

Study Note

## 도시생태현황지도 작성을 위한 육상동물 서식지 가치평가 방안 연구

박민규

공간생태연구소 라움

### A Study on Fauna Habitat Valuation of Urban Ecological Maps

Minkyu Park

Spatial Ecology Lab RAUM. Co.

**요약:** 도시생태현황지도는 자연환경보전법에 의해 시(市)단위 이상의 지방자치단체는 의무적으로 작성해야 하며 일반적으로 비오톱지도라고 한다. 그 동안 비오톱지도 관련 연구는 식생유형, 식생자연성, 토지이용, 경관생태학 배경으로 이루어 졌으며, 비오톱의 구성요소인 동물서식지 개념을 적용하지 못하는 한계성을 가지고 있었다. 이 연구는 이러한 한계성을 개선하기 위해 육상동물 잠재서식지 개념을 도입하여 비오톱 유형평가에 적용할 수 있는 방법론을 제안하기 위해 수행되었다. 육상동물의 잠재서식지는 머신러닝을 이용한 공간통계 방법을 이용하여 예측하였고 그 결과를 종합하여 종풍부도를 변환하였다. 비오톱 유형평가는 식생학적 가치, 동물서식지 가치로 구분하여 가치합산 하였다. 식생학적 가치는 식생의 자연성과 토지 이용을 고려하여 5단계로 구분하였고, 동물 서식지 가치는 머신러닝으로 예측한 종풍부도를 5단계로 구분하여 비오톱 유형평가에 적용하였다. 이 연구는 그동안 비오톱 유형평가에 소극적으로 반영된 육상동물 현장조사 결과를 적극적으로 반영할 수 있는 방법론을 도출하였다는 것에 의미가 있으며 향후 도시생태현황지도 작성 매뉴얼 개정 시 고려될 필요가 있다.

**주요어:** 비오톱, 비오톱지도, 공간생태, 머신러닝, 서식지

**Abstract:** URBAN ECOLOGICAL MAPS must be created by local governments by NATURAL ENVIRONMENT CONSERVATION ACT, and the maps are generally called biotope map. So far, biotope maps study was a tendency to focus on the type of vegetation, naturalness, land use, landscape ecology theories. However, biotope related studies have not reflected the concept of animal habitat, which is a component of biotope, and that is the limitation of biotope map research. This study suggest a methodology to predict potential habitats for fauna using machine learning to quantify habitat values. The potential habitats of fauna were predicted by spatial statistics using machine learning, and the results were converted into species richness. For biotope type assessments, we classified biotope values into vegetation value and habitat value and evaluated them using a matrix for value summation. The vegetation value was divided into 5 stages based on

vegetation nature and land use, and the habitat value was classified into five stages by predicting the species richness predicted by machine learning. This is meaningful because our research can positively reflect the results of field surveys of fauna that were negatively reflected in the evaluation of biotope types in the past. Therefore, in the future, if the biotope map manual is revised, our methodology should be applied.

**Keywords :** Biotope, Biotope map, Spatial ecology, Machine learning, Habitat

## I. 서론

도시생태현황지도(URBAN ECOLOGICAL MAPS)는 자연환경보전법 34조에 의해 시(市) 단위 이상 지방자치단체는 2021년까지 의무적으로 작성하는 비오톱지도(Biotope map)이며 자연환경관리에 필요한 동식물 서식지 경계를 지도화한 환경공간정보이다(Kim & Jang 2019). 비오톱지도의 비오톱(biotope)은 Bios(생물과 생물군집을 통칭)와 tops(공간)의 합성어이며, 모든 생물의 생존에 필요한 특정 공간을 의미한다(Sukopp & Weiler 1988). 비오톱지도는 자연환경과 인공 환경사이의 불균형으로 발생한 환경문제가 이슈화 되고 그 이후 도시생태계의 불균형 회복과 생물다양성 보전, 환경 공간지표로 활용되고 있다(Jarvis & Young 2005).

국내 비오톱지도는 식물사회학적 기반의 독일 베를린 모델(Choi & Lee 2007)을 참고하여 국내 여건에 적용하기 위한 다양한 연구가 시행되었다(Choi et al. 2007, 2008, 2009; Oh et al. 2008; Ki 2011). 이러한 선행연구들은 비오톱지도의 개념정립과 국내 환경에 적용하기 위한 연구로 주로 식생, 토지이용 정보를 세부적으로 구분(Oh et al. 2008; Kim et al. 2015) 하거나 경관생태학 이론에 근거한 새로운 방법론 적용(Kim 2012)에 집중하였다. 그러나 비오톱의 개념이 동식물이 공존하는 공간(Sukopp & Weiler 1988; Jarvis & Young 2005)임에도 불구하고 기존의 비오톱지도 연구에는 육상동물 서식지 정보를 반영한 연구가 미진하였다.

도시생태현황지도 작성이 의무화되고 국립생태원에서 업무 참고용으로 배포한 ‘도시생태현황지도 매뉴얼’<sup>1)</sup>에서도 육상동물 현황정보를 비오톱 유형평가

에 반영할 수 구체적인 방법론을 제시하지 않고 있다. 이러한 한계성은 육상동물조사 결과가 점(point) 형태인 반면 비오톱 유형은 면(polygon)이기 때문에 포인트 정보를 유형평가에 적용할 수 있는 적절한 방법론이 없었기 때문이다. 그러나 육상동물의 포인트 데이터를 활용한 서식지 지도화(Wright 1995; Coops & Catling 1997; Wintle et al. 2005; Graham et al. 2006; Mykra et al. 2008)가 가능하기 때문에 이를 도시생태현황지도의 비오톱유형 평가에 적용할 수 있을 것으로 판단하였다.

이 연구는 도시생태현황지도 작성 실무자의 시각으로 시작되었다. 비오톱유형은 식생, 토지이용만으로 평가하는 것이 아니라, 동물의 서식처 가치도 함께 평가되어야 한다는 비오톱의 정의에 충실하고자 하였다. 또한 그 동안 비오톱 유형평가에 소극적으로 반영되었던 육상동물 현지 조사 결과를 반영할 수 있는 현실적인 방안을 모색하고, 도시생태현황지도 작성과 동일한 과정으로 비오톱 유형평가에 적용하여 도시생태현황지도 작성을 위한 새로운 방법론으로 제안하고자 한다.

## II. 연구방법

이 연구는 기존 도시생태현황지도에서 적용하지 못했던 육상동물 서식지 정보를 반영하기 위한 연구이다. 따라서 도시생태현황지도 작성을 위한 과정 중

1) 환경부와 국립생태원에서 작성한 도시생태현황지도 작성 매뉴얼은 아래 URL에서 다운로드 할 수 있다([www.nie.re.kr/brdartcl/boardarticleList.do?brd\\_id=BDIDX\\_uTjsz25Vt32d0B42iQ10o1&menu\\_nix=Br19OpRW&subnix=Br19OpRW&&mu\\_lang=ENG](http://www.nie.re.kr/brdartcl/boardarticleList.do?brd_id=BDIDX_uTjsz25Vt32d0B42iQ10o1&menu_nix=Br19OpRW&subnix=Br19OpRW&&mu_lang=ENG)).

비오톱 유형평가 과정부터 시행하였다.

도시생태현황지도 작성지침(National law information center, 2019)에 의하면 비오톱 유형평가는 의사결정나무, 가치합산 방법을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 동물서식지 반영에 집중하기 위해 2개 조건의 가치합산 방법을 기준으로 비오톱 유형평가를 실시하였다.

### 1. 연구지역

연구 지역은 경기도 남양주시 별내 신도시로 면적은 약 5.1km<sup>2</sup>의 계획도시이다. 별내 신도시는 불암산 등의 산림경관, 용암천 등의 수공간, 도로, 철도, 단독주택, 근린생활시설 등 다양한 도시경관이 혼재된 지역이며 다양한 육상동물 서식지가 존재하는 도시지역으로 연구지역으로 선정하였다(Figure 1).

### 2. 비오톱 유형평가

도시생태현황지도의 비오톱 유형평가는 비오톱유형화를 통해 분석된 개별 비오톱 공간에 다양한 평가

항목을 적용하여 그 가치를 등급화 한 것으로 도시생태현황지도의 최종 결과물이다. 일반적으로 비오톱 유형평가는 식생유형, 식생자연성, 토지이용을 고려하여 평가하였다. 이 연구에서는 기존의 토지이용을 고려한 식생학적 가치와 동물서식지 가치를 합산하여 비오톱 유형평가를 실시하였다.

실제 도시생태현황지도에서는 대상 지역의 특성에 따라 다양한 공간정보의 가치합산이나 의사결정나무 체계가 도입될 수 있으나 본 연구에서는 육상동물의 서식지 정보 반영을 위한 방법론 제안에 관한 연구로 비오톱 유형평가 과정을 최소화 하였다.

비오톱 유형평가는 하나의 비오톱에 두 가지 서식지 특성을 합산하여 유형 평가하는 가치합산 매트릭스방법을 사용하였다. 가치합산을 위한 비오톱 특성은 식생학적 가치(Vegetation valuation)와 동물 서식지 가치(habitat valuation)로 구분하였다. 예를 들어 특정 비오톱의 식생학적 가치가 IV등급, 동물 서식지 가치가 III등급이면 비오톱유형평가 III등급으로 평가하는 방식이다(Figure 2).

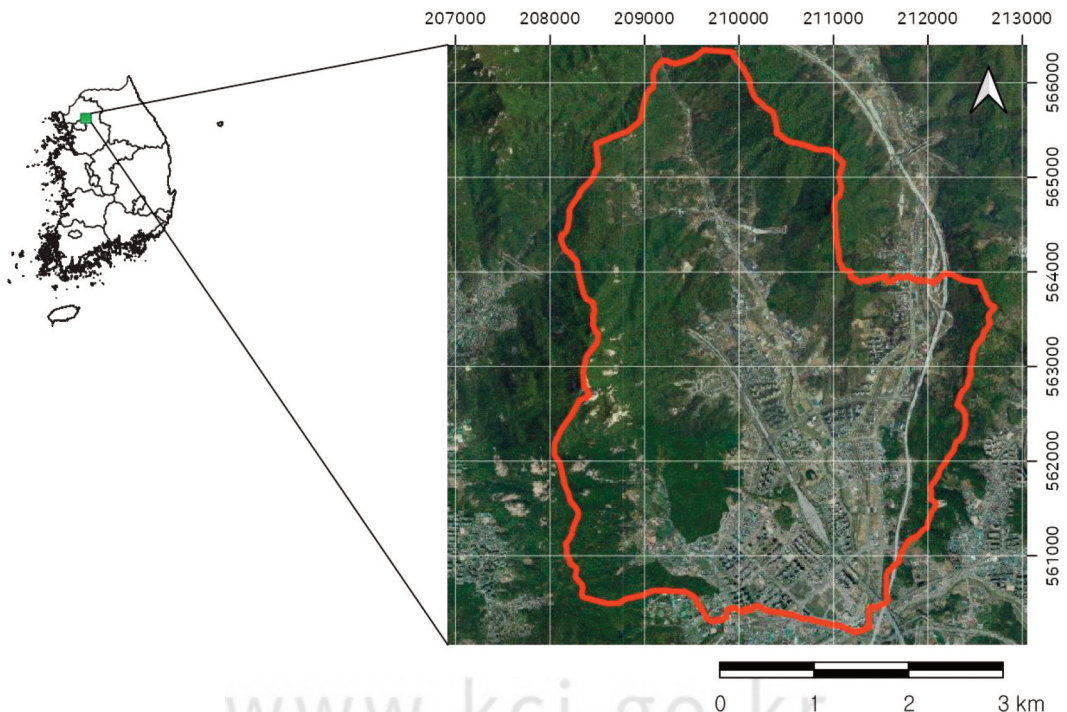


Figure 1. The location of the study area and aerial imagery by VWORLD.

		Habitat valuation				
		I	II	III	IV	V
Vegetation valuation	I	I	I	II	III	IV
	II	I	II	II	III	IV
	III	II	II	III	III	IV
	IV	III	III	III	III	V
	V	IV	IV	IV	V	V

Figure 2. Matrix for Biotope Type assessments.

식생학적 가치는 산림지역(이차림), 산림지역(조림지), 기타식생(하천변 초지, 수역, 조경녹지), 농업지역, 비식생(나지, 시가화/건조지역)으로 구분하고 순서에 따라 I, II, III, IV, V등급으로 구분하였다 (Figure 2).

반면, 동물 서식지 가치는 식생학적 가치와 동일하게 I, II, III, IV, V등급으로 구분하고 세부 가치평가 방법은 다음 항에 기술하였다.

### 3. 동물서식지 가치평가

동물 서식지 가치평가는 동물상 주제도 작성에 제한적으로 사용된 육상동물의 현장 조사자료 활용을 전제로 하였다. 즉 육상동물의 조사 자료를 바탕으로 각 비오톱 유형의 서식지 가치를 매트릭스의 등급으로 표준화하여 각 비오톱 유형에 가중치를 부여하는 개념이며, 육상동물 서식지의 가치평가를 위해 잠재서식지(Potential habitat) 개념을 도입하였다. 잠재서식지는 생물종이 서식하는 공통된 환경조건을 지도화하는 것으로 생태학, 보전생물학, 생태복원 등 다양한 분야에 활용되고 있다(Breining et al, 1991;

Franklin & Steadman 1991; McComb et al, 2002; Druon 2010; Bleyhl et al, 2015).

#### 1) 잠재서식지 분석

육상동물의 잠재서식지는 동물 출현위치의 공통된 환경조건을 추출하고 이를 공간통계 모델로 구축하는 것을 기본 개념으로 하였다(Pereira & Itami 1991; Miyamoto et al, 2004; Andersen et al, 2000).

잠재서식지 예측을 위한 통계모델은 다항회귀 (Polynomial Regression), 로지스틱회귀(logistic regression) 등 일반통계 모형과 랜덤포레스트(Randomforest), 서포트벡터머신(support vector machine) 등의 머신러닝(machine learning) 모형이 활용되고 있다. 그 중 머신러닝을 이용한 모형의 정확성이 일반통계 알고리즘보다 높고 이보다 개별 머신러닝 결과를 통합한 앙상블모델(Ensemble models)이 활용되는 추세이다(Araújo & New 2007; Zimmermann et al, 2010). 따라서 본 연구는 육상동물의 잠재서식지 분석을 위한 통계모형으로 머신러닝 모형을 가중치별로 합산한 앙상블 방법론을 선택하였다.

#### 2) 잠재서식지 예측을 위한 변수 선정

육상동물 잠재 서식지 분석을 위한 앙상블 모형은 회귀기반이기 때문에 입력변수가 필요하며 입력변수는 설명변수와 반응변수로 구분한다(Zhang & Ma 2012).

반응변수는 육상동물 서식지점의 좌표를 사용하였고 연구대상 육상동물은 포유류, 양서파충류, 조류에

Table 1. Variable Description for predicting potential habitats

Variable code	Decription	Resolution (m)	Data type
landcover	Landcover type (second level)	10	Raster, category
river_dist	Proximity distance from the river and valley	10	Raster, continuous
park_dist	Proximity distance from the park	10	Raster, continuous
forest_dist	Euclidean distance from forest edge (Positive values inside the forest and negative values outside)	10	Raster, continuous
road_dist	Proximity distance from the road	10	Raster, continuous
dem	Elevation of the terrain	10	Raster, continuous
slope	Slope of the terrain	10	Raster, continuous

한정하였다. 좌표 기록은 목전, 필드사인만 기록하고 청음, 청문 등의 위치좌표를 특정할 수 없는 조사 자료는 제외하였다. 현장조사는 2019년 3월부터 12월 까지 실시하였다.

설명변수는 육상동물의 서식지를 반영할 수 있는 경관생태학적 요소로 총 7개 변수를 생성하였다 (Table 1). 각 변수를 살펴보면 육상동물 서식지의 토지이용을 반영하기 위해 증분류 토지이용(landcover), 지형학적 서식 요인을 반영하기 위한 지형 표고(dem), 지형의 경사(slope)를 생성하였다. 숲 경계의 유클리드거리(forest\_dist)는 경관생태학적 가장자리 효과 (Andren & Angelstam 1988; Yahner 1988; Magura 2002; Araújo & New 2007)를 반영하기 위한 변수로 숲 내부는 양의 값 숲 외부는 음의 값을 가질 수 있도록 생성되었다.

도로의 근접도 거리(road\_dist)는 동물 서식지의 단절 및 회피요인을 반영하기 위해 생성하였으며, 하천의 근접도 거리(river\_dist)와 조성녹지의 근접도거리(park\_dist)는 도시 내부의 에코톤(ecotone, Attrill & Rundle(2002) 참조) 및 코리더(Corridor, Chetkiewicz et al.(2006) 참조)의 영향을 적용하기 위해 변수로 선정하였다.

### 3) 변수 생성 및 예측 알고리즘

설명변수의 생성과 편집은 QGIS 3.10(QGIS.org, 2020)을 사용하였고, 변수의 공간해상도는 10m×10m, EPSG:5186 좌표계를 사용하였다.

공간변수 중에서 토지피복도는 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/>)에서 연구지역의 세분류 토지피복도를 제공받아 가공하였고, 지형표고(dem)과 경사도(slope)는 연속수치지형도(1:5000)에서 등고선을 추출하여 dem(digital elevation model)을 생성하고 dem에서 slope를 분석하였다. 수계거리(river\_dist)는 연속수치지형도에서 하천중심선을 추출하여 유클리드 거리로 반환하였다.

조성녹지 근접도거리(park\_dist), 도로의 근접도거리(road\_dist)는 비오톱유형도에서 각 속성별로 Qgis의 근접도 거리(Proximity raster distance)기능으로 생성하였고, 숲 경계의 유클리드 거리(Forest\_

Dist)는 임상도에서 숲 경계를 추출하고 (Eq. 1)을 이용하여 숲 내부는 양의 값, 숲 외부는 음의 값인 유클리드 거리로 분석하였다(Figure 3).

$$\text{Forest\_dist} = (2 \times \text{Idist}) - \text{Tdist} \quad (\text{Eq. 1})$$

Here,

*Idist* : Euclidean distance only inside the forest

*Tdist* : Euclidean distance of study area

육상동물 서식지 분석을 위한 머신러닝 모형은 앙상블모형 사용을 전제로 하였기 때문에 개별 머신러닝 모형을 통합할 수 있는 패키지를 분석 도구로 사용하였다.

본 연구와 같이 공간정보를 활용한 잠재서식지 예측을 생태적 지위 모형(Ecological niche models), 잠재서식지 예측모형(Predictive habitat distribution model)이라고 하며 일반적으로 종분포모형(Species distribution models)이라고 통칭한다(Randin et al, 2006; Buckley et al, 2010; Hao et al, 2019).

이 연구는 종분포모형의 앙상블을 위해 패키지로 개발된 sdm package(Naimi & Araújo 2016)를 사용하였고 R 3.6.3(R Core Team 2020) 환경에서 분석하였다. 앙상블모형에 적용할 머신러닝 모형은 sdm package에서 제공하는 bootstrapping, maxent, tree, mars, randomforest, support vector machine 6개 알고리즘을 사용하였다.

머신러닝 모형의 앙상블 가중치는 TSS(True skill statistic, Allouche et al, 2006)를 적용하였고, 각 알고리즘의 최종 결과는 0~1의 확률이므로 확률 범위 내에서 잠재서식지와 비잠재서식지로 구분하기 위한 임계값(Threshold value)은 모형의 민감도와 특이도 합이 최대값을 선정하였다(Liu et al, 2013).

### 4) 서식지 가치 표준화

육상동물 각 분류군별 잠재서식지 결과물은 1과 0의 이항형지도(binary map)이며, 각 이항형 지도를 합산한 결과물은 육상동물의 종풍부도(Species richness)로 해석할 수 있다(Pineda & Lobo 2009; Raes et al, 2009; Distler et al, 2015; d'Amen et al, 2015).

따라서, 각 비오톱 유형의 종풍부도 평균을 산출하

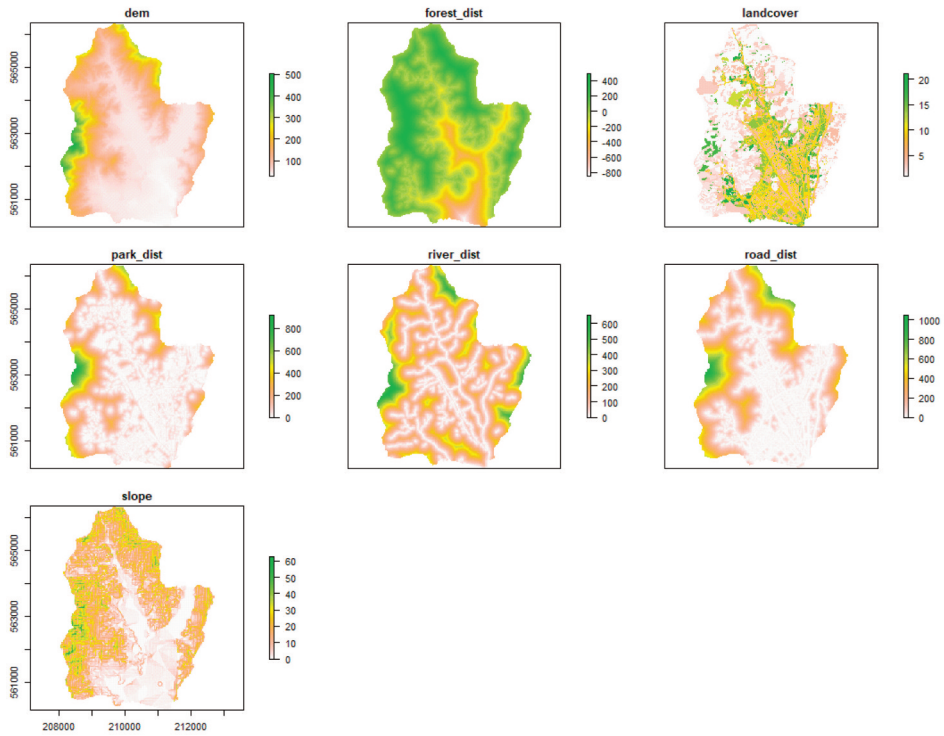


Figure 3. Spatial variables for predicting potential habitats.

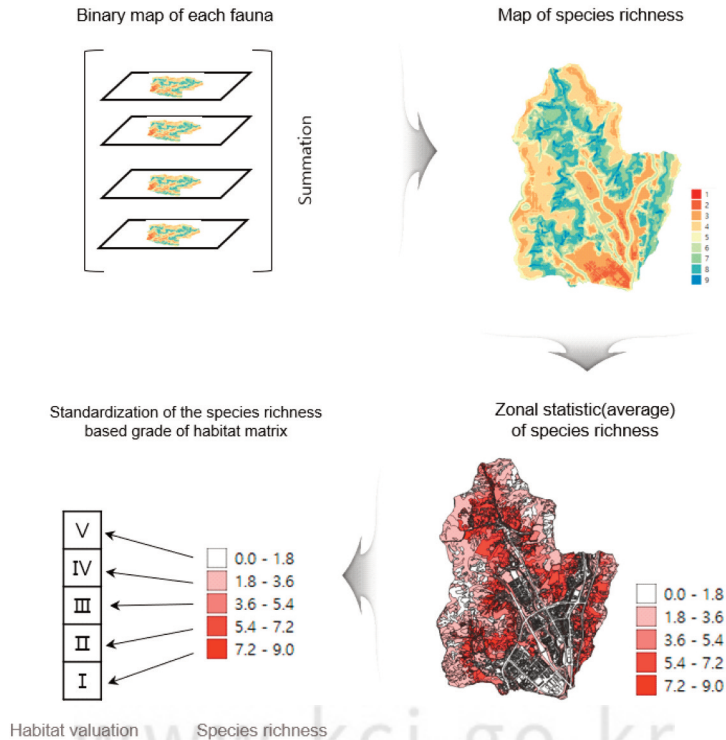


Figure 4. Concept diagram of standardization process for habitat valuation.

고 산출된 종풍부도를 매트릭스 단계인 5단계로 등간 격 분할하여 비오톱 유형평가의 동물 서식지 가치로 사용하였다(Figure 4).

### III. 결과

#### 1. 육상동물 조사결과 및 서식 유형별 분류

육상동물 현장조사 결과 포유류 9종, 양서류충류

12종, 조류 20종이 확인되었다(Table 2). 조사 결과는 목견이나 필드사인으로 실제 출현위치가 xy좌표로 특정할 수 있는 것으로 한정하였다. 이 자료를 바탕으로 분류군별로 서식지 특성(출현위치의 토지피복 등)을 고려하여 그룹화 하였으며 잠재서식지 예측은 각 그룹별로 실시하였다(Table 2, Figure 5).

분류군별 서식지 분류를 살펴보면 포유류는 오픈스페이스형(Open space, FO), 산림형(Forest, FF) 등

Table 2. Classification of Habitat type based on the results of field surveys and included species

Taxa	Habitat type	CODE	Species
Mammal	Open space	FO	Raccoon dog ( <i>Nyctereutes procyonoides</i> ), Domestic Cat ( <i>Felis catus</i> ), Water deer ( <i>Hydropotes inermis</i> ), Large mole ( <i>Mogera robusta</i> )
	Forest	FF	Siberian weasel ( <i>Mustela sibirica</i> ), Korean hare ( <i>Lepus coreanus</i> ), Siberian Chipmunk ( <i>Eutamias sibiricus</i> ), Striped Field Mouse ( <i>Apodemus agrarius</i> ), Eurasian Red Squirrel ( <i>Sciurus vulgaris</i> )
Amphibian & reptile	Forest Valley dependence	AV	Dybowski's frog ( <i>Rana dybowskii</i> ), Oriental Fire-bellied Toad ( <i>Bombina orientalis</i> ), Korean salamander ( <i>Hynobius leechii</i> ), Huanren frog ( <i>Rana huanrenensis</i> )
	Forest	AF	Dione snake ( <i>Elaphe dione</i> ), Tiger Keelback ( <i>Rhabdophis tigrinus</i> ), Asiatic Toad ( <i>Bufo gargarizans</i> ), Mountain Grass Lizard ( <i>Takydromus wolteri</i> ), Korean Mamushi ( <i>Gloydius brevicaudus</i> )
	Paddy field and wetland dependence	AW	Dark-Spotted Frog ( <i>Pelophylax nigromaculatus</i> ), Japanese tree frog ( <i>Hyla japonica</i> )
Birds	Forest	BF	Great Spotted Woodpecker ( <i>Dendrocopos major</i> ), Common Cuckoo ( <i>Cuculus canorus</i> ), Indian Cuckoo In English ( <i>Cuculus micropterus</i> ), Gray-headed Woodpecker ( <i>Picus canus</i> ), Black-naped Oriole ( <i>Oriolus chinensis</i> ), Gray-backed Thrush ( <i>Turdus hortulorum</i> ), Oriental Scops Owl ( <i>Otus sunia</i> ), Himalayan Cuckoo ( <i>Cuculus saturatus</i> ), Eurasian Jay ( <i>Garrulus glandarius</i> )
	Open space	BO	Dollar Bird ( <i>Eurystomus orientalis</i> ), Oriental Turtle Dove ( <i>Streptopelia orientalis</i> ), Brown-eared Bulbul ( <i>Microscelis amaurotis</i> ), Eurasian Sparrow ( <i>Passer montanus</i> ), Common Pheasant ( <i>Phasianus colchicus</i> ), Carrion Crow ( <i>Corvus corone</i> )
	Forest edge	BE	Daurian Redstart ( <i>Phoenicurus auroreus</i> ), Vinous-throated Parrotbill ( <i>Paradoxornis webbiana</i> )
	River dependence	BR	Gray Heron ( <i>Ardea cinerea</i> ), Great Egret ( <i>Ardea alba</i> ), Indian Spot-billed Duck ( <i>Anas poecilorhyncha</i> )

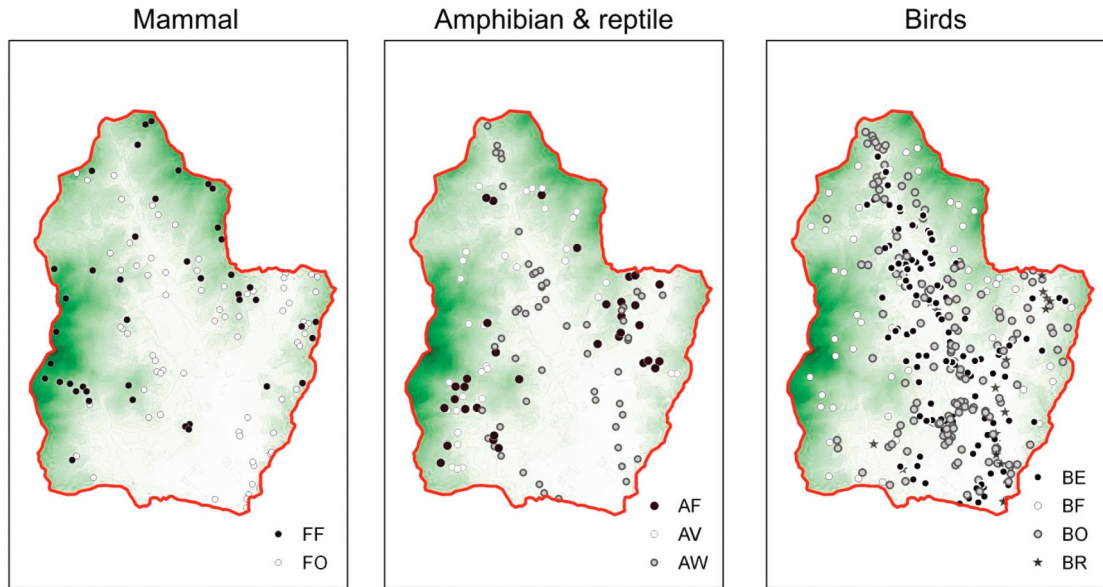


Figure 5. Presence location by habitat type of each taxonomic group (See the Table 2 for the legend's code name).

2개 서식지 유형으로, 조류는 산림형(Forest, BF), 오픈스페이스형(Open space, BO), 임연형(Forest edge, BE), 하천 의존형(River dependence, BR) 4개 유형으로 분류하였고, 양서파충류는 산지계곡 의존형(Forest valley dependence, AV), 산림형(Forest, AF), 논/습지 의존형(Paddy field and wetland dependence, AW) 3개 유형으로 분류하였다(Table 2).

## 2. 유형별 잠재서식지

각 서식 그룹별 머신러닝 학습모델의 정확성(AUC)과 설명변수의 중요도 그리고 서식확률 분포를 서

식지/비서식지로 분류하기 위한 임계값(MTSS: Maximum training sensitivity plus specificity)은 Table 3에 제시하였다. 모형의 정확성 분석결과 모든 그룹의 AUC가 0.8이상으로 모델 정확성은 우수한 것으로 나타났다.

각 그룹별 변수기여도를 분석한 결과 포유류의 산림형(FF)은 지형고도(dem, 36.23%), 오픈스페이스형(FO)는 토지피복(landcover, 33.6%)의 기여도가 가장 높았다. 양서파충류 중에서 산림형(AF)은 도로의 근접도 거리(road\_dist, 48.93%)의 기여도가 가장 높았으며, 산지계곡 의존형(AV)과 논/습지 의존

Table 3. Model evaluation and variable contribution

Group	AUC	MTSS	Variable contribution						
			dem	forest_dist	landcover	park_dist	river_dist	road_dist	slope
FF	0.84	0.49	36.23	15.98	5.63	3.66	10.05	16.29	12.15
FO	0.87	0.28	22.60	3.69	33.67	24.49	2.24	13.25	0.06
AF	0.86	0.66	2.32	5.31	24.18	9.54	9.53	48.93	0.19
AV	0.96	0.13	26.11	0.88	2.76	3.70	65.43	0.21	0.91
AW	0.94	0.21	9.34	5.58	33.58	0.22	46.60	4.39	0.29
BE	0.92	0.23	16.54	2.20	22.10	35.54	1.85	20.40	1.38
BF	0.86	0.40	1.86	5.56	24.26	36.03	3.65	27.26	1.38
BO	0.89	0.34	14.47	1.45	15.77	46.67	1.13	20.14	0.37
BR	1.00	0.36	3.06	0.02	37.77	1.71	43.20	0.94	13.30

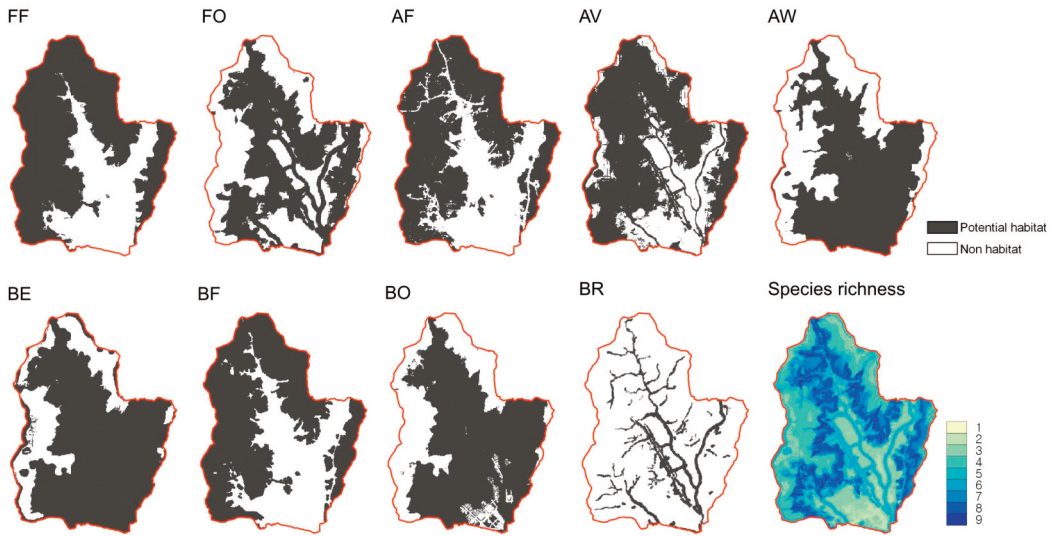


Figure 6. Map of potential habitats predicted by machine learning and species richness map of the summation of them (Refer to the Table 2 for name of the map).

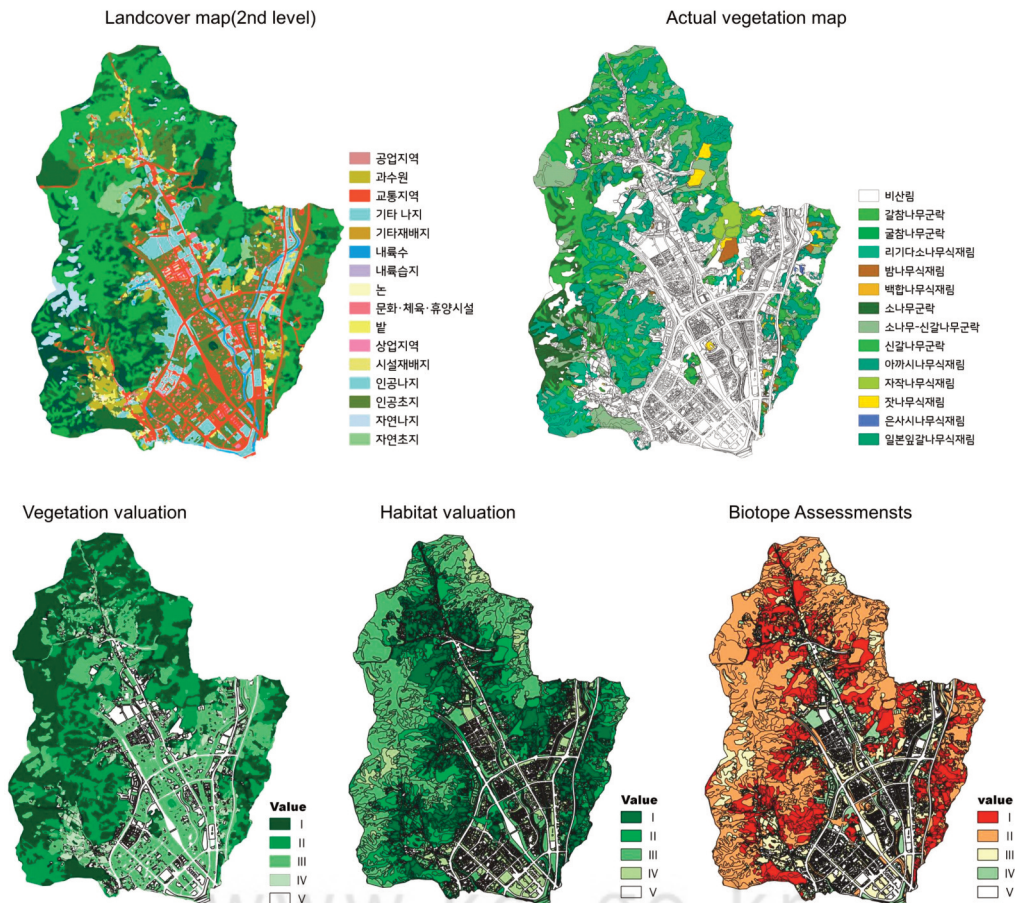


Figure 7. Assessments of biotope types that combine the vegetation valuation and the habitat valuation of fauna.

형(AW)은 하천 근접도 거리(river\_dist)가 각각 65.43%, 46.60%로 기여도가 높았다. 조류 중에서 하천의존형(BR)은 하천의 근접도거리(43.20%)의 기여도 높은 반면, 오픈스페이스형(BO), 산림형(BF), 임연형(BE) 모두 조성녹지의 근접도거리의 중요도가 가장 높았다(Table 3).

Figure 6은 각 서식그룹의 잠재서식지 예측결과를 MTSS기준의 이항형 지도로 변환한 결과이며 이항형 지도를 합산한 결과는 연구지역의 종풍부도로 정의할 수 있다(Figure 6의 Species richness). 종풍부도는 식생가치 평가와 합산하여 바이오톱 유형평가의 가중치로 사용하였다.

### 3. 동물서식지를 반영한 바이오톱 유형평가

연구방법론에서 기술한 바와 같이 바이오톱유형은 생태학적 가치와 상기 분석된 동물서식지정보를 이용한 가치합산으로 평가하였다. 식생학적 가치는 토지피복(Figure 7의 Landcover map)과 현존식생(Figure 7의 Actual vegetation map)를 고려하여 5단계로 구분하였다(Figure 7의 Vegetation valuation).

동물 서식지 가치평가는 육상동물 풍부도(Figure 6의 Species richness)의 값을 가치평가 기준의 5단계로 분할하였다(Figure 7의 Habitat valuation)

Figure 7의 biotope assessment는 본 연구방법론에서 기술한 바이오톱 유형평가 매트릭스로 산출된 최종 바이오톱 유형평가이며, 서론에서 기술한 바와 같이 육상동물의 포인트 정보를 잠재서식지 개념을 적용하여 폴리곤 정보로 변환하였고 이를 바이오톱 유형평가에 적용하였다. 만약 동물서식지 가치를 반영하기 않고 식생학적 가치만 유형평가에 활용했을 경우 최종 바이오톱 유형평가는 Figure 7의 Vegetation valuation 결과와 동일했을 것이다.

따라서 본 연구에서 제안한 방법론으로 육상동물 서식지 정보를 바이오톱 유형평가에 적용할 경우 기존의 식생, 토지피복 위주의 유형평가 방법론을 개선할 수 있을 것이다. 다만, 도시생태현황지도 작성 지역의 지리적, 식생학적 특이성, 지역 고유의 육상동물 분포 현황에 따라 잠재서식지 예측을 위한 변수, 그리고 이 연구에서 제안한 방법론을 위한 육상동물 조

사 체계가 구축된다면, 향후 갱신되는 도시생태현황 지도에 충분히 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

## IV. 결론 및 고찰

도시생태현황지도는 도시계획 및 생태계관리 뿐만 아니라 자연침해조정제도에 활용될 수 있다(Choi et al. 2017). 도시생태현황지도는 바이오톱 개념을 도입하여 평가하고 있으며, 국내에 최초 도입된 바이오톱 지도가 독일 베를린 모델 기반으로 식물사회학적(식생, 임상도 기반의 영급, 경급 등) 모델 또는 경관생태학적 모델에 편향되어 있었다(Kim 2012; Kim et al. 2015; Choi et al. 2017; Jung et al. 2019). 그러나 육상생태계는 입지조건에 적합한 식생이 정착한 공간에 다양한 육상동물, 담수동물, 심지어 세균, 진균 등의 미생물까지 어우러진 시스템이다(Jordano et al. 2003; Fortuna & Bascompte 2006; Bascompte & Jordano 2007; Vazquez et al. 2009).

실제 도시생태현황지도의 최종결과물을 보면 “바이오톱유형 평가도”와 “동식물상 주제도”로 구분될 수 있으며, 실제 용역에 투입되는 인력은 동식물상 현장조사 인력이 절반이상을 차지할 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 바이오톱 유형평가에 동식물상 현장조사 결과를 적용하는 것은 식생분야에 국한되어 있고 동물상 자료는 주제도 작성에 제한되어 있다. 동물상 주제도가 활용되어도 멸종위기종 등의 주요 보호종의 출현 바이오톱에 가중치를 부여하는 정도이다. 동물상 주제도는 포인트 정보이며, 육상동물 서식지를 공간 정보로 표현하려면 포인트가 아닌 폴리곤으로 분석되어야 한다(Haslett 1990). 왜냐하면 서식지는 점이 아닌 면이기 때문이다. 육상동물 출현현황에 대한 전수조사가 현실적으로 불가능하고 샘플링 조사에 의존하고 있기 때문에, 그 샘플링자료를 활용하여 각 바이오톱의 육상동물 서식지 가능성을 유형평가의 가중치로 활용할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 현실적 제한성을 통계적 추론방식인 머신러닝을 이용하여 서식지를 예측하는 방법론을 제시하였다. 또한 기존의 바이오톱 유형평가에의 기준이었던, 식생자연성, 토지이용과 더불어 육상동물

서식지 정보에 경관생태학적 정보를 적용함으로써 비오톱지도의 국내 연구 경향을 반영할 수 있다. 또한 본 연구 방법론은 동물 서식지 정보를 공간적으로 추론할 수 있기 때문에 멧돼지, 고라니 등의 유해야생동물의 서식지 정보를 추가적으로 분석할 수 있고 도시생태계 관리에 활용할 수 있을 것이다.

도시생태현황지도는 자연환경보전법에 따라 2021년까지 시 단위 지자체에서는 의무적으로 작성토록하고 있다. 학술적으로는 비오톱 유형평가에 대하여 다양한 이론이 제시되어 있으나, 실무적으로 체계화되지 않았으며, 기본적으로 도(道) 단위내에서 유형평가 방법이 기술적으로 적립될 필요가 있다(Kim & Jang 2019). 이러한 상황에서 국립생태원에서 충남도와 서울시의 사례로 제시한 메뉴얼이 비오톱 유형평가의 바이블로 정립될 우려가 있기 때문에 정부차원에서 2021년까지 작성된 도시생태현황지도에 대한 1차적인 고찰이 필요하며 학술적 지침보다 일반 용역사에서 수행할 수 있는 기술적 지침으로 재작성되고 이것을 용역사 대상으로 교육할 필요가 있다.

본 연구를 통해 많은 비용과 인력이 투입되는 동식물상 조사 자료가 비오톱 유형평가에 활용되지 않음을 인지하고, 향후 도시생태현황지도 작성지침에 본 연구 방법론이 개선되고 고도화되어 적극 반영되길 기대한다.

## References

- Allouche O, Tsoar A, Kadmon R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology* 43, 1223-1232.
- d'Amen M, Dubuis A, Fernandes RF, Pottier J, Pellissier L, Guisan A. 2015. Using species richness and functional traits predictions to constrain assemblage predictions from stacked species distribution models. *Journal of biogeography* 42, 1255-1266.
- Andersen MC, Watts JM, Freilich JE, Yool SR, Wakefield GI, McCauley JF, Fahnestock PB. 2000. Regression-tree modeling of desert tortoise habitat in the central Mojave Desert. *Ecological Applications* 10, 890-900.
- Andren H, Angelstam P. 1988. Elevated predation rates as an edge effect in habitat islands: experimental evidence. *Ecology* 69, 544-547.
- Araújo MB, New M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 22, 42-47.
- Attrill MJ, Rundle SD. 2002. Ecotone or ecocline: ecological boundaries in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(6), 929-936.
- Bascompte J, Jordano P. 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 38, 567-593.
- Bleyhl B, Sipko T, Trepel S, Bragina E, Leitao PJ, Radeloff VC, Kuemmerle T. 2015. Mapping seasonal European bison habitat in the Caucasus Mountains to identify potential reintroduction sites. *Biological Conservation* 191, 83-92.
- Breining DR, Provancha MJ, Smith RB. 1991. Mapping Florida scrub jay habitat for purposes of land-use management.
- Buckley LB, Urban MC, Angilletta MJ, Crozier LG, Rissler LJ, Sears MW. 2010. Can mechanism inform species' distribution models?. *Ecology letters* 13, 1041-1054.
- Chetkiewicz C-LB, St. Clair CC, Boyce MS. 2006. Corridors for Conservation: Integrating Pattern and Process. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37, 317-342.
- Choi IK, Ahn GY, Lee EH. 2007. A Comparative Study of Biotope Mapping between Korea and Germany. *Korean Journal of Environment*

- and Ecology 21, 565-575. [Korean Literature]
- Choi N, Kil J, Shin Y. 2017. Exploring the Application of Impact Mitigation Regulations through Biotope Maps. Ecology and Resilient Infrastructure 4, 237-244. [Korean Literature]
- Choi IK, Lee EH. 2007. A Study on the Classification of Biotope Type in Germany. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 35, 73-81. [Korean Literature]
- Choi IK, Oh CH, Ahn GY, Lee E-H. 2009. The suggestion for evaluation items and system for assessment of biotope. Korean Journal of Environment and Ecology 23, 594-602. [Korean Literature]
- Choi IK, Oh CH, Lee EH. 2008. The suggestion for classification of biotope type for nationwide application. Korean Journal of Environment and Ecology 22, 666-678. [Korean Literature]
- Coops NC, Catling PC. 1997. Predicting the complexity of habitat in forests from airborne videography for wildlife management. International Journal of Remote Sensing 18, 2677-2682.
- Distler T, Schuetz JG, Velasquez-Tibata J, Langham GM. 2015. Stacked species distribution models and macroecological models provide congruent projections of avian species richness under climate change. Journal of Biogeography 42, 976-988.
- Druon JN. 2010. Habitat mapping of the Atlantic bluefin tuna derived from satellite data: Its potential as a tool for the sustainable management of pelagic fisheries. Marine Policy 34, 293-297.
- Fortuna MA, Bascompte J. 2006. Habitat loss and the structure of plant-animal mutualistic networks. Ecology letters 9, 281-286.
- Franklin J, Steadman DW. 1991. The potential for conservation of Polynesian birds through habitat mapping and species translocation. Conservation Biology 5, 506-521.
- Graham CH, Moritz C, Williams SE. 2006. Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna. Proceedings of the National Academy of Sciences 103, 632-636.
- Hao T, Elith J, Guillera-Aroita G, Lahoz-Monfort JJ. 2019. A review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. Diversity and Distributions 25, 839-852.
- Haslett JR. 1990. Geographic information systems. A new approach to habitat definition and the study of distributions. Trends in Ecology & Evolution 5, 214-218.
- Jarvis PJ, Young CH. 2005. The mapping of urban habitat and its evaluation. Wolverhampton, University of Wolverhampton 19.
- Jordano P, Bascompte J, Olesen JM. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. Ecology letters 6, 69-81.
- Jung SH, Kim DU, Lim BS, Kim AR, Seol J, Lee CS. 2019. Classification, Analysis on Attributes and Sustainable Management Plan of Biotop Established in Pohang City. Korean Journal of Ecology and Environment 52, 245-265. [Korean Literature]
- Ki KS. 2011. Application of Green Recreation Opportunity Based on Biotope Evaluation of Rural Region in the Seoul Metropolitan Area, Korea: A Case of Yangpeong-Gun, Gyeonggi-Do. Dissertation for Ph.D. Thesis. University of Seoul. [Korean Literature]
- Kim HS. 2012. Classification Biotope Type and Evaluation Value of Individual Biotope: Landscape Ecological Approaches. Dissertation for Ph.D. Thesis. Dongguk University.

- [Korean Literature]
- Kim HS, Jang NR. 2019. Gyeonggi-do's Biotope Map Issues and Alternatives. Issue & Diagnosis, 1-26.[Korean Literature]
- Kim JS, Jung TJ, Hong SH. 2015. Biotope type classification based on the vegetation community in built-up area. Korean Journal of Environment and Ecology 29, 454-461.[Korean Literature]
- Liu C, White M, Newell G. 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. Journal of biogeography 40, 778-789.
- Magura T. 2002. Carabids and forest edge: spatial pattern and edge effect. Forest Ecology and management 157, 23-37.
- McComb WC, McGrath MT, Spies TA, Vesely D. 2002. Models for mapping potential habitat at landscape scales: an example using northern spotted owls. Forest Science 48, 203-216.
- Miyamoto A, Tamura N, Sugimura K, Yamada F. 2004. Predicting habitat distribution of the alien Formosan squirrel using logistic regression model. Global environmental research-english edition- 8, 13-22.
- Mykra H, Aroviita J, Kotanen J, Hamalainen H, Muotka T. 2008. Predicting the stream macroinvertebrate fauna across regional scales: influence of geographical extent on model performance. Journal of the North American Benthological Society 27, 705-716.
- Naimi B, Araújo MB. 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. Ecography 39, 368-375.
- National law information center. 2019. Guidelines on urban ecological maps. URL <http://www.law.go.kr/LSW/admRulsInfoP.do?admRulSeq=2100000176310>. [Korean Literature]
- Oh JH, Cho JH, Cho HJ, Choi MS, Kwon J. 2008. A Study on the Biotope Evaluation and Classification of Urban Forests for Landscape Ecological Management. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 11, 101-111. [Korean Literature]
- Pereira J, Itami R. 1991. GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression- A study of the Mt. Graham red squirrel. Photogrammetric engineering and remote sensing 57, 1475-1486.
- Pineda E, Lobo JM. 2009. Assessing the accuracy of species distribution models to predict amphibian species richness patterns. Journal of Animal Ecology 78, 182-190.
- QGIS org. 2020. QGIS geographic information system. Open Source Geospatial Foundation Project. from <http://qgis.org/>.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raes N, Roos MC, Slik JF, Van Loon EE and Steege H ter. 2009. Botanical richness and endemism patterns of Borneo derived from species distribution models. Ecography 32, 180-192.
- Randin CF, Dirnbock T, Dullinger S, Zimmermann NE, Zappa M, Guisan A. 2006. Are niche-based species distribution models transferable in space? Journal of biogeography 33, 1689-1703.
- Sukopp H, Weiler S. 1988. Biotope mapping and nature conservation strategies in urban areas of the Federal Republic of Germany. Landscape and urban planning 15, 39-58.
- Vazquez DP, Bluthgen N, Cagnolo L, Chacoff NP. 2009. Uniting pattern and process in

- plant-animal mutualistic networks: a review. *Annals of botany* 103, 1445-1457.
- Wintle BA, Elith J, Potts JM. 2005. Fauna habitat modelling and mapping: a review and case study in the Lower Hunter Central Coast region of NSW. *Austral Ecology* 30, 719-738.
- Wright JF. 1995. Development and use of a system for predicting the macroinvertebrate fauna in flowing waters. *Australian Journal of Ecology* 20, 181-197.
- Yahner RH. 1988. Changes in wildlife communities near edges. *Conservation biology* 2, 333-339.
- Zhang C, Ma Y (Eds.). 2012. *Ensemble machine learning: methods and applications*. Springer Science & Business Media.
- Zimmermann NE, Edwards TC, Graham CH, Pearman PB, Svenning JC. 2010. New trends in species distribution modelling. *Ecography* 33, 985-989.