

세뽕투구꽃의 서식지 환경 적합성 평가를 통한 분포 예측 모형 개발

조선희^{1*} · 이계한²

¹서울대학교 학술림, ²전남대학교 산림자원학과

Development of a Distribution Prediction Model by Evaluating Environmental Suitability of the *Aconitum austrokoreense* Koidz. Habitat

Seon-Hee Cho^{1*} and Kye-Han Lee²

¹University forests of Seoul National University, Gwangyang 57702, Korea


²Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

요약: 세뽕투구꽃의 서식에 영향을 미치는 환경인자들과의 관계를 규명하기 위해 MexEnt 모형을 구동하여 21개의 환경인자를 평가한 결과 0.6 이상의 유의성 있는 AUC값을 가지고 있는 14개의 환경인자는 임령, 임목축적, 임분밀도, 고도, 지형, 지형습도지수, 일사량, 토성, 1월 평균기온, 4월 평균기온, 연평균 기온, 1월 평균 강수량, 8월 평균 강수량, 연평균 강수량이었다. 주요 14개 설명 인자들의 반응 곡선에 의하면 백운산 내 세뽕투구꽃은 해발고도가 600 m 이하의 낮은 지대로 내려갈수록 서식에 적합하다는 결과를 보이고 있었으며, 경사가 서식지에 미치는 영향은 낮았다. 임분 밀도는 밀, 지형은 계곡과 가까운 지역을 선호하였으며, 방위는 북동쪽에 대한 분포 비중이 높았다. 영급은 5영급을 기준으로 낮을수록 출현 확률이 높게 나타났다. 본 연구 지역의 세뽕투구꽃이 선호하는 일사량은 1.2 MJ/m²이며, 지형습도지수 값은 4.5를 기준으로 값이 낮아질수록 출현 확률이 낮아지고 기준 값이 높아질수록 출현 확률이 높아지는 양의 관계가 성립되었는데 임계수치는 7.5였다. 토양환경 분석결과 점토에서 사질양토로 갈수록 세뽕투구꽃의 존재확률이 증가하고 있었고 1월 평균기온이 -4.4°C~ -2.5°C, 4월 평균기온이 8.8°C~10.0°C, 연평균 기온은 9.6°C~11.0°C인 지역을 서식에 적합한 주요 서식지로 분류할 수 있었다. 세뽕투구꽃은 연평균 강수량이 1,670~1,720 mm 지역으로 8월 평균 강수량이 350 mm 이상 되는 지역에서부터 출현하기 시작했으며, 390 mm까지는 일정 부분 강수량이 높아질수록 선호하는 서식지로서의 가치를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 분포적 의미를 갖는 결과 값이 75% 이상인 잠재서식지의 면적은 202 ha로 백운산 연구 대상지의 1.8%였다.

Abstract: To examine the relationship between environmental factors influencing the habitat of *Aconitum austrokoreense* Koidz., this study employed the MexEnt model to evaluate 21 environmental factors. Fourteen environmental factors having an AUC of at least 0.6 were found to be the age of stand, growing stock, altitude, topography, topographic wetness index, solar radiation, soil texture, mean temperature in January, mean temperature in April, mean annual temperature, mean rainfall in January, mean rainfall in August, and mean annual rainfall. Based on the response curves of the 14 descriptive factors, *Aconitum austrokoreense* Koidz. on the Baekun Mountain were deemed more suitable for sites at an altitude of 600 m or lower, and habitats were not significantly affected by the inclination angle. The preferred conditions were high stand density, sites close to valleys, and distribution in the northwestern direction. Under the five-age class system, the species were more likely to be observed for lower classes. The preferred solar radiation in this study was 1.2 MJ/m². The species were less likely to be observed when the topographic wetness index fell below the reference value of 4.5, and were more likely observed above 7.5 (reference of threshold). Soil analysis showed that *Aconitum austrokoreense* Koidz. was more likely to thrive in sandy loam than clay. Suitable conditions were a mean January temperature of -4.4°C to -2.5°C, mean April temperature of 8.8°C–10.0°C, and mean annual temperature of 9.6°C–11.0°C. *Aconitum austrokoreense* Koidz. was first observed in sites with a mean annual rainfall of 1,670–1,720 mm, and a mean August rainfall of at least 350 mm. Therefore, sites with increasing rainfall of up to 390 mm were preferred. The area of potential habitats having distributive significance of 75% or higher was 202 ha, or 1.8% of the area covered in this study.

Key words: *Aconitum austrokoreense*, Mt. baekwun, Gwangyang-si, Gurye-gun, endangered plants, environment

* Corresponding author
E-mail: tl999@snu.ac.kr

ORCID
Seon-Hee Cho  <https://orcid.org/0000-0003-3159-481X>

서 론

오래전부터 학자들은 식생의 지리적 분포에 환경적 요소가 영향을 미치고, 특히, 기후 인자의 특징이 식물의 분포유형과 강한 기작이 있으며, 그 결과 식생과 기후를 연결하는 어떠한 상관성이 있음을 깨달았다. 그 이후 다수의 학자들은 식물과 기후 사이에 존재하는 상관관계를 탐구하고, 확인하며, 정량화된 결과를 얻기 위해 노력했고, 이러한 과정에서 식물의 지리적인 분포를 예측하기 위한 접근 방법으로 다수의 공간적 규모에서 다양한 환경요인을 변수로 하는 모델링 방법을 이용하였다(Chun and Lee, 2013). 선진국에서는 이미 GAP(Gap Analysis Program)로 서식지 평가과정 및 서식지 적합성 지수의 활용을 통해 종의 보전을 위한 서식지 평가와 관리 정책을 수립하고 있다(Lee and Song, 2008). GAP 외에 모형 개발에 이용되는 통계적 기법에는 회귀분석(Logistic Regression)과 서식지 적합성지수(Habitat Suitability Index, HSI)와 같은 단순 및 다중적인 선형 회귀 분석 기법들 그리고 GAM(Generalized Addictive Model), GLM(Generalized Linear Model), CART(Classification and Regression Tree) 등의 기법(Scott, 2002)과 퍼지 이론을 통한 서식지 모형 개발을 들 수 있다(Store et al., 2001). 서식지에 대한 적합성 평가는 다양한 보호종을 대상으로 폭 넓게 진행되고 있으며, 특히 멸종위기종이나 멸종위기가 될 가능성이 높은 종의 생존에 적합한 재도입 서식지를 확인하기 위한 절차로 이러한 평가를 사용한다(Schadt et al., 2002). 종 분포 모형은 첫 번째, 종과 환경과의 관계를 경험적인 자료를 이용해 비통계적인 기법으로 분석하는 방법, 두 번째, 전문가 판단에 기준한 분포예측 방법, 세 번째, 종분포에 대한 공간적으로 명확한 경험적, 통계적인 모델 구축의 세 방향으로 진행되는 추세이다(Guisan and Thuiller, 2005).

최근에 진행되는 세계적인 연구 동향을 보면, 전문가의 판단에 의한 다차원 평가와 GIS 및 통계와 분석 기법을 결합한 형태의 모델 구축이 다양하게 진행되고 있다(Store and Kangas, 2001), Phillips et al.(2006)은 서식지 임분의 잠재성을 평가하는 MexEnt(Maximum Entropy) 모형을 제시하기도 하였으며, 이러한 연구를 기반으로 서식지 적합성 평가를 통해 야생생물의 서식지 관련 보호 구역을 설정하는 단계에서 한 단계 더 나아가 기후 변화를 고려한 서식지 적합성 평가 연구를 시도하고 있다(Araujo et al., 2005). 공통적으로 이들의 연구는 기후 변화가 생태계에 미치는 영향을 심각하게 받아들이고 있으며(Opdam and wascher, 2004), 서식지의 분포 예측을 통해 대체서식지의 필요성을 강조하고 이동통로의 보전, 멸종위기종의 심각성을 알리고 보전전략 수립의 필요성을 강조하고 있다

(Harrison et al., 2006).

국내의 경우 1990년대 들어와 GIS에 대한 관심이 크게 고조되면서 국가적, 상업적, 교육적 차원뿐만 아니라 산림 기능평가(Seo et al., 2006) 등 다방면에서 GIS를 널리 이용하고 있으며, 최근에는 서식지 보전을 위한 다양한 평가 모형들이 제안되고 있다. Lee et al.(2006)은 소나무와 참나무림의 분포 패턴을 규명하기 위해 공간통계와 GIS를 이용했으며, 공간분석을 위한 기초자료로 수치 임상도와 현존 식생도를 활용했다. Kwon(2011)은 부전나비과(Lycaenidae)를 대상으로 기후인자를 활용하여 지리적인 분포현황을 파악하고 어떠한 기후 인자가 종의 분포에 민감하게 반응하는지 밝혔으며, Kim et al.(2011)은 상록활엽수종인 붉가시나무와 후박나무를 대상으로 식물분포 자료를 추출하여 최적 생육지와 잠재 생육지를 분석하는 한편, 두 수종의 기후 변화에 따른 분포 변화를 예측하기도 하였다. Shin(2013)은 보령시를 대상으로 생물종 서식지 예측모형과 토지적성평가를 수행하였고 Kim(2012)은 산림식생, 조류, 양서류를 대상으로 종의 서식분포 변화 예측 및 보호구역 설정 방안을 연구했다. 또한, Song et al.(2013)은 기후 변화에 따른 온도 상승 및 강수량 변화가 현재의 자연 환경에 적응되어 있는 생물 및 생태계에 다양한 영향을 미칠 것으로 예측하고 생물 지표종의 연구를 하였으며, 세계적 추세에 맞춰진 차별화 전략으로 시민이 데이터를 수집하고 전문가가 이용하는 시민참여형 연구를 유도하였다. 이처럼 국내에서도 기후변화가 생물종에 미치는 영향을 예측하고 기본적인 대안을 마련하기 위해 연구를 하고 있기는 하지만 아직도 남아 있는 수많은 희귀 및 멸종 위기 식물을 대상으로 하는 연구가 절실히 필요한 실정이다.

본 연구는 GIS를 산림정보 분석에 활용한 연구로 광양시·구례군 백운산에 자생하는 세뿔투구꽃(*Aconitum austro-koreense* Koidz.)의 입지환경을 분석하여, 생육에 영향을 미치는 생물학적 환경요인과 비생물학적 환경요인과의 관계를 비교하고 분석하여 서식에 영향을 미치는 중요 환경 인자를 규명한 후, 생태적 지위 모형인 종 분포 모형을 이용하여 세뿔투구꽃의 서식지 보호 및 확대를 위한 잠재적 분포도를 작성하고 분포 적지를 예측하였다.

재료 및 방법

1. 조사 대상지

본 연구는 전라남도 광양시·구례군 내 서울대학교 남부학술림 지역인 백운산을 대상으로 하였다. 백운산의 주봉인 상봉은 1,222 m로 호남정맥의 끝자락에 위치하며, 섬진강 하류를 경계로 지리산과 마주보고 있어서 식물생태학적으로 중요한 지역이다. 백운산에 대한 식물연구는

1940년 전라남도 교육회에서 제시한 전라남도 식물 목록에 44종이 백운산 채집지로 표기된 것이 처음이다. 이후 산림청이 1986년 한국의 명산을 소개하면서 고로쇠나무, 큰억새군락, 원추리, 백운배나무, 흰참꽃나무, 삼나무, 편백, 리기다소나무의 기록이 있다(Gwangyang-si Paper Compilation Committee, 2005). 광양 백운산 지역의 해발고도별 산림식생의 유형을 보면, 고도가 낮은 300 m 이하 지역에서는 소나무와 때죽나무, 졸참나무, 굴참나무, 비목이 500 m 이하 지역에서는 굴참나무, 때죽나무, 졸참나무가 700 m 이하 지역에서는 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무, 서어나무가 1,000 m 이하 지역에서는 신갈나무, 서어나무가 1,000 m 이상의 최상 지역에서는 신갈나무, 까치박달, 물푸레, 당단풍나무가 주요 종으로 서식한다. 백운산 지역의 최초 조림은 1918년으로 일제 강점기 시대부터이다. 2020년 기준으로 1,260 ha의 면적에 조림을 시행하였으며, 주요 조림수종으로는 리기다소나무, 곰솔, 잣나무, 일본잎갈나무, 밤나무, 상수리나무 등 29종에 이른다. 특히, 리기다소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 일본목련은 토착화 되어 자생 지역 식물처럼 생육하고 있다. 백운산에 자생하는 특산식물 중 목본은 구상나무, 물들메나무, 병꽃나무, 오동나무, 산앵도나무, 검팽나무가 있고 초본으로는 나도승마, 매미꽃, 세뿔투구꽃, 금마타리 등 14종이 분포하고 있다.

기상청에서 제공하는 광양지역 AWS(Automatic Weather System)를 기준으로 최근 15년(2004~2018)간 평균 기온은 14.37°C, 연평균 강수량은 1,483.6 mm였다(Table 1).

2. 연구방법

1) 세뿔투구꽃 현존 분포조사

현존하는 서식지는 서울대학교 남부학술림에서 2007년

에서 2011년까지 5개년 동안 조사한 백운산지역 식물상 자료를 활용하였으며, 확보한 자료를 기반으로 2017년 4월부터 2018년 6월까지 현장 확인 조사를 실시하였다. 현장조사는 남부학술림 제공 자료와 문헌자료를 바탕으로 한 주요서식지와 백운산 내 서식확률이 높은 계곡을 집중적으로 조사하였다. 확인된 서식지는 데이터베이스 구축을 통한 잠재력 평가를 목적으로 좌표를 기록하였으며, 좌표측량에 이용된 GPS는 MMCX Combo로 오차범위는 ± 0.5 m이다.

2) GIS를 활용한 환경인자 DB구축

본 연구에서 세뿔투구꽃 서식지에 대한 속성 정보를 구축하기 위한 기초자료로 이용된 수치 지형도는 1/25,000로 국립지리원에서 제작한 디지털 지형도 4도엽이다. 분석을 위한 자료로 활용하기 위해 수치지형도 4도엽을 병합한 후 지리적 요소의 공간적인 일치와 분석을 가능하게 하고자 백운산 내의 지적도를 Tokyo Datum(Bessel, 1841)을 기준으로 지형도와 중첩하는 과정을 거쳐서 연구대상지를 서울대학교 남부학술림 영림계획도 기준에 따라 666개로 분류하여 추출하였다.

연구 대상지의 임상도(Digital forest map)는 백운산 내 남부학술림 영구표본구 666 plot에서 1998년부터 2018년까지 현장 조사를 통해 분석한 자료를 활용하였다. 20 m×50 m 방형구가 적용된 표본구는 계곡, 능선, 산록, 임도, 경사, 방위, 해발고를 감안하여 고르게 설치되어 있으며, 경급 2.5 cm 이상을 기준으로 교목층, 관목층, 초본층에 대해서 정밀조사가 이루어지고 있는 지역이다.

본 연구에서 지형도(Digital terrain map)는 다양한 공간 분석을 원활히 수행하고자 TIN(Triangular Irregular Net-

Table 1. Monthly weather conditions for the last 15 years (2004~2018).

Month	Gwangyang, South Jeolla Province			Base year
	Temperature (°C)	Precipitation amount (mm)	Humidity (%)	
1	1.3	16.0	64	2004 ~ 2018
2	3.5	52.4	62	
3	8.0	80.8	58	
4	13.6	128.0	58	
5	18.8	152.8	61	
6	22.5	162.3	71	
7	26.1	316.6	78	
8	26.9	289.4	73	
9	22.5	159.9	69	
10	16.4	73.3	65	
11	9.8	26.2	66	
12	3.0	25.9	63	
Average temperature	14.37	1,483.6	65.67	

work)을 이용하여 수치 표고 모델인 DEM(Digital Elevation Model)로 제작하였다. DEM생성을 위해 수치지형도(1/25000)에서 등고선과 표고점을 추출하고 등고선 레이어를 Geodata로 변환하고 3차원의 TIN을 생성한 후 10 m 해상도의 Raster data로 변환하였다. 생성된 Raster data를 기반으로 경사, 방위, 고도, 지형, 지형습도지수, 일사량 분석을 진행하였다. 입지도(Digital Site Map)는 유효 토심(Soil depth), 물리적 특성(Physical properties of soil), 비옥도(Soil fertility)를 반영하여 제작하였고, 기후도(Digital Climate Map)는 백운산과 인근에 구축된 기상청 AWS(Automatic Weather System) 및 서울대학교 남부학술림 AWS 16개소의 기상 데이터 자료를 이용하여 기후정보를 생성하였다. 설명변수로 분석에 이용된 모든 주제도는 Vector data 모델로 제작한 후 속성정보를 분석에 활용하기 위해서 Raster data로 변환하였으며, 주제도 제작 및 분석에 활용된 프로그램은 ArcGIS 10.1이다.

3) 서식지 잠재력 평가

(1) MaxEnt 모형

본 연구에서 세뿔투구꽃의 서식지 잠재력 평가에 사용된 MaxEnt 모형은 생태적 지위 모형으로 대상종에 대한 평균적인 정보를 최대화하는 회귀분석 기법을 기반으로 활용한 모형으로 최대 엔트로피 접근법으로 높은 결과 값을 가진다(Phillips et al., 2006). MaxEnt 모형은 로지스틱 회귀분석과는 다르게 비 출현 정보는 이용하지 않고, 알려진 서식지에서 나타나는 기후적, 지형학적, 생물학적 변수

들이 생물종의 위치에 대한 출현 정보만을 가지고 모형화하여 종의 출현 확률을 예측하는 방법으로 통계학적 측면에서 우수성이 입증된 모형이다. 또한 표본구의 숫자가 많지 않을 때도 적합한 분석이 가능한 장점이 있는 모형이다(Phillips and Dudik, 2008). Figure 1은 연구에 활용된 MaxEnt 모형이다.

종 분포 모형을 구동하려면 일반적으로 종의 출현에 대한 정보와 종의 서식에 영을 미치는 생물학적, 미생물학적 환경요소에 대한 정보가 필요하다. 종 출현에 대한 정보는 종속변수로 환경요소에 대한 정보는 설명변수로 하는 입력 자료를 기반으로 모형을 구동하게 된다. 모형의 구동 과정에서 어떠한 설명변수를 선택하고 적용할 것인가는 중요한 문제라 할 수 있는데 이러한 선택의 결과에 따라서 해석이 달라질 수 있기 때문에 모형의 구동 과정에서 나타나는 중요도나 기여도는 종의 분포를 명확하게 설명하는 척도가 될 수 있다. 모형의 구동에 사용된 종속변수는 세뿔투구꽃의 현존 서식지에 대한 좌표이며, 설명 변수로는 생물학적, 기후적, 지형학적인 인자를 사용하였다. 구동 시 독자적 프로그램으로 운영되는 종 분포 모형의 분석에 사용된 모든 데이터는 ASCII로 코드화하여 입력하였다.

(2) 서식지 잠재력 평가

서식지 잠재력 평가는 백운산 내 세뿔투구꽃이 서식하는 지역의 환경요소인 생물학적 요소와 비생물학적 요소를 분석하여 현존하는 서식지와 같거나 유사한 환경의 임분 및 지형을 발견해 나가는 과정이다. 최근 예측된 기후

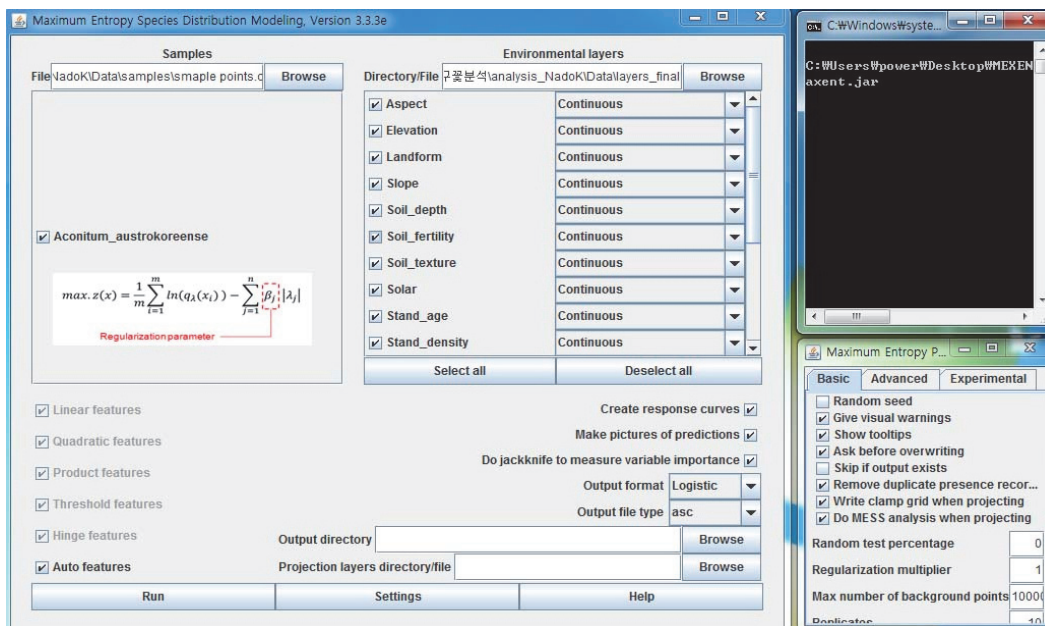


Figure 1. Driving process of the MaxEnt model with environment variables.

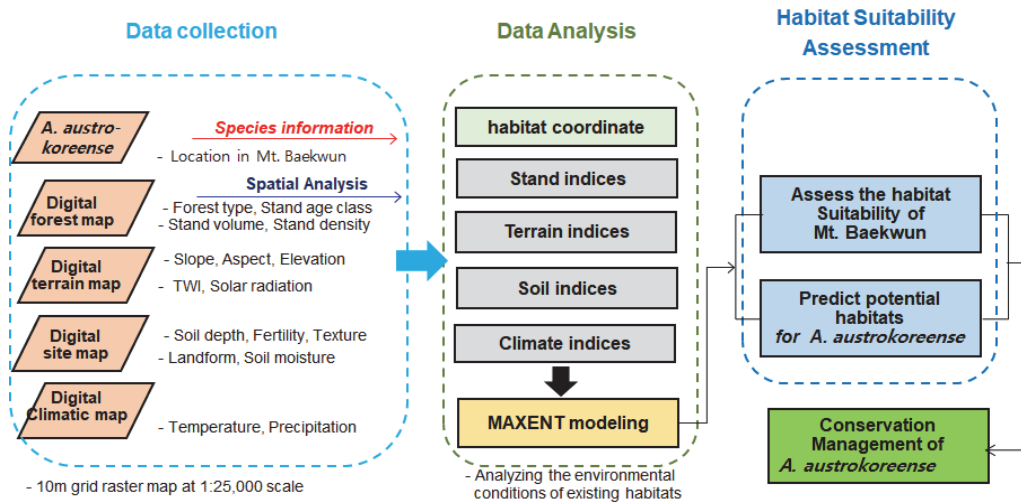


Figure 2. Research process to assess of *Aconitum austrokoreense* habitats.

모델에 의하면 기후변화 현상에 따라 식생의 서식지, 개화 시기, 숲의 구조변화가 예측되고 있다. 잠재력 평가는 세뿔투구꽃이 백운산내에서 기후변화에 적응 가능한지에 대한 판단 기준이 될 수 있을 것이다. 기후 변화에 대해 생물종은 적응하거나 이동하는 방법을 선택할 수 있을 것이나, 예측하기 힘든 기후변화의 속도와 강한 자극에 의해 두 가지 중 어떠한 상황으로도 발전하지 못하고 도태될 수도 있다. 연구는 현존서식지, 임상, 지형, 입지, 기후에 대한 데이터를 수집(Data collection), 분석(Data analysis)한 후, 모델링하는 과정을 거쳐서 서식지에 대한 적합성을 평가(Habitat suitability assessment)하고, 잠재서식지를 추출하는 과정으로 진행하였으며, 평가 과정에 적용된 종속 변수는 세뿔투구꽃의 현존 서식지로 하였다(Figure 2).

GIS로 분석한 설명변수들은 서식지의 임분관련 인자 4개, 지형관련 인자 6개, 토양관련 인자 3개, 기후관련 인자 8개 등 총 4개 범주 21개 항목으로 구성하였으며, 잠재력 평가를 위해 세뿔투구꽃의 현존서식지 좌표를 입력한 후 MexEnt 모델을 구동하였다. Table 2는 서식지 잠재력 평가에 적용된 설명변수들이다.

(3) 모형의 검증

모형의 검증이 명확하게 성공적으로 이루어졌을 때 잠재서식지에 대한 종출현의 정확한 정보를 예측할 수 있다. 모형의 설명력 검증은 세뿔투구꽃 출현지역 15개 point 중에서 샘플 테스트 검증을 실시하기 위해 무작위로 20%를 추출한 후 표본의 유의성에 의한 통계학적 분석을 실시하였으며, 사용된 변수는 0에서 1로 규격화 하고 교차검증을 실시하였다. 검증에 이용된 분석 방법은 ROC(Receiver Operating Characteristic)로 결과는 AUC(Area Under Curve)

곡선 값으로 나타내었다.

ROC 곡선은 예측력(Prediction power)을 탐색하는 유용한 그래프 곡선이다. 곡선은 X축이 동일한 지점에서 예측하는 확률 값이 높을수록 좋은 모형이며, 곡선 아래의 꺾적이 대각선에서 더 멀리 위치할수록 ROC의 예측력은 높다(Choi, 2008). ROC는 Wickens and Holland(1999)의 신태탐지 이론을 기반으로 하고 있는데 특이도(Specificity)를 X축으로, 민감도(Sensitivity)를 Y축으로 하는 모형 검증 프로그램으로 특이도(Specificity)와 민감도(Sensitivity)의 반응 결과 값에 의하여 평가하는 방법이다. ROC는 다양한 분류 모형 중에서 최상의 모형을 선택하는 기준으로 종종 선택되는 분석으로 곡선 아래의 면적이 가장 넓은 모형이 최적의 모형이다.

평가하고자 하는 모형의 타당성을 검증하는 대표적인 방법 중의 하나인 ROC 곡선은 성과(Performance)를 기반으로 한 분류 모형(Classification model) 또는 분류자(Classifier)를 시각화하고 조직화하여 평가가 가능한 유용한 방법이다(Centor, 1991). 곡선 그래프에서 알 수 있는 것은 분류 모형의 적합도이다. 이는 곡선 아래의 면적을 뜻하는 것으로 AUC 값이 0.5 이상 1 이하의 값을 제공하며 1에 가까울수록 모형의 적합성이 좋을 나타낸다(Jing-Song et al., 2012). 적용된 계산식은 $MinROC\ dis. = \sqrt{[(1Se)^2 + (1-Sp)^2]}$ 이며, 평가 기준이 되는 AUC 값은 $AUC \geq 0.9$ (excellent), $0.9 > AUC \geq 0.8$ (good), $0.8 > AUC \geq 0.7$ (fair), $0.7 > AUC \geq 0.6$ (poor), $0.6 > AUC \geq 0.5$ (fail)이다(Swets, 1988)(Table 3).

$$ROC(v) = F_D(F^{-1}(v)), v \in (0, 1)$$

Table 2. Category values for environment-related descriptive variables.

Category	Variables	Explanation	Class	
Stand Variables	Stand density	Low	1	
		Medium	2	
		Dense	3	
	Stand volume	m ³ /ha	10year interval	
	Stand age class		Coniferous forest,	1
Deciduous forest,			2	
Mixed forest			3	
Topographic Variables	Elevation	Elevation (m)		
	Aspect	southwest (=0) to northeast (=2)		
	Slope	Slope (°)		
	Landform	Ridge		1
		Upper slope		2
		Lower slope		3
		Valley		4
	Solar	Potential radiation index		
	TWI	Topographic wetness index		
	Soil Variables	Soil depth	Shallow (<30 cm)	1
Medium (30–60 cm)			2	
Deep (>60 cm)			3	
Fertility		Low	1	
		Medium	2	
		High	3	
Texture		Clay loam	1	
		Loam	2	
		Sandy loam	3	
Climate Variables	Precipitation	Average Annual Precipitation (mm)		
		Average precipitation in January (mm)		
		Average precipitation in April (mm)		
		Average precipitation in August (mm)		
	Temperature	Annual average temperature (°C)		
		January average temperature (°C)		
		April average temperature (°C)		
		August average temperature (°C)		

Table 3. Diagnostic criteria based on UC.

AUC	0.6>AUC>=0.5	0.7>AUC>=0.6	0.8>AUC>=0.7	0.9>AUC>=0.8	AUC>=0.9
Diagnosis	Fail	Poor	Fair	Good	Excellent

결과 및 고찰

1. 백운산지역 세뿔투구꽃 분포 현황

세뿔투구꽃은 남부지역의 계곡 주변과 사면 아래쪽에 주로 자생하는 다년초로서 해발고도 200 m~600 m에 서식하고(SNUF, 2012), 분포 특징은 전형적인 계곡과 인접한 전석지에서 군반(Patch)형태로 분포하며, 200개체 미

만의 적은 개체수가 분포한다(Park et al., 2016). Oh(2015)는 2003년, 2009년, 2014년 멸종위기 야생생물 전국 분포 조사 결과 세뿔투구꽃의 개체군의 크기는 최소 13개체, 최대 1,760개체이며, 2003년 11개체군 798개체(72.5±85.27), 2009년 13개체군 266개체(205.0±357.51), 2014년 22개체군 7,075개체(336.9±514.26)로 보고하였다. 백운산 내 세뿔투구꽃 서식지에 대한 현장조사 결과 해발고도 420 m부

터 발견되기 시작하여 675 m까지 서식지가 확인되었고, 모든 자생지는 계곡 인근 20 m 이내에서 발견되었다. 15 개 서식지 1,053개체를 확인하였으며, 개체군의 최소 크기는 3개체, 최대 372개체였다. Park(2016)은 세뿔투구꽃이 낙엽활엽수가 우점하는 산지 숲속의 사면 및 가장자리의 서늘한 곳에 자생하고 암반에서 군집을 이룬다고 하였으나, 조사 결과 일부 개체군은 암반위의 낮은 토심에서 군집을 이루고 있었으나, 전석지와 토심이 깊은 곳에서도 다양하게 생육하고 있었다. 그리고 낙엽활엽수가 우점인 지역이 65%로 출현 확률이 높기는 하였지만, 잣나무 조림지에서 가장 많은 개체수(372개체)가 자생하고 있는 것으로 보아 낙엽활엽수림이 생육적지라는 것은 명확하게 확인하기 어려웠다.

2. 서식지 잠재력 평가

1) 환경인자 분석

세뿔투구꽃의 서식에 영향을 미치는 환경인자들과의 관계를 규명하기 위해 MaxEnt 모델을 구동하여 21개 환경인자에 대한 20회의 교차 검증을 실시하였다. 설명변수들의 응답 곡선은 개별 환경요인을 설명 변수로 대입하여 모형을 구동한 후 ROC의 AUC를 평가하고 변수들의 값이 0.6 미만을 가지는 경우 환경요인 변수에서 제외하는 것을 원칙으로 하였고(Chun and Lee, 2013), AUC 값에 대한 평가는 Swets(1988)의 기준을 따랐다. 평가 결과 21개의 환경인자 중 0.6 이상의 AUC값을 가지고 있는 14개의 환경인자는 임령, 임목축적, 임분밀도, 고도, 지형, 지형습도 지수, 일사량, 토성, 1월 평균기온, 4월 평균기온, 연평균기온, 1월 평균 강수량, 8월 평균 강수량, 연평균 강수량이었으며, AUC 0.6 미만의 Fail 값을 가지고 있는 7개의 환경 인자는 임상, 경사, 방위, 유효 토심, 토양 비옥도, 8월 평균기온, 4월 평균 강수량이었다. 특히 일사량의 AUC값이 0.822로 가장 높게 나타났고, 다음으로 지형이 0.773, 1월 평균기온이 0.723, 4월 평균기온이 0.721이었으며, 토양 깊이가 0.421로 가장 낮은 AUC값을 가지고 있었다 (Table 4).

주요 14개 설명인자들의 반응 곡선은 Figure 3-1, 3-2와 같다. 환경인자들의 반응 곡선에 의하면 백운산내 세뿔투구꽃은 해발고도가 600 m이하의 낮은 지대로 내려갈수록 서식에 적합하다는 결과를 보이고 있었으며, 경사가 서식지에 미치는 영향은 낮았다. 임분 밀도는 밀, 지형은 계곡과 가까운 습도가 풍부하고 서늘한 지역을 선호하였으며, 방위는 북동쪽에 대한 분포 비중이 높았다. 영급은 5영급을 기준으로 낮을수록 출현 확률이 높게 나타났다. 일사량이란 단위면적이 단위 시간에 받는 일사 에너지(MJ/m²)의 양으로 지표면에 도달한 태양에너지의 양으로 본 연구 지

Table 4. AUC value of environment variables analyzed by MaxEnt model with *Aconitum austrokoreense*.

Variables	AUC
Stand type	0.435
Stand age class	*0.630
Stand volume	*0.609
Stand density	*0.676
Slope	0.437
Aspect	0.561
Elevation	*0.633
Landform	*0.773
TWI	*0.617
Solar	*0.822
Soil depth	0.421
Soil fertility	0.534
Soil texture	*0.608
Mean January temperature	*0.723
Mean April temperature	*0.721
Mean August temperature	0.530
Mean annual temperature	*0.679
Mean January precipitation	*0.608
Mean April precipitation	0.518
Mean August precipitation	*0.644
Mean annual precipitation	*0.601

역의 세뿔투구꽃이 선호하는 일사량은 1.2MJ/m²로 우리나라 20년(1988년~2007년) 평균 일사량 12.80MJ/m²(KMA, 2008)의 10% 수준이었다. 지형습도지수는 값의 해석 가능한 범위를 1과 10 사이로 표준화한 결과 4.5를 기준으로 값이 낮아질수록 출현 확률이 낮아지고 기준 값이 높아질수록 출현 확률이 높아지는 양의 관계가 성립되었는데 임계수치는 7.5로 일사량과 지형습도지수가 높아질수록 출현 확률과 유의한 관계가 있었다. 토양환경 분석결과 점토에서 사질양토로 갈수록 세뿔투구꽃의 존재확률이 증가하고 있었고 1월 평균기온이 -4.4~-2.5°C, 4월 평균기온이 8.8°C~10.0°C, 연평균 기온은 9.6°C~11.0°C인 지역이 서식에 적합한 주요 서식지로 분류할 수 있었다. 그리고 세뿔투구꽃은 연평균 강수량이 1,670~1,720 mm지역으로 8월 평균 강수량이 350 mm이상 되는 지역에서부터 출현하기 시작했으며, 390 mm까지는 일정 부분 강수량이 높아질수록 선호하는 서식지로서의 가치를 가지고 있는 것으로 분석되었다.

선행된 연구(Kim, 2018)의 결과 값과 본 연구에서 선정된 값들 중 비교 가능한 요인들을 살펴보았다. 선행된 연구에서 고도는 750 m 전후, 경사는 30°~40°의 급경사지, 임상은 활엽수림, 비옥도는 높음, 임분 밀도는 밀, 지형은

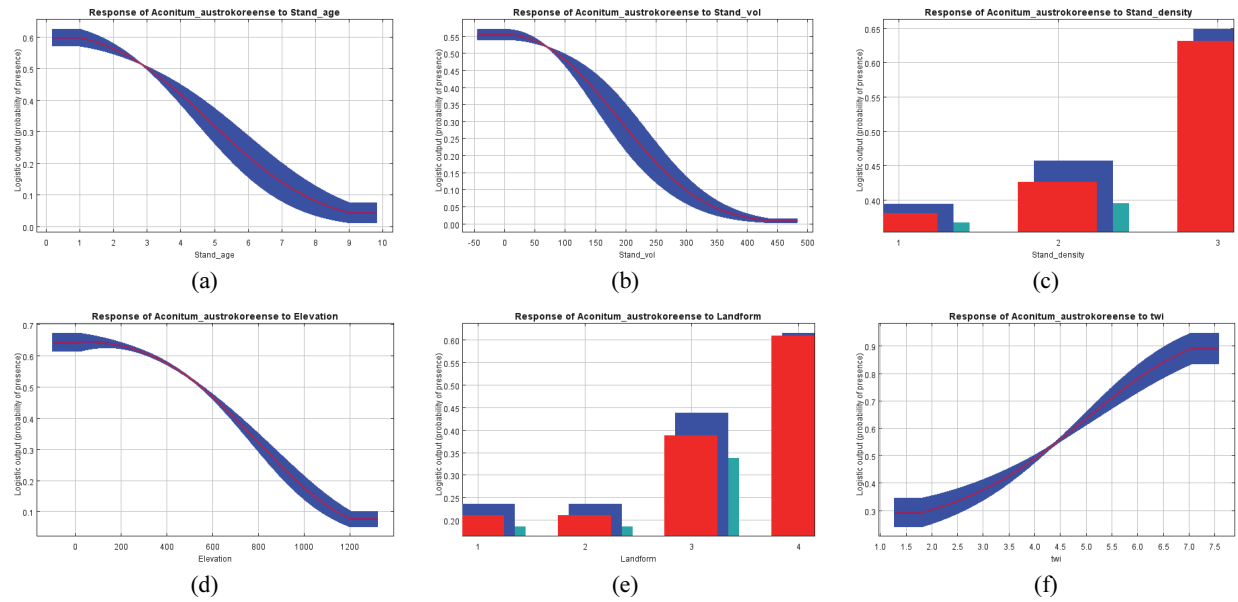


Figure 3-1. Response curves for the habitat suitability assessment of *Aconitum austrokoreense*.

(a) Stand age class (b) Stand volume (c) Stand density (d) Elevation (e) Landform (f) TWI

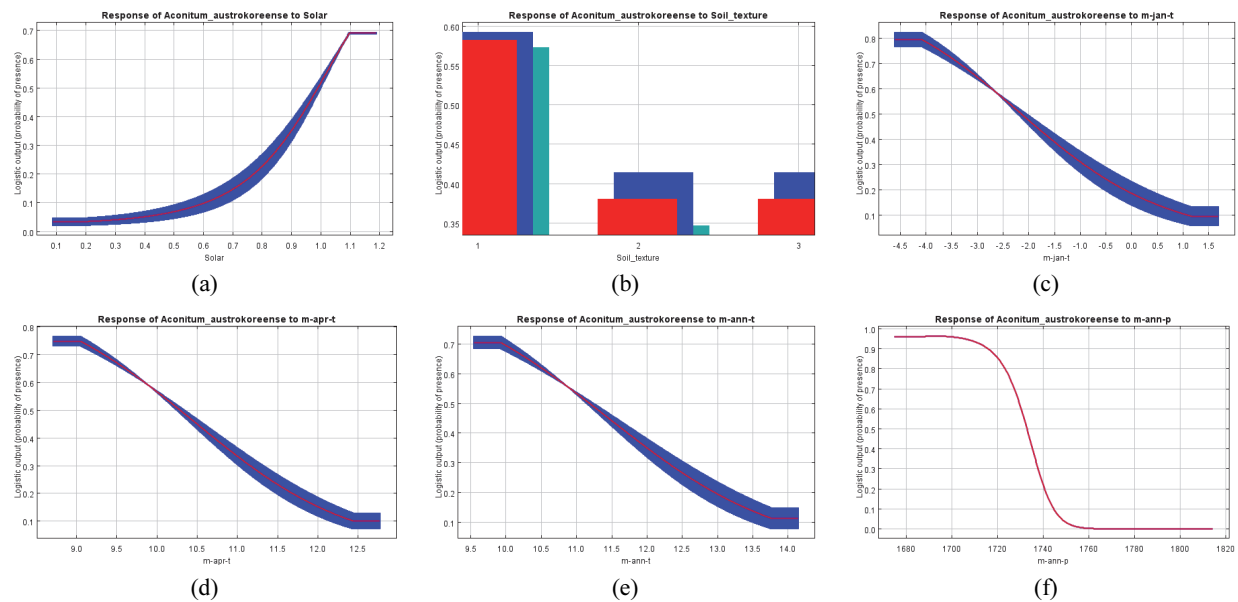


Figure 3-2. Response curves for the habitat suitability assessment of *Aconitum austrokoreense*.

(a) Solar (b) Texture (c) January average temperature (d) April average temperature (e) Annual average temperature (f) Average Annual Precipitation

계곡, 방위는 북, 북동, 동, 남동사면, 영급은 5영급, 일사량은 낮은 지역에서 서식확률이 높다는 연구 결과를 제시하였다. 이러한 결과는 Park et al.(2016)의 서식지 연구(260 m, 308 m, 326 m, 358 m, 455 m, 626 m, 728 m)와 Oh et al.(2016)의 연구(200 m~500 m), Kim et al.(2008)의 연구(520 m)와 연계해서 분석해 볼 때 세뿔투구꽃은 해발고도 200 m~750 m, 지형은 습도가 높은 계곡, 영급은 5영급

이하로 밀도가 높은 지역에서 발견되고 있으며. 경사에 대한 요구도가 낮아 급경사지역에서도 잘 적응해서 생육하고 일사량이 낮은 지역을 선호하는 것으로 판단된다.

2) 세뿔투구꽃의 서식지 잠재 분포 평가

Phillips & Dudik(2008)는 잠재 분포 적지 평가 연구결과에서 분포 확률 결과 값이 0.75(75%) 이상이어야 모형이

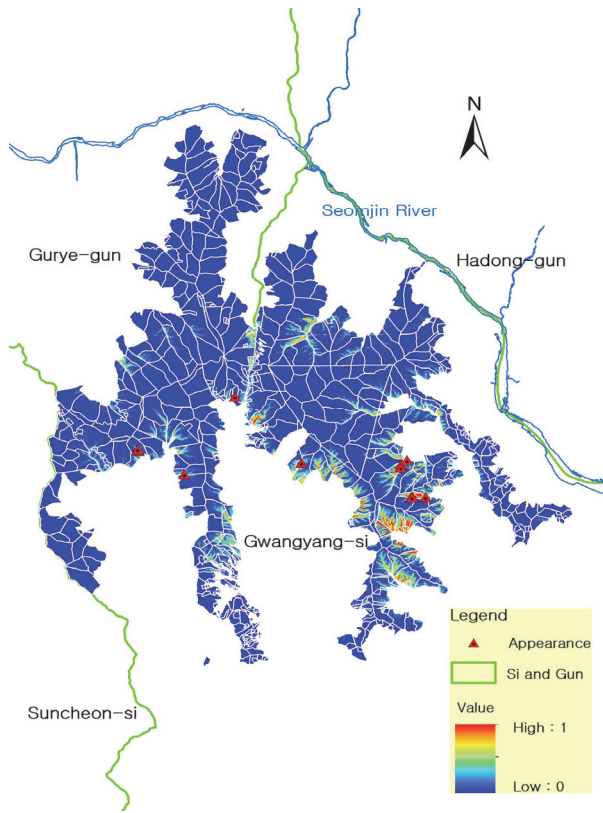


Figure 4. Distribution map of the habitat potential of the study area in Beakun Mt. study area.

설명하는 잠재 분포 적지가 의미를 갖는다고 하였다. 출현 가능성은 0에서 1사이의 값을 가지는데 1과 가까울수록 출현 확률이 높다는 것을 의미한다. 본 연구에서 백운산지역을 대상으로 하는 세뽕투구꽃의 잠재 분포 모형 결과 값은 Figure 4, Table 5와 같다. 백운산 내 자생지 확보를 위해 잠재 분포 지역의 정확한 위치를 추출하는 과정에서 구례군과 광양시 행정구역도 및 서울대학교 남부학술림 영림계획도를 중첩하여 잠재서식지와 면적 값을 추출하였다. 분포적 의미를 갖는 결과 값이 75% 이상인 잠재서식지는 광양시 봉강면 지역(영림계획구 3개 임반 7개 소반), 옥룡면 지역(5개 임반 20개 소반), 진상면 지역(6개 임반 25개 소반), 다압면 지역(2개 임반 4개 소반), 구례군 간전면 지역(3개 임반 4개 소반)으로 광양시, 구례군 내 5개 면 이었다. 서울대학교 남부학술림 영림계획구 19개 임반 60개 소반에 걸쳐서 나타난 잠재서식지의 면적은 202 ha로 추출된 면적은 백운산 연구 대상지의 1.8%였다. 백운산을 기준으로 동쪽 지역인 광양시 진상면 지역이 잠재력이 가장 높게 나타났고, 계곡과 등산로에 인접한 지역이 잠재력이 높게 형성되는 상황이었다. Oh et al.(2016)은 등산로 주변은 인위적 교란에 민감한 지역으로 세뽕투구꽃은 습윤한 사면에서 생육하고 있었다고 하였다. Kim et al.(2008)은 세뽕투구꽃 생육지역의 환경특성을 살펴본 결과 약간 습윤하고 반 그늘진 계곡부위에서 2~10여 개체

Table 5. Habitat potential of *Aconitum austrokoreense* in the study area

No.	An administrative district		Forest management area of Seoul National University Nambu forest		Remarks
	Si-Gun	Mieon	Imban	Soban	
1	Gwangyang-si	Bonggang-myeon	3	15,16,17	
2			4	1,2,3	
3			5	1	
4		Ongnyong-myeon	7	22,30,37,38,45	
5			8	5	
6			9	2,9	
7			10	2,4,10,12,14,17	
8			11	1,2,3,6,7,8,10,11,13,14,16	
9		Jinsang-myeon	13	14,15,16,17,18	
10			14	3,4,6,8,9,10	
11			15	1,3,7,12,14,24	
12			16	2,3,10,14	
13			17	15,16	
14			18	5,10	
15		Daap-myeon	24	5,15	
16			25	1,2	
17	Gurye-gun	Ganjeon-myeon	27	3	
18			35	4	
19			36	2,3	
Total	2	5	19	60	

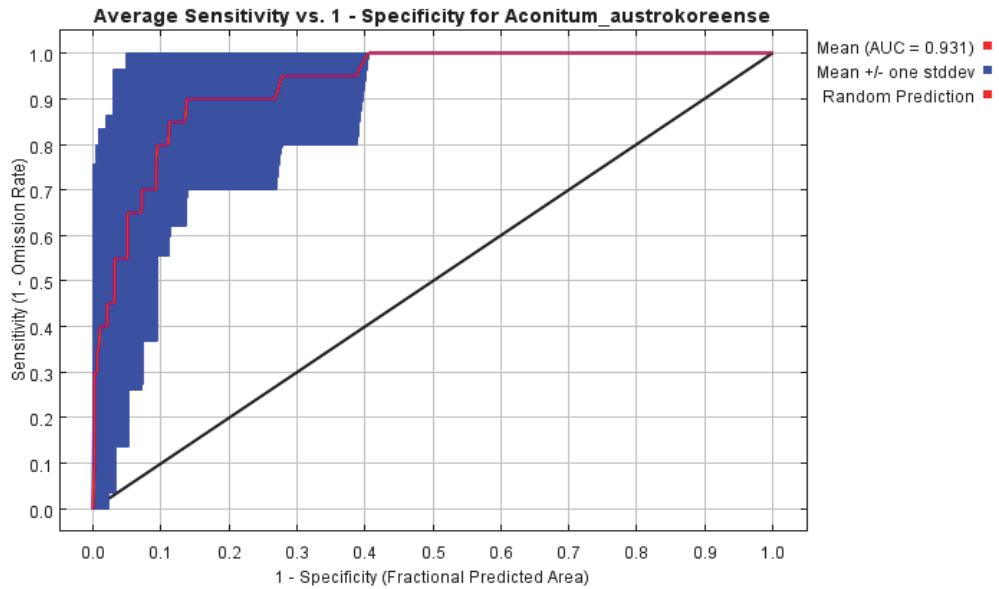


Figure 5. AUC value of the model.

군이 부분적으로 산생하며 자생하고 있었다고 하였으며, 이러한 서식환경 조건에서는 교란이나 훼손의 위험이 높아 보전대책이 시급하다고 하였다. 백운산 내 확인된 대부분의 서식지 또한 등산로 및 고로쇠나무 수액채취 지역과 밀접한 연관이 있어 식생교란의 위험요소로서 인위적 교란의 영향이 높은 지역이라고 할 수 있다. 그뿐 아니라 조류와 포유류의 출현 확률 또한 수계망과 밀접한 관련이 있는데(Ekness and Randhir, 2007) 계곡 인근 서식지에 위협을 주는 요소로 판단된다. 교란에 대한 영향이 증가할수록 서식지에 대한 잠재력이 낮아지는 결과로 이어질 수도 있을 것이다. 잠재력 평가 결과는 향후 신규 서식지 발견, 종의 증식으로 인한 서식지 확대에 중요한 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

3) 모형의 검증

잠재력 평가에 대한 모형에 대한 신뢰성 검증은 20회 교차 검증 후 평균값을 추출하는 방법으로 오차 범위를 최소화 하였다. 잠재력평가 모형의 유의성에 대한 응답 AUC 값은 0.7 이상에서 모형의 잠재력이 의미를 가진다. 연구 결과의 AUC값(Figure 5)은 0.931로 유효하며, 설명력 또한 높다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 대부분의 종분포 모형 연구에 이용된 설명변수들과는 다르게 지형인자, 토양인자, 식생인자, 기후인자를 모두 포함하는 다양한 산림환경을 적용하여 평가함으로써 좀 더 개연성 있는 결과를 도출할 수 있었다.

결론

본 연구에서는 광양시·구례군 백운산에서 자생하는 환경부 멸종위기 야생생물(식물) 2급인 세뽕투구꽃의 현존 분포를 기반으로 입지환경을 조사하여 생육에 영향을 미치는 생물학적 환경요인과 비생물학적 환경요인과의 관계를 비교하고 분석하여 서식에 미치는 중요 환경 인자를 규명하였다. 또한 생태적 지위 모형인 종분포 모형을 이용하여 세뽕투구꽃 서식지 보호 및 확대를 위한 잠재적 분포도를 작성하고 분포 적지를 예측하였다.

백운산 내 세뽕투구꽃 서식지에 대한 현장조사 결과 해발고도 420 m부터 발견되기 시작하여 675 m까지 서식지가 확인 되었고, 모든 자생지는 계곡 인근 20m 이내에서 발견 되었다. 15개 서식지 1,053개체를 확인 하였으며, 개체군의 최소 크기는 3개체, 최대 372개체였다. 조사 결과 일부 개체군은 암반위의 낮은 토심에서 군집을 이루고 있었고, 그 외 전석지와 토심이 깊은 곳에서도 다양하게 생육하고 있었다. 그리고 낙엽활엽수가 우점인 지역이 65%로 출현 확률이 높기는 하였지만, 잣나무 조림지에서 가장 많은 개체수(372개체)가 자생하고 있는 것으로 보아 낙엽활엽수림이 생육적지라는 것은 명확하게 확인하기 어려웠다.

세뽕투구꽃의 서식에 영향을 미치는 환경인자들과의 관계를 규명하기 위해 MexEnt 모형을 구동하여 21개의 환경인자 평가 결과 0.6 이상의 AUC값을 가지고 있는 14개의 환경인자는 임령, 임목축적, 임분밀도, 고도, 지형, 지형습도지수, 일사량, 토성, 1월 평균기온, 4월 평균기온, 연평균 기온, 1월 평균 강수량, 8월 평균 강수량, 연평균 강수

량이었다. 주요 14개 설명 인자들의 반응 곡선에 의하면 백운산내 세뽕투구꽃은 해발고도가 600 m 이하의 낮은 지대로 내려갈수록 서식에 적합하다는 결과를 보이고 있었으며, 경사가 서식지에 미치는 영향은 낮았다. 임분 밀도는 밀, 지형은 계곡과 가까운 지역을 선호하였으며, 방위는 북동쪽에 대한 분포 비중이 높았다. 영급은 5영급을 기준으로 낮을수록 출현 확률이 높게 나타났다. 본 연구 지역의 세뽕투구꽃이 선호하는 일사량은 1.2 MJ/m²로 우리나라 20년(1988년~2007년) 평균 일사량 12.80 MJ/m² (KMA, 2008)의 10%였다. 지형습도지수는 값의 해석 가능한 범위를 1과 10 사이로 표준화한 결과 4.5를 기준으로 값이 낮아질수록 출현 확률이 낮아지고 기준 값이 높아질수록 출현 확률이 높아지는 양의 관계가 성립되었는데 임계수치는 7.5로 일사량과 지형습도지수가 높아질수록 출현 확률과 유의한 관계가 성립되고 있었다. 토양환경 분석 결과 점토에서 사질양토로 갈수록 세뽕투구꽃의 존재 확률이 증가하고 있었고, 1월 평균기온이 -4.4~-2.5°C, 4월 평균기온이 8.8°C~10.0°C, 연평균 기온은 9.6~11.0°C인 지역이 서식에 적합한 곳으로 주요 서식지로 분류할 수 있었다. 세뽕투구꽃은 연평균 강수량이 1,670~1,720 mm 지역으로 8월 평균 강수량이 350 mm 이상 되는 지역에서부터 출현하기 시작하였으며, 390 mm까지는 일정 부분 강수량이 높아질수록 선호하는 서식지로서의 가치를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 선행된 연구와 연계해서 분석해 볼 때 세뽕투구꽃은 해발고도 200 m~750 m, 지형은 습도가 높은 계곡, 영급은 5영급 이하로 밀도가 높은 지역에서 발견되고 있으며, 경사에 대한 요구도가 낮아 급경사 지역에서도 잘 적응해서 생육하고 일사량이 낮은 지역을 선호하는 것으로 판단된다.

서식지 잠재 분포 평가 결과의 AUC값은 0.931로 유효하며, 설명력 또한 높다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 대부분의 종분포 모형 연구에 이용된 설명변수들과는 다르게 지형인자, 토양인자, 식생인자, 기후인자를 모두 포함하는 다양한 산림환경을 적용하여 평가함으로써 좀 더 개연성 있는 결과를 도출할 수 있었다. 분포적 의미를 갖는 결과 값이 75% 이상인 잠재서식지는 광양시, 구례군 5개 면 내에 서울대학교 남부학술림 영림계획구 19개 임반 60개 소반에 걸쳐서 나타났으며, 잠재서식지의 면적은 202 ha로 백운산 연구 대상지의 1.8%였다. 추출된 백운산 지역 대부분의 현존 서식지와 잠재서식지는 계곡과 인접해 있고, 대부분의 계곡은 고로쇠나무 수액채취 지역으로 등산로와도 인접해 있어 식생 교란의 위험요소로 작용될 수도 있을 것으로 보인다. 세뽕투구꽃의 현존서식지 및 잠재서식지는 인위적 교란의 영향이 높은 지역으로 보호를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 조사된 자연환경 기초 조사 자료는 장기간인 수년에 걸쳐서 조사되었다는 점에서 종속 변수인 출현 자료의 시간적인 요소가 일치하지 않고 환경적인 변화가 존재할 수 있다는 점에서 오차의 확률을 내포할 수 있는 한계를 가진다. 특히 본 연구에서는 기후가 세뽕투구꽃의 분포에 미치는 영향을 규명하려는 노력으로 다양한 공간 기후 자료를 수집하고 분석에 많은 역량을 집중하였으나 1회성 현장 조사의 한계와 연구 대상지가 백운산(광양시, 구례군)으로 한정 되었다는 부족한 부분이 존재한다. 향후 잠재서식지 확인 조사 및 현존서식지에 대한 장기모니터링으로 세뽕투구꽃의 서식에 영향을 미치는 환경인자와의 개연성 있는 정량적 자료를 확보한다면 좀 더 신뢰성 있는 연구 결과를 보급할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2020183A00-2122-AA02)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Araujo, M. B., Pearson, R.G., Thuille, W. and Erhard, M. 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11(9): 1504-1513.
- Choi, J.S. 2008. Adjustment of ROC and CAP curves in credit rating. Seoul. A master's thesis at Sungkyunkwan University pp. 55.
- Chun, J.H. and Lee, C.B. 2013. Assessing the effects of climate change on the geographic distribution of *Pinus densiflora* in Korea using ecological niche model. *Journal of the Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology* 15(4): 219-233.
- Centor, R.M. 1991. Signal detectability: The use of ROC curve and their analyses. *Medical Decision Making* 11 pp. 102-106.
- Ekness, P. and Randhir, T. 2007. Effects of riparian areas, stream order, and land use disturbance on watershed-scale habitat potential: An hydrologic approach to policy. *American Water Resources Association* 43(6): 1468-1482
- Guisan, A. and Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8(9): 993-1009.
- Gwangyang-si Paper Compilation Committee. 2005. Gwangyang-si Paper Vol. 1. Gwangyang-si Paper Compilation Committee Publisher. Gwangyang. pp. 946.
- Harrison, P.A., Berry, P.M., Butt, N. and New, M. 2006. Mo-

- delling climate change impacts on species' distributions at the European scale: Implications for conservation policy. *Environmental Science and Policy* 9(2): 116-128.
- Jing-Song, S., Guang-Sheng, Z. and Xing-Hua, S. 2012. Climatic suitability of the distribution of the winter wheat cultivation zone in China. *European Journal of Agronomy* 43: 77-86.
- Kim, H.G. 2011. A study on the method establishing protected areas for the prediction of habitat distribution changes of living species by climate change. Seoul. Seoul National University. pp. 102.
- Kim, W.C. 2018. Predictive analysis on natural habitat characteristics and potential habitat of *Aconitum austrokoreense* for the designation of the wildlife refuge: Focused on Mt. Jangan region in Jangsu gun. Jeonju. Jeonbuk National University. pp. 70.
- Kim, J.H., Kim, Y.H., Yoon, C.Y. and Kim, J.H. 2008. The Flora of Mt. Biseul in Daegu. *Korean Journal of Environment and Ecology* 22(5): 481-504.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2008. Meteorological resource analysis report for the optimal utilization of solar energy (11-1360000-000425-01). Korea Meteorological Administration. Seoul. pp. 458.
- Kwon, J.M. 2011. The distribution of lycaenid species in Korea according to climate factors. (Master's thesis). Gyeongsan, Yeungnam University. pp. 96.
- Lee, D.K. and Song, W.K. 2008. A study on the analytic unit of habitat suitability assessment and selection in conservation areas for leopard cat: Focus on chungcheong province area. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 36(5): 64-72.
- Lee, C.S., Lee, W.K., Yoon, J.H. and Song, C.C. 2006. Distribution pattern of *Pinus densiflora* and *Quercus Spp.* stand in Korea using spatial statistics and GIS. *Journal of Korean Society of Forest Science (Journal Korean Forest Society)* 95(6): 663-671.
- Oh, H.G. 2015. Population dynamics and IUCN regional red list assessment of endangered plants in Korea. Doctor's thesis. Chuncheon. Kangwon National University. pp. 153.
- Oh, H.K., Kim, D.P. and You, J.H. 2016. Vascular Plants Distributed in the Naknam-Jeongmac: Focused on Gilmajae, Mt. Muryang, Mt. Yeohang, Mt. Muhak, Mt. Cheonju and Mt. Sineo. *Korea Society of Environmental Restoration Technology* 19(2): 19-39.
- Opdam, P. and Wascher, D. 2004. Climate change meets habitat fragmentation: Linking landscape and biogeographical scale level in research and conservation. *Biological Conservation* 117(3): 285-297.
- Park, C.H., Yun, J.H., Kim, J.S., Kim, S.U., Lee, B.Y., Tanaka, N. and Nakao, K. 2011. Habitat prediction and impact assessment of climate change on Korean plants. National Institute of Biological Resources (NIBR). Incheon. pp. 44.
- Park, J.G., Pi, J.H., Park, J.S., Yang, H.H., Lee, C., Suh, G.U. and Son, S.W. 2016. Environment and vegetation characteristics of *Aconitum austrokoreense* Koidz. habitats. *Korean Journal of Environmental and Ecology* 30(5): 896-907.
- Phillips, S., Anderson, R. and Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(3): 231-259.
- Phillips, S. and Dudik M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31(2): 161-175.
- Scott, J. M. 2002. Predicting species occurrences: Issues of accuracy and scale. Island Press. Washington, DC. pp. 868.
- Schadt, S., Revilla, E., Wiegand, T., Knauer, F., Kaczensky, P., Breitenmoser, U., Bufka, L., Cerveny, J., Koubek, P., Huber, T., Stanisa, C. and Trepl, L. 2002. Assessing the suitability of central european landscapes for the reintroduction of Eurasian Lynx. *Journal of Applied Ecology* 39(2): 189-203.
- Seo, S.H., Yoo, R.H., Lee, H.L. and An, K. W. 2006. Application of GIS to evaluate forest functions: Focused on Chonnam National University Experiment Forest. *Korean Journal of Forest Economics* 14(2): 45-54.
- Shin, M.S. 2013. Species Distribution model and land suitability assessment: Focused on city in Boryeong. (Master's thesis). Jeonju. Chonbuk National University. pp. 102.
- SNUF (Seoul National University Forests). 2012. A plant diagram of Seoul National University Forests (Lower volume). Seoul National University Press. Seoul. pp. 448.
- Song, I.J. and Yoon, S, K. 2013. Establishment of citizen participated climate-sensitive biological indicator species monitoring system (2013-PR-63). The Seoul Institute Publishing. Seoul. pp. 93.
- Store, R. and Kangas, J. 2001. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-Based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning* 55(2): 79-93.
- Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240(4857): 1285-1293.
- Wickens C. D., and J. G. Hollands, 1999. *Engineering psychology and human performance* translated by Kwak, Ho Wan. 2003: Sigmappress. pp. 678.