

Research Paper

EN-Simulator를 활용한 안심습지 일원 수달의 주요 이동경로 예측 연구

신지훈* · 서보용* · 노백호* · 김지영** · 한성용***

계명대학교 환경과학과*, 한국환경정책·평가연구원**, 한국수달연구센터***

Prediction Study on Major Movement Paths of Otters in the Ansim-wetland Using EN-Simulator

Gee-Hoon Shin* · Bo-Yong Seo* · Paikho Rho* · Ji-Young Kim** · Sung-Yong Han***

Department of Environmental Science, Keimyung University*
Korea Environment Institute**
Korea Otter Research Center***

요약: 본 연구는 수달의 주요이동 패턴을 예측하기 위하여 EN-Simulator 프로그램을 활용하여 주요 이동 경로 분석을 실시하였다. 연구범위는 대구시 안심습지를 중심으로 반경 7.5 km를 최종 범위로 설정하여 시뮬레이션 분석을 하였으며, 모형 검증을 위해 현지조사를 활용하였다. 가상의 수달 개체수는 1,000마리, 이동 스텝 수는 격자 당 1,000 스텝으로 설정하였으며, 총 841개 격자에 대하여 시뮬레이션을 실행하였다. 분석결과, 평균 147.6±112.1 개체가 간격 50m 조건에서 분석범위 경계 지점에 도착하였다. 시뮬레이션 검증결과, 수달의 주요 이동 확률이 높은 지역 가운데 시뮬레이션의 '매우 높음 지역'에서 8개 수달흔적 지점(13.1%), '높음 지역'에서 9개 지점(14.8%)으로 나타났다. 반면 이동확률이 낮은 지역에서는 '낮음 지역' 8개 지점(13.1%)과 '매우 낮음 지역' 4개 지점(6.6%)으로 나타났다. 시뮬레이션의 검증결과 높음 결과값을 가지는 지역에서 특히 실제 수달의 서식 흔적이 많이 나타났다. 또한 이동확률의 등급 별 단위 면적(1×1km² 당)에 따른 수달 출현지점과의 상관관계를 알아본 결과, 가장 높은 확률로 이동하는 지역에서 단위 면적당 6.8개 흔적이 발견된 반면, 이동 확률이 낮은 지역은 0.1개 지점으로 분석되었다. 수달이 하천 지역의 주요경로를 이용하는 측면에서 보통 수준 이상 결과 지역에서는 23개(63.9%)로 많은 서식흔적이 발견되어 시뮬레이션의 주요 이동경로가 실제 수달 개체의 이동로로 활용되고 있는 것으로 나타났다. EN-Simulator 분석은 수달의 이동경로 선택에 있어서 공간특성이 이동가능성에 어떤 영향을 미치는지 예측 가능하고 분석값을 활용하여 주요 이동경로 내 추가 서식지 조성 및 로드킬 위험 지역을 사전에 파악하여 예방 가능하도록 하는 등의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

주요어: 야생동물 이동경로 예측, 수달, EN-Simulator, 무작위 이동법, 안심습지, 서식지선택

First Author: Gee-Hoon Shin, Tel: +82-53-580-5243, E-mail: gotohoon@naver.com, ORCID: 0000-0002-4047-592X

Corresponding Author: Paikho Rho, Tel: +82-53-580-5917, E-mail: wildlife@kmu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-6601-3432

Co-Authors: Bo-Yong Seo, Tel: +82-53-580-5738, E-mail: and8891@naver.com, ORCID: 0000-0001-7901-9991

Ji-Young Kim, Tel: +82-44-415-7677, E-mail: mythe@kei.re.kr, ORCID: 0000-0003-1471-5835

Sung-Yong Han, Tel: +82-33-441-9798, E-mail: hsy5034@hanmail.net, ORCID: 0000-0002-0256-9781

Received: 29 September, 2020. Revised: 8 February, 2021. Accepted: 8 February, 2021.

Abstract : In this study, we performed a Random Walker analysis to predict the Major Movement Paths of otters. The scope of the research was a simulation analysis with a radius of 7.5 km set as the final range centered on the Ansim-wetland in Daegu City, and a field survey was used to verify the model. The number of virtual otters was set to 1,000, the number of moving steps was set to 1,000 steps per grid, and simulations were performed on a total of 841 grids. As a result of the analysis, an average of 147.6 objects arrived at the boundary point under the condition of an interval of 50 m. As a result of the simulation verification, 8 points (13.1%) were found in the area where the movement probability was very high, and 9 points (14.8%) were found in the area where the movement probability was high. On the other hand, in areas with low movement paths probabilities, there were 8 points (13.1%) in low areas and 4 points (6.6%) in very low areas. Simulation verification results In areas with high otter values, the actual otter format probability was particularly high. In addition, as a result of investigating the correlation with the otter appearance point according to the unit area of the evaluation star of the movement probability, it seems that 6.8 traces were found per unit area in the area where the movement probability is the highest. In areas where the probability of movement is low, analysis was performed at 0.1 points. On the side where otters use the major movement paths of the river area, the normal level was exceeded, and as a result, in the area, 23 (63.9%), many form traces were found, along the major movement paths of the simulation. It turned out that the actual otter inhabits. The EN-Simulator analysis can predict how spatial properties affect the likelihood of major movement paths selection, and the analytical values are used to utilize additional habitats within the major movement paths. It is judged that it can be used as basic data such as to grasp the danger area of road kill in advance and prevent it.

Keywords : Wildlife Movement Route, Eurasian Otter, EN-Simulator, Random-Walker, Ansim-wetland, Habitat Types

I. 서론

습지생태계는 수생태계와 육상생태계의 전이지대로서 물이 지표면을 덮거나 지표 근처에 지하수가 분포하는 토지이며, 습생식물이 분포하는 지역이다(한윤호, 2002; Mulamootil, 1996). 특히 금호강 일대는 배후습지 형태로 되어 있는 곳이 많으며 이러한 습지들의 주변 토양은 습윤한 상태를 유지하고 있다. 또한 습지 식생군락이 잘 발달되고 철새도래지 역할 등 생물종다양성이 매우 높아 동물들의 서식처로서 중요한 지역이다(유주한 등, 2008; 김인택 등, 2005).

수달은 하천 내 수생태계의 건강성을 나타내는 지표종으로 국제환경보전기구의 RED LIST에 고시되어 보호받고 있다(IUCN, 2014). 수달의 서식지 특성으로는 여러 개의 보금자리를 불규칙적으로 옮겨 다니며, 외부의 인위적인 간섭에 매우 민감한 동물이다

(신지훈 등, 2017; 최준우 등, 2012). 수달의 배설물 수와 지점은 수달의 분포를 나타내는 척도라고 할 수 있다(차인환, 2011; Manson & Macdonald, 1987; Erlingge, 1968). 수달과 관련한 연구에는 정종철 등(2004)에서는 수달의 배설물 및 배설지 등의 흔적 조사를 통해 얻은 GPS좌표를 활용한 수달의 최적 서식지분석을 실시 하였으며, 차수민 등(2001)은 섬진강과 남해 일대에 서식하는 수달의 식이습성을 알아보고자 하였다.

현재까지 진행된 수달의 생태학적인 연구에서 사용된 분석 방법은 HSI (Habitat Suitability Index) 분석과 MaxEnt (Maximum Entropy Model), MCP (Maximum Convex Polygon), Kernel density 분석이 주로 사용되었다(장은미 등, 2008; 정승규 등, 2015). 이런 방법들은 단순히 서식 범위 분석에만 주로 이용되며, 수달에 핵심 서식공간, 공간 특성에 따

른 이동, 행동 패턴을 표현하는 데 한계를 가지고 있다. 이에 야생동물의 서식 특성뿐만 아니라 이동 패턴 및 이동 경로를 파악하기 위해 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다. 우동걸 등(2015) 연구진에서는 속리산과 지리산 일대에 서식하는 담비의 겨울철 생태 특성을 확인하고 눈 위 발자국 추적하였고, 최태영 등(2006)의 연구에서는 무선 추적 방법을 이용한 멧돼지의 행동권을 연구하였다. 최소비용 거리 모델링은 경관 구조에 따른 장벽효과와 결합하여 동물의 이동 가능성이 높은 지역을 선정하는 데 유용하게 쓰이는 방법 중 하나이다(Adriaensen 등, 2003). 최소비용 거리 모델링 방법을 사용하여 동물의 이동이 가능한 지역을 확인하였다(이동근 등, 2008). 생물 종의 이동 경로는 생물 종이나 지역 내 공간적 특성 등에 따라 무작위이동(Random Walk), 프랙탈(Fractal), 초단파(VHF) 무선 추적, 위성추적 장치(GPS) 발신기, Radio Tracking, 표지부착 등 다양한 접근방법이 있다(박종준 등, 2012; 신지훈 등, 2019; 조숙영 등, 2014; 정상민 등, 2018). 그러나 대부분 시간적, 경제적, 많은 인력 투입 등 연구하는 데 있어 충족해야 하는 부분이 많다.

따라서 시뮬레이션을 통한 공간 분석은 시간과 비용 등을 절감하고 넓은 공간을 분석하기에 유리하기 때문에 본 연구에서는 EN-Simulator를 활용하여 수달의 주요 이동 경로를 예측하고자 하였다. EN-Simulator는 지형적 특성을 고려하여 지형 장애물의 유형화, 동물이동 가능성, 이동 방법의 다양성 등을 감안할 수 있으며 국내 지역 여건을 고려한 중대형 포유류에 대한 적용을 통해 생물 종의 이동 경로를 추정하는 데 유용하다(김지영 등, 2016). 본 시뮬레이션은 경사도, 환경조건 등에 따라 속성값을 부여하며, 실제 동물이동에 영향을 미치는 요소들을 고려하여 현실성을 제고하고 있다. 또한, 개발 사업이 생태계 네트워크에 미치는 영향 예측 및 인공적인 지형 장애 요소들이 추가됨에 따라 야생동물의 이동 경로에 변화를 예측하고자 하였다(김지영 등, 2016). 동물의 이동을 고려한 연결성 연구는 생물다양성 보전을 위한 하나의 방법론으로 활용될 수 있음에도 불구하고 국내에 활용한 사례는 아직 부족한 실정으로 다양한 생물

종에 적용하여 연구자료 및 개발 전 기초자료로 활용 가능할 것이다.

이에 본 연구는 대구시 안심습지 일대에 서식하는 수달의 주요 이동 패턴을 예측하기 위하여 EN-Simulator를 이용하여 분석을 실시하였다. 모델링 결과를 토대로 현지 조사 및 출현 정보를 기반으로 검증을 실시하였으며, 도심지역 내 습지 지역의 멸종위기야생생물 I급 수달의 주요 이동 경로를 파악하여 분석범위 내 서식지 추가 조성 예정지 및 로드킬 예방을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지 및 범위

연구의 범위 설정은 대구시 수달 행동 생태·보호 전략 연구(대구시, 2019)에서 수달의 서식 적합도 평가 결과 1등급(Most Suitable) 지역으로 나타난 안심습지를 중심으로 선정하였다.

안심습지 일대의 하폭은 100~150m, 수심은 50~100cm 정도로 강수기와 갈수기의 유량 변화는 심한 편이고, 특히 갈수기 때에는 하상의 1/3~1/2 정도가 노출되며 그 노출부는 물풀군락이 덮고 있다. 주변 토지 이용 형태는 대부분 경작지 중심으로 구성되어 있으며, 제방 내부는 여울과 소, 수중식물, 수초, 육상식물이 잘 조화된 하천 종류의 전형적인 형태를 보여주고 있으며, 그 외 물길을 제외하면 제방 내부는 자연형 물풀군락 및 습지로 덮여 있다. 연꽃, 갈대와 같은 각종 습지식물과 양서파충류, 철새와 같은 조류 등이 쉽게 관찰되는 생태계 핵심 공간으로 중심에 자리 잡고 있다(대구지방환경청, 2005; 이근희, 2008)

2. 수달 주요 이동 경로 예측 시뮬레이션

EN-Simulator (Ecological Network Simulator)는 현재 상태에서 가능한 생태네트워크와 지형 장애 요소가 추가되었을 때의 네트워크 변화 정도를 모의 실험 할 수 있는 시뮬레이터이다(김지영, 2016). EN-Simulator를 이용한 기본적인 분석 방법인 '이동 선호 분석법(Basic Method)'은 동물이 어느 한 지점에

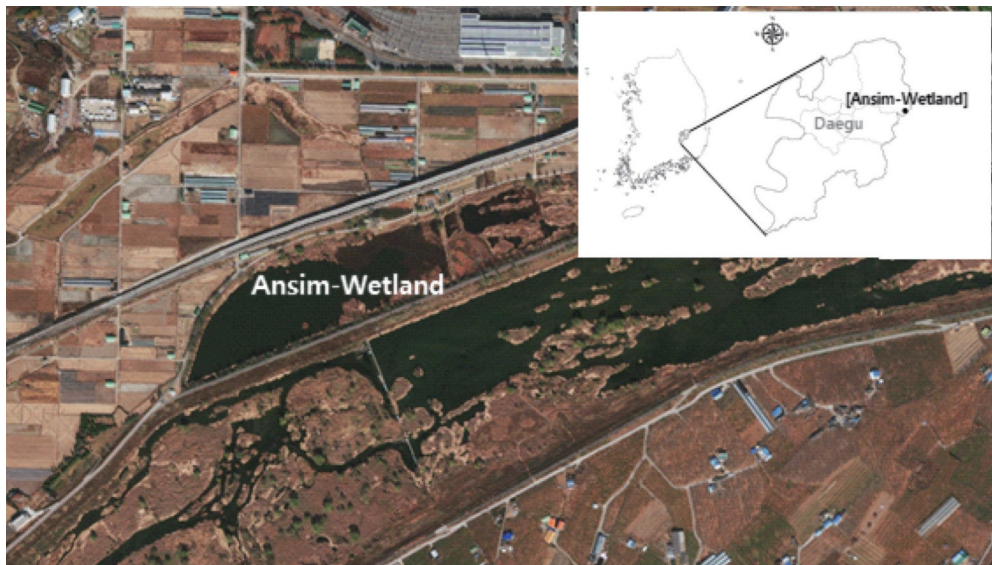


Figure 1. Geographical location and study site of Ansim Wetland.

서 주변으로 이동할 때 가장 선호하리라 예상되는 방향을 '랜덤워커(Random Walker)'를 이동시켜 시뮬레이션 결과를 통해서 예측하는 방법이다. 이 기본 방법을 활용해서 동물의 이동 가능성 변화를 공간적으로 분석하는 방법으로 주 이동 방향 분석법(Major Movement Direction Analysis), 이동 가능성 분석법(Permeability Analysis) 및 이동 추적법(Trekker)을 제시하였다. 본 연구에서는 이동 가능성 분석법을 활용 대상 지역을 일정 간격으로 분리하여 시뮬레이션을 실행하고, 해당 결괏값을 기초로 하여 등화률도(Equi-permeability Map)를 작성하는 방법을 사용하였다.

입력자료는 수치지형도(1:5,000 또는 1:25,000)에서 추출한 지형 장애물, 경사도, 토지피복, 이동에 따른 경사각 등을 토대로 1,000회 랜덤워커를 이동시켜 분석 격자에 얼마나 많은 횟수에 걸쳐 이동 경로를 이용하는지를 산정하였다. 산정된 결괏값을 이용하여 주요 이동 경로를 선정하였으며, Arc GIS 10.5 프로그램의 Natural Breaks (Jenks)방법으로 5개 등급(매우 높음, 높음, 보통, 낮음, 매우 낮음)으로 구분하였다.

본 연구에서는 대구광역시 동구 안심습지 일대 서식하는 수달의 주요 이동 경로 예측하기 위한 평가항

목을 설정하고 평가대상 841개 격자를 대상으로 현지 조사로 확보한 수달의 서식 흔적 지점을 이용하여 검증하고자 하였다. ArcView GIS 프로그램의 Count points in Polygon 모듈을 이용하여 분석 격자 별로 얼마나 많은 수달 서식(이동) 흔적을 포함하고 있는지 계산하고, 만일 분석 격자에 생물 중 분포지점이 많을수록 평가점수를 높게 부여하고, 분석 격자에 생물 중 분포지점이 적으면 낮은 평가점수를 할당하였다.

3. 입력데이터 및 장애물 요인 파악

대구시 동구 안심습지 일대 서식하는 수달의 주요 이동 경로 파악을 위해 EN-Simulator에 입력되는 자료는 이미지 파일, 지형 장애물 데이터 파일, GIS 데이터 파일, 고도 데이터와 같이 4가지로 구성하였다. 입력자료는 Table 1과 같다.

입력데이터는 이미지 자료(resolution 51cm)와 수치지형도, 현지 조사를 통해 안심습지 일대의 점·선·면 형태의 훼손지를 파악하였다. 입력데이터는 1) 인공위성 및 항공사진으로부터 획득하는 데이터, 2) 디지털 지형도 또는 종이 지형도로부터 획득하는 데이터, 3) 현지 조사 데이터로부터 GIS 프로그램이나 그림 편집 도구를 통해 EN-Simulator 입력자료로 사용하였다.

Table 1. Input Data Characteristics for executing the EN-Simulator

FID	Input Data	Contents
Image layer	Multi-temporal and seasonal Landsat8 satellite image	Polygon-related disturbance data
	Aerial Photograph with Ground Truth	High resolution terrain obstacle
Obstacle layer	National Digital Topographic Map with+ Field Survey	Extracted Terrain Obstacle Layer

1:5,000 수치지도를 통해 지도상에서 찾을 수 있는 지형 장애물과 위성사진을 통해 확인되는 건축물을 포함한 다양한 종류의 장애물을 추출하였고 현장 답사를 통하여 지도와 위성사진에는 나타나지 않는 장애물을 조사하여 최종적인 입력자료를 생성하였다. 또한 인공구조물과 자연적인 장애물, 수계 장애물 등 현지 조사를 통하여 장애물을 유형별로 분류하고 장애물에 따라 이동 가능성을 설정하였으며, 경사도 분석과 동물의 이동 가능성의 적정성을 분석 프로그램 설정에 반영하였다. 입력된 장애물의 유형으로는 점·선·면 형태의 Shape File로 구축하였다.

4. 수달 서식 흔적 조사

2018년 3월부터 2019년 8월까지(총 18개월)의 안심습지 일대에서 수달 서식 흔적 조사를 실시하였다. 현지 조사는 도보나 차량을 이용하면서 안심습지 일대에서 수달의 출현 흔적(배설물, 족흔, 식흔 등을 수집)을 탐색하는 임의추적법(Random Search)에 따른 현지 조사 및 직접 육안관찰을 병행하여 실시하였다. 또한 수달의 주요 이동 경로에 출현하면 자동으로 촬영되는 무인 센서 카메라(Moultrie M-990i)를 설치하여 조사하였다.



Wireless sensor camera setting



Eurasian Otter (*Lutra lutra*) sprints

III. 결과 및 고찰

1. 안심습지 일대 수달 이동 장애물 요인 분석

본 연구에서는 수달의 주요 이동 경로 파악을 위해 EN-Simulator를 활용하여 예측 및 분석을 실시하였다. 현재 금호강 본류 및 지류 일대에는 야생생물이 서식하는데 위협이 될 수 있는 다양한 형태의 훼손 요인이 산재되어 있다. 점(Point) 단위에서는 불법 낚시 행위, 폐통발, 송전탑 등이 있으며, 선(Line) 단위로는 고속도로, 일반 국도, 횡 구조물(제방) 등이 존재한다. 면(Polygon) 단위의 훼손 요인으로는 불법 경작지, 건축물, 산업단지 등이 있다.

유형별 훼손 요인은 Figure 2와 같다. 또한 현지 조사 시 발견된 위협요인에 대한 조사 사진은 Figure 3에 내용과 같다.

2. 안심습지 일대 수달 주요 이동 경로 분석 결과 및 출현자료를 활용한 검증실시

본 연구에서는 수달 주요 이동 경로 분석을 위해 EN-Simulator 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션은 분석범위를 격자형으로 설정하여 이동 가능성 분석법을 실행하였다. 각각의 격자에서 출발시킨 가상

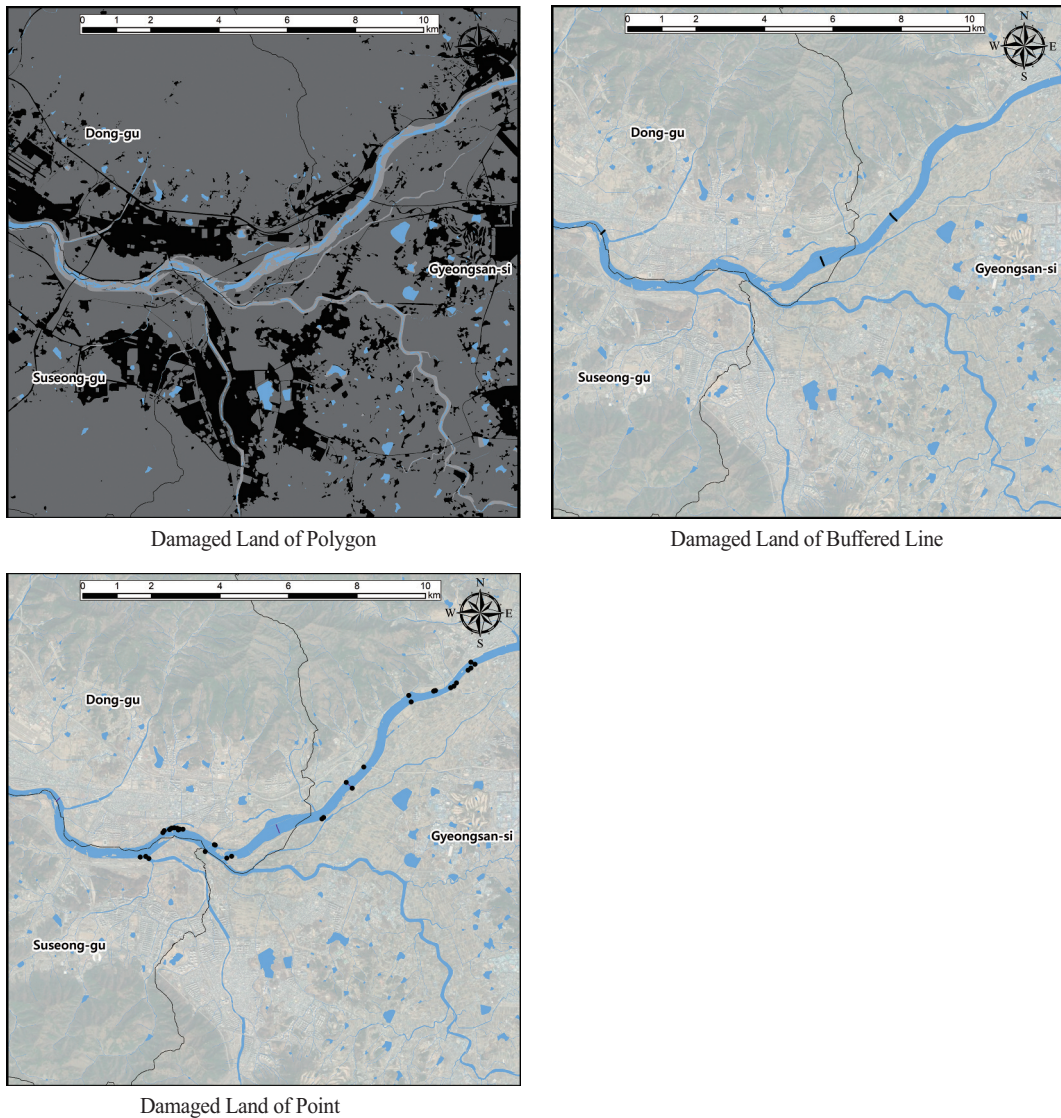


Figure 2. Spatial distribution of three topological features related to threatened factors against wildlife movement in the Ansim-wetland area.

의 수달 개체 수는 1,000마리로 설정하였고 동물의 이동 스텝 수는 격자당 1,000 스텝으로 설정하였다. 시뮬레이션 전체 크기는 $7.5 \times 7.5 \text{km}^2$ 로 설정하였으며, 분석 시 총 841개 격자에 대하여 시뮬레이션을 실행하였다. 실제 수달은 종 간의 경쟁으로 인해 최소 개체만이 서식하지만, 시뮬레이션의 분석 정확도를 높이기 위해 반복 횟수와 마릿수를 높게 설정하였다. 분석 결과는 Figure 4와 같다.

평균 147.6 ± 112.1 개체가 간격 50m 조건에서 분

석범위 경계 지점에 도착하였다. 이는 각 격자가 지닌 수달의 생태 특성 및 공간적 특성이 반영된 것으로 평균 15km의 일일 활동권을 가지는 수달에 대하여 연구대상지 내에서 수달 개체의 주요 이동 가능성의 정도를 나타내 주는 것이라 할 수 있다. 시뮬레이션과 같이 시가지화 지역, 건축물, 도로, 인간의 인위적 간섭행위(불법 낚시) 등을 잘 통과하지 못하는 것으로 나타났으며 수달은 하천의 본류 구간에서보다 지류 하천에서의 상·하류 이동이 자유로운 것으로 나타



Interspecific competition



Developed area (road kill)



Illegal fishing



Lung trap



Transverse structure



Characteristics of stream

Figure 3. Field Investigation of threat factors and species traces of otter habitat in the Ansim-wetland area.

났다. 즉 수달이 하천을 중심으로 이동을 주로 하지만 주요 서식공간 내 인위적 간섭이 발생 된다면 서식에 영향을 받으며 상대적으로 위협요인이 적은 지류 하천을 따라 이동하는 것으로 결괏값에 나타났다.

실제 수달의 서식지 선택 및 행동 특성을 살펴보면 하천을 중심으로 평균 15km의 세력권을 가지며 수변 가장자리를 이용하여 은신처 및 서식지를 선택한다 (Erlinge, 1968). 또한 동물의 서식지 선택에 가장 중

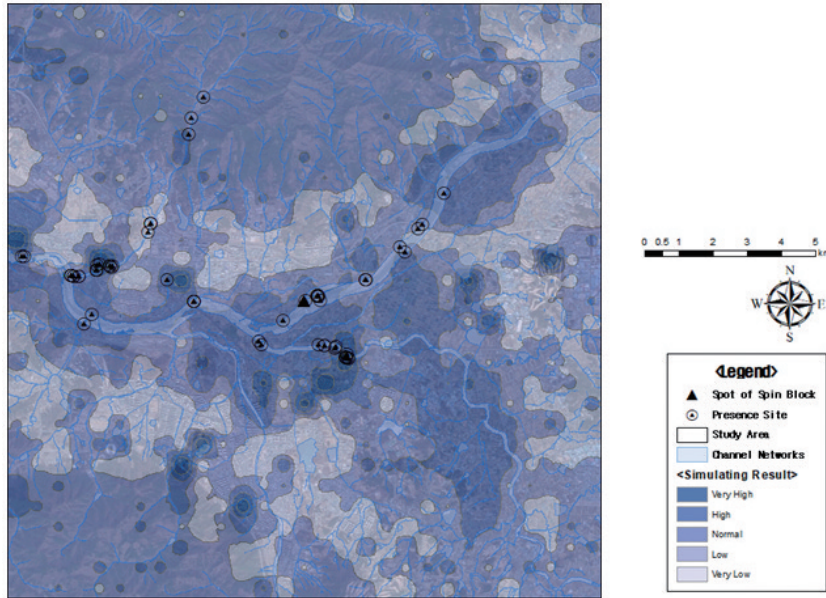


Figure 4. Result of Otter Movement Permeability in the Ansim-wetland.

요한 요인 중 먹이자원 확보 측면에서도 합수부 일대에서는 모래톱, 자갈층, 퇴적펄층 등의 하천 특성으로 어류의 서식에 양호하여 수달의 먹이자원 확보 측면에서도 우수한 공간이다. 이러한 수달의 생태적 특성을 고려하였을 때 시뮬레이션에서는 직접적인 공간 특성을 도출하는 것은 아니지만 하천 주변의 장애물 요인을 피해 이동하면서 분류와 지류 하천 간의 합수부 지점에서 이동확률이 높게 나오는 것은 본 연구대상지에 사용된 변수와 이동확률이 잘 반영되어 수달 주요 이동 경로로 예측된 것으로 판단된다.

3. 출현자료를 활용한 시뮬레이션 검증실시

본 연구에서는 시뮬레이션 분석 결과를 토대로 현

지 조사 결과 및 무인 센서 카메라에 촬영된 사진 자료를 중첩하여 사용하였다. 현지 조사는 금호강 분류를 중심으로 주변 지류 하천의 소류지 및 저수지를 추가로 조사하였으며 전체 61개 지점에서 수달의 서식 흔적을 확인하였다. 검증 결과에 관한 내용은 Table 2와 같다.

민희규 등(2013)의 진양호 댐 지역 수달의 서식지 이용 형태에 관한 연구를 보면 현재 연구대상지와는 다른 공간 특성을 지닌 곳이지만 수달의 생태적 특성을 보았을 때 자신들의 home range를 기준으로 먹이활동을 위해 주변 지역을 이동하며 서식하는 것을 확인하였다. 이처럼 수달의 서식 흔적이 많은 지역일수록 이동확률이 높다고 판단하였으며, 서식이 보금

Table 2. EN-Simulator verification result of otters in the Ansim-wetland

FID	Area (km ²)	# of Presence Site	Relative Density of Presence Site (Area/Presence Site)
Very High	1.2	8	6.8
High	3.4	9	2.6
Normal	41.5	32	0.8
Low	124.1	8	0.1
Very Low	54.8	4	0.1
Total	225.0	61	

자리의 개념보다는 하천의 상·하류를 이동하는 과정에서 중간 기착지로 활용하였을 것으로 판단하여 Natural Breaks (Jenks)방법으로 5개 등급(매우 높음, 높음, 보통, 낮음, 매우 낮음)으로 구분한 이동확률별 실제 서식 흔적 개수를 비교 분석해 보았다.

검증 결과, 이동확률이 높은 지역은 매우 높음 지역에서 8개 지점(13.1%), 높음 지역에서는 9개(14.8%)로 나타났으며, 반면에 이동확률이 낮은 지역에서는 낮음 8개 지점(13.1%)와 매우 낮음 4개 지점(6.6%)으로 분석되었다. 본 연구의 시뮬레이션의 결과 높음 결괏값을 가지는 지역에서 특히 실제 수달의 서식 확률이 높게 나타났다. 연구대상지 내 $1 \times 1 \text{km}^2$ 의 단위 면적 당 수달 출현지점 간의 상관관계를 확인해본 결과 가장 높은 확률로 이동하는 지역에서는 단위 면적 당 6.8개 지점의 수달의 흔적이 발견되었으며, 이동확률이 낮은 지역은 0.1개 지점이 나타나는 것으로 확인되었다. 즉 수달이 하천을 중심으로 이동을 주로 하지만 주요 서식공간 내 인위적 간섭이 발생한다면 서식에 영향을 받으며 상대적으로 위협요인이 적은 지류 하천을 따라 이동하는 것으로 결괏값에 나타났다. 평균값 이상으로 개체 수가 나타난 지역은 지류 하천을 중심으로 2개 이상의 실개천이 합류하는 구간으로 실제 수달의 서식지 선택에 있어서 공간 특성을 잘 반영하고 있었다. 이는 본 연구의 이동 가능성 분석법에 따른 시뮬레이션 분석 결과가 실제 안심습지 일대 서식하는 수달의 이동 가능 확률에 의미 있게 반응하는 것임을 보여 주었다.

IV. 결론

본 연구는 대구시 안심습지 일대에 서식하는 수달의 주요 이동 패턴을 예측하기 위하여 EN-Simulator를 이용하여 분석을 실시하였다. 모델링 결과를 토대로 현지 조사 및 출현 정보를 기반으로 검증을 실시하였다.

시뮬레이션 분석 결과, 도착한 수달 개체수는 평균 147.6 ± 112.1 로 나타났으며 공간분포를 분석한 결과, 연구대상 지역 중에서 금호강 본류와 지류가 만나는 합수부 지점과 지류 하천의 소류지를 중심으로 수달

의 이동 가능성이 높아 주요 이동 경로로 활용한 것으로 나타났다. 또한 수달의 서식 및 주변 서식지로 이동하는 과정에서 시가화 지역, 건축물 등의 인위적 간섭이 발생하면 저항력이 높아져 주변 지류 하천이나 나지 및 초지 등을 이용하여 하천 상·하류 지역을 이동하는 것으로 밝혀졌다. 시뮬레이션 결과를 통해 실제 수달의 서식지 선택 및 행동 특성을 비교함으로써 하천의 수공간을 중심으로 일일 세력권 15km를 지닌 수달의 생태적 특성을 반영하여 주변 위협요인 및 장애물들이 수달의 서식지 선택 및 이동특성에 부정적 영향을 미치는 것으로 알 수 있었다.

현지조사 자료를 이용한 시뮬레이션 검증 결과, 이동확률이 높은 지역은 '매우 높음'에서 8개(13.1%), '높음' 9개(14.8%)로 나타났으며, 반면에 이동확률이 낮은 지역에서는 '낮음' 8개(13.1%)와 '매우 낮음' 4개(6.6%)로 분석되었다. 시뮬레이션의 결과 이동확률이 '높음' 값을 가지는 지역에서 특히 실제 수달의 서식 확률이 높게 나타났다. 또한 이동확률의 등급별 단위 면적에 따른 수달 출현지점과의 상관관계를 알아보기 위해 $1 \times 1 \text{km}^2$ 당 수달 출현 비율을 분석해 보았다. 분석 결과, 가장 높은 확률로 이동하는 지역에서 단위 면적당 6.8개 수달 흔적이 발견되는 것으로 나타났으며, 이동확률이 낮은 지역은 0.1개 지점으로 이동확률이 높은 지역과 유의미한 차이를 보이고 있다. 특히, 수달은 하천에 따라 선형으로 주요 이동 경로를 이용하는 측면에서 보통 수준 이상으로 밝혀진 수변 지역에서 23개(63.9%)로 다른 계급에 비해 상대적으로 많은 서식 흔적이 발견되어 시뮬레이션의 주요 이동 경로가 실제 수달 개체의 이동으로 활용되고 있음을 유추할 수 있다.

본 연구에서는 EN-Simulator를 이용한 수달의 이동 확률 분석에 따라 생물종의 행동권을 고려한 다양한 대상지역에서의 야생동물 이동확률 및 서식지 선택에 있어 장애요인이 미치는 영향을 제시하였다. 대구시 안심습지 일대를 연구대상지로 수달이 대상 지역 내 장애요인을 회피하며 이동함에 따른 이동확률 분석과 실제 수달의 서식 흔적 지점과 유의미한 상관성을 나타내는 것으로 확인하였다. 실제 현지 조사 및 무인 센서 카메라를 통한 수달 서식을 확인한

결과, 점보다는 선, 면 단위의 장애요인에서는 수달의 서식이 확인되지 않았으며, 수변 식생 및 습지 내부를 이용하여 이동하는 것으로 나타났다. 또한 하천이 아닌 일부 도로를 관통하거나 주거지역이 밀집한 곳에서도 이동 가능성이 있는 것으로 나타났다. 추후 도심 내 수달의 서식지 평가 및 로드킬 발생 가능지역을 사전에 파악하여 수달의 개체수 보전과 서식지 보호방안 제시 등에 활용 가능할 것이다. 하지만 본 연구에서는 수달 흔적 지점을 하나의 검증 값으로 활용하였으나 보다 객관적인 결과를 비교하기 위해서는 향후 DNA 분석을 통한 개체별 이동 경로 예측 및 실제 무선 추적데이터를 중첩하여 비교한다면 보다 정밀한 연구결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 수달뿐만 아니라 다른 척추동물의 주요 이동 패턴 예측 및 인공 구조물로 인한 야생동물의 이동 경로 선택을 파악함으로써 대상지 내 서식지 평가에 활용 가능한 시뮬레이션 모델로서 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 중견연구 “멸종위기 포유류 3종(사향노루, 산양, 수달)의 종분포모델 및 서식지 적합성지수 모델의 비교연구”(과제번호 2017R1A2B1012973) 일환으로 진행되었습니다.

References

- Adriaensen F, Chardon JP, De Blust G, Swinnen E, Villalba S, Gulinck H, Matthysen E. 2003. The application of least-cost modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64(4): 233-247.
- Cha IH. 2011. Ecological indicator species of rivers Otter. *River and Culture* 7(3): 34-37. [Korean Literature]
- Cha SM, Han SY, Son SW. 2001. Food habits of Eurasian otter (*Lutra lutra*) in Seomjin river and Namhae area in Korea. The Korean Society for Integrative Biology Conference Proceedings 135. [Korean Literature]
- Chang EM, Park K, Chae HY. 2008. Otter Habitat Analysis and Regional Development Strategies in Dadohae National Park Using GIS Techniques. *The Journal of GIS Association of Korea* 16(3): 343-357. [Korean Literature]
- Cho SY, Park SY, Nam HY, Park CU, Seo SG, Lee SY, Bing GC, Kwon YS. 2014. Status of Bird Banding on Heuksan-do, Dadohaehaesang National Park, a Stopover Site on an East-Asian Migratory Bird Flyway. *Journal of National Park Research* 5(2): 54-61. [Korean Literature]
- Choi JW, Yoon MH. 2012. A Study on food habits of the otter (*Lutra lutra*) and effects of construction of the Busan new port on its prey. *J. Life Sci.* 22(6): 736-743. [Korean Literature]
- Choi TY, Lee YS, Park CH. 2006. Home-range of Wild Boar, *Sus scrofa* living in the Jirisan National Park, Korea. *J. Ecol. Environ.* 29(3): 253-257. [Korean Literature]
- Daegu Regional Environmental Office. 2005. Geumho River, alive. Daegu: Regional Environmental Office
- Daegu. 2019. Otter Behavior ecology & Protection strategy. Daegu: Metropolitan City
- Erlinge S. 1968. Territoriality of the Otter *Lutra lutra*L. *Oikos* 19(1): 81-98.
- Han YH, Kim DY, An WY. 2002. Wetland Environment and Vegetation Development of the Ilwol Reservoir. The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology 5(2): 9-16. [Korean Literature]
- IUCN(International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). 2014. IUCN Red List of Threatened Species.

- Jeong JC, Jo YS. 2004. Analysis about Habitat of Eurasian Otter *Lutra lutra* L. by Using GIS in the River Ungok of North-Kyongsang Province. The Journal of Geographic Information System Association of Korea 12(1): 29-42. [Korean Literature]
- Jeong SG, Park CH, Woo DG, Lee DK, Seo CW, Kim HG. 2015. Selecting Core Areas for Conserving Riparian Habitat Using Habitat Suitability Assessment for Eurasian Otter. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 18(2): 19-32. [Korean Literature]
- Jung SM, Kang JH, Kim IK, Lee HS, Lee SW, Oh HS. 2018. Autumn Migration of Black-faced Spoonbill (*Platalea minor*) Tracked by Wild-Tracker in East Asia. Korean J. Ecology and Environment 32(5): 478-485. [Korean Literature]
- Kim IT, Cheong SW, Park JW. 2005. Vegetation of Jangcheok wetland. J. Wet. Res. 7(1): 129-138. [Korean Literature]
- Kim JY, Ro TH, Yoo SD, Seo BY. 2016. Simulation for Ecological Network Change Using Random Walk as an EIA Tool(II). Korea Environment Institute Research Reports. [Korean Literature]
- Lee DK, Park C, Song WK. 2008. Analysis of Wildlife Moving Route with Landscape Characteristics. J. Environ. 17(2): 133-141. [Korean Literature]
- Lee KH. 2008. Establishment and Application of Landscape Ecological Improvement Indicators for the Environment-Friendly Geumho River Management., Ph.D. Thesis, Keimyung University. Daegu, Korea. [Korean Literature]
- Manson CF, MacDonald SM. 1987 Acidification and otter (*Lutra lutra*) distribution on a British River. Mammalia 51(1): 81-87.
- Min HK, Kim JK, Kwon OK. 2013. A Studies on the Behavior Ecology and Habitat Environment of Eurasian Otter(*Lutra lutra*) in Jinyang-lake Dam area. JALS 47(3): 81-92. [Korean Literature]
- Mulamoottil G, Warner BG, McBean EA. 1996. Wetlands: environmental gradients, boundaries, and buffers. Lewis CPC Press.
- Park JJ, Woo DG, Oh DH, Park CH. 2012. Site Selection of Wildlife Passage for Leopard Cat in Urban Area using Space Syntax. J Korean Inst Landsc Archit 40(1): 92-99. [Korean Literature]
- Shin GH, Kim HR, Jang SR, Kim HY, Rho PH. 2019. Evaluating the Criteria and Weight Value for Ecological Network Connectivity of Baekdudaegan Mountain Range on Taebaeksan National Park. Korean J. Ecology and Environment 33(3): 292-302. [Korean Literature]
- Shin GH, Rho PH. 2017. Impacts of Aquatic and Riparian Environmental Factors on Eurasian Otter (*Lutra lutra*) Presence Characteristics in the Nakdong River Basin. J. Environ. Sci. Int. 26(12): 1341-1353. [Korean Literature]
- Woo DG, Choi TY, Kwon HS, Lee SG, Lee JC. 2015. The Food Habits and Habitat Use of Yellow-Throated Martens(*Martes flavigula*) by Snow Tracking in Korean Temperate Forest During the Winter. J. Environ. 24(5): 532-548. [Korean Literature]
- You JH, Jung SG, Park KH, Kim KT, Lee WS. 2008. Flora in Ahnshim Wetland, Daegu Metropolitan City. Korean J. Plant Res 21(2): 162-170.