

아고산대 사스래나무군락의 식물군집구조 분석 연구^{1a}

윤다움² · 오충현^{3*}

The Structure Analysis of Plant Communities of *Betula ermanii* Community in Subalpine^{1a}

Da-Um Yun², Choong-Hyeon Oh^{3*}

요약

강원도 가리왕산, 발왕산, 방태산, 함백산의 아고산대에서 출현하는 사스래나무군락 25개 조사구를 대상으로 식생조사를 실시하고 분석하였다. TWINSpan 및 DCA 분석 결과, 사스래나무-신갈나무군락(Group I), 사스래나무-당단풍나무군락(Group II), 사스래나무군락(Group III)의 총 3개 군락으로 분류되었다. 사스래나무-신갈나무군락(Group I)은 해발 1,082~1,192m 방태산 등산로 주변에 위치하고, 사스래나무-당단풍나무군락(Group II)은 해발 1,230~1,373m 방태산, 가리왕산, 함백산의 능선과 사면에 위치한다. 사스래나무-신갈나무군락과 사스래나무-당단풍나무군락은 현재 교목층에 사스래나무가 우점하고 있으나 장기적으로는 경쟁 관계인 신갈나무가 우점할 것으로 예상된다. 사스래나무군락(Group III)은 해발 1,428~1,464m 함백산과 발왕산 정상부 전석지에 위치한다. 현재 사스래나무 세력이 매우 우세하고 차세대 형성도 활발하여 앞으로도 사스래나무가 우점할 것으로 예상된다. 사스래나무군락은 일반적으로 해발 1,000m 이상에서 출현하며, 해발고도가 높을수록 사스래나무의 세력이 우세한 것으로 나타났다. 토양 분석 결과, 설악산 대청봉 및 지리산 반야봉 아고산대 지역과 비슷한 양상을 보였다. 군락별 종다양도는 1.210~1.293, 균재도는 0.698~0.795, 우점도는 0.208~0.302로 나타났다.

주요어: 가리왕산, 방태산, 발왕산, 함백산, TWINSpan, DCA

ABSTRACT

A vegetation survey was conducted and analyzed on 25 survey plots of *Betula ermanii* communities in the subalpine zone of Mt. Gariwang, Mt. Balwang, Mt. Bangtae, and Mt. Hambaek in Gangwon-do. As a result of TWINSpan and DCA analysis, the community was divided into a total of 3 communities: *Betula ermanii-Quercus mongolica* community(Group I), *Betula ermanii-Acer pseudosieboldianum* community (Group II), and *Betula ermanii* community(Group III). As a result of the vegetation structure analysis, *Betula ermanii-Quercus mongolica* community(Group I) is located on the periphery of the Mt. Bangtae trail at altitude

1 접수 2024년 2월 19일, 수정 (1차: 2024년 4월 29일, 2차: 2024년 5월 4일), 게재확정 2024년 5월 6일
Received 19 February 2024; Revised (1st: 29 April 2024, 2nd: 4 May 2024); Accepted 6 May 2024

2 동국대학교 대학원 바이오환경과학과 박사과정 Graduate School, Dept. of Biological & Environmental Science, Dongguk Univ., Goyang-si 10316, Republic of Korea (yun_daum@naver.com)

3 동국대학교 바이오환경과학과 교수 Professor, Dept. of Biological & Environmental Science, Dongguk Univ., Goyang-si 10316, Republic of Korea (ecology@dongguk.edu)

a 이 논문은 국립산림과학원에서 시행한 '사스래나무와 산겨릅나무의 자생지 보호를 위한 식생조사(2021)'의 일환으로 수행된 내용을 발전시킨 것임

* 교신저자 Corresponding author: ecology@dongguk.edu

of 1,082~1,192m, and *Betula ermanii*-*Acer pseudosieboldianum* community(GroupII) is located on the ridges and slopes of Mt. Bangtae, Mt. Gariwang, and Mt. Hambaeck at altitudes of 1,230~1,373m. *Betula ermanii*-*Quercus mongolica* community(GroupI) and *Betula ermanii*-*Acer pseudosieboldianum* community(GroupII) are currently dominated by *Betula ermanii*, but after long term, it is expected that they will transe to *Quercus mongolica*. The *Betula ermanii* community(GroupIII) is located the summit of Mt. Hambaeck and the summit of Mt. Balwang at altitude of 1,428~1,464m. It is expected that the community will be maintained as *Betula ermanii* community, because *Betula ermanii* is very dominant, and so the next generation dominant species is maintained by *Betula ermanii*. *Betula ermanii* community generally appear above 1,000 m above sea level, and the higher the altitude, the more dominant the *Betula ermanii* are. As a result of the soil analysis, the soil characteristics shows a similar pattern to the subalpine belt of Daecheongbong Peak of Mt. Seoraksan and Banyabong Peak of Mt. Jirisan. As a result of the species diversity index analysis, the species diversity index was 1.210~1.293, the abundance index was 0.698~0.795, and the dominance index was 0.208~0.302.

KEY WORDS: MT. GARIWANG, MT. BALWANG, MT. BANGTAE, MT. HAMBAEK, TWINSPAN, DCA

서론

아고산대(Subalpine belt)는 고산대(Alpine belt)와 함께 산에서 높은 해발고도에 위치하지만, 아고산대와 고산대의 구분은 상업적인 목재 생산이 가능한 용재한계선이나 교목 생육이 불가능해지는 교목한계선을 기준으로 한다. 아고산대는 용재한계선과 교목한계선 사이에 있는 지역으로 사스래나무 등과 같은 낙엽활엽수와 분비나무, 구상나무, 가문비나무, 잎갈나무 등의 침엽수가 함께 분포한다(Kim et al., 2012). 아고산대 기후는 연평균기온 약 4°C 이하, 많은 강수량과 강한 바람 등의 특징이 있으며 시베리아, 북아메리카 북부, 쿠릴 열도, 핀란드 등의 아한대(Subpolar zone)와 유사한 조건을 가진다(Walter, 1979; Kim, 2012). 그러나 아한대와 달리 아고산대는 높은 해발고도에 위치하여 공기밀도가 낮고 강한 직사광선과 자외선에 쉽게 노출된다는 차이가 있다(Redding et al., 2003; Woodward et al., 1994; MEURK, 1984; Kim, 2012).

아고산대의 대표적인 낙엽활엽수종인 사스래나무(*Betula ermanii* Cham.)는 자작나무과 낙엽교목으로 수고 10~20m, 지름 70cm까지 성장하고, 생김새가 비슷한 거제수나무에 비해 수피가 회백색이며 잎이 넓고 측맥의 수가 8~12쌍으로 보다 적고 겨울눈이 백색털로 덮여 있다. 그리고 거제수나무는 사스래나무보다 낮은 해발고도(800~1,200m)에서 자란다. 사스래나무는 극동 러시아, 중국 북동부, 일본 시코쿠 이북지역, 한국에 분포한다. 우리나라에서는 한라산과 지리산 이북의 높은 산지 정상과 능선부에 자생하여(Kim and Kim, 2011), 환경부 지정 기후변화 생물지표종(CBIS: Climate-sensitive Biological

Indicator Species)으로 관리되고 있다(Korea National Institute of Biological Resources, 2017).

사스래나무에 대한 선행 연구는 오존 노출 피해와 생장 변화 연구(Lee et al., 2002), 온도와 CO₂ 농도에 따른 생장 변화 연구(Kim et al., 2014)가 진행된 바 있다. 군집구조 관련 연구는 백두산, 설악산, 덕유산, 오대산, 태백산, 지리산 등을 대상으로 사스래나무가 포함된 산림 식생 및 아고산대 식생 연구(Jang et al., 1991; Kim et al., 1994; Kim and Baek, 1998; Kil et al., 1998; Kim and Choo, 2004; Cho et al., 2004; Kwon et al., 2010; Yun et al., 2010; Yun et al., 2011; Kim, 2012; Kim et al., 2014; Lee et al., 2022; Lee et al., 2023)가 진행되었지만, 사스래나무를 중심으로 수행한 연구는 부족한 실정이다.

반면, 아고산대의 분비나무, 구상나무, 가문비나무 등 침엽수에 대한 조사와 연구는 지속적으로 진행되어 분포 특성, 기후변화 압력 등으로 인한 쇠퇴현상 등이 연구되었다(Kim et al., 2017; Kim et al., 2018; Park et al., 2019; Park et al., 2022). 그러나 우리나라의 대표적인 아고산대 낙엽활엽수종으로 기후변화 피해가 예상되는 사스래나무에 대한 조사 및 연구는 상대적으로 미미하다. 이에 본 연구는 강원도 평창군 가리왕산과 발왕산, 인제군 방태산, 정선군 함백산을 연구대상지로 선정하여 사스래나무군락의 군집 특성을 규명하고, 향후 사스래나무 보전을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 산림청 임상도, Kim(2001), Hwang et al. (2012), Kim(2016)을 참고하여 비교적 사스래나무가 군락을 이루고 있는 강원도 정선군 정선읍과 평창군 진부면에 위치한 가리왕산(1,561.8m), 강원도 평창군 대관령면에 위치한 발왕산(1,459.1m), 강원도 인제군 상남면에 위치한 방태산(1,435.6m), 강원도 태백시 황지동과 정선군 고한읍에 위치한 함백산(1,572.9m)을 연구대상지로 선정하였다 (Figure 1). 아고산대 수종인 사스래나무의 특성에 따라 해발 1,000m 이상인 산 정상부, 정상부로 향하는 능선 및 사면 등에 위치한 사스래나무군락을 조사구로 선정하였다. 현장조사는 2021년 6월 19일부터 10월 25일까지 총 6회에 걸쳐 가리왕산 6개, 발왕산 3개, 방태산 10개, 함백산 6개로 총 25개 조사구에 대한 식물군집구조 조사를 진행하였다.

2. 조사 및 분석 방법

1) 식생 및 환경요인 조사

식생조사는 방형구법(Quadrat method)을 활용하여 사스

래나무가 우점하는 곳을 중심으로 20m×20m(400m²) 크기의 방형구를 조사하였다. 조사는 방형구 내 출현하는 수목을 교목(수고 8m 이상), 아교목(수고 2~8m), 관목(수고 2m 미만)으로 층위 구분하여 수고, 흉고직경, 수관폭, 개체수를 조사하였다. 교목층과 아교목층은 수목의 흉고직경을, 관목층은 수관폭(장변×단변)을 측정하였다. 그리고 환경요인 등을 분석하기 위해 조사구의 해발고도, 경사도, 향 등을 함께 측정하였다.

2) 식물군집구조 분석

현장 조사를 바탕으로 층위별 각 수종의 우점도를 파악하기 위해 Curtis and McIntoch(1951) 방법으로 다음 식과 같이 상대우점치(I.V.: Importance Value)를 분석하였다 (Yim et al., 1980; Park et al., 1987).

$$RD(\text{상대밀도}) = \frac{\text{어느 한 수종의 밀도}}{\text{전체 수종의 밀도}} \times 100(\%)$$

$$RC(\text{상대피도}) = \frac{\text{어느 한 수종의 피도}}{\text{전체 수종의 피도}} \times 100(\%)$$

$$I.V.(\text{상대우점치}) = \frac{RD(\text{상대밀도}) + RC(\text{상대피도})}{2} \times 100(\%)$$

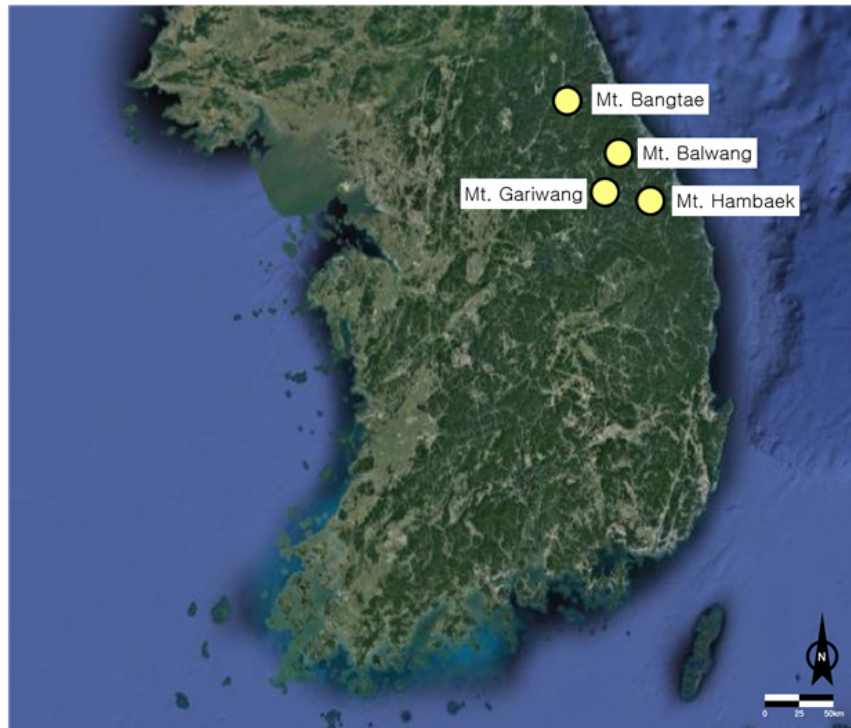


Figure 1. Study Area Location.

$$M.I.V.(\text{평균상대우점치}) = \frac{\text{교목층 I.V.} \times 3 + \text{아교목층 I.V.} \times 2 + \text{관목층 I.V.} \times 1}{6} \times 100(\%)$$

군집 분류는 상대우점치를 기준으로 PC-ORD 7.0 (McCune and Mefford, 2016)을 이용하여 TWINSpan에 의한 Classification 분석(Hill, 1979a)을 진행하였다. 그리고 TWINSpan에 의한 군집 분류를 보완하고, 분류된 군집의 분포 특성을 파악하기 위해 Ordination 기법 중 DCA 분석(Hill, 1979b)을 함께 진행하였다. 각 군집이 적절하게 분류되었는지 검증하기 위해 MRPP(Multi Response Permutation Procedure) test를 실시하였다. MRPP test는 각 그룹간 종조성의 차이를 판별하기 위한 방법으로 해당 그룹간의 유의성 및 유사 계수를 이용하여 군집의 이질성을 판단하는 방법(McCune & Grace, 2002)으로, PC-ORD 7.0(McCune and Mefford, 2016)를 활용해 분석하였다. 군집명은 식생상관을 중심으로 명명하였으며, 명명기준은 제5차 전국자연환경조사 지침(National Institute of Ecology, 2019)을 따랐다. 토양 시료는 각 조사구에서 낙엽층을 제거한 A층 토양을 3점씩 채취하였다. 채취된 토양 시료는 실내에서 2주 이상 충분히 음건한 후 2mm 체로 선별하였다. 토양 pH는 1:5 증류수로 희석하여 pH 미터로 측정하고, 전기전도도는 1:5 증류수로 희석하여 EC 메타측정기로 측정하였다. 유기물함량은 Tyurin법, 전질소는 Kjeldahl 분해법, 유효인산은 Lancaster 법으로 분석하였다. CEC는 1N-NH₄OAc(pH 7.0) 침출 후 NH₄⁺-N 증류법, 치환성양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺)은 1N-NH₄OAc(pH 7.0) 침출 후 ICP를 이용하여 분석하였다. 분류된 군집별로 주요종의 흉고직경에 따른 개체수 분석을 통해 산림천이 양상을 간접적으로 유추할 수 있는 흉고직경 분석을 시행하였다(Harcombe and Marks, 1978). 군집별 종 구성의 다양한 정도를 알아보기 위해 Shannon 수식(Pielou, 1975)을 활용하여 종다양도(H'), 최대종다양도(H'max), 균재도(J'), 우점도(D)를 분석하였다.

$$H'(\text{종다양도}) = \{-\sum(n/N) \times \log(n/N)\}$$

$$H'max(\text{최대종다양도}) = \log S$$

$$J'(\text{균재도}) = H' / H'max, D(\text{우점도}) = 1 - J'$$

(n: 한 종의 개체수, N: 전체 개체수, S: 종 수)

결과 및 고찰

1. 조사지 개황

4개 조사지역 중 가리왕산 조사지역은 해발 1,305~1,348m,

향은 북서향과 북향, 경사는 13~30°로, 속암계곡에서 중봉으로 향하는 능선에 분포하고 있다. 사스래나무 교목층 평균 흉고직경은 30cm이고, 아교목층과 관목층에서는 사스래나무가 거의 출현하지 않았다. 발왕산 조사지역은 해발 1,428~1,451m, 향은 북서향과 서향, 경사는 7~20°로, 발왕산 정상부 전석지에 분포하여 조사지 중 가장 높은 고도에 위치하고, 관목층에서 사스래나무 치수가 가장 많이 출현하였다. 방태산 조사지역은 해발 1,082~1,371m, 향은 북향, 북서향과 동향, 경사는 5~29°로, 매봉령으로 향하는 등산로 주변과 매봉령에서 구룡덕봉으로 향하는 능선, 주억봉 주변에 위치한다. 조사지역 중 가장 넓은 사스래나무군락이 분포한다. 함백산 조사지역은 해발 1,362~1,442m, 향은 서향과 동향, 경사는 14~32°로 은대봉에서 정상으로 향하는 능선부와 정상부 전석지에 분포한다. 조사지역 중 사스래나무의 밀도가 가장 높다.

이는 선행연구 결과인 Kim(2016)의 연구에서 가리왕산 사스래나무군락은 해발 약 900~1,400m의 능선 평탄지와 계곡부 전석지에 분포하고 이 지역 우점종으로는 사스래나무, 당단풍나무, 고로쇠나무 등이 분포한다는 결과와 유사하다. 또한, Kim(2001)의 연구에서 함백산 사스래나무-신갈나무군락은 해발 1,100~1,500m 부근 계곡부에 소규모로 분포하고, 우점종으로는 사스래나무, 신갈나무, 당단풍나무 등이 출현한다는 연구결과와 조사위치가 완전하게 동일하지는 않지만, 유사한 해발고도 및 분포 범위를 가지는 것으로 분석되었다.

2. 식물군집구조 분석

1) 군락 분류

사스래나무군락 25개 조사구에 대해 Classification 분석을 위해 TWINSpan 분석을 시행한 결과, 1~2 Division의 식별종에 의해 총 3개 그룹으로 구분되었다. 제 1단계(level 1) Division 1의 식별종은 진달래(+)로 진달래가 없는 A군락과 진달래가 있는 B군락으로 분리되었다. 제 2단계(level 2) Division 2의 진달래가 없는 A군락은 박달나무, 얇은잎고광나무(-)와 미역줄나무, 마가목(+)에 의해 나누어져 전체적으로 3개 군락으로 구분된다. 진달래가 없는 A군락 중 박달나무, 얇은잎고광나무(-)가 출현하는 Group I 은 5개 조사구, 진달래가 없는 A군락 중 미역줄나무, 마가목(+)이 출현하는 Group II는 14개 조사구, 진달래가 있는 B군락인 Group III은 6개 조사구로 구분된다(Figure 2). 각 군집 간 유의성을 검증하기 위해 MRPP 분석결과, A=0.291(0<A<1), p<0.00000002 (0.05 이하)으로 분석되어 유의한 수준으로 군집이 분류되었다.

이 식별종들로 분류된 군락의 생태적 특징을 간접적으로

파악 할 수 있었다. 제 1단계(level 1) 식별종인 진달래(+)는 양수로서 산성 토양에서 잘 자라는 종(Park and Kim, 2023)으로, 산지 정상부와 능선을 따라 군락을 형성하는 특성(Park and Cho, 2013)을 가진다. 이에 진달래가 없는 A군락은 해발 1,400m 미만의 산 능선 및 사면에 위치하고, 진달래가 있는 B군락에 해당하는 GroupⅢ은 해발 1,400m 이상의 산 정상부에 위치하여 진달래 생육 환경요인과 일치한다. 제 2단계(level 2)는 진달래가 없는 A군락이 식별종인 박달나무, 얇은잎고광나무(-)와 미역줄나무, 마가목(+)에 의해 나누어진다. 박달나무(-)는 전국 산지의 해발 1,000m 이하에서 분포(Kim and Kim, 2018)하고, 얇은잎고광나무(-)는 전국적으로 주로 숲 가장자리에 분포(Kim and Kim, 2012)한다. A군락 중 박달나무, 얇은잎고광나무(-)가 출현하는 Group I 은 해발 1,000~1,100m의 등산로 주변을 따라 위치한다. 미역줄나무(+)는 산 능선부의 양지바른 곳에 주로 출현(Kang et al., 2016)하고, 마가목(+)은 백두대간 고봉을 따라 주로 분포(Lee, 1985; Kim et al., 2008)하여 해발 1,200~1,300m의 능선과 사면에 분포하는 Group II의 환경요인과 일치한다. 군락의 층위별 상대우점치(I.V.)와 평균 상대우점치(M.I.V.)를 바탕으로 군락명을 부여한 결과, 박달나무와 얇은잎 고광나무출현으로 구분된 Group I 은 사스래나무-신갈나무군락, 미역줄나무와 마가목 출현으로 구분된 Group II는 사스래나무-당단풍나무군락, 진달래 출현으로 구분된 GroupⅢ은 사스래나무군락으로 구분되었다(Table 2).

TWINSpan에 의한 군락 분류를 보완하고, 군락의 환경특성을 규명하기 위해 DCA기법을 이용하여 분석하였다(Lee et al., 1994; Choi and Kang, 2006). DCA 분석 결과, 1축은 해발고도에 의해 배열되었다. 좌측은 해발고도가 가장 낮은 Group I, 가운데는 해발고도가 중간인 Group II, 우측은 해발고도가 가장 높은 GroupⅢ으로 분류되었다(Figure 3). 2축은 유의미한 분류가 나타나지 않았다(Figure

3). 하지만 해발고도를 기준으로 TWINSpan에 의해 진행된 군락 분류와 DCA 분석결과가 정합하는 것으로 나타나 군락분류가 타당한 것으로 판단되었다.

2) 군락별 개황 및 상대우점치 분석

Group I (사스래나무-신갈나무군락)은 방태산 등산로 주변에 위치한 5개 조사구이다. 해발 1,082~1,192m, 향은 북서향과 북향, 경사는 14~29°이다(Table 1). 상대우점치(I.V.) 분석 결과, 교목층에서 사스래나무(I.V. 46.15%), 신갈나무(I.V. 25.02%), 음나무(I.V. 9.26%) 등이 출현하였으며, 아교목층은 당단풍나무(I.V. 26.76%), 까치박달(I.V. 20.39%), 시닥나무(I.V. 8.49%), 피나무(I.V. 7.35%) 등의 순으로 우점하였다. 관목층은 산겨릅나무(I.V. 16.12%), 당단풍나무(I.V. 13.40%), 철쭉(I.V. 11.28%), 시닥나무(I.V. 9.45%), 신갈나무(I.V. 8.63%) 등이 출현하였다(Table 2). Group II(사스래나무-당단풍나무군락)은 방태산, 가리왕산, 함백산의 능선과 사면에 위치한 14개 조사구이다. 해발 1,230~1,373m, 향은 북향, 북서향, 동향, 경사는 5~30°이다(Table 1). 상대우점치(I.V.) 분석 결과, 교목층에서 사스래나무(I.V. 57.08%), 신갈나무(I.V. 22.76%) 등 순서로 우점하였고, 아교목층은 당단풍나무(I.V. 39.43%), 피나무(I.V. 12.60%), 함박꽃나무(I.V. 7.45%) 등이 출현하였다. 관목층은 당단풍나무(I.V. 18.14%), 시닥나무(I.V. 16.29%), 철쭉(I.V. 14.96%), 미역줄나무(I.V. 14.84%) 등 순으로 출현하였다(Table 2). GroupⅢ(사스래나무군락)은 함백산과 발왕산 정상부의 전석지 위치한 6개 조사구이다. 해발 1,428~1,464m, 향은 북서향과 서향, 경사는 7~32°이다(Table 1). 상대우점치(I.V.) 분석 결과, 교목층에서 사스래나무(I.V. 67.87%), 신갈나무(I.V. 17.90%) 등 순으로 우점하고, 아교목층은 사스래나무(I.V. 28.19%), 신갈나무(I.V. 10.78%), 마가목(I.V. 9.96%), 당단풍나무(I.V. 9.52%) 등 순으로 출현하였다. 관목층은 철쭉(I.V. 15.24%), 꽃개회나

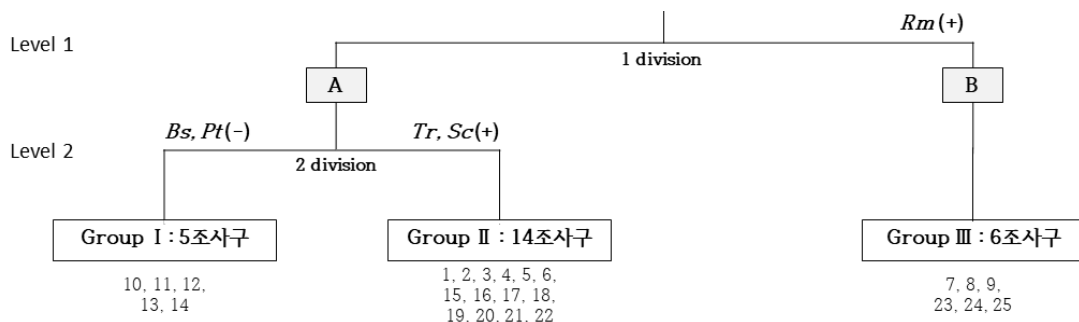


Figure 2. The Classification of 25 plots by the TWINSpan analysis.

* Rm: *Rhododendron mucronulatum* Turcz., Bs: *Betula schmidtii* Regel., Pt: *Philadelphus tenuifolius* Rupr. & Maxim., Tr: *Tripterygium regelii* Sprague & Takeda., Sc: *Sorbus commixta* Hedl.

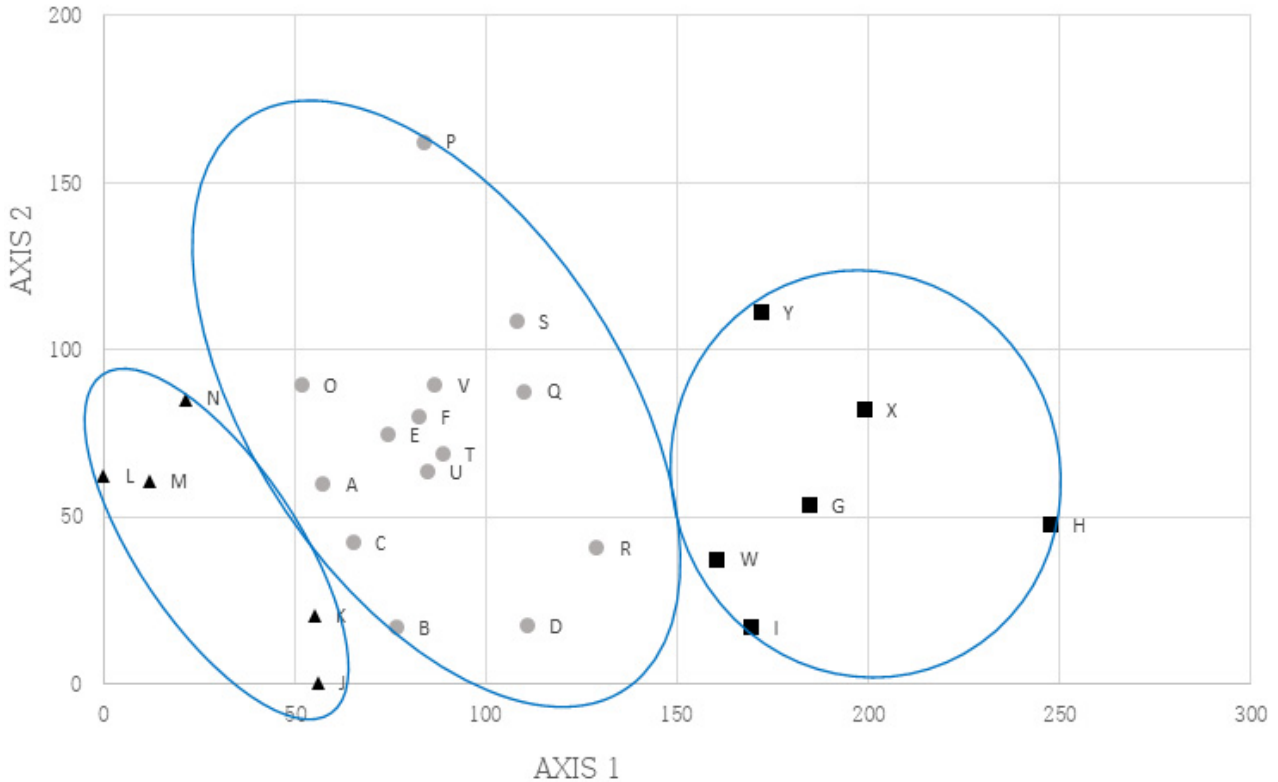


Figure 3. The DCA ordination of 25 plots(Group I : *Betula ermanii-Quercus mongolica* Community(▲), Group II : *Betula ermanii-Acer pseudosieboldianum* Community(○), Group III: *Betula ermanii* Community(■)).

무(I.V. 12.21%), 붉은병꽃나무(I.V. 10.46%) 등 순으로 출현하였다(Table 2).

사스래나무군락에 대한 식생 구조 분석 결과, Group I (사스래나무-신갈나무군락)과 Group II (사스래나무-당단풍나무군락)에서는 해발고도가 낮을수록 신갈나무와 당단풍나무의 세력이 증가한 반면, 사스래나무는 감소하는 것으로 분석되었다. 반면, Group III(사스래나무군락)에서는 해발고도가 높을수록 신갈나무, 당단풍나무의 세력이 감소하고 사스래나무의 세력이 절대 우점하였으며, 전 층위에서 사스래나무가 균일하게 출현하여 차세대 형성이 안정적으로 이루어지고 있었다. 따라서 아고산대 대표 낙엽활엽수종인 사스래나무는 해발 1,000m 이상에서 주로 출현하는데, 해발고도가 높아질수록 사스래나무의 세력이 우세해지는 경향을 보였다. 이는 선행연구인 설악산 아고산대의 해발 1,100~1,500m 이상에서 사스래나무군락이 집중적으로 출현하고, 해발고도가 높아질수록 사스래나무의 세력이 증가한다는 결과(Lee et al., 2022)와 일치한다.

3. 토양 특성

사스래나무군락의 토양 분석 결과, pH는 4.4~4.79, 유기물

(OM)함량은 18.97~37.40%, 전질소(TN)는 0.51~1.20%로 설악산 대청봉과 지리산 반야봉 아고산대(Kwon et al., 2010; Cho et al., 2016)와 비슷한 양상을 보였다(Table 3). 유효인산(P^2O_5)은 64.09~126.25ppm, 양이온치환용량(CEC)은 24.60~49.87cmol⁺/kg으로 설악산 대청봉과 지리산 반야봉 아고산대(Kwon et al., 2010; Cho et al., 2016)보다 다소 높지만 비슷한 수치로 분석되었다(Table 3). 토성(Soil texture)은 Group I (사스래나무-신갈나무군락)과 Group II (사스래나무-당단풍나무군락)는 사질양토로 일반적인 산림토양의 토성과 유사하였다. Group III(사스래나무군락)의 토성은 미사질식토와 미사질식양토로 설악산 대청봉 털진달래-사스래나무군락(Kwon et al., 2010) 토성인 사질식토의 점토 및 미사함량이 유사한 것으로 나타났다(Table 3).

연구 대상지의 토양특성은 전반적으로 설악산 대청봉과 지리산 반야봉 아고산대(Kwon et al., 2010; Cho et al., 2016) 토양과 비슷한 양상을 보이고 있으나, 유효인산과 양이온치환용량, 치환성 칼슘(Ca^{2+}) 등 일부 특성은 비교 대상지 사스래나무군락보다 높게 나타났다(Kwon et al., 2010; Cho et al., 2016).

Table 1. General description of the physical features and vegetation of 25 plots

Community*		GroupI (5 Plots)					GroupII (14 Plots)		
The surveyed areas		Mt. Bangtae					Mt. Gariwang		
Plot number		10	11	12	13	14	1	2	3
Topography		Edge					Ridge, Slope		
Altitude(m)		1082	1100	1153	1186	1192	1305	1326	1328
Aspect(°)		NW	N	NW	NW	NW	N	N	N
Slope(°)		14	17	29	24	21	16	13	13
Canopy	Mean Height(m)	14	13	13	14	15	9	10	9
	Mean DBH(cm)	31.2	24.2	27.7	30.1	35.2	24.0	29.3	28.6
Understory	Mean Height(m)	5	5	6	6	6	6	6	5
	Mean DBH(cm)	7.0	7.7	8.0	6.7	6.9	7.4	7.8	6.8
Shrub	Mean Height(m)	1	1	1	1	1	1	1	1

Community*		GroupII (14 Plots)							
The surveyed areas		Mt. Gariwang				Mt. Bangtae			
Plot number		4	5	6	15	16	17	18	19
Topography		Ridge, Slope							
Altitude(m)		1348	1336	1332	1230	1260	1371	1367	1366
Aspect(°)		N	NW	NW	N	E	N	NW	NW
Slope(°)		13	29	30	7	20	15	5	12
Canopy	Mean Height(m)	9	9	10	9	9	8	8	8
	Mean DBH(cm)	30.2	32.8	35.4	28.6	21.2	29.7	21.5	33.4
Understory	Mean Height(m)	6	5	6	5	5	4	4	4
	Mean DBH(cm)	9.4	6.8	10.4	5.9	9.1	10.8	9.9	7.3
Shrub	Mean Height(m)	1	1	1	1	1	1	1	1

Community*		GroupII (14 Plots)				GroupIII (6 Plots)				
The surveyed areas		Mt. Hambaek				Mt. Balwang		Mt. Hambaek		
Plot number		20	21	22	7	8	9	23	24	25
Topography		Ridge, Slope				Peak, Summit(pile of stones)				
Altitude(m)		1373	1369	1362	1446	1451	1428	1442	1445	1464
Aspect(°)		E	E	E	NW	W	W	W	W	W
Slope(°)		14	15	17	7	18	20	24	25	32
Canopy	Mean Height(m)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Mean DBH(cm)	15.9	19.7	19.0	23.1	23.9	23.7	17.6	16.9	20.1
Understory	Mean Height(m)	5	5	6	4	4	4	4	3	4
	Mean DBH(cm)	5.4	6.8	7.4	11.6	14.8	16.4	11.4	7.7	15.0
Shrub	Mean Height(m)	1	1	1	0.4	0.5	1	1	1	1

* Plant community names are referred form Figure 2

Table 2. Importance Value of major woody species by the stratum of 3 communities*

Community*	Species	Layer	C	U	S	M
Group I (5 plots)	<i>Betula ermanii</i> Cham.		46.15	0.76	0.00	23.33
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.		25.02	1.79	8.63	14.55
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.		0.95	26.76	13.40	11.63
	<i>Carpinus cordata</i> Blume		5.75	20.39	5.96	10.66
	<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.		9.26	0.00	0.00	4.63
	<i>Acer komarovii</i> Pojark.		0.00	8.49	9.45	4.41
	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.		1.79	7.35	3.42	3.92
	<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.		0.00	2.67	16.12	3.58
	<i>Acer pictum</i> Thunb. var. <i>mono</i> (Maxim.) Maxim. ex Franch.		2.88	4.52	0.00	2.94
	<i>Betula schmidtii</i> Regel		0.75	6.86	0.33	2.72
	<i>Ulmus laciniata</i> (Trautv.) Mayr		0.00	6.52	0.00	2.17
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.		0.00	0.00	11.28	1.88
	<i>Syringa villosa</i> Vahl subsp. <i>wolfii</i> (C.K.Schneid.) Y.Chen & D.Y.Hong		0.00	4.27	1.48	1.67
	Others		7.45	9.60	29.92	11.91
Group II (14 plots)	<i>Betula ermanii</i> Cham.		57.08	2.12	0.40	29.31
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.		1.95	39.43	18.14	17.14
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.		22.76	3.40	2.22	12.88
	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.		4.38	12.60	1.67	6.67
	<i>Acer komarovii</i> Pojark.		0.18	5.56	16.29	4.66
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance		2.42	5.85	2.70	3.61
	<i>Magnolia sieboldii</i> K.Koch		0.10	7.45	4.24	3.24
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.		0.00	0.40	14.96	2.62
	<i>Tripterygium regelii</i> Sprague & Takeda		0.00	0.00	14.84	2.47
	<i>Cornus controversa</i> Hemsl.		2.63	3.21	0.08	2.40
	<i>Acer pictum</i> Thunb. var. <i>mono</i> (Maxim.) Maxim. ex Franch.		2.50	2.78	0.12	2.20
	<i>Prunus maackii</i> Rupr.		0.56	2.50	5.62	2.05
	<i>Carpinus cordata</i> Blume		0.46	3.61	1.06	1.61
Others		4.98	11.11	17.67	9.14	
Group III (6 plots)	<i>Betula ermanii</i> Cham.		67.87	28.19	5.00	44.17
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.		17.90	10.78	0.44	12.62
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.		0.00	3.95	15.24	3.86
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.		0.00	9.52	3.14	3.69
	<i>Sorbus commixta</i> Hedl.		0.00	9.96	1.20	3.52
	<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc.		5.92	0.27	1.23	3.26
	<i>Acer komarovii</i> Pojark.		0.00	7.18	5.00	3.23
	<i>Abies nephrolepis</i> (Trautv. ex Maxim.) Maxim.		0.00	7.05	1.01	2.52
	<i>Syringa villosa</i> Vahl subsp. <i>wolfii</i> (C.K.Schneid.) Y.Chen & D.Y.Hong		0.00	1.24	12.21	2.45
	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.		3.78	0.46	0.13	2.07
	<i>Weigela florida</i> (Bunge) A.DC.		0.00	0.98	10.46	2.07
	<i>Euonymus macropterus</i> Rupr.		0.00	5.47	1.43	2.06
	<i>Prunus maackii</i> Rupr.		0.00	5.31	1.53	2.02
	Others		4.51	9.65	41.98	12.47

* Plant community names are referred from Figure 2

Table 3. Soil characteristic of 3 communities*

Community*	GroupI (<i>Betula ermanii-Quercus mongolica</i> Community)	GroupII (<i>Betula ermanii-Acer pseudosieboldianum</i> Community)	GroupIII (<i>Betula ermanii</i> Community)
pH	4.79 (4.56~5.15)	4.40 (4.09~4.73)	4.44 (4.05~5.06)
EC(dS/m)	0.207 (0.149~0.274)	0.205 (0.152~0.34)	0.167 (0.13~0.21)
OM(%)	18.97 (11.62~24.53)	19.89 (12.49~25.94)	37.40 (21.07~51.4)
TN(%)	0.51 (0.31~0.6)	0.57 (0.39~0.79)	1.20 (0.75~1.68)
P ² O ⁵ (ppm)	72.26 (52.85~88.08)	64.09 (34.87~123.31)	126.25 (17.62~273.05)
CEC(cmol ⁺ /kg)	24.6 (21.2~29.6)	27.9 (23.5~33.5)	49.9 (35.2~65.4)
Ex. cation (cmol ⁺ /kg)	K ⁺	0.52 (0.45~0.63)	0.30 (0.2~0.51)
	Ca ²⁺	4.91 (2.9~7.01)	3.06 (0.84~5.42)
	Mg ²⁺	0.73 (0.43~1.08)	0.51 (0.17~1.01)
	Na ⁺	0.70 (0.08~3.09)	0.07 (0.05~0.09)
Soil texture	Sandy loam	Sandy loam	Silty clay, Silty clay loam

* Plant community names are referred from Figure 2

4. 흉고직경급 분석

국가산림자원조사 현지조사지침서(Korea Forest Service, 2017)를 참고하여 흉고직경 6cm 미만을 치수, 6~18cm는 소경목, 18~30cm는 중경목, 30cm 이상은 대경목으로 분류해 흉고직경급을 분석하였다. Group I의 2,000m² 내 사스래나무는 DBH 8~75cm에 해당하는 80개체가 출현하였고, 치수에 해당하는 DBH 6cm 미만은 나타나지 않았다. 신갈나무는 DBH 8~51cm에 해당하는 50개체가 출현하였고, 치수는 38개체가 출현하였다. 당단풍나무는 DBH 6~20cm에서 50개체가 나타났고, 치수는 41개체가 출현하였다. 까치박달은 DBH 6~29cm에서 53개체가 나타나고, 치수는 17개체가 출현하였다(Table 4). Group I은 사스래나무가 소경목에서 대경목까지 분포하지만 대부분이 중경목과 대경목 직경급에서 분포하고, 치수에 해당하는 직경급은 전혀 분포하지 않아 차세대 형성이 어려운 것으로 분석되었다. 경쟁이 예상되는 신갈나무는 소경목에서 대경목까지, 당단풍나무는 치수에서 소경목까지 고루 분포하고 있다. 따라서 Group I은 현재 사스래나무가 우점하지만 장기적으로는 경쟁관계인 신갈나무가 우세해질 것으로 예상된다. Group II의 5,600m² 내 사스래나무는 DBH 6~109cm에서 348개체가 나타나며, 치수에 해당하는 8개체가 나타났고, 당단풍나무는 DBH 6~55cm에 해당하는 217개체가 나타나고, 치수는 268개체가 출현하였다. 신갈나무는 DBH 6~125cm에서 135개체가 나타나고, 치수는 43개체가 출현하였다. 시닥나무는 DBH 6~12cm에 해당하는 39개체가 나타나고, 치수는 270개체가 출현하였다(Table 4). Group II는 사스래나무 대부분이 소

경목, 중경목, 대경목에서 고루 분포하고 치수는 적은 개체가 확인되어, Group I보다 해발고도가 높은 Group II에서 사스래나무 치수의 출현을 알 수 있었다. 그러나 적은 사스래나무 치수 개체가 확인되었고, 당단풍나무, 시닥나무, 철쭉, 미역줄나무가 관목층에 다수 분포하고 있어 차세대 형성에 어려움이 있을 것으로 예상된다. 사스래나무 다음으로 세력이 강한 당단풍나무는 치수에서 중경목까지 고루 분포하고, 교목층에서 사스래나무 다음으로 우세한 신갈나무는 치수에서 대경목까지 고루 분포하고 있다. 따라서 Group I과 같이 현재는 사스래나무가 우점하고 있으나, 장기적으로는 경쟁관계인 당단풍나무는 세력이 유지되고 신갈나무가 사스래나무보다 우세해질 것으로 예상된다. Group III의 2,400m² 내 사스래나무는 DBH 6~60cm에 해당하는 173개체가 나타나며, 치수는 31개체가 나타났고, 신갈나무는 DBH 8~69cm에서 39개체가 나타나고, 치수는 3개체가 출현하였다. 철쭉은 DBH 6~25cm에서 13개체가 나타나고, 치수는 52개체가 출현하였다. 당단풍나무는 DBH 6~40cm에 해당하는 24개체가 나타나고, 치수는 9개체가 출현하였다. 시닥나무는 DBH 6~29cm에 해당하는 22개체가 나타나고, 치수는 25개체가 출현하였다(Table 4). 사스래나무는 치수에서 중경목까지 고루 분포하고 차세대 형성도 활발히 되고 있어, 해발고도가 가장 높고 산 정상부 전석지에 위치한 Group III은 사스래나무 생육에 적합한 것으로 사료된다. 그리고 Group I과 Group II와 달리 신갈나무와 당단풍나무의 개체수가 적고 차세대 형성에 어려움이 있어 앞으로도 사스래나무의 우점도가 유지될 것으로 예상된다.

연구 결과, 사스래나무는 해발 1,200m 이상에서 치수의 출현이 시작되고, 해발 1,400m 이상 산 정상에서는 차세대 형성이 활발히 이루어지고 있음이 확인되었다. 그러나 분비나무, 구상나무, 가문비나무 등 아고산대 침엽수종은 온도 상승, 강수량 변화 등 기후변화에 따라 입목쇠퇴가 전반적으로 증가하는 추세를 보이고 있고, 새로 생성되는 치수가 소실된 치수보다 적어 해당 군집의 존속에 문제가 발생하고 있다(Park et al., 2022). 따라서 사스래나무군락 역시 기후변화의 영향으로 세력이 약해지고 생육지가 축소될 수 있으므로 지속적인 모니터링 및 쇠퇴현상에 대한 적극적인 모니터링과 보전방안 마련이 필요하다.

5. 종다양성지수

연구대상지의 종다양성 지수는 1.210~1.293으로 나타났다. Group III이 1.293으로 가장 높았다. Group III의 경우 광조건이 좋아 나래회나무, 부계꽃나무, 매발톱나무, 세잎종달굴, 요강나물 등 해발고도가 높은 지역에서 출현하는 식물이 다수 출현하였기 때문이다. Group II는 1.210으로 가장 낮게 나타났는데, 광조건 등으로 식물종수가 다양하게 출현하지 않고 조사구별 중복되는 식물종이 많아 비교적 낮게 분석되었다(Table 5).

균재도는 0.698~0.795로 나타났으며, Group I이 0.795로 가장 높았다. 이는 Group I의 조사구 수가 가장 적고,

Table 4. The DBH distribution of major woody species of 3 communities*

Community*	Species	Shrub	D ¹	D ²	D ³	D ⁴	D ⁵	D ⁶	D ⁷	D ⁸	D ⁹	D ¹⁰	D ¹¹
I (2,000m ²)	<i>Betula ermanii</i> Cham.	-	-	7	18	44	8	-	3	-	-	-	-
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	38	-	7	19	17	7	-	-	-	-	-	-
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	41	16	32	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Carpinus cordata</i> Blume	17	6	36	11	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Acer komarovii</i> Pojark.	41	18	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II (5,600m ²)	<i>Betula ermanii</i> Cham.	8	1	115	113	91	15	6	4	-	2	1	-
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	268	60	133	18	2	1	1	1	-	1	-	-
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	43	3	41	49	26	10	4	-	-	-	1	1
	<i>Acer komarovii</i> Pojark.	270	24	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	224	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tripterygium regelii</i> Sprague & Takeda	282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
III (2,400m ²)	<i>Betula ermanii</i> Cham.	31	23	99	34	14	2	1	-	-	-	-	-
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	3	1	18	14	1	2	2	1	-	-	-	-
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	52	-	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	9	1	15	6	2	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Acer komarovii</i> Pojark.	25	6	12	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Syringa villosa</i> Vahl subsp. <i>wolfii</i> (C.K.Schneid.) Y.Chen & D.Y.Hong	34	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-

* Plant community names are referred from Figure 2

D1<6(cm), 6≤D2<18, 18≤D3<30, 30≤D4<41, 41≤D5<53, 53≤D6<66, 66≤D7<78, 78≤D8<90, 90≤D9<102, 102≤D10<113, 113≤D11

Table 5. The species diversity of 3 communities*

Community*	H'(Shannon)	H'max	J'(evenness)	D(dominance)
Group I	1.260	1.591	0.792	0.208
Group II	1.210	1.732	0.698	0.302
Group III	1.293	1.716	0.754	0.246

* Plant community names are referred from Figure 2

비교적 다른 군락에 비해 종별 개체수의 차이가 적어 가장 균일하게 분석되었다. 반면 Group II는 0.698로 가장 낮았는데, 주요종인 사스래나무, 당단풍나무, 신갈나무에서 개체수 차이가 커서 비교적 덜 균일한 것으로 분석되었다 (Table 5).

우점도는 0.208~0.302로 나타났으며, Group II가 0.302로 가장 높았다. 이는 주요종인 사스래나무, 당단풍나무의 개체수가 압도적으로 많고 상대우점치도 높아 우점도는 높고 균재도는 낮게 나타났다. Group I는 0.208로 가장 낮았는데, 이는 주요종인 사스래나무, 신갈나무, 당단풍나무, 까치박달의 개체수 차이가 적고, 상대우점치 및 평균상대우점치도 비교적 균일하게 나타나 우점도는 낮고, 균재도는 높게 분석되었다(Table 5).

REFERENCES

- Chang, N.K., S.H. Yeau, S.K. Lee and H.R. Kwon(1991) Vertical distribution of forest types on the north-western slope of Mt. Paektu. *Journal of Ecology and Environment* 14(4): 435-448. (in Korean with English abstract)
- Cho, H.J., K.H. Bae, C.S. Lee and C.H. Lee(2004) Species composition and structure of the evergreen coniferous forest vegetation of the subalpine area (South Korea). *Journal of Korean Forestry Society* 93(5): 372-379. (in Korean with English abstract)
- Cho, M.G., J.M. Chung, H.I. Lim, I. Noh, T.W. Kim, C.Y. Kim and H.S. Moon(2016) Ecological characteristics of sub-alpine coniferous forest on Banyabong in Mt. Jiri. *Journal of Climate Change Research* 7(4): 465-476. (in Korean with English abstract)
- Choi, S.H. and H.M. Kang(2006) Vegetation structure of the Kumsaenggol in the Wolchulsan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 20(4): 464-472. (in Korean with English abstract)
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh(1951) An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Harcombe, P.A. and P.H. Marks(1978) Tree diameter distribution and replacement process in southeast Texas forest. *For Sci* 24(2): 153-166.
- Hill, M.O.(1979a) TWINSpan-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Section of Ecology and Systematics, Cornell Univ., New York, 60pp.
- Hill, M.O.(1979b) DECORANA-A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Section of Ecology and Systematics, Cornell Univ., New York, 52pp.
- Hwang, K.M., J.M. Lee and J.H. Kim(2012) Community classification and successional trends in the natural forest of Baekdudaegan in Gangwon Province: Focused on Hyangrobong, Odaesan, Seokbyeongsan, Dutasan, Deokhangsan and Hambaeksan. *Journal of Agriculture & Life Science* 46(4): 41-55. (in Korean with English abstract)
- Jang J.E., S.C. Lee and S.H. Choi(2020). Ecological characteristics and vegetation structure analysis of eurya japonica community: Focusing on Busan Metropolitan City. *Korean Journal of Environment and Ecology* 34(2): 157-169. (in Korean with English abstract)
- Jin H.O., M.J. Lee, Y.O. Shin, J.J. Kim and S.G. Jeon(1994) Forest soil science. Hyangmunsa, Seoul, 325pp. (in Korean)
- Jin, H.J., S.K. Kyo, C.H. Lee and C.S. Kim(2002) Physico-chemical properties of Korean forest soils by regions. *Korean Society of Forest Science* 91(6): 694-700. (in Korean with English abstract)
- Kang, H.M., S.G. Park and S.C. Lee(2016) Characteristics of pinus densiflora-dominant community on the mountain ridges of the Nakdong-Jeongmag. *Korean Journal of Environment and Ecology* 30(4): 751-761. (in Korean with English abstract)
- Kil, B.S., Y.S. Kim, C.H. Kim and H.G. Yoo(1998) The vegetation characteristics of the upper area of timber line in Mt. Paektu. *Journal of Ecology and Environment* 21(5): 519-529. (in Korean with English abstract)
- Kim C.N.(2001) Flora and vegetation of Mt. Hambaeksan. *Gangwon Science Education Research Association* 6(1): 75-87. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., J.G. Oh, E.O. Kang, C.S. Yun and J.K. Lim(2014) Community distribution on mountain forest vegetation of the Gyeongbongsan area in the Odaesan National Park, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 47(3): 135-145. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.S., S.H. Kim, J.H. Chun, C.S. Woo, G.E. Park, Y.S. Kim and J.H. Lim(2017) Guideline for investigation on vulnerable conifer species in subalpine zone in Korea. *National Institute of Forest Science*. (in Korean)
- Kim, G.N., S.H. Han and D.H. Kim(2014) Changes on growth, anti-oxidant enzyme activities and MDA content of the *Betula ermannii* under Enhanced Temperature and CO₂ Concentration. *Proceedings of Journal of Korean Forestry Society Meeting* 2014(0): 327-327. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(2004) Forest structure of subalpine region from Hyangjeukbong to 2nd Deogyusan in Deogyusan National Park, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 18(2): 142-149. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.J. Baek(1998) Studies on the structure of forest community at Taech'ongbong-Hangyeryong Area in Soraksan

- National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 11(4): 397-406. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., J.S. Kim, G.C. Choo and W.H. Jin(1994) Studies on the structure of forest community at Paekryunsa-Hyangchokpong area in Tokyusan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 7(2): 155-163. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.D., G.E. Park, J.H. Lim and C.W. Yoon(2018) The change of seedling emergence of *Abies Koreana* and altitudinal species composition in the subalpine area of Mt. Jiri over Short-Term (2015-2017). Korean Journal of Environment and Ecology 32(3): 313-322. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W., M.B. Lee, W.S. Kong, T.H. Kim and C.S. Kang(2012) Physical geography of Korea. Snupress, Seoul, 336pp. (in Korean)
- Kim, J.Y.(2016) Studies on actual vegetation and potential natural vegetation of Mt. Gariwangsan. Master Dissertation, Chungnam Univ., Daejeon, 98pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H., J.G. Han, H.G. Chung, D.H. Lee, Y.H. Song and D.J. Chung(2008) Ecological characteristics of native sorbus commixta Hedl. Natural Populations in Kangwon Region. Journal of Apiculture 3(1): 51-61. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.Y.(2012) Syntaxonomy of subalpine vegetation in Korea. Ph.D. Dissertation, Keimyung Univ., Daegu, 158pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, T.Y. and J.S. Kim(2012) Woody plants of Korean Peninsula. Dolbegae, Paju, 688pp. (in Korean)
- Korea Forest Service(2017) The 7th national forest resources survey and guidelines for field surveys on forest health and vitality. Korea Forest Service, 99pp. (in Korean)
- Korea National Institute of Biological Resources(2017) <https://species.nibr.go.kr>
- Korea National Institute of Ecology(2019) The guideline of the 5th national ecosystem survey. Korea National Institute of Ecology, 135pp. (in Korean)
- Kwon, H.J., J.H. Gwon, K.S. Han, M.Y. Kim and H.K. Song(2010) Subalpine forest vegetation of Daecheongbong area, Mt. Seoraksan. Korean Journal of Environment and Ecology 24(2): 194-201. (in Korean with English abstract)
- Lee C.B.(1985) Coloured flora of Korea(Vols I&B). Hyangmunsa, Seoul, 1828pp. (in Korean)
- Lee, J.C., S.H. Han, C.S. Kim and S.S. Jang(2002) Visible foliar injuries and growth responses of four *Betula* sp. exposed to ozone. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 4(1): 29-37. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.S., D.B. Shin, A.R. Lee, S.J. Lee, J.S. Kim, J.G. Byeon and S.H. Oh(2023) Species composition and vegetation structure of *Abies Koreana* Forest in Mt. Jiri. Korean Journal of Environment and Ecology 37(4): 259-272. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., S.H. Choi, H.S. Cho and Y.W. Lee(1994) The analysis of the forest community structure of Tokyusan National Park: Case study of Paekryunsa-Kumpotan. Korean Journal of Environment and Ecology 7(2):135-154. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.C., H.M. Kang, D.H. Kim, Y.S. Kim, J.H. Kim, J.S. Kim, B.J. Park, S.G. Park, J.H. Eum, H.K. Oh, S.D. Lee, H.Y. Lee, Y.H. Choi and S.H. Choi(2022) Subalpine vegetation structure characteristics and flora of Mt. Seoraksan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 36(2): 118-138. (in Korean with English abstract)
- McCune, B. and J.B. Grace(2002) Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA, pp.300.
- McCune, B. and M.J. Mefford(2016) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 7. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA. pp.34.
- MEURK, C.D.(1984) Bioclimatic zones for the Antipodes—nd beyond? New Zealand Journal of Ecology 175-181.
- Miller, R.W. and R.L. Donahue(1990). Oils: an introduction to soils and plant growth No. Ed. 6). Prentice-Hall, New Jersey, USA, 768pp.
- Park, G.E., E.S. Kim, S.C. Jung, C.W. Yun, J.S. Kim, J.D. Kim, J.B. Kim and J.H. Lim(2022). Distribution and stand dynamics of subalpine conifer species (*Abies nephrolepis*, *A. koreana*, and *Picea jezoensis*) in Baekdudaegan protected area. Journal of Korean Forestry Society 111(1): 61-71. (in Korean with English abstract)
- Park, H.C., H.Y. Lee, N.Y. Lee, H. Lee and J.Y. Song(2019) Survey on the distribution of evergreen conifers in the major national park: A case study on Seoraksan, Odaesan, Taebaeksan, Sobaeksan, Deogyusan, Jirisan National Park. Journal of National Park Research 10(2): 224-231. (in Korean with English abstract)
- Park, I.H. and K.J. Cho(2013). Management methods on the growth activation of *rhododendron mucronulatum* Habitat in Mt. Biseul. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 16(2): 105-114. (in Korean with English abstract)
- Park, I.H., K.J. Lee and J.C. Jo(1987) Forest community structure of Mt. Bukhan area. Journal of Korean Applied Ecology 1(1): 1-23. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G. and D.H. Kim(2023) Changes in distribution of debris slopes and vegetation characteristics in Mudeungsan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 37(1): 1-12. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1975) Mathematical ecology. John Wiley & Sons, New York, USA, 385pp.
- Redding, T.E., G.D. Hope, M.J. Fortin, M.G. Schmidt and W.G. Bailey(2003) Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia. Canadian Journal of Soil Science 83:

121-130.

- Song, J.M., G.Y. Lee and J.S. Yi(2009) Growth environment and vegetation structure of natural habitat of *Polygonatum stenophyllum* Maxim. *Journal of Forest Science* 25(3): 187-194. (in Korean with English abstract)
- Walter, H.(1979) *Vegetation of the earth*. Springer-Verlag, New York, 547pp.
- Whittaker, R.H.(1965) Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147: 250-260.
- Woodward, A., D.G. Silsbee, E.G. Schreiner and J.E. Means(1994) Influence of climate on radial growth and cone production in sub-alpine fir(*Abies lasiocarpa*)and mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*). *Canadian Journal of Forest Research* 24: 1133-1143.

- Yim, K.B., I.H. Park and K.J. Lee(1980) Phytosociological changes of *Pinus densiflora* forest induced by insect damage in Kyonggi-do area. *Journal of Korean Forestry* 50: 56-71. (in Korean with English abstract)
- Yun, C.W., H.J. Kim, B.C. Lee, J.H. Shin, H.M. Yang and J.H. Lim(2011) Characteristic community type classification of forest vegetation in South Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 100(3): 504-521. (in Korean with English abstract)
- Yun, J.W., S.C. Jung, G.S. Koo, J.H. Lee, C.W. Yun and S.H. Joo (2010) Forest vegetation classification on Sobaeksan National Park in the Baekdudaegan. *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(6): 630-637. (in Korean with English abstract)