

Research Paper

Maxent 모형을 활용한 인왕산-안산 서식지 분포 예측

서새별* · 이민지** · 김재주*** · 전승훈**** · 이상돈**

이화여대 환경공학과* · 이화여대 에코과학부** · 에코닉스*** · 가천대학교 조경학과****

Prediction on Habitat Distribution in Mt. Inwang and Mt. An Using Maxent

Saebyeul Seo* · Minjee Lee** · Jaejoo Kim*** · Seung-Hoon Chun**** · Sangdon Lee*,**

Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha Univ.*

Dept. of EcoScience, Ewha Univ.**

EcoNixe, Inc.***

Dept. of Landscape Architecture, Gachon Univ.****

요약 : 본 연구에서는 도심 내 단절되어 있는 서식지의 연결성을 고려하여 생태통로를 구축하고자 하는 선행연구로 서울시의 인왕산과 안산의 생물 종 분포를 예측하였다. 연구대상지역인 인왕산과 안산의 생물 종 분포는 출현자료만으로도 결과를 예측할 수 있는 Maxent(Maximum Entropy Approach) 모형을 이용하여 분석하였다. Maxent 모형을 활용하여 종 분포를 예측하기 위해, 출현자료는 포유류 23개 지점과 박새류(*Parus major*, *P. palustris*, *P. varius*) 3종 15개 지점을 활용하였다. Maxent 모형의 환경변수로는 지형인자 4가지, 식생인자 4가지와 거리인자 2가지를 대상으로 구축하였다. 이 변수들을 활용하여 종 분포를 예측한 결과, 포유류의 경우에는 수치표고자료(DEM)가 34%, 산림지역의 경계로부터 산림내부의 거리가 24.8%, 수종이 10% 순으로 종 분포 모형에 기여도가 높았다. 반면 박새류의 경우에는 수치표고자료가 39.6%, 도로로부터의 거리가 35.4%, 나무의 밀도가 8.2% 순으로 모형에 기여도가 높았다. 따라서 조류 및 포유류는 산림 내부지역을 선호하는 것으로 나타났으며, 이 지역 보전이 필요한 것으로 판단된다.

주요어 : 서식지 파편화, 종 분포, 포유류, 박새류, 목표종

Abstract : In this study, we predicted species distributions in Mt. Inwang and Mt. An as preceding research to build ecological corridor by considering connectivity of habitats which have been fragmented in the city. We analyzed species distributions by using Maxent (Maximum Entropy Approach) model with species presence. We used 23 points of mammals and 15 points of Titmouse (*Parus major*, *P. palustris*, *P. varius*) as target species from appearance points of species examined.

First Author : Saebyeul Seo, Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha Univ, Tel:02-3277-3774, E-mail: 152eng03@ewhain.net

Corresponding Author : Sangdon Lee, Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha Univ. & Dept. of EcoScience, Ewha Univ.,

Tel: 02-3277-3545, E-mail: lsd@ewha.ac.kr

Co-Authors : Minji Lee, Dept. of EcoScience, Ewha Univ., Tel:02-3277-3774, E-mail: nolanglee63@ewhain.net

Seung-Hoon Chun, Dept. of Landscape Architecture, Gachon Univ., Tel:031-750-5263, E-mail: chunsh@gachon.ac.kr

Jaejoo Kim, EcoNixe, Inc., Tel: 02-426-7913 E-mail: econixe2@empas.com

Received: 29 July, 2016. Revised: 29 November, 2016. Accepted: 6 December, 2016.

We build 4 geography factors, 4 vegetation factors, and 2 distance factors as model variables. In case of mammals, factors that affected species distribution model was Digital Elevation Model(DEM, 34%) followed by Distance from edge forest to interior (24.8%) and Species of tree (10%). On the other hand, in case of *Parus* species, factors that affected species distribution model were DEM (39.6%) followed by distance from road (35.4%) and Density-class (8.2%). Therefore, birds and mammals prefer interior of mountain, and this area needs to be protected.

Keywords : Habitat Fragmentation, Species Distribution, Mammals, *Parus* species, Target species

I. 서론

도시란 오랜 시간을 거쳐 형성되는 자연의 상태와 달리, 인간의 편의를 위해 인위적인 계획과 개발을 통해 만들어지는 공간이다. 우리나라는 급속한 성장으로 도시 위주의 개발을 한 까닭에 도시 속 자연과 생태계가 많이 훼손되고, 그곳에서 살아가던 생물들의 서식처의 파편화가 진행되었다. 서식처의 파편화는 서식지의 면적을 감소시킬 뿐만 아니라 생물들의 이동을 막고 고립시켜 근친교배와 질병의 위험을 증가시키고 종 다양성과 함께 개체군 크기를 감소시킨다(Wilcove et al. 1986).

특히, 도로와 같은 선형 구조물은 많은 생물 종의 생존을 위협하는 가장 파괴적인 요소로서, 이는 생태네트워크 구축에 가장 위협적인 요인이다(Ministry of Environment 2002). 야생동물의 이동통로는 단절된 서식지를 연결함으로써 로드킬 및 야생동물의 멸종을 예방하기 위한 것이다. 기존의 생태통로는 예산절감 및 건설의 편의를 위해 최단거리에 설치되는 것을 중요시 여겼다(Kim 2005; Lee & Lee 2006). 정부는 로드킬이 많이 발생하는 지점을 분석하여 생태통로를 설치하였지만 야생동물의 생태통로 이용률은 낮은 편이다. 그 원인을 살펴보면, 생태통로 주변 지역의 생태적 특성을 반영하지 못한 위치선정 때문이다(Forman 1995; Fleury & Brown 1997; Jeong 2011). 그러므로 생태통로는 동물이 이용할 수 있도록 동물의 출현빈도가 높은 곳에 설치할 필요가 있다. 적절한 위치선정은 주변 서식지 내 동물 분포를 파악하는 것이 도움이 된다. 하지만 아직 국내는 생물 분포에 대한 기초자료가 부족할 뿐만 아니라, 종 분포 및 서식지 분석 연구는 미흡하다(Kim et al.

2012).

국외에서는 1970년대부터 다양한 통계적 기법과 종 분포 모형(GAM, MARS 등)이 생물종의 서식지 분포 파악을 위해(Lee & Song 2008) 개발되었으며, 최근에는 Maxent(Maximum Entropy Approach)란 모형이 주로 사용되고 있다(Franklin, 2009). 국내는 생물 종의 출현, 비출현의 기초자료가 부족한 상황에서, 출현자료만 이용하는 Maxent 모형이 더 높은 모형적합도를 보여주고 있다(Elith et al. 2006; Seo et al. 2008; Kim et al. 2012). 국내 사례로는 Maxent 모형을 통해 고라니(*Hydropotes inermis*)의 이동을 파악하여 생태통로 적지를 선정한 것이 있다(Jeong et al. 2015). 또한, 특정 종 대상으로 서식지 잠재력 평가를 수행한 사례들이 늘고 있다(Lee & Kim 2010; Kim et al. 2012; Song 2015).

본 연구는 과거 서울시 연구보고서에서 조사된 서울시 서북부지역의 생물분포 자료를 사용하였다(Seoul Green Environment Center 2014). 단절되어 있는 인왕산과 안산 지역의 생태네트워크 구축하기 위한 선행연구로 Maxent 모형을 이용하여 인왕산과 안산에 서식하는 생물들의 서식처를 파악하였다. 또한, 해당 종의 인왕산과 안산 내 서식지 잠재력이 높은 곳의 환경적, 지리적 특성을 확인함으로써 향후 비슷한 다른 지역의 보전방안 수립에 활용이 가능하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

급속한 성장과 개발로 인해 자연경관 및 녹지가 많이 훼손된 서울 도심의 녹지 생태네트워크를 조성하

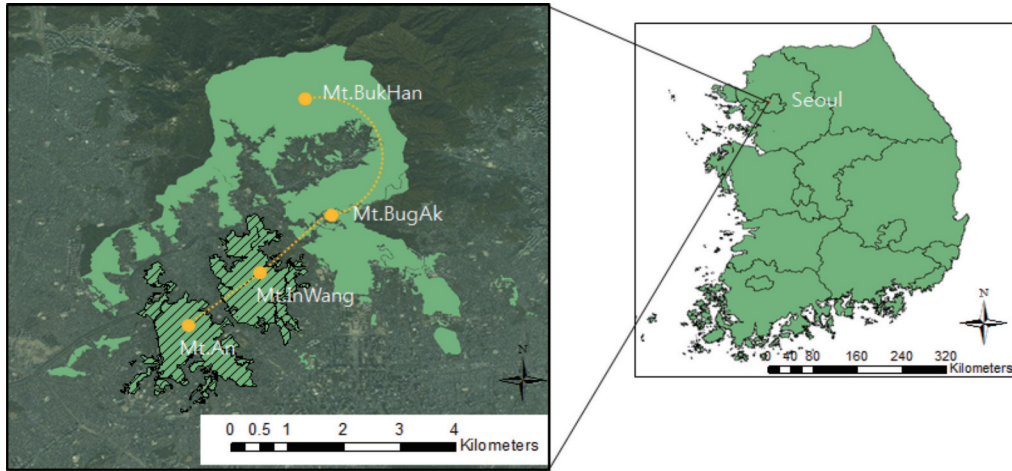


Figure 1. Study area of Mt. An and Mt. InWang presented in shade areas(left) and map of South Korea.

기 위해, 본 연구의 대상지는 서울특별시 종로구에 위치한 인왕산과 서대문구에 위치한 안산으로 설정하였다(Figure 1). 인왕산과 안산은 서울시 서북부지역의 대표적인 산림지역으로써, 시민들에게 도시 속 안락한 휴식처를 제공하고 있다. 인왕산과 안산은 북한산을 시작으로 서울 도심 내를 구성하는 중요한 생태축의 징검다리 역할을 하고 있다. 또한 거시적으로 남산과의 연결이 가능하며 야생동물의 서식처로서의 핵심기능이 가능한 도심 내부의 녹지라 볼 수 있다. 인왕산은 해발 340m로 0.258km²의 면적이 생태경관보전지역으로 지정되어 있으며, 안산은 해발 295.5m로 인왕산에서 서쪽으로 비스듬히 뻗어 무악재를 이루고 있다(Ministry of Environment 2015). 하지만 현재 인왕산과 안산은 연결된 녹지가 없고, 도로로 인해 단절된 상태이다.

2. 연구재료

1) 연구 대상지 선행연구 문헌

본 연구 대상지를 조사한 '서울시 도시 숲 생태계 조사 학술연구'(Seoul Metropolitan Government 2009)에 따르면 인왕산 일대의 포유류는 족제비(*Mustela sibirica*), 청설모(*Sciurus vulgaris*) 2종으로 보고되었다. 조류는 38종 282개체로 보고되었고 멸종위기야생동물, 천연기념물 등의 법정보호종은 없었다. 인왕산 일대의 양서·파충류는 3종으로

계곡산개구리(*Rana huanrensis*), 북방산개구리(*R. dybowskii*), 도롱뇽(*Hynobius leechi*) 등이며 파충류는 보고되지 않았다.

2) 종 출현좌표

인왕산과 안산의 종 서식지 예측 모형을 위해 사용된 생물종 조사는 식물상 및 식생, 포유류, 조류, 각 분류군별 시행이 되었고, 조사시기는 2014년 4월 5~6일, 5월 23~24일, 9월 22~23일로 총 3차에 걸쳐 수행하였다. 전체적인 동물상 조사는 야생 동물의 서식범위와 이동에 미치는 영향을 고려하여 조사하천과 주변지역을 설정하였으며, 그 중, 육상동물상에 대한 조사지역은 크게 인왕산, 안산 2개 지역으로 구분하여 현지조사를 실시하였다. 세부적으로 포유류는 탐문조사 및 현장조사를 실시하였으며, 조사지역을 도보로 이동하면서 서식흔적, 족적, 배설물 등을 확인하고, 조류는 조사지역을 이동하면서 정점센서스(Point census)와 선조사법(Line census)에 의하여 쌍안경(Nikon 10×40 5.9, 8×32 10°)을 사용하여 관찰하거나, 울음소리로 서식조류를 확인하였고, 원거리에 관찰되는 조류는 필드스코프(Swarovski, 20×60)를 사용하여 관찰하였다(Seoul Green Environment Center 2014).

현지 조사 결과 인왕산은 두더지(*Mogera wogura*), 너구리(*Nyctereutes procyonoides*), 족제비(*M.*

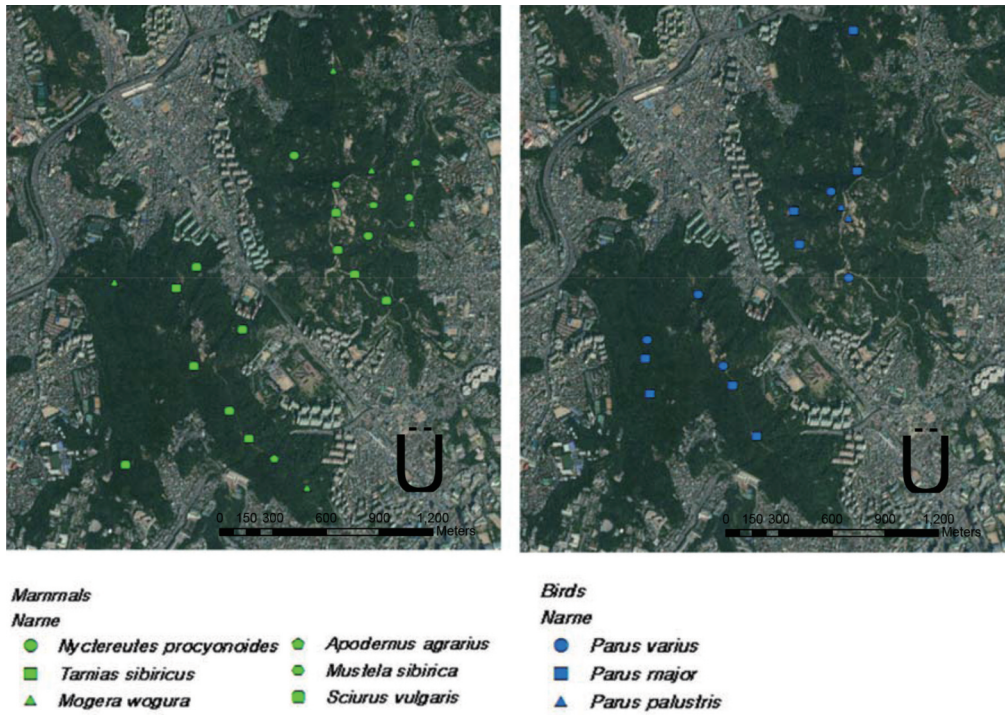


Figure 2. The distribution data of Mammals and *Parus* Birds in Mt. Inwang and Mt. An

sibirica), 청설모(*Sciurus vulgaris*), 등줄쥐(*Apodemus agrarius*) 5종이 확인되었고, 안산은 두더지, 청설모, 다람쥐(*Tamias sibiricus*), 등줄쥐 4종이 확인되었다. 도시숲 생태계 조사 연구(Seoul Metropolitan Government 2009)와 마찬가지로 법정보호종은 분포하지 않았다. 인왕산 현지 조사결과, 서울시 도시숲 생태계 조사 연구의 결과에 비하여 3종의 포유류가 더 관찰되었다. 인왕산의 조류는 13종 75개체, 안산의 조류는 13종 105개체로 조사되었다. 인왕산의 양서류는 4종, 파충류는 2종의 총 6종이 확인되었고 청개구리 1종만 청음으로 확인하였으며 나머지 5종은 성체를 확인하였다. 본 연구는 양서류 1종과 파충류 2종을 포함한 총 3종의 양서·파충류가 더 확인되었다. 그 중 1종은 붉은귀거북(*Trachemys scripta elegans*)으로 생태계교란야생생물이었다. 안산의 양서류는 3종, 파충류는 1종이 확인되었으며, 양서류의 청개구리(*Hyla japonica*) 1종만 청음으로 확인하고 나머지 3종은 성체를 확인하였다. 인왕산과 안산 모두 멸종위기야생생물, 천연기념물 등의 법정보호종

은 분포하지 않았으며 생태계교란야생생물인 붉은귀거북이 확인되었다.

3. 연구방법

본 연구의 흐름의 다음과 같다. 기존에 조사된 종 출현자료를 이용하여 종 분포를 예측하기 위해 선행 연구를 통해 Maxent 모형을 선택하였다. Maxent 모형의 입력요소 구축과정에서는 종 분포 예측 대상 종을 선택하고, 선행연구를 통해 환경요소를 구축하였다. 각각 입력요소를 형성한 후 Maxent 모형을 실행하여 결과를 얻었다.

1) Maxent(Maximum Entropy Approach) 모형

Maxent 모형은 비선형 모형으로서 출현자료와 환경요인으로 생물의 분포를 예측하는 통계적 분포 모형이다. 이 모형은 기계식 학습 모형 중 하나로 종 출현, 비출현 등의 자료가 매우 제한되거나 통상적 통계적 추론방법으로 확률분포를 도출할 수 없는 경우에 유용하게 사용될 수 있는 장점을 가지고 있다

(Kim & Kwon 2000; Cho et al. 2015). 출현자료와 비출현자료를 사용하면 더 정확한 예측이 가능하지만 국내에서는 비출현 정보를 얻기 어렵다. 이런 이유로 Maxent는 국내 생물종 분포 연구에 적합하다 (Jung et al. 2016).

본 연구에서는 종의 출현정보만을 이용하여 서식지 예측을 할 때 유용한 Maxent 모형을 이용하였다 (Phillips et al. 2006; Elith et al. 2006; Lee & Kim 2010). 종속변수로는 종의 출현정보와 독립변수로는 대상 지역의 환경변수를 각각 입력하면 된다(Lee & Kim 2010). 모형의 결과는 변수의 모형기여도, ROC(Receiver Operating Characteristic) 그래프, 변수의 반응곡선, 종 분포 확률지도 등으로 나타난다 (Kwon et al. 2012). 모형의 설명력 검증은 ROC 곡선의 AUC(Area Under the Curve) 값을 통해 알 수 있고, AUC값은 0.5~1 사이의 값이다. 모형의 신뢰성 검증은 5회 교차검증(Cross Validation)을 통해 실시하였다. 본 연구에서는 3.3.3e버전의 Maxent software를 사용하였다.

2) 대상 종 선정

Maxent 모형에 적용할 대상 종은 생태조사에서 획득한 포유류, 조류, 양서·파충류의 출현정보를 바탕으로 포유류 및 조류로 선정 하였다. 양서류는 물이 고이거나 습윤한 곳에 서식하기 때문에 이를 대표하는 환경변수자료가 없으므로 대상 종에서 배제되었다. 또한, 파충류는 출현 종 자료의 한계로 생물분포 모델 모형에 적용할 수 없어 배제하였다.

Maxent 모형의 생물종 서식지 예측모형은 출현자료가 최소 7개 이상 이어야 유의미한 결과를 도출한다(Elith et al. 2006; Kwon et al. 2012; Shin 2013). 하지만 포유류 6종(두더지, 너구리, 족제비, 청설모, 다람쥐, 등줄쥐)은 출현자료가 적어 각각 분석하기 어려워, 모두 중소형 포유류로 서식지 면적이 좁다는 공통점에 주목하여 구분 없이 총 23개의 출현자료를 사용하였다(Figure 4). 조류의 경우에는 산림에서 흔히 관찰되는 박새류인 박새(*Parus major*), 쇠박새(*P. palustris*), 곤줄박이(*P. varius*)의 총 15개 출현지점을 적용하였다(Figure 2). 박새, 쇠박새, 곤줄박이는 서로 다른 종끼리 한 무리를 지어 다니는 의존성을 보이고 있으므로 한 그룹으로 묶어 서식지를 파악하였다(Jablonski & Lee 2002). 대상 종인 다람쥐, 너구리, 쇠박새, 박새는 생태네트워크 구축을 위한 목표종 선정에 관한 연구(Choi et al. 2008)에서 1등급에 해당되고, 족제비, 두더지, 청설모, 곤줄박이는 2등급에 해당되어 본 연구에서의 인왕산과 안산의 생태네트워크 구축을 위한 종 분포 연구 대상으로도 의미가 있다.

3) 모형변수 구축

기존의 서식지 관련 연구 및 대상종과 관련한 문헌에서 포유류와 조류는 지형(경사, 향, 표고, 암반), 식생(식생유형, 피복유형), 거리(도로로부터의 거리, 수계로부터의 거리)등의 인자가 서식지 이용에 영향을 미치는 것으로 나타나 있으므로 Maxent 모형의 독립변수는 지형, 식생, 거리 3가지로 분류하여 세부

Table 1. Spatial factors related to inhabitation of target species

Classification	Variable	Description	Data Type	Source
Topography	DEM	Digital Elevation Model	Continuous	Digital topographic map (National Geographic Information Institute) (2011)
	Slope	Gradient	Continuous	
	Hillshade	A shaded relief raster	Continuous	
	Aspect	A topographic slope faces(compass direction)	Continuous	
Vegetation	Age	Age-class from forest map	Categorical	Forest map (Korea Forest Service) (2009~'14)
	Diameter	Diameter-class from forest map	Categorical	
	Density	Density-class from forest map	Categorical	
	Group	Species of tree	Categorical	
Distance	Forest Edge	Distance from edge forest to interior	Continuous	Land cover map (Ministry of Environment) (2014)
	Road	Distance from Road	Continuous	

항목을 설정하였다(Table 1). 인왕산과 안산의 공간적 규모는 서울특별시 서북부지역의 일부분에 해당되기 때문에, 기후요소가 해당 지역에 미치는 영향이 적을 것이라 판단하여 기후요소를 모형변수로 설정하지 않았다. 모형변수 구축에 사용된 지형인자는 수치지형도에서 고도변수, DEM(Digital Elevation Model)을 생성한 후 음영기복도(Hillshade) 및 향(Angle)을 구축하였다. 식생인자는 임상도에서 영급(Yung), 경급(Kung), 밀도(Density) 및 수종(Group)을 생성하였다. 거리인자는 토지피복도의 산림지역과 도로를 이용하여 산림지역의 경계로부터 산림내부의 거리 및 도로로부터의 거리 변수를 생성하였다. 모든 모형변수는 ESRI사의 ArcGIS 10.3.1을 활용하여 구축하였다. 이때 인왕산과 안산과 같이 소규모를 대상으로 한 종분포 예측이기 때문에 인왕산과 안산 내부 서식처 변수의 격자크기는 공간정보를 활용한 분석이 가능한 최소 단위인 20m × 20m로 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Maxent 모형 적용 결과

1) 포유류 서식지 예측

포유류의 분포 예측에 관한 변수의 기여도와 모형의 검증력을 나타내는 ROC 곡선의 AUC 값을 나타내었다(Table 2). AUC값이 0.7이상일 때, 모형의 설명력이 적절하다고 본다(Phillips & Dudik 2008). 본 연구에서 포유류 서식지 예측을 위한 모형의 AUC 값은 0.817이므로 모형결과가 충분히 의미가 있다. 5회의 교차검증을 사용한 Jeong et al.(2015)의 연구에서 고라니의 서식지 적합성 AUC값은 0.79, 0.67였으며, Cho et al.(2015)의 참매(*Accipiter gentilis*) 서식지 예측의 AUC값은 0.653로 해당 연구에서 0.653란 값은 신뢰성이 낮은 것으로 보고 있다. Shin et al.(2015)의 연구에서 종풍도의 5cv-AUC값은 0.798~0.957로 비교적 높게 나타났다.

총 10개의 환경변수 모두 서식지예측에 기여를 하고 있었으며, 수치표고자료가 가장 기여도가 높게 나

Table 2. Contribution of 10 variables and Area Under the Curve(AUC) of Maxent model of mammals

Species	Variable	Contribution(%)	AUC[0-1]
Mammals	DEM	34.0	0.817
	Forest Edge	24.8	
	Group	10.0	
	Diameter	6.4	
	Aspect	5.6	
	Hillshade	5.5	
	Road	5.4	
	Density	5.1	
	Slope	2.9	
	Age	0.4	
Total	100		

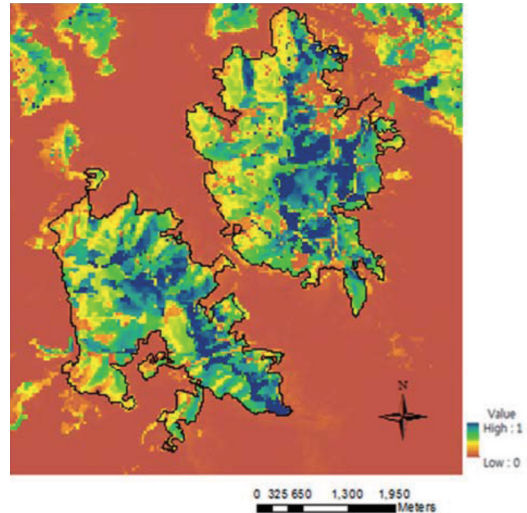


Figure 3. Predicted potential geographic distributions for mammals. Maxent produces a continuous prediction with values ranging from 0 to 1.

타났고, 다음으로 산림지역의 경계로부터 산림내부의 거리, 수종 순으로 기여도가 높다. 경사도와 영급의 기여도는 각각 2.9%, 0.4%로 낮았으며 나머지는 비슷한 기여도를 보이고 있다(Table 2). 포유류의 경우 지형의 높이(표고)에 따른 산림지역과 산림의 경계와 먼 내부 서식지를 선호함을 알 수 있는데, 이는 인간의 영향이 적은 곳에 서식하려는 특성을 나타내는 것으로 보인다.

Maxent 모형 결과 포유류 서식지 예측 도면을 아래에 나타내었다(Figure 3). 인왕산과 안산 외부의

배경인 시가화 지역은 대체로 출현확률이 '0'에 가깝게 나타났다. 대체로 산림지역인 인왕산과 안산의 내부일수록 서식확률이 '1'에 가까웠다. 하지만 완전 고도가 높은 지역이라기 보다는 비교적 낮은 산림에도 분포함을 알 수 있다. 이는 한 종이 아닌 다양한 생태적 특성을 지닌 포유류를 대상으로 했다는 점과 실제로 너구리의 경우에는 깊이 얇은 산림을 선호하는 특성이 반영된 것이라 할 수 있다(Choi & Park 2006). 결국 한 종이 아닌 5종의 포유류 분포를 적용하였기 때문에 특정한 종의 생태적인 특징을 고려한 잠재적인 서식처라고 보기는 어렵다. 하지만 시가화 지역이 아닌, 인왕산과 안산의 내부가 포유류 생물의 주요 서식지임을 알 수 있다.

2) 박새그룹 서식지 예측

박새그룹의 AUC값은 0.886로 포유류그룹과 마찬가지로 해당 모형의 설명력은 유의한 결과를 가진다. 박새그룹의 경우에도 10개의 환경변수 모두 박새류 서식지 분포에 영향을 주었다. 수치표고자료, 도로로부터의 거리 순으로 서식지예측에 기여를 하고 있었으며, 특히 경급, 향, 음영기복도 및 산림지역의 경계로부터 산림내부의 거리는 기여도가 1%보다 낮다 (Table 3).

이는 지형의 높이(표고)에 따른 산림지역에 대한 선호도와 도로의 유무가 서식 분포에 영향을 미침을 알 수 있다. 박새류는 산림에서 흔히 발견되는 새이지만 산림내의 고도가 박새류의 서식지에 영향을 미치는 것을 Maxent 모형 결과와 고도 차이에 의한 기온변화가 박새류의 번식시기에 영향을 미친다는 선행연구(Kim & Oh 2013)를 통해 확인할 수 있었다.

Maxent 모형에 따른 박새그룹의 결과 도면은 다음 아래와 같다(Figure 4). 산림지역인 안산과 인왕산의 내부일수록 서식확률이 높게 나타나는 '1'에 가까웠다. 특히 포유류 보다 박새류의 경우 안쪽으로 갈수록 규칙적으로 더 뚜렷하게 서식확률이 높아지고 있다. 이는 박새류가 산림지역에 서식하는 종임을 나타내주는 결과를 반영하고 있는 것으로 보인다. 박새그룹의 서식지는 산림내부에 위치하고 있으며 주변 서식지로부터 고립되어 있음을 알 수 있다. 특히

Table 3. Contribution of 10 variables and Area Under the Curve(AUC) of Maxent model of Birds

Species	Variable	Contribution(%)	AUC[0-1]
Birds	DEM	39.6	0.886
	Road	35.4	
	Density	8.2	
	Group	7.5	
	Age	5.5	
	Slope	2.4	
	Diameter	0.8	
	Aspect	0.5	
	Hillshade	0.1	
	Forest Edge	0.14	
Total	100		

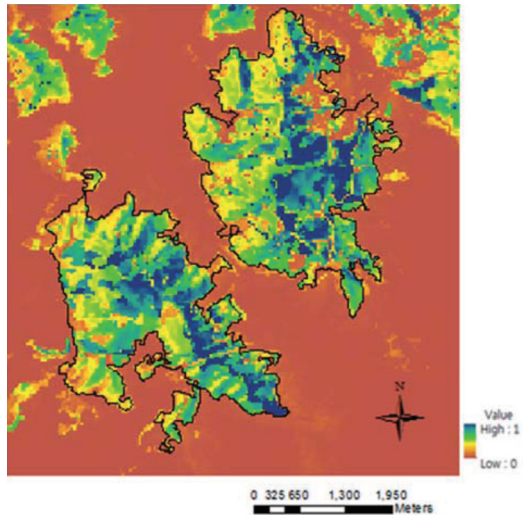


Figure 4. Predicted potential geographic distributions for Birds. Maxent produces a continuous prediction with values ranging from 0 to 1. Value '1' indicated high probability of habitat use.

비교적 낮은 산림에 분포하는 포유류의 서식지와 달리, 매우 규칙적으로 고도가 높아질수록 박새의 서식확률이 높아짐을 알 수 있다. 또한, 산림지역 내에서도 박새류가 출현하는 빈도가 서로 다른 것을 알 수 있다.

IV. 결론

Maxent 모형 예측 결과, 포유류와 박새류 모두 산의 외부보다는 내부에 출현확률이 높았다. 산의 내부

에서는 포유류와 박새류의 은신처 및 먹이가 지형적 인 요인 및 거리요소에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 인왕산과 안산 사이의 도로와 시가화 지역의 포유류 및 박새류 출현은 거의 '0'에 가깝게 예측되는 것으로 보아 매우 가까운 산림이지만, 생물 중 이동이 거의 없는 매우 단절된 지역임을 확인할 수 있었다. 그러므로 단절된 인왕산과 안산의 녹지축을 연결함으로써 생물 종의 서식지를 확대하는 것이 중요하다 할 수 있다.

본 연구는 종 분포 모델링을 위해 사용된 생물종 조사의 출현자료의 수가 적다는 한계점이 있다. 그러므로 Maxent 모형을 이용한 종 분포 모델링의 신뢰성을 높이기 위해, 향후 서울 도심에서의 생물종의 출현, 비출현자료가 구축된 자료를 이용하여 다시 연구할 필요성이 있다. 또한, 종 구분 없이 한꺼번에 Maxent 모형을 돌린 결과, 각 종의 생태적 특성을 고려한 서식지 선호도를 정확하게 예측하고 선행연구와 결과를 비교하기에는 한계가 있다. 박새류는 일반적으로 산림의 경계에 위치한 도시화지역에서도 서식함으로써 박새류 분포 예측에도 한계점이 있지만 산림내부의 서식처를 예측하는데는 적절하였다.

본 연구는 도심 속 생태네트워크 구축을 위하여 도심 내 산림의 종 분포 연구를 시행했다는 점이 의의가 있다. 이러한 생물 종 분포 연구는, 앞으로 개발 및 토지이용계획 수립 시 인간 중심이 아닌, 생물 종들의 잠재 서식지를 파악하여 그들의 서식지가 단절되지 않도록 하는 것에 중요한 자료를 제공할 수 있다.

사 사

이 논문은 SEST(2016), KETIT(2014000130010)의 지원을 받아 수행한 연구에 의해 작성되었습니다.

References

Cho HJ, Kim DH, Shin MS, Kang TH, Lee MW. 2015. Predicting the goshawk's habitat area using species distribution modeling: case study area Chungcheongbuk-do, South

Korea. *J Korean Environment and Ecology*. 29(3): 333-343. [Korean Literature]
 Choi HS, Kim HA, Kim KG. 2008. Selecting target species for urban ecological network construction - focus on Pangyo new town -. *J Korean Environment Restoration Technology*. 11(5): 12-24. [Korean Literature]
 Choi TY, Park CH. 2006. Home-range of Raccoon Dog *Nyctereutes procyonoides* living in the rural area of Korea. *J Ecology and Environment*. 29(3): 259-263. [Korean Literature]
 Edward C, Hubert NL. 1994. *Landscape Planning and Ecological Network(Book6)*. Elsevier Science.
 ME: Land cover map [Internet]. 2014. Sejong: Ministry of Environment; [Cited 2015 Dec 10]. Available from: <https://egis.me.go.kr/main.do>
 Elith J, Catherine R, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Huettmann F, John LA, Li J, Lucia B, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Jacob A, Steven RK, Scachetti-pereira R, Soberon J, Williams S, Niklaus M. 2006. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. *Ecography*. 29(2): 129-151.
 KFS: Forest type map [Internet]. c2009-2014. Daejeon: Korea Forest Service; [Cited 2015 Dec 20]. Available from: <http://www.forest.go.kr/>
 Fleury AM, Brown BD. 1997. A framework for the design of wildlife conservation corridors with specific application to southwestern Ontario. *Landscape and urban planning*. 37(3): 163-186.
 Forman RT. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge university press.

- Franklin J. 2009. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press.
- Jablonski PG, Lee SD. 2002. Foraging niche shifts in mixed-species flocks of tits in Korea. *J Field Ornithol.* 73(3): 246-252.
- Jeong SG, Lee HS, Park JH, Lee DK, Park CH, Seo CW. 2015. Selecting suitable riparian wildlife passage locations for water deer based on MaxEnt model and wildlife crossing analysis. *J the Korean Society for Geospatial Information Science.* 23(1): 101-111. [Korean Literature]
- Seoul Green Environment Center. 2014. A Study on Creating Ecological Network at South-North Region in Seoul City by Utilizing Spatial Data. Seoul Green Environment Center. [Korean Literature]
- Jeong JC. 2011. Spatial analysis for the assessment of optimum place of eco-bridge. *J Environ Impact Assess.* 20(5): 697-703. [Korean Literature]
- Jung DH, Kahng BS, Cho CU, Kim SB, Kim JJ. 2016. Analysis of hibernating habitat of Asiatic Black Bear(*Ursus thibetanus ussuricus*) based on the presence-only model using MaxEnt and Geographic Information System: a comparative study of habitat for non-hibernating period. *J Korean Association of Geographic Information Studies.* 19(3): 102-113. [Korean Literature]
- Kim DM, Oh HS. 2013. Breeding ecology, according to altitude and temperature variation in Titmouse. *J Korean Environment and Ecology.* 27(6): 666-675. [Korean Literature]
- Kim JY, Seo CW, Kwon HS, Ryu JE, Kim MJ. 2012. A study on the species distribution modeling using national ecosystem survey data. *J Environ Impact Assessment.* 21(4): 593-607. [Korean Literature]
- Kim KC, Kwon OS. 2000. Estimating the biological growth function of Korean Anchovy: a Maximum Entropy Approach. *J Korean Resource Economics Association.* 9(2): 285-309. [Korean Literature]
- Kim MS. 2005. The existing conditions and problems of ecological corridor in Korea - focusing on planting species. *J Korean Environment Restoration Technology.* 9(3): 51-58. [Korean Literature]
- Kwon HS, Seo CW, Park CH. 2012. Development of species distribution models and evaluation of species richness in Jirisan region. *J Korean Society for Geospatial Information Science.* 20(3): 11-18. [Korean Literature]
- Lee DK, Kim HG. 2010. Habitat potential evaluation using Maxent model- focused on Riparian distance, stream order and land use -. *J Korean Environment Restoration Technology.* 13(6):161-172. [Korean Literature]
- Lee DK, Song WK. 2008. A study on the analytic unit of habitat suitability assessment and selection in conservation areas for Leopard Cat(*Prionailurus bengalensis*): focus on Chungcheng province area. *J Korean Institute of Landscape Architecture.* 36(5): 64-72. [Korean Literature]
- Lee YW, Lee MW. 2006 Eco-corridor positioning for target species -by field surveying of mammals' road-kill-. *J Korean Environment Restoration Technology.* 9(3): 51-58. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2002. Promotion

- Strategy of Creating Ecological Network. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2015. The Status of Designation of Ecological Landscape Preservation Area ('15.12 Month). [Korean Literature]
- NGII: digital map [Internet]. 2011. Suwon: National Geographic Information Institute; [Cited 2015 Dec 10]. Available from: <http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190:231-259.
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31(2):161-175.
- Seo CW, Park YR, Choi YS. 2008 Comparison of species distribution models according to location data. *J Korean Society for Geospatial Information System*. 16(4): 59-64. [Korean Literature]
- Seoul Metropolitan Government. 2009. Academic Study on Ecosystem Research of the City Forest in Seoul City. [Korean Literature]
- Seoul Metropolitan Government. 2014. 2030 Seoul Plan. [Korean Literature]
- Shin MS. 2013. Species distribution model and land suitability assessment: focused on city in Boryeong. Master's dissertation. Junbuk National University, Korea. [Korean Literature]
- Shin MS, Jang RI, Seo CW, Lee MW. 2015. A comparative study on species richness and land suitability assessment - focused on city in Boryeong -. *J Environ Impact Assess*. 24: 35-50. [Korean Literature]
- Song WK. 2015. Habitat analysis of *Hyla suweonensis* in the breeding season using species distribution modeling. *J Korean Environment Restoration Technology*. 18(1): 71-82. [Korean Literature]
- Wilcove DS, McLellan CH, Dobson AP. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. *Conservation Biology*. 6: 237-256.