

지리산 아고산대 구상나무 자생지의 8년간 식생 변화

박다운¹ · 이정은¹ · 박고은² · 양희문² · 김호진³ · 윤충원^{1*}

¹국립공주대학교 산림과학과, ²국립산림과학원 산림생태연구과, ³국립산림과학원 산림기술경영연구소

Vegetation Change of *Abies koreana* Habitats in the Subalpine Zone of Mt. Jirisan over Eight Years

Da-Eun Park¹, Jeong-Eun Lee¹, Go Eun Park², Hee-Moon Yang²,
Ho-Jin Kim³ and Chung-Weon Yun^{1*}

¹Department of Forest Science, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

²Forest Ecology Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea


³Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

요약: 아고산 생태계를 구성하는 침엽수종은 기후변화에 매우 취약하므로 아고산대 산림의 군집 및 개체군 동태에 대한 모니터링의 중요성이 대두되고 있다. 본 연구는 8년간 지리산 구상나무 자생지에 설치된 37개의 식생조사구를 중심으로 식생변화 연구를 진행하였다. 조사된 데이터를 바탕으로 층위별 중요치, 고사율 및 이입률, 흉고단면적, 흉고직경급 분포, 수간건강상태 등 시계열적 변화를 분석하였다. 층위별 중요치 분석 결과, 교목층에서 구상나무는 8년간 3.6% 감소하였고, 덩굴 식물인 미역줄나무는 2.5% 증가하였다. 2015년 대비 2023년 구상나무는 149본/ha의 고사(고사율 17.99%)와 12본/ha의 진계 생장(이입률 1.02%)이 발생하였으며, 생육목 개체수의 감소로 인해 흉고단면적이 줄어든 것으로 판단되었다. 구상나무의 고사목은 모든 직경급에서 발생하고 있으며 특히 10 cm 미만에서 65본/ha 감소로 많은 개체수가 감소하였다. 수간 건강상태 변화 과정을 살펴본 결과, 2015년 Alive Standing(AS) 형태의 구상나무 개체군 539본/ha은 8년 경과 후 69.7% (AS), 0.5% (Alive Leaning, AL), 13.8% (Dead Standing, DS) 등으로 변화되었으며, DS는 Dead Broken (DB)와 Dead Fallen (DF)로 대부분 변화하였다. 생육목이 고사목으로 바뀌고, 고사목은 부러지거나 쓰러지게 된 원인은 아고산대의 매우 강한 바람으로 토양에 밀착하여 자라는 세근들이 토양과 분리되면서 나타난 것으로 판단되었다.

Abstract: Coniferous species in subalpine ecosystems are known to be highly sensitive to climate change. Therefore, it is becoming increasingly important to monitor community and population dynamics. This study monitored 37 plots within the distribution area of *Abies koreana* on Mt. Jirisan for a period of eight years. We analyzed the importance value, density of living stems, mortality rate, recruitment rate, basal area, DBH (diameter of breast height) class distribution, and tree health status. Our results showed changes in the importance value based on the tree stratum, with *A. koreana* decreasing by 3.6% and *Tripterygium regelii* increasing by 2.5% in the tree layer. Between 2015 and 2023, there were 149 dead trees/ha (17.99% mortality rate) and 12 living trees/ha (1.02% recruitment rate) of *A. koreana*. The decrease in basal area was attributed to a decrease in the number of living trees. Tree mortality occurred in all DBH classes, with a particularly high decline in the <10 cm class (65 trees/ha reduced). In terms of changes in tree health status, the population of alive standing (AS) type trees, initially consisting of 539 trees/ha, has been transformed into alive standing (AS), alive lean (AL), and death standing (DS), accounting for 69.7%, 0.5%, and 13.8%, respectively. Meanwhile, DS-type trees have transitioned into dead broken (DB) and dead fallen (DF) types. This phenomenon is believed to be caused by strong winds in the subalpine region that pull up the rootlets from the soil. Further research on this finding is recommended.

Key words: ecological monitoring, subalpine zone, climate change

* Corresponding author
E-mail: cwyun@kongju.ac.kr

ORCID
Chung-Weon Yun  <https://orcid.org/0000-0001-7048-6980>

서론

모든 나무는 각자 적절한 지역과 기후를 찾기 위해 이동한다(Woodward, 1987). 기후변화가 진행됨에 따라 식물 종과 산림의 분포대가 변화되며(Davis and Shaw, 2001; Walther et al., 2002; Iverson et al., 2008), 특히 기온 상승의 폭이 커질수록 산림생태계 변화의 폭 또한 커지게 된다(Lee, 2022). 평균 기온이 상승할수록 산림 식생대는 북반구에서 북쪽으로, 저지대에서 고지대로 이동하게 된다(Lemmen and Warren, 2004; Chun and Lee, 2013; KC and Ghimire, 2015; Shon et al., 2024).

산악 지역은 고도에 따라서 산지림, 아고산대, 고산대 등으로 구별할 수 있는데(Nagy and Grabherr, 2009), 목재 생산이 가능한 경계선인 산림한계선 또는 용재한계선(timber line)과 수고 4-5 m 이상의 나무가 자랄 수 없는 경계선으로 강풍에 의한 편형수가 많이 나타나는 교목한계선을 기준으로 나눌 수 있다(Kong, 2000). 아고산대(subalpine belt)는 산림한계선부터 교목한계선까지의 범위이며, 고산대(alpine belt)는 교목한계선부터 설선(snow line)까지의 범위이다(Körner, 1995; Grabherr et al., 2010; Kim et al., 2019).

추위에 적응된 고산 및 아고산 식물 종은 고립된 상태로 지극히 제한된 이주 기회를 갖기 때문에 지구온난화에 매우 민감하다(Parmesan, 2006; Hampe and Jump, 2011; Engler et al., 2011; Ernakovich et al., 2014; Koo et al., 2017; Freeman et al., 2018). 기후변화 장기생태연구에 따르면 지구온난화로 인해 따뜻한 환경에 적응된 식물이 고해발 지역으로 서식처를 이동하고, 추위에 적응된 고산 및 아고산대 식물은 쇠퇴하는 것으로 밝히고 있다(Grabherr et al., 1994; Penuelas et al., 2007; Feeley et al., 2011; Pauli et al., 2012; Sproull et al., 2015; Steinbauer et al., 2020). 우리나라 아고산대 식물 종들은 과거 북방에서 한반도로 이동한 빙하기 유적종으로(Kong et al., 2014), 최근 구상나무, 분비나무, 가문비나무 등의 상록침엽수림이 이상기상에 의해 집단 고사 피해를 받고 있다. 따라서 산림생태계의 구조적 회복력 저하 위험이 가시화된 우리나라 아고산대 상록침엽수림(NIFOS, 2023) 생물다양성을 유지하기 위해 현지 내·외 보전이 필요한 상황이다.

장기생태모니터링은 급격하게 변화하는 기후에 대응하기 위한 다양한 측면의 생태계 구조 및 기능 변화에 대한 정보 획득이 가능하다. 단기간의 연구 결과는 현재 맞닥뜨린 문제를 해결하는 것에 도움이 될 수 있으나, 생태계의 복잡한 현상은 느리게 진행되고 원인과 결과를 알아내는데 오랜 시간이 걸리므로 정확한 이해를 바탕으로 생태계 변화의 예측 및 인과관계를 규명하기 위해서는 장기간의

연구가 필요하다(Son and Kim, 1997; Lindenmayer, 2012). 기후변화에 따른 아고산대 산림식생의 변화 양상을 파악하기 위해 지속적인 모니터링을 통한 실제적 자료축적 및 분석과 변동성의 이해가 선행되어야 하며 이를 바탕으로 관리가 이루어져야 할 것이다(Condit, 1995; Kim et al., 2018a). 국제장기생태연구(ILTER: International Long Term Ecological Research) Network는 1993년에 창립되었으며 현재 한국, 미국, 호주 등 39개 국가에서 연구가 이뤄지고 있다(ILTER, 2024). 해외 대표적 장기생태연구로 미국의 NEON(National Ecological Observatory Network)과 호주의 TERN(Terrestrial Ecosystem Research Network)이 있으며(Hong et al., 2023; NEON, 2024; TERN, 2024), 우리나라는 산림청 국립산림과학원에서 1990년대 중반에 장기생태연구를 시작하였고(NIFOS, 2014), 현재 국립산림과학원(NIFOS, 2024), 국립생태원(NIE, 2024), 국립공원공단(KNPS, 2024) 등에서 수행하고 있다.

구상나무(*Abies koreana* E.H.Wilson)는 아고산대에 생육하고 있는 한국 고유종으로 세계자연보전연맹(IUCN) 적색목록에 멸종위기종(EN, Endangered)으로 지정되었고(IUCN, 2024), 우리나라에서 사라질 경우 지구상에서 멸종될 가능성이 높은 종이다(Lee and Cho, 1993). 구상나무는 한라산을 제외한 내륙지역 중 지리산에 가장 넓게 분포하고 있으며, 지리산의 경우 구상나무를 중심으로 아고산대 침엽수의 생장 둔화 및 고사 현상이 지속되고 있어 구상나무 임분의 구조 및 동태를 기반으로 한 생태적 관리 대책 마련이 시급한 상황이다(Kim et al., 1991; Kim et al., 1998; Oh et al., 2000; Seo et al., 2019; Park et al., 2020a).

지리산 구상나무림의 국내 연구 동향은 1990년대 이후부터 군집구조 및 분포 현황(Kim et al., 1991; Cho, 1994; Lee and Hong, 1995; Kim et al., 1997; Kim et al., 2000), 아고산대 침엽수 고사 현상과 생장 변화(Chung et al., 1996; Lee et al., 1997; Park and Seo, 1999; Cung et al., 1999; Oh et al., 2000; Kim and Choo, 2003; Choo et al., 2009; Kim et al., 2012) 등의 연구가 진행되었다. 2000년대에 접어들어 구상나무림의 분포 면적이 점차 감소하면서, 이후 지리산 구상나무의 모니터링을 통한 변화 모습(Kim and Lee, 2013; Kim et al., 2018a; Park et al., 2022; Choo et al., 2023), 생태적 특성(Park et al., 2015; Noh et al., 2018; Song et al., 2021)과 기후변화를 비롯한 동물(Park et al., 2020b), 토양(Cho et al., 2015) 등 여러 환경과 고사현상의 상관관계에 관한 연구(Kim et al., 2024)가 활발히 진행되었다. 기존 연구는 단기간에 조사한 연구가 대다수이며, 지속적으로 모니터링한 결과를 바탕으로 시계열적 변화를 분석 연구는 부족한 상황이다.

매목조사와 식생조사를 통한 층위별 출현 식물 변화 과정의 연속적인 자료 수집은 복잡한 산림생태계 변화를 파악하기 위한 중요한 생태정보이다(Kim et al., 2018a). 따라서 본 연구는 2015년부터 2023년까지 총 8년간 연구를 수행하며 획득한 식생 및 매목조사 자료를 분석하여 지리산 구상나무 자생지의 군집(community) 및 개체군(population)의 시계열적 변화 양상을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구 대상지인 지리산은 북위 35°13' ~ 35°27', 동경 127°27' ~ 127°49'에 위치하며 행정구역상 전라북도 남원시, 전라남도 구례군, 경상남도 산청군, 하동군, 함양군 3개도, 1개시, 4개군에 속하는 가장 넓은 면적의 국립공원이다. 백두대간의 끝자락에 위치하며 북쪽으로는 덕유산, 동쪽으로는 가야산이 연결되어 있다. 천왕봉(1,915 m), 반야봉(1,728 m), 노고단(1,507 m)을 잇는 능선이 동서 방향으로, 지능선들은 남북 방향으로 발달하고 있고 사이에 크고 작은 계곡들이 자리 잡고 있으며 계류는 남강과 섬진강으로 흘러든다(Park et al., 2000). 지질은 주로 고도변성의 변성암류를 중심으로 이루어져 있으며 산상과 암석기재적 특성에 따라 미그마타이트질 편마암류, 화강암질 편마암, 반상변정질 편마암, 화강암질 편마암류, 회장암 등으로 구성되어 있다(Kim, 2011; Song et al., 2017).

조사지와 가장 인접한 기상관측소인 성삼재(지점번호

315)와 지리산(지점번호 872)의 기상청 자료(KMA, 2023)를 이용하여 Walter et al.(1975)이 제시한 기후도를 작성한 결과, 성삼재 지점의 최근 19년간(2004~2022) 연평균 기온과 연평균강수량은 각각 8.19°C, 1,836.1mm 정도이며, 지리산 지점의 최근 12년간(2011~2022) 연평균 기온과 연평균강수량은 9.88°C, 2,497.5 mm 정도로 성삼재와 지리산 지점 모두 강수량이 7월과 8월에 집중되었다(Figure 1).

2. 조사 및 분석방법

지리산 구상나무 자생지를 대상으로 생태적 밀도, 지형, 해발고도 등을 고려하여 2015년 노고단 및 반야봉, 세석, 천왕봉에 구간에 총 37개소(8,925 m²)의 고정조사구를 설치하였다(Figure 2). 조사구 크기는 종면적곡선의 최소면적을 고려해 전반적으로 20×20 m으로 하였으며, 입지환경 조건에 따라 10×10 m, 10×15 m, 15×20 m 등 조사구 크기를 정하였다. 2015년부터 2023년까지 총 5회(2015년, 2017년, 2019년, 2021년, 2023년), 5월에서 10월 사이에 식생조사와 매목조사를 실시하였다. 식생조사는 Z-M학파의 식물사회학적 방법(Ellenberg, 1956; Braun-Blanquet, 1964; Kim and Lee, 2006)에 따라 고정조사구에 출현하는 모든 종을 4개의 층위로 구분하여 종명, 우점도, 군도, 우점종, 식피율을 기록하였다. 입지조건은 Garmin OREGON 750t GPS 장비를 이용해 좌표, 해발고도, 방위를 측정하였으며, 경사도, 노암율을 기록하였다. 출현하는 모든 식물 종은 원색식물도감(Lee, 2003), 나무생태도감(Yun, 2023)

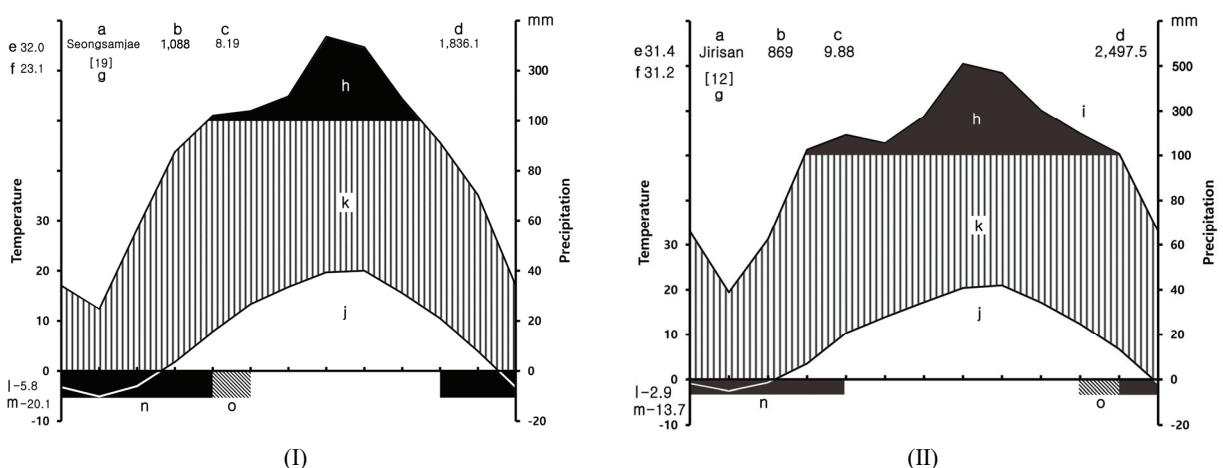


Figure 1. Climate diagram (I: Seongsamjae Climate Station, II: Jirisan Climate Station). Where, a: Station name, b: Height above sea level (m), c: Mean annual temperature (°C), d: Mean annual amount of precipitation (mm), e: Absolute maximum temperature (°C), f: Mean daily maximum temperature of the hottest month (°C), g: Number of years observation, h: average monthly precipitation exceeding 100mm (black area), i: Monthly means of precipitation (mm), j: Monthly means of temperature (°C), k: Humid period (lined), l: Mean daily minimum temperature of the coldest month (°C), m: Absolute minimum temperature (°C) n: Months with a mean daily minimum temperature below 0°C, o: Months with absolute minimum temperature below 0°C.

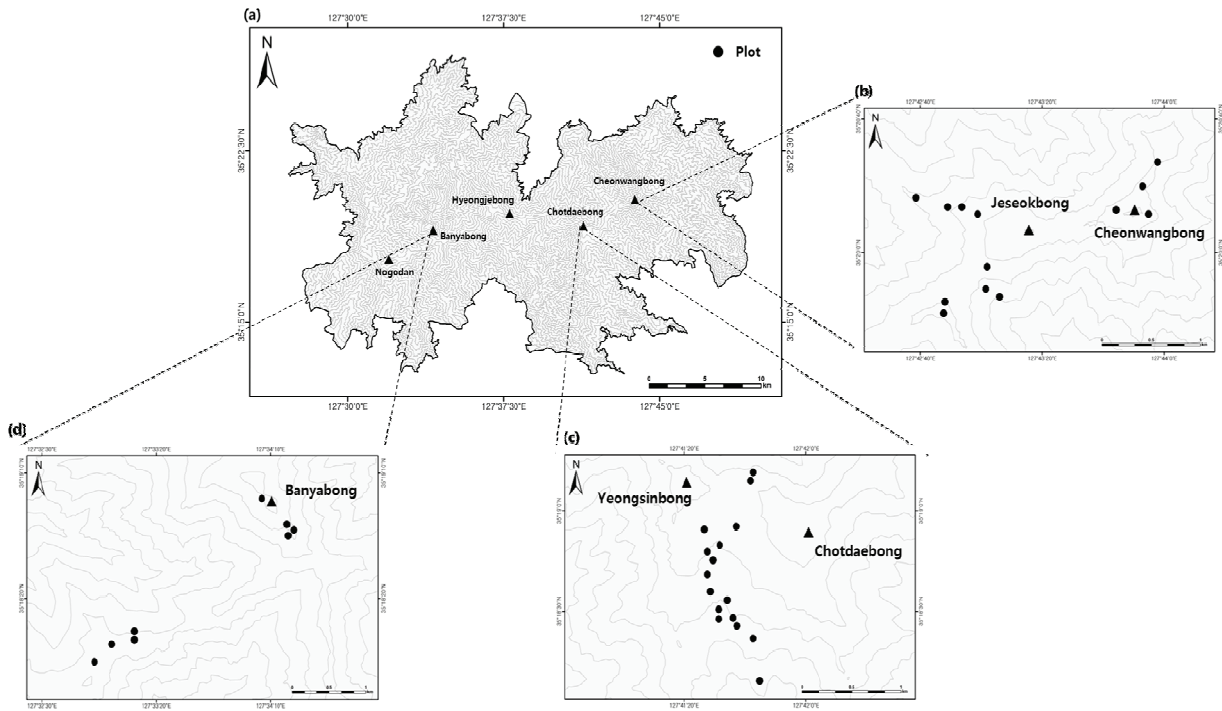


Figure 2. The location map of the study site in Mt. Jirisan. Where, '(a)' showing the key map, '(b)' showing the study area around cheonwangbong(1,915m, the highest peak in the Mt. Jirisan), '(c)' showing the Seseok area and '(d)' showing the Banyabong area.

을 기준으로 참고하여 분류 및 동정을 진행한 뒤 작성하였으며, 학명과 국명은 국가표준식물목록(KNA, 2022)을 기준으로 작성하였다. 매목조사는 조사지 내 흉고직경 2 cm 이상의 모든 개체목을 대상으로 알루미늄 태그를 부착하여 번호를 부여한 뒤 종명, 흉고직경, 수간건강상태를 조사하였으며, 수간건강상태는 국립산림과학원 멸종위기 고산지역 침엽수종 실태조사 가이드라인에 따라 9개의 유형(AS: Alive Standing; AB: Alive Broken; AD: Alive Deadtop; AF: Alive Fallen; AL: Alive Leaning; DS: Dead Standing; DB: Dead Broken; DL: Dead Leaning; DF: Dead Fallen)으로 구분하여 기록하였다(NIFOS, 2017).

PC-ORD (ver. 5.17)를 이용하여 적정조사구 수 및 종수 추정 방법인 중-면적곡선을 분석하였으며(Park and Seo, 2002), 조사지 내 구성 종들의 점유정도를 파악하기 위하여 Curtis and McIntosh(1951)의 방법을 이용하여 중요치를 산출하였다. 본 연구에서는 상대밀도(Relative Density, RD), 상대피도(Relative coverage, RC), 상대빈도(Relative Frequency, RF) 값을 이용하여 중요치를 계산하였다. 개체군의 동태를 파악하기 위해서 개체수를 ha당 본수로 환산하여 격년별로 발생하는 고사목과 진계목의 개체수, 흉고 직경 10 cm씩 6개의 계급으로 구분한 흉고직경급별 분포 상태, 흉고단면적과 수간건강상태의 변화를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 종면적곡선

본 연구대상지에서 출현한 관속식물은 66과 163속 249종 8아종 24변종 1품종으로 총 282분류군으로 조사되었다. 양치식물은 9과 17속 29종 1아종으로 30분류군, 나자식물은 4과 6속 7종 1변종으로 8분류군, 피자식물은 53과 140속 213종 4아종 23변종 1품종으로 244분류군이 조사되었다(Table 1).

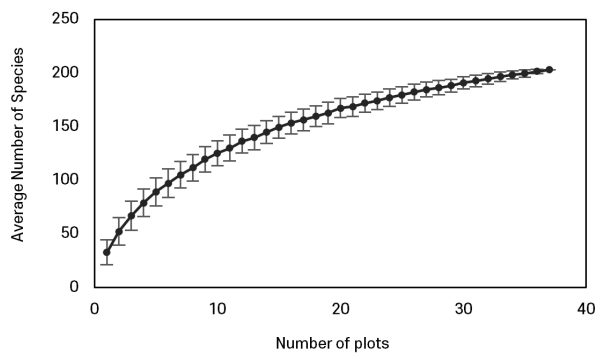
중-면적 곡선은 조사구 면적에 따른 출현종수의 변화에 의해 곡선이 결정되며, 일반적으로 면적이 조사구 면적이 증가함에 따라 출현종수의 증가율이 낮아지는 log함수의 곡선 형태를 가질 때 적당한 조사구가 설치된 것으로 판단한다(Park et al., 1994; Kwon et al., 2015). 본 연구에서는 조사구가 증가함에 따라 기울기가 점차 0에 가까워지는 것으로 나타나 적절한 조사구가 설치된 것으로 판단되었다(Figure 3).

2. 층위별 종구성 변화

지리산 구상나무 분포지 출현 종들의 상대적 중요도를 파악하기 위해서 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층의 중요치를 2023년 기준 높은 값을 가지는 순서대로 나타낸

Table 1. The vascular plants in study sites.

Taxa/system	Family	Genus	Species	Subsp.	var.	for.	Total taxa	Ratio (%)
Pteridophyte	9	17	29	1	0	0	30	10.6
Gymnospermae	4	6	7	0	1	0	8	2.8
Angiospermae	53	140	213	7	23	1	244	86.5
Dicotyledoneae	48	113	174	7	19	0	200	70.9
Monocotyledoneae	5	27	39	0	4	1	44	15.6
Total	66	163	249	8	24	1	282	100.0

**Figure 3. Species-area curve of the studied plots.**

결과를 다음 표에 나타내었다(Table 2). 교목층의 경우 구상나무(35.7%), 신갈나무(13.4%), 가문비나무(9.0%), 잣나무(8.8%), 사스래나무(7.5%) 등의 순으로 우점하고 있다. 2015년도와 2023년도 중요치를 비교한 결과, 구상나무는 3.6% 감소하였고 미역줄나무는 2.5% 증가하여 가장 많이 변화하였다. 아교목층의 경우 당단풍나무(16.6%), 구상나무(11.6%), 시닥나무(10.5%), 사스래나무(9.0%), 쇠물푸레나무(8.7%) 등의 순으로 우점하고 있으며 구상나무는 4.1% 감소하였고, 미역줄나무는 6.4% 증가하여 가장 많이 변화하였다. 관목층에서 철쭉(23.0%), 미역줄나무(11.6%), 털진달래(6.9%), 구상나무(6.8%), 시닥나무(6.5%) 등의 순으로 우점하고 있으며 청시닥나무는 2.4% 감소하였고, 미역줄나무는 2.3% 증가하여 가장 많이 변화하였다. 초본층에서 실새풀(14.7%), 퍼진고사리(5.0%), 미역줄나무(4.5%), 단풍취(3.9%), 조릿대(3.8%) 등의 순으로 우점하고 있으며 조릿대는 7.6% 감소하였고, 퍼진고사리는 4.1% 증가하여 가장 많이 변화하였다.

구상나무의 층위별 중요치는 교목층, 아교목층, 관목층에서 점차 감소하고 있는 추세로 나타났다. 또한 군집 내에서 가장 높은 감소율을 보여 상대적인 중요도가 감소하고 있는 것으로 판단되었다. 반면, 미역줄나무는 중요치가 가장 많이 증가하였는데, 2021년에 교목층에 갑자기 출현하였으며 2023년에 증가한 것을 볼 수 있다. 아고산대에 숲 틈 발생 후 호광성 수종인 미역줄나무가 빛과 영양분에

우위를 차지하여(Kim et al., 2018a) 빠른 성장을 하면서 교목성 수종을 타고 올라가 빠르게 교목층까지 올라간 것으로 판단되었다. Figure 4를 보면 미역줄나무가 구상나무를 타고 교목층까지 올라가는 것을 볼 수 있으며 이처럼 다른 수종들의 성장을 방해하고 목본류 개체목에 피해를 줄 수 있으므로 모니터링이 필요할 것으로 보인다(Park et al., 2016; Cheon et al., 2022). 초본층을 살펴보면 조릿대의 중요치가 2019년을 기점으로 급격히 감소한 것을 볼 수 있는데, 이는 조릿대의 생활사에 의한 것으로 판단되었다. 조릿대와 같은 대나무류는 일제히 한 번 꽃을 피우고 씨앗을 맺힌 뒤 죽는 생활사를 가지고 있으며(Park and Choi, 2017) 본 연구 대상지에서도 2017년에 결실, 2019년에 고사, 2023년에는 고사한 줄기도 사라진 것을 볼 수 있었다(Figure 5). 조릿대류가 일제히 개화 후 수세가 약해진 너도밤나무의 치수 발생이 높아져 천연갱신이 이루어졌으며(Peters et al., 1992), 조릿대가 광범위하게 우점하면 치수 발생 및 생장이 방해될 뿐만 아니라(Kunisaki, 2004; Park et al., 2012) 구상나무의 유묘와 종자발아가 억제된다는 보고가 있다(Kim et al., 1998). 따라서 앞으로 미역줄나

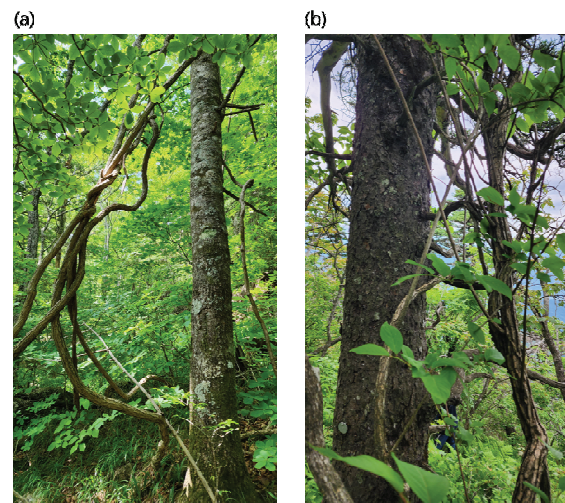
**Figure 4. Photos (a) and (b) showing that the vines of *Tripterium regelii* climb up the stem of the *A. koreana* and reach to the crown of the trees.**



Figure 5. The pictures[(a) taken by 2015, (b) taken by 2019 and (C) taken by 2023] showing the decline of *Sasa borealis* population over time.

무의 번성과 조릿대의 일제 고사가 구상나무의 생육에 어떤 영향을 미치는지 지속적인 모니터링과 현지 내 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

3. 임목의 밀도와 고사율 및 이입률

DBH 2 cm 이상의 목본을 대상으로 연도별 개체수 변화, 고사율과 이입률을 Table 3에 나타내었다. 2015년에 34종, 2017~2021년에 33종, 2023년에는 32종이 출현하였다. 생육목의 ha당 개체수는 2015년부터 2023년까지 각각 1,723 본/ha, 1,680본/ha, 1,595본/ha, 1,537본/ha, 1,488본/ha로 점차 줄어들고 있는 것으로 나타났다.

교목층에서 중요치가 높은 다섯 수종의 ha당 살아있는 개체수 변화 결과, 2015년 대비 2023년 구상나무는 592본/ha에서 455본/ha(고사율 3.6%, 이입률 0.3%)로 개체수가 가장 많이 줄어들었다. Kim and Lee(2013), Kim et al. (2021), Chun et al.(2021) 등 지리산 구상나무 관련 기존 연구를 살펴보면, 구상나무가 매년 감소하고 있으며 본 연구에서도 비슷한 결과가 나타났다. 기온 상승은 극지나 고

산 등의 추운 기후에 적응한 생물들에게 피해를 주기 때문에(Kong et al., 2014) 구상나무의 고사율이 높게 나타난 것으로 판단되었다. 구상나무는 전체 수종 개체수의 30.6% 차지하고 있으나 가장 많은 개체수가 감소하였으며, 이입하는 개체보다 고사하는 개체가 더 많아 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단되었다. 신갈나무는 92본/ha에서 87본/ha(고사율 0.8%, 이입률 0.1%), 가문비나무는 89본/ha에서 82본/ha(고사율 2.1%, 이입률 1.0%), 잣나무는 85본/ha에서 85본/ha(고사율 1.1%, 이입률 1.1%), 사스래나무는 132본/ha에서 122본/ha(고사율 1.5%, 이입률 0.5%)로 비교적 변화가 크지 않았다.

4. 흉고단면적 변화

조사지 내 전체 수종의 ha당 흉고단면적은 2015년부터 2023년까지 각각 34.403 m²/ha, 35.116 m²/ha, 34.684 m²/ha, 34.499 m²/ha, 34.001 m²/ha로 8년간 총 0.402 m²/ha 감소하였다(Figure 6). 교목층에서 중요치가 높은 다섯 수종의 연도별 흉고단면적 변화를 살펴보면, 구상나무는

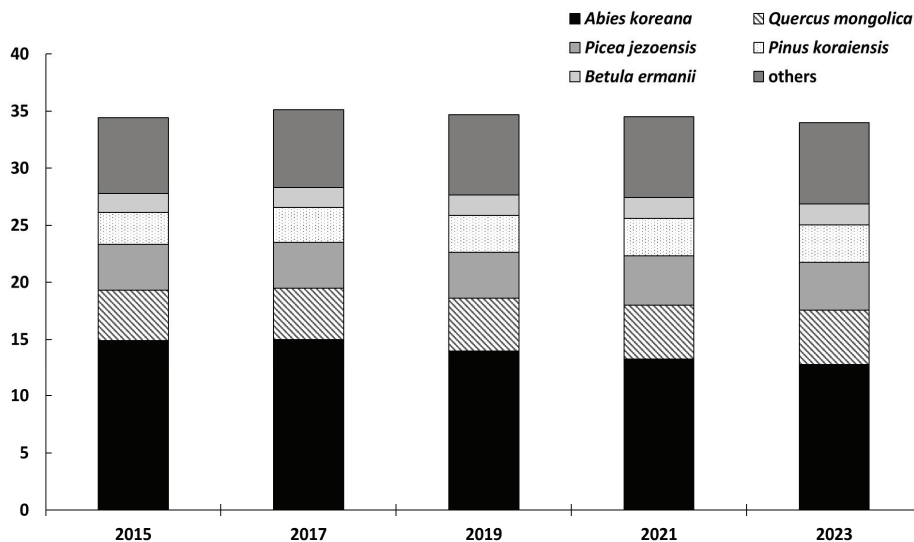


Figure 6. Changes of basal area for living stems.

14.913 m²/ha, 14.966 m²/ha, 13.971 m²/ha, 13.282 m²/ha, 12.797 m²/ha, 신갈나무는 4.391 m²/ha, 4.524 m²/ha, 4.638 m²/ha, 4.725 m²/ha, 4.759 m²/ha, 가문비나무는 4.029 m²/ha, 4.016 m²/ha, 4.025 m²/ha, 4.309 m²/ha, 4.196 m²/ha, 잣나무는 2.778 m²/ha, 3.037 m²/ha, 3.220 m²/ha, 3.265 m²/ha, 3.285 m²/ha, 사스래나무는 1.653 m²/ha, 1.757 m²/ha, 1.806 m²/ha, 1.842 m²/ha, 1.819 m²/ha로 변화하였다.

매년 구상나무의 흉고단면적은 감소하고 있지만 신갈나무, 잣나무 등 대부분 수종의 흉고단면적이 증가하여 전체 수종의 흉고단면적 변동 폭 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 구상나무는 8년간 총 2.116 m²/ha 감소로 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았으나, 전체 수종 중 감소 폭이 가장 크며 고사목 개체수가 증가하고 있으므로 지속적인 모니터링을 통해 추후 분석이 필요하다고 판단되었다. 가문비나무의 생육목 개체수는 감소하였지만, 시간이 지남에 따라 직경생장을 하여 흉고단면적이 증가한 것으로 나타났다. 가문비나무속은 수명이 길어 흉고직경이 크게 발달하는 수종으로(Kim et al., 2018b), 이러한 특징으로 인해 가문비나무의 개체수는 감소하였지만, 흉고단면적이 증가한 것으로 판단되었다. 흉고단면적 변화는 중요치와 비례관계에 있으나 중요치의 결과와 함께 증감 현상을 비교하는 것은 생태계 및 군집 변화를 이해하는데 도움이 될 것으로 판단되었다.

5. 흉고직경급 변화

Figure 7, 8에 각각 조사구 내 전체 수종과 중요도 높은 다섯 수종의 흉고직경급별 분포 변화를 나타내었다. 흉고직경급 분포는 산림 내 개체목의 수령과 동태에 대한 간접적 표현이며, 군락의 유지 가능성 및 천이 양상

을 파악할 수 있는 중요한 정보를 제공해준다(Barbour et al., 1987; Song et al., 2003; Kim et al., 2004; Oh et al., 2008; Song et al., 2019).

조사지 내 전체 수종의 흉고직경 범위는 2 cm부터 최대 57.4 cm로 소경목부터 대경목까지 분포하고 있으며 직경급이 높아질수록 밀도가 낮아지는 구조이다. 역 J자형은 지속적으로 유지될 수 있는 집단을 의미하며(Lee et al., 2007; Han et al., 2019), 본 연구의 전체 수종은 안정적으로 유지할 수 있는 집단의 모습을 띄고 있지만 시간이 지남에 따라 20 cm 직경급 미만에서 감소하고 있어 향후 천이과정에 대한 지속적인 관찰이 필요할 것으로 보인다. 구상나무의 경우 10-20 cm 직경급에서 가장 밀도가 높은 단봉형을 나타내고 있으며, 모든 직경급에서 감소하고 있어 향후 다른 수종과의 지위경쟁에서 어려움이 있을 것으로 판단되었다. 특히 20 cm 직경급 미만에서 높게 감소하여 구상나무 치수 및 유령목이 경쟁 과정에서 피압되었거나 환경에 적응하지 못하여 고사한 것으로 판단되었다. 신갈나무는 10-20 cm 직경급에서 가장 밀도가 높은 단봉형이었으나 시간이 지남에 따라 10-20 cm의 개체목은 감소하고 20-30 cm의 개체목이 증가하여 정규분포형으로 변화하였다. 현 상태로 당분간 우점도를 유지할 것으로 보이지만 10 cm 미만의 직경급의 개체목 발생이 적어 후계목 발생이 어려울 것으로 판단되었다(Park et al., 2018). 가문비나무는 중간 직경급의 밀도가 높은 정규분포형을 나타내는 것을 보아 당분간 구조가 유지될 것으로 판단되었다. 잣나무는 모든 직경급에서 8년간 큰 변화 없이 유지되었고 사스래나무는 안정적인 형태인 역 J자형 구조이지만, 20 cm 직경급 미만에서 시간이 지남에 따라 감소 추세를 보여 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단되었다.

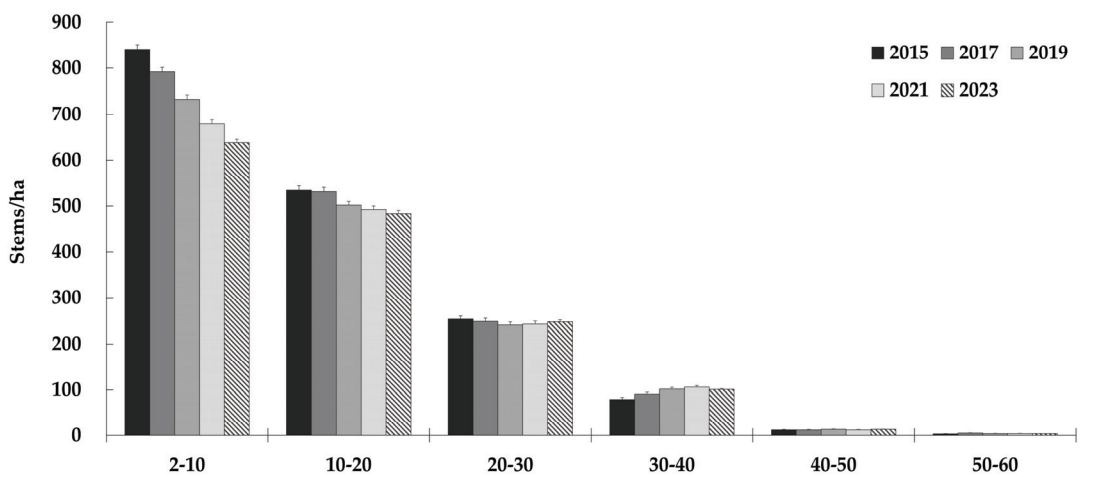


Figure 7. Sequential change of DBH class distribution for all trees.

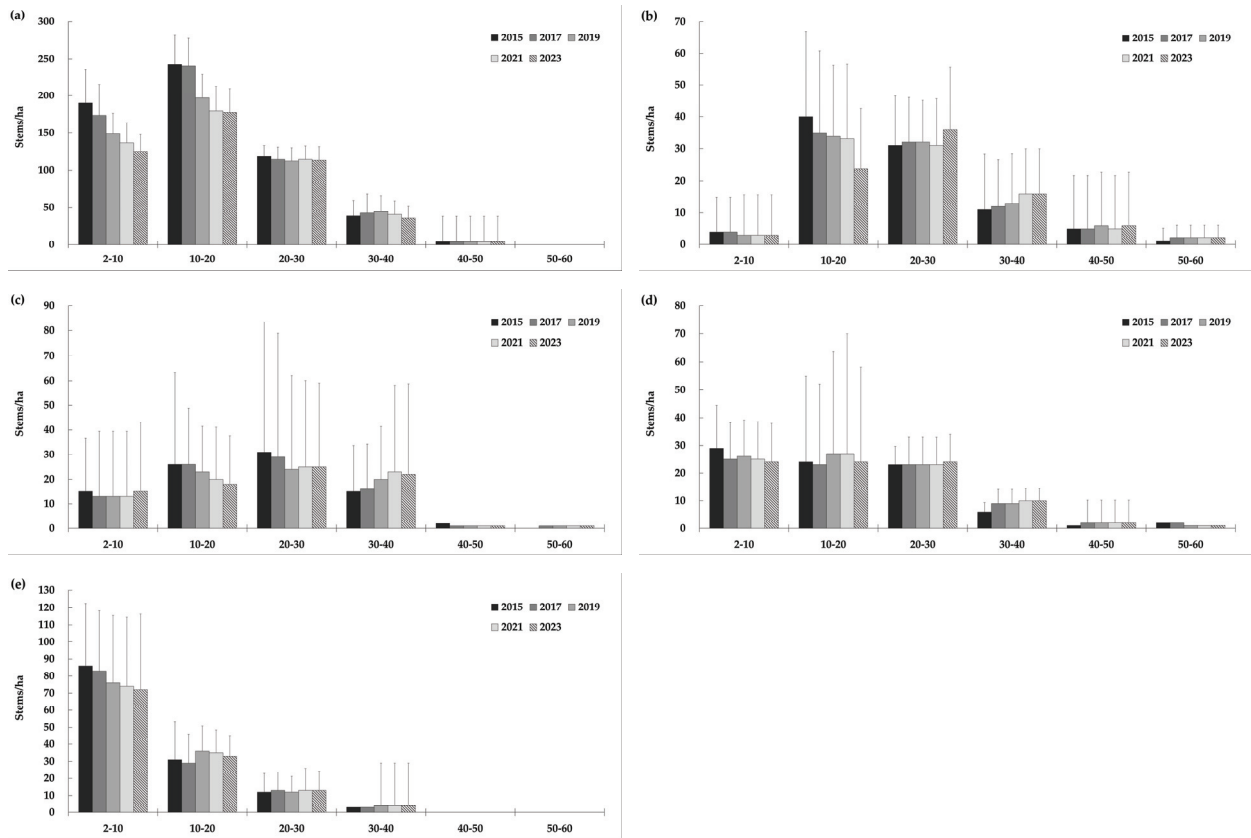


Figure 8. Sequential change of DBH class distribution for major species. (a: *A. koreana*, b: *Q. mongolica*, c: *P. jezoensis*, d: *P. koraiensis*, e: *B. ermanii*).

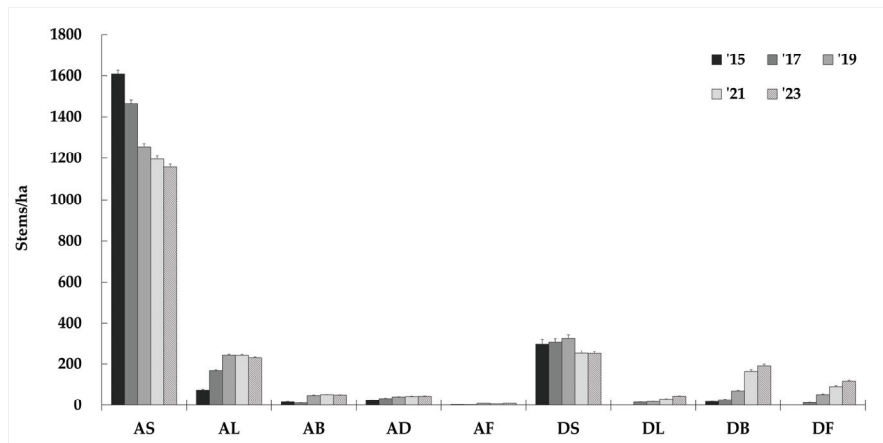


Figure 9. Change of tree health status. (AS: Alive Standing, AL: Alive Leaning, AB: Alive Broken, AD: Alive Deadtop, AF: Alive Fallen, DS: Dead Standing, DL: Dead Leaning, DB: Dead Broken, DF: Dead Fallen).

6. 수간건강상태 변화

Figure 9에 전체 수종을 대상으로 수간건강상태 유형별 분포 변화를 나타내었다. 2023년 기준 곧게 서서 생육(AS) 하는 개체목은 약 55%로 가장 높았으며 곧게 서서 죽은 (DS) 개체목은 약 12%로 대부분의 개체목은 AS와 DS에

분포하고 있다. 하지만 시간이 지남에 따라 AS 유형의 개체목이 2015년 1,608본/ha에서 2023년 1,157본/ha로 감소하고 생육목의 다른 유형은 증가한 것으로 보아 바르게 생육하지 못하는 개체목이 증가하고 있는 것으로 나타났다. 또한 DS 유형의 고사목은 300본/ha에서 252본/ha로 감

소하였고, 기울어져 있는 유형(DL), 부러진 유형(DB), 쓰러진 유형(DF)의 고사목이 증가한 것으로 나타났다.

고사한 개체목이 가장 많은 구상나무를 대상으로 8년간 수간건강상태 변화 과정을 Table 4, 5에 나타내었다. Table 4는 2015년에 AS 유형인 개체목의 변화 과정이며 Table 5는 2015년에 구상나무 고사목인 개체목의 변화 과정이다. 2015년에 AS 유형인 개체목이 2023년까지 AS를 유지하고

있는 경우는 69.7%였으며, 나머지 30.3% 중 25.5%가 고사목으로 변화하였다. 고도가 높은 지역은 바람이 임분의 구조와 동태에 영향을 주는 주된 교란 요인으로(Vozmishcheva et al., 2019), 지구온난화가 진행되면서 태풍과 바람의 세기도 점차 강해진다(Seol et al., 2010). 이로 인해 토양과 수목의 뿌리 간의 간격이 생기면서 적절한 수분과 양분을 공급받지 못하여 간접적인 피해를 받게 되며 수분 부족

Table 4. Change patterns of tree health status (AS) for *A. koreana*.

2015 (%)	2017 (%)	2019 (%)	2021 (%)	2023 (%)		
AS (100) n = 539	AS (95.1)	AS (80.2)	AS (74.1)	AS (69.7) AB (0.5) AD (0.7) DS (3.2)		
			AB (0.2) AD (1.3) AF (0.2)	AB (0.2) AD (1.3) DF (0.2)		
			DS (3.1)	DS (2.9) DB (0.2)		
			DB (0.4) DF (0.9)	DB (0.4) DF (0.9)		
			AL (0.5)	AL (0.5)	AL (0.3) AF (0.2)	
			AB (3.2)	AB (2.6)	AB (2.4) DB (0.2)	
			DB (0.6)	DB (0.6)		
			AD (1.5)	AD (1.3)	AB (0.2) AD (1.1)	
			DS (0.2)	DS (0.2)	DS (0.2)	
			AF (0.6)	AF (0.2) DF (0.4)	DF (0.2) DF (0.4)	
			DS (7.4)	DS (6.8)	DS (5.5) DB (1.3)	
			DB (0.4) DF (1.3)	DB (0.4) DF (1.3)	DB (0.4) DF (1.3)	
			AL (0.2) AB (0.2)	AL (0.2) DB (0.2)	AL (0.2) DB (0.2)	AF (0.2) DB (0.2)
			AS (0.1)	AS (0.1)	AS (0.1)	AS (0.1)
			AD (1.3)	AD (0.6)	AD (0.6)	AD (0.4) AL (0.2)
			DS (0.6)	DS (0.6)	DS (0.6)	DS (0.6)
			AF (0.2)	DF (0.2)	DF (0.2)	DF (0.2)
			DS (2.8)	DS (2.0)	DS (1.6)	DS (1.4) DB (0.2)
			DB (0.4) DF (0.4)	DB (0.4) DF (0.4)	DB (0.4) DF (0.4)	DB (0.4) DF (0.4)
			DF (0.2)	DF (0.2)	DF (0.2)	DF (0.2)

Table 5. Change patterns of tree health status(DS) for *A. koreana*.

2015 (%)	2017 (%)	2019 (%)	2021 (%)	2023 (%)
DS (100) n = 176	DS (94.3)	DS (76.1)	DS (42.6)	DS (34.1)
				DL (0.5)
				DF (2.3)
				DB (5.7)
			DL (1.2)	DL (0.6)
				DF (0.6)
				DB (26.1)
				DF (1.1)
			DB (27.2)	DF (5.1)
				DL (0.6)
DB (14.2)				
DF (3.4)				
DL (1.7)	DL (1.2)			
	DF (0.5)			
	DL (0.6)			
	DF (0.6)			
DB (3.4)	DB (2.8)			
	DF (0.6)			
	DB (2.2)			
	DF (0.6)			
DF (0.6)	DF (0.6)			
	DF (0.6)			
	DF (0.6)			
	DF (0.6)			
DB (100) n = 3	DB (100.0)	DB (100.0)	DB (66.7) DF (33.3)	DB (66.7) DF (33.3)

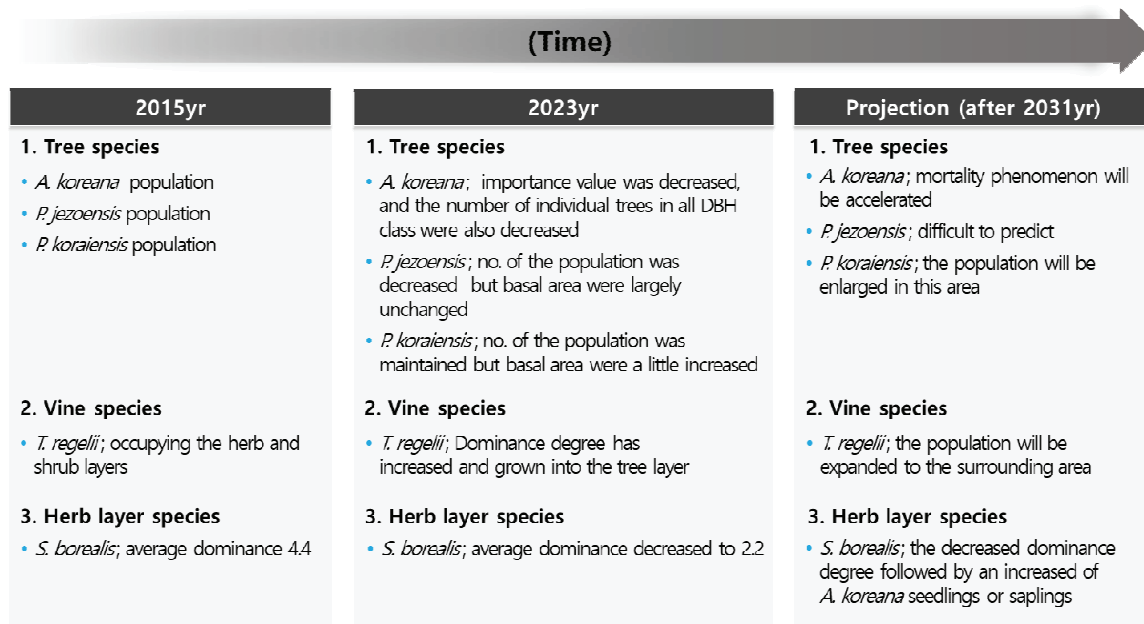


Figure 10. Sequential change and prediction of population or community over time.

및 건조 등 생리 대사에 영향을 끼쳐 천근성 수종인 구상나무(Kim, 2011)의 고사율이 높아진 것으로 판단되었다. AS 유형인 개체목이 고사한 경우의 고사 유형을 살펴보면 DS 유형으로 고사한 개체목이 가장 많았으며, DS 유형의

개체목은 DB와 DF 형태로 변하는 모습을 볼 수 있는데, 고사목인 DS가 생육목에 비해 비교적 뿌리 지지력이 약해 부러지거나 쓰러지는 경우가 많은 것으로 판단되었다. DF 형태의 고사목이 점차 증가할 경우, 치수 피압에 영향을

미칠 수 있으므로 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단되었다. 쓰러진 채 생육(AF)하는 개체목은 시간이 지나면 대부분 DF로 변하였는데, AF 유형의 개체목의 경우 AS, AL 등 살아있는 다른 유형에 비해 수관층이 낮게 위치하며 뿌리가 토양과 멀어지면서 충분한 광량 및 수분과 양분을 받지 못하여 고사한 것으로 판단되었다.

종합고찰 및 결론

본 연구는 식생조사 자료와 매목조사 자료를 통해 지리산 구상나무 자생지의 모든 층위의 식생 구조 변화와 목본식물의 변화 과정을 8년간 시계열적으로 파악하였다.

연구 결과, 시간이 경과할수록 교목층, 아교목층, 관목층에서 구상나무의 중요치는 감소하는 경향이었으며, 미역줄나무는 증가하였다. 구상나무 고사에 따른 상층입관의 소개로 인해 호광성 식물인 미역줄나무가 점차 번성하여 목본식물을 감고 올라가고 있었다. 덩굴성식물은 과도하게 번성할 경우 햇빛을 차단하여 다른 나무의 광합성을 저해할 수 있으며(Lee et al., 2022), 덩굴이 감고 있는 나무가 직경생장을 할 경우, 줄기를 조르게 되어 수세를 약하게 할 수 있으므로 앞으로 지속적인 관찰이 필요하다. 또한 초본층에서 조릿대의 중요치가 급격히 감소하였는데, 이는 조릿대의 생활사 특징인 일제 개화와 고사에 의한 것으로 판단되며 구상나무를 포함한 아고산대 상록침엽수의 생육과 치수 등에 영향을 끼칠 수 있는 미역줄나무와 조릿대를 대상으로 개체군생태학(population ecology) 측면에서의 심화 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

전체 수종 중 구상나무의 개체수가 가장 많이 우점하고 있지만 고사율이 가장 높으며, 흉고단면적 또한 가장 많이 감소하였다. 구상나무 생육목의 개체수 감소로 인해 흉고단면적이 감소한 것으로 보이며 구상나무의 분포 범위가 점차 감소하고 있는 것으로 판단되었다. 구상나무의 흉고직경급 형태는 단봉형으로 모든 직경급에서 감소하고 있으며 낮은 직경급의 개체수가 높게 감소하고 있어 세대교체가 어려울 것으로 판단되었다. 신갈나무와 가문비나무의 경우 생육목 개체수는 감소하였지만 직경생장으로 인해 흉고단면적이 증가한 것으로 판단되었으며, 잣나무의 개체수는 유지되고 있는 것으로 나타났다. 구상나무의 수간건강상태 변화 과정을 보면, AS 유형의 개체목이 DS로, DS유형의 개체목이 DB와 DF로 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 지구 온난화로 인해 강해지는 태풍과 바람(Seol et al., 2010)에 의해 수분 및 양분 부족에 의한 것으로 판단되었다.

본 연구 결과는 지리산 아고산대 시계열적 변화양상의 생태학적 정보를 제공하고 있으며, 이는 아고산대에 분포

하는 수목의 보전 및 복원을 위한 기반 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 기후변화가 아고산대 산림식생의 천이 과정에 어떤 영향을 미치는지 장기생태모니터링을 통해 지속적으로 관찰할 필요가 있으며 기후변화에 따라 발생하는 더 많은 환경인자(토양온습도, 지형, 미생물, 바람 등)와 고산성 수목과의 상관관계에 대한 종합적인 검토 및 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 연구 과제 “임업·산림분야 기후변화 영향·취약성 평가 및 적응 연구 II”(과제번호: FE0100-2023-02-2024)와 정인옥학술장학재단 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

- Barbour, M.G., Burk, J.H. and Pitts, W.D. 1987. Terrestrial plant ecology. 2nd Ed. Benjamin Cummings. Menlo Park, California. pp. 604.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie Grundzüge der Vegetation. 3rd ed. Springer-Verlag. Wien, New York. pp. 865.
- Cheon, K., Byeon, J.G., Kim, J.I., and Park, B.J. 2022. Community Structure of *Abies nephrolepis* Habitats and Characteristics of Understory Vegetation in Mt. Gyebang and Mt. Odae. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 25(5): 59-76.
- Cho, D.S. 1994. Community structure, and size and age distribution of conifers in subalpine Korean Fir (*Abies koreana*) Forest in Mt. Chiri. The Korean Journal of Ecology 17(3): 415-424.
- Cho, M.G., Chung, J.M., Kim, T.W., Kim, C.Y., Noh, I. and Moon, H.S. 2015. Ecological characteristics of *Abies koreana* forest on Seseok in Mt. Jiri. Journal of Climate Change Research 6: 379-388.
- Choo, G.C., An, H.C., Cho, H.S., Kim, I K., Park, E.H. and Park, S.B. 2009. Vegetation structure of the Chilseon valley in the Jirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 23(1): 22-29.
- Choo, M., Yoo, C., Im, J., Cho, D., Kang, Y., Oh, H. and Lee, J. 2023. Trend Analysis of Vegetation Changes of Korean Fir (*Abies koreana* Wilson) in Hallasan and Jirisan Using MODIS Imagery. Korean Journal of Remote Sensing 39(3): 325-338.
- Chun, J.H. and Lee, C.B. 2013. Assessing the effects of climate change on the geographic distribution of *Pinus*

- densiflora* in Korea using ecological niche model. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 15(4): 219-233.
- Chun, Y.M., Kim, S.M., Park, E.H., Park, S.H., Lee, H.Y. and Kim, J.W. 2021. Monitoring on the vegetation structure and dynamics of *Abies koreana* populations in Jirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 35(4): 408-423.
- Chung, J.M., Lee, S.W. and Lee, K.Y. 1996. Vegetation structure, regeneration niche, and dynamics of the saplings in *Abies koreana* forest of the Mt. Chiri. Journal of Korean Society of Forest Science 85(1): 34-43.
- Chung, J.M., Moon, H.S. and Ma, H.S. 1999. Vegetation rehabilitation and management strategy of the fired woodland in Chesuk-bong of Mt. Chiri. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 2(1): 58-65.
- Condit, R. 1995. Research in large, long-term tropical forest plots. Trends in Ecology & Evolution 10(1): 18-22.
- Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32(3): 476-496.
- Davis, M.B. and Shaw, R.G. 2001. Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. Science 292 (5517): 673-679.
- Ellenberg, H. 1956. Aufgaben und methoden der vegetationskunde. Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 136.
- Engler, R., et al. 2011. 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. Global Change Biology 17(7): 2330-2341.
- Ernakovich, J.G., Hopping, K.A., Berdanier, A.B., Simpson, R.T., Kachergis, E.J., Steltzer, H. and Wallenstein, M.D. 2014. Predicted responses of arctic and alpine ecosystems to altered seasonality under climate change. Global Change Biology 20(10): 3256-3269.
- Feeley, K.J. et al., 2011. Upslope migration of Andean trees. Journal of Biogeography 38(4): 783-791.
- Freeman, B.G., Lee-Yaw, J.A., Sunday, J.M. and Hargreaves, A.L. 2018. Expanding, shifting and shrinking: The impact of global warming on species' elevational distributions. Global Ecology and Biogeography 27(11): 1268-1276.
- Grabherr, G., Gottfried, M. and Pauli, H. 1994. Climate effects on mountain plants. Nature 369: 448.
- Grabherr, G., Gottfried, M. and Pauli, H. 2010. Climate change impacts in alpine environments. Geography Compass 4(8): 1133-1153.
- Hampe, A. and Jump, A.S. 2011. Climate relicts: past, present, future. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 42: 313-333.
- Han, S.H., Yun, C.W., Song, J.H., Kim, H.J., Lee, J.E., Yun, I.S., Yoon, S.Y. and Lee, S.H. 2019. The ecological characteristics by micro-topographies of beech forest in Ulleung Island. Korean Journal of Environment and Ecology 33(6): 686-694.
- Hong, M., Lee, H. and Park, J.S. 2023. Analysis of Phenological Changes by Phenocams on Some Major Species Distributed in Wetland and Forest Ecosystems in Korea. Ecology and Resilient Infrastructure 10(4): 226-236.
- International Long Term Ecological Research (ILTER). 2024. <https://www.ilter.network/network/global-coverage>. (2024. 04. 05)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC. Geneva, Switzerland. pp. 184.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1. <https://www.iucnredlist.org>. (2024. 04. 05)
- Iverson, L.R., Prasad, A.M., Matthews, S.N. and Peters, M. 2008. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. Forest Ecology and Management 254(3): 390-406.
- KC, A. and Ghimire, A. 2015. High-altitude plants in era of climate change: a case of Nepal Himalayas. pp. 177-187. In : Ozturk, M., Hakeem, K.R., Faridah-Hanum, I., Efe, R. (eds.). Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems. Springer. Cham, Switzerland.
- Kim, C.H., Jo, M.G., Kim, J.K., Choi, M.S., Chung, J.M., Kim, J.H. and Moon, H.S. 2012. Vegetation change and growing characteristics of *Abies koreana* population by altitude in Georim valley of Mt. Jiri. Journal of Agriculture & Life Sciences 46(1): 63-70.
- Kim, E.S., Lee, J.S., Park, G.E. and Lim, J.H. 2019. Change of subalpine coniferous forest area over the last 20 years. Journal of Korean Society of Forest Science 108(1): 10-20.
- Kim, G.B., Lee, K.J. and Hyun, J.O. 1998. Regeneration of seedlings under different vegetation types and effects of allelopathy on seedling establishment of *Abies koreana* in the Banyabong peak, Mt. Chiri. Journal of Korean Society of Forest Science 87(2): 230-238.
- Kim, G.T. and Choo, G.C. 2003. Vegetation structure of mountain ridge from Nogodan to Goribong in Baekdu-

- daegan, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 16(4): 441-448.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Baek, G.J. 2000. Studies on the structure of forest community at Myungsunbong, Tokp'yongbong area in Chirisan National Park-*Abies koreana* forest-. Korean Journal of Environment and Ecology 13(4): 299-308.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Um, T.W. 1997. Studies on the structure of forest community at Cheonwangbong-Deokpyungbong area in Chirisan National Park-*Abies koreana* forest-. Journal of Korean Society of Forest Science 86(2): 146-157.
- Kim, G.T., Kim, J.S. and Choo, G.C. 1991. Studies on the structure of forest community at Banyabong area-*Abies koreana* forest. Korean Journal of Environment and Ecology 5(1): 25-31.
- Kim, H., Kim, E., Lee, S. and Cho, Y.C. 2024. Abnormal Winter Drought-Induced Transient Dieback of Korean Fir in the Montane Forests of Mt. Jirisan, South Korea. Journal of Plant Biology 67: 123-136.
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yun, C.W. 2018a. 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.
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yun, C.W. 2018b. Vegetation type classification and endemic-rare plants investigation in forest vegetation area distributed by vulnerable species to climate Change, Mt. Jiri. Journal of Korean Society of Forest Science 107(2): 113-125.
- Kim, J.W. and Jeon, J.Y. 2021. Survey on the annual mortality of evergreen conifers (*Abies koreana*, *Abies nephrolepis*) in the major national park: A case study on Seoraksan, Deogyusan, Jirisan National Park. Korea National Park Research Intitute 12(2): 79-84.
- Kim, J.W. and Lee Y.K. 2006. Classification and assessment of plant communities. Worldscience. Seoul, Korea. pp. 240.
- Kim, N.S. and Lee, H.C. 2013. A study on changes and distributions of Korean fir in sub-alpine zone. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 16(5): 49-57.
- Kim, S.H., Chung, H.G., Jang, Y.S. and Kim, S.C. 2004. Population Structure and Growth Dynamics of *Dendropanax morbifera* Lev.(Araliaceae) in Mt. Halla. Korean Journal of Plant Resources 17(3): 248-256.
- Kim, T.H. 2011. Physical characteristics of ridge traversing trail in Mount Jiri National Park. Journal of the Korean Geographical Society 46(4): 425-441.
- Kim, T.H. 2011. Typology of Deteriorated Hiking Trails in Mountain National Parks of Korea. Journal of the Korean association of regional geographers 17(4): 416-431.
- Kong, W.S. 2000. Geocology on the subalpine vegetation and landscape of Mt. Sorak. Journal of the Korean Geographical Society 35(2): 177-187.
- Kong, W.S., Kim, K., Lee, S., Park, H. and Cho, S.H. 2014. Distribution of high mountain plants and species vulnerability against climate change. Journal of Environmental Impact Assessment 23(2): 119-136.
- Koo, K.A., Kong, W.S, Park, S.U., Lee, J.H., Kim, J. and Jung, H. 2017. Sensitivity of Korean fir (*Abies koreana* Wils.), a threatened climate relict species, to increasing temperature at an island subalpine area. Ecological Modelling 353: 5-16.
- Korea Forest Research Institute (NIFOS). 2017. Guidelines for Survey Endangered Alpine Coniferous Species. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. pp. 76.
- Korea Forest Research Institute (NIFOS). 2024. Retrieved from <https://nifos.forest.go.kr/> (2024.05.08)
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2023. Retrieved from <https://data.kma.go.kr/> (2023.11.05)
- Korea National Arboretum (KNA). 2022. Korea plant names index committee. <http://www.nature.go.kr/kpni>. (2024. 04.05)
- Korea National Park Service (KNPS). 2024. Retrieved from <https://www.knps.or.kr/> (2024.05.08.)
- Körner, C. 1995. Alpine plant diversity: a global survey and functional interpretations. pp. 45-62. In: Chapin, F.S. and Körner, C. (eds.). Arctic and alpine biodiversity: patterns, causes and ecosystem consequences. Springer. Berlin, Germany.
- Kunisaki, T. 2004. Effects of the Density of Midstory Deciduous Hardwood Trees on Understory Vegetation in *Pinus densiflora* Plantations in Ohshuku District, Iwate Prefecture, Northern Japan. Journal of Japanese Forestry Society 86(3): 258-264.
- Kwon, O.S., Ra, J.H., Ku, J.N. and Kim, J. H. 2015. Temporal-spatial analysis of landscape diversity using FRAGSTATS. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 18(3): 39-50.
- Lee, C.S. and Cho, H.J. 1993. Structure and dynamics of *Abies koreana* Wilson community in Mt. Gaya. The Korean Journal of Ecology 16(1): 75-91.
- Lee, H.S. 2022. Increase of extreme events and following changes in the worldwide forest ecosystem. Journal of

- Geography (Jirihak Nonchong) 68: 61-70.
- Lee, J.H., Cho, H.J., Lee, B.C., Oh, S.H. and Bae, K.H. 2007. Forest vegetation types and growth characteristics of Seongin-bong in Ulleung Island, Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 9(1): 37-48.
- Lee, S.G., Kim, H.W., Park, Y.J., Ahn, S.J., Shin, H., Kim, J.G., Ma, K.B., Lee, J.J., Choi, S.H. 2022. Occurrence Characteristics of Weeds on Sweet Persimmon Orchard Fields in Changwon, Gyeongnam Province. Weed & Turfgrass Science 11(4): 363-370.
- Lee, S.W., Lee, K.Y. and Song, H.K. 1997. The analysis of vegetation-environment relationships of the coniferous forests in subalpine districts of Mt. Chiri by TWINSpan and CCA. Journal of Korean Society of Forest Science 86(3): 279-287.
- Lee, T.B. 2003. Coloured flora of Korea. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 999.
- Lee, Y.W. and Hong, S.C. 1995. Ecological studies on the vegetational characteristics of the *Abies koreana* forest. Journal of Korean Society of Forest Science 84(2): 247-257.
- Lemmen, D.S. and Warren, F.J. 2004. Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective. Natural Resources Canada. Ottawa, Ontario. pp. 174.
- Lindenmayer D.B. et al., 2012. Value of long-term ecological studies. Austral Ecology 37(7): 745-757.
- Nagy, L. and Grabherr, G. 2009. The biology of alpine habitats. Oxford University Press. New York, U.S.A. pp. 376.
- National Ecological Observatory Network (NEON). 2024. Retrieved from <https://www.neonscience.org/> (2024.04.05)
- National Institute of Ecology (NIE). 2024. Retrieved from <https://www.nie.re.kr/> (2024.05.08)
- National Institute of Forest Science (NIFOS). 2014. Long-term Ecological Research (LTER) on Forest Ecosystem Responses to Global Environmental Change. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. pp. 390.
- National Institute of Forest Science (NIFOS). 2023. 1st Comprehensive Report on Climate Change Impact Assessment in the Forest and Forestry Sector. Seoul, Korea. pp. 411.
- Noh, I., Chung, J.M., Kim, T.W., Tamirat, S. and Moon, H.S. 2018. The ecological characteristics by slope of an *Abies koreana* forest in Seseok of Jirisan national park. Journal of Climate Change Research 9(3): 293-302.
- Oh, K.K., Jee, Y.K. and Park, S.G. 2000. Dynamic patterns of *Abies koreana* Population in Chirisan National Park: Central of East Area in Chirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 13(4): 330-339.
- Oh, K.K., Jee, Y.K. and Park, S.G. 2000. Dynamic patterns of *Abies koreana* population in Chirisan National Park: central of east area in Chirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 13(4): 330-339.
- Oh, K.K., Kim, Y.S., Oh, J.G. and Ki, Y.B. 2008. Dynamics of forest community structure at the valley of Piagol and Daeseonggol in the Jirisan National Park (I). Korean Journal of Environment and Ecology 22(5): 514-520.
- Park, B.J., Cheon, K.I., Kim, J.J., Joo, S.H. and Byeon, J.G. 2018. Stand Structure of Long-Term Monitoring Sites for *Quercus mongolica* in Mt. Myeonbong. Journal of Agriculture and Life Science 53(2): 173-189.
- Park, B.J., Kim, J.J., Byeon, J.G., Cheon, K., Joo, S.H. and Lee, Y.G. 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 of Forest Science 105(4): 391-400.
- Park, G.E., Kim, E.S., Jung, S.C., Yun, C.W., Kim, J.S., Kim, J.D., Kim, J.b. and Lim, J.H. 2022. Distribution and Stand Dynamics of Subalpine Conifer Species (*Abies nephrolepis*, *A. koreana*, and *Picea jezoensis*) in Baekdudaegan Protected Area. Journal of Korean Society of Forest Science 111(1): 61-71.
- Park, H.C., Kim, H.R., Kim, J.Y., Kim, H.H., Heo, D.G. and Lee, H. 2020b. A Study on Actual Condition of Damaged Korean Fir (*Abies koreana*) Caused by Rodents and Identifying Suspected Species in Seseokpyeongjeon Area of Jirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 34(3): 198-206.
- Park, H.C., Lee, J.H., Lee, G.G. and Um, G.J. 2015. Environmental features of the distribution areas and climate sensitivity assesment of Korean Fir and Khinghan Fir. Journal of Environmental Impact Assessment 24(3): 260-277.
- Park, H.C., Moon, G.S., Lee, H. and Lee, N.Y. 2020a. A study on the spatial information and location environment of dead coniferous tree in subalpine zone in Jirisan National Park-Focus on Korean Fir (*Abies koreana*) in Banyabong, Yeongsinbong, Cheonwangbong. Korean Journal of Environment and Ecology 34(1): 42-54.
- Park, I.H. and Seo, Y.K. 2002. Plot Size for Investigating forest community structure(5) -Adequate number of plots for tree and shrub strata in a mixed forest community of broad-leaved trees at Guryongsan area-. Journal of Korean Forestry Society 15(4): 394-400.
- Park, I.H., Lim, D. and Moon, G. 2000. Forest structure in relation to slope aspect and altitude in valley forests at

- Chirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 14(1): 11-17.
- Park, I.H., Ryu, C.H. and Cho, W. 1994. Plot Size for Investigating Forest Community Structure (II)-Adequate Plot Area of Tree Stratum in a Mixed Forest Community at Tokyusan Area. Korean Journal of Environment and Ecology 7(2): 187-191.
- Park, S.G. and Choi, S.H. 2017. Why does draft bamboo bloom once in a lifetime on a large scale and then die?-Analysis of external environmental factors of draft bamboo flowering area and its life strategy. Korean Journal of Environment and Ecology 31(6): 564-577.
- Park, S.G., Yi, M.H., Yoon, J.W. and Sin, H.T. 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. Korean Journal of Environment and Ecology 26(1): 82-90.
- Park, W.K. and Seo, J.W. 1999. A dendroclimatic analysis on *Abies koreana* in Cheonwang-bong area of Mt. Chiri, Korea. The Korean Journal of Quaternary Research 13(1): 25-33.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 37: 637-669.
- Pauli, H. et al., 2012. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. Science 336(6079): 353-355.
- Penuelas, J., Ogaya, R., Boada, M. and S.Jump, A. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). Ecography 30(6): 829-837.
- Peters, R., Nakashizuka, T. and Ohkubo, T. 1992. Regeneration and development in beech-dwarf bamboo forest in Japan. Forest Ecology and Management 55(1-4): 35-50.
- Seo, J.W., Jeong, H.M. and Lee, K.H. 2019. Dating the dead years of Korean fir (*Abies Koreana* E.H. Wilson) at Imgeollyeong in Jirisan National Park. Journal of National Park Research 10(2): 219-223.
- Seol, D.I. 2010. Global warming and trends of typhoon variation. Journal of Navigation and Port Research 34(6): 453-458.
- Shon, Y.H., Koo, C.D., Kim, C.S., Park, P.S., Yun, C.W. and Lee, K.H. 2024. Forest Ecology(3rd ed.) Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 366.
- Son, Y. and Kim, Z.S. 1997. Forest Ecosystem Management: Concepts, Principles and Applications. Journal of Ecology and Environment 20(3): 201-216.
- Song, H.K., Lee, M.J., Kim, H.J., Ji, Y.U., Kwon, O.W. and Yee, S. 2003. Vegetation structures and ecological niche of *Quercus mongolica* forests. Journal of Korean Forestry Society 92(4).
- Song, J.H., Han, S.H., Han, S.H. and Yun, C.W. 2019. Changes for stand structure of *Abies koreana* forest at the yeongsil area of Mt. Hallasan for six years (from 2011 to 2017). Journal of Korean Society of Forest Science 108(1): 1-9.
- Song, J.H., Han, S.H., Lee, S.H. and Yun, C.W. 2021. Ecological Characteristic of *Abies koreana* Stand Structure of Mt. Jirisan and Mt. Hallasan. Journal of Korean Society of Forest Science 110(4): 590-600.
- Song, Y.S. and Park, K.H. 2017. Jiri Mountain, Korea: A window into the deep crust. The Journal of the Petrological Society of Korea 26(4): 385-398.
- Sproull, G.J., Quigley, M.F., Sher, A. and González, E. 2015. Long-term changes in composition, diversity and distribution patterns in four herbaceous plant communities along an elevational gradient. Journal of Vegetation Science 26(3): 552-563.
- Steinbauer, K., Lamprecht, A., Semenchuk, P., Winkler, M. and Pauli, H. 2020. Dieback and expansions: species-specific responses during 20 years of amplified warming in the high Alps. Alpine Botany 130: 1-11.
- Terrestrial Ecosystem Research Network (TERN). 2024. Retrieved from <https://www.tern.org.au/> (2024.04.05)
- Vozmishcheva, A.S., Bondarchuk, S.N., Gromyko, M.N., Kislov, D.E., Pimenova, E.A., Salo, M.A. and Korznikov, K.A. 2019. Strong disturbance impact of tropical cyclone Lionrock (2016) on Korean pine-broadleaved forest in the Middle Sikhote-Alin Mountain Range, Russian far east. Forests 10(11): 1017.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature 416(6879): 389-395.
- WOODWARD, F.I. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 192.
- Yun, C.W. 2023. Field guide to trees and shrubs. Geobook. Seoul, Korea. pp. 703.

Manuscript Received : April 8, 2024

First Revision : May 19, 2024

Second Revision : May 29, 2024

Accepted : May 30, 2024