

구조물 배면에 사질토 되메움시 유발되는 수평토압에 관한연구

A Study on the Lateral Earthpressure at Behind Structure for Backfill by Sand

이 상 덕¹ Lee, Sang-Duk
강 세 구^{2*} Kang, Se-Gu

ABSTRACT

In this study, the reinforcing effect of geogrids in the narrow backfill by sand was experimentally studied. In the model tests, the size of space and the slope of the cut off slope were varied out. The resultant and the distribution of lateral earth pressure were measured. Width of backfill space varied 10 cm, 20 cm, 30 cm at the lower wall level and angle of the cut off slope varied 90°, 75°, 60°. Geogrids were installed in the backfill. Measured results showed that the distribution of the lateral earth pressure due to the narrow backfill developed in a arching shape. And the earth pressure was reduced due to the reinforcement of the backfill by geogrid. geogrid helps reduction of lateral earth pressure.

요 지

본 연구에서는 모형실험을 통하여 구조물 배면의 좁은 공간을 사질토로 되메움 할 때, 되메움 지반의 공간크기와 형태 및 지오그리드의 포설 유/무에 따른 수평토압의 크기와 분포형태를 측정하였다. 8개의 층으로 구성된 벽체를 설치하고 좁은 되메움 지반을 벽체 하단으로부터 이격거리 10cm, 20cm, 30cm, 절취면의 각도는 90°, 75°, 60°로 모사하고, 되메움 지반내 지오그리드의 설치 유/무의 조건으로 수평토압을 측정했다. 측정결과 좁은 지반에서 되메움에 의한 수평토압은 아칭형태를 보였고 사면 파괴체 안에 모형지오그리드를 포설할 경우라도 수평토압이 감소된 결과가 나타났다. 본 연구와 유사한 현장의 벽체에 미치는 토압을 산정할 때 되메움 공간의 형상과 크기, 지오그리드 설치 등을 고려한 토압산정식이 적용되어야 할 것으로 확인되었다.

Keywords : Narrow backfill, Geogrid reinforcement, Lateral earth pressure, Arching effect

1. 서 론

지하 박스 구조물이나 규모가 큰 건물기초의 시공을 위하여 지반을 개착으로 굴착한 경우 및 절토부 보강토 공법과 같이 구조물 건설 후 협소한 잔여공간 즉, 구조물의 외벽과 원지반 굴착면의 좁은지반을 되메움하는 경우는 현장에서 빈번히 발생한다(그림 1). 또한 최근 현장에 적용이 급격히 늘어가고 있는 절토부 보강토 공법은 옹벽의 경관적인 측면뿐만 아니라 원지반의 절취량을 최소화 할 수 있도록 환경적인 측면을 고려하여 보강토옹벽과 사면보강을 결합하여 적용이 급격히 증가하고 있다.

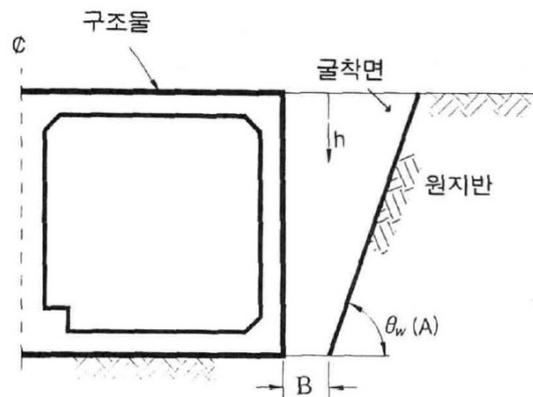


그림 1. 구조물 배면 되메움 시공개념도

1 정희원, 아주대학교 건설교통공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Ajou Univ.)

2* 정희원, 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Ajou Univ., E-mail: igua02@lycos.co.kr)

그러나 공간 효율성을 도모하기 위하여 구조물과 절취면 사이를 되메움시 폭을 매우 협소하게 시공하는데 이러한 경우 절취면과 구조물사이 되메움 구간에 대한 다짐 관리가 용이하지 않으며, 기존의 Rankine이나 Coulomb 토압이론을 적용하여 전면벽체에 작용하는 설계토압을 정확하게 예측하기가 쉽지 않다.

되메움 지반에 의한 토압에 관해서는 이상덕 등(1997)에 의해 연구가 수행되었으며, 최근에 절토부 옹벽에 대한 옹벽에 대해서는 유찬호(2010), 변요셉 등(2010)가 진행하였으나 좁은지반에 되메움시 토압에 대한 연구가 대부분이다. 특히 보강재가 사면 파괴체(되메움 구간) 내에 설치된 경우 되메움에 의한 실제 토압에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 실내 모형토조시험을 이용하여, 굴착면의 경사 및 하부 폭 변화 및 되메움구간에 지오그리드 설치 유무에 따른 수평토압을 측정하여, 되메움폭이 좁은 지반에서 사면파괴체 내에 수평으로 설치된 보강재의 보강효과를 확인하였다.

2. 이론적 배경

보강토 옹벽의 토압을 산정하는 이론은 일반적으로 Rankine 및 Coulomb 토압이 이용되고 있으며, 실제거동을 모사할 수 있는 이론으로는 Silo 이론이 적용될 수 있다.

2.1 사일로 이론

원지반에 좁은 도랑을 굴착하여 암거를 설치한 후 되메움한 지반은 원지반에 비하여 느슨하므로 되메움한 흙의 자중으로 압축하여 안정될때 원지반 벽면과 되메움 지반

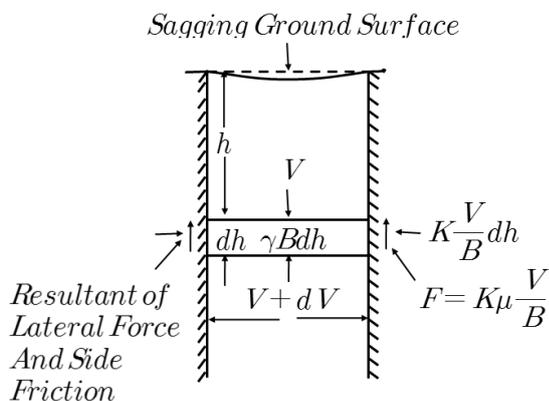


그림 2. 사일로 내에 작용하는 토압

사이에 마찰력이 작용하여 암거에 작용하는 토압은 자중에 의한 토압보다 작아지는 경향을 보인다. 이러한 현상은 아칭에 의한 것으로 관 매설을 위한 트렌치나 사일로와 같은 좁은 공간을 되메움할 경우에 발생한다.

그림 2는 연직한 벽면 사이에 흙을 되메움할 때 벽면 마찰력이 흙의 자중을 부분적으로 벽이 지지하는 경우를 보여주고 있다. 측압 F로 인하여 깊이의 증가와 더불어 점진적으로 V를 감소시켜 토압분포는 비선형형태가 된다.

그림 2에서 지표면 아래로 깊이 h에 위치하는 두께 dh의 미소요소를 가정한다. 이 요소에 작용하는 힘의 연직 평형 방정식을 취하면 수직력의 적분항은 식 (1)과 같다. 단, 이 요소에 작용하는 연직응력은 폭 B에 걸쳐 균등하게 분포한다고 가정한다.

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

여기서, 수직벽의 폭 B는 일정하다.

식 (1)을 적분하면 일반적으로 사용하는 관암거에서의 하중 계산식인 식 (2)가 된다.

$$V = \gamma B^2 \frac{1 - \exp(-2K_w \mu \frac{h}{B})}{2K_w \mu} \quad (2)$$

여기서, V = 깊이가 h일 때 수직하중의 증가된 합

γ = 흙의 단위중량

B = 도랑의 너비

$$K_w = \frac{\sigma_h}{\sigma_{av}}$$

$\mu = \tan \delta$ 이다.

식 (2)로부터 $\frac{V}{B} = \sigma_{av}, K_w \sigma_{av} = \sigma_h$ 이므로 벽면에 작용하는 수평토압은 식 (3)과 같다.

$$\sigma_h = \frac{\gamma B}{2\mu} [1 - \exp(-2K_w \mu \frac{h}{B})] \quad (3)$$

따라서, 폭 B인 관암거의 벽면에 작용하는 수평토압은 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다(문창렬, 1999).

2.2 토압계수(K)

사일로와 같은 좁은 공간의 토압적용에 사용되는 토압 계수 K는 Janssen(1895)이 실험을 통해 처음으로 소개하였다. Marston and Anderson(1913)은 Rankine(1857)의 주동토압계수인 $K_0 = \sigma_1/\sigma_3$ 를 사용하였다.

Krynine(1945)은 Rankine의 주동토압계수가 평면아치와 벽사이에 발생하는 벽마찰을 고려하지 못한다는 점을 수정하여 Mohr의 Mohr의 응력원(그림 3)으로부터 벽체의 마찰을 고려하여 수평토압과 수직토압의 비를 사용하여 식 (4)를 유도하였다.

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{1 - \sin^2\phi}{1 + \sin^2\phi} \quad (4)$$

Richard(1985)는 최소주응력 아치개념을 도입해서 식 (5)와 같은 K값을 제안하였다.

$$K_w = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = 1.06(\cos^2\theta + K_a \sin^2\theta) \quad (5)$$

여기서, K_a 는 주동토압계수, $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$ 이다.

Jaky(1944)는 배후지반이 수평인 경우 벽체의 변위가 없는 경우 정지토압 계수 K값을 다음과 같이 제안하였다.

$$K_0 = 1 - \sin\phi \quad (\beta = 0) \quad (6)$$

3. 실내시험

3.1 실내모형토조

본 연구에서는 2차원 평면조건으로 배면경사 조절이 용이하도록 크기가 120cm(폭)×90cm(높이)×30cm(길이)인 실내모형토조(그림 4)를 사용하였다. 실험기 내부 벽체는 실험의 전 과정을 외부에서 관찰할 수 있도록 투명 아크릴을 이용하여 제작하였다. 성토지반과 벽마찰을 최소화하기 위해서 토조 내부에 유리판을 부착하고 그리스를 바른 비닐을 연직벽체와 지반사이에 여러점 부착하였다. 원지반 굴착면은 충분한 강성의 강판을 이용하여 경사조절이 가능하도록 제작하였으며, 강판에는 에폭시로 되메움 시

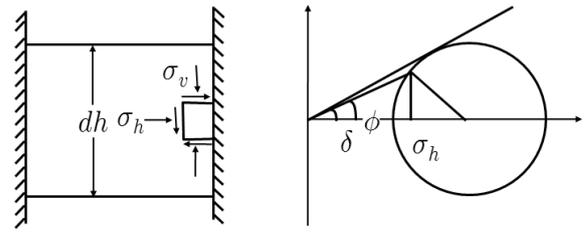


그림 3. Mohr의 응력원($\delta < \phi$)

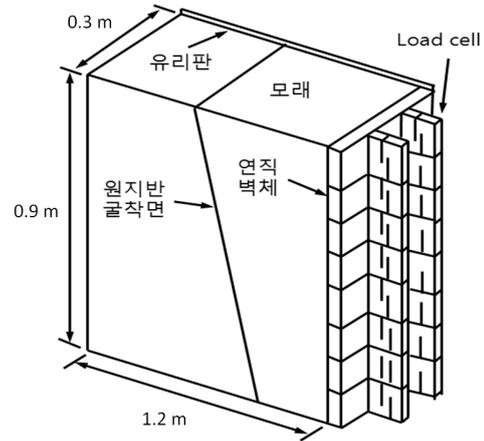


그림 4. 실내모형토조 개요도

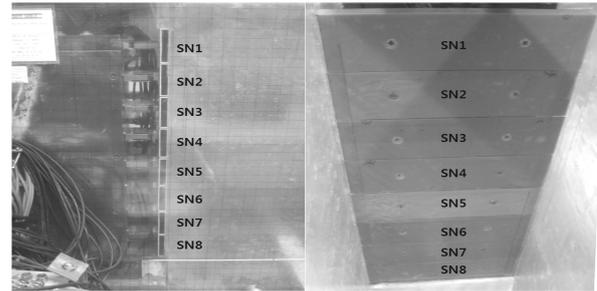


그림 5. 연직 벽체

료를 부착하여 원지반과 동일한 마찰각을 갖도록 하였다. 연직벽체는 크기가 2cm(두께)×7.5cm(높이)×28cm(폭)인 베이클라이트판(Bakelite Plate, $E=147,000\text{kgf}/\text{cm}^2$, $EI=159\text{kgf}\cdot\text{cm}^2$) 8개로 제작하였다.

벽체에 작용하는 되메움 토압을 측정하기 위해서 설치한 계측기의 구성 및 배치는 그림 5와 같으며, 각벽체에 편심이 작용하지 않도록 Load cell을 2개씩(총16개) 설치하였으며 측정은 Tokyo Sokki 사의 TDS-303을 사용하여 측정하였다.

3.2 되메움 지반의 공학적 특성

본 연구에 사용된 되메움지반은 노건조된 주문진 자연

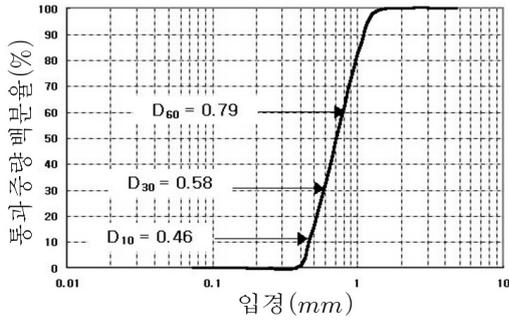


그림 6. 모형지반의 입도분포곡선

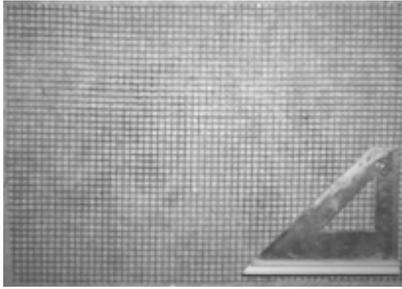


그림 7. 보강재 전경

표 1. 뒷채움 지반의 기본 물성

물리적 특성	결 과
#4/#200 통과량(%)	100/0
$\gamma_{dmax} / \gamma_{dmin}$ (kN/m^3)	17.9/14.6
비 중	2.61
통일 분류	SP

표 2. 보강재 개요

구 분	격자크기	인장강도	재 질
보강재	5X5mm	45kgf/m	PET

사를 사용하였다. 체분석 결과 입경가적곡선은 그림 6과 같다. 뒷채움 지반의 기본물성은 표 1에 표기하였으며 통일분류법(Unified Soil Classification System)으로 분류하면 미세입자가 적고 입도분포가 불량한 모래(SP)이다. 모형지반의 조성은 낙하고를 조정할 수 있는 롤러가 부착된 강사장치(Sand curtain)를 이용하여 상대밀도가 약 78%로 일정하게 조성하였다. 되메움 모형지반은 노건조상태의 모래($D_{max}=2.3mm$)로 직접전단시험결과 점착력은 0이고, 내부마찰각은 38°로 나타났다.

3.3 보강재

보강재는 노건조 상태의 모래인 지반조건 및 실험규모(scale)를 고려할 때 실제 지오그리드를 적용하기 곤란하

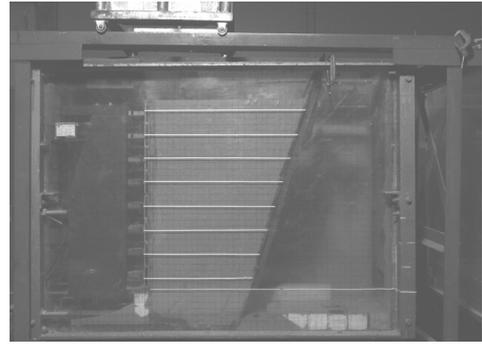


그림 8. 실험기 전경

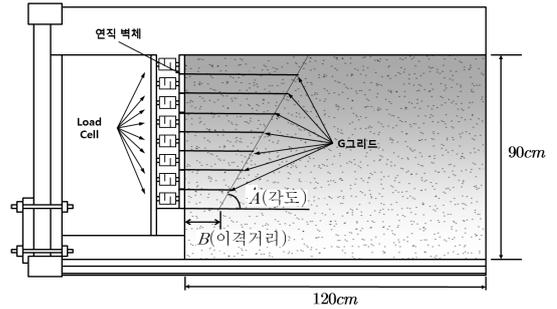


그림 9. 실험조건

표 3. 실험 변수(총 18 case)

구 분	굴착면 경사(A)			
	60°	75°	90°	
이격 거리 (B)	10cm	B10A60 (G)	B10A75 (G)	B10A90 (G)
	20cm	B20A60 (G)	B20A75 (G)	B20A90 (G)
	30cm	B30A60 (G)	B30A75 (G)	B30A90 (G)

*여기서, A: 굴착면경사, B: 이격거리, G: 보강재

여 모형실험에 그리드를 대체할 수 있는 몇가지 재료(모시, 섬유, 철망)에 대한 예비시험 후, 지오그리드와 가장 특성이 유사한 그물망 형태의 섬유를 보강재로 적용하였다(그림 7과 표 2).

3.4 실험 변수

본 연구에서는 되메움 공간의 형상 즉, 원지반 굴착면의 경사(A) 및 되메움 하부 폭(B)을 변화시키면서 각위치별 지반의 수평토압을 측정(그림 8과 9)하였으며, 각 CASE에서 지오그리드의 설치 유무(G)에 따른 지오그리드의 보강효과를 확인하였으며, 수행한 실험의 종류는 표 3과 같다.

3.5 실험 방법

되메움 공간의 형상에 따라 원지반 경사와 연직벽체와

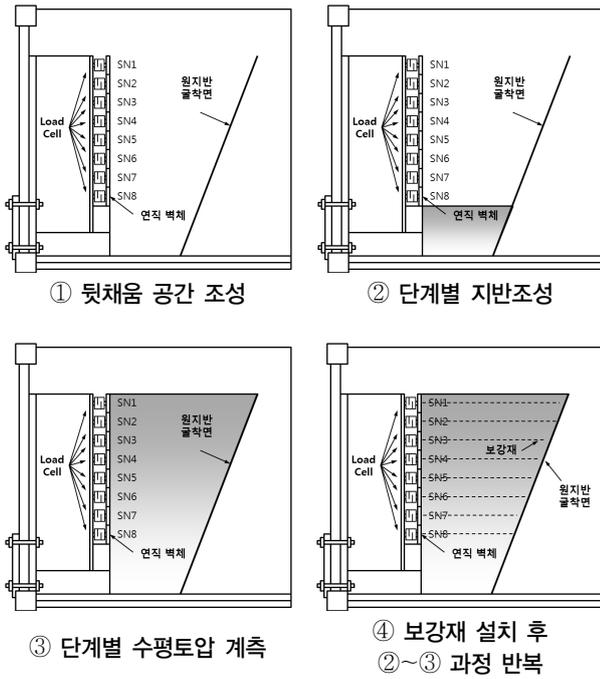


그림 10. 실험 방법

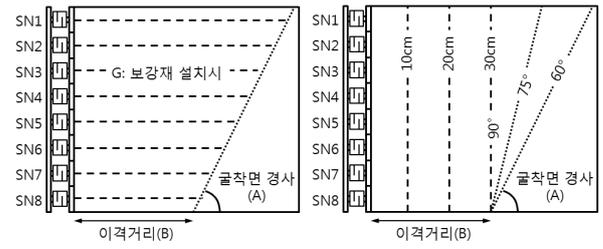
의 이격거리를 조정 후 되메움을 실시하였다. 되메움시 균질한 지반을 조성하기 위하여 샌드 커튼 방식(Sand curtain method)을 이용하였다. 지반의 상대밀도 조절은 낙하고와 낙하 속도를 조절하여 일정한 상대밀도가 유지되도록 하였으며, 부피를 알고 있는 알루미늄 캔(can)을 설치하고 시험이 완료된 후 캔을 꺼내어서 무게를 측정하여 매시험 별 되메움 지반의 상대밀도를 확인하였다.

모형실험과정(그림 10)은 단계별로 벽체의 높이까지 강사한 후 수평토압을 측정하였으며, 소정의 위치에서 보강재를 설치하여 보강재의 효과에 대하여 비교 분석하였다.

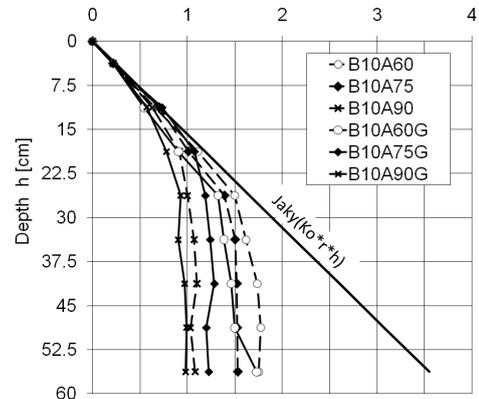
4. 실험 결과

4.1 원지반의 굴착면 경사에 따른 토압분포

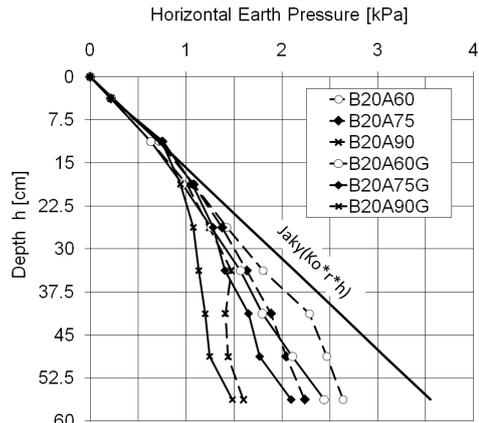
그림 11은 각각의 이격거리별로 원지반 굴착경사에 따라 연직벽체에 작용하는 수평토압의 분포를 나타내고 있다. 그림 11(a)에서와 같이 되메움 지반의 하부영역에서 되메움의 깊이가 증가할수록 수평토압이 비선형 적으로 증가하였다. 또한 경사가 수직에 가까워질수록 아칭현상에 의해 수평토압이 감소하여 이론토압(Jaky 식)보다 최대 70%까지 감소하였다. 그러나 연직 벽체와의 이격거리(뒷채움공간)가 커지면서 토압분포는 이론토압에 가까워지는 경향을 보였다(그림 11(b)와 11(c)).



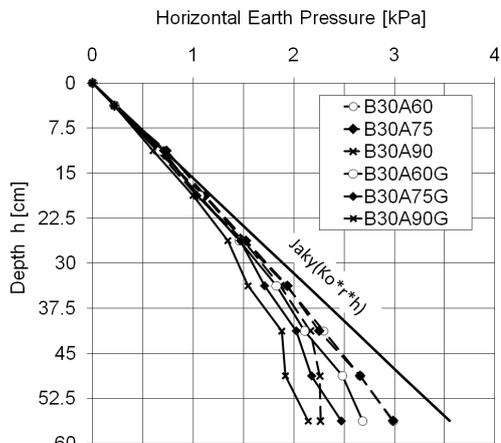
Horizontal Earth Pressure [kPa]



(a) B=10cm, A=60° 75° 90°, G=보강시



(b) B=20cm, A=60° 75° 90°, G=보강시



(c) B=30cm, A=60° 75° 90°, G=보강시

그림 11. 원지반 굴착면 경사에 따른 토압 분포

그림 11(c)는 하부폭이 30cm 인 경우 원지반의 굴착각도에 따른 수평토압의 분포형태이다. 원지반 굴착면 경사가 60°인 경우와 75°인 경우 유사한 경향을 보였으며, 90°인 경우 되메움 지반 하부에서 다소 감소하였다.

4.2 되메움 하부폭(이격거리)에 따른 토압분포

되메움 지반의 하부폭이 커질수록 연직벽체가 받는 수평토압은 커지는 경향을 보였으며, 이론토압(Jaky식)에 가까워지는 경향을 보였다(그림 12). 하지만 본 연구에서 이격거리가 30cm로 가장 큰 B30A90의 경우도 이론 토압(Jaky 식)의 약 64%로 측정되어 좁은 폭의 되메움된 지반에서의 수평토압은 이론적인 수평토압 공식에 의한 토압보다 감소하는 것을 확인 하였다.

또한 Silo 토압과 비교하여 볼때 실험결과 토압의 분포 양상은 유사하며, 벽체상단부는 작용토압도 거의 유사하

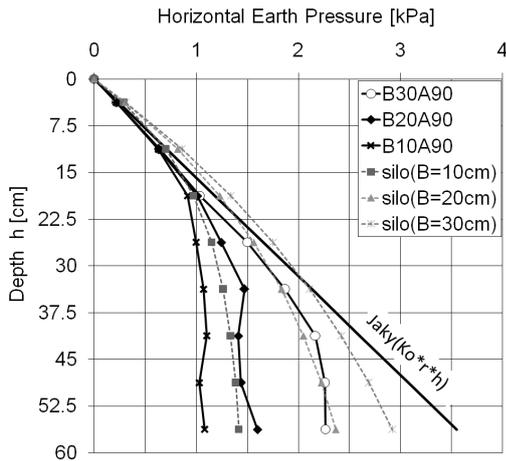


그림 12. 이격거리에 따른 수평토압 분포(A=90°, B=10cm, 20cm, 30cm, 무보강시)

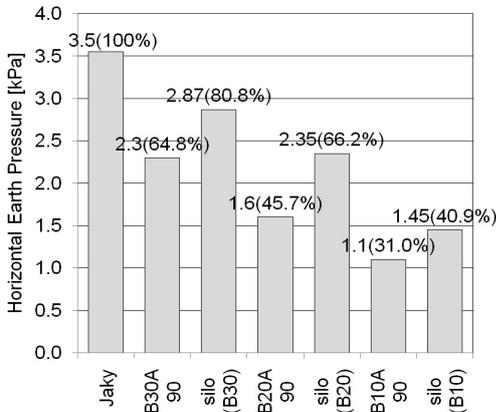


그림 13. 최하단부 수평토압 비교(A=90°, B=10cm, 20cm, 30cm, 최하단 벽체)

나 하단부로 갈수록 이론값이 실험값에 비해 크게 산정되었 으며, 최하단부에서 약 21~32% 정도 크게 산정되었다(그림 13).

4.3 지오그리드 설치에 따른 보강효과

본 연구의 모든 CASE에서 보강재를 설치한 경우 설치 하지 않은 경우보다 수평토압이 작게 측정되었으며, 보강 재를 예상과괴면 밖으로 포설하지 않고 사면 파괴체(되메 움구간)내에만 설치하여도 수평토압이 일부 감소하는 보 강효과를 확인하였다. 그림 14~16은 배면경사가 60, 75, 90°일 때 보강재 설치 유무에 따른 수평토압 분포를 나타 낸다. 배면경사가 90°이고 되메움 구간에 그리드를 포설 한 경우 6.3~9.1%의 토압감소 효과를 보이며, 이격거리

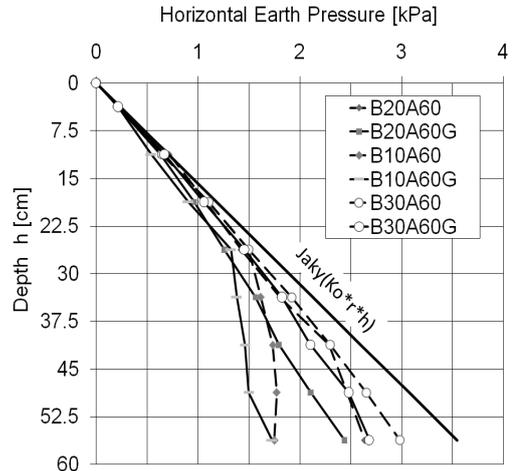


그림 14. 보강재 설치 유무에 따른 수평토압 분포(A=60°, B=10cm, 20cm, 30cm)

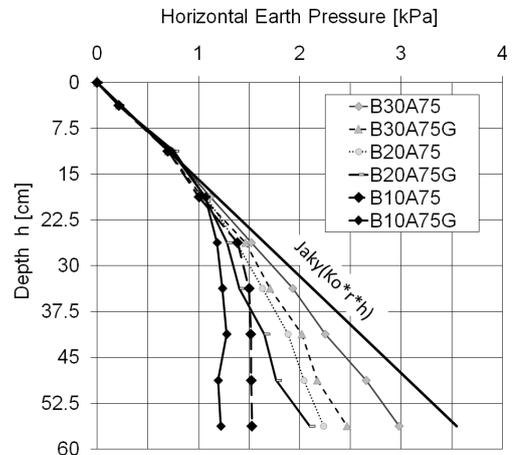


그림 15. 보강재 설치 유무에 따른 수평토압 분포(A=75°, B=10cm, 20cm, 30cm)

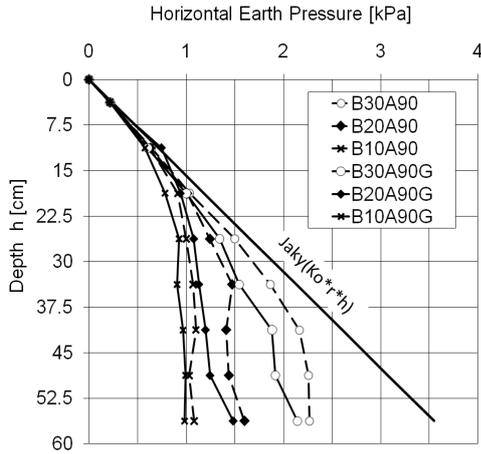


그림 16. 보강재 설치 유무에 따른 수평토압 분포(A=90°, B=10cm, 20cm, 30cm)

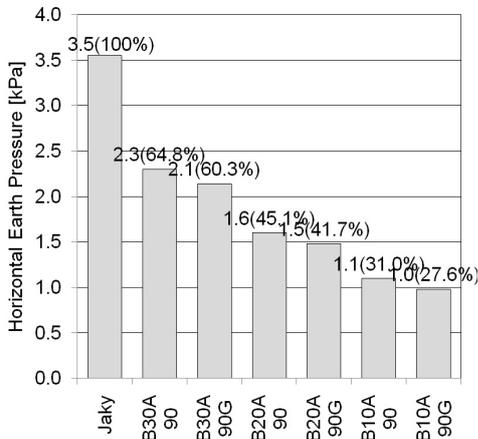


그림 17. 보강재 설치에 따른 수평토압 비교(A=90°, B=10cm, 20cm, 30cm, 최하단 벽체)

30cm에서는 그리드가 없는 경우 이론값의 64.8%의 토압을 가지고, 보강재를 포설한 경우 이론값의 60.3%의 수평토압이 작용하였다. 그림 17은 배면경사 90°인 경우 이격거리가 10, 20, 30cm 일 때 그리드 유무에 따른 최하단 벽체의 수평토압으로 그리드 보강시 6.7~11% 정도 감소하는 결과를 보인다.

5. 결론

본 연구는 절토부 보강토 옹벽의 배면 또는 구주물 배면에 좁은 공간을 되메움시 토압분포와 짧은 보강재의 보강효과를 확인하기 위하여 되메움 공간의 크기와 원지반의 굴착 배면경사에 따라 발생하는 수평토압의 크기와 분포형상을 실내모형실험을 수행하여 측정하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 모형실험결과 연직벽체 상부에 작용하는 수평토압은 되메움 하부폭(B)과 관계 없이 이론토압(Jaky식)과 유사하게 나타났으나, 연직 벽체 하부에 작용하는 수평토압의 분포형상은 되메움 하부 폭(B)이 작을수록 비선형적인 증가를 보였다.
- (2) 되메움 하부폭(B)이 작아질수록 연직 벽체에 작용하는 수평토압은 감소하였으며, 아칭현상에 의해 수평토압이 감소하여 이론토압(Jaky식)보다 최대 70%까지 감소하였다(B10A90G).
- (3) 좁은지역에 되메움한 토압의 형태는 벽체상단부는 정지토압에 유사한 직선분포를 보이며, 하단부로 갈수록 실험값은 silo 토압의 형태와 유사하나 최하단부에서 실험값이 최대 약 32% 감소하는 것을 확인하였다.
- (4) 원지반 굴착면 경사(A)가 수직에 가까워질수록 수평토압이 감소하여 최대 이론 토압의 30%로 감소된 토압을 볼 수 있었다.
- (5) 되메움 하부폭이 증가하고, 굴착면 경사가 작아질수록 즉, 뒤채움 공간이 증가하면서 토압분포는 이론토압에 가까워지는 경향을 보였다.
- (6) 보강재를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우보다 수평토압이 작게 측정되었으며, 사면파괴체 내에 보강재를 짧게 설치하여도 지오그리드의 보강효과가 있는 것을 확인하였다.
- (7) 보강재 설치시, 굴착면 경사에 무관하게 수평토압이 감소하였다.

본 연구에서는 모래 지반에서 실시한 좁은 되메움 구간의 수평 토압을 측정하여 전체적인 토압 분포가 아칭형상인 것을 확인할 수 있었으며, 좁은지반에 설치된 짧은 보강재의 지반 보강효과를 확인 하였다. 향후 절토부 보강토 옹벽 현장 시공시 계측을 통한 추가적인 연구를 수행하면 좁은 지반에 되메움시 전면벽체에 작용하는 토압 및 보강재의 역할을 명확하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 2010년 산학연공동기술과제의 지원으로 이루어진 연구로서 동기관에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 문창열 (1999), “비대칭 좁은 공간에서의 퇴메움 토압에 관한 연구”, *한국지반공학학회 논문집*, 제15권, 제4호, pp.261.
2. 이상덕, 문창열, 김은섭, 이종규 (1997), “퇴메움 지반에 의한 수평토압에 관한 연구”, *대한토목학회논문집*, 제17권, 제3-3호, pp.285-292.
3. 유찬호 (2010), *절성토 보강토 옹벽의 작용토압 분석과 전면블럭 두께 산정에 관한 연구*, 박사학위논문, 홍익대학교, pp.33-49.
4. 변요섭, 류웅렬, 이동호, 천병식 (2010), “절토사면에서 보강토 옹벽의 적용성 연구”, *한국지반환경공학학회 논문집*, 제11권, 제2호, pp.53-60.
5. Jaky J. (1944), “The coefficient of earth pressure at rest”, *J. SOC Hungarian Architects and Engrs.*, Vol.78, No.22, pp.355-358.
6. Janssen, H. A (1895), “Versuche fiber Getreide Druck in Silozellen”, *Proceeding of Institute of Civil Engineers, London, England*, Vol.39, No.3, pp.1045-1049.
7. Krynine, D. P. (1945), “Stability and stiffness of cellular cofferdams”, *Transactions, ASCE*, Vol.110, pp.1175-1178.
8. Marston, A. and Anderson, A. O. (1913), “The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe”, *Iowa Engineering Experiment Station Bulletin*, Iowa stage collage, No.31, pp.181.
9. Rankine, W. J. M. (1857), “On the stability of loose earth”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol.147, No.2, pp.9-27.
10. Richard L. H. (1985), “The arching in soil arching”, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol.111, No.GT3, pp.302-318.

(논문접수일 2011. 9. 19, 심사완료일 2011. 12. 8)