

# 좁게 굴착된 뒤채움 지반의 경계조건에 따른 수평응력 변화에 관한 연구

## Horizontal Earth Pressure of the Backfill in the Narrowly Excavated Ground Considering Various Boundary Conditions

김 희 수<sup>1)</sup> · 반 호 기<sup>2)</sup> · 문 창 열<sup>†</sup>

Hee Su Kim · Hoki Ban · Chang-Yeul Moon

Received: September 15<sup>th</sup>, 2017; Revised: September 22<sup>nd</sup>, 2017; Accepted: October 16<sup>th</sup>, 2017

**ABSTRACT** : When narrowly excavated in the urban area, the wall of backfill space is not only symmetrical but also asymmetrical. In this case, the horizontal stress induced by backfilling depends mostly on the wall asymmetry and the wall friction angle. Therefore, in this study, the model test in the laboratory was conducted to investigate horizontal earth pressure with depth considering various boundary conditions such as base width, wall friction, relative density of backfill, and wall angle. As the wall is smoother and wall angle is lower from the bottom, the results showed higher the horizontal stresses due to the increase of vertical stresses.

**Keywords** : Asymmetry of trench, Backfill, Horizontal earth pressure, Narrow trench

**요 지** : 도심지에서 굴착 시 흔히 볼 수 있는 좁게 굴착된 경우 뒤채움이 되는 공간의 벽면은 대칭뿐 아니라 비대칭의 형태가 발생한다. 이러한 경우 뒤채움으로 인해 발생하는 수평응력은 벽면의 비대칭성 및 벽면의 마찰각에 따라 달라진다. 따라서 본 연구에서는 다양한 경계조건(저부폭, 벽면마찰, 뒤채움 지반의 상대밀도, 벽면경사)에 따른 깊이별 수평응력을 토조를 이용한 실내모형 실험을 통해 살펴보았다. 전체적으로 벽면이 매끄러울수록 경사가 수평에서 적을수록 수직응력의 증가로 인해 수평응력이 증가하였다.

**주요어** : 비대칭 굴착, 뒤채움, 수평토압, 저부폭

## 1. 서 론

도심지에서 주로 발생하는 좁게 굴착된 트랜치의 뒤채움 공간의 벽면은 현장 여건에 따라 대칭 또는 비대칭으로 발생한다. 뒤채움으로 인해 발생하는 수평토압은 여러 가지 경계조건에 따라 크기와 분포가 달라진다. 일반적으로 좁은 공간에서의 뒤채움으로 발생하는 수평토압은 뒤채움 되는 흙의 자중보다 작은 크기로 작용이 된다. 이러한 이유는 폭이 좁은 공간에서 흙의 자중이 뒤채움 벽면과의 마찰 저항에 의해 중력 방향으로의 자중 전이가 저지되며 뒤채움 흙의 전단 저항각에 따른 평면 아칭으로써 설명이 된다. 따라서 도심 내의 건물 간의 지하충굴착, 하수구로 및 배관 설치로 인한 굴착 등의 저부 폭이 좁게 굴착이 되었을 경우 뒤채움으로 인한 수평토압의 크기 및 분포가 구조물의 안정성을 평가하는 중요한 요소이지만 이를 추정하기 어렵다.

많은 연구자들에 의해 수평토압의 크기를 추정하는 연구가 활발히 진행되어 왔으며, Huh(2008)는 좁은 공간(저부 폭 10~30cm)에서 양쪽 경사가 비대칭인 경우 실내 토조 모

형실험을 통하여 경사각과 상대밀도를 변화를 줄 경우 전체 토압은 자중전체토압보다 크고, 정지전체토압보다 작게 나타나는 것을 확인하였다. Lee et al.(1997)은 뒤채움 지반 저부 폭이 10~100cm인 경우 저부 폭이 작을수록 수평토압의 분포형태가 비선형적인 증가를 보였으며, 저부 폭이 클수록 선형적으로 증가함을 확인하였다. 또한 벽 마찰각이 클수록 벽면마찰에 의한 영향이 증가하여 수평토압이 감소함을 확인하였다. Lee & Huh(2001)는 뒤채움 깊이와 대칭벽체의 경사각은 일정하고 저부 폭을 10, 20, 30cm로 설정하여 실내 토조 모형실험을 실시하였으며, 실측수평토압은 이론수평토압보다 작게 나타나는 것을 확인하였다. 이는 상대밀도와 벽면마찰각의 크기에 관계없이 저부 폭이 증가할수록 아칭효과가 감소하였기 때문인 것을 밝혔다. 따라서 저부 폭이 증가할수록 토압의 증가량이 감소되는 것을 확인하였다. Lee & Kang(2011)은 실내 모형토조실험을 실시하여 굴착면의 경사 및 저부 폭의 변화, 뒤채움 구간에 지오그리드 설치 유무를 통하여 수평토압을 측정하여 굴착면 경사에 무관하게 수평토압이 감소하는 것을 확인하였다. Moon et al.

1) Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

2) Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

† Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University (Corresponding Author : moonyeul@kangwon.ac.kr)

(2004)은 저부 폭이 20, 30, 40cm인 경우 지반의 밀도와 벽면경사를 변화를 주어 실내 토조 모형실험을 실시하였다. 또한 Moon(1997)에서 기존의 벽면이 대칭적으로 경사지게 뒤채움 된 형태에 대한 수평응력 비를 뒤채움 벽면경사에 따라 변화하는 주응력 방향을 고려하여 제안한 기존의 Kellogg (1993) 이론식에 대하여 경사면에 작용하는 마찰저항과 연직 투영된 경계면에서의 마찰저항의 크기가 다를 것으로 판단되어 제안한 수정 Kellogg 이론식과 비교 분석을 하였다. 지반의 조성상태가 동일한 경우에 벽면경사가 비대칭인 경우에 수정 Kellogg 이론식과 유사하였으나, 벽면경사가 수직인 경우는 수정 Kellogg 이론식과 다소 차이를 보였다. 이는 경사진 벽면으로 뒤채움 흙의 자중이 이동되는 벽마찰에 의해 구속 효과가 둔화된 결과가 반영된 것을 밝혔다. 또한 지반이 조밀한 경우보다 느슨한 경우에 수평응력이 크게 나타났으며, 이는 수정 Kellogg 이론식과 동일하게 반영된 것을 밝혔다. 수정 Kellogg 이론식은 Moon et al.(2004)에서 이론을 확장하여 뒤채움 응력과 상재하중에 의한 증가량을 산정할 수 있는 새로운 수정 이론식을 벽면의 주동과 피를 가정한 탄소봉의 내부마찰각 시험을 통하여 밝혔다. 본 연구에서는 좁게 굴착된 뒤채움이 되는 지반의 경계조건(공간의 저부 폭 크기와 벽 마찰, 뒤채움 지반의 밀도, 벽면 경사)에 따른 수평응력 변화를 살펴보기 위해 실내 토조 모형실험을 실시하였으며 경계조건을 변화에 따른 수평응력 변화를 비교 및 분석하였다.

## 2. 실내 토조 실험

### 2.1 토조 실험장치

실험에 사용한 모형 토조는 Fig. 1(a)에서 보여주듯이 크

기는 가로 200cm, 세로 100cm, 높이 100cm, 폭 0.1cm의 강판을 이용하여 제작되었다. 벽면의 거침과 매끄러움의 정도는 전단시험을 통하여 얻은 뒤채움에 사용할 모래의 내부마찰각과 동일한 사포를 사용하였으며, 측면 내부는 실험 시 발생하는 측면 마찰이 최소화되도록 폭 0.2cm의 아크릴판을 사용하여 제작하였다. 뒤채움 모형지반조성장치 및 모형벽체는 토조의 폭 및 뒤채움 지반의 경사로 인한 높이를 감안하여 Fig. 1(b)과 같이 Bake plate를 가로 100cm, 세로 10cm, 폭 3cm로 22개 제작하였다. 지반조성은 초기시험에 의해 측정된 상대밀도에 달하도록 시험방법을 결정한 후 강사 높이와 강사방법을 결정하였다. 조밀한 지반 조성의 경우는 Sand curtain 방법을 이용하여 강사의 높이를 단계별로 일정하게 유지시켜 뒤채움 지반이 균일한 조밀성이 유지되도록 시행하였다. 느슨한 지반 조성의 경우는 플라스틱 용기를 사용하여 조성하였다. 깊이별 수평응력을 측정하기 위하여 저부에서 4단까지의 용량을 100kg, 5단 이상에서는 50kg의 하중계를 각각 부착하여 측정하였다. 연직력은 뒤채움 저부 폭의 크기에 맞게 Bake plate를 저부 폭에 따라 각각 제작하여 100kg의 하중계를 부착하여 측정하였으며, 이때 사용한 하중계는  $\pm 10\text{gr}$ 의 정밀도를 지닌 제품을 사용하였다. 또한 깊이별 측정을 위한 분리된 모형벽체간의 상호간섭이나 모래의 침입을 방지하기 위하여 벤토나이트를 묽게 반죽하여 처리하였다.

### 2.2 모형지반의 물성

모형지반 조성에 사용된 모래는 강원도 삼척시 근덕면 소재 해사로서 염분에 의한 흡착을 배제하고자 담수로 세척한 후 자연 건조시킨 것으로 사용하였다. 사용된 모래는 조립률 2.08이며, 통일 분류법에 의하여 분류결과 SP로 분류되었다. 직접전단시험을 통하여 상대밀도별 내부마찰각을 측

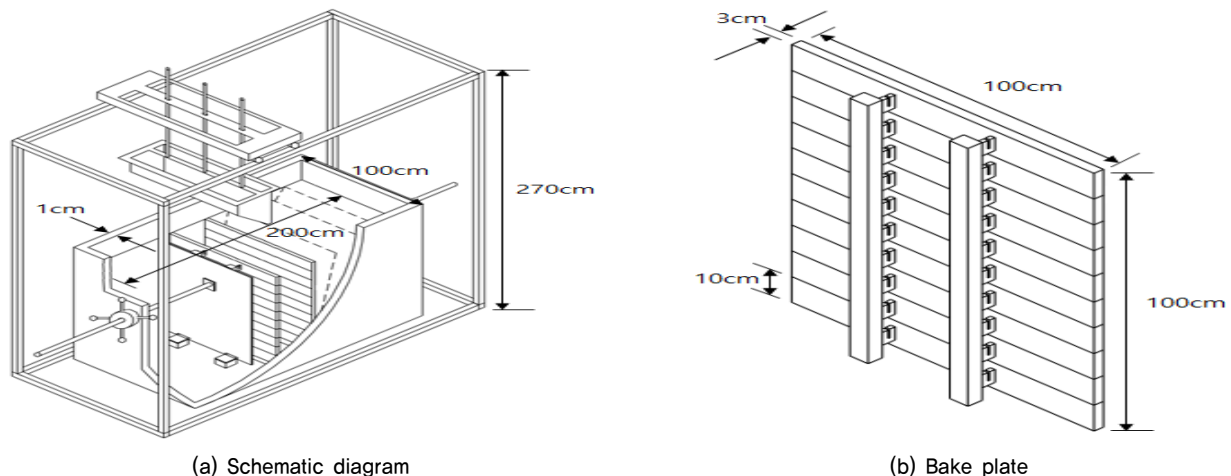


Fig. 1. Schematic drawing of soil box for the model test

정하였으며, 그 값을 Table 1에 나타내었다. 뒤채움 높이별로 함수비 측정용 캔(직경=3cm, 높이 4cm)을 2층당 3개씩 매설하여 상대밀도의 균일성을 확인하는 방법으로 실험을 진행하였다. 뒤채움 지반의 상대밀도는 조밀한 경우는  $Dr = 72\%$ , 느슨한 경우는  $Dr = 6.5\%$ 로 조성하였다. 벽면의 거침 정도는 사용할 모래를 전단시험을 통하여 내부마찰각과 동일한 사포를 부착하였다.

### 2.3 실험 방법

실험은 2종류의 저부 폭에 대하여 벽 마찰각, 상대밀도, 경사도를 변경하여 총 18가지에 대하여 실시하였으며, 구체적인 내용은 Table 2와 같다. 실험은 굴착공간의 크기에 따라 Bake plate로 제작된 모형 벽체를 설치한 후 수평토압 측정기 및 연직토압 측정기의 초기화를 시행하고 지반의 밀도가 목적인 값에 이르도록 예비실험을 통하여 강사높이를 얻은 다음 시행하였다. 또한 목적인 지반의 밀도를 확인하기 위하여 각 층당 함수비 측정용 용기를 바닥면으로부터 30cm, 60cm 높이에 매설한 다음 실험이 끝난 후 회수를 하여 이를 확인하는 방법으로 실험을 진행하였다.

Table 1. Material property used in the experiment

Division		Material property
Unit weight ( $kN/m^3$ )	$Dr = 72\%$	15.99
	$Dr = 6.5\%$	13.73
Internal friction angle ( $\phi$ )	$Dr = 72\%$	42
	$Dr = 6.5\%$	31

## 3. 실험결과

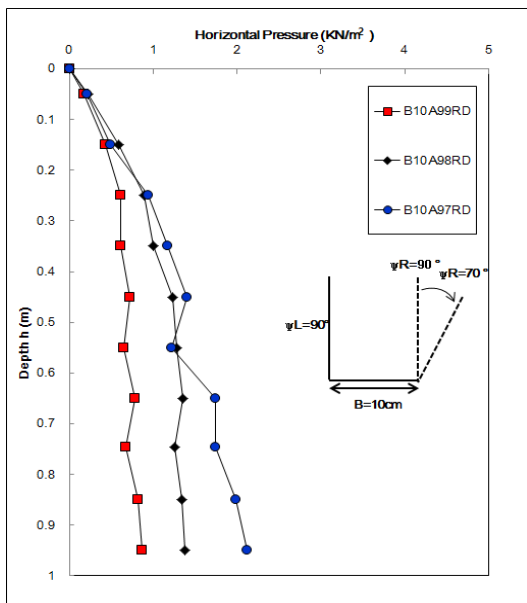
### 3.1 상대밀도에 따른 수평응력 분석

Fig. 2는 지반의 저부 폭 10cm, 벽면을 거칠고 지반을 조밀, 좌측경사를  $90^\circ$ 으로 고정하였을 때, 우측경사를  $90^\circ$  (B10A99RD),  $80^\circ$ (B10A98RD),  $70^\circ$ (B10A97RD)에 대한 실험

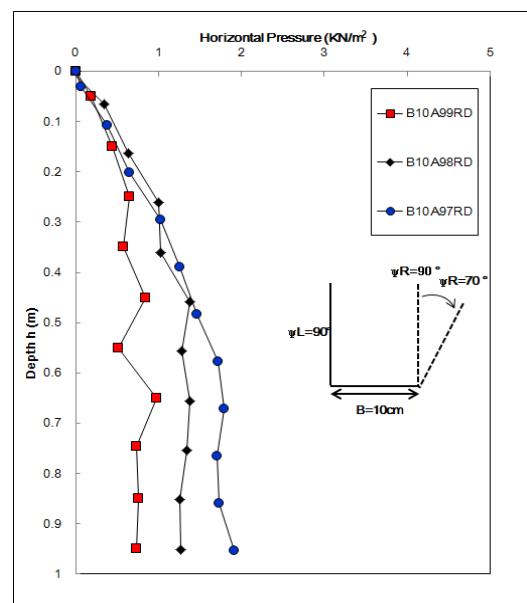
Table 2. Experimental cases

Base width	Wall friction	Density	Slops angle	
			Left	Right
10 cm (B10)	Rough (R)	Dense (D)	$90^\circ$	$90^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$70^\circ$
		Loose (L)	$90^\circ$	$90^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$70^\circ$
	Smooth (S)	Dense (D)	$90^\circ$	$90^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
		Loose (L)	$90^\circ$	$90^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
30 cm (B30)	Rough (R)	Dense (D)	$90^\circ$	$90^\circ$
		Loose (L)	$90^\circ$	$90^\circ$
		Dense (D)	$90^\circ$	$90^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
	Smooth (S)	Dense (D)	$90^\circ$	$90^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$70^\circ$
			$90^\circ$	$90^\circ$
		Loose (L)	$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$80^\circ$
			$90^\circ$	$70^\circ$
			$90^\circ$	$70^\circ$

Note: Base width=B, Rough=R, Smooth=S, Dense=D and Loose=L



(a) At left wall



(b) At right wall

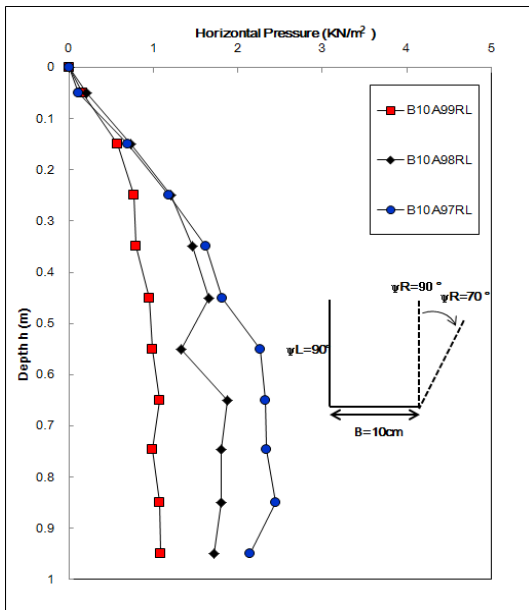
Fig. 2. Horizontal stresses with depth when base width=10 cm and wall friction=rough, and density=dense

험 결과를 비교 분석하였다. Fig. 2(a)는 좌측 벽면에서의 수평응력, Fig. 2(b)는 우측 벽면에서의 수평응력을 나타내고 있다. Fig. 2에 보듯이 좌우측 모든 벽면에서 경사각이 작아질수록 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 경사각이 작아질수록 상부의 상재하중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가로 인한 수평응력의 증가를 볼 수 있다.

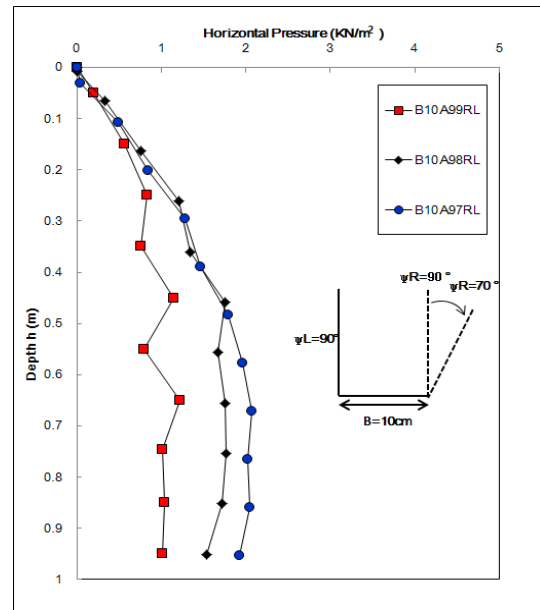
Fig. 3은 지반의 저부 폭 10cm, 벽면이 거칠고 느슨한 지반의 좌측경사를 90°으로 고정하였을 때, 우측경사를 90°(B10A99RL), 80°(B10A98RL), 70°(B10A97RL)에 대한 실

험 결과를 비교 분석하였다. Fig. 3(a)는 좌측 벽면에서의 수평응력, Fig. 3(b)는 우측 벽면에서의 수평응력을 나타내고 있다. Fig. 3에 보듯이 좌우측 모든 벽면에서 경사각이 작아질수록 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 경사각이 작아질수록 상부의 상재하중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가로 인한 수평응력의 증가를 볼 수 있다.

Fig. 4는 지반의 저부 폭 10cm, 벽면이 거칠고 조밀한 지반의 우측경사 90°(B10A99RD), 70°(B10A99RL)와 느슨한 지반의 우측경사 90°(B10A99RD), 70°(B10A99RL)에 대한 실

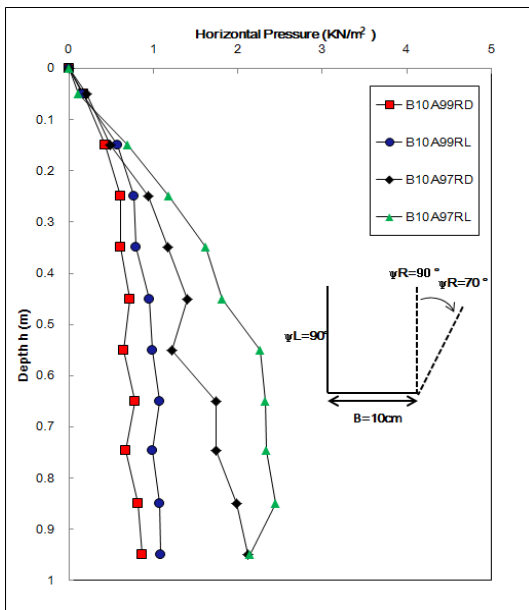


(a) At left wall

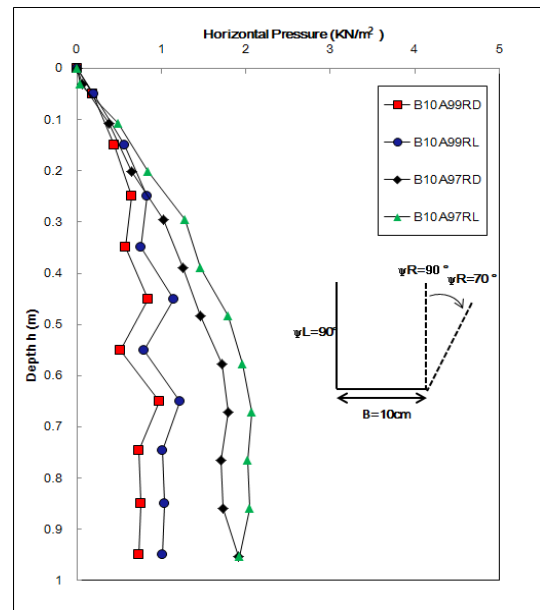


(b) At right wall

Fig. 3. Horizontal stresses with depth when base width=10 cm and wall friction=rough, and density=loose



(a) At left wall



(b) At right wall

Fig. 4. Horizontal stresses with depth when base width=10 cm and wall friction=rough, and density=variation

여 비교 분석을 하였다. Fig. 4(a)는 좌측 벽면에서의 수평응력, Fig. 4(b)는 우측 벽면에서의 수평응력을 나타내고 있다. Fig. 4에 보듯이 경사가 작아질수록, 지반이 느슨할수록 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 경사각이 작아질수록 상부의 상재하중이 증가하여 중력방향의 수직응력으로 인한 수평응력의 증가를 볼 수 있었다. 또한 상대밀도가 작을수록 벽면마찰과 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 볼 수 있었다.

Fig. 5는 지반의 저부 폭 10cm, 좌우측 90° 일 때, 벽면이 거

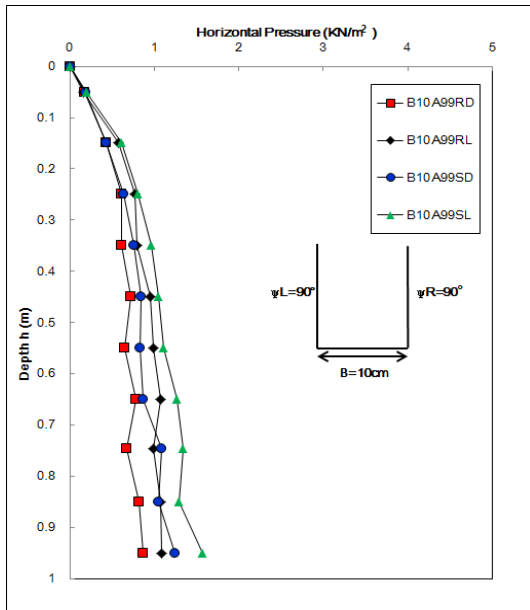


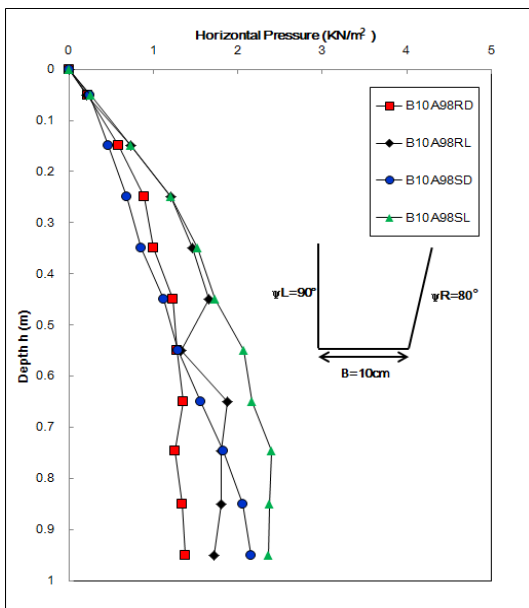
Fig. 5. Horizontal stresses with depth when base width=10 cm and wall friction=variation, and density=variation

칠고 조밀한 지반(B10A99RD)과 느슨한 지반(B10A99RL), 벽면이 매끄럽고 조밀한 지반(B10A99SD)과 느슨한 지반(B10A99SL)을 비교 분석하였다. Fig. 5에 보듯이 지반이 조밀한 경우보다 느슨한 경우, 벽면이 거칠 때보다 매끄러울 때 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 상대밀도와 벽면마찰이 작을수록 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 볼 수 있었다.

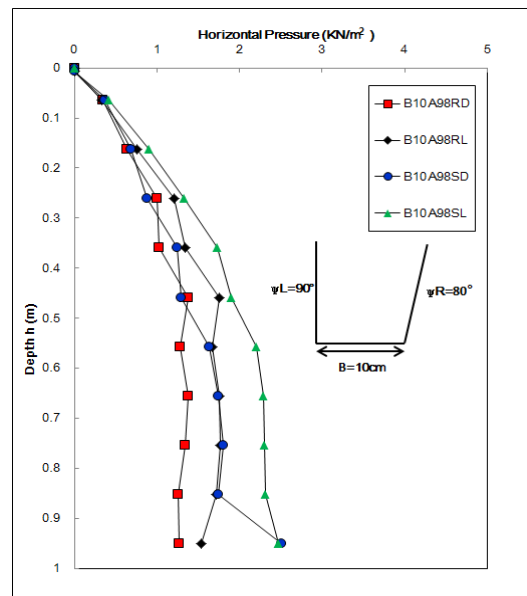
Fig. 6은 지반의 저부 폭 10cm, 좌측경사 90°, 우측경사 80° 일 때, 벽면을 거칠고 조밀한 지반(B10A98RD)과 느슨한 지반(B10A98RL), 벽면이 매끄럽고 조밀한 지반(B10A98SD)과 느슨한 지반(B10A98SL)의 경우를 비교·분석하였다. Fig. 6(a)는 좌측 벽면에서의 수평응력, Fig. 6(b)는 우측 벽면에서의 수평응력을 나타내고 있다. Fig. 6에 보듯이 경사각이 작을수록, 지반이 느슨할수록, 벽면이 매끄러울수록 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 경사각이 작아질수록 상부의 상재하중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가함을 볼 수 있었다. 또한 상대밀도와 벽면마찰이 작을수록 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 볼 수 있었다.

### 3.2 저부 폭 증가에 따른 수평응력 분석

Fig. 7은 지반의 저부 폭 30cm, 좌측경사 90°, 우측경사 90° 일 때, 벽면을 거칠고 지반을 조밀(B30A99RD)하게 하였을 때, 지반을 느슨(B30A99RL)하게 하였을 때, 벽면을 매끄럽고 지반을 조밀(B30A99SD)하게 하였을 때, 지반을 느슨(B30A99SL)한 경우에 대하여 비교·분석을 하였다. Fig.



(a) At left wall



(b) At right wall

Fig. 6. Horizontal stresses with depth when base width=10 cm and wall friction=variation, and density=variation

7에 보듯이 지반이 조밀한 경우보다 느슨한 경우, 벽면이 거칠 때보다 매끄러울 때 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 상대밀도와 벽면마찰이 작을수록 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 볼 수 있었다.

Fig. 8은 지반의 저부 폭 30cm, 좌측경사 90°, 우측경사 90° 일 때 벽면이 매끄럽고 지반이 조밀한 경우(B30A99SD), 지반이 느슨한 경우(B30A99SL), 우측경사 80°이며, 벽면이 매끄럽고 지반이 조밀한 경우(B30A98 SD), 지반이 느슨한 경우(B30A99SL)에 대하여 비교·분석을 하였다. Fig. 8(a)

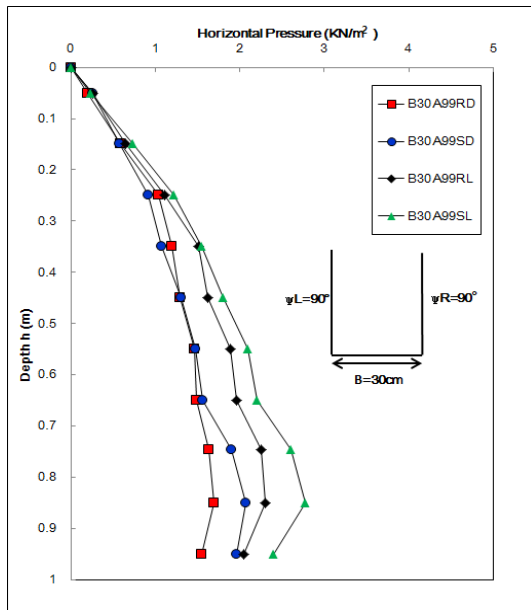


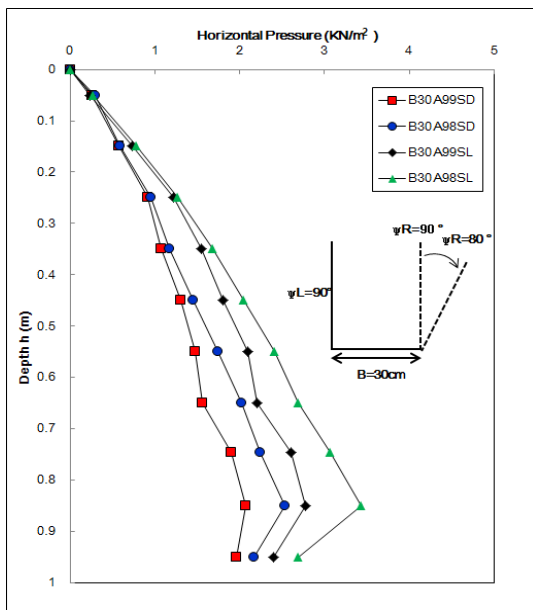
Fig. 7. Horizontal stresses with depth when base width=30 cm and wall friction=variation, and density=variation

는 좌측 벽면에서의 수평응력, Fig. 8(b)는 우측 벽면에서의 수평응력을 나타내고 있다. Fig. 8에 보듯이 경사각이 작을 수록, 지반이 느슨할수록 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 경사각이 작아질수록 상부의 상재하중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가함을 볼 수 있었다. 또한 상대밀도가 작을수록 벽면마찰과 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 볼 수 있었다.

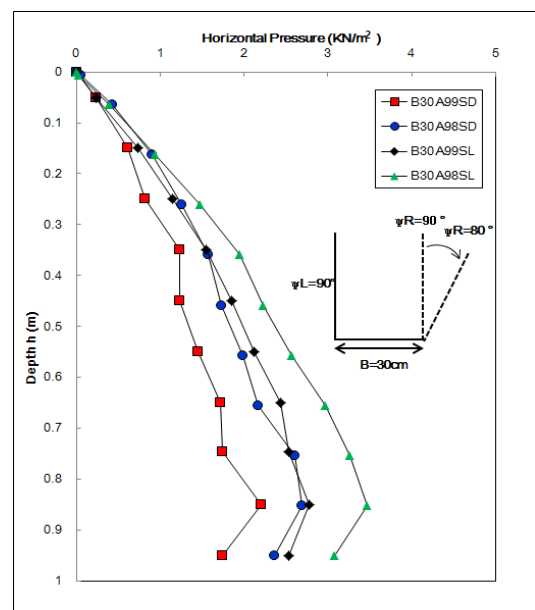
Fig. 9는 지반의 저부 폭 10cm, 좌측경사 90°, 우측경사 80° 일 때 벽면이 매끄럽고 지반이 조밀한 경우(B30 A99SD), 지반이 느슨한 경우(B30A99SL), 지반의 저부 폭 30cm, 좌측경사 90°, 우측경사 80°이며, 벽면이 매끄럽고 지반이 조밀한 경우(B30A98SD), 지반이 느슨한 경우(B30A99SL)에 대하여 실험결과를 비교·분석하였다. Fig. 9(a)는 좌측 벽면에서의 수평응력, Fig. 9(b)는 우측 벽면에서의 수평응력을 나타내고 있다. Fig. 9에 보듯이 경사가 작을수록, 저부 폭이 증가할수록 수평응력이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 경사각이 작아질수록, 저부 폭이 증가할수록 상부의 상재하중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가로 인한 수평응력의 증가를 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 좁게 굴착된 뒤채움 지반의 경계조건에 따른 벽면에 작용하는 수평응력의 크기 및 분포를 살펴보기 위해 저부 폭과 벽면마찰, 뒤채움지반의 밀도, 벽면의 경사를 변

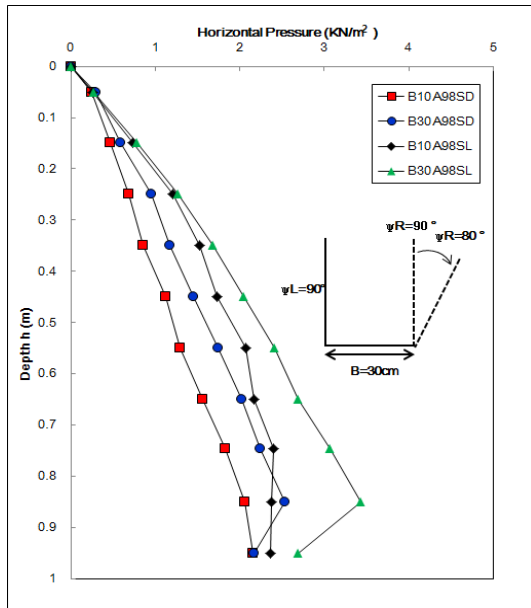


(a) At left wall

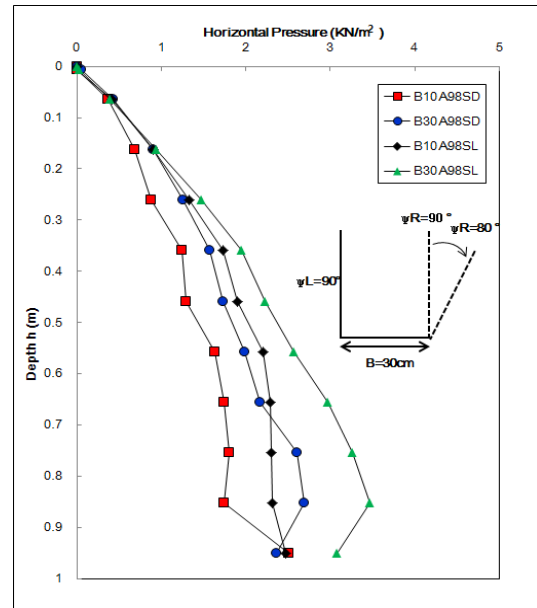


(b) At right wall

Fig. 8. Horizontal stresses with depth when base width=30 cm and wall friction=smooth, and density=variation



(a) At left wall



(b) At right wall

Fig. 9. Horizontal stresses with depth when base width=10, 20 cm and wall friction=smooth, and density=variation

화시켜 수행한 실험 결과를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 지반의 저부 폭이 10cm이며, 벽면이 거칠고 지반의 밀도가 조밀한 경우 우측 경사각을 90°, 80°, 70°로 변화를 주었을 때, 경사각이 작을수록 상부의 상재해중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가로 인한 수평응력이 증가함을 보였다.
- (2) 지반의 저부 폭이 10cm이며, 벽면이 거칠 경우 우측 경사각을 90°, 70°로 지반의 밀도를 조밀, 느슨한 경우로 변화를 주었을 때, 상대밀도가 작을수록 벽면마찰과 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 보였다.
- (3) 지반의 저부 폭이 10cm이며, 우측 경사각이 90°인 경우 지반의 밀도가 조밀, 느슨한 경우, 벽면이 거친 경우와 매끄러운 경우로 변화를 주었을 때, 지반이 느슨하며, 벽면이 매끄러울 때 상대밀도와 벽면마찰이 작을수록 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 보였다.
- (4) 지반의 저부 폭이 30cm이며, 우측 경사각이 90°인 경우 벽면을 거칠고 지반의 밀도가 조밀, 느슨한 경우 벽면이 매끄럽고 지반의 밀도를 조밀, 느슨한 경우로 변화를 주었을 때, 상대밀도와 벽면마찰이 작을수록 내부마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 보였다.
- (5) 지반의 저부 폭이 30cm이며, 벽면이 매끄러운 경우 우측경사각을 90°, 80°로 지반의 밀도를 조밀, 느슨한 경우로 변화를 주었을 때, 경사각이 작을수록 상재해중이

증가하여 중력방향의 수직응력이 증가함을 볼 수 있었다. 또한 상대밀도가 작을수록 벽면마찰과 내부 마찰각이 감소하여 수평응력이 증가함을 보였다.

- (6) 우측 경사각이 80°이며, 벽면이 매끄러운 경우 지반의 저부 폭이 10cm, 30cm, 지반의 밀도를 조밀, 느슨한 경우로 변화를 주었을 때, 경사각이 작을수록, 저부 폭이 증가할수록 상부의 상재해중이 증가하여 중력방향의 수직응력이 증가로 인한 수평응력의 증가함을 보였다.

## 감사의 글

본 연구과제는 2015년 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구되었습니다(관리번호-201510065). 이에 감사드립니다.

## References

1. Huh, K. (2008), Lateral earth pressure with the shape of narrow space with backfill, Journal of Korean Society of Hazard and Mitigation, Vol. 8, No. 1, pp. 89~96.
2. Kellogg, C.G. (1993), Vertical earth loads on buried engineered works, JGE., ASCE. Vol. 119, No. 3, pp. 487~506.
3. Lee, C. and Huh, K. (2001), Lateral earth pressures on symmetrical backslope wall, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 17, No. 5, pp. 147~156.
4. Lee, S., Moon, C., Kim, E. and Lee, C. (1997), A study on the lateral earth pressure by the narrowly backfilled soil, Journal

- of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 17, No. 3, pp. 285~292.
5. Lee, S. and Kang, S. (2011), A study on the lateral earthpressure at behind structure for backfill by sand, Journal of Korean Geosynthetics Society, Vo. 10, No. 4, pp. 11~18.
  6. Moon, C. (1997), A study on earth pressure in unsymmetrical narrow backfill space, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 15, No. 4, pp. 261~277.
  7. Moon, C., Kim, H. and Choi, H. (2004), Evaluation of surcharge loads acting in backfilled space, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 20, No. 9, pp. 167~176.
  8. Moon, C., Lee, S. and Kwon, S. (2004), Horizontal stress based on the calculation of lateral stress ratio in unsymmetrical space, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 20, No. 9, pp. 168~177.