

계방산과 오대산 일대 분비나무 자생지 군집 구조 및 하층식생 특성*

천광일¹⁾ · 변준기²⁾ · 김정인³⁾ · 박병주⁴⁾

¹⁾ 국립생태원 생태계서비스팀 선임연구원 · ²⁾ 한국수목원정원관리원 국립백두대간수목원 팀장

³⁾ 국립생태원 생태계서비스팀 연구원 · ⁴⁾ 한국수목원정원관리원 국립백두대간수목원 주임

Community Structure of *Abies nephrolepis* Habitats and Characteristics of Understory Vegetation in Mt. Gyeong and Mt. Odae*

Cheon, KwangIl¹⁾ · Byeon, Jun-Gi²⁾ · Kim, Jung-In³⁾ and Park, Byeong-Joo⁴⁾

¹⁾ Team of Ecosystem Service, National Institute of Ecology, Senior Researcher,

²⁾ Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Research Manager,

³⁾ Team of Ecosystem Service, National Institute of Ecology, Researcher,

⁴⁾ Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Researcher.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate woody species community classification and understory vegetation characteristics of *Abies nephrolepis* forest in Mt. Gyeong and Mt. Odae designated as Protected Area for Forest Genetic Resource Conservation and National Park. Vascular plants were surveyed as following; 55 family, 148 species, 3 sub species, 14 variety, 2 form 167 taxa. As an analysis of the species estimator of Jackknife 1, 29 survey plots could be representative of vegetation in study site. Results of the woody species, 3 communities were divided by cluster analysis(A=*Abies nephrolepis-Tilia amurensis*, B=*Betula ermanii-Abies nephrolepis*, C=*Quercus mongolica-Abies nephrolepis*). Using MRPP-test, there were significant differences between the communities indicating analysis of the appropriate group classification(p<0.01). The basal area and altitude were analyzed by negative relationship for NMS ordination. By analyzing plexus diagram of woody species, *Acer*

*이 논문은 2022년도 국립생태원의 전략과제로 수행된 핵심 생태자산과 생태계서비스 가치평가 및 보전방안 연구(NIE-전략연구-2022-03)와 환경부 신기후체제 대응 환경기술개발사업(RE2022011055)의 도움을 받아 수행되었습니다.

First author : Cheon, Kwangil, Team of Ecosystem Service, National Institute of Ecology, Researcher, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do, 33657, Republic of Korea.
Tel: +82-41-950-5463, Email: ndz1000@nie.re.kr

Corresponding author : Park, Byeong-Joo, Team of Climate Change Research, Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Bonghwa 36209, Korea.
Tel: +82-54-679-0967, Email: bzpark@koagi.or.kr

Received : 20 September, 2022. **Revised** : 31 October, 2022. **Accepted** : 31 October, 2022.

pseudosieboldianum is strong associated with *Quercus mongolica* and *Rhododendron schlippenbachii*. *Magnolia sieboldii* is strong associated with *Acer pictum* subsp. *mono* etc.

Key Words: NMS, MRPP, plant plexus diagram, plant community, understory vegetation

I. 서 론

보전생물학(conservation biology)이란 생태계 내 생물과 비생물 요인 간 상관관계를 확인하고, 생태계가 유지되도록 보전방안을 마련하는 것이다. 즉, 보전생물학의 목적은 지구상의 생물다양성과 환경 요인을 모니터링한 결과를 가지고 과학적 근거자료를 도출하고 이를 통해 인간과 생태계의 상호관계 연구, 생물종의 멸종 방지, 생태계 기능 등을 촉진하는 것이다(Wilson, 1992). 그러나 최근 지구 환경 변화에 따른 서식처 파편화와 감소로 전 세계 약 41,000여종의 생물종이 멸종위기에 처해있으며 그 중, 구과식물(conifers)은 34%가 멸종위기에 처해있다(IUCN, 2022). 이에 복합적 환경 요인(생리적·물리적)의 변화로 아고산¹⁾ 침엽수림의 개체수와 서식처는 점차 감소하고 있다(Germino et al. 2002; Allen et al. 2010). 그리하여 아고산 지대 생육하는 침엽수종의 연구 및 지속적인 생태계 모니터링을 통한 종보전 필요성이 제고되고 있다(Golicher et al., 2008).

전나무속(*Abies*)에 속하는 식물종은 전 세계적으로 50여종 이상으로 보고되고 있으며 국내에서는 전나무(*Abies holophylla* Maxim.), 구상나무(*Abies koreana* E.H. Wilson), 분비나무(*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) Maxim.) 등 3종이 자생하고 있다(Kong, 2002). 이 중 분비나무는 해발 700 m 이상 아고산 지대 능선부에 주로 자생하며 식생은 대체적으로 침활혼효림 형태의 임분구조가 대부분이다(Kong et al., 2014; Park et al., 2015). 이들이 생육하는 환경은 암석노출도가 높

고 토양 발달이 저조하며, 강한 바람의 영향으로 인한 물리적·생리적 스트레스가 높은 지역이다(Mori et al., 2004; Hunziker and Brang 2005; Kong et al., 2014). *Abies* 속을 비롯한 아고산 지대 침엽수의 쇠퇴와 관련한 중요한 연구 주제는 갱신(regeneration)이다. 국내·외 환경 인자에 따른 아고산 침엽수 치수와 하층식생의 동태 및 발달에 대한 모니터링 연구가 진행되었으며(Hättenschwiler and Smith, 1999; Claveau et al., 2002; Brang et al., 2003; Resler, 2006; Takahashi and Obata, 2014; Kim et al., 2019) 산림 관리 및 경영 기술을 바탕으로 아고산 침엽수림 내 임분 환경을 조절하여 그에 따른 개체목의 생육 발달 모니터링 연구도 수행되었다(Nakagawa and Kurahashi 2001). 멸종위기 침엽수종의 조림학적 측면에서 연구는 인간의 산림 관리가 생물다양성 유지 및 증진에 기여할 수 있음을 시사한다. 최근 위성영상 분석 및 GIS(Geometry Information System), RS(Remote Sensing) 기술을 통한 생태계 분석이 활발하게 진행 중이다. GIS와 RS 기술이 고도화되면서 아고산 침엽수의 종분포 모델 구현 등 경관생태학적 접근을 통하여 서식 환경과 분포에 대한 알고리즘을 구성한 후 잠재 서식처를 추출하는 수리적 모델에 대한 연구가 진행 중이다(Choi and Lee, 2014; Dakhil et al., 2019; Naudiyal et al., 2021; Yousaf et al., 2022). 국내 분비나무에 대한 연구는 분류학 및 유전적 연구(Jang et al., 1997; Song et al., 2007; Song et al., 2008; Hong et al., 2011), 임분동태에 관한 연구(Chun et al., 2019; Chun et al., 2011; Shin et al., 2010), 같은 속인 전나무와 관련된 개체군 생태 연구(Jang and Youn, 2003; Youn, 2007; Youn, 2009) 등이 이루어졌다.

1) 본 연구에서는 분비나무, 가문비나무, 눈쭈백 등이 자생하는 해발 1,100 m 이상의 상록침엽수림 자생 지역을 대상으로 하였다.

본 논문에서 다루고자 하는 분비나무 식생과 군집에 관한 연구는 국가 단위에서 백두산 일대 분비나무림 군집 구조 연구가 이루어졌으며 4개 군집과 안정된 직경급(역J자)을 도출하였다(Park et al., 2020). 지역적 단위에서는 백두대간 지역 내 아고산 침엽수 현황에 관한 연구(분비나무, 구상나무, 가문비나무)가 근래 수행되었으며 아고산 침엽수 쇠퇴도가 전반적으로 증가하는 경향이 라 밝혔다(Park et al., 2022). 강원 남부 지역 분비나무림 연구에서는 TWINSPAN(Two-Way INdicator SPecies ANalysis) 및 표조작법을 통해 분비나무림을 7개의 식생 단위로 나누었으며 하층식생 내 분비나무 출현을 바탕으로 치수 갱신에 대한 세대 교체가 안정적으로 될 것이라고 판단했다(Shin and Oh, 2022). 산지 단위에서는 설악산국립공원 지역의 분비나무 개체군 구조는 비교적 안정적인 식생구조를 지니고 있었다고 보고되며(Chun et al., 2009; 2019; Park et al., 2019) 지리산 신갈나무-분비나무림의 군집 구조에 관한 연구에서는 분비나무가 우점하는 군집에서 천이 계열은 성숙 단계로 판단하였다(Lee et al., 1991). 이와 반대로 오대산국립공원 내 분비나무 치수의 개체수가 적어 다음 세대로의 전환이 어려울 것이라 밝혔으며(Chun et al., 2011) 수관 안정화 단계의 전 단계에 머무르며 빈번한 교란으로 이차림 형태와 작은 패치 군집을 형성한 모자이크 형태의 식생 유형을 띄고 있었다고 보고된다(Park et al., 2020). 이들 선행 연구들에서 분비나무림의 갱신과 지속가능성은 지역적 범위에 따라 차이가 나타나는 것으로 조사되었다.

본 연구는 계방산-오대산 지역 분비나무 자생지에 대한 군집, 하층식생, 주요 환경 요인 분석을 통해 아고산을 대표하는 침엽수인 분비나무의 보전과 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 특히 특정 지역의 식생 구조를 파악하고 조사하는 것은 생태계 보전(Newton, 2007)을 위한 필수 연구로 향후 본 연구에 기초한 지속적인 모니터링 결과와 실험을 바탕으로 천이 경향과 쇠퇴 원

인을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지

계방산(1,577 m)과 오대산(1,563 m) 일대는 지리적으로 우리나라의 동북부에 위치하고 북쪽에는 설악산과 남쪽으로는 태백산을 이어주는 백두대간의 중간 지점에 위치하고 있으며 지리적 가치가 높아 생태계 보전의 당위성이 제고되는 지역이다(Hwang et al., 2013). 계방산과 오대산은 강원도 홍천군, 평창군, 강릉시와 경계를 이루는 산으로 그 주변으로는 황병산(1,408 m), 응봉산(1,360 m)이 태백산맥을 형성하고 있다. 홍천군과 강릉시의 30년간(1991년~2020년) 평균기온은 10.8 °C와 13.5 °C, 최고기온은 17.7 °C와 17.8 °C, 최저기온은 5.3 °C와 9.6 °C이며 연평균강수량은 1,338.9 mm와 1,444.9 mm로 나타났다(Korea Meteorological Administration, 2022). 조사지 일대는 온대북부 낙엽활엽수림으로 한반도 생물기후구계에서 대관령형에 속하며 식생형은 신갈나무-철쭉군목에 속하는 신갈나무-갯나무군단과 신갈나무-생강나무군단의 특징을 갖는다(Kim and Lee, 2006).

2. 조사구 설치 및 조사 방법

계방산과 오대산 일대 29개(400 m²) 분비나무 자생에 조사구를 설치(Figure 1)하고 조사구 내에 출현하는 흉고직경 2 cm 이상의 종을 조사하였으며 각 개체목에 대해 직경을 측정하여 흉고단면적(Basal Area)을 산출하였다.

식생조사는 Braun-Blanquet(1965)의 방법을 사용하여 하층식생의 피도를 기록하였다. 분비나무의 조사구 선정은 분비나무가 우점하는 자생지를 바탕으로 교목층과 아교목층 분비나무의 개체목 상태가 양호하며 우점이 뚜렷하게 관찰(400 m² 내 최소 6개체 이상)되는 곳에 조사구를 설치하였다. 조사 기간은 2017년부터 2020

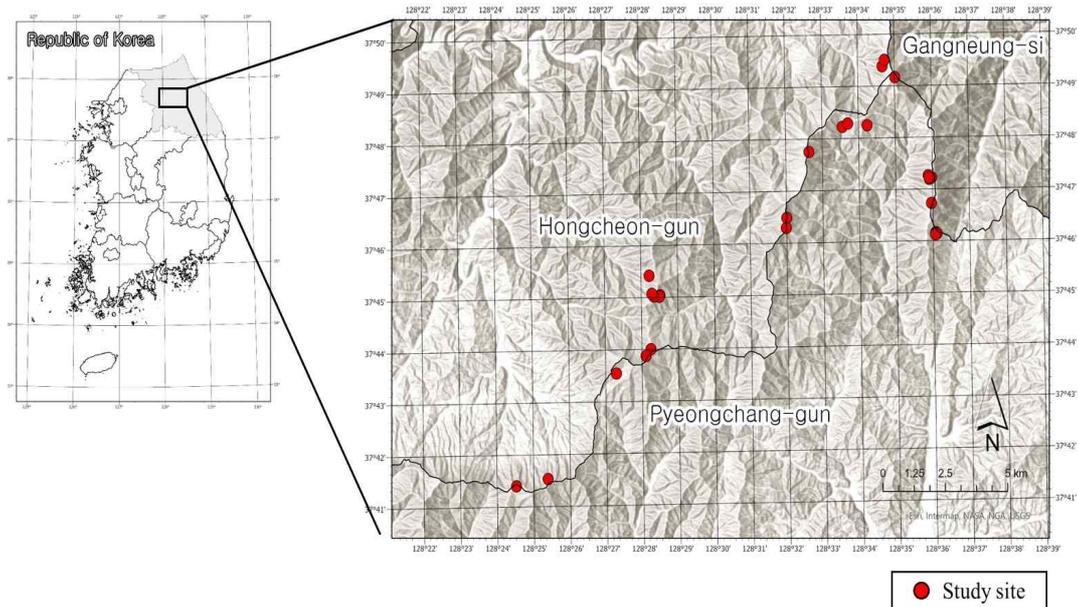


Figure 1. The location map of the surveyed plots in study site.

년까지이며 식물의 동정은 원색식물도감(Lee, 2003a; Lee, 2003b)를 참고하여 분류하였다. 양치식물의 동정은 한국양치식물도감(Korea Fern Society, 2005)을 이용하였다. 학명과 국명은 국립수목원과 한국식물분류학회가 제시한 국가표준식물목록(Korea National Aboretum, 2022)에 준하였다.

3. 통계 분석 방법

29개 조사구에서 출현한 목본종을 대상으로 클러스터 분석(Cluster analysis)을 하였으며 거리 기준은 Sørensen의 방법, 군집의 분류는 Ward's의 방법을 사용하였다(McCune and Grace, 2002; McCune and Mefford, 2006). 그 후 클러스터 분석된 덴드로그램(Dendrogram) 상 information remaining(%)에 따라 유사성을 가지는 군집을 판별한 후 상위 군집에 해당되는 군집의 종조성과 지표종을 분석하였다. 지표종 유의성과 지표값 검정은 4,999회의 몬테 카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)로 분석하였다(Dufrene and Legendre, 1997). 군집 내 조사구의 분포 특

성을 파악하기 위해 NMS(Non-metric Multi-dimensional Scaling) 분석을 사용하여 설명력이 높은 2개 축을 이용하여 2차원 상에 배열하였다. NMS 분석은 비선형 서열 분석으로 상대 척도와 비모수 데이터 등이 포함되는 생태학적 데이터에 적합한 분석 방법(McCune and Mefford, 2006) 중 하나이다. 본 연구에서 NMS 분석을 사용한 이유는 각 변량 간 특성을 비교하기에 계층적 범위가 광범위하다고 판단했으며 조금 더 명확하고 민감하게 조사구와 종간 거리를 제시하고자 하였기 때문이다.

NMS 분석에 주요 환경 요인으로는 암석 노출도, 고도, 흉고단면적, 종풍부도를 사용하였다(Appendix 1). 군집간 종조성의 유사성을 판단하기 위해 MRPP(Multi-Response Permutation Procedures) 분석을 하였으며 거리 척도는 Sørensen의 방법을 사용하였다(McCune and Grace, 2002). 하층식생의 중요치(Importance Value)는 상대피도와 상대빈도를 활용하여 분석하였다(Brower and Zar, 1987, Curtis and McIntosh, 1951). 클러스터 분석, 지표종 분석, NMS ordination,

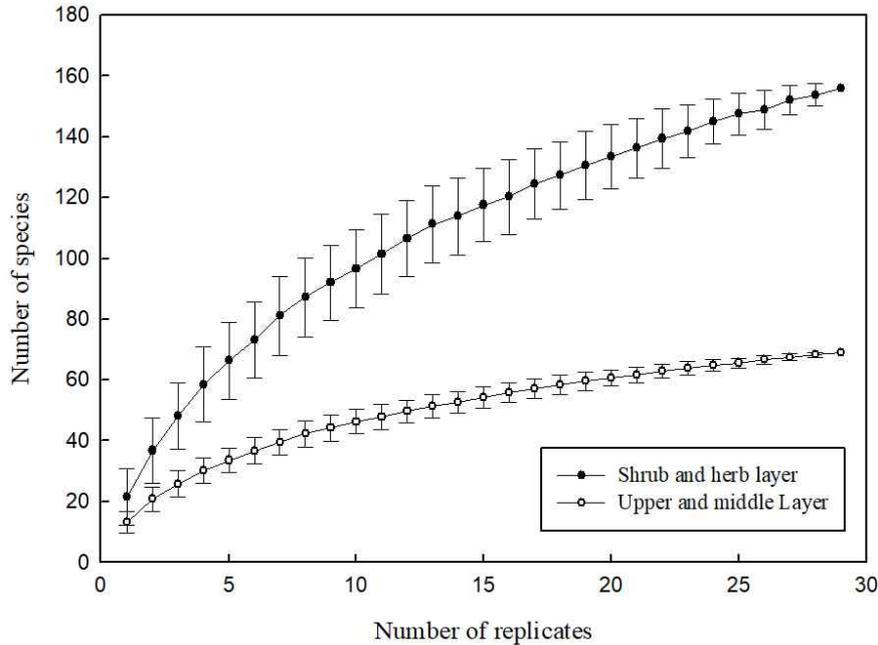


Figure 2. Estimation of species richness in Mt. Odae and Gyeongbuk(Jackknife 1 estimator).

MRPP 분석은 pc-ord 5.17 (McCune and Mefford, 2006) 프로그램을 활용하였다.

가능하다(Chao et al., 2005). 분석 결과 계방산과 오대산 일대 나타나는 상층 및 하층 출현종을 대표하는 방형구가 설치되었다고 판단된다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 출현 식물 및 종수 추정

조사지에 출현하는 식물은 55과 148종 3아종 14변종 2품종으로 167분류군이 분석되었다. 이 중 구계학적 특정 식물은 85종, 고유종은 5종이 나타났으며 조사지 내 귀화 식물 및 교란 식물, 멸종위기식물은 출현하지 않았다.

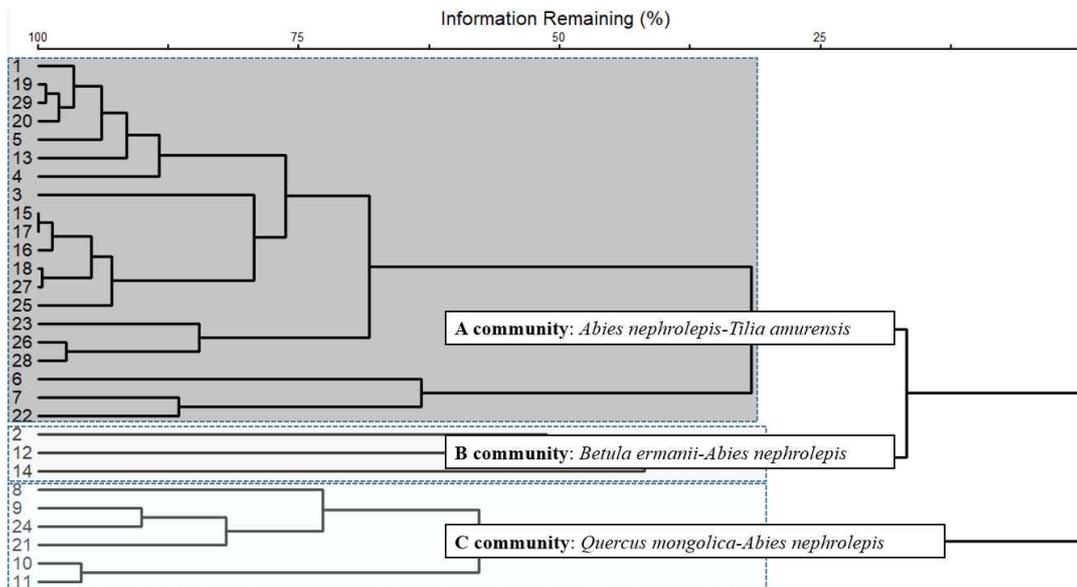
종풍부도의 Jackknife 분석 결과(Figure 2), 상층 및 하층 출현종의 기울기는 안정화되는 것으로 분석되었다. Jackknife 분석은 비모수적 표본수가 크지 않을 때 사용되는 방법으로 추정량에 비해 모수에 빨리 수렴하는 특징을 가진다(Kang, 2002). Jackknife는 종수의 추정 방법 중 하나로 실측된 데이터에 대한 결과의 복제로 간단하게 종풍부도를 추정할 수 있기 때문에 적절한 표본구 수에 대한 누적되는 종수의 추정이

2. 목본층 군집 분류 및 NMS 분석

군집 분류 결과, 군집 A(분비나무-피나무 군집), 군집 B(사스래나무-분비나무 군집), 군집 C(신갈나무-분비나무 군집)로 나누어졌다(Figure 3). 또한 적절한 군집이 나누어졌는지를 판단하기 위해 MRPP-test를 하였다(Table 1). 그 결과 상층 군집과 하층 군집은 유의성 있게 나누어졌다($p < 0.01$). 군집 A의 흉고단면적과 밀도는 각각 $25.532 \text{ m}^2/\text{ha}$, $1,069 \text{ d}/\text{ha}$, 군집 B는 $17.070 \text{ m}^2/\text{ha}$, $1,275 \text{ d}/\text{ha}$ 군집 C는 $36.296 \text{ m}^2/\text{ha}$, $1,079 \text{ d}/\text{ha}$ 이며(Table 2) 조사지별 평균 흉고단면적과 평균 밀도는 각각 $26.675 \pm 12.482 \text{ m}^2/\text{ha}$, $1,092 \pm 312 \text{ d}/\text{ha}$ 로 분석되었다(Appendix 1). 선행 연구인 오대산 분비나무림의 흉고단면적과 밀도는 각각 $29.348 \sim 39.078 \text{ m}^2/\text{ha}$, $1,266 \sim 2,600 \text{ d}/\text{ha}$ 나타났으며(Chun et al., 2011) 계방산과 인접한 황병산 일

Table 1. MRPP-test of communities(C*: Chance-corrected within-group agreement).

Layer	Community	Average distance (Euclidean)	Test static-T	C*	p
Upper	A	60.395			
	B	125.001	-9.960	0.121	
	C	72.753			p<0.01
Understory	A	66.564			
	B	128.777	-6.465	0.074	
	C	89.959			

**Figure 3.** Dendrogram of woody Species communities.

대 분비나무 순림 군집의 흉고단면적은 43.25 m²/ha(Park et al., 2020)로 인근의 산지와 비교하면 다소 낮은 흉고단면적 값을 가지는 것으로 분석되었다. 군집 A는 타 군집에 비해 분비나무(12.431 m²/ha)가 우점하는 것이 특징이며 가문비나무(0.870 m²/ha), 산개벚나무(0.370 m²/ha), 전나무(0.351 m²/ha), 난티나무(0.151 m²/ha) 등이 출현한다. 군집 A는 분비나무의 흉고단면적이 타 활엽수보다 높게 나타나 분비나무의 수관 우점이 높은 것으로 나타났다. 그러나 분비나무 침엽수림의 임상은 침활혼효림의 형태를 보이고 있으며, 신갈나무 피나무, 사스래나무와 기타 단풍나무속

(*Acer* spp.)의 목본류가 생육하고 있어, 향후 수관 경쟁이 활발해질 것으로 예상된다. 군집 B는 신갈나무가 출현하지 않으며 사스래나무(5.952 m²/ha)와 분비나무(5.063 m²/ha)가 우점하는 군집이며 마가목(2.388 m²/ha)과 부계꽃나무(1.850 m²/ha) 흉고단면적이 타군집에 비해 높은 것이 특징이다. 군집 C는 신갈나무(12.855 m²/ha)와 분비나무(11.791 m²/ha)가 우점하며 잣나무(3.771 m²/ha), 피나무(1.275 m²/ha), 당단풍나무(0.925 m²/ha) 등이 출현하였다.

목본층의 NMS 분석 결과 1축의 설명력은 55.6% 2축은 25.5%로 종합설명력 81.1%로 나타

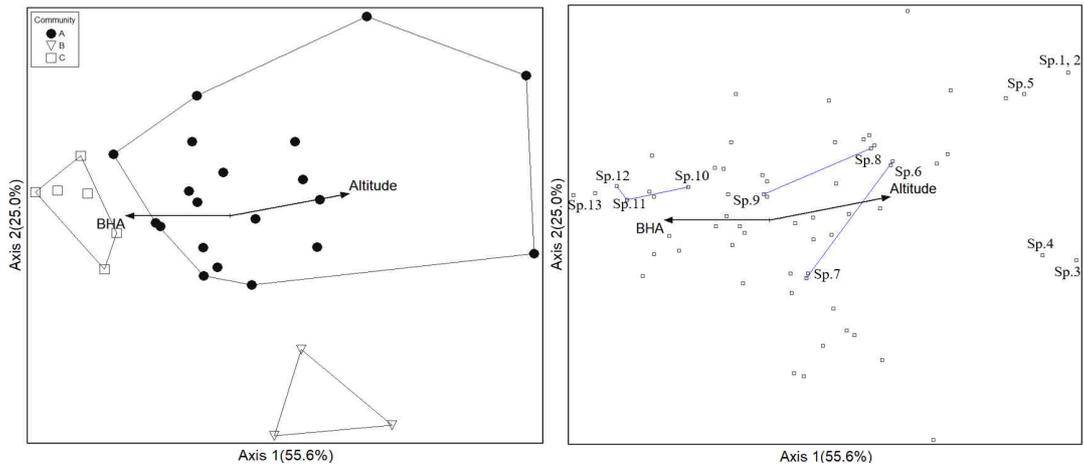


Figure 4. NMS ordination of study site and species distribution(cut off environment factors $r^2=0.4$, Plexus line strong association $r^2=0.3$, Sp.1-*Euonymus sachalinensis*, Sp.2-*Rosa davurica*, Sp.3-*Thuja koraiensis*, Sp.4-*Rhododendron brachycarpum*, Sp.5-*Betula costata*, Sp.6-*Tripterygium regelii*, Sp.7-*Prunus padus*, Sp. 8-*Magnolia sieboldii*, Sp. 9-*Acer pictum* subsp. *mono*, Sp.10-*Acer pseudosieboldianum*, Sp.12-*Quercus mongolica*, Sp.12-*Rhododendron schlippenbachii*, Sp.13-*Pinus densiflora*).

났다(Figure 4). 주요 영향을 미치는 환경 요인은 흉고단면적과 고도가 부의 관계로 분석되었으며 상대적으로 고도가 올라갈수록 흉고단면적은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 아고산 지역의 해발고도가 증가할수록 열악한 환경조건을 형성하기 때문에 나타난 결과로 수간부의 성장보다 지하부(뿌리) 성장 증가로 바람에 의한 물리적 피해(도복)를 최소화하기 위한 목본식물의 생존 메커니즘으로 판단된다. 분비나무와 같은 아고산 침엽수는 1차적인 물리적 피해(풍해, 설절 등)를 통해 뿌리가 뽑히거나 수관부가 부서지는 현상이 나타나며 2차적으로는 수분스트레스를 받아 서서히 고사하는 등 복합적인 요인으로 인하여 쇠퇴한다(Germino et al., 2002; Mori et al., 2004; Hunziker et al., 2005; Hasegawa, 2007; Park et al., 2019). 그 중 풍해는 식물체 내에 분포하는 기공을 닫아 1차적으로 수분 손실을 방지하다가 결국 기공을 통한 호흡 기작이 둔화되어 생육에 필요한 에너지를 형성하지 못하고 결국 생육이 불량해지거나 고사하게 된다(Caldwell, 1970; Davies, 1977). 군집의 배열 특징에서 군집 A(분

비나무-피나무)는 타군집에 비해 상대적으로 넓은 범위에 분포하며 군집 C(신갈나무-분비나무)는 상대적으로 낮은 흉고단면적과 높은 해발고도에 위치하는 군집이다.

식물종 분포를 plexus diagram을 이용하여 양의 상관관계에 있는 식물종을 분석하였다. 분석 결과, 당단풍나무-신갈나무-철쭉, 함박꽃나무-고로쇠나무, 미역줄나무-귀룽나무가 정의 상관관계로 나타났으며 회나무, 생열귀나무, 눈쭈백, 만병초, 거제수나무의 분포는 높은 해발고도와 낮은 흉고단면적과 상관관계가 있는 것으로 분석되었으며 소나무의 분포는 높은 흉고단면적과 낮은 해발고도와 상관관계가 있는 것으로 분석되었다.

3. 하층식생 특성

하층식생의 평균 중요치 분석 결과 철쭉(13.51), 진달래(6.48), 참조팝나무(5.54), 관중(4.28) 등의 순으로 분석되었다(Table 3). 군집 A는 미역줄나무(8.16), 관중(6.77), 참조팝나무(4.75) 등이 우점하며 군집 B는 진달래(13.51)의 중요치가 높으며 참조팝

Table 2. Basal area(m²/ha, BA) and density(d/ha, D) of major woody layer species.

Scientific name	Community					
	A		B		C	
	BA	D	BA	D	BA	D
<i>Abies nephrolepis</i>	12.431	402	5.063	300	11.791	375
<i>Quercus mongolica</i>	1.920	34	-	-	12.855	158
<i>Betula ermanii</i>	1.807	83	5.952	358	0.747	17
<i>Pinus koraiensis</i>	1.374	24	1.206	25	3.771	87
<i>Tilia amurensis</i>	1.395	59	0.251	8	1.275	75
<i>Sorbus commixta</i>	0.798	68	2.388	275	0.289	17
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	0.876	50	0.045	8	0.039	4
<i>Picea jezoensis</i>	0.870	10	-	-	-	-
<i>Taxus cuspidata</i>	0.676	34	-	-	0.230	4
<i>Magnolia sieboldii</i>	0.367	74	-	-	0.743	75
<i>Acer ukurunduense</i>	0.183	27	1.850	242	0.256	21
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	0.252	35	-	-	0.925	142
<i>Prunus padus</i>	0.457	31	0.291	50	-	-
<i>Prunus maximowiczii</i>	0.370	25	-	-	-	-
<i>Abies holophylla</i>	0.351	10	-	-	-	-
<i>Cornus controversa</i>	0.169	6	-	-	0.248	13
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.054	5	-	-	0.629	25
<i>Acer komarovii</i>	0.191	26	-	-	0.134	17
<i>Carpinus cordata</i>	0.012	1	-	-	0.580	25
<i>Betula costata</i>	0.078	8	-	-	0.262	4
<i>Ulmus laciniata</i>	0.151	4	-	-	-	-
<i>Malus baccata</i>	0.127	4	-	-	-	-
<i>Kalopanax septemlobus</i>	0.113	1	-	-	-	-
<i>Populus maximowiczii</i>	0.105	1	-	-	-	-
<i>Fraxinus mandshurica</i>	0.014	1	-	-	0.251	4
<i>Betula schmidtii</i>	0.082	6	-	-	-	-
<i>Salix caprea</i>	0.000	-	-	-	0.164	4
<i>Syringa wolfii</i>	0.049	14	-	-	-	-
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.043	3	-	-	-	-
<i>Salix maximowiczii</i>	0.042	3	-	-	-	-
<i>Prunus sargentii</i>	0.009	1	-	-	0.107	12
<i>Acer tegmentosum</i>	0.040	5	-	-	-	-
<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i>	0.036	5	-	-	-	-
<i>Maackia amurensis</i>	0.035	1	-	-	-	-
<i>Pyrus ussuriensis</i>	0.023	1	-	-	-	-
<i>Euonymus macropterus</i>	0.016	4	0.024	8	-	-
<i>Aralia elata</i>	0.011	3	-	-	-	-
<i>Tripterygium regelii</i>	0.006	1	-	-	-	-
Total	25.532	1,069	17.070	1,275	35.296	1,079

* Density(d/ha, D) were rounded to one decimal places.

Table 3. IV(Important Value) and MIV(Mean Important Value) of Understory Vegetation.

Scientific name	Community			MIV
	A	B	C	
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	2.23	13.51	3.72	6.48
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	1.68	-	17.31	6.33
<i>Spiraea fritschiana</i>	4.75	9.46	2.41	5.54
<i>Dryopteris crassirhizoma</i>	6.77	5.19	0.89	4.28
<i>Abies nephrolepis</i>	3.60	6.51	1.57	3.89
<i>Sorbus commixta</i>	2.41	7.80	0.49	3.57
<i>Sasa borealis</i>	-	-	10.64	3.55
<i>Weigela florida</i>	2.68	7.68	-	3.45
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	5.57	-	4.78	3.45
<i>Tripterygium regelii</i>	8.16	-	1.78	3.31
<i>Acer komarovii</i>	3.76	3.53	1.37	2.89
<i>Prunus padus</i>	2.21	6.04	-	2.75
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	2.96	-	3.43	2.13
<i>Euonymus macropterus</i>	1.74	2.53	0.81	1.69
<i>Magnolia sieboldii</i>	3.95	0.87	0.00	1.61
<i>Weigela subsessilis</i>	1.46	2.47	0.89	1.60
<i>Pinus koraiensis</i>	1.26	1.47	1.57	1.43
<i>Syringa patula</i>	0.46	3.34	0.40	1.40
<i>Acer ukurunduense</i>	0.70	3.40	-	1.37
<i>Athyrium yokoscense</i>	0.29	0.77	2.81	1.29
<i>Pedicularis resupinata</i>	2.17	0.77	0.81	1.25
<i>Syringa wolfii</i>	1.84	1.75	-	1.19
<i>Parasenecio auriculatus</i> var. <i>kamtschaticus</i>	0.36	0.77	2.41	1.18
<i>Dryopteris expansa</i>	1.25	1.76	0.49	1.17
<i>Deutzia parviflora</i>	-	3.40	-	1.13
<i>Carex siderosticta</i>	1.16	-	2.13	1.10
<i>Tilia amurensis</i>	1.04	-	1.70	0.91
<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i>	0.58	0.77	1.29	0.88
<i>Quercus mongolica</i>	0.58	-	2.00	0.86
<i>Veratrum oxysepalum</i>	-	-	2.41	0.80
<i>Lonicera subsessilis</i>	0.75	1.64	-	0.80
<i>Arisaema amurense</i> for. <i>serratum</i>	0.45	1.40	0.36	0.73
<i>Agastache rugosa</i>	0.38	1.76	-	0.71
<i>Ainsliaea acerifolia</i>	0.12	-	2.00	0.71
<i>Corylus heterophylla</i>	0.53	0.77	0.76	0.68
<i>Isodon excisus</i>	0.90	-	0.89	0.60
<i>Astilbe rubra</i>	1.28	-	0.40	0.56
<i>Actinidia kolomikta</i>	1.66	-	-	0.55
<i>Lepisorus ussuriensis</i>	0.10	1.53	-	0.54
<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>	0.38	-	1.16	0.51

*Other 116 species were omitted.

Table 4. Indicator species analysis of understory layer species.

Group	Species	Value(IV)	p
B	<i>Lepisorus ussuriensis</i>	66.2	<0.05
	<i>Deutzia parviflora</i>	66.7	
	<i>Acer ukurunduense</i>	63.6	
	<i>Syringa patula</i>	62.7	
C	<i>Ainsliaea acerifolia</i>	49.2	
	<i>Hepatica asiatica</i>	33.3	
	<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliatodentatus</i>	33.3	
	<i>Asarum sieboldii</i>	33.3	

나무(9.46), 마가목(7.80), 붉은병꽃나무(7.68) 등이 우점한다. 군집 B에 철쭉은 출현하지 않았으며 군집 A, C에서 출현하지 않는 말발도리(3.4)가 나타나는 것이 특징이다. 진달래속 (*Rhododendron* spp.) 식물은 수목한계선 사이 고산지대와 아고산 지대에 분포하는 식물속으로 동북아시아 일대 아고산 지대에서도 발견되는데, 티베트고원과 운남고원 등 고지대가 널리 분포하고 있어 고도에 따른 다양한 생육 환경 따라 진달래속의 식물이 적응하면서 지역적 종 분화가 다양하다(Ma et al., 2014; Mackay and Gardiner, 2017; Wang et al., 2018). 하지만 국내의 아고산 식생은 매우 협소하며 제한적인 분포로 나타나 지구 환경 변화에 의한 분포 변화가 진행 중인 것으로 판단된다. 국내 아고산 서식지 내 주로 분포하는 진달래속 분포 영역의 쇠퇴와 확장 형태에 따라 국내 아고산 서식지의 건강성을 파악할 수 있는 종으로 판단된다. 군집 C는 철쭉(17.31)과 조릿대(10.64)의 중요치가 높게 나타났으며 고도가 상대적으로 낮으나 상층 목본의 흉고단면적은 높은 것으로 분석되었다. 조릿대는 지하경으로 번식하며 산림 내 불균질한 환경에서 광범위하게 분포할 수 있는 생존 전략으로 조릿대가 밀생한 곳의 경우 교목성 치수 발생 및 하층식생의 종다양성을 떨어뜨리며 치수 활착과 생육을 저해시켜 갱신에 방해를 준다는 연구 결과(Park et al., 2012; Kim et al., 2019)에 비추어 볼 때 향후 하층의 조릿대에 의한 번식 방해와 천이 방향 변화 등에 대해 지속

적인 모니터링 및 연구가 필요하다. 또한 군집 A에서 가장 많은 중요치를 나타낸 미역줄나무는 만경류 식물로써, 국내 아고산 식생에서 숲 틈 발생 후 다수의 개체로 발달하는 식물종이다(Byeon et al., 2020; Park et al., 2021). 숲 틈 아래 급격히 번성하였다가 차츰 수관이 안정되면서 중요치는 감소할 것으로 판단되나 수관 안정이 되는 과정에서 분비나무 등 목본류의 생육 발달에 영향을 줄 것으로 판단되어 아고산 침엽수림에서 중점적으로 관찰하여야 하는 종으로 판단된다(Park et al., 2016). 만경류 등 교란 후, 숲 틈이 발생한 지역에 대한 천이 과정을 살펴보기 위하여, 추후 분비나무 등의 침엽수 치수의 이입량 및 이출량, 그리고 생육 발달에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

지표종은 특정 조건(환경 조건, 종조성 등)에서 발생하는 종으로 분류된 그룹(군집)에서 가장 특징적인 종을 표현한다(De Cáceres and Legendre, 2009). 지표종 분석은 상층과 하층식생에 나누어 분석하였고 상층에서는 유의미한($p < 0.05$) 지표종이 없는 것으로 분석되었다. 하층식생의 지표종 분석 결과 유의성 있는 하층식생의 IV(Indicator Value) 값은 산일엽초(66.2), 말발도리(66.7), 부계꽃나무(63.6) 등으로 분석되었다(Table 4). 교목층 및 아교목층으로 발달할 수 있는 부계꽃나무와 같은 단풍나무속은 아고산 침엽수인 구상나무, 분비나무 및 눈쭈백 등과 더불어 국내 아고산 침엽수림 내에서 주로 발생하는 종이다(Park et al.,

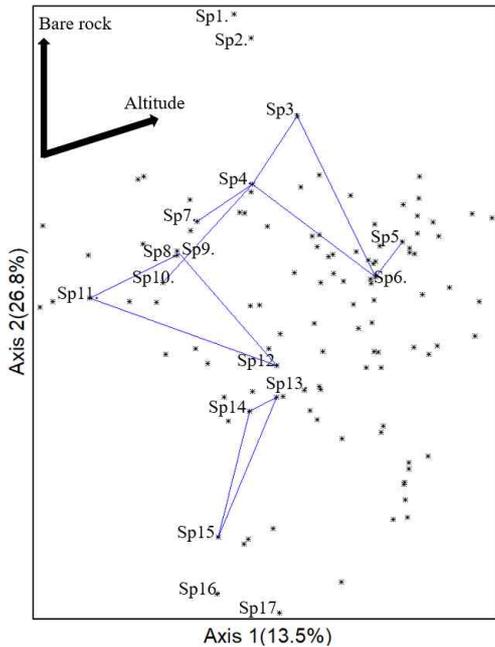


Figure 5. NMS ordination of study site and understory species distribution (cut off environment factors $r^2=0.3$, Plexus line strong association $r^2=0.3$).

2021a, b; Byeon et al., 2020). 단풍나무속의 식물은 치수 단계에서 주로 음수성을 띄고 있으며 노령 임분과 같은 수관이 안정된 식생 내에서 증가하는 식물종이다(Ko and Lee, 2013). 이들은 아고산 안정된 식생에서 초본 및 관목층으로 발달하다가 향후 수고 성장을 통해 수관부 식생까지 성장하는 종으로 분비나무와 층위 경쟁 관계에 대해 우선적으로 모니터링해야 할 종으로 판단된다.

하층식생의 NMS 분석 결과 1축과 2축의 설명력은 40.3%이며 주요 영향력 있는 환경 요인으로는 암석노출도 및 고도로 분석되었다(Figure 5). 국내를 비롯한 중국 백두산 일대의 분비나무림의 대표 군집은 분비나무-신갈나무-사스래나무 군집으로 높은 암석노출도로 인하여 토양층위의 발달이 불량한 곳이 많으며, 군집 형태에 따른 임분 흉고단면적의 차이로 인하여 종조성에 차이가 있다(Park et al., 2021b). 해발고도는 생

육 환경에 영향을 차지하는 중요한 환경 인자로, 국내 구상나무림 식생 내에서도 높은 해발고도와 자생지 간의 목본식생의 종조성에 상관관계가 있었다(Park et al., 2021a). 즉, 아고산 지역 해발고도차에 따른 하층식생의 분포가 달라질 수 있음을 확인하였다. 산림생태계 내 하층식생은 교목층을 이루는 식물보다 민감하게 반응한다(Leith and Aston, 1961; Cheon et al., 2014). 따라서 계방산 일대 하층식생의 생물다양성의 유지 및 증진을 위하여 해발고도 및 암석노출도를 고려한 보전 전략 수립이 필요하다. 병조희풀(sp1)과 쥐다래(sp2)의 경우 상대적으로 암석노출도가 높은 곳에 서식하였으며 반대로 회잎나무(sp16), 조릿대(sp17)은 상대적으로 암석노출도가 낮은 곳에 서식하는 것으로 분석되었다. 암석노출도가 낮고 토심이 발달된 곳의 경우, 조릿대의 번성을 확인 할 수 있었는데, 하층식생 내 종간 경쟁에 영향을 미치는 종으로 판단된다. 종간 정의 관계가 있는 종은 시닥나무(sp6)와 병꽃나무(sp5), 마가목(sp4), 당단풍나무(sp13)와 피나무(sp14), 철쭉(sp15), 참조팝나무와 진달래, 잣나무 등이 종간 정의 관계가 높은 것으로 분석되었다.

IV. 결론

본 연구는 계방산과 오대산에 자생하는 분비나무를 대상으로 군집 분석과 하층식생 특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다. 분비나무 자생지의 주요 환경 요인은 해발고도 1,190m~1,527m, 암석노출도는 10%~60%, 경사도는 5°~42°, 흉고단면적은 6.18m²/h~52.7m²/ha로 조사되었다(Appendix 1). 조사지 내에 출현한 식물종은 167분류군으로 조사되었으며 종면적 분석 결과 식생 분석에 필요한 조사구 수는 적정하였다.

군집 분석 결과 군집 A는 분비나무-피나무, 군집 B는 거제수나무-분비나무, 군집 C는 신갈나무-분비나무로 정의되었다. 목본층의 NMS 분

석 결과 흉고단면적과 해발고도 간 부의 관계가 있는 것으로 분석되었으며 고도가 높을수록 흉고단면적은 감소하는 것으로 분석되었다. 식물종의 분포는 당단풍나무-신갈나무-철쭉, 함박꽃나무-고로쇠나무가 정의 상관관계로 나타났다.

하층식생의 평균중요치 분석 결과 철쭉(13.51), 진달래(6.48), 참조팝나무(5.54) 등의 순으로 분석되었으며 진달래속(*Rhododendron* spp.)의 비율이 높게 관찰되었다. 그리고 각 군집별 하층식생은 군집 A에서는 미역줄나무(8.16), 관중(6.77) 등이 우점하며 군집 B에서는 진달래(13.51)의 우점 현상이 높게 나타났다. 군집 C에서는 철쭉(17.31)과 조릿대(10.64)가 우점하는 것으로 분석되었다. 그리고 각 군집에서 관측 가능한 지표종은 군집 B의 산일엽초, 말발도리 군집 C의 단풍취와 노루귀로 분석되었다. 하층식생의 NMS 분석 결과 종들의 분포에 영향을 미치는 주요 환경 요인으로는 암석노출도 및 고도로 나타났으며 상대적으로 암석노출도가 높은 곳에서 관찰되는 종은 병조희풀, 쥐다래이며 시닥나무와 병꽃나무, 당단풍나무와 피나무 등이 종간 정의 관계가 높은 것으로 나타났다. 목본식생과 하층식생의 NMS 분포를 종합적으로 살펴보면 종조성의 변화에는 공통적으로 해발고도에 따른 영향이 있는 것으로 나타나 해발 약 1,000m 이상의 국내 아고산 식생의 한정적인 수직적 공간분포 상에서도 다양한 종조성의 변화가 있음을 확인하였다. 그리고 암석노출도가 높아질수록 분비나무의 갱신은 불리하다고 판단되는데 이유는 토양 유기물층과 표토층(A층)의 부재와 이들의 생성에 많은 시간이 필요하기 때문이다. 건전한 개체군의 유지는 양호한 토양 환경과 상관관계를 가지는 것으로 이는 후기 식생 발달에 부정적인 요인으로 작용할 수 있다.

본 연구에서 밝혀진 세 개의 군집은 상대적으로 이질적인 종조성을 구성하고 있으며 다른 식생 구조에서 천이계열이 다를 것으로 판단된다. 연구 대상지 내 신갈나무는 대부분 멧아 갱신한

이차림 형태로 생육하고 있었으며 형질이 불량한 흉고직경 15 cm 내외의 개체가 많이 발견되었다. 일반적으로 멧아 갱신한 참나무류는 생육 초기에 근주부에서 다량의 멧아를 발생시키고 주멧아 2~3개체를 제외하고 나머지 멧아가 고사하는 생활사를 가지는데(Griffin, 1980) 수관 경쟁에서 우점하는 신갈나무 주멧아가 지속적으로 성장한다면 군집 C(신갈나무-분비나무)는 신갈나무림으로의 수관층이 점점 뚜렷해 질 것으로 판단된다. 군집 B(사스래나무-분비나무)에서는 교목층 및 아교목층의 수관 발달이 다소 저조하며 숲 틈(forest gap) 발생이 다수 발견되었다. 일반적인 온대북부 낙엽활엽수림에서 초기 숲 틈을 메우는 종은 자작나무속(*Betula* spp.)과 빛나무속(*Prunus* spp.)으로 대표적으로는 거제수나무, 사스래나무, 개벚지나무, 귀룽나무 등이다. 특히 숲 틈이 발생한 임분에서의 사스래나무와 거제수나무는 광경쟁을 위하여 부피 성장보다는 높이 성장을 우선으로 하여 타 수종과는 상대적으로 세장한 수형으로 나타난다. 향후, 이들은 토양 양분 및 생육 공간 등 서로 경쟁하며 지하부 및 수간부의 부피 성장을 진행한다. 또한 군집 B에서는 임내 광량 유입이 원활하여, 여러 식물종이 생육하기 용이한 공간을 마련할 것으로 판단된다. 또한 곳곳에 소규모 교란이 발생할 경우, 특정종의 우점 정도에 따라 빠른 종조성의 변화가 진행됨으로 본 유형의 군집의 경우 지속적이며 짧은 주기의 모니터링이 필요하다. 분비나무 자생지에서 분포하는 고로쇠나무, 부계꽃나무, 시닥나무, 당단풍나무 등의 단풍나무속 식물은 양료 및 경쟁 관계에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단되는데 현재까지의 타켓종 대상의 모니터링보다는 조금 더 넓은 폭의 조사(우점 지역, 쇠퇴 지역, 경쟁 지역 등)를 통해 이들의 경쟁과 생태적 지위를 구명하는 것이 우선시되어야 할 것이다. 멸종위기종의 경우 기후 환경에 의한 한정된 서식지, 타고난 번식적 능력의 한계와 경쟁 등에 의해 서식처가 한

정되어 복원과 보존이 우선이지만 분비나무는 온대중북부 아고산 식생대 이상에 폭넓게 분포하는 종으로 이들의 쇠퇴를 단순히 경쟁 관계 및 기후변화로 단정하기는 힘들기 때문이다. 이에 향후 분비나무를 비롯하여 아고산 침엽수종(주목, 구상나무, 가문비나무 등)의 생태계를 이해하기 위해서는 다양한 스케일의 영구 모니터링과 사례 연구를 적용할 수 있는 실험(인공 숲 틈 처리, 갱신 유도 등)이 병행되어야 할 것이다. 최근 경관생태학적 측면에서 대면적 모니터링이 각광 받고 있는 이유는 지구 환경 변화의 가속화와 인위적·자연적 교란이 대규모화되면서 거시적 관점에서 생태계 모니터링이 요구되는 시대상을 반영하였기 때문이다. 이에 생태계 보전 연구는 야외 조사 전문가의 정확한 현장 조사와 분석이 뒷받침될 때 더욱 의미 있는 보전 대책이 마련될 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구는 계방산-오대산 지역 분비나무림에 대한 현지 조사를 통해 지역적 분포와 환경 요인, 군집 분포, 하층식생 특성 등을 분석하였다. 연구의 결과는 최근 화두가 되는 아고산 침엽수림 보전에 대한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이며 나아가 시계열적 변화 양상을 구명할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 향후 목표는 기후변화에 의한 분비나무의 영향을 밝히는 것이 아닌 아고산 지대 서식처로서 분비나무의 역할, 기능, 지위 등을 밝히는 것이다. 이는 분비나무의 보전 가치에 대한 명확한 대전제로 활용될 수 있으며 여타 연구보다 시급히 완료되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Allen C.D., Macalady A.K., Chenchoumi H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., and Hong E.H. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 259: 660-684.
- Braun-Blanquet J. 1965. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*, 3rd ed. Springer, New York (USA). pp. 1-865.
- Brang P., Moran J., Puttonen P., and Vyse A. 2011. Regeneration of *Picea engelmannii* and *Abies lasiocarpa* in high-elevation forests of south-central British Columbia depends on nurse logs. *Forest Chronicle*. 79: 273 - 279.
- Byeon JG, Cheon K, Lee DH, Heo TI, Lee JW, Kim JD and Park BJ. 2020. The Character of Community Structure and Distribution for *Thuja koraiensis* Nakai, South Korea. *Korea Journal of Plant Resources*. 33(2): 93-105. (in Korean)
- Brower J.E. and Zar J.H. 1987. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm. C. Brown Company, Iowa, USA. p. 194.
- Caldwell M.N. 1970. Plant gas exchange at high wind speeds. *plant physiology*. 46: 324-330.
- Chao A., Chazdon R.L., Colwell R.K., and Shen T.J. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*. 8: 148-159.
- Choi B.K., and Lee C.W. 2014. Distribution status and age structure of *Abies holophylla* population in Sudo-Am Temple Forest. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 47(3): 160-166. (in Korean)
- Cheon K.I., Chun J.H., Yang H.M., Lim J.H., and Shin J.H. 2014. Changes of Understory Vegetation Structure for 10 Years in Long-Term Ecological Research Site at Mt. Gyebang. *Journal of Korean Society Forest Science*. 103(1): 1-11. (in Korean)
- Chun Y.M., Ahn J.K., Hong M.P., Shin J.T., Won H.J., and Lee S.H. 2011. Structure and

Allen C.D., Macalady A.K., Chenchoumi H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., and Hong E.H. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change

- dynamics of *Abies nephrolepis* community in Odaesan national park. *The Korean Association of Professional Geographers*. 45(4): 559-570. (in Korean)
- Chun YM., Hong MP., Kwon JH., Lee JS., Chung HL., and Lee SH. 2009. A study on community structure and growth variation of *Abies nephrolepis* forest in Mt. Seorak. *The Korean Association of Professional Geographers*. 43(2): 125-137. (in Korean)
- Chun YM., Lee HY., Kwon JH and Park HC. 2019. Monitoring on the Structure and Dynamics of *Abies nephrolepis* Populations in Seoraksan National Park. *Korean journal of environment and ecology*. 33(5): 565-577.
- Curtis JT. and McIntosh RP. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*. 32(3): 476-496.
- Claveau Y., Comeau PG., Coates KD., and Messier C., 2002. Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and height. *Canadian Journal of Forest Research*. 32: 458 - 468.
- Dakhil MA., Xiong Q., Farahat EA., Zhang L., Pan K., Pandey B., Olatunji OA., Tariq A., Wu X., Zhang A., Tan X., and Huang D., 2019. Past and future climatic indicators for distribution patterns and conservation planning of temperate coniferous forests in southwestern China. *Ecological Indicators*, 107: 105559.
- Davies WJ., 1977. Stomatal responses to water stress and light in plants grown in controlled environments and in the field. *Crop Science*. 17: 735-740.
- De Cáceres M., and Legendre P. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*. 90(12): 3566-3574.
- Dufrene M., and Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species : the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*. 67: 345-366.
- Germino MJ., Smith WK., and Resor AC. 2002. Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecology*. 162: 157-168.
- Golicher D., Cayuela L., Alkemade R., Gonzalez-Espinosa M., and Ramirez-Marcial N. 2008. Applying climatically associated species pools to the modeling of compositional change in tropical montane forests. *Global Ecology and Biogeography*. 17: 262-273.
- Griffin JR. 1980. Sprouting in fire-damaged valley oaks, Chews Ridge, California. Ecology, management, and utilization of California Oaks. General Technical Report PSW-44. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service. New York, USA.
- Hasegawa SF., and Mori A. 2007. Structural characteristics of *Abies mariesii* saplings in a snowy subalpine parkland in central Japan. *Tree Physiology*. 27(1): 141-148.
- Hättenschwiler S., and Smith WK. 1999. Seedling occurrence in alpine treeline conifers: A case study from the central Rocky Mountains, USA. *Acta Oecologica*. 20: 219-224.
- Hunziker U., and Brang P. 2005. Microsite patterns of conifer seedling establishment and growth in a mixed stand in the southern Alps. *Forest Ecology and Management*. 210(1-3): 67-79.
- Hwang HS., Yang JC., Lee YM., Oh SH., Ji SJ., Jeong SY., and Lee HJ. 2013. Floristic Study of Mt. Gyeong Pyeongchang-gun, Gangwon-do in Korea. *The Korea Institute of Forest Recreation Welfare*. 2013(4): 438-441. (in Korean)
- Hong YP., Ahn JY., Kim YM., Yang BH and Song JH. 2011. Genetic Variation of nSSR Markers

- in Natural Populations of *Abies koreana* and *Abies nephrolepis* in South Korea. *Journal of Korean Society Forest Science*. 100(4): 577-584.
- Jang CS., Ji Jeon and Hyun JO. 1997. An Analysis of Morphological Variaton in *Abies koreana* Wilson and *A. nephrolepis* (Traut.) Maxim. of Korea (Pinaceae) and Their Phylogenetic Problems. *Journal of Korean Society Forest Science*. 86(3): 378-390. (in Korean)
- IUCN. 2022. The IUCN redlist of threatened species. www. Iucnredlist.org. (2022. 06.). (in Korean)
- Jang, DW and Youn YI. 2003 A Basic Survey about Dead Tree of Old Korean Fir Stands in Mt. Sorak. *Korean Journal of Environmental Biology*. 21(3): 251-256. (in Korean)
- Kang C. 2002. A study of the jackknife estimate. *Journal of Industrial Science and Technology Institute*. 34: 325-331. (in Korean)
- Kim JD., Lim JH., and Yun CW. 2019. Dynamics of *Abies nephrolepis* seedlings in relation to environmental factors in Seorak Mountain, South Korea. *Forests*. 10(702) :1-14. (in Korean).
- Kim JW., and Lee YG. 2006. Classification and Assessment of Plant Communities. world science, Seoul Korea. pp. 1-240. (in Korean)
- Kong WS. 2002. Species composition and distribution of Korean Alpine Plants. *Journal of the Korean Geographical Society*. 37: 357-370. (in Korean)
- Ko DW and Lee DW. 2013. Dendroecological reconstruction of the disturbance dynamics and human legacy in an old-growth hardwood forest in korea. *Forest Ecology and Management*. 302:43-53.
- Kong WS., Kim KN., Lee SG., Park HN., and Cho SH. 2014. Distribution of High Mountain Plants and Species Vulnerability Against Climate Change. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 23(2): 119-136. (in Korean).
- Korea Fern Society. 2005. Ferns and Fern Allies of Korea. Geobook, Seoul, Korea. pp. 1-399. (in Korean)
- Korea Meteorological Administration. 2022. <http://www.kma.go.kr> (2022. 03).
- Korea National Arboretum. 2022. <http://www.nature.go.kr/kpni/> (2022. 08).
- Lee HY., Chung BK., Chun YM., and Oh CH. 2020. The Research on the Phytosociological Characteristics of *Abies nephrolepis* Maxim. Community in Mt. Seorak, Korea. *Korean Journal of Environment Ecology*. 35(1) : 37-47. (in Korean)
- Lee KJ. 1991. Analysis on the structure of *Quercus mongolica-Abies nephrolepis* Forest on Subalpine Zone in Mt. Chiril. *Korean Society of Environment and Ecology* 5(1): 32-41. (in Korean)
- Lee TB. 2003a. Coloured flora of Korea Vol. II. Hyangmunsa Publishing Co.. Seoul, Korea. pp.1-914. (in Korean)
- Lee TB. 2003b. Coloured Flora of Korea. Vol. I. Hyangmoonsa Publishing Co., Seoul, Korea. pp.1-920. (in Korean)
- Leith H and Aston DH., 1961. The light compensation point of some herbaceous plants inside and outside deciduous woods in Germany. *Canadian Journal of Botany*. 39:1255-1259.
- Ma Y., Nielsen J., Chamberlain DF., Li X., Sun W., 2014. The conservation of Rhododendrons is of greater urgency than has been previously acknowledged in China. *Biodiversity Conservation*. 23: 3149-3154.
- MacKay M., Gardiner S., 2017. Geographic analysis of Red List Rhododendron (Ericaceae) taxa by

- country of origin identifies priorities for ex situ conservation. *Blumea*, 62: 103-120.
- McCune B., and Grace JB. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- McCune B., and Mefford MJ. 2006. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 5.17. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Mori A., Mizumachi E., Osono T., and Doi Y. 2004. Substrate-associated seedling recruitment and establishment of major conifer species in an old-growth subalpine forest in central Japan. *Forest Ecology and Management* 196(2-3): 287-297.
- Nakagawa M, Kurahashi A, Kaji M, Hogetsu T. 2001. The effects of selection cutting on regeneration of *Picea jezoensis* & *Abies sachalinensis* in the sub-boreal forests of Hokkaido, northern Japan. *Forest Ecology & Management*. 146; 15-23.
- National Institute of Meteorological Sciences. 2018. 100 Years Climate Change Report on the Korean Peninsula. Jeju. pp.42. (in Korean)
- Naudiyal N., Wang J., Ning W., Gaire NP., Peili S., Yanqiang W., Jiali H., and Ning S. 2021. Potential distribution of *Abies*, *Picea*, and *Juniperus* species in the sub-alpine forest of Minjiang headwater region under current and future climate scenarios and its implications on ecosystem services supply. *Ecological Indicators*. 121: 107131.
- Newton, A.C. 2007. Forest Ecology and Conservation. Oxford University Press Inc. Newyork, (USA) pp. 100-454.
- Park BJ., Kim JJ., Byeon JG., Cheon KI., Joo SH and Lee YG. 2016. The Classification of Forest Community and Character of Stand Structure in Mt. Myeonbong-Focused on Research Forest in Kyungpook National University, Cheongsong-. *Journal of Korean Society Forest Science*. 105(4):391-400. (in korean)
- Park BJ., Kim JD., Lee JW., Cho SW., Heo TI., Lee DH and Byeon JG. 2021a. A Study on Correlation between Species Composition and Environmental Factors in *Abies koreana* Forest. *Korean Journal of Plant Resources*. 34(2):144-155. (in korean)
- Park BJ., Lee DH., Heo TI., Kim JD., Lee JW., Lee HJ and Byeon JG. 2021b. Community Structure of *Abies nephrolepis* Forest in South Korea and Baekdusan (Mt.), China. *Journal of Agriculture & Life Science*. 55(4)49-59. (in korean)
- Park BJ., Lee JW., Kim JD., Heo TI., Lee DH., Lee JH., Nam KB., Kim HJ., Shin CH., and Byeon JG. 2020. Forest Stand Structure of *Abies nephrolepis* Population in Mt. Hwangbyeong. *Journal of Agriculture and Life Science*. 54(3):35-45. (in Korean)
- Park GE., Kim ES., Jung SC., Yun CW., Kim JS., Kim JD., Kim JB and Lim JH. 2022. Distribution and Stand Dynamics of Subalpine Conifer Species(*Abies nephrolepis*, *Abies koreana*, and *Picea jezoensis*) in Baekdudaegan Protected Area. *Journal of Korean Society Forest Science*. 111(1) 61~71. (in Korean)
- Park HC., Lee JH., Lee GG and Um GJ., 2015. Environmental features of the distribution areas and climate sensitivity assessment of Korean Fir and Khinghan Fir. *Journal of Environment Impact Assessment*. 24(3): 260~277. (in Korean)
- Park HC., Lee HY., Lee NY., Lee H., and Song

- JY., 2019. Survey on the distribution of evergreen conifers in the major national Park-A case study on Seoraksan, Odaesan, Taebaeksan, Sobaaeksan, Doegyusan, Jirisan National Park-. *Journal of National Park Research* 10(2): 224-231. (in Korean)
- Park SG., Lee MH., Yoon JW. and Shin HT., 2012. Environmental Factors and Growth Properties of *Sasa borealis* (Hack.) Makino Community and Effect its Distribution on the Development of Lower Vegetation in Jirisan National Park, *Korea Journal of Environment Ecology*. 26(1): 82~90. (in Korean)
- Resler LM. 2006. Geomorphic Controls of Spatial Pattern and Process at Alpine Treeline. *Professional Geographer*. 58: 124 - 138.
- Scott TA, Sullivan JE. 2000. The Selection and Design of Multiple Species Preserves. *Environ Manage* 26(S1):S37-S53.
- Shin DB and Oh SH. 2022. Vegetation Structure and Characteristics Analysis of *Abies nephrolepis* Forest in Southern Region of Gangwon-do, Korea. *Journal of Korean Society Forest Science*. 111(2): 224~233. (in Korean)
- Shin JH., Lee CH., Bae KH., Cho YC., Kim JS., Cho JH and Cho HJ. 2010. A Study on the Distribution and Dynamics of Relict Forest Trees and Structural Characteristics of Forest Stands in Gangwon Province, Korea. *Korea Society of Environment and Ecology* 32(2): 165-175. (in Korean)
- Song JH., Lee JJ., Lee KJ., Lee JC and Kim YY. 2007. Variation in Needle Morphology of Natural Population of *Abies nephrolepis* Maxim. and *A. koreana* Wilson in Korea. *Korean Society Forest Science*. 96(4): 387-392. (in Korean)
- Song JH., Lee JJ and Kang KS. 2008. Variation in Cone, Seed and Bract Morphology of *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. and *A. koreana* Wilson in Native Forests. *Korean Society Forest Science*. 97(6): 565-569. (in Korean)
- Takahashi K., and Obata Y. 2014. Growth, Allometry and Shade Tolerance of Understory Saplings of Four Subalpine Conifers in Central Japan. *Journal of Plant Research*. 127: 329-338.
- Yousaf A., Hadi R., Khan N., Ibrahim F., Moin H., and Rahim S. 2022. Identification of suitable habitat for *Taxus wallichiana* and *Abies pindrow* in moist temperate forest using maxent modelling technique. *Saudi Journal of Biological Sciences* 103459.
- Wang JH., Cai YF., Zhang L., Xu CK., and Zhang SB., 2018. Species richness of the family Ericaceae along an elevational gradient in Yunnan, China. *Forests*. 9(9) 511.
- Wilson EP. 1992. The Diversity of Life. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, (USA). pp. 35-424.
- Youn YI. 2007. Classic Successional Theory and Stand Dynamics Studies on Fir Stand of Natural Forests in Naesorak Mt.: Focused on Patch Dynamics and Structure. *Korean Journal of Environmental Biology*. 25(2): 158-167. (in Korean)
- Youn YI. 2009. The Natural Regeneration and Stand Characteristics of the Korean Fir Stand in Nae Sorak: A Study about the Concept of the Natural Regeneration in a Natural Fir Forest. *Korean Journal of Environmental Biology*. 27(2): 176-182. (in Korean)

Appendix 1. Environmental factors and species richness of study site

Site Number	Altitude (m)	Bare rock (%)	slope (°)	Azimuth (°)	Basal area (m ² /ha)	Density (d/ha)	Woody layer richness	Herb layer richness
1	1,209	60	40	340	35.82	1,275	13	12
2	1,332	60	28	90	19.89	1,600	15	18
3	1,352	60	26	90	22.51	975	23	29
4	1,420	60	30	310	27.02	1,900	13	13
5	1,350	60	40	290	30.23	800	16	18
6	1,522	60	33	327	8.46	925	17	32
7	1,509	40	34	304	9.48	925	14	28
8	1,230	20	5	190	30.72	925	17	52
9	1,261	10	35	80	34.35	1,425	10	14
10	1,282	30	38	240	17.29	775	10	4
11	1,272	40	31	234	51.72	1,050	12	29
12	1,401	60	20	157	16.86	1,250	11	18
13	1,197	40	42	275	16.51	1,075	20	30
14	1,226	60	32	265	14.47	975	10	20
15	1,190	60	29	245	32.24	1,200	10	19
16	1,200	40	24	220	24.81	825	13	18
17	1,215	60	25	190	47.67	1,300	14	23
18	1,200	60	24	200	37.00	1,025	11	24
19	1,227	60	24	263	40.50	1,200	10	18
20	1,280	60	20	267	33.42	1,650	11	17
21	1,194	30	30	178	24.98	800	10	14
22	1,411	30	31	286	20.17	975	17	32
23	1,497	60	33	15	10.92	700	14	30
24	1,238	60	30	245	52.70	1,500	6	12
25	1,263	60	27	217	39.63	1,150	13	17
26	1,527	30	36	10	6.18	675	13	28
27	1,201	50	25	265	27.47	1,100	12	16
28	1,519	40	32	345	19.87	1,150	11	25
29	1,198	60	33	0	20.70	550	15	14