

## 절토사면의 Nailing 보강 Fabric Form의 설계와 시공 Design and Construction of Green Slope Fabric Form on Cutting Slope

송재현<sup>1)</sup>; Jae-Heon Song, 최영근<sup>2)</sup>; Young-Keun, Choi

<sup>1)</sup>(주)건설기술개발공사 대표/상하수도기술사, Chairman of Construction ENG Co., LTD.

Professional Engineer of Water Supply and Sewage

<sup>2)</sup>벽산엔지니어링(주) 이사/토질 및 기초기술사, Director of Byuck San ENG Co., LTD.

Professional Engineer of Soil Mechanics and Foundation Engineering

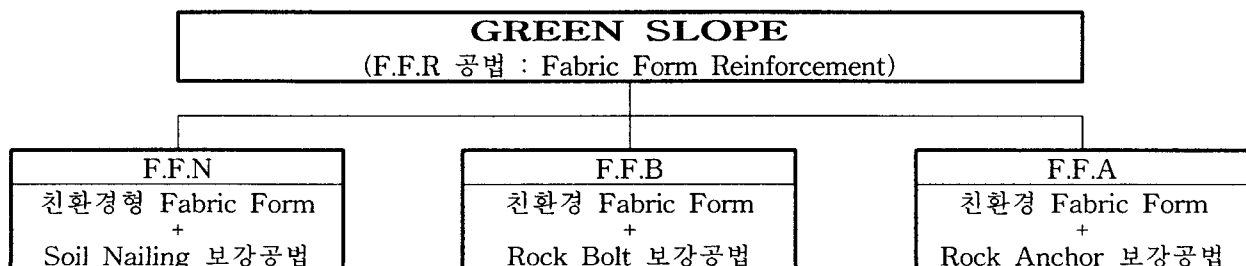
**SYNOPSIS** : Green Slope(F.F.R : Fabric Form Reinforcement Method) is one of an environmental slope protection method at steep cutting sites. This method is that soil and rock at the steep slope is fixed using the environmental **Fabric Form, Nail, Rock Bolt** and **Rock Anchor**. And then, the surfaces covered with grasses or weeds. This method will be satisfied both safe slope protection and natural environment appearance. Green Slope is a useful method of the construction sites of steep cutting slopes.

**KEYWORDS** : Green Slope, Nailing, Rock Bolt, Rock Anchor

### 1. GREEN SLOPE공법의 개요

#### 1.1 공법개요

GREEN SLOPE (F.F.R 공법 : Fabric Form Reinforcement 공법)은 그동안 절·성토사면의 활동과 침식의 방지와 동시에 자연환경과 조화되는 환경친화적 공법이 요구되어 왔는데 이를 동시에 만족시키는 공법으로서 그동안 사용되어 왔던 Soil Nailing공법은 사면전면에 Shotcrete로 뿔칠되어진 공법으로서 미관이 불량하고 배후면 용수처리의 난점, Wire Mesh의 부식과 Shotcrete면의 크랙 등으로 매우 불량하고 부실한 시공면이 형성되어 이를 개량하여 견고한 콘크리트 기둥형의 Fabric Form과 Nailing으로 보강한 F.F.N공법, Rock Bolt로 보강된 F.F.B공법 및 Rock Anchor로 보강된 F.F.A공법으로 사면내 토사활동을 방지하고 표면침식을 억제함과 동시에 자연식생이 가능한 환경친화적 사면보강 및 보호 공법이다.



## 1.2 특징

- 절·성토사면과의 부착성이 우수하여 일체화가 가능
- Green Fabric Form의 고강도 및 조기경화 콘크리트 기둥으로 침식방지
- 기존 Soil nailing에 적용한 모든 지반에 적용가능하고 신속 견고함
- 식생이 가능하여 미관이 우수하며, 배수처리가 용이하고 철근부식 및 표면 크랙이 없음

## 1.3 공법적용범위

- 고속도로, 국도 및 지방도, 단지, 철도 등의 절토 및 성토사면
- 댐, 호수, 저수지 등의 절토 및 성토사면
- 터널 입·출구부 의 절토사면 보강
- 기타 급경사 사면 및 도시인근 사면 보강 및 녹화

## 2. GREEN SLOPE공법의 종류

GREEN SLOPE 공법의 F.F.R공법(Fabric Form Reinforcement)은 고강도의 토목섬유로 짠 두겹의 포거푸집 사이에 Cement Mortar를 채워 강도는 평균  $180\text{kg/cm}^2$ 이상이므로 전면을 일체화된 콘크리트 기둥형의 Fabric Form으로 덮고 기둥사이 내부를 자연식생이 가능하도록 하며 중간을 Nailing하여 토사와 일체화 되는 공법이다.

또한 매트는 투수성 포제로서 유동성 모르타의 잉여혼합수가 주입압력에 의하여 배출되어 물·시멘트 비가 저하되므로 경화시간이 빠르고 고밀도 고강도의 기둥형 콘크리트 경화체를 만들 수 있다.

이는 다음과같이 3종의 공법으로 분류된다.

### 2.1 F.F.Soil Nailing(F.F.N 공법)

기둥형의 콘크리트 Fabric Form 기둥 사이에 Nailing하여 원지반토사와 일체화시키는 공법으로서 표면에는 자연식재를 하고 구조계산에 의거한 Nailing을 박아 일체화시키는 공법이다.

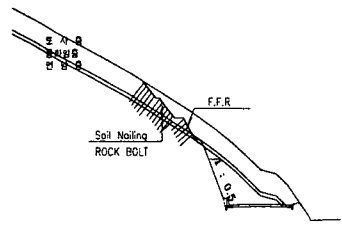
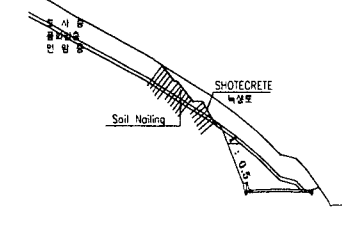
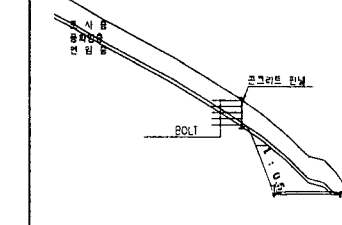
### 2.2 F.F.Rock Bolting(F.F.B 공법)

기존 절·성토면의 사면안정 보강공법중 Rock Bolt 의 보강안을 적용하는 것으로 보강재를 좁은 간격으로 삽입함으로써 절취로 인한 이완으로 생긴 수평변형에 의한 인장, 전단응력, 휨모멘트에 대한 저항력과 흙과 보강재사이의 마찰력으로 원지반과 Rock Bolt사이를 일체화하여 지반을 안정시키는 공법으로 기존 Nailing 시스템과 같이 적용되고 있다.

### 2.3 F.F.Rock Anchor(압축형 제거용 앵커)(F.F.A 공법)

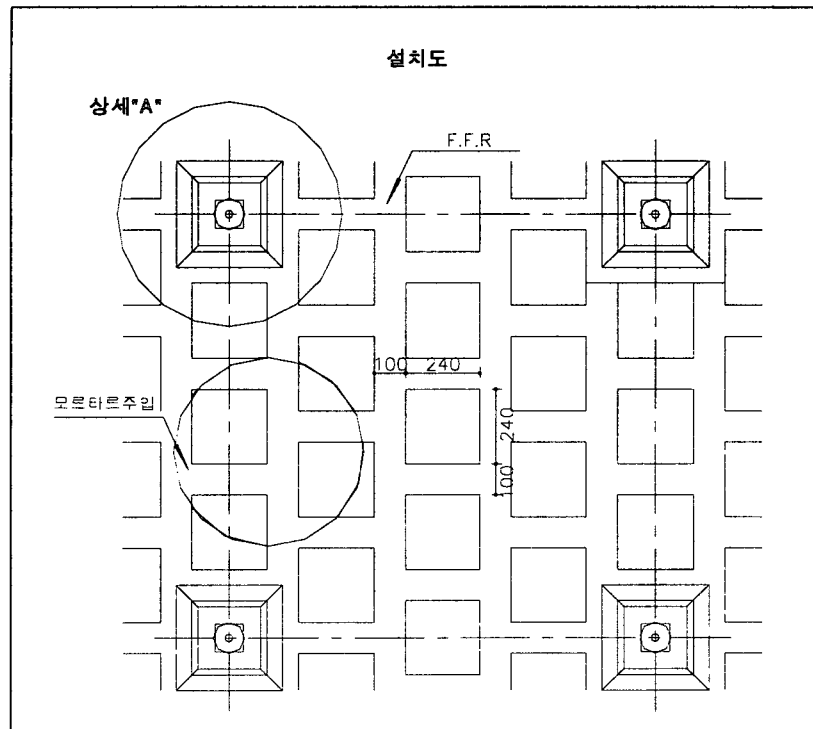
F.F.A공법에 적용되는 Anchor로 앵커체에 인장력이 작용하는 일반 앵커와는 달리 압축형앵커로 필요에 따라 제거가 가능한 영구 앵커로 다양한 Con'c Block(기둥형, 판형, 격자형)과 일체화 시공하여 절취사면에 보강공법으로 적용하여 활동과괴에 대한 안정성을 확보하는 공법이다.

### 3. Green Slope F.F.N공법과 타공법과의 비교

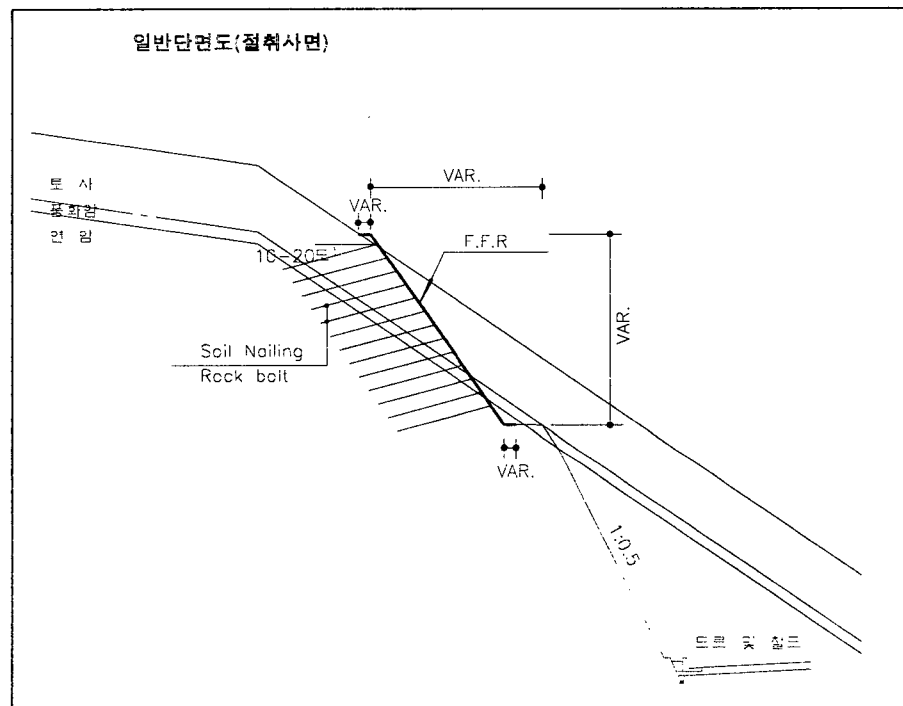
구 분	GREEN SLOPE	Shotcrete공법	PEM 용벽
개 요	F.F.N 공법 (Fabric Form+Nailing)	Shotcrete(or 녹생토) + Soil Nailing 공법	PC Panel + Earth Bolt
단면도			
공 법 개 요	F.F.R(Fabric Form Reinforcement)를 부설후 Mortar 주입 시공하고 활동에 저항하도록 NAIL(or Rock Bolt)을 시공하는 공법	인장/전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 지반내에 삽입하여 지반의 전단저항력과 활동저항력을 증가시켜 사면의 안정성을 확보하는공법	막음판인 PC Panel과 Earth Bolt를 이용하여 Prestress를 도입시켜 토체를 일체화하며 이 토체가 수평력에 저항하도록 하는 공법
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-F.F.R의 단위 중량이 작다.</li> <li>-F.F.R를 공장 제작하므로 품질이 균질하다.</li> <li>-기계 시공으로 공기가 짧다.</li> <li>-시공비가 저렴하다.</li> <li>-장래 식생이 가능하므로 환경 친화적이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-.표면붕괴 발생시 유리</li> <li>-.풍화 및 절리 파쇄가 심한 암반에 유리함</li> <li>-.원지반 보강공법으로 Nail 1개가 부담하는 안전도가 낮으므로 국부적인 품질에 문제가 발생할 경우 전체안정에 미치는 영향이 상대적으로 적다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-.원지반을 1 : 0.3 정도로 절취 후 수직 판넬 설치로 편입부지가 적다.</li> <li>-.공장 PC Panel로 현장 조립하므로 품질관리가 용이함.</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nailing 두부처리에 신경을 기하여야 한다.</li> <li>-시공중 F.F.R 관리에 유의하여야 한다.</li> <li>-공사비가 저가임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-시공성 보통</li> <li>-공사비 다소 고가</li> <li>-지하수 유출시 장기 안정성 문제가 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-공사비가 고가임</li> </ul>
평 가	경제성 우수 견고성 우수	경제성 불리 견고성 최하	경제성 가장 불리 견고성 다소 우수

## 4. GREEN SLOPE(F.F.N)공법의 설계

### 4.1 전면 F.F.N(Fabric Form Nailing) 평면도

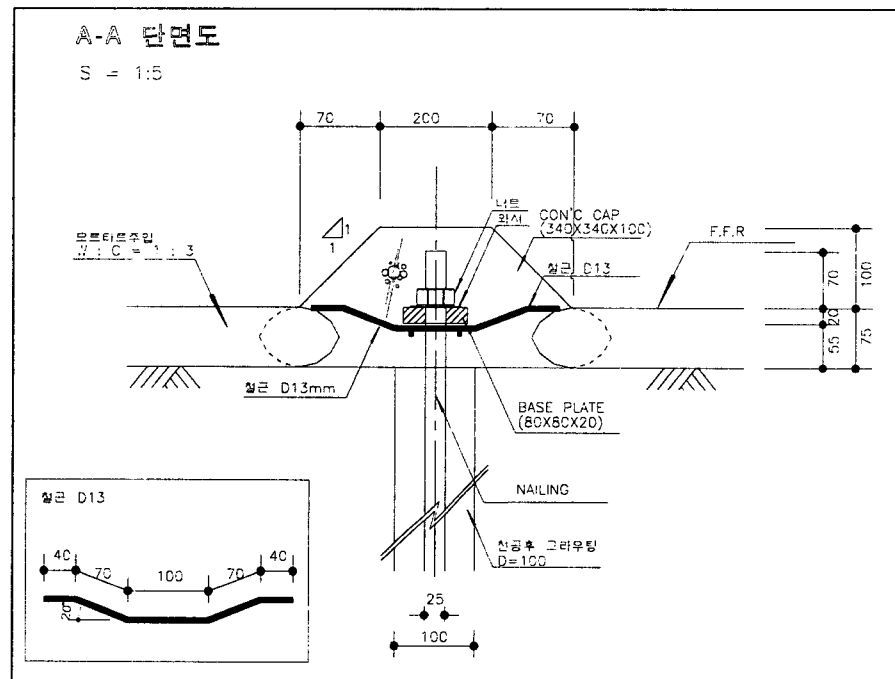
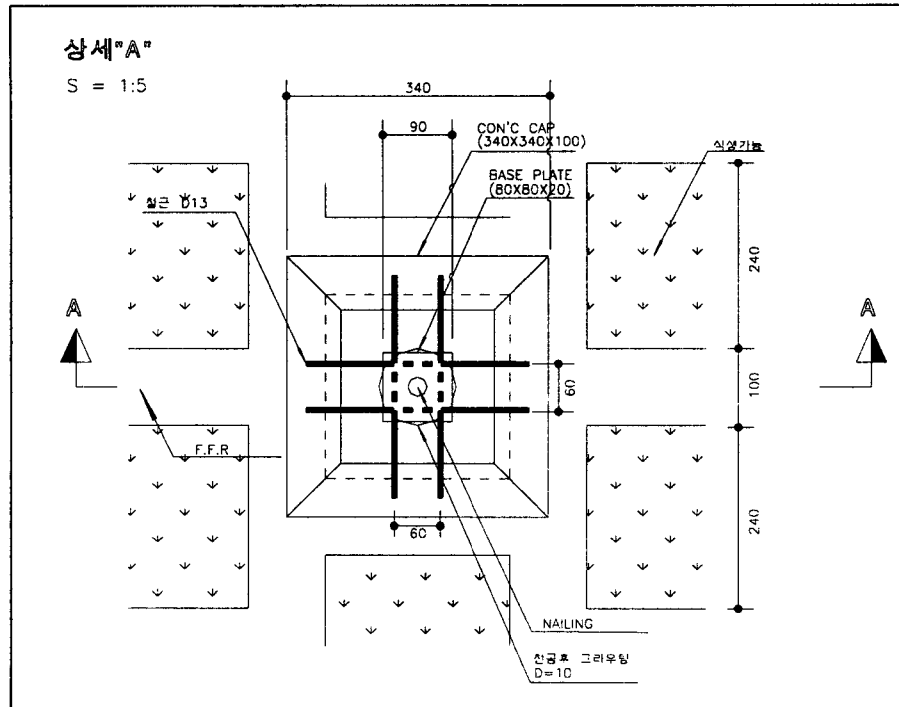


### 4.2 GREEN SLOPE 단면도

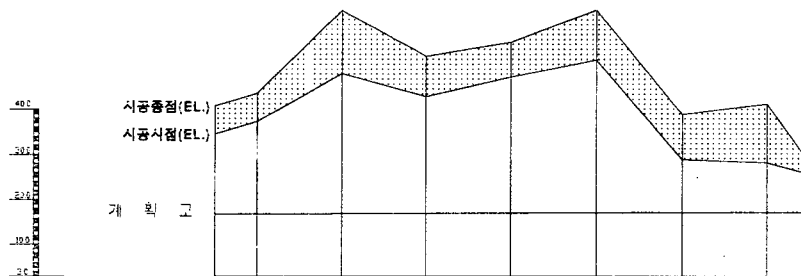
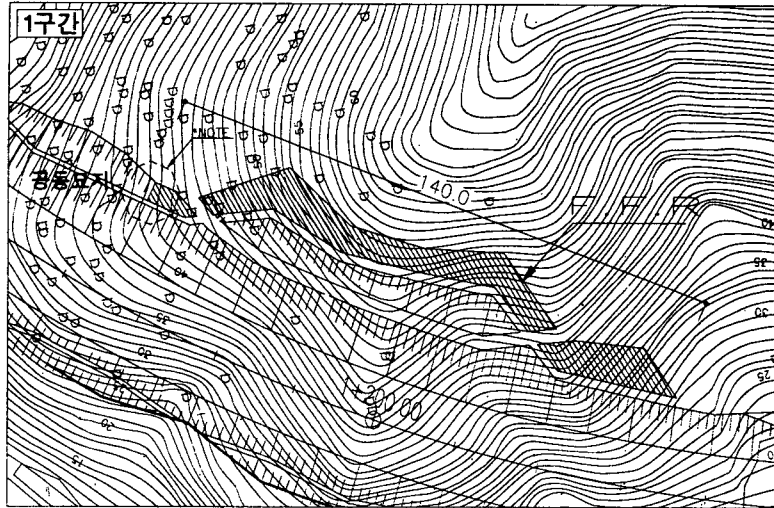


(F.F.N : Fabric Form Soil Nailing 工法)

### 4.3 Nail 및 Rock Bolt 두부



#### 4.4 설계 예



수직거리 (사거리)	6.23	6.34	14.05	8.96	7.76	11.12	10.04	13.06	2.61
	7.61	7.74	17.15	10.94	9.47	13.58	12.26	15.94	3.18
사공종점(EL.)	40.71	43.54	51.97	51.84	54.88	62.12	38.90	41.26	28.30
사공시점(EL.)	34.48	37.20	47.92	42.88	47.12	51.00	28.86	28.20	25.70
위 치	1K+ 130.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00	260.00	270.00

사면보강 평면도 및 전개도

## 5. GREEN SLOPE (F.F.R 공법)의 구조검토

### 5.1 Green Fabric Form의 활동안정성 검토

#### 5.1.1 활동(滑動)에 대한 저항력

滑動에 대한 저항력( $S_n$ )은 사면부분의 마찰력 및 사면끝 바닥앞부분에 대한 마찰력을 고려하고 정상부분의 마찰력은 무시한다.

$$S_n = (L_3 + L_2 \cos \theta)W\mu \cdot \text{접지면적}$$

$$L_3 = \text{소단길이(m)}$$

$$L_2 = \text{범장길이(m)}$$

$$\theta = \text{사면경사각}(\text{°})$$

$$W = \text{무게(t/m)}$$

$$\mu = \text{상호작용계수}$$

표-1. 상호작용계수(토목섬유P202 지반공학회 간)

토 질	상호작용계수(a)	비 고
자갈질토(礫質土)	0.9 ~ 1.0	* 일본에서 가장 보편적으로 사용하는 값.
모 래(砂)	0.85 ~ 0.95	
사 질 토(砂質土)	0.80*	
실 트 질 점 토	0.75	
점 토(粘土)	0.60	

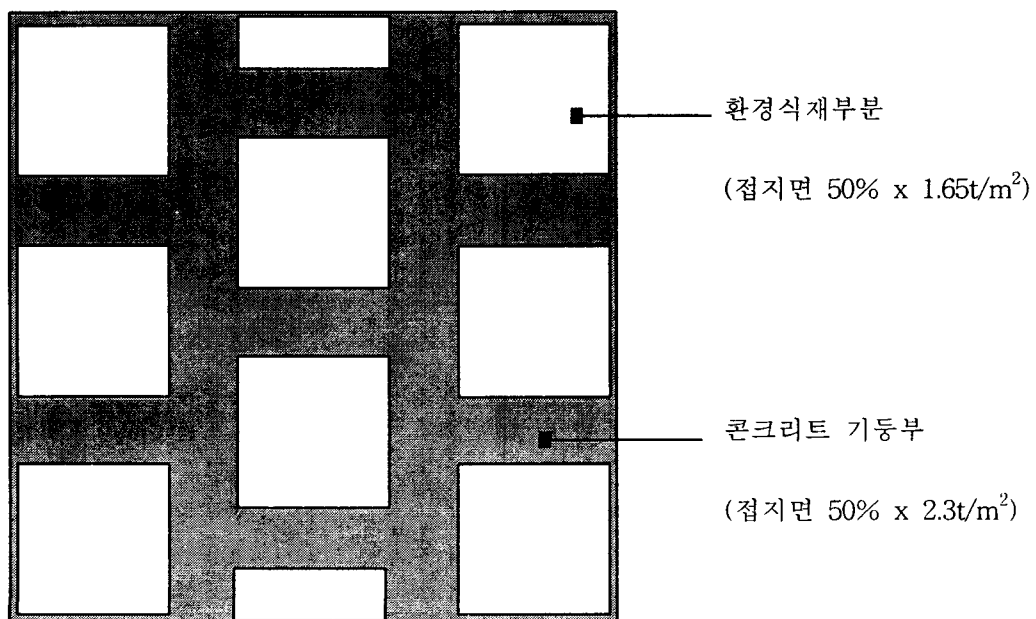


표-2 접지면적(1M<sup>2</sup>당)

구 분	비접지면적	접지면적
재래형 섬유대 호안공	0.72m <sup>2</sup>	0.28m <sup>2</sup>
지그재그 개량형 섬유대 호안공	0.32m <sup>2</sup>	0.68m <sup>2</sup>
친환경형 섬유대 호안공	-	1.00m <sup>2</sup>
Green Slope F.F.R	-	1.00+Nailing

**5.1.2. 활동력(滑動力) (Tn)**

$$Tn = W \cdot L_2 \cdot \sin \theta$$

**5.1.3 안전율(安全率) (Fn)**

안전율은 아래표에서 볼 때 사면안전으로 보아 1.3을 기준으로 함.

$$* \text{ 환 경 형 } Fn = \frac{Sn}{Tn}$$

표-3 국가별 설계 안전률 (토목섬유 PAGE 201)

설계이론	F.S	설계 안전율(F.S)				비 고
		미 국	영 국	일 본	설계지침서	
지 지 력		1.5~2.0	1.0	1.2~1.3	1.3	
사면안정		1.3~1.5	1.3	1.2~1.3	1.3	
저면활동		1.5	1.5~2.0	2.0	1.5	

**5.1.4 대책공법**

- Fabric Form으로 불안정시 Nail로 보강
- Nail(1개의 단면적)
- Nail 1개의 허용전단응력
- 저항력 : F.F.R 의 저항력 + NAIL 저항력

**5.2 GREEN SLOPE 외적 안정검토**

Soil Nailing 중 수정사면안정해석법(외적 안정성 해석)은 기존의 사면 안정 해석법을 수정하여 잠재적인 원형 또는 썩기형상의 활동면을 따라 일어나는 파괴에 대해 네일로 보강된 토체와 주위지반의 전체안전율을 구한다.

수정사면안정해석법(Stocker et al.,1979 ; Shen et al.,1981 ; Schlosser,1983)을 통하여 유도된 여러 해석법들은 안전율의 정의, 파괴면의 형태, 흙-네일간의 상호작용의 형태, 네일의 저항력에 대한 각기 다른 가정들을 가지고 있다.

Stocker et al.(1979)은 임계활동면을 두개의 직선으로 가정된 임계활동면으로 가정하였고 반면에 Shen et al.(1981)은 포물선형 임계활동면을 가정한 유사한 설계 방법을 제안하였다. 두가지 방법 모두 극한 힘 평형법을 이용하였고 네일의 인장력 만을 고려하였다.



프랑스 방법 (The French Method)으로서 Schlosser(1983)에 의해서 제시된 일반적인 안정 해석법은 데이비스 방법과 마찬가지로 절편법을 이용하는 방법으로 원호 및 비원호 파괴면에 적용시킬 수 있는 방법이다. 이 방법은 다른 방법과는 달리 다음의 네가지 파괴기준에 따라 그 네일이 발휘하는 힘을 평가하게 된다.

### 5.2.1 흙의 전단저항력

흙의 전단저항력은 Mohr-Coulomb 파괴곡선에서 나오는  $\phi$ ,  $c$ 를 이용하여 구한다.

$$\tau < c + \sigma \tan \phi \quad (\text{식 1.11})$$

안전율은 1.5정도로 본다.

### 5.2.2 흙 - 네일

$$T_{\max} \leq \pi D L_a f_{\max} \quad (\text{식 1.12})$$

여기서,  $D, L_a$  = 각각 네일의 직경, 네일의 유효길이  
 $f_{\max}$  = 흙-네일사이의 최대 마찰력

### 5.2.3 흙과 네일 사이의 수직방향 상호작용

이 파괴 양상은 흙과 네일의 상호작용에 대한 해석은 횡방향 하중을 받는 말뚝의 저항력을 구하는 것과 유사하다. 네일에 일어나는 휨모멘트와 전단력은 허용치보다 크면 네일이 파괴된다.

네일에서 일어나는 최대 전단력과 최대모멘트는, 각각 파괴면과 네일이 만나는 지점과 이 지점에서  $\pi/2L_0$  정도 떨어진 지점에서 발생한다.

각 네일에서 일어나는 전단력  $V_0$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$V_0 = p \frac{D}{2} L_0 \quad (\text{식 1.13})$$

여기서,  $p$  = 네일의 수동 토압 ( 상한값은  $p_{\text{lim}}$  )

$$L_0 = \text{전이길이} \left( = \left[ \frac{4EI}{k_h D} \right]^{0.25} \right)$$

$E, I$  = 각각 네일의 계수, 네일의 이차 단면 모멘트

$k_h$  = 수평 지반 계수

수동토압을 (1)  $p_{\text{lim}}$  (2) 네일에 소성힌지를 만드는 수동토압, 이 중에 작은 값으로 결정하면 최대 전단력은 다음 두 값 중에서 작은 값보다 작아야 한다.

$$V_0 = \frac{DL_0}{2} p_{\text{lim}} \quad (\text{식 1.14a})$$

$$V_0 = \frac{DL_0}{2} [M_p / (0.16 D L_0^2)] \quad (\text{식 1.14b})$$

각 네일에서 발생하는 최대 모멘트는 다음과 같다.

$$M_{\max} = 0.16 pD L_o^2 < M_p \quad (\text{식 1.15})$$

전단력과 휨모멘트에 대한 안전율은 대개 2정도로 본다.

### 5.2.4 네일의 강도

네일이 인장력(T)과 전단력(V)을 모두 견뎌야 할 때는 설계 양상은 네일 부재가 Tresca 파괴양상을 고려하면서 네일에 발생하는 응력에 대해 Mohr 원의 해석에서 유도된다.

$$\frac{T^2}{R_n^2} + \frac{V^2}{R_c^2} < 1 \quad (\text{식 1.16})$$

여기서,  $R_n$  = 네일의 인장 강도

$R_c$  = 네일의 전단 강도 (=  $R_n/2$ )

$V, T$  = 각각 실제 네일에서 일어나는 전단력, 인장력

최대 일의 원리와 Tresca 파괴기준으로 부터 파괴시 네일에서 일어나는 전단력과 인장력은 다음과 같이 구해진다.

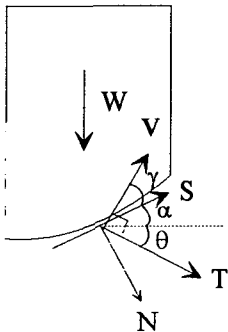
$$V_f = \frac{R_c}{[1 + 4 \tan^2(\frac{\pi}{2} - \alpha)]^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{식 1.17})$$

$$T_f = 4 V_f \tan(\frac{\pi}{2} - \alpha) \quad (\text{식 1.18})$$

여기서,  $\alpha$  = 임계활동면과 네일사이의 상대 각도

$\alpha = 0$ 일 때는 단지 인장력만 네일에 발생하고  $\alpha = \pi/2$ 일 때는 전단력만이 발휘된다는 것을 알 수 있다.

네일에 설치된 지반의 사면 안정 해석을 위해서 Fellenius방법과 Bishop의 간편법을 이용하면 다음 식과 같은 안전율을 얻을 수 있는데, 여기에 작용하는 각 네일의 전단력(V)과 인장력(T)은 앞의 파괴 기준을 만족시켜야 한다.



<그림 1.1.> 절편에 작용하는 힘

<그림 1.1.>과 같은 절편에서 작용하는 휨 모멘트와 이에 저항하는 휨 모멘트는 다음과 같다.

$$M_D = r\Sigma W \sin \alpha - r\Sigma V \cos \gamma - r\Sigma T \cos(\theta + \alpha) \quad (\text{식 1.19})$$

$$M_R = r\Sigma(c'l + \Sigma \sigma' l \tan \phi) = r\Sigma(c'l + \Sigma N' \tan \phi) \quad (\text{식 1.20})$$

(1) Fellenius 방법

활동면에 수직인 힘  $N'$ 의 방향으로 평형방정식을 구하면 다음과 같다.

$$N' - W \cos \alpha - V \sin \gamma + T \sin(\theta + \alpha) + ul = 0 \quad (\text{식 1.21})$$

$$N' = W \cos \alpha + V \sin \gamma - T \sin(\theta + \alpha) - ul \quad (\text{식 1.22})$$

$$FS = \frac{M_R}{M_D} = \frac{\Sigma(c'l + \tan \phi [W \cos \alpha + V \sin \gamma - T \sin(\theta + \alpha) - ul])}{\Sigma W \sin \alpha - \Sigma V \cos \alpha - \Sigma T \cos(\theta + \alpha)} \quad (\text{식 1.23})$$

(2) Bishop 방법

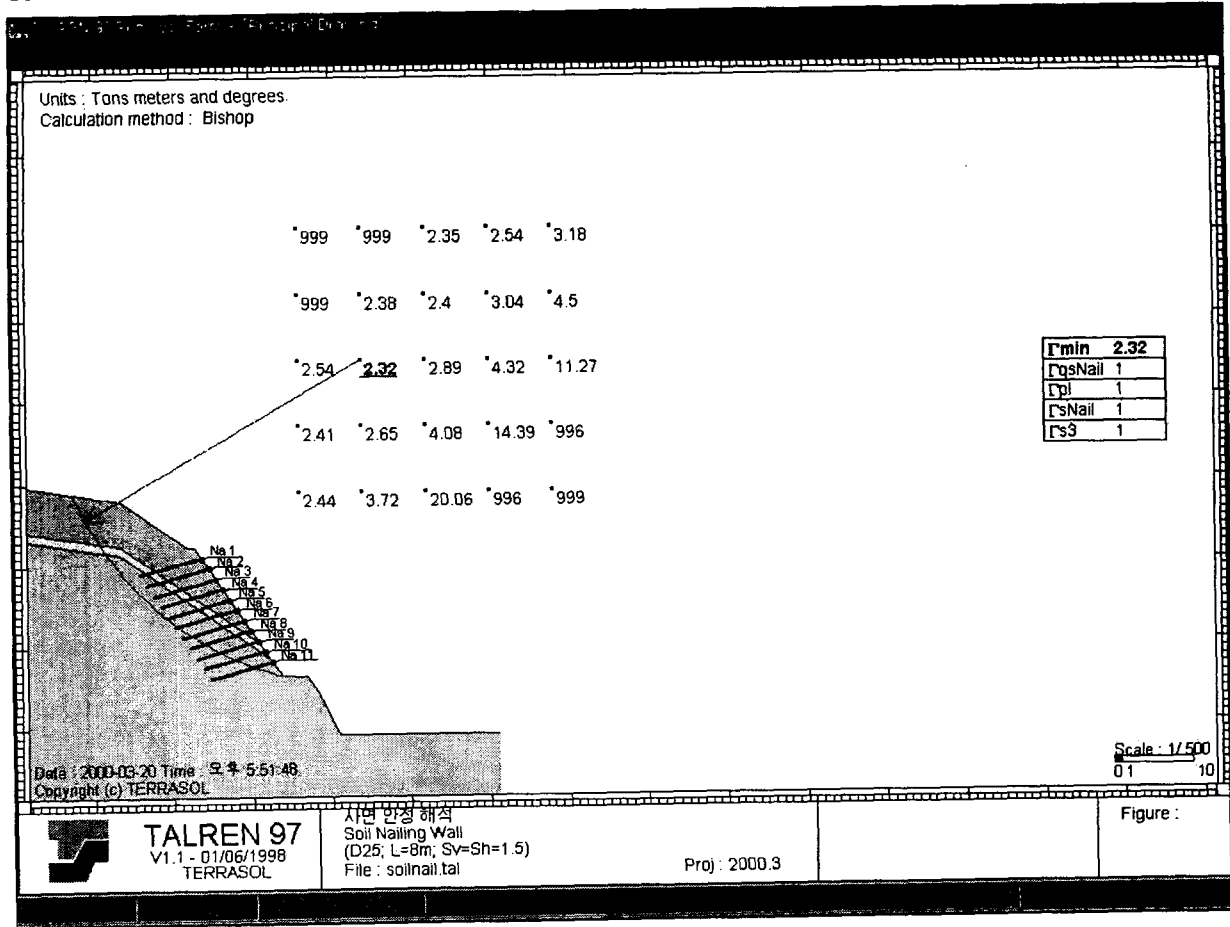
연직방향으로 평형방정식을 세우면 다음과 같다.

$$W - N' \cos \alpha + T \sin \theta - V \sin(\theta + \alpha) - S \sin \alpha - ul \cos \alpha = 0 \quad (\text{식 6.24})$$

$$N' = \frac{W + T \sin \theta - V \sin(\theta + \alpha) - \frac{c'l}{FS} \sin \alpha - ul \cos \alpha}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi + \sin \alpha}{FS}} \quad (\text{식 6.25})$$

$$FS = \frac{M_R}{M_D} = \frac{\Sigma(c'b + \tan \phi [W + T \sin \theta - V \sin(\gamma + \alpha) - ub])}{\Sigma W \sin \alpha - \Sigma V \cos \gamma - VT \cos(\theta + \alpha)} \frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi / FS} \quad (\text{식 1.26})$$

### 5.3 TALFEN 97에 의한 외적 안정검토



### 6. 결 론

토목섬유를 이용한 절토사면 보강공법으로는 그동안 사실상 거의 이용된 공법이 없었으나 본 Green Slope(FFR)공법의 개발로 추후 많은 이용이 예상되며 과거의 타 공법에 비하여 다음과 같은 여러 가지 장점이 있음을 판단할 수 있다.

- (1) 절토사면의 Sliding을 억제키 위한 공법중 Shotcrete 공법이 가지고 있는 단점이 본 공법으로 거의 개선 개량되었다.
- (2) 과거의 공법이 가지고 있던 외관이나 자연환경적 불리함이 현저히 개선 개량되어 친환경성 공법으로 발전되었다.
- (3) 과거의 타 공법이 가지고 있던 공사비가 현저히 저렴한 공법으로 개량 개선되었다.

### 참고문헌

1. (주)건설기술개발공사 “Fabric Form의 설계와 시공” 1998.
2. 건설교통부, 한국건설기술연구원 “건설신기술소개” 1999. 10
3. 한국지반공학회 “98년 토목섬유학술발표회 논문집” 1998. 12. 4
4. Schlosser “수정사면안적해석법” 1983.
5. Schlosser “The French Method” 1983.
6. 한국지반공학회 “지반공학시리즈 9 토목섬유” 구미서관 1998.