

MaxEnt 분석을 통한 한반도 특산식물 개느삼 서식 가능지역 분석¹

안종빈² · 성찬용³ · 문애라⁴ · 김소담⁵ · 정지영⁶ · 손성원⁷ · 신현탁⁸ · 박완근^{9*}

Distribution and Potential Suitable Habitats of an Endemic Plant, *Sophora koreensis* in Korea¹

Jong-Bin An², Chan Yong Sung³, Ae-Ra Moon⁴, Sodam Kim⁵, Ji-Young Jung⁶, Sungwon Son⁷, Hyun-Tak Shin⁸,
Wan-Geun Park^{9*}

요약

본 연구는 한국 특산식물이고, IUCN Red List의 EN(위기종) 등급에 속하는 개느삼을 대상으로 자생지 분포, 자생지 분포 예측을 하기 위해 수행되었다. 개느삼의 자생지 분포 조사 결과, 강원도 양구군 13곳, 인제군 3곳, 춘천시 2곳, 홍천군 1곳 총 19곳에 분포하는 것을 확인하였다. 우리나라에서 가장 북쪽 자생지는 양구군 입당리, 동쪽 인제군 한계리, 서쪽 춘천시 지내리, 남쪽 홍천군 성동리로 각각 확인되었다. 개느삼 자생지의 해발고도는 169-711m에 분포하는 것으로 나타났고, 평균 해발고도는 375m로 조사되었다. 개느삼 자생지의 면적은 8,000-734,000m²인 것으로 분석되었고, 평균 202,789m²로 조사되었다. 대부분의 개느삼 자생지는 간벌, 가지치기 등과 같은 숲가꾸기가 이루어진 곳으로 조사되었다. 개느삼 잠재 분포지 분석을 MaxEnt 프로그램을 이용하여 수행한 결과, AUC값은 0.9762로 분석되었다. 분포예측 자생지는 강원도 양구군, 인제군, 춘천시, 화천군 지역에 집중되어 분포하는 것으로 나타났다. 자생지 분포예측에 가장 영향을 많이 미치는 변수는 연간강수량, 토양탄소함유량, 최한월 기온으로 분석되었다. 본 연구 결과를 토대로 개느삼은 광량이 풍부하고 능선부에 주로 서식하는 것을 확인하였고, 향후 본 연구결과와 자생지 정보를 토대로 개느삼 자생지를 보전하기 위한 보호지역 지정 등을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 희귀식물, 콩과, MaxEnt, 자생지, 양구군

1 접수 2020년 8월 6일, 수정 (1차: 2021년 3월 12일, 2차: 2021년 3월 23일), 게재확정 2021년 4월 1일

Received 6 August 2020; Revised (1st: 12 March 2021, 2nd: 23 March 2021); Accepted 1 April 2021

2 국립수목원 DMZ산림생물자원보전과 임업연구소 DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Yanggu 24564, Korea (ajb8825@korea.kr)

3 한밭대학교 도시공학과 부교수 Dept. of Urban Engineering, Hanbat National Univ., 125 Dongseodaero, Yuseung-Gu, Daejeon 34158, Korea (cysung@hanbat.ac.kr)

4 국립수목원 식물자원연구과 박사후연구원 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea (dofk777@korea.kr)

5 국립수목원 식물자원연구과 박사후연구원 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea (Sodam0321@korea.kr)

6 국립수목원 식물자원연구과 임업연구소 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea (fgh1138@korea.kr)

7 국립수목원 식물자원연구과 임업연구소 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea (ssw80@korea.kr)

8 국립수목원 DMZ산림생물자원보전과 임업연구관 DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Yanggu 24564, Korea (twinshin@korea.kr)

9 강원대학교 산림과학부 산림자원학전공 교수 Division of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea (wgpark@kangwon.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author: wgpark@kangwon.ac.kr

ABSTRACT

This study was carried out to present the habitat distribution status and the habitat distribution prediction of *Sophora koreensis*, which is the Korean Endemic Plant included in the EN (Endangered) class of the IUCN Red List. The habit distribution survey of *Sophora koreensis* confirmed 19 habitats in Gangwon Province, including 13 habitats in Yanggu-gun, 3 habitats in Inje-gun, 2 habitats in Chuncheon-si, and 1 habitat in Hongcheon-gun. The northernmost habitat of *Sophora koreensis* in Korea was in Imdang-ri, Yanggu-gun; the easternmost habitat in Hangye-ri, Inje-gun; the westernmost habitat in Jinae-ri, Chuncheon-si; and the southernmost habitat in Sungdong-ri, Hongcheon-gun. The altitude of the *Sophora koreensis* habitats ranged from 169 to 711 m, with an average altitude of 375m. The area of the habitats was 8,000-734,000 m², with an average area of 202,789 m². Most habitats were the managed forests, such as thinning and pruning forests. The MaxEnt program analysis for the potential habitat of *Sophora koreensis* showed the AUC value of 0.9762. The predictive habitat distribution was Yanggu-gun, Inje-gun, Hwacheon-gun, and Chuncheon-si in Gangwon Province. The variables that influence the prediction of the habitat distribution were the annual precipitation, soil carbon content, and maximum monthly temperature. This study confirmed that habitats of *Sophora koreensis* were mostly found in the ridge area with rich light intensity. They can be used as basic data for the designation of protected areas of *Sophora koreensis* habitat.

KEY WORDS: RARE PLANTS, FABACEAE, MAXENT, HABITAT, YANGGU-GUN

서론

우리나라는 동북아시아에 위치한 반도 국가이고, 국토면적의 63%가 산지이며, 서남부지역에는 평야지대가 자리를 잡고 있다. 기후적으로는 남부지방의 온난대 기후대에서부터 북한의 한대 및 고산 기후대까지 나타나고 있어 국토면적에 비해 매우 다양한 식물들이 한반도에 서식하고 있는 것으로 평가되고 있다(National Institute of Biological Resources, 2012). 한반도는 백두대간을 축으로 산악지역 생태계가 근간을 이루고 있고, 국내에 서식하는 생물종은 고유종의 비율이 높은 특징이 있으며(Ministry of Environment, 2012), 한반도에 분포하는 식물상과 식생은 종다양성이 풍부하고 고유종의 비율이 높지만 식물종 구성, 분포 특성, 외관형, 기온적 범위 등에 대해서는 연구된 바가 적은 편이다(Kong, 2002). 식물의 분포는 생태적 연구를 통해 환경변화에 따른 식물 군락의 상관관계, 우점종, 특징적인 식물 분포 등을 규명할 수 있으며, 수평적·수직적 분포, 고도나 위·경도의 증가에 따른 환경요인 변화에 의한 식물 군락의 특성과 구성 종에 대한 분포를 밝힐 수 있다(Byun, 2013).

개느삼은 우리나라 중부 이북의 건조한 산지 능선부 및 초지에 자생하는 것으로 알려져 있고, 꽃은 4~5월에 새가지 끝에서

나온 원추꽃차례에 황색의 양성화가 모여달린다. 낙엽 관목이며, 높이 40-100cm 정도로 자라고 수피는 적갈색이며 표면에 피목이 흩어져 있다. 그리고 어린 가지는 암갈색이고 갈색 털이 밀생하고, 지하줄기가 길게 뻗는 것이 특징이다(Kim and Kim, 2011). 개느삼은 정태현과 Ishidoya에 의해 함경남도 북청에서 처음 채집되어 고삼속(*Sophora*)의 한국특산식물로 발표되었다(Nakai, 1923) 지하경 번식과 황금색의 꽃이 피고 열매 꼬투리에 4개의 날개가 있는 특징에 의해 한국 특산속 식물로 승격되었다(Nakai, 1923; Cheon, 2010). 그리고 특산식물의 최근 연구(Chung *et al.*, 2017)에도 한국 특산식물로 지정되어 있고, Ministry of Environment(2018)에 의해 한국의 고유생물로 지정되어 있다. 또한 Korea National Arboretum(2010)에서 기후변화 취약식물로 지정한 바 있다. 특산식물(고유식물, Endemic plants)이란 어떤 특정 지역에만 한정되어 서식하는 식물을 일컫고, 여러 환경요인과 생물학적 특성으로 인해 자연 격리된 종을 말한다. 특산식물은 과거에는 광범위하게 분포하였지만 여러 환경요인에 의해 분포 범위가 좁아지게 된 잔존 고유종이거나, 새로운 국지적 종 분화에 의해 형성된 신 고유종이기 때문에 개체군의 크기가 축소되는 경향을 보인다(Pi *et al.*, 2016). 그리고 개느삼은 세계자연보전연맹(IUCN, 2018)에서 IUCN Red List의 EN(위기종) 등급으

로 지정되어 있고, Korea National Arboretum(2009)에서 희귀식물 EN(위기종) 등급으로 분류하고 있다.

개느삼을 대상으로 문헌 및 표본정보를 조사한 결과 대부분 광량이 풍부한 능선부를 중심으로 분포하는 것을 확인하였다. 문헌 조사 결과 북한에서는 북한의 북부, 평남 맹산, 함남 신흥, 북청, 황북, 평양시(대성구역 고방산), 강원도 판교, 성천 등의 매마른 지역에서 분포하는 것을 확인하였다(Do *et al.*, 1958; Im *et al.*, 1976; Im, 1998a; 1998b; 1998c; Im, 2000; Democratic People's Republic of Korea Pyongyang Juche 93, 2004.; Son, 2005; La *et al.*, 2015). Cheon(2010)에 의하면 개느삼은 강원 양구, 인제, 춘천, 홍천, 철원 지역을 대상으로 총 14개 지역에 분포를 확인하였다. 개느삼의 자생지 분포 고도는 해발고도 100-300m(Im *et al.*, 1976), 285-570m(Lee, 1992), 250-560m(National Institute of Environmental Research, 2005), 192m-626m(Cheon, 2010), 100-200m(National Institute of Biological Resources, 2018) 에 분포한다고 보고된 바 있다. 따라서 현재까지 보고된 개느삼 자생지는 북한에 일부 자생지가 분포하고 남한에는 강원도 양구, 인제, 춘천 등의 지역에 분포하는 것으로 보고되었고, 자생지에 대한 연구(Cheon, 2010; Oh *et al.*, 2009)는 다소 미흡한 편이다. 그리고 개느삼 자생지에 대한 정확한 분포와 아직까지 밝혀지지 않은 자생지에 대한 자생지 예측분석과 같은 연구는 수행된바가 없다. 따라서 본 연구는 현재까지 보고된 개느삼 자생지와 추가로 밝혀진 자생지에 대한 정확한 분포를 파악하고자 한다. 그리고 본 연구 결과를 바탕으로 개느삼의 정확한 분포 특성 등을 파악하여 향후 개느삼 자생지를 보전하기 위한 기초정보 구축의 자료로 활용하고자 한다.

연구방법

1. 자생지 분포 조사

현장조사는 개느삼의 정확한 종 동정을 위해 잎이 개엽 한 후인 2018년 5월부터 8월까지 실시하였다. 문헌정보를 토대로 강원 양구, 춘천, 인제, 홍천, 철원 지역을 대상으로 총 25개의 자생지를 조사하였다(Figure 1). 그 결과 총 19개의 자생지(강원 양구, 춘천, 인제, 홍천)에 개느삼이 분포하는 것을 확인하였다. 개느삼의 분포지점을 대상으로 분포지점을 조사한 길이, 면적 등의 특성을 파악하기 위해 GPS(Oregon 550, Garmin)를 이용하여 개느삼이 분포하는 지점의 좌표를 연속적으로 기록하였다. 그리고 개체군의 분포지를 확인한 후 추가확인을 위해 자생지를 중심으로 근처 능선부를 포함하여 추가적인 조사를 실시하였다. 개느삼 개체군의 분포지도 작성은 MapSource(Garmin) 프로그램에서 조사경로 및 분포지점의 좌표를 추출하여 QGIS Desktop 2.0.1(Quantum Geographic Information System, 2018)을 이용하여 작성하였다.

2. 잠재 분포지 분석

생물종 서식지 예측모형은 종분포모델(Species Distribution Model; SDM)이라고 하며 종의 조사정보와 종의 서식지에 영향을 주는 환경변수 사이의 연관성을 고려한 예측방법 중 하나이다(Flanklin 2009; Shin 2013). MaxEnt는 연구자가 연구 대상 생물종의 출현 위치 표본을 입력해주면 컴퓨터 스스로 출현 위치의 환경 특성을 학습하여, 대상종의 출현 여부를 모르

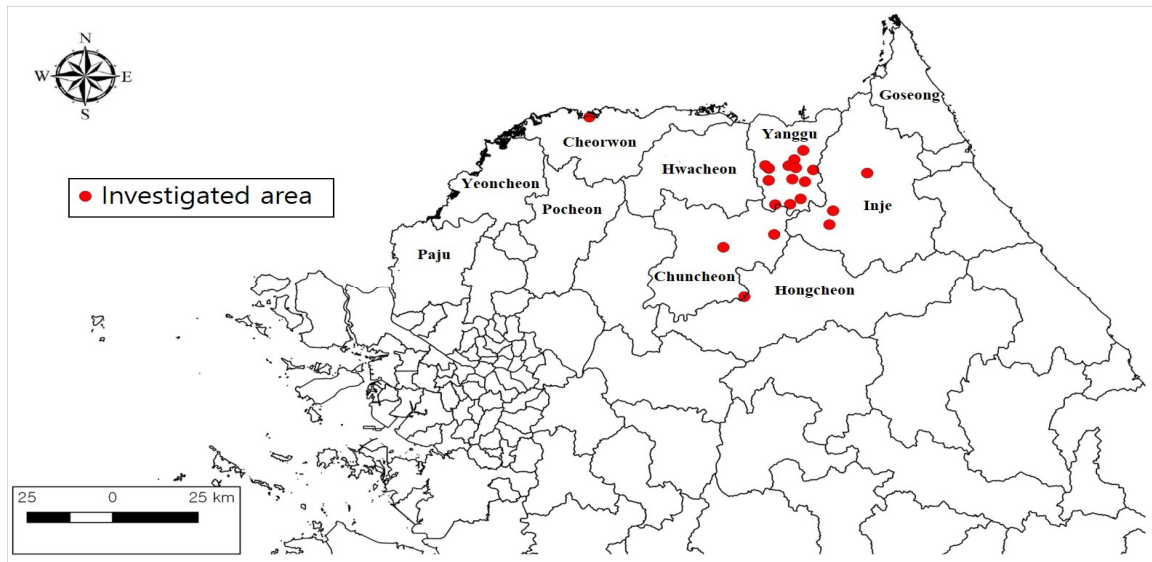


Figure 1. The map of investigated habitats analysis area

는 지점의 출현 확률을 추정하는 기계학습(machine learning) 방법의 하나이다(Phillips *et al.*, 2006; 2008; Seo *et al.*, 2008, Lee 2017).

개느삼의 분포서식 가능지역을 파악하기 위해 남한 접경지역 일대와 접경지역 지원 특별법 시행령 제2조에서 정한 접경지역 시군구 중 도서지역을 제외한 지역으로 조사대상지를 설정하였다. 연구 대상지는 행정구역상 경기도 김포시, 파주시, 고양시, 연천군, 양주시, 동두천시, 포천시, 강원도 철원군, 화천군, 양구군, 인제군, 춘천시, 고성군 전역을 포함하여 설정하였다([https://www.law.go.kr/법령/접경지역지원특별법\(17520,20201020\)](https://www.law.go.kr/법령/접경지역지원특별법(17520,20201020))); Figure 1).

개느삼 자생지의 서식 가능지역 예측 분석을 수행하기 위해 종 분포모형의 예측 모델 중 가장 대중적(Merow *et al.*, 2013)

이며, 예측의 정확도가 높은 Maximum entropy (MaxEnt)(Phillips and Dudík, 2008)을 사용하였다. MaxEnt 분석은 여타 예측 모형과 같이 생물종이 출현한 지점과 환경변수와 생물종 출현 여부를 모르는 지점의 환경변수를 비교하여, 그 중의 분포가능성을 예측하는 방법으로서 대상지 내 모든 지점의 환경변수를 측정된 데이터를 모형에 입력해야 한다. 본 연구대상지의 특성상 습득할 수 있는 환경변수가 제한적으로 특히 현장조사를 바탕으로 획득한 환경변수는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 위성영상을 통해 획득한 자료, 현장조사 자료를 바탕으로 공간보간법(spatial interpolation)을 통해 추정된 자료 등 연구대상지의 환경변수를 최대한 수집하여 MaxEnt의 입력변수로 활용하였다. 그리고 MaxEnt 모형의 예측 적합도는 ROC(receiver operating characteristic) 곡선의

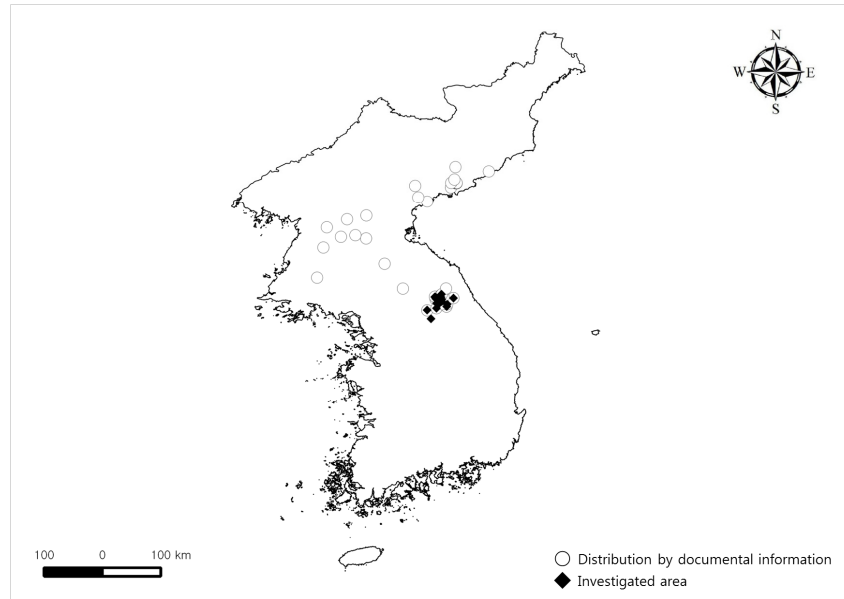


Figure 2. Distribution of *Sophora koreensis* in Korean peninsula

Table 1. The input variables for MaxEnt analysis

Division	Input Variables	Data source
Topography	Altitude, Slope	ASTER Global Digital Elevation Model(GDEM)
Climate	Sunshine amount of the year	WorldClim v2.0
	Sunshine amount of the coldest month	
	Mean temperature of the warm month	
	Mean temperature of the growth period	
	Annual precipitation	
	Growth period Precipitation	
Vegetation	NDVI, SAVI	USGS Landsat OLI Surface reflectance data

AUC(area under curve)로 평가하였다. AUC란 임의의 임계 확률에 대해 계산한 값이며, 0.5에서 1사이의 값에서 0.7-0.9의 값은 유용한 값이고, 0.9 이상의 값은 우수한 차별성을 가진 모델로 구분되어(Elith, 2002) 1에 가까울수록 모형의 예측 정확도가 높다는 뜻이다(Phillips *et al.*, 2006)(Table 1).

1) 지형

미국 National Aeronautics and Space Administration (NASA)과 일본 Japan’s Ministry of Economy, Trade, and Industry(METI)가 제작한 Global Digital Elevation Model(GDEM) 데이터를 활용하였다. GDEM 데이터는 위 두 기관이 공동 개발·운영 중인 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer(ASTER) 위성센서로 촬영한 stereo 영상을 입체 사진측량기법을 통해 제작한 데이터로, 데이터의 공간해상도는 30m이다. 본 연구에서는 GDEM 데이터를 분석하여 대상지 내 표고와 경사, 연간 일조량, 생장기(4-10월) 일조량을 추출하였다. 일조량은 ArcGIS Solar Radiation을 이용하여 대상지내 각 레스터 셀별로 산정하였다.

2) 기후

기후분석은 Fick Hijimans(2017)이 제작한 WorldClim Version 2.0 자료를 활용하였고, WorldClim Version 2.0 데이터는 1970년부터 2000년까지 30년간 기후평년값 자료를 전 지구 표면에 걸쳐 추정된 데이터로 기후 요소별로 월간 평균값, 최대값, 최소값 자료를 30초(약 1km²)의 공간해상도로 추정한 데이터이다. 따라서 본 연구에서는 이 중 개느삼의 생장에 영향을 줄 수 있는 최한월(1월) 평균기온, 최난월(8월) 평균기온, 생장기(4-10월) 평균기온, 연간 강수량, 생장기(4-10월) 강수

량 데이터를 환경변수로 활용하였다.

3) 현존 식생

현존식생 분석은 미국 United States Geological Survey(USGS)가 개발·운영하는 Landsat 8 위성에 탑재된 Operational Land Imager(OLI) 센서 영상을 활용하여 분석하였다. 본 연구에서 활용한 영상은 2015년 5월 26일(path/row=115/34)과 2016년 5월 19일(path/row=116/34)에 촬영된 영상을 USGS 내부 알고리즘을 통해 대기보정(Atmospheric correction)한 표면반사율(Surface reflectance) 데이터를 활용하여 분석하였다. 연구대상지가 동서방향으로 넓어 두 개의 Landsat 궤도(115, 116번 궤도)에서 촬영한 영상을 연결하여 사용하여야 하는데, 위성영상을 활용한 식생분석 결과는 계절에 따라 달라질 수 있으므로 두 궤도의 촬영날짜가 최대한 비슷한 영상을 선정하였다. 두 영상 모두 대상지 상공에 구름이 없는 시점에 촬영되었고 현존식생은 Landsat OLI 4번(red) 밴드와 5번(near infrared: NIR) 밴드를 조합하여 산정한 정규식생지수(Normalized difference vegetation index (NDVI))와 토양보정식생지수(Soil adjusted vegetation index(SAVI)) 식생지수를 통해 분석하였다. MaxEnt 분석은 모든 환경변수가 같은 공간해상도로 측정되어야만 분석되므로, 위의 모든 변수들은 공간해상도 30m의 레스터 데이터로 변환하였다.

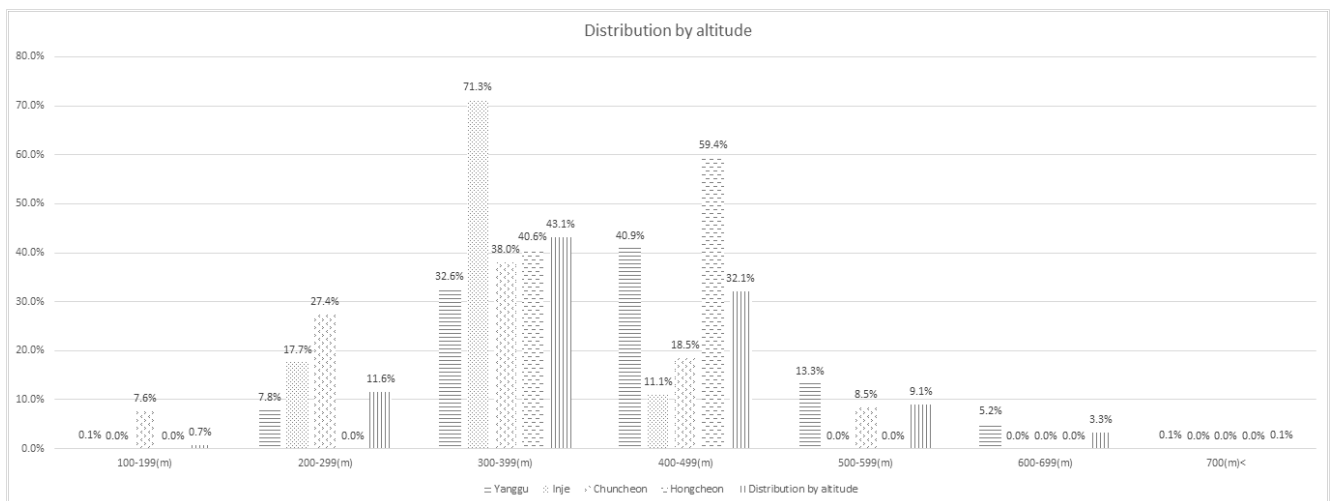


Figure 3. Distribution by altitude of *Sophora koreensis* with location

결과 및 고찰

1. 연구 결과

한국 특산식물 개느삼을 대상으로 현지조사와 문헌조사를 수행한 결과 남한에는 강원 양구, 인제, 춘천, 홍천 지역을 대상으로 총 19곳에서 개느삼이 분포하는 것을 확인하였다(Figure 2, Table 2). 우리나라에서 가장 북쪽 자생지는 양구 임당리, 동쪽 인제 한계리, 서쪽 춘천 지내리, 남쪽 홍천 성동리로 각각 확인되었다. Cheon(2010)에 의하면 개느삼은 강원 양구, 인제, 춘천, 홍천, 철원 지역을 대상으로 총 14개 지역에 개느삼의 분포를 확인하였다. Cheon(2010)에 의해 보고된 인제 신월리, 철원 도창리 지역은 정연리를 중심으로 분포조사를 실시하였지만 본 연구에서는 확인하지 못하였다. 그리고 개느삼은 기존에 보고된 자생지 면적보다 훨씬 더 넓은 범위에 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

개느삼의 자생지 분포 조사 결과 개느삼은 대부분 소나무림, 신갈나무림, 굴참나무림, 떡갈나무림 등의 능선부 식생 내에 분포하는 것으로 조사되었다. 또한 개느삼의 자생지는 대부분

이 간벌지역에 분포하는 것을 확인할 수 있었고, 인제 한계리, 인제 남전리, 춘천 조교리 등의 지역에서 산불의 흔적을 확인할 수 있었다. 따라서 개느삼은 대부분 낮은 산지의 완만한 능선부에 주로 분포하고(Cheon, 2010), 산불, 간벌 등의 인위적인 교란에 의한 수관열림도가 높은 지역의 능선부에 집중분포를 이루며 자생하고 있었다. 따라서 이러한 결과는 개느삼의 서식지의 생태적 특성을 잘 나타내고 있다. 그리고 개느삼은 주로 해발고도 192-626m의 범위와 자생지면적 150-6,500m²으로 생육한다고 보고된 바 있다(Cheon, 2010). 본 연구에서 확인한 개느삼의 자생지 해발고도는 주로 169-711m에 분포하는 것으로 나타났다. 그리고 주요 해발고도는 300-399m의 범위에서 가장 많이 출현하였으며, 평균 해발고도 375m로 확인되었다. 지역별 고도 분포결과를 분석한 결과, 양구, 홍천 지역은 400-499m에서 가장 많은 분포를 보였고, 인제, 춘천 지역은 300-399m에서 많은 분포를 보이는 것으로 나타났다. 개느삼 자생지의 면적은 8,000-734,000m²인 것으로 분석되었고, 평균 202,789m²인 것으로 확인되었다(Figure 3, Table 2).

Table 2. Habitats area and survey distance, area of *Sophora koreensis*

No.	Location (Gangwon-do, Republic of Korea)	*A	B	C
1	Gaojak-ri, Nam-myeon	0.63	327-556	16,000
2	Godae-ri, Yanggu-eup	1.33	222-352	88,000
3	Gullyang-ri, Yanggu-eup	2.25	183-483	309,000
4	Dosa-ri, Yanggu-eup	1.78	287-383	24,000
5	Myeonggot-ri, Nam-myeon	6.21	604-711	410,000
6	Sangmuryong-ri, Yanggu-eup	4.08	371-629	669,000
7	Yanggu-gun Yongha-ri, Nam-myeon	3.01	289-386	392,000
8	Woongjin-ri, Yanggu-eup	0.64	232-347	21,000
9	Wolmyeong-ri, Yanggu-eup	3.66	258-533	528,000
10	Imdang-ri, Dong-myeon	1.80	306-465	236,000
11	Jukgok-ri, Yanggu-eup	3.54	225-458	734,000
12	Chang-ri, Nam-myeon	2.75	347-498	46,000
13	Hanjeon-ri, Yanggu-eup	1.19	218-440	77,000
14	Namjeon-ri, Nam-myeon	1.78	209-458	51,000
15	In-je-gun Bupyeong-ri, Nam-myeon	0.75	269-397	50,000
16	Hangye-ri, Buk-myeon	1.51	343-457	13,000
17	Chuncheon-si Jogyo-ri, Buksan-myeon	3.67	251-561	57,000
18	Jinae-ri, Dong-myeon	1.55	169-230	124,000
19	Hongcheon-gun Sungdong-ri, Bukbang-myeon	3.43	361-424	8,000

*A: Survey path(km), B: Altitude of distribution(m), C: Area of distribution(m²)

1) 자생지 분포역 예측 분석

(1) 개느삼 출현 지역 범위

개느삼 현지조사 결과, 출현지역의 해발고도는 169-711m이며, 평균 해발고도는 375m인 것으로 조사되었다. 개느삼의 위치는 남 $37^{\circ} 45' 127^{\circ} 50'$ - 북 $38^{\circ} 12' 128^{\circ} 2'$, 서 $37^{\circ} 54' 127^{\circ} 46'$ - 동 $38^{\circ} 7' 128^{\circ} 15'$ 로 나타났다.

(2) 잠재 분포지 분석

현지조사를 통한 개느삼 자생지 정보 좌표값(25,766개)을 이용하여 MaxEnt 분석을 실시하였다. MaxEnt 모형의 예측 적합도는 AUC(Area under curve)로 평가하였다. 개느삼의 잠재 분포지 분석을 수행한 결과 AUC값은 0.9762로 분석되었다(Figure 4). 개느삼 자생지 분포 예측 결과 자생지 대부분이 강원 양구, 인제, 춘천, 화천 지역에 집중되어 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

개느삼 자생지 분포 예측을 위한 WorldClim의 16가지 입지 환경 및 기상인자 변수들의 상대중요도를 파악하기 위해 백분율 기여도와 무작위 중요도를 검증하였다(Table 3). 변수들의 중요도 분석결과, 백분율 기여도는 연간 강수량이 29.8%로 개느삼 자생지의 분포 예측에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 분석되었고, 토양 탄소 함유량이 25%, 최한월 기온이 18.2%로 분석되었다. 그리고 식물의 생장기(4월-10월) 광량, 토양보정식생지수(SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index), 연간 광량, 생장기 온도는 자생지 분포 예측에 영향이 없는 것으로 나타났다. 그리고 무작위 중요도는 연강강수량이 31, 토양 탄소 함유량 30.5%로 가장 높게 분석되었고, 다음으로 식물생장

기 강수량 12.2%, 토양 용적이 8.7%로 분석되었다. 그리고 토양 pH와 식물의 생장기(4월 - 10월) 광량, 토양보정식생지수(SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index), 연간 광량, 생장기 온도는 자생지 분포 예측에 영향이 없는 것으로 분석되었다.

2) 종합 고찰

개느삼의 자생지 분포는 남한에서 주로 강원 양구, 춘천, 인제, 홍천, 철원 지역에 분포하는 것으로 보고되었다(Cheon, 2010). 본 연구에서는 DMZ 민통선 내에 위치한 모든 자생지를 조사한 결과, 기존의 자생지 보다 양구 지역에 집중 분포하는 것을 확인하였고, 춘천, 인제 지역에 추가적인 자생지를 더 확인하였다. 이는 향후 개느삼을 대상으로 집단별 유전다양성과 같은 연구가 수행되어 각 자생지별 현지내 보전 전략 수립과 같은 추가 연구가 수행되면 좋을 것으로 사료된다. 철원 도창리 지역은 Cheon(2010)에 의하면 자생지 대부분이 파괴되어 극히 소수의 개체만이 군락을 유지하고 있다고 보고한 바 있다. 따라서 철원 지역은 철원 도창리 일대를 대상으로 조사한 결과, 군부대 철책 인근에 위치하고 있어 간벌 등의 작업으로 인하여 개체군이 제거되었을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한 본 연구를 통해 방문한 개느삼 자생지는 대부분의 자생지가 간벌과 같은 숲가꾸기가 이루어진 곳이었으며, 인제 한계리, 남전리, 조교리 등의 자생지에서는 산불의 흔적을 확인할 수 있었다. 따라서 개느삼은 산불이 발생하고 아교목층과 관목층의 자연 간벌과 같은 영향으로 인해 자생지가 확장되는 가능성도 있을 것으로 판단되므로 추후 면밀한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 대부분의 자생지는 숲가꾸기로 인해 충분한 광량이 확보되는 것을 봤을 때 개느삼의 생장은 광량과의 상관관계

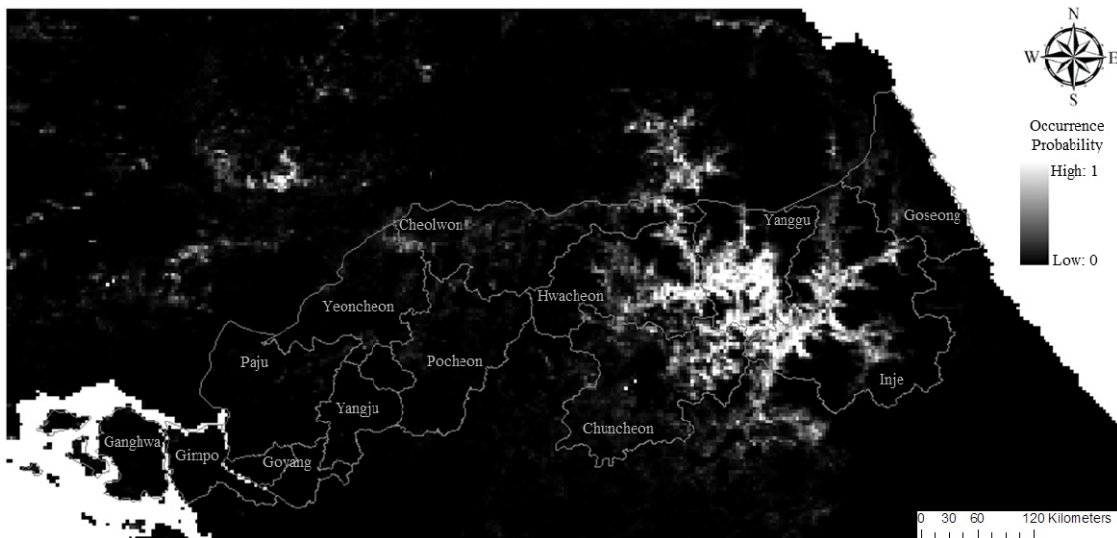


Figure 4. The probability of occurrence of *Sophora koreensis* predicted by MaxEnt model

가 있을 것으로 판단된다. 확인된 개느삼 자생지의 위치정보를 이용하여 분포지역 예측분석을 실시하였다. 그 결과 개느삼은 대부분 강원 양구, 인제, 춘천 지역에 집중되어 분포하는 것으로 나타났다. 개느삼 자생지 중 기존에 보고된 철원의 자생지 (Cheon, 2010)는 예측분석에서 다소 낮은 가능성으로 나타났지만 분포가능성을 배제할 수는 없으므로 향후 추가 조사가 이루어져야 할 것이다.

MaxEnt 분석결과 모형 예측 정확도인 AUC 값은 0.9762으로 매우 높은 값으로 분석되었다. 이는 분포예측 모형의 설명력과 분포예측지의 분포 가능성을 지지하는 것으로 판단된다. 그리고 화천 지역은 기존 연구에서 조사되지는 않았지만 분포예측가능 지역으로 높게 분석되었다. 이는 개느삼이 가장 많이 서식하는 양구군과 인접해있고, 유사한 산지 지형, 같은 수계(파로호)의 이유로 높은 분포예측가능 지역으로 분석된 것으로 판단된다. 현재까지 개느삼의 분포가 밝혀지지 않은 지역이지만 본 연구결과를 토대로 자생지를 방문하여 추가 자생지 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 토대로 개느삼 자생지의 특성은 대부분 광량이 비교적 풍부하고, 능선부에 집중적으로 분포하는 것을 확인하였다. 하지만 분포예측에 사용된 환경변수 중 식물의 생장기 광량, 연간광량이 영향을 미치지 않는 점은 본 연구의 분포예측 분석은 셀크기 30초(약 1km)인 저해상도 데이터를 토대로 분석했기 때문으로 판단된다. 따라서 광량, 상층수목의 차광 등의 영향을 분석하기 위해서는 출현지점에서 측정된 미소 규모의

환경특성과 지형도, 토양도와 같은 데이터가 향후 구축되어 보다 정밀한 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다(Sung *et al.*, 2018). 최근 자생지 예측 분석 연구 중, 금강초롱꽃을 대상으로 예측 분석한 결과값은 해발고도, 연간 강수량, 생장기 평균 강수량, 최한월 평균 기온이 금강초롱꽃 출현확률에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Sung *et al.*, 2018). 그리고 단풍잎돼지풀을 대상으로 잠재 분포 예측 분석을 수행한 결과, 기여도의 가장 높은 변수는 해발고도, 경사의 기여도가 가장 높다고 보고되었다(Park *et al.*, 2017). 기존 연구 결과 식물 분포예측에 영향을 미치는 변수는 연간강수량, 해발고도의 영향이 큰 것으로 나타났고, 식물의 분포에 영향을 미치는 다른 변수들도 다른 식물 분포 예측에 어떤 변수가 영향을 미치는지에 관한 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다.

어떤 종의 현재 분포는 기후, 토양, 수문, 종간경쟁, 개체군 고립, 서식지 이용가능성, 분포능력과 같은 여러 가지 요소들의 상호작용에 의해 나타난다. 따라서 생물기후변수 및 기타환경 변수를 고려한 이들의 상대적 중요성을 파악(Lee *et al.*, 2012)하여 기후변화에 의해 자생지의 위협을 받는 종들의 자생지 분포를 예측하는 것은 식물 보전에 있어 매우 중요한 보전 방안 일 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과를 토대로 분포예측된 자생지를 대상으로 현장조사를 수행하여 추가적인 자생지 분포 정보 확보 및 현지내 보전전략 수립과 같은 보전연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 3. Percent contribution and permutation importance for each environmental variables

No.	Variable	Percent contribution	Permutation importance
1	Precipitation year	29.8	31
2	Soil; carbon	25	30.5
3	Temperature(Jan.)	18.2	4.1
4	Precipitation(Apr.-Oct.)	8.3	12.2
5	DEM	6.4	4.2
6	Soil; bulk	4	8.7
7	Soil; clay	3.4	0.9
8	Soil; CEC	3	2.6
9	Slope	1	0.7
10	Temperature(Aug.)	0.6	3.2
11	Soil; sand	0.2	1.7
12	Soil; pH	0.1	0
13	Solar(Apr.-Oct.)	0	0
14	SAVI	0	0
15	Solar year	0	0
16	Temperature(Apr.-Oct.)	0	0

REFERENCES

- Byun, J.G.(2013) A Study Conservation Ecology of *Thuja koraiensis* Nakai. Ph. D. Dissertation, Univ. of Kyeongpook, Daegu, Korea, 166pp. (in Korean with English abstract)
- Cheon, K.S.(2010) Distribution, Natural Habitat Characteristics and Genetic Diversity of *Echinosophora koreensis*(Nakai) Nakai. Master's thesis, Univ. of Kangwon, Chuncheon, Korea, 53pp. (in Korean with English abstract)
- Chung, G.Y., K.S. Chang, J.M. Chung, H.J. Choi, W.K. Paik and J.O. Hyun(2017) A checklist of endemic plants on the Korean peninsula. Korean J. Pl. Taxon. 47(3): 264-288. (in Korean with English abstract)
- Democratic People's Republic of Korea Pyongyang Juche 93(2004) Red List of People's Republic of Korea(plant). Democratic Choseon Press Factory, 44pp. (in Korean)
- Do, B.S., H.J. Sim and R.J. Im(1958) Illustrated plant book of Choseon(3). Institute of science, Pyeongyang, 169pp. (in Korean)
- Elith, J.(2002) Quantitative methods for modeling species habitat: Comparative performance and an application to Australian plants. In: S. Ferson and M. Burgman(eds.), Quantitative methods for conservation biology. Springer, 3958pp. (in English)
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans(2017) WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. Int. J. Climatol.
- Im, R.J.(1998a) Flora Coreana 4 (Revised ed.). Science and Technology Publishing House, Pyongyang, 31pp. (in Korean)
- Im, R.J.(1998b) Flora Coreana 5. Science and Technology Publishing House, Pyongyang, 210pp. (in Korean)
- Im, R.J.(1998c) Flora Coreana 9. Science and Technology Publishing House, Pyongyang, 79pp. (in Korean)
- Im, R.J.(2000) Colored Illustrated Korean Flora 1. Science Encyclopedia Publisher, Pyongyang, 180pp. (in Korean)
- Im, R.J., J.S. Kwak and H.S. Kim(1976) Flora Coreana 4. Science and Technology Publishing House, Pyongyang, 40pp. (in Korean)
- IUCN(2018) IUCN Red list. Available at <https://www.iucnredlist.org/species/13188557/13189529>, 2020.7.23.
- Kim, J.S. and T.Y. Kim(2011) Woody Plants of Korean Peninsula. Dolbaegae, Paju, 688pp. (in Korean)
- Kong, W.S.(2002) Species composition and distribution of Korean alpine plants. J. of the Kor. Geo. Soc. 37(4): 357-370. (in Korean with English abstract)
- Korea National Arboretum(2009) Rare Plants Data Book of Korea. Pocheon, Korea: Korea National Arboretum, pp.1-332. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2010) 300 Target Plants Adaptable to Climate Change in the Korean Peninsula. Korea National Arboretum, 492pp. (in Korean)
- La U.C., R.W. Park, M.H. Sin, C.N. Yoon, H.C. Lim and J.S. Kim(2015) Endemic Plant of Choseon. Science and Technology Publishing House, Pyongyang, 6pp. (in Korean)
- Lee, K.E.(1992) Studies on ecophysiological characteristics of *Echinosophora koreensis*. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 33(5): 401-412. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.J.(2017) Predicted the Distribution of Goral Habitat in Korea Using Maxent Model-Seoraksan and Uljin-Samcheok Area-. Master's thesis, Univ. of Ehwa Womans, Seoul, Korea, 12pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., H.C. Jung and J.Y. Choi(2012) Projecting climate change impact on the potential distribution of endemic plants (*Megaleranthis saniculifolia*) in Korea. J. Kor. Env. Res. Tech. 15(3): 75-84. (in Korean with English abstract)
- Merow, C., M.J. Smith and J.A. Silander(2013) A practical guide to Maxent for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. Ecography 36: 1058-1069.
- Ministry of Environment(2012) The Biodiversity of Korea. Ministry of Environment, Gwacheon, Korea, 21pp.
- Ministry of Environment(2018) Biodiversity of the Korean Peninsula. Available at https://species.nibr.go.kr/home/mainHome.do?searchType=total&cont_link=009&subMenu=009001&contCd=009001&_tk=&searchField=%EA%B0%9C%EB%8A%90%EC%82%BC&x=0&y=0, 2018.11.25.
- Ministry of Government Legislation(2020) [https://www.law.go.kr/법령/접경지역지원특별법/\(17520,20201020\)](https://www.law.go.kr/법령/접경지역지원특별법/(17520,20201020)), 2020.11.09.
- Nakai, T.(1923) Genera nova Rhamnacearum et Leguminosarum ex Asia orientali. Bot. Mag. (Tokyo) 37: 29-34.
- National Institute of Biological Resources(2012) Red Data Book of Endangered Vascular Plants in Korea. 11pp. (in Korean)
- National Institute of Biological Resources(2018) Endangered Species on the Korean Peninsula. Available at https://species.nibr.go.kr/endangeredspecies/rehome/redlist/redlist_view.jsp?link_gbn=ex_search&rlcls_sno=12, 2020.06.24.
- National Institute of Environmental Research(2005) The Conservation Strategy for the Endangered and Reserved Plants Based on the Ecological and Genetic Characteristics(V). National Institute of Environmental Research, Incheon, pp. 1-102. (in Korean with English abstract)
- Oh, B.U., J.W. Han, S.K. Yang, E.S. Jang, C.G. Jang, Y.Y. Kim, S.J. Ji and S.H. Kang(2009) Flora and vegetation in a habitat of *Echinosophora koreensis* (Nakai) Nakai (Leguminosae), a Korean endemic plant in Yanggu-gun (Kangwon),

- Korea-Focused on Jukgok-ri and Hwanggang-ri-. Kor. J. of Env. Res. and Tech. 12(2): 19-28. (in Korean with English abstract)
- Park, H.C., J.C. Lim, J.H. Lee and G.G. Lee(2017) Predicting the potential distributions of invasive species using the landsat imagery and maxent: Focused on “*Ambrosia trifida* L. var. *trifida*” in Korean Demilitarized zone. Kor. J. of Env. Res. and Tech. 20(1): 1-12. (in Korean with English abstract)
- Phillips, S.J. and M. Dudík(2008) Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson and R.E. Schapire(2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231-259.
- Pi, J.H., J.G. Park, J.Y. Jung, J.S. Park, G.U. Suh and S.W. Son(2016) Habitats environmental and population characteristics of *Iris koreana* Nakai, a rare and endemic species in Korea. *Kor. J. of Eco. and Env.* 49(2): 102-109. (in Korean with English abstract)
- Quantum Geographic Information System(2018) QGIS. Available at <http://www.qgis.org/ko/site/>, 2018.09.
- Seo, C.W., Y.R. Park and Y.S. Choi(2008) Comparison of species distribution models according to location data. *J. Korea Spatial Inform. Soc.* 16: 59-64. (in Korean with English abstract)
- Shin, M.S.(2013) Species Distribution Model and Land Suitability Assessment. Master's thesis, Univ. of Jeonbuk, Jeonju, Korea, 30pp. (in Korean with English abstract)
- Son, K.N.(2005) Red data Book of DPR Korea(Plant). Minchuchosensa, 44pp.
- Sung, C.Y., H.T. Shin, S.H. Choi and H.S. Song(2018) Predicting potential habitat for *Hanabusaya asiatica* in the North and South Korean border region using MaxEnt. *Kor. J. of Env. and Eco.* 32(5): 469-477. (in Korean with English abstract)