

# Geotextile 보강사면의 안정도표개발에 관한 연구

A Study on the Development of Stability Charts  
for Reinforced Embankments by Geotextile

서 인 식\*  
Seo, In - Shik

---

---

## Abstract

This paper presents the deterministic model to evaluate the two-dimensional stability of geotextile-reinforced embankments on soft foundations. The potential failure surfaces in this study are assumed as the logarithmic spiral curves refracted at the boundary of layers. To facilitate the iterative calculations, we developed a program that determines the geotextile tensile force for an geotextile-reinforced embankments. This program can be used for situations with a varying number of soil layers and soil types. A series of calculations have been made for a schematised situation. The results of these series are collected in stability charts, which are compared with those by circular potential failure surfaces. Using these charts in an early stage of the design provides a reasonable estimate of the stability of geotextile-reinforced embankments. In a later stage a more detailed calculation can be made by the developed programs.

## 요 지

본 논문은 연약한 기초지반 위의 토목섬유 보강제방의 2차원 안정해석을 산정하는 결정론적 모델을 제시한다. 본 연구에서 가능파괴면은 대수나선으로 가정되었다. 반복계산을 수행하기 위하여 보강제방의 정하여진 안전율에 필요한 보강재의 인장력을 산정하는 프로그램이 개발되었으며, 이 프로그램은 여러개의 토층과 토질로 이루어진 상황에서도 사용될 수 있다. 도식화된 단면에 대하여 많은 계산결과들이 만들어 졌으며, 그 결과들로서 안정도표를 만들었으며, 이것은 가능파괴면을 원호로 가정한 결과들과 비교되어진다. 예비설계단계에서 이러한 도표들을 이용하여 보강사면에 대한 비교적 정확한 안전율을 근사적으로 구할 수 있으며, 실시설계단계에서는 개발된 프로그램에 의하여 정확한 결과를 산정할 수 있다.

Keywords : Refraction, Geotextile tensile force, Stability chart

---

## 1. 서 론

Geotextile에 관한 이론적, 실험적 연구는

1961년 Agershou에 의해 최초로 필터용 Geotextile의 사용에 관한 논문이 발표된 이래 꾸준한 특성시험방법들과 Geotextile의 이론적 해

---

\* 정희원, 경동전문대학 토목과 조교수

석방법들에 대해서도 많은 연구가 수행되어 그 종류도 다양하게 개발되고 적용분야도 확대되어 가고 있으며, 국내에서도 그 시공성과 경제성 등이 입증되어 사용실적과 사용범위가 날로 증가추세를 보이고 있다.

Jewell(1982) 등은 Simplified Bishop방법을 사용하여 Geotextile이 사면안정에 미치는 효과를 고찰하였으며, Ingold(1979) 등도 해석하였으며, Christie & El-Hadi(1977)는 여러층의 Geotextile로 보강된 사면의 안정효과를 연구하였다. 그러나 Geotextile 보강사면에 대한 연구나 이론적 정립이 아직은 미약한 실정이다.

보강사면의 해석의 파괴면은 Two-Part Wedge형, 원호형, 대수나선형 그리고 복합직선형 등이 있으나 기존의 대부분의 연구가 원호형이었다. 그러나 실제적으로 비원호파괴가 발생하고 있으며, 여러 층으로 형성된 사면에서 복합대수나선이거나 복합직선파괴가 발생하는 것으로 알려져 있다(Huang and Craig, 1976, Spencer, 1969). 그리고 근래에는 대수나선형에서 출발한 Two-Part Wedge 해석도 많이 있다. 따라서 연약지반 위의 Geotextile보강제방의 경우 파괴면을 원호로 가정하는것보다 연약지반과 제방의 층경계에서 파괴면이 굴절하는 대수나선이 더 적당하다.

본 연구에서는 연약지반상의 도로나 철도의 건설시 이루어지는 Geotextile 보강성토사면의 안정성 검토를 할 수 있는 실용적이고 체계적인 해석모델과 프로그램을 개발하여 사면파괴를 정확히 예측할 수 있고 또한 보강사면의 예비설계에서 광범위한 적용을 위하여 도식적인 사면에 대한 일련의 계산결과들로서 안정도표를 완성하는데 그 목적이 있다.

## 2. 안정해석방법

### 2.1 대수나선파괴면 굴절

보강사면의 가능파괴면을 대수나선으로 가정하면, 흙의 내부마찰각,  $\phi$ 의 함수이기 때문에 연약층과 성토층의 경계에서 가능파괴면은

굴절하게 된다.

내부마찰각이  $\phi_m$ 인 m 토층에서  $\phi_{m-1}$ 인 m-1 토층으로 가능파괴면이 진행할 때, 파괴면이 굴절하는 형태는 다음의 그림 1에 나타내었다 (Baker, 1978).

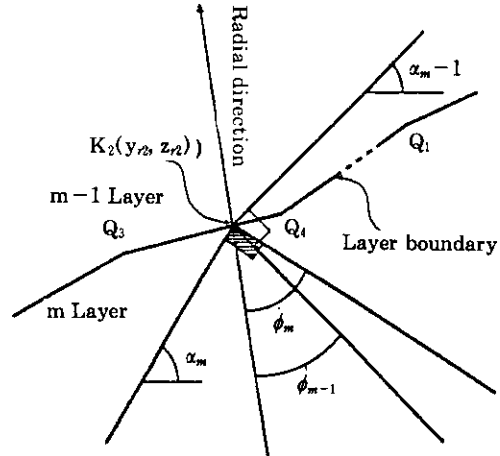


그림 1 대수나선파괴면의 굴절

그림 1에서, 파괴면이 통과하는 토층의 경계면 중의 한 점인  $K_2(y_r, z_r)$ 에서의 접선의 기울기의 관계를 식으로 표현하면 다음과 같다 (Baker and Garber, 1978).

$$\alpha_{m-1} = \alpha_m + (\phi_{m-1} - \phi_m) \quad (1)$$

위의 식에서 첨자들은 각각의 토층을 의미한다.

식 (1)은 “가능파괴면은 토층의 경계에서 굴절하여 다른 토층으로 진행하여도 대수나선의 극은 불변이다”라는 것을 의미한다. 왜냐하면 대수나선의 활동면에서 세운 법선과 반경벡터는 언제나 그 층의  $\phi$ 와 같은 각도를 이루기 때문이다.

### 2.2 보강사면의 안전율

본 연구에서 가능파괴면을 대수나선으로 가정하였으며 Geotextile의 인장력을 수평력으로 가정하여 해석하였다. i번째 절편의 양 측면에 작용하는 전체 수직력과 전단력은 서로 평형을 이루는 것으로 가정하면, 절편저면에 대하여

수직하향 방향(n-n 방향)에 대한 힘의 평형방정식은 다음과 같다.

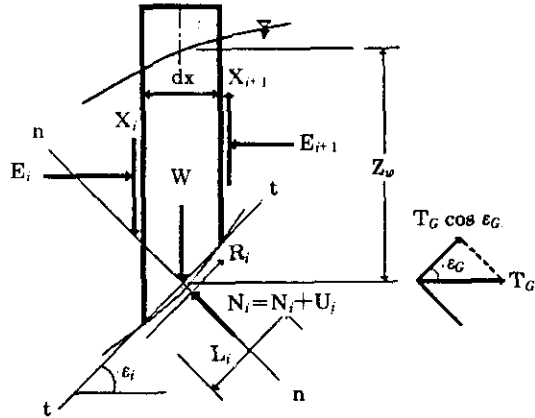


그림 2 가능파괴면의 절편 i에 작용하는 힘

$$\sum F_n = 0$$

$$W_i \cos \varepsilon_i - N_i - u_i L_i = 0$$

$$N_i = W_i \cos \varepsilon_i - u_i L_i \quad (2)$$

사면의 임의의 단면에서(그림 2 참조)의 i번째 절편의 파괴면을 따라 활동에 저항하는 힘,  $R(X_o)$ 와 활동을 일으키는 힘,  $S(X_o)$ 은 다음과 같다(서, 1994, 1995).

따라서 Geotextile의 인장력을 고려하면 보강사면의 안전율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R(x_o) &= \sum_{i=1}^n (c_i + \sigma_i \tan \phi_i) L_i \\ &= \sum_{i=1}^n (c_i L_i + N_i \tan \phi_i) \\ &= \sum_{i=1}^n [c_i L_i + (W_i \cos \varepsilon_i - u_i L_i) \tan \phi_i] \quad (3) \end{aligned}$$

$$S(x_o) = \sum_{i=1}^n W_i \sin \varepsilon_i$$

따라서 Geotextile의 인장력을 고려하면 보강사면의 안전율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} F_G &= \frac{R(X_o) + T_G \cos \varepsilon_G}{S(X_o)} \\ &= \frac{[\sum \{c_i L_i + (W_i \cos \varepsilon_i - u_i L_i) \tan \phi_i\} + T_G \cos \varepsilon_G]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \varepsilon_i} \end{aligned}$$

여기서,

$n$  = 절편의 수

$W_i$  = i번째 절편의 단위중량

$\varepsilon_i$  = i번째 절편저면의 수평면에 대한 경사각

$L_i$  = 파괴면의 i번째 절편저면의 길이

$u_i$  = 지하수위로부터 계산된, i번째 절편저면에 작용하는 간극수압

$c_i$  = i번째 절편저면의 점착력

$\phi_i$  = i번째 절편저면의 내부마찰각

$T_G$  = Geotextile의 인장력

$\varepsilon_G$  = 파괴면의 Geotextile 지점에서의 접선각

### 3. 해석 프로그램

본 연구에서 개발된 프로그램은 앞 장의 안정해석방법에서 제시된 해석모델에 대한 수치계산을 수행할 수 있으며, 프로그램의 간략한 흐름도는 그림 3과 같다.

본 프로그램은 불규칙한 토층경계와 여러층으로 구성된 사면에 적용할 수 있으며, 지하수위도 입력하여 고려할 수가 있다. 그리고 주어진 사면안전율에 대한 Geotextile의 요구되는 인장력을 구할 수 있으며, 주어진 Geotextile 인장력에 대한 사면안전율을 구할 수 있다. 또한 본 프로그램은 연약지반상에 Geotextile을 한 층을 포설한 후 성토를 행한 사면에 적용가능한, 연약지반상의 Geotextile보강 성토사면의 안정해석 프로그램이다.

### 4. 보강사면의 안정도표 및 고찰

연약한 지층 위의 Geotextile 보강사면에 대한 설계를 위한, 앞 절에서 제시된 해석모델의 절차에 의하여 개발된 프로그램은 주어진 사면 안전율에 대한 요구되는 Geotextile의 인장력을 계산할 수 있다.

안정도표의 광범위한 적용을 얻기 위한 기본 가정과 사면의 도식상황이 그림 4에 주어졌으며, 이 보강사면에 대하여 일련의 계산들이

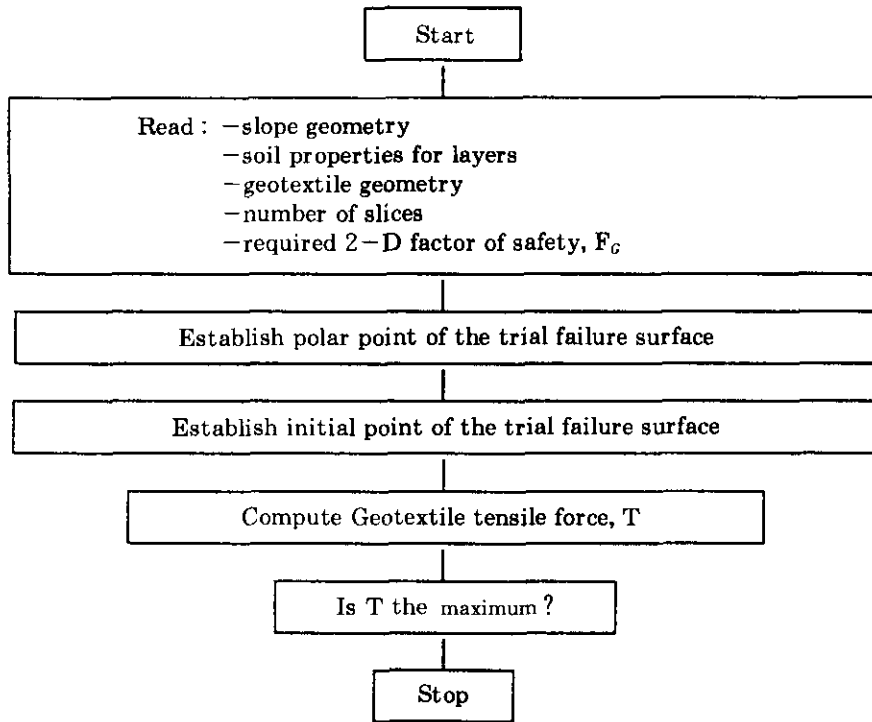


그림 3.

주어진 사면안전율 1.30에 대하여 수행되었고, 이 계산결과들은 안정도표들로서 보여진다. 이러한 안정도표를 얻기 위하여 사면의 경사가 1:n 일 때, n=1.5, 2.0, 2.5로 하고,  $C_u/\gamma H = 10, 0.15, 0.20$ 로 변화시켜서 그림 5-그림 8까지의 도표를 완성하였다.

연약지반 상의 Geotextile보강사면의 예비설계단계에서 이러한 도표들을 사용하여 Geotextile의 인장력을 간략히 예상할 수 있다. 그리고 안정도표의 Geotextile의 인장력은 원호파괴면(HUESKER Synthetics, 1996)의 경우와 비교되어져 있다.

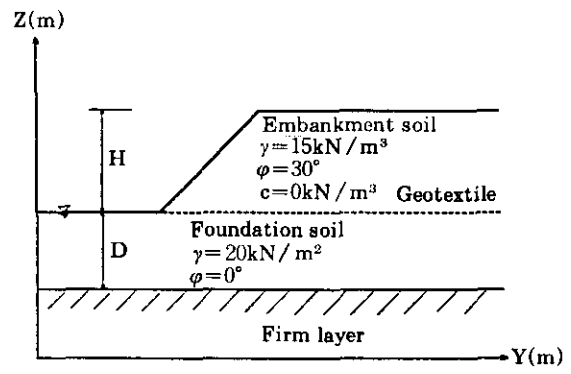
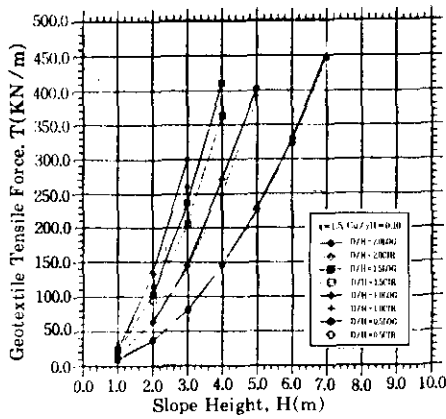
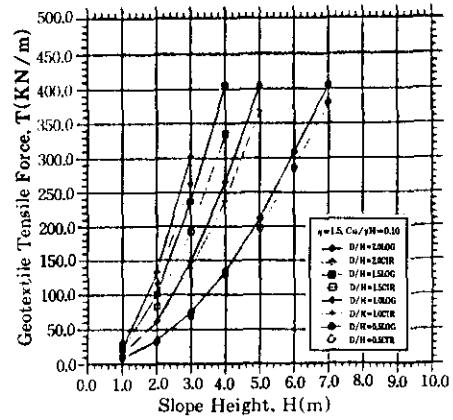


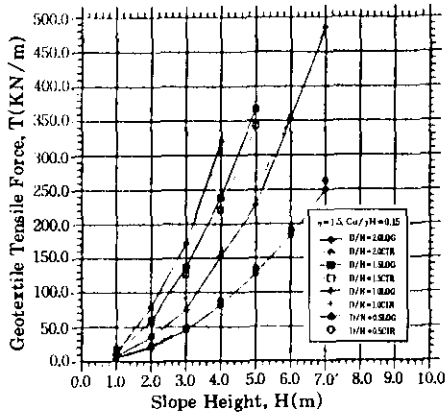
그림 4 안정도표에 사용된 사면의 종단면도



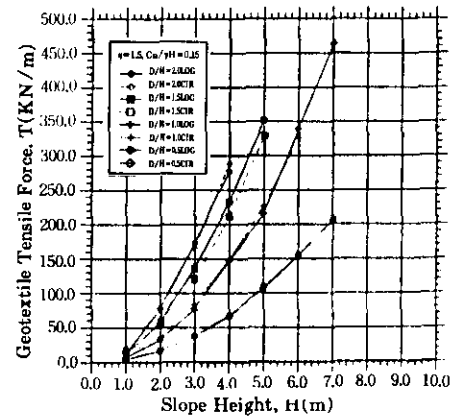
(a)  $Cu/\gamma H = 0.10$



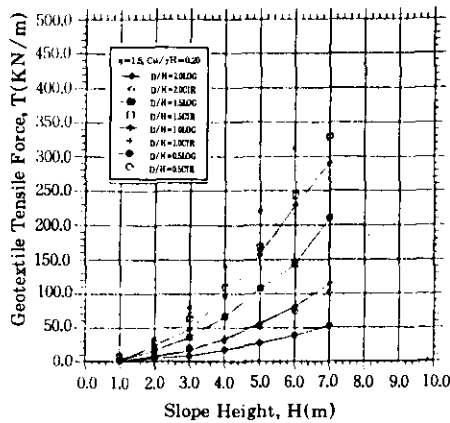
(a)  $Cu/\gamma H = 0.10$



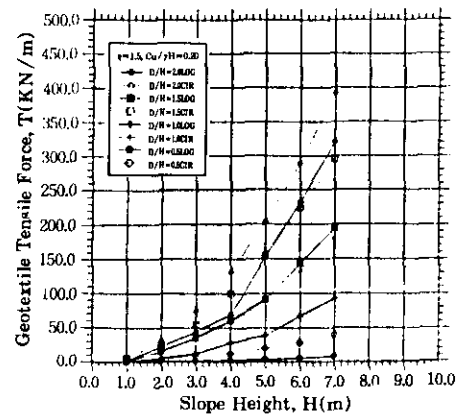
(b)  $Cu/\gamma H = 0.15$



(b)  $Cu/\gamma H = 0.15$



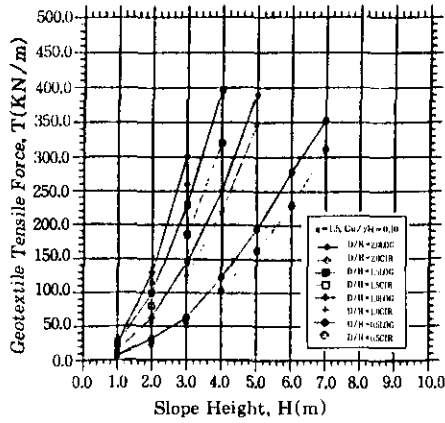
(c)  $Cu/\gamma H = 0.20$



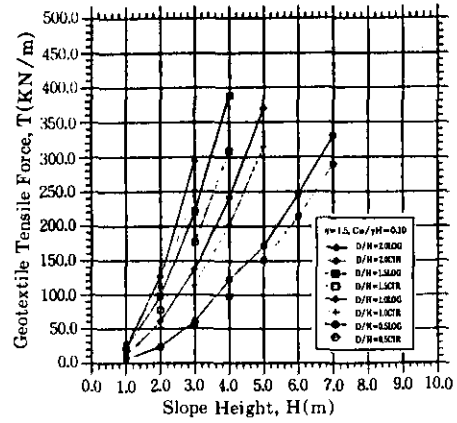
(c)  $Cu/\gamma H = 0.20$

그림 5 사면높이에 대한 Geotextile 인장력의 변화( $n=1.5$ )

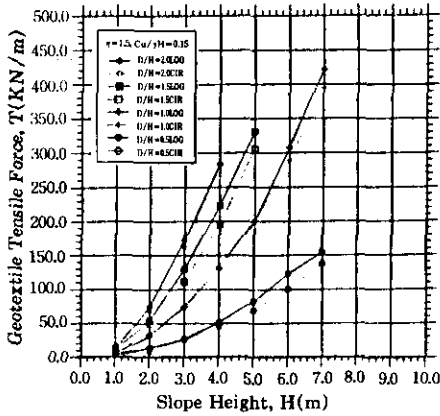
그림 6 사면높이에 대한 Geotextile 인장력의 변화( $n=2.0$ )



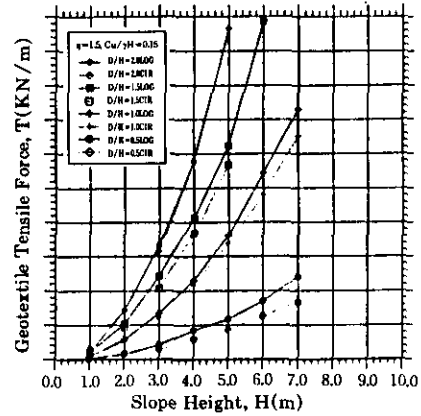
(a)  $Cu/\gamma H=0.10$



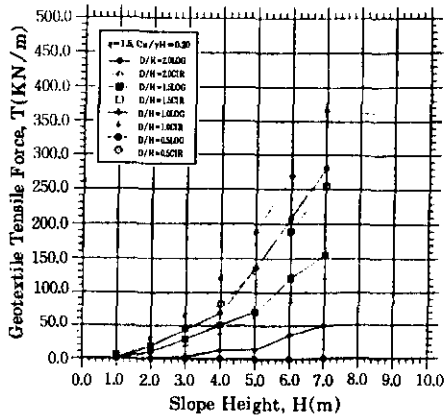
(a)  $Cu/\gamma H=0.10$



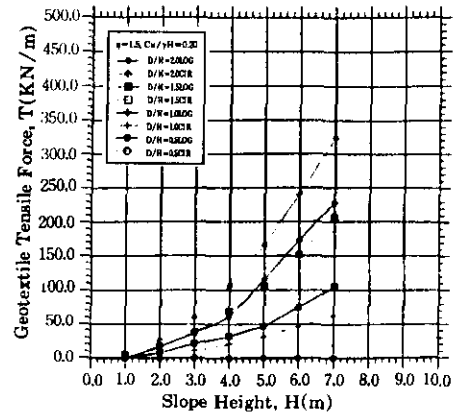
(b)  $Cu/\gamma H=0.15$



(b)  $Cu/\gamma H=0.15$



(c)  $Cu/\gamma H=0.20$



(c)  $Cu/\gamma H=0.20$

그림 7. 사면높이에 대한 Geotextile 인장력의 변화( $n=2.5$ )

그림 8 사면높이에 대한 Geotextile 인장력의 변화( $n=3.0$ )

위의 도표상에서 "LOG"로 표시된 것은 가능파괴면이 대수나선일 경우에 대한 것이며, "CIR"로 표시된 것은 가능파괴면이 원호일 경우이다.

위의 도표들을 고찰하면, 사면의 경사가 완만하여 질수록 원호파괴면과 대수나선파괴면에 대해 Geotextile의 인장력의 차이가 커지며, 동일한 경사를 가진다면  $C_u/\gamma H$ 의 값이 클수록 인장력의 차이가 더 커진다. 또한  $D/H$ 의 값이 작아질수록 인장력의 차이가 커진다. 그리고 원호파괴면에 의한 것보다 대수나선파괴면에 의한 Geotextile 인장력의 값이 더 작았다.

보강사면의 예비설계단계에서 Geotextile의 인장력을 구할 때 제시된 안정도표의 조건과 일치하지 않을 경우, 즉  $n$ 과  $C_u/\gamma H$ 의 값이 도표와 일치하지 않을 때에는 보간법을 사용하여 Geotextile의 인장력을 근사적으로 계산할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서 연약층위의 성토사면의 안정을 위하여 Geotextile을 보강하였을 때의 안정해석모델을 제시한다. 본 해석모델의 가능파괴면은 이질토층의 경계에서 파괴면이 굴절하는 대수나선을 이용하였고, Geotextile은 기초지반과 성토층 사이에 한층을 포설한 것으로 가정하였다. 이러한 것을 기초로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Geotextile 보강성토사면에 대한 해석프로그램을 개발하였으며, 이 프로그램은 여러 층의 토질과 변화하는 토층 그리고 임의의 지하수위에 대하여서도 수행가능하다.
- 2) Geotextile 보강성토사면에 대하여 일련의 계산들이 도식적인 상황에 대하여 수행되었고, 이 계산 결과들은 안정도표들로서 보여지며, 이들 도표들은 보강사면의 예비설계에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

다.

- 3) 제시된 안정도표에 대한 사면조건과 다를 경우에는 제시된 도표에 의한 값을 이용하여 보간법으로 Geotextile의 인장력을 추정할 수 있다.
- 4) 본 해석모델에서는 Geotextile과 토사사이의 상호작용관계가 고려되지 않았으며, Geotextile의 응력분포, Creep 거동 등이 고려되지 않았으므로 정확한 해석을 위하여 그 관계를 규명하여 해석모델에 첨가하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었으므로 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 서인식, 김영수(1994), "대수나선파괴에 대한 확률론적 3차원 사면안정해석," 한국지반공학회지, 제10권, 제2호, pp.121-137.
2. 서인식, 김영수(1995), "사면의 대수나선파괴에 대한 3차원 안정해석," 대한토목학회 논문집, 제15권, 제1호, pp.189-198.
3. HUESKER Synthetics GmbH & Co. 한국총대리점(주)벽진인터내셔널(1996), Design Guidelines for Reinforced Embankments on Soft Subsoil using Stablenka Reinforcing Mats, pp.34-37.
4. Baker, R. and Garber, M.(1978), "Theoretical Analysis of the Stability of Slopes," Geotechnique, Vol. 28, No.4, pp.395-411.
5. Christie I.F. & EI-Hadi K.M.(1977), "Some Aspects of the Design of Earth Dams Reinforced with Fabric", Proc. Int. Conf. on Use of Fabrics Geotechnics, Paris, Vol.1, pp. 99-103.
6. Fowler, J.(1982), Theoretical design considerations for fabric reinforced embankments, Second International Conference of Geotextil-

- e, Las Vegas.
7. Huang, Y.H. and Craig, M.A.(1976), "Stability of Slope by Logarithmic-spiral," ASCE, Vol.102, No.1, pp.41-49.
  8. Ingold T.S.(1979), "Reinforced Earth Embankments-An Analytical Study", Internal Report, No.167703/1, Ground Engineering Limited.
  9. Jewell, R.A.(1982), "A limit equilibrium design method for reinforced embankments on soft soils", Second International Conference of Geotextile, Las Vegas.
  10. Jewell R.A., Milligan G.W.E., Sarsby R.W. & DuBois D.(1984), "Interaction between Soil and Geogrids", Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, pp.1-13.
  11. Spencer, E.(1969), "Circular and Logarithmic Spiral Slip Surface," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. Paper 6361, Jan., ASCE, 95(SMI), pp.227-234.
  12. Yegian, M.K., Marciano, E.A. and Ghahraman, V.G.(1991), "Seismic Risk Analysis for Earth Dam", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.117, No.1, pp.18-34.

(접수일자 1997. 1. 27)