

임도시공 경과년수에 따른 비탈면 식생 및 식물 분포특성: 춘천시를 중심으로

김세창¹ · 이영석² · 한상균¹ ^{2*}

¹강원대학교 산림재난관리인재양성센터, ²강원대학교 산림경영학과

Characteristics of Vegetation and Plant Distribution on Forest Road Slopes by Elapsed Years After Construction: Focusing on Chuncheon City

Se-Chang Kim¹, Yeong-Seok Lee² and Sang-Kyun Han¹ ^{2*}

¹Human Resources Development Center for Forest Disaster Management,
Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Department of Forest Management, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

요약: 본 연구는 강원 춘천시 동면 품걸리 임도(2016~2020년 개설, 총 8.66km)의 입지환경 및 식생 특성 분석을 통해 지속 가능한 관리 전략을 모색했다. 임도 개설 연수가 증가할수록 절토 및 성토사면의 식생 피복도는 높아졌고, 특히 성토사면의 피복도가 더 높았고, 사면 하층부에서 광량 증가와 영양분 집적으로 인해 식생 피복이 높게 나타났다.

임도개설 초기에는 다양한 식물상이 나타났으나, 시간이 지남에 따라 싸리, 칩, 개망초 등 특정 우점종이 강화되었고, 침은 개설 3년차에 모든 구역에서 우점종으로 확인되어 덩굴성 목본류 제거의 필요성이 강조되었다.

식물 생육 특성 분석에서는 R₅ 유형이 가장 많았고, 산포기관형에서는 중력산포형과 풍수산포형이 우세하여 외래식물 침입에 대한 지속적인 모니터링이 요구되며, 이러한 결과는 임도 개설지의 식생 천이에 대한 이해를 돕고, 생태계 건강성 유지를 위한 지속적인 모니터링 및 위해 식물 관리의 중요성을 시사한다. 또한, 향후 R₅ 유형 자생식물 활용, 완충지대 설정, 풍수산포형 식물 모니터링, 장기적인 기후변화 및 식생 천이 연구의 필요성이 확인되었다.

Abstract: This study examined the site environment and vegetation characteristics of a forest road in Pumgeol-li, Dong-myeon, Chuncheon-si, Gangwon Province, constructed between 2016 and 2020 and extending 8.66 km, to develop sustainable management strategies. Vegetation cover on both cut and fill slopes generally increased with forest-road age, with fill slopes showing consistently higher cover than cut slopes. Analysis of plant growth forms indicated that the R₅ type was most prevalent. Regarding dispersal mechanisms, barochory (gravity dispersal) dominated, while anemochory and hydrochory (wind and water dispersal) were also common, reflecting the exposed environmental conditions of roadsides, cut slopes, and fill slopes. These results improve understanding of vegetation succession processes along forest roads and highlight the need for continuous monitoring and proactive management to prevent the spread of invasive species and maintain ecosystem health. The study further identifies several management priorities: emphasizing native R₅-type species in restoration projects, establishing buffer zones adjacent to forest roads, strengthening monitoring of anemochorous and hydrochorous species, and conducting long-term research on climate-driven changes in vegetation succession.

Key words: forest road, vegetation characteristics, life form, radicle form, disseminule form

서론

산림 임도는 목재 운반 및 산림 관리를 위한 필수적인 시설

로(Picchio et al., 2018), 산림 생태계에 다양한 영향을 미치며 생태학적 연구의 중요한 분야로 부상했다(Forman and Alexander, 1998). 임도 건설은 서식지 손실, 침식 및 퇴적물 형성, 수문학적 변화, 화학적 오염, 서식지 단편화 등을 포함한 여러 방식으로 식물 및 동물 개체군에 영향을 준다(Forman and Alexander, 1998). 그러나 최근 임도는 산불, 병해충방제 등 산림재해에 신속히 대처할 수 있도록 이용되

* Corresponding author

E-mail: hsk@kangwon.ac.kr

ORCID

Sang-Kyun Han  https://orcid.org/0000-0003-4037-1570

며(Lee et al., 2017; Jeon, 2015), 산악마라톤, 산악자전거 등 산악 스포츠를 위한 장소로서도 각광을 받고 있다(Choi et al., 2013). 아울러 농산촌의 교통은 물론 농산물 유통 도로 등으로 활용되어 지역산업발전과 지역사회의 균형발전에 기여하는 등 다목적으로 활용되고 있다(Park, 2015).

임도개설은 토사침식, 사면붕괴 등의 문제를 야기할 수 있어 산림 훼손과 환경파괴의 주범으로 인식되는 등 많은 논란의 대상이 되어왔다(Lee et al., 2002). 또한 임도개설은 야생 동식물의 서식지를 파편화, 단절화 시키며, 그로인해 여러 산림 종의 풍부함과 분포를 감소시킬 수 있다(Kwon et al., 2024). 특히, 임도 시공시 별채로 인한 임연부 증가에 따른 임연부종의 유입, 산림 환경 구조의 변화로 인한 종다양성 및 종 구성의 변화 등에 영향을 미치는 것으로도 알려져 있고(Bergès et al., 2013; Devlaeminck et al., 2005), 외래종의 확산을 촉진하는 중요한 통로 역할을 하기도 한다(Spellerberg, 1998; Thakur et al., 2024).

그럼에도 불구하고, 우리나라의 국토면적 대비 산림 비율이 62.7%로 높은 점을 감안할 때, 임도 개설은 불가피한 상황이며, 이에 따라 시공 이후 임도 비탈면을 포함한 임지의 녹화와 안정화가 매우 중요한 과제로 부상하고 있으며(Ma and Park, 2006), 특히 임도 개설 경과에 따른 식물 분포 및 생육 특성을 이해하는 것은 산림 생태계의 건강 유지와 생물다양성 보존에 있어 핵심적인 역할을 한다(Flory and Clay, 2006). 또한, 임도가 식물 군집에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 도로 노후화에 따른 변화 양상을 파악하는 것은 효과적인 침입종 관리와 완화 전략 수립에 필수적이다

(Mortensen et al., 2009). 따라서 본 연구는 임도가 산림생태계에 미치는 영향을 종합적으로 평가하여, 체계적인 산림자원 관리와 생물다양성 보존 방안 마련에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

연구대상지는 강원특별자치도 춘천시 동면 품걸리 산1-1지역 일대에 2016년부터 2020년까지 개설된 임도 (총 8.66 km)를 대상(Figure 1)으로 하였다. 조사지의 연평균 기온은 11.5°C이며, 8월의 월평균 기온은 25.3°C, 1월 혹은 12월 월평균 기온은 -5.0°C이다. 연 강수량은 1,354.3 mm, 연평균 풍속 1.2m/s 로 가장 높게 측정된 4월 평균풍속은 1.5 m/s이며, 가장 낮게 측정된 1월의 0.9 m/s 로 확인되었다.

2. 조사 방법

조사는 임도 개설 경과에 따라 임내(대조구), 임연부, 절토사면, 성토사면의 4개 구역으로 구분하여 실시되었다. 조사구는 식생분포정보를 반영할 수 있는 현지여건을 고려하여 선정하였고, 방형구는 개설 임도 1 km당 연차별 2개소에 5 m × 5 m 크기로 설정하였다.

조사인자는 입지환경특성, 토양특성, 식물분포특성 등으로 GPS(Global Position System) 장비(Garmin64s)를 이용하여 방위, 해발고도를 측정하였고, Clinometer 경사계(SUNTO)를 이용하여 사면경사를 측정하였다. 또한, 방형구 내 출현한 식물종은 Zurich-Montpellier 학파의 식물사회학적 조사방법

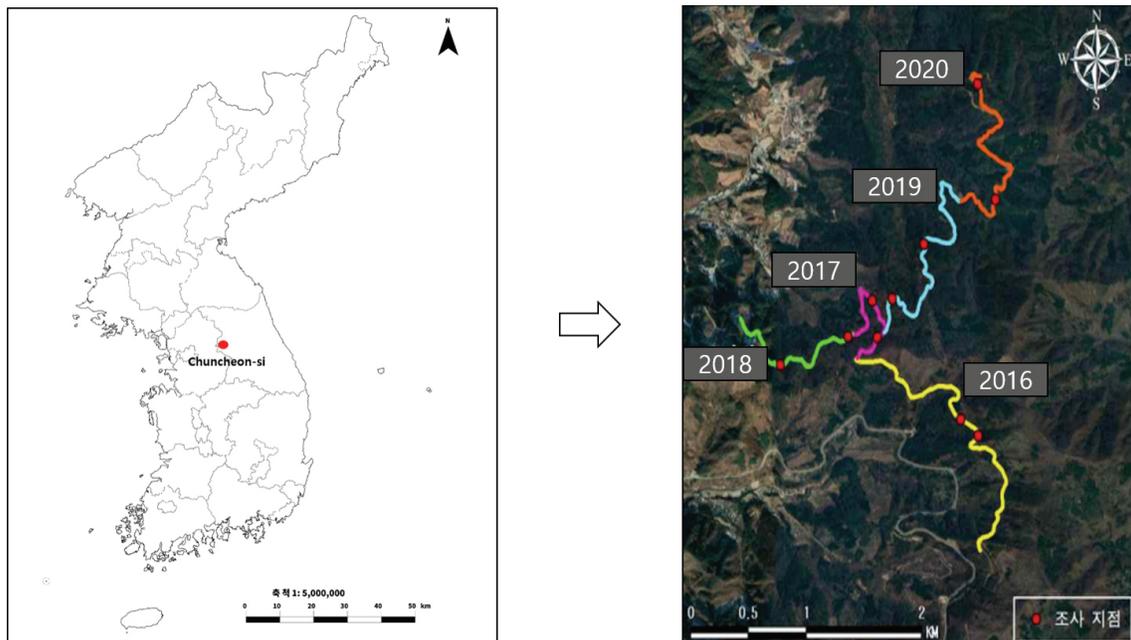


Figure 1. Location of forest road investigated.

(Braun-Blanquet, 1964)에 의거하여 교목, 아교목, 관목, 초본층으로 구분하여 각 층위별 피도를 기록하였다.

식물상 조사는 2021년 7월부터 2022년 10월까지 실시하였다. 종은 Lee(2014), Lee(2006)의 도감을 이용하여 분류·동정하고, 종 특성에 따른 구분은 한국특산식물(Chung et al., 2017), 희귀식물(Korean National Arboretum, 2010), 멸종위기야생식물(Ministry of Environment, 2012b), 귀화식물(Lee et al., 2011), 식물구계학적특정식물(Ministry of Environment, 2012a), 생태계교란야생식물(Ministry of Environment, 2022), 생활형과 생육형은 Raunkiaer(1934) 등으로 구분하여 Korean Plant Names Index Committee(Korean National Arboretum, 2023) 을 따라 정리하였다.

결과 및 고찰

1. 대상지 입지환경 및 식생특성

1) 입지 환경 및 식생 피복 특성

강원특별자치도 춘천시 동면 품걸리 산 1-1 일대에 2016년부터 2020년까지 개설된 총 8.66 km 길이의 임도를 대상으로 조사구의 주요 입지환경 및 특성을 Table 1에 나타냈다. 해발고, 방위, 경사도는 조사구마다 차이가 있었으며, 임도 절토사면의 평균 경사는 모두 45° 이상의 절험지로 분류되었다. 절토사면의 관목층 식생피복도는 2016년부터 2020년까지 각각 56%, 21%, 26%, 18%, 26%를 나타냈고, 초본층의

Table 1. Description of physical features and soil for each plots.

| Year | Items | Forest | Edge of forest | Cutting slope | Filling slope |
|------|---|--------|----------------|---------------|---------------|
| 2016 | Altitude(m) | 453 | 453 | 459 | 459 |
| | Direction | 195 | 195 | 255 | 255 |
| | Slope(°) | 20 | 20 | 45 | 38 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on shrub layer | 46 | 71 | 56 | 60 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on herb layer | 58 | 52 | 61 | 43 |
| | No. of plant | 16 | 27 | 17 | 13 |
| 2017 | Altitude(m) | 411 | 426 | 426 | 426 |
| | Direction | 180 | 188 | 188 | 188 |
| | Slope(°) | 28 | 23 | 45 | 33 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on shrub layer | 39 | 46 | 21 | 79 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on herb layer | 43 | 41 | 69 | 55 |
| | No. of plant | 24 | 24 | 20 | 19 |
| 2018 | Altitude(m) | 309 | 309 | 339 | 339 |
| | Direction | 180 | 180 | 180 | 180 |
| | Slope(°) | 25 | 25 | 65 | 55 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on shrub layer | 27 | 35 | 26 | 49 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on herb layer | 52 | 59 | 82 | 69 |
| | No. of plant | 26 | 25 | 24 | 24 |
| 2019 | Altitude(m) | 397 | 397 | 397 | 377 |
| | Direction | 302 | 302 | 220 | 290 |
| | Slope(°) | 13 | 15 | 53 | 35 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on shrub layer | 26 | 42 | 18 | 39 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on herb layer | 32 | 39 | 37 | 47 |
| | No. of plant | 17 | 22 | 10 | 12 |
| 2020 | Altitude(m) | 391 | 391 | 393 | 393 |
| | Direction | 255 | 255 | 240 | 260 |
| | Slope(°) | 30 | 28 | 45 | 40 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on shrub layer | 27 | 23 | 26 | 25 |
| | Rate(%) of vegetation coverage on herb layer | 28 | 24 | 40 | 61 |
| | No. of plant | 22 | 18 | 9 | 13 |

식생피복도는 2016년도부터 61%, 69%, 82%, 37%, 40%를 나타냈다. 임도 개설 1, 2년차인 2019년과 2020년에 비해 2016년부터 2018년의 식생 피복도가 대체로 높은 것으로 분석되었다. 이는 임도 시공 경과 년수가 증가할수록 식생 피복도가 일반적으로 높아진다는 기존 연구(Han et al., 2018)와 같은 경향을 확인하였다.

성토사면의 평균 경사는 2016년 38°, 2017년 33°, 2018년 55°, 2019년 35°, 2020년 40°로 절토사면과 마찬가지로 모두 절험지로 분류되었다. 성토사면 관목층 식생피복도는 2016년부터 2020년까지 각각 60%, 79%, 49%, 39%, 25%를 나타냈고, 초본층의 식생피복도는 2016년부터 43%, 55%, 69%, 47%, 61%로 분석되었다. 성토사면의 경우 절토사면보다 대체로 피복도가 높은 것으로 나타났으며, 이는 절토사면보다 성토사면에서 식생의 침입과 생장이 용이하다(Lee et al., 2002)는 선행연구와 같은 결과로 판단되며, 원인으로서는 성토사면은 일반적으로 절토사면보다 토양층이 두껍고 식물이 뿌리내리기 좋은 환경을 제공하고, 절토사면은 모재가 노출되거나 토양층이 얇아 식생 발달이 어려울 수 있다는 Lee et al.(2018)의 연구와 같은 대상지 특성의 영향으로 판단된다. 또한 절토사면과 성토사면 모두 상층부보다 중층부와 하층부에서 높은 피복이 확인되었다. 이는 임도의 개설로 인하여 상층 교목층이 제거되면 임내 투과되는 광량이 증가하여 식물의 종다양성이 증가(Han, 2018)하며, 수분 및 영양분의 집적이 하층부에는 중력의 영향으로 집중되어 생장에 유리한 조건을 형성한 원인(Peng et al., 2018; Zhang et al., 2018), 토양의 안정성(Seo et al., 2017), 종자 유입 및 정착의 용이성(Chau and Chu, 2018) 등의 요인이 작용한 결과로 판단되며, 그 양상은 초본층보다 관목층의 피복을 분석에서 뚜렷하게 확인되었고, 이는 초본류와 관목류의 생리특성에 의한 결과로 개체군의 연속성(일년생, 다년생), 환경 스트레스에 대한 저항성, 경쟁 우위 등 여러 요인에서 관목류가 우수한 특성을 보인 원인으로 판단된다.

2. 사면유형(절토, 성토)에 따른 식생분포특성

2016년에 개설된 임도 절토사면에는 일본잎갈나무, 소나무, 큰까치수염 등 17분류군이 출현하였다. 상층부에는 우점하는 종이 없었으며 중층부에 소나무와 싸리, 붉나무, 일본잎갈나무, 하층부에 자귀풀과 사초, 가는잎그늘사초가 우점하였다. 임도의 성토사면에는 일본잎갈나무, 산복사, 아까시나무 등 13분류군이 출현하였고 상층부에 일본잎갈나무와 산뽕나무, 산복사, 중층부에 싸리와 두릅나무, 하층부에 칩과 싸리, 쑥, 사초가 우점하였다.

2017년에 개설된 임도 절토사면에는 소나무, 호랑버들, 세잎양지꽃 등 20분류군이 출현하였고 상층부에 상수리나무,

중층부에 싸리와 층층나무, 하층부에 환삼덩굴, 개망초, 사초가 우점하였다. 성토사면에는 호랑버들, 키버들, 산뽕나무 등 19류군이 출현하였고 그중 상층부에 산뽕나무, 일본잎갈나무, 중층부에 싸리와 두릅나무, 하층부에 잔디와 싸리, 사초가 우점하였다.

2018년 개설된 임도 절토사면에는 잣나무, 키버들, 박달나무 등 24종이 출현하였고 상층부에 물푸레나무, 중층부에 싸리와 다래, 하층부에 가는잎그늘사초와 주름조개풀, 사초가 우점하였다. 성토사면에는 호랑버들, 미국가막사리, 개망초 등 24종이 출현하였다. 그중 상층부에 산뽕나무와 일본잎갈나무, 중층부에 싸리와 칩, 줄딸기, 하층부에 싸리와 칩, 사초가 우점하였다.

2019년 개설된 임도 절토사면에는 일본잎갈나무, 개망초, 미역취 등 10종이 출현하였고 상층부에는 우점하는 종이 없었으며, 중층부에 싸리, 하층부에 일본잎갈나무와 개망초, 싸리, 사초가 우점하였다. 성토사면에는 소나무, 분버들, 싸리 등 12종이 출현하였다. 상층부에는 소나무, 중층부에는 싸리, 하층부에는 사초가 우점하였다.

2020년에 개설된 임도 절토사면에는 일본잎갈나무, 곰딸기, 배초향 등 9종이 출현하였다. 상층부에 우점하는 종은 없었고, 중층부에 싸리, 하층부에 싸리와 사초가 우점하였다. 성토사면에는 일본잎갈나무, 호랑버들, 짚신나물 등 13종이 출현하였다. 상층부에는 일본잎갈나무와 산뽕나무, 굴참나무, 소나무, 중층부에 싸리와 두릅나무, 잣나무, 하층부에 주름조개풀과 사초가 우점하였다. 특히 조사구내 우점종인 싸리와 칩의 생육 특성이 대상지 내 양수성 수종을 피압하여 생육에 영향을 미친 것으로 보인다. 싸리와 같은 콩과 식물중 일부는 초기 생육이 빨라 비탈면의 안정과 피복 위주의 급속 녹화에 활용되는 경우가 많고(Kang et al., 2014), 칩은 다년생 식물로 양지에서 잘 자라며, 왕성한 번식력과 주변 나무를 감아 올라가는 특성이 있어 나무의 성장을 방해하는 위해식물로 분류되어있다(Cho, 2022). 칩은 임도개설 1년차 성토사면에서 처음 발견되었고, 임도개설 3년차에는 모든 조사구역에서 발견되어 우점할 정도의 왕성한 생육이 확인되어 향후 임도개설지 내의 종다양성 감소가 우려되므로 덩굴성목본류의 제거의 필요성을 확인하였다.

상대적으로 낮은 종 분포특성을 보인 2019년도와 2020년 개설임도의 절토, 성토사면은 시공으로 인한 교란 이후 사면의 물리적 안정에 성토사면의 경우 2~10년, 절토사면에서 2~4년이 소요(Ezaki et al., 1986)된다는 선행연구 결과와 같은 양상을 보였다. 또한, 연차별 임도개설지 절토사면에서는 일본잎갈나무와 싸리, 개망초의 출현이 모두에서 확인되었다. 그중 개망초는 대표적인 귀화식물로 겨울에 발아하여 이른 봄에 개화하는 생활형을 가진 종으로 사면 하부에 지속

적인 우점현상이 나타났다. 이는 초본식물이 목본식물에 비하여 생활환이 짧고, 결실율이 높아 종자의 빠른 산포와 확산 (Lee et al., 2011)의 결과로 판단된다.

3. 조사대상지 출현종의 생활 및 생육특성

1) 생활형(Life form)

임도 개설 연차에 따른 관속식물의 생활형 유형출현 특성을 분석하였다. 개설 5년차 조사구의 경우, 대조구에서는 1년생 식물이 27%로 가장 높은 출현율을 보였으며, 임연부에서는 대형지상식물이 26%로 우세하게 나타났다. 절토사면에서는 반지중식물과 대형지상식물이 각각 24%의 동등한 비중을 차지했고, 성토사면에서는 소형지상식물이 23%로 높은 출현 특성을 확인하였다(Figure 2).

4년차 임도개설지에서는 대조구에서 지중식물과 미소지상식물이 각각 23%로 주요하게 나타났다. 임연부에서는 대형지상식물이 26%로 가장 높은 비중을 보였으며, 절토사면에서는 지중식물과 미소지상식물이 각 22%로 출현하였다. 특히, 성토사면에서는 대형지상식물이 32%로 가장 우세하게 출현하는 특성을 나타냈다. 3년차 임도개설지는 대조구(27%)와 임연부(29%) 모두에서 지중식물이 높은 분포 특성을 보였다. 절토사면에서는 반지중식물과 대형지상식물이 각

각 22%의 비중으로 나타났으며, 성토사면에서는 지중식물이 26%로 우세하였다.

개설 2년차 임도개설지의 모든 조사구(대조구 30%, 임연부 34%, 절토사면 20%, 성토사면 36%)에서는 대형지상식물이 가장 높은 비중으로 우점하였다. 한편, 1년차 개설지에서도 대조구(30%), 임연부(41%), 성토사면(27%)에서 대형지상식물이 높은 출현율을 보였으나, 절토사면에서는 미소지상식물이 31%로 가장 높은 출현 특성을 나타내어 다른 조사구 및 연차와 차별되는 경향을 확인하였다.

임도개설지 전체지역에 출현한 관속식물의 생활형을 분석한 결과 가장 많은 분포특성을 보인 유형은 대조구(임내)에서 지중식물(G: 26%)과 미소지상식물(N: 18%), 임연부에서 대형지상식물(MM: 24%)과 지중식물(G : 21%), 절토사면에서 반지중식물(H : 21%)과 대형지상식물(MM: 18%), 성토사면에서 대형지상식물(MM: 26%)과 소형지상식물(M : 17%) 유형의 순으로 나타났다.

대조구의 연차별 관속식물 생활형을 분석한 결과 개설 1년차와 2년차에는 대형지상식물이 각각 30%, 지중식물 23%와 17%의 비중으로 높은 분포특성을 보였으나, 3년차에는 지중식물 27% 대형지상식물과 미소지상식물 각각 20%의 순의 변동이 확인되었다. 개설 4년차에는 3년차와 같이 지중식물의 점유율이 23%, 미소지상식물 23%로 가장 높았으며, 개

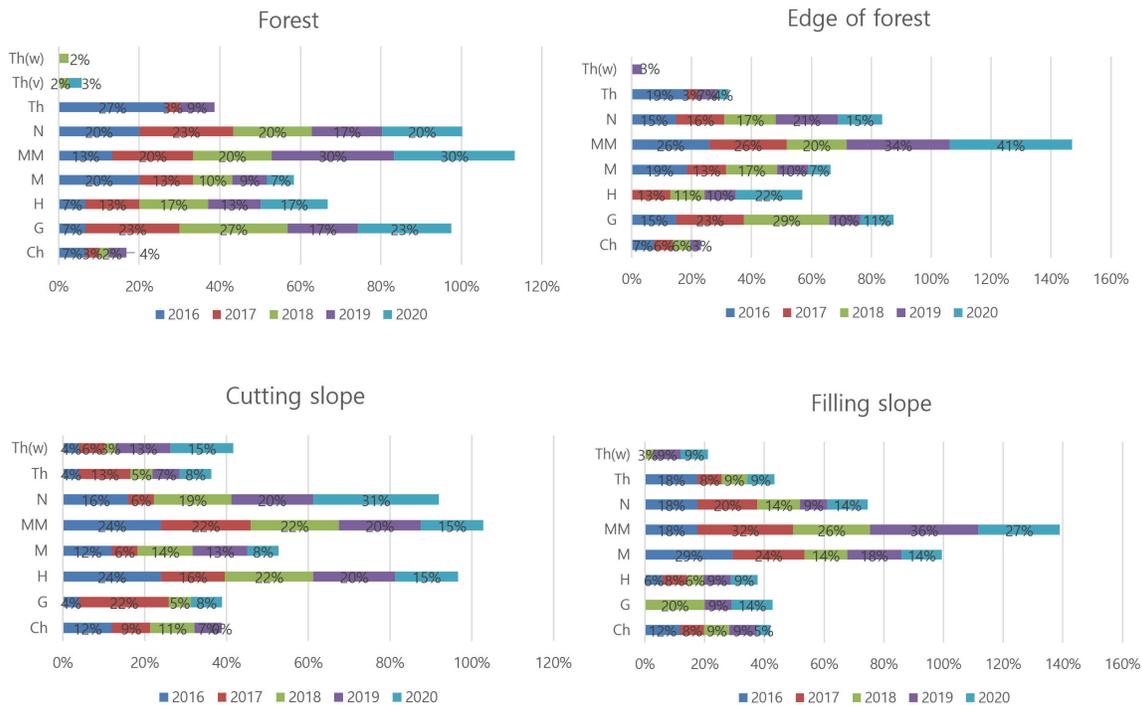


Figure 2. Characteristics of plant species life form according to forestry construction period.

Ch: Chamaephyte E: Epiphyte G: Geophyte M: Microphanerophyte MM: Macrophanerophyte N: Nanophanerophyte H: Hemicryptophyte HH: Hydrophyte HH(Th): Therophytic Hydrophyte Th: Therophyte Th(V): Biennial Therophyte Th(W): Monocarpic Annual Therophyte

설 5년차에 1년생식물의 점유율이 27%, 미소지상식물과 소형지상식물이 각각 20%의 비중으로 변해가는 양상을 확인하였다.

임연부는 개설 1년차부터 5년차까지 대형지상식물이 26~41%로 높은 분포특성을 보였으나 지중식물과 관목류인 미소지상식물의 비중이 대조구와 비교하여 감소하는 경향이 확인되었다.

절토사면 개설 1년차부터 5년차 조사구는 반지중식물, 대형지상식물의 비중이 높게 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 분포비율은 상승하는 경향을 나타냈다. 반면 미소지상식물은 개설 1년차부터 2년차까지는 해당 조사구에서 가장 높은 분포특성이 확인되었으나 시공경과년수가 증가함에 따라 감소하는 경향이 확인되었다.

성토사면 개설 1년차부터 4년차 조사구에서 대형지상식물의 비중이 가장 높게 나타났으며, 개설 5년차 조사구에서는 소형지상식물의 비중이 29%로 가장 높게 나타났고, 대형지상식물, 미소지상식물, 1년생식물이 각각 18%의 비중으로 고른 식생분포 양상을 나타냈다. 또한 모든 조사구에서 소형지상식물의 비중이 년차를 거듭할수록 높아지는 경향이 확인되었다. 반면 지중식물과 동형1년초의 비중은 시공경과년수가 증가함에 따라 비중이 감소하는 경향을 확인하였다.

2) 지하기관형(Radicoid form)

임도개설지 전체 조사구에서 가장 많은 분포특성을 보인 지하기관 유형은 지하나 지상에 연결체를 전혀 만들지 않는 단립식물 유형인 R₅ 유형이 대조구(임내) 65%, 임연부 70%, 절토사면 66%, 성토사면 75% 가장 높게 나타났다. 이는 인위적인 교란환경에서 다른종들과 경쟁 없이 단독으로 성장하고, 생존할 수 있는 R₅ 유형 식물이 가진 특성(Park and Oh, 2017)과, 교란 환경에서 식물생장에 영양분과 수분의 흡수(Harris et al., 1979)에 유리한 지하기관 구조와 연결체를 만들지 않는 R₅ 유형 식물들이 가진 특성이 대상지 환경 적응에 긍정적인 부분으로 작용한 결과로 판단된다.

R₅ 유형은 가장 좁은 범위의 연결체를 가지는 식물로써 대조구(임내) 24%, 임연부 22%, 절토사면 22%, 성토사면 15%로 분석되어, R₃ 유형 식물도 변화된 환경에서 일정 부분 적응력을 보인다는 것을 확인하였다. 또한 임도변의 식생은 도로의 포장재나 임도 사용 강도와 같은 요인에 따라 다양한 변화를 보이며(Bergès et al., 2013), R₃ 유형의 식물은 이러한 미묘한 환경 변화에 따라 분포를 달리할 수 있다(Park and Oh, 2017)는 선행연구와 같이 임도의 사용강도와 식생의 분포특성과의 연관성도 확인하였다. 반면, R₁, R₂, R₄의 지하기관 유형은 선행연구(Park and Oh, 2017)와 같은 경향으로 모든 조사구에서 10% 미만의 분포특성을 보여 지하기관형의

형태가 복잡한 연결 구조를 형성하는 유형의 식물은 교란된 환경 적응에 취약한 특성을 보이는 것으로 판단된다. 또한, 임도 개설지는 토양 교란에 강한 R₅ 유형 식물이 우세한 특성을 보이는 것으로 확인되어 향후 임도개설지 복원종 선정시 자생종 가운데 R₅ 유형 식물을 우선적으로 활용할 것을 제안할 수 있고, 임내와 임연부 조사결과 임도주변 완충지대 설정의 필요성이 확인되었다.

3) 산포기관형(Disseminule form)

임도 개설 연차에 따른 관속식물 산포기관 유형의 출현 특성 분석 결과 개설 5년차 조사구의 경우, 대조구는 중력산포형(D₄)이 56%로 가장 높은 비중을 차지했으며, 임연부에서는 풍수산포형(D₁)이 50%로 우세하게 나타났다. 절토사면과 성토사면 모두 중력산포형이 각각 52%와 53%로 가장 높은 출현율을 보였다.

4년차 임도개설지 역시 대조구, 임연부, 절토사면에서는 중력산포형이 각각 52%, 62%, 56%의 비중으로 나타나 5년차와 유사한 경향을 유지하였다. 다만, 성토사면의 경우 동물산포형(D₂)이 38%로 가장 높은 비중을 차지하여 5년차의 중력산포형 우점과는 다른 특성을 확인하였다.

3년차 임도개설지의 경우, 대조구와 절토사면에서는 중력산포형이 각각 43%, 45%로 우세했으나, 임연부에서는 동물산포형이 64%로 매우 높은 비중을 보였다. 성토사면에서는 풍수산포형과 중력산포형이 각각 45%로 동등하게 나타났다.

2년차 개설지에서는 대조구가 중력산포형 43%로 나타났으며, 임연부와 절토사면에서는 풍수산포형이 각각 92%, 40%로 우점하였다. 특히 임연부에서 풍수산포형이 높은 비중(92%)을 보인 것이 특징적이다. 성토사면에서는 풍수산포형과 중력산포형이 각각 45%로 동일하게 나타났다. 풍수산포형의 우세현상은 임도개설 후 급격한 광량증가(Han et al., 2018)와 임내 조건변화로 인한 바람의 영향, 임도주변의 수분 조건 등과 같은 환경적 요인이 종자의 분산에 유리하게 작용한 결과로 해석할 수 있다(Zhang et al., 2013).

마지막 1년차 개설지에서는 대조구와 성토사면에서 중력산포형이 각각 55%, 46%로 높은 출현율을 보였다. 임연부에서는 동물산포형이 64%로 우세하게 나타났으며, 절토사면에서는 동물산포형과 중력산포형이 각각 36%로 유사하게 나타나는 경향을 확인하였다. 이는 동물들의 이동 경로와 활동이 식물의 분포에 중요한 역할을 했음을 시사하며, 특히 임연부는 임도와 인접한 숲 가장자리 지역으로 동물들의 이동이 잦을 것으로 판단되며, 이는 동물산포형 식물의 정착에 유리한 조건을 제공할 수 있다(Han, 2019).

임도개설지 전체지역에 출현한 관속식물의 산포기관 유형을 분석한 결과 가장 많은 분포특성을 보인 유형은 대조구(임

내) 중력산포형 51%, 동물산포형 20% 의 순으로 높게 나타났고, 임연부와 절토사면, 성토사면의 경우 대조구와 같이 중력산포형이 가장 높게 나타났으며 차순위로 풍수산포형의 높은 분포특성을 확인하였다. 대조구에서 중력산포형이 우세한 원인으로는 산림 내부는 바람이 적고, 밀폐된 환경으로 종자가 중력에 의해 떨어지는 방식(Park et al., 2010)이 일반적인 원인으로 판단되며, 이외 조사구에서 지속적인 우세를 보인 것은 주변 산림으로부터 종자 유입이 지속적으로 이루어지고 있음을 시사하고, 절토와 성토사면은 주변식생으로부터 종자가 떨어져 정착하는 것이 일반적이라는 선행연구(Lee et al., 2003)와 같은 결과로 판단된다. 또한, 풍수산포형의 증가는 산림내부보다 개방된 공간환경의 영향으로 바람이나 물에 의해 운반되는 풍수산포형 식물의 번식 전략의 효과로 판단된다.

풍수산포형의 경우 외래식물과 생태계 교란식물종의 침입에 유리한 산포방식(Lee et al., 2003)이므로 지속적인 모니터링을 통해 침입방지 및 제거 계획 수립의 필요성이 본 연구를 통해 확인되었고, 향후 장기모니터링을 통한 산포기관 유형별 식생의 천이형태와 기후변화와 산포기관 유형 연구를 통해 기후위기시대에 적합한 임도 관리방안 모색의 필요성을 확인하였다.

4) 생육형(Growth form)

5년차부터 1년차 임도개설지의 대조구, 임연부, 절토사면, 성토사면을 연차별로 분석한 결과 모두 직립형(e: erect form) 식물의 우세한 분포특성이 확인되었다. 또한, 임도개설지 전체지역에 출현한 관속식물의 생육형을 분석한 결과 대조구(임내), 임연부, 절토사면, 성토사면 모두에서 직립형이 가장 높은 비중으로 각각 60%, 61%, 54%, 64% 의 분포특성을 보였고, 차순으로 넉출형(l: climbing or liane form) 의 높은 분포특성이 확인되었다(Figure 3).

대조구는 개설 1년차부터 5년차까지 직립형(e: erect form) 이 각각 68%, 57%, 63%, 61%, 56%의 높은 분포 특성을 보였으며, 시간 경과에 따라 분포 범위가 소폭 감소하는 경향이 나타났다. 이는 임도 개설 후 개방된 환경에서 햇빛 노출이 증가하고 경쟁이 상대적으로 적은 초기 단계에서 직립형 식물들의 활착과 성장이 우수하다는 기존 연구(Daoutis and Lempesi, 2023; Kostrakiewicz-Gieralt and Gmyrek, 2022)와 일치하는 결과이다. 또한 넉출형(l: climbing or liane form)의 특성을 가진 종의 분포는 차순으로 높게 나타났으며, 임도개설 시간이 지남에 따라 넉출형 종의 분포가 점차 증가하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 임도개설로 인해 숲 가장자리가 형성되었고, 그 결과 초지종에게 적합한 서식지 환경이

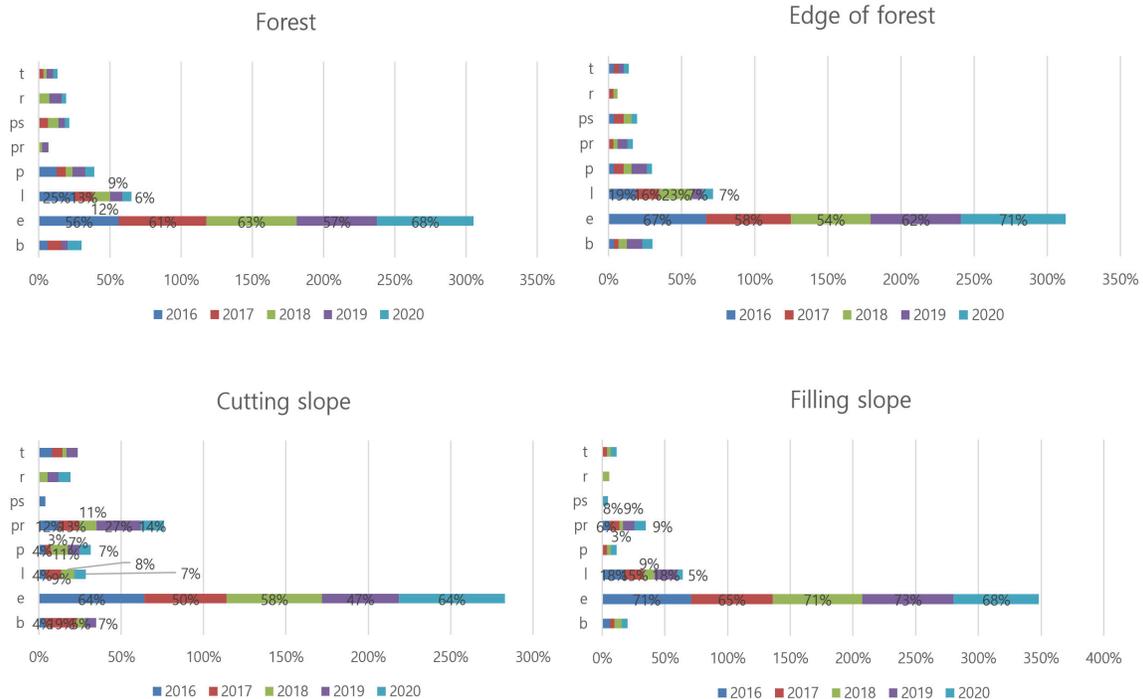


Figure 3. Characteristics of plant species growth form according to forestry construction period.

b: branched form e: erect form l: climbing or liane form p: procumbent form r: rosette form t: tussock form pr: partial rosette form ps: partial straight

조성된 결과로 판단되며(Daoutis and Lempesi, 2023), 년출형 식물은 주변 식생이나 지형지물을 활용하여 광 경쟁에서 유리한 위치를 차지할 수 있고, 시간이 지남에 따라 점차 성장하여 이러한 환경을 점유하는 특성을 갖는 것으로 판단된다.

절토사면은 개설 1년차부터 5년차까지 모든 조사구에서 직립형 유형이 가장 높은 분포 특성을 보였으며, 대조구와 임연부위는 달리 일시적 로제트형의 분포 범위가 더 넓은 특징을 나타냈다. 이는 임도 시공으로 인한 토양 교란, 영양분 부족, 불안정한 경사면 등 식물 생장에 불리한 환경이 조성된 결과로 판단된다(Huang et al., 2022; Ai et al., 2023). 또한, 로제트형 식물은 낮은 자세로 지면에 밀착하여 불리한 환경 조건에 대한 저항성을 높이고 수분 손실을 줄이는 생존 전략을 갖추고 있어, 초기 정착 단계에서 생존율을 높이는 데 유리한 특성을 지니는 것으로 판단된다. 또한 년출형의 비중이 높았던 대조구와 임연부의 분포특성과 다르게 절토사면에서는 년출형의 분포범위가 작게는 1%(1년차)에서 21%(5년차)까지 감소되는 특성을 확인하였다. 이와같은 경향은 성토사면에도 같은 특성이 확인되었고, 타 조사구와 비교하여 성토사면의 직립형 유형의 분포범위가 가장 높게 나타났으며 그 수치는 경과년수와 무관한 증감 형태를 보였다.

결론

임도 개설 연차에 따른 절토 및 성토사면의 식생 분포 특성을 분석하여 장기적인 식생 변화 양상과 관리 필요성을 규명하였다. 조사 결과, 임도 개설 초기에는 다양한 식물상이 출현하나, 시간이 경과함에 따라 특정 우점종의 세력이 강화되는 경향을 보였다. 특히 싸리와 칩은 임도 개설지 전반에서 왕성한 생육을 나타내며 주변 양수성 수종의 생장을 저해할 우려가 있었다. 또한 선행된 충청도 지역 임도 사면의 초기 녹화에 적합한 식물선발연구에서도 싸리, 산딸기, 칩 등이 높은 빈도로 출현하여 싸리와 칩의 초기 우점을 확인하였다. 그중 칩은 임도 개설 1년차 성토사면에서 처음 관찰된 이후 3년차에는 모든 조사구역에서 우점종으로 확인되어, 향후 임도 개설지 내 중 다양성 감소를 방지하기 위한 덩굴성 목본류 제거의 필요성을 확인하였다.

연차별 임도 개설지 절토사면에서는 일본잎갈나무, 싸리, 개망초가 높은 비중으로 지속적으로 출현했다. 특히 귀화식물인 개망초는 짧은 생활환과 높은 결실률로 인해 빠른 확산과 우점 현상을 보였다. 이러한 결과는 임도 개설지의 식생 천이 과정에 대한 이해를 높이고, 생태계 건강성 유지를 위한 지속적인 모니터링 및 위해 식물의 적극적인 관리의 중요성을 시사한다.

임도 개설지에 출현한 관속식물의 지하기관형 분석에서는

모든 조사구에서 단립식물(R₅ 유형)이 65~75%로 가장 높은 비중을 차지했고, 이는 R₅ 유형 식물의 단독 성장 및 교란 환경 적응 특성, 그리고 영양분과 수분 흡수에 유리한 지하기관 구조가 임도 개설 환경에 긍정적으로 작용한 결과로 해석된다. 반면 R₁, R₂, R₄ 유형과 같이 복잡한 연결 구조를 가진 지하기관형 식물은 교란된 환경 적응에 취약한 특성을 보였다. 이러한 결과는 임도 개설지 복원 시 토양 교란에 강한 R₅ 유형 자생식물을 우선적으로 활용하고, 임도 주변 완충지대 설정의 필요성을 제안할 수 있다.

산포기관형 분석에서는 모든 조사구에서 중력산포형(D4)이 가장 높은 비중을 차지했으며, 임연부, 절토사면, 성토사면에서는 풍수산포형(D1)이 차순위로 높은 분포를 보였다. 그러나 임도 시공 후 초기에는 녹화용 초본류가 침입하고, 이후 풍수산포형 목본류 및 중력산포형 목본류로 변화하기 시작한다는 타 연구결과와 같이 장기적인 모니터링을 통해 보다 명확한 결론 도출이 요구되며, 풍수산포형은 토착식물보다 외래식물의 침입에 유리한 형태이므로 지속적인 관리가 필요하다.

본 연구는 임도 개설 연차에 따른 식생 변화를 분석하여, 임도가 식물 군집 특성에 미치는 영향을 고찰했다. 임도 개설 후 생활형, 지하기관형, 산포기관형, 생육형 등 다양한 식물 특성 변화가 관찰되었으며, 이는 환경 변화에 대한 식물 군집의 적응과 천이 과정을 보여주며, 이러한 분석을 바탕으로 임도 관리 및 복원 시 다음과 같은 방안을 제안할 수 있다. 첫째, 토양 교란에 강한 R₅ 유형 자생식물 및 로제트형 식물 활용을 통해 사면 안정화와 식생 발달을 촉진해야 한다. 둘째, 임도 주변에 완충지대를 설정하여 임도와 산림 내부 간의 생태적 연결성을 강화하고 생물 다양성 유지에 기여해야 한다. 셋째, 임도 개설지의 식생 변화에 대한 장기적인 모니터링 및 연구를 지속하여 지속 가능한 산림 관리를 위한 과학적 기반을 마련하여 임도가 산림 생태계와 조화롭게 공존할 수 있도록 돕는 데 기여해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 북부지방산림청 연구용역 “임도 개설이 야생 동·식물에 미치는 영향 모니터링 연구 1~4년차(2021~2024)”의 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- Ai, X., Tian, X., Yang, S., Ai, S., Jiang, X., Sheng, M. and Ai, Y. 2023. Time-dependent effects of ecological rehabilitation on soil phosphorus fractions on cut slopes in the mountains of Southwest China. *Land Degradation*

- & Development 34(12): 3539-3549.
- Bergès, L., Chevalier, R. and Avon, C. 2013. Influence of forest road, road-surfacing material and stand age on floristic diversity and composition in a nutrient-poor environment. *Applied Vegetation Science* 16(3).
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Planzen soziologie*, 3. Auf, Springer, Wein, New York. p.865.
- Chau, N. L. and Chu, L. 2018. Revegetation of subtropical soil slopes: Groundcover performance and the implications of urban development and slope features on plant community. *Applied Vegetation Science* 21(4).
- Cho, J.H. 2022. A study on the use of *Pueraria lobata*-targeting Samjang-myeon, Sancheong-gun-. Jinju. Gyeongsang national University.
- Choi, Y.H., Park, B.J., Lim, H.J., Kim, G.W., Joung, D.W., Lee, J.W. and Yoshifumi Miyazaki. 2013. Optimum Walk Speed for Health Promotion in Forest Road - Target Heart Rate Control to Use Walk Speed -. *The Journal of Korean institute of Forest Recreation* 17(1): 27-32 (in Korean).
- Chung, G. Y., Chang, K. S., Chung, J. M., Choi, H. J., Paik, W. K., Hyun, J. O. 2017. A checklist of endemic plants on the Korean Peninsula. *Korean Journal of Plant Taxonomy* 47(3): 264-288.
- Daoutis, C. and Lempesi, A. 2023. The effect of the forest road network on grassland ecosystems with the contribution of the SWOT-AHP method. *E3S Web of Conferences*, 436.
- Devlaeminck, R., Bossuyt, B. and Hermy, M. 2005. Inflow of seeds through the forest edge: evidence from seed bank and vegetation patterns. *Plant Ecology*. 176(1): 1-17.
- Ezaki, T., Fujihisa, M., Yamamoto, M., and Kono, S. 1986. Rindo Norimen no Shokusei Sen'i ni Kansuru Kenkyu: Dan'ontai Chiiki no Dodobashi Norimen ni Okeru Mokuhon Shokubutsu no Shinnyu Suii ni Tsuite. *Bulletin of the Ehime University Forest* 24: 111-128.
- Flory, S.L. and Clay, K. 2006. Invasive shrub distribution varies with distance to roads and stand age in eastern deciduous forests in Indiana, USA. *Plant Ecology* 184(1): 131-141.
- Forman, R.T.T. and Alexander, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. 29: 207.
- Han, S.W. 2019. Effects of Forest Road Construction on Biological Community and Distribution in Forests : A Case Study of Forest Road in Minjujisan. Daejeon. Chungnam National University.
- Han, S.W., Kweon, H.K., Lee, S.M., Kim, H.S. and Lee, J.W. 2018. A comparative study of flora and vegetation change before and after Forest Road Construction in the Research Site of Minjujisan. *Korean Journal of Environment and Ecology* 32(4): 392-412.
- Harris, W. F., Santantonio, D. and McGinty, D. 1979. Dynamic belowground ecosystem. *Forests*. pp. 120-129.
- Huang, B., Zhu, M., Liu, Z., Sheng, M., Chen, M., Yang, Q., Yang, Y. and Ai, Y. 2022. The formation of small macro-aggregates induces soil organic carbon stocks in the restoration process used on cut slopes in alpine regions of China. *Land Degradation & Development* 33(16): 3283-3293.
- Jeon, H.C. 2015. Estimating Public Benefits of Forest Roads in Natural Recreation Forests Using DBCV : An Example of Forest Recreation and Activities. *Journal of Transport Research* 22(4): 77-91 (in Korean).
- Kang, H.K., Lee, J.Y. and Song, H.S. 2014. Germination characteristics and maturity by production time of *Chamaecrista nomome*, *Lespedeza cuneata* and *Lespedeza bicolor* seed in Fabaceae plant. *Korean Journal of Plant Resources* 27(4): 359-364.
- Korean National Arboretum. 2010. Rare plants data book In Korea. Korean National Arboretum, Pocheon, Korea. pp. 1-336 (in Korean).
- Korean National Arboretum. 2023. Korean plant names index committee. <http://www.nature.go.kr/>
- Kostrakiewicz-Gierałt, K. and Gmyrek, K. 2022. The effect of the distance from a path on abiotic conditions and vascular plant species in the undergrowth of urban forests and parks. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)* 19(9): 5621.
- Kwon, J.H., Choi, W.J. and Han, S.K. 2024. Analysis on the Impact of Habitat Environment of Amphibians After Forest Road Construction. Korea Forest Engineering Society Extraordinary General Meeting and Autumn Conference 22-22 (in Korean).
- Lee, C.G. 2014. *Coloured Flora of Korea*. 2nd Ed. Hyangmunsa.
- Lee, J.W., Choo G.C. and Choi, 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.K., Lee, J.W., Choi, S.M. and Kim, H.S. 2018. Soil displacement from frost heave on forest road cut-slopes. *Korean Journal of Agricultural Science* 45(2): 177-184.
- 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 Society of Forest Science* 106(2): 219-229 (in Korean).

- Lee, Y.M., Park, S.H., Jung, S.Y., Oh, S.H., Yang, J.C. 2011. Study on the current status of naturalized plants in South Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy* 41(1): 87-101.
- Lee, Y.N. 2006. *New flora of Korea*. 1st Ed. Kyohaksa.
- Lee, M.J., Song, H.K., Lee, J.W., Jeon, K.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): 397-408.
- Ma, H.S. and Park, J. W. 2006. Effects on the Early Growth of Revegetation Plants by Microorganisms in Slope of Forest Road. *Journal of Korean Society of Forest Science* 95(4): 423-428.
- Ministry of Environment, 2022. *Environment statistics yearbook*. pp.626
- Ministry of Environment. 2012a. 4th National ecosystem survey data guidelines. Ministry of Environment, Korea. pp. 1-490 (in Korean).
- Ministry of Environment. 2012b. *Red data book*. Ministry of Environment. <https://species.nibr.go.kr/>
- Mortensen, D., Rauschert, E. Nord, A. and Jones, B.P. 2009. Forest Roads Facilitate the Spread of Invasive Plants. *Invasive Plant Science and Management* 2(3): 191-199.
- Park, H.C. and Oh, C.H. 2017. Flora, life form characteristics, and plan for the promotion of biodiversity in South Korea's Globally Important Agricultural Heritage System, the traditional Gudeuljang irrigated rice terraces in Cheongsando. *Journal of Mountain Science* 14(6): 1212-1228.
- Park, J.E., 2015. Analysis of flora and vegetation in forest road slopes according to the years after the forest road construction -in the Uiryong-gun. Jinju. Gyeongsang national University.
- Park, K.L., Lee, J.Y., Kim, C.H. and Choi, J.W. 2010. Study on Vegetation Analysis for Indicators Development of Agro-ecosystem Habitat Quality. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43(6): 1040-1046 (in Korean).
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Hu, Y., Du, Y. and Meersmans, J. 2018. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *The Science of The Total Environment* 644: 781-790.
- Picchio, R., Tavankar, F., Venanzi, R., Monaco, A. and Mehrdad Nikooy. 2018. Study of Forest Road Effect on Tree Community and Stand Structure in Three Italian and Iranian Temperate Forests. *Croatian Journal of Forest Engineering* 39(1): 57-70.
- Raunkiaer, C. 1934. *Life form of plants and statistical plant geography*. Charendon Press, Oxford.
- Seo, W.K., Choi, J.H., Chae, B.G. and Song, Y.S. 2017. Characteristics of Landslide Occurrence and Change in the Matric Suction and Volumetric Water Content due to Rainfall Infiltration. *The journal of Engineering Geology* 27(4): 475-487 (in Korean).
- Spellerberg, I.A.N. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography* 7(5): 317-333.
- Thakur, B., Chetry, A., Sarania, B. and Devi, A. 2024. The Impact of Small-Scale Disturbances on Composition and Distribution Pattern of Non-Native Plant Species and Their Risk Assessment Along The Forest'S Roadside and Interior. *Russian Journal of Biological Invasions* 15(4): 693-709.
- Zhang, B.J., Zhang, G.H., Yang, H.Y., Wang, H. and Li, N.N. 2018. Soil erodibility affected by vegetation restoration on steep gully slopes on the Loess Plateau of China. *Soil Research* 56(7): 712-723.
- Zhang, Z.G., Ma, Z.P., Liu H.M., Zheng, Z.M., Xie, Y.B., Fang, X.F. and Wang, X.H. 2013. Topographic distribution patterns of forest gap within an evergreen broad-leaved forest in Tiantong region of Zhejiang Province, Eastern China. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 24(3): 621-5.

Manuscript Received : February 6, 2025

First Revision : September 5, 2025

Second Revision : November 17, 2025

Third Revision : November 26, 2025

Accepted : November 26, 2025