

국지적으로 분포하는 식물에 대한 기후 및 환경변수 영향*

권혁수¹⁾ · 류지은²⁾ · 서창완³⁾ · 김지연¹⁾ · 도재화¹⁾ · 서민환¹⁾ · 박종화⁴⁾

¹⁾ 국립환경과학원 자연자원연구과 · ²⁾ 서울대학교대학원 · ³⁾ 서울대학교 환경계획연구소
⁴⁾ 서울대학교 환경조경학과

Climatic and Environmental Effects on Distribution of Narrow Range Plants *

Kwon, Hyuksoo¹⁾ · Ryu, Jieun²⁾ · Seo, Changwan³⁾ · Kim, Jiyeon¹⁾ · Tho, Jaehwa¹⁾
Suh, Minhwan¹⁾ and Park, Chonghwa⁴⁾

¹⁾ National Institute of Environmental Research,

²⁾ Graduate School, Seoul National University,

³⁾ Environmental Planning Institute, Seoul National University,

⁴⁾ Dept. of Landscape Architecture, Seoul National University.

ABSTRACT

Climate is generally accepted as one of the major determinants of plants distribution. Plants are sensitive to bioclimates, and local variations of climate determine habitats of plants. The purpose of this paper is to identify the factors affecting the distribution of narrow-range plants in South Korea using National Survey of Natural Environment data. We developed species distribution models for 6 plant species using climate, topographic and soil factors. All 6 plants were most sensitive to climatic factors but less other factors at national scale. *Meliosma myriantha*, *Stewartia koreana* and *Eurya japonica*, distributed at southern and coast region in Korea, were most sensitive to precipitation and temperature. *Meliosma myriantha* was mostly effected by annual precipitation and precipitation of driest

* 본 연구는 중 국립환경과학원의 연구사업인 '전국자연환경조사 결과를 활용한 종분포모델링 연구(NIER-RP2011-1297)' 과제로 수행되었다.

First author : Kwon, Hyuksoo, National Institute of Environmental Research, Seoul Korea,
Tel : +82-10-9371-3679, E-mail : ulmus96@hotmail.com

Corresponding author : Seo, Changwan, Environmental Planning Institute, Seoul National University, Seoul Korea,
Tel : +82-10-8839-3167, E-mail : dharmascw@hanmail.net

Received : 7 June, 2012. **Revised** : 4 December, 2012. **Accepted** : 11 December, 2012.

quarter, *Stewartia koreana* was effected by annual precipitation and elevation, and *Eurya japonica* was affected by temperature seasonality and precipitation of driest quarter. On the other hand, *Spiraea salicifolia*, *Rhododendron micranthum* and *Acer tegmentosum*, distributed at central and northern inland in Korea, were most sensitive to temperature and elevation. *Spiraea salicifolia* was affected by mean temperature of coldest quarter and annual mean temperature, *Rhododendron micranthum* and *Acer tegmentosum* were affected by mean temperature of warmest quarter and elevation. We can apply this result to future plant habitat distribution under climate change.

Key Words : *Species Distribution Models, Climate-sensitive species, National Survey of Natural Environment, Bioclimate.*

I. 서 론

식물의 지리적 분포는 기후, 토양, 지형, 인위적 요인 등의 복합적인 상호작용을 통해 결정된다. 이 중 기후는 식물 분포에 직접적으로 영향을 주기 때문에 초기 생물지리학자들은 기후 변수를 이용하여 식생을 분류하는 다양한 방법들을 시도해 왔다(Woodward, 1987; Fortin and Dale, 2005; Guisan and Thuiller, 2005; Lee *et al.*, 2007; Kong, 2002; Kong, 2007).

우리나라는 유라시아 대륙의 동쪽에 남북으로 길게 늘어서 있어서 비교적 다양한 기후대를 형성하고 있으며, 지형적으로도 높은 다양성을 가지고 있어 국토 면적에 비해 생물다양성이 높은 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2008). 그러나 전 세계적인 기후의 급격한 변화로 인하여 생물종의 서식지가 파괴되거나 생육환경이 급격히 훼손되고 있다. 이 중 식물은 기후의 변화에 직접적인 영향을 받기 때문에 국외에서는 이에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다(Lovejoy and Hannah, 2004; Hannah, 2011). 미국이나 유럽, 아시아 등에서도 다양한 기후시나리오를 적용하여 미래의 식생 분포 변화를 예측하였으며(Attorre *et al.*, 2011; Trisurat *et al.*, 2011), Harrison *et al.*(2006)은 유럽 전 지역을 대상으로 식물, 곤충, 조류, 포유류 총 47종의 2080년의 생육분포 변화를 예측하기도 하였다. 가까운 일본에서도 기후변화 및

종분포 모형을 통하여 식생 분포에 미치는 다양한 기후적 영향을 평가하는 연구들이 활발히 이루어지고 있다(Horikawa *et al.*, 2009; Nakao *et al.*, 2011). 식생 분포 및 기후변화에 대한 연구가 국제적 연구가 활발하게 이루어지고 있는데 비하여 국내에서는 최근에서야 활발한 연구들이 이루어지고 있다. 이는 식물에 대한 생육지 연구 및 국내에 맞는 기후모형 개발이 미진한데 따른 것으로 파악된다. 산림청·국립수목원(2010)은 기후온난화를 대비하여 우선 관찰 대상을 특산식물, 남방계, 북방계 식물로 나누어 100종 썩 선정하고 개별종의 분포도를 작성한 바 있다. 최근에 침엽수, 활엽수, 혼효림이나 소나무, 참나무군락 등 군락 단위에서의 기후변화 연구(Lee *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010), 기후와 식생 분포의 상관관계 연구(Koo *et al.*, 2001; Yang and Shim, 2007; Lee and Choi, 2010), 기후변화에 민감한 난대활엽수림에 대한 기후변화 연구 등이 진행된 바 있다(Yun *et al.*, 2011a; 2011b; 2011c). 그러나 이러한 연구는 큰 군락단위 수준의 변화를 예측하여 종 단위의 분포양상에 대한 고찰이 미비하거나 기후인자만을 고려하는 한계를 가지고 있다. 또한 북방한계선이 남해안 쪽에 걸쳐있는 난대활엽수림에 한정되어 있어 남한 전체에 걸쳐진 식생의 기후 영향을 파악하기 어렵다.

이 연구에서는 국지적으로 분포하는 식물들의 생육지를 예측하고, 분포패턴에 영향을 주는 환

경 인자를 평가하는 것을 목적으로 한다. 또한 식물의 분포 특성별 주요 환경인자를 파악하여 식물 생육에 미치는 기후적 영향을 규명하고자한다. 이 연구의 결과는 한반도 기후변화 시나리오에 따른 다양한 식물의 생육지 이동 예측 연구 및 적용 가능성에 대한 기초자료로서 활용될 수 있다.

II. 재료 및 방법

1. 대상종

제2·3차 전국자연환경조사에서 수집된 식물 위치자료를 활용하여 생육지 분포를 예측하고자하였다. 1997년부터 2010년까지 전국자연환경조사에서 수집된 대상종의 출현 자료를 이용하여 종분포모형을 수행하였다. 이 중 생육지의 분포 유형이 국지적으로 형성되어 생육지 분포 특성을 잘 파악할 수 있는 종을 선정하였으며, 그 중 식재가능성이 높은 종과 출현 자료 수가 미비하

여 분포모형 수행이 불가능한 종을 제외하였다(Phillips *et al.* 2006). 이러한 과정을 토대로 한반도 남부 및 해안에 주로 생육하는 나도밤나무, 노각나무, 사스레피나무, 한반도 중부 및 내륙에 주로 생육하는 꼬리조팝나무, 꼬리진달래, 산겨릅나무를 선정하였다(Korea Forest Service and Korea National Arboretum, 2010). 선정된 종을 대상으로 관련 문헌을 검색하여 생육 환경 변수를 살펴보았다.

2. 환경 변수

모형의 입력 변수로 선정된 환경 변수는 종의 생육지 관련 연구 검색을 통해 Table 1과 같이 선정하였다. 기후자료는 Worldclim에서 제공하는 Bioclim자료를 이용하였고, DEM을 이용하여 지형자료를 생성하였다. 토양자료는 농촌진흥청 토양환경정보시스템의 자료를 활용하였다. 기후자료는 변수간의 자기상관을 보일 수 있으므로, PCA분석을 통하여 전체 변수를 대표할 수 있는

Table 1. Climatic and Environmental Variables Related to Target Species.

Variable type	Variable name	Description
Bio-climate data	Bio1	Annual Mean Temperature
	Bio4	Temperature Seasonality (standard deviation *100)
	Bio10	Mean Temperature of Warmest Quarter
	Bio11	Mean Temperature of Coldest Quarter
	Bio12	Annual Precipitation
	Bio16	Precipitation of Wettest Quarter
	Bio17	Precipitation of Driest Quarter
Topographic data	DEM	Elevation
	Slope	Slope
	Curvature	Topographic Curvature
	Northness	Conversion aspect to value ranging from -1 to 1, $[\text{Cos}((\text{Aspect} * \pi) / 180)]$
	Wetness	Soil Wetness $[\text{Ln}(\text{Flow Accumulation} + 1) / (\text{slope} + 1)]$
	Solar_Rad	Solar radiation
Soil data	Soil_nature	Soil texture
	Rock_type	Soil pH
	Soil_drain	Soil drainage

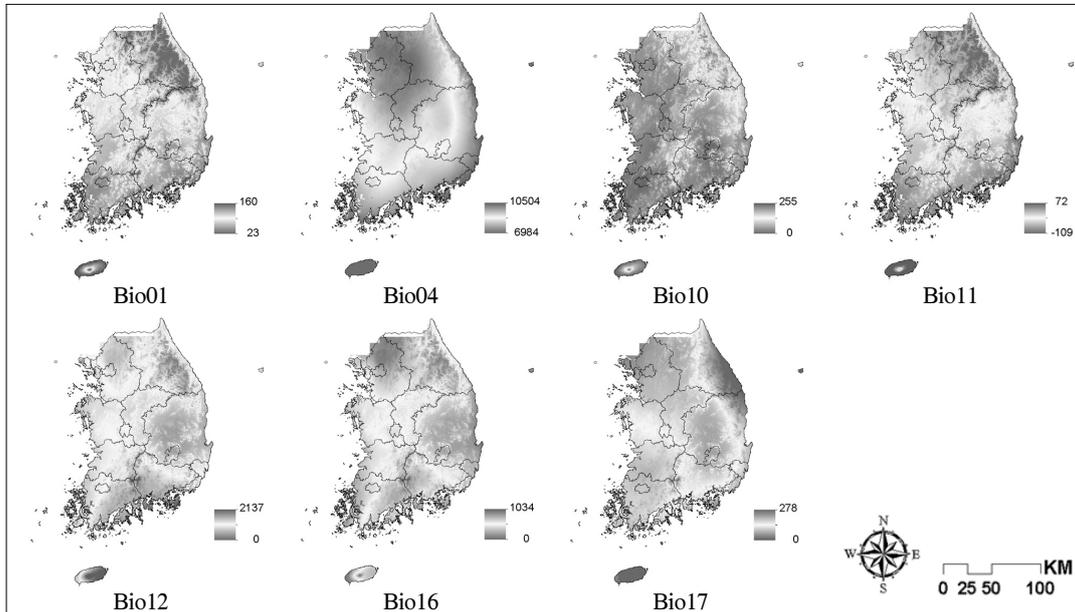


Figure 1. Spatial Distribution of Bio-climatic Variables in South Korea.

7개의 변수(Bio1, Bio4, Bio10, Bio11, Bio12, Bio16, Bio17)를 선택하였다(Seo *et al.*, 2009). 환경변수는 전국을 대상으로 모형화하므로, 자료 처리량을 고려하여 100m의 공간해상도로 재배열하였다. 자료의 구축은 ESRI사의 ArcGIS 10.0을 이용하였다.

3. 종분포모형

종의 분포를 정량적으로 분석하고 예측하기 위한 다양한 공간통계모형이 개발되고 있다(Franklin *et al.*, 2009). 공간모형은 자료의 형태에 따라 출현모형(Present-only model)과 출현-비출현모형(Absent-present model)으로 나눌 수 있다. 연구에서 사용된 전국자연환경조사의 위치자료는 식물의 출현위치만을 수집하기 때문에 출현모형을 적용하였다. 출현자료만을 이용하는 여러 모형화 기법 중 MAXENT가 가장 높은 모형적합도를 보여주고 있기 때문에 이 기법을 이용하여 분석을 실시하였다(Austin, 2002; Ottaviani *et al.*, 2004; Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006). 모형정확도는 ROC(Receiver Operating Characteris-

tic)의 AUC(Area Under Cover) 값을 통해 측정하였으며(Thuiller, 2003; Yun *et al.*, 2011c), 전반적으로 고른 값을 갖는지를 검토하기 위하여 교차검증(5 folder cross-validation)을 수행하였다. AUC값은 모형의 적합정도에 따라 0.5에서 1.0을 나타내며, 0.8 이상이면 모형이 잘 예측되었다고 볼 수 있다(Thuiller, 2003; Franklin, 2009). 모형의 결과는 0.0~1.0의 값으로 확률로 지도화되며, 이는 다시 실제 값과 예측된 값의 오차 합이 최소가 되도록 하는 기준 값을 설정하여 예측 분포도를 작성한다.

III. 결과 및 고찰

1. 종분포모형의 적합도

MAXENT모형을 이용하여 국지적으로 분포하는 식물 6종에 대한 생육지를 예측하였다. Table 2를 보면 6종 모두 높은 AUC 값을 나타내고 있으며 교차검증(5cv AUC)에서도 유사하게 나와 모형이 적합하다는 것을 알 수 있다. 전국적으로 분포하는 식물들이 넓은 환경변수 범위를 가지는

Table 2. Model Validation and Ordered Contribution Variables.

Species	AUC	5cv AUC	Ordered Contribution Variables
<i>Meliosma myriantha</i>	0.965	0.931	Bio12, Bio17, Bio11, Bio4, Rock_type, Bio10, Slope, Northness, Soil_nature
<i>Stewartia koreana</i>	0.969	0.931	Bio12, DEM, Bio4, Rock_type, Bio11, Northness, Bio17, Bio10, Slope
<i>Eurya japonica</i>	0.984	0.964	Bio4, Bio17, Bio11, Slope, Bio12, Bio10, Rock_type, Bio16, Bio1
<i>Spiraea salicifolia</i>	0.902	0.820	Bio11, Bio1, Bio4, Soil_nature, Slope, Soil_drain, Wetness, Bio10, Bio16
<i>Rhododendron micranthum</i>	0.967	0.932	Bio10, DEM, Bio16, Rocktype, Bio4, Soil_drain, Northness, Bio11, Curvature
<i>Acer tegmentosum</i>	0.980	0.963	Bio10, DEM, Bio11, Soil_nature, Bio1, Wetness, Rock_type, Soil_drain, Northness

데 반하여, 국지적으로 분포하는 식물의 경우는 해당종의 생육에 맞는 좁은 범위의 변수에 반응하기 때문에 모형적합도에서 높은 값을 나타내는 것으로 보인다. 꼬리조팝나무의 경우, 적합도가 상대적으로 낮은 것은 다른 종에 비해 중부내륙 지역에 넓게 퍼져있는 것에 기인한다.

2. 남부지역에 주로 생육하는 대상 식물

남부지역 및 해안에 주로 분포하고 있는 나도밤나무, 노각나무, 사스레피나무의 생육분포를 예측한 결과는 Figure 2와 같다. 대상 3종은 주로 강수량과 기온에 영향을 받았으며, 토양의 산도와 지형 관련한 환경변수도 분포에 주요하게 영향을 주는 것으로 예측되었다.

나도밤나무는 한반도와 일본에 주로 생육하는 식물로 이에 대한 생육지 연구가 거의 이루어지지 않았다(<http://eol.org/>). 식물도감에는 주로 해안을 따라 생육하는 것으로 기록되어 있다(Korea Forest Service and Korea National Arboretum, 2010; Lee, 1999).

모형결과에 따르면 연강수량(Bio12)과 가장 건조한 분기의 강수량(Bio17)이 모형에 가장 큰 기여를 하고 있으며, 가장 추운 분기의 평균기온(Bio11)과 계절적 기온 변동(Bio4)순으로 모형기여도를 보여주고 있다. Figure 2. (A)의 생육 예측

분포도를 살펴보면, 지리산 주변의 내륙과 남해안에 생육하는 위치자료들의 분포는 대부분 강수량의 영향을 받은 것으로 보이며, 그 밖의 해안을 따라 분포하는 위치자료들은 기온의 영향을 받아 분포하는 것으로 보인다. 그 밖에도 토양과 지형 등의 인자들이 영향을 주는 것으로 평가되었다. 노각나무는 한반도 자생식물로 Figure 2. (B)에서 보는 바와 같이 소백산에서 남해 금산까지의 생육분포를 보이고 있다(<http://eol.org/>; Shim *et al.*, 1992; Kwon and Song, 2008).

모형의 결과는 연강수량(Bio12)과 해발고도(DEM)가 모형에 가장 큰 기여를 하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 기존의 노각나무의 생육분포 연구와 유사한 결과를 보여주고 있다. 이 외에도 기온의 계절적 변동(Bio4)와 토양의 산성도(Rock_type), 가장 추운 분기의 평균기온(Bio11)순으로 영향을 주는 것으로 나타났다(Shim *et al.*, 1992; Kwon and Song, 2008; Kwon *et al.*, 2011). 연강수량(Bio12)의 기여율이 높은 것은 지리산 부근과 남해안 사이 지역에서의 높은 연강수량 분포와 노각나무 출현지점이 상당수 겹쳐 모형의 결과에 영향을 주는 것으로 보인다. 고도는 기존의 논문들에서 생육분포와 상관관계가 높은 것으로 분석되어 모형결과와 일치하는 것을 볼 수 있다. 기온의 계절적 변동(Bio4)은 남해안의 해수

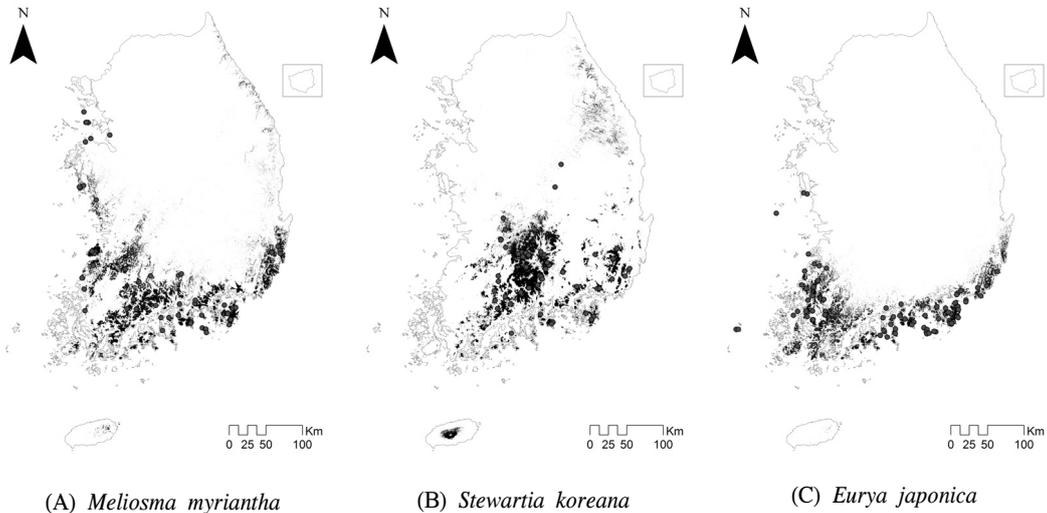


Figure 2. Predictive Map of *M. myriantha*, *S. koreana*, and *E. japonica*. Black color is predictive areas, and red points are present locations of species.

영향으로 이 지역의 기온 변화가 적은 것에 기인하며, 토양의 산성도(Rock_type) 역시 기존 논문에서 생육의 영향을 주는 인자로 연구되었다(Shim *et al.*, 1992; Kwon and Song, 2008; Kwon *et al.*, 2011). 가장 추운 분기의 평균기온(Bio11)은 국지적으로 분포하는 식물들에서 공통적으로 나타나는 인자로서, 겨울철 생육한계온도가 식물의 분포에 결정적인 영향을 주는 것으로 보인다(Yun *et al.*, 2011c).

사스레피나무는 한반도 남부지역과 일본, 대만, 태국 등에 생육하는 식물로 종자나 유전적 다양성에 대한 연구가 있으나 생육지에 대한 연구가 상대적으로 부족한 실정이다(<http://eol.org/>; Chung and Kang, 1994; Manabe and Yamamoto, 1997; Chung and Epperson, 2000). 모형의 결과는 기온의 계절적 변동(Bio4)과 가장 건조한 분기의 강수량(Bio17)이 높은 기여율을 나타내는 것으로 나타났다. Figure 2. (C)에서 보는 바와 같이 사스레피나무 출현지역은 대부분 해안과 인접하고 있다. 해안은 해수의 영향으로 계절의 기온 변화가 내륙에 비해 상대적으로 적은 지역으로 이러한 특성이 모형에 반영된 것으로 보인다. 가

장 건조한 분기 강수량(Bio17)은 나도밤나무와 같이 봄철 발아 시기의 수분 공급에 따라 생육에 영향을 주는 것으로 판단된다(Chung and Kang, 1994). 그 외에도 가장 추운 분기의 평균기온(Bio11)과 경사도(Slope), 연강수량(Bio12)이 사스레피나무의 생육 분포에 영향을 주는 것으로 나타났다.

3. 중부지역에 주로 생육하는 대상 식물

중부지역 및 내륙에 주로 분포하고 있는 꼬리조팝나무, 꼬리진달래, 산겨릅나무의 생육분포를 예측한 결과는 Figure 3과 같다. 대상 3종은 기온과 고도에 주로 영향을 받는 것으로 나타났으며, 남부지역에 생육하는 대상 식물에 비해 상대적으로 강수량에 대한 인자의 기여도가 낮게 평가되었다. 그 외에도 토성(Soil_nature)이나 기온의 계절적 변동(Bio4), 연평균기온(Bio1)에 영향을 받는 것으로 나타났다.

꼬리조팝나무는 동아시아와 미국 동부, 유럽에 넓게 분포하는 종으로 생육지에 대한 연구가 미비한 종이다(<http://eol.org/>).

모형의 결과에 따르면 가장 추운 분기의 평균

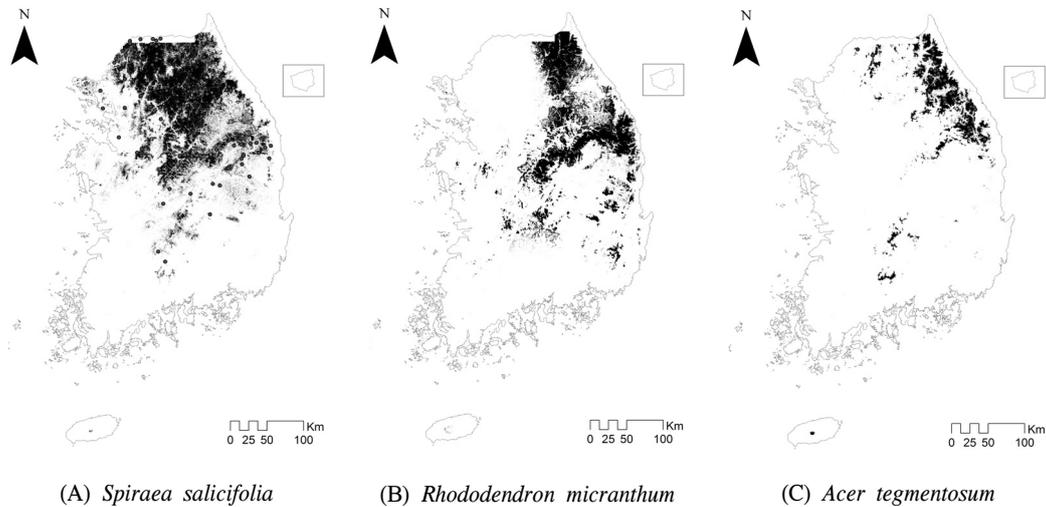


Figure 3. Predictive Map of *S. salicifolia*, *R. micranthum*, and *A. tegmentosum*. Black color is predictive areas, and red points are present locations of species.

기온(Bio11)과 연평균기온(Bio1)이 모형에 주로 기여를 하는 것으로 나타났다. 이는 남부지역에 분포하는 종이 강수량의 영향을 주로 받는 것에 비해 큰 차이를 보이고 있다. 그 외에도 기온의 계절적 변동(Bio4)과 토성(Soil_nature), 경사도(Slope) 등에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 Figure 3. (A)에서 보는 바와 같이 모든 출현 지점이 내륙지역에 분포하고 있어 남부 해안 쪽에 있는 식물과 상대적인 특징을 보이고 있다.

꼬리진달래는 한반도와 중국 북동부지역에 분포하는 종으로, 기온과 수분, 토양산도 등의 생육 조건이 분포에 많은 영향을 주는 것으로 연구된 바 있다(<http://eol.org/>; Fukuda, 1933; Nilsen, 1987; Lee *et al.*, 1990; Kim, 2010).

이번 모형의 결과를 살펴보면 여름철 평균기온(Bio10)과 고도(DEM)가 모형에 주로 영향을 주는 것으로 나타났으며, 그 밖에도 여름철 강수량(Bio16)과 토양의 산도(Rock_type), 기온의 계절적 변동(Bio4)이 영향을 주고 있어 기존의 연구 결과가 모형에 잘 반영되어 있음을 확인하였다. 꼬리진달래의 생육지는 중국이나 우리나라의 내륙 고산지대에 분포하는 경향을 보이고 있어 꼬리진달래의 생육과 기온 간의 높은 상관관계를

나타내는 기존 연구를 뒷받침하고 있다. 토양의 산도(Rock_type)도 산성토양에서 생육이 용이한 기존의 연구가 반영된 것으로 볼 수 있다.

산겨릅나무는 한반도와 연해주지역, 우크라이나, 스웨덴 등지에서 분포가 확인된 종으로, 최근 약초로서의 효능이 알려져 이에 대한 연구는 진행되고 있지만 국내의 생육 관련 연구가 부족한 종이다(<http://eol.org/>; Jin *et al.*, 2007; Choi, 2007).

모형의 결과에서는 꼬리진달래와 같이 가장 따뜻한 분기의 평균기온(Bio10)과 고도(DEM)가 높은 기여율을 나타내고 있다. Figure 3. (B)와 (C)을 살펴보면 두 종의 분포는 위도상의 차이는 있지만, 모두 백두대간을 중심으로 고산지역에 주로 분포하는 양상을 보여주고 있다(Lee, 1999). 그 밖에도 겨울철 평균기온(Bio11)과 기반암(Soil_nature), 연평균기온(Bio1)이 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 종에 대한 현장 연구들이 많지 않아 이에 대한 해석에 어려움이 있다. 그러나 꼬리진달래와 산겨릅나무가 백두대간의 고산지역에 생육하는 공통적 특성으로 여름철 강수량(Bio10)과 고도(DEM)이라는 변수가 선택되었으며 생육조건에 따라 기타 변수들이 이들의

각각의 분포에 영향을 주는 것으로 보인다.

IV. 결 론

이 연구에서는 국지적으로 생육하는 식물들의 분포를 예측하고, 분포패턴에 영향을 주는 환경 인자를 평가하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 전국자연환경조사의 위치자료를 활용하였으며, 종분포모형을 통해 대상종의 생육에 영향을 주는 환경변수를 살펴보았다. 남부지역에 생육하는 나도밤나무, 노각나무, 사스레피나무는 강수량과 기온의 영향을 주로 받는 것으로 나타났다. 또한, 나도밤나무는 연강수량과 가장 건조한 분기 강수량에, 노각나무는 연강수량과 고도에, 사스레피나무는 기온의 계절적 변동과 가장 건조한 분기 강수량에 주로 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면, 중부 및 내륙지역에 생육하는 꼬리조팝나무, 꼬리진달래, 산겨릅나무는 기온과 고도에 영향을 주로 받는 것으로 분석되었으며, 꼬리조팝나무는 겨울철평균기온과 연평균기온에, 꼬리진달래는 가장 따뜻한 분기 평균기온과 고도에, 산겨릅나무도 가장 따뜻한 분기의 평균 기온과 고도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존의 국지적 단위의 현장 연구의 결과와 많은 부분이 일치하고 있어 모형의 적합도 뿐만 아니라 기존 연구의 결과를 뒷받침해 줄 수 있다.

그 밖에도 모형 모두에서 가장 추운 분기의 평균기온이 높게 기여하는 것으로 나타나 겨울철 기온이 식물의 분포에 미치는 영향이 높다는 기존의 연구와 같은 결과를 도출하였다.

이 연구는 국지적으로 분포하는 식물의 양상에 따라 기후 인자들이 어떻게 영향을 주고 있는지를 살펴본 것에 의의가 있다. 이는 향후 대상종을 늘려 식물의 분포 양상에 따른 생육지를 군집화하거나 기후변화에 따른 취약성 분석에 도움을 줄 수 있다. 뿐만 아니라, 전국자연환경조사 결과를 활용한 종분포모형 연구 및 종다양성 연구에

서도 이러한 경향에 따른 생육지 모형을 개발할 수 있다.

그러나 이 연구는 전국자연환경조사 자료만을 사용했으며 아직 제3차 전국자연환경조사가 마무리되지 않은 상황에서 모형화를 진행하여 완결성에서 한계를 보이고 있다. 또한 남한에 한정된 종의 위치정보를 적용하였기 때문에 종이 생육하는 다양한 기후 패턴이 남한에 한정되어 있다는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해서는 주변 국가와의 협력을 통한 위치자료 및 기후자료의 공유가 절실한 실정이다.

이러한 결과는 향후 개발되는 한반도 기후변화 시나리오에 따른 다양한 식물의 생육지 이동 예측 연구의 기초자료 및 모형화 가능성을 살펴 보는데 도움을 줄 것이다.

인 용 문 헌

- Attorre, F., M. Alfò, M. De Sanctis, F. Francesconi, R. Valenti, M. Vitale and F. Bruno, 2011. Evaluating the effects of climate change on tree species abundance and distribution in the Italian peninsula. *Applied Vegetation Science* 14(2) : 242-255.
- Austin, M. 2002. Spatial prediction of species distribution : an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling* 157 : 101-118.
- Choi, U. H. 2007. Study on Habitat and Propagation of *Acer tegmentosum* Max. Master's Thesis, Kangwon National University.
- Chung, M. G. and B. K. Epperson. 2000. Spatial genetic structure of Allozyme polymorphisms in a population of *Eurya japonica* (Theaceae). *Silvae Genetica* 49(1) : 1-4.
- Chung, M. G. and S. S. Kang. 1994. Genetic variation and population structure in Korean populations of *Eurya japonica* (Theaceae).

- American Journal of Botany 81(8), 1077-1082.
- Elith, J., H. Graham, C. P. Anderson, R. Dudík, M. Ferrier, S. Guisan, A. J. Hijmans. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2) : 129-151.
- Fortin, M. J. and M. R. T. Dale. 2005. *Spatial analysis : a guide for ecologists*. New York : Cambridge University Press.
- Franklin, J. 2009. *Mapping Species Distributions Spatial Inference and Prediction*. New York : Cambridge University Press.
- Fukuda, Y. 1933. Hygronastic curling and uncurling movement of the leaves of *Rhododendron micranthum Turcz.* with respect to temperature and resistance to cold. *Japanese Journal of Botany* 6(2), 191-224.
- Guisan, A. and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution : offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8(9), 993-1009.
- Hannah, L. 2011. *Climate Change Biology. America* (p. 416). Academic Press.
- Harrison, P., P. Berry, N. Butt and M. New. 2006. Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale : implications for conservation policy. *Environmental Science Policy* 9(2), 116-128.
- Horikawa, M., I. Tsuyama, T. Matsui, Y. Kominami and N. Tanaka. 2009. Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*). *Landscape Ecology* 24(1) : 115-128.
- Jin, G. Z., R. Li, Z. H. Li and J. H. Kim. 2007. Spatial Pattern of *Acer tegmentosum* in the Mixed Broadleaved-Korean Pine Forest of Xiaoxing'an Mountains, China. *Journal of Korean Forest Society* 96(6) : 730-736.
- Kim, J. W., M. B. Lee, W. S. Kong, T. H. Kim, C. S. Kang, K. Park and B. I. Park. 2008. *Physical Geography of Korea*. Seoul : Seoul National University Press. (in Korean)
- Kim, N. Y. 2010. Study on Growth Characteristics and Propagation for Preservation of Rare *Rhododendron micranthum*. Ph.D dissertation, Kangwon National University. (in Korean with English summary)
- Kong, W. S. 2002. Species Composition and Distribution of Korean Alpine Plants. *Journal of the Korean Geographical Society* 37(4) : 357-370. (in Korean with English summary)
- Kong, W. S. 2007. *Biogeography of Korean Plants*. Seoul : Geobook. (in Korean)
- Koo, K. A., W. S. Kong and C. K. Kim. 2001. Distribution of Evergreen Broad-Leaved Plants and Climatic Factors. *Journal of the Korean Geographical Society* 36(3) : 247-257. (in Korean with English summary)
- Korea Forest Service and Korea National Arboretum. 2010. *300 Target Plants Adaptable to Climate Change in the Korean Peninsula*. Pochon : Korea National Arboretum. (in Korean)
- Kwon, H. J., H. K. Song. 2008. Vegetation structures and Ecological Properties of *Stewartia koreana* Community. *Journal of Korean Forest Society* 97(3) : 296-304. (in Korean with English summary)
- Kwon, H. J., J. H. Gwon, H. R. Jeon, J. H. Lee and H. K. Song. 2011. Vegetation Structures of *Stewartia koreana* Forest in Mt. Jirisan. *Korean J. Environ. Ecol.* 25(5) : 725-735. (in Korean with English summary)

- Lee, C. B. 1999. Illustrated Flora of Korea. Seoul : Hyangmunsa. (in Korean)
- Lee, D. K., J. W. Kim and C. Park. 2010. A Prediction of Forest Vegetation based on Land Cover Change in 2090. Journal of Environmental Impact Assessment 19(2) : 117-125. (in Korean with English summary)
- Lee, J. H. and B. H. Choi. 2010. Distribution and Northernmost Limit on the Korean Peninsula of Three Evergreen Trees. Korean Journal of Plant Taxonomy 40(4) : 267-273. (in Korean with English summary)
- Lee, J. S., W. K. Lee, J. H. Yoon and C. C. Song. 2006. Distribution Pattern of *Pinus densiflora* and *Quercus Spp.* Stand in Korea Using Spatial Statistics and GIS. Journal of Korean Forest Society 95(6) : 663-671. (in Korean with English summary)
- Lee, K. J., S. S. Han, J. H. Kim and E. S. Kim. 2007. Forest Ecology. Seoul : Hyangmunsa. (in Korean)
- Lee, K. U., K. C. Yu and B. R. Lee. 1989. A Study on the wild *Rhododendron micranthum* for being used as Landscape Plant. Journal of The Korean Institute of Landscape Architecture 17(2) : 41-46. (in Korean with English summary)
- Lovejoy, T. E. and L. Hannah. 2005. Climate change and biodiversity. Yale University Press.
- Manabe, T. and S. I. Yamamoto. 1997. Spatial distribution of *Eurya japonica* in an old-growth evergreen broad-leaved forest, SW Japan. Journal of Vegetation Science 8(6) : 761-772.
- Nakao, K., T. Matsui, M. Horikawa, K. Tsuyama and N. Tanaka. 2011. Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan. Plant Ecology 212(2) : 229-243.
- Nilsen, E. T. 1987. Influence of water relations and temperature on leaf movements of rhododendron species. Plant physiology 83(3) : 607-612.
- Ottaviani, D., G. J. Lasinio and L. Boitani. 2004. Two statistical methods to validate habitat suitability models using presence-only data. Ecological Modelling 179(4) : 417-443.
- Phillips, S., R. Anderson and R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190(3-4) : 231-259.
- Seo, C., J. H. Thorne, L. Hannah and W. Thuiller. 2009. Scale effects in species distribution models : implications for conservation planning under climate change. Biology letters 5(1) : 39-43.
- Shim, K. K., B. K. Seo, K. W. Lee, H. N. Cho and S. C. Shim. 1992. Study on the Korean Native *Stewartia (Stewartia koreana)*. Korean J. Hortic. Sci. 33(5), 413-424.
- Thuiller, W. 2003. BIOMOD - optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global Change Biology 9(10) : 1353-1362.
- Trisurat, Y., R. P. Shrestha and R. Kjelgren. 2011. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand. Applied Geography 31(3) : 1106-1114.
- Woodward, F. I. and B. G. Williams. 1987. Climate and plant distribution at global and local scales. Vegetatio 69(1-3) : 189-197.
- Yang, K. C. and J. K. Shim. 2007. Distribution of Major Plant Communities Based on the Climatic Conditions and Topographic Features

- in South Korea. Korean J. Environ. Biol. 25(2) : 168-177. (in Korean with English summary)
- Yun, J. H., J. H. Kim, K. H. Oh, B. Y. Lee. 2011. Distributional Change and Climate Condition of Warm-temperate Evergreen Broad-Leaved Trees in Korea. Korean J. Environ. Ecol. 25(1) : 47-56. (in Korean with English summary)
- Yun, J. H., K. Nakao, C. H. Park, B. Y. Lee, K. H. Oh. 2011. Change Prediction for Potential Habitats of Warm-temperate Evergreen Broad-Leaved Trees in Korea by Climate Change. Korean J. Environ. Ecol. 25(4) : 590-600. (in Korean with English summary)
- Yun, J. H., K. Nakao, C. H. Park, B. Y. Lee. 2011. Potential Habitats and Change Prediction of *Machilus thunbergii* Siebold and Zucc. in Korea by Climate Change. Korean J. Environ. Ecol. 25(6) : 903-910. (in Korean with English summary)
- [Http : //eol.org](http://eol.org) Encyclopedia of Life