

## Soil Nail에 의하여 보강된 급경사면의 해석 및 설계 Analysis and Design of Steep Slope Reinforced by Soil Nail

이 수 래*	Seung-Rae Lee
김 준 석**	Joon-Suk Kim
김 주 영***	Ju-Yong Kim
정 치 광***	Chi-Kwang Jung
이 석 태**	Suk-Tae Lee

\* 한국과학기술원 토목과 조교수 Assistant Professor Dept. of Civil Engineering, KAIST.  
 \*\* (주)대우 건설기술연구소 선임연구원 Senior Research Engineer, Daewoo Institute of Construction Technology.  
 \*\*\* 한국과학기술원 지반공학 연구실 Geotechnical Laboratory, KAIST.

**SYNOPSIS :** Soil nailing is a method of reinforcing natural deposits of soil with passive inclusions, called nails, of steel or other materials. Its purpose is mainly to increase the tensile and shear strength of the soil mass. This method has been widely used during the last two decades to stabilize steep slopes in several countries (France, Germany, USA, Japan, etc.). The design methods that have been mostly used are Davis method, German method, and French method which are based on limit equilibrium approaches, and Juran method which utilizes the kinematical limit equilibrium design concept.

This paper is focussed on the evaluation of the available design methods(especially, the France, Davis and German design methods) through comparison with each different assumption for the failure surface, the concept of failure mechanism and the definition of safety factor. The parametric study to identify the effects of design parameters on the overall factor of safety has also been conducted. By considering the results along with the associated assumptions which have been postulated in the several methods, the applicability of the method for a given soil and nail conditions has been evaluated.

### 1. 서론

Soil Nailing은 붕괴의 위험성이 큰 자연사면이나 굴착에 의한 인공사면의 안정성을 향상시키는 공법으로 보강재(주로 보강철근, 네일)를 이용하여 지반의 전단 및 인장강도를 증가시킴으로써 사면의 안정성을 확보하는 방법이다. 이 공법은 최근 20년동안 여러나라(프랑스, 미국, 독일, 일본등)에서 급경사면 보강공법으로 널리 사용되어 왔으며 더불어 다양한 해석 및 설계방법들이 제시되었다. 사용되는 설계방법으로는 한계평형방법에 근거를 둔 프랑스방법(Schlosser, 1982), 데이비스방법(Shen et al., 1981), 독일방법(Stocker et al., 1979)과 변형운동학적 한계 평형개념을 바탕으로 한 Juran방법(Juran et al., 1990) 등이 있다.

본 연구에서는 위의 네가지 설계방법들에 대하여 해석 및 설계방법에 적용된 개념 및 그 특징들을 살펴보고 이용되는 여러 설계변수들(보강재의 기울기 또는 인발저항력, 보강재 간의 수평설치간격, 보강재 길이, 사면의 기울기, 지반의 내부마찰각과 점착력)의 변화가 보강사면의 안정성에 미치는 영향을 각 설계방법들에 따라 비교해 보고자 하였다. 또한 각 설계방법들에 적용된 파괴개념 및 안전율 적용등을 얻어진 결과와 연계 시킴으로써 주어진 지반조건과 보강재 조건에 따른 적절한 설계방법을 모색하고자 하였다.

### 2. 설계 및 해석방법에 적용된 기본가정

네일에 의하여 보강된 보강사면은 그 거동이 중력식 보강벽체와 유사하기 때문에 다음 세가지 파괴가능성에 대하여 안정성을 검토하여야 한다. (그림 1)

- (1) 외부파괴면에 대한 안정성 : 보강된 부분이 일체로 거동한다는 가정하에 네일로 보강된 지역을 일체의 중력식 옹벽으로 생각하여 일반 설계방법을 적용함으로써 미끄러짐, 전도 및 지지력에 대한 파괴가능성을 검토하고 보강벽체 외부 파괴면이 이루어진다는 가정하에 전체 지반의 사면안정을 검토한다.

- (2) 내부파괴면에 대한 안정성 : 보강된 구역내에서 파괴면이 형성되는 경우에 대한 안정성을 검토한다.
- (3) 혼합파괴면에 대한 안정성 : 보강지역과 보강되지 않은 구역을 포함하는 파괴면에 대하여 안정성을 검토한다.

본 연구에서는 내부파괴면과 혼합파괴면에 대한 안정성을 평가하는 여러 설계방법들을 대상으로 각 방법들의 기본가정 및 특성들을 파악하여 보았다.

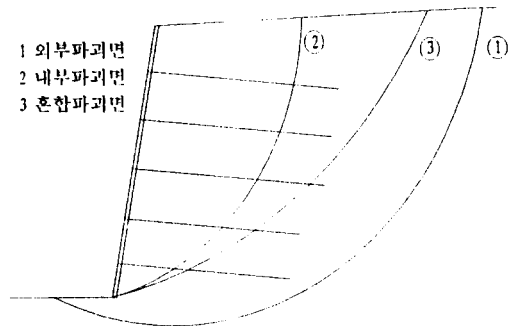
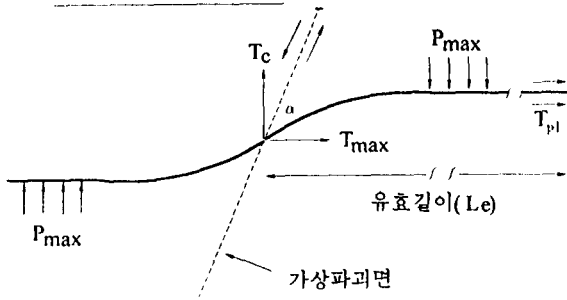


그림 1. 고려해야 할 가장 파괴면의 종류

네일을 이용하여 보강된 사면지반은 기존 일반사면에서 단순히 전체안정성만을 검토하는 것과는 달리 지반과 네일의 상호작용에 의한 보강효과를 고려해야 하기 때문에 이러한 사면에 대한 안정성 검토는 전체 보강사면의 안정성과 각 네일과 그 주변지반에 대한 부분안정성을 함께 고려할 필요가 있다. 이러한 부분적인 안정성 검토는 그림 2에 나타난 바와 같이 네가지 파괴상태를 고려할 수 있으며 각 설계방법들이 채택하고 있는 부분안정성에 대한 검토는 표 1에 정리한 바와 같이 각기 달리 적용되고 있다.

FORCES IN THE BAR



<부분안정성 검토>

- 지반의 전단파괴  $\tau < c + \sigma \tan \phi$
- 네일의 인발파괴  $T_{pl} \leq \pi D L_e f_{max}$
- 지반의 수동파괴  $P_{max} \leq P_f$
- 네일의 파괴  $T_{max} \leq R_n, T_c \leq R_c$

- \*  $R_n, R_c$  : 네일의 인장·전단강도
- \*  $P_f$  : 지반의 한계 수동저항력
- \*  $f_{max}$  : 지반-네일사이의 한계마찰력

그림 2 부분안정성에 대한 검토

표 1. 각 설계방법에 적용된 부분안정성의 고려여부

부분안정성	데이비스	독일	프랑스	Juran
지반의 전단 저항력	고려	고려	고려	고려
네일의 인발저항력	고려	고려	고려	고려
네일 양면에서의 지반의 수동저항력	고려않음	고려않음	전단·휨에 대하여 고려	휨에 대하여 고려
네일의 강도 (인장, 전단)	인장만 고려	인장만 고려	인장·전단 고려	인장·전단 고려

3. 각 설계 및 해석방법들의 특성

3.1 데이비스방법

이 방법은 한계 힘평형원리를 이용하여 유한요소 해석의 결과에 근거하여 최소안전율을 주는 가상파괴면의 형태를 보강사면의 선단부(toe)를 지나는 포물선으로 가정하였다(Michell, 1987). 그리고 혼합파괴와 내부파괴의 가능성에 대하여 안정성을 검토하며 네일에 대한 인장저항력만을 고려하여 안정성을 평가하였다. 또한 급경사면에 대한 전체안전율은 지반의 전단강도에 대한 안전율과 네일의 인발저항력에 대한 부분안전율이 같은 값을 갖도록 가정하여 산정하였다.

$$FS_c = FS_p = FS_n$$

$FS_c, FS_p, FS_n$  : 지반의 점착력, 내부마찰각, 인발저항력에 대한 안전율

3.2 독일방법

한계 힘평형원리를 사용하며 두 직선으로 형성된 가상파괴면을 가정하였다. 상재하중이 가해진 비점성토에 대하여 수행된 모형실험으로부터 이러한 파괴면의 형상이 가정되었으나 상재하중이 없는 자중에 의한 실제크기 모형실험에서는 원호나 대수나선모양의 파괴면 형태가 더 많이 나타난다(Juran and Elias, 1987). 또한 내부파괴 가능성에 대한 고려없이 보강되지 않은 지역까지 포함하고 있는 혼합파괴의 가능성을 검토하기 때문에 네일의 길이가 긴 경우 나타날 수 있는 내부파괴의 위험성을 고려할 수 없다.

최근의 연구자료(Stocker and Riedinger, 1990)에 의한 설계개념은 각 설계변수에 확률론적 관점에서 설정된 부분안전율을 적용하여 지반의 내부마찰각과 점착력 및 인발저항력에 대하여 임시구조물일 경우에 각각 1.15, 1.55, 1.25를, 영구구조물인 경우에 각각 1.20, 1.60, 1.30를 사용하여 설계하도록 하였다. 본 연구에서 사용된 급경사면에 대한 안전율은 지반의 강도에 부분안전율을 적용하여 해석된 힘평형 관계로부터 요구되는 네일 힘의 합( $\Sigma T$ )과 네일의 저항력의 합( $\Sigma T'_i$ )에 의해서만 평가된다.

$$FS = \frac{\Sigma T'_i}{\Sigma T}$$

3.3 프랑스방법

급경사면의 안정성을 평가할 때 네일의 인장저항 뿐만 아니라 전단저항 및 휨강성도를 고려하는 해석방법으로 한계 토크(moment) 평형원리를 사용하였다. 가정되는 파괴면의 형상은 원호나 비원호의 형태 모두를 고려할 수 있으나 본 연구에서는 원호형태만을 고려하였다. 전체안정성에 대한 평가는 쥘리니우스(Fellinius, Bishop 방법)를 이용하여 각 네일에 대하여 그림 2의 네가지 부분안정성을 모두 고려하여 설계하며, 인발저항력과 지반강도에 대한 안전율은 데이비스방법처럼 모두 같은 값(보통 1.5)을 갖도록 설계한다(Schlosser, 1982). 전단저항과 휨강성을 고려한 네일에서, 저항할 수 있는 최대인장력 및 전단저항력은 네가지 파괴기준을 모두 만족하는 값을 갖게 된다. 그리고 휨강성도를 고려하기 위하여 사용되는 설계변수인 상대강성도는 다음과 같이 정의한다.

$$I_o = \left( \frac{4EI}{K_s D} \right)^{0.25}$$

여기서  $EI$ 는 네일의 휨강성(bending stiffness)이고  $K_s$ 와  $D$ 는 지반의 스프링계수와 네일의 지름이다.

최근 연구자료(Schlosser et al, 1992)에서는 독일방법과 같이 지반의 점착력과 마찰각 및 네일의 인발저항에 대하여 서로 다른 안전율을 적용하여 설계하는 방법을 제시하고 있다.

3.4 Juran방법

운동변형학적 한계해석 방법으로 네일에 대하여 인장 및 전단저항력 그리고 휨강성을 고려하였다. 가상파괴면은 대수나선형태로 가정하였으며 지반의 강도에 대한 안전율을 1.0으로 가정하여 해석한다. 즉 지반의 저항력이 모두 발생되었다고 가정하여 설계하기 때문에 사면의 전체 안정성은 단지 보강재의 저항력에 의해서 평가되어진다. 따라서 이러한 해석방법은 파괴면이 확실히 형성되고 보강재에 대한 지반의 지지력이 충분히 유발되는 지반에 잘 적용되리라 예상된다. 그리고 네일의 휨에 의한 변형을 고려할 뿐만 아니라 가상 파괴면에서의 지반응력상태를 Kotter식을 이용하여 산정하므로 수평방향에 대한 힘평형으로부터 각 네일에 작용하는 최대힘의 양을 계산할 수 있다는 의점이 있다. 그러나, Kotter식의 적용에 대한 경계값 문제와 수직방향의 힘평형에 대하여 아직 논란이 되고 있다(Leshchinsky, 1991). 전체안전율에 대한 정의는 독일의 방법과 같이 네일의 저항력과 작용력으로 표시된다.

3.5 각 설계방법들의 특성비교

각 설계방법들에 대한 특성은 표 2에 비교·정리하였으며 주요 차

이점들로서 네일의 전단 및 휨강성의 고려 여부와 가상파괴면의 형태 및 가상파괴면에서의 지반의 강도에 대한 안전율 적용의 차이 등을 들 수 있다.

데이비스방법, 독일방법에서는 단지 네일의 인장저항만을 고려한 반면에 프랑스방법이나 Juran방법에서는 인장저항 이외에도 전단·휨강성을 고려하여 안전율을 평가하고 있다. 각 방법에서 가정하고 있는 파괴면의 형상은 이론적 혹은 실험적인 결과에 근거하였다. 그리고 전체안전율로 프랑스방법이나 데이비스방법은 1.5를 권장하며, 독일방법은 3.2절에서 언급한 부분안전율을, 그리고 Juran방법은 2.0을 사용하여 설계한다.

각 설계방법들에 사용되는 설계변수로서는 표 3에서 보는 바와 같이 지반, 네일, 지반-네일 상호작용 및 보강사면의 형태에 관계된 변수로 나누어 볼 수 있으며 그외에 지하수층의 고려여부, 차랑하중과 같은 주위환경요인, 지반의 이방성등이 안전율에 영향을 미칠 수 있다. 이들 중에서 상대강성도나 휨저항력은 네일의 인장저항력 뿐만 아니라 전단 및 휨강성을 고려하는 설계방법에만 사용되는 설계변수이다.

4. 해석결과들의 비교

각 설계방법들에 따라 설계요소(보강사면의 형상, 지반, 네일 및 지반-네일 상호작용의 물성치)가 보강사면의 안정성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 표 4와 같이 임의의 설계변수들을 설정하였으며, 이 중에서 한개의 설계변수들을 변화시켜 얻어지는 결과를 비교분석하였다. 설정된 설계변수에 대하여 가상파괴면을 변화시키면서 최소의 안전율을 값을 구하였다.

표 4에 정리된 기준 설계변수에 대하여 각 설계방법들에 의해서 얻어진 최소안전율은 각각 1.18(데이비스방법), 1.00(독일방법, 임시 구조물에 대한 부분안전율 적용), 1.45(프랑스방법)로 네일의 인장 및 전단저항력을 고려하는 프랑스방법은 독일과 데이비스 설계결과보다 큰 안전율을 주게 된다. 이러한 경향은 설계변수들을 변화시켜 최소안전율을 구할 때도 나타난다. 독일방법에서 안전율이 적게 산정되는 원인은 전체안전율에 대하여 고려된 부분안전율이 크게 가정되었기 때문인것으로 평가되며 프랑스 해석방법이 큰 안전율을 주는 이유는 그림 3(기준 설계값에 대한 최소 안전율을 주는 파괴면의 형태)에서 보는 바와 같이 파괴면의 양상이 서로 다르기 때문이다. 즉, 데이비스방법에서 가정하는 포물선 형태는 이론적으로 해석된 최소안전율 단면이며, 프랑스방법에 의한 파괴면은 네일의 유효길이를 감소시켜 네일 저항력을 작게하는 효과가 있으나 파괴면이 완만하게 높게되어 자중에 의한 작용력이 보다 크게 감소하여 안전율이 크게 산정되는 것으로 사료된다. 그리고 프랑스방법에서 전단을 고려할 경우와 고려하지 않았을 경우와의 안전율의 차이는 8% 미만으로 작게 나타나며 이러한 결과는 Schlosser 등(1992)이 네일의 직경이 작고 네일의 설치각도가 20°미만의 경우 설계시 네일의 인장만을 고려해도 된다는 주장과 일치한다.

Juran방법에 의한 안전성 평가는 표 4에서의 기준 설계변수(단, 네일 길이는 6.2m, 네일기울기 15°) 들을 가지고 해석한 결과 안전율 2.8이라는 큰 값이 산정된다(Juran et al., 1990). 이것은 지반강도에 대한 부분안전율을 1.0으로 고려하여, 지반의 저항력이 모두 발생하였다고 해석함으로써 네일이 받는 힘의 크기가 상대적으로 줄어 들기 때문인 것으로 사료된다. 독일 방법을 사용해서 지반의 강도에 대한 안전율을 1.0으로 가정하고 Juran과 같은 설계변수로 해석하면 네일에 의한 안전율은 1.66이라는 큰 값이 나오지만 Juran에 의한 해석값과는 차이가 있다. 이것은 주로 각 방법에 따른 위험파괴면의 위치가 서로 다르기 때문이다(Juran방법은 S=0.39H, 독일방법은 S=0.68H). 본 연구에서는 한계평형 해석법과 지반의 강도에 대한 유사한 파괴개념을 사용하는 프랑스방법, 데이비스방법과 독일방법을 비교·해석대상으로 삼았다.

표 4. 해석에 사용된 설계변수 범위

사면높이	12m
네일의 직경	0.025m
Grouting의 직경	0.1m
지반의 단위중량	18kN/m <sup>3</sup>
네일의 길이	5 ~ 23m (9)
네일의 수평 설치간격	0.5 ~ 2.5m (1.35)
네일의 항복강도	50 ~ 170kN (82.5)
네일의 기울기	0 ~ 30° (0)
지반의 내부마찰각	0 ~ 45° (35)
지반의 점착력	0 ~ 25 kN/m <sup>2</sup> (10)
지반과 네일의 한계마찰력	120kN/m <sup>2</sup>

\* ( )안은 기준으로 삼은 설계변수

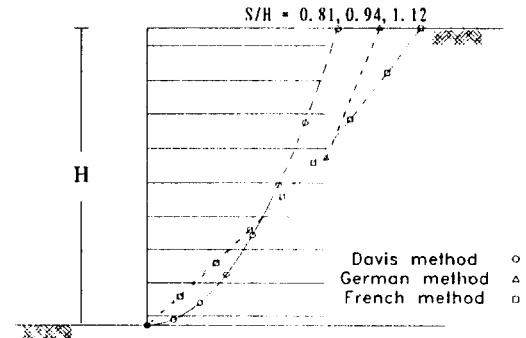


그림 3. 최소안전율을 주는 위험파괴면 (S=파괴면의 길이)

표 2. 각 설계방법들의 특성

	데이비스	독일	프랑스	Juran
해석방법	한계평형형 해석 두개의 요소	한계평형형 해석 두개의 요소	한계평형형 해석 절편법	작용응력해석 (working stress analysis) 절편법
파괴면 형상	포물선	2개의 직선	원호, 임의형태	대수나선
지반에 대한 안전율	$FS_s, FS_c > 1$	$FS_s, FS_c > 1$	$FS_s, FS_c > 1$	$FS_s = FS_c = 1$
설계결과	전체안전율 위험단면	전체안전율 위험단면	전체안전율 위험단면	작용네일힘 위험단면

표 3. 사용되는 설계변수

	설계변수
지반	점착력(c), 내부마찰각(φ)
네일	인장·전단 및 휨에 대한 강도
지반-네일	상호 한계마찰력, 상대강성도
보강사면의 형태	사면의 기울기, 상재하중 유무 네일의 길이, 수평 설치간격, 설치 기울기

#### 4.1 보강사면의 형상에 의한 영향

보강사면의 형상에 대한 설계변수의 영향으로 네일의 길이, 수평 간격, 설치각도와 사면의 기울기에 대한 최소안전율의 변화를 그림 4, 5, 6, 7에 각각 나타내었다.

그림 4에서 네일의 길이가 커짐에 따라 인발저항력이 증가되어 최소안전율은 점차 증가된다. 그러나 늘어나는 인발저항력은 네일의 항복강도를 넘을 수 없으므로 데이비스방법과 프랑스방법에서는 네일의 길이 대 사면높이의 비율이 1.0을 넘어서는 영역에서는 일정한 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 반면 독일방법에서는 파괴가 보강된 지역의 내부에서 일어나는 경우를 고려할 수 없기 때문에 계속해서 안전율이 증가한다. 그러므로 네일의 길이가 사면의 높이에 비하여 상당히 긴 경우 독일의 설계방법은 합리적인 설계가 어렵다.

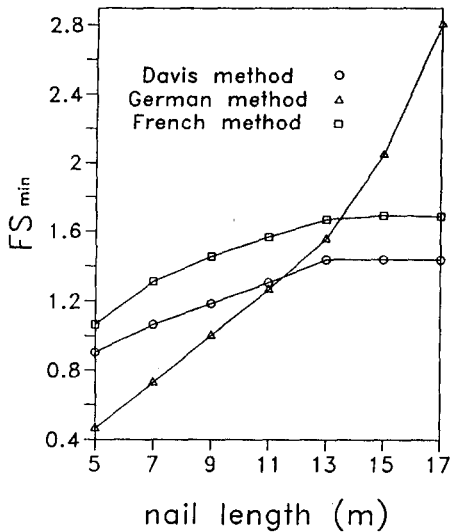


그림 4. 네일의 길이와  $FS_{min}$ 와의 관계

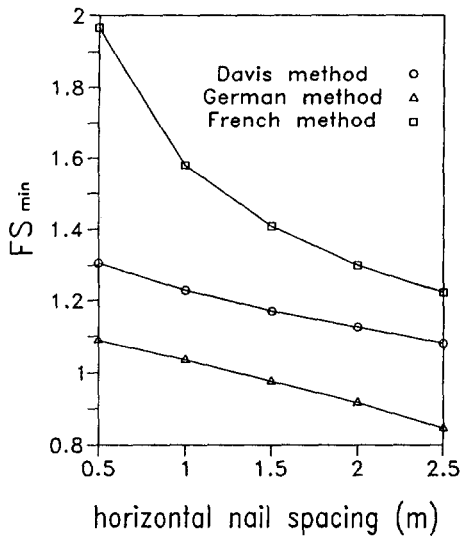


그림 5. 네일의 수평간격과  $FS_{min}$ 와의 관계

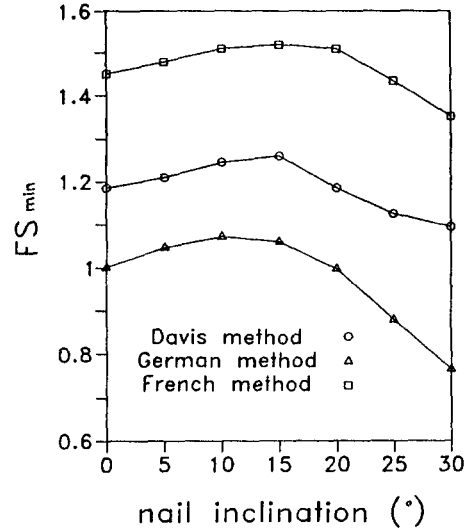


그림 6. 네일 설치기울기와  $FS_{min}$ 와의 관계

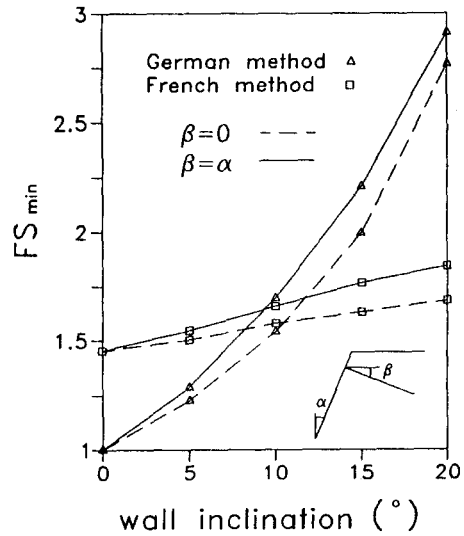


그림 7. 사면의 기울기와  $FS_{min}$ 와의 관계

네일의 수평 설치간격의 증가는 지반과 네일의 접촉면적을 줄이기 때문에 그림 5와 같이 세가지 설계방법 모두 최소안전율을 감소시킨다. 이중 프랑스방법은 네일의 수평간격에 따라 안정성에 큰 영향을 주는 것으로 나타난다.

네일의 설치각도에 따른 변화는 그림 6에서 보는바와 같이 세 설계방법 모두 비슷한 안전율의 변화를 보이며 15° 근처에서 가장 큰 최소안전율을 갖는다. 그러므로 일반적인 네일의 최적삽입 각도는 다른 설계변수에 따라 차이가 있겠지만(김홍택외, 1993) 5° ~ 20° 사이가 적당함을 알 수 있다.

네일의 설치각도를 수평으로 유지하고 급경사면의 기울기를 완만히함에 따라 자중의 감소로 인한 전단력의 감소로 최소안전율의 값은 증가한다. 또한 경사면의 기울기에 따라 네일의 설치각도를 변화시킬 때(여기서는 서로 직각을 이루도록 함) 안전율은 보다 크게 증가함을 볼 수 있다(그림 7). 특히 독일 방법을 사용하는 경우 사면경사는 안전율에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

#### 4.2 지반과 네일의 물성치들에 의한 영향

지반의 물성치에 대한 설계변수로 내부마찰각과 점착력, 그리고 네일의 물성치인 항복강도에 대한 최소안전율의 변화를 그림 8, 9, 10에 나타내었다. 지반의 내부마찰각에 따른 안전율의 변화가 점착력의 변화로 인한 것보다 더 큰 영향을 미치기 때문에 대상 지반의 내부마찰각을 구할 때 신중한 결정이 요구된다.

강도가 큰 네일을 사용하는 경우에는 유발되는 최대인장강도가 대부분 인발저항력을 초과하게 되어 실제 파괴 기준은 네일의 인장강도가 아닌 인발저항력의 지배를 받게 되므로 인장강도의 증가로 인한 안전율에 대한 영향이 점차 줄어들고 있음을 그림 10으로부터 알 수 있다. 이 경우 네일의 길이에 대한 결과와는 달리 독일의 방법에서도 크기는 다르지만 거의 같은 경향을 나타낸다.

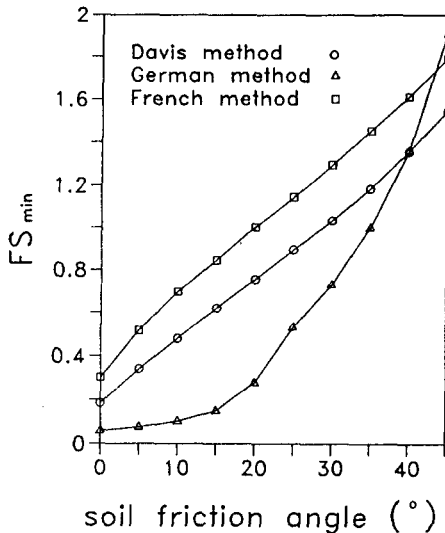


그림 8. 지반의 내부마찰각과  $FS_{min}$ 와의 관계

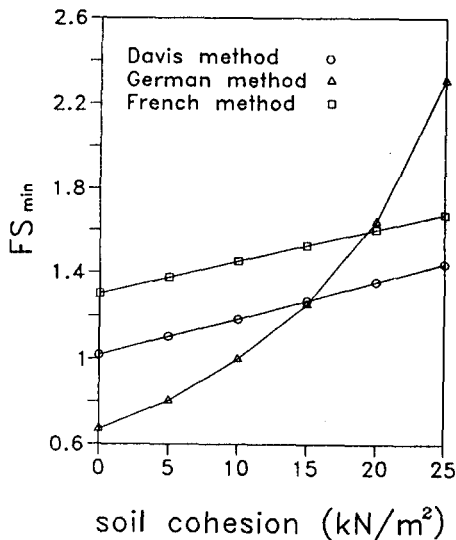


그림 9. 지반의 점착력과  $FS_{min}$ 와의 관계

독일방법을 이용한 설계방법에 따른 해석은 다른 설계방법에 의한 해석보다 설계변수에 따른 최소안전율의 변화가 매우 크게 나타난다. 이는 다른 두 설계방법이 지반의 강도와 네일의 인발저항력에 대하여 부분안전율이 함께 변화하는 것과는 달리 일정한 부분안전율을 적용한 상태에서 네일만의 영향에 의해서 안정성이 평가되기 때문이다. 독일과 데이비스방법이 둘다 단지 네일의 인장저항만 고려하고 같은 한계 형평형원리를 사용하기 때문에 그림 4, 8, 9, 10으로부터 네일의 길이, 지반의 강도, 네일의 항복강도에 상관없이 최소안전율 1.2 ~ 1.3사이에서 서로 일치하고 있음을 볼 수 있다. 이것은 독일방법에서 지반의 내부마찰각과 점착력 및 인발저항력에 대한 부분안전율이 1.15, 1.55, 1.25임을 고려하기 때문이다. 따라서 그 이상의 최소안전율을 주는 설계변수에 대해서는 독일방법에 의한 평가가 더 높은 안전율을 줌을 예측할 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 급경사면의 안정성에 대한 해석방법인 데이비스방법, 독일방법 및 프랑스방법에 대하여 여러 설계변수들의 영향을 평가하였으며 각 설계방법에 대한 해석원리 및 안전율의 적용에 대하여 알아보았다.

일반적으로 프랑스방법에 의한 안전율이 비교적 크게 산정되었으며 이는 파괴면의 형태에 따른 것으로 설계시 다양한 파괴면 형상(포물선, 대수나선)을 고려해야 한다. 네일의 최적삽입각도는 세 방법 모두 5° ~ 20° 사이에서 나타났으며, 한계 형평형원리를 사용하고 있는 독일방법과 데이비스방법은 네일의 길이, 지반마찰각, 점착력, 네일의 항복강도는 최소안전율 1.2 ~ 1.3사이에서 거의 일치한다.

데이비스방법과 프랑스방법에서 네일의 길이를 크게 할 경우나 강도가 큰 네일을 사용하는 경우, 최대인장강도와 인발저항력은 실제 파괴 기준이 두 값중 작은값에 좌우되므로 설계변수의 어느 값 이상에서는 안전율의 증가에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.

설계원리 및 비교결과로부터 각 설계방법에 적합한 지반조건이나 보강사면의 형상조건을 다음과 같이 정리할 수 있다.

데이비스방법 : 점성토나 비점성토에 상관없이 적용가능하며 내부 및 혼합파괴면에 대한 안정성을 모두 고려하며 비교적 안전율의 변화가 설계변수에 둔감하다.

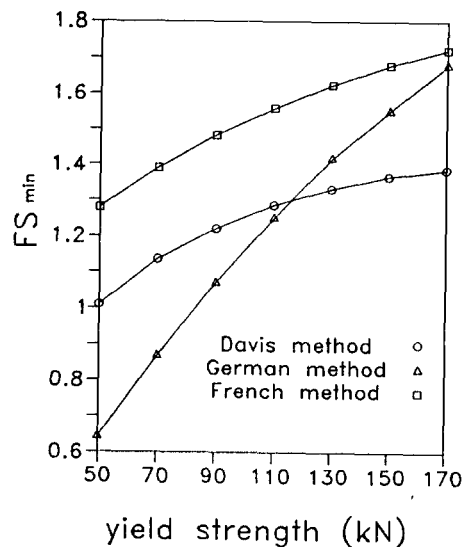


그림 10. 네일의 항복강도와  $FS_{min}$ 와의 관계

독일방법 : 상재하중이 작용하는 비점성토에 잘 적용되며 네일의 길이가 사면의 높이보다 긴 경우에는 사용에 주의해야 한다. 또한 설계변수에 따라 안전율이 매우 민감하게 영향을 받으므로 사용되는 부분안전율의 선택에 주의해야 한다.

프랑스방법 : 네일에 대하여 인장저항력 뿐만 아니라 전단 저항력을 고려하기 때문에 많은 설계변수가 필요하며 일반적으로 다른 해석보다 큰 안전율을 주나 파괴형상으로 비원호형태도 고려하여 보다 안전한 설계를 해야한다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주)대우 건설기술연구소의 연구비 지원에 의하여 수행된 것으로 이에 대하여 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- 김홍택, 강인규, 최인식, 손광수, (1993), Soil nailing공법의 적용 및 설계, 한국지반공학회 지반굴착위원회 학술발표회, 제 2집, pp 19-47.
- Elias, V., and Juran, I. (1991), Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations, Federal Highway Administration, Report FHWA.
- Juran, I., and Elias, V. (1987). Soil nailed retaining structures: Analysis of case histories. Geotechnical Special Publication, No. 12, ASCE, New York, pp 232-244
- Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. and Elias, V. (1990), Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1, pp 54-73.
- Leshchinsky, D. (1991), Discussin on Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, pp 1821-1824
- Michell, J. K. (1987), Reinforcement of earth slopes and embankments. NCHRP-290, Transportation Research Board.
- Schlosser, F., Unterreiner, P. and Plumelle, C. (1992) French research program CLOUTERRE on soil nailing : , Geotechnical Special Publication, ASCE, No. 12, Vol. 2, pp 739-750.
- Schlosser, F. (1982), Behavior and design of soil nailing. Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bangkok, pp 399-413.
- Shen, C. K., Bang, S. and Herrmann, L. R. (1981), Ground movement analysis of an earth support system, Journal of the Geotechnical Engineering Div., ASCE, Vol. 107, GT12, pp. 1625-1642.
- Stocker, M. F., Korber G. W., Gassler G. and Gudehus G. (1979), Soil Nailing, Intl. Coinf. on Soil Reinforcement, Paris, France, Vol 2, pp 469-474.
- Stocker, M. F. and Riedinger, G. (1990), The bearing behaviour of nailed retaining structures, Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication, No. 25, ASCE, New York, pp 612-628.