한국환경생태학회지 35(2): 193-203, 2021
Korean J. Environ. Ecol. 35(2): 193-203, April 2021
ISSN 1229-3857(Print) ISSN 2288-131X(Online)
https://doi.org/10.13047/KJEE.2021.35.2.193

개발영향과 멸종위기종의 서식적합성을 고려한 보전 우선순위 선정[1]

모용원[2*]

Spatial Conservation Prioritization Considering Development Impacts and Habitat Suitability of Endangered Species[1]

Yongwon Mo[2*]

요 약

인간의 개발로 점차 멸종위기 생물종이 증가하고 있어, 충분한 보호지역의 선제적 확보가 중요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 인간의 개발영향을 고려했을 때 앞으로 보호지역 선정 시 고려해야 할 보전 우선순위지역을 확인하였다. 보전 우선순위 도출은 보전계획 의사결정 지원 소프트웨어인 MARXAN을 이용하여 기존 보호지역 포함 여부와 개발영향 반영여부를 기준으로 총 네 가지의 시나리오로 분석하였다. 개발영향은 개발면적 비율, 인구밀도, 도로망 체계, 교통량을 이용하여 도출하였으며, 생물종 보전 대상 지역은 제 3차 전국자연환경조사 자료의 조류, 포유류, 양서파충류의 출현자료를 이용하여 도출한 서식적합지역을 이용하였다. 이 두 가지 요인을 입력 자료로 기계학습 기반 최적화방법론을 이용하여 보전 우선순위 지역을 도출하였다. 연구결과, 멸종위기 생물종을 보전하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대되는 지역이 기존 보호지역과 떨어진 지역에서 다수 나타났으며, 개발영향을 고려했을 때는 보전우선순위 지역이 파편화되어 나타남을 알 수 있었다. 개발영향과 기존보호지역을 모두 고려했을 때에도 기존 보호지역 주변으로 이미 도로개발이 많이 이뤄져 기존 보호지역과는 떨어진 지역에서 우선순위가 높게 나타났다. 따라서 개발영향을 고려하여 멸종위기종 보호하기 위해서는 기존 보호지역 주변 이외의 지역도 검토해볼 필요가 있으며, 파편화되어 나타나는 보전 우선순위지역에 대한 대응방안 모색이 필요함을 알 수 있었다.

주요어: 인간의 영향, 멸종위기종, 보호지역, MARXAN, **체계적인 보전계획**

ABSTRACT

As endangered species are gradually increasing due to land development by humans, it is essential to secure sufficient protected areas (PAs) proactively. Therefore, this study checked priority conservation areas to select candidate PAs when considering the impact of land development. We determined the conservation priorities by analyzing four scenarios based on existing conservation areas and reflecting the development impact using MARXAN, the decision-making support software for the conservation plan. The development impact was derived using the developed area ratio, population density, road network system, and traffic volume. The conservation areas of endangered species were derived using the data of the appearance points of birds, mammals, and herptiles from the 3rd National Ecosystem Survey. These two factors were used as input data

1 접수 2020년 12월 21일, 수정 (1차: 2021년 3월 19일), 게재확정 2021년 3월 23일
Received 21 December 2020; Revised (1st: 19 March 2021); Accepted 23 March 2021
2 영남대학교 산림자원 및 조경학과 교수 Dept. of Forest resources and Landscape architecture, Yeungnam Univ., Gyeongsan 38541, Korea (csmo12@yu.ac.kr)
* 교신저자 Corresponding author: csmo12@yu.ac.kr

to map conservation priority areas with the machine learning-based optimization methodology. The result identified many non-PAs areas that were expected to play an important role conserving endangered species. When considering the land development impact, it was found that the areas with priority for conservation were fragmented. Even when both the development impact and existing PAs were considered, the priority was higher in areas from the current PAs because many road developments had already been completed around the current PAs. Therefore, it is necessary to consider areas other than the current PAs to protect endangered species and seek alternative measures to fragmented conservation priority areas.

KEY WORDS: ANTHROPOGENIC DISTURBANCE, THREATENED SPECIES, PROTECTED AREA, MARXAN, SYSTEMATIC CONSERVATION PLANNING

서 론

인간의 개발로 인하여 전례가 없는 생물다양성 감소가 발생하고 있다. 보호지역은 감소하고 있는 생물종들을 보호하는 가장 직접적인 수단으로, 생물다양성 감소를 막기 위해서는 충분한 보호지역(Protected Areas, PAs) 확보가 중요하다(Naoe et al., 2015; Hong et al., 2017). 보호지역의 면적을 최대한 확보하는 것이 생물다양성 감소를 막는 가장 효과적인 방법이겠지만, 제한된 예산 그리고 개발계획과 같은 다양한 제한요인으로 인하여 모든 지역을 보호하는 것은 쉽지 않다. 따라서 생물다양성 보전에 보다 중요한 생물종의 서식지를 찾고, 인간의 개발의 영향을 고려한 보전 우선순위 선정이 필요하다.

체계적인 보전계획은 이러한 보호지역 선정에 영향을 주는 다양한 요인을 고려함으로써 효율적으로 보전 우선순위 지역을 찾을 수 있는 방법이다. 현재까지 MARXAN, Zonation, C-Plan 등 체계적인 보전 계획을 위해 다양한 보전 우선순위 소프트웨어가 개발되어왔다(Pouzols and Moilanen, 2014). 체계적인 보전계획은 정량적인 보전목표 설정과 경제 개발, 예산, 개발영향 등 현실적인 상황을 반영하여 목표를 이룰 수 있는 보전 우선순위를 제시할 수 있다. 만약 이 두 요소가 적절하게 고려되지 못한다면 보전목표를 달성하는데 토지이용 간 충돌을 야기하며, 효율적인 보전목표가 어려울 수 있다(Wu et al., 2014).

정량적인 보전목표를 도출하는 방법은 직접적인 생물종 조사를 통해 생물유전자원으로서 개체군을 유지할 수 있는 일정 수준의 개체수로 설정하거나 생물종 분포 정보가 부족한 지역에서는 종분포 모델(Species Distribution Models, SDMs)를 이용하여 서식적합지역 면적의 일정 비율로 설정하고 있다(Lessmann et al., 2014;Naoe et al., 2015;Dunn et al., 2016). 각 생물종별 IUCN 멸종위기 등급에 따라 보전목표를 달리함으로써 보전중요도가 높은 종은 더 높은 보전목표를 설정하기도 한다(Arponen et al., 2005;Farjardo et al., 2014).

우리나라 보호지역의 경우 정량적인 목표를 설정하고 보호지역을 지정하는 체계가 아니기 때문에, 기 설정된 보호지역에 대해서 과학적인 근거가 부족한 실정이다(Kim, 2012). 우리나라의 경우 다양한 보호지역이 존재하고 있으나, 멸종위기종과 같이 구체적인 목적을 가진 보호지역은 생물종 관점에서는 야생생물 보호구역, 생태계 관점에서는 습지보호지역만 해당 된다. 특히, 야생생물 보호구역은 총 395개의 보호지역이 평균 면적 2.3㎢으로 파편화되어 선정이 되어 있어(Ministry of Environment, 2018), 멸종위기종을 보호하는데 실효성이 있을지 불분명하다. 또한 멸종위기종 서식분포에 대해 전국자연환경조사와 같이 출현지점 정보만 제공될 뿐 서식지에 대한 면적인 정보가 부족하여 보호지역과 같은 면적인 보전계획을 수립하는데 근거자료로 활용되기 어려운 점이 있다.

보전 우선순위를 선정하는데 현실을 반영하기 위한 방법으로 인간의 활동, 개발 등의 영향을 반영하는 연구들이 진행되고 있다(Theobald et al., 2012; Naoe et al., 2015). 우리나라의 경우에도 급속한 경제개발로 인하여 산림의 파편화, 서식지 파괴 등 개발압력이 크다. 따라서 개발영향도 함께 고려되어야 보호지역의 실효성을 높일 수 있을 것이다. 현재까지 인간의 개발로 인한 영향을 확인하기 위하여 “야생성(Wildness)”이나 “인간발자국(Human footprint)”과 같은 지수가 개발되기도 하였다(Fajardo et al., 2014; Wu et al., 2014). 그리고 개발영향을 나타내는 지수들을 도출하기 위한 변수로 개발면적, 인구밀도, 인구총생산, 도로밀도, 교통량 등 개발 또는 인간의 활동 정도와 관련된 변수들이 이용되고 있다(Theobald, 2010).

따라서 본 연구는 제 3차 전국자연환경조사 자료 내 멸종위기종의 출현정보로 종분포 모형을 통해서 서식적합지역을 도출하여 정량적인 보전목표를 수립하고, 인간의 개발영향 변수를 이용한 개발영향을 함께 고려했을 때의 보전 우선순위가 높은 지역을 찾고자 한다. 구체적으로 정량적인 보전목표의 타당성을 확인하기 위하여 기존 보호지역을 전제하지 않고 보전 우선순위를 선정한 결과와 기존 보호지역을 전제하고 도출한 보전

우선순위 지역 간의 Gap분석을 하고자한다. 그리고 정량적인 보전목표와 개발영향을 함께 반영했을 때의 보전 우선순위지역을 확인하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 대한민국 중부지역의 충청북도, 세종특별자치시, 대전광역시 일대이다. 이 지역은 우리나라의 위도상 중간지역에 해당되며, 백두대간 보호지역을 관통하는 고속도로가 가장 많은 지역이다. 이 지역에 기존 보호지역의 특징은 백두대간 보호지역 일부와 야생생물보호구역 1곳을 제외하고는 모두 작은 규모의 보호지역들만이 지정이 되어있다는 점이다. 또한 세종특별자치시의 개발압력이 주변지역으로 미칠 가능성이 큰 지역으로 개발과 보전을 함께 고려하는 게 중요한 지역이다(Lee and Lim, 2014). 생물다양성 협약(Convention on Biological Diversity)에서는 보호지역을 육상, 해양으로 나누어 기준을 정하고, 역할을 기대하고 있다. 본 지역은 광역지자체 중 유일하게 바다를 포함하지 않는 지역으로 육상보호지역을 연구하는데 적절하다고 볼 수 있다.

보전계획 수립을 위한 계획단위(Planning unit)는 대상지역의 규모 또는 입력 자료에 따라 다르게 적용될 수 있다. 본 연구에서는 입력 자료의 공간해상도를 고려하여 1㎢ 격자를 계획단위로 설정하여 보전 우선순위 분석을 실시하였다(Mo et al., 2013).

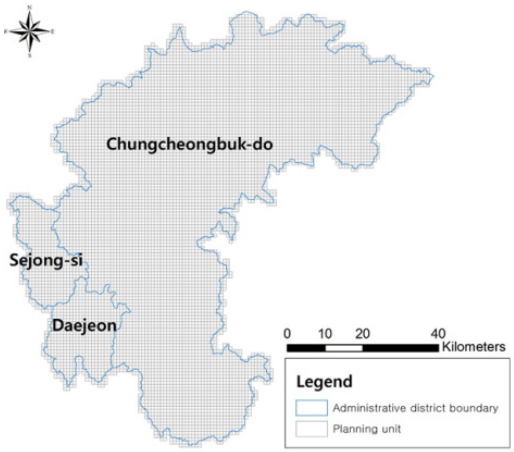


Figure 1. Study site

2. 개발영향

보호지역 선정에 있어 개발영향, 인간 발자국(Human footprint), 인간에 의한 교란(Human Disturbance) 등은 현실적인 실현가능성이 높은 보전계획을 수립하는데 도움이 된다(Lessmann et al., 2014; Wu et al., 2014). 개발영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 개발면적 비율, 인구밀도, 도로망 체계, 교통량 영향을 이용하였다(Theobald et al., 2012). 이들 요소에 의한 영향 정도를 평가하는 구체적인 방법론은 Theobald(2010)을 주로 참고하였다(Eq. 1).

$$H = \max(c, h, r, t) \qquad \text{Eq.(1)}$$

c는 개발면적 비율, h는 인구밀도, r은 도로등급에 따른 물리적 영향, t는 교통량에 따른 영향의 정도를 나타낸다. 모든 변수들은 0-1로 표준화하여 최댓값을 도출하였다.

개발면적 비율(c)은 환경부(2009)에서 제공하는 5m 해상도(1:5000)의 중분류 토지피복도 중 개발이 되어 야생동물에 부정적인 영향을 끼치는 시가화 지역, 하우스, 기타초지, 골프초지, 기타나지를 개발지역으로 구분하고, 계획단위 내 개발지역 면적 비율을 0-1로 도출하였다(Theobald et al., 2012). 인구밀도(h)는 국토지리정보원(2015) 오픈정보 플랫폼에서 제공하는 1km 격자단위의 인구밀도 자료를 이용하였다. 이때, 격자단위로 인구밀도를 구할 때, 동시에 서로 인접한 격자 두 개에 포함된 경우에는 건물면적 비율을 가지고 인구수를 구분하였다고 한다. 인구밀도는 우리나라 전체 평균 인구밀도인 503명/㎢을 기준으로 503명보다 크면 1.0, 작으면 0-1의 값을 갖도록 하였다. 연구대상지의 인구밀도는 2014년 기준으로 대전광역시가 2,866명/㎢, 세종특별자치시가 288.4명/㎢, 그리고 충청북도가 210명/㎢이다(Statistics Korea Homepage).

도로에 의한 물리적 영향은 도로의 개발로 인한 직접적인 영향을 고려하기 위하여, 각 계획단위별로 포함하고 있는 도로등급에 따라 0-1값을 산출하였다. 고속도로를 포함하고 있는 계획단위는 1.0, 일반국도는 0.5, 국지도 및 지방도는 0.3으로 정하였다(Theobald, 2010). 도로망지도는 국가교통정보센터에서 제공하고 있는 고속국도 등급부터 시군구 등급까지의 체계를 가진 전국도로망체계를 이용하였다. 도로에 의한 직접적인 영향뿐만 아니라 도로를 이용하는 정도도 생물종에 미치는 주요한 인위적 영향중 하나이다(Alexander et al., 2005). 따라서 교통량의 정도에 따른 주변 영향을 평가하였다(Jaeger et al., 2005). 교통량 자료는 고속국도, 일반국도, 국가지원도, 지방도 384개 지점(2014년 기준)에서 상시 또는 수시 조사된 자료 중 연평균 차량 통행량(Annual Average Daily Traffic: AADT)을 이용하였다. 그리고 교통량에 의한 영향은 도로로부터 1km 거리까지 Kernel density를 이용한 내삽을 하였다

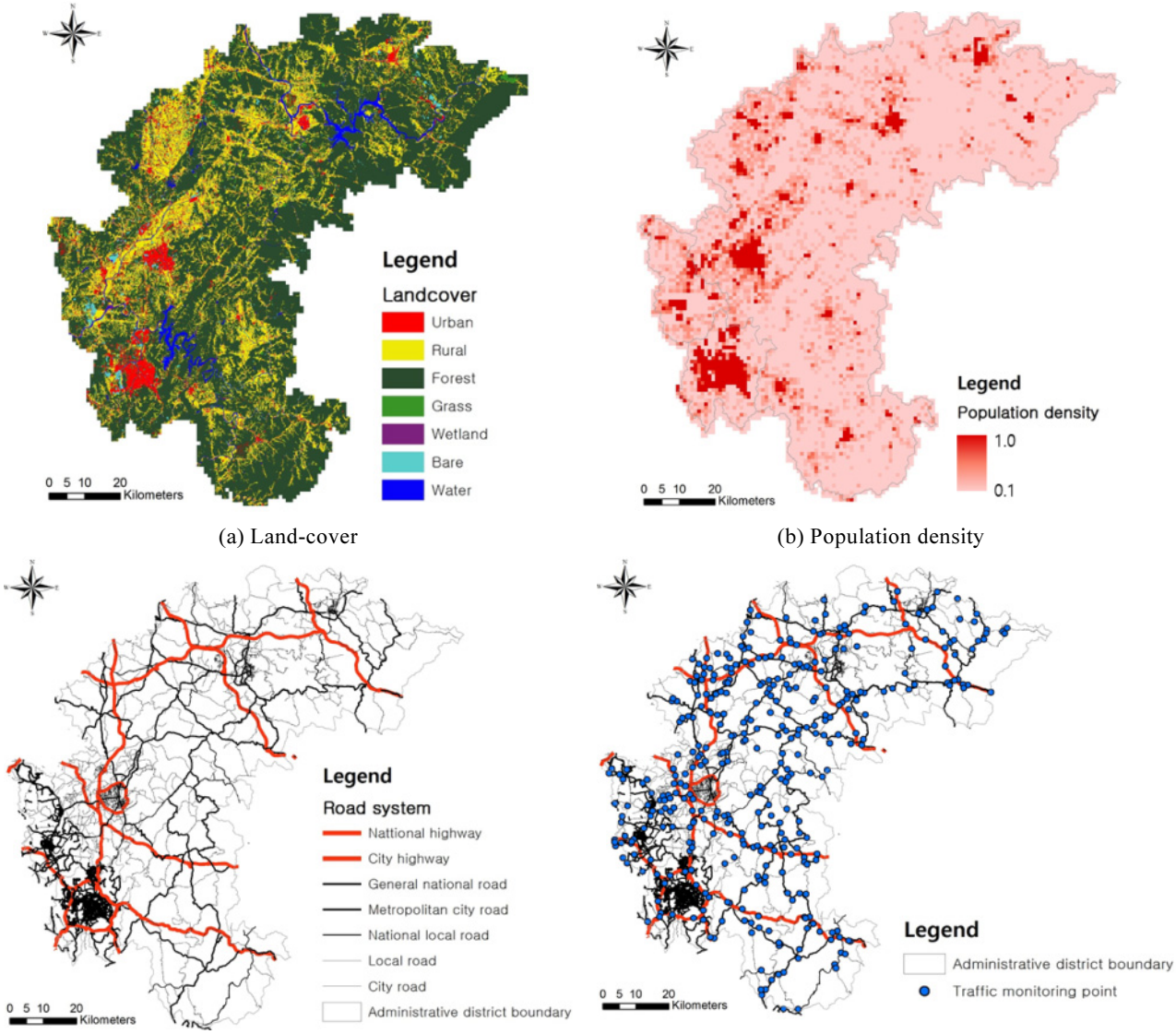
(Forman and Alexander, 1998). 거리에 따른 교통량 영향의 감소를 도출한 식은 (Eq. 2)와 같다. 예를 들어, AADT가 10,000보다 크면 t는 1.0의 값을 가지고, 100이면 0.1의 값을 가지게 된다.

$$t = \min(\sqrt{s} * 0.01, 1.0) \qquad \text{Eq.(2)}$$

3. 보전목표 설정

보전목표 설정을 위하여 전국을 1:25,000 도엽크기의 격자로 나누어 균등한 강도로 생물종 조사를 실시한 제 3차 전국자연환경조사자료(2006-2012) 중 포유류, 조류, 양서류, 파충류의 멸종위기종 출현자료를 이용하였다(Ministry of Environment, 2014). 이 지역에서 출현한 종은 새매, 붉은배새매, 단비, 수달, 산양 등 총 28종이다. 그러나 생물종 별로 출현조사 지점의 수가 많고, 적음에 따라서 보전대상을 설정하는데 다른 가정이 필요하다.

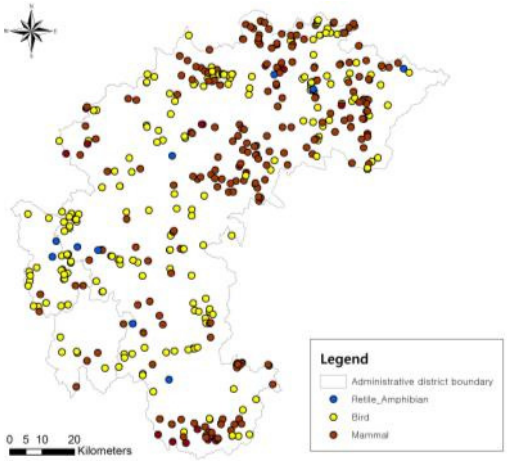
본 연구에서는 종분포 모형인 Maximum Entropy Model (MaxEnt 3.3.3k)를 이용하여 멸종위기종의 서식적합지역을 도출하였다. 다만, 15개 지점 미만의 출현지점을 나타내는 조류 13종, 포유류 2종, 양서파충류 4종의 경우에는 통계적으로 분석이 어려워 출현지점이 포함된 모든 계획단위를 보전대상으



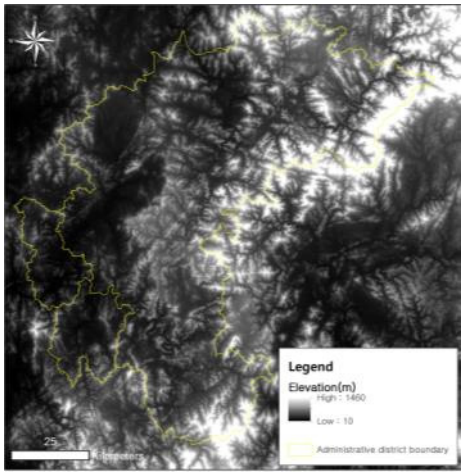
(a) Land-cover (b) Population density

(c) Road system (d) Traffic information

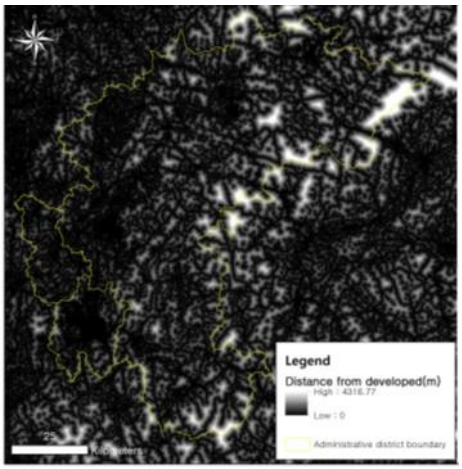
Figure 2. Variables for calculating the development impacts



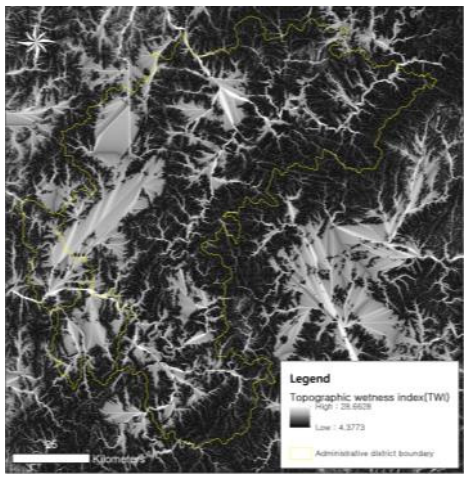
(a) Species Occurrences



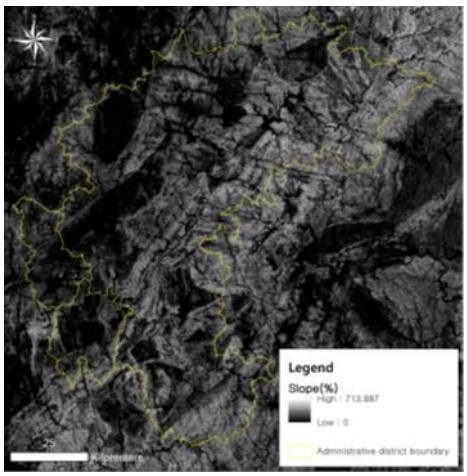
(b) Elevation



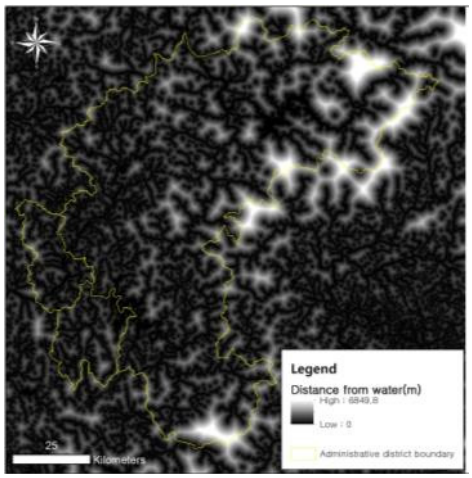
(c) Distance from the developed areas



(d) Topographic Wetness Index



(e) Slope



(f) Distance from water

Figure 3. Species Occurrence Points (a) and Environmental Variables ((b)-(f)) used in mapping the habitat suitability.

Table 1. Home range and movement of the endangered species that were observed at the over 15 points in the study site

Taxon	Korean Name	Scientific Name	Home range	References
Avian	참매	Accipiter gentilis	863ha	Rutz, 2006
			2,674ha	Boal et al., 2001
			2,498ha	
	새매	Accipiter nisus	9.2㎢	Selas and Rafoss, 1999
			12.3㎢	
	붉은배새매	Accipiter soloensis	4.62ha	Choi et al., 2012
			22.57ha	
	새호리기	Falco subbuteo	16.6㎢	Clements and Everett, 2012
	흰목물떼새	Charadrius placidus	600㎡	Thai National Park, 2020
Mammal	담비	Martes flavigula	7.2㎢	Grassman et al., 2005
			22.3-59.1㎢	NIER, 2012
	삵	Prionailurus bengalensis	13.2㎢	Grassman et al., 2005
			0.3-15㎢	Oh et al., 2010
	수달	Lutra lutra	38.5㎢	Erlinge, 1967
	하늘 다람쥐	Pteromys volans	59.9ha	Hanski et al., 2000
			8.3ha	Selonen et al., 2012

로 설정하였고, 15개 지점 이상 출현정보를 가진 조류 5종, 포유류 4종(Table. 1)을 대상으로 MaxEnt를 이용하여 서식적합성을 도출하였다. 서식적합성 산출계산에 이용된 환경변수에는 고도, 경사, 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI)와 개발지로부터 거리, 수계로부터의 거리가 있다. 그리고 MaxEnt로 도출된 결과에서 서식적합성이 높은 지역을 대상으로, 서식범위 및 이동거리와 관련한 선행연구를 참고하여(Table. 1), 서식범위 면적 이상의 지역을 서식적합지역으로 설정하였다.

4. 보전 우선순위 지역 도출

본 연구에서는 추가 보호가 필요한 지역을 찾기 위하여, 상대적인 보전 우선순위를 선정하였다. 이 때 MARXAN(v.2.0.2)를 이용하여 우선순위를 정하였다. MARXAN은 보전목표를 적절하게 달성하기 위하여 비용 효과적으로 해결하기 위한 최적해를 찾기 위해 모의담금질기법(Simulated Annealing, SA)이라는 기계학습기반 최적화 방법론을 적용하여 개발된 소프트웨어이다(Ardon et al., 2010). 보전이 필요한 모든 특성 또는 생물종들이 보호될 수 있도록, 15개 지점미만 출현한 종은 모두 보전이 될 수 있도록 하고, 15개 지점이상 출현한 종은 도출된 서식적합지역 중 30%의 면적이 보전이 되도록 목표를 설정하였다. 30% 보전목표는 Lessmann et al.(2014)에서 설정한 멸종위기동식물과 같이 우선순위가 높은 생물종의 보전목표를 차용하였다.

보전 우선순위를 도출하는 시나리오는 총 네 가지로 설정하였다. 기존 보호지역 포함 여부와 개발영향 반영여부, 이 두 가지 기준을 가지고 시나리오를 구분하였다. MARXAN을 구동하기 전에 반드시 기존 보호지역을 포함한 계획단위를 'lock-in' 설정을 통해서 우선순위 분석에서 반드시 보전이 되도록 설정할 수 있다(Adron et al., 2010). 따라서 기존 보호지역 포함여부에 따라 보전 우선순위 지역이 다르게 나타나는지 또는 포함하지 않았을 때 기존 보호지역이 보전 우선순위가 높은지 확인해 볼 수가 있다. 개발영향은 생물종 보호에 중요성만으로 추가 보호지역을 찾는 것과 실제 개발영향을 반영했을 때의 차이를 확인할 수 있다.

구체적인 MARXAN의 설정에 관해서는, MARXAN은 모의담금질 기법이라는 최적화 방법론을 사용하는데, 총 1,000,000번 모델링하여 가장 좋은 해를 도출해낸다. 또한 본 연구에서는 이 작업을 100번 반복하여 더 좋은 해를 찾을 수 있도록 하였다. 기계학습 방법은 정답이 아닌 최적해를 찾기 때문에 반복함으로써 더 좋은 해를 찾을 수 있는 가능성이 높아질 수 있다(Lessmann et al., 2014). 100번 실행한 결과를 중첩하여 가장 많은 횟수로 선택된 지역이 상대적으로 보전 우선순위가 높다고 판단할 수도 있으며, 이 지역은 다른 지역을 보전함으로써 대체 보전하기 어려운 중요한 지역이라는 특성을 가졌다고도 볼 수 있다. MARXAN을 통해 도출되는 결과의 응집도를 조절하기 위하여 경계거리 조절 변수(Boundary

Length Modifier, BLM)를 0.01로 설정하였다(Lessmann et al., 2014). MARXAN의 목적함수는 (Eq. 3)과 같다.

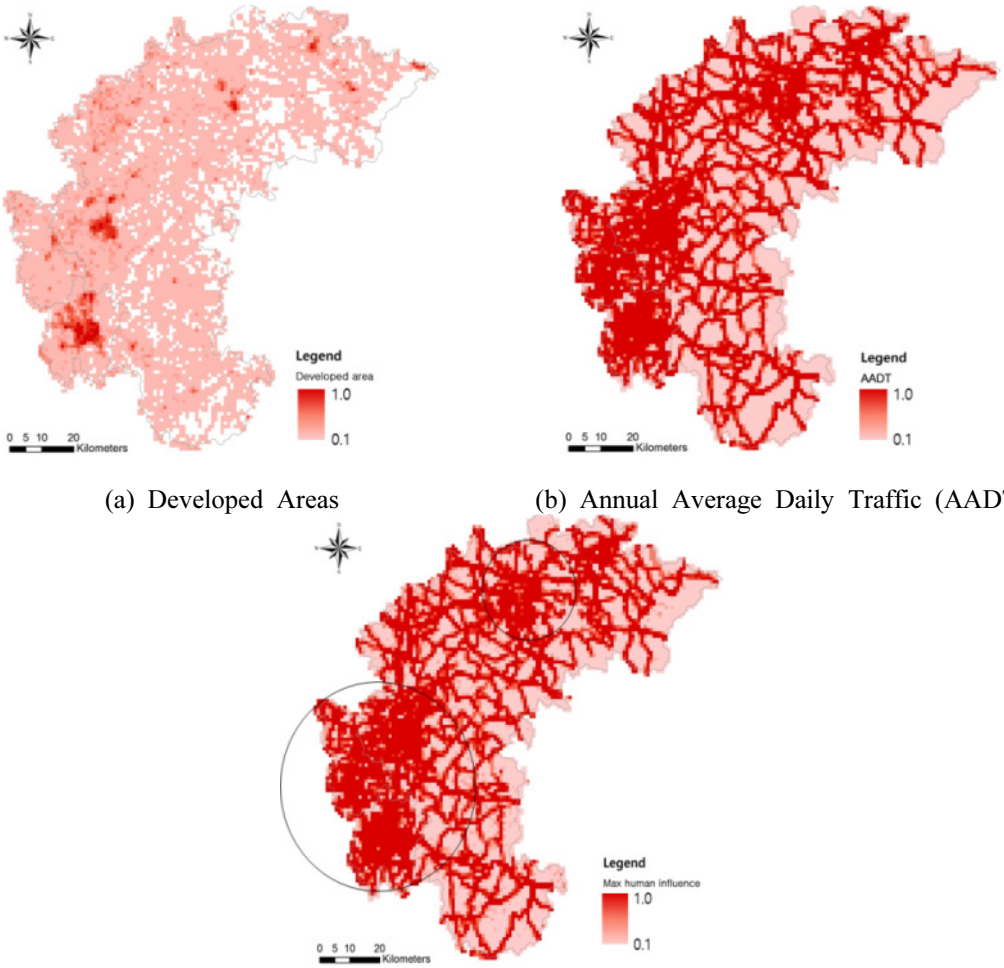
$$\sum_{PUs} Cost + BLM \sum_{PUs} Boundary + \sum_{PUs} SPF \times Penalty \quad \text{Eq.(3)}$$

연구결과

1. 개발영향

개발영향은 개발면적 비율, 인구밀도, 도로등급, 연평균교통량을 이용하여 살펴보았다. 개발면적은 인구밀도가 높게 나타난 대전광역시과 청주시 지역이 높은 값을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 4(a)). 연평균 교통량의 경우에는 대전광역시와 세종시가 위치한 서쪽에서 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4(b)). 이를 종합하여 도출된 개발영향 도면 결과를 해석하면, 개발영향이 낮은 지역이 자연성이 더 큰 지역으로 보호할 가치가 더 있다고 생각할 수 있을 것이다.

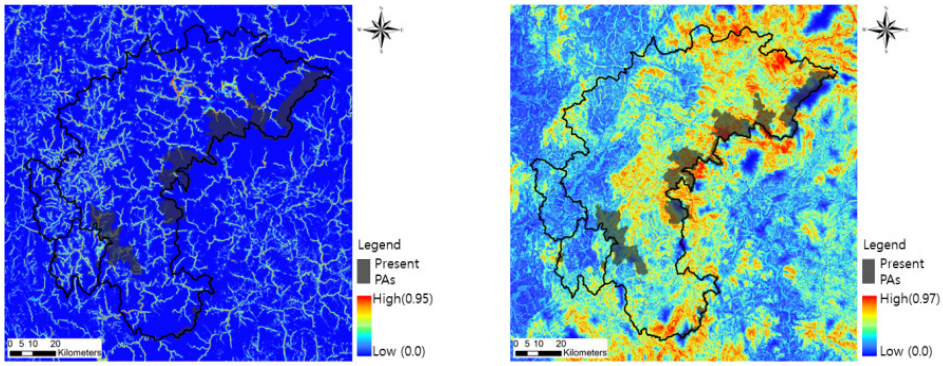
최종 결과인 개발영향 도면(Development Impacts)을 보면 교통에 의한 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 실제로 도로는 생물종의 서식지를 단절시키는 주요 요인으로 그 영향이 물리적인 단절도 있으며, 차량이동으로 이한 소음, 대기오염, 진동 등 다양한 영향을 끼친다(Jaeger et al., 2005). 따라서 보호지역을 선정할 때, 주요한 고려요소로 판단할 필요가 있다.



(a) Developed Areas (b) Annual Average Daily Traffic (AADT)

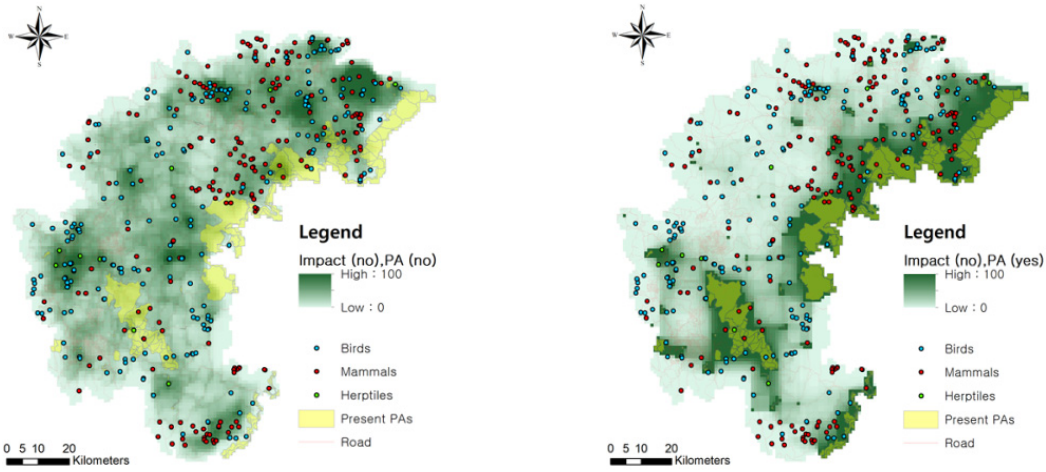
(c) Development Impacts

Figure 4. Variables for calculating the development impacts (a, b) and the development impacts (Max human influence) (c)

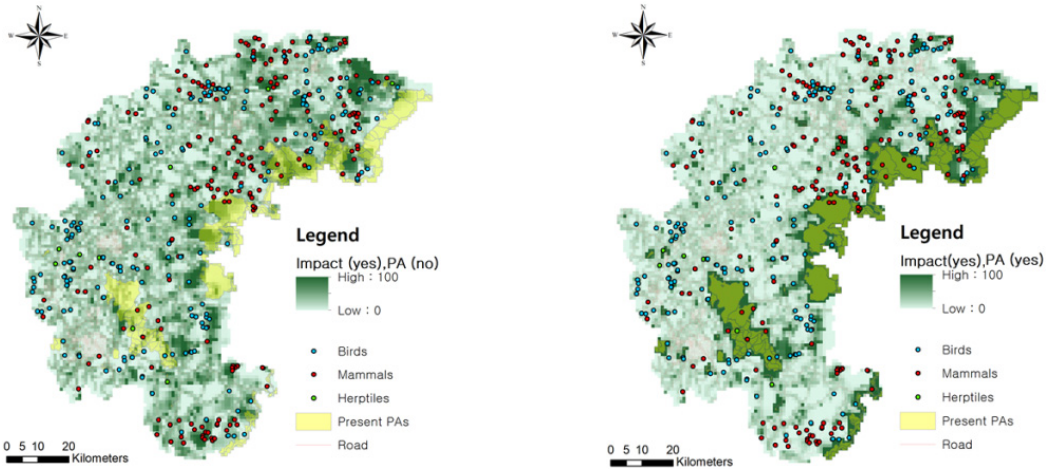


(a) *Charadrius placidus* (b) *Pteromys volans*

Figure 5. Habitat suitability maps of (a) *Charadrius placidus* and (b) *Pteromys volans*



(a) Not consider both of development impacts and the present PAs (b) No development impacts and consider the present PAs



(c) Consider development impacts and not consider the present PAs (d) Consider both of development impacts and the present PAs

Figure 6. Conservation priorities considering the development impacts and the present protected areas

2. 개발영향과 서식적합성을 고려한 보전 우선순위 선정

우선 서식적합성을 도출한 조류 5종, 포유류 4종의 결과는 AUC(Area Under Curve)값과 ROC(Receiver Operating Characteristic)를 통하여 모형의 신뢰도를 확인하였고, 대부분 0.8이상의 정확도를 보여 본 연구의 결과로 활용하였다. 흰목물떼새와 같이 서식특성이 분명한 생물종은 상대적으로 정확도가 높게 나타났다. 흰목물떼새의 서식적합지역은 주로 토지피복 중 하천, 저수지 등지로 나타났다(Fig. 5(a)).

본 연구에서는 MaxEnt에서 제시하는 출현/비출현의 기준이 되는 임계값 중 Maximum training sensitivity plus specificity값을 기준으로, 출현이 가능할 것으로 예상되는 지역만 추출하여 서식범위를 적용하였다. 연구결과 하천의 자갈밭이나 하중도에 서식하는 것으로 알려진 흰목물떼새(*Charadrius placidus*, Kim et al., 2009)와 큰 하천 주변에 서식하는 수달(*Lutra lutra*, Kim et al., 2015)과 같이 서식지의 특성이 분명한 생물종의 경우에는 상대적으로 서식범위 이상의 패치개수가 적게 나타났다. 상대적으로 좁은 서식범위와 다양한 환경에서 서식할 수 있는 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)의 경우에는 서식적합성이 높은 지역이 많아, 서식범위 이상의 패치를 이룬 지역들이 다수 도출 되었다(Fig. 5(b)).

서식적합성 평가는 모든 생물종에 대하여 종 출현/비출현 조사, 모니터링 조사 등이 시간, 비용문제로 인하여 제한이 있기 때문에, 보전계획을 수립하는데 유용한 방법이다(Fajardo et al., 2014). 다양한 분류군을 대상으로 한 서식적합성이 공통으로 높게 나타난 지역은 보전할 필요가 상대적으로 높은 지역으로 판단할 수가 있다(Lessmanne et al., 2014). 하지만 출현지점의 수나 위치에 따라 편의(Biased) 된 자료가 될 가능성이 크므로, 이를 고려할 필요가 있다(Fourcade et al., 2014).

개발영향과 기존 보호지역을 고려하거나 고려하지 않은 네 가지 시나리오 연구결과를 살펴보면, 첫 번째, 개발영향을 고려하지 않은 결과, Fig. 6(a)와 6(b)를 비교하면 멸종위기 생물종을 대상으로 보호가 필요한 지역의 우선순위를 매겼을 때, 보호지역 내 일부지역은 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으나, 우선수위가 낮은 지역들도 다수 나타났다. 이는 제 3차 전국자연환경조사 자료가 국립공원지역을 제외하고 조사를 실시한 이유가 작용된 것도 있다. 그러나 기존 보호지역 외의 지역에서도 많은 멸종위기종이 나타나고 있다는 것은 보호지역이 아닌 지역에 대해서도 보전 필요성에 대해서 재고할 필요가 있음을 주장할 수가 있다. 또한 포유류와 양서파충류 출현지점의 경우에 도로와 밀접한 지역에서 출현한 경우가 많은데, 이는 조사과정에서 도로주변으로 조사함에 의한 영향으로 판단된다. 많은 생물종 조사 자료들이 이와 같은 편의를 가지고 있어, 해석시 주의할 필요가 있다(Fourcade et al., 2014).

두 번째, 기존보호지역을 고려하지 않으면서, 개발영향을 고려하거나 고려하지 않은 Fig. 6(c)와 6(a)를 비교하면, 개발영향을 고려했을 때, 기존 보호지역에 상관없이 보전 우선순위가 높은 지역을 알 수 있다. Fig. 6(c)를 보면, Fig. 6(a)에 비하여 기존 보호지역의 중요성이 더 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 기존 보호지역이 상대적으로 개발영향이 적기 때문으로 판단된다. 그리고 Fig. 6(a)에서는 생물종 출현지점들이 밀집되어 있는 지역을 중심으로 보전 우선순위가 높은 지역들이 다소 큰 패치를 이루며 나타나고 있으나, 개발영향을 고려하게 되면 기존 보호지역 주변 외에는 보전 우선순위가 높은 지역들이 매우 산발적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 개발영향이 전체 대상지에서 많은 면적을 차지하고 있기 때문에 개발영향이 낮으면서 멸종위기종 보호가 필요한 지역은 큰 패치를 이루기가 어렵기 때문이다. 본 연구결과를 통하여 인간의 개발영향을 고려한다면, 보호지역을 확대할 때, 파편화에 대한 대책을 사전에 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다.

세 번째, 기존 보호지역을 고려하면서 개발영향을 고려하거나 고려하지 않은 Fig. 6(b)와 6(d)를 보면, 개발영향을 고려하지 않은 Fig. 6(b)에서는 기존 보호지역 주변으로 보전 우선순위가 높게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 MARXAN에 내제되어 있는 기본 개념인 크고 뭉쳐있는 패치가 더 보전효율이 더 높다는 점이 반영된 결과로 판단된다(Ardon et al., 2010). 그러나 개발영향을 고려한 Fig. 6(d)를 살펴보면, 기존 보호지역 주변이 아닌 지역들이 산발적으로 우선순위가 다소 높은 지역들이 나타나는 것을 알 수 있다. 기존 보호지역 주변이 확대가 되지 못한 이유는 개발영향이 보호지역에 근접해 있는 지역까지도 높기 때문이다. 충청북도에 백두대간보호지역을 관통하는 당진-영덕고속도로, 중부내륙고속도로, 중앙고속도로와 그 주변 도로분포를 보면 예상할 수가 있다. 도로가 생물종에 중요한 영향을 끼치는 점을 고려할 때, 앞으로 선정하고자 하는 보호지역은 도로 노선과 충분히 이격되도록 선정될 필요가 있다.

고 찰

본 연구에서는 개발영향을 고려했을 때의 보전 우선순위 지역을 확인하기 위하여, 기존 보호지역의 중요도를 확인하고, 개발영향을 고려했을 때의 보전 우선순위를 도출하였다. 보전목표가 되는 멸종위기종의 서식적합도를 평가함으로써 잠재서식지를 확인함과 동시에 개발에 의한 영향도 함께 고려함으로써 실질적인 보전계획을 수립에 기여가능성을 나타냈다는 것에 의의가 있다.

하지만 몇 가지 한계점이 있다. 첫 번째, 서식적합성을 도출할 때 각각의 종에 대한 서식특성 정보를 바탕으로 변수를 구성

해야하는데, 본 연구에서는 모두 동일한 변수를 적용하였다. 서식적합도의 신뢰도를 높이기 위해서는 개별 생물종의 서식에 미치는 환경변수를 이용해야 한다. 두 번째, 본 연구에서는 단순히 파편화된 보전 우선순위 지역이 있다는 것만 확인했지만 파편화된 형태에 따라 생물종에 미치는 영향이 다를 수 있음을 고려하지 못했다. 각 생물종별 서식범위와 선호서식환경이 있기 때문에 파편화된 지역이 이러한 요구조건을 만족시킬지 확인하지 못했다. 세 번째, 개발영향의 변수인 교통량에 대한 정보가 전체 도로가 아닌 점을 고려할 때 과대평가가 일부 있을 수 있다. 현재 교통량 조사는 주요 도로의 통행량 파악을 위해 실시되고 있는데, 앞으로 기존 보호지역 주변 또는 추가 보전이 필요한 지역을 대상으로 교통량에 대한 보다 자세한 정보 구축이 필요하다.

본 연구에서 더 나아가 도로로 인한 로드킬 문제, 도로가 직접적으로 서식환경에 미치는 영향과 같이 개발영향의 구체적인 특성을 포함한다면, 보다 효과적인 보전 우선순위 지역을 찾는데 도움이 될 것이다. 또한 현재의 개발영향뿐만 아니라 미래에 다가올 개발영향인 토지이용 변화 예측과 전 지구적 현상인 기후변화로 인한 자연재해, 종분포 변화로 인한 영향을 고려한다면 보다 선제적으로 생물다양성 보전을 위해 중요한 지역을 탐색하여 보다 효과적인 보전계획 수립이 가능할 것이다.

REFERENCES

Alexander, S.M., N.M. Waters and P.C. Paquet(2005) Traffic volume and highway permeability for a mammalian community in the Canadian Rocky Mountains. Canadian Geographer 49: 321-331.

Ardon, J.A., H.P. Possingham and C.J. Klein(2010) Marxan good practices handbook, Version 2. Victoria: Pacific Marine Analysis and Research Association.

Arponen, A., R.K. Heikkinen, C.D. Thomas and A. Moilanen(2005) The value of biodiversity in reserve selection: Representation, species weighting, and benefit functions. Conservation Biology 19: 2009-2014.

Boal, C.W., D.E. Andersen and P.L. Kennedy(2001) Home Range and Habitat Use of Northern Goshawks (Accipiter gentilis) in Minnesota. Page Wildlife Research. St. Paul, Minnesota.

Choi, C.Y., H.Y. Nam and W.S. Lee(2012) Territory size of breeding Chinese Sparrowhawks (Accipiter soloensis) in Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 26: 186-191. (in Korean with English abstract)

Clements, R.J. and C.M. Everett(2012) Densities and dispersion of breeding Eurasian Hobbies Falco subbuteo in southeast England. Bird Study 59: 74-82.

Dunn, J.C., G.M. Buchanan, R.W. Stein, M.J. Whittingham and P.J.K. McGowan(2016) Optimising different types of biodiversity coverage of protected areas with a case study using Himalayan Galliformes. Biological Conservation 196: 22-30.

Erlinge, S.(1967) Home Range of the Otter Lutra lutra L. in Southern Sweden. Oikos 18: 186-209.

Fajardo, J., J. Lessmann, E. Bonaccorso, C. Devenish and J. Muñoz(2014) Combined Use of Systematic Conservation Planning, Species Distribution Modelling, and Connectivity Analysis Reveals Severe Conservation Gaps in a Megadiverse Country (Peru). PLoS ONE 9: e114367.

Forman, R.T.T. and L.E. Alexander(1998) Roads and Their Major Ecological Effects Author(s): Richard T. T. Forman and Lauren E. Alexander Source: Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 29 (1998), pp. 207-231+C2 Published by: Annual Reviews Stable URL: http://www.jstor.org. Annual Review of Ecology and Systematics 29: 207-231.

Fourcade, Y., J.O. Engler, D. Rödder and J. Secondi(2014) Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: A performance assessment of methods for correcting sampling bias. PLoS ONE 9: 1-13.

Grassman Jr, L.I., M.E. Tewes and N.J. Silvy(2005) Ranging, habitat use and activity patterns of binturong Arctictis binturong and yellow-throated marten Martes flavigula in north-central Thailand. Wildlife Biology 11: 49-57.

Grassman, L.I., M.E. Tewes, N.J. Silvy and K. Kreetiyutanont(2005) Spatial organization and diet of the leopard cat (Prionailurus bengalensis) in north-central Thailand. Journal of Zoology 266: 45-54.

Hanski, I.K., P.C. Stevens, P. Ihalempia and V. Selonen(2000) Home-range size, movements, and nest-site use in the Siberian flying squirrel, Pteromys volans. Journal of Mammalogy 81: 798-809.

Hong, J.P., Y. Shim and H.Y. Heo(2017) A Study on Aichi Biodiversity Target 11-Focused on Quantitative Expansion Goals and Qualitative Improvement Goals of Protected Areas-. J. Korean Env. Res. Tech. 20: 43-58.

Jaeger, J.A.G., J. Bowman, J. Brennan, L. Fahrig, D. Bert, J. Bouchard, N. Charbonneau, K. Frank, B. Gruber and K.T. Von Toschanowitz(2005) Predicting when animal populations are at risk from roads: An interactive model of road avoidance behavior. Ecological Modelling 185: 329-348.

Kim, B.(2012) Enhancing Management System of the Protected Areas in Korea. University of Seoul. (in Korean with English abstract)

Kim, S.G., G.Y. Ko, C. Kim and D.W. Ha(2015) Analysis of

Hydraulic and Ecological Environment of Eurasian Otter (Lutra lutra) Habitat Using River Spatial Information. Journal of Korean Society of Environmental Technology 16(2): 169-176. (in Korean with English abstract)

Lee, G. and J.H. Lim(2014) Estimating a Spatial Structural Change in Chungcheong Metropolitan Region Due to Constructing New Cities (Sejong and Naepo): Focusing on the Scenario Based Simulation of Population Changes. Journal of Regional Studies and Development 23: 197-225. (in Korean with English abstract)

Lessmann, J., J. Muñoz and E. Bonaccorso(2014) Maximizing species conservation in continental Ecuador: A case of systematic conservation planning for biodiverse regions. Ecology and Evolution 4: 2410-2422.

Ministry of Environment(2014) The 3rd National Ecosystem Survey.

Ministry of Environment(2018) The status of Wildlife Protection Area. https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=39&boardId=912980&menuId=290, 2020.12.21.

Mo, Y., D.K. Lee, H. Kim, G. Baek and S. Nam(2013) Efficient Establishment of Protected areas in Pyoungchang County, Kangwon Province to support spatial decision making. J. Korean Env. Res. Tech. 16: 171-180. (in Korean with English abstract)

Naoe, S., N. Katayama, T. Amano, M. Akasaka, T. Yamakita, M. Ueta, M. Matsuba and T. Miyashita(2015) Identifying priority areas for national-level conservation to achieve Aichi Target 11: A case study of using terrestrial birds breeding in Japan. Journal for Nature Conservation 24: 101-108.

NIER(National Institute of Environmental Research)(2010) Ecological Characteristics of Yellow-throated marten(Martes flavigula). http://me.go.kr/home/web/board/read.do;jsessionid=5UEZwd09scdqd17sXBkOEy0ZQhsZU kxqGrx7uh6geJV3jsIXgHmTRvULDYQE0VKZ.meweb2vhost_servlet_egine1?pagerOset=4440&maxPageItems =10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=&orgCd=&boardId=175842&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&decorator=, 2020.12.21.

Oh, D.H., S. Moteki, N. Nakanish and M. Izawa(2010) Effects of Human Activities on Home Range Size and Habitat use of the Tsushima leopard Cat Prionailurus bengalensis euptilurus in a Suburban Area on the Tsushima Islands, Japan. Journal of Ecology and Environment 33: 3-13.

Pouzols, F.M. and A. Moilanen(2014) A method for building corridors in spatial conservation prioritization. Landscape Ecology 29(5): 789-801.

Rutz, C.(2006) Home range size, habitat use, activity patterns and hunting behaviour of urban-breeding Northern Goshawks Accipiter gentilis. Ardea 94: 185-202.

Selas, V. and T. Rafoss(1999). Ranging behaviour and foraging habitats of breeding Sparrowhawks Accipiter nisus in a continuous forested area in Norway. Ibis 141: 269-276.

Selonen, V. and I.K. Hanski(2012) Dispersing Siberian flying squirrels (Pteromys volans) locate preferred habitats in fragmented landscapes. Canadian Journal of Zoology 90: 885-892.

Thai National Park. https://www.thainationalparks.com/species/long-billed-plover, 2020.12.16.

Theobald, D.M.(2010) Estimating natural landscape changes from 1992 to 2030 in the conterminous US. Landscape Ecology 25: 999-1011.

Theobald, D.M., S.E. Reed, K. Fields and M. Soulé(2012) Connecting natural landscapes using a landscape permeability model to prioritize conservation activities in the United States. Conservation Letters 5: 123-133.

Wu, R., Y. Long, G.P. Malanson, P.A. Garber, S. Zhang, D. Li, P. Zhao, L. Wang and H. Duo(2014) Optimized Spatial Priorities for Biodiversity Conservation in China: A Systematic Conservation Planning Perspective. PloS One 9: e103783 (1-11).