

육교형 생태통로 유무에 따른 야생동물 로드킬 발생 현황*

김세희^{1,2}·김기현¹·김지윤¹·이한비¹·박상민¹·송의근^{1*}

The Impact of Overpass Wildlife Crossings Structure on Roadkill Incidence*

Sehee Kim^{1,2}·Kihyun Kim¹·Jiyoun Kim¹·Hanbi Lee¹·
Sangmin Park¹·Euigeun Song^{1*}

요 약

본 연구는 경상북도 지역에서 육교형 생태통로와 환경 요인이 야생동물 로드킬 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 2021년부터 2023년까지의 로드킬 데이터를 활용하여 육교형 생태통로가 로드킬 발생수에 미치는 영향을 분석하고, 토지 피복 유형 및 NDVI와 로드킬 발생유무의 상관관계를 조사하였다. 육교형 생태통로가 있는 지역에서 평균 로드킬 발생 건수는 9.52건으로, 생태통로가 없는 지역의 15.83건에 비해 유의미하게 낮았다. 또한, 생태통로가 있는 지역의 로드킬 발생 변동성이 더 적은 것으로 확인되었다. 한편, 로드킬 발생 유무와 지표환경요인들 간의 로지스틱 회귀 모델은 AUC 값이 0.77로 나타나 예측력이 양호하게 나타났다. 로드킬 발생은 시가지지역, 농경지, 산림 면적과 양의 상관관계를 보인 반면, 수역과 r_NDVI mean과는 음의 상관관계를 보였다. 결과적으로 육교형 생태통로가 로드킬 감소에 효과가 있음을 확인하였으며, 효과적인 로드킬 저감 방안을 수립하기 위해서는 생태통로의 설치 및 관리 시 서식지 환경 요인을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 생태통로, 로드킬, 토지피복, NDVI, 로지스틱 회귀분석

ABSTRACT

This study analyzed the impact of overpass-type wildlife crossings and environmental factors on wildlife roadkill occurrences in Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea. Using roadkill data from 2021 to 2023, the study examined the effect of overpass-type

2024년 12월 5일 접수 Received on December 5, 2024 / 2024년 12월 13일 수정 Revised on December 13, 2024 / 2024년 12월 13일 심사완료 Accepted on December 13, 2024

* 본 연구는 환경부 및 국립생태원(NIE)의 지원으로 수행되었습니다(NIE-B-2024-05).

1 국립생태원 복원생태팀, 연구원 / Ecological Restoration Team, National Institution of Ecology, Researcher

2 국립공주대학교 생명과학과, 박사과정 / Department of Biological Science, Kongju National University, Ph.D. Course

※ Corresponding Author E-mail: song@nie.re.kr

wildlife crossings on roadkill occurrences and investigated the correlation between land cover types, NDVI, and roadkill presence. The average number of roadkill incidents in areas with overpasses was 9.52, which was significantly lower than the 15.83 incidents recorded in areas without overpasses. Furthermore, the variability in roadkill occurrences was found to be lower in areas with overpasses. A logistic regression model examining the relationship between roadkill presence and surface environmental factors showed an AUC value of 0.77, indicating a satisfactory level of predictive power. Roadkill occurrences were positively correlated with urban/built-up areas, agricultural lands, and forest areas, while negative correlations were observed with water bodies and the r_NDVI mean. These results confirm the effectiveness of overpass-type wildlife crossings in reducing roadkill. To develop effective roadkill mitigation strategies, it is necessary to consider habitat environmental factors when designing and managing wildlife crossings to develop effective roadkill mitigation strategies.

KEYWORDS : *Wildlife Corridors, Roadkill, Land cover, NDVI, Logistic regression*

서 론

도로의 확장은 인간의 이동과 경제적 발전에 기여했지만, 야생동물의 서식지 파편화를 야기하며, 야생동물이 번식지와 먹이 장소로 이동하는 과정에서 로드킬 발생을 초래한다(Forman et al., 2003; Akbar et al., 2019, Secco H et al., 2022). 로드킬은 개체 수 감소뿐 아니라 특정 종의 유전자 다양성 감소시키며, 먹이사슬에도 영향을 미쳐 생태계 균형을 위협하는 주요 요인으로 작용한다(Medrano-Vizcaino et al., 2023; Seo et al., 2024). 한국에서도 도로 개발과 함께 로드킬 문제의 중요성이 부각되고 있으며, 이로 인한 데이터 수집 또한 매년 증가하고 있는 추세이다(Song, 2023). 이처럼 증가되는 로드킬을 저감하기 위한 방안으로 생태통로(Wildlife crossing structure)의 설치가 주목받고 있다(Hilty et al., 2006; Villalobos-Hoffman et al., 2022).

생태통로는 단절된 서식지와 이동 경로를 연결하여 동물들이 안전하게 이동할 수 있도록 돕는 인프라로, 야생동물의 이동성과 서식지 연결성을 증진하는 데 실질적인 기여를 한다고 보고하고 있다(Hilty et al., 2006; Beckmann et al., 2012). 특히, 육교형 생태통로는 다양한 종

의 이동성을 보장하며, 서식지 내 출현 종수 증가에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2012; Choi et al., 2016). 국내에서도 육교형 생태통로는 증가되는 추세이며, 2023년 기준으로 전국에 설치된 생태통로의 64%가 육교형으로 보고되었다(Song et al., 2023). 로드킬과 도로간의 관계에 관한 연구들은 꾸준히 수행되어 왔지만(Park et al., 2020; Grilo et al., 2021; Lee et al., 2024; Byun et al., 2016), 생태통로와 로드킬 발생 간의 관계를 실증적으로 분석한 연구는 아직까지 부족한 실정이다. 향후에는 생태통로의 설치 위치, 주변 서식지 특성 등과 같이 주변 환경요인들이 로드킬 발생에 어떻게 기여하는지에 대한 연구가 요구된다(Fabrizio et al., 2019).

본 연구는 경상북도 지역을 대상으로 육교형 생태통로 유무에 따른 야생동물 포유류의 로드킬 발생 현황을 분석하고, 로드킬 발생과 관련된 지표환경 요인을 파악하여 향후 로드킬 저감을 위한 생태통로 설치 및 관리 방안에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

연구 방법

1. 연구지역 및 대상

본 연구는 대한민국의 남동부에 위치한 경상

북도를 대상으로 수행되었다. 경상북도 지역은 동경 127° 48' ~ 131° 52', 북위 35° 34' ~ 37° 33' 에 위치하고 있으며, 면적은 약 18,420 km²로 국토 전체 면적의 18.3%를 차지한다. 다른 지역에 비해 동해안과 접하는 해안선이 길고, 내륙 지역은 태백산맥과 소백산맥의 크고 작은 산으로 둘러싸여 산지가 발달한 특징이 있다.

2023년, 환경부와 국립생태원은 전국의 생태통로에 대한 전수조사를 실시하였다. 생태통로는 크게 도로 위로 이동할 수 있는 육교형과 도로 아래로 이동할 수 있는 터널형으로 구분된다. 본 연구에서는 경상북도의 생태통로 중 중 소형 및 대형 포유류의 이동이 용이한 육교형 생태통로만을 대상으로 하였으며, 터널형 생태통로는 분석에서 제외하였다.

2. 자료수집 및 분석

1) 로드킬 자료 전처리

로드킬 자료는 2021년부터 2023년까지 국립생태원, 한국도로공사, 국립공원공단, 지방자치단체를 통해 전국적으로 수집된 자료를 사용하였다. GPS 좌표가 도로 위에 표시되지 않거나, 좌표가 없는 경우는 분석에서 제외하였다. 또한, GPS 좌표가 도로 위에 표시된 야생동물 포유류 중 로드킬 발생률 상위 90%에 해당되는 종들을

분석에 사용하였다(그림 1). 이외 개, 고양이 및 가축동물은 분석에서 제외되었다.

2) 격자 데이터 전처리

생태통로의 존재 유무와 로드킬 발생 유무에 따라 4개의 유형의 격자들로 구분하였다(그림. 2). 경상북도 지역을 5 km x 5 km의 격자로 나누고, 도로가 없는 격자는 제외하였다(그림. 2). 5~7km 범위 내의 서식지 연결성이 중형 포유류 로드킬 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있어, 본 연구에서는 5km 단위 격자를 적용하였다(Kang et al., 2006). 이는 중형 포유류의 이동범위를 고려한 하나의 격자에 생태통로가 1개소라도 포함이 되면 “1”, 포함되지 않으면 “0”으로 생태통로 존재 유무를 구분하였다. 로드킬 발생유무도 하나의 격자에 1건이라도 포함되면 “1”, 포함되지 않으면 “0”으로 구분하였다. 그리하여 생태통로의 존재유무와 로드킬 발생 유무를 기준으로 격자를 4가지 유형(생태통로 및 로드킬 없음(0,0), 생태통로 없고, 로드킬 발생(0,1), 생태통로 있고, 로드킬 미발생(1,0), 생태통로 있고, 로드킬 발생(1,1))으로 분류하였다.

한편, 로드킬 발생 유무에 영향을 주는 지표 환경 특성을 파악하기 위해 토지 피복 유형과

TABLE 1. Variables in logistic regression analysis

Classification	Variables	Range
Land cover area (km ²)	Bare land	0 ~ 3.20
	Agricultural area	0 ~ 11.77
	Forest area	0 ~ 15.90
	Water body	0 ~ 8.65
	Wetland	0 ~ 1.23
	Urban/Built-up area	0 ~ 8.10
	Grassland	0 ~ 4.16
NDVI (rescaled)	r-NDVI mean	0 ~ 255
	r-NDVI min	0 ~ 255
	r-NDVI max	0 ~ 255

NDVI를 분석에 활용하였다. 토지피복지도는 환경부의 환경공간정보서비스(EGIS)에서 제공된 대분류 지도 자료를 사용하여 격자마다 7개의 항목으로 값을 추출하였다. NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 자료는 Copernicus Open Access Hub에서 제공하는 Sentinel-2 위성영상을 사용하였다. 영상자료는 식생 활력 및 대기가 비교적 안정적인 5월의 자료를 사용하였다(Hwang and Um, 2015; Cho et al., 2020). NDVI 영상자료는 기하보정이 되고, Cloud Cover가 10% 미만인 데이터만을 사용하였다. 격자마다 추출된 NDVI 값(-1~1)은 rescaling을 통해 0~255 범위로 변환하였다(표 1).

생태통로의 유무에 따른 로드킬 발생의 차이를 비교하기 위해, 동일한 표본수의 격자그룹(생태통로 미존재 격자(대조군), 생태통로 존재 격자(처리군))을 구성하였다. 처리군의 격자 수(n=42)를 기준으로 대조군의 격자수를 임의 표본 추출 방법(Random sampling method)을 적용하여 42개의 격자를 추출하였다. 이 과정에서 도로가 포함되지 않은 격자는 제외하였고, 표본의 중복을 방지하기 위해 중복 허용 없이 추출하였다. 이후 각 격자에 해당하는 야생동물 포유류의 3년간의 총 로드킬 발생수를 카운트하였다.

3) 통계분석

생태통로 유무에 따른 로드킬 발생수 비교를 위해 데이터 정규성 검정을 실시하였고, 데이터가 정규분포를 띄지 않아 비모수 통계분석인 Mann-Whitney U test를 실시하였다. 로드킬 발생유무에 따른 환경요인들의 유의성을 검정하기 위해 구분된 격자에서 로드킬 발생유무를 종속 변수로, 지표환경과 관련된 요인들을 독립 변수로 설정하여 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 모델의 성능 평가를 위해 ROC curve를 작성하고 AUC(Area under the curve)를 계산하였다. AUC 값은 모델의 정확도를 나타내는 지표로 0.5는 무작위 예측으로 판별력이 없고, 0.7~0.8범위는 양호한 수준으로 사용가능하며, 1에 가까워질수록 완벽한 예측으로 판별력이 좋은 모델임을 의미한다(Hosmer and Lemeshow, 2000). 공간자료 분석은 QGIS 3.36.1을 사용하였고, 통계분석 및 데이터 시각화는 R 4.4.1을 사용하여 수행하였다.

연구 결과

1. 국내 야생동물 포유류 로드킬 현황 및 공간적 분포 현황

2021년부터 2023년까지 전국의 야생동물

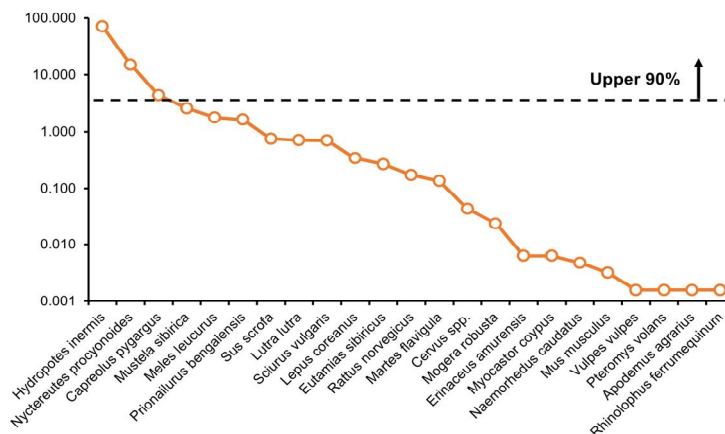


FIGURE 1. Status of wildlife mammal roadkill occurrence in South Korea (2021–2023)

TABLE 2. Total of wildlife mammal roadkill incidents in Republic of Korea (2021–2023)

Korean name	English name	Scientific name	Total	(%)
고라니	Water deer	<i>Hydropotes inermis</i> Swinhoe, 1870	45,189	71.177
너구리	Raccoon dog	<i>Nyctereutes procyonoides</i> (Gray, 1834)	9,655	15.208
노루	Roe deer	<i>Capreolus pygargus</i> (Pallas, 1771)	2,807	4.421
족제비	Siberian weasel	<i>Mustela sibirica</i> Pallas, 1773	1,648	2.596
오소리	Asian badger	<i>Meles leucurus</i> (Hodgson, 1847)	1,131	1.781
삿	Leopard cat	<i>Prionailurus bengalensis</i> (Kerr, 1792)	1,041	1.640
수달	Eurasian otter	<i>Lutra lutra</i> (Linnaeus, 1758)	478	0.753
멧돼지	Wild boar	<i>Sus scrofa</i> Linnaeus, 1758	452	0.712
청설모	Eurasian red squirrel	<i>Sciurus vulgaris</i> Linnaeus, 1758	444	0.699
멧토끼	Korean hare	<i>Lepus coreanus</i> Thomas, 1892	217	0.342
다람쥐	Chipmunk	<i>Eutamias sibiricus</i> (Laxmann), 1769	170	0.268
집쥐	Brown rat	<i>Rattus norvegicus</i> (Berkenhout, 1769)	110	0.173
담비	Yellow-throated marten	<i>Martes flavigula</i> (Boddaert, 1785)	86	0.135
사슴속	Cervus	<i>Cervus spp.</i>	28	0.044
두더지	Mole	<i>Mogera robusta</i> Nehring, 1891	15	0.024
고슴도치	Amur Hedgehog	<i>Eriaceus amurensis</i> Schrenk, 1858	4	0.006
뉴트리아	Nutria	<i>Myocastor coypus</i> (Molina), 1782	4	0.006
산양	Long-tailed goral	<i>Naemorhedus caudatus</i> (Milne-Edwards, 1867)	3	0.005
생쥐	Mouse	<i>Mus musculus</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.003
여우	Fox	<i>Vulpes vulpes peculiosa</i>	1	0.002
하늘다람쥐	Siberian flying squirrel	<i>Pteromys volans aluco</i>	1	0.002
등줄쥐	Black-striped field mouse	<i>Apodemus agrarius</i> (Pallas, 1771)	1	0.002
관박쥐	Greater horseshoe bat	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	1	0.002
Total			63,488	100

포유류 23종의 로드킬 발생건수는 총 63,488건으로 확인되었다(그림 1, 표 2). 이 중 전체 로드킬 발생의 90%는 Water deer (*Hydropotes inermis* Swinhoe), Raccoon dog (*Nyctereutes procyonoides*) 그리고 Roe deer (*Capreolus pygargus*) 순으로, 총 3종이 차지하는 것으로 나타났다.

경상북도 지역을 5km x 5km 격자로 나눈 결과, 총 1322개의 격자로 구분되었다(그림 2). 이 중 생태통로와 로드킬이 모두 나타나지 않은 격자(0,0)는 363개, 생태통로는 없으나 로드킬

이 발생한 격자(0,1)는 619개, 생태통로가 있으며 로드킬이 발생하지 않은 격자(1,0)는 16개 그리고 생태통로가 있으나 로드킬이 발생한 격자(1,1)는 26개였다. 이외 도로가 포함되지 않아 분석에서 제외된 격자는 298개였다.

2. 육교형 생태통로와 지표 환경 특성에 의한 로드킬 분석

로드킬 발생 유무에 영향을 미치는 요인들을 분석한 결과, Bare land, Forest area 그리고 Urban/Built-up area는 로드킬 발생과 양의

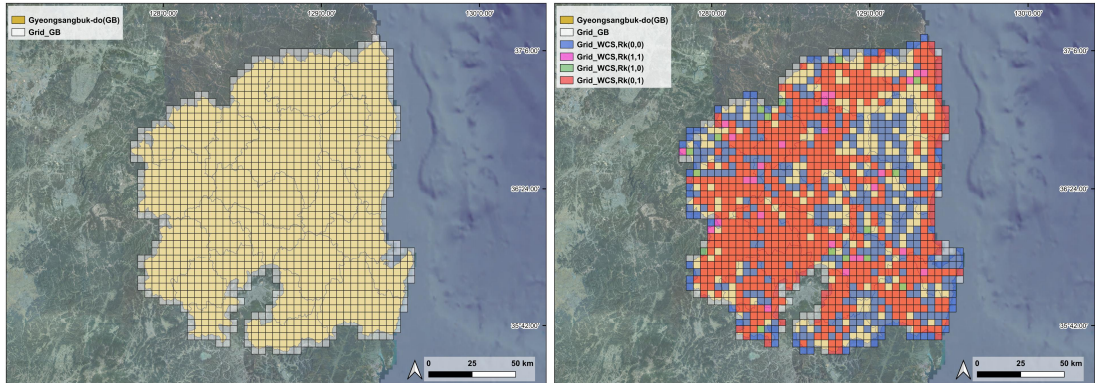


FIGURE 2. Grid for Gyeongsangbuk–do and Daegu area (left) and classification based on the presence of wildlife crossing structure(WCS) and roadkill(RK) occurrence (right). (Blue: WCS,Rk(0,0), Pink: WCS,Rk(1,1), Green: WCS,Rk(1,0) Red: WCS,Rk(0,1))

상관관계를 보였다(표 3). 3개의 변수 중 Urban/Built-up area가 wald statistic이 가장 높아, 로드킬 발생 가능성을 크게 증가시키는 요인으로 확인되었다. Wald statistic은 독립변수의 유의성 및 기여도를 평가하는 지표이다. Wald statistic이 클수록 통계적으로 유의미하며, 종속변수에 영향을 미치며, 작을수록 회귀계수가 0에 가까워 종속변수에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 해석된다. 한편, Water body와 r_NDVI Mean은 로드킬 발생과 음의

상관관계를 나타냈다. 이 중 Water body가 wald statistic이 높아, 로드킬 발생 가능성을 감소시키는 주요 요인으로 확인되었다. 결과적으로 로지스틱 회귀분석 모델의 AUC값은 0.77로 양호한 수준으로 나타났다(그림 3).

육교형 생태통로 존재 유무에 따른 3종(*H. inermis*, *N. procyonoides*, *C. pygargus*)의 로드킬 발생건수를 비교 결과, 생태통로가 없는 구역의 로드킬 발생수는 평균 15.83건, 생태통로가 있는 구역은 평균 9.52건으로 약 1.6배정

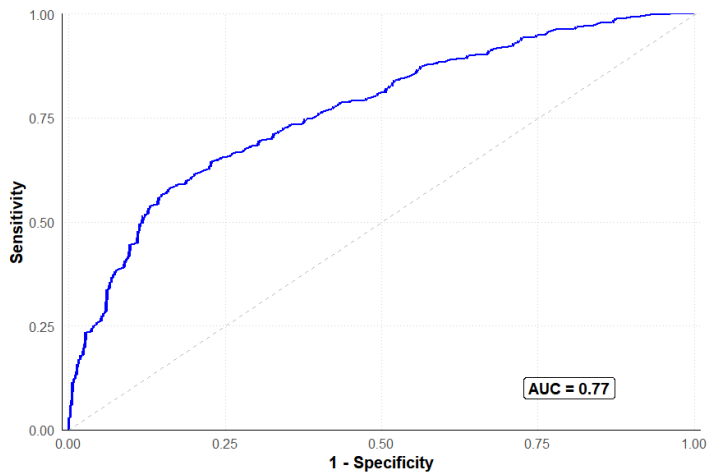


FIGURE 3. ROC curve for the logistic regression model predicting roadkill occurrence

TABLE 3. Logistic regression coefficients for predictors of roadkill occurrence

Variables	Coefficient	Standard Error	Wald statistic	z-value	p-value	Significance
Bare land	0.285	0.108	6.976	2.641	0.008	**
Agricultural area	0.140	0.124	1.277	1.130	0.258	ns
Forest area	0.494	0.129	14.704	3.835	0.000	***
Water body	-0.253	0.081	9.659	-3.108	0.002	**
Wetland	-0.079	0.092	0.732	-0.855	0.392	ns
Urban/Built-up area	1.377	0.277	24.775	4.977	0.000	***
Grassland	0.118	0.103	1.309	1.144	0.253	ns
r_NDVI Mean	-0.511	0.136	14.175	-3.765	0.000	***
r_NDVI Min	0.090	0.092	0.952	0.975	0.329	ns
r_NDVI Max	-0.071	0.088	0.657	-0.810	0.418	ns

Note: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, ns: not significant

도 차이가 나타났다(p<0.05). 이는 생태통로가 있는 구역에서 로드킬 발생수가 유의하게 감소됨을 의미한다. 한편, 생태통로가 있는 지역은 생태통로가 없는 지역에 비해 로드킬 발생수의 편차가 적게 나타나며, 로드킬 발생이 비교적 일정한 경향을 보였다(그림 4).

고찰

서식지 특성은 야생동물 로드킬 발생에 영향을 미치는 중요한 요인이다(Coffin AW, 2007; Fabrizio et al., 2019). 본 연구는 토지 피복 유형과 NDVI값이 로드킬 발생 증감에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 특히, 동일한 면적에

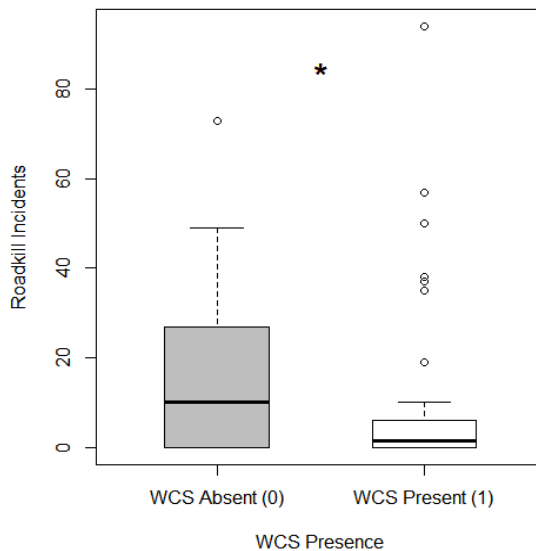


FIGURE 4. Comparison of roadkill Incidents based on the presence of wildlife crossing structures (WCS)(WCS Absent; n=42, WCS Present; n=42)

서 시가화지역, 산림지역 그리고 나지의 비율이 증가할수록 로드킬 발생이 증가하는 경향을 보였으며, 반대로 수역의 비율과 NDVI mean 값이 증가할수록 로드킬 발생이 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 로드킬 발생지점이 주로 나지, 초지였다는 기존의 연구내용과도 일치했다(Byun et al., 2016). 시가화지역이나 나지 같은 개방된 지역은 야생동물의 도로 접근 빈도를 증가시킬 수 있는 반면, 수역이나 식생 건강성이 비교적 높은 지역은 도로로의 진입을 제한할 수 있다(Tigas LA et al., 2002; Santos RAL et al., 2018; Hayes AA, 2021). 한편, 중대형 포유류 로드킬 발생은 산림 서식지와의 연결성이 높은 구간에서 증가될 수 있다(Kang et al., 2016). 고라니의 경우, 산림지역과 농경지역을 선호하는 행동 특성을 지니며(Park and Lee., 2013), 산림지역에서의 로드킬 발생이 많은 것으로 보고된 바 있다(Kim et al., 2021). 본 연구에서는 고라니의 로드킬 발생 비율은 약 70% 정도로 높은 비율을 차지하였기 때문에, 산림지역에서의 로드킬 발생 증가 경향성에도 영향을 주었을 것으로 판단된다. 로드킬 발생에 대한 Forest area와 NDVI mean의 상반된 경향성을 보인 것은, NDVI 자료가 식생활력이 가장 높은 시기로 국한되었기 때문에 나타난 차이로 예상된다. 향후 연구에서는 식생활력 시기에 따른 NDVI값과 로드킬 발생에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다(Cho et al., 2020).

육교형 생태통로의 존재 유무에 따른 로드킬 발생수의 유의미한 차이는 생태통로가 서식지 연결성 확보와 함께 로드킬의 발생 감소에 효과가 있음을 시사한다. 이러한 결과는 생태통로가 서식지 연결성을 확보하여 로드킬 발생을 감소시킬 수 있다는 기존의 가설들과도 일치한다(Hilty et al., 2006; Beckmann et al., 2012). 또한, 생태통로가 없는 구역에서 로드킬 발생수의 편차가 더 크게 나타난 점은 생태통로가 동물 이동 경로를 안정화하는 데 기여할 수 있음을 시사하며(Cha, 2023), 생태통로의 존재가 야생동물의 이동 경로를 보다 예측 가능하게 만

들며, 도로 위에서의 무작위 이동을 감소시킨다는 점에서 향후 정책적 시사점을 제공할 수 있다(Coffin AW, 2007). 이러한 결과들은 생태통로가 단순히 이동 경로를 제공하는 것을 넘어 도로 서식지 간의 단절 문제를 완화하는 데 중요한 역할을 한다는 점을 보여준다.

생태통로의 설치가 로드킬 감소에 긍정적인 영향을 미친다는 점이 확인되었지만, 생태통로가 있음에도 로드킬이 발생하는 격차가 존재한다는 점 또한 주목할 필요가 있다. 이는 생태통로의 위치, 설계 또는 관리 시설물들이 동물의 이동 패턴과 충분히 부합하지 않을 가능성을 시사한다(Bennett AF, 1991; Coffine AW, 2007). 야생동물의 도로로의 진입을 제한하는 유도울타리와 같은 시설물들의 관리가 미흡할 경우, 생태통로 본래의 기능이 저하될 수 있다(Son et al., 2016; Lee et al., 2024). 기능 저하를 방지하기 위해서는 개방된 지역의 정밀한 모니터링, 도로 진입 차단 시설물의 설치 및 주기적인 관리에 대한 필요성을 제기한다. 또한, 생태통로 설치 위치, 서식지 내 먹이자원 분포, 주변 시설물 및 환경 요인, 야생동물의 이용빈도 등과 같은 정량적 자료 수집을 통한 생태통로로 인한 로드킬 저감 효율성을 높일 수 있는 방안에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

한편, 연구의 결과가 경상북도 지역을 중심으로 분석되었기 때문에 다른 지역에 일반화하는 데는 한계가 있다. 특히, 도로 구조, 지역 생태적 특성 등은 지역마다 다를 수 있다. 따라서, 향후 연구에서는 전국의 데이터 비교를 통한 한국의 생태통로 효과를 비교 분석하는 것이 필요할 것으로 사료되며, 육교형 생태통로외에 터널형 생태통로가 로드킬 발생을 감소시키는지에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구는 육교형 생태통로가 야생동물의 로드킬 발생을 감소시키는 데 효과적임을 실증적으로 확인하였다. 지표 환경과 관련된 요인에서

는 시가화지역, 나지와 같은 개방된 환경과 산림지역이 로드킬 발생을 증가시키는 주요 요인으로, 수역과 NDVI mean이 높은 지역은 로드킬 발생을 감소시키는 요인으로 확인되었다. 이러한 결과는 생태통로의 위치 및 설계 시 서식지의 환경적 요인을 고려해야 할 필요성을 강조한다. 향후에는 전국적 데이터 비교 및 다양한 생태통로 유형에 대한 추가 연구를 통해 로드킬 저감 정책의 효율성을 높이는 것이 필요할 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Akbar, T.A., Q.K. Hassan, S. Ishaq, M. Batool, H.J. Butt and H. Jabbar. 2019. Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy. *Remote Sens* 11(2):105. <https://doi.org/10.3390/rs11020105>.
- Beckmann, J.P., A.P. Clevenger, M.P. Huijser and J.A. Hilty. 2012. *Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity*. Island Press, Washington.
- Bennett, A.F. 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In: Saunders DA, Hobbs RJ, editors. *Nature conservation 2: the role of corridors*. Chipping Norton: Surrey Beatty & Sons. pp. 99-118.
- Byun, Y.S., J.N. Kwon, J.H. Kim, M.H. Shin and S.D. Lee. 2016. How do landscape and road barriers affect road crossing of multihabitat mammals. *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 19(3):89-101. <http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2016.19.3.089> (변예슬, 권진오, 김정환, 신문현, 이상돈. 2016. 경관과 도로침입 방어막이 범서식지 포유류종의 도로 횡단에 미치는 영향 분석. *한국지리정보학회지* 19(3):89-101).
- Cha, J.G. 2023. Analysis of ecological space connectivity and forest axis in Daegu and Gyeongsangbuk-do. *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 26(4):80-96. <https://doi.org/10.11108/kagis.2023.26.4.080> (차재규. 2023. 대구·경북 생태공간 연결성 및 산림축 분석. *한국지리정보학회지* 26(4):80-96).
- Cho, S.H., G.S. Lee and J.W. Hwang. 2020. Drone-based vegetation index analysis considering vegetation vitality. *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 23(2):21-35. <https://doi.org/10.11108/kagis.2020.23.2.021> (조상호, 이근상, 황지욱. 2020. 식생 활력도를 고려한 드론 기반의 식생지수 분석. *한국지리정보학회지* 23(2):21-35).
- Choi, T.Y. 2016. *Wildlife on the road*. NIE Eco Guide. National Institute of Ecology, South Korea.
- Choi, T.Y., B.G. Yang and D.G. Woo. 2012. The types and measures of wildlife crossing structures for mammals of Korea. *Environ Impact Assess* 21(1):209-218 (최태영, 양병국, 우동걸. 2012. 국내 포유동물에 적합한 생태통로의 유형과 규격. *환경영향평가* 21(1):209-218).
- Coffin, A.W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *J Transp Geogr* 15(5):396-406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>.
- Fabrizio, M., M.D. Febbraro, M. D' Amico, L. Frate, F. Roscioni and A. Loy. 2019. Habitat suitability vs landscape connectivity determining roadkill risk at a regional scale: a case study on European badger (*Meles meles*). *Eur J Wildl Res* 65:7.

- <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1241-7>.
- Forman, D. Sperling, J.A. Bissonette, A.P. Clevenger, C.D. Cutshall, V.H. Dale, L. Fahrig, R. France, C.R. Goldman, K. Heanue, J.A. Jones, F.J. Swanson, T. Turrentine and T.C. Winter. 2023. Road ecology: science and solutions. Island Press, Washington.
- Grilo, C., L. Borda-de-Água, P. Beja, E. Goolsby, K. Soanes, A. le Roux, E. Koroleva, F.Z. Ferreira, S.A. Gagné, Y. Wang and M. González-Suárez. 2021. Conservation threats from roadkill in the global road network. *Global Ecol Biogeogr* 30(11):2200-2210. <https://doi.org/10.1111/geb.13375>.
- Hayes, A.A. 2021. Analyses of coyote (*Canis latrans*) consumption of anthropogenic material and dietary composition in urban and non-urban habitats [master's thesis]. Dayton, OH: Wright State University. Available from: https://corescholar.libraries.wright.edu/etd_all/2451.
- Hilty, J.A., L.W.Z. Jr and A.M. Merenlender. 2006. Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. Island Press, Washington.
- Hosmer, D. W. and S. Lemeshow. 2000. Applied logistic regression. John Wiley & Sons, New York.
- Hwang, Y.S. and J.S. Um. 2015. Monitoring the desiccation of inland wetland by combining MNDWI and NDVI: a case study of Upo Wetland in South Korea. *J Korea Spatial Inf Soc* 23(6):31-41. <https://doi.org/10.12672/ksis.2015.23.6.031>. (황영석, 엄정섭. 2015. MNDWI와 NDVI의 통합을 통한 내륙습지의 육화현상 추적: 우포늪을 사례로. *대한공간정보학회* 23(6): 31-41).
- Kang, W.M., E.S. Minor, D.G. Woo, D.W. Lee and C.R. Park. 2016. Forest mammal roadkills as related to habitat connectivity in protected areas. *Biodivers Conserv* 25(14):2673-2686. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1194-7>.
- Kim, K.M., H.J. Seo, D.G. Woo, T.J. Park and E.G. Song. 2021. The water deer on a road: road-kill characteristics of a nationally abundant but internationally threatened species. *J For Environ Sci* 37(1):62-68. <https://doi.org/10.7747/JFES.2021.37.1.62>.
- Lee, J., J. Oh and J. Moon. 2024. Analysis of roadkill status and the installation of ecological pathways and guide fences for prevention in Korea. *J Korean Soc e-Business Stud* 29(1):17-33. <https://doi.org/10.7838/jsebs.2024.29.1.017>.
- Medrano-Vizcaíno, P., C. Grilo and M. González-Suárez. 2023. Research and conservation priorities to protect wildlife from collisions with vehicles. *Biol Conserv* 280:109952. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109952>.
- Park, H.M. and S.D. Lee. 2013. Habitat use pattern of Korean water deer based on the land coverage map. *J Wetlands Res* 15(4):567-572. <https://doi.org/10.17663/JWR.2013.15.4.567>.
- Park, M.Y., Y.J. Na and J.H. Won. 2020. Road-kill status and correlation between roadkill and traffic accidents in Cheongju city. *J Inst Constr Technol* 39(2):53-57.
- Santos, R.A.L., M. Mota-Ferreira, L.M.S.

- Aguiar and F. Ascensão. 2018. Predicting wildlife road-crossing probability from roadkill data using occupancy-detection models. *Sci Total Environ* 642:629-637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.107>.
- Secco, H., V.O.D. Costa, M. Guerreiro and P.R. Gonçalves. 2022. Evaluating impacts of road expansion on porcupines in a biodiversity hotspot. *Transp Res Part D* 102:103151. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103151>.
- Seo, H.J., C.H. Choi, S.W. Lee and J.H. Kim. 2024. Analysis of ecological connectivity of forest habitats using spatial morphological characteristics and roadkill data. *Korean J Ecol Environ* 57(2):75-82. <https://doi.org/10.11614/KSL.2024.57.2.075>.
- Son, S.W., S.H. Kil, Y.J. Yun, J.H. Yoon, H.J. Jeon, Y.H. Son and M.S. Kim. 2016. Analysis of influential factors of roadkill occurrence: A case study of Seorak National Park. *J Korean Inst Landscape Archit* 44(3):1-12. <https://doi.org/10.9715/KILA.2016.44.3.001>.
- Song, E.G. 2023. Enhancing habitat connectivity for sustainable landscape management. National Institute of Ecology(NIE-B-2023-05). National Institute of Ecology, South Korea.
- Song, E.G., S.A. Heo, I.R. Kim, S.H. Kim and H.B. Lee. 2023. Investigation of wildlife crossing structures in South Korea. *Geo Data* 5(4):273-276. <https://doi.org/10.22761/GD.2023.0041>.
- Tigas, L.A., D.H.V. Vuren and R.M. Sauvajot. 2002. Behavioral responses of bobcats and coyotes to habitat fragmentation and corridors in an urban environment. *Biol Conserv* 108(3):299-306. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00120-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00120-9).
- Villalobos-Hoffman, R., J.E. Ewing and M.S. Mooring. 2022. Do wildlife crossings mitigate the roadkill mortality of tropical mammals? *Diversity* 14:665. <https://doi.org/10.3390/d14060665>. 