

MaxEnt 모형과 고라니의 이동행태를 고려한 수변지역 이동통로 적지선정

Selecting Suitable Riparian Wildlife Passage Locations for Water Deer based on MaxEnt Model and Wildlife Crossing Analysis

정승규* · 이화수** · 박종훈*** · 이동근**** · 박종화***** · 서창완*****

Jeong, Seung Gyu · Lee, Hwa Su · Park, Jong Hoon · Lee, Dong Kun · Park, Chong Hwa ·
Seo, Chang Wan

요 旨

최근 우리나라는 하천정비사업으로 인해 수변생태계는 큰 위협을 받고 있으며, 수변의 야생동물은 고립되고 이동의 영향을 받고 있다. 본 연구의 목적은 수변지역을 대상으로 이동통로 적지를 선정하는 것이다. 목표종은 고라니를 대상으로 하였으며 Maximum Entropy 모형과 눈길위흔적조사 자료를 이용하여 최소비용거리에 따른 야생동물의 행동생태학적인 관점에서 수변지역의 이동통로 적지를 선정하였다. 연구결과 첫째, 수변인접서식지 분석에서 고라니의 잠재서식지 영향을 주는 중요요소는 수계와의 거리, 영급, 토지피복, 경사, 향, 고도, 밀도, 도로와의 거리 순으로 나타났으며, 수변에서는 토지피복, 수변면적, 지류와의 거리, 시가지와의 거리가 주요 변수로 나타났음을 알 수 있었다. 둘째, 적지선정 지점은 수변과 인접지역의 각각의 서식지에서 적합도가 높은 지점과 이동경로를 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 적지선정 지점들은 수변의 산림, 초지 및 농경지가 고라니의 주요 서식지이나 도로나 제방으로 인해서 연결성이 저하된 곳이었으며, 이동에 영향을 받아 우회하는 것을 눈길위흔적조사를 통해 확인하였다. 마지막으로 고라니는 수변지역에서 지류를 통해서 수변과 인근의 좋은 서식지를 선호하는 것으로 유추되었다. 본 연구에서 제시한 적지 선정 방법은 구조적이고 기능적인 분석을 통합한 방법으로 적지선정에 적용한다면 시간적 경제적인 소모를 줄일 수 있을 것이다.

핵심어 : 야생동물 이동통로, 하천수변조사, Maximum Entropy 모형, 눈길위흔적조사, 고라니

Abstract

Stream restoration projects have become threats to riparian ecosystem in Rep. of Korea. Riparian wildlife becomes isolated and the animals are often experience difficulties in crossing riparian corridors. The purposes of this study is to select suitable wildlife passages for wild animals crossing riparian corridors. Maximum entropy model and snow tracking data on embankment in winter seasons were used to develop species distribution models to select suitable wildlife passages for water deer. The analysis suggests the following. Firstly, most significant factors for water deer's habitat in area nearby riparian area are shown to distance to water, age-class, land cover, slope, aspect, digital elevation model, tree density, and distance to road. For the riparian area, significant factors are shown to be land cover, size of riparian area, distance to tributary, and distance to built-up. Secondly, the suitable wildlife passages are recommended to reflect areas of high suitability with Maximum Entropy model in riparian areas and

Received: 2015.03.03, revised: 2015.03.16, accepted: 2015.03.18

* 정회원 · 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원(Member, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, skyuno1@snu.ac.kr)

** 서울대학교 산림과학부 박사수료(Department of Forest Sciences, Seoul National University, wncrane@snu.ac.kr)

*** 정회원 · 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원(Member, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, hoon73@snu.ac.kr)

**** 정회원 · 서울대학교 조경지역시스템공학부 교수(Member, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, CALS, Seoul National University, dkleee7@snu.ac.kr)

***** 서울대학교 환경대학원 명예교수(Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, rsgis@snu.ac.kr)

***** 교신저자 · 국립생태원 기후생태연구실 수석연구원(Corresponding author, Department of Climate & Ecology, National Institute of Ecology, dharmascw@hanmail.net)

the surrounding areas and moving passages. The selected suitable areas are shown to be areas with low connectivity due to roads and vertical levee although typical habitats for water deer are forest, grassland, and farmland. In addition, the analysis of traces on snow suggests that the water deer make a detour around the artificial structures. In addition, the water deer are shown to make a detour around the fences of roads and embankment around farmland. Lastly, the water deer prefer habitats around riparian areas following tributaries. The method used in this study is expected to provide cost-efficient and functional analysis in selecting suitable areas.

Keywords : Wildlife Passage, River Corridor Survey, Maximum Entropy Model, Snow Tracking, Water Deer

1. 서론

하천과 육상의 경계에 있는 수변지역은 지리적 특성으로 인해 독특한 생태계를 구성하고 있으며, 높은 생물다양성을 보인다. 특히 이 지역은 포유류, 조류, 양서류, 파충류를 비롯한 많은 생물의 서식공간으로서 역할 뿐만 아니라 이동공간으로도 기여함으로써, 인근 생태계와 네트워크를 구성하는 중요한 역할을 한다. 우리나라에서는 1960년대부터 치수와 이수를 목적으로 한 하천 종합개발계획을 수립한 결과 보, 제방, 하구둑 등 많은 구조물의 건설되었으며, 수변지역은 둔치와 같은 친수공간을 조성하였다. 그러나 최근 하천정비공사까지 시행하게 되면서 하천이 지닌 생태적·환경적 기능을 고려하지 않은 개발이 진행되어 왔으며(Bae et al., 2003), 하천의 생물 서식환경 훼손으로 생물 다양성은 크게 감소하였다(Korea Environment Institute, 2013; Bae and Lee, 2001).

근래에 이르러 생물자원 및 유전적 다양성의 보전에 대한 관심이 높아짐에 따라 야생동물 및 서식환경에 대한 연구의 필요성이 제기되었다. 연구 초기에는 주로 목표종의 기초 생태자료의 취득을 목적으로 하였으며, 이를 토대로 전반적인 야생동물 및 서식지의 보전계획을 세우고자 하였다. 그러나 생태자료만으로는 목표종의 서식환경 인자를 파악하고 자료를 계량화하는 부분에서 한계가 있었다. 선진국에서는 이미 1970년대 이후 자연환경 관리정책에 생물종의 서식지 적합성 평가에 따른 보전지역 설정 및 복원을 위한 대상지 선정에 반영하고 있다(Lee and Song, 2009). 서식지 적합성 평가는 환경변수를 이용하여 야생동물의 서식에 적합한 환경조건을 분석하는 것으로 과거에는 GAP(Gap Analysis Program)이나 서식지적합성 지수(Habitat Suitability Index)와 같은 모형을 이용하였으나 정확도 부분에서는 한계가 있었다. 최근에는 중분포도와 통계 기법을 활용하여 다양한 중분포모형이 개발되었으며, 자료의 종류(출현/비출현자료, 출현자료만)에 따라 적합한 모형을 적용 중이다(Kwon, 2011; Seo et al., 2008).

서식지의 파편화와 단절은 생물다양성 감소를 야기하며, 일부 지역에서는 메타개체군 절멸로 이어진다(Park et al., 2012). 이러한 서식지 단절의 부정적인 영향을 줄이고 야생동물 개체군 보전 및 유전적 다양성을 증대시키기 위한 방법 중 하나로 야생동물 이동통로 설치의 필요성이 강조되고 있다. 초기의 국내 야생동물 이동통로 조성에서는 야생동물의 생태를 고려하기 보다는 최단거리 연결을 기본으로 예산절감 및 건설상의 편의를 중요시하였으나(Song, 1996; Kim, 2005; Lee and Lee, 2006), 이후 로드킬 발생지점과 인접 토지유형의 관계를 분석하여 적지를 제안한 연구(Kwon, 2006; Lee and Lee, 2006), AHP기법을 적용하여 생태통로 설치지역 선정을 위한 평가항목 분석(Park et al., 2009), 시뮬레이션을 이용한 위치선정(Gustafson and Gardner, 1996; Shin and Ahn, 2008), 야생동물 출현지점과 토지이용형태를 고려한 연결구간 선정(Sagong et al., 2011), 무선추적자료를 바탕으로 공간구분론을 이용한 적지선정(Park et al., 2012) 등 다각적인 방법으로 야생동물 이동통로의 적지를 선정하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 대부분 단절된 산림을 중심으로 적지를 선정해 왔으며 수변지역은 연구가 미흡한 실정이다.

2009년부터 우리나라에서는 수자원의 불균등 수급 및 홍수와 가뭄 같은 물 문제를 근원적으로 해결하고 하천공간을 합리적으로 정비하려는 취지로 4대강 및 지천 정비사업을 진행하였다(Park, 2010; Yang, 2011). 본 연구가 수행된 섬강유역은 지천정비사업 대상 지역 중 하나로 현재 섬강살리기 사업이 완료되었으며, 하천의 제방과 수변지역이 정비 중이고, 자전거길, 공원과 같은 친수공간이 조성되었다. 그러나 야생동물의 서식환경 및 서식지간 이동을 고려하지 않은 시공으로 인해 이 지역 야생동물 군집의 서식에 영향을 주고 있으며, 일부 구간에서는 로드킬이 발생되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 하천수변조사와 야생동물 흔적 조사 자료를 바탕으로 MaxEnt (Maximum Entropy) 모형과 GIS분석을 실시하여, 고라니의 이동통로 적지선정을 목적으로 하였다.

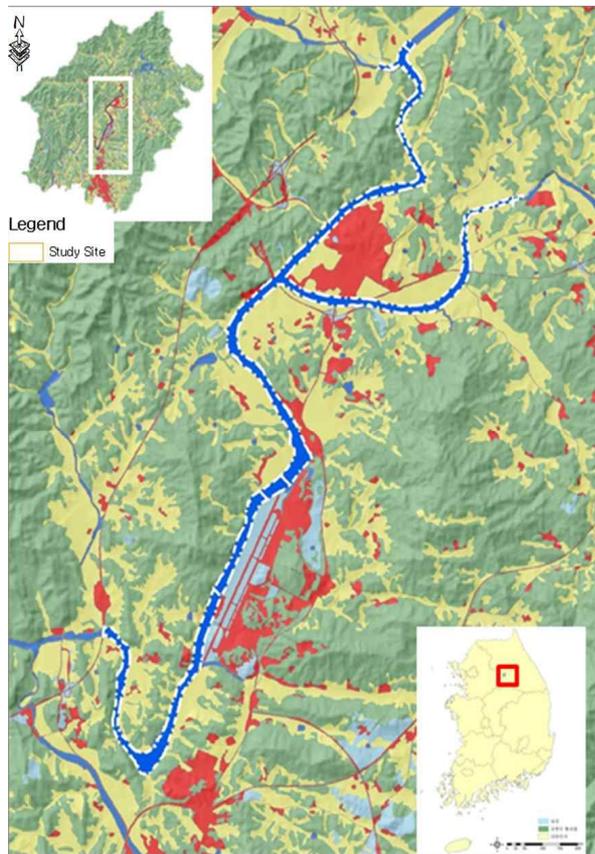


Figure 1. Study site

2. 연구지역 및 대상종

섬강유역은 4대강 사업 중 지천정비사업의 일환인 섬강살리기 사업이 2010년부터 시작하여 최근 완료되었으며, 수변지역 정비 및 친수공간 조성으로 인해 하천환경이 급격히 변화하고 있다. 섬강을 포함한 황성일대에서는 환경부 지정 멸종위기종 I급 수달과 II급 삼을 포함한 총 14종의 포유류가 서식이 확인되었다 (Ministry of Environment in Korea, 2010). 이에 본 연구는 제내·외지 토지의 다양한 피복형태, 제방형태와 수변공간을 고려해서 Figure1 과 같이 황성군과 원주시 일대의 섬강 및 지류인 전천 유역일원(위도 37도 24분 20초~37도 31분 25초, 경도 127도 55분 40초~128도 01분 50초)을 연구대상지역으로 설정하였다. 본 연구의 목표종인 고라니는 교목, 관목 및 초본류를 먹이 자원으로 이용하기 때문에 초지 또는 산림지역을 서식지로 활용하며(Park et al., 2011), 초지 및 농경지가 주요 서식지이며, 수변서식지 적합성 모형의 대표종으로 적합하다. 이에 본 연구에서는 고라니의 외형 및 생태적 특성 그리고 이동통로 이용습성을 고려한 결과에 대

해 서식지를 분석하기로 결정하였으며, 개방도 등 이동통로 조성에서 까다로운 고라니를 선택하였다.

3. 연구방법

3.1 야생동물 행동권 및 이동경로 파악 방법

이동통로의 목적인 로드킬 방지와 서식지간 연결의 효과를 극대화하기 위해서는 야생동물의 서식환경과 생태적 특성을 모두 고려해야 한다(Park et al., 2012). 이에 많은 연구자들은 행동권 및 이동경로 파악과 같은 야생동물의 생태를 조사하는 연구 수행 시 정확한 위치 자료를 취득하기 위해 주로 원격무선추적방법을 이용한다. 원격무선추적방법의 경우 동일 지역에 서식하는 다양한 종을 동시에 연구하기에는 포획과 추적에 어려움이 있다. 또한 중형동물의 지역별 분석에 활용한 개체는 3개체(Park et al., 2012)에서 6개체(Kim et al., 2013)의 수준으로 그 지역의 개체군을 대변하기에는 무리가 있다. 그리고 원격무선추적은 계절별 행동자료

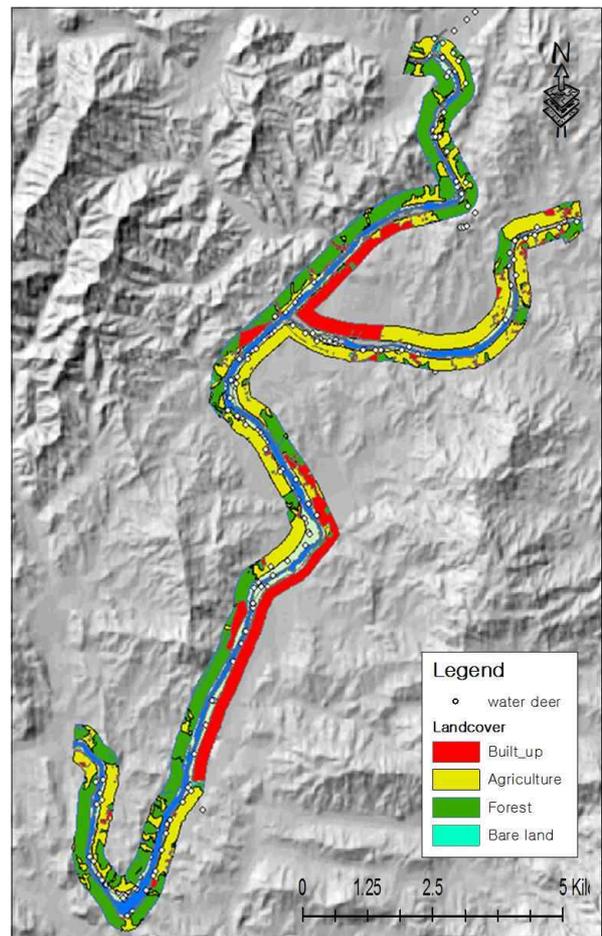


Figure 2. Field survey

를 얻기 위한 기간이 길고 인력소모가 따르며, 연구 도 중 로드킬, 발신기탈락, 폐사, 배터리소모 등과 같은 자료 손실의 위험성이 크다.

따라서 본 연구에서는 원격무선추적방법의 단점을 보완하고 여러 종을 대상으로 분석을 실시하기 위해 다음과 같은 방법을 이용하였다. 첫 번째 단계로 섬강의 수변지역과 인접지역을 대상으로 Fig. 2와 같이 고라니에 대한 현장조사는 2012년 1월부터 2013년 7월까지 계절별 1회를 기본으로 하였으며, 흔적 및 경로조사가 가능한 겨울철에는 Fig. 3처럼 눈길위흔적조사를 이용하여 총 6회 실시하였으며, 각 다른 서식특성을 가지고 있는 수변과 인접지역의 서식지 적합성 모형을 각각 도출하였다.

두 번째로 Fig. 3처럼 겨울철 강설 후 고라니의 이동 경로 조사를 실시하여 이동이 원활한 곳과 그렇지 않은 곳을 파악하였다. 세 번째 단계로 도출된 수변과 인접 지역의 MaxEnt모형 결과와 이동경로 자료를 이용하여 고라니의 이동에 장애가 될 만한 지역을 선정하였으며, 현지답사를 통해 이동통로 적지를 최종 선정하였다.

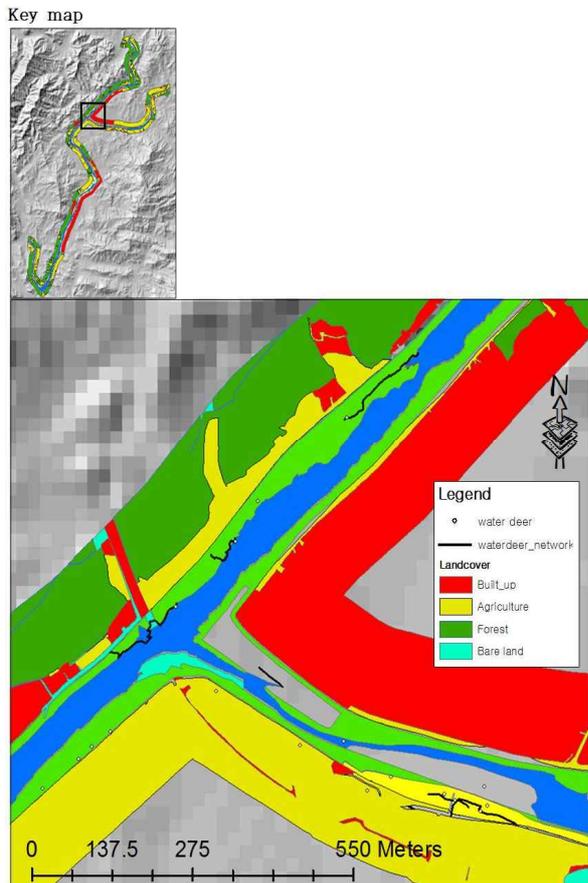


Figure 3. Snow tracking survey

3.2 서식지 분석

서식지 분석은 고라니의 수변과 인접지역의 서식 분포지역을 파악하기 위해 실시하였으며, 직접 계절별 현장조사를 통해서 취득한 목표종의 위치자료를 이용하여 수행하였으며, MaxEnt 모형을 이용하여 도출하였다. MaxEnt 모형은 기계학습식 모형 중 하나로 출현자료만을 적용할 때 다른 모형에 비해 보다 높은 예측정확도를 나타내기 때문에(Phillips et al. 2006, Seo et al., 2008, Song and Kim, 2012) 출현자료 중심의 자료를 활용하기에 효과적이다(Kim et al., 2013). 수변 인접지역 분석에 사용한 고라니의 서식환경변수는 문헌 고찰(원병호, 1967; 최태영, 2007; 박보현과 이상돈 2012)을 통해서 선정하였으며, 지형(표고, 향, 지형기복, 경사도, 곡률도), 식생(영급, 경급, 밀도), 거리(하천으로부터의 거리, 도로로부터의 거리), 토지피복 등 11개로 구축하였다.

수변지역은 미소서식 환경 특징을 가지기 때문에 이에 적합한 물리적 환경변수의 확보가 필요하다. 야생동물의 서식환경은 축척에 따라 상이한 반응을 보이기 때문이다(Korea Environment Institute, 2010). 이에 하천 수변조사(River Corridor Survey)1)를 실시하여 수변의 면적, 지류, 수로, 배수구, 토지피복, 제방종류 등 고라니의 서식환경에 영향을 미칠 수 있는 인자에 대하여 문헌고찰을 통해서 조사 후 변수로 구축하였다.

분석단위는 30×30m로 설정하였고, 자료의 제작은 ArcGIS 10.0(ESRI Inc., U.S.A)소프트웨어를 이용하였으며, 분석은 MaxEnt 3.3.3 버전을 사용하였다. 분석 결과는 ROC(Receiver Operation Characteristic)의 AUC(Area Under Curve)을 통해 검증하였으며, 5회의 교차검증을 수행하였다.(Thuiller, 2003; Kim et al., 2012). ROC 곡선은 모델의 예측 효율성을 판단하는 기준으로 민감도와 특이도를 이용해서 실제로 얼마나 잘 분류되었는지 파악하는 것이며, 민감도는 클수록 좋고 특이도는 작을수록 좋다. ROC 곡선의 AUC 면적이 1에 가까울수록 성능이 좋은 것으로 판단하였다(이희연, 2012).

3.3 종합분석

본 연구에서는 행동생태학적인 관점에서 야생동물의 행동은 순이익을 최대로 하는 비용과 편익의 관점에서 결정되고(Krebs and Davies, 1981; Sealey and Oakley,

1) 하천수변조사는 수변지역에 대한 물리적인 특징에 대한 서식지의 영향을 평가하는 도구로 생물 종 분포, 서식환경 등을 분석할 수 있으며, 체계적인 복원의 목표 및 기본계획을 세울 수 있는 장점이 있다(Cortes et al, 2008).

2014), 이동선택에 있어 최소거리를 따른다(Bunn et al, 2000; Tischendorf and Fahrig, 2000; Bélisle, 2005; Baguette and Dyck, 2007)는 개념을 적용하여 수변 인접지역에서 가장 서식적합성이 높은 지점에서 수변내부의 서식지 적합성이 높은 지점 사이의 연결성에 초점을 맞추었다. 야생동물은 하천과 주변의 좋은 서식지들 사이를 이동한다. 그러나 도로와 인공제방 펜스와 같은 물리적인 요소는 야생동물의 이동을 방해하거나 도로길을 초래하기 때문에, 이를 완화할 수 있는 측정이 필요하다. 이에 수변과 인접지역의 고라니의 MaxEnt 모형 결과와 겨울철 제방을 중심으로 조사한 고라니의 눈길위흔적조사자료를 이용하여 이동통로의 적지를 선정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 수변인접 서식지 분석

MaxEnt 모형을 이용한 고라니의 서식지적합성 모형의 결과는 Fig. 4처럼 나타났다.

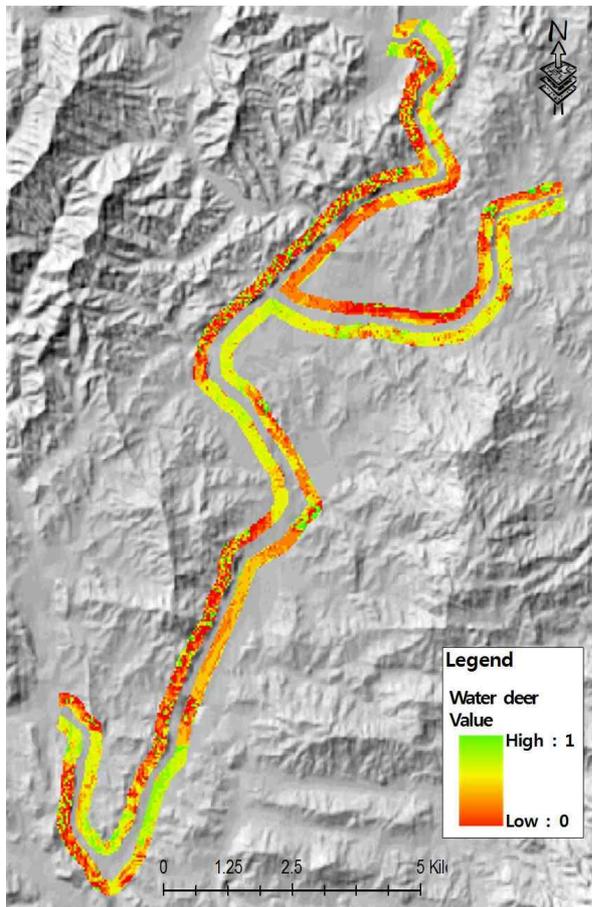


Figure 4. Predicted habitat suitability

모형의 결과는 확률분포지도와 모형의 설명 검증력인 ROC 곡선과 변수 기여도 등의 결과물이 나왔다. 모형의 설명력인 AUC값은 각각 0.79로 나타났으며, Phillips and Dudik (2008)은 AUC값이 약 0.7이상일 때, 모형이 설명하는 잠재력이 의미를 갖는다고 판단하였다.

Fig. 4의 결과에서처럼 높은 서식 확률을 보이는 1 값은 주로 농경지주변과 수계와 가까운 지점이 높았으며, 황성군 시가지는 0에 가까운 서식지 적합도가 낮은 값을 보여주고 있다. 또한 서식지적합성 모형의 결과를 살펴보면 고라니의 서식지의 환경변수는 Table 1과 같이 나타났다. 총 11개의 변수 중 8개가 의미 있는 변수로 선택되었으며, 그 중 주요 변수는 하천주변과 가깝고 영급, 토지피복 및 경사에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 경급, 지형기복과 곡률도는 제외되었는데, 이는 수변주변은 지형의 기복이 완만하고 경급보다는 영급이 높은 식생이 우점하고 있는 특징을 반영한 것으로 보인다. 모형의 결과는 기존의 연구결과 및 도감 등 많은 문헌에서 서술한 초지 또는 산림지역을 서식지로 활용(Park et al., 2011). 논과 밭, 초지(Lee, 2003), 영급, 토지이용, 경사, 향, 수계, 도로 (Choi, 2003) 등의 선행 연구 결과와 일부 비슷한 특징을 보여주고 있다.

Fig. 5의 주요반응 곡선을 살펴보면 고라니는 수계와의 거리가 약 400m 이하에서 서식지 적합도가 떨어지는 것을 볼 수 있었으며, 초식동물의 특징인 영급이 낮은 것을 선호하였으며, 토지피복에서 시가지지역의 면적과 경사는 0도에서 10사이를 선호하는 것으로 보인다. 향은 남향을 선호하며, 고도는 50m에서 150m까지 낮은 구릉지를 선호하는 것으로 분석되었다. 고라니는 해발 600m이하의 산기슭이나 풀숲에서 주로 서식하는 종으로 고라니의 서식에 중요한 요소이다(이배근, 2003). 현장조사에는 고라니가 발견된 섬강유역은 해발고도는 약 120m~400m의 평균을 가지고 있으며 평지와 하천으로 이루어져 있었으며 이는 반응곡선이 결과를 설명해주고 있다.

Table 1. Relative contribution of the independent variables to the MaxEnt model

Species	Variable	Contribution(%)	AUC
Water deer	Distance to waters	37.4	0.79
	Young Age	17.5	
	Landcover	15.3	
	Slope	11.7	
	Northness	7.8	
	DEM	5	
	Tree density	3.3	
	Distanc to road	1.9	

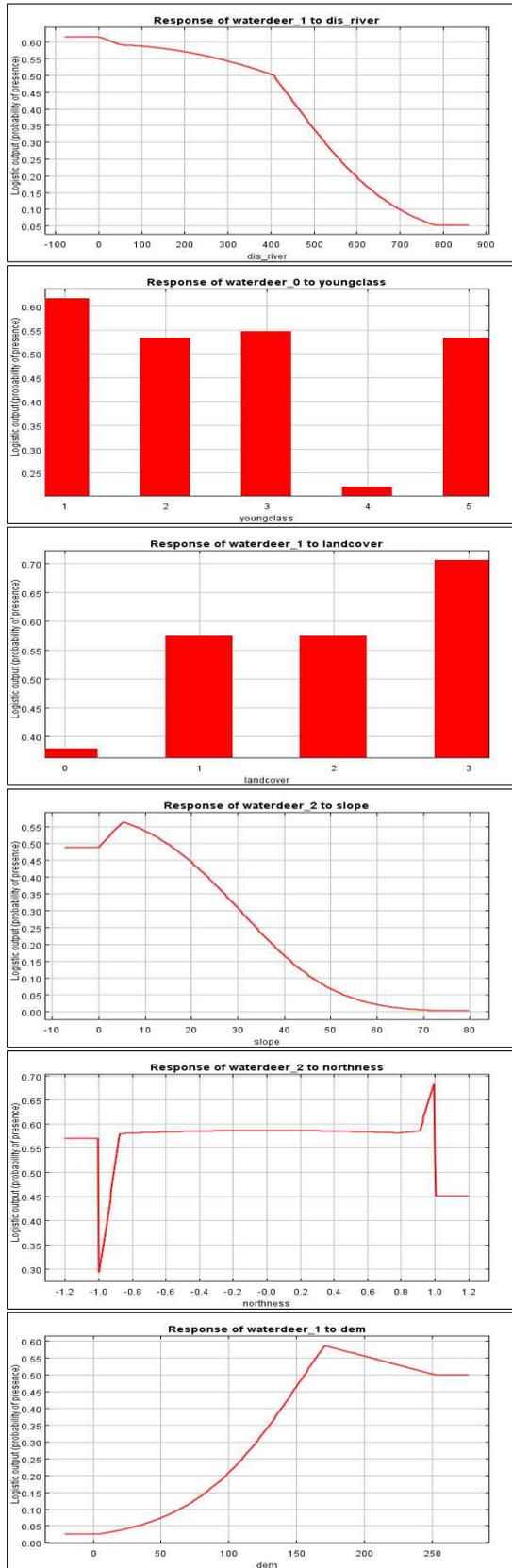


Figure 5. Response curves of variables affecting MaxEnt prediction

4.2 수변 서식지 적합성 모형

수변 지역 고라니의 ROC곡선의 AUC면적은 0.676으로 유의한 것으로 나왔다. 모형의 결과에서는 Table 2와 같이 서식에 영향을 주는 변수는 8개로 토지피복, 수변면적, 지류와의 거리, 시가화지역 거리순으로 비율이 선정되었다. Table 2의 변수선정 결과를 살펴보면 고라니는 식생 및 농경지를 선호하고 수변지역의 면적이 넓은 구간을 선호하였으며, 지류와 가깝고 시가화지역과의 거리가 멀수록 선호하는 것으로 나타났다. 충분한 서식공간과 휴식 및 은폐 공간을 위한 식생의 존재 유무와 인접지역으로 이동이 원활한 수로를 통해서 지류가 본류로 합류하는 구간을 좋아하는 고라니의 습성과 일치하는 것으로 확인할 수 있었다.

이는 선행 연구 결과에서 제시한 고라니의 선호요소인 농경지(Lee, 2003)과 수변 식생(Choi et al., 2012)과 같은 것으로 알 수 있었다. 주요변수의 반응곡선을 살펴보면 지류 및 수변의 면적과 같은 수변지역의 특징을 반영한 것으로 볼 수 있었으며, Table1의 결과와 Table 2의 결과가 다른 점은 수변인접지역은 주로 취식과 관련된 환경요소인 향, 경사와 관련되었다면 수변지역은 이동과 섭식과 관련된 변수인 배수구와 토지피복에서의 식생 및 농경지의 요소들이 더욱 연관성이 있었기 때문이다.

Fig. 6의 주요 변수곡선에서는 토지피복에서는 농경지(1)와 식생(0)의 요소가 나지(2)보다 더 높은 상관성을 보이고 있다.

Fig. 6의 주요곡선의 토지피복은 농경지와 산림을 더 선호하고 있으며, 지류와의 거리는 가까울수록 그리고 500m부터 점차 감소하는 것으로 보여주고 있다. 시가화지역은 2000m 이상일 때 가장 높은 서식확률을 보여주고 있었다. 수변면적의 곡선에서는 0.8ha까지 높은 서식확률을 보여주고 있으며, 지류와의 거리는 0미터부터 멀어질수록 서식확률이 급격하게 떨어지는 것을 반응곡선에서 확인할 수 있었다.

Table 2. Results of the independent variables to the MaxEnt model

Species	Variables	Contribution(%)	AUC
Water deer	Land cover	49.9	0.67
	Riparian area	35.2	
	Distance to tributary	9.5	
	Distance to built	5.4	

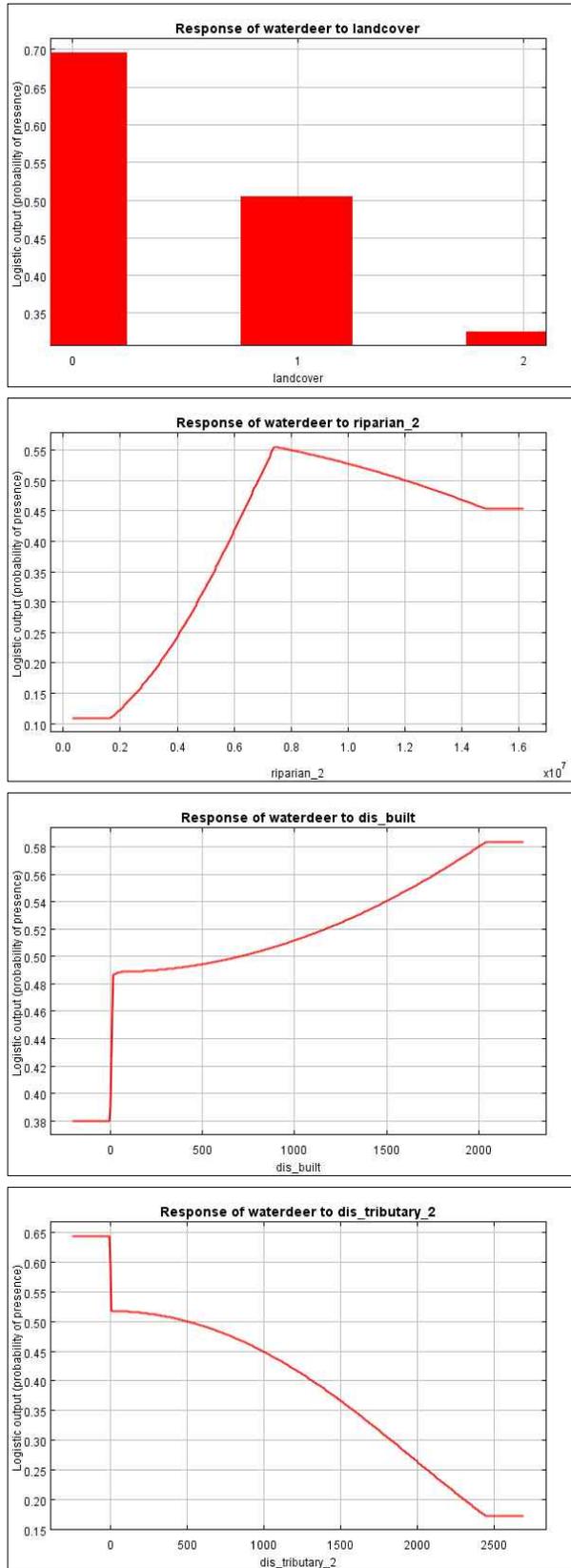


Figure 6. Response curves of variables affecting MaxEnt prediction

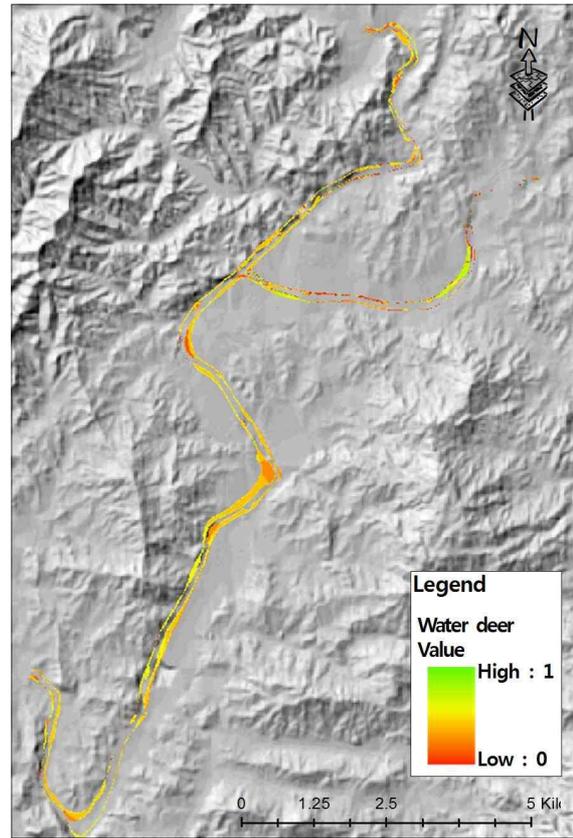


Figure 7. Predicted habitat suitability

Fig. 7은 수변지역의 서식지적합성 확률 지도를 보여주고 있으며, 대부분 위의 주요반응곡선을 특징을 반영하고 있다. 수변에서는 주로 섬강상류와 전천지점에 수변 폭이 넓고 주변의 산림이나 농경지 인근이 1값에 가까운 높은 서식확률을 보여주고 있었으며, 황성군 인접지역과 전천의 자전거 도로 부분은 낮은 서식확률을 보여주고 있었다.

4.3 적지선정

고라니의 이동통로 적지선정을 위해서 수변과 인접 지역에 잠재서식지 분석결과와 이동경로를 이용하였다. Fig. 8의 결과를 살펴보면 대부분 고라니가 수변에서 인접지역간의 이동에 있어 두 지점의 서식지적합도가 높은 지점을 주로 이용하는 것으로 확인되었다. 또한, 지류와 수로박스가 있는 지점들은 인접지역간의 연결성이 높은 지점으로 나왔다. 반면 연결성이 떨어지는 지점은 황성군의 시가지지역과 경사가 가파른 산지가 인접해 있는 지점으로 나왔다.

첫 번째 적지 선정지점인 Fig. 9를 살펴보면 수변과 인접지역의 서식적합성이 높아 연결성이 좋은 지점이지만 도로변에 수직펜스로 인해 이동에 영향을 받아 수

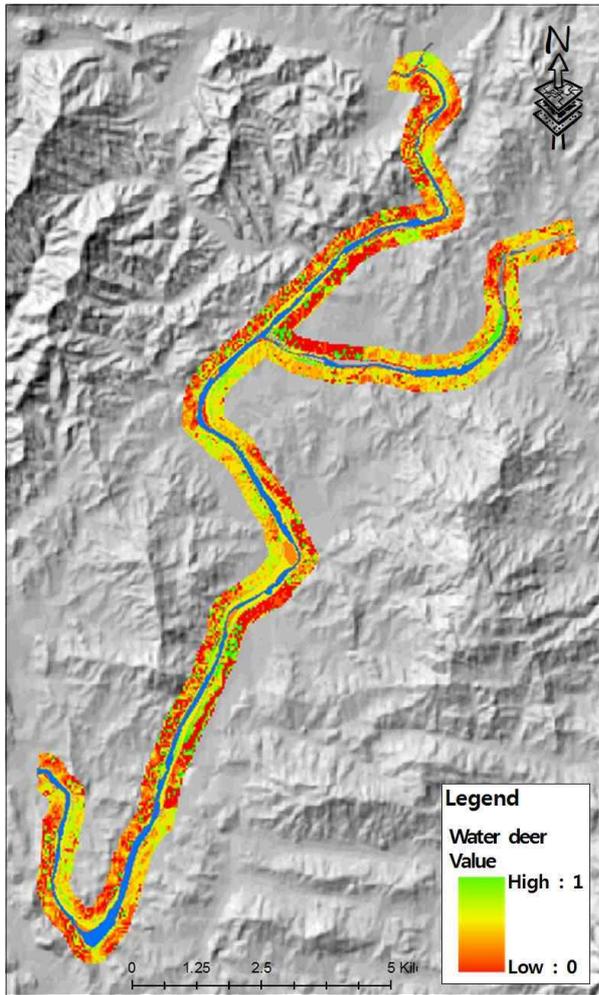


Figure 8. Predicted habitat suitability

변의 고라니들이 고립되어 있어 횡단하지 못하고 멀리 돌아가는 것을 Fig. 9의 눈길위흔적자료(검은색 라인)를 통해서 볼 수 있다. Fig. 9의 수변지역은 교목, 관목 및 초본류가 산재되어 있어 이를 먹이자원으로 이용하는 고라니의 선호 서식지이며(Park et al., 2011), 고라니의 주요 서식지이나 도로나 펜스로 인해 연결성이 저하된 곳으로 향후 로드킬 저감을 위해서는 이동통로 적지선정의 위치로 적합하다고 할 수 있다.

또한, 분석 결과 수변인접지역 서식지적합도가 높은 지점이지만 제방 위 눈 길 흔적 조사 결과 수변과 인접지역 사이에 왕복 2차선 국도와 자전거도로가 위치해 있어 고라니의 이동에 영향을 주고 있었으며, 향후 로드킬을 초래할 수 있으며 최단 거리로 수변을 진입하는 것이 아닌 멀리 우회해서 진입하는 것을 Fig. 9의 이동 경로 자료에서 볼 수 있었다.

두 번째 적지 지점은 Fig. 10의 수변인접지역에 서식지적합성 정도가 높은 지점으로 목표종인 고라니의 선

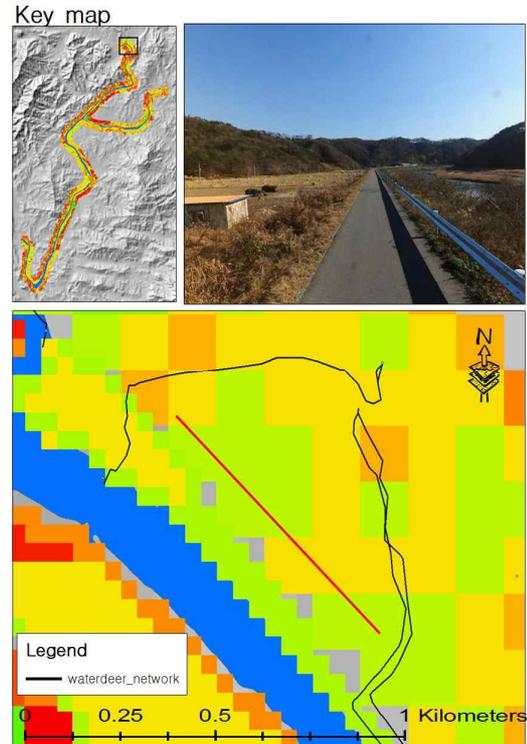


Figure 9. Selected suitable wildlife passage for fence

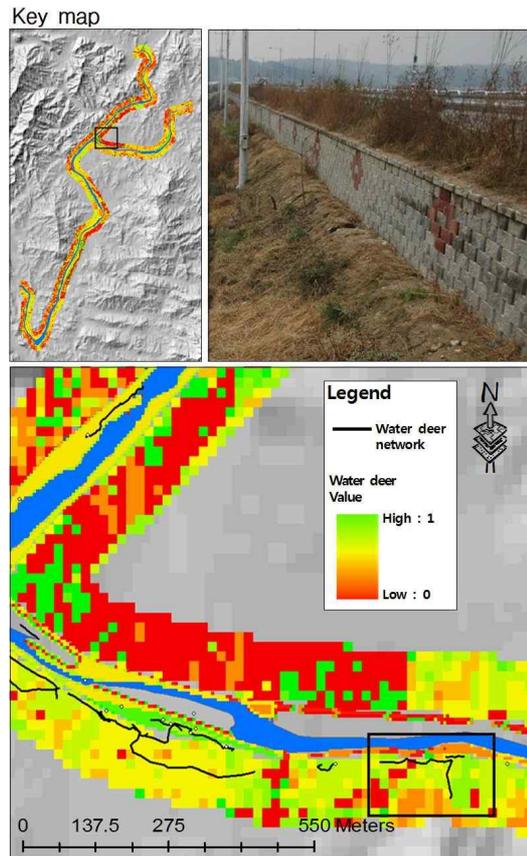


Figure 10. Selected suitable wildlife passage for vertical levee

호 서식 요소인 산림과 농경지가 수변으로 연결되어 있어 고라니의 가장 이동하기 좋은 지점이지만 수변으로 최단거리를 통해서 진입을 못하고 있었으며, 멀리 우회해서 진입하는 것으로 나타났다. 현장조사 결과 Fig. 9 처럼 수직제방과 도로의 가드 레일과 같은 횡단 방해 시설이 있었으며, 인해 수변진입에 제한을 받고 있어 먼 길을 우회해서 수변으로 진입하는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 로드킬이 위험성에 노출되고 있었으며, 이에 이동통로를 설치하여 수변과 인접 육상생태계의 연결성을 극대화시켜주고 효율적인 생태통로 설치를 위한 지점으로 적합한 것으로 볼 수 있다.

횡단 이동통로 구조물의 이용에 있어 고라니의 경우 4.3 X 4.3m 이상의 규격이 비교적 큰 통로박스(개방도 0.7이상)에서 이용이 가능하다(Choi, 2007). 또한 고라니(몸길이: 77~100cm)는 몸집이 커서 갈대나 억새 군락과 같은 은신처가 필요하며, 우제류인 만큼 바닥면의 재질에 민감한 특성이 있다.

이에 개방도나 크기에 더 민감한 반응을 하는 고라니를 기준으로 생태통로를 설계할 때 다른 중소형 포유류들의 이동에 효과적이다.

5. 결 론

본 연구는 섬강에 서식하는 주요 우점종인 고라니를 목표종으로 수변 지역의 이동통로 적지선정을 하였다. 이동통로 적지 선정은 수변과 인접지역의 잠재 서식지 분석과 겨울철 제방의 눈길위흔적조사를 이용하여 분석하였다. 서식지 적합성 분석은 출현자료만을 이용하여 가장 높은 정확도를 나타내는 MaxEnt 모형을 이용하여 분석하였다.

본 연구에서 적지선정을 위한 눈길위흔적조사 자료는 야생동물의 이동에 관한 조사에서 매우 효율적인 방법으로 폭 넓게 이용되고 있으며, 서식지 분석은 기존의 광역서식지 차원에서 적용하였던 단점을 극복하고 수변의 미소서식지의 특성을 반영하고자 하였다. 잠재 서식지 분석에서 고라니의 잠재서식지 높은 밀도를 보여주는 요소로는 하천과의 거리, 토지피복, 영급 순으로 나타났으며, 수변에서는 토지피복, 수변면적, 지류와의 거리 및 시가화지역과의 거리 순으로 나타났다.

수변의 적지선정 지점들은 수변의 산림, 초지 및 농경지가 고라니의 주요 서식지이나 도로나 제방으로 인해서 연결성이 저하된 곳이었으며, 이동에 영향을 받아 우회하는 것을 분석을 통해 확인하였다.

수변과 인접지점과의 서식지적합도가 높은 지점은 이동확률이 높은 것으로 추정할 수 있어 이동통로 적지

선정에 있어 제방의 이용흔적을 고려하여 지점을 선정해야한다. 또한, 이러한 지점에 대해서는 수로박스나 생태통로를 통해서 단절된 지점에 대한 연결성을 강화가 필요할 것이다. 수변과 인접지역의 서식지 분석 결과와 제방의 이동흔적을 조사하여 각각 잠재적 이동통로 적지로 제안하였다. 기존의 적지선정을 위한 방법은 주로 단절된 산림을 위주로 대상으로 구조적 또는 기능적인 분석으로만 각각 진행되어 왔다. 이는 경제적 및 시간적으로 소요가 매우 큰 것이 단점이었다.

이동경로를 파악하기 위하여 GPS칼라(collar)나 VHF용 수발신기를 이용하여 정확도를 높이고 있지만 시간과 많은 노력이 필요하다. 이에 본 연구에서 적용한 눈길위 흔적 조사방법은 이러한 부분의 단점을 보완할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업 (과제번호: 2014001310007, 2014001310010)”, “산림청(과제번호: 2014-0567-01)”으로 지원받은 과제임.

References

1. Bae, Y. J., D. H. Won, W. J. Lee, and H. W. Seung, 2003, Development of environment assessment technique and biodiversity management system and their application to stream ecosystems in Korea, The Korean Journal of Environment Biology, Vol. 31, No. 3. pp. 223-233(in Korean with English abstract).
2. Bae, Y. J., and B. H. Lee, 2001, Human impacts on stream ecosystems and freshwater arthropods in Korea, Korean Journal of Entomology, Vol. 31, No. 2, pp. 63-76(in Korean with English abstract).
3. Baguette, M., and H. V. Dyck, 2007, Landscape connectivity and animal behavior : functional grain as a key determinant for dispersal. Landscape Ecology, Vol. 22, pp. 1117-1129.
4. Bélisle, M., 2005, Measuring landscape connectivity : the challenge of behavioral landscape ecology, Ecology, Vol. 86, No. 8, pp. 1988-1995.
5. Bunn, A. G., D. L. Urban, and Keitt, T. H., 2000, Landscape connectivity : A conservation application of graph theory. Journal of Environmental Management, Vol.59, pp. 265-278.
6. Cortes R. M. V., S. V. de Oliveira, S. J. Hughes, and M. T. Ferreira, 2008, Combining habitat and

- biological characterization: Ecological validation of the river habitat survey, *Limnetica*, Vol. 27, No. 1, pp. 39–56.
7. Choi, S. Y., 2003, Development of Habitat Suitability Evaluation Model for Korean Water Deer (*Hydropotes inermis argyropus*) in Daebu Island, Korea, Theses of Master's Degree, Seoul National University, Korea.
 8. Choi, T. Y., 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. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
 9. Choi, T. Y., H. S. Kwon, D. G. Woo, and C. H. Park, 2012, Habitat Selection and Management of the Leopard Cat(*Prionailurus bengalensis*) in a Rural Area of Korea, *Korean Journal of Environment and Ecology*, Vol. 26, No. 3, pp. 322–332(in Korean with English abstract).
 10. Gustafson, E. J., and R. H. Gardner, 1996, The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization, *Ecology*, Vol. 77, pp. 94–107.
 11. Jeong, S. K., 2014, Evaluation Model of Riparian Corridor Connectivity : A Case Study of Seom River Basin, Gangwon-do, Ph D. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
 12. Korea Environment Institute, 2013, A Study on the Comparison and Assessment for Four River Restoration Project South Korea, KEI Annual Report : 2013-05-04.
 13. Kim, E. M., J. O. Kwon, C. W. Kang, K. M. Song, and D. W. Min, 2013, Home range size and habitat environment related to the parturition of Roe Deer at warm-temperate forest in Jeju island using gps-cdma based wildlife tracking system, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 16, No. 2, pp. 65–74(in Korean with English abstract).
 14. Kim, M. S., 2005, The existing conditions and problems of ecological corridor in Korea, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 17–26(in Korean with English abstract).
 15. Korea Environment Institute, 2010, Habitat evaluation strategy for legally protected wildbirds in Korea.
 16. Park, H. M., and S. D. Lee., 2013, Habitat use pattern of Korean Waterdeer based on the land coverage map, *Journal of Wetlands Research*, Vol. 15, No. 4, pp. 567–572(in Korean with English abstract).
 17. Kwon, H. S., 2011, Integrated evaluation model of biodiversity for conservation planning : focused on Mt. Jiri, Mt. Deokyu and Mt. Gaya regions, Doctoral dissertation. Seoul National University, Korea.
 18. Kwon, H. S., 2006, Causes and reductions of the Raccoon dog(*Nycterestes procyonides ussuricnsis* MATSCHIE) road-kill occurrence, M.Sc. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
 19. Kim, J. Y., C. W. Seo, H. S. Kwon, J. E. Ryu, and M. J. Kim, 2012, A study on the species distribution modeling using national ecosystem survey data, *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 21, No. 4, pp. 593–607(in Korean with English abstract).
 20. Krebs, J. R., and Davies, N. B., 1981, An introduction to behavioral ecology, Blackwell Science Inc., USA.
 21. Lee, B. K., 2003, Morphological, ecological and DNA taxonomic characteristics of chinese water deer(*hydropotes inermis swinhoe*), Doctoral dissertation, Chungbuk University
 22. Lee, D. K., and W. K. Song, 2009, A study on the analytic unit of habitat suitability assessment and selection in conservation area for Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) - focus on Chuncheong province area -, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol. 36, No. 5, pp. 64–72(in Korean with English abstract).
 23. Lee, D. K. and H. G. Kim, 2010, Habitat Potential Evaluation Using Maxent Model - Focused on Riparian Distance, Stream Order and Land Use -, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 13, No. 6, pp. 161–172.
 24. Lee, Y. W., and M. W. Lee, 2006, Eco-corridor positioning for target species - By field surveying of mammals' road-kill -, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 9, No. 3, pp. 51–58(in Korean with English abstract).
 25. Manen, F. T. van, and M. R. Pelton, 1997, A GIS model to predict black bear habitat use, *Journal of Forestry*, Vol. 95, No. 8, pp. 6–12
 26. Ministry of Environment in Korea, 2010. The 3rd National ecosystem survey - Hoengseong-, Ministry of Environment.
 27. Park, J. E., B. J. Kim, D. H. Oh, H. Lee and S. D.

- Lee, 2011, Feeding Habit Analysis of the Korean Water Deer, Korean Society of Environment & Ecology, Vol. 25, No. 6, pp. 836-845.
28. Park, J. J., D. G. Woo, D. H. Oh, and C. H. Park, 2012, Site selection of wildlife passage for Leopard Cat in urban area using space syntax, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, Vol. 40, No. 1, pp. 92-99(in Korean with English abstract).
29. Park, J. H., H. D. Yoo, and M. Y. Park, 2009, A study on assessment items analysis for eco-corridors' area, Journal of Environmental Impact Assessment, Vol. 18, No. 5, pp. 301-312(in Korean with English abstract).
30. Park, S. T., 2010, The 4-river restoration project from the viewpoint of 21st century river management. Journal of Environmental Health Sciences, Vol. 36, No. 1, pp. 72-75(in Korean with English abstract).
31. Phillips, S. J., and M. Dudik, 2008. Modeling of species distributions with Maxent : new extensions and a comprehensive evaluation, Ecography, Vol. 31, No. 2, pp. 161-175.
32. Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire, 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions, Ecological Modelling, Vol. 190, pp. 231-259.
33. Sagong, J. H., J. H. Ra, and O. S. Jung, 2011, Earmarking the areas in which wildlife exist as "ecologically connected areas requiring preferential preservation", Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, Vol. 39, No. 1, pp. 106-116(in Korean with English abstract).
34. Sealey, A., and Oakley, L., 2014, Why did the Canada goose cross the sea? Accounting for the behaviour of wildlife in the documentary series Life, International Journal of Applied Linguistics, Vol. 24, No. 1, pp. 19-37.
35. Seo, C. W., Y. R. Park, and Y. S. Choi, 2008, Comparison of species distribution models according to location data, Journal of the Korea Society for Geospatial Information System, Vol. 16, No. 4, pp. 59-64(in Korean with English abstract).
36. Shin, S. A., and T. M. Ahn, 2008, Approach to the location of wildlife corridors on highways - Between Yang-jae and Pan-gyo ICs of Seoul-Busan highway, Korea-, Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 19-27(in Korean with English abstract).
37. Song, B. W., 1996, Master plan for riparian eco-corridor - Concentrated on Anyangchon basin -, Theses of Master's Degree, Seoul National University, Seoul, Korea.
38. Song, W. K. and E. Y. Kim, 2012, A comparison of machine learning species distribution methods for habitat analysis of the Korea Water Deer (*Hydropotes inermis argyropus*), Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 28, No. 1, pp. 171-180(in Korean with English abstract).
39. Tischendorf, L. and L. Fahrig, 2000, On the usage and measurement of landscape connectivity, Oikos, Vol. 90, No. 1, pp. 7-19.
40. Thuiller, W., 2003, BIOMOD - optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change, Global Change Biology, Vol. 9, pp. 1353-1362.
41. Woo, D. G., 2010, Wildlife Habitat Conservation Plan of Leopard cats and Raccoon dogs in Gang-Seo Ecological Park, Seoul, Korea, Theses of Master's Degree, Seoul National University, Seoul, Korea.
42. Yang, W. I., 2011, Research on the development of four major river restoration project, Theses of Master's Degree, Kwangwoon University, Korea.