

PLANT&FOREST

Analysis of factors affecting vegetation cover for stabilization of granite weathered soil forest road cut slopes

Seong-Man Kim^{1,2}, Sung-Min Choi³, Ye Jun Choe², Yun-Jin Shim⁴, Joon-Woo Lee^{5*}

¹Korea Forest Service, Pyeongchang National Forest Station, Pyeongchang 25359, Korea

²Department of Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Korea Forest Engineer Institute, Daejeon 35209, Korea

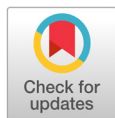
⁴Department of Landscape Architecture, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

⁵Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: jwlee@cnu.ac.kr

Abstract

This study was conducted to improve the stability of cut slopes of forest roads in granitic weathered soil areas. The study area is a national forest road (road length 28.48 km) in Pyeongchang-gun, Gangwon-do. After data collection, a statistical analysis was performed using IBM SPSS (Ver. 26.0). First, the correlation analysis showed that structure, slope position, soil erosion, slope, and aspect (N, S) were correlated with vegetation coverage ($p < 0.05$). Elapsed years, slope distance, and aspect (E, W) were found to have no correlation with vegetation coverage. ($p > 0.05$) Second, one-way ANOVA and Kruskal-Wallis test results showed that vegetation coverage was worse when the slope was located at the top or the middle of the slope than at the bottom of the slope. In addition, the site with sheathing and gabions showed good vegetation coverage when compared with the site without structures. In the case of soil erosion, areas with severe damage and moderate damage showed worse vegetation coverage. Therefore, it is necessary to strengthen the slope angle of the cut soil of the granitic weathered soil area from 1 : 0.5 - 1.2 to 1 : 0.8 - 1.5. In addition, structures such as sheathing and gabions should be installed on granitic weathered land.



OPEN ACCESS

Citation: Kim SM, Choi SM, Choe YJ, Shim YJ, Lee JW. Analysis of factors affecting vegetation cover for stabilization of granite weathered soil forest road cut slopes. Korean Journal of Agricultural Science 49:09-819. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220074>

Received: October 05, 2022

Revised: October 18, 2022

Accepted: November 03, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Key words: ANOVA, correlation analysis, forest road disaster, Kruskal-Wallis test, vegetation coverage

Introduction

임도는 산림의 관리 및 임업을 경영하기 위한 목적으로 일정한 형태의 구조와 규격을 갖추고 산림에 건설하는 도로를 의미하며, 도달, 시업, 수송 등의 기능을 수행하는 기반 시설이다 (Jeong, 2001; Lee et al., 2017). 이러한 임도는 지속 가능한 산림 경영을 위한 필수적인 기반 시설이나, 시설 후에는 강우 등으로 인해 산림 재해를 야기하는 원인으로 꼽히고 있다 (Eu et al.,

2015; Rhee et al., 2017). 최근, 기후 변화로 인해 임도 수해량은 급격히 증가하였으며(KFS, 2012), 사면 붕괴나 토사 유출에 따른 2차 피해도 증가함과 동시에 이로 인한 인명 및 재산 피해 또한 대형화되어 임도의 건설한 시공이 요구되고 있다(Bang et al., 2014; Lee et al., 2018).

임도로부터 발생될 수 있는 재해와 관련하여 Oh와 Chun (1990)은 임도시공 시 재해예방을 위해 성토사면은 36°, 절토사면은 42° 이하로, 절토사면의 최대길이를 4 m 이하로 조정하는 것을 제안하였고, Cha와 Ji (1998)는 절토사면 길이 8 m 이상, 토심 2.5 cm 이상, 산지 경사 30 - 50°, 절토사면 경사 60°에서 임도사면 붕괴가 일어날 수 있다고 하였다. 또한 화강암질풍화토 사면을 대상으로 Ji 등(2003)은 수량화 II류에 의해 임도 성토사면의 붕괴위험판정표를 제작하였으며, Song 등(2004)은 화강암질풍화토 임도 절토사면 녹화 시공 시 적절한 식물을 선별하기 위해 경과 년수 별로 초본 및 목본의 출현 빈도를 분석하였다. 이와 같은 선행연구들이 진행되었으나 화강암질풍화토 지역에서 임도시공 시 발생할 수 있는 재해와 경사면의 안정성에 대한 연구는 제대로 이루어지지 않은 실정이다.

화강암질풍화토 지역의 사면 특징은 쉽게 건조해지고 붕괴가 용이하며, 토중 수분의 동태에 따라 사면의 붕괴 및 사면녹화의 성공에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 또한, 사면경사에 따라서 식생성립의 양적 변화가 심하며, 사면 형상의 안정성이 식생성립의 결정인자가 되고 있다. 따라서, 화강암질풍화토 지역 사면은 사면경사와 사면 형상에 따라 녹화 공법을 달리 적용 해야하며, 녹화를 성공적으로 하기 위해서는 식물의 성장 특성과 사면의 특성을 고려하고 생육 기반의 경도와 두께를 적절히 조성해야 하는 특이점을 가지고 있다(Kim et al., 2001).

이에 더하여, 화강암질풍화토 지역의 사면은 임도 시공 당시 암처럼 견고해 보이거나 장기간의 강우나 집중호우 시 침식이 발생하는 경향을 보이고 있다. 특히 성토사면보다 절토사면에서 대규모로 발생하며 산사태 등 2차 재해의 발생원이 되기도 한다(Ji et al., 2003; Choi, 2008). 또한, 침식된 토양은 토양 입자간 응집력이 매우 약하여 토양 구조가 발달되지 않아 토양의 수생 오염 및 비옥도와 생산성의 하락을 초래하며 사면 하단부로 흘러내린다(Recanatesi et al., 2013; Xiong et al., 2018; Tianyu et al., 2021). 지속적으로 흘러내린 토사는 키가 작은 식생을 매몰시키고, 측구를 막아 우수가 노면으로 월류하게 한다. 이는 노면 세굴 및 노체의 붕괴위험을 초래하기 때문에 화강암질풍화토 지역에서 임도 시공 시 안정성 향상에 대한 대책이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 화강암질풍화토지역 임도 절토사면의 안정화를 위해 식생 피복률에 영향을 주는 인자들을 파악하여 임도 개설 후 녹화 시공 시 공법 선정에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

연구 대상지

본 연구는 강원도 평창군 봉평면 덕거리 보래령 부근에 위치한 국유임도 28.48 km를 대상으로 하였으며(Fig. 1), 이는 임도 시공 경과 년수가 다양 화강암질풍화토 지역으로서 2012년부터 2022년까지 10년간 시설한 임도를 선정하였다. 임도 총 연장 거리는 28.48 km로 이 중 간선 임도는 21.15 km, 작업 임도는 7.33 km이다(Table 1).

연구 대상지 임도 사면의 방위는 주로 남향 및 서향이며, 해발 고도는 700 - 1,250 m에 위치하였다. 또한, 임도 주변의 임종은 낙엽송 인공림 29%를 제외하면 대부분 신갈나무 등 천연 활엽수림이 분포하며 IV영급 이상이 90%를 차지한다. 2012년부터 2021년까지 10년간 조성한 화강암질풍화토지역 임도 절토사면에 대해 연도별로 6개소를 선정하고, 각 개소 상부·중부·하부에 site (1 m × 1 m)를 설치하여 총 180개의 site에서 현장조사를 실시하였다.

Table 1. Overview of study area.

Number	Year of construction	Road type	Length (km)	Altitude (m)
1	2012	Main	3.00	847 - 975
2	2013	Main	3.90	918 - 999
3	2014	Main	3.90	890 - 960
4	2015	Main	3.00	693 - 824
5	2016	Main	1.87	754 - 838
6	2017	Main	3.80	937 - 1,013
7	2018	Main	1.68	838 - 919
8	2019	Work	2.90	782 - 828
9	2020	Work	1.43	774 - 842
10	2021	Work	3.00	800 - 886

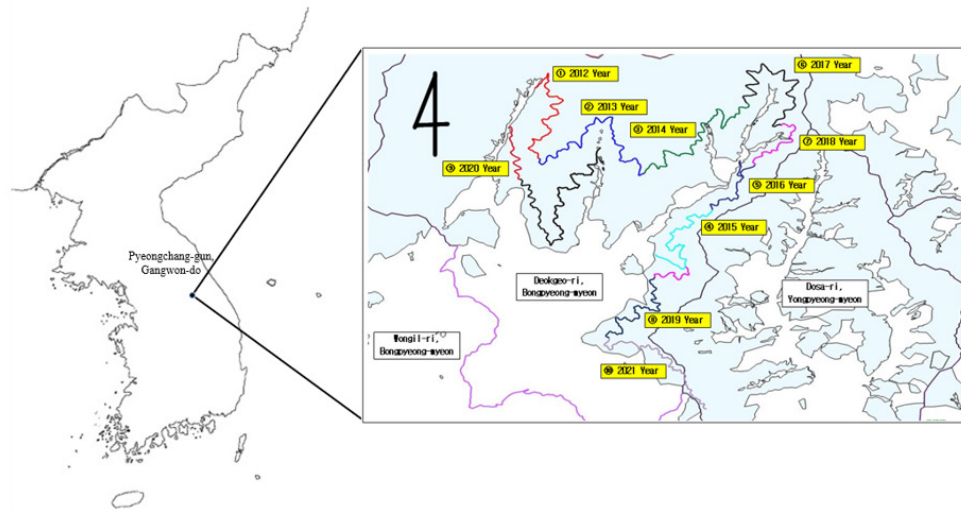


Fig. 1. The location of study areas in Pyeongchang-gun, Gangwon-do, Korea.

연구 방법

임도 절토사면 조사는 개황조사와 사면조사로 나누고 check-list를 별도 작성하여 진행하였다(Fig. 2). 개황조사는 방위 및 경사도, 해발고를 조사하였다. 방위는 클리노미터(Clinometer, SUUNTO, Vantaa, Finland)를 활용하여 방위 각을 측정하였으며, 방위는 4방위로 구분하여 방위각 315°이상 45°미만은 북사면, 45°이상 135°미만은 동사면, 135° 이상 225°미만은 남사면, 225°이상 315°미만은 서사면으로 분류하였다. 경사도는 레이저 거리측정기와 순토 클리노미터를 병행하여 측정하였다. 또한, 해발고는 핸드형 GNSS (Global Navigation Satellite System, Garmin, Lenexa, Kansas, USA) 장비를 이용하여 조사하였다.

사면조사는 표준지 면적 지형 및 사면 위치와 거리, 소단 및 구조물 시설, 녹화공법, 토사유출 정도를 조사하였다. 표준지 면적 지형은 능선부와 계곡부로, 사면 거리는 절토사면 시작 지점부터 사면이 끝나는 옆도랑 전까지의 거리를 측정하였으며, 이를 3등분하여 사면 위치를 상단부, 중단부, 하단부로 구분하였다. 또한, 절토사면의 구조적 안정을 위해 설치한 소단 설치 개소를 조사하였으며, 구조물 시설은 공법에 따라 돌망태, 흙막이, 식생 마대로 나누어 조사하였다. 토사유출 정도는 절토사면 상단부에서 토사가 계속 침식하여 하단부 아래 옆도랑까지 영향을 주어 식생이 소실되거나 매몰되고 있으면 ‘심(severe-damage)’, 상단부 침식이 중단부까지 영향을 미칠 경우에는 ‘중(mid-damage)’, 상단부 침식이 중단부에 미치지 않을 경우에는 ‘경(low-damage)’으로 표기하였다.

Checklist																									
Date : YYYY-MM-DD			longitude :																						
			latitude :																						
NO :	Site : 2012 - 1 - ①		Investigator : S.M. Kim	Weather :																					
<input type="checkbox"/> General survey																									
Aspect : /N /NE / E / SE / S / SW 200° / W / NW																									
Slope :		Altitude :		Matrix :																					
<input type="checkbox"/> Slope survey																									
Site area : 1m×1m		Terrain : Ridge · Valley		Slope position : Top · Middle · Bottom																					
Slope length : 5.5m		Berm : 0 · 1 · 2		Revegetation Measure : Seeding · Grass planting																					
Structure : exist, non-exist				Soil erosion : Severe · mid · Low																					
<input type="checkbox"/> Vegetation coverage		<table border="1" style="width: 100%; height: 40px;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>																						♣ Note :	
Vegetation coverage(%) :																									
<input type="checkbox"/> Vegetation survey																									
Herbal			Wood																						
Name	Quantity		Name	Quantity																					

Fig. 2. The data format used for the field survey of this study.

생태적 인자조사는 식생 피복률과 식생 조사로 나누어 조사하였다. 피복률은 site (1 m × 1 m)를 세부 site (20 cm × 20 cm)로 나누고 총 25개 조사구에 식생이 존재하면 √표시를 하여 식생 존재 정도에 따라 피복률이 0 - 35%이면 ‘하’, 36 - 70%이면 ‘중’, 71%이상이면 ‘상’으로 조사하였다(Fig. 3).

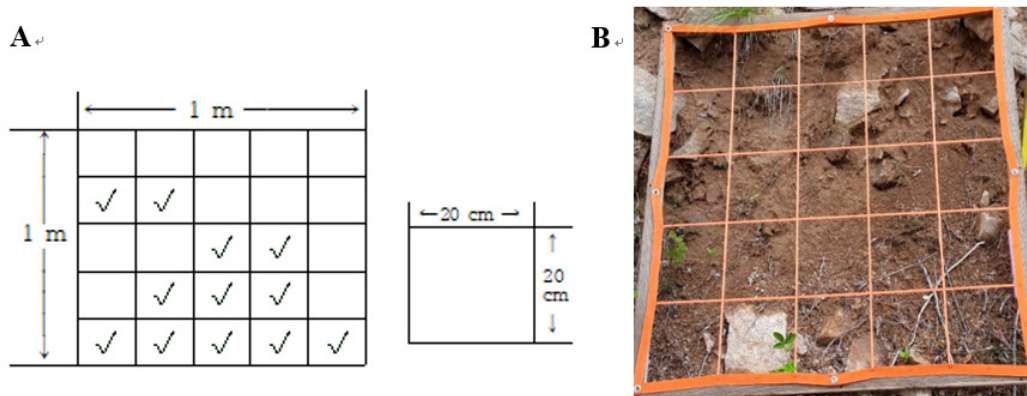


Fig. 3. Site created for on-site investigation, (A) the schematic diagram of vegetation coverage survey, (B) example of site (1 m × 1 m).

식생 조사는 1년 중 가장 다양한 생물을 파악할 수 있는 6월부터 7월까지 초본류와 목본류로 나누어 조사하였으며, 식물의 동정은 Lee (2014)의 도감을 이용하여 진행되었다. 이렇게 조사된 인자들은 IBM SPSS (Ver.26.0, IBM, Armonk, Newyork, USA)를 사용하여 인자들과 식생 피복률간 상관 관계를 알아보기 위해 피어슨의 상관 분석 (Pearson correlation analysis)과 비모수적 상관분석 방법인 스피어만 상관 분석(Spearman correlation analysis)을 실시하였으며, 세부 인자들의 집단 간 평균 분석을 위해 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)과 비모수적 검정 방법인 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)을 실시하였다.

Results

연구 대상지 내 지향 및 임항 정보 현황

연구 대상지 현장 조사 결과, 경사도는 21°부터 41°까지 분포하였으며 30.9°의 평균값을 나타내었다. 해발고는 680 m부터 1,102 m까지 넓은 분포를 보였으며 876.8 m의 평균값을 나타내었다. 또한, 본 연구 대상지는 능선부 171 개소, 계곡부 9개소로 능선부에 집중적으로 위치하였으며, 사면거리는 3.5 m부터 14.4 m까지 값을 보였고 7.33 m의 평균값을 나타내었다. 방위는 북쪽 사면 39개소, 남쪽 사면 39개소, 동쪽 사면 21개소, 서쪽 사면 81개소로 조사되었다. 소단과 구조물을 설치한 곳은 각각 36, 63개소였으며, 소단과 구조물을 설치하지 않은 곳은 각각 144개소와 117개소로 조사되었다. 토사 유출이 일어나지 않은 곳은 18개소, 유출 정도가 ‘경’인 곳은 24개소, ‘중’인 곳은 30개소, ‘심’인 곳은 108개소로 화강암질풍화토 지역 절토사면에서 대부분 토사 유출이 강하게 일어나고 있는 것으로 확인되었다(Fig. 4).

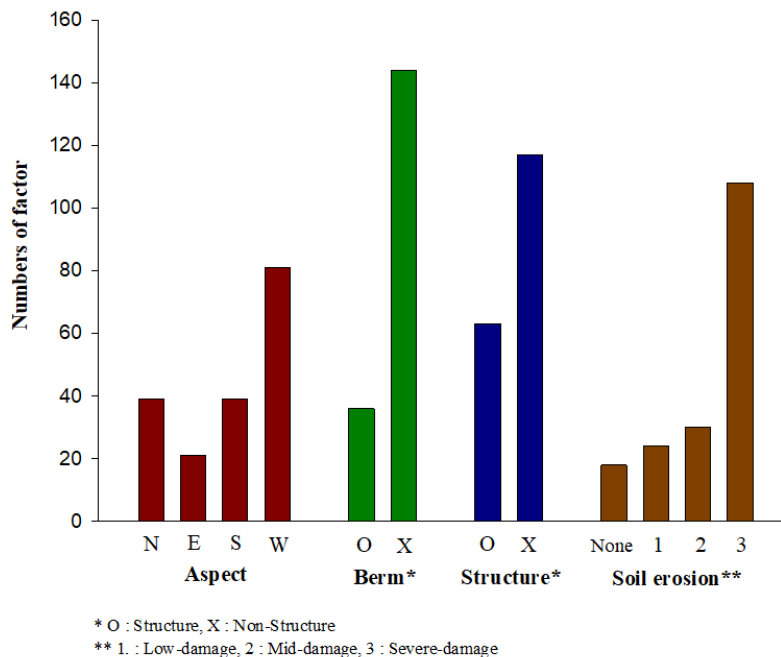


Fig. 4. The numbers of sites showing the aspect, whether the berm and structures are installed, and the degree of soil erosion.

화강암절풍화토 임도 절토사면의 식생 출현 빈도 현황

연구 대상지의 총 식생은 4,423본으로 이 중 초본류는 3,078본(69.59%), 목본류는 1,345본(30.41%)으로 조사되어 초본류가 목본류에 비해 활착이 잘되어 있는 현황을 파악할 수 있었다.

세부적인 초본 및 목본류의 우점도는 초본류의 경우 큰김의털(*Festuca arundinacea*), 포복 붉은 김의털(*Festuca rubra*), 사초과 식물(Cyperaceae plants), 물봉선(*Impatiens textori*), 두메고들빼기(*Lactuca triangulate*), 까치수염(*Lysimachia barystachys*), 참쭉(*Artemisia dubia*), 배초향(*Agastache rugosa*)의 순서로 우점하고 있었으며 목본류의 경우 싸리(*Lespedeza bicolor*), 산딸기(*Rubus crataegifolius*), 국수나무(*Stephanandra incisa*), 고광나무(*Philadelphus schrenkii*), 소나무(*Pinus densiflora*), 병꽃나무(*Weigela subsessilis*)의 순으로 우점하고 있었다(Table. 2).

Table 2. Current status of herbaceous and woody species in this study.

Herbaceous species		Woody species	
Name	N	Name	N
<i>Festuca arundinacea</i>	1,859	<i>Lespedeza bicolor</i>	818
<i>Festuca rubra</i>	342	<i>Rubus crataegifolius</i>	136
Cyperaceae plants	285	<i>Stephanandra incisa</i>	80
<i>Impatiens textori</i>	127	<i>Philadelphus schrenkii</i>	72
<i>Lactuca triangulata</i>	94	<i>Weigela subsessilis</i> L.	61
<i>Lysimachia barystachys</i>	57	<i>Sasa borealis</i>	55
<i>Artemisia dubia</i>	51	<i>Quercus mongolica</i>	25
<i>Agastache rugosa</i>	48	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	18
<i>Artemisia japonica</i>	32	<i>Ulmus davidiana</i> Planchi	18
<i>Patrinia villosa</i>	32	<i>Larix kaempferi</i>	12
<i>Aster pilosus</i>	26	<i>Amorpha fruticosa</i>	8
<i>Potentilla freyniana</i>	28	<i>Actinidia arguta</i>	7
<i>Artemisia stolonifera</i>	22	<i>Celastrus orbiculatus</i>	6
<i>Commelina communis</i>	18	<i>Pinus koraiensis</i>	6
<i>Astilbe rubra</i>	16	<i>Salix koreensis</i>	4
<i>Aster scaber</i>	14	<i>Alnus japonica</i>	4
etc	27	etc	15

대부분의 대상지에서 Seed Spray를 이용한 파종이 이루어졌으며 종자의 혼합 비율은 큰김의털(*Festuca arundinacea*, 40%), 호밀풀(*Lolium Perenne*, 40%), 포복 붉은 김의털(*Festuca rubra*, 20%)이다. 초본류의 최우점종과 차우점종이 큰김의털(*Festuca arundinacea*)과 포복 붉은 김의털(*Festuca rubra*)으로 나타났으므로 이 같은 결과는 임도 시공 후 절토 사면에 Seed Spray를 이용한 파종이 성공적으로 이루어졌다고 분석할 수 있으며, 임도 비탈면의 안전과 빠른 녹화를 위해 도입종과 지역 우점종 다년생 초본류를 이용한 녹화 작업 실시를 주장한 선행 연구 결과(Jeon and Ma, 2004)와 유사한 것으로 파악하였다.

사면 위치별 식생 분포는 초본류의 경우 하단부 1,703본, 중단부 964본, 상단부 411본이며 목본류의 경우 하단부 509본, 중단부 498본, 상단부 338본으로 나타났다. 사면이 상단에 위치할수록 토사 유출 정도가 강하게 나타나는 경향을 보이므로($r_{ho} = -0.348, p < 0.01$) 이 같은 결과는 목본류보다 초본류가 침식에 민감한 것으로 파악된다. 따라서, 초본류의 경우 활착률이 좋지만 목본류에 비해 침식에 민감하기 때문에 파종을 실시할 시 초본류와 목본류를 적절히 섞어 혼파하는 것이 사면 안정에 도움을 줄 것이라고 사료된다.

식생 피복률에 영향을 미치는 인자 분석

식생 피복률에 영향을 미치는 인자가 무엇인지 산정하기 위해 먼저 피어슨의 상관 분석과 스피어만 상관 분석을 실시하였으며, 유의한 상관 관계를 나타낸 인자들에 대해 세부 인자별 평균 분석을 하기 위해 일원배치 분산분석과 크루스칼-왈리스 검정을 실시하였다.

상관 분석 실시 결과, 경사도($r = -0.222, p < 0.01$), 남·북 방위($r = -0.347, p < 0.01$), 구조물 설치 여부($r = 0.457, p < 0.01$), 사면 위치 ($r = -0.348, p < 0.01$), 토양 유출량($r = -0.785, p < 0.01$)이 식생 피복률과 유의한 상관관계를 보였다. 반면 사면 길이($r = -0.053, p = 0.48$), 동·서 방위($r = -0.177, p = 0.07$), 임도 시공 후 경과 년수($r = 0.151, p = 0.06$), 소단 설치 여부($r = 0.135, p = 0.07$)는 식생 피복률과 유의한 상관 관계를 보이지 않았다(Table 3).

Table 3. Correlation analysis results between variables and vegetation coverage.

Variable	r/rho^z	p-value
Pearson correlation analysis		
Slope	-0.222	0.003
Slope length	-0.053	0.479
Spearman correlation analysis		
Aspect (N, S)	-0.347	0.002
Aspect (W, E)	-0.177	0.076
Berm	0.135	0.070
Structure	0.457	0.001
Slope position	-0.348	0.001
Soil erosion	-0.785	0.001
Elapsed year	-0.151	0.060

^z r/rho , correlation coefficient, $-1 \leq r/rho \leq 1$.

경사도가 낮을수록, 북쪽 사면에 위치할수록, 구조물이 존재할수록, 사면 위치가 하부에 있을수록, 토양 유출량이 적을수록 식생 피복률에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한, 사면 길이와 식생 피복률 간의 상관 관계는 없으며 유의하지 않은 결과를 나타내었고 동·서 방위, 소단 설치 여부, 임도 시공 후 경과 년수와 식생 피복률 간의 상관 관계는 약하게 존재하나 통계적으로 유의하지 않은 결과를 나타내었다.

Woo 등(1993)과 Jeon (2004)의 선행 연구 결과, 사면 길이가 7 m 이하일 때 식생 피복률이 높게 나타났고, 사면 길이가 20 m 이상일 때 식생 피복률이 불량한 양상을 보였으며 방위가 동향일 때 양호한 식생 피복률을 보였으나, 본 연구에서는 사면 길이 및 동·서 방위와 식생 피복률 간 유의한 상관 관계를 찾지 못하였다. 이는 선행 연구와 달리 넓은 범위의 인자 수집을 하지 못한 것에 기인한 것으로 추정된다. 또한, Song 등(2004)은 임도 시공 후 경과 년수에 따라 시공 후 10년까지는 점차 증가하며 시공 후 10년이 지난 시점에서 급격히 증가한다고 밝혔으나, 본 연구에서는 임도 시공 후 경과 년수 별로 유의한 결과가 나타나지 않았다. 이는 연구 대상지 내 site 180개소 중 162개소에서 토양 유출이 일어났으며 특히 108개소의 site에서 토양 유출량 ‘심’에 해당하는 피해가 나타나 이에 대한 영향을 받은 것으로 파악된다.

유의한 상관 관계를 나타낸 인자들에 대해 세부 인자 별로 집단 간 차이의 존재 여부를 알기 위해 실시한 분석은 정규성을 가지고 있는 인자인 사면 위치에 대해서는 일원배치 분산분석을, 그 외의 인자들에 대해서는 크루스칼-왈리스 검정을 실시하였다.

먼저, 사면 위치 인자 간 일원배치 분산분석 결과, $F = 12.686, p = 0.00$ 으로 통계적인 유의성이 나타났다. Scheffe test 결과, 사면 하단부는 평균 52.40%, 사면 상단부는 평균 22.2%, 사면 중단부는 평균 36.98%로 사면 하단부가 상단부 및 중단부보다 식생 피복률에 대한 평균 수치가 상대적으로 높게 나타났다(Table 4).

Table 4. Results of one-way ANOVA analyzing the average difference in vegetation cover by slope position.

Slope position	Vegetation Coverage			F	p	Scheffe
	N	Average	SD			
Bottom (a)	60	52.40	36.99	12.686	0.00	a > b
Middle (b)	60	36.98	34.26			a > c
Top (c)	60	22.20	26.34			

SD, standard deviation.

구조물 종류 및 토사 유출량과 식생 피복률 간 크루스칼-왈리스 분석 결과, 흙막이 구조물이 설치된 곳과 구조물이 설치되지 않은 곳($p=0.00$), 돌망태 구조물이 설치된 곳과 구조물이 설치되지 않은 곳($p=0.00$)에서 평균 차이가 나타났으며, 토사 유출량 ‘심’과 ‘중’ ($p=0.00$), 토사 유출량 ‘심’과 ‘경’ ($p=0.00$), ‘토사유출량 ‘심’과 토사 유출이 없는 곳($p=0.00$), 토사 유출량 ‘중’과 토사 유출이 없는 곳($p=0.01$)에서 평균 차이가 나타났다(Table 5; Fig. 5). 이를 통해 사면 안정을 위해 구조물을 설치하는 것을 지향해야하며, 그 구조물은 돌망태 및 흙막이가 효과적일 것이라고 사료된다. 또한, 토사 유출량이 ‘심’인 경우와 ‘중’인 경우 불량한 식생 피복률을 나타내므로 사면의 토사 유출을 최소화하는 방안을 고려해야 할 것이다.

Table 5. Results of Kruskal-Wallis test between structure, soil erosion and vegetation coverage.

Factor	N	Chi-squared statistic	Median	df
Soil erosion		88.585	28	3
None	18			
Low	24			
Middle	30			
Severe	108			
Structure		32.940	28	3
None	117			
Sheathing	24			
Gabion	33			
Vegetation belt	6			

Conclusion

본 연구는 화강암질풍화토 임도 절토사면의 식생 피복률과 이에 영향을 미치는 인자들을 조사하여 임도 시공 및 보수 작업을 실시할 때 화강암질풍화토 절토 사면의 안정성을 높이기 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다.

화강암질풍화토 임도 절토사면의 식생 분포 현황은 전체적으로 초본류(69.59%)가 목본류(30.41%)에 비해 많이 출현하였으며, 초본류의 최우점종과 차우점종이 Seed Spray 등에 의해 파종된 종으로 나타났다. 이는 화강암질풍화토 사면 녹화의 경우 자연 녹화에 비해 인공 녹화가 비교적 성공적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

식생 피복률에 영향을 미치는 인자를 추정하기 위한 통계 분석 결과, 상관관계가 존재하는 인자는 경사도, 남·북 방위, 구조물 설치 여부, 사면의 위치, 토사 유출량이 유의한 상관관계가 나타났다. 반면, 사면 길이, 동·서 방위, 임도 시공 후 경과 년수, 소단 설치 여부는 유의한 상관관계를 나타내지 못하였다. Woo 등(1993), Jeong (2001), Lee 등 (2003), Jeon (2004)의 선행연구 결과에서는 유의한 상관관계가 나타난 인자들이 본 연구 결과에서는 상관관계를 보이지 않은 이유는 해당 인자들에 대한 정보 수집이 넓지 않게 이루어졌거나, 가장 큰 상관관계를 보이는 인자인 토양 유출량에 의해 크게 영향을 받은 것에 기인한다고 추정된다. 따라서, 후속 연구에는 위와 같은 이유를 고려하여 폭넓은 정보 수집이 이루어져야 할 것이며, 다른 인자의 영향을 최소한으로 할 수 있도록 한 대상지 내에서 장기 간의 모니터링이 수행되어야 할 것이다.

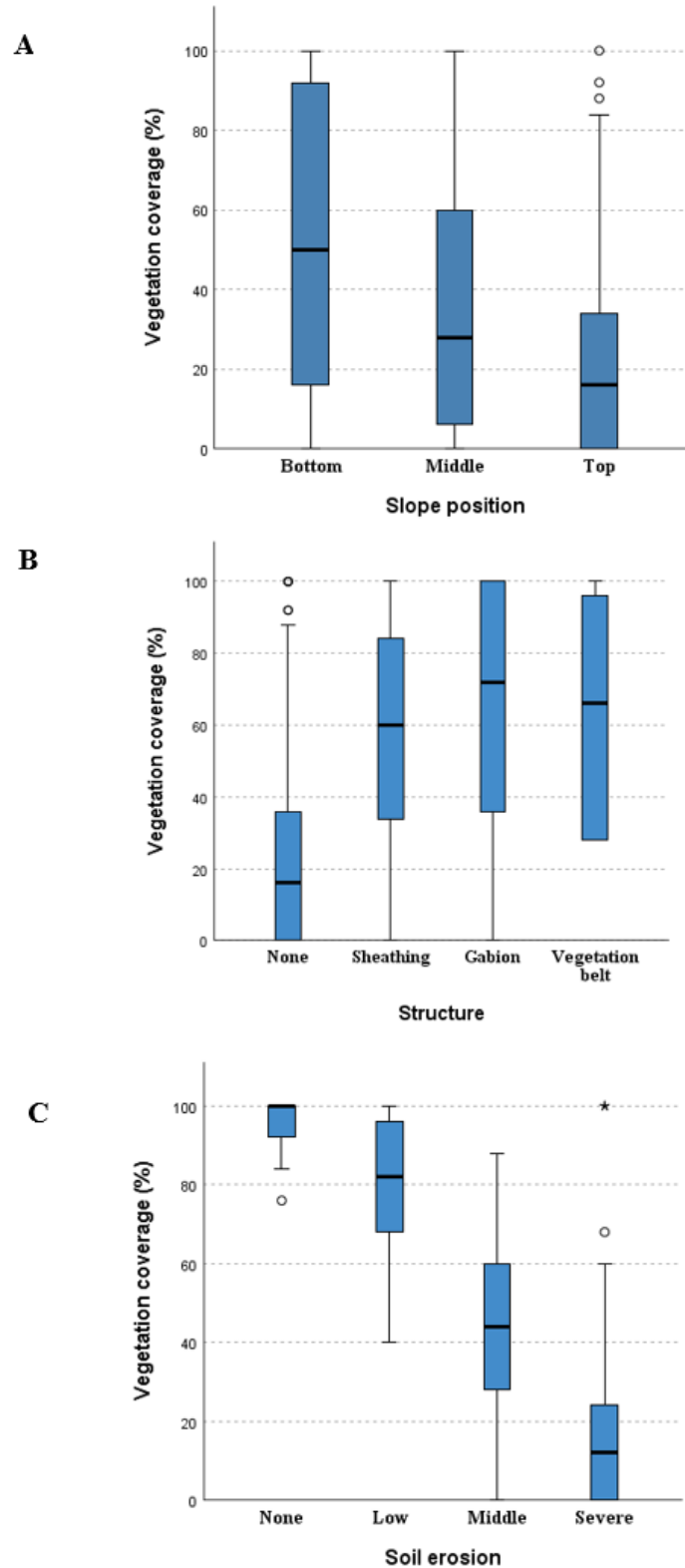


Fig. 5. Box plot showing average and variance differences between irradiation factors and vegetation coverage. (A) Shows the average and variance of vegetation coverage by slope position, (B) shows the average and variance of vegetation coverage by structure, (C) shows the average and variance of vegetation coverage by soil erosion.

또한, 유의한 상관관계를 나타낸 인자들을 대상으로 실시한 일원배치 분산분석 및 크루스칼-왈리스 검정 결과, 사면 위치의 경우 사면 하단부가 사면 상단부 및 중단부에 비해 양호한 식생 피복률을 보였으며 구조물 종류의 경우 흙막이 구조물과 돌망태 구조물이 설치된 곳이 구조물이 설치되지 않은 곳에 비해 양호한 식생 피복률을 보였고, 토사 유출량의 경우 유출량 '심'인 곳에서 '중', '경', 토사 유출이 없는 곳에 비해 불량한 식생 피복률이 나타났으며 유출량 '중'인 곳에서 토사 유출이 없는 곳에 비해 불량한 식생 피복률이 나타났다.

본 연구 결과 식생 피복률에 영향을 미치는 인자인 경사, 사면 위치, 구조물 설치 여부, 토사 유출량, 방위(남, 북)를 고려하였을 때 현재 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙」에서 규정하고 있는 화강암질풍화토 임도 절토사면의 기울기 1:0.5 - 1.2를 1:0.8 - 1.5까지 강화할 필요가 있으며, 흙막이 및 돌망태를 비롯한 구조물을 적극적으로 설치해야 한다. 또한, 사면 상단부에 토사 유출이 많이 발생하기 때문에 식생 피복률이 불량하게 나타나므로 토사 고정을 위해 초본류 파종과 목본류 식재를 혼합하여 녹화 시공을 해야 할 필요가 있다.

하지만, 임도 재해는 일부 요인에 의해서 발생하는 것이 아니라 여러 요인들의 복합적 작용 반응에 의해 발생되고 있기 때문에(Bang et al., 2014) 다양한 대상지에서 다각적인 접근을 통한 후속 연구가 반드시 수반되어야 할 것으로 사료된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2021366B10-2223-BD0131482092640102)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Authors Information

Seong-Man Kim, <https://orcid.org/0000-0003-0492-6989>

Seong-Min Choi, <https://orcid.org/0000-0001-8605-7072>

Ye Jun Choe, <https://orcid.org/0000-0003-0519-9330>

Yun-Jin Shim, Department of Landscape Architecture, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Professor

Joon-Woo Lee, <https://orcid.org/0000-0002-5228-8566>

References

- Bang HS, Kweon HK, Lee JW, Kim MJ. 2014. A study on classification of disaster risk rating for forest road using AHP methodology. *Journal of Korean Society of Forest Science* 103:258-263. [in Korean]
- Cha DS, Ji BY. 1998. The prediction of cutting slope failure of forest road. *Journal of Forest and Environmental Science* 14:145-156. [in Korean]
- Choi SB. 2008. A stability analysis on shallow failure of weathered granite soil cut slope in accordance with the rainfall infiltration. Ph.D. dissertation, Chosun Univ., Gwangju, Korea. [in Korean]

- Eu S, Li Q, Lee EJ, Im SJ. 2015. Predicting surface runoff and soil erosion from an unpaved forest road using rainfall simulation. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 18:13-22. [in Korean]
- Jeon GS. 2004. A study on the revegetation structural analysis for environment factor of road slope. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 7:12-20. [in Korean]
- Jeon KS, Ma HS. 2004. Changing of vegetation coverage through elapsed years on cutting slope in forest roads. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 7:14-25. [in Korean]
- Jeong WO. 2001. Effects of environmental factors on the stability and vegetation survival in cutting slope of forest roads. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 4:74-83. [in Korean]
- Ji BY, Cha DS, Jeong DH, Oh JH. 2003. Manufacture of failure prediction table of fill slope on forest road in igneous rock area. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 92:340-347. [in Korean]
- KFS (Korean Forest Service). 2012. Korean Forest Service. Accessed in <http://www.forest.go.kr/> on 30 August 2022.
- Kim NC, Kang JH, Lee JW, Nam SJ, Lee WH. 2001. Study on the revegetation technology for the ecological restoration of the decomposed granite roadside slopes. *Journal of Korea society of Environmental Restoration Technology* 4: 84-95. [in Korean]
- Lee CB. 2014. Colured flora of Korea. Hyangmunsa, Seoul, Korea. [in Korean]
- Lee MJ, Lee JW, Jeon GS, Kim HJ, Choi YH, Jeong DH, Song HK. 2003. Native plants selection for ecological replantation in forest road slope. *Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology* 6:24-32. [in Korean]
- Lee MK, Lee JW, Choi SM, Kim HS. 2018. Soil displacement from frost heave on forest road cut-slopes. *Korean Journal of Agricultural Science* 45:177-184. [in Korean]
- Lee SJ, Jeong BH, Kim GD, Jeon HS, Jo MW. 2017. An analysis for the economic impact of forest road investment. *Journal of Korean Society of Forest Science* 106:219-229. [in Korean]
- Oh JM, Chun KW. 1990. Studies on the collapse of forest slope. *Research Bulletin of the Institute of Forest Science* 7:35-41. [in Korean]
- Recanatesi F, Ripa MN, Leone A, Luigi P, Salvati L. 2013. Land use, climate and transport of nutrients: Evidence emerging from the lake Vicocase study. *Environmental Management* 52:503-513.
- Rhee HJ, Choi SM, Lee JW, Kweon HK. 2017. Comparison of forest road status and policies between Korea and United States. *Korean Journal of Agricultural Science* 44:504-512. [in Korean]
- Song HK, Park GS, Lee JW, Lee MJ, Lee SH, Kim HJ. 2004. Vegetation structure and succession of the decomposed granite cut-slope. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 7:84-93. [in Korean]
- Tianyu S, Longzhou D, Kai F, Xiaojuan F, Liping Z, Liang N, Liang N, Rui S. 2021. Runoff characteristics and soil loss mechanism in the weathered granite area under simulated rainfall. *Water* 13:34-53.
- Woo BM, Kwon TH, Kim NC. 1993. Studies on vegetation succession on the slope of the forest road and development of slope revegetation methods—in cutting slope. *Journal of Korean Society of Forest Science* 82:381-395. [in Korean]
- Xiong K, Yin C, Ji H. 2018. Soil erosion and chemical weathering in a region with typical karst topography. *Environmental Earth Science* 77:500.