

녹화공법에 따른 고속도로 암반비탈면의 식생 특성 분석*

이수호¹⁾ · 전기성²⁾ · 이제만³⁾ · 김경훈⁴⁾ · 김동엽⁵⁾ · 임상준^{6),7)} · 박영대⁵⁾

¹⁾ 대구대학교 산림자원학과 학생 · ²⁾ 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 ·
³⁾ 서울대학교 농림생물자원학부 학생 · ⁴⁾ (주)휴림 대표이사 ·
⁵⁾ 대구대학교 산림자원학과 교수 · ⁶⁾ 서울대학교 농림생물자원학부 교수 ·
⁷⁾ 서울대학교 농업생명과학연구원

An analysis on vegetation characteristics of the rocky slopes in expressway according to the type of greening works*

Lee, Su Ho¹⁾ · Jeon, Gi-Seong²⁾ · Lee, Jeman³⁾ · Kim, Kyung-Hoon⁴⁾ · Kim, Dongyeob⁵⁾ ·
Im, Sangjun⁶⁾ and Park, Yeong Dae⁷⁾

¹⁾ Department of Forest Resources, Daegu University, Student,

²⁾ Korea Expressway Corporation Research Institute, Senior Researcher,

³⁾ Department of Agriculture, Forestry and Biosources, Seoul National University, Student,

⁴⁾ Hyurim inc., CEO,

⁵⁾ Department of Forest Resources, Daegu University, Professor,

⁶⁾ Department of Agriculture, Forestry and Biosources, Seoul National University, Professor,

⁷⁾ Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University.

ABSTRACT

The current study aims to analyze the vegetation characteristics of the rocky slopes in expressway applied by different types of greening work. A field survey on the current status of vegetation were conducted in 50 rock slopes along 13 expressways in two years, 2020 to 2021. Specifically, the type of implemented greening and slope stabilization work, the soil properties, the vegetation coverage, and the emerged species were investigated on a every single slope. As the result of the implemented work

* 이 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 용역과제 지원을 받아 수행되었음.

First author : Lee, Su Ho, Department of Forest Resources, Daegu University, Student, Gyeongsangbuk-do 38453, Republic of Korea,

Tel : +82-53-850-6730, Email : lsh94@daegu.ac.kr

Corresponding author : Park, Yeong Dae, Department of Forest Resources, Daegu University, Professor, Gyeongsangbuk-do 38453, Republic of Korea,

Tel : +82-53-850-6731, Email : parkyd@daegu.ac.kr

Received : 23 October, 2022. **Revised** : 11 December, 2022. **Accepted** : 5 December, 2022

types, the soil-media hydroseeding and the gabion work appeared to be the most implemented greening and slope stabilization work, respectively. As a result of the vegetation survey, 126 classification groups (42 families, 93 genera and 126 species) were identified in total and it was observed 26 IAP species and 5 invasive species were growing. The longer the time after greening work, the more frequent appearance of IAP species were observed. Woody species such as *Robinia pseudoacacia* and *Lespedeza bicolor*, and perennial herbs such as *Artemisia princeps*, *Erigeron annuus*, and *Festuca arundinacea* were appeared with high frequencies at the rocky slopes in expressway. It was also observed *Pinus densiflora*, *Quercus dentata*, *Rubus crataegifolius* and *Miscanthus sinensis* which had invaded from the adjacent forests naturally, and the largest number of species were invaded between 5~10 years usually after greening work in this study.

Key Words : *Plant cover, Rocky slope, Soil slope, Vegetation structure*

I. 서 론

고속도로는 도로교통망의 중요한 축을 이루며 주요 도시를 연결하는 도로로써(도로법 제11조) 국가의 주요한 사회간접자본시설로 사회 전반에 걸쳐 많은 영향을 미치고 있다(Yoo et al., 2021).

고속도로를 건설하게 될 때 산악지형이 많은 우리나라에서는 절토 및 성토 비탈면이 필연적으로 발생하게 된다. 도로 개설 과정에서 생성되는 비탈면은 도로 선형을 위해서 발생하는 필수적인 요소이나 산림훼손, 생태계 단절 등의 문제를 발생시킬 수 있으며(Korea Expressway Corporation Research Institute, 2002; Kil et al., 2011), 경관 악화와 표면침식의 우려가 있다(Kim et al. 2021). 2021년 기준 우리나라 고속도로에는 절토 비탈면이 총 10,584개소가 분포하고 있으며, 이들 대부분은 암반비탈면이며 일부 토사 비탈면이 존재한다(Korea Expressway Corporation, 2022).

우리나라는 1970년대 고속도로의 건설과 함께 녹화공법이 인공적으로 노출된 비탈면에 적용되기 시작하였으며, 노출된 비탈면의 보호와 주변 경관과의 조화를 위하여 지형 특성과 상황 등을 고려하여 다양한 녹화공법을 적용하고 있는데,

일반적으로 토사비탈면은 주로 종자 파종 공법을 적용하고, 암반비탈면의 경우 식생기반재뿌어붙이기 방법이 가장 많이 적용된다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009).

암반비탈면에 대한 녹화는 침식과 토사유실 방지, 생태계 복원, 생물종 서식처 역할 등 다양한 기능이 있지만, 최근 생태와 환경에 대한 관심의 증가로 인하여 경관 개선의 측면을 고려한 녹화가 많이 이루어지고 있다(Cho et al., 2015). 그러나 암반비탈면의 녹화는 시공 방식과 사용되는 재료에 따라서 다양하므로 알맞은 녹화공법을 적용하는 것이 어렵다는 특징이 있어서(Kim et al., 2020), 국토해양부는 2009년 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침’을 마련하여 현장 여건 및 생태환경을 고려한 비탈면 녹화가 이루어질 수 있도록 관련 기준을 제시하였다.

암반비탈면에 대한 녹화는 식생의 변화를 기본으로 진행되기 때문에 암반비탈면에 대한 식생의 변화를 기본 조건으로 하고 있어서, 암반비탈면의 식생을 확인하는 것은 매우 중요하다(Brandt et al., 2015). 녹화공법을 적용할 때는 사용 식물 선정에 유의하여야 하는데, 식물 선정이 잘못될 경우 일부 종에 의하여 우점될 수 있으며, 단조로운 경관이 나타나는 경우 있으며

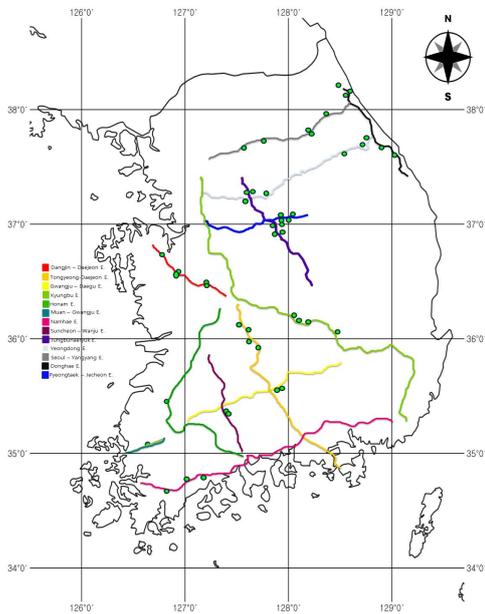


Figure 1. The location map of study sites

(Hur and Ahn, 2006), 비탈면 녹화시 무분별한 초기 도입종의 사용은 이후 발생할 수 있는 2차 식생의 도입 등을 방해하여 생태적 천이를 어렵게 할 수 있다(Song et al., 2005). 또한 외래도입종의 무분별한 사용을 가급적 지양하며, 자생종과 뿌리의 생육이 좋은 수종을 우선적으로 활용하여 효과적인 녹화가 될 수 있도록 유도하는 녹화방법을 적용해야 한다(Kim, 1997). 따라서 암반비탈면의 식물생태계를 복원하기 위해서는 우수한 비탈면을 만드는 방법에 대한 다양한 연구가 필요하다(Korea Expressway Corporation, 2013).

암반비탈면 녹화에 관한 연구는 주로 녹화공법 개발 연구(Park et al., 2014) 와 적용 대상지에서 식생 변화를 파악하기 위한 현장조사를 하는 식생추적조사 연구와(Nam et al., 2007; Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2009; Korea Expressway Corporation, 2016), 녹화공법에 유형에 따른 식생구조 차이를 파악하는 연구(Jeon and Kim, 2020)가 진행되었다. 한편 비탈면에서의 식물 성장과 환경인자 사이의

관계를 파악하는 연구가 진행되어 비탈면의 방향, 길이, 크기, 토질 등의 요인이 식물의 성장에 직·간접적인 영향을 주고 있으며(Lee, 2005), 이러한 환경요인의 조절을 통한 비탈면에서의 안정적인 식물 생장은 앞으로 예상되는 기후변화에 대응하는 능력을 가져올 수 있다고 하였다(Matlock et al., 2011).

따라서, 본 연구는 우리나라 대표적인 고속도로 노선의 암반비탈면을 대상으로 1) 녹화공법 및 안정공법 현황을 조사하고, 2) 암반비탈면과 인근 숲에서 식생 조사를 통해 암반비탈면 녹화공법 적용 이후 식물생육 현황을 파악하는 것을 목적으로 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 현장조사 대상지

본 연구 대상지는 기존 연구자료(Korea Expressway Corporation, 2005)에 기초하여 우리나라 고속도로 중에서 13개 노선을 선정하였으며, 교통량과 노선 길이, 조사의 안전성 등을 고려한 후 암반비탈면 녹화공법 현황 현장조사 대상지를 선정하였다(Figure 1).

현장조사의 범위는 선정된 고속도로 13개 노선 50개소를 대상으로 진행하되 기후와 주변 환경, 대상지의 위치를 고려하여 1차년도(2020년 10월 14일~12월 15일)와 2차년도(2021년 8월 30일~10월 24일)에 선정된 50개소에 대해 반복하여 동일한 지점을 조사하였으며, 이를 대상으로 자료 수집 및 분석을 실시하였다.

1. 평가 항목 및 평가 방법

비탈면 녹화에 대한 효과를 판단하기 위하여 조사항목은 비탈면의 입지환경, 적용된 녹화공법과 안정공법 유형을 조사하였으며, ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침’에서 제시하고 있는 녹화공법 평가표의 항목 중 정량적 평가항목에 해당하는 비탈면의 출현 식물과 생육

Table 1. The items for a field study

Classification		Survey item
Environmental factors	Conditions of location	Construction year, Soil humidity, Soil pH, Gradient, Width, Length, Direction, Drainage
	Rock characteristics	Rock kinds, Rock characteristics
Plant situation	Vegetation plant	Plant classification, Vegetation cover rate, Number of individual
	Invasion plant	Adjacency forest, Number of individual
Adjacent forest	Forest plant	Forest class, Plant classification

상태, 주변 산림의 식생 등에 대해 조사 및 평가하였다(Table 1). 조사 및 평가의 기록을 위하여 ‘비탈면 녹화설계 및 시공 잠정 지침’에 있는 비탈면 조사 야장표를 근거로 조사 야장을 제작하여 기록하였다.

정량적 항목인 출현 식물과 생육 상태에 대해서는 현지 여건을 감안하여 비탈면 상단, 중단, 하단부로 구분한 후, 위치별로 평균적인 곳에 고정조사구(10m×10m)를 설치하여 조사하였고, 침입종 등의 현황 파악을 위하여 비탈면 녹화공법 적용 대상지와 인접한 주변 산림에 10m×10m 조사구를 설치하여 식생조사를 각각 실시하였다.

식생피복율은 식물이 생육하여 지표면을 덮고 있는 면적을 환산하여 계산한 값을 말하며, 식생피복율에 대해서는 상단, 중단, 하단부에 설치된 현장 고정 조사구 내에 방형구(1m x 1m)를 이용하여 3회 측정 후 평균하여 부분 피복율을 산출하였으며, 그 값을 평균하여 전체 피복율로 환산하였다.

식생기반재의 물리·화학적 특성은 토양경도(mm)와 토양습도(%), 토양산도(pH)를 측정하였다. 토양경도계(Yamanaka Pocket Type, Japan)와 pH Meters(Hanna Instruments, USA), 휴대용 토양수분 센서(HydroSense II, USA)를 이용하여 각 3회씩 측정하여 평균값을 이용하였다. 또한 출현종에 대한 동정과 학명은 국립수목원의 ‘국가생물종지식정보시스템’을 활용하였다. 또한 국가외래식물목록(국립수목원, 2019)을 활용하여 조사 식물에 대한 외래종 여부를 판단하였으며, 환경부

생태계교란 생물 지정고시(2020. 3. 30. 개정)를 활용하여 조사 식물에 대한 생태계 교란종 여부를 판단하였다.

3. 통계처리

비탈면 길이, 너비, 방향, 토양경도, 토양습도 등 환경인자에 대한 통계처리를 위하여 SPSS (Statistical Package for the Social Science, USA) 25.0 프로그램을 활용하여 피어슨 상관관계 분석을 실시하였다(Jeon, 2013; Korea Expressway Corporation, 2015).

III. 연구결과

1. 암반비탈면 녹화공법 및 안정공법 적용 현황

노선별 암반비탈면에 대한 녹화공법 유형을 살펴보면 50개소에 62회의 녹화공법이 적용되었으며(Table 2), 식생기반재뿔어붙이기공법, 덩굴식물식재공법, Seed Spray공법, Coir net공법, 론생네트공법으로 분류할 수 있다. 식생기반재뿔어붙이기공법이 39회 적용되었으며, 덩굴식물식재공법 11회, Coir net공법 7회, Seed spray공법 4회, 론생네트공법 1회 적용된 것으로 나타났다.

두 가지 이상의 공법을 병행 적용하여 암반비탈면 녹화를 실시한 곳은 10개소이며, 식생기반재뿔어붙이기공법과 덩굴식물식재공법 병행 5개소, 식생기반재뿔어붙이기공법과 Coir net 공법 병행 2개소, Coir net공법과 Seed Spray공법을 병

Table 2. Classification of applied vegetation methods for study sites

Measures Expressway	Vegetation spray work	Climber planting	Seed spray	Coir net	etc
Kyeongbu E.	3	2	-	-	-
Gwangju - Daegu E.	2	-	-	-	-
Muan - Gwangju E.	3	1	-	-	-
Honam E.	1	-	-	-	-
Suncheon - Wanju E.	2	-	-	-	-
Dangjin - Yeongdeok E.	5	3	-	-	-
Tongyeong - Daejeon E.	2	2	-	-	-
Pyeongtaek - Jecheon E.	5	-	-	2	-
Jungbunaeryuk E.	4	1	-	-	-
Yeongdong E.	5	1	-	-	-
Seoul - Yangyang E.	3	-	2	2	1
Donghae E.	2	1	2	3	-
Namhae E.	2	-	-	-	-
Total	39	11	4	7	1

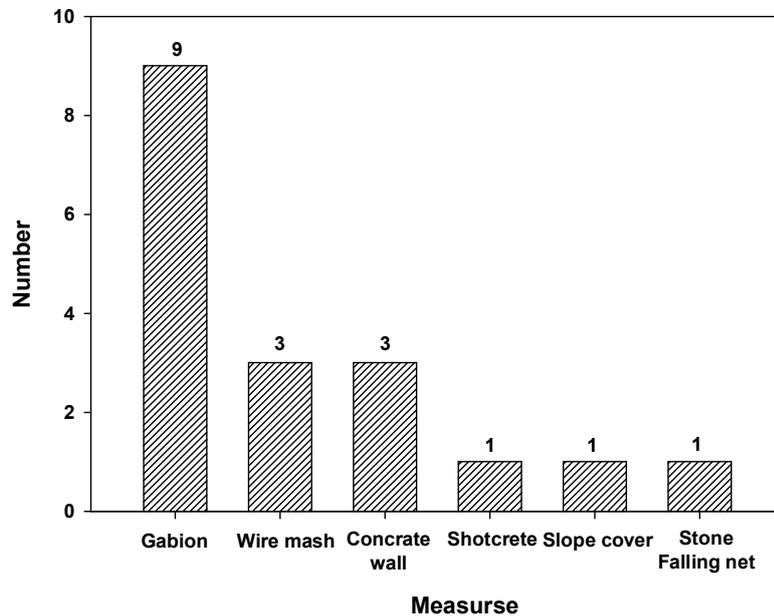


Figure 2. The state of applied soil stabilization methods for study sites

행한 것으로 나타났으며, 세 가지 이상의 녹화 공법을 병행하여 적용한 곳은 Coir net, Seed spray, 례생네트를 병행하여 적용하였다.

암반비탈면에 대한 안정공법은 17개소에 18 회의 안정공법이 적용되었으며, 세부적으로는 개비온 9개소, 콘크리트 옹벽 3개소, 낙석방지

Table 3. The soil characteristics of study sites

	Rock type						Soil pH	Soil humidity (%)	Soil hardness (mm)
	R	R · B	R · B · W	R · W	B	W			
Kyeongbu E.	5						6.5~8.0	10~70	0.5~4.5
Gwangju - Daegu E.		2					7.0~7.2	50	1.2~1.3
Muan - Gwangju E.	1						6.4~7.0	30~70	1.7~4.5
Honam E.	1						6.8~7.0	55~80	0.5~1.3
Suncheon - Wanju E.							7.2	10	1.2~2.2
Dangjin - Yeongdeok E.	3						6.8~7.0	40~60	0.6~2.3
Tongyeong - Daejeon E.	4						6.4~7.1	40~70	0.3~4.5
Pyeongtaek - Jecheon E.	1	4					-	50~60	9.0~16.0
Jungbunaeryuk E.		2			3		7.0	50~60	13.0~17.0
Yeongdong E.	3			2			6.8~7.0	40~70	9.0~21.6
Seoul - Yangyang E.	1	2		1	1		7.0	40~70	10.6~15.0
Donghae E.		3		1		1	-	50~80	12.3~21.3
Namhae E.	1	2					6.4~7.0	40~90	1.3~4.5
Total	20	15		4	4	1			

R : Ripping rock, B : Blasting rock, W : Weathered rock

망 3개소, 섬유물탈거푸집공법, 낙석방지망, 콘 크리트뿔어붙이기 공법이 각 1개소에 적용되었다. 두 가지 이상의 안정공법을 병행 적용한 곳은 1개소로 개비온과 능형망 시공을 병행하였다 (Figure 2).

2. 암반비탈면 토양 특성현황

조사지의 암종은 부정확한 6개소를 제외한 44개소를 대상으로 노선별로 분석하였다. 조사 대상지 대부분이 고속도로 건설을 위하여 인위적으로 노출된 절토사면으로 이루어져 있기 때문에, 리핑암과 발파암의 비율이 높게 나타났으며, 자연적 사면인 풍화암 기반의 비탈면은 2개소로 나타났다.

토양산도는 3회 반복 측정하여 평균값을 산출하여 활용하였는데, 대부분의 조사지에서 pH 6.5~7.0의 범위를 보이는 것으로 나타나 일반적으로 식물 생육에 지장이 없는 것(Kil et al., 2012)으로 판단된다.

토양습도는 조사시기와 녹화지역의 토질 특성에 따라 많은 차이를 보였지만, 경부고속도로 1개소(상행 158.0km 지점)와, 무안광주고속도로 전 지역(상행 21.3km, 21.7km, 21.9km 지점), 순천완주고속도로 1개소(상행 49km 지점)를 제외하고 최소 40% 이상 포함하고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 습도의 경우 정확한 값을 예측하는 것에는 한계가 있었는데, 보다 정확한 측정은 국토해양부(2009)에서 제시하는 강우 시점 전·후에 대한 비교분석이 필요할 것으로 판단된다.

토양경도는 모든 조사지에서 건조하기 쉽기 때문에 종자 발아가 저조해질 수 있으나 식물의 생육에는 문제가 없는 10mm 미만의 경도를 나타내는 곳이 대부분으로 나타났다. 또한, 시공 이후 시간이 오래 경과하는 조사지일수록 낮은 토양경도 값을 보이는 경향이 나타났다.

비탈면의 경사도는 30°~45°(1:1.7 : 1:1) 사이의 값을 보였는데, 전체적으로 식물의 생육에는 문제가 없으나, 35° 이상의 급경사 지역은 주변

Table 4. The vegetation cover rates of study sites.

Coverage Expressway	A (≤80%)	B (60% ≤ r ≤ 79%)	C (60% >)	None
Kyeongbu E.	4	1	-	
Gwangju - Daegu E.	2	-	-	-
Muan - Gwangju E.	1	-	1	1
Honam E.	1	-	-	-
Suncheon - Wanju E.	2	-	-	-
Dangjin - Yeongdeok E.	1	3	1	-
Tongyeong - Daejeon E.	1	1	2	-
Pyeongtaek - Jecheon E.	3	2	-	-
Jungbunaeryuk E.	1	1	3	-
Yeongdong E.	3	1	1	-
Seoul - Yangyang E.	3	2	-	-
Donghae E.	2	-	3	-
Namhae E.	2	-	-	1
Total	26	11	11	2

지역으로부터의 자연침입으로 식물군락이 형성되는 곳이 많았다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009).

3. 암반비탈면의 식생피복율

암반비탈면의 식생피복율은 비탈면 경관에 영향을 주는 중요한 요인이다(Woo and Jeon, 2005). 국토해양부(2009)의 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공에 관한 지침’에 따르면, 고속도로 암반비탈면의 초목·관목혼합형 식생피복율(%)는 80% 이상을 A등급, 60~79%를 B등급, 60% 미만을 C등급으로 구분하고 있다.

암반비탈면을 상부, 중부 및 하부로 구분하여 식생피복율을 측정한 결과, 상부(89.8%), 중부(85.6%), 하부(73.1%)로 나타나 상부의 식생피복율이 가장 높게 나타났는데, 이는 비탈면 상부는 주변 산림지에서 비탈면으로 식생 또는 종자가 유입되어 상대적으로 피복율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 연구대상지의 전체 피복율은 A등급에 해당하는 80% 이상의 피복율을 보인 곳은 26개소, B등급에 해당하는 60~79%의

피복율을 보인 곳은 11개소이며, 60% 미만의 피복율을 보이는 C등급에 해당하는 곳은 11개소로 나타났다.

고속도로 노선별로 식생피복율을 살펴보면 경부고속도로(1970년 개통), 영동고속도로(1971년 개통) 등 경과년수, 즉 조성년수가 오래될수록 식생피복율이 높게 나타난다는 선행연구(Jeon and Kim, 2020)와 유사한 결과가 나타났다(Table 4)

4. 환경인자별 상관분석

고속도로 비탈면 주변 환경인자(비탈면 길이, 경사도, 방위, 토양경도 등)와 상관분석을 실시하였다. 상관분석에서 비탈면 방위는 360°로 표시하여 분석하였으며(Korea Expressway Corporation, 2015), 배수시설 상태는 상, 중, 하 등으로 더미변수로 처리하여 분석하였다(Lee and Park 2006).

상관분석 결과, 고속도로 비탈면의 피복율과 관계하여 비탈면 경사도, 비탈면 방위, 비탈면 너비, 토양습도, 토양경도는 부(-)의 상관관계를 보였다. 또한 식생피복율에 가장 큰 영향을 미치는 환경인자는 방위로 나타났으며($r = -0.255$), 비탈면의

Table 5. The correlation of environmental factor on vegetation cover rates.

	Gradient	Direction	Width	Length	Soil pH	Soil humidity	Soil hardness	Drainage	Coverage
Gradient	1								
Direction	-0.154	1							
Width	0.112	-0.303*	1						
Length	0.074	0.056	0.305*	1					
Soil pH	-0.024	0.308	-0.264	0.039	1				
Soil humidity	0.049	-0.078	0.246	0.181	-0.357*	1			
Soil hardness	0.101	0.093	-0.267	-0.120	-0.015	0.267	1		
Drainage	0.465	0.102	0.134	0.119	-0.198	-0.070	-0.095	1	
Coverage	-0.216	-0.255*	-0.111	0.067*	0.096	-0.084	-0.108	0.162	1

* indicates $p < 0.05$

길이는 상관계수 값이 너무 낮으나 유사 선행 연구 결과(Jeon, 2013; Korea Expressway Corporation, 2013; 2015)를 검토한 결과 통계적 유의성은 있는 것으로 나타나 비탈면의 방위와 길이가 피복도에 영향을 주는 요인으로 분석 된다(Table 5).

토양수분은 비탈면의 피복율에 영향을 주는 중요한 요인이나, 측정 지점, 방법 등에 따라 다르게 나타나는 특징이 있어서(Kil et al., 2011), 토양수분이 피복율에 미치는 영향을 파악하는 것은 어렵다. 따라서 이에 대한 영향 파악이 어떻게 적용해야 할지에 대한 추가 연구가 필요하다.

4. 암반비탈면 식생현황

1) 암반비탈면 주변산림 출현종

조사 대상 암반비탈면의 주변 산림에서의 출현종은 목본식물 20과 29속 39종, 초본식물 6과 8속 8종, 덩굴성 식물의 경우, 덩굴성 목본식물 3과 4속 4종, 덩굴성 초본식물 1과 1속 2종, 대나무 1종이 출현하여, 총 54종의 식물이 출현하였다(Table 6).

출현종 가운데 국립수목원(2019)의 ‘국가외래식물목록’에 따른 침입외래식물(Invasive Alien Plant: IAP)등급에 해당하는 외래종은 목본식물 1종(죽제비싸리), 초본식물 3종(망초, 미국나팔꽃, 달맞이꽃), 총 4종이 출현하였으며, 환경부 생

태계 교란 생물 지정고시에 의한 생태계 교란종은 덩굴식물 1종(환삼덩굴)이 출현하였다.

암반비탈면 주변 산림에 출현종을 녹화공법 별로 살펴보면, 식생기반재떨어붙이기공법 적용 암반비탈면(29개소)에서 외래종2종, 생태계 교란종 1종을 포함하여 35종의 식물이 출현하였으며, 덩굴식재공법 적용 암반비탈면(8개소)에서 외래종 1종을 포함하여 19종이 출현하였으며, 식생기반재떨어붙이기공법과 덩굴식재공법 병행 암반비탈면(5개소)에서 9종, 식생기반재떨어붙이기와 Coir net 공법 병행 시공지(2개소)에서 4종, Coir net 공법과 Seed spray 병행 시공지(4개소)에서 5종, Coir net, Seed spray, 론생네트 병행 시공 암반비탈면(1개소)에서 10종의 식물이 출현하였으며, 마지막으로 Coir net 시공 암반비탈면(1개소)에서는 주변 산림 식생을 확인할 수 없었다(Figure 3).

수종별 출현빈도를 살펴보면, 소나무가 41개소에 출현하여 가장 출현빈도가 높은 것으로 나타났다. 아까시나무가 23개소, 상수리나무 16개소, 밤나무와 붉나무가 7개소, 신갈나무가 6개소, 칩, 졸참나무, 자귀나무, 물오리나무, 대나무가 3개소에 출현하였으며, 망초, 미국나팔꽃, 닭의장풀, 버드나무, 개오동나무, 떡갈나무, 사시나무, 싸리, 잣나무, 느티나무가 2개소, 이외

Table 6. A list of plant species for adjacent forest at study sites

Type	Family	Genus	Scientific name	I	II	III	IV	V	VI	VII	
woody	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Q. acutissima</i>	○	○		○				
			<i>Q. mongolica</i>	○			○			○	
			<i>Q. dentata</i>	○						○	
			<i>Q. serrata</i>	○						○	
	Fabaceae	<i>Castanea</i>	<i>C. crenata</i>		○			○	○	○	
				<i>L. bicolor</i>	○	○					
		<i>Robinia</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>L. maximowiczii</i>							○
				<i>R. pseudoacacia</i>	○	○		○	○		
				<i>R. pseudoacacia</i> v. <i>umbraculifera</i>	○						
				<i>S. japonic</i>	○						
	<i>Sophora</i>	<i>A. julibrissin</i>		○			○				
			<i>P. densiflora</i>	○	○		○	○	○	○	
	Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>P. koraiensis</i>	○							
			<i>P. strobus</i>	○							
			<i>Larix</i>	<i>L. kaempferi</i>	○						
	Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>A. sibirica</i>	○	○			○	○		
			<i>A. firma</i>	○							
	Rosaceae	<i>Betula</i>	<i>B. platyphylla</i>	○							
			<i>Prunus</i>	<i>P. yedoensis</i>	○						
	Sapindaceae	<i>Rubus</i>	<i>R. crataegifolius</i>	○			○				
			<i>Acer</i>	<i>A. cer palmatum</i>	○						
				<i>A. cer buergerianum</i>		○					
	Salicaceae	<i>Aesculus</i>	<i>A. turbinata</i>	○							
			<i>Salix</i>	<i>S. koreensis</i>	○					○	
	Ulmaceae	<i>Populus</i>	<i>P. davidiana</i>	○	○						
			<i>Zelkova</i>	<i>Z. serrata</i>	○						
	Moraceae	<i>Celtis</i>	<i>C. sinensis</i>							○	
			<i>Morus</i>	<i>M. alba</i>	○						
	Cupressaceae	<i>Chamaecyparis</i>	<i>C. obtusa</i>	○							
	Taxaceae	<i>Taxus</i>	<i>T. cuspidata</i>	○							
Anacardiaceae	<i>Rhus</i>	<i>R. javanica</i>	○	○					○		
Bignoniaceae	<i>Catalpa</i>	<i>C. ovata</i>		○		○					
Styracaceae	<i>Styrax</i>	<i>S. obassia</i>							○		
Paulowniaceae	<i>Paulownia</i>	<i>P. coreana</i>		○							
Celastraceae	<i>Euonymus</i>	<i>E. alatus</i>	○								
Simaroubaceae	<i>Ailanthus</i>	<i>A. altissima</i> for. <i>altissima</i>	○								
Lamiaceae	<i>Clerodendrum</i>	<i>C. trichotomum</i>							○		
Grass	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>B. bipinnata</i>		○						
		<i>Artemisia</i>	<i>A. princeps</i>		○						
		<i>Conyza</i>	<i>C. canadensis</i>	○							
Poaceae	<i>Miscanthus</i>	<i>M. sinensis</i>		○							
Vine	Cannabaceae	<i>Humulus</i>	<i>H. japonicus</i>	○							
			<i>H. lupulus</i>	○							
	Fabaceae	<i>Pueraria</i>	<i>P. lobata</i>	○	○						
			<i>Wisteria</i>	<i>W. floribunda</i>		○					
	Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>I. hederacea</i>	○							
	Solanaceae	<i>Solanum</i>	<i>S. nigrum</i>	○							
	Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>C. communis</i>		○						
	Onagraceae	<i>Oenothera</i>	<i>O. biennis</i>		○						
	Vitaceae	<i>Parthenocissus</i>	<i>P. tricuspidata</i>		○						
	Smilacaceae	<i>Smilax</i>	<i>S. china</i>							○	
Poaceae	<i>Bambusoideae</i>			○		○					

I : Soil-media hydroseeding, II : Climber planting, III : Coir net, IV : Soil-media hydroseeding + Climber planting, V : Soil-media hydroseeding + Coirnet, VI : Coir net+Seed spray, VII : Coir net + Seed spray + Lonseng net

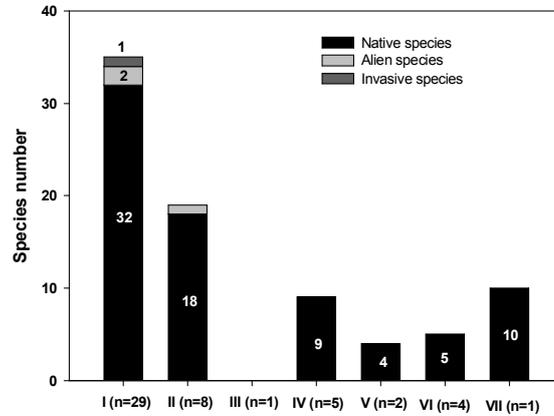


Figure 3. Classification of vegetation applied by vegetation and stabilization methods at adjacent forests. (I : Soil-media hydroseeding, II: Climber planting, III: Coir net, IV: Soil-media hydroseeding + Climber planting, V: Soil-media hydroseeding + Coirnet, VI: Coir net + Seed Spray, VII: Coir net + Seed Spray + Lonseng Net)

종이 1개소에 출현하였다.

암반비탈면 주변 산림의 우점종은 50개소 중 주변 식생이 없던 1개소와 우점종 확인이 어려운 2개소를 제외한 47개소에서 확인할 수 있었는데, 소나무가 28개소에서 우점하였으며, 아까시나무 10개소, 상수리나무 4개소, 밤나무와 물오리나무가 각 2개소에서 우점하였으며, 졸참나무와 떡갈나무는 각 1개소에서 우점하는 것으로 나타났다.

2) 암반비탈면 출현종

조사 대상 암반비탈면의 50개소에서 출현한 종은 목본식물 17과 29속 43종이 출현하였고, 초본식물 20과 47속 69종, 덩굴성 식물의 경우, 덩굴성 목본식물 6과 9속 9종, 덩굴성 초본식물 4과 4속 5종, 고사리와 대나무 각 1종씩 총 126종의 식물이 암반비탈면에 출현하였다(Table 7). 출현종 중에서 국립수목원(2019)의 ‘국가외래식물목록’에 따른 침입외래식물(IAP)등급에 해당하는 외래종은 목본식물 1종(죽제비싸리), 초본식물 23종(톨헤스큐, 토끼풀, 개망초, 실망초, 큰금계국 등), 덩굴성 초본식물 2종(나도닭의덩굴, 둥근잎유홍초) 출현하였다. 환경부 생태계교란

생물 지정고시에 의해 생태계 교란종으로 지정 식물 5종(미국쭉부쟁이, 가시상추, 돼지풀, 단풍잎돼지풀, 환삼덩굴)이 출현하였는데, 전체 조사 대상지의 44%에 해당하는 22개소에 출현하는 것을 확인할 수 있었다.

암반비탈면에 출현한 종을 녹화공법별로 살펴보면, 식생기반재뿔어붙이기공법 적용 암반비탈면(29개소)에서 외래종 20종, 생태계 교란종 4종을 포함하여 92종이 출현하였으며, 덩굴식재공법 암반비탈면(8개소)에서 외래종 3종과 생태계 교란종 1종을 포함하여 35종, Coir net 시공 암반비탈면에서 외래종 2종을 포함하여 9종이 출현하였다. 두 가지 이상의 공법을 병행하여 적용한 식생기반재뿔어붙이기공법과 덩굴식재공법 병행 암반비탈면(5개소)에서 외래종 5종을 포함하여 35종, 식생기반재뿔어붙이기공법과 Coir net 병행 시공지(2개소)에서 외래종 3종을 포함하여 20종, Coir net 공법과 Seed Spray 병행 시공지(4개소)에서 외래종 10종과 생태계 교란종 1종을 포함하여 41종 출현하였으며, 마지막으로 Coir net, Seed Spray와 론생네트 병행 시공 암반비탈면(1개소)에서 외래종 6종과 생태계 교란종 1종을 포함하여 23종이 출현하였다(Figure 4).

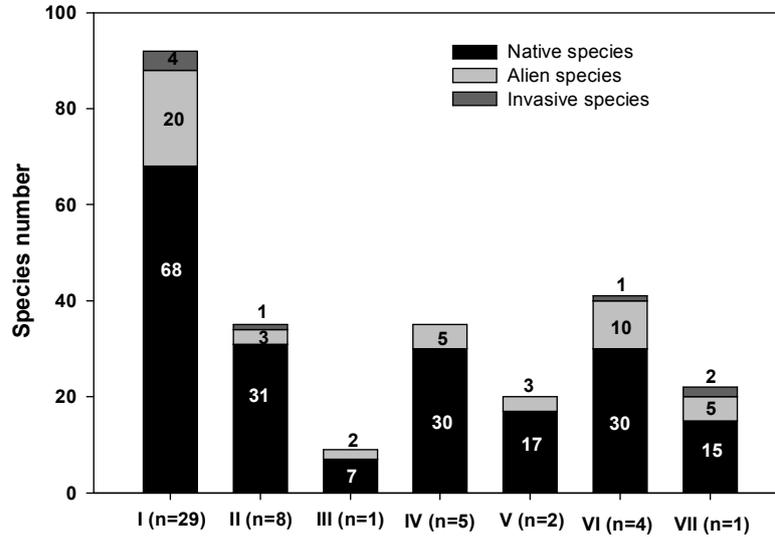


Figure 4. Classification of vegetation applied by vegetation and stabilization methods at rocky slopes. II: Climber planting, III: Coir net, IV: Vegetation+Climber planting, V: Vegetation spray work+Coirnet, VI: Coir net+Seed Spray, VII: Coir net+Seed Spray+Lonseng Net)

Table 7. A list of plants species for rocky slope at study sites

Type	Family	Genus	Scientific name	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Woody	Fabaceae	<i>Lespedeza</i>	<i>L. bicolor</i>	○	○		○	○	○	○	
			<i>L. cyrtobotrya</i>	○				○			
			<i>L. maximowiczii</i>							○	
			<i>L. cuneata</i>	○				○			
		<i>Robinia</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	○			○		○		
		<i>Indigofera</i>	<i>I. pseudotinctoria</i>	○		○		○	○	○	
		<i>Amorpha</i>	<i>A. fruticosa</i>	○				○	○		
		<i>Sophora</i>	<i>S. japonica</i>	○							
	<i>Albizia</i>	<i>A. julibrissin</i>	○			○	○		○		
	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Q. acutissima</i>	○	○						
			<i>Q. mongolica</i>	○	○						
			<i>Q. dentata</i>		○						
		<i>Castanea</i>	<i>C. crenata</i>		○						
	Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>P. densiflora</i>	○	○		○			○	
			<i>P. taeda</i>	○	○						
			<i>P. strobus</i>	○							
		<i>Larix</i>	<i>L. kaempferi</i>	○							
	Rosaceae	<i>Rubus</i>	<i>R. crataegifolius</i>	○	○		○				
			<i>R. parvifolius</i>	○							
		<i>Rosa</i>	<i>R. multiflora</i>	○							
		<i>Spiraea</i>	<i>S. prunifolia</i>	○							
	Salicaceae	<i>Salix</i>	<i>S. koreensis</i>	○			○			○	
			<i>S. koriyanagi</i>	○							
			<i>S. gracilistyla</i>		○						
		<i>Populus</i>	<i>P. davidiana</i>	○							
	Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>A. sibirica</i>	○						○	
		<i>Betula</i>	<i>B. platyphylla</i>				○				
	Ulmaceae	<i>Ulmus</i>	<i>U. davidiana var. japonica</i>	○							
		<i>Celtis</i>	<i>C. sinensis</i>							○	
	Sapindaceae	<i>Acer</i>	<i>A. palmatum</i>	○							
<i>A. ginnala</i>			○			○		○			
Moraceae	<i>Morus</i>	<i>M. alba</i>	○						○		
		<i>M. bombycis</i>	○								

Type	Family	Genus	Scientific name	I	II	III	IV	V	VI	VII	
	Oleaceae	<i>Forsythia</i>	<i>F. koreana</i>						○		
		<i>Ligustrum</i>	<i>L. obtusifolium</i>		○						
	Taxaceae	<i>Taxus</i>	<i>T. cuspidata</i>	○							
	Anacardiaceae	<i>Rhus</i>	<i>R. javanica</i>	○			○	○	○	○	
	Bignoniaceae	<i>Catalpa</i>	<i>C. ovata</i>	○			○		○		
	Paulowniaceae	<i>Paulownia</i>	<i>P. coreana</i>				○			○	
	Urticaceae	<i>Boehmeria</i>	<i>B. spicata</i>	○							
	Celastraceae	<i>Euonymus</i>	<i>E. alatus</i>	○					○		
Simaroubaceae	<i>Ailanthus</i>	<i>A. altissima</i> for. <i>altissima</i>	○			○	○				
Grassy	Asteraceae	<i>Chrysanthemum</i>	<i>C. morifolium</i>	○							
			<i>C. lavandulifolium</i>	○		○		○	○	○	
			<i>C. zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>							○	
		<i>Aster</i>	<i>A. yomena</i>	○	○					○	
			<i>A. ageratoides</i>	○						○	
			<i>A. pilosus</i>	○						○	○
		<i>Picris</i>	<i>P. hieracioides</i> var. <i>koreana</i>	○			○				
			<i>P. hieracioides</i> subsp. <i>kaimaensis</i>		○						
		<i>Coreopsis</i>	<i>C. basalis</i>	○	○	○	○				
			<i>C. lanceolata</i>	○	○						○
		<i>Bidens</i>	<i>B. bipinnata</i>	○							○
			<i>B. frondosa</i>	○							○
		<i>Artemisia</i>	<i>A. princeps</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
			<i>A. capillaris</i>	○							
		<i>Erigeron</i>	<i>E. annuus</i>	○	○	○	○				
			<i>E. bonariensis</i>	○							
		<i>Lactuca</i>	<i>L. indica</i>	○		○					
			<i>L. serriola</i>	○							
		<i>Ambrosia</i>	<i>A. artemisiifolia</i>								○
			<i>A. trifida</i>	○							
		<i>Dendranthema</i>	<i>D. indicum</i>						○		
		<i>Comyza</i>	<i>C. canadensis</i>	○	○					○	
		<i>Bellis</i>	<i>B. perennis</i>	○							
		<i>Crepidiastrum</i>	<i>C. sonchifolium</i>	○			○				
		<i>Taraxacum</i>	<i>T. platycarpum</i>								○
		<i>Cosmos</i>	<i>C. bipinnatus</i>	○					○	○	○
		<i>Coreopsis</i>	<i>C. tinctoria</i>	○							
		<i>Cirsium</i>	<i>C. japonicum</i> var. <i>maackii</i>	○							
Poaceae	<i>Festuca</i>	<i>F. arundinacea</i>	○	○	○			○	○	○	
		<i>F. rubra</i>	○						○		
	<i>Calamagrostis</i>	<i>C. arundinacea</i>							○		
	<i>Dactylis</i>	<i>D. glomerata</i>	○								
	<i>Digitaria</i>	<i>D. ciliaris</i>	○								
	<i>Eragrostis</i>	<i>E. curvula</i>	○			○			○		
	<i>Lolium</i>	<i>L. perenne</i>	○								
	<i>Miscanthus</i>	<i>M. sinensis</i>	○	○		○		○	○		
	<i>Sasamorpha</i>	<i>S. borealis</i>		○							
	<i>Setaria</i>	<i>S. viridis</i>	○	○		○	○	○	○		
	<i>Amphicarpaea</i>	<i>A. bracteata</i>	○			○					
Fabaceae	<i>Lotus</i>	<i>L. corniculatus</i> var. <i>japonica</i>	○					○			
		<i>L. corniculatus</i>	○								
	<i>Trifolium</i>	<i>T. repens</i>	○					○		○	
		<i>T. pratense</i>	○								
<i>Medicago</i>	<i>M. sativa</i>	○						○	○		
Polygonaceae	<i>Persicaria</i>	<i>P. hydropiper</i>		○					○		
		<i>P. longiseta</i>		○							
		<i>P. nodosa</i>	○			○	○		○		
		<i>P. perfoliata</i>	○								
Convolvulaceae	<i>Calystegia</i>	<i>C. sepium</i> var. <i>japonica</i>				○					
		<i>I. nil</i>	○								
Solanaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>I. hederacea</i>	○			○					
		<i>S. nigrum</i>								○	
Caryophyllaceae	<i>Solanum</i>	<i>S. tuberosum</i>	○								
		<i>Dianthus</i>	<i>D. chinensis</i>					○			
		<i>Silene</i>	<i>S. armeria</i>	○							

Type	Family	Genus	Scientific name	I	II	III	IV	V	VI	VII	
	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>C. hirta</i>	○	○						
		<i>Cyperus</i>	<i>C. microiria</i>					○			
	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i>	<i>A. tricolor</i>	○							
	Aristolochiaceae	<i>Asarum</i>	<i>A. glabrata</i>				○				
	Papaveraceae	<i>Chelidonium</i>	<i>C. majus var.asiaticum</i>	○							
	Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>C. communis</i>	○	○		○				
	Apocynaceae	<i>Cynanchum</i>	<i>C. rostellatum</i>	○	○	○				○	
	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>E. arvense</i>	○							
	Asteraceae	<i>Patrinia</i>	<i>P. scabiosaeifolia</i>							○	
	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i>	<i>P. americana</i>	○			○		○		
	Onagraceae	<i>Oenothera</i>	<i>O. biennis</i>	○	○		○		○	○	
	Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>S. kamtschaticum</i>							○	
	Lamiaceae	<i>Thymus</i>	<i>T. quinquecostatus</i>				○				
	Violaceae	<i>Viola</i>	<i>V. mandshurica</i>							○	
vines	Vitaceae	<i>Parthenocissus</i>	<i>P. tricuspidata</i>	○	○						
		<i>Cissus</i>	<i>C. antarctica</i>				○				
		<i>Vitis</i>	<i>V. coignetiae</i>		○						
	Fabaceae	<i>Pueraria</i>	<i>P. lobata</i>	○	○	○	○				○
		<i>Wisteria</i>	<i>W. floribunda</i>	○	○						
	Ranunculaceae	<i>Clematis</i>	<i>C. apiifolia</i>	○							
	Araliaceae	<i>Hedera</i>	<i>H. rhombea</i>		○		○				
	Smilacaceae	<i>Smilax</i>	<i>S. china</i>				○				
	Apocynaceae	<i>Trachelospermum</i>	<i>T. asiaticum</i>				○				
	Cannabaceae	<i>Humulus</i>	<i>H. japonicus</i>	○	○						○
		<i>Humulus</i>	<i>H. lupulus</i>	○							
	Lardizabalaceae	<i>Akebia</i>	<i>A. quinata</i>	○							
	Polygonaceae	<i>Fallopia</i>	<i>F. convolvulus</i>		○						
	Convolvulaceae	<i>Quamoclit</i>	<i>Q. coccinea</i>				○				
Pteridaceae	<i>Pteridium</i>	<i>P. aquilinum</i>	○	○						○	
Poaceae	<i>Bambusoideae</i>			○							

I : Soil-media hydroseeding, II : Climber planting, III: Coir net, IV: Soil-media hydroseeding + Climber planting, V: Soil-media hydroseeding + Coirnet, VI: Coir net+Seed spray, VII: Coir net + Seed spray + Lonseng net

조사 대상지에 따른 출현 종 분포를 살펴보면, 식생기반재뿔어붙이기가 적용된 영동고속도로 하행 190km 지점(진부 IC 진·출입로)에서 26종의 목본·초본·덩굴 식물이 출현하여, 조사 대상지 중 가장 많은 종 분포를 보였으며, Coir net, Seed Spray, 론생네트 등 3가지 공법이 병행 적용한 서울양양고속도로 상행 141.4km 지점(양양졸음쉼터)에서 23종의 목본·초본·덩굴 식물이 출현하였다. 반면에 통영대전고속도로 하행 24.2km(금산인삼랜드 휴게소)의 경우, 단 4종의 식물이 출현하여 가장 낮은 종 출현을 보였다.

암반비탈면 출현 종의 빈도 우선순위를 살펴보면, 쑥, 싸리, 아까시나무, 툭헤스큐, 붉나무, 개망초 등의 순으로 출현하여, 관목성 수종 및 다년초가 높은 빈도로 출현한 것으로 조사되었다.

녹화 시공 후 경과 연수에 따른 평균 출현종수를 조사한 결과, 1~2년이 경과한 비탈면에서

는 평균 7.0종이 출현하였고, 3~5년이 경과한 비탈면에서 평균 10.3종, 시공 후 5~10년이 경과한 비탈면에서 16.0종, 시공 후 10년 이후 비탈면은 평균 14.3종이 출현하는 것으로 나타났는데, 이는 암반비탈면에서는 시공 후 초기 5~10년이 경과하였을 때 주변에서 가장 많이 침입하여 출현 종이 풍부해진다는 연구와 유사한 경향을 보였다(Jeon and Kim, 2020). 모든 조사 대상지에서 암반비탈면 파종 수종과 침입종을 알기는 어려웠으나, 암반비탈면에 사용된 주요 목본식물로는 오리나무류, 아까시나무, 붉나무, 등나무, 싸리 그리고 죽제비싸리 등이 있었으며, 암반비탈면 파종 초본식물로는 툭헤스큐, 큰금계국, 토끼풀과 같은 외래종과 쑥, 산국 등의 재래종이 파종된 주요 초본식물로 나타났다.

주변 산림에서 암반비탈면으로의 주요 침입 수종을 살펴보면, 소나무, 산딸기, 억새 등 침입

이 잘되는 침입 선구수종과 암반비탈면 녹화식물과 생육 경쟁을 하고 있었다(Jeon, 2013).

암반비탈면 우점종은 재래종으로는 참싸리, 쑥, 산딸기, 싸리, 아까시나무 등이 있었으며 외래종에는 툼스큐, 망초, 족제비싸리 등이 있었으나, 외래종이 상대적으로 더 많은 비탈면에서 우점하는 현상을 보였다.

5. 생태천이 특성 분석

생태천이는 생물상이 시간이 지나면서 주위 환경과 조화를 이룸으로써 생물상의 변화가 거의 없는 안정 상태로 유도되는 과정을 의미하며 (Lee et al., 1996), 세부적인 발달과정은 유형에 따라 다르게 나타난다는 특징이 있다(Kimmins, 2004). 비탈면에서 천이는 목본식물이 우점하여 비탈면이 안정되는 정상천이와 아까시나무, 칩 등 초기 녹화 식물상이 다른 종의 침입을 허용하지 않고 우점하는 형태의 편향천이가 있다고 알려져 있다(Song et al., 2005).

올바른 형태의 생태천이 진행과정을 살펴보면(龜山章, 2002), 싸리, 쑥 등의 초본식물은 시공 이후 2년이 지나면 등장하고, 목본식물은 시공 후 8년이 경과하면서 출현하는 것이 보통인데, 본 연구지역에서는 싸리, 쑥 등이 아직까지 출현하고 있는 것은 녹화용 초본식물을 파종할 때 과도하게 파종하였기 때문으로 판단된다.

고속도로 비탈면에서 올바른 형태의 생태천이가 진행되기 위해서는 녹화용 초본식물이 시공 이후 십여 년이 경과하면 도태되어야하는데(龜山章, 2002), 2017년 완전 개통한 서울양양고속도로를 제외한 나머지 연구대상지는 건설된 지 10년 이상 지난 곳이다. 그러나 아직도 쑥, 싸리, 개망초 등의 초기 파종 식생과 다년생 초본의 출현 빈도가 높고, 아까시나무 등 편향천이적 성격을 띠는 식물의 출현 빈도가 높은 것은 생태천이가 지연되고 있다고 판단할 수 있다.

녹화용 초본류를 과도하게 파종하면 나중에 들어오는 식물들의 정착을 방해해서 생태천이

에 지장을 준다고 하였는데(Song, 2004), 본 연구대상지 대부분에서 외래종 초본과 재래종 초본을 과도하게 파종하여 올바른 형태의 천이를 방해하고 있었다.

이에 고속도로 비탈면 관리는 정상천이가 진행될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 그렇기 위해서는 고속도로 암반비탈면 녹화 할 때 초본식물보다는 목본식물을 파종하고, 관목식물보다는 목본식물을 보호하는 관리를 하는 것이 정상천이로 유도할 수 있는 관리방안이라 생각한다. 또한, 고속도로 비탈면 관리는 초본식물을 파종함과 동시에 주변 산림에서 도입되는 목본식물을 보호하는 방향으로 진행되어야 할 것이다.

IV. 결 론

2000년대 이후 생태복원에 대하여 높아진 관심에 따라 생태적인 측면을 고려한 비탈면 녹화 공법이 널리 적용되고 있다. 이에, 본 연구는 고속도로 암반비탈면 녹화공법 시공지를 대상으로 비탈면의 녹화 현황을 분석하였으며, 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 암반비탈면 녹화의 경우, 전체 대상지 50개소에 62회(중복 포함)의 녹화공법이 적용되었는데, 그 중 식생기반재뿌어붙이기공법이 36회 적용되어 암반비탈면 녹화에서 가장 많이 활용되는 공법으로 나타났다. 이 외에도 암반비탈면 녹화공법으로는 덩굴식물식재, Seed Spray 공법, Coir net 공법, 론생네트 공법 등이 적용되었다.

둘째, 암반비탈면에는 목본식물 17과 29속 43종이 출현하였고, 초본식물 20과 47속 69종, 덩굴식물은 덩굴성 목본식물 6과 9속 9종, 덩굴성 초본식물 4과 4속 5종, 고사리와 대나무 각 1종씩 총 126종이 출현하였으며, 외래종(IAP)도 26종(전체 출현 종의 20.5%)이 출현하였다. 이것은 재래종에 비해 초기 녹화가 용이한 툼스큐, 토끼풀 등의 외래종을 사용한 결과로 판단되며, 식생기반재뿌어붙이기공법을 적용하고 녹

화 후에 경과 시간이 오래될수록 외래종의 출현이 상대적으로 빈번한 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 22개소에서 1종 이상의 생태계 교란종이 출현하였는데, 향후 지속적인 식생 모니터링을 통해 교란종에 대한 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

넷째, 암반비탈면 주요 식물로는 화살나무, 오리나무류, 아까시나무, 붉나무, 등나무, 싸리 그리고 족제비싸리, 툼웨스큐, 새콩, 달맞이꽃과 같은 외래종과 쑥, 금계국, 산국 등의 재래종이며, 주변 산림에서 시공 이후 5~10년 사이 주로 유입된 것으로 판단되는 소나무, 산딸기, 억새 등과 생육 경쟁을 하고 있었다.

다섯째 외래종의 비율이 높게 나타났는데, 이는 비탈면 녹화에는 외래종과 재래종을 혼합하여 파종하는 방식을 사용하기 때문이다. 그러나 재래종에 비하여 상대적으로 우수한 경쟁력을 가진 외래종의 무분별한 파종은 생태적인 측면에서 외래종 위주의 단순 식생을 형성하거나 주변 산림에서의 자연적인 천이를 어렵게 한다. 따라서 생태적으로 문제가 되지 않을 암반비탈면 녹화를 위해서는 외래종 파종 비율을 가급적 줄이며(Jeon, 2004), 주변 자연식생을 교란하지 않는 범위에서 최소한의 외래종을 사용하고 관리하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 고속도로 암반비탈면에 대해서 안정적인 생태적 천이가 진행되기 위해서는 자생 초본 및 목본식물이 주변산림에서 침입하여 자랄 수 있도록 하는 것이 중요하다. 그러나 본 연구대상지 대부분은 10년 이상의 시간이 경과하였으나 초기 파종 식생과 다년생 초본의 출현 빈도가 높고, 편향천이적 식물의 출현 빈도가 높은 것은 자연적 형태의 생태천이가 지연되고 있다고 판단된다.

고속도로 암반비탈면의 지속가능한 관리를 위해서는 지속적인 모니터링을 통한 관리가 필요하며, 보다 많은 고속도로 암반비탈면의 샘플 확보 및 모니터링을 통한 후속연구가 필요할 것

으로 판단된다.

References

- 국토해양부. 2009. 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침.
- 국토해양부. 2005. 비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정 지침.
- 龜山章 編. 2002. 生態工學. 朝倉書店. 168 pp.
- Brandt J., Henderson K., Uthe J. and Urice M. 2015. Integrated Roadside Vegetation Management Technical Manual. Faculty Book Gallery.
- Cho DG, Jeon GS, Shim YJ, Kim DH, Do JM and Park MY. 2015. A Study on the Mixing Ratio of Food Waste on Slope Re-vegetation Base Materials. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 18 (6): 215-226. (in Korean with English summary)
- Jeon GS. 2004. A Study on the Revegetation Structural Analysis for Environment Factor of Road Slope. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 7(2): 12-20. (in Korean with English summary)
- Jeon GS. 2013. A Study on the Plant Succession Structural Analysis in Expressway Slope I. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 16(4): 41-52. (in Korean with English summary)
- Jeon GS and Kim TS. 2020. A Study on Plant Structure Comparative Analysis of Revegetation Measures Type in Expressway Slopes. Journal of The Korea Society of Forest Engineering and technology. 18(3): 66-80. (in Korean with English summary)
- Kil SH, Lee DK, Cho MH and Yang BE. 2011. A Study on the Factors Affecting Vegetation

- Cover After Slope Revegetation-Focused on a JSB Method of Construction- . Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 14(5): 127-136. (in Korean with English summary)
- Kil SH, Lee DK, Ahn TM, Koo MH and Kim TY. 2012. A Study on the Vegetation Properties of Slope Areas according to the Soil Hardness. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 15 (5): 115-127. (in Korean with English summary)
- Kim NC, Song HK, Park GS, Jeon GS, Lee SW and Lee BJ. 2007. An Analytical Study on the Revegetation Methods for Highway Slopes. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 10(2): 1-15. (in Korean with English summary)
- Kim KH, Jeon GS, Hur YJ, Park JC, Joo B and Kang DI. 2020. A Study on Evaluation Standard for Revegetation Method through Monitoring of Vegetation on the Slope of Expressway. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 23(6): 57-73. (in Korean with English summary)
- Kimmins, J. P. 1997. Forest Ecology. Prentice Hall. New Jersey. pp. 400
- Korea Expressway Corporation. 2022. <http://data.ex.co.kr/portal/fdwn/view?type=ETC&num=U7&requestfrom=dataset>
- Korea Expressway Corporation Research Institute. 2002. A Study on Development of Highway Slope Management System(III). (in Korean)
- Korea National Arboretum. 2019. Checklist of Vascular Plants in Korea.
- Lee BJ. 2005. An Analytical Study on the Revegetation Methods for Highway Slopes. Master dissertation, Dankook University. (in Korean)
- Lee KJ, Han SS, Kim JH and Kim ES. 1996. Forest Ecology. Hyangmunsa, Seoul, Korea, 355pp. (in Korean)
- Lee BT and Park CM. 2006. Effects of seed coating, slope control and soil mulching on seed germination and seedling growth of rehabilitation plants. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 9(6): 38-51. (in Korean with English summary)
- Matlock MD. and Morgan RA. 2011. Ecological Engineering Design, John Wiley & Sons. Inc.
- Song HK, Jeon KS, Lee SH, Kim NC, Park GW and Lee BJ. 2005. Vegetation Structure and Succession of Highway Cutting-slope Area. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 8(6): 69-79. (in Korean with English summary)
- Yoo DY, Park BH, Hong JY, Choi YH, Son EY and Park DJ. 2021. A Study on the Socio-economic Direct Effects of the Opening of the Gyeongbu Expressway for 50 Years. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems 20(1): 119-131. (in Korean with English summary)
- Woo KJ and Jeon GS. 2005. A study on revegetation character for environment factor of slope. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 8(5): 47-55. (in Korean with English summary)