
쏘일네일링공법의 설계 및 시공사례 연구

A Case Study on the Design and Construction of Soil Nailing Method

배명제, 정철호, 이준호, 김효진, 박용부
대한주택공사
김종규, 김승영, 성안제
(주)동아지질

〈 요 지 〉

쏘일네일링공법에 관한 기본이론을 고찰하고 현장에 적용된 사례를 중심으로 설계 및 시공과정을 논하였으며 계측과 시공 결과에 대하여 검토하였다.

〈 Abstract 〉

This paper was focused on the basic theory of soil nailing method in advance, and reviewed of design and construction process in-situ application case. It also analyzed the result of field measurements and construction.

1. 서 론

산업의 발달에 따른 공단의 조성이나 신도시 건설 등으로 개발이 용이한 평지나 경사가 완만한 구릉지가 대부분 고갈되어 택지 부족현상이 심화되고 있으므로 산지와 같은 급경사지를 택지로 개발하는 것이 불가피한 실정이다. 따라서 부적택지에 대한 토지의 이용도를 높이고 주거단지의 안정성과 쾌적성을 확보하면서 시공성, 경제성 및 환경 보전성을 충족시킬 수 있는 비탈면 안정대책공법의 확립이 요구되고 있다.

비탈안정공법으로 종래에는 자연재료인 흙이나 암석의 성질에 순응하여 대책을 수립하는 것이 이분야에서 사용되는 공법의 주류였지만, 최근에는 오히려 자연재료나 자연상태에 의존하지 않고 적극적으로 신소재를 사용하거나 신기술로 흙이나 암반을 보강한 대책공법이 실용화되어 많이 적용되고 있다. 지반의 전단 또는 활동저항력을 증대시키기 위해 흙이나 암반을 여러 다양한 인공 재료로 보강하는 보강토공법은 대상 지반에 따라 성토보강과 원지반보강으로 대별할 수 있는데 쏘일네일링공법은 주로 원지반보강에 사용되는 공법이다. 본 연구에서는 쏘일네일링 공법의 개요를 설명하고 본 공법을 지하터파기에서 토류벽으로 이용한 시공사례를 소개하기로 한다.

2. 쏘일네일링 공법의 개요

쏘일네일링 공법은 다른 철근류 삽입공법과 마찬가지로 토사나 암반에 비교적 길이가 짧은 (2-6m) 강재나 유리 합성섬유 등의 보강재(D22-D32)를 많이 설치하는 지반보강과 슛크리트 등으로 굴착면을 보호하는 표면보호공을 조합 시공하여 흙막이 벽면이나 급경사 비탈면을 안정화시키는 공법이다. 시공방법은 그림 2.1에서 보인바와 같이 비탈면이나 터파기굴착면을 자립할 수 있는 안정높이로 굴착함과 동시에 슛크리트 등으로 표면보호공을 시공하고 굴착배면 지반에는 천공 또는 기타의 방법으로 보강재를 박아 넣는 단순작업에 의해 보강토벽체를 조성한다.

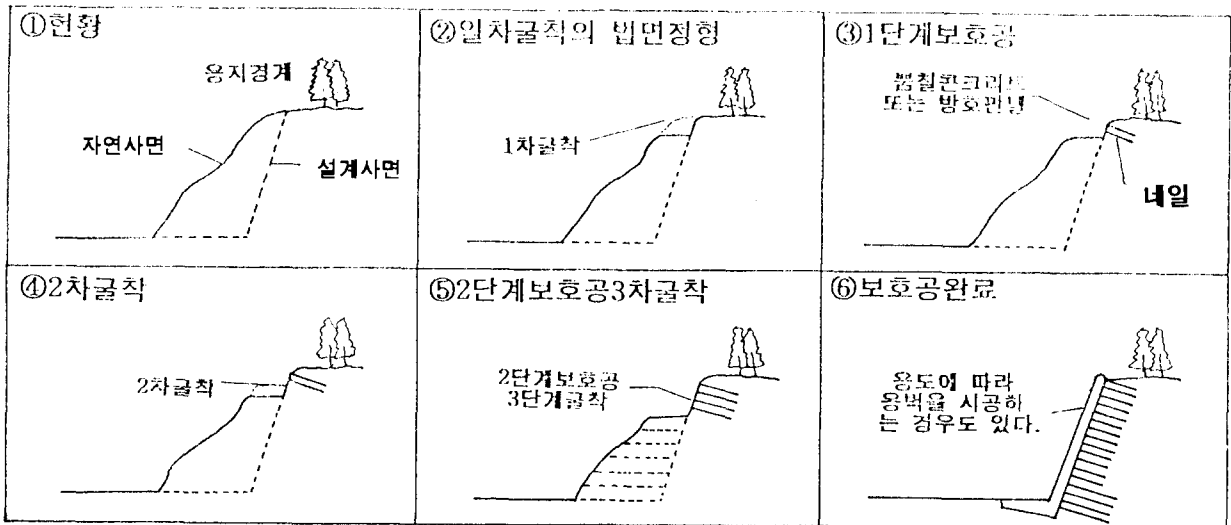


그림 2.1 시공순서도

이 공법의 용도는 절토비탈면의 안정대책이나 토류벽 이외에 터널보강, 기존 구조물 보강, 비탈면 보강 등 광범위한 용도에 적용할 수 있다. 특히 이 공법은 굴착면 가까이 지하구조물이 있어 앵커공법의 사용이 제한받는 곳에서 효과적으로 이용할 수 있지만 성토 비탈면에서 흙막이나 옹벽대체공으로는 적합하지가 않다.

비탈안정대책으로 사용하는 경우에 이공법이 갖는 특징으로는

- ① 시공장비가 간단하고 소형이므로 협소하거나 긴 비탈면 등 시공조건이 나쁜 곳에도 적용이 쉽다.
- ② 지질상황이나 시공조건 변화에 대한 순응성이 좋다.
- ③ 비탈경사를 급경사로 할 수 있어 토지 이용효율을 높일 수 있다.
- ④ 일반적으로 기존의 공법들과 비교하여 공사비가 절감되는 경우가 많다.

그리고 흙막이벽으로 사용하는 경우

- ① 터파기 내부에 장애물이 없고 가시설공기가 터파기에 대부분 포함되므로 공기가 단축되고 공사비가 절감되는 경우가 많다.
- ② 지하구조물 가시설로 이용하는 경우에 지하구조물에 작용하는 토압이 경감되고 합벽처리가 용이하다.
- ③ 시공중 계측관리를 실시하고 그 결과를 환류시킴으로서 지반조건에 따라 안정되고 경제적인 시공이 가능하다.
- ④ 시공장비가 간단하고 소형이므로 협소한 장소에서도 시공이 용이하다.

는 등의 장점을 가지고 있는 반면에

- ① 산사태와 같이 깊은파괴가 예상되는 비탈면이나 연약점토지반 등 붕괴형태나 지반조건에 따라서 적용에 한계가 있다.
 - ② 절토에 의한 비탈면 변형에 엄격한 제한이 있는 장소에 대해서는 적용이 곤란하다.
 - ③ 신공법으로 시공 경험이 적다.
- 는 단점도 있다.

이공법은 비교적 역사가 짧은 공법이기때문에 적용시에는 조사, 설계, 시공의 각 단계에 대한 충분한 검토가 필요하다.

3. 기본설계개념

쏘일네일링 공법의 기본적인 설계개념은 네일링에 의해 보강된 영역의 토괴가 마치 일체화된 옹벽과 같은 작용을 한다는 현상에 의해 이 보강토벽체가 가정할 수 있는 어떠한 경사면에 대해서도 안정을 유지한다고 하는 방식을 근거로 하고 있다. 그림 3.1에 나타난 사면에서 원지반의 강도가 부족한 경우 보강을 하지 않는 비탈면은 붕괴를 예상할 수 있다. 이러한 사면에 쏘일네일링 공법을 적용하면 보강재의 효과에 의해 임계사면은 그림과 같이 뒷쪽으로 이동하고 이때의 안전율은 처음의 안전율보다 증가하게 된다.

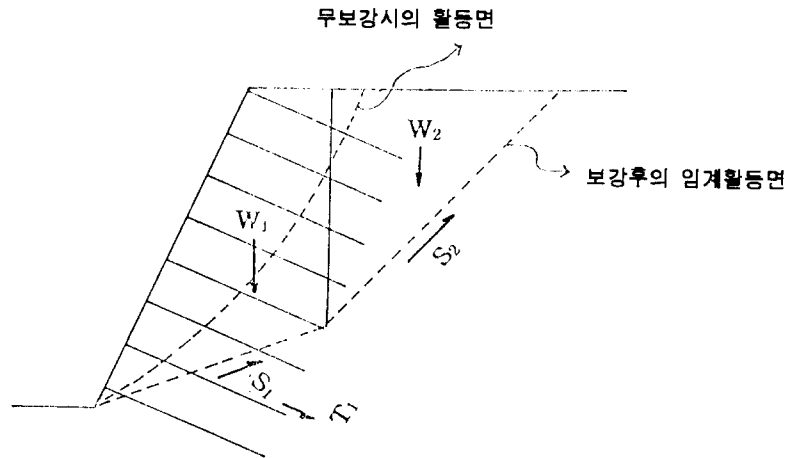


그림 3.1 쓰일네일링 보강의 임계활동면의 변화

비탈면 안정의 기본적인 방식은 법면내의 임계사면위에 있어서 경사면 아래에 배치된 보강재에 발생하는 인장력과 경사면 위에서의 흙의 전단저항력, 그리고 경사토괴중량의 균형을 맞추는 단순한 힘의 평형식을 근거로 한다.

현재 실용적으로 이용되고 있는 철근보강토공법의 설계는 몇가지 방법이 제안되어 사용되고 있는데 아직 표준화 처리는 못했다. 따라서 대상 지반의 토성, 붕괴형태 등을 조사 검토하여 가장 적합한 설계법을 선정할 필요가 있으며 대표적인 설계법은 다음의 표 3.1에 보여주는 바와 같다.

표3.1 각종설계법의 개요

원 호 활 동 면	복합경사활동면	단일경사활동면	유 사 응 벽
<p>미끄러짐형상을 원호로 가정한다. 미끄러짐면 보다 더 깊은 보강재의 인장력으로 활동저항효과를 생각한다.</p>	<p>미끄러짐 형상은 3평면으로 나타내고 2개의 미끄러짐 토괴를 가정한다. 미끄러짐면보다 더 깊은 보강재의 인장력으로 활동저항 효과를 고려한다.</p>	<p>보강된 부분을 유사옹벽이라고 생각한다. 뒷면의 토압에 대하여 보강부분이 옹벽과 비슷한 상대로 저항한다.</p>	<p>$45^\circ \sim (45^\circ + \phi/2)$인 구배의 직선 미끄러짐을 가정 한다. 미끄러짐면보다 더 깊은 보강재의 인장력으로 효과를 생각한다.</p>

위의 표 3.1에 나타나있는 공법들 중에서 가장 많이 이용되는 것은 원호활동면에 의한 안전을 계산법이며 그때의 계산공식은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{\Sigma(W \cdot \cos\alpha - U \cdot L)\tan\phi' + T\cos\beta + C'L}{\Sigma W \cdot \sin\alpha}$$

여기서, F_s : 사면의 안전률 ϕ' : 유효내부 마찰각(°)
 W : 미끄러진 흙의 중량(t) U : 분할면 저변에 작용하는 간극수압(t/m²)
 L : 활동면의 길이(m) α : 분할면 저변의 경사각(°)
 C' : 지반의 유효점착력(t/m²) β : 분할면 저변과 보강재가 이루는각(°)
 T : 분할면 저변에 작용하는 보강재의 인장력(t)

4. 시공사례

4-1 공사개요

본 현장은 전남 순천시 조례동에 신축하는 건물의 지하터파기를 위한 토류벽공사로서 기존설계는 H말뚝과 횡널판을 이용한 토류벽이었으나 설계변경으로 쓰일네일링 토류벽으로 시공한 사례이다. 공사규모는 굴착면적 약 1100m² (42m×26m), 굴착깊이 17.0m(지하 4층)이었으며 굴착현장의 토질은 그림 4.1에 보여주는 바와같이 상부로부터 매립층·퇴적층·풍화잔류층·풍화암층으로 분포되어있다.

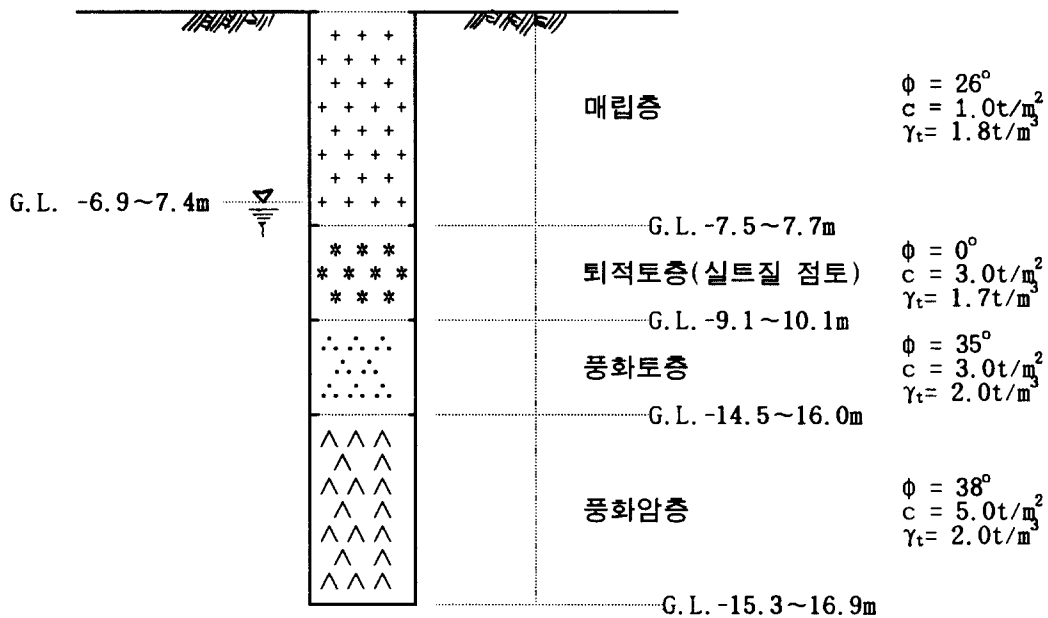


그림 4.1 토질주상도

4-2 설 계

토류벽의 설계는 지층구조·토질정수·굴착심도 및 볼트의 정착력 등을 근거로 그림 4.2에 보여주는 흐름도와 같은 순서로 하였으며 허용안전율은 가설구조물임을 감안하여 1.3으로하였다. 실제 안정계산은 모두 컴퓨터해석 프로그램에 의하여 실시하였으며 계산결과를 표4.1과 같고 그림 4.3은 설계단면을 보인 것이다.

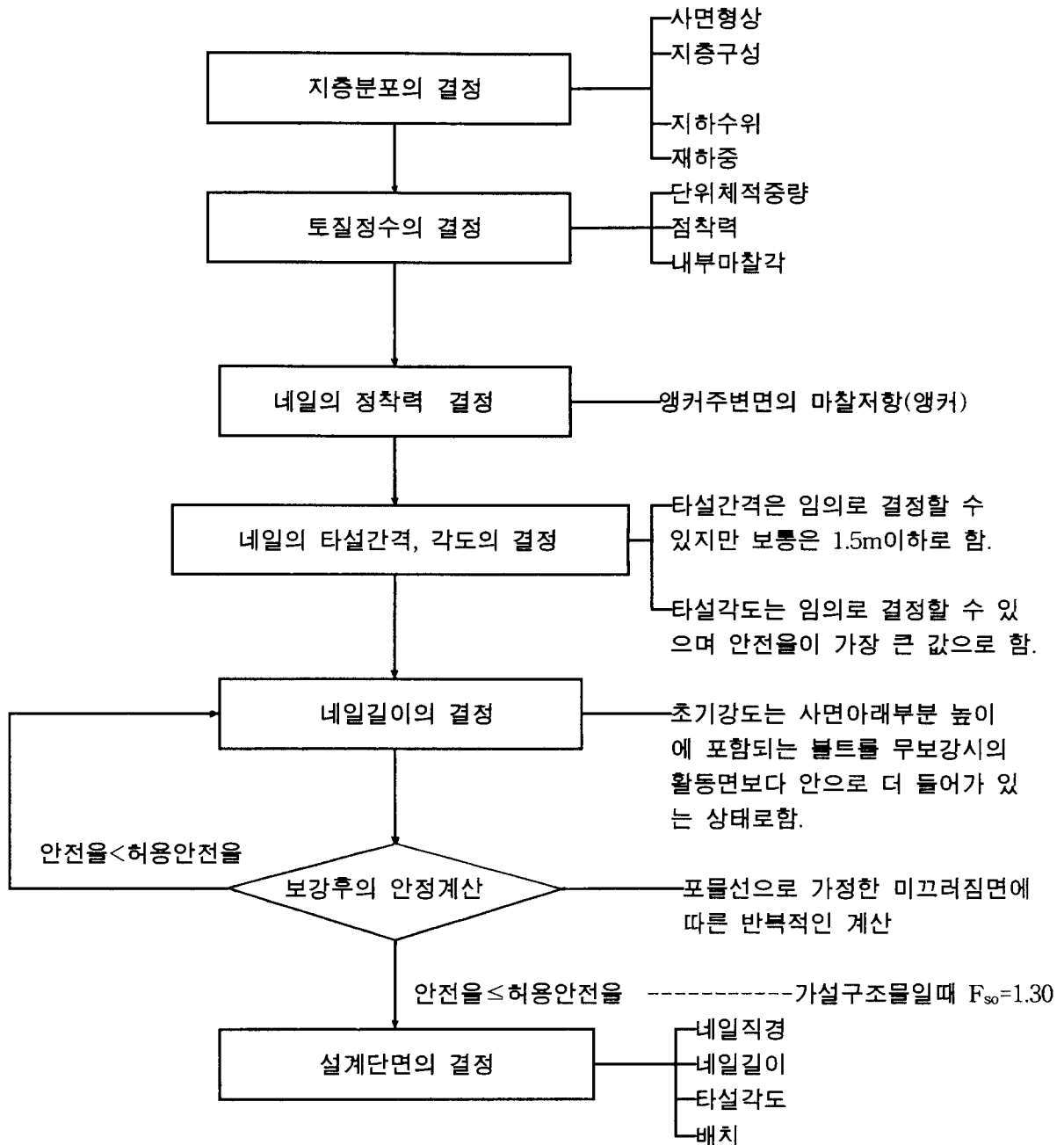
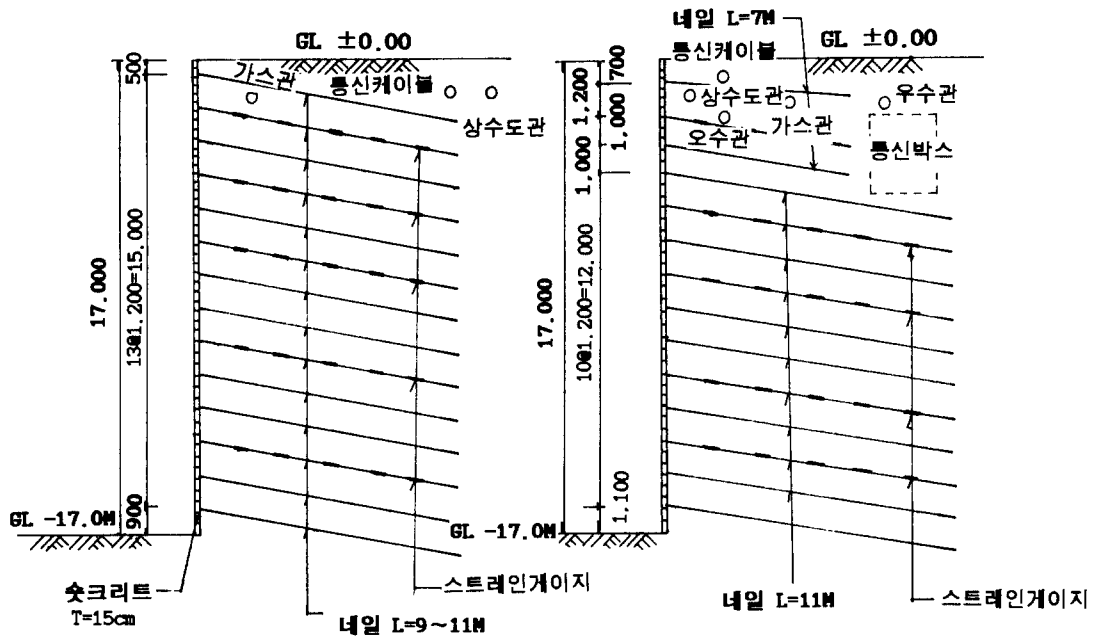


그림 4.2 설계플로우차트

표 4.1 설계결과

항 목	설 계 결 과
- 네 일 의 규 격	- 이형철근(φ25mm, SBD40)
- 네 일 의 길 이	- 9 ~ 11m
- 네일의 설치각도	- 10° (가장효율적인 설치각도)
- 네일의 설치간격	- 수평 1.2m, 수직 1.2m
- 슛크리트	- 1차(7.5cm) + 2차(7.5cm),
- 슛크리트 보강	- 와이어메쉬(φ4.8×100×100) 수평철근(D16 이형철근 사용) 일부구간 강섬유 사용



(a) 표준단면

(b) 통신관로부위 단면

그림 4.3 설계단면도

4-3. 시공

본 공사에서 쓰일네일링 토류벽의 시공은 크게 지반굴착, 굴착면을 보호하기위한 표면보호공(숫크리트), 굴착배면지반을 보호하기위한 보강재(네일) 설치로 나눌 수 있으며 시공순서는 그림 4.4에 보여주는바와 같고 세부시공 내용은 다음과 같다.

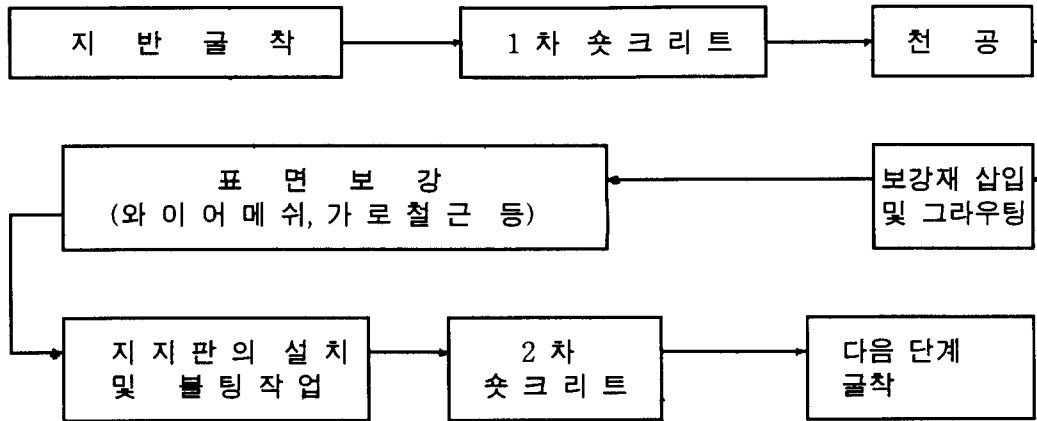


그림 4.4 시공순서

1) 지반굴착

본현장은 실트질점토지반으로 구성되어 있어 일반적인 지반굴착과 마찬가지로 백호를 사용하였으며 굴착된 흙은 덤프트럭을 이용하여 반출하였다. 그러나 본공사에서는 쓰일네일링 토류벽을 외부 거푸집으로 이용하였으므로 구조물의 위치와 형상에 따라서 정밀한 굴착이 요구되었다. 각 단계별 굴착깊이는 토질에 따라 지반이 자립할 수 있도록 1.2m씩 굴착하였다.

2) 표면보호공

굴착면을 보호하기 위한 표면보호공은 일반적으로 많이 이용되는 숫크리트로 하였으며, 숫크리트는 1차와 2차로 나누어서 각각 7.5cm 두께로 시공하였다. 그림 4.5는 숫크리트에 의한 표면보호공 시공장면을 보여주는 것이다. 숫크리트는 초기강도를 얻기위하여 급결제를 사용하였으며 와이어메쉬와 수평철근을 이용하여 표면을 보강하고 일부구간에는 강섬유(steel fiber)를 사용하였다. 또한 본현장의 상부토사는 느슨한 매립토층이므로 초기 굴착시 숫크리트의 박리현상과 지반붕괴가 심하게 발생하므로 이를 방지하기 위하여 굴착토배면에 약 1.5m 폭으로 캡(cap) 콘크리트를 타설하였다. 그리고 숫크리트의 설계·시공에 관한 기타 사항들은 철근콘크리트 표준시방서에 따랐으며 표 4.2는 숫크리트의 배합비를 보여준 것이다.



그림 4.5 표면보호공(2차 슛크리트) 시공장면

표 4.2 슛크리트의 배합비

시멘트	모래	자갈	w/c	급결재
400 kg	1270 kg	850 kg	45~50%	20 kg

3) 네일의 시공

네일을 설치하기 위한 천공은 크롤러드릴을 사용하였으며, 공벽의 붕괴를 방지하기 위하여 케이싱을 사용하였다. 그림 4.6은 크롤러드릴에 의한 천공장면을 보여주는 것이며, 천공각도는 수평면에서 아래로 10° 경사지게 하였으며 천공직경은 4인치 비트를 사용하였다. 네일은 이형 철근(φ-25mm, SBD-40)을 사용하였으며 네일의 균등한 피복두께를 확보하기 위하여 2m 간격으로 스페이서를 설치하였다. 네일을 설치한 후에는 즉시 그라우팅을 실시하였으며 그라우팅은 무압으로 하였다. 그라우팅의 배합은 표 4-3에 보인바와 같으며 28일 강도가 250kg/cm² 이 되도록 하였다.

표 4.3 그라우팅의 배합비

시멘트	감수재	팽창재	w/c
400 kg	2.4 ℓ	2 kg	45 %

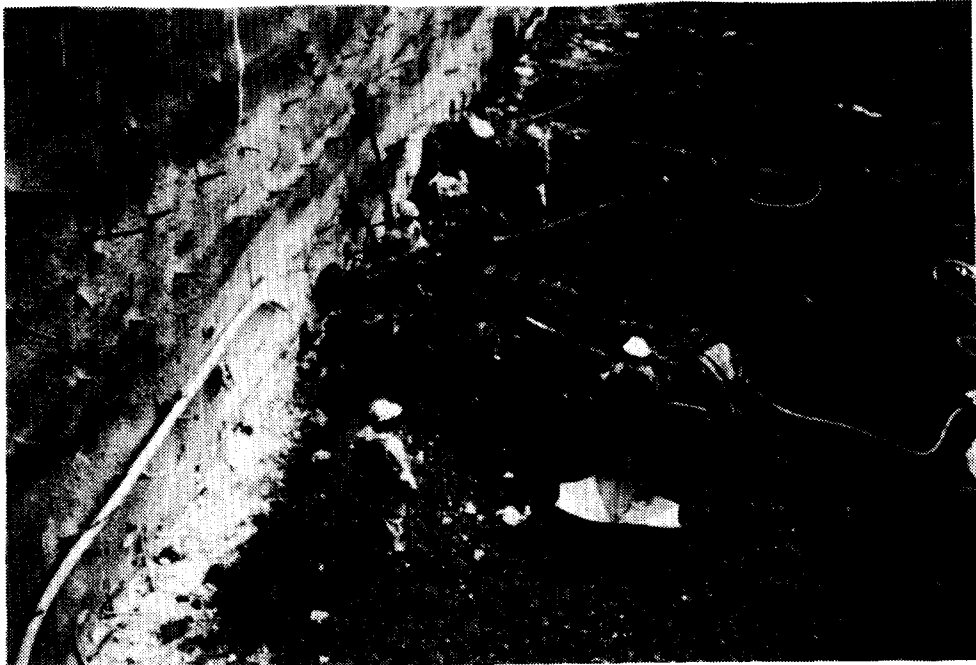


그림 4.6 크롤러드릴에 의한 천공장면

그라우팅이 끝난뒤 표면보호공과 네일의 연결은 지압판과 라이너스크루를 이용하였으며 이때 응력분산이 원활하도록 가로철근을 사용하였다.
그림 4.7은 네일의 설치단면을 보여준 것이다.

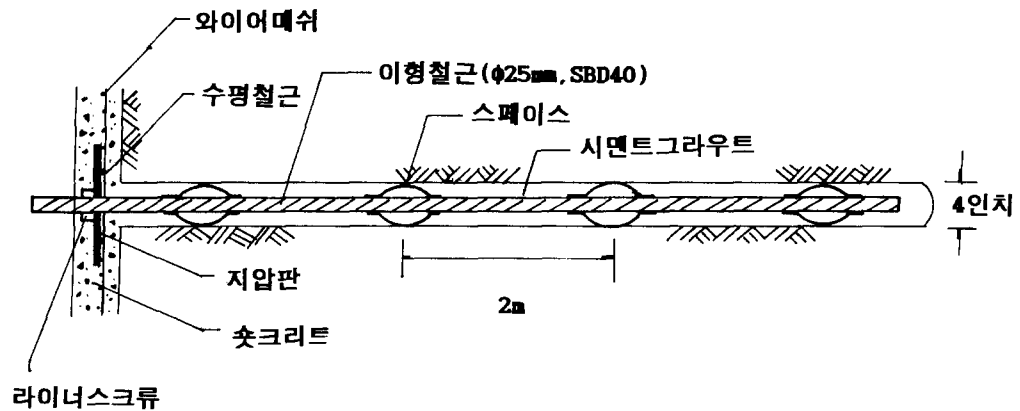


그림 4.7 네일의 설치단면도

4-4. 시공관리

시공관리를 위한 계측항목은 표 4.4에 보인바와 같이 네일의 인발시험에 의한 설계 정착력을 확인하고 굴착외벽의 변형상태, 네일에 발생하는 응력 및 지하수위 등을 측정하였다. 네일의 정착력을 확인하기 위한 인발시험에서는 네일($l=10m$)이 22톤의 하중에서 뽑히지 않고 설계정착력을 충족시키므로써 시험을 중지시켰으며 지하수위는 당초 지표면하 7m이던 것이 10~14m까지 저하하였다. 그리고 스트레인 게이지에 의한 네일의 응력은 네일의 설치위치에 따라서 -3톤과 5톤의 범위내에서 변화하였으며 경사계에 의한 변위는 굴착이 진행됨에 따라 증가되었고 변위량의 측정 결과는 표 4.5에 나타낸바와 같다.

표 4.4 계측항목

계 측 항 목	측 정 항 목	설 치 개 소
경 사 계	수평변위 측정	8개소
지 하 수 위 계	지하수위변동 측정	2개소
변 형 을 계	네일의 축력측정	48개소
인 발 시 험	네일의 정착력 측정	4개소

시공관리중의 특이사항으로는 굴착이 5.5m 정도 진행된 시점에서 일부구간의 굴착벽면에 과도한 변형이 발생되어 네일로 보강하였다. 변형의 발생원인은 퇴적토층중 연약한 실트질 점토층이 존재하고 있어 굴착과 보강과의 시차 및 굴착대상부지의 중앙부 우선 굴착 등이 연약층의 수평거동에 영향을 미친 것으로 생각되며, 보강단면은 그림 4.8에 보인바와 같다.

표 4.5 경사계 측정결과

구 분	초기치 측정날짜	변 위 량 (*94. 8. 26일 현재)	최대변위 심도(M)	비 고
I 1	'94. 5. 21	40.280	1.0	보강용네일설치
I 2	'94. 5. 31	35.335	1.0	
I 3	'94. 5. 21	6.12페쇄 (3.3MM)	3.0	
I 4	'94. 5. 31	77.900	1.0	
I 5	'94. 6. 21	7.30페쇄(54.670MM)	1.0	
I 6	'94. 6. 28	80.775	1.0	I 3 대응
I 7	'94. 6. 28	21.790	6.0	
I 8	'94. 8. 3	39.310	2.5	I 5 대응

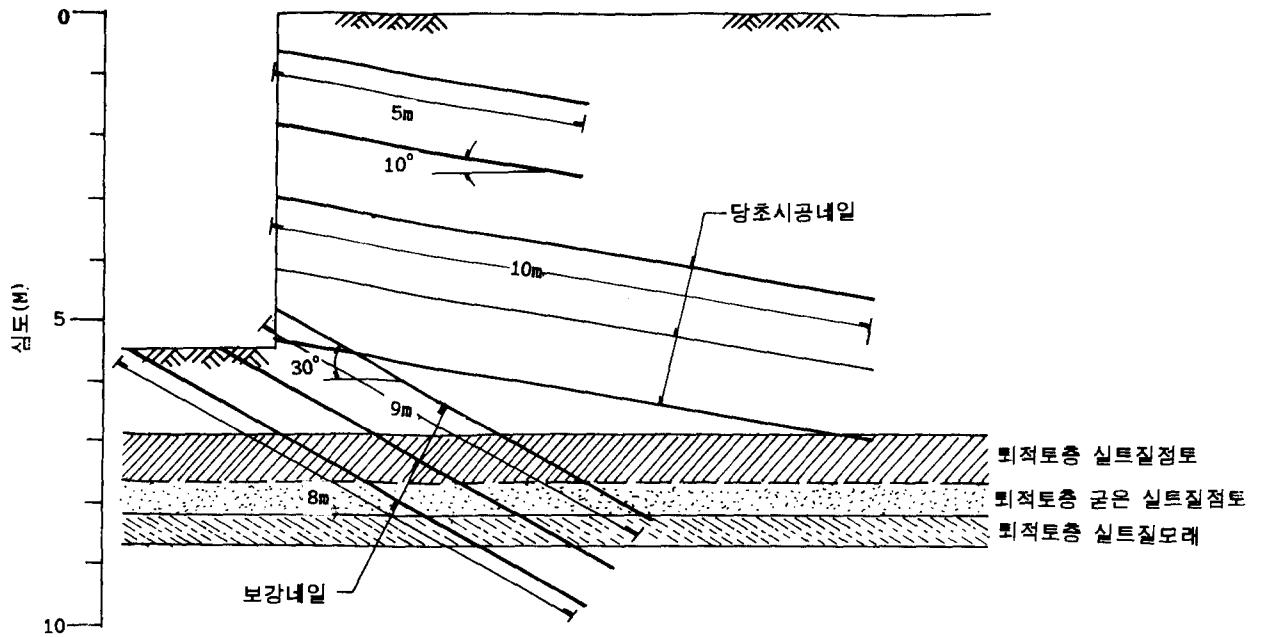


그림 4.8 네일의 보강단면

5. 결 론

쏘일네일링은 서유럽과 북미에서 널리 사용되고 있는 공법으로 세부공종은 널리 알려져 있다. 그러나, 국내에서는 현재까지 이렇다할만한 시공 실적이 없으므로 최근의 이론적 연구와 시공사례는 향후 쏘일네일링 공법의 설계 및 적용에 큰 도움이 되리라 예상된다. 본 시공사례를 중심으로 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 설계 메카니즘의 강체블록(중력식 옹벽개념)을 확인하였다.
- (2) 원지반의 상태를 확인하면서 보강하므로 현장 적응력이 뛰어나고 타공법과 비교해 보강간격이 좁으므로 극부적인 품질에 문제가 발생할시 전체 안전에 미치는 영향이 상대적으로 적다.
- (3) 토공사 공기에 가시설 공기가 대부분 포함되므로 공기가 단축되고 터파기 및 지하구조물

공사에 지장물이 없으므로 비교적 저렴한 가격의 보강재 및 원지반을 주요 공사재료로 사용하므로 공사비 절감효과가 있다.

- (4) 지하구조물의 흙막이벽으로 이용될 경우에 합벽처리하기가 쉽고, 또한 시공장비가 간단하고 소형이므로 협소한 장소나 지반이 연약하여 대형장비의 진입이 곤란한 곳에서도 시공이 용이하다.

참고문헌

- (1) 김흥택(1993), 산사태방지대책에 대한 연구, 한국과학재단
- (2) (주)동아지질(1994), 순천시 동부해양 도시가스 신축 흙막이공사 설계서
- (3) 三木五三郎외, 新技術による 法面・斜面對策, 綜合土研究所
- (4) F.Schlosser etd.(1991), Recomendations Cluteare, Franch National Reserch
- (5) Fumio Tatsuoka & Dov Leshchinsky(1994), Recent case history of permanent geosynthetic-reinforced soil retaining wall, A.A. Balkema
- (6) Philp C. Lambe and Lawrence A. Hansen etd.(1990), Design and performance of earth retaining structures, ASCE