

# 상재하중을 받는 토류벽체의 거동에 관한 모형실험 연구

## Model Test for the Behavior of Retaining Walls Under Surcharge Load

정 온 수\* / 허 경 한\*\*

Jung, On Su / Huh, Kyung Han

### Abstract

The purpose of this study is to closely examine the influence of the surcharge load applied to the retaining wall through some model tests, in which wall stiffness in each stage of excavation, horizontal displacement of the retaining wall and surface displacement of the backfill according to wall stiffness and ground conditions, and change and distribution of the earth pressure applied to it were measured and their values were produced, then these values were mutually compared with their theoretical values and their values after analysis of the data obtained at the field, and they were analytically studied, in order to closely examine the influence of the surcharge load applied to the retaining wall. Findings from this study are as follows: The shape of ground surface settlement curve on the model ground under surcharge load, different from the distribution curve of regular probabilities which is of a shape of ground surface settlement under no surcharge load, appears in that settlement in an arching shape shows where the center part of surcharge load shows the maximum settlement. In examining the maximum horizontal displacement with the surcharge load applied to each stage of excavation, it occurred at the point of  $0.8H$ (excavation depth) when finally excavated. Regarding the range in which the displacement of the retaining wall increases according to application of surcharge load, the increment of displacement showed till the point of depth which is of two times of the distance of load from the upper part of the wall. Also since each displacement of the foundation plate caused by the ground surface settlement according to each stage of excavation occurred most significantly at the final stage. Also since regarding wall stiffness, the wall of its thickness of 4mm(flexible coefficient  $\rho: 480\text{m}^3/\text{t}$ ), produced maximum 3 times of wall stiffness than its thickness of 9mm(flexible coefficient  $\rho: 40\text{m}^3/\text{t}$ ), it was found out that influence of wall stiffness is so significant.

**key words** : surcharge load, settlement, retaining wall, backfill, wall stiffness

### 요 지

본 연구에서는 상재하중을 적용한 굴착모형실험을 통하여 상재하중 적용으로 인한 굴착단계별, 벽체강성 및 지반조건에 따른 토류벽체의 수평변위, 배면지반 지표침하, 토류벽체에 적용되는 토압변화 및 분포에 대하여 실험결과치, 이론치 및 현장자료 분석치와 상호비교, 분석하여 상재하중 적용에 의한 영향을 규명하였다. 그 결과 상재하중이 적용된 모형지반에서의 지표침하곡선 형태는 상재하중 미 적용시 지표침하 곡선 형태의 정규확률 분포곡선과 달리 상재하중 중앙 부분이 최대 침하를 일으키는 포물선 형태의 침하를 보이고 있으며, 굴착단계별 상재하중 적용으로 인한 벽체최대수평변위는 최종굴착시에  $0.8H$ ( $H$ :굴착깊이) 지점에서 벽체의 최대수평변위가 발생하였으며, 상재하중 적용에 따른 벽체변위량의 증가범위는 벽체상부로부터 하중

\* 천일기술단 토질부 차장 · 공학석사 (e-mail : jos7488@hanmail.net)

\*\* 정희원 · 초당대학교 건설정보공학과 겸임교수 · 공학박사

이격거리에 2배의 깊이까지 증가범위를 보였다. 또한, 굴착단계별 지표면의 침하로 인한 기초판의 각 변위는 최종단계에서의 각 변위가 가장 크게 발생하였고, 벽체강성별로는 두께 4mm(유연계수  $\rho : 480\text{m}^3/\text{t}$ )벽체가 두께 9mm(유연계수  $\rho : 40\text{m}^3/\text{t}$ )보다 최대 3배이상 발생하고 있어 벽체강성의 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

**핵심용어** : 상재하중, 침하, 토류벽체, 배면지반, 벽체강성

## 1. 서 론

토류구조물에 있어서 변형이 허용되는 연성벽체에 작용하는 토압분포는 기존의 고전적 토압이론에 의한 토압과는 다른 분포형태를 띄게 될 것으로 예상되며, 굴착단계별 토압변화 및 거동은 지반조건, 벽체강성, 지지방식, 지하수의 위치, 근입부의 지지조건 및 상재하중 등 여러 가지 요인에 따라 각기 다른 거동을 나타내기에 여러 가지 요인별 토류벽체의 거동을 규명하기 위한 연구가 국·내외적으로 진행되고 있다.

특히 도심지 깊은 굴착을 행할시에는 배면지반에 의한 토압뿐만이 아니라 인접건물 및 도로의 차량하중 등과 같은 외부상재하중으로 인하여 증가되는 토압을 토류구조물이 추가적으로 받게 된다.따라서 여러 형태의 인접구조물 및 상재하중들이 존재할 경우 외부하중 증가로 인하여 토류구조물의 수평변위 및 지표침하가 증가하고 인접구조물에 부등침하에 의한 구조적 손상을 유발할 수 있다. 그러므로 인접구조물의 피해가 발생되지 않도록 상재하중에 의한 지표침하의 분석과 외부하중 증가로 인한 토압증가분을 명확히 분석하여 인접구조물의 손상 및 피해를 예측하는 연구는 대단히 중요하다고 사료된다.

본 연구에서는 연성벽체의 강성에 따라 상재하중을 재하한 후 유발되는 벽체의 수평변위 및 지표침하, 굴착단계별 토압변화 및 분포를 측정하였으며, 또한 지반조건 및 벽체의 벽 마찰에 대한 영향을 검토하였다.

상재하중으로 인한 모형실험 결과에 대하여 벽체수평변위와 지표침하의 상관관계, 굴착단계별 벽체수평변위와 토압변화 및 분포, 벽체변위에 따른 아칭효과에 대하여 분석, 고찰하고 기존의 토압이론과 비교하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험지반 및 벽체의 물성

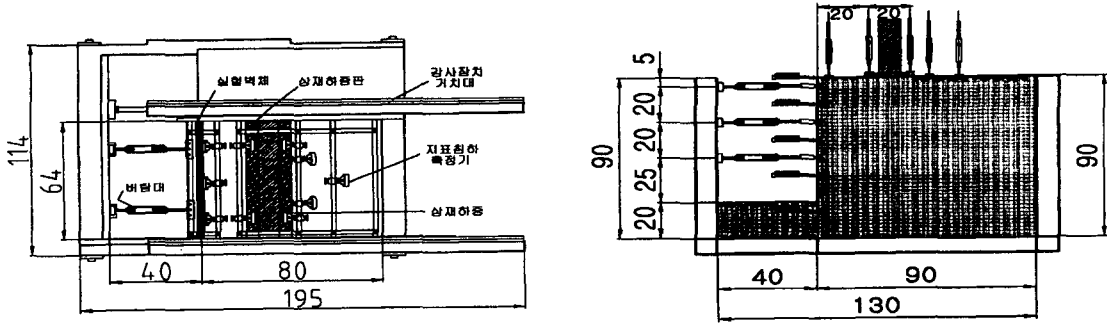
본 실험에서 지반을 조성하기 위해 사용된 재료는 공기 건조된 주문진 표준사가 사용되었으며, 물성실험에 의한 결과 최대건조밀도  $1.591(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 최소건조밀도  $1.283(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 최대간극비 1.042, 최소간극비 0.647, 비중 2.62, D60(mm) 0.60, D10mm 0.42, 균등계수 1.429이다. 실험시 적용지반의 물성치와 역학적인 강도

정수를 알기위해 물성실험 및 비배수 조건하의 삼축압축 실험을 실시하였으며, 이 결과 A지반의 단위중량  $1.42(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 내부마찰각  $36(^{\circ})$ , 초기탄성계수( $\text{t}/\text{m}^2$ ) 2143, 상대밀도(%) 53, 간극비 0.832이고 B지반은 단위중량  $1.38(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 내부마찰각  $32(^{\circ})$ , 초기탄성계수( $\text{t}/\text{m}^2$ ) 976, 상대밀도(%) 36.31, 간극비 0.899이다. 또한, 다양한 벽체강성에 따른 토압 및 지반거동을 규명하기 위해 사용된 벽체는 연성 플라스틱으로 제작된 벽체이며, 유연성의 정도를 판단하기 위해 Rowe의 유연계수를 사용하였으며, 본 연구에 사용된 실험장치는 크게, 토조, 강사장치, 상재하중 판, 상재하중, 버팀 지지장치, 계측기기로 분류될수 있다.

### 2.2 토조의 강사장치와 상재하중 장치 및 계측 장치

본 연구에 사용된 토조는 좌측면과 뒤쪽은 두께 10mm의 강철판으로 되어 있고, 전면과 우측면은 내부 관찰이 용이하도록 30mm두께의 투명 플라스틱으로 되어 있다. 또한 토조의 변형을 확실하게 억제하기 위해 전체면에 두께 5mm의 강철틀을 설치하였다. 이때 토조내의 측면효과를 최소화 하기 위해 토조 내부에 미끄러운 플라스틱을 부착하였으며, 원하는 실험지반의 조성을 위해 강사장치가 사용되었다. 토조의 제원 및 강사장치는 토조(1.0m × 1.2m × 1.0m)와 하중제어 장치 및 Control Box는 회전식 재하이며 진동모터는 3대를 이용했다.

또한, 이 실험에 사용된 상재하중 판은 폭 20cm, 길이 64cm, 두께 2cm인 나무로 만들어 졌으며 상재하중은 길이 19cm, 폭 9cm, 두께 5.8cm이며 벽돌 1개의 무게가 1.7kg인 벽돌로 총 18개를 재하하여 총 하중의 무게는 30.6kg이다. 따라서 실험에 재하된 상재하중의 크기는  $0.024\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 이 크기는 토조의 최고 심도에서의 Peck토압에 해당하는 값이다. 본 실험의 벽체 및 지반거동, 토압 등을 측정하기 위해 계측기기는 기기의 용도 및 정밀도에 의해 선정되었으며 확실한 데이터의 검증을 위해 계측기마다 보정 및 검증실험을 본 실험 중 계속 실시하였다. 실험시 사용된 계측기기의 정밀도 및 모형도는 표 1에 나타내었다.



(a) 상재하중 거치시의 토조 평면도(단위:cm)      (b) 상재하중 거치시의 측면도(단위:cm)  
**그림 1. 상재하중 거치시의 토조 평면도와 측면도**

**표 1. 실험시 사용된 계측기기 종류 및 정밀도**

계측기기	계측항목	측정개소	정밀도
지표침하측정기 (Digital Gage)	지표침하 측정	10개소	0.01mm
토압계 (Pressure Cell)	토압측정	8개소	0.01 kg/cm <sup>2</sup> ~ 7.0 kg/cm <sup>2</sup>
하중계 (Load Cell)	버팀하중측정	6개소	0.01 kg ~ 125 kg
벽체변위계 (Potential Meter)	벽체변위측정	5개소	0.01 mm ~ 50 mm

### 2.3 토조 모형실험 방법

벽체강성 및 벽마찰에 따른 벽체 및 지반거동, 굴착 단계별 토압등을 지반조건에 따라 규명하기 위해 모형 실험이 실시하였다. 실험은 크게 계측기기의 설치, 벽체설치 및 지반조성과 상재하중 재하단계의 실험 준비 단계와 실험 실시단계의 2단계로 나눌 수 있다. 실험 준비단계에서 모형실험 지반 조성전 벽체변위계, 스트러트, 토압계등의 계측기기는 미리 설치되었으며, 이는 지반의 초기상태부터의 모든 변화거동을 확인하기 위함이었다. 이후 실험지반 조성이 끝난 후 지표침하계를 10개소에 설치하였다.

본 연구에 사용된 실험벽체는 연성플라스틱으로 제작되었으며, 벽체 강성은 벽체두께에 따라 휨강성으로 조절되었으며, 벽 마찰각을 고려하기 위한 벽체제작은 스프레이 본드를 사용하여 실험지반과 동일한 모래를 벽체에 부착하여 약 24시간 정도 방치한 후 벽마찰각을 실험지반의 내부마찰각으로 형성하였다. 또한, 실험지반 조성시 원하는 실험지반의 단위중량을 조성하기 위해 감사장치를 사용하였으며, 감사장치에 의한 낙하고 및 감사토의 낙하폭에 의한 단위중량 실험을 본 실험전에 실시하였다.

상재하중으로 인한 벽체의 거동과 배면지반의 거동과 토압의 변화 양상을 알아보기 위하여 벽체에서 배

면 지반 쪽으로 20cm 떨어진 지반에 상재하중 판을 설치한 다음 하중을 차례로 18개의 하중을 재하 하였다. 한편, 상재하중 판의 부등침하를 막기 위하여 하중판을 정확히 3등분하여 제일 먼저 하중판의 중간에 하중을 재하한 후 양끝에 하중을 동시에 재하 하였다. 이렇게 계측기기 및 벽체설치와 지반조성이 끝난 후 다단 굴착단계인 실험실시단계를 실시하였다. 실험 실시단계에서 실험을 수행하기 위한 다단굴착은 현재 현장에서 적용되고 있는 굴착단계에 준하여 다음과 같은 순서로 실험을 실시하였다.

- ① 1단 굴착시행(G.L -10cm) ② 1단 버팀대 설치 (G.L - 5cm) ③ 2단 굴착시행(G.L-30cm) ④ 2단 버팀대 설치 (G.L -25cm) ⑤ 3단 굴착시행 (G.L -50cm) ⑥ 3단 버팀대 설치 (G.L-45cm) ⑦ 4단 굴착시행 (G.L -70cm)

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 모형실험 벽체의 일반적인 변위거동과 토압 분포

그림 2와 그림 3은 벽체두께별로 상재하중을 적용 및 미 적용한 지반에서의 굴착단계별 벽체거동 및 지표침하, 토압변화 양상을 나타내고 있다. 다단 굴착시 상재하중의 따른 벽체 및 지반의 거동은 1단굴착시에

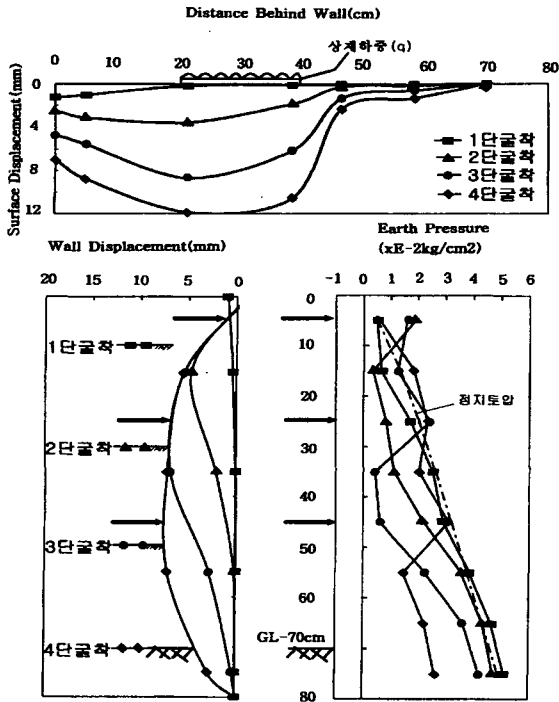


그림 2. 벽체두께 4mm(단위중량 $1.38t/m^3$ ,  $\delta = \phi$ )에 대한 모형실험 결과

는 그리 많이 발생되지 않았으나 2단 굴착시에는 벽체 상부변위 및 지표침하가 증가하였으며, 벽체상부의 토압은 벽체변위로 인하여 감소하고 있음을 확인할 수 있었다. 3단 굴착시에는 벽체 중간부의 변위가 급격히 증가하여 벽체배면의 지표침하가 크게 발생하였고, 벽체 상부의 수평변위는 억제됨으로써 벽체상부의 토압이 정지토압을 상회하는 양상을 나타내었으며, 벽체중간부의 토압은 벽체수평변위의 증가로 급격한 감소를 나타내고 있는데 이는 벽체 중간부의 수평변위로 증가로 인한 지반내의 아칭효과로 사료된다.

4단 굴착시에는 벽체하부변위의 증가로 인하여 벽체 하부의 급격한 토압감소를 나타내었으며, 버팀대가 설치된 지점에서는 수평변위 억제로 토압의 증가가 나타나는 결과를 보였다.

실험결과 벽체강성이 증가할수록 벽체수평변위가 감소됨에 따라 배면지표침하가 70%정도 감소하였으며, 벽체배면지반의 토압은 벽체수평변위의 감소로 인하여 전체 벽체높이에 대하여  $0 \sim 0.7H$ ( $H$ :굴착깊이)에서 정지토압 이상으로 증가하고 있다. 또한 벽체강성이 증가되면 전체적인 벽체수평변위의 감소로 인해 벽체배면 전체에서의 토압이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 정지토압을 기준으로 하여 토압아칭효과와 분포범위를 살펴보면 강성이 작은 4mm 벽체에 비교하여 강성이 비교적 큰 7mm 벽체의 아칭 분포범위가 거

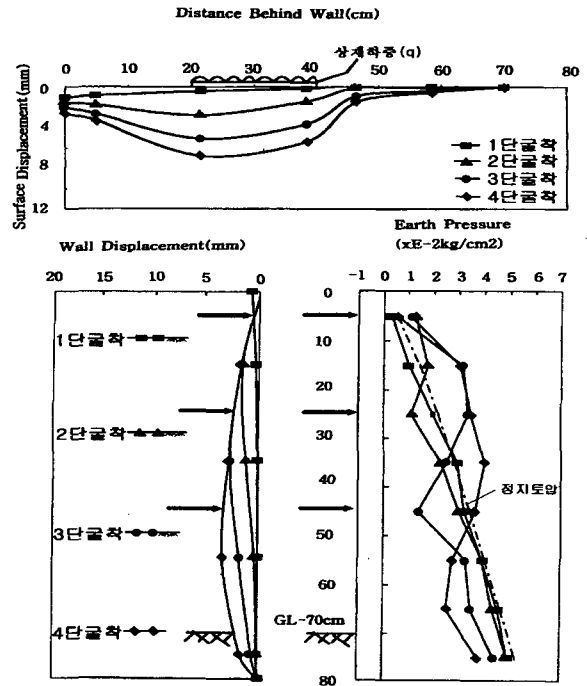


그림 3. 벽체두께 7mm(단위중량 $1.38t/m^3$ ,  $\delta = \phi$ )에 대한 모형실험 결과

의 2배 이상 증가하는 결과를 보이고 있다.

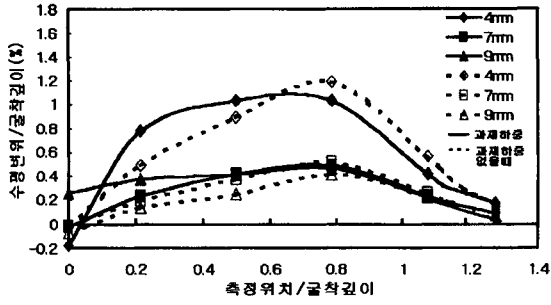
### 3.2 벽체의 수평변위와 지표침하

#### 3.2.1 상재하중 적용으로 인한 벽체강성에 따른 수평변위를

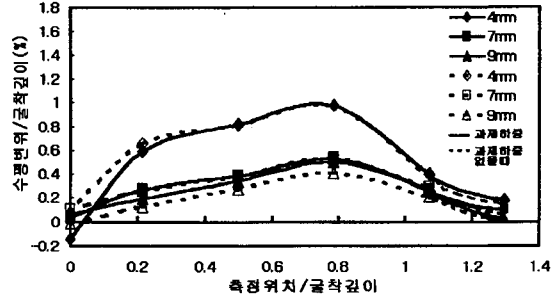
재하중 미적용시와 적용시 벽체수평변위율의 비교는 그림 4에 나타내었으며, 벽체 강성이 증가 할수록 벽체수평변위율은 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 4를 보면 강성이 비교적 약한 두께 4mm의 벽체의 경우에는 상재하중 미적용시와 적용시의 수평변위율은 거의 비슷한 결과를 나타내고 강성이 비교적 큰 7mm, 9mm 벽체의 경우에도 수평변위율의 차이는 크지 않은 것으로 나타났으며, 벽마찰 고려시와 고려하지 않은 경우에도 비슷한 값을 나타내고 있다. 그러나 다소 느슨한 지반조건에서의 상재하중 적용시의 벽체상부의 수평변위는 다소 증가하였지만 전체적인 변위양상은 거의 차이가 없고 벽체강성이 클수록 변위량이 줄어드는 양상이므로 벽체수평변위는 벽체 강성에 따라 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 지반조건 및 벽체 강성에 따른 벽체의 수평변위율을 상호 비교한 것으로 실험결과 벽체의 최대 수평변위율이 굴착깊이의 0.5~1.5%사이의 분포를 보이고 있으나 O'Rourke와 Clough, Chang (1993)과 Yu-ou의 연구결과인 0.2~0.5%와는 다소 차



(a) (단위중량 1.38t/m<sup>3</sup>, δ = φ)



(b) (단위중량 1.43t/m<sup>3</sup>, δ = φ)

그림 4. 벽체강성별 상재하중 적용에 다른 벽체수평변위를 비교

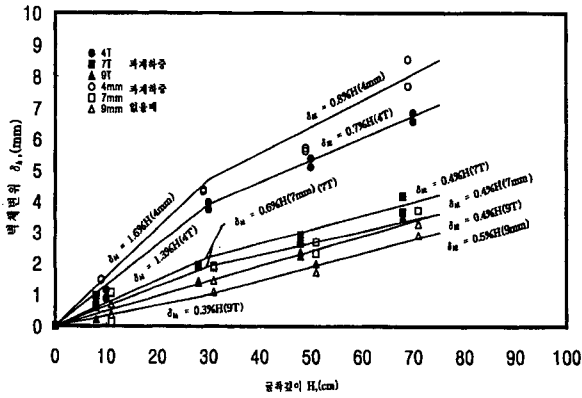


그림 5. 조밀한 지반에서의 벽체의 최대 수평변위를

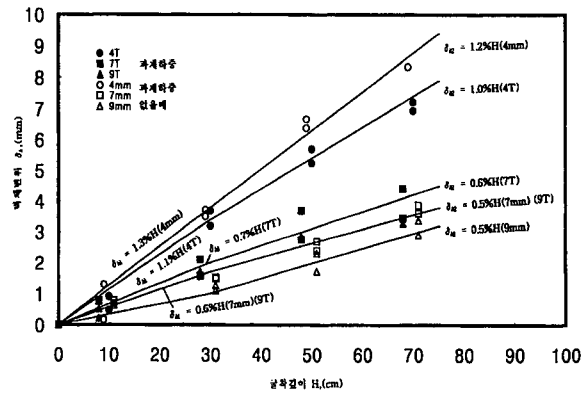


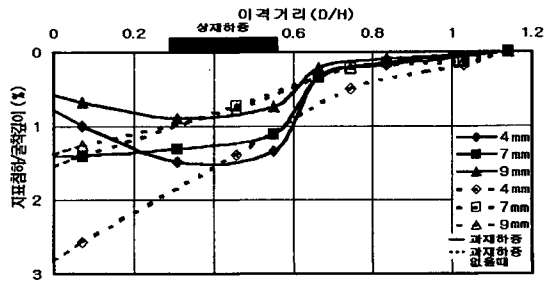
그림 6. 느슨한 지반에서의 벽체의 최대 수평변위를

이가 있는 것으로 확인되었다. 이는 벽체의 강성이 실제 벽체강성보다 작기 때문일 것으로 사료된다.

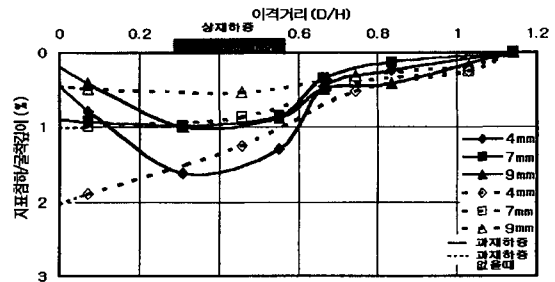
### 3.2.2 상재하중 유무에 따른 벽체강성별 지표침하율

그림 7에서 상재하중 적용시와 미 적용시의 지표침

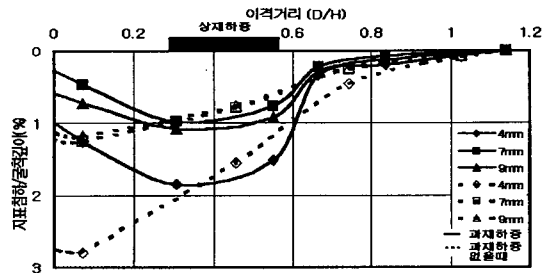
하 분포곡선 형태는 상재하중 적용시의 침하형태가 배면지반에 작용하는 상재하중으로 인하여 상재하중이 적용된 지점 바로 하부에 가장 큰 침하량을 나타내는 포물선 형태의 침하곡선을 보이고 있으나, 상재하중



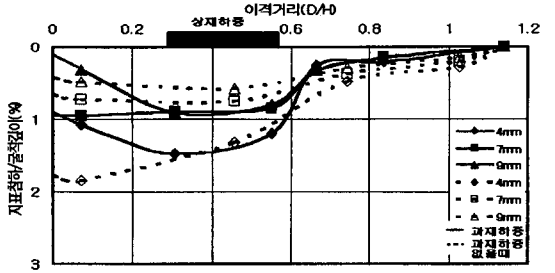
(a) (지반조건 : 단위중량 1.38 t/m<sup>3</sup>, δ ≠ 0)



(b) (지반조건 : 단위중량 1.43 t/m<sup>3</sup>, δ = 0)



(c) (지반조건 : 단위중량 1.38 t/m<sup>3</sup>, δ ≠ φ)



(d) (지반조건 : 단위중량 1.43 t/m<sup>3</sup>, δ ≠ φ)

그림 7. 강성별 상재하중 증가에 따른 지표침하율

표 2. 최대지표 침하량에 대한 기존연구 결과(Terzaghi & Peck 1967)

항 목	제안자	Terzaghi Peck	O'Rourke	St. John	Mana Clough	Clough O'Rourke
최대지표침하량		0.5%H	0.3%H	0.3%H	0.2%H	0.5%H

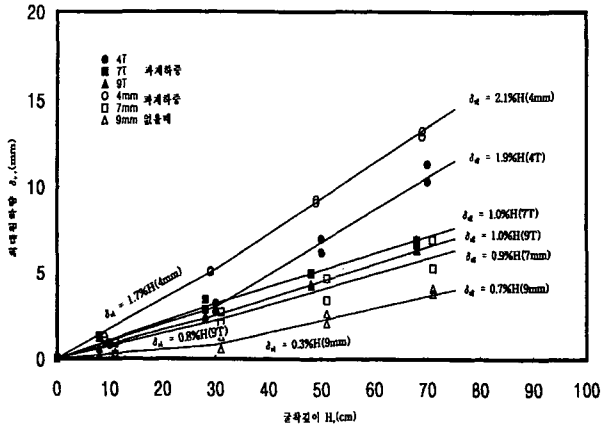


그림 8. 조밀한 지반에서의 최대지표 침하량

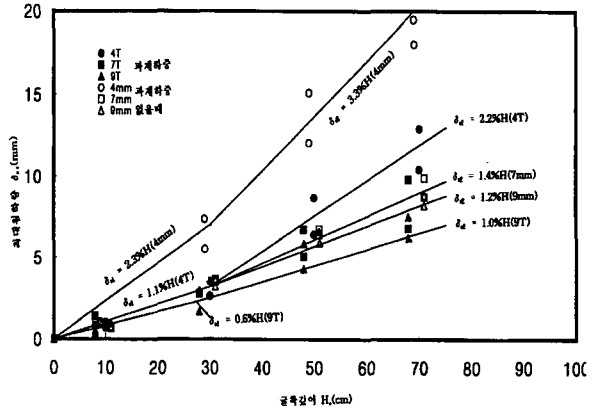


그림 9. 느슨한 지반에서의 최대 지표침하량

미적용시의 지표침하형태는 벽체 바로 배면에서 가장 큰 침하율을 보이며 벽체로부터 이격거리에 따라 침하가 줄어드는 정규 확률분포곡선을 나타내고 있다. 표 2는 벽체배면 지반에서의 최대지표 침하량에 대한 기존연구 결과이다.

그림 8과 그림 9는 최종굴착시 굴착깊이에 대한 지반의 최대지표 침하량을 나타내고 있는데, 실험결과 벽체강성별로 평균 1.0~3.0%로 Peck (1967)이 제시한 0.5%보다 크게 일어남을 알 수 있다. 이는 앞서 분석한 지표침하 분포곡선형태에 의한 차이로 사료된다.

### 3.3 최대 수평변위와 최대 지표침하의 상관관계 비교

그림 10은 최종굴착시 최대 수평변위율과 최대 지표침하율의 관계를 나타내고 있다.

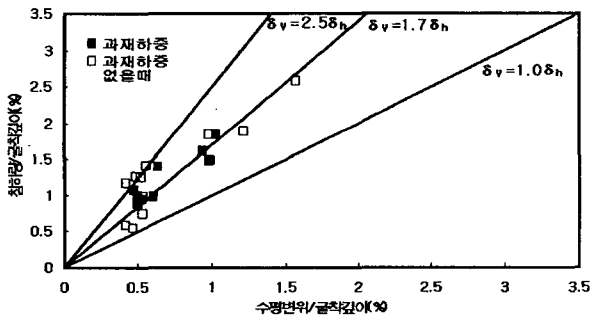


그림 10. 최대수평변위 대 최대지표침하관계

$O_u$ 의 이론에 의한 최대 지표면 침하( $\delta_v$ )의 상한계는

최대 벽체수평변위( $\delta_h$ )와 같으며 최대 지표면 침하는  $0.5 \sim 1.0\delta_h$ 의 범위내에 분포하고, 이 침하의 평균값은  $0.7\delta_h$ 이라고 하였으나, 모형실험에 의하여 얻어진 값들은 상재하중 적용시는 평균  $1.7\delta_h$ , 상재하중 미 적용시는 평균  $2.5\delta_h$ 까지 나타나고 있음을 알 수 있다.

### 3.4 배면 지반의 지표침하에 대한 각변위 검토

굴착시 배면 지반의 부등침하는 인접건물에 심각한 피해를 줄 수도 있다. 이에 본 연구에서는 상재하중 적용으로 인한 지표침하를 측정하여 상재하중 적용에 따른 지표침하의 각 변위를 분석하여 구조물의 영향을 검토하였다. 표 3은 본실험에서의 실험결과를 근거로 하여 최대 각 변위의 한계를 벽체강성별로 비교하였다.

표 3에서 벽체강성이 증가할수록 각 변위가 감소하고 있으며, 지반조건이 증가할수록 각 변위가 감소하고 있는 것으로 나타났으나, 대부분의 각 변위 결과가 일반적인 각 변위의 한계를 초과하고 있는데 이는 벽체의 강성이 실제의 벽체강성보다 작기 때문일 것으로 사료된다. 또한 상재하중 미적용시의 각 변위보다 상재하중 적용시의 각 변위가 다소 적게 발생하고 있음을 할 수 있는데 이는 상재하중 적용시 상재하중 하부의 지반침하가 미적용시의 침하보다 더 균등하게 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.5 상재하중 적용으로 인한 토압의 변화

그림 11~13은 상재하중이 적용되는 조건에서의 굴착단계별 토압변화를 벽체강성별로 나타내었다.

표 3. 벽체강성별 각 변위의 한계

실험조건 : 상재하중 미적용시	실험 case	각 변위( $\delta/L$ )
4TA(벽체두께 : 4mm, $Y = 1.38t/m^3$ )	case 1	1/28
4TB(벽체두께 : 4mm, $Y = 1.43t/m^3$ )	case 2	1/49
7TA(벽체두께 : 7mm, $Y = 1.38t/m^3$ )	case 3	1/77
7TB(벽체두께 : 7mm, $Y = 1.43t/m^3$ )	case 4	1/94
9TA(벽체두께 : 9mm, $Y = 1.38t/m^3$ )	case 5	1/121
9TB(벽체두께 : 9mm, $Y = 1.43t/m^3$ )	case 6	1/340
실험조건 : 상재하중 적용시	실험 case	각 변위( $\delta/L$ )
4TA(벽체두께 : 4mm, $Y = 1.38t/m^3$ )	case 7	1/68
4TB(벽체두께 : 4mm, $Y = 1.43t/m^3$ )	case 8	1/76
7TA(벽체두께 : 7mm, $Y = 1.38t/m^3$ )	case 9	1/117
7TB(벽체두께 : 7mm, $Y = 1.43t/m^3$ )	case 10	1/182
9TA(벽체두께 : 9mm, $Y = 1.38t/m^3$ )	case 11	1/157
9TB(벽체두께 : 9mm, $Y = 1.43t/m^3$ )	case 12	1/222

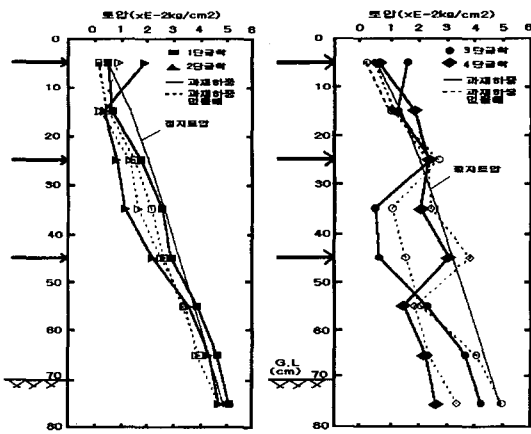


그림 11. 벽체두께 4mm 일때의 토입변화

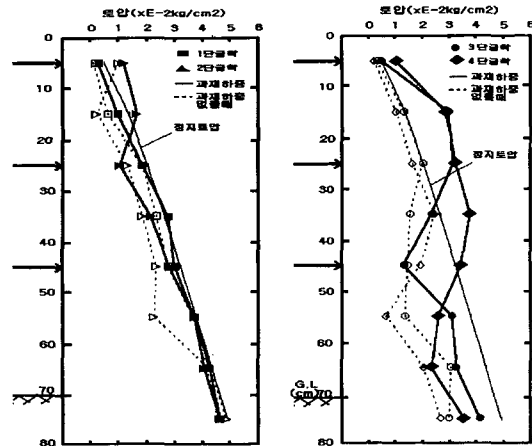


그림 12. 벽체두께 7mm 일때의 토입변화

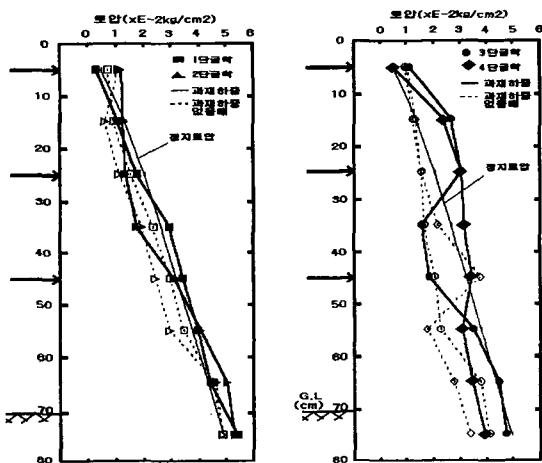


그림 13. 벽체두께 9mm 일때의 토입변화

상재하중 적용시와 미적용시의 일반적인 토입변화 분석결과 1단 굴착을 수행한 후에는 벽체변형이 적어

토입의 감소가 일어나지 않았으나 2단 굴착을 수행한 후에는 벽체상부에 수평변위의 증가로 인하여 벽체상부의 토입이 주동토입영역으로 감소하였으나, 벽체하부의 토입은 감소되지 않았다. 이는 벽체하부의 수평변위는 벽체상부에 비하여 상대적으로 적게 감소되어 토입이 감소하지 않은 것으로 사료된다. 또한 벽체상부의 토입감소는 벽체강성이 작아질수록 토입의 감소 현상이 커지는 것으로 확인되었고, 3단 굴착이후부터는 벽체상부의 토입이 정지토입 이상으로 상승되는 결과를 나타내었다.

이것은 3단 굴착이후부터 벽체하부의 수평변위 증가로 인한 아칭효과가 발휘되어 벽체상부로 토입의 재분배가 일어났기 때문인 것으로 사료된다. 한편 벽체강성이 작을수록 벽체의 수평변위가 크게 발생하여 벽체에 작용하는 토입의 변화범위가 다른 벽체강성에 비하여 상당히 큼을 알 수 있다.

상재하중 적용으로 인한 토입의 변화양상을 검토한

결과 상재하중 미적용 조건에서의 토압분포는 상재하중 적용시의 토압분포보다 적은 토압이 발생하고 있으며, 모든 굴착단계에서 정지토압보다 작은 토압분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 강성이 작은 4mm벽체의 경우 상재하중으로 인한 수평변위의 증가로 토압의 감소가 크게 발생하여 상재하중 미 적용조건 지반에서의 토압분포 양상과 비슷한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 상재하중이 적용되어도 벽체강성이 커질수록 벽체상부의 수평변위량이 작기 때문에 벽체상부의 토압은 상재하중보다는 벽체강성에 좌우되지만, 벽체하부의 토압은 벽체강성보다는 상재하중의 영향을 다소 크게 받고 있음을 알 수 있다.

이것은 3단 굴착이후부터 벽체하부의 수평변위 증가로 인한 아칭효과가 발휘되어 벽체상부로 토압의 재분배가 일어났기 때문인 것으로 사료된다. 한편 벽체강성이 작을수록 벽체의 수평변위가 크게 발생하여 벽체에 작용하는 토압의 변화범위가 다른 벽체강성에 비하여 상당히 큼을 알 수 있다.

상재하중 적용으로 인한 토압의 변화양상을 검토한 결과 상재하중 미적용 조건에서의 토압분포는 상재하중 적용시의 토압분포보다 적은 토압이 발생하고 있으며, 모든 굴착단계에서 정지토압보다 작은 토압분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 강성이 작은 4mm벽체의 경우 상재하중으로 인한 수평변위의 증가로 토압의 감소가 크게 발생하여 상재하중 미 적용조건 지반에서의 토압분포 양상과 비슷한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 상재하중이 적용되어도 벽체강성이 커질수록 벽체상부의 수평변위량이 작기 때문에 벽체상부의 토압은 상재하중보다는 벽체강성에 좌우되지만, 벽체하부의 토압은 벽체강성보다는 상재하중의 영향을 다소 크게 받고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

도심지 근접굴착시공에 있어서 인접구조물에 의한 상재하중의 영향 및 손상예측은 매우 중요하므로 상재하중 적용에 따른 토류벽체 및 인접지반의 거동에 대한 규명이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 상재하중을 적용한 굴착모형실험을 통하여 상재하중 적용으로 인한 굴착단계별, 벽체강성 및 지반조건에 따른 토류벽체의 수평변위, 배면지반 지표침하, 토류벽체에 적용되는 토압변화 및 분포에 대하여 실험결과치, 이론치 및 현장자료 분석치와 상호비교, 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상재하중이 적용된 모래지반에서의 지표침하곡선

형태는 상재하중 미 적용시 지표침하 곡선형태의 정규 확률분포곡선과 달리 상재하중 중앙 부분이 최대 침하를 일으키는 포물선 형태의 침하를 보이고 있으며, 상재하중을 적용하지 않을 경우에는 벽체 배면에서 최대 침하를 일으키며 영향 거리가 1.2H(벽체길이)까지 인 것으로 확인되었다.

2. 굴착단계에 따라서 1단 굴착시에는 상재하중 적용으로 인한 벽체의 변위가 증가되지 않았으나, 2단 굴착후에는 벽체상부의 수평변위만 증가한 반면, 3단 굴착 후에는 벽체 전체길이의 변위가 증가하였으며, 최종 굴착시에는 0.8H(H:굴착깊이) 지점에서 벽체의 최대 수평변위가 나타났다. 또한 상재하중 적용에 따른 벽체 변위량의 증가량은 벽체상부로부터 하중 이격거리에 2배의 깊이까지 증가를 보였다.

3. 굴착단계별 지표면의 침하로 인한 기초판의 각 변위는 최종단계에서의 각 변위가 가장 크게 발생하였고, 벽체강성이 증가할수록 각 변위가 최대 3배 이상 발생하고 있어 벽체강성의 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

4. 상재하중 적용시 벽체강성별 각 변위의 한계치는 비교적 강성이 큰 벽체에서는 1/200정도의 결과를 얻었고, 상재하중 미적용시의 각 변위 한계치는 대부분 1/100이하의 값으로 하중적용시보다 불안정한 경향을 보였다.

5. 상재하중을 적용한 경우 최종굴착시 토압변화 및 분포는 두께 7mm 벽체와 9mm벽체의 경우는 벽체중간부에서 최대토압을 나타내었고, 두께 4mm 벽체의 경우는 3단 버팀대가 지지되는 지점에서만 최대토압분포를 나타냈다.

강성이 증가할수록 벽체중간부의 수평변위에 의해 벽체상부로 아칭효과에 의한 토압 재분배가 크게 일어나고 있다.

#### 참 고 문 헌

대한토목학회 (1995) "굴착과 주변구조물의 안전" 대한토목학회지 43권 7호, pp. 58~62.  
 한국지반공학회 (1997) "굴착 및 흙막이 공법" 지반공학 시리즈 3.  
 Bowles, J.E. (1996) "Foundation Analysis and Design", 5th Edition, MGH, pp. 175~187, pp.



392~398.

Chang-Yu ou, et al. (1993) "Characteristics of ground surface settlement during excavation", Canadian Geotechnical Journal, vol.30, pp. 758~767.

Clayton, C.R.I. & Milititsky, J., "Earth Pressure and Earth Retaining Structure", pp. 56~62.

Das, B.M. (1995) "Principles of Foundation Engineering", 3rd ed. ITP, pp. 296~304

Rowe, P. W. and Peaker, K. (1965) "Passive earth

pressure measurement", Geotechnique, Vol.15, No.1, pp. 22~52.

Terzaghi, K. & Peck, R.B. (1967) "Soil Mechanics in Engineering Practice", 2nd ed., WIE, 1967, pp. 202~206, pp. 394~413.

© 논문접수일 : 2005년 11월 21일

© 심사의뢰일 : 2005년 11월 22일

© 심사완료일 : 2005년 12월 13일