

# 지리산 아고산대의 단기간(2015-2017)에 걸친 구상나무 치수 발생 및 고도별 종구성 변화<sup>1a</sup>

김지동<sup>2</sup> · 박고은<sup>3</sup> · 임종환<sup>3</sup> · 윤충원<sup>2\*</sup>

## The Change of Seedling Emergence of *Abies koreana* and Altitudinal Species Composition in the Subalpine Area of Mt. Jiri over Short-Term(2015-2017)<sup>1a</sup>

Ji Dong Kim<sup>2</sup>, Go Eun Park<sup>3</sup>, Jong-hwan Lim<sup>3</sup>, Chung Weon Yun<sup>2\*</sup>

### 요약

기후변화로 인한 아고산대 산림식생의 변화 양상을 파악하기 위해서는 연속적인 기초자료의 축적과 지속적인 모니터링이 수반되어야 한다. 또한 장기 변화의 추세를 이해하기 위해서는 하층식생에 대한 단기간의 생태적 정보 변화의 모니터링도 매우 중요하다. 따라서 단기간에 걸친 구상나무 치수의 동태와 고도별 식생분포 변화를 구명하고자 2015년도와 2017년도에 지리산 구상나무 분포지를 대상으로 총 36개소의 방형구를 설치하여 매목조사 및 식생조사를 실시하였다. 현장에서 수집된 자료를 토대로 층위별 주요 종에 대한 중요치 및 평균상대우점치, 고도별 주요종의 중요치 및 종다양도, 치수 개체군 변화를 분석하였다. 구상나무 분포지의 식생구조는 교목층 구상나무, 관목층 철쭉, 초본층 실새풀의 중요도가 높았으며, 평균상대우점치는 구상나무, 철쭉, 당단풍나무 순으로 나타났다. 해발고도별 종조성과 종다양도 지수는 1,500 m이하에서 조릿대의 중요도가 높고 종다양도 지수가 낮게 나타났다. 또한 1,700-1,800 m에서 미역줄나무의 중요도와 초본층 종다양도가 높게 나타났다. 전체 조사구에서 구상나무 치수는 2015년도 1,250 본/ha에서 2017년도 970 본/ha으로 22.4% 감소하였다( $p < 0.05$ ). 수고급별 감소율은, 10 cm 미만은 22.9%, 10-30 cm 3.4%, 30-50 cm 8.9%, 50-100 cm 39.3%이었으며, 100 cm 이상은 55.1%로 가장 높게 나타났다. 해발고도별로 살펴보면, 1,500 m 이하는 조릿대의 우점, 1,700-1,800 m는 미역줄나무의 우점과 높은 종 다양도로 인하여 치수 발생량이 적었던 것으로 판단되었다. 1,600-1,700 m는 조릿대와 미역줄나무가 출현하지 않은 반면 구상나무 치수발생량은 많았다. 이 고도에서 구상나무 치수의 발생 및 생존이 보다 안정적인 것으로 판단되었다.

주요어: 기후변화, 고도구배, 장기생태모니터링, 하층식생

### ABSTRACT

To investigate the changing patterns of sub-alpine forest vegetation due to climate change requires accumulation of contiguous reference data and continuous monitoring. Furthermore, it is crucial to monitor

1 접수 2018년 4월 2일, 수정 (1차: 2018년 5월 8일), 게재확정 2018년 5월 29일  
Received 2 April 2018; Revised (1st: 8 May 2018); Accepted 29 May 2018

2 공주대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Kongju National University, Yesan 340-802, Korea

3 국립산림과학원 기후변화생태연구과 Forest Ecology and Climate Change Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

a 본 연구는 산림청(국립산림과학원) 기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응 연구(Ⅱ) 과제(FE0100-2015-01)의 연구 수행 일환으로 작성되었습니다.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-330-1305, E-mail: cwyun@kongju.ac.kr

short-term ecological change of lower level vegetation to understand the trend of long-term vegetation change. Therefore, this study carried out a vegetation survey and tree diameter measurement in 36 plots of Mt. Jiri inhabited by *Abies koreana* species from 2015 to 2017 to examine the short-term dynamics of *Abies koreana* seedling and the change of vegetation distribution according to altitude. We analyzed the importance value and MIV (mean importance value) of major species by each stratum as well as the importance value and species diversity index of major species and the change of seedling population by altitude. The results showed that *Abies koreana* had the highest importance value on tree layer, *Rhododendron schlippenbachii* on shrub layer and *Tripterygium regelii* on herb layer. MIV was high in the order of *Abies koreana*, *Rhododendron schlippenbachii* and *Acer pseudosieboldianum*. Regarding the species composition and species diversity index ( $H'$ ) along the altitudinal gradient, *Sasa borealis* showed high MI and low  $H'$  in the elevation less than 1,500 m, and IV of *Tripterygium regelii* and  $H'$  of herb layer were high in the elevation of 1,700 - 1,800 m. *Abies koreana* seedling decreased by 22.4% from 1,250 n/ha in 2015 to 970 n/ha in 2017 ( $p < 0.05$ ) throughout the investigated area. The decline rate along seedling and sapling height were 22.9% in less than 10 cm, 3.4% in 10-30 cm, 8.9% in 30-50 cm, 39.3% in 50-100 cm, and 55.1% more than 100 cm. Few of *A. koreana* seedlings appeared due to the dominance of *Sasa borealis* in the elevation of 1,500 m or less and due to the dominance and high species diversity of *Tripterygium regelii* in the elevation of 1,700-1,800 m. On the other hand, many of *A. koreana* seedlings appeared in the elevation of 1,600-1,700 m due to no distribution of *S. borealis* and *T. regelii* species in that altitude range. Therefore, we concluded that those seedlings and saplings of *A. koreana* could be more stable in the altitude of 1,600-1,700 m.

**KEY WORDS: ALTITUDINAL GRADIENT, CLIMATE CHANGE, LONG-TERM ECOLOGICAL MONITORING, UNDERSTORY**

## 서론

산림의 생태학적인 연구와 관리를 위해서는 산림생태계를 구성하는 자연자원(natural resources)에 대한 현재 상태와 장기 동태의 이해가 기초되어야 한다는 것이 널리 인식되어 왔다(Gitzen *et al.*, 2012; Sergeant *et al.*, 2012). 생태구배(ecocline)의 극단지역인 아고산대의 산림은 기후변화의 지역적 취약성을 가지고 있고(Kimmins, 2004; Tsuyama *et al.*, 2015; Mathys *et al.*, 2017), 특히 기후변화로 인한 아고산대 산림식생의 변화 양상을 파악하기 위해서는 연속적인 기초 자료의 축적과 지속적인 모니터링이 수반되어야 한다(Lindner *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2010; Gitzen *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017).

장기 모니터링에서 상층 식생의 흉고단면적에 대한 장기적인 자료 수집은 매우 중요한 생태학적 연구과정이지만, 상층 식생의 생장은 수십 년에 걸쳐 느린 반응을 보이기 때문에 모니터링의 시간적 제한이 발생하게 된다(Buitenwerf *et al.*, 2011). 그에 따라 장기모니터링의 결과 도출은 5년간이나 10년간의 시간차이가 발생하는 결과로써 그 기간 속에서

연속되는 산림생태계의 동태를 미처 다 파악하기에는 어려운 실정이다(Lim *et al.*, 2004; NIE, 2014; KFRI, 2014; Kim and Lee, 2013; Kim *et al.*, 2017). 따라서 5년이나 10년 단위에 해당하는 장기모니터링의 시간적 간극 사이에서 관찰될 수 있는 하층식생은 산림의 장기 변화의 추세를 이해하기 위한 중요한 생태적 정보이며 생태적 기능의 주요한 지표를 제공한다(Snyman, 1998; Ludwig *et al.*, 2005).

현재 우리나라의 장기모니터링은 5년 주기로 진행되고(ME, 2004; KFRI, 2014), 하천, 연안습지, 난대 활엽수림 등 한반도와 도서 생태계 전반에 걸쳐 기후변화와 관련된 모니터링이 활발하게 이루어지고 있으며, 이 중 아고산대에 분포하는 기후변화 취약수종에 대한 모니터링도 진행되고 있다(NIE, 2014; KFRI, 2015; KFRI, 2016). 기후변화 취약수종은 한라산 및 한반도 아고산대 일부 지역에 분포하고 있으며(Kong, 2002; Lee and Kim, 2007), 이들 고산성 식물의 개체군 유지와 보존은 생물다양성과 연결된다(Sala *et al.*, 2005; Frankham *et al.*, 2013). 우리나라 아고산대 산림 중에서 지리산은 기후변화 취약수종에 해당하는 구상나무, 가문비나무, 잣나무 등이 분포하고 있다(Kong, 2006; Lee *et al.*, 2014).

지리산 아고산대에 대한 군락 생태학적 연구로 Yun *et al.*(2011)은 식생유형 분류를 통해 아고산생태형으로 보고하였고, Oh *et al.*(2000)은 구상나무개체군 동태, Do *et al.*(2012)은 가문비나무군락 식생구조에 대해, Chung *et al.*(1996)은 상층식생 피도에 따른 구상나무 치수발생, 지리산 지역별로 칠선계곡(Choo *et al.*, 2009), 천왕봉(An *et al.*, 2010), 세석지역(Cho *et al.*, 2015), 반야봉(Cho *et al.*, 2016) 등에서 구상나무와 가문비나무의 식생구조 및 생태적 특성에 대해 보고하였고, Kim *et al.*(2012)은 거림계곡 해발고도별 임분구조, 그리고 Kim and Lee(2013)는 GIS 기반의 구상나무 분포 변화에 대해 보고한 바 있다. 그러나 아직까지 기후변화에 취약한 수종의 하층식생 모니터링 결과를 바탕으로 진행된 연구결과는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 지리산 일대에 분포하는 기후변화 취약수종 중 구상나무를 대상으로 하여 단기간의 구상나무 치수 동태를 구명하고자 식생구조, 해발고도별 종조성, 종다양도, 치수 개체군 변화를 분석하였다.

## 연구방법

### 1. 조사지 개황

지리산은 제1봉인 천왕봉(1,915 m), 제2봉인 반야봉(1,733 m), 제3봉인 노고단(1,507 m)으로 이루어져 있으며, 총 면적은 438.92 km<sup>2</sup>으로 행정구역상 전라북도, 전라남도, 경상남도에 걸쳐 있다. 본 조사지의 생태권역은 산악권역에 속하며

(Shin and Kim, 1996), 식물구계구분에서는 남부아구이다 (Lee and Yim, 2002).

2015년과 2017년에 각각 3월부터 10월 사이 지리산의 반야봉, 세석, 천왕봉 일대에 국지 분포하는 구상나무 분포지를 대상으로 2015년에 기 설치된 총 36개의 방형구에서 조사를 실시하였다(Table 1). 해발고도 분포 범위는 1,306-1,867 m, 경사도는 5-50°, 노암율은 3-90%, 사면향은 다양하게 나타났다. 식피율은 교목층 20-90%, 관목층 20-80%, 초본층 20-95%, 수고 범위는 교목층 5-17 m, 관목층 1-3 m, 초본층 0.4-1.5 m이다.

### 2. 조사 및 분석방법

방형구는 종면적 곡선을 고려한 최대 400 m<sup>2</sup>를 설치하고 흉고직경 2 cm 이상의 모든 수종에 대해 수고와 흉고직경을 측정하였으며, 그 외에 식생은 초본층으로 구분하여 식생조사법(Ellenberg, 1956; Braun-Blaunquet, 1964)에 따라 구성종 목록과 군도계급 및 우점도를 측정하였다. 또한 구상나무 치수 발생량을 조사하기 위해 방형구 내에 나타나는 흉고직경 2 cm 미만의 모든 구상나무 치수를 대상으로 하여 5단계의 수고급을 나누어 개체수를 조사하였다. 입지환경은 Garmin Montana 650GPS 장비를 사용하여 경위도 좌표, 사면향, 해발고도를 측정하였고, 경사도, 노암율 등을 기록하였다. 구성종의 식물분류와 동정은 원색한국수목도감(Hong *et al.*, 1987), 원색식물도감(Lee, 2003), 나무생태도감(Yun, 2016)을 이용하였다. 종명의 학명과 국명은 국가생물종지식정보시스템(KFS, 2010a)과 국가표준식물목록(KFS, 2010b)을 참고하였다.

Table 1. Major studied sites and biotic/abiotic environment characteristics in investigated area in Mt. Jiri.

		Site		
		Banyabong	Seseok	Cheonhwanbong
No. plots		8	15	13
Altitude(m)		1,306-1,676	1,348-1,580	1,496-1,863
Cardinal direction		NW-SW	NE-SE-SW	NE-NW-SW
Slope degree (°)		5-35	5-10	5-50
Bare rock (%)		5-50	5-80	5-90
Coverage (%)	Tree	20-85	45-90	40-85
	Shrub	30-60	20-80	15-75
	Herb	25-95	20-95	40-95
Height (m)	Tree	7.5-17	10-16	5-14
	Shrub	1-3	2-3	1-3
	Herb	0.4-0.8	0.4-1.5	0.4-0.6

자료의 분석은 2017년에 실시한 매목조사자료 및 식생조사자료를 기준으로 방형구내에 존재하는 모든 종의 상대피도(Relative Coverage, RC), 상대빈도(Relative Frequency, RF), 상대밀도(Relative Density, RD)를 이용하여 층위별 중요치(Importance value, IV)를 산출하였으며, 여기서 층위는 교목층( $\geq 5$  m), 관목층( $\leq 3$  m), 초본층( $\leq 1$  m) 기준으로 3개 층위로 구분하였다. 산출한 중요치는 층위별 가중치를 부여하여 평균상대우점치(Mean importance value, MIV)에 따른 식생 구조 분석을 실시하였다. 산림식생의 안정성을 유추할 수 있는 종 다양성 및 경쟁 등을 분석하기 위해 층위별로 종다양도 지수(Diversity index, H'), 최대종다양도(Max Diversity index, H'max), 균재도(Evenness, J'), 우점도(1-J')를 분석하였다(Shannon and Weaver, 1949; Brower and Zar, 1977). 구상나무 치수 개체수 변화는 2015년과 2017년의 2년간 조사된 자료를 바탕으로 이를 비교하기 위하여 통계 프로그램인 R 3.4.3을 이용하였다. 동일한 방형구에서 2015년과 2017년에 조사되어진 치수 개체수의 정규성검정을 실시한 결과 정규분포를 따른다는 귀무가설을 기각하여 비모수적 방법인 Wilcoxon signed-rank test를 실시하였으며, 치수 수고별, 해발고도별로 치수 개체수 변화에 대해 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 구상나무 분포지의 식생구조

기후변화 취약수종 분포지의 식생구조 분석 결과 평균상대우점치는 구상나무가 가장 높게 나타났으며, 철쭉, 당단풍나무 순으로 나타났다(Table 2). 층위별로 보면 교목층은 구상나무가 가장 높은 중요치를 보이고, 신갈나무, 당단풍나무, 잣나무, 사스래나무의 중요치가 비교적 높게 구성되어있으며, 한반도 아고산대 산림에서 상층에 출현하는 수종들과 유사한 결과로 나타났다(Park *et al.*, 2009; Yun *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017). 관목층은 철쭉 및 털진달래의 중요치가 가장 높았는데, 지리산 아고산대 침엽수군락의 관목층을 우점하고 있는 수종 중에서 *Rhododendron* spp. 이 우세한 것과 유사한 결과였다(Do *et al.*, 2012; Cho *et al.*, 2016). 초본층은 실새풀과 조릿대의 중요치가 매우 높게 나타났는데, 산림 내 교란 이후 빠르게 정착하는 근계식물인 *Calamagrostis* spp.은 초기에 다른 식물의 생장을 억제하나 상층식생에 의해 음지가 형성되면 유기물층 형성, 온도 조절 효과, 수분 함양 등의 긍정적 영향을 끼치는 것으로 보고되었다(Hogg and Victor, 1991; Victor *et al.*, 1993). 조릿대의 경우 Lee *et al.*(2000)은 관목층에서 조릿대 상대우점치가 높아 천이진행에 영향을 주는 것으로 보고하였고, Park *et*

Table 2. Importance value of major species for three layers in the whole area investigated in Mt. Jiri (based on vegetation data 2017).

Species (Scientific name/Korean name)		Layer			MIV
		Tree	Shrub	Herb	
<i>Abies koreana</i>	구상나무	32.14	5.84	1.92	18.34
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	철쭉	-	27.88	1.39	9.53
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	당단풍나무	7.73	5.64	0.88	5.89
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	9.88	0.33	0.37	5.11
<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	7.42	2.00	0.88	4.52
<i>Acer komarovii</i>	시달나무	3.66	6.58	2.28	4.40
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	쇠물푸레나무	5.42	4.45	0.58	4.29
<i>Betula ermanii</i>	사스래나무	7.01	1.02	0.59	3.94
<i>Picea jezoensis</i>	가문비나무	6.08	1.26	0.51	3.54
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i>	털진달래	-	10.09	0.58	3.46
<i>Tripterygium regelii</i>	미역줄나무	-	8.90	2.62	3.40
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	실새풀	-	-	17.99	3.00
<i>Sorbus commixta</i>	마가목	4.20	1.68	0.66	2.77
<i>Sasa borealis</i>	조릿대	-	-	12.05	2.01

\* 148 species omitted(MIP<2.0)

al.(2012)은 조릿대의 높은 피도에 따라 하층식생에 영향을 미치는 결과와 유사한 경향이였다. 따라서 본 연구의 하층식생에서 조릿대가 교목성 수종의 치수갱신에 부정적 영향을 끼치는 것으로 사료되었다.

## 2. 해발고도별 종조성

기후변화 취약수종 분포지에서 층위별로 가장 중요치가 높은 2종씩을 해발고도별로 살펴보면, 구상나무가 교목층에서 우세하나 관목층과 초본층에서 철쭉, 미역줄나무, 조릿대 등의 중요치가 높게 나타났다(Table 3). 같은 기후변화 취약수종에 해당하는 가문비나무는 해발고도 1,600 m 이상부터 중요치가 증가하는 것으로 나타났다. 조릿대의 경우 1,600 m를 기준으로 출현 유무를 알 수 있었으며, 조릿대의 중요치가 가장 높은 1,300-1,400 m는 초본층에 가장 많은 영향을 끼치는 것으로 사료되었다. 실새풀은 조릿대나 미역줄나무의 수세가 강한 해발고도 구간을 제외 하고 다른 해발고도 구간에서 높은 중요치로 나타났다. 미역줄나무의 경우 1,700-1,800 m 구간에서 중요치가 가장 높았는데, 철쭉의 중요치가 가장 낮게 나타난 해발고도가 본 구간인 것으로 미루어 보아 철쭉의 중요치가 낮은 지역에서 미역줄나무의 수세가 결정되는 것으로 사료되었다. 미역줄나무와 같은

덩굴성식물은 산림을 구조적으로 단순화 시키고 빛과 영양분에 우위를 차지하여 다른 수종의 성장을 방해한다. 따라서 해발고도별 하층식생에 영향을 미치는 종에 대해 지속적인 동태 파악이 시급할 것으로 판단되었다.

층위별 종 다양도지수를 살펴보면, 교목층은 고도가 증가할수록 종다양도가 낮았고, 관목층과 초본층은 1,500 m 이상부터 비교적 종다양도가 높게 나타났다. 해발고도별 층위 구조 분석에서의 결과와 같이 1,500 m이하부터 조릿대의 중요치가 높은 지역은 종다양도의 영향을 끼치는 것으로 판단되었다. Takahashi(1997)는 *Sasa* spp.의 풍부도가 증가함에 따라 *Abies* spp. 밀도가 감소하며, Lee et al.(2000)는 조릿대의 밀도가 높은 지역은 종다양도가 낮게 나타나는 연구결과와 유사하였다. 이에 따라 조릿대의 중요치가 높은 지역은 지하경의 발달에 의한 광범위하게 분포함에 따라 하층식생에서의 치수발생 및 성장을 방해하고(Yamamoto, 1993; Park et al., 2012), 낙엽층이 두껍게 덮고 있기 때문에 종자의 발아에 있어 부정적 영향을 끼치게 된다(Yamamoto, 1993; Narukawa and Yamamoto, 2002; Hong et al., 2008). 1,700-1,800 m는 초본층의 종다양도가 가장 높게 나타났는데 교목층 종다양도와 함께 미루어 보면, 기후변화(climate change)와 함께 연속관계에 놓여 있는 교란(disturbance)은 산림 내 빈 공간을 대규모 또는 소규모로 발생시키고

Table 3. Importance value of major species for three layers according to altitudinal gradient (based on vegetation data 2017).

Altitude (m)	Layer	Species						
		ABKO	PIJE	RHSC	TRRE	SABO	CAAR	Others(157)
1,300-1,400	Tree	32.82	0.68	-	-	-	-	66.51
	Shrub	4.79	0.92	33.05	4.11	-	-	57.13
	Herb	0.34	-	1.70	1.70	32.78	7.77	63.49
1,400-1,500	Tree	30.79	-	-	-	-	-	69.21
	Shrub	7.51	-	30.08	4.34	-	-	58.08
	Herb	2.15	-	0.72	2.10	23.06	18.04	71.97
1,500-1,600	Tree	38.52	5.96	-	-	-	-	55.52
	Shrub	5.77	-	27.26	9.61	-	-	57.35
	Herb	2.55	-	1.39	3.23	4.31	24.81	88.51
1,600-1,700	Tree	26.95	12.92	-	-	-	-	60.13
	Shrub	7.51	0.96	27.33	9.78	-	-	54.43
	Herb	3.24	1.19	1.61	2.03	-	26.71	91.94
1,700-1,800	Tree	21.12	25.92	-	-	-	-	52.96
	Shrub	3.65	1.82	11.45	28.68	-	-	54.40
	Herb	1.04	0.52	0.52	2.71	-	6.70	95.20
>1,800	Tree	22.53	32.12	-	-	-	-	45.35
	Shrub	3.28	7.32	27.46	8.58	-	-	53.36
	Herb	2.75	2.60	1.73	5.66	-	28.55	87.25

\* *Abies koreana*(ABKO), *Picea jezoensis*(PIJE), *Rhododendron schlippenbachii*(RHSC), *Tripterium regelii*(TRRE), *Sasa borealis*(SABO), *Calamagrostis arundinacea*(CAAR)

(Bergeron *et al.*, 1998; Duguid *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2017), 숲 틈 동태(forest gap dynamics)는 하나 또는 몇 개의 수관을 이루는 수종이 교란에 의해 고사되어지고 수관층(canopy layers)이 열림에 따라 다른 종들에 의해 다시 채워지는 과정이다(Brokaw and Busing, 2000). 이 때 종다양성은 교란, 수관층 유형 및 경관에 의해 좌우되며(Ellum *et al.*, 2010; Duguid *et al.*, 2013), 기존 우점 종에 의한 다양성보다는 다른 종에 의한 종다양성 증가를 야기하게 된다(Kumar and Ram, 2005; Bolton and D'Amato, 2011). 따라서 본 해발고도 구간에서는 숲 틈 발생에 의한 초본층에 다양한 종 이입으로 종다양성이 높은 것으로 사료되었다. 본 연구에서 제시된 종다양성 뿐만 아니라 생물다양성을 구성하는 생태계다양성, 유전다양성에 대한 각 분야에서 추가적인 검토 및 공동연구가 필요할 것으로 판단되었다.

### 3. 구상나무 치수의 개체군 변화

전체 조사구 내에서 구상나무 치수에 대한 모니터링 결과 2015년도에 ha당 1,250본의 치수 개체수가 발생하였고, 2017년도에 ha당 970본의 치수 개체수가 발생되었다(Figure 1). Wilcoxon signed-rank test 분석 결과 2015년도와 2017년도의 치수 개체수의 변화는 유의한 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

치수 수고급별로 개체수 변화 경향을 살펴보면(Figure 2), 10 cm 미만의 치수 발생량은 2015년도에 720 본/ha의 치수가 발생하였고, 2017년도에 555 본/ha으로 22.9% 감소하였다. 10 cm 미만의 치수들의 경우 개체수가 가장 많이 발생하는 동시에 감소도 가장 많았다. 10-30 cm 수고급은 2015년 119 본/ha에서 2017년 115 본/ha으로 감소율 3.4%, 30-50 cm 수고급은 108 본/ha에서 99 본/ha으로 감소율 8.9%, 50-100 cm 수고급은 133 본/ha에서 80 본/ha으로 감소율 39.3%, 100 cm 이상 수고급은 97 본/ha에서 43 본/ha으로 55.1% 감소하였다. 10-30 cm, 30-50 cm 수고급은 감소폭이 적은 반면 수고 50 cm 이상 치수들의 개체수 변화는 진계생장(ingrowth)을 못하고 고사됨에 따라 감소된 것으로 판단되었다.

해발고도별로 살펴보면(Figure 3), 1,300-1,400 m에서 2015년도에 998 본/ha의 치수가 발생하였고, 2017년도에 390 본/ha으로 61.0% 감소하였다. 1,400-1,500 m는 613 본/ha에서 362 본/ha으로 감소율 41.0%, 1,500-1,600 m는 1,483 본/ha에서 1,044 본/ha으로 29.6% 감소하였다. 1,600 m 고도까지 감소율이 낮아지는데 해발고도별 종조성에서 조릿대의 중요치 또한 고도가 증가함에 따라 낮아지는 경향이 있었다(Table 3). 따라서 조릿대에 영향으로 치수의 생장이 방해를 받아 감소한 것으로 판단되었다. 1,600-1,700 m는 1,562 본/ha에서 2,332 본/ha으로 증가하였는데 해발고도별

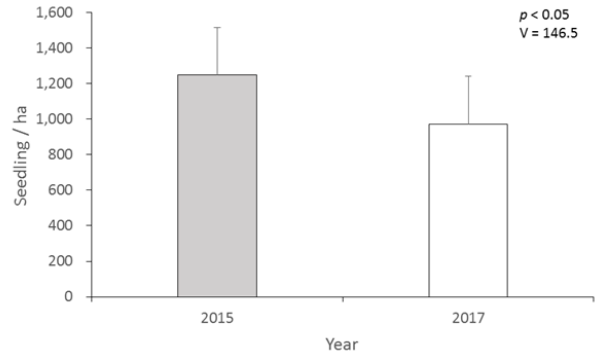


Figure 1. Population changes of *Abies koreana* seedling for two years from 2015 to 2017.

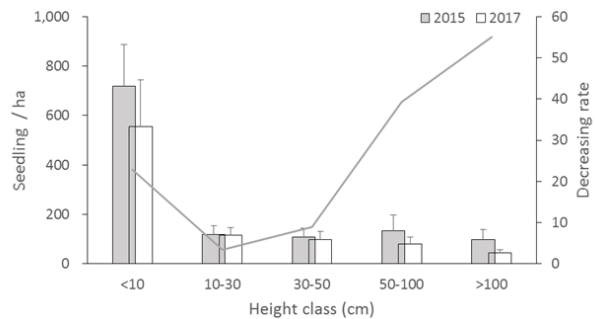


Figure 2. Population changes of *Abies koreana* seedling along height class for two years from 2015 to 2017.

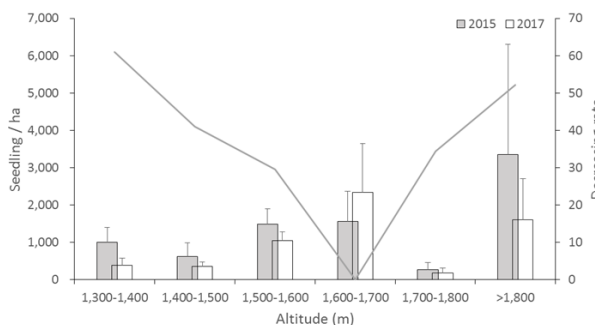


Figure 3. Population changes of *Abies koreana* seedling along altitude class for two years from 2015 to 2017.

종조성과 연관시켜 보면(Table 4), 관목층과 초본층에서 구상나무의 중요치가 가장 높은 구간이며 미역줄나무의 수세가 약하고 조릿대가 출현하지 않아 중간 경쟁이 비교적 적어 치수 발생이 촉진된 것으로 사료되었다. 1,700-1,800 m는 267 본/ha에서 175 본/ha으로 34.4% 감소하였고, 1,800

Table 4. Species diversity index of *Abies koreana* community along altitudinal gradient (based on vegetation data 2017)

		Altitude class					
		1,300-1,400	1,400-1,500	1,500-1,600	1,600-1,700	1,700-1,800	>1,800
H'	Tree	1.644±0.085	1.752±0.027	1.287±0.157	1.135±0.156	1.062±0.274	1.658±0.101
	Shrub	0.917±0.180	0.788±0.255	1.083±0.140	1.430±0.120	1.385±0.212	1.539±0.082
	Herb	0.986±0.261	0.920±0.323	1.426±0.179	1.212±0.228	2.470±0.247	1.410±0.135
Hmax'	Tree	2.013±0.077	2.077±0.04	1.619±0.164	1.396±0.178	1.330±0.232	2.013±0.067
	Shrub	1.683±0.144	1.796±0.169	1.985±0.117	2.170±0.062	2.233±0.036	2.239±0.160
	Herb	2.333±0.403	2.489±0.299	2.97±0.105	3.051±0.082	3.483±0.063	2.827±0.119
J'	Tree	0.815±0.022	0.845±0.018	0.800±0.045	0.818±0.051	0.779±0.078	0.823±0.023
	Shrub	0.535±0.102	0.404±0.111	0.534±0.048	0.660±0.052	0.624±0.103	0.689±0.013
	Herb	0.345±0.085	0.339±0.115	0.471±0.047	0.394±0.07	0.707±0.059	0.498±0.027
1-J'	Tree	0.186±0.022	0.156±0.018	0.201±0.045	0.183±0.051	0.222±0.078	0.178±0.023
	Shrub	0.466±0.102	0.597±0.111	0.467±0.048	0.341±0.052	0.377±0.103	0.312±0.013
	Herb	0.531±0.103	0.662±0.115	0.530±0.047	0.607±0.070	0.294±0.059	0.503±0.027

m이상에서는 3,350 본/ha에서 1,600 본/ha으로 52.2% 감소하였다. 1,800 m 이상에서의 높은 감소폭을 미루어보아 비슷한 양상을 보이는 1,300-1,400 m구간과의 종조성을 살펴보면, 하층식생을 억제하는 조릿대는 나타나지 않고 미역줄나무는 중요치가 낮게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 또한 고도가 상승 할수록 식생이 생육하기에 더욱 극한의 환경을 띄고 있으므로, 해당 서식지에 생물들은 급격한 환경변화에 민감하게 반응하게 된다(Kong, 2002; Kimmins, 2004; Erschbamer *et al.*, 2009; Tsuyama *et al.*, 2015; Mathys *et al.*, 2017). Germino *et al.*(2002)은 침엽수의 치수 생존 및 생장은 서식지의 계절에 따른 기온 패턴 변동과 높은 일광에 비해서 저온 및 수분 스트레스가 영향을 주며, Lenoir *et al.*(2009)은 기후변화로 인한 기온 상승의 영향은 고도 구배에도 영향을 미쳐 높은 고도에서 치수가 발생하기는 하지만 성목으로 발달이 어려운 것으로 보았다. 현재까지 고도별로 구상나무 치수 발생 및 고사 차이는 자연과정(natural process)의 일부인지 또는 급격한 환경변화의 영향인지에 대해서 더 많은 개체군생태학적 연구가 필요할 것으로 생각되었고, 특히 식생의 종조성적 변화와 대기 온도, 토양 온도, 수분치수 변화 등과의 상관관계에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

## 종합 고찰

최근 구상나무 분포 예측에 대해 GIS를 기반으로 한 연구들은 항공사진과 기후자료, 지형도, 임상도 등을 활용하

여 모델분석을 실시하여 구상나무의 분포지 축소가 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 보고하였다(Kim and Lee, 2013; Koo *et al.*, 2016). 이 중 식생자료는 일반적으로 상층수관에 해당하는 수종의 분포도나 항공사진을 이용한다. 따라서 상층 수종의 분포 예측은 가능하나 하층식생의 동태까지 파악하기는 어려운 실정이다. 그러므로 하층식생의 지속적인 모니터링을 통해 아고산대 산림의 지표를 파악하는 것이 중요할 것으로 사료되었다.

우리나라 구상나무의 분포지는 주로 한라산, 지리산, 가야산, 덕유산, 속리산 등 주로 한반도 남부와 제주도에 분포하고 있다(Lee *et al.*, 2014; Yun, 2016). 이중 지리산 구상나무 분포지의 식생구조로 세석지역(Cho *et al.* 2015)은 교목층 구상나무, 아교목층 구상나무와 철쭉, 관목층 구상나무, 조릿대, 거림계곡(Kim *et al.*, 2012)은 1,300 m 이하에서 교목층-아교목층 신갈나무, 관목층 철쭉, 1,400 m 이상은 교목층-아교목층 구상나무, 관목층 철쭉, 반야봉(Cho *et al.*, 2016)은 교목층 가문비나무, 아교목층 철쭉, 관목층 미역줄나무, 초본층 실새풀, Choo *et al.*(2009)은 철선계곡에서 상층과 하층에서 구상나무가 우세한 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 구상나무 분포지의 식생구조로 교목층 구상나무, 관목층 철쭉, 초본층 실새풀로 선행연구들과 유사한 경향이었다.

고도별 구상나무 분포는 거림계곡에서 1,300 m 이상부터 구상나무가 우점하나 관목층에서 조릿대의 밀도가 높고(Lee *et al.*, 2000), 지리산 서부지역은 1,300 m이상에서 구상나무가 우점하고 고도가 높아짐에 따라 상층 수고는 낮아지며(Park *et al.*, 2006), Oh *et al.*(2000)은 지리산 동부

지역 북사면에서 고도 900 m, 남사면에서 1,000 m 이상부터 구상나무가 분포하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 해발고도별 종조성으로 미루어 보아 중간 경쟁에 의해 구상나무 치수 생장에 방해받고 있는 것으로 판단되었다. 특히 높은 중요치의 조릿대가 나타나는 1,500 m 이하 구간은 관목 층과 초본층에서 낮은 종다양도 수치를 통해 하층식생의 생장 방해에 의한 것으로 판단되었으며, 미역줄나무의 중요치가 높게 나타나는 1,700-1,800 m 구간에서도 치수 생장을 저해하는 덩굴성 수종이며, 본 해발고도는 다른 해발고도보다 종 다양도가 높으므로 다양한 종과 경쟁관계에 놓여 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 해발고도별로 치수 발생량을 보면, 1,300-1,400 m, 1,400-1,500 m, 1,700-1,800 m 구간에서 치수 발생량이 낮게 나타났다. 반면 실새풀의 경우 건조한 침엽수림에서 열 보존, 수분 증발 감소, 토양 수분의 증가와 같은 치수의 생장을 촉진시키는 역할을 하며(Hogg and Victor, 1991), 벼과의 피도에 따라 치수 발생과 생존에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Matthew *et al.*, 2002). 따라서 향후 토양 온도 변화, 유기물층 등을 모니터링하여 치수 생장과의 관계성에 대해 좀 더 구체적인 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청(국립산림과학원) “기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응 연구(Ⅱ) (과제번호:FE0100-2015-01)”의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## REFERENCES

- An, H.C., G.T. Kim, G.C. Choo, W.U. Tae, S.B. Park and E.H. Park(2010) A study on the structure of forest community of *Picea jezoensis* stands at Cheonwangbong area, Jirisan (Mt.). *Journal of Korean Forest Society* 99(4): 590-596. (in Korean with English abstract)
- Braun-Blaunquet, J.(1964) *Pflanzensoziologie Grundzüge der Vegetationskunde*(3rd Ed.). Springer-Verlag, New York, 865pp. (in German)
- Brower, J.E. and J.H. Zar(1977) *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm. C. Brown Company Publishers, Iowa, USA, 596pp.
- Buitenwerf, R., A.M. Swemmer and M.J.S. Peel(2011) Long-term dynamics of herbaceous vegetation structure and composition in two African savanna reserves. *Journal of Applied Ecology* 48(1): 283-246.
- Cho, M.G., J.M. Chung, H.I. Im, I. Noh, T.W. Kim., C.Y. Kim and H.S. Moon(2016) Ecological characteristics of sub-alpine coniferous forest on Banyabong in Mt. Jiri. *Journal of Climate Change Research* 7(4): 465-476. (in Korean with English abstract)
- Cho, M.G., J.M. Chung, T.W. Kim, C.Y. Kim, I. Noh and H.S. Moon(2015) Ecological characteristics of *Abies koreana* forest on Seseok in Mt. Jiri. *Journal of Climate Change Research* 6(4): 379-388. (in Korean with English abstract)
- Choo, G.C., H.C. An, H.S. Cho, I.K. Kim, E.H. Park and S.B. Park(2009) Vegetation structure of the Chilseon valley in the Jirisan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 23(1): 22-29. (in Korean with English abstract)
- Chung, M.J., 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 Forestry Society* 85(1): 34-43. (in Korean with English abstract)
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh(1951) An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Do, M.S., J.H. Lee, J.H. Gwon and H.K. Song(2012) Vegetation structure and ecological properties of *Picea jezoensis* community. *CNU Journal of Agricultural Science* 39(4): 525-534. (in Korean with English abstract)
- Ellenberg, H.(1956) *Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde*. Ulmer, Stuttgart, Germany, 136pp. (in German)
- Frankham, R., J.D. Ballou and D.A. Briscoe(2013) *A Primer of Conservation Genetics*. Worldscience, 215pp.
- Germino, M., W. Smith and A.C. Resor(2002) Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecology* 162: 157-168.
- Gitzen, R.A., J.J. Millspaugh, A.B. Cooper and D.S. Licht(2012) *Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies*. Cambridge University press.
- Han, S.H., S.H. Han and C.W. Yun(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 J.L. Victor(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, S.C., S.H. Byen and S.S. Kim(1987) *Colored Illustrations of Trees and Shrubs in Korea*. Gyemyangsa, Korea, 310pp. (in Korean)
- Kim, C.H., M.G. Cho, J.K. Kim, M.S. Choi, J.M. Chung, J.H. Kim and H.S. Moon(2012) Vegetation change and growing characteristics of *Abies koreana* population by altitude in Georim Valley of Mt. Jiri. *Journal of Agriculture and Life Science* 46(1): 1-8. (in Korean with English abstract)



- Kim, J.D., G.E. Park, J.H. Lim and C.W. Yun(2017) Phytosociological community type classification and flora of vascular plants for the forest vegetation of Daecheongbong Area in Mt. Seorak. *Journal of Korean Forest Society* 106(2): 130-149. (in Korean with English abstract)
- Kim, N.S. and H.C. Lee(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)
- Kimmins, J.P.(2004) *Forest Ecology : A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry*. Prentice Hall, New Jersey, USA, 611pp.
- Kong, W.S.(2002) Species composition and distribution of Korean alpine plants. *Journal of the Korean Geographical Society* 37(4): 357-370. (in Korean with abstract English)
- Kong, W.S.(2006) Biogeography of native Korean Pinaceae. *Journal of the Korean Geographical Society* 41(1): 73-93. (in Korean with English abstract)
- Koo, K.A., J. Kim, W.S. Kong, H.C. Jung and G.H. Kim(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 Research Institute(2014) *Long-term Ecological Research(LTER) on Forest Ecosystem Responses to Global Environmental Change*. 403pp. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute(2015) *Subalpine coniferous forest in Korea( I ), Gyeong Mountain*. 86pp. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute(2016) *Subalpine coniferous forest in Korea( II ), Jiri Mountain*. 124pp. (in Korean)
- 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/>.
- Lee, D.K. and J.U. Kim(2007) Vulnerability assessment of sub-alpine vegetations by climate change in Korea. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 10(6): 110-119. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., H.S. Shin, H.J. Cho and C.W. Yun(2014) *Subalpine Conifer Forest Communities*. National Institute of Ecology. GeoBook, Korea, 136pp. (in Korean)
- Lee, K.J., J.O. Kwon and J.Y. Kim(2000) Plant community structure in Keolim valley of Chirisan national park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 13(4): 392-403. (in Korean with English abstract)
- Lee, T.B.(2003) *Coloured Flora of Korea*. Hyangmunsa, Korea, 999pp. (in Korean)
- Lee, W.T. and Y.J. Yim(2002) *The Phytogeography*. Kangwon National University, Korea, 412pp.
- Lenoir, J., J.C. Gégout, J.C. Pierrat, J.D. Bontemps and J.F. Dhôte(2009) Differences between tree species seedling and adult altitudinal distribution in mountain forests during the recent warm period(1986-2006). *Ecography* 32: 765-777.
- Lindner M., M. Maroschek, S. Netherer, A. Kremer, A. Barbati, J. GarciaGonzalo, R. Seidl, S. Delzon, P. Corona, M. Kolström, M.J. Lexer and M. Marchetti(2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698-709
- Ludwig, J.A., B.P. Wilcox, D.D. Breshears, D.J. Tongway and A.C. Imeson(2005) Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86, 288-297.
- Mathys, A.S., N.C. Coops and R.H. Waring(2017) An ecoregion assessment of projected tree species vulnerabilities in western North America through the 21st century. *Global Change Biology* 23: 920-932.
- Matthew, J.G., K.S. William and A.C. Resor(2002) Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecology* 162: 157-168.
- Ministry of Environment(2004) *Pilot projects for National Long-term Ecological Research –Protocols and Guidelines-*. Korea, 404pp. (in Korean)
- National Institute of Ecology(2014) *Ecological Research in Terrestrial Ecosystem*. 109pp. (in Korean)
- Oh, K.K., Y.K. Jee and S.H. Park(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. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G., H.J. Cho and C.B. Lee(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)
- Park, S.G., M.H. Yi, J.W. Yoon and H.T. Sin(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. (in Korean with English abstract)
- Park, S.P., J.I. Song, M.P. Kim and H.G. Park(2006) Stand structure change in different aged stands along altitudinal gradients in the western part of Mt. Chiri. *Journal of Korean Forestry Society* 95(1): 102-112.
- Pereira, H.M., P.W. Leadley, V. Proença, R. Alkemade, J.P.W. Scharlemann, J.F. Fernandez-Manjarrés, M.B. Araújo, P. Balvanera, R. Biggs, W.W.L. Cheung, L. Chini, H.D. Cooper, E.L. Gilman, S. Guénette, G.C. Hurtt, H.P. Huntington, G.M. Mace, T. Oberdorff, C. Revenga, P. Rodrigues, R.J. Scholes,

- U.R. Sumalia and M. Walpole(2010) Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science* 330: 1496-1501.
- Sala, O.E., D. van Vuuren, H.M. Pereira, D. Lodge, J. Alder, G. Cumming, A. Dobson, V. Wolter, M.A. Xenopouls, A.S. Zaitsev, M.G. Polo, I. Gomes, C. Queiroz and J.A. Rusak(2005) Chapter 10: Biodiversity Across Scenarios. 375-408pp. In: *Ecosystems and Human well-being: scenarios, volume 2. Millenium Ecosystem Assesment*. Island Press. New York, U.S.A.
- Sergeant, C.J., B.J. Moynahan and W.F. Johnson(2012) Practical advice for implementing long-term ecosystem monitoring. *Journal of Applied Ecology* 49: 969-973.
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, USA.
- Shin, J.H. and C.M. Kim(1996) Ecosystem classification in Korea(I): ecoprovince classification. *FRI Journal of Forest Science* 54: 188-199.
- Snyman, H.A.(1998) Dynamics and sustainable utilization of rangeland ecosystems in arid and semi-arid climates of southern Africa. *Journal of Arid Environments* 39: 645-666.
- Takahashi, K.(1997) Regeneration and coexistence of two subalpine conifer species in relation to dwarf bamboo in the understorey. *Journal of Vegetaton Science* 8: 529-539.
- Tsuyama, I., M. Higa, K. Nakao, T. Matsui, M. Horikawa and N. Tanaka(2015) How will Subalpine conifer distributions be affected by climate change? Impact assessment for spatial conservation planning. *Regional Environmental Change* 15: 393-404.
- Victor, J.L., S.E. Macdonald and E.H. Hogg(1993) Ecology of and control strategies for *Calamagrostis canadensis* in boreal forest sites. *Canadian Journal of Forest Research* 23(10): 2070-2077.
- Yun, C.W.(2016) *Field Guide to Trees and Shrubs*. Geobook, Korea, 703pp. (in Korean)
- Yun, C.W., H.J. Kim, B.C. Lee, J.H. Shin, H.M. Yang and J.H. Lim(2011) Characteristic community type classification of forest vegetation in South Korea. *Journal of Korean Forest Society* 100(3): 504-521. (in Korean with English abstract)
- Yamamoto, S.I.(1993) Gap characteristics and gap regeneration in a subalpine coniferous forest on Mt Ontake, central Honshu, Japan. *Ecological Research* 8: 277-285.
- Narukawa, Y. and S. Yamamoto(2002) Effects of dwarf bamboo (*Sasa* sp.) and forest floor microsities on conifer seedling recruitment in a subalpine forest, Japan. *Forest Ecology and Management* 163: 61-70.
- Hong, S.G., J.J. Kim and H.K. Cho(2008) Studies on Natural Regeneration of *Abies Koreana*. *The National Academy of Sciences* 47(1): 71-84. (in Korean with English abstract)
- Bolton, N. W. and A.W. D'Amato(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.
- Brokaw, N. amd R.T. Busing(2000). Niche versus chance and tree diversity in forest gaps. *Trends in Ecology & Evolution* 15(5): 183-188.
- Duguid, M.C., B.R. Frey, D.S. Ellum, M. Kelty and M.S. Ashton(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.
- Ellum, D.S., M.S. Ashton and T.G. Siccama(2010) Spatial pattern in herb diversity and abundance of second growth mixed deciduous-evergreen forest of southern new england, *Forest Ecology and Management* 259: 1416-1426.
- Singh, R., R. Sagar, P. Srivastava, P. Singh and J.S. Singh(2017) Herbaceous species diversity and soil attributes along a forest-savanna-grassland continuum in a dry tropical region. *Ecological Engineering* 103: 226-235.
- Bergeron, Y., O. Engelmark, B. Harvey, H. Morin and L. Sirois(1998) Key issues in disturbance dynamics in boreal forests – Introduction. *Journal of Vegetation Science* 9: 463-467.
- Kumar, A. and J. Ram(2005) Anthropogenic disturbances and plant biodiversity in forests of Uttaranchal, central Himalaya. *Biodiversity and Conservation* 14: 309-331.
- Yamamoto, S.I.(1993) Gap characteristics and gap regeneration in a subalpine coniferous forest on Mt Ontake, central Honshu, Japan. *Ecological Research* 8: 277-285.
- Erschbamer, N., T. Kiebascher, M. Mallaun and P. Unterluggauer (2009) Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. *Plant Ecology* 202: 79-89.
- Kim, J.K., J.G. Koh, H.T. Yim and D.S. Kim(2017) Changes of Spatial Distribution of Korean fir Forest in Mt. Hallasan for the Past 10 Years(2006, 2015). *Journal of Environment and Ecology* 31(6): 549-556. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.H., G.T. Kim, C.W. Yun, J.H. Shin and S.W. Bae(2004) Stand Structure and Dynamics of the *Pinus parviflora* Forest in Ulleungdo Island. *Journal of Korean Forest Society* 93(1): 67-74. (in Korean with English abstract)