

Original article

## 공간형태학적 특성 및 로드킬 자료를 활용한 산림서식지의 생태적 연결성 분석

서현진 · 최철현<sup>1</sup> · 이승원 · 김진효<sup>2,\*</sup>

국립생태원 복원생태팀, <sup>1</sup>국립생태원 기후탄소연구팀, <sup>2</sup>경북대학교 산림과학조경학부 조경학전공

**Analysis of Ecological Connectivity of Forest Habitats Using Spatial Morphological Characteristics and Roadkill Data.** Hyunjin Seo (0000-0002-3289-6417), Chulhyun Choi<sup>1</sup> (0000-0002-3303-013X), Seungwon Lee (0000-0001-8750-0830) and Jinhyo Kim<sup>2,\*</sup> (0000-0001-5495-1512) (Ecological Restoration Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea; <sup>1</sup>Climate Change and Carbon Research Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea; <sup>2</sup>School of Forest Science and Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea)

**Abstract** This study examined the spatial morphological patterns of forest habitats and the characteristics of roadkill occurrences in the forests of Mungyeong, Yecheon, Yeongju, Andong, and Bonghwa in Gyeongsangbuk-do. It involved building a resistance map between habitats and analyzing connectivity based on the least-cost distance. The analysis of the distance between the forest habitat Cores derived from MSPA and roadkill points showed that roadkill occurrences were concentrated approximately 74.11 m away from the Cores, with most roadkills happening within 360 m from the habitats. The connectivity analysis between core habitats larger than 1 km<sup>2</sup> revealed 141 core habitats and 242 least-cost paths between them. The corridor distance value was found to be highest in Mungyeong city, indicating an urgent need for strategies to enhance habitat connectivity there. This research is expected to serve as foundational data for developing strategies to enhance ecosystem connectivity and restore habitats, by analyzing ecosystem connectivity and roadkill issues due to habitat fragmentation.

**Key words:** forest habitat, fragmentation, MSPA (morphological spatial pattern analysis), least cost distance connectivity, roadkill, wildlife crossing structure

### 서 론

도시화에 필연적으로 수반되는 도로 연장의 증가는 생물 서식지의 단절 및 파편화를 초래한다. 이러한 변화는 야생동물의 서식환경을 악화시키며, 동·식물의 분산 및 유전적 다양

성 등 직접적으로 생물다양성 및 야생동물의 건강과 생존에 위협적이라 할 수 있다(Liu *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2022). 한국의 경우, 국토 1 km<sup>2</sup>당 평균 1~6 km의 도로망과 약 500명의 인구가 밀집해 있는 고밀도 개발 국가이다(NIE, 2018). 산림이 전체 국토의 65.4%를 차지하는 상황에서(ME, 2023) 서식지 파편화는 지속적으로 발생하고 있으며, 이는 야생동물의 로드킬(동물 찾길 사고) 증가와도 직접적인 연관이 있다(Simpson *et al.*, 2016; NIE, 2019). 대표적으로 고라니 로드킬의 경우 국내에서만 연간 약 6만 건으로 추정되고 있어(NIE,

Manuscript received 30 November 2023, revised 24 May 2024,

revision accepted 25 May 2024

\* Corresponding author: Tel: +82-53-950-5782, Fax: +82-53-950-6779

E-mail: jhkim85@knu.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

2018) 향후 공간계획 및 관련 제도 수립 시 동·식물의 주요 서식처인 산림서식지 간의 연결성 제고가 필요한 상황이다.

국내·외 서식지 단절과 관련된 정량적 연구에서는 다양한 분석 기법이 제안되었으며, 본 연구에서는 형태기반 공간패턴 분석 방법인 MSPA (morphological spatial pattern analysis)를 적용하였다. 이 도구는 특히 기하학적인 측면에서 경관 요소들의 공간적 배열과 연결성을 정량화하고, 그 요소들 간의 관계 및 분포 패턴 시각화가 가능하다는 장점이 있다(Vogt *et al.*, 2007). 또한 다양한 시나리오에 따라 예상되는 서식지의 공간적 변화를 직관적으로 파악할 수 있어 산림서식지 연결성 증진을 위한 전략 수립에 유용하게 활용되어 왔다(Estreguil and Caudullo, 2010). EBONE (European Biodiversity Observation Network) 프로젝트에서는 오스트리아, 스웨덴, 프랑스 등지에 서식하는 식물들의 분포 특성 및 경관 요소를 7개 유형으로 구분하여 서식지 공간적 특성 및 연결성을 도출하였으며, 공간적으로 단절되거나 훼손된 산림은 생물 서식환경의 기능 저하로 이어질 가능성이 높다는 결과를 보여주었다(Estreguil and Caudullo, 2010; Jung, 2014). 브라질과 인도의 산림보호지역을 대상으로 한 연구에서는 특정 종(*Puma concolor*, *Panthera onca*, *Panthera tigris*)이 직면한 생존권과 관련하여 서식지의 크기 및 연결성 분석, 보호지역 주변 도로와 토지피복 및 토지이용 특성 분석을 통해 개체군 고립 가능성과 연결성 증진을 위한 관리 방안을 제시하였다(Castilho *et al.*, 2015; Dutta *et al.*, 2015). 이처럼 정량적이고 시각적인 분석 기법들은 지리적 데이터와 생태학적 정보를 통합하여 서식지 연결 통로의 중요성을 식별한다(MaRae and Kavanagh, 2017; Yoon *et al.*, 2019). 또한 공간적으로 산림서식지의 연속성을 증가시킬 수 있는 핵심적인 정보를 제공하여 현장조사에서 유용하게 활용될 수 있으며, 이를 통해 서식지 단절문제에 대한 해결책을 제시할 수 있다는 장점을 지닌다(Saura and Pascual-Hortal, 2007; Wang, 2014).

본 연구에서는 로드킬 발생정보를 활용하여 발생빈도에 대한 산림서식지 내 공간적 패턴을 도출하였다. 이러한 정보와 함께 야생동물의 이동과 관련된 저항지도를 구축하고 연결성 분석을 수행하여 단절되고 있는 서식지에 대한 연결성을 강화할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

## 연구 자료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 2018년 8월 1일부터 2019년 8월 31

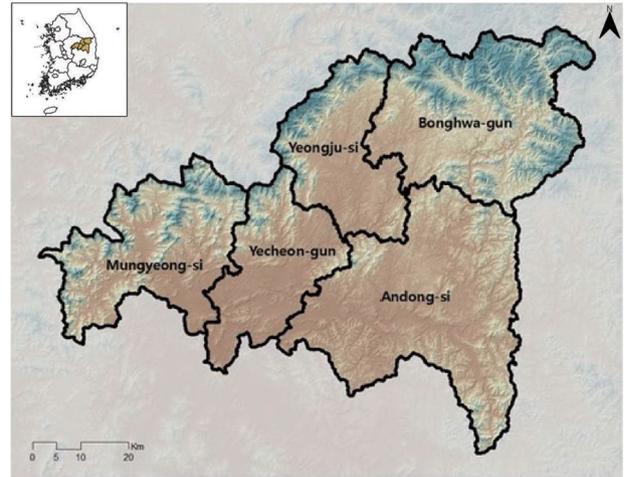


Fig. 1. Study area.

일까지 1년 동안 로드킬 정보시스템에서 수집된 로드킬 자료를 검토하여(NIE, 2019), 참여도가 높았던 영주국토관리사무소 관할하는 도로가 포함된 영주시, 예천군, 문경시, 안동시, 봉화군 지역 일대로 선정하였다(Fig. 1).

### 2. 산림서식지의 공간형태학적 특성

MSPA는 바이너리 형태의 지도(binary map)를 기반으로 다양한 수학적 연산과 단순한 기하학적 과정을 통해 경관을 형태에 따라 서식지(core), 고립서식지(islet), 서식지 연결(branch, bridge & loop), 가장자리(edge & perforation), 바탕(background)으로 유형화하고, 전체 경관에서 각 유형별 요소가 차지하는 비율(%) 등에 대한 정보를 제공해준다(Fig. 2). 또한, 연구자가 설정한 인접성 규칙(4-connectivity & 8-connectivity), 가장자리 폭(edge width) 등에 대한 파라미터 값에 따라 상이한 결과를 보인다. 본 연구에서는 2018년에 구축 완료된 환경부 세분류 토지피복지도이며(1m급), 대분류 기준(30m급)에 따라 산림(1) 및 비산림(0) 바이너리 형태로 재분류하였다. 가장자리 폭은 환경부 대분류 토지피복의 공간적 해상도를 고려하여 30m로 설정하여 분석을 수행하였다. 분석 프로그램의 경우, GUIDOS (Graphical user interface for the description of objects and their shapes) 및 ArcMap (ver 10.8)의 공간분석 툴을 활용하였다.

MSPA 유형별 특성을 간략히 살펴보면 다음과 같다(Table 1). Core는 대규모의 산림서식지로서 다른 유형들에 비해 규모가 큰, 즉 생물종 서식을 위한 핵심공간으로서 기능하는 유형이라 볼 수 있다. Islet는 Core와 비교 시 상대적으로 크기가 작으며, 야생동물들이 이동 시 중간기착지로서 중요한 역할을 수행하지만 소멸위험성 역시 매우 높은 유형

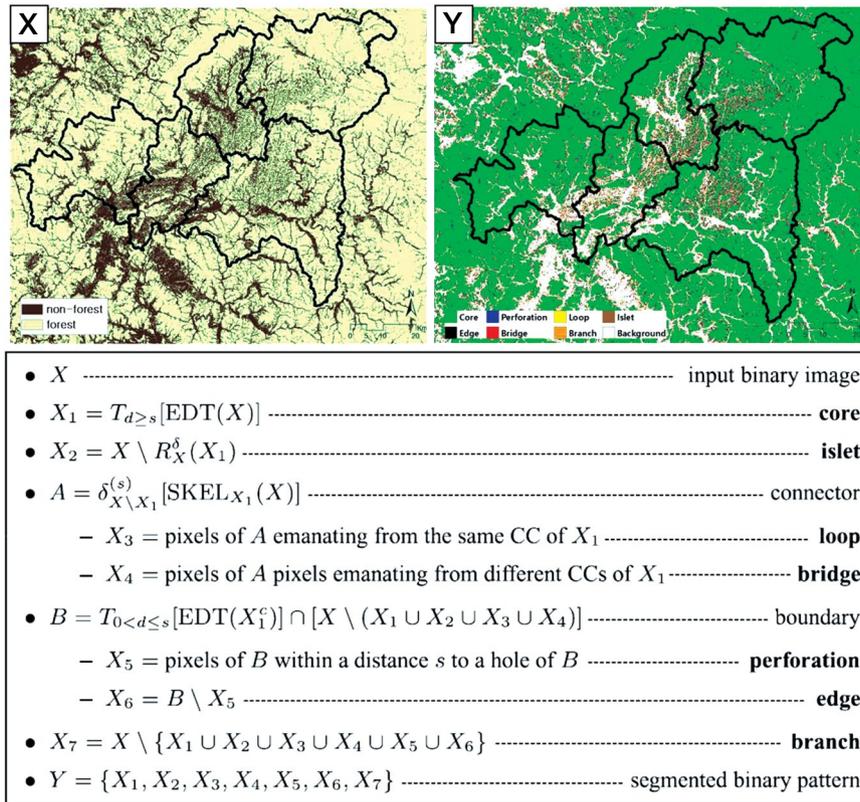


Fig. 2. Seven categories of MSPA and equation for each step.

Table 1. Morphological spatial pattern analysis (MSPA) categories and ecological implication for habitats.

Categories	Description
Core	It can be used as the “source” of a variety of ecological processes, most of which are forests with large habitats and large forest farms, etc., which are of great significance for species reproduction and biodiversity protection.
Islet	Small habitats, which are independent of each other and have low connectivity, are less likely to communicate with other habitats in terms of material and energy, and are mostly small habitats in urban or rural areas. In addition, islet is effective in enhancing connectivity by functioning as a stepping stone green area
Bridge	The narrow and long areas connecting the habitats of different habitats, and which have the characteristics of ecological corridors, which are mostly green belts, which are conducive to the migration of species and the connection of landscape within the territory
Loop	The internal channel of material and energy exchange in the same habitats is the shortcut of material and energy exchange in the habitats
Branch	Only one end is connected to the main habitat, mainly an extension of the green space, which is the channel for species diffusion and energy exchange with the peripheral landscape
Perforation	As a transition region, the edge etc. also exists between the habitats and its inner non-green space
Edge	The transition zone between the marginal zone of the habitats and the peripheral non-green landscape area, which can reduce the impact brought by the external environment and human disturbance, usually the peripheral forest zone of forest parks and large forest farms

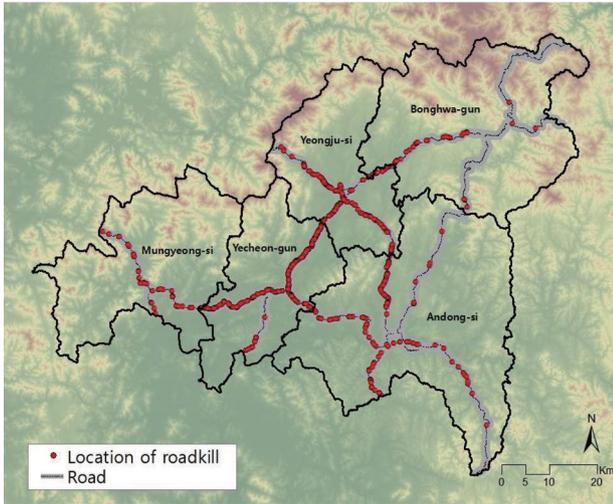
Source: Kim *et al.* (2021)

이라 볼 수 있다. Bridge와 Loop는 서로 다른 Core를 연결하여 생태통로와 유사한 기능을 수행하고 있으며, Branch도 한쪽 끝이 Core와 연결되어 있어 생물 종의 이동과 에너지의 흐름에 중요한 역할을 할 수 있다.

**3. 산림서식지 내 로드킬 발생의 공간적 패턴**

환경부·국토부·한국도로공사 등 다양한 도로관리기관에서는 실효성 있는 로드킬 저감방안을 마련하기 위하여 분산된 로드킬 발생정보를 통합적으로 관리할 수 있는 ‘로드킬 정보시스템’을 개발하였다(NIE, 2018). 해당 기간에 전국에서 발생한 로드킬 사고는 총 5,132건으로 확인되었으며(Song *et al.*, 2019), 대상지에서 접수된 로드킬은 총 549건이었다(Fig. 3). GPS 오류 등으로 인해 도로를 벗어난 일부 자료는 실제 로드킬 좌표정보를 확인하고, 인접성 분석을 통해서 도로상에 로드킬 지점이 위치하도록 전처리 과정을 수행하였다.

로드킬 발생지점의 산림서식지 내 공간적 패턴을 분석하기 위한 서식지 자료는 MSPA 분류를 통해 얻어진 7개의 경관 요소 중 야생동물 주요 서식지인 Core 지역만을 추출하여 사용하였다. 로드킬 발생지점에서 최근접 서식지까지의



**Fig. 3.** Roadkill distribution.

거리를 분석하기 위하여 추출된 Core를 폴리곤으로 변환하여 유클리드 거리(euclidean distance) 래스터를 생성한 뒤, 로드킬 발생 포인트 자료에서 해당 래스터의 속성을 입력하여 자료를 구축하였다.

분석 결과의 기본적인 특성을 이해하기 위해 탐색적 데이터 분석(Exploratory Data Analysis, EDA)을 수행하였으며, 히스토그램 및 박스플롯을 통해 시각화하였다. 이 단계에서 해당 자료의 특성을 확인하고 다양한 분포 모형(베타, 감마, weibull 등)에 대한 적합도를 평가하여 자료의 특성을 가장 잘 설명할 수 있는 분포 모형을 선정하였다. 그 이후 최빈값과 신뢰수준을 도출하여 로드킬 발생확률이 높은 서식지로부터의 임계거리를 분석하였다.

**4. 핵심서식지 간 연결성 분석**

저항지도를 통한 최소비용거리 연결성 분석은 야생동물의 이동 어려움과 사망 위험을 반영한 방법론이다. 저항지도는 특정 서식지에서 출발하여 멀어질수록 야생동물이 직면하는 총 이동 저항을 누적적으로 산출하여 시각화한다(Castilho *et al.*, 2015; Dutta *et al.*, 2015). 생성된 저항지도는 인접한 핵심서식지를 식별하고, 그 사이의 최소비용거리 통로(corridor)를 설정함으로써 서식지 간의 연결성을 평가한다. 여기에서 통로는 일정 비용거리 내에서 핵심서식지 간 이동이 가능한 경로들의 집합을 의미하고, 저항값은 일반적으로 토지피복, 주택밀도, 서식지 확률지도 등 대상지 특성, 연구목적 등에 따라 정해진다(NIE, 2018).

본 연구에서 핵심서식지는 고라니 등의 야생동물 행동권 분석 결과를 참조하여(NIER, 2009), MSPA의 Core 1 km<sup>2</sup> 이상인 지역으로 정의하였다. 핵심서식지 간 연결성은 MSPA에서 도출된 서식지 이동에 대한 저항지도를 구축한 뒤, 최소비용거리(least cost corridor distance)를 통해 평가하였다(McRae and Kavanagh, 2017). 저항값은 다양한 동·식물의 서식지 연결성을 평가하기 위하여 Shi and Qin (2018)의 토지피복 저항값을 사용하였다(Table 2). 분석 프로그램은 서식지 패치나 핵심지역 간의 연결성을 분석하고 시각화하는 데 유용한 Linkage Mapper (ver 2.0)와 ArcMap (ver 10.8)을 활용하였다.

**Table 2.** Resistance values by landscape type.

Landscape	Core	Bridge	Islet	Edge	Loop	Branch	Perforation	Background
Resistance value	1	10	15	30	30	60	80	100

Source: Shi and Qin (2018)

## 결과 및 고찰

### 1. MSPA 결과

대상지의 MSPA 결과를 보면, Core 지역이 대체로 북쪽에 위치해 있다는 것을 알 수 있었으며(Fig. 4), 1 km<sup>2</sup> 이상의 Core를 분리하여 핵심서식지로 추출하였다(Fig. 7). 문경

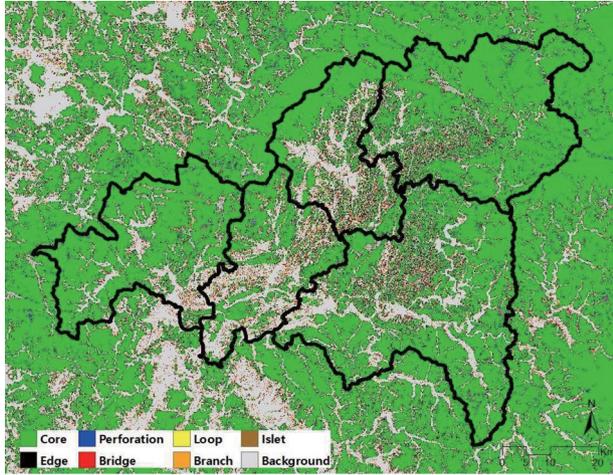


Fig. 4. MSPA results of study area.

시의 경우 월악산 국립공원에서 속리산 국립공원까지 연결되어 있고, 예천군에서 영주시는 소백산 국립공원이 주요 서식지로서 위치해 있다는 것을 알 수 있다. 특히, 문경시 내에 있는 Core는 행정구역 전체 면적의 50% 이상을 차지하고 있고, 다양한 생물종의 서식지로서 중요한 역할을 수행하고 있는 돌리네 습지 등과 같은 서식공간이 다양하게 분포하고 있었다. 이러한 지역에 대해서는 로드킬 현장조사와 함께 연결성 분석 등을 수행하여 보다 정밀한 보호지역 경계설정, 연결성 증진 방안 등이 필요할 것으로 사료된다.

### 2. 산림서식지 내 로드킬 발생의 공간적 패턴

EDA 분석 결과, 로드킬 발생지점과 서식지와 의 이격거리는 평균 134.63 m였으며, 표준편차는 90.26 m로 나타났다(Table 3). 자료의 히스토그램을 확인한 결과, 양의 왜도를 보이는 비대칭 분포를 나타냈다(Fig. 5). 이러한 분포 특성을 고려한 결과, 여러 분포 모형 중 감마분포가 로드킬 발생거리 자료에 가장 적합한 것으로 판단되었다. 감마분포의 매개변수는 최대우도추정법을 사용하여 실제 자료에 가장 근접하도록 적합시켰다. 이 방법으로 추정된 감마분포 함수를 바탕으로 최빈값(mode)과 95% 신뢰구간을 계산한 결과, 74.11 m(하한: 19.12 m, 상한: 360.47 m)로 분석되었다(Fig. 6). 이

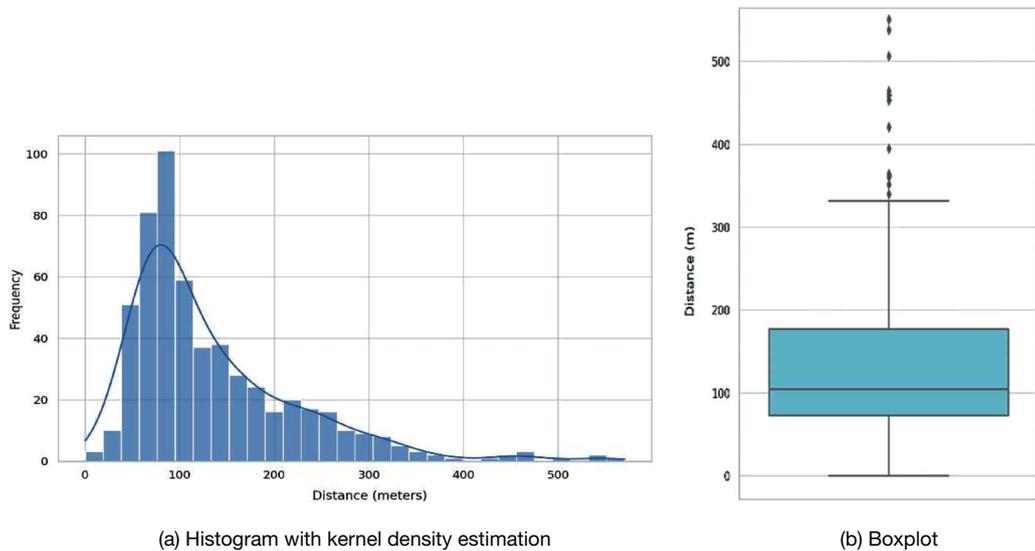


Fig. 5. Distribution and boxplot analysis of distances from habitat to roadkill events.

Table 3. Descriptive statistics of the distance from roadkill points to the nearest habitat.

	Count	Mean	Standard deviation	Minimum	Median	Maximum
Statistic value	549	134.63 m	90.26 m	0.00 m	104.40 m	570.35 m

는 서식지로부터 약 74.11 m 떨어진 지역에서 로드킬 발생빈도가 가장 높음을 의미하며, 대부분의 로드킬이 서식지로부터 약 360 m 이내에서 발생한다는 것을 나타낸다.

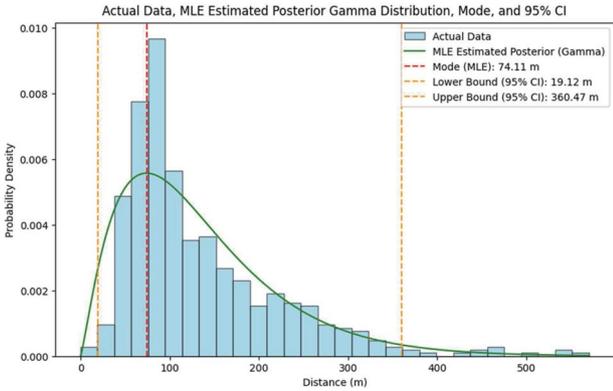


Fig. 6. Histogram and Gamma distribution fit for distance between habitat and roadkill sites, with mode and 95% confidence intervals.

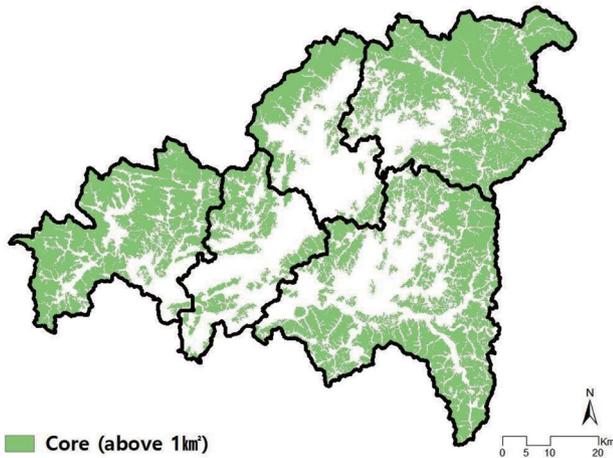
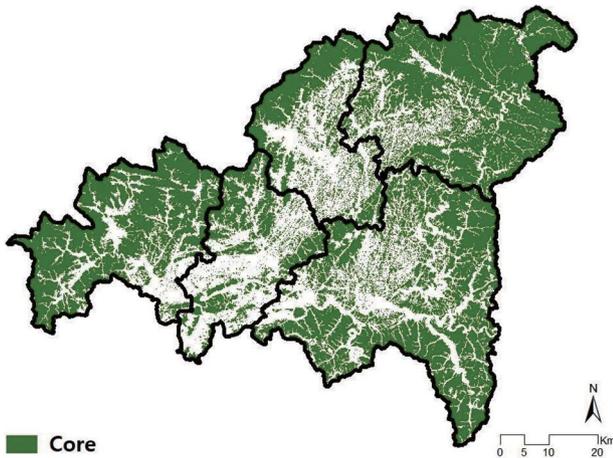


Fig. 7. Map of the spatial pattern of core.

이러한 분석 결과는 로드킬 예방을 위한 시설 설치 위치 결정에 중요한 정보를 제공한다. 예방 시설은 특히 서식지 주변의 위험 구역에 집중적으로 설치되어야 하며, 로드킬 발생빈도가 높은 거리대에 맞춰 설계되어야 한다. 또한, 로드킬 발생패턴을 주기적으로 모니터링하여 예방 시설의 위치나 유형을 조정하는 것도 중요할 것으로 판단된다.

### 3. 저항지도를 활용한 최소비용거리 연결성 분석

저항지도 구축을 통한(Fig. 8) 핵심서식지 간의 연결성 분석 결과, 141개의 핵심서식지가 도출되었고, 서식지 간의 최소거리 경로는 242개로 나타나 최소비용거리의 단일 경로뿐만 아니라 다른 대안 경로들의 영역이 되는 통로를 확인할 수 있다(Fig. 9). 핵심서식지 간 연결 통로가 협소할수록, 즉

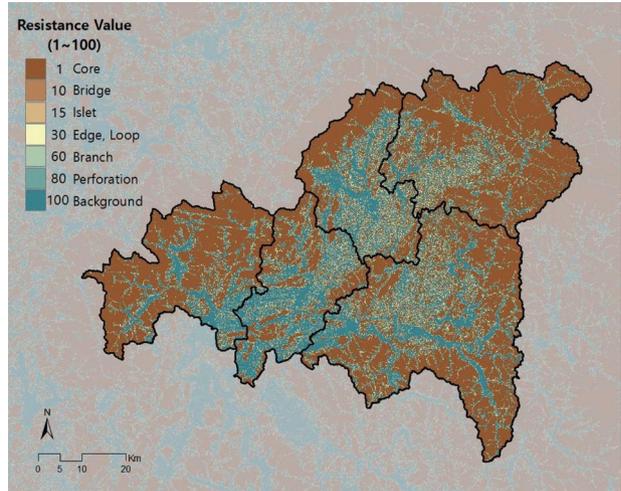


Fig. 8. Resistance map using MSPA.

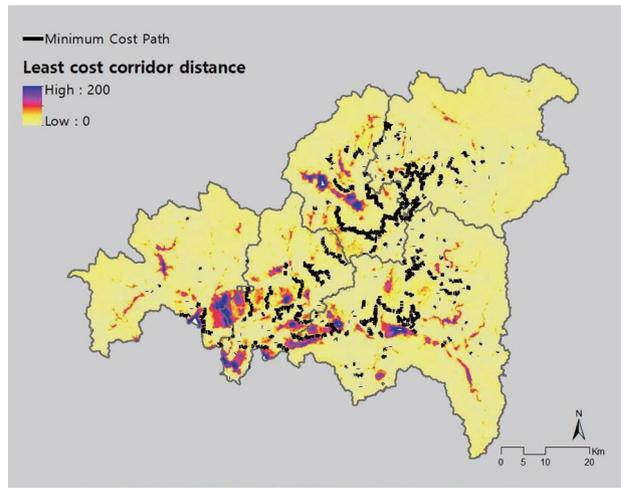


Fig. 9. Map of least cost corridor distance and minimum cost path.

대안 경로 수가 적은 통로일수록 통로 값이 높게 나타내며, 이들 지역에서는 연결성 제한 정도가 큰 것을 의미한다. 최소비용거리 통로 값은 문경시가 가장 높았으며, 높은 값이 집중되는 지역은 문경시청에서 약 2km가량 이격되어 있는 곳으로써 대부분 시가화 지역으로 나타났다. 이러한 결과는 영주시보다 Core 간 거리가 더 가까우에도 불구하고, 시가화 지역의 이동 비용 즉 저항값이 높기 때문으로 사료된다.

최소비용거리 통로 값이 상대적으로 높다는 것은 서식지 파편화와 생태계 단절의 심각성을 보여주며, 생태통로와 같은 다른 대안경로가 존재하지 않는 한 이동 비용이 가장 높은 시가화 지역이 증가함에 따라 야생동물의 로드킬이나 개체군 고립이 나타날 가능성이 높다. 이를 통해 핵심서식지 간 연결 정도는 주변 토지이용 등 인간 간섭 인자 및 자연환경 인자에 따라 제한될 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 도시 계획 및 개발 과정에서 생태계 연결성을 고려한 접근이 필요함을 시사한다.

## 결론

본 연구는 서식지 연결성과 로드킬 발생의 공간적 패턴을 정량적 및 시각적으로 평가하였다. 문경, 예천, 영주 일대의 MSPA 결과를 통해 핵심서식지(1 km<sup>2</sup>) 및 저항지도를 구축하고, 이들 간의 연결성을 확인하였다. 이는 각 지역의 서식지 보호 및 복원 전략 수립에 중요한 기초 자료를 제공할 수 있으며 무분별한 개발로부터 Core 지역을 보전하기 위해서는 지자체 차원에서 조례제정을 통해 개발제한구역으로 설정하는 등 법·제도적 측면에서의 노력이 필수적이다.

연구 대상지의 로드킬 발생 공간적 패턴 분석 결과, 서식지로부터 약 74.11 m 떨어진 지역에서 로드킬 발생 빈도가 가장 높았으며, 서식지로부터 360 m 이내에서 대부분의 로드킬이 발생한 것으로 나타났다. 이는 연구 대상지를 확대하여 전국토의 서식지 단절로 인한 로드킬 예방시설 설치 위치 결정 등에 있어 계량화된 분석 방법으로 활용할 수 있다.

분석 방법에 있어 몇 가지 한계가 존재하는데 Linkage Mapper는 그래프 이론을 바탕으로 구성되었으며 Core는 노드(node), Bridge는 링크(link)에 해당된다. 따라서 각 노드 간 연결성을 향상시키기 위해서는 노드와 연결된 링크의 수와 길이 등에 대한 고찰이 선행되어야 하며, 서식지의 연결성 개념으로써 대상종(target species)의 이동 및 분산 특성 등의 특성이 고려되어야 한다. 연결성 평가 결과를 실제 정책에 적용하기 위해서는 핵심서식지의 크기, 저항값 등 분석 단위에 대한 실험적 연구가 같이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

다만, 경관 연결성 평가 지도는 의사결정 지원을 위해 시각적으로 경관 연결성을 확인하는 데 그치기 때문에 PC index (The Connectivity Probability index) 등을 활용한 연결성 지수 값을 함께 고려할 필요가 있다(Saura and Pascual-Hortal, 2007). 또한, 향후 연구에서는 산림서식지뿐만 아니라 야생동물의 먹이활동을 고려한 농경지, 하천 등 다양한 경관 요소 분석이 필요하며 로드킬 조사자료의 경우 자료의 정확도를 높이기 위해 조사자가 동일한 구간으로 한정하는 것도 필요할 것으로 판단된다. 이러한 내용을 보완하여 서식지 단절과 로드킬 다발구역, 연결성 평가 결과를 함께 고려한다면 생태계 연결성 강화를 위한 더욱 효과적인 전략 마련에 기여할 수 있을 것이다.

## 적요

이 연구는 경상북도 문경, 예천, 영주, 안동, 봉화 일대의 산림서식지 공간형태학적 패턴과 로드킬 발생 간의 특성을 확인하고, 서식지 간의 저항지도를 구축하여 최소비용거리 기반 연결성을 분석하였다. MSPA에서 도출된 산림서식지 Core와 로드킬 발생지점 간의 거리를 분석한 결과, Core로부터 약 74.11 m 떨어진 지역에서 로드킬 발생이 집중되었고, 대부분의 로드킬이 서식지로부터 360 m 이내에서 발생하는 것으로 확인되었다. 1 km<sup>2</sup> 이상의 Core인 핵심서식지 간의 연결성 분석 결과, 141개의 핵심서식지와 서식지 간의 최소거리 경로(path) 242개가 도출되었고, 통로거리(corridor distance) 값은 문경시가 가장 높게 분석되어 대상지 중 연결성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 본 연구는 서식지 단절에 따른 생태계 연결성과 로드킬 문제를 분석하여, 생태통로 설치 등 생태계의 연결성 강화 및 서식지 복원 전략 개발을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

**저자정보** 서현진(국립생태원 복원생태팀 전임연구원), 최철현(국립생태원 기후탄소연구팀 전임연구원), 이승원(국립생태원 복원생태팀 연구원), 김진효(경북대학교 산림과학조경학부 조경학전공 전임교수)

**저자기여도** 연구설계: 서현진, 김진효, 자료수집 및 분석: 서현진, 최철현, 이승원, 원고작성: 서현진, 최철현, 김진효, 검토: 서현진, 최철현

**이해관계** 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 본 논문은 환경부의 재원으로 국립생태원의 지원을 받아 수행된 연구임을 밝힙니다(NIE-고유연구-2024-05).

## REFERENCES

- Castilho, C.S., V.C.S. Hackbart, V.R. Pivello and R.F. dos Santos. 2015. Evaluating Landscape Connectivity for Puma concolor and Panthera onca Among Atlantic Forest Protected Areas. *Environmental Management* **55**: 1377-1389. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0463-7>
- Dutta, T., S. Sharma, B.H. McRae, P.S. Roy and R. DeFries. 2015. Connecting the dots: mapping habitat connectivity for tigers in central India. *Regional Environmental Change* **16**: 53-67. Springer Berlin Heidelberg.
- Estreguil, C. and G. Caudullo. 2010. Harmonized measurements of spatial pattern and connectivity: application to forest habitats in the EBONE European project Forest landscape and global change-new frontiers in management. Proceedings of the IUFRO Landscape Ecology Working Group International Conferences.
- Jung, H.J. 2014. A Study on the Improvement of Landscape Pattern Analysis Techniques by the Functional Complementarity of FRAGSTATS and GUIDOS Models. Master's Thesis, Seoul National University.
- Kim, J.H., O.S. Kwon and J.H. Ra. 2021. Urban Type Classification and Characteristic Analysis through Time-Series Environmental Changes for Land Use Management for 31 Satellite Cities around Seoul, South Korea. *Land* **10**: 799.
- Li, G., C. Fang, Y. Li, Z. Wang, S. Sun, S. He, W. Qi, C. Bao, H. Ma, Y. Fan, Y. Feng and X. Liu. 2022. Global impacts of future urban expansion on terrestrial vertebrate diversity. *Nature Communications* **13**(1): 1628.
- Liu, Z., C. He and J. Wu. 2016. The relationship between habitat loss and fragmentation during urbanization: an empirical evaluation from 16 world cities. *PLoS One* **11**(4): e0154613.
- MaRae, B.H. and D.M. Kavanagh. 2017. Linkage pathways tool of the linkage mapper toolbox-user guide.
- ME (Ministry of Environment). 2023. National Greenhouse Gas Inventory Report. Greenhouse Gas Comprehensive Information Center, Ministry of Environment.
- NIE (National Institute of Ecology). 2018. Fundamental research on the conservation of national ecological network.
- NIE (National Institute of Ecology). 2019. Fundamental research on the conservation of national ecological network.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2009. Study on the optimal management for sustainable use of Korean water deer population.
- Saura, S. and L. Pascual-Hortal. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* **83**: 91-103.
- Shi, X. and M. Qin. 2018. Research on the optimization regional green infrastructure network. *Sustainability* **10**(12): 4649.
- Simpson, N.O., K.M. Stewart, D. Schroeder, M. Cox, K. Huebner and T. Wasley. 2016. Overpass and underpass: effectiveness of crossing structures for Migratory Ungulates. *The Journal of Wildlife Management* **80**(8): 1370-1378.
- Song, E.G., H.J. Seo, K.M. Kim, D.G. Woo, T.J. Park and T.Y. Choi. 2019. Analysis of roadkill hotspot according to the spatial clustering methods. *Korean Society of Environmental Impact Assessment* **28**(6): 580-591.
- Vogt, P., K.H. Ritters, C. Estreguil, J. Kozak, T.G. Wade and J.D. Wickham. 2007. Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecology* **22**: 171-177.
- Wang, J. 2014. Effectiveness of Wildlife Crossing Structures on Providing Habitat Connectivity for Wild Animals. Master's Theses in University of British Columbia.
- Yoon, E.J., E.Y. Kim, J.Y. Kim and D.G. Lee. 2019. Basic Connectivity Assessment of Circuit Theory for the Proposal of Ecological Axes. *Environmental Impact Assessment* **28**(3): 275-286.