

잡종종자이동구역과 종분포모형을 이용한 자생 종자 분포 범위 연구*

김채영¹⁾ · 김휘문²⁾ · 송원경³⁾ · 최재용⁴⁾

¹⁾ 단국대학교 환경원예·조경학부 학생 · ²⁾ 단국대학교 환경원예·조경학과 대학원 학생 ·

³⁾ 단국대학교 환경원예·조경학부 교수 · ⁴⁾ 충남대학교 산림자원학과 교수

A study on the range of native seed habitat analysis using Seedzones and MaxEnt*

Kim, Chae-Young¹⁾ · Kim, Whee-Moon²⁾ · Song, Won-Kyong³⁾ and Choi, Jaeyong⁴⁾

¹⁾ School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,

²⁾ Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,

³⁾ School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor,

⁴⁾ Dept. of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Professor.

ABSTRACT

Seed zones were constructed using temperature and precipitation data for the Korean Peninsula and were described as 65 zones. Seed zones for South Korea were reclassified, and they were classified into 34 districts. This study was conducted to define the spread of 5 native seed species (*Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, *Quercus variabilis*, *Acer pictum*, *Carpinus tschonoskii*) by linking the seed zones with MaxEnt. The emergence point of native seeds was acquired through the 1:5,000 Forest Type Map and the 4th national natural environment survey data. Based on the MaxEnt result, regions with a habitat probability of 0.5 or more were extracted and overlapped with seed zones to identify the native seed habitat. After analyzing the climate regions with high habitat density, regions with high habitat density of native seeds for each administrative district were identified. In the case of *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Quercus variabilis*, the Winter minimum temperature(WMT)

* 본 결과물은 산림청의 산림생태계 회복력 증진을 위한 자생식물 종자활용 산림복원기술 연구의 지원을 받아 연구되었습니다.(2020201A00-2022-BA01)

First author : Kim, Chae-Young, School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea, Tel : +82-41-550-6273, E-mail : 72220520@dankook.ac.kr

Corresponding author : Choi, Jaeyong, Professor, Dept. of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Professor, 99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea, Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr

Received : 18 January, 2022. **Revised** : 21 February, 2022. **Accepted** : 14 February, 2022.

-9.4~-6.6°C, Annual Heat:Moisture(AH:M) 19~24°C/m was 37%, 43%, and 34%, respectively. occupied the largest area. In *Acer pictum*, WMT -6.6~-3.8°C and AH:M 16~19°C/m accounted for 42% of the area, and *Carpinus tschonoskii* had WMT -3.8~-1.1°C, AH:M <16°C/m Districts accounted for the largest area at 33%. The regions with high density of *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Quercus variabilis* by administrative district were distributed in high density in Seoul, Southern Gyeonggi-do, Chungcheong-do, and Gyeongsangbuk-do. *Acer pictum* was distributed in high density in Jeolla-do and Gyeongsang-do, and *Carpinus tschonoskii* in Jeju, Jeollanam-do and Gyeongsangnam-do. Through this study, seed zones for each of the 5 native seeds were established, and it is expected to provide basic data for the management of native seeds.

Key Words : *Provisional seed zone, Maxent, Pinus densiflora, Quercus acutissima, Quercus variabilis, Acer pictum, Carpinus tschonoskii*

I. 서 론

지난 100년 동안 무분별한 개발로 온실가스 농도가 증가하여 21세기에는 기후변화가 더 크게 증가할 것으로 예측된다(Baibing Ma and Jian Sun, 2018). 지구온난화의 고도화는 이상 기후 현상을 발생시키고, 외래종 유입을 증가시킨다. 외래종 정착과 확산은 기존 생태계의 생물 다양성 변화를 초래하며, 농업에서는 수확량 감소 등 경제·사회적 손실을 발생시킨다(Lee *et al.*, 2018). 이에 따라 자생 종자 보호 방안 마련이 필요한 실정이다. 종자를 보호하기 위해서는 많은 비용을 필요로 하며, 이에 대한 대책으로는 관리하고 보호해야 하는 종자의 우선순위를 지정하는 것이다(Doherty *et al.*, 2017).

국외에서는 자생 종자의 확산 범위를 예측한 연구가 다수 진행되었다. 미국 서부에서는 유전적 분화에 따라 종자의 확산 범위를 정의하기 위해 graminoid, forb, shrub 등 세 분류로 나누어 종자 관리의 우선순위를 지정하였다(Rob Massatti *et al.*, 2020). 남아프리카 공화국에서는 코끼리 등의 대형 초식 동물에 의해 영향을 받고있는 *Acacia nigrescens* Oliver, *Sclerocarya birrea* 종을 대상으로 코끼리의 영향이 적고 수목이 서식하기에 적합한 지역을 규명하는 연구가 진행되

었다(Alain Smith *et al.*, 2012). 또한, 인도에서는 외래식물의 확산 범위를 예측하여 자생 종자 서식처를 보전하는 연구를 진행하였다(Hitendra Padalia *et al.*, 2014). 중국 북서부에서는 *Stipa Purpurea*의 현재 분포 및 현재 기후 데이터를 사용하여 향후 기후변화가 *Stipa Purpurea* 서식지에 미치는 영향을 파악하는 연구가 진행되었다(Baibing Ma and Jian Sun, 2018). 이렇듯 전 세계적으로 멸종위기종, 서식 범위가 작은 종 등을 대상으로 기후변화에 따라 종의 확산 범위를 예측하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

국내에서는 식물기후 지역 구분을 위한 생물의 분포 특성에 기후적 해석을 적용한 연구가 다수 진행되고 있으며, 식물기후와 관련된 연구는 1960년대부터 본격적으로 시작되었다. 생물기후는 대상분포 식생을 연구하는 기후적 잠재자연식생과 밀접한 연관성을 파악하는 것으로 잠재자연식생의 분포 특성을 파악하는 중요한 수단이 된다(Eom, 2019). 전국자연환경조사자료를 바탕으로 서식 특성이 다른 분류군별로 모형을 개발하여 생물 다양성 분석 활용 방안을 마련하는 연구가 진행되었으며 최대엔트로피모델(MaxEnt)을 활용한 가는털비름(*Amaranthus patulus*)의 잠재 서식지 예측 및 위험도 평가 연구, 최대엔트로피 모델과 기후변화 시나리오에 따른

서어나무(*Carpinus laxiflora*) 및 개서어나무(*Carpinus tschonoskii*) 분포 변화를 예측한 연구가 진행되었다(Kim *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2021). 이처럼 국내·외에서는 자생 종자 서식처 보전을 위해 종자 확산 범위를 규명하는 것을 목적으로 기후적 요인과 종분포모델(SDM)을 연계한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 식물 서식처 특성과 지형적 요인을 함께 고려한 연구는 아직 부족한 상황이다.

따라서 본 연구는 남한지역을 대상으로 기후 및 지형적 요인을 함께 고려한 자생 종자 확산 범위를 정의하고자 한다. 기후적 요인이 고려되어 구축된 잠정종자이동구역 지도에 지형적 요인을 함께 중첩하여 기후 및 지형적 요소를 포함하고 있는 지도를 제작하고자 한다. 나아가 종분포모형을 활용하여 자생 종자의 확산 범위를 예측하고 서식 밀도가 높은 지역과 기후 권역을 파악하여 생태계 관리방안 구축을 위한 기초자료로 활용되고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상종

산림 생태계 복원에 활용 가능한 식물종 선발을 위해서는 식물종이 우리 나라 기후에 대한 적응성이 높아 유지관리가 용이하여야 하며, 복원 시 활착이 용이하여야 한다. 또한, 인간간섭으로 인한 교란에도 잘 적응하며 살아갈 수 있는 식물종이어야 한다(Nam and Kim, 1998). 나아가 대분류적 환경조건 특성(각 지역별 특성)과 중분류적 서식처 환경조건(능선부, 사면상부, 사면중부, 사면하부, 계곡부 등) 특성에서 분포 중심을 나타내는 자생 식물종이어야 한다.

위의 특성을 모두 충족한 수목은 소나무(*Pinus densiflora*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 굴참나무(*Quercus variabilis*), 고로쇠나무(*Acer pictum*), 개서어나무(*Carpinus tschonoskii*)로 총 5종을 선별하였다. 소나무, 상수리나무와 굴참나무

는 산지대의 산림을 이루는 주요 자생 식물종으로 자연림과 이차림 모두에서 출현하여 분포 중심을 이루는 식물종이다(Chun *et al.*, 2007; Kim and Kim, 2017). 고로쇠나무와 개서어나무는 주로 토지적 극상림(토양기저부분에 큰 암석이 묻혀 있는 서식처)을 이루는 식물종들로 기후적 조건뿐만 아니라 토지적(암괴류, 전석지 등 암석으로 이루어진 특이한 토지 조건) 조건을 모두 고려한 식물종으로서 선별하였다(Song, 2008; Lim, 2012).

2. 연구자료

우리나라에서 자연환경의 체계적인 보전 및 관리를 위해 실시하고 있는 중 조사 자료는 전국자연환경조사자료를 통해 수집된 자료로서 2018년까지 4차 조사가 완료되어 현재 5차 조사가 진행 중이다. 또한, 전국 산림 분포에 대한 정보를 제공하고 있는 임상도는 대표적인 산림 지도로서 1:25,000 임상도 및 1:5,000 대축척 임상도를 제공하고 있다. 본 연구에서는 제 4차 전국자연환경조사 자료 및 1:5,000 대축척 임상도를 확인하여 대상종의 종출현지점 데이터를 취득하였다. 이때, 임상도는 polygon으로 제공되고 전국자연환경조사 자료는 point로 제공되기 때문에 Arc GIS에서 제공하는 Polygon To Point tool을 사용하여 임상도의 polygon에서 point를 추출하였다. 이후, 임상도와 전국자연환경조사 point 데이터를 Arc GIS에 있는 Merge tool을 사용하여 합쳐주었다. 최종적으로 소나무 124,678 지점, 상수리나무 106,567지점, 굴참나무 88,991 지점, 고로쇠나무 1,030지점, 개서어나무 106지점으로 확인되었다(Figure 1).

식물 서식에 영향을 미치는 환경변수 설정을 위한 문헌 조사 결과 Hitendra Padalia *et al.* (2017)는 식물 서식에 높은 기여를 보이는 변수가 Bio4, Bio8, Bio18, 표고임을 확인하였으며 aibing Ma and Jian Sun(2018)은 Bio1, Bio2, Bio12, Bio15, 표고, 경사, 향 변수에서 예측한

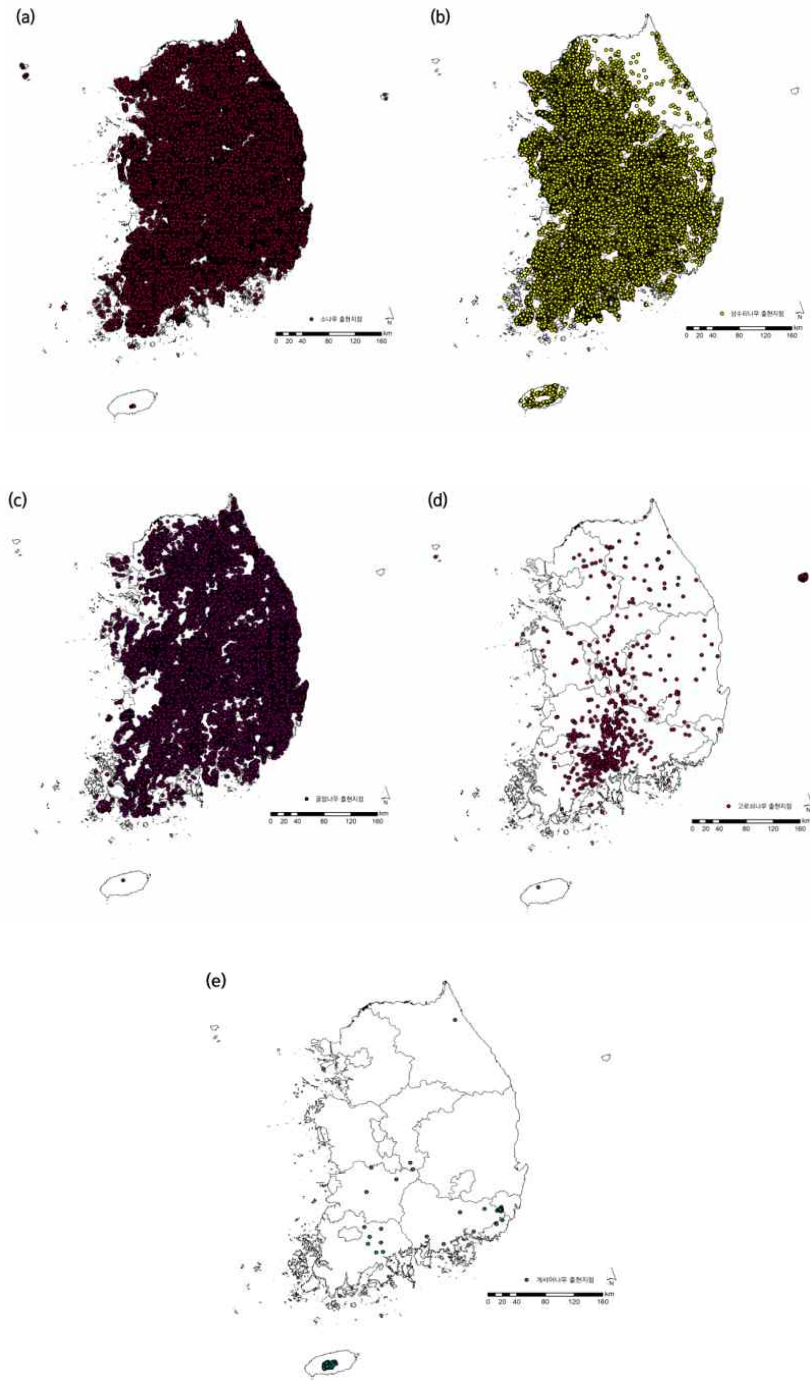


Figure 1. Appearance point by species.

(a) *Pinus densiflora* (b) *Quercus acutissima* (c) *Quercus variabilis* (d) *Acer pictum* (e) *Carpinus tschonoskii*

Table 1. Environment variables entered into the model

	Environmental variables	Description	Data type	Data source
Climate	Bio1	Annual Mean Temperature	Continuous	WorldClim (2020)
	Bio2	Mean Diurnal Range	Continuous	
	Bio4	Temperature Seasonality	Continuous	
	Bio8	Mean Temperature of Wettest Quarter	Continuous	
	Bio12	Annual Precipitation	Continuous	
	Bio15	Precipitation Seasonality	Continuous	
	Bio18	Precipitation of Warmest Quarter	Continuous	
Terrain	Elevation	DEM	Continuous	Ministry of Environment, Korea (2020)
	Slope	Slope	Continuous	
	Aspect	Aspect	Categorical	
	Drainage	Soil drainage grade	Categorical	Forest Service, Korea (2020)
	Topography	Forest Soil Map	Categorical	

식물 서식지가 거의 일치함을 확인하였다. Lee *et al.*(2021)는 식물 서식에 영향을 미치는 주요 환경 요인이 Bio2, Bio4, Bio12, 표고임을 확인하였다. 또한, Omernik(1987)은 식물 서식 적합지 예측을 위한 지형요인으로 배수도와 지형 유형이 영향을 미치는 것으로 보았다. 이를 토대로 서식환경에 영향을 미치는 12개의 환경변수를 도출하고 GIS 데이터로 구축하였다. 기후자료는 WorldClim에서 제공하는 BIOCLIM 자료를 이용하였다. BIOCLIM 자료는 기온과 강수량으로부터 생성한 변수로 Bio1에서 Bio19까지 총 19개 변수를 제공하고 있다(Choi *et al.*, 2017). 19개 Bio 변수 중 식물 서식지에 영향을 미치는 7개 변수(Bio1, Bio2, Bio4, Bio8, Bio12, Bio15, Bio18)를 선택하였다. 지형자료는 수치지형도에서 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하고, 경사, 향 지수를 구축하였다. 토양 배수 변수는 토양 배수 등급도를 바탕으로 변수를 생성하였으며, 지형 유형 변수는 산림입지도양도를 바탕으로 변수를 생성하였다. 향, 토양 배수와 지형 유형 변수는 범주형 변수, 나머지는 연속형 변수로 적용하였다(Table 1). 문헌 조사를 통해 도출된 환경변수는 총 12개로 정리될 수 있다(Figure 2). 기초 환경변수는 500m 격자 단위로 통일하

였으며 변환 및 분석은 ArcGIS 10.7(ESRI Inc., USA) 소프트웨어를 사용하였다.

3. 연구방법

남한지역을 대상으로 자생 수종 서식 가능성 예측을 위해 종분포모형(Species Distribution Modeling)을 활용하였다. 종분포모형은 생물다양성 평가, 서식지 관리 및 복원 등 자연자원 관리와 보전 계획 등에 다양하게 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2012). 이후, 서식 가능성이 높은 지역의 기후 권역 분석을 위해 Kim *et al.*(2021)이 구축한 잠정종자이동구역을 사용하였다. 잠정종자이동구역은 기온 및 강수량 데이터를 바탕으로 제작되었으며 식물 재료가 새로운 위치에 적용할 때 부적응을 최소화시켜주는 권역을 묘사한 지도이다(Bower *et al.*, 2014). 한반도를 대상으로 구축된 잠정종자이동구역(65권역)을 연구 대상지에 맞게 재분류하여 34권역을 가진 잠정종자이동구역을 구축하였다.

종 출현자료 구축에 활용한 전국자연환경조사 자료 및 임상도는 출현자료만을 가지고 있는 자료이므로 출현 정보에 기초한 종분포모형 중 가장 예측 정확성이 높은 MaxEnt 모형을 종분포모형으로 적용하였다. MaxEnt 모형은 생물종의 무질서

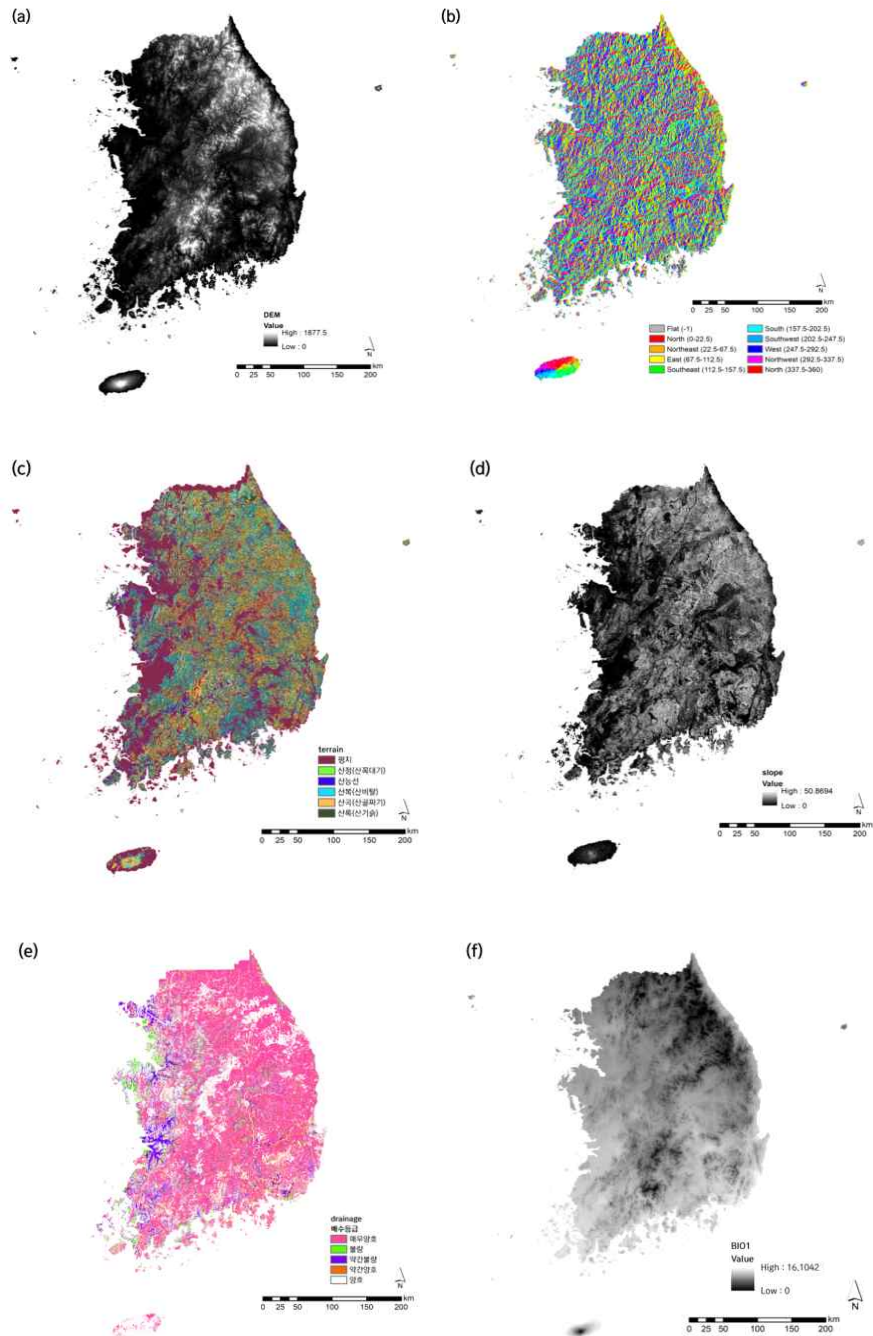


Figure 2. Spatial distributions of environmental variables applied species distribution models.

- (a) DEM (b) Aspect (c) Topography (d) Slope (e) Drainage
 (f) Bio1(For the other 6 variables, refer to the appendix1)

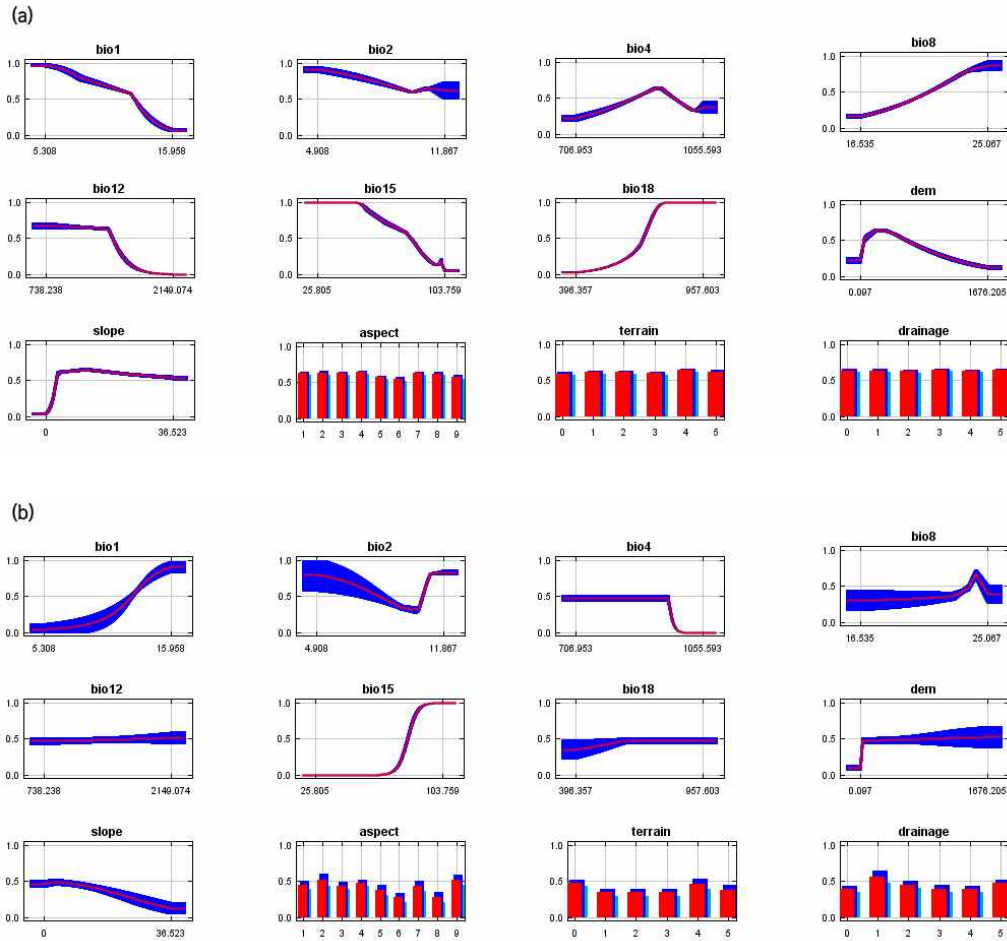


Figure 3. Model impact of individual environmental variables.
 (a) *Acer pictum* (b) *Carpinus tschonoskii*

도(entropy)를 극대화할 수 있는 값을 추정하여 공간에서의 확률분포를 나타내는 회귀모형이다 (Sung *et al.*, 2018). 공간에서의 확률분포는 0에서 1사이 값으로 나타나고 분포확률이 0.5이상으로 예측된 지역이 서식 가능성이 높게 분류된 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2017). 모형의 신뢰도를 높이기 위해 모형 반복 횟수는 10회로 설정하여 평균 값을 최종 모형으로 도출하였으며 모형 정확도는 ROC(Receiver Operating Characteristic)의 AUC (Area Under Cover) 값을 통해 측정하였다(Song, 2015). 종분포모형은 MaxEnt 3.3.4를 활용하였다.

소나무, 상수리나무, 굴참나무의 경우 MaxEnt 분석 정확성이 0.5 이하로 낮게 도출되어 출현 지점 자료만을 활용하여 출현 밀도가 높은 지역을 파악하고 그 지역에 해당하는 기후 권역을 분석하였다. 나아가 기후 권역 분포 비율을 확인하여 분포 밀도가 높은 기후 권역을 파악하였다. 고로쇠나무와 개서어나무는 MaxEnt 분석을 진행하여 분포확률이 0.5 이상인 지역을 파악하였다. 이후, 서식 가능 지역의 기후 권역을 파악하고 밀도 높은 기후 권역을 분석하였다.

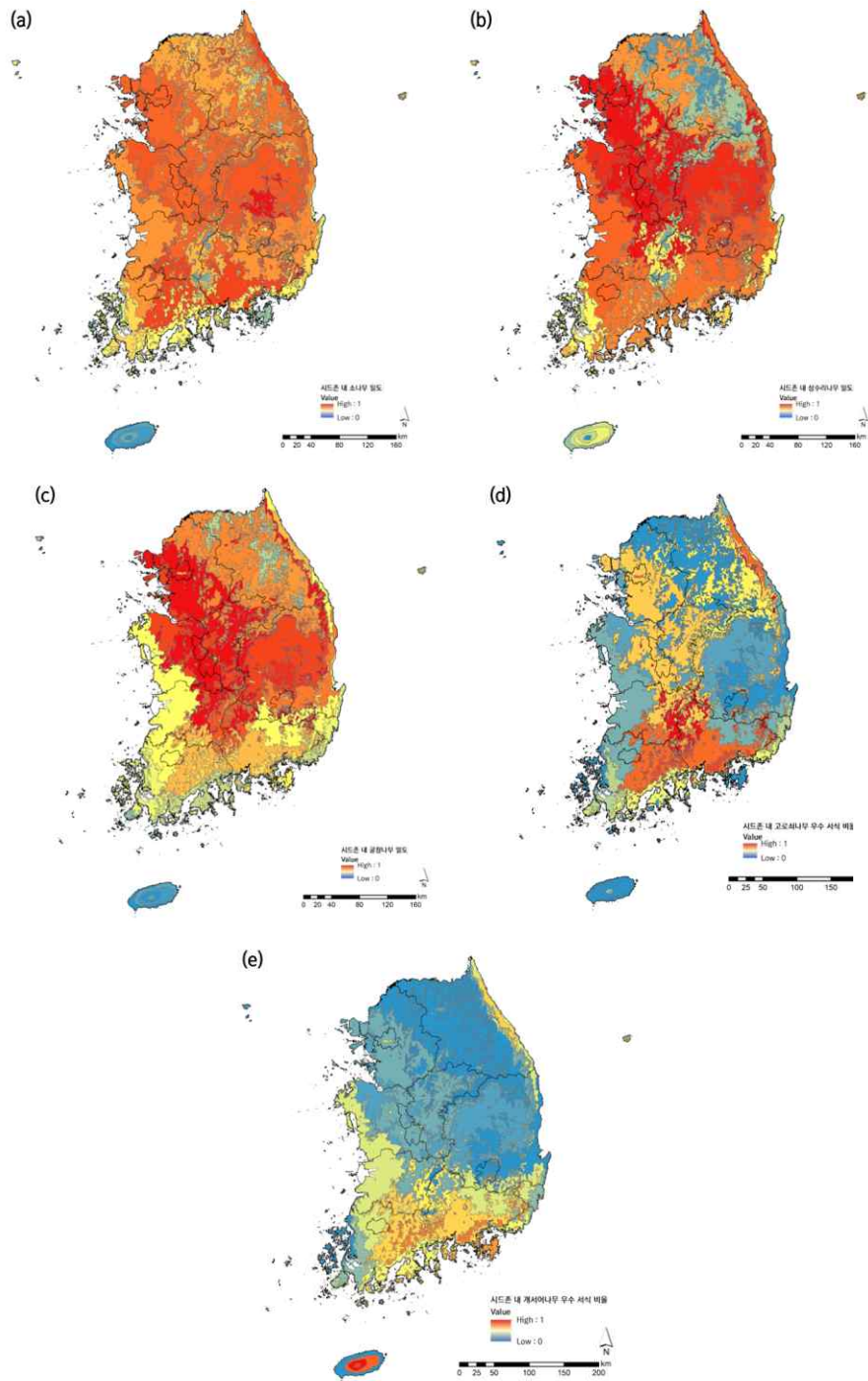


Figure 4. Species appearance density.

(a) *Pinus densiflora* (b) *Quercus acutissima* (c) *Quercus variabilis* (d) *Acer pictum* (e) *Carpinus tschonoskii*

III. 결과 및 고찰

1. 종분포모형 결과

MaxEnt 모형을 적용하여 고로쇠나무 종분포모형을 구축하고 서식 가능성이 0.5 이상인 지역을 분석한 결과, 전남 곡성군, 순천시, 경남 하동군 등 남해안 일대 지역으로 나타났다. 환경변수 기여도 분석결과 강수량 계절성(Bio15)이 20.7%로 가장 높았으며 가장 따뜻한 분기 내 강수량(Bio18)이 19.6%의 영향을 받는 것으로 분석되었다. 기온계절성(Bio4)은 16.4%, 경사 14.4%, 표고 11.4%, 평균 연간 강수량(Bio12) 8.8%, 습한 분기 내 평균기온(Bio8) 5.2%, 평균 연간 기온(Bio1) 2.4%, 향 0.5%, 배수 0.4%, 평균 일주 범위(Bio2) 0.5%, 지형 유형 0% 순으로 중요한 환경변수인 것으로 분석되었다(Figure 3a). 모형의 검증은 ROC(Receiver Operating Characteristic)의 AUC(Area Under Cover) 값으로 계산되었으며 고로쇠나무의 경우 0.844로 계산되어 본 모형의 설명력이 충분히 높은 것으로 판단되었다(Phillps and Dudik, 2008).

개서어나무 종분포모형을 구축하고 서식 가능성이 0.5 이상인 지역을 분석한 결과, 제주도, 경남 양산, 강원도 동해안 일대 지역으로 나타났다. 환경변수 기여도 분석결과 평균 연간 강수량(Bio12)이 49.2%로 가장 높았으며 기온 계절성이 22.4%의 영향을 받는 것으로 분석되었다. 평균 연간 기온(Bio1)은 9.3%, 지형 유형 6.9%, 평균 일주 범위(Bio2) 3.4%, 표고 2.8%, 배수 2.0%, 따뜻한 분기 내 강수량(Bio18) 1.5%, 습한 분기 내 평균기온(Bio8) 0.9%, 강수량 계절성(Bio15) 0.6%, 향 0.5%, 경사 0.4% 순으로 중요한 환경변수인 것으로 분석되었다(Figure 3b). 모형의 검증은 ROC(Receiver Operating Characteristic)의 AUC(Area Under Cover) 값으로 계산되었으며 개서어나무의 경우 0.930으로 계산되어 본 모형의 설명력이 충분히 높은 것

로 판단되었다(Phillps and Dudik, 2008).

2. 잠정종자이동구역 내 자생 수종 밀도

소나무, 상수리나무, 굴참나무의 종 출현지점 밀도 분석결과와 고로쇠나무 및 개서어나무 MaxEnt결과를 잠정종자이동구역과 중첩하여 자생 수종 서식 밀도가 높은 지역과 기후 권역 분포비율을 분석하였다(Figure 4). 자생수종 별 기후 권역 분포비율을 파악한 후, 기후 권역 분포비율이 높은 순으로 나열하였다. 분포비율이 높은 권역을 1순위로 하여 10순위까지 작성하고 각 순위에 해당하는 기후 권역이 위치한 지역을 파악하였다. 먼저, 소나무 기후 권역 및 서식 지역 분석결과 겨울철 최저기온 $-9.4\sim-6.6^{\circ}\text{C}$ 및 건조지수 $19\sim 21^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역이 23.46%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 이 권역에는 경기도 남부, 세종시, 대전광역시 일대가 포함되었다. 다음으로는 겨울철 최저기온 $-9.4\sim-6.6^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $21\sim 24^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역이 14.81%를 차지하였으며 충남 당진시, 서산시, 예산군 일대가 포함되었다. 3순위는 겨울철 최저기온 $-6.6\sim-3.8^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $21\sim 24^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역으로 13.34%를 차지하였으며 충남, 전북, 전남 서해안 지역이 포함되었다. 4순위는 겨울철 최저기온 $-6.6\sim-3.8^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $19\sim 21^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역으로 11.38%를 차지하였으며 경남 진주시, 전남 화순군, 강원도 동해안 지역이 해당했다. 5순위는 겨울철 최저기온 $-12.2\sim-9.4^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $19\sim 21^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역으로 분포비율은 10.28%로 나타났으며 강원도 춘천시, 홍천군, 경기도 가평군이 위치했다. 6순위는 겨울철 최저기온 $-12.2\sim-9.4^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $16\sim 19^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역으로 9.59%를 차지했으며 강원도 내륙 및 경기도 포천시, 가평군 지역이 이에 포함됐다. 7순위는 겨울철 최저기온 $-6.6\sim-3.8^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $24\sim 27^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역으로 3.63%의 비율을 차지하고 있으며 대구광역시, 경북 포항시를 중심으로 경북 일대가 위치하였다. 8순위는 겨울철 최저기온 $-9.4\sim-6.6^{\circ}\text{C}$, 건조지수 $16\sim 19^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 권역

Table 2. *Pinus densiflora*'s Appearance point

No.	Seed zones (WMT*-°C, AHM**-°C/m)	ratio(%)	Distribution region
1	-9.4~-6.6, 19~21	23.46	southern Gyeonggi-do, sejong-si, Daejeon
2	-9.4~-6.6, 21~24	14.81	Yesan-gun, Dangjin-si, Seosan-si, Chungcheongnam-do
3	-6.6~-3.8, 21~24	13.34	Chungcheongnam-do · Jeollabuk-do · Jeollanam-do West coast
4	-6.6~-3.8, 19~21	11.38	Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Hwasun-gun, Jeollanam-do, Gangwon-do East coast
5	-12.2~-9.4, 19~21	10.28	Hongcheon-gun, Chuncheon-si, Gangwon-do, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do
6	-12.2~-9.4, 16~19	9.59	Gangwon-do inland Gapyeong-gun, Pocheon-si, Gyeonggi-do
7	-6.6~-3.8, 24~27	3.63	Daegu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do
8	-9.4~-6.6, 16~19	2.88	Muju-gun, Jangsu-gun, Jeollabuk-do
9	-9.4~-6.6, 24~27	2.10	Gunwi-gun, Uiseong-gun, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do
10	-3.8~-1.1, 21~24	1.80	Busan, Yeongam-gun, Jeollanam-do

*WMT : Winter Minimum Temperature, **AHM : Annual Heat Moisture

으로 2.88%를 차지하고 있으며 전라북도 무주군, 장수군 일대가 분포하였다. 9순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 24~27°C/m 권역으로 2.10%를 차지하며 경북 구미시, 군위군, 의성군 일대가 분포하였다. 마지막으로 10순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 1.80%를 나타내며 부산광역시, 전남 영암군 일대가 포함되었다(Table 2).

상수리나무 기후 권역 및 서식 지역 분석결과 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 19~21°C/m 권역이 36.70%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 이 권역에는 경기도 남부지역, 세종시, 대전광역시 일대가 포함되었다. 다음으로는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 21~24°C/m 권역이 16.24%를 차지하였으며 충남 당진시, 서산시, 예산군 일대가 포함되었다. 3순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 9.84%를 차지하며 충남, 전북, 전남 서해안 일대가 분포하였다. 4순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 19~21°C/m 권역으로 6.25%를 차지하며 강원도 춘천시, 홍천군, 경기도 가평군이 위치하였다. 5순위는 겨

울철 최저기온 -12.2~-9.4°C, 건조지수 19~21°C/m 권역으로 5.22%의 분포비율로 나타났으며 경북 포항시, 경주시, 영천시 일대가 포함됐다. 6순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 24~27°C/m 권역으로 2.63%를 차지하며 경북 안동시, 영주시, 예천군 일대가 분포하였다. 7순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 24~27°C/m 권역으로 1.858%를 차지하며, 강원도 강릉시, 부산광역시, 전남 여수시 일대가 포함됐다. 8순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C, 건조지수 19~21°C/m 권역으로 1.852%를 차지하며, 충북 괴산군, 경북 문경시, 강원도 정선군 일대로 나타났다. 9순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 16~19°C/m 권역으로 분포비율은 1.22%로 나타났으며, 경북 울릉군, 경남 하동군 일대가 위치해있다. 마지막으로 10순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 16~19°C/m 권역으로 0.88%를 차지하고 있으며 전남 영암군, 해남군, 울산광역시 일대가 분포하였다(Table 3).

굴참나무 기후 권역 및 서식 지역 분석결과 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 19~21°C

Table 3. *Quercus acutissima*'s Appearance point

No.	Seed zones (WMT*-°C, AHM**-°C/m)	ratio(%)	Distribution region
1	-9.4~-6.6, 19~21	36.70	southern Gyeonggi-do, sejong-si, Daejeon
2	-9.4~-6.6, 21~24	16.24	Yesan-gun, Dangjin-si, Seosan-si, Chungcheongnam-do
3	-6.6~-3.8, 21~24	9.84	Chungcheongnam-do · Jeollabuk-do · Jeollanam-do West coast
4	-6.6~-3.8, 19~21	6.25	Hongcheon-gun, Chuncheon-si, Gangwon-do, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do
5	-12.2~-9.4, 19~21	5.22	Pohang-si, Gyeongju-si, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do
6	-6.6~-3.8, 24~27	2.63	Andong-si, Yecheon-gun, Yeongju-si, Gyeongsangbuk-do
7	-9.4~-6.6, 24~27	1.858	Gangneung-si, Gangwon-do Busan, Yeosu-si, Jeollanam-do
8	-3.8~-1.1, 19~21	1.852	Goesan-gun, Chungcheongbuk-do, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do, Jeongseon-gun, Gangwon-do
9	-9.4~-6.6, 16~19	1.22	Ulleung-gun, Gyeongsangbuk-do, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do
10	-6.6~-3.8, 16~19	0.88	Yeongam-gun, Haenam-gun, Jeollanam-do, Ulsan

*WMT : Winter Minimum Temperature, **AHM : Annual Heat Moisture

Table 4. *Quercus variabilis*'s Appearance point

No.	Seed zones (WMT*-°C, AHM**-°C/m)	ratio(%)	Distribution region
1	-9.4~-6.6, 19~21	22.28	Seoul, Gyeonggi-do, Chungcheong-do
2	-9.4~-6.6, 21~24	12.66	Yecheon-gun, Cheongsong-gun, Gyeongsangbuk-do, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do
3	-12.2~-9.4, 19~21	8.14	Gyeonggi-do inland
4	-12.2~-9.4, 16~19	5.86	Gangwon-do inland
5	-6.6~-3.8, 21~24	5.66	Jeolla-do West coast, Gyeongsangnam-do inland
6	-6.6~-3.8, 19~21	4.46	Gangwon-do East coast, Southern Jeollanam-do
7	-9.4~-6.6, 16~19	3.30	Jangsu-gun, Jeollabuk-do, Gurye-gun, Jeollanam-do
8	-6.6~-3.8, 24~27	2.75	Daegu, Yeongcheon-si, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do
9	-9.4~-6.6, 24~27	1.51	Gumi-si, Andong-si, Gyeongsangbuk-do
10	-3.8~-1.1, 21~24	0.98	Ulleung-gun, Gyeongsangbuk-do, Haenam-gun, Jeollanam-do, Busan

*WMT : Winter Minimum Temperature, **AHM : Annual Heat Moisture

/m 권역이 22.28%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 이 권역 내에는 서울특별시, 경기도, 충청도 일대가 포함되었다. 다음으로는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 12.66%를 차지하였다. 이 권역에는 경북 예천군, 청송군, 충남 청양군 일대가 포함되었다. 3순위는 겨울철 최저기온 -12.2~-9.4°C, 건조지수

19~21°C/m 권역으로 8.14%를 차지하였으며 경기도 내륙 지역 일대가 위치해있다. 4순위는 겨울철 최저기온 -12.2~-9.4°C, 건조지수 16~19°C/m 권역으로 5.86% 비율을 차지하고 있으며 강원도 내륙 일대가 분포하고 있다. 5순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 5.66% 비율을 차지하고 있으며 전라도

Table 5. *Acer pictum's* Appearance point

No.	Seed zones (WMT*- $^{\circ}$ C, AHM**- $^{\circ}$ C/m)	ratio(%)	Distribution region
1	-6.6~-3.8, 16~19	42.94	Gokseong-gun, Jeollanam-do, Jinju-si, Gyeongsangnam-do
2	-9.4~-6.6, 16~19	22.92	Jangsu-gun, Geochang-gun, Jeollabuk-do
3	-9.4~-6.6, 19~21	15.88	Muju-gun, Jeollabuk-do, Daejeon
4	-6.6~-3.8, 16~19	12.55	Boseong-gun, Jeollanam-do, Goseong-gun, Gyeongsangnam-do, South coast
5	-12.2~-9.4, 16~19	2.70	Jangheung-gun, Goheung-gun, Yeosu-si, Jeollanam-do
6	-9.4~-6.6, <16	0.90	Gwangju, Naju-si, Jeollanam-do, Miryang-si, Gyeongsangnam-do
7	-12.2~-9.4, <16	0.78	Haenam-gun, Yeongam-gun, Jeollanam-do
8	-3.8~-1.1, 19~21	0.64	Jindo-gun, Jeollanam-do, Busan
9	-6.6~-3.8, 21~24	0.40	Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, Gyeongsangbuk-do inland
10	-3.8~-1.1, 21~24	0.21	Jeju

*WMT : Winter Minimum Temperature, **AHM : Annual Heat Moisture

서해안, 경남 내륙 일대가 포함되었다. 6순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8 $^{\circ}$ C, 건조지수 19~21 $^{\circ}$ C/m 권역이 4.46% 분포비율을 보였으며 강원도 동해안, 전라남도 남부지역 일대가 차지하였다. 7순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6 $^{\circ}$ C, 건조지수 16~19 $^{\circ}$ C/m 권역이 3.30%를 차지하였으며, 전북 장수군, 전남 구례군 일대가 위치하였다. 8순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8 $^{\circ}$ C, 건조지수 24~27 $^{\circ}$ C/m 권역으로 2.75%를 차지하고 있으며, 대구광역시, 경북 영천시, 경주시 일대가 분포하였다. 9순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6 $^{\circ}$ C, 건조지수 24~27 $^{\circ}$ C/m 권역으로 1.51% 분포비율을 보였으며 경북 구미시, 안동시 일대가 포함되었다. 마지막으로 10순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1 $^{\circ}$ C, 건조지수 21~24 $^{\circ}$ C/m 권역으로 0.98%를 나타냈으며 경상북도 울릉군, 전라남도 해남군, 부산광역시 일대가 포함되었다(Table 4).

고로쇠나무 MaxEnt 결과와 잠정종자이동구역 중첩을 통해 서식 밀도가 높은 지역과 기후 권역 분포비율을 분석하였다. 기후 권역은 분포비율이 높은 권역을 1순위로 하여 10순위까지 파악하였다. 가장 많은 분포비율을 보인 권역은

겨울철 최저기온 -6.6~-3.8 $^{\circ}$ C, 건조지수 16~19 $^{\circ}$ C/m 권역으로 42.94%를 차지하였다. 이 권역 내에는 전남 곡성군, 경남 진주시 일대가 위치하였다. 그다음으로 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6 $^{\circ}$ C, 건조지수 16~19 $^{\circ}$ C/m 권역이 22.92%로 전북 장수군, 거창군 일대가 분포하였다. 3순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6 $^{\circ}$ C, 건조지수 19~21 $^{\circ}$ C/m 권역으로 15.88%를 차지하였으며 전북 무주군, 대전광역시 일대가 포함되었다. 4순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8 $^{\circ}$ C, 건조지수 16~19 $^{\circ}$ C/m 권역으로 12.55%를 나타냈으며 전남 보성군, 경남 고성군 등 남해안 일대가 분포하였다. 5순위는 겨울철 최저기온 -12.2~-9.4 $^{\circ}$ C, 건조지수 16~19 $^{\circ}$ C/m 권역으로 2.70%를 차지하고 있으며, 전남 여수시, 장흥군, 고흥군 일대가 분포하고 있다. 6순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6 $^{\circ}$ C, 건조지수 <16 $^{\circ}$ C/m 권역으로 0.90%의 분포비율을 보이며 광주광역시, 전남 나주시, 경남 밀양시 일대가 분포하고 있다. 7순위는 겨울철 최저기온 -12.2~-9.4 $^{\circ}$ C, 건조지수 <16 $^{\circ}$ C/m 권역으로 0.78%로 나타났으며, 전남 해남군, 영암군 일대가 위치하였다. 8순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1 $^{\circ}$ C, 건조

Table 6. *Carpinus tschonoskii*'s Appearance point

No.	Seed zones (WMT*-°C, AHM**-°C/m)	ratio(%)	Distribution region
1	-3.8~-1.1, <16	33.34	Jeju
2	-6.6~-3.8, 16~19	20.75	Jeollanam-do, Gyeongsangnam-do South coast
3	-6.6~-3.8, 19~21	19.94	Jeollanam-do, Gyeongsangnam-do South coast
4	-6.6~-3.8, < 16	7.14	alpine of Jeju
5	-1.1~-1.6, <16	6.61	Jeju inland
6	-9.4~-6.6, 16~19	3.21	Jeolla-do inland, Gangwon-do East coast
7	-6.6~-3.8, 21~24	3.11	Chungcheongnam-do · Jeollanam-do West coast, Gangwon-do
8	-3.8~-1.1, 16~19	2.45	South coast
9	-3.8~-1.1, 19~21	1.83	South coast
10	-9.4~-6.6, <16	0.74	Namwon-si, Jeollabuk-do, Gurye-gun, Jeollanam-do, South coast inland

*WMT : Winter Minimum Temperature, **AHM : Annual Heat Moisture

지수 19~21°C/m 권역으로 0.64%의 분포비율을 보였으며 전남 진도군, 부산광역시 일대가 포함되었다. 9순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 0.40%를 차지하고 있으며 충북 영동군, 경북 내륙 지역 일대가 포함되었다. 마지막으로 10순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 0.21%를 나타내며 제주도 일대가 포함되었다 (Table 5).

개서어나무 MaxEnt 결과와 잠정종자이동구역의 중첩 결과 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C 및 건조지수 <16°C/m 권역이 33.34%로 가장 높은 면적을 차지하였다. 이 권역 내에는 제주도 일대가 위치하였다. 다음으로는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 16~19°C/m 권역으로 20.75%를 차지하였으며 전남, 경남 남해안 일대가 포함되었다. 3순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 19~21°C/m 권역이 19.94%로 나타났으며 전남, 경남 남해안 일대가 분포하였다. 4순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 <16°C/m 권역으로 분포비율은 7.14%를 차지하고 있으며 제주도 고지대 일대에 위치하고 있다. 5순위는 겨울철 최저기온 -1.1~-1.6°C, 건조지수 <16°C/m 권

역으로 6.61% 비율을 차지하고 있으며 제주도 내륙 지역 일대에 분포하고 있다. 6순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 16~19°C/m 권역이 3.21% 비율로 나타났으며 전라도 내륙 지역, 강원도 동해안 일부가 포함되었다. 7순위는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 21~24°C/m 권역으로 3.11%를 차지하고 있으며 충남, 전라도 서해안 지역과 강원도 일대가 위치하고 있다. 8순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C, 건조지수 16~19°C/m 권역으로 2.45%를 차지하고 있으며 남해안 일대에 분포하고 있다. 9순위는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C, 건조지수 19~21°C/m 권역으로 1.83%의 분포비율을 보였으며 남해안 일대에 분포하고 있다. 마지막으로 10순위는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 <16°C/m 권역으로 0.74%를 나타내며 전북 남원시, 전남 구례군, 남해안 내륙 지역 일대가 포함되었다 (Table 6).

3. 고찰

분석결과를 바탕으로 자생 수종별 대략적인 서식지 특징을 정리하면, 소나무, 상수리나무, 굴참나무는 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조

지수 19~21°C/m 권역에서 높은 생육을 보이는 것으로 나타났다. 고로쇠나무는 겨울철 최저기온 -6.6~-3.8°C, 건조지수 16~19°C/m 권역에서, 개서어나무는 겨울철 최저기온 -3.8~-1.1°C, 건조지수 <16°C/m 권역에서 높은 생육을 보였다.

남한지역 34개 기후 권역 중 겨울철 최저기온 -9.4~-6.6°C, 건조지수 19~21°C/m 권역이 20%로 가장 많은 비율을 차지한다. 남한지역에서 가장 분포비율이 높은 기후 권역과 소나무, 상수리나무, 굴참나무 서식 비율이 가장 높은 권역과 일치하였다. 이는 국내 기후가 소나무, 상수리나무, 굴참나무가 전국으로 퍼져 생육할 수 있는 기후를 가지고 있는 것으로 판단된다. 또한, 남부지역에 주로 서식하는 종일수록 서식 기후 권역의 겨울철 최저 온도 및 건조지수가 증가하는 것으로 나타났다. 이는, 남부지역으로 갈수록 건조한 환경에 적응하여 나타난 특성으로 추정된다.

본 연구는 잠정종자이동구역과 종분포모형을 이용하여 기후 권역 분포 및 서식 가능성이 높은 지역을 예측한 선도 연구로서 의의가 있다. 이러한 결과는 복원의 대표 자생 종자 서식 비율을 증가시킴으로써 생태계 서비스 질을 개선하고 평가할 수 있는 연구로 발전될 수 있다. 뿐만 아니라 기후 권역 분포 및 수종별 서식지 예측은 최근 국내외 다양하게 시도되고 있는 외래종 유입 방지 및 자생 수종 확산에 따른 생태계 관리방안 계획 시 도움이 될 것으로 판단된다.

하지만 본 연구에서 활용한 잠정종자이동구역은 모든 토지 피복 유형을 포함하고 있어 산림 생태계의 특성을 제대로 반영하지 못한 한계가 존재한다. 또한, 소나무, 상수리나무, 굴참나무에 대한 MaxEnt 분석 정확성이 낮게 도출되어 MaxEnt 분석을 활용하지 못하였기에 본 연구 결과를 일반화하여 적용하는데 어려움이 있다. 선행연구에 따르면, 소나무(*Pinus dansiflora*) 출현 자료를 무작위로 7:3으로 나누어 각각 Training과 Test에 사용하고, 10회 반복하였을 때 Training ROC의 AUC 값이 0.79로 우수한 예측

력을 나타냈다(Cho *et al.*, 2020). 또한, Sun *et al.*(2020)은 상수리나무(*Quercus acutissima*) 출현자료 75%를 Training set로 25%를 Test set로 나누어 5회 반복한 결과 25% Test set AUC 값이 0.730으로 높은 정확성을 나타냈다. 이에 따라, 본 연구에서는 훈련 데이터를 활용하지 않고 모든 지점을 활용하여 분석을 진행하고자 하였기에 분석 정확도가 낮게 도출되었다고 추정할 수 있다. 향후 연구에서는 Training과 Test 자료를 제작하여 소나무, 상수리나무, 굴참나무에 대한 MaxEnt 분석을 진행하여 연구를 보다 고도화할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 나아가 종별 유전적 다양성이 고려되지 않았기 때문에 본 연구 결과로는 유전적 차이에 따른 자생 수종 서식 적합 지역을 나타낼 수 없는 한계를 가진다.

따라서 유전적 차이에 따른 서식 적합 지역을 고려하기 위해 향후 자생 수종 시료를 직접 채취하여 종자에 따른 유전적 거리(genetic distance)를 확인하고 군집별 기후 권역 특성을 규명하는 분석 방법을 고민할 필요가 있다. 유전적 거리는 대립유전자를 활용한 중 간 또는 종 내 개체군 간의 유전적 분기 척도로서 중 간 관계 및 생태·지리학적 유연관계 분석이 가능하다(Maghuly *et al.*, 2005). 이를 위해 1~10순위에 나타난 서식 가능 지역 중 대표 지역에 해당하는 출현지점 자료만 활용하여 MaxEnt 분석을 진행하거나 순위 내 대표 지역 선정 후 시료를 채취하여 유전적 유연관계 파악이 제안될 수 있다. 남한지역을 대상으로 종 출현 데이터와 환경변수를 통한 서식지 분석 및 잠정종자이동구역을 활용한 기후 권역 밀도 분석은 외래종 확산 방지 및 생태계 서비스 개선 방안 마련에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

자생 수종 감소 문제는 자생 수종 중요성과 함께 보전 필요성을 제기하고 있다. 자생 종자

서식지 확산을 위한 전 세계적인 노력과 함께 국내에서도 자생 수종 확산 가능성을 연구하고 있는 현재 노력은 이러한 흐름과 무관하지 않다. 종자 서식환경 및 기후 특성을 분석하기 위해서는 국내 특성을 반영할 수 있는 남한지역을 대상으로 하는 것이 적합하다고 판단된다. MaxEnt를 활용하여 종분포모형을 분석한 결과, 문헌 조사를 통해 도출된 12가지 환경변수 중 기온계절성(Bio4), 평균 연간 강수량(Bio12), 표고 등이 중요한 것으로 확인되었다.

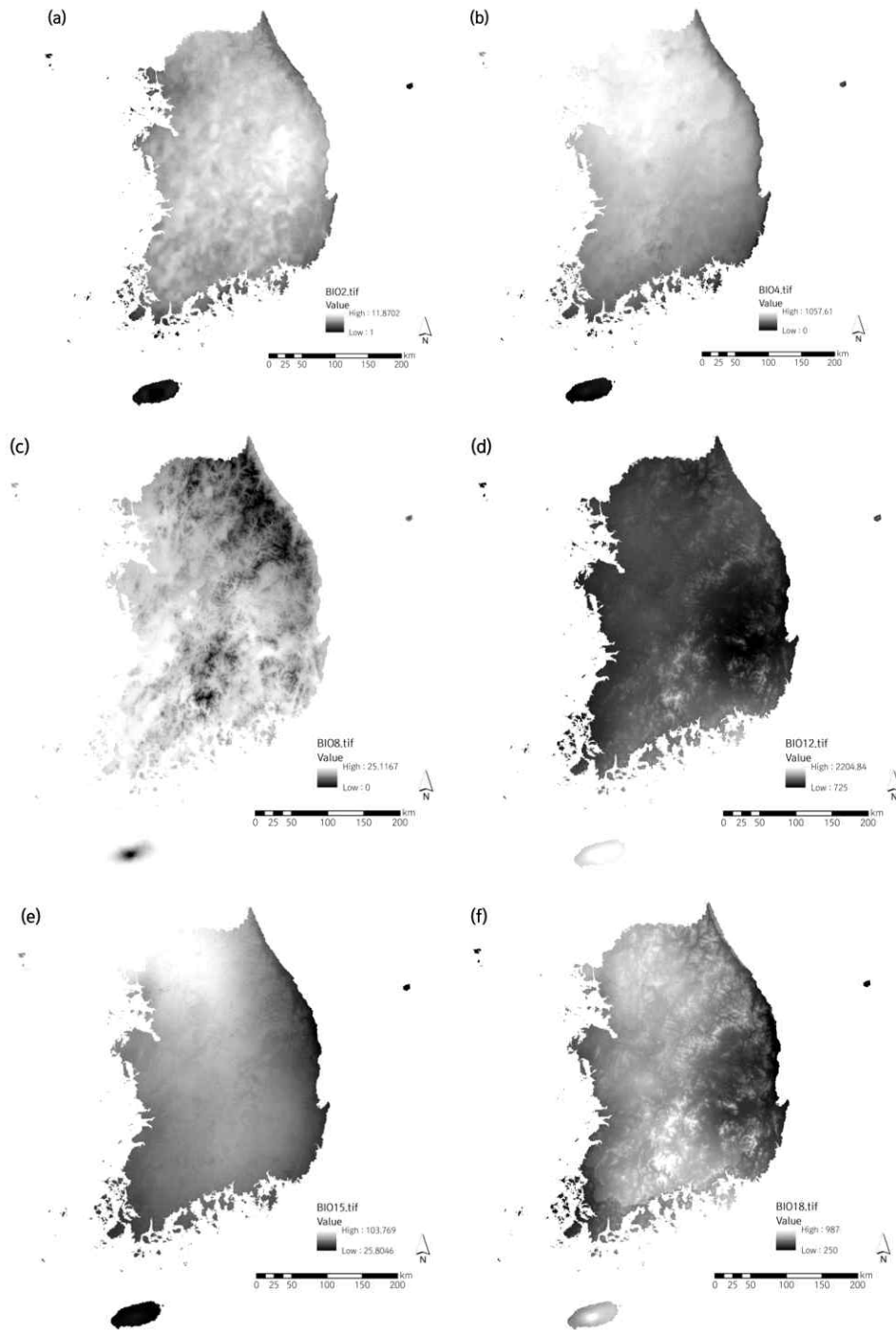
자생 수종 5종의 서식환경을 분석한 본 연구는 잠정종자이동구역과 종분포모형을 이용하여 기후 권역 분포 및 서식 가능성이 높은 지역을 예측한 선도 연구로서 의의가 있다. 이 연구를 토대로 복원의 대표 자생 종자에 대한 서식지 확산 방안을 도출할 수 있으며, 이를 기후 권역과 연계한 관리 계획 수립도 제안할 수 있다. 본 연구 결과는 유전적 다양성을 고려하지 못한 한계를 가지고 있어 결과를 일반화하는데 한계를 가지고 있으나, 본 연구가 유전적 거리 분석 연구와 연계된다면 최근 세계적으로 확산되고 있는 생태계 회복 정책의 국내 정착에도 크게 기여할 수 있으리라 판단된다.

References

- Bower, AD · J Bradley · St Clair and V Erickson. 2014. Generalized provisional seed zones for native plants. *Ecological Applications*. 24(5): 913 - 919.
- Cho, NH · ES Kim · BR Lee · JH Lim and SK Kang. 2020. Predicting the Potential Distribution of *Pinus densiflora* and Analyzing the Relationship with Environmental Variable Using MaxEnt Model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 22(2): 47-56. (in Korea with English summary)
- Choi, YY · CH Lim · JE Ryu · D Piao · JY Kang · W Zhu · G Cui · WK Lee and SW Jeon. 2017. Bioclimatic Classification and Characterization in South Korea. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 20(3): 1-18. (in Korea with English summary)
- Chun, YM · HJ Lee and I Hayashi. 2007. Syntaxonomy and Syngelography of Korean Red Pine (*Pinus densiflora*) Forests in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 21(3): 257-277. (in Korea with English summary)
- Doherty, KD · BJ Butterfield and TE Wood. 2017. Matching seed to site by climate similarity: Techniques to prioritize plant materials development and use in restoration. *Ecological Applications*. 27(3): 1010 - 1023.
- Eom, BC. 2019. Climatically potential natural vegetation and phytoclimatic map of Korea. Ph.D dissertation, Keimyung University. (in Korea)
- Kim, CY · WM Kim · WK Song and JY Choi. 2021. A Study on the Domestic Application of the Concept of Seed Transfer Zone in the U.S. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 24(2): 39-56. (in Korea with English summary)
- Kim, JY · CW Seo · HS Kwon · JE Ryu and MJ Kim. 2012. A Study on the Species Distribution Modeling using National Ecosystem Survey Data. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 21(4): 593-607. (in Korea with English summary)
- Kim, WM · WK Song · SY Kim · EJ Hyung and SH Lee. 2017. Habitat Analysis Study of Honeybees(*Apis mellifera*) in Urban Area Using Species Distribution Modeling-

- Focused on Cheonan -. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology. 20(3): 55-64. (in Korea with English summary)
- Kim, YH and JW Kim. 2017. Distributional Uniqueness of Deciduous Oaks(*Quercus* L.) in the Korean Peninsula. The Korea Society of Environmental Restoration Technology. 20(2): 37-59. (in Korea with English summary)
- Lee, MK · JH Chun and CB Lee. 2021. Prediction of Distribution Changes of *Carpinus laxiflora* and *C. tschonoskii* Based on Climate Change Scenarios Using MaxEnt Model. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 23(1): 55-67. (in Korea with English summary)
- Lee, YH · CS Na · SH Hong · SI Sohn · CS Kim · IY Lee and YS Oh. 2018. Predicting the Potential Habitat and Risk Assessment of *Amaranthus patulus* using MaxEnt. Korean Journal of Environmental Biology. 36(4): 672-679. (in Korea with English summary)
- Lim, JC. 2012. A Phytosociological Study of the Maoul-Soop in Korea. Ph.D dissertation, Keimyung University. (in Korea)
- Ma, B and J Sun. 2018. Predicting the distribution of *Stipa purpurea* across the Tibetan Plateau via the MaxEnt model. BMC Ecology. 18: 10.
- Maghuly, F · EB Fernandez · S Ruthner · A Pedryc and M Laimer. 2005. Microsatellite variability in apricots (*Prunus armeniaca* L.) reflects their geographic origin and breeding history. Tree Genetics & Genomes. 1: 151-165.
- Massatti, R · RK Shriver · DE Winkler · BA Richardson and JB Bradford. 2020. Assessment of population genetics and climatic variability can refine climate-informed seed transfer guidelines. The Journal of the Society for Ecological Restoration. 28(3): 485-493.
- Nam, SJ and NC Kim. 1998. A Study on the Seeding of *Zoysia japonica* and Woody Plants for the Revegetation of Rock-exposed-slopes by Natural Topsoil Restoration Methods. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 1(1): 141-150.
- Omernik, JM. 1987. Ecoregions of the Conterminous United States, Annals of the Association of American Geographers. 77(1): 118-125.
- Padalia, H · V Srivastava and SPS Kushwaha. 2014. Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. Ecological Informatics. 22: 36-43.
- Phillips, SJ and M Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography. 31: 161-175.
- Sun, S · Y Zhang · D Huang · H Wang · Q Cao · P Fan · N Yang · P Zheng and R Wang. 2020. The effect of climate change on the richness distribution pattern of oaks(*Quercus* L.) in China. Science of The Total Environment. 20: 140786.
- Smith, A · B Page · K Duffy and R Slotow. 2012. Using Maximum Entropy modeling to predict the potential distributions of large trees for conservation planning. Ecosphere. 3(6): 56.
- Song, JS. 2008. A Synecological Study of the Riverside Vegetation of the Upper Stream of Nakdong River, Korea - I. Forest and Shrub Vegetation -. Kor. J. Env. Eco. 22(4):

- 443-452. (in Korean with English summary)
- Song, WK. 2015. Habitat Analysis of *Hyla suweonensis* in the Breeding Season Using Species Distribution Modeling. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 18(1): 71-82. (in Korean with English summary)
- Sung, CY · HT Shin · SH Choi and HS Song. 2018. Predicting Potential Habitat for *Hanabusaya Asiatica* in the North and South Korean Border Region Using MaxEnt. *Korean journal of environment and ecology*. 32(5): 469-477. (in Korea with English summary)



Appendix 1. The remaining 6 bioclimatic variables
(a) Bio2 (b) Bio4 (c) Bio8 (d) Bio12 (e) Bio15 (f) Bio18