

# 국내 고속도로 로드킬 발생의 공간적 군집지역 탐색 방법론 구축 및 실증 적용 연구\*

## A Study on Building Methodology for Identifying Road-kill Hot-spots on Highways and Its Empirical Application

박선일\*\* · 이경주\*\*\*  
Pak, Son-Il · Lee, Gyoung-Ju

### Abstract

Road-kill accidents on highways cause considerable social and economic costs. Therefore, it is critical to minimize the frequency of occurrence through taking appropriate actions such as accident prevention and reduction programs/tools including eco-corridor construction and fence installation. Due to the constraints in allocating available public resources, it may help decision-makers to determine where to put priorities when taking actions. The objective of this study is to construct a spatial statistical methodology for pinpointing spatial clusters of road-kill accidents. The model is defined based on the assumption that road-kill accident follows Poisson spatial process over geographic space, whereby expected frequency of accident is estimated and then the difference from the actual frequency is calculated. The higher the difference is, the higher the degree of spatial clustering is. Interpretively, spatial clustering may be possible outcomes due partly to some environmental factors. This interpretation, which is not readily induced solely from pin-mapping of raw data, makes it possible to identify regions (road-segments) showing higher spatial clustering tendency of road-kill accidents. Analysis results lead to the brief discussions on where to put priorities when taking relevant actions.

키 워 드 · 로드킬, 핫스팟, 공간군집, 포아송 공간 과정  
Keywords · Road-kill, Hot-spots, Spatial Clustering, Poisson Spatial Process

### I. 서론

로드킬(road-kill)은 지방도, 국도, 고속도로 상에서 차량과 야생동물 간 물리적 충돌로 인하여 발생하는 교통사고를 지칭하며 야생동물 교통사고로 지칭하기도 한다(한국도로공사, 2008). 시가지의 확대

와 도로의 증가는 동물들의 서식처를 파편화하여 동물의 이동로 단절시키고 로드킬 가능성을 높임으로써 특히 희귀종의 경우 최소한의 생존개체군 유지를 어렵게 하는 등의 심각한 문제를 초래한다(이진영 외, 2010; 박종준 외, 2012). 아울러 로드킬은 운전자의 생명 위협, 경제·사회적 피해 수반, 윤리

\* 본 연구는 농림축산검역본부의 연구비 지원을 받아 수행하였음 (과제번호: Z-1543068-2014-14-01)

\*\* College of Veterinary Medicine and Institute of Veterinary Science, Kangwon National University (first author: paksi@kangwon.ac.kr)

\*\*\* Department of Urban and Transportation Engineering (corresponding author: lgjracer@ut.ac.kr)

적 논란 유발 등 여러 가지 측면에서 매우 심각한 문제가 되고 있다(Seiler, 2005; 박종준 외, 2012; 한국도로공사, 2013). 특히, 일차적으로 야생동물의 피해뿐만 아니라 이차적으로 발생하는 인적피해의 증가는 로드킬을 사회적 현안으로 떠오르게 하고 있다(최태영·박종화, 2006; 이병주 외, 2011).

우리나라는 급속한 경제성장을 뒷받침하고 반나절 생활권을 조성하기 위한 핵심 인프라로서 도로의 역할을 강조하여 현재 전국 어디서나 30분 내에 도로 접근이 가능한 수준의 도로망(약 1km 간격)을 건설해왔다(김선희, 2008). 결과적으로 우리나라에서의 로드킬 발생률은 지속적 증가세를 보이고 있는 실정이다(한국도로공사, 2013).

로드킬이 초래하는 경제사회적 비용 및 인명피해의 증가로 인하여 효과적인 저감대책을 시급하게 마련해야 할 필요성이 대두되고 있다. 특히, 최근 법원에서 로드킬 저감을 위한 체계적 대책 마련에 소홀했다는 이유로 로드킬 인명피해 사고에 대하여 도로관리청의 부분적 법적 책임을 명시한 것은 로드킬 피해의 심각성과 저감대책 마련의 중요성을 공감하는 사례로 볼 수 있다(이병주 외, 2011).

뒤에서 논의할 선행연구들에서 다양한 로드킬 저감방안을 제시하고 있음에도 불구하고 그 효과를 실질적으로 가늠하기 위한 구체적 기준은 찾아보기 어렵다. 로드킬 저감을 위한 노력은 상당한 경제적·시간적 비용을 수반하기 때문에 비용 대비 효과의 적절성 여부를 적절히 판단할 필요가 있다. 즉, 로드킬 저감을 위한 노력에 있어서 한정된 예산을 효과적으로 배분하기 위한 대안을 마련하는 과정에서, 당연히 비용 대비 효과라는 측면이 고려되어야 하는 것이다. 더욱이 로드킬은 도로라는 한정된 선형공간(linear space)에서 발생하는 지리적 사건(geographic event)이기 때문에 이러한 특성을 감안하여 자원배분에 있어서 공간적 우선순위를 어떻

게 결정할지에 관한 기준을 마련할 필요가 있다.

## II. 로드킬 관련 선행연구

로드킬로 인한 사회경제적 비용이 증가함에 따라 저감대책을 마련하기 위한 관련 연구들이 다양한 방식으로 수행되어오고 있다. 대표적인 로드킬 저감 방안은 동물들의 단절된 이동로를 연결하기 위한 생태통로를 조성하는 것이다(국립환경과학원, 2007). 최태영·박종화(2006)는 약 2년여에 걸친 현장조사를 통하여 로드킬 발생지점 자료를 구축하고 GIS분석을 통하여 주변토지이용이 로드킬 발생빈도에 어떠한 영향을 주었는지 실증·분석한 뒤, 생태통로의 조성위치 선정과정에서 기초자료로 활용 가치가 있음을 논의하였다. 유사한 맥락에서 이용욱·이명우(2006)는 현장조사를 통하여 포유류 로드킬 저감을 위한 생태통로 위치선정에 관한 연구결과를 제시하였다. 또한 김귀곤·최준영(1998)은 동물들의 파편화된 서식처 연결을 위한 생태이동통로 조성과 관련한 유형구분 및 조성절차를 중심으로 이론적 논의의 틀을 제시하였다. 박종준 외(2012)는 야생동물의 서식환경, 이동특성 및 서식행태 등 생태적 특성을 종합적으로 고려하여 야생동물 이동통로 선정에 관한 연구를 수행하였는데, 이 과정에서 공간구문론(space syntax)을 적용한 분석방법론을 도입하였다. 생태통로의 조성 이외에도 로드가드시스템이나 야생동물의 도로 진입방지 시스템 등의 설치 방안도 제시되었다(이병주 외, 2011; 정양권 외, 2010).

일반적인 교통사고와 마찬가지로 로드킬은 외부의 다양한 환경(예: 도로 건설로 인한 서식처의 파편화) 및 그 변화(파편화로 인한 서식 및 이동행태의 변화)가 복합적 확률적 요인(stochastic factor)으로 작용한 결과 발생한 공간현상으로 볼 수 있

다. 이러한 맥락에서 로드킬 발생의 공간군집패턴을 가능하고 문제가 되는 국지적 위치(Hotspots)를 탐색한 연구로는 Teixeira et al.(2013)를 들 수 있다. 이 연구에서는 공간군집도 추정에 일반적으로 적용되는  $K$ -function을 적용하여 로드킬 발생지점들을 기준으로 공간범위(spatial scale) 확대에 따른 공간군집도 변화양상을 추정하고 높은 공간군집도를 보이는 구체적 위치를 찾아내어 향후 로드킬 발생 가능성이 높은 지역으로 해석하였다. 아울러 탐색된 공간군집지역을 대상으로 그 인과관계가 의심되는 주변 환경요인들을 추가적으로 검토할 수 있도록 하기 위한 근거로서의 활용성을 논의하였다. 유사한 맥락에서 Beaudry et al.(2008)은 거북이(semi-aquatic turtle)의 이동과정에서 로드킬로 인한 치사율을 추정하고 미시적 공간범위에서의 저감 방안을 우선 적용할 도로구간을 선별할 수 있도록 공간통계학적 방법론을 제시하고 실증·적용을 통한 분석결과를 바탕으로 정책적 함의를 논의하였다.

분석방법론 관점에서 보면 이러한 선행연구들은 분석결과로부터 정책적 함의를 도출하는데 있어서 공간통계학적 방법론을 적용하여 로드킬 발생지점의 공간적 군집지역 탐색하는데 주안점을 두고 있다. 공간통계학 분야에서는 공간상에서 발생하는 지리적 사건들(geographic events)이 공간적 확률과정(spatial stochastic process)의 산물로 전제한다. 이들은 일정한 환경조건을 공유함으로써 인하여 공간적 군집경향을 보이는 경우가 일반적이다. 특히 공간적 군집으로 인하여 병리적 특성이 나타나는 지리적 현상(로드킬, 범죄, 질병)의 경우 실제 발생한 사건들의 공간군집도를 추정하여 파생되는 문제의 심각성을 가능하고자 다양한 형태의 공간군집도 분석기법들이 제안되어져 왔다. 이와 관련하여 특히 보건역학(epidemiology)이나 범죄학(criminology) 분야를 중심으로 공간통계학적 접근방법을 실증·적용한 연구가 집중적으로 이루어져 왔다(Moran,

1948; Besag and Newell, 1991; Getis and Ord, 1992; Anselin, 1995; Rogerson, 2001; Rogerson and Sun, 2001; Rogerson, 2006; Lee and Rogerson, 2007). 이 연구들에서는 공통적으로 지리적 사건들의 공간군집도를 국지적으로 추정하고 공간 핫스팟을 탐색적으로 찾아냄으로써 환경요인과의 잠재적 관련성을 환기시키고 공간군집으로 인한 문제를 저감하기 위한 방안적용에 있어서 우선 순위 지역을 제안하는 방식을 취하고 있다.

기존의 국내 연구들에서는 연구목적이나 자료의 이용가능성, 분석방법 등에 따라 다양한 방식으로 자원배분(예: 생태통로 조성)의 우선순위를 결정하는 방안을 제시하였지만, 로드킬이 공간현상이라는 관점을 강조하여 개별적인 발생위치자료를 이용하여 미시적인 공간통계분석을 수행한 연구는 찾아보기 어렵다. 더욱이 로드킬 발생이 주변의 인과성이 의심되는 환경적 요인이 작용한 결과인지 등을 추정해 볼 수 있도록 미시적 수준에서 공간통계학적 접근방법을 적용한 실증연구 역시 부재한 상황이다. 생태통로의 위치선정 등과 같은 자원배분 과정에서 보다 면밀한 공간통계학적 분석정보는 의사결정에 있어서 객관적인 근거로 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

이 연구에서는 국내 고속도로 상에서 발생한 로드킬의 개별 발생위치를 GIS자료로 구축하고, 이들의 국지적 공간군집도를 추정하기 위하여 공간통계학에 기반을 둔 분석방법론을 제시한다. 또한 방법론을 실증자료에 적용하여 분석결과를 도출한 뒤 간략한 정책적 함의를 논의한다. 이 연구는 다음과 같이 구성된다. 3장에서는 로드킬 개별 발생위치를 GIS자료로 구축하는 방안을 제시한다. 4장에서는 구축한 자료를 이용하여 국지적 공간군집도 추정을 위한 공간통계학적 분석방법론을 설명한다. 5장에서는 방법론을 실증자료에 적용하여 분석결과를 도출하고 그 정책적 함의를 간략하게 논의한다. 6장에

서는 연구의 한계를 지적하고 향후 연구방향을 제시한다.

### Ⅲ 로드킬 발생위치 자료 구축

이 연구에서는 로드킬 발생의 국지적 공간군집도를 추정하기 위하여 2008년부터 2012년까지 국내 고속도로 상에서 발생한 로드킬의 개별위치(xy-좌표)를 GIS자료로 구축하였다. 이는 도로공사의 로드킬 자료를 지도코딩(geo-coding)을 통하여 xy-좌표로 변환하는 방식으로 이루어졌다.

지도코딩은 다양한 형태의 위치정보로부터 지리적 혹은 경위도로 변환 가능한 xy-좌표를 추출하는 GIS분석기법을 의미한다. 도로공사에서는 로드킬 발생 시 GPS장비를 이용하여 사고위치의 구체적인 위치(xy-좌표)보다는 이정거리를 표시하는 방식으로 현장자료를 구축하기 때문에 구체적인 위치 추출을 위하여 지도코딩 작업이 필요하였다.

그러나 이정거리 정보만을 가지고는 일반적으로 적용할 수 있는 지오코딩 방법을 적용할 수 없었다. 일반적 지오코딩 방법은 필지의 주소를 시도, 시군구, 읍면동, 지번 등 행정단위 위계에 따라 조합한 19자리 PNU(Parcel Number Unit)를 생성하여 해당 필지의 중심점(centroid)에 대응시키는 것이다. 그런데 도로공사에서 구축한 로드킬의 위치정보는 예를 들어, '서해안 고속도로 상행 이정 100km' 등 기관 고유의 표기방식으로 기록하였기 때문에 19자리 PNU 코드 자체를 생성할 수 없었다. 이에 이 연구에서는 고속도로 방향 및 이정(km)으로 표기된 위치정보로부터 고속도로 상의 발생위치를 개략적으로 추론하여 로드킬의 xy-좌표를 추출하였다.

그림 1은 좌표 추출 과정을 개념적으로 설명한다. 설명의 편의상 그림 1은 가상의 고속도로를 예시한다. 이 고속도로는 이정 0km지점에서 시작하여 이정 100km 지점에서 끝나는 것으로 가정한다.

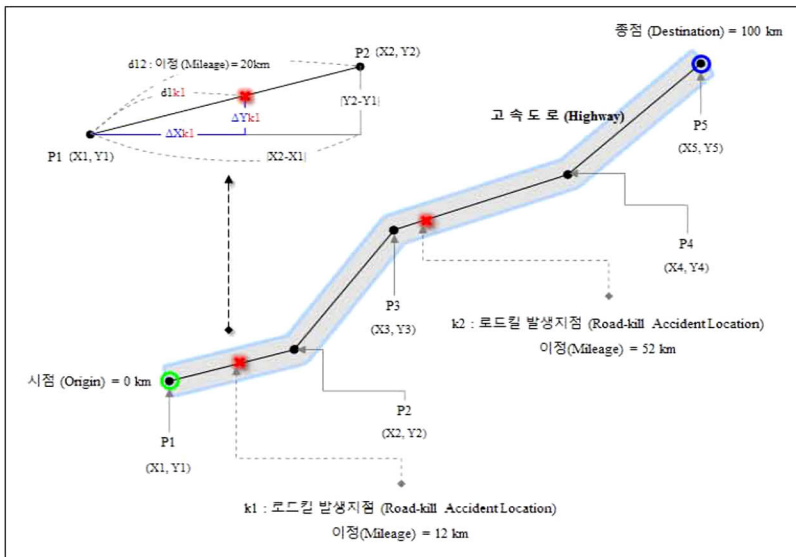


그림 1. 이정 자료를 이용한 로드킬 발생위치 구축 알고리즘  
 Fig. 1. Algorithm for extracting xy-coordinates of road-kill accidents using highway mileage data

고속도로는 일련의 단위직선(예: P1P2)으로 표현된다. 단위직선의 양 끝 점은 일반적으로 벡터스(vertex)로, 단위직선은 체인(chain)으로 지칭한다. 그림 1에서 P1은 이점이 시작되는 지점 즉, 이정 0km를 나타낸다.<sup>1</sup> 로드킬 사고 발생지점이 예를 들어 이정 12km인 경우 P1에서부터 12km 지점(빨간색 x표시)의 xy-좌표를 계산할 수 있다. 그림 1의 좌측 상단은 로드킬 발생지점(k1)의 xy-좌표를 계산하는 방식을 나타낸다. 이 그림에서 x-좌표는 P1의 x좌표인 X1에다  $\Delta Xk1$ 을 합산한 값이고, 마찬가지로 y-좌표의 경우도 P1의 y-좌표인 Y1에다  $\Delta Yk1$ 을 더한 값으로 계산할 수 있다. P1과 P2가 이루는 직각삼각형의 세 변의 길이와 사고 발생 지점까지의 거리(d1k1)을 알 수 있기 때문에  $\Delta Xk1$ 과  $\Delta Yk1$ 를 계산함으로써 로드킬이 발생한 이정 12km지점의 xy-좌표를 추출할 수 있다.

이러한 좌표 추출 방식을 적용하기 위하여 교통 연구원에서 운영하는 국가교통DB센터에서 제공하는 국내 고속도로 GIS자료를 이용하였다. 이 고속도로 GIS자료로부터 상·하행 중심선만을 선택하여 일련의 단위직선들을 구성하는 벡터스들의 xy-좌표를 생성할 수 있었다. 이를 이용하여 하행 시작점(벡터스)을 이정 0km로 놓고 좌측 상단에서 제시한 방식을 적용함으로써 개별 로드킬 사고 발생 지점의 xy-좌표를 추출하였다.

#### IV. 국지적 공간군집도 추정방법론

이 연구에서는 국내 고속도로에서 발생한 로드킬(road-kill)의 위치(xy-좌표) 정보를 이용하여 공간군집도를 국지적으로 추정하는 방법론을 통하여 어느 도로구간을 중심으로 로드킬이 집중적으로 발생하였는지 즉, 로드킬 발생이 빈발하는 공간적 군집지역(hot-spots)을 찾아내고자 한다. 공간군집지역

의 구체적 위치정보는 향후 로드킬 저감방안 적용을 위하여 어디를 중심으로 우선순위를 둘 수 있는지 등에 관한 의사결정에 도움을 줄 수 있는 정보이다.

로드킬 발생은 기본적으로 지리적 공간(고속도로) 상에서 발생하는 점 사상(event)에 해당하며 로드킬 교통사고의 발생은 지리적 공간상에서 위치를 점하는 포아송(Poisson) 현상에 해당한다. 따라서 고속도로 상 임의의 지점에서 로드킬이 발생할 가능성 혹은 확률은 포아송 모형(Poisson model)으로부터 추론할 수 있다. 포아송 모형을 적용할 경우 고속도로 상에서 임의의 특정 단위구간(예: 1km)  $x$ 건의 로드킬이 발생할 확률은 (식1)과 같다.

$$P(X = x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} \quad (\text{식1})$$

(식1)에서  $\lambda$ 는 고속도로 단위구간에서 예상되는 로드킬 발생건수 즉, 발생건수의 기댓값을 나타낸다. 예를 들어, 총 발생건수가 100건이고 고속도로 총연장이 100km인 경우 단위길이를 1km로 놓으면  $\lambda$ 는 1(건/km)로 추정된다. 이는 포아송 확률변수의 기댓값에 해당한다. 이 예에서 임의의 단위길이(1km) 구간에서 로드킬이 3건 발생할 확률은 (식1)에 의하면 발생건수 즉,  $x=3$ 이고  $\lambda$ 가 1인 경우이므로  $P(X=3) \approx 0.0613$ 으로 추정된다.

이 연구에서는 로드킬 발생이 포아송 현상임을 전제로 각 사고 발생지점으로부터 일정 범위 내에 실제 발생한 사고건수와 예상되는 사고건수 간 비율을 상대적 위험도(Relative Risk: RR)로 지칭하고 이를 국지적 공간군집도로 정의한다. 국지적 공간군집도 추정방식은 그림 2에 예시되어 있다.

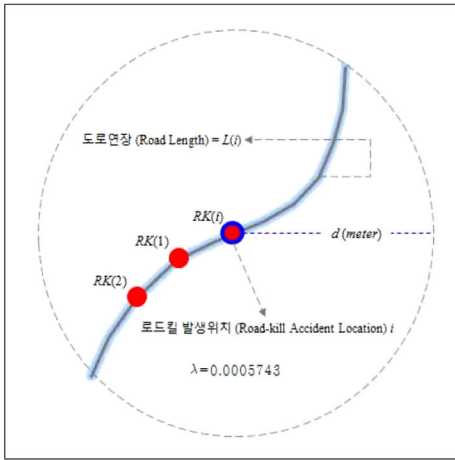


그림 2. 로드킬 발생 상대적 위험도  
Fig. 2. Relative risk of road-kill incidents

위 그림에서  $RK(i)$ 로 표시된 로드킬 발생지점  $i$ 를 중심으로 일정 범위( $d$ ) 이내에 포함되는 도로 구간 상에서 발생한 실제 사고건수  $O(i)$ 는 3건이다. 또한 단위구간을 1미터로 설정한 경우 단위구간에서 발생할 것으로 예상되는 사고건수 즉,  $\lambda$ 를 0.0005743로 설정한다.<sup>2</sup> 지역  $i$ 를 중심으로 반경  $d$  이내에 들어오는 도로연장이  $L(i)$ 라 하면 해당 도로에서의 상대적 위험도 즉, 공간군집도는 (식2)와 같이 정의한다.

$$RR_i(d) = \frac{O(i)}{L(i)\lambda} \quad (식2)$$

만일 그림 2에서  $L(i)$ 가 2km인 경우 (식2)의 분모 즉, 예상 발생건수는 1.1486 (=  $2000 \times 0.0005743$ )이고 실제 발생건수 즉,  $O(i)$ 는  $i$ 를 포함하여 3건이므로 해당 도로에서의 상대적 위험도는 약 2.61(= $3 \div 1.1486$ )로 추정된다.<sup>3</sup> 상대적 위험도가 높을수록 향후 해당 도로 구간에서의 로드킬 발생 가능성이 높을 것으로 해석한다.<sup>4</sup>

그림 2에서는 사고 발생지점  $i$ 를 중심으로 공간 군집도 추정과정을 예시하였는데 이 과정을 모든

사고 발생지점에 대하여 적용하여 지도상에 표시하면 고속도로 상에서 어느 구간에서 로드킬 사고 발생 위험이 높은지를 국지적으로 찾아낼 수 있다. 그림 3은 이를 예시한다.

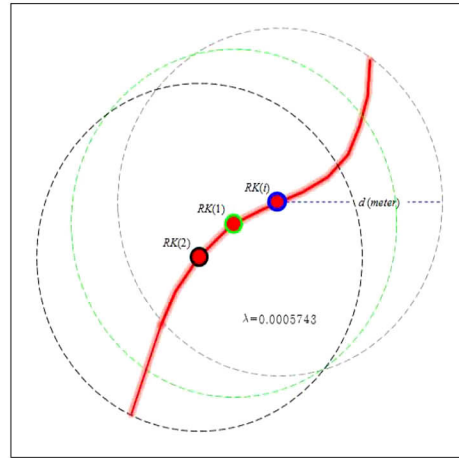


그림 3. 로드킬 발생 핫스팟  
Fig. 3. Hot-pots of road-kill incidents

이 그림에서 사고 발생지점  $i$ 는 탐색반경  $d$  이내에 해당지점을 포함하여 세 건의 사고 발생이 있었고 이는 앞서 추정된 예상 발생건수에 비하여 약 2.61배 높은 상황이다. 즉, 상대적 위험도가 예상되는 기준치보다 높는데 이는 발생지점  $i$ 뿐만 아니라 또 다른 발생지점인  $RK(1)$ 과  $RK(2)$ 를 중심으로 상대적 위험도를 추정해도 마찬가지로 결과를 나타낸다. 만일 대상지 내 모든 로드킬 발생지점을 중심으로 상대적 위험도가 1을 기준으로 일정수준 이상(예: 2이상)을 보이는 지역들을 고속도로 상에 표시할 경우 이는 로드킬 사고가 공간적으로 군집한 지역이며 향후 발생가능성이 높은 도로구간으로 간주해 볼 수 있다. 이 연구에서는 상대적 위험도가 높은 사고 발생지점들을 지도상에 표시하고 이들을 로드킬 발생의 공간적 군집지역(hot-spots of road-kills)으로 정의한다. 그림 3은 세 건의 사고 발생지점(파랑, 초록, 검정 테두리의

빨간색 원)을 중심으로 일정반경 내 포함되는 도로 구간(빨간색)이 로드킬 발생 공간적 군집지역을 포함하는 것으로 예시한다.

한 가지 유의할 점은 결과를 해석할 때 탐색반경  $d$ 의 해석적 의미이다. 예를 들어,  $d$ 가 500m와 1000m인 경우의 상대적 위험도를 비교할 때 분석 결과 500m에서 더 큰 값을 가진다면 로드킬은 상대적으로 제한된 범위에서 공간군집화가 우세하게 진행됨을 의미한다. 만일 큰 범위(1000m)에서 상대적 위험도가 클 경우 비교적 넓은 지리적 범위에 걸쳐서 공간군집화가 뚜렷하기 때문에 위험 발생 가능성이 상대적으로 광범위하게 분포하는 것으로 해석할 수 있다. 좁은 범위에서의 우세한 공간군집화를 보이는 경우 로드킬 저감방안을 적용하기 위한 미시적으로 명확한 위치 선택이 상대적으로 더 용이할 것이다. 요컨대 탐색반경  $d$ 는 로드킬 발생 위험지역의 공간적 범위와 그 강도(intensity)를 결정하는데 영향을 줄 수 있는 매개변수(parameter)이다. 이를 전제로 그림 3과 같은 방식으로 로드킬 발생 위험지역을 탐색한 결과는 로드킬 저감을 위한 대처방안 등을 적용할 때 우선순위를 부여하기 위한 실증적 근거로 활용할 수 있을 것이다. 이로써 문제의 정도가 큰 지역을 위주로 한정된 예산 범위 내에서 저감방안 적용함으로써 비용 대비 편익의 효과적 증진을 기대해볼 수 있다.

## V. 실증분석 및 정책적 함의

### 1. 실증분석 및 결과해석

이 연구에서는 2008년 1월 1일부터 2012년 12월 31일까지 5년여의 기간 동안 국내 고속도로에서 발생한 총 9,587건의 로드킬 건수와 로드킬이 한 건 이상 발생한 고속도로 총연장( $m$ ) 자료를 적용

하여 고속도로 내 임의의 1미터 구간에서 예상되는 로드킬 발생건수를 추정하였다.<sup>5</sup>

도로공사에서 제공한 로드킬 발생건수는 총 10,940개였다. 이 중 9,587건이 그림 1에서 제시한 방법을 이용하여 지오코딩에 성공하였다. 약 12%에 해당하는 1,353건의 로드킬 사고는 여러 가지 제약으로 인하여 좌표추출에 실패하였다.<sup>6</sup> 이 기간 동안 로드킬이 한 건 이상 발생한 고속도로의 총연장은 16,694,150m이다. 이 값은 고속도로 구간별 차선수를 고려하여 계산한 것인데 예를 들어, 특정 고속도로의 특정 구간이 편도(상행 혹은 하행) 2차선인 경우 이는 해당구간의 길이에 차선수(2)를 곱하여 산정한 것이다. 이에 따르면 (식1)의  $\lambda$ 는 그림 2의 예시에서처럼 약 0.0005743으로 추정된다. 즉, 고속도로 상의 임의의 구간 1km 이내에서 5년간 발생한 로드킬 사고건수는 평균적으로 약 0.57건이라는 의미이다.

분석결과 해석과 관련하여 한 가지 염두에 둘 점은 로드킬 발생 위험지역으로 간주할 수 있는 기준 즉, 상대적 위험도의 경계를 어떻게 설정할 것인가이다. 예를 들어, (식2)가 나타내는 두 지점의 상대적 위험도가 각각 2와 5일 경우 두 지점 모두 실제 발생건수와 예상건수가 일치하는 1보다는 큰 값이지만 5인 경우가 더 발생 가능성이 높은 지역으로 볼 수 있다. 상대적 위험도가 1보다 큰 사고 발생지점들이 다수 있을 경우 더 이상 1이라는 기준만으로는 그 이상의 값들을 가지는 지점들 중 어디에 우선순위를 두고 로드킬 저감을 위한 대책을 적용할지 그 우선순위를 결정하기 어려워진다. 이 경우는 결국 높은 값들 간 상대적 우선순위를 적용하는 문제로 귀결된다. 예를 들어 상위 10%에 해당하는 발생지점들이 타 지점들보다 상대적으로 사고 발생 가능성이 큰 것으로 보고 우선순위 지점으로 표시하는 방식이다.

이 연구에서는 실증 분석결과를 해석하는 과정에

서 각 위치에서의 상대적 위험도 값들을 10분위수(decile)로 구분한 뒤 상위 10%에 해당하는 값을 가지는 위치들을 지도상에 표시하여 사고 발생 가능성이 높은 지역들로 간주하였다. 표 1은 지오코딩 결과를 이용하여 각 사고 발생지점에 대하여(식2)를 적용한 결과들의 10분위수 경계를 나타낸다. 탐색반경은 500m부터 시작하여 3000m에 이르기까지 500m 간격으로 적용하였다. 다소의 편차는 있지만 모든 탐색반경에 대하여 대체로 상대적 위험도가 10 이상인 사고 발생위치가 상위 10% 즉, 90% 분위에 해당하는 것을 알 수 있다.

표 1. 탐색반경별 사고 발생지점들의 상대적 위험도의 10분위수 경계 값

Table 1. Decile values of relative risk for a range of geographic scale

분위 (Decile)	500	1000	1500	2000	2500	3000
10%	1.74	1.30	1.39	1.29	1.31	1.29
20%	2.61	2.17	2.03	2.05	2.01	1.94
30%	3.47	3.03	2.87	2.79	2.70	2.60
40%	4.35	3.88	3.59	3.47	3.45	3.39
50%	5.22	4.74	4.34	4.24	4.09	4.03
60%	6.11	5.65	5.32	5.07	4.87	4.76
70%	7.84	6.95	6.50	6.25	6.02	5.93
80%	9.73	8.61	8.04	7.61	7.48	7.24
90%	13.05	10.95	10.07	9.77	9.48	9.27
100%	47.90	35.26	27.53	23.44	19.32	16.89

표 1을 보면 탐색반경이 500m에서부터 증가함에 따라 상대적 위험도 범위(range)는 감소하고 있음을 알 수 있다. 최댓값의 경우 500m에서 47.9에서부터 점점 감소하여 3000m에 이르면 16.89에 이르는 결과를 보인다. 이는 탐색반경을 증가시키에 따라서 일종의 평활효과(smoothing effect)가 나타난 결과로 볼 수 있다. 만일 사고

발생지점별로 다른 모든 사고 발생지점들과 고속도로를 포함하도록 탐색반경을 극단적으로 크게 설정한다면(식3)의  $\lambda(i)$ 는  $\lambda$ 와 같게 되고 결과적으로 상대적 위험도 역시 1로 수렴하게 된다. 이는 고속도로 어디에서나 로드킬 사고가 발생할 가능성이 동일하다는 의미이다. 분석결과에 따르면 지리적으로 가장 좁은 범위인 500m 탐색반경에서 상대적 위험도 즉, 사고 발생 가능성에 있어서 국지적 차이를 많이 보이고 있는 것으로 나타났으며 이는 해당 공간범위를 기준으로 공간적 군집경향이 강함을 의미한다.

그림 4는 탐색반경 500m와 1000m에 대하여 상대적 위험도가 10을 초과하는 지점들을 각각 빨간색 O와 파란색 X로 지도상에 표시한 결과이고 그림 5는 중북부 지역을 중심으로 확대한 것이다.<sup>7</sup> 이들 그림을 보면 탐색반경이 500m인 경우가 1000m인 경우에 비하여 상대적 위험도가 10을 초과하는 사고 발생지점들이 더 넓은 범위에 많이 분포하고 있다. 이로써 로드킬 발생 가능성과 관련이 있는 고속도로 주변 환경적 요인들의 공간적 영향력이 상대적으로 국지적 수준에서 강한 것으로 추론해볼 수 있다.

분석결과 지도상에 표시된 위치들은 로드킬 저감방안을 적용할 때 우선적으로 고려해볼 수 있는 지점들로 볼 수 있다. 그림 4와 그림 5의 지도를 보면 이러한 지점들이 중앙고속도로 및 중부고속도로 북부구간을 중심으로 공간군집을 이루고 있음을 볼 수 있다. 또한 중앙고속도로 및 중부고속도로가 영동고속도로와 만나는 분기점 및 주변을 중심으로 상대적 위험도가 높은 지점들이 뚜렷한 공간적 군집패턴을 보이고 있다. 유사한 패턴이 경부고속도로 천안, 청주·청원, 옥천, 영동, 청주-상주 고속도로 보은, 상주 일대, 중부고속도로 금산 일대 등에서도 나타나고 있다. 대전-당진 고속도로의 경우는 당진군과



예산군 경계를 시점으로 예산군 중심부에서 로드킬 사고 발생지점의 공간군집화가 매우 뚜렷하게 나타나고 있다. 서해안 고속도로의 경우 홍성군의 중앙을 관통하는 구간을 중심으로 이러한 군집화가 두드러지고 있다. 물론 이러한 분석결과는 탐색반경의 원 안에 들어오는 고속도로 구간의 상·하행 및 차선수를 반영한 길이와 해당 구간에서 발생한 사고 건수에 (식2)를 적용하여 계산한 것이다.

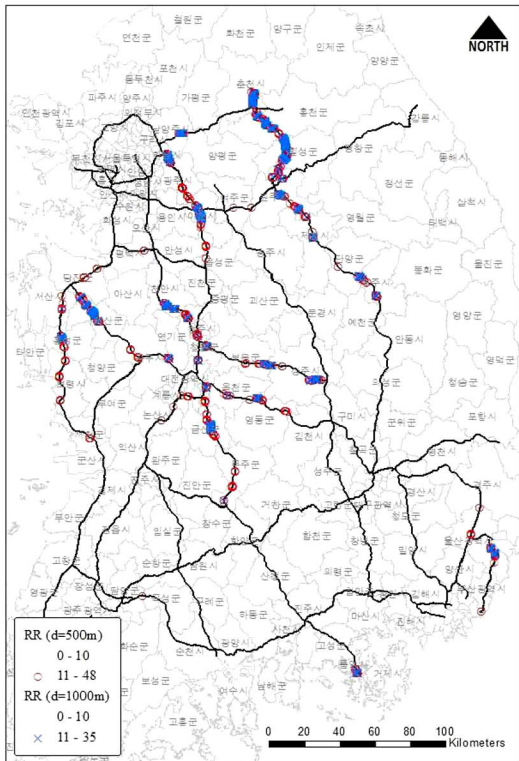


그림 4. 로드킬 군집지역(RR ≥ 11) : 전국  
Fig. 4. Spatial clusters of road-kill incidents

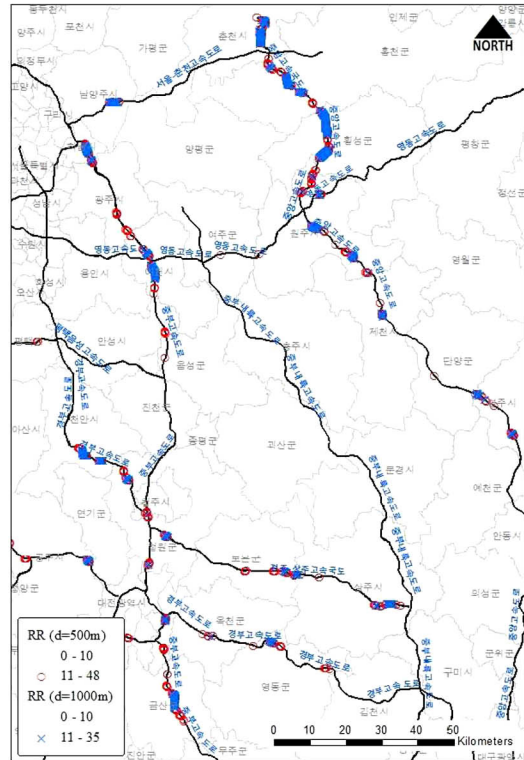


그림 5. 로드킬 군집지역 (RR ≥ 11) : 확대  
Fig. 5. Spatial clusters of road-kill incidents

분석결과로 제시한 상대적 위험도는 실제 로드킬이 발생한 사고지점들의 위치를 기준으로 추정한 값이기 때문에 지도상에서 표시된 결과들을 통하여 우선순위 구간의 공간적 범위 및 구간 등을 시각적으로 명료하게 판단할 수 있는 장점이 있다. 그림 6을 앞의 세 지도들과 비교해보면 이러한 사실은 명확히 드러난다. 그림 6은 해당 기간 동안 발생한 모든 로드킬 사고지점들을 지오코딩을 통한 xy-좌표로 지도상에 핀맵(pin-map)으로 표시한 것이다. 원시자료의 위치를 표시하는 것만으로는 어느 구간 혹은 지역에서 상대적 위험도가 큰 지를 명료하게 파악하기 어렵다. 물론 지도를 확대할 경우 군집된 위치를 어느 정도 볼 수 있지만 이 역시 단순한 시각적 정보에서 크게 벗어나지 않는다. 단순

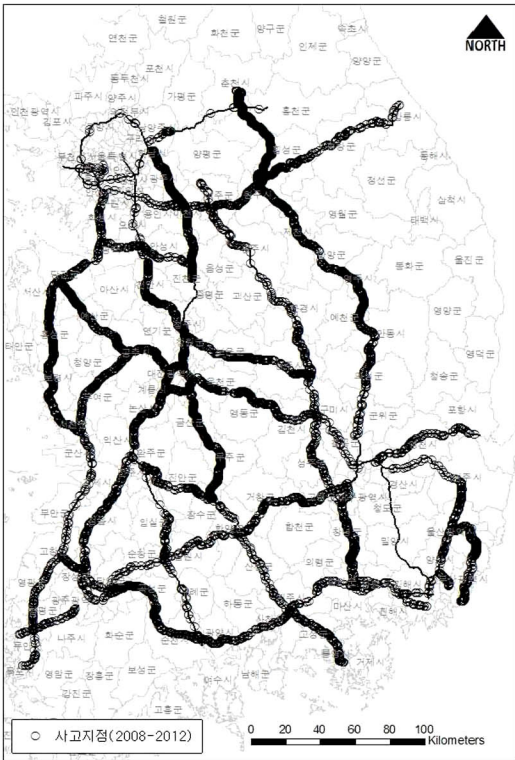


그림 6. 로드킬 발생위치(2008~2012)

Fig. 6. Spatial distribution of road-kill incidents

한 위치표시만으로는 그림 4와 같은 분석적 정보를 도출하여 우선순위 지역을 파악하기에 한계가 있다.

그림 4와 그림 5의 지도상에 표시된 상대적 위험도가 10을 초과하는 지역은 우연하게 형성되었다고 보기에는 기뻔함으로부터 벗어난 정도가 심하다. 이는 통계적 유의성 판단과 관련된 문제인데, 지도상에 표시된 사고지점(RR)10)들에 (식1)을 적용해 보면 포아송 사건으로서 발생 확률이 매우 작다. 예를 들어, 분석에 사용된 사고 발생사례 중에서 2010년 5월 5일 흥천부근 중앙고속도로 상행선 상에서 발생한 고라니 로드킬 사고지점을 중심으로 500m 이내에 들어오는 고속도로 연장은 약 2000m이고 해당 구간에서의 사고 발생건수는 2008년부터 2012년까지 5년 동안 13건이었다. 같은 기간

동안 총 사고 발생건가 9,587건이고 사고가 한 건 이상 발생한 고속도로의 총 연장이 16,694,150m이기 때문에 단위길이(m)당 예상 발생건수는 0.000574273건이다. 이를 (식1)에 적용하여 사고 발생 확률을 계산하면 해당 위치를 중심으로 사고가 발생할 확률은 약  $3.853 \times 10^{-10}$ 이다.<sup>8</sup> 이는 매우 작은 확률이다. 즉, 해당 구간에서 5년 동안 6건의 사고가 발생할 가능성이 극히 희박함에도 불구하고 사고가 발생한 것은 사고 발생 가능성을 높이는 외부 환경요인이 작용한 결과임을 강하게 반증하는 셈이다. 이 사례에서 기대빈도 즉, (식2)에서  $L(i)\lambda$ 는 약 1.17건이기 때문에 (식2)를 적용한 상대적 위험도는 약 11정도이다. 즉, 외부의 환경적 요인이 전혀 없는 균질한(homogeneous) 도로여건을 가정했을 때보다 부러 11배 이상 로드킬 사고 발생 가능성이 높은 것이다.

## 2. 정책적 함의

표 1에서도 제시한 바와 같이 상대적 위험도 11은 탐색반경 500m와 1,000m를 기준으로 대략 상위 10분위수에 해당한다. 즉 상대적 위험도가 11이상인 사고 발생지점들의 수는 전체 9,587건 중에서 각각 1,542건(≈16.08%)과 950건(9.91%)을 차지한다. 그러나 표 1에서 볼 수 있듯이 대부분의 탐색 반경에서 약 80% 이상의 로드킬 사고발생 지점들에서 상대적 위험도가 2를 넘는다. 이는 두 가지 정책적 함의를 제시한다. 첫째, 상대적 위험도가 2 이상인 경우 그림 4등의 지도에서 표시한 상위 10분위에 포함된 위치가 아니더라도 기준치인 1보다는 분명히 큰 값이므로 사고발생 저감노력과 관련하여 여전히 주의를 기울여야 함에는 틀림없다. 그렇더라도 공공재원을 투입하는 상황에서 상대적 위험도가 11이상인 지점들이 상대적 우선순위를 점해

야하는 점 역시 사실이다. 둘째, 기본적으로 로드킬 사고가 발생한 지점들은 공간적으로 군집하려는 경향이 강하다는 점이다. 이는 표 1의 하위 10분위수 즉, 10% 분위에 해당하는 경계도 1보다 큰 값을 가지는 것으로부터 유추해볼 수 있다. 즉, 로드킬이 고속도로 상에서 우연한 요인에 의하여 발생한 것으로만 보기에는 상대적 위험도가 크고 관련된 포아송 확률이 작다는 계산결과를 근거로 반증해 볼 수 있는 것이다. 따라서 로드킬 사고 발생에는 우연적 요인 이외에 환경적 특성, 동물들의 이동행태 등 다양한 요인이 존재하며 500m 공간범위에서 상대적 위험도 즉, 공간적 군집도가 가장 큰 것으로 미루어볼 때 한정된 지리적 범위에서의 요인들의 영향력이 클 것으로 판단된다. 물론 동물 종이나 지역적 특성에 따라 그 구체적 특성에는 편차가 존재하겠지만 로드킬 발생의 공간적 군집패턴은 대체로 고속도로 구간별 국지적 환경특성 및 동물 종의 이동행태 특성이 종합적으로 반영된 결과인 것으로 생각된다. 향후 로드킬 군집에 영향을 줄 수 있는 환경적 특성요인에 대한 추가적 실증연구를 통하여 요인별 정책방안에 대한 구체적인 논의가 추가될 필요가 있을 것으로 판단된다.

## VI 결론

고속도로 상의 로드킬 사고는 특히 운전자가 예측하기 어려운 상황에서 갑작스럽게 발생하는 경우가 대부분이다. 이는 고속주행이 이루어지는 고속도로의 특성 상 사고 발생 시 운전자의 생명을 심각하게 위협하는 요인이다. 인명피해보다는 상대적으로 부차적이기는 하지만 이로 인한 사회적, 경제적 비용의 문제도 만만치 않다. 또한 희귀종의 경우 멸종 위기와 동물의 생명과 관련된 윤리적 논란 유발 등 다양한 문제가 발생한다. 따라서 로드킬은

사전 예방적 차원에서 효과적인 저감대책 마련이 매우 중요한 사안이다.

로드킬 저감을 위한 대책 마련에 있어서 중요한 것은 한정된 예산 범위 내에서 그 효과를 가능한 최대화하는 것이다. 앞서 분석결과에서도 논의하였듯이 로드킬 발생은 우연적 요인보다는 환경적 요인의 영향이 큰 것으로 판단된다. 동물의 이동을 제한하는 보호방책의 설치, 반대로 이동을 유도하는 생태통로(eco-bridge)의 설치, 기타 동물을 접근을 방지하는 다양한 기기들의 설치 등은 결국 입지선정의 문제로 귀결된다. 즉, 어디를 대상으로 대책을 적용할 것인지는 매우 중요하다. 공공예산의 집행에 있어서 비용의 한계가 있기 때문이다. 따라서 대책 적용을 통하여 상대적으로 큰 효과가 예상되는 입지를 선정하는 것이 필요하다. 그러나 기존의 연구들을 검토한 결과 지리적으로 미시적 차원에서의 입지에 관한 분석결과를 도출하는 데는 한계가 있었다.

이 연구에서는 두 가지 관점에서 기존의 로드킬 연구에 기여할 것으로 기대된다. 첫째, 이 연구에서는 로드킬이 발생한 개별 위치를 지도코딩을 통하여 구축함으로써 지리적으로 미시적인 분석이 가능하였고 도출한 결과 역시 방안 적용을 위한 구체적 위치 선정과정에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 물론, 기존 연구에서도 직접적 관찰을 통하여 사고 발생위치를 수집하여 분석한 사례가 있기는 하지만, 이 연구에서는 도로공사에서 유지·관리하고 있는 자료를 가공하여 몇 년 동안에 걸쳐서 전국단위로 위치자료를 구축한 점에서 차별성이 있으며 향후 이 연구에서 제시한 개별위치 자료구축 방법론을 개선·적용할 경우 로드킬 GIS 자료구축 비용이 상당부분 절감될 것으로 기대된다. 둘째, 로드킬 발생이 많은 지리적 공간상에서 수많은 불확실성을 띠는 공간현상임을 전제로 위치정보와 불확실성을 함께 다루기에 효율적인 공간통계학적 분

석기법을 적용함으로써 상대적 위험도 및 발생 가능성 등에 대한 구체적 수치를 제시할 수 있었다. 이는 방안 적용 우선순위 선정과정에서 참고할 할 수 있는 공간의사결정정보로서의 효용성이 있는 것으로 판단된다.

이 연구는 다음과 같은 한계를 가진다. 첫째, 로드킬 사고 발생을 고속도로에 한정된 점이다. 로드킬은 국도나 지방도에서도 빈번히 발생하기 때문에 고속도로 상에서 발생한 사례만으로는 정확한 분석에 한계가 있을 것으로 생각된다. 둘째, 이점 형태로 표시된 로드킬 사고의 발생위치를 추정하기 위하여 이 연구에서는 고속도로 GIS자료를 이용하여 지오코딩을 수행하였지만 이 과정에서 원시자료인 이점 자료에 누적된 오차 등으로 인하여 지오코딩 결과 역시 오류의 가능성이 있다. 이러한 한계와 관련하여 향후 도로공사뿐만 아니라 국도 및 지방도 관할 기관 등에서 로드킬 사고를 처리하는 과정에서 좌표수신기(GPS)를 이용하여 사고 발생위치의 xy-좌표를 표시할 경우 효율적인 로드킬 GIS자료 구축을 통한 정밀한 공간통계학적 분석이 지속적으로 가능할 것으로 생각된다. 셋째, 이 연구에서는 국지적 공간군집도를 추정하는 과정에서 동물 종에 관계없이 로드킬 발생건수를 동일한 방식으로 처리하였다. 즉, 고라니, 너구리, 멧돼지 할 것 없이 방법론상에서 동일하게 1건으로 계상하였다. 실제 사고가 발생할 경우 몸집이 상대적으로 작은 너구리 등 보다는 몸집이 큰 멧돼지와는 충돌이 훨씬 위험할 것이고 따라서 상대적 위험도 측면에서 가중치가 부여될 필요가 있다. 이는 향후 연구에서 고려할 필요가 있는 방법론상의 한계로 판단된다. 넷째, 이 연구에서는 2008년부터 2012년 5년에 걸친 기간 동안 발생한 전체 사고건수를 고속도로 길이로 나누어 단위길이(m)당 예상 발생건수 혹은 발생건수의 기대치를 추정하다. 그러나 현실적으로 기대치가 고속도로 구간이나 발생 시간대 등에 따라 다를

것이다. 대도시를 관통하는 고속도로 구간보다는 서식처와의 환경적 개연성이 상대적으로 높은 임야나 초지 등을 지나는 구간에서 기본적 예상빈도가 높을 것임은 비교적 명확해 보인다. 또한 야행성 동물의 경우 시간대에 따른 발생빈도 편차가 있을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 향후 보다 정밀한 연구를 통하여 보완이 필요할 것으로 보인다. 마지막으로 본 연구에서는 로드킬의 발생위치만을 고려하여 공간패턴을 분석하고 해석적 함의를 도출하는데 연구의 범위를 한정하였으나 궁극적으로는 외부 변수들이 로드킬 발생에 미치는 영향력에 대한 통계적 실증분석이 필요할 것으로 생각된다. 외부 요인변수들이 로드킬 발생에 미치는 영향력에 대한 실증적 통계분석을 통하여 해석적 논의의 폭을 확장함으로써 계획과정에서 정책적 함의도출을 위한 실질적 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

- 주1. 이점은 고속도로 상행선 시작점을 기준으로 한다. 예를 들어, 서해안고속도로의 경우 목포시 내 고속도로 첫 이점을 0km로 설정한다. 영동고속도로의 경우는 강릉시 내 고속도로 첫 이점이 0km이다. 하행선은 상행선 이점을 그대로 적용한다. 가령 서해안 고속도로 상행선 이점 0km는 하행선의 경우 마지막 이점이 된다.
- 주2. 이 수치는 전국 로드킬 발생건수를 고속도로 총연장으로 나눈 값으로써 상대적 위험도의 개념을 예시하기 위하여 적용한 값이다. 아울러 그림 2에서 사고 발생지점  $i$ 를 중심으로 일정 영향권역( $d$ ) 내에 포함되는 도로구간의 길이를 계산하기 위하여 ArcGIS10.0의 Buffer기능과 Union기능, Dissolve기능을 적용하였다. 즉, Buffer를 적용하여 500m부터 3000m까지 500m 간격으로 사고 발생지점마다 총 6개의 영향권역을 설정하였고 해당 권역 내 들어오는 고속도로 구간을 Union 연산을 통하여 추출한 뒤, 이를 사고 발생지점의 ID를 공통기준으로 적용하여 Dissolve 기능을 적용함으로써 각 사고 발생 지점별 일정 범위 영향권역 내 도로구간의 길이를 계산하였다. 물론 도로구간의 길이는 고속도로별 차선수를 가중치로 적용하여 산정한 결과이다.
- 주3. (식1)은 (식2)의 통계적 유의성 정보를 제공하는 것으로 볼 수 있다. (식2)의  $\lambda$ 는 (식1)의  $\lambda$ 와 동일한 의미로 사용된 것이며 (식2)의  $O(i)$ 는 (식1)의  $x$ 에 해당한다. 따라서 (식2)의  $O(i)$ 가 클수록  $\lambda$ 가 상수로 고정된 값이고  $L(i)$  역시 상수로 주어진 상황에서

(식1)이 의미하는 해당 도로 구간에서 사고가 발생할 확률 역시 커짐을 의미한다. 이 값이 어떤 임계값(예: 표준정규분포 확률분포에서 유의수준 0.01에 해당하는 값인 2.57)보다 클 경우 해당 도로구간에서 특별한 (환경적) 요인이 없다면 그 가능성이 매우 낮음에도 불구하고 해당 사고건수가 관찰되었음을 의미한다. 이는 관찰된 사고건수가 공간군집을 형성했음을 의미하는 통계적 증언인 셈이다. 이런 의미에서 (식1)은 (식2)의 통계적 유의성 정보를 반영한다.

주4. (식2)에서  $\lambda$ 는 전국 모든 고속도로에서 평균적으로 발생할 것으로 예상되는 사고건수이고  $\lambda(i)$ 는 특정 공간범위( $i$ 를 중심으로 일정반경 범위)에 있는 도로 구간에서의 평균 발생건수를 의미한다. 이러한 의미에서 (식2)의 상대적 위험도는 산업입지 분야의 입지 지수(Location Quotient: LQ)와 동일한 개념을 나타낸다. 입지지수는 산업입지 분야에서 특정 지역의 특정 산업의 공간적 집중도를 나타낸다. 즉, 입지지수를 구성하는 분모의 경우 전국 전체산업의 총고용자수 대비 특정 산업의 총고용자수의 비율이고 분자는 전국 특정 지역 내 전체산업의 총고용자수 대비 해당 지역 내 특정 산업의 총고용자수의 비율에 해당한다. 입지지수가 1보다 크면 해당 지역에서 해당 산업 종사자 수가 전국 평균을 상회하며, 값이 증가할수록 해당 산업의 해당 지역에서의 공간적 집중도 즉, 특화도 역시 증가하여 해당 지역에서 해당 산업은 경쟁력을 가지는 것으로 해석하는 것이 일반적이다. 유사한 맥락에서 (식2)는 특정 지역 즉, 그림 2에서 반경  $d$ 인 원 안에 들어오는 도로구간에서의 사건 발생의 공간군집도를 나타내는 것으로 볼 수 있으며, 특화지수와 마찬가지로 1을 기준으로 군집의 정도를 가늠할 수 있다. (식2)가 나타내는 값이 클수록 해당 지점( $i$ )을 중심으로 로드킬 사고가 집중적으로 발생하여 공간군집도가 높으며 향후 발생 가능성 즉, 상대적 위험도가 클 것이라는 점을 함의한다.

주5. 로드킬 지오코딩에 필요한 고속도로 상·하행 중심선 GIS자료는 2014년을 기준으로 국가교통DB센터에서 제공하는 링크 데이터로부터 추출한 것이다. 구축결과 로드킬이 한 건 이상 발생한 고속도로는 총 31개로 집계되었다.

주6. 이 중 상당수 자료는 고속도로의 총연장을 넘어서는 이정 길이로 기록된 결과이다. 영암순천선의 경우는 2013년 10월을 기준으로 DB에 포함되지 않아서 지오코딩이 불가능하였다. 또한 제2중부선의 경우 로드킬 발생 연장 데이터가 고속도로의 총연장을 벗어나서 지오코딩 결과를 산출할 수 없었다. 예를 들어, '가' 고속도로의 총연장이 100km인데 사고 발생지점이 120km로 기록된 경우는 그림 1에서 제시한 방법으로 좌표추출이 불가능하다. 이는 원시자료 기록상의 오류로 추측되지만 이에 대해서는 별도의 확인이 필요하다. 만일 로드킬 사고 발생시 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 xy-좌표를 표기할 수 있으면 로드킬 발생지점의 정확한 자료구축이 가능 그림 1과 같은 지오코딩 작업이 불필요하다.

주7. 분석결과를 해석할 때 탐색반경 설정에 관한 절대적 기준은 없다. 이 연구에서는 다만 <표 2>에서 볼 수 있듯이 500m 범위에서 국지적 위험도에 있어서 사고 발생지점들 간 편차가 가장 큰 점에 착안하여 해당 범위를 중심으로 결과를 해석하였다. 500m 바로 다음 탐색반경인 1000m의 경우 상대적 비교를 위하여 지도상에 분석결과를 함께 제시하였다.

$$\text{주8. } P(X=13) = 3.853 \times 10^{-10} \\ \left( \approx \frac{(2038 \times 0.0005743)^{13}}{13!} e^{-(2038 \times 0.0005743)} \right)$$

### 인용문헌 References

1. Anselin, L., 1995. "Local indicators of spatial association—LISA", *Geographical Analysis*, 27: 93 - 115.
2. Beaudry, F., deMaynadier, P.G., and Hunter Jr., M.L., 2008. "Identifying road mortality threat at multiple spatial scales for semi-aquatic turtles", *Biological Conservation*, 141: 2550-2563.
3. Besag, J., and Newell, J., 1991. "The detection of clusters in rare diseases", *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 154(1): 143-155.
4. Getis, A., and Ord, J.K., 1992. "The analysis of spatial association by use of distance statistics", *Geographical Analysis*, 24: 189-206.
5. Lee, G., and Rogerson, P., 2007. "Monitoring global spatial statistics", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (SERRA)*, 21(5): 545-553.
6. Moran, P., 1948. "The interpretation of statistical maps", *Journal of the Royal Statistical Society B*, 10: 243-251.
7. Rogerson, P., 2001. "A statistical method for the detection of geographic clustering", *Geographical Analysis*, 33: 215-227.
8. Rogerson, P., and Sun, Y., 2001. "Spatial monitoring of geographic patterns: an application to crime analysis", *Computers, Environment and Urban Systems*, 25(6): 539 -

- 556.
9. Rogerson, P., 2006. "Statistical methods for the detection of spatial clustering in case-control data", *Statistics in Medicine*, 25: 811-823.
  10. Seiler, A., 2005. "Predicting locations of moose-vehicle collision in Sweden", *Journal of Applied Ecology*, 42: 371-382.
  11. Teixeira, F.Z., Coelho, I.P., Esperandio, I.B., Oliveira, N.R., Peter, F.P., Dornells, S.S., Delazeri, N.R., Tavares, M., Martins, M.B., and Kindel, A., 2013. "Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups?", *Oecologia Australis*, 17(1): 36-47.
  12. 김귀곤 · 최준영, 1998. "분절된 서식처의 연결을 위한 생태이동통로에 관한 이론적 연구(I)-유형구분 및 조성절차를 중심으로", 「한국조경학회지」, 26(2): 293-307.
  - Kim, Kwi-Gon, Choi, Jun-Young, 1998. "A Theoretical Study on the Wildlife Passage for Connecting Fragmented Habitat(I)- In the case of Wildlife Passage Types and Design Process", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 26(2): 293-307.
  13. 김선희, 2008. "로드킬을 생각한다", 「국토」, 319: 6.
  - Kim, Sun-Hee, 2008. "Think Road-Kill", *Planning and Policy*, 319: 6.
  14. 박종준·우동걸·오대현·박종화, 2012. "공간구분론을 이용한 도시 내 삶 이동통로 적지선정", 「한국조경학회지」, 40(1): 92-99.
  - Park, Jong-Jun, Woo, Dong-Geol, Oh, Dae-Hyun, Park, Chong-Hwa, 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.
  15. 양병국·최태영·유병호·이정연·김태규·이중호·이선미·조영래, 2007. 「생태계 단절의 영향 및 야생동물 서식공간 조성 연구(II): 로드킬 방지지설 설치 기법을 중심으로」, 인천: 국립환경과학원.
  - Yang, Byeong-Gug, Choi, Tae-Young, Yoo, Byung-Ho, Yi, Jeong-Yeon, Kim, Tae-Kyu, Lee, Jung-Hyo, Lee, Seon-Mi, Cho, Young-Rai, 2007. *Management of wildlife species under the influence by habitat fragmentation(II) -In the Case of Road-kill Mitigation Measures-*, Incheon: National Institute of Environmental Research
  16. 이병주·김태식·정봉조·남궁문, 2011. "로드킬 저감을 위한 로드가드시스템의 가치 평가에 관한 연구", 「한국도로학회 논문집」, 13(1): 107-118.
  - Lee, Byung-Joo, Kim, Tae-Sik, Chung, Bong-Jo, Namgung, Moon, 2011. "Valuation of Road Guard System to Reduce Road-Kills", *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 13(1): 107-188.
  17. 이용욱·이명우, 2006. "목표종 생태통로의 위치선정-포유류 Road-kill 현장조사를 중심으로", 「한국환경복원녹화기술학회지」, 9(3): 51-58.
  - Lee, Yong-Wook, Lee, Myung-Woo, 2006. "Eco-corridor Positioning for Target Species - By Field Surveying of Mammals' Road-Kill -", *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 9(3): 51-58.
  18. 이진영·노백호·이장원, 2010. "AHP기법을 활용한 야생동물 이동통로의 기능 개선을 위한 평가항목 분석", 「한국환경생태학회지」, 24(6): 763-771.
  - Lee, Jin-Young, Rho, Paik-Ho, Lee, Jang-Won, 2010. "Using AHP to Analyze the Evaluation Factors Related to Wildlife Passage Management", *Korean Journal of Environment and Ecology*, 24(6): 763-771.
  19. 정양권·최재호·최석원, 2010. "로드킬 예방을 위한 야생동물보호 시스템에 관한 연구", 「한국전자통신학회지」, 5(6): 575-580.
  - Jeong, Yang-kwon, Choi, Jae-ho, Choi, Seok-won, 2010. "A study on the road Kill about the wild animals protective system for a preven", *The Journal Of Korea Information And Communications Society*, 5(6): 575-580.
  20. 최태영·박종화, 2006. "토지이용 유형에 따른 포유류 로드킬 발생 특성", 「한국조경학회지」,

- 34(5): 52-58.  
Choi, Tae-Young, Park, Chong-Hwa, 2006. "The Effects of Land Use on the Frequency of Mammal Roadkills in Korea", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 34(5): 52-58
21. 한국도로공사, 2008. 「고속도로 정밀생태조사 및 야생동물 교통사고 예방종합대책」, 경기. Korea Expressway Corporation, 2008. *Precise Ecological Survey of Expressway and Comprehensive Prevention Plan of Road-Kill Accidents*, Gyeonggi.
22. 한국도로공사, 2013. 「야생동물 교통사고 커뮤니티 매핑 적용 연구」, 경기. Korea Expressway Corporation, 2008. *Research on Applying Road-Kill Accidents Community Mapping Technique*, Gyeonggi.

Date Received 2014-08-29

Date Reviewed 2015-02-05

Date Accepted 2015-02-05

Date Revised 2015-03-04

Final Received 2015-03-04