

우리나라 분비나무의 수고 특성 연구^{1a}

- 설악·오대·태백산국립공원을 대상으로 -

김진원² · 이호영³ · 전영문⁴ · 오충현^{5*}

The Study on the Height Characteristics of *Abies Nephrolepis* Community in South Korea^{1a}

- In the Case of Seorak·Odae·Taebaek National Park -

Jin-Won Kim², Ho-Young Lee³, Young-Moon Chun⁴, Choong-Hyeon Oh^{5*}

요약

본 연구는 분비나무의 수고 특성에 따른 개체군 동태 분석이 가능한지 알아보고자 수행되었다. 이는 기존 수령 및 흉고직경에 기반한 개체군 동태 분석이 고지대의 척박한 환경에서 더디게 성장하는 분비나무 특성을 반영하기 어렵다고 판단하였기 때문이다. 이를 위해 분비나무군락이 대표적으로 분포하고 있는 설악산, 오대산, 태백산국립공원을 대상으로 분비나무 수령과 흉고직경급 분포에 따른 개체군 동태 분석의 한계를 검증하고, 수고 성장 특성을 조사하여 수고에 기반한 수직적 구조를 통한 개체군 동태 파악이 가능한지 종합 분석하였다. 연구 결과, 분비나무 개체군 동태 파악에 있어 수령 분포는 모든 수목에 대한 실질적인 시료 채취의 어려움과 더불어 동일한 임분 내에서도 광조건 등에 따라 수령 분포가 다양하게 나타나기 때문에 한계가 있었다. 또한 흉고직경급 분포는 치수 단계에서 세분화된 구분이 어려워 피음 조건에서 치수 단계로 오래 머무르다 광 조건이 적합해지면 급격히 성장하는 분비나무 특성을 반영하기 어려웠다. 반면, 분비나무 수고 특성을 종합 분석한 결과, 전나무속 개체군 동태 특성에 해당하는 밀도가 높고 유사한 수고 단계에서의 주된 수목 고사, 하층에서의 U자형 개체군 동태 등을 충분히 반영하는 것으로 나타났다. 또한 피음 조건에서 하층 분비나무 개체의 연간 수고 성장량이 커지는 전환점이 되는 수고값을 확인할 수 있었으며, 해당 수고에서야 분비나무 개체가 다른 관목 및 초본의 피압으로부터 벗어나 진계 생장이 본격적으로 일어나게 됨을 알 수 있었다. 따라서 본 연구를 통해 고지대 분비나무의 개체군 동태를 이해하는데 있어 수고를 통한 수직적 구조가 활용될 수 있음을 확인할 수 있었고, 향후 현장에서도 수고 특성에 기반하여 직관적으로 분비나무군락의 유지 여부 등을 파악할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어: 수직적 구조, 개체군 동태, 내음성

1 접수 2023년 4월 24일, 수정 (1차: 2024년 1월 23일, 2차: 2024년 3월 17일), 게재확정 2024년 3월 21일

Received 24 April 2024; Revised (1st: 23 January 2024, 2nd: 17 March 2024); Accepted 21 March 2024

2 국립공원공단 국립공원연구원 연구원 Korea National Park Research Institution, Wonju 26441, Korea (whales9208@knps.or.kr)

3 한길숲연구소 소장 Hankil Forest Institute, Gangneung 25522, Korea (hoyleec@hanmail.net)

4 송광생태연구소 소장 Songgwang Ecological Institute, Suncheon 57938, Korea (ymchun31@gmail.com)

5 동국대학교 바이오환경과학과 교수 Dep. of Biological and Environmental Science, Dongguk Univ., Goyang 10326, Korea

a 이 논문은 학위논문의 일부 내용을 재구성한 논문임.

* 교신저자 Corresponding author: ecology@dongguk.edu

ABSTRACT

This study investigated whether population dynamic analysis based on the height characteristics of *Abies nephrolepis* was feasible. It was necessary because existing population dynamic analyses based on age and diameter at breast height (DBH) made it difficult to reflect the slow growth characteristics of *Abies nephrolepis* in harsh environments of high altitudes. The limitations of population dynamics analysis based on the age and DBH distribution of *Abies nephrolepis* in Seoraksan, Odaesan, and Taebaeksan National Parks, where *Abies nephrolepis* populations are representative, were verified, and the characteristics of height growth were investigated to comprehensively analyze whether a vertical structure based on height could reveal the population dynamics. The result of this study showed some limitations in understanding the population dynamics of *Abies nephrolepis* based on age distribution due to practical difficulties in sampling all trees and variations in age distribution within the same community depending on factors such as light conditions. Moreover, it was challenging to differentiate the distribution of DBH classes at fine levels, making it difficult to reflect the rapid growth characteristics of *Abies nephrolepis* when light conditions become suitable after prolonged stays in smaller DBH classes under shade conditions. However, a comprehensive analysis of the height characteristics of *Abies nephrolepis* revealed that the density corresponding to the population dynamic characteristics of *Abies* was high and adequately reflected the predominant tree death at similar height stages, as well as the U-shaped population dynamics at the lower stratum. Moreover, it was possible to identify a transition point in height values under shaded conditions, where the annual growth of *Abies nephrolepis* individuals in the lower stratum increases significantly, indicating that *Abies nephrolepis* individuals can escape from competition with other shrubs and undergo vigorous growth only at this height level. Therefore, this study confirmed that a vertical structure based on height can be utilized to understand the population dynamics of *Abies nephrolepis* in high altitudes, and it is expected that future studies on height characteristics can intuitively reveal the maintenance status of *Abies nephrolepis* populations in the field.

KEY WORDS: VERTICAL STRUCTURE, POPULATION DYNAMIC, SHADE TOLERANCE

서론

최근 전나무속, 소나무속, 가문비나무속 등 상록침엽수 쇠퇴 경향이 전세계적으로 나타나고 있으며, 대부분 기후변화에 따른 가뭄, 기온 상승 등이 원인으로 알려져 있다 (Rebetez *et al.*, 2004; Allen *et al.*, 2010). 국내에서도 한국 고유종인 구상나무를 비롯하여 분비나무 등 아고산대 상록침엽수 쇠퇴 현상이 대표적으로 나타나고 있으며(Kim *et al.*, 1997; Kim and Choo, 1999; Koo *et al.*, 2001; Hong, 2004; Chun *et al.*, 2009; Chun *et al.*, 2011; Lee, 2013; Chun *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2020), 사회적 관심 또한 매우 높다. 그러나 산림생태계는 장기적인 시간 속에서 천이가 이루어지기 때문에 일시적 현상만으로 쇠퇴 여부를 판단하기에는 선부를 수 있다. 식물군락의 유지는 해당 군락을 이루는 우점

종의 개체군 동태, 갱신 기작에 기반하여 예측되어야 하기 때문이다. 대표적인 아고산대 상록침엽수에 속하는 전나무속의 개체군 동태 및 갱신 기작과 관련된 연구는 주로 일본과 북미를 중심으로 이루어졌으며(Kohyama *et al.*, 1981; Oshima *et al.*, 1958; Sprugel, 1976; Mohler *et al.*, 1978), 국내는 전나무와 구상나무를 대상으로 연구가 이루어진 바 있다(Lim and Kim, 1992; Gang, 1984; Youn, 2007; Lee and Joe, 1993). 전나무속 갱신 기작은 크게 전나무속과 자작나무속이 번갈아 재생되는 “Betula형”과 전나무속만으로 갱신이 이루어지는 “Shimagare형(파동재생형)”으로 구분된다. 파동재생형은 수고가 큰 성숙한 개체들이 바람, 건조 스트레스 등에 의해서 말라 죽는 지역이 생기면 하부의 치수들이 다시 자라나는 갱신 형태를 보여준다(Sprugel, 1976; Sato and Iwasa, 1993). 반면 Betula형은 전나무속 수목이

성숙 및 자연 고사함에 따라 수관이 열리게 되면 양수이면서 내한성인 사스래나무가 이입하였다가 다시 전나무속 치수가 성장하면서 전나무속이 우점하는 상태가 반복되는 형태이다 (Lim and Kim, 1992). 국외는 해발고도가 높아 전나무속이 순림을 이루며 파동 형태로 갱신하는 반면, 국내는 해발고도가 낮고 복잡한 지형으로 침활혼효형(Lim and Kim, 1992), Patch dynamic형(Youn, 2007), 층위에 따른 진계성장형 갱신(Lee and Joe, 1993) 등 국외와는 다른 갱신 형태를 보인다.

그런데 이와 같은 수목의 개체군 동태 및 갱신 기작은 생리적 수령을 전제하여 수령 기반으로 주로 제시된다. 이때 모든 개체를 대상으로 나이테 시료를 채취하여 수령을 분석하는 데 현실적인 한계가 있어 주로 수령에 비례하여 성장하는 흉고직경 등 수목 성장 특성으로 개체군 동태를 추정한다. 그러나 고지대 수목은 낮은 토심, 낮은 기온, 강한 바람 등 척박한 환경 속에서 연간 1mm 이하의 흉고직경 성장을 보여 변화가 거의 없어(Paulsen *et al.*, 2000) 흉고직경급 분포만으로 수령을 추정하는 데 한계가 있다. 따라서 고지대에서는 수령 추정이 어려울 뿐만 아니라 흉고직경급 분포로 개체군 동태를 이해하는 데 한계가 있음을 알 수 있다. 반면 전나무속 수종은 숲틈 발생 등 광 조건에 따라 수고 성장량의 차이가 분명하게 나타나기 때문에(Chung *et al.*, 1996; Kneeshaw *et al.*, 2006; Kimura *et al.*, 1986; Yamamoto, 1993; Takahashi, 2010) 수고 특성을 통해 개체군 동태, 갱신 특성을 추정할 수 있을 것으로 예상된다. 이와 같은 수목 수고를 통한 수직적 구조(Vertical structure)는 임분 갱신에 미치는 영향이 크며, 수직적 구조에 따른 수목의 공간분포는 성장,

고사, 자원 이용, 숲틈 발생, 하층 발달 등을 결정 짓는다.

따라서 본 연구는 고지대 전나무속의 수고 성장 특성을 분석하여 향후 개체군 동태 및 갱신 기작을 이해함에 있어 수고 특성이 활용될 수 있는지 알아보고자 수행되었다. 국내 전나무속 중 분비나무를 대상으로 연구를 수행하였으며, 기존 수령 및 흉고직경급 분포에 따른 개체군 동태 분석의 한계점을 파악하고, 분비나무 수고 특성을 종합 분석하여 현장에서 직관적으로 개체군 동태를 판단할 수 있는지 종합적으로 고찰하였다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 분비나무 수고 성장 특성을 파악하기 위하여 우리나라에서 분비나무가 군락 단위로 넓게 분포하고 있는 설악산, 오대산, 태백산국립공원을 대상으로 수행하였다. 설악산은 귀태기청봉에서 대청봉에 이르는 서북능선, 마등봉, 황철봉 등 일원에 분비나무군락이 주로 분포하고 있으며, 오대산은 노인봉, 비로봉 등에서, 태백산은 문수봉, 함백산~장군봉 등 봉우리 중심으로 분비나무군락이 분포하고 있다 (Park *et al.*, 2019). 입지에 따라 수목의 수고 성장 특성이 다를 수 있기 때문에 본 연구의 목적성을 고려하여 성장 조건이 유사한 능선 및 사면부에 해당하는 설악산 귀태기청봉, 마등봉, 관모능선 지역, 오대산 노인봉 지역, 태백산 문수봉 지역을 대상으로 연구를 수행하였다(Figure 1, Table 1).



Figure 1. Study site.

Table 1. Status of study site

Site		Altitude(m)	Survey size(m ²)
Seoraksan	Gwittegiyeongbong	1,500	900
	Madeungbong	1,165	400
	Gwanmoneungseon	1,630	200
Odaesan	Noinbong	1,330	400
Taebaeksan	Moonsoobong	1,493	1600

2. 조사 및 분석

본 연구는 1) 수령 및 흉고직경급 분포에 따른 분비나무 개체군 동태 파악의 한계 검증, 2) 분비나무 수고 특성 분석을 통하여 분비나무 수고 특성에 따른 개체군 동태 파악이 가능한지 종합적으로 고찰하였다. 이를 위하여 2010년부터 관찰한 분비나무군락 고정조사구를 대상으로 현장조사를 2020년 4월부터 2021년 5월까지 수행하였다.

수령 및 흉고직경급 분포에 따른 분비나무 개체군 동태의 한계 검증은 기존 수령 및 흉고직경급 분포에 따른 개체군 동태 분석 방식이 고지대 분비나무군락에 적합한 방법인지를 고찰하기 위하여 수행되었다. 수령 분석을 위하여 분비나무군락 고정조사구 내 마디흔 관찰이 가능한 20cm 이하의 분비나무 개체를 대상으로 마디흔에 따른 수령을 조사하였고, 흉고직경급 분포는 조사구 내 모든 분비나무에 대한 흉고직경을 측정하여 파악하였다.

분비나무 수고 특성 분석은 층위에 따른 수고 특성 파악과 더불어 분비나무의 내음 특성을 파악하기 위하여 하층에서 생장이 급격히 커지는 시점에 대한 분석, 수고 단계별 개체군 동태 특성 분석에 대하여 종합적으로 진행하였다. 분비나무와 유사한 구상나무를 대상으로 한 연구(Chung *et al.*, 1996)에서 구상나무 치수를 200cm 이하로, 상층은 600cm 이상, 중층은 200-600cm로 구분한 것을 참고하여, 수고 200cm를 기준으로 분비나무 상층과 하층을 구분하였고 층위별 평균 수고값, 생존율 등에 대한 분석을 진행하였다. 분비나무 상층과 하층에 대하여 평균, 표준편차, 최빈값 분석 등 통계기반 분석을 진행하였고, 특히 내음성 수종임을 고려해 하층의 분비나무 개체가 피압에서 벗어나 연간 수고 성장량이 증가하는 수고 범위를 분석하였다. 이를 위한 하층의 수고 단계별 연간 성장량에 대한 유의성 분석은 일원분산분석 및 사후검정을 통해 수행하였다. 사후검정은 하층의 수고 단계별 연간 성장량에 대한 표본수가 다르고 분산의 동질성도 확보되지 않아 Tamhane T2로 분석하였다. 또한 수직적 구조를 통한 분비나무의 개체군 동태 파악을 위하여 수고 단계는 출현 비율을 고려하여 하층의 경우 0-10cm, 10-30cm, 30-50cm, 50-100cm, 100-150cm, 150-200cm, 상층의 경우 200-400cm, 400-600cm, 600-800cm, 800cm 이상으로 구분하였으며, 수고 단계별 개체수 및 고사 개체 비율을 분석하였다. 이렇게 파악된 분비나무의 상층 및 하층의 수고 범위, 수고 단계별 개체수 및 고사 개체 비율, 피압 조건에서 벗어나 성장량이 증가하는 하층 수고 범위 등 수고 특성을 종합하여 분비나무 수고 단계별 분포에 따라 고지대 현장에서 직관적으로 분비나무 개체군 동태 분석이 가능한지 고찰하였다.

결과 및 고찰

1. 수령 및 흉고직경급 분포에 따른 분비나무 개체군 동태 파악의 한계 검증

육안으로 수령 파악이 가능한 20cm 이하의 치수에서 분비나무 수령 분포를 분석한 결과, 수고 15cm 이하까지는 수령 분포가 비교적 수고와 유사하게 높아지는 양상을 보였던 반면, 15cm 이상부터는 수령 분포가 다양하게 나타났다(Figure 2, a). 이는 국외 전나무속 연구에서 수고 200cm 이하의 개체일지라도 수령은 11-101년(Szymura, 2005)으로 다양하게 나타난 것과 유사한 결과로 전나무속에 해당하는 분비나무의 수령 분포가 개체군 동태를 이해함에 있어 실효성이 높지 않음을 알 수 있게 해준다.

분비나무군락 내 흉고직경급 분포를 분석한 결과, 대부분 치수 단계의 밀도가 높게 나타났고 소중경목 형태가 많은 것으로 나타났다(Figure 2, b). 흉고직경급 분포 또한 일반적으로 수목의 개체군 동태 파악에 주요하게 활용되는데 치수 단계에서 개체군 동태를 세밀하게 파악하지 못하는 한계가 존재한다. 특히 내음성 수종의 경우 피음 조건에서는 치수 단계로 오래 머무는 특성을 보이므로 적합한 광 조건에서 진계 성장 속도가 빨라지는 경향을 보여 치수 단계에서 세분화 된 동태를 파악하는 것이 필요하다. 그러나 흉고직경급 분포는 치수 단계에서 흉고직경 측정 또는 세분화가 어려워 내음성 수종의 개체군 동태를 파악하는데 적합하지 않음을 알 수 있다.

종합해보면 분비나무 개체군 동태 파악에 있어 수령 분포는 실질적인 시료 채취의 어려움과 더불어 같은 임분 내에서도 광 조건 등에 따라 수령 분포가 다양하게 나타나기 때문에 한계가 있다. 또한 흉고직경급 분포는 치수 단계에서 세분화 된 구분이 어려워 진계 성장 등 개체군 동태 특성을 파악하는 데 한계가 있다. 따라서 분비나무의 수령 및 흉고직경급 분포 모두 분비나무의 개체군 동태를 이해하는데 부족함이 있음을 알 수 있다.

2. 분비나무군락 수고 특성

1) 분비나무 층위별 수고 특성

분비나무의 상층과 하층을 200cm를 기준으로 구분하였을 때, 상층 분비나무 개체의 평균 수고 및 표준편차값은 425.27 ± 151.71 cm, 최빈값은 492.00cm로 나타나 토양층이 척박하고 바람 영향을 많이 받는 고지대의 척박한 환경에서 수고 생장이 제한적임을 알 수 있었다. 하층 분비나무 개체의 평균 수고 및 표준편차값은 29.18 ± 44.05 cm, 최빈값은 4.00cm로 나타났다. 또한 상층의 분비나무 고사 개체 비율

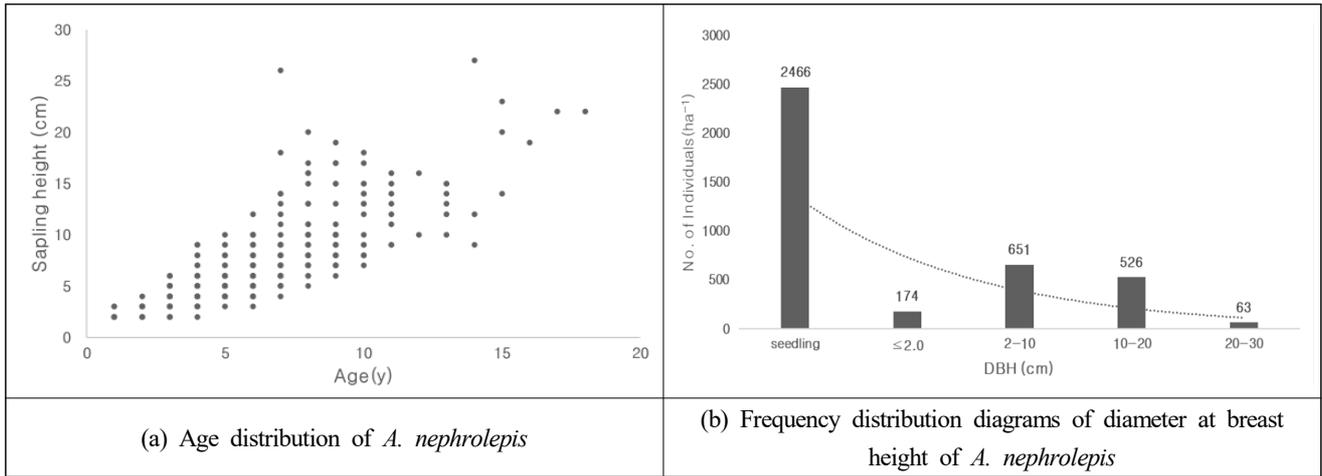


Figure 2. (a) Age distribution of *A. nephrolepis*, (b) Frequency distribution diagrams of diameter at breast height of *A. nephrolepis*.

Table 2. Height characteristics by upper and lower layer of *A. nephrolepis*

Class		No. of individual (ha ⁻¹)	Mean & Standard deviation (cm)	Median (cm)	Mode (cm)	Percentage of Dead tree(%)
Upper layer	Total	1,114	425.27 ± 151.71	403.00	492.00	42.8
	Live	637	440.53 ± 158.84	424.00	374.00	
	Dead	477	404.90 ± 139.51	387.00	492.00	
Lower layer	Total	2,731	29.17 ± 44.05	8.00	4.00	12.6
	Live	2,387	26.62 ± 41.77	8.00	4.00	
	Dead	344	46.89 ± 54.49	23.50	6.00	
Total						21.4

은 42.8%, 하층 고사 개체 비율은 12.6%로 나타나 상층 개체의 고사 정도가 더 컸다(Table 2).

2) 하층 분비나무 개체의 수고 단계별 성장량

하층 분비나무 개체의 수고 단계별 연간 성장량의 경우

0-10cm 단계에서는 평균 1cm 이하, 10-50cm 단계에서는 평균 2cm 이하로 성장하다가 50cm 이상이 되어야 연간 평균 3cm 이상 성장하는 경향을 보였다(Table 3, Figure 3).

Table 3. Annual growth by height classes of *A. nephrolepis* in lower layer

Class	Height Class (cm)	No. of Individuals	Mean (cm)	Std. Deviation (cm)
Annual growth	0-10	154	0.61	0.46
	10-30	178	1.04	0.93
	30-50	54	1.62	1.77
	50-100	60	3.17	2.51
	100-150	38	3.87	3.14
	150-200	24	5.64	4.65
	Total		508	1.65

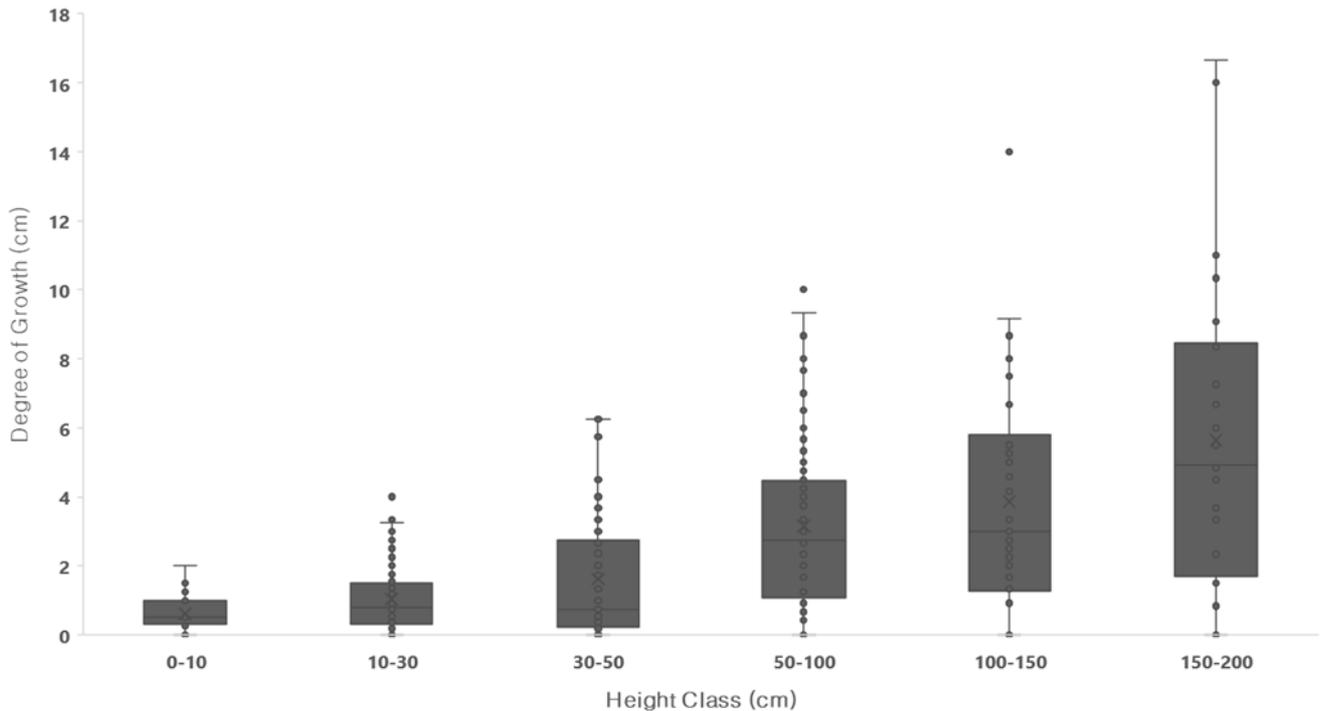


Figure 3. Annual growth by height classes of *A. nephrolepis* in lower layer.

수고 단계 간 연간 성장량 차이가 유의한 지 분석하기 위해 일원분산분석과 사후검정을 수행한 결과, 수고 50cm를 기점으로 유의성이 다르게 나타났다(Table 4). 50cm 이전의 수고 단계에서는 수고 성장량이 모든 하층 수고 단계와 유의하였지만, 50cm 이상에서는 50-100cm, 100-150cm, 150-200cm 단계와 모두 유의하지 않았다. 내음성 수종의 경우 수관이 열리기 전까지 작은 개체로 머물며 적당한 광 조건이 되면 빠르게 성장하는 특성을 보이는데(Kneeshaw *et al.*, 2006; Kimura *et al.*, 1986; Yamamoto, 1993), 분비나무 또한 50cm 이상이 되면 수고 성장량이 수고 단계와 관계없이 커지는 것을 알 수 있었다. 이는 설악산 지역의 분비나무 2개체를 대상으로 수고 1m까지 성장하는데 소요되는 연수를 조사한 연구에서 20cm까지 성장하는데 각각 23년, 7년이 걸려 초기 생장이 더디고 50cm 정도로 성장한 이후에서야 비로소 연 수고 성장량이 증가한 것과는 일치한다(Choi *et al.*, 2022).

3) 분비나무 수고 단계별 동태

수고 단계별 분비나무 개체군 동태를 분석한 결과, 0-10cm 단계의 개체가 다수 발생하는 특성을 보였으나 이후 단계로 넘어가 정착하는 개체는 급격히 감소하는 양상을 보였다. 하층에 해당하는 0-200cm 범위의 수고 분포는 U자형 곡선을 보여 일본 전나무속의 치수 수고 분포 양상과

유사하게 나타났다(Kimura *et al.*, 1986.; Takahashi, 2010). 이는 내음성인 전나무속 수목이 작은 크기로 더디게 성장하면서 수관이 열리기를 기다렸다가 적합한 광 조건이 되면 급격히 성장하는 특성으로(Kneeshaw *et al.*, 2006; Kimura *et al.*, 1986; Yamamoto, 1993) 분비나무 또한 50-100cm 분기점을 지나 200-400cm 상층으로 급격히 성장하는 것으로 나타났다.

수고 단계별 고사율은 0-50cm 범위까지 점차 증가하는 경향을 보이다 50-100cm에서 둔화하는 경향을 보였다. 또한 50-200cm 범위에서는 개체수가 비교적 적은 가운데 고사 개체 비율이 높게 나타났다. 이는 종자 발아 이후 약 10cm까지는 광 요구도가 낮아 피음 조건에서도 생존이 가능하지만 개체가 커질수록 광 요구도도 커지게 되는데, 이때 숲 틈이 발생하지 않으면서 광 조건이 충족되지 않아 고사하는 경향을 보인 것으로 판단되었다. 분비나무 성목은 200-400cm 범위에서 가장 높은 고사율을 보였는데 해당 범위에서 밀도가 가장 높기 때문으로 판단되었다(Figure 4).

4) 분비나무군락 수고 성장 특성 종합

분비나무군락 내 분비나무의 수고 단계별 특성 및 동태를 분석한 결과, 상층에서 주로 고사하는 수고 단계는 밀도가 가장 높은 200-400cm 범위로 나타났다. 국내 전나무속 군락 천이는 천이 중기까지 밀도가 높고 동일한 크기의 개체

Table 4. Post hoc tests of annual growth of *A. nephrolepis* seedling by height class

(I) Stage	(J) Stage	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0-10	10-30	-0.436*	0.079	0.000	-0.67	-0.20
	30-50	-1.010*	0.243	0.002	-1.75	-0.27
	50-100	-2.560*	0.326	0.000	-3.55	-1.57
	100-150	-3.262*	0.510	0.000	-4.86	-1.67
	150-200	-5.031*	0.950	0.000	-8.13	-1.93
10-30	0-10	0.436*	0.079	0.000	0.20	0.67
	30-50	-0.574	0.250	0.318	-1.34	0.19
	50-100	-2.124*	0.331	0.000	-3.13	-1.12
	100-150	-2.826*	0.513	0.000	-4.43	-1.22
	150-200	-4.595*	0.952	0.001	-7.70	-1.49
30-50	0-10	1.010*	0.243	0.002	0.27	1.75
	10-30	0.574	0.250	0.318	-0.19	1.34
	50-100	-1.550*	0.403	0.003	-2.76	-0.34
	100-150	-2.252*	0.563	0.003	-3.98	-0.53
	150-200	-4.021*	0.979	0.005	-7.17	-0.87
50-100	0-10	2.560*	0.326	0.000	1.57	3.55
	10-30	2.124*	0.331	0.000	1.12	3.13
	30-50	1.550*	0.403	0.003	0.34	2.76
	100-150	-0.702	0.603	0.986	-2.53	1.13
	150-200	-2.471	1.003	0.262	-5.67	0.73
100-150	0-10	3.262*	0.510	0.000	1.67	4.86
	10-30	2.826*	0.513	0.000	1.22	4.43
	30-50	2.252*	0.563	0.003	0.53	3.98
	50-100	0.702	0.603	0.986	-1.13	2.53
	150-200	-1.769	1.077	0.823	-5.14	1.60
150-200	0-10	5.031*	0.950	0.000	1.93	8.13
	10-30	4.595*	0.952	0.001	1.49	7.70
	30-50	4.021*	0.979	0.005	0.87	7.17
	50-100	2.471	1.003	0.262	-0.73	5.67
	100-150	1.769	1.077	0.823	-1.60	5.14

* $p < 0.05$

가 집단을 이루다가 이후 성숙 단계에서 밀도가 급격히 감소하는 특성을 보인다고 알려져 있는데, 분비나무군락 또한 밀도가 가장 높은 수고 200-400cm 범위의 개체들이 고사하는 경향을 보였다. 하층의 분비나무 개체는 0-10cm 범위에서 대량 발생하는 특성을 보이지만 척박한 고지대 환경 속에서 버틴 일부 개체만이 상층으로 진계 성장 되는 것을 알 수 있었다. 내음성 침엽수종은 피음 조건에서는 느리게

성장하다가 성목이 어느 정도 고사하여 적당한 광 조건이 충족될 때 성장량이 커지는 특성을 보이는데, 이와 같은 전환점이 되는 수고 값은 50cm로 나타났다. 해당 높이의 개체는 고지대 환경에서 적응하였을 뿐만 아니라 주변 초본, 관목의 피압으로부터 벗어난 단계로 판단된다.

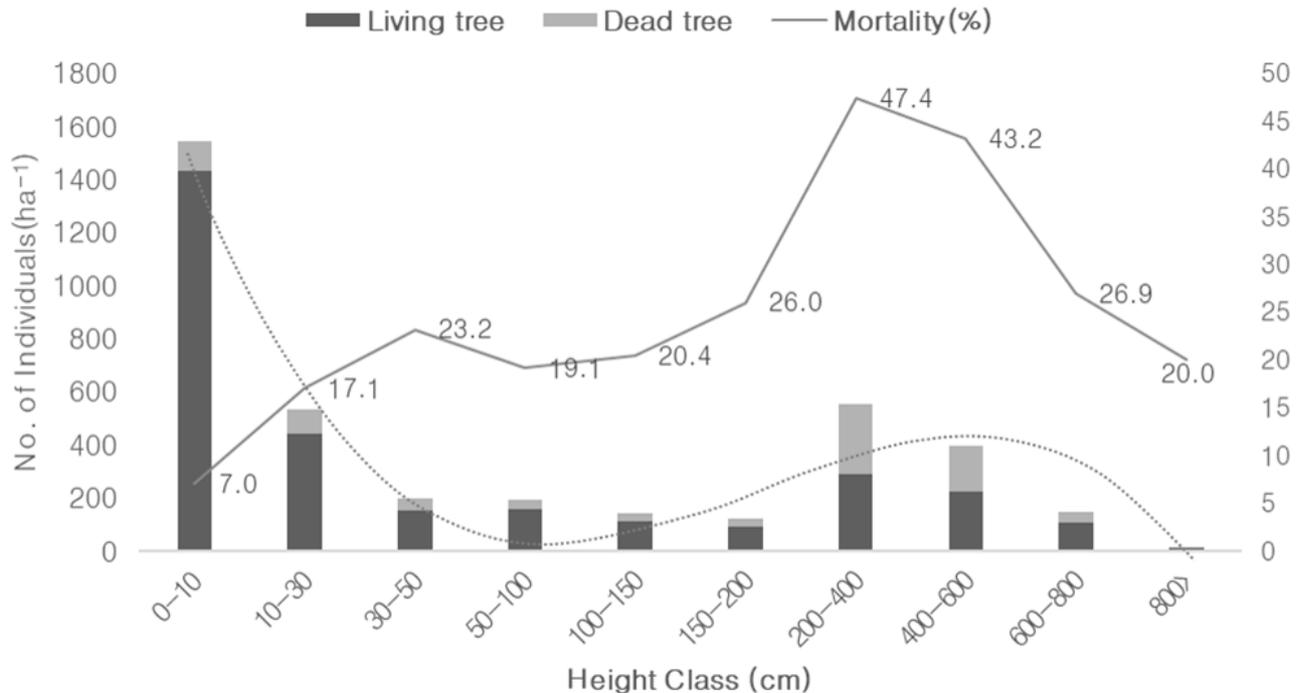


Figure 4. Number of individuals and percentage of dead tree by height classes of *A. nephrolepis*.

3. 고찰

본 연구 결과를 종합해보면 분비나무 개체군 동태를 파악하는데 수령 및 흉고직경급 분포보다 수고급 분포가 실효성이 높은 것을 알 수 있다. 분비나무 수고급 분포를 활용해 개체군 동태를 살펴본 결과, 전나무속 군락 개체군 동태 특성에 해당하는 밀도 높은 동일 크기 개체에서의 주된 고사, 하층에서의 U자형 동태 등을 충분히 반영하는 것으로 나타났다(Kimura et al., 1986.; Takahashi, 2010). 또한 본 연구를 통하여 하층 분비나무 개체의 연간 수고 성장량이 커지는 전환점이 되는 수고값을 확인하였고, 해당 수고에서야 분비나무 개체가 다른 관목 및 초본의 피압으로부터 벗어나 진계 생장이 본격적으로 일어나게 됨을 알 수 있었다. 따라서 분비나무의 수고 특성에 따른 개체군 동태에 대한 파악이 가능하며, 이는 현장에서도 직관적으로 군락 구조, 성장 등을 파악함에 있어 용이하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 추가적으로 향후에는 수고에 따른 수직적 분포와 더불어 공간 분포 특성까지 종합하여 임분 내 광량 등 미소한 입지 차이로 발생하는 생장 차이, 치수 발생 특성 등을 종합적으로 분석함으로써 분비나무군락의 갱신 특성까지 파악하는 게 필요할 것으로 예상된다.

REFERENCES

- Allen, C.D., A.K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier and N. Cobb(2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259(4): 660-684.
- Choi, E.B., J.H. Park, J.W. Kim, Y.J. Kim and J.W. Seo(2021) Monitoring of the height-growth duration from the root collar up to one meter in the main stems of *Abies nephrolepis* and *Pinus koraiensis* at Sorak Falls in the Soraksan National Park. *Journal of National Park Research* 12(2): 37-45.
- Chun, Y.M., H.Y. Lee., J.H. Gwon and H.C. Park(2019) Monitoring on the structure and dynamics of *Abies nephrolepis* populations in Seoraksan National Park. *Kor. J. Env. Eco.* 33(5): 565-577. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., J.K. Ahn, M.P. Hong, J.T. Shin, J.S. Won and S.H. Lee(2011) Structure and dynamics of *Abies nephrolepis* community in Odaesan National Park. *The Geographical Journal of Korea* 45(4): 559-570. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., M.P. Hong, J.H. Kwon, J.S. Lee, H.L. Choung and S.H. Lee(2009) A study on community structure and growth variation of *Abies nephrolepis* forest in Mt. Seorak. *The Geographical Journal of Korea* 43(2): 125-137. (in Korean with

English abstract)

- Chung, J.M., S.W. Lee and K.Y. Lee(1996) Vegetation structure, regeneration niche, and dynamics of the saplings in *Abies koreana* Forest of the Mt. Chiri. Journal of Korean Forest Society 85(1): 34-43. (in Korean with English abstract)
- Gang, S.J.(1984) Regeneration of coniferous forests in Jirisan. Korean Journal of Environment and Ecology 7(4): 185-193.
- Hong, M.P.(2004) Ecological studies on the forest vegetation of Mt. Seorak. PhD Thesis, Konkuk University, Seoul, 263pp. (in Korean with English abstract)
- Kim G.T., G.C. Choo and T.W. Um(1997) Studies on the structure of forest community at Cheonwangbong-Deokpyungbong area in Chirisan National Park -*Abies koreana* forest-. Jour. Kor. For. Soc. 86(2): 146-157. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(1999) Studies on the structure of forest community in subalpine zone of Togyusan -*Abies koreana* forest-. Kor. J. Env. Eco. 13(1): 70-77. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W., H.C. Park, E.H. Park, N.Y. Lee and C.H. Oh(2020) Spatial distribution of evergreen coniferous dead trees in Seoraksan National Park -In the case of Northwestern Ridge-. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 23(5): 59-71.
- Kimura, M., W. Kimura, S. Honma, T. Hasuno and T. Sasaki(1986) Analysis of development of a subalpine *Abies* stand based on the growth processes of individual trees. Ecological Research 1: 229-248.
- Kneeshaw, D.D., R.K. Kobe, K.D. Coates and C. Messier(2006) Sapling size influences shade tolerance ranking among southern boreal tree species. Journal of Ecology 94: 471-480.
- Kohyama, T. and N. Fujita(1981). Studies on the *Abies* population of Mt. Shimagare. The Botanical Magazine Tokyo 94(1), 55-68.
- Koo, K.A., W.K. Park and W.S. Kong(2001) Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of climate change on the growths. Kor. J. Ecol. 24(5): 281-288. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.S. and H.J. Joe(1993) The structure and dynamics of *Abies koreana* in Gaya Mt. Journal of Ecology and Environment 16(1): 75-91.
- Lee, H.Y.(2013) The phytosociological characteristics of *Abies nephrolepis* community and population dynamics as climate condition changes in Mt. Seorak, Korea. PhD Thesis, Dongguk University, Seoul, 181pp. (in Korean with English abstract)
- Lim, Y.J. and J.E. Kim(1992) Vegetation of Jirisan. Chung-Ang University Presses, 331pp. (in Korean)
- Mohler, C.L., P.L. Marks and D.G. Sprugel(1978) Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. Journal of Ecology 66: 599-614.
- Oshima, Y., M. Kimura, H. Iwaki and S. Kuroiwa(1958) Ecological and physiological studies on the vegetation of Mr. Shimagare I. Preliminary survey of the vegetation of Mr. Shimagare. Bot. Mag. Tokyo 71: 289-300.
- 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)
- Paulsen J., U.M. Weber and C. Körner(2000) Tree growth near treeline: Abrupt or gradual reduction with altitude? Arctic, Antarctic, and Alpine Research 32(1): 14-20.
- Rebetez M. and M. Dobbertin(2004) Climate change may already threaten scots pine stands in the Swiss alps. Theoretical and Applied Climatology 79: 1-9.
- Satō, K. and Y. Iwasa(1993). Modeling of wave regeneration in subalpine *Abies* Forests: Population dynamics with spatial structure. Ecology 74(5): 1538-1550.
- Sprugel, D.G.(1976) Dynamic structure of wave-regenerated *Abies balsamea* forests in the north eastern United States. Journal of Ecology 64(3): 889-911.
- Szymura, T.H.(2005) Silver fir sapling bank in seminatural stand: Individuals architecture and vitality. Elsevier. Forest Ecology and Management 212: 101-108.
- Takahashi, K.(2010) Effects of altitude competition on growth and mortality of the conifer *Abies sachalinensis*. Ecological Research 25: 801-812.
- Yamamoto, S.I.(1993) Gap characteristics and gap regeneration in a subalpine coniferous forest on Mt Ontake, central Honshu, Japan. Ecological Research 8(3): 277-285.
- Youn Y.I.(2007) Classic successional theory and stand dynamics studies on fir stand of natural forests in NaeSorak Mt. -Focused on patch dynamics and structure-. The Korean Journal of Environment Biology 25(2): 158-167.