

# 절개사면에 설치된 앵커지지 합벽의 변형거동 및 사면안정효과

## Deformation Behavior and Slope Stability Effect of Anchored Retention Walls Installed in Cut Slope

홍 원 표<sup>1</sup> Hong, Won-Pyo

한 중 근<sup>2</sup> Han, Jung-Geun

### Abstract

In order to establish the design method of anchored retention walls in cut slope, the behavior of anchored retention walls and backside ground needs to be investigated and checked in detail. In this study, the behavior of anchored retention walls was investigated by instrumentation installed in cut slope for an apartment construction site stabilized by a row of piles and anchored retention walls. When the anchor was installed at each excavating stages, the horizontal deflection of retention wall decreased, while the horizontal deformation of backside ground increased. The deflection of anchored retention wall decreased as the anchor was prestressed. The prestressed anchor force has a great effect on the deflection of retention walls, while it has little effect on the deformation of its backside ground. The maximum horizontal deflection of anchored retention walls was developed between 1% and 4% of excavation depth, which are 2~8 times larger than max. horizontal deflection of anchored retention walls including rock layers with backside horizontal ground. Meanwhile, SLOPILE (ver. 3.0) program analyzes the slope stability effects for anchored retention walls. As a result of analysis on slope stability analysis, the lateral earth pressure applied at anchored retention piles could be used as the mean values of empirical lateral pressures using anchored retention wall with horizontal ground at its backside.

### 요 지

절개사면에 설치된 앵커지지 흙막이벽의 설계법을 확립하기 위해서는 흙막이벽체 및 배면지반의 변형거동을 규명할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 아파트 신축부지 절개사면의 보강을 위해 앵커지지 흙막이벽과 억지말뚝이 설치된 사면을 대상으로 계측을 수행하였다. 굴착단계별 앵커설치시 흙막이벽의 수평변위는 감소하고 상대적으로 배면지반의 변형은 증가하는 경향이 있다. 앵커력 도입시 흙막이벽의 수평변위는 전반적으로 감소하며, 앵커의 인장력은 흙막이벽의 변형에는 큰 영향을 미치지지만 배면지반의 변형에 미치는 영향은 크지 않았다. 흙막이벽의 최대수평변위는 굴착깊이의 1~4%사이에 발생하며, 암반굴착면을 갖는 배면수평면인 앵커지지 흙막이벽의 최대수평변위보다 2~8배정도 크게 발생된다. 한편, SLOPILE(Ver 3.0)프로그램을 이용하여 앵커지지 흙막이벽의 사면안정효과를 검토하였으며, 사면안정해석시 앵커지지 흙막이말뚝에 작용하는 측방토압은 배면수평면인 앵커지지 흙막이벽에 적용하는 경험토압의 평균값이 적용가능하다.

**Keywords :** Anchored retention wall, Empirical lateral pressure, Excavation, Instrumentation, Slope stability effects

1 정회원, 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 (Member, Prof. Dept. of Civil & Environ. Engrg., Chung-Ang Univ.)

2 정회원, 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil & Environ. Engrg., Chung-Ang Univ., jghan@cau.ac.kr)

## 1. 서론

우리나라와 같이 산지가 많은 곳에 대규모 단지조성이나 도로와 같은 공공시설물을 건설하는 경우 절토사면구간이 포함되는 것이 일반적이다. 이때 절토사면의 안정을 위한 대책공으로 사면에는 억지말뚝공, 앵커공 등이 설치되며 절토면의 안정을 위해서는 억지효과에 정도에 따라 효과적인 대책공으로 절토공과 옹벽공을 채택하게 된다. 특히, 옹벽공은 적극적인 안전율증가 방법으로 가장 많이 사용된다. 그러나, 옹벽공의 경우 비교적 시공기간이 길게 필요할 뿐아니라, 배면 경사면이 안정된 상태를 유지하여야 한다. 즉, 절토사면에 설치된 구조물과 배면 경사지의 안정성을 모두 유지해야 하는 번거로움을 일시에 해결할 수 있는 경제적인 방법이 필요하게 된다. 이와 같은 방법으로 가설흙막이말뚝 및 앵커를 혼합·이용하여 흙막이벽체로 사용함으로써 옹벽공이 시공되기 전까지 경사진 배면의 안정을 유지하도록 하는 방법이 적용될 수 있다. 이러한 경우, 기존에는 억지말뚝의 설계법이나, 흙막이말뚝의 배면을 수평인 상태로 고려하여 경험적인 토압이 적용하고 있다(홍원표 등, 1998, 2004). 흙막이벽에 작용하는 경험토압으로는 도심지에서 실시되는 굴착현장의 흙막이벽 종류에 따른 측방토압에 대한 연구결과들이 활발히 연구, 적용되고 있다(홍원표·이기준, 1992; Hong & Yun, 1996; 이종규·전성권, 1993; 홍원표 등, 1988, 2004; Yoo 등, 2001). 그러나, 사면절토에 의해 경사진 배면을 갖는 흙막이벽체 및 경사진 배면지반에 대한 변형거동이나 그 영향에 대한 연구 및 현장에서의 적용은 아직 미흡하다 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 경사진 배면을 갖는 흙막이벽체의 거동 및 지반변형특성을 조사하기 위해서 사면억지용 앵커지지 합벽식옹벽의 시공사례 및 계측 사례(한중근, 1997)를 이용하고자 하며, 이를 통해 억지말뚝설계법(Matsui et al, 1982)과 현장조건을 고려한 경험토압을 고려한 앵커지지 흙막이벽체의 사면안정효과에 대하여 조사하여 보고자 한다.

## 2. 현장상황

### 2.1 현장개요

본 연구의 대상현장은 부산시 영도구에 위치한 한 아파트 신축부지로 경사가 급한 산지를 절개하여 고층아

파트와 부속건물을 신축하도록 되어있다. 절토사면은 초기에는 흙막이벽 배면 산지를 1:1경사로 굴착한 후 전면 을 약 12.5m 높이의 연직굴착을 실시하기 위하여 굴착면 에 흙막이벽을 설치하고 5단 앵커로 지지하도록 하였다. 굴착시공이 완료된 후에 흙막이벽 전면에 옹벽을 합벽설 치하는 것으로 계획되었다. 그러나, 굴착시공도중 1993 년 7월 26일부터 8월 19일까지 25일동안(8월 4, 5, 6, 11 일 제외) 계속된 강우량 530.3mm(파괴전 8일간의 누적 강우량 169mm)로 옹벽곡선부를 지지하고 있던 앵커가 절단되면서 사면과 함께 흙막이벽이 붕괴되었다.

이에 대한 복구대책으로 그림과 같이 흙막이벽 배면 산지를 1:1.5 구배가 되도록 완화시키고 5m 높이마다 폭 1m, 횡단구배 4%의 소단을 두었으며 흙막이벽 배면 에서 16.5m 떨어진 위치에 상부사면의 파괴를 방지하기 위한 대책공으로 억지말뚝을 연암 1.5m깊이까지 한열 로 설치하도록 하였다. 사면 상부의 지반변형은 억지말 뚝이 저항하는 것으로 하였으며 사면 하부의 지반변형 은 흙막이벽이 지지하도록 하였다. 흙막이벽은 그림과 같이 억지말뚝(H-250×250×9×14)을 사용하여 수평 으로 2m 간격으로 7.7m(BB단면)~8.4m(AA단면) 높이 로 설치하였으며, 앵커지지구조를 채택하였다. 앵커의 설치간격은 연직으로 2m, 수평으로 2m이며 설치각도는 30°로 되어 있다. 또한, 굴착시공이 완료된 후에는 옹벽 을 흙막이벽과 합벽설치하여 굴착시공 중에는 흙막이 벽이 전도압을 받고, 장기적으로는 옹벽과 흙막이벽이 각각 50%씩 하중을 분담하는 것으로 하였다. 그림 2는 대상현장의 평면도와 보강단면도를 나타낸 것이며, 본 연구에서는 대표적으로 A-A단면에 대하여만 고려하기 로 한다.

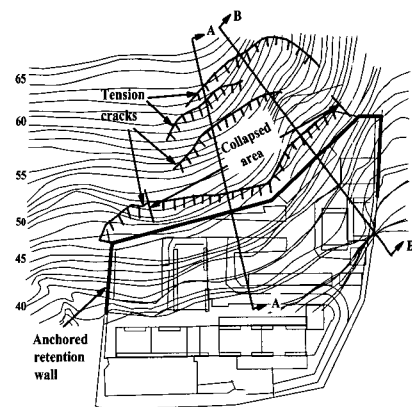


그림 1. 현장평면도

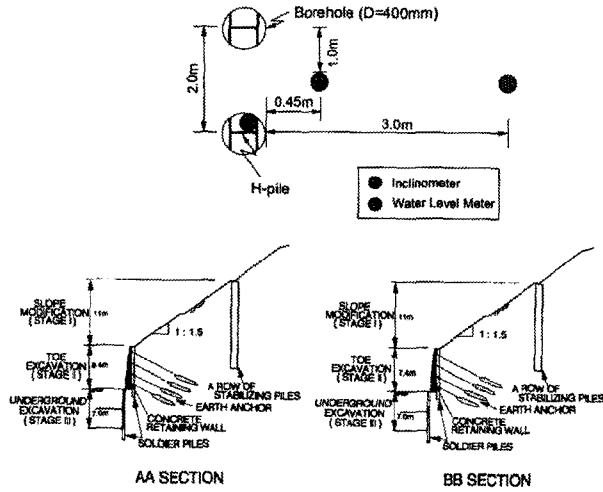


그림 2. 각 단면시공단면도 및 계측기 설치단면

## 2.2 지층개요

본 현장의 지반조건은 지표면으로부터 표토층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층의 순으로 구성되어 있다. 표토층은 0.3~6.7m 두께로 실트섞인 모래 또는 모래섞인 실트로 구성되어 있으며 부분적으로 자갈을 함유하고 있다. 풍화토는 기반암이 풍화된 잔류토층으로서 1.8~14.0m 두께로 분포되어 있다. 지층성분은 주로 실트내지 모래 및 암편으로 구성되어 있으며 조밀한 상태이다. 또한, 풍화암층은 1.5~4.4m 두께로서 4.1~13.4m 깊이까지 분포되어 있으며 모암의 조직이 존재하여 원지반 상태에서는 대단히 치밀하고 안정된 상태에 있다. 연암층은 안산암류로서 지표로부터 5.7~17.8m 깊이까지 분포되어 있으며 파쇄대 및 절리가 발달되어 있어 암질은 매우 불량한 상태이다. 본 연구에 사용된 대상지반의 지반정수들은 그림 9에서 보는 바와 같다(강병희 등, 1993).

## 3. 시공단계별 흠막이벽체의 거동

### 3.1 시공단계별 앵커축력변화 및 재분배

흠막이벽을 지지하고 있는 앵커두부에 설치된 하중계를 이용하여 굴착단계별로 앵커축력을 측정하여 그림 3에 도시하였다. 그림 2의 시공단계중 흠막이벽체 전면의 굴착단계에 따른 앵커설치시기에 따라 앵커력을 측정하는 것이며 첫 번째 앵커설치 전후의 계측결과를 대표적으로 나타낸 것이다. 각 단계별 앵커축력의 측정 결과 굴착단계별 변화는 4단계 굴착시까지 점차 감소

하여 이후 안정된 감소경향을 나타내었다. 초기 앵커력은 선행인장력을 가한 후 Jacking Free시 1차적으즉시감소되는 앵커인장력은 본 현장의 경우 초기인장력의 75%~90%정도로 평균 82%를 유지하였다. 즉, 4개의 선행인장력의 즉시손실은 18%정도였으며 이는 배면수평상태 현장에서 풍화암 이상의 지반을 갖는 앵커지지 흠막이벽에서의 앵커력 즉시손실량이 평균 20% (홍원표 & 윤중만, 1995)인 경우와 거의 비슷하며, 그라운드안카-技術協會(1997)에서 제시한 설계지침 25%~30%와도 거의 유사한 값을 보이고 있어 앵커인장 초기에 양호한 지지력을 갖고 있는 것으로 판단된다.

한편, 상단앵커의 인장력은 하단앵커의 인장에 영향을 받아 앵커력이 재분배되는 현상이 발생한다. 초기에 인장된 최상단 앵커는 다음단계의 굴착 후 실시된 앵커인장력에 의해 최상단 앵커의 앵커축력 재분배가 발생된다. 2단앵커 인장시 1단앵커, 3단앵커 인장시 2단앵커 그리고 4단앵커 인장시 3단앵커의 앵커축력 재분배에 따른 손실율은 12.3%~24.1%, 3단앵커 인장시 1단앵커, 4단앵커 인장시 2단앵커의 축력 손실율은 1.6%~7.6%이었다. 또한, 4단앵커 인장시 1단앵커의 앵커축력 손실률은

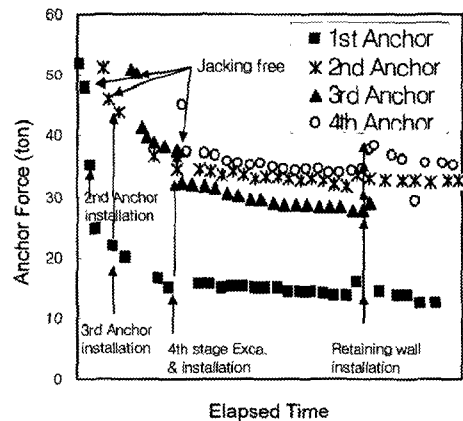


그림 3. 시공단계별 앵커인장력변화

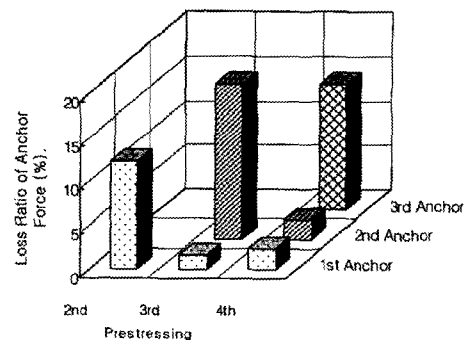


그림 4. 앵커축력의 재분배(AA단면)

2.3%~2.5%로 하단앵커 설치에 따른 상단앵커들의 앵커축력 재분배에 따른 손실율의 평균치는 각각 16.3%, 3.9% 및 2.4%였다. 즉, 하단앵커 설치시 선행인장력에 대한 기존의 상단앵커의 축력감소는 바로 상단에 위치한 앵커에서 가장 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

### 3.2 강우에 의한 영향

그림 5는 1995년 1월 1일~8월 15일까지 부산지방의 강우량 및 배면지반의 지하수위 변화를 나타낸 것이다. 지하수위는 흠막이벽 뒤 3m 지점에서의 지하수위 변화를 측정한 것이다. 이러한 강우량 및 지하수위 변화를 토대로 흠막이말뚝과 배면지반의 변형거동에 미치는 영향을 분석정리하면 그림 6과 같으며 대표적으로 3일간 누적강우량이 135mm를 기록한 7월 29일을 기준으로 강우전 10일, 강우후 5일의 흠막이 말뚝과 배면지반의 수평변위 변화를 나타낸 것이다. 굴착으로 인한 흠막이벽 및 배면지반의 변형에 미치는 영향이 강우에 의한

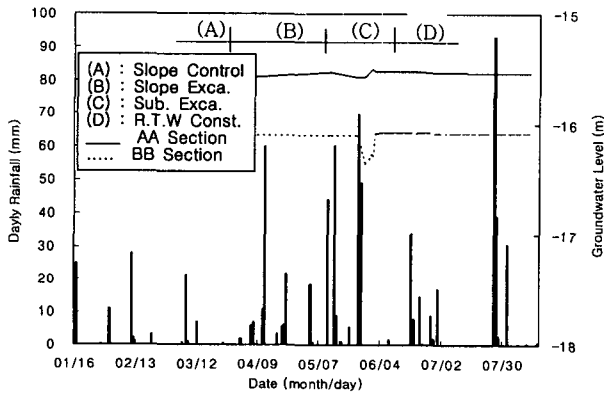
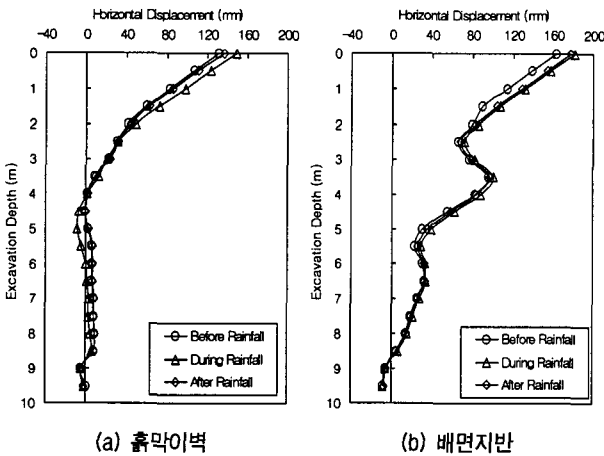


그림 5. 굴착단계별 강우 및 지하수위변화



(a) 흠막이벽

(b) 배면지반

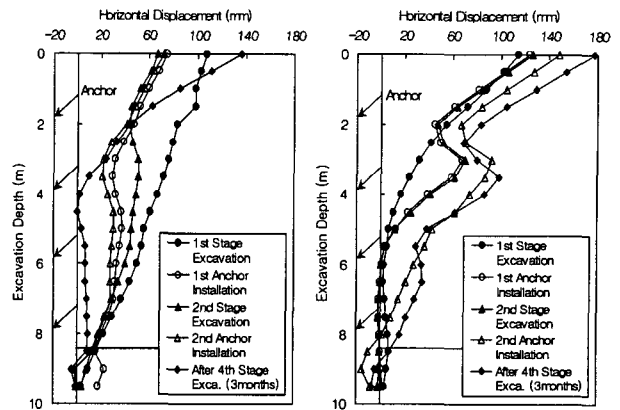
그림 6. 강우에 의한 영향

영향보다 크게 나타나므로 강우에 대한 영향에 대해서는 굴착이 완료되고 옹벽시공이 완성된 이후의 거동에 대해서만 고려하였으며 그림 5의 (D)구간에 해당한다.

그림 6에서 보는 바와 같이 흠막이말뚝의 수평변위는 강우 직후인 7월 29일 흠막이말뚝 상부에서 최대 15mm 정도 증가하였다가 5일 후인 8월 4일에는 강우전의 변위로 회복되고 있다. 배면지반의 수평변위는 강우 직후 지반상부에서는 강우전보다 최대 20mm정도 증가하였으며 하부지반에서는 강우전과 비슷하게 발생하고 있다. 강우에 따른 지하수위 상승효과 및 영향은 그다지 크지 않으므로 강우로 인해 발생된 흠막이벽과 배면지반의 수평변위는 강우직후 전반적으로 증가하고 건조기에는 강우전의 변위로 회복되는 것을 알 수 있으나 그 양은 아주 미소하였다. 이러한 현상은 한준근 등(1997)에 의해 제시된 바와 같이 일시적인 강우전후의 지반에 대한 지하수위 및 지표지반에서의 흠의 일시적 단위체적증량 증감에 따른 흠막이말뚝에 작용하는 측방토압을 증가가 수평변위 발생 및 건조기 지속시 강우전 상태로 회복되는 탄성회복특성을 보이게 된다. 그러나 본 현상의 경우, 흠막이말뚝과 지반의 변형은 이미 장기간 지속적으로 발생하였고 변위발생 및 탄성회복 증분은 각각 최소화되는 경향을 보이고 있어 항복변형상태에 도달되고 있는 상태라 볼 수 있으므로 탄성회복량은 아주 미소하거나 수렴하는 경향을 보인다.

### 3.3 시공단계별 굴착에 의한 영향

그림 7은 흠막이벽 전면굴착시 굴착단계별 앵커설치에 따른 앵커인장력에 의한 흠막이말뚝 및 배면지반의



(a) 흠막이벽

(b) 배면지반

그림 7. 앵커시공단계별 흠막이벽 및 지반 거동

변형거동을 분석하기 위하여 A-A단면에 설치된 1단 앵커에 인장력이 도입되기 전후의 흙막이 말뚝과 배면지반의 수평변위 변화량을 나타낸 것이다. 1단 앵커에 인장력을 도입하였을때 흙막이말뚝의 수평변위는 전반적으로 감소하고 있다. 특히, 앵커가 설치된 GL(-)1.2m지점에서는 흙막이말뚝의 수평변위가 약 50mm정도 감소하였다. 이러한 변형은 Bowles(1996)이 언급한 연성벽체의 변형거동에서 제 1, 2단계와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 한편, 배면지반의 수평변위 변화는 1단 앵커에 인장력을 도입시 앵커가 설치된 위치이외의 수평변위는 흙막이 말뚝의 수평변위 감소량 보다는 훨씬 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 1단 앵커가 설치된 하부의 GL(-)2.5m~5.0m 지점에서는 앵커가 설치되기 전보다 배면지반의 수평변위가 훨씬 크게 발생하고 있으나 GL(-)6.0m 하부에서는 흙막이말뚝의 수평변위보다 배면지반의 수평변위는 거의 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 앵커의 인장력은 흙막이 말뚝의 변형에는 큰 영향이 미치지지만 배면지반의 변형에 미치는 영향은 크지 않으며 지반강성이 심층부로 갈수록 큰 경우 그 영향은 작음을 알 수 있다

#### 4. 앵커지지 흙막이말뚝의 사면안정효과

본 연구에서와 같이 절개사면의 안정을 위해 설치되는 흙막이벽체의 경우, 사면활동의 대한 저항력의 평가가 곤란하므로 사면안정효과를 평가하기도 어렵다. 왜냐하면, 배면경사를 갖는 흙막이벽체의 경우, 사면의 잠재적 활동면내에 흙막이말뚝이 설치됨에도 불구하고 배면수평지반인 상태의 흙막이벽체로서 설계되어 시공되고 있는 실정이기 때문이다. 따라서, 이 경우 배면경사지 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 경험토압 및 말뚝간 지반의 소성상태를 고려한 사면활동토압을 적용하는 경우의 흙막이벽의 사면안정효과 및 억지시스템으로서 흙막이벽체와 지반의 거동을 검토하여 보고자 한다.

##### 4.1 흙막이벽에 작용하는 측방토압과 억지시스템

흙막이벽에 작용하는 활동력이 되는 측방토압으로 경험토압은 Terzaghi & Peck(1967), Tschebotarioff(1973) 및 Hong & Yun(1996)의 방법을 적용하고, 억지말뚝시스템에 작용하는 측방토압은 기존에 적용되어 오고 있는 말뚝사이의 간격비( $D_2/D_1$ )를 고려한 Matsui et al(1982)이

제시한 측방토압식을 적용하였다(그림 8 참조). 말뚝의 저항력으로는 말뚝에 작용하는 지반반력을 굴착깊이에 대하여는  $E_s=0$ 으로 적용하였으며 Poulos(1971)와 Marche & Lacroix(1972)가 제시한 값을 이용하였다. 말뚝과 지반의 상호관련식은 말뚝하부의 지반반력과 말뚝의 작용력을 고려할 수 있도록 활동면하부와 상부에 대해 각각  $E_p I_p (d^4 y/dz^4) = -E_s y$ 와  $E_p I_p (d^4 y/dz^4) + E_s y = p_m(z)$ 을 적용하였다. 이때 토압은 말뚝의 안정을 고려한 경우에 작용하는 토압으로 그림 8과 같은 토압을 말뚝의 부가계수를 도입한 상태의 토압  $p_m(z) = a_m \times p(z)$ 이다.

본 연구를 위하여 사면활동억지말뚝 설계프로그램인 Slopile(Ver 3.0)에 그림 8의 경험토압식을 변환시켜 적용하였으며 이때 사용된 해석대상 지반은 그림 9에서와 같고 활동지층은 풍화토층으로 구성되어 있어 경험토압 적용시 Terzaghi & Peck과 Tschebotarioff는 모래지반, Hong & Yun은 토사지반에 대하여 주동상태의 측방토압을 적용하였다.

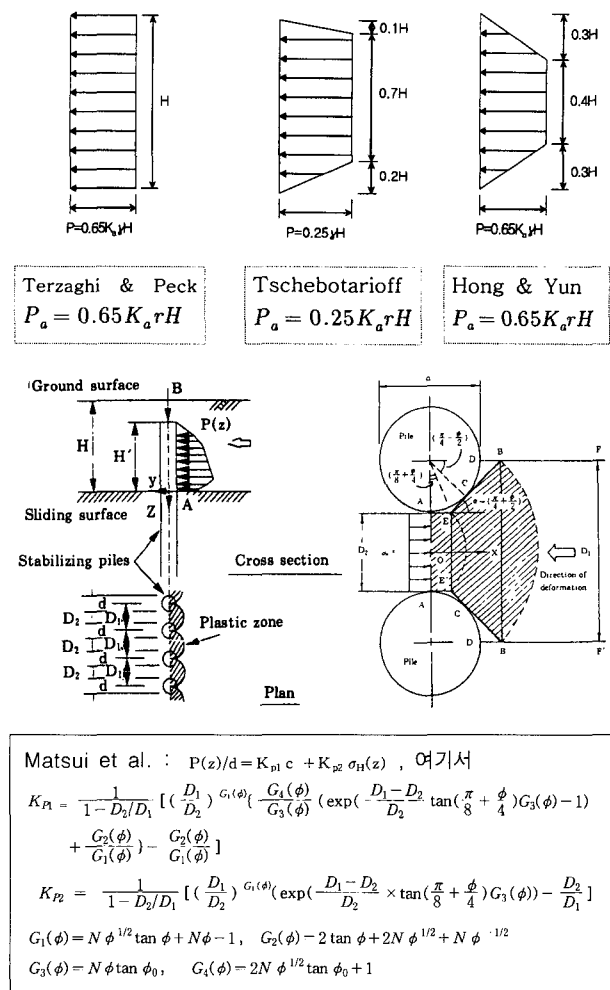


그림 8. 실제 적용된 토압

#### 4.2 흠막이벽의 거동 및 사면안정효과

경사면에 설치된 앵커지지 흠막이벽의 사면안정효과를 알아보기 위해 그림 1의 A-A단면을 그림 9와 같이 단순화하였다. 흠막이말뚝의 사면안정효과를 고려하지 않는 경우(단, 굴착단면이 붕괴되지 않고 자립이 가능한 상태로 가정), Slopile(ver 3.0)과 STABL5M을 이용한 사면안정해석결과 사면안전율은 0.92와 0.89로 근소한 차이를 나타내고 있다. 본 절에서는 말뚝과 지반과의 상호효과를 고려하기 위해 일반적으로 상용화되고 있는 프로그램중 Slopile를 이용하였다. 기존의 억지말뚝에 적용하는 측방토압식(Matsui et al, 1982)을 흠막이벽체에 그대로 적용하여 벽체의 저항력을 산정하는 경우, 사면안전율은 1.06으로, 안전율이 0.14 향상되었다. 이때 벽체의 저항력은  $10.26 \text{ t/m}^2$ , 지반반력은  $21.57 \text{ t/m}^2$ 이다. 그림 8의 경험토압을 억지시스템의 벽체에 활동력으로 작용하면, Hong · Yun, Terzaghi · Peck 그리고 Tschobotarioff의 측방토압을 사용하는 경우, 표 1과 같이 사면안전율은 각각 1.04, 1.04 그리고 1.03이었다. 결국, 흠막이벽체를 설치하지 않은 경우에 비하여 Hong · Yun, Terzaghi · Peck, Tschobotarioff, 그리고 Matsui et al의 측방토압에 의한 사면안전율은 각각 0.12, 0.12, 0.11 그리고 0.14만큼 향상되는 효과를 얻을 수 있다. 즉 흠막이벽체와 옹벽공의 지지효과를 50%씩 중첩하여 합

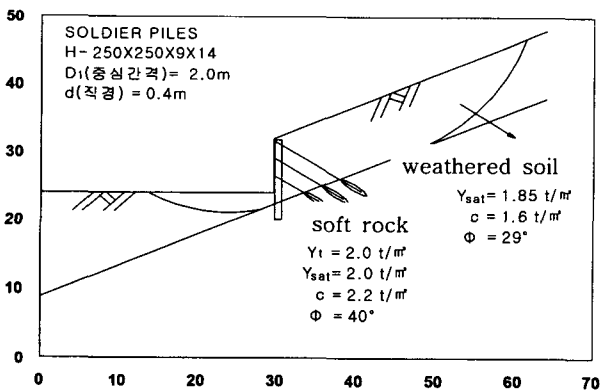


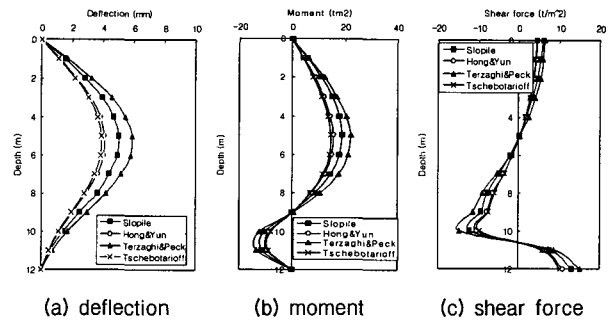
그림 9. 해석단면

표 1. 사면안정해석 결과

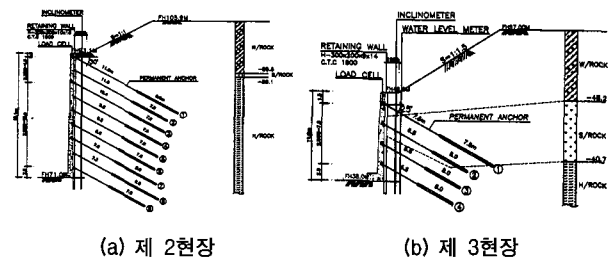
적용 수평토압	Matsui et al	Hong · Yun	Terzaghi · Peck
안전율	1.06	1.04	1.04
적용 수평토압	Tschobotarioff	non-considered pile effect	-
안전율	1.03	0.92	-

벽식으로 적용하는 흠막이벽체의 억지시스템의 보강효과를 확인할 수 있었다.

한편 경사지에 설치된 앵커지지 흠막이 말뚝의 사면안정효과를 조사하기 위하여 적용된 경험토압식들을 Slopile에 수정하여 적용한 결과는 그림 10과 같다. 말뚝의 두부와 선단조건은 모두 앵커지지 및 암반내 근입된 것으로 간주하여 각각 힌지 및 고정상태로 고려하였다. Terzaghi · Peck식은 주어진 흠막이말뚝의 안정을 만족시키지 못하는 과대한 측방토압이 적용되고 있고, Hong · Yun식은 Tschobotarioff식과 거의 같은 말뚝의 거동을 나타내고 있다. Matsui et al. 등이 제안한 측방토압은 이들 값들의 중간값으로 각 산정식의 평균값에 해당한다. 따라서 경사진 배면지반을 갖는 앵커지지 흠막이말뚝의 사면안정효과를 고려한 사면안정해석에는 수평배면지반을 갖는 경험토압의 평균값을 사용할 수 있을 것으로 제안할 수 있다. 이러한 앵커지지효과를 고려하기 위해 앵커지지 흠막이벽 시공현장 사례(그림 11)에 대해



(a) deflection (b) moment (c) shear force  
그림 10. 여러 가지 토압이 적용된 앵커지지 옹벽의 해석결과



(a) 제 2현장 (b) 제 3현장

현장	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (°)	단위중량 (t/m³)	
제2현장	W/S	1.35	25.5	1.85
	W/R	1.5	35	1.9
	S/R	2.0	40	2.0
제3현장	W/R	2.0	35	2.0
	S/R	3.0	38	2.1
	H/R	5.0	42	2.2

그림 11. 시공현장단면도 및 설계정수

표 2. 앵커지지 흙막이벽의 사면안정효과

고려조건	사면안정효과 무시		사면안정효과 고려		역지말뚝으로 고려	
	불포화	포화	불포화	포화	불포화	포화
제 1 현장 (그림 1)	1.78	1.32	1.81	1.35	1.83	1.37
제 2 현장	1.34	0.98	1.40	1.04	1.41	1.05
제 3 현장	1.91	1.59	2.03	1.71	2.03	1.71

Hong · Yun식과 Matsui et al.식을 적용하였으며 그 결과는 표 2와 같이 사면안정효과를 만족할 수 있었으며, 흙막이말뚝의 거동은 그림 10과 같은 거동을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

### 4.3 굴착깊이와 수평변위

그림 12는 굴착배면지반이 경사진 사면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위를 굴착깊이에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 횡축은 최종굴착깊이에 대한 단계별 굴착깊이 ( $H/H_{max}$ )로 나타내고, 종축은 최종굴착깊이에 대한 수평변위 ( $\delta/H_{max}$ )로 무차원화시켜 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 굴착단계별 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위는 대부분 굴착깊이의 1.0%H에서 4.0%H 사이에서 발생하고 있으며 전반적으로 흙막이말뚝의 수평변위가 배면지반의 수평변위보다 크게 발생하는 경향을 보이고 있다. 배면경사지면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 최대수평변위는 암반지반을 굴착면에 포함한 굴착배면지반이 수평지표면의 경우(홍원표 · 윤중만, 1995)보다 2배에서 8배정도 크게 나타나고 있다. 이와 같이 배면경사지반에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 수평변위가 크게 발생하고 있는 것은 측방토압의 크기가 수평지표면인 경우보다 크기 때

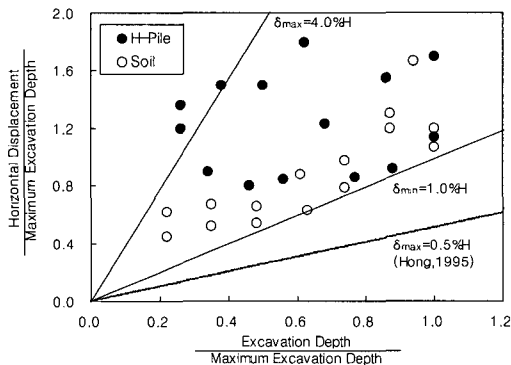


Fig. 12. 수평변위와 굴착깊이와의 관계

문이라고 판단된다.

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

### 5. 결론

앵커지지 흙막이용벽의 계측결과를 이용하여 경사진 배면을 갖는 앵커지지 흙막이벽체의 거동을 조사하고, 일반적으로 적용되고 있는 배면수평지반에 설치된 앵커지지 흙막이벽체의 경험토압과 역지말뚝에 작용하는 토압을 적용하여 사면안정효과를 조사하였다. 또한, 이를 위해 배면지반 거동에 영향을 미치는 강우특성, 앵커축력변화 및 시공굴착단계별 변화를 조사·분석하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 앵커력 도입시 흙막이말뚝의 수평변위는 전반적으로 감소하며 Bowles(1996)이 제시한 연성벽체의 변형거동의 1, 2단계와 유사거동을 하며 앵커의 인장력은 흙막이말뚝의 변형에는 큰 영향을 미치지 않지만 배면지반의 변형에 미치는 영향은 크지 않는다. 또한, 상단앵커 인장력은 하단앵커의 인장에 영향을 받아 앵커력에 재분배되는 현상이 발생되며 하단앵커 설치시 선행인력에 대한 기존 상단앵커의 축력감소는 바로 상단에 위치한 앵커에서 가장 큰 영향을 받는다.
- (2) 일시적 혹은 집중강우에 의한 역지말뚝과 지반의 변형과 건조기 이후 탄성회복은 이미 알려져 있는 바와 같은 동일한 거동을 보인다. 계측결과 지속적으로 변위가 발생하고 있으나 지반 및 말뚝의 변형 증분은 최소화되고 있으므로 항복변형상태에 도달한 것으로 판단된다. 따라서 탄성회복량은 아주 미소하게 발생하거나 수렴된 경향을 나타내고 있다.
- (3) 배면지반이 수평인 앵커지지 흙막이말뚝에 적용되는 경험토압식(Terzaghi & Peck, Tsebortarioff, Hong & Yun)과 역지시스템에 적용되어 오는 기존식(Matsui

et al, 1982)을 역지시스템에 적용하여 범용프로그램인 SLOPILE(Ver 3.0)으로 해석을 수행하였다. 본 현장에서의 흙막이말뚝과 합벽식 옹벽에 대한 보강 효과는 각각에 대하여 50%씩 나타남을 확인할 수 있다. 또한, 배면수평인 상태에서 경험토압식의 평균값을 역지시스템에 적용하는 경우 사면안정효과를 고려한 측방토압으로 적용가능함을 확인할 수 있었다.

- (4) 배면경사진 앵커지지 흙막이말뚝과 배면지반의 수평변위는 대부분 굴착깊이의 1%~4%사이에서 발생하며 전반적으로 흙막이말뚝이 배면지반보다 수평변위가 크게 발생하는 경향을 보이고 있다. 그리고, 굴착면에 암반을 포함하는 굴착배면이 수평인 앵커지지 흙막이벽의 변위보다 2배~8배정도 크게 나타난다. 이는 사면활동으로 인하여 흙막이벽에 작용하는 측방토압이 크게 작용하고 있기 때문이며, 배면경사진 앵커지지 흙막이말뚝 보강시 수평변위는 굴착초기에 크게 발생하며 계속된 굴착단계별 수평변위 증가율은 거의 일정한 경향을 보인다.

## 참 고 문 헌

1. 강병희, 홍원표, 김홍택 (1993), 부산 에덴 금호아파트 신축부지 절개사면 안정성 검토 연구보고서, 대한토목학회.
2. 이종규, 전성관 (1993), "다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압분포", *한국지반공학회지*, 제9권, 제1호, pp.59-68.
3. 한중근 (1997), *역지말뚝을 이용한 사면의 안정해석 및 설계*, 박사학위논문, 중앙대학교.
4. 홍원표, 윤중만 (1995), "지하굴착시 앵커지지 흙막이벽 안정성에 관한 연구", *대한토목학회논문집*, 제15권, 제4호, pp.991-1002.
5. 홍원표, 이기준 (1992), "앵커지지 굴착흙막이벽에 작용하는 측방토압", *한국지반공학회지*, 제8권, 제4호, pp.87-95.
6. 홍원표, 윤중만, 송영석 (2004), "절개사면에 설치된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압산정", *대한토목학회논문집*, 제4권 2C호, pp.125-133.
7. 홍원표, 한중근, 강준식 (1998), "경사면에 설치된 앵커지지 흙막이벽의 사면안정효과", *대한토목학회 학술발표회논문집(II)*, pp.451-454.
8. *グラウンドアンカ-技術協會* (1997), *グラウンドアンカ-工法設計施工指針*.
9. Bowles, J. E. (1996), *Foundation Analysis and Design*, 5th Ed. McGraw-Hill, pp.644-681.
10. 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*, Vol.I, pp.373-378.
11. Matsui, T., Hong, W.P. and Ito., T. (1982), "Earth Pressure on Piles in a Row due to Lateral Soil Movement", *Soil and Foundations*, JSSMFE, Vol.22, No.2, pp.71-81.
12. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc.
13. Tschebotarioff (1973), *Foundations, Retaining and Earth Structures*, McGraw-Hill, New York.
14. Yoo, C. S. (2001), "Behavior of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock", *Jour. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.127, No.3, pp.225-233.

(접수일자 2004. 8. 30, 심사완료일 2004. 12. 1)