellogg1993)

$$V = \frac{K_2}{2+K_1} \left[B^2 - K^2 \left(\frac{K_3}{B} \right)^{K_3} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_{av} = \frac{V}{B}, \quad \sigma_{hk} = \sigma_{hv} K \quad (3)$$

여기서, V: 단위 길이 당 작용하는 연직력(t/m), μ : 마찰계수($\tan\delta$), B: 임의깊이 폭(m)

γ : 되 메움 재료의 단위중량(t/m^3), K: 토압계수(lateral stress ratio), Bc: 하부 폭(m)

$\frac{V}{B}$: 평균연직응력(t/m^2), σ_{hk} : 수평토압(t/m^2)

3. 좁은 공간 되 메움 토압이론식 제안

3.1 Kellogg이론에 근거한 수정 제안 식

Kellogg(1993)는 벽면경사의 영향을 미소요소의 폭에만 반영되는 것으로 보고 벽면마찰은 연직인 경우와 동일하다고 보고 적용하였으나 Handy(1985)의 토압계수는 Rankine이론에 근거하였으므로 토압 $P=K(V/B)dh$ 는 그림 2.(b)의 지표면경사와 같이 수평으로 작용하게 되므로 경사벽면에 작용하는 좌·우 마찰력의 수직분력 크기는 그림 2.(b)를 참조하여 미소요소에 작용하는 힘($\Sigma^V=0$)들에 대해 평형방정식을 고려하면 식(4)-식(7)과 같이 된다.

$$V + dV - V - rBdh + K_L \frac{V}{B} \mu dh \cos^2 \psi_L + K_R \frac{V}{B} \mu dh \cos^2 \psi_R = 0 \quad (4)$$

$$V = \frac{m_3}{m_2 + 2} \left[B^2 - m_4^2 \left(\frac{m_4}{B} \right)^{m_2} \right] \quad (5)$$

$$\sigma_{av} = \frac{V}{B} = \frac{V}{B_c + (H-h)(\tan\psi_L + \tan\psi_R)} \quad (6)$$

$$\sigma_{hL} = K_L \frac{V}{B} = K_L \sigma_{av}, \quad \sigma_{hR} = K_R \frac{V}{B} = K_R \sigma_{av} \quad (7)$$

벽체가 비대칭경사진 경우, Kellogg(1993)의 토압계수에 좌·우경사각을 각각 고려하여 구한 좌측토압계수 K_L 과 우측토압계수 K_R 은 식(8)과 식(9)과 같다.

$$K_L = C_{av} (\cos^2 \theta_L + K_a \sin^2 \theta_L) \quad (8)$$

$$K_R = C_{av} (\cos^2 \theta_R + K_a \sin^2 \theta_R) \quad (9)$$

여기서, σ_{hL} : 수평토압(좌), σ_{hR} : 수평토압(우), Bc: 하부

폭(m), B: 임의깊이 폭(m)

μ : 마찰계수($\tan\delta$), $K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right)$, V: 단위 길이 당 작용하는 연직력(t/m),

γ : 되 메움 재료의 단위중량(t/m^3), ψ_L, ψ_R : 벽체의 좌·우경사각

α_L : 수평면과 좌측벽체가 이루는 각, α_R : 수평면과 우측벽체가 이루는 각

· 주응력 면이 좌측벽체와 이루는 각 $= \theta_L = 45 + \frac{\Phi}{2} + \psi_L$, H: 최종 되 메움 깊이(m)

· 주응력 면이 우측벽체와 이루는 각 $= \theta_R = 45 + \frac{\Phi}{2} + \psi_R$

C_{av} : 평균연직응력에 대한 최대 주응력 비

3.2 벽면마찰반력을 고려한 제안식

협소한 잔여 공간 즉 구조물의 외벽과 굴착 면 사이를 되 메울 때 발생하는 토압은 미소요소를 생각할 때 경사면에 작용하는 좌·우 마찰반력 P_L 과 P_R 은 벽면과 δ 만큼 경사되어 작용한다.

한편, Handy(1985)의 토압보다는 반대 측 벽면영향을 무시한다면 벽면마찰반력을 고려한 Coulomb의 파괴 흙 췌기이론에 근거한 토압과 유사하다고 생각할 수 있다.

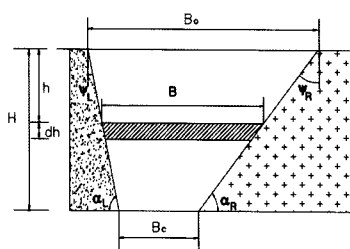
그 이유는 Kellogg(1993)가 적용한 Handy(1985)의 토압계수는 하향아치(minor arch)를 고려한 주응력 방향을 설정하여 결정한 것이므로 벽면마찰반력을 고려하는 경우에는 적용하기가 어렵기 때문이다.

따라서, 좌·우 벽면마찰반력 P_L 과 P_R 은 Coulomb의 흙 췌기이론을 응용하여 $P_L = K_{CL} \sigma_{av}$ 와 $P_R = K_{CR} \sigma_{av}$ 로 가정하였으며, P_L 과 P_R 의 작용방향은 경사진 벽체에 연직인 선과 벽면마찰각 만큼 경사진 것으로 보았다. 그림 3을 참조하여 미소평면요소에 작용하는 힘($\Sigma^V=0$)들에 대하여 평형방정식을 고려하면 식(10)-식(13)과 같이 된다.

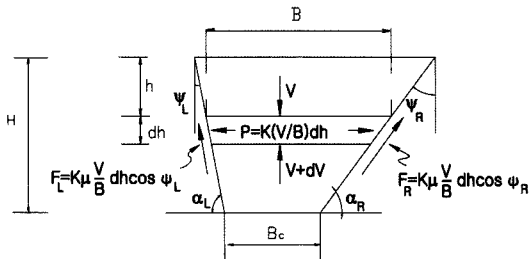
$$dV - rBdh + \frac{V}{B} dh [K_{CL} \cos \delta \sin \psi_L + K_{CL} \sin \delta \cos \psi_L + K_{CR} \cos \delta \sin \psi_R + K_{CR} \sin \delta \cos \psi_R] = 0 \quad (10)$$

$$V = \frac{n_3}{n_2 + 2} \left[B^2 - n_4^2 \left(\frac{n_4}{B} \right)^{n_2} \right] \quad (11)$$

$$\sigma_{av} = \frac{V}{B} = \frac{V}{B_c + (H-h)(\tan\psi_L + \tan\psi_R)} \quad (12)$$



(a) 되 메움 된 벽체



(b) 미소요소에 대한 힘의 평형

그림 2. 비대칭으로 경사진 경우

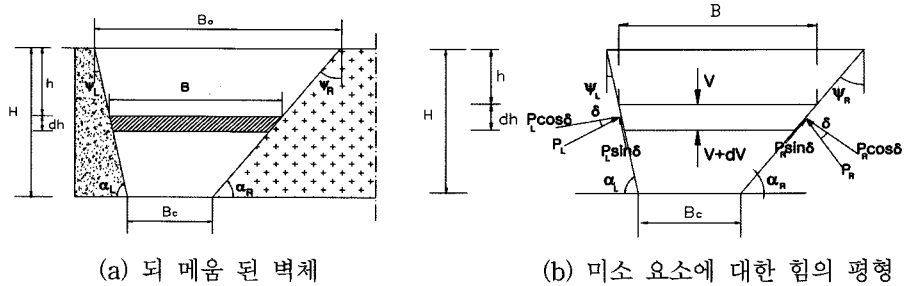


그림 3. 비대칭으로 경사진 경우

$$\sigma_{cl} = K_{CL} \frac{V}{B} = K_{CL} \sigma_{av} \quad \text{와} \quad \sigma_{cr} = K_{CR} \frac{V}{B} = K_{CR} \sigma_{av} \quad (13)$$

V: 단위 길이 당 작용하는 연직력(t/m), α_L : 수평면과 좌측 벽체가 이루는 각, α_R : 수평면과 우측 벽체가 이루는 각

벽체가 비대칭경사진 경우, Coulomb의 파괴 흠 췌기 이론에 의해 제안된 토압계수(K)에 좌·우경사각 각각 고려하여 구한 좌측토압계수와 우측토압계수는 식(14)~식(15)이 된다.

$$K_{CL} = \frac{\cos^2(\Phi - \Psi_L)}{\cos^2 \Psi_L \cos(\delta + \Psi_L) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \Phi) \sin \Phi}{\sin(\delta + \Psi_L) \cos \Psi_L} \right]^2} \quad (14)$$

$$K_{CR} = \frac{\cos^2(\Phi - \Psi_R)}{\cos^2 \Psi_R \cos(\delta + \Psi_R) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \Phi) \sin \Phi}{\sin(\delta + \Psi_R) \cos \Psi_R} \right]^2} \quad (15)$$

여기서, σ_{cl} : 수평토압(좌), σ_{cr} : 수평토압(우), B: 임의의 깊이 폭(m), μ : 마찰계수($\tan \delta$)

γ : 되 메움 재료의 단위중량(t/m^3), Ψ_L, Ψ_R : 벽체의 좌·우 경사각, Bc: 하부 폭(m)

4. 실험

4.1 실험의 조건

실내 모형 토조를 이용하여 벽체의 좌측경사각(Ψ_L)과 우측 경사각(Ψ_R), 되 메움 시료의 상대밀도(Dr), 벽 마찰각(δ)을 변화시켜 총 62 종류의 모형실험을 수행함으로써 좁은 되 메움 공간의 양측벽체가 연직, 대칭 및 비대칭으로 경사진 경우를 묘사하였다.

4.2 실험장치

4.2.1 토조

실내모형실험에 사용된 그림 4의 모형 토조는 1,050 mm

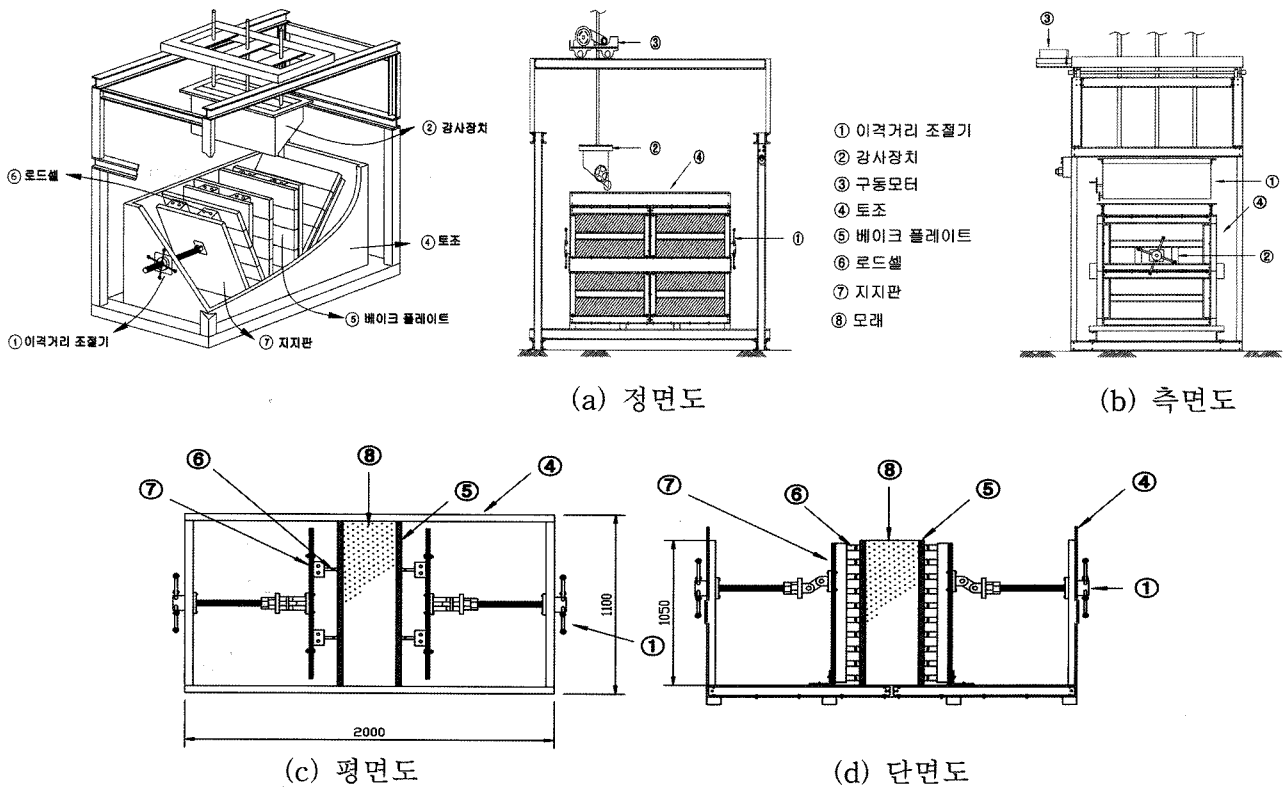


그림 4. 모형 토조

× 2,000 mm × 1,100 mm(가로 × 세로 × 높이)에 두께 10 mm의 강판을 사용하였다. 또한, 모형 토조의 측벽마찰을 최소화하기 위하여 토조 내부측벽에 3 mm의 아크릴 판을 부착하였다.

4.2.2 실험 방법

본 연구에서는 좁은 되 메움 공간에 지반을 조밀하게 조성할 경우 강사장치를 사용하여 강사높이를 단계별로 일정하게 유지시켰으며, 느슨한 지반을 조성하기 위 하여는 플라스틱 용기를 사용하여 모래를 낙하시키는 방법을 이용하였다.

4.2.3 모형지반의 기본 물성

모형 토조에 사용된 모래는 강원도 삼척시 근덕면 소재 해사로서 염분에 의한 흡착수막을 제거하고자 담수로 세척 후 공기 건조시켜 사용하였으며 사용된 모래의 입도 분석결과는 통일 분류법(Unified Soil Classification System)상 SP로 분류되었다. 실내모형 실험 시 되 메움 지반의 물성 치를 상대 밀도의 계산식에 적용한 결과 상대밀도가 조밀한 경우 $Dr = 81.7\%$, 느슨한 경우 $Dr = 15.9\%$ 나타났으며 이는 Das, B, M(1998)이 제시한 표 1과 매우 잘 일치하였다

4.2.4 모형지반의 강도정수

본 실험에 사용된 입도 분포가 나쁜 사질토의 내부마찰각(ϕ)과 벽면마찰각(δ)은 직접전단시험기를 이용하여 구한 값을 표 2에 나타냈다.

5. 실험결과 및 비교분석

5.1 양측 비대칭경사 벽체에 작용하는 토압

5.1.1 하부 폭의 크기와 상대밀도의 영향

좁은 되 메움 된 공간에 있어서 작용하는 토압은 기하학적인 형상에 따라 많은 차이가 있을 것으로 판단되므로, 되 메움 깊이와 비대칭 벽체의 수평과 이루는 좌측경사각은 80° 우측경사각은 70° 로 일정할 경우 하부 폭의 크기가 토압에 끼치는 영향을 구명하기 위하여 하부 폭만 0.1 m, 0.2 m 및 0.3 m로 변화시켰을 때 시료의 상대밀도를 느슨 및 조밀한 경우 두 가지로 조성하여 구한 실측전체토압과 각각의 이론전체토압을 비교한 결과는 그림 5, 그림 6 및 그림 7이다.

표 1. 상대밀도에 따른 사질토의 상태 Das, B, M(1998)

상대밀도 $Dr(\%)$	0 - 15	15 - 50	50 - 70	70 - 85	85 - 100
사질토 상태	매우 느슨	느슨	중간	조밀	매우 조밀

표 2. 양측 비대칭 경사벽체인 경우

내부마찰각($^\circ$)	벽 마찰각($^\circ$)	상대밀도(Dr)(%)	하부 폭(B_c)(m)	벽체경사($^\circ$)		
				좌($^\circ$)	우($^\circ$)	
$\Phi=38.7^\circ$	$\delta=25^\circ$	81.7(조밀)	0.1	80°	70°	
				80°	60°	
				70°	60°	
			0.2	80°	70°	
				0.3	80°	70°
					80°	70°
$\Phi=28^\circ$	$\delta=18^\circ$	15.9(느슨)	0.1	80°	70°	
				80°	60°	
				70°	60°	
			0.2	80°	70°	
				0.3	80°	70°

그림 5(a)는 하부 폭을 0.1 m, 비대칭벽체의 좌·우 경사각은 80° 와 70° 로 느슨하게 조성된 경우, 되 메움 깊이가 표면에서 0.3 m일 때까지 좌·우 실측전체토압은 Kellogg이론에 근거한 수정 식 제안 토압 및 벽면마찰반력을 고려한 제안토압의 결과와 거의 일치하였으나, 증가된 되 메움 깊이 좌측 0.95 m지점까지의 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 30%, 17%작게 나타났으며, 우측 0.95 m지점까지의 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 26.4%, 12.5%작게 나타났으며, 좌·우 실측토압 및 각각의 이론전체토압 거동은 선형적인 분포로 나타났다. 이런 결과는 좌·우 벽체 경사각의 합이 어느 한계(30°)를 넘지 않을 때 이런 거동을 보였다.

그림 5(b)는 그림 5(a)의 하부 폭과 벽면 경사각은 동일하고 상대밀도만 15.9%보다 조밀한 81.7% 로 이때 내부마찰각은 28° 에서 38.7° 로 벽 마찰각 역시 18° 에서 25° 로 증가되었으나 좌·우 실측토압 및 각각의 좌·우 이론토압 거동은 그림 5(a)와 거의 유사하였다.

그림 6(a, b)의 모든 조건은 그림 5(a, b)와 동일하고 하부 폭만 0.2m로 증가시켰을 때의 실측전체토압 및 각각의

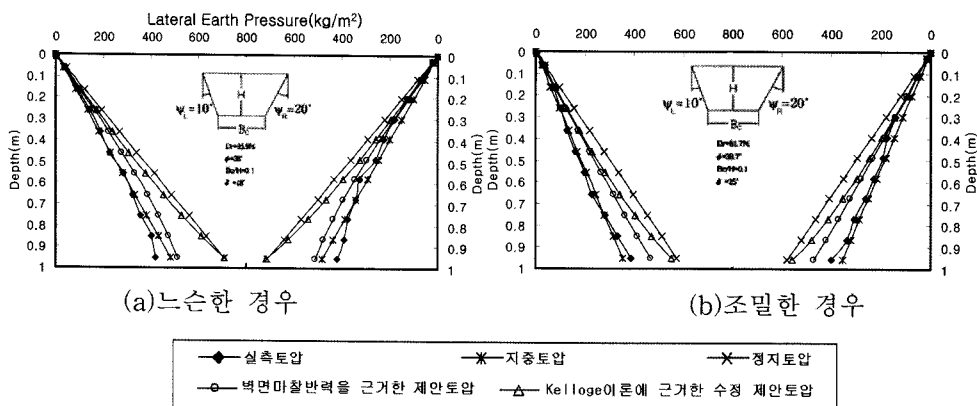


그림 5. 하부 폭이 0.1m인 경우

이론전체토압은 그림 5(a),(b)의 결과와 정량적으로나 정성적으로 큰 차이가 없었다. 하부 폭을 0.3m로 증가시키고 기타 조건은 그림 6(a),(b)와 같은 경우 비교, 검토한 결과는 그림 7(a),(b)와 같은데 이때 그림 7(a)의 좌·우 실측전체토압은 좌·우 각각의 이론전체토압보다 29%, 23%와 22%, 15%로 작게 나타났다. 그림 7(b)의 좌·우 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 각각 31%, 28%와 21%, 18%로 작게 나타났다. 이때 좌·우 실측전체토압과 및 각각의 이론전체토압 거동은 선형적인 분포로 나타났다.

또한, 하부 폭의 크기와 상대밀도가 변할 경우 좌·우 실측전체토압은 지중 전체토압보다 작게 나타났으며, 각각의 이론전체토압은 지중 전체토압보다는 크게 나타나고 정지전체토압보다는 작게 나타났다.

5.2.1 비대칭 경사각과 상대밀도의 영향

비대칭경사각의 크기에 따른 영향을 고찰하기 위하여 비대칭벽체의 수평과 이루는 경사각 좌 80° 우 60°와 좌 70° 우 60°로 변화시키고 되 메움 깊이와 하부 폭은 0.1m로 일정하게 하였을 때 시료의 상대밀도가 서로 다른 경우 두 가지로 조성하여 구한 실측전체토압과 각각의 이론전체토압을 비교한 결과는 그림 8 및 그림 9와 같다.

그림 8은 비대칭벽체의 수평과 이루는 경사각은 좌 80° 우 60°이고 되 메움 깊이와 하부 폭을 0.1m로 일정하게 유지하였을 때 시료의 상대밀도를 느슨 및 조밀하게 조성한 경우

그림 8(a)의 느슨한 경우 좌측실측전체토압은 Kellogg이론에 근거한 수정 식 제안토압보다 31%, 벽면마찰반력을 고려한 제안토압보다 19% 작게 나타났으며, 우측에서는 각각의 이론전체토압보다 28%와 13% 작게 나타났다. 이때 실측전체토압, Kellogg이론에 근거한 수정 식 제안토압 및 벽면마찰반력을 고려한 제안토압의 거동은 정성적으로 거의 일치하였다.

그림 8(b)의 모든 조건은 그림 8(a)에서 하부 폭과 벽면경사각은 동일하고 상대밀도만 그림 8(a)의 15.9%보다 조밀한 81.7% 경우 이때 내부마찰각은 28°에서 38.7°로 증가되었을 경우 좌·우 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 13%, 6% 및 15%, 8% 작게 나타났다. 또한, 실측전체토압, Kellogg이론에 근거한 수정 식 제안토압 및 벽면마찰반력을 고려한 제안토압의 거동은 그림 8(a)와 유사한 경향을 나타내었다.

그림 9(a)는 모든 조건이 그림 8(a)과 동일하고 비대칭벽체의 수평과 이루는 좌측경사각만 10°로 감소시켰을 경우 좌·우 실측전체토압은 각각의 좌·우 이론전체토압보다 37%, 21%와 30%, 12%작게 나타났다. 그림 9(b) 또한 모든 조건은 그림 8(b)과 같고 좌측경사각만 10°로 감소시켰을 때의 좌·우 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 30%, 19.3%와 25%, 18%작게 나타났다. 한편, 그림 9(a, b)의 좌·우 실측전체토압 거동은 되 메움 깊이가 0.4m까지는 선형적인 분포를 보이다가 되 메움 깊이가 깊어질수록 반시계 방향으로 오목한 비선형분포를 나타냈다. 이런 결과는 좌·우측경사각의 합이 어느 한계(50°)이상에서 이런 양상을 볼

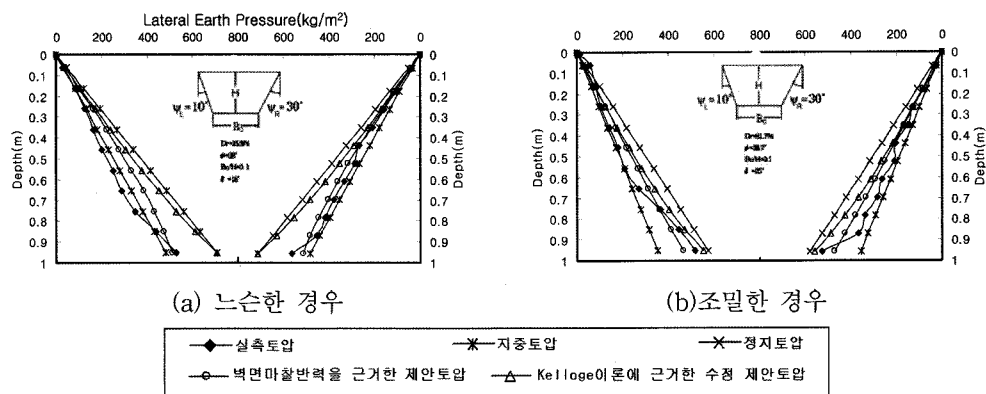


그림 6. 하부 폭이 0.2m인 경우

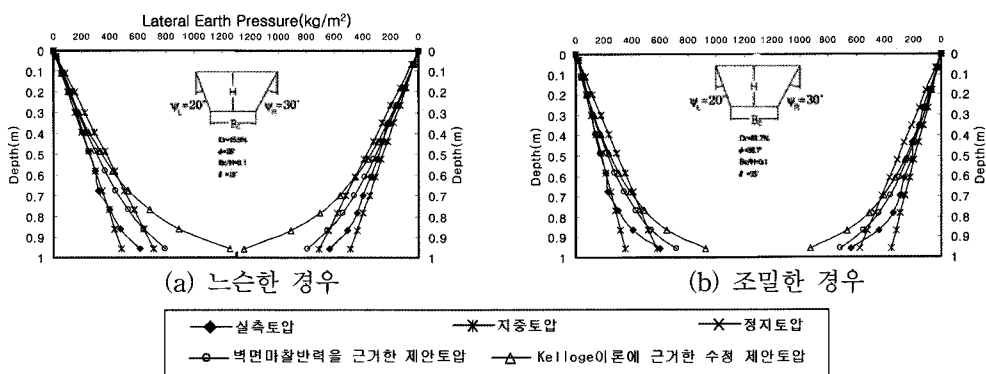


그림 7. 하부 폭이 0.3m인 경우

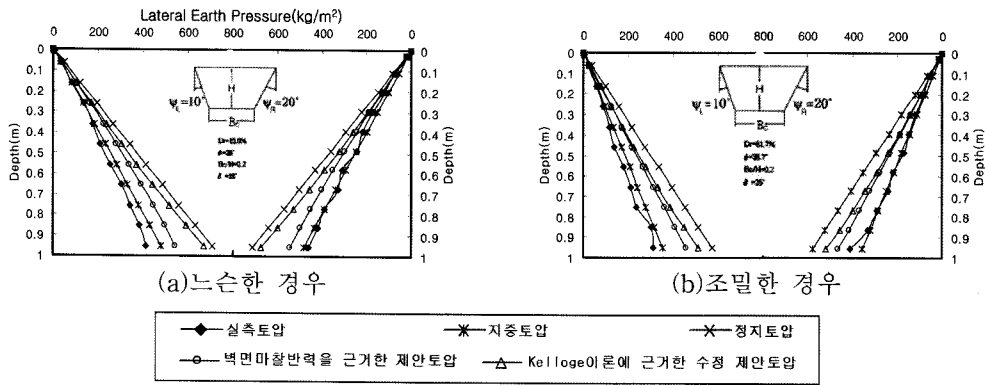


그림 8. 비대칭 벽체경사각 좌 80°, 우 60°인 경우

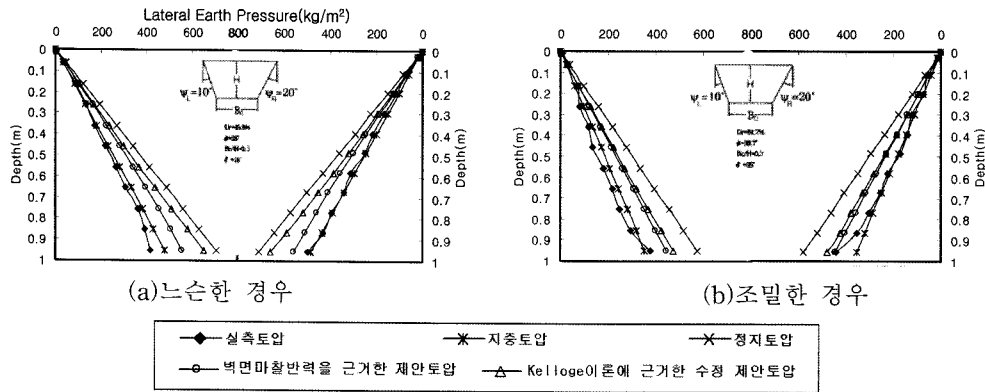


그림 9. 비대칭 벽체경사각 좌 70°, 우 60°인 경우

수 있었으며, 이런 원인은 되 메움 연직응력이 지중 연직응력보다 크기 때문으로 판단된다. 또한, 비대칭 벽체의 경사각과 상대밀도가 변할 경우 실측 및 각각의 이론 전체토압은 지중전체토압보다는 크고, 정지전체토압보다는 작게 나타나는 현상을 보였다.

위의 결과를 종합하면 비대칭벽체에 대하여 좌·우 벽체의 경사각이 10° 차이가 날 경우 벽체의 경사각이 큰 벽체에서 발생하는 토압은 경사각이 작은 벽체에서 발생하는 토압보다 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 약 7~10% 작아지는 경향을 보였다.

6. 결 론

좁은 되 메움 공간의 벽체가 비대칭경사진 경우, 벽체에 작용하는 토압을 구명하기 위하여 벽체의 경사각, 하부 폭 및 상대밀도를 변화시켜 모형토조실험을 수행하여 구한 실측전체토압을 Kellogg이론토압, Kellogg이론에 근거한 수정식 제안토압 및 벽면마찰반력을 고려한 토압과 비교, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 되 메움 벽체가 비대칭으로 경사진 경우에 있어서 되 메움 깊이가 일정하고 하부 폭, 상대밀도 및 경사각을 변화시킨 경우 벽면에 작용하는 실측전체토압은 벽면마찰반력을 고려한 토압, Kellogg이론토압 및 Kellogg이론을 근거한 수정식 제안토압의 순으로 실험결과와 근

접하게 나타났는데, 이는 벽면마찰반력을 고려한 토압인 경우 Arching 효과가 발휘된 실측전체토압과 가장 근소한 차이를 보여주는 것으로 판단된다.

- (2) 비대칭 경사진 벽체인 경우에 있어서 벽 마찰이 크게 발휘될 경우 실측전체토압 및 각각의 이론전체토압은 벽 마찰이 작게 발휘될 경우의 실측전체토압 및 각각의 이론전체토압보다 모두 작게 나타났다. 이런 결과는 벽 마찰이 크면 아칭효과가 크게 나타나는 것으로 판단된다.
- (3) 양측비대칭 경사진 벽체인 경우에 있어서 각각의 이론전체토압은 지중 전체토압보다는 크고, 정지토압보다는 작게 나타나는데 이런 결과는 깊이가 증가할수록 벽면 폭의 영향으로 연직응력이 증가하였기 때문으로 판단된다.
- (4) 비대칭 경사진 벽체에서 좌·우 벽체의 경사각이 10° 차이가 날 경우 벽체경사각이 큰 벽체에서 발생하는 토압은 경사각이 작은 벽체에서 발생하는 토압보다 실측전체토압은 각각의 이론전체토압보다 약 7~10% 작아지는 경향을 보였다.

참고문헌

- 이종규, 문창렬 (1997) 좁은 공간 되 메움 지반에서의 상재하중 영향에 의한 토압. 한국지반공학회는논문집, 한국지반공학회, 제 13권, 제6호, pp. 165-177.
- 이종규, 허경환 (2001) 대칭경사진 벽체의 되 메움 수평토압에 관한 연구. 한국지반공학회는논문집, 한국지반공학회, 제17권, 제5호, pp. 147-155.

정성교, 김문규, 정진교, 이만렬, 남선우 (1999) 뒤채움 과정이 고려된 모형벽체에 작용하는 수평토압: I.고정벽체. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제19권, pp. 795-806.

Bowels, J.E. (1996) *Foundation Analysis and Design, 5th Edition*. McGraw Hill Book co, pp. 1175.

Braja M. Das (1998) *Principles of Geotechnical Engineering, 4th Edition*. 구미서관, pp. 308-346.

Finn, W. D. Liam (1963) Boundary Value Problems of Soil Mechanics. *JSM*, ASCE, Vol. 89, pp. 39-72.

Handy, R. L. (1973) The Igloo and the Natural Bridge as Ultimate Structures. *Arctic*. ASCE, No. 4, pp. 276-281.

Handy, R. L. (1985) The Arch in Soil Arching. *JGE*, ASCE, No. 3,

pp. 302-318.

Kellogg, C. G (1987) Discussion of "The arch in Soil arching." by R. L. Handy. *JGE.*, ASCE, Vol. 113, No. 3, pp. 269-271.

Kellogg, C. G. (1993) Vertical Earth Loads on Buried Engineered Works. *JGE*, ASCE, Vol. 115, No. 3, pp. 487-506.

Krynine, D. P. (1945) discussion of "Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams," by Karl Terzaghi. *Transactions*, ASCE, Vol. 110, pp. 1175-1178.

◎ 논문접수일 : 2007년 11월 16일
 ◎ 심사의뢰일 : 2007년 11월 19일
 ◎ 심사완료일 : 2007년 12월 24일