

## 절개사면에 설치된 앵커지지 합벽식 옹벽의 변형거동

윤중만<sup>1</sup> · 송영석<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>안산공과대학 건설계열, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 지구환경연구본부

## The Deformation Behavior of Anchored Retention Walls installed in Cut Slope

Jung-Mann Yun<sup>1</sup> and Young-Suk Song<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Ansan College of Technology

<sup>2</sup>Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

절토사면에 설치된 옹막이벽의 거동은 도심지 굴착공사에 적용된 옹막이벽의 거동과는 다를 것이다. 배면경사지에 설치된 옹막이벽 설계법을 확립하기 위하여는 옹막이벽 및 배면지반의 변형거동을 상세히 규명할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 아파트 신축부지 절개사면의 보강을 위하여 앵커지지 옹막이벽과 역지말뚝이 설치된 사면을 대상으로 계측을 수행하였다. 계측결과 굴착초기에는 옹막이벽의 변형이 배면경사지반의 변형보다는 크게 발생되나, 굴착깊이가 깊어짐에 따라 배면경사지반의 변형이 크게 발생되었다. 이는 굴착으로 인한 옹막이벽의 변형이 옹막이말뚝의 강성과 앵커인장력에 의하여 억제되었기 때문으로 판단된다. 앵커에 도입된 선행인장력은 옹막이벽의 거동에 큰 영향을 미치며, 강우로 인한 옹막이벽의 변형은 지하수위의 변화보다 지표부근에서 침투된 침투수의 영향이 큰 것으로 나타났다. 한편, 굴착배면의 경사진 사면에 설치된 앵커지지 옹막이벽의 수평변위는 굴착배면지반이 수평인 옹막이 굴착의 경우 보다 2~6배 정도 크게 발생하였다.

주요어 : 앵커지지 옹막이벽, 절개사면, 계측, 수평변위, 굴착, 강우

The behavior of earth retention wall installed in cut slope is different from the behavior of retention wall applied in urban excavation. In order to establish the design method of anchored retention walls in cut slope, the behavior of anchored retention wall can be investigated and checked in detail. In this study, the behavior of anchored retention wall was investigated by instrumentation installed in cut slope for an apartment construction stabilized by a row of piles. The horizontal displacement of anchored retention wall was larger than the displacement of slope soil behind the wall at the early stage of excavation. As the excavation depth became deeper, the horizontal displacement of slope soil was larger than the displacement of anchored retention wall. It means that the horizontal displacement of anchored retention wall due to excavation is restrained by soldier pile stiffness and jacking force of anchor. Jacking force of anchor was mainly influenced in the horizontal displacement of anchored retention wall. The displacements of anchored retention wall and slope soil were affected mainly by an rainfall infiltrated from the ground surface. Meanwhile, the horizontal displacement of anchored retention wall with slope backside was about 2-6 times larger than the displacement of anchored retention wall with horizontal backside of excavation.

**Key words** : Anchored retention wall, Cut slope, Instrumentation, Horizontal displacement, Excavation, Rainfall.

### 서 론

최근에는 아파트나 공공시설물 등의 부지조성을 위하여 산지나 구릉지를 절토하고, 이 절토된 사면의 안정을 위하

여 옹막이벽을 설치한 후 굴착공사를 실시하는 경우가 빈번해지고 있다. 이러한 굴착공사는 도심지 굴착공사와는 달리 옹막이벽 배면지반이 경사진 사면이며, 굴착단면도 비대칭인 경우가 많아 대부분 앵커지지 옹막이벽이 많이

\*Corresponding author: yssong@kigam.re.kr

채택되고 있다(홍원표 외 2인, 1998).

도심지에서 실시되는 지하굴착현장에 대하여는 흠막이벽의 종류에 따른 측방토압, 흠막이벽의 변형 및 굴착배면지반의 변형에 대한 연구가 활발하게 진행되어 오고 있다(홍원표와 이기준, 1992; 이종규와 전성근, 1993; Hong & Yun, 1996; Yoo, 2001). 또한, 현장계측도 활발히 수행되고 있으며, 계측관리도 일상화되어 있다. 그러나 경사진 절토사면에 설치된 흠막이벽 및 배면경사지반의 변형거동에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정에 있으며 현장계측관리도 제대로 시행되지 않고 있다.

굴착배면지반이 경사진 절토사면에 설치된 흠막이벽의 안정성은 배면경사면의 안정성과 밀접한 관계가 있으므로 도심지 굴착공사에 적용되는 흠막이벽의 설계법과는 다를 것이다. 그러나 이러한 흠막이벽에 대한 설계법은 현재 정확히 마련되어 있지 않아 흠막이벽이 시공중에 문제가 발생하거나 시공후에도 종종 붕괴되는 경우가 발생한다. 따라서 배면경사지에 설치된 흠막이벽 설계법을 확립하기 위하여는 흠막이벽 및 배면지반의 변형거동을 상세히 규명할 필요가 있다.

본 연구에서는 부산시 영도구의 한 아파트 부지조성시 배면경사지에 설치된 흠막이벽이 배면사면과 함께 붕괴 사고가 발생한 현장을 대상으로, 붕괴된 사면의 복구공사를 위하여 재설치된 앵커지지 흠막이벽 및 배면경사면의 거동을 조사 분석하여 보고자 한다. 재시공시 앵커지지 흠막이벽 및 배면지반의 거동을 분석하기 위하여 엄지말뚝 내부에 경사계를 설치하고, 앵커에는 하중계를 설치하였다. 또한, 배면경사지반에는 경사계와 지하수위계를 설치하여 주기적으로 계측을 실시하였다. 이들 계측결과를 토대로 굴착시공시, 앵커인장시 및 강우시 흠막이벽 및 배면경사지반의 변형거동을 분석하고자 한다. 그리고, 굴착깊이와 수평변위와의 관계를 통하여 흠막이벽의 안정성을 확인하고, 배면지반이 수평인 경우의 변형거동과 비교분석하고자 한다.

**현장실험**

**현장개요**

본 연구의 대상현장은 부산시 영도구에 위치한 한 아파트 신축부지로 경사가 급한 산지를 절개하여 고층아파트와 부속건물을 신축하도록 되어있다. 절토사면은 초기에는 흠막이벽 배면 산지를 1:1경사로 굴착한 후 전면을 약 12.5 m 높이의 연직굴착을 실시하기 위하여 굴착면에 흠막이벽을 설치하고 5단 앵커로 지지하도록 하였다. 굴착

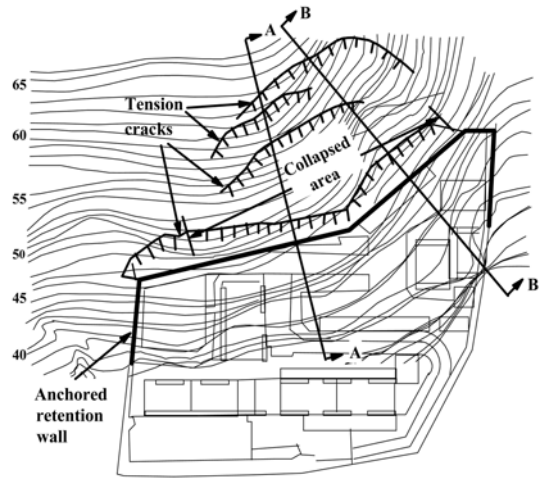


Fig. 1. Plan view of the slope failure on the apartment construction site.

시공이 완료된 후에 흠막이벽 전면에 옹벽을 합벽설치하는 것으로 계획되었다. 그러나, 굴착시공도중 8월 19일 계속된 강우(강우량: 530.3 mm)로 옹벽곡선부를 지지하고 있던 앵커가 절단되면서 사면과 함께 흠막이벽이 붕괴되었다. Fig. 1은 대상현장의 평면도를 나타낸 것으로, 본 연구에서는 A-A단면과 B-B단면으로 구분하였다.

이에 대한 복구대책으로 흠막이벽 배면 산지를 1:1.5 구배가 되도록 완화시키고 5 m 높이마다 폭 1m, 횡단구배 4%의 소단을 두었으며 흠막이벽 배면에서 16.5 m 떨어진 위치에 상부사면의 파괴를 방지하기 위한 대책공으로 억지말뚝을 연암 1.5 m깊이까지 한열로 설치하도록 하였다. 사면 상부의 지반변형은 억지말뚝이 저항하는 것으로 하였으며 사면 하부의 지반변형은 흠막이벽이 지지하도록 하였다. 흠막이벽은 Fig. 2에서 같이 엄지말뚝(H-250×

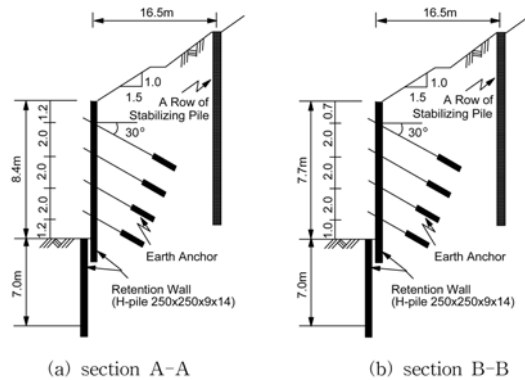


Fig. 2. Cross-sectional view of the anchored retention wall

250×9×14)을 사용하여 수평으로 2 m 간격으로 7.7 m~8.4 m 높이로 설치하였으며, 앵커지방식의 지지구조를 채택하였다. 앵커의 설치간격은 연직으로 2 m, 수평으로 2 m이며 설치각도는 30°로 되어 있다. 또한, 굴착시공이 완료된후에는 옹벽을 흠막이벽과 합벽설치하여 굴착시공 중에는 흠막이벽이 전토압을 받고, 장기적으로는 옹벽과 흠막이벽이 각각 50%씩 하중을 분담하는 것으로 하였다.

본 현장의 지반조건은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 지표면으로부터 표토층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층의 순서로 구성되어 있다. 표토층은 0.3~6.7 m 두께로 실트섞인 모래 또는 모래섞인 실트로 구성되어 있으며 부분적으로 자갈을 함유하고 있다. 풍화토는 기반암이 풍화된 잔류 토층으로서 1.8~14.0 m 두께로 분포되어 있다. 지층성분은 주로 실트내지 모래 및 암편으로 구성되어 있으며 조밀한 상태이다. 또한, 풍화암층은 1.5~4.4 m 두께로서 4.1~13.4 m 깊이까지 분포되어 있으며 모암의 조각이 존재하여 원 지반상태에서는 대단히 치밀하고 안정된 상태에 있다. 연암층은 안산암류로서 지표로부터 5.7~17.8 m 깊이까지 분포되어 있으며 파쇄대 및 절리가 발달되어 있어 암질은 매우 불량한 상태이다. 본 현장의 지반조사결과 각 지층의 토질정수는 Table 1과 같이 나타낼 수 있다(강병희 외 2인, 1993).

**계측기 설치 및 시공단계**

본 연구에서는 단계별 굴착에 따른 흠막이벽 및 배면

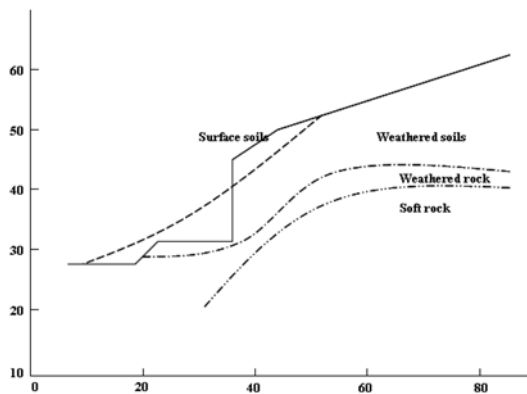


Fig. 3. Cross-sectional view of ground deposits(section A-A).

Table 1. Soil and rocks properties of study area

layer	c (t/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ <sub>t</sub> (t/m <sup>3</sup> )
weathered soils	1.35	25.5	1.85
weathered rock	1.5	35	1.9
soft rock	2.0	40	2.0

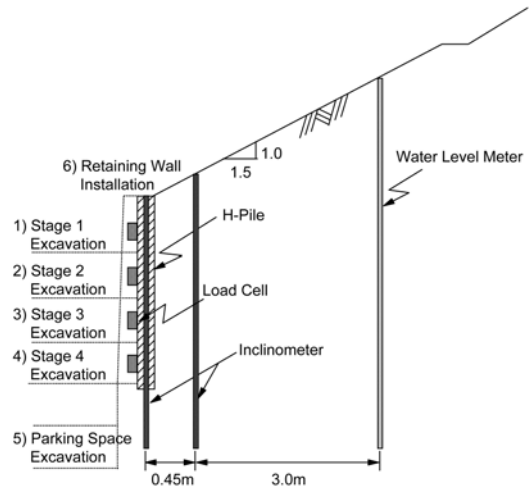


Fig. 4. Schematic diagram of installing instruments and the construction stages.

지반의 변형, 그리고 앵커축력의 변화를 조사하기 위하여 각 시공단계마다 계측을 시행하였다. 계측기의 설치 및 시공단계는 Fig. 4와 같으며, 설치된 계측기와 시공단계는 A-A단면과 B-B단면이 서로 동일하다. 경사계는 흠막이벽의 변형을 검토하기 위하여 흠막이벽 내부에 설치하였으며, 배면지반의 거동을 검토하기 위하여는 흠막이벽으로부터 45 cm 떨어진 위치의 배면지반에 설치하였다. 하중계는 각각 A-A단면 및 B-B단면의 흠막이벽을 지지하기 위하여 설치된 4단의 앵커의 두부에 설치하였다. 또한 지하수위계는 흠막이벽으로부터 3.0 m 떨어진 위치의 배면 지반에 설치하였다. 시공단계는 굴착단계와 옹벽시공단계로 구분할 수 있다. 굴착단계는 5단계로서 단계별로 0.7 m~ 2.0 m까지 굴착을 실시하였다. 옹벽시공단계에서는 옹벽을 흠막이벽과 합벽으로 설치하였다.

**계측결과**

**앵커축력**

Fig. 4에서 보는 바와 같이 A-A단면 및 B-B단면의 흠막이벽을 지지하고 있는 앵커의 두부에 설치된 하중계를 이용하여 굴착단계별로 앵커축력을 측정하였다. 굴착단계는 각 단면별로 4단계 굴착단계와 지하굴착단계로 구분되며 굴착이 완료된 후에 옹벽공이 추가로 Fig. 4와 같이 설치되었다. 각 단계별 앵커축력의 측정결과 굴착단계별 변화는 선행인장력을 가한 후 Jacking Free시 1차적으로 감소하고, 그 후 계속적으로 감소하다가 다음단의 앵커가 설치될 때 앵커축력은 재분배된 후 수렴되는 경향을 보이

는 것으로 나타났다. 그리고, 앵커의 선행인장력은 초기에 18%정도가 즉시손실에 의하여 감소하며, 하단에 설치된 앵커의 선행인장력 도입에 따른 상단 앵커축력의 감소는 바로 상단에 설치된 앵커에서 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

**경사계 계측결과**

Fig. 5는 A-A단면의 흙막이벽 내부 및 배면경사면에 설치된 경사계로부터 측정된 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위를 시공단계별로 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서 흙막이벽의 수평변위는 흙막이벽의 상부에서 초기에 107.4 mm 발생한 후 굴착기간중에는 2~4단 앵커에 가한 인장력의 영향으로 75 mm정도까지 감소하였으나 굴착시공이 완료된 후 4개월이 경과하는 동안 133.89 mm로 증가하였다. 그러나 흙막이벽 하부의 수평변위는 3단, 4단 앵커에 인장력의 도입으로 인하여 계속적으로 감소하여 4단계 굴착이 완료되고 3개월후의 수평변위는 1단계 굴착완료 후 보다 매우 작게 발생하고 있다. Fig. 5(b)에서 배면지반의 수평변위는 1단계 굴착이 완료된 후 지표면

에서 114.7 mm 발생하여 굴착이 진행됨에 따라 수평변위는 증가하기 시작하여 2단계 굴착이 완료되고 앵커에 인장력을 도입한 직후에는 지표면에서 126.1 mm가 발생하였다. 배면지반의 수평변위는 흙막이벽과는 달리 앵커의 인장력에 영향을 받지않고 지표면 뿐만아니라 지중변위도 크게 증가하였다. 굴착깊이가 깊어질수록 배면지반의 수평변위는 더욱 증가하여 3단계 굴착이 완료된 후에는 170~180 mm정도 발생하였다. 4단계 굴착이 완료된 후부터 3개월이 경과될 때 까지 배면지반의 수평변위 증가량은 미세하여 안정된 상태를 유지하고 있어 배면지반의 장기 거동의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

한편, Fig. 6은 B-B단면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위를 시공단계별로 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에서 흙막이벽의 수평변위는 1단계 굴착이 완료된 후 흙막이벽 상부에서 33.26 mm 발생하여 굴착시공이 진행됨에 따라 점차 증가하고 있다. 굴착시공이 완료되고 3개월이 경과한 후 흙막이벽 상부의 수평변위는 125.45 mm까지 증가하였다. 1단 앵커 상단부의 흙막이벽 변위는 굴착시공이 진행되면서 점차적으로 증가하는 경향을 보이고 있으나, 2단 앵커가 설치된 GL(-)3.0 m부근에서의 흙막이벽의 수평변위는 배면측으로 45.0 mm가 발생하였다. 한편, GL(-)4.5 m이하에서의 흙막이벽의 수평변위는 매우 작게 발생하고 있으며 굴착시공이 진행되는 동안 그 변화량도 매우 작게 나타나고 있다. 이와 같이 상부에서 흙막이벽의 수평변위가 크게 발생하는 것은 그림에서 보는 바와 같이 1단에 설치된 앵커의 축력이 15 ton이하로 매우 작게 작용하고 있기 때문이라 판단된다. Fig. 6(b)에서 배면지반의 수평변위는 1단계 굴착이 완료된 후 지표면에서 47.60 mm 발생하여 굴착시공이 진행됨에 따라 점진적으로 증가하여 굴착시공 완료되고 3개월이 경과된 후에는 86.0 mm 정도까지 증가되었다. 그러나 2단계 굴착이 완료될 때까지 지반상부 GL(-)1.2m~2.5m지점 및 GL(-)7.0m~12.0 m 지점에서는 배면지반의 수평변위가 감소하여 배면측으로 발생하고 있다. 그러나 2단계 굴착이 완료된 후부터 배면지반의 수평변위는 굴착면측으로 발생하기 시작하여 4단계 굴착이 완료된 후에는 48.81~66.56 mm 정도로 크게 증가하였다.

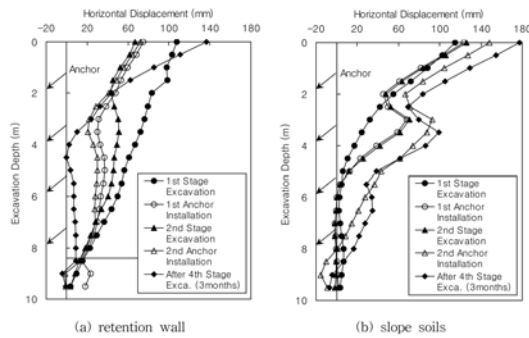


Fig. 5. Horizontal displacements of retention wall and slope soils behind the wall (section A-A).

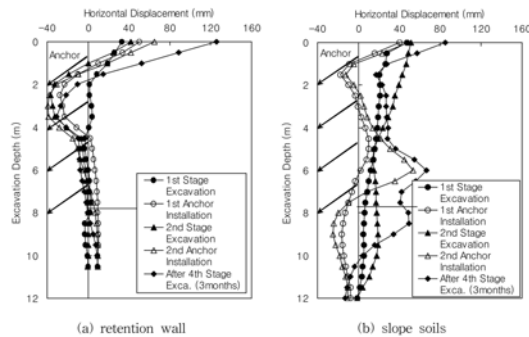


Fig. 6. Horizontal displacements variation of retention wall and slope soils behind the wall considering construction stage (section B-B).

**흙막이벽 및 배면지반의 변형거동 분석**

**굴착에 의한 영향**

굴착에 의한 흙막이벽과 배면지반의 상호거동을 비교하기 위하여 각 굴착시공단계별로 흙막이벽과 배면지반의

수평변위를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 굴착시공이 진행됨에 따라 흙막이벽의 수평변위는 전반적으로 감소하는 반면 배면지반의 수평변위는 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 단계별 굴착이 완료된 후 각 띠장에 설치된 앵커에 가한 인장력과 흙막이벽의 강성으로 인하여 흙막이벽의 수평변위는 억제된 반면 흙막이판 배면에 뒷채움된 흙이 다짐이 제대로 이루어지지 않아 배면지반이 크게 이완되어 흙막이말뚝 사이의 지반이 소성상태에 있어 배면지반의 수평변위는 증가한 것으로 판단된다. 또한, Fig. 7(d)와 Fig. 8(d)에 나타난 바와 같이 최종굴착시공이 완료된 3개월 후부터는 흙막이벽과 배면지반의 수평변위량은 매우 큰 차이가 발생되고 있다. A-A단면의 경우, 배면지반위 수평변위가 흙막이벽보다 최대 100 mm정도, B-B단면의 경우, 최대 83 mm정도로 크게 발생하고 있어 지반의 소성 거동으로 인하여 흙막이벽에 상당히 큰 측방토압이 작용하고 있다고 판단된다. 즉, 흙막이벽은 앵커의 인장력과 벽체의 강성에 의해서 배면의 토압에 저항하고 있음을 알 수 있다.

단계별 굴착시공에 따른 A-A단면의 흙막이벽과 배면지반의 변형거동은 Fig. 7(a)에 나타난 바와 같이 1단계 굴착이 완료된 후 앵커가 설치되기 전에는 흙막이벽의

수평변위가 배면지반의 수평변위 보다 크게 발생하고 있다. 앵커가 설치된 후에는 Fig. 7(b)에 나타난 바와 같이 1단 앵커가 설치된 지점까지는 앵커의 인장력에 의해 굴착면 상부에서는 흙막이벽의 수평변위는 감소하고 상대적으로 배면지반의 변형은 증가하고 있으며, 하부에서는 여전히 흙막이벽의 수평변위가 크게 나타나고 있다. 이러한 경향은 Fig. 7(c)에 나타난 바와 같이 2단계 굴착이 완료되고 2단앵커가 설치된 후에도 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 Fig. 7(d)에 나타난 바와 같이 4단 앵커가 설치되고 굴착시공이 완전히 완료된 후 흙막이벽의 수평변위는 굴착면 상부에서는 증가하고 있지만 굴착면 하부에서는 감소하여 거의 변형이 발생하지 않고 있다. 그러나 배면지반의 수평변위는 더욱 증가하여 하부지반에서도 상당한 변형이 발생되고 있다. 따라서 굴착배면지반의 변형형태로 미루어 볼 때 경사진 사면에 설치된 흙막이벽 상부에는 매우 큰 토압이 작용하고 있음을 알 수 있다.

B-B단면의 경우, Fig. 8(a), (b)에 나타난 바와 같이 초기 굴착시공단계에 있어서 흙막이벽과 배면지반의 변형거동은 A-A단면과는 다른 경향을 보이고 있다. Fig. 8(a)에서 1단계 굴착이 완료된 후 배면지반의 수평변위는 흙막이벽의 수평변위보다 크게 나타나고 있다. Fig. 8(b)에서 1단 앵커가 설치된 후의 흙막이벽의 수평변위는 앵커의

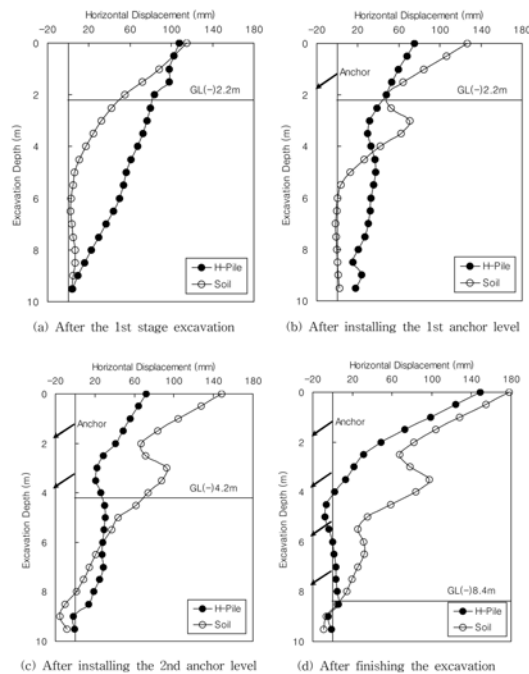


Fig. 7. Comparison between horizontal displacements of retention wall and slope soils (section A-A).

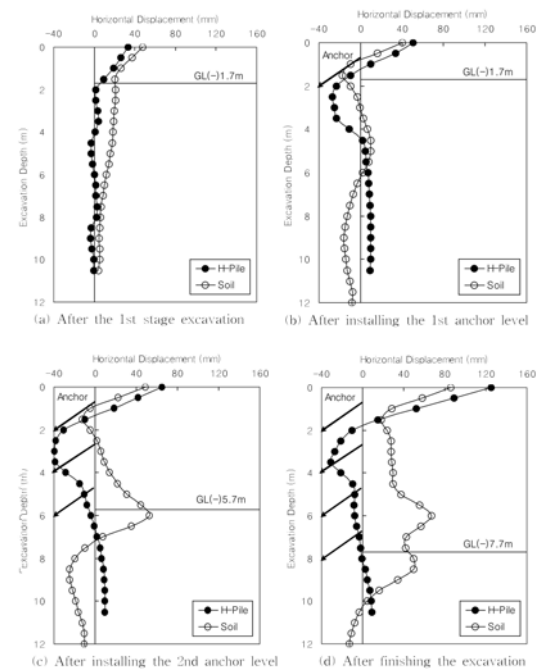


Fig. 8. Comparison between horizontal displacements of retention wall and slope soils (section B-B)

인장력에 의하여 감소하면서 굴착배면쪽으로 발생하고 있으며, 배면지반의 수평변위도 크게 감소하여 배면쪽으로 발생하고 있다. 그러나 Fig. 8(c), (d)에 나타난 바와 같이 굴착이 계속 진행되어 3단 앵커가 설치된 후부터는 흙막이벽의 수평변위는 굴착면 상부에서는 증가하고 있지만, 굴착면 하부에서는 2단, 3단, 4단에 설치된 앵커의 인장력에 영향을 받아 여전히 굴착배면쪽으로 변위가 발생하고 있다. 반면, 배면지반의 수평변위는 3단 앵커가 설치된 후부터 증가하기 시작하여 굴착시공이 완전히 완료된 후에는 배면지반의 수평변위가 흙막이벽의 수평변위보다 훨씬 크게 발생하고 있다. 따라서 B-B단면도 A-A단면과 마찬가지로 굴착이 완료되면서 흙막이벽에 큰 축방토압이 작용하고 있음을 알 수 있다.

**앵커의 인장력에 의한 변형거동**

Fig. 9는 앵커의 인장력에 의한 흙막이벽 및 배면지반의 변형거동을 분석하기 위하여 A-A단면에 설치된 1단 앵커에 인장력이 도입되기전과 도입된 후의 흙막이벽과 배면지반의 수평변위 변화량을 나타낸 것이다.

Fig. 9(a)에 나타난 바와 같이 1단 앵커에 인장력을 도입하였을때 흙막이벽의 수평변위는 전반적으로 감소하고 있다. 특히, 앵커가 설치된 GL(-)1.2m지점에서는 흙막이벽의 수평변위가 약 50mm정도 감소하였다. 이러한 흙막이벽의 변형은 Bowles(1996)이 언급한 연성벽체의 변형거동에서 제 1, 2단계와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 한편, Fig. 9(b)에 나타난 바와 같이 배면지반의 수평변위의 변화는 1단 앵커에 인장력을 도입하였을때 앵커가 설치된 위치에서 배면지반의 수평변위는 감소하고 있으나 흙막이벽의 수평변위 감소량 보다는 훨씬 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 1단 앵커가 설치된 GL(-)2.5m~5.0m 하부지점에서는 앵커가 설치되기 전보다 배면지반

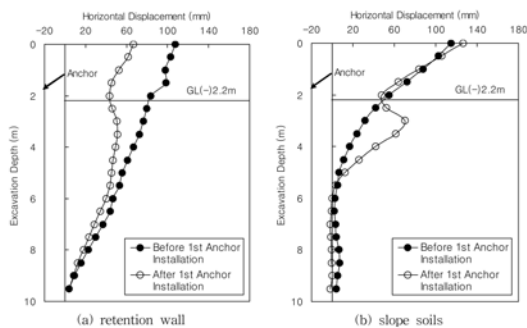


Fig. 9. Variation of horizontal displacements according to jacking force of anchor.

의 수평변위가 훨씬 크게 발생하고 있으나 GL(-)6.0 m 하부에서는 흙막이벽의 수평변위보다 배면지반의 수평변위는 거의 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

따라서 Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9의 분석결과에 의하면 앵커의 인장력은 흙막이벽의 변형에는 큰영향이 미치지만 배면지반의 변형에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

**강우에 의한 영향**

굴착으로 인한 흙막이벽 및 배면지반의 변형에 미치는 영향이 강우에 의한 영향보다 크게 나타나므로 강우에 대한 영향에 대해서는 굴착이 완료되고 옹벽시공이 완성된 이후의 거동에 대해서만 고려하는 것으로 하였다.

Fig. 10은 강우에 의한 흙막이벽과 배면지반의 거동을 분석하기 위하여 1월 1일~8월 15일까지 부산지방의 강우량 및 배면지반의 지하수위 변화를 나타낸 것이다. 이러한 강우량 및 지하수위 변화를 토대로 흙막이벽과 배면지반의 변형거동에 미치는 영향을 분석정리하면 Fig. 11 및 Fig. 12과 같다. 그림은 3일간 누적강우량이 135 mm를 기록한 7월 29일을 기준으로 강우전 10일, 강우후 5일의

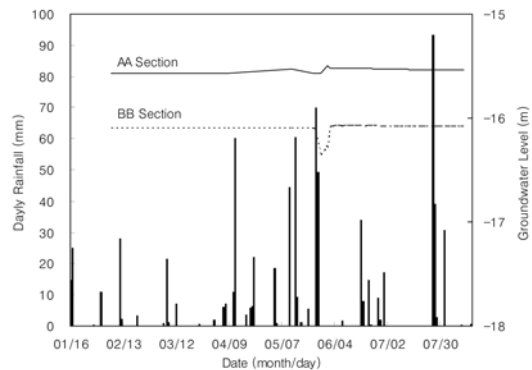


Fig. 10. Variation of daily rainfall and groundwater level.

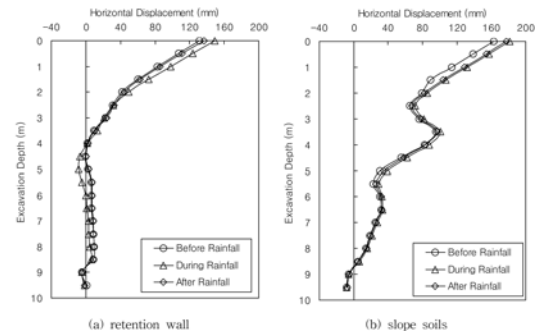


Fig. 11. Variation of horizontal displacement according to rainfall (section A-A).

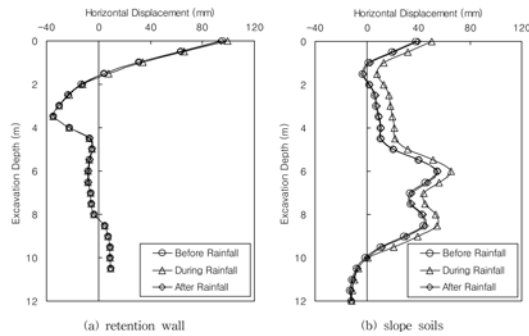


Fig. 12. Variation of horizontal displacement according to rainfall (section B-B).

흙막이벽과 배면지반의 수평변위 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 11(a)에 나타난 바와 같이 A-A단면에 설치된 흙막이벽의 수평변위는 강우 직후인 7월 29일 흙막이벽 상부에서 최대 15 mm 정도 증가하였다가 5일 후인 8월 4일에는 강우전의 변위로 회복되고 있다. Fig. 12(a)에 나타난 바와 같이 B-B단면에 설치된 흙막이벽의 수평변위는 흙막이벽의 상부에서는 강우 직후 약간 증가하였다가 강우전의 변위로 회복되고 있으나 그밖의 부분에서는 전반적으로 강우 전후의 변위의 변화는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 한편, Fig. 11(b)에 나타난 바와 같이 A-A단면의 경우, 배면지반의 수평변위는 강우 직후 지반상부에서는 강우전보다 최대 20 mm 정도 증가하였으며 하부지반에서는 강우전과 비슷하게 발생하고 있다. 그러나 흙막이벽의 변형거동과는 달리 A-A단면의 배면지반 상부에서 강우직후에 발생한 수평변위는 강우전의 변위로 회복되지 않고 그대로 유지하고 있는 것으로 나타났다. 반면, Fig. 12(b)에 나타난 바와 같이 B-B단면의 경우, 강우 직후 발생한 배면지반의 수평변위는 강우전보다 최대 10 mm 정도 전범위에 걸쳐 증가하였으나 강우후 5일 후인 8월 4일에 측정된 수평변위는 강우전의 변위로 회복되는 것을 나타냈다.

이러한 흙막이벽과 배면지반의 변위회복현상은 지하수위 계측결과 Fig. 10에 지하수의 상승이 거의 없는 것으로 나타나고 있어 지하수의 영향은 그다지 크지 않았다는 것을 알 수 있다. 따라서 강우로 인하여 발생한 흙막이벽과 배면지반의 수평변위는 강우 직후 전반적으로 증가하고 건조기에는 증가되었던 변위가 대부분 회복되는 것을 알 수 있다. 즉, 굴착배면지반이 경사진 사면으로 되어 있어 일시적인 강우로 인하여 형성된 지표수는 지반속 깊이 침투되지 못하고 상부지반의 지표면에만 침투하여 지표면 지반이 습윤상태가 되고 이로 인하여 상부지반의

흙은 단위체적중량이 증가하게 된다. 이 증가된 흙의 단위체적중량은 흙막이벽에 작용하는 측방토압을 증가시켜 수평변위의 발생을 유발시키게 된다. 그러나 건조기에는 상부지반이 건조되어 흙의 단위체적중량이 감소되어 흙막이벽과 배면지반의 수평변위는 회복되지만, 배면지반의 경우 일부만 회복되는 경향을 보이고 있다. 이는 지반은 흙막이벽과는 달리 탄소성 재료이므로 가해진 하중이 제거되더라도 변형량의 일부가 완전히 회복되지 않는 소성상태를 유지하고 있기 때문이라고 판단된다.

### 굴착깊이와 수평변위

Fig. 13은 굴착배면지반이 경사진 사면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위를 굴착깊이에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 횡축은 최종굴착깊이에 대한 단계별 굴착깊이로 나타내고, 종축은 최종굴착깊이에 대한 수평변위로 무차원화시켜 나타낸 것이다

그림에서 보는 바와 같이 각 굴착단계별 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위는 대부분 굴착깊이의 1.0%H에서 3.0%H 사이에서 발생하고 있으며 전반적으로 흙막이벽의 수평변위가 배면지반의 수평변위보다 크게 발생하는 경향을 보이고 있다. 배면경사지면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 최대수평변위는 굴착배면지반이 수평지표면의 경우보다 2배에서 6배정도 크게 나타나고 있다. 홍원표 및 윤중만(1995)은 굴착배면지반이 수평인 앵커지지 흙막이벽의 계측자료를 토대로 최대수평변위는 굴착깊이의 0.5%H에서 발생된다고 제안한 바 있다. 이와 같이 배면경사지면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위가 크게 발생하고 있는 것은 측방토압의 크기가 수평지표

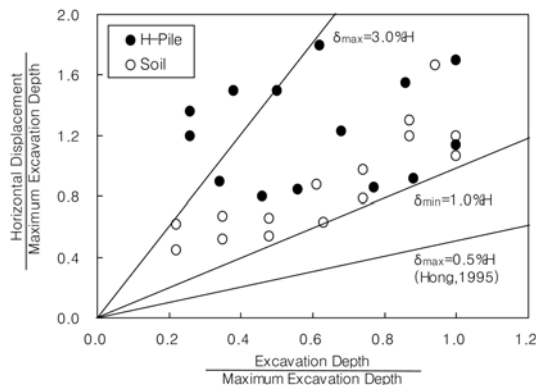


Fig. 13. Relationship between horizontal displacement and excavation depth.

면인 경우보다 크기 때문이라고 판단된다.

한편, 그림에서 굴착배면지반의 최대수평변위는 굴착 깊이가 증가할수록 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있는 반면, 흙막이벽의 수평변위는 굴착초기 단계에서의 수평변위가 크게 발생하고 있으며 굴착이 진행되는 동안 굴착깊이에 대한 수평변위의 증가율은 거의 일정하게 나타나고 있다. 따라서 배면경사지에 설치된 앵커지지 흙막이벽의 과도한 수평변위를 억제하기 위해서는 굴착초기 단계에서 세심한 시공관리를 실시할 필요가 있다.

## 결 론

흙막이벽이 배면사면과 함께 붕괴된 사고현장을 시험 시공현장으로 선정하여 흙막이벽을 사면 전면부에 재시공한 후 현장계측을 실시하여 배면경사면에 설치된 흙막이벽과 배면지반의 변형거동을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 굴착초기 단계에서는 흙막이벽의 변형이 지반의 변형보다는 크게 나타나지만, 굴착깊이가 깊어짐에 따라 지반의 변형이 크게 나타나고 있다. 이것은 흙막이벽의 변형이 흙막이말뚝의 강성과 앵커인장력에 의하여 억제된 반면, 굴착배면지반은 굴착에 따른 수동토압(저항력)이 감소로 인하여 흙막이벽 배면지반의 활동력이 증가하였기 때문이다.

(2) 앵커에 도입된 선행인장력은 흙막이벽의 변형거동에는 큰 영향을 미치지만 배면지반의 변형거동에 미치는 영향은 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

(3) 강우에 의하여 발생하는 흙막이벽과 배면지반의 변형은 강우 직후 일시적으로 증가하였다가 건조기에는 상부지반이 건조되어 흙의 단위체적중량이 감소되므로 흙막이벽과 배면지반의 수평변위는 회복된다. 배면지반의 경우 일부만 회복되는 경향을 보이는데 이것은 탄소성 재료인 지반에 가해진 하중이 제거되더라도 소성상태의 변형량은 회복되지 않기 때문이다. 이러한 변형거동은 강우에 따른 지하수위변화보다는 지표부근에 침투된 침투수의 영향이 큰 것으로 나타났다.

(4) 굴착배면의 경사진 사면에 설치된 앵커지지 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위는 굴착배면지반이 수평인 흙막이 굴착의 경우 보다 2~6배 정도 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

## 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 '기본사업인 급경사지 및 휴폐광산지역의 재해예방기술 개발' 과제의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 강병희, 홍원표, 김홍택, 1993, 부산 에덴 금호아파트 신축 부지 절개사면 안정성 검토 연구보고서, 대한토목학회.  
이종규, 전성곤, 1993, 다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압분포, 한국지반공학회논문집, 9(1), 59-68.  
홍원표, 윤중만, 1995, 지하굴착시 앵커지지 흙막이벽 안정성에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 15(4), 991-1002.  
홍원표, 이기준, 1992, 앵커지지 굴착흙막이벽에 작용하는 측방토압, 한국지반공학회논문집, 8(4), 87-95.  
홍원표, 한중근, 강준식, 1998, 경사면에 설치된 앵커지지 흙막이벽의 사면안정 효과, 대한토목학회 학술발표회 논문집, II, 451-454.  
Bowles, J. E., 1996, Foundation Analysis and Design, 5th Ed., McGraw-Hill, 644-681.  
Hong, W. P. and Yun, J. M., 1996, Lateral Earth Pressure Acting on Anchored Excavation Walls for Building Construction, Proc. 12th Southeast Asian Geotechnical Conference, Malaysia, I, 373-378.  
Yoo, C. S., 2001, Behavior of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock, Jour. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127(3), 225-233.

2009년 11월 4일 원고접수, 2009년 12월 12일 게재승인

### 윤중만

안산공과대학 건설계열 건설전공  
425-792, 경기도 안산시 단원구 초지동 671  
Tel: 031-490-6155  
Fax: 031-495-7828  
e-mail: jmyun@ansanc.ac.kr

### 송영석

한국지질자원연구원 지구환경연구본부 지질재해연구실  
305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3035  
Fax: 042-868-3414  
e-mail: yssong@kigam.re.kr