

지하굴착 이격거리에 따른 흙막이벽체 거동에 대한 실험적 연구

박종덕¹ · 안창균¹ · 김도엽² · 이석원^{3*}

¹비회원, 건국대학교, 사회환경시스템공학과 석사

²비회원, 건국대학교, 사회환경시스템공학과 학사

³정회원, 건국대학교, 사회환경시스템공학과 교수

Experimental study on the behavior of retaining wall according to underground excavation distance

Jong-Deok Park¹, Chang-Kyun Ahn¹, Do-Youp Kim², Seok-Won Lee^{3*}

¹Konkuk University, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Master

²Konkuk University, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Bachelor

³Konkuk University, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Professor

ABSTRACT: The changes in earth pressure and ground settlement due to the underground excavation nearby the existing retaining wall according to the separation distance between underground excavation and retaining wall, were studied experimentally. A soil tank having 160 cm in length and 120 cm in height, was manufactured to simulate the underground excavation like tunnel by using 5 separated bottom walls. The variation of earth pressure was measured according to the excavation stages by using 10 separated right walls simulating the retaining wall. The results showed that the earth pressure was changed by the lowering of first bottom wall(B1), however the earth pressure was not changed significantly by the lowering of third bottom wall(B3) since B3 had sufficient separation distance from retaining wall. Lowering of first bottom wall(B1) induced the decrease of earth pressure in lower part of retaining wall, on the contrary, lowering of first bottom wall(B1) induced the increase of earth pressure in middle part of retaining wall proving the arching effect.

Keywords: Earth pressure, Ground settlement, Retaining wall, Model tank

초 록: 본 연구에서는 지상구조물 건설을 위하여 흙막이 벽체를 이용하여 지하굴착이 이루어진 지역에 근접하여 새로운 지하공간이 신설될 때, 지하굴착과 흙막이 벽체간의 이격거리에 따른 흙막이 벽체에 작용하고 있던 토압의 변화 및 지표 침하 변화를 실험적으로 연구하였다. 지하공간 굴착 단계별로 흙막이 벽체의 토압 변화 및 지표 침하를 측정할 수 있는 길이 160 cm, 높이 120 cm의 모형 토조를 제작했다. 실험은 균일하게 조성된 사질토 지반에서 하부 지반에 변위를 가하고, 수직인 흙막이 벽체의 토압 변화 및 지표면 침하를 확인하는 방식으로 수행하였다. 모형실험은 인접한 지하공간 굴착에 따른 흙막이 벽체의 높이별 토압을 측정하기 위하여 흙막이 벽체를 모사하는 우측 벽체 10개 및 지하공간 굴착을 모사하는 하부 벽체 5개로 구성하고 하부벽체를 거동시킴으로서 지하굴착을 모사하였다. 실험 결과, 하부 1단 벽체의 거동 시에는 흙막이 벽체의 토압에 변화가 발생하였으나, 하부 3단의 경우는 지하 굴착이 흙막이 벽체와 충분히 이격되어 토압변화가 크게 발생하지 않았다. 하부 1단 벽체를 굴착한 결과, 우측 하단부 벽체 주변의 응력이 감소되고, 우측 중간부 벽체 주변으로 응력이 재분배되는 아칭현상을 증명할 수 있었다.

주요어: 토압, 지표면 침하, 흙막이 벽체, 모형 토조

*Corresponding author: Seok-Won Lee

E-mail: swlee@konkuk.ac.kr

Received January 28, 2016; Revised February 4, 2016;

Accepted March 21, 2016

1. 서론

도시가 발전할수록 지상공간이 포화되므로, 지하공간 활용이 활성화되어 진다. 이렇게 지하공간 굴착이 빈번해지게 되면 기존에 건설되어 있던 지상구조물 및 현재 건설 중인 지상구조물(흙막이 벽체)과 신설하는 지하공간 굴착이 매우 근접하여 이루어질 수 있다. 기존에 건설되어 있던 지상구조물과 새로운 지하굴착이 근접하여 이루어지는 경우에 대한 연구는 많은 연구자에 의하여 연구되어져 왔다고 할 수 있다 (Son, 2003). 그러나 현재 건설 중인 지상구조물(지하벽체)을 근접하여 지하공간이 건설될 때 지상구조물 건설을 위한 흙막이 벽체의 거동에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 즉, 건설 중인 건물의 흙막이 벽체가 지하공간 굴착으로 발생하는 현상에 대한 연구는 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 지상구조물 건설을 위하여 흙막이 벽체를 이용하여 지하굴착이 이루어진 지역에 근접하여 새로운 지하공간(터널 등)이 신설될 때, 지하굴착 이격거리에 따른 흙막이 벽체에 작용하고 있던 토압의 변화 및 지표 침하 변화를 실험적으로 연구하였다.

기존의 연구사례를 보면 흙막이 벽체에 관한 연구 (Jeon et al., 2013; Tang and Kung, 2010) 및 지하공간 굴착에 대한 연구(Son, 2003; Son and Yun, 2010), 즉 각 개체에 대하여 어느 정도 연구가 수행되었다. 각 개체의 연구가 아닌 흙막이 벽체와 지하공간의 연속 굴착에 의한 흙막이 벽체의 거동 및 토압 변화에 대한 연구는 Park et al. (2015)의 연구가 있다. 또한 근접시공과 관련된 연구(Lee and Lee, 2010; Seo et al., 2012) 및 흙막이 벽체에 작용하는 토압에 대한 연구(Kim and Lee, 2007) 역시 어느 정도 이루어졌다. 그러나 본 연구와 같이 지하공간 건설에 따른 건설 중인 지상구조물의 흙막이 벽체의 토압 변화에 대한 연구는 많지 않은 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 인접한 지하공간 건설에 따른 기존에 존재하던 흙막이 벽체의 변화하는 토압을

측정하고 추가적으로 지표면 지반침하 변화를 측정하였다. 이를 위하여 대형 모형토조를 제작하였고, 실험 재료로서 모래를 사용하였다. 즉, 지하공간 굴착 단계 별로 흙막이 벽체의 토압 변화 및 지표 침하를 측정할 수 있는 길이 160 cm, 높이 120 cm의 모형 토조를 제작했다. 실험은 균일하게 조성된 사질토 지반에서 trap-door 실험과 유사하게 하부 지반에 변위를 가하고, 수직인 흙막이 벽체의 토압 변화 및 지표면 침하를 확인하는 방식으로 수행하였다. 모형실험은 인접한 지하공간 굴착에 따른 흙막이 벽체의 높이별 토압을 측정하기 위하여 흙막이벽을 모사하는 우측 벽체 10개 및 지하공간 굴착을 모사하는 하부 벽체 5개로 구성하고 하부벽체를 거동시킴으로서 지하굴착을 모사하였다.

2. 실내 모형실험

2.1 모형실험 장비

본 연구를 위하여 Fig 1과 같이 모형 토조를 제작하였다. 토조의 크기는 길이 160 cm, 높이 120 cm의 직사각형 구조이며, 폭은 40 cm이다. 지반조성은 강사(raining method)를 통해 실제로 지반이 조성되며, 지

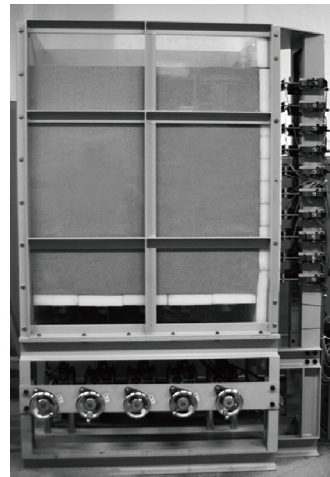


Fig. 1. Model tank with sand

반이 조성되는 구역의 크기는 길이 80 cm, 높이 80 cm, 폭 40 cm 이다(Fig. 1). 2차원 거동을 모사하기 위해서 토조를 구성하는 재료는 수평, 수직을 제외한 방향으로 변형이 발생하지 않도록 두께 45 mm의 강 재료로 제작되었다. 침하량과 벽체 변형을 파악하고자 150 mm 두께의 투명아크릴을 배치했고, 아크릴의 휨을 방지하기 위해 동일한 두께의 강 재료를 격자형으로 배치했다. 모형지반은 주문진 규사를 사용하여 조성했고, 일정한 간격을 두고 다짐봉을 낙하시키는 방식으로 모형지반을 완성했다.

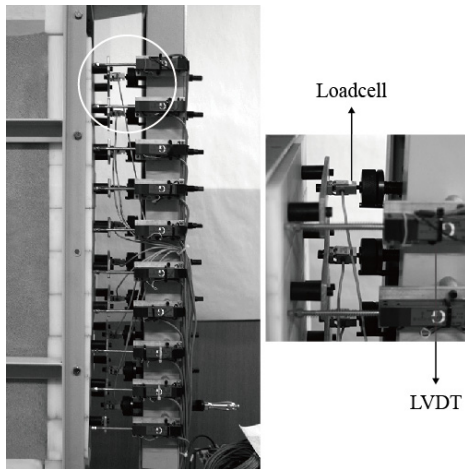


Fig. 2. LVDT installed

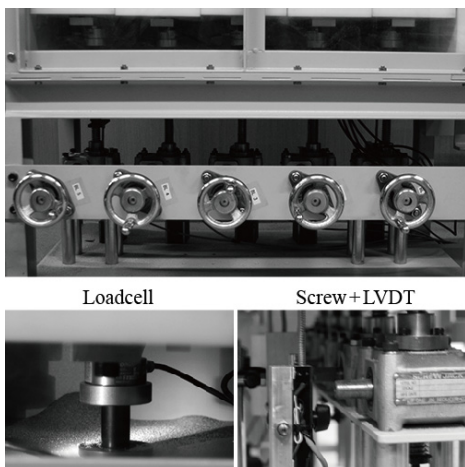


Fig. 3. Load cell installed

Fig. 1의 모형토조에서 우측 벽체가 기존에 건설되어 있는 흙막이 벽체를 모사하게 되고 흙막이 벽체 높이별 토압을 각각 측정하기 위하여 우측벽체를 10 개 벽체로 나누어 제작하였다. 흙막이 벽체로부터 이격거리 별 지하공간 굴착을 모사하기 위하여 하부를 5개의 벽체(공간)으로 구성하고 각각이 독립적으로 변위가 조절되도록 제작하였다. 벽체의 크기는 우측 벽체가 가로 8 cm, 세로 8 cm, 폭 40 cm이며, 하부 벽체는 가로 16 cm, 세로 5 cm, 폭 40 cm이다. 우측벽체의 두께는 8 cm, 하부벽체의 두께는 5 cm로 조성된 지반으로 변형이 발생하지 않을 정도의 충분한 두께로 매끄럽게 제작했다. 이는 휨, 강성, 마찰각의 영향을 최소화함으로써 해당 영향으로 인해 실험 결과가 달라지지 않도록 계획한 것이다. 각 벽체에 screw를 벽체 후면에 배치했고, 이는 screw를 회전시켜 동력이 벽체에 전달되어, 좌우 혹은 상하 거동을 가능토록 하기 위함이다. 변위와 토압의 변화가 측정 가능해야 하므로 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 screw가 배치된 공간에 하중계(load cell)와 변위센서(Linear Variable Differential Transformer, LVDT)를 각 벽체마다 배치했다.

본 연구에서 지표 침하를 측정하기 위해 Fig. 4와 같이 지표침하 측정부를 구성했다. 침하량을 측정하기 위한 봉은 자체 무게로 인해 침하되지 않기 위해 스티로폼 재질을 사용했으며, 직경은 2 cm, 길이는 20 cm로 제작했다. 스티로폼 봉을 구속하기 위해 T형 바를 설계했고, 봉과 동일한 직경으로 구멍을 뚫어 상하 거동이 용이하도록 했고, 일정한 간격으로 구멍을 배치했다. 사진측량을 통해 지표 침하량을 산출하

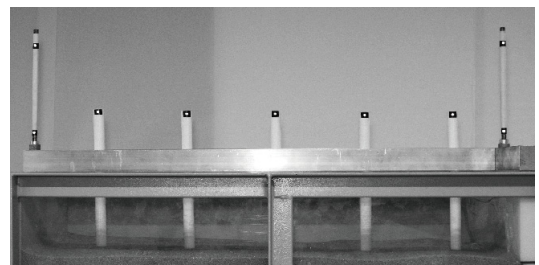


Fig. 4. Measurement system for ground movement

기 위해 DSLR (Canon)과 상용 소프트웨어 Photo-modeler 5 pro를 사용했다. Photomodeler 5 pro의 원리는 대상을 촬영한 사진 3장을 프로그램 내에서 결합하여, 사진 촬영위치와 카메라 특성을 고려한 계산 과정을 거치면 촬영 대상 간 정확한 위치가 계산되는 것이므로 별도의 작업을 필요로 하지는 않았다.

2.2 모형실험 방법

2.2.1 실험 재료

모형지반을 조성하기 위하여 건조된 주문진 규사를 사용하였다. 실험을 통하여 측정된 주문진 규사의 균등계수(Uniformity coefficient, Cu), 곡률계수(Coefficient of gradation, Cc), 그리고 비중(Specific gravity, Gs)은 각각 1.53, 0.87, 그리고 2.63이었으며, 통일분류법(USCS)에 의한 흙의 분류는 SP이었다.

지반을 조성할 때마다 일정한 단위중량을 유지하고 그 값을 확인하기 위해 단위중량 측정용 캔을 깊이 20 cm, 40 cm, 60 cm에 매설했고, 실험 종료 이후에 캔 내부의 단위중량을 측정했다. 조성된 지반의 단위중량은 평균 12.4 kN/m³을 나타냈다. 목표한 지반의 단위중량을 얻기 위하여 실험 전에 강사 높이, 다짐 횟수 등을 변화하면서 지반조성을 수차례 수행하여 최적의 강사 높이 및 다짐 횟수를 얻고 이를 활용하여 지반을 조성하였다.

2.2.2 실험 조건

본 실험의 목적은 기존에 건설된 흙막이 벽체에 인접하여 새로운 지하공간을 굴착함으로써 기존의 흙막이 벽체에 작용하고 있던 토압의 변화와 지표침하를 측정하는 것이다. 이런 실험을 수행하기 위하여 Fig. 5와 같이 기존에 건설된 흙막이 벽체를 우측 벽체로 모사하고 실험 도중에 각 높이별 토압을 측정하기 위하여 전체 벽체를 10개의 벽체(W1~W10 in Fig. 5)로 나누어 제작하였다. 즉 각 벽체마다 토압계를 설치하여 총 10개의 토압계를 설치하였다. 또한 흙막이 벽체에 인접한 지하공간 굴착을 모사하기 위

하여 하부 벽체를 5개 벽체(B1~B5 in Fig. 5)로 나누어 제작하였고, 각 벽체를 하부로 변위를 발생시킴으로써 지하공간 굴착을 모사하였다. 즉, 흙막이 벽으로부터 특정 이격거리에서의 지하공간 건설을 모사하기 위해서는 5개 하부 벽체 중 한 개의 하부 벽체를 선택하여 단계별로 하부로 변위를 발생시킨다.

2.2.3 실험 과정

전술한 모형토조를 사용하여 다음과 같이 실험을 수행하였다. 우선 벽체 간 수평을 맞추고, 총 80 cm의 모형지반 조성을 위해 10번에 나누어 8 cm씩 강사하였다. 1.0 kg의 다짐봉을 사용해서 일정간격으로 25회 다짐하였다. 지반 조성이 완료된 후 T형 바를 설치하고, 일정 간격으로 측점을 붙인 스티로폼 봉 5개를 배치했다.

Fig. 5는 하부 1단 벽체(B1 in Fig. 5)만 phase 1부터 phase 7까지 거동하는 것을 예시한 그림이다. 여기에서 각 phase는 1 mm 하부 벽체 하강을 의미한다. 즉 phase 7까지 실험이 완료되었다면 총 7 mm까지 하부로 벽체를 내린 것이다. 하부 1단 벽체는 흙막이 벽체와 지하공간 굴착이 0.1H(8 cm)의 이격거리를 가진 채 지하공간이 시공되는 것과 유사하다고 볼 수 있다. 여기에서 H는 흙막이 벽체의 높이(80 cm)를 의미한다. 따라서 하부 2단, 3단, 4단, 5단 벽체는

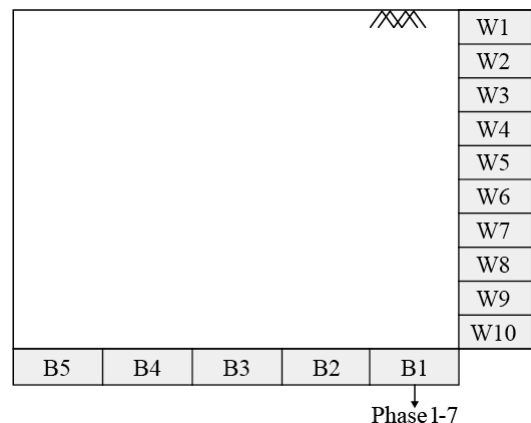


Fig. 5. Experimental test condition

각각 0.3H, 0.5H, 0.7H, 0.9H의 이격거리를 의미한다.

전체 실험은 하부 1단 벽체부터 하부 5단 벽체까지 총 5가지 경우로 나누어 수행하였다. 전술한 바와 같이 흙막이 벽체 토압의 변화 추이를 확연하게 파악하기 위해, 벽체가 하강하는 범위는 0.009H(7 mm)를 적용하였다. 실험의 모든 과정은 PC와 데이터로거를 이용해 하중계와 변위 센서의 변화되는 값을 스프레드시트에 기록하였다.

3. 모형실험 결과

실험은 하나의 하부벽체를 phase 7로 나누어 변위를 가해 흙막이 벽체로부터 이격거리를 둔 지하공간 시공을 모사하였다. 하부벽체와 흙막이 벽체간 거리에 따라 이격거리 0.1H, 0.3H, 0.5H, 0.7H, 0.9H로 나누어 실험을 수행하였다. 흙막이 벽체에 작용하는 토압의 변화 경향은 이격거리 0.1H(하부1단)와 0.5H(하부3단) 2가지 실험으로 압축해 서술하였고, 지표침하량은 실험마다 경향이 상이하므로 5가지 실험을 모두 종합해서 서술하였다.

3.1 흙막이 벽체에 작용하는 토압 변화

3.1.1 하부 1단 벽체 거동 시 토압 변화(이격거리 0.1H)

Fig. 6은 흙막이 벽체에 해당하는 우측 벽체에 작용하는 깊이별 토압을 phase 0(초기정지토압), phase 1, phase 7일 때 도시한 그래프이다. Phase 0에서의 우측 벽체 토압은 삼각형 이론토압 분포임을 확인할 수 있다. 측정된 전체 phase에서 우측 벽체 토압이 가장 크게 증가한 위치는 우측 3단 벽체(W3 in Fig. 5)이며, 측정된 값은 0.008 kgf/cm²(0.8 kPa)이다. 우측 벽체 토압이 가장 크게 감소한 위치는 우측 9단 벽체(W9 in Fig. 5)이며, 측정된 값은 0.018 kgf/cm² (1.8 kPa)이다.

Phase 0과 phase 1간의 토압 변화를 비교하면, 하부

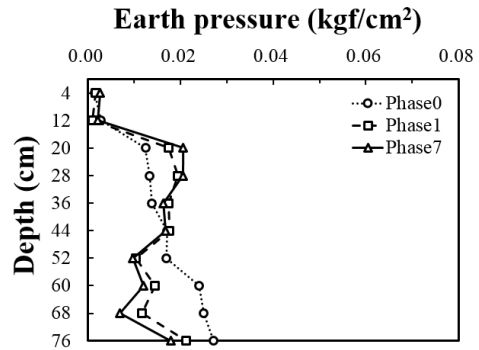


Fig. 6. Pressure variation due to B1, phase 0-7

1단 벽체의 거동으로 우측 6~10단 벽체의 토압은 감소함을 보였고, 우측 3~5단 벽체의 토압은 증가함을 보였다. 하부 1단 벽체의 거동으로 우측 6~10단 벽체 주변의 응력이 감소되며, 우측 3~5단 벽체 주변으로 응력이 분배되는 아칭현상을 확인할 수 있다. 우측 1~3단 벽체 주변의 토압 변화폭이 상대적으로 작음을 보이며, 이는 아칭현상의 영향범위에서 벗어나 있다고 판단된다. 따라서 이렇게 아칭효과가 발현되어지는 구간에서는 흙막이 벽체 설계 시 변화하는 지반거동에 대하여 고려할 필요가 있다.

Phase 1과 phase 7간의 토압 변화를 비교하면, 우측 5~10단 벽체의 토압은 감소함을 보였고, 우측 3~4단 벽체의 토압은 증가함을 보였다. 하부 1단 벽체의 거동이 이어지면서 이전과 동일한 경향을 보였지만, phase 0과 phase 1간 변화폭에 비해 작음을 보였다. 건조한 사질토 조건에서 토압은 초기 변형에 대부분의 토압 변화가 일어남을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 하부 1단 거동과정에서, 하부 1단 벽체에 작용하는 토압 변화를 도시한 그래프이다. 하부 1단 벽체의 하강이 원인이 되어, 하부 1단 벽체의 토압은 초기토압 대비 86.2% 감소했다. Fig. 8은 하부 1단 거동과정에서, 하부 2, 3단 벽체(B2, 3 in Fig. 5)에 작용하는 토압 변화를 도시한 그래프이다. 하부 1단 벽체 하강이 원인이 되어, 하부 2단 벽체의 토압은 초기토압 대비 27% 증가했다. 하부 3단 벽체 토압은 초기토압 대비 2% 감소함을 볼 때, 하부 1단 벽체의

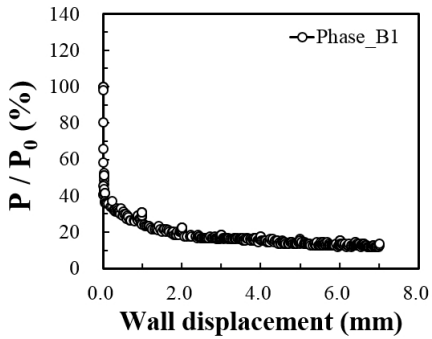


Fig. 7. Pressure on B1

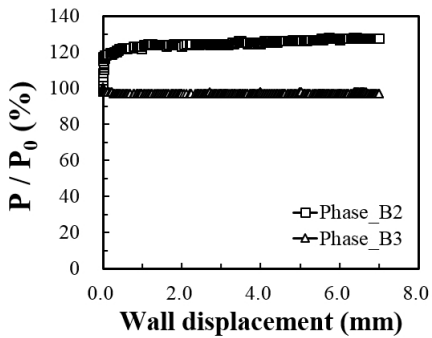


Fig. 8. Pressure on B2 and B3

거동은 하부 3단 벽체에 작용하는 토압에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.1.2 하부 3단 벽체 거동 시 토압 변화(이격거리 0.5H)

Fig. 9는 흙막이 벽체에 해당하는 우측 벽체에 작용하는 깊이별 토압을 phase 0(초기정지토압), phase 1, phase 7일 때 도시한 그래프이다. Phase 0에서의 우측벽체 토압은 삼각형 이론토압 분포임을 확인할 수 있다. 실험 전체 phase에서 측정된 우측벽체 토압 변화폭은 $-0.002 \sim 0.003 \text{ kgf/cm}^2$ ($-0.2 \sim 0.3 \text{ kPa}$)이며, 따라서 Fig. 9에서 알 수 있듯이 phase 0에서 phase 7까지 변화(지하 굴착)하여도 벽체의 토압은 거의 변화가 없음을 확인할 수 있다. 이는 하부 3단 벽체의 이격거리가 0.5H(0.5*흙막이벽 높이)로서 충분히 흙막이 벽체와 이격되어 하부 3단 벽체의 거동(지하공간 굴착)은 우측 벽체(흙막이 벽)에 영향을

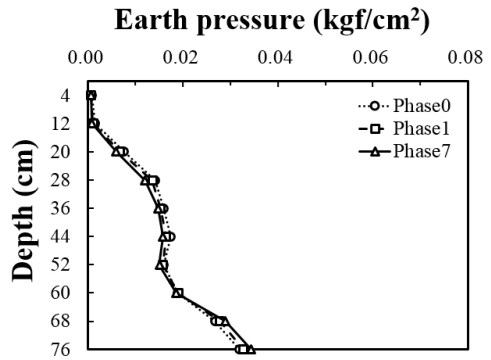


Fig. 9. Pressure variation due to B3, phase 0-7

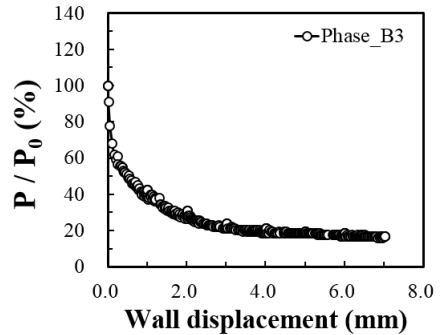


Fig. 10. Pressure on B3

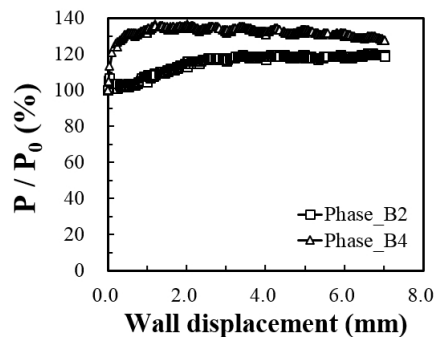


Fig. 11. Pressure on B2 and B4

미치지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 하부 3단 거동과정에서, 하부 3단 벽체에 작용하는 토압 변화를 도시한 그래프이다. 하부 3단 벽체 하강이 원인이 되어, 하부 3단 벽체의 토압은 초기토압 대비 83.2% 감소하였다. Fig. 11은 하부 3단 거동과정에서, 하부 2, 4단 벽체(B2, 4 in Fig.

5)에 작용하는 토압 변화를 도시한 그래프이다. 하부 3단 벽체 하강이 원인이 되어, 하부 2단 벽체의 토압은 초기토압 대비 18.7% 증가했고, 하부 4단 벽체 토압은 초기토압 대비 27.5% 증가했다. 이러한 하부 벽체 간 토압 그래프를 확인하면 응력이 주변 지반으로 재분배되는 아칭현상을 확인할 수 있다.

3.2 지표 침하 변화

흙막이 벽체와 이격거리를 둔 지하공간 굴착을 모사한 실험으로 지반은 침하가 발생하였고, 사진 촬영과 소프트웨어를 이용함으로 각 phase 마다 지표 침하량을 측정하였다. Fig. 12는 흙막이 벽체와 지하공간 굴착의 이격거리가 0.1H일 때, Fig. 13은 0.3H일 때, Fig. 14는 0.5H일 때, Fig. 15는 0.7H일 때, Fig. 16은 0.9H일 때, phase 7까지의 침하를 각각 도시한 그래프

이다. X축은 우측벽체의 총 높이 80 cm로 나누었고, Y축은 최대 침하량으로 나누어 정규화 하였다. Table 1은 이격거리에 따른 각 실험의 최대 침하량과 발생 위치를 나타낸 것이다. 최대 침하량 평균은 3.374 mm 이며, 각 실험에서 거동한 하부 벽체가 위치한 지표 부근에서 최대 침하량이 나타났다.

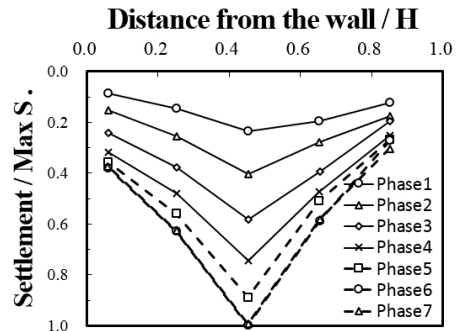


Fig. 14. Settlement for 0.5H (B3)

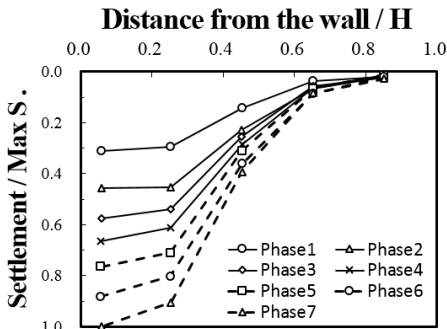


Fig. 12. Settlement for 0.1H (B1)

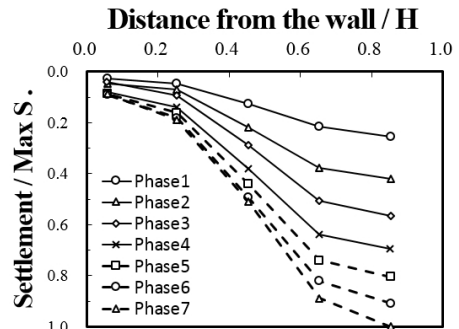


Fig. 15. Settlement for 0.7H (B4)

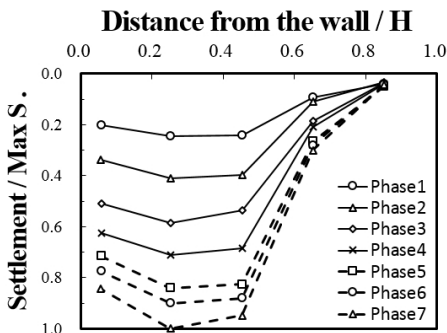


Fig. 13. Settlement for 0.3H (B2)

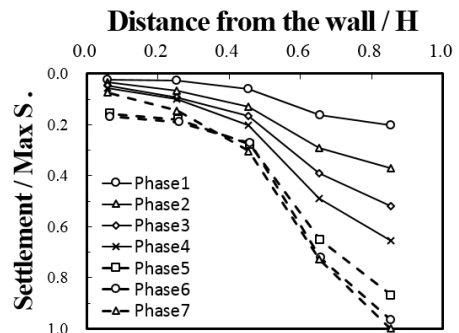


Fig. 16. Settlement for 0.9H (B5)

Table 1. Maximum ground settlement according to separation distance

Separation distance	Maximum ground settlement (mm)	Location of maximum ground settlement
0.1H	3.67	0.1H
0.3H	2.70	0.3H
0.5H	3.14	0.5H
0.7H	3.08	0.9H
0.9H	4.28	0.9H

4. 모형실험 결과 분석

4.1 Phase에 따른 흙막이 벽체 중앙부에서의 토압 비교

Fig. 17은 하부 1단 벽체 하강 시 전체 실험단계 (phase 1~7)에서 벽체간의 영향을 파악하기 위해,

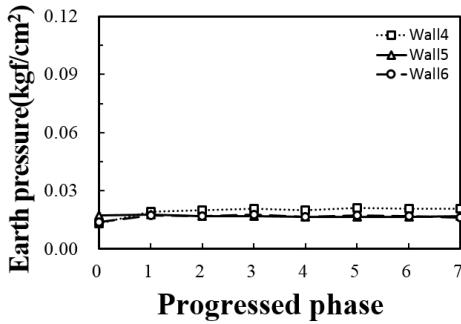


Fig. 17. Pressure on W4, 5, 6 due to B1

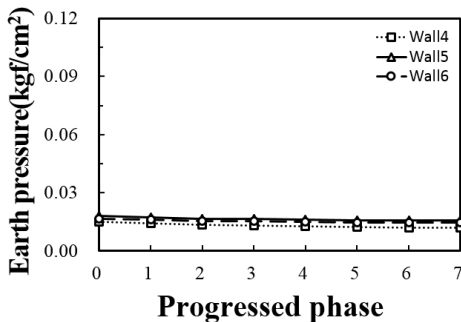


Fig. 18. Pressure on W4, 5, 6 due to B3

우측 4, 5, 6단 벽체(W4, 5, 6 in Fig. 5)의 토압을 각 phase마다 도시한 것이다. 하부 벽체가 거동할 시, 우측 중앙부(우측 4, 5, 6단 벽체)의 토압은 다소 증가 하지만 대부분 일정함을 보였다. Fig. 18은 하부 3단 벽체 하강 시 전체 실험단계(phase 1~7)에서 벽체간의 영향을 파악하기 위해, 우측 4, 5, 6단 벽체(W4, 5, 6 in Fig. 5)의 토압을 phase마다 도시한 것이다. 하부 벽체가 거동할 시, 우측 중앙부(우측 4, 5, 6단 벽체)의 토압은 다소 감소하지만 대부분 일정함을 보였다.

4.2 Phase에 따른 흙막이 벽체-지하공간 접촉부에서의 토압 비교

Fig. 19는 하부 1단 벽체(B1 in Fig. 5, Wall 11 in Fig. 19) 하강 시 전체 실험단계(phase 1~7)에서

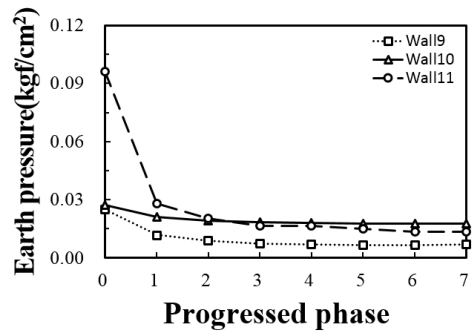


Fig. 19. Pressure on W9,10 & 11 due to B1

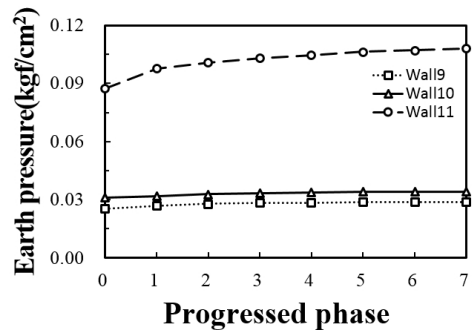


Fig. 20. Pressure on W9,10 & 11 due to B3

벽체간의 영향을 파악하기 위해 우측 9, 10 및 하부 1단 벽체(W9, W10 & W11)의 토압을 각 phase마다 도시한 것이다. 하부 1단 벽체가 거동할 시, 우측벽체의 하부 토압도 감소함을 보였다. 하부벽체의 거동으로 지반이 일정한 영역을 가지고 이완되면서 영역 내에 속하는 우측 9, 10단 벽체도 토압이 감소됨을 확인했다. Fig. 20은 하부 3단 벽체(B3 in Fig. 5) 하강 시 전체 실험단계(phase1~7)에서 벽체간의 영향을 파악하기 위해 우측 9, 10, 하부 1단 벽체(W9, W10 & W11)의 토압을 각 phase마다 도시한 것이다. 하부 3단 벽체가 거동할 시, 하부 1단 벽체 토압은 다소 증가함을 보였다. 이는 하부 3단 벽체의 토압 감소가 원인이 되어, 하부 1단 벽체는 토압이 다소 증가함을 확인할 수 있으며, 우측 9, 10단 벽체는 토압이 일정함을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 지상구조물 건설을 위하여 흙막이 벽체를 이용하여 지하굴착이 이루어진 지역에 근접하여 새로운 지하공간(터널 등)이 신설될 때, 지하굴착 이격거리에 따른 흙막이 벽체에 작용하고 있던 토압의 변화 및 지표 침하 변화를 실험적으로 연구하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 하부 1단 벽체(0.1H 이격거리)를 굴착한 결과, 우측 6~10단 벽체(흙막이 벽체 하단부)의 토압은 감소하였고, 우측 3~5단 벽체(흙막이 벽체 중간부)의 토압은 증가하였으며, 우측 1~3단 벽체(흙막이 벽체 상단부)의 토압 변화폭은 상대적으로 작았다. 이는 하부 1단 벽체의 거동으로 우측 6~10단 벽체 주변의 응력이 감소되며, 우측 3~5단 벽체 주변으로 응력이 재분배되는 아칭현상으로 판단된다.
2. 하부 3단 벽체(0.5H 이격거리)를 굴착한 결과, 지하 굴착을 7 mm까지 모사하여도 흙막이 벽체의

토압은 거의 변화하지 않았다. 이는 하부 3단 벽체의 이격거리가 $0.5H(0.5 \times \text{흙막이벽 높이})$ 로서 충분히 흙막이 벽체와 이격되어 하부 3단 벽체의 거동(지하공간 굴착)은 우측 벽체(흙막이 벽)에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3. 하부 3단 벽체를 굴착하면서 인접한 하부 2단과 하부 4단의 토압변화를 관찰한 결과, 하부 3단 벽체의 토압은 초기토압 대비 83.2% 감소하였고, 하부 2단 벽체의 토압은 초기토압 대비 18.7% 증가했고, 하부 4단 벽체 토압은 초기토압 대비 27.5% 증가했다. 이는 하부 3단 토압감소가 주변 지반으로 재분배되는 아칭현상으로 판단된다.
4. 이격거리를 두고 지하 굴착을 모사한 결과, 최대 지표 침하량은 지반 굴착이 발생하는 벽체 부근에서 발생함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발, 13건설연구T01)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Jeon, J.-H., Park, J.-D., Lim, Y.-D., Lee, S.-W. (2013), "Damage assessment of structures according to the excavation methods", J. of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 15, No. 2, pp. 161-173.
2. Kim, I., Lee, S.-D. (2007), "Behavior of tunnel due to adjacent ground excavation with pre-loading on braced wall", Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 23, Issue 10, pp. 163-174.
3. Lee, J.-M., Lee, S.-D. (2010), "Behavior of building lower part passage tunnel due to adjacent ground excavation", Tunnel and Underground Space, Vol. 20, No. 5, pp. 369-377.

4. Park, J.-D., Yu, J.-S., Kim, D.-Y., Lee, S.-W. (2015), "Experimental study on the ground movement due to consecutive construction of retaining wall and underground space in cohesionless soil", J. of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 17, No. 3, pp. 267-281.
5. Seo, H.-J., Lee, K.-H., Han, S.-I., Lee, I.-M. (2012), "A numerical study of pillar reinforcing effect in underground cavern underneath existing structures", J. of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 14, No. 5, pp. 453-467.
6. Son, M. (2003), "The response of buildings to excavation-induced ground movement", Ph.D dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
7. Son M.-R., Yun, J.-C. (2010), "Comparison of ground movements in a single ground layer and multiple ground layers due to nearby tunnel excavation", J. of KSCE, Vol. 30, No. 3C, pp. 167-174.
8. Tang, Y.G., Kung, G.T.C. (2010), "Investigating the effect of soil models on deformations caused by braced excavations through an inverse-analysis technique", Computers and Geotechnics, Vol. 37, pp. 769-780.