

## 임도 개설 후 경과년수에 따른 식생 회복 경향

이성연 · 윤충원<sup>ID\*</sup>

국립공주대학교 산림과학과

### Tendency for Vegetation Recovery Years after Forest Road Construction

Sung-Yeon Lee and Chung-Weon Yun<sup>ID\*</sup>

Department of Forest Science, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

**요약:** 임도는 산림생태계의 물리·생물 환경의 퇴화를 초래할 수 있으나 산림 경영과 공익 기능에 반드시 필요한 시설이다. 일시적으로는 환경의 퇴화를 초래할 수 있고, 장기적으로는 다시 원생태계의 모습으로 회복될 수도 있어, 본 연구는 임도개설로 인한 산림생태계의 변화 과정을 파악하기 위하여 시간의 경과에 따른 생태계를 구성하는 식생군집구조의 변화를 조사 분석하였다. 조사구는 충청남도 부여군 일대 1998년(25년 경과), 2021년(2년 경과), 2022년(1년 경과)에 개설된 임도를 대상으로 25m<sup>2</sup> 크기의 63개소 {7횡단 조사구(상부 임분, 상부 임연부, 절토면, 임도면, 성토면, 하부 임연부, 하부 임분)×3개 벨트×3개 임도}를 선정하여 식물사회학적 방법으로 식생조사를 수행하였다. 연구결과, 조사구유형별 식생 분석을 통해 25년 경과 절성토에서 소나무와 굴참나무의 중요치가 교목층, 아교목층에서 대조구 수준으로 나타났으며 이는 원생태계의 구조와 기능이 어느 정도 회복된 것으로 판단되었다. 종다양도에서 절성토면과 임도면은 균재도가 높고 우점도가 낮게 나타났다는데, 이는 새, 억새 등 일부 종의 우점도가 매우 높기 때문으로 판단되었다. 군락유사도와 DCA분석 결과, 대조구, 모든 임연부, 25년 경과 절성토와 그룹이 형성되었고, 모두 동일한 군락으로 볼 수 있었다. 결론적으로 25년 경과한 임도는 원생태계 수준으로 복원이 되어가는 과정에 있는 것으로 판단되었다. 이러한 연구 결과는 향후 임도 개설 예정지 및 개설지의 식생 회복과정에 대한 군집생태학적 유용자료로 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract:** Forest road construction can degrade the physical and biological environments of forest ecosystems. Although this degradation may be temporary, some research has shown the potential for the long-term recovery of the original ecosystem. This study investigated changes in communities' structures over time to understand the process of ecosystem change following road construction. Data were collected from 63 plots, each measuring 25m<sup>2</sup>, in Buyeo-gun, Chungcheongnam-do, including plots from roads constructed in 1998 (25 years elapsed), 2021 (two years elapsed), and 2022 (one year elapsed), using phytosociological methods. The results showed that the importance of the values of *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* in the tree and subtree layers of the 25-year-old cut slopes were similar to those of the control plots, indicating the significant recovery of the original ecosystem's structure and function after 25 years. Species diversity analysis revealed the higher evenness and lower dominance of the cut slopes and road surfaces attributed to the high dominance of species such as *Arundinella hirta* and *Miscanthus sinensis*. The community similarity index and detrended correspondence analysis (DCA) indicated that the control plots, all the edge plots, and the 25-year-old cut slopes could be considered part of the same community. In conclusion, forest roads in place for 25 years appear to have been restored to the level of the original ecosystem. These findings can serve as valuable ecological data for understanding the vegetation recovery process at future forest road construction sites.

**Key words:** forest road, vegetation, forest ecology, important value, DCA

\* Corresponding author  
E-mail: cwyun@kongju.ac.kr

ORCID  
Chung Weon Yun <sup>ID</sup> https://orcid.org/0000-0001-7048-6980

## 서론

임도는 입산물의 반출과 입업의 합리적 경영 및 산림의 집약적 관리에 기반이 되는 필수적인 기반 시설이며 (Jeong, 2001), 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 제2조」에 의하면 ‘산림기반시설로서 산림의 경영 및 관리를 위하여 설치한 도로’로 정의하고 있다(Korea Ministry of Government Legislation, 2024).

임도의 개설은 임도의 주변에서 다양한 초본 식물이 나타나며 따라 초지에 의존하여 살아가는 소형 설치류(Rhim et al., 2007), 조류(Hwang et al., 2021), 양서·파충류(Choi et al., 2017) 등 많은 생물에게 서식지를 제공한다(Lee and Kwon, 2014). 임도 개설로 인한 육림 및 목재생산의 경제적 효과가 발생하며(Lee et al., 2017), 적정한 노선 선정과 구조적인 안정성을 확보한 임도의 경우 산불이나 자연재해로 인한 문제를 효과적으로 해결할 수 있다(Coban et al., 2010; Choe et al., 2023). 또한, 임도 시공 후 경과년수가 증가할수록 종다양성 증가, 야생동물의 이동 빈도 증가 등 긍정적인 영향을 미친다는 연구 결과도 보고된 바가 있다(Korea Forest Service, 2006).

그러나 임도의 개설로 인하여 토층의 물리·역학적 특성 및 지형학적 특성 변화 혹은 산사태와 같은 자연재해로 인한 산림훼손(Gucinski et al., 2001; Kim et al., 2022; Yoon et al., 2023), 재산 및 인명피해 등 환경적, 사회경제적 문제로 부각된 바가 있다(Chun et al., 2012). 또한 주요 생물 서식공간 및 생물다양성 유지, 생태계서비스 기능 증진 등의 중요한 기능을 수행하고 있는 연속적인 생태계인 산림에서(Park and Oh, 2015) 자연적인 천이 과정에 있는 산림생태계의 분절화(Reed et al., 1996; García-Tejero et al. 2018), 야생·동식물 서식지의 단편화(Zambarano et al., 2020), 입연부 확대에 따른 새로운 교란종의 유입(Davis et al., 2000; Parendes and Jones, 2000), 산림환경 구조의 변화에 따른 종 조성의 변화(Watkins et al. 2003; Harper et al. 2005; Hamberg et al. 2009)가 원식생의 표징종과 지표종을 바꾸는(Song et al., 2017) 등 부정적인 시각에서 많은 논란이 되어왔다.

임도 개설로 인한 식생 관련 연구는 직접적인 교란을 받은 임도 비탈면을 대상으로 식생 침입과 관련된 연구(Woo et al., 1993; Chun and Oh, 1993; Kim and Kim, 2000; Jeong, 2001; Lee et al., 2003; Song et al., 2004a; Song et al., 2004b), 임도 시공 후 경과년수에 따른 식생 회복과 관련 연구(Lee et al., 2002; Jeon and Ma, 2004; Choo et al., 2014), 임도 시공 후 식물상 현황(Lee et al., 2004; Park et al., 2016) 등으로 주로 절성토사면의 식생침

입과 식생구조 및 식물상에 관련된 연구에 집중되어 있는 경향을 확인하였다. 대부분의 선행 연구는 상부 임분과 입연부를 포함한 비탈면을 연구 범위로 설정하여 조사하였다.

임도 개설 후 시간의 경과에 따른 전체적인 군집 생태계적 영향과 식생 회복을 파악하기 위해서는 상부 임분과 입연부를 포함하여 전체적인 절토면, 임도면, 성토면에 영향을 미치는 하부 입연부와 임분까지 연구할 필요가 있으나 현재는 전무한 상황이다. 또한, 임도 개설이 임도 개설 후 20년 이상 경과한 임도와 개설 초기 단계의 임도에서 산림식생구조에 어떠한 영향을 미치는지 비교 분석한 연구는 아직 밝혀진 바가 없다. 이에 생태학적 측면에서 보았을 때 생태계는 시간의 경과와 생태계 구성요소들 사이에서 상호연관성이 있으므로(Son et al., 2024) 임도가 개설된 후 경과한 년수에 따라 대조구의 역할을 하는 임분, 임분과 절성토의 경계부분인 상하부 입연부, 임도 시공으로 인하여 직접적인 영향을 받는 상하부의 절성토면, 임도면의 식생구조에 미치는 영향과 관련된 연구는 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 임도 개설 후 시간이 경과함에 따라 교란을 받은 절성토면과 입연부는 원생태계로의 복원이 이루어질 것이며, 이에 따른 분류는 환경인자와의 상관관계에서 명확하게 구분될 것이라는 가설을 세웠다. 위 가설에 따라 본 연구는 충청남도 부여군 나령리 은산면 지역에서 임도 개설 후 25년 경과된 1998년, 임도 개설 후 2년 경과된 2021년, 임도 개설 후 1년 경과된 2022년 임도를 대상으로 임도 개설의 영향 정도를 고려한 상하부 횡단 조사구를 설치하여 중요치, 종다양도, 군락유사도 분석, DCA(Detrended Correspondence Analysis) 분석을 통해 임도개설이 산림식생구조에 미치는 영향을 파악하고, 향후 임도 개설 예정지 및 개설지의 식생 회복과정에 대한 군집생태학적 유용자료를 제공하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지개황

본 조사대상지는 충청남도 부여군 나령리 산36-1 일대에 위치하며, 면적 390 ha의 국유림 내 위치한 임도 시설이다(Figure 1). 과거 1998년에 완공되어 현재 개설 후 25년 경과된 3.7 km의 기설 간선임도, 2021년 완공되어 2년 경과된 1.9 km의 간선임도, 그리고 2022년 추가로 완공되어 1년 경과된 1.5 km의 간선임도로 구성되어 있다.

조사대상지의 고도는 약 170-360 m이며, 사면은 북향, 남동향, 남향으로 분포하고 있다. 조사 지역의 기후조건을

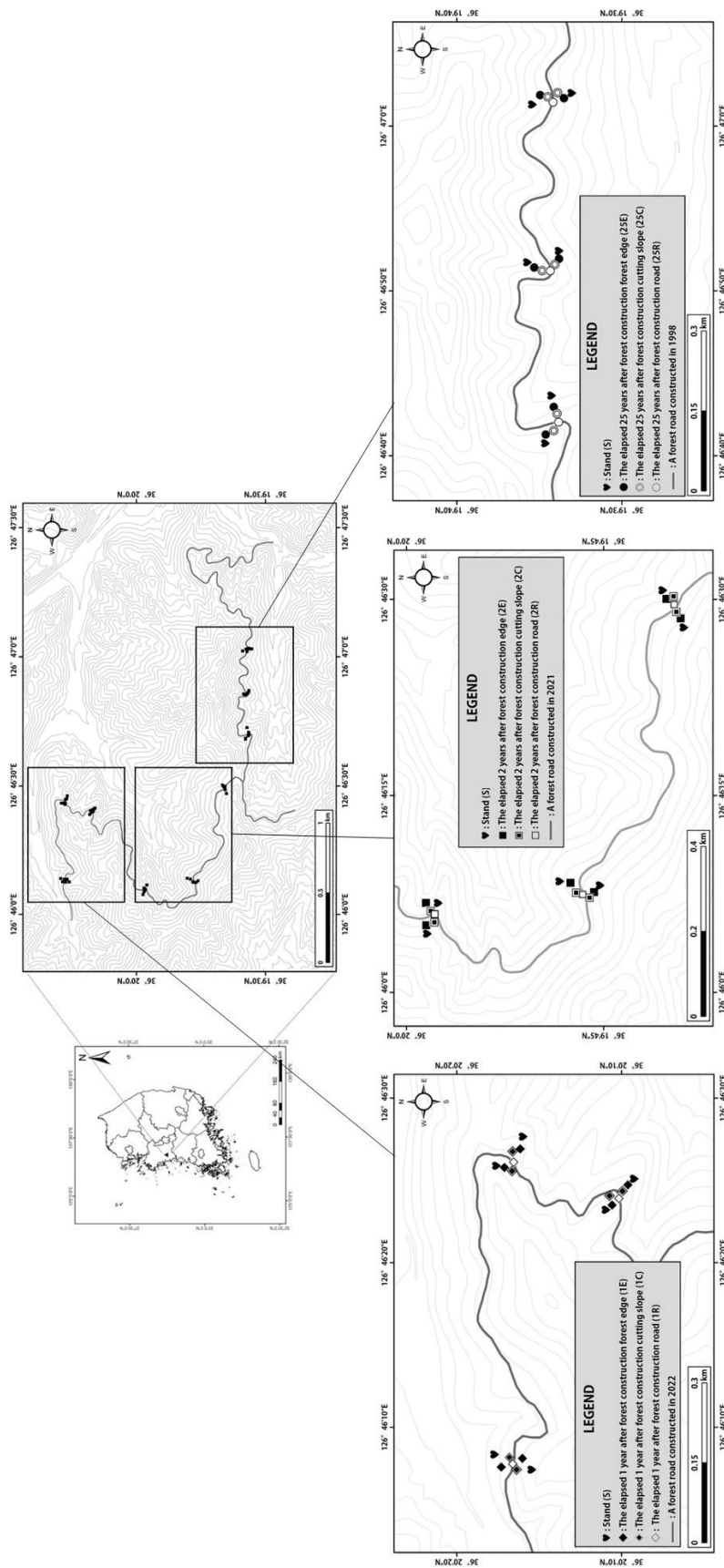


Figure 1. Location of surveyed sites in Naryeong-ri forest road construction.

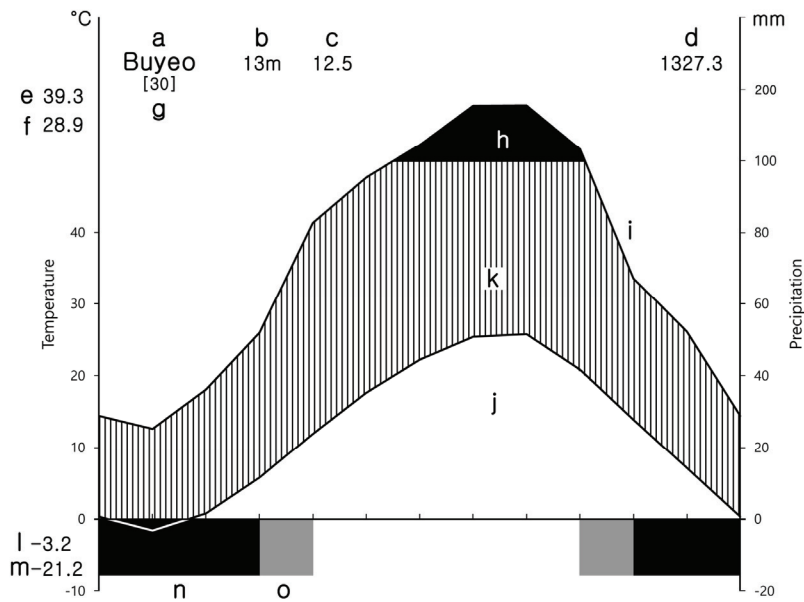


Figure 2. Climate diagram of forest road in Buyeo-Gun.

a : Station name, b : Height above sea level (m), c : Mean annual temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), d : Mean annual amount of precipitation (mm), e : Absolute maximum temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), f : Mean daily maximum temperature of the hottest month ( $^{\circ}\text{C}$ ), g : Number of years observation, h : average monthly precipitation exceeding 100mm (black area), i : Monthly means of precipitation (mm), j : Monthly means of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), k : Humid period (lined), l : Mean daily minimum temperature of the coldest month ( $^{\circ}\text{C}$ ), m : Absolute minimum temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), n : Months with mean daily minimum temperature below  $0^{\circ}\text{C}$ , o : Months with absolute minimum temperature below  $0^{\circ}\text{C}$

파악하기 위해 조사 지역의 인근에 위치한 부여 기상관측소의 최근 30년(1994~2023)간 기상자료를 이용하여 기후도를 작성하였다. 부여 기상관측소 자료에 의하면 연평균 기온은 약  $13.5^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 연평균 강수량은 약 1327.33 mm로 강수량 대부분이 7월과 8월에 집중되었다. 또한 가장 더운 달의 일 평균 최고기온은  $39.3^{\circ}\text{C}$ , 가장 추운 달의 일 평균 최저기온은  $-21.2^{\circ}\text{C}$ , 절대 최고기온은  $31.6^{\circ}\text{C}$ , 절대 최저기온은  $-15.3^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다(Figure 2). 한반도 생태권역도에 의하면 남서산야권역에 위치하며(Shin and Kim, 1996), 생물기후구계도(bio-climatic division)는 중남부내륙형에 속한다(Yim and Kira, 1975). 조사대상지의 지질은 중생대 쥐라기 하부대동계 대동층군 하부 쥐라기의 아미산층, 상부 쥐라기의 월영산층으로 삽입된 사암과 역암질의 암상과, 상부 쥐라기의 옥마산층으로 교번된 사암과, 세일이 삽입된 역암질층이 함유된 암상으로 구성되어 있다(Geo Big Data Open Platform, 2024).

## 2. 야외조사방법

본 조사는 2023년 6월부터 2023년 9월까지 수행하였으며, 나령리 일대에 개설된 임도는 선(line)적인 시설로써 노선으로부터의 거리에 따른 생태계 영향의 차별성 고려가 필요하다. 따라서 산림식생구조의 시간에 따른 변화 파

정, 상호 간의 비교 등을 파악하기 위하여 조사 지역 내에 설치된 임도개설 후 25년 경과(1998년 개설임도), 2년 경과(2021년 개설임도), 1년 경과(2022년 개설임도) 임도의 각각 3개 조사 위치에서 임도면, 절·성토면, 상하부 임연부, 상하부 임분(대조구)의 7개 횡단 위치별로 구분하였고(Figure 3),  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 의 식생변화 모니터링구를 63개 선정하였다. 설치된 조사구의 조사는 Z-M학파의 식물사회학적 방법(Ellenberg, 1956; Braun-Blanquet, 1964)에 따라 출현하는 구성종의 우점도(dominance)와 군도(sociability)를 측정하였다. 층위는 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층으로 구분하였고, 각 조사지의 해발고도, 방위, 경사, 암석노출도, 토양노출도, 낙엽층깊이, 층위별 평균 식피율, 층위별 평균 수고, 층위별 평균 흉고직경 등을 조사하였다(Kim et al., 1987). 또한, 조사지에 나타난 식생의 종 동정은 원색식물도감(Lee, 2003)과 나무생태도감(Yun, 2022)을 기준으로 하였으며 명명은 국가생물종지식정보시스템(Korea National Arboretum, 2024a)과 국가표준식물목록(KNA, 2024b)을 기준으로 학명과 국명을 작성하였다.

## 3. 분석방법

야외조사를 통해 얻은 63개의 조사구의 식생자료를 바탕으로 MS-Excel을 이용하여 임도 개설 후 경과년수와 횡

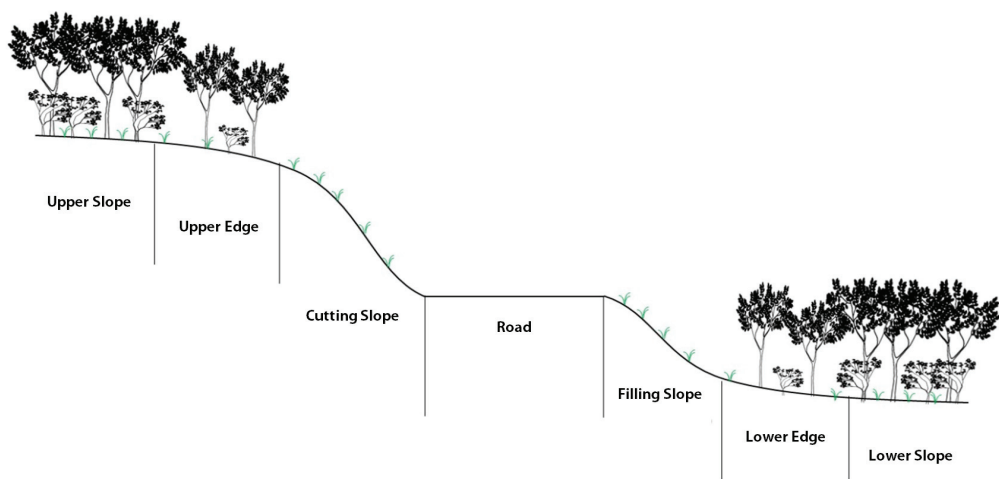


Figure 3. Seven surveyed plots along the cross section of forest road in the investigated area.

단조사구 위치에 따라 10개의 조사구 유형으로 구분 후, 분석을 실시하였다. 10개의 조사구 유형은 상하부 임분의 대조구(S), 25년 경과 임연부(25E), 25년 경과 절성토(25C), 25년 경과 임도면(25R), 2년 경과 임연부(2E), 2년 경과 절성토(2C), 2년 경과 임도면(2R), 1년 경과 임연부(1E), 1년 경과 절성토(1C), 1년 경과 임도면(1R)으로 구분하였다. 임도 개설 후 조사구 유형별 구성종의 상대적 점유정도를 파악하기 위하여 Curtis and McIntosh(1951)가 고안한 상대밀도((Relative Density, RD), 상대피도(Relative Coverage, RC), 상대빈도(Relative Frequency, RF)를 합산한 중요치(Importance Value, I.V.)를 계산하였다. 조사구 유형별 각 군락에 대한 다양성, 우점도와 경쟁 등을 분석하기 위하여 종다양도지수(Shannon, 1948), 최대종다양도지수, 종균재도, 종우점도를 분석하였다. 구분된 조사구 유형 사이의 유사도를 분석하기 위하여 Sørensen의 유사계수(CCs)를 이용하여 구성종의 군락유사도를 분석하였다. 식생자료는 식물사회학적 방법 조사로 피도를 단계

화하여서 조사하기 때문에 방형구 내 조사된 식물 종의 존재여부를 통한 데이터로 분석하는 것이 더욱 객관적이므로 각 변량 간 특성을 비교하기 위하여 Hill(1979)의 DCA(Detrended Correspondence Analysis)를 이용하여 서열분석을 수행하였다. 분석된 데이터를 바탕으로 이차원 공간에 각각의 조사 위치를 배열하여 조사구 유형 간 유연관계를 파악하였다. 분석 프로그램은 PC-ORD v7.10을 이용해 Biplot cutoff R2 0.200으로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 유형과 층위에 따른 종구성 특성

조사구 유형별 교목층(Table 1), 아교목층(Table 2), 관목층(Table 3), 초본층(Table 4)의 종구성 특성을 파악하기 위하여 중요치(I.V.: importance value)를 산출하였고, Total 값 기준 높은 값을 가지는 순서대로 나타내었다. 교목층 중요치는 25R, 2C, 2R, 1C, 1R을 제외한 5개의 유형에서 나타났

Table 1. Importance value of major species according to the survey plot types of the elapsed year after forest road construction at tree layer.

Scientific name (Korean name)	The elapsed year after forest road construction										Total
	S	1yr			2yr			25yr			
		E	C	R	E	C	R	E	C	R	
<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	64.8	85.2			51.4			52.9	54.2		61.7
<i>Quercus variabilis</i> (굴참나무)	24.9	6.8			15.3			40.7	45.8		26.7
<i>Quercus aliena</i> (갈참나무)	4.0				18.1						4.4
<i>Larix kaempferi</i> (일본잎갈나무)					15.3						3.1
<i>Quercus dentata</i> (떡갈나무)		8.0						6.4			2.2
<i>Quercus mongolica</i> (신갈나무)	3.1										1.3
<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	3.1										0.6
Total (7 species)	100.0	100.0			100.0			100.0	100.0		100.0

**Table 2. Importance value of major species according to the survey plot types of the elapsed year after forest road construction at subtree layer**

Scientific name (Korean name)	The elapsed year after forest road construction										Total
	S	1yr			2yr			25yr			
		E	C	R	E	C	R	E	C	R	
<i>Quercus variabilis</i> (굴참나무)	14.5							<b>38.3</b>	<b>37.3</b>		18.0
<i>Platycarya strobilacea</i> (굴피나무)		<b>50.0</b>									10.0
<i>Prunus</i> spp. (벚나무류)	11.1				<b>22.4</b>				14.9		9.7
<i>Quercus mongolica</i> (신갈나무)	9.1	25.0			13.8						9.6
<i>Styrax obassia</i> (쪽동백나무)		25.0			16.2						8.2
<i>Styrax japonicus</i> (때죽나무)	13.7							23.5			7.4
<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	11.1							9.5	14.9		7.1
<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	4.5							19.1	10.4		6.8
<i>Prunus sargentii</i> (산벚나무)	4.5				6.9				22.4		6.8
<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	<b>20.2</b>										4.0
<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (개웃나무)	3.3				16.4						3.9
<i>Aria alnifolia</i> (팔배나무)	4.5				9.5						2.8
<i>Quercus dentata</i> (떡갈나무)								9.5			1.9
<i>Cornus controversa</i> (층층나무)					9.5						1.9
<i>Lindera obtusiloba</i> (생강나무)					5.3						1.1
<i>Magnolia kobus</i> (목련)	3.3										0.7
Total (16 species)	100.0	100.0			100.0			100.0	100.0		100.0

**Table 3. Importance value of major species according to the survey plot types of the elapsed year after forest road construction at shrub layer**

Scientific name (Korean name)	The elapsed year after forest road construction										Total
	S	1yr			2yr			25yr			
		E	C	R	E	C	R	E	C	R	
<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (개웃나무)	<b>21.0</b>	15.7			13.1			<b>18.5</b>	14.9		11.9
<i>Styrax japonicus</i> (때죽나무)	16.8	14.4	12.5		10.4			8.2			8.9
<i>Viburnum erosum</i> (딜꿩나무)	5.7	7.3			<b>24.5</b>	12.8			8.9		8.5
<i>Lindera erythrocarpa</i> (비목나무)	2.4	3.7	<b>25.0</b>		24.0						7.9
<i>Styrax obassia</i> (쪽동백나무)	5.0	2.2	12.5		2.9	<b>29.1</b>					7.4
<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	6.3	13.0						12.8	<b>15.5</b>		6.8
<i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래)	8.9	7.9			4.6			6.5	12.5		5.8
<i>Callicarpa japonica</i> (작살나무)					2.9	29.1					4.6
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> (산초나무)			12.5		2.2			6.5	8.9		4.3
<i>Lespedeza bicolor</i> (싸리)						29.1					4.2
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> (철쭉)	7.8	<b>19.8</b>									3.9
<i>Quercus variabilis</i> (굴참나무)	1.8	2.2						10.5	8.9		3.3
<i>Castanea crenata</i> (밤나무)	1.3	1.4	12.5					2.4			2.5
<i>Platycarya strobilacea</i> (굴피나무)			12.5					2.4			2.1
<i>Lindera obtusiloba</i> (생강나무)	4.0	2.9						8.0			2.1
<i>Rhus chinensis</i> (붉나무)								1.7	12.5		2.0
<i>Prunus</i> spp. (벚나무류)	3.0	1.4			2.9				5.9		1.9
<i>Magnolia kobus</i> (목련)	0.6		12.5								1.9
<i>Prunus sargentii</i> (산벚나무)	2.4							2.4	5.9		1.5
<i>Lindera glauca</i> (감태나무)	1.3	1.4			2.9			3.9			1.4
Others (17 species)	11.8	6.5	0.0		9.5	0.0		16.1	6.0		7.1
Total (37 species)	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0		100.0	100.0		100.0

**Table 4. Importance value of major species according to the survey plot types of the elapsed year after forest road construction at herb layer**

Scientific name (Korean name)	The elapsed year after forest road construction										Total
	S	1yr			2yr			25yr			
		E	C	R	E	C	R	E	C	R	
<i>Eragrostis curvula</i> (능수참새그령)				<b>40.0</b>	7.2	<b>35.7</b>				8.0	9.1
<i>Lindera erythrocarpa</i> (비목나무)	11.5	1.2			<b>34.0</b>	1.8		<b>0.8</b>	6.4		5.6
<i>Smilax china</i> L. (청미래덩굴)	9.9	7.6	3.1		5.6	3.2		<b>19.3</b>	2.0		5.1
<i>Quercus variabilis</i> (굴참나무)	6.8	1.2	2.3		3.9	0.6		13.7	15.1	1.8	4.5
<i>Lolium perenne</i> (호밀풀)				20.0		14.7	6.4				4.1
<i>Viburnum erosum</i> (덜꿩나무)	<b>11.7</b>	<b>15.7</b>	3.1		5.0	0.6		0.8			3.7
<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (개웃나무)	8.2	3.5	3.9		5.6	2.6		4.0	6.0	0.9	3.5
<i>Erechtites hieraciifolius</i> (붉은서나물)			14.2			<b>15.9</b>	4.3				3.4
<i>Dryopteris chinensis</i> (가는잎죽제비고사리)	1.1	1.2	0.8		3.7				<b>24.2</b>		3.1
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (주름조개풀)	0.8	1.2	<b>15.0</b>		4.3	5.5		0.8	1.0	2.1	3.1
<i>Conyza canadensis</i> (망초)			0.8	20.0		0.6	6.4				3.0
<i>Arundinella hirta</i> var. <i>ciliata</i> (새)									1.0	<b>24.1</b>	2.5
<i>Cyperus amuricus</i> (방동사니)			0.8	20.0			4.3				2.5
<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	1.4	1.2	0.8		3.0	7.2	2.1	1.6	1.0	3.9	2.2
<i>Styrax obassia</i> (쪽동백나무)	7.1	5.9	0.8		6.8	1.5					2.2
<i>Indigofera kirilowii</i> (땅비싸리)	1.1	4.7				1.8		8.0	6.4		2.2
<i>Lindera obtusiloba</i> (생강나무)	6.5	2.9	1.5		4.3	0.6		3.2	1.0		2.0
<i>Styrax japonicus</i> (때죽나무)	2.8	6.5	0.8		2.0			1.6	5.4		1.9
<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i> (가는잎그늘사초)	2.2	1.2	1.5		1.3	0.6		8.0	1.0	2.1	1.8
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> (철쭉)	2.8	6.5	6.5								1.6
Others (96 species)	25.8	39.9	44.3	0.0	20.3	35.6	40.7	38.2	29.5	54.9	32.9
Total (37 species)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

다. 교목층 구성 중에 대하여 소나무(61.7%)가 가장 높게 나타났으며, 굴참나무(26.7%), 갈참나무(4.4%), 일본잎갈나무(3.1%), 떡갈나무(2.2%) 등의 순으로 나타났다. 절성토면에 소나무의 중요치가 높게 나타난 것은 교목성 양수 수종인 소나무가 임도 개설 후 초기식생인 1년생 및 다년생 초본과 관목층의 천이단계를 지나 양수 수종이 우점하는 천이단계에 있는 것으로 판단된다(Byeon et al., 2018).

아교목층은 교목층과 동일하게 25R, 2C, 2R, 1C, 1R을 제외한 5개의 유형에서 나타났다. 아교목층 구성 중에 대하여 굴참나무(18.0%)가 가장 높게 나타났으며, 굴피나무(10.0%), 뽕나무류(9.7%), 신갈나무(9.6%), 쪽동백나무(8.2%) 등의 순으로 나타났다. 25E와 25R의 종조성이 S와 유사한 것으로 보아 임도 개설로 인한 교란을 받았으나 현재는 원생태계의 식생 회복이 이루어지고 있는 과정이라고 볼 수 있다.

관목층은 임도면 유형을 제외한 7개의 유형에서 모두 나타났다. 개웃나무(11.9%)가 가장 높게 나타났으며, 때죽나무(8.9%), 덜꿩나무(8.5%), 비목나무(7.9%), 쪽동백나무

(7.4%) 등의 순으로 나타났다. 2C와 1C는 벌채 초기 잔존 수목인 때죽나무와 쪽동백나무, 양수 수종인 싸리와 작살나무, 비목나무 등이 우점하고 있는 것으로 판단되었다(Oh et al., 2004).

초본층은 10개의 조사구 유형 모두에서 나타났다. 능수참새그령(9.1%)이 가장 높게 나타났으며, 비목나무(5.6%), 청미래덩굴(5.1%), 굴참나무(4.5%), 호밀풀(4.1) 등의 순으로 나타났다. 능수참새그령, 호밀풀은 임도 시공 후 초기 단계에 사면 파종하는 사면 녹화용 수종으로 주로 사용되고 있으며(Lee et al., 2003; You et al., 2019) 본 연구대상지에서 시행되었던 성토 녹화작업에 의한 결과로 추정된다. 1·2C에서 벼과 다년생초본과 더불어 소나무, 일본잎갈나무의 치수가 나타난 것으로 보아 일본잎갈나무와 소나무의 종자가 바람에 비산되어 종자가 유입되기 시작하였으며, 개방된 상관에 의하여 광량이 증가하였으므로 양수성 수종에 해당하는 수종의 치수 유입이 빠르게 진행된 것으로 판단된다(Kondo et al., 1999; Zhang et al., 2013; Kim et al., 2018).

2. 유형별 종다양성

나령리 임도 내 구분된 10개의 조사구 유형을 바탕으로 종다양도(H), 최대종다양도(Hmax'), 종균재도(J'), 종우점도(1-J')의 4가지 지수로 종다양성 정보를 산출한 결과이다(Figure 4). 종다양도 지수를 살펴보면 0.693~1.855의 범위로 분포하고 있었다. 1·2C에서 각각 1.855와 1.674의 높은 값을 나타내었고, 1R과 25C에서 각각 0.693과 0.964의 낮은 값을 가졌다. 벼과, 국화과, 콩과 등 식생이 주로 출현하는 1·2C에서 높은 종다양도 값을 나타내는 것은 임도가 개설됨에 따라 사면 녹화공을 실시하고, 표토가 노출됨에 따라 귀화식물의 유입이 상대적으로 용이하였기 때문으로 판단된다. 또한, S와 개설 후 전 구간의 임연부의 경우 종다양도의 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 최대종다양도 지수의 경우 0.693~2.957로 분포하고 있었다. 25R에서 최대종다양도가 높게 나타난 것은 정상적인 생태전이 과정에서 과거 임도개설 당시 절성토사면에 직파한 녹화용 초본류가 소나무와 참나무류 등 목본식물의 이입으로 인하여 도태되었고, 상대적으로 상관이 개방되고 척박한 임도면에 초본류 식생이 유입되면서 나타난 결과로 판단된다. 균재도에서 1R은 임도가 개설되고 수관층이 열림에 따라 광조건이 충분하고 균재도가 1에 수렴하므로 종별 개체수가 균일하다고 판단될 수 있으나(Brower and Zar, 1977) 종조성을 확인해 보았을 때, 모든 조사구에서 동일하게 사면 녹화용 초본과 일부 귀화식물이 나타난 결과로

판단된다. 우점도의 경우, 1C과 임도면을 제외한 모든 조사구 유형에서 0.4~0.6 사이의 값을 가졌다. Whittaker (1965)에 의하면 종우점도는 0.9 이상일 때 1종 우점, 0.3~0.7일 때 1종 또는 2종, 0.1~0.3일때는 다양한 종이 분포한다고 하였는데, 본 연구 결과에서 1C과 임도면을 제외한 모든 조사구 유형에서 1종 또는 2종이 우점하고 있다는 것으로 판단할 수 있으며, 25C의 경우 시간이 경과함에 따라 식생이 회복되는 과정에서 교목층과 아교목층에서 소나무와 굴참나무의 우점도가 높아져 나타난 결과로 판단되었다.

3. 유형별 군집유사도

조사구 유형 사이의 유사성을 측정하기 위해서 Sorensen의 유사계수(CCs)를 나타내었다(Sorensen, 1948)(Table 5). Cox(1976)는 생태적으로 유사한 집단 간에는 유사도지수가 높게 나타난다고 하였으며, 두 지역 간의 유사도지수가 20% 이하일 때는 이질적인 군락이고 80% 이상이 되면 동질적인 군락이라고 하였다. 1이면 두 군락이 완전히 같고, 0이면 완전히 다르고, 50% 이상이면 구성종의 차이가 없는 동일 군락이라고 하였다(Buell et al., 1966). 본 연구 결과에서 S와 25E, 25C, 2E, 1E, 1C는 0.5~0.6 사이로 군락 간 구성 종의 차이가 크지 않은 군락으로 나타났다. 또한 1E와 S의 군락유사도가 0.713으로 가장 높게 나타났는데, 이는 임도가 개설되고 얼마 지나지 않았기 임내 광량과

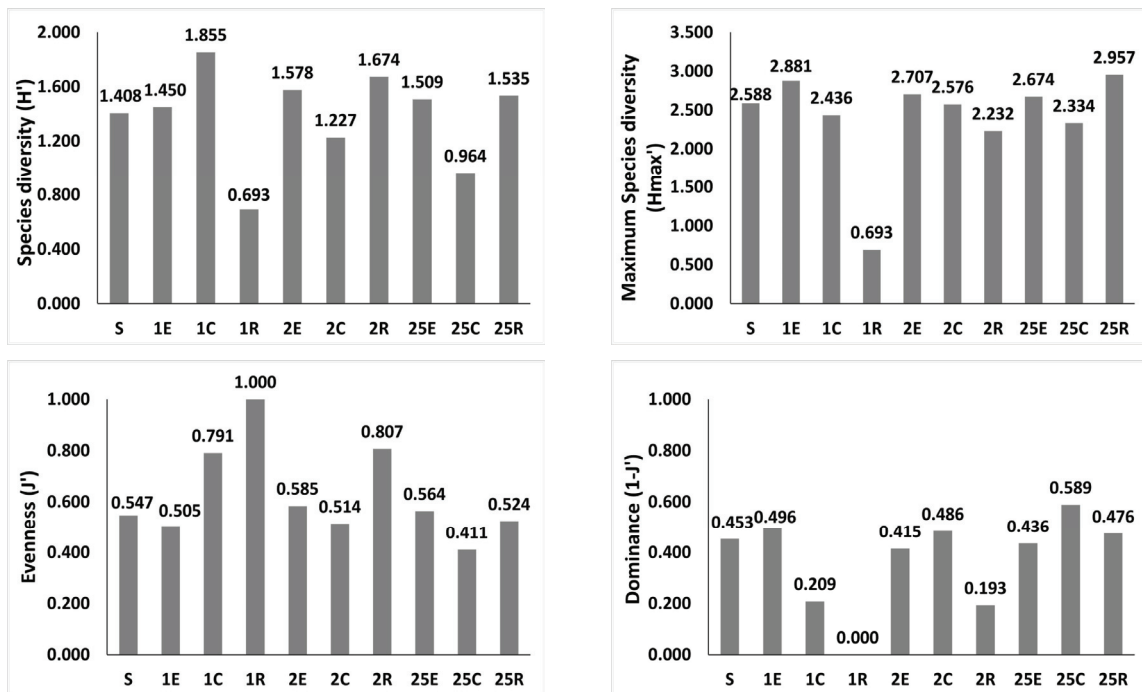


Figure 4. Species diversity index according to the survey plot types of the elapsed year after forest road construction.



Table 5. Coefficient of similarity index between each survey plot types of the elapsed year after forest road construction.

S		The elapsed year after forest road construction								
		1yr			2yr			25yr		
		E	C	R	E	C	R	E	C	R
S		0.713	0.565	0.000	0.591	0.396	0.057	0.630	0.607	0.209
	E		0.674	0.000	0.588	0.409	0.030	0.607	0.628	0.241
	25yr	C			0.091	0.579	0.500	0.172	0.525	0.571
	R				0.000	0.125	0.364	0.000	0.000	0.105
2yr	E					0.475	0.074	0.526	0.603	0.286
	C						0.323	0.476	0.543	0.359
	R							0.034	0.073	0.269
1yr	E								0.649	0.270
	C									0.366
	R									

Note. Stand; S, forest edge; E, cutting slope; C, Road; R

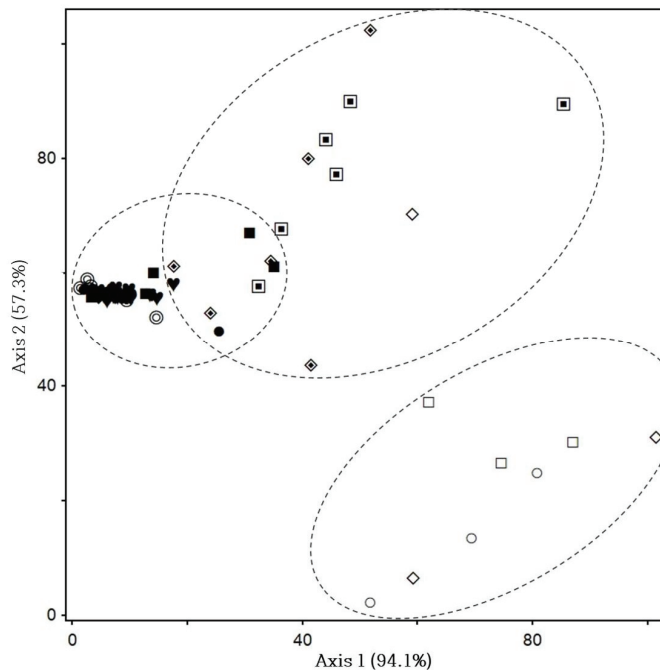


Figure 5. DCA(Detrended Correspondence Analysis) ordination for survey plot types(♥ : Stand, ◆ : The elapsed 1 year after forest road construction forest edge (1E), ◇ : The elapsed 1 year after forest road construction cutting slope (1C), ◇ : The elapsed 1 year after forest road construction road (1R), ■ : The elapsed 2 years after forest road construction forest edge (2E), □ : The elapsed 2 years after forest road construction cutting slope (2C), □ : The elapsed 2 years after forest road construction road (2R), ● : The elapsed 25 years after forest road construction forest edge (25E), ◎ : The elapsed 25 years after forest road construction cutting slope (25C), ○ : The elapsed 25 years after forest road construction road (25R)).

수관열림도의 영향을 크게 받지 않았기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 25E, 25C와 S 간 유사도는 0.6~0.7사이로 유사도지수가 상당히 높으며, 구성종의 차이가 거의 없기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

Sorensen의 유사계수와 더불어 조사구 유형 간 거리를

정량적으로 확인해 보고자 탈경향대응분석(DCA)을 실시 하였다(Figure 5). 군락 단위로 축의 평균 거리를 살펴보았을 때, DCA 제1축과 제2축의 eigenvalue가 각각 0.941, 0.573으로 나타났으며, 3개 축 전체 합 1.973의 76.7%에 해당하여 total variance에 대한 집중률이 높은 편이었다.

S, 1·2·25E와 25C는 Axis1와 Axis2를 기준으로 하여 좌측 중앙에 밀집하는 경향을 보였는데, 이는 소나무, 굴참나무, 개웃나무, 진달래, 청미래덩굴 등의 종이 동일하게 분포하고 있기 때문으로 판단되었다. 1·2C가 Axis2를 기준으로 상단에 밀집하고 있는 것은 관목층과 초본층에서의 종조성이 유사하기 때문이며, 1·2·25R이 Axis1와 Axis2를 기준으로 우측 하단에 밀집하는 것은 초본층에서 능수참새그렁, 호밀풀, 망초 등 벼과 혹은 국화과 식생이 분포하면서 종조성이 유사하게 나타났기 때문으로 판단된다.

## 결론 및 종합고찰

본 연구는 부여군 나령리에 개설된 임도를 대상으로 임도 개설 후 시간의 경과에 따른 산림식생 구조의 영향을 구명하고자 총 63개소의 조사구를 대상으로 10개의 조사구 유형으로 구분하였고, 유형별로 중요치, 종다양도, 유사도분석, DCA분석을 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

중요치의 경우, 1·2년 경과 절성토와 임도면을 제외한 조사구 유형에서 교목층 소나무와 굴참나무가 우점하는 양상을 보였다. 절성토의 경우 임도 개설이라는 직접적인 교란을 받은 유형으로 25년 경과 절성토와 1·2년 경과 절성토를 비교하였을 때, 현재 식생의 종 조성이 대조구, 25년 경과 임연부와 유사한 것으로 확인되었다. 또한 소나무와 굴참나무가 나타난 것은 조사지 일대의 상관군락(소나무군락, 굴참나무 군락)인 대조구 수준으로 생태계 복원이 이루어지고 있는 과정이라고 보여진다. 종다양도의 경우 절성토면과 임도면에서 균재도가 높고 우점도가 낮은 것은 새, 역새 등 일부 종의 우점도가 매우 높은 것이 원인이며, 대조구의 경우 종다양도의 큰 차이가 없는 반면 1년 경과 임도면에서 최대종다양도가 높은 것은 식생 녹화작업과 임도면의 환경적인 특성에 기인한다고 할 수 있다. 25년 경과 임도는 종다양도와 균재도가 낮고 우점도가 높게 나타났는데, 이는 절개된 사면이 소나무의 생육에 적합한 환경을 띄고 있으므로 소나무의 중요치가 높게 나타났기 때문으로 판단된다. 군락유사도의 경우, 대조구와 25년 경과 임연부와 절성토 사이는 유사도지수가 상당히 높게 나타났고 구성종의 차이가 거의 없는 것으로 판단된다. DCA분석 결과에서도 동일하게 결과가 반영되었는데, 대조구와 1·2·25년 경과 임연부, 25년 경과 절성토는 제1축의 가장 왼쪽에 그룹을 이루고 있으며, 1·2년 경과 절성토는 제2축 상단에 위치하였고, 1·2·25 임도면은 제1축과 제2축의 우측 하단에 밀집하고 있음을 확인하였다.

결론적으로 임도개설 후 25년 경과한 임도의 임연부와

절성토면의 복원은 거의 원생태계 수준에 근접한 것으로 판단되었으며, 개설 후 1·2년 경과 임도 또한 시간이 경과함에 따라 서서히 복원될 것으로 보인다. 따라서, 본 연구 결과를 통하여 향후 임도 개설 예정지 및 개설지의 복원 과정에 대한 군집 생태학적 참고자료로 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 앞으로 5년 단위의 수십 년에 걸친 임도주변 생태계 변화에 대한 연구가 뒤따라 수행될 필요가 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2023년 중부지방산림청 연구 과제(“임도개설이 야생 동식물에 미치는 영향 모니터링 연구”)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

## References

- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie Grundzüge der Vegetation der Vegetation(3<sup>rd</sup> Edition). Springer-Verlag. Wien. New York. pp. 865.
- Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. Wm.C.Brown Company Publishers. Iowa, U.S.A. pp. 596.
- Buell, M.F., Langford, A.N., Davidson, D.W. and Ohmann, L.F. 1966. The upland forest continuum in northern New Jersey. Ecology 47(3): 416-432.
- Byeon, S.Y., Yun, C.Y. 2018. Community structure and vegetation succession of *Carpinus laxiflora* forest stands in South Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 32(2): 185-202.
- Choe, Y.J., Hwang, J.S., Hwang, Y.I., Jeon, H.J., Kweon, H.K. and Lee, J.W. 2023. Change in the concrete strength of forest road drainage systems caused by forest fires. Journal of Korean Society of Forest Science 112(4) : 451-458.
- Choi, W.J., Kwon, S.R., Kim, K.H., Yang, H.M. and Park, D.S. 2017. Characteristics of amphibian and reptile distribution on or near forest roads in the Mt. Nambyeong. Korean Journal of Herpetology 8(1): 3-9.
- Choo, G.C., Par, J.H. and Ma H.S. 2014. Analysis of flora and vegetation in forest road slopes along to constructions age. Journal of Korean Forest Society 103(3): 408-421.
- Chun, K.W. and Oh, J.M. 1993. Sediment discharge and invasion of plants on the slope of the forest roads(II) -invasion of trees on the banking slope-. Journal of Korean Forest Society 82(4): 354-365.
- Chun, Y.J., Sagong, H. and Chun, D.J. 2012. Major Environ-

- mental Impacts of Forest Roads. Seoul: Korea Institute of Policy Evaluation. pp. 95.
- Coban, H. O., Koc, A. and Eker, M. 2010. Investigation on changes in complex vegetation coverage using multi-temporal landsat data of Western Black Sea region-a case study. *Journal of Environmental Biology* 31(1-2): 169-178.
- Cox, G.W. 1976. *Laboratory Manual of General Ecology*. William C. Brown Company. Dubuque, Iowa, UNITED STATES. pp. 232.
- Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32(3): 476-496.
- Davis, M.A., Grime, J.P. and Thompson, K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Ecology* 88(3): 528-534.
- Ellenberg, H. 1956. *Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde*. Eugen. Ulmer. Stutthart. pp. 136. (in German)
- García-Tejero, S., Spence, J.R., O'Halloran, J., Bourassa, S. and Oxbrough, A. 2018. Natural succession and clear-cutting as drivers of environmental heterogeneity and beta diversity in North American boreal forests. *PLoS ONE* 13(11): e0206931.
- Geo Big Data Open Platform. 2024. Multipletatform Geoscience information. <https://data.kigam.re.kr>.
- Gucinski, H., Furniss, M.J., Ziemer, R.R. and Brookes, M.J. 2001. *Forest Roads: A Synthesis of Scientific Information*. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service. Portland, Oregon. pp. 103.
- Hamberg, L., Lehvavirta, S. and Kotza, D.J. 2009. Forest edge structure as shaping factor of understory vegetation in urban forests in Finland. *Forest Ecology Management* 257(2): 712-722.
- Harper, K.A. et al. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19(3): 768-782.
- Hill, M.O. 1979. DECORANA - A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell University. Ecology Program. Ithaca. New York. pp. 52.
- Hwang, J.K., Han, S.W., Cho, H.J., Nam, H.K., Yoo, S.Y., Kwon, I.K. and Lee, J.W. 2021. Analysis of bird community by habitat type in Nak-nam Jeongmaek. *Korean Journal of Environment and Ecology* 35(2): 106-114.
- Jeon, K.S. and Ma, H.S. 2004. Changing of vegetation coverage through elapsed years on cutting slope in forest roads. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 7(3): 14-25.
- Jeong, W.O. 2001. Effects of environmental factors on the stability and vegetation survival in cutting slope of forest roads. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 4(2): 74-83.
- Kim, G.H., Sung, H.C., Choi, J.Y. and Heo, Y.J. 2018. *Ecology Restoration (Korean Edition)*. Kimoondang. Seoul. pp. 232.
- Kim, G.Z. and Kim, J.H. 2000. The quantitative ecological analysis for invading vegetation on forest road cut-slopes. *Journal of Forest Science* 16: 1-16.
- Kim, H.S., Moon, S.W. and Seo, Y.S. 2022. Analysis of factors influencing landslide occurrence along a forest road near Sangsan Village, Chungju, Korea. *The Journal of Engineering Geology* 32(1): 73-83.
- Kim, J.M., Kim, C.S. and Park, B.G. 1987. *Methods of Vegetation Survey*. Ilsinsa. Seoul. pp. 170. (in Korean)
- Kondo, T. and Tsuyuzaki, S. 1999. Natural regeneration patterns of the introduced larch, *Larix kaempferi* (Pinaceae), on the volcano Mount Koma, northern Japan. *Diversity and Distributions* 5: 223-233.
- Korea Forest Service. 2006. *Biodiversity Impacts Of Forest Road Construction Research On Change And Restoration Technology Development*. Korea Forest Service. pp. 114.
- Korea Ministry of Government Legislation. 2024. *Creation And Management of Forest Resources Act*. <https://www.moleg.go.kr>.
- Korea National Arboretum. 2024a. *Korea Biodiversity Information System*. <http://www.nature.go.kr>.
- Korea National Arboretum. 2024b. *Korea Plant Names Index Committee*. <http://www.nature.go.kr>.
- Lee, C.B. 2003. *Coloured Flora of Korea*. Hyangmunsa. Seoul. 999pp. (in Korean)
- Lee, C.M. and Kwon, T.S. 2014. Change of butterfly communities after clear cutting in Gwangneung forest. *Korea Journal of Applied Entomology* 53(4): 347-354.
- Lee, J.W., Chu, G.C. and Choe, Y.H. 2002. Influence of elapsed years and physical properties on vegetation invasion of forest road slope. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 5(1): 28-34.
- Lee, M.J., Lee, J.W., Jeon, K.S., Ji, Y.U., Kim, M.J., Kim, J.Y. and Song, H.K. 2004. Native plants selection for ecological replantation and vascular plants in forest road slope -In case study on forest road of Gyeongsangnam-do and Jeollanam-do-. *Korean Journal of Environment and Ecology* 17(3): 201-209.
- Lee, M.J., Song, H.G., Lee, J.U., Jeon, G.S., Kim, H.J. and Jeong, D.H. 2003. Vegetation succession in the cut-slope of forest road -In case study on Chungcheong-do-. *Journal*

- of Korean Society of Forest Science 92(4): 297-408.
- Lee, S.J., Jung, B.H., Kim, K.D., Jeon, H.S. and Jo, M.W. 2017. An analysis for the economic impact of forest road investment. *Journal of Korean Forest Society* 106(2): 219-229.
- Parendes, L.A. and Jones, J.A. 2000. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the HJ Andrews Experimental Forest, Oregon. *Conservation Biology* 14(1): 64-75.
- Park J.E., Park S.B., Park J.G., An, J.B., Kim, B.G. and Choo, G.C. 2016. Analysis of flora and vegetation in forest road slopes after the forest road construction. *Journal of Agriculture & Life Science* 50(4): 1-15.
- Park, H.C. and Oh, C.H. 2015. Development of mobile application for analysis and collection information relation with plant communities and biodiversity. *Literature and Environment* 14(1): 95-111.
- Reed, R.A., Johnson-Barnard, J. and Baker, W.L. 1996. Contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky Mountains. *Conservation Biology* 10(4): 1098-1106.
- Rhim, S.J., Lee, J.Y., Kim, M.J., Park, S.J., Lee, E.J. and Lee, W.S. 2007. Differences in small rodent populations between forest and forest road areas. *Journal of Korean Forest Society* 96(3): 245-250.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27(3): 379-423.
- Shin, J.H. and Kim, C.M. 1996. Ecosystem classification in Korea(I). *FRI Journal of Forest Science* 54: 188-199.
- Son, Y.H., Koo, C.D. Kim, C.S., Park, P.S., Yun, C.W. and Lee, K.H. 2024. *Forest Ecology*. Hyangmunsa. Seoul. pp. 366.
- Song, H.G., Park, G.S., Lee, J.U., Lee, M.J., Kim, H.J. and Kwon, O.W. 2004a. Analysis on the vegetation structure of the decomposed granite cut-slope -In case study on forest road of Gyeongsang-do and Jeolla-do-. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 7(1): 59-67.
- Song, H.K., Park, G.S., Lee, J.W., Lee, M.J., Lee, S.H. and Kim, H.J. 2004b. Vegetation structure and succession of the decomposed granite cut-slope-In case study on forest road of Gangwon-do-. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 7(6): 84-93.
- Song, J.H., Yun, C.W., Cho, Y.H. and Kang, H.K. 2017. A study vegetation structure changes between natural land and damaged land in regional ecological network at Chungnam Province. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 20(2): 13-35.
- Sorensen, T.A. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter* 5(4): 1-34.
- Watkins, R.Z., Chen, J., Pickens, J. and Brososke, K.D. 2003. Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape. *Conservation Biology* 17(2): 411-419.
- Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147(3655): 250-260.
- Woo, B.M., Kwon, T.H. and Kim, N.C. 1993. Studies on Vegetation Succession on the Slope of the Forest Road and Development of Slope Revegetation Methods - In Cutting Slope -. *Journal of Korean Forest Society* 82(4): 381-395.
- Yim, Y.J. and Kira, T. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula I. distribution of some indices of thermal climate. *Japan Journal of Ecology* 25: 77-88.
- Yoon, H.Y., Jang, D.H. and Lee, Y.K. 2023. A study on the landslide susceptibility mapping using statistical spatial data integration models -focusing on Wangpicheon ecosystem and landscape conservation areas-. *Journal of Photo Geography (Sajin Chiri)* 33(1): 174-188.
- Yun, C.W. 2022. *Field Guide to Trees and Shrubs*. Geobook. Korea. pp. 703.
- Zambrano, J., Cordeiro, N.J., Garzon-Lopez, C., Yeager, L., Fortunel, C., Ndangalasi, H.J. and Beckman, N.G. 2020. Investigating the direct and indirect effects of forest fragmentation on plant functional diversity. *PLoS ONE* 15(7): e0235210.
- Zhang, M., Kim, J.S., Cho, Y.C., Bae, S.W., Yun, C.W., Byun, B.K. and Bae, K.H. 2013. Initial responses of understory vegetation to 15% aggregated retention harvest in mature Oak (*Quercus mongolica*) forest in Gyeongsangbukdo. *Journal of Korea Society of Forest Science* 102(2): 239-246.

---

Manuscript Received : May 5, 2024  
 First Revision : July 12, 2024  
 Second Revision : August 20, 2024  
 Third Revision : September 12, 2024  
 Accepted : September 13, 2024