

연구논문

전국자연환경조사 자료를 이용한 종분포모형 연구

김지연* · 서창완** · 권혁수* · 류지은*** · 김명진*

국립환경과학원*, 서울대학교 환경계획연구소 **, 서울대학교 대학원***

(2012년 6월 21일 접수, 2012년 8월 5일 승인)

A Study on the Species Distribution Modeling using National Ecosystem Survey Data

Jiyeon Kim* · Changwan Seo** · Hyuksoo Kwon* · Jieun Ryu*** · Myungjin Kim*

National Institute of Environmental Research*, Environmental Planning Institute, Seoul National University**,
Graduate School, Seoul National University***

(Manuscript received 21 June 2012; accepted 5 August 2012)

Abstract

The Ministry of Environment have started the 'National Ecosystem Survey' since 1986. It has been carried out nationwide every ten years as the largest survey project in Korea. The second one and the third one produced the GIS-based inventory of species. Three survey methods were different from each other. There were few studies for species distribution using national survey data in Korea. The purposes of this study are to test species distribution models for finding the most suitable modeling methods for the National Ecosystem Survey data and to investigate the modeling results according to survey methods and taxonomical group. Occurrence data of nine species were extracted from the National Ecosystem Survey by taxonomical group (plant, mammal, and bird). Plants are Korean winter hazel (*Corylopsis coreana*), Iris odaesanensis (*Iris odaesanensis*), and Berchemia (*Berchemia berchemiaefolia*). Mammals are Korean Goral (*Nemorhaedus goral*), Marten (*Martes flavigula koreana*), and Leopard cat (*Felis bengalensis*). Birds are Black Woodpecker (*Dryocopus martius*), Eagle Owl (*Bubo Bubo*), and Common Buzzard (*Buteo buteo*). Environmental variables consisted of climate, topography, soil and vegetation structure. Two modeling methods (GAM, Maxent) were tested across nine species, and predictive species maps of target species were produced. The results of this study were as follows. Firstly, Maxent showed similar 5 cross-validated AUC with GAM. Maxent is more useful model to develop than GAM because National Ecosystem Survey data has presence-only data. Therefore, Maxent is more useful species distribution model for National

Ecosystem Survey data. Secondly, the modeling results between the second and third survey methods showed sometimes different because of each different surveying methods. Therefore, we need to combine two data for producing a reasonable result. Lastly, modeling result showed different predicted distribution pattern by taxonomical group. These results should be considered if we want to develop a species distribution model using the National Ecosystem Survey and apply it to a nationwide biodiversity research.

Keywords : National Ecosystem Survey, Species Distribution Model, Maximum Entropy Model, Biodiversity

1. 서론

기후변화와 급격한 도시확장 등의 환경변화에 따라 많은 생물종과 그들의 서식지가 위협을 받고 있다. 그러나 그들을 보호하기 위한 수단은 한계가 있으며 이를 위해서는 많은 비용이 지출된다. 따라서 우선순위를 두고 이들을 보호해야 하며, 이를 위해서는 생물종다양성이 높은 가치 있는 지역의 우선순위를 선정하는 일이 선행되어야 한다(Myers *et al.*, 2000).

생태계를 보호하거나 생물다양성을 유지 및 증진시키기 위해서는 이미 멸종했거나 멸종위기에 처한 동식물을 재도입하거나 외부에서 보전하는 방법 등이 활용되고 있지만 전체 생물다양성을 보전하는 가장 효과적인 방법은 원 상태를 유지하고 있는 생물군집의 서식지를 보호하는 일이라고 알려져 있다(Primack, 2004; Ferrier, 2002; WRI, 1994; Beazley *et al.*, 2005).

이미 많은 국가에서 생물종다양성이 높은 생태우수지역(Hotspot)을 분석하여 보호지역을 지정하는 일을 수행하고 있다. Myers *et al.*(2000)은 전 세계의 생물종 자료를 취합하여 생물다양성이 높은 25개의 생물종풍부지역을 선정하는 연구를 하였으며, Condit *et al.*(2005)는 파나마, 에콰도르, 페루 등 열대림의 식생에 대한 생물다양성을 측정하였다. Regan *et al.*(2007)은 캘리포니아 보호지역 계획을 위하여 생물다양성 가치평가에 필요한 통합 인자를 살펴보고, 이에 따른 인자의 가중치를 선정하는 연구를 하였으며, Beazley *et al.*(2005)는 캐나다의 Nova Scotia지역의 자연자원 가치를 평가

하고 이를 보호지역 계획에 활용한 바가 있다. 이러한 연구들은 장기간 광범위하게 수집된 생물종의 위치자료를 통하여 모형화한 결과물로서 보호지역 계획과 같은 정책에 직간접적으로 반영되고 있다.

생물다양성 분석에는 종분포도가 필요하며, 종분포 예측을 위해 현재 다양한 모형들이 개발 적용되고 있다(서창완 등, 2008). 최근에는 통계모형에 기반한 종분포모형들이 다양하게 개발되어 다양한 자료 형태 및 분류군에 따른 분포연구들이 활발히 진행되고 있다(서창완 등, 2008; Flanklin, 2009; 권혁수, 2011). 이러한 종분포모형은 생물다양성 평가, 보호지역 지정, 서식지 관리 및 복원 등과 같은 자연자원 관리 및 보전계획 등에 다양하게 이용되고 있으며, 특히 종이나 개체군, 종풍부도에 대한 지리적 분포나 개체군의 속성을 파악하여 보호가 우선되어야 할 지역이나 현재 또는 중장기적으로 위협이 될 만한 지역을 찾아내 보호지역을 설계하는 데 중요한 정보를 제공한다(Scott *et al.*, 1993; Li, 1999; Rodrigues *et al.*, 2004; Kremen *et al.*, 2008; Thorn *et al.*, 2009; Flanklin, 2009; 권혁수, 2011).

국내의 생물다양성 연구는 초기수준으로 전국단위의 생물다양성 평가 및 종분포모형과 관련한 연구가 거의 없었다. 이는 생물종의 서식지에 대한 연구가 부족하고 야생동식물 조사에서 장기간에 걸친 균질한 위치자료의 수집에 어려움이 있었기 때문으로 보인다(서창완 등, 2008; 권혁수, 2011). 특히 국가단위의 생물종다양성을 평가하기 위해서는 전국에 대한 장기간의 조사 자료가 요구되지만, 많은 인력과 시간, 비용이 발생하기 때문에 연구가 제한적

으로 이루어질 수밖에 없었다.

환경부에서는 전국자연환경조사를 통해 전국단위로 육상, 수생태계를 대상으로 다양한 분류군에 대하여 주기적으로 조사를 수행하고 있다. 1986년부터 현재까지 전국의 육지지역, 담수지역에 대하여 조사를 수행하고 있으며 식물, 식생, 포유류, 조류, 양서·파충류, 육상곤충류, 어류 등 다양한 분류군에 대하여 장기간에 걸쳐 전국단위로 분포자료를 수집하고 있다. 전국자연환경조사 자료는 전국자연환경조사 지침에 의거한 표준화된 조사 방법으로 다양한 분류군에 대한 자료가 수집되었으므로, 전국단위의 생물종다양성 연구에 가장 적합한 자료로서 활용할 가치가 있다.

그러나 현재 전국자연환경조사 자료를 활용한 종다양성 관련 연구가 많지 않을 뿐만 아니라 자료의 특성 파악과 관련한 연구가 없었기 때문에 이를 활용할 경우 잘못 적용될 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같이 연구를 수행하고자 하였다. 첫째, 수집된 전국자연환경조사 자료의 특성에 가장 적합한 종분포모형을 찾고자 하였다. 둘째, 제2차 및 제3차 전국자연환경조사의 조사방법 차이에 따른 모형결과를 살펴보고 전국단위 생물종다양성 분석에 이용하기 위한 최적의 전국자연환경조사 자

료의 활용 방안을 제안하고자 한다. 셋째, 서로 서식 특성이 다른 분류군별로 모형을 개발하여 분류군에 따라 나타나는 결과의 특징을 파악하고 추후 생물종다양성 분석 연구에 활용하고자 한다.

본 연구를 통하여 전국자연환경조사 자료의 특징을 파악하고, 향후 전국자연환경조사 자료를 활용할 종분포 연구 및 생물종다양성 연구에 그 특성을 반영할 수 있도록 하고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 전국자연환경조사 자료

생물종 자료는 위치정보가 수집된 제2차 전국자연환경조사(‘97~’05) 및 제3차 전국자연환경조사(‘06~’09) 자료를 활용하였다. 제2차 및 제3차 전국자연환경조사의 가장 큰 차이점은 조사방법이다. 제2차 전국자연환경조사에서는 수계 및 산림을 중심으로 권역을 나누고, 권역내 대표산을 조사하였다. 반면, 제3차 조사에서는 1:25,000 축척의 지형도 도엽 하나를 조사단위로 정하고, 이를 위·경도에 따라 2'30" 로 9개의 격자로 나누고 모든 격자

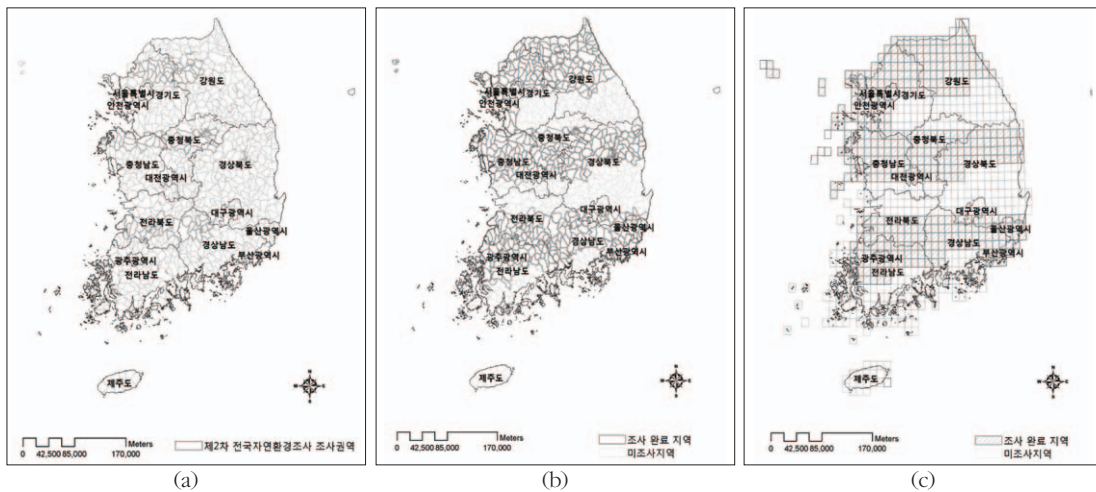


그림 1. 전국자연환경조사 조사단위

(a: 제2차 전국자연환경조사 권역, b: 제3차 전국자연환경조사(‘06-’09) 식생 권역, c: 제3차 전국자연환경조사(‘06-’09) 동·식물조사도엽)

를 조사하는 도엽단위 조사로 바뀌었다. 다만, 식물상 및 육상곤충 분야는 1:25,000 지형도 도엽을 기본 단위로 하여 조사하고, 식생은 제2차 전국자연환경조사와 마찬가지로 권역단위로 조사를 실시한다(환경부, 2006).

제2차 전국자연환경조사는 전국에 대하여 조사를 완료하였으며, 제3차 전국자연환경조사는 2012년 완료될 예정으로 현재 수행중에 있는데 북부, 중부, 남부 3개의 권역으로 나누어 각 권역에 대하여 매년 일부분씩 조사하고 있다. 제3차 전국자연환경조사는 2009년까지 전국의 57%에 대한 조사가 완료되었다(그림 1 (b), (c)).

2) 대상종

전국자연환경조사 결과 구축된 여러 분류군 중에서 포유류, 조류, 식물 3개 분류군에 대하여 본 연구를 수행하였다. 생태계 구성요소 중 식물은 생태계의 근간을 이루는 생산자로서 다른 동식물의 서식처, 이용가치 등에 대한 중요한 역할을 하며, 포유류는 소속 생태계 내의 최상위 소비자로서 해당 생태계의 안정성 여부를 판단할 수 있는 근거가 된다. 또한 조류는 식생과 거기에 생산되는 먹이의 종류와 양, 경쟁 종 유무에 따라 크게 영향을 받으며, 생태계의 건강성 여부를 판단할 수 있는 훌륭한 지표동물이다(국립환경과학원, 2003).

산림 위주로 조사가 이루어진 전국자연환경조사의 특성을 반영하여, 산림을 중심으로 서식하며 전국적으로 고르게 분포하는 종을 대상종으로 선택하되, 서식환경의 변화에 민감한 환경부 지정 멸종위기종을 포함하였다. 종분포모형 구축을 위해 모형화가 가능한 7지점 이상의 자료를 갖는 종 중에서(Franklin, 2009), 식물은 멸종위기 II급종인 망개나무(*Berchemia berchemiaefolia*)와 일반종 중 히어리(*Corylopsis coreana*), 노랑무늬붓꽃(*Iris odaesanensis*), 포유류는 멸종위기 I급종인 산양(*Nemorhaedus goral*), 멸종위기 II급종인 담비(*Martes flavigula korea*), 삿(*Felis bengalensis*), 조류는 멸종위기 II급종인 까막딱다구리(*Dryocopus martius*), 수리부엉이(*Bubo Bubo*)와 일반종 중 말

표 1. 종분포모형 대상종 및 위치자료 수

분류군	종명	2차	3차
식물	망개나무	29	0
	히어리	25	21
	노랑무늬붓꽃	24	5
포유류	산양	35	110
	담비	89	337
	삿	514	2,127
조류	까막딱다구리	30	19
	수리부엉이	52	25
	말똥가리	289	603

똥가리(*Buteo buteo*)를 선정하였다. 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 결과 대상종에 대하여 구축된 자료의 수는 표 1과 같다.

3) 환경인자

기존의 서식지 관련 연구 및 대상종과 관련한 문헌에서 식물은 지형(표고, 향), 토양(토양 배수, 토양 산도), 기후(기온, 강수) 등의 인자가, 포유류는 지형(경사, 향, 표고, 암반), 식생(식생유형, 피복유형), 거리(도로로부터의 거리, 수계로부터의 거리) 등의 인자가, 조류는 식생(임령, 식생유형, 피복유형), 거리(도로로부터의 거리, 수계로부터의 거리), 지형(암반) 등의 인자가 서식지 이용에 영향을 미치는 것으로 나타나 있으므로, 이들 변수들을 기후, 토양, 피복, 식생, 지형, 거리 등의 자료로 구분하고 100m 공간해상도로 구축하였다(표 2)(원병오, 1981; 김휘 등, 1988; 이정환 등, 1999; 이장호, 2000; 노일과 문현식, 2004; 최태영과 박종화, 2004; 임동욱 등, 2005; 최창용 등, 2007; 환경부, 2007; 이동근과 송원경, 2008; 서창완 등, 2008; 장형태 등, 2008; 임동욱 등, 2011). 기후자료는 Worldclim에서 제공하는 기후자료인 BIOCLIM자료를 사용하였으며, 19개의 BIOCLIM 자료 중 PCA(Principal Components Anaysis)분석을 통하여 전체 변수를 대표할 수 있는 7개의 변수(Bio1, Bio4, Bio10, Bio11, Bio12, Bio16, Bio17)를 선택하였다(Seo et al., 2009). 농촌진흥청 토양환경정보시스템의 토양도를 바탕으로 토양 배수와 토양 경사도, 심토 토

표 2. 모형에 입력된 공간변수

	설 명	기호	식물	조류	포유류
기 후	연평균 기온	Bio1	○		
	기온의 계절적 변동	Bio4	○		
	가장 따뜻한 분기의 평균 기온	Bio10	○		
	가장 추운 분기의 평균 기온	Bio11	○		
	가장 습한 분기의 평균 기온	Bio12	○		
	가장 습한 분기의 강수량	Bio16	○		
	가장 건조한 분기의 강수량	Bio17	○		
토 양	토양배수등급	Soildrain	○		
	토양경사도	SL	○		
	심토토성	ST	○		
피복	토지피복도의 피복	Landcover	○	○	○
식 생	임상도 임상	Imsang	○	○	○
	임상도 영급	Yung	○	○	○
	정규식생지수 : MODIS 영상의 연평균 NDVI	NDVI	○	○	○
지 형	향(Northness : $\text{Cos}(\text{Aspect} \cdot \pi / 180)$)	Northness	○	○	○
	지형기복(DEM에서 Neighborhood 5×5에서 Standard deviation)	Relief		○	○
	DEM(수치표고모형)	Elevation	○	○	○
	Slope(DEM에서 경사도 추출)	Slope	○		
	수분지수($\ln(\text{Flow Accumulation} + 1) / (\text{Slope} + 1)$)	Wetness	○		
거 리	산림경계에서 내부로의 거리	Dist_Forestin		○	○
	산림경계에서 외부로의 거리	Dist_Forestout		○	○
	하천으로부터의 거리	Dist_River		○	○
	도로로부터의 거리	Dist_Road		○	○

성을 작성하였다. 환경부의 토지피복분류도를 활용하였으며, 산림청의 제4차 임상도로부터 임상과 영급을 추출하였다. 정규식생지수는 2008년 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 영상의 연평균 정규식생지수를 사용하였다. 수치지형도에서 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하고, 지형기복, 경사도, 향, 수분지수를 구축하였다. 산림과의 거리 변수는 임상도를 바탕으로 산림 내외부 거리 변수를 생성하였으며 하천으로부터의 거리는 하천도를 기준으로 생성하였다. 도로로부터의 거리는 수치지형도를 이용하였다. 여기에 생성된 변수들은 100m 격자로 모두 재배열(resampling)하였으며, 자료구축은 ESRI사의 ArcGIS 10.0을 사용하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 전국자연환경조사에 가장 적합한

종분포모형을 찾기 위해 종분포모형 기법을 비교하고, 각기 다른 조사방법으로 수집된 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료를 생물종다양성연구 분석에 활용하기 위해 가장 적합한 자료 활용 형태를 검토하고자 하였다. 또한, 서식 특성이 각기 다른 분류군별로 모형을 개발하여 분류군에 따라 나타나는 결과의 특징을 파악하기 위하여 다음과 같이 연구를 수행하였다. 첫 번째, 전국자연환경조사 자료에 적합한 종분포모형 기법을 찾기 위해서 GAM (Generalized Additive Model)과 Maxent (Maximum Entropy Model)를 이용하여 종분포모형을 구축하고, 그 결과를 비교하였다. GAM은 출현/비출현자료 (Present-absent data)를 적용하는 모형으로, 매우 강력하고 유연한 기법이어서 종분포모형의 공간 예측에 널리 이용되고 있다(Frankilin, 2009). 상용프로그램인 GRASP 3.3을 이용하였으며, 이를 통계프로그램인 S+에 탑재하여 분석을 수행하였다.

모형은 단계적 선택(stepwise selection)과 AIC(Akaike Information Criterion)를 기준으로 적용하였다(Anon, 1999). Maxent는 출현자료만을 적용하는 모형으로서, 출현자료만을 적용할 때 다른 모형에 비해 보다 높은 예측 정확도를 나타내어 최근에 출현자료만을 이용할 경우 많이 사용된다(Pearson *et al.*, 2007; 서창완 등, 2008). 본 연구에서는 Maxent 3.3.2를 이용하였다. 각 모형의 정확도는 ROC(Receiver Operating Characteristic)의 AUC(Area Under Cover) 값을 통해 측정하였으며, 5회의 교차검증을 수행하였다(Thuiller, 2003). 전국자연환경조사는 종의 출현 정보만을 가진 위치자료이므로, GAM을 수행하기 위해서 비출현을 대표할 가임의점자료(Pseudo random point data)를 생성하여 출현/비출현 형태의 자료를 구축하였다. 또한 GAM은 위치자료와 환경변수 간의 유의성을 검증하기 위해 Wilcoxon-rank sum test를 수행하여 입력변수를 선택하였고, Maxent에도 같은 입력변수를 적용하였다.

두 번째, 각기 다른 방법으로 조사가 이루어진 전국자연환경조사 자료의 분포 현황 및 예측 서식분포 형태를 유형화하여 구분하고, 최적의 결과를 도출하기 위한 조사자료의 활용 형태를 검토해 보았다. 이를 위해서 첫 번째, 제2차 및 제3차 자료만을 활용하여 종분포모형을 구축하고, 조사방법의 차이가 서식분포 예측에 영향을 미치는지를 검토하였다. 단, 제2차 조사는 전국에 대하여 완료되었지만 제3차 조사는 진행중에 있으므로, 제3차 조사가 수행된 권역에 국한하여 종분포모형을 구축하고 그 결과를 비교하였다. 두 번째, 부분적으로 수집된 전국자연환경조사 자료를 전국단위의 연구에 활용할 수 있을지를 검토하기 위하여, 제2차 조사 자료를 제3차 조사가 수행된 지역에 국한하였을 때와, 제2차 조사 자료 전체를 전국에 적용하였을 때로 구분하여 종분포모형을 구축하고 그 결과를 비교하였다. 이를 통하여 추후 전국에 대하여 57%만 완료된 제3차 조사 자료를 전국단위의 종분포모형 연구에 적용할 수 있을지를 검토하였다. 단, 망개나무는

현재 진행중인 제3차 조사에서 위치자료가 하나도 수집되지 않아서 대상에서 제외하였다.

마지막으로, 생태적 특성과 위치자료 수집 방법이 각기 다른 분류군에 대하여 구축한 종분포모형이 어떠한 차이점을 갖는지를 살펴보고자 하였다. 이를 위하여 목표종 9종에 대하여 서식에측분포도를 작성하고, 서식환경에 영향을 미치는 인자를 도출하였다. 모형의 결과는 0.0~1.0의 값으로 출현 확률로 지도화하였다. 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료는 통합하여 사용하였고, 종분포모형은 Maxent를 이용하였다. 각 모형의 정확도는 ROC의 AUC값을 통해 측정하였다(Franklin, 2009).

III. 연구결과 및 고찰

1. 종분포모형 기법 비교

각 모형들을 중에 따라 분석한 결과는 표 3과 같다. 출현-비출현 모형(Present-absent model)인 GAM과 출현 모형(Present-only model)인 Maxent는 전반적으로 유사한 모형적합도를 보였다. 히어리(0.970), 노랑무늬붓꽃(0.954), 망개나무(0.983) 등 식물에 대해서는 Maxent가 모형적합도가 높게 나왔으며, 까막딱다구리(0.837), 수리부엉이(0.668), 말뚝가리(0.655) 등 조류에 대해서는 GAM의 모형적합성이 높게 평가되었다. 포유류의 경우는 두 모형의 적합도가 거의 유사하긴 하나, 산양(0.910), 삿(0.695) 등에 대해서 Maxent의 모형적합도가 조금 더 높게 평가되었다(표 3).

서식지에 영향을 미치는 환경인자의 경우, 두 모형의 알고리즘 차이 때문에 기여율의 순위가 똑같지는 않으나 서식에 주로 영향을 주는 환경인자는 유사한 것으로 나타났다.

기존 연구를 살펴보면, 출현자료만을 활용하는 경우에 Maxent가 GAM보다 높은 모형적합도를 보였다(Elith *et al.*, 2006; 서창완 등, 2008; Franklin, 2009). 하지만 본 연구에서 9개의 대상종에 대한 종분포모형 구축 결과를 비교했을 때, 모형적합도나 서식지에 영향을 미치는 주요 환경인자 등이

표 3. GAM 및 Maxent 모형적합성과 선택변수

분류군	종	GAM		Maxent	
		5cvROC	선택 변수(모델 기여도 순)	5cvROC	선택 변수(모델 기여도 순)
식물	히어리	0.967	Bio16, NDVI, Slope, Bio4	0.970	Bio16, Bio4, Slope, NDVI
	노랑무늬붓꽃	0.897	Bio1, Bio4, Bio17, Elevation, Soildrain, Bio12	0.954	Elevation, Bio1, Bio4, Bio12, Bio17, Soildrain
	망개나무	0.855	Bio16, Bio12, Bio11, Bio17, Elevation, Bio4, Bio10, Slope, NDVI, Wetness, SL, Northness, Soildrain, Yung	0.983	Bio16, Bio10, Bio4, Elevation, Bio17, Slope, Yung, Soildrain, SL, Bio12, Bio11, Northness, NDVI, Wetness
포유류	산양	0.909	Relief, ForestIn, Elevation, Yung, Northness	0.910	Elevation, Relief, ForestIn, Yung, Northness
	삼	0.675	NDVI, Dist_river, ForestIn, Relief, Elevation, Northness, Yung, Dist_road	0.695	Relief, NDVI, ForestIn, Yung, Elevation, Dist_road, Dist_river, Northness
	담비	0.815	ForestOut, Dist_river, Relief, Elevation, ForestIn	0.813	Elevation, Relief, ForestIn, Dist_river, ForestOut
조류	까막딱다구리	0.837	ForestOut, ForestIn, NDVI, Elevation, Relief, Yung	0.797	Elevation, Relief, Yung, ForestIn, NDVI, ForestOut
	수리부엉이	0.668	Dist_road, Relief, Northness	0.649	Relief, Northness, Dist_road
	말뚝가리	0.655	ForestOut, ForestIn, Elevation, Dist_river, Northness, NDVI, Relief, Yung	0.651	ForestIn, Northness, Dist_river, NDVI, Elevation, Relief, ForestOut, Yung

표 4. 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료 공간분포 및 예측 서식분포 형태 유형

		제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료 종분포도 공간분포	
		유사	상이
예측 서식분포 형태	유사	산양, 삼, 히어리	담비
	상이	-	노랑무늬붓꽃, 까막딱다구리, 말뚝가리, 수리부엉이

GAM을 이용했을 때나 Maxent를 이용했을 때나 큰 차이를 보이지 않았다.

그러나 종분포모형 구축 과정에서 Maxent는 GAM과 달리 연속형 변수 외에 명목형 변수를 입력 변수로 활용할 수 있는 점, 전국자연환경조사 자료와 같은 출현자료만을 활용할 수 있도록 설계되어 가임의점자료(Pseudo random point data)를 생성할 필요가 없는 점 등을 종합적으로 고려할 때, 전국자연환경조사 자료를 활용하여 종분포모형을 구축하기에는 출현모형인 Maxent모형이 GAM보다 유용한 모형으로 평가할 수 있다(Phillips *et al.*, 2006, Baldwin, 2009).

2. 전국자연환경조사 자료 활용 형태 검토

조사 방법이 다른 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료를 검토한 결과, 산양, 삼, 히어리는 수집된 자료의 공간분포가 유사한 반면, 담비, 노랑무늬

붓꽃, 까막딱다구리, 말뚝가리, 수리부엉이는 수집된 자료의 공간분포가 다소 상이하게 나타났다. 그리고 이 자료를 활용하여 종분포모형을 구축하고 서식분포예측도를 작성한 결과, 산양, 삼, 히어리, 담비는 유사한 서식분포 형태로 서식확률이 예측되었다. 반면, 노랑무늬붓꽃, 까막딱다구리, 말뚝가리, 수리부엉이의 경우 다소 상이한 서식분포 형태로 서식확률이 예측되었다(그림 2 (A-a), (A-b), (B-a), (B-b), (C-a), (C-b)).

즉, 산양, 삼, 히어리는 제2차 및 제3차 조사자료의 공간분포 및 예측된 서식분포 형태가 모두 유사하였고, 담비는 조사자료의 공간분포는 각기 상이하지만 예측된 서식분포 형태는 유사하였다. 그러나 노랑무늬붓꽃, 까막딱다구리, 말뚝가리, 수리부엉이는 각 자료의 공간분포, 예측된 서식분포 형태가 모두 상이하였다(표 4).

히어리는 다른 목본식물과는 다르게 고립된 분포

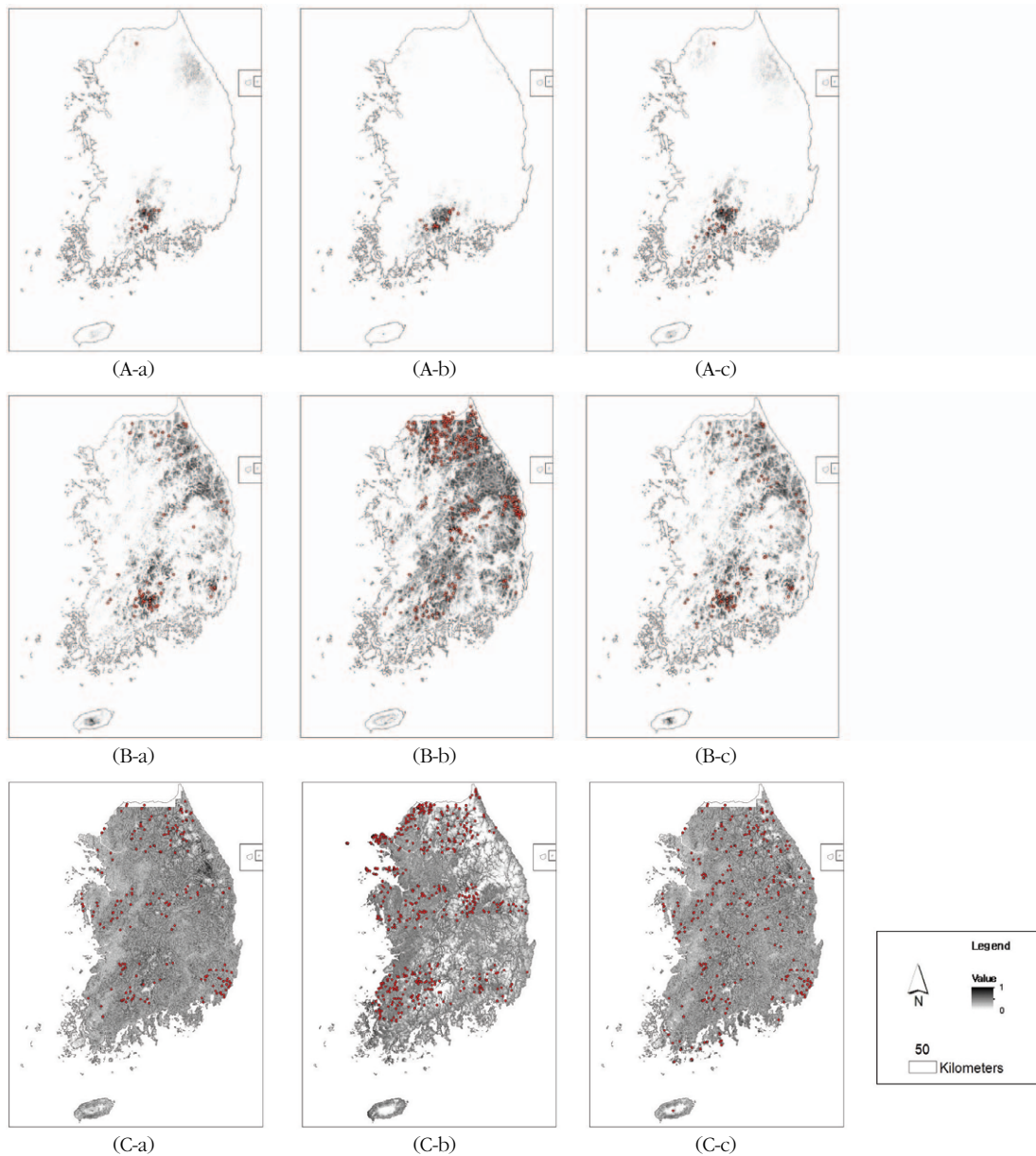


그림 2. 전국자연환경조사의 공간분포 차이에 따른 서식분포예측도

(A-a: 히어리(제3차 조사가 완료된 권역의 제2차 자료 활용), A-b: 히어리(제3차 자료 활용), A-c: 히어리(제2차 자료 활용), B-a: 담비(제3차 조사가 완료된 권역의 제2차 자료 활용), B-b: 담비(제3차 자료 활용), B-c: 담비(제2차 자료 활용), C-a: 말뚝가리(제3차 조사가 완료된 권역의 제2차 자료 활용), C-b: 말뚝가리(제3차 자료 활용), C-c: 말뚝가리(제2차 자료 활용))

양상을 나타내는 우리나라 특산식물로, 지리산 일원에 집중적으로 분포하고 있다(문현식 등, 2004; 환경부, 2005). 이와 같은 서식특성으로 인해 조사 방법이 변화하여도 자료의 공간분포에 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

산양, 삶은 제3차 조사가 진행중임에도 불구하고 수집되는 위치자료의 수가 더 많아지고(표 1), 조사 자료의 밀도도 높아졌다. 담비 역시 제3차 조사시 수집된 위치자료의 수가 증가하였고(표 1), 밀도도 높아졌다. 그러나 담비는 삶, 산양과 달리 제2차 조

사시 자료가 수집되지 않은 지역에서 제3차 조사시 자료가 수집되는 등 자료가 수집되는 지역이 광범위해지며 자료의 공간분포가 변화하였다(그림 2 (B-a), (B-b)). 포유류는 제2차 조사시 권역단위로 조사를 하며, 권역 내 대표산을 조사하였지만, 위치 자료 수집방법은 3차 조사와 유사하게 1:25,000 축척의 지형도를 9개의 격자로 나누고 격자별로 조사를 하였다(환경부, 1997). 그러므로 포유류는 대체적으로 제2차와 제3차 자료의 공간분포, 자료가 수집된 지점의 서식환경이 유사한 것으로 판단된다. 다만, 종에 따라 담비와 같이 제3차 조사시 자료가 수집되는 대상지역이 확대될 경우, 자료의 공간분포가 달라질 수 있을 것으로 판단된다.

까막딱다구리, 말뚝가리, 수리부엉이, 노랑무늬붓꽃은 제2차 및 제3차 조사자료의 공간분포도 상이하고, 예측된 서식분포패턴도 상이하였다. 조류의 경우, 제2차 조사는 권역조사로 권역 내 대표산을 선정하고 그 전체를 조사하였으며, 조사 권역내 하천이나 호수가 포함될 경우 육역만 조사하도록 하였다(환경부, 1997). 반면, 제3차 조사에서는 1:25,000축척 기준의 도엽을 9개 격자로 나누고, 십(+)자 모양으로 5개 격자를 균등하게 조사하고 있다(환경부, 2006). 이에 따라 제2차 조사에서는 산림에서 집중적으로 자료가 수집되었으나, 제3차 조사에서는 수계를 포함하여 보다 다양한 환경에서 자료가 수집되었으며, 격자별로 고르게 자료가 수집되고 있다. 따라서 조류의 경우에는 까막딱다구리, 수리부엉이와 같이 산림에서 주로 서식하거나, 말뚝가리와 같이 농경지 인근의 산림 임연부에서 주로 서식하는 등의 서식여부와 관계없이 제2차와 제3차 자료가 각기 공간분포 유형, 자료 수집 지점의 서식환경 등이 다르게 나타나는 것으로 판단된다. 노랑무늬붓꽃은 제2차 조사시 발견된 자료의 대부분이 제3차 조사가 이루어지지 않은 지역에서 발견되었다. 따라서 부분적으로 수행된 제3차 조사 결과만으로는 노랑무늬붓꽃의 서식특성을 적절하게 예측하지 못한 것으로 판단된다.

이와 같이 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 방

법이 변화함에 따라 수집된 위치자료의 공간분포가 변화하는 경우도 있고, 그렇지 않은 경우도 있으며, 자료가 수집되는 지점의 서식환경이 유사한 경우도 있고, 그렇지 않은 경우도 있다. 그러므로 조사방법의 차이에 따른 자료의 공간분포의 차이를 보완하여 생물종다양성 연구에 활용하기 위해서는 제2차 및 제3차 조사자료를 통합하여 활용하는 것이 적절하다.

한편, 제3차 전국자연환경조사는 진행중에 있으므로 부분적으로 수집된 조사 자료를 전국단위의 생물종다양성 연구에 활용할 수 있을지에 대한 검토가 필요하다. 이를 위해서 전국에 대하여 조사가 완료된 제2차 전국자연환경조사 자료를 제3차 조사가 완료된 지역에 국한하여 종분포모형을 구축한 결과와, 제2차 조사 자료 전체를 전국에 대하여 종분포모형을 구축한 결과와 비교하였다.

그 결과, 노랑무늬붓꽃을 제외한 나머지 7종은 제2차 조사 자료 전체를 전국에 대하여 종분포모형을 구축하였을 때와, 2차 자료 중 3차가 수행된 지역으로 한정하여 모형을 구축하고 전국에 투영하였을 때 예측된 서식분포패턴이 유사하였다(그림 2 (A-a), (A-c), (B-a), (B-c), (C-a), (C-c)). 이는 전국자연환경조사의 경우, 위도의 차이에 따라 다소 달라질 수 있는 서식환경을 고려하여 전국을 북부, 중부, 남부 세 개의 권역으로 나누고 매년 세 개 권역에서 자료를 수집하고 있기 때문에 위도의 차이에 따라 달라질 수 있는 서식환경의 편차를 보완한 것으로 판단된다.

서식지에 영향을 미치는 인자의 경우, 기여율 및 순위에는 다소 차이가 있지만, 주로 영향을 미치는 인자는 유사하였다. 이를 통해서 부분적으로 수집된 전국자연환경조사 자료를 전국단위의 연구에 활용하더라도 대상종의 서식환경을 대표하여 잘 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로 전국자연환경조사 자료를 종분포모형 및 생물종다양성 연구에 활용하기 위해서는 제2차 및 제3차 조사자료를 통합하여 사용하는 것이 조사 자료의 보완을 위해서 합리적인 것으로 판단된다.

또한, 제3차 전국자연환경조사는 비록 진행중에 있지만, 수집이 완료된 자료만으로도 전국단위의 대상종의 서식환경을 대표할 수 있으므로 현재 수집된 제3차 전국자연환경조사 자료를 종분포모형 및 생물종다양성 연구에 활용할 수 있다.

3. 분류군별 특징 비교

식물, 포유류, 조류 등 자료 수집 방법, 서식특성이 각기 다른 분류군에 따라 종분포모형 구축 결과가 어떠한 차이점을 갖는지를 살펴보기 위하여 대상종 9종에 대하여 종분포모형을 구축하였다. 앞서 살펴본 대로, 전국자연환경조사 자료를 활용하여 종분포모형을 구축하기 위하여 Maxent 기법을 이용하였고, 제2차 전국자연환경조사 자료 및 제3차('06-'09) 조사 자료를 통합하여 활용하였다.

모형 구축 결과, 9개 대상종에 대한 대부분 모형의 AUC값이 0.7이상이었다. AUC값이 0.9 이상이면 모형적합도가 높고, 0.7~0.9 이면 적절하다고 볼 수 있으므로 9개 종에 대한 종분포모형의 전반적인 모형적합도는 적절한 것으로 판단할 수 있다(Swets, 1998; Manel *et al.*, 2001; Franklin, 2009).

그러나 분류군에 따라 모형적합도가 다른 특성을 보였다. 히어리(0.985), 망개나무(0.985), 노랑무늬붓꽃(0.983) 등 식물의 AUC값은 0.98 이상으로 분류군 중에서 가장 높은 모형적합도를 보였다. 담비(0.840), 삿(0.691), 산양(0.938) 등 포유류는 AUC 값이 식물보다는 낮았지만 대체적으로 높은 수준의 모형적합도를 보였다. 반면, 수리부엉이(0.729), 까

막딱다구리(0.868), 말뚝가리(0.685)등 조류는 까막딱다구리를 제외하고는 0.8 이하의 AUC값을 보이며 세 개 분류군 중 가장 낮은 수준의 모형적합도를 보였다.

서식지에 영향을 미치는 인자 역시 분류군에 따라 다소 다른 특성을 나타냈다. 식물의 경우 대체적으로 기후인자가 전국단위의 서식에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 포유류는 고도, 지형기복 등 지형적인 요인이 주로 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 조류는 지형 인자 외에 공통적으로 산림 내부로의 거리, 산림 외부로의 거리, 도로로부터의 거리 등 거리 인자가 주로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 까막딱다구리의 경우 기존 연구결과(이장호, 2000; Garmendia *et al.*, 2006)와 같이 임령이 높을수록 서식확률이 높은 것으로 나타나는 등 서식에 큰 영향을 미친다고 입증된 환경인자가 서식에 영향을 미치는 인자로 선정되는 것을 확인할 수 있었다.

분류군별 모형적합도의 차이는 분류군의 서식특성 및 자료수집의 정확도가 영향을 미친 것으로 판단된다. 식물은 위치가 고정되어 있어 정확한 위치 취득이 가능하다. 포유류는 이동성이 크고 서식반경은 크지만, 개체관찰, 서식 흔적(족적, 배설물)을 발견한 후 자료를 기록한다(환경부, 1997; 환경부, 2007). 반면, 조류는 이동성이 크고 서식반경도 매우 넓으며, 울음소리 및 쌍안경, 망원경 등을 이용하여 종을 동정한 경우에도 위치자료를 기록하므로 발견지점이 정확한 서식환경을 반영하기 어려운 경

표 5. 대상종 종분포모형의 모형적합성과 선택변수

분류군	종	AUC	선택 변수(모델 기여도 순)
식물	히어리	0.985	Bio12, Bio16, Bio4, Elevation, Imsang, Bio11, Bio10
	노랑무늬붓꽃	0.983	Elevation, Bio1, Bio10, Bio16, ST, Imsang, Soildrain
	망개나무	0.985	Bio16, Imsang, Bio10, Bio4, Slope, Elevation, Soildrain
포유류	산양	0.938	Elevation, Relief, ForestIn, Yung, NDVI, Dist_river, Landcover
	삿	0.691	Relief, NDVI, Elevation, Yung, Dist_road, ForestIn, Landcover
	담비	0.840	Elevation, Relief, ForestIn, Yung, Landcover, Dist_road, NDVI
조류	까막딱다구리	0.868	Elevation, Relief, ForestIn, Yung, NDVI, ForestOut, Dist_road
	수리부엉이	0.729	Relief, Landcover, Dist_road, Yung, NDVI, ForestOut, Dist_river
	말뚝가리	0.685	ForestIn, Dist_river, Elevation, NDVI, Relief, ForestOut, Landcover

우가 많다(환경부, 1997; 환경부, 2007). 그러므로 세 개 분류군 중 가장 모형적합도가 낮은 것으로 판단된다.

서식에 영향을 끼치는 인자는 분류군별로 다른

특성을 보였다. 식물의 경우, 전국단위에서 식물의 서식에 영향을 주는 환경인자는 기온, 강수량과 관련한 기후인 것으로 나타났다. 식물의 분포는 기후, 토양, 지형, 생물, 인위적 요인의 영향을 받으며

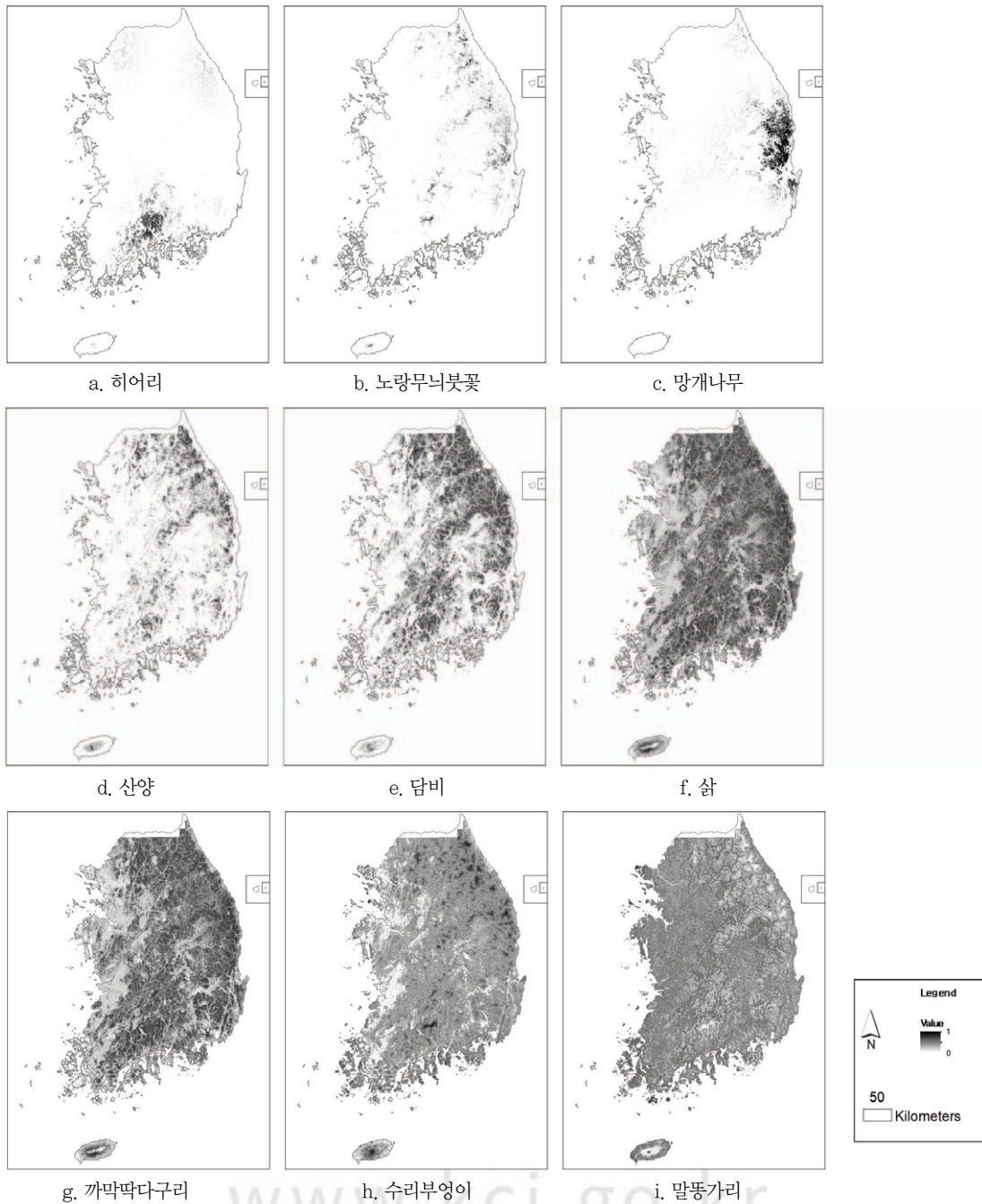


그림 3. 대상종 서식분포예측도

(Woodward, 1987; Huntley, 2004; Pearson *et al.*, 2002; Mike, 2007), 지형 자료와 특정 서식처 유형 등은 기후 자료로 설명할 수 없는 부분을 설명해 주기도 하지만, 기후요인은 생육가능지역을 결정하는 중요한 요인이다(del Barrio *et al.*, 2006). 포유류는 고도, 지형기복 등 지형적인 요인이 주로 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 조류는 지형적인 요인 외에, 산림내부로의 거리, 도로로부터의 거리 등 먹이자원 수집에 영향을 주는 거리와 관련된 인자가 주로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 야생동물의 경우, 서식지 결정에 영향을 주는 요소로서 먹이, 은신처, 물, 공간 등으로 볼 수 있는데(이우신 등, 2010), 포유류의 경우에는 은신처 및 먹이를 결정하는 요소에 지형적인 요인이 더 공통적으로 영향을 주는 것으로 판단되며, 조류의 경우에는 거리와 관련한 인자들이 더 공통적으로 영향을 주는 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 추후 전국단위의 생물종다양성 연구에 전국자연환경조사 자료를 활용하기 위하여 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료의 특성을 살펴보고, 종분포모형 구축과 관련하여 이를 활용하기 위한 여러 방법을 검토해 보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

종분포모형의 경우 본 연구결과에서는 출현모형과 비출현모형이 모형적합도에서는 큰 차이를 보이지는 않았으나, 모형 이용의 편이성, 자료의 특성 등을 고려할 때 출현모형이 전국자연환경조사 자료의 특성을 더욱 잘 반영할 것으로 판단된다. 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료는 조사 방법이 변화함에 따라 자료의 분포형태 및 종분포모형 구축 결과 예측되는 서식분포 형태도 달라질 수 있으므로, 제2차 및 제3차 조사자료를 통합하여 사용하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다. 종분포모형 구축 결과는 분류군에 따라 모형적합도, 서식에 영향을 미치는 환경인자 등에서 다소 다른 경향을 보이

는데, 이와 같은 결과는 전국자연환경조사 자료 수집 방법, 분류군의 특성 등이 복합되어 나타나는 결과인 만큼, 추후 생물다양성 연구에 전국자연환경조사 자료를 활용하기 위해서는 이와 같은 여러 특성을 고려하여야 한다.

본 연구는 전국단위의 생물다양성 연구에 종분포모형을 활용하기 위한 기초연구로서 전국단위로 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료의 특징, 종분포모형 기법, 분류군별 특징 등을 최초로 비교 검토하였다는 데 의의가 있으며, 추후 이를 바탕으로 한 전국단위의 생물다양성 연구가 후속으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2003, 자연환경조사는 왜 하는가, 국립환경과학원.
- 권혁수, 2011, 보호지역계획을 위한 생물다양성 통합평가모형; 지리산과 덕유산, 가야산 권역을 대상으로, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김지연, 류지은, 도재화, 이두범, 이윤경, 김동원, 서재화, 서민환, 서창완, 권혁수, 서진수, 박종화, Thorne, J. H., 2010, 전국자연환경조사 결과를 활용한 종분포모델링 연구(I), 국립환경과학원.
- 김휘, 강우창, 이길훈, 최윤자, 장진성, 1988, 희귀식물, 히어리 생태에 관한 연구, 서울대학교 수목원 연구보고, 18, 44-56.
- 노일, 문현식, 2004, 히어리 군락의 입지특성과 식생구조 분석, 농업생명과학연구, 38(2), 41-51.
- 문현식, 노일, 김종갑, 전남 곡성지역 히어리 군락의 입지환경 및 식생구조, 한국농림기상학회지, 6(3), 196-203.
- 서창완, 박유리, 최윤수, 2008, 위치자료의 종류에 따른 생물종 분포모형 비교 연구, 한국지리공간정보학회지, 16(4), 59-64.
- 원병오, 1981, 한국동식물도감, 문교부.

- 이동근, 송원경, 2008, 삶의 서식지 적합성 평가를 위한 분석단위 설정 및 보전지역 선정, 2008, 한국조경학회지, 36(5), 64-72
- 이우신, 박찬열, 임신재, 허위행, 정옥식, 최창용, 박용수, 이은재, 2010, 야생동물 생태 관리학, 라이프사이언스.
- 이장호, 2000, 까막딱다구리(*Dryocopus martius*)의 서식지 이용 특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 이정환, 강호철, 안현철, 조현서, 1999, 한국 특산 히어리 군락의 식생구조와 맹아지 동태, 한국환경생태학회지, 13(3), 280-287.
- 임동욱, 황인천, 정홍락, 2005, 보호종인 히어리의 자생지내외 보전과 지역사회 협력 모델 개발; 히어리 분포지 특성에 관한 연구, 한국환경생태학회지, 19(2), 162-176.
- 임동욱, 고갑천, 김철환, 이재석, 이현우, 장준명, 정홍락, 황인천, 2011, 히어리, 서울: 광일문화사.
- 장형태, 김남춘, 김무열, 권혜진, 송호경, 2008, 히어리 개체군의 식생과 토양특성, 한국환경생태학회지, 22(6), 609-615.
- 최창용, 남현영, 이우신, 2007, 서로 다른 환경에서 서식하는 수리부엉이(*Bubo Bubo*)의 먹이 이용, 한국환경생태학회지, 21(1), 30-37.
- 최태영, 박종화, 2004, 설악산국립공원내 산양(*Nemorhaedus Caudatus Raddeanus*)의 잠재 서식지 적합성 모형; 다기준평가기법(MCE)과 퍼지집합(Fuzzy Set)의 도입을 통하여, 한국복원학회지, 32(4), 28-38.
- 환경부, 1997, 제2차 전국자연환경조사 지침, 환경부.
- 환경부, 2005, 멸종위기야생동식물 보고서, 환경부.
- 환경부, 2006, 제3차 전국자연환경조사 지침, 환경부.
- 환경부, 2007, 보호종인 히어리의 자생지내외 보전과 지역사회 협력 모델 개발, 환경부.
- Anon, 1999, S-plus 2000 Guide to Statistics, 1, MathSoft.
- Baldwin, R. A., 2009, Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research, Entropy, 11, 854-866.
- Beazley, K., Smandych, L., Snaith, T., MacKinnon, F., Austen-Smith, P., Duinker, P., 2005, Biodiversity considerations in conservation system planning: Map-based approach for Nova Scotia, Canada, Ecological Applications, 15, 2192-2208.
- Condit, R., Ashton, P., Balslev, H., Brokaw, N., Bunyavejchewin, S., Chuyong, G., Co, L., Dattaraja, H. S., Davies, S., Esufali, S., Ewango, C. E. N., Foster, R., Gunatilleke, N., Gunatilleke, S., Hernandez, C., Hubbell, S., John, R., Kenfack, D., Kiratiprayoon, S., Pamela, Hart, T., Itoh, A., LaFrankie, J. V., Liengola, I., Lagunzad, D., Lao, S., Losos, E., Magard, E., Makana, J., Manorkaran, N., Navarrete, H., Mohammednur, S., Okhubo, T., Perez, R., Samper, C., Hua Seng, L., Sukumar, R., Svenning, J. C., Tan, S., Thomas, D., Thompson, J., Vallejo, M., Villa Munoz, G., Valencia, R., Yamakura, T., Zimmerman, J., 2005, Tropical tree α -diversity: Results from a worldwide network of large plots, Biologiske Skrifter, 55, 565-582.
- del Barrio, G., Harrison, P. A., Berry, P. M., Butt, N., Sanjuan, M. E., Pearson, R. G., Dawson, T. P., 2006, Integrating multiple modelling approaches to predict the potential impacts of climate change on species' distributions in contrasting regions: comparison and implications for policy, Environmental Science and Policy, 9(2), 129-147.
- Elith, J., Catherine, Robert, Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Huettmann, F., John, Lehmann, A., Li, J., Lucia, Bette, Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa,

- Y., Jacob, A., Steven, Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Soberon, J., Williams, S., Mary, Niklaus, 2006, Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data, *Ecography*, 29(2), 129-151.
- Ferrier, S., 2002, Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Systematic Biology*, 51(2), 331-363.
- Franklin, J., 2009, *Mapping species distributions spatial inference and prediction*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gramendia, A., Carcamo, S., Schwendtner, O., 2006, Forest management considerations for conservation of Black Woodpecker *Dryocopus martius* and White-backed Woodpecker *Dendrocopos leucotos* populations in Quinto Real (Spanish Western Pyrenees), *Biodiversity and Conservation*, 15, 1399-1415.
- Huntley, B., Green, R. E., Collingham, Y. C., 2004, The performance of models relating species geographical distributions to climate is independent of trophic level, *Ecology letters*, 7, 417-426.
- Kremen, C., Cameron, A., Moilanen, A., Phillips, S. J., Thomas, C. D., Beentje, H., Dransfield, J., Fisher, B. L., Glaw, F., Good, T. C., Harper, G. J., Hijmans, R. J., Lees, D. C., Louis, E., Nussbaum, R. A., Raxworthy, C. J., Razafimpahanana, A., Schatz, G. E., Vences, M., Vieites, D. R., Wright, P. C., and Zjhra M. L., 2008, Aligning conservation priorities across taxa in Madagascar with high-resolution planning tools. *Science*, 320(5873), 222-226.
- Li W., 1999, Designing the core zone in a biosphere reserve based on suitable habitats: Yancheng Biosphere Reserve and the red crowned crane (*Grus japonensis*), *Biological Conservation*, 90(3), 167-173.
- Margules, C. R., Pressy R. L., 2000, Systematic conservation planning, *Nature*, 405 (6783), 243-253.
- Seo, C., Thorne, J. H., Hannah, L., Thuiller, W., 2009, Scale effects in species distribution models: implications for conservation planning under climate change, *Biology Letters*, 5(1), 39-43.
- Manel, S., Williams, H.C., Ormerod, S. J., 2001, Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 38, 921-931.
- Mike, A., 2007, Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches, *Ecological modeling*, 200(1), 1-19.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C., G., Fonseca, G., Kent, G., 2000, Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, 853-858.
- Swets, J. A., 1998, Measures of the accuracy of diagnostic systems, *Science*, 240, 1285-1293.
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., Berry, P. M., Harrison, P. A., 2002, SPECIES: A spatial evaluation of climate impact on the envelope of species, *Ecological modeling*, 154(3), 289-300.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura M., 2007, Predicting species distribution from small numbers of occurrence

- records: a test case using cryptic geckos in Madagascar, *Journal of Biogeography*, 34(1), 102-117.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E., 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- Primack, R. B., 2004, *A primer of conservation biology*, Sinauer.
- Regan, H. M., Davis, F. W., Andelman, S. J., Widyanata, A., Freese, M., 2007, Comprehensive criteria for biodiversity evaluation in conservation planning, *Biodiversity Conservation*, 16, 2715-2728.
- Rodrigues, A. S. L., Andelman, S. J., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Cowling, R. M., Fishpool, L. D. C., Gaston, K. J., Hoffman, M., Long, J. S., Marquet, P. A., Pilgrim, J. D., Pressy, R. L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S. N., Underhill, L. G., Waller, R. W., Watts, M. E. J., Yan, X., 2004, Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity, *Nature* 428(6983), 640-643.
- Scott, J. M., Davis, F., Csuti, B., Noss, R., Butterfield, B., Anderson, H., Caicco, S., Erchia, F. D., Edwards, T. C., Ulliman J., 1993, Gap analysis: A geographic approach to protection of biological diversity, *Wildlife Monographs*, 123, 3-41.
- Thorn, J. S. V., Nijman, D., Smith, Nekaris K. A. I., 2009, Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (*Primates: Nycticebus*), *Diversity and Distributions*, 15(2), 289-298.
- Thuiller, W., 2003, BIOMOD: optimising predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change, *Global Change Biology*, 9(10), 1353-1362.
- Woodward, F. I., Williams, B. G., 1987, Climate and plant distribution at global and local scale, *Vegetatio*, 69(3), 189-197.
- World Resources Institute, 1994, *World Resources 1994-1995: A Guide to the Global Environment*, Oxford University Press.

최종원고채택 12. 08. 08