

## 임도비탈면의 복원을 위한 식생기반재 돌망태의 안정성 분석\*

박재현<sup>1)</sup> · 정용호<sup>2)</sup> · 최형태<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 진주산업대학교 산림자원학과 · <sup>2)</sup> 국립산림과학원

## Using Gabion Systems with Vegetation Base Materials on Stability Analysis for the Forest Road Cut-slope Rehabilitation Techniques\*

Park, Jae-Hyeon<sup>1)</sup> · Jeong, Yong-Ho<sup>2)</sup> and Choi, Hyung-Tae<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju, Korea,

<sup>2)</sup> Korea Forestry Research Institute.

### ABSTRACT

In this study, stability of the new gabion system with vegetation base materials was analysed. New gabion system with vegetation base materials is a new approach which has been developed to achieve slope stabilization and revegetation of forest road cut-slope by making the best use of advantages of gabion systems with vegetation base materials. Results from stability analysis are as follows. For the soil density, the angle of internal friction and unit weight of the rock fill was assumed to be 1.90g/cm<sup>3</sup>, 30° and 2.30t/m<sup>3</sup>, respectively, the slope stability analysis showed that the new gabion system couldn't require any poles to fix it up, and could keep stable during both rainy and dry seasons. As the results of checks against overturning and sliding, the retaining wall with the new gabion system could produce suitable factors of safety for overturning and sliding. Vegetation established on the surface of the new gabion systems indirectly can help to increase slope stability by prevention of surface erosion. Consequently, the new gabion system with vegetation base materials could achieve the desired effect on slope stabilization as much as existing gabion system could do, and could promote rapid establishment of vegetation on cut-slopes.

Key Words : *Forest road cut-slope, Gabion system, Slope stability.*

---

\* 이 연구는 산림청 농림기술연구과제 지원을 받아 수행한 연구임.

Corresponding author : Park, Jae-Hyeon, Dept. of Forest Resources, Jinju National University, Jinju, Korea,  
Tel : +82-55-751-3248, E-mail : pjh@jinju.ac.kr

Received : 11 August, 2008. Accepted : 10 January, 2009.

## I. 서론

최근 우리나라는 산업 발달로 인해 각종 토목공사 및 건설공사가 활발히 진행됨에 따라 안전하고 쾌적한 편의시설의 확충에 따라 산지나 구릉의 활용도가 높아가고 있으며, 그에 따른 사면파괴의 피해도 증가하고 있는 실정으로(우보명 등, 1996; 박재현 등, 2004, 2005) 이에 대한 방지대책이 절실히 요구되고 있다(전성기, 2001; 박재현 등, 2005). 또한, 산지 중 임도의 개설로 인한 절토비탈면의 붕괴 및 토사침식을 방지하기 위한 안정공법으로 옹벽, 석축이 주를 이루다가 일부 돌망태 등을 시설하는데(우보명, 1992, 2003). 임도비탈면에 설치되는 구조물은 사면안정 검토를 거침으로써 비탈면의 붕괴 또는 비탈면에서 발생될 수 있는 각종 재해로부터 그 피해를 경감할 수 있음에도(이영남, 1991; 전성기, 2001; 건설교통부, 2002) 불구하고 이에 따른 비탈면의 안정성을 과학적으로 분석한 것은 전무한 실정이다. 즉, 임도비탈면의 안정과 녹화를 동시에 기능할 수 있는 공법의 개발도 중요하며, 이러한 공법에 대한 사면안정해석을 통한 안정성을 검증하는 것도 대단히 중요하다. 따라서 이 연구는 기존에 국내에서 사용하는 돌망태 공법과 이 연구에서 개발한 식생기반재 돌망태공법의 사면안정성 검토를 실시함으로써 그 공법의 사면안정효과를 분석하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

이 연구에 적용한 식생기반재 돌망태는 6m×0.5m×2단(1단; 1m, 2단; 0.5m)으로 설계하였고, 사면안정은 식생기반재돌망태와 대조구인 무처리 돌망태(일반적으로 비탈면에 시공하는 돌망태)에 대하여 사면안정을 실시하였다. 아울러 식생기반재 돌망태의 안정성을 분석할 때에는 이와 유사한 공법에 대한 안정성을 분석하는

것이 필요한데, 식생기반재 돌망태의 경우 잡석 사이에 충전되는 채움재와 유사한 방법의 안정성 검토가 필요하므로 안정성 검토는 외적안정성 검토와 내적 안정성 검토를 수행하였으며, 외적 안정성 검토는 강재틀 옹벽 전용 해석프로그램인 srWall을 이용하였다(전성기, 2001). 내적 안정성 검토는 채움재 하중이 작용하는 강재틀 옹벽 하부 프레임 부재를 토목구조전용 해석 프로그램인 Midas Civil을 이용하여 채움재의 토압에 대한 안정성을 검토하였다(전성기, 2001). 외적, 내적 안정성 검토시 채움재 조건은 토사 채움으로 하였으며, 외적 안정성 검토는 사면활동에 대한 안정성 검토와 사면 활동으로 인한 전도에 대한 안정성을 검토하였다. 내적 안정성 검토는 1m×1m×1m(가로×세로×높이)의 강재틀 옹벽 및 식생기반재 돌망태에 토사 채움시 발생하는 토압을 받는 하부 부재의 침하량을 계산하여 허용 침하량과 비교 검토하여 안정성을 판단하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 식생기반재 돌망태의 안정성 평가를 위한 강재틀 옹벽의 구조분석

식생기반재 돌망태의 안정성을 분석하기 위해서는 공학적으로 분석할 때에는 강재틀 옹벽을 비교할 필요가 있다. 따라서 강재틀 옹벽의 안정성을 검토하였다. 강재틀 옹벽의 실용화를 위한 안정성 검토를 위하여 외적 안정성 검토시 적용된 설계조건으로는 사면 높이가 11.1m이며, 기울기는 약 33.69°로 토사사면(Soil Slope)으로 모델링하였으며, 그림 1과 같다. 또한, 강재틀 옹벽의 내·외부 채움재에 대한 물성치는 표 1과 같다. 즉, 내부채움 흙의 점착력(C)은 0.0 ton/m<sup>2</sup>이었고, 뒷채움 흙의 점착력(C)은 1.0 ton/m<sup>2</sup>이었으며, 내부마찰각(θ)는 내부채움흙은 30.0°, 뒷채움흙은 35.0° 이었다. 단위중량(γ)은, 내부채움흙은 1.8 ton/m<sup>3</sup>, 뒷채움 흙은 1.8 ton/m<sup>3</sup> 이었다.

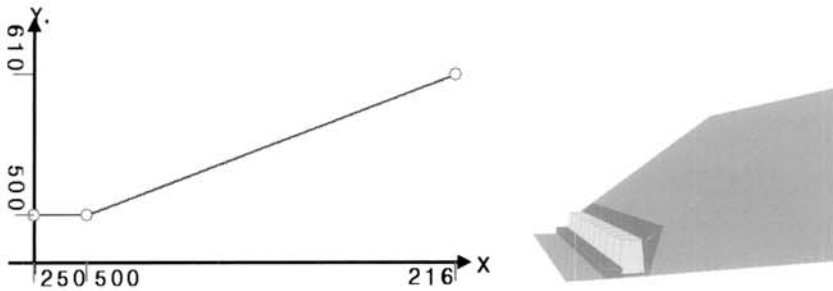


Figure 1. Schematic of steel framed retaining wall design.

Table 1. Properties of filling materials for steel framed retaining walls.

| Property \ Type                | Filling material       | Back-filling material  |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| C (Cohesion)                   | 0.0 ton/m <sup>2</sup> | 1.0 ton/m <sup>2</sup> |
| θ (Angle of internal friction) | 30.0°                  | 35.0°                  |
| γ (Unit weight)                | 1.8 ton/m <sup>3</sup> | 1.8 ton/m <sup>3</sup> |

표 1에서 언급된 해석조건 등을 이용한 내적 안정성 검토결과 현장의 악조건을 고려한 offset 이 '0'일 때도 외적 안정성이 확보되었다. 따라서 강재틀 옹벽의 외적 안정성을 검토할 필요가 발생하였다. 즉, 강재틀 옹벽의 외적 안정성 검토 결과, 활동에 대한 안전율은 1.57, 전도에 대한 안전율은 3.52, 지반에 대한 지지력( $q_a < q_{max}$ )은  $4.25 < 14.34$ 로 나타나 안정한 것으로 분석되었다.

또한, 내적안정성 판단을 위한 검토에서는 강

재틀 옹벽내 채움재에 대한 내적안정성 검토를 토목구조해석 프로그램인 MIDAS Civil프로그램을 사용하였으며, 국내 'ㄷ'형강 제품규격 중 경제성을 고려한 규격을 결정하여 이에 대한 내적 안정성을 검토하였다. 본 해석에서는 강재틀 옹벽 채움재의 다양한 활용을 고려하여 채움재를 토사로 하였으며,  $1m \times 1m \times 1m$ (가로×세로×높이)의 강재틀 옹벽에서 하부 부재('ㄷ'형강)에 작용하는 토압은 1.2ton/개 이고, 'ㄷ'형강의 규격은 아래와 같다(그림 2).

표 2에서 제시된 규격을 이용하여 구조해석을 실시한 결과, 하중 1.2ton에 의하여 발생된 부재 처짐은 약 3.57cm이며, 이는 허용침하량 이내의 범위이므로 채움재의 하중을 받는 위의 'ㄷ'형강 규격 이상을 강재틀 옹벽에 적용하였을 경우 내적안정성에는 별다른 문제가 없을 것으로 사료된다. 즉, 평형옹벽의 경우 허용침하량 및 구조적 안정성은 유지되는 것으로 나타났으나, 이 공법

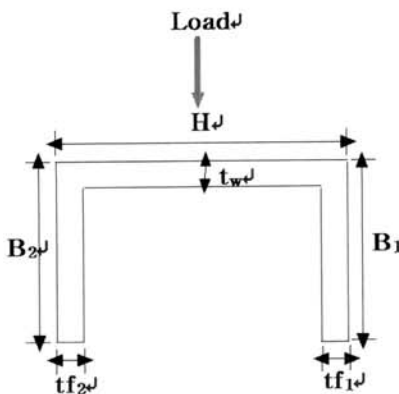


Figure 2. Dimensions for internal stability calculations.

| Dimension | case I ( $\delta \approx 3.57cm$ ) |
|-----------|------------------------------------|
| H         | 7.8cm                              |
| B1        | 2.6cm                              |
| tw        | 0.3cm                              |
| tf1       | 0.3cm                              |
| B2        | 2.6cm                              |
| tf2       | 0.3cm                              |

**Table 2.** Results of external stability calculations.

| offset_height \ Item | Factor of safety for sliding | Factors of safety for overturning | Bearing capacity of soil ( $q_a < q_{max}$ ) | Safety |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--------|
| 0_2000               | 1.57                         | 3.52                              | 4.25 < 14.34                                 | O.K    |

은 비탈면의 구조적 안정성만 고려된 방법이므로 식생이 피복되는 등 녹화를 연결시키지는 못하는 것으로 나타나 경관상, 자연친화적 임도비탈면 조성면에서는 기여를 하지 못하는 것으로 분석되었다.

동토압 계산, 전도에 대한 검토, 활동에 대한 검토를 통해 안정성을 분석하였다. 이는 1단으로 되어 있을 때와 2단으로 쌓았을 때로 구분하여 분석하였다. 이때 돌망태(gabion)의 크기는 1m×1m, 돌망태의 단위용적중량은 2.3t/m<sup>3</sup>으로  $\gamma =$



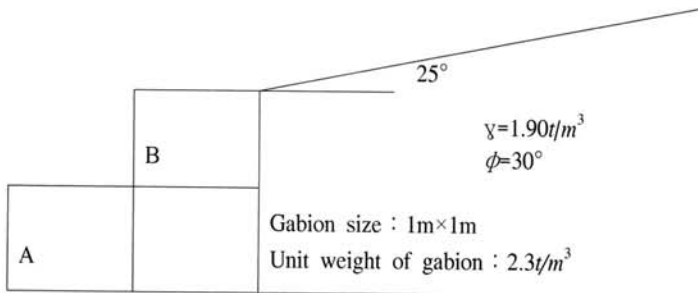
**Figure 3.** Steel framed retaining wall, existing gabion retaining wall and new gabion retaining wall with vegetation base materials.

따라서 이와 같은 형태의 돌망태 및 강재를 옹벽의 안정성 검토와 마찬가지로 기존의 일반 돌망태공법과 이 연구에서 시공한 식생기반재돌망태의 안정성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1.90t/m<sup>3</sup>,  $\phi=30^\circ$ 로 계산되었다. 또한 임도비탈면의 사면경사는 25°이었다(그림 4).

**2. 식생기반재 돌망태 옹벽 전체의 안정성 검토**  
식생기반재 돌망태에 대한 안정성 검토는 주

(1) 주동토압 계산(Rankine 토압)  
지표가 경사진 경우의 Coulomb 토압계수를 계산하는 식은 식 1과 같다.



**Figure 4.** Dimensions of the new gabion retaining wall for stability analysis.

$$Ca = \sin^2 \frac{(\theta - \phi)}{\sin^2 \theta \sin(\theta + \phi)} \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta + \phi) \sin(\phi - i)}{\sin(\theta + \phi) \sin(\theta - i)}} \right]^{-2} = 0.5047 \dots \dots \dots \text{<식 1>}$$

i: 지표의 경사각

식 1에서  $\phi'$  Gabion과 흙과의 마찰각  $\theta$ : Gabion 뒷부분의 경사각을 나타낸다.

즉, <식 1>에서와 같이 임도비탈면은 지표가 경사진 곳으로 Coulomb 토압계수를 계산한 결과 0.5047의 값을 구하였다.

또한, 토압을 계산한 값은 식 2에서와 같으며, 구한 토압은 1.92t/m 이었다.

$$Pa = \frac{1}{2} Ca \times H^2 = \frac{1}{2} (0.5047)(1.90 \text{ t/m}^3)(2 \text{ m})^2 = 1.92 \text{ t/m} \dots \dots \dots \text{<식 2>}$$

<식 2>에서 수평분력:  $Ph = Pa \cos i = 1.74 \text{ t/m}$ , 수직분력:  $Pv = Pa \sin i = 0.81 \text{ t/m}$  이었다.

주동토압의 작용점 위치를 분석한 식은 <식 3>에서와 같으며, 구한 주동토압의 작용점 위치는 0.67m 이었다.

$$z = \frac{H}{3} = \frac{2}{3} = 0.67 \text{ m} \dots \dots \dots \text{<식 3>}$$

(2) 전도에 대한 검토

식생기반재 돌망태는 주동토압으로 인하여 지판의 앞굽을 중심으로 회전하려는 경향이 있으므로 이에 대하여 검토 하여야 한다. 따라서 저항모멘트는 점 A를 중심으로 한 저항모멘트의 합으로 표 3에서와 같다.

이때, 전도모멘트( $M_o$ )는 점 A를 중심으로 한 전도모멘트의 합으로 <식 4>에서와 같이 1.16을 얻었다.

$$M_o = Ph \frac{H}{3} = 1.74 \text{ t/m} \times \frac{2}{3} = 1.16 \dots \dots \text{<식 4>}$$

따라서 안전율은:  $F_s = \frac{M_r}{M_o} = \frac{9.67}{1.16} = 8.33 >$   
 2: OK이므로 안정한 것으로 나타났다.

(3) 활동에 대한 검토

식생기반재 돌망태는 주동토압으로 인하여 수

평방향으로 미끄러질 가능성이 있으므로 이에 대하여 검토하여야 한다. 따라서 옹벽을 활동시키려는 수평력을 계산한 결과, <식 5>에서와 같이 1.74t/m을 얻었다.

$$Fd = Ph = Pa \cos i = 1.74 \text{ t/m} \dots \dots \dots \text{<식 5>}$$

따라서 활동에 저항하는 저항력은 <식 6>에서와 같다.

$$Fr = V \tan \phi + cB + Pp = 7.71 \tan(30) + 0 + 0 = 4.45 \text{ t/m}$$

V: 수직력의 합  
 $\phi$ : 흙의 내부마찰각  
 c: 흙의 점착력  
 B: 옹벽 저판의 폭  
 Pp: 주동토압

..... <식 6>

$$\text{따라서 안전율은 } F_s = \frac{Fr}{Fd} = \frac{4.45}{1.74} = 2.56 >$$

2: OK으로 안정한 것으로 분석되었다.

Table 3. Moments for calculation of the factor of safety against overturning of new gabion retaining wall.

|                 | Area (m <sup>2</sup> )      | Unit weight (t/m) | Distance from A (m) | Moment (t · m)       |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Gabion 1st step | 1*2=2                       | 2*2.3=4.6         | 1                   | 4.6*1=4.6            |
| Gabion 2nd step | 1*1=1                       | 1*2.3=2.3         | 1+0.5=1.5           | 2.3*1.5=3.45         |
| P <sub>v</sub>  | Vertical component of force | 0.81              | 2                   | 0.81*2=1.62          |
| Total           |                             | V=7.71            |                     | M <sub>r</sub> =9.67 |

(4) 식생기반재 돌망태 응벽 2단 째의 안정검토

(가) 주동토압 계산(Rankine 토압)

토압을 계산한 결과는 <식 7>에서와 같이 0.48t/m을 얻었다.

$$Pa = \frac{1}{2} Ca \gamma H^2 = \frac{1}{2} (0.5047)(1.90 t/m^3)(1m)^2 = 0.48 t/m$$

수평분력 :  $Ph = Pa \cos i = 0.44 t/m$

수직분력 :  $Pv = Pa \sin i = 0.20 t/m$

아울러 주동토압의 작용점 위치를 계산한 결과 <식 8>, 0.33m를 얻었다.

$$z = \frac{H}{3} = \frac{1}{3} = 0.33 m \quad \dots\dots\dots <식 8>$$

(나) 전도에 대한 검토

식생기반재 돌망태 2단의 전도에 대한 검토를 실시한 결과, 표 4에서와 같이 모멘트 값은 1.35를 얻었다.

따라서 전도모멘트(Mo)는 점 B를 중심으로 한 전도모멘트의 합으로 <식 9>에서와 같다.

$$Mo = Ph \frac{H}{3} = 0.44 t/m * \frac{1}{3} = 0.15 \quad \dots\dots <식 9>$$

따라서 안전율은  $F_s = \frac{Mr}{Mo} = \frac{1.35}{0.15} = 9.00 >$   
2 : OK로 안정한 것으로 분석되었다.

(다) 활동에 대한 검토

식생기반재 돌망태를 활동시키려는 수평력은 <식 10>에서와 같이 0.44t/m으로 계산되었다.

$$Fd = Ph = Pa \cos i = 0.44 t/m \quad \dots\dots <식 10>$$

따라서 안전율은 로 나타나 안정한 것으로 분석되었다.

따라서 활동에 저항하는 저항력은 <식 11>에서와 같이 1.44t/m을 얻었다.

따라서 산지의 토질은 밀도 1.90g/cm<sup>3</sup>, 내부마찰각은 30°, 돌망태 속의 잡석은 단위체적중량

$$Fr = V \tan \Phi + cB + Pp = 2.50 \tan(30) + 0 + 0 = 1.44 t/m$$

..... <식 11>

2.30t/m<sup>3</sup>으로 가정한 결과, 돌망태에 설치한 말뚝은 사용하지 않아도 안전한 것으로 분석되었다. 아울러 돌망태가 놓이는 지반은 돌망태 하중을 견딜 수 있을 정도로 정리한 후 설치하여야 할 것이며, 사면안전성 검토 결과(그림 5, 6), 건기, 우기 모두 안정한 것으로 분석되었다. 즉, 임도비탈면에 설치되는 일반돌망태와 식생기반재 돌망태에 대하여 공학적으로 안정한가를 분석한 결과, 식생기반재 돌망태는 주동토압에 대한 검토, 전도에 대한 안정성 및 활동에 대한 저항력을 분석한 결과 일반돌망태와 같이 안정한 것으로 분석되었으며, 여기에 녹화의 개념이 들어가 사면 안정에 간접적인 역할을 하는 것으로 분석되었다. 이는 토질역학적인 의미에서 크게 영향하는 것은 아니라고 판단된다. 따라서 식생기반재 돌망태는 사면의 안정을 위한 돌망태의 역할을 하는 것으로 분석되었을 뿐만 아니라 일반 돌망태는 녹화의 역할을 하지 못하는 반면, 식생기반재 돌망태는 사면안정에 더하여 녹화의 기능을 수행하는 것으로 분석되었다. 아울러 기존에는 임도

**Table 4.** Results of the safety analysis against overturning of 2nd step of the new gabion retaining wall.

|                 | Area (m <sup>2</sup> )      | Unit weight (t/m) | Distance from B (m) | Moment (t · m)       |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Gabion 2nd step | 1*1=1                       | 1*2.3=2.3         | 0.5                 | 1.15                 |
| P <sub>v</sub>  | Vertical component of force | 0.20              | 1                   | 0.20*1=0.20          |
| Total           |                             | V=2.50            |                     | M <sub>r</sub> =1.35 |

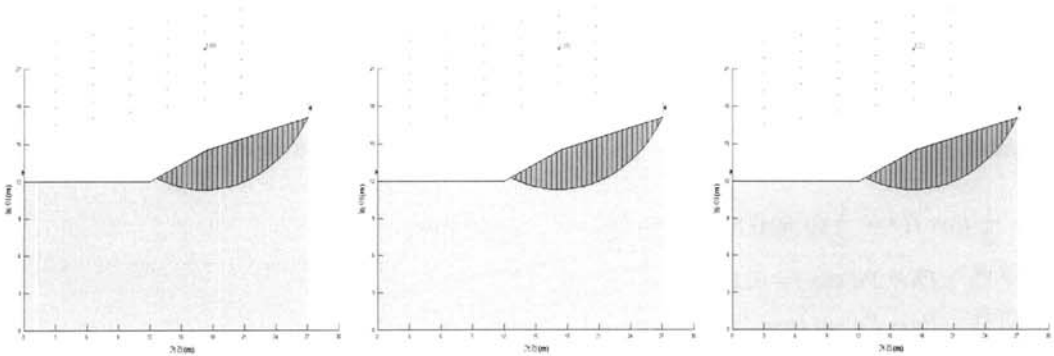


Figure 5. Slope stability analysis during dry season by served methods such as Bishop (left), Fellenius (center) and Janbu (right).

비탈면의 안정을 위하여 설치되는 각종 석축 및 옹벽 또는 돌망태의 경우 대체로 사면안정성을 분석·검토하지 않고 설치하였으나 추후 이러한 결과를 바탕으로 일반 산지(우보명 등, 1996; 박재현 등, 2004, 2005) 및 임도비탈면의 사면안정에 대한 분석·검토가 필요할 것으로 사료되며, 특히 새로운 공법의 적용 또는 장대사면의 경우에는 사면파괴의 우려를 감안하여 사면안정에 대한 검토가 적극적으로 필요할 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

이 연구는 임도비탈면의 안정과 녹화를 동시에 수행할 수 있는 식생기반재 돌망태를 개발하는데 그 목적이 있다. 식생기반재 돌망태의 사면안정성 검토를 실시한 결과 얻은 결론은 다음과

같다. 산지의 토질은 밀도  $1.90\text{kg/cm}^3$ , 내부마찰각은  $30^\circ$ , 돌망태 속의 잡석은 단위체적중량  $2.30\text{t/m}^3$ 으로 가정한 결과, 돌망태에 설치한 말뚝은 사용하지 않아도 안전한 것으로 분석되었다. 아울러 돌망태가 놓이는 지반은 돌망태 하중을 견딜 수 있을 정도로 정리한 후 설치하여야 할 것이며, 사면안전성 검토 결과 건기, 우기 모두 안전한 것으로 분석되었다. 또한, 식생기반재 돌망태는 주동토압에 대한 검토, 전도에 대한 안정성 및 활동에 대한 저항력을 분석한 결과 일반돌망태와 같이 안전한 것으로 분석되었으며, 여기에 녹화의 개념이 들어가 사면 안정에 간접적인 역할을 하는 것으로 분석되었으며, 이는 토질역학적인 의미에서 크게 영향하는 것은 아니라고 판단된다. 따라서 식생기반재 돌망태는 사면의 안정을 위한 돌망태의 역할을 하는 것으로 분석되었을 뿐만 아

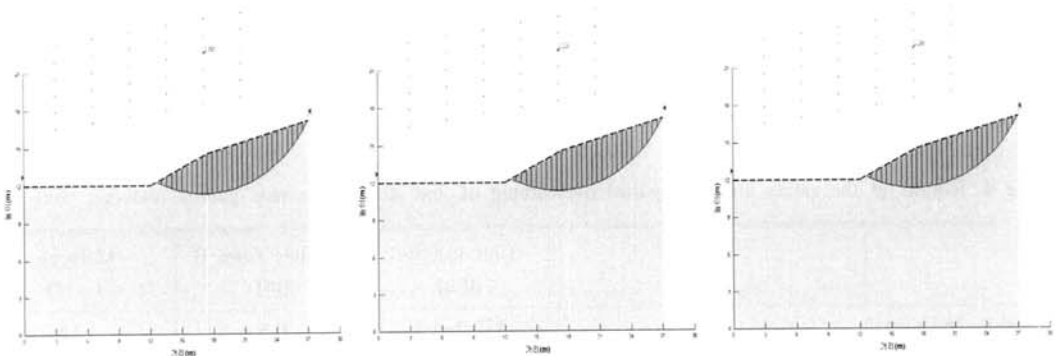


Figure 6. Slope stability analysis during rainy season by served methods such as Bishop (left), Fellenius (center) and Janbu (right).

나라 일반 돌망태는 녹화의 역할을 하지 못하는 반면, 식생기반재 돌망태는 사면안정에 더하여 녹화의 기능을 수행하는 것으로 분석되었다. 아울러 기존에는 임도비탈면의 안정을 위하여 설치되는 각종 석축 및 옹벽 또는 돌망태의 경우 대체로 사면안정성을 분석·검토하지 않고 설치하였으나 추후 이러한 결과를 바탕으로 임도비탈면의 사면안정에 대한 분석·검토가 필요할 것으로 사료되며, 특히 새로운 공법의 적용 또는 장대사면의 경우에는 사면파괴의 우려를 감안하여 사면안정에 대한 검토가 적극적으로 필요할 것으로 사료된다.

### 인 용 문 헌

건설교통부. 2002. 구조물 기초 설계기준. 320p.  
 박재현 · 이수곤 · 최경 · 마호섭 · 이종학 · 우보명. 2004. 내삼리 땅밀림형 산사태의 발생특

성에 관한 분석(Ⅲ). -안정해석을 중심으로-. 93(3) : 188-197.  
 박재현 · 최경 · 배종순 · 마호섭 · 이종학. 2005. 매리 땅밀림형 산사태의 발생특성에 관한 분석(Ⅲ). -사면의 안정해석을 중심으로-. 한국임학회지 94(6) : 377-386.  
 우보명. 1992. 신계 사방공학. 향문사. pp.96-97.  
 우보명 · 박재현 · 정도현 · 전기성 · 김경훈. 1996. 휴석동 땅미끄러짐 산사태의 발생특성에 관한 연구(Ⅱ) -땅미끄러짐 산사태지구의 지질 및 수문특성-. 한국임학회지 85(4) : 571-576.  
 우보명. 2003. 훼손지환경녹화공학. 서울대학교출판부. pp.258-259.  
 이영남. 1991. 산사태(지반공학과 자연재해 Ⅱ). 대한토질공학회지 7(1) : 105-113.  
 전성기. 2001. 실무자를 위한 사면안정화 설계실무편람. 과학기술. 278pp.