

로드킬 발생 영향요인 분석

- 설악산 국립공원 44번 국도를 대상으로 -

손승우^{****} · 길승호^{**} · 윤영조^{**} · 윤정호^{***} · 전형진^{***} · 손용훈^{****} · 김민선^{*****}

^{*}서울대학교 대학원 · ^{**}강원대학교 생태조경디자인학과 · ^{***}한국환경정책·평가연구원 ·
^{****}서울대학교 환경대학원 · ^{*****}국립공원관리공단

Analysis of Influential Factors of Roadkill Occurrence

- A Case Study of Seorak National Park -

Son, Seung-Woo^{****} · Kil, Sung-Ho^{**} · Yun, Young-Jo^{**} · Yoon, Jeong-Ho^{***} ·
Jeon, Hyung-Jin^{***} · Son, Young-Hoon^{****} · Kim, Min-Sun^{*****}

^{*}Graduate School, Seoul National University

^{**}Dept. of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University

^{***}Korea Environment Institute

^{****}Graduate School of Environment, Seoul National University

^{*****}Korea National Park Service

ABSTRACT

This study aimed to interpret the fundamental cause of road-kill occurrences and analyzed spatial characteristics of the road-kill locations from Route 44 in Seorak National Park, Korea. Logistic regression analysis was utilized for backward elimination on variables. Seorak National Park Service has constructed GIS-data of 81 road-kill occurrences from 2008 to 2013 and these data were assigned as dependent variables in this study. Considered as independent variables from previous studies and field surveys, vegetation age-class, distance to streams, coverage of fences and retaining walls, and distance to building sites were assigned as road-kill impact factors. The coverage of fences and retaining walls(-1.0135) was shown as the most influential factor whereas vegetation age-class(0.0001) was the least influential among all of the significant factor estimates. Accordingly, the rate of road-kill occurrence can increase as the distance to building sites and stream becomes closer and vegetation age-class becomes higher. The predictive accuracy of road-kill occurrence was shown to be 72.2% as a result of analysis, assuming as partial causes of road-kill occurrences reflecting spatial characteristics. This study can be regarded as beneficial to provide objective basis for spatial decision making including road-kill occurrence mitigation policies and plans in the future.

Key Words: Logistic Regression Model, Ecological Corridor, Coverage of Fence and Retaining Wall, Predictive Accuracy

Corresponding author: Sung-Ho Kil, Dept. of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea, Tel.: +82-33-250-8342, E-mail: sunghokil@kangwon.ac.kr

국문초록

본 연구는 설악산 국립공원 내 44번 국도를 대상으로 로지스틱 회귀분석을 실시하여 로드킬이 발생한 지역의 공간적 특성을 분석하고, 분석 결과의 적합도 및 예측도를 평가하여 로드킬 발생 근본 원인을 파악하고자 하였다. 2008년부터 2013년까지 구축된 81개의 로드킬 데이터를 종속변수로 설정하고, 선행연구 및 현장조사를 통해 도출한 경사, 향, 식생, 백두대간 등의 자연환경 요인과 펜스·옹벽 등의 인공시설물, 경작지, 주거지역 등의 토지이용 변수를 독립 변수로 설정하고, 로지스틱 회귀분석을 실시하여 회귀식을 추정하였다. 식생 영급, 하천으로부터의 거리, 펜스·옹벽 등의 설치구간, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리가 로드킬에 영향을 미치는 변수로 선택되었다. 회귀모형에 포함된 모든 변수들은 유의수준($p < 0.01$)을 충족하였다. 회귀모형에서 로드킬 발생에 가장 큰 영향력을 보인 변수는 펜스·옹벽 등의 설치구간(회귀계수: -1.0135)으로 나타났으며, 가장 낮은 영향력을 보인 변수는 식생 영급(회귀계수: 0.0001)으로 나타났다. 즉, 펜스·옹벽 등의 설치 구간에서는 로드킬이 일어날 확률이 낮으며, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리가 가까울수록, 하천으로부터의 거리가 가까울수록, 식생 영급이 커질수록 로드킬 발생이 높아질 수 있다. 추정된 로지스틱 회귀모형 결과로부터 로드킬이 일어날 것이라고 옳게 예측한 확률은 74.1%, 로드킬이 일어나지 않을 것이라고 옳게 예측한 확률은 70.4%로 나타났다. 전체적으로는 옳게 분류한 확률은 72.2%로 비교적 높은 비율을 보였다. 본 연구를 통해 로드킬 저감을 위한 계획 및 정책 수립, 방지시설 설치 계획 등의 공간의사 결정에 객관적 근거로 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

주제어: 로지스틱 회귀모형, 이동통로, 펜스·옹벽 등의 설치구간, 예측 정확성

1. 서론

도시 개발, 에너지 개발, 산업단지 개발, 관광단지 개발 등의 다양한 개발과 인간의 편리한 이동을 위해 고속도로, 국도 등이 산지에 지속적으로 개발되고 있다. 이로 인해 야생동물의 서식지가 파편화되고 감소되는 실정이다(Jaeger *et al.*, 2007). 서식지 단편화 현상이 증가할수록 야생동물 서식지 면적이 작아지고, 단편화가 심화되면 야생동물 개체군이 고립되는 현상이 발생한다(Noh *et al.*, 2008). 이러한 파편화된 경관은 서식지 변화와 손실을 야기한다.

야생동물은 먹이, 번식 등을 위해 불특정 장소로 이동하고 생활하면서 종 다양성 및 생태계를 유지하지만, 증가하는 도로 건설과 차량이 야생동물의 이동을 저해하고 있다. 로드킬로 인해서 차량을 운전하는 운전자의 사망, 정신적 피해, 2차 교통사고 등도 큰 문제로 지적되고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 로드킬은 야생동물뿐만 아니라, 인간 활동과 생명에도 큰 영향을 미침에 따라 현재까지 로드킬과 관련하여 다양한 연구가 수행되고 있으며, 로드킬 방지 유도 울타리, 펜스, 이동통로, 모니터링 시스템 등 다양한 시설이 설치 및 운영되고 있다.

로드킬에 대한 선행연구는 크게 1) 야생동물 분류군, 특정 종 등에 따른 로드킬 발생특성 및 저감 방안 연구, 2) 로드킬 발생지점에 따른 주변 토지이용 유형 분석 연구 2가지로 구분할 수 있다.

야생동물 분류군, 특정 종 등에 따른 로드킬 발생특성 및 저감 방안 연구를 살펴보면 Choi and Park(2006)은 너구리, 고양이,

이, 삵, 다람쥐 등의 포유류를 대상으로 연구를 진행하였으며, 포유류 로드킬 발생지점 주변 분석을 통해 하천, 산림, 농경지와 인접한 소규모 서식지 구성요소를 고려한 도로계획 및 저감 방안을 제안하였다. 포유류를 대상으로 한 여타 연구에서는 유도울타리 설치에 따른 로드킬 변화를 분석하고, 유도울타리 설치 개선 및 관리방안을 제시한 연구(Song *et al.*, 2001)와 현장 조사를 통한 도로유형, 지형유형을 파악하고, 포유류 종별 유형 분석을 통해 이동통로 적지 및 설치유형을 제안한 연구(Lee and Lee, 2006)가 있다. 이 외에 양서·파충류 로드킬을 연구 대상으로 국립공원 내 로드킬 발생지점을 조사·분석하여 보전방안, 대안 등을 제시한 연구(Song and Oh, 2006; Song *et al.*, 2009)가 있다. Kim *et al.*(2013)은 국내의 양서·파충류 로드킬 관련 연구 동향을 분석하였는데, 그 결과, 양서·파충류에 대한 연구는 매우 적었으며, 대부분 상세 분석이나 적극적인 대안 제시보다는 현황 파악 정도로 연구되었음을 시사하였다. Korea National Park Research Institute(2013)는 전국 국립공원을 대상으로 2006년부터 2012년까지 야생동물 분류군별 로드킬 발생 현황을 분석하고, 저감 시설물 설치 필요 구간, 분류군별 설치 종류 등을 제안하였다. 이 외에도 기존의 로드킬 방지 저감시설의 실용성과 많은 건설비용 등을 문제 삼아 Noh *et al.*(2008)은 네비게이션을 통해 운전자에게 경고 메시지를 주며, 주파수를 통한 야생동물 접근을 제한하는 등의 로드킬 방지 시스템을 연구하여 기존의 저감시설보다 기술적이며 경제적으로 우수한 효과성을 시사하였으며, Yu *et al.*(2010)은 도로에 진입한 야생동물의 빠른 탈출을 위하여 일방향 통문을 연구하여 중·소형

동물의 원활한 탈출을 유도하는 기술적인 이동통로를 개발하고 검증하였다. 또한 로드킬 예방의 주요 해결책인 이동통로의 문제점, 위치선정 가이드라인 제공 등의 이동통로에 관한 연구 (Shin and Ahn, 2008; Jong, 2011)가 있다. 선행연구들은 야생동물의 크기, 서식특성, 생태적 특성 등에 의한 다양한 로드킬 양상을 확인하고 이에 따라 분류군별로 차별화된 연구의 필요성을 시사하였다. 또한 우리나라는 대형 포유류가 드물고 주로 고라니, 삥, 너구리 등의 중·소형 동물이 로드킬 피해를 가장 많이 입기 때문에 (Yu *et al.*, 2010) 로드킬 발생 주요 요인 및 이에 따른 공간적 특성 등을 파악하기에는 다소 어려운 점이 있다.

로드킬 발생지점에 따른 주변 토지이용 유형 분석 연구를 살펴보면 로드킬이 발생한 지점 및 주변 환경을 조사하여 공간 특성에 따른 로드킬 발생 빈도를 분석하거나, GIS와 통계 기법 등을 사용하여 상관관계를 분석한 연구 (Rolley and Lehman, 1992; Clevenger *et al.*, 2003; Kwon, 2006; Choi and Park, 2006; Grilo *et al.*, 2007; Coelho *et al.*, 2008; Min and Han, 2010), 다양한 선행 연구의 고찰을 통해 도로 네트워크에 의해 영향을 받는 야생동물, 서식지, 생물다양성, 도로 주변 환경 등을 분석하여 개선방안을 제시하는 연구 (Coffin, 2007; Balkenhol and Waits, 2009) 등이 있다. 위의 선행연구를 살펴보면 로드킬이 일어나는 지점을 직접 조사·분석하고, 로드킬 지점에 따라 주변 공간을 분석하여 로드킬 발생지점과 주변 공간의 환경 요소들과의 관계를 연구하였다. 또한 직접 조사를 하지 않더라도 로드킬 발생 지점과 주변 공간과의 관계를 분석하여 개선방안을 제시하였다. 하지만 대부분 빈도분석을 통해 로드킬이 일어나는 지점 주변의 기본적인 환경 특성을 파악하는데 중점을 두고 있다.

로드킬 관련 국내·외 선행연구를 살펴보면 특정 야생동물 또는 분류군별 로드킬 발생 특성에 대한 연구, 로드킬 발생지점의 주변 환경에 대한 조사와 기본적인 분석 등의 연구가 주를 이루고 있지만, 로드킬에 영향을 미치는 요인에 대한 정량적인 분석에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 로드킬 발생에 영향을 미치는 주요 요인을 밝히기 위해 로드킬 발생지점과 주변 환경 등과의 객관적이고 정량적 분석이 필요하다.

본 연구에서는 로지스틱 회귀모형을 이용하여 국립공원을 대상으로 분석을 진행하였다. 로드킬은 일어난 지점과 일어나지 않은 지점으로 명확히 구분되는 범주형 변수이기 때문에 로지스틱 회귀모형을 이용하여 로드킬이 일어나는 주요 요인을 분석할 수 있다. 이를 통해 로드킬에 영향을 미치는 토지이용, 환경 공간 등의 요인의 정량적이고 객관적인 분석이 가능하다. 이처럼 로드킬을 일으키는 주요 유의미한 변수들을 찾아, 그 변수의 중요도 확인이 본 연구의 주요 목적이라 할 수 있다. 전반적인 연구 흐름은 Figure 1과 같다.

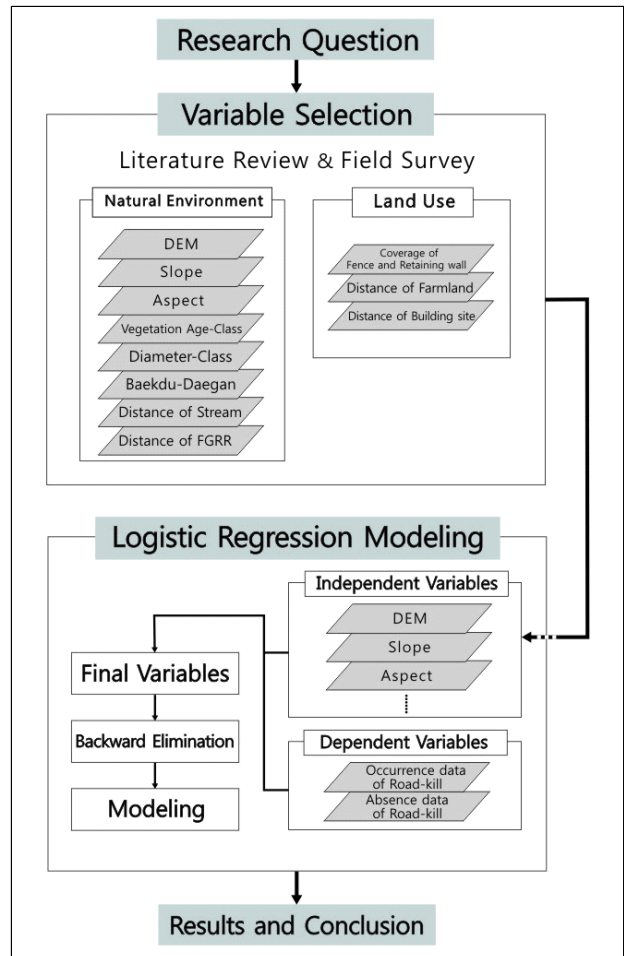


Figure 1. Flowchart of study

II. 연구 범위 및 방법

1. 연구 범위

연구 대상지는 국립공원이며, IUCN 세계자연보전연맹에서 생태계 우수성을 인정받아 카테고리 II등급으로 지정된 만큼 보전가치가 뛰어난 설악산 국립공원을 대상으로 하였다. 설악산 국립공원을 통과하는 주요 도로는 한계령을 통과하는 44번 국도와 미시령을 통과하는 56번 지방도이다. 이 중 44번 국도는 강원도 인제와 양양을 잇는 구간이며, 설악산 국립공원에서 가장 긴 구간을 통과하는 도로이다. 또한 56번 지방도에 비해 로드킬이 많이 발생한 지역으로 커브길이 많고 한계령 고개를 넘는 구간이다. 강원도 양양 오색지역이나 장수대지역을 방문하기 위한 탐방객 차량이 많으며, 가을철에는 단풍 드라이브 코스가 유명하여 차량이 많다. 따라서 본 연구의 로드킬 대상 도로는 강원도 인제군에 위치한 설악산 국립공원 내 44번 국도로 한정되었으며, 총 길이는 약 28km이다 (Figure 2 참조). 44번

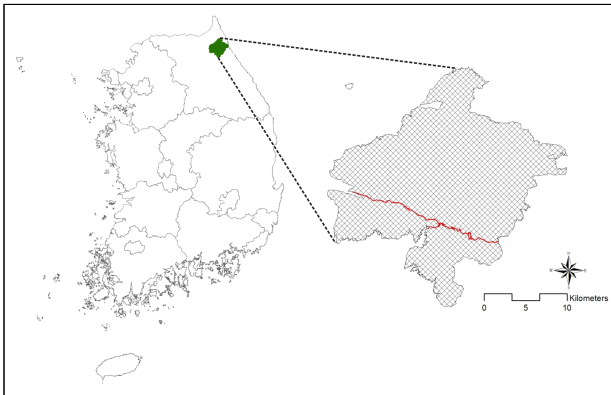


Figure 2. Study area

Legend: Seorok National Park Boundary Route 44

국도는 로드킬 방지를 위한 이동통로가 1개소 설치되어 있으며, 국립공원 관리공단은 매년 모니터링을 통해 야생동물 분류군별 이용 현황을 조사하고 있다. 이동통로는 육교형으로 조성되어 있으며, 주로 이용하는 야생동물은 대부분 포유류이다.

연구 분석에 필요한 주요 데이터인 로드킬 데이터는 야생동물 로드킬 모니터링 데이터를 기반으로 구축된 '08년부터 '13년까지의 GIS(Geographic Information System) 데이터를 설악산 국립공원 관리공단으로부터 제공 받았다. 총 107곳의 로드킬 지점 중 15곳의 로드킬 지점만 국도 44번 외 도로에서 조사되어 분석 대상에서 제외하였다. 또한 로드킬 발생 지점과 주변 환경과의 연관성이 비교적 낮은 조류는 분석 대상에서 제외하여 44번 국도 위에서 발견된 총 81건의 로드킬 데이터를 분석에 활용하였다. 조류를 제외하고 포유류와 파충류가 발견되었으며 포유류 63개체, 파충류 18개체로 확인되었다. 포유류는 다람쥐, 삵, 너구리, 담비, 족제비 등 총 10종이었으며, 너구리가 13건으로 가장 많은 포유류 로드킬 빈도를 보였다. 특히 법정보호종인 삵, 담비 또한 확인할 수 있었다. 파충류는 능구렁이, 까치살모사, 유희목이 등 총 7종이었으며, 18개체 모두 뱀목 뱀과에 속하는 종이었다. 파충류에서도 법정보호종인 쇠살모사를 확인할 수 있었다. 연도별 로드킬 발생횟수를 보면 '08년부터 '13년까지 각각 6건, 6건, 18건, 29건, 10건, 12건으로 '11년에 가장 많은 로드킬 발생횟수를 확인할 수 있었다(Table 1 참조).

로드킬에 영향을 미치는 주요 요인은 선행연구(Clevenger *et al.*, 2003; Kwon, 2006; Choi and Park, 2006; Park *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010) 분석을 통해 1차 도출 후 설악산 국립공원 현장 조사를 통해 최종 도출하였다. 현장 조사는 2014년 5월 3일, 10일, 17일 3회 실시하였으며, 현장에서 직접 인공시설물의 구간, 토지이용 현황을 GPS(Garmin 60Cx)를 이용하여 좌표를 확인한 뒤 좌표를 이용해 컴퓨터 작업을 하기 위한 GIS 데이터로 가공하였다.

2. 연구 방법

Clevenger *et al.*(2003)은 로드킬이 일어난 지점의 주변 환경을 분석하여 식생지역, 오픈스페이스, 수공간, 지형, 고도 등의 자연환경과 인공구조물, 주거지역, 교통량 등 인간의 간섭이 행해진 환경 등을 요인으로 설정하였다. 이 외 연구에서도 펜스, 옹벽, 방음벽 등의 인공구조물과 산림, 수계, 지형 등의 자연환경, 농경지, 초지, 주거지 등의 토지이용 등을 요인으로 설정하였다(Kwon, 2006; Choi and Park, 2006). 접근 방식은 다소 상이하나 야생동물 이동통로에 대한 연구(Park *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010)를 보면 야생동물이 주로 출현하는 지점에 이동통로를 설치해야 함을 언급하면서 보호지역, 생태자연도, 백두대간, 산림 등의 자연환경과 토지이용, 지형 등은 야생동물 출현에 영향을 미칠 것이라 판단하였으며, 이를 고려하여 이동통로를 설치해야 함을 시사하였다. 이상의 선행 연구에서 도출한 변수는 Table 2와 같으며, 도출 변수를 토대로 대상지 현장 조사를 통해 최종 요인을 도출하였다. 로지스틱 회귀분석을 통해, 선정된 변수들과 로드킬 발생 유무 데이터에 대한 고찰이 이루어졌다. 로드킬 발생 유무는 종속 변수로서 발생지점을 1로 하고, 미발생지점은 0으로 설정하였으며 선정된 변수를 독립 변수로 설정하여 분석하였다. 분석에 활용한 로드킬 발생지점은 81개로서 로드킬이 발생하지 않은 장소는 GIS를 이용한 임의 표본 추출방법(Random Sampling Method)을 사용하여 81개를 생성하였다. 이는 로드킬 발생지점과 미발생지점을 동일하게 함으로써 통계자료의 비대칭성을 최소화하기 위함이다(Figure 3 참조).

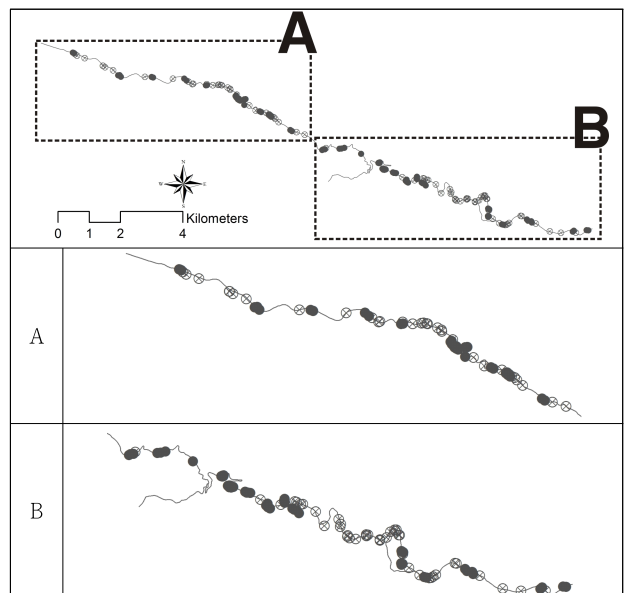


Figure 3. Occurrence & non-occurrence data of road-kill

Legend: Route 44 Occurrence Non-occurrence

Table 1. Road-kill data of Seorak National Park

No.	Detection time	Taxa	Common name	Longitude (X)	latitude (Y)	No.	Detection time	Taxa	Common name	Longitude (X)	latitude (Y)
1	2008.06.21	Mammal	Korean Hare	128.452	38.0881	42	2011.07.04	Reptile	Red Sided Water Snake	128.470	38.0826
2	2008.06.28	Reptile	Red Banded Snake	128.429	38.0894	43	2011.07.05	Mammal	Raccoon Dog	128.375	38.1069
3	2008.07.06	Mammal	Korean Water Deer	128.425	38.0894	44	2011.07.05	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.353	38.1179
4	2008.07.30	Reptile	Red Sided Water Snake	128.458	38.0934	45	2011.07.05	Mammal	Raccoon Dog	128.349	38.1181
5	2008.09.02	Reptile	Cat Snake	128.440	38.0834	46	2011.08.03	Reptile	Viper Snake	128.436	38.0944
6	2008.12.10	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.449	38.0844	47	2011.08.06	Reptile	Red Sided Water Snake	128.441	38.0868
7	2009.06.09	Mammal	Raccoon Dog	128.301	38.1273	48	2011.08.13	Reptile	Cat Snake	128.450	38.0852
8	2009.06.09	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.311	38.1238	49	2011.08.15	Mammal	Raccoon Dog	128.312	38.1234
9	2009.10.08	Mammal	Raccoon Dog	128.357	38.1184	50	2011.08.23	Reptile	Short-Tailed Viper Snake	128.443	38.0904
10	2009.10.12	Mammal	Leopard Cat	128.327	38.1245	51	2011.09.04	Mammal	Raccoon Dog	128.358	38.1164
11	2009.11.14	Mammal	Leopard Cat	128.359	38.1180	52	2011.09.06	Reptile	Cat Snake	128.443	38.0902
12	2009.11.14	Mammal	Raccoon Dog	128.355	38.1187	53	2011.09.06	Reptile	Long-tailed Lizard	128.443	38.0902
13	2010.02.15	Mammal	Raccoon Dog	128.449	38.0828	54	2011.09.06	Mammal	Korean Water Deer	128.356	38.1215
14	2010.02.25	Mammal	Leopard Cat	128.307	38.1324	55	2011.09.08	Mammal	Korean Water Deer	128.374	38.1087
15	2010.04.15	Mammal	Siberian Weasel	128.452	38.0844	56	2011.09.14	Mammal	Korean Hare	128.422	38.0952
16	2010.05.10	Mammal	Korean Water Deer	128.456	38.0938	57	2011.09.17	Reptile	Ussuri mamushi	128.447	38.0830
17	2010.07.04	Mammal	Chipmunk	128.371	38.1096	58	2011.09.17	Reptile	Red Banded Snake	128.447	38.0830
18	2010.07.25	Reptile	Viper Snake	128.459	38.0733	59	2011.09.17	Mammal	Korean Hare	128.438	38.0867
19	2010.07.26	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.434	38.0856	60	2012.03.06	Mammal	Chipmunk	128.455	38.0938
20	2010.07.26	Mammal	Raccoon Dog	128.434	38.0856	61	2012.03.25	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.352	38.1178
21	2010.07.27	Mammal	Chipmunk	128.385	38.1031	62	2012.05.15	Mammal	Chipmunk	128.450	38.0845
22	2010.08.02	Reptile	Cat Snake	128.447	38.0944	63	2012.05.21	Mammal	Korean Hare	128.438	38.0854
23	2010.08.03	Reptile	Cat Snake	128.443	38.0902	64	2012.06.07	Reptile	Cat Snake	128.458	38.0764
24	2010.08.05	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.464	38.0827	65	2012.06.21	Mammal	Korean Water Deer	128.438	38.0854
25	2010.09.13	Mammal	Leopard Cat	128.365	38.1118	66	2012.06.25	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.352	38.1178
26	2010.10.14	Mammal	Korean Water Deer	128.456	38.0849	67	2012.07.08	Mammal	Korean Water Deer	128.483	38.0736
27	2010.10.31	Mammal	Korean Hare	128.312	38.1239	68	2012.07.12	Mammal	Chipmunk	128.342	38.1185
28	2010.10.31	Mammal	Chipmunk	128.354	38.1179	69	2012.07.18	Mammal	Raccoon Dog	128.360	38.1150
29	2010.11.08	Mammal	Wild Cat	128.302	38.1269	70	2013.02.21	Mammal	Raccoon Dog	128.337	38.1194
30	2010.11.11	Mammal	Korean Water Deer	128.464	38.0827	71	2013.05.11	Mammal	Raccoon Dog	128.450	38.0845
31	2011.04.24	Mammal	Korean Hare	128.441	38.0868	72	2013.05.24	Mammal	Marten	128.441	38.0832
32	2011.04.24	Mammal	Korean Hare	128.438	38.0859	73	2013.05.24	Reptile	Viper Snake	128.428	38.0899
33	2011.05.08	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.367	38.1103	74	2013.06.21	Mammal	Chipmunk	128.393	38.0991
34	2011.05.18	Mammal	Korean Water Deer	128.478	38.0736	75	2013.06.30	Mammal	Chipmunk	128.428	38.0887
35	2011.05.24	Mammal	Korean Water Deer	128.374	38.1078	76	2013.07.05	Reptile	Viper Snake	128.344	38.1175
36	2011.05.24	Mammal	Korean Water Deer	128.315	38.1223	77	2013.07.31	Mammal	Korean Hare	128.344	38.1175
37	2011.05.24	Mammal	Cat	128.456	38.0782	78	2013.08.13	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.474	38.0741
38	2011.06.04	Mammal	Wild Cat	128.432	38.0952	79	2013.08.31	Mammal	Raccoon Dog	128.373	38.1084
39	2011.06.15	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.455	38.0937	80	2013.09.02	Mammal	Wild Cat	128.458	38.0764
40	2011.06.25	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.428	38.0933	81	2013.10.09	Mammal	Eurasian Red Squirrel	128.382	38.1039
41	2011.07.04	Mammal	Korean Water Deer	128.456	38.0849						
Classification	Taxa	Total	'08	'09	'10	'11	'12	'13	Legal Protected Species		
	Mammal	63	3	6	15	20	9	10	Leopard Cat, Marten		
	Reptile	18	3	-	3	9	1	2	Ussuri mamushi		

Table 2. The factors of road-kill of literature review

Literature review	Variable name	Description
Clevenger et al. (2003)	D_Cover	Mean distance to vegetative cover(trees and shrubs 51m high) taken from both sides of road
	D_Pass	Distance to nearest wildlife crossing structure or drainage culvert
	D_Town	Distance to nearest town
	D_Water	Distance to nearest water(wetland, lake, stream)
	Elev	Elevation
	N_Jersey	Number of Jersey barriers in roadway(road centre or edges)
	Habitat	Forest, forest-open mix, water(wetland, lake, stream), open(meadows, barren ground)
	Median	Median absent or present between lanes
	TR_Vol	High=521 000 vehicles/day, summer average daily traffic volume(SADT); moderate=11,000-14,000 vehicles/day(SADT); low=43,000 vehicles/day(SADT)
	Topog	Roadside topography
Kwon(2006)	Road structure	Distance to crossing water distribution system, distance to drainage culvert, distance to fence, noise barriers and bridge
	Geographical feature	Elevation, aspect, slope, type of road(cutting or filling or mixture)
	Land use	Farmland, bare ground, distance to forest, distance to water
Choi and Park(2006)	Land use	Farmland, forest, stream, town area, grassland
Park et al. (2009)	Forest ecology	Protected area
		Ecological map
		Conservation class of plant species
		Map of forest type
	Wildlife	Occurrence frequency of road-kil
		Distribution of protected species
		Distance to protected area of wildlife
		Number of wildlife
	Connection of ecological and topographic axis	Baekdudaegan
		Mountain range
	Habitat and resilience	Period of fragmentation
		Disturbance intensity around in fragmented area
	Road	Volume of traffic
		Radius curvature
Size		
Geographical feature	Land use	
	Cut and fill area	
Lee et al. (2010)	Facility-related factor	Proper structure type and size
		Auxiliary facilities related to wildlife passage
		Recovery on damaged facilities
	Environmental factor	Vegetation on wildlife passage
		Buffered vegetated area
		Harmony with natural terrain
	Wildlife-related factor	Species occurrence on the passage
		Wildlife abundance near the passage
	Management factor	Sings
		Monitoring devices

로지스틱 회귀분석에서 변수 선택 방법은 선행 연구(Kwon, 2006)에서 제시한 후진 제거 방법(Backward elimination)을 이용하였다. 후진 제거방법은 모든 독립변수가 모형에서 중요하지 않은 변수를 제거해 나가는 방법이다.

통계분석은 IBM SPSS Statistics 20.0을 이용하였으며, 공간 분석은 GIS ArcMap 9.3을 이용하였다. 이외 자료 정리 및 데이터 수집은 한글 2014와 Microsoft Office사의 Excel을 이용하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 변수 설정

도출한 변수는 자연환경과 토지이용으로 구분하였으며, 3회의 현장 조사를 통해 하천, 펜스·옹벽 등의 인공시설, 식당, 휴게소, 주유소 등의 건물이 44번 국도와 인접하여 위치하고 있음을 확인하였다. 도출한 최종 변수는 경사, 향, 식생 영급, 하천으로부터 거리, 백두대간 등의 자연환경 요인과 펜스·옹벽 등의 인공시설물, 경작지, 주거지역 등의 토지이용 변수로 도출하였다. 영급 및 경급은 식생과 관련된 변수로써 선행연구에서 제시한 식생변수를 본 연구에서는 영급과 경급으로 분류하였다. 자연환경 요인으로 DEM(Digital Elevation Model)은 1:1000 수치지형도를 활용하여 작성하였으며, 경사는 0°~90°까지 5단계로 구분하였다. 향은 평지와 8개 방향으로 분류하였으며, 영급 및 경급은 로드킬 발생지점과 인접한 식생 임상도를 통해 구축하였다. 또한 백두대간에 포함되는 로드킬 발생지점과 발생지점으로부터의 하천과의 거리, 산림유전자원보호림과의 거리로 자연환경 최종변수를 설정하였다. 토지이용 요인으로는

펜스·옹벽 등의 설치구간, 농지, 밭 등의 경작지로부터의 거리와 주거 및 상업지역 등의 거리로 토지이용 최종변수를 설정하였다(Table 3 참조).

2. 로지스틱 회귀모형

총 11개의 독립변수 중 후진 제거 총 7단계를 통해 최종 4개의 변수가 선정되었다. 선정된 변수들은 식생 영급, 하천으로부터의 거리, 펜스·옹벽 등의 설치구간, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리가 로드킬에 영향을 미치는 변수로 선택되었다(Table 4, Figure 4 참조).

후진 제거는 모든 변수가 포함된 로지스틱 회귀모형으로부터 불필요한 독립변수들을 하나씩 제거해 나가는데, 각 모형마다 로그-우도 모형을 고려하여 변화량의 유의확률을 확인 후, 하나씩 제거해 나간다(Park, 2002). 처음 제거된 변수는 산림유전자원보호림과의 거리였으며, 두 번째는 경사, 세 번째는 DEM, 네 번째는 향, 다섯 번째는 로드킬이 일어난 지점과 농지, 밭 등으로부터의 거리, 여섯 번째는 백두대간에 포함되는 로드킬 발생지점이 차례로 제거되었다.

선정된 4개 변수들에 대한 범위는 Table 4와 같다. 영급의 출현지점 범위는 2~6급이며, 비출현지점의 범위는 1~6급으로 나타났다. 펜스·옹벽 등의 설치구간 변수에 대해 출현지점, 비출현지점 모두 유무를 나타냈으며, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리는 출현지점 및 비출현지점 비슷한 거리의 범위를 보였다. 하천으로부터의 거리 변수에 대한 출현지점의 범위는 4.11~1,802.36m로 나타났으며, 비출현지점의 범위는 8.05~2,748.82m로 나타났다.

Table 5에 나타난 B는 로지스틱 회귀계수, S.E.는 표준오차, Wald는 Wald 테스트 결과, DF는 자유도, P-value는 유의확률, Exp(B)는 오즈비(Odds ratio)이다. 여기서 B는 로지스틱 회귀모형을 만드는데 중요한 계수로서 0에 가까우면 영향이 거의 없다고 할 수 있다. Wald 테스트는 P-value와 연관되어 있는데, P-value가 숫자 0에 가까우면 Wald 수치는 높고, Wald 수

Table 3. The Influential factors of road-kill

Classification	Variables	Literature review
Natural environment	DEM(Digital Elevation Model)	(1)(2)
	Slope	(2)
	Aspect	(2)
	Vegetation age-class	(3)(4)(5)
	Diameter-class	(3)(4)(5)
	Baekdu-Daegan	(4)
	Distance to stream	(1)(2)(3)
Land use	Distance to FGRR(Forest Genetic Resource Reserve)	(4)
	Coverage of fence and retaining wall	(2)(5)
	Distance to farmland	(2)(3)
	Distance to building site	(1)(3)

(1) Clevenger *et al.*, 2003, (2) Kwon, 2006, (3)Choi and Park 2006, (4) Park *et al.*, 2009, (5) Lee *et al.*, 2010

Table 4. The range of occurrence and non-occurrence for each variable

Variables	Range of occurrence	Range of non-occurrence
Vegetation age-class	2 class~6 class	1 class~6 class
Distance to stream	4.11m~1,802.36m	8.05m~2,748.82m
Coverage of fence and retaining wall	0, 1	0, 1
Distance to building site	14,34m~2,999.37m	10,5m~3,022.98m

치가 0에 가까우면 P-value가 1,000에 가깝다. Exp(B)는 오즈 비로서 독립변수의 증가에 따른 종속변수 수치의 발생가능성 변화를 설명한다. 따라서, 오즈비의 값이 1보다 클 경우에는 회귀계수가 양수로 나타나며, 오즈비의 값이 1보다 작을 경우에는 회귀계수가 음수로 나타난다.

회귀계수를 토대로 회귀식을 추정하였으며, 식 1과 같다.

$$\text{Logit} = 0.0001 \times A - 0.0010 \times B - 1.0135 \times C - 0.0007 \times D + 2.1089 \quad (\text{식 1})$$

여기서 A는 식생 영급, B는 하천으로부터의 거리, C는 펜스·옹벽 등의 설치구간, D는 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리를 의미한다. 회귀계수가 (+)일 경우 독립변수가 수치가 증가할수록 종속변수도 증가하며, (-)일 경우 수치가 줄어들수록 종속변수 또한 줄어든다.

식 1을 토대로 도출한 로드킬 발생 확률 식은 식 2와 같다.

$$\text{Road-kill occurrence probability} = \frac{\exp(\text{Logit})}{1 + \exp(\text{Logit})} \quad (\text{식 2})$$

회귀모형에 포함된 모든 변수들은 유의수준($p < 0.01$)을 충족하였다. 회귀모형에서 로드킬 발생에 가장 큰 영향력을 보인 변수는 펜스·옹벽 등의 설치구간(회귀계수: -1.0135)으로 나타났다. 가장 낮은 영향력을 보인 변수는 식생 영급(회귀계수: 0.0001)으로 나타났다. 즉, 펜스·옹벽 등의 설치구간에 있으면 로드킬 발생 확률은 줄어들며, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리가 가까울수록, 하천으로부터의 거리가 가까울수록, 식생 영급이 높아질수록 로드킬 발생이 높아질 수 있다.

펜스·옹벽 등은 야생동물의 이동보다는 안전시설로서의

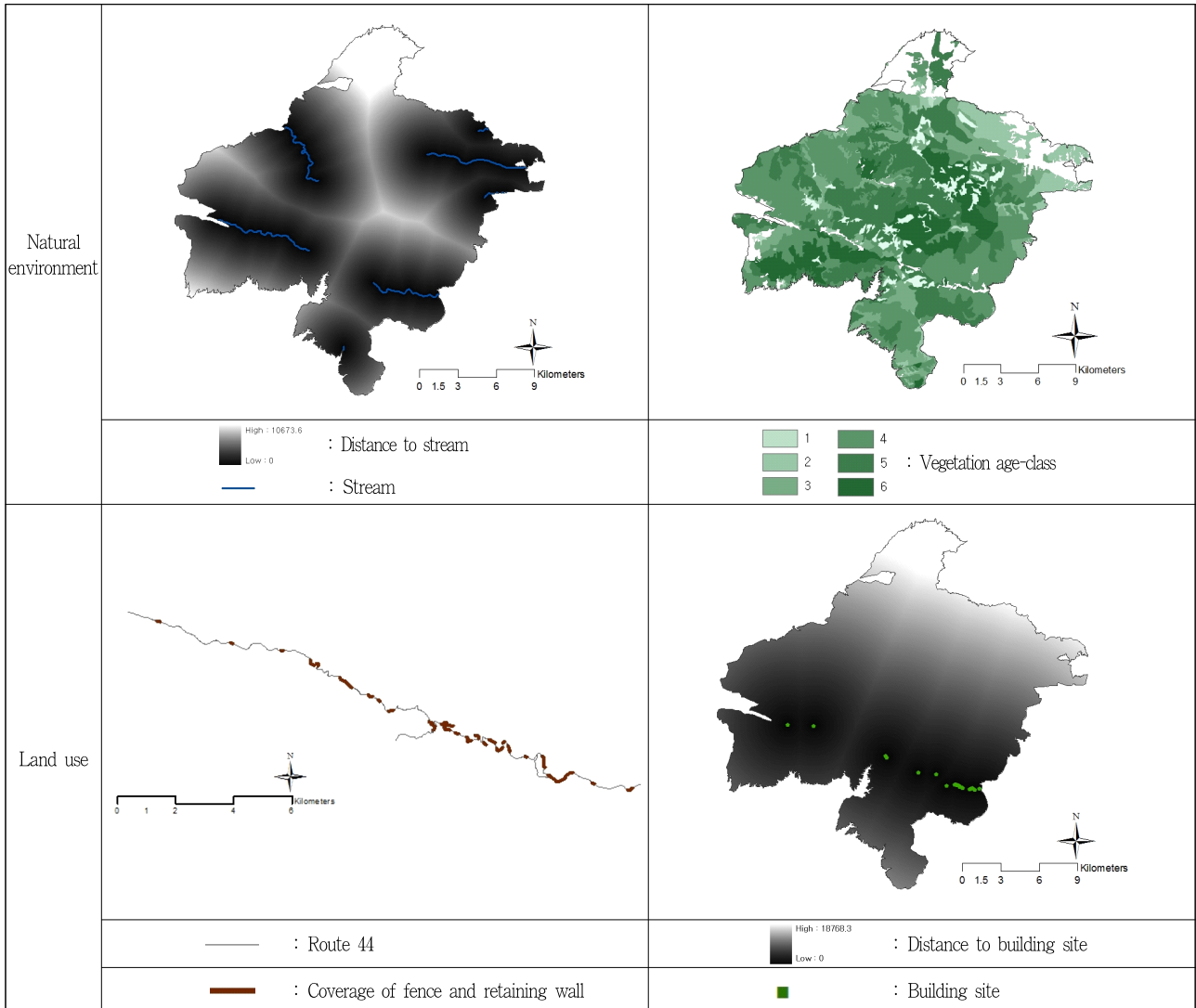


Figure 4. The influential factors of road-kill

역할을 우선하여 설치하는 것이 보편적이기 때문에, 안전시설 설치와 로드킬 발생과의 연관성은 낮을 것으로 보인다. 하지만, 본 연구에서는 펜스·옹벽 등의 설치구간에서 로드킬이 일어날 확률이 낮다는 결과가 나왔다. 이는, 시설물 설치 구간에서 야생동물이 길을 횡단할 수 없기 때문에 해당 구간에서 로드킬 발생 확률이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 하지만 Ng *et al.* (2004)은 로드킬 방지를 위해 펜스 설치 등의 단순한 개선책으로도 야생동물의 원활한 이동이 가능하다고 말하고 있다. 또한 야생동물이 이동하다가 안전시설을 발견하고, 도로에 다시 나가다가 로드킬을 당할 수 있다. 따라서 소·중·대형 및 특정 야생동물을 고려한 시설 설치 또한 필요할 것으로 사료되며, 특히, 안전시설 시점 및 종점 부분과 지역 특성을 함께 고려하여 다양한 이동통로를 설치하여야 한다. 44번 국도에 설치된 펜스, 옹벽 등은 중형 동물이 지나다닐 수 없는 가드레일이나 작은 소형 동물 또한 지나다닐 수 없는 펜스, 옹벽 등이 존재하고 있다. 고라니와 같은 중형 포유류의 경우, 도로에 진입한 후 반대편으로 이동할 때 가드레일이 있으면 도로위에서 가드레일을 따라 이동하며, 가드레일의 시작지점 또는 끝나는 지점에서 길을 횡단한다. 때문에 길이가 길게 만들어진 하나의 가드레일 설치보다는 여러 개의 가드레일을 설치하여 가드레일 구간 곳곳에서 길을 횡단할 수 있도록 개선방안을 마련해야 한다. 펜스의 경우, 해당 지점에 야생동물의 이동을 막기 위해 설치된 경우가 대부분이기 때문에, 유도시설을 설치하여 도로를 횡단할 수 있도록 해야 한다.

주거지역·건물 등의 시설로부터 가까울수록 로드킬이 발생할 확률이 높은 것은 현장조사를 통해 추측할 수 있었다. 대부분의 건물은 식당, 관광 농원, 주유소, 휴게소로써 차량이 정차하거나 자주 드나드는 등 이동량이 많은 것을 확인할 수 있지만, 차량의 출발과 정차를 위한 속도 저감으로 인해 로드킬 발생 확률이 낮아질 것으로 판단된다. 하지만 선행 연구에서와 마찬가지로 Choi and Park(2006)은 토지이용 유형별 로드킬을 분석한 결과, 초지와 인접한 도로 다음으로 주거지와 인접한 도로에서 가장 많은 로드킬 발생을 확인하였으며 Lee and Lee (2006)는 삼과 같은 일부 식육목 동물은 양계장과 같은 먹이 공급처가 있는 마을 주변에 주로 출현함을 확인하였다. 본 연

구에서도 건물 주변의 먹이 또는 평탄한 지형 등에 따라 로드킬이 발생했을 것으로 사료된다. 따라서, 주거지역·건물 주변의 먹이 공급처 관리와 주변 지역의 야생동물 보호 표지판이나 야생동물 유도 울타리, 이동통로 등의 인공구조물 설치에 대한 검토가 필요하다.

물은 야생동물에게 서식지, 식수, 먹이, 휴식처, 피난처 제공 등 다양하고 큰 영향을 미친다. 이처럼 야생동물은 육지와 물을 자주 이동하며 생활하는 만큼, 본 연구에서도 하천에서 가까울수록 로드킬이 발생할 확률이 높게 나타났다. Lee and Lee (2006)는 지형의 유형에 따른 로드킬 종 및 개체 수를 분석한 결과, 다른 유형에 인접한 도로보다 산림에서 하천으로 가는 도로에 족제비, 너구리, 삥과 같은 식육목 동물이 73%나 로드킬 됴을 확인하여 산림에서 하천으로 가는 길에 우선적으로 이동통로를 설치해야 함을 제안하였다. Song *et al.*(2009)은 환경에 의한 양서류 로드킬 발생 현황을 분석한 결과, 산림에서 하천으로 구성된 환경에서 로드킬이 빈번히 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 산림에서 하천으로 가는 길은 야생동물의 원활한 서식을 위하여 이동을 제한할 수 없다. 특히 44번 국도는 하천과 인접해 있을 뿐 아니라, 조성 방향이 유사하기 때문에 하천 인접 도로의 생태통로, 유도펜스 설치 등의 검토가 더욱 요구된다.

44번 국도 인접 지역의 식생 영급에 대해 분석한 결과, 영급이 높아질수록 로드킬 발생 확률이 높게 나타났다. 영급은 수령에 따라 1~10년까지를 1영급이라 하고, 10년 간격으로 영급이 높아진다. 영급이 높을수록 식생보전상태가 양호하다고 할 수 있으며, 따라서 야생동물의 서식 잠재 가능성이 높다고 말할 수 있다. 산림에서 농경지, 하천 등으로 이동하다가 대부분의 로드킬이 발생(Lee and Lee, 2006; Song *et al.*, 2009)하는 등 도로에 인접한 지형 중 산림이 야생동물에 많은 영향을 미치며, 특히 우수한 식생자원 근처에서 야생동물의 출현이 빈번하며, 이를 고려한 로드킬 저감대책에 대한 검토가 필요하다.

무엇보다 법정보호종인 삥, 담비 등의 포유류와 쇠살모사인 파충류의 로드킬 발생을 확인할 수 있었는데, 법정보호종의 모니터링, 계절별 활동 행태 및 이동 특성 등을 분석하여 이동통로를 설치할 필요성이 있으며, 복원대상지역, 핵심보전지역, 도

Table 5. Result of logistic regression analysis

Variables	B	S.E.	Wald	DF	P-value	Exp(B)
Vegetation age-class	.0001	.000	7.665	1	.006	1.000
Distance of stream	-.0010	.000	9.544	1	.002	.999
Coverage of fence and retaining wall	-1.0135	.385	6.913	1	.009	.363
Distance of building site	-.0007	.000	7.531	1	.006	.999
Constant	2.1089	.454	21.603	1	.000	8.239

B: Logistic coefficient, S.E: Standard error, Wald: Wald statistic, DF: Degree of freedom, P-value: Probability value, Exp(B): Odds ratio

로로 인해 단절이 심한 지점 등과 로드킬 발생 확률이 높은 지역 등을 함께 고려하여 이동통로를 선정하여 생태네트워크에도 기여할 수 있어야 한다. 또한 설악산 국립공원에서 발견된 종은 다람쥐, 너구리, 족제비, 고라니, 살모사 등의 다양한 종을 확인할 수 있었으며, 종별 서식특성에 차이가 있기 때문에 생태적 특성을 반영한 로드킬 저감방안을 마련해야 한다.

3. 로지스틱 회귀모형의 정확성

정확성은 분류정확도를 통한 예측 효율성 평가와 ROC 커브를 통한 모형에 대한 설명력을 확인하였다. 예측 효율성 평가는 로지스틱 회귀모형으로부터 예측된 값과 실제 일어난 값과의 비교를 통해 확률식으로 계산된다. 이 회귀모형을 통해 나타난 사례 81개를 재분류를 하였다. 이 모형에서 로드킬이 발생하지 않을 것으로 예측한 곳과 실제 로드킬이 발생하지 않은 곳이 57개, 이 모형에서 로드킬이 발생한다고 예측하였지만, 실제로는 발생하지 않은 24개의 사례를 확률로 계산하여 로드킬이 발생하지 않은 확률 70.4%를 도출하였다. 결과적으로 로드킬이 일어날 것이라고 옳게 예측한 확률은 74.1%, 로드킬이 일어나지 않을 것이라고 옳게 예측한 확률은 70.4%로 나타났다. 전체적으로는 옳게 분류한 확률은 72.2%로 비교적 높은 비율을 보였다(Table 6 참조). 하지만, Kwon(2006)의 결과, 79.5%에 비해 다소 낮은 수치이다. 그 이유는 위 연구가 특정 종인 너구리를 대상으로 하였고, 변수의 척도가 본 연구의 방법과 상이하게 적용되었기 때문으로 판단된다.

ROC(Receiver Operation Characteristic) 곡선을 이용하여 모형의 성능을 평가하였는데, 45° 직선을 기준으로 위 부분에 조성된 선이 본 연구의 ROC 곡선 값이다(Figure 6 참조).

ROC 곡선의 AUC(Area Under the ROC) 값을 통해 얼마나 정확하게 검증하였나를 나타내는데 AUC 값을 제시함으로써 정확성 확률과의 관계를 나타낸다. 이러한 AUC 값은 동물 이동과 관련된 생태 환경 조사에 대한 정확성 검증을 위하여 많이 이용되고 있다(Seo *et al.*, 2008; Lee and Kim, 2010; Song, 2011; Kwon *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2012; Song and Kim, 2012). 본 연구에서의 AUC는 78.8%($p < 0.01$)로 비교적 높은 설명력을 보였다(Table 7 참조).

Table 6. Classification accuracy

	Observed	Predicted		Percentage correct (%)
		.00	1.00	
	.00	57	24	70.4
	1.00	21	60	74.1
	Overall percentage			72.2

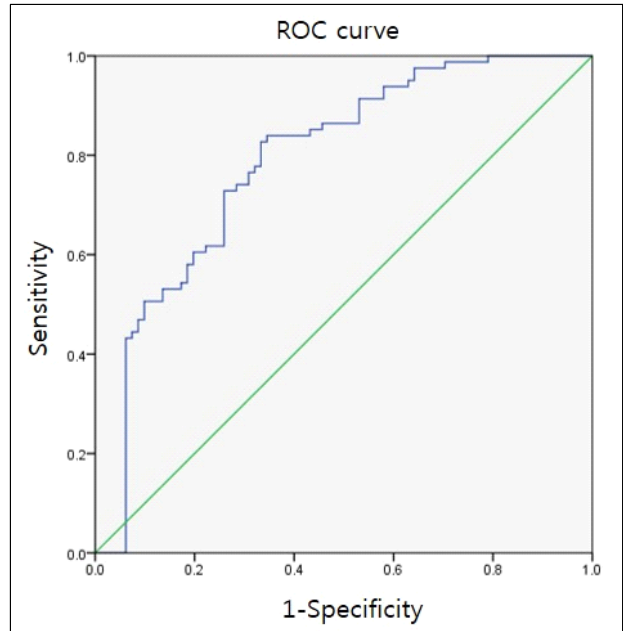


Figure 5. Result of ROC curve

Table 7. The area under and ROC curve

AUC	S.E.	P-Value	95% CI	
			The lowest limit	The upper limit
.788	.036	.000	.717	.859

ROC 곡선에 의한 AUC 수치는 해당 모형의 설명력을 말하며, 분류정확도에 의한 확률은 사례에 기반한 예측 효율성을 말한다. 즉, 분류정확도에 의한 확률은 모형에 대한 설명력을 말하는 것이 아니라, 실제 일어난 사례와 예측된 사례와 비교된 확률로 볼 수 있다. 이 두 수치를 본 이유는 분류정확도를 통해 현재 일어난 로드킬 발생지점과 해당 모형과의 비교를 통한 예측효율성을 확인해 볼 수 있다는 점과 해당 모형에 대한 설명력을 AUC를 통해 확인해 볼 수 있기 때문에 사용되었다.

IV. 결론

본 연구는 로드킬에 영향을 미치는 토지이용, 환경적 공간 특성 등을 정량적이고 객관적으로 분석하여 로드킬 발생의 근본적인 원인을 파악하고자 하였다. 로지스틱 회귀분석을 실시하여 로드킬이 발생한 지역의 공간적 특성을 분석하고, 분석 결과의 적합도 및 예측도를 평가하였다.

선행연구 및 현장조사를 통해 설악산 국립공원에서 발생한 로드킬에 영향을 주는 변수를 도출한 결과, 경사, 향, 식생, 백두대간 등의 자연환경 요인과 펜스·옹벽 등의 인공시설물, 경

작지, 주거지역 등의 토지이용으로 도출되었으며, 로지스틱 회귀분석을 통해 위 변수들 중 펜스·옹벽 등의 변수와 식생 영급, 하천, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리가 로드킬에 영향을 미치는 변수로 선택되었다. 로드킬 발생에 가장 큰 영향력을 보인 변수는 펜스·옹벽 등의 설치구간으로 나타났으며, 가장 낮은 영향력을 보인 변수는 식생 영급으로 나타났다. 즉, 펜스·옹벽 등의 설치 구간에서는 로드킬 발생 확률이 줄어들며, 주거지역·건물 등의 시설로부터의 거리가 가까울수록, 하천으로부터의 거리가 가까울수록, 식생 영급이 커질수록 로드킬 발생 확률이 높아짐을 확인할 수 있었다.

로드킬에 대한 선행연구는 로드킬 예방을 위한 다양한 시설의 문제점 도출 및 개선방안에 대한 연구, 로드킬 발생지점 주변 기본환경 분석을 통한 로드킬 발생과 환경과의 관계 규명을 위한 연구가 주를 이루었지만, 로드킬 발생 주요 요인 및 이에 따른 공간적 특성 등을 파악하기에는 다소 어려운 점이 있었다. 하지만 본 연구를 통해 설악산 국립공원 로드킬에 영향을 미치는 요인을 영향력에 따라 구분할 수 있었다. 도출한 결과를 토대로 동물의 주요 이동 반경, 특성 등을 고려한 펜스·옹벽 등이 설치되어야 할 것이다.

주거지역·건물 등의 조성 지역에 야생동물 보호 표지판이나 야생동물 유도 울타리, 이동통로 등의 인공구조물 설치, 하천 인접 도로에 배수용 수로 등의 암거를 통한 이동 통로 설치, 우수한 식생자원 근처의 로드킬 저감에 대한 전반적인 대책 마련이 필요하다.

본 연구에서는 포유류 63개체, 파충류 18개체를 대상으로 연구를 진행하였으나, 분류군별 먹이를 위한 이동, 서식을 위한 이동, 번식을 위한 이동 등 각 야생동물의 행동권을 고려하지 못한 점, 계절별 동물 이동 패턴이 달라질 수 있음을 고려하지 못한 점, 교통량의 증감에 따라 로드킬이 다르게 나타날 수 있는 점, 맹거, 배수관 등을 고려하지 못한 한계점이 있다. 추후 연구에서는 분류군별 또는 주요 종별로 로지스틱 회귀모형을 적용하거나, 기타 방법을 이용하여 로드킬에 영향을 미치는 요인을 분류군별로 밝힐 필요성이 있다.

국립공원뿐만 아니라 우리나라는 국토의 약 70%가 산지로 이루어진 지형적 특징으로 인해 산지에 조성되어 있는 도로 관리, 추가 도로 건설 계획 등에 따른 로드킬에 대한 저감 대책이 지역에 따라, 주변 환경과 여건 등에 따라 수립되어야 한다. 이에 본 연구를 통해 로드킬 발생 요인의 영향력에 따른 영향 요인 구분, 고려 우선순위 등의 도출이 가능하였으며, 각 선정된 변수의 영향력을 확인하여 이동통로가 필요한 장소 설정 및 현명한 야생동물 보호 및 관리를 위한 의사결정 지원이 가능할 것으로 판단된다. 또한 로드킬 저감을 위한 계획 및 정책 수립, 방지사설 설치 계획 등의 공간의사결정에 객관적 근거로 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

References

- Balken, N. and L. Waits(2009) Molecular road ecology: Exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Molecular Ecology* 18(20): 4151-4164.
- Choi, T. Y. and C. H. Park(2006) The effects of land use on the frequency of mamma roadkills in Korea. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 34(5): 52-58.
- Clevenger, A. P., B. Chruszcz and K. E. Gunson(2003) Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation* 109(1): 15-26.
- Coelho, I. P., A. Kindel and A. V. P. Coelho(2008) Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *Eur. J. Wildl. Res.* 54: 689-699.
- Coffin, A. W.(2007) From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15(5): 396-406.
- Griolo, C., J. A. Bissonette and M. Santos-Reis(2007) Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: Consequences for mitigation. *Biological Conservation* 142(2): 301-313.
- Jaeger, J. A. G., H. -G. Schwarz-von Raumer, H. Esswein, M. Müller and M. Schmidt-Lüttmann(2007) Time series of landscape fragmentation caused by transportation infrastructure and urban development: A case study from Baden-Württemberg, Germany. *Ecology and Society* 12(1): 22.
- Jong, J. C.(2011) Spatial analysis for the assessment of optimum place of eco-bridge. *Journal of Environmental Impact Assessment* 20(5): 697-703.
- Kim, J. H., C. W. Seo, H. S. Kwon, J. E. Ryu and M. J. Kim(2012) A study on the species distribution modeling using national ecosystem survey data. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(4): 593-607.
- Kim, S. B., I. H. Kim, H. J. Lee, J. K. Kim and D. S. Park(2013) Review of amphibian and reptile road-kill studies in South Korea. *Korean Journal of Herpetology* 5(1): 33-44.
- Korea National Park Research Institute(2013) Korea National Park Wildlife RoadKill Reduction Measures Report. Korea National Park Research Institute Report.
- Kwon, H. S.(2006) Causes and Reductions of the Raccoon Dog Road-kill Occurrence. Master Thesis, Seoul National University, Korea.
- Kwon, H. S., C. W. Seo, and C. H. Park(2012) Development of species distribution models and evaluation of species richness in Jirisan region. *The Korea Society For Geospatial Information System* 20(3): 11-18.
- Lee, D. K. and H. G. Kim(2010) Habitat potential evaluation using Maxent model -Focused on riparian distance, stream order and land use-. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 13(6): 161-172.
- Lee, J. Y., P. H. Rho and J. W. Lee(2010) Using AHP to analyze the evaluation factors related to wildlife passage management. *Kor. J. Env. Eco.* 24(6): 763-771.
- Lee, Y. H. and J. R. Kim(2004) A proposal of the evaluation method for rock slope stability using logistic regression analysis. *Journal of Korean Society for Rock Mechanics* 14(2): 133-141.
- Lee, Y. W. and M. W. Lee(2006) Eco-corridor positioning for target species-by field surveying of mammals' road-kill-. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 9(3): 51-58.
- Min, J. H. and G. S. Han(2010) A study on the characteristics of road-kills in the Odaesan National Park. *Kor. J. Env. Eco.* 24(1): 46-53.
- Ng, S. J., J. W. Dole, R. M. Sauvajot, S. P. D. Riley and T. J. Valone(2004) Use of highway undercrossings by wildlife in southern

- California. Biological Conservation 115(3): 499-507.
20. Noh, Y. D., E. S. Jeong, J. S. Lee and K. H. Kim(2008) A study on the roadkill prevention system based on the web services. Korea Information Processing Society Review 15(6): 873-878.
 21. Park, J. H., H. S. Yoo and M. Y. Park(2009) A study on assessment items analysis for eco-corridors' area -Using the analytic hierarchy process-. Journal of Environmental Impact Assessment 18(5): 301-312.
 22. Park, S. H.(2002) Hangu SPSS. Seoul: SPSS Academy.
 23. Rolley, R. E. and L. E. Lehman(1992) Relationships among raccoon road-kill surveys, harvests, and traffic. Wildl. Soc. Bull. 20(3): 313-318.
 24. Seo, C. H., Y. R. Park and Y. S. Choi(2008) Comparison of species distribution models according to location data. The Korea Society For Geospatial Information System 16(4): 59-64.
 25. Shin, S. A. and T. M. Ahn(2008) Approach to the location of wildlife corridors on highways-between Yang-jae and Pan-gyo ICs of Seoul-Busan highway, Korea. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech, 11(2): 19-27.
 26. Song, J. S., K. J. Lee, K. S. Ki and I. Y. Jun(2001) The efficiency and improvement of the highway wild-life fences for decrease of mammals road-kill -In case of Manjong~Hongchun section on Jungang highway-. Kor. J. Env. Eco. 25(5): 649-657.
 27. Song, J. Y. and H. S. Oh(2006) Current status of road-killed amphibian and reptile and conservation plans in Songgye Valley, Woraksan National Park. Kor. J. Env. Eco. 20(4): 400-406.
 28. Song, J. Y., M. S. Kim, I. S. Kim, T. H. Kim, I. Roh, S. W. Seo, E. K. Seo, J. K. Seo, J. Y. Yang, K. D. Woo, H. J. Won, Y. G. Lee, Y. H. Lim, S. H. Han and M. G. Moon(2009) Roadkill of amphibians in the Korea National Park. Kor. J. Env. Eco. 23(2): 187-193.
 29. Song, W. K. and E. Y. Kim(2012) A comparison of machine learning species distribution methods for habitat analysis of the Korea water deer(*Hydropotes inermis argyropus*). Korean Journal of Remote Sensing 18(1): 171-180.
 30. Song, W. K.(2011) Habitat Network Modeling of Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) based on the Spatial Graph Theory. Doctoral Thesis, Seoul National University, Korea.
 31. Yu, S. H., Y. J. Lee, J. J. Park, D. G. Woo, S. G. Yim and J. H. Park(2010) Development and test of the usefulness of a developing one-way gate for mitigation of wildlife road-kill. Pro. Kor. Soc. Env. Con. 20(2): 246-249.

Received : 1 December, 2014

Revised : 19 December, 2014 (1st)

3 June, 2015 (2nd)

25 November, 2015 (3rd)

24 May, 2016 (4th)

Accepted : 24 May, 2016

3인익명 심사필