

## 지반앵커로 지지된 강성 지하연속벽체의 상세계측 결과분석 및 역해석 평가

### Analysis of Monitoring Results and Back Analysis for Rigid Diaphragm Wall Supported by Ground Anchor

이 중 성<sup>1</sup> Lee, Jong-Sung                      황 의 석<sup>2</sup> Hwang, Eui-Suk  
조 성 환<sup>3</sup> Cho, Sung-Hwan                      이 준 환<sup>4</sup> Lee, Jun-Hwan

#### Abstract

In this study, behavior of a rigid continuous wall, earth pressure distribution with construction stage, and axial force of earth anchors were evaluated based on field monitoring data and numerical analysis results. For this purpose, a construction site excavated using the diaphragm wall was selected and full instrumentation system was introduced. From monitoring results, it was found that the values of horizontal displacement of the wall measured from the inclinometers, which were installed within the diaphragm wall were similar to analytical value. The earth pressure increased with excavation progress due to jacking force of the ground anchors installed in previous excavation stages. When the excavation depth reached 60% of the final depth, observed earth pressure distribution was similar to that estimated from Peck's apparent earth pressure distribution. When the excavation depth was around 90% of the final depth, values of observed earth pressure showed middle values between those of Peck's and Tschebotarioff's apparent earth pressures. It was also observed that, when excavation depth is deep, values of the earth pressures from the rigid wall were similar to those estimated from conventional earth pressure distribution shape proposed for flexible walls.

#### 요 지

본 연구에서는 조립질의 퇴적층이 깊게 분포되어 있고 지하연속벽과 지반앵커로 구성된 굴착현장을 선정하여 흙막이 벽체와 배면지반의 수평변위 비교, 벽체 내부에 깊이별로 설치된 토압계와 앵커 두부에 설치된 축력계로 부터의 토압과 축력의 변화등을 정밀하게 평가분석 하였다. 분석결과 강성벽체의 수평변위는 벽체 내부에 설치된 지중경사계로 측정된 결과가 보다 합리적인 것을 알 수 있었다. 그리고 단계별 굴착에 따른 토압의 변화를 분석한 결과, 굴착이 진행됨에 따라 지반앵커의 선행 긴장력으로 인해 배면 토압은 점차 증가하는 경향을 나타내고 있었으며, 지하연속벽이 강성 벽체지만 퇴적층이 깊고 굴착 깊이가 깊은 경우에는 연성벽체에서 경험적으로 평가된 경험토압과 유사한 결과가 나타남을 확인하였다.

**Keywords :** Back analysis, Deposited soil, Pressure cell, Rigid diaphragm wall

1 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 부장 (Member, General Manager, Civil Research & Engrg. Team, Daelim Industrial Co. Ltd.)

2 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Civil Research & Engrg. Team, Daelim Industrial Co. Ltd.)

3 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정 (Member, Graduate Student, School of Civil & Environmental Engrg., Yonsei Univ.)

4 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수 (Member, Prof., School of Civil & Environmental Engrg., Yonsei Univ., junlee@yonsei.ac.kr, 교신저자)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

## 1. 서론

경제성장과 더불어 도심지에서는 건물신축과 사회간접시설에 대한 투자가 지속적으로 이루어지고 있다. 이와 같은 구조물 건설시 토지의 효과적인 활용을 위해 기존 구조물과 인접하여 흠막이 굴착공사가 수행되고 있다. 일반적으로 도심지에서 토사층이 깊고 대심도 굴착이 필요로 하는 경우에는 주로 지하연속벽(diaphragm wall)이 시공되고 있다. 지하연속벽은 굴착에 앞서 지하에 철근 콘크리트 벽체를 형성하는 공법으로 그 강성이 매우 큰 것이 특징이다.

그러나, 최근에는 한강 인근에서 지하연속벽 공사중 붕괴 사고가 빈번히 발생되고 있으며, 이에 다양한 원인요소가 존재할 수 있으나, 대표적으로 강성벽체로 간주되는 흠막이 구조물이라고 할지라도 굴착 깊이가 비교적 큰 경우 강성은 굴착심도에 반비례하여 상대적으로 작아질 수 있기 때문이라 할 수 있다. 또한 하천 인근에 시공되는 지하연속벽의 경우, 지반특성은 인근 하천의 영향에 의해 크게 좌우되며, 특히 실트질 자갈층 내지 모래질 자갈층 등이 깊게 퇴적되어 있는 경우가 많아 굴착시공상의 안정성은 낮아지게 되는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 벽체구조물에 대한 토압 및 변위분석은 원활한 굴착시공뿐만 아니라 전체구조물의 안정성을 위해 매우 중요하다. 굴착시공 및 벽체거동에 관련된 연구는 지금까지 상당히 광범위하게 진행되어 왔으나, 지하연속벽체와 같이 강성벽체에 대한 상세거동분석은 상대적으로 미흡한 편이며, 연성벽체를 대상으로 제안되어온 기존의 이론적용을 위해서는 실제 계측결과를 통한 상세검토가 필요하다.

이에 본 연구에서는 한강 인근에서 강성 지하연속벽으로 시공되고 퇴적층이 깊게 분포되어 있는 대상현장을 선정하였으며, 지하연속 강성벽체의 토압분포, 지보재의 축력 및 벽체변위 측정을 위한 다양한 계측시스템을 도입하여 결과분석에 적용하였다. 특히 보다 실질적인 벽체거동을 파악하기 위해 경사계를 배면지반 뿐만 아니라, 벽체 내부에도 설치하였으며, 이를 통해 굴착단계별 배면지반과 벽체거동의 상이성을 분석하고자 하였다. 본 대상벽체에 대해 수치해석과 역해석을 추가로 실시하여, 연성벽체이론과의 비교분석을 실시하였으며, 이에 대한 실무 적용성을 분석하였다.

## 2. 벽체거동에 대한 기존 연구동향

흠막이 구조물의 설계시 가장 중요한 요소 중의 하나는 구조물에 작용하는 토압이다. 그러나 흠막이 구조물에 작용하는 토압은 흠막이벽의 변형, 흠막이벽과 지반 사이의 상호작용에 의해 결정되므로 지반조건, 굴착깊이, 벽체의 강성, 구속조건, 시공방법 등과 같은 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받는다. 기존 지하굴착 현장에서는 H-Pile을 이용한 흠막이벽등이 주로 사용되었으며, 토압분포는 Terzaghi & Peck(1948, 1967)이나 Tschobotarioff(1973)에 의하여 제안된 연성벽체에 대한 경험식이 널리 사용되어 왔다.

일반적으로 굴착구간에서의 작업공간을 넓게 확보하기 위하여 앵커지지 방식의 흠막이벽 등이 사용되며 앵커지지 흠막이벽에 작용하는 토압에 관한 연구도 진행되었다(Otta et al. 1982, Xanthakos 1991). 그러나 이들 토압 산정식은 대부분 단일지반을 대상으로 하였으며 여러 가지 가정과 제한조건이 전제된 이론식이나 경험식인 관계로 국내 지반특성의 주요특성인 다층지반에 설치된 흠막이벽에 작용하는 토압과는 상당한 차이가 있을수 있다. 국내에서도 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내 지반조건이 고려된 토압 산정식을 마련하기 위하여 흠막이벽에 작용하는 토압에 대하여 연구가 활발히 진행되어 왔다(홍원표와 이기준 1992, 이종규와 전성곤 1993, 채영수와 문일 1994). 또한, 모형실험 및 현장 계측을 통한 흠막이 벽체의 거동 해석과 지반의 탄소성 하중-변위 관계를 이용한 역해석 기법 개발등의 연구가 진행되어 왔다(김수일 등 1994, 이승훈 2002).

흠막이 굴착에 따른 흠막이벽 및 굴착배면 지반의 변형예측에 대한 대표적인 연구는 실측결과를 토대로 배면지반의 침하범위를 나타낸 Peck(1969)의 연구를 비롯하여 흠막이벽의 최대변위량으로부터 배면지반의 최대 침하량을 예측하는 Mana & Clough(1981)의 연구, 그리고 각 지반조건에 따른 배면지반의 거리별 침하량을 추정한 Clough & O'Rourke(1990) 등의 연구가 있다. 굴착공사에 의한 흠막이벽과 주변지반의 변형문제를 검토하기 위하여 1960년대 후반부터는 유한요소법을 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그리고 해석에 의한 연구중 탄소성 지반상의 보 이론은 지반을 굴착함에 따라 단계적으로 변화는 응력이나 변위 및 굴착면 이하에서의 토압이 흠막이 벽체의 변형에 따라 탄소성 거동을 하며 지반과 토류벽 및 지지구조의 상호 작용을 고려하여 굴착 단계별로 벽체의 변형과

토압 및 지지구조의 반력을 구하는 방법이다.

### 3. 대상현장 및 계측현황

#### 3.1 현장개요 및 지반조건

본 연구의 대상현장은 한강 인근에 위치하고 있으며 지하연속벽을 적용하여 약 20m깊이의 굴착공사가 진행되었다. 굴착공법은 역타공법과 순타공법이 구분되어 적용되었고, 역타공법은 슬라브를 지지체로 순타공법 구간은 지반앵커 공법을 적용하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 본 연구대상 현장의 부지경계 흙막이는 지하연속벽(D/W, THK=1000mm)으로 내부 흙막이는 H-PILE + 토류판으로 구성되어 있고 굴착은 1, 2차로 분할되어 이루어졌다. 1차 굴착 구간은 순타 공법으로 앵커(E/A) 및 버팀보로 지지하면서 굴착이 이루어지고, 2차 굴착 구간은 상부로부터 건축 슬라브로 지지하면서 굴착이 이루어 지는 역타 공법이 적용되었다.

역타공법이 적용되는 구간은 슬라브 지지를 위해 직경이 800~1000mm인 PRD 기초와 직경이 1500~2000mm인 RCD 기초가 1차 굴착 공사중에 설치 계획되었다. 최종 계획 굴착깊이는 그림 2에서는 보는 바와 같이 지표하 31.4m~32.7m 정도로 계획되었으며, 굴착 평면 규모는 120m(B) × 155m(L) 이다. 지하연속벽 구간 하부는 연, 경암반으로 언더피닝 구간은 엄지말뚝으로 계획되어 있고, 지보재는 지반앵커로 시공되었다.

연구대상 현장의 지반은 상부로부터 매립층, 실트질 모래, 자갈섞인모래, 모래섞인 자갈, 풍화토, 풍화암, 연암, 경암층의 순으로 나타나고 있다. 해석시 지반물성치

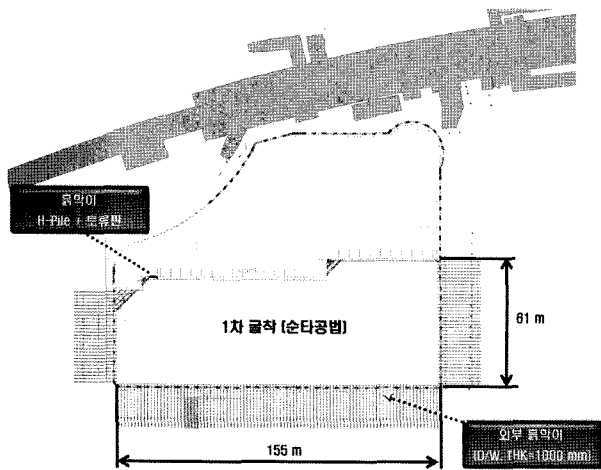


그림 1. 대상현장 대표 평면도

적용과 결과 분석을 위한 토압 산정시 평가된 지반 물성치는 표 1과 같다.

#### 3.2 계측기 설치 현황

연구 대상 현장에서 흙막이 구조물의 계측계획은 강

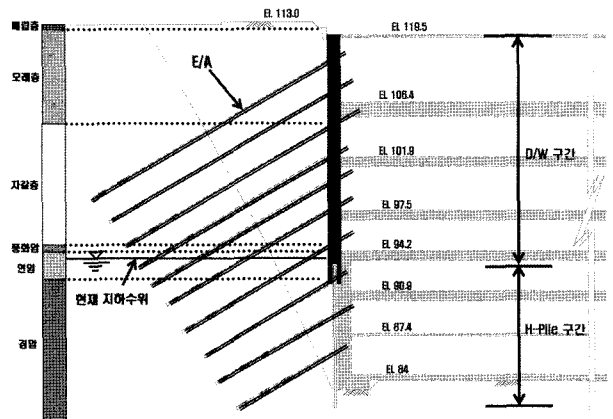


그림 2. 대상현장 대표 단면도

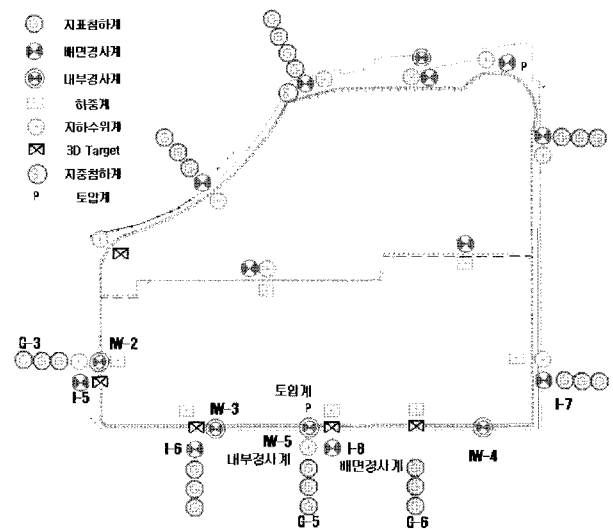


그림 3. 대상현장 계측계획 평면도

표 1. 지반물성치

지층	습윤단위중량 (ton/m <sup>3</sup> )	점착력 (ton/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 (degree)	지반반력계수 (ton/m <sup>3</sup> )
매립층	1.7	0.0	27	1500
실트질모래	1.8	0.0	30	1700
자갈섞인모래	1.8	0.0	32	2300
모래섞인자갈	1.9	0.0	34	2800
풍화토층	1.9	2.0	36	3400
풍화암층	2.0	4.0	37	5000
연암층	2.1	6.0	40	8000
경암층	2.2	10.0	42	12000

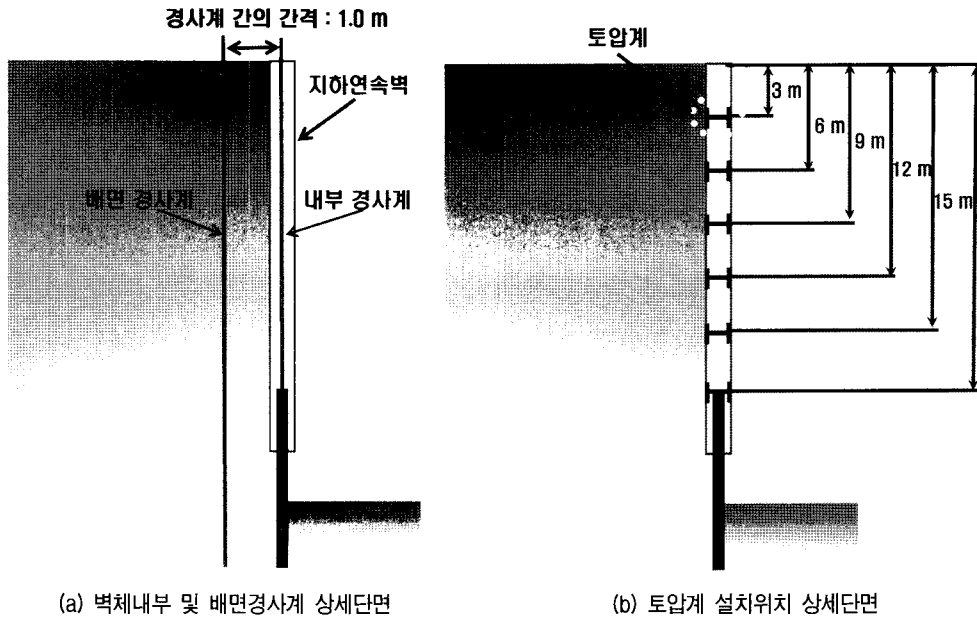


그림 4. 경사계 및 토압계 상세 단면

성벽체 흠막이 구조물의 안정성을 평가할 수 있도록 상세하게 계획되었으며, 본 현장이 도심지에 위치하고 분할굴착이 이루어지는 점을 감안하여 계측에 대한 상호보완을 통해 정밀한 계측이 수행될 수 있도록 계획하였다. 그림 3은 계측기 설치 평면도이며, 연구 대상 현장의 계측기 설치위치, 계측기 종류를 나타내고 있다.

지중경사계(Inclinometer)의 경우, 벽체 및 배면지반의 상세거동 분석을 위해 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 지하연속벽의 배면지반과 지하연속벽 내부에 구분하여 설치하였으며 지반의 수평변위와 지하연속벽 구조물의 수평변위를 비교하여 지반과 구조물의 거동 차이 규명 및 분석하고자 하였다. 토압계(Pressure cell)는 대표단면을 선정하여 그림 4(b)와 같이 수직 깊이별로 6개소에 설치하여 굴착단계별 토압계측을 하였으며 본 토압계와 E/A에 설치된 하중계에 의한 계측값을 비교하여 토압분포 및 역토압 분석을 실시하였다.

#### 4. 계측결과 분석 및 비교

##### 4.1 벽체거동 분석을 위한 수치해석 및 역해석

본 대상 현장에 시공된 지하연속벽체 및 배면지반 거동에 대한 사전 평가시에는 탄소성 보해석 방법을 적용하여 해석 하였으며, 프로그램에 결과에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 2차원 유한요소해석 프로그램을 적용하여 상호 비교하였다. 해석에 적용된 유한요소해석프로

그램은 지반공학적 문제에 널리 적용되고 있는 상용프로그램인 Plaxis를 사용하였다. 또한 탄소성 보해석 프로그램(sunex ver 5.74)을 적용하여 계측결과와 해석결과 간의 오차가 최소화되도록 역해석을 수행하였다. 탄소성 보해석 프로그램은 탄소성 Beam-spring 모델로서 단계별 굴착과 지보공에 따른 흠막이 벽의 변위, 전단력, 휨 모멘트 및 지보공의 축방향력을 계산할 수 있다.

흠막이 벽에서의 역해석은 현 단계까지의 계측자료를 이용하여 현 단계 및 차기 굴착단계에서의 구조물의 안정성 확보를 주목적으로 해석 대상지반의 물성을 추정하는 것이다. 역해석 방법으로는 최소자승법에 의하여 해석결과와 계측결과의 차이를 최소화하는 기법으로 해석 대상 굴착 단계의 계측 결과를 입력자료로 하여 다음 단계의 거동을 평가할 수 있는 방법이다. 이때 최소화하고자 하는 함수를 목적함수라 하며 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$F = \sum_{j=1}^m (D_j^* - D_j)^2 \quad (1)$$

여기서,  $m$ =계측점의 수,  $D_j^*$ =역해석 대상 단계의  $j$  지점 계측변위,  $D_j$ =역해석 대상 단계의  $j$  지점에서 지반 물성에 의해 발생하는 변위 해석값이다. 본 논문에서 역해석은 현재굴착 단계에서 계측결과와 해석결과의 오차가 최소화 될때 다음 단계에서 구해지는 해석토압과 실제 계측된 토압을 비교함으로써 역해석에 의한 강성 벽체의 토압변화를 규명하고자 하였다. 이와 같은 과정을 통

해 단계별 굴착에 따른 지하연속벽의 거동특성 분석을 실시하였으며, 본 연구를 위해 설치된 지중경사계, 토압계, 지표침하계, 로드셀등의 계측기로부터 얻어진 실측치를 통해 상세히 분석, 평가하였다.

#### 4.2 배면지반 계측결과를 통한 거동 비교분석

굴착단계에 따른 지하연속벽의 수평변위는 벽체 및 배면지반의 안정성을 평가하는데 매우 중요하다. 일반적으로 지하연속벽 벽체의 수평거동은 배면지반에 지중경사계를 설치하여 평가하나, 실제로 지하연속벽의 거동과 배면지반의 거동은 서로 일치하지 않을 수 있으며, 이에 대한 구체적인 규명 또한 흙막이 구조물의 안정성을 평가하는데 중요할 것이다.

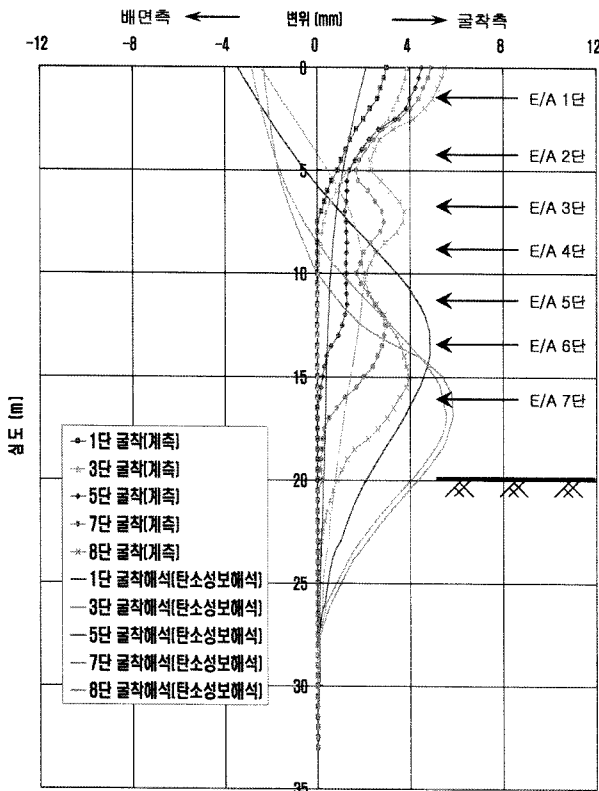
앞서 기술된 바와 같이 본 연구에서는 배면지반과 벽체변위를 구분하여 계측할 수 있는 시스템을 도입하여 비교분석에 사용하였으며, 각각 얻어진 계측결과를 해석에 의해 얻어진 결과와 비교평가하였다.

그림 5는 배면지반에 설치된 경사계 자료와 설계시 예측된 변위 결과를 굴착 단계별로 비교한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 수치해석에 의한 단계별 굴착

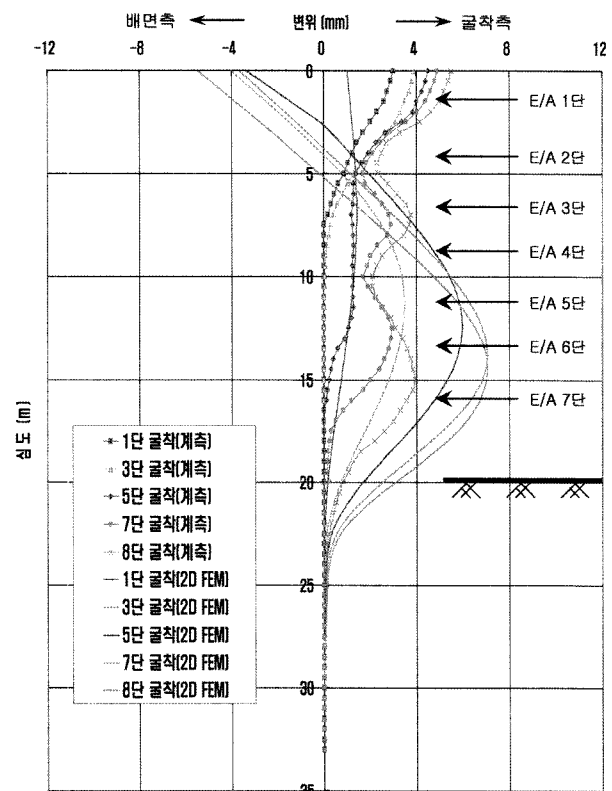
거동은 탄소성 보해석 방법과 유한요소해석 결과가 상호 유사한 거동을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 본 연구에서 실시한 수치해석 결과에 대한 일관성과 신뢰성을 확인할 수 있었다.

그림 5에 나타난 바와 같이, 1단 굴착 단계에서 배면지반 경사계와 해석시 수평변위 거동이 캔틸레버 거동 양상으로 유사하게 나타남을 알 수 있었으며, 3단 굴착 단계에서 수치해석 결과는 지반앵커 긴장력에 의하여 배면측으로 거동을 보인 반면 배면 경사계는 캔틸레버 거동 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그리고 5단 ~ 8단 굴착 단계에서도 수치 해석시 결과는 지반앵커 긴장력에 의해 상부가 배면지반 방향의 거동을 보인 반면 배면 경사계는 굴착측 방향의 거동을 나타내고 있다.

이와 같이 배면경사계의 결과와 수치해석 결과가 상이한 것은 퇴적층 지반에서 지반앵커 천공 작업시 지반교란이 발생되고 이에 의해 원지반이 느슨해짐에 따라 배면경사계가 수평거동을 일으키는 반면 해석에 의한 결과는 상부 원지반의 지반물성치 및 지반반력계수가 작음으로 인해 지반앵커 선형 긴장력에 의해 배면측 지반 거동이 나타나고 있는 것이다. 이러한 사실은 수치해석결과와 지하연속벽 배면 지반의 실제 거동은 상이



(a) 1~8단 굴착(계측과 탄소성보해석 비교)



(b) 1~8단 굴착(계측과 유한요소 해석 비교)

그림 5. 굴착 단계에 따른 배면 경사계와 해석에 의한 수평거동 비교

하게 나타날 수 있음을 의미하여, 따라서 설계변위예측이나 해석 시 이러한 차이점이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

### 4.3 지하연속벽체 내부 계측결과에 의한 비교분석

그림 6은 지하연속벽체 내부에 설치된 경사계 자료와 설계시 수치해석으로 예측한 변위를 굴착 단계별로 비교한 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 계측에 의한 수평변위는 해석에 의한 변위보다 다소 작지만 전체적으로 비교적 유사한 결과를 보이고 있다. 이와 같은 결과는 탄소성 보해석법에 의한 해석결과가 실제 강성연속벽체의 거동을 평가하는데 비교적 효과적인 것을 알 수 있고, 실제 계측에 의한 강성 벽체의 수평 변위 평가는 벽체 내부에 설치된 지중경사계를 통해 평가하는 것이 보다 합리적인 것을 알 수 있다.

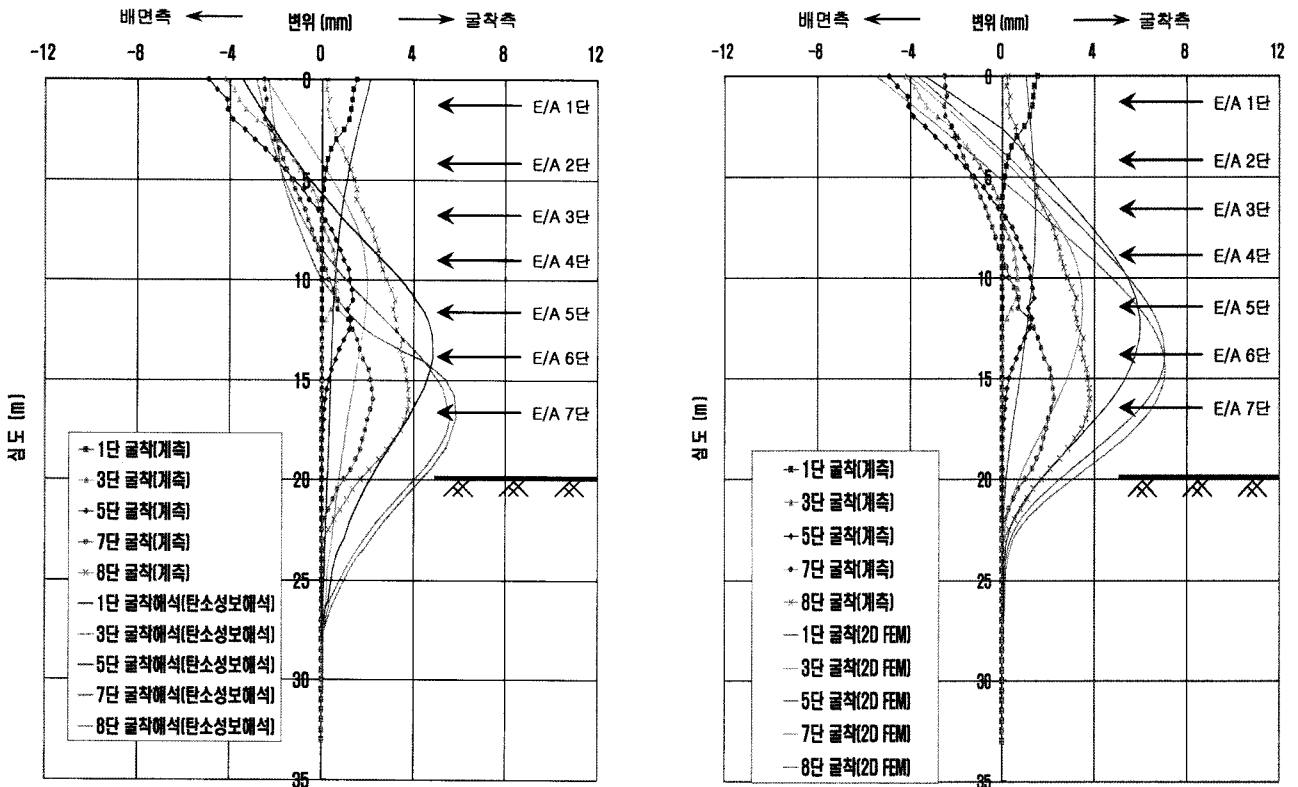
그리고 배면 지반에 인접한 구조물 내지 지중 구조물 안정성을 보수적으로 평가시에는 배면 경사계의 자료를 활용하는 것이 보다 안전한 방법임을 알 수 있고, 지하연속벽 구조 해석시에는 벽체 내부에서 측정된 정확한 경사계에 대한 변위등의 자료를 활용하여 구조 검토

를 수행할 필요가 있는 것을 보여주고 있다.

### 4.4 단계별 굴착에 따른 계측 및 역해석 토압 분석

굴착중의 벽체 변위에 따른 토압의 변화가 흙막이 구조물의 안전에 가장 큰 영향 요인으로 작용하므로 이러한 변화과정을 상세히 평가하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 지하연속벽 벽체에 깊이별로 토압계를 설치하여 굴착단계별로 퇴적층에서의 토압을 계측하였다. 또한, 계측에 의해 측정된 수평 변위와 수치해석에 의한 수평변위의 차이를 최소화 시키는 역해석을 수행하고 그 결과로 얻어진 역해석 토압을 토압계에 의해 측정된 토압 및 기존의 경험토압들과 상호 비교하였다. 역해석에 의한 결과는 현굴착 단계에서 변위의 오차를 최소화 하였을 때 다음단계 굴착한 경우의 토압결과를 해석토압으로 하였으며, 현굴착 단계에서 변위의 오차와 다음 단계에서 변위의 오차 또한 최소화 하였을 때 토압결과를 역해석 토압으로 정의 하였다.

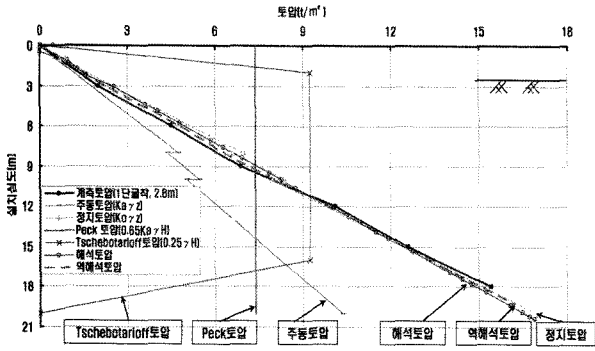
그림 7은 지하연속 벽체에 설치된 토압계에서 각 굴착단계에 따라 측정된 토압을 해석토압, 역해석토압 및 경험토압과 비교한 자료이며, 그림 8은 토사구간 최종



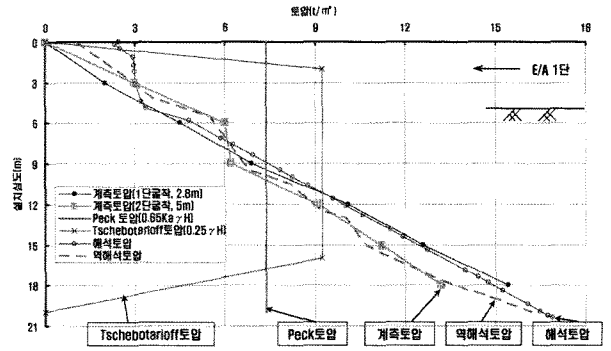
(a) 1~8단 굴착(계측과 탄소성보해석 비교)

(b) 1~8단 굴착(계측과 유한요소해석 비교)

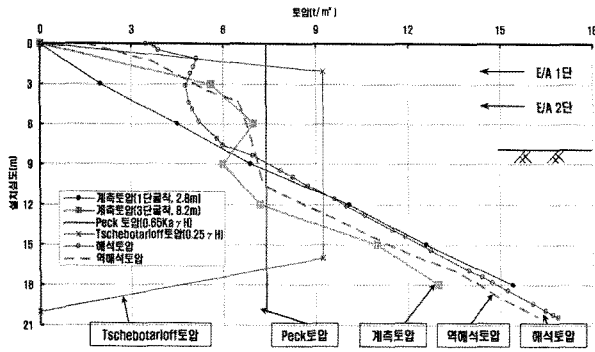
그림 6. 굴착 단계에 따른 벽체 내부 경사계와 해석에 의한 수평거동 비교



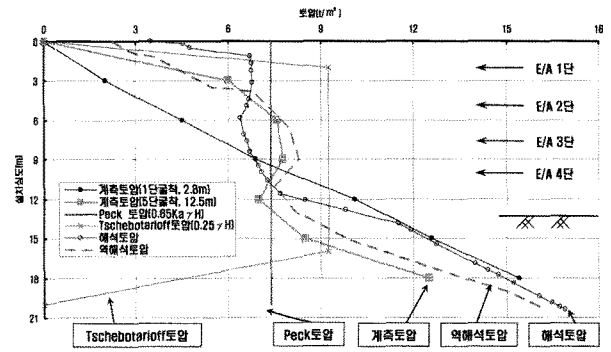
(a) 1단 굴착(2.8m 굴착)



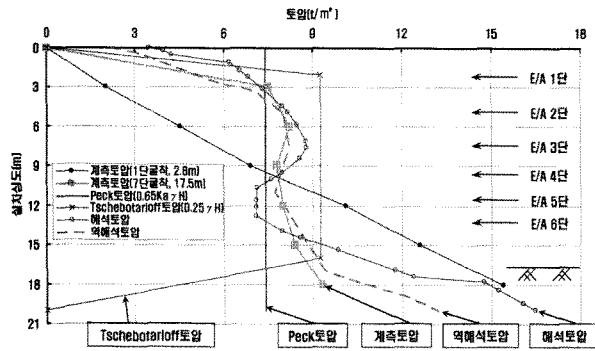
(b) 2단 굴착(5.0m 굴착)



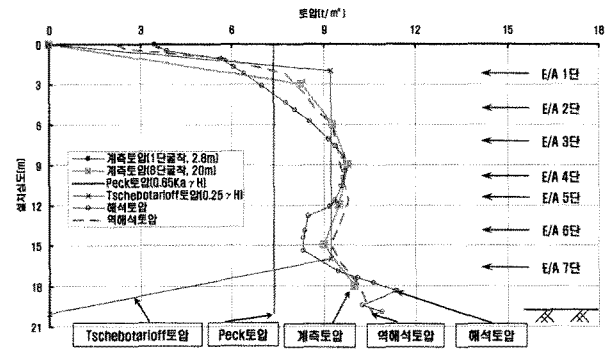
(c) 3단 굴착(8.2m 굴착)



(d) 5단 굴착(12.5m 굴착)



(e) 7단 굴착(17.5m 굴착)



(f) 8단 굴착(20m 굴착)

그림 7. 굴착 단계에 따른 토압 변화 비교

굴착시 지하연속벽체에 설치된 토압계에 의한 토압과 지반앵커에 설치된 하중계에서 측정된 축력을 분담면적으로 나눈 역토압(E/A 역토압(계측)) 및 해석시 나타난 지반앵커 축력을 분담면적으로 나눈 역토압(E/A 역토압(해석))을 기존 경험토압과 비교한 자료이다.

그림 7(a)에서 보는 바와 같이 초기 굴착시에는 굴착 깊이가 작고 지하연속벽의 강성으로 인해 배면 토압은 정지 토압을 나타내고 있고 굴착이 진행됨에 따라 지반앵커의 선형 긴장력으로 인해 배면 토압은 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 토압계에 의한 토압과 역해석에 의한 토압을 비교해 보면, 역해석에 의한 토압과 토압계로 측정된 토압 경향이 단계 굴착에 따라 유사

한 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

단계별 굴착에 따른 토압을 Peck 토압과 Tschebotarioff가 제안한 토압과 비교해 보면, 굴착 깊이가 0.6H 인 경우는(그림 7(d)) Peck 토압과 유사한 값을 보이고, 굴착 깊이가 0.9H 인 경우(그림 7(e))는 Peck 토압과 Tschebotarioff 토압의 중간 값을 보이고 토사구간 최종 굴착이 완료되는 경우에는(그림 7(f)) Tschebotarioff 토압과 유사한 경향을 나타내고 있다.

그림 8은 계측된 지반앵커 축력으로 환산한 역토압, 해석시 지반앵커 축력에 의한 역토압, 해석시 역해석에 의한 토압 및 최종 굴착시 토압계에 의한 토압을 기존의 경험토압과 비교한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이

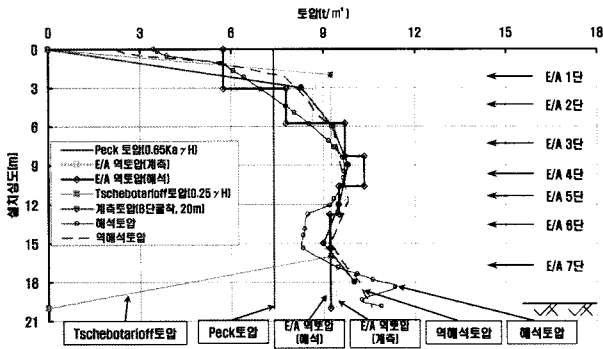


그림 8. 계측 및 해석에 의한 역토압 비교

최종굴착시 전체적으로 지반앵커 축력에 의한 역토압, 해석시 지반앵커 축력에 의한 역토압, 역해석에 의한 토압 및 토압계에 의한 토압은 비교적 유사한 경향을 보이고 있다. 그리고 이들 토압은 Tschebotarioff 가 제안한 경험토압과 비교적 잘 일치하는 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 한강 인근에서 지하연속벽으로 시공되고 퇴적층이 깊게 분포되어 있는 대상현장을 선정하여 강성벽체의 거동과 배면 지반의 거동, 벽체 내부에 깊이별로 설치된 토압계로 부터의 단계별 토압 분포, 지보재의 축력 변화등을 정밀하게 평가 분석하였으며, 분석결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 배면지반에 설치된 경사계와 지하연속벽 내부에 설치된 경사계 및 해석에 의한 수평변위를 분석한 결과, 배면 경사계 계측 결과는 해석에 의한 결과와 상이하게 나타났다. 그러나 벽체 내부 경사계 결과는 그 값은 작으나 해석에 의한 결과와 전체적으로 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서 강성 벽체의 수평 변위는 벽체 내부에 설치된 지중경사계를 통해 평가되는 것이 보다 합리적인 것을 알 수 있었다.
- (2) 단계별 굴착에 따른 토압의 변화를 분석한 결과, 굴착이 진행됨에 따라 지반앵커의 선행 긴장력으로 인해 배면 토압은 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한, 지하연속벽이 강성 벽체지만 퇴적층이 깊고 굴착 깊이가 깊은 경우에는 연성벽체에서 경험적으로 평가된 경험토압과 유사한 결과가 나타남

을 확인하였다.

- (3) 계측 변위로부터 역해석에서 얻어진 예측된 토압이 토압계에서 계측된 토압과 비교적 유사한 분포를 나타내고 있어, 역해석으로 다음 굴착 단계의 토압 변화의 평가가 가능함을 알 수 있었다.
- (4) 본 연구는 일반적인 지반앵커의 긴장력 적용시에 발생된 지하연속벽의 거동 및 토압에 대한 연구를 수행하였으며, 현장 여건 및 설계자에 따라 지반앵커의 긴장력을 작거나 크게 적용하는 경우에는 지속적인 자료 보안을 통해 일반적인 경향 도출을 위한 추가 연구가 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 김수일, 정상섭, 장범수 (1994), "P-y 특성곡선의 Coupling을 고려한 토류벽의 거동해석", *대한토목학회 논문집*, 제14권 3호, pp. 553-563.
2. 이승훈 (2002), "2변수 지반모델을 이용한 흙막이 구조물 수평 거동의 정해석 및 역해석 기법 개발", *연세대학교 박사학위 논문*, pp.66-92.
3. 이종규, 전성곤 (1993), "다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압분포", *한국지반공학회논문집*, 제9권, 제1호, pp.59-68.
4. 채영수, 문일 (1994), "국내 지반조건을 고려한 흙막이벽체에 작용하는 토압", *한국지반공학회지*, 94 가을 학술발표회 논문집, pp. 129-138.
5. 홍원표, 이기준 (1992), "앵커지지 굴착 흙막이벽에 작용하는 측방토압", *한국지반공학회 논문집*, 제8권, 제4호, pp.87-95.
6. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D.(1990), "Construction Induced Movements of In-situ Walls", *Geotechnical Special Publication*, ASCE, No.25, pp.439-470.
7. 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.1, pp.373-378.
8. Mana, A. I. and Clough, G. W. (1981), "Prediction of Movements for Braced Cuts in Clay", *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol.107, No. GT6.
9. Otta, L. H., Pantucek, H. and Goughnour, P. R. (1982), *Permanent Ground Anchors, Stump Design Criteria*, Office of Research and Development, Fed. Hwy. Admin., U.S. Dept. Transp., Washington, D. C.
10. Peck, R. B.(1969), "Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground", SOA Report, 7th Int. Conf. SMFE, Mexico City, State of the Art Volume, pp.225-290.
11. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York, Wiley.
12. Xanthakos, P. P. (1991), *Ground Anchors and Anchored Structures*, John Wiley and Sons, Inc. pp.552-553.
13. Tschebotarioff, G.P. (1973), *Foundations, retaining and earth structures*, McGraw-Hill Kogakusha, pp.400-410.

(접수일자 2009. 1. 29, 심사완료일 2009. 5. 7)