

Research Paper

야생동물 서식지 패치와 로드킬 핫스팟의 상관관계 연구

석상묵 · 이지영

서울시립대학교 공간정보공학과

A Study on the Correlation between Road-kill Hotspot and Habitat Patches

Sangmuk Seok · Jiyeong Lee

Department of Geoinformatics, University of Seoul

요약 : 도로의 개발 등과 같은 선형적인 개발로 인해 생태계 파편화 현상이 발생함에 따라 야생동물 로드킬이 지속적으로 발생하고 있다. 이에 정부는 로드킬 저감대책의 일환으로 생태통로 및 유도펜스, 경고표지판 등 다양한 구조물의 설치를 통해 로드킬 저감방안을 마련하고 있다. 그러나 그간 국내에 설치되어 온 많은 구조물들은 입지선정 및 목표종 선정, 관리 등의 미흡으로 인해 그 실효성에 대하여 많은 문제점이 제기되어 왔다. 이러한 정책의 효과를 높이기 위해서는 로드킬 저감을 위한 구조물 설치구역 선정 시 실제 이용 대상이 되는 목표종의 선정 및 분석이 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 로드킬 지점과 야생동물 서식지 패치 간의 관계성을 파악하여 야생동물 서식지 패치의 공간적 위치가 로드킬 저감을 위한 정책 마련 시 중요한 요소 중 하나로 활용될 수 있음을 제시하고자 하였다. 본 연구의 목표종은 선행연구를 통해 오대산 국립공원의 다람쥐로 선정하였으며, 다람쥐의 서식지 선호도 분석을 통해 서식변수를 선정·중첩하여 다람쥐 서식지 패치를 도출하였다. 이후 로드킬 발생지점 정보와 Getis-Ord G_i^* 분석을 활용하여 로드킬 핫스팟을 도출하고, 서식지 패치-도로 간의 거리와 $G_i Z$ -score 간의 상관분석을 통해 두 변수 간의 상관관계를 파악하였다. 그 결과 두 변수 사이의 부적 상관관계가 나타남에 따라 서식지 패치와 도로가 인접할수록 $G_i Z$ -score가 높아지는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

주요어 : 로드킬, 상관분석, 서식지 패치, 핫스팟, Getis-Ord G_i^*

Abstract : The ecosystem fragmentation due to transportation infrastructure causes road-kill phenomenon. When making policy for reducing road-kill it is important to select target-species in order to enhance its efficiency. However, many corridors installed in Korea have been raised issues about their effectiveness due to lack of considerations such as target-species selection, site selection, and management, etc. In this study, we are to grasp relationship between road-kill area and habitat patches and suggest that spatial location of habitat patches should be considered as one of the important factors when making policy for reducing road-kill. Habitat patches were presumed from overlying suitability index that chosen by literature review and road-kill hotspot was determined by Getis-Ord G_i^* analysis. Afterwards, we performed a correlation analysis between $G_i Z$ -score and the

distance from habitat patches to the roads. As a result, there is a negative correlation between two variables, It affects the G_i Z-score going up if the habitat patches and the roads become closer.

Keywords : Road-kill, Correlation analysis, Habitat patches, Hotspot, Getis-Ord G_i^*

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

생태계의 파편화(Ecosystem fragmentation) 현상은 하나의 생태계가 여러 개의 작고 고립된 생태계로 분할되는 현상으로, 주로 도로·철도 등의 선형적인 개발 행위에 의해 발생한다(환경부, 2003). 특히 도로는 서식지 파편화 현상과 함께 많은 종을 위협하는 가장 파괴적인 단일 요소로서(Noss, 1993), 오늘날 도로로 인해 고립된 야생동물이 도로를 횡단하는 과정에서 운송수단에 치어 죽는 로드킬(Road-kill) 현상이 지속적으로 발생하고 있다. 이러한 현상을 방지·저감하기 위해 국내에서는 생태통로(Wildlife crossing structure) 및 유도펜스(Wildlife-proof fence), 도로 횡단 보완시설, 경고 표지판 등 다양한 구조물의 설치를 통해 로드킬 저감대책을 마련하고 있다.

2013년 국립공원연구원 보고서에 따르면 2006년 양서류를 대상으로 한 생태통로 설치 이후, 양서류 로드킬이 2006년 986개체에서 2012년 71개체로, 약 92% 감소한 것으로 나타났다(국립공원연구원, 2013). 이처럼 야생동물의 로드킬 저감방안으로서 조성되고 있는 구조물은 실제 이용 대상이 되는 목표종의 선정에 따라 그 효율성이 높아질 수 있다. 환경부 생태통로 설치 및 관리지침에 따르면 생태통로 조성 시 목표종에 관한 조사가 선행되도록 하고 있으며, 목표종에 따라 구조물의 형식 등을 결정하여 설치하도록 명시하고 있다(환경부, 2010). 그러나 실제로 조성되어 있는 많은 생태통로는 목표종을 선정하지 않고 무분별하게 설치되는 경우가 많았으며, 선정한다 하더라도 종의 이동습성이나 산란, 서식장소와 같은 목표종의 생태적 특성 및 위치, 폭의 규모 등에 관한 고려가 미흡했기 때문에 그 실효성에 논란이 제기되고 있다(서울시정개발연구원, 2006; 환경부, 2011).

이에 본 연구는 목표종의 서식지 패치와 로드킬 지점 간의 관계성을 규명하여 이를 야생동물 로드킬 저감을 위한 구조물의 공간적 위치결정에 관한 주요요인 중 하나로서 제시하는데 목적이 있다.

2. 연구범위 및 구성

본 연구에서는 서식지 패치-도로와 로드킬 간의 관계성을 규명하기 위해 (1) 관련 선행연구 조사를 통해 연구의 차별성을 제시하고, (2) 연구지역 및 목표종을 선정하여 서식적합특성에 목표종 서식지 패치를 도출하였으며, (3) 로드킬 현황자료를 기반으로 로드킬 핫스팟을 도출하고, (4) 서식지 패치-도로 간의 거리를 산정하여 로드킬 핫스팟 간의 상관관계를 알아보았다. 본 연구의 서식지 패치 추정을 위한 서식변수 및 가중치 선정에 관한 사항은 선행연구 및 문헌 조사 위주로 수행되어 연구지역에 대한 실제 현장조사가 병행되지 않았기 때문에, 연구결과의 정량적인 정확도 검증에 관한 사항은 본 논문에서 다루지 않는다.

II. 관련연구

국내에서 수행된 로드킬 저감에 관한 연구는 로드킬 저감방안으로 설치되는 구조물의 설치 구역 결정에 관한 적지분석, 생태통로와 같은 도로 횡단 구조물의 유형과 규격 또는 식생의 배치 등과 같은 내부설계에 관한 연구, 그리고 기 설치된 구조물의 효율성 검증에 관한 연구 등으로 구분할 수 있다.

본 연구는 야생동물 서식지 패치를 로드킬 저감 대책으로 설치되는 구조물의 공간적 위치결정에 관한 주요 요인으로 제시하는 것을 목적으로 하고 있으므로, 이 장에서는 로드킬 저감대책 마련을 위한 적지분석에 관한 선행연구를 검토하여 연구의 차별성을 제시한다.

1. 로드킬 저감대책 마련을 위한 적지분석

로드킬은 특성상 차량이 이동하는 도로위에서 발생하는 현상으로, 로드킬의 발생요인은 차량의 통행량, 주행속도와 같은 교통·도로 요인과 더불어 경관의 공간적 패턴, 동물 종의 생태학적 요인 등으로 다양하게 나타난다(최태영, 2007). 이와 같은 특징으로 인해 로드킬 발생 원인을 단일 설명변수로 결론짓기에는 무리가 있다. 이에 로드킬 저감대책 마련을 위한 적지분석은 다양한 관점에서 로드킬이 발생하는 요인을 도출하여 취약한 지역에 대해 사전 예방책을 제시하는 것으로 수행되고 있다.

박종준 등(2012)은 동물 종의 이동습성에 따른 관점에서 원격 무선추적을 통해 구축된 자료를 기반으로 *Prionailurus bengalensis euptilura*의 이동 특성을 분석하여 예상 이동경로를 추정하고, 이에 따라 로드킬이 발생할 가능성이 높은 지역에 대해 로드킬 저감대책을 제시하였다(박종준 등, 2012). 또 다른 관점에서는 현황자료에 입각하여 주변 환경과 로드킬 간의 관계성을 도출하는 연구로, 축적된 로드킬 자료를 기반으로 사고 발생 현황을 도로의 유형, 제한속도, 통행량, 토지이용, 피해 동물종 등에 따라 로드킬 특성을 분류하고 저감대책을 마련하는 방법으로 수행되어 왔다(이용욱·이명우, 2006; 신수안·안동만, 2008; 최태영 등, 2012).

2. 연구의 차별성

2.1에서 나타나듯이 국내의 로드킬 저감대책 마련을 위한 적지분석에 관한 연구는 주로 로드킬 현황자료 및 야생동물의 공간이용 정보와 같이 장기간 축적된 자료를 기반데이터로 활용하여 적지로 선정하는 방식으로 수행된 것을 알 수 있다. 이러한 방법론은 로드킬이 발생하는 원인에 대하여 미시적(microscopic) 관점으로 접근하여 단일 지역/대상에 대해 축적된 대량의 데이터를 기반으로 수행됨에 따라 연구결과가 보다 정밀하고 신뢰성이 높은 장점을 가진다. 그러나 기반 데이터를 구축하는데 소요되는 시간이 적지 않고 단일 지역/대상으로 연구결과를 도출하고 있기 때문에 연구범위가 매우 한정적일 수 있다. 따라서 연

구결과를 광역적인 계획에 동일하게 적용하기에는 한계점이 존재하여 결과적으로 연구 성과의 재활용성이 낮다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 로드킬 지점과 야생동물 간의 관계성 분석을 통해 로드킬이 발생하는 원인에 대해 거시적(macroscopic)으로 접근하여 광역적으로 활용할 수 있는 연구결과를 도출하고자 한다. 이를 위해 목표종 서식지 패치를 추정하고 로드킬 핫스팟과의 상관분석을 통해 두 변수간의 관계성을 규명한다. 이 과정에서 두 변수의 특정 상관관계가 나타나고 유의한 것으로 판단될 경우 서식지 패치의 공간적 위치를 로드킬 저감을 위한 구조물 설치 시 고려할 수 있는 중요한 요소로서 활용될 수 있음을 시사할 수 있다. 또한 이에 따라 도출된 목표종 서식지 패치는 여러 지역에 대해 반복적으로 적용·활용할 수 있으므로, 기존 방법론에 비해 상대적으로 연구 성과의 재활용성이 높은 차별성을 가진다.

III. 연구자료 및 방법

1. 연구자료

본 연구에서는 야생동물 서식지 패치 추정 및 로드킬 핫스팟 분석을 위해 야생동물 로드킬 현황 자료와 수치지도 및 각종 생태현황자료를 활용하였다.

야생동물 로드킬 현황자료 및 임상도는 국립공원관리공단 (Korea National Park Service)으로부터 제공받은 오대산 국립공원에서 발생한 로드킬 현황 자료를 활용하였다. 이 자료는 2006년 4월부터 2014년 6월까지 오대산 국립공원에서 발생한 야생동물 로드킬 발생구간 및 발생지점, 목격일시, 분류명, 종명, 개체 수 등을 표기하고 있다.

서식지 패치 추정을 위해 사용한 생태현황자료는 (1) 임상도(영급(Age class, 齡級) 경급(Diameter class, 徑級), 임상(Forest physiognomy, 林相)), (2) 토지피복(Ground coverage, 土地被覆)이다. 임상도는 국립공원관리공단에서 제공하는 오대산 국립공원 지역을 대상으로 구축된 데이터를 활용하였으며, 토지피복도는 국가 수자원관리 종합정보시스템(<http://>

www.wamis.go.kr/)에서 제공하는 국내 전체를 대상으로 구축된 자료를 활용하였다. 그밖에 도로 등에 관한 자료는 국토지리정보원(National Geographic Information Institute, NGII)에서 제공하는 1/5000 연속수치지도를 활용하였다.

2. 연구방법

본 연구는 서식지 패치와 로드킬 지점 간의 관계성을 도출함에 목적이 있으므로, 연구가설은 “야생동물의 로드킬 핫스팟은 서식지 패치-도로 간의 거리와 상관관계가 존재한다.”로 정의한다. 연구지역 및 목표종의 선정은 국립공원 로드킬 현황 데이터를 활용하였으며, 결정된 종의 서식 선호도에 관한 선행연구 결과를 기반으로 목표종에 따른 서식변수(Suitability Index, SI)를 최종 선정하였다. 이후 서식변수의 중첩을 통해 목표종 서식지 패치를 추정하였으며, 로드킬 지점에 대한 Getis-Ord G_i^* 분석을 통해 핫스팟(Hotspot)을 도출하였다. 마지막으로 추정된 서식지 패치-도로 간의 거리와 로드킬 핫스팟의 상관분석을 통해 두 변수 간의 상관관계를 알아보았다. 연구수행 절차는 Figure 1과 같다.

(1) 연구지역 선정

2013년 국립공원연구원의 연구보고서에 따르면 오대산 국립공원은 2006년부터 2012년까지 총 788개체의 로드킬이 발생한 전국 국립공원 중에서 로드킬 발생률이 두 번째로 높은 지역으로, 로드킬 발생

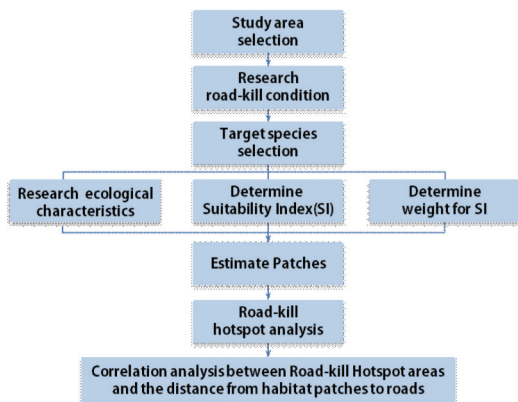


Figure 1. Research process

Table 1. Road-kill condition of Mt. Odae national park

Fauna		Road-kill condition (cases)	
Mammalia	<i>Tamias sibiricus barberi</i>	334	479
	<i>Prionailurus bengalensis euphilura</i>	5	
	Others	140	
Bird	<i>Emberiza elegans</i>	30	159
	<i>Turdus pallidus</i>	14	
	Others	115	
Amphibian	<i>Rana dybowskii</i>	104	220
	<i>Bufo stejnegeri</i>	62	
	Others	54	
Reptilia	<i>Natrix tigrina lateralis</i>	81	225
	<i>Elaphe dione</i>	81	
	Others	63	
Total		1,083	

위험등급 V(매우 높음)으로 지정된 지역이다. 이에 본 연구에서는 로드킬 핫스팟 분석의 신뢰성을 보다 높이기 위하여 많은 표본을 추출하기 위해 오대산 국립공원을 대상지역으로 선정하였다.

(2) 로드킬 현황분석 및 목표종 선정

국립공원관리공단으로부터 제공받은 오대산 국립공원 로드킬 데이터에 따르면 2006년 4월부터 2014년 6월까지 발생한 로드킬은 전체 1,083건으로, 국도 6호선에서 809건, 지방도 446호선에서 274건 발생한 것으로 나타났다. 또한 전체 로드킬 발생 1,083건 중 포유류가 479개체(44%)로 가장 많이 발생하였으며, 479개체 중 334개체(70%)가 다람쥐에 해당하는 것으로 나타났다(Table 1). 이에 본 연구에서는 다람쥐를 목표종으로 선정하여 서식지 패치를 추정하였다.

(3) 다람쥐의 생태적 특성 분석 및 서식변수 선정

한국산 다람쥐(*Tamias sibiricus barberi*)는 쥐목 다람쥐과 포유류로, 해안 및 초원, 교목림, 관목림 등 다양한 환경에서 서식한다. 산림이 있는 곳이면 어느 곳에서나 흔하게 볼 수 있으나 키가 큰 나무가 밀집하여 자라는 지역에서는 개체수가 적고, 노출된 환경에 많이 서식하고 있다(윤명희 등, 2004). 침엽수림

Table 2. Ecological characteristics and suitability index of chipmunk

Classification	Ecological characteristics	Suitability index
Inhabitation	Forest (Yoon <i>et al.</i> , 2004)	• Ground coverage • Forest physiognomy
	Prefer coniferous forest rather than deciduous forest (Yoon, 1992)	• Forest physiognomy
	Prefer to short tree height rather than tall tree height (Yoon <i>et al.</i> , 2004)	• Age class, Diameter class
	At least a territory of 0.44ha (Forsyth, 1985)	-
Ingestion	Seeds and vegetables such as chestnut, acorn, corn, etc. (Yoon, 1992)	• Ground coverage • Forest physiognomy
Vulnerability	The stress related to noise or human(natural enemies) impact (Kim, 2008)	• Distance from the roads

지역을 선호하지만 활엽수림 지역에서도 흔히 발견되며, 일반적으로 밤과 도토리, 잣 등의 종자 및 옥수수, 호박, 수박 등 채소를 섭식한다(윤명희, 1992). 또한 0.44ha에서 1.26ha 정도의 영역을 가지며 (Forsyth, 1985), 청각, 시각, 촉각이 매우 뛰어나기 때문에 소음, 적의 접근 등으로 인한 스트레스에 극도로 민감하다. 주요 천적은 인간, 족제비, 여우 및 멧금류의 육식성 포식자이다(김진성, 2008). Table 2는 이러한 사항을 기반으로 다람쥐의 생태적 특성 및 이를 기반으로 선정된 서식변수를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 다람쥐의 서식지 패치 추정을 위한 서식변수를 (1) 토지피복, (2) 영급, (3) 경급, (4) 임상, (5) 도로로부터의 거리로 선정하고, 서식변수의 중첩을 위해 모든 서식변수는 10-0의 값을 가지도록 인덱싱(Indexing)하였다.

1) 토지피복

다람쥐는 산림 내부에 주로 서식하며 견과류 및 나무종자를 주로 섭식하는 것으로 나타났다. 이에 따라 퍼지집합(fuzzy set)을 활용하여 산림으로부터의 거리에 대해 임계점 100(m)의 값을 가지는 소속 함수를 도출하였다.

2) 영급

다람쥐는 키가 큰 나무보다 작은 나무를 선호하는 것으로 나타남에 따라 영급이 높아질수록 임령이 높아지는 것을 감안하여 영급에 관한 서식변수를 1영급(10), 2영급(8), 3영급(6), 4영급(4), 5/6영급(2) 7영급(0)으로 구분하였다.

3) 경급

경급은 임목의 평균 흉고직경을 기준에 따라 구분한 것으로, 흉고직경은 산림자원 조사 시 일부 임목의 수고를 측정 후 흉고직경과 수고와의 관계식을 유도하여 나머지 임목의 수고를 측정하는데 활용되고 있다(한승훈 등, 2009). 한승훈 등(2009)의 연구에 따르면 제5차 국가산림자원조사에서 취득된 느릅나무의 흉고직경 및 수고 데이터는 서로 비례하는 것으로 나타난다. 이에 따라 경급이 높아질수록 수고가 높아질 것으로 가정하여 경급에 관한 변수를 소경(10), 중경(8), 대경(6)으로 구분하였다.

4) 임상

오대산 국립공원의 임상은 대부분 활엽수림과 침활혼효림으로 구성되어 있으며, 일부 목장과 제지, 경작지 지역 또한 존재하고 있다. 다람쥐는 상대적으로 활엽수림보다 침엽수림을 선호하는 것으로 나타났으므로 임상에 관한 서식변수를 침엽수림(10)과 침활혼효림(8), 활엽수림(6), 그밖에 미림목지(4), 경작지(2), 목장 및 제지(0)로 구분하였다.

5) 도로로부터의 거리

산토끼는 산림-도로 간의 거리가 300(m), 너구리나 족제비는 400(m) 이상 이격되어 있을 경우, 로드킬이 발생되지 않는다고 연구된 바 있다(道路環境研究所, 1995). 즉, 도로로부터 400(m) 이내에 있는 산림에서 서식하는 동물은 로드킬의 위협에 항상 노출되어 있다고 볼 수 있다(박성수, 2007). 이에 퍼지집합을 통해 도로로부터의 거리에 대해 임계점 400(m)의 값을 가지는 소속 함수를 도출하였다.

(4) 가중치 설정

선정된 다람쥐 서식변수의 중첩을 위한 가중치를 설정함에 있어 다람쥐의 서식적합성지수(Habitat Suitability Index, HSI)를 활용하는 것이 바람직하나, 현재 한국산 다람쥐에 대한 HSI가 구축되지 않았으므로 본 연구에서는 Rank Order Centroid(Edward and Barron, 1994)을 통해 가중치를 선정한다(1). Rank Order Centroid(ROC)는 근사속성가중치를 구하는 방법 중의 하나로서, 근사가중치를 구하는 방법 중 ROC가 가장 좋은 효율을 보여준다고 연구된 바 있다(Barron and Barret, 1996).

$$w_i(ROC) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j} \quad i = 1 \cdots n \quad (1)$$

ROC는 변수에 대한 순위(Rank)를 선정하여 가중치를 구하는 방법으로, 선정된 순위에 따라 각 변수에 대한 가중치를 도출할 수 있다. 선정된 5개의 다람쥐 서식변수에 대한 순위는 기 수행된 연구(신만석, 2013)결과를 토대로 1) 토지피복, 2) 영급, 3) 경급, 4) 임상, 5) 도로로부터의 거리로 선정하였다(Table 3).

(5) 서식지 패치 도출

선정된 5가지 서식변수의 단일효용함수(Single utility function)와 설정된 가중치를 기반으로 식 (2)와 같은 적합도 모형(Lee · Zarine Kemp, 1997)을 활용하여 다중효용함수(Multiple utility function)를 도출한다.

$$V = \sum_{i=1}^n W_i U_i(x_i) \quad \text{단, } \sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2)$$

여기서, W_i 는 자료 i 의 가중치, U_i 는 자료 i 와 관련된 단일효용함수, x_i 는 서식변수

이후 도출된 다중효용함수를 분위(Quantile) 분류를 통해 2등급화하여 서식적합지역과 서식부적합지역으로 구분하였으며, 서식적합지역으로 분류된 지역 중 0.44ha 이상의 면적을 가진 지역을 최종 다람쥐 서식지 패치로 도출하였다.

(6) 로드킬 핫스팟 분석

본 연구에서는 다람쥐 로드킬 핫스팟 분석을 위해

Table 3. Weights for Suitability Index

Suitability variables	Weights
Ground coverage	46%
Age class	26%
Diameter class	15%
Forest physiognomy	9%
Distance from the roads	4%

Getis-Ord G_i^* 을 이용한다(3). Getis-Ord G_i^* 는 기준이 되는 공간단위와 주변 공간 단위가 전체에서 차지하는 비중에 대한 통계량과 그 유의성 검증을 통해 특정 현상에 대한 핫스팟과 콜드스팟을 구분할 수 있는 방법론이다(김명진, 2014). Getis-Ord G_i^* 는 결과물로 G_i Z-score와 P-value를 산출한다. G_i Z-score는 핫스팟과 콜드스팟을 구분하는 지표로서 통상적으로 Z-score가 1.96(유의수준 95%)이상인 지역을 핫스팟으로, -1.96이하인 지역을 콜드스팟으로 나타내며, P-value는 Z-score의 유의성 검정에 활용된다.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij}\right)^2}{n-1}}} \quad (3)$$

여기서, x_i 는 지리사상 j 의 속성 값, s 는 표준편차, w_{ij} 는 공간가중 행렬의 요소 값(i 와 j 가 인접하면 1, 그렇지 않으면 0, U_i 는 전체 케이스 수

여기서, 점(Point) 데이터로 구축된 로드킬 데이터를 핫스팟 분석에 활용하기 위하여 격자(Grid) 데이터를 구축하여 집계하였다(Figure 2). 이때 격자의 크기는 로드킬 지점 객체 사이의 평균거리를 계산하여 50×50(m)로 최종 선정하였다.

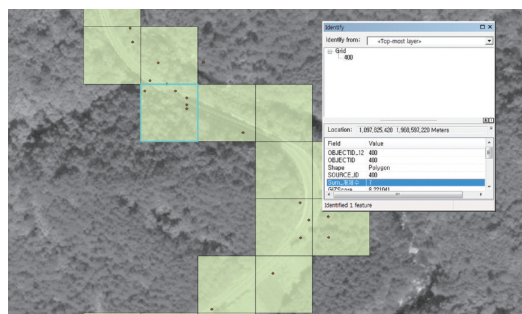


Figure 2. Method for road-kill counts

(7) 상관분석

본 연구에서 상관분석에 활용하는 종속변수는 핫스팟 분석 결과에 따른 G_i Z-score, 독립변수는 서식지 패치-도로 간의 거리이다. 일반적으로 등간척도 및 비율척도로 이루어진 연속형 변수의 경우에는 피어슨 상관관계(Pearson's product moment correlation) (4)를 활용하여 변수 간 상관계수를 도출한다(이희연 · 노승철, 2013).

$$r = \frac{\sum XY - (\sum X)(\sum Y)/n}{\sqrt{[\sum X^2 - (\sum X)^2/n] \cdot [\sum Y^2 - (\sum Y)^2/n]}} \quad (4)$$

III. 적용

1. 다람쥐 서식지 패치

앞서 선정된 5가지 서식변수를 설정된 가중치에 따라 중첩하여 도출한 오대산 국립공원의 다람쥐 서식지 패치는 Figure 3과 같다. 오대산 국립공원의 다람쥐 서식지 패치는 도로를 기준으로 상대적으로 북동쪽에 밀집되어 있는 모습을 보였다.

Habitat patches of chipmunk in Mt. Odae national park

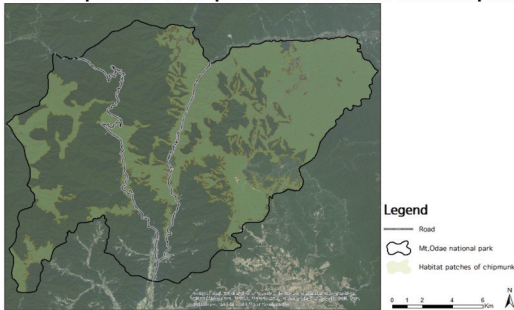


Figure 3. Habitat patches of Chipmunk

Chipmunk road-kill hotspot in Mt. Odae national park

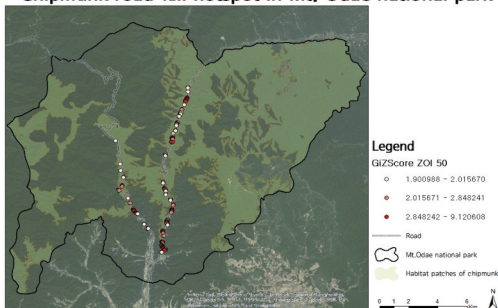


Figure 4(a). Chipmunk road-kill hot spot (whole)

Table 4. Chipmunk Road-kill Hotspot on the roads

Road Name	Hotspot (km)
National highway Route 6	2.5-3.7
	4
	4.5-4.8
	5.3-5.7
	6.3-7
	7.3-8.4
	8.8-9
	11.4-11.5
	13.3-14.8
Local road Route 446	15.2-17
	2.6-2.7
	3.1-3.2
	4.2-4.7
	6.5-7.1
7.4-7.6	

2. 다람쥐 로드킬 핫스팟

Getis-Ord G_i^* 분석을 통해 도출한 오대산 국립공원의 다람쥐 로드킬 핫스팟은 전체 1174개 셀(Cell) 중에서 139개 셀로 나타났으며, 다람쥐 서식지 패치와 인접한 모습을 보였다(Figure 4).

오대산 국립공원의 국도 6호선과 지방도 446호선을 기준으로 실폭도로의 면적은 약 0.701km²이며 로드킬 핫스팟으로 나타난 면적은 약 0.098km²로, 약 13.9%의 면적이 핫스팟으로 도출되었다. 또한 지방도 446호선(31지점)에 비해 국도 6호선(108지점)에서 많은 로드킬 핫스팟이 나타났다. 분석결과로 나타난 오대산 국립공원의 로드킬 핫스팟은 Table 4와 같다.

Chipmunk road-kill hotspot in Mt. Odae national park

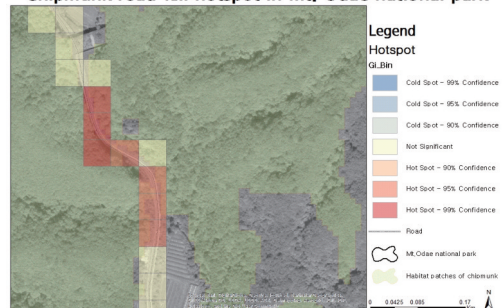


Figure 4(b). Chipmunk road-kill hot spot (specific)

Table 5. Correlation coefficient between DV and IV

		Distance
G_i Z-score	Pearson correlation coefficient	-.295**
	Significance level	.000
	Sample number	1174

**p<0.01

3. 서식지 패치-도로 간의 거리와 로드킬 핫스팟과의 상관분석

서식지 패치-도로 간의 거리와 G_i Z-score와의 피어슨 상관분석 결과 상관관계수 -.295로, 유의수준 0.01(1%)에서 유의한 것으로 나타남에 따라 두 변수 사이에는 부적(-) 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다(Table 5).

IV. 결론

2011년 환경부 보고서에 따르면 전국 생태통로는 총 317개소로 운영되고 있다. 그러나 기존에 설치되었던 생태통로의 많은 곳이 입지선정 및 목표종 선정, 구조선정, 식재, 관리 등에서 문제점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 2011년 서울시정개발연구원의 보고서에 따르면 “서울시에 조성되어 있는 생태통로는 서울시에서 추진하고 있는 녹지축 연결 사업과 연계되어 있으며 목표종의 설정 없이 설계·시공되어 동물이동로로서의 기능을 제대로 고려하지 못하고 있다.”(생태통로의 조성효과 분석 및 관리매뉴얼 작성, 2006: 154)라고 언급한 바 있다. 이처럼 목표종의 선정과 분석은 로드킬 저감 구조물 설치 시 고려될 수 있는 중요한 요소임에도 불구하고, 그간 설치된 많은 구조물들은 이에 대한 면밀한 분석 없이 획일적인 방법으로 조성되어 실효성에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다.

근래 지속가능한 개발의 중요성이 대두됨에 따라 인간의 무분별한 개발을 지양한 친환경적인 개발 개념으로서 LID(Low Impact Development), ESSD(Environment Sound and Sustainable Development) 등의 다양한 개발 정책이 제시되고 있으며, 공간설계 관점에서는 이러한 개념에 입각한 친환경적 설계 방법론의 일환으로 GIS와 Design을 융합한 ‘GeoDesign’

개념을 새롭게 제시하고 있다(Dangermond, J., 2009). GeoDesign은 ‘Design with Nature(McHarg, I. L., 1992)’에서 제시하는 생태조경계획 개념을 기반으로, 주변 환경을 하나의 ‘관계’ 속에서 이루어진 객체로서 바라보고 자연 환경 분석을 통한 숨겨진 관계성의 도출을 친환경적 개발의 중요한 요소로서 제시하고 있다. 이러한 맥락에서 본 연구는 로드킬 저감 구조물의 설치구역 결정에 활용될 수 있는 공간적 요인으로서 야생동물 서식지 패치를 제시하기 위하여 서식지 패치와 로드킬 핫스팟 간의 상관분석을 통해 통계적 유의미성을 검증하여 서식지 패치와 로드킬 지점과의 관계성을 파악하고자 하였다. 그 결과 추정된 서식지 패치-도로 간의 거리와 로드킬 핫스팟의 G_i Z-score 간 부적(-) 상관관계가 존재하는 것을 확인하였다. 이는 다람쥐 서식지 패치와 도로 간의 거리가 짧을수록 G_i Z-score가 높아지는 경향을 보인다는 것을 의미하며, 서식지 패치와 도로가 인접할수록 로드킬 핫스팟과 유사한 특성을 가진다는 것을 시사한다. 이를 통해 야생동물 로드킬 저감 대책을 위한 구조물 설치구역 선정 시 목표종 서식지 패치의 공간적 위치가 중요한 요소로서 활용될 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서 핵심이 되는 목표종 서식지 패치의 추정 시, 현장조사를 기반으로 한 자료가 수반되지 않고 선행연구와 기존 생태현황자료를 활용하여 선택된 각 변수에 임의의 값과 가중치를 부여하고 중첩함으로써 수행되었기 때문에 이에 대한 검증이 요구된다. 국내에서는 아직까지 다양한 생물종에 관한 HSI의 구축이 미비한 실정이지만, 추후 정밀하게 구축된 HSI와 함께 GIS 기반 중첩 방법론을 이용한다면 실제 현장조사가 힘든 지역에서도 생물종 서식지 패치를 보다 수월하게 추정할 수 있을 것이며, 이를 잠재적인 로드킬 위험구간의 추정에 관한 기초자료로서 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년 정부(국토교통부)의 재원으로 공간정보 융복합 핵심인재 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2014-04-05).

인용문헌

국립공원연구원. 2013. 국립공원 야생동물 로드킬 저감대책 보고서, 28-33.

김명진. 2014. Getis-Ord's G_i^* 와 FLQ를 이용한 공간 집적 분석 : 경기도 지식기반산업을 대상으로, 한국지도학회지, 14(1), 107-123.

김진성. 2008. 한국산 다람쥐(*Tamias sibiricus barberi* Johnson & Jones 1955)의 계통분류학적 연구, 전북대학교 박사학위 논문.

박성수. 2007. 고속도로 입지유형별 로드킬 저감방안 - 대체 이동 통로 활용을 중심으로 -, 전북대학교 석사학위 논문.

박종준, 우동걸, 오대현, 박종화. 2012. 공간구문론을 이용한 도시 내 삶 이동통로 적지선정, 한국조경학회지, 40(1), 92-99.

서울시정개발연구원. 2006. 생태통로 조성효과 분석 및 관리매뉴얼 작성, 1; 129-133; 154.

신만석. 2013. 생물종 서식지 예측모형과 토지적성평가: 보령시를 대상으로, 전북대학교 석사학위 논문.

신수안, 안동만. 2008. 고속도로 생태통로 위치 선정 방법에 관한 연구 - 경북 고속도로 양재-판교 구간을 중심으로 -, 한국환경복원기술학회지, 11(2), 19-27.

윤명희. 1992. 야생동물, 대원사, 66-69.

윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근, 박정길. 2004. 한국의 포유동물, 동방미디어, 109-110.

이용욱, 이명우. 2006. 목표종 생태통로의 위치선정, 한국환경복원기술학회지, 9(3), 51-58.

이희연, 노승철. 2013. 고급통계분석론: 이론과 실습, 217-218.

최태영. 2007. 포유류 도로횡단 특성과 행동권 분석을 통한 로드킬 저감 방안, 서울대학교 박사학위 논문.

최태영, 양병국, 우동걸. 2012. 국내 포유동물에 적합한 생태통로의 유형과 규격, 환경영향평가학회지, 21(1), 209-218.

한승훈, 노대균, 정진현, 김성훈, 정동준. 2009. 국

가산림자원조사 자료를 이용한 느릅나무의 수고-흉고직경 모델 추정, 한국임학회 학술연구 발표논문집, 432-434.

환경부. 2003. 자연생태계 복원을 위한 생태통로 설치 및 관리 지침, 2-5.

환경부. 2010. 생태통로 설치 및 관리 지침, 15-16.

환경부. 2011. 전국 생태통로 설치·운영 현황, 3-4.

Barron FH, Barret BE. 1996. Decision Quality Using Ranked Attribute Weights Organizational behavior and human decision processes, 60, 306-325.

Dangermond J. 2009. *GIS: Design and Evolving Technology*, ArcNews, ESRI.

Edward W, Barron FH. 1994. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement Management of Science, 42(11), 1515-1523.

Forsyth A. 1985. Mammals of the Canadian wild, Camden House Publishing, Camden East, Ontario.

Lee HTK, Kemp Zarine. 1997. Towards a multiple placement land suitability evaluation framework, en M.J. Kraak y M. Molenaar (Eds.). *Advances in GIS Research II*, Taylor & Francis Ltd, London.

McHarg IL. 1992. *Design with Nature*. rev. ed. New York: John Wiley&Sons, Inc(1996).

Noss RF. 1993. Wildlife corridors. Pages 43-68 in D. S. Smith and P. C. Hellmund, editors. *Ecology of Greenways*. University of Minneapolis Press, Minneapolis, Minnesota, USA.

道路環境研究所. 1995. “自然との共生をぬぎす道づくり: エコロドハンドブック”, 大成出版社-東京, 16-23; 54-68; 132.

References

Barron FH, Barret BE. 1996. Decision Quality

- Using Ranked Attribute Weights
Organizational behavior and human
decision processes, 60, 306-325.
- Choi TY. 2007. Road-Kill Mitigation Strategies
for Mammals in Korea: Data Based on
Surveys of Road-kill, Non-wildlife Passage
Use, and home-range, ph.D dissertation,
Seoul National University, Korea.
- Choi TY, Yang BG, Woo DG. 2012. The
Suitable Types and Measures of Wildlife
Crossing Structures for Mammals of
Korea, Journal of the Environment Impact
Assesment, 21(1), 209-218.
- Dangermond J. 2009. GIS: Design and Evolving
Technology, ArcNews, ESRI.
- Edward W, Barron FH. 1994. SMARTS and
SMARTER: Improved Simple Methods
for Multi attribute Utility Measurement
Management of Science, 42(11), 1515-1523.
- Forsyth A. 1985. Mammals of the Canadian wild,
Camden House Publishing, *Camden East*,
Ontario.
- Han SH, Rho DK, Jung JH, Kim SH, Jung DJ.
2009. Estimation of hight-DBH models
for *Ulmus davidiana* by national forest
inventory data, Proceeding of Korean
Forest Society, 432-434.
- Kim JS. 2008. Systematic Studies on Siberian
Chipmunks (*Tamias sibiricus barberi* Johnson
& Jones 1955) from Korea, ph.D dissertation,
Chonbuk National University, Korea.
- Kim M. 2014. Spatial Agglomeration Pattern
Analysis Using Getis-Ord's G_i^* and FLQ:
In Case of Knowledge-based Industries in
Gyeonggi Province, Journal of The
Korean Cartographic Association, 14(1),
107-123.
- Korea National Park Research Institute. 2013.
Korea National Park Wildlife Roadkill
reduction measures Report, 28-33.
- Lee HTK, Kemp Z. 1997. Towards a multiple
placement land suitability evaluation
framework, en M.J. Kraak y M. Molenaar
(Eds.). Advances in GIS Research II,
Taylor & Francis Ltd, London.
- Lee HY, Noh SC. 2013. Advanced Statistical
Analytics: Theory and Practice, 217-218.
- McHarg IL. 1992. Design with Nature. rev. ed.
New York: John Wiley & Sons, Inc(1996).
- Ministry of environment. 2003. Installation and
Conservation Guidelines of Eco-corridor
to Restore Natural Ecosystem, 2-5.
- Ministry of environment. 2010. Installation and
Conservation Guidelines of Eco-corridor,
15-16.
- Ministry of environment. 2011. Current Status of
Installing and Operating Eco-corridor, 3-4.
- Noss RF. 1993. Wildlife corridors. Pages 43-68 in
D. S. Smith and P. C. Hellmund, editors.
Ecology of Greenways. University of Minneapolis
Press, Minneapolis, Minnesota, USA.
- Park JJ, Woo DG, Oh DH, Park CH. 2012. Site
Selection of Wildlife Passage for Leopard
Cat in Urban Area using Space Syntax,
Journal of the Korean Institute of Landscape
Architecture, 40(1), 92-99.
- Park SS. 2007. Decrease Scheme for Wildlife
Road-kill on Highway -Practical Using with
Alternative Corridor-, M.phil dissertation,
Chonbuk National University, Korea.
- Road Environmental Research Institute. 1995.
“Constructing Road aimed to the Symbiosis
with Nature: Eco-road Handbook”, 16-23;
54-68; 132.
- Seoul Development Institute. 2006. Analysis on
Effect of Ecological Corridor in Seoul and
Construction of Management Manual, 1;
129-133; 154.

- Shin M. 2013. Species Distribution Model and Land Suitability Assessment -Focused on city in Boryeong-, M.phil dissertation, Chonbuk National University, Korea.
- Shin SA, Ahn TM. 2008. Approach to the Location of Wildlife Corridors on Highways, The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology, 11(2), 19-27.
- Lee YW, Lee MW. 2006. Eco-corridor Positioning for Target Species, Journal of Korean Env. Res. & Reveg. Tech., 9(3), 51-58.
- Yoon MH. 1992. Wild Animals, 66-69.
- Yoon MH, Han SH, Oh HS, Kim JK, Park JG. 2004. The Mammals of Korea, 109-110.