

## 상향으로 설치된 쏘일네일링의 안정성 및 거동에 관한 연구

### A Study on the Stability and Behavior of upward Soil-nailing

김재윤<sup>1)</sup>, Jae-yoon Kim, 이 인<sup>2)</sup>, In Lee, 최근혁<sup>3)</sup>, Geun-Hyeok Choi, 김홍택<sup>4)</sup>, Hong-Taek Kim

<sup>1)</sup> 홍익대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

<sup>2)</sup> 홍익대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

<sup>3)</sup> 홍익대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

<sup>4)</sup> 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

**SYNOPSIS** : The purpose of this study is to provide the technical information of the stability change and behaviour characteristics in case upward direction of soil nailing is installed. Generally, the soil nailing which installed in case of vertical excavation or for the purpose of the slope stability is installed between 5 to 15 degree of downward direction. The downward direction of the soil nailing method has lots of advantages such as the increase of the stability, the convenience of the grout compared to upward direction of soil nailing. Even though the upward direction of the soil nailing has the disadvantages in terms of the stability and the grout construction, horizontal displacement tends to be decreased.

**Keywords** : upward direction of soil nailing, stability, behaviour, downward direction of the soil nailing, horizontal displacement

## 1. 서론

약 40년 전에 소개된 깊은 굴착에 대한 횡방향지공법인 쏘일네일링 공법은 벽체의 강성에 의존하는 기존 공법과는 달리 배면지반을 보강하는데 기초를 두고 있으며 공기단축, 경비절감 면에서 유리한 공법으로 사면안정, 굴착면에 대한 유연한 지보 등의 목적으로 적용되고 있다.

최근 쏘일네일링 공법은 그 적용성이 확대되고 있으나 아직까지 세계적으로 공인된 설계방법은 없으며 서로 다른 가정을 가지므로 설계접근 또한 완전히 다르다. 설계시 주요 변수로는 지반 강도정수, 사면의 경사, 네일의 강도특성 및 그라우트와 원지반과의 마찰력 등을 주로 고려하고 있다. 설계변수 상호간의 영향에 대한 연구가 되지 않은 상황에서 네일의 설치간격이나 각도는 고정시키고 네일의 길이나 직경등을 명확한 근거없이 변화시키며 사용하고 있다. 따라서 네일의 설치각도를 포함한 여러 가지 설계변수에 대한 영향이 규명되어야 한다. 특히, 네일의 최적 경사각은 제안자에 따라 다르므로 네일 경사각에 대한 영향은 규명되어야 할 설계변수이다. 통상적인 네일의 설치각도는 그라우팅의 문제로 하향 15°~30° 범위에서 확립적으로 적용을 하고 있다. 본 논문에서는 쏘일네일링의 경사각에 대한 영향을 분석하기 위해 한계평형해석 프로그램인 TALREN97을 적용하여 네일의 경사각을 하향 15°에서 상향 15°까지 5° 간격으로 변화시키면서 상재하중 및 지진하중을 가하여 최적의 경사각을 얻고자 하였으며, 유한차분해석 프로그램인 FLAC 2D를 이용하여 네일의 경사각을 하향 15°에서 상향 5°까지 5°간격으로 변화시키면서 수평변위의 양상을 살펴보았다.

## 2. 해석조건

### 2.1 해석단면

본 연구에서 사면 안정성 검토를 위한 대표 단면은 개략적으로 그림 1과 같이 선정하였다. 사면고는 6m이며 사면구배는 1:1.2로 적용하였다.

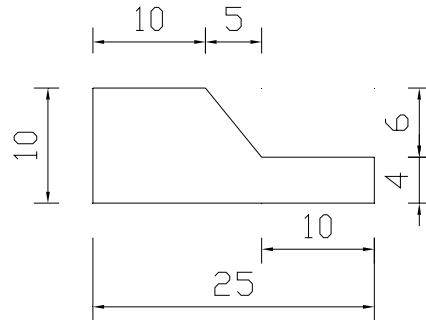


그림 1. 해석단면

### 2.2 지반강도정수

한계평형해석에 의한 사면 안정성검토는 토사(풍화토, 풍화암)에 대하여 실시하는 것이 일반적이며, 본 연구 또한 대상지반을 풍화토지반으로 가정하였기 때문에 풍화토 지반에 대한 사면 안정성검토 및 거동특성에 대한 검토를 실시하였다.

표 1. 해석에 적용된 지반강도정수

구 분	단위중량 (tonf/m <sup>3</sup> )	점착력 (tonf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 (°)
풍화토	1.8	0.5	28

### 2.3 쏘일네일링

쏘일네일링은 국내 실제 설계시 보편적으로 사용되는 5~15°를 기준으로 한계평형해석은 0° 및 하향 5°, 10°, 15° 상향 5°, 10°, 15°에 대한 안전율을 상호 비교하였고, 거동특성분석은 0° 및 하향 5°, 10°, 15° 상향 5°에 대한 변위분석을 실시하였다.

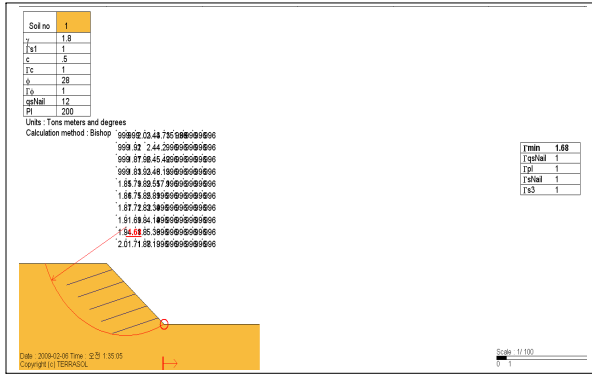
표 2. 해석에 적용된 보강재정수

수평간격 (m)	수직간격 (m)	네일길이 (m)	네일직경 (mm)	천공직경 (mm)	탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2	9	29	105	2100000

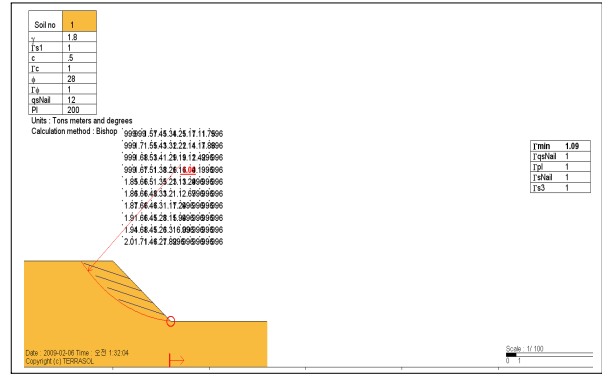
### 3. 한계평형해석

#### 3.1 네일의 설치각도별 안전율

사면에서 네일의 설치 각도에 따른 안정성을 분석하기 위하여, 지반 및 보강재는 일정하게 유지하였다. 하중(상재하중, 지진하중) 및 네일 설치각도 조건은 하향 15° ~ 상향 15°로 적용하여 해석을 수행하였다.

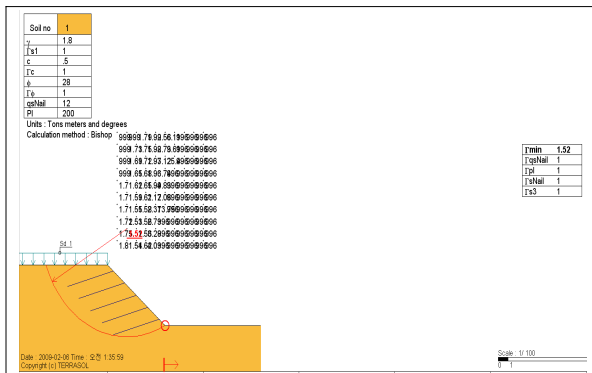


(a) 하향 15°시 안전율(Fs = 1.68)

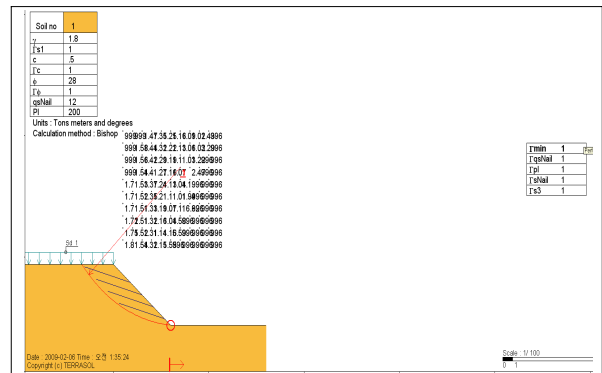


(b) 상향 15°시 안전율(Fs = 1.09)

그림 2. 지진하중 재하시 안전율



(a) 하향 15°시 안전율(Fs = 1.52)



(b) 하향 15°시 안전율(Fs = 1.0)

그림 3. 지진하중 및 상재하중 재하시 안전율

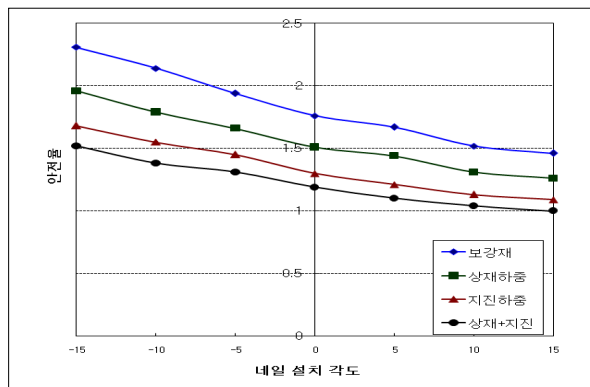


그림 4. 네일 설치각도별 안전율

해석결과 상향식 쏘일네일링의 경우 상재하중 및 지진하중이 발생할시 안전율이 1.4 ~ 1.0으로 한국 도로공사의 흙막기 사면 최소 안전율 적용 기준인 최소안전율기준(건기시 1.5)을 만족하지 못하는 결과가 나왔다. 그림 4의 살펴보면, 네일의 설치각도가 하향에서 상향으로 변화할수록 사면의 안전율은 점차 감소하는 것을 파악하였다.

## 4. 유한차분해석

### 4.1 해석 모델링

본 연구에서는 유한차분해석 프로그램인 FLAC 2D가 사용되었다. 지반거동은 Mohr-Coulomb 모델을 적용하였고, 전면판 슛크리트 벽체는 콘크리트의 탄성계수를 적용한 선형탄성재로 가정하였다. 또한 네일의 거동은 축력이 전달되는 케이블 요소를 적용하여 해석을 실시하였다.

이외에도, 발휘되는 각 네일의 최대 마찰저항  $R_f$ 는 네일의 항복강도 이하의 값이므로, 유한차분해석시 다음의 조건을 적용하였다.

$$R_f = \frac{\pi \cdot D_{hole} \cdot \tau_f \cdot L}{S_h \cdot L} \leq \frac{A_{nail} \cdot \sigma_y}{S_h \cdot L} \quad (1)$$

위의 식(1)에서  $D_{hole}$ ,  $A_{nail}$ 은 각각 그라우트체의 직경 및 네일의 단면적을 나타내고,  $\tau_f$  및  $\sigma_y$ 는 발휘되는 네일의 전단응력 및 항복강도이다. 또한  $L$ ,  $S_h$ 는 네일의 길이, 수평설치간격을 의미한다.

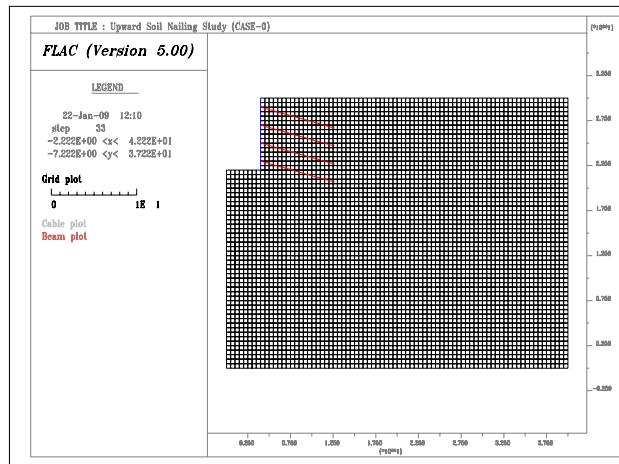
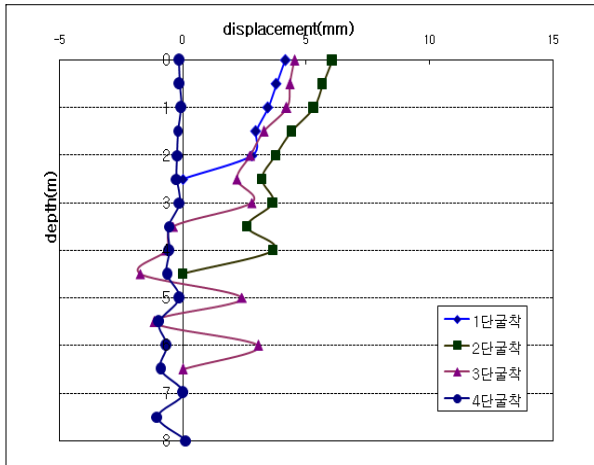


그림 3. 2차원 해석단면

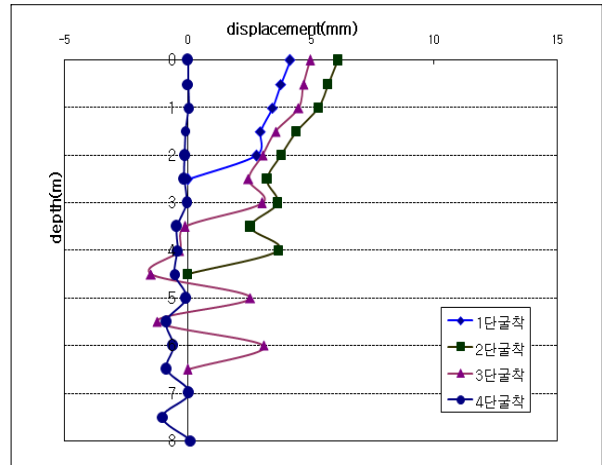
그림 3은 2차원 해석단면을 나타내며 좌우경계 및 바닥면은 각각 로울러 및 힌지로 가정하였다. 총 굴착 깊이는 지표면 하부 8m까지 이고, 설치되는 수직방향 네일의 개수는 4개이며, 단계별 분할굴착 해석을 수행하였다.

### 4.2 네일 설치각도별 발생 변위

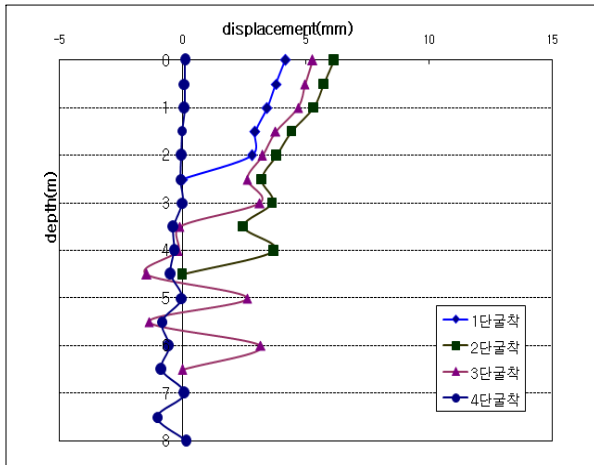
네일의 설치각도별 벽체변위에 미치는 영향을 분석하기 위하여 지반 물성치 및 보강재는 일정하게 유지하고 네일의 설치각도만 하향 15° ~ 상향 5°로 변화시켜가며 해석을 수행하였다.



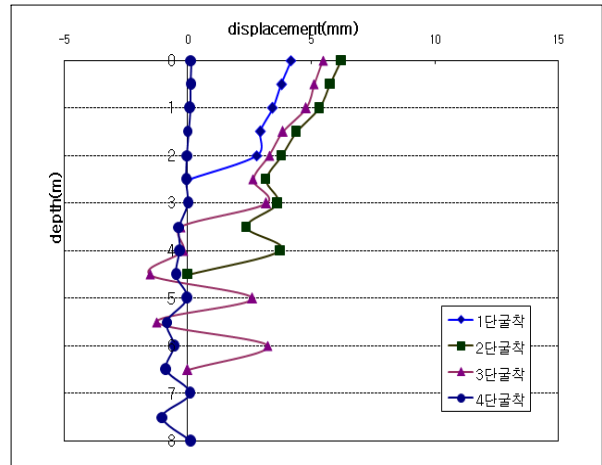
(a) 하향 15° 네일 설치



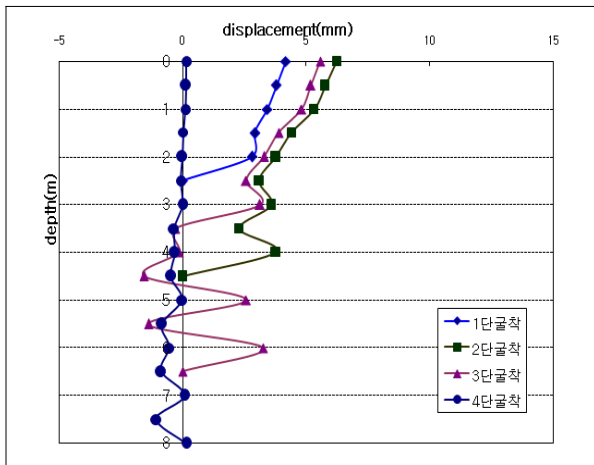
(b) 하향 10° 네일 설치



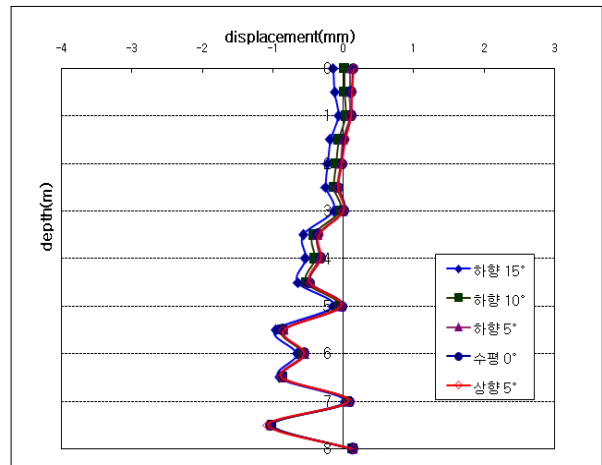
(c) 하향 5° 네일 설치



(d) 수평 0° 네일 설치



(e) 상향 5° 네일 설치



(f) 최종굴착시 설치각도별 수평변위

그림 3. 네일의 설치각도 변화에 따른 벽체의 수평변위

그림 3은 일정한 사면에 쏘일네일의 설치각도를 하향 15°, 10°, 5°, 수평 0°, 상향 5°로 변화시켜 각 경우의 최초굴착단계에서 최종굴착단계 까지의 수평변위 변화를 도시한 결과이다. 그림 3의 해석 결과를 살펴보면, 네일의 설치각이 하향에서 상향으로 될수록 수평변위의 감소효과가 나타남을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 쏘일레이팅의 안정성 및 수평변위에 대해 TALREN 97 및 FLAC 2D 프로그램 해석을 통하여, 네일설치시 각도변화의 영향을 분석하였다.

TALREN 97을 이용하여 사면안정 해석결과 건기시 쏘일네일은 각도가 하향 15°에서 상향 5° ~ 15°로 점차 증가함에 따라 안전율은 감소하는 경향이 나타남을 알 수 있었다.

유한차분프로그램(FLAC)을 이용하여 배면지반이 수평이고 수직벽체인 경우 설치각도를 하향 15° ~ 상향 5°로 변화시키면서 벽체의 수평변위에 대한 네일 경사각의 영향을 분석한 결과, 전면벽체의 변위는 점차 감소해 상향 5°에서 수평변위가 최소로 발생하는 것으로 분석되었다.

## 참고문헌

1. 김홍택(2001), “쏘일네일링의 원리 및 지침”, 평문각
2. 천병식, 김원철, 윤창기(2004), “유한요소해석에 의한 쏘일네일링의 네일 경사각의 영향에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, 19-27.
3. Itasca Consulting Group, Inc.(2002), FLAC Version 4.0-User's Manual.