



설악산 상록침엽수림의 고도별 종조성 및 치수 밀도 변화

김지동¹ · 변성엽² · 송주현³ · 채승범⁴ · 김호진³ · 이정은³ · 윤이슬³ · 윤충원¹ ^{3*}

¹국립백두대간수목원 생물자원조사팀, ²국립백두대간수목원 연구전략팀,

³공주대학교 산림자원학과, ⁴국립산림과학원 산림생명정보연구과

Species Composition Dynamics and Seedling Density Along Altitudinal Gradients in Coniferous Forests of Seorak Mountain

Ji-Dong Kim¹, Seong Yeob Byeon², Ju Hyeon Song³, Seung Beom Chae⁴, Ho Jin Kim³,
Jeong Eun Lee³, I Seul Yun³ and Chung Weon Yun¹ ^{3*}

¹Forest Bioresources Survey Team, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea

²Research Planning and Coordination Team, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea

³Department of Forest Resources, Kongju National University, Kongju 32588, Korea

⁴Division of Forest Bioinformation, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

요약: 식생의 수직적 분포는 고도구배에 따라 구분할 수 있으며, 수종의 분포패턴이 다르게 나타날 수 있다. 본 연구는 상록침엽수림의 고도별 분포 변화에 대한 기초자료를 제시하기 위해, 식생구조, 고도에 따른 종조성, 치수 밀도와 고도에 따른 변화에 대해 분석하였다. 중요치 분석 결과, 식생구조는 분비나무(12.2), 잣나무(10.86), 시달나무(8.11) 등의 혼효림 구조로 나타났다. 고도에 따른 종조성 결과로, 분비나무와 두루미꽃은 해발고도가 증가함에 따라 중요치가 함께 증가하였다. 1,400 m에서 1,600 m 구간 사이에서 미역줄나무의 출현은 숲 틈의 발생이 빈번함을 알 수 있었다. 종다양성지수는 1,400-1,500 m 구간에서 가장 높게 나타나 위에 숲 틈 발생의 당위성을 반영해주는 결과로 적절하였다. 상록침엽수의 치수밀도 변화는 2년 동안 분비나무가 402 ± 5.4 ha⁻¹에서 528 ± 11.6 ha⁻¹으로 유의한 수준에서 증가하였고, 잣나무는 57 ± 1.3 ha⁻¹에서 56 ± 1.6 ha⁻¹으로 감소하였다. 해발고도별 치수밀도 변화는 1,500-1,600 m에서 분비나무와 잣나무 모두 대폭 증가하였다. 본 연구결과는 치수의 증가나 감소 경향이 mast seeding 해를 파악해야 하기 위한 기초자료로써 활용될 수 있다. 따라서 설악산의 상록침엽수종 개체군뿐만 아니라 치수의 생존 및 사망에 대한 지속적인 모니터링에 본 연구결과가 활용되길 기대해본다.


Abstract: The vertical distribution of vegetation can be classified according to the altitudinal gradient and the distribution of species along this gradient. The purpose of this study was to analyze the vegetation structure, species composition, dimensional density, and change according to altitude. These data illustrate the distribution of coniferous forest by altitude. By order of importance, the vegetation structure of this mixed forest consisted of *Abies nephrolepis* (12.2), *Pinus koraiensis* (10.86), and *Acer komarovii* (8.11). As a result of species composition according to the altitude, *A. nephrolepis* and *Maianthemum bifolium* increased in importance with increasing altitude. *Tripterygium regelii* emerged between 1,400 m and 1,600 m, which indicates that forest gaps were frequent at that elevation. The species diversity index was the highest from 1,400–1,500 m and coincided with the presence of forest gaps. The changes in *A. nephrolepis* of evergreen conifers increased significantly from 402 ± 5.4 ha⁻¹ to 528 ± 11.6 ha⁻¹ for two years, and decreased from 57 ± 1.3 ha⁻¹ to 56 ± 1.6 ha⁻¹ for *P. koraiensis*. The density of *A. nephrolepis* and *P. koraiensis* seedlings significantly increased at 1,500–1,600 m. The results of this study can be used as a basis to identify the mast seeding year with the increase or decrease of seedlings. In addition to documenting the evergreen conifer population of the Seorak Mountain, these results can be built upon for future monitoring of seedlings mortality.

Key words: altitudinal gradient, ecological monitoring, seedling dynamics, subalpine zone

* Corresponding author

E-mail: cwyun@kongju.ac.kr

ORCID

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

서 론

식생의 수직적 분포는 고도구배에 따라 구분할 수 있으며, 또한 범지구적인 기후변화에 따라 식생 경계의 변화(수목한계선, 고산대)에 대한 지속적인 연구의 필요성이 요구되고 있다(Brigitta et al., 2009; Lenoir et al., 2009; Zhang et al., 2010; Kim et al., 2019). 기후변화에 대응한 다양한 연구 접근과 결과 도출이 필요하며, 민감한 반응을 보일 수 있는 식생은 주요 연구 재료로 활용되고 있다. 최근 저지대에서 고지대로의 광범위한 분포를 보이는 식물의 이주는 북방계 식물 또는 고산대 식물을 자극하여 더 높은 곳의 서식지로 이동하게끔 유발하는 것으로 밝혀지고 있다(Grabherr et al., 1995; Guisan and Theurillat, 2000; Theurillat and Guisan, 2001; Brigitta et al., 2009).

최근 선행연구들은 기후변화에 따라 수목한계선이 상승하는 경향이 있으며(Kullman, 2002; Lloyd and Fastie, 2003; Danby and Hik, 2007; Zhang et al., 2010), 그 경향은 유의하지 않았으나 임분 밀도는 증가한 것으로 관찰되고 있다(MacDonald et al., 1998; Danby and Hik, 2007; Klasner and Fagre, 2002). 그러나 일부 연구자들은 기후 온난화로 인하여 겨울에 눈의 양이 줄어들어 토양 건조 및 토양 표면의 매우 낮은 온도로 인해 치수 밀도가 감소하여 수목한계선의 안정성을 유지하지 못하거나 심지어 하강으로 이어질 것으로 추측하고 있다(Grace et al., 2002; Danby and Hik, 2007; Kullman, 2007).

나무의 생활사에서 치수는 높은 사망률이 발생하는 단계 중 하나이다(Sun and Chen, 2000). 치수는 성목과 비교하여 환경적 요인의 변화에 더 민감하게 반응하며(Kullman, 1993; Germino et al., 2002; Brigitta et al., 2009; Kim et al., 2019), 식생의 수직적 분포의 상승 또는 하강 여부는 주로 치수의 생존 및 성장 상황에 달려있다(Smith et al., 2003; Lenoir et al., 2009; Brigitta et al., 2009; Zhang et al., 2010). 만약 몇 개의 치수만 생존해 있다면 성목의 고사 후에 수목한계선이 하강하게 된다. 그러나 치수가 성장한다면 수목한계선의 위치를 유지하거나 심지어 상승시킬 수 있다(Klasner and Fagre 2002; Smith et al., 2003; Lenoir et al., 2009; Brigitta et al., 2009; Zhang et al., 2010). 따라서 치수의 고도 변동과 구조에 대한 조사는 지역 또는 경관 규모에서 식생의 수직적 변화 과정을 이해하는 데 도움이 될 것이다. 또한, 범지구적인 기후변화에 대한 고산 생태계의 반응을 예측하는 데 생태적 지표가 될 것이다.

지금까지 우리나라에서는 수목의 치수 밀도 변화나 환경인자와 관계성 등에 대한 연구결과는 상대적으로 부족하며, 고도구배에 따라 관찰된 치수 발생 패턴을 구명해 낸 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 설악산 일대의

1,300 m부터 1,700 m까지 분포하는 분비나무와 잣나무를 대상으로 하였다. 분비나무와 잣나무를 대상으로 한 이유는 현재 기후변화에 가장 민감한 고산대 상록침엽수종이며, 등산객의 방문이 빈번하며, 이에 따라 자연적인 위적 교란을 동시에 받는 곳 중 하나이기 때문이다. 또한, 이 지역의 동반 출현 수종인 눈잣나무, 구슬맹덩이, 홍월굴 등 희귀·특산식물의 분포가 가장 다양한 지역이기도 하다(Kong, 2000; Kong and Lim, 2008; Lee et al., 2014; Kim et al., 2017).

본 연구는 분비나무와 잣나무 치수가 발생하는 식생구조, 종다양성 변화, 치수 밀도, 고도별 치수 변화량 등 식생의 수직적 분포 변화에 대한 생태학적 기초자료를 제시하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지 및 모니터링 조사구 설정 방법

본 연구는 분비나무(Least Concern, LC) 및 잣나무가 서식하는 설악산 대청봉일대를 대상으로 하였다. 모니터링 조사구는 2016년 5월부터 6월까지 분비나무와 잣나무가 상관에 우점하고 있는 군락을 선정하였다. 모니터링 조사구의 형태는 최대 20 m × 20 m (0.04 ha)의 정방형구로 향후 지속적인 모니터링을 위해 clinometer, 줄자, 측량폴대 등을 활용하여 각 끝 측량 지점에 표식말뚝을 설치하였다. 모니터링은 2년 간격으로 수행하였으며, 멸종위기 침엽수종의 개체, 치수 발생률 및 고사율을 조사하였다.

2. 조사 및 분석 방법

2016년도와 2018년도 5월부터 10월까지 오색과 대청봉 사이 1,300 m에서 1,700 m까지 총 31개소의 모니터링 조사구에서 식생의 상관우점과 지형 요인에 따라 최대 400 m²를 구획하였다. 흉고직경 2 cm 이상의 모든 침엽수 및 활엽수에 대하여 흉고직경과 수고를 측정하였다. 초본층은 식생조사법(Ellenberg, 1956; Braun-Blanquet, 1964)에 따라 종 목록과 군도(sociability) 및 우점도(dominance)를 판정하여 조사하였다. 상록침엽수 치수는 방형구 내에 나타나는 흉고직경 2 cm 미만의 치수를 대상으로 개체수를 조사하였다. 입지환경은 Garmin Montana 650GPS 장비를 사용하여 경위도 좌표, 사면방향, 고도 등을 기록하였다. 구성종의 식물분류와 동정은 원색식물도감(Lee, 2003)을 이용하였다. 종명의 학명과 국명은 국가생물종지식정보 시스템(Korea Forest Service, 2010a)과 국가표준식물목록(Korea Forest Service, 2010b)을 참고하였다.

자료의 분석은 2018년에 조사한 매목조사자료와 식생조사자료를 기준으로 층위별 중요치(Importance value,

IV)를 산출하였으며, 층위는 교목층(≥ 5.0 m), 관목층(≤ 3.0 m), 초본층(≤ 1.0 m)으로 구분하였다. 최종적으로 중요치는 평균상대우점치(Mean importance value, MIV)로 층위별 가중치인 교목층 3, 관목층 1, 초본층 0.5를 부여하여 식생구조를 구분하였다.

2016년과 2018년의 조사한 상록침엽수 치수의 개체수는 ha당 분수로 환산하였고, 고도별 개체수 변화 및 연간 비교를 위해 분석하였다. 검정은 Chi-squared test를 적용하였으며, 통계 프로그램은 R 3.5.1을 사용하였다.

산림식생의 안정성을 유추할 수 있는 종 다양성 및 경쟁 등을 분석하기 위해 층위별 종다양도 지수(H'), 최대 종다양도(H'max), 균재도(J'), 우점도(1-J')를 분석하였다(Shannon and Weaver, 1949; Brower and Zar, 1977).

결과 및 고찰

1. 설악산 아고산대 상록침엽수림의 식생구조

식생구조 분석 결과 평균상대우점치는 분비나무가 가장 높게 나타났으며, 잣나무, 시닥나무 순서로 나타났다(Table 1). 층위별로 보면 교목층은 잣나무가 가장 높은 중요치를 보이고, 분비나무, 사스래나무의 중요치가 비교적 높게 구성되어 있다. 설악산 아고산대 상록침엽수림에서 상층을 구성하는 수종과 유사한 결과로 나타났다(Park et al., 2009; Yun et al., 2011; Han et al., 2016; Kim et

al., 2017).

관목층은 시닥나무와 분비나무의 중요치가 가장 높게 나타났다. 일반적으로 아고산대 침엽수군락에서 관목층은 진달래과가 우세하다(Do et al., 2012; Cho et al., 2016; Kim et al., 2018). 그러나 본 연구에서는 분비나무가 관목층에서 우세하였고, 해당 지역의 선행연구들과 비슷한 결과로 나타났다(Kwon et al., 2010; Kim et al., 2011). 또한, 미역줄나무가 진달래과보다 상대적으로 중요치가 높았는데, 덩굴성식물은 산림을 구조적으로 단순화시키고 빛과 영양 경쟁에서 우위를 차지하여, 치수가 갱신하는 데 있어 부정적 환경을 조성할 수 있다. 이와 같이 설악산과 비교할 수 있는 지리산일대의 상록침엽수림에서 미역줄나무 중요치가 높을수록 구상나무 치수갱신에 저해를 초래할 수 있는 연구결과와 비슷한 것으로 나타났다(Kim et al., 2018). 따라서 분비나무 치수의 지속적 갱신을 유도하기 위해서는 덩굴성식물에 대한 인위적 관리가 필요할 것으로 판단된다.

초본층은 두루미꽃, 박새, 실새풀, 자주솨대 등이 중요치가 높은 것으로 나타났다. 이는 우리나라 아고산대에 출현하는 다년생 초본식물 구성과 비슷한 경향이었다(Hong et al., 2010; Yun et al., 2011; Yun et al., 2012; Lee and Kim, 2017). 박새의 높은 중요치로 미루어 보아 박새가 출현하는 서식지는 비교적 수분이 충분한 것으로 판단된다(Lee, 2003; Korea Forest Service, 2010a). 또한,

Table 1. Importance value of major species within vertical layers in investigation plots.

Species		Layer			MIV
		Tree	Shrub	Herb	
<i>Abies nephrolepis</i>	분비나무	21.53	12.55	2.52	12.20
<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	29.63	1.76	1.19	10.86
<i>Acer komarovii</i>	시닥나무	6.90	15.39	2.03	8.11
<i>Betula ermanii</i>	사스래나무	11.18	3.30	0.17	4.88
<i>Sorbus commixta</i>	마가목	6.93	6.39	0.51	4.61
<i>Maianthemum bifolium</i>	두루미꽃	-	-	11.37	3.79
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	당단풍나무	5.44	4.38	0.08	3.30
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	8.88	-	0.08	2.99
<i>Prunus padus</i>	귀룽나무	0.84	6.82	0.93	2.87
<i>Tripterygium regelii</i>	미역줄나무	-	8.12	0.17	2.76
<i>Veratrum oxysepalum</i>	박새	-	-	7.95	2.65
<i>Rhododendron mucronulatum var. ciliatum</i>	털진달래	-	7.57	0.34	2.64
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	철쭉	-	7.35	0.25	2.54
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	실새풀	-	-	6.66	2.22
<i>Euonymus macropterus</i>	나래회나무	0.23	3.86	2.27	2.12
<i>Smilacina bicolor</i>	자주솨대	-	-	6.01	2.00

102 species omitted (MIV < 2.0)

Table 2. Importance value of major species within vertical layers along the altitudinal gradients.

Altitude (m)	Layer	ABNE	PIKO	ACKO	TRRE	CAAR	MABI
1300-1400	Tree	15.70	35.25	9.73	-	-	-
	Shrub	7.93	-	18.20	-	-	-
	Herb	2.08	1.39	3.82	0.69	32.62	3.13
1400-1500	Tree	17.90	38.90	4.66	-	-	-
	Shrub	4.25	2.20	20.05	8.44	-	-
	Herb	3.42	0.93	3.42	-	2.49	8.37
1500-1600	Tree	19.85	38.66	7.79	-	-	-
	Shrub	13.26	1.71	17.46	12.67	-	-
	Herb	2.08	1.08	1.23	0.15	3.08	11.03
1600-1700	Tree	51.73	34.22	-	-	-	-
	Shrub	18.60	2.15	6.40	-	-	-
	Herb	3.46	1.76	2.34	-	8.73	21.46

Abies nephrolepis (ABNE), *Pinus koraiensis* (PIKO), *Acer komarovii* (ACKO), *Tripterygium regelii* (TRRE), *Calamagrostis arundinacea* (CAAR), *Maianthemum bifolium* (MABI).

분비나무는 관목층과 초본층에서 잣나무에 비해 피도와 빈도가 높게 나타나 해당 지역의 경우 분비나무의 치수는 지속적으로 발아 및 생장이 이루어지고 있어 향후 분비나무에 의한 균락이 형성될 것으로 판단되었다.

2. 고도에 따른 종조성

설악산 아고산대 상록침엽수림의 교목층, 관목층, 그리고 초본층에서 높은 중요치를 나타내는 종을 고도에 따라 살펴보면, 1,600 m 이하에서 잣나무가 교목층은 우세하나 관목층, 초본층 등에서 시달나무와 분비나무 등의 중요치가 높게 나타났다(Table 2). 주요 상록침엽수 중에서 분비나무는 고도가 증가함에 따라 중요치 또한 증가하는 것으로 나타났고, 1,600-1,700 m에서 중요치가 가장 높게 나타났다. 미역줄나무의 경우 1,600 m 이하에서 나타나고 있는 반면 1,600 m 이상의 고도에서 출현하지 않는 것으로 나타났다. 실새풀은 미역줄나무의 중요치가 높은 고도별 생육지를 제외하고 다른 고도 구간에서 높은 중요치를 나타내고 있다. 미역줄나무의 중요치 변화는 서식지에서 동반 출현하는 종조성에 영향을 끼치며, 초본부터 관목층까지 상대적으로 영양 경쟁을 심화시킬 수 있다. 미역줄나무와 같은 덩굴성식물의 출현은 조사지 내 숲 틈의 유무를 파악할 수 있으며, 숲의 구조를 단순화시킬 수 있는 우려가 있기에 지속적인 모니터링 및 물리적 관리가 필요하다. 고산성 식물인 두루미꽃은 고도가 증가함에 따라 중요치가 증가하였다. 실새풀은 건조한 침엽수림에서 수분 증발 감소, 토양 수분의 증가, 열 보존과 같은 치수의 생장을 촉진시키는 역할을 하며 (Hogg and Victor, 1991), 실새풀의 피도에 따라 치수 발

생과 생장에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Matthew et al., 2002). 1,600-1,700 m에서 미역줄나무의 비출현은 해당 고도가 비교적 낮은 평균온도, 바람받이 등 극한 환경이 조성되어 있으며, 저지대 식물이 자라기에 적합하지 않고, 해당 서식지에서 적응한 눈잣나무, 홍월굴 등 고산성 식물이 개체군을 이루고 있기 때문이다(Lee et al., 2014; Kim et al., 2019).

층위별 종다양성지수 등을 분석 결과 교목층은 고도가 증가할수록 다양성지수 및 균등도는 낮아졌으며, 관목층과 초본층은 1,400-1,500 m 구간에서 비교적 다양성지수(H'), 균등도(J')가 높게 나타났다. 위에 해발고도별 층위 구조 분석 결과와 같이 1,400-1,500 m 구간에서 숲 틈의 발생과 종의 분포역에 있어서 전이지대인 것으로 판단된다. 숲 틈은 개체목 또는 개체군이 수관을 이루는 동안 교란에 의해 고사되거나 쓰러져 수관층이 열리고 광온성 식물(eurythermal plant)에 의해 다시 채워진다(Brokaw and Busing, 2000). 이러한 과정에서 종다양성은 수관층 유형, 경관 그리고 교란의 종류에 의해 결정된다(Ellum et al., 2010; Duguid et al., 2013). 종다양성은 기존 우점종에 대한 다양성보다 교란 발생 후 이입되는 종에 의한 종다양성 증가가 나타난다(Kumar and Ram, 2005; Bolton and D'Amato, 2011).

한편, 미역줄나무 중요치가 가장 높게 나타난 1,500-1,600 m 고도 구간은 초본층의 균등도가 가장 낮게 나타나고 있다. 균등도는 군집 내 바이오매스가 생태적 지위 공간에 분포되어 있어 이용 가능한 자원의 전체 범위를 나타내는 정도로 해석된다. 조사구 내 다양한 종들이 특정 지역에서 고르게 분포될 때 증가하고 반대의 경우에

Table 3. Species diversity index along the altitudinal gradients.

Index	Layer	Altitude classification (m)			
		1,300-1,400	1,400-1,500	1,500-1,600	1,600-1,700
H'	Tree	1.42 ± 0.12	1.56 ± 0.09	1.15 ± 0.09	0.72 ± 0.28
	Shrub	1.35 ± 0.22	1.45 ± 0.12	1.34 ± 0.09	1.41 ± 0.13
	Herb	1.51 ± 0.25	1.81 ± 0.11	1.33 ± 0.10	1.48 ± 0.12
H'max	Tree	1.73 ± 0.06	1.71 ± 0.06	1.73 ± 0.07	0.64 ± 0.23
	Shrub	1.82 ± 0.26	2.19 ± 0.10	2.08 ± 0.07	2.03 ± 0.09
	Herb	3.21 ± 0.07	3.07 ± 0.10	3.18 ± 0.1	2.68 ± 0.04
J'	Tree	0.83 ± 0.1	0.91 ± 0.03	0.67 ± 0.05	0.42 ± 0.21
	Shrub	0.78 ± 0.21	0.66 ± 0.06	0.65 ± 0.05	0.69 ± 0.06
	Herb	0.47 ± 0.08	0.59 ± 0.04	0.41 ± 0.02	0.55 ± 0.04
1-J'	Tree	0.16 ± 0.10	0.08 ± 0.03	0.32 ± 0.05	0.24 ± 0.18
	Shrub	0.21 ± 0.21	0.33 ± 0.06	0.34 ± 0.05	0.3 ± 0.060
	Herb	0.52 ± 0.08	0.4 ± 0.040	0.58 ± 0.02	0.44 ± 0.04

※ H' : Diversity index; H'max : Max diversity index; J' : Evenness, 1-J' : Dominance.

는 감소한다(DeJong, 1975; Norman et al., 2005).

또한, 균등도가 낮을수록 어떤 특정 종들이 생태적 지위를 차지하는 동안 그 공간 내 존재하는 자원의 가용성이 많이 않은 것을 의미한다. 고도별 중요치 분석 결과와 함께 미루어 보아 미역줄나무의 출현은 임분 내 생산성을 감소시키며, 외부 유입종의 정착기회를 증가시키는 것으로 해석된다(Norman et al., 2005; Kim et al., 2018). 종다양성지수가 낮다는 것은 군집 내 잠재적으로 사용할 수 있는 양분 자원의 일부가 사용되지 않은 것으로, 특정 환경조건에서 임분 내 자원을 이용하는 종들이 사라지는 것이며 환경 변동에 대한 완충효과가 감소하는 것을 의미한다(Tilman, 1982). 이는 곧 외부 유입종의 생태적 지위 공간이 마련되는 것으로 이어지며 특정 임분의 외부 유입종을 방어할 수 있는 침입저항력이 낮아짐을 의미한다(Dukes, 2001). 본 연구는 해발고도에 따라 교목층의 균등도는 낮아져 특정 종들이 생육을 위한 생태적 지위 공간이 국소적으로 변화하는 것으로 볼 수 있다. 이에 외부 유입종이 사용 가능한 자원 및 서식공간이 축소되어 종다양성지수가 감소한 것으로 판단된다.

3. 상록침엽수 치수의 밀도와 고도에 따른 변화

설악산 아고산대 상록침엽수 중에서 주요종인 분비나무의 치수 밀도 변화는 2016년 402 ± 5.4 ha⁻¹에서 2018년에 528 ± 11.6 ha⁻¹로 2년간 유의한 수준에서 증가하였고 (p < 0.01), 잣나무의 치수 밀도 변화는 2016년에 57 ± 1.3 ha⁻¹에서 2018년에 56 ± 1.6 ha⁻¹로 감소하였다(Figure 1). 잣나무 치수는 분비나무 치수와 비교하여 총 개체수에서

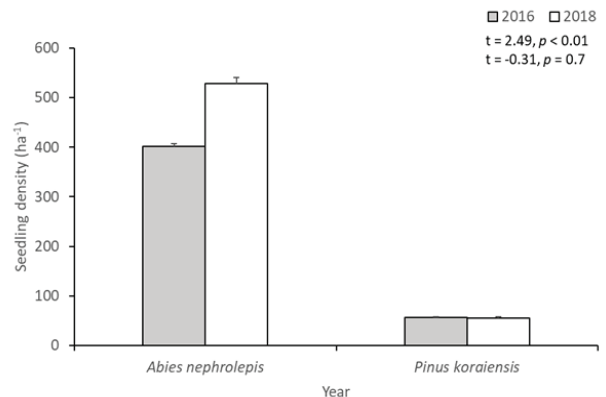


Figure 1. Dynamics of *Abies nephrolepis* seedling density into the two years.

많은 차이가 나타나는 것으로 관찰되었다. 잣나무의 경우 치수 밀도의 큰 변화가 없는데, 이는 치수 발생단계 (ontogenetic stages)에서 대량으로 발생하지 않기 때문인 것으로 판단된다(Omelko et al., 2016; Kim et al., 2019). 본 연구에서 분비나무와 잣나무 치수의 연도별, 개체군별 차이로 보면, 분비나무 치수는 10 cm 이하에서 대량으로 발생하나 50 cm 이상에서 진계생장하지 못하고 대부분 고사되는 것으로 보고되는 것과 비슷한 경향으로 나타났다(Kim et al., 2019). 저지대 산림에서 잣나무 치수는 주변 조림지에서 천연림으로 종자가 유입되어 새로운 개체들이 정착하는 현상이 발견되었으며, 비교적 많은 치수가 발생하고 있는 것으로 나타났다(Kang et al., 2007). 이것으로 미루어 보아, 본 연구에서 분비나무 치수의 발생은 활발히 일어나고 있는 반면에 잣나무 치수는

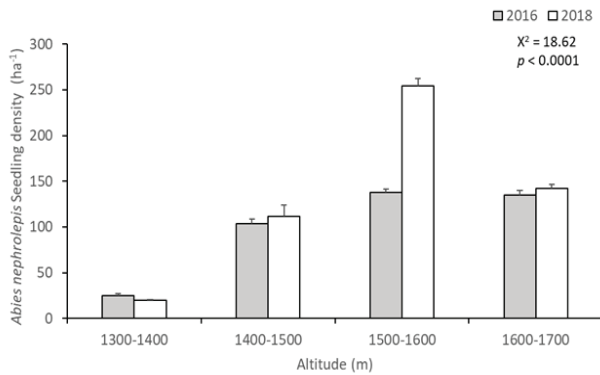


Figure 2. Dynamics of *Abies nephrolepis* seedling density according to the altitudinal gradients.

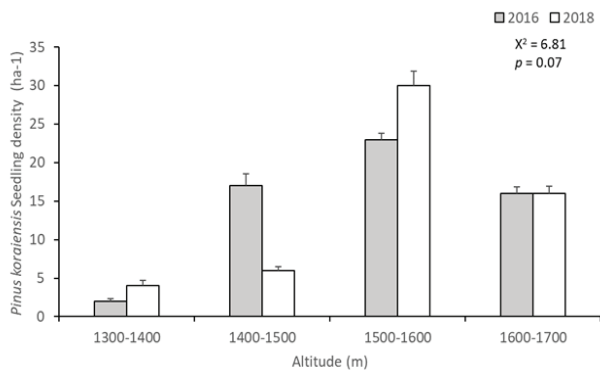


Figure 3. Dynamics of *Pinus koraiensis* seedling density according to the altitudinal gradients.

소폭 감소하였는데 저지대 산림에서 갱신되는 연구 양상과 상이했다. 서식지에 따라 치수갱신 양상이 다를 것으로 판단되므로 고도별 치수갱신 변화를 제시하였다.

고도별 상록침엽수 치수의 변화량은 분비나무 치수가 1,300-1400 m 구간에서 2016년 $25 \pm 2.0 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $20 \pm 0.6 \text{ ha}^{-1}$ 로 감소하였고, 1,400-1,500 m 구간에서 2016년 $104 \pm 4.5 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $112 \pm 12.0 \text{ ha}^{-1}$ 로, 1,500-1,600 m 구간에서 2016년 $138 \pm 3.8 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $254 \pm 8.3 \text{ ha}^{-1}$ 로, 1,600-1,700 m 구간에서 2016년 $135 \pm 4.9 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $142 \pm 4.5 \text{ ha}^{-1}$ 로 증가하였다. 잣나무 치수는 1,300-1,400 m 구간에서 2016년 $2 \pm 0.2 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $4 \pm 0.4 \text{ ha}^{-1}$ 로, 1,500-1,600 m 구간에서 2016년 $23 \pm 0.8 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $30 \pm 1.8 \text{ ha}^{-1}$ 으로 증가하였고, 1,400-1,500 m 구간에서 2016년 $17 \pm 1.5 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $6 \pm 0.4 \text{ ha}^{-1}$ 로 감소하였으며, 1,600-1,700 m 구간에서 2016년 $16 \pm 0.8 \text{ ha}^{-1}$ 에서 2018년 $16 \pm 0.8 \text{ ha}^{-1}$ 로 변화가 없었다. 치수의 밀도는 2018년에 1,500-1,600 m 고도 구간에서 대폭 증가하였는데, 이는 고도별 층위구조 및 종다양성지수 등을 살펴보았을 때 1,500-1,600 m 구간에 숲 틈이 발생함으로 인해 광량의 증가로 분비나무 치수 발아 및 성장에

영향을 미쳐 치수 밀도가 다른 구간에 비해 대폭 증가한 것으로 판단되었다(Hunziker and Brang, 2005; Kim et al., 2019).

1,500-1,600 m 구간에서는 잣나무 치수뿐 아니라 분비나무 치수 또한 증가하여 잣나무와 분비나무의 치수 성장을 유도하기 위해서는 덩굴성식물의 인위적 관리를 고려해보아야 한다. 또한, 숲 틈 발생으로 인한 여러종의 유입으로 인해 종다양도 지수가 높게 나타나고 있어 잣나무 및 분비나무 치수의 생육에 악영향을 미칠 것으로 판단되는 바, 본 구간에서의 치수 생존에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구의 결과와 함께 지리산 상록침엽수림의 고도별 미역줄나무의 확장에 따른 숲 구조, 치수갱신의 부정적 영향이 관찰되고 있으므로(Kim et al., 2018), 설악산 숲 구조 및 치수갱신에 대한 지속적인 관찰연구가 진행되어야 한다. 최근 수종 분포 예측에 대해 GIS를 기반으로 한 연구는 항공사진, 지형도, 임상도 등을 활용하여 모델분석을 실시하여 아고산대 수종의 분포 축소가 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 보고하였다(Kim and Lee, 2013; Park et al., 2014; Koo et al., 2016). 이 중 임상도는 일반적으로 상층 수관에 해당하는 수종의 분포도를 기반으로 한다. 따라서 상층 수종의 분포 예측은 가능하나 하층 수종의 동태까지 파악하기는 어려운 실정이다. 그러므로 하층의 지속적인 모니터링을 통해 아고산대 산림의 지표를 파악하는 것이 중요할 것으로 사료되었다.

본 연구에서 제시된 해발고도별 결과를 미루어 보아 1,400-1,500 m와 1,500-1,600 m 구간에서 치수갱신 양상의 차이가 나타났다. 미역줄나무의 중요치가 1,500-1,600 m 구간에서 높았던 반면 분비나무와 잣나무의 치수발생이 가장 많이 나타났다. 이러한 차이는 다른 해발고도에 비해 종 다양성 지수와 균등도가 비교적 낮기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 지속적인 모니터링을 통해 갱신되고 있는 분비나무와 잣나무의 공존 및 경쟁양상을 파악할 수 있을 것이다.

또한, 상록침엽수 치수의 발아 및 성장의 경우 종자 충실율, 해결이, 병해충, 수명 등 해당 산지의 종자 연구를 통해 다양한 접근의 해석이 필요하다. 종자 연구는 건강한 종자를 채취할 수 있는 기초자료, 보존 대상 수종의 현지 내 보존을 위한 종자의 영구저장 방법을 마련하기 위하여 중요하다. 이미 국외에서는 상록침엽수 종자에 대한 다양한 연구결과가 도출되고 있어 우리나라 또한 연구 협업을 통해 서식지 보전 및 복원 기술개발이 필요

로 할 것으로 판단되었다.

상록침엽수의 치수갱신에 있어 총 개체 수는 분비나무 치수가 많이 발생하고 있는 단계에 있다. 기후변화, 물리적 환경, 그리고 mast seeding 이론 등 개체 발생의 급격한 변화에 대한 검증을 위해 최소 2년 이상의 기초 데이터가 필요하다. 아직까지 대한민국 아고산대에서 발생하고 있는 상록침엽수의 집단 고사, 치수 대량 발생 또는 고사 등 다양한 이론과 가설에 입각한 결과가 부족하므로 장기적인 관점에서 모니터링이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 임업·산림분야 기후변화 영향 취약성 평가 및 적응 연구 과제(위탁연구과제 ‘설악산 일대 아고산 상록침엽수림 변화 조사, 분석’)의 장기생태 모니터링 일환으로 작성되었습니다.

References

- Bolton, N.W. and D'Amato, A.W. 2011. Regeneration responses to gap size and coarse woody debris within natural disturbance-based silvicultural systems in northeastern Minnesota. *Forest Ecology and Management* 262(7): 1215-1222.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie Grundzüge der Vegetationskunde* (3rd Ed.). Springer-Verlag, New York, pp. 865. (in German)
- Brigitta, E., Thomas, K., Martin, M. and Peter, U. 2009. Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. *Plant Ecology* 202(1): 79-89.
- Brokaw, N. and Busing, R.T. 2000. Niche versus chance and tree diversity in forest gaps. *Trends in Ecology & Evolution* 15(5): 183-188.
- Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Company Publishers. Iowa, U.S.A. pp. 596.
- Cho, M.G., Chung, J.M., Im, H.I., Noh, I., Kim, T.W., Kim, C.Y. and Moon, H.S. 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)
- Danby, R.K. and Hik, D.S. 2007. Variability, contingency and rapid change in recent subarctic alpine tree line dynamics. *Journal of Ecology* 95(2): 352-363.
- DeJong, T.M. 1975. Comparison of three diversity indices based on their components of richness and evenness. *Oikos* 26(2): 222-227.
- Do, M.S., Lee, J.H., Gwon, J.H. and Song, H.K. 2012. Vegetation structure and ecological properties of *Picea jezoensis* community. *CNU Journal of Agricultural Science* 39(4): 525-534. (in Korean with English abstract)
- Duguid, M.C., Frey, B.R., Ellum, D.S., Kelty, M. and Ashton, M.S. 2013. The influence of ground disturbance and gap position on understory plant diversity in upland forests of southern new England. *Forest Ecology and Management* 303: 148-159.
- Dukes, J.S. 2001. Biodiversity and invasibility in grassland microcosms. *Oecologia* 126: 563-568.
- Ellenberg, H. 1956. *Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde*. Ulmer, Stuttgart, Germany, pp. 136. (in German)
- Ellum, D.S., Ashton, M.S. and Siccama, T.G. 2010. Spatial pattern in herb diversity and abundance of second growth mixed deciduous-evergreen forest of southern new England. *Forest Ecology and Management* 259(8): 1416-1426.
- Germino, M.J., Smith, W.K. and Resor, A.C. 2002. Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecology* 162(2): 157-168.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Gruber, A. and Pauli, H. 1995. Patterns and current changes in alpine plant diversity. In: Chapin FS III, Körner, C. (eds) *Arctic and alpine biodiversity: patterns, causes and ecosystem consequences*. Ecological Studies 113. Springer, Berlin, pp. 166-81.
- Grace, J., Berninger, F. and Nagy, L. 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany* 90(4): 537-544.
- Guisan, A. and Theurillat, J.P. 2000. Assessing alpine plant vulnerability to climate change: a modelling perspective. *Integrated Assess* 1(4): 307-320.
- Han, S.H., Han, S.H. and Yun, C.W. 2016. Classification and stand characteristics of subalpine forest vegetation at Hyangjeukbong and Jungbong in Mt. Deogyusan. *Journal of Korean Forest Society* 105(1): 48-62. (in Korean with English abstract)
- Hogg, E.H. and Victor, J.L. 1991. The impact of *Calamagrostis canadensis* on soil thermal regimes after logging in northern Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* 21(3): 387-394.
- Hong, M.P., Lee, H.J., Chun, Y.M. and Hong, B.R. 2010. Flora of Mt. Seorak, Gangwon-do. *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(4): 436-486. (in Korean with English abstract)
- Hunziker, U. and Brang, P. 2005. Microsite patterns of conifer seedling establishment and growth in a mixed stand in the southern Alps. *Forest Ecology and Management* 210(1-3): 67-79.
- Kang, H.S., Lim, J.H., Chun, J.H., Lee, I.K., Kim, Y.K. and

- Lee, J.H. 2007. Invasion of Korean Pine seedlings originated from neighbour plantations into the natural mature deciduous broad-leaved forest in Gwangneung, Korea. *Journal of Korean Forest Society* 96(1): 107-114. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.S., Bae, S.W., Jang, S.C. and Jeong, J.M. 2011. Stand structure and growth characteristics at different elevations of the Korean Pine (*Pinus koraiensis*) natural forest on Mt. Seorak. *Journal of Forest Science* 27(3): 157-167. (in Korean with abstract English)
- Kim, J.D., Lim, J.H. and Yun, C.W. 2019. Dynamics of *Abies nephrolepis* Seedlings in relation to environmental factor in Seorak Mountain, South Korea. *Forests* 10(8): 702.
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yun, C.W. 2017. Phytosociological community type classification and flora of vascular plants for the forest vegetation of Daechongbong Area in Mt. Seorak. *Journal of Korean Forest Society* 106(2): 130-149. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yun, C.W. 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 Environment and Ecology* 32(3): 313-322. (in Korean with English abstract)
- Kim, N.S. and Lee, H.C. 2013. A study on change and distributions of Korean fir in sub-alpine zone, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 16(5): 49-57. (in Korean with English abstract)
- Klasner, F.L. and Fagre, D.B. 2002. A half century of change in alpine treeline patterns at Glacier National Park, Montana, USA. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 34(1): 49-56.
- Kong, W.S. 2000. Geocology on the subalpine vegetation and landscape of Mt. Sorak. *Journal of the Korean Geographical Society* 35(2): 177-187. (in Korean with abstract English)
- Kong, W.S. and Lim, J.H. 2008. Disjunctive distribution of *Vaccinium vitis-idaea* and thermal condition. *Journal of the Korean Geographical Society* 43(4): 495-150. (in Korean with abstract English)
- Koo, K.A., Kim, J., Kong, W.S., Jung, H.C. and Kim, G.H. 2016. Projecting the potential distribution of *Abies koreana* in Korea under the climate change based on RCP scenarios. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 19(6): 19-30. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service. 2010a. Korea Biodiversity Information System. <http://www.nature.go.kr/>
- Korea Forest Service. 2010b. Korea Plant Names Index Committee. <http://www.nature.go.kr/kpni/>
- Kullman, L. 1993. Tree limit dynamics of *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* in relation to climate change variability: evidence from central Sweden. *Journal of Vegetation Science* 4(6): 765-772.
- Kullman, L. 2002. Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology* 90(1): 68-77.
- Kullman, L. 2007. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973-2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *Journal of Ecology* 95(1): 41-52.
- Kumar, A. and Ram, J. 2005. Anthropogenic disturbances and plant biodiversity in forests of Uttarakhand, central Himalaya. *Biodiversity and Conservation* 14(2): 309-331.
- Kwon, H.J., Gwon, J.H., Han, K.S., Kim, M.Y. and Song, H.K. 2010. Subalpine forest vegetation of Daechongbong Area, Mt. Seoraksan. *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(2): 194-201. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.B. and Kim, H.H. 2017. Elevational patterns of plant species richness and relative importance of climatic and topographic factors on the Mt. Seorak, South Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 52(3): 1-11. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., Shin, H.S., Cho, H.J. and Yun, C.W. 2014. Subalpine Conifer Forest Communities. National Institute of Ecology. GeoBook, Korea, pp. 136. (in Korean)
- Lee, T.B. 2003. Coloured Flora of Korea. Hyangmunsa. Korea. pp. 999. (in Korean)
- Lenoir, J., Gégout, J.C., Pierrat, J.C., Bontemps, J.D. and Dhôte, J.F. 2009. Differences between tree species seedling and adult altitudinal distribution in mountain forests during the recent warm period (1986-2006). *Ecography* 32(5): 765-777.
- Lloyd, A.H. and Fastie, C.L. 2003. Recent changes in treeline forest distribution and structure in interior Alaska. *Ecoscience* 10(2): 176-185.
- MacDonald, G.M., Szeicz, J.M., Claricoates, J. and Dale, K.A. 1998. Response of the central Canadian treeline to recent climatic changes. *Annals of the Association of American Geographers* 80(2): 183-208.
- Matthew, J.G., William, K.S. and Resor, A.C. 2002. Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecology* 162(2): 157-168.
- Norman, W.H.M., David, M., William, G.L. and Wilson, J.B. 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111(1): 112-118.
- Omelko, A., Ukhvatkina, O. and Zhmerenetsky, A. 2016. Disturbance history and natural regeneration of an old-growth Korean pine-broadleaved forest in the Sikhote-Alin

- mountain range, Southeastern Russia. *Forest Ecology and Management* 360: 221-234.
- Park, H.C., Lee, J.H. and Lee, G.G. 2014. Predicting the suitable habitat of the *Pinus pumila* under climate change. *Journal of Environmental Impact Assessment* 23(5): 379-392. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G., Cho, H.J. and Lee, C.B. 2009. Vegetation types & floristic composition of native conifer forests in the ridge of the Baekdudaegan, South Korea. *Journal of Korean Forestry Society* 98(4): 464-471. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, USA. pp. 108.
- Smith, W.K., Germino, M.J., Hancock, T.E. and Johnson, D.M. 2003. Another perspective on altitudinal limits of alpine timberlines. *Tree Physiology* 23(16): 1101-1112.
- Sun, S.C. and Chen, L.Z. 2000. A preliminary study on the ecological responses of seedlings to drought and simulated defoliation in *Quercus liaotungensis*. *Acta Ecologica Sinica* 20(5): 893-897.
- Theurillat, J.P. and Guisan, A. 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* 50(1-2): 77-109.
- Tilman D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, pp. 296.
- Yun, C.W., Kim, H.J., Lee, B.C., Shin, J.H., Yang, H.M. and Lim, J.H. 2011. Characteristic community type classification of forest vegetation in South Korea. *Journal of Korean Forest Society* 100(3): 504-521. (in Korean with English abstract)
- Yun, J.H., Kim, J.H., Kim, S.Y., Park, C.H. and Lee, B.Y. 2012. Vertical distribution of vascular Plants in Osaek valley, Seoraksan national park by temperature gradient1a. *Korean Journal Environment and Ecology* 26(2): 156-185. (in Korean with English abstract)
- Zhang, L., Luo, T., Liu, X. and Kong, G. 2010. Altitudinal variations in seedling and sapling density and age structure of timberline tree species in the Sergyemla Mountains, southeast Tibet. *Acta Ecologica Sinica* 30(2): 76-80.

Manuscript Received : December 24, 2019

First Revision : February 27, 2020

Second Revision : March 10, 2020

Third Revision : March 19, 2020

Accepted : March 19, 2020