

트렌치굴착 후 안정액 수위 저하에 의한 지반변형에 관한 연구

A Study on the Ground Deformation by lowering of Slurry level after Trench Excavation

홍원표¹⁾, Won-Pyo Hong, 한중근²⁾, Jung-Geun Han, 신관영³⁾, Kwan-Young, Shin, 이문구⁴⁾, Mun-Ku Lee

1) 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang University

2) 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang University

3) 한국시설안전기술공단 기술개발실. 연구원, Researcher. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

4) 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사수료, Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang University

SYNOPSIS : This paper presents the results of an experimental study on the ground deformation by trench excavation for Diaphragm Wall construction. The model tests are performed to investigate the back ground deformation by lowering of slurry level in trench after excavating. Through these, the deformation characteristic of the back ground due to stress release of excavated space was investigated. This study considered relative density of soil mass and the distance between trench and surcharge. An experiment was performed in order to observe the failure pattern of a slurry-supported trench excavated in sandy ground. From model tests, in order to predict reasonably the deformation behavior of the adjacent ground due to the underground excavation, it is significantly recommended that the ground settlement by trench excavation should be considered.

Key words : Slurry wall, Ground deformation, Trench excavation, Surcharge

1. 서 론

지하연속벽 공법은 근입부의 연속성이 보장되어 차수성이 좋으며, 단면강성이 커 굴착공사로 인한 주변지반의 변형을 최소화시킬 수 있어 대규모·대심도 굴착공사시 영구 벽체로 사용되어지고 뿐만 아니라 공사시 소음 및 진동이 적어 도심지공사에 적합한 공법으로 알려져 있다. 그러나 슬러리월(Slurry Wall) 공법은 지하연속벽체를 구축하기 위해 벤토나이트 슬러리 용액을 사용하여 트렌치를 굴착하고, 굴착된 트렌치에 철근망을 삽입한 후 콘크리트를 타설하여 콘크리트벽체를 만드는 반복과정으로 지하연속벽을 지하공간에 구축하게 된다. 여기서 지하연속벽 시공을 위한 트렌치 굴착을 모래 및 자갈층에서 실시할 경우 안정액의 유출이나, 굴착장비의 진동으로 인한 지반손실(ground loss) 또는 벌징(bulzing)현상이 일어날 수 있다. 이로 인하여 트렌치 굴착 완료 후 철근망의 삽입이 불가능한 경우도 있으며, 안내벽(Guide Wall)부근 주변지반이 함몰되는 경우도 있다. 상기와 같은 문제로 인해 오래전부터 국외에서는 슬러리 트렌치 굴착시 굴착면 및 인접지반의 안정성에 대한 이론 및 실험적 연구에 한정되어 이루어지는 경우가 대부분이었으나(Nash & Jones(1963), Piaskowski et al. (1965), Tsai et al.(2000)) 국내에서는 이에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지하연속벽 시공을 위한 트렌치 굴착시 트렌치내 안정액 수위 저하 및 굴착트렌치배면에 작용하는 상재하중에 의한 배면지반 변형특성을 모형실험을 통해 살펴보고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 모형실험의 토조는 길이800mm, 높이800mm, 폭200mm의 크기로 제작되었다. 또한 단계별굴착을 재현하기 위해 1회 굴착토사량을 63.75cm^3 으로 산정하여 아크릴블록으로 제작하였으며 1단굴착 토사량은 127.5cm^3 로 1층2조로 총40회 걸쳐 인발하였다. 그리고 1.5cm의 투명아크릴 판을 사용하여 토조내부의 거동을 관찰할 수 있도록 하였으며 굴착모형지반 조성시 변형이 최소화 되도록 제작하였다. 또한, 모형토조 배면에 배수밸브를 설치하여 안정액 수위를 임의로 조절할 수 있도록 제작하였으며, 실험 중 안정액수위를 일정하게 유지하기 위해 토조측면에 안정액 배출구를 설치하여 안정액 수위가 일정수위 이상으로 상승하지 못 하도록 토조를 제작하였다. 한편, 굴착배면에 작용하는 상재하중은 토조 800mm의 범위내에서 40kg의 하중을 굴착벽면으로 부터 이격시켜 재하 할 수 있도록 가로×세로 ×높이가 각각 $250 \times 200 \times 600\text{mm}$ 의 크기로 제작하였다.

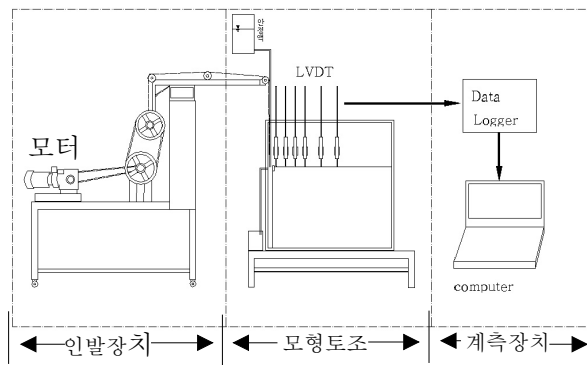


그림 1. 실험장치 계통도



그림 2. 실험장치 전경

2.2 실험방법

본 연구의 실험은 단계별 굴착 후 트렌치내 안정액수위를 저하시키므로써 구벽내 응력해방으로 인한 배면지반의 변형특성을 정성적으로 연구하고자 하였다. 이를 위하여 굴착모형실험에서 최종굴착깊이는 500mm 굴착완료 후 안정액 수위를 G.L-15mm로 유지하면서 지반을 안정화시킨 뒤 매 10mm씩 안정액 수위를 저하시키는 방법으로 트렌치 파괴를 유도하여 이때 발생하는 지반변형 형태를 관측하였으며 기존연구와 비교, 평가하였다. 즉, 응력해방시 발생하는 트렌치내 슬러리액압에 의한 구속응력의 발생상태와 배면지반의 거동분석을 목적으로 하였다. 또한, 트렌치 굴착배면에 작용하는 상재하중의 영향을 고려하기 위해 40kg의 하중을 구벽 배면으로부터 각각 0.06H(30mm), 0.2H(100mm), 0.5H(250mm)로 이격거리를 증가시키면서 슬러리액압의 영향을 동시에 평가하였다. 본 실험에서는 사진촬영결과와 sheat paper를 이용하여 변형량을 scale화하여 정성적 해석을 시도하였다.

표 1. 모형지반의 기본 물성

입도분포			γ_{dmin} (g/cm^3)	γ_{dmax} (g/cm^3)	G_s
D_{10}	C_u	C_c			
0.38	1.71	1.01	1.571	1.373	2.61

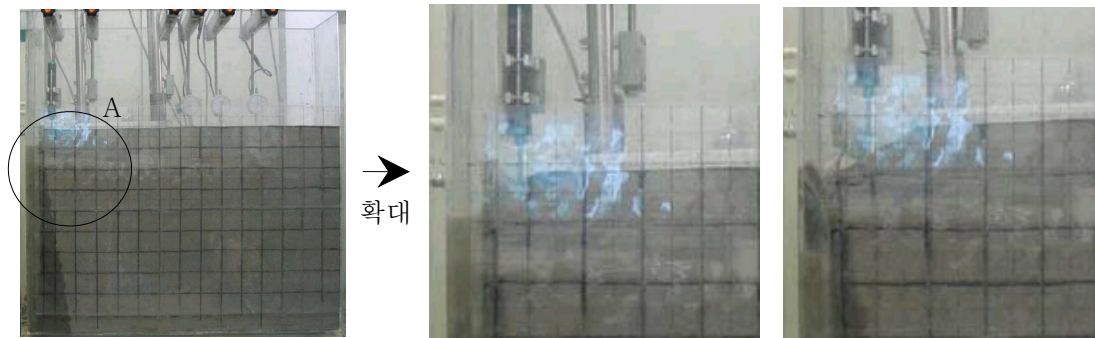
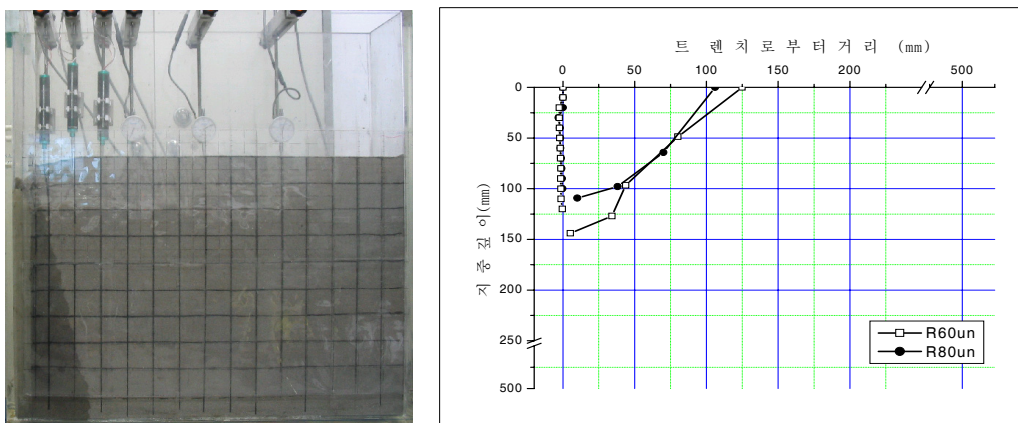


그림 3. 실험결과 예

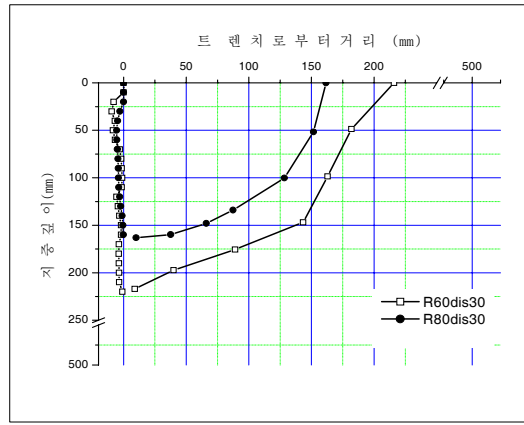
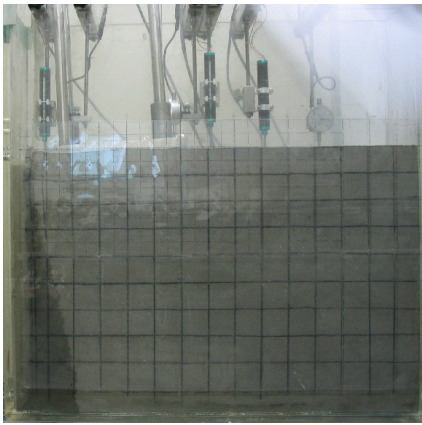
3. 실험결과 및 고찰

3.1 구벽내 응력해방에 따른 지반변형 특성

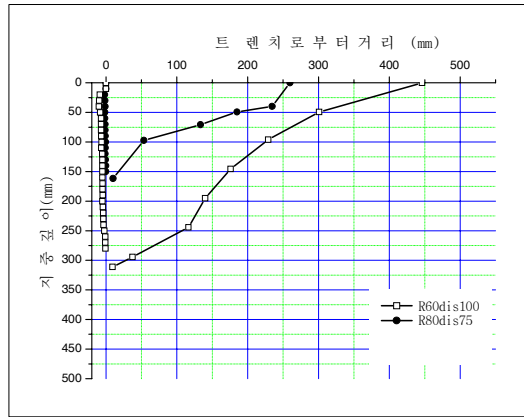
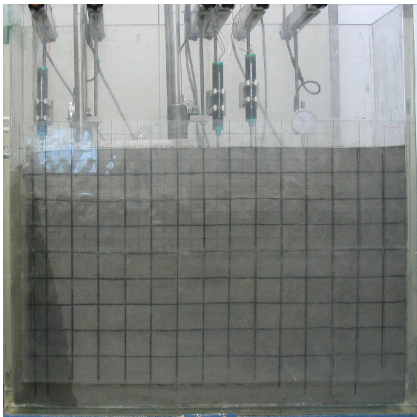
그림 2와 같이 트렌치벽에 인접하여 지표면에 상재하중이 위치하고 있을 때 트렌치내 안정액 수위저하로 인한 배면지반의 변형은 지반의 상대밀도에 따라 트렌치벽체의 발생 변위 크기와 영향범위는 차이를 보이며, 상대밀도가 60%정도인 상대적으로 느슨한 지반에서 변형크기 및 영향범위는 작게 나타났다. 상재하중 재하시 이격거리가 0.5H에서 0.06H로 트렌치벽체로 가까워짐에 따라 활동 영향범위는 깊고 넓게 확장되었으며, 트렌치 배면지반의 활동면은 직선형태에서 나선형 형태로 활동면의 형태가 변하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 트렌치벽체의 수평변형은 상재하중이 없는 경우 상부변위가 억제되지 않은 사다리꼴 형태를 보였으나, 상재하중 재하시 이격거리가 가까워짐에 따라 트렌치벽체 중앙부분의 변위가 크게 발생하는 타원 형상을 보였다. 이상과 같이 상재하중 조건과 상재하중 이격거리에 따라 구벽의 형상은 큰 차이를 보이고 있다. 이는 트렌치 배면에 재하되는 상재하중에 의한 지중응력 증가가 트렌치 벽체에 작용하는 지중응력을 증가시킬 뿐만 아니라 상재하중이 트렌치로부터 이격되는 거리에 따라 구벽에 작용하는 최대지중응력 증가량의 작용 위치가 상이하게 나타나기 때문으로 판단된다.



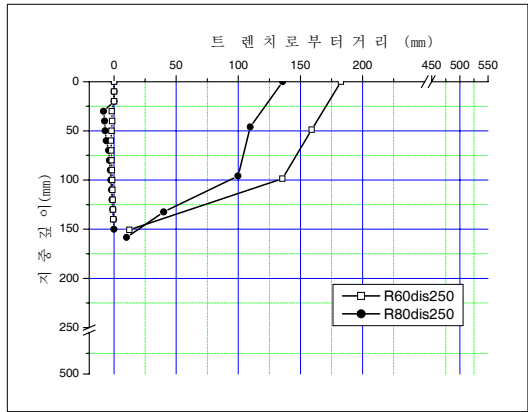
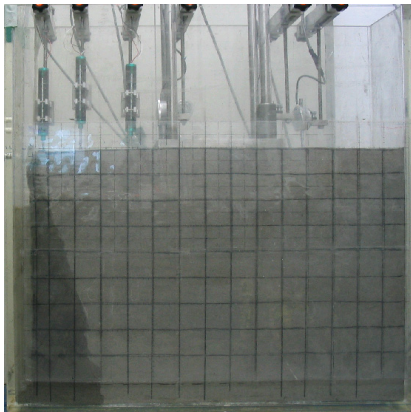
(a) 상재하중 無



(b) 이격거리 0.06H



(c) 이격거리 0.15H



(d) 이격거리 0.5H

그림 4. 상재하중 이격거리별 트렌치 벽체의 변형

3.2 기존이론과의 비교

굴착에 따른 흙막이벽 및 배면지반의 거동에 대하여 大志万(1987)은 2차원 토조를 이용한 실내시험을 실시하여 사질토지반에 있어서 흙막이벽의 변형형태와 배면지반의 변형관계를 그림 5와 같이 5가지로 정리 제시하였다. 그림 5(a)와 (b)는 통상의 흙막이벽의 휨변형에 가까운 형태이고 그림 5(c)와 (d)

는 강성벽체의 회전변위, 평행이동, 그리고 그림 5. (e)는 강성벽체의 하단부에 변위가 크게 발생하는 형태이다. 흙막이벽의 변형에 따른 배면지반의 변위발생 영역은 흙막이벽 부근에서 벽체의 변위가 크게 되면 그 영향을 받는 영역과 영향을 받지 않는 영역 사이에 일종의 파괴선이 발생하고 있음을 보였다. 본 연구에서 수행된 트렌치 배면지반에 상재하중 재하시 슬러리 액압에 의한 지반변형 특성은 大志万 (1987)의 결과와 유사한 형태를 보였으며 슬러리에 의한 트렌치 굴착에 따른 지반변형 특성을 널말뚝과 같은 강성벽체의 굴착시 발생하는 지반변형 특성과 유사한 거동을 하는 것을 확인할 수 있었다.

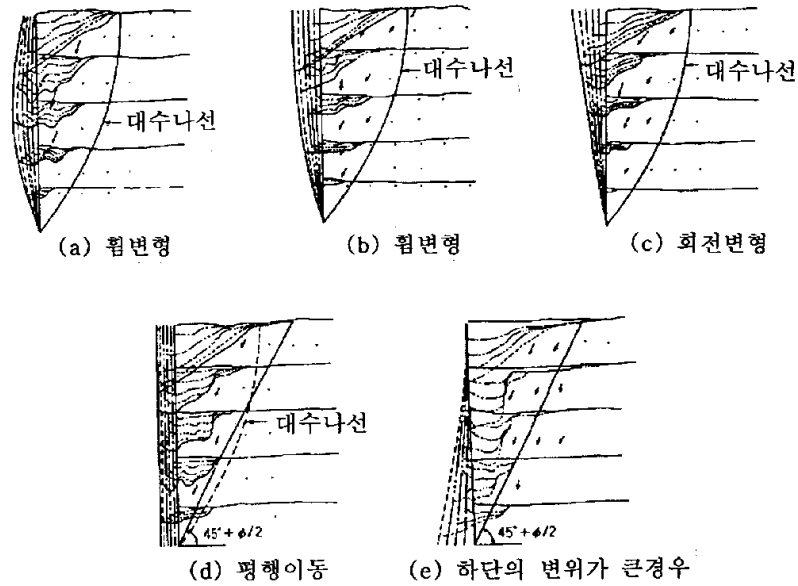


그림 5. 흙막이벽의 변형형태와 배면지반의 변형(大志万, 1987)

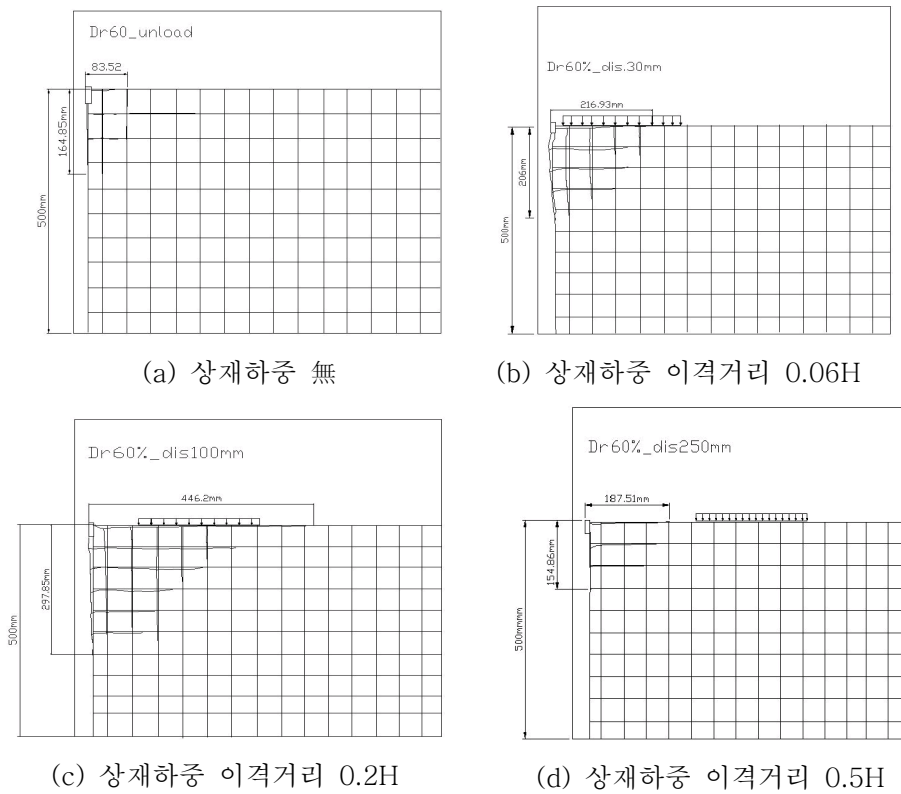


그림 6. 구벽내 응력해방에 따른 지반변형

4. 결론

본 연구에서는 굴착배면에 상재하중이 작용하는 경우 슬러리 공법에 의한 지하연속벽 구축시 발생할 수 있는 안정액 수위저하로 인한 트렌치 측벽의 거동을 고찰하고자 실내모형실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 모형실험에 의한 트렌치 굴착시 배면지반 최대침하는 상대적으로 조밀한 지반에서 적게 발생되었으며, 굴착 배면지반에 상재하중 재하시 최대침하량은 상재하중의 이격거리가 트렌치에 근접할수록 크게 발생되었다.
2. 트렌치내 안정액 수위저하(응력해방)로 인한 배면지반 변형형상은 상재하중 재하시 이격거리가 트렌치에 가까워짐에 따라 트레치 배면지반의 활동면은 직선형태에서 나선형태로 보였으며, 트렌치벽체는 상부변위가 크게 발생하는 휨변형에서 트렌치벽체 중앙부의 변위가 큰 타원형태의 변화를 보였다.
3. 실험 결과 트렌치내 응력해방으로 인한 측벽의 변형형상은 大志万가 제시한 기존 흙막이벽체의 거동 중 강성벽체굴착시 지반변형거동과도 유사하였다.

참 고 문 헌

1. 구자갑, 유범식, 이상덕(1997), "Slurry Wall 공법에서 Guide Wall의 역학적 특성에 관한 실험적연구", 토목공학논문집, 제17권 제3-4호, pp.371~380
2. 오성대, 배영식(2001), "흙막이설계와 시공", 엔지니어즈
3. 유한규(1999), "지하연속벽으로 지지된 지반의 굴착에 따른 변형과 침하" 공학기술논문집, Vol.8, No.1
4. 이봉열, 김학문(1999), "굴착모형실험을 통한 토류벽체 및 지반거동에 관한 연구", 한국지반공학회논문집, 제15권 제5호, pp.259~279
6. 홍원표외 2(1993), "일산전철 장항정차장구간의 굴토공사에 따른 안정성 검토연구보고서", 대한토목학회
7. 홍원표, 윤중만, 여규권, 조용상(1997), "버팀보로 지지된 흙막이벽의 거동에 관한 연구", 중앙대학교 기술과학연구소 논문집, 제27집, pp.49~61.
8. 대한건설협회(1985), "지하연속벽공법".
9. Spiros D. Costopoulos(1979), "Experimental Investigation of model diaphragm wall", ASCE, vol.105 Nov. pp.1343
10. Tsai, J.S., Jou, L.D Hsieh, H.S (2000) "A full-scale stability experiment on a diaphragm wall trench", Canadian Journal Vol.37, pp.379~392
11. W.K.Elson(1968), "An experimental investigation of the stability of slurry trenches", GEOTECHNIQUE, (Vol.18) pp.37~50