

Research Paper

육교형 생태통로의 식생 경관 유형별 종조성 및 군집 특성

김세희 · 김기현 · 송의근 · 이한비 · 조광진

국립생태원

Species Composition and Community Characteristics by Vegetation Landscape Type of Overpasses

SeHee Kim · KiHyun Kim · EuiGeun Song · HanBi Lee · KwangJin Cho

National Institute of Ecology

요약: 육교형 생태통로와 인접한 서식지를 3개의 경관 유형으로 구분하여, 각 유형별 종 조성과 군집 특성을 파악하고 생태통로 식생 조성 방향을 제시하고자 하였다. 전체 출현 식물은 총 282분류군이었고, 전이지대에서 종 풍부도와 종다양도가 가장 높게 나타났다. 인공조성지는 낮은 종다양도와 높은 우점도를 보여 소수 종이 군집을 지배하는 양상을 보였으며, 산림지대는 종풍부도와 종다양도가 전이지대와 인공조성지의 중간 수준이었다. 전이지대와 인공조성지에서는 국화과, 벼과, 콩과의 비율이 높게 나타났다. 다년생 식물은 산림지대, 전이지대, 인공조성지 순으로 감소한 반면, 일년생 식물은 동일한 순서로 증가하였다. DCA 결과, 산림지대는 3개 요인(교목층 피도와 높이, 낙엽부식층)과, 전이지대는 4개 요인(아교목층 피도와 높이, 종다양도, 경사도)과, 인공조성지는 3개 요인(초본층 피도, 암석노출도, 우점도)과 높은 관련성을 보였다. 결과적으로 산림지대와 인공조성지는 상이한 군집 구조를 가지며, 전이지대는 두 유형의 특성을 포함한 혼합형 구조를 나타냈다. 향후 육교형 생태통로의 식생 관리 시 산림지대의 특성을 반영하여 전이지대와 인공조성지의 식생을 개선하는 것이 생태적 연결성 강화를 위해 중요할 것으로 사료된다.

주요어: 생태통로, 다변량 분석, 추이대, 다양성 지표, 생태적 연결성

Abstract: In this study, overpasses and their adjacent habitats were classified into three landscape types, and species composition and community characteristics were examined for each type in order to propose directions for vegetation establishment in wildlife crossing structures. A total of 282 taxa were recorded, and species richness and diversity were highest in the transition area. The artificial area showed low species diversity and high dominance, indicating that a few species dominated the community, whereas the forest area exhibited intermediate levels of species richness and diversity between the transition and artificial areas. In both the transition area and the artificial area, Asteraceae,

First Author: SeHee Kim, Tel: +82-41-950-5155, E-mail: ksh0720@nie.re.kr, ORCID: 0000-0002-7333-3995

Corresponding Author: KwangJin Cho, Tel: +82-41-950-5670, E-mail: kjcho@nie.re.kr, ORCID: 0000-0003-1796-7050

Co-Authors: KiHyun Kim, Tel: +82-41-950-5897, E-mail: k717kh@nie.re.kr, ORCID: 0009-0006-3923-5896

EuiGeun Song, Tel: +82-41-950-5426, E-mail: song@nie.re.kr, ORCID: 0000-0002-1532-8370

HanBi Lee, Tel: +82-41-950-5474, E-mail: ecohb@nie.re.kr, ORCID: 0009-0005-2929-2988

Received: 20 November, 2025. Revised: 9 December, 2025. Accepted: 10 December, 2025.

Poaceae, and Fabaceae accounted for high proportions of the flora. The proportion of perennial species decreased from the forest area to the transition area and the artificial area, while that of annual species increased in the same order. Detrended correspondence analysis(DCA) showed that the forest area was strongly associated with tree layer cover and height and litter-humus layer, the transition area with sub-tree layer cover and height, species diversity and slope, and the artificial area with herb layer cover, rock exposure and dominance. Consequently, the forest and artificial areas had distinct community structures, whereas the transition area displayed a mixed structure encompassing characteristics of both types. For future vegetation management of wildlife overpasses, enhancing vegetation in the transition and artificial areas to more closely resemble the structural characteristics of forest vegetation will be important for strengthening ecological connectivity.

Keywords: Wildlife Crossing Structure, Multivariate analysis, Ecotone, Diversity indices, Ecological connectivity

I. 서론

서식지 파편화는 야생생물의 생존에 위협을 가하며, 심하게는 멸종을 초래하는 주요 원인으로 작용한다(Hilty et al., 2006). 이를 해결하기 위한 방안으로 제시된 생태통로는 야생동물의 도로 횡단 위험을 줄이고 생태적 연결성 회복을 위한 역할을 수행한다(Hilty et al., 2006). 국내의 생태통로는 현재까지 564개소가 보고되었으며, 이중 약 64%가 육교형에 해당한다(Song et al., 2023). 육교형 생태통로는 주로 중대형 포유류의 패치간 이동을 돕고, 소형 포유류에게는 서식지를 제공하는 역할을 할 수 있다(Choi et al., 2012; Jeong et al., 2023).

한편, 육교형 생태통로와 같이 인위적으로 조성된 도로변 구조물은 기존 서식지와는 차별화된 독특한 미소 환경을 제공할 수 있다(Bennett et al., 2011; Rodney et al., 2015). 특히, 생태통로와 산림이 인접한 경계부는 가장자리 효과(edge effect)와 함께 다양한 야생동물의 서식지 선택 가능성을 높이며, 생물다양성 증가에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다(Lourenco et al., 2019; Song et al., 2018). 하지만 대다수의 생태통로는 단순한 통과로서의 기능에 그칠 뿐, 주변 서식지와 연결성에 대한 고려가 부족하거나, 식생 특성이 충분히 반영되지 않은 경우가 많다(Woo et al., 2018; Kim et al., 2024).

식생은 생태계의 구조와 기능을 유지하는 데 핵심적인 요소이며, 식생 회복은 경관적, 미관적 요소를 넘어 야생동물의 서식지 출현빈도에도 직접적인 영향을 줄

수 있다(Clevenger and Waltho, 2005; Jeong et al., 2021). 생태통로의 식생 연결성도 단순한 조경 요소를 넘어, 야생동물의 이동성을 증진시키고 지형 연결성을 강화하는 데 중요한 요인으로 볼 수 있다. 「자연환경보전법」 제45조의2는 생태통로의 설치와 운영 효과성을 평가하기 위한 조사를 명시하고 있으며, 환경부의 「생태통로 설치 및 관리 지침(ME, 2023)」에서도 식생 밀도와 높이를 적정 수준으로 유지할 것을 권고하고 있다. 하지만 실제 운영 지침과 연계된 과학적 자료는 부족한 실정이다. 국내 생태통로 관련 연구는 주로 포유류의 이용 패턴과 구조물의 효율성 평가에 집중되어 있으며, 생태통로 내부 및 주변 서식지의 식생을 식물사회학적 방법으로 비교·분석한 연구는 매우 제한적이다.

따라서 본 연구에서는 육교형 생태통로 내부와 주변 서식지를 산림지대, 전이지대, 인공조성지의 세 경관 유형으로 구분하여 식생 조사를 실시하고, 각 유형 간의 종조성과 군집 구조를 비교하며, 다변량분석(DCA)을 통해 군집 분포에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 하였다. 이를 바탕으로 육교형 생태통로 식생의 조성 방향을 제시하고자 한다.

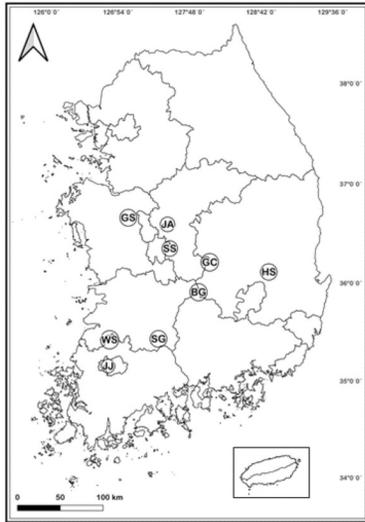
II. 재료 및 방법

1. 조사 방법

본 연구는 한반도 남부아구(Lee and Yim, 2002)에 해당되는 육교형 생태통로 9개소를 대상으로 수행되었

으며(Figure 1), 각 생태통로는 산림지대, 전이지대, 인공조성지의 3개 경관 유형으로 구분하여 조사를 진행하였다(Figure 2). 산림지대는 생태통로 양측 입구로부터 식생이 균질하고 전이지대와와의 이질성이 크지 않은

지역으로 설정하였고, 전이지대는 생태통로의 끝지점부터 산림지대 사이의 경계부로 정의하였다. 숲의 가장자리 효과는 100m 이내에서 두드러지며(Fischer et al., 2021), 전이지대는 생태통로로부터 100m 내에서 방



Province/City	Width(m)	Length(m)	Altitude(m)	Latitude	Longitude	Years since construction	Abbreviation
Gochang-gun, Wolsan-ri	30	30	303.7±10.0	35.4138	126.7472	1	WS
Dong-gu, Sinsang-dong	30	30	177.7±2.1	36.3411	127.5042	1	SS
Asan-si, Geosan-ri	30	25	229.7±1.5	36.6519	126.9824	5	GS
Gimcheon-si, Gwangcheon-ri	46	46	239.3±1.2	36.2025	128.0071	6	GC
Gochang-gun, Bonggye-ri	38	25	688.7±3.1	35.8989	127.8654	7	BG
Namwon-si, Sangok-dong	42	42	195.3±5.0	35.4228	127.3619	9	SG
Gwangju, Jijeong-dong	49	32	78.7±2.9	35.1442	126.7274	12	JJ
Yeongcheon-si, Hwaseo-ri	68	40	259±11.4	36.1044	128.7499	13	HS
Cheongju-si, Jangam-dong	32	32	105.3±1.5	36.5852	127.4761	15	JA

Figure 1. Locations and spatial attributes of overpasses

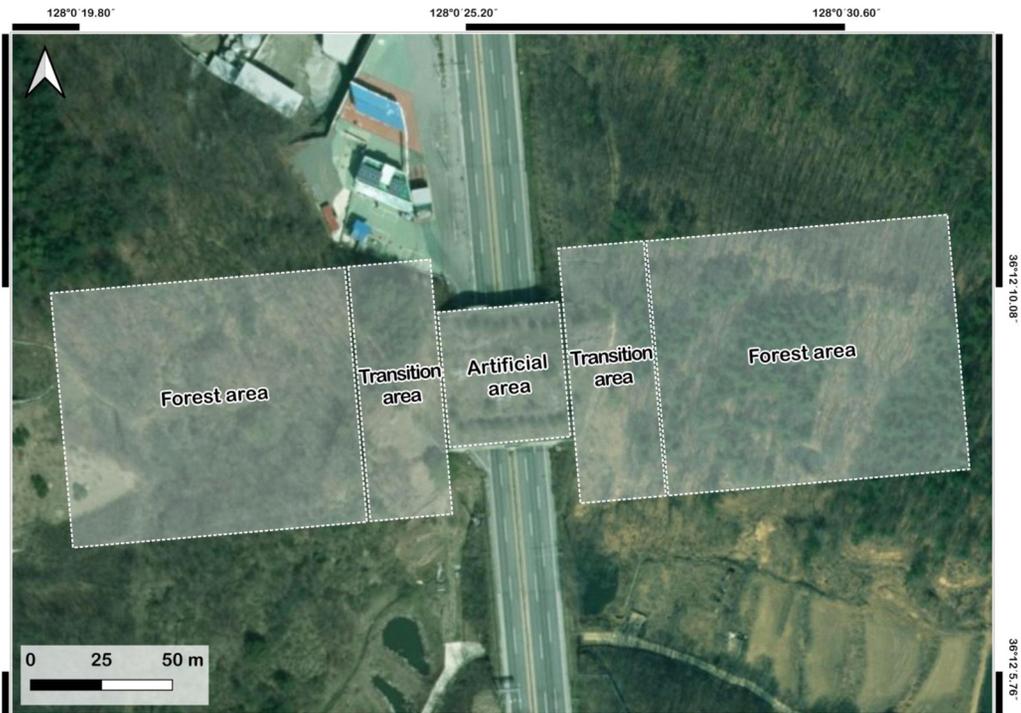


Figure 2. Schematic diagram of landscape types inside and adjacent to the overpass (forest, transition and artificial areas)

형구를 선정하고, 산림지대는 전이지대로부터 100~200m 범위 내에서 방형구를 선정하였다. 마지막으로 생태통로 내부는 인위적인 식재 및 관리가 이루어진 구간으로, 이를 인공조성지로 지칭하였다. 각 생태통로마다 산림지대 2개, 전이지대 2개, 인공조성지 3개의 방형구를 설치하였으며, 총 63개의 방형구에서 식생 조사를 수행하였다. 식생조사는 2024년 5월부터 6월까지 진행되었으며, 식물사회학적 접근법인 Z-M 학파의 전추정법을 적용하였다(Kim and Lee, 2006). 방형구의 크기는 산림지대 및 전이지대에서는 10×10 m, 인공조성지에서는 생태통로의 규모를 고려하여 5×5 m로 설정하였다.

식물의 동정은 원색 대한식물도감(Lee, 2003)과 벼과 사초과 생태도감(Cho et al., 2016)을 활용하였으며, 식물 종명은 국가생물종목록(National Institute of Biological Resources, 2024)을 기준으로 표기하였다.

2. 경관 유형별 종조성 특성

본 연구에서는 산림지대, 전이지대, 인공조성지 3가지 경관 유형별로 식물군집 내 각 종의 상대적인 기여도를 평가하기 위한 상대기여도(relative net contribution degree, r-NCD)를 산출하였다. r-NCD는 각 종의 절대기여도(NCD)를 군락 내 최대 기여도값(NCDmax)으로 정규화한 지표로, 다음의 식에 따라 계산하였다(Kim and Manyko, 1994).

$$NCD_i = \frac{\sum C_i}{N} \times \left(\frac{n_i}{N}\right) \quad (Cmin \leq NCD \leq Cmax)$$

여기서, $\sum C_i$ 는 대상 식물종 i의 전체 피도 총합, n_i 는 해당 종이 출현한 방형구 수, N 은 전체 방형구 수로, $\frac{n_i}{N}$

은 상대 출현빈도를 의미한다. 즉, 절대기여도(NCD)는 해당 식물종의 피도(양적 지표)에 상대 출현빈도(질적 지표)를 곱하여, 각 종의 군락 내 상대적인 중요도를 나타낼 수 있다.

$$r-NCD_i = \left(\frac{NCD_i}{NCD_{max}}\right) \times 100$$

r-NCD는 0~100 사이의 표준화된 값으로, 이를 통해 각 종의 상대적 기여도를 정량적으로 비교하였다.

3. 경관 유형별 다양성 지수 비교

생태통로의 각 공간 유형별 식물 군집의 특성을 정량적으로 비교하기 위해, 종풍부도(Species richness index, S), 종다양도(Shannon-Wiener diversity index, H'), 우점도(Dominance index, DI), 균등도(Evenness index, J)의 생물 다양성 지수들을 활용하였다. 각 방형구에서 출현한 식물종의 피도 값을 이용하여 다양성 지수들을 산출하였다.

- 종풍부도(Species Richness, S)는 각 조사지점에서 출현한 식물종의 수를 나타낸다.

- 종다양도지수(Shannon-Wiener Diversity Index, H')는 종풍부도와 균등도를 모두 고려한 지표로, 군집의 다양성 정도를 정량화할 수 있다. 값이 클수록 종조성이 고르게 분포되며 다양성이 높음을 의미한다.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

p_i : 각 종의 상대피도($p_i = n_i/N$), n_i : i종의 피도,
 N : 조사지점 내 모든 종의 피도 총합

- 균등도지수(Evenness, J)는 군집 내 종들의 분포 균등성을 나타내며, 종 간 분포가 균등할수록 값이 1에 가까워진다.

$$J = \frac{H'}{\log S}$$

H': 종다양도지수, S: 조사지점에서 출현한 총 종수

- 우점도지수(Dominance Index, DI)는 군집 내에서 특정종이 차지하는 비율로, 해당 종이 얼마나 우세한지를 나타내는 지표이다. 값이 클수록 몇몇 종이 군집을 지배하고 있으며, 군집의 다양성이 낮음을 나타낸다.

$$DI = \frac{n_1 + n_2}{N}$$

n_1, n_2 : 각 조사지점에서의 제 1, 2 우점종의 피도,
 N : 조사지점 내 출현한 종들의 피도 총합

4. 경관 유형별 군집 특성

경관 유형 간 분포 차이를 분석하기 위해 플롯(방형구) x 종(r-NCD) 행렬을 이용하여 Detrended Correspondence Analysis (DCA)를 수행하였다. DCA는 플롯 간 종 조성

Table 1. Variables used in the distribution patterns by landscape type

Category	Variables	Abbreviation
Abiotic factors	Altitude	A
	Slope aspect	SA
	Slope gradient	SG
	Rock exposure rate	RE
	Litter layer	LL
Biotic factors	Tree layer canopy cover	TLC
	Tree layer height	TLH
	Sub-tree layer canopy cover	STLC
	Sub-tree layer height	STLH
	Shrub layer canopy cover	SLC
	Shrub layer height	SLH
	Herb layer canopy cover	HLC
	Herb layer height	HLH
	Species richness	S
	Dominance index	DI
	Shannon-Wiener diversity index	H'
	Evenness	J

의 상대적 차이를 저차원 공간에 배열하여 시각화하는 다변량 통계 기법으로, 비생물 또는 생물적 요인의 영향은 ordination 축과의 관련성을 통해 간접적으로 해석하였다. 본 연구에서는 산림지대, 전이지대, 인공조성지의 종별 상대기여도를 기준으로, 5개의 비생물 요인(암석노출도, 낙엽부식층, 고도, 사면방위, 경사도)과 12개의 생물 요인(교목층 피도 및 높이, 야교목층 피도 및 높이, 관목층 피도 및 높이, 초본층 피도 및 높이, 종풍부도, 우점도지수, 균등도지수, 종다양도지수)을 활용하여 경관 유형 간 차이를 분석하였다(Table 1).

5. 통계 분석

각 다양성 지수는 평균 \pm 표준편차로 나타내었으며, 세 가지 경관 유형 간의 차이는 Kruskal-Wallis test를 통해 분석하였다. 또한, 두 개의 그룹 간의 차이는 Mann-Whitney U test를 사용하여 비교하였다. 통계 분석 및 데이터 시각화는 STATISTICA(Version 7, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, 520 USA)과 R(Version 4.4.1, R core Team, Vienna, AT)을 사용하였다. 다변량 통계 분석은 PC-ORD version 6.0(MjM Software, Gleneden Beach, OR, USA)을 사용하였다.

III. 결과

1. 경관 유형별 출현 식물 특성

조사된 전체 육교형 생태통로에서 확인된 식물상은 총 282분류군(85과 194속 252종 5아종 16변종 8품종)이었다. 각 경관 유형별로는 산림지대에서 147분류군, 전이지대에서 205분류군, 인공조성지에서 166분류군으로, 전이지대에서 가장 많은 분류군이 확인되었다(Table 2). 또한, 모든 유형에서 공통적으로 국화과(*Asteraceae*), 벼과(*Poaceae*), 콩과(*Fabaceae*), 장미과(*Rosaceae*)가 높은 비율로 나타났다(Table 3). 국화과는 전체 비율에서 11%를 차지하며, 전이지대와 인공조성지에서는 각각 12.7%로 산림지대보다 약 2.7배 높았다. 벼과는 전체 비율에서 10.3%를 차지하며, 인공조성지에서 12.7%로 가장 높은 비율을 보였고, 산림지대에서 약 3.7배 낮은 비율을 나타냈다. 콩과는 전체 비율에서 7.1%를 차지하며, 전이지대와 인공조성지에서 각각 7.8%와 9.6%로 다소 높은 출현 비율로 나타났고, 산

Table 2. Proportional presence of major plant families by landscape type

Family name	Total		Forest area		Transition area		Artificial area	
	No. of species	Ratio (%)	No. of species	Ratio (%)	No. of species	Ratio (%)	No. of species	Ratio (%)
Asteraceae	31	11.0	7	4.8	26	12.7	21	12.7
Poaceae	29	10.3	5	3.4	19	9.3	21	12.7
Fabaceae	20	7.1	5	3.4	16	7.8	16	9.6
Rosaceae	18	6.4	13	8.8	12	5.9	15	9.0
Others	184	65.2	117	79.6	132	64.4	93	56.0
Total	282	100	147	100	205	100	166	100

Table 3. Proportions of perennial and annual species by landscape type

Category	Forest area		Transition area		Artificial area	
	No. of species	Ratio (%)	No. of species	Ratio (%)	No. of species	Ratio (%)
Perennial	129	87.7	156	76.2	116	69.8
Annual	18	12.2	49	23.9	50	30.2
Total	147	100	205	100	166	100

Table 4. Major species occurrence by landscape type

Category	No. of species	Indicative species composition(r-NCD)
Total	282	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv.; 주름조개풀(100), <i>Artemisia indica</i> Willd.; 쑥(79.76), <i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.; 개망초(58.95), <i>Robinia pseudoacacia</i> L.; 아까시나무(57.88), <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.; 환삼덩굴(43.93)
Forest area	147	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv.; 주름조개풀(100), <i>Lindera erythrocarpa</i> Makino; 비목나무(94.95), <i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.; 쥐똥나무(83.78), <i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc.; 밤나무(77.13), <i>Smilax china</i> L.; 청미래덩굴(74.34)
Transition area	205	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv.; 주름조개풀(100), <i>Artemisia indica</i> Willd.; 쑥(81.13), <i>Robinia pseudoacacia</i> L.; 아까시나무(75.63), <i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.; 개망초(64.5), <i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.; 소나무(58.5)
Artificial area	166	<i>Artemisia indica</i> Willd.; 쑥(100), <i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.; 개망초(65.74), <i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv.; 주름조개풀(33.91), <i>Robinia pseudoacacia</i> L.; 아까시나무(29.65), <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.; 환삼덩굴(21.91)

림지대에서는 약 2.8배 가량 낮은 비율을 보였다. 장미과는 전체 비율에서 6.4%를 차지했으며, 인공조성지에서 9%로 가장 높았고, 전이지대에서는 약 1.5배 가량 낮은 비율로 나타났다.

경관 유형별로 다년생과 일년생 식물의 출현비율은 다음과 같았다(Table 3). 각 유형별로 다년생 식물(Perennial)은 산림지대에서 87.7%, 전이지대에서 76.2%, 인공조성지에서는 69.8%로 나타나며, 산림지대에서 인공조성지로 갈수록 비율이 감소하는 경향을 보였다. 반면, 일년생 식물(Annual)은 산림지대에서 12.2%, 전이지대에서는 23.9%, 인공조성지에서는 30.2%를 보였으며, 인공조성지로 갈수록 비율이 증가하는 경향을 보였다.

상대기여도(r-NCD) 분석 결과, 생태통로 전체 9개소의 상위 5종은 주름조개풀(100), 쑥(79.76), 개망초(58.95), 아까시나무(57.88), 환삼덩굴(43.93) 순으로 높게 나타났다(Table 4). 경관 유형별로는 산림지대에서는 주름조개풀(100), 비목나무(94.95), 쥐똥나무(83.78), 밤나무(77.13), 청미래덩굴(74.34) 순으로, 교목, 아교목, 관목, 초본이 다양하게 나타나며, 전형적인 숲의

특성을 보였다. 전이지대에서는 주름조개풀(100), 쑥(81.13), 아까시나무(75.63), 개망초(64.5), 소나무(58.5) 순으로 높았고, 인공조성지에서는 쑥(100), 개망초(65.74), 주름조개풀(33.91), 아까시나무(29.65), 환삼덩굴(21.91)이 높게 나타났다. 한편, 전체 조사한 대상지에서 생태계 교란종은 환삼덩굴, 돼지풀, 단풍잎돼지풀, 가시박, 양미역취 등 5분류군이 확인되었다(Appendix 1). 이 중 환삼덩굴의 상대기여도가 43.93으로 가장 높았고, 특히 인공조성지에서 초본식물 중에서도 비교적 높은 기여도를 보였다. 전이지대와 인공조성지는 아까시나무와 개망초와 같은 침입성 외래식물이 혼재된 양상이었으며, 두 유형 중 인공조성지가 생태계교란종의 우점이 다른 두 경관유형에 비해 높은 경향을 보였다.

2. 경관 유형별 군집 특성

각 경관 유형별 다양성 지수들은 다음과 같았다(Table 5, Figure 3). 종풍부도(S)는 산림지대 (29.00 ± 7.17), 전이지대(37.78 ± 11.04), 인공조성지(20.33 ± 5.17) 중 전이지대에서 가장 높았고, 인공조성지에서 가장 낮았다

Table 5. Comparison of biodiversity indices by landscape type

Index	Area		
	Forest	Transition	Artificial
Richness(S)	29.00±7.17A	37.78±11.04A	20.33±5.17B
Dominance(DI)	0.17±0.04B	0.13±0.03B	0.24±0.08A
Shannon-Wiener diversity(H')	3.20±0.23A	3.46±0.31A	2.82±0.31B
Evenness(J)	0.96±0.01A	0.96±0.00A	0.95±0.01B

Different letters (A, B) indicate significant differences between groups (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$)

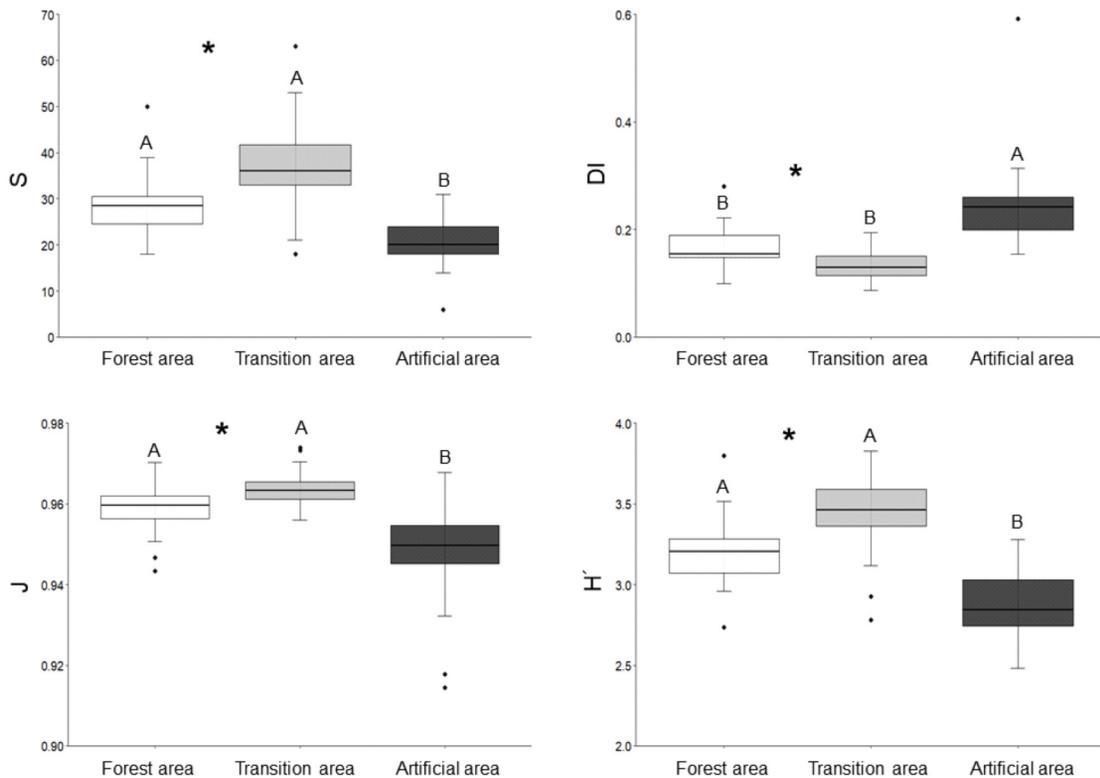


Figure 3. Statistical analysis of biodiversity index differences across landscape types: Species Richness (S), Shannon-Wiener Diversity Index (H'), Evenness (J), and Dominance Index (DI). Different letters (A, B) indicate significant differences among the three groups (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$). The asterisk (*) indicates statistical significance between forest area and transition area (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)

($p < 0.01$). 우점도지수(DI)는 인공조성지(0.24 ± 0.08)에서 가장 높았고, 산림지대(0.17 ± 0.04)와 전이지대(0.13 ± 0.03)에서는 상대적으로 낮은 값을 보였다($p < 0.01$, Figure 3). 종다양도지수(H')는 전이지대(3.46 ± 0.31)와 산림지대(3.20 ± 0.23)에서 높았고, 인공조성지(2.82 ± 0.31)에서 낮게 나타났다($p < 0.01$). 균등도지수(J)는 산림지대와 전이지대에서 유사한 수치로 높게 나타났고, 인공조성지에서는 0.95 ± 0.01 로 상대적으로 낮게 나타

났다($p < 0.01$). 결과적으로 산림지대와 전이지대가 높은 종다양도와 균등도, 낮은 우점도를 보이며, 다양한 종들이 비교적 균질하게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 인공조성지는 상대적으로 낮은 종다양도와 높은 우점도를 보이며, 소수의 종에 의해 우점되는 양상을 보이는 것으로 나타났다.

전체 조사한 방형구에 대한 군집의 분포 패턴에 대한 DCA 결과, Axis1, Axis2의 eigen value는 각각 0.372,

0.591로 확인되었으며, permutation test에서 모두 $p=0.001$ 로 유의한 결과를 보였다. 또한, 두 축을 중심으로 세 가지 경관 유형(산림지대, 전이지대, 인공조성지)은 서로 다른 그룹으로 뚜렷이 구분되었다(Figure 4). 산림지대는 Axis 1을 기준으로 그래프의 하단에 위치하며, 인공조성지는 상단에 위치하며, 전이지대는 산림지대와 인공조성지의 중앙부에 위치하였다. DCA 분석 결과, 각 변수와 군집 간의 관계는 벡터(변수)의 방향성과 크기를 통해 구체적으로 확인되었다. 생물 및 비생물 요인들은 Axis 1을 기준으로 암석노출도(RE), 초본층 피도(HLC), 우점도지수(DI)는 상단에 배열되었고, 그 외의 교목층 피도(TLC), 교목층 높이(TLH), 아교목층 피도(STLC), 아교목층 높이(STLH), 낙엽부식층(LL), 종다양도지수(H'), 경사도(SG) 요인들은 하단에 배열되었다. 전체 요인 중에서 교목층 피도(TLC), 교목층 높이(TLH), 낙엽부식층(LL)이 산림지대 군집의 분포에 가장 관련성이 높게 나타났고, 인공조성지와는 가장 관련성이 낮았다. 반면, 초본층 피도(HLC), 우점도지수(DI), 암석노출도(RE)는 인공조성지 군집 분포에 가장 관련성이 높게 나타났고, 산림지대와는 가장 관련성이 낮았다. 전이지대는 산림지대와 인공조성지의 중간지대로, 두 유형의 특성을 모두 포함하며, 아교

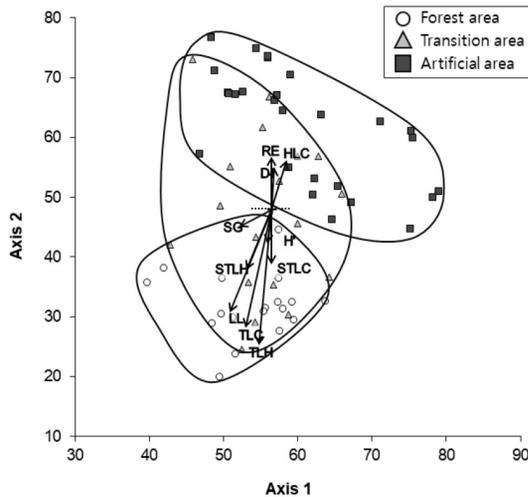


Figure 4. Detrended Correspondence Analysis (DCA) ordination of plots by landscape type. The eigenvalues for Axis 1 and Axis 2 were 0.372 and 0.591, respectively, and the permutation test showed a statistically significant p -value of 0.001

목층 피도(STLC), 아교목층 높이(STLH), 종다양도지수(H'), 경사도(SG)가 군집 구조를 설명하는 주요한 변수로 해석되었다. 한편, 이 외의 6개의 변수들(고도(A), 사면방위(SA), 관목층 피도(SLC), 관목층 높이(SLH), 초본층 높이(HLH), 종풍부도(S), 균등도지수(J))은 각 군집과의 관련성이 나타나지 않았다.

IV. 고찰

1. 경관 유형별 출현 식물 특성

본 연구에서 육교형 생태통로의 식물군락을 경관 유형별로 분석한 결과, 산림지대, 전이지대, 인공조성지 중 전이지대에서 가장 많은 분류군이 나타났고, 국화과, 벼과, 콩과, 장미과가 공통적으로 높은 비율을 보였다(Table 2). 이 중 국화과는 산림지대에 비해 전이지대와 인공조성지에서 두드러지게 높은 비율을 보였는데, 이들이 개방되거나 반복적인 교란이 발생하는 환경에서 환경 적응력이 높고, 강한 내건성과 높은 종자 생산량을 바탕으로 빠르게 정착·확산하는 특성에 의한 것으로 예상된다(Baskin and Baskin, 2023; Waheed and Arshad, 2024). 본 연구에서는 국화과 식물 중 썩과 개망초가 전이지대와 인공조성지에서 높은 상대기여도를 보였으며(Table 4), 해당 종들이 육교형 생태통로의 교란 환경을 반영하는 주요 지표종이 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 벼과는 인공조성지에서 가장 높은 출현 비율을 보였는데, 이는 건조하고 일사량이 높은 환경에서 내성이 강한 벼과 식물들이 생장에 유리했기 때문으로 판단된다(Kim et al., 2024). 반면, 산림지대에서는 상대적으로 상층부의 수관으로 인해 하층의 광 이용성이 제한되며(Barbour et al., 2015; Woo et al., 2024), 하층에 주로 분포하는 국화과와 벼과 식물들이 경쟁에서 불리하여 낮은 비율을 보였을 것으로 판단된다(Table 2, Figure 4). 콩과 식물은 뿌리혹박테리아와 공생하며 대기 중 질소를 고정하여 천이 초기 단계에 토양을 비옥하게 만드는 역할을 수행한다(Sabagh et al., 2020; Lee et al., 2020). 본 연구에서 나타난 주요 콩과식물인 아까시나무는 특히 전이지대와 인공조성지에서 높은 상대기여도를 보였는데(Table 4), 이는 두 경관 유형이 교란이 빈번히 발생하는 구역으로, 아까시나무와

같은 빠른 생장과 넓은 내성범위를 가진 종들이 생태통로의 인위적 교란 환경에 대한 적응력이 높았기 때문에 보인다(Boring and Swank, 1984; Nilsen et al., 2018; Chu et al., 2019). 결과적으로 이런 양상은 생태통로 내부와 인접부가 모두 교란에 취약한 환경임을 나타내며, 조사된 육교형 생태통로의 식생이 천이 초기 단계를 거치며, 자연적인 천이보다는 교란과 침입종의 영향을 강하게 받고 있음을 시사한다. 한편, 장미과는 인공조성지에서 비율이 가장 높았으나, 이는 식재종이 포함되었기에 정확한 종 조성적 특성을 설명하기에는 한계가 있었다. 다만, 산림지대와 전이지대에서는 벚나무류 외에도 산딸기, 명석딸기, 찔레나무, 국수나무 등 주로 산림 임연부에 나타나는 목본성 수종들이 확인되었다(Appendix 1, Jung et al., 1994). 한편, 주름조개풀은 모든 경관 유형에서 높은 상대기여도를 보였다(Table 4). 주름조개풀은 국외에서 침입성이 강한 종으로 알려져 있으며(Bowen et al., 2020; Kepner and Beauchamp, 2020), 국내 연구에서도 교란 등 인위적 영향에 대한 내성이 강한 것으로도 보고된 바 있다(Park et al., 2002). 그늘진 환경과 약한 빛 조건에서 높은 발아율을 보이며 산림 하층을 우점하는 특성을 가지기 때문에(Pham and Wu, 2023), 산림지대와 전이지대 모두 해당 종의 생존과 확산에 유리하게 작용하였을 것으로 예상된다. 향후 생태통로 관리에서 이 종이 잠재적 관리 대상이자 지표종으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 다년생 식물의 비율은 산림지대에서 인공조성지로 갈수록 낮았고, 일년생 식물의 비율은 산림지대에서 인공조성지로 갈수록 높았다(Table 3). 이는 다층 구조로 이루어진 숲 형태에 가까울수록 장기적인 자원 점유와 경쟁에 유리한 다년생 식물이 우세해지는 경향을 반영한다(Barbour et al., 2015). 전이지대는 산림지대에 비해 다년생의 비율은 다소 낮고 일년생의 비율은 높았는데, 이는 잦은 번동성에 의해 짧은 생활사와 빠른 번식 전략을 가진 일년생 식물이 서식하기에 유리했기 때문인 것으로 예상된다(Davies-Colley et al., 2000; Park and Cheon, 2025). 한편, 인공조성지는 인위적 식재로 형성된 단층 구조와 개방된 환경과 수관층의 부재 등이 침입성이 강한 초본류 위주의 우점에 영향을 주었을 것으로 예상되며(Lee et al., 2021), 생태계

교란종인 환삼덩굴의 확산에도 유리하게 작용했을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 전국의 생태통로 564개소 중 9개소(약 1.6%)만을 조사한 결과였으나, 환삼덩굴의 상대기여도가 전체 생태통로 중 상위 5종에 포함된 결과는 단순히 종의 교란 정도를 넘어, 해당 종들이 어떻게 생태통로로 유입이 되었는가를 고려할 필요가 있음을 시사한다. 산림지대의 종 조성 특성과 달리 전이지대와 인공조성지에서 두드러지는 침입성 외래식물이 높은 우점도를 보인 결과는 외부로부터 반입된 토양에 외래식물 종자가 포함되어 유입되었을 가능성을 보여준다(Chu et al., 2017). 향후, 생태통로 설치 시 성토 단계에서 생태통로 주변 서식지 또는 유사한 환경에서 토양을 반입하는 방안과, 외래식물, 생태계교란종에 대한 지속적인 모니터링과 선택적 제거 방안을 마련할 필요가 있다.

2. 경관 유형별 군집 특성

경관 유형별 다양성 지수와 군집 분포 구조는 일관되게 나타났다(Figure 3, Figure 4). 산림지대는 다양한 식물 종이 비교적 균질하게 분포하는 특징을 보였다. 종풍부도(S)는 중간 정도로 나타났으며, 종다양도지수(H')와 균등도지수(J)는 모두 높은 값을 보였다. DCA 결과에서도 산림지대는 교목층 피도(TLC), 교목층 높이(TLH), 낙엽부식층(LL)과 높은 관련성을 보이며, 산림지대가 다른 두 유형에 비해 다수의 종이 고르게 분포하고, 수관층과 충분한 유기물 공급이 유지되는 균형적 생태계를 이루고 있음을 간접적으로 보여준다. 숲의 건전성은 야생동물 이용과도 밀접한 연관이 있다. 인간 활동이 적고 적절한 산림피복이 있는 지역에 생태통로를 설치하는 것이 다양한 종의 이용에 효과적이며(Clevenger and Waltho, 2005; Jeong et al., 2023), 생태통로의 야생동물 이용 효과성은 법정보호지역과 같이 다층 구조를 이루는 숲의 면적이 넓을수록 증가될 수 있다(Seo et al., 2020). 생태통로의 목적성을 고려했을 때, 전이지대와 인공조성지도 산림지대와 식생이 연결되는 방향으로 가야할 것으로 사료된다.

전이지대는 산림지대와 인공조성지(개방지)의 조건이 혼재하는 공간으로, 두 개의 다른 생태계가 만나는 추이대(ecotone)의 특성을 반영한다(Eddy, 1990). 전이

지대에서 종풍부도(S), 종다양도지수(H'), 균등도지수(J)가 가장 높게 나타났으며, 이는 특정 종의 일방적인 우점보다는 다양한 종이 공존하는 "혼합형 군락"의 특징을 가짐을 나타낼 수 있다(Cho et al., 2005; Lourenco et al., 2019). DCA결과에서도 전이지대는 산림지대와 인공조성지 사이 중간 영역에 분포하며, 아교목층 피도(STLC)와 아교목층 높이(STLH), 종다양도지수(H'), 경사도(SG)와 높은 관련성을 보인 점이 이를 뒷받침한다. 종다양성은 중간정도의 경미한 교란에서 높아질 수 있으며(Mishra et al., 2004), 세 개의 유형 중 전이지대가 이러한 교란 정도에 해당되었을 것으로 보인다.

인공조성지는 다른 두 경관 유형과 비교했을 때 종풍부도(S), 종다양도지수(H'), 균등도지수(J)가 가장 낮았고, 우점도지수(DI)가 가장 높은 값을 보였다. 종풍부도와 균등도는 특정 종이 우점하는 양상에서 감소되며, 이는 종다양도지수에도 영향을 미친다(Wilsey and Stirling, 2007). DCA 결과에서 인공조성지가 초본층 피도(HLC)와 우점도지수(DI), 암석노출도(RE)와 높은 관련성을 보인 것은 인공조성지가 인위적인 식재와 반복적인 관리에 의해 비교적 단순한 종조성 패턴을 보였기 때문으로 판단된다. 한편, 이러한 지속적인 교란 환경은 잠재적으로 정착 가능한 토착식물의 풍부도를 감소시킬 수 있고, 외래식물의 정착 가능성을 높일 수 있다(Corcos et al., 2020).

한편, 본 연구에서는 인공조성지의 면적, 관리강도의 변수에 대해서는 고려되지 않았다. 다만, 현장 조사 시 교란의 원인으로는 관리기관의 지속적인 예초 작업과 생태통로 조성 초기 목본성 식물의 적은 식재량이 생태통로 내 수관층 형성에 불리하게 작용했을 것으로 예상되었다. 이로 인해 생장이 느린 목본성 식물의 정착이 억제되고, 수관층 형성이 지연되면서 결과적으로 초본류가 우점하는 패턴이 나타났을 것으로 보인다. 국내의 숲 조성기법 중에서는 교목성 수종, 아교목 그리고 관목을 1m 간격으로 배식하는 등의 밀식기법 등이 제안되었으며, 조성 후 관리 측면에서도 시간과 비용을 절약할 수 있다(Korea Environment Institute, 2007). 따라서 향후 생태통로 식생 연구에서는 내부 수종의 밀도나 피도에 따른 비교를 중점적으로 다루어, 밀식기법 등과 같은 생태통로에 적합한 체계적인 식재 및 관

리 방안을 제시할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 육교형 생태통로의 경관 유형별 식물군락 특성과 군집 구조를 분석하고, 산림지대, 전이지대, 인공조성지 각 유형의 특성에 따른 분포 양상을 파악하였다.

1) 경관 유형별 식물군락 특성: 전이지대는 다양한 환경이 혼재하는 과도기적 공간으로, 가장 많은 분류군이 출현하였다. 전이지대와 인공조성지는 주로 국화과가 우점하는 양상을 보였다. 한편, 다년생 식물의 비율은 산림지대-전이지대-인공조성지 순으로 감소하였고, 일년생 식물의 비율이 산림지대-전이지대-인공조성지로 갈수록 증가하였다.

2) 주요 지표종: 전이지대와 인공조성지에서 높은 상대기여도를 보인 식물들, 초본식물 중에서는 주름조개풀, 쑥, 개망초, 목본식물 중에서는 아까시나무가 교란 환경을 반영하는 중요한 지표종으로 활용할 수 있을 것으로 보인다. 특히, 상대기여도가 가장 높게 나타난 주름조개풀은 향후 생태통로 내 식물 군락 연구에서 모니터링 대상으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

3) 경관 유형별 군집 특성: 산림지대는 다양한 식물 종이 고르게 분포하며, 종다양도와 균등도 지수에서 높은 값을 보였다. 또한, 군집 분포에서 관련성이 높은 변수들은 교목층의 피도와 높이, 낙엽부식층으로 나타나, 수관층과 유기물 공급이 풍부한 균형 잡힌 군집 구조를 형성하고 있음을 보여준다. 전이지대는 상대적으로 높은 식물 종다양도와 종풍부도를 보이며, 혼합형 군락의 특성을 보였다. 이는 산림지대와 인공조성지의 특성을 모두 반영한 과도기적 지역으로, 군집 특성에 경관적 특징이 반영될 수 있음을 시사한다. 인공조성지는 낮은 종다양도, 균등도, 높은 우점도지수를 보였으며, 군집 특성상 초본식물의 피도와 암석노출도가 관련성이 높게 나타났다. 이는 인위적 교란과 개방된 환경 특성으로 인해 소수 종이 군락을 우점하는 형태를 보인 것으로 해석된다.

4) 생태통로 식생 관리 방향 제언: 육교형 생태통로 내부와 인접한 서식지의 경관 유형별 식생 특성을 분

석한 결과, 교목층과 아교목층의 조성은 식물군락 구조를 결정하는 중요한 요인으로 나타났다. 산림지대와 의 식생 연결성을 강화하기 위해서는 경계부인 전이지대와 인공조성지의 교목층과 아교목층의 보강을 통한 수관층 형성이 필요하며, 이는 초본층의 우점을 억제하며 장기적으로는 식생 밀도 관리 측면에서도 유리할 것으로 사료된다. 또한, 수관층의 형성은 낙엽부식층과 같은 유기물의 자연적 공급으로도 연계될 수 있을 것으로 사료된다.

결과적으로, 본 연구는 각 경관 유형의 식물군락 특성에 따라 생태통로의 관리 및 보전 전략을 세우는 데 중요한 기초 자료를 제공하며, 향후 생태적 연결성 강화를 위한 관리 방안 수립에 중요한 시사점을 제공한다. 한편, 본 연구에서는 식물 군락 비교에 초점을 두었기 때문에 향후 연구에서는 이를 뒷받침 할 생태통로 내 식생 밀도와 야생동물의 실제 이용 효과성 검증과 같은 후속 연구를 진행할 계획이다.

사사

본 연구는 기후에너지환경부의 지원을 받아 수행되었습니다(NIE-수시연구-2025-01).

References

- Hilty J. A., Jr Lidicker W. Z., & Merenlender, A. M. (2006). *Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation*. Island Press, London.
- 송의근, 허수안, 김일룡, 김세희, & 이한비. (2023). 생태통로 유형별 설치 현황 조사 연구. *GEO DATA*, 5(4), 273-276. <https://doi.org/10.22761/GD.2023.0041>
- Song, E.G., Heo, S.A., Kim, I.L., Kim, S.H., & Lee, H.B. (2023). Investigation of Wildlife Crossing Structures in South Korea. *GEO DATA*, 5(4), 273-276. <https://doi.org/10.22761/GD.2023.0041>
- 최태영, 양병국, & 우동걸. (2012). 국내 포유동물에 적합한 생태통로의 유형과 규격. *환경영향평가*, 21(1), 209-218.
- Choi, T.Y., Yang, B.G., & Woo, D.G. (2012). The suitable types and measures of wildlife crossing structures for mammals of Korea. *Environmental Impact Assessment*, 21(1), 209-218.
- 정기영, 이지훈, & 모용원. (2023). 등줄쥐의 육교형 생태통로 이용에 미치는 환경 특성. *한국환경생태학회지*, 37(5), 337-346. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2023.37.5.337>
- Jeong, G.Y., Lee, J.H., & Mo, Y.W. (2023). Environmental factors on the use of wildlife bridge by striped field mouse (*Apodemus agrarius*). *Korean Journal of Environmental Ecology*, 37(5), 337-346. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2023.37.5.337>
- Bennett, V. J.; Smith, W. P.; & Betts, M. G. (2011). *Toward understanding the ecological impact of transportation corridors*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-846. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 40 p
- Van, D. R. R., Smith, D. J., & Grilo, C. (Eds.). (2015). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons. DOI:10.1002/9781118568170
- Lourenço, G.M., Soares, G.R., Santos, T.P., Dáttilo, W., Freitas, A.V.L., & Ribeiro, S.P. (2019). Equal but different: Natural ecotones are dissimilar to anthropic edges. *PLOS ONE*, 14(3), e0213008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213008>
- 송의근, 이화수, 박희복, 우동걸, 박태진, 전세원, 심승우, 차현기, 임아냐, & 최태영. (2018). 도로 유형에 따른 조류의 도로 횡단 경향 연구: 조류 크기를 기준으로 한 생태통로 검증. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(2), 136-141. <https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.2.136>
- Song, E.G., Lee, H.S., Park, H.B., Woo, D.G., Park, T.J., Chun, S.W., Sim, S.W., Cha, H.G., Lim, A., & Choi, T.Y. (2018). Study on crossing tendencies of birds by road type for validation of wildlife crossing structures targeting avian species. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(2), 136-

141. <https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.2.136>
 우동걸, 박희복, 서형수, 문호경, 송의근, 임아나, & 최태영. (2018). 한국의 생태통로 구축 지침 준수 여부 평가. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(2), 176-179. <https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.2.176>
- Woo, D.G., Park, H.B., Seo, H.S., Moon, H.G., Song, E.G., Lim, A., & Choi, T.Y. (2018). Assessing compliance with the wildlife crossing guideline in South Korea. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(2), 176-179. <https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.2.176>
- 김기현, 김세희, & 송의근. (2024). 한국의 생태통로 준수율과 포유류 사용의 관계 분석. *Journal of Forest and Environmental Science*, 40(4), 394-412. <https://doi.org/10.7747/JFES.2024.40.4.394>
- Kim, K., Kim, S.H., & Song, E.G. (2024). Analysis of mammal usage relative to compliance rates of wildlife crossing structures in South Korea. *Journal of Forest and Environmental Science*, 40(4), 394-412. <https://doi.org/10.7747/JFES.2024.40.4.394>
- Clevenger, A. P., & Waltho, N. (2005). Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological conservation*, 121(3), 453-464.
- 정응진, 조민재, 조현민, 조범준, & 한상균. (2021). 한국의 숲길 절개면이 포유류 이동에 미치는 특성. *Forest Science and Technology*, 17(3), 155-161. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1967789>
- Jeong, E. J., Cho, M. J., Cho, H. M., Cho, B. J., & Han, S. K. (2021). Characteristics of forest road cut slopes affecting the movement of mammals in South Korea. *Forest Science and Technology*, 17(3), 155-161. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1967789>
- 환경부. (2023). 생태통로 설치 및 관리지침. 환경부, 세종.
 Ministry of Environment. (2023). Guidelines for design and management of wildlife crossing structures in Korea. Ministry of Environment.
- 이우철, & 임양재. (2002). 식물지리. 강원대학교 출판부, 강원.
- Lee, W. C., & Yim, Y. J. (2002). *Plant geography*. Kangwon National University Press. Kangwon.
- 김종원, & 이울경. (2006). 식물사회학적 식생 조사와 평가 방법. 월드사이언스, 서울.
- Kim, J. W., & Lee, Y. K. (2006). Classification and assessment of plant communities. Worldscience, Seoul.
- Fischer, R., Taubert, F., Muller, M. S., Groeneveld, J., Lehmann, S., Wiegand, T., & Huth, A. (2021). Accelerated forest fragmentation leads to critical increase in tropical forest edge area. *Science Advances*, 7, eabg7012. doi:10.1126/sciadv.abg7012
- 이창복. (2023). 원색 대한식물도감. 향문사, 서울.
- Lee, C. B. (2023). *Coloured Flora of Korea*. Hyangmunsa, Seoul.
- 조양훈, 김종환, & 박수현. (2016). *벼과·사초과 생태도감*. 지오북, 서울.
- Cho, Y. H., Kim, J. H., & Park, S. H. (2016). Grasses and sedges in South Korea. Geobook, Seoul.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2023). Seed dormancy in Asteraceae: A global vegetation zone and taxonomic/phylogenetic assessment. *Seed Science Research*, 33, 135-169. <https://doi.org/10.1017/S0960258523000107>
- 국립생물자원관. (2024). 국가생물종목록, [접속 2024년 5월]. 국립생물자원관.
 National Institute of Biological Resources [Internet]. National list of indigenous species of Korean peninsula: [cited 2024 May]. Available from: <https://species.nibr.go.kr/index.do>
- Waheed, M., & Arshad, F. (2024). Adaptive convergence and divergence underpin the diversity of Asteraceae in a semi-arid lowland region. *Flora*, 317, 152554. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152554>

- Kim, E. J., Park, J. W., You, Y. H., & Park, J. H. (2024). A study on the vegetation change and plant biodiversity of montane grasslands in the Republic of Korea. *Journal of Plant Biology*, 44(2), 215-232. <https://doi.org/10.1007/s12374-024-09438-4>
- Barbour, M. G., Burk JH, Pitts WD, Gilliam FS, & Schwartz MW. (2015). *Terrestrial Plant Ecology*. 3rd ed. Mun HT, Jeong YS, You YH, translator. Hongreung Publishing Company.
- Woo, J. H., Lee, M. K., Lee, H. I., & Lee, C.B. (2024). Joint influence of forest strata attributes and abiotic factors on herbaceous plant abundance in South Korean forest restoration sites: Native versus alien species. *Forests*, 15(11), 1924. <https://doi.org/10.3390/f15111924>
- Sabagh, A. E., Hossain, A., Islam, M. S., Fahad, S., Ratnasekera, D., Meena, R. S., Wasaya, A., Yasir, T. A., Ikram, M., Mubeen, M., Fatima, M., Nasim, W., Çığ, A., Çığ, F., Erman, M., & Hasanuzzaman, M. (2020). Nitrogen fixation of legumes under the family Fabaceae: Adverse effects of abiotic stresses and mitigation strategies. *Springer Nature*, 4, 75-89. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_4
- 이선미, 윤주은, 강다인, & 차재규. (2020). 생태복원사업의 식재 현황과 개선 방안, *환경영향평가*, 29(5), 307-322. <https://doi.org/10.14249/eia.2020.29.5.307>
- Lee, S. M., Yun, J. U., Kang, D. I., & Cha, J. G. (2020). Planting Status of Ecological Restoration Project and Improvement Plan. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 29(5), 307-322. <https://doi.org/10.14249/EIA.2020.29.5.307>
- Boring, L.R., & Swank, W.T. (1984). The role of black locust (*Robinia pseudo-acacia*) in forest succession. *Journal of Ecology*, 72(3), 749-766. <https://doi.org/10.2307/2259529>
- Nilsen, E. T., Huebner, C. D., Carr, D. E., & Bao, Z. (2018). Interaction between *Ailanthus altissima* and Native *Robinia pseudoacacia* in Early Succession: Implications for Forest Management. *Forests*, 9(4), 221. <https://doi.org/10.3390/f9040221>
- 추연수, 진승남, 손덕주, 박신영, 조형진, & 이효혜미. (2019). 우리나라에서 도로 공사장의 성토사면과 절토사면에서 외래식물의 도입. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 6(4), 191-199. <https://doi.org/10.17820/eri.2019.6.4.191>
- Chu, Y., Jin, S., Son, D., Park, S., Cho, H., & Lee, H. (2019). Introduction of alien plants on the fill and cut slopes of the road construction in South Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 6(4), 191-199. <https://doi.org/10.17820/eri.2019.6.4.191>
- 정용규, 김종원, & 김원. (1994). 임연군락의 주요종 분포양상. *Korean Journal of Ecology*, 17(4), 513-521.
- Jung, Y. K., Kim, J. W., & Kim, W. (1994). Distribution pattern of principal species in the mantle community. *Korean Journal of Ecology*, 17(4), 513-521.
- Bowen AKM, Beauchamp VB, Stevens MHH. Evaluating the efficacy of removal treatments on wavyleaf basketgrass (*Oplismenus undulatifolius*). *Invasive Plant Science and Management*. 2020;13(3):176-188. doi:10.1017/inp.2020.22
- Kepner C, Beauchamp VB. Interspecific competitive potential of wavyleaf basketgrass (*Oplismenus undulatifolius*), a recent introduction to the mid-Atlantic United States. *Invasive Plant Science and Management*. 2020;13(1):23-29. doi:10.1017/inp.2020.3
- 박승범, 김석규, 남정찬, 김승환, 강용지, & 이정희. (2002). 사상공단 주변 식생의 생태적 특성 분석. *Environmental Research Journal*, 17(1), 75-85.
- Park, S. B., Kim, S. K., Nam, J. C., Kim, S. H., Kang, Y. J., & Lee, J. H. (2002). Analysis of the ecological characteristics of vegetation in the area adjacent to Sasang Industrial Complex. *Environmental Research Journal*, 17(1), 75-85.
- Pham, D. H., & Wu, C. A. (2023). Seed longevity and

- germination of the emerging invasive species wavyleaf basketgrass (*Oplismenus undulatifolius*) under varied light regimes. *Invasive Plant Science and Management*, 16(4), 225-232. doi: 10.1017/inp.2023.27
- Davies-Colley, R.J., Payne, G.W., & Elswijk, M. V. (2000). Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology*, 24(2), 111-121. <https://www.jstor.org/stable/24054666>
- Park, B. J., & Cheon, K. G. (2025). Species Composition and Ecological Niche Overlap of Alien and Endemic Plants in South Korea: Insights from the National Ecosystem Survey. *Forests*, 16(9):1485. <https://doi.org/10.3390/f16091485>
- 이인용, 김승환, & 홍선희. (2021). 생태계교란식물인 돼지풀, 단풍잎돼지풀, 환삼덩굴의 발생특성과 관리. *Weed & Turfgrass Science*, 10(3), 227-242. <https://doi.org/10.14249/eia.2014.23.3.208>
- Lee, I. Y., Kim, S. H., & Hong, S. H. (2021). Occurrence Characteristics and Management of Invasive Weeds, *Ambrosia artemisiifolia*, *Ambrosia trifida* and *Humulus japonicus*. *Weed & Turfgrass Science*, 10(3), 227-242. <https://doi.org/10.14249/eia.2014.23.3.208>
- 추연수, 김중권, & 이효혜미. (2017). 도로개발 사업이 외래식물 유입에 미치는 영향. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 4(3), 156-168.
- Chu, Y. S., Kim, J. K., & Lee, H. H. M. (2017). 도로개발 사업이 외래식물 유입에 미치는 영향. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 4(3), 156-168.
- Seo, H. J., Choi, C. H., Lee, K. J., & Woo, D. G. (2021). Landscape characteristics based on effectiveness of wildlife crossing structures in South Korea. *Sustainability*, 13(2), 675. <https://doi.org/10.3390/su13020675>
- Eddy, V. D M. (1990). Ecotones and ecoclines are different. *Journal of Vegetation Science*, 1(2), 135-138. <https://doi.org/10.2307/3236065>
- 조광진, 김종원. (2005). 야카시나무림의 식물사회학적 연구. *한국생태학회지*, 28(1), 15-23.
- Cho, K.J., & Kim, J.W. (2005). Phytosociological study of black locust forests. *Korean Journal of Ecology*, 28(1), 15-23.
- Mishra, B.P., Tripathi, O.P., Tripathi, R.S., & Pandey, H.N. (2004). Effects of anthropogenic disturbance on plant diversity and community structure of a sacred grove in Meghalaya, northeast India. *Biodiversity and Conservation*, 13(3), 421-436. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000017397.29211.54>
- Wilsey, B.J., & Stirling, G. (2007). Species richness and evenness respond in a different manner to propagule density in developing prairie microcosm communities. *Plant Ecology*, 190(2), 259-273. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9206-4>
- Corcos, D., Nascimbene, J., Campesan, M., Donadello, D., Segat, V., & Marini, L. (2020). Establishment dynamics of native and exotic plants after disturbance along roadsides. *Applied Vegetation Science*, 23, 277-284. <https://doi.org/10.1111/avsc.12481>
- 한국환경정책평가연구원. (2007). 식물사회학적 이론에 의한 생태모델숲 조성기법. 한국환경정책평가연구원, 서울.
- Korea Environment Institute. (2007). Native Plant Community Restoration Based on Phytosociology. Korea Environment Institute, Seoul.

Appendix 1. The list of plant species

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv. 주름조개풀	100.00	100.00	100.00	33.91
<i>Artemisia indica</i> Willd. 쑥	79.76	0.27	81.13	100.00
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf. 개망초	58.95	1.06	64.50	65.74
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. 아까시나무	57.88	22.34	75.63	29.65
<i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr. 환삼덩굴	43.93	17.02	58.50	21.91
<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc. 밤나무	39.24	77.13	54.00	2.61
<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무	34.48	40.03	58.50	4.57
<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi 칩	27.13	13.03	24.75	16.74
<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc. 쥐똥나무	26.54	83.78	33.75	0.13
<i>Smilax china</i> L. 청미래덩굴	25.48	74.34	37.50	0.09
<i>Lindera obtusiloba</i> Blume 생강나무	24.77	63.96	36.25	0.35
<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. 신갈나무	23.13	62.50	32.38	0.17
<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino 비목나무	22.08	94.95	20.25	-
<i>Amphicarpaea bracteata</i> (L.) Fernald subsp. edgeworthii (Benth.) H. Ohashi 새콩	20.17	1.06	21.38	20.70
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. 싸리	18.12	4.26	13.50	16.52
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc. 산초나무	19.00	25.53	44.00	0.65
<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i> (H. Lév. & Vaniot) Ohwi 가는잎그늘사초	10.70	27.93	16.63	0.09
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex A. Heller 고사리	16.42	15.96	33.75	1.91
<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc. 때죽나무	16.08	46.81	17.25	0.35
<i>Rosa multiflora</i> Thunb. 찔레나무	15.54	15.16	28.00	2.43
<i>Commelina communis</i> L. 닭의장풀	14.95	12.77	16.00	5.57
<i>Indigofera bungeana</i> Walp. 큰낭아초	14.66	-	28.88	12.48
<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge 산딸기	14.52	19.55	42.63	0.09
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch. 담쟁이덩굴	14.27	41.49	24.00	-
<i>Salix pierotii</i> Miq. 버드나무	13.47	-	18.13	15.26
<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. 쇠벌꽃	12.27	1.33	31.50	4.70
<i>Dioscorea polystachya</i> Turcz. 마	11.32	17.02	16.00	1.39
<i>Phryma leptostachya</i> L. var. <i>oblongifolia</i> (Koidz.) Honda 파리풀	10.70	7.98	19.00	2.39
<i>Equisetum arvense</i> L. 쇠뜨기	10.19	-	6.50	16.74
<i>Disporum smilacinum</i> A.Gray 애기나리	10.12	44.28	9.00	-
<i>Lespedeza cuneata</i> (Dum.Cours.) G.Don 비수리	9.98	-	6.88	15.65
<i>Quercus aliena</i> Blume 갈참나무	9.94	28.86	13.13	0.09
<i>Duchesnea indica</i> (Andrews) Teschem. 뱀딸기	9.62	2.39	25.88	2.39
<i>Achyranthes bidentata</i> Blume var. <i>japonica</i> Miq. 쇠무릎	9.51	0.40	16.50	7.00
<i>Celtis sinensis</i> Pers. 팽나무	8.92	4.79	9.75	4.35
<i>Rhododendron yedoense</i> Maxim. f. <i>poukhanense</i> (H.Lev.) Sugim. ex T. Yamaz. 산철쭉	8.83	25.13	11.25	0.13
<i>Quercus acutissima</i> Carruth. 상수리나무	8.56	24.60	2.63	1.43
<i>Bromus japonicus</i> Thunb. 참새귀리	7.98	-	10.00	9.39
<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino 박주가리	7.25	-	16.00	5.57
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc. 잣나무	7.01	25.27	5.63	0.09

Appendix 1. Continued

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Prunus sargentii</i> Rehder 산벚나무	6.94	33.51	4.88	-
<i>Paederia foetida</i> L. 계요등	6.79	13.96	9.75	0.35
<i>Cocculus orbiculatus</i> (L.) DC. 명대이덩굴	6.79	13.96	17.00	-
<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv. 개암나무	6.62	11.97	5.00	1.43
<i>Oenothera biennis</i> L. 달맞이꽃	6.58	-	4.00	11.00
<i>Acer palmatum</i> Thunb. 단풍나무	6.44	1.33	12.75	2.83
<i>Carex siderosticta</i> Hance 대사초	6.14	9.57	19.00	-
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem. 두릅나무	6.11	26.60	5.50	-
<i>Trifolium repens</i> L. 토끼풀	5.52	-	1.25	11.83
<i>Lespedeza maximowiczii</i> C.K.Schneid. 조록싸리	5.35	7.45	11.00	0.26
<i>Kummerowia stipulacea</i> (Maxim.) Makino 둥근매듭풀	5.27	-	1.00	11.74
<i>Diospyros lotus</i> L. 고욤나무	5.24	40.69	0.38	-
<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (Miq.) Kuntze 개웃나무	4.98	11.17	11.25	-
<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Matsum. 억새	4.98	-	3.00	8.35
<i>Phytolacca americana</i> L. 미국자리공	4.83	6.91	6.00	0.78
<i>Prunus serrulata</i> Lindl. f. <i>spontanea</i> (Maxim.) Chin S.Chang 벚나무	4.67	2.39	15.00	0.26
<i>Veronica arvensis</i> L. 선개불알풀	4.52	-	6.50	4.87
<i>Smilax sieboldii</i> Miq. 청가시덩굴	4.42	21.54	3.00	-
<i>Spiraea prunifolia</i> Siebold & Zucc. f. <i>simpliciflora</i> Nakai 조팝나무	4.36	-	6.50	4.57
<i>Smilax nipponica</i> Miq. 선밀나물	4.25	17.02	4.50	-
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L. 벼룩이자리	4.20	0.27	2.25	5.78
<i>Coreopsis lanceolata</i> L. 큰금계국	4.16	-	3.50	6.09
<i>Erigeron canadensis</i> L. 망초	4.08	-	1.00	8.70
<i>Youngia japonica</i> (L.) DC. 보리쟁이	4.08	0.27	6.25	3.13
<i>Clematis apiifolia</i> DC. 사위질빵	4.08	0.80	2.25	4.57
<i>Aster scaber</i> Thunb. 참취	4.05	4.26	12.00	0.09
<i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H.Gross 머느리배꼽	3.91	6.65	6.25	0.26
<i>Prunus serrulata</i> Lindl. var. <i>pubescens</i> (Makino) Nakai 잔털벚나무	3.86	11.17	2.25	0.39
<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb. 가막살나무	3.69	9.31	3.38	0.26
<i>Rubus parvifolius</i> L. 명석딸기	3.68	0.27	8.75	1.74
<i>Symplocos sawafutagi</i> Nagam. 노련재나무	3.51	23.27	0.75	-
<i>Zoysia japonica</i> Steud. 잔디	3.37	-	-	10.35
<i>Morus alba</i> L. 뽕나무	3.27	-	2.50	5.00
<i>Convallaria keiskei</i> Miq. 은방울꽃	3.26	4.79	7.50	0.09
<i>Rubia argyi</i> (H.Lev. & Vaniot) H.Hara ex Lauener & D.K.Ferguson 꼭두선이	2.83	4.26	6.25	0.09
<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce var. <i>pluriflorum</i> (Miq.) Ohwi 둥굴레	2.83	9.57	4.00	-
<i>Pinus strobus</i> L. 스트로브잣나무	2.63	-	2.25	3.83
<i>Oxalis corniculata</i> L. 꿩이밥	2.55	0.27	1.00	3.65
<i>Pinus rigida</i> Mill. 리기다소나무	2.55	8.78	3.50	-

Appendix 1. Continued

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Ampelopsis glandulosa</i> (Wall.) Momiy. var. <i>heterophylla</i> (Thunb.) Momiy. 개머루	2.42	10.37	2.25	-
<i>Quercus variabilis</i> Blume 굴참나무	2.38	13.96	0.88	-
<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino 느티나무	2.38	4.39	6.50	-
<i>Toxicodendron vernicifluum</i> (Stokes) F.A.Barkley 옷나무	2.28	7.98	1.25	0.13
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance 물푸레나무	2.21	4.79	3.00	0.09
<i>Rubus coreanus</i> Miq. 복분자딸기	2.21	-	8.50	0.78
<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb. 노박덩굴	2.15	5.32	4.50	-
<i>Alnus firma</i> Siebold & Zucc. 사방오리	2.04	2.66	-	2.43
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. 큰김의털	1.91	-	2.00	2.48
<i>Poa trivialis</i> L. 큰새포아풀	1.87	0.27	0.88	2.26
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth. & Hool.f. ex Franch. 물억새	1.84	-	4.13	1.30
<i>Potentilla fragarioides</i> L. var. <i>major</i> Maxim. 양지꽃	1.81	-	2.25	2.17
<i>Cornus controversa</i> Hemsl. 층층나무	1.77	4.26	1.50	0.13
<i>Clematis brevicaudata</i> DC. 좁사위질빵	1.68	0.27	11.25	-
<i>Lindera glauca</i> (Siebold & Zucc.) Blume 감태나무	1.56	14.63	-	-
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. 별꽃	1.56	0.27	6.75	0.09
<i>Galium spurium</i> L. var. <i>echinospermum</i> (Wallr.) Desp. 갈퀴덩굴	1.49	0.27	2.63	0.78
<i>Liriope muscari</i> (Decne.) L.H.Bailey 맥문동	1.49	1.06	0.25	1.30
<i>Platycarya strobilacea</i> Siebold & Zucc. 굴피나무	1.47	3.72	3.00	-
<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz. 진달래	1.44	9.31	0.38	-
<i>Elymus tsukushiensis</i> Honda var. <i>transiens</i> (Hack.) K.Osada 개밀	1.39	-	4.00	0.78
<i>Bidens frondosa</i> L. 미국가막사리	1.39	1.06	2.25	0.35
<i>Crepidiastrum denticulatum</i> (Houtt.) J.H.Pak & Kawano 이고들빼기	1.39	-	2.25	1.39
<i>Persicaria filiformis</i> (Thunb.) Nakai 이삭여뀌	1.39	0.27	9.00	-
<i>Chionanthus retusus</i> Lindl. & Paxton 이팝나무	1.25	-	-	3.83
<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich. 모시풀	1.19	-	4.50	0.43
<i>Lonicera japonica</i> Thunb. 인동	1.10	7.31	0.25	-
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle 가중나무	1.08	0.80	4.88	-
<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel 국수나무	1.06	0.27	4.13	0.09
<i>Salix chaenomeloides</i> Kimura 왕버들	1.06	-	2.00	0.91
<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub 닭의덩굴	1.02	-	4.00	0.35
<i>Chenopodium album</i> L. var. <i>centrorubrum</i> Makino 명아주	1.02	-	2.25	0.78
<i>Persicaria senticosa</i> (Meisn.) H.Gross 머느리밀씻개	0.92	2.79	1.50	-
<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb. 보리수나무	0.85	5.32	0.25	-
<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross 고마리	0.79	1.06	1.00	0.09
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers. 시리아수수새	0.79	-	-	2.43
<i>Asarum sieboldii</i> Miq. 족도리풀	0.79	2.39	1.25	-
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. 돼지풀	0.78	-	4.50	0.09
<i>Rumex crispus</i> L. 소리쟁이	0.78	-	4.50	0.09
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz. 자귀나무	0.76	-	0.38	1.30
<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carriere 일본잎갈나무	0.72	1.06	0.38	0.26

Appendix 1. Continued

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Luzula capitata</i> (Miq. ex Franch. & Sav.) Kom. 꿩의밥	0.71	-	1.00	0.78
<i>Bidens bipinnata</i> L. 도깨비바늘	0.71	2.39	1.00	-
<i>Viola collina</i> Besser 둥근털제비꽃	0.71	0.27	4.00	-
<i>Lactuca indica</i> L. 왕고들빼기	0.71	-	2.25	0.35
<i>Hemistephia lyrata</i> (Bunge) Fisch. & C.A.Mey. 지칭개	0.71	-	2.25	0.35
<i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A.Camus 나도바랭이새	0.68	-	2.25	0.30
<i>Campsis radicans</i> (L.) Seem. 미국능소화	0.68	0.27	1.00	0.26
<i>Aeschynomene indica</i> L. 자귀풀	0.64	-	0.75	0.78
<i>Vicia sativa</i> L. 살갈퀴	0.62	-	0.25	1.17
<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold f. ciliato-dentatus (Franch. & Sav.) Hiyama 회잎나무	0.62	1.60	1.25	-
<i>Torilis scabra</i> (Thunb.) DC. 큰사상자	0.57	-	3.00	0.09
<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold 화살나무	0.55	0.40	-	0.87
<i>Festuca parvigluma</i> Steud. 김의털아재비	0.51	0.27	1.00	0.13
<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevis.) Benth. ex Baker & S.Moore 꽃마리	0.51	-	1.25	0.35
<i>Cudrania tricuspidata</i> (Carriere) Bureau ex Lavallee 꾸지뽕나무	0.51	2.79	-	0.09
<i>Viburnum erosum</i> Thunb. 달팽나무	0.51	2.39	0.38	-
<i>Elymus ciliaris</i> (Trin. ex Bunge) Tzvelev 속털개밀	0.51	-	0.38	0.78
<i>Mallotus japonicus</i> (L.f.) Mull.Arg. 예덕나무	0.51	2.39	0.38	-
<i>Poa pratensis</i> L. 왕포아풀	0.51	-	1.25	0.35
<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka 새	0.51	2.79	0.25	-
<i>Populus × tomentiglandulosa</i> T.B.Lee 은사시나무	0.50	-	0.75	0.52
<i>Rhus chinensis</i> Mill. 붉나무	0.47	-	4.13	-
<i>Acer tataricum</i> L. subsp. ginnala (Maxim.) Wesm. 신나무	0.47	0.40	2.00	-
<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) J.H.Pak & Kawano 고들빼기	0.45	-	0.25	0.78
<i>Rumex acetosa</i> L. 수영	0.45	-	0.25	0.78
<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb. 얼치기완두	0.45	-	0.25	0.78
<i>Turritis glabra</i> L. 장대나물	0.45	-	1.00	0.35
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq. 참느릅나무	0.45	-	1.00	0.35
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl. 편백	0.42	0.93	1.00	-
<i>Callicarpa japonica</i> Thunb. 작살나무	0.38	1.60	0.38	-
<i>Ziziphus jujuba</i> Mill. 대추나무	0.34	-	-	1.04
<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i> (Rupr. & Maxim.) S.Y.Hu 오갈피나무	0.34	1.60	0.25	-
<i>Ambrosia trifida</i> L. 단풍잎돼지풀	0.30	-	0.25	0.43
<i>Tagetes minuta</i> L. 만수국아재비	0.30	-	0.25	0.43
<i>Torilis japonica</i> (Houtt.) DC. 사상자	0.30	-	-	0.91
<i>Poa acroleuca</i> Steud. 실포아풀	0.30	-	2.63	-
<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb. 짚신나물	0.30	1.06	-	0.13
<i>Lysimachia clethroides</i> Duby 큰까치수염	0.30	-	1.00	0.13
<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc. 노간주나무	0.25	0.80	0.38	-
<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef. 노루발	0.25	2.39	-	-
<i>Cornus walteri</i> Wangerin 말재나무	0.25	1.06	0.25	-

Appendix 1. Continued

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench subsp. <i>hirsuta</i> (Turcz. ex Spach) Á.Löve & D.Love 물오리나무	0.25	0.40	0.75	-
<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey 병꽃나무	0.25	0.40	0.75	-
<i>Chelidonium majus</i> L. subsp. <i>asiaticum</i> H.Hara 애기똥풀	0.25	0.27	0.25	0.09
<i>Cirsium japonicum</i> Fisch. ex DC. var. <i>maackii</i> (Maxim.) Matsum. 영경귀	0.25	-	2.25	-
<i>Dactylis glomerata</i> L. 오리새	0.25	-	0.25	0.35
<i>Boehmeria spicata</i> (Thunb.) Thunb. 쯤개잎나무	0.25	0.80	0.38	-
<i>Plantago asiatica</i> L. 질경이	0.25	0.27	0.25	0.09
<i>Poa sphondylodes</i> Trin. 포아풀	0.25	-	-	0.78
<i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray 새완두	0.23	-	0.25	0.26
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne. 으름덩굴	0.23	0.80	0.25	-
<i>Leonurus japonicus</i> Houtt. 익모초	0.23	-	-	0.70
<i>Aria alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) Decne. 팔배나무	0.23	0.27	-	0.26
<i>Equisetum palustre</i> L. 개쇠뜨기	0.17	-	1.50	-
<i>Betula davurica</i> Pall. 물박달나무	0.17	0.40	-	0.13
<i>Isodon japonicus</i> (Burm.f.) H.Hara 방아풀	0.14	-	1.25	-
<i>Geranium thunbergii</i> Siebold ex Lindl. & Paxton 이질풀	0.14	0.27	0.38	-
<i>Viola mandshurica</i> W.Becker 제비꽃	0.14	-	0.25	0.13
<i>Flueggea suffruticosa</i> (Pall.) Baill. 광대싸리	0.11	1.06	-	-
<i>Spodiopogon cotulifer</i> (Thunb.) Hack. 기름새	0.11	-	1.00	-
<i>Asplenium incisum</i> Thunb. 꼬리고사리	0.11	1.06	-	-
<i>Astilbe chinensis</i> (Maxim.) Franch. & Sav. 노루오줌	0.11	0.27	0.25	-
<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. 다래	0.11	0.27	0.25	-
<i>Ainsliaea acerifolia</i> Sch.Bip. 단풍취	0.11	1.06	-	-
<i>Helianthus tuberosus</i> L. 풍단지	0.11	-	0.25	0.09
<i>Solanum lyratum</i> Thunb. 배풍등	0.11	1.06	-	-
<i>Lactuca raddeana</i> Maxim. 산쌈바귀	0.11	-	1.00	-
<i>Vitis flexuosa</i> Thunb. 새머루	0.11	0.27	0.25	-
<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg. 서양민들레	0.11	-	-	0.35
<i>Bidens pilosa</i> L. 울산도깨비바늘	0.11	-	0.25	0.09
<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L. 원추리	0.11	-	0.25	0.09
<i>Artemisia japonica</i> Thunb. 제비쭉	0.11	-	0.25	0.09
<i>Rubus pungens</i> Cambess. 줄딸기	0.11	-	-	0.35
<i>Staphylea bumalda</i> DC. 고추나무	0.10	0.93	-	-
<i>Trachelospermum asiaticum</i> (Siebold & Zucc.) Nakai 마삭줄	0.10	0.93	-	-
<i>Vaccinium oldhamii</i> Miq. 정금나무	0.10	0.93	-	-
<i>Salix koriyanagi</i> Kimura ex Goerz 키버들	0.10	-	-	0.30
<i>Euonymus sachalinensis</i> (F.Schmidt) Maxim. 회나무	0.10	-	0.88	-
<i>Sicyos angulatus</i> L. 가시박	0.08	-	-	0.26
<i>Pseudostellaria heterophylla</i> (Miq.) Pax 개별꽃	0.08	0.80	-	-
<i>Festuca ovina</i> L. 김의털	0.08	-	-	0.26
<i>Malus floribunda</i> Siebold ex Van Houtte 꽃사과나무	0.08	-	-	0.26

Appendix 1. Continued

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunb. 누리장나무	0.08	0.13	0.25	-
<i>Indigofera kirilowii</i> Maxim. ex Palib. 팥비싸리	0.23	-	2.00	-
<i>Ilex verticillata</i> (L.) A.Gray 미국낙상홍	0.08	0.80	-	-
<i>Asparagus oligoclonos</i> Maxim. 방울비짜루	0.08	0.27	0.13	-
<i>Vaccinium hirtum</i> Thunb. var. <i>koreanum</i> (Nakai) Kitam. 산앵도나무	0.08	0.80	-	-
<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng. 수크령	0.08	-	-	0.26
<i>Solidago altissima</i> L. 양미역취	0.08	-	0.75	-
<i>Populus × canadensis</i> Moench 이태리포플라	0.08	-	0.75	-
<i>Medicago sativa</i> L. 자주개자리	0.08	-	0.75	-
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim. 철쭉	0.08	0.80	-	-
<i>Ajuga decumbens</i> Thunb. 금창초	0.04	-	-	0.13
<i>Lonicera harae</i> Makino 길마가지나무	0.04	-	0.38	-
<i>Ribes fasciculatum</i> Siebold & Zucc. var. <i>chinense</i> Maxim. 까마귀밥나무	0.04	0.40	-	-
<i>Bothriospermum zeylanicum</i> (J.Jacq.) Druce 꽃밭이	0.04	-	-	0.13
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. 냉이	0.04	-	0.38	-
<i>Dictamnus dasycarpus</i> Turcz. 백선	0.04	-	0.38	-
<i>Fraxinus sieboldiana</i> Blume 쇠물푸레	0.04	0.40	-	-
<i>Malus toringo</i> (Siebold) Siebold ex de Vriese 아그배나무	0.04	0.40	-	-
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh. 아광나무	0.04	0.40	-	-
<i>Paulownia coreana</i> Uyeki 오동나무	0.04	0.40	-	-
<i>Prunus spachiana</i> (Lavallee ex Ed.Otto) Kitam. f. <i>ascendens</i> (Makino) Kitam. 올벚나무	0.04	0.40	-	-
<i>Prunus × yedoensis</i> Matsum. 왕벚나무	0.04	-	0.38	-
<i>Cerastium holosteoides</i> Fr. subsp. <i>vulgare</i> (Hartm.) I.V.Sokolova 접나도나물	0.04	-	-	0.13
<i>Amorpha fruticosa</i> L. 족제비싸리	0.04	-	-	0.13
<i>Carex ciliato-marginata</i> Nakai 털대사초	0.04	-	0.38	-
<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam. 피막이	0.04	-	-	0.13
<i>Salix caprea</i> L. 호랑버들	0.04	-	0.38	-
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim. 가래나무	0.03	0.27	-	-
<i>Diospyros kaki</i> Thunb. 감나무	0.03	-	0.25	-
<i>Reynoutria forbesii</i> (Hance) T.Yamaz. 감절대	0.03	-	0.25	-
<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. 강아지풀	0.03	-	-	0.09
<i>Artemisia annua</i> L. 개똥쭉	0.03	-	0.25	-
<i>Carex japonica</i> Thunb. 개찌버리사초	0.03	-	-	0.09
<i>Carex aphanolepis</i> Franch. & Sav. 골사초	0.03	-	-	0.09
<i>Juncus decipiens</i> (Buchenau) Nakai 골풀	0.11	-	-	0.35
<i>Carex neurocarpa</i> Maxim. 팽이사초	0.03	-	-	0.09
<i>Carex tegulata</i> H.Lev. & Vaniot 구슬사초	0.03	-	0.25	-
<i>Dendranthema zawadskii</i> (Herbich) Tzvelev var. <i>latiloba</i> (Maxim.) Kitam. 구절초	0.03	-	0.25	-
<i>Solanum nigrum</i> L. 까마중	0.03	-	0.25	-
<i>Epipactis thunbergii</i> A.Gray 닭의난초	0.03	-	0.25	-

Appendix 1. Continued

Scientific name / Korean name	r-NCD			
	Total	Forest area	Transition area	Artificial area
<i>Cleistogenes hackelii</i> (Honda) Honda 대새풀	0.03	-	-	0.09
<i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino 돌외	0.03	0.27	-	-
<i>Eupatorium makinoi</i> Kawah. & Yahara var. <i>oppositifolium</i> (Koidz.) Kawah. & Yahara 등골나물	0.03	-	-	0.09
<i>Persicaria sagittata</i> (L.) H.Gross 미꾸리나시	0.03	-	0.25	-
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler 바랭이	0.03	-	-	0.09
<i>Persicaria pubescens</i> (Blume) H.Hara 바보여뀌	0.03	-	0.25	-
<i>Carex leiorhyncha</i> C.A.Mey. 산쟁이사초	0.03	-	-	0.09
<i>Carex heterolepis</i> Bunge 산비늘사초	0.03	-	-	0.09
<i>Poa annua</i> L. 새포아풀	0.03	0.27	-	-
<i>Potentilla freyniana</i> Bornm. 세잎양지꽃	0.03	-	-	0.09
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser 속속이풀	0.03	-	-	0.09
<i>Leibnitzia anandria</i> (L.) Turcz. 솜나물	0.03	-	0.25	-
<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P.Beauv. 숲개밀	0.03	-	0.25	-
<i>Cyperus difformis</i> L. 알방동사니	0.03	-	-	0.09
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre 여뀌	0.03	-	-	0.09
<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino 여우팔	0.03	-	-	0.09
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. 유럽점나도나물	0.03	-	0.25	-
<i>Pseudosasa japonica</i> (Siebold & Zucc. ex Steud.) Makino ex Nakai 이대	0.03	-	0.25	-
<i>Magnolia obovata</i> Thunb. 일본목련	0.03	0.27	-	-
<i>Corydalis incisa</i> (Thunb.) Pers. 자주괴불주머니	0.03	-	0.25	-
<i>Spodipogon sibiricus</i> Trin. 큰기름새	0.03	-	0.25	-
<i>Lophatherum gracile</i> Brongn. 조릿대풀	0.03	-	-	0.09
<i>Hieracium umbellatum</i> L. 조밥나물	0.03	-	-	0.09
<i>Mazus pumilus</i> (Burm.f.) Steenis 주름잎	0.03	-	-	0.09
<i>Pimpinella brachycarpa</i> (Kom.) Nakai 참나물	0.03	0.27	-	-
<i>Arisaema amurense</i> Maxim. f. <i>serratum</i> (Nakai) Kitag. 천남성	0.03	0.27	-	-
<i>Carex breviculmis</i> R.Br. 청사초	0.25	-	-	0.78
<i>Platyclusus orientalis</i> (L.) Franco 측백나무	0.03	-	-	0.09
<i>Phleum pratense</i> L. 큰조아재비	0.03	-	0.25	-
<i>Farfugium japonicum</i> (L.) Kitam. 털머위	0.03	-	0.25	-
<i>Persicaria orientalis</i> (L.) Spach 털여뀌	0.03	0.27	-	-
<i>Cyperus nipponicus</i> Franch. & Sav. 푸른방동사니	0.03	-	-	0.09
<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim. 하늘타리	0.03	-	0.25	-
<i>Cardamine flexuosa</i> With. 황새냉이	0.03	0.27	-	-
<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev f. <i>albiflora</i> (Makino) H.Hara 흰썩바귀	0.03	-	0.25	-
<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt. 기생초	0.01	-	-	0.04
<i>Lagerstroemia indica</i> L. 매롱나무	0.01	-	-	0.04
<i>Ginkgo biloba</i> L. 은행나무	0.01	0.13	-	-
<i>Hosta capitata</i> (Koidz.) Nakai 일월비비추	0.01	-	0.13	-
<i>Viola acuminata</i> Ledeb. 줄방제비꽃	0.01	0.13	-	-