

서식처 적합모형을 적용한 고산지역 분비나무의 기후변화 영향평가*

최재용¹⁾ · 이상혁²⁾

¹⁾ 충남대학교 산림환경자원학과 · ²⁾ 충남대학교 농업과학연구소

Climate Change Impact Assessment of *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. in Subalpine Ecosystem using Ensemble Habitat Suitability Modeling

Choi, Jae-Yong¹⁾ and Lee, Sang-Hyuk²⁾

¹⁾ Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University,

²⁾ Institute of Agricultural Science, Chungnam National University.

ABSTRACT

Ecosystems in subalpine regions are recognized as areas vulnerable to climatic changes because rainfall and the possibility of flora migration are very low due to the characteristics of topography in the regions. In this context, habitat niche was formulated for representative species of arbors in subalpine regions in order to understand the effects of climatic changes on alpine arbor ecosystems. The current potential habitats were modeled as future change areas according to the climatic change scenarios. Based on the growth conditions and environmental characteristics of the habitats, the study was conducted to identify direct and indirect causes affecting the habitat reduction of *Abies nephrolepis*.

Diverse model algorithms for explanation of the relationship between the emergence of biological species and habitat environments were reviewed to construct the environmental data suitable for the six models(GLM, GAM, RF, MaxEnt, ANN, and SVM). Weights determined through TSS were applied to the six models for ensemble in an attempt to minimize the uncertainty of the models. Based on

* 이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

First author : Choi, Jae-Yong, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseung-gu, Daejeon, 34134, Korea, Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr

Corresponding author : Lee, Sang-Hyuk, Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseung-gu, Daejeon, 34134, Korea, Tel : +82-42-821-7835, E-mail : sonata@cnu.ac.kr

Received : 5 February, 2018. **Revised** : 28 February, 2018. **Accepted** : 28 February, 2018.

the current climate determined by averaging the climates over the past 30years(1981~2010) and the HadGEM-RA model was applied to fabricate bioclimatic variables for scenarios RCP 4.5 and 8.5 on the near and far future.

The results of models of the alpine region tree species studied were put together and evaluated and the results indicated that a total of eight national parks such as Mt. Seorak, Odaesan, and Hallasan would be mainly affected by climatic changes. Changes in the Baekdudaegan reserves were analyzed and in the results, *A. nephrolepis* was predicted to be affected the most in the RCP8.5.

The results of analysis as such are expected to be finally utilizable in the survey of biological species in the Korean peninsula, restoration and conservation strategies considering climatic changes as the analysis identified the degrees of impacts of climatic changes on subalpine region trees in Korean peninsula with very high conservation values.

Key World: *RCP, Bioclim, Endangered Arbor, Subalpine Region*

I. 서 론

기후변화, 자연자원, 생물다양성 등의 9개 지표와 20개 변수를 바탕으로 국가별 지속 가능성을 평가하는 세계경제포럼(WEF)의 환경 성과지수(Environmental Performance Index, EPI) 2016년도 보고서에 따르면 우리나라 순위는 180개국 중 80위로 나타났다(Hsu, 2016). 산지전용에 따른 산림피복변화율과 관련된 점수는 비교적 높았지만(32위), 종다양성(127위)과 보호지역(128위)에 대한 점수가 낮게 나타나 앞으로 생태계 보전 및 보호의 노력이 요구되는 상황이다.

고산지역의 생태계는 물의 가용성과 식물종의 이주 가능성이 낮아 기후변화에 취약한 지역으로 인식되고 있으며(IPCC, 2014), 특히 물리적, 환경적 여건이 열악하여 외부의 작은 교란 요인이라도 식물의 생리적인 면이나 성장 및 주변 생태계 전체에 미치는 영향이 매우 크다(Kayama *et al.*, 2009). 또한, 토질이 척박하고 토양의 결빙과 해빙이 반복되는 지형간섭으로 식물의 생육에 불리한 조건이다. 이러한 환경에 적응된 고산지역 식물들은 기온이 높아지면서

온대성 식물들과의 경쟁에서 밀려 멸종위기에 직면해 있다(Kong, 1998; 2002; 2004; Koo *et al.*, 2001).

기후변화에 따라 우리나라 자생수종들이 맞게 될 상황은 한반도의 종 다양성 보전 측면에서 매우 중요한 문제이며(Httenschwiler & Smith, 1999; Smithson, 2002), 온난화가 진행될 수록 이들 고산수종들은 피난할 장소를 찾지 못하고 도태되거나 멸종될 것으로 예상된다. 기후변화에 의한 고산지역 식물의 서식지 축소가 실증적으로 확인된 사례는 한국 고유종인 구상나무(*Abies koreana* E.H. Wilson)이다(Koo *et al.*, 2001). 우리나라 고유종이며 IUCN에 멸종위기종으로 등록된 구상나무 군락은 온난화 현상에 의한 겨울철 고온, 수분 스트레스 등의 원인으로 고사 현상이 관찰되고 있지만(Lim *et al.*, 2006; Allen *et al.*, 2010; Woo *et al.*, 2008), 이러한 연구결과는 현재까지는 구상나무에 국한되어 있다. 구상나무와 분비나무(*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)는 형태적으로 매우 유사하여 동일종으로 분류되었으나 1920년 미국의 식물 분류학자 Wilson에 의해 포침 방향이 분비나무와 다른 점이 발견되어 구상나무를 신종 및 한

국 고유종으로 분류되었다(Wilson, 1920).

기후 변화는 생물 다양성 보전을 위한 노력을 불러 일으키고 있으며, 온도, 강수량 패턴, 해수면 변화에 따라 식물과 동물의 분포가 지리적으로 이동하여 환경 및 다른 종과의 관계가 바뀔 수 있다. 이에 따라 기후 변화 대응의 일환으로 보전 지역 공동체는 종과 서식지가 적응하도록 돕는 “적응” 전략에 초점을 맞추고 미래에 대한 예측을 필요로 한다. 이러한 적응 계획의 첫 단계로서 기후변화에 따른 영향평가를 실시하여 가장 큰 영향을 받는 종이나 서식환경의 이유를 파악하는 것이다. 즉, 기후변화의 영향이 클 것으로 예상되는 고산지역 자생수종들의 보전정책 수립 및 향후 모니터링을 위하여 전국의 고산지역을 고려한 조사 규모의 정도와 크기, 우선 조사지역 선정 등의 단계적인 접근이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 현장조사를 통한 고사원인 파악에 앞서 모델링 기법을 활용한 미래 기후변화에 따른 변화를 예측하는 과정이 필요하다고 판단된다. 이를 위해 주로 활용되고 있는 여러 서식지 적합모형들을 검토하여 모형을 선정하고, 모형의 불확실성을 줄이기 위하여 모형간의 앙상블을 적용한 분석을 실시하였으며, 서식지(고산지역), 국립공원, 백두대간보호지역을 대상으로 기후변화에 따른 영향평가를 진행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구범위

분비나무는 세계적으로 만주, 시베리아에 분포하며 한반도 중부 이북(소백산, 오대산, 설악산 등)과 북한의 고산지대 및 북부의 백두대간을 따라 분포하며, 전 세계적으로 약 40여 종이 아시아, 북미, 남미, 유럽 등 북반구에 자생한다(Willis and Shaw, 1973). 주로 700m 이상의 해발고도가 높은 경기, 강원, 충북, 경북, 경남, 전북 지역의 산지 능선부에서 생육한다(Lee, 1996;

KNA, 2010). 구상나무와 함께 *Momi*절에 속하며 *Picha*절에 속하는 전나무와 구분된다(Cheng and Fu, 1978). 28종이 아시아에 분포하고 있고(Cheng and Fu, 1978; Xiang *et al.*, 2007), 국내에는 도입종 1종류를 포함하여 4종류가 분포하고 있으며(Sun, 2007), IUCN RED리스트에서 약관심종(Least Concern, LC)으로 등재되어 있다(Ran *et al.*, 2013).

서식지 적합모형은 대륙단위 혹은 국가단위 공간규모에서의 연구가 주를 이루고 있으며(Zimmermann *et al.*, 2010), 본 연구에서도 고산지역의 분비나무의 실제 서식하는 우리나라 지역에서의 공간적 범위로 한정하여 기후변화에 따른 영향 분석을 실시하였다. 이를 위해, IPCC 5차 보고서에 제시된 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP)에서 RCP4.5와 RCP8.5를 적용하여 온실가스 저감 정책에 따른 서식지 변화를 단기적(2040~2060), 장기적(2060~2080)인 변화를 예측하고자 하였다.

2. 연구방법

다양한 기후변화 예측모델(Global Climate Model, GCM) 중 우리나라 기후변화정보센터(Climatic Change Information Center, CCIC)가 선정한 HadGEM2-AO를 적용하였다. NIMR(2011)에서는 RCP 8.5 배출 시나리오에 기초하여 전 지구 대기-해양-해빙-수문-에어로졸 결합 모델인 영국 해들리 기후예측연구센터(Hadley Centre for Climate Prediction And and Research)의 HadGEM2-AO를 통해 2100년까지 일별 기상을 전망하였다. 이에 따르면 21세기 말 한반도는 평균기온이 현재보다 6.0°C 상승, 강수량 20% 증가, 영하일은 28.4일 감소, 호우와 고온일의 발생확률 증가, 아열대 지역의 백두대간 일부지역을 제외한 전 지역으로 확대될 것으로 나타났다(NIMR, 2011).

이러한 데이터는 서식지 적합성 모형 알고리즘을 적용하기 위해 GIS공간자료 형태로 변환

하여 생성하였으며, 변수 구축을 위해 ArcGIS desktop 10.5.1, DIVA-GIS, GRASS-GIS, R, ENM tools, QGIS desktop을 사용하였다. 출현 정보를 바탕으로 서식지를 가장 잘 파악할 수 있는 모형들을 앙상블하여 적용함으로써 모형의 불확실성을 최소화하고자 하였다. 이를 위해, 생물종 출현과 서식환경의 관계를 설명하기 위한 모형 알고리즘을 검토하여 6가지 모형(GLM, GAM, RF, MaxEnt, ANN, SVM)에 적합한 평가 자료를 구축하고 R의 Biomod2 패키지를 활용하여 모형의 정확도 평가에 의한 가중치를 바탕으로 분석을 실시하였다.

분비나무의 출현자료 341개 중 334개의 정제된 자료를 바탕으로 단순분할(hold-out validation), 부트스트래핑 분할(Bootstrapping resampling), k-fold cross validation의 세가지 방법이 일반적으로 사용되는데(Franklin, 2010), 단순분할 방법은 전체 자료에 대해 임의로 또는 공간적으로 구분하며, 훈련자료(70%), 검증자료(30%)로 분할하는 것이 일반적이다(Huberty, 1994). 모형의 평가를 위해서 ROC(Receiver Operating Characteristic)의 AUC(Area Under the Curve) 값이 주로 사용되어지고 있으나, 대상종이 광범위하게 분포하는 경우 AUC 값이 낮게 나타나며, 국지적으로 일부 한정된 곳에 분포하는 경우 AUC 값이 높게 제시되는 문제가 있다(Lobo *et al.*, 2008). 이에 따라 모형의 정확성 평가 및 서식지 적합지역을 구분하기 위하여 오차행렬(error matrix)을 이용한 3가지 검증방법(AUC, TSS, Kappa)을 통해 모형의 정확성을 높이고자 하였으며, 모형 구동시 비출현/임의비출현 설정 과정에서의 오류발생을 최소화 하였다.

3. 변수의 선정

1) 종속변수

서식지 적합모형 분석을 위해 문헌조사를 통해 자생지의 자생환경적 특성과 비교분석을 실시하였으며, 자생지의 현재 분포자료는 국립수

목원에서 자생지 식물표본을 채집한 좌표, 국가 산림자원조사 자료, GBIF 자료, 전국자연환경조사 자료 등을 바탕으로 출현자료를 구축하였다. 모형에서 가장 중요한 종속변수인 분비나무의 출현위치를 모형 결과에 따른 과적합(overfitting)을 방지하기 위하여 Cross-checking을 실시하고(Hijmans *et al.*, 1999), ENM-Tools를 이용하여 표집편향(Sampling bias) 분석을 실시하였다(Warren *et al.*, 2010).

대부분의 야생 동·식물 서식지 모델링 연구는 비출현(absense)데이터가 요구되는데, 이를 위해서는 현장조사를 통한 비출현자료를 구축하는 것이 바람직하지만, 조사의 한계로 인하여 임의비출현(Presude Absense, PA)데이터를 사용하게 된다. PA데이터를 사용함으로써 모형의 성능을 개선할 수 있지만(Brotons *et al.*, 2004), 모형 결과에 미치는 영향이 크기 때문에 신중하게 사용되어야 한다(Hirzel *et al.*, 2002). PA자료 구축 시 출현자료보다 많은 수(예, 10,000포인트 이상)로 구축하거나(Kanagaraj *et al.*, 2013), 200km범위 내에서 구축하거나(Gilman *et al.*, 2014), 연구지역 전체적으로 풀고루 생성하고 출현지역의 환경적 특성과 겹치지 않는다면 결과에 영향을 미치지 않는다(Lobo and Tognelli, 2011). 통계적 및 기계학습 등의 다양한 모형에서 1,000개 이상의 PA위치와 10회 반복평가를 수행하면 모든 모형에서 정합성이 확보되므로(Barbet-Massin *et al.* 2012), PA자료의 편향이 없도록 하기 위하여 10,000개의 임의비출현 지역을 임의 표본화 하는 방법으로, 10회 반복하여 모형을 구현하였다.

2) 독립변수

모형에 필요한 독립변수는 서식환경에 영향을 줄 수 있는 환경 요인을 검토한 후 기후조건, 지형조건, 토양조건으로 환경변수를 구분하였다. 생물종의 서식환경 적합성을 평가하기 위해 고려해야 할 환경 변수는 자연환경적, 지리환경

적, 인위적 특성에 따라 매우 다양하게 나타날 수 있기 때문에 모든 항목을 적용할 수는 없다. 이에 따라 환경변수를 연구대상 종별 서식환경에 영향을 줄 수 있는 관련성 높은 인자를 선행 연구를 통해 검토하여 적용하였다. 환경변수 관련 공간변수 제작을 위해서 국가기본도인 1:25,000축척의 수치지형도와 SRTMv3의 DEM 데이터, 한국임업진흥원에서 제공하는 산림입지토양도, 기상청에서 제공한 76개 기상관측소에서 측정된 최근 30년간(1980~2010년) 기후자료와 기상청 기후정보포털¹⁾에서 제공하는 RCP 시나리오에 따른 미래기후예측 HadGEM-RA 모델을 이용하였다.

모형에 적용되는 공간 규모는 근본적으로 중요하며 변수의 해상도에 따라 분석결과에서 매우 다른 양상을 나타내기 때문에(Song *et al.*, 2013), 모형의 결과를 관련된 제한 사항을 충분히 고려하여 해석해야 한다(Pearson and Dawson, 2003). 대륙 규모에서는 기후가 지배적인 요소로 간주될 수 있지만 지형 및 토지 피복 유형을 비롯한 더 많은 지역적 요인이 점차 중요해지고 있으며, 분석 범위 및 대상의 특성에 따라 적절한 해상도의 입력 변수 선택이 필수적이다(Song *et al.*, 2013; Khosravi *et al.*, 2016). 생물종간의 상호관계까지 고려하려면 본 연구에서는 우리나라를 대상으로한 모형분석에 적합한 공간 해상도로서 30arcsec(한반도 기준 약 800m)로 설정하였다(Pearson and Dawson, 2003).

모델결과에 따른 해석 가능성이 떨어지는 문제는 복잡한 모델의 약점이기 때문에(Dormann *et al.*, 2013), 환경변수 간의 상관관계분석(Correlation Analysis, CA)이나 주 성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 실시하여 차원 축소를 통한 공간적자기상관(Spatial Autocorrelation)에 따른 공변량(Covariance)을 보완할 수 있는 방법이 요구된다(Loarie *et al.*,

2008). 변수의 선정은 생태학적으로 필수적인 변수들은 고찰을 통하여 선정하는 것이 바람직하며(Elith and Leathwick, 2009), 분석대상 지역이 광역적이거나 변수들이 많을 경우 더욱 그러하다(Elith *et al.*, 2010). 특히, 생물기후변수(Bioclimatic Variables)의 경우 월평균 최저기온, 최고기온, 강수량을 바탕으로 구축되기 때문에 모형분석 과정에서 높은 상관관계가 나타난다(Busby, 1991). 이에 따라 제거 변수를 찾기 위해 ENM-Tools를 활용하여(Warren *et al.*, 2010) 19가지 생물기후변수간의 상관성을 분석한 결과 최종적으로 연평균 기온(bio01), 월간 평균기온차(bio02), 기온의 계절성(bio04), 연평균 강수량(bio12), 가장 습한 월의 강수량(bio13), 가장 건조한 월의 강수량(bio14)으로 총 6가지 변수(기온 관련 변수 3개, 강수량 관련 변수 3개)를 선정하였다(Figure 1).

식물의 분포에 관여하는 환경에는 생물기후, 토양, 지리적 요소 등 다양한 요소가 있다. 이 중 식물 분포의 지리적 제한 요인은 기후이며(Rathcke and Lacey, 1985; Chuine and Beaubien, 2001; Walther *et al.*, 2002; Thuiller *et al.*, 2004; Parmesan, 2006; Chuine, 2010; Watling *et al.*, 2012), 생물의 서식지분포에 중요한 요소이다(Woodward, 1987; Woodward and McKee, 1991). 추가적으로 지리적인 요소로서 해발고와 지형지수(TPI)와 같은 지형환경적인 변수를 적용하였고, 산림입지토양도의 토심, 토성, 토양수분, 암반노출 정도와 같은 생육환경과 관련된 변수를 선택하였다(Table 1).

3) 평가모형 선정

앙상블(Ensemble)의 개념은 1902년 Josiah Willard Gibbs의 저서 ‘통계역학(statistical mechanics) 기본원리’에 도입한 개념으로 여러가지 통계적 예측의 정확성을 높이고 편향성을 줄이고자 창안되었다. 이후 경제학, 기상 및 기후학 등 다양한 분야에서 적용되었다(Sanders, 1963;

1) <http://www.climate.go.kr>

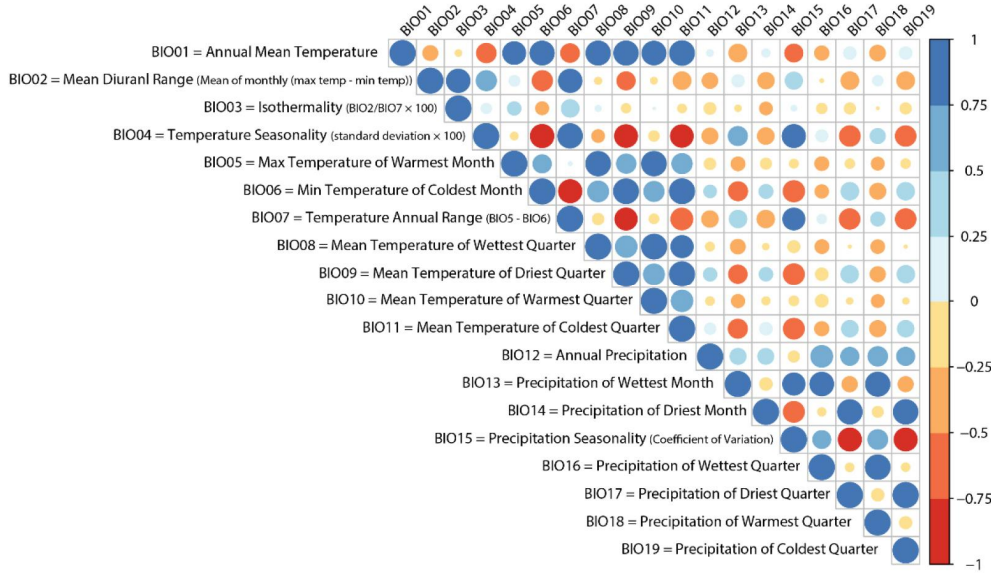


Figure 1. Result of Bioclimatic Variables’ Correlation Analysis. Pearson correlation coefficient matrix comparing paired environmental covariates. Negative correlations are shaded red; positive correlations are shaded Blue. Strength of the correlation is indicated by dot size and red or green color saturation. High correlation between covariates is also indicated by the size of the colored oval delineating each comparison. The definition of each covariate(y-axis) and its coded counterpart(upper x-axis) are defined per comparison.

Table 1. Environmental predictor variables used to habitat niche model

Variable Code	Description	Type*	Reference
Climate	Bio01	Annual Mean Temperature	KMA 1980~2010 average(Present)
	Bio02	Mean Diurnal Range	
	Bio04	Temperature Seasonality	
	Bio12	Annual Precipitation	KMA HadGEM3-RA (RCP 4.5, 8.5)
	Bio13	Precipitation of Wettest Month	
	Bio14	Precipitation of Driest Month	
Topography	DEM	SRTM v3	NASA
	LF	Landforms from TPI	Derived from SRTM v3
	SP	Slope Position index from TPI	
	ASP	$\text{Cos}\{(\text{Aspect} \times \pi) / 180\}$	
	SLP	Terrain Slope	
Forest Soil	FSD	Forest Soil Depth	FGIS
	FST	Forest Soil Texture	
	FSM	Forest Soil Moisture	
	FRER	Forest Rock Exposure ratio	

* Co: Continuous Value, Ca: Categorical Value

Table 2. Comparison of model algorithms. SDT, Species Data Type; PI, Predictor Interactions; HnLF, Highly non-Linear Functions; Cat, Categorical predictors usage; DD, Data Dependency; Det, Deterministic

Concept	Model	SDT*	PI	HnLF	Cat	DD	Det	Key reference
Environmental Envelope	BIOCLIM	PO	N	N	N	Y	Y	Busby (1991)
	DOMAIN	PO	N	N	N	Y	Y	Carpenter <i>et al.</i> (1993)
	ENFA	PE	Y	N	N	N	Y	Hirzel <i>et al.</i> (2002)
Regression Analysis	GLM	PA	Y	Y	Y	N	Y	Guisan <i>et al.</i> (2002)
	GAM	PA	Y	Y	Y	N	Y	Guisan <i>et al.</i> (2002)
	MARS	PA	Y	Y	Y	Y	Y	Friedman (1991)
Machine learning	CART	PA	Y	Y	Y	Y	N	Sinclair <i>et al.</i> (2010)
	RF	PA	Y	Y	Y	Y	N	Brieman (2001)
	BRT	PA	Y	Y	Y	Y	N	Elith <i>et al.</i> (2008)
	ANN	PA	Y	Y	Y	Y	Y	Pearson <i>et al.</i> (2002)
	SVM	PA	Y	Y	Y	N	Y	Guo <i>et al.</i> (2005)
	MaxEnt	PE	Y	Y	Y	N	Y	Phillips <i>et al.</i> (2006)
	GARP	PA	Y	Y	Y	Y	N	Elith <i>et al.</i> (2006)

* PO, only presence data used; PE, presence compared against the entire region; PA, presence and some form of absence(or pseudo-absence) required

Nilsson *et al.*, 2000; Gregory *et al.*, 2001). 기후 변화 영향에 따른 서식처 변화를 예측하려는 시도는 최근 다양한 모형이 개발되기 전까지 종과 기후 변수의 현재 분포 사이의 경험적 관계를 이용하여 미래의 기후 시나리오 하에서 종 분포를 추정하는 생물기후범위모델링(Bioclimatic envelope modelling) 접근법에 의존하고 있었다(Huntley *et al.*, 1995; Thomas *et al.*, 2004; Thuiller *et al.*, 2005). 생물 종의 분포는 복잡하고 다양한 주변 환경 간의 상호작용으로, 많은 가설과 가정을 모형에서 포함하고 있기 때문에 위치자료를 기반으로 종의 분포를 가장 잘 표현하는 유일한 최적 모형은 현실적으로 찾기 어렵다. 이에 따라 최근에는 단일모형 대신 여러 통계모형을 이용하여 서식처를 예측하는 모형간의 앙상블은 현재의 분포예측, 종풍부도의 패턴, 종다양성 등의 결과를 개선하기 위해 제안되었다(Thuiller, 2003; Segurado and Araujo, 2004; Elith *et al.*, 2006).

모형을 선정하기 위해 모형 간 비교분석을 실시하였으며(Table 2), 본 연구에서 선정된 환경

변수는 연속형 데이터(continuous value)와 범주형 데이터(categorical value)를 모두 활용해야 함으로 BIOCLIM(Climatic envelope), DOMAIN (Gower metric), ENFA(Ecological Niche Factor Analysis)모형을 평가모형 선정단계에서 제외하였다. 현실적으로 모든 모형을 분석에 적용할 수 없기 때문에, 가장 많이 이용되고 있는 모형을 중심으로 통계 기반의 GLM(Generalized Linear Models), GBM(Generalized Boosted Models), 기계 학습 모형인 ANN(Artificial Neural Network), MaxEnt(Maximum Entropy), SVM (Support Vector Machines), RF(Random forest)의 총 6가지 모형을 선정하였다.

R 패키지의 Biomod2를 사용하여 구축된 앙상블 모형은 6개의 개별 종 분포모형 결과를 각 개별 모형별 TSS값으로 가중치를 주어 구현하였다. 확률로 제시된 결과는 주관적인 해석을 유도하기 때문에(Sinclair *et al.*, 2010), 보수적인 해석이 가능하도록 민감도(sensitivity)와 특이도 (specificity)의 합이 최대가 되는 값을 기준으로 출현/비 출현 지도로의 변환을 시도하였다.

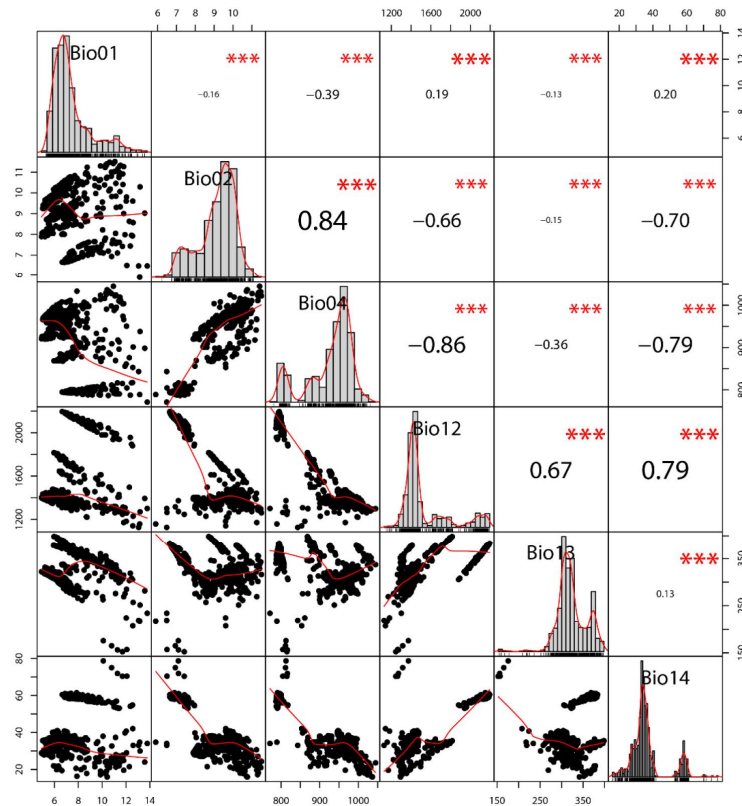


Figure 2. Result of bioclimatic variables by spatial filtering for correlation between location of occurrence.

III. 결과 및 고찰

1. 정확성 및 불확실성 평가

모형의 정확도를 Kappa값을 바탕으로 평가한 결과 ANN(0.925 ± 0.026), GBM(0.903 ± 0.033), SVM(0.891 ± 0.032), GLM(0.869 ± 0.006), RF(0.857 ± 0.042) 순으로 높았으며, MaxEnt(0.763 ± 0.242)가 가장 낮은 것으로 나타났다. 특히 MaxEnt모형이 비교적 낮게 나타나 상당한 과적합(overfitting)이 발생한 것으로 판단된다.

2. 분비나무 서식지의 환경적 특성

선정된 생물기후변수와 출현자료의 위치에 따른 자생지 환경특성을 생물기후변수 간의 상관성을 분석한 결과 연평균강수량(Bio12)와 건

조한 달의 강수량(Bio14)가 기온변수 간 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났으며(Figure 2), 바탕으로 분석한 결과 연평균 기온의 경우 최근 30년간의 평균을 바탕으로 한 현재 기후에서는 연평균기온 6.30°C (s.d. 0.79), 연평균강수량 $1,403\text{mm}$ (s.d. 34.7)에서 주로 생육하는 기후적인 범위로 나타났다. 가까운 미래(2050년대)에 최대 1.57°C 증가한 7.87°C 로, 먼 미래(2070년대)에 RCP 4.5에서 7.77°C , RCP8.5에서 9.84°C 까지 증가할 것으로 예상되었다. 강수량도 마찬가지로 현재 $1,403\text{mm}$ 에서 먼 미래에 최대 520mm 증가한 $1,924\text{mm}$ 까지 변화할 것으로 예측되었다(Table 3).

평균 해발고도 $1,297\text{m}$ (s.d. 186.2), 평균경사 19.6° (s.d. 7.9)에 생육하는 것으로 나타났으며, 북사면에 주로 분포하는 것으로 분석되었다.

Table 3. Annual Temperature and Precipitation changes in *A. nephrolepis*

Climate variables	Current		2050's(2041~2060)						2070's(2061~2080)					
			RCP4.5			RCP8.5			RCP4.5			RCP8.5		
	Temp.	S.D.	Temp.	S.D.	var.	Temp.	S.D.	var.	Temp.	S.D.	var.	Temp.	S.D.	var.
Temperature (°C)	6.30	0.79	7.21	1.00	△ 0.90	7.87	1.00	△ 1.57	7.77	1.00	△ 1.47	9.84	0.99	△ 3.54
Precipitation (mm)	1,403	34.74	1,723	52.96	△ 319.35	1,751	52.28	△ 348.22	1,819	57.40	△ 416.18	1,924	68.18	△ 520.48

선행연구의 고찰을 통해서 선정된 변수에서 출현자료가 위치한 환경변수의 속성을 추출하여 출현위치에 따른 상관관계를 분석한 결과 0.75이상의 유사도가 높은 변수는 연평균기온(Bio01)과 수치지표고모텔(DEM)변수로 나타났다. 고산지역에 출현하는 분비나무의 특성상 연평균기온과 해발고도의 분포패턴이 비슷하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 분비나무는 주로 너덜지대에 군락을 형성하기 때문에(KNA, 2010) 암반노출정도(FRER) 변수를 적용하였으며, 토심, 건습도, 토성 변수를 사용하여 산림토양이 분포에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

3. 잠재적 서식가능지역

분비나무는 경기, 강원, 충북, 경북, 경남, 전북, 제주에 걸쳐 해발 700m이상의 산지 능선부에서 생육하는 것으로 알려져 있으며, 분포자료 조사결과 강원도 동북부에 많이 자생하는 것으로 나타났다. 현재 서식 가능지역을 평가한 결과 강원 동북부 해발고 1,000m이상의 대부분 지역과 지리산 및 덕유산, 그리고 제주도 한라산 정상부근에서 서식가능한 지역으로 나타났다. 일반적으로 분비나무는 월악산 부근이 남방한계선으로 알려져 있으며 소백산에서 구상나무와 혼재되어 있지만, 모형결과 생육이 가능한 지역으로 판단된 지역이 남쪽의 구상나무 분포 지역까지 나타났다(Figure 3). 이는 구상나무와 분비나무 서식지가 유사한 환경조건이기 때문으로 판단된다. 모형 평가시 기여도가 큰 변수

는 연평균기온(64.3%), 해발고(30.4%), 월간평균기온차(1.2%), 사면방향(1.1%) 순으로 나타났으며, 출현자료를 바탕으로 한 자생지 특성 중 토양수분이 매우 습윤한 지역에 출현하였는데, 이에 따른 토양건습도의 기여도는 0.7%로 나타났다.

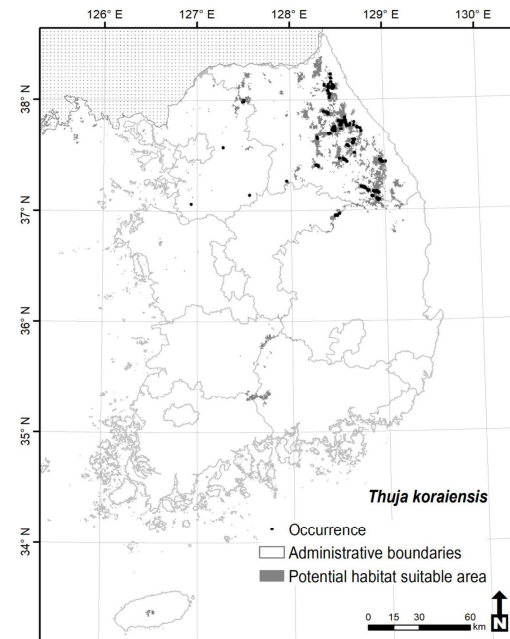


Figure 3. Distribution of *A. nephrolepis* with referenced occurrence data and Potential habitat suitable area.

4. 주요지역에서의 변화

서식처 적합성 모델의 결과를 바탕으로 분석에 사용된 6가지 생물기후변수의 시나리오별(RCP

4.5, 8.5), 가까운 미래(2050년대) 와 먼 미래(2070년대)의 잠재적인 분포변화를 살펴본 결과 RCP4.5 시나리오에서 2050년대에는 현재 서식처 적합지역의 약 80.3%, 2070년대에는 84.3%가 줄어들 것으로 예측되었다. RCP8.5시나리오에서는 2050년대에 98.0%, 2070년대에 이르러 98.5%가 줄어들 것으로 예상되어 절멸위험성이 높을 것으로 분석되었다. RCP 8.5시나리오가 기후변화로 인한 영향이 매우 극한의 상황을 가정하는 시나리오이기 때문에, 분비나무 서식처 적합모형에서 연평균기온의 변수 중요도가 64.3%로 기온의 영향이 가장 클 것으로 나타난 바 향후 대책마련이 필요하다.

행정구역별 생육에 적합한 서식지의 면적변화를 모형 결과를 바탕으로 분석한 결과 RCP 8.5시나리오에서 특히 강원도에서의 절멸이 예상되어, 향후 대표농도경로에 따른 정책적인 보전대책 마련이 시급한 것으로 판단된다. 전체적으로 RCP 8.5에서의 소멸위험성이 큰 것으로 나타났으며, 모형결과 대체 서식지로 적합한 지역은 없을 것으로 나타났다. RCP 8.5시나리오에서 2070년대에 전국적으로 95%이상의 서식가능면적이 감소할 것으로 예상되어 시나리오를 고려한 장기적 생육 대책방안 마련이 요구된다. 시나리오별 비교결과 RCP 4.5에서 적합한 주요 서식지역의 변화가 클 것으로 나타난 지역

은 경기도와 경상북도였으며, RCP 8.5에서는 강원도와 경상남도로 나타났다.

1) 백두대간 보호지역

백두대간의 훼손을 방지하기 위하여 도입된 백두대간보호지역은 백두대간의 능선을 중심으로 일정한 구역을 특별히 보호하고자 하는 핵심구역과 핵심구역 보호에 필요한 완충구역으로 구분하여 지정하였다. 기후변화로 인한 영향으로 서식가능 지역의 면적소실 RCP 4.5에서는 가까운 미래(2050년대)에 44.2%가 감소하고 RCP 8.5에서는 92.9%로 나타나 백두대간 보호지역내 영향이 매우 클 것으로 분석되었다 (Table 4).

2) 국립공원 보호지역

우리나라 국립공원은 1967년 3월 제정된 ‘공원법’을 바탕으로 현재까지 산악형 국립공원 17개소(가야산, 계룡산, 내장산, 덕유산, 북한산, 설악산, 소백산, 속리산, 오대산, 월악산, 월출산, 주왕산, 지리산, 치악산, 한라산, 무등산, 태백산), 해상·해안형 국립공원 4개소(다도해해상, 변산반도, 태안해안, 한려해상), 사적형 국립공원 1개소(경주시)로 현재까지 총 22개소가 지정되어 있다.

모형평가 결과 분비나무(*A. nephrolepis*)는 설

Table 4. Changes in Baekdudaegan protected area due to climate change in *A. nephrolepis*

<i>A. nephrolepis</i>		RCP 4.5		RCP 8.5	
		2050's	2070's	2050's	2070's
Main area (ha)	No change	23,572	19,708	2,941	2,804
	Contraction	18,773	22,636	39,404	39,540
	Expantion	-	-	-	-
Buffer area (ha)	No change	5,221	4,564	702	546
	Contraction	4,030	4,687	8,549	8,704
	Expantion	-	-	-	-
Total area (ha)	No change	28,792	24,272	3,642	3,351
	Contraction	22,803	27,323	47,953	48,245
	Expantion	-	-	-	-

Table 5. Changes in national park area due to climate change in *A. nephrolepis*

<i>A. nephrolepis</i>	(unit, ha)	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2050's	2070's	2050's	2070's
Seoraksan	No change	2,194	1,826	728	728
	Contraction	1,434	1,801	2,899	2,899
	Expantion	-	-	-	-
Sobaeksan	No change	2,112	1,529	73	73
	Contraction	3,628	4,211	5,667	5,667
	Expantion	-	-	-	-
Odaesan	No change	7,578	7,084	862	643
	Contraction	1,614	2,109	8,331	8,549
	Expantion	-	-	-	-
Woraksan	No change	-	-	-	-
	Contraction	364	364	364	364
	Expantion	-	-	-	-
Jirisan	No change	6,919	5,827	1,092	1,092
	Contraction	3,520	4,612	9,346	9,346
	Expantion	-	-	-	-
Chiaksan	No change	-	-	-	-
	Contraction	1,020	1,020	1,020	1,020
	Expantion	-	-	-	-
Taebaksan	No change	677	605	136	136
	Contraction	-	72	541	541
	Expantion	-	-	-	-
Hallasan	No change	1,529	1,675	583	218
	Contraction	583	437	1,529	1,894
	Expantion	-	-	-	-
Whole region	No change	21,010	18,546	3,474	2,892
	Contraction	12,217	14,681	29,753	30,335
	Expantion	-	-	-	-

악산(11,370ha)과 오대산(19,431ha) 국립공원 등 강원도에 속한 국립공원에서의 적합한 서식지 면적이 큰 것으로 나타났다. 특히 설악산의 경우 전체 공원면적 39,822ha의 28.6%가 적합한 지역으로 분석되었고, 오대산의 경우는 64%가 분비나무 생육에 적합하다고 판단되었다. 하지만 RCP 8.5시나리오에서 가까운 미래에 적합지역 90%이상의 대부분 소멸이 예상되어 기후변화에 매우 취약할 것으로 나타났다(Table 5). 주요 변화예상지역의 분포변화 결과 증부지방 이

남지역을 제외하고 오대산, 설악산, 치악산 등의 강원도 지역에 위치한 국립공원에서 면적변화가 크게 예상되어 향후 이 지역에 대한 공원 지역 내 현장조사 및 모니터링을 통해 보전대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

3) 고산지역

기후변화에 따른 고산 지역에서의 서식지 적합지역의 변화를 예측하고자 하였다. 이를 위해 해발고 1,000m 이상인 지역을 추출하였는데, 우

리나라 식물의 수직 분포 분류에 의하면 한라산의 경우 남사면은 1,500m, 북사면은 1,200m 부터 아고산 지대로 분류하기도 하지만(Lee YN, 2000), 추이대(ecotone)를 고려하여 본 연구에서는 해발고 1,200m 이상의 봉우리가 있는 지역을 중심으로 1,000m 이상인 지역을 임의 구분하였다. 구분 결과 전체 135,074ha 중 강원도가 83,653ha로 가장 넓은 것으로 나타났고, 경상남도 16,591ha, 경상북도 8,642ha, 제주도 8,229ha 순으로 나타났다(Figure 4).

본 연구에서 정의한 고산지역(135,074ha)에서 98,554ha가 현재의 적합한 서식지로 나타났다. 시나리오별로 비교한 결과 RCP 4.5에서 적합한 서식지의 면적이 56.2%까지 줄어들 것으로 예측되었으며, RCP 8.5에서는 감소폭이 더욱 크게 나타나 가까운 미래에도 93.8%까지 줄어들 것으로 예상되었다(Table 6). 특히 행정구역 중 전국에서 고산지역이 가장 넓게 나타난 강원도(83,653ha)를 대상으로 평가한 결과 현재 70,609ha의 서식가능한 지역이 향후 46.4%(RCP 4.5)에서 94.3%(RCP 8.5)까지 줄어들 것으로 전국의 감소추세와 비슷하게 나타났다. 서식가능 지역에 대한 제주도에서의 영향은 육지보다 상대적으로 적을 것으로 나타났지만 지리산의 고산 지역을 포함하고 있는 경상남도(16,591ha)의 경우 지리산 주변에서 가장 넓은 서식가능지역 면적(3,043ha)으로 나타났으며, RCP 4.5에서 38.8% 감소, RCP 8.5에서 90.2% 감소될 것으로 예측되었다.

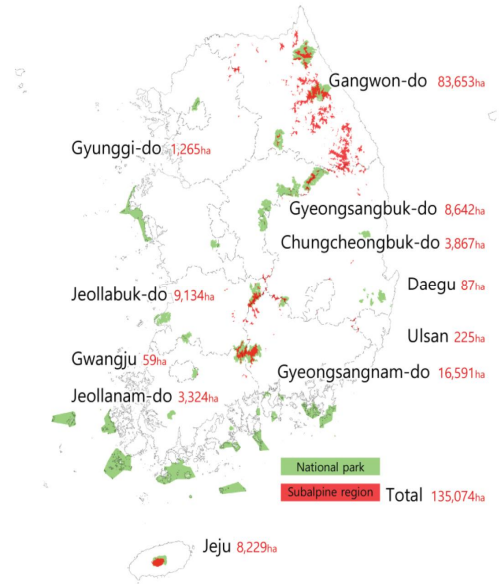


Figure 4. Subalpine region of Korea in this study

IV. 결론

최근 더욱 가속화 되어가는 기후변화에 따라 고산지역 식물 서식지의 위협이 심화되고 있으며, 생물다양성협약에 의한 자국 식물자원 배타적 권리 인정으로 자생 식물자원의 수집 및 보존 등의 중 다양성 확보와 증진을 위한 생물종 현황 파악 및 변화 추적 필요성이 제기되고 있다. 이러한 맥락에서 기후변화에 따른 고산수목 생태계에 미치는 영향 파악을 위하여 중부지방의 고산지역 대표적 수종인 분비나무를 대상으로 하였다. 현재의 잠재적인 서식가능지역을 기후변화 시나리오에 따른 미래의 변화지역으로

Table 6. Suitable habitat area on the subalpine major region by province, RCP, period

Subalpine area (unit: ha)	Current	RCP 4.5				RCP 8.5			
		2050s	2070s	2050s	2070s				
Gangwon-do	70,609	37,858	-46.4%	32,157	-54.5%	3,992	-94.3%	2,769	-96.1%
Gyeongsangnam-do	8,259	4,603	-44.3%	4,120	-50.1%	809	-90.2%	809	-90.2%
Jeju-do	3,043	1,863	-38.8%	1,394	-36.4%	645	-78.8%	287	-90.6%
S. Korea	98,554	51,130	-48.1%	43,135	-56.2%	6,117	-93.8%	4,606	-95.3%

모델링함으로써, 고산원인에 대하여 생육 상황 및 입지 환경적 특성을 바탕으로 직·간접적인 원인규명이 시급한 대상지 선정에 관한 연구를 진행 하였다. 멸종위기에 놓인 고산지역 침엽수인 분비나무의 자생환경 및 현재 상태를 고찰하고, 기후변화가 미치는 영향을 기후변화 시나리오와 함께 살펴보았다. 또한, 생물종 출현과 서식환경의 관계를 설명하기 위한 모형 알고리즘을 검토하여 6가지 모형(ANN, GAM, RF, MaxEnt, ANN, SVM)에 적합한 평가자료 구축과 불확실성에 따른 모형의 정확성 평가 및 앙상블을 적용하였다.

강원도의 고산지역에서의 영향이 가장 크게 나타났으며, 백두대간을 따라 7개의 국립공원(설악산, 오대산, 치악산, 태백산, 소백산, 월악산, 지리산)을 중심으로 기후변화에 따라 영향을 받을 것으로 나타났다. 특히, 치악산과 월악산은 적은 면적이지만 소실위험이 크기 때문에 조사지역으로 우선적인 고려가 필요하다. 또한, 현재 분포자료가 수집되지 않은 남부지역과 제주도에서 서식이 가능할 것으로 모형으로 예측되어, 향후 분비나무 자생지역의 추가적인 확인이 필요하다.

본 연구에서는 IPCC에서 제시된 RCP기후변화 배출시나리오와 우리나라 기상청에서 제공하는 GCM모형 자료를 바탕으로 기후변화에 정도에 따른 서식처의 영향을 분석하였다. 하지만, 과거의 기후자료 및 기후변화 시나리오 및 관련 기후모델들은 실측자료를 기반으로한 통계적인 공간보간이기 때문에 상당한 불확실성이 포함될 수밖에 없다. 이러한 불확실성이 존재하는 모형의 특성상 확률론적인 방법의 접근이 이루어져야 하는데, 본 논문에서는 생물기후변수, 지형환경 변수, 토양환경 변수를 사용하여 모형의 정확성을 높이려 하였다. 또한, 우리나라의 지리적 특성을 반영한 상세기후시나리오를 적용하였고, 6가지 모형간의 정확도에 따른 가중치를 판단하여 앙상블한 결과를 통해 예측의

불확실성을 최소화하고자 하였다.

References

- Brotons L · Thuiller W · Arajo MB and Hirzel AH. 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*. 27(4): 437-448.
- Cheng WC and Fu LK. 1978. *Abies Mill, Flora Reipublicae Popularis Sinica*. Science Press Beijing. 7: 55-95.
- Dormann CF · Elith J · Bacher S · Buchmann C · Carl G · Carr G · Marquz JRG · Gruber B · Lafourcade B · Leito PJ · Mnkemller T · Mcclean C · Osborne PE · Reineking B · Schrder B · Skidmore AK · Zurell D and Lautenbach S. 2013. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*. 36(1): 027-046.
- Elith J · Graham CH · Anderson RP · Dudk 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 JMC · Peterson AT · Phillips SJ · Richardson K · Scachetti-Pereira R · Schapire RE · Sobern J · Williams S · Wisz MS and Zimmermann NE. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data, *Ecography*. Wiley Online Library (Fifty-fifth session). 29(2): 129-151.
- Elith J · Kearney M and Phillips S. 2010. The art of modelling range-shifting species, *Methods in Ecology and Evolution*. Blackwell Publishing Ltd, 1(4): 330-342.

- Elith J and Leathwick JR. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1): 677-697.
- Franklin J. 2010. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. first edit. ambridge University Press.
- Gilman E Chaloupka M Wiedoff B and Willson J. 2014. Mitigating seabird bycatch during hauling by pelagic longline vessels. *PloS one* 9(1): e84499.
- Gregory AW · Smith GW and Yetman J. 2001. Testing for forecast consensus. *Journal of Business & Economic Statistics*. Taylor & Francis. 19(1): 34-43.
- Httenschwiler S and Smith WK. 1999. Seedling occurrence in alpine treeline conifers: a case study from the central Rocky Mountains, USA, *Acta Oecologica*. Elsevier, 20(3): 219-224.
- Hijmans RJ · Schreuder M · de La Cruz J and Guarino L. 1999. Using GIS to check co-ordinates of genebank accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46(3), pp. 291-296.
- Hirzel AH · Hausser J · Chessel D and Perrin N. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology*. Wiley Online Library. 83(7): 2027-2036.
- Hsu A. 2016. 2016 Environmental Performance Index. Yale Center for Environmental Law & Policy.
- Huberty CJ. 1994. *Applied discriminant analysis*.
- Huntley B · Berry PM · Cramer W and McDonald AP. 1995. Special paper: modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces. *Journal of Biogeography*. JSTOR: 967-1001.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers and Technical Summary*, Part of the Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kanagaraj R · Wiegand · Thorsten · Mohamed · Azlan and Kramer-Schadt S. 2013. Modelling species distributions to map the road towards carnivore conservation in the tropics, *Raffles Bulletin of Zoology*. Blackwell Publishing Ltd, 3(SUPPL.28): 85-107.
- Kayama M · Makoto K · Nomura M · Sasa K and Koike T. 2009. Growth characteristics of Sakhalin spruce (*Picea glehnii*) planted on the northern Japanese hillsides exposed to strong winds, *Trees*. Springer. 23(1): 145-157.
- Lee WT. 1996. *Lineamenta florae koreae*. Seoul. Academy press. (in Koeran)
- Lee YN. 2000. *Alpine flowers of korea*. Kyohak press. (in Koeran)
- Lim JH · Shin JH · Lee DK and Suh SJ. 2006. Climate Change Impacts on Forest Ecosystems: Research Status and Challenges in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(3): 199-207. (in Koeran)
- Khosravi R · Hemami MR · Malekian M · Flint AL and Flint LE. 2016. Maxent modeling for predicting potential distribution of goitered gazelle in central Iran: The effect of extent and grain size on performance of the model, *Turkish Journal of Zoology*, 40(4): 574-585.
- Loarie SR · Carter BE · Hayhoe K · McMahon

- S · Moe R · Knight CA and Ackerly DD. 2008. Climate Change and the Future of California's Endemic Flora, PLoS ONE. Edited by C. R. McClain. Public Library of Science, 3(6): e2502.
- Lobo, JM · Jimnez-valverde A and Real R. 2008. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*. 17(2): 145-151.
- Lobo JM and Tognelli MF. 2011. Exploring the effects of quantity and location of pseudo-absences and sampling biases on the performance of distribution models with limited point occurrence data. *Journal for Nature Conservation*. Elsevier GmbH., 19(1), pp. 17.
- Kong WS. 1998. The Distributional Patterns of Alpine Plants of Mt. Halla, Cheju Island, Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*. 33(2): 191-208. (in Koeran)
- Kong WS. 2002. Biogeographic Feature of North Korean Ecosystem. *Journal of Environmental Impact Assessment* 11(3): 157-172. (in Koeran)
- Kong WS. 2004. Species Composition and Distribution of Native Korean Conifers. *Journal of the Korean Geographical Society* 39(4): 528-543 (in Koeran)
- Koo KA · Park WK and Kong WS. 2001. Dendrochronological Analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea - Effects of Climate Change on the Growths. *Journal of Ecology and Environment* 24(5): 281-288. (in Koeran)
- Korea National Arboretum. 2010. 300 Target Plants Adaptatable to Climate Change in the Korean Peninsula. (in Koeran)
- Korea National Arboretum. 2014. Forest of Korea(I) (in Koeran)
- Nilsson J · Persson B and von Heijne G. 2000. Consensus predictions of membrane protein topology. *FEBS letters*. Wiley Online Library, 486(3): 267-269.
- Pearson RG. and Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology and Biogeography*. 12(5): 361-371.
- Ran F · Arajo ZX · Zhang Y · Korpelainen H and Li C. 2013. Altitudinal variation in growth, photosynthetic capacity and water use efficiency of *Abies faxoniana* Rehd. et Wils. seedlings as revealed by reciprocal transplantations. *Trees*. Springer. 27(5): 1405-1416.
- Sanders F. 1963. On subjective probability forecasting. *Journal of Applied Meteorology*. 2(2): 191-201.
- Segurado P and Arajo MB. 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography*. Blackwell Science Ltd. 31(10): 1555-1568.
- Sinclair S · White M and Newell G. 2010. How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates?. *Ecology and Society*. The Resilience Alliance. 15(1).
- Smithson PA. 2002. IPCC, 2001: climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by JT Houghton, Y. Ding, DJ Griggs, M. Noguer, PJ van der Linden, X. Dai, K. Mas, International Journal of Climatology. Wiley Online Library. 22(9): 1144.
- Song WK · Kim EY · Lee DK · Lee MG and Jeon SW. 2013. The sensitivity of species

- distribution modeling to scale differences. *Ecological Modelling*. 248: 113-118.
- Sun YB. 2007. Pinaceae in the genera of vascular plants of Korea. flora of Korean Editorial committee. Academy press. p.119. (in Koeran)
- Thomas CD · Cameron A · Green RE · Bakkenes M · Beaumont LJ · Collingham YC · Erasmus BFN · de Siqueira MF · Grainger A · Hannah L · Hughes L · Huntley B · van Jaarsveld AS · Midgley GF · Miles L · Ortega-Huerta MA · Peterson AT · Phillips OL and Williams SE. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427(6970): 1458.
- Thuiller W. 2003. BIOMOD - Optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*. Blackwell Science Ltd. 9(10): 1353-1362.
- Thuiller W · Lavorel S · Arajo MB · Sykes MT and Prentice IC. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. *National Acad Sciences*. 102(23): 8245-8250.
- Warren DL · Glor RE and Turelli M. 2010. ENMTools: A toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*. 33(3): 607-611.
- Willis JC and Shaw HKA. 1973. A dictionary of the flowering plants and ferns. CUP Archive.
- Wilson EH. 1920. Four new conifers from Korea. *Journal of the Arnold Arboretum* 1(3): 186-190.
- Xiang X · Cao M and Zhou Z. 2007. Fossil history and modern distribution of the genus *Abies*(Pinaceae). *Frontiers of Forestry in China*. 2(4): 355-365.
- Zimmermann NE · Edwards TC · Graham CH · Pearman PB and Svenning JC. 2010. New trends in species distribution modelling. *Ecography*. 33(6): 985-989.