

ORIGINAL ARTICLE

국립공원 내 자생하는 고산 및 아고산식물의 분포 특성과 다양성

김현희* · 윤형진¹⁾ · 김진원¹⁾

전남연구원 농수해양연구실, ¹⁾국립공원연구원 기후변화연구센터

Distribution Characteristics and Diversity of Alpine and Subalpine Plants Growing Naturally in National Parks

Hyun-Hee Kim*, Hyeong-Jin Yoon¹⁾, Jin-Won Kim¹⁾

Agricultural and Fishing Community Revitalization Department, Jeonnam Research Institute, Naju 58217, Korea

¹⁾Climate Change Research Center, Korea National Park Research Institute, Wonju 26441, Korea

Abstract

Alpine and subalpine plants are isolated and distributed in mountaintop areas at high altitudes and are among the species most vulnerable to global warming. If the rate of warming continues at its current rate, it is highly likely that this species will be unable to find new refugia and will be the last to go extinct in their current habitats. Therefore, research on the distribution and diversity of alpine and subalpine plants is urgently needed and is important from the perspective of biodiversity conservation. Therefore, this study focused on the distribution of alpine and subalpine plants native to national parks. Alpine and subalpine plants distributed across the 12 national parks accounted for approximately half (47.78%) of all alpine plants in Korea. The average relative frequency of occurrence was 0.23, plant similarity between national parks was 37.19%, and beta diversity was 0.63. The number of species was positively correlated with the latitude, elevation, and area of the national park. Thus the geographical distributions of alpine and subalpine plants have distinct spatial specificities and physical environmental differences.

Key words : Climate change, Relict plant, Phytogeography, Beta-diversity, In-situ conservation

1. 서론

지질시대 유존식물(relict plant)은 주로 신생대 제3기 마이오세 후기와 신생대 제4기 플라이스토세 동안 중앙아시아 고산지와 주변 지역에서 진화하여 광범위하게 확산된 것으로 보인다(Yanase and Abe-Ouchi, 2007). 오늘날 한반도에 자생하는 유존식물로 대표되는 고산 및 아고산식물의 가장 주목되는 분포 특징은 제한적인 공간에 격리되어 분포한다는 점이다. 이는 신생

대 제4기 플라이스토세 빙하기 동안 분포 범위를 넓히는 과정에서 한반도 전 지역으로 남하한 후 최후 빙기 이후 기온이 상승하면서 고산지역으로 이동 격리되어 고립 분포한 결과로 추정하고 있다(Kong, 2002). 다시 말해 한반도 일부 고산지역에 북방계 식물들의 피난처(Refugia)가 형성된 것으로 볼 수 있다.

눈잣나무(*Pinus pumila*)와 같은 고산식물은 한랭한 기후를 선호하기 때문에 현재 진행중인 온난화와 같은 기온상승에는 매우 취약하다(Kong, 2002). 특히 고산

Received 11 March, 2024; Revised 29 May, 2024;

Accepted 30 May, 2024

*Corresponding author : Hyun-Hee Kim, Agricultural and Fishing Community Revitalization Department, Jeonnam Research Institute, Naju 58217, Korea
Phone : +82-61-931-9344
E-mail : hyunheekim24@gmail.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지역은 섬처럼 지리적으로 고립된 환경으로 지금보다 높은 고도의 자생지를 확보하지 못한다면 현재 자생하는 지역을 마지막으로 절멸할 가능성이 매우 높다. 한라산에 자생하는 한반도 특산식물인 구상나무(*Abies koreana*)와 백록담 주변에서만 분포가 확인되는 멸종위기 야생생물 1급 돌매화나무(*Diapensia lapponica* var. *obovata*)도 이러한 사례를 대표하는 종이다. 한반도 고산대와 아고산대에 고립되어 격리 분포하는 식물은 생물다양성 보전 측면에서 보호되어야 할 대상이다. 특히 그 분포역이 매우 제한적이고, 환경변화에 민감해 식물종 자체는 물론이며 물리적 환경을 포함한 서식지 다양성에 관한 보전에도 관심이 필요하다.

생물종 다양성 보전을 위한 현지내 보전(In situ conservation)의 관점에서 보호지역 선정과 설정은 가장 중요한 평가요소로 제시된 바 있다(Oh et al., 2017). 이에 본 연구는 공간적으로 우리나라 주요 산악형 국립공원을 주목했다. 국립공원은 수려한 자연경관과 종다양성이 높은 보전지구로 미래세대에 훼손 없이

전해져야 할 지속가능성을 유지해야 하는 공간이다. 특히 기후변화와 같은 전 지구적인 환경문제에 마주한 오늘날 국립공원 보전에 대한 노력은 다른 어떤 생태공간 보다 우선시되어야 할 것이다. 지금과 같은 온난화가 지속된다면 국립공원 내 남방계 식물의 빠른 확산과 고산 및 아고산식물을 포함한 북방계 식물 분포역 쇠퇴는 자명한 일이다(Kim et al., 2021; Kong, 2005).

본 연구에서 살펴보고자 하는 궁극적인 연구 내용과 목적은 다음과 같다. 우선 우리나라 주요 산악형 국립공원에 자생하는 고산 및 아고산 식물 현황과 분포 특성을 규명하고, 다음으로 베타다양성(Beta-diversity) 관점에서 국립공원 간 식물상 유사도와 베타다양도를 분석한다. 이를 통해 그동안 개별 국립공원 및 특정 식물군에 관한 연구(알파다양성)에 비해 상대적으로 연구 관심과 성과가 부족했던 집단 간 비교 연구(베타다양성)에 초점을 맞춘다. 기후변화에 취약한 국립공원에 자생하는 고산 및 아고산식물에 대해 보다 넓은 공간적 범위

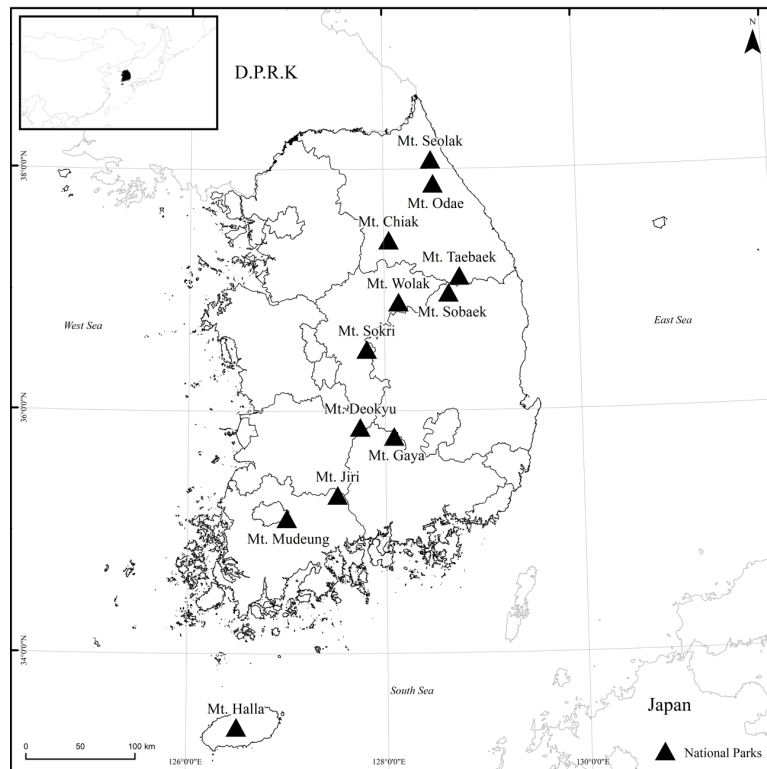


Fig. 1. Research area (12 major national parks in Korea).

에서 식물의 분포와 다양성에 관한 종합적인 정보를 제시하고자 한다.

산은 서로 다른 면적과 해발고도를 가지기 때문에 그에 따른 식물 다양성도 충분히 살펴봐야 할 환경 변수이다. 해발고도가 높다는 것은 더 다양한 환경을 가지고 있다는 것이며, 이는 곧 자생지 다양성과도 연결된다. 또한 산의 규모가 클수록 아고산 및 고산지역으로 분류되는 공간의 면적도 비례한다. 그리고 남북으로 긴 국토 형태를 가지고 있는 우리나라는 위도에 따른 식물 분포도 식물지리학적으로 중요하다. 이런 관점에서 본 연구는 국립공원의 수리적위치인 위도, 면적 그리고 해발고도와 고산 및 아고산식물의 종 수와의 상관성도 분석하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구지역

연구지역은 우리나라 19곳(변산반도 포함)의 산악형 국립공원 중 해발고도 1,000 m 이상의 공원 12곳(설악산, 오대산, 태백산, 치악산, 소백산, 월악산, 속리산, 덕유산, 가야산, 지리산, 무등산, 한라산)을 그 대상으로 하였다(Fig. 1). 최근 국립공원으로 지정된 팔공산과 계

룡산, 내장산 등 비교적 규모가 작고 해발고도가 낮은 국립공원은 연구지역에서 제외하였다. 본 연구에 앞서 변산반도를 제외한 국립공원 18곳의 고산 및 아고산식물을 대상으로 한 공원별 식물상 유사도 분석을 통해 크게 12곳의 국립공원과 6곳의 국립공원으로 구분되는 것을 확인하였고, 해당 결과를 근거로 12곳의 국립공원을 최종 선정하였다(Fig. 2). 만약 모든 산악형 국립공원에 자생하는 고산 및 아고산식물에 대해 논의할 경우 면적과 해발고도 대비 식물상 자료의 편차가 커 전체 결과와 그 해석에 왜곡이 있을 것으로 예상됨으로 12곳의 주요 산악형 국립공원으로 특정하였다.

2.2. 자료 수집과 분석

본 연구는 우리나라 국립공원에 자생하는 고산식물과 아고산식물을 대상종(Target species)으로 하였다. 해당 식물종의 분포 현황과 특성을 종합적으로 분석하기 위하여 다양한 식물상 자료를 활용하였으며, 하나의 식물 데이터베이스(Database)를 구축하였다. 이번 연구에서 인용된 주요 식물상 자료는 정기적으로 국립공원연구원에서 수행하는 국립공원 자원조사 보고서와 KCI 등재 학술논문을 그 대상으로 했다(Park et al., 2005; Jang et al., 2007; Kim et al., 2007; Song

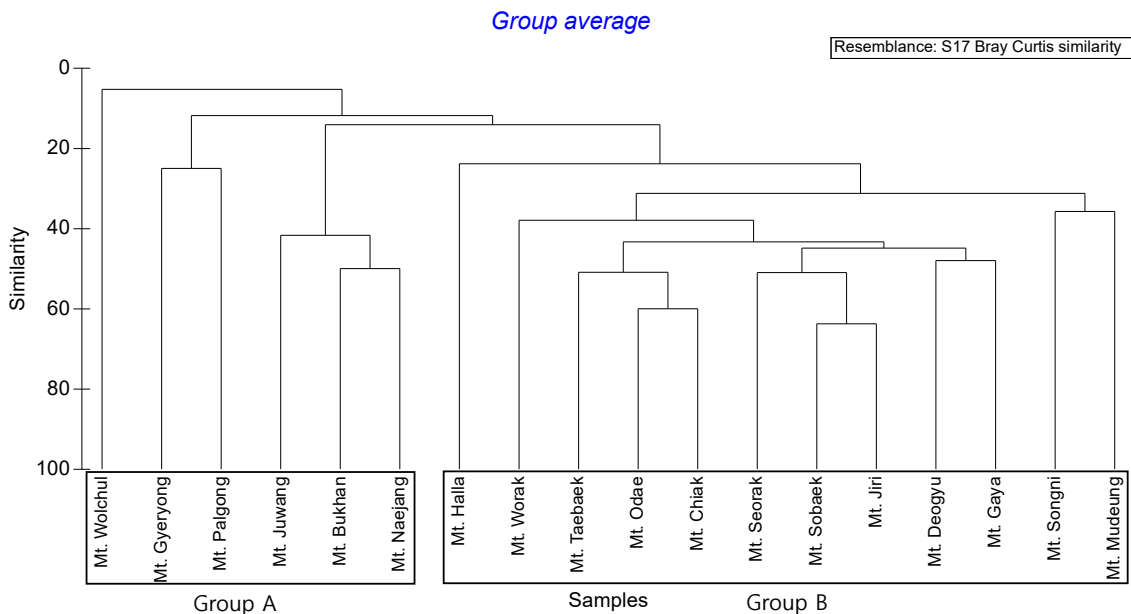


Fig. 2. Analysis of alpine and subalpine plant similarity between major national parks in Korea.

Table 1. Composition of alpine and subalpine plants distributed in 12 mountain-type national parks

Category 1		Category 2	
Alpine plants	10 species	Pteridophyte	14 species
Subalpine plants	67 species	Gymnosperm	7 species
Candidate plants	52 species	Angiosperm	108 species

Table 2. List of endemic plants among alpine and subalpine plants distributed in 12 mountain-type national parks (Among the endemic plants, there are no species that are alpine plants.)

Subalpine plants	
긴다람쥐꼬리 (<i>Huperzia jejuensis</i>)	구상나무 (<i>Abies koreana</i>)
바위미나라아재비 (<i>Ranunculus crucilobus</i>)	섬매발톱나무 (<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i>)
한라장구채 (<i>Silene fasciculata</i>)	제주황기 (<i>Astragalus mongholicus</i> var. <i>nakaianus</i>)
제주산버들 (<i>Salix blinii</i>)	흰그늘용담 (<i>Gentiana chosonica</i>)
좁갈매나무 (<i>Rhamnus taquetii</i>)	좁향유 (<i>Elsholtzia minima</i>)
고산구슬방이 (<i>Gentiana wootchuliana</i>)	산좁쌀풀 (<i>Euphrasia mucronulata</i>)
깔끔좁쌀풀 (<i>Euphrasia coreana</i>)	섬잔대 (<i>Adenophora taquetii</i>)
산좁쌀풀 (<i>Euphrasia mucronulata</i>)	바늘엉겅퀴 (<i>Cirsium rhinoceros</i>)
섬쑥 (<i>Artemisia hallaisanensis</i>)	한라솥다리 (<i>Leontopodium coreanum</i> var. <i>hallaisanense</i>)
한라구절초 (<i>Dendranthema coreanum</i>)	털분취 (<i>Saussurea rorinsanensis</i>)
그늘취 (<i>Saussurea uchiyamana</i>)	
Candidate plants	
요강나물 (<i>Clematis fusca</i> var. <i>flabellata</i>)	금강봄맞이 (<i>Androsace cortusifolia</i>)
지리터리풀 (<i>Filipendula formosa</i>)	봉래포리풀 (<i>Kiusianum</i> var. <i>diamantiacum</i>)
태백취 (<i>Saussurea grandicapitula</i>)	좁민들레 (<i>Taraxacum hallaisanense</i>)
두메김의털 (<i>Festuca ovina</i> var. <i>alpina</i>)	동근산부추 (<i>Allium thunbergii</i> var. <i>teretifolium</i>)
자주솥대 (<i>Maianthemum bicolor</i>)	

and Cho, 2007; Choi and Oh, 2009; Ko et al., 2009; Hong et al., 2010; Jang et al., 2011; Kim et al., 2011; Hong et al., 2013; Jang et al., 2015; Shin et al., 2015; Kim et al., 2016; Han and Yun, 2017; Korea national park research institute, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022; Noh et al., 2017; Oh and You, 2018; Han et al., 2022; Lee et al., 2022). 고산 및 아고산식물은 2023년 2월 국립공원연구원에서 발표한 '고산식물 정의 및 종목록화 연구' 자료를 기본자료로 활용하였다. 해당 연구자료는 2022년 기후변화에 따른 고산식물 생물다양성 감소에 대비해 국내 고산식물을 정의하고 관련 종 목록을 정리한 자료이다. 구체적으로 식물분류 관련 전문가 자문단을 구성하여 고산식물 정의 및 종목록 기준을 확립하고 자연자

원조사, 특성식물조사 등의 결과를 활용한 연구 결과물이다. 해당 연구 자료에서 고산식물은 교목한계선 상부에 주로 분포하는 식물로 정의하였으며, 한반도 고산지대에 주로 분포하는 식물로 세계적인 분포역은 주로 툰드라 지역이다. 아고산식물은 산림한계선과 교목한계선 사이에 주로 분포하는 식물로 정의하였으며, 한반도 침엽수림에 주로 분포하며 세계적으로는 타이가지역을 분포역으로 하는 식물이다. 우리나라, 일본, 중국에서는 1,500 m 이상인 고지대에 주로 분포하는 식물을 의미한다. 후보종은 아고산식물 정의 및 기준에는 포함되지 않지만 논의가 필요한 식물로 우리나라에서는 해발 1,200 m 이상의 고지대에 분포하고, 중국 동북3성 등 한반도 인접지역에서는 그 보다 낮은 고도에서도 넓게 분포하는 식물을 의미한다. 이를 통해 우리나라에 자생

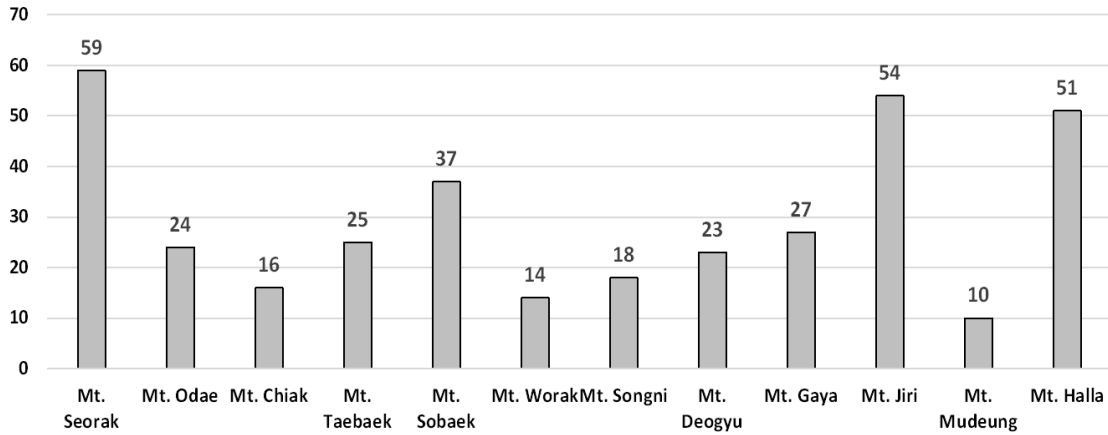


Fig. 3. Number of alpine and subalpine plant species by national parks. (x-axis: National parks, y-axis: Number of species)

하는 식물을 대상으로 고산식물 68분류군, 아고산식물 127분류군 그리고 후보종 75분류군의 세 그룹으로 구분하여 총 270종의 식물을 제시하였다. 본 연구는 해당 자료를 기초로 고산 및 아고산식물의 국립공원 간 비교 즉 베타다양성(Beta-diversity)을 중심으로 분석하였다. 여기서 지역(국립공원)은 군집생태학에서 다루는 샘플(Sample)이며, 샘플 간 비교를 통해 다양한 결과를 산출할 수 있다(Tuomisto, 2010; Koleff et al., 2003). 본 연구에서는 구축된 식물상 자료를 바탕으로 일반적인 식물상 현황과 주요 식물종의 생태 및 분포 특징, 종별 국립공원 간 상대출현 빈도수, Bray-curtis 유사도 분석, 휘테커 베타지수(Whittaker's β_w) 그리고 국립공원의 위도, 면적, 해발고도와 고산 및 아고산식물의 종 수와의 관계 등을 분석하였다.

이번 연구에서 분석한 상대출현빈도수는 전체 270종의 고산 및 아고산식물과 그 후보 종 중에서 우리나라 주요 산악형 국립공원에 분포하는 129종을 대상으로 특정 식물이 12곳의 국립공원 중 몇 곳에 분포하는가를 보여준다. 예를들어 주목(*Taxus cuspidata*)의 경우 12곳의 국립공원 중 12곳에서 그 분포가 확인되어 상대출현빈도수는 $1(12 \div 12)$ 이 된다. 이를 통해 국립공원 내 자생하는 고산 및 아고산식물의 전반적인 분포 양상을 비교하였다. 그리고 군집(샘플)간 종 다양성을 비교하는 다양한 지수들 중 본 연구에서는 가장 일반적인 휘테커베타지수(β_w)를 적용했다(Koleff et al. 2003). 이는 베타다양성을 처음 언급한 휘테커에 의해 제안된

식으로 그 식은 다음과 같다. $\beta_w = S/\alpha$ 여기서 S는 전체 종 수, α 는 특정 지역의 종 수를 말한다. 이번 연구에서는 휘테커 식을 계량한 다음의 공식을 적용했다.

$$\frac{a + b + c}{((2a + b + c)/2)} - 1$$

여기서 a는 두 군집(국립공원)에

모두 분포하는 종이며, b와 c는 각각의 군집에만 분포하는 종이다. 예를들어 설악산과 한라산의 베타다양성 지수를 구한다면, 공통으로 분포하는 종(a)이 15종, 설악산에만 분포하는 종 44종(b), 한라산에만 분포하는 종 36종(c)이다. 이를 해당식으로 구하면 설악산과 한라산의 베타다양성 지수는 0.73이 된다. 만약 두 군집에 공통으로 존재하는 종이 없다면 그 값은 최대값인 1이 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식물상

Fig. 2에서 보는 것처럼 우리나라 18곳의 산악형 국립공원은 크게 월출산, 계룡산, 팔공산, 주왕산, 북한산, 내장산을 포함한 집단(Group A)과 한라산, 월악산, 태백산, 오대산, 치악산, 설악산, 소백산, 지리산, 덕유산, 가야산, 속리산, 무등산의 집단(Group B)으로 구분된다. 이러한 결과는 국립공원의 규모와 분포하는 고산 및 아고산식물 종 수의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 실제 Group A의 평균 면적은 85.14 km², 평균 해발

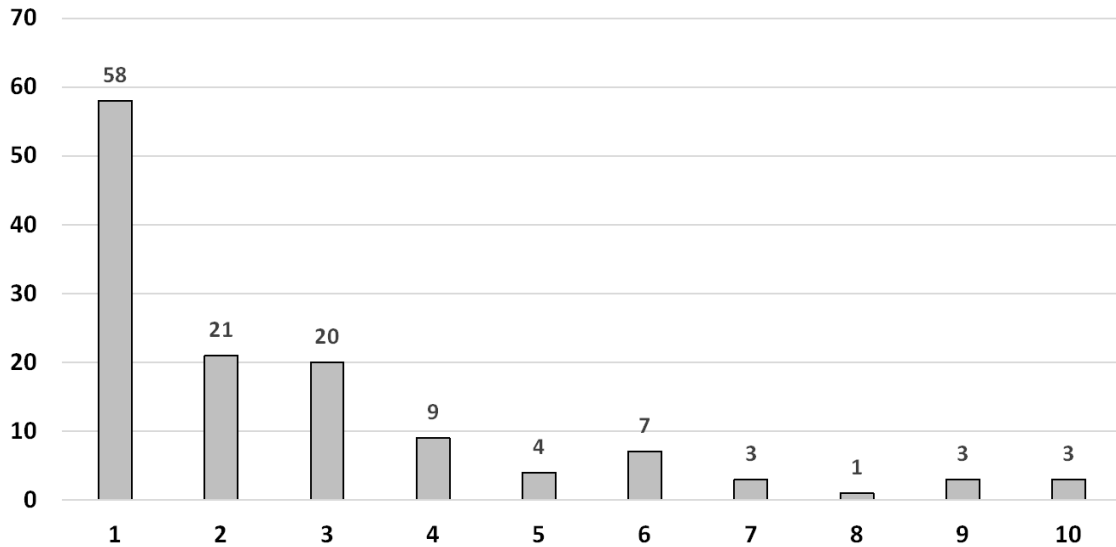


Fig. 4. Number of plant species by relative occurrence frequency(x-axis: relative frequency of occurrence, 1: 0 or more and less than 0.1, 2: 0.1 or more and less than 0.2, 3: 0.2 or more and less than 0.3, 4: 0.3 or more and less than 0.4, 5: 0.4 or more and less than 0.5, 6: 0.5 or more and less than 0.6, 7: 0.6 or more and less than 0.7, 8: 0.7 or more and less than 0.8, 9: 0.8 or more and less than 0.9, 10: 0.9 or more and less than 1.0, y-axis: Number of species).

고도 861 m인데 반해 Group B는 평균 공원면적 239.34 km², 평균 해발고도 1,484.5 m이다. 또한 분포하는 고산 및 아고산식물의 수도 비교적 큰 차이가 난다 (Group A 평균 2.67종, Group B 평균 29.83종). 이처럼 국립공원의 그룹화는 그 면적과 해발고도 등 물리적 환경 변수와 자생하는 식물 종 수의 차이가 뚜렷하게 반영된 결과다.

우리나라 주요 국립공원 12곳에 자생하는 고산 및 아고산식물은 총 44과 129종으로 조사되었다. 이중 고산식물은 10종, 아고산식물은 67종, 후보종은 52종이다. 국립공원연구원에서 제시한 한반도 고산 및 아고산식물과 그 후보종 270종 중 47.78%가 산악형 국립공원 12곳에 분포한다. 129종 중 양치식물 14종 (10.85%), 나자식물 7종(5.43%), 피자식물 108종 (83.72%)이며, 목본 31종, 초본 84종으로 구분된다 (Table 1). 국화과가 15종으로 가장 많고 장미과 8종, 미나리아재비과 7종, 진달래과 7종, 현삼과 7종, 백합과 6종, 난초과 5종, 사초과 5종, 석죽과 5종 순이다. 구상나무(*Abies koreana*), 섬매발톱나무(*Berberis amurensis* var. *quelpaertensis*) 등 한반도 특산식물은 30종으로 조사되었다(Table 2). 환경부 지정

멸종위기 야생생물 1급에 해당하는 종으로는 암매(돌매화나무) (*Diapensia lapponica* var. *obovata*), 한라솜다리(*Leontopodium coreanum* var. *hallaisanense*), 털복주머니란(*Cypripedium guttatum*)이 있으며, 멸종위기 야생생물 2급에 해당하는 종으로 홍월굴(*Arctous rubra*), 한라장구채(*Silene fasciculata*), 장백제비꽃(*Viola biflora*), 노랑만병초(*Rhododendron aureum*), 한라송이풀(*Pedicularis hallaisanensis*), 손바닥난초(*Gymnadenia conopsea*), 구름병아리난초(*Hemipilia cucullata*)가 해당한다. 사스래나무(*Betula ermanii*)는 국가 기후변화 생물지표종으로 지정되어 있다.

분포역이 넓은 상위 10종은 주목(*Taxus cuspidata*) (12곳), 마가목(*Sorbus commixta*) (12곳), 사스래나무(*Betula ermanii*) (11곳), 산오이풀(*Sanguisorba haksusanensis*) (10곳), 가래고사리(*Phegopteris connectilis*) (10곳), 세잎종덩굴(*Clematis koreana*) (10곳), 홍괴불나무(*Lonicera maximowiczii*) (9곳), 퍼진고사리(*Dryopteris expansa*) (8곳), 매발톱나무(*Berberis amurensis*) (8곳), 분비나무(*Abies nephrolepis*) (8곳) 순이다. 이와 반대로 58종(44.96%)은

Table 3. Results of analysis of alpine and subalpine plant similarity between national parks (Bray-curtis similarity)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A												
B	50.60											
C	34.67	60										
D	47.62	53.06	48.78									
E	54.17	49.18	49.06	48.39								
F	32.88	42.11	40	30.77	43.14							
G	31.17	42.86	35.29	32.56	36.36	37.5						
H	39.02	51.06	46.15	33.33	53.33	43.24	29.27					
I	41.86	47.06	41.86	34.62	43.75	39.02	31.11	48				
J	47.79	43.59	34.29	37.98	63.74	32.35	33.33	46.75	44.44			
K	20.29	29.41	30.77	17.14	34.04	25	35.71	36.36	37.84	21.88		
L	27.27	21.33	17.91	18.42	29.55	15.39	20.29	27.03	28.21	30.48	22.95	

A: Mt. Seorak, B: Mt. Odae, C: Mt. Chiak, D: Mt. Taebaek, E: Mt. Sobaek, F: Mt. Worak, G: Mt. Songni, H: Mt. Deogyu, I: Mt. Gaya, J: Mt. Jiri, K: Mt. Mudeung, L: Mt. Halla

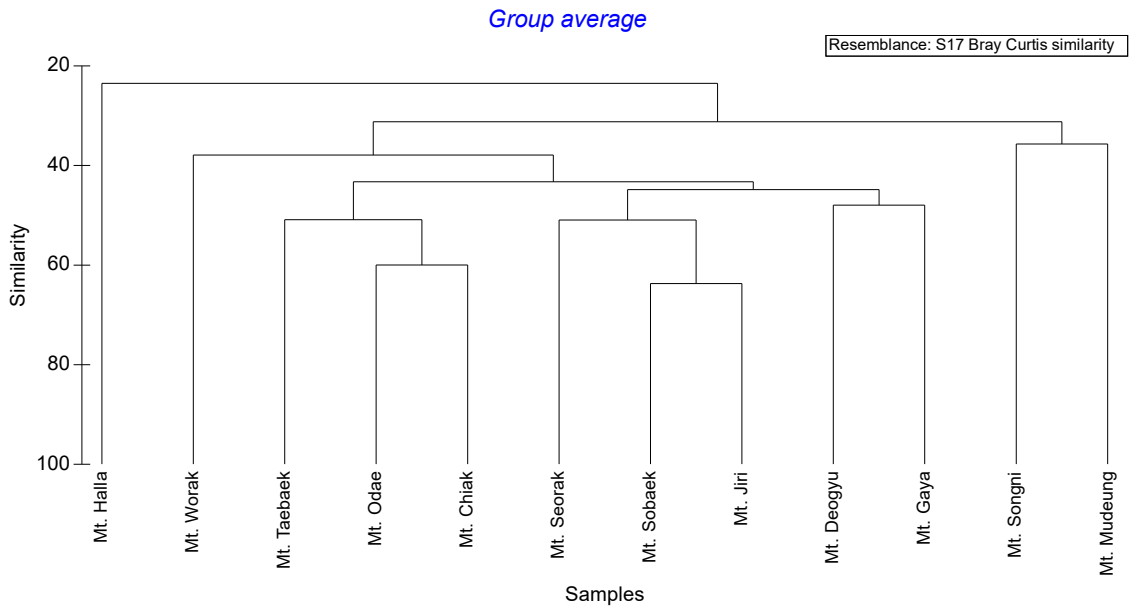


Fig. 5. Cluster analysis results of plant similarity(y-axis, unit: %) between 12 major national parks(x-axis) in Korea.

12곳의 국립공원 중 한 1곳에서만 분포 기록이 확인되어 자생지가 매우 제한적이다(Table 5).

국립공원별 고산 및 아고산식물 분포는 12곳 평균 29.83종으로 조사되었다. 설악산이 59종으로 가장 많았는데 이는 국립공원연구원이 제시한 고산 및 아고산 식물과 그 후보 식물 270종의 21.85%에 해당한다. 다

음으로 지리산이 54종(20%), 한라산이 51종(18.89%)으로 설악산과 함께 50종 이상의 고산 및 아고산식물이 분포하는 것을 문헌 자료를 통해 확인하였다. 다음으로 소백산 37종(13.7%), 가야산 27종(10%), 태백산 25종(9.26%), 오대산 24종(8.89%), 덕유산 23종(8.52%) 순이었다. 20종 미만이 분포하는 국립공원은

속리산 18종(6.67%), 치악산 16종(5.93%), 월악산 14종(5.19%), 무등산 10종(3.70%) 순이었다(Fig. 3).

3.2. 상대출현빈도수

전체 129종의 고산 및 아고산식물의 평균 상대출현빈도수는 0.23으로 조사되었으며, 이는 종별로 평균 2.76곳의 국립공원에 분포한다는 의미다. 주목(*Taxus cuspidata*)과 마가목(*Sorbus commixta*)은 12곳의 주요 국립공원에 모두 분포하는 종으로 상대출현빈도수 1로 분포역이 가장 넓었다. 전체 종 중에서 상대출현빈도수 0.5 이상에 해당하는 종은 17종으로 전체의 13.18%였으며, 반대로 단 한 곳의 국립공원(상대출현빈도수 0.1 미만)에만 제한적으로 분포하는 종은 58종으로 전체의 44.96%로 조사되었다. 이러한 결과는 고산 및 아고산식물의 분포 특성이 지역적 보편성 보다는 특수성이 더 뚜렷하다는 것을 보여주는 것이다(Fig. 4).

3.3. 유사도 분석

12곳 국립공원 간 고산 및 아고산식물상의 평균 유사도는 37.19%였으며, 표준편차는 10.79로 조사되었다. 소백산과 지리산은 63.74%로 유사도가 가장 높았으며, 오대산과 치악산의 유사도도 60%로 평균 유사도와 비교해 상대적으로 높았다. 소백산과 지리산은 지리적으로 거리가 멀지만 국립공원의 규모가 상대적으로 비슷하여 생태환경에 따른 종의 분포와 유사도가 높았던 것으로 보이며, 오대산과 치악산은 거리가 가깝고 오대산부터 이어지는 차령산맥에 속해 있다는 지리적 특징도 반영된 것으로 판단한다. 그러나 이와 같은 결과가 논리적 근거를 확보하기 위해서는 더 자세하고 많은 식물지리학적 연구가 필요하다 본다. 그리고 오대산, 치악산은 태백산과 그리고 소백산, 지리산은 설악산과 약 50% 수준에서 묶이는 것이 확인된다. 이러한 결과는 태백산과 설악산에 분포하는 아고산식물과 고산식물의 절대적인 수가 중요한 원인이었을 것으로 예상된다. 태백산에 분포하는 고산 및 아고산식물이 25종인 반면, 설악산은 59종으로 국립공원 중 가장 많았다. 오대산과 치악산은 태백산과 비슷한 수준이며, 소백산과 지리산도 비교적 고산 및 아고산식물의 종 수가 많아 설악산과 묶인 것으로 판단된다. 그러나 이들 6곳의 국립공원 간 유사도가 50%가 넘기 때문

에 이들 국립공원을 별개로 해석하기 보다는 50% 이상의 유사도를 가진 한 그룹으로 보는 것이 타당하다고 본다. 다음으로 덕유산과 가야산의 유사도는 48%였으며 지리적으로 가까운 특성이 반영된 것으로 해석된다. 그리고 월악산은 상대적으로 적은 고산식물의 수(14종)로 다른 국립공원과의 유사도가 상대적으로 낮았다. 이들 그룹과 달리 속리산과 무등산은 별개의 그룹으로 묶이는데 두 국립공원의 유사도는 35.71%로 조사되었다. 무등산은 지리적으로는 떨어져 있지만 구상나무(*Abies koreana*) 등 주요 고산식물이 분포하기 때문에 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단한다. 제주도 한라산은 설악산과 지리산 다음으로 많은 51종의 고산 및 아고산식물의 기록이 확인되었으나 주요 국립공원과는 별개의 그룹으로 묶였다. 이는 지리적으로 격리된 섬이라는 공간적 고유성이 반영된 결과로 해석된다. 돌매화나무(*Diapensia lapponica* var. *obovata*)나 시로미(*Empetrum nigrum* var. *japonicum*) 등 한라산에 분포하는 51종의 고산 및 아고산식물 중 절반이 넘는 27종(52.94%)은 한라산에만 분포하는 것으로 조사되었다. 이와 반대로 59종이 분포하는 설악산의 경우 눈잣나무(*Pinus pumila*) 등 설악산에만 자생하는 종이 11종(18.64%)으로 한라산과 비교해 매우 대조적이다. 이러한 결과는 국립공원 고산 및 아고산식물상이 지리적 거리와 특성 그리고 식물 분포의 지역성이 동시에 반영되었음을 잘 보여주는 것으로 평가할 수 있다(Table 3, Fig. 5).

3.4. 베타다양도(Beta-diversity Index)

국립공원 12곳의 평균 베타다양도는 0.63으로 분석되었다. 한라산이 평균 0.77로 가장 높았고 무등산 0.72, 속리산 0.67, 월악산 0.65, 태백산 0.63, 설악산 0.61, 지리산 0.60, 가야산 0.60, 치악산 0.60, 덕유산 0.59, 오대산 0.55, 소백산 0.54 순이다. 베타다양도 지수가 높다는 것은 다른 지역에 분포하지 않는 종이 상대적으로 많다는 의미이다. 제주도 한라산의 베타다양도 지수가 가장 높은 이유도 육지의 국립공원에서는 자생하지 않는 종들이 상대적으로 많기 때문이다. 그러나 베타다양도는 좀 더 주의깊게 살펴볼 대목도 있다. 무등산은 평균 베타다양도가 0.72로 높게 나타났는데 이는 상대적으로 적은 종에 의한 왜곡된 결과로 판단된다. 다시 말해 무등산에는 분포하는 종이 적기 때문에 무등산과 비교 대상이 되는 다른 국립공원과의

Table 4. Comparison of beta-diversity indices between national parks (Whittaker's β_w)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A		0.49	0.65	0.52	0.46	0.67	0.69	0.61	0.58	0.52	0.8	0.73
B	0.49		0.4	0.47	0.51	0.58	0.57	0.49	0.53	0.56	0.71	0.79
C	0.65	0.4		0.51	0.51	0.6	0.65	0.54	0.58	0.66	0.69	0.82
D	0.52	0.47	0.51		0.52	0.69	0.67	0.67	0.65	0.62	0.83	0.82
E	0.46	0.51	0.51	0.52		0.54	0.64	0.47	0.56	0.36	0.66	0.7
F	0.67	0.58	0.6	0.69	0.54		0.63	0.57	0.61	0.68	0.75	0.85
G	0.69	0.57	0.65	0.67	0.64	0.63		0.71	0.69	0.67	0.64	0.8
H	0.61	0.49	0.54	0.67	0.47	0.57	0.71		0.52	0.53	0.64	0.73
I	0.58	0.53	0.58	0.65	0.56	0.61	0.69	0.52		0.56	0.62	0.72
J	0.52	0.56	0.66	0.62	0.36	0.68	0.67	0.53	0.56		0.78	0.7
K	0.8	0.71	0.69	0.83	0.66	0.75	0.64	0.64	0.62	0.78		0.77
L	0.73	0.79	0.82	0.82	0.7	0.85	0.8	0.73	0.72	0.7	0.77	
Aver.	0.61	0.55	0.60	0.63	0.54	0.65	0.67	0.59	0.60	0.60	0.72	0.77

A: Mt. Seorak, B: Mt. Odae, C: Mt. Chiak, D: Mt. Taebaek, E: Mt. Sobaek, F: Mt. Worak, G: Mt. Songni, H: Mt. Deogyu, I: Mt. Gaya, J: Mt. Jiri, K: Mt. Mudeung, L: Mt. Halla

중복된 종은 적어질 수밖에 없다. 속리산과 월악산 또한 분포하는 대상종이 20종 이하로 다른 지역과 비교해 고산 및 아고산식물이 적은 편이라는 점도 이러한 결과를 뒷받침한다고 할 수 있다. 실제 휘테커 베타다양도는 동일한 크기의 군집 간 비교에서 더 유의하다.

한라산의 평균 베타다양도가 가장 높았던 반면 소백산은 0.54로 가장 낮았다. 오대산(0.55)과 덕유산(0.59)도 0.6 미만으로 12곳의 국립공원 중 낮은 값을 보였다. 이것은 이들 국립공원의 식물상이 다른 지역에도 분포하는 종이 많다는 것, 즉 식물상의 특수성보다는 상대적으로 보편성이 더 크다는 것으로 해석된다. 베타다양도 지수가 가장 낮은 곳은 소백산-지리산으로 그 값은 0.36이다. 실제 두 공원에 공통적으로 자생하는 종은 29종으로 가장 많다. 소백산의 경우 전체 37종의 식물 중 8종을 제외하고는 지리산에도 분포하는 식물이다. 이 때문에 베타다양도 지수는 낮을 수밖에 없다. 전체 평균값인 0.63을 기준으로 이보다 큰 한라산과 무등산, 속리산, 월악산은 보편성보다 특수성이 크고, 그 외의 공원은 보편성이 더 큰 식물상을 가진다고 해석된다. 또 다른 의미에서 베타다양도 지수는 그 값이 낮을수록 두 지역은 유사한 식물상을 가지는 것으로 볼 수 있다. 이는 한라산의 평균 베타다양도가 높는데 유사도는 낮다는 점을 통해서도 분명히 검증되었다(Table 4).

3.5. 위도, 해발고도 그리고 면적과 종 수와의 관계

서로 다른 국립공원의 위도와 해발고도 그리고 면적은 식물이 분포하는데 중요한 물리적 환경 변수이다. 이들 물리적 환경과 국립공원에 자생하는 고산식물 및 아고산식물 종 수와의 관계를 비교 분석했다. 그 결과 위도와는 유의한 상관성을 찾기 어려웠으나, 면적과 해발고도와의 관계는 그 상관성이 높게 지지됨을 확인하였다. 위도의 경우 제주도 한라산에서 설악산까지 직선 거리 550 km 사이로 위도가 높아지면 기온이 낮아져 고산 및 아고산식물이 자생하는데 긍정적인 영향을 줄 것으로 본다. 하지만 우리나라는 가장 남쪽에 위치한 한라산과 비교적 남쪽에 있는 지리산이 다른 국립공원과 비교해 많은 수의 고산 및 아고산식물이 자생하기 때문에 전체적인 상관성은 유의하지 않았다. 그러나 한라산과 지리산을 빼고 본다면 위도가 높아질수록 종은 확연히 증가한다($r=0.539$, $p<0.05$). 국립공원 면적과 고산식물 종 수는 뚜렷한 양의 상관성을 가진다($r=0.714$, $p<0.01$). 또한 해발고도가 높을수록 종수는 확연히 많은 것으로 나타났다($r=0.898$, $p<0.01$). 공원 면적이 넓고 해발고도가 높다는 것은 그만큼 다양한 종이 자생할 수 있는 공간을 가지고 있다는 것으로 특히 추운 지역을 선호하는 고산 및 아고산식물의 자생 환경에는 해발고도가 매우 중요한 환경요소로 작용한 것으로 판단된다 (Fig. 6~8).

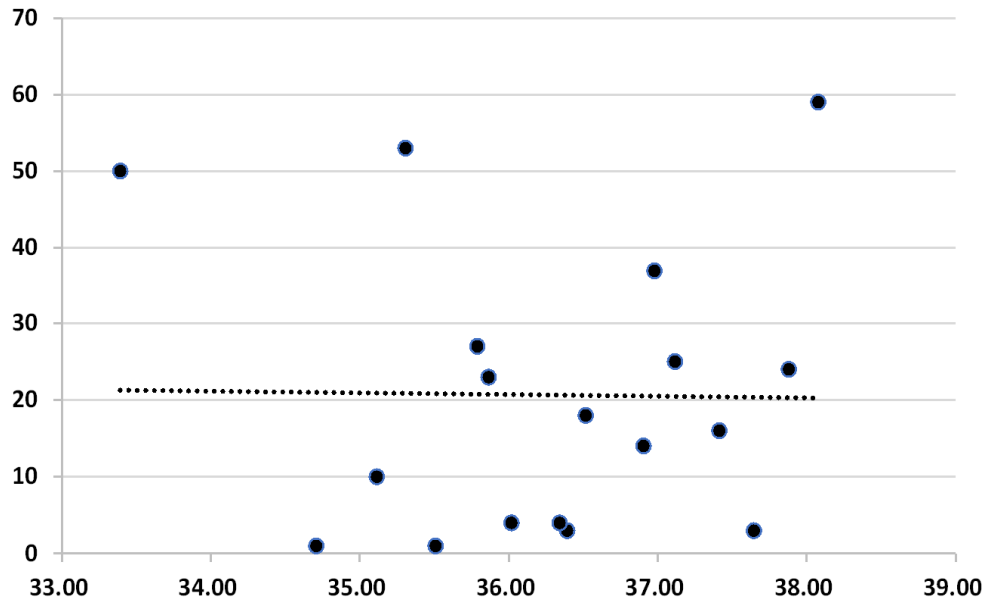


Fig. 6. Relationship between latitude(x-axis) and number of species(y-axis) for each national park.

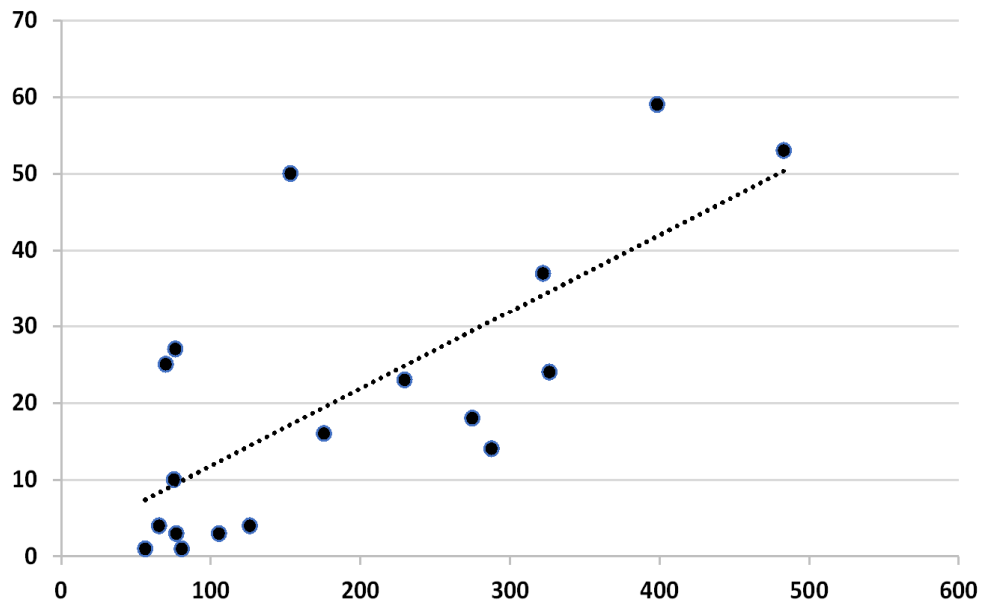


Fig. 7. Relationship between area(x-axis, unit: ha) and number of species(y-axis) for each national park. ($r=0.714$, $p<0.01$)

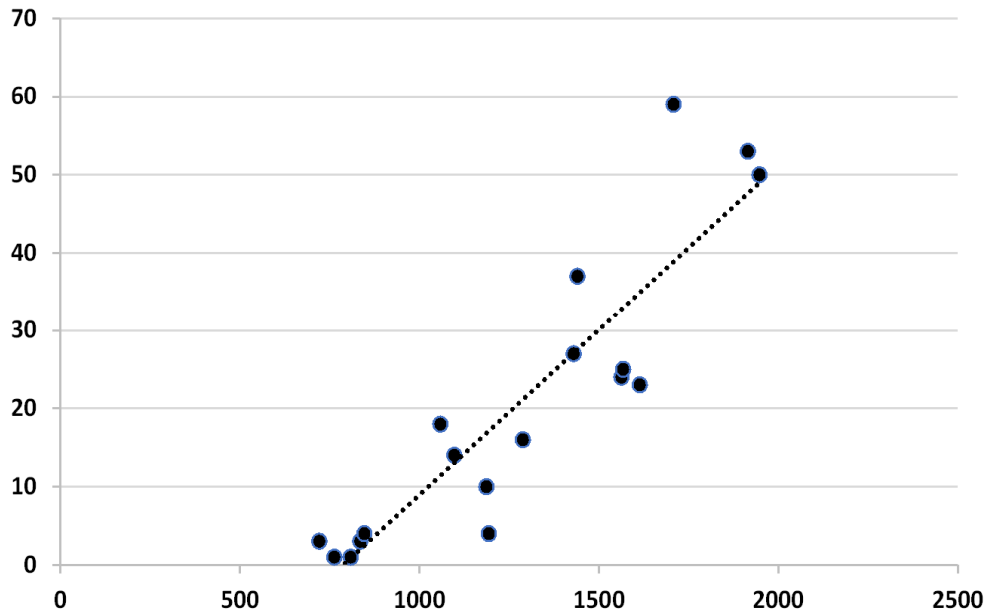


Fig. 8. Relationship between altitude(x-axis, unit: m) and number of species(y-axis) for each national park. ($r=0.898$, $p<0.01$)

4. 결론

본 연구는 우리나라 산악형 국립공원 12곳에 자생하는 고산 및 아고산식물의 분포 현황과 특성을 데이터베이스화 한 식물상 자료를 바탕으로 다양한 관점에서 살펴보았다. 일반적으로 고산 및 아고산 지대를 선호하는 식물은 그 자생지가 높은 산의 특정 공간에 한정되어 있다. 이들 식물은 지리적으로 고립 가능성이 높은 불연속적인 분포역을 가지기 때문에 섬이나 파편화된 생태공간과 다름없다. 만약 현재와 같은 기온상승이 계속 이어진다면 고산 및 아고산 식물종의 고도 한계선은 더 높아질 것이고, 결국에는 지금의 자생지를 마지막으로 절멸할 가능성이 매우 크다. 따라서 이와 같은 환경변화에 선제적으로 대응하여 사전자료(Before-data)를 확보한다는 점이 본 연구의 주된 목적 중 하나였다.

우리나라 주요 국립공원 12곳에 자생하는 고산 및 아고산식물은 44과 129종으로 한반도에 자생하는 전체 고산 및 아고산식물의 절반 가량이므로 나타났다. 이들 식물종 대부분은 특정 국립공원에만 분포하는 종들로 그 분포역이 보편성보다는 지역적 특수성이 강하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 지리적인 거리

가 가깝거나 물리적 환경이 비슷할수록 국립공원 간 식물 유사도도 높아지는 것을 확인하였다. 이와 반대로 지리적 특수성이 뚜렷할수록 군집의 유사도는 낮아졌고, 상대적 다양성은 높아졌음을 알 수 있었는데 한라산국립공원이 대표적인 사례다. 더불어 국립공원의 면적과 해발고도 그리고 수리적 위치인 위도와 고산 및 아고산 식물의 종 수가 비례하는 것도 정량적인 자료를 통해 확인하였다.

본 연구는 우리나라 산악형 국립공원에 자생하는 고산 및 아고산식물 분포와 다양성에 관한 종합적인 연구로 특히 국립공원 간 베타다양성 관점에서 분석했다는 데 그 의미를 둘 수 있다. 이는 보다 넓은 공간 범위에서 특성 식물군의 지리적 특성을 살펴본 것으로 국립공원에 자생하는 고산 및 아고산식물의 보전을 위한 거시적 전략을 수립하는데 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 본다. 특히 기후변화에 따른 현지내 보전(In situ conservation)을 위한 사전 정보를 제공한다는 것에 그 의미가 작지 않다. 그러나 이번 연구는 문헌자료에 기반한 연구로 현재의 상황을 다루기에는 분명한 한계도 있다. 그럼에도 향후 현장조사에 기반한 연구 결과에 대한 비교 선행 연구로 활용할 수 있을 것으로 판단한다.

113) Candidate sp. / Caprifoliaceae / 배암나무 (<i>Viburnum koreanum</i>)	0	0	0	0
114) Candidate sp. / Asteraceae / 태백취 (<i>Saussurea grandicapitula</i>)	0	0	0	0
115) Candidate sp. / Asteraceae / 좀민들레 (<i>Taraxacum hallaisanense</i>)				0
116) Candidate sp. / Cyperaceae / 백두사초 (<i>Carex peiktusani</i>)	0	0	0	0
117) Candidate sp. / Cyperaceae / 나도그늘사초 (<i>Carex tenuiformis</i>)		0	0	0
118) Candidate sp. / Cyperaceae / 그늘실사초 (<i>Carex tenuiformis</i> var. <i>neofilipes</i>)	0	0	0	0
119) Candidate sp. / Cyperaceae / 집사초 (<i>Carex vaginata</i>)		0	0	
120) Candidate sp. / Poaceae / 나도딸기광이 (<i>Cinna latifolia</i>)		0	0	0
121) Candidate sp. / Poaceae / 두메김의털 (<i>Festuca ovina</i> var. <i>alpina</i>)	0			
122) Candidate sp. / Poaceae / 시베리아잡자리피 (<i>Trisetum sibiricum</i>)		0		0
123) Candidate sp. / Liliaceae / 둥근산부추 (<i>Allium thunbergii</i> var. <i>teretifolium</i>)				0
124) Candidate sp. / Liliaceae / 여우꼬리풀 (<i>Aletris glabra</i>)	0	0	0	0
125) Candidate sp. / Liliaceae / 죽대아재비 (<i>Streptopus koreanus</i>)		0	0	0
126) Candidate sp. / Liliaceae / 자주솜대 (<i>Maianthemum bicolor</i>)	0	0	0	0
127) Candidate sp. / Orchidaceae / 털복주머니란 (<i>Cypripedium guttatum</i>)	0	0		
128) Candidate sp. / Orchidaceae / 손바닥난초 (<i>Gymnadenia conopsea</i>)				0
129) Candidate sp. / Orchidaceae / 구름병아리난초 (<i>Hemipilia cucullata</i>)		0	0	

감사의 글

본 연구는 국립공원연구원의 지원(no. NPRI 2023-46)으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, H. J., Oh, B. U., 2009, Floristic study of Songnisan national park in Korea, Kor. J. plant Tax., 39, 277-291.
- Han, S. H., Leem, H. S., Jang, H. D., Kim, Y. Y., So, S. K., 2022, Floristic study of Gayasan national park in Korea, Korean J. Plant Res., 35, 248-288.
- Han, S. H., Yun, C. W., 2017, Vascular plant for Hangjeukbong to Jungbong in subalpine of Deogyusan national park, J. Agric. Life Sci., 51, 73-90.
- Hong, H. H., Jang, J. W., Sun, E. M., Kim, B. A., Kim, S. J., Seo, S. R., Im, H. T., 2013, Floristic study of Mt. Mudeung, Korean J. Environ. Biol., 31, 121-153.
- Hong, M. P., Lee, H. J., Chun, Y. M., Hong, B. R., 2010, Flora of Mt. Seorak, Gangwon-do. Korean J. Environ. Ecol., 24, 436-486.
- Jang, C. G., Kim, Y. Y., Ji, S. J., Ko, E. M., Yang, J. C., Jang, C. S., Eom, J. A., Yoon, C. Y., Chang, C. S., Lee, C. H., Kim, K. S., Oh, B. U., 2007, The floristic study of Chirisan national park in Korea, Kor. J. plant Tax., 37, 155-196.
- Jang, C. S., Yang, S. G., Jang, H. D., Lee, R. Y., Park, M. S., Kim, K. H., Oh, B. U., 2015, Floristic study of Woraksan national park in Korea, Korean J. Plant Res., 28, 35-63.
- Jang, C. S., Yang, S. G., Park, M. S., Kim, K. H., Seo, S. W., Oh, B. U., 2011, Floristic study of Sobaeksan national park in Korea, Kor. J. plant Tax., 41(4), 398-414.
- Kim, C. S., Koh, J. G., Moon, M. O., Song, G. P., Hyun, H. J., Song, K. M., Kim, M. H., 2007, Flora and life form spectrum of Hallasan natural reserve, Korea, J. Environ. Sci. Int., 16, 1257-1269.
- Kim, H. H., Mizuno, K., Lee, H. S., Koo, J. G., Kong, W. S., 2021, Distribution of indicator plant of climate change in major islands of the Korean Peninsula, J. Environ. Sci. Int., 30, 29-43.
- Kim, H. J., Hong, J. K., Kim, S. C., Oh, S. H., Kim, J. H., 2011, Plant phenology of threatened species for climate change in sub-alpine zone of Korea - especially on the summit area of Mt. Deogyusan -, Korean J. Plant Res., 24, 549-556.
- Kim, J. H., An, J. H., Hong, J. K., Kim, S. Y., Park, S. A., Lee, B. Y., Park, C. H., 2016, Vertical distribution of vascular plants in the Seongnam district, Chiaksan National Park, J. Agric. Life Sci., 50, 11-38.
- Ko, S. C., Son, D. C., Kim, H. J., Hwang, H. S., Shin, Y. H., 2009, Flora of Wonju-Hoengseong area, Korean J. Plant Res., 22, 365-380.
- Koleff, P., Gaston, K. J., Lennon, J. J., 2003, Measuring beta diversity for presence-absence data, J Anim Ecol., 72, 367-382.

- Kong, W. S., 2002, Species composition and distribution of Korean alpine plants, JKGS, 37, 357-370.
- Kong, W. S., 2005, Selection of vulnerable indicator plants by global warming, Asia-Pac. J. Atmos. Sci., 41, 263-273.
- Korea National Park Research Institute, 2015, Woraksan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2017, Taebaeksan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2019, Jirisan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2019, Songnisan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2020, Deogyusan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2020, Seoraksan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2020, Woraksan National Park natural resource survey, Korean Literature.
- Korea National Park Research Institute, 2021, Odaesan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2022, Chiaksan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2022, Gayasan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2022, Mudeungsan National Park natural resource survey.
- Korea National Park Research Institute, 2022, Sobaeksan National Park natural resource survey.
- Lee, S. C., Kang, H. M., Kim, D. H., Kim, Y. S., Kim, J. H., Kim, J. S., Park, B. J., Park, S. G., Eum, J. H., Oh, H. K., Lee, S. D., Lee, H. Y., Choi, Y. H., Choi, S. H., 2022, Subalpine vegetation structure characteristics and flora of Mt. Seoraksan national park, Korean J. Environ. Ecol., 36, 118-138.
- Noh, I., Chung, J. M., Cho, M. G., Kim, T. W., Moon, H. S., 2017, The flora of subalpine vascular plants in Seseok area of Jirisan national park, J. Climate Change Res., 8, 201-211.
- Oh, H. K., You, J. H., 2018, Vascular plants of 4 sections in Gangwon-do, Baekdudaegan Mountains - focused on Mt. Odaesan section, Daegwallyeong ~ Mt. Seokbyeongsan section, Mt. Cheongoksan ~ Mt. Deokhangsan section and Geumdaebong ~ Mt. Taebaeksan section-, J. Korean Env. Res. Tech, 24, 43-63.
- Oh, S. R., Kim, K. H., IM, J. B., 2017, A Study for biodiversity-related policy priority analysis using AHP method: Focusing on In-situ conservation and ex-situ conservation, KJAMP, 44, 114-142.
- Park, K. W., Kwon, Y. H., Choi, K., Oh, S. H., Kim, D. K., Tho, J. H., Tae, K. H., Kim, J. H., 2005, A Floristic Study on the economic plants of Deogyusan national park area, Korean J. Plant Res., 18, 32-56.
- Shin, H. T., Yoon, J. W., Kim, S. J., Heo, T. I., Kwon, Y. H., Lim, D. O., An, J. B., 2015, Vascular plants in Mt. Taebaeksan(Taebaek-si), Korea, Korean J. Environ. Ecol., 29, 309-332.
- Song, H. S., Cho, W., 2007, Vegetation of Chiaksan national park in Gangwon, Korea, Korean J. Environ. Ecol., 21, 356-365.
- Tuomisto, H., 2010, A Diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity, Ecography, 33, 2-22.
- Yanase, W., Abe-Ouchi, A., 2007, The LGM surface climate and atmospheric circulation over East Asia and the North Pacific in the PMIP2 coupled model simulations, Clim. Past, 3, 439-451.

-
- Researcher. Hyun-Hee Kim
Agricultural and Fishing Community Revitalization
Department, Jeonnam Research Institute
hyunheekim24@gmail.com
 - Researcher. Hyeong-Jin Yoon
Climate Change Research Center, Korea National Park
Research Institute
maple9111@knps.or.kr
 - Researcher. Jin-Won Kim
Climate Change Research Center, Korea National Park
Research Institute
whales9208@knps.or.kr