

林道 盛土斜面的 小徑材 崩壞抑止工法에 관한 研究

池炳潤¹⁾ · 鄭道鉉¹⁾ · 金鍾閔¹⁾ · 車斗松²⁾

Stabilization Method by Timber Pile for Fill Slope Failure on Forest Road

Byoung Yun Ji¹⁾ · Do Hyun Jung¹⁾ · Jong Yoon Kim¹⁾ and Du Song Cha²⁾

요 약

이 연구는 변성암지역에 있어서 집중호우로 인하여 붕괴위험이 있는 토사사면과 풍화암사면을 대상으로 소경재 붕괴억지공법을 申(1978, 1989)이 제시한 억지말뚝식을 이용하여 수립하였고, 그 결과는 다음과 같다. 말뚝의 설치간격은 말뚝이 받는 부담하중에 따라 틀러지나 토사사면의 상대적으로 급한 산지경사에서는 사면 길이에 상관없이 말뚝의 타설간격을 0.5m~0.8m로 하는 것이 적절한 것으로 나타났고, 상대적으로 낮은 산지경사에서는 말뚝의 타설간격은 약 0.7~2.0m가 적당한 것으로 나타났다. 또한 풍화암사면의 경우 상대적으로 급한 경사에서는 말뚝의 타설간격을 대략 0.5m~1.3m로 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났고, 상대적으로 낮은 산지경사에서는 말뚝의 타설간격을 0.7m~2.0m로 하는 것이 적절한 것으로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1, 2, 3은 약 4m, 말뚝 4, 5는 약 3m정도의 길이가 요구되는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study was carried out to execute the slope stabilization scheme of soil and weathered rock slope with forest road generating slope failure due to heavy rainfall. The timber piled stabilization by Shin's formulae for landslide-restraint pile as elastically supported elastic columns under distributed loads was applied on the unstable fill slope. The results obtained were summarized as follows:

The timber piled stabilization was applied for unstable slopes such as the soil slope and weathered rock slope of metamorphic rock regions. The results indicated that pile interval of 0.5~1.0m was appropriate in the case of high hillslope gradients and 0.7~2.0m in the case of low hillslope gradients of soil slope, and pile interval of 0.5~1.3m in the case of high hillslope gradients and 0.7~2.0m in the case of low hillslope gradients of weathered rock slope. Recommended pile length was around 4m for pile 1, 2 and 3, and nearly 3m for pile 4 and 5.

Key words : slope stabilization, forest road, slope failure, fill slope, timber piled stabilization

1) 임업연구원 중부임업시험장 : Chungbu Forest Experiment Station, Forest Research Institute, Pocheon 487-820, Korea.

2) 강원대학교 산림과학대학 : College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

I. 서 론

우리 나라에서는 산림경영기반시설의 확충을 위하여 매년 100km이상의 임도를 1980년 중반부터 본격적으로 임도확충을 실시하여 1998년 말 현재 총 임도연장이 13,517km로서 임도밀도는 2.1m/ha로 향상되었다. 그러나 매년 많은 양의 임도개설로 인한 사면의 붕괴 및 토사유출 등의 문제가 발생되어 환경적으로나, 경관적으로 사회적인 부정적 시각이 증폭되고 있는 실정이다. 이러한 문제해결을 위하여 산림청에서도 1998년에 환경친화적 녹색임도 구현을 위한 임도정책지침을 마련하여 임도시공 후 산림피해를 최소화시키고, 임도 고유기능을 증진시키고자 노력하고 있다. 이는 임도개설이 개설이 양적 측면에서 질적 측면으로의 국면전환이 이루어지고 있음을 시사하는 것으로, 보다 견고한 임도의 구축을 위하여는 환경친화적 사면안정 소재를 적용하여 경제적이고, 효과적인 임도사면붕괴를 예방하여야 할 것이다. 그러나 지금까지의 사면안정공법이 대부분 침식방지를 위한 목책공, 식생녹화공 등이 일률적으로 시행되고 있으며, 이러한 공법들은 주로 목책을 시설하고, 식생과중을 실시하기 때문에 식생의 활착은 용이하나, 붕괴억지를 위해서는 크게 효과가 없는 것으로 보고(O'Loughlin, 1984; 이인모 등, 1991)되고 있다. 붕괴방지를 위한 대책으로서 주로 사면의 활동에 대한 저항력 증가공법인 말뚝, 앵커의 설치 등 물리적 안정효과에 대한 연구(申과 田中, 1976; 申, 1978, 1989; 洪元杓, 1983, 1987, 1991; Lee 등, 1995; 한중근 등, 1996; Shmuelyan, 1996; Juran과 Benslimane, 1996; 近藤, 1996)와 활동력 감소법으로 배수처리 및 토구조의 변화에 의한 사면보강 효과에 대해 연구(El-Naggar와 Kennedy, 1997; Roman와 Cacuci, 1996; Al-Homoud와 Tubeileh, 1998; Resnick와 Znidarcic, 1990; Cai 등, 1998; Palmeira 등, 1998; Michalowski, 1998)가 주로 실시되고 있다. 이와 같이 사면의 붕괴억지를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내의 경우 임도의 사면붕괴방지를 위한 억지공법에 관한 연구는 거의 진행되고 있지 못한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 임도사면 붕괴억지를 위한 근본적 해결방법을 모색하고, 임도의 붕괴억지를 위해 간편하면서도 그 활용이 크게 증가할 것으로 예상되는 붕괴면 하부까지 간벌소경재 말뚝을 설치하는 공법을 적용하여 토질특성을 고려한 임도사면의 억지공법을 수립하고자 실시하였다.

II. 자료 및 방법

1. 연구대상지

임도성토사면의 토질역학적 특성을 고려한 소경재 억지말뚝 공법의 수립은 임도성토사면의 토질역학적 특성과 안정해석(池炳濶 등, 2000)에 관한 연구결과를 토대로 변성암지역 임도의 토사와 풍화암사면을 대상으로 간벌소경재 억지공법을 수립하였다.

2. 연구방법

붕괴위험이 있는 사면에 대하여 소경재를 이용한 억지말뚝공법을 수립하였고, 이러한 말뚝공법은 사면붕괴에 대한 저항력을 증가시켜주는 방법으로 이들 재료의 전단, 휨, 강성 등의 역학적 저항특성을 이용하여 설계를 실시하였다. 말뚝의 거동은 말뚝과 주변지반의 상호작용에 의하여 결정되며, 말뚝에 의한 사면안정효과를 충분히 얻기 위하여 말뚝과 사면 모두의 안정성이 확보되도록 말뚝의 설치위치 간격, 직경, 강성, 근입깊이 등을 결정하여야만 한다.

이 연구에서는 申(1978, 1989)이 제시한 탄성상상의 beam으로서의 억지말뚝식을 이용하여 임도사면의 안정을 위한 사면붕괴 안정공법을 설계하였다. 이 공법은 사면의 활동에 대한 저항력을 증가시켜 사면의 활동을 억지시키는 공법으로 지반의 특성치를 산출하여 그 지반특성에 적합한 말뚝의 간격 및 깊이를 결정한다. 이때에 대상사면 토질의 강도정수는 池炳濶 등(2000)이 수행한 변성암지역의 토사사면 내부마찰각 36.31°, 점착력 0.23t/m² 그리고 풍화암사면 내부마찰각 21.43, 점착력 0.63t/m²을 적용하였다.

(1) 말뚝이 받는 부담하중의 산출

말뚝의 설치간격은 말뚝이 받는 부담하중은 전단 또는 모멘트에 대한 말뚝의 수평부담력을 고려하여 설계를 실시한다. 이러한 수평부담력은 Bishop의 방법에 따라 전단말뚝에 대한 말뚝이 받는 수평부담력은 다음 식 (1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \frac{\sum S + m_p P_s}{\sum T} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $\sum S$: 각 슬라이스의 활동면 저항력의 총합(tf/m),
 $\sum T$: 각 슬라이스의 활동면 접선력의 총합(tf/m),
 P_s : 지활동 단위당 필요역지력(tf/m)

이를 다시 말뚝이 받는 부담하중(P_s)에 관한 식으로 유도하여 전단파일의 수평부담력(H_s)은 식 (2)과 같이 말뚝이 받는 부담하중(P_s)에 코사인 방향의 사면경사를 곱하여 산출할 수 있다.

$$H_s = P_s \cos \alpha = (F_s - F_0) \sum T \cos \alpha / m_p \dots\dots\dots (2)$$

여기서, α : 파일 설치지점에서의 활동면 경사각($^\circ$), F_0 : 초기 안전율.

$$F_s : \text{목표 안전율}(1.3), m_p = \frac{F_s}{1 + \tan \phi \tan \alpha / F_s}$$

또한 모멘트파일의 수평부담력(H_m)은 위 식(2)와 동일한 결과로 나타난다.

(2) 말뚝의 설치간격

말뚝의 부담하중 H 에 따라 말뚝의 설치간격은 다음 식(3)에 의해 모멘트 말뚝의 설치간격 D 를 결정하고, 식 (4)에 의해 허용 전단에 대한 말뚝 설치간격 D 를 결정한다.

$$D_m \leq \frac{(\sigma_m - \frac{N}{A_s})Z}{\frac{H}{\beta_1} \cdot \xi_{\max}} \dots\dots\dots (3)$$

$$D_s \leq \frac{\sigma_s A_s}{H} \dots\dots\dots (4)$$

여기서, D_m , D_s : 처짐모멘트 및 전단에 관한 파일간격(cm)
 σ_m , σ_s : 휨과 전단에 관한 파일의 허용응력도(kg/cm²)
 Z , A_s : 파일의 단면계수(cm³)와 단면적(cm²)
 N : 파일의 자중(kg)
 ξ_{\max} : 최대모멘트계수
 β_1 , E_s : 이동층의 β 치(m)와 변형계수(kg/cm²)

(3) 말뚝길이의 결정

파일머리 자유의 n 치, $\beta_1 h$ 대응의 말뚝길이 보정치(L_y)의 값을 구하여 파일의 근입길이 h_r 를 결정한 후 성도 지표면에서 활동면까지의 길이(h)을 더하여 말뚝길이를 결정한다. 근입길이 산출식은 다음 식 (5)와 같다.

$$h_r = 2.5L_y \beta_1^{-1} \dots\dots\dots (5)$$

III. 결과 및 고찰

1. 사면붕괴 역지말뚝의 설계기준

사면붕괴 역지말뚝공법은 임도사면의 활동토포를 관통하여 부동지반까지 말뚝을 일렬로 설치하므로써 사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 부동지반에 전달시키는 공법이다. 또한 현행 폐자원으로 처리되고 있는 소경채를 이용하여 시공함으로써 친자연적인 임도를 구축할 수 있다는 장점과 사면안전에 대한 효과도 커서 임도시공 단가가 비교적 낮은 우리나라에서 시공이 증가할 것으로 판단된다.

(1) 소경재 붕괴역지 말뚝의 제원

보통소경재를 말뚝재료로써 이용할 경우, 장기하중에 의하여 목재가 파괴되지 않아야 한다. 따라서 장기적으로 목재를 말뚝으로 이용하고자 할 경우에는 용이 등과 같은 결점에 대한 보정값과 안전을 등을 고려하여야 한다. 즉, 말뚝이 장기적으로 어떠한 외력에 충분히 견딜수 있는 장기허용강도를 기준으로 설계를 하여야 한다. 따라서 소경재를 이용한 임도사면붕괴 역지공법의 설계는 日本의 「木構造設計標準」(日本建築學會, 1988)에서 제시하고 있는 장기허용응력도를 이용하였다. 장기허용응력도에 대해 침엽수의 허용휨응력은 75kg/cm²~95kg/cm², 허용전단응력은 6kg/cm²~8kg/cm²의 범위값을 보이고 있으며, 활엽수의 허용휨응력은 90kg/cm²~130kg/cm², 허용전단응력은 6kg/cm²~10kg/cm²의 범위값을 보이고 있어 평균적으로 활엽수가 높은 것으로 나타났다. 이상에서 제시하고 있는 값에 따라 소경재의 장기허용휨응력은 100kg/cm², 장기허용전단응력은 10kg/cm²으로 하였고, 소경재의 직경은 15cm의 것을 이용하는 것으로 하였다. 붕괴역지 공법설계에 적용한 원형목재말뚝의 제원은 Table 1과 같이 탄성계수는 80×10³kg/cm² 이고, 말뚝의 단면적은 176.7cm², 단면 2차모멘트 2,485.05cm⁴, 휨강성은 19.88t·m² 이고, 이를 적용하여 붕괴역지공법을 설계하였다.

(2) 임도 성토사면의 역지말뚝 설치지점의 선정

간벌소경재를 이용한 임도성토사면의 역지공법 수립시 임도의 기하학적 구조특성은 기존의 연구결과에 따라 임도 성토사면의 붕괴가 가장 많이 발생하는 사면구조를 본 연구에 적용하였다(馬相圭, 1987; 車斗松과 池炳潤, 1999; 車斗松 등, 2000). 이에 따라 성토경사는 40°, 성토사면길이는 8m, 12m, 16m, 산지경사는 전노폭의 1/2(노견으로부터 2.5m)와 1/4(노견으로부터 1.25m)를 통과하는 것으로 하여 역지공법을 수립하였다.

말뚝의 설치위치는 임도성토사면의 붕괴역지 말뚝의 설치위치는 Figure 1과 같이 사면안정해석시의 절편의 분할과 동일하며, 말뚝 1은 2번과 3번절편사이(사면길이 1.3m인 지점), 말뚝 2는 4번과 5번절편사이(사면길이 3.9m인 지점), 말뚝 3은 6번과 7번절편사이(사면길이 6.5m인 지점), 말뚝 4는 8번과 9번절편사이(사면길이 9.1m인 지점) 그리고 말뚝 5는 12번과 13번절편사이(사면길이 14.4m인 지점)에 설치하는 것으로 하여 설계하였다. 따라서 사면길이가 8m에 대하여는 말뚝 1, 2, 3을 적용, 사면길이 12m에 대해서는 말뚝 1, 2, 3, 4을 적용, 사면길이 16m에 대해서는 말뚝 1, 2, 3, 4, 5번을 설치하는 것으로 하여 목재말뚝공법을 설계하였다. 이때의 계획안전율은 한국도로공사(한국암반공학회 등, 1998)에서 정하는 성토사면의 최소안전율 1.3을 기준으로 설계하였다.

Table 1. Profile and mechanics properties of timber pile

| Timber pile | Characteristic values |
|---|-----------------------|
| Diameter(mm) | 150 |
| Pile cross-section area(cm ²) | 176.7 |
| Area moment of inertia (I, cm ⁴) | 2485.05 |
| Section modulus(Z, cm ³) | 331.34 |
| Flexural rigidity(EI, t·m ²) | 19.88 |
| Allowable bending stress(kg/cm ²) | 100 |
| Allowable shear stress(kg/cm ²) | 10 |
| Modulus of elasticity(E, kg/cm ²) | 80×10 ³ |

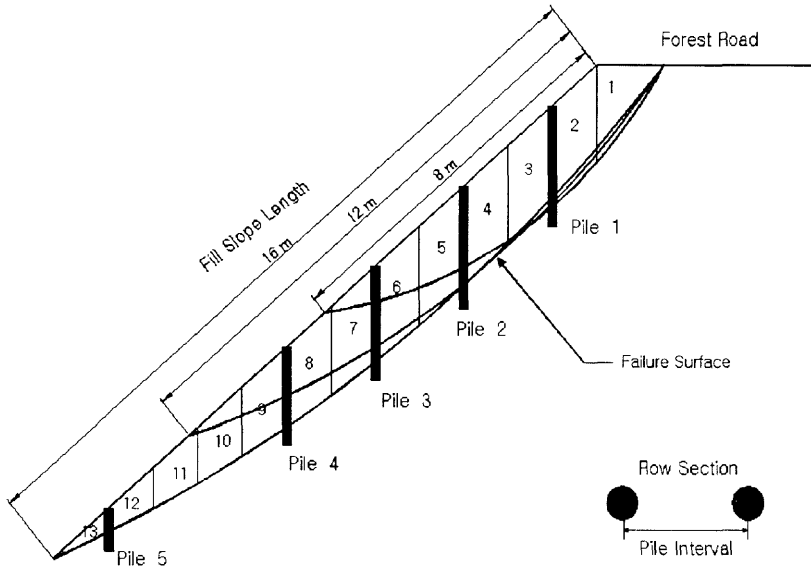


Figure 1. Schematic diagrams for foundation point of timber piles by fill slope length.

2. 임도 성토사면의 붕괴억지공법

1) 임도성토사면 설치지점별 말뚝의 부담하중

간벌소경재 붕괴억지 말뚝의 설치간격은 각 절편당 말뚝설치로 인한 토압에 대한 부담하중을 산출하여 안전율이 문제시되는 지점에 대하여 말뚝을 설치하여야 한다. 이론적으로 가장 일반적으로 나타날 수 있는 산지경사와 각 임도의 구조부 및 사면의 토질 특성 등을 고려하여 붕괴억지 공법을 수립하였다. 이때에 억지력증가의 안전율의 적용은 한국도로공사에서 제시하고 있는 1.3을 적용하였다.

(1) 사면길이 8m인 경우의 설치지점별 말뚝의 부담하중

사면길이 8m인 경우의 말뚝이 받는 부담하중은 산지경사가 34.87° 와 30.79° 인 경우에 대하여 말뚝 1, 2, 3을 설치하는 것으로 하여 각각의 말뚝이 받는 부담하중을 산출하였고 그 결과는 Table 2와 같다. 토사사면의 길이 8m인 경우의 말뚝의 부담하중은 산지경사 34.87° 인 경우의 부담하중은 각 말뚝설치 지점의 안전율이

$0.48 \sim 1.19$ 사이에서 $0.16 \sim 3.55$ t/m인 것으로 나타났고, 산지경사 30.79° 인 경우는 안전율이 $0.77 \sim 1.44$ 사이에서 -0.20 t/m \sim 2.32 t/m인 것으로 나타났다. 이상과 같이 사면길이 6m 지점은 안전율이 1.3이상이거나, 말뚝이 받는 부담하중이 아주 미미하여 말뚝의 설치가 불필요한 것으로 나타났다.

또한 풍화암사면의 산지경사 34.87° 인 경우의 부담하중은 각 말뚝설치 지점의 안전율이 $0.58 \sim 1.28$ 사이에서 $0.03 \sim 2.97$ t/m인 것으로 나타났고, 산지경사 30.79° 인 경우는 안전율이 $0.79 \sim 1.44$ 사이에서 -0.19 t/m \sim 2.08 t/m인 것으로 나타났다. 위의 결과로부터 산지경사 34.87° , 30.97° 의 말뚝 3에 대해서는 안전율이 1.28이상으로 말뚝이 받는 부담하중이 아주 미미하거나 부의 값으로 나타나 말뚝의 설치가 불필요한 것으로 나타났다.

(2) 사면길이 12m인 경우의 설치지점별 말뚝의 부담하중

사면길이 12m인 경우의 말뚝이 받는 부담하중은 산지경사가 36.45° 와 33.41° 인 경우에 대

Table 2. Allowable horizontal load of timber pile for each slice of soil and weathered rock slope by slope gradients in the case of slope length 8 meter

| Hillslope gradient(°) | Fill slope material | Pile | $\sum T$ | $\sum S$ | F_o | $(F-F_0)\sum T \cos \alpha$ | m_p | H |
|------------------------|---------------------|------|----------|----------|-------|-----------------------------|-------|-------|
| 34.87° | Soil | 1 | 5.12 | 2.48 | 0.48 | 3.07 | 0.87 | 3.55 |
| | | 2 | 4.04 | 2.79 | 0.69 | 2.16 | 1.00 | 2.16 |
| | | 3 | 1.68 | 1.99 | 1.19 | 0.18 | 1.12 | 0.16 |
| | weathered rock | 1 | 4.83 | 2.79 | 0.58 | 2.57 | 0.87 | 2.97 |
| | | 2 | 3.81 | 2.57 | 0.67 | 2.09 | 1.00 | 2.09 |
| | | 3 | 1.58 | 2.02 | 1.28 | 0.03 | 1.12 | 0.03 |
| 30.79° | Soil | 1 | 5.12 | 3.92 | 0.77 | 2.01 | 0.87 | 2.32 |
| | | 2 | 4.04 | 3.62 | 0.90 | 1.43 | 1.00 | 1.43 |
| | | 3 | 1.68 | 2.41 | 1.44 | -0.23 | 1.12 | -0.20 |
| | weathered rock | 1 | 4.83 | 3.83 | 0.79 | 1.80 | 0.87 | 2.08 |
| | | 2 | 3.81 | 3.09 | 0.81 | 1.64 | 1.00 | 1.64 |
| | | 3 | 1.58 | 2.28 | 1.44 | -0.21 | 1.12 | -0.19 |

Table 3. Allowable horizontal load of timber pile for each slice of soil and weathered rock slope by slope gradients in the case of slope length 12 meter

| Hillslope gradient(°) | Fill slope material | Pile | $\sum T$ | $\sum S$ | F_o | $(F-F_0)\sum T \cos \alpha$ | m_p | H |
|------------------------|---------------------|------|----------|----------|-------|-----------------------------|-------|------|
| 36.45° | Soil | 1 | 4.79 | 2.23 | 0.46 | 2.80 | 0.83 | 3.35 |
| | | 2 | 5.17 | 2.73 | 0.53 | 3.13 | 0.91 | 3.45 |
| | | 3 | 4.02 | 2.47 | 0.61 | 2.35 | 0.97 | 2.41 |
| | | 4 | 3.00 | 2.54 | 0.85 | 0.65 | 1.06 | 0.61 |
| 36.45° | weathered rock | 1 | 4.52 | 2.59 | 0.57 | 2.30 | 0.83 | 2.75 |
| | | 2 | 4.88 | 2.62 | 0.54 | 2.92 | 0.91 | 3.22 |
| | | 3 | 3.79 | 2.38 | 0.63 | 2.17 | 0.97 | 2.23 |
| | | 4 | 2.83 | 2.79 | 0.99 | 0.42 | 1.06 | 0.40 |
| 33.41° | Soil | 1 | 4.79 | 5.13 | 1.07 | 0.77 | 0.83 | 0.92 |
| | | 2 | 5.17 | 4.04 | 0.78 | 2.10 | 0.91 | 2.32 |
| | | 3 | 4.02 | 3.45 | 0.86 | 1.51 | 0.97 | 1.55 |
| | | 4 | 3.00 | 3.34 | 1.11 | 0.27 | 1.06 | 0.25 |
| 33.41° | weathered rock | 1 | 4.52 | 4.39 | 0.97 | 1.04 | 0.83 | 1.25 |
| | | 2 | 4.88 | 3.47 | 0.71 | 2.26 | 0.91 | 2.49 |
| | | 3 | 3.79 | 3.00 | 0.79 | 1.65 | 0.97 | 1.69 |
| | | 4 | 2.83 | 3.32 | 1.17 | 0.17 | 1.06 | 0.16 |

하여 말뚝 1, 2, 3, 4를 설치하는 것으로 하여 각각의 말뚝이 받는 부담하중을 산출하였고 그 결과는 Table 3과 같다. 토사사면의 산지경사 36.45° 인 경우의 부담하중은 각 말뚝설치 지점의 안전율이 0.46~0.85사이에서 0.61~3.45 t/m인 것으로 나타났고, 산지경사 33.41° 인 경우는 안전율이 0.78~1.11사이에서 0.25 t/m~2.32 t/m인 것으로 나타났다. 위의 결과로부터 산지경사 33.41° 의 말뚝 4가 받는 부담하중은 극히 적어 말뚝의 설치가 불필요한 것으로 나타났다.

또한 풍화암사면의 산지경사 36.45° 인 경우의 부담하중은 각 말뚝설치 지점의 안전율이 0.54~0.99사이에서 0.40~3.22 t/m인 것으로

나타났고, 산지경사 33.41° 인 경우는 안전율이 0.71~1.17사이에서 0.16 t/m~2.49 t/m인 것으로 나타났다. 위의 결과로부터 산지경사 36.45° , 33.41° 의 말뚝 4가 받는 부담하중이 극히 적거나 붕괴발생 위험이 없을 것으로 판단되어 말뚝의 설치가 불필요한 것으로 나타났다.

(3) 사면길이 16m인 경우의 설치지점별 말뚝의 부담하중

사면길이 16m인 경우의 말뚝이 받는 부담하중은 산지경사가 37.29° 와 34.87° 인 경우에 대하여 말뚝 1, 2, 3, 4, 5를 설치하는 것으로 하여 각각의 말뚝이 받는 부담하중을 산출한 결과

Table 4. Allowable horizontal load of timber pile for each slice of soil and weathered rock slope by slope gradients in the case of slope length 16 meter

| Hillslope gradient(°) | Fill slope material | Pile | $\sum T$ | $\sum S$ | F_o | $(F-F_0)\sum T \cos \alpha$ | m_p | H |
|-----------------------|---------------------|------|----------|----------|-------|-----------------------------|-------|------|
| 37.29° | Soil | 1 | 4.47 | 2.12 | 0.47 | 2.57 | 0.83 | 3.09 |
| | | 2 | 5.30 | 2.63 | 0.50 | 3.19 | 0.88 | 3.64 |
| | | 3 | 4.92 | 2.56 | 0.52 | 3.05 | 0.92 | 3.32 |
| | | 4 | 4.03 | 2.30 | 0.57 | 2.45 | 0.96 | 2.56 |
| | | 5 | 4.31 | 3.10 | 0.72 | 2.26 | 1.03 | 2.20 |
| | weathered rock | 1 | 4.22 | 2.50 | 0.59 | 2.08 | 0.83 | 2.50 |
| | | 2 | 5.00 | 2.58 | 0.52 | 2.94 | 0.88 | 3.35 |
| | | 3 | 4.64 | 2.48 | 0.54 | 2.83 | 0.92 | 3.08 |
| | | 4 | 3.80 | 2.28 | 0.60 | 2.22 | 0.96 | 2.33 |
| | | 5 | 4.07 | 3.56 | 0.88 | 1.55 | 1.03 | 1.51 |
| 34.87° | Soil | 1 | 4.47 | 3.54 | 0.79 | 1.58 | 0.83 | 1.90 |
| | | 2 | 5.30 | 3.87 | 0.73 | 2.26 | 0.88 | 2.58 |
| | | 3 | 4.92 | 3.61 | 0.73 | 2.22 | 0.92 | 2.41 |
| | | 4 | 4.03 | 3.13 | 0.78 | 1.76 | 0.96 | 1.84 |
| | | 5 | 4.31 | 4.03 | 0.94 | 1.42 | 1.03 | 1.38 |
| | weathered rock | 1 | 4.22 | 3.56 | 0.84 | 1.34 | 0.83 | 1.61 |
| | | 2 | 5.00 | 3.42 | 0.68 | 2.30 | 0.88 | 2.63 |
| | | 3 | 4.64 | 3.18 | 0.68 | 2.28 | 0.92 | 2.48 |
| | | 4 | 3.80 | 2.82 | 0.74 | 1.77 | 0.96 | 1.85 |
| | | 5 | 4.07 | 4.20 | 1.03 | 0.98 | 1.03 | 0.95 |

Table 5. Interval and length of timber pile for stabilization of soil and weathered rock slope by slope gradients in the case of slope length 8 meter

| Hillslope gradient(°) | Fill slope material | Pile | Pile interval(m) | | Pile length(m) | | |
|------------------------|---------------------|------|------------------|-------|----------------|-----------------|--------------|
| | | | D_m | D_s | Sliding depth | Insertion depth | Total Length |
| 34.87° | Soil | 1 | 1.88 | 0.50 | 2.11 | 1.88 | 3.99 |
| | | 2 | 2.45 | 0.82 | 1.69 | 1.92 | 3.61 |
| | weathered rock | 1 | 1.50 | 0.60 | 2.11 | 1.94 | 4.05 |
| | | 2 | 1.81 | 0.85 | 1.69 | 2.01 | 3.70 |
| 30.79° | Soil | 1 | 2.87 | 0.76 | 2.11 | 1.88 | 3.99 |
| | | 2 | 3.70 | 1.24 | 1.69 | 1.92 | 3.61 |
| | weathered rock | 1 | 2.09 | 0.85 | 2.11 | 1.94 | 4.05 |
| | | 2 | 2.30 | 1.08 | 1.69 | 2.01 | 3.70 |

는 Table 4와 같다. 토사사면의 산지경사 37.29° 인 경우에 있어 말뚝의 받는 부담하중은 각 말뚝설치 지점의 안전율이 0.47~0.72으로 변화함에 따라 2.20~3.64 t/m인 것으로 나타났고, 산지경사 34.87° 인 경우는 안전율이 0.73~0.94으로 변화함에 따라 1.38 t/m~2.58 t/m인 것으로 나타났다.

또한 풍화암사면의 산지경사 37.29° 인 경우의 부담하중은 각 말뚝설치 지점의 안전율이 0.52~0.88으로 변화함에 따라 1.51~3.35 t/m인 것으로 나타났고, 산지경사 34.87° 인 경우는 안전율이 0.68~1.03으로 변화함에 따라 0.95 t/m~2.63 t/m인 것으로 나타났다.

2) 임도 성토사면 붕괴역지말뚝의 설치간격 및 길이

(1) 사면길이 8m인 경우의 말뚝 설치간격 및 길이

사면길이 8m인 경우의 말뚝의 설치간격 및 길이는 산지경사가 34.87° 와 30.79° 인 경우로

구분하여 산출하였고, 그 결과는 Table 5와 같다. 토사사면의 산지경사 34.87° 인 임도성토사면에 대하여 말뚝 1의 간격은 모멘트에 대하여 1.88m, 전단에 대하여는 0.50m의 간격으로 설치하여야 하고, 말뚝 2의 간격은 모멘트에 대하여 2.45m, 전단에 대하여는 0.82m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 또한 상대적으로 낮은 산지경사 30.79° 인 임도성토사면에 대하여 말뚝 1의 간격은 모멘트에 대하여 2.87m, 전단에 대하여는 0.76m의 간격으로 설치하여야 하고, 말뚝 2의 간격은 모멘트에 대하여 3.70m, 전단에 대하여는 1.24m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1이 3.99m, 말뚝2는 3.61m로 나타났다.

또한 풍화암사면의 산지경사 34.87° 인 임도성토사면에 대하여 말뚝 1의 간격은 모멘트에 대하여 1.50m, 전단에 대하여는 0.60m의 간격으로 설치하여야 하고, 말뚝 2의 간격은 모멘트에 대하여 1.81m, 전단에 대하여는 0.85m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 또한 상

Table 6. Interval and length of timber pile for stabilization of soil and weathered rock slope by slope gradients in the case of slope length 12 meter

| Hillslope gradient(°) | Fill slope material | Pile | Pile interval(m) | | Pile length(m) | | |
|-----------------------|---------------------|------|------------------|-------|----------------|-----------------|--------------|
| | | | D_m | D_s | Sliding depth | Insertion depth | Total Length |
| 36.45° | Soil | 1 | 1.85 | 0.53 | 2.03 | 1.89 | 3.92 |
| | | 2 | 1.86 | 0.51 | 2.04 | 1.88 | 3.92 |
| | | 3 | 2.13 | 0.73 | 1.67 | 1.93 | 3.60 |
| | | 4 | 6.47 | 2.89 | 0.59 | 2.14 | 2.73 |
| | weathered rock | 1 | 1.54 | 0.64 | 2.03 | 1.95 | 3.98 |
| | | 2 | 1.32 | 0.55 | 2.04 | 1.95 | 3.99 |
| | | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.67 | 2.01 | 3.68 |
| 33.41° | Soil | 1 | 6.74 | 1.92 | 2.03 | 1.89 | 3.92 |
| | | 2 | 2.78 | 0.76 | 2.04 | 1.88 | 3.92 |
| | | 3 | 3.32 | 1.14 | 1.67 | 1.93 | 3.60 |
| | weathered rock | 1 | 3.40 | 1.41 | 2.03 | 1.95 | 3.98 |
| | | 2 | 1.71 | 0.71 | 2.04 | 1.95 | 3.99 |
| | | 3 | 2.23 | 1.05 | 1.67 | 2.01 | 3.68 |

대적으로 낮은 산지경사 30.79° 인 임도성토사면에 대하여 말뚝 1의 간격은 모멘트에 대하여 2.09m, 전단에 대하여는 0.85m의 간격으로 설치하여야 하고, 말뚝 2의 간격은 모멘트에 대하여 2.30m, 전단에 대하여는 1.08m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1이 4.05m, 말뚝2는 3.70m로 나타났다.

(2) 사면길이 12m인 경우의 말뚝 설치간격 및 길이

사면길이 12m인 경우의 말뚝의 설치간격 및 길이는 산지경사가 36.45° 와 33.41° 인 경우로 구분하여 산출하였고, 그 결과는 Table 6과 같다. 토사사면의 산지경사 36.45° 에 구축된 임도성토사면에 대하여 말뚝 1, 2, 3의 간격은 모

멘트에 대하여 1.85~2.13m, 전단에 대하여는 0.51~0.73m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 그리고 말뚝 4의 간격은 말뚝이 받는 부담하중이 매우 미미하여 모멘트에 대하여 6.47m, 전단에 대하여는 2.89m의 넓은 간격으로 타설이 가능한 것으로 나타났다. 상대적으로 낮은 산지경사 33.41° 에 구축된 임도성토사면에 대하여 말뚝 1, 2, 3의 타설간격은 모멘트에 대하여 2.78~6.74m, 전단에 대하여는 0.76~1.92m로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 붕괴 깊이와 근입길이를 포함하여 말뚝 1과 2는 3.92m, 말뚝 3은 3.60m, 말뚝 4는 2.73m로 나타났다.

또한 풍화암사면의 산지경사 36.45° 인 임도성토사면에 대하여 말뚝 1, 2, 3의 타설간격은 모멘트에 대하여 1.32~1.69m, 전단에 대하여는 0.55~

0.79m로 나타났다. 또한 상대적으로 낮은 산지경사 33.41° 에 구축된 입도성토사면에 대하여 말뚝 1, 2, 3은 1.71~3.40m, 전단에 대하여는 0.71~1.41m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1과 2는 약 4.0m, 말뚝 3은 3.68m로 나타났다.

(3) 사면길이 16m인 경우의 말뚝 설치간격 및 길이
사면길이 16m인 경우의 말뚝의 설치간격 및

길이는 Table 7과 같이 산지경사가 37.29° 와 34.87° 인 경우로 구분하여 산출하였다. 토사사면의 산지경사 37.29° 에 구축된 입도성토사면에 대하여 말뚝 1~5까지의 타설간격은 모멘트에 대하여 1.59~1.88m, 전단에 대하여는 0.49~0.57m로 나타났다. 또한 상대적으로 낮은 산지경사 34.87° 에 구축된 입도성토사면에 대하여 말뚝 1~5의 타설간격은 모멘트에 대하여 2.2~3.05m, 전단에 대하여는 0.69~1.28m로 나

Table 7. Interval and length of timber pile for stabilization of soil and weathered rock slope by slope gradients in the case of slope length 16 meter

| Hillslope gradient(°) | Fill slope material | Pile | Pile interval(m) | | Pile length(m) | | |
|-----------------------|---------------------|------|------------------|-------|----------------|-----------------|--------------|
| | | | D_m | D_s | Sliding depth | Insertion depth | Total Length |
| 37.29° | Soil | 1 | 1.88 | 0.57 | 1.91 | 1.90 | 3.81 |
| | | 2 | 1.77 | 0.49 | 2.07 | 1.88 | 3.95 |
| | | 3 | 1.87 | 0.53 | 1.98 | 1.89 | 3.87 |
| | | 4 | 1.59 | 0.69 | 1.16 | 2.08 | 3.24 |
| | | 5 | 1.79 | 0.80 | 0.50 | 2.15 | 2.65 |
| | weathered rock | 1 | 1.62 | 0.71 | 1.91 | 1.97 | 3.88 |
| | | 2 | 1.30 | 0.53 | 2.07 | 1.94 | 4.01 |
| | | 3 | 1.35 | 0.57 | 1.98 | 1.96 | 3.94 |
| | | 4 | 1.47 | 0.76 | 1.16 | 2.11 | 3.27 |
| | | 5 | 2.19 | 1.17 | 0.50 | 2.18 | 2.68 |
| 34.87° | Soil | 1 | 3.05 | 0.93 | 1.91 | 1.90 | 3.81 |
| | | 2 | 2.50 | 0.69 | 2.07 | 1.88 | 3.95 |
| | | 3 | 2.57 | 0.73 | 1.98 | 1.89 | 3.87 |
| | | 4 | 2.21 | 0.96 | 1.16 | 2.08 | 3.24 |
| | | 5 | 2.85 | 1.28 | 0.50 | 2.15 | 2.65 |
| | weathered rock | 1 | 2.50 | 1.10 | 1.91 | 1.97 | 3.88 |
| | | 2 | 1.66 | 0.67 | 2.07 | 1.94 | 4.01 |
| | | 3 | 1.67 | 0.71 | 1.98 | 1.96 | 3.94 |
| | | 4 | 1.85 | 0.96 | 1.16 | 2.11 | 3.27 |
| | | 5 | 3.48 | 1.86 | 0.50 | 2.18 | 2.68 |

타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1이 3.81m, 말뚝 2가 3.95m, 말뚝 3은 3.87m, 말뚝 4는 3.24m, 말뚝 5는 2.65m으로 나타났다.

또한 풍화암사면의 산지경사 37.29° 에 구축된 임도성토사면에 대하여 말뚝 1~5의 타설간격은 모멘트에 대하여 1.30~2.19m, 전단에 대하여는 0.53~1.17m로 산출되었다. 상대적으로 낮은 산지경사 34.87° 인 곳의 임도성토사면에 대하여 말뚝 1~5의 타설간격은 모멘트에 대하여 1.66~2.50m, 전단에 대하여는 0.67~1.86m로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1이 3.88m, 말뚝 2는 4.01m, 말뚝 3은 3.94m, 말뚝 4는 3.27m, 말뚝 5는 2.68m으로 나타났다.

IV. 결 론

붕괴위험이 있는 토사와 풍화암사면에 대하여 소경재의 전단, 휨, 강성 등의 역학적 저항특성을 이용하여 설계를 실시하였다. 이 연구에서는申(1978, 1989)이 제시한 탄성상 상의 beam으로서의 역지말뚝식을 이용하여 임도사면의 안정을 위한 사면붕괴 안정공법을 설계하였다. 말뚝의 타설간격은 말뚝이 받는 부담하중에 고려하여 간격이 결정되며, 말뚝간격의 적용은 모멘트 또는 전단에 대해서 안전해야 한다. 그러므로 이 연구결과는 모든 사면에 대해 전단에 의한 설계를 하여야 안전한 것으로 나타났다.

토사사면의 상대적으로 급한 경사에서는 사면 길이에 상관없이 말뚝의 간격을 말뚝의 설치간격은 말뚝이 받는 부담하중에 따라 틀러지나 전반적으로 말뚝 1, 2, 3은 0.5m~1.0m내로 나타났다고, 말뚝 4는 12m사면에서 2.89m, 16m사면에서 0.69m, 말뚝 5는 16m사면에서 0.80m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 상대적으로 낮은 사면에서는 전반적으로 말뚝의 설치간격을 약 0.7~2.0m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 또한 풍화암사면의 경우는 상대적으로 급한 경사에서는 사면길이에 상관없이 말뚝의 간격을 대략 0.5m~1.2m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났고, 상대적으로 낮은

사면에서는 말뚝 1~4까지의 간격을 0.7m~1.0m, 말뚝 5는 약 2.0m의 간격으로 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 그리고 말뚝의 길이는 말뚝 1, 2, 3은 약 4m, 말뚝 4, 5는 약 3m정도의 길이가 요구되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 馬相圭. 1987. 山岳地林道の 路肩 斜面崩壞와 側溝浸蝕에 關한 研究. 韓國林學會誌 76(2) : 161-168.
2. 이인모, 정상규, 임충모. 1991. 뿌리의 強度가 自然斜面 安定에 미치는 影響에 關한 實驗研究. 大韓土質工學會誌 7(2) : 51-66.
3. 池炳潤, 吳宰憲, 車斗松. 2000. 林道盛土斜面的 土質力學的 特性과 安定解析. 韓國林學會誌 89(2) : 275-284.
4. 車斗松, 池炳潤. 1999. 數量化II類에 의한 林道 盛土斜面的 崩壞要因 評價 및 豫測. 韓國林學會誌 88(2) : 168-169.
5. 車斗松, 池炳潤, 吳宰憲. 2000. Fuzzy理論을 利用한 林道斜面的 崩壞可能性 評價(I)-變成岩地域의 盛土斜面을 中心으로-. 韓國林學會誌 89(1) : 33-40.
6. 한국암반공학회, 한국지물리학회, 한국자원연구소. 1998. 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술. 799pp.
7. 한중근, 홍원표, 신민호. 1996. 역지말뚝으로 보강된 절개사면의 강우시 거동. 韓國地盤工學會誌 12(1) : 35-35.
8. 洪元杓. 1983. 모래地盤속의 말뚝에 作用하는 側方土壓. 大韓土木學會論文集 3(3) : 63-69.
9. 洪元杓. 1987. 산사태 및 지반침하. 大韓土木學會誌 35(5) : 48-50.
10. 홍원표. 1991. 말뚝을 사용한 산사태 역지공법. 韓國地盤工學會誌 7(4) : 75-87.
11. 近藤觀慈. 1996. アンカー工による斜面安定の解析的研究. 砂防學會誌 49(3) : 3-10.
12. 申潤植, 田中紀朝. 1976. 地すべり地帯にお

- ける林道災害と復旧工事計画の一例 -秋山谷地すべり例-. 第十一回治山林道研究発表論文集 : 187-193.
13. 申潤植. 1978. 弾性床上のハリとしての地すべり抑止グイの式-分布荷重が働く場合-. 地すべり 15(1) : 1-9.
 14. 申潤植. 1989. 地すべり工学 -理論と実践-. 山海堂. 1002pp.
 15. 日本建築學會. 1988. 木構造設計規準・同解説. 236pp.
 16. Al-Homoud, A. S., A. B. Tal and S. A. Taqieddin. 1997. A comparative study of slope stability methods and mitigative design of a highway embankment landslide with a potential for deep seated sliding. *Engineering Geology* 47 : 157-173.
 17. Cai, F., K. Ugai and A. Wakai and Q. Li. 1998. Effects of horizontal drains on slope stability under rainfall by the three-dimensional finite element analysis. *Computer and Geotechnics* 23 : 255-275.
 18. El-Naggar, M. E. and J. B. Kennedy. 1997. New design method for reinforced sloped embankments. *Engineering Structures* 19(1) : 28-36.
 19. Juran, I. and A. Benslimane. 1996. Slope stabilization by micropile reinforcement. *Proc. 7th International Symposium on Landslide De Terrain-Volume 3* : 1715-1726.
 20. Lee, C. Y., T. S. Hull and H. G. Poulos. 1995. Simplified pile-slope stability analysis. *Computer and Geotechnics* 17 : 1-16.
 21. Michalowski, R. L. 1998. Limit analysis in stability calculations of reinforced soil structures. *Geotextiles and Geomembranes* 16 : 311-331.
 22. O'Loughlin, C. L. 1984. Effectiveness of Introduced Forest Vegetation for Protection against Landslide and Erosion in New Zealand's Steeplands. *Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability* : 275-280.
 23. Palmeira, E. M., J. H. F. Pereira and Antonia R. L. da Silva. 1998. Backanalyses of geosynthetic reinforced embankments on soft soils. *Geotextiles and Geomembranes* 16 : 273-292.
 24. Resnick, G. S. and D. Znidarcic. 1990. Centrifugal Modeling of Drains for Slope Stability. *Journal of Geotechnical Engineering* 116(11) : 1067-1624.
 25. Roman, F. and D. Cacuci. 1996. Stability analysis and strengthening solutions of sliding slope. *Proceeding of the seventh international symposium on landslide de terrain-volume 3* : 1783-1786.
 26. Shmuelian, A. 1996. Piled stabilization of slope. *Proc. 7th International Symposium on Landslide De Terrain-Volume 3* : 1799-1804.