

Research Paper

가문비나무림의 지형특성에 따른 식물 지표종에 관한 연구

– 중국 백두산 일대에서 남한까지 –

박병주* · 허태임* · 변준기* · 천광일**

한국수목원정원관리원 국립백두대간수목원*, 국립생태원 생태계서비스팀**

Study on Plant Indicator Species of *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière Forest by Topographic Characters – From China (Baekdu-san) to South Korea –

Byeong-Joo Park* · Tae-Im Heo* · Jun-Gi Byeon* · Kwang-il Cheon**

Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Bonghwa 36209, Korea*
Ecosystem Service team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea**

요약: 이번 연구는 멸종위기에 처한 아고산 침엽수인 가문비나무의 지형특성에 따른 지표종을 선정하고, 생물다양성 평가에 필요한 과학적 근거자료를 마련하고자 진행되었다. 남한과 중국 내 가문비나무림은 남방한계선으로 지리적 가치가 높은 지역이다. 위도는 식물생태계의 지리적 가치에 큰 영향을 미치며, 위도와 서식지의 차이는 산림의 종구성 변화에 영향을 미친다. 지리적 차이뿐 아니라 환경변화로 아고산 식물 서식지는 점차 쇠퇴하여 결국 멸종위기에 처한다. 이러한 측면에서, 지리적 가치가 높은 한국과 중국의 가문비나무림에 대한 개체군 모니터링으로 지표종을 선정할 필요가 있으며, 지표종에 대한 다양한 분석을 통해 생물다양성 평가의 기초자료를 구축할 필요가 있다. 개체군 모니터링은 한국과 중국의 가문비나무림에 87개의 원형조사구(400m²)를 설치하여 수행하였고, MRPP-test, NMS ordination 등의 과정을 통해 이에 근거하여 지표종을 선정 한 후 생물다양성 평가의 기초자료를 제시하였다. 지표종분석(Indicator Species Analysis) 결과, 해발고도별 지표종으로 상층식생에서 5분류군, 하층식생에서 18분류군을 선정하였다(p<0.05). 사면방위별 지표종으로는 상층식생 3분류군, 하층식생 16분류군을 선정하였다(p<0.05). 사면경사도별 지표종으로는 상층식생 6분류군, 하층식생 24분류군을 선정하였다(p<0.05). 자생지별 지표종으로는 상층식생 8분류군과 하층식생 65분류군을 선정하였다. 지표종들에 대한 MRPP-test 결과, 상층식생보다 하층식생에서 종조성이 다소 이질적인 것으로 분석되었다. NMS ordination 결과, 상층식생의 암석노출도와 하층식생의 위도에 따라 지표종의 환경적 요인과의 상관관계가 유의한 것으로 나타났다.

주요어: 종분포, 가문비나무, 아고산 침엽수, 지표종분석

First Author: Byeong-Joo Park, Tel: +82-54-679-0967, E-mail: bzpark@koagi.or.kr, ORCID: 0000-0003-2060-2044

Corresponding Author: Kwang-il Cheon, Tel: +82-41-950-5463, E-mail: ndz1000@nie.re.kr, ORCID: 0000-0001-6768-8071

Co-Authors: Tae-Im Heo, Tel: +82-54-679-0686, E-mail: heoming@koagi.or.kr, ORCID: 0000-0002-4548-0699

Jun-Gi Byeon, Tel: +82-54-679-2774, E-mail: byeon8363@koagi.or.kr, ORCID: 0000-0001-5437-7258

Received: 6 October, 2022. Revised: 31 October, 2022. Accepted: 31 October, 2022

Abstract : This study was conducted to select the indicator species (plant) according to the topographical characteristics in the *Picea jezoensis* forests, endangered subalpine coniferous trees. In South Korea and China (close to Baekdusan), the southern tree line limit of *Picea jezoensis* has meaningful geographical and latitudinal values for analyzing the ecological characteristics of *P. jezoensis* forests. Latitude greatly affects the geographical values of plant ecology, and the difference in latitude and habitat affects the change in species composition in forests. With prolonged environmental change, the habitat of subalpine plants will become smaller, and the plants may become extinct. As the *P. jezoensis* forests of South Korea and China, in particular, are in danger of disappearing without protection, it is important to monitor the population and develop a conservation strategy. Eighty-seven circular plots were established in *P. jezoensis* forests in South Korea and China. Through processes such as MRPP-test and NMS ordination, indicator species were selected based on this, and basic data for biodiversity assessment were presented. As a result of the Indicator Species Analysis (ISA), 5 taxa were selected from the upperstory vegetation and 18 taxa from the understorey vegetation at the altitude ($p < 0.05$). Indicator species by aspect were analyzed as 3 taxa for upperstory vegetation and 16 taxa for understorey vegetation ($p < 0.05$). In the case of indicator species according to the slope, 6 taxa for upper vegetation and 24 taxa for understorey vegetation were selected ($p < 0.05$). As for the indicator species according to their habitat, 8 taxa in upper vegetation and 65 taxa on understorey vegetation were selected. As a result of MRPP-test, it was analyzed that the species composition was heterogeneous in the group of understorey vegetation than that of upperstory vegetation. As a result of NMS ordination, the correlation with environmental factors of indicator species was analyzed by rock exposure for upperstory vegetation and latitude for understorey vegetation (cut off level=0.3).

Keywords : Species distribution, *Picea jezoensis*, sub-alpine conifers, Indicator Species Analysis

I. 서론

가문비나무(*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière)는 IUCN 적색 목록에서 멸종 위기에 처한 상태이다(Kong 2002; IUCN 2022). 기후변화는 가문비나무 숲에 막대한 풍해와 수분스트레스에 영향을 미쳐 결국 가문비나무 숲의 쇠퇴를 야기한다(Germino et al. 2002; Mori et al. 2004; Hunziker & Brang 2005; Hasegawa & Mori 2007; Han et al. 2012). 결과적으로 가문비나무숲은 서식처의 파편화 등에 의한 고립으로 개체군 간의 형질 교환이 억제되어 식물종이 쇠퇴할 수 있다(Allen et al. 2010).

가문비나무는 동북아시아 지역의 아고산대 산림에 가장 널리 분포하는 종으로 한국, 중국 만주, 러시아, 일본 등지에 분포한다(Nakagawa et al. 2003; Aizawa et al. 2009). 특히 남한과 중국(백두산 부

근)에는 가문비나무의 남방한계선으로 지리적 가치가 있다. 위도는 식물생태계의 지리학적 가치에 큰 영향을 미치며, 위도와 서식지의 차이는 산림의 종 구성 변화에 영향을 미친다(Salazar et al. 2015). 가문비나무는 주로 높은 위도의 추운 지방에 주로 자라는데, 국내 및 중국 남부지역과 같은 동북아시아 지역은 서식처 변화상을 신속하게 파악할 필요가 있다. 왜냐하면 기후변화에 의하여 사라져가는 개체군을 대상으로 선제적인 현지 내·외 보전전략을 마련하여 생물 다양성 유지 및 증진을 통한 생태계경영을 이행하여야 하기 때문이다(Odion & Sarr 2007).

한편, 미국의 서식지 보전 계획(Habitat Conservation Plan)은 멸종위기에 처한 종에 대한 보전을 위하여 단일종이 아닌 다수종을 포함한 형태의 보전 정책이 필요하다고 하였다(Scott & Sullivan, 2000). 생태계는 생물과 비생물요인간의 복잡한 상호관계를

지니고 있으며, 특정 생물종의 보전을 위하여서는 주변에 함께 어우러져 생육하는 생물종의 모니터링이 동시에 이루어져야 한다. 이에 단일종이 아닌 다종 서식지 보전 계획이 기본적으로 이루어져야 한다 (Barrows et al, 2005). 즉, 생태계는 공간적 유연관계를 공유함으로써 활발한 식생동태 과정을 통하여 건전한 생물다양성을 유지한다. 따라서 가문비나무의 보전을 위해 가문비나무 군락 내 함께 출현하는 식물종과의 동태를 함께 확인하는 것이 중요하다. 이를 위하여 가문비나무림 내 지표종(Indicator species) 선정을 통하여 가문비나무와 함께 모니터링해야 할 생물종을 모색하는 것이 중요하다(Diekmann 2003).

생태계 보전과 관리의 목표는 특정 지역에 자생하는 종과 생태계의 보호, 그리고 인간 활동의 적정범위에서의 수용 등이다(Grumbine 1994). 이러한 측면에서 특정 생태계 내 중점적으로 모니터링 해야 할 지표종(indicator species)을 선정하는 것은 중요하다. 지표종(indicator species)은 임업, 농업 그리고 응용 생태학에 널리 적용되고 있으며 주로 환경 특성의 생물학적 지표로서 주로 유럽에서 사용되는 개념이다(Diekmann 2003; Muller-dombois & Ellenberg 2003; Simon et al, 2013). 또한 지표종은 특정 생물종이 생육하는 환경 및 서식처의 정보를 제공하고, 특정 환경에서 관리가 필요한 종으로 생태계 보전측면에서 중요한 자료가 된다(Dufrene & Legendre 1997). 지표종은 식물의 성장·생리변화와 개체군간 그리고 환경인자와의 변화추세를 분석하기 위해 널리 이용되어 왔다(Diekmann 2003). 효과적인 지표종의 설정과 정의는 ①광범위한 생물다양성의 상태를 반영하며, ②환경적인 상태안에서의 장애요인이 되는 변화를 초기에 알려주는 반응성이 있는 종이고, 마지막으로 ③예측가능한 범위 내에서 외부 변화에 반응해야 하는 종이다(Simon et al, 2013). 지표종은 환경구배에 따른 종조성에 영향을 주는 종이고, 지표종이 자생하는 산림환경은 시간에 의한 변화 그리고 기후, 지형조건과 같은 생태적 요소에 의하여 복잡성 및 다른 성질을 갖게 된다. 이번 연구의 목적은 지형조건에 따른 식물자원의 공간분포양상의 특성을 파악하여 향후 가문기나무림의 생물다양성 유지 증진을 위한

보전전략을 마련하기 위한 과학적 근거자료를 구축하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상지 개황

본 연구는 계방산(GB, n=25), 소백산(SB, n=4), 덕유산(DG, n=8), 지리산(JR, n=30) 그리고 중국의 백두산(BD, n=20)의 가문비나무 우점자생지를 대상으로 총 87개소의 표준지 조사를 수행하였다(Figure. 1). 표준지 조사구는 87개의 원형조사구를 설치하였으며 각 조사구의 면적은 400 m²로, 반지름 11.3 m 이내의 상층 및 하층식생을 대상으로 조사하였다.

표준지 조사구의 지리적 분포는, 위도 35°18'42.01"~42°30'6.55", 경도 127°33'53.77"~128°38'55.30"로 나타났으며, 평균 해발고도와 경사는 각각 1,492.5 ± 22.9 m와 24.0 ± 1.0°로 조사되었다. 사면방위는 북쪽 27.6 %, 동쪽 18.4 %, 남쪽 14.9 %, 39.1 %로 조사되었다.

월평균기온 및 강수량의 데이터는 기상청의 자료를 참조하였다. 분석자료는 2012년에서 2021년까지의 10년간 자료를 이용하였으며, 각 자생지별 가장 가까운 기상관측소를 이용하여, 계방산은 홍천기상관측소, 소백산은 영주기상관측소, 덕유산은 거창기상관측소, 그리고 지리산은 산청기상관측소, 백두산은 삼지연기상관측소의 자료를 이용하였다(Korea Meteorological Administration 2022).

월평균 최고기온은 계방산 25.0°C, 소백산 24.5°C, 덕유산 18.8°C, 지리산 25.7°C, 백두산 7.7°C으로 기록되었다. 월평균기온의 경우 계방산 11.5°C, 소백산 11.8°C, 덕유산 12.2°C, 지리산 13.3°C, 백두산 10.0°C로 나타났으며, 월평균 최저기온은 계방산 -0.8°C, 소백산 -0.2°C, 덕유산 6.5°C, 지리산 2.0°C, 백두산 -5.3°C으로 나타났다. 덕유산과 지리산은 상대적으로 온화한 기온으로 나타났으며, 특히 덕유산의 경우 최저기온과 최고기온이 큰 차이를 나타내지 않아 기온변동의 폭이 상대적으로 적은 것으로 조사되었다.

연강수량은 계방산 1,134.5 mm, 소백산 1,274.7 mm, 덕유산 1,226.1 mm, 지리산 1,551.7 mm, 백두

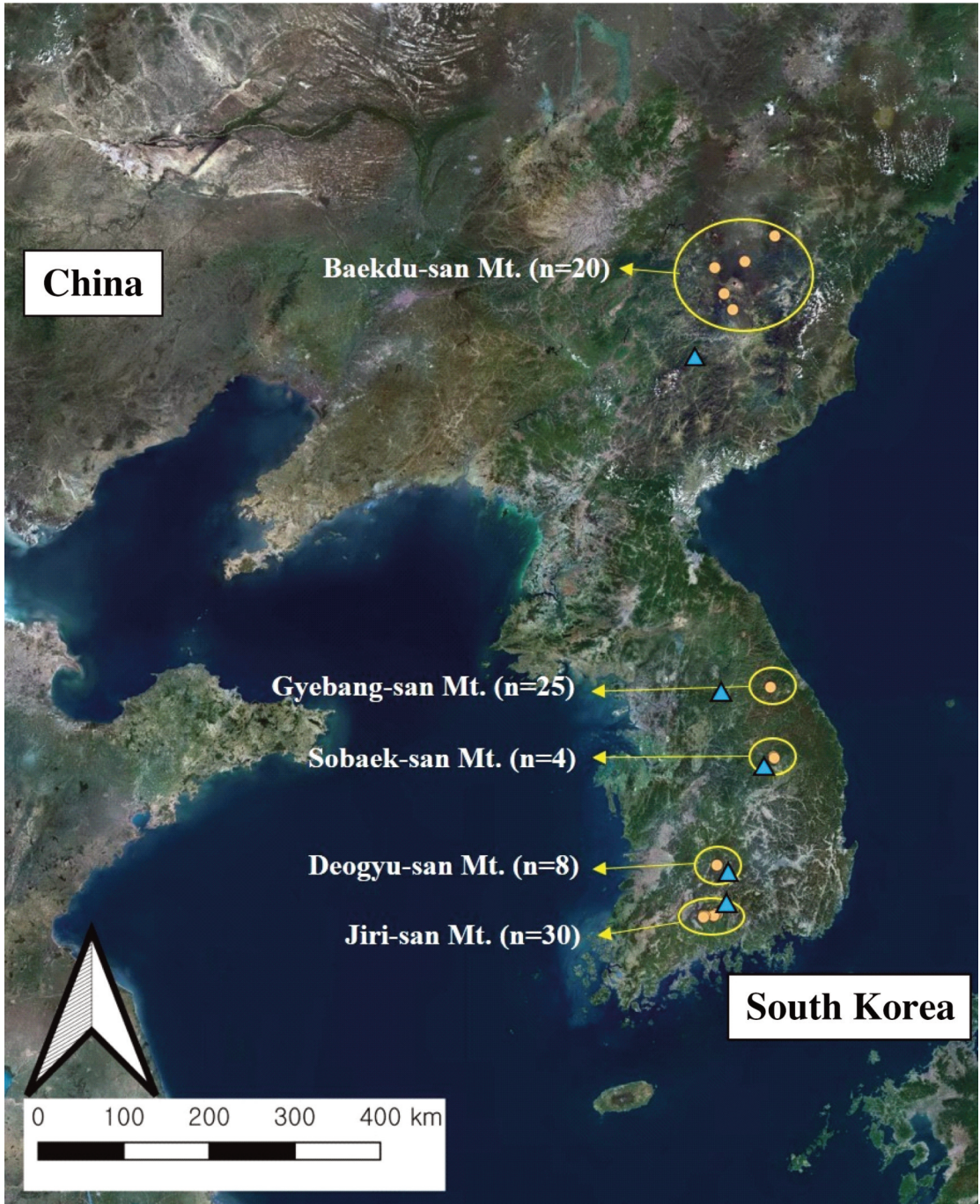


Figure 1. Location of survey plots in South Korea and China (points indicate survey plots and Triangles indicate weather stations).

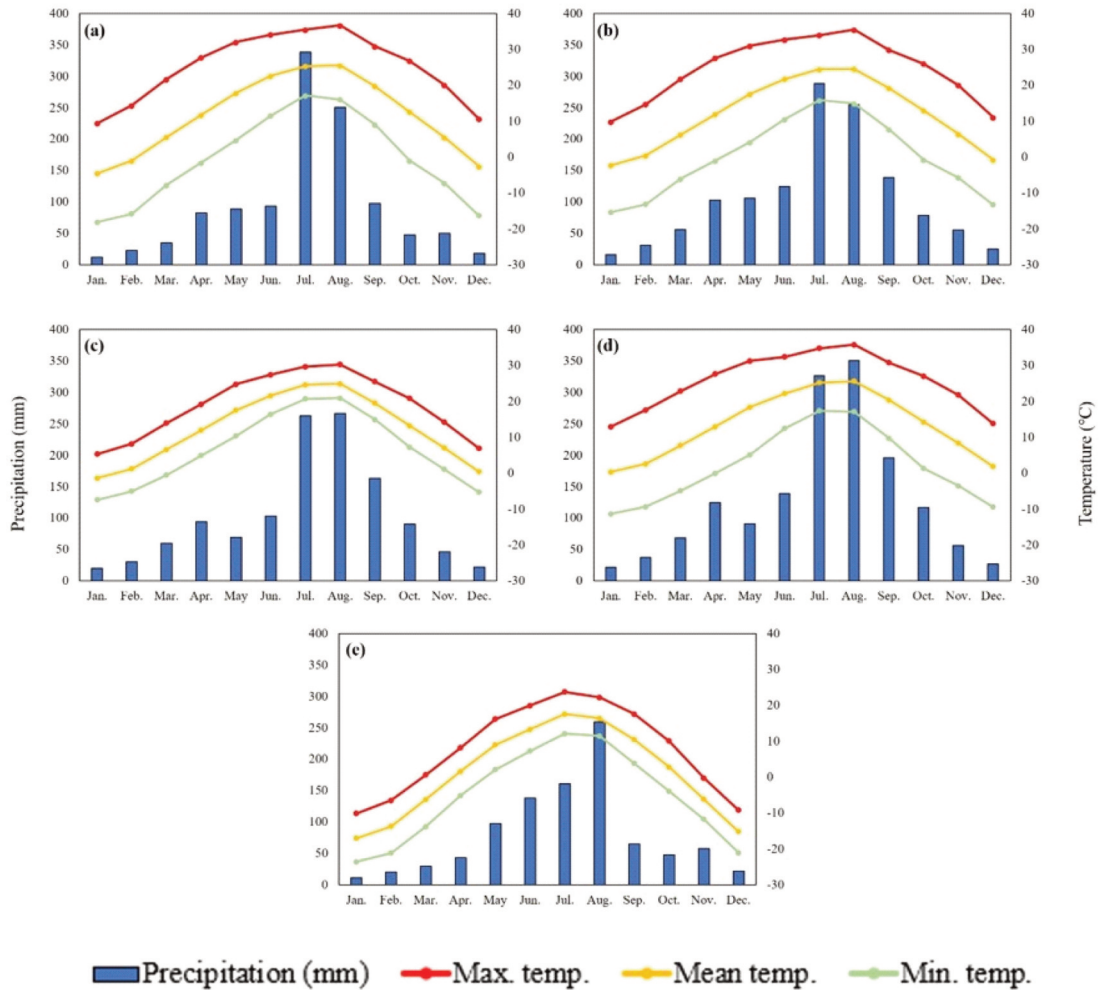


Figure 2. Precipitation and temperature graphs in *Picea jezoensis* forests in China and South Korea, (a) GB, (b) SB, (c) DG, (d) JR, (e) BD.

산 950.8 mm로 나타나, 지리산에서 가장 높은 것으로 나타났다.

2. 현지조사 방법

본 연구대상지의 임분구조를 고려하여 표준지 조사구 내 식생층위구조를 상층식생과 하층식생으로 구분하였다. 상층식생은 교목층과 아교목층 그리고 하층식생은 관목층과 초본층으로 이루어져 있다. 상층식생의 경우 표준지 조사구 내 흉고직경 6 cm 이상의 모든 입목에 대하여 수종, 흉고직경, 수고를 조사하였으며, 관목층 및 초본층 조사는 식물종을 동정한 후 Braun-Blanquet(1964)의 식물사회학적 조사방법

을 이용하여 피도(coverage)와 군도(dominance)를 조사하였다. 식물의 동정은 원색식물도감(Lee 2003a, 2003b)에 의거하여 식물분류를 실시하였으며, 양치식물의 동정은 한국양치식물도감(Korea Fern Society 2005)을 이용하였다. 학명과 국명은 국립수목원과 한국식물분류학회가 제시한 국가표준식물목록(Korea National Arboretum 2022)에 준하였다. 조사시기는 2019년 9월부터 2021년 10월까지 수행되었다.

3. 통계 및 분석 방법

본 연구에 앞서 지표종 분석을 수행하기 전, 분석에 적합한 적절한 표준지 조사구의 수를 만족하는지

에 대한 여부를 확인하기 위해 종면적곡선(Species Area Curves)을 분석하였다(Newton 2007). 종수 추정을 통하여 종면적곡선에서 누적조사구의 순서는 87개 조사구에 일련번호를 정한 후 난수표에 의하여 무작위로 선정하였으며 수관식생층(상층, 중층)과 하층식생층(관목층, 초본층)으로 나누어 분석하였다. 종풍부도에 따른 종수 추정 방법은 Chao 1(Chao 1984)의 방법을 이용하였다.

산림 내 특정 환경 및 조건에서 대표로 서식하는 식물종을 알아보기 위하여 종조성을 기반으로 한 지표종 분석을 실시하였으며, 각각의 환경인자에 따른 그룹별 종조성의 이질성을 파악하기 위하여 MRPP-test (Multi Response Permutation Procedure)를 실시하여 검증하였다. MRPP-test는 각 그룹간 종조성의 차이를 판별하여 해당 그룹간의 유의성 및 유사계수를 이용하여 군집의 이질성을 판단한다(McCune & Grace 2002). 지표종 분석(indicator species analysis)은 미세한 환경의 물리적 환경인자와 토양의 이화학적 성질을 통하여 시행하였다. 지표종 분석은 확률화 검증(randomization test)을 이용한 것으로 현재 특정지역에서 우점하여 현존하는 종으로

(Dufrene & Legendre, 1997), 향후 특정 환경인자에 있어 보전과 관리에 핵심이 되는 종으로 해석한다.

종조성 및 종간상관관계 분석을 위하여 비모수적 다차원척도법(Non-metric Multidimensional Scaling, NMS) 분석을 시행하였으며, 이는 생태계 데이터인 식생자료의 경우 비모수 데이터 형태를 띠는 식생자료의 경우 주로 이용된다(McCune & Mefford 2006). 상층식생은 각 식물종의 흉고단면적, 하층식생은 각 식물종의 피도값을 이용하였으며, 거리척도는 sorenson distance를 이용하였다. 생물적 및 비생물적 요인을 2차원상에 나타내어 식물종과 환경인자간 상관관계를 분석하였다. 통계분석은 PC-ORD (ver. 6.0)를 이용하였다(McCune & Mefford 2006).

III. 연구결과

1. 종면적곡선 (Species area curves)

본 연구대상지 내 적절한 방형구의 설치여부를 알아보기 위하여 수관층식생과 하층식생으로 나누어 각 층위별 종수 추정을 통한 종면적곡선을 분석하였다 (Figure 3). 분석 결과, 종수 추정에 있어 조사구 면

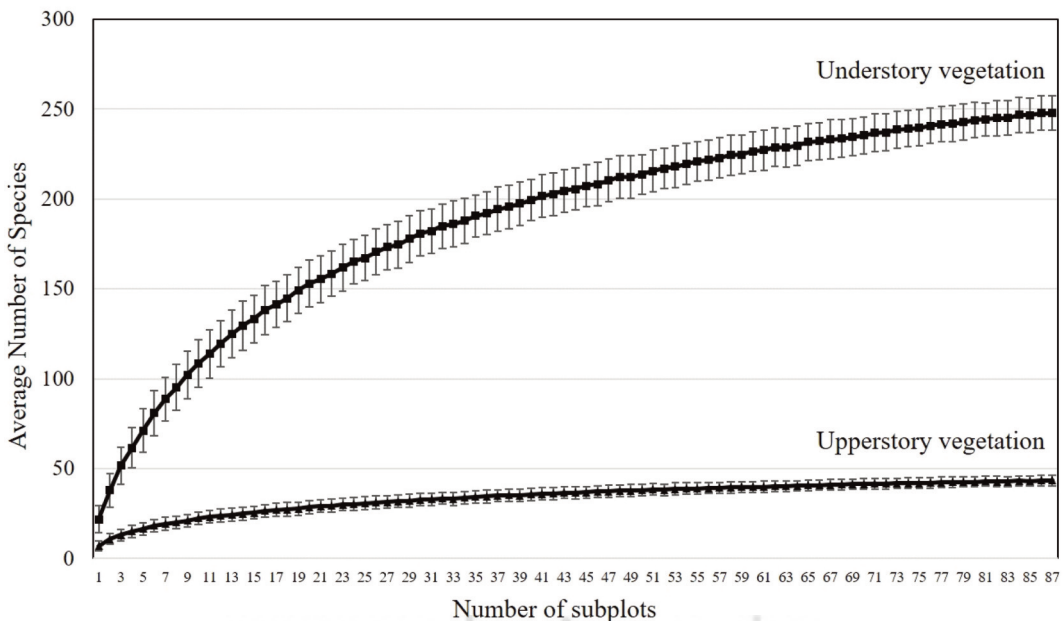


Figure 3. Species-area curves for both forest layers through estimation of species richness. The Chao 1 estimator was used. Error bars indicate standard deviation.

적수에 따른 종풍부도에 대한 기술키가 0에 수렴하고 있어 본 연구대상지내 식생분석을 위한 적절한 방형구 개소수를 설치하였다고 판단된다.

2. 임분구조

임분구조와 흉고단면적 분석결과 Table 1과 Table 2와 같다. 전체 흉고단면적은 백두산에서 81.95±14.27 m²/ha로 가장 높았고, 지리산에서 27.14±2.50 m²/ha로 가장 낮은 것으로 분석되었다. 각 연구대상지 별 흉고단면적에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (p<0.001). 가문비나무의 흉고단면적은 백두산에서 21.93±5.08 m²/ha으로 백두산 전체 흉고단면적의 약 26.7%로 매우 높은 비율을 차지하고 있었으며, 소백산에서는 2.89±1.11 m²/ha으로 나타나, 소백산내 전체 흉고단면적의 약 7.9%로 비교적 적은 비율로 조사되었다. 가문비나무 흉고단면적의 그룹간 통계적 유의성이 인정되어 가문비나무의 흉고단면적이

각 연구대상지별 차이가 있는 것으로 분석되었다 (p<0.001). 전체 임목밀도의 경우 소백산이 2,056±215 본/ha로 가장 높은 임목밀도로 조사되었으며, 계방산은 888±70 본/ha로 나타나 가장 낮은 임목밀도로 확인되었다 (p<0.001). 가문비나무 임목밀도의 경우 백두산이 344±97 본/ha로 가장 높은 가문비나무의 개체수로 나타났으며, 소백산이 72±20 본/ha으로 가장 낮은 개체수로 나타났다 (p<0.05).

3. 지형에 따른 지표종

1) 해발고도

해발고도에 따른 상층식생과 하층식생의 종조성의 이질성을 살펴보기 위하여 각 해발고도 그룹에 따른 MRPP-test를 시행하였다(Table 3). 상층식생의 경우 1,300 m~1,600 m의 집단과 1,600 m이상의 집단에서 종조성에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.001). 하층식생에서는 1,300m~1,600 m의

Table 1. Information on the *Picea jezoensis* forest survey areas from South Korea to China

Contents	GB	SB	DG	JR	BD
Number of plots	25	4	8	30	20
Latitude	37°43'40.67" ~37°44'20.31"	36°58'42.40" ~36°59'35.77"	35°51'4.70" ~35°51'25.85"	35°18'42.01" ~35°20'37.4"	41°43'39.40" ~42°30'6.55"
Longitude	128°28'4.22" ~128°28'55.84"	128°30'24.78" ~128°30'48.48"	127°44'42.22" ~127°44'49.84"	127°33'53.77" ~127°44'40.3"	127°47'3.94" ~128°38'55.30"
*Altitude (m)	1,378.1±13.8 ^c	1,345.6±10.8 ^c	1,552.3±10.0 ^b	1,731.7±21.6 ^a	1,282.3±29.4 ^c
*Rock exposure (%)	40.8±2.3 ^{ab}	56.3±3.7 ^a	35.6±3.7 ^{ab}	36.3±1.9 ^{ab}	24.3±4.9 ^c
*Slope (°)	28.4±1.3 ^{ab}	37.8±4.4 ^a	22.4±4.6 ^b	21.4±1.4 ^b	18.3±2.1 ^c
Aspect (%)	N	20.0	0.0	12.5	30.0
	E	36.0	25.0	25.0	5.0
	S	20.0	75.0	0.0	33.3
	W	24.4	0.0	62.5	50.0

Tukey's post hoc, * means p < 0.01. The letters a, b, and c indicate different delimiters in the ANOVA post hoc test.

Table 2. Basal area and stem density of each *P. jezoensis* forest study site using one-way ANOVA

Contents	GB	DG	SB	JR	BD	
Basal area (m ² /ha)	All**	32.26±3.62 ^b	33.35±11.52 ^b	36.52±4.39 ^b	27.14±2.50 ^b	81.95±14.27 ^a
	<i>P. jezoensis</i> **	6.49±1.21 ^b (≒20.1%)	5.02±1.37 ^b (≒15.1%)	2.89±1.11 ^b (≒7.9%)	10.72±1.84 ^{ab} (≒39.5%)	21.93±5.08 ^a (≒26.8%)
Stem density (stem/ha)	All**	888±70 ^c	1,166±160 ^{ab}	2,056±215 ^a	1,208±124 ^{ab}	1,314±294 ^a
	<i>P. jezoensis</i> **	100±14 ^{ab} (≒11.3%)	72±20 ^b (≒6.2%)	81±19 ^{ab} (≒3.9%)	190±130 ^{ab} (≒15.7%)	344±97 ^a (≒26.2%)

Tukey's post hoc, *: p < 0.05, **: p < 0.001. The letters a, b, and c indicate different delimiters in the ANOVA post hoc test)

Table 3. Results of MRPP-test for each altitude group

	Index	T	A	p
Upperstory	1,300 m-1,600 m × ≥1,600 m	-17.250	0.0599	<0.001
	1,300 m-1,600 m × <1,300 m	-0.489	0.0026	0.261
	≥1,600 m × <1,300 m	-1.888	0.0179	0.052
Understory	1,300 m-1,600 m × 1,600 m	-25.268	0.0570	<0.001
	1,300 m-1,600 m × <1,300 m	-1.028	0.0030	0.145
	≥1,600 m × <1,300 m	-11.541	0.0650	<0.001

T: MRPP-test statistic, A: index of similarity within groups

Table 4. Indicator value of upperstory and understory vegetation by altitude

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p
Upper story	<1,300m	<i>Ulmus laciniata</i> / 난티나무	15.4	0.038
	1,300m - 1,600m	<i>Taxus cuspidata</i> / 주목	47.3	0.013
		<i>Acer ukurunduense</i> / 부계꽃나무	35.6	0.047
	≥1,600m	<i>Abies koreana</i> / 구상나무	47.2	0.009
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> / 철쭉		28.7	0.041	
Under story	<1,300m	<i>Abies nephrolepis</i> / 분비나무	40.9	0.022
		<i>Corylus heterophylla</i> / 개암나무	33.3	0.003
		<i>Euonymus macropterus</i> / 나래회나무	30.7	0.042
		<i>Tilia amurensis</i> / 피나무	29.5	0.003
		<i>Lonicera maackii</i> / 괴불나무	16.0	0.050
		<i>Eleutherococcus senticosus</i> / 가시오갈피	15.5	0.039
		<i>Berberis amurensis</i> / 매발톱나무	15.2	0.042
	1,300m - 1,600m	<i>Carex siderosticta</i> / 대사초	33.0	0.027
		<i>Cimicifuga dahurica</i> / 눈빛승마	26.9	0.048
	≥1,600m	<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> / 털진달래	73.1	<0.001
		<i>Calamagrostis arundinacea</i> / 실새풀	64.4	<0.001
		<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>asiatica</i> / 미역취	59.3	<0.001
		<i>Rhododendron schlippenbachii</i> / 철쭉	55.0	0.003
		<i>Tripterygium regelii</i> / 미역줄나무	51.7	0.011
<i>Asplenium yokoscense</i> / 뱀고사리		49.2	0.007	
<i>Abies koreana</i> / 구상나무		44.4	0.009	
<i>Ainsliaea acerifolia</i> / 단풍취	27.5	0.041		
<i>Saussurea gracilis</i> / 은분취	27.1	0.015		

집단과 1,600 m 이상 집단, 그리고 1,600 m 이상 집단과 1,300 m 미만 집단에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다(p<0.001).

해발고도에 따른 상층식생과 하층식생 내 지표종을 분석한 결과(Table 4), 상층식생의 경우 1,300 m 미만에서는 난티나무(15.4), 1,300 m~1,600 m에서는 주목(47.3), 부계꽃나무(35.6), 1,600 m 이상의 고지대에서는 구상나무(47.2), 철쭉(28.7)으로 나타

났다. 하층식생의 경우 1,300 m 미만의 집단에서 분비나무(40.9), 개암나무(33.3), 나래회나무(30.7), 피나무(29.5), 괴불나무(16.0), 가시오갈피(15.5), 매발톱나무(15.2)로 나타났으며, 1,300 m~1,600 m에서는 대사초(33.0), 눈빛승마(26.9)로 분석되었다. 1,600 m 이상의 집단에서는 털진달래(73.1), 실새풀(64.4), 미역취(59.3), 철쭉(55.0), 미역줄나무(51.7), 뱀고사리(49.2), 구상나무(44.4), 단풍취(27.5), 은



Figure 4. Picture of Indicator species by altitude, (a) *Abies koreana* (in Jiri-san), (b) *Acer ukurunduense* (in Sobaek-san), (c) *Calamagrostis arundinacea* (in Gyeong-bang-san), (d) *Solidago virgaurea* subsp. *asiatica* (in Deogyu-san) photo by Tae-Im Heo.

분취(27.1)로 분석되었다.

2) 사면방위

사면방위에 따른 종조성의 이질성을 분석한 결과 (Table 5), 상층식생의 경우, 동사면과 서사면에서만 종조성의 이질성이 통계적으로 차이가 있음을 인정하였다($p=0.006$). 하층식생의 경우 동사면과 서사면 ($p=0.025$), 동사면과 남사면($p=0.038$), 북사면과 남사면($p=0.003$)에서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

사면방위에 따른 가문비나무림의 지표종 분석을 실시하였다(Table 6). 상층식생은 동사면에 주목(30.4), 남사면에 거제수나무(15.4), 북사면에 시달나무(38.9)로 나타났으며, 서사면에서는 뚜렷한 지표종이 통계적인 유의성을 나타내지 못하였다($p>0.05$). 하층식생의 경우 동사면 관중(30.4), 십자고사리(27.2), 참취(19.0), 큰꼭두서니(18.8), 숲개별꽃(17.8), 배초

Table 5. Results of MRPP-test for each Aspect group, E: east, S: south, W: west. N: north

Index		T	A	p
Upper story	E×N	-1.465	0.011	0.085
	E×W	-3.346	0.018	0.006
	E×S	-0.823	0.008	0.184
	N×W	-0.744	0.003	0.203
	N×S	-0.719	0.006	0.208
	W×S	-1.607	0.009	0.071
Under story	E×N	-1.143	0.005	0.127
	E×W	-2.438	0.009	0.025
	E×S	-2.069	0.013	0.038
	N×W	-1.314	0.004	0.103
	N×S	-3.885	0.020	0.003
	W×S	-1.822	0.008	0.056

T: MRPP-test statistic, A: index of similarity within groups

향(16.2), 콩제비꽃(12.5)으로 분석되었다. 남사면의 경우 산평의다리(33.1), 한라사초(26.7), 다래(24.7), 애기괭이밥(23.7), 흰괴불나무(18.3), 지리대사초

Table 6. Indicator value of upperstory and understory vegetation by aspect

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p
Upperstory	E	<i>Taxus cuspidata</i> / 주목	30.4	0.017
	S	<i>Betula costata</i> / 거제수나무	15.4	0.022
	N	<i>Acer komarovii</i> / 시달나무	38.9	0.017
Understory	E	<i>Dryopteris crassirhizoma</i> / 관중	30.4	0.045
		<i>Polystichum tripterum</i> / 십자고사리	27.2	0.010
		<i>Aster scaber</i> / 참취	19.0	0.040
		<i>Rubia chinensis</i> / 큰꼭두서니	18.8	0.009
		<i>Pseudostellaria setulosa</i> / 숲개별꽃	17.8	0.022
		<i>Agastache rugosa</i> / 배초향	16.2	0.027
		<i>Viola verecunda</i> / 콩재비꽃	12.5	0.049
	S	<i>Thalictrum filamentosum</i> var. <i>tenerum</i> / 산평의다리	33.1	<0.001
		<i>Carex erythrobasis</i> / 한라사초	26.7	0.008
		<i>Actinidia arguta</i> / 다래	24.7	0.025
		<i>Oxalis acetosella</i> / 애기괘이밥	23.7	0.010
		<i>Lonicera tatarinowii</i> var. <i>leptantha</i> / 흰괴불나무	18.3	0.025
		<i>Carex okamotoi</i> / 지리대사초	17.7	0.017
		<i>Arisaema amurense</i> / 둥근잎천남성	15.9	0.028
N	<i>Streptopus koreanus</i> / 왕죽대아재비	12.7	0.039	
	<i>Cimicifuga simplex</i> / 촛대승마	12.5	0.044	



Figure 5. Picture of Indicator species by aspect (a) *Thalictrum filamentosum* var. *tenerum* (in Jiri-san), (b) *Polystichum tripterum* (in Sobaek-san), (c) *Carex erythrobasis* (in Baekdu-san), (d) *Acer komarovii* (in Gyeonggi-do) photo by Tae-Im Heo.

(17.7), 둥근잎천남성(15.9), 왕죽대아재비(12.7)로 분석되었다. 북사면은 촛대송마(12.5)로 나타났으며, 서사면은 지표종으로써의 통계적 유의성이 인정되지 않았다($p>0.05$).

3) 경사

경사에 따른 종조성의 차이를 분석하기 위하여 MRPP-test를 시행하였다(Table 7). 경사도의 집단은 완경사지(I: 15° 미만), 경사지(II: 15°~20°), 급경사지(III: 20°~25°), 험준지(IV: 25°~30°), 절험지(V: 30° 이상)로 구분하여 분석하였다. 분석결과 상층식생에서는 험준지×경사지($p=0.004$), 절험지×경사지($p=0.017$)에서 종조성의 이질성이 통계적으로 차이가 인정되었다. 하층식생은 험준지×경사지($p=0.047$), 험준지×완경사지($p=0.038$), 절험지×급경사지($p=0.001$), 절험지×경사지($p=0.030$), 절험지×완경사지($p=0.015$), 급경사지×경사지($p=0.036$), 급경사지×완경사지($p=0.025$), 경사지×완경사지($p=0.049$)로 분석되었다.

경사지에 따른 가문비나무림의 지표종 분석 결과(Table 8), 상층식생의 경우 완경사지에서 함박꽃나

Table 7. Results of MRPP-test for each slope group, I: <15°, II: 15°~20°, III: 20°~25°, IV: 25°~30°, V: ≥30°

Index		T	A	p
Upper story	IV×V	-0.700	0.005	0.214
	IV×III	-1.598	0.018	0.073
	IV×II	-3.545	0.030	0.004
	IV×I	-1.007	0.015	0.146
	V×III	-0.781	0.005	0.198
	V×II	-2.601	0.014	0.017
	V×I	-0.382	0.003	0.306
	III×II	0.752	-0.006	0.758
	III×I	0.393	-0.005	0.600
	II×I	-1.507	0.014	0.081
Under story	IV×V	-0.315	0.001	0.329
	IV×III	-1.706	0.014	0.066
	IV×II	-1.970	0.011	0.047
	IV×I	-2.114	0.020	0.038
	V×III	-4.344	0.019	0.001
	V×II	-2.299	0.008	0.030
	V×I	-2.675	0.013	0.015
	III×II	-2.261	0.013	0.036
	III×I	-2.390	0.018	0.025
	II×I	-1.960	0.012	0.049

T: MRPP-test statistic, A: index of similarity within groups

Table 8. Indicator value of upperstory and understory vegetation by slope

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p	
Upperstory	I	<i>Magnolia sieboldii</i> / 함박꽃나무	29.8	0.009	
		<i>Acer mandshuricum</i> / 복장나무	25.0	0.005	
		<i>Euonymus oxyphyllus</i> / 참회나무	16.7	0.034	
	II	<i>Acer ukurunduense</i> / 부계꽃나무	29.7	0.020	
	IV	<i>Pinus koraiensis</i> / 잣나무	39.3	0.002	
		<i>Quercus mongolica</i> / 신갈나무	28.1	0.048	
Understory	I	<i>Actaea asiatica</i> / 노루삼	27.7	0.002	
		<i>Actinidia arguta</i> / 다래	25.2	0.026	
		<i>Rubia chinensis</i> / 큰꼭두서니	25.0	0.002	
		<i>Angelica gigas</i> / 참당귀	24.8	0.011	
		<i>Magnolia sieboldii</i> / 함박꽃나무	23.7	0.030	
		<i>Acer mandshuricum</i> / 복장나무	22.0	0.009	
		<i>Isodon excisus</i> / 오리방풀	21.4	0.030	
		<i>Euonymus oxyphyllus</i> / 참회나무	19.2	0.018	
		<i>Pseudostellaria setulosa</i> / 숲개별꽃	18.0	0.027	
		<i>Sedum polytrichoides</i> / 바위채송화	16.7	0.030	
		II	<i>Hydrangea serrata</i> f. <i>acuminata</i> / 산수국	17.1	0.037

Table 8. Continued

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p
Understory	IV	<i>Filipendula glaberrima</i> / 터리풀	25.3	0.019
		<i>Thalictrum filamentosum</i> var. <i>tenerum</i> / 산팽의다리	19.3	0.042
		<i>Lonicera tatarinowii</i> var. <i>leptantha</i> / 흰괴불나무	18.8	0.025
		<i>Streptopus koreanus</i> / 왕죽대아재비	17.4	0.018
	V	<i>Asplenium yokoscense</i> / 뱀고사리	39.8	0.001
		<i>Sasa borealis</i> / 조릿대	39.8	0.001
		<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>asiatica</i> / 미역취	32.6	0.003
		<i>Quercus mongolica</i> / 신갈나무	25.2	0.010
		<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i> / 딱총나무	22.7	0.012
		<i>Carex glabrescens</i> / 곱슬사초	20.0	0.012
		<i>Viola verecunda</i> / 콩계비꽃	20.0	0.014
		<i>Hemerocallis hakuunensis</i> / 백운산원추리	18.9	0.015
<i>Viola selkirkii</i> / 뒤편비꽃	16.2	0.027		

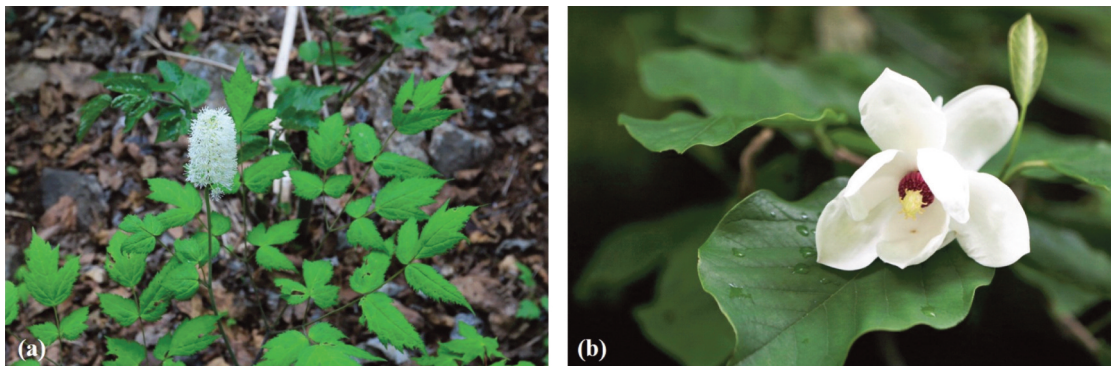


Figure 6. Picture of Indicator species by slope, (a) *Actaea asiatica* (in Gyeong-bang-san), (b) *Magnolia sieboldii* (in Sobaek-san) photo by Tae-Im Heo.

무(29.8), 복장나무(25.0), 참회나무(16.7), 경사지에서 부계꽃나무(29.7), 험준지에서 잣나무(39.3), 신갈나무 (28.1)로 분석되었으며, 급경사지, 절험지에서는 뚜렷한 지표종이 나타나지 않았다($p>0.05$). 하층식생의 경우 완경사지 노루삼(27.7), 다래(25.2), 큰꼭두서니(25.0), 참당귀(24.8), 함박꽃나무(23.7), 복장나무(22.0), 오리방풀(21.4), 회나무(19.2), 숲개별꽃(18.0), 바위채송화(16.7)로 나타났다. 경사지에서는 산수국(17.1)로 단일수종으로 분석되었으며, 험준지의 경우 터리풀(25.3), 산팽의다리(19.3), 흰괴불나무(18.8), 왕죽대아재비(17.4)로 분석되었다. 절험지에서의 지표종은 뱀고사리(39.8), 조릿대(39.8), 미역취(32.6), 신갈나무(25.2), 딱총나무(22.7), 곱슬

사초(20.0), 콩계비꽃(20.0), 원추리(18.9), 뒤편비꽃(16.2)로 분석되었으며, 급경사지에서만 지표종이 나타나지 않았다($p>0.05$).

4) 자생지

자생지에 따른 종조성의 이질성을 분석하였다 (Table 9). 상층식생에서는 모든 자생지의 종조성이 이질성이 있는 것으로 분석되었으며, 하층식생의 경우 계방산과 소백산에서만 이질성이 인정되지 않았으며, 나머지 지역에서는 이질적인 종조성으로 분석되었다.

자생지에 따른 가문비나무림의 지표종을 분석한 결과(Table 10), 상층식생의 경우, 덕유산은 주목

Table 9. Results of MRPP-test for each slope group, JR: Jiri-san, DG: Deogyu-san, SB: Sobaek-san, GB: Gyeongang-san, BD: Baekdu-san

Index		T	A	p
Upper story	GB × SB	-3.943	0.047	0.003
	GB × DG	-4.053	0.042	0.003
	GB × JR	-17.424	0.099	<0.001
	GB × BD	-14.196	0.099	<0.001
	SB × DG	-2.212	0.070	0.034
	SB × JR	-5.558	0.059	<0.001
	SB × BD	-6.614	0.099	<0.001
	DG × JR	-4.532	0.041	0.002
	DG × BD	-10.223	0.127	<0.001
	JR × BD	-16.775	0.111	<0.001
Under story	GB × SB	-1.607	0.011	0.072
	GB × DG	-9.615	0.058	<0.001
	GB × JR	-20.553	0.078	<0.001
	GB × BD	-18.800	0.076	<0.001
	SB × DG	-2.417	0.045	0.018
	SB × JR	-4.541	0.028	0.001
	SB × BD	-5.022	0.040	<0.001
	DG × JR	-11.284	0.062	<0.001
	DG × BD	-12.783	0.094	<0.001
	JR × BD	-26.830	0.123	<0.001

T: MRPP-test statistic, A: index of similarity within groups

(40.4), 철쭉(32.5)로 분석되었다. 소백산은 신갈나무(51.5), 팔배나무(50.0), 층층나무(47.8)로 분석되었으며, 지리산은 구상나무(55.0)으로 단일수종으로 분석되었다. 백두산은 분비나무(81.8), 가문비나무(46.6)으로 분석되었다. 계방산에서는 뚜렷한 지표종의 분석이 나타나지 않았다($p>0.05$). 하층식생의 경우 계방산에서 눈빛승마(56.0), 다래(47.1), 오리방풀(40.4), 참당귀(37.2), 관중(34.5), 붉은병꽃나무(30.9) 등 13분류군으로 나타났으며, 덕유산은 조릿대(86.0), 뱀고사리(52.8), 백운산원추리(37.5), 기름새(34.4), 우드풀(34.4), 흰참꽃나무(33.1), 꼭두서니(33.0), 고로쇠나무(31.9), 신갈나무(31.6) 등으로 나타났다. 소백산에서는 산수국(51.6), 큰앵초(50.0), 참새발고사리(47.4), 지네고사리(46.9), 바위떡풀(42.3), 산앵도나무(37.2), 애기바늘사초(34.9) 등 16분류군으로 나타났으며, 지리산에서는 구상나무(49.0), 진달래(46.8), 실새풀(38.6), 미역취(34.1), 철쭉(33.8)으로 분석되었다. 백두산에서는 큰두루미꽃(70.0), 한라사초(45.8), 다람쥐꼬리(40.1), 속새(40.0), 계박쥐나물(38.4), 흰괴불나무(35.0) 등 12분류군으로 분석되었다.

Table 10. Indicator value of upperstory and understory vegetation by habitat

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p
Upperstory	DG	<i>Taxus cuspidata</i> / 주목	40.4	0.019
		<i>Rhododendron schlippenbachii</i> / 철쭉	32.5	0.039
	SB	<i>Quercus mongolica</i> / 신갈나무	51.5	0.007
		<i>Sorbus alnifolia</i> / 팔배나무	50.0	0.002
		<i>Cornus controversa</i> / 층층나무	47.8	0.003
	JR	<i>Abies koreana</i> / 구상나무	55.0	0.002
	BD	<i>Abies nephrolepis</i> / 분비나무	81.8	<0.001
<i>Picea jezoensis</i> / 가문비나무		46.6	0.007	
Understory	GB	<i>Cimicifuga dahurica</i> / 눈빛승마	56.0	0.001
		<i>Actinidia arguta</i> / 다래	47.1	0.009
		<i>Isodon excisus</i> / 오리방풀	40.4	0.010
		<i>Angelica gigas</i> / 참당귀	37.2	0.014
		<i>Dryopteris crassirhizoma</i> / 관중	34.5	0.041
		<i>Weigela florida</i> / 붉은병꽃나무	30.9	0.047
		<i>Prunus padus</i> / 귀룽나무	29.7	0.032
		<i>Rodgersia podophylla</i> / 도깨비부채	28.0	0.027
		<i>Corylus sieboldiana</i> var. <i>mandshurica</i> / 물개암나무	28.0	0.030

Table 10. Continued

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p
Understory	GB	<i>Actaea asiatica</i> / 노루삼	24.0	0.031
		<i>Arisaema amurense</i> / 동근잎천남성	20.0	0.023
		<i>Acer mandshuricum</i> / 복장나무	20.0	0.024
		<i>Carex okamotoi</i> / 지리대사초	20.0	0.028
	DG	<i>Sasa borealis</i> / 조릿대	86.0	<0.001
		<i>Asplenium yokoscense</i> / 뱀고사리	52.8	0.001
		<i>Hemerocallis hakuunensis</i> / 백운산원추리	37.5	0.005
		<i>Spodipogon cotulifer</i> / 기름새	34.4	0.008
		<i>Woodsia polystichoides</i> / 우드풀	34.4	0.008
		<i>Rhododendron tschonoskii</i> / 흰참꽃나무	33.1	0.014
		<i>Rubia akane</i> / 꼭두서니	33.0	0.013
		<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> / 고로쇠나무	31.9	0.023
		<i>Quercus mongolica</i> / 신갈나무	31.6	0.021
		<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i> / 노린재나무	28.3	0.031
		<i>Carex lanceolata</i> / 그늘사초	25.6	0.040
		<i>Carex glabrescens</i> / 곱슬사초	25.0	0.007
		<i>Hypericum ascyron</i> / 물레나물	25.0	0.009
		<i>Viola verecunda</i> / 콩재비꽃	25.0	0.007
		<i>Pseudostellaria setulosa</i> / 숲개별꽃	24.8	0.046
		<i>Viola selkirkii</i> / 뒤편비꽃	20.7	0.023
		<i>Angelica amurenensis</i> / 지리강활	20.7	0.020
		<i>Agastache rugosa</i> / 배초향	18.9	0.031
		<i>Cymopterus melanotilingia</i> / 큰참나물	17.5	0.027
		SB	<i>Hydrangea serrata</i> f. <i>acuminata</i> / 산수국	51.6
	<i>Primula jesoana</i> / 큰앵초		50.0	0.002
	<i>Athyrium brevifrons</i> / 참새발고사리		47.4	0.004
	<i>Thelypteris japonica</i> / 지네고사리		46.9	0.002
	<i>Saxifraga fortunei</i> var. <i>incislobata</i> / 바위떡풀		42.3	0.001
	<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i> / 산앵도나무		37.2	0.006
	<i>Carex hakonensis</i> / 애기바늘사초		34.9	0.015
	<i>Pseudostellaria palibiniana</i> / 큰개별꽃		31.4	0.018
	<i>Ostericum praeteritum</i> / 강활		25.0	0.046
	<i>Chrysosplenium pilosum</i> var. <i>sphaerospermum</i> / 금괭이눈		25.0	0.046
	<i>Corylus heterophylla</i> / 개암나무		25.0	0.044
	<i>Erythronium japonicum</i> / 얼레지		25.0	0.046
	<i>Polystichum ovatopaleaceum</i> var. <i>coraiense</i> / 참나도히초미		25.0	0.046
	<i>Diarrhena fauriei</i> / 광릉용수염		22.7	0.023
	<i>Disporum viridescens</i> / 큰애기나리		22.1	0.042
	<i>Clematis fusca</i> var. <i>violacea</i> / 종덩굴	21.3	0.020	
	JR	<i>Abies koreana</i> / 구상나무	49.0	0.003
		<i>Rhododendron mucronulatum</i> / 진달래	46.8	0.007
<i>Calamagrostis arundinacea</i> / 실새풀		38.6	0.021	
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>asiatica</i> / 미역취		34.1	0.028	
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> / 철쭉	33.8	0.034	

Table 10. Continued

Index	Group	Scientific name / Korean name	IV max	p
Understory	BD	<i>Maianthemum dilatatum</i> / 큰두루미꽃	70.0	<0.001
		<i>Carex erythrobasis</i> / 한라사초	45.8	0.004
		<i>Lycopodium chinense</i> / 다람쥐꼬리	40.1	0.010
		<i>Equisetum hyemale</i> / 속새	40.0	0.005
		<i>Parasenecio adenostyloides</i> / 계박쥐나물	38.4	0.007
		<i>Lonicera tatarinowii</i> var. <i>leptantha</i> / 흰괴불나무	35.0	0.014
		<i>Ostericum grosseserratum</i> / 신감채	30.0	0.023
		<i>Impatiens nolitangere</i> / 노랑물봉선	25.0	0.020
		<i>Thalictrum filamentosum</i> var. <i>tenerum</i> / 산팽의다리	24.9	0.041
		<i>Lycopodium obscurum</i> / 만년석송	21.1	0.030
		<i>Rubus idaeus</i> var. <i>microphyllus</i> / 멧덕말기	20.0	0.014
		<i>Streptopus koreanus</i> / 양죽대아재비	20.0	0.033



Figure 7. Picture of Indicator species by habitat, (a) *Cimicifuga dahurica* (in Gyebang-san), (b) *Sasa borealis* (in Deogyu-san), (c) *Weigela florida* (in Gyebang-san), (d) *Lycopodium chinense* (in Baekdu-san) photo by Tae-Im Heo.

4. 지표종 ordination

식물종과 생태계요인의 관계를 살펴보기 위하여 가문비나무림 내 상층식생과 하층식생에 출현한 식물종을 2차원상 NMS ordination 분석을 시행하였다.

상층식생의 경우 1축과 2축에서 각각 32.7%, 20.8%의 설명력으로 분석되어 종합설명력 53.5%로 나타났다(cut off level=0.3). 상층식생은 암석노출도와 관련이 있는 것으로 나타났으며, 1축을 따라 위쪽으로 갈수록 암석노출도가 높고 아래쪽으로 갈수록

낮은 것으로 분석되었다. 해발고도의 경우 1,600 m 이상에 지표종으로 속한 철쭉과 구상나무가 높은 암석노출도와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 사면 방위의 경우 남사면 지표종인 거제수나무는 낮은 암석노출도, 동사면의 지표종인 주목은 높은 암석노출도로 나타났다. 경사면의 경우, 완경사지, 경사지, 험

준지에서 지표종이 나타났는데, 부계꽃나무를 제외하고 나머지 목본식물에서 다소 높은 암석노출도와 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 아고산대에 생육하는 침엽수종의 생육환경이 척박하고 토양층이 발달되지 않은 지역에 서식하여 가문비나무림 내 함께 생육하는 식물종도 지형적 영향을 받는 것으로 판

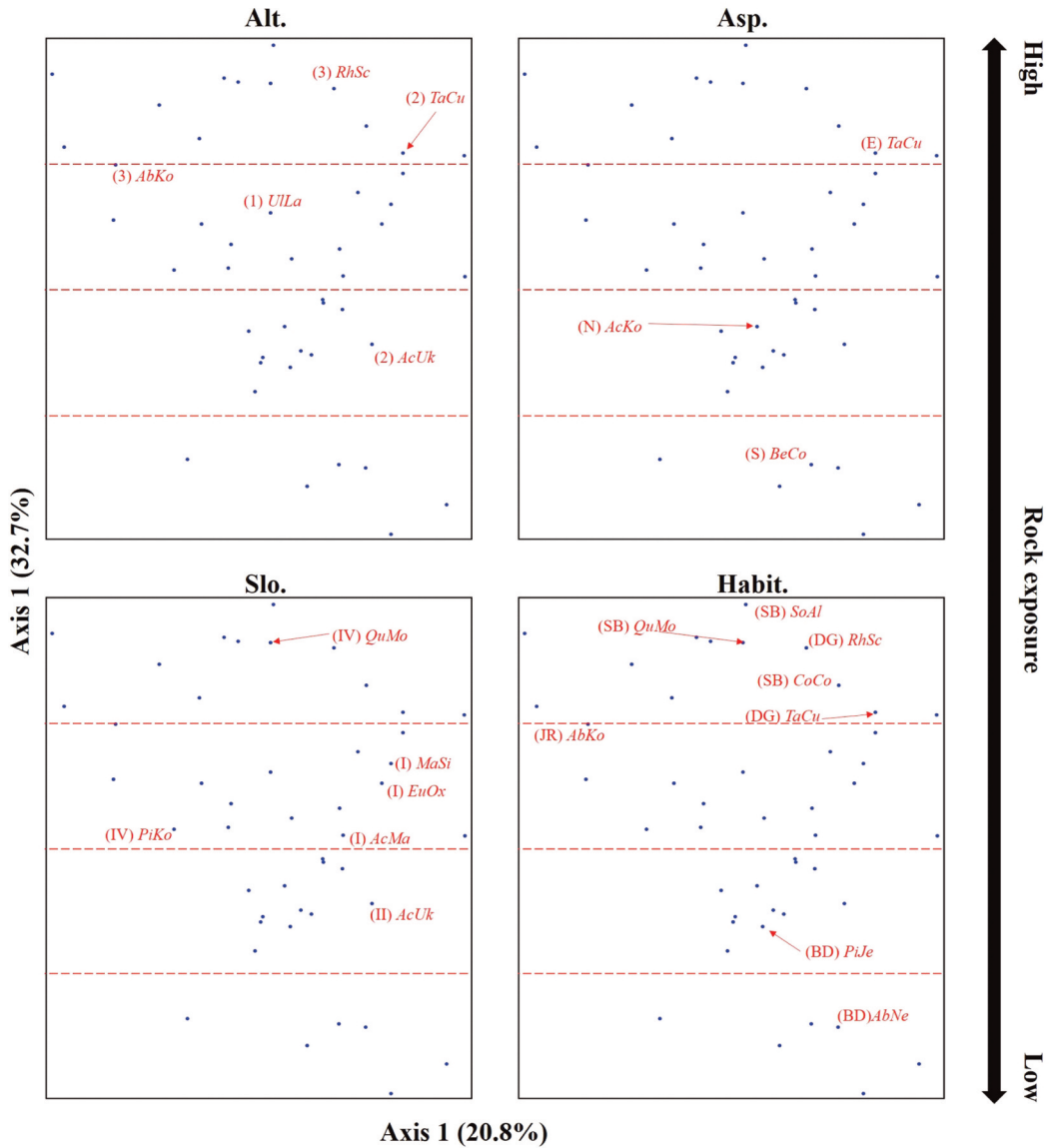


Figure 8. NMS ordination (cut off=0.3) of upperstorey species (*AbKo*: *Abies koreana*, *AbNe*: *Abies nephrolepis*, *TaCu*: *Taxus cuspidata*, *UlLa*: *Ulmus laciniata*, *RhSc*: *Rhododendron schlippenbachii*, *AcUk*: *Acer ukurunduense*, *AcKo*: *Acer komarovii*, *BeCo*: *Betula costata*, *QuMo*: *Quercus mongolica*, *PiKo*: *Pinus koraiensis*, *MaSi*: *Magnolia sieboldii*, *EuOx*: *Euonymus oxyphyllus*, *AcMa*: *Acer mandshuricum*, *SoAl*: *Sorbus alnifolia*, *CoCo*: *Cornus controversa*, *PiJe*: *Picea jezoensis*).

단된다(Germino et al, 2002; Mori et al, 2004; Hasegawa & Mori 2007; Lee & Kim 2007). 자생지에 따른 지표종을 살펴보면, 소백산 지표종인 팔배

나무, 신갈나무, 층층나무는 모두 높은 암석노출도로 나타났으며, 중국 백두산 일대의 가문비나무와 분비나무는 낮은 암석노출도인 것으로 나타났다.

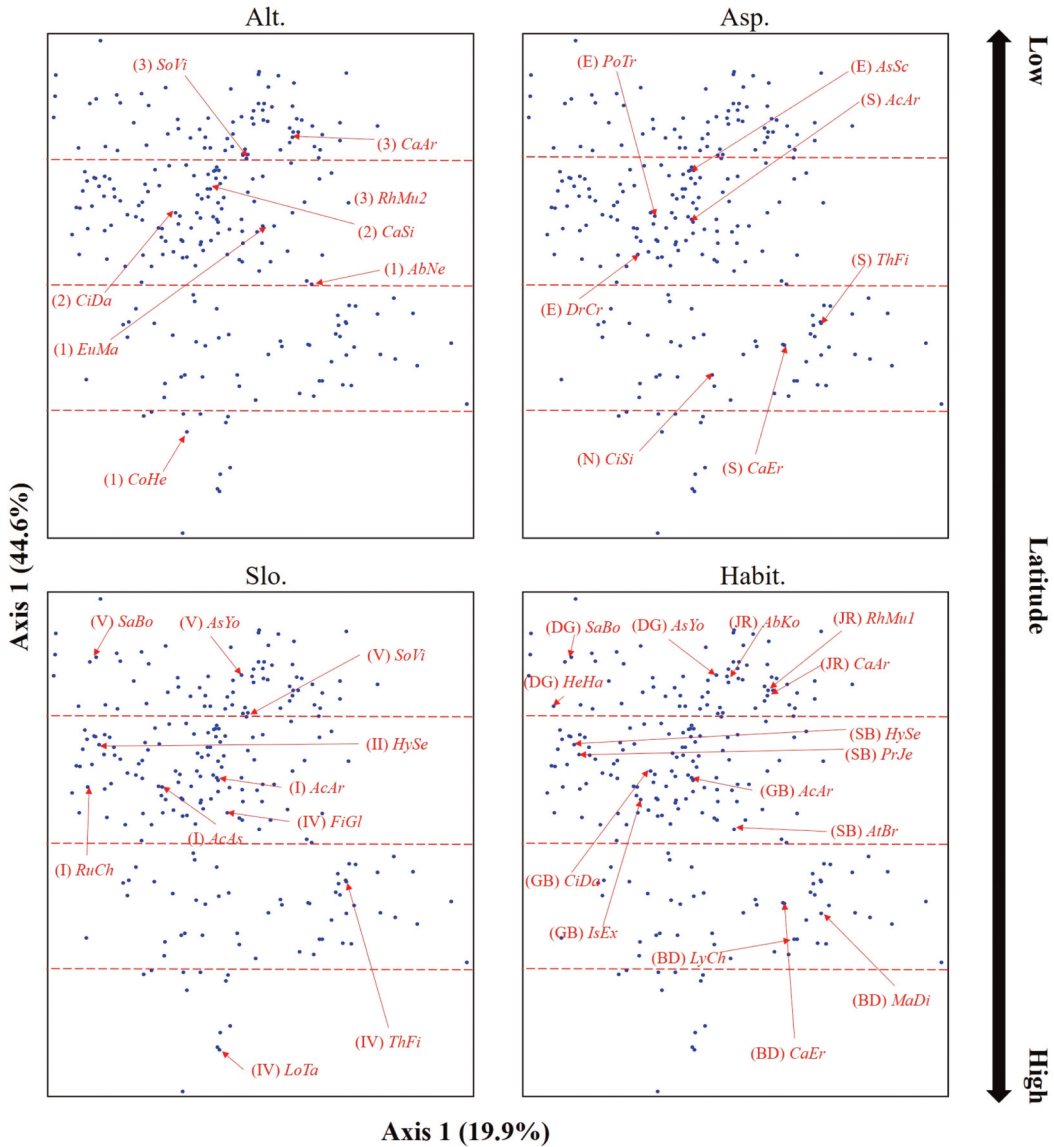


Figure 9. NMS ordination (cut off=0.3) of understory species (SoVi: *Solidago virgaurea* subsp. *asiatica*, CaAr: *Calamagrostis arundinacea*, RhMu: *Rhododendron mucronulatum*, CaSi: *Carex siderosticta*, CiDa: *Cimicifuga dahurica*, EuMa: *Euonymus macropterus*, CoHe: *Corylus heterophylla*, AbNe: *Abies nephrolepis*, PoTr: *Polystichum tripterum*, AsSc: *Aster scaber*, AcAr: *Actinidia arguta*, ThFi: *Thalictrum filamentosum* var. *tenerum*, DrCr: *Dryopteris crassirhizoma*, CiSi: *Cimicifuga simplex*, CaEr: *Carex erythrobasis*, SaBo: *Sasa borealis*, AsYo: *Asplenium yokoscense*, HySe: *Hydrangea serrata* f. *acuminata*, FiGl: *Filipendula glaberrima*, AcAs: *Actaea asiatica*, RuCh: *Rubia chinensis*, LoTa: *Lonicera tatarinowii* var. *leptantha*, AbKo: *Abies koreana*, RhMu1: *Rhododendron mucronulatum*, RhMu2: *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, PrJe: *Primula jesoana*, HeHa: *Hemerocallis hakuunensis*, AtBr: *Athyrium brevifrons*, IsEx: *Isodon excisus*, LyCh: *Lycopodium chinense*, MaDi: *Maianthemum dilatatum*).

하층식생의 경우 지표종에 속한 각 항목별 상위 3종을 확인하였다. 1축은 44.6%, 2축은 19.9%로 종합설명력 64.5%로 나타났다. 1,600 m 이상에 분포하는 실새풀, 털진달래, 미역취와 같은 높은 지표값을 가지는 식물종은 낮은 위도에 위치하고 있었다. 사면방위의 경우 동사면의 참취, 십자고사리, 관중이 낮은 위도에 위치하고 있었으며, 남사면의 산평의다리 한라사초는 높은 위도와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 경사지의 경우 절협지에 해당하는 조릿대, 뱀고사리, 미역취는 낮은 위도에서 주로 분포하는 것으로 나타났다. 그 밖에 완경사지, 경사지 등에 속하는 대부분의 지표종들이 낮은 위도에서의 분포를 나타내었다. 자생지의 경우 실제 위도분포와 유사하게 나타났으며, 낮은 위도인 구상나무, 진달래, 실새풀, 조릿대 뱀고사리, 백운산원추리는 낮은 위도인 덕유산과 지리산에 위치하였으며 다람쥐꼬리, 큰두루미꽃, 한라사초 등 높은 위도는 백두산에 위치하여 지표종의 자생지별 지표종과 위도간의 상관관계가 유사하게 나타난 것으로 판단된다. 본 결과는 위도의 차에 따른 서식지의 변화는 산림의 종조성과 지표종에도 영향을 미치는 것을 뒷받침한다(Salazar et al. 2015).

IV. 고찰

MRPP-test를 통하여 각 그룹별 종조성의 이질성에 대한 분석을 시행한 결과, 해발고도의 경우 아고산식생 내에서도 온대북부식생의 유형과 유사하면서 아고산 식생과 접경지대에 있는 1,300 m 내외의 자생지와, 1,600 m 내 자생지에서는 종조성이 이질적인 것으로 나타났다. 사면방위의 경우에도 동사면과 서사면, 그리고 남사면과 북사면과 같이 정반대 사면에서의 종조성이 차이가 있는 것으로 나타났다. 경사지의 경우 하층식생에서 경사도 그룹에 따른 종조성의 이질성이 민감한 것으로 분석되었다. 이러한 각 환경요인에 따른 종조성의 이질성에 영향을 미치는 주된 식물종을 지표종(indicator species)으로 해석하여야 할 것이다.

또한 부계꽃나무와 같은 *Acer*속의 식물과 사스래

나무, 거제수나무 등 *Betula*속의 목본식물이 상층식생의 지표종으로 나타났는데, 아고산 침엽수종의 식생 내에서 흔히 발견되어 침엽수 순림에서 침엽수 혼합림으로의 천이과정에서 주로 수관부에서 경쟁하는 목본식물로 향후 멸종위기 침엽수종의 동태를 살펴볼 때 면밀한 모니터링이 필요한 식물종으로 판단된다. 지표종 식물의 ordination 분석결과 상층식생은 암석노출도에, 하층식생은 위도의 영향을 받고 있었다. 목본식물을 구성하는 상층식생의 경우 토양의 성질과 토심과 같은 지지대 역할을 하는 환경인자와 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

이번 연구에서는 지형조건에 따른 지표종선정에 있어서 상층식생보다는 하층식생에서 더 많은 통계적 유의성이 인정된 것으로 나타났는데, 이를 통해 상층식생보다 하층식생에서의 생물다양성 동태가 역동적임을 알 수 있다. 또한, 아고산 지대의 풍해, 수분부족 등 척박한 환경에 의한 빈번한 교란의 결과라고 판단된다(Germino et al. 2002; Mori et al. 2004; Hasegawa & Mori 2007; Han et al. 2012). 한편 이러한 교목성 수종의 고사로 인한 숲틈 형성 등 상층식생의 다양성과 동태는 환경의 이질성을 증가시키고 하층식생의 종다양성을 향상시키는데(Betty, 2003; Park et al. 2019), 상층식생보다 하층식생에서 더 많은 지표종이 통계적 유의성이 나타나는 것은 이를 뒷받침하는 근거가 된다.

해발고도에 따른 가문비나무림의 지표종 분석에서 상층식생의 경우 주목, 구상나무, 부계꽃나무 난티나무 등이 지정되어 우리나라 해발 1,000 m 이상의 지대에서 주로 생육하는 침엽수 및 활엽수가 지표종으로 선정되었으며, 하층식생의 경우 1,600 m 이상의 해발고도에서 털진달래가 가장 높은 우점도값으로 분석되었다. 털진달래는 관목성 수종으로, 관목성 수종은 교목성 수종에 비하여 해발고도의 분포역이 넓어 교목성 수종의 수목한계선 이상의 해발고도에서도 생육한다. 따라서 털진달래와 같은 아고산지대에 서식하는 관목층의 성장과 분포의 변화는 해발고도와 매우 높은 연관성이 있을 것으로 판단된다. 털진달래를 포함한 *Rhododendron* 속의 식물은 한반도 식생에서 매우 광범위하게 분포하고 있으며, 우리나라의 식

생군반을 대표하는 식물속에 속한다(Kim & Lee 2006). *Rhododendron* 속의 식물이 1,600m 지대에 높은 지표값을 가진 지표종으로 선정되었는데, 향후 우리나라 아고산 생태계의 축소 및 확장을 확인할 수 있는 중요한 관목성 식물로 판단된다. 따라서 털진달래의 생육과 기온, 강수량 등의 상관관계를 파악하는 것이 중요하다. 또한 1,600 m 이상의 높은 해발고도에서 미역줄나무가 지표종으로 선정되었는데, 미역줄나무는 국내 수관 열림 이후 발생하는 덩굴성 식물으로, 주로 2차림 형태의 숲에서 주로 발생한다(Park et al. 2019). 2차림은 수관안정화가 되기까지 크고 작은 교란에 의하여 숲틈(forest gap)이 형성되면서 식생구조의 변화가 매우 동적인 천이과정을 거치게 된다(Edward et al. 1989). 또한 미역줄나무는 만경류식물로 상층식생을 우점하는 가문비나무에 덩굴피해를 줄 가능성이 있어 향후 면밀한 모니터링이 요구되는 지표종이다.

북사면 및 서사면에서는 통계적 유의차를 나타내는 식물종이 많이 나타나지 않았는데, 이는 자생지 환경에 따라 어느 종이 대표로 나타나지 않으며, 다양한 식물종이 공존하고 있는 것으로 판단된다. 이는 다른 방면으로 해석하면, 북사면일수록 하층식생의 구조가 남사면에 비하여 다소 안정적이지 않음을 의미한다. 남사면의 경우 산팽의다리, 한라사초 등 8분류군이 가문비나무림의 남사면을 대표하는 적정 지표종으로 자리잡은 것에 비하여 가문비나무림의 북사면은 자생지마다의 독특한 식물종이 생육하고 있음을 의미한다. 지리산 세석평전 일대 구상나무림에서 사면방위에 따른 생물다양성 특성을 분석한 선행결과에서 남사면과 북사면 종다양성 지수 및 균재도를 비교하였을 때, 남사면이 북사면보다 안정적임 것으로 나타나(Cho et al. 2015), 이번 연구분석에서의 사면방위에 따른 지표종 분석 내용을 뒷받침하는 연구결과로 판단하였다. 절협지 내 하층식생에서 조릿대가 지표종으로 분석되어 가파른 경사지에서의 분포가 왕성함을 확인할 수 있었다.

V. 결론

이번 연구에서는 한국과 중국에 분포하는 가문비나무림의 지표종 선정을 통하여 생물다양성 유지 및 증진을 위한 보전 정책 제언을 위한 과학적 근거자료를 확보하는데 그 의의가 있다. 지표종은 특정 생태계 상호관계에서 핵심이 되며, 특정 환경을 구분짓는 중요한 역할을 하므로, 생물다양성 보전 측면에서 모니터링의 우선종을 선정하는 용도로 활용될 것이다. 한국과 중국의 가문비나무림은 전세계적으로 남방한계선에 분포하여 지구환경변화에 민감하게 반응하는 서식지로 지리학적 가치가 높다. 이를 통해 각 식물종의 지표값과 식물이 보유한 고유의 생리적 특성과 속성들은 향후 가문비나무림 내 생물다양성 유지와 증진을 위한 관리와 보전 그리고 생물다양성 평가에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 단기적인 식생조사 데이터를 통한 정량적 분석이라는 점이 이번 연구의 한계점으로 작용되어 향후 국내를 비롯한 동북아시아 일대 가문비나무림의 연속적이고 장기적인 모니터링을 통한 생물다양성의 쇠퇴 및 유지에 대한 면밀한 모니터링이 요구된다. 이번 연구의 지표값에 따른 지표종을 우선 모니터링 대상으로 지정하는데 참고하여 장기적인 관찰을 통한 국내 가문비나무림의 보전 정책 수립이 필요하다.

References

- Aizawa M, Yoshimaru H, Saito H, Katsuki T, Kawahara T, Kitamura K, Shi F, Sabirov R, Kaju M. 2009. Range-wide genetic structure in a north-east Asian spruce (*Picea jezoensis*) determined using nuclear microsatellite markers. *J. Biogeogr.* 36: 996-1007.
- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, Hong EH. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol.*

- Manag. 259: 660-684.
- Braun-Blanquet J. 1965. Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde, 3rd ed. New York: Springer.
- Barrows CW, Swartz MB, Hodges WL, Allen MF, Rotenberry JT, Li BL, Scott TA, Chen X. 2005. A Framework for Monitoring Multiple-species Conservation Plans. *J. Wildl. Manag* 69(4): 1333-1345.
- Chao A. 1984. Nonparametric Estimation of the Number of Class in Population. *Scand. J. Stat.* 11: 265-270.
- Cho MG, Chung JM, Kim TW, Kim CY, Noh I, Moon HS. 2015. Ecological Characteristic of *Abies koreana* Forest on Seseok in Mt. Jiri. *J. Climate Change Res.* 6(4): 379-388 [Korean Literature]
- Dickmann M. 2003 Species indicator values as an important tool in applied plant ecology- a review. *Basic Appl Ecol* 4(6): 493-506.
- Dufrene M, Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67: 345-366.
- Edward ECC, Richard TB. 1989. Secondary Succession, Gap Dynamics, and Community Structure in a Southern Appalachian Cove Forest. *Ecol.* 70(3): 728-735.
- Germino MJ, Smith WK, Resor AC. 2002. Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecol.* 162: 157-168.
- Grumbine RE. 1994. What is ecosystem management?. *Conser. Biol.* 8: 27-38.
- Han AR, Lee SK, Suh GU, Park Y, Park PS. 2012. Wind and topography influence the crown growth of *Picea jezoensis* in a subalpine forest on Mt. Deogyu, Korea. *Agric For Meteorol.* 166-167: 207-214.
- Hasegawa SF, Mori A. 2007. Structural characteristics of *Abies mariesii* saplings in a snowy subalpine parkland in central Japan. *Tree Physiol.* 27(1): 141-148.
- Hunziker U, Brang P. 2005 Microsite patterns of conifer seedling establishment and growth in a mixed stand in the southern Alps. *For. Ecol. Manag.* 210: 67-79.
- IUCN [Internet]. The IUCN redlist of threatened species: [cited 2022 June 11]. Available from: <http://www.Iucnredlist.org>
- Kim JW, Lee YG. 2006. Classification and Assessment of Plant Communities. *World science.* [Korean Literature]
- Kong WS. 2002. Species composition and distribution of Korean Alpine Plants. *Journal of Korean Geographical Society* 37: 357-370. [Korean Literature]
- Korea Fern Society. 2005. Ferns and Fern Allies of Korea. Geobook. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration [Internet]. Climate data in South Korea: [cited 2022 Mar 23]. Available from: <http://www.kma.go.kr>
- Korea National Arboretum. Knowledge system of National species in Korea; [cited 2022 Aug 16]. Available from: <http://www.nature.go.kr/kpni>
- Lee DK, Kim JU. 2007. Vulnerability Assessment of Sub-Alpine Vegetations by climate Change in Korea. *JKSEE* 10(6): 110-119. [Korean Literature]
- Lee TB. 2003a. Coloured Flora of Korea. Volume I. Hyangmoonsa Publishing. [Korean Literature]
- Lee TB. 2003b. Coloured flora of Korea Volume II. Hyangmunsa Publishing. [Korean Literature]
- McCune B, Mefford MJ. 2006. PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 5.17. Oregon: MJM Software Design.

- Mori A, Mizumachi E, Osono T, Doi Y. 2004. Substrate-associated seedling recruitment and establishment of major conifer species in an old-growth subalpine forest in central Japan. *For. Ecol. Manag.* 196(2-3): 287-297.
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H. 2003. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York: The Blackburn Press.
- Nakagawa M, Kurahashi A, Kaji M, Hogetsu T. 2001. The effects of selection cutting on regeneration of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* in the sub-boreal forests of Hokkaido, northern Japan. *For. Ecol. Manag.* 146: 15-23.
- Newton AC. 2007. *Forest Ecology and Conservation*. New York: Oxford University Press Inc.
- Odion DC, Sarr DA. 2007. Managing disturbance regimes to maintain diversity in forested ecosystems of the Pacific Northwest. *For. Ecol. Manag.* 246: 57-65.
- Park BJ, Byeon JG, Cheon K. 2019. Study of ecological niche and indicator species by landforms and altitude of forest vegetation in Mt. Myeonbong. *Korean J. Plant Res.* 32(4): 325-337. [Korean Literature]
- Salazar L, Homeier J, Kessler M, Abrahamczyk S, Lehnert M, Kromer T, Kluge J. 2015. Diversity patterns of ferns along elevational gradients in andean tropical forests. *Plant Ecol Divers* 8: 13-24.
- Scott TA, Sullivan JE. 2000. The Selection and Design of Multiple Species Preserves. *Environ Manage* 26(S1): S37-S53.
- Simon LM, Oliveira G, Barreto BS, Nabout JC, Rangel TFLVB, Diniz-Filho JAF. 2013. Effects of global climate changes on geographical distribution patterns of economically important plant species in cerrado. *Rev. Arvore* 37(2): 267-274.