

백두대간 보호지역 내 아고산 침엽수종(분비나무, 구상나무, 가문비나무)의 분포 현황과 임분 변화 특성

박고은^{1*} · 김은숙¹ · 정성철¹ · 윤충원² · 김준수³ · 김지동⁴ · 김재범¹ · 임중환¹

¹국립산림과학원 산림생태연구과, ²공주대학교 산림자원학과,
³자연과숲연구소, ⁴국립백두대간수목원

Distribution and Stand Dynamics of Subalpine Conifer Species (*Abies nephrolepis*, *A. koreana*, and *Picea jezoensis*) in Baekdudaegan Protected Area

Go Eun Park^{1*}, Eun-Sook Kim¹, Sung-Cheol Jung¹, Chung-weon Yun², Jun-soo Kim³, Ji-dong Kim⁴, Jaebeom Kim¹ and Jong-Hwan Lim¹

¹Forest Ecology Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

²Department of Forest Science, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

³Nature and Forest Research Institute, Daegu 41476, Korea

⁴Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea

요약: 백두대간 보호지역 내에 서식하는 분비나무(*Abies nephrolepis*), 구상나무(*A. koreana*), 가문비나무(*Picea jezoensis*)의 분포 현황과 쇠퇴 및 갱신 특성을 파악하기 위해 산림청의 전국 고산 침엽수종 실태조사 자료와 국립산림과학원의 아고산 침엽수종 생육 모니터링 자료를 활용하여 분석했다. 그 결과, 백두대간 보호지역 내의 분비나무, 구상나무, 가문비나무 분포 면적은 전국 분포면적의 약 74%(8,035 ha)를 차지하고, 백두대간 내 아고산 침엽수종 임분은 대부분이 백두대간 핵심지역에 분포하여 백두대간 지역이 아고산 침엽수종의 보전과 복원의 핵심적인 지역임을 확인했다. 그러나 주요 산지 내 아고산 침엽수종의 임목쇠퇴도는 전반적으로 증가하는 추세(4년간 태백산 분비나무는 77.3%, 덕유산 분비나무 29.6%, 지리산 천왕봉 구상나무 45.2%, 지리산 천왕봉 가문비나무는 2년간 47.8% 증가)를 보이고 새로 유입된 어린나무의 양이 소실된 어린나무 양보다 적어서 해당 숲의 존속에 문제가 있음을 확인했다. 한편 지리산 세석지역과 천왕봉에서는 일부 성목의 건강이 회복되고 어린나무 출현 빈도도 증가하는 경향을 보였다. 또한 과거 어린나무 출현빈도가 적고 성목 쇠퇴도가 높았으나 현재 쇠퇴도가 회복된 지역에서 어린나무 출현빈도도 증가한 것으로 나타나 성목의 쇠퇴도가 치수량의 변화와 상호 관련 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 아고산 침엽수종의 보전전략 수립 및 이행시 고려할 요인들에 대한 과학적인 근거를 제시하고 있다.

Abstract: Data from an investigation of vulnerable conifer species in the subalpine zone in Korea obtained by the Korea Forest Service in 2017-2018 and monitoring research conducted by the National Institute of Forest Science since 2014 were used to analyze the status of distribution and growing condition of three major conifer species (*Abies nephrolepis*, *Abies koreana*, and *Picea jezoensis*) in the subalpine zone in the Baekdudaegan protected area. The distribution area of the studied species in the Baekdudaegan protected area was ca. 74% (8,035 ha) of the total distribution area in Korea, indicating that Baekdudaegan is a core area for conservation and restoration of subalpine conifer species. From decline index [*A. nephrolepis* in Mt. Taebaeksan and Mt. Deogyusan increased by 77.3% and 29.6%, respectively; *A. koreana* in Mt. Jirisan (Chunwangbong Peak) increased by 45.2% in four years; and *P. jezoensis* in Mt. Jirisan (Chunwangbong Peak) increased by 47.8% in two years] and seedling frequency (lower frequency of newly recruited seedlings than dead seedlings) results, the studied species are expected to face difficulties in sustainability. In contrast, at Mt. Seseoksan and Chunwangbong Peak in Mt. Jirisan, the health of trees and seedling frequency showed a partial tendency to recover and increase. In addition, we identified the relationship between the decline index and seedling frequency. These results will support the implementation of conservation strategies for vulnerable conifer species in the subalpine zone.

Key words: climate change, conservation, decline index, regeneration, vulnerable conifer species

* Corresponding author
E-mail: goeunpark@korea.kr

ORCID
Go Eun Park  https://orcid.org/0000-0003-4686-2178

서론

백두대간은 우리나라 아고산지역을 포함하고 있는 지역으로, 이 지역은 분비나무(*Abies nephrolepis*), 구상나무(*A. koreana*), 가문비나무(*Picea jezoensis*)를 비롯한 교목성 상록 침엽수종들의 주요한 서식처이다. 이들 수종도 과거 플라이스토세빙기에는 산지를 중심으로 연속적으로 분포했으나, 기온이 상승한 후빙기에 평야나 낮은 산지에서는 난온대성 식물들과의 경쟁에서 밀려나 현재 아고산지역에 고립되어 출현하는 것으로 보고 있다(Kong, 1998). 즉, 그나마 가까스로 세대를 이어가고 있는 현재의 서식처를 잃게 되면, 이들 수종의 생육과 존속이 어려워지는 것이다. 그런데 아고산지역의 산정을 중심으로 격리 분포하고 있는 분비나무, 구상나무, 가문비나무가 기후변화의 압력 등으로 최근 집단 고사하는 등 쇠퇴하고 있다(Park et al., 2015; Park et al., 2016; Lim et al., 2019; Park et al., 2020). 이러한 아고산지역 상록 침엽수종들의 쇠퇴는 백두대간 내 산림생태계의 구조와 기능에도 영향을 미친다. 따라서 이들 수종의 서식처를 효과적으로 보존, 관리하는 것은 백두대간의 생물다양성을 보전하고, 산림생태계를 건강하게 가꾸어가는 일의 시급성이 될 것이다.

우리나라 산림청에서는 2016년 「멸종위기 고산지역」 침엽수종 보전 및 복원 대책」을 공표하고 국내 높은 산지의 상록 침엽수림을 효과적으로 보전하기 위한 노력을 기울이고 있다. 쇠퇴하고 있는 아고산 침엽수림의 보존 및 관리를 위해서는 해당 지역에 각 수종이 어디에 얼마나 분포하고 있는지 현황을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 이에 산림청은 멸종위기에 처한 아고산 침엽수림의 생육 및 입지환경 등의 실태를 파악하기 위해 2년(2017~2018년)에 걸쳐 전국 높은 산지의 침엽수림을 대상으로 대대적인 실태조사를 실시하였다(Kim et al., 2017; Lim et al., 2019). 여기서 주요 교목수종인 구상나무, 가문비나무, 분비나무의 현존분포도를 취득하였으며, 739개 현장조사 표본점에서 생육현황, 임분구조, 수목의 건강성, 분포지의 토양 등의 자료를 취득하였다(Lim et al., 2019). 이 중 백두대간에 포함되는 지역의 자료를 추출하여 분석하면 백두대간 내의 아고산 침엽수림의 생육 현황을 파악할 수 있다.

해당 침엽수종들의 생육과 쇠퇴, 개체군 동태가 어떻게 변화하고 있는지를 파악하는 것은 숲의 변화 속도와 방향성을 가늠하여 적절한 관리 전략을 마련하는 데에 큰 도움이 된다. 그동안 아고산 침엽수림을 대상으로 수행되어 온 연구에서는 고정표본점이 부재하거나 연구자별 조사 방법론이 상이하여 해당 종이 있는 임분에서의 일관성 있는 데이터 취득에 어려움이 있었다. 이에 국립산림과학원에서는 2014년부터 백두대간 내 아고산 침엽수림이 분포하는 대표적인 산지 5 지역을 선정하여 고도와 사면 등을 고려한 모니터링 조사구를 설치, 동일한 조사방법론을 적용하여 산지별 2년 간격으로 임분의 변화를 모니터링하고 있다(Park et al., 2015; Park et al., 2016).

아고산 침엽수림이 당면한 문제는 기후요인 등에 의한 성목의 집단 고사뿐 아니라 그 후대를 이룰 다음 세대 나무의 생육이 부진하다는 점이다(Park et al., 2015; Park et al., 2016; Kim et al., 2017; Kim et al., 2018; Lim et al., 2019). 어린나무를 통한 천연갱신을 제한하는 요인은 모수의 개화와 결실로부터 종자산포, 발아, 활착, 생존, 생장에 이르는 단계별로 다양하다(Park and Song, 2018). 종자공급의 단계에서는 종자공급량이 적거나 공급 종자의 충실률이 저조한 문제, 발아 단계에서는 숲바닥의 상태(유효토심 부족, 두꺼운 낙엽층, 미기상조건 등)가 발아에 적합하지 않음(Takahashi et al., 2000), 발아 이후 활착 및 생존과 성장 단계에서는 경쟁 수종, 극심한 가뭄, 유입 광량 부적합(과다, 혹은 과부족), 동물의 간섭(초식동물에 의한 섭식이나 중대형 포유류에 의한 답압 등) 등이 있다(Ruano et al., 2009; Robert et al., 2012). 종의 유지 및 임분의 구조적인 지속가능성을 위해서는 산림수종의 분포는 종의 생식 특성(종자번식, 영양번식)이나 종자의 크기, 산포방식, 발아 여건 등 종 고유의 특성 뿐 아니라 지역의 기후적 특성(기온, 지온, 강수량), 입지환경(유입광량과 보수율에 영향을 미치는 사면향, 경사 등)에도 영향을 받는다(Leck et al., 2008; Kim et al., 2018). 사면의 향과 경사도에 따라 해당 지점에 도달하는 광량이 달라지고, 해당 지표에 수분이 머무는 정도에도 영향을 미친다. 이에 사면의 향과 경사도를 동시에 고려하여 지형습윤지수(topographic wetness index, TWI)를 산출함으로써 수목의 성장 및 생존을 제한하는 입지환경을 이해하는 데 활용하기도 한다(Park et al., 2020).

본 연구에서는 백두대간 핵심지역 및 완충지역 내 현존하는 아고산 침엽수종의 분포 현황을 파악하고 대표 산지의 임목쇠퇴도와 어린나무 출현빈도의 변화 추이를 구명함으로써 해당 지역에서의 아고산 침엽수종 보전전략 마련의 과학적인 근거를 제시하고자 한다.

1) 산림청의 「멸종위기 고산지역 침엽수종 보전 및 복원 대책」과 「멸종위기 고산지역 침엽수종 실태조사(2017~2018)」에서 사용한 '고산'은 우리나라에서 소나무림이 출현하는 저지대에 비해 높은 산지에 위치하는 지역이라는 일반적인 의미로 사용되었으며, 본 논문에서 사용하고 있는 생태학적 정의의 아고산(subalpine) 지역을 의미한다.

재료 및 방법

1. 백두대간보호지역 내 아고산 침엽수종 분포 현황

백두대간 내 아고산 침엽수종의 분포 현황을 파악하기 위해, 산림청 전국 실태조사를 통해 제작된 분포 지도를 이용하였다(Kim et al., 2017). 본 실태조사는 해발고도 1,000 m 이상이며 1,200 m 이상의 봉우리를 포함하고 있는 69개 주요 산지 124,198 ha에 대해 수행되었다[Figure 1(a)]. 침엽수림 임분 구획은 침엽수의 수관점유 면적이 5% 이상인 지역을 대상으로 하였으며, 낱장항공사진 입체 판독을 통해 아고산 침엽수종 서식 임분을 구획하고 임분 내 서식하고 있는 침엽수의 수형을 판독하여 수종을 확인하고 수관밀도를 산정하여 속성정보에 포함하였다(Kim et al., 2017). 이렇게 제작된 전국 아고산 지역 침엽수림 분포 지도 중에서 Figure 1(b)의 백두대간보호지역(핵심구역, 완충구역) 영역에 해당되는 부분을 추출하여 본 연구에 활용하였다.

아고산 침엽수종 분포지도에는 임분별 수종과 수관밀도 등의 속성정보가 포함되어 있는데, 여러 침엽수종이 혼재해 서식하는 경우가 많기 때문에 수종을 판독하여 임분 내에서 가장 차지하는 면적이 넓은 침엽수종을 1수종, 그 다음으로 면적이 넓은 침엽수종을 2수종으로 구분하였다. 또한 1수종, 2수종 각각의 수관밀도를 파악하였다. 아고산

침엽수종은 낮은 밀도로 분포하는 경우도 많기 때문에, Table 1과 같이 수관밀도를 세분화하여 구분하였다. 본 연구의 대상수종인 구상나무(*A. koreana*, AK), 분비나무(*A. nephrolepis*, AN), 가문비나무(*P. jezoensis*, PJ)의 분포 면적은 1수종과 2수종으로 분포하는 모든 임분을 대상으로 산출하였다.

2. 주요 산지의 아고산 침엽수종 임분 변화 분석

아고산 침엽수종 임분 변화는 성목의 쇠퇴도와 어린나무 갱신 특성을 중심으로 파악하였다. 산림청의 전국 고산 침엽수종 실태조사 이후 2019년부터 수행되고 있는 모니터링 조사에서는 임분 변화에 대한 시계열 정보가 아직 축적되지 않았으므로, 아고산 침엽수종 임분의 변화 추이와 특성을 파악하기 위하여 국립산림과학원에서 2015년부터 2년 간격으로 주요 산지를 대상으로 실시하고 있는 임

Table 1. Canopy density class of subalpine conifer trees.

Class	Code	Description
Very Sparse	A	5% ≤ Canopy density of conifer trees < 10%
Sparse	B	10% ≤ Canopy density of conifer trees < 25%
Medium	C	25% ≤ Canopy density of conifer trees < 50%
Dense	D	Canopy density of conifer trees ≥ 50%

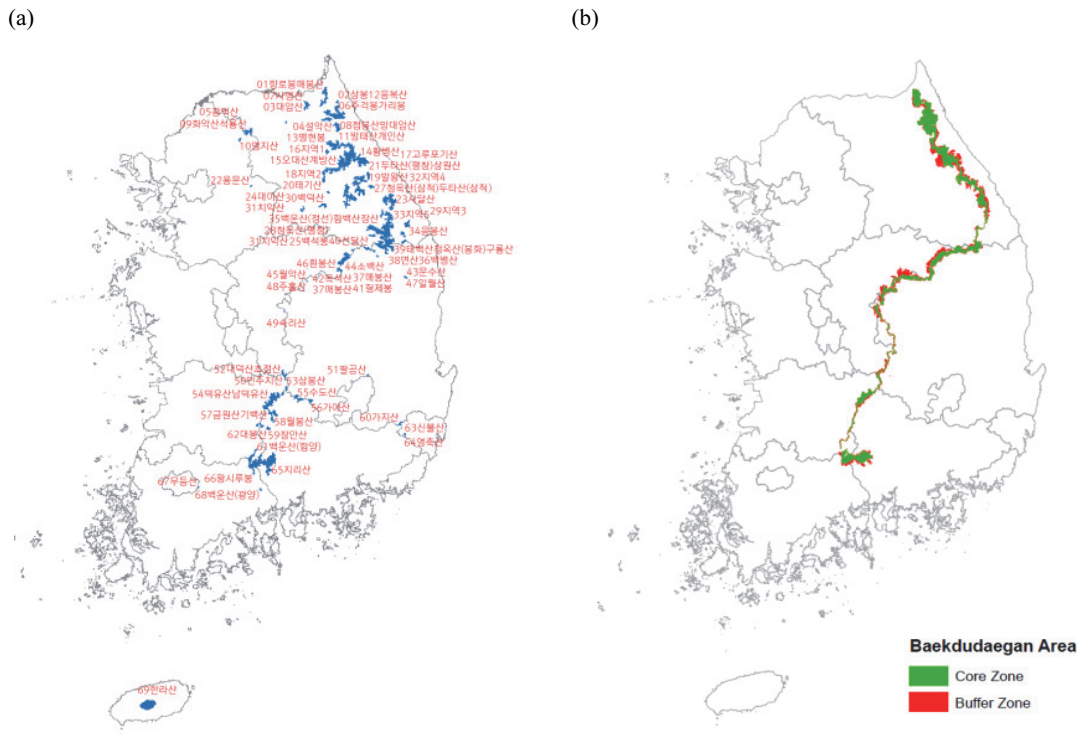


Figure 1. National survey areas (a) of subalpine conifer forests (Kim et al., 2017) and Baekdudaegan Protected Area (b).

Table 2. Status of the monitoring sites on coniferous tree species in major subalpine zone in the Baekdudaegan.

Mountain	Initial investigated year	Monitored year		Numbers of monitoring sites (total area, m ²)	Study speices
		the 1 st	the 2 nd		
Seoraksan	2016	2018	2020	27 (7,800)	AN
Gyebangsang	2015	2017	2019	32 (6,150)	AN, PJ
Taebaeksan	2016	2018	2020	20 (8,000)	AN
Deogyusan	2016	2018	2020	20 (8,000)	AK, PJ
Jirisan	2015	2017	2019	37 (8,925)	AK, PJ

※ AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*

분변화 모니터링 연구지의 조사 자료를 활용하였다(Table 2). 아고산 침엽수종이 분포하는 주요 산지에 설치한 본 모니터링 연구지는 입지조건에 따른 편향(bias)을 줄이기 위해 고도와 사면, 향을 고려하여 층화추출(stratified sampling) 하였다. 각 연구지에 설치한 조사구 내 흉고직경 2 cm 이상인 입목에 모두 라벨을 부착하여 매년 동일한 방법으로 조사한 자료는 입목별 변화를 파악하기에 적합하였다. 이를 재분석하여 입목쇠퇴도 변화를 파악하였다. 입목쇠퇴도는 고사목 발생, 수관활력도, 수간 유형을 고려하여 산출하였다. 조사지 내 각 입목(생육목, 고사목)을 대상으로 수관건강도와 수간 유형을 수관활력지표(Ha)와 수간건강지표(Hb)로 변환하였고, 이를 이용하여 입목쇠퇴도를 다음의 식으로 산출했다(Lim et al., 2019). 조사 시기별 입목쇠퇴도 및 수관활력도의 차이의 유의성은 t-test로 검증하였다.

$$\text{쇠퇴도}(D) = 1 - (H_a \times 0.7 + H_b \times 0.3)$$

(H_a: 수관활력지표, H_b: 수간건강지표) (Lim et al., 2019)

그리고 조사구 내 어린나무의 묘고급을 총 4단계로 구분(10 cm미만, 10 cm이상 50 cm미만, 50 cm이상 100 cm

미만, 100 cm이상), ha당 분수로 환산한 전체 출현빈도 자료를 활용하여 어린나무 동태를 분석하였다. 또한 의미있는 변화가 감지되는 지역과 수종에 대해서는 그러한 변화가 지형습윤지수와 어떠한 관계에 있는지 추가 분석하였다. 지형습윤지수는 30 m × 30 m 해상도의 우리나라 수치지형도(digital elevation model, DEM)를 활용하여 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 백두대간보호지역 내 아고산 침엽수종 분포 현황

백두대간보호지역 내 분포하는 아고산 침엽수종 임분 전체 면적은 8,035 ha, 수종별로는 구상나무 5,336 ha, 분비나무 2,511 ha, 가문비나무 319 ha이었다(Figure 2). 전국 고산 침엽수종 실태조사에 따라 전국 고산 지역의 구상나무, 분비나무, 가문비나무 분포 면적은 약 10,878 ha였는데, 그 중 73.9%가 백두대간 보호구역 내에 분포하고 있다(Figure 3). 또한, 백두대간 내 아고산 침엽수종 임분은 대부분이 백두대간 핵심지역에 분포(구상나무 97.2%, 분비나무 85.9%, 가문비나무 98.3%)하는 것으로 확인되었다. 밀도별로 보았을 때, 아고산 침엽수종의 수관밀도가 25%

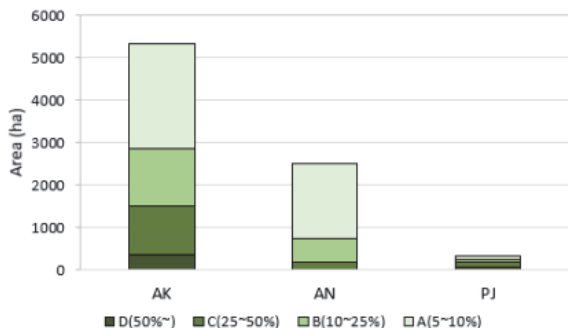


Figure 2. Distribution area of subalpine conifer tree species. Different colors in each bar indicate canopy density of the species. (AK: *Abies koreana*, AN: *A. nephrolepis*, PJ: *Picea jezoensis*)

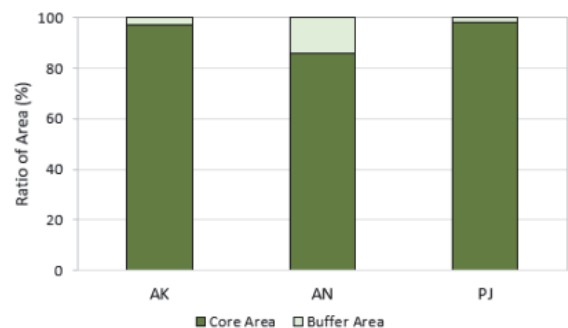


Figure 3. Ratio of distribution area in core/buffer zone in Baekdudaegan area. (AK: *Abies koreana*, AN: *A. nephrolepis*, PJ: *Picea jezoensis*)

Table 3. Distribution area of conifer tree species in Baekdudaegan area.

(unit: ha)

Site	<i>Abies koreana</i>	<i>A. nephrolepis</i>	<i>Picea Jezoensis</i>
Sangbong	-	13.9	-
Seoraksan	-	1,238.6	-
Jugeogbong-Garibong	-	117.8	-
Jeombongsan-Mangdaeamsan	-	6.8	-
Hwangbyungsan	-	93.4	-
Odaesan-Gyebangsang	-	429.3	4.0
Cheongoksan-Dutasan	-	40.0	-
Baegunsan-Hambaeksan-Jangsan	-	60.3	1.7
Taebaeksan-Cheongoksan-Guryongsan	-	326.3	-
Sobaeksan	-	153.2	0.5
Huinbongsan	-	31.6	-
Sokrisan	0.6	-	-
Deogyusan-Namdeogyusan	386.5	-	1.0
Jirisan	4,949.2	-	312.0
Sum	5,336.4	2,511.2	319.3

이상 차지하는 중·고밀도의 임분은 구상나무는 전체 구상나무 분포지 중 28.1%(1,498 ha), 분비나무는 6.6%(165 ha), 가문비나무는 54.1%(172 ha)로 매우 협소했다(Figure 2).

구상나무는 지리산, 덕유산, 분비나무는 설악산, 오대산-계방산, 태백산-청옥산-구룡산, 가문비나무는 지리산, 오대산-계방산에 주로 분포하고 있다. 구상나무는 속리산부터 지리산까지 분포하고 있고, 분비나무는 속리산 위쪽부터 고위도에 분포하는 것으로 나타났다(Table 3, Figure 4). 가문비나무의 분포 위도는 지리산부터 오대산까지 더 넓게 분포하고 있지만, 타 수종에 비해 분포면적이 협소했다.

2. 아고산 지역 교목성 침엽수종의 입목쇠퇴도 및 어린나무 갱신 변화 특성

백두대간의 주요 산지 내 아고산지역 교목성 침엽수종인 분비나무, 구상나무, 가문비나무의 평균 입목쇠퇴도의 변화를 분석한 결과(Table 4, Figure 5), 2016년 대비 2020년에 태백산 분비나무는 77.3%, 덕유산 분비나무는 29.6% 증가하였다. 지리산 전체 모니터링 조사구 내 구상나무와 가문비나무의 2015년 대비 2019년의 평균 입목쇠퇴도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나($p>0.05$), 지리산 내 세부 지역별로는 차이를 보이는 곳이 있었다. 지리

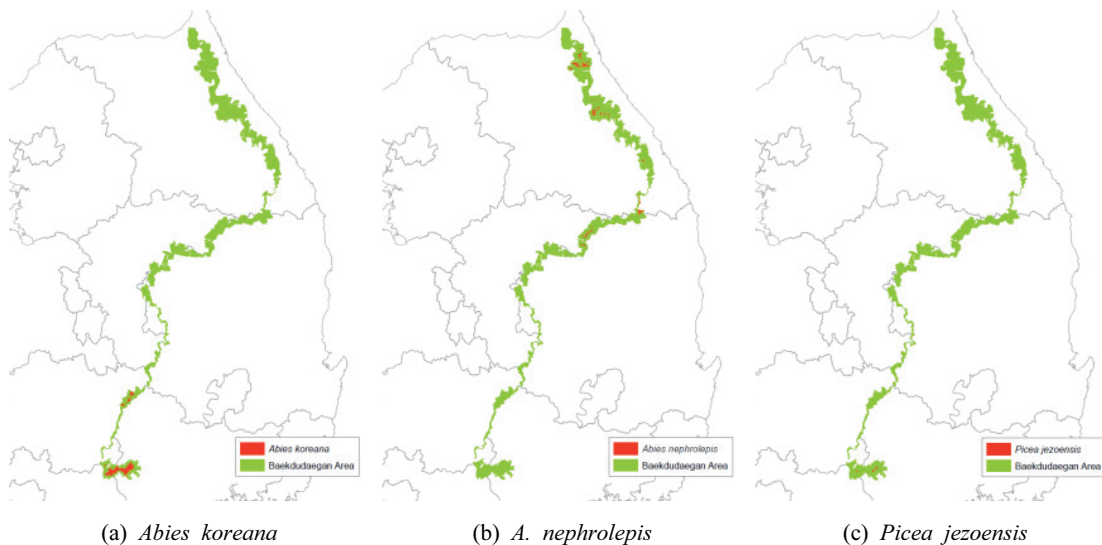


Figure 4. Distribution of three conifer tree species in Baekdudaegan area.

Table 4. Changes of the mean Decline Index of coniferous tree species in major subalpine zone in the Baekdudaegan.

Mountain	Species	Analyzed area	Investigated year						Remark
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Seoraksan	AN	Total	-	0.30	-	0.27	-	0.29	$p>0.05$
Gyebangsansan	AN	Total	0.04	-	0.07	-	0.07	-	$p>0.05$
	PJ	Total	0.09	-	0.09	-	0.00	-	$p=0.4$
Taebaeksan	AN	Total	-	0.21	-	0.22	-	0.37	$p<0.05$
Deogyusan	AK	Total	-	0.35	-	0.42	-	0.46	$p<0.05$
Jirisan		Total	0.45	-	0.42	-	0.46	-	$p>0.05$
		Nogodan	0.40	-	0.50	-	0.48	-	$p>0.05$
	AK	Banyabong Peak	0.85	-	0.85	-	0.82	-	$p>0.05$
		Seseok	0.45	-	0.36	-	0.35	-	$p<0.05$
		Chunwangbong Peak	0.33	-	0.34	-	0.49	-	$p<0.05$
	PJ	Total	0.36	-	0.24	-	0.31	-	$p>0.05$
		Banyabong Peak	0.41	-	0.35	-	0.28	-	$p>0.05$
		Seseok	0.53	-	0.09	-	0.18	-	$p>0.05$
		Chunwangbong Peak	0.28	-	0.25	-	0.37	-	$p<0.05$

※ AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*

산의 모니터링 조사구는 크게 노고단, 반야봉, 세석, 천왕봉 4곳으로 나뉜다. 그 중 천왕봉의 구상나무의 평균 입목 쇠퇴도는 4년간 45.2%, 가문비나무는 2017년에 비해 2019년에 47.8% 증가하였다($p<0.05$). 반면 세석의 구상나무는 입목쇠퇴도가 약 21% 감소한 것으로 나타났다. 그 밖의 설악산, 계방산의 분비나무, 가문비나무는 평균 입목쇠퇴도의 변화 정도가 통계적인 유의성을 보이지 않았다($p>0.05$).

4년간 평균 입목쇠퇴도가 증가한 태백산 분비나무의 수관활력도가 약 18% 감소하고($p<0.05$), 평균 입목쇠퇴도가 감소한 세석의 구상나무는 수관활력도가 약 45% 증가하였으나($p<0.05$), 덕유산의 구상나무, 지리산 천왕봉의 구상나무와 가문비나무의 수관활력도는 4년간 통계적으로

유의한 변화를 보이지 않았다(Table 5).

수간 건강 상태의 변화를 분석해본 결과(Table 6), 4년간 네 지역의 건전목의 70% 이상이 유지되었으나, 수간의 상태가 불량해지거나 고사하는 개체가 증가했다($p<0.05$). 태백산 분비나무는 건전목 중 13.7%가 고사, 신규고사목 중 약 55%가 선 채로 고사하였으며, 덕유산 구상나무는 건전목 중 5.9%가 고사, 4.6%가 살아있으나 수간이 부러지거나 기울어져 4년 사이 수간 건강도가 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 지리산 천왕봉의 구상나무는 건전목 중 22.1%가 고사, 7.4%의 수간상태가 불량해졌고, 가문비나무는 11.9%의 수간상태가 불량해지고 8.6%가 고사하였다. 반면 조사 대상지 가운데 평균 입목쇠퇴도가 감소한 것으로 나타난 세석의 구상나무도 건전목 가운데 6.3%의 수간 상태가 불량해지고 신규 고사목이 4.4% 발생하였다. 이들 지역에서 증가한 고사목의 55~100%가 선 채로 고사(DS)한 것을 볼 때, 생리적인 스트레스에 의해 고사한 것이 대부분인 것으로 판단된다.

지리산 세석의 모니터링 조사구 내 구상나무 평균 입목 쇠퇴도가 감소한 것으로 나타난 것을 해석하기 위해서는 고려해야 할 두 가지 가능성이 있다. 그 중 하나는 제1차 조사 당시 엽량이 적어 활력도가 낮게 판단되었던 가지가 탈락하여 제3차 조사시에는 상대적으로 활력이 좋은 가지만 남아 수관활력도가 높게 관측되는 경우이다. 또는 수관의 활력이 실제로 관측된 만큼 회복되었을 가능성도 고려할 수 있다. 현재의 분석 결과로 어느 한 쪽을 단언하기는

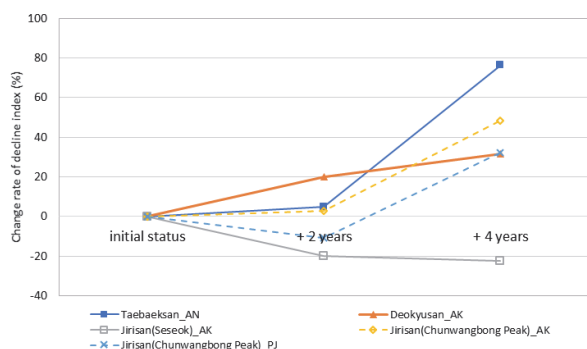


Figure 5. Change tendency of the Decline Index.

(AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*)

Table 5. Changes of the mean crown vitality of coniferous tree species in Taebaeksan, Deogyusan and Jirisan mountains.

Mountain	Species	Analyzed area	Investigated year						Remark
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Taebaeksan	AN	Total	-	3.31	-	3.13	-	2.70	$p < 0.05$
Deogyusan	AK	Total	-	3.58	-	3.62	-	3.63	$p > 0.05$
Jirisan	AK	Seseok	2.09	-	2.68	-	3.04	-	$p < 0.05$
		Chunwangbong Peak	2.84	-	2.78	-	2.61	-	$p > 0.05$
	PJ	Chunwangbong Peak	3.25	-	3.37	-	3.28	-	$p > 0.05$

※ AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*

Table 6. Rate of change on the health condition(%) during four year.

Mountain (investigated year)	Species	Analyzed area	Rate of change on the health condition (%)			
			AS	AB, AD, AL, AF	D	DS
Taebaeksan (2016, 2020)	AN	Total	86.1±1.2	0.2±0.1	13.7±1.2	7.6±0.9
Deogyusan (2016, 2020)	AK	Total	89.5±1.1	4.6±0.8	5.9±0.9	5.9±0.9
Jirisan (2015, 2019)	AK	Seseok	89.3±0.7	6.3±0.6	4.4±0.4	3.7±0.4
		Chunwangbong Peak	70.5±3.1	7.4±0.9	22.1±3.0	14.8±2.5
	PJ	Chunwangbong Peak	79.6±3.9	11.9±1.9	8.6±3.2	8.6±3.2

※ AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*, AS: Alive standing, AB: Alive Broken, AD: Alive Deadtop, AL: Alive Leaning, AF: Alive Fallen, D: Dead, DS: Dead Standing

어렵다. 그러나 평균 입목쇠퇴도가 증가한 다른 지역에 비해 세석의 지형습윤지수가 상대적으로 높고, 제1차 조사 대비 신규 발생한 선 채로 고사한 입목 비율이 타 지역 보다 낮은 수준(약 3.7%)인 것으로 비추어볼 때, 세석의 모니터링 조사구가 위치한 곳의 지형적인 특성에 따른 수분 조건이 입목 생육에 상대적으로 유리했을 것이라 판단된다(Chun et al., 2021).

각 지역의 모니터링 조사구에서 격년으로 조사한 어린 분비나무, 구상나무, 가문비나무의 총 출현빈도는 Table 7과 같다. 어린나무의 출현빈도는 충실한 종자의 공급(원활한 수정과 종자의 성숙), 종자 발아 및 활착에 적합한 미

기상 환경 및 경쟁수종의 유무 등 다양한 요인이 영향을 미친다. 해당 수종이 개체군을 구조적으로 건강하게 유지하기 위해 필요한 어린나무의 적정 개체수를 산정하는 것은 어려우나, 성목의 입목쇠퇴도가 증가하는 곳에서 어린 나무의 개체수가 감소하는 것은 해당 수종의 존속을 더욱 어렵게 하는 요인이 된다.

이에 평균 입목쇠퇴도가 증가한 곳의 어린나무 출현빈도 변화를 묘고급별로 분석한 결과, 태백산 분비나무의 경우, 묘고급별 어린나무 출현빈도가 제1차기 조사 당시 왼쪽으로 치우친 종형의 분포를 보였으나 제3차기에는 오른쪽으로 치우친 종형의 분포를 나타냈다[Figure 7(a)].

기간 내에 평균 입목쇠퇴도가 29.6% 증가한 덕유산의 구상나무는 어린나무의 출현빈도가 증가하였으나, 그 값이 30본/ha로 다른 지역에 비해 매우 적어 존속에 유리한 조건이라고 판단하기 어렵다[Figure 7(b)].

지리산 천왕봉의 경우 구상나무와 가문비나무의 어린나무가 총 출현빈도가 각각 11.7%, 33%씩 감소하였다[Figure 7(c)]. 수종별 묘고급 분포에 따르면 구상나무는 매 조사 시기마다 역J형의 분포를 보이고 있으나, 기간 내에 묘고 10 cm 미만의 개체수가 약 18.7% 줄었다. 가문비나무는 제1차기와 3차기 조사에서 종형을 띠고 있는데, 역시 묘고 10 cm 미만의 개체수는 16.7%감소하였다[Figure 7(d)].

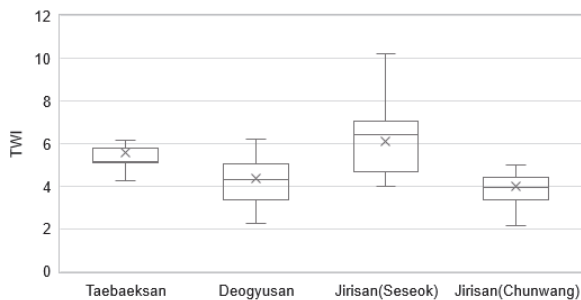


Figure 6. TWI in monitoring sites on conifer tree species.

Table 7. Frequency change of conifer tree species seedlings in major subalpine zone in the Baekdudaegan. (unit: n/ha)

Mountain	Species	Analyzed area	Frequency of seedlings (n/ha)	
			The 1 st	The 3 rd
Seoraksan	AN	Total	402	785
Gyebangsang	AN	Total	60	49
	PJ	Total	38	6
Taebaeksan	AN	Total	293	282
Deokyusan	AK	Total	3	30
Jirisan	AK	Total	1,176	1,053
		Nogodan	113	56
		Banyabong Peak	1,231	2,277
	PJ	Seseok	1,306	898
		Chunwangbong Peak	1,339	1,183
		Total	463	313
		Banyabong Peak	42	8
	AK	Seseok	33	50
		Chunwangbong Peak	817	547

※ AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*

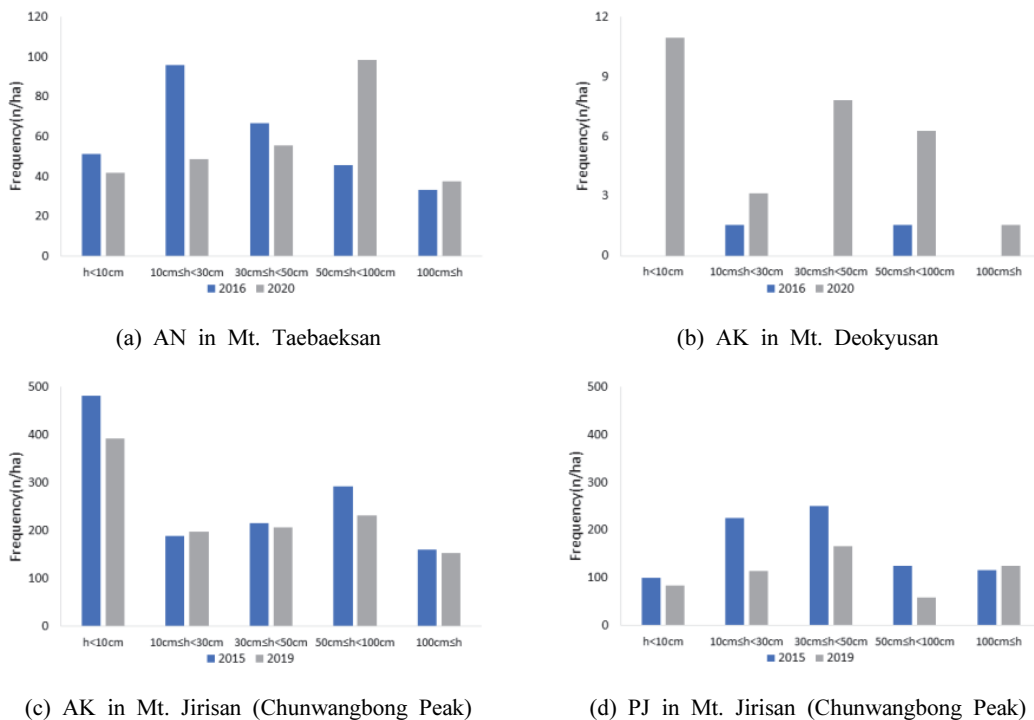


Figure 7. Frequency changes of seedlings.
(AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*)

세 지역의 조사 시기별 어린나무의 전체 출현빈도의 변화를 종합하여 볼 때, 기간 내에 새로 유입된 어린나무의 양이 진계생장하거나 고사로 감소한 어린나무 양보다 적은 것으로 판단된다.

어린나무 출현빈도 변화에 영향을 주는 요인을 파악하기 위해 성목의 쇠퇴도 변화와의 관계를 살펴보았다. 지리산 천왕봉의 구상나무는 입목쇠퇴도가 증가한 곳에서 어린나무의 출현빈도가 감소하는 경향을 보인 반면[Figure

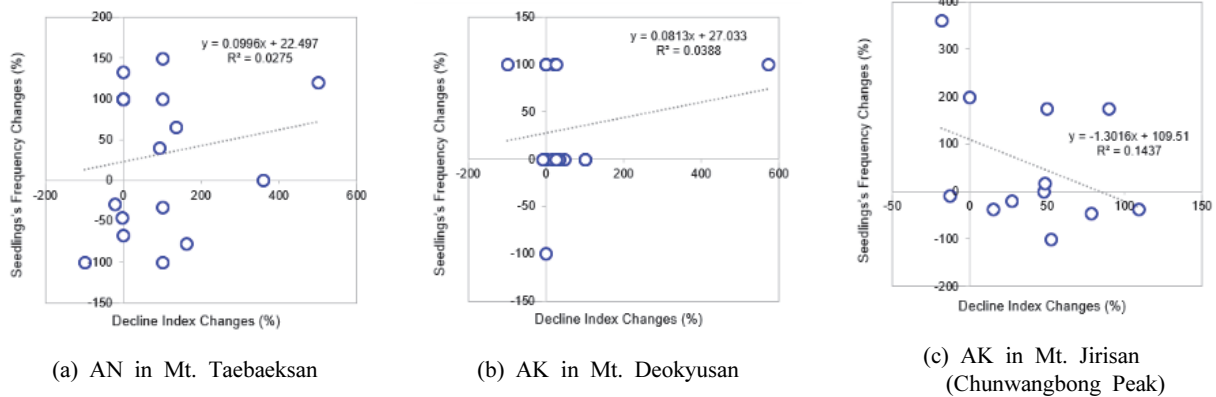


Figure 8. Relationship between the Decline Index changes and the seedlings' frequency changes.
(AN: *Abies nephrolepis*, AK: *A. koreana*, PJ: *Picea jezoensis*)

8(c)], 태백산의 분비나무와 덕유산의 구상나무의 경우 임목쇠퇴도가 증가한 곳에서 어린나무 출현빈도도 증가하는 경향을 보였다[Figure 8(a), (b)].

또한 지리산 천왕봉 구상나무의 경우 어린나무 출현빈도 변화량을 결정하는 요인이 보다 정량적으로 확인되었다. 어린나무 출현빈도(Seedling' Frequency, SF)의 변화(ΔSF)는 과거 어린나무 출현빈도와 성목 쇠퇴도(Decline Index, DI), 성목 쇠퇴도 변화량(ΔDI)에 따라 결정되었다. 이를 선형회귀식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta SF = (-0.003108 * \text{과거 } SF) + (0.002957 * \text{과거 } DI) + (-0.001753 * \Delta DI) / R^2 = 0.81$$

과거 치수량이 적고 성목 쇠퇴도가 높았으나 현재 쇠퇴도가 회복된 지역에서 치수량이 증가한 것으로 나타났다. 성목과 치수의 상태가 좋지 못한 지역의 성목의 쇠퇴와 회복이 치수량 증가에 영향을 주었거나, 다른 공통의 요인에 의해 성목의 건강성 회복과 치수발생 증가가 동시에 이루어졌을 가능성도 있다. 두 경우 모두, 성목의 쇠퇴도와 치수량의 변화가 상호 관련이 있음을 의미한다. 그러나 지리산(천왕봉)을 제외한 타 지역의 경우에는 이러한 관계가 통계적으로 유의하게 도출되지 않았다.

성목이 쇠퇴 압력에 노출된 지역은 그렇지 않은 지역에 비해 양질의 종자를 공급받을 수 있는 기회도 위협 받게 된다. 해당 임분의 주요 종자공급원이 되어줄 수 있는 성목도 쇠퇴압력에 노출되기 때문이다. 마찬가지로 기후나 임지환경의 요인으로 인해 성목이 쇠퇴하는 임분 내 어린나무는 동일한 쇠퇴압력에 노출되므로 생장 및 생존에 위협을 받게 된다. 한편 임분 내 성목이 쇠퇴하는 경우 수관이 열려 숲바닥으로 유입되는 광량이 증가하여 종자 발아 및 어린나무 생장을 위한 빛 요구량을 충족시킴으로써 어

린나무 갱신에 긍정적인 기회를 마련해줄 수도 있다 (Franklin et al., 1987; Maher and Matthew, 2006; Kim et al., 2020). 따라서 지역별 종자공급원이 되는 성목의 현황과 임목쇠퇴유형 및 어린나무 갱신 특성을 고려하여 각 지역에 적합한 관리 방안을 도입할 필요가 있다.

결론

본 연구는 백두대간 보호지역 내에 서식하는 아고산 침엽수종 3종(분비나무, 구상나무, 가문비나무)의 분포 현황과 쇠퇴 및 갱신특성을 파악하는 것을 목표로 하였으며, 산림청의 전국 고산 침엽수종 실태조사 자료와 국립산림과학원의 아고산 침엽수종 생육 모니터링 자료를 함께 이용하여 현황 파악이 가능했다.

그 결과, 백두대간 보호지역 내 분포하는 분비나무, 구상나무, 가문비나무 분포 면적은 8,035 ha로, 전국 분포면적의 약 74%를 차지하고, 백두대간 내 아고산 침엽수종 임분은 대부분이 백두대간 핵심지역에 분포하는 것으로 확인되었다. 즉, 백두대간지역은 아고산 침엽수종 보전과 복원에 핵심적인 지역이라는 것을 알 수 있었다.

그러나, 현재 주요 산지의 아고산 침엽수종의 쇠퇴도는 전반적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 태백산 분비나무의 경우 2016년 대비 2020년에 77.3% 덕유산 분비나무는 29.6% 증가하였다. 지리산 천왕봉의 구상나무는 4년간 45.2%, 가문비나무는 2017년에 비해 2019년에 47.8% 쇠퇴도가 증가했다. 이들 지역에서 증가한 고사목의 55~100%가 선 채로 고사한 것을 볼 때, 생리적인 스트레스가 주요한 요인으로 영향을 주었을 것이라 추정된다. 또한 태백산, 덕유산, 지리산(천왕봉)에 새로 유입된 어린나무의 양이 진계생장하거나 고사로 감소한 어린나무 양보다 적어서 갱신에도 문제가 있는 것으로 판단된다.

성목의 쇠퇴도와 어린나무의 발생량 등에서 아고산 침엽수종 생육의 문제가 있음이 지속적으로 확인되고 있지만, 생육이 개선되거나 어린나무 발생이 증가하는 현상도 한편에서 나타나고 있는 점을 주목해야 한다. 지형적으로 수분조건이 상대적으로 양호한 지리산 세석지역의 쇠퇴도가 감소한 것과, 지리산 천왕봉 지역에서 과거에는 성목의 쇠퇴도가 높고 어린나무 빈도도 낮았던 지역이 성목의 쇠퇴도 회복과 함께 어린나무 발생량이 증가하는 특성을 보이는 것도 확인되었다. 이러한 성목의 건강 회복과 어린나무 발생 조건에 대한 명확한 영향요인은 아직 확실하게 구명되지 않은 상태이며 이에 대한 해답을 얻기 위해 장기적인 모니터링이 수행되고 있다.

온도상승 등 기후조건의 변화에 따라 적정 생육서식지의 범위가 점차 축소되고 있는 구상나무, 분비나무, 가문비나무 등 아고산 침엽수종의 경우, 종의 보전을 위해서는 현지내와 현지의 보전방안을 모두 함께 마련할 필요가 있다. 현지의 보전을 위해서는 유전다양성을 고려하여 다양한 지역의 종자를 충분히 채취하고, 현지의 생육환경 특성을 고려하여 적절한 지역에 현지외보존원을 조성하는 것이 필요하다. 현지내 보전을 위해서는 현재 생육이 양호하거나 임목의 건강이 회복되고 있는 지역의 특성을 보다 세부적으로 파악해야 한다. 성목의 건강과 관련해서는 지형, 토양, 미세기후 특성이 중요하며 어린나무 출현과 관련해서는 종자공급을 위한 성목의 상태, 종자 발아 및 활착에 적합한 숲바닥 환경, 어린나무의 활착, 생존과 생장에 적합한 미기상 환경 및 경쟁수종의 영향 등 다양한 요인이 고려되어야 한다. 이러한 세부적인 특성에 따라 현지내에서 장기적으로 보전해야 할 대상지를 선정하거나 생육환경을 개선하는 방향을 제시할 수 있다.

References

- Evans, L., Allan, G., DiFazio, S., Slavov, G.T., Wilder, J.A., Floate, K.D., Rood, S.B., and Whitham, T.G. 2015. Geographical barriers and climate influence demographic history in narrowleaf cottonwoods. *Heredity* 114: 387-396.
- Chun, Y.M., Kim, S.M., Park, E.H., Park, S.H., Lee, H.Y., 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.
- Franklin, J.F., Herman, H.S. and Mark, E.H. 1987. Tree death as an ecological process. *BioScience* 37(8): 550-556.
- Kim, E.S., Kim, S.H., Chun, J.H., Woo, C.S., Park, G.E., Kim, Y.S. and Lim, J.H. 2017. Guideline for investigation on vulnerable conifer species in subalpine zone in Korea. National Institute of Forest Science. 76pp.
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yoon, C.W. 2017. Phytosociological Community Type Classification and Flora of Vascular Plants for the Forest Vegetation of Daecheongbong Area in Mt. Seorak. *Journal of Korean Society of Forest Science* 106(2): 130-149.
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yoo, 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 of Environment and Ecology* 32(3): 313-322.
- Kim, J.D., Byeon, S.Y., Song, J.H., Chae, S.B., Kim, H.J., Lee, J.E. and Yun, C.W. 2020. Species composition dynamics and seedling density along altitudinal gradients in coniferous forests of Seorak Mountain. *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(2): 115-123.
- Kong, W.-S. 1998. The alpine and subalpine geocology of the Korean peninsula. *Journal of Ecology and Environment* 21(4): 383-387.
- Leck, M.A., Parker, V.T., and Simpson, R.L. 2008. *Seedling Ecology and Evolution*. Cambridge University Press. pp. 390.
- Lim, J.H., Kim, E.S., Park, G.E., Kim, Y.S., Jang, G.C., Han, J.K., Jung, S.C., Lim, H.I., Song, W.K., Cho, N.H. and Yoon, S.H. 2019. Current status and conservation strategy of vulnerable conifer species in subalpine zone in Korea. National Institute of Forest Science. pp. 194.
- Maher, E.L. and Matthew, J.G. 2006. Microsite differentiation among conifer species during seedling establishment at alpine treeline. *Ecoscience* 13(3): 334-341.
- Park, G.E., Lim, J.H., Bae, G.H., Kim, J.S. and Jo, H.J. 2015. Conifer forest in subalpine zone in Korea (I) : Mt. Gyeong-bang. National Institute of Forest Science. pp. 86.
- Park, G.E., Lim, J.H., Yoon, C.W., Song, J.H., Han, S.H., Lim, H.I. and Kim, E.S. 2016. Conifer forest in subalpine zone in Korea (II) : Mt. Jiri. National Institute of Forest Science. pp. 186.
- Park, G.E., Song, W.K. and Lee, H.S. 2018. Germination and establishment characteristics of *Abies koreana* and *A. nephrolepis* under shading treatment. *Proceedings of the 2018 Summer Meeting of the Korean Society of Forest Science*. pp. 97.
- Park, H.C., Moon, G.S., Lee, H. and Lee, N.Y. 2020. 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.
- Robert, E., Brais, S., Harvey, B.D. and Greene, D. 2012. Seedling establishment and survival on decaying logs in

- boreal mixed wood stands following a mast year. Canadian Journal of Forest Research 42(8): 1446-1455.
- Ruano, I., Pando, V. and Bravo, F. 2009. How do light and water influence *Pinus pinaster* Ait. germination and early seedling development? Forest Ecology and Management 258(12): 2647-2653.
- Takahashi, M., Sakai, Y., Ootomo, R., Shiozaki, M., 2000.

Establishment of tree seedlings and water-soluble nutrients in coarse woody debris in an old-growth Picea-Abies forest in Hokkaido, northern Japan. Canadian Journal of Forest Research 30(7): 1148-1155.

Manuscript Received : October 5, 2021

First Revision : March 5, 2022

Accepted : March 7, 2022