

등줄쥐의 육교형 생태통로 이용에 미치는 환경 특성^{1a}

정기영² · 이지훈³ · 모용원^{4*}

Environmental Factors on the Use of Wildlife Bridge by Striped Field Mouse

(*Apodemus agraius*)^{1a}

Gi-Yeong Jeong², Ji-Hoon Lee³, Yong-Won Mo^{4*}

요약

도로 건설로 인한 서식지 파편화에 대한 저감방안으로 육교형 생태통로가 건설되고 있기는 하지만 효과성에 대해서는 아직도 논쟁이 있다. 생태통로의 효과성 평가를 위해 족적트랩, 카메라트랩과 같은 모니터링 방법이 실시되고는 있으나 얼마나 많은 개체가 이용하는지 정량적으로 평가하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 생태통로와 인근 지역을 서식지로 이용할 가능성이 큰 소형포유류인 등줄쥐를 대상으로 포획-재포획 방법으로 개체 위치 파악을 통해 생태통로 이용 정도를 도출하고, 트랩 주변 환경 특성을 이용하여 등줄쥐의 생태통로 이용에 미치는 요인을 확인하였다. 등줄쥐의 생태통로 이용도는 격자 단위의 포획지점을 연결하여 이동 거리와 경로를 확인하였고, 생태통로 이용에 미치는 환경 특성은 트랩당 포획 횟수를 종속변수로 한 일반화 선형 모형(Generalized linear model)을 이용하였다. 연구결과, 등줄쥐의 이동 거리는 선행연구와 유사하게 나타났으며, 생태통로를 횡단하는 개체가 나타나지 않음에 따라 등줄쥐는 생태통로를 통로보다는 서식지로 이용함을 확인하였다. 등줄쥐가 생태통로를 이용하는 데 영향을 미친 환경 특성은 층위별 식생피복량(1~2m, 2~8m, 8m 이상), 교목 식생, 트랩 주변 최대 수목 흉고직경, 경사도가 유의하게 나타났다. 이에 따라 생태통로 조성 시 더 많은 교목과 관목을 식재하고, 높은 경사와 절토사면 생성을 방지하여 생태계 내 먹이원으로 이용될 수 있는 등줄쥐 이용도를 높인다면 생태통로의 효과성을 더 높일 수 있을 것으로 예상된다.

주요어: 설치류, 환경영향평가, 일반화 선형모형, 저감대책, 포획-재포획

ABSTRACT

Although wildlife bridge are built as a way to reduce habitat fragmentation caused by road construction, there is still a lot of debate about their effectiveness. Monitoring methods such as footprint traps and camera traps are used evaluate the effectiveness of wildlife bridge, but there is a limit to evaluate of effectiveness. In this study, the degree of use the wildlife bridge was surveyed by striped field mouse that is likely use the wildlife bridge

1 접수 2023년 5월 2일, 수정 (1차: 2023년 7월 19일, 2차: 2023년 8월 28일), 게재확정 2023년 8월 31일
Received 2 May 2023; Revised (1st: 19 July 2023, 2nd: 28 August 2023); Accepted 31 August 2023

2 영남대학교 대학원 조경학과 석사과정 Dept. of landscape architecture, Yeungnam Univ., Gyeongsan 38541, Korea (kmc0110@yu.ac.kr)

3 영남대학교 대학원 조경학과 석사과정 Dept. of landscape architecture, Yeungnam Univ., Gyeongsan 38541, Korea (ihoon423@yu.ac.kr)

4 영남대학교 조경학과 조교수 Dept. of landscape architecture, Yeungnam Univ., Gyeongsan 38541, Korea (csmo12@yu.ac.kr)

a 이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (2021003360002).

* 교신저자 Corresponding author: csmo12@yu.ac.kr

and surrounding as a habitat with capture-mark-recapture method. (*Apodemus agraius*). The distance and route of movement were identified by connecting the capture points, and the environmental factors on the use of the wildlife bridge implemented a generalized linear model (GLM) with the capture number of captured as a dependent variable. Consequently of capture, no individuals crossing the wildlife bridge, striped field mouse use the wildlife bridge as a habitat. The environmental factors affecting the use of mice were vegetation cover (1~2m, 2~8m, over 8m), vegetation construction, maximum diameter at breast height were positively correlated and slope was negatively correlated. In conclusion, it is expected that the effectiveness of the wildlife bridge will be further improved by planting shrubs and trees and preventing high slope and cut slope increasing the utilization of the rat, such as being used as a food source in the ecosystem.

KEY WORDS: RODENT, ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT, GENERALIZED LINEAR MODEL, MITIGATION MEASURES, CAPTURE-MARK-RECAPTURE METHOD

서론

인간에 의한 개발의 확장으로 인한 도로 건설은 야생동물의 서식에 부정적인 영향을 미친다고 이미 널리 알려져 있다. 자동차 도로는 야생동물의 이동을 방해하는 장벽으로 작용할 뿐만 아니라, 로드킬로 인한 야생동물 사망률 증가, 유전적 고립을 발생시켜 결국에는 개체군 감소로 인한 지역적 절멸이 발생할 수 있다 (Burkart *et al.*, 2016; Crooks *et al.*, 2017). 이에 대한 가장 적극적인 저감방안 중 하나가 생태통로이다. 생태통로는 설치 위치 및 대상 종에 따라 도로에 설치하는 육교형 생태통로와 도로 아래에 매설하는 터널형 생태통로로 구분된다 (Ministry of Environment, 2010). 이 중 육교형은 주변 자연 생태계에 서식하는 모든 야생동물을 대상으로 노면을 거치지 않고 도로를 건널 수 있도록 조성한 생태통로이다 (Ministry of Environment, 2010). 육교형 생태통로는 경관 이질성을 줄여 야생동물의 이동을 유도할 수 있고, 생태통로 내 서식지 조성으로 연결된 지역의 종 다양성을 증가시킬 수 있다 (Ministry of Environment, 2010). 또한 터널형 생태통로에 비해 야생동물 이동에 더 효과적인 방안으로 제시되기도 한다 (Mata *et al.*, 2008). 이에 따라 우리나라에서도 1992년 건설된 도평 생태통로를 시작으로 현재 340개의 육교형 생태통로가 건설되었다 (National Institute of Ecology, 2023).

하지만, 육교형 생태통로의 효과성에 대해서는 오랫동안 논쟁이 이어져 왔다. 일부 연구자는 생태통로가 동물 보호에 있어 효과적이지 않으며 (Roedenbeck *et al.* 2007), 다른 저감방안에 비해 건설에 많은 비용이 소요되어 비용 대비 효과에 대한 의문을 제기했다 (Sijtsma *et al.*, 2020). 반면 국내에서는 국립생태원에서 지속적으로 생태통로 효과성 평가를 진행하고 있고 (Woo, 2021), 조류 (Park *et al.*, 2011), 육상 포유류 (Park *et al.*, 2021) 등을 대상으로 실효성을 평가하는 연구도 진행되었

으며 이들 연구에서는 육교형 생태통로가 충분한 효과가 있다고 나타났다. 이에 따라 육교형 생태통로의 비용 대비 효과성을 높이기 위해 야생동물 생존 가능성에 미치는 영향을 정확하게 평가하는 것이 중요하다 (van der Grift *et al.*, 2013).

하지만 앞서 국내에서 진행된 연구의 방법론에 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 일반적으로 생태통로 내 야생동물 모니터링에 이용되는 방법인 족적트랩 (Kim *et al.*, 2016), 카메라트랩 (Yun *et al.*, 2017) 등은 같은 개체의 중복측정으로 인한 과대추정이 발생할 수 있다. 둘째, 트랩을 주로 출입구 지역에만 설치하여 실제로 야생동물이 생태통로를 통해 이동했는지에 대한 정확한 파악이 어렵다. 셋째, 주로 중대형 포유류에 초점을 두고 있어 생태통로와 주변 지역을 서식지로 이용할 수 있는 소형포유류에 대한 평가가 부족하다. 생태계 내에서 중간계층에 위치한 분류군인 설치류는 육식동물의 먹이자원 (Mata *et al.*, 2020) 및 산림 내 수목 종자 분산 (Jansen *et al.*, 2012) 등의 역할을 하여 개체군 크기가 다른 야생동물의 서식지 질에 영향을 미칠 수 있다는 점에서 중요하다. 넷째, 생태통로 주변 환경에 대한 고려가 부족하다. 야생동물이 생태통로를 이용하기 위해서는 이용에 영향을 미치는 생태통로 주변 환경 특성에 대한 고려도 중요하다 (Bacchli *et al.*, 2021). 환경부 (Ministry of Environment, 2010)에서는 생태통로 설치 시 진입부와 내부에 주변과 유사한 식생환경을 조성할 것을 명시하고 있지만 도로와 생태통로 공사를 진행하며 동시에 변화가 발하는 생태통로 주변 환경에 대한 고려가 부족하다. 생태통로 주변 지역은 주로 절토에 의한 경사도 변화와 식재 밀도 감소로 인한 천공률 증가 등이 발생하며, 시간이 지남에 따라 식생천이가 주변 산림 또는 생태통로와 다르게 나타날 수 있다. 이러한 소규모 환경의 변화 또는 차이로 인해 개체수가 쉽게 변화하여 환경 특성의 영향을 확인하는데 설치류가 이용되기도 한다 (Lee *et al.*, 2006).

따라서 본 연구에서는 육교형 생태통로의 효과성을 평가하기 위해 생태통로와 주변 지역에 서식하고 있는 설치류인 등줄쥐를

대상으로 생태통로의 이용정도와 이용에 미치는 환경 특성을 파악하고자 한다. 세부적으로 첫째, 등줄쥐가 생태통로를 서식지 혹은 이동통로로서 이용하는지를 포획-재포획 방법을 이용하여 개체단위로 확인을 하고자 한다. 둘째, 생태통로와 주변 지역의 환경 특성이 등줄쥐의 생태통로 이용에 미치는 영향을 일반화 선형 모형(Generalized linear model)을 이용하여 확인하고자 한다. 본 연구는 등줄쥐의 생태통로 이용정도를 정량적으로 확인하여 생태통로의 실효성을 확인하고 이용을 촉진시키는 환경인자를 확인할 수 있다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

연구방법

1. 연구대상지

연구대상지는 경상북도 영주시 이산면 산 195-6에 위치한 신암육교로, 2005년에 준공되었으며, 길이 약 40m, 폭 약 20m 가량의 육교형 생태통로이다. 대상지는 국도에 위치하여 접근이 용이하며, 조성된 지 충분한 시간이 지나 생태통로 내부와 주변 지역의 환경이 안정되었을 것이라 판단되는 지역을 선정했다.

대상지는 생태통로 조성을 위해 산림을 절토한 지역으로 생

태통로 출입구와 주변에 경사도가 높은 인공비탈면이 형성되어 있었다(Figure 1.). 식생의 경우, 생태통로 내부는 식생 생육기인 여름을 제외하면 나지와 같은 형태였으나, 식생 생육이 최대를 이루는 8월에는 초본류와 소관목류가 높은 밀도로 나타났다. 생태통로 주변 지역 산림은 주로 아교목층 식생이 우점했으며, 교목층은 적은 수가 산재해 있었다.

2. 등줄쥐 포획-재포획 및 이용도 분석

등줄쥐는 산림 저지대 및 초지 서식지를 선호하며(Lim, 2015), 먹이원으로 이용하는 하층식생과 강한 상관관계를 가지는 것으로 알려져 있다(Nam, 2001; Lee *et al.*, 2020). 등줄쥐 포획조사는 2022년 8월 3일부터 8월 29일까지 총 2회를 실시했다. 1차 조사는 2022년 8월 3일부터 8월 11일까지 8일, 2차 조사는 2022년 8월 22일부터 8월 29일까지 7일로 총 15 일동안 설치류 포획조사를 실시했다. 조사구는 60 x 60m로, 조사구를 한 변의 길이가 10m인 정방형 격자로 나누고(Lee *et al.*, 2006; Lim *et al.*, 2007; Welegerima *et al.*, 2020), 도로에 해당하는 격자를 제외하고 각 격자의 중심에 Sherman live trap을 설치했다(Figure 1.). 트랩의 개수는 총 32개로 생태통로 내부에 8개, 주변 산림에 24개의 트랩을 설치하였다.

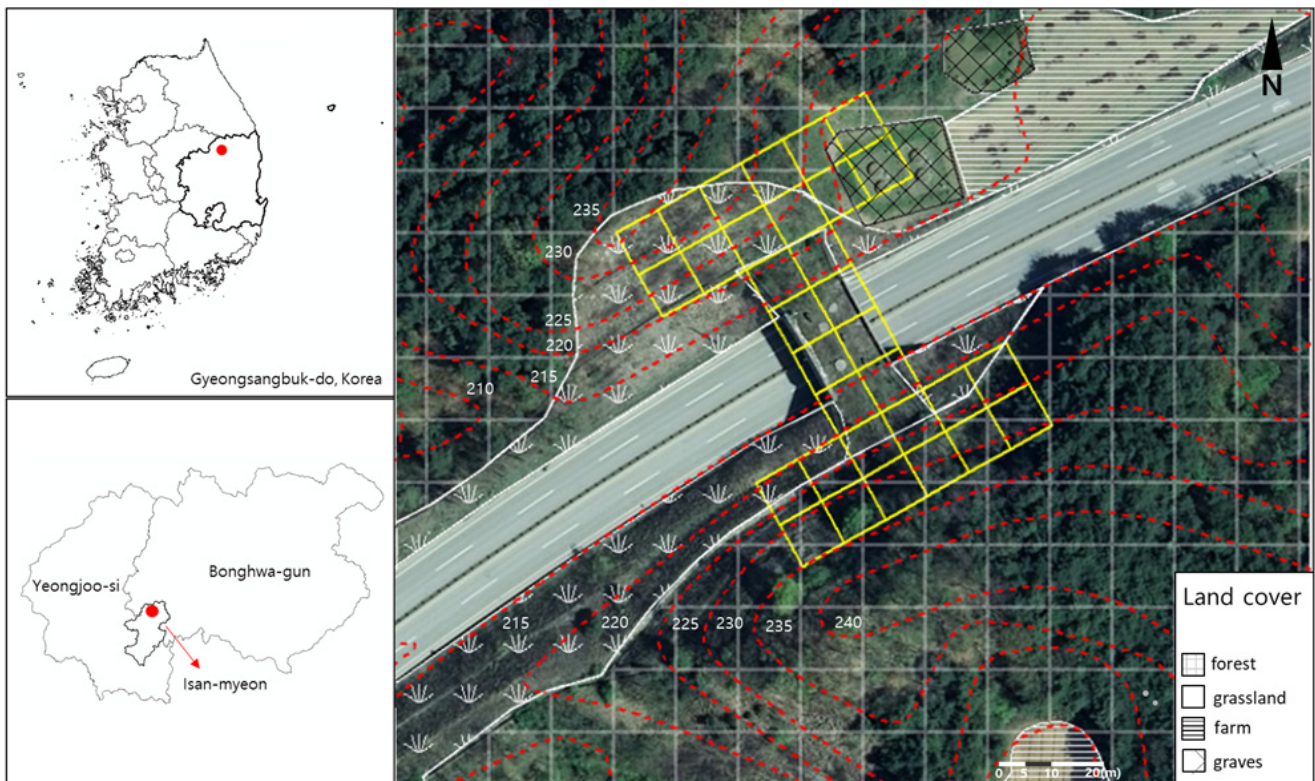


Figure 1. Study site and transect.

미끼는 볏을 땅콩을 사용했고, 이들에 1회씩 미끼를 교체했다. 우천으로 인해 미끼가 젖거나, 설치류가 포획되었을 경우에는 교체주기와 상관없이 미끼를 교체했다. 트랩은 매일 오전 7시 경에 확인하였고, 포획된 등줄쥐는 성별, 포획 위치를 기록한 뒤 개체를 식별하기 위한 ear-tagging을 실시한 후 놓아주고 다시 잡는 포획-재포획법을(capture-mark-recapture method) 사용하였다(Lim *et al.*, 2007; Lim, 2015; Lee *et al.*, 2020; Welegerima *et al.*, 2020).

등줄쥐의 생태통로 이용도 분석을 위하여 2지점 이상 이동한 개체의 이동 경로와 이동 거리를 확인하였다. 표시된 개체의 위치를 실시간으로 확인할 수 없어 정확한 경로 생성이 어렵기 때문에 모든 이동 개체를 출발 지점과 도착 지점 간 통과할 수 있는 격자를 단위로 이동 경로와 거리를 도출하였다. 등줄쥐가 생태통로를 횡단하여 주변 산림으로 이동을 한 경우 생태통로를 이동 통로로 이용하는 것, 등줄쥐가 산림을 통과하지 않고 산림과 생태통로를 오간 경우 또는 산림 혹은 생태통로 내부만을 이동한 경우는 등줄쥐가 생태통로를 서식지로 인식한다고 간주했다.

3. 등줄쥐 생태통로 이용에 영향을 미친 환경 특성

미소서식지를 주로 이용하는 설치류의 생태적 습성에 맞춰 트랩 주변에 한 변의 길이가 1m인 가상의 방형구를 구획하여 해당 구역 내 환경 특성을 조사하였다. 조사된 환경 특성은 층위별 식생피복량, 낙엽층 두께, 경사도, 트랩 주변 최대 수목 흉고직경, 식생 구성으로, 선행연구에서 통계적으로 유의했거

나, 설치류의 생태를 반영하여 이용에 미칠 수 있는 변수를 선정하였다(Lim *et al.*, 2007; Welegerima *et al.*, 2020). 층위별 식생피복량은 25%를 단위로, 0%인 경우 0, 1~25%인 경우는 1, 26~50%인 경우는 2, 51~75%인 경우는 3, 76~100%인 경우는 4로 점수를 매겼고, 경사도는 낮음 1, 중간 2, 높음 3으로 수치화하였다. 또한 연속형 변수로 조사된 낙엽층 두께와 트랩 주변 최대 수목 흉고직경은 각각 1cm, 10cm를 단위로 수치화하였다. 식생 구성은 방형구 내 식생의 우점도를 기준으로 초본, 관목, 교목으로, 식생이 없는 경우 나지로 기록하였으며 다른 식생이 40% 이상 분포하면 두 식생 모두를 기록하였다. 모든 환경 특성은 조사자의 편향을 막기 위해 최소 2명의 조사자가 함께 측정했다.(Table 1.)

조사된 환경 특성은 생태통로와 주변산림의 환경 비교를 위해 생태통로, 남쪽 산림, 북쪽 산림으로 나누어 환경 특성별 값의 비율을 계산하였다. 전체 트랩 32개 중 환경 비교에 이용된 트랩은 29개로, 1차 조사에서 3개의 트랩이 분실되었기 때문에 이상치 제거를 위해 제외하였다.

등줄쥐의 생태통로 이용에 미친 환경 특성을 확인하기 위한 통계분석에는 일반화 선형 모형(Generalized linear model)이 이용되었다. 일반화 선형 모형은 종속변수가 포획, 미포획으로 분류되는 명목형 변수와 같이 선형 분포가 아닐 때 독립변수와 종속변수 간의 관계를 확인할 수 있는 분석방법이다. 통계분석을 위한 데이터 전처리 작업에서는 29개 트랩 주변에서 조사된 환경 특성을 모두 표준화 하였으며, 명목형 변수로 조사된 식생 구성의 경우 모두 더미변수로 처리하였다. 모형에 입력되는 종속변수는 설치류 포획 여부에 따라 포획되었을 시 1, 포획되지

Table 1. Environmental variables

Variables		unit	range	abbreviation
Vegetation cover	<1m	25%	0-100%	VEG_1
	1~2m			VEG_12
	2~8m			VEG_28
	>8m			VEG_8
Vegetation	Dominated vegetation type	bare	-	BARE
		herb	-	HERB
		shrub	-	SHRB
		tree	-	TREE
		herb and.shrub	-	HE_SH
		herb and tree	-	HE_TR
		shrub and tree	-	SH_TR
		Litter width	cm	-
Maximum DBH	cm	-	DBH	
Topography	Slope	low, middle, high	-	SLOP

Table 2. Result of Spearman's correlation

	VEG1	VEG12	V2G28	VEG8	BARE	HERB	SHRB	TREE	HETR	SHTR	LITT	DBH
VEG12	0.209**											
V2G28	-0.227**	-0.209**										
VEG8	-0.428**	-0.03700	-0.01000									
BARE	-0.07600	-0.26100	-0.32300	-0.16600								
HERB	0.301**	-0.181**	-0.170**	0.00900	-0.09200							
SHRB	-0.01000	-0.384**	-0.342**	-0.229**	-0.168**	-0.210**						
TREE	-0.313**	-0.208**	0.344**	0.425**	-0.19700	-0.24600	-0.44800					
HETR	-0.07600	-0.261**	0.187**	0.09300	-0.07400	-0.09200	-0.168**	-0.197**				
SHTR	0.290**	0.332**	0.219**	-0.243**	-0.109*0	-0.136**	-0.247**	-0.290**	-0.109*0			
LITT	-0.334**	-0.117*0	0.341**	0.259**	-0.252**	-0.04900	-0.03800	0.170**	0.134**	-0.05600		
DBH	-0.138**	0.09300	0.227**	0.468**	-0.245**	-0.306**	-0.348**	0.631**	-0.105*0	0.10**0	0.107*	
SLOP	-0.372**	-0.236**	-0.01600	0.190**	0.07100	-0.04400	-0.02000	0.13300	0.07100	-0.22200	0.0450	0.15100

*<0.05 **<0.01

않았을 시 0으로 날짜별로 분류하였으며 표준화한 환경 특성을 독립변수로 설정하였다. 또한, 통계분석 전 환경 특성 간 다중 공선성을 확인하기 위해 Spearman 상관관계 분석을 실시하였으며 모든 환경 특성의 상관계수가 0.7 이하로 나타났으나(Lee *et al.*, 2020), 유의하지 않았던 환경 특성인 8m 이상 식생피복량, (VEG_8), 나지(BARE), 초지(HERB), 경사도(SLOP)는 (Table 2.) 등줄귀를 포함한 설치류 서식에 중요한 영향을 미칠 수 있는 환경 특성이기 때문에(Lambert and Adler, 2000; Maleana *et al.*, 2015; Welegerima *et al.*, 2020) 제외하지 않고 모형을 구동하였다. 모든 통계 분석은 SPSS Windows for ver.27을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 등줄귀의 생태통로 이용도

포획조사 결과 총 37개체의 등줄귀를 태깅했으며, 조사기간 동안 총 59회 포획되었다. 트랩 당 포획된 개체수는 생태통로 1개체(총 8개체), 주변 산림 1.20개체(총 29개체), 트랩 당 누적 포획 횟수는 생태통로 2회, 산림 1.9회로 생태통로와 주변 산림 간 큰 차이를 확인할 수 없었다.

서로 다른 2개 지점 이상을 이동한 등줄귀는 총 15개체가 확인되었다. 이동 경로를 확인한 결과 생태통로를 횡단하여 산림 간 이동한 개체는 확인되지 않았음에 따라 등줄귀는 생태통로를 서식지로서 이용한다고 판단된다(Table 3.). 생태통로를 횡단하지 않았지만 생태통로와 산림을 이동한 개체는 총 7개체로(납죽

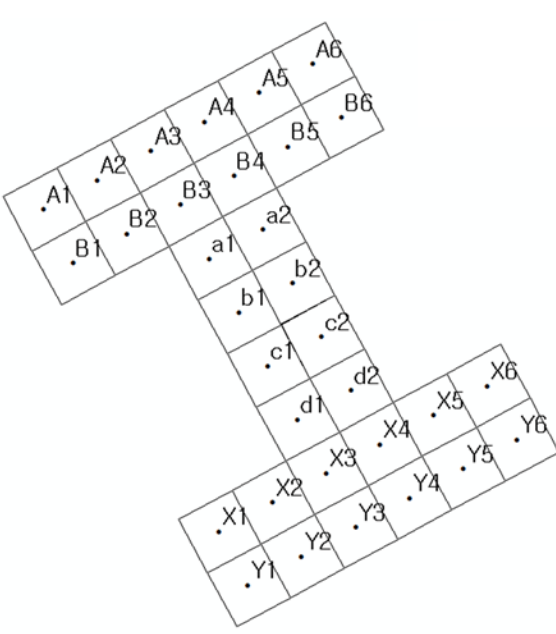
산림 3개체, 북쪽 산림 4개체) 최대 60m를 이동했다. 생태통로와 산림 내부만을 이동한 개체는 총 7개체로, 산림 내부만을 이동한 개체는 6개체, 생태통로 내부만을 이동한 개체는 1개체가 확인되었다. 산림 내부만을 이동한 개체의 경우 최대 40m를 이동하였으며, 생태통로 내부만을 이동한 개체는 20m를 이동했다. 이는 국내 산림 내 등줄귀를 무선 추적(약 50m) 및 포획조사한(약 30m) 결과와 큰 차이가 없었다(Lee, 2011).

2. 생태통로와 주변 산림의 환경 특성 비교

생태통로와 남북쪽 산림의 환경 특성별 트랩 비율을 확인해 본 결과 생태통로와 산림 간 환경 특성에 차이가 있음을 확인할 수 있었다(Figure 2.). 구체적으로는 1m 이하와 2~8m의 식생 피복량에서 차이를 확인할 수 있었다. 주로 초본층으로 구성된 1m 이하 식생피복량의 경우 하절기에 조사됨에 따라 개방된 서식지의 형태로 유지되는 생태통로에서 더 발달했음을 확인할 수 있었다(Figure 2a). 식생을 구성하는 종으로는 애기똥풀, 조릿대 등의 초본류와 비수리, 산딸기, 산철쭉 등의 소관목류로 식재종과 자연식생이 산재하는 형태를 보였다. 이와 반대로 산림의 경우 등나무, 칩 등의 만경류가 산림 초입부, 생태통로 입구부 절토면 등에 일부 생육했으나, 산림 내부에서는 발견할 수 없었다.

1~2m 식생피복량은 산림과 생태통로 모두 발달하지 않았다. 식생 층위를 구성하는 종으로는 산림의 경우 싸리, 큰낭아초, 아까시나무 등으로, 특정 트랩 설치지점에 싸리나무가 균락을 이뤄 생육하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 생태통로에서는 개나리, 산초나무 등이 우점하여 두 환경 간 식생 구성에 차이가 있음을 알 수 있었다. 2~8m 식생피복량의 경우 산림에서는

Table 3. The installed live traps (left figure), moved individual's start point, end point and distance



Moved type	Individual code	Start	End	Distance (m)
Forest to wildlife bridge	B-4	X6	c2	40
	B-9	c1	X3	20
	B-12	c1	X6	50
	B-14	c2	B1	60
	R-2	A2	a1	30
	R-14	A1	c1	60
	R-15	B2	a1	20
Forest to forest	B-5	X6	Y6	10
	B-6	Y6	X5	10
	B-7	X4	X4	20
	B-11	Y6	X6	10
	B-17	Y1	Y5	40
	B-18	Y2	Y3	10
Within wildlife bridge	R-1	b1	b2	20

값이 고르게 분포했다. 이는 대상지가 산림 내부, 가장자리와 생태통로 입구부 모두를 포함했기 때문으로, 산림 내부는 2~8m 식생층위인 아교목층이 발달하여 주로 아까시나무가 우점한 데 비해 산림 가장자리와 생태통로 입구부에서는 거의 생육하지 않았다. 8m 이상 식생피복량은 생태통로와 산림 모두 비슷한 양상을 보였다. 산림의 경우 남쪽 산림에서 소나무, 북쪽 산림에서 신갈나무가 일부 생육하고 있었고, 생태통로에서는 생육하지 않았다. 트랩 주변 최대 수목 흉고직경 또한 산림과 생태통로 모두 비슷한 양상을 보였는데, 트랩 설치 시 자연장애물인 수간 및 바위 밑에 설치했음에도 불구하고 산림에서 대체로 낮은 값을 보였다. 이는 조사구의 크기가 1m로, 주변 교목층의 수간부를 포함하지 않았기 때문일 수도 있다. 식생 구성은 생태통로에서 관목, 관목/교목이 발달했음을 확인할 수 있었다. 관목/교목이 발달한 지점은 모두 산림과 인접한 지역으로, 산림식생 일부가 생태통로까지 생육했고, 이외 지점은 모두 관목이 주를 이뤘다. 낙엽층 두께의 경우 생태통로에서는 얇은데 비해 산림은 값이 다양했으며, 경사도의 값의 분포 또한 산림에서 다양했는데, 생태통로 입구부의 절토면과 산림 내 경사도가 높은 지역에서는 낙엽층 두께가 상대적으로 얇았기 때문일 것이라 판단된다.

3. 등줄쥐의 생태통로 이용에 미치는 환경 특성

등줄쥐가 생태통로를 이용하는데 미치는 환경변수를 확인하

기 위한 일반화 선형 모형은 입력되는 환경 특성 중 하나라도 설치류 이용에 영향을 미칠 시 유의한 모형으로 도출되는 특징이 있다. 모형의 신뢰도는 $p=0.000002$ 로 유의했고, 설치류 이용에 영향을 미쳤던 환경 특성을 확인한 결과 1~2m 식생피복량($p<0.05$), 2~8m 식생피복량($p<0.05$), 8m 이상 식생피복량($p<0.1$), 교목 식생유형($p<0.05$), 트랩 주변 최대 수목 흉고직경($p<0.05$), 경사도가($p<0.1$) 유의했다(Table 3.). 각 독립변수가 종속변수에 영향을 미치는 정도인 승산비(odds ratio, $\exp(B)$)는 1~2m 식생피복량(1.131), 2~8m 식생피복량(1.420), 8m 이상 식생피복량(1.279), 교목 식생유형(2.039), 트랩 주변 최대 수목 흉고직경(1.793), 경사도(-1.082)로 경사도만이 유일하게 음의 상관관계를 보였다. 1~2m 식생피복량은 값이 증가할수록 설치류 포획 수가 증가했는데, 대상지 내 1~2m 식생층위 우점종인 싸리, 큰낭아초 등 수관이 뺨뺨한데 비해 하부 수간의 밀도가 낮아 설치류가 포식자를 피하기 위한 은신처로 쉽게 이용이 가능했기 때문일 것이라 판단된다(Dalmagro and Vieira, 2005; Doherty et al., 2015). 특히 식생피복량이 높았던 지점의 트랩 개수가 적었음에도 설치류 이용도가 높았는데, 설치류의 이용도를 높이기 위해서는 생태통로 조성 시 1~2m의 관목층 밀도를 높일 필요가 있다. 반면 하층식생피복량이 증가할수록 포획량이 증가한다는 선행연구와는 달리(Nam, 2001; Lee et al., 2020) 1m 이하 식생피복량의 경우 통계적으로 유의하지 않았다. 대상지의 1m 이하 식생층위를 이루는 식생 종으로는 애기똥풀, 비수리 등의 초본 및

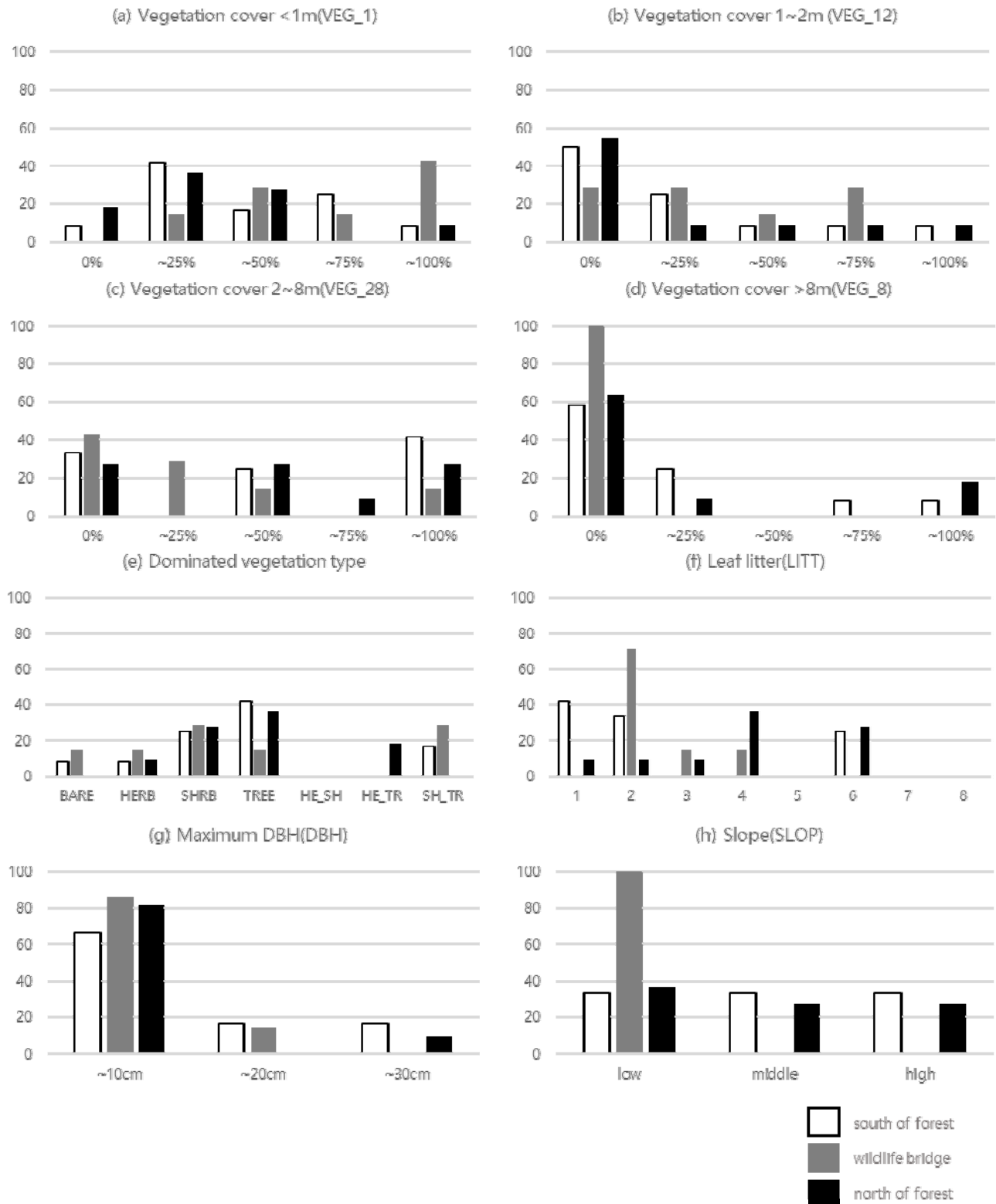


Figure 2. Comparison of environmental factors of wildlife bridge and surrounding forests through the proportion of trap count.

소관목류를 비롯하여 칩, 환삼덩굴 등의 만경류 등 다양한 유형의 종을 확인할 수 있었는데, 생태통로 입구부의 뺨뺨한 관목이나 덩굴류가 야생동물 이동에 방해가 되었을 수도 있으나(Kim *et al.*, 2016), 1m 이하 식생 층위를 이루는 식생의 유형에 따른 이용도는 분석하지 않았기 때문에 이에 대한 영향은 확인할 수 없었다. 2~8m 식생피복량, 8m 이상 식생피복량, 교목 식생 유형, 트랩 주변 최대 수목 흉고직경은 산림 대상지의 식생 특성을 잘 보여주는 변수로, 모두 증가할수록 포획 수 또한 증가했다. 일반적으로 등줄귀는 초지, 산림 저지대를 선호한다고 알려져 있으나(Nam, 2001), 생태통로에서는 산림에 가까운 환경을 선호하는 것을 확인할 수 있었다. 대상지에서는 2~8m 식생 층위를 제외한 모든 환경 특성의 값이 적은 것을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 생태통로에서 등줄귀 이용을 높이기 위하여 산림과 유사한 식생을 조성할 필요가 있다.

경사도의 경우 평지인 생태통로에서는 경사도에 따른 이용도 차이를 확인할 수 없었으나, 산림에서는 경사도가 높아질수록 등줄귀의 이용이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 높은 경사도는 토양침식을 가속화시켜 식생에 부정적인 영향을 미친다고 알려져 있으며(Pimentel, 2006), 식물성 먹이를 주로 섭취하는 등줄귀의 먹이자원에 영향을 미쳐(Lee *et al.*, 2020) 간접적인 영향을 받았을 수도 있다. 또한 경사도는 동물 이동에 부정적인 영향을 미치는 것으로도 알려져 있다. 국내 임도에서 중대형 포유류를 대상으로 동물 이동에 미치는 영향을 확인한 결과 경사도, 절토사면 길이, 식생피복률, 도로 형태가 부정적인 영향을 미쳤고, 이는 본 연구 결과와 비슷한 결과

를 보였다(Jeong *et al.*, 2021). 중대형 포유류에 비해 이동 능력이 상대적으로 떨어지는 설치류는 높은 경사도에 의해 이동이 제한될 수 있으며, 이에 따라 생태통로 건설 시 절토사면 생성을 최대한 자제할 필요가 있다.

4. 결론 및 제언

본 연구는 육교형 생태통로의 효과성을 정량적으로 평가하기 위하여 등줄귀의 이용도와 이용에 미치는 환경 특성을 확인하였다. 등줄귀는 생태통로를 횡단하여 이동하지 않음에 따라 등줄귀는 생태통로를 이동 통로가 아닌, 서식지로 이용함을 알 수 있었다. 등줄귀 이용에 영향을 주는 환경 특성으로는 층위별 식생피복량(1~2m, 2~8m, 8m 이상), 교목 식생구성, 트랩 주변 최대 수목 흉고직경이 양의 상관관계로, 경사도가 음의 상관관계로 유의했다. 그러나, 대상지 등줄귀의 이용에 긍정적인 영향을 미치는 환경 특성인 관목, 교목층 식생피복량이 낮았음을 확인할 수 있었다. 등줄귀는 생태계 내에서 중대형 육식 포유류의 먹이원이 될 수 있으며 특히 삼과 같은 멸종위기종의 분포에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있는(Choi *et al.*, 2012) 종으로 생태통로 건설 시 관목과 교목 식생피복량을 높게 조성하여 등줄귀의 이용을 높인다면 생태통로와 주변 산림의 서식지 질을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다.

한편, 등줄귀의 이용에 부정적인 영향을 미친 경사도의 경우 대상지 내 생태통로 입구부에 높은 절토사면이 형성되어있을 뿐만 아니라 주변 산림 일부에도 경사도가 높아 등줄귀가 이동

Table 4. Result of generalized linear model(GLM)

Variables		p-value	exp(B)(odds ratio)	abbreviation
Vegetation cover	<1m	0.78400	-0.171	VEG_1
	1~2m	0.041*0	1.131	VEG_12
	2~8m	0.020*0	1.420	VEG_28
	>8m	0.083**	1.279	VEG_8
	bare	0.34800	1.348	BARE
Vegetation Dominated vegetation type	herb vegetation	0.13200	-1.223	HERB
	shrub vegetation	0.35600	0.782	SHRB
	tree vegetation	0.059**	2.039	TREE
	herb and shrub vegetation	-	-	HE_SH
	herb and tree vegetation	0.99800	21.975	HE_TR
shrub and tree vegetation	0.15200	1.513	SH_TR	
Litter width	0.64100	0.283	LITT	
Maximum DBH	0.023*0	1.793	DBH	
Topography	Slope	0.083**	-1.082	SLOP

*<0.05 **<0.1

하기 어려운 환경으로 조성되어있었다. 높은 경사도는 산림 내 포유류의 이동을 감소시키고(Jeong *et al.*, 2021), 식생의 정착을 어렵게 하여(Pimentel, 2006) 등줄쥐의 먹이자원을 감소시킬 수 있기(Lee *et al.*, 2020) 때문에 생태통로 내 등줄쥐의 이용을 높이기 위하여 생태통로 입구부와 주변 산림의 경사도를 최대한 낮게 조성할 필요가 있다.

본 연구의 한계점은 여름 한 계절동안만 조사를 실시하여 등줄쥐의 계절 변화에 따른 생태통로 이용 변화를 알 수 없다는 점이 있다. 등줄쥐는 계절에 따라 다른 이동 패턴을 보이기 때문에(Lee, 2011) 장기간의 모니터링을 통해 데이터를 수집한다면 계절에 따른 등줄쥐의 생태통로 이용도를 확인할 수 있다. 이 외에도 등줄쥐의 이용 및 출현에 미치는 요소는 본 연구에서 조사한 환경 특성 이외에도 포식자의 출현(Mata *et al.*, 2020), 특정 식물종의 분포(Malena *et al.*, 2015) 등이 있을 수 있으며 환경 특성을 추가로 조사하여 분석에 이용하거나 야생동물의 생태통로 이용 정보를 실시간으로 확인할 수 있는 GPS(Lee, 2011) 등의 첨단장비를 활용한다면 더욱 정확한 등줄쥐의 생태통로 이용도 평가가 가능할 것이다.

REFERENCES

- Baechli, J., S. Albanesi and L.M. Bellis(2021) Effectiveness of crossings as wildlife passages for mammals in the Yungas of Argentina. *Journal for Nature Conservation* 59: 125944.
- Burkart, S., F. Gugerli, J. Senn, R. Kuehn and J. Bolliger(2016) Evaluating the functionality of expert-assessed wildlife corridors with genetic data from roe deer. *Basic and Applied Ecology* 17(1): 52-60.
- Choi, T.Y., H.S. Kwon, D.G. Woo and C.H. Park(2012) Habitat selection and management of the Leopard Cat(*Prionailurus bengalensis*) in a rural area of Korea. *Korean Society of Environment and Ecology* 26(3): 322-332.
- Crooks, K.R., C.L. Burdett, D.M. Theobald, S.R.B. King, M.D. Marco, C. Rondinini and L. Boitani(2017) Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114(29): 7635-7640.
- Dalmagro, A.D. and E.M. Vieira(2005) Patterns of habitat utilization of small rodents in an area of Araucaria forest in Southern Brazil. *Austral Ecology* 30(4): 353-362.
- Doherty, T.S., R.A. Davis and E.J.B. Van Etten(2015) A game of cat-and-mouse: Microhabitat influences rodent foraging in recently burnt but not long unburnt shrublands. *Journal of Mammalogy* 96(2): 324-331.
- Jansen, P.A., B.T. Hirsch, W.J. Emsens, V. Zamora-Gutierrez, M. Wikelski and R. Kays(2012) Thieving rodents as substitute dispersers of megafaunal seeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(31): 12610-12615.
- Jeong, E., M. Cho, H. Cho, B. Cho and S. Han(2021) Characteristics of forest road cut slopes affecting the movement of mammals in South Korea. *Forest Science and Technology* 17(3): 155-161.
- Kim, J., H. Cho and K.H. Cho(2016) Ecological status and improvement suggestion of a wildlife road-crossing structure at the Jingmaei-Pass in Incheon, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 3(3): 169-176.
- Lambert, T.D. and G.H. Adler(2000) Microhabitat use by a tropical forest rodent, *proechimys semispinosus*, in Central Panama. *Mammalogy* 81(1): 70-76.
- Lee, E.J.(2011) Study on the ecological characteristics of the three dominant rodent species in the forest fire damaged area of Samchuk, Gangwon Province, Korea. Ph.D. Dissertation, Univ. of Seoul, 252pp.
- Lee, E.J., W.S. Lee, Y.G. Lee, M.B. Lee and S.J. Rhim(2006) Characteristics of habitats and small rodent populations caused by different remnant treatments on forest floor in fired coniferous forest. *Journal of Korean Society of Forest Science* 96(6): 711-715.
- Lee, J.K., H.S. Hwang, T.K. Eum, H.K. Bae and S.J. Rhim(2020) Cascade effects of slope gradient on ground vegetation and small-rodent populations in a forest ecosystem. *Animal Biology* 70(2): 203-213.
- Lim, C.W.(2015) Differences in distribution of rodents in relation to environment type in Sobaeksan National Park. *Journal of Nature Conservation* 13(3-4): 137-144.
- Maleana, M., M.V. Vadell, A. Iglesias, P.J. Padula and I.E.G. Villafañe(2015) Daily movements and microhabitat selection of hantavirus reservoirs and other sigmodontinae rodent species that inhabit a protected natural area of Argentina. *EcoHealth* 12(3): 421-431.
- Mata, C., I. Hervás, J. Herranz, F. Suárez and J.E. Malo(2008) Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. *Journal of Environmental Management* 88(3): 407-415.
- Mata, C., J. Herranz and J.E. Malo(2020) Attraction and avoidance between predators and prey at wildlife crossings on roads. *Diversity* 12(4): 166.
- Ministry of Environment(2010) Guidelines for design and management of wildlife crossing structures in Korea. Res. Rep., 110pp.
- Nam, J.(2001) Studies on the ecology of field mice in Mt. Chuisuh. *Korean Society of Forest Science* 90(6): 707-716.
- National Institute of Ecology(2023) <https://www.nie-ecobank.kr/wildlifecrossing/mapservice/MapserviceList.do>

- Park, C.R., J. Lee and W. Kang(2011) The Comparison of wild birds movement between eco-corridor and neighboring crossing road. *Korean Journal of Environment and Ecology* 25(5): 639-648.
- Park, I.S., W.M. Kim, S.Y. Kim, C. Park and W.K. Song(2021) Monitoring urban ecological corridors in Gwanggyo new town using camera trapping. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 24(1): 69-80.
- Pimentel, D.A.(2006) Food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability* 8: 119-137.
- Rhim, S.J., J.Y. Lee, M.J. Kim, S.J. Park, E.J. Lee and W.S. Lee(2007) Differences in small rodent populations between forest and forest road areas. *Journal of Korean Forest Society* 96(3): 245-250.
- Roedenbeck, I.A., L. Fahrig, C.S. Findlay, J.E. Houlahan, J.A.G. Jager, N. Klar, S. Kramer-Schadt and E.A. Van der Grift(2007) The Rauschholzhausen agenda for road ecology. *Ecology and Society* 12(1): 11.
- Sijtsma, F.J., E. Van der Veen, A. Van Hinsberg, R. Pouwels, R. Bekker, R.E. Van Dijk, M. Grutters, R. Klaassen, M. Krijn, M. Mouissie and E. Wymenga(2020) Ecological impact and cost-effectiveness of wildlife crossings in a highly fragmented landscape: A multi-method approach. *Landscape Ecology* 35(7): 1701-1720.
- Van der Grift, E.A., R. Van der Ree, L. Fahrig, S. Findlay, J. Houlahan, J.A.G. Jager, N. Klar, L.F. Madriñan and L. Olson(2013) Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation* 22(2): 425-448.
- Wang, Y., L. Guan, Z. Piao, Z. Wang and Y. Kong(2017) Monitoring wildlife crossing structures along highways in Changbai Mountain, China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 50: 119-128.
- Welegerima, K., Y. Meheretu, T.H. Haileselassie, B. Gebre, D. Kidane, A.W. Massawe, N.E. Mbije and R.H. Makundi(2020) Abundance and microhabitat use of rodent species in crop fields and bushland in Ethiopia. *Journal of Vertebrate Biology* 69(2): 20054.
- Woo, D.(2021) A study on enhancing habitat connectivity in the fragmented landscape. National Institute of Ecology, Res. Rep., 176pp.