

## 충청남도 도로 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성에 관한 연구\*

### A Study on the Spatial Correlation between Roadkill and Traffic Accidents on Roads in Chungcheongnam-do

오용준\*\* · 이경주\*\*\*

Youngjune Oh · Gyoungju Lee

**요약:** 이 연구의 목적은 로드킬과 교통사고 간의 공간적 상관관계를 분석하는 것이다. 이를 위해 충청남도 산줄기 단절지점에서 로드킬 지점과 교통사고지점의 공간적 군집패턴을 조사하였다. 연구결과에 의하면, 충청남도 내에서 산줄기 주요 훼손구간 중에서 로드킬과 교통사고 발생 간에 공간적인 상관관계가 뚜렷한 구간을 확인할 수 있었다. 그동안 도로 및 개발사업으로 인한 산줄기 단절은 야생동물의 이동경로를 차단 하였고, 결국 도로에서 수많은 야생동물 교통사고를 유발하게 되었다. 이러한 결과는 논산시 일부지역에서 가장 뚜렷하게 관찰되었고, 천안시 동남구와 예산군 및 청양군 일대에서도 높은 공간적 상관성을 보이고 있다. 이러한 연구결과를 토대로 로드킬 발생구간 중 교통사고 발생지역은 야생동물 펜스나 생태도로 설치 등 다양한 로드킬 저감대책이 시급히 마련되어야 한다.

**핵심주제어:** 로드킬, 교통사고, 공간적 군집패턴, 야생동물 펜스

**Abstract:** This study aims to analyze the spatial correlation between roadkill and traffic accidents. To this end, the study investigated the spatial clustering pattern of roadkill locations and traffic accident locations on roads across mountain ridges in Chungcheongnam-do. The study found a clear spatial correlation between roadkill and traffic accidents in major areas where mountain ridges were damaged. Road construction and land development have cut through mountain ridges, blocking the migration paths of wildlife, which has come to cause many wildlife-related road traffic accidents. This result was most clearly observed in some areas of Nonsan-si, and a high spatial correlation was found in Dongnam-gu of Cheonan-si and across Yesan-gun and Cheongyang-gun. According to the results of this study, it is recommended that various policy measures be taken, including the installation of wildlife fences and eco-bridges to reduce roadkill in areas where traffic accidents occur.

**Key Words:** Roadkill, Traffic Accident, Spatial Clustering Pattern, Wildlife Fence

\* 본 논문은 충남연구원의 2018년 기본과제 지원에 의하여 연구되었음.

\*\* 주저자, 충남연구원 지역도시연구부 선임연구위원

\*\*\* 교신저자, 한국교통대학교 건설환경도시교통공학과 부교수

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 국토면적의 67.8%가 토지피복분류상 산림지역이다(환경부, 2014). 산지는 생물종다양성을 보호하는 그릇이라 할 수 있다. 산(mountain)이 줄지어 있는 산줄기(ridge)는 그동안 풍수지리적 관점이나 백두대간 종주, 지리산 둘레길처럼 문화적 관점에서 연구되어 왔다. 최근 정부는 백두대간을 중심으로 정맥, 기맥, 지맥, 세맥 등 산줄기를 연결하여 한반도 생태계를 보호하겠다는 의지를 밝히고 있다. 자연히 산줄기 연결망 내에 단절되고 파편화된 산지를 복원하는데 투자가 예상된다. 도시화가 진전되면서 도로, 철도와 같은 선형시설과 점적인 개발사업으로 인해 산줄기는 수없이 단절되어 왔다. 이러한 산줄기 단절은 야생동물의 이동경로를 차단하였고, 결국 도로에서 수많은 야생동물 교통사고를 유발하게 되었다. 충청남도는 ‘광역생태네트워크 구축을 위한 자연환경조사(3차)’의 일환으로 산줄기 주요 단절지점의 도로구간에서 2011년부터 2012년까지 로드킬 조사를 실시하였다. 충청남도 광역생태네트워크상에서 훼손된 산줄기 단절구간을 복원하기 위해 기초자료를 제공하기 위한 목적이었다.

그동안 정부는 야생동물 교통사고인 로드킬(roadkill)을 줄이기 위해 사업시행자에게 생태통로나 야생동물 펜스(Wild-life Fence)를 설치하도록 하였다. 이러한 시도는 도시개발사업을 추진할 경우에 제한적으로 이루어졌고, 야생동물 펜스는 고속도로 일부구간에만 설치되었다. 미국이나 캐나다에서는 로드킬 방지를 위한 펜스 설치가 보편화되어 있다. 특히, 미국 워싱턴주의 펜스 설치에 연방정부와 주정부, NGO뿐 아니라 자동차보험회사도 비용을 분담하고 있다. 로드킬로 인한 교통사고를 줄이는 것이 자동차보험수익을 보전할 수 있기 때문이다. 캐나다는 정부와 기업, 연구기관, NGO가 교통사고 연구재단을 구성하고, 자동차보험회사가 야생동물 도로공유센터(Wildlife Roadsharing Resource Centre)를 후원해 운영하고 있다.

차량 충돌로 인하여 운전자의 안전과 생명이 위협받고 사회·경제적 비용이 증가함에 따라 로드킬 피해의 심각성과 저감대책의 시급성이 강조되고 있다(이병주 등, 2011). 이런 점을 고려한다면, 우리나라 도로에서의 로드킬이 자동차교통사고와 정말로 상관성이 있는 것인지를 확인하는 것은 매우 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 다시 말해 도로로 산줄기가 단절된 구간에서 로드킬이 얼마나 일어나고 있는지, 그리고 로드킬이 발생하는 구간에서 자동차 교통사고와의 연관성은 어느 정도인지 등을 확인하는 것은 향후 야생동물 펜스를 설치하는 목적을 우리 사회가 공유하는데 중요한 근거가 될 것이다.

따라서 본 연구는 충청남도 산줄기 주요 단절구간 도로에서 로드킬과 자동차 교통사고 발생의 공간적 상관성을 분석하고, 이를 토대로 로드킬을 저감해야 하는 정책의 중요성을 강조하는데 목적이 있다. 이러한 분석 결과는 향후 도로 관리기관인 국토교통부와 야생동물 보호기관인 환경부, 산줄기 연결망을 구축하는 산림청, 지방자치단체 간 및 부처 간 협업사업을 추진하는데 있어 바람직한 정책방향을 제시하는데 도움이 될 것이다.<sup>1)</sup>

## 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 총 4장으로 구성된다. 이어지는 2장에서는 선행연구 검토를 통해 로드킬 현황 및 특성과 관련된 연구를 검토함으로써 본 연구의 차별성을 제시한다. 3장에서는 로드킬과 교통사고 발생의 상관성을 측정하는 공간분석기법과 충청남도 국도변 로드킬 조사결과 등 전체적인 분석의 틀을 제시한다. 4장에서는 공간통계분석 결과를 바탕으로 로드킬과 교통사고 간의 상관성을 실증분석한다. 마지막 5장에서는 연구결과에 대한 시사점과 함께 연구의 한계 및 향후 연구과제를 제시한다. 본 연구에서는 로드킬과 교통사고 발생이 공간적으로 뚜렷한 상관성을 보이는 도로구간을 분

1) 환경부와 국토교통부는 2018년 5월부터 로드킬 다발구간에 대한 정밀조사를 실시하여 도로별로 맞춤형 저감대책(예: 내비게이션 안내, 표지판, 유도울타리) 수립·시행할 계획이다.

석하기 위한 공간통계 기반의 분석기법(지리적 점 사상들의 공간적 군집 패턴 분석)을 소개하고, 이를 충남지역 국도 상에서 발생한 로드킬과 교통 사고 발생자료에 적용하여 실증적인 분석결과를 도출하였다.

## II. 선행연구

로드킬에 관한 선행연구를 살펴보면, 고속도로나 국립공원에서의 로드킬에 관한 연구는 다양한 측면에서 이루어진 반면, 국도 및 지방도를 중심으로 로드킬과 자동차 교통사고와의 상관성에 관한 연구는 없었다. 선행 연구는 로드킬에 관한 연구와 연구방법 측면에서 공간통계학의 점 패턴 분석(point pattern analysis) 연구로 구분하여 검토하였다.

첫째, 로드킬 연구는 박선일 등(2015), 이경주 등(2014), 김형호 등(2009) 등이 현황과 특성을 분석하였다. 박선일 등(2015), 이경주 등(2014)은 우리나라 고속도로에서 로드킬이 집중적으로 발생하는 지역을 도출하여 로드킬 저감사업 예산을 집행하는 우선순위로 활용하도록 제안하고 있다. 김형호 등(2009)은 고속도로 로드킬 발생현황 GIS DB를 구축하고 로드킬 위험구간을 구분하였다. 손승우 등(2016), 석상묵 등(2015), 송재영 등(2009) 등이 국립공원 내 로드킬 발생 영향요인을 분석하고 로드킬 발생지점과 서식지 패치 간의 관계성을 파악하였다. 손승우 등(2016)과 송재영 등(2009)은 국립공원의 로드킬 현황과 자연환경요인, 토지이용요인 등 발생원인을 회귀분석하였다. 석상묵 등(2015)은 다람쥐 서식지 패치와 로드킬과의 관계성을 파악하고자 하였다. 그 밖에 송정석 등(2009), Clevenger et al.(2003) 등이 로드킬을 저감하기 위한 야생동물 이동통로와 유도울타리 설치방향과 효율성을 측정하였다. 송정석 등(2009)은 유도울타리 설치에 따른 로드킬 감소효과를 측정하고 유도울타리 설치 개선방안을 제시하였다. Clevenger et al.(2003)는 로드킬이 발생하는 야생동물 종별 분포현황과 이에 맞는 생태통로 설치방안을 제시하였다.

둘째, Gomes et al.(2009), Malo et al.(2004), Ruiz-Capillas et al.(2015), Rogerson and Yamada(2009) 등은 점 패턴 분석 연구를 수행하였다. Gomes et al.(2009)는 남부 포르투갈 지역 내 도로상에서 발생한 올빼미 로드킬 발생자료를 이용하여 각 도로 구간별 로드킬 발생가능성을 추정하는 모형을 구축하였는데, 이 모형의 주요 전제 중 하나는 로드킬 발생빈도가 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다는 점이다. 이들의 연구에서는 로드킬 발생빈도의 포아송 분포를 전제로 구축한 확률모형을 통하여 로드킬 발생가능성이 높은 공간적 군집지역을 추정하고 정책적 함의를 제시하였다. 유사한 맥락에서 Malo et al.(2004)는 로드킬 저감방안을 적용하기 위한 지역을 찾아내기 위한 연구를 수행하는 과정에서 로드킬 발생빈도가 포아송 분포를 가지는 점을 전제로 스페인의 소리아(Soria) 지역을 대상으로 로드킬 발생가능성이 높은 도로 구간을 탐색하는 연구를 수행하여 분석결과를 도출하고 해석적 함의를 제시하였다. Ruiz-Capillas et al.(2015) 역시 스페인 중부 아빌라(Avila) 지역 내 자동차 전용도로 내에서 발생한 로드킬 자료에 포아송 모형을 적용하여 로드킬 발생 가능성이 높은 공간적 군집지역을 도출하는 실증연구를 수행하였다. 로드킬은 본질적으로 도로상에서 발생하는 점적 현상이기 때문에 이들 선행연구들에서 알 수 있듯이 발생빈도에 있어서 포아송 분포를 전제하는 것이 타당한 것으로 사료된다. 마지막으로 Rogerson and Yamada(2009)는 미국 카운티 단위로 발생한 희귀성 질병의 발병빈도를 바탕으로 발생 가능성을 카운티 단위의 확률로 지도상에 표시함으로써 발생확률이 높은 카운티들의 공간적 군집패턴을 분석한 바 있다. 이들의 연구에서 수행한 분석과정의 핵심 전제 역시 일정한 수준의 지리적 영역 내에서 지리적 사상 점이 발생할 것으로 예상되는 빈도특성은 포아송 분포를 따른다는 점이다. 카운티 내 수십만 인구에서 드물게 발생하는 희귀성 질병은 도로상에서 발생하는 로드킬과 공간상에서의 점 사상 발생원리 측면에서 동일한 것으로 볼 수 있다.

종합하면, 기존 로드킬 연구는 발생원인을 검토하고 집중발생지점을 분석함으로써 로드킬 방지시설의 설치 가이드라인을 제시하는데 실효성 있

는 자료가 되었다. 그러나, 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성을 측정하는 연구는 매우 미흡한 상태이다. 본 연구는 충청남도 산줄기 단절지점 도로구간의 로드킬 발생지점별로 교통사고 발생위치의 공간적 군집도를 측정하고, 이를 토대로 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성을 측정한다는 점에서 내용적으로나 연구방법 상에서 차이가 있다.

### III. 공간모형

#### 1. 공간패턴 분석방법

로드킬은 지리적 공간상에서 발생하는 지리적 점 사상(geographic point event) 중 하나라 할 수 있다. 지리적 점 사상이란 교통사고처럼 공간 상에서  $xy$ 좌표를 가지는 점으로 표현되는 현상을 의미한다. 지리적 점 사상들이 공간상에서 어떤 분포 특성을 갖는지 정량적으로 유형화하는 것은 공간통계학의 점 패턴 분석(point pattern analysis) 분야에서 다루는 영역이다. 점 패턴 분석은 지리적 점 사상들의 공간적인 군집경향을 정량화하여 주변의 환경적 요인과의 잠재적인 인과관계를 추론하기 위한 방법론이라 할 수 있다. 공간적 패턴은 공간적 무작위 패턴(spatial random pattern), 공간적 군집패턴(spatial clustering pattern), 공간적 규칙 패턴(spatial regular pattern) 등으로 구분할 수 있다. 그 중 공간적 군집 패턴은 점(point)들이 공간상에서 가까이 모이려는 경향이 어느 정도인지 측정하기 위해 활용되고 있다. 본 연구의 목적은 지리적 점 사상인 로드킬과 교통사고의 공간적 상관성이 높은 지역을 찾아내고 정책적인 함의를 논의하는 것이다. 이를 점 패턴 분석기법을 바탕으로 로드킬과 교통사고라는 두 가지 유형의 지리적 점 사상들 간에 공간적 상관성을 공간통계적 관점에서 정량적으로 분석하였다.

로드킬과 교통사고라는 지리적 점 사상들은 모두 공간상에서 발생하는 빈도가 포아송 분포(Poisson distribution)를 가진다. 포아송 분포는 발생가

능성이 상대적으로 희박한 사건(event)의 발생확률을 정의하는 분포를 의미한다. 포아송 분포를 나타내는 확률변수는 표준정규분포(standard normal distribution) 확률변수(random variable)로 근사변환(approximation)이 가능하다. 근사변환의 이유는 표준정규분포 확률변수가 분석결과를 해석하는데 쉽고 명확한 기준을 제시할 수 있기 때문이다. 포아송 분포를 따르는 확률변수  $X$ 는 아래의 (식1)과 같이 근사적 표준정규분포 확률변수로 변환할 수 있다(Rogerson, 2005; Rogerson and Yamada, 2009).

$$z_a = \frac{o_a - e_a}{\sqrt{e_a}} \quad (\text{식1})$$

(식1)에서  $o_a$ 와  $e_a$ 는 각각 단위지역  $a$ 에서의 관측빈도와 예상빈도를 의미한다. 단위지역이란 행정구역과 같은 집계경계를 의미한다. 가령, ‘ $a$ ’동에서 실제로 집계된 교통사고 발생빈도가 10건이고, 기대빈도가 4건인 경우  $o_a$ 와  $e_a$ 는 각각 10과 4의 값을 가진다.  $z_a$ 는 이를 토대로 교통사고 발생이라는 포아송 분포 확률변수의 값을 표준정규분포 확률변수(이후  $z$ -값)로 변환한 값이다.

〈표 1〉은  $z$ -값의 통계적 유의성과 관련한 일반적 해석기준을 의미한다. 이 연구에서는 포아송 분포를  $z$ -값으로 변환시키는 방식을 적용하여 로드킬과 교통사고 발생지점들 간 공간적 상관관계를 아래의 (식2)와 같이 정의한다. (식2)에서  $o_i(d)$ 와  $e_i(d)$ 는 로드킬 발생지점  $i$ 를 중심으로 반경  $d$  이내의 지리적 영역에서 실제로 발생한 교통사고 발생건수(발생빈도)와 통계적으로 예상되는 발생건수(기대빈도)를 나타낸다.

〈표 1〉  $z$ -값의 통계적 해석기준 (양측 검정)

$z$ -값	통계적 유의성	유의수준
$2.57 \leq z$	매우 유의	1%
$1.96 \leq z < 2.57$	유의	5%
$1.64 \leq z < 1.96$	약간 유의	10%
$-1.64 \leq z < 1.64$	보통 (무작위)	
$-1.96 \leq z < -1.64$	약간 유의	10%
$-2.5 \leq z < -1.96$	유의	5%
$z \leq -2.57$	매우 유의	1%

$$z_i(d) = \frac{o_i(d) - e_i(d)}{\sqrt{e_i(d)}} \quad (\text{식2})$$

(식2)를 통하여 로드킬과 교통사고 발생 간 공간적 상관관계를 가늠하는 원리는 다음과 같은 가설을 전제로 한다. 로드킬과 교통사고가 아무런 공간적 상관성이 없다면, 로드킬이 발생한 지점을 중심으로 일정 반경 내에서 예상되는 교통사고 발생빈도는 통계적으로 어디서나 동일한 것으로 전제할 수 있다. 통계적으로 동일하다는 것은 분석 대상지 내 어느 위치에 서든 교통사고가 발생할 확률이 같음을 의미한다. 이를 전제로 로드킬 발생지점  $i$ 를 중심으로 반경  $d$  이내에 발생할 것으로 예상되는 교통사고 발생건수  $e_i(d)$ 는 아래의 (식3)과 같이 계산할 수 있다.

$$e_i(d) = a_i \times \frac{T}{A} \quad (\text{식3})$$

(식3)에서  $a_i$ 는  $i$ 를 중심으로 반경  $d$ 인 지리적 영역의 넓이다.  $T$ 와  $A$ 는 각각 대상지 내 교통사고 발생건수 및 대상지의 면적을 나타낸다. (식3)과 같이 예상빈도를 추정할 수 있는 것은 대상지 내 어디서나 발생 가능성이 동일하다는 전제 때문이다. 즉, 교통사고와 로드킬 발생 간 공간적 상관성이 없다면, 어디에서나 동일한 가능성으로 로드킬과 교통사고가 발생할 수 있다. 그러나 동일한 지리적 영역 내라도 실제 발생빈도가 높다



면, 지리적 사상 점들 간 거리가 줄어들 것이고 이는 공간적인 군집패턴을 의미한다.

## 2. 변수 설정

이 연구에서는 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성을 충남지역 주요 도로구간을 대상으로 실증적으로 적용하였다. 계산의 편의상 대상지인 충청남도 전체를 100m 크기의 정방형 격자로 분할한 뒤, 총 격자의 개수를 충청남도 전체의 면적으로 적용하였다.  $a_i$ 는 발생지점  $i$ 를 통과하면서 반경  $d$ 인 원 내부에 있는 도로구간의 길이를 면적으로 환산한 값이다. 즉, 해당 도로구간이 통과하는 격자들의 면적의 합이  $a_i$ 이다. 이와 관련하여 Freeman-Tukey(1950)는 (식2)를 대체하여 아래의 (식4)와 같은 방식으로 포아송 확률변수를  $z$ -값으로 변환하는 대안적 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 (식2)를 (식4)로 대체하여 로드킬 발생지점별로 교통사고 발생위치의 공간적 군집도를 추정하고, 이를 로드킬과 교통사고 발생 간 공간적 상관성을 나타내는 공간통계지수로 활용하였다.

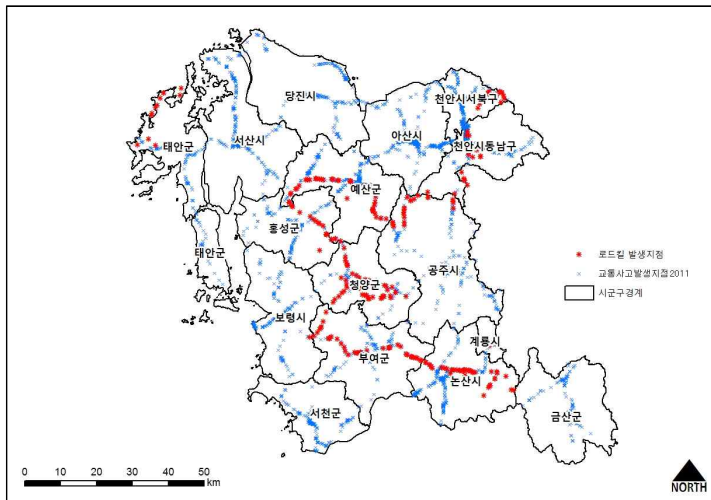
$$z_i(d) = \sqrt{o_i(d)} + \sqrt{o_i(d)+1} - \sqrt{4e_i(d)+1} \quad (\text{식4})$$

충청남도는 2011년 6월부터 10개월 동안 산줄기 단절구간에 대한 야생동물의 로드킬 조사를 월 1회씩 전수조사를 실시하였다. 로드킬 조사는 총 14개 지점(금북정맥 11개소, 금남정맥 3개소)<sup>2)</sup>를 중심으로 약 370km 거리를 국도 및 지방도만을 이동하며 이루어졌다. 조사결과 총 35종 340개체의 사체가 발생하였는데, 포유류가 전체의 60.3%로 가장 많았다. 다음으로 조류(64개체), 파충류(46개체), 양서류(25개체) 순으로 높게 나타났다.

2) 충청남도를 가로지르는 금북정맥은 크고 작은 도로에 의해 총 75개 지점에서 단절되었다. '충청남도 광역생태네트워크 구축을 위한 자연환경 조사 연구'에서는 75개 지점 중 14개 지점(금북정맥 3개 지점, 금남정맥 3개 지점)을 복원 우선지역으로 제시하고 있다.

다. 로드킬 발생은 포유류의 경우 시기별로는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, 조류·양서류·파충류는 6~9월까지 높게 나타났고 11~3월에는 관찰되지 않았다. 로드킬 지점 주변의 서식 환경은 산림이 가장 높게 나타났고 논, 인가 순로 높게 나타났다. 포유류, 조류, 양서류는 지방도(편도 1차선 도로)에 비해 국도(편도 2차선 도로)에서의 로드킬 발생량이 현저하게 높게 나타났다. 이에 비해 파충류는 국도(편도2차선도로)에 비해 지방도(편도1차선도로)에서의 로드킬 발생량이 높게 나타났다. 파충류는 이동이 느리고 조사지역의 지방도 노선 주변이 대체적으로 파충류가 주로 서식하는 환경이었던 것으로 추측된다. 로드킬은 도로 가드레일(Guard Rail)이 중간과 양쪽에 모두 있는 지점에서 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로 가드레일이 없는 지점에서 높게 나타났다(충청남도, 2012). 충청남도에서 2011년 기준 교통사고 발생건수는 3,300건으로 집계되었다.

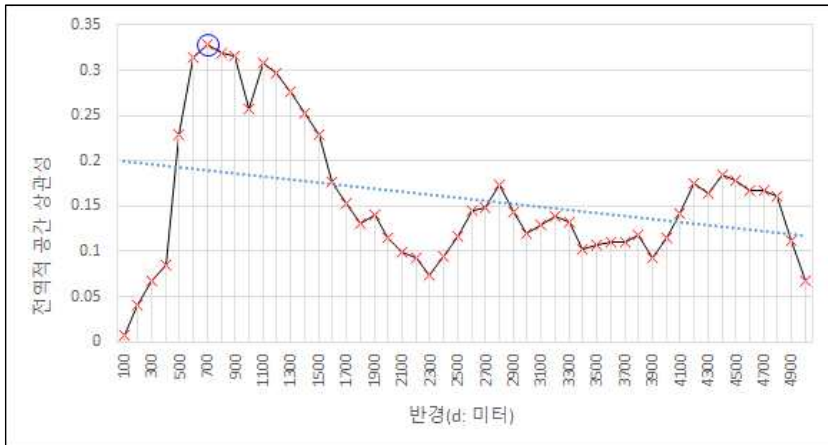
〈그림 1〉 충청남도 로드킬 및 교통사고 발생 현황



## IV. 분석결과

로드킬과 교통사고 발생간 공간적 상관성 즉, (식4)로 정의한  $z$ -값을 계산하기 위해서는 공간적 상관성의 지리적 범위를 나타내는 파라미터인 반경( $d$ )을 설정할 필요가 있다. 이를 위하여 로드킬 발생지점을 중심으로 100미터에서부터 5,000미터까지 100미터 단위로 반경  $d$ 를 설정한 뒤, (식4)로부터 계산한  $z$ -값들의 평균을 계산하였다. <그림 2>는 반경  $d$ 의 증가에 따른  $z$ -값들의 평균의 변화 양상을 나타낸다. 기본적으로 (식4)에서 정의한  $z$ -값은 해당 발생지점  $i$ 에서의 국지적 공간 상관성을 나타낸다. 따라서 모든 발생지점별로 추정한 국지적 공간 상관성의 평균은 대상 지 내 교통사고와 로드킬 발생 간 전반적인 상관성 즉, 전역적 공간 상관성을 가늠할 수 있는 정보로 볼 수 있다. <그림 2>에서 볼 수 있듯이, 반경  $d$ 가 700미터인 경우에 전역적 공간 상관성이 최댓값(원 내  $\times$  표시 참조)을 가진다. 이를 근거로 국지적 공간 상관성을 살펴보기 위한 반경  $d$ 를 700미터로 설정하여 분석을 수행하였다.<sup>3)</sup> 한 가지 흥미로운 점은 반경이 증가함에 따라 전역적 공간 상관성 값이 증감을 반복하는 패턴을 보이지만, 전반적 감소경향을 나타내고 있다. 이는 우 하향 점선(경향선)에 반영되어 있다. 이러한 결과는 지리적 범위 즉, 반경  $d$ 가 증가함에 따라 각 발생지점을 기준으로 해당 반경에서 교통사고 발생빈도의 차이가 감소하게 되고, 이는 (식4)에서 정의한  $z$ -값들 간 차이의 감소로 이어진다는 점에 기인한다. 즉, 국지적 범위(작은  $d$ )에서 도출되던 큰  $z$ -값들이,  $d$ 가 증가함에 따라 점진적으로 감소하게 되는 공간적 평활효과(spatial smoothing effect)가 작용한 결과로 볼 수 있다.<sup>4)</sup>

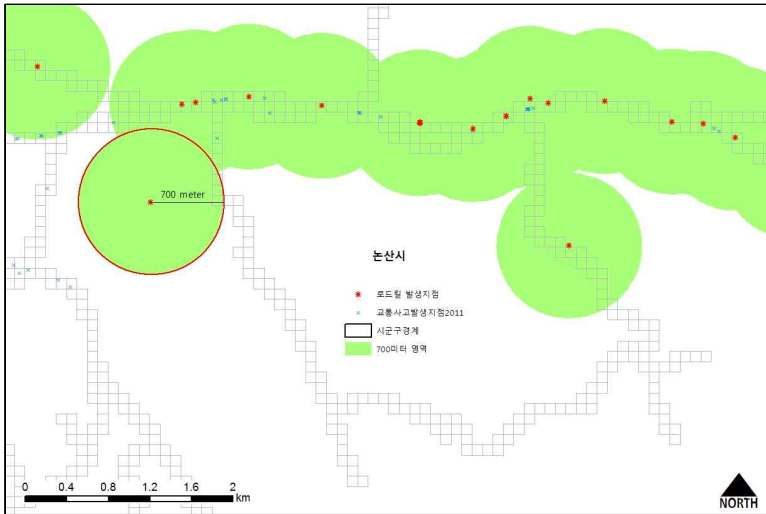
3) 이경주 등(2013)의 연구에서는 이와 유사한 방식으로 공장 개별입지의 국지적 공간군 집도의 평균을 계산한 뒤 최댓값을 보이는 공간적 범위를 국지적 공간군집패턴의 심층적으로 분석하여 결과 및 해석적 함의를 도출하기 위한 반경으로 적용한 바 있다. 유사한 맥락에서 Lee et al.(2009)의 연구 역시 일상적인 식품점까지의 접근성에 문제가 있는 음식사막(food desert)의 국지적 공간패턴을 분석하기 위하여 접근성에 있어서의 기대치와 관측치 간 전반적인 차이가 최댓값을 가지는 공간적 범위를 적용한 바 있다.

〈그림 2〉 반경  $d$  증가에 따른 전역적 공간 자기상관성( $z$ -값의 평균)의 변화 양상

〈그림 3〉은 로드킬 발생지점으로부터 반경 700미터의 지리적 영역(buffer)을 나타낸다. 그림에서 빨간색 \*로 표시된 로드킬 발생지점으로부터 700미터 반경 내에서 발생할 것으로 예상되는 교통사고 발생건수는 바로 이 영역 내에 중심점이 위치하는 정방형 격자로 집계한 교통사고 발생건수이다.

- 4) 반경  $d$ 는 지리적으로 인접한 단위지역(예: 100미터 정방형 격자)의 값들을 재구성하여 공간적으로 연속적인 분포특성을 명시적으로 표현하기 위한 지리적 범위에 해당한다. 단위지역 내에서 관측되는 지리적 사상이 유의미한 특성을 보이지 못해도, 주변 단위지역들과의 공간적 연계 속에서 묶어서 관측할 경우 의미 있는 패턴을 형성할 가능성이 크다는 면에서 활용가치가 있다(신정엽 등, 2007).

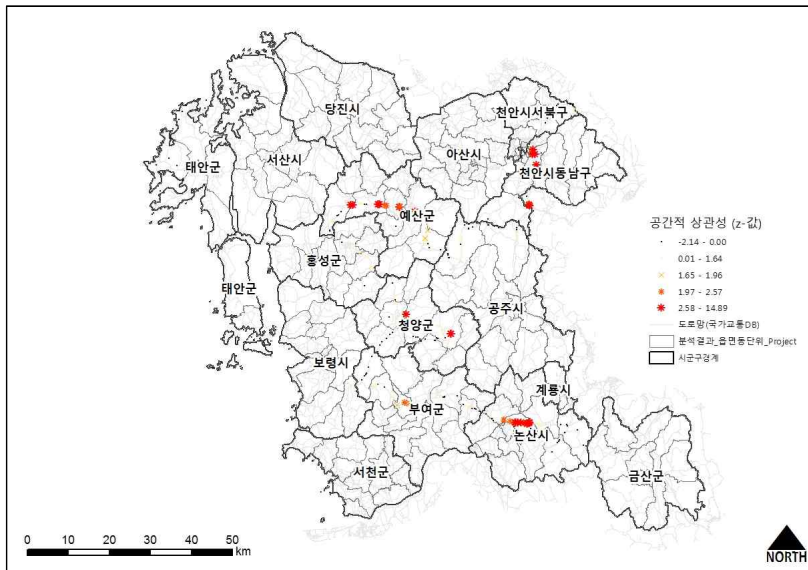
〈그림 3〉 로드킬 반경 700M의 지리적 영역



〈그림 4〉는 충청남도 산줄기 주요 단절구간 도로의 로드킬과 교통사고 발생지점들의 공간적인 상관성을 분석한 결과이다. 각 로드킬 발생지점을 중심으로 (식4)를 적용하여 계산한  $z$ -값을 〈표 1〉의 기준에 따라 구분하여 나타낸 것이다. 색이 진하고 큰 별(\*) 모양으로 표시된 지점일수록 반경 700m 지리적 범위 내에서 교통사고 발생빈도가 예상되는 기대수준보다 더 높음을 의미한다.  $z$ -값의 통계적 해석기준에 의하면, 가장 큰 별 모양 지점의 경우 1% 유의수준 하에서 통계적으로 매우 유의한 결과를 가진다. 다시 말해 해당 지점에서 예상되는 기대빈도와 실제 관측된 교통사고 발생 빈도 간 차이가 매우 크게 나는데, 이는 일상적인 상황이라면 가능성이 매우 희박한 빈도임을 의미한다. 일상적인 상황이란 통계적 의미에서 기대빈도와 실측빈도 간 차이가 없는 상황을 의미한다. 이러한 공간적 상관관계는 논산시 일부지역에서 가장 뚜렷하게 관찰되었고, 천안시 동남구와 예산군 및 청양군 일대에서도 높은 공간적 상관성을 보이고 있다. 공간적 상관성이 뚜렷하게 표시된 지점들은 예산시, 천안시, 논산시 등과 같은 일부 지역에서 공간적으로 서로 인접하여 선형의 패턴을 형성하고 있다. 이러한 경향은 해당 도로 구간이 다른 구간에 비하여 로드킬과 교통사고 발

생 모두에 영향을 주는 외연적 요인(도로 굴곡도, 시거 확보, 도로중앙분리대 설치 등)이 상대적으로 강한 영향을 주었을 가능성이 있음을 의미한다. 특히, 로드킬을 많이 당하는 고라니 같은 우제류는 가드레일 끝나는 지점과 진입교차로에서 많이 발생하고 있다. 야생동물이 이동하는 주요 통로가 차량통행이 이루어지는 도로와 물리적으로 상충되는 가능성이 높은 경우도 상정할 수 있다. 동물과 차량 통행 간 시·공간적인 상충 가능성이 높은 지역의 경우, 이들을 물리적으로 분리하기 위한 다양한 방안이 강구될 필요가 있다. 예를 들어, 동물의 이동이 빈번한 이동통로 상에 야생동물 유도펜스를 충분한 길이로 설치함으로써 차량 통행이 빈번한 도로와 직접적인 교차를 차단하는 것이다. 또 다른 방안으로 생태통로 설치나 동물의 접근을 방해하는 음향시설 설치, 운전자 주의를 환기시키는 경계표지 강화 등도 검토할 수 있다.

〈그림 4〉 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성 분석결과



〈그림 5〉 로드킬 다발지점의 지형적·물리적 특성 사례



〈그림 4〉는 단순히 로드킬이 많이 발생하는 지역이 아닌, 교통사고 발생과의 시·공간적 관련성이 높은 지역이라고 할 수 있다. 물론, 로드킬과 교통사고 발생지점이 일정한 지리적 영역을 공유함을 나타내는 상관성 자체가 인과관계까지 설명할 수는 없다. 그럼에도 불구하고 이러한 상관성이 높다는 결과는 그 지역에서 인과관계를 규정하기 위해 추가적인 조사 및 연구가 필요함을 의미한다.<sup>5)</sup> 다만, 로드킬 및 교통사고 발생을 저감하기 위하여 투입할 수 있는 재원이 한정되어 있음을 감안하면, 본 연구에서 제시한 분석방법론을 통하여 도출한 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성이 뚜렷한 지역에 주목할 필요가 있다. 이들 지역은 로드킬 저감대책을 우선적으로 적용할 수 있는 우선순위를 판단하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고로 〈표 2〉는 로드킬 발생지점을 중심으로 700미터 지리적 영역을 대상으로 (식4)를 적용하여 도출한  $z$ -값, 이에 대응하는 기대빈도 및 발생빈도 추정치의 일부를 예시한다. 전체 로드킬 발생건수인 299건 중에서 〈표 1〉의 유의수준 1% 기준에 대응하는  $z$ -값인 2.57보다 큰 지점이 총 28건 도출되었다. 이는 전체 발생건수의 약 10% 정도 비중을 해당하는 값이다. 만일 700미터 반경 내 주변 지역에서 교통사고가 우연히 발생했다고 볼 경우 이렇게까지 큰  $z$ -값이 도출될 가능성은 매우 적다. 그럼에도 불구하고 이들 지역에서 상당히 큰  $z$ -값이 도출되었다는 것은 해당 지점

5) 이러한 접근방식은 공간역학 분야의 연구에서 제시되는 전형적인 결론이다(Openshaw et al., 1987; Turnbull et al., 1990; Waller and Gotway, 2004).

을 중심으로 교통사고와의 개연성을 의심할 수밖에 없는 모종의 환경적 요인의 개입 가능성을 반증하는 결과인 셈이다.

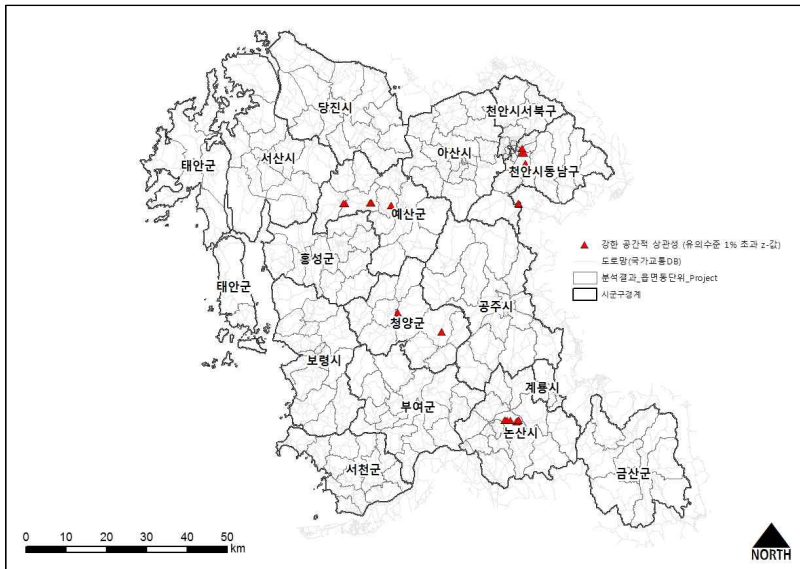
〈그림 6〉은 〈표 2〉에 제시된 28개 발생지점들 즉, 유의수준 1% 기준으로 이보다 큰  $z$ -값(상위 약 10%)을 가지는 위치를 지도상에 표시한 결과를 나타낸다.

〈표 2〉 유의수준 1% 기준을 초과하는  $z$ -값 집계정보

순위	$z$ -값	기대빈도	발생빈도
1	14.8936	2.61	83
2	8.6041	1.24	30
3	7.2184	2.74	28
4	4.8274	1.34	13
5	4.8274	1.34	13
6	4.8274	1.34	13
7	4.5347	1.01	11
8	4.3132	1.27	11
9	3.8826	1.44	10
10	3.5535	1.04	8
11	3.3998	2.12	10
12	3.3475	0.88	7
13	3.1993	1.04	7
14	3.1993	1.04	7
15	3.1426	1.11	7
16	3.1426	1.11	7
17	3.0308	0.82	6
18	2.9463	1.83	8
19	2.9463	1.83	8
20	2.8792	1.92	8
21	2.8784	0.98	6
22	2.7918	1.08	6
23	2.7918	1.08	6
24	2.6841	1.7	7
25	2.6812	1.21	6
26	2.6812	1.21	6
27	2.6278	1.27	6
28	2.5754	1.34	6



〈그림 6〉 강한 공간적 상관성 발생지점(≈값: 유의수준 1% 초과)



## V. 결론

### 1. 연구결과 및 한계

이 연구는 로드킬과 교통사고 발생의 공간적 상관성을 추정하기 위한 공간통계 분석기법을 제시하였다. 이를 충남의 산줄기 단절지점 도로구간에서 발생한 로드킬과 교통사고 자료에 실증분석한 결과를 도출하였다. 분석결과에 의하면, 논산시 일부지역에서 가장 뚜렷하게 관찰되었고, 천안시 동남구와 예산군 및 청양군 일대에서도 높은 공간적 상관성을 보이고 있다.

본 연구는 로드킬이 발생한 지점의 지형적, 물리적 상황을 모두 파악하지 못한 상태에서 교통사고와의 공간적 상관성을 분석하였다는 점에서 한계가 있다. 아울러 이 연구에서는 로드킬 발생지점과 교통사고 발생지점이라는 위치정보를 매개로 두 현상들 간 공간적 상관성을 공간통계량을

통해 정량적으로 추정하였다. 그러나 위치정보만으로 추정한 공간적 상관성에는 이를 형성하는데 기여했을 것으로 판단되는 모종의 외연적 환경요인이 어떻게 작용했는지 등에 관한 세부적인 공간과정(spatial process)의 특성을 직접적으로 추론하기 어렵다. 따라서 본 연구에서 제시한 상관관계 추정방식을 적용한 분석결과는 그 목적이 향후 좀 더 정교한 조사 및 분석이 필요하다는 것을 강조하는데 있다는 점을 분명히 밝혀둔다.

## 2. 정책적 시사점

우리 국토의 67% 이상을 차지하는 산지 지형의 특성을 감안하여 도로 건설과정에서 로드킬 방지대책이 마련되어야 한다. 야생동물 펜스가 야생동물에게 장애물이 되지 않도록 야생동물의 이동행태에 따라 생태통로를 함께 조성해야 한다. 야생동물 로드킬은 고속주행 도로(60km 이상)에서 운전자 위험성이 높기 때문에 교통사고 다발 국도(국토교통부) 및 지방도(충청남도) 양안으로 충분한 길이의 울타리를 설치해야 한다.

로드킬은 산줄기의 연결성 확보나 야생동물의 종다양성을 보호하는 목적 뿐 아니라 운전자의 교통안전을 확보하기 위해서라도 방지해야 한다. 이 연구에서 제시한 것처럼 로드킬 구간 중 상당 구간이 직접적인 인명피해를 유발할 수 있는 구간이라면, 야생동물 펜스나 생태도로 설치 등 다양한 로드킬 저감대책은 시급히 마련되어야 한다. 결국 로드킬 방지사업은 한정된 국가재원으로 생물다양성을 확보하며 교통안전을 제고하는 사업으로 부처 간 협업사업으로 추진함으로써 경제성을 높여야 한다. 지방자치단체 간 경계를 벗어나는 도로 구간이 대부분이기 때문에 지역 간 연계협력사업처럼 협력적인 거버넌스 구축을 통해 추진할 필요가 있다. 더 많은 도로를 설치하는 것보다 도로로 인해 야생동물의 서식처가 분단되는 것을 방지하면서 운전자의 교통사고 위험을 줄이는 것을 고민해야 하는 시점이다.

## ■ 참고문헌 ■

- 김형호·박용수·조봉길·송정석·유찬열, 2009, “고속도로 로드킬 발생현황 GIS DB 구축 및 특성분석,” 『한국임학회 하계학술연구발표회 논문집』, 동국대학교, pp. 396-399.
- 박선일·이경주, 2015, “국내 고속도로 로드킬 발생의 공간적 군집지역 탐색 방법론 구축 및 실증 적용 연구,” 『국토계획』, 50(3), pp.319-333.
- 석상묵·이지영, 2015, “야생동물 서식지 패치와 로드킬 핫스팟의 상관관계 연구,” 『한국영향평가』, 24(3), pp.233-243.
- 손승우·길승호·윤영조·윤정호·전형진·손용훈 등, 2016, “로드킬 발생 영향요인 분석: 설악산 국립공원 44번 국도를 대상으로,” 『한국조경학회지』, 44(3), pp.1-12.
- 송재영·김민선·김인수·김태현·노일·서상원 등, 2009, “국립공원의 양서류 로드킬 현황,” 『한국환경생태학회지』, 23(2), pp.187-193.
- 송정석·이경재·한봉호, 2009, “고속도로 야생동물 유도울타리 설치에 따른 포유류 로드킬 저감효과 연구,” 『한국환경생태학회 학술대회논문집』, 중앙대학교 안성캠퍼스, pp.123-125.
- 신정엽·이경주, 2007, “상업적 토지이용 패턴의 시공간 변화탐색을 위한 공간통계 기법 적용 연구,” 『대한지리학회지』, 42(4), pp.632-647.
- 이경주·권일, 2013, “공장 개별입지로 인한 난개발의 공간통계학적 모니터링기법 개발: 비도시지역을 중심으로,” 『한국지역개발학회지』, 25(2), pp.89-114.
- 이경주·탁종훈·박선일, 2014, “우리나라 고속도로에서 야생동물 로드킬에 관한 시공간 추이 분석,” 『한국임상수의학회지』, 31(4), pp.282-287.
- 이병주·김태식·정봉조·남궁문, 2011, “로드킬 저감을 위한 로드가드시스템의 가치 평가에 관한 연구,” 『한국도로학회논문집』, 13(1), pp.107-118.
- 충남연구원, 2012, 『광역생태네트워크 구축을 위한 자연환경조사(3차)』, (충청남도 연구용역 보고서), 홍성: 충청남도.
- 환경부, 2014, 『통계로 본 국토·자연환경』, 세종: 환경부.
- Clevenger, A. P., B. Chruszczc, and K. E. Gunsonc, 2003, “Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations,” *Biological Conservation*, 109, pp.15-26.
- Freeman, M. F. and J. W. Tukey, 1950, “Transformations related to the angular and the square root,” *Annals of Mathematical Statistics*, 21, pp.607-611.
- Gomes, L., C. Grilo, C. Silva, and A. Mira, 2009, “Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes,” *Ecological Research*, 24(2), pp.355-370.
- Lee, G. and H. Lim, 2009, “A spatial statistical approach to identifying areas with

- poor access to crocery foods in the city of Buffalo, New York,” *Urban Studies*, 46(7), pp.1299-1315.
- Malo, J. E., F. Suarez, and A. Diez, 2004, “Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models?,” *Journal of Applied Ecology*, 41, pp.701-710.
- Openshaw, S., M. Charlton, C. Wymer, and A. Craft, 1987, “A mark 1 geographical analysis machine for the automated analysis of point data sets,” *International Journal of Geographical Information Systems*, 1, pp.335-358.
- Rogerson, P. A., 2005, “A set of associated statistical tests for spatial clustering,” *Environmental and Ecological Statistics*, 12(3), pp.275-288.
- Rogerson, P. A. and I. Yamada, 2009, *Statistical detection and surveillance of geographic clusters*, FL: CRC press.
- Ruiz-Capillas, P., C. Mata, and J. E. Malo, 2015, “How many rodents die on the road? Biological and methodological implications from a small mammals’ roadkill assessment on a Spanish motorway,” *Ecological Research*, 30(3), pp.417-427.
- Turnbull, B. W., E. J. Iwano, W. S. Burnett, H. L. Howe, and L. C. Clark, 1990, “Monitoring for clusters of disease: Application to leukemia incidence in upstate New York,” *American Journal of Epidemiology*, 132, pp.136-143.
- Waller, L. A. and C. A. Gotway, 2004, *Applied spatial statistics for public health data*, Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.

---

**오용준:** 충북대학교 도시공학과에서 도시공학 박사학위를 취득하고 현재 충남연구원에 재직 중이다. 도시계획, 공간환경계획, 지역계획 등에 관한 연구를 수행하고 있다(yjuno@cni.re.kr).

**이경주:** 뉴욕주립대학교에서 지리학 박사학위를 취득하고 현재 한국교통대학교 건설환경도시교통공학과에 재직 중이다. 주요 연구 분야는 시공간분석 및 데이터마이닝, 지리정보체계(GIS), 공간입지구조 및 계획지원체계 등이다(lgracer@ut.ac.kr).

투 고 일: 2018년 05월 23일  
심 사 일: 2018년 05월 25일  
게재확정일: 2018년 06월 03일