

## 쏘일 네일 두부 구속조건이 사면 안정성에 미치는 영향

### Effect of Constrain Condition of Soil Nail Head on Slope Stability

김 용 응<sup>1)</sup> · 안 광 국<sup>†</sup>

Yongeung Kim · Kwangkuk Ahn

Received: November 2<sup>nd</sup>, 2013; Revised: November 11<sup>th</sup>, 2013; Accepted: December 20<sup>th</sup>, 2013

**ABSTRACT** : Natural disasters such as earthquakes and tsunamis occur suddenly, so that they cause massive loss of lives and property. Especially earthquakes represent a particularly severe threat because of the extensive damage accompanied by them. In Korea, an earthquake-resistant design has been rarely applied to a design or construction of slope. However, in recent years, the researches for earthquake-resistance have been performed because the importance on the earthquake-resistance is perceived and highlighted. Soil nail method, one of the slope stability methods, is excellent for its constructability and cost effectiveness, as compared with other stability methods. Also, this method has been widely used for reinforced construction for slope stability. The studies of soil nail method have been performed on the interaction behavior between nails and slopes as well as the varied load condition such as static load, dynamic load and so on. Nevertheless, there has been minimal research regarding the constraint condition of nail head. In this study, the numerical analysis was performed for identifying effect on slope stability for the constrain condition of the soil nail. The result shows that the resistance of constrained the nail head on reinforced slope is larger compared to the one of unconstrained nail head.

**Keywords** : Slope, Soil nail head, Constrain condition, Numerical analysis, Seismic wave

**요 지** : 지진 및 해일과 같은 자연재해는 갑작스럽게 발생하므로 막대한 인명 피해 및 재산피해를 야기한다. 특히 지진은 이에 동반된 광범위한 피해로 인하여 특히 심각한 위협이 된다. 국내의 경우 비탈면 설계 및 시공 시 내진설계가 거의 적용되지 않고 있다. 하지만 점차적으로 내진에 대하여 중요성을 인지하고 이에 대한 연구가 이루어지고 있다. 비탈면의 안정화를 위한 공법 중 쏘일 네일 공법은 타 공법에 비해 시공성, 경제성이 우수한 공법으로 비탈면 안정을 위한 보강공사에도 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 공법에 대한 연구는 네일과 주변지반의 상호거동에 대한 연구가 진행되고 있으며, 정하중 및 동하중 등의 다양한 하중조건에서의 안정성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그럼에도 불구하고, 네일 두부의 구속조건에 따른 네일과 비탈면과의 상호거동에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 네일 두부 구속조건에 따른 보강 비탈면의 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위해 수치해석을 수행하였다. 그 결과 지진하중에 대하여 네일 두부가 구속된 경우가 비구속된 경우에 비해 지진하중에 대하여 저항이 큰 것으로 나타났다.

**주요어** : 사면, 네일두부, 구속조건, 수치해석, 지진파

## 1. 서 론

지진 및 해일, 집중호우, 태풍, 홍수, 산사태 등과 같은 자연재해는 최근 온난화와 기상이변 등으로 발생 강도 및 빈도가 증가하고 있다. 그리고 이러한 자연재해는 갑작스럽게 발생하는 특성을 가지고 있다. 그중 지진에 의한 피해는 상대적으로 광범위하고 막대한 인명 피해 및 재산 손실을 동반한다. 다양한 규모의 지진 피해가 발생하는 일본에 비해 국내의 경우는 지진의 영향이 적다고 할 수 있다. 하지만 1978년 기상대 관측 이후 연평균 발생 건수가 1980년대, 15.38회에서 2000년대에는 44.9회로 크게 증가하여 지난 30년간 국내 연평균 지진 횟수가 3배 가까이 늘어나고 있는

추세이다. 그리고 국내에서 발생하는 지진 규모가 2~3 크기의 중소지진이 대부분이지만 더 이상 지진 안전지대가 아니라는 지적이 나오고 있어 우리의 인식이 전환될 필요가 있다. 하지만 비탈면 설계 및 시공 시 국내의 경우 내진설계를 적용하지 않고 있는 실정이나 점차적으로 내진에 대한 비탈면 안정의 중요성을 인지하고 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

비탈면의 안정화를 위한 공법 중에서 쏘일 네일 공법은 타 공법에 비해 시공성, 경제성이 우수한 공법으로 비탈면 설계 및 시공에 활발히 적용되고 있는 공법이다. 쏘일 네일 공법은 1993년 이후 국내에 도입되어 구조물 터파기 공사의 가설설과 영구벽체의 지지 안정화를 위해 이용되고 있으

1) HONG-IK Engineering & Consultants Co., Ltd.

† School of Civil Engineering, Chungbuk National University (Corresponding Author : [akk@chungbuk.ac.kr](mailto:akk@chungbuk.ac.kr))

며, 비탈면의 안정을 위한 보강 공사에도 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 공법에 대한 연구는 Shen et al.(1978)이 네일을 사용한 토류시스템을 제안하면서 수직으로 설치된 네일과 토사비탈면의 거동(Gassler, 1988), 유한요소해석을 통해 네일의 각도에 따른 벽체와의 거동(Chun et al., 2004), 모형실험을 통한 네일에 따른 비탈면의 활동역지효과(Hong & Song, 2005)와 같이 네일과 주변지반의 상호거동에 대한 연구가 주를 이루며 활발히 진행되고 있고, 또한 진동대를 이용한 모형실험을 통해 네일에 따른 비탈면 보강 효과(Hong et al., 2005) 및 방수로 비탈면의 거동 특성(Lee, 2006), 유사정적하중으로 지진동에 대한 비탈면의 안정성 평가(Ahn, 2008), 비탈면의 내진공법으로서 역지말뚝의 적용성 평가(Han et al., 2011)와 같이 다양한 하중조건에서의 안정성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 네일 두부의 구속조건에 따른 네일과 네일로 보강된 비탈면의 상호거동에 대한 연구는 미비한 실정이며, 최근 Oh(2013)가 네일 두부 구속조건에 따른 비탈면의 거동특성을 확인하기 위한 실내 축소모형 실험을 수행하였다. 이에 본 연구에서는 Oh(2013)가 수행한 축소모형조건을 원형조건으로 네일 및 비탈면을 모델링하여 쏘일 네일로 보강된 비탈면의 네일 두부의 구속조건에 따른 보강 비탈면의 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위해 수치해석을 수행하였다.

## 2. 쏘일 네일 공법의 비탈면 안정 해석

### 2.1 비탈면 안정해석법

비탈면에 쏘일 네일 공법을 시공하면 보강재의 효과에 의해 비탈면 안전율은 증가하며, 활동면은 비탈면 안쪽으로 이동한다. 일반적인 안정해석방법에서 원호활동면에 의한 안정해석법은 Fig. 1과 같이 비탈면에 네일이 설치되는 경우 활동면 상단 부분은 수직에 가까우며, 적어도 하나의 경우에는 활동면보다 더 깊은 보강재의 인장효과를 생각해서

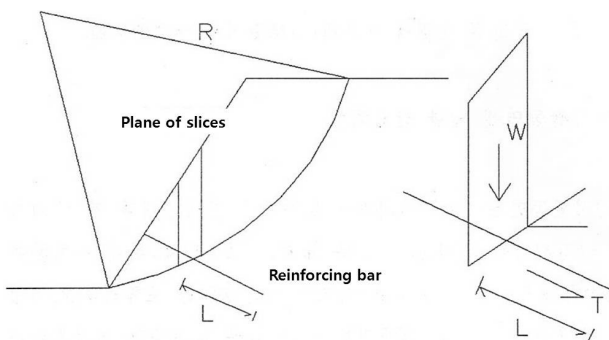


Fig. 1. Circular activity surface of stability calculate

보강재가 가지는 극한평형식을 이용하여 Eq. (1)과 같이 안전율을 구할 수 있다.

$$F_s = \frac{\Sigma(w \cdot \cos \alpha - U \cdot L) \tan \phi' + T \cdot \cos \beta + c' L}{\Sigma W \cdot \sin \alpha} \quad (1)$$

여기서  $F_s$ 는 비탈면 안전율,  $W$ 는 활동면 토괴의 중량(kN),  $L$ 은 네일의 길이(m),  $c'$ 는 지반의 유효점착력(kN/m<sup>2</sup>),  $\phi'$ 는 유효내부 마찰각(°),  $U$ 는 분할면 저변에 작용하는 간극수압(kN/m<sup>2</sup>),  $\alpha$ 는 분할면 저변의 경사각(°),  $\beta$ 는 분할면 저변과 보강재가 이루는 각(°),  $T$ 는 분할면 저변에 작용하는 보강재 인장력(kN)이다.

### 2.2 유사정적해석법

유사정적해석법은 지진에 의한 관성력을 등가정적하중으로 치환하여 지진하중에 대한 비탈면의 안정성을 평가하는 해석법으로 정적 초기응력상태와 추가로 작용하는 동하중에 대하여 상응하는 유사정적하중으로 대체하여 기존 정적 비탈면해석법을 이용하는 해석법이다.

지진하중으로 인한 네일로 보강된 비탈면의 파괴형태는 Fig. 2와 같이 이선형의 활동면으로 나타나며, 파괴면 위에 있는 토체는 썩기 형태의 보강토체와 무보강토체로 나뉘고 보강토체에서 네일의 간격은 보강토체의 하부지반의 파괴에 대한 구속력을 발생시킨다.

유사정적해석법의 접근법은 작용하중의 평형 방정식을 기본으로 Fig. 3과 같이 두 가지 썩기 형태에 대하여 두 토체 사이에서 발생하는 힘들의 평형으로 구하게 되며, 무보강토체에서 발생하는 힘들의 합력은  $R_B$ 는 Eq. (2)와 같으며, 두 토체 사이에서 발생하는 힘의 합력인  $P_{BR}$ 은 Eq. (3)과 같

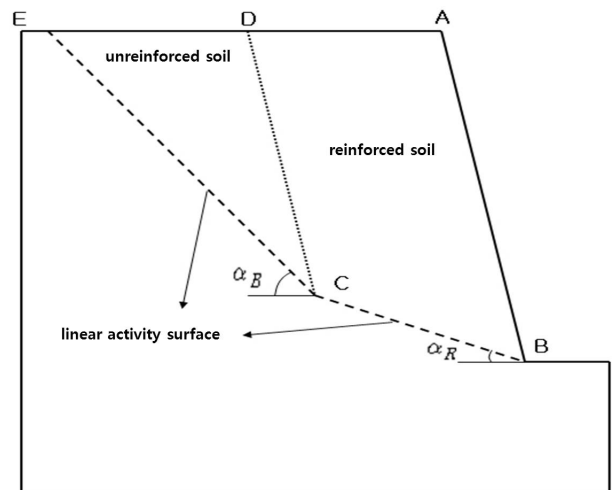


Fig. 2. Failure shape of reinforced slope with nail

이 결정된다. 그리고 보강토체에서 발생하는 합력인  $R_R$ 은 Eq. (4)와 같고 보강토체 균형을 유지하기 위한 지반-네일 경계면에서 발생하는 마찰력인  $T_{req}$ 는 Eq. (5)와 같이 힘의 평형으로부터 구할 수 있다.

$$R_B = \frac{C_B \cos \alpha_B + P_{BR} \cos \left( \phi_{BR} + \eta - \frac{\pi}{2} \right) - k_h W_B}{\sin(\alpha_B - \phi_B)} \quad (2)$$

$$P_{BR} = \frac{W_B \sin(\alpha_B - \phi_B) + k_h W_B \cos(\alpha_B - \phi_B) - C_B \cos \phi_B}{\cos \left( \phi_{BR} + \eta - \frac{\pi}{2} - \alpha_B + \phi_B \right)} \quad (3)$$

$$R_R = \frac{T_{req} \cos i + C_R \cos \alpha_R - k_h W_R - P_{BR} \cos \left( \phi_{BR} + \eta - \frac{\pi}{2} \right)}{\sin(\alpha_R - \phi_R)} \quad (4)$$

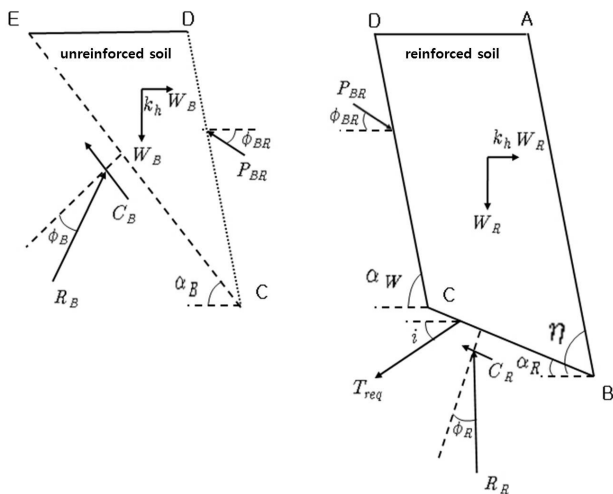


Fig. 3. Degree of freedom on two type of wedges

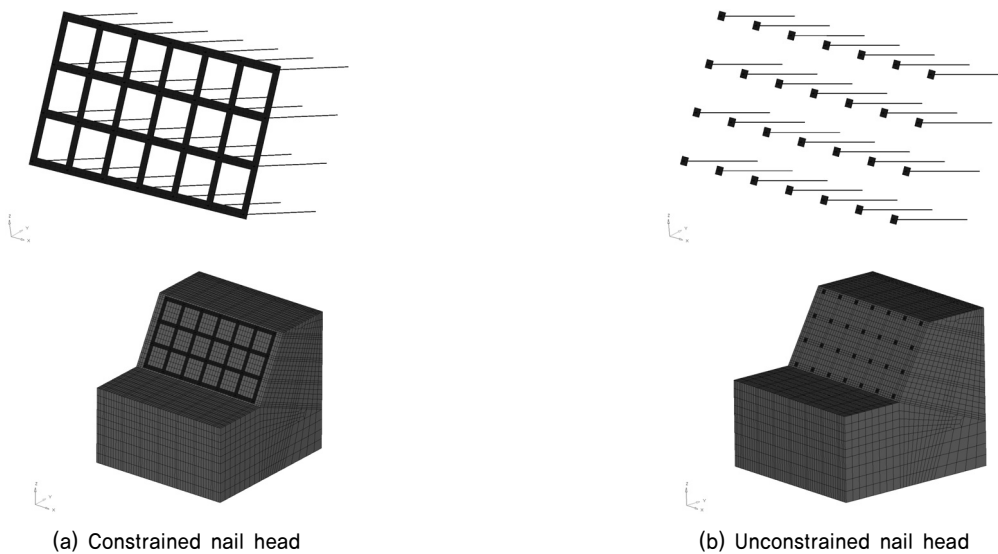


Fig. 4. Reinforced slope modeling on constrained condition of nail head

$$T_{req} =$$

$$\frac{W_R \sin(\alpha_R - \phi_R) + P_{BR} \cos \left( \phi_{BR} + \eta - \frac{\pi}{2} - \alpha_B + \phi_B \right) - C_R \cos \phi_R + k_h W_R \cos(\alpha_R - \phi_R)}{\cos(i + \alpha_R - \phi_R)} \quad (5)$$

여기서  $C_B$ 는 무보강토체에서 발생하는 점착력(kPa)이며,  $\phi_{BR}$ 는 무보강토체 활동면의 법선과 합력  $R_B$ 가 이루는 각( $^\circ$ ),  $\eta$ 는 비탈면각( $^\circ$ ),  $k_h$ 는 수평지진계수( $=a/g$ , 여기서  $a$ 는 가속도),  $W_B$ 는 무보강토체 중량(kN),  $\alpha_B$ 는 무보강토체 활동면의 각도( $^\circ$ ),  $i$ 는 네일의 설치 각도( $^\circ$ ),  $C_R$ 는 보강토체에서 발생하는 점착력(kPa),  $\phi_R$ 는 보강토체 활동면의 법선과 합력  $R_B$ 가 이루는 각( $^\circ$ ),  $W_R$ 는 보강토체 중량(kN),  $\alpha_R$ 는 보강토체 활동면의 각도( $^\circ$ )이다.

### 3. 해석 및 결과분석

#### 3.1 ABAQUS 해석 모델링

쏘일 네일로 보강된 비탈면에 지진하중이 작용하는 경우 네일 두부 구속조건에 따라 보강 비탈면에 대한 영향을 알아보기 위해 Fig. 4와 같이 네일 두부를 구속한 경우(Fig. 4(a))와 구속하지 않은 경우(Fig. 4(b))로 구분하여 모델링을 수행하였다. 쏘일 네일은 직경 2 cm, 길이 4 m, 네일 두부는 두께 2 cm, 면적 30 cm×30 cm로 solid 요소를 이용하여 모델링을 수행하였다. 그리고 비탈면 지반은 높이 5 m, 비탈면 경사 60°, 비탈면 경사 상·하부로부터 각 5 m의 폭을 적용하였으며, 하부지반은 6 m 깊이로 Solid 요소를 이용하여 모델링을 하였다.

그리고 지진하중에 따른 비탈면의 영향을 확인하기 위해 Fig. 5와 같이 국내에서의 지진하중을 고려한 내진 설계 시 사용하는 실제 지진기록인 장주기파(Hachinohe)와 단주기파(Offunato)를 해석에 적용하였다.

해석에 적용된 경계조건은 비탈면 지반 하단은 침하가 발생하지 않도록 전 자유도에 대하여 고정조건을 설정하였으며, 측면은 침하가 발생하는 방향으로 자유조건, 그 외는 고정조건으로 설정하였다. 그리고 해석에 사용된 토질 및 네일에 대한 매개변수는 Table 1과 같으며, 비탈면에 설치

Table 1. Parameter of numerical analysis

Parameter		Value
Nail	Density ( $\rho$ ), $tonf/mm^3$	$7.7 \times 10^{-9}$
	Young's modulus ( $E$ ), $N/mm^2$	200
	Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.2
Nail head	Density ( $\rho$ ), $tonf/mm^3$	$2.4 \times 10^{-9}$
	Young's modulus ( $E$ ), $N/mm^2$	$3.0 \times 10^4$
	Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.25
Slope	Initial void ratio ( $e_0$ )	0.7
	Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.3
	Density ( $\rho$ ), $tonf/mm^3$	$1.9 \times 10^{-9}$
	Internal friction angle ( $\phi$ )	$30^\circ$

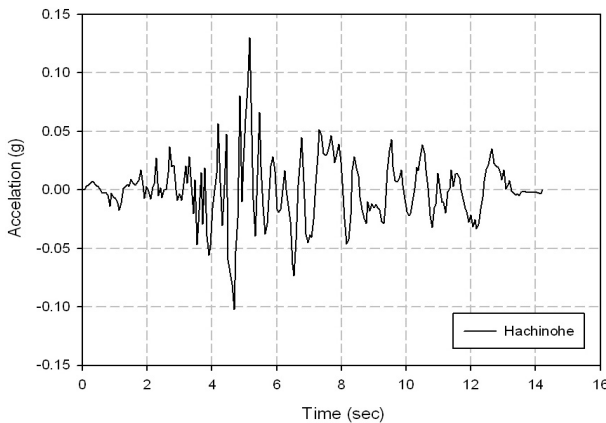
된 쏘일 네일의 두부 구속 조건에 따른 영향을 확인하기 위해 네일 설치간격을 변화시켜( $S=1.4 \times 1.4$  m,  $1.75 \times 1.75$  m,  $2.1 \times 2.1$  m) 수치해석을 수행하였으며, 수치해석 결과를 토대로 비탈면의 가속도 및 수평변위, 수직변위에 대하여 비교·분석하였다.

### 3.2 네일 두부 구속조건에 따른 보강비탈면의 상부 가속도 특성

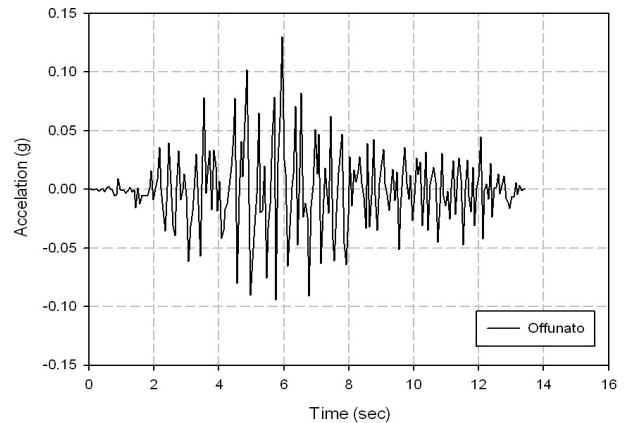
비탈면에 설치된 네일 두부의 구속조건에 따라 보강비탈면 지반하부에 지진하중이 작용하는 경우, 보강비탈면 상부에서 측정된 최대가속도는 Table 2와 같이 나타났으며, 이를 Fig. 6과 같이 비교하였다. Fig. 6의 지진하중 특성이 장주기인 Fig. 6(a)에서 최대가속도는 네일 설치간격이  $1.40$  m  $\times$   $1.40$  m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 13.8% 감소하는 것으로 나타났으며,  $1.75$  m  $\times$   $1.75$  m인 경우는 15.47%,  $2.10$  m  $\times$   $2.10$  m인 경우는 10.91% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 지진하중 특성이 단주기인 Fig. 6(b)에서 최대가속도는 네일 설치 간격이  $1.40$  m  $\times$   $1.40$  m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 12.50% 감소하는 것으로 나타났으며,  $1.75$  m  $\times$   $1.75$  m인 경우는 16.67%,  $2.10$  m  $\times$   $2.10$  m인 경우는 10.00% 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2. Maximum acceleration on upper of reinforced slope by constrained condition of soil nail head

Classification		Maximum acceleration (g)	
		Long period seismic wave	Short period seismic wave
Constrained	$1.40$ m $\times$ $1.40$ m	0.0599	0.0700
	$1.75$ m $\times$ $1.75$ m	0.0672	0.0800
	$2.10$ m $\times$ $2.10$ m	0.0735	0.0900
Unconstrained	$1.40$ m $\times$ $1.40$ m	0.0695	0.0800
	$1.75$ m $\times$ $1.75$ m	0.0795	0.0960
	$2.10$ m $\times$ $2.10$ m	0.0825	0.1000

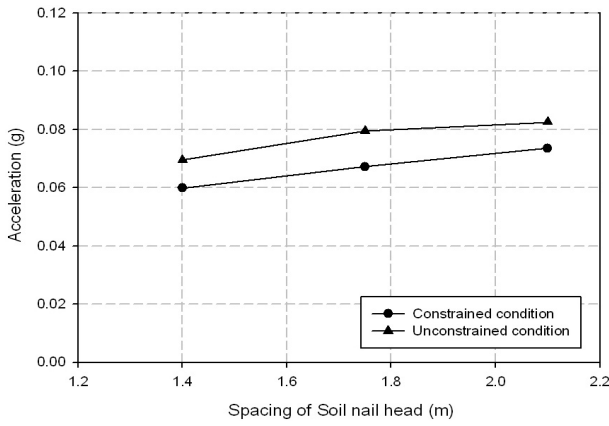


(a) Long period seismic wave

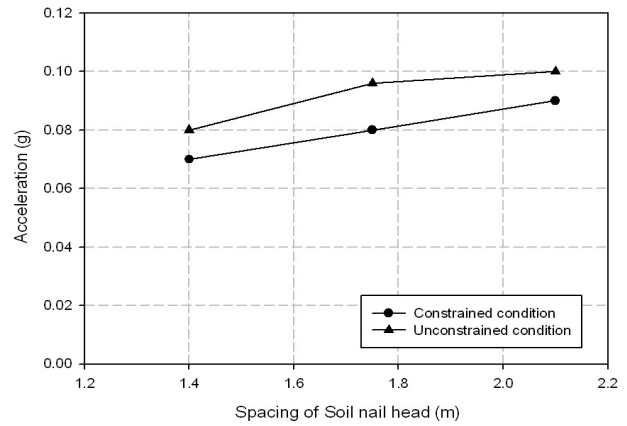


(b) Short period seismic wave

Fig. 5. Used long and short period seismic wave on numerical analysis

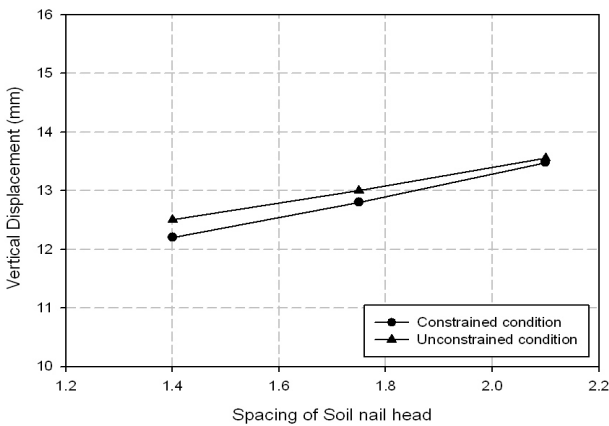


(a) Long period seismic wave

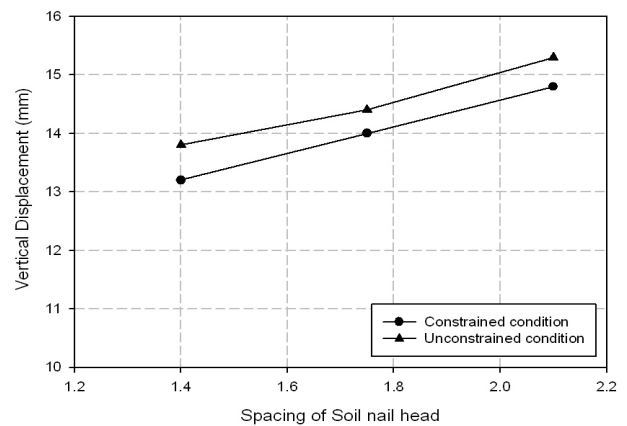


(b) Short period seismic wave

Fig. 6. Maximum acceleration on upper of reinforced slope by constrained condition of soil nail head



(a) Long period seismic wave



(b) Short period seismic wave

Fig. 7. Maximum vertical displacement on upper of front reinforced slope by constrained condition of soil nail head

Table 3. Maximum vertical displacement on upper of front reinforced slope by constrained condition of soil nail head

Classification		Maximum vertical displacement (mm)	
		Long period seismic wave	Short period seismic wave
Constrained	1.40 m×1.40 m	12.2000	13.2000
	1.75 m×1.75 m	12.8000	14.0000
	2.10 m×2.10 m	13.4753	14.8000
Unconstrained	1.40 m×1.40 m	12.5000	13.8000
	1.75 m×1.75 m	13.0000	14.4000
	2.10 m×2.10 m	13.5500	15.3000

### 3.3 네일 두부 구속조건에 따른 보강비탈면의 상부 수직변위 특성

보강비탈면 지반하부에 지진하중이 작용하는 경우 네일 두부의 구속조건에 따라 보강비탈면 상부에서 측정된 최대 수직변위는 Table 3과 같이 나타났으며, 이를 Fig. 7과 같이 비교하였다. Fig. 7의 장주기 지진하중 특성인 Fig. 7(a)에서 최대수직변위는 네일 설치간격이 1.40 m×1.40 m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 2.40%

감소하는 것으로 나타났으며, 1.75 m×1.75 m인 경우는 1.54%, 2.10 m×2.10 m인 경우는 0.55% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 단주기 지진하중 특성인 Fig. 7(b)에서 최대수직변위는 네일 설치 간격이 1.40 m×1.40 m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 4.35% 감소하는 것으로 나타났으며, 1.75 m×1.75 m인 경우는 2.78%, 2.10 m×2.10 m인 경우는 3.27% 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.4 네일 두부 구속조건에 따른 보강비탈면 전면의 상부 수평변위 특성

비탈면 지반하부에 지진하중이 작용하는 경우 네일 두부의 구속조건에 따라 보강비탈면 전면 상부에서 측정된 최대 수평변위가 Table 4와 같이 나타났으며, 이를 Fig. 8과 같이 비교하였다. Fig. 8의 주기 지진하중 특성인 Fig. 8(a)에서 최대수평변위는 네일 설치간격이 1.40 m×1.40 m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 4.09% 감소하는 것으로 나타났으며, 1.75 m×1.75 m인 경우는 0.96%, 2.10 m×2.10 m인 경우는 11.59% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 단주기 지진하중 특성인 Fig. 8(b)에서 최대수직 변위는 네일 설치 간격이 1.40 m×1.40 m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 9.84% 감소하는

것으로 나타났으며, 1.75 m×1.75 m인 경우는 11.59%, 2.10 m×2.10 m인 경우는 13.92% 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.5 네일 두부 구속조건에 따른 보강비탈면 전면의 하부 수평변위 특성

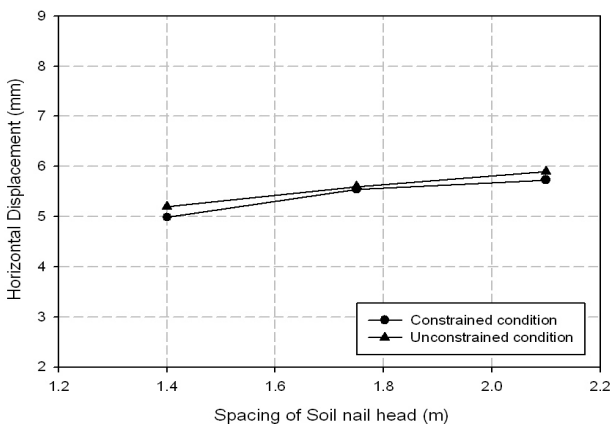
지진하중이 작용하는 보강비탈면에 네일 두부의 구속조건에 따라 해석을 수행한 결과, 보강비탈면 전면 하부에서 측정된 최대수평변위가 Table 5와 같이 나타났으며, 이를 Fig. 9와 같이 비교하였다. Fig. 9의 장주기 지진하중 특성인 Fig. 9(a)에서 최대수직변위는 네일 설치간격이 1.40 m×1.40 m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 28.35% 감소하는 것으로 나타났으며, 1.75 m×1.75 m인 경우는 51.80%, 2.10 m×2.10 m인 경우는 25.05% 감소하는 것으로 나타났

Table 4. Maximum horizontal displacement of upper on front reinforced slope by constrained condition of soil nail head

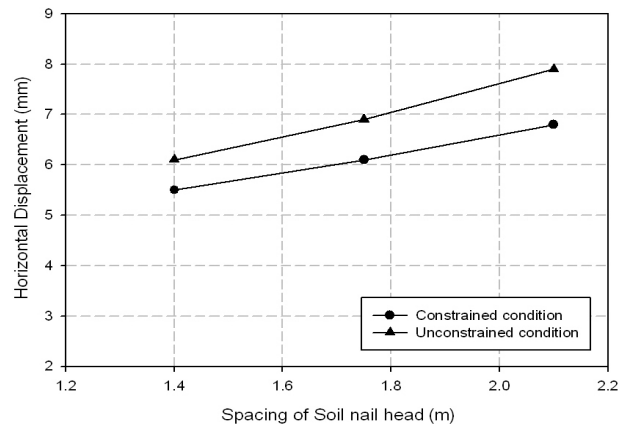
Classification		Maximum horizontal displacement (mm)	
		Long period seismic wave	Short period seismic wave
Constrained	1.40 m×1.40 m	4.9875	5.5000
	1.75 m×1.75 m	5.5463	6.1000
	2.10 m×2.10 m	5.7308	6.8000
Unconstrained	1.40 m×1.40 m	5.2000	6.1000
	1.75 m×1.75 m	5.6000	6.9000
	2.10 m×2.10 m	5.9000	7.9000

Table 5. Maximum horizontal displacement of lower on front reinforced slope by constrained condition of soil nail head

Classification		Maximum horizontal displacement (mm)	
		Long period seismic wave	Short period seismic wave
Constrained	1.40 m×1.40 m	0.8985	1.3200
	1.75 m×1.75 m	1.1569	2.2000
	2.10 m×2.10 m	2.3233	2.8800
Unconstrained	1.40 m×1.40 m	1.2540	1.9800
	1.75 m×1.75 m	2.4000	2.7000
	2.10 m×2.10 m	3.1000	3.9500

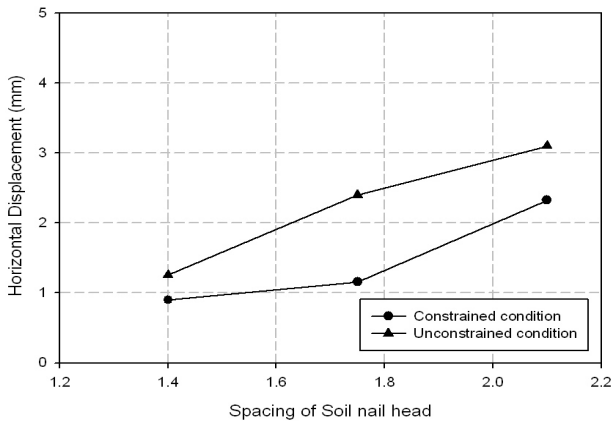


(a) Long period seismic wave

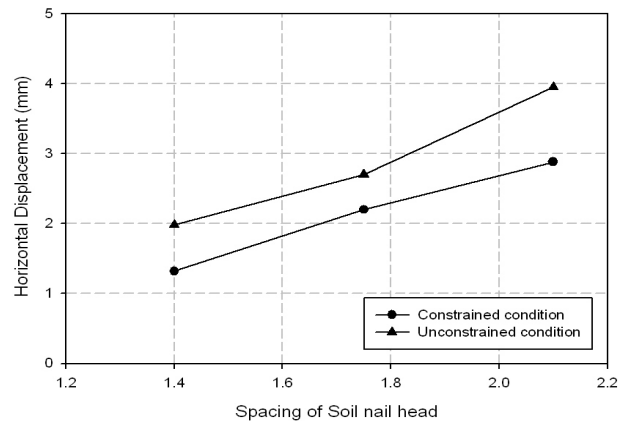


(b) Short period seismic wave

Fig. 8. Maximum horizontal displacement on upper of front reinforced slope by constrained condition of soil nail head



(a) Long period seismic wave



(b) Short period seismic wave

Fig. 9. Maximum horizontal displacement on lower of front reinforced slope by constrained condition of soil nail head

다. 그리고 단주기 지진하중 특성인 Fig. 9(b)에서 최대수직 변위는 네일 설치 간격이 1.40 m×1.40 m인 조건에서 네일 두부 구속인 경우가 비구속인 경우에 비해 33.33% 감소하는 것으로 나타났으며, 1.75 m×1.75 m인 경우는 18.52%, 2.10 m×2.10 m인 경우는 27.09% 감소하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 쓰일 네일로 보강된 비탈면에 지진하중이 작용하는 경우 비탈면 안정에 미치는 영향을 확인하고자 쓰일 네일의 두부 구속조건에 따른 네일 간격별 수치해석을 수행하여 보강비탈면의 가속도와 수직 및 수평변위를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 네일 두부 구속인 경우, 비구속인 경우에 비해 네일 설치간격이 증가하면 가속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 네일 두부를 구속시키면 네일과 비탈면이 일체화되어 지진하중에 대하여 응력을 감소시키고 전단저항력을 증가시키는 것으로 판단된다.
- (2) 지진하중에 대하여 네일 두부가 구속된 경우, 비구속된 경우에 비해 네일 설치간격이 증가하면 보강비탈면 상부 최대변위는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 네일 두부의 구속으로 비탈면과 일체화되어 변위를 억제하는 것으로 판단된다.
- (3) 네일로 보강된 비탈면 전면 상부에서 네일 부두가 구속된 경우, 비구속된 경우에 비해 네일 설치간격이 증가하면 전면 상부 및 하부의 최대수평변위는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 네일 두부 구속이 지진하중에 대하여

비탈면의 전단저항력을 증가시키는 것으로 판단된다.

#### References

1. Ahn, J. K. (2008), A study on the analysis methods of seismic slope stability, Master's thesis, Hanyang University, pp. 45~66 (in Korean).
2. Chun, B. S., Kim, W. C. and Yoon, C. K. (2004), The effects of nail inclination in soil nailing by finite element analysis, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol, 20, No. 6, pp. 19~27 (in Korean).
3. Gassler, G. (1988), Theory and practice of earth reinforcement, Proceedings of the International Geotechnical Symposium, A. A. Balkema, pp. 283~288.
4. Han, J. T., Cho, J. S., Yoo, M. T. and Lee, S. H. (2011), A study on seismic retrofit design of the stabilized piles by 1g shaking table tests and pseudo-static analysis, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 11, No. 2, pp. 93~101 (in Korean).
5. Hong, W. P. and Song, Y. S. (2005), An experimental study on the stabilizing effect of piles against sliding, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 21, No. 1, pp. 69~80 (in Korean).
6. Hong, Y. S., Wu, C. S., Chen, R. H. and Chen, J. R. (2005), Shaking table tests and stability analysis of steep nailed slopes, Canadian Geotechnical Journal, NRC Canada, Vol. 42, No. 6, pp. 1264~1279.
7. Lee, G. S. (2006), Behavior of tailrace-slope using shaking table test, Master's thesis, Chungnam National University, pp. 13~63 (in Korean).
8. Oh, J. K. (2013), Characteristics of dynamic behavior of slope by constrained soil nail head, Ph.D. dissertation, Chungbuk National University, pp. 1~117 (in Korean).
9. Stocker, M. F. (1979), Soil nailing, Proceedings of the International Conference on Soil Reinforcement, Paris, Vol. 2, pp. 469~474.
10. Shen, C. K., Bang, S., Herrmann, L. R. and Rornstad, K. M. (1978), A reinforced lateral earth support system, Symposium on Earth Reinforcement, ASCE, Unites States, pp. 764~793.