

보호지역 관리를 위한 생물다양성 평가

최혜영¹⁾ · James H. Thorne²⁾ · 주우영³⁾ · 권혁수⁴⁾

¹⁾ 강원대학교 생태조경디자인학과 교수 ·

²⁾ University of California Davis, Dept. Environmental Science & Policy, Research Scientist ·

³⁾ 국립생태원 생태평가연구실 책임연구원 · ⁴⁾ 국립생태원 생태평가연구실 선임연구원

The biodiversity representation assessment in South Korea's protected area network

Choe, Hye-Yeong¹⁾ · James H. Thorne²⁾ · Joo, Woo-Yeong³⁾ and Kwon, Hyuk-Soo⁴⁾

¹⁾ Department of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University, Professor,

²⁾ University of California Davis, Dept. Environmental Science & Policy, Research Scientist,

³⁾ Division of Ecological Assessment Research, National Institute of Ecology, Lead Researcher,

⁴⁾ Division of Ecological Assessment Research, National Institute of Ecology, Senior Researcher.

ABSTRACT

National parks and other protected areas often do not adequately protect national biodiversity because they were originally created for socio-economic and/or aesthetic values. The Korean government has committed to expanding the extent of protected areas to fulfill its commitments to the Aichi Biodiversity Convention. To do so, it is necessary to quantify the current levels of biodiversity representation within existing protected areas and to identify additional conservation needs for vulnerable species and ecological systems. In this study, we assess the proportion of species ranges found in South Korea's protected areas, for the species documented in the 3rd National Ecosystem Survey. We modeled the range distribution of 3,645 species in the following taxonomic groups; plants (1,545 species), mammals (35), birds (132), herptiles (35), and insects (1,898) using the MaxEnt species dis-

First author : Choe, Hye-Yeong, Dept. Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University, Professor,
Tel : +82-33-250-8343, Email : hychoe@kangwon.ac.kr

Corresponding author : Joo, Woo-Yeong, Division of Ecological Assessment Research, National Institute of Ecology,
Lead Researcher,
Tel : +82-41-950-5450, Email : wjoo@nie.re.kr

Received : 30 December, 2019. **Revised** : 19 February, 2020. **Accepted** : 18 February, 2020.

tribution model and calculated how much of each species' range is within protected areas. On average, 17.4% of plant species' ranges are represented in protected areas, while for mammals and insects an average 12.0% is currently conserved. Conservation representation for herptiles averages 9.3%, while it is 8.6% for birds. Although large proportions of species that have restricted distributions should be represented in protected areas, 17 plant species, two insects (*Parnassius bremeri* and *Lasioglossum ocoidens*), and one bird species (*Phylloscopus inornatus*) with ranges smaller than 1,000 km² have less than 10% of their ranges within protected areas. Establishing specific conservation goals such as the protection of endangered species or vulnerable taxonomic groups will increase the efficiency of the biodiversity conservation strategies. In addition, lowland coastal areas are critical for biodiversity conservation because the protected areas in South Korea are mainly composed of high mountainous areas.

Key Words : Gap Analysis, MaxEnt, Species Distribution Models, Species Protection Index, Taxonomic group

I. 서 론

생물다양성 보전을 위해 국내외적으로 다양한 전략과 목표를 수립하고 있으며, 그중 보호지역의 지정을 중요한 수단으로 제시하고 있다 (Hong et al., 2017; Wiens et al. 2011). 2010년 제10차 생물다양성협약 당사국총회에서 합의한 아이치 생물다양성 목표의 세부목표 11은 국토 육상 면적의 17% 이상과 해양 면적의 10% 이상을 보호지역으로 지정할 것과 효과적인 보전 및 관리에 대해 구체적으로 명시하고 있다 (Convention on Biological Diversity, 2010). 이에 따라 우리나라는 제4차 국가생물다양성전략에서 보호지역 확대 및 관리강화를 포함하는 등 생물다양성협약 당사국으로서 협약의 이행을 위해 노력하고 있다 (Ministry of Environment, 2018).

보호지역 지정은 국가 보전 계획에서 중요한 생물다양성 보전 전략 중 하나이다. 하지만 과거 보호지역 지정은 사회 및 경제적 가치 등이 우선적으로 고려되었기 때문에 보호지역이 국가 규모의 생물다양성을 대표하지 않는 경우가 많았다 (Pressey, 1994; Oldfield et al. 2004; Lee and Abdullah, 2019). 따라서 목표 달성을 위한

보호지역 확대 이전에 보호지역이 생물다양성을 제대로 반영하고 있는지 생태적 요소 등을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 그러나 국내 보호지역 관련 연구들은 현재 보호지역에 대한 이해와 평가보다는 원론적인 양적 확대를 위한 방안 마련이 주를 이루고 있어 (Kwon et al., 2015; Lee et al., 2015; Hong et al., 2017a; Hong et al., 2017b; Kim et al., 2017; Hong, 2018), 효율성 측면에서 보호지역의 기능을 파악하지 못하는 단점이 있다.

지구 생물다양성 관측 네트워크(The Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network; GEO BON)는 지구의 생물다양성 보전을 위해 진행 상황을 평가하고 보고하는 목적으로 일련의 평가 지표를 개발하는 국제적인 활동이다 (GEO BON, 2015). GEO BON 생물다양성 지표들을 이용하여 아이치 생물다양성 목표의 일부 항목에 대해 평가가 가능하다. 특히 보호지역의 생물다양성 반영 정도를 평가하기 위해서 종보호 지수(Species Protection Index; SPI)를 이용할 수 있다. GEO BON의 종보호지수 SPI는 생물종의 적절한 서식지가 보호되고 있는 정도를 측정하고 지역과 지구 규모에서 보호지역의 생물다양성 반영 정도를 평가하는 것이다.

본 연구에서는 식물, 포유류, 조류, 양서파충류, 육상곤충의 생물종에 대해 종분포모형을 이용하여 생물종들의 서식지를 평가하고 각각의 서식지가 보호지역에 의해 현재 얼마나 보호되고 있는지의 정도를 평가하고자 한다. 보호지역의 생물다양성 반영 정도를 평가하고, 보호지역의 현황을 파악하는 갭분석(gap analysis)을 통해서 (Scott et al., 1993), 보호지역의 양적 및 질적 측면의 향상을 함께 고려할 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 생물종의 서식적합 지역이 보호지역에 반영되고 있는 정도를 평가하여 분류군별 보전 현황을 파악하는 것이다. 이를 통해 우리나라 보호지역의 생물다양성 보전 상황 및 문제점을 진단하고 추후 보호지역의 계획에 필요한 공간자료를 제공할 수 있을 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 방법

본 연구는 전국을 대상으로 개별 생물종의 서식지가 보호지역 내 보호되고 있는 정도를 분류군별로 파악하고자 하였다. 이를 위하여 식물, 포유류, 조류, 양서파충류, 육상곤충 총 3,645종에 대해 종분포모형을 수행하고, 이를 통해 나타난 서식적합 지역이 현재 보호지역 내 반영되고 있는 비율을 각각 평가하였다.

1) 종조사 자료 검토 및 대상 생물종 선택

본 연구에서 종조사자료는 점 형식의 위치자료로 이루어진 제3차 전국자연환경조사를 이용하였다. 자료의 속성 정보에서 생물종의 학명을 이용하여 생물종과 생물종의 위치 자료를 구분하였으며, 자료의 오류로 인한 문제를 피하기 위하여 학명에서 철자의 오류와 이전에 쓰이던 유사 학명 등을 국립생물자원관에서 발표한 국가생물종목록(<http://www.kbr.go.kr/stat/ktsnfile-down/downpopup.do>)을 참고하여 수정하였다.

분류군별로 보호 정도를 파악하기 위해서는

가능한 한 모든 생물종을 대상으로 분석하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 서식적합 지역의 예측에서 생물종의 출현 지점 수가 적을 경우 종분포모형 결과 등 통계적 분석의 신뢰도에 영향을 미친다(Hernandez et al., 2006; van Proosdij et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 제3차 전국자연환경조사에 출현 지점이 기록된 생물종 중에서 10개(포유류의 경우 전체 종의 수가 상대적으로 적어 9개) 이상의 출현 지점을 갖는 종들로 한정하여 서식적합 지역을 예측하였다. 최종적으로 본 연구에서 대상으로 한 생물종의 수는 식물 1,545종, 포유류 35종, 조류 132종, 양서파충류 35종, 육상곤충 1,898종이다(종의 목록은 제3차 전국자연환경조사 지침 참고; Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research, 2006).

2) 종분포모형을 이용한 서식적합 지역 분석

생물기후변수(bioclimatic variables)는 월별 기온 및 강수량의 값에서 파생되어 만들어진 19가지의 변수로 계절성 및 극단적이거나 제한적인 환경적 요인을 설명할 수 있어(Busby 1991), 종분포모형의 환경변수로 많이 이용되고 있다(Choe et al., 2016; Choe et al., 2017; Shin et al., 2018). 본 연구는 WorldClim(<http://www.worldclim.org>)에서 제공하는 30 arc-seconds(약 1km²) 해상도의 19가지 생물기후변수를 고려하였으며(Hijmans et al., 2005), 이 외에 Harmonized World Soil Database에서 제공하는 토양변수들과(FAO et al., 2012) 90m 해상도의 SRTM DEM 자료를 고려하였다(<http://srtm.csi.cgiar.org>). 고도 자료의 경우 주변 지형의 변화를 고려하기 위해서, 주변 1km 지역내 고도의 표준편차와 최대 고도와 최소 고도의 차이인 범위를 분석하여 변수로 고려하였다(van Proosdij et al., 2016). 모든 변수들을 이용할 경우 예측변수간의 공선성이 모형에 부정적인 영향을 미치기 때문에(Manzoor et al., 2018), 본 연구에서는

Spearman 상관 분석을 통해 상관성이 높은 ($r_{\rho} > 0.7$) 변수를 제외하여 최종적으로 연평균 기온(Bio1), 평균 일교차(Bio2), 등온성(Bio3), 가장 습한 분기의 강수량(Bio16), 가장 건조한 분기의 강수량(Bio17), 표토의 미사 비율, 표토의 산성도, 주변 1km 지역내 고도 표준편차의 8개의 변수를 종분포모형의 예측변수로 선택하였다.

서식적합 지역을 예측하기 위해서 MaxEnt 종분포모형을 이용하였다(Phillips et al., 2006). MaxEnt는 출현 지점만 기록되어 있는 종조사 자료를 적용하기에 적합하고 신뢰도가 높은 모형으로 출현 지점의 수가 적은 경우에도 모델의 정확성이 높아(Elith et al., 2006; Hernandez et al., 2006; Aguirre-Gutiérrez et al., 2013), 제3차 전국자연환경조사에 기록된 생물종들의 서식적합 지역을 예측하기에 적절한 모형으로 판단되었다. 모형은 R(v.3.5.3)의 dismo 패키지에서 maxent 함수를 이용하였으며, 백그라운드(background) 지점은 randomPoints 함수를 이용하여 각 생물종에 대해 임의로 100 지점을 선정하였다. 본 연구에서는 독립적인 자료로 각 생물종의 종분포모형에 대한 신뢰도를 측정할 수 없어 $k=5$ 인 k -fold 교차 검증을 이용하였다(Hijmans, 2012). 즉, 무작위로 생물종의 출현 지점을 다섯 그룹으로 나누어 네 그룹의 자료로 모형화한 후 한 그룹의 자료로 모형을 검증하는 과정을 5회 반복하였다. 각 종분포모형의 정확도 평가는 AUC(area under the curve)값을 이용하였으며, 각 생물종의 종분포모형의 5개 결과에 대해 AUC를 평균하였다. AUC는 모형의 가능한 임계 확률값에 대해 거짓 긍정 비율과 참 긍정 비율을 나타낸 ROC(receiver operating characteristic) 곡선 아랫부분의 면적을 합하여 구할 수 있으며(Franklin, 2010), 0과 1 사이의 값으로 측정된다. AUC 이용에 대한 비판적인 시각도 있으나(van Proosdij et al. 2015), 본 연구와 같이 생물종의 출현 지점이 많지 않을 경우 종분포모형의 정확도 평가에 적절하다(Fielding and

Bell, 1997).

종분포모형의 결과는 0과 1 사이의 서식적합도로 예측되기 때문에 서식적합 지역으로 구분하기 위해서는 임계값의 적용이 필요하다(Nenzen and Araujo, 2011). 본 연구에서는 생물종의 각 종분포모형에 대해서 민감도와 특이도의 합이 최대가 되는 값(max SSS: maximizing the sum of sensitivity and specificity)을 임계값으로 서식적합 지역을 구분하였다(Franklin, 2010). 최종적으로 각 생물종의 5-fold 5개 서식적합 지역 결과에 대해 3개 이상 서식적합 지역으로 선정된 지역을 그 생물종의 서식적합 지역으로 지정하였다.

3) 서식적합 지역의 보호지역 반영 평가

보호지역은 생물다양성과 자연 및 문화 자원의 보호와 유지를 위해 지정된 지역으로 법 또는 기타 효과적인 수단으로 관리되고 있는 지역이다(Dudley and Stolton, 2008). 국내에는 다양한 보호지역이 지정되어 있으나, 본 연구에서는 보호지역을 관리되고 있는 통합적인 체계로 생각하였다. 보호지역 공간정보는 한국보호지역 통합DB관리 시스템(KDPA; <http://www.kdpa.kr>)에서 다운로드받아 수산자원보호구역 등 해양에 적용되는 보호지역은 제외하였으며, 국립·도립·군립 공원 및 백두대간보호지역, 산림유전자원보호구역 등을 포함하였다(Figure 1).

각 생물종의 서식적합 지역 면적에 대해 그 서식적합 지역이 보호지역과 중첩된 지역의 면적의 비율을 평가하였다. 분류군 별로 보호 정도의 차이를 파악하기 위해 보호지역 반영 비율의 평균값을 분류군 별로 비교하였다. 또한 국가적으로 중요한 생물종의 보호 측면에서, 국가보호종으로 지정된 생물종의 보호지역 반영 비율의 평균값을 분류군 별로 비교하였다.

또한 서식적합 지역의 면적에 따라 보호지역에 반영되어야 할 목표가 다르기 때문에 Rodrigues et al. (2004)의 기준에 따라 서식적합 지역의 면

적이 1,000 km² 미만인 생물종의 보호지역 반영 비율을 따로 평가하였다.

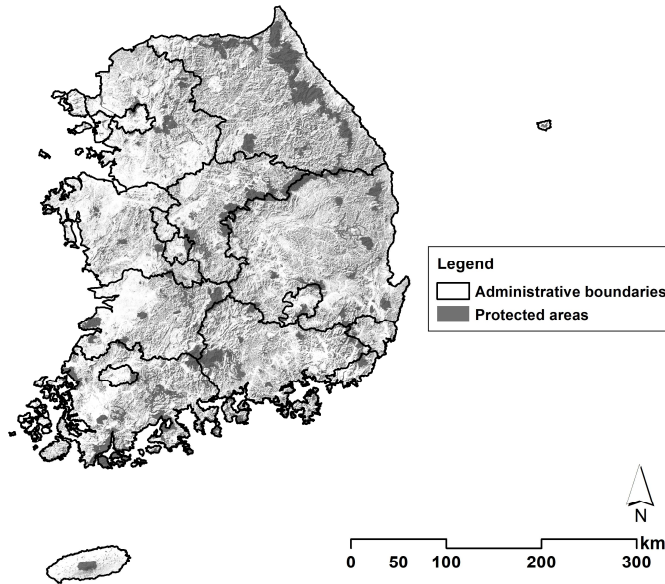


Figure 1. The national parks and protected areas within South Korea (marine protected areas were excluded in this study). The background represents the terrain surface.

III. 결과 및 고찰

1. 각 종분포모형의 평가

각 생물종의 종분포모형의 정확도를 분류군 별로 분석한 결과 식물 1,545종의 평균 AUC는 0.76, 표준편차는 0.11이었으며, 포유류 35종의 평균 AUC는 0.75, 표준편차는 0.10이었다. 조류 132종의 평균 AUC는 0.81, 표준편차는 0.12이었고, 양서파충류의 평균 AUC는 0.73, 표준편차는 0.10, 육상곤충 1,898종의 평균 AUC는 0.69, 표준편차는 0.10이었다(Table 1).

조류의 평균 AUC가 가장 높게 나타났으며 육상곤충의 평균 AUC가 가장 낮게 나타났으나 육상곤충을 제외하고 모든 분류군의 평균 AUC는 0.73 이상이었다. 0.7 이상의 AUC 값은 모형의

정확도가 적정하다는 것을 보여준다(Franklin, 2010). 육상곤충의 경우도 평균 AUC가 0.7에 근사하여 본 연구에서 각 분류군의 종분포모형 결과가 각 종의 서식적합 지역을 예측하기에 적당하다고 판단하였다.

2. 서식적합 지역의 보호지역 반영 정도 평가

각 생물종의 서식적합 지역을 현재 보호지역과 중첩한 결과, 식물의 경우 평균적으로 서식적합 지역의 17.4%가 보호지역에 반영된 것으로 평가되었다. 포유류와 육상곤충은 평균적으로 각각 서식적합 지역의 12.0%가 반영된 것으로 평가되었다. 다음으로 양서파충류는 9.3%, 조류는 서식적합 지역의 8.6%가 보호지역에 반영되어 나타나는 것으로 평가되었다. 국가보호종의 서식적합 지역이 보호지역에 반영된 비율도 위와 유사한

Table 1. The mean and standard deviation AUC scores were calculated for the geographic range models of all species in each taxonomic group.

	Plants (1,545 species)	Mammals (35)	Birds (132)	Herptiles (35)	Insects (1,898)
Mean of AUC	0.76	0.75	0.81	0.73	0.69
SD of AUC	0.11	0.10	0.12	0.10	0.10

Table 2. The mean, median, standard deviation, and proportion of range of all species represented in protected areas by taxonomic group. We also provide the mean of range proportions in conservation areas for 144 nationally-designated protected species by each taxonomic group.

Taxa	Plants (1,545 species)	Mammals (35)	Birds (132)	Herptiles (35)	Insects (1,898)
Mean %	17.4	12.0	8.6	9.3	12.0
Median %	16.8	12.0	7.9	8.3	11.4
SD %	6.3	4.5	4.2	4.5	4.1
Minimum %	0.5	2.4	0.2	1.7	0.8
Maximum %	67.5	22.1	25.2	21.1	49.9
Mean % (protected species)	20.1 (104 species)	14.5 (6)	9.1 (30)	6.0 (3)	18.2 (1)

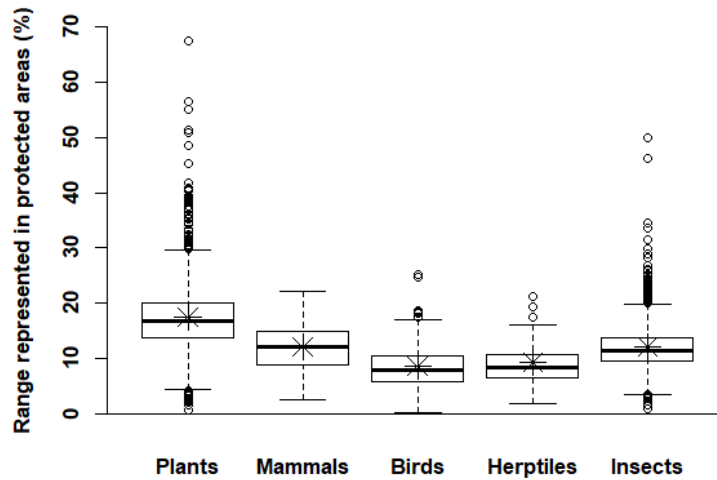


Figure 2. The proportion of species' geographic ranges that are represented in protected areas by each taxonomic group. The star point (*) in each bar is the average percentage within group.

경향을 보였다. 식물의 경우 평균적으로 서식적합 지역의 20.1%가 보호지역에 반영된 것으로 평가되었고, 육상곤충은 18.2%, 포유류는 14.5%가 반영된 것으로 평가되었다. 다음으로 조류는 9.1%, 양서류는 서식적합 지역의 6.0%가 보

호지역에 반영되어 나타나는 것으로 평가되었다 (Table 2 and Figure 2).

특히 서식적합 지역이 보호지역에 반영되어 나타나는 정도가 상대적으로 조류와 양서류에 낮게 나타나는 것은 현재 보호지역이 상당 부

분 고도가 높은 산악 지대에 분포하는 것이 원인이 될 수 있다(Choe et al., 2018; Figure 1). 조류의 다양성은 겨울 철새들의 주요 이동경로로서 먹이원이 풍부한 해안이나 주요 하천들에 높게 나타나며(Moores 1999; Amano et al., 2010), 양서파충류는 수로, 넓은 농경지, 얇은 산 등에서 서식이 유리하다(Chung et al., 2000). 다양한 이용 자원 및 생태적 지위(niche)와 관련된 조류와 양서파충류의 서식지(Zellweger et al., 2017)가 현재 보호지역에 충분히 반영되고 있지 않다고 판단된다. 현재 보호지역의 한계는 서식적합 면적이 좁은 생물종의 보호지역 반영 비율 결과에서도 드러난다. Rodrigues et al. (2004)의 기준에 따라 서식적합 면적이 1,000km² 미만인 생물종의 보호지역 반영 비율은 100%가 되어야 한다. 그러나 29종의 식물 14.19%, 7종의 육상곤충 18.24%, 2종의 조류 12.72%로 서식지의 매우 좁은 면적이 보호지역에 반영되고 있는 것으로 나타났다. 서식적합 면적이 1,000km² 미만인 생물종 중 보호지역 반영 비율이 10% 이하인 생물종은 식물 17종 - 기생여뀌(0.5%), 나도공단풀(1.5%), 우산잔디(2.0%), 겨울딸기(2.4%), 아욱메풀(2.6%), 쇠고사리(2.7%), 까마귀쪽나무(2.8%), 왕모람(3.6%), 유럽전호(3.8%), 쥐꼬리풀(3.8%), 자란(4.1%), 사슴딸기(4.4%), 흰새덕이(6.0%), 큰봉의꼬리(6.4%), 돌토끼고사리(8.7%), 방울새풀(9.7%), 조록나무(9.7%), 육상곤충 2종 - 붉은점모시나비(0.8%), 흰줄꼬마꽃벌(0.8%), 조류 1종 - 노랑눈썹솔새(0.2%)이다. 이들의 일부는 국내의 남부지역에 제한적으로 분포하고 있는 종으로 추가적인 보호지역의 선정에 있어 지리적 분포와 제한적으로 분포하는 종들의 서식지 유형을 고려할 필요가 있다. 생물종의 일부에는 외래종이 포함되어 있으나 국가 자료의 적합성과 판정체계는 별개의 사항이므로 이 논문에서는 판단하지 않았다.

IV. 결 론

본 연구는 현재 국내의 보호지역이 각 분류군에 속한 생물종의 서식적합 지역을 잘 반영하고 있는지 평가하기 위해서 총 3,645 종에 대해 보호지역 반영 비율을 각각 분석하였다.

각 분류군 별로 평균 반영 비율을 비교한 결과, 식물이 17.4%로 가장 높은 비율이 반영된 것으로 평가되었다. 다음으로 포유류와 육상곤충이 각각 12.0%, 양서파충류와 조류가 각각 9.3, 8.6%가 반영된 것으로 평가되어 분류군별로 보호지역에 서식적합 지역의 반영 정도에 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

특정 지역이나 서식지에만 나타나 서식적합 면적이 좁은 생물종의 서식지역은 보전할 필요가 높아 보호지역에서 보호될 필요성이 높다(Prendergast et al., 1993). 그러나 서식적합 면적이 1,000 km² 미만인 38종의 보호지역 반영 비율이 모두 20% 미만인 것으로 나타나 추가적인 보호지역 선정에 있어 지리적 분포와 서식지 유형을 고려할 필요가 있음을 확인하였다(Choe et al., 2019).

생물다양성협약에서 채택된 아이치 목표 달성을 위해서는 보호지역 면적 증가와 이를 위한 생물다양성 보전 전략 개선이 필요하다(Korea National Park Research Institute, 2018). 본 연구의 결과를 통해서 단순한 보호지역 면적의 증가 외에도 보호지역의 효율성을 높일 수 있는 방안이 필요하다는 것을 알 수 있다(Watson et al., 2014; Lee and Abdullah, 2019).

본 연구는 보호지역의 추가 지정에 고려할 수 있도록 다양한 분류군 측면에서 생물종의 보호를 위한 정보를 제공하였다. 앞으로의 보호지역 추가 지정은 현재 보호지역의 상황을 평가하고 그에 맞는 목표를 달성할 수 있는 방향으로 진행되어야 할 것이다. 멸종위기종 보호 또는 보전 노력이 필요한 분류군 보호 등 구체적인 목표의 설정 외에 현재 국내 보호지역은 주로 고도가 높은 산악 지역에 주로 분포하기 때문에(Choe et al., 2018), 다양한 생태계 보전을 위해서 저지대

와 해안 지역에 보호지역의 확대 노력이 필요할 것이다.

본 연구에서 이용한 중분포모형은 생물종과 서식지 간 관계가 일정하고, 종조사 자료는 공간적으로 균일하게 조사되었으며, 위치자료 간 독립적임을 가정하였다(Guisan et al., 2017). 본 연구에서 환경변수 공간자료 등 자료의 한계를 이유로 모든 분류군에 대해 같은 환경변수를 이용한 것과 생물종의 상호작용에 의한 영향을 고려하지 못한 것은 이 연구의 한계로 생각한다(Franklin, 2010). 또한 이용한 환경변수의 해상도가 약 1km²로 다양한 지형과 미기후로 인한 서식적합 지역은 모형화하지 못하였으며, 모형 결과인 서식적합 지역이 실질적인 서식지의 면적보다 넓어 보호지역의 반영 정도가 더 높게 평가되었을 가능성도 있다.

마지막으로 생물종의 서식적합 지역의 면적에 따라 다른 기준을 적용하여 평가하지 않고 단지 현재 보호지역과 중첩된 면적의 비율만을 이용한 것은 보호지역 평가 측면의 한계라고 할 수 있다(Venter et al., 2014). 세부적인 평가 없이 단순한 중첩 비율만을 평가할 경우 실질적인 지정 목적과 기준에 대해 오해가 발생할 수 있기 때문에(Choe et al., 2018), 평가의 항목을 세분화할 필요가 있다. 향후 연구는 국가적 생물다양성 보호 목표와 멸종위기종 보호 목표 등 다양한 측면에서 보호지역을 평가하는 것이 필요할 것이며, 다양한 보호지역의 유형별로 보호지역의 지정 목적에 따른 기능 평가도 필요할 것이다. 또한 기존 보호지역은 기후변화 등 변화하는 환경을 고려하지 않았기 때문에(Game et al., 2011; Schneider and Bayne, 2015), 변화하는 환경에 대응할 수 있는 보호지역 지정을 위한 연구가 필요하다.

Acknowledgement

이 논문은 국립생태원 “핵심 생태자산과 생태

계서비스 가치 평가 및 보전방안 연구” NIE-전략연구-2020-03의 지원과 2019년도 강원대학교 대학회계 학술연구 조성비로 연구하였기에 이에 감사드립니다.

References

- Amano T · Székely T · Koyama K · Amano H and Sutherland WJ. 2010. A framework for monitoring the status of populations: an example from wader populations in the East Asian-Australasian flyway. *Biological Conservation* 143(9) : 2238-2247.
- Aguirre-Gutiérrez J · Carvalheiro LG · Polce C · van Loon EE · Raes N · Reemer M and Biesmeijer JC. 2013. Fit-for-purpose: species distribution model performance depends on evaluation criteria-Dutch hoverflies as a case study. *PLoS one* 8(5) : e63708.
- Busby JR. 1991. BIOCLIM - A bioclimatic analysis and prediction system. *Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis* (eds C.R. Margules & M.P. Austin), pp. 64-68. CSIRO, Canberra, Australia.
- Choe H and Thorne JH. 2017. Integrating climate change and land use impacts to explore forest conservation policy. *Forests* 8(9) : 321.
- Choe H · Thorne JH · Hijmans R and Seo C. 2019. Integrating the Rabinowitz rarity framework with a National Plant Inventory in South Korea. *Ecology and Evolution* 9 : 1353-1363.
- Choe H · Thorne JH · Huber PR · Lee D and Quinn JF. 2018. Assessing shortfalls and complementary conservation areas for national plant biodiversity in South Korea. *PLoS one* 13(2) : e0190754.

- Choe H · Thorne JH and Seo C. 2016. Mapping national plant biodiversity patterns in South Korea with the MARS species distribution model. *PloS one* 11(3) : e0149511.
- Chung K · Gye M and Song J. 2000. Herpetofauna Biodiversity of Chin-Do. *Korean Journal of Environmental Biology* 18(1) : 113-120. (in Korean with English summary)
- Convention on Biological Diversity. 2010. Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets.
- Dudley N and Stolton S. 2008. Defining protected areas: an international conference in Almeria, Spain. Gland, Switzerland: IUCN.
- Elith J · Graham CH · Anderson RP · Dudík M · Ferrier S · Guisan A · Hijmans RJ · Huettmann F · Leathwick JR · Lehmann A · Li J · Lohmann LG · Loiselle BA · Manion G · Moritz C · Nakamura M · Nakazawa Y · Overton JM · Peterson AT · Phillips SJ · Richardson K · Scachetti-Pereira R · Schapire RE · Soberon J · Williams S · Wisz MS and Zimmermann NE. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2) : 129-151.
- FAO · IIASA · ISRIC · ISSCAS and JRC. 2012. Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
- Fielding AH and Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24(1) : 38-49.
- Franklin J. 2010. Mapping Species Distributions : Spatial Inference and Prediction, Cambridge; New York, Cambridge; New York : Cambridge University Press.
- Game ET · Lipsett-Moore G · Saxon E · Peterson N and Sheppard S. 2011. Incorporating climate change adaptation into national conservation assessments. *Global Change Biology* 17(10) : 3150-3160.
- GEO BON. 2015. Global Biodiversity Change Indicators. Version 1.2. Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network Secretariat. Leipzig.
- Guisan A · Thuiller W and Zimmermann N. 2017. Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hernandez PA · Graham CH · Master LL and Albert DL. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29(5) : 773-785.
- Hijmans RJ. 2012. Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *Ecology* 93(3) : 679-688.
- Hijmans RJ · Cameron SE · Parra JL · Jones PG and Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society* 25(15) : 1965-1978.
- Hong JP. 2018. Evaluating Quantitative Expansion Goals of the National Protected Areas Integrated System. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*. 21 (3) : 57-65. (in Korean with English summary)
- Hong JP · Shim YJ and Heo HY. 2017a. A Study on Aichi Biodiversity Target 11. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*. 20 (5) : 43-58. (in Korean with

- English summary)
- Hong JP · Shim YJ and Heo HY. 2017b. Identifying Other Effective Area-based Conservation Measures for Expanding National Protected Areas. 20 (6) : 93-105. (in Korean with English summary)
- Lee SJ · Lee HW · Kim CK · Hong HJ · Kim SY · Kang KR and Kim BH. 2015. Strategy and Measures to Enlarge the Protected Area in Korea. Research report to Korea Environment Institute. (in Korean with English summary)
- Lee WH and Abdullah SA. 2019. Framework to develop a consolidated index model to evaluate the conservation effectiveness of protected areas. *Ecological Indicators* 102 : 131-144.
- Moore N. 1999. Survey of the distribution and abundance of shorebirds in south Korea during 1998-1999. *The Stilt* 34 : 18-23.
- Kim G · Kong S · Kim O · Son S and Lee E. 2017. A Strategy on Extracting Terrestrial Protected Areas of the Republic of Korea under the Convention on Biological Diversity. *Journal of the Association of Korean Geographers* 6(3) : 407-423. (in Korean with English summary)
- Korea National Park Research Institute. 2018. Constructing basic data for the protected areas in Korean Peninsula. NPRI 2018-22. (in Korean)
- Kwon H · Kim J and Seo C. 2015. Selecting Protected Area Using Species Richness. *Korean Journal of Environment and Ecology* 29(1) : 14-20.
- Manzoor SA · Griffiths G and Lukac M. 2018. Species distribution model transferability and model grain size—finer may not always be better. *Scientific reports* 8(1) : 7168.
- Ministry of Environment. 2018. Fourth National Biodiversity Strategies (2019-2023). (in Korean)
- Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research. 2006. The guidelines for the 3rd national ecosystem surveys. (in Korean)
- Nenzén HK and Araújo M. 2011. Choice of threshold alters projections of species range shifts under climate change. *Ecological Modelling* 222(18) : 3346-3354.
- Oldfield TE · Smith RJ · Harrop SR and Leader-Williams N. 2004. A gap analysis of terrestrial protected areas in England and its implications for conservation policy. *Biological Conservation* 120(3) : 303-309.
- Phillips SJ · Anderson RP and Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(3-4) : 231-259.
- Prendergast JR · Quinn RM · Lawton J · Eversham B and Gibbons D. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature* 365(6444) : 335-337.
- Pressey RL. 1994. Ad hoc reservations: forward or backward steps in developing representative reserve systems? *Conservation Biology* 8(3) : 662-668.
- Rodrigues AS · Akcakaya HR · Andelman SJ · Bakarr MI · Boitani L · Brooks TM · Chanson JS · Fishpool LD · Da Fonseca GA and Gaston KJ. 2004. Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience* 54(12) : 1092-1100.
- Schneider RR and Bayne EM. 2015. Reserve design

- under climate change: from land facets back to ecosystem representation. *PloS one* 10(5) : e0126918.
- Scott JM · Davis F · Csuti B · Noss R · Butterfield B · Groves C · Anderson H · Caicco S · D'Erchia F and Edwards Jr TC. 1993. Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity. *Wildlife monographs* : 3-41.
- Shin MS · Seo CW · Lee MW · Kim JY · Jeon JY · Adhikari P and Hong SB. 2018. Prediction of Potential Species Richness of Plants Adaptable to Climate Change in the Korean Peninsula. *Journal of Environment Impact Assessment* 27(6) : 562-581. (in Korean with English summary)
- van Proosdij AS · Sosef MS · Wieringa JJ and Raes N. 2016. Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography* 39(6) : 542-552.
- Venter O · Fuller RA · Segan DB · Carwardine J · Brooks T · Butchart SH · Di Marco M · Iwamura T · Joseph L and O'Grady D. 2014. Targeting global protected area expansion for imperiled biodiversity. *PLoS biology* 12(6) : e1001891.
- Watson JE · Dudley N · Segan DB and Hockings M. 2014. The performance and potential of protected areas. *Nature* 515(7525) : 67-73.
- Wiens JA · Seavy NE and Jongsomjit D. 2011. Protected areas in climate space: What will the future bring? *Biological Conservation* 144(8) : 2119-2125.
- Zellweger F · Roth T · Bugmann H and Bollmann K. 2017. Beta diversity of plants, birds and butterflies is closely associated with climate and habitat structure. *Global Ecology and Biogeography* 26(8) : 898-906.