

---

---

## 장대절토사면 보강에 관한 사례연구

---

---

임철웅, 김우식, 김동만, 강수용  
상지텍솔메나드

## 1. 서 론

소일네일링(Soil Nailing)은 근래에 들어 굴착면 및 절취사면을 보강할 목적으로 사용되는 공법중 가장 보편적으로 시공되는 공법으로 자리를 잡아가고 있어 자유로 2단계 건설공사에 적용된 사례를 소개하고자 한다.

자유로 2단계 건설사업의 일환인 2-6공구내 사면절취 구간은 경기편마암(Gneiss)지역으로 판상의 암반 자세가 사면절취 주향 및 경사와 유사하여 일반적인 토공설계에 따른 절취 구배로 굴착작업도중 자주 허물어져 절토 구배를 1:0.5에서 1:1로 크게 낮추어 사면안정 경사로 사면이 정리되었으나, 그 후에도 노출된 암반상태가 불량하고 암질이 불규칙하여 일부 구간은 단층면을 따라 평면파괴가 발생하였고, 기타 지역은 소규모 평면파괴 및 췌기형 파괴가 진행중에 있었다.

따라서 홍수나 호우등 사면 붕괴를 일으킬 수 있는 자연적 요인으로 인한 위험도를 제거하기 위하여 비교적 깊은 심도의 활동파괴면의 경우에 적용하는 「Micro-pile」 Type과 얇은 활동파괴면에 적용되는 「Harpinoise」 Type의 두가지 소일네일링 공법을 적용하였고, 전면판으로는 일반적으로 「Shortcrete」공법이 사용되나, 비교적 시공사면 경사가 완만하여 면체보강 효과 및 녹화효과가 우수한 「Texsol」녹화토공법으로 시공하였다.



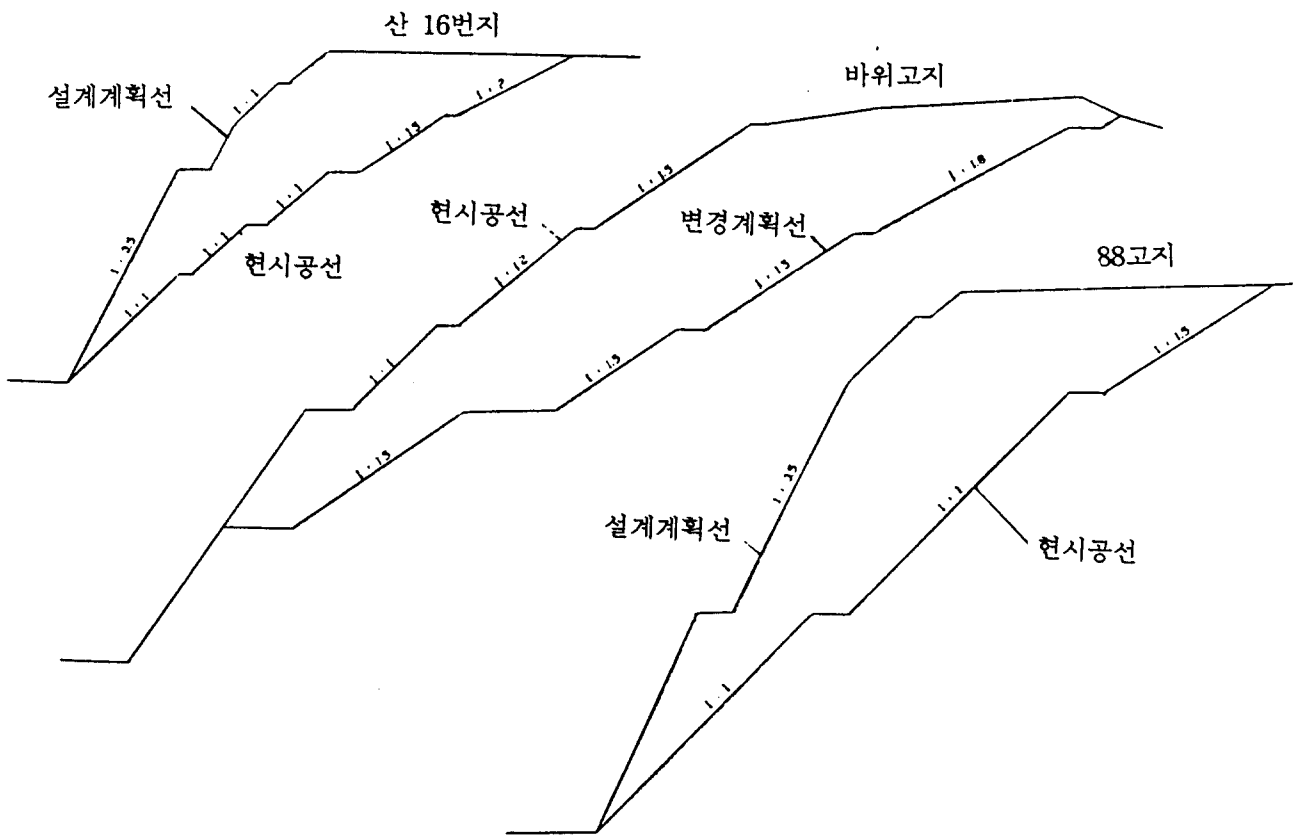
<사진1> Soil Nailing 및 Texsol 녹화공법 시공완료후 전경 (1994. 10. 24일 촬영)

## 2. 사면현황 및 지질개요

### 2.1 사면현황

굴착 및 절취공사를 위한 토공계획 단계에서는 굴착 난이도에 따라 회수된 시추 코아의 압축 강도에 의해서, 「극경암-연암」으로 분류되는 경우에는 발파암(Blasting rock), 「풍화암」으로 분류되는 경우에는 리핑암(Ripping rock)으로 구분하여, 이를 토대로 표준 비탈면 구배의 범위내에서 절취구배를 결정한다.

본 지역의 절취 구간도 절취 지역의 시추주상도로부터 연암에 해당하는 발파암은 1:0.5~1:0.7, 풍화암에 해당하는 리핑암은 1:1.0~1:1.2, 그리고 토사구간은 1:1.2~1:1.5로 설계되었다. 그러나, 사면 절취가 완료된 후 수개월이 경과하면서 절취면내 노출된 균열, 절리면을 따라 풍화 과정중인 암괴가 흘러내리고, 절취 당시보다 암질이 저하되어 재차 사면활동이 일어날 가능성이 증가되었다. 따라서 암반사면 안정해석에 따라 사면절취 시공선을 <그림2-1>과 같이 당초보다 크게 완화시켰으나, 수개월 후 지표지질조사 자료를 근거로 육안 관찰조사에서 재차 붕괴위험성 및 낙반사고가 예상되었다.



<그림2-1> 각 현장별 사면절취 단면도

## 2.2 지질개요

### 2.2.1 시추조사 현황

본 지역의 지질은 경기편마암복합체(약 6억 5천년 선캠프리아기에 형성된 지층)로서 호상혹운 모편마암(Banded Biotite Gneiss)이 우세하게 분포하고 있다.

경기편마암은 경,연이 불규칙하게 전이되었을 뿐 아니라 균열과 절리의 발달이 심하고 불규칙한 단층(파쇄대로서 틈새에 미끄러운 점토가 충전됨)이 많아서 사면절취시, 대규모 산사태 및 지하터널 굴착시에 갑작스러운 붕괴가 이 편마암지대에 빈번히 발생한다.

이 암석의 상부풍화토대는 바위고지사면에서 주로 나타나며, 모암의 조직을 보유하고 있는 실트질 모래 또는 모래질 실트의 풍화잔류토내지 풍화암 상태로 지표면 아래 5.7m까지 분포하고 있다. 하부풍화암대는 풍화잔류토 하부에 4.0m 두께로 분포되어 풍화에 아주 강한 석영을 제외한 장석 및 유색광물들이 풍화를 받아 변질,변색되어 갈색 내지 황갈색을 띄고 있으며, 응집력이 약화되어 부분적으로는 손가락으로도 쉽게 부서지기도 하였다.

한편, 연암대는 바위고지, 산16번지 및 88고지에 각각 4.0m, 1~3m, 1~1.5m 두께로 분포하고 있고, 절리 및 균열면을 따라 풍화가 진행되고 있으며, 차별풍화현상이 현저한 곳에서는 연암대 안에서 풍화암 또는 경암대가 협재되어 있기도 하다. 또한 2차적인 지질구조 즉, 절리 또는 균열의 발달이 심하거나, 파쇄대가 분포하는 지점에서는 높은 풍화(Highly Weathered)정도를 나타내기도 한다.

이 암석중에는 대체로 엽리면을 따라 쪼개짐(Cleavage Fracture)이 발달되어 있으며, 이 엽리면에 교차하는 절리가 우세하나 이에 평행한 절리도 가끔 관찰되기도 한다. 풍화가 진행된 곳에서는 절리면과 일부 엽리면에 산화철이 부착되어 있으며, 방해석(Calcite), 석회규산염등이 협재하며 나타나고, 일부 단층면에서는 박층으로 흑연이 Coating되어 있는 경우도 있다. 이와같이 흑연질이 협재된 면에는 잘 쪼개지는 성질이 있으므로 이 면을 따라 Sliding 또는 장기적인 Creep 변형이 우려되기도 한다.

### 2.2.2 지표지질

지층분포 상태를 보면, 광역변성작용과 규화작용, 횡등압에 의하여 습곡(Folding)이 일어나면서 수반된 단층대(Fault Zone) 및 파쇄대(Shear Zone & Shattered Zone)와 절리(Joint Pattern), 균열(Fracture & Crack)등이 발달된, 호상편마구조를 가진 혼성구조를 형성하고 있다.

이와같은 성인 및 분포상태로 지반과 암질의 매질이 상호간에 매우 불균질하며, 편암질과 우백질, 화강암질, 규질, 혼펠스질(Hornfelsic) 대상 편마암의 복합체에 흑연질(Graphite)이 협재되어 나타나고, 단층대 및 파쇄대와 매질 자체의 석회성분(Calcareous)과 이에 수반되어 녹리석화(Chloritization)된 부분이 많은 파쇄대 및 절리대에 방해석(Calcite) 세맥이 많이 발달된 아주 변화가 심한 지층군이다.

따라서 각 지역에서 나타나는 단층면을 따라서 발생한 파괴면은 Slickenside 상태 및 황색, 녹색의 점토가 10~20cm 두께로 충전된 Fault gouge 상태가 대부분으로 사면별로 도식화한 그림은 <그림2-2>, <그림2-3> 및 <그림2-4>에서 나타내었다.

### 3. 사면 안정성 검토

본 절취 사면의 안정성 검토 대상인 지역은 사면 절취공사가 완료되고 수개월이 경과하여 절취면이 노출된 균열, 절리면을 따라 풍화와 침식이 진행되어 암질이 저하된 상태이며, 향후 이로 인한 대규모 사면활동이 일어날 가능성이 현저하게 높았다.

따라서 평사투영해석검토 및 한계평형이론에 의한 Computer program 해석 검토를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

#### 3.1 평사투영해석 (Stereographic Projection)

신속하고 개략적인 암반 사면의 안정성을 분석하기 위하여 조사방법 및 실행에 의하여 얻어진 절취면의 주향(Strike)과 경사(Dip), 불연속면의 주향 및 경사등을 평가하는 평사투영법을 사용하되, Richards et. al. (1978)가 제시한 극점(Pole) 투영방법을 적용하였다.

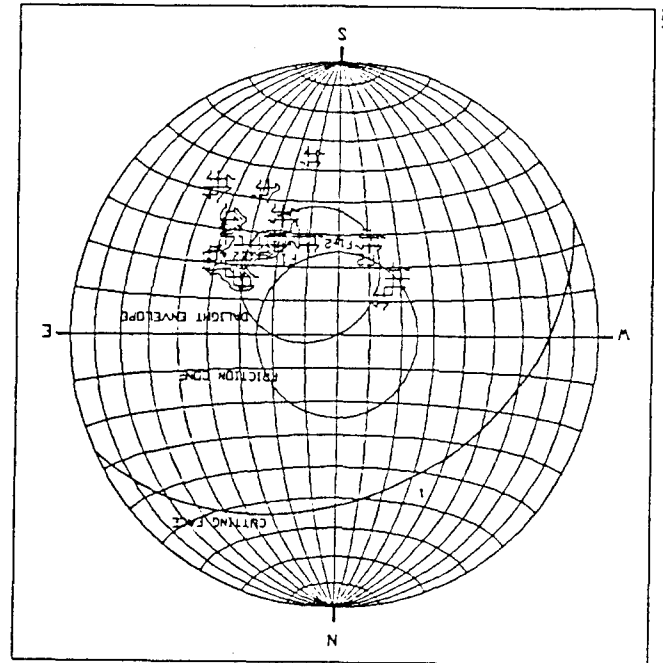
석영암(Quartzite), 편마암(Gneiss), 점판암(Slate)등과 같은 변성암류의 내부 마찰각은  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$  (Hock & Bray, 1981) 사이이나, 편마암의 절리를 따른 기본 마찰각은 Hoek & Bray(1981)에 의하여 제시된 <표3-1>로부터 약  $25^{\circ}$  정도로 판단하였다.

예를들어, 산 16번지 우측사면의 경우, <그림3-1>과 같이 절취사면의 방향은 N64E/40NW이며, 주요 불연속면중 단층면 N30~58E/34~36NW(F<sub>1</sub>)과 N70W/30NE(F<sub>2</sub>)에 대하여 췌기파괴(F<sub>1,2</sub>)의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

Approximate values for the basic friction angle $\phi$ for different rocks.	
Rock	$\phi$ -degrees
Amphibolite	32
Basalt	31 - 38
Conglomerate	35
Chalk	30
Dolomite	27 - 31
Gneiss (schistose)	23 - 29
Granite (fine grain)	29 - 35
Granite (coarse grain)	31 - 35
Limestone	33 - 40
Porphyry	31
Sandstone	25 - 35
Shale	27
Siltstone	27 - 31
Slate	25 - 30

Lower value is generally given by tests on wet rock surfaces.  
after Barton

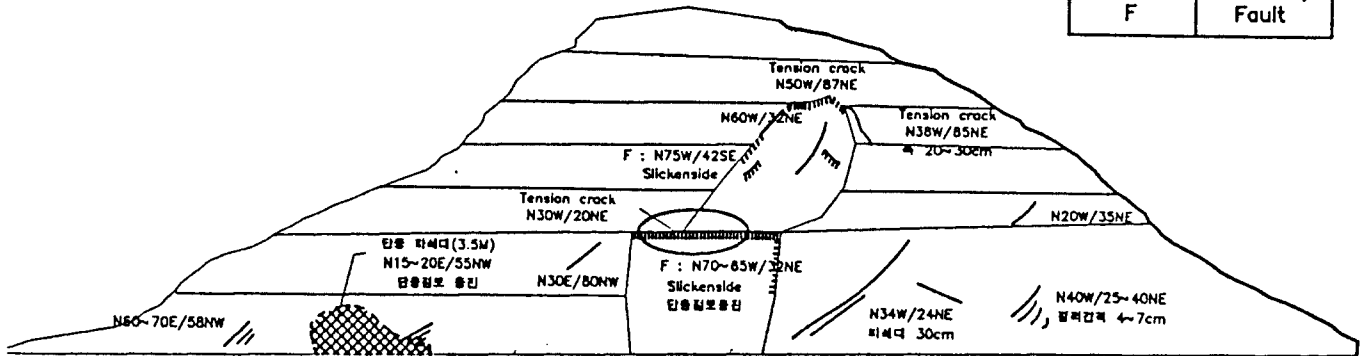
<표3-1> 절리면의 기본 마찰각 ( $\phi_b$ )  
(Hoek & Bray, 1981)



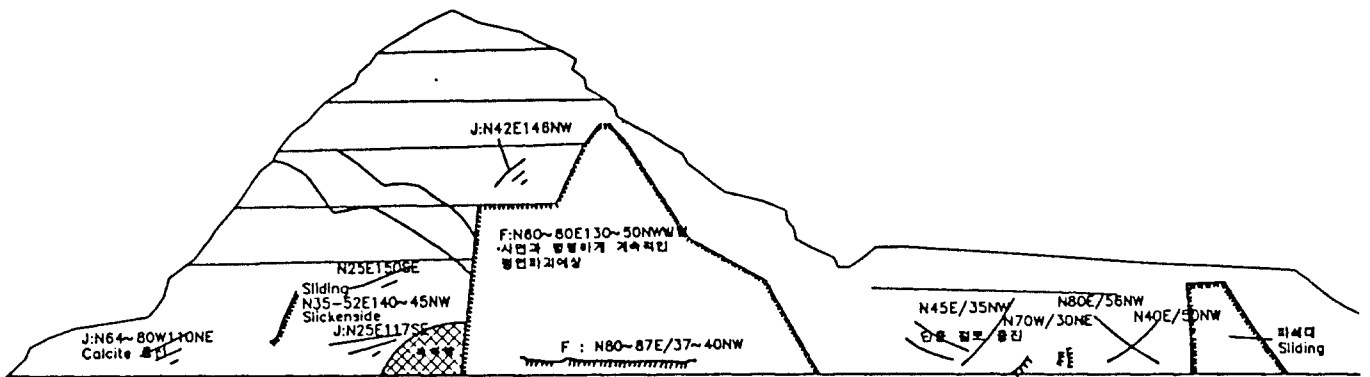
<그림3-1> 산16번지 우측사면의 불연속면 (Fault)에 대한 평사투영 해석

단층, 절리의 주향과 경사에 지표지질조사 결과를 정리하여 사면별 예상되는 파괴형태와 평사 투영도를 <그림3-2>에 나타내었다.

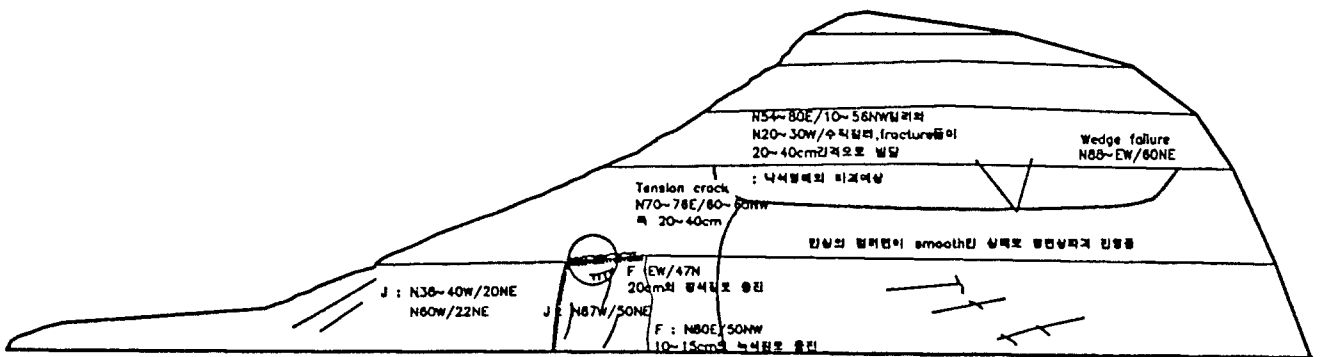
NOTE	
	기존 파괴 발생구간
J	Joint
F	Fault



(a) 바위고지

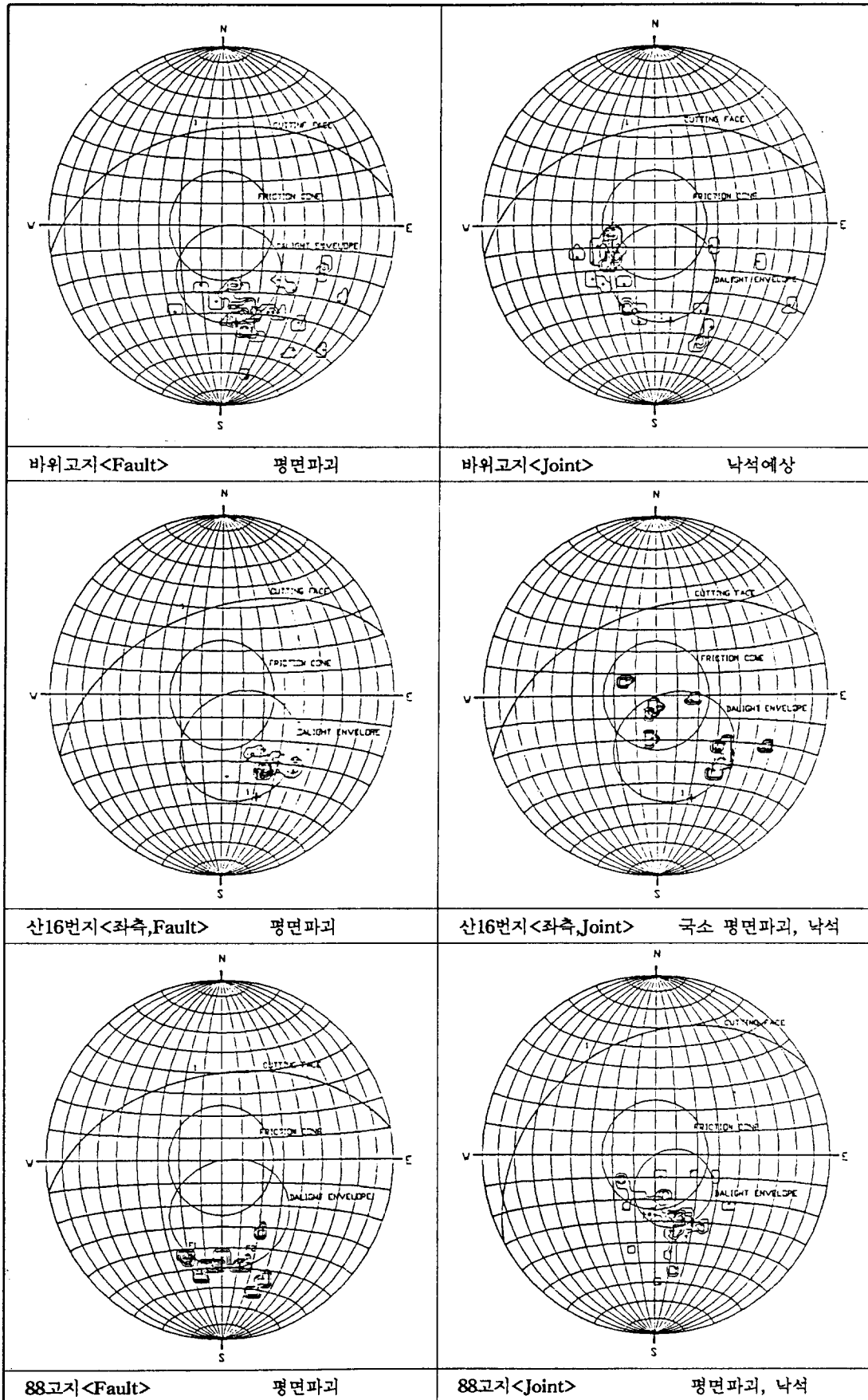


(b) 산16번지



(c) 88고지

<그림2-2> 각 지역별 지표지질조사 결과



<그림3-2> 평사투영법을 이용한 각 지역별 안정해석



### 3.2 한계평형이론에 의한 해석

#### 3.2.1 지반강도정수

풍화표층은 기반암의 성질을 거의 상실하여 전석과 점토가 혼합된 토사로 판단되며 실내역학 시험 결과 지반강도 정수를  $\phi = 25^\circ$ ,  $C = 2.2t/m^2$ ,  $\gamma = 1.6t/m^3$ 로 추정하였다. 연암 및 보통암 층은 풍화의 영향이 적고, 상부에 작용하는 Stress level이 작으므로( $1.8 \sim 3.0t/m^2$ ), 전단저항각을  $40^\circ$ 로, 점착력을  $5t/m^2$ 로 적용하였다.

그러나, 바위고지의 경우에는 지하수 유출 및 풍화가 많이 진행되어 있고 깊은 심도의 절리 및 단층면이 실트질 점토로 충전되어 전단저항각과 점착력을 각각  $16^\circ$ 와  $5t/m^2$ 로 적용하였다. 또한 사면 전반에 걸쳐 용출수가 발견될 정도로 포화되어 있어 단위중량은  $2.2 \sim 2.4t/m^3$ 로 적용하였다.

#### 3.2.2 「STABL5M」의 사면 안정해석 결과

「STABL5M」을 이용하여 각 지역의 대표 단면에 대한 각각의 안전을 계산치는 <표3-2>에 제시하였다.

지 역 명	계 산 위 치		안전계수	
			얕은 파괴	깊은 파괴
바 위 고 지	단 면 11	사면상단 (1 : 1.7)	1.272	0.908
		사면하단 (1 : 1.54)	1.192	0.848
산 16 번 지	단면 10		1.659	-
	단면 20		0.965	-
8 8 고 지	단면 8		1.036	-
	단면 15		0.983	-

<표3-2> 각 지역별 사면안전계수 결과치

<표3-2>로부터, 각 지역의 일부구간들은 낙석 및 얕은 활동파괴가 예상되어 지표면으로부터 일정깊이(풍화대)까지 보강할 필요가 있으며, 특히 바위고지의 경우에는 이에 활동파괴가 발생함은 물론 용출수로 인한 깊은 파괴까지 예상된다.

#### 4. 「Soil Nailing」공법 적용

굴착 또는 절취된 토사 및 암반에 강봉(Steel bar), 강관(Steel tube) 및 록볼트(Rockbolt)를 삽입하여 시멘트(cement)나 레진(Resin)으로 고결시키는 방법으로는 <표4-1>과 같이 비교적 넓은 간격으로 미리 천공한 후 말뚝길이가 길고 인장력이 큰 파일을 삽입하는 「Micro-piles」형식과 간격이 좁고 말뚝길이가 짧으며, 인장력이 적은 파일을 사용하는 「Hurpinoise」형식으로 구분된다.

본 지역의 경우 사면이 미리 절취되었기 때문에 장비 이동이나 자재운반등과 같은 시공여건상의 제약으로 인하여 천공길이가 제한되었기 때문에 두가지 공법을 병행하여, 소단부에서는 Micro-pile 형식을, 법면부는 「Hurpinoise」형식을 따랐다.

제 원 Type	말 뚝 길 이	말 뚝 간 격 (1공당 면적)	인 장 강 도	사 용 부 재
Micro-piles	길다	3~6 m <sup>2</sup>	200~500 kN	H형강 혹은 강관
Hurpinoise	짧다	1 m <sup>2</sup>	50~150 kN	강 봉

<표4-1> 소일네일링 공법의 대표적인 시공방법

#### 4.1 「Hurpinoise」형식에 의한 Nailing

##### 4.1.1 공법내용

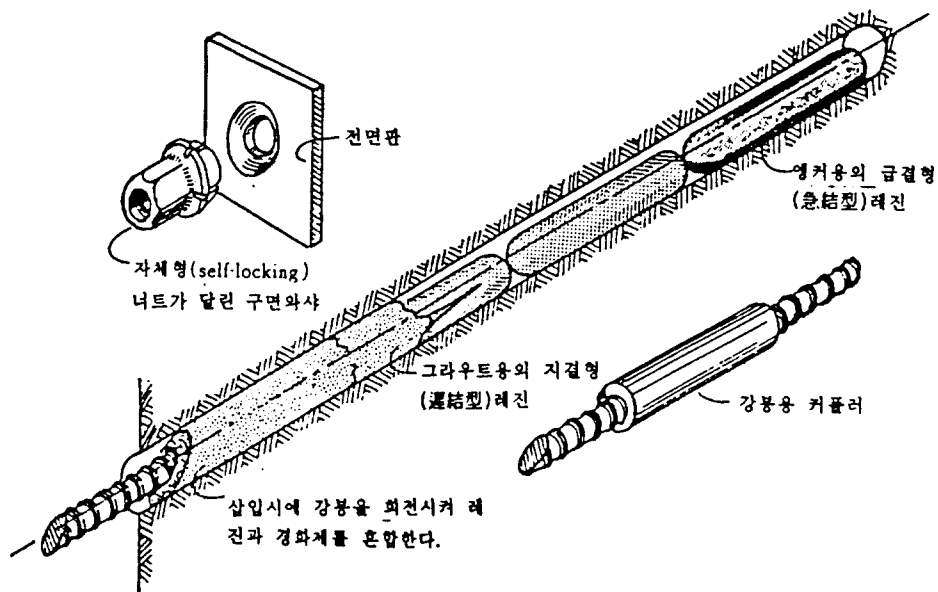
착암기를 이용하여  $\phi 30\text{mm}$ 로 천공한 후, 공내에 팽창형과 급결형 에폭시 레진(Epoxy Resin) 그라우트를 이용하여, 록볼트(Rockbolt)를 삽입 정착시키는 방법이다.

팽창형 레진은 레진과 촉매가 카트리지속에 채워져 있으나, 촉매는 유리 또는 플라스틱제의 작은 그릇에 담겨져서 레진과는 혼합되지 않도록 되어 있다. 이 캡슐을 여러개의 구멍속에 밀어넣고 다음에 강봉을 삽입한다. 삽입할 때에 강봉을 회전시키면 캡슐이 파괴되어 레진과 촉매가 혼합된다. <그림4-1>에서와 같이 급결형 레진 캡슐이 천공단부에 삽입되어 있어서 혼합 후 몇 분이면 볼트에 프리텐션을 가할 수 있다. 그리고 보링공의 바로 앞쪽에 삽입되어 있는 지결형 레진은 그 후에 서서히 강봉의 남은 부분을 그라우팅한다. <그림4-1>에 표시된 전면판은 150 x 150 x 5mm를 사용하였고, 이형강봉은 매우 거칠은 나사턱이 붙어 있어서 부착이 잘 되는 동시에 삽입길이의 조절이 간단하도록 되어 있다.

이와같이 록볼트를 이용한 레진 그라우트방식은 사용하기 쉽고 시공이 간단하며, 특히 취약한 암반에서도 매우 강력한 앵커력을 얻을 수 있다.

실제로 현장 인발시험에서도 2.5m 길이의 경우 10ton 이상(지반의 수동파괴로 인해 중단)의 인발력(Pull-out force)을 얻었다.

단점으로는 레진이 고가이고 보존기간이 한정되어 있어 특히 기분이 높은 경우에는 그 기간이 매우 짧다.



<그림4-1> 에폭시 레진을 이용한 Rockbolt

#### 4.1.2 공법의 설계

현재까지 서로 다른 3가지 대표적인 설계법이 소일네일링에 사용되며 각각의 설계법들은 활동면을 따라 전단파괴된 토체의 안정성을 검사하는 한계평형방법(Limit Equilibrium Method)에 기초를 두고 있다.

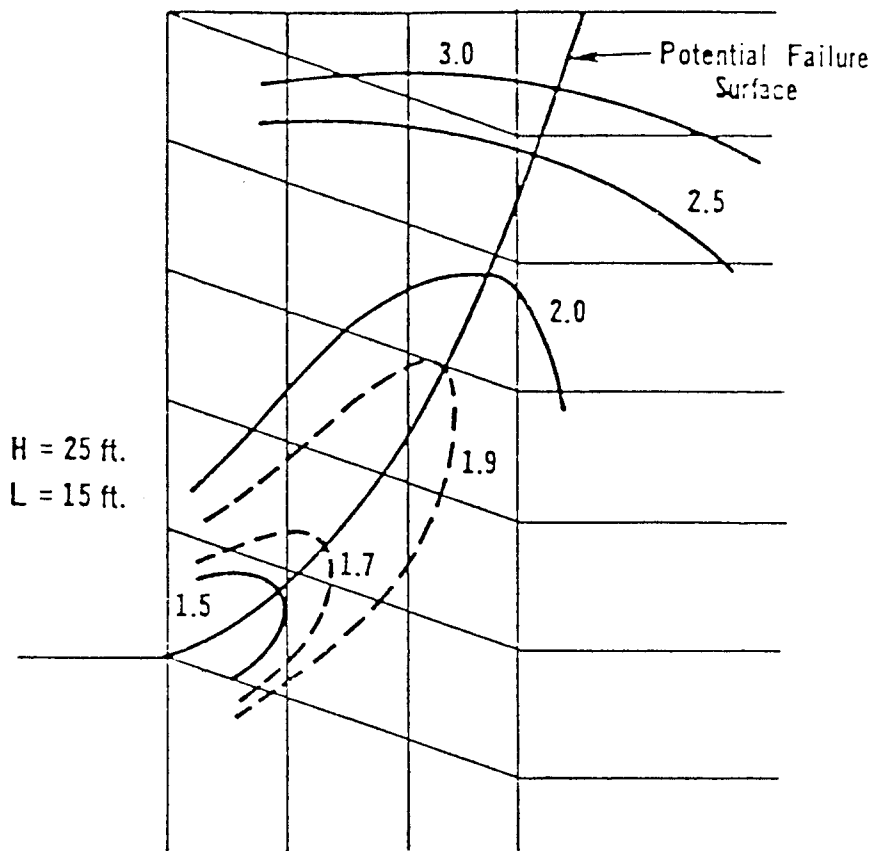
Shen et al. [1981]에 의해서 제안된 Davis 방법과 Gassler와 Gudehus [1981]에 의해서 개발된 방법은 보강토의 안정성을 평가할 때, 보강재의 인장능력(Tensile Capacity)만을 단지 고려한 반면, Schlosser [1983]에 의해서 개발된 French방법은 보강토의 전체적인 안정도에 대한 전단능력(Shear Capacity)의 효과와 보강재의 휨강도(Bending Stiffness)를 또한 고려한다.

#### 4.1.2.1 파괴면의 형상

본 설계에서는 Shen et al. [1981b]에 의해서 최초로 개발되고 1990년에 수정 완료된 「NAILM9」 프로그램을 사용하였다. 「NAILM9」 프로그램은 한계평형 방법을 적용한 것으로 파괴면의 형상이 사면의 선단부를 통과하는 포물선곡선(Parabolic Curve)으로 가정하였다.

이 가정은 보강토체의 원위치시험으로부터 <그림4-3>과 같이 유한요소분석(Bang, 1979)의 결과에 기초를 두고 있다.

본 프로그램은 다층지반 및 등분포하중에 대한 영향도 고려할 수 있으며, 네일의 인발시험 측정자료를 이용하여 실제 시공단면에 대한 역해석도 가능하다.



<그림4-3> 안정계수 등고선도

#### 4.1.2.2 파괴기준

흙의 전단파괴와 강봉의 항복인장력에 대한 두가지 파괴 기준이 고려된다. 즉, 네일의 마찰저항은 (식4-1)과 같이 강봉의 항복 인장력을 초과하지 말아야 한다.

$$T_i \leq A_s \cdot f_y / S_H \quad \text{-----} \quad (4-1)$$

여기서,  $T_i$ 는  $i$ 번째 네일의 마찰저항력으로 (식4-2)로부터 구해지며,  $A_s$ 는 강봉의 단면적,  $f_y$ 는 강봉의 항복인장력,  $S_H$ 는 네일의 수평간격이다.

$$T_i = \pi D L_{ei} (\sigma_n \tan \phi_a' + C_a') / S_H \quad \text{-----} \quad (4-2)$$

- 여기에서,  $T_i$  = 단위길이(unit length)당 마찰저항력  
 $D$  = 천공직경 (즉, 그라우트 면적 포함)  
 $L_{ei}$  = 파괴면 뒤의 보강재의 길이  
 $\phi_a$  = 흙의 내부마찰각  
 $C_a$  = 흙의 점착력  
 $\tan \phi_a' = \text{작용마찰계수} = \tan(\phi_a / F_\phi)$   
 $C_a' = \text{작용점착력} = C_a / F_c$   
 $\sigma_n$  = 평균수직응력 (average normal stress)  
 $S_H$  = 보강재 사이의 수평간격  
 $F_\phi$  = 마찰각에 대한 안전율  
 $F_c$  = 점착력에 대한 안전율

또한, 흙의 전단응력,  $\tau$ 는 (식4-3)과 같이 흙의 전단강도,  $S$ 를 전체 안전율  $F_s$ 로 나눈 값이므로 각각의 안전율은 (식4-4)의 조건을 만족하여야 한다.

$$\tau = \frac{S}{F_s} \quad \text{-----} \quad (식4-3)$$

$$F_s = F_\phi = F_c \quad \text{-----} \quad (식4-4)$$

### 4.1.3 해석결과 및 시공내용

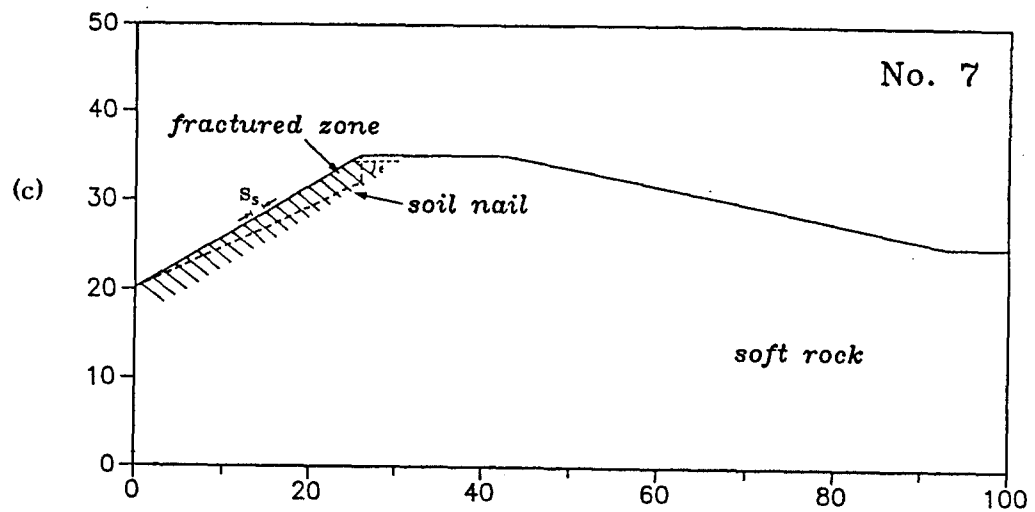
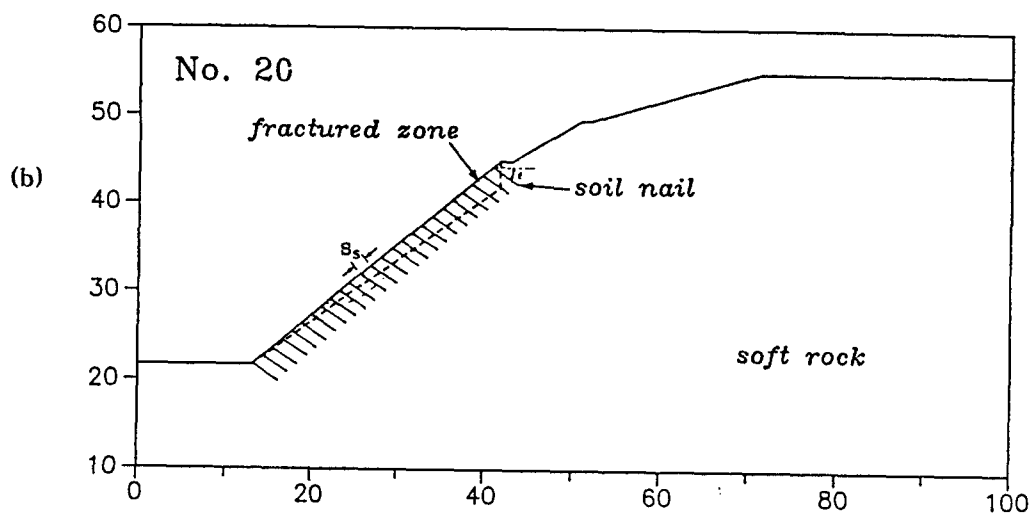
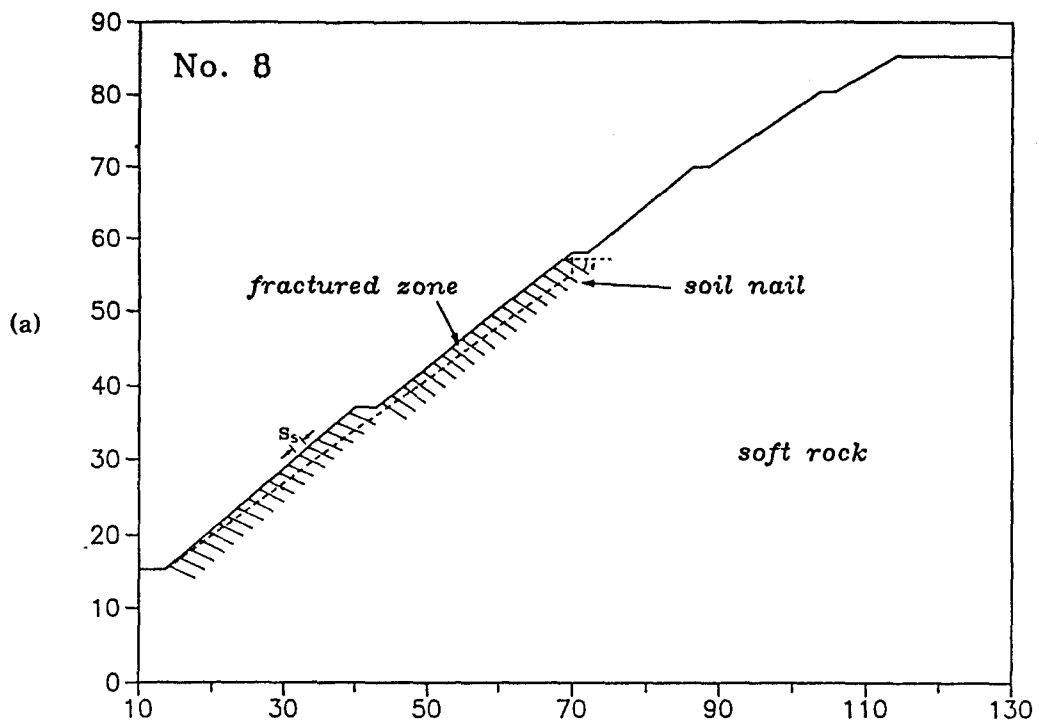
#### 4.1.3.1 해석결과

3개 지역(바위고지 No.7, 16고지 No.20 및 88고지 No.8 <그림4-4참조>)의 보강사면 각각에 대해, Nail의 설치각도  $\varepsilon$ (수평방향과 Nail이 이루는 각도)의 크기를 서로 달리하여, 보강사면의 전체 안전율  $F_s$  값을 계산한 결과는 <표4-2>에 요약하였다.

<표4-2>로부터  $F_s$  값이 가장 커지는, 즉 가장 효율적인 Nail의 설치각도  $\varepsilon$ 의 범위는  $20^\circ \sim 40^\circ$  정도이며, 16고지 및 88고지의 경우 점착력  $C = 3.0t/m^2$ 일 때 소요 안전율 기준( $F_s \geq 1.5$ )에 충족되는 결과를 나타내고 있다.

바위고지 No.7		L = 2.0m, S <sub>h</sub> = S <sub>v</sub> = 1.0m								
설치각도, $\varepsilon(^{\circ})$		5	10	15	20	25	30	35	40	45
F <sub>s</sub>	C=1.0t/m <sup>2</sup>	1.430	1.438	1.460	1.477	1.490	1.499	1.505	1.507	1.504
산16번지 No.20		L = 3.0m, S <sub>h</sub> = S <sub>v</sub> = 1.5m								
설치각도, $\varepsilon(^{\circ})$		5	10	15	20	25	30	35	40	45
F <sub>s</sub>	C=3.0t/m <sup>2</sup>	1.485	1.487	1.495	1.501	1.507	1.510	1.511	1.510	1.508
	C=2.2t/m <sup>2</sup>	1.364	1.367	1.375	1.380	1.386	1.389	1.388	1.385	1.381
88고지 No.8 (하단부)		L = 3.0m, S <sub>h</sub> = S <sub>v</sub> = 1.5m								
설치각도, $\varepsilon(^{\circ})$		5	10	15	20	25	30	35	40	45
F <sub>s</sub>	C=3.0t/m <sup>2</sup>	1.476	1.485	1.495	1.500	1.504	1.506	1.506	1.504	1.501
	C=2.2t/m <sup>2</sup>	1.409	1.420	1.432	1.442	1.445	1.444	1.442	1.437	1.429
88고지 No.8 (상단부)		L = 3.0m, S <sub>h</sub> = S <sub>v</sub> = 1.5m								
설치각도, $\varepsilon(^{\circ})$		5	10	15	20	25	30	35	40	45
F <sub>s</sub>	C=3.0t/m <sup>2</sup>	1.496	1.498	1.506	1.510	1.509	1.507	1.503	1.495	1.485
	C=2.2t/m <sup>2</sup>	1.425	1.428	1.436	1.441	1.448	1.454	1.455	1.453	1.451

<표4-2> 각 지역별 해석결과



(a) 88고지 (b) 산16번지 (c) 바위고지

<그림4-4> 각 지역별 해석 단면도

#### 4.1.3.2 시공내용

소일네일링의 시공방법은 <4.1.1>절에서 언급된 내용에 따라 <그림4-5>에서 나타낸 바와 같은 시공순서 및 배치방법에 따랐다. 강봉의 재료는 SD40 이형강으로 직경이 25mm, 항복인장응력이 4,200kg/cm<sup>2</sup>이며, 지압판은 SS41을 사용하였다.

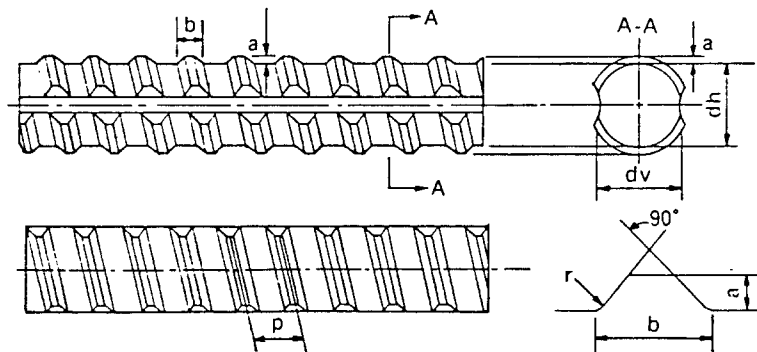
두부처리 방법은 기존에 사용되는 「Shortcrete」 타입의 전면판 대신에 면체보강 효과 및 녹화 효과가 우수한 「Texsol」 녹화토 공법을 적용하였다. 시공방법은 록볼트 시공완료후 법면 낙석방지 및 녹화토 부착이 용이하도록 부착망을 앵커핀, 철망, 착지핀을 이용하여 결속한다. 부착망은 부식을 방지하기 위하여 직경이 3.2mm 이상의 PVC 코팅 철선을 이용한 망으로 직경 19mm, 길이 50cm의 앵커핀과 직경 16mm, 길이 35cm의 착지핀으로 각각 2.25m<sup>2</sup> 및 1m<sup>2</sup>당 1개씩 설치하여 고정시키고, 결속선을 PVC 코팅철선으로 1.5m\*1.5m 격자망을 형성시켜 앵커핀 및 착지핀과 서로 결합시킨다. 또한 앞서 시공된 록볼트 두부 마감처리를 위하여 사용되는 지압판은 부착망 상단에 체결한다.

텍솔녹화토는 유기질과 점토를 포함한 부식토에 각종 토양개량제, 안정제, 접착제, 보습제, 비료를 첨가하여 보수 및 보비성을 향상시키고, 식물 생육에 적합한 인공 토양으로 특히, 취부시 연속장 섬유를 동시에 살포하여 자연상태의 뿌리효과와 유사하게 작용하여 표면 유실을 어느 정도 방지할 수 있도록 소정의 인장강도와 전단강도를 가진다.

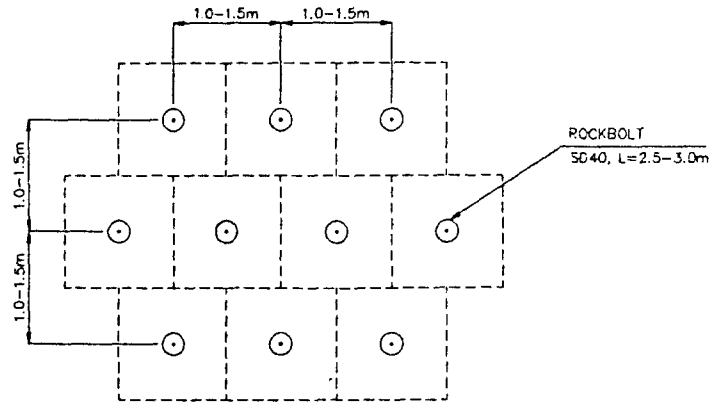
녹화토 취부 두께는 6cm가 적용되었으며, Nail과 녹화토가 혼용된 구간에 대한 상세도를 <그림4-6>에서 제시하였다.

<표4-3> ROCK BOLT 제원표

치 수	단위무게 (kg/m)	표준지름 (mm)	표준단면적 (cm <sup>2</sup> )	지 림		나사높이 a (mm)	나사바닥폭 b (mm)
				dh (mm)	dv (mm)		
D 25	3.98	25.4	5.067	24.5	24.5	2.0	6.5

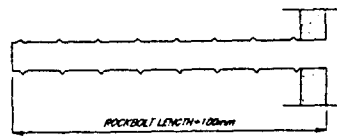




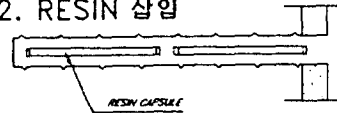


(a) 네일의 시공배치도

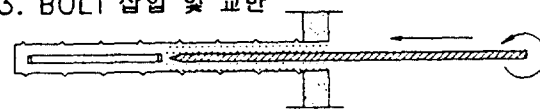
1. 천공 및 청소



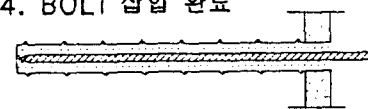
2. RESIN 삽입



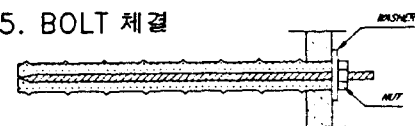
3. BOLT 삽입 및 교반



4. BOLT 삽입 완료

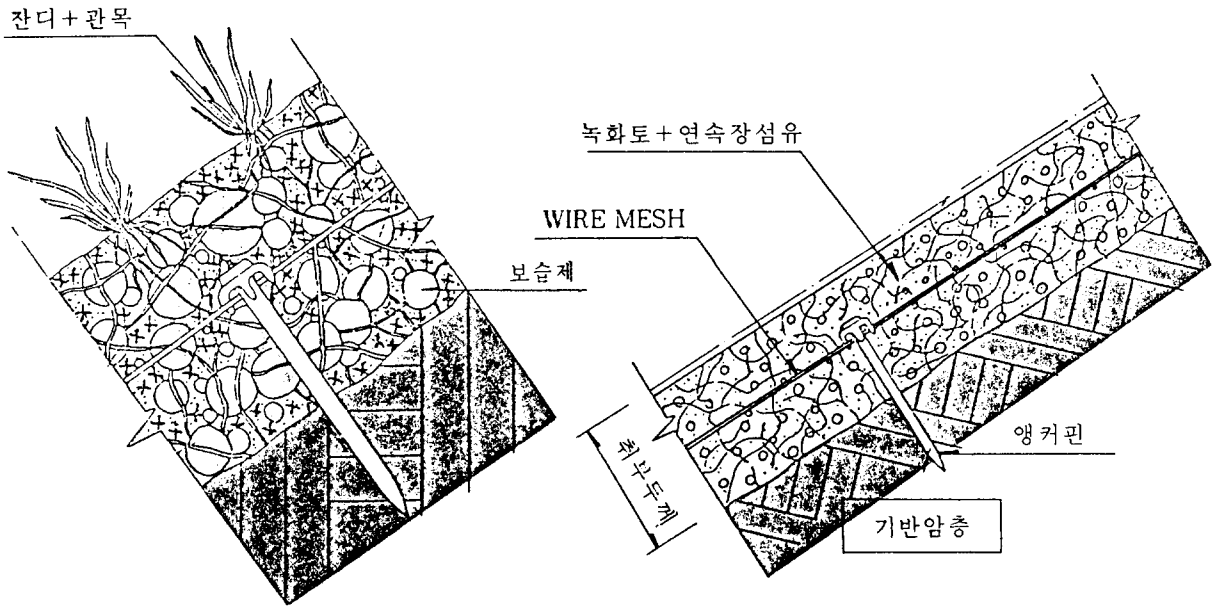


5. BOLT 체결



(b) 네일의 시공순서도

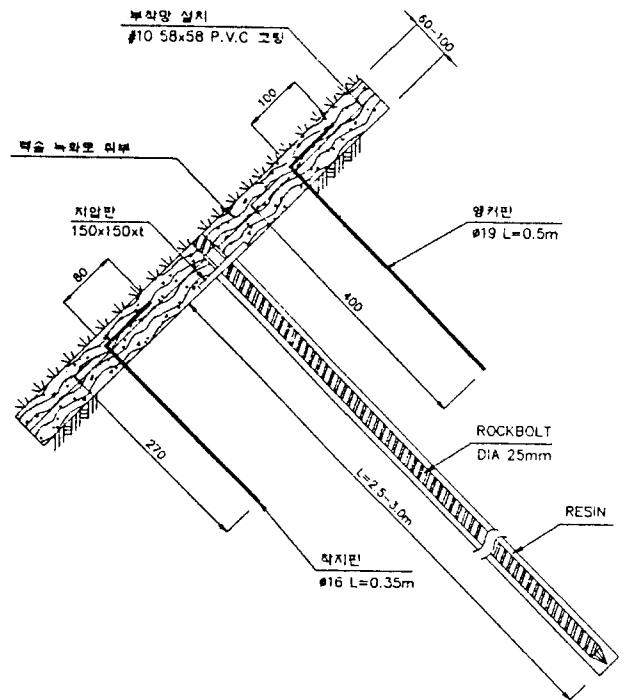
<그림4-5> 네일의 시공순서도 및 배치도



(a) 텍솔녹화토 상세단면



(b) 텍솔녹화토 취부상태



(c) 텍솔녹화토 + 네일상세도

<그림4-6> 텍솔녹화토 공법

## 4.2 「Micro-piles」형식의 소일네일링

말뚝공은 지표에서 이동토괴를 관통해서 부동지반까지 말뚝을 삽입하여 creep 변형으로 인한 지반활동 하중을 말뚝이 가로저항으로 받아, 부동지반으로 전달시킴으로써 토괴의 이동에 대하여 역학적으로 저항하는 공법이다.

### 4.2.1 공법의 개념

지반활동 억지말뚝은 지반활동 이동층을 직접 억제하는 억제기능, 이동층과 부동층 사이에 쐐기를 막아 지반활동을 억제하는 쐐기기능과 단순히 지반의 강도를 증가시키는 보강기능으로 구분된다.

본 설계에서는 보강말뚝의 개념에 근거하여 Chang식을 사용해서 말뚝에 지반활동하중(필요역지력)이 3각형 분포로 작용할 때의 계산방법을 취하여 신의 해를 사용하였다.

지반활동하중은 한계평형방법으로 부터 유도된 Bishop 혹은 Janbu의 한계평형식으로 부터 설계안전율을 만족하기 위한 필요역지력을 역산하여 아래와 같은 조건에 따라 설계되었다.

- 1) 말뚝은 전후면의 힘을 전달할 수 있게 지중에 매설하며, 말뚝과 보링 공간사이를 시멘트 페이스트 혹은 몰탈로 충전시킨다.
- 2) 말뚝이 휨응력이나 전단응력으로 파괴되지 않아야 한다.
- 3) 말뚝 주변 지반이 파괴되지 않도록 근입장(활동면아래 심도)을 충분히 고려하고, 과대한 변형을 허용하지 않아야 한다.
- 4) 말뚝과 말뚝간이 토괴가 빠지지 않도록 충분한 말뚝간격을 유지하며, 표층 활동일수록 간격을 협소하게 한다. 일반적인 말뚝의 허용 최대 간격은 다음 표와 같다.

활동심도 (h)	6~10 m	10~15 m	15 m 이상
말뚝간격 (D)	1.0~1.5 m	1.5~2.0 m	2.0~3.0 m

- 5) 천공지점에서 하류측의 사면이 분단하여 단독으로 활동이 발생하지 않도록 하류측 사면 단독활동 안정검토를 한다.

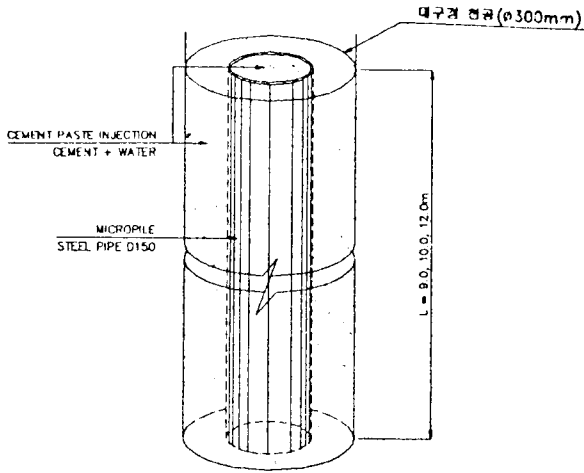
#### 4.2.2 시공내용

Micro-pile 공법은 본 지역의 경우 바위고지에만 적용되었으며, 보링장비로 TBM-500을 사용하

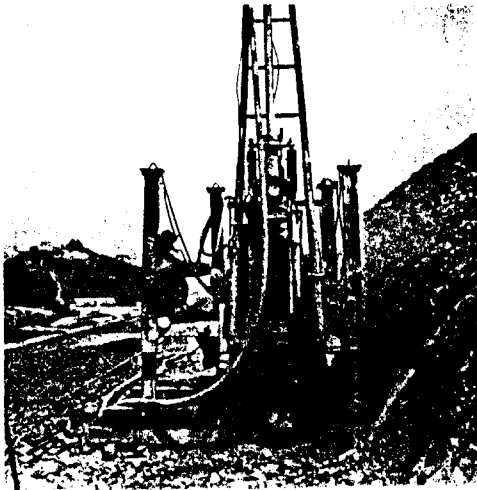
여 <그림4-7>과 같이  $\phi 300\text{mm}$  천공후 지중에 외경  $\phi 165.2\text{mm}$ 인 흑관을 주입파이프( $\phi 25\text{mm}$ )를 이용하여 시멘트 주입제를 충전함으로써, 천공내 구멍을 메꾸어 강관이 직접 지반과 접하지 않게 하여 말뚝의 부식을 방지하였다.

주입제는 시멘트 900kg과 물 713l로 배합한 후, 주입펌프를 이용하여 공내에 고압으로 충전하였다. 시공순서는 <그림4-8>에 나타내었다.

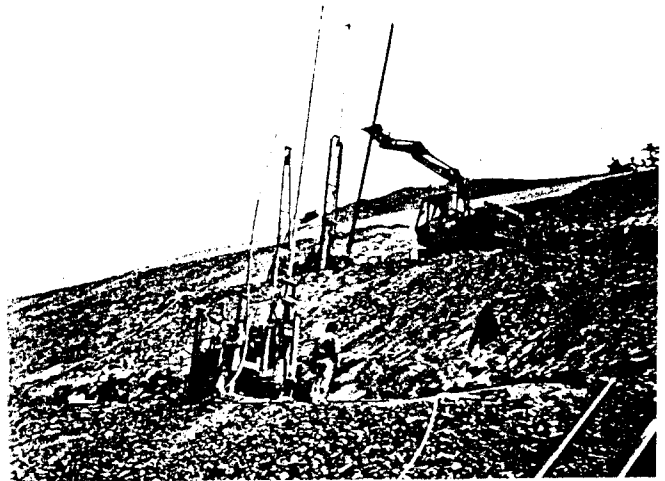
말뚝의 사면안정효과를 얻기 위하여 말뚝과 사면에 대한 안정성이 충분히 확보되도록 말뚝의 설치위치, 간격, 강성, 근입깊이등을 결정하였다.



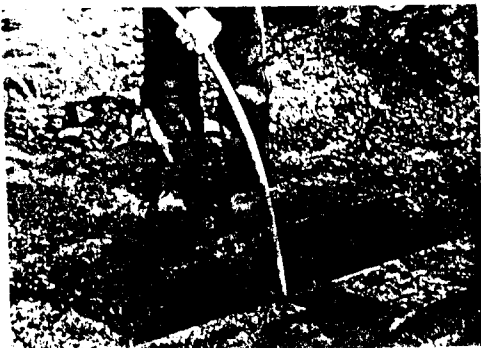
<그림4-7> 말뚝단면도



(a)



(b)



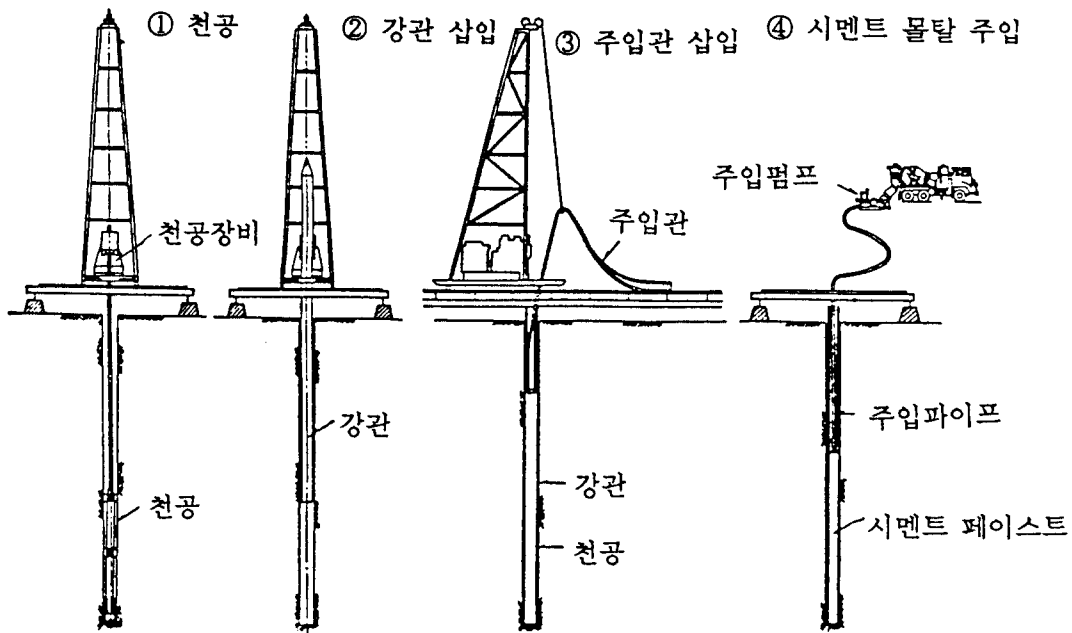
(c)

<사진4-1> 역지말뚝 시공순서

(a) 천공 ( $\phi 300\text{mm}$ ) 과정

(b) 강관 ( $\phi 165.2\text{mm}$ ) 삽입과정

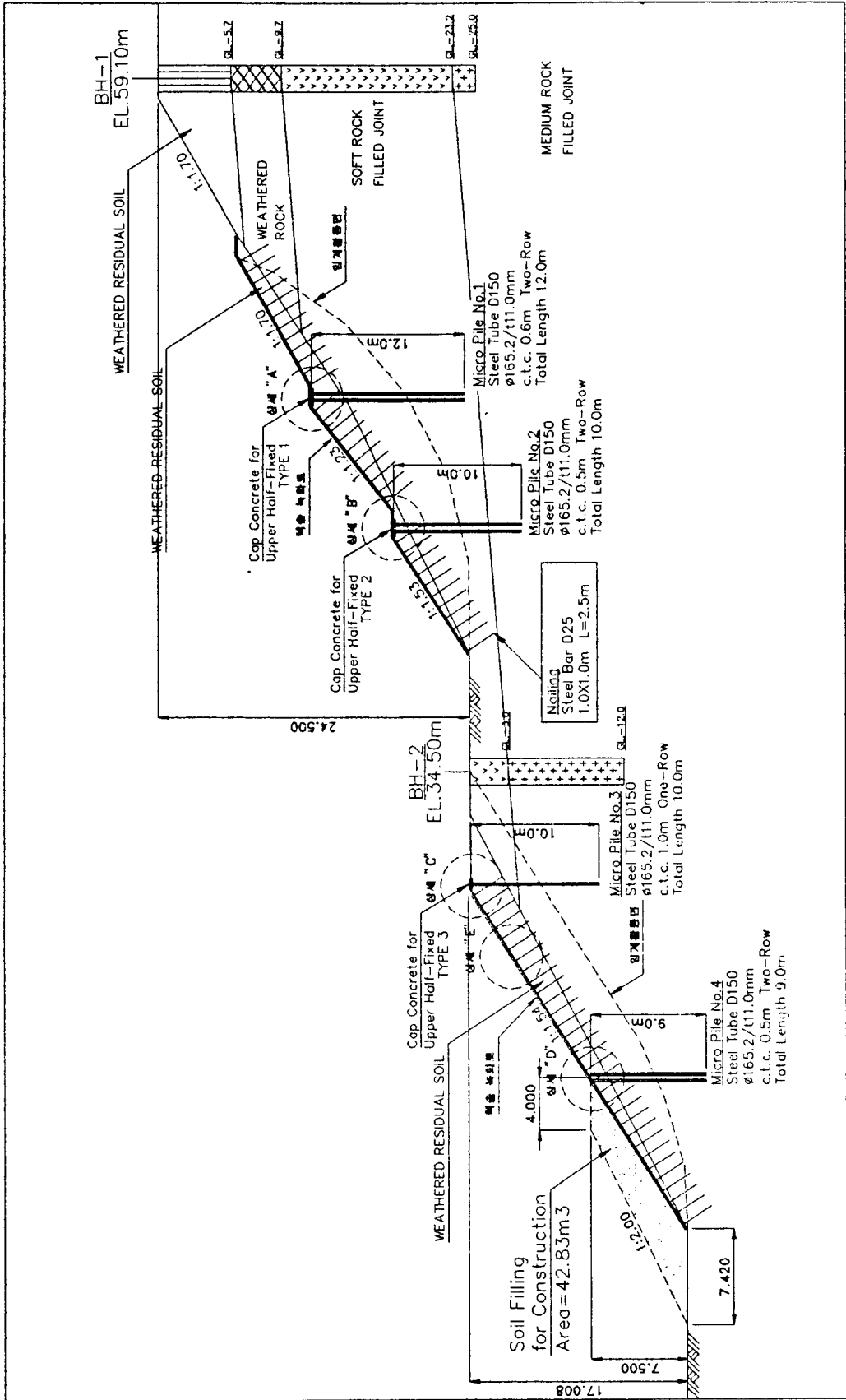
(c) 시멘트주입제 충전과정



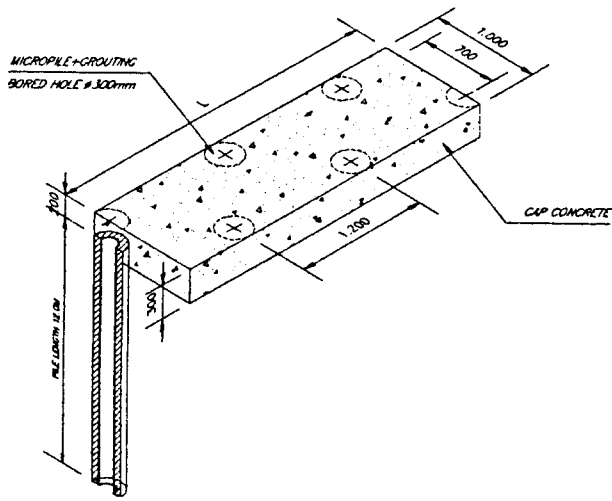
<그림4-8> Micro pile 시공순서도

본 현장의 경우 <그림4-9>와 같이 가상 활동토괴에 대하여 상.하단사면 각각 2열씩 설치하고, 상단사면의 경우 1번 말뚝과 2번 말뚝은 수평간격 0.6m, 0.5m, 말뚝길이 12.0m, 15.0m로 복열로 배치하였으며, 하단사면의 3번 말뚝과 4번 말뚝은 수평간격 1.0m, 0.5m, 말뚝길이 10m, 9m로 단열 및 복열로 각각 배치하였다. 각 배치방법은 <그림4-10>에서 제시하였다.

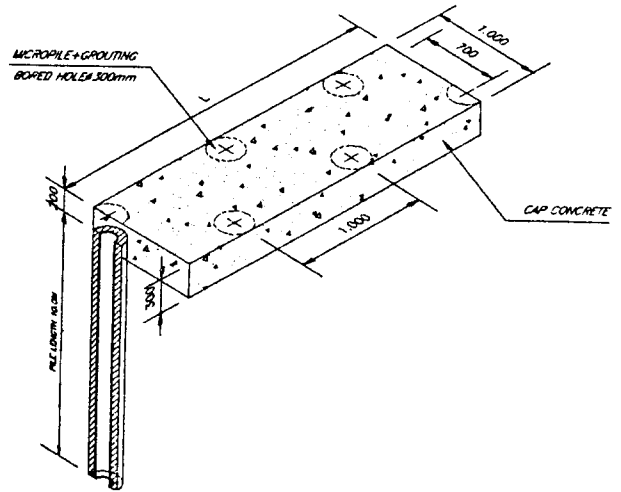
역지말뚝의 두부구속조건은 두부자유조건으로 녹화토 취부에 지장이 없도록 설계하였다. 본 현장은 사면내 소단이 2.5~3.0m로 <사진4-1> (a)와 같은 TBM-500 천공기의 작업로로 이용하는 데 충분하였으나, 4번 말뚝의 경우 작업로가 확보되지 않아 가설흙쌓기를 실시한 후 시공하였다. 또한 부식으로부터 말뚝머리를 보호하기 위하여 <그림4-10>과 같이 무근 캡콘크리트(Cap Concrete)를 타설하였다.



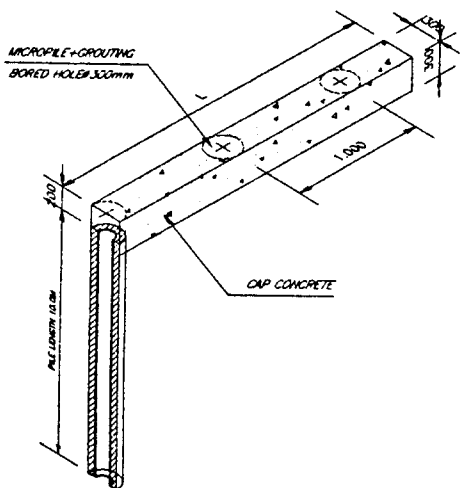
<그림4-9> 활동사면 보강대표 단면도



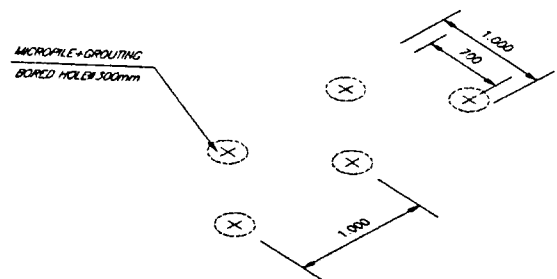
(1) 1번 말뚝



(2) 2번 말뚝



(3) 3번 말뚝



(4) 4번 말뚝

<그림4-10> 말뚝머리 상세도

## 5. 결 론

암반내에 존재하는 절리, 단층등과 같은 불연속면들은 암반사면의 안전성에 미치는 영향이 대단히 크므로, 광역적인 변성을 받아서 형성된 변성암 지역의 경우에는 암질이 매우 불량하고, 절리가 불규칙적으로 발달되어 있어 시추 및 지표지질조사를 통하여 불연속면의 공학적 특성을 정확히 판정하여 이에 적합한 보강대책을 시도하여야 한다.

본 지역의 경우 이미 발생된 파괴지역과 잠재되어 있는 위험요소를 동시에 제거하기 위하여 현장여건을 적절히 감안한 두가지 형태의 소일네일링공법을 적용한 대표적인 지역으로 판단된다. 또한 평사투영법 및 블럭파괴의 사면안정해석으로부터 가장 위험한 지역으로 분류된 바위고지의 경우 Micro pile의 설치 구간에 수 개의 수위계와 경사계를 설치하여 사면활동에 따른 지반 거동 상황을 사전에 예측하여 안전사고에 대비하였다.



## 참 고 문 헌

1. 평원엔지니어링(1993), 자유로 2단계 위험절취사면 지표지질조사 보고서
2. 한국토지개발공사(1993), 자유로 2단계 위험절취사면 안정공법 설계용역 보고서
3. 백영식(1988), “사면안정강좌(II)”, 대한토질공학회지 제4권 제2호, P. 74-104
4. 신윤식(1993), “산사태 조사.시공에 있어서의 최신의 논제”, 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회집 제1집
5. 임승태역(1994), “최신의 사면안정공법”, 기술경영사
6. 황정규(1992), “지반공학의 기초이론”, 구미서관
7. Guilloux, A. & Schlosser, F.(1982), “Soil Nailing : Practical Applications”, Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bangkok
8. Hoek, E. & Bray, J. W.(1981), “Rock Slope Engineering”
9. Hoek, E. & Brown, E.T.(1980), “Underground Excavations in Rock”
10. Shen, C.K., Herrmann, L.R., Romstad, K.M., Bang, S., Kim, Y.S., DeNatale, J.S., “An In Situ Earth Reinforcement Lateral Support System”, 1981, University of California, Davis, Report No. 81-03