

지리산국립공원 구상나무개체군의 식생구조와 동태 모니터링^{1a}

전영문^{2*} · 김상민³ · 박은희⁴ · 박선홍⁵ · 이호영⁶ · 김진원⁷

Monitoring on the Vegetation Structure and Dynamics of *Abies Koreana* Populations in Jirisan National Park^{1a}

Young-Moon Chun^{2*}, Sang-Min Kim³, Eun-Hee Park⁴, Sun-Hong Park⁵, Ho-Young Lee⁶, Jin-Weon Kim⁷

요약

지리산 구상나무개체군의 쇠퇴 요인과 군락의 변화양상을 파악하기 위하여 7개 지역에 조사구를 설치하여 2009년부터 2018년까지 모니터링을 실시하였다. 세석조사구를 제외한 6개 조사구의 층상구조는 4층구조를 나타내었으며, 조사구 전체를 대상으로 한 구상나무의 중요치는 2009년 55.7%에서 2018년 39.8%로 2009년 대비 28.5%라는 큰 폭의 감소율을 보였다. 흉고직경 5cm 이상의 개체수에서는 조사구 전체 평균이 2018년 711개체/ha 이며, 2009년부터 2018년까지의 누적 고사율 평균은 10.8% 이다. 고사 유형에서는 서서 고사하는 유형(Dead Standing, DS)이 조사구 전체의 82.4%로 가장 우세하게 나타났으며, 입지의 경사도가 35° 로 높은 반야봉1 조사구의 경우 DS유형을 제외한 기타 유형이 44.2%로 높게 나타났다. 구상나무개체군의 직경급 분포 유형은 세석평전에서 역 J자형을 보이고 있어 안정적인 군락 유지가 가능할 것으로 추정되었다. 전체 조사구를 대상으로 한 비대생장값의 평균은 1.09mm/year 였으며, 주로 아교목상의 개체들이 수관층을 형성하고 있는 세석평전에서 가장 왕성한 생장을 나타내었다. 나이테 조사 결과, 벽소령과 반야봉1 조사구에서 구상나무의 평균 수령은 102년과 91년으로 추정되었으며, 활력은 2013년 이후 대체로 감소 추세를 보이는 것으로 나타났다.

주요어: 아교산대 식생, 구상나무 쇠퇴, 중요치, 생육동태, 연륜생장

ABSTRACT

We established and monitored survey sites in seven regions of Mt. Jiri to investigate population decline and change of the Korean fir (*Abies koreana*) over a ten-year period from 2009 to 2018. With the exception of one site (Seseok), the six remaining ones all showed a four-layer stratification structure. The importance value of

1 접수 2021년 4월 12일, 수정 (1차: 2021년 7월 13일), 게재확정 2021년 7월 22일

Received 12 April 2021; Revised (1st: 13 July 2021); Accepted 22 July 2021

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

3 순천대학교 대학원 박사수료 Sunchun National University, Suncheon 57922, Korea (teasumjin@naver.com)

4 국립공원공단 자원보전처 생태복원부차장 Korea National Park Service, Wonju 26441, Korea (ehpark@knps.or.kr)

5 국립공원공단 지리산국립공원전남사무소 자원보전과장 Jirisan National Park Southern Office, Gurye 57616, Korea (parkseonhong05@gmail.com)

6 한길숲연구소 소장, Hankil Forest Institute, Gangneung 25522, Korea (hoyleee@hanmail.net)

7 국립공원연구원 융합연구부 연구원 Korea National Park Research Institute, Wonju 26441, Korea (whales9208@knps.or.kr)

a 이 논문은 국립공원공단 국립공원연구원에서 수행하는 「국립공원 기후변화 생태계 모니터링」사업비에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel & Fax: +82-61-762-0796, E-mail: ymchun31@gmail.com

Korean firs in all of the survey areas decreased significantly by 28.5%, from 55.7% in 2009 to 39.8% in 2018. The average population of objects with a diameter at breast height (DBH) of 5cm or more in all survey sites was 711 objects/ha in 2018, and the cumulative death rate from 2009 to 2018 was 10.8%. Among the death types, DS (dead standing) was the most dominant, comprising 82.4% of the total survey area. However, in Banyabong 1, which had a high gradient of 35°, the death types other than DS accounted for 44.2%. We estimate that *A. koreana* can maintain a stable population as its distribution type for each diameter class in the Saeseokpyeongjeon site showed a reverse-J shape. The average annual ring growth in all survey sites was 1.09 mm/year, with the most abundant growth observed in the Seseokpyeongjeon site, which was formed mainly by a subtree layer. The growth ring survey showed the estimated average age of *A. koreana* population in the Byeoksoryeong and Banyabong 1 sites to be 102 and 91 years, respectively, a general downward trend of vitality since 2013.

KEY WORDS: SUBALPINE VEGETATION, ABIES KOREANA DECLINES, IMPORTANCE VALUE, GROWTH DYNAMICS, ANNUAL RING GROWTH

서론

아고산대는 용재한계선에서 교목한계선에 이르는 생태적 접이대(Kong, 2000b)이며, 고산을 포함한 면적은 매우 좁고 기후적 요인이 열악한 곳으로 기후변화에 민감한 생태계이다(Kong, 2000a, b; Lim and Shin, 2005).

한국의 아고산대 식생은 아고산 상록침엽수림, 아고산 광엽수림 및 초원, 아고산 암극식물군락 등의 3개 상관식생으로 크게 구분되는데(Kim, 2012), 한반도의 중·남부지역에서 가장 높은 산인 지리산(1,915m)에서 아고산 상록침엽수림은 가문비나무와 구상나무에 의하여 구분되는 가문비나무-구상나무군집(Song, 1991)으로 분류되어 있으며 구상나무가 주요 수종으로서 군락을 형성하고 있다.

구상나무(*Abies koreana* Wilson)는 신생대 제4기 한반도 주빙하기후 환경하에서 서식하던 고유종으로 현재 한라산을 비롯하여 지리산, 덕유산, 가야산 등 해발 1,000m 이상의 일부 고산지역에 남아 있는 대표적인 기후변화 민감종이며(Schweingruber, 1988; Kim and Choo, 2000; KNA, 2010; NIBR, 2010; Kim and Lee, 2013), 분비나무, 주목, 가문비나무 등과 함께 남한의 아고산대에 자라는 대표적인 상록침엽교목이다.

아고산대 식생의 주요 구성종으로서 구상나무에 대한 연구는 아고산대 전체를 대상으로 한 군락 및 군집의 분류, 구조, 동태, 분포, 그리고 서식지에 대한 내용(Kim, 1986; Song, 1991; Ihm et al., 2000; Cho et al., 2004; Kim, 2012; Kim and Lee, 2013)을 비롯하여, 지역적으로는 한라산(Song and Nakanishi, 1985; Kang et al., 1997; Kim et al., 1998; Kim et al., 2007; Song et al., 2010, 2014, 2018;

Lee, 2016), 덕유산(Moon, 1993; Kim and Choo, 1999; Kim et al., 2011), 가야산(Lee and Cho, 1993) 등에서 군집 구조를 중심으로 조사가 이루어진 바 있는데, 구상나무에 대한 생태학적인 연구는 지난 40년간(1980-2020년) 총 73 편이 수행된 것으로 파악되었다(Koo and Kim, 2020).

한편 지리산에서 구상나무에 대한 연구는 분포와 분포지 변화, 현존식생(Chung and Lee, 1965; Kim et al., 1991a; Yim and Kim, 1992; Yeon et al., 2006; Kim, 2011; Gwon, 2014) 등에 대한 내용뿐만 아니라 군집구조와 개체군 동태를 중심으로 많은 조사가 진행되어 왔다(Rim and Kang, 1985; Park, 1990; Kim et al., 1991a; Kim et al., 1991b; Kim and Yoon, 1991; Cho, 1994; Lee and Hong, 1995; Chung et al., 1996; Kim et al., 1997; Lee et al., 1997; Chung et al., 1999; Kim et al., 2000; Kim and Choo, 2000; Park et al., 2000; Oh et al., 2000; Oh and Jee, 2000; Lee et al., 2000; Kim and Choo, 2003; Choo et al., 2009; Park, 2011; Kim et al., 2012; Gwon et al., 2013; Cho et al., 2015; Kim et al., 2018). 이 중 Kim et al.(1991a)과 Kim et al.(1997)은 지리산 반야봉과 천왕봉-덕평봉지역에서 구상나무의 활력, 유묘의 발생, 고사목 등에 대한 연구를 통해 구상나무의 생육 상태가 쇠퇴하고 있으며 자연적인 후계림 조성이 매우 힘들 것으로 보고한 바 있다. 또한 구상나무는 군락내 다른 수종들과 경쟁관계에 놓여 있으며(Kim et al., 2018), 조릿대의 번성으로 인한 치수의 발생을 저하 문제(Kim et al., 1998; Hong et al., 2008; Song et al., 2014), 곤충(NIE, 2017; Shin et al., 2018), 노루(Kim et al., 2017) 및 설치류(Park et al., 2020) 등 동물에 의한 가해 사례와 같이, 기후변화를 포함한 다양한 요인들의 영향으로 최근 구상나무의 생육쇠퇴는 광

범위하고 빠르게 진행되고 있는 실정이다.

그러나 기존의 대다수 연구들은 주로 현상파악을 위한 단기간의 식생조사 위주로서 쇠퇴원인 분석을 위한 장기적인 모니터링의 필요성이 꾸준히 제기되어 왔다. 이에 본 연구는 고정 조사구를 설치하여 지난 10년 동안 구상나무개체군의 식생구조와 동태에 대한 변화 양상을 조사하였으며, 본 논문은 그 결과를 정리한 내용이다. 향후 지속적인 조사를 통해 축적된 기초자료는 아고산 식생의 보존과 관리뿐만 아니라 아고산 생태계를 폭넓게 이해하고 파악하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

연구방법

1. 연구대상지

지리산국립공원은 우리나라 최초의 국립공원(1967.12.29.)으로 경남 하동군, 함양군, 산청군, 전남 구례군, 전북 남원시의 3도 1시 4개군에 걸쳐 있다. 지리산국립공원의 좌표는 북위 35° 12' 45.23" ~ 35° 26' 52.31", 동경 127° 27' 11.44" ~ 127° 49' 32.01"의 범위에 위치해 있으며 면적은 483.02km²이다. 천왕봉에서 노고단에 이르는 동서방향의 주 능선 거리는 25.5km, 둘레는 320km로서 주봉은 천왕봉(1,915m)이며 제석봉(1,806m), 반야봉(1,732m), 노고단(1,507m) 등을 포함하여 1,500m 이상의 고봉이 20여개에 이른다(KNPS, 2020).

지리산은 대체로 동부가 높고 서부가 비교적 낮은 형세로서 지질은 변성암류의 지리산편마암복합체로 구성되어 있다(Kim *et al.*, 2009). 지리산에서 구상나무는 해발 1,100 ~ 1,900m 범위에 분포하는 상록침엽수로서, 해발 1,350 ~ 1,400m 이상으로 온량지수(WI)가 55°C·month 이하인 아고산림대에서는 군락단위로 분포하고 있으며, 온량지수 55 ~ 80°C·month 범위에 해당하는 냉온대 낙엽활엽수림대에서는 패치상 또는 개체단위로 분포한다(Yim and Kim, 1992).

조사지역 인근의 연평균 기온과 강수량(KMA, 2011)은 지리산의 북서쪽에 위치하고 있는 남원관측소의 경우 12.3°C와 1,380.4mm, 북동쪽에 자리하고 있는 산청관측소의 경우는 12.8°C와 1,556.6mm 이다(Figure 1).

2. 조사방법

조사방형구는 구상나무개체군이 비교적 균질하게 분포하고 있는 지점을 대상으로 조사지의 입지환경을 고려하여 400 ~ 1,600m² 범위내에서 각각 설치하였다. 조사방형구는 2009년 5월부터 2010년 9월에 걸쳐 지리산 능선부와 인접산지에 위치하고 있는 제석봉~벽소령구간(5개소)과 반야

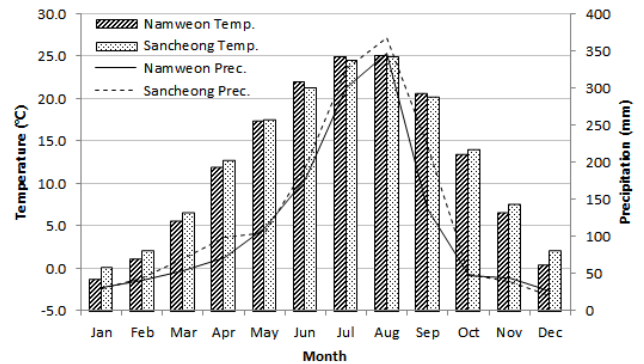


Figure 1. Climate diagram of the study area.

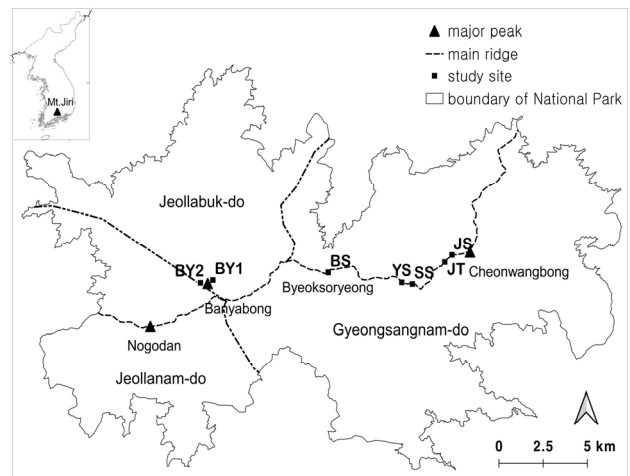


Figure 2. Location map of the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

봉 일원(2개소)에 설치하였으며(Figure 2), 흉고직경 5cm 이상의 수목을 대상으로 매목조사를 실시하였다. 한편 조사구 내에서 구상나무와 구상나무의 경쟁수종으로 판단되는 종들에 대해서는 흉고직경 5cm 이하의 개체에 대해서도 조사를 실시하였다.

식생조사는 Braun-Blanquet(1964)의 식물사회학적 방법에 따라 2011년 8월과 9월에 수행하였다. 층상구조와 층위별 수고는 교목층(≥ 8 m), 아교목층(3 ~ 8 m), 관목층(≤ 3 m), 초본층(≤ 1 m)으로 구분하였으며 조사지의 식생 환경에 따라 적절하게 조정하였다. 각 조사지내에 분포하는 목본 수종의 중요치(Importance value, IV)는 상대밀도(개체수)와 상대피도(흉고단면적)를 평균한 값으로 구하였다(Brower *et al.*, 1998). 조사지별 중·상층부의 수관 피도(Crown cover)는 구형 수관밀도측정기(Spherical densiometer; FOREST

DENSIOMETERS, USA)를 사용하였으며, 구상나무의 비대생장 측정을 위한 대상목은 31기를 설치하여 모니터링 하였다. 수령은 7개 조사지에서 흉고직경 10cm 이상에 해당하는 107개의 생장편(연륜시료)를 채취하여(2009~2010) 산정하였으며, 수목 활력도(건강도)는 조사지별로 평균 35개체(7~63개체)를 대상으로 JunsMeter1((주)푸름바이오, 한국)을 사용하여 측정, 평가하였다. 위의 조사내용들과 관련한 자세한 조사방법은 Chun *et al.*(2019)에 따랐다.

식물 동정은 원색대한식물도감(Lee, 2003a, b), Lee and Lee(2015), Cho *et al.*(2016) 등을 참고하였으며, 학명의 기재는 KNA(2020)에 준하였다.

결과 및 고찰

1. 군락구조와 종조성 변화

Table 1은 조사지별로 구상나무개체군의 입지환경 및 층상구조에 대한 내용을 정리한 것이다. 7개 조사지는 평균 해발고가 1,604m (1,345~1,739m), 사면의 방위는 남사면을 중심으로 북동~남서사면에 걸쳐 분포하고 있으며 조사구의 평균 경사도는 24.7° (13~36°) 이다. 조사구의 층상구조는 3층구조인 세석평전조사구를 제외하고는 대부분의 조사구에서 4층구조로 분포하고 있으며 조사방향구당 평균 출현종수는 35종(27~49종) 이다. 금번 조사에서 출현한 종수는 Gwon *et al.*(2013)의 지리산 구상나무군락에서 조사

된 25종에 비하여 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 조사 목적에 따른 조사구의 크기 차이에 기인한 것으로 추정된다. 한편 Yeon *et al.*(2006)은 지리산 구상나무군락의 분포양상을 지형적 요인으로 분석한 결과, 주된 분포역이 해발 1,300~1,600m 범위, 사면은 남서방향, 경사는 26~30° 에 분포하는 것으로 분석한 바 있는데, 대체로 본 조사지의 입지환경 범위와 유사한 것으로 나타났다.

Table 2는 조사구내에 출현한 목본식물들의 중요치(Importance value, IV)를 나타낸 것이다. 7개 조사구 전체를 대상으로 한 중요치의 경우, 구상나무는 2009년 55.7%에서 2018년 39.8%로 주요 구성종들 중 중요치가 2009년 대비 28.5%라는 가장 큰 폭의 감소율을 보였다. 개개 조사구들 중에서는 반야봉1과 2 조사구에서의 중요치가 2018년에 8.8%와 22.1%로서 2009년의 37.4%, 54.5%와 비교하여 각각 76.5%와 59.4%의 매우 큰 폭의 감소율을 나타내었다. 반면 세석평전조사구의 경우는 2018년도 중요치가 78.7%로서 2009년도의 77.1%에 비하여 다소간 증가하였는데, 이는 조사기간 동안 고사개체가 많이 증가한 타 조사구들에 비하여 세석평전에서의 구상나무의 경우 생장 쇠퇴와 고사의 영향이 상대적으로 적게 나타난데 기인한 것으로 판단된다(Table 3). 세석지역에서 구상나무개체군의 중요치 증가에 대한 내용은 Cho(2014)에 의해서도 보고된 바 있는데, Cho(2014)는 세석지역이 쇠퇴기미를 보이며 중요치가 감소하는 지역들(지리산 중봉, 하봉, 제석봉, 토끼봉, 반야봉, 임결령)에 비하여 상대적으로 계곡과 습지가 인접하여 수분공급이 원활하고 우리나라 산림토양에 비해 비교적 양호한

Table 1. Site conditions and vegetation structure at the study sites in Jirisan National Park

Study sites	JS	JT	SS	YS	BS	BY1	BY2	Sum or mean
Quadrat installation	2009	2009	2009	2009	2009	2010	2010	-
Quadrat size (m ²)	400	900	900	600	400	1600	1600	6400
Altimeter (m)	1739	1658	1590.0	1598	1345	1700	1595	1603.6
Aspect	SW230	SE120	W254	W271	E98	NE80	S163	SE06
Slope (°)	15	37	13	17	36	35	20	24.7
Rock exposure (%)	10-20	5-10	<5	70-80	60-70	5-10	<5	30-40
Crown cover (%)	87.6	74.2	85.5	82.6	80.1	71.3	37.5	74.1
Tree height (m)	10	13	-	12	15	12	13	12.5
Tree cover (%)	85	30	-	60	55	15	65	51.7
Subtree height (m)	6.5	7	8	7	6	5	6	6.5
Subtree cover (%)	30	25	85	40	30	20	20	35.7
Shrub height (m)	3	3	3.5	3.5	3	2.5	3	3.1
Shrub cover (%)	30	20	70	80	30	20	60	44.3
Herb height (m)	1	1.3	0.7	0.8	1.2	1	1	1.0
Herb cover (%)	85	95	10	70	90	95	90	76.4
Species richness	29	47	38	28	49	27	30	35.4

JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong,

BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2.

Table 2. Change of importance value (%) of major species at the study sites in Jirisan National Park

Species	Year	JS	JT	SS	YS	BS	BY1	BY2	Total
<i>Abies koreana</i>	2009	40.2	53.7	77.1	84.9	41.9	37.4	54.5	55.7
	2018	28.9	44.0	78.7	66.8	28.9	8.8	22.1	39.8
<i>Pinus koraiensis</i>	2009	15.5	5.8	3.9	0.8	2.7	17.3	22.3	9.8
	2018	18.8	5.7	3.9	2.0	3.0	24.2	41.2	14.1
<i>Betula ermanii</i>	2009	16.6	14.4	13.6	1.4	-	2.4	2.0	7.2
	2018	19.8	17.6	14.0	2.5	-	3.2	3.2	8.6
<i>Quercus mongolica</i>	2009	0.9	2.4	-	1.1	20.6	0.2	0.9	3.7
	2018	1.1	1.6	-	2.4	26.4	0.4	1.8	4.8
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	2009	-	2.8	-	5.6	4.0	9.4	2.4	3.5
	2018	-	2.8	-	12.5	5.2	11.7	4.4	5.2
<i>Picea jezoensis</i>	2009	17.4	3.9	-	1.2	-	-	-	3.2
	2018	20.7	6.2	-	2.8	-	-	-	4.2
<i>Tilia amurensis</i>	2009	-	-	-	-	19.0	-	-	2.7
	2018	-	-	-	-	25.9	-	-	3.7
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	2009	8.2	0.6	-	2.4	1.9	1.1	4.4	2.7
	2018	9.0	0.8	-	5.5	2.5	2.4	6.8	3.9
<i>Taxus cuspidata</i>	2009	-	4.5	-	-	-	14.2	-	2.7
	2018	-	7.9	-	-	-	22.8	-	4.4
<i>Acer komarovii</i>	2009	-	2.1	-	0.8	-	10.6	0.8	2.0
	2018	-	2.3	-	1.6	-	16.7	1.5	3.0
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	2009	-	4.1	-	1.5	3.5	0.4	2.8	1.8
	2018	-	4.5	-	3.3	3.5	0.6	4.3	2.3
<i>Sorbus commixta</i>	2009	-	3.8	-	0.3	1.4	2.3	1.9	1.4
	2018	-	3.7	-	0.7	2.2	2.6	3.5	1.8
<i>Crataegus maximowiczii</i>	2009	-	0.5	-	-	-	-	4.9	0.8
	2018	-	0.7	-	-	-	-	7.8	1.2
<i>Carpinus cordata</i>	2009	-	-	-	-	5.0	-	-	0.7
	2018	-	-	-	-	2.4	-	-	0.3
<i>Pinus densiflora</i>	2009	-	-	3.0	-	-	-	1.0	0.6
	2018	-	-	1.6	-	-	-	-	0.2
<i>Acer ukurunduense</i>	2009	-	0.5	-	-	-	2.9	-	0.5
	2018	-	0.7	-	-	-	3.4	-	0.6
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i>	2009	-	-	1.7	-	-	-	-	0.2
	2018	-	-	1.3	-	-	-	-	0.2
<i>Tripterygium regelii</i>	2009	-	-	-	-	-	1.1	0.2	0.2
	2018	-	-	-	-	-	2.0	0.4	0.3
<i>Sorbus alnifolia</i>	2009	1.2	-	-	-	-	-	-	0.2
	2018	1.1	-	-	-	-	-	-	0.2
<i>Euonymus macroptera</i>	2009	-	1.0	-	-	-	-	-	0.1
	2018	-	1.5	-	-	-	-	-	0.2
<i>Salix caprea</i>	2009	-	-	0.7	-	-	-	0.3	0.1
	2018	-	-	-	-	-	-	0.5	0.1
<i>Rhododendron mucro-nulatum</i> var. <i>ciliatum</i>	2009	-	-	-	-	-	0.7	-	0.1
	2018	-	-	-	-	-	1.2	-	0.2
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	2009	-	-	-	-	-	-	0.3	0.0
	2018	-	-	-	-	-	-	0.5	0.1

Species	Year	JS	JT	SS	YS	BS	BY1	BY2	Total
<i>Kalopanax septemlobus</i>	2009	-	-	-	-	-	-	0.4	0.1
	2018	-	-	-	-	-	-	0.8	0.1
<i>Cornus controversa</i>	2009	-	-	-	-	-	-	0.4	0.1
	2018	-	-	-	-	-	-	0.8	0.1
<i>Aralia elata</i>	2009	-	-	-	-	-	-	0.3	0.0
	2018	-	-	-	-	-	-	-	0.0
<i>Stewartia pseudocamellina</i>	2009	-	-	-	-	-	-	0.2	0.0
	2018	-	-	-	-	-	-	0.4	0.1
<i>Abies holophylla</i>	2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	2018	-	-	-	-	-	0.8	-	0.1

JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2.

토양 환경을 보인 입지의 영향 측면이 크게 작용한 것으로 분석하였다.

한편 조사시기별 중요치의 변화와 감소폭이 높게 나타난 시기는 2013~2015년 사이로 반야봉1과 2 조사구에서의 변동폭이 가장 높게 나타났으며, 이는 2012년 태풍에 의한 피해의 영향이 주요한 요인으로 파악되었다(Figure 3).

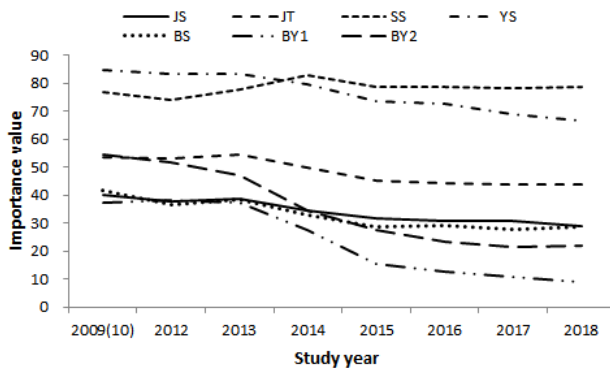


Figure 3. Changes of the importance value of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

구상나무를 제외한 기타 수종들의 경우 조사구 전체로 보면 주요 분포 수종들은 2009년에 비하여 2018년도에 중요치의 증가를 보였으며, 잣나무를 포함한 사스래나무, 신갈나무, 당단풍나무, 가문비나무 등의 경우 2009년 대비 19.4~48.6% 범위의 증가율을 나타내었다. 이는 신갈나무와 당단풍나무를 중심으로 가문비나무, 잣나무, 사스래나무 등과 같이 구상나무와 경쟁관계에 놓여 있는 것으로 보고한 Kim et al.(2018)의 결과와 매우 유사한 내용으로 향후, 구

상나무개체군의 쇠퇴 이후 식생 구조의 변화 양상을 추정해 볼 수 있는 부분이다(Kim et al., 2011; Kim and Lee, 2013; KFRI, 2016; Song and Kim, 2018).

조사구별로 2018년도에 중요치가 높게 나타난 주요 수종 들로는 제석봉조사구에서 가문비나무, 사스래나무, 잣나무 등이, 장터목과 세석평전조사구에서 각각 사스래나무, 영신 봉조사구에서 당단풍나무, 벽소령조사구에서 신갈나무와 피나무, 반야봉1 조사구에서 잣나무, 주목, 시달나무, 당단 풍나무, 그리고 반야봉 2 조사구에서 잣나무 등이 각각 분포 하는 것으로 조사되었다.

2. 개체군 동태

Table 3은 조사구내에 분포하는 흉고직경 5cm 이상의 목본식물들을 대상으로 평균 흉고직경, 흉고단면적, 개체 수, 고사율 등을 정리한 내용이다.

전체 조사구를 대상으로 한 구상나무 개체들의 변동내용으로는 흉고직경, 흉고단면적, 개체수 등이 2009년에 비하여 2018년도에 전반적으로 감소를 보였으며, 이 중 흉고직경 5cm 이상에 해당하는 개체들의 누적 평균 고사율은 49.9%로 나타났다. 특히 반야봉1과 2 조사구의 경우, 타 조사구에 비하여 고사율이 74.4%와 72.0%로 높고 중대경목에 해당하는 개체들의 고사비율이 높아 흉고단면적은 2009년 대비 각각 90.7%와 83.6%의 감소율을 보인 1.3m²/ha와 3.9m²/ha의 분포를 나타내었다. 반면 세석평전조사구의 경우는 흉고 직경 5cm 이상에 해당하는 개체들의 고사가 없는 곳으로서 자연생장에 의한 흉고직경의 증가 결과, 흉고단면적이 2009년 6.7m²/ha에서 2018년 13.4m²/ha로 2009년에 비하여 101.2%의 증가율을 보였다.

구상나무를 제외한 기타 목본수종들의 분포내용에서는 2009년과 2018년 자료에 있어서 변동폭의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다(Table 3). 전체 조사구의 평균 흉고직경

Table 3. Conditions of *Abies koreana* and other species population at the study sites in Jirisan National Park

Parameter	Year	Study sites							Mean
		JS	JT	SS	YS	BS	BY1	BY2	
Average DBH (≥5cm)	2009	15.7	19.1	9.8	13.8	24.5	16.9	19.2	17.0
	2018	16.6	17.1	12.1	13.2	15.3	10.1	13.8	13.5
Basal area (m ² /ha)	2009	18.3	21.3	6.7	40.6	21.8	14.0	23.5	20.9
	2018	11.6	11.1	13.4	14.3	8.1	1.3	3.9	9.1
No. of alive trees (≥5cm/ha)	2009	725	588	733	2,422	350	481	688	855
	2018	425	344	999	902	250	125	200	464
No. of dead trees (≥5cm/ha)	2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	2018	300	288	0	1,570	200	363	514	462
Mortality (%, ≥5cm)	2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	2018	41.4	45.6	0.0	63.5	44.4	74.4	72.0	49.9

Parameter	Year	Study sites							Mean
		JS	JT	SS	YS	BS	BY1	BY2	
Average DBH (≥5cm)	2009	14.7	13.5	6.9	8.5	10.6	13.5	14.0	11.7
	2018	15.6	13.4	7.4	9.1	11.0	13.3	14.3	12.7
Basal area (m ² /ha)	2009	27.3	14.1	2.0	4.6	13.9	21.2	16.6	14.2
	2018	29.0	11.0	2.6	5.3	13.4	19.9	15.6	13.8
No. of alive trees (≥5cm/ha)	2009	1,050	677	222	518	1,075	825	681	721
	2018	1,025	566	355	585	1,000	819	625	711
No. of dead trees (≥5cm/ha)	2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	2018	25	143	11	17	175	150	78	86
Mortality (%, ≥5cm)	2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	2018	2.4	20.2	3.0	2.8	14.9	15.5	11.1	10.8

JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2.

은 2009년과 2018년에 각각 11.7cm와 12.7cm로 다소 증가한 상태이며 흉고단면적은 2018년도 값이 2009년 대비 2.9% 감소한 13.8m²/ha로 나타났다. 이와 같이 조사기간 동안 흉고직경의 증가에도 불구하고 흉고단면적이 감소하는 결과를 보이고 있는 것은 자연 생장에 의해 분포 개체들의 전반적인 흉고직경이 증가함에도 불구하고, 장터목, 반야봉1과 2조사구를 중심으로 중대경목에 해당하는 개체들의 고사가 상대적으로 높게 나타남으로써 흉고단면적의 감소를 초래한 것으로 추정된다. 흉고직경 5cm 이상의 개체수에서는 조사구 전체 평균이 2018년 711개체/ha(355~1,025개체/ha)이며 2009년부터 2018년까지의 누적 고사율 평균은 10.8%이다. 특히 경사도가 비교적 높은(35°~37° 범위) 장터목, 벽소령, 반야봉1 조사구에서의 고사율은 14.9~20.2%로서 타 조사구들에 비하여 고사개체들이 많은 것으로 조사되었다.

Figure 4는 2012년부터 2018년까지 흉고직경 5cm 이상의 구상나무개체들을 대상으로 조사된 각 조사구별 고사개

체들의 내용을 정리한 것이다.

고사개체가 없는 세석평전조사구를 제외한 나머지 조사구들에서는 2014년과 2015년에 걸쳐 고사개체가 급격히 증가하는 경향을 나타내었는데, 나이트폭 연대기를 통한 반야봉 일원에서의 연구에서는 고사가 이미 2013년 가을부터 시작하여 2014년 봄 사이에 조사목 전체 중 29.8%가 고사한 것으로 조사된 바 있다(KNPRI, 2017). 이와 같이 2012년 발생한 태풍 볼라벤(Bolaven)과 산바(Sanba)의 영향이 급격한 고사 증가에 크게 기인한 것으로 볼 수 있는데, 직접적으로는 줄기의 절단과 식물체의 도복이, 간접적으로는 과도한 지엽의 탈락과 뿌리의 강한 흔들림 등 강풍의 피해 정도 차이에 따라 고사 과정에서 차이를 보였다. 수목은 평소에 바람에 노출됨으로써 일반적으로 직경생장이 촉진되고 초살도(taperness)가 증가하나(Lee, 2001), 과도할 경우 천근성인 구상나무의 뿌리는 토양과 이격되거나 나출되는 뿌리들립 현상으로 원활하지 못한 수분공급에 직면할 시 수분스트레스의 상황에 취약할 수 밖에 없다. 이로 인하여

한계에 다다른 개체들은 주로 선채로 고사하는 경향을 보이고 있는데, 특히 영신봉과 노루목지역에서 높은 빈도로 관찰되고 있다. 한편 높은 증가세를 보이던 제석봉, 영신봉, 반야봉1과 2, 장터목조사구 등에서의 고사율은 2016년에 2015년 대비 100.0%, 85.0%, 75.9%, 58.7%, 42.7%의 감소율을 나타내어 고사개체의 감소세가 뚜렷하게 저하되면서 일부 조사구를 제외하고는 대체로 안정화 되는 추세를 보이고 있다.

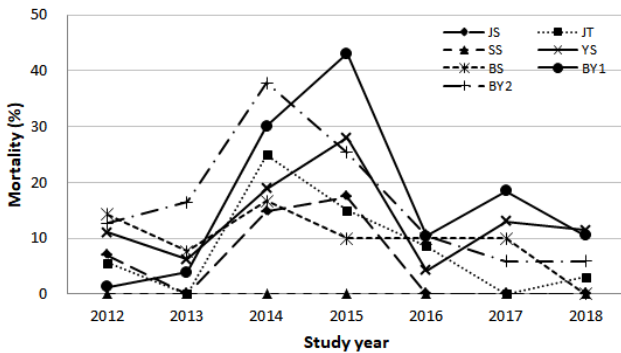


Figure 4. Annual mortality of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

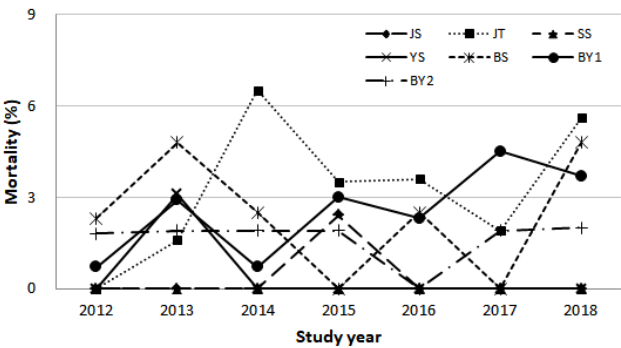


Figure 5. Annual mortality of other woody plants at the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

반면 구상나무를 제외한 기타수종들의 고사(Figure 5)는 장터목, 벽소령, 반야봉지역의 조사구들에서 주로 나타났으며, 이들 조사구에서 연평균 고사율은 1.7%(0.3~3.2%) 범위로서 6개 구상나무조사구에서의 연평균 고사율 11.7%(5.6~6.8%)와 비교하여 1/7 이하로 매우 낮은 상태이다.

3. 구상나무의 고사 유형

Figure 6은 2012년부터 2018년까지 고사한 개체들 중 흉고직경 5cm 이상되는 고사목을 대상으로 연도별 고사유형을 정리한 그림이다.

조사지 전체를 대상으로 한 연도별 고사유형에서는 DS 유형(Dead Standing, 서서 고사)가 평균 82.4%(42.9~93.2%)로 가장 우세하게 나타났으며, 다음으로 DF유형(Dead Fallen/Prone, 쓰러져서 고사) 12.2%, DB유형(Dead Broken, 줄기가 부러져서 고사) 3.3%, 그리고 DL유형(Dead Leaning, 기울어서 고사) 2.1% 순으로 분포하였다. 이들 중 DB유형은 2012년과 2013년을 중심으로 주로 분포하고 있으며 2013년 최대 분포비를 보인 DF유형은 전 조사기간에 걸쳐 주요한 유형으로 나타나고 있다. 조사기간 중 특히 2012년부터 2014년까지 줄기가 부러지는 DB유형, 줄기가 기울어지거나 쓰러져 고사하는 DL유형, DF유형의 고사가 집중적으로 이루어진데는 2012년 전국적으로 큰 피해를 준 불라벤과 산바의 역대급 태풍의 영향에 기인한 바가 크다. 이러한 내용은 한라산에서 구상나무의 고사와 관련한 Song and Kim(2018)의 연구에서도 강한 태풍과 겨울철 북서계절풍의 영향으로 인하여 부러져서 죽는 개체(DF)의 증가 비율이 가장 높게 나타나고 있어 본 조사지의 내용과 유사한 결과를 보였다.

조사지별 고사유형에서는 고사개체가 없는 세석지역을 제외하고는 제석봉과 영신봉지역의 경우 DS유형이 100.0%와 98.9%로서 대부분을 차지하고 있는 반면 벽소령지역에서는 DS유형, DL유형, DF유형, DB유형에 해당하는 고사개체들이 비교적 고르게 혼효하여 나타났다. 그리고 장터목지역과 반야봉지역의 조사구들에서는 DS유형이 주로 분포하는 가운데 DF유형, DL유형, DB유형 등이 조사지별로 23.2~

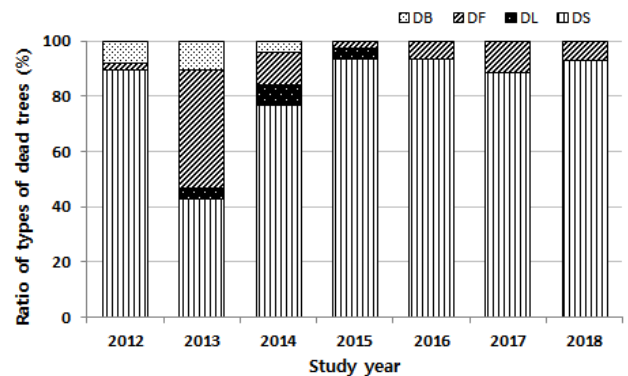


Figure 6. Type of death of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park (DB: Dead broken, DF: Dead fallen, DL: Dead leaning, DS: Dead standing).

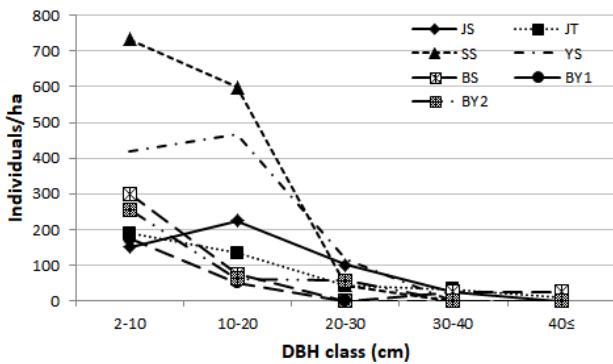


Figure 7. Size-frequency distribution of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

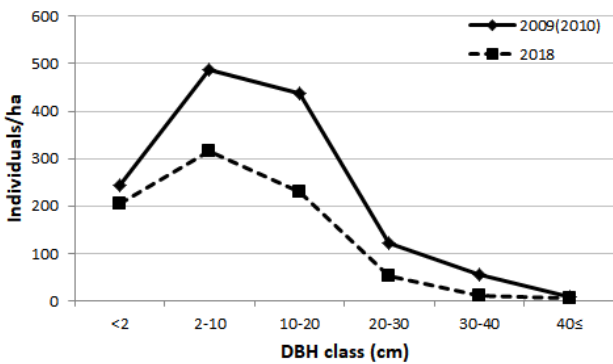


Figure 8. Changes of the size-frequency distribution of *Abies koreana* population from 2009(2010) to 2018 at the study sites in Jirisan National Park.

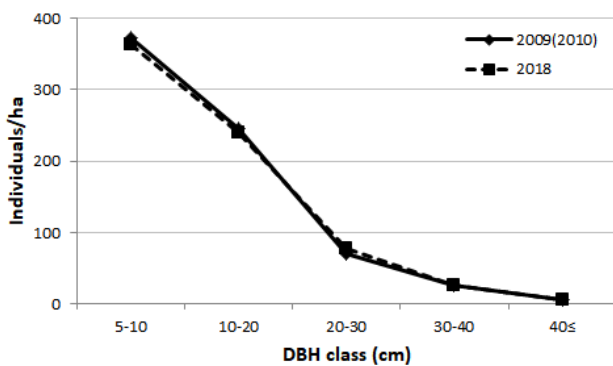


Figure 9. Changes of the size-frequency distribution of other species population from 2009(2010) to 2018 at the study sites in Jirisan National Park.

비가 낮은 벽소령, 장터목, 반야봉지역 조사구들의 입지 경사도는 32° (20~37°)로서 DS유형이 고사유형의 98.9% 이상을 차지하고 있는 제석봉과 영신봉지역 조사구들의 입지 경사도 16° (15~17°)에 비하여 상대적으로 매우 가파른 경사를 보이고 있어 입지의 경사도에 따라 고사유형이 차이를 보이는 것으로 나타났다. 고사목의 입지환경 분석과 관련하여 Park *et al.*(2020)은 반야봉, 영신봉, 천왕봉 일원에서 고사목이 주로 25~35° 범위의 경사도에서 집중분포하는 것으로 보고한 바 있는데 이는 사면의 경사도가 고사에 어느 정도 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있다고 보여진다.

4. 흉고직경급별 빈도 분포

각 조사구별 흉고직경급 분포(2018년)에서는 전반적으로 흉고직경 30cm 이내의 중소경목이 조사 개체(≥2cm)의 88.2~100% 범위로 대부분을 차지하고 있으며 제석봉, 장터목, 벽소령조사구의 경우는 흉고직경 30cm 이상의 대경목 개체들이 5.0~11.8% 범위로 부분 분포하고 있다. 특히 세석평전과 영신봉조사구의 경우는 분포 개체의 밀도가 각각 1,376개체/ha와 1,002개체/ha로서 타 조사구들에 비하여 2.5~5.3배 많은 개체 분포를 보이고 있다(Figure 7). 이 중 세석평전조사구의 구상나무개체군은 조사지들 가운데 균락의 안정적 유지 가능성이 가장 높은 역 J자 유형에 가까운 분포를 나타내었다(Cho *et al.*, 2015).

Figure 8은 각 조사구에서 2009(2010)년부터 2018년에 걸쳐 변화된 구상나무의 흉고직경급별 분포를 정리한 내용이다. 전체적으로 보면 흉고직경 2~10cm 범위의 소경목에서부터 40cm 이상의 대경목에 이르는 직경급 분포를 보이고 있으며, 흉고직경 2~20cm에 해당하는 중소경목의 직경급이 분포의 중심을 이루고 있다. 특히 세석평전과 영신봉 조사구는 타 조사구들에 비하여 수령이 낮고 개체의 밀도가 높은 상태로 흉고직경 20cm 이내의 개체들을 대상으로 한 분포비에서는 전체의 절반 이상이 분포하는 것으로 나타났다. 흉고직경 2cm 이상의 개체들을 대상으로 한 분포에서 소경목 group(흉고직경 2~10cm 범위), 중경목 group(흉고직경 10~30cm 범위), 대경목 group(흉고직경 30cm 이상)에 해당하는 개체들의 분포비는 2009(2010)년 43.9%, 50.2%, 5.9%에서 2018년 51.5%, 45.8%, 2.7%로 각각 나타났다. 그리고 2009(2010)년 대비 2018년도에 각 직경급별로 개체 수 변동에서, 특히 대경목과 중경목 group의 감소폭이 각각 74.2%와 49.6%로서 소경목 group의 35.0%에 비하여 상대적으로 높게 나타났다. 이는 자연생장으로 인한 개체들의 유입 증가요인에도 불구하고 고사에 의한 증가폭이 상대적으로 더 높게 발생한데 기인한 것으로 볼 수 있다. 특히 키가 크고 수관폭이 큰 중대경목의 개체일수록 태풍과 강

44.2% 범위로 분포하였다. 한편 조사지들 중 DS유형의 분포

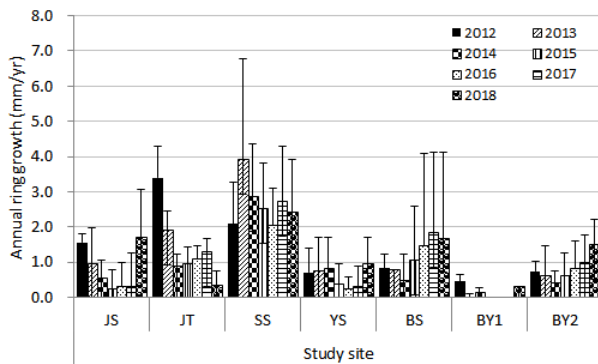


Figure 10. Annual ring growth of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

풍, 적설, 무빙(rime) 등과 같은 기상현상들과 천근성의 영향으로 줄기의 절단과 도복에 의한 피해에 취약한 것으로 알려져 있다(Figure 6, Foster, 1988; Lee, 2001; Jeon *et al.*, 2015; Son *et al.*, 2016; Chun *et al.*, 2019). 한편 흉고직경 2cm 이하에 해당하는 유묘와 치수의 분포는 조사 초기에 확인된 개체들을 지속 관찰한 것인데, 주로 세석평전조사구에서 높게 나타났으며 제석봉과 영신봉조사구의 경우는 100개체/ha 이내로 비교적 저조한 분포를 보였다. 그러나 2012년 이후 수관층을 형성하고 있던 구상나무의 빠른 고사와 쇠퇴로 야기된 군락의 층상구조 변화로 인하여 제석봉과 영신봉조사구를 제외한 조사구들에서는 유묘와 치수의 발생과 정착이 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이에 대한 내용은 추가적인 보완 조사를 통하여 추후에 제시할 예정이다.

기타 수종들의 흉고직경 분포(Figure 9)에서는 조사지들 간의 차이는 있으나 대체로 흉고직경 20cm 이내에 해당하는 중소경목 개체들이 주로 분포하고 있으며, 흉고직경 30cm 이상의 대경목에 해당하는 개체들은 제석봉, 장터목, 반야봉지역 조사구들에서 일부 분포하고 있다. 흉고직경 5cm 이상의 개체 밀도는 제석봉과 벽소령지역에서 각각 1,025개체/ha와 1,000개체/ha로 가장 높게 나타났다.

5. 연륜생장 및 수령

Figure 10은 구상나무의 연간 비대생장 값을 나타낸 것으로 세석평전, 벽소령, 반야봉2 조사구를 제외하고는 대체로 2012년 또는 2013년 이후부터 생육쇠퇴로 인한 비대생장의 감소 추세나 저조한 생장을 보이고 있다. 조사지들 중 생장이 가장 왕성한 곳은 세석평전지역으로서 연평균 2.67mm/year였으며 2013년 큰 생장을 보인 이후 생장 감소 추세를 보이다

가 2017년 이후 다시 생장 증가를 보였다. 이는 비대생장기가 설치된 수목에 기기가 함몰되어 비대생장이 왜곡되는 현상을 해소하기 위해 비대생장기의 위치를 이전하여 재설치한 것과 관련이 있는 것으로 보이며, 향후 이에 대한 평가는 모니터링 과정을 통하여 확인이 필요한 부분이다. 한편 반야봉1 조사구의 경우, 2012년 이후 0.5mm/year 이내의 매우 낮은 생장과 함께 생장 증가가 없는 시기(2015~2017)를 볼 수 있는데, 이는 2012년 태풍에 의해 비대생장기가 설치된 구상나무의 도복과 고사, 그리고 쇠퇴에 따른 일련의 영향에 기인한다. 한편 조사구 전체를 대상으로 한 연도별 비대생장 값의 평균은 1.09mm/year(0.84~1.39mm/year)로 나타났다.

Kim and Yoon(1991) 그리고 Park(1993)은 반야봉지역에서 비대생장기와 연륜폭의 자료를 토대로 각각 1.12mm/year와 0.78mm/year의 연생장량을 보고한 바 있으며, 세석평전에서 중경목을 대상으로 한 연륜생장은 1.56mm/year로 반야봉지역에 비해 상대적으로 양호한 생장을 보이는 것으로 조사된 바 있다(Cho *et al.*, 2015). 한편 금번 반야봉2 조사구에서 모니터링 된 비대생장값의 평균은 0.82mm±0.35mm/year로서 Kim and Yoon(1991)의 결과에 비하면 낮은 값이나 Park(1993)의 측정값과는 대체로 유사한 결과를 보였다.

한편 구상나무개체군의 연륜분석을 통한 생장은 기온보다는 봄기간(3~5월) 동안의 강수의 영향(Park and Seo, 1999; Seo *et al.*, 2017; KNPRI, 2018), 봄과 여름 동안의 수분수지(Park *et al.*, 1998), 그리고 동계 기온상승으로 인한 수분공급 부족(Koo *et al.*, 2001)과 밀접한 관계가 있는 것으로 지리산과 한라산에서 각각 조사된 바 있다. 지리산 세석평전과 반야봉지역에 분포하는 구상나무의 경우, 2000년 이후의 연륜생장량이 그 이전의 연륜생장량에 비하여 전 경급에서 생장량의 감소폭이 큰 것으로 나타났는데(Cho *et al.*, 2015; Cho *et al.*, 2016), 이는 기후변화에 따른 생육 쇠퇴의 영향과 상당부분 연계된 것으로 추정된다.

Table 4는 각 조사지에 분포하고 있는 구상나무개체군의 수령을 파악하기 위하여 채취한 생장편의 연륜을 산정한 결과이다. 2009년(또는 2010년)에 채취한 생장편의 평균 나이테 수는 52.3개(24.6~72.3개)로 나타났으며, 여기에 수고 1.2m까지의 생장소요 기간(약 30년)을 포함하면 평균 수령은 82년으로 산정되었다. 조사지별로는 세석지역과 벽소령지역에서 각각 약 55년과 102년으로 최저값과 최고값을 보이는 것으로 나타났다. 특히 세석지역은 타 조사지에 비하여 구상나무개체군의 수고와 흉고직경이 가장 낮은 곳이나 중경목 중심의 중·장령 개체들이 주로 분포하고 있어 가장 활발한 생장을 보이고 있는데, Cho *et al.*(2015, 2016)의 지리산 세석과 반야봉에서의 조사에서도 중경목의 연륜생장이 대체로 높게 나타났다.

Table 4. Age of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park. Each value is given as mean \pm standard deviation of mean

Study sites	JS	JT	SS	YS	BS	BY1	BY2
No. of samples	13	17	11	19	6	13	28
Height (m)	7.4 \pm 1.1	7.8 \pm 1.7	4.6 \pm 0.8	8.6 \pm 1.2	10.3 \pm 3.5	8.4 \pm 2.6	10.1 \pm 1.0
DBH (cm)	21.0 \pm 7.5	21.2 \pm 8.3	11.7 \pm 2.2	15.3 \pm 4.6	25.6 \pm 13.8	19.8 \pm 7.8	20.1 \pm 4.3
Age of trees	51.6 \pm 15.4	57.4 \pm 20.0	24.6 \pm 6.0	47.5 \pm 9.0	72.3 \pm 20.0	60.5 \pm 11.7	52.6 \pm 8.5

JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong,

BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2.

6. 구상나무의 활력

구상나무림의 쇠퇴와 고사가 파악되면서 생육목의 활력 정도를 평가 하기위한 노력이 덕유산(Kim *et al.*, 1994), 지리산(Kim *et al.*, 1997), 한라산(Kim *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2007) 등지에서 시도되었으며, 잎과 줄기의 변색정도, 생장, 그리고 고사와 관련한 외형적 지표를 대상으로 구상나무의 활력을 수치로 평가하여 보고한 바 있다. 금번 조사에서는 구상나무의 쇠퇴 정도를 보다 객관적이고 안정적으로 파악하고자 하는 측면에서, 이를 보완할 수 있는 대안으로 형성층의 활력을 기반으로 하는 JunsMeter1을 사용하여 측정, 평가하게 되었다.

Figure 11은 각 조사구내 구상나무개체들의 활력도 값을 정리한 것이며, 세석평전, 영신봉, 벽소령조사구 등에서 2014년 자료는 측정기기의 이상으로 자료가 누락된 것이다. 대체로 2013년 최대 활력도 값을 보인 세석평전, 영신봉, 반야봉1과 2 조사구 등에서는 2013년 이후 활력저하 추세가 이어져오고 있으며 장터목과 벽소령조사구는 증가의 흐름을 보이는 것으로 나타났다. 7개 조사구 전체를 대상으로 한 활력도 평균값은 2013년 92.3에서 2014년 88.0,

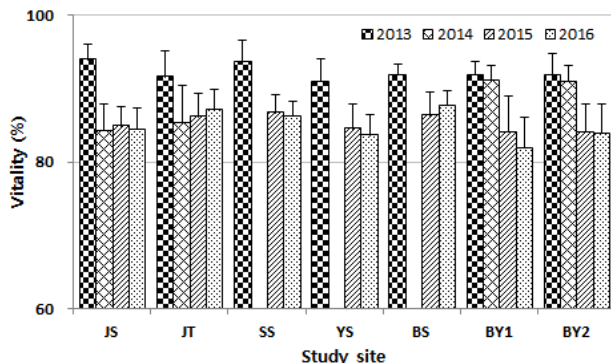


Figure 11. Vitality of *Abies koreana* population at the study sites in Jirisan National Park (JS: Jeseokbong, JT: Jangteomok, SS: Seseokpyeongjeon, YS: Youngsinbong, BS: Byeoksoryeong, BY1: Banyabong 1, BY2: Banyabong 2).

2015년 85.4, 그리고 2016년 85.1로 완만한 감소 추세가 이어져 오고 있다. 특히 2013년 이후부터 2015년까지 활력도 값의 감소 추세가 이어지는 동안 연간 고사율이 크게 증가하고 중요치(IV)가 감소하는 경향을 보임으로서 활력도 값이 수목의 건강 상태를 평가하는데 대체로 유용한 역할을 하는 것으로 보여진다(Figures 2, 3; Chun *et al.*, 2019). 다만 현재의 측정기기에 따른 활력도 평가 결과는 현장에서의 활력 정도를 온전히 반영하는데 다소간의 차이가 있어, 대략적인 활력 현황을 가늠하는 측면에서 자료를 이해하는 접근이 필요할 것으로 판단된다. 한편 지리산 주요 지역에서 살아있는 가지 내 엽량을 토대로 한 수관 활력도의 조사 결과, 조사된 구상나무 중 90% 이상의 개체목 수관 활력도가 3단계(엽량이 40~60% 범위) 이하로서 수관활력이 대체로 저조한 것으로 보고된 바 있다(KFRI, 2016).

7. 지리산 구상나무의 생육동태 고찰

지리산에서 구상나무의 분포를 소개한 초기의 역사적 자료는 15~19C에 걸쳐 조선시대 문신들이 지리산을 답사한 내용들을 기록한 “지리산 유람록”을 통해서 나타나고 있다(Choi, 2010). 구상나무와 관련한 답사 내용은 천왕봉을 중심으로 한 인근 봉우리(하봉, 제석봉, 연하봉, 촛대봉) 등에서 주로 이루어졌으며, 상층부와 능선부에는 구상나무를 중심으로 삼나무(衫, 가문비나무로 추정), 잣나무, 소나무, 철쭉 등이 주로 분포하고 있으며 빼대만 남아있는 고사목이 지역에 따라 1/2~1/3범위로 많이 분포하고 있다고 기록하고 있다. 위와 같이 약 200~550년 전에 기록된 지리산 아고산대 식생의 모습은 지금의 지리산 식생 모습과 대체로 유사한 것으로 볼 수 있으나 20~21C를 거치면서 전쟁, 도벌, 그리고 방화과 같은 인위적인 영향으로 자연림이 훼손되어 왔다.

현재 지리산에서 주요한 아고산 식생을 차지하고 있는 구상나무는 한라산과 덕유산 지역의 구상나무와 마찬가지로 대부분의 조사지에서 생장쇠퇴와 고사로 분포 범위가 꾸준히 감소하고 있는 실정에 있으며(Kim and Lee, 2013;

KNPRI, 2018), 지리산지역의 경우 지난 10년 동안(2009~2018) 고정조사구를 설치하여 모니터링 된 구상나무개체들 중 49.9%의 개체(\geq DBH 5cm)들이 고사하였다(Table 3). 구상나무의 고사와 생육쇠퇴요인으로는 봄철 기온상승과 토양 수분 부족에 의한 수분수지 불균형(Park and Seo, 1999; Oh *et al.*, 2000; Koo *et al.*, 2001; Oh *et al.*, 2001; Lim *et al.*, 2006; Seo *et al.*, 2019a)을 중심으로 강풍과 태풍(Kim *et al.*, 2019; Seo *et al.*, 2019a; Seo *et al.*, 2019b)에 의한 영향이 주로 보고되었다. 이 중 연륜생장 분석 결과를 토대로 한 구상나무의 생육쇠퇴의 원인은 주로 춘계 및 하계의 수분수지 불균형으로 나타났으며, 이는 동계 및 춘계 기온의 상승 영향에 기인한 것으로 추정되어 왔다(Park *et al.*, 1998; Park and Seo, 1999; Koo *et al.*, 2001; KNPRI, 2018). 그러나 최근 한라산에서 구상나무의 고사원인을 강우량 증가와 증발량 감소 등으로 인한 토양 수분 과다라고 하는 기존의 연구 내용들과 다소 상반되는 새로운 결과가 제기되고 있어(Ahn *et al.*, 2019), 구상나무의 성장쇠퇴와 고사에는 분포지와 입지환경에 따라 다양한 요인들이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

2012년 발생한 태풍 볼라벤과 산바는 풍속과 피해 규모 면에서 우리나라에 큰 영향을 미친 역대급의 태풍으로서 지리산에서 구상나무개체군의 고사, 생육 쇠퇴, 군락 내 종 조성의 변화, 활력도 등 전 방위적으로 군락의 구조와 동태에 큰 변화를 초래하는 결과를 나타내었다(Song and Kim, 2018). 특히 분포 개체군 중에서 수고가 높고 줄기의 직경에 비하여 수관폭이 큰 우세목, 수목의 수간 기온기가 높은 개체, 내부가 부후되어 목재 강도가 손실된 중대경목의 개체들은 폭우를 동반한 태풍에 수목이 뿌리째 도복되거나 줄기가 절단되어 수 년 내에 고사하는 직접적인 피해를 입게 된다(Foster, 1988; Lee, 2001; Jeon *et al.*, 2015; Son *et al.*, 2016; Chun *et al.*, 2019). 그 밖의 생존 개체들은 추가적인 강풍(동계~춘계)의 영향에 의해 토양의 기질로부터 격리된 뿌리가 수분 공급에 취약한 영향을 받거나, 잎과 가지의 탈락이 높은 상태에서 생엽은 주로 수관 상층부에 원형이나 타원형, 그리고 다양하게 변형된 모양으로 모여 수관(crown)을 형성하고 있거나 또는 수간(trunk) 주변 가지에 엉성하게 잔존하는 경우가 많다. 특히 영신봉과 노루목 지역은 이러한 유형의 개체들이 주로 관찰되는 대표적인 지역으로 고사목은 서서 고사하는(Standing dead, SD) 유형이 대부분을 차지하고 있다(Figure 5). 이는 수분스트레스에 취약한 상태에서 적은 잔존 엽량으로 원활한 광합성 활동이 이루어지지 못할 경우, 체내 에너지 공급의 영향뿐만 아니라 내한성과 저항성에 필요한 체내 축적물질의 부족을 야기하게 되며(Lee, 2001; Lim *et al.*, 2006; Jang *et al.*, 2014; KNPRI, 2018), 동계와 춘계의 기온상승으로 인한

수분수지 불균형(Park and Seo, 1999; Oh *et al.*, 2000; Koo *et al.*, 2001; Oh *et al.*, 2001; Lim *et al.*, 2006; Seo *et al.*, 2019a; Seo *et al.*, 2019b)에 따른 생육쇠퇴에 기인한 것으로 추정된다.

한편, 세석평전의 구상나무는 수령이 평균 50년 내외로 타 조사지에 비하여 생장이 매우 활발한 중장년기에 해당하는 곳으로 비대생장이 연평균 2.67mm/year로 왕성한 편이며 2009년 대비 2018년도 구상나무의 중요치(IV)는 타 조사지들에 비하여 유일하게 증가하였다. 그리고 30cm 이상의 대경목이 없는 상태이긴 하지만 중소경목 위주의 역 J자형의 유형을 보이고 있어 조사지들 중 군락의 지속적 유지가 비교적 안정적으로 진행될 수 있는 조사구로 평가되고 있다(Table 2, Figures 6, 9, Cho *et al.*, 2015). 현재 세석평전조사구를 제외한 타 조사구들은 여러 요인에 의한 생육쇠퇴와 고사로 군락 내 구상나무의 우점도가 하락한 반면, 신갈나무, 잣나무, 사스래나무, 당단풍나무, 가문비나무 등의 주요 경쟁수종들의 우점도는 증가하고 있어 군락의 변화가 비교적 빠르게 진행되고 있는 실정이다(Kim *et al.*, 2018; Song and Kim, 2018). 이에 구상나무개체군의 보존과 관리를 위한 다각도의 준비가 고려되어야 하는데, 그런 측면에서 세석평전지역에 대한 연구는 향후 구상나무개체군의 보존과 복원을 위한 기초자료의 제공 측면에서 중요한 의미를 가지고 있다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 「지리산국립공원 자원모니터링」 및 「국립공원 기후변화 생태계 모니터링」사업의 자료를 정리한 내용입니다. 조사 참여와 관련 도움을 주신 권신영, 백경태, 안재기, 이우성, 이현구, 이화서, 장윤철, 장채수, 정재훈, 최건이, 최지한, 홍도영님 그리고 국립공원연구원과 지리산국립공원사무소의 관계자분들께 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahn, U.S., D.S. Kim, Y.S. Yun, S.H. Ko, K.S. Kim and I.S. Cho(2019) The inference about the cause of death of Korean fir in Mt. Halla through the analysis of spatial dying pattern: Proposing the possibility of excess soil moisture by climate changes. Korean J. Agric. For. Meteorol. 21(1): 1-28. (in Korean with English abstract)
- Braun-Blanquet, J.(1964) Pflanzensoziologie. Grundzge der Vegetationskunde(3rd ed.). Springer-Verlag, Wien.

- Brower, J.E., J.H. Zar and C.V. Ende(1998) Field and laboratory methods for general ecology. WCB McGraw-Hill, Boston.
- Cho, D.S.(1994) Community structure, and size and age distribution of conifers in subalpine Korean Fir (*Abies koreana*) forest in Mt. Chiri. Kor. J. Ecol. 17(4): 415-424.
- Cho, H.J., K.H. Bae, C.S. Lee and C.H. Lee(2004) Species composition and structure of the evergreen coniferous forest vegetation of the subalpine area (South Korea). Jour. Kor. For. Soc. 93(5): 372-379. (in Korean with English abstract)
- 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. J. Climate Change Res. 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. J. Climate Change Res. 6(4): 379-388. (in Korean with English abstract)
- Cho, Y.H., J.H. Kim and S.H. Park(2016) Grasses and Sedges in South Korea. Geobook, Seoul, 528pp. (in Korean)
- Choi, S.K.(2010) The way of the humanities seen through trip accounts of Mt. Jiri. Namdo Munhwa Yongu 18: 197-237. (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 J. Environ. Ecol. 23(1): 22-29. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., H.Y. Lee, J.H. Gwon and H.C. Park(2019) Monitoring on the structure and dynamics of *Abies nephrolepis* populations. Korean J. Environ. Ecol. 33(5): 565-577. (in Korean with English abstract)
- Chung J.M., H.S. Moon and H.S. Ma(1999) Vegetation rehabilitation and management strategy of the fired woodland in Chesuk-bong of Mt. Chiri. J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech. 2(1): 58-65. (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. Jour. Kor. For. Soc. 85(1): 34-43. (in Korean with English abstract)
- Chung, T.H. and W.T. Lee(1965) Forest zone of Korea and proper site for tree. Bull. Sungkyunkwan Univ. 10: 329-366. (in Korean with English abstract)
- Foster, D.R.(1988) Species and stand response to catastrophic winds in central New England U.S.A. J. Ecol. 76(1): 135-151.
- Gwon, J.H.(2014) A study on ecological characteristic of forest vegetation in Jirisan National Park. Ph.D. dissertation, Chungnam Nat. Univ., Daejeon, Korea, 221pp. (in Korean with English abstract)
- Gwon, J.H., M.K. Sin, H.J. Kwon and H.K. Song(2013) A study on the forest vegetation of Jirisan National Park. J. Kor. Env. Res. Tech. 16(5): 93-118. (in Korean with English abstract)
- 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)
- Ihm, B.S., J.S. Lee, M.H. Kim and H.S. Kim(2000) A comparative study on the habitat of *Abies koreana* Wilson between Mt. Jiri and Mt. Halla. Plant Res. 3(2): 138-147.
- Jang, R.H., K.T. Cho and Y.H. You(2014) Annual biomass production and amount of organic carbon in *Abies koreana* forest of subalpine zone at Mt. Halla. Kor. J. Environ. Ecol. 28(6): 627-633. (in Korean with English abstract)
- Jeon, M.N., K.E. Lee and Y.S. Choung(2015) Gap formation and susceptible *Abies* trees to windthrow in the forests of Odaesan National Park. J. Ecol. Environ. 38(2): 175-183.
- Kang, S.J., A.K. Kwak and T. Kikuchi(1997) A phytosociological description of the *Abies koreana* forest on Mt. Halla in Cheju Island, Korea. Kor. J. Ecol. 20(2): 293-298.
- Kim, C.H., M.G. Jo, 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. Gyeongsang Nat. Univ., J. Agr. L. Sci. 46(1): 63-70. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.S., C.H. Oh, H.C. Park, S.H. Lee, J.H. Choi, S.H. Lee, H.B. Cho, W.T. Lim, H.J. Kim and Y.K. Yoon(2016) Disturbed regeneration of saplings of Korean fir(*Abies koreana* Wilson): An endemic tree species, in Hallasan National Park, a UNESCO biosphere reserve, Jeju Island, Korea. J. Marine and Island Cultures 5(1): 68-78. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.S., H.B. Cho, D.Y. Heo, N.S. Kim, Y.S. Kim, K.S. Lee, S.H. Lee and J.H. Ryu(2019) Precision monitoring of radial growth of trees and micro-climate at a Korean fir (*Abies koreana* Wilson) forest at 10 minutes interval in 2016 on Mt. Hallasan National Park, Jeju Island, Korea. J. Ecol. Environ. 43(1): 23.
- Kim, G.T. and G.C. Choo(1999) Studies on the structure of forest community in subalpine zone of Togyusan-*Abies koreana* forest-. Korean J. Environ. Ecol. 13(1): 70-77. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(2000) Comparison of growth condition of *Abies koreana* Wilson by districts. Korean J. Environ. Ecol. 14(1): 80-87. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(2003) Vegetation structure of mountain ridge from Nogodan to Goribong in Baekdudaegan, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 16(4): 441-448. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., G.C. Choo and G.J. Baek(1998) Studies on the structure of forest community in subalpine zone of Mt. Halla-*Abies koreana* forest-. Kor. For. Soc. 87(3): 366-371. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., G.C. Choo and G.J. Baek(2000) Studies on the structure

- of forest community at Myungsunbong, Tokp'yongbong area in Chirisan National Park-*Abies koreana* forest-. Korean J. Environ. Ecol. 13(4): 299-308. (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., G.C. Choo and T.W. Um(2007) Studies on the structure of *Abies koreana* community at subalpine zone in Hallasan. Korean J. Environ. Ecol. 21(2): 161-167. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., J.S. Kim and G.C. Choo(1991) Studies on the structure of forest community at Banyabong area-*Abies koreana* forest-. J. Kor. App. Eco. 5(1): 25-31. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., J.S. Kim, G.C. Choo and W.H. Jin(1994) Studies on the structure of forest community at Paekryunsa-Hyangchokpong area in Tokyusan National Park. J. Kor. App. Eco. 7(2): 155-163. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.S., S.M. Lee and H.K. Song(2011) Actual vegetation distribution status and ecological succession in the Deogyusan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 25(1): 37-46. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.D., G.E. Park, J.H. Lim and C.W. Yun(2018) Vegetation type classification and endemic-rare plants investigation in forest vegetation area distributed by vulnerable species to climate change, Mt. Jiri. J. Korean Soc. For. Sci. 107(2): 113-125. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S., G.T. Kim and H.R. Joo(1991) The actual vegetation of nature ecology conservation area in Mt. Chiri. J. Kor. App. Eco. 5(1): 9-24. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W., M.B. Lee, W.S. Kong, T.H. Kim, C.S. Kang, K. Park, B.I. Park, H.D. Park, H.H. Sung, M.W. Son, H.K. Yang, S.H. Lee and Y.E. Choi(2009) Physical Geography of Korea. Seoul National University Press, Seoul, 319pp. (in Korean)
- Kim, M.H.(1986) Phytosociological study on the coniferous forests of subalpine zone, Korea. Cheju Nat. Univ., Sci. Edu. 3: 25-36. (in Korean with English abstract)
- Kim, N.S. and H.C. Lee(2013) A study on changes and distributions of Korean fir in sub-alpine zone. J. Korean Env. Res. Tech. 16(5): 49-57. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.D. and W.S. Yoon(1991) Regeneration process of *Abies koreana* forest in Banya-bong, Mt. Jiri. Res. Rep. Env. Sci. Tech., Chungnam Nat. Univ. 9: 97-106. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.Y.(2012) Syntaxonomy of subalpine vegetation in Korea. Ph.D. dissertation, Kemyung Univ., Daegu, Korea, 145pp. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2000a) Global warming effects on habitat of plants. Nature Conservation 111(3): 26-31. (in Korean)
- Kong, W.S.(2000b) Geoecology on the subalpine vegetation and landscape of Mt. Sorak. J. Kor. Geogr. Soc. 35(2): 177-187. (in Korean with English abstract)
- Koo, K.A. and D.B. Kim(2020) Review forty-year studies of Korean fir (*Abies koreana* Wilson). Korean J. Environ. Ecol. 34(5): 358-371.
- Koo, K.A., W.K. Park and W.S. Kong(2001) Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effect of climate change on the growths. Kor. J. Ecol. Environ. 24(5): 281-288. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute(2016) Subalpine coniferous forest in Korea (II), Jiri Mountain. 124pp. (in Korean)
- Korea Meteorological Administration(2011) Meteorological annual report (1981-2010). Korea Meteorological Administration, Seoul, 678pp. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2010) 300 target plants adaptable to climate change in the Korean Peninsula. Seoul, 492pp. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2020) www.nature.go.kr
- Korea National Park Research Institute(2017) Monitoring of ecosystem on the climate change in national park. 211pp. (in Korean)
- Korea National Park Research Institute(2018) Monitoring of ecosystem on the climate change in national park. 351pp. (in Korean)
- Korea National Park Service(2020) www.knps.or.kr
- Lee, C.S. and H.J. Cho(1993) Structure and dynamics of *Abies koreana* Wilson community in Mt. Gaya. Kor. J. Ecol. 16(1): 75-91. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.S. and K.H. Lee(2015) Pteridophytes of Korea Lycophytes & Ferns. Geobook, Seoul, 492pp. (in Korean)
- Lee, J.W.(2016) A study on the occurrence of seedlings and saplings of Korean fir (*Abies koreana* E.H. Wilson) on Mt. Hallasan National Park. Master's thesis, Kukmin Univ., Seoul, Korea, 100pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J.(2001) Tree Physiology. Seoul National University Press, Seoul, 514pp. (in Korean)
- Lee, K.J., J.O. Kwon and J.Y. Kim(2000) Plant community structure in Keolim valley of Chirisan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 13(4): 392-403. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.W., K.Y. Lee and H.K. Song(1997) The analysis of vegetation-environment relationships of the coniferous forests in subalpine districts of Mt. Chiri by TWINSpan and CCA. Jour. Kor. For. Soc. 86(3): 279-287. (in Korean with English abstract)
- Lee, T.B.(2003a) Coloured Flora of Korea I. Hyangmunsa, Seoul,

- 901pp. (in Korean)
- Lee, T.B.(2003b) Coloured Flora of Korea II. Hyangmunsa, Seoul, 914pp. (in Korean)
- Lee, Y.W. and S.C. Hong(1995) Ecological studies on the vegetational characteristics of the *Abies koreana* forest. Jour. Kor. For. Soc. 84(2): 247-257. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.H. and J.H. Shin(2005) Forest vegetation shift and plant phenological changes according to global warming. Nature Conservation 130(2): 8-17. (in Korean)
- Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon, J.H. Chun and J.H. Shin(2006) Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean Fir in Mt. Halla. Jour. Kor. For. Soc. 95(6): 705-710. (in Korean with English abstract)
- Moon, H.S.(1993) Vegetation structure of *Abies koreana* community in Mt. Deogyu. Master's thesis, Gyeongsang Nat. Univ., Jinju, 23pp. (in Korean with English abstract)
- National Institute of Biological Resources(2010) Climate-sensitive biological indicator species. www.nibr.go.kr
- National Institute of Ecology(2017) Study on the management and conservation of sensitive ecosystems to climate change-Threats and conservation of *Abies koreana* in the subalpine ecosystems-. Seocheon, 198pp. (in Korean)
- Oh, K.K. and Y.K. Jee(2000) Plant community structure by aspect and altitude at eastern district in Chirisan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 14(1): 67-79. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K., Y.K. Jee and S.G. Park(2000) Dynamic patterns of *Abies koreana* population in Chirisan National Park-Central of east area in Chirisan National Park-. Korean J. Environ. Ecol. 13(4): 330-339. (in Korean with English abstract)
- Oh, S.J., J.G. Koh, E.S. Kim, M.Y. Oh and S.C. Koh(2001) Diurnal seasonal variation of chlorophyll fluorescence from Korean fir plants on Mt. Halla. Kor. J. Environ. Biol. 19(1): 43-48. (in Korean with English abstract)
- Park, C.G.(2011) Soil characteristics and community structure of *Abies koreana* forests in Banyabong, Mt. Jiri. Master's thesis, Suncheon Nat. Univ., Suncheon, Korea, 22pp. (in Korean with English abstract)
- Park, H.C., G.S. Moon, H. Lee and N.Y. Lee(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 J. Environ. Ecol. 34(1): 42-54. (in Korean with English abstract)
- Park, H.C., H.R. Kim, J.Y. Kim, H.H. Kim, D.G. Huh and H. Lee(2020) A study actual condition of damaged Korean Fir (*Abies koreana*) caused by rodents and identifying suspected species in Seseokpyeongjeon area of Jirisan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 34(3): 198-206. (in Korean with English abstract)
- Park, I.H., D.H. Lim and G.S. Moon(2000) Forest structure in relation to slope aspect and altitude in valley forests at Chirisan National Park. Korean J. Environ. Ecol. 14(1): 11-17. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H.(1990) Phytosociological study of *Abies koreana* forests in Banyabong, Mt. Jiri. Master's thesis, Chungang Univ., Seoul, 31pp. (in Korean with English abstract)
- Park, W.K. and J.W. Seo(1999) A dendroclimatic analysis on *Abies koreana* in Cheonwang-bong area of Mt. Chiri, Korea. Kor. J. Quat. Res. 13(1): 25-33. (in Korean with English abstract)
- Park, W.K.(1993) Increasing atmospheric carbon dioxide and growth trends of Korean subalpine conifers. Jour. Korean For. Soc. 82(1): 17-25. (in Korean with English abstract)
- Park, W.K., E.A. Vaganov, A.V. Shashkin and P. Pusingha(1998) Influence of global warming on radial growth in Korean conifers: Simulation model using intra-annual variations of tracheid dimensions. IAWA. J. 194: 474.
- Rim, Y.D. and H.K. Kang(1985) On the vegetation of Piagol valley in Mt. Chiri-Especially on the *Abies koreana* community-. Incheon Nat. Coll. Edu. 24(2): 399-406. (in Korean with English abstract)
- Schweingruber, F.H.(1988) Tree Rings: Basics and application of dendrochronology. Kluwer Academic Pub., Dordrecht. Netherlands. 276. species from different altitude. Plant Cell Environ. 19: 138-146.
- Seo, J.W., H.M. Jeong, M. Sano, E.B. Choi, J.H. Park, K.H. Lee, Y.J. Kim and H.C. Park(2017) Establishing tree ring $\delta^{18}O$ chronologies for principle tree species (*T. cuspidata*, *P. koraiensis*, *A. koreana*, *Q. mongolica*) at subalpine zone in Mt. Jiri National Park and their correlations with the corresponding climate. J. Korean Wood Sci. Technol. 45(5): 661-670. (in Korean with English abstract)
- Seo, J.W., H.W. Jeong, K.H. Lee and H.C. Park(2019) Dating the dead years of Korean fir (*Abies koreana* E.H. Wilson) at Imgeollyeong in Jirisan National Park. J. National Park Research 10(2): 219-223. (in Korean with English abstract)
- Seo, J.W., Y.J. Kim, E.B. Choi, J.H. Park and J.H. Kim(2019) Investigation of death years and inter-annual growth reduction of Korean firs (*Abies koreana*) at Yeongsil in Mt. Halla. Kor. J. Env. Res. Tech. 22(3): 1-14. (in Korean with English abstract)
- Shin, Y.M., J.W. Nam, D.K. Kim, B.K. Byun and I.K. Kim(2018) Two lepidopteran pests and damage on the cones of *Abies koreana* (Pinaceae) in Jeju Island, Korea. J. Asia-Pacific Biodiversity 11(1): 80-86.
- Son, Y.W., C.D. Koo, C.S. Kim, P.S. Park, C.W. Yun and K.H. Lee(2016) Forest Ecology. Hyangmunsa, Seoul, 346pp. (in

- Korean)
- Song, K.M. and J.H. Kim(2018) Vegetation change of long-term ecological research (LTER) site of *Abies koreana* forests in Hallasan Mountain (Yeongsil area). J. Korean Env. Res. Tech. 21(1): 1-12. (in Korean with English abstract)
- Song, K.M., C.S. Kim, J.G. Koh, C.H. Kang and M.H. Koh(2010) Vegetation structure and distributional characteristics of *Abies koreana* forests in Mt. Halla. Journal of the Environmental Sciences 19(4): 415-425.
- Song, K.M., Y.J. Kang and H.J. Hyeon(2014) Vegetation structure at the slope direction and characteristic of seedling of *Abies koreana* in Hallasan Mountain. J. Environmental Science International 23(1): 39-46. (in Korean with English abstract)
- Song, S.J. and S. Nakanishi(1985) Phytosociological study of the subalpine forests on Mt. Halla of Cheju Island, Korea. Jap. J. Ecol. 35(3): 317-328.
- Song, S.J.(1991) Phytosociology of subalpine coniferous forests in Korea. I. Syntaxonomical interpretation. Ecol. Res. 6(1): 1-19.
- Yeon, M.H., M.H. Suh, K.C. Yang, S.K. Choi and J.K. Shim(2006) Distribution of plant communities of Mt. Jiri with its geomorphological variation. J. Kor. Geom. Assoc. 13(4): 57-67. (in Korean with English abstract)
- Yim, Y.J. and J.U. Kim(1992) The vegetation of Mt. Chiri National Park. Chung-Ang Univ. Press, Seoul, 200pp. (in Korean)