

# 한계평형법에 의한 연약지반 보강성토의 안정해석

## Stability Analysis of the Reinforced Embankment on Soft Foundations using the Limit Equilibrium Method

고 남 영\* · 고 홍 석\*\*  
Goh, Nam Young · Goh, Hong Seok

### Summary

The use of geotextile as reinforced materials in soil structures has become widespread throughout the world. Geotextile reinforcement has been used in retaining walls, slope of embankment and especially soft foundation, etc. In the past, however, its design and construction have been performed empirically.

In this study, to investigate of the effect of geotextiles reinforced slope of the embankment on a very soft foundation, a limit equilibrium analysis program calculating the safety factor of embankment on very soft foundation was developed.

The study was focussed on such factors as type of geotextile, tensile strength, amount of reinforcement, and inclination of embankment. And the limit equilibrium analysis program was written on the basis of Low's slope stability theory with some modification.

The following conclusions were drawn from this study.

(1) The orientation of reinforcement can be assumed either horizontal or tangential to the slip circle. The factor of safety with tangential reinforcement is larger than that with the horizontal reinforcement.

(2) In general, the factor of safety increases, as the slope reduces. However, it is preferable to use geotextiles with higher tensile strength rather than to reduce the slope of the embankment, because it is difficult to adjust the slope as desired.

(3) The factor of safety obtained by numerical computation is affected only by the tensile strength, but not by the type of the geotextile.

---

\* 전북대학교 농업개발연구소  
\*\* 전북대학교 농과대학

키워드 : 한계평형법, 보강성토, 토목섬유, 사면안정해석, 안전율

## I. 서 론

간척공사에 있어서 연약지반 처리공법의 적절한 선정과 방조제 성토 단면의 안정해석에 따른 설계 및 시공은 공사비와 공정에 많은 영향을 끼친다. 최근 토목섬유는 토공 및 기초공학 분야에서 보강, 필터, 배수, 분리 및 침식방지 등의 기능으로 광범위하게 사용되고 있다. 특히 간척공사에서 매트레스 공법으로 일컬어지고 있는 토목섬유 보강공법은 공사비가 비교적 저렴하고 시공이 간편하면서 안정도를 증가시키기 때문에 연약지반의 보강공법으로서 각광을 받고 있다.

흙은 압축력에는 비교적 강하나 인장력에는 약한 공학적 성질을 가지고 있다. 흙의 보강재로 사용하고 있는 토목섬유는 인장강도와 탄성계수가 크기 때문에 이 재료를 흙 속에 매설하게 되면, 흙의 공학적 성질을 보완 개량하여 성토의 변형을 억제하고 지반의 안정과 토공구조물의 내구성을 증진시키는 효과가 있다. 따라서 연약지반 성토에서 토목섬유를 사용하면 토목섬유의 높은 인장력 효과로 성토하중은 분산되고 침하량이 감소된다. 그리고 지반의 조기압밀이 촉진되고 지지력이 증대되어 성토의 안정도가 높아지며, 성토재료를 일체화시켜 지반에 작용케 하므로 지반의 국부적인 파괴현상을 방지하고 성토의 유실과 침하를 방지한다.

그러나 토목섬유를 흙의 보강재로서 사용하기 위해서는, 토목섬유로 보강된 흙의 역학적 관계뿐만 아니라, 알맞은 토목섬유의 선택, 각 하중 조건에서의 보강 토공구조물의 파괴에 대한 안정성 등이 보다 명확히 구명되어야 할 것이다.

본 연구에서는 한계평형해석법의 하나인 Low(1985)의 사면안정해석법을 토목섬유로 보강한 사면에 대한 안정해석이 가능하도록

수정·보완한 프로그램을 개발하였다. 그리고 이 프로그램을 사용하여 토목섬유로 보강한 연약지반 성토 사면의 안정도해석을 수행하고, 토목섬유의 인장강도 및 재질, 사면 기울기 등의 변화에 따른 토목섬유 보강 효과를 분석하였다.

## II. 연약지반 성토의 사면안정해석

### 1. 기본이론

성토 사면의 사면안정해석에 사용되는 가장 보편적인 방법은 한계평형법이다. 이 해석법에는 파괴면의 형태를 직선으로 가정하는 경우 무한사면법과 흙췌기법이 있고, 원형 또는 비원형으로 가정하는 경우 마찰원법, 절편법, Bishop법, Morgenstern과 Price법, Spencer법, Janbu법 등이 있다. 여기서 가장 많이 사용되는 해석법은 절편법이다. 그러나 Low(1985)는 절편법 대신 성토 및 기초지반에 대한 몇 가지 변수만으로 저항모멘트와 전도모멘트를 결정하는 사면안정해석법을 제안하고 있다.

Low법은 단기 비배수 조건에서 점착력과 내부마찰각이 있는 성토에 적용이 가능하고, 기초지반의 비배수 전단강도는 깊이에 따라 변하며, 기초지반 재료의 내부마찰각은 0°로 가정한다. 안전율은 다음과 같이 정의하고 있다.

$$(FS)_D = N_1 \cdot (\text{무차원 기초지반 강도}) + N_2 \cdot (\text{무차원 성토 강도}) \dots \dots \dots (1)$$

여기서,  $(FS)_D$ 는 기초지반 깊이 D까지 미치는 활동원호에 대한 최소 안전율이고,  $N_1$ ,  $N_2$ 는 안정계수이다. Fig. 1은 이 해석방법의 기본적인 내용을 도해한 것이다.

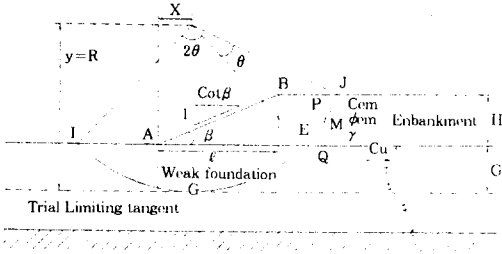


Fig. 1. Notation for unreinforced embankment on weak foundation

일반적으로 원호활동에 대한 안전율은 성토의 기하학적 특성과 성토재료 및 기초지반의 토질특성에 영향을 받는다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 성토의 기하학적 특성은 주로 성토의 높이 H와 사면의 기울기  $\cot\beta$ 이다. 그리고 성토재료의 특성은 점착력  $C_{em}$ , 내부마찰각  $\phi_{em}$ , 그리고 단위중량  $\gamma$ 이다. 기초지반 재료의 특성은 전단강도  $C_u$ , 그리고 비배수내부마찰각  $\phi_u$ 이다. 이들 변수를 식(1)에 대입하고 그 관계를 정립하면 다음 식(2)로 표시할 수 있다.

$$(FS)_D = N_1 \frac{C_A}{\gamma H} + N_2 \left( \frac{C_{em}}{\gamma H} + \lambda \tan \phi_{em} \right) \dots \dots \dots (2)$$

여기서,  $N_1$ ,  $N_2$ 와  $\lambda$ 는  $D/H$ 와  $\cot\beta$ 에 좌우되며,  $C_A$ 는 깊이 D에서의 평균 비배수전단강도를 의미한다.

2. 전도모멘트

Fig. 1에서와 같이 전도모멘트는 M이 성토 높이의 중간점일 때는 ABJME를 ABPMQ로 근사(近似)하게 표현할 수 있다. 기하학적 특성으로부터 ABPMQ의 전도모멘트는 다음과 같이 표현된다.

$$M = \left[ \frac{1}{2}x(\ell-x) + \left(D + \frac{H}{2}\right) \left(y - \frac{1}{2}\left(D + \frac{H}{2}\right)\right) - \frac{1}{6}\ell^2 \right] \gamma H \dots \dots \dots (3)$$

3. 저항모멘트

IGEMJ의 저항모멘트  $M_r$ 은 두 성분, 즉 호 IGE에 따른 유효비배수전단강도와 호 EMJ에 따른 성토의 점착력과 마찰력으로 이루어진다. 지반재료는 균일한 비배수전단강도인  $C_A$ 로 취하여 유효저항모멘트를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_r = y(C_A 2\theta y) + y(C_{em} + \lambda \gamma H \tan \phi_{em}) \theta_H y \dots \dots \dots (4)$$

우변의 첫번째 항은 기초지반에, 두번째 항은 성토에 해당한다.  $\lambda \gamma H \tan \phi_{em}$ 항은 성토 내에 있는 호의 길이에 따라서 발생하는 평균마찰응력을 표현한 것이다.

4. 안정계수  $N_1$ 과  $N_2$

안전율식( $FS = M_r/M_o$ )에 대한 편도함수를 X와 Y에 대하여 취하여 특정한 제한선 활동 원호의 중심위치(좌표값 X,Y)를 구할 수 있다. 그 결과 깊이 D의 제한선에 대한 임계원은 사면의 중간위치를 지나는 중간점 원호이며,  $\cot\beta$ 와  $D/H$ 에 의존하는 반경을 갖고 있음을 알 수 있으며 다음과 같은 계수를 정할 수 있다.

$$N_1 = 3\sqrt{\frac{D}{H}} \alpha_1^{1.5} / \alpha_2$$

$$N_2 = 1.5(\sqrt{(D/H)+1} - \sqrt{D/H}) \alpha_1^{1.5} / \alpha_2$$

여기서,

$$\alpha_1 = \frac{1}{8} \frac{(\cot\beta)^2}{\left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2}\right)} + \frac{3}{2} \left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2}\right)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2}\right) - \frac{1}{24} (\cot\beta)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2}\right)^2$$

$$\lambda = 0.21 \left[ 1 + 0.08 \frac{\cot\beta}{(D/H)^{1.5}} \right]$$

### III. 연약지반 보강성토의 안정도 해석

Low(1985)가 제안하였던 연약지반 성토의 안정해석 방법을 토목섬유로 보강한 사면안정 해석법으로 보완 수정하여 프로그램으로 개발하였으며, 기존의 토목섬유 보강 사면안정해석 프로그램인 STABGM과 비교 분석하였다.

#### 1. 보강재에 의한 안전율의 정의

보강하지 않은 사면 안전율을  $F_o$ 라 하면,  $F_o$ 는 앞에서 정의한 바와 같이 저항모멘트  $M_r$ 를 전도모멘트  $M_o$ 로 나눈 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_o = M_r / M_o \quad \dots\dots\dots (6)$$

토목섬유 등과 같은 보강재를 사용하였을 때, 보강재의 사용에 의하여 유발되는 저항모멘트를  $M_r$ 라 하면 성토 사면의 안전율은 식(7)과 같이  $F_{R}$ 로 증가한다.

$$F_R = (M_r + M_T) / M_o \quad \dots\dots\dots (7)$$

식(7)의  $M_T$ 는 보강재의 강성으로부터 생기는 변형을 충분히 견디어낼 수 있는 잠재보강모멘트로 정의할 수 있다. 주어진 실하중 상태에서 변형이 크지 않으면 보강재에 작용하는 힘도 크지 않게 되고, 따라서 보강재의 안정증가 효과는 적을 것이다. 따라서 파괴에 이르지 않는 보강성토는 비보강성토와 거의 같은 거동을 보인다. 그럼에도 불구하고 보강재의 잠재강도는 이 보강시스템에 잠재하여 있고 안전도에 여유를 주게 된다. 즉 비보강성토 보다는 보강성토가 파괴가 발생하기 전까지 더 충분한 높이를 유지할 수 있기 때문에 보강성토의 안전도의 증가 효과가 나타나게 된다.

#### 2. 활동면에서 보강재의 방향

Romstad등(1978), Rowe등(1986), Leshc-

hinsky등(1988)은 보강재인 토목섬유가 사면 활동이 시작하면서 흙의 상대적인 움직임 때문에 보강재의 방향이 변할 가능성이 있다고 보고한 바 있다. 즉 Fig. 2(a)에서 보강재는 초기의 수평방향을 유지하고 있으나, Fig. 2(b)에서와 같이 흙의 상대적인 움직임으로 인하여 보강재의 방향이 활동면과 접선 방향을 유지하게 된다.

보통 실제 하중 조건에서 안전율이 1.0보다 큰 경우에는 활동면에 따른 흙의 상대변위는 작기 때문에 보강재의 방향을 심하게 변화시키지는 않을 것이다. 그럼에도 불구하고 식(7)의  $F_R$ 은 보강재의 잠재강도를 사용하여 계산되기 때문에,  $M_T$ 를 계산할 때에는 보강재의 잠재강도가 동원되는 상태를 가정하여 보강재의 방향, 즉 잠재방향을 고려해야 한다. 일반적으로 보강재의 잠재방향은 흙의 상대적인 움직임뿐만 아니라 보강재의 강성(剛性)에 크게 영향을 받을 것이다. 다시 말하면 Fig. 2(a)는 보강재의 강성이 매우 큰 철제 보강재의 경우에 해당하고, 반면에 Fig. 2(b)는 유연한 강성을 가진 보강재의 경우에 해당된다.

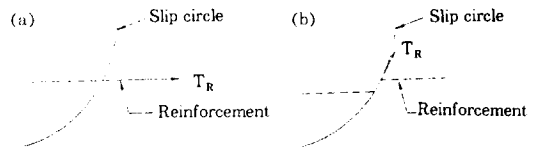


Fig. 2. Orientation of reinforcement at the slip surface

따라서 이 연구에서 개발된 프로그램은 보강성토의 두 가지 안전율을 계산할 수 있도록 하였다. 하나는 보강재가 활동면에서 수평방향인 경우와, 또 하나는 접선방향의 경우이다. 각각의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F_{Rh} = [M_R + \sum_{i=1}^N T_i(y - (D + h_i))] / M_o \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$F_{Rt} = (M_R + \sum_{i=1}^N T_i y) / M_o \dots\dots\dots (9)$$

여기서,  $F_{Rt}$  = 활동면에서 보강재의 방향을 수평으로 가정했을 때 안전율  
 $F_{Rt}$  = 활동면에서 보강재의 방향을 접선으로 가정했을 때 안전율  
 $T_i$  = 토목섬유의 인장강도  
 $h_i$  = 성토 밑면으로부터 보강재까지의 높이  
 $N$  = 보강재 층의 수  
 $y$  = 활동원호의 반경

### 3. 연약지반 보강 성토의 안정해석 프로그램(GEOFS)

상기 이론을 배경으로 하여 토목섬유로 보강한 연약지반 성토의 사면안정해석 프로그램

Table-1. Input data for the analysis of GEOFS

Embankment				Foundation		Reinforcement		
Height (m)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kgf/m <sup>2</sup> )	Friction angle (Degree)	Slope (H/V)	Depth (m)	Cohesion (kgf/m <sup>2</sup> )	Height (m)	Tensile Strength (kgf/m)
3	1,681	3,400	25	1.0-5.0	5	980	0	1,535-25,000

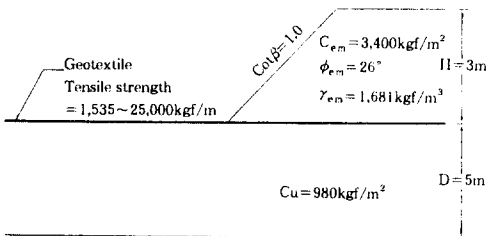


Fig. 3 Slope stability analysis of the geotextile-reinforced embankment using the program GEOFS

### IV. 결과 및 고찰

Fig. 3과 Table-1의 데이터를 입력하고 성토 사면의 기울기는 1 : 1.0~1 : 5.0 범위, 토목섬유의 인장강도는 1,535~25,000kgf/m 범

인 GEOFS(Stability Analysis of Geotextile-Reinforced Embankment Computing Factor of Safety)를 개발하였다. 이 프로그램은 연약한 기초지반 위의 성토에 대하여 보강재가 있는 경우와 보강재가 없는 경우에 대하여 각각 안전율을 계산할 수 있다.

개발된 프로그램 GEOFS를 검증하기 위하여 Fig. 3과 같은 성토단면에 Table-1에서의 기초지반 및 성토의 토질 특성치와 토목섬유의 인장강도를 입력 계산하고, Bishop법인 STABGM 프로그램 결과와 비교,분석하였다. 분석 결과, Fig. 4와 5에서 보는 바와 같이 GEOFS에 의하여 구한 안전율 값이 STABGM에 의하여 구한 안전율보다 약간 큰 값을 보이고 있지만 거의 일치되는 경향을 보였다.

위로 변화시켜 계산한 결과는 Table-2와 3과 같다.

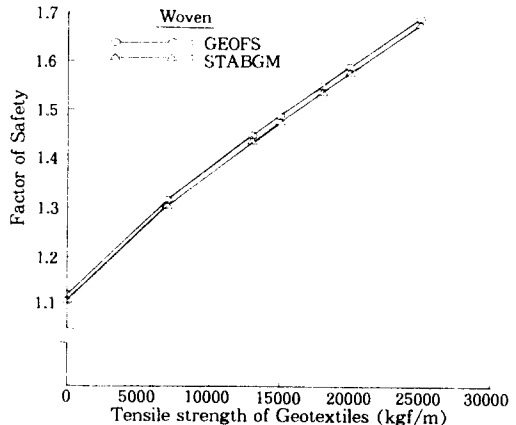


Fig. 4. Comparison of GEOFS and Bishop's method : Woven

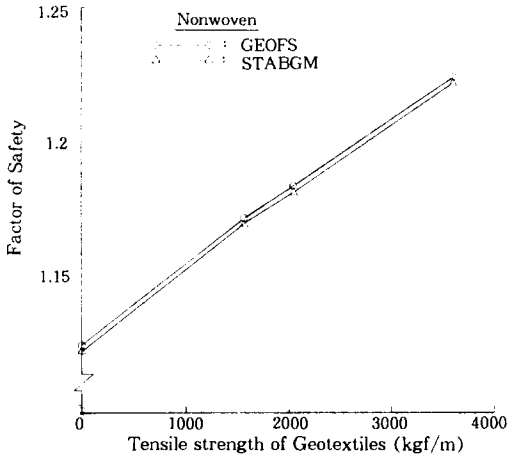


Fig. 5. Comparison of GEOFS and Bishop's method : Nonwoven

이 결과를 이용하여 토목섬유의 인장강도, 예상활동면에서 토목섬유 방향의 가정에 따른 변화, 성토 사면의 기울기, 토목섬유의 종류 등에 따른 사면안정 효과를 분석·고찰하였다.

### 1. 토목섬유의 인장강도에 따른 사면 안정 효과

일반적으로 토목섬유가 사면안정의 보강용으로 사용되었을 때는 주로 인장재의 기능을 한다. 즉 사면이 파괴되는 순간에 예상활동면의 역계(力係)에서 토목섬유 내에 발생하는 수평력이 보강력으로 추가됨으로써 사면의 안정을 유지하는 것이다.

Table-2. Safety factor of 'horizontal'

Slope	Unreinf.	Tensile Strength of Geotextile(kgf/m)								
		Nonwoven			Woven					
		P515 1,535	P520 2,008	P530 3,543	KM7001 7,008	KM30001 13,032	KM50001 15,000	KM60001 18,032	KM70001 20,000	KM80001 25,000
1 : 1.0	1.125	1.171	1.184	1.228	1.316	1.449	1.490	1.550	1.589	1.688
1 : 1.5	1.145	1.190	1.203	1.247	1.335	1.471	1.513	1.577	1.161	1.716
1 : 2.0	1.169	1.214	1.228	1.270	1.358	1.499	1.544	1.611	1.654	1.757
1 : 2.5	1.197	1.242	1.256	1.298	1.386	1.534	1.581	1.652	1.698	1.811
1 : 3.0	1.230	1.273	1.287	1.330	1.419	1.573	1.623	1.698	1.747	1.869
1 : 3.5	1.263	1.309	1.322	1.363	1.456	1.617	1.669	1.749	1.800	1.930
1 : 4.0	1.301	1.344	1.358	1.400	1.497	1.664	1.718	1.802	1.856	1.993
1 : 4.5	1.339	1.388	1.397	1.441	1.541	1.714	1.771	1.858	1.914	2.057
1 : 5.0	1.379	1.425	1.439	1.485	1.588	1.767	1.825	1.915	1.974	2.123

Table-3. Safety factor of 'tangential'

Slope	Unreinf.	Tensile Strength of Geotextile(kgf/m)								
		Nonwoven			Woven					
		P515 1,535	P520 2,008	P530 3,543	KM7001 7,008	KM30001 13,032	KM50001 15,000	KM60001 18,032	KM70001 20,000	KM80001 25,000
1 : 1.0	1.125	1.206	1.230	1.305	1.460	1.708	1.787	1.907	1.985	2.179
1 : 1.5	1.145	1.224	1.248	1.321	1.474	1.722	1.801	1.921	1.999	2.193
1 : 2.0	1.169	1.247	1.270	1.341	1.492	1.740	1.819	1.940	2.019	2.212
1 : 2.5	1.197	1.273	1.295	1.366	1.514	1.763	1.842	1.963	2.041	2.236
1 : 3.0	1.230	1.302	1.324	1.393	1.541	1.790	1.869	1.991	2.068	2.264
1 : 3.5	1.263	1.336	1.357	1.424	1.572	1.821	1.901	2.022	2.100	2.295
1 : 4.0	1.301	1.370	1.391	1.458	1.606	1.855	1.935	2.057	2.135	2.331
1 : 4.5	1.339	1.407	1.428	1.495	1.643	1.893	1.973	2.095	2.173	2.370
1 : 5.0	1.379	1.448	1.468	1.535	1.684	1.934	2.014	2.136	2.215	2.412

Fig. 6과 7은 토목섬유의 인장강도에 따른 안전율의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 비보강 경우의 안전율 1.125에서부터 토목섬유의 인장강도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 것으로 보아 토목섬유의 인장강도가 사면의 안전율을 증가시키는 데 중요한 인자임을 보여주고 있다.

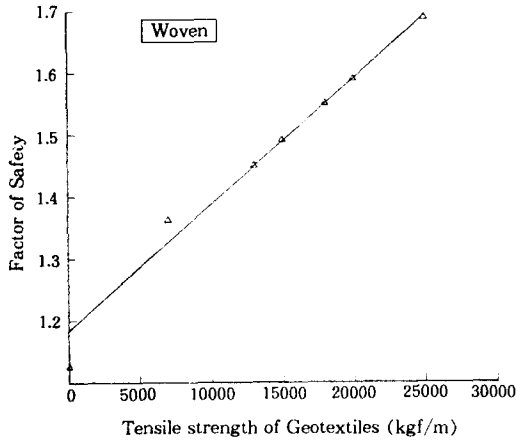


Fig. 6. Relation between geotextile tensile strength and safety factor : Woven

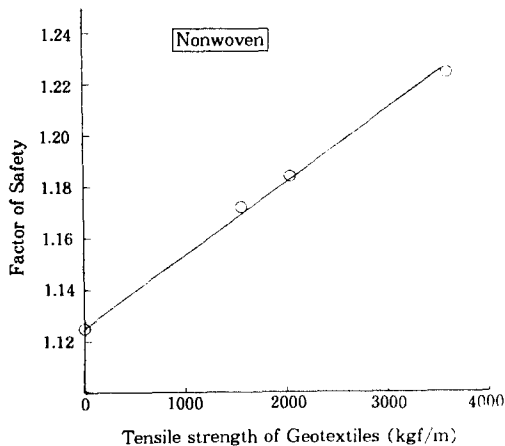


Fig. 7. Relation between geotextile tensile strength and safety factor : Nonwoven

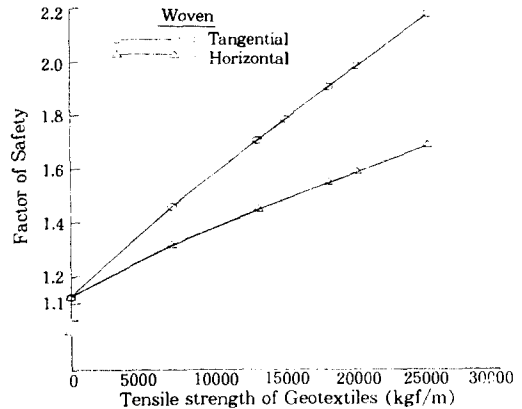


Fig. 8. Relation between tangential and horizontal : Woven

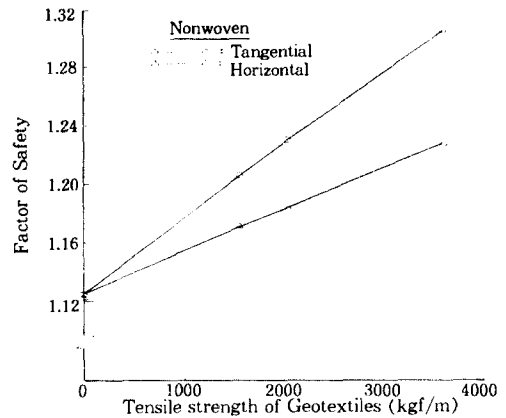


Fig. 9. Relation between tangential and horizontal : Nonwoven

## 2. 예상활동면에서 토목섬유 방향의 가정에 따른 변화

Fig. 8과 9는 토목섬유의 유연한 강성 때문에 변화될 수 있는 보강재의 방향변화가 안전율에 끼치는 영향을 알아보기 위하여 예상활동면에서 보강재의 방향을 활동원호에 접선인 경우와 수평인 경우로 가정하였을 때의 안전율과 토목섬유의 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 접선방향으로 가정한 안전율( $F_{Rt}$ )이 수평방향으로 가정한 안전율( $F_{Rh}$ )보다 크게 나타나며 보강재인

토목섬유의 인장강도가 커질수록 두 안전율의 차이는 더 커지는 것으로 나타나고 있다.

이러한 현상은 접선방향으로 가정된 경우는 수평으로 가정된 경우보다 예상활동면에서 법선력에 대한 영향이 적게 미치기 때문인 것으로 생각된다. 그러므로 본 프로그램을 사용하는 데 있어서  $F_{Rt}$ ,  $F_{Rh}$ 의 두 안전율 중에서, 사용할 토목섬유의 강성(剛性)을 고려하여 강성이 클 때는  $F_{Rh}$ 를, 강성이 작을 때는  $F_{Rt}$ 를 사용하는 것이 좋을 것이다. 그러나 사용할 토목섬유의 강성에 대한 정확한 자료가 없는 경우에는  $F_{Rt}$ ,  $F_{Rh}$ 의 두 안전율의 평균값을 사용하는 것도 가능할 것이다.

### 3. 성토 사면의 기울기에 따른 안전율의 변화

성토 사면의 기울기가 안전율에 끼치는 영향을 분석하기 위하여 사면의 기울기 1:1.0 ~ 1:5.0에 대하여 안정해석한 결과를 도시하면 Fig. 10, 11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 사면의 경사가 완만해 질수록 안전율은 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 Table-2와 3에서 보는 바와 같이 사면경사가 미치는 영향보다 보강재인 토목섬유의 인장강도가 안

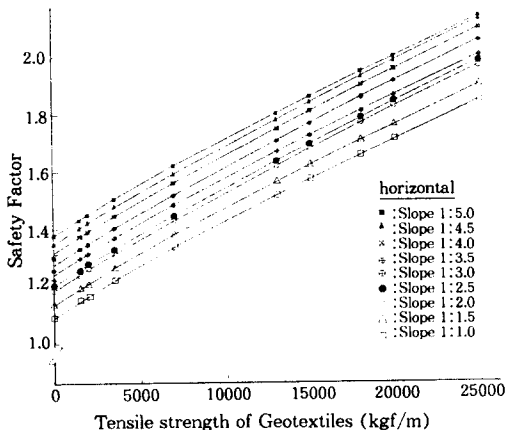


Fig. 10. Comparison of inclination of slope : horizontal

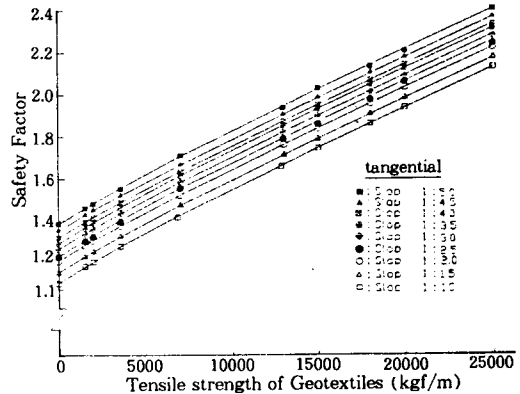


Fig. 11. Comparison of inclination of slope : tangential

전율에 미치는 영향이 크다. 따라서 시공여건상 사면경사를 조정하기가 어려울 때에는 안전율을 증가시키기 위하여 무리하게 사면경사를 늘리는 것보다 더 높은 인장강도의 토목섬유를 사용하는 것이 시공여건이나 안전율 증가 측면에서 효과적일 것으로 판단되었다.

### 4. 토목섬유의 종류에 따른 변화

토목섬유 재질이 안전율에 끼치는 영향을 알아보기 위하여 부직포 중에서 인장강도가 가장 큰 P530(3,543kgf/m)과 직포 중 인장강도가 가장 작은 KM7001(7,008kgf/m)에 대하여 기울기 1:1.0에서 해석한 결과를 비교한 것이 Fig. 12, 13이다. 그림에서 보는 바와 같이 안전율의 증가가 토목섬유의 종류와 상관없이 인장강도가 높은 직포는 상대적으로 낮은 부직포의 경우 보다 높은 안전율을 나타내고 있다.

이는 본 프로그램에서는 보강재의 보강력을 단지 토목섬유의 인장강도 특성만을 고려하여 성토의 안전율을 계산했기 때문이다. 반면에 고<sup>10)</sup>등의 모형실험의 결과에서는, 부직포보다 인장강도가 거의 두 배에 가까운 직포가 연직 변위량이 오히려 크게 나타난 것과 비교하여 볼 때 토목섬유의 종류에 따른 차이는 분명하다. 이는 토목섬유의 인장강도만을 고려한 안



전율 계산의 적용성에 한계가 있음을 의미한다. 그러므로 토목섬유 보강사면의 안전율을 결정할 때는 토목섬유의 인장강도특성 이외에 재질이나 두께와 같은 토목섬유 종류의 특성이 고려되어야 할 것이다.

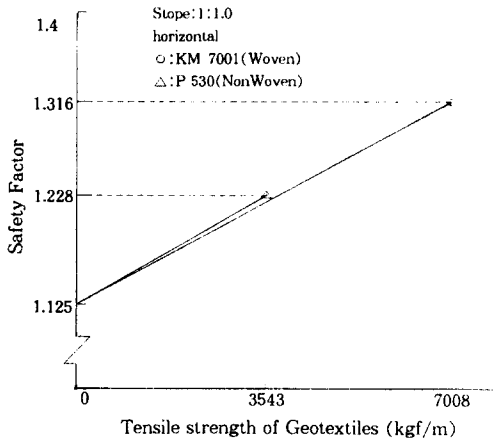


Fig. 12. Relation between KM7001 and P530 : horizontal

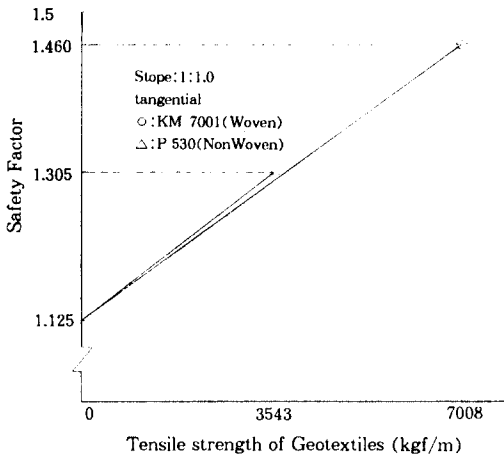


Fig. 13. Relation between KM7001 and P530 : tangential

## V. 결 론

연약지반 위에 포설된 토목섬유의 보강효과를 구명하기 위하여 Low(1985)의 사면안정

해석이론을 보완·수정하여 프로그램을 개발하였다. 그리고 이 프로그램을 이용하여 토목섬유로 보강한 성토사면의 안정해석 분석 결과는 다음과 같다.

(1) 보강재의 방향은 예상활동원호에 접선 또는 수평으로 가정할 수 있으며, 접선방향의 안전율( $F_{Rt}$ )이 수평방향의 안전율( $F_{Rh}$ )보다 크게 나타났다.

(2) 사면경사가 미치는 영향보다 보강재인 토목섬유의 인장강도가 안전율에 미치는 영향이 크다. 따라서 시공여건상 사면경사를 조정하기가 어려울 때에는 안전율을 증가시키기 위하여 무리하게 사면경사를 늘리는 것보다 더 높은 인장강도의 토목섬유를 사용하는 것이 시공여건이나 안전율 증가 측면에서 효과적일 것으로 판단되었다.

(3) 본 사면안정 해석 프로그램은 토목섬유의 인장강도만을 보강 사면의 안전율에 영향을 미치는 중요한 인자로 보고 있다. 그러나 토목섬유의 인장강도만을 고려한 안전율 계산은 한계가 있다.

(4) 한계평형해석은 단지 안전율만을 계산할 수 있을 뿐, 성토-토목섬유-기초지반 시스템의 변형 거동을 예측하는 데는 한계를 지니고 있다. 따라서 토목섬유 보강 사면안정해석에서 변형 특성 분석이 가능한 유한요소법과 같은 수치적 해석에 대한 연구가 앞으로 진전되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Koerner, R. M., 1986, Designing with geosynthetics, Prentice-Hall, pp.109-116
2. Leshchinsky, D. and D. S. Smith, 1988, Reinforcement against deep-seated failure : stability analysis, Int'l. Geot. Symp. on Theory and Practice of Earth Reinforcement, pp.419-424.

3. Low, B. K., 1989, Stability analysis of embankments on soft ground, ASCE, Vol. 115, pp.211-227.
4. Low, B. K., K. S. Wong, C. Lim and B. B. Broms, 1990, Slip circle analysis of reinforced embankment on soft ground, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 9, pp.165-181.
5. Martin, D. and F. Sanger, 1987, Developments in geocomposite research in the GRD, Int. Water Power and Dam Construction, pp.24-26.
6. Raumann, G., 1982, Geotextiles : Construction materials in evolution, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextile, Vol.4, pp.10-14.
7. Romstad, K. M., A. Al-Yassin, L. R. Herrmann and C. K. Shen, 1978, Stability analysis of reinforced earth retaining structures, Proc. Symp. Earth. Reinf. pp. 685-713.
8. Rowe, R. K. and K. L. Soderman, 1986, Reinforced Embankments on very poor foundation, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 4, pp.65-81.
9. Yamanouchi, T., 1982, Recent development of the use of synthetic geotextile fabrics, Sym. on Soil and Rock Improvement Tech. including Geotextiles, Reinforced Earth and Modern Piling Methods, C-1.
10. 高弘錫, 高楠咏, 1994, 土木纖維로 補強한 軟弱地盤의 安定度 解析 : 模型實驗과 有限要素解析, 韓國農工學會誌, 第36卷, 第1號, pp.39-53.

(접수일자 : 1995년 7월 29일)