

## 쏘일네일링 벽체의 변형거동에 관한 연구

### A Study on Deformation Behavior of Wall using Soil Nailing Method

홍원표, Won-Pyo Hong, 김장호, Jang-Ho Kim, 임해식, Hae-Sik Im

#### 요약(Abstract)

쏘일네일이 설치된 지반의 변형에 관한 연구는 국내의 경우 1980년대 후반에 그에 대한 기초이론 및 설계기법이 처음으로 도입된후 적용사례가 다수 보고되고 있으며, 특히 쏘일네일링의 국내 시공사례의 경우 외국의 적용사례와는 다르게 흙막이 구조물과 병용되는 경우가 있어 쏘일네일링의 지지시스템을 파악하는 데는 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 H-Pile과 병용하여 쏘일네일링이 시공된 현장 및 쏘일네일링이 단독으로 시공된 현장을 대상으로하여 쏘일네일이 설치된 지반의 변형특성을 조사·분석하였다. 쏘일네일이 설치된 지반의 변형특성을 분석하기 위해 벽체와 배면사이에 경사계를 설치하고 지반과 벽체의 복합적인 거동을 분석하였으며, 변형율계가 부착된 네일을 통하여 지중에 삽입된 네일의 거동특성을 분석하였다. 측정된 계측치를 이용하여 네일에 발생하는 인장력 분포 및 최대 인장력을 파악하고, 지중에 발생하는 응력을 분석하여 기존 안정해석법에 의한 지반의 거동과 비교·검토하였다. 쏘일네일링에 의한 지반의 거동과 타 공법에 의한 지반의 거동을 비교하기 위하여 흙막이 구조물에서 가장 많이 사용되고 있는 어쓰앵커공이 설치된 흙막이 벽체의 거동과 쏘일네일링이 시공된 벽체의 거동을 비교하였으며 앵커 및 네일이 시공된 굴착단면에 대한 경시적 특성을 조사·분석하였다.

## 1. 제 1 사례현장

### 1.1 현장상황

본 현장은 서울시 ○○구에 위치하고 있으며, 건축규모는 지상 39층, 지하7층으로 굴착면적은 약 4,038㎡(50.5m×85m)이고 지하굴토깊이는 약G.L(-) 32.0m이다. 굴착 공사상의 편의를 위하여 부지를 1, 2차로 나누어 시공계획하였으며, 1994년 1월부터 흙막이공사가 시작되어 1994년 12월까지 24단 굴착이 완료되고 이때부터 1996년 3월까지의 기간은 공사중지 상태로 되었다. 이후 1996년 3월부터 1996년 8월까지 25단부터 초기의 설계 굴착단계인 31단 즉, G.L(-)32m까지 굴착이 완료되었다. 이 기간동안 쏘일 네일링 및 앵커공의 굴착공사가 완료되고 건축공사가 진행되었다.

현장주변은 그림 1.1에서와 같이 북측은 노폭 40m의 도로가 대지 경계와 약 6.0m의 거리를 두고 있으며, 도로 하부로 지하철 2호선이 운행되고 있다. 동측에는 10m도로를 경계로 현재 건설이 진행중인 아파트와 접해 있으며, 서측에는 12m의 계획도로(현재 4.0m도로)를 경계로 대형건물과 접해 있다. 또한 남측의 일부는 지하1층, 지상5층의 건물과, 일부는 나대지와 인접해 있다.

본 연구에 있어서는 1차 공사구간 시공기간중의 흠막이벽체거동만을 조사하였으므로 1차 공사구간에 대하여만 표시하면 그림 1.2와 같다.

본 현장에 실시된 1차 공사구간의 흠막이 공법은 H-pile+토류판으로 벽체를 형성하고 지하철이 인접한 구간의 경우 상부는 스트리트를 이용한 버팀보공법, 하부는 어스앵커로 지지보강하고 서측과 남측은 현장 부지내에서 어스앵커공법을 적용하였다. 동측은 어스앵커로 할 경우 인접현장을 침범하므로 부득이 쏘일 네일링공법을 적용하였다.

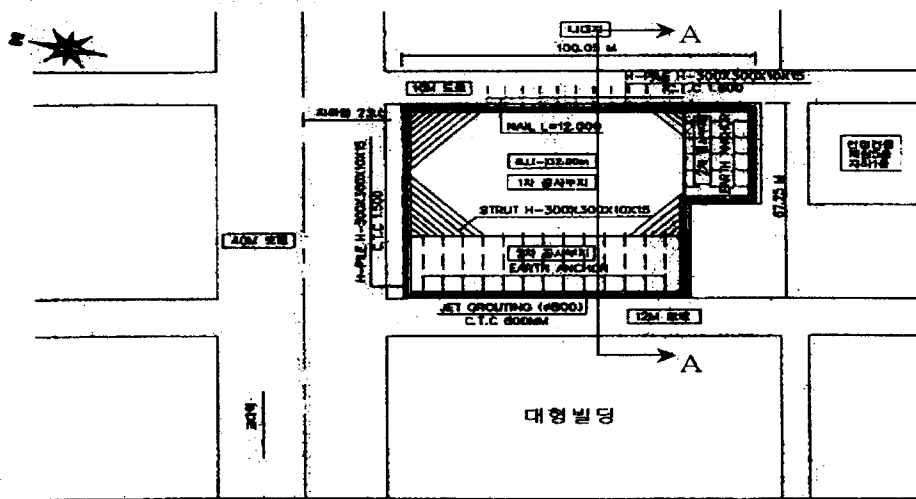


그림 1.1 제1현장 주변현황

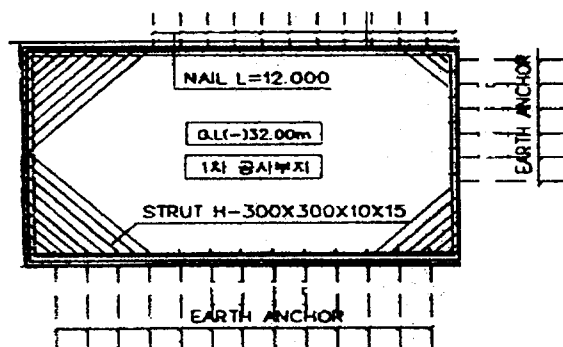


그림 1.2 제 1현장 1차 공사구간 평면도

## 1.2 지반조건

본 현장의 지층구성은 그림 1.3에서 보는바와 같이 매립토층, 퇴적토층, 풍화잔류토층 및 기반암층의 순으로 구성되어 있다. 그림 1.3에 나타난 지질주상도 및 흙막이 구조도는 그림 3.1의 AA단면에 대하여 대표적으로 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 AA 단면의 동측은 쏘일네일링이 설치된 구간으로 상부매립층이 4m, 퇴적층이 4.4m로 분포되어 있고 서측은 앵커공으로 시공된 구간으로 상부 매립층이 0.6m 그리고 퇴적층이 6.8m로 분포되어 있다.

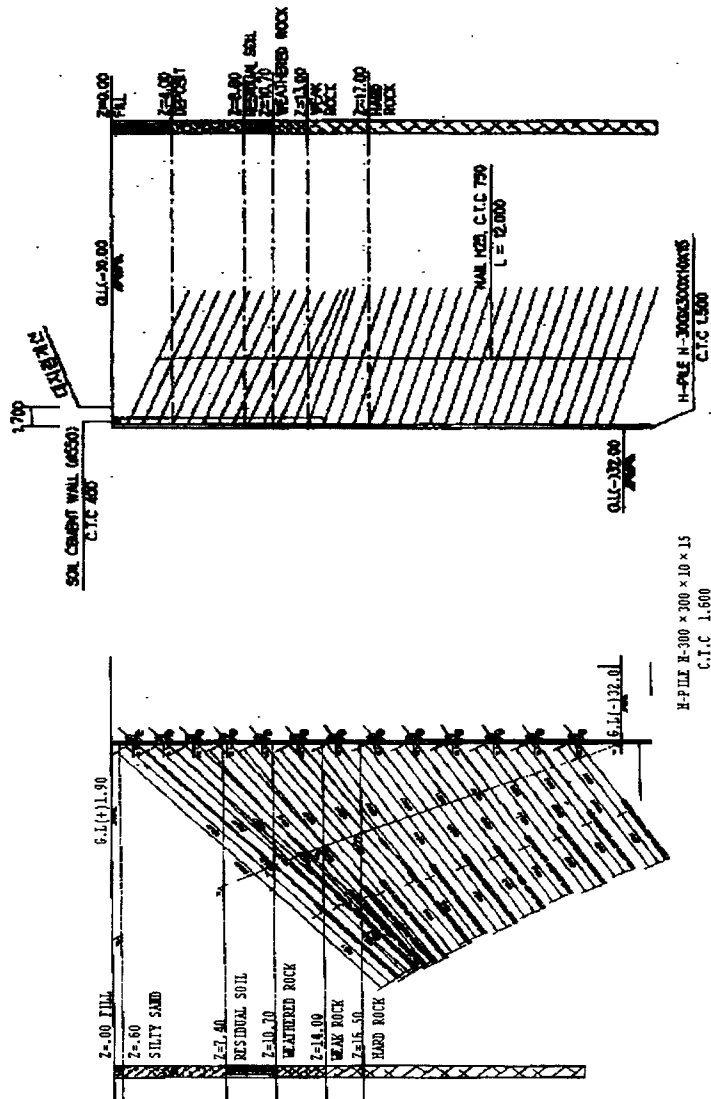


그림 1.3 대표단면도 및 지질주상도(AA단면)

퇴적층 아래지층은 동측과 서측 모두 그림에서 보는 바와 같이 거의 같은 깊이로 분포되어 있다. 즉 잔류토층은 퇴적층의 하부에 두께 0.7~3.3m의 암상층이 기반암의 하부 풍화대로 존재하며, 실트질 세립 내지 중립모래로 구성되어 있다. 표준관입시험치는 25/30

내지 50/30이상으로 중간 내지 매우 조밀한 상대밀도를 보인다.

기반암층은 편마암층으로 지표하 20m이하에서부터 나타나며, 코아회수율(R.Q.D)은 90%이상으로 매우 신선한 상태이다.

최상부의 매립층은 부지조성시 매립한 층으로 지반의 최상부에 0.4~4.1m의 두께로 존재하고 퇴적층은 매립층 하부에 실트질 점토로 구성된 층이며 3.5~6.8m 두께로 존재한다.

### 1.3 시공현황

지반조건에 따라 흙막이 벽체배면에는 차수 및 지반보강목적으로 S.C.W( $\phi$ 550.C.T.C 400mm)를 암반층까지 시공하였다. 이는 쏘일네일링 시공시 지하수 유출과 함께 발생하는 토사유출을 방지하는 효과를 기대하였다. 또한 시공능률을 고려하여, 벽체 전면판의 H-Pile사이 지반은 shotcrete 대신 토류판으로 대체하였고 변위를 억제하기 위해서 벽체 전면에 H-pile과 앵글을 혼합한 쏘일네일링 형태로 설치하였다.

### 1.4 계측결과

#### 1.4.1 계측기설치위치 및 검토단면

본 현장에서 계측된 자료들은 1994년 1월부터 굴착이 완료되는 시기인 1996년 8월까지 계측한 결과이다.

현장에 설치된 계측시스템은 그림 1.4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 경사계 측정 자료에 대하여는 네일 시공된 구간의 벽체변위는 I-7번, 배면지반의 변위는 I-9번의 계측값을 채택하였고 어스앵커 구간의 벽체변위는 I-12번 계측값을 채택하였다. 또한 네일이 시공된 벽체의 내부거동 즉, 네일에서의 하중의 단기증가를 포함하여 시간에 따른 네일하중의 변화 등을 알기 위한 방법으로 네일의 축력을 측정하며 이를 위해 네일에 strain gauge를 설치하였다. 변형률계는 2, 4, 6, ………, 26, 28단 네일에 벽체로부터 2m 씩 간격으로 각 5개씩 설치하였다.

#### 1.4.2 쏘일네일링 지지 지반의 변위

##### (1) 시공단계별 거동

그림 1.5에서 알 수 있는 바와 같이 계측결과는 (A), (B), (C)의 3단계로 구분되어 질

수 있다. 즉,

(A)구간 : 이 구간은 굴착초기부터 1차 굴착이 완료되는 시기인 1994년 12월까지 굴착 기간으로 24단 굴착깊이이다.

(B)구간 : 이 구간은 1994년 12월부터 1996년 3월까지의 공사 공사중단기간으로 구분 된다.

(C)구간 : 이 구간은 1996년 3월 공사중단기간이 끝난 시기부터 32m 굴착이 완료되는 1996년 8월까지의 계속 실시 구간을 설정 구분하였다.

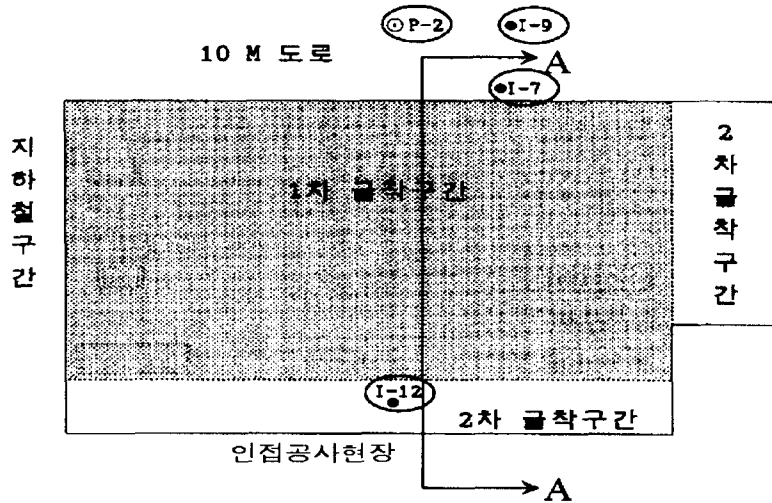


그림 1.4 계측기 설치위치 및 검토단면

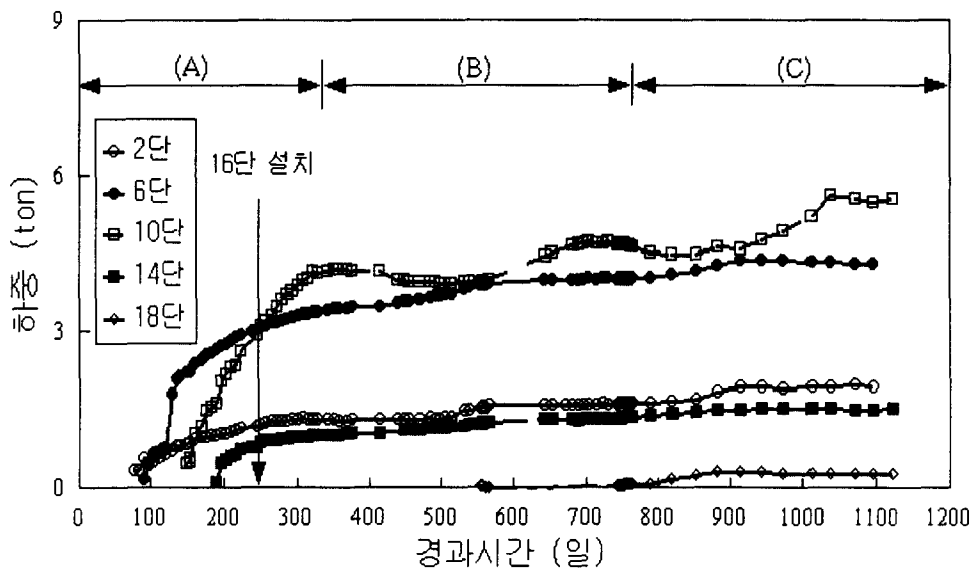


그림 1.5 경과시간에 따른 각 네일의 작용하중

## (2) 벽체변위

쏘일네일링이 설치된 흙막이벽의 수평변위를 측정하기 위해 그림 1.4에서 보는 바와 같이 I-7 위치에 경사계를 설치 하였다. 즉 흙막이벽 배면 1m위치에 설치한 경사계 I-7 으로부터 측정된 벽체의 수평변위는 그림 1.6~1.8과 같다. 전절에서 검토된 바와 마찬가지로 굴착단계를 3단계로 구분하여 벽체의 변위를 각각 도시하였다. 횡축을 벽체의 굴착 단계별 누적변위량, 종축을 굴착깊이로 표시하여 굴착진행에 따른 벽체의 변위를 표시하였다. 또한 굴착단계는 그림 1.5에서의 (A)구간은 각 네일의 시공단계가 많은 관계로 각 5m 굴착시의 경우를 구분하였으며 (B)구간의 경우는 공사중단기간을 5개월간의 계측시차를 두어 표시하였다. (C)구간은 25m 굴착깊이부터 4m씩 증가 굴착깊이의 계측값을 각각 표시하였다.

### ① (A)구간

그림 1.6에 나타난 것처럼 G.L(-)5m 굴착시에 벽체상부의 수평변위가 약 10mm로써 일반적인 어스앵커나 버팀보지지 현장에 비해 초기변위가 크게 발생하였다. 이는 쏘일네일링이 초기인장력이 없고 지반에 그라우팅만을 함으로써 지반에 하중이 증가하므로써 초기변형이 크게 일어난 것으로 생각된다. 또한 굴착이 진행됨에 따라 벽체의 변위는 증가하고 있으며 토사지반과 암반지반의 경계면에 변위의 증가폭이 크게 나타나고 있다. 한편, 20m, 25m 굴착시 계측된 자료중 G.L(-)5m위치의 계측오차는 경사계의 부분파손으로 간주되어 진다. 따라서 이 부분은 그림중 점선으로 표시된 바와 같이 추정 수정선을 삽입하였다. 이후의 변위선은 모두 이와같이 수정하기로 한다.

### ② (B)구간

그림 1.7는 1994년 12월부터 1996년 3월까지 공사 중단기간에 발생한 쏘일네일링 벽체의 변위를 약 5개월 단위로 계측조사한 결과를 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 25m굴착이 완료된 이후 쏘일네일링 벽체는 벽체 배면쪽으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 주위 환경 및 시공현황의 변화가 없는 가운데 지반의 재정열이나 creep변형이 원인으로 추측되며 향후 다른 계측자료의 축적등으로 연구 및 분석이 필요로 되는 부분이다.

### ③ (C)구간

그림 1.8은 공사중단기간이 지난 1996년 3월부터 즉 25m 굴착이 완료된 시점의 중단기간이 지난 후부터 1996년 8월 굴착 완료시점까지의 쏘일네일링 벽체의 변위를 4m 굴착깊이마다 단계별로 구분하여 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 굴착단계가 증가함에 따라 (A)구간에서와 마찬가지로 변위가 증가하고 있음을 알 수 있다.

### (3) 배면지반 변위

그림 1.9는 흙막이벽체로부터 11m 후면에 설치된 경사계에 의해 측정된 배면지반의 수평변위이다. 본 위치에서 설치된 경사계 계측값은 그림 1.6에서의 흙막이 벽체 직후면 (A)구간의 검토와 동일한 형상으로 굴착단계가 증가함에 따라 변위는 증가하고 있다. 그림에 나타난 것처럼 G.L(-)5이상에서 상당히 큰 변위가 발생한 것으로 나타났다. 이것은 그림에서 보는 바와 같이 네일에 의해 보강되지 않은 부분의 지반변위를 나타낸다. 네일이 벽체로부터 경사지게 설치되는 경우 배면지반이 네일로 보강되지 않았으므로써 네일이 설치된 벽체의 배면에서 침하 및 재압축현상이 발생하여 지표지반의 변위가 크게 발생되었기 때문으로 판단된다. 따라서 경사네일이 설치되는 벽체의 배면지반의 안정을 위해서 보강대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

### 1.4.3 어스앵커 지지벽체의 변위

쏘일네일링이 설치된 벽체와 어스앵커가 설치된 벽체의 현장과 변위를 비교하여 보기 위해 어스앵커가 설치된 벽체의 변위를 (A), (B) 그리고 (C)구간별로 표시하여 그림 1.10~1.12에 나타내었다. 전절에서 언급된 바와 같이 어스앵커가 설치된 벽체의 변위는 어느 경우에도 그림 1.10~1.12에서 보는 바와 같이 쏘일네일링 벽체의 변위보다 적게 나타났으나 이후 발생된 최대 변위는 34mm로 굴착이 진행됨에 따라 변위의 증가율이 커지는 것을 볼 수 있다.

어스앵커 지지된 벽체의 변위도 토사층과 암반층의 경계면에서 벽체변위는 큰 차이를 보이고 있다.

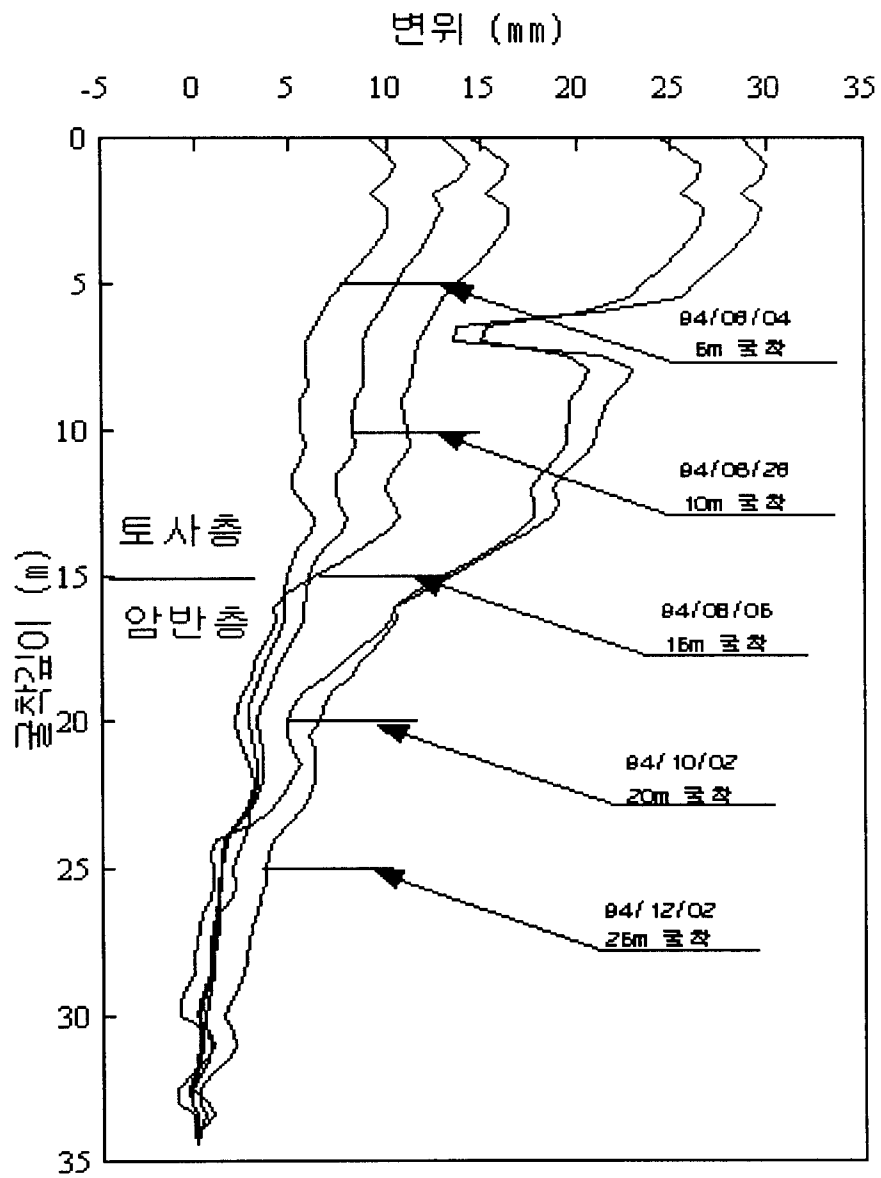


그림 1.6 흙막이벽의 변위 (A구간)



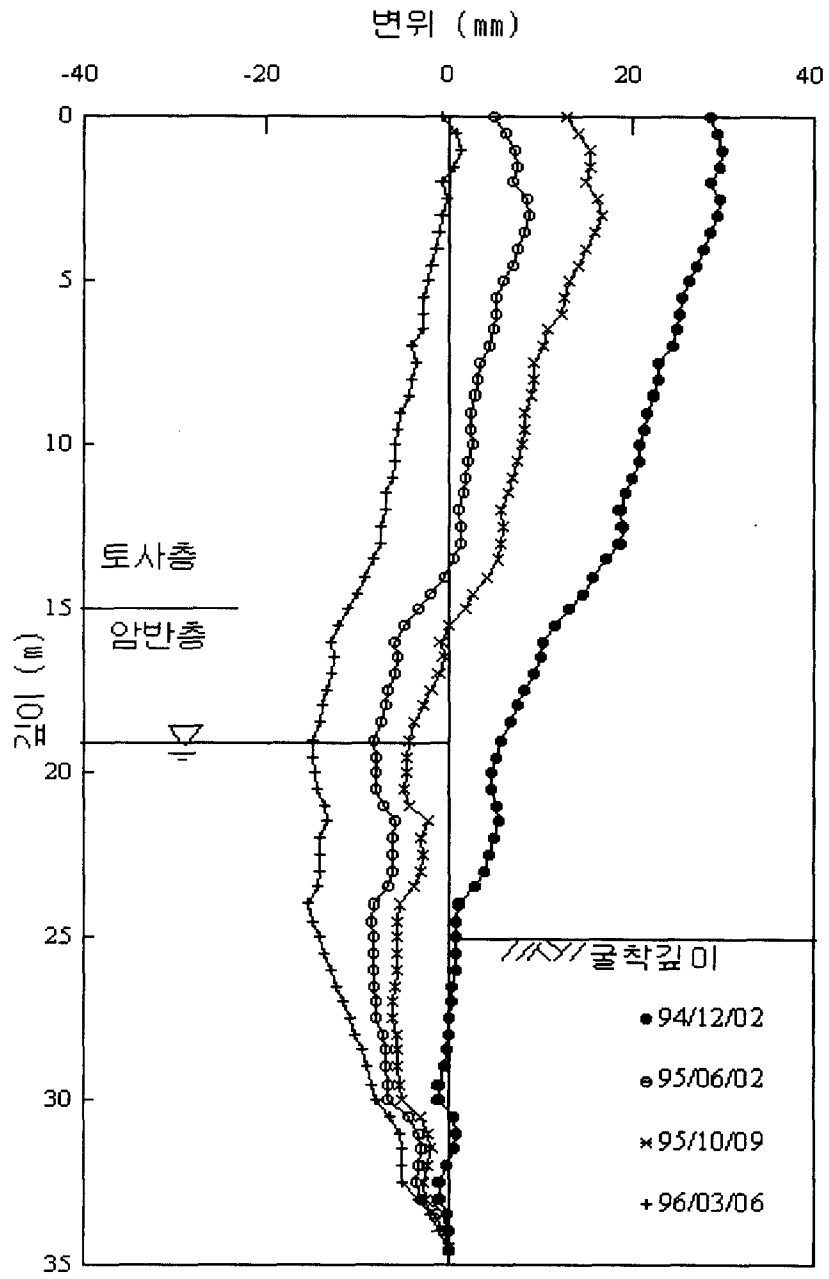


그림 1.7 흙막이벽의 변위 (B구간)

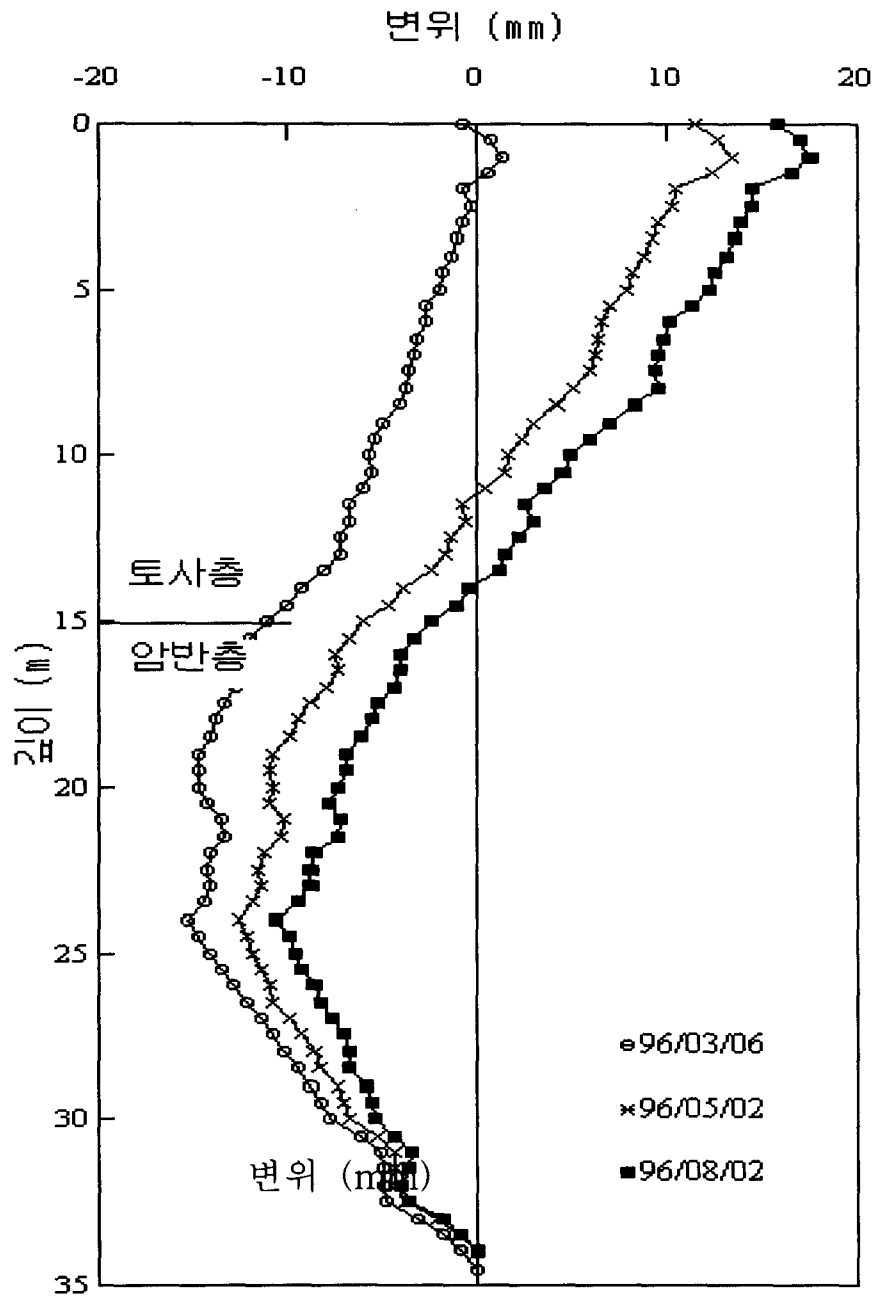
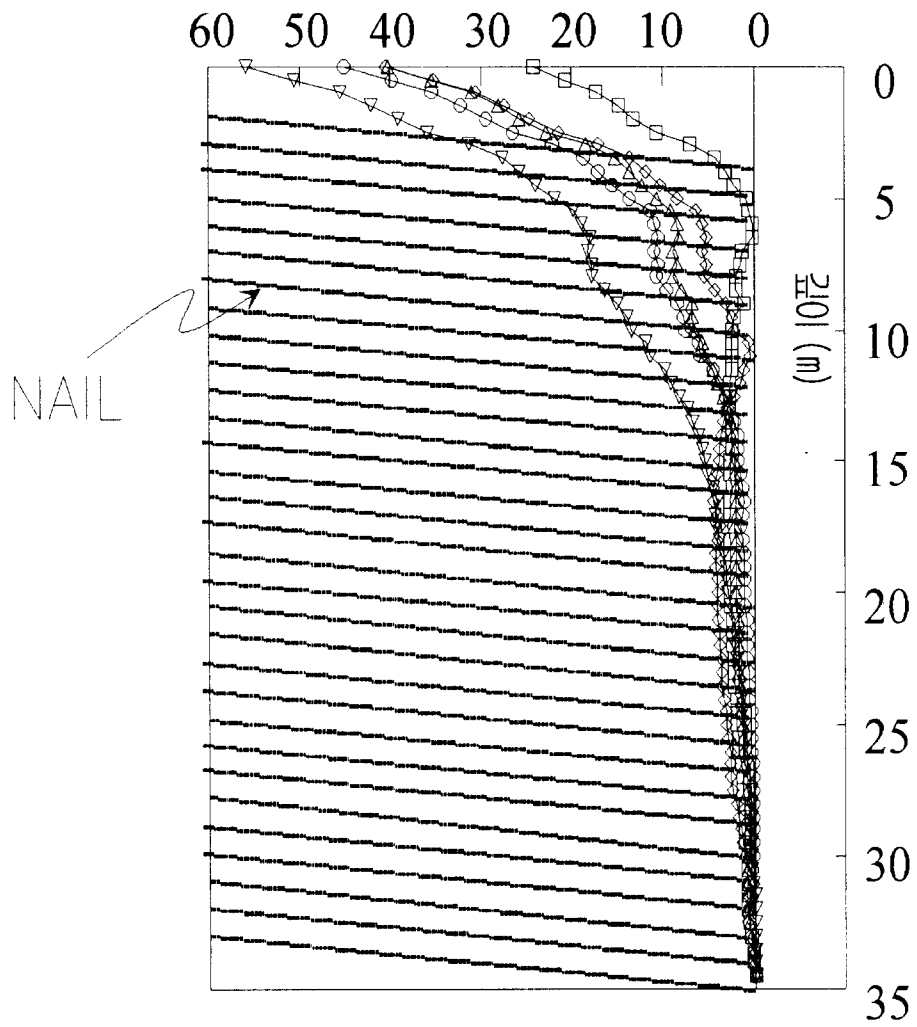


그림 1.8 흙막이벽의 변위 (C구간)



□ 94/04/04 5m굴착    ◇ 94/10/02 20m굴착  
 △ 94/06/23 10m굴착    ▽ 94/12/02 25m굴착  
 ⊙ 94/08/05 15m굴착

그림 1.9 흩막이벽 배면의 변위

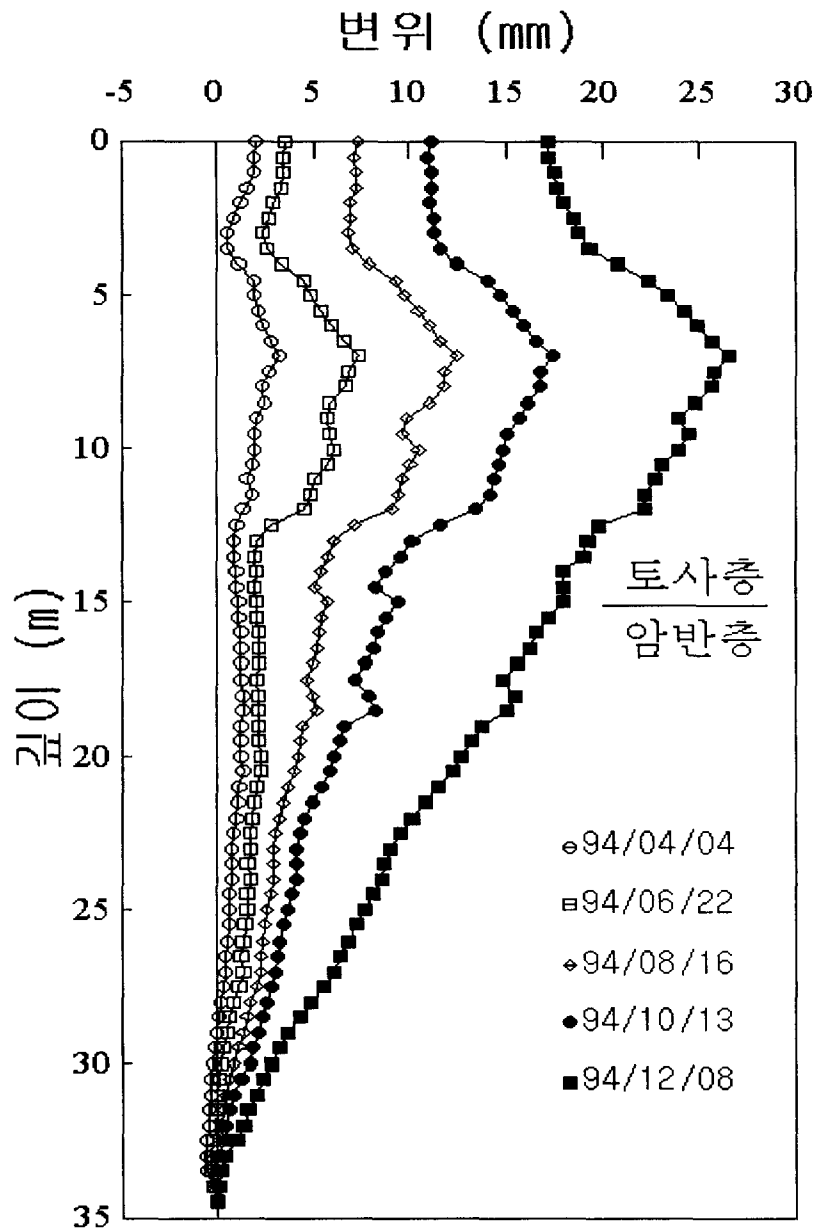


그림 1.10 어스앵커 지지 벽체변위 (A구간)

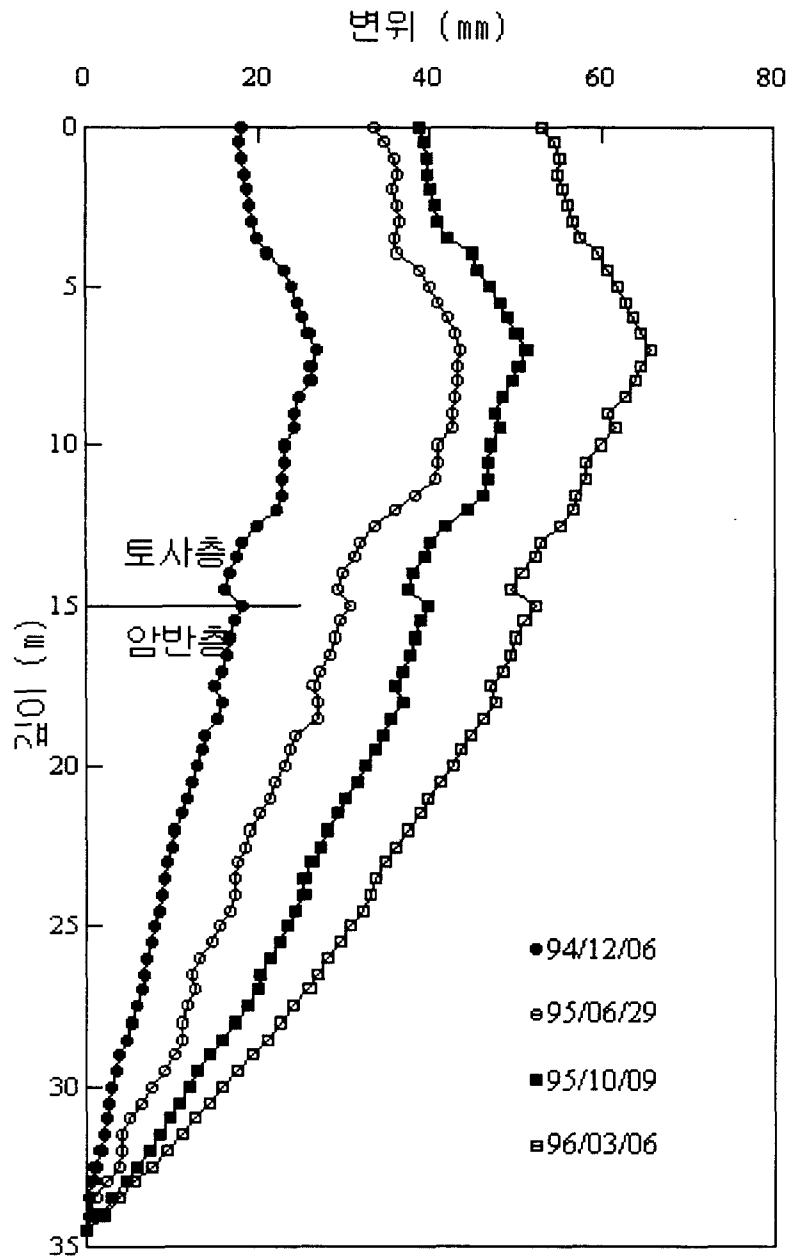


그림 1.11 어스앵커 지지 벽체변위 (B구간)

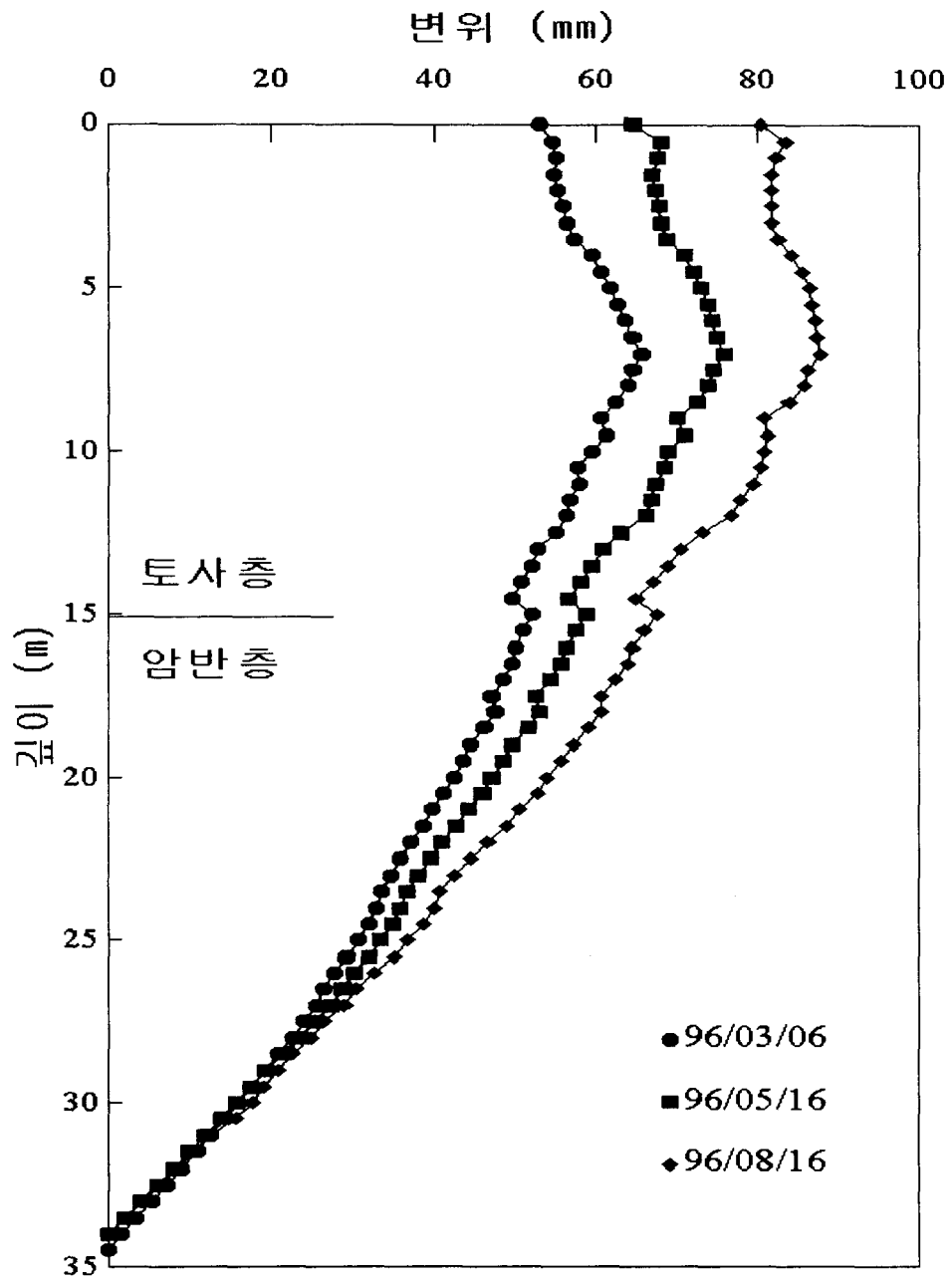


그림 1.12 어스앵커 지지 벽체변위 (C구간)

## 2. 제 2 사례현장

### 2.1 현장상황

본 현장은 서울시 강남구 도곡동에 위치하며 굴착면적은 4,820㎡(68.84m×70.02m)이고 건축구조물은 지하 7층과 지상31층으로 계획되었고, 굴착깊이는 G.L(-)21.80~29.65m이다. 그림 3.4에서 보는 바와 같이 본 현장의 주변으로 북측에는 남부순환대로(노폭 40m)가 위치하고, 서측에 신축건물 예정지가 위치하며, 동측에도 폭 15m를 건너 신축건물 예정지가 있고 남측에는 나대지 및 G.L (-)22.0m 까지 굴착된 신축부지가 위치하고 있다.

본 현장은 크게 두개 구간으로 나누어 시공토록 하였는데, 15m 도로구간은 흙막이 벽을 S.C.W(φ550, C.T.C 450mm)로 암반층까지 보강하고 쏘일 네일링으로 지지하는 방식을 계획하였고(그림 2.2(a) 참조), 40m의 지하철 구조물이 존재하는 남부순환대로측 구간에는 H-Pile을 2.0m간격으로 설치한 후 배면에 Jet grouting(φ800, C.T.C 600mm)을 지표로부터 암반층 상부까지 설치하여(그림 2.2(b) 참조) 각각의 구간에 대하여 굴착시 발생하는 초기 변위를 감소시킬 수 있도록 하였다.

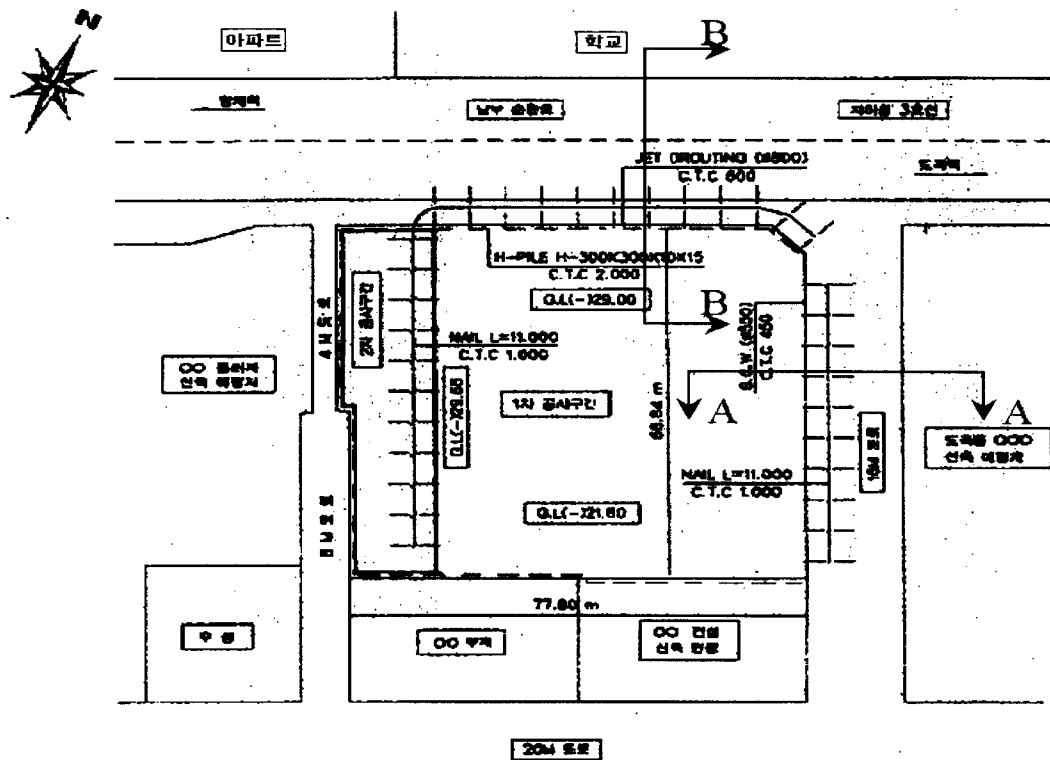
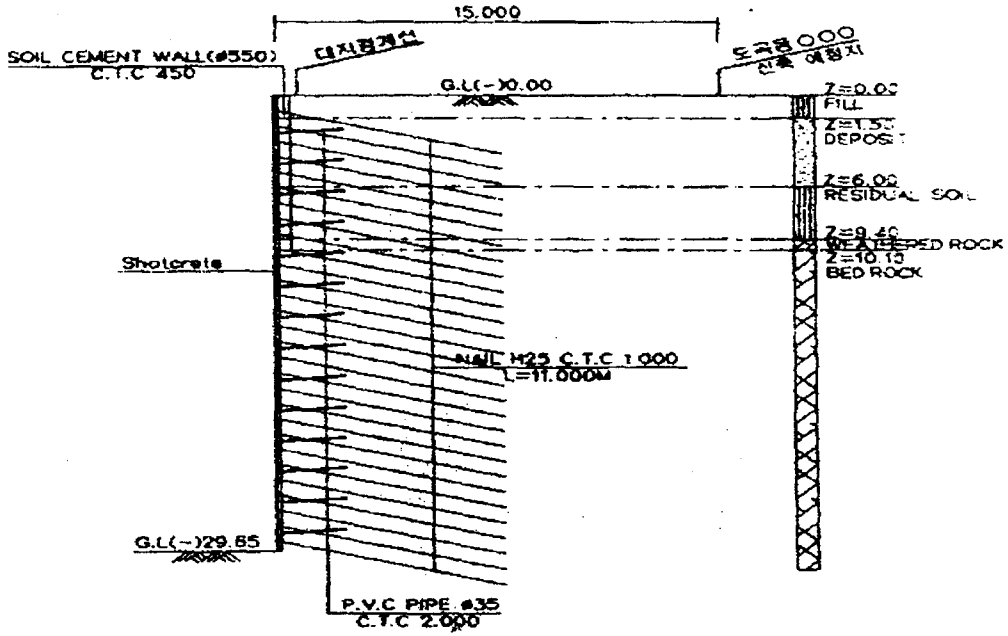


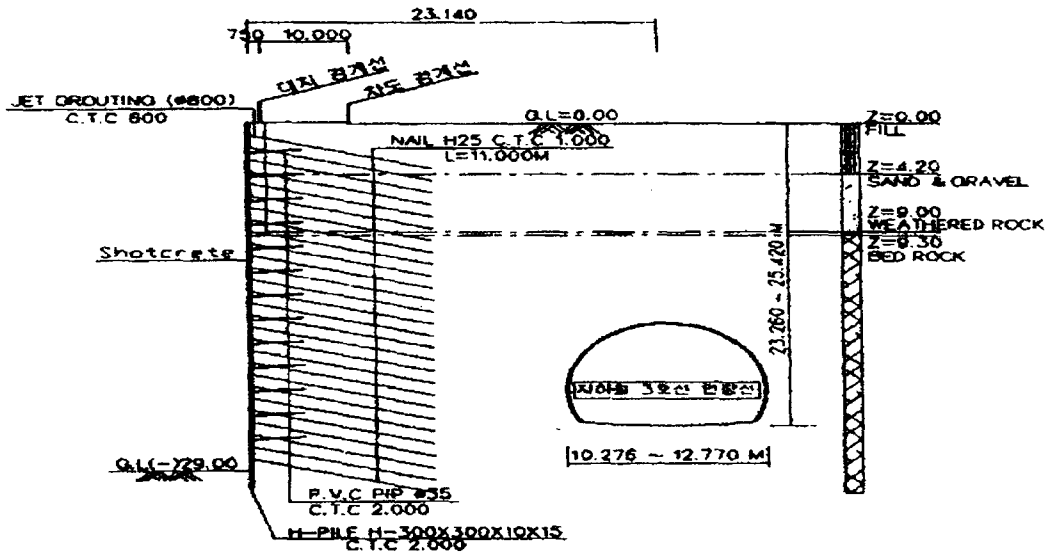
그림 2.1 제2사례현장 위치 및 주변현황

## 2.2 지반조건

그림 2.1에 표시된 AA단면, BB단면에 대하여 지질주상도와 흙막이공 단면을 나타내 보면 그림 2.2와 같다. 그림 2.2에서 보는 바와 같이 매립층, 퇴적층, 풍화대층(풍화잔류토층, 풍화암층), 기반암층의 순으로 분포되어 있으며 지하수위는 지표하 7.4~10.6m에 존재하고 있다.



(a) AA 단면



(a) BB 단면

그림 2.2 지층구성 및 굴착단면



최상부에 분포하고 있는 매립층은 황갈색을 띠는 실트질 모래와 부분적으로 자갈 및 전석층이 존재한다. 상대밀도는 느슨에서 보통상태이며, 층두께는 1.5~5.0m로 분포하고 있다. 퇴적층은 매립층 하부에 존재하며 본 층은 상부에 점토질 토층이 약 2.1m의 두께, 중앙부의 모래층이 1.8~6.1m의 두께가 존재하며, 모래층 아래에 자갈층이 21~5.3m의 두께로 분포하고 있다. 색깔은 황갈색을 띄며 표준관입시험결과 보통-매우 조밀한 상대밀도를 보이고 있다.

풍화토층은 기반암이 물리적 또는 화학적 풍화를 받아 암의 내부까지 완전 변질, 변색되고 현위치에서 토사화되어 있는 층으로 모암의 조직과 구조가 일부 잔류한다. 층두께는 0.2~0.7m이고, 구성성분은 황갈색의 실트질 모래이며 조밀한 상대밀도를 보이고 있다.

기반암층은 선캠브리아기의 편마암으로서 코아회수율은 약 28~100%, RQD값은 0~100%로 심도에 따라 차이가 있으며, 실내시험결과 일축압축강도는 223~644kg/cm<sup>2</sup> 정도로 연암 정도의 강도를 나타냈다.

## 2.3 계측결과

### 2.3.1 계측기설치위치 및 검토단면

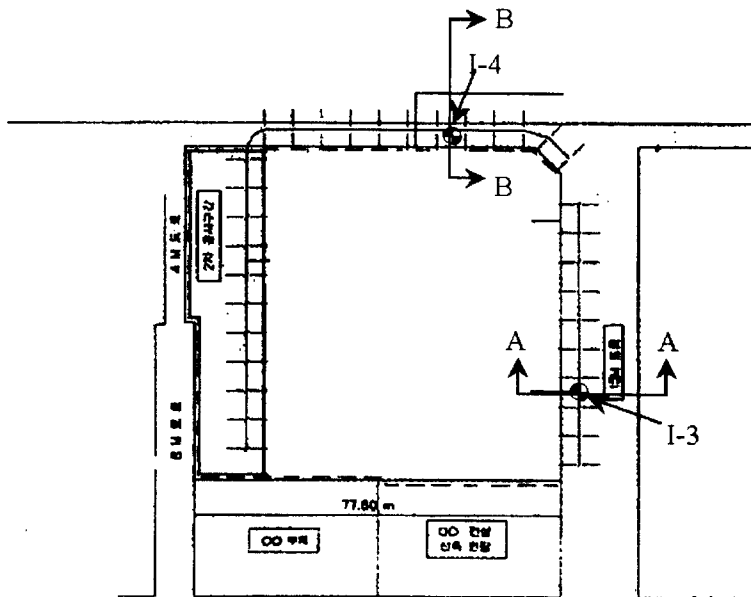


그림 2.3 제2현장 계측기 설치위치

그림 2.1은 그림 2.1에서 설명된 현장의 계측시스템을 도시한 단면도이다. 그림에서 보

는 바와 같이 BB단면은 쏘일네일링과 H-Pile을 동시에 시공한 대표 단면이고 AA단면의 경우는 쏘일네일링만을 시공한 대표 단면이다(그림 2.2 참조). 또한 BB단면에는 Jet Grouting( $\phi 800$ , C.T.C 600)으로 보강하였고 AA단면에는 S.C.W( $\phi 550$ , C.T.C 450)로 보강하였다.

본 현장에 대하여는 각 시공단면에 대하여 경사계 계측치만을 이용하여 그 벽체의 변위양상을 분석하여 보고자 한다.

### (1) 벽체변위

흙막이벽의 수평변위를 측정하기 위해 흙막이벽 배면에 설치한 경사계로부터 측정된 각 단면에 대한 벽체의 수평변위는 그림 2.4 및 그림 2.5과 같다. 횡축은 벽체의 굴착단계별 벽체변위량, 종축은 굴착깊이로 표시하여 굴착진행에 따른 벽체의 변위를 각각 도시하였다.

그림 2.4는 H-Pile사이에 쏘일네일링을 설치하고 배면에 암반층 경계면까지 Jet Grouting( $\phi 800$ , C.T.C 600)을 시공하고 하단 19m, 22m 그리고 25m 지점에는 3단의 앵커를 추가로 설치한 구간의 대표적인 수평변위 발생 계측값을 도시한 것이다. 구간의 경사계 계측값은 굴착단계별 계측한 값이다. 그림에서 보는 바와 같이 암반층과 토사층사이의 경계면에서 계측치는 큰 차이를 보이고 있으며 최대발생 변위는 두부에서 27mm이었다.

또한 그림 2.5는 H-Pile 사이에 쏘일네일링을 설치하고 벽체 배면에 S.C.W( $\phi 550$ , C.T.C 450)를 시공한 구간으로 굴착면 벽체변위를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 최상부에서 최대변위 35mm가 발생하였으며 토사층과 암반층의 경계면에서 계측치는 차이를 보이고 있다.

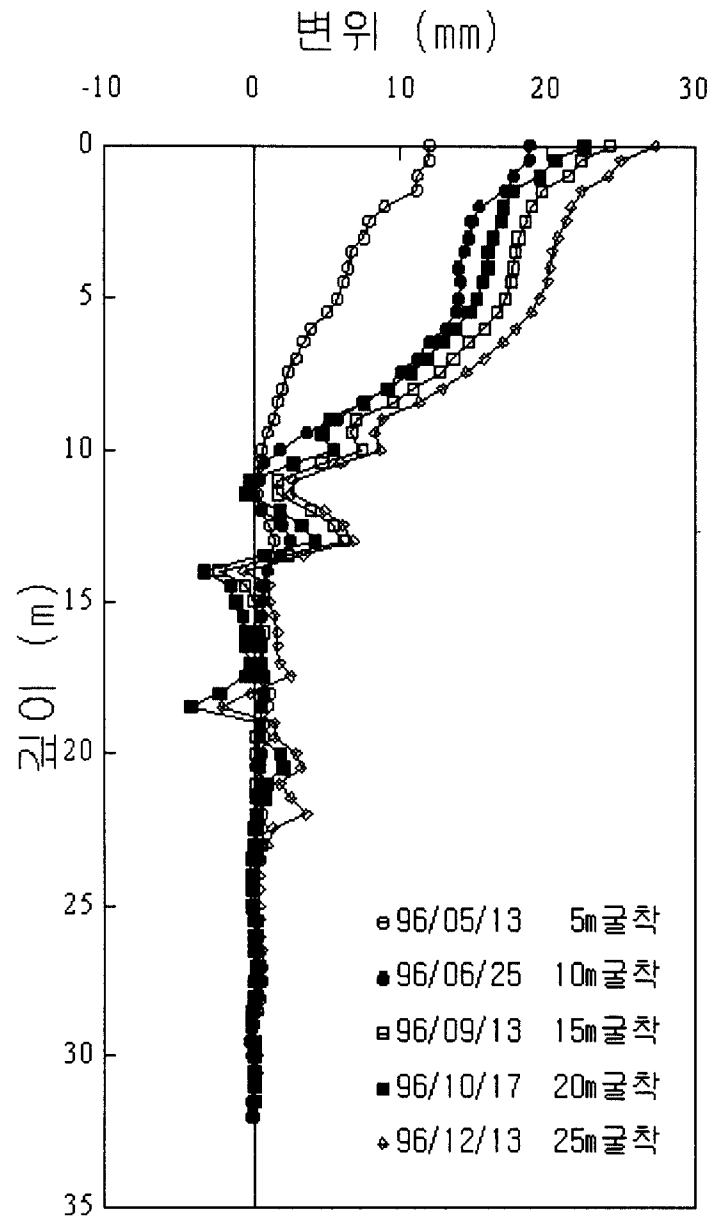


그림 2.4 제 2 현장 벽체의 수평변위도(I-4)

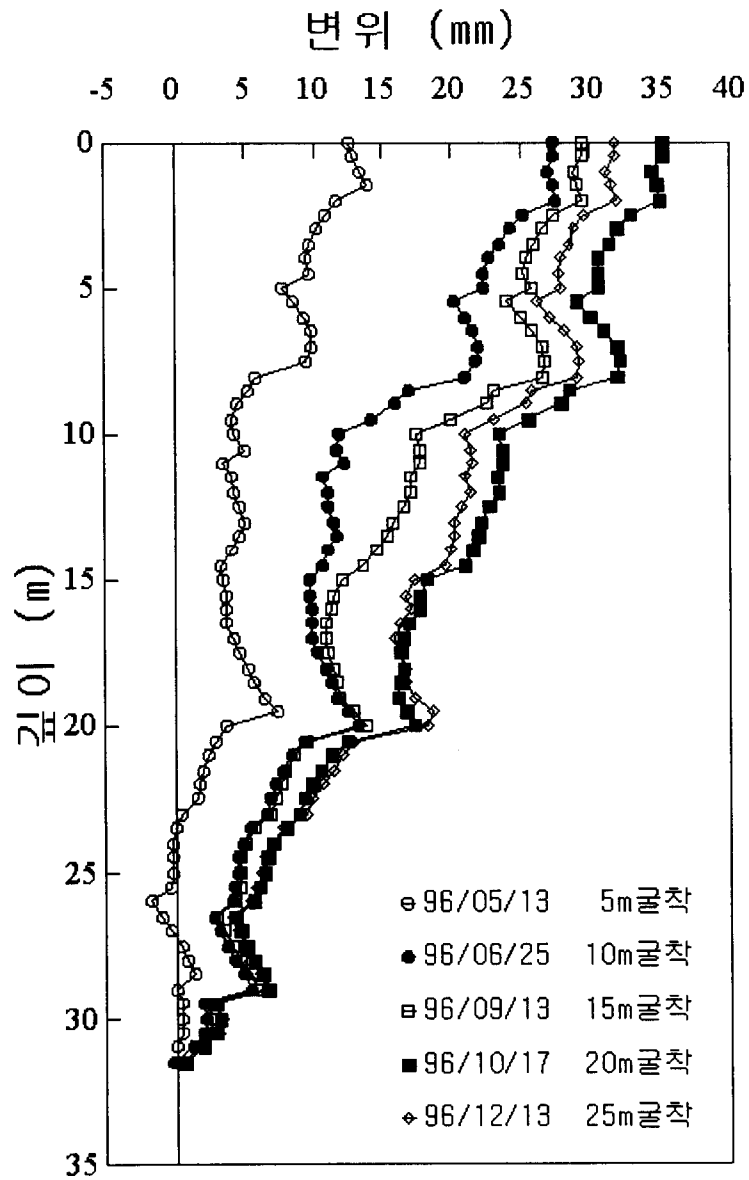


그림 2.5 제 2 현장 벽체의 수평변위도(I-3)

### 3. 계측결과의 고찰

#### 3.1 네일에 작용하는 축력

제 1사례현장의 그림 1.5에서 보여지듯이 경과시간에 따른 각 네일에 작용하는 하중을 횡축을 경과시간 종축을 작용하중으로 하여 각 단에 설치된 계측결과를 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 네일의 인장력은 상부 토사층(2~14단)에서는 크게 증가하고 있으나 하부 암반층(18단 이하)에서는 인장력의 증가가 미약하게 발생하는 것으로 보인다. 또한 굴착단계에 따른 하중증가 현상을 보면 그림에서 보는 바와 같이 각 단에서 측정된 굴착에 따른 네일의 축력은 굴착이 진행됨에 따라 급격한 증가 현상을 보이다가 16단 굴착완료시부터는 하중의 증가가 완만하게 증가하고 있다. 16단 이하는 암반층 굴착단계이기 때문인 것으로 판단된다.

#### 3.2 벽체의 변위에대한 안정성

그림 3.1은 경사계로부터 측정된 흙막이벽체의 수평변위와 굴착깊이와의 관계를 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 통상의 시공관리 기준인 최대발생변위는  $1/300H$ 를 만족하고 있으며 앵커시공된 현장의 경우보다 네일시공된 현장의 경우가 굴착깊이별 최대변위가 안정측으로 도시되고 있다. 또한 굴착깊이별 최대변위 발생분포도 앵커시공현장에 비해서 네일시공된 현장의 경우가 일정한 증가분포를 보이고 있다. 단 그림에서 표시된 앵커시공된 현장의 사례는 타현장의 경우 홍원표(1995) 등이 발표한 현장의 사례를 수집 표현한 것이다.

한편 그림 3.2에서는 쏘일네일링 시공된 굴착공사 현장의 벽체의 안정성을 검토하여 보기 위하여 쏘일네일링이 시공된 벽체의 수평변위를 최대변위와 굴착깊이 그리고 무차원화된 최대굴착깊이에 대한 수평변위의 비( $z/H$ )와 굴착깊이와 최대굴착깊이 비( $\delta/H$ )로 도시하여 분석하여 보았다.

그림 3.2에서 보는 바와 같이 홍원표에 의해 제시된바 있는 흙막이벽체 시공사례에 대한 현장상태의 양호점과 불량점 기준에 따른 무차원화된 굴착깊이에 대한 수평변위 관계를 이용하였다. 즉, 횡축은 최종굴착깊이에 대한 단계별 굴착깊이( $z/H$ )로 나타내고, 종축은 최종굴착깊이에 대한 수평변위( $\delta/H$ )로 무차원화시켜 나타내면 수평변위는 시공상태가 양호한 현장과 불량한 현장이 분명히 구분될 수 있다. 즉 불량한 현장의 계측결과는 상부에 도시되고 양호한 현장의 결과는 하부에 도시되며 중간부분에는 이들 두 상태가 함께 존재하게 된다. 이 결과를 활용하면 수평변위에 의한 흙막이구조물의 안정성을 판단할 수 있는 기준을 다음과 같이 제시할 수 있다.

$\delta \leq 1.5 \times 10^{-3} \cdot Z$  : 양호한 현장

$1.5 \times 10^{-3} \cdot Z \leq \delta \leq 2.5 \times 10^{-3} \cdot Z$  : 요주의 현장

$\delta > 2.5 \times 10^{-3} \cdot Z$  : 불량한 현장

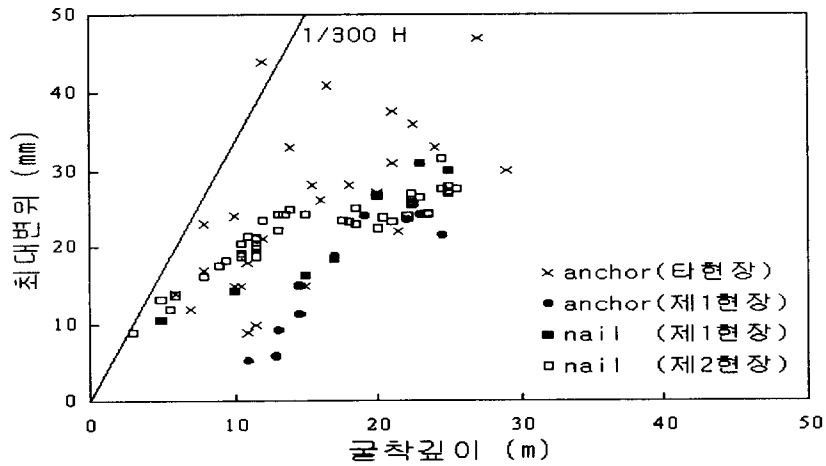


그림 3.1 평균깊이와 최대변위와의 관계

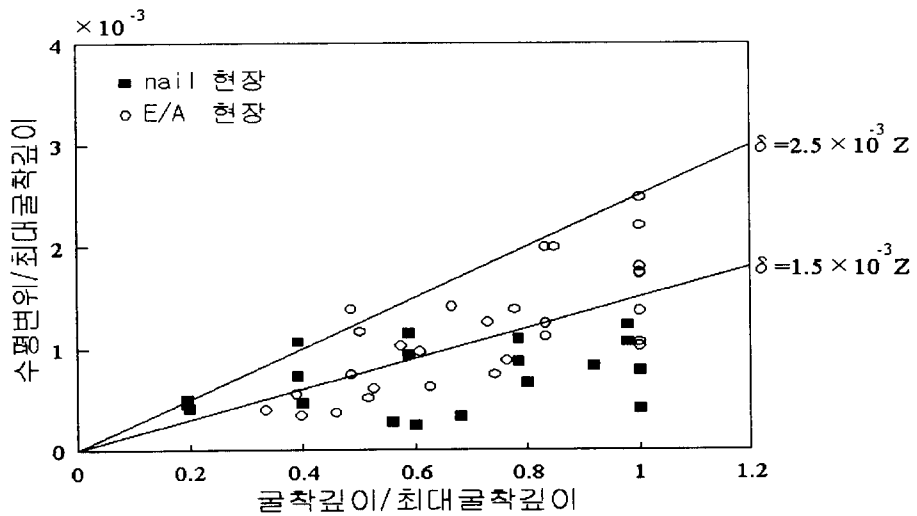


그림 3.2 평균깊이와 흙막이벽 수평변위와의 관계

즉, 각 굴착단계별 굴착깊이 ( $Z$ )에 대한 흙막이벽체의 수평변위 ( $\delta$ )가  $1.5 \times 10^{-3} \cdot Z$  이하면 흙막이벽체의 안정성이 양호한 현상이며,  $(1.5 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-3}) \cdot Z$  사이이면 주의시공을 요하는 현상이고,  $2.5 \times 10^{-3} \cdot Z$  이상이면 흙막이벽체의 안정성이 불량한 현장으로 판단할 수 있다.

이와같이 제시된 기준을 본 현장사례에 대하여 그림에서 보는 바와 같이 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 네일이 시공된 현장의 경우 앵커시공전 현장의 경우보다 비교적 양호한 현장에 포함됨을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

쏘일네일링과 어스앵커공이 시공된 현장을 대상으로 변형률계와 경사계에 의한 현장 계측을 통하여 지반의 변형거동을 분석하였다.

본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시공단계에 따라 1차 굴착단계, 공사 중단기간 단계, 2차 굴착단계의 3단계로 나누어 질 수 있었으며 각 단계에 따라 지반의 응력상태나 거동이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

제1사례현장의 경우 공사 중단기간인 1994년 12월부터 1996년 3월까지 앵커구간은 변위가 계속 진행하고 있으나 쏘일네일링 지지벽체는 변위가 회복되는 양상을 보여 주었다.

2) 네일링 설치 배면지반의 경우 굴착 직후면 지반의 경우보다. 더큰 수평변위가 발생하였다.

6) 네일링굴착지반의 경우 초기굴착단계에서의 변위는 크지만 장기적인 최대 변위 발생은 앵커의 경우보다 적다.

4) 본 현장에서 계측된 굴착깊이와 수평변위와의 관계는 홍원표 등에 의해 제시된 현상상태의 양호점과 불량점 기준에서 어스앵커가 시공된 현장에 비해 비교적 양호한 기준에 포함되어 제시된 판정기준이 향후 추가자료 축적을 통해 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

1. 김홍택(1995) ,“Nailed-Soil 굴착벽체의 발휘인장력 예측“, 한국지반공학회지, Vol. 11, No. 2, PP.79-97
2. 신승목, 이중재, 허정훈, 남궁한, 고희선, 김대중(1997), “Soil Nailing 이론과시공사례“, 새길엔지니어링, PP.25-35
3. 윤중만(1993), “앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압과 수평변위“, 중앙대학교대학원 석사학위논문
4. 정철호, 최병철, 김효진, 박용부(1995), “쏘일네일링 토류벽의 시공방안연구“.대한주택공사 주택연구소, PP.7-16
5. 홍원표, 이기준(1992), “앵커지지 굴착흙막이벽에 작용하는 측방토압“, 대한지반공학회지, 제8권, 제4호, PP.87-95
6. Schlosser, F.& Unterreiner, P.(1991), “Soil Nailing in France : Research and Practice“, Transportation Research Record, No. 1330, PP.72-79
7. Schlosser, F.(1983), “Similarities and differences in the behavior and design of Reinforced Earth and soil nailing, structures.“, Sols et Foundations, PP.1184
8. Schlosser, F.(1991),“Recommendations Clouterre/Soil Nailing Recommendations, French National Research Project“, No. FHWA-SA-93-026