

## 보호지역의 식물종 보전 상보성 평가<sup>1a</sup>

박진한<sup>2</sup> · 최혜영<sup>3</sup> · 모용원<sup>4\*</sup>

### Complimentary Assessment for Conserving Vegetation on Protected Areas in South Korea<sup>1a</sup>

Jin-Han Park<sup>2</sup>, Hyeyeong Choe<sup>3</sup>, Yongwon Mo<sup>4\*</sup>

#### 요약

아ichi 생물다양성 목표11을 달성하기 위하여, 국내 보호지역은 양적으로 꾸준히 증가되어왔으며, 추가 지정이 필요한 잠재 보호지역에 대한 연구도 진행되어왔다. 하지만 효과적인 생물다양성 보전을 위한 보호지역의 상보성에 대한 평가는 미흡하다. 본 연구에서는 제3차 전국자연환경조사의 식물종을 대상으로 종분포모형을 이용하여 잠재서식지역을 도출하고, 기존 보호지역과 잠재보호지역 내 잠재서식지역이 포함되는 종의 풍부도를 유사도 지수인 Jaccard, Sorenson, Bray-curtis를 이용하여 비교분석하였다. 연구결과로 기존 보호지역과 잠재보호지역 대부분이 상보성이 낮아 유사한 식물종을 보전하는 것으로 나타났다. 국립수목원 완충지역이 상보성이 높아 보호지역으로서의 가치가 높다고 할 수 있다. 잠재서식지역이 포함되는 경우가 적은 식물종을 보호하기 위해서는 기존 또는 잠재 보호지역 외 지역에 추가로 보호지역을 선정할 필요가 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구는 개별 보호지역이 보호지역으로서 고유한 생태계 또는 생물종 보전이 가능한지 각 보호지역의 생태적 대표성을 확인하고, 공간적으로 추가 보호가 필요한 지역을 탐색하는 방법을 제안했다는 점에서 의의가 있으며, 향후 동물종까지 포함한 상보성 평가를 통한 보호지역의 질적 개선과 계속적으로 조사되는 전국자연환경조사 자료를 이용한 보호지역의 효과성평가 연구 등으로 발전시킬 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 생물다양성, OECMs, 유사도 지수, 대표성, 종분포모형

#### ABSTRACT

The number of protected areas has been steadily increased in Korea to achieve Aichi Target 11, and there are studies on potential protected areas that required additional designation. However, there has been an insufficient assessment of the complementarity of protected areas to conserve biodiversity effectively. This study identified the potential habitat areas using the species distribution model for plant species from the 3rd National Ecosystem Survey and compared the plant species abundance in the existing protected area and the potential protected areas using the similarity indices, such as the Jaccard index, Sorenson index, and Bray-Curtis index. As a result, we

1 접수 2020년 8월 18일, 수정 (1차: 2020년 10월 6일), 게재확정 2020년 10월 12일

Received 18 August 2020; Revised (1st: 6 October 2020); Accepted 12 October 2020

2 한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터 부연구위원 Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute, Sejong 30121, Korea (jinhan@kei.re.kr)

3 강원대학교 생태조경디자인학과 교수 Dept. of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National Univ., Chuncheon 24341, Korea (hychoe@kangwon.ac.kr)

4 영남대학교 산림자원 및 조경학과 교수 Dept. of Forest resources and Landscape architecture, Yeungnam Univ., Gyeongsan 38541, Korea (csmo12@yu.ac.kr)

a 이 연구는 2020년 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

\* 교신저자 Corresponding author: csmo12@yu.ac.kr

found that the complementarity of the existing protected areas and most potential protected areas were low, leading to the preservation of similar plant species. Only the buffer zone for Korea National Arboretum had high complementarity and thus is important to conserve some species with the other protected areas. This study confirmed that it was necessary to select additional protected areas outside the existing or potential protected areas to protect plant species with a low inclusion ratio of potential habitats within the protected area. This study is significant because it identified the ecological representativeness of each protected area to examine if the individual protected area can conserve unique and various species and proposed a method of finding candidate areas for additional conservation spatially. The findings of this study can be a valuable reference for the qualitative improvement of protected areas through the complementarity assessments, including animals and the effectiveness assessment study of protected areas using the National Ecosystem Survey data in the future.

**KEY WORDS: BIODIVERSITY, OECMS, SIMILARITY INDEX, REPRESENTATIVENESS, SPECIES DISTRIBUTION MODEL (SDM)**

## 서론

생물다양성협약(CBD, Convention on Biological Diversity)의 전략적 계획인 아이치 생물다양성 목표 11(Aichi Target 11) 이행을 위하여 우리나라는 2020년 7월 현재 국토의 16.63%에 해당되는 지역이 보호지역으로 지정되어 관리되고 있다(Korea Database on Protected Areas, <http://www.kdpa.kr>). 아이치 생물다양성 목표 11의 기준인 17%를 달성하기 위하여 2012년 6.25%에서 현재에 이르기까지 꾸준히 국내 보호지역 면적은 증가되어왔다. 보호지역 비율이 증가된 방법을 살펴보면, 기존에 보호지역으로 설정이 되어있었으나 생물다양성 보호가 주목적이지 아니었던 보호지역을 등재하거나, 보호지역을 새롭게 지정하며 양적으로 증가시킨 것을 알 수 있다(Heo et al., 2017). 이러한 노력은 국가차원에서뿐만 아니라 개별 연구에서도 추가 보호지역에 대한 주장이 제기되었다. 추가 보호지역을 제안한 방법으로는 멸종위기종이 출현한 지점을 바탕으로 제안하거나(Mo, 2018), 아이치 목표에서 언급된 OECMs(Other Effective area-based Conservation Measures)을 보호지역으로 등재하는 방안(Hong et al., 2017a; 2018a)이 제시되었다.

효과적인 생물다양성 보호를 위해서는 보호지역의 면적증가와 같은 양적인 증가뿐만 아니라 보호지역의 대표성, 상보성, 효과성 등 질적인 향상 또한 중요하다. 보호지역은 해당 국가의 생물다양성 보호를 위하여 전체 생태계를 대표할 수 있는 모든 지역이 지정될 필요가 있다(Moilanen et al., 2009; Kukkala and Moilanen, 2013). 아이치 생물다양성 목표 11에서는 보호지역은 각 국가 내 생태지역의 10%의 면적이상의 지역을 대상으로 현존하는 생태계와 생태적 기능 전체를 포함하는 표본지역을 포함해야한다고 정하고 있다(CBD, 2012). 이 때, 다양한 생태계를 모두 보호하기 위해서는 보호지역 마다 서로 상이한 생태계를 보호하는 것이 보전노력의 효율성 측면에서 중요하다

(Possingham et al., 2006). 즉, 하나의 보호지역이 어떤 종들을 보호하고 있는지를 확인하는 것과 동시에 각 보호지역별로 서로 다른 생물종을 보호하고 있는지 서로 확인할 필요가 있다. 이러한 보호지역의 특성을 상보성이라고 한다.

국내에서도 보호지역의 질적 측면을 평가하고자 하는 연구들이 최근 나타나고 있다. Hong et al.(2018b)에서는 국가 보호지역의 질적 향상을 위하여 생태적 대표성을 평가하였는데, 사용된 지표로 생태계 유형별 보호되는 비율, 멸종위기종의 서식비율의 지표를 제안하였다. Choe et al.(2020)에서는 각 분류별로 우리나라 보호지역에서 보호가 되고 있는 생물종의 서식 적합지역의 면적을 산출하였다. 하지만 아직까지 개별 보호지역들 간에 보호하고 있는 생물종이 얼마나 중복되는지 또는 얼마나 다른지를 평가한 연구는 미흡할 뿐만 아니라 잠재 보호지역들에 대해서도 이를 평가한 경우가 없다.

따라서 본 연구에서는 기존에 설정된 법정 보호지역과 Hong et al.(2017b)에서 제안된 잠재보호지역인 OECMs을 대상으로 상보성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 생물종 출현지점 자료의 신뢰도가 가장 높은 식물종을 대상으로 진행하였다. 또한 본 연구에서는 가장 적은 개수의 보호지역이 보호하고 있는 식물종의 공간분포를 살펴봄으로써 앞으로 이 식물종을 보호하기 위해 어떠한 보호지역들이 상대적으로 더 중요한지도 확인하였다.

## 연구방법

### 1. 대상지

본 연구의 공간적 범위는 우리나라의 법정 보호지역 및 잠재 보호지역을 대상으로 하였으며, 특별대책지역이나 재해방지보

호구역과 같은 생물다양성을 보전하기 위한 보호지역이 아닌 지역은 제외하였다.

구체적으로 살펴보면, 2020년 7월을 기준으로 우리나라에는 IUCN에 등재된 보호지역의 유형이 육상 22개, 해양 4개 등 총 26개가 있고, 이 중 일부는 Hong et al.(2017b)에서 OECMs으로 선정한 보호지역 유형에 포함된다. OECMs은 CBD(2018)에서 “생물다양성과 더불어 생태계 서비스, 문화적, 영적, 사회경제적 가치를 지니고 있어, 장기간 현지 내 보전과 관리가 이루어지는 보호지역 외에 지리적으로 한정된 공간”을 의미한다. 본 연구는 보호지역의 상보성 평가에 집중하기 위하여 CBD(2018)에서 정의한 OECMs의 절차를 이용하여 잠재 보호지역을 따로 확인하지 않고, Hong et al.(2017b)에서 발굴한 국내 OECMs 목록을 이용하였다. 이 목록 중에서 2017년 이후 IUCN에 등재된 보호지역과 아직 등재가 되지 못한 보호지역으로 구분될 수 있어 이를 구분하여 연구를 진행하였다.

따라서 본 연구에서는 기존의 법정보호지역과 2017년 이후에 새롭게 등재된 보호지역(OTI), 그리고 아직 IUCN에 등재되지 못한 OECMs(SO) 등 크게 세 종류로 구분하여 연구를 진행하였다. 구체적인 대상지에 대한 구분은 Table 1과 같다. 보호지역의 전체 면적이 넓게 보일 수 있으나 중복된 면적이 존재하며, 이렇게 적지 않은 면적으로 보호하고 있음에도 불구하고 상보성평가가 이뤄지지 않는다면 보호가 되고 있지 않은 종을 확인하기가 어렵다. 따라서 기존 보호지역과 추후에 보호지역 확대를 하는데 우선 고려가 될 보호지역들을 대상으로 하였다.

## 2. 식물종 잠재서식지역 분석

잠재서식지역은 주로 Choe et al.(2017)의 연구와 같은 방법을 이용하여 분석하였다. 식물의 종분포를 예측하기 위해 다중반응 모형의 일종인 MARS(Multivariate Adaptive Regression Splines) 종분포모형을 사용하였다(Elith et al., 2007). 종분포 모형은 전국자연환경조사와 같이 전체 지역에 대해 표본조사가 이뤄진 자료를 주로 이용한다. 그 이유는 생물종 전수조사를 위해서는 시간과 비용이 과도하게 소요가 되어 한계가 있기 때문이다. 따라서 표본조사를 통해 조사된 출현지점을 이용하여 조사가 되지 못한 지역의 서식잠재성을 판단하고, 선제적으로 보전계획을 수립하거나 추가 서식조사 지역을 선정하는데 활용될 수 있는 도구이다. 본 연구에서 이용한 다중반응 모형은 식물종 조사 데이터를 통합하여 모델링 된 종의 정보를 추가하기 위해 다른 종의 출현정보를 활용하는 알고리즘이 내포되어 있다. 본 연구에서 활용한 데이터의 경우 기록이 거의 없는 종들이 포함되기 때문에 다중반응 모형을 사용하는 것이 적합하다고 판단하였다(Leathwick et al., 2005). 특히 MARS 종분포모형은 지역적 변수들 간의 상호작용을 고려하는 특징을 가진다. 또한 다양한 종들의 정보를 예측 변수로 활용하고, 각 예측 변수의 범위 내에서의 예측 변수 값의 변화는 선택된 예측 변수의 범위를 선택하는 데 활용되며, 각 단계별로 선형반응을 적용하는 알고리즘을 가지고 있다(Choe et al., 2017). 본 연구에서는 모형의 정확성을 높이기 위하여 지역별 종별자료를 필

Table 1. The study site groups with legally protected areas and OECMs

Category	Abbreviation	Full Name of PAs	Korean Name	Terrestrial Areas (km <sup>2</sup> )
Legally PAs (LPA)	NP	Nature Park	자연공원(국립, 도립, 군립)	4,028.63
	BMR	Baekdudaegan Mt. Reserve	백두대간 보호지역	2,646.00
	FGR	Forest Genetic Resources Reserves	산림유전자원 보호구역	1,506.37
	ELC	Ecosystem and Landscape Conservation Area	생태경관 보전지역	275.34
	Wet	Wetland Protected Areas	습지 보호지역	135.06
	WPA	Wildlife Protection Areas	야생생물(특별) 보호구역	1023.50
	NM	Natural Monuments	천연기념물	229.13
	NR	Nature Reserve	천연보호구역	431.68
OECM to IUCN (OTI)	SS	Scenic Site	경관보호구역	173.98
	UNP	Urban Natural Park zones	도시자연공원구역	280.54
	WSP	Water-Source Protection areas	상수원 보호구역	1,153.51
	RZ	Riparian Zones	수변구역	1,189.23
	CRA	Catchment Reserve Protection Areas	수원함양 보호구역(1,2,3종)	2,680.12
Still OECM (SO)	DRZ	Development Restriction Zone	개발제한구역	3,555.00
	KNA	Buffer Zones for Korea National Arboretums	국립수목원 완충지역	6.00
	NRF	Natural Recreation Forest	자연휴양림	1,142.00

요로 하며, 동시에 모델링이 된 다른 종의 위치는 가상의 비출현지점(inventory pseudo-absences)으로 간주하여 분석이 진행되었다(Elith et al., 2007).

MARS 종분포모형의 분석 가용범위로 인하여 전체 식물 2,258종을 무작위로 선택하여 15개의 그룹으로 나누고, 각 그룹별로 MARS 종분포모형을 적용하였다. 각 그룹 내 관측 데이터의 수는 8,503에서 12,862로 다양하게 나타났다. 또한 적은 개수의 출현지점 데이터(low-prevalence presence-only data)를 활용하기 때문에 모형의 정확도를 추정하기 위하여 AUC 곡선을 활용하였다(Fielding and Bell, 1997). 아울러, 확률 값으로 도출되는 식물의 잠재서식지역에 대한 결과를 서식 가능지역과 비서식지역으로 구분하기 위하여 임계값이 필요하다. 많은 식물종의 출현지점 데이터가 충분하지 않고, inventory pseudo-absences 자료를 활용하기 위해서 종분포 범위의 임계값을 설정하기 위해 data-driven approach 방법을 이용하였으며(Nenzen and Araujo, 2011), 구체적으로는 Choe(2015)와 Choe et al.(2017)에서 이용한 표준편차 범위의 값(0.4~0.5)을 적용하였다.

종분포모형의 입력자료는 제3차 전국자연환경조사자료(Ministry of Environment, 2014)를 활용하였으며, 최종적으로는 2,258종의 식물종, 150,959개의 출현지점을 활용하여 잠재서식지역을 도출하였다. 전국자연환경조사의 경우 전국을 약 7,425개의 격자단위로 구분하여 7년 동안 조사를 수행하였으며, 식물종을 조사하기 위해서는 각 격자의 대표 산악 지역을 선택하였다. 또한 각각의 관측점은 출현기록을 조사한 위치를 의미한다(Ministry of Environment, 2006). 본 연구에서는 보호지역 내 존재여부를 직접 확인하여 잠재서식지역이 전혀 없다고 나온 24종과 모든 보호지역에 잠재서식지가 나타난 1,804종을 제외한 총 430종을 대상으로 상보성평가를 진행하였다.

한편, 종분포모형의 예측변수는 중 기후 변수는 식물 종분포에 영향을 미치는 중요한 요소이다(Hirzel and Le Lay, 2008). 기후 변수의 경우 WorldClim 자료를 이용하여, 1950년부터 2000년까지의 연평균 온도, 계절별 온도, 연중 가장 따뜻하고 추운 분기의 평균 온도, 연간 강수량, 연중 가장 습하고 건조한 분기의 강수량 등의 변수 데이터를 구축하였다(Hijmans et al., 2005). 지형은 햇빛, 토양수분 및 영양분을 변화시켜 식물 종분포에 직접적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라 지역의 기후 조건에도 영향을 미칠 수 있다(Das et al., 2015). 국가수자원종합정보시스템(Water Resources Management Information System, WAMIS)에서 제공하고 있는 경사 및 고도와 관련한 지형변수를 활용하였으며, 이를 활용하여 향 및 복사면 데이터를 구축하였다(Torontow et al., 2012). MARS 종분포모형은 이들 예측변수 중 각 종별로 잠재서식지역을 판단하는데 적합한 변수를 스스로 선택하여 모형을 구동할 수 있다는 강점을 가지고 있다(Choe, 2015)

### 3. 상보성 평가

상보성은 서로 다른 두 보호지역의 유사성 혹은 비유사성을 평가하여 상호보완적인 관계에 있는지 혹은 동일한 생물종을 보호하고 있는지를 평가하는 방법으로 주로 유사도를 평가하는 지수를 이용하여 평가한다(Fabricius et al., 2003; Su et al., 2003; Gonzalez-Maya et al., 2015) 유사도를 평가하는 대표적인 방법으로는 Jaccard 지수와 Sorenson 지수가 있다. 두 방법 모두 출현여부를 이분법으로 나타내어 교집합의 크기를 평가하는 방법이다.

Jaccard 지수는 서로 다른 두 보호지역에서 공유되는 종의 수( $a$ )를 두 지역에서 발생하는 모든 종의 수의 합( $a+b+c$ )으로 나누는 것으로 구체적인 수식은 다음 식(1)과 같다(Gonzalez-Maya et al., 2015).

$$J = \frac{a_{i,j}}{a_{i,j} + b_i + c_j} \quad \text{식 (1)}$$

위 식에서,  $J$ 는 Jaccard 지수를 의미하며,  $a_{ij}$ 는  $i, j$ 지역에서 공유되는 종의 수,  $b_i$ 는  $i$ 지역에서만 나타나는 종의 수,  $c_j$ 는  $j$ 지역에서만 나타나는 종의 수이다.

Sorenson 지수도 Jaccard 지수와 같은 방법론을 사용하지만 차이점은 두 보호지역에서 공유되는 종의 수를 좀 더 중요하게 고려하는 것이다. 그래서 공유되는 종의 수에 2배의 가중치를 주어 계산을 한다는 것이 다르다. 구체적인 수식은 다음 식(2)와 같다(Fabricius et al., 2003).

$$S = \frac{2a_{i,j}}{2a_{i,j} + b_i + c_j} \quad \text{식 (2)}$$

마찬가지로, 위 식에서  $S$ 는 Sorenson 지수를 의미하며,  $a_{ij}$ 는  $i, j$ 지역에서 공유되는 종의 수,  $b_i$ 는  $i$ 지역에서만 나타나는 종의 수,  $c_j$ 는  $j$ 지역에서만 나타나는 종의 수이다.

한편, Jaccard 지수 혹은 Sorenson 지수와 같이 이분법이 아닌 출현지점의 개수, 즉 종풍부도를 이용한 방법이 있다. 이 방법의 특징은 각 생물종의 분포밀도를 확인 할 수 있으며, 대표적인 방법으로는 Sorenson 지수와 유사하게 중복되어 나타난 종들을 중요하게 평가하는 Bray-curtis 지수가 있다. Bray-curtis 지수의 수식은 다음 식(3)과 같다(Su et al., 2003).

$$BC_{i,j} = 1 - \frac{2C_{i,j}}{S_i + S_j} \quad \text{식 (3)}$$

위 식에서  $BC_{i,j}$ 는 Bray-curtis 지수를 의미하며,  $C_{i,j}$ 는 두 보호지역의 대표종의 수 중 작게 나타나는 값을 의미하며,  $S_i$  및  $S_j$ 는 두 보호지역에서 각각 나타난 종의 수를 의미한다.

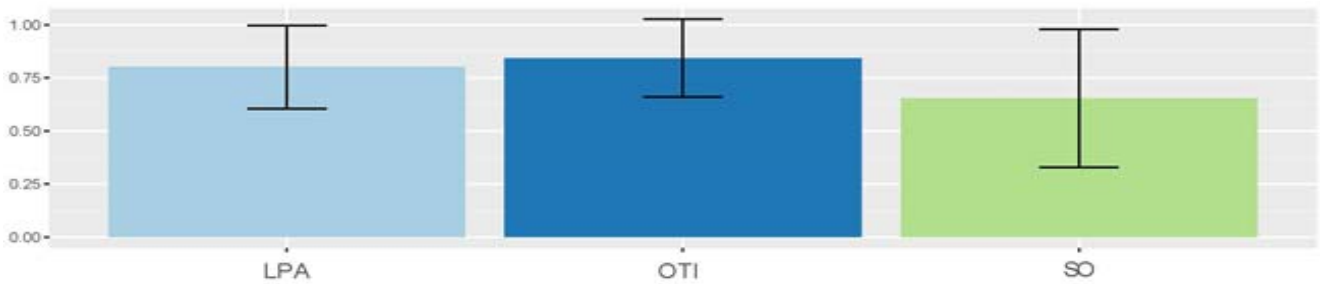
한편, 상보성 평가는 보호지역 내에 있는 출현여부 또는 풍부도를 이용하기 때문에 각 개별종이 어떻게 보호가 되고 있는지는 개별 자료를 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 가장 적은 개수의 보호지역이 보호하고 있는 식물종을 살펴봄으로써 어떠한 보호지역들이 상대적으로 더 중요인지 알 수 있다. 이를 위해 적용한 본 연구의 방법은 총 16개 보호지역 중에서 8개 이하 개수가 포함하고 있는 식물종을 선별하고, 각 식물종의 전체 잠재서식지 면적 중에서 각 보호지역 내 포함되는 면적의 비율을 계산하였다.

## 연구결과

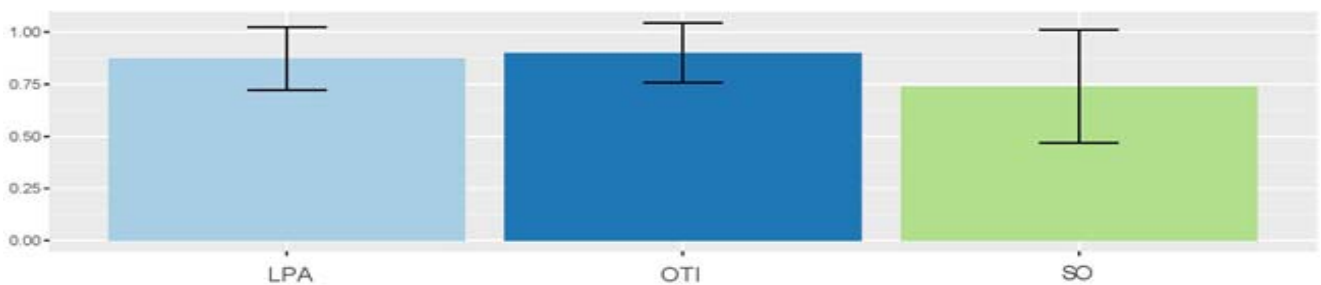
### 1. 법정 보호지역과 잠재보호지역의 식물종 보전 상보성 평가

기존 법정 보호지역(LPA)과 2017년 이후 IUCN에 등재된 보호지역(OTI)의 상보성은 둘 다 낮은 것으로 나타났다 (Figure 1). 구체적으로 살펴보면 Jaccard 지수는 각각 평균 0.80 ( $\pm 0.19$ ), 0.84 ( $\pm 0.18$ ), Sorenson 지수는 평균 0.87 ( $\pm 0.16$ ), 0.90 ( $\pm 0.14$ )로 나타났다. 이는 다른 보호지역들과 보호하고 있는 식물종이 유사함을 의미한다.

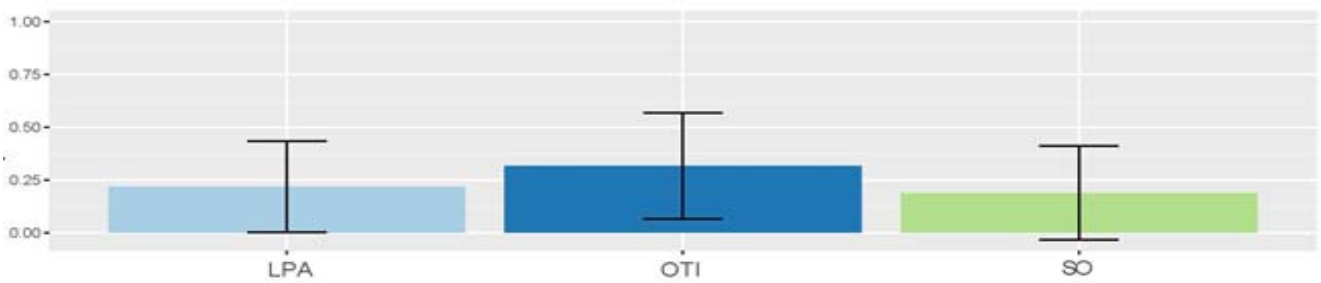
이에 비해 OECMs으로 남아있는 보호지역(SO)의 상보성



(a) Jaccard's index



(b) Sorenson index



(c) Bray-Curtis index

Figure 1. The similarity index by the group of protected areas

은 평균적으로 다소 높은 것으로 나타났으나, 분명한 차이를 보이지는 않았다. Jaccard 지수는 평균 0.65 ( $\pm 0.32$ ), Sorenson 지수는 평균 0.73 ( $\pm 0.27$ )로 평균값은 LPA나 OTI에 비하여 낮음을 알 수 있다. 하지만 표준편차를 고려할 때 상보성 지수의 범위가 LPA, OTI와도 비슷하여, LPA와 OTI와 유사성이 높은 것으로 해석될 수 있다. 따라서 LPA, OTI, SO의 보호지역만으로는 공유되는 식물종의 수가 많아 다양한 식물종 보전의 효과가 낮을 가능성이 있음을 의미한다.

한편, 각 식물종별 보호지역 내 풍부도를 활용하는 Bray-curtis 지수를 이용한 상보성 분석 결과는 위의 이분법을 이용한 결과에 비하여 상보성이 높은 것으로 나타났다. LPA의 Bray-Curtis 지수는 평균 0.21 ( $\pm 0.22$ ), OTI는 평균 0.31

( $\pm 0.25$ ), SO는 평균 0.18 ( $\pm 0.22$ )로 나타났으며, OTI가 가장 높고, LPA, SO 순으로 나타났다. 이는 같은 식물종이 출현하였더라도 보호지역 내 잠재식식지역의 면적에 차이가 많이 나고 있음을 의미한다.

보호지역 분류간의 상보성 차이가 분명하게 나타나지 않아, 보다 구체적으로 확인하기 위해 개별 보호지역의 상보성을 살펴보았다. 전체 보호지역 중 국립수목원 완충지역(KNA)의 Jaccard 지수, Sorenson 지수가 모두 가장 낮게 나타났다 (Figure 2). 이는 KNA는 다른 보호지역과는 다른 식물종들을 상대적으로 많이 보호하고 있다는 것을 의미하며, 상보성 측면에서 하나의 보호지역으로서의 가치가 매우 높다고 볼 수 있다. 특히, KNA의 면적은 6km<sup>2</sup>의 상대적으로 작은 면적으로 나타났

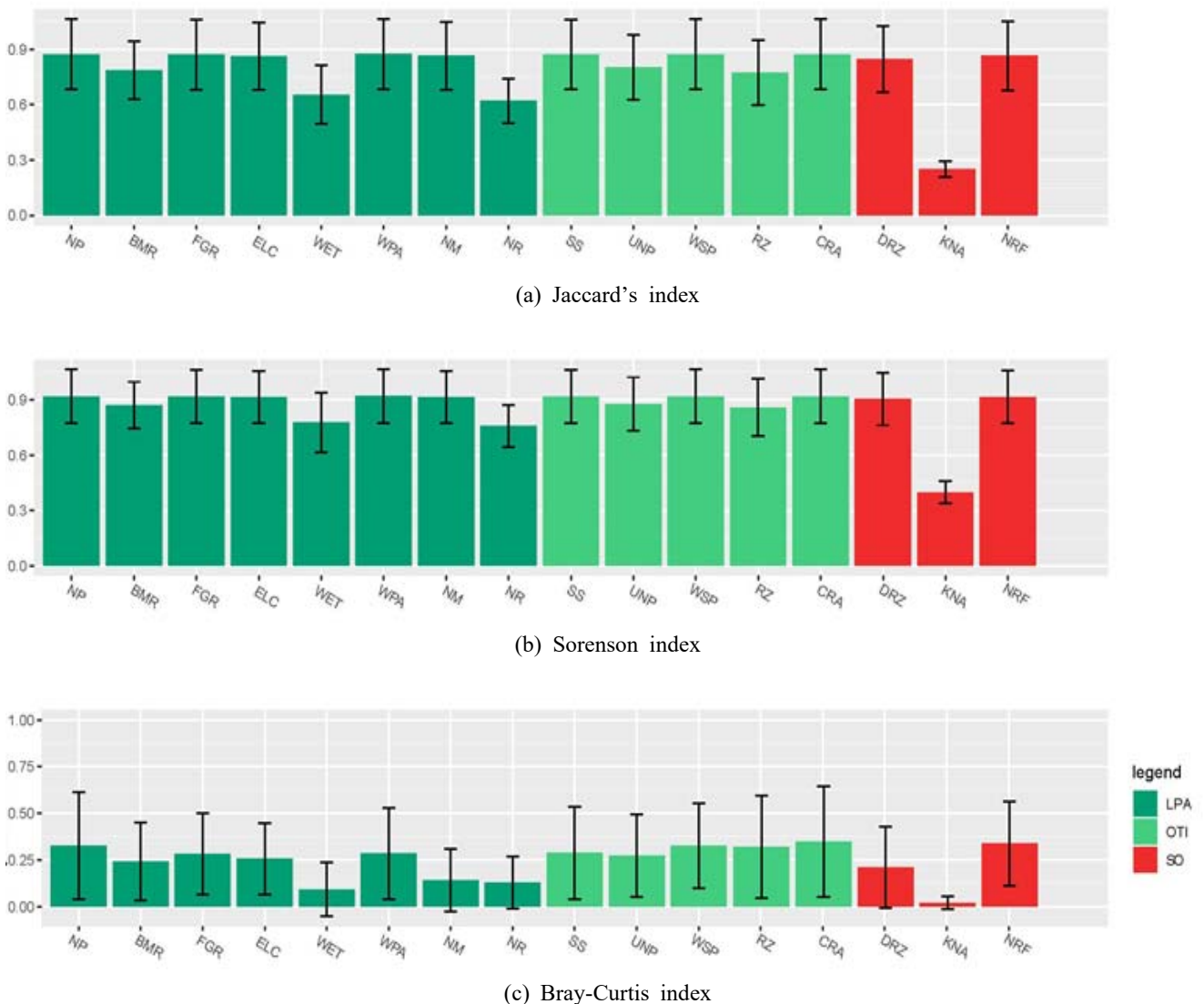


Figure 2. The similarity index by each protected area

는데, 작은 면적에 비해 상대적으로 다양한 식물종들을 보호하고 있으므로 그 중요도는 더 높다고 할 수 있다. 그 외 LPA 중에서는 습지보호지역(WET)과 천연보호구역(NR)이 상대적으로 낮은 유사도지수 값을 가지는 것으로 나타났다(Jaccard 지수 평균 0.65(±0.16), Sorenson 지수 평균 0.78(±0.16)). 우리나라 보호지역의 경우 대부분 산지가 가장 넓은 비율을 차지하고 있으므로(Lee, 2011), 이질적인 생태계인 습지를 대상으로 한 보호지역의 경우 상보성이 높은 것으로 판단된다.

SO 중에서 개발제한구역(DRZ)과 자연휴양림(NRF)의 상보성을 살펴보면, DRZ는 Jaccard 지수 평균 0.85(±0.18), Sorenson 지수 평균 0.90(±0.14), NRF는 Jaccard 지수 평균 0.87(±0.19), Sorenson 지수 평균 0.91(±0.14)로 LPA, OTI와 큰 차이를 보이지 않는다. 즉, 이 두 보호지역은 상보성을 고려한다면 추후 추가 보호지역으로서의 우선순위는 낮은 것으로 판단할 수 있다. 이러한 전체적인 경향은 종풍부도를 이용한 Bray-Curtis 지수에서도 유사하게 나타났다.

## 2. 개별 식물종 분포와 상보성

개별종 수준에서의 상보성을 평가했을 때, 본 연구에서 분석한 전체 16개 보호지역 중에서 8개 이하의 보호지역 내 잠재식식지역이 포함되는 식물종은 총 6종으로 나타났다. 그리고 이들 식물종 사이에서도 분포의 차이가 있는 것으로 나타나 각각 식물종 보전측면에서의 상보성을 확인할 수 있었다(Table 2).

자주솨대, 지리터리풀, 흰송이풀, 솨다리 등의 4종은 자연공원(NP), 백두대간 보호구역(BMR), 산림유전자원 보호구역(FGR)에 주로 나타났으나, 물쇠뜨기와 자란 등의 2종은 개발제한구역(DRZ)에, 털백작약은 수원함양 보호구역(CRA)에서 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 이러한 식물종 분포는 털백작약의 경우 새롭게 IUCN에 등재된 CRA로 보전가능성이 높아졌으나, 물쇠뜨기, 자란은 LPA와 OTI로는 보전가능성이 낮고, SO인 DRZ가 보호지역으로 관리될 때 보전가능성이 높아질 수 있음을 알 수 있다. 하지만 여전히 물쇠뜨기, 자란,

Table 2. The Conservation rate in protected areas relative to potential habitats of plant species that are conserved only in 8 protected areas or less

Scientific Name	Korean Name	Total Areas (km <sup>2</sup> )	Protected in PAs (%)	LPA (%)							
				NP	BMR	FGR	ELC	WET	WPA	NM	NR
<i>Smilacina bicolor</i>	자주솨대	105.8	68.4	2.6	47.4	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Filipendula formosa</i>	지리터리풀	69.1	77.7	3.5	63.9	6.5	1.4	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Pedicularis resupinata</i> for. <i>albiflora</i>	흰송이풀	46.5	51.8	7.0	24.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
<i>Leontopodium coreanum</i>	솨다리	167.7	59.1	2.4	33.9	13.4	0.2	0.0	0.0	0.0	1.4
<i>Equisetum pratense</i>	물쇠뜨기	1952.6	7.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
<i>Bletilla striata</i>	자란	913.4	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
<i>Paeonia japonica</i> var. <i>pillosa</i>	털백작약	839.8	16.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
Scientific Name	Korean Name	OTI (%)				SO (%)					
		SS	UNP	WSP	RZ	CRA	DRZ	KNA	NRF		
<i>Smilacina bicolor</i>	자주솨대	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.9		
<i>Filipendula formosa</i>	지리터리풀	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2		
<i>Pedicularis resupinata</i> for. <i>albiflora</i>	흰송이풀	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	4.6		
<i>Leontopodium coreanum</i>	솨다리	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	3.4		
<i>Equisetum pratense</i>	물쇠뜨기	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	7.3	0.0	0.0		
<i>Bletilla striata</i>	자란	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0		
<i>Paeonia japonica</i> var. <i>pillosa</i>	털백작약	0.0	0.2	0.0	0.1	13.8	0.1	0.1	1.9		

\*grey cells are the highest conservation rate in the protected areas.



털백작약은 잠재서식지역 대비 보호지역내 포함비율이 5~17%로 매우 낮아 보전가능성을 높이기 위해서는 추가로 식물종을 포함할 수 있는 새로운 지역을 탐색하는 것이 필요할 것으로 보인다.

전체적으로 보호지역 내 보전비율이 낮은 식물종은 16.9%인 털백작약, 7.8%인 물쇠뜨기, 5%인 자란으로 나타났다. 이는 전체 잠재서식지역 면적이 넓는데 비해 보호되고 있는 면적이 적은 것에서 비롯된 결과로 볼 수 있다. 이를 통해 잠재서식지역 면적에 따라서 보전목표를 종별로 다르게 줄 수 있음을 확인할 수 있었다(Levin et al., 2015). 그럼에도 불구하고, 자란의 경우에는 기존 보호지역에는 거의 보호가 되지 못하고, SO의 개발제한구역(DRZ)에서 4.5%만 보전될 수 있는 것으로 나타났다.

6종의 식물종 중 잠재 서식지역의 공간적 특성이 분명한 지리터피플, 물쇠뜨기, 털백작약을 가장 많이 포함하고 있는 보호지역과 함께 공간적으로 살펴보면 Figure 3과 같다. 지리터피플은 전체 잠재서식지역 중 63.9%의 면적이 백두대간 보호지역(BMR) 내에 포함되는 것으로 나타났다. 특히, 지리산과 태

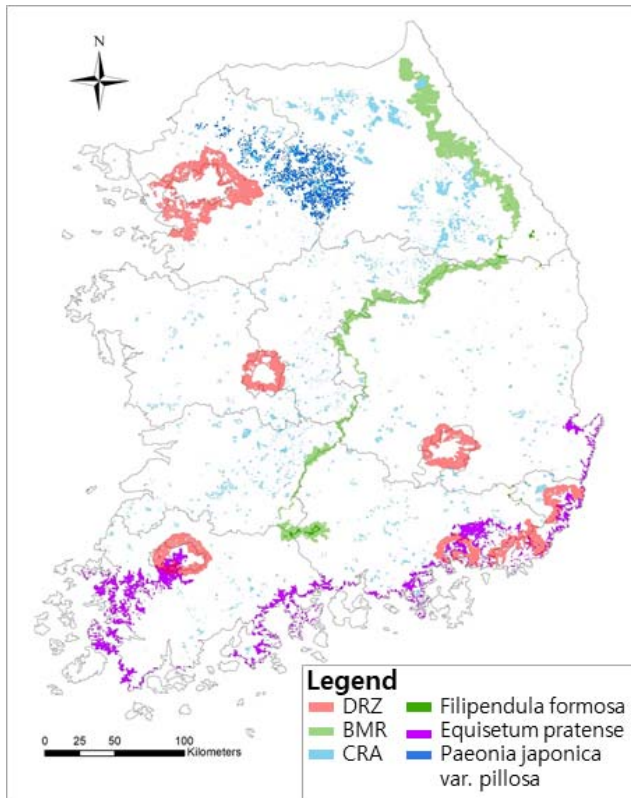


Figure 3. Distribution of protected areas that contain the potential habitats for *Filipendula formosa*, *Equisetum pratense*, and *Paeonia japonica* var. *pillosa*

백산 부근에 잠재서식지역이 있는 것으로 나타났다. 물쇠뜨기는 주로 남부 해안가와 전라남도 육상지역에 잠재서식지역이 나타났으며, 광주광역시, 부산광역시 주변의 개발제한구역(DRZ)에서 약 7.3%의 면적이 일부 보전이 되는 것으로 나타났다. 털백작약의 잠재서식지역은 주로 경기도 서부, 강원도 동부지역에 걸쳐 넓게 분포하는 것으로 나타났으며, 전국에 고루 분포하고 있는 수원함양 보호구역(CRA)에서 13.8%가 나타나 가장 많이 포함되는 것으로 나타났다.

## 고찰

본 연구에서는 우리나라 보호지역의 질적 향상을 위하여 식물종의 출현자료를 이용하여 도출한 잠재 서식지역을 입력 자료로 기존 법정보호지역과 잠재보호지역 OECMs의 상보성 분석을 실시하였다. 잠재보호지역 제안(Hong et al., 2017b)이후에 보호지역으로 지정된 지역들이 있어, 지정 현황에 따라 기존 보호지역과 새롭게 생물다양성 보호지역으로 인정된 보호지역 그리고 추후 추가가 될 가능성이 있는 보호지역으로 세 가지 종류로 구분하여, Jaccard 지수와 Sorensen 지수, Bray-curtis 지수를 활용하여 상보성을 평가하였다.

연구 결과 우리나라의 법정 보호지역(LPA)과 2017년 이후 IUCN에 등재된 보호지역(OTI)의 상보성은 낮은 것으로 나타났으나, 아직 OECMs로 남아있는 보호지역(SO)의 상보성은 다소 높은 것으로 나타났다. 특히, 국립수목원 완충지역의 상보성이 높은 것으로 나타났다. 한편, 각 종별 보호지역 내 풍부도를 이용한 Bray-curtis 지수를 이용한 상보성 분석 결과 세 가지 종류의 보호지역 모두 출현여부만 이용하는 Jaccard 지수, Sorensen 지수에 비해 상보성이 높은 것으로 나타났다. 이는 보호지역 내 같은 식물종의 잠재서식지역이 포함되더라도 보호되고 있는 잠재서식지의 면적에 차이가 크다는 것을 의미한다.

한편, 보전이 우선적으로 필요한 지역을 공간적으로 탐색하기 위하여, 개별종 수준에서 상보성 평가를 식물종 분포 현황 비교를 통해 실시하였다. 물쇠뜨기, 자란, 털백작약은 다른 식물종에 비해 본 연구 대상 보호지역 외 지역에서 잠재서식지역이 많이 나타나고 있었다. 이러한 식물종들의 보전가능성을 높이기 위해서는 새로운 지역을 탐색하여 보호지역으로 지정할 필요성이 있는 것으로 나타났다. 특히 자란을 보호하기 위해서는 제한적이지만 SO인 개발제한구역(DRZ)이 보전가능성을 높이는 역할을 할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 전국을 대상으로 기존 보호지역과 잠재보호지역의 식물종 보전을 위한 상보성을 평가함으로써 국내 보호지역의 질적평가를 통해 추후 우선적으로 선정이 필요한 잠재 보호



지역과 보전비율이 낮은 개별 식물종 보전을 위해 보전이 필요한 지역을 확인하였다는 점에서 의의가 있다. 하지만 중분포형의 결과는 기본적으로 모형의 불확실성을 내포하고 있어 실제로 보전이 필요한 지역을 찾고자 한다면 추가 식물종 조사가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 제 3차 전국자연환경조사만을 이용하여 특정 시기의 출현정보만 반영했다는 한계점이 있다. 그럼에도 불구하고, 우리나라 전체 생물다양성을 보호하기 위해 보호지역의 생태적 대표성을 확보하려면 개별 보호지역이 각각 고유한 생태계, 생물종을 보호해야함을 확인하고, 구체적인 지역을 확인하는 방법을 제시하여 국내 보호지역 연구와 정책개발에 기여할 수 있는 연구라고 판단된다. 추후 식물종뿐만 아니라 동물종까지 포함한 상보성 평가와 같이 보호지역의 질적 향상을 위한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 예상된다.

## REFERENCES

- Choe, H.(2015) Biodiversity conservation planning for South Korea: Predicting plant biodiversity dynamics under climate change and the impacts from forest conversion scenarios. Ph.D. Thesis, University of California, Davis. 10036024pp.
- Choe, H., J.H. Thorne, R. Hijmans, J. Kim, H. Kwon and C. Seo(2017) Meta-corridor solutions for climate-vulnerable plant species groups in South Korea. *Journal of Applied Ecology* 54: 1742-1754.
- Choe, H., J.H. Thorne, W. Joo and H. Kwon(2020) The biodiversity representation assessment in South Korea's protected area network. *J. Korean Env. Res. Tech.* 23: 77-87. (in Korean with English abstract)
- Das, A., H. Nagendra, M. Anand and M. Bunyan(2015) Topographic and bioclimatic determinants of the occurrence of forest and grassland in tropical montane forest-grassland mosaics of the Western Ghats, India. *PLoS One* 10: 1-19.
- Elith, J. and J. Leathwick(2007) Predicting species distributions from museum and herbarium records using multiresponse models fitted with multivariate adaptive regression splines. *Diversity and Distributions* 13: 265-275.
- Fabricius, C., M. Burger and P.A.R. Hockey(2003) Comparing biodiversity between protected areas and adjacent rangeland in xeric succulent thicket, South Africa: Arthropods and reptiles. *Journal of Applied Ecology* 40: 392-403.
- Fielding, A.H. and J.F. Bell(1997) A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24(1): 38-49.
- González-Maya, J.F., L.R. Viquez-R, J.L. Belant and G. Ceballos(2015) Effectiveness of protected areas for representing species and populations of terrestrial mammals in Costa Rica. *PLoS One* 10: 1-16.
- Heo, H.Y., D. Cho, Y. Shim, Y. Ryu, J.P. Hong and G. Shim(2017) A Study on the Expanding Protected Areas through Identifying Potential Protected Areas-focusing on the experts' recognition with regard to protected area-. *Korean J. Environ. Ecol.* 31: 586-594. (in Korean with English abstract)
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis(2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hirzel, A.H. and G. Le Lay(2008) Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology* 45(5): 1372-1381.
- Hong, J.P.(2018) Evaluating Quantitative Expansion Goals of the National Protected Areas Integrated System. *J. Korean Env. Res. Tech.* 21: 57-65. (in Korean with English abstract)
- Hong, J.P. and Y.J. Shim(2018) Development of an Integrated Evaluation Method for National Protected Areas Based on Aichi Biodiversity Target 11. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 21: 83-94.
- Hong, J.P., Y. Shim and H.Y. Heo(2017a) 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. (in Korean with English abstract)
- Hong, J.P., Y. Shim and H.Y. Heo(2017b) Identifying Other Effective Area-based Conservation Measures for Expanding National Protected Areas. *J. Korean Env. Res. Tech.* 20: 93-105.
- Kukkala, A.S. and A. Moilanen(2013) Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning. *Biological Reviews* 88: 443-464.
- Leathwick, J.R., D. Rowe, J. Richardson, J. Elith and T. Hastie(2005) Using multivariate adaptive regression splines to predict the distributions of New Zealand's freshwater diadromous fish. *Freshwater Biology* 50: 2034-2052.
- Lee, G.G.(2011) Distributional Characteristics and Improvements for Wildlife Protection Areas in South Korea. *J. Environ. Impact Assess* 20: 685-695.
- Levin, N., T. Mazar, E. Brokovich, P.E. Jablon and S. Kark(2015) Sensitivity analysis of conservation targets in systematic conservation planning. *Ecological Applications* 25: 1997-2010.
- Ministry of Environment(2006) The Third Guidelines for National Ecosystem Surveys. National Institute of Environmental Research. (In Korean)
- Ministry of Environment(2014) The 3rd National Ecosystem Survey (Vegetation).
- Mo, Y.(2018) Aichi Target 11 and Endangered Species, Finding the

- Protected Area Candidates to Achieve the Two Goals. *Journal of National Park Research* 9: 322-328. (in Korean with English abstract)
- Nenzen, H.K. and M.B. Araujo(2011) Choice of threshold alters projections of species range shifts under climate change. *Ecological Modelling* 222(18): 3346-3354.
- Possingham, H.P., K.A. Wilson, S.J. Andelman and C.H. Vynne(2006) Protected areas: Goals, limitations, and design. In M.J. Groom, G.K. Meffe and C.R. Carroll(Eds.), *Principles of Conservation Biology*(3rd ed.). Sinauer Associates, Sunderland, MA. pp. 509-533.
- Su, C.J., D.M. Debinski, M.E. Jakubauskas and K. Kindscher(2004) Beyond Species Richness: Community Similarity as a Measure of Cross-Taxon Congruence for Coarse-Filter Conservation. *Conservation Biology* 18: 167-173.
- Torontow, V. and D. King(2012) Forest complexity modelling and mapping with remote sensing and topographic data: A comparison of three methods. *Canadian Journal of Remote Sensing* 37(4): 387-402.