

설악산국립공원 분비나무개체군의 구조와 동태 모니터링^{1a}

전영문^{2*} · 이호영³ · 권재환⁴ · 박홍철⁵

Monitoring on the Structure and Dynamics of *Abies nephrolepis* Populations in Seoraksan National Park^{1a}

Young-Moon Chun^{2*}, Ho-Young Lee³, Jae-Hwan Gwon⁴, Hong-Chul Park⁵

요약

설악산 분비나무 개체군의 쇠퇴징후에 대한 요인과 군락의 변화 양상을 파악하기 위하여 귀태기청봉, 관모능선, 설악폭포 지역에 고정조사구를 설치하였으며, 군락구조, 개체군동태, 비대생장 및 활력도 등을 2009년부터 모니터링 하였다. 설악폭포 지를 제외한 3개 조사지는 아교목층이 수관층을 형성하는 3층구조를 보였다. 목본수종의 중요치에서는 분비나무, 눈측백, 신갈나무, 사스래나무, 당단풍나무 등이 주요 종으로 분포하였으며, 설악폭포지에 분포하는 분비나무의 중요치는 2009년 45.3%에서 2018년 36.8%로 가장 크게 감소하였다. 생육목의 개체수(DBH ≥ 5cm)는 귀태기청봉2와 관모능선에서 각각 1,800개체/ha와 1,700개체/ha로 가장 많았으며, 지난 10년 동안 고사율은 귀태기청봉1과 설악폭포지에서 각각 38.3%와 35.3%로 매우 높게 나타났다. 분비나무 개체군의 흉고직경급 분포에서는 귀태기청봉1 지역에서 가장 안정적인 역 J자형의 분포를 보였다. 분비나무의 연평균 비대생장은 0.96~1.73mm/year 였으며, 활력도가 감소 추세를 보인 귀태기청봉2, 관모능선, 설악폭포 지역에서 비대생장은 대체로 생장이 저하되는 추세를 나타내었다. 향후 모니터링 과정이 지속적으로 이루어진다면, 아교산 식생의 보전과 관리를 위한 기초자료 확보가 가능할 것으로 생각된다.

주요어: 개체군 동태, 연간 비대생장, 아교산 식생, 중요치, 흉고직경 분포

ABSTRACT

The purpose of this study was to understand the factors influencing the decline and the patterns of changes in *Abies nephrolepis* populations on Mt. Seorak. We installed permanent quadrats in the areas of the Gwittagicheongbong (peak), Gwanmoneungseon (ridge), and the Seorak Falls and have monitored the community structure, population dynamics, radial growth, and vitality in the quadrats since 2009. Excluding the Seorak Falls, the three research sites showed a three-layer structure in which the low-tree layer forms the canopy. Major tree species were Khingan fir, Korean arborvitae, Mongolian oak, Erman's birch, and Korean maple. The significance of Khingan fir in Seorak Falls decreased from 45.3% in 2009 to 36.8% in 2018. The number of shoots (DBH ≥ 5 cm) was highest at 1,800 individuals/ha and 1,700 individuals/ha at the

1 접수 2019년 7월 8일, 수정 (1차: 2019년 9월 10일), 게재확정 2019년 9월 24일

Received 8 July 2019; Revised (1st: 10 September 2019); Accepted 24 September 2019

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

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

4 국립공원공단 종복원기술원 팀장 Species Restoration Technology Institute, Korea National Park Service, Muju 55557, Korea (conqq@knps.or.kr)

5 국립공원연구원 책임연구원 Korea National Park Research Institute, Wonju 26441, Korea (parkhc@knps.or.kr)

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

* 교신저자 Corresponding author: Tel & Fax: +82-061-762-0796, Email: ymchun31@gmail.com

Gwittagicheongbong 2 and the Gwanmoneungseon, respectively. The mortality rates over the past 10 years were very high, at 38.3% and 35.3%, respectively, in the Gwittagicheongbong 1 and Seorak Falls. The most stable inverse J-shaped distribution in the Gwittagicheongbong 1 area was shown in the size-frequency distribution of the Khingan fir populations. The average annual ring growth of the Khingan fir was 0.96 ~ 1.73 mm/year, and the ring growth tended to decrease in the areas of Gwittagicheongbong 1, Gwanmoneungseon, and Seorak Falls, where the vitality was low. If the monitoring process continues, it will be possible to obtain basic data for the conservation and management of subalpine vegetation.

KEY WORDS: ANNUAL RING GROWTH, DBH-FREQUENCY DISTRIBUTION, POPULATION DYNAMICS, IMPORTANCE VALUE, SUBALPINE VEGETATION

서론

지구온난화에 따른 자연생태계의 교란과 피해가 전 지구적인 문제로 등장하면서 피해가 뚜렷하고 빠르게 나타나는 극지, 고산대 및 아고산대에 대한 관심이 높아지고 있으며(Kong, 2007), 한반도에서도 지구온난화는 환경에 민감한 아고산대 식생의 구조와 동태, 식물의 분포 변화에 영향을 미칠 것으로 보고되었다(Kong, 1999). 특히 백두대간에 위치한 한반도의 고산과 아고산지대는 열악한 기후 조건과 낮은 생산성, 느린 회복력 때문에 일단 파괴되거나 훼손되면 복구가 거의 불가능하므로 이용과 관리에 매우 신중한 태도가 필요하다(Kim *et al.*, 2009).

전나무속(*Abies*)은 전 세계적으로 40여 종이 아시아, 유럽, 북미대륙 등 주로 북반구에 자생하는 소나무과(Pinaceae) 식물로서(Willis, 1973), 특히 20세기 후반에 들어와서 생장이 현저하게 둔화될 뿐 아니라 전 세계적으로 그 분포면적이 감소되고 있는 것으로 보고되고 있다(Crawford, 1989). 국내에서 아고산대 침엽수림에 대한 생육쇠퇴 현상은 최근에 주로 구상나무림을 중심으로 진행되어 왔으며(Kim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1998; Kim and Choo, 1999; Koo *et al.*, 2001; Lim *et al.*, 2006) 기후변화를 포함한 여러 요인의 영향이 관여하는 것으로 알려져 있다.

전나무속에 속하는 분비나무는 러시아 극동(알단-오호츠크 남부, 사할린, 아무르, 우수리), 몽골, 중국 북동부(샤오간링-장백산(백두산), 한반도 등에 분포한다(Chung and Lee, 1965; Qian *et al.*, 2003). 한반도에서는 북부 차유산에서 지리산까지 해발고도 700~2,540m에 주로 생육하는 아고산형 식물로서 아한대의 표징종이며, 설악산에서는 700~1,650m 범위에서 주로 분포한다(Chung and Lee, 1965; Yim and Baik, 1985; Kong, 2000). 북방계식물인 분비나무는 최근 기후변화로 인한 쇠퇴 움직임이 보고되면서 기후변화 생물지표와 적응 대상식물로 선정되는 등 관심이 높아지고 있는 추세에 있다(KNA, 2010; NIBR, 2010).

분비나무에 대한 연구는 오대산에서 Kim *et al.*(1996)이

두로봉과 상왕봉 지역에 분포하는 분비나무림을 대상으로 군집 구조 뿐 아니라 생육현황을 조사하여 분비나무가 생육쇠퇴 징후를 보이고 있는 것으로 보고한 바 있으며, Chun *et al.*(2011)도 상왕봉, 두로봉, 노인봉에 분포하는 분비나무개체군의 군락구조와 동태조사를 통하여 특히 상왕봉 지역의 고사 및 생육쇠퇴 현상이 높다는 것을 확인하였다. 한편 설악산에서는 Hong(2004)이 서북능선에서 분비나무 개체군의 고사와 쇠퇴가 빠르게 진행되고 있음을 보고한 이후 Chun *et al.*(2009; 2010)은 귀대기청봉, 관모능선, 설악폭포 지역에 분포하는 분비나무 개체군을 대상으로 입지환경, 군락구조, 생육변동 등을, Lee(2013)는 설악산 주요 분비나무개체군 분포지에서 나이테의 연륜과 기후환경과의 분석을 통한 개체군 동태를 각각 조사하였다. Chun *et al.*(2009; 2010)과 Lee(2013)의 개체군동태와 나이테의 연륜 분석을 통한 조사에서 설악산 분비나무개체군은 주로 대경목 개체들을 중심으로 쇠퇴가 진행되고 있으며 이는 기온상승과 수분스트레스의 영향에 기인한 것으로 추정된 바 있다.

본 연구에서는 전반적으로 쇠퇴 징후를 보이고 있는 설악산 분비나무개체군을 대상으로 고정조사구를 설치하여 분비나무의 쇠퇴에 관여하는 요인과 정도, 그리고 쇠퇴의 진행에 따른 군락내 개체군간의 변화 양상을 조사하였다. 향후 이를 통한 기초 자료의 축적은 아고산대 식생의 보전 및 관리를 위한 전략 수립뿐만 아니라 아고산 생태계를 폭넓게 이해하고 파악하는데 필요한 다양한 정보 제공이 가능할 것으로 생각된다.

연구방법

1. 연구대상지

강원도 속초시, 인제군, 양양군에 걸쳐 있는 설악산은 동서로 서북능선이 남북으로는 백두대간상의 공룡능선이 산의 근간을 이루고 있으며, 주봉인 대청봉(1,708m)을 비롯하여 중청봉(1,676m), 끝청(1,604m), 귀대기청봉(1,577m), 가리봉(1,519m),

황철봉(1,391m) 등의 봉우리가 위치하고 있다. 설악산은 다양한 생물상과 우수한 식생이 분포하는 한반도 중부의 생태계 보고로서 UNESCO 생물권보전지역으로 1982년 지정, 관리되고 있다(Yim and Baik, 1985; Kong and Watts, 1993). 본 연구의 조사지는 서북능선의 서쪽 귀태기청봉 인근의 남서·남동사면부(1,491~1,510m, A), 대청봉에서 관모능선에 이르는 관모능선 남서남동사면부(1,641m, B), 그리고 오색~대청봉 구간 설악폭포의 좌측 남동사면부(1,045m, C)에 각각 위치하고 있다(Figure 1).

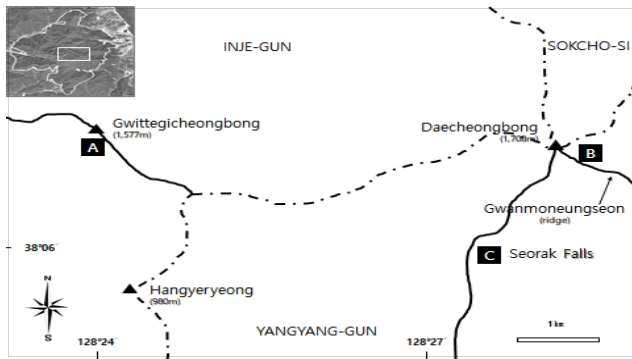


Figure 1. Location map of the study sites in Seoraksan National Park (A: Gwittegi-cheongbong 1 (GT1, Declining site), Gwittegi-cheongbong 2 (GT2, Healthy site), B: Gwanmoneungseon (GM), C: Seorak Falls (SF)).

설악산의 주체는 백악기의 불국사화강암이며 토양은 대부분 화강암의 풍화로 형성된 마사토로서 일반적으로 토양이 척박하고 토층이 얇다(The Geological Society of Korea, 1999). 특히 북쪽 황철봉과 귀태기청봉에서 대청봉에 이르는 서북능선 상에는 화강암류의 기반암에 암괴원(Block fields)이 분포하고 있다(Park, 2000). 설악산은 한반도 온대아구에 속하는 곳으로 참나무류(*Quercus* sp.)가 우점하는 냉온대 낙엽활엽수림대에 해당되는 곳이나 대청봉, 중청봉, 소청봉 등을 비롯한 해발 1,500m 이상 되는 고해발역의 산정부에는 아고산대 식생이 국지적으로 분포한다(Kong, 2000; Hong, 2004).

2. 미기상 환경

조사지 인근에 위치하고 있는 속초기상대와 인제관측소의 기상자료는 Table 1과 같다(KMA, 2011). 설악산의 동북쪽에 위치하고 있는 속초 지역의 연평균기온과 연평균강수량은 12.2°C와 1,402.2mm로서 서남쪽에 위치하고 있는 인제 지역에 비하여 기상대의 위치를 고려하더라도 다소 온화하며 강수량이 많은 편이다.

분비나무군락지의 온도/습도 측정은 각 조사지에 설치된 온습도 데이터로거(HOBO Temp/RH ProV2, Onset) 자료 (2011~2018)에서, 강수량(WDR-205, 위댄기업) 및 풍향/풍속(03002-L, R.M Young)은 귀태기청봉1 조사구(GT1)에 설치된 미기상시스템(2014~2018)에서 측정된 값을 각각 사용하였다(Table 2).

Table 1. The meteorological data of Inje and Sokcho near the study area (KMA, 1981~2010). The warmth index was calculated according to the Yim and Paik's (1985) method

Station (m)	AMT ^a (°C)	AMP ^b (mm)	Warmth Index (°C.month)		
			SF ^c (1,041m)	GT1 ^d (1,491m)	GM ^e (1,641m)
Inje (18.1)	10.1	1,210.6	47.0	33.7	29.7
Sokcho (200.2)	12.2	1,402.2	60.0	43.2	38.4

a: Annual mean temperature, b: Annual mean precipitation, c: Seorak Falls, d: Gwittegi-cheongbong 1 (peak), e: Gwanmoneungseon (ridge).

Table 2. The meteorological data of the study sites (2011~2018). The warmth index was calculated according to the Yim and Paik's (1985) method

Station (m)	MT ^c (°C)	RH ^f (%)	WI ^g (°C.month)	P ^h (mm)	WD ⁱ	WS ^j (m/s)	MWS ^k (m/s)
SF ^a (1,041)	6.5	79.5	59.4	-	-	-	-
GT1 ^b (1,491)	3.7	81.8	46.2	1,417.9	NW-WSW	1.4	7.3
GT2 ^c (1,507)	3.7	83.6	46.2	-	-	-	-
GM ^d (1,641)	3.6	78.1	42.7	-	-	-	-

a: Seorak Falls, b: Gwittegi-cheongbong 1 (Declining site), c: Gwittegi-cheongbong 2 (Healthy site), d: Gwanmoneungseon, e: Mean temperature, f: Relative humidity, g: Warmth index, h: Precipitation, i: Wind directions, j: Wind speed, k: Maximum wind speed.

본 조사지에서 기온은 측정된 자료가 부족한 상태이지만 대체로 측정이 시작된 이후 상승하는 추세를 보이고 있었으며, 서북능선을 중심으로 양측 사면부에 위치하고 있는 귀때기청봉 1(GT1)과 2(GT2) 조사구의 경우 연평균기온이 각각 3.6°C로서 조사기간 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 다만 상대습도에서는 북동방향의 바람의지(leeward) 쪽에 위치하고 있는 귀때기청봉2 지역이 83.6%로 남서방향의 바람받이(windward) 쪽에 위치하고 있는 귀때기청봉1 지역의 81.8%에 비하여 다소 습한 환경을 보이는 것으로 나타났다.

온량지수(WI) 55°C·month의 등치선은 한국의 냉온대 낙엽활엽수림대와 아한대 아고산림대를 구분하는 경계인데(Yim, 1977), 귀때기청봉(GT)과 관모능선(GM) 지역은 온량지수가 55°C·month 이내로서 아고산림대의 영역에 해당하는 것으로 나타났다(Table 1과 2). 반면 입지의 해발고가 1,041m로 가장 저지에 분포하는 설악폭포(SF) 지역의 경우 조사지 주변의 속초기상대와 인제측후소의 자료에 기반한 온량지수 추정에서는 냉온대 낙엽활엽수림대와 아고산림대 추이대의 입지에 위치하는 것으로 나타났으나, 조사지에서 측정된 자료를 토대로 산정된 결과에서는 냉온대 낙엽활엽수림대에 위치하는 것으로 파악되었다. 그리고 인제측후소의 자료보다는 속초기상대의 자료가 본 조사지의 온도 환경과 보다 더 잘 부합하는 것으로 확인되었다.

미기상시스템을 통해 측정된 연강수량 평균은 1,417.9mm로 속초측후소 자료와 매우 유사한 것으로 나타났다. 풍속은 1.4m/s 였으나 최대풍속은 7.3m/s로 대부분 1~5월 사이에 북서-서남서 방향으로 강풍이 부는 것으로 나타났다(Lee, 1984).

3. 조사분석

고정방형구는 2008년 7월부터 2009년 5월에 걸쳐 설악산 귀때기청봉 지역에 9개소, 관모능선 지역에 2개소, 그리고 설악폭포 지역에 5개소를 설치하였으며, 방형구의 선정은 분비나무개체군의 분포가 비교적 균질한 지점을 대상으로 입지를 고려하여 100~225m² 범위내에서 각각 설치하였다. 귀때기청봉 지역의 경우는 주로 고사와 쇠퇴가 많이 이루어진 남서사면부에 조사구 8개와 대조구로서 북동사면부에 생육이 양호한 조사구 1개소를 각각 설치하였다. 매목조사는 흉고직경 5cm 이상의 수목을 대상으로 하였으며, 분비나무를 포함하여 분비나무의 경쟁수종으로 판단되는 잣나무, 사스래나무, 신갈나무 등의 종들에 대해서는 흉고직경 5cm 이하의 개체에 대해서도 조사를 실시하였다. 조사지별 중상층부의 수관 피도(Crown cover)는 구형 수관밀도측정기(Spherical densiometer, FOREST DENSIMETERS)를 사용하여 각 조사구별로 5개 지점(모서리 4개 지점, 중앙부 1개 지점)을 측정한 후 합산한 평균값으로 하였다. 식생조사는 Braun-Blanquet(1964)의 식물사회학

적 방법에 따라 수행하였다.

각 조사지내에 분포하는 목본 수종들의 중요성 또는 영향력을 파악하기 위한 척도로서 중요치(Importance value, IV)는 상대밀도(개체수)와 상대피도(흉고단면적)를 평균한 값으로 구하였다(Brower and Zar, 1977). 분비나무의 비대생장 측정을 위한 대상목은 각 조사지에서 분포 개체들의 직경급을 고려하여 선정하였으며, 지표면으로부터 1.3m 높이에 비대생장기(DIAL DENDRO, Relaskop Technic) 29기를 설치하여 측정하였다. 분비나무의 수령은 생장추(SUUNTO)를 이용하여 지상 1.2m 높이에 줄기의 중심을 관통한 생장편(연륜시료)을 채취하였다. 시료는 4개 조사지에서 총 132개를 채취하였으며 연륜생장측정기(CORIM Maxi)를 사용하여 연령을 산정하였다. 본 논문에서는 전체 시료 중 흉고직경 10cm 이상에 해당하는 98개의 나이테를 자료로 사용하였다. 수목의 활력도(건강도)는 JunsMeter1(주)푸름바이오)을 사용하여 측정하였으며 기기로 측정된 활력도 값은 4단계로 구분하여 나타내었다. 활력도 1은 고사단계(측정값 55미만), 활력도 2는 생육불량(측정값 55~75), 활력도 3은 건강(측정값 76~85), 활력도 4는 아주 건강(측정값 86~100)으로 각각 구분하였다.

식물의 동정은 Lee(1996)의 한국식물명고에 따랐으며, 또한 Lee(2003a; 2003b)의 원색대한식물도감과 Lee(2006a; 2006b)의 원색한국식물도감을 참조하였으며, 학명의 기재는 KNA(2007)에 준하였다.

결과 및 고찰

1. 군락구조와 종조성

Table 3은 설악산 지역 분비나무개체군 조사지의 입지환경 및 층상구조에 관한 내용들이다. 4개지역 조사구들의 평균 해발고는 1,377.6m이며 설악폭포 지역, 귀때기청봉 지역, 관모능선 지역 조사구들 순으로 해발고가 높게 분포한다. 조사구들의 사면방위는 평균 SW13으로 귀때기청봉 1지역을 제외한 3개 조사지역들은 남사면을 중심으로 남동, 남서 사면부에 분포하고 있다. 사면의 기울기는 평균 20.3°이며 설악폭포 지역이 25.8°로 다른 3개 지역에 비하여 경사도가 다소 높게 나타났다.

조사지별 층상구조는 설악폭포 지역을 제외한 3개 지역에서 아교목층이 수관부를 형성하고 있는 3층 구조를 보이고 있으며 설악폭포 지역 교목층의 수고와 식피율은 17.6m와 82.0%이다. 4개 조사지에서 아교목층, 관목층, 초본층의 평균 수고와 식피율은 각각 6.1m와 30.3%, 3.0m와 64.1%, 0.8m와 35.9%로 분포하였다. 아교목층이 수관부를 형성하고 있는 3개 지역 중에서 귀때기청봉2 지역과 관모능선 지역은

Table 3. Site conditions and vegetation structure at the study sites in Seoraksan National Park

Study sites	GT1 ^a	GT2 ^b	GM ^c	SF ^d	Sum or mean
Quadrat size (m ²)	100	100	100	225	2225
Number of quadrat	8	1	2	5	16
Altimeter (m)	1503.1	1507.0	1641.0	1045.4	1377.6
Aspect	SW48	NE44	SE67	S	SW13
Slope (°)	17.9	18.0	17.5	25.8	20.3
Rock exposure (%)	70~80	70~80	35~45	50~60	60~70
Crown cover (%)	22.6	81.3	82.0	88.3	54.2
Tree height (m)	-	-	-	17.6	17.6
Tree cover (%)	-	-	-	82.0	82.0
Subtree height (m)	5.2	6.5	6.5	7.4	6.1
Subtree cover (%)	13.1	80.0	80.0	28.0	30.3
Shrub height (m)	2.0	2.2	1.9	2.1	2.0
Shrub cover (%)	86.9	70.0	45.0	34.0	64.1
Herb height (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Herb cover (%)	15.6	15.0	50.0	67.0	35.9
Species richness	14.6	13.0	29.5	24.2	19.4

a: Gwittegicheongbong 1 (Declining site), b: Gwittegicheongbong 2 (Healthy site),
c: Gwanmoneungseon, d: Seorak Falls.

식피율이 각각 80.0%로 높게 나타났으나 귀때기청봉1 지역은 13.1%로 상대적으로 매우 낮은 값을 보였다. 반면 귀때기청봉1 지역의 관목층 평균 식피율이 86.9%로서 타 조사지역들 중 가장 높게 나타났다. 이와 같이 귀때기청봉1 지역에 위치하고 있는 조사구들에서 아교목층의 상층부 식피율이 매우 낮고 관목층의 식피율이 가장 높게 나타났는데, 강한 국지풍의 영향을 많이 받는 서북능선의 남서방향에 위치하고 있는 입지환경에 기인한 바가 큰 것으로 추정된다(Kong, 2000; Lee, 1984; Chun *et al.*, 2010; Lee, 2013). 이러한 영향으로 수고가 비교적 높은 아교목상 개체들의 경우 생존 분포가 낮으며, 대체로 수고 2m 이내에 해당하는 키가 낮은 개체들이 주로 관목층을 형성하고 있는 상태이다. 또한 아교목층에 낮은 식피율로 분포하고 있는 분비나무는 바람의 영향으로 가지가 한쪽방향으로 성장하거나 남아있는 편형수 또는 깃발형 형태의 모습을 하고 있다(Kong, 2000).

한편 초본층의 식피율에 있어서는 귀때기청봉1과 2지역이 관모능선과 설악폭포 지역에 비하여 상대적으로 매우 낮은 15.0~15.6% 범위로 나타났다. 이는 관목층의 식피율이 높고 이들 지역의 표층이 주로 화강암의 암괴를 토대로 한 너털지대로서 다양한 식물들이 분포할 수 없는 열악한 환경에 기반하고 있으며, 이로 인하여 조사지별 평균 종수에 있어서도 13~15종으로 관모능선 지역과 설악폭포 지역의 24~30종에 비하여

절반 정도 수준으로 출현종수가 매우 낮은 상태이다.

Table 4는 각 조사지의 조사구들에 분포하는 목본수종들의 중요치를 정리한 내용이다. 조사지 전체 자료를 대상으로 한 2018년 기준 중요치에서는 분비나무가 62.0%로 가장 높게 나타났으며 그 밖에 눈썯백, 신갈나무, 사스래나무, 당단풍나무 등이 주요 종으로 분포하였다. 이들 종들의 중요치를 2009년과 비교해 보면 수종 간에 다소간의 등락차이를 보이고 있는데 분비나무와 전나무는 중요치가 감소한 반면 신갈나무, 사스래나무, 당단풍나무 등은 증가한 것으로 나타났다. 각 조사지에서 우점종으로 분포하는 분비나무의 중요치는 설악폭포 지역과 관모능선 지역에서 2009년 45.3%와 75.3%에서 2018년 36.8%와 68.7%로 2009년 대비 각각 18.8%와 8.8%가 감소한 반면 귀때기청봉1과 2지역은 중요치의 감소폭이 0.5%와 1.0%로 2009년에 비하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

기타수종들의 경우는 귀때기청봉1 지역에서 잣나무와 마가목, 귀때기청봉2 지역에서 사스래나무, 관모능선 지역에서 신갈나무, 사스래나무, 당단풍나무, 그리고 설악폭포 지역에서 신갈나무, 당단풍나무, 잣나무, 피나무 등이 각각 증가하였으며, 귀때기청봉1 지역에서 사스래나무, 귀때기청봉2 지역에서 신갈나무, 그리고 설악폭포 지역에서 전나무가 각각 감소하였다.

Table 4. Importance value (%) of major species at the study sites in Seoraksan National Park

Species	Year	Importance value (%)				Mean
		GT1 ^a	GT2 ^b	GM ^c	SF ^d	
<i>Abies nephrolepis</i>	2009	74.9	69.2	75.3	45.3	66.2
	2018	74.4	68.2	68.7	36.8	62.0
<i>Thuja koraiensis</i>	2009	3.0	25.6	-	-	7.1
	2018	3.0	25.8	-	-	7.2
<i>Quercus mongolica</i>	2009	-	4.5	13.8	8.6	6.7
	2018	-	4.1	15.2	9.5	7.2
<i>Betula ermanii</i>	2009	17.0	0.7	3.8	1.1	5.7
	2018	12.9	1.9	8.1	1.3	6.0
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	2009	1.2	-	4.5	8.7	3.6
	2018	1.2	-	5.6	14.3	5.3
<i>Pinus koraiensis</i>	2009	0.5	-	-	9.8	2.6
	2018	2.5	-	-	12.0	3.6
<i>Tilia amurensis</i>	2009	-	-	-	9.9	2.5
	2018	-	-	-	11.4	2.9
<i>Abies holophylla</i>	2009	-	-	-	6.6	1.6
	2018	-	-	-	5.6	1.4
<i>Sorbus commixta</i>	2009	1.9	-	-	-	0.5
	2018	4.3	-	-	-	1.1
<i>Betula schmidtii</i>	2009	-	-	-	3.7	0.9
	2018	-	-	-	3.9	1.0
Others	2009	1.5	0.0	2.6	6.3	2.6
	2018	1.7	0.0	2.4	5.2	2.3

a: Gwittegicheongbong 1 (Declining site), b: Gwittegicheongbong 2 (Healthy site),
c: Gwanmoneungseon, d: Seorak Falls.

Figure 2는 각 조사지별 분비나무 중요치의 연 변화를 나타낸 것이다(2009~2018). 설악폭포 지역에서 상층부를 형성하고 있는 교목층과 아교목층에서 분비나무의 중요치는 특히, 태풍 ‘볼라벤’과 ‘산바’의 영향이 있었던 2012년을 기점으로 감소 추세가 지속적으로 진행되고 있다. 관모능선 지역에서는 2014년 이후 분비나무의 중요치가 감소하였으며, 귀태기청봉 분비나무군락에서 중요치는 2017년 까지 큰 변화가 없었다. 그러나 대조구로서 건전지에 해당하는 귀태기청봉2 조사구의 경우, 2018년 분비나무의 중요치가 감소하였는데 이는 아교목층에 눈측백 개체들이 다수 포함되면서 발생한 결과로 분비나무가 쇠퇴한 결과는 아닌 것으로 확인되었다.

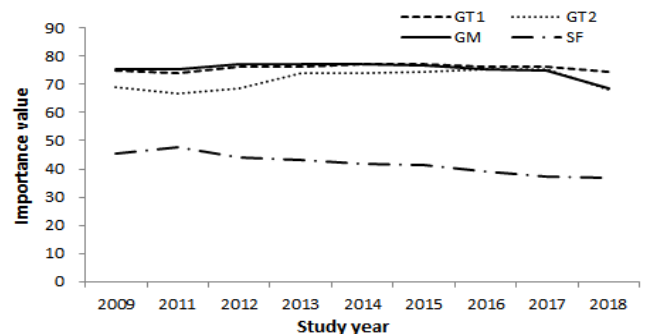


Figure 2. Changes of the importance value of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population at the study sites in Seoraksan National Park (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GT2: Gwittegicheongbong (Healthy site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

2. 개체군동태

Table 5는 설악산 분비나무조사구에서 분비나무와 기타 목본수종들의 개체군 동태를 정리한 것이다. 조사지 전체를 대상으로 2018년 확인된 분비나무의 개체수(흉고직경 5cm 이상)와 흉고단면적은 각각 1,084개체/ha와 15.7m²/ha로 2009년 조사 이후 고사에 따른 영향으로 2009년에 비하여 각각 감소한 것으로 나타났다. 특히 귀태기청봉1 지역과 설악폭포 지역의 경우는 흉고직경 5cm 이상의 개체수와 지난 9년간의 누적 고사율이 각각 2018년 525개체/ha와 38.3%, 311개체/ha와 35.3%로 귀태기청봉2 지역과 관모능선 지역의 1,800개체/ha와 5.3%, 1,700개체/ha와 12.8%에 비하여 개체 밀도가 매우 낮고 고사율은 상대적으로 매우 높은 상태이다. 이와 연관되어 귀태기청봉1 지역과 설악폭포 지역의 흉고단면적은 2009년 대

비 각각 33.9%와 39.3%가 감소한 3.7m²/ha와 15.0m²/ha로 분포하였다. 한편 귀태기청봉1 지역은 흉고직경 5cm 이상의 개체수와 고사율이 가장 높게 나타났으나, 흉고직경 5cm 미만의 개체수는 1,300개체/ha로서 타 조사지역의 471~1,200개체/ha에 비하여 가장 높은 개체 밀도뿐만 아니라 양호한 생장을 보이고 있어 향후 후속수로 성장할 수 있는 개체들의 보충이 매우 원활하게 이루어지고 있는 상태이다.

기타수종들에 있어서도 분비나무개체들의 경우와 유사하게 2018년 기준 흉고직경 5cm 이상의 개체수는 2009년에 비하여 감소한 반면 평균 흉고직경과 흉고단면적은 증가하였다. 특히 귀태기청봉1 지역의 경우 2018년도 흉고직경 5cm 이상의 개체 밀도는 125개체/ha로서 타 지역의 약 600~750개체/ha에 비하여 매우 낮는데 반하여, 지난 9년간의 누적 고사율은 37.5%로서 조사지들 중 가장 높게 나타났다. 이와 같이 상대적

Table 5. Conditions of *Abies nephrolepis* and other species populations at the study sites in Seoraksan National Park

Parameter	Year	<i>Abies nephrolepis</i>				Mean
		GT1 ^a	GT2 ^b	GM ^c	SF ^d	
Average DBH (≥5cm)	2009	9.2	7.8	12.2	23.2	11.3
	2018	8.7	9.8	12.9	22.2	11.8
Basal area (m ² /ha)	2009	5.6	9.3	29.2	24.7	17.2
	2018	3.7	15.3	28.7	15.0	15.7
No. of alive trees (≥5cm/ha)	2009	814	1,800	1,850	463	1,232
	2018	525	1,800	1,700	311	1,084
No. of dead trees (≥5cm/ha)	2009	-	-	-	-	-
	2018	326	100	250	170	212
Mortality (% , ≥5cm)	2009	-	-	-	-	-
	2018	38.3	5.3	12.8	35.3	16.4
Parameter	Year	Other species				Mean
		GT1 ^a	GT2 ^b	GM ^c	SF ^d	
Average DBH (≥5cm)	2009	7.3	6.8	7.5	15.0	9.4
	2018	6.8	6.9	7.8	15.9	9.7
Basal area (m ² /ha)	2009	2.3	4.7	8.1	19.9	8.8
	2018	1.0	4.6	8.3	20.1	8.5
No. of alive trees (≥5cm/ha)	2009	163	800	650	658	567
	2018	125	700	750	596	543
No. of dead trees (≥5cm/ha)	2009	-	-	-	-	-
	2018	75	200	50	116	110
Mortality (% , ≥5cm)	2009	-	-	-	-	-
	2018	37.5	22.2	6.3	16.3	16.8

a: Gwittegiyeongbong 1 (Declining site), b: Gwittegiyeongbong 2 (Healthy site), c: Gwanmoneungseon, d: Seorak Falls.

으로 낮은 개체 밀도와 높은 고사율의 영향으로 흉고단면적은 2009년 대비 55.6%가 감소하였는데 이는 귀태기청봉2 지역의 2.6%에 비하여 상대적으로 매우 높은 감소율을 보인 것이다. 한편 설악폭포 지역과 관모능선 지역은 다소 증가(1~2%)한 것으로 산정되었다.

Figure 3과 4는 2011~2018년 사이에 각 조사지별 분비나무와 기타수종들의 고사내용을 정리한 것이다. 분비나무의 경우 귀태기청봉1 지역과 설악폭포 지역에서 고사가 주로 진행되었다. 귀태기청봉1 지역에서는 2012년부터 2015년까지 고사율의 증가가 있는 이후 2016년부터는 2011년과 유사한 수준의 고사율을 보이고 있다. 설악폭포 지역에서는 2012년 고사율이 12.0%로 급증한 이후 5% 내외로 진정 기미를 보이다가 2017년 다시 증가세를 보이고 있다. 2018년도 각 조사지들에서 분비나무의 동태는 고사가 없거나 감소 또는 기존과 동일한 유지 상태를 보여 고사와 관련한 변화가 크지 않았다. 조사지들 중 설악폭포 지역과 귀태기청봉1 지역에서 2012년 또는 2012~2015년 사이에 걸쳐 고사율이 각각 높게 나타났는데는 강한 태풍으로 기록된 ‘볼라벤(Bolaven)’과 ‘산바(Sanba)’의 영향에 기인한 바가 크다(KMA, 2019). 특히 흉고직경 30cm 이상의 대경목의 분포비가 23.1%로 타 조사지역에 비하여 비교적 높은 설악폭포지에서는 고사개체들 중 태풍의 영향에 의해 줄기가 절단되어 고사한 개체들의 분포비가 높게 나타났다. 한편 귀태기청봉2 지역과 관모능선 지역은 고사 개체수가 많지 않아 분비나무개체군의 고사율은 위의 지역들에 비하여 상대적으로 낮은 상태이다.

기타수종들의 경우에서는 고사시기가 단발성으로 일시적인 고사패턴을 보인 관모능선 지역과 귀태기청봉2 지역을 제외한 귀태기청봉1 지역과 설악폭포 지역에서의 고사율이 각각 3.9

~16.7% 범위와 1.2~5.7% 범위로서 조사 시기에 따른 고사의 경향성은 뚜렷하지 않으나 2011년 이후 고사가 지속되어 오고 있다.

Figure 5는 각 조사지에서 고사한 분비나무(DBH ≥ 5cm)의 고사유형을 나타낸 그림이다(2012~2018). 관모능선과 귀태기청봉에서는 DS유형(Standing dead, 선채로 고사)이 각각 100%와 92.0%로 주요한 고사유형으로 나타난 반면, 설악폭포 지역은 DS유형과 DB유형(Broken dead, 줄기가 부러져서 고사)이 각각 70.0%와 30.0%로서 앞의 두 지역에 비하여 DB유형이 매우 높게 나타났다. 이는 수관이 크고 다른 나무보다 키가 큰 개체일수록 태풍과 강풍에 영향을 많이 받게 되어 비교적 쉽게 줄기가 부러지거나 도복이 되는데, 특히 전나무류에 속하는 분비나무는 천근성으로 바람의 영향에 취약한 것으로 알려져 있다(Table 2; Lee, 2001, Jeon et al., 2015; Son et al., 2016). 한편 줄기가 부러진 개체들의 많은 경우에서, 줄기 내부가 부후, 공동화되어 있어 강한 바람에 노출되었을 시 비교적 쉽게 영향을 받을 수 있는 구조적 취약성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

3. 흉고직경급 빈도 분포

Figure 6은 4개 조사지역 조사구내에 분포하는 분비나무를 대상으로 2009년부터 2018년까지 흉고직경급별로 개체수의 변동 내용을 정리한 것이다.

흉고직경 2~10cm 범위와 10~20cm 범위의 소경목과 중경목의 개체들이 2018년 기준 680개체/ha와 479개체/ha로 전체 개체수의 54.3%와 38.4%를 각각 차지하여 분포의 중심을 이루고 있다. 2009년 대비 개체들의 감소가 가장 높게 나타난

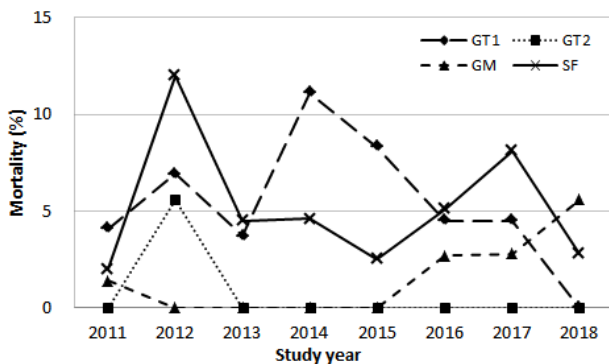


Figure 3. Annual mortality of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population at the study sites in Seoraksan National Park (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GT2: Gwittegicheongbong (Healthy site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

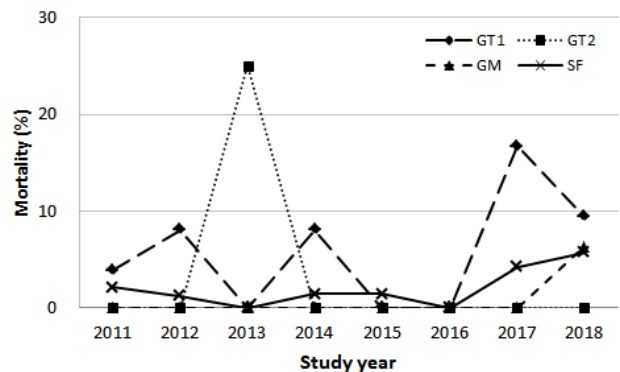


Figure 4. Annual mortality of other woody plants at the study sites in Seoraksan National Park (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GT2: Gwittegicheongbong (Healthy site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

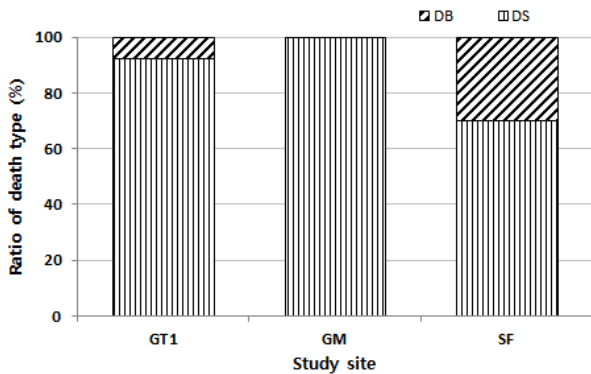


Figure 5. Type of death of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population at the study sites in Seoraksan National Park (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

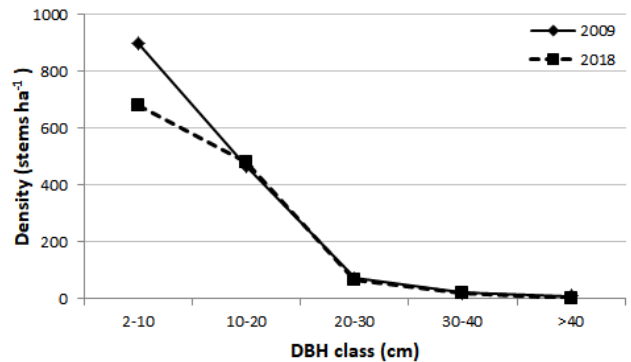


Figure 6. Changes of the size-frequency distribution of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population from 2009 to 2018 at the study sites in Seoraksan National Park.

직경급은 흉고직경 2~10cm 범위의 소경목 개체들로서 24.4%가 감소하였다. 이는 고사에 의한 개체 감소 측면뿐만 아니라 자연생장에 의한 직경급 이동의 부분도 포함되어 있다.

한편 2018년 기준 각 조사지별 분비나무의 직경급 분포 (Figure 7)에서 귀태기청봉1과 설악폭포의 조사지는 2cm 미만의 치수 개체수가 높은 역 J자형에 해당하는 것으로 평가되며, 특히 귀태기청봉1 조사지는 가장 안정적인 분포 유형을 하고 있다(Schmelz and Lindsey, 1965; Despain, 1983; Chun *et al.*, 2009). 2cm 미만의 치수를 제외한 개체들의 분포에서는 귀태기청봉1과 2, 관모능선 지역의 경우 2~10cm범위의 소경목과 10~20cm 범위의 중경목 중심의 개체들이 각각 81.0%, 72.7%, 65.7%의 분포비를 보인 반면, 설악폭포 지역의 경우는 흉고직경 2~10cm 범위의 소경목을 비롯하여 30~40cm 범위의 대경목까지 비교적 고른 직경급 분포를 보이고 있다.

성숙목으로부터 공급된 종자의 발아에 의해 보충되는 치수는 향후 군락 내에서 후속수로 성장할 수 있는 매우 중요한 자원이다. 금번 설악산 조사지들에서 2018년 기준으로 확인된 흉고직경 2cm 미만의 치수는 평균 766개체/ha(400~1,150개체/ha)로서 2009년도의 368개체/ha(100~763개체/ha)에 비하여 2배 이상의 개체 증가를 보였는데(Chun *et al.*, 2009, Figure 7), 이는 기존 조사에서 누락된 개체도 포함되어 있으나 주로 수령 5년 이내에 해당하는 치수의 보충이 크게 증가한데 기인한 바가 크다. 특히 조사지들 중에서도 상대적으로 암석노출도가 높고 숲틈 피도가 낮은 조사구들에서 최근 치수의 정착이 높게 나타났다. 이는 종자가 발아하여 치수로 정착하기 위해서는 임상 유기물 축적이 적어 쉽게 안착할 수 있어야 할 뿐만 아니라 생장에 소요되는 적당량의 광량이 필요하다는 것을 의미한다(Chung *et al.*, 1996; KNA, 2014). 한편 치수의 발생과 정착 양상에는 여러 교란(disturbance) 요인(바람, 화재, 홍수,

가뭄, 병충해, 자연고사 등)이 관여하기도 하는데 설악폭포 조사지의 경우, 확인된 치수의 80% 이상은 태풍과 강풍 및 자연고사 등에 의한 교란의 영향에 의해 형성된 gap 주변부에 집중적으로 분포하고 있어 교란이 치수의 정착에 영향을 미치는 것으로 조사된 바 있다(Foster and Reiners, 1983; Kang, 1984; Boener *et al.*, 1988; Nicholas *et al.*, 1992; Lee and Cho, 1993; Cho, 1994; Chun *et al.*, 2009).

분비나무 개체들의 전체적인 분포 유형은 역 J자형의 모습으로 2009년에 비하여 소경목 개체의 분포비가 크게 감소하였으나 여전히 높은 편으로 나타났다(Figure 6). 각 조사지별 분포에서는 귀태기청봉2와 설악폭포 조사지가 귀태기청봉1과 관모능선 조사지에 비하여 치수의 개체수 분포가 비교적 낮고, 활엽수를 중심으로 한 주변 경쟁수종들의 영향으로 상층부의 피음이 높은 편으로, 후속수 역할을 할 수 있는 유목(juvenile) 단계로 성장하는데 보다 긴 소요기간이 필요할 것으로 추정된다(Chung *et al.*, 1996; Figure 7, Table 3). 특히 설악폭포 조사지의 경우, 자연교란(태풍과 강풍)에 의한 중대경목 개체들의 지속적인 고사로 인하여 군락 내 주요 구성종(신갈나무, 당단풍나무, 피나무, 잣나무)들의 중요치 증가가 타 조사지들에 비하여 상대적으로 높게 나타나고 있어, 활엽수로의 군락 변화가 가장 빠르게 진행될 것으로 예상된다.

4. 비대생장 및 수령 추정

Figure 8은 2011년부터 2018년까지 측정된 분비나무의 비대생장 값을 정리한 내용으로 조사지별, 연도별로 표준오차 값이 대체로 높게 나타나고 있는데, 이는 주로 비대기 설치 후 쇠퇴가 진행되는 개체가 발생하면서 안정적인 생장이 이루어지지 못한데 기인한 것으로 평가된다. 각 조사지별 연평균

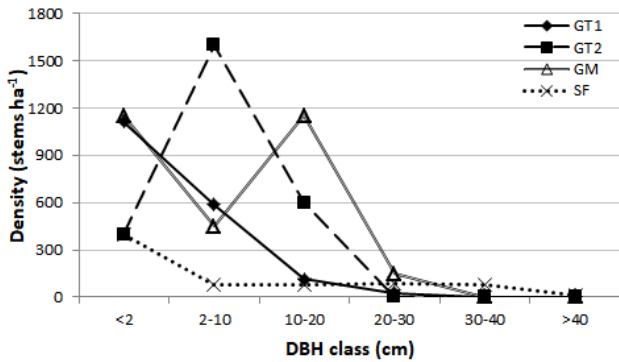


Figure 7. Size-frequency distribution of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population at the study sites in Mt. Seorak (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GT2: Gwittegicheongbong (Healthy site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

비대생장에서는 귀태기청봉2 지역과 관모능선 지역이 각각 1.73mm/year와 1.77mm/year로 귀태기청봉1 지역과 설악폭포 지역의 0.96mm/year와 1.27mm/year에 비하여 비교적 양호한 성장을 한 것으로 나타났다. 연도별 비대생장에서는 귀태기청봉1 지역을 제외한 귀태기청봉2 지역, 관모능선 지역, 설악폭포 지역 등에서 각각 최대 성장값을 보인 2012년 이후부터 연도별로 등락의 차이는 있으나 대체로 연간 비대생장 값이 저하되는 추세를 보이는 것으로 나타났다. 반면 귀태기청봉1 지역의 경우는 조사구들 중 가장 열악한 입지로 평가됨에도 불구하고 2011년 이후 대체로 성장 증가 추세가 진행되고 있는 상태이다. 2013년 이전의 연간 성장량과 비교하여 2014년을 기점으로 이후의 연간 성장량이 약 60~300% 범위의 성장증가를 보이고 있다. 이는 일차적으로 기존에 비대기가 설치된 수목들이 성장쇠퇴를 겪고 고사한 이후 비교적 생장이 양호한 새로운 개체에 비대기를 추가 설치하면서 나타난 결과로 평가된다. 그리고 본 조사지에서 지속적인 생장이 가능했던 또 다른

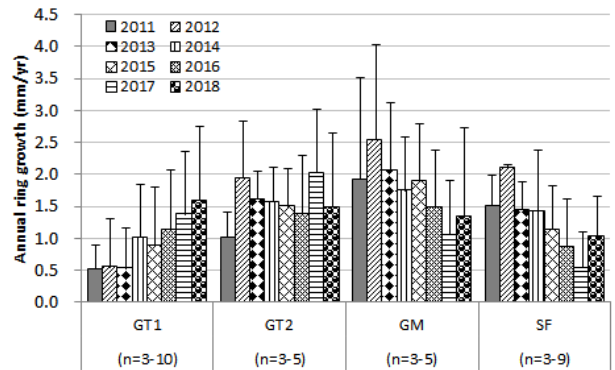


Figure 8. Annual ring growth of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population at the study sites in Seoraksan National Park (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GT2: Gwittegicheongbong (Healthy site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

요인으로는 강한 국지풍의 영향이 미치는 입지 환경에도 불구하고, 다른 조사지에 비해 비교적 양호한 광 환경과 비옥도가 높은 유기 퇴적물층의 영향에 기인한 바가 큰 것으로 추정된다 (Table 2; Lee, 1984; Chun *et al.*, 2010). 향후 의미 있는 연간 성장량의 비교를 위해서는 지속적인 비대생장의 관리와 성장 값의 변화 추이 분석이 필요할 것으로 생각된다.

Table 6은 각 조사지에서 분비나무의 나이테를 채취하여 수령을 산정한 것으로 흉고직경 10cm 이상 되는 개체들의 내용만 포함하였다.

조사구들 중 수령이 가장 높게 나타난 곳은 설악폭포 조사구로서 생육목의 평균수령이 77.7년으로 산정되었다. 설악폭포 조사구에서 나이테 공여목들의 평균 수고와 흉고직경은 각각 12.2m와 23.4cm로 중대경목 개체들의 분포가 높은 조사구이다. 다음으로는 귀태기청봉 지역에서 활력이 비교적 저조한 귀태기청봉1 조사구들에서 58.9년으로 높게 나타났다. 한편 동일 지역에서 활력이 상대적으로 양호한 귀태기청봉2 조사구에서

Table 6. Age of *Abies nephrolepis* population at the study sites in Seoraksan National Park. Each value is given as mean ± standard deviation of mean

Study sites	GT1 ^a		GT2 ^b	GM ^c	SF ^d	
	alive trees	dead trees	(alive trees)	(alive trees)	alive trees	dead trees
No. of samples	7	33	3	15	31	9
Height (m)	4.3±1.0	4.5±0.6	5.8±4.3	5.1±1.0	12.2±2.5	13.9±3.5
DBH (cm)	11.5±1.7	13.3±2.9	11.7±1.3	14.4±4.2	23.4±8.1	29.3±11.6
Age of trees	58.9±15.4	74.5±28.7	42.7±4.9	46.1±9.6	73.4±23.1	92.0±36.4

a: Gwittegicheongbong 1 (Declining site), b: Gwittegicheongbong 2 (Healthy site), c: Gwanmoneungseon, d: Seorak Falls.

는 흉고직경이 유사한 귀때기청봉1 조사구들에 비하여 수령이 42.7년으로 귀때기청봉1의 평균 수령 대비 27.5% 수준으로 낮게 산정되었다. 이는 귀때기청봉1 지역이 귀때기청봉2 지역 분비나무 개체군에 비하여 나이트 생장이 낮게 나타난 것으로, 귀때기청봉1 지역의 입지가 남서사면의 바람받이(windward) 쪽에 위치하고 있어 바람의지(leeward) 쪽에 자리하고 있는 귀때기청봉2 지역에 비하여 겨울철과 봄철에 걸쳐 영향을 주는 국지풍인 북서풍과 서풍의 영향에 직접적으로 노출됨으로서 겪게 되는 물리적(잎과 가지의 탈락), 생리적(수분스트레스) 요인의 영향에 기인한 바가 큰 것으로 추정된다(Table 2; Lee, 1984; Kong, 2000).

한편, Figure 3에서와 같이 2012년 태풍 ‘볼라벤’과 ‘산바’ 이후 설악폭포 지역을 중심으로 고사개체가 증가하였는데, 특히 귀때기청봉1과 설악폭포 지역에서 고사한 분비나무 고사목(2018년 까지 고사한 개체)의 평균 나이트 수는 74.5개와 92.0개로 생육목의 평균 나이트 수 58.9개와 73.4개와 비교하여 보면 대략 수령이 약 15~20년 정도 높은 것으로 추정되었다(Table 6). 이에 추가로 온전한 분비나무의 수령을 산정하기 위해서는 수고 1.2m 까지의 성장소요 기간을 포함하여야 하는데 이에 대한 자료는 통상 분비나무의 치수를 대상으로 마디수를 세어서 수령을 산정하게 된다. 이와 관련하여 설악폭포 조사지에서 수고 0.9m인 치수의 수령은 약 25년으로, 태백산 문수봉의 분비나무 개체군에서 수고 1.1~1.3m 범위에 해당하는 4개체의 수령은 평균 약 40년 정도로 각각 조사된 바 있으며(Chun, unpublished data), Lee(2013)는 설악산에서 1m 내외인 분비나무 치수들의 수령을 약 30년 이상으로 추정한 바 있다. 이들 내용들을 토대로 1.2m 까지의 성장소요 기간을 약 30년 정도로 감안한다면 귀때기청봉1과 설악폭포 지역의 고사 추정 수령은 대략 105년과 120년 정도가 될 것으로 본다. 이러한 추정 수령은 생태적 수명을 다한 개체들의 고사 연관성이 고려된다면 더 높아질 수 있겠으나 지금의 추세에 큰 변동이 없다면 향후 설악폭포지와 귀때기청봉1 지역을 중심으로 한 고사는 지속적으로 진행될 것으로 추정된다. 즉 설악폭포와 귀때기청봉1 지역에서 수관층을 형성하고 있는 주요 개체들은 현재 대체로 자연 고사 단계에 접어들었다는 것으로 미루어 짐작할 수 있다.

5. 분비나무의 활력

수목의 활력도는 대기오염에 의한 수목의 쇠약 정도를 가리키는 것으로 환경악화의 지표가 되고 있다(RDA, 2019). 기존에 수목의 활력 조사는 잎의 변색이나 낙엽, 신초의 고사, 소지의 성장 등을 점수화하여 평가하는 방법이었으며, 조사시기가 대부분 일회성 조사로 진행되어 지속적인 변화 관찰을 확인하지는 못하였다(Kim et al., 1994; Kim et al., 1996; Kim et al., 1997). 본 조사에서는 이러한 측면을 보완하기 위하여

Shigometer와 유사한 나무활력도 측정기인 JunsMeter1을 사용하여 2013년부터 2016년까지 분비나무의 건강 상태를 측정하였다(Figure 9).

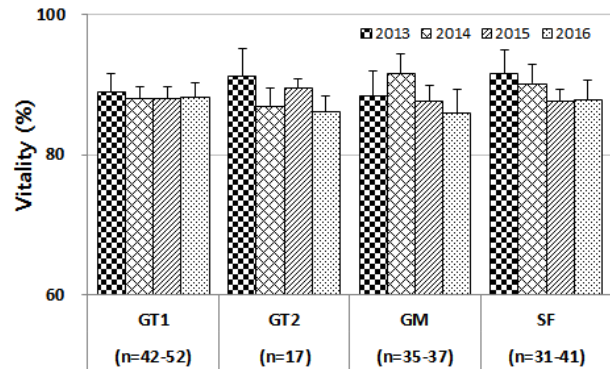


Figure 9. Vitality of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) population at the study sites in Seoraksan National Park (GT1: Gwittegicheongbong (Declining site), GT2: Gwittegicheongbong (Healthy site), GM: Gwanmoneungseon, SF: Seorak Falls).

4개 조사지 전체를 대상으로 2013년부터 2016년까지 측정된 연도별 활력도 값은 각각 90.1, 89.2, 88.2, 87.0으로 2013년 이후 활력도가 감소하는 추세를 보였다. 각 조사지별 활력도는 값의 변화에 차이가 거의 없는 귀때기청봉1 지역을 제외한 귀때기청봉2 지역과 설악폭포 지역, 그리고 관모능선 지역의 경우는 조사 연도별로 다소간의 차이가 있으나 대체로 2013년 또는 2014년 이후부터 활력도 값이 감소하는 경향을 보였다. 한편 활력도 값을 분비나무의 비대생장(Figure 8)과 비교하여 보면 비교적 관련성이 큰 것으로 나타났다. 즉 활력도의 변동이 거의 없었던 귀때기청봉1 지역의 경우 비대생장이 증가 추세를 보인 반면, 그 밖의 3개 조사지에서 활력도 값은 비대생장 값과 대체로 연동하여 감소하는 추세를 보였다. Kim et al.(1994)과 Kim et al.(1997)은 덕유산과 지리산에서, 그리고 Kim et al.(1996)은 오대산에서 각각 구상나무와 분비나무의 생육현황을 조사하였다. 이 중 덕유산과 지리산지역 구상나무의 경우 생육상태가 불량하다는 쇠퇴 징후를 보고하였으며, 이를 통하여 구상나무를 중심으로 한 *Abies*속의 쇠퇴 현상이 객관적으로 소개되는데 일조하였다. 향후 본 조사에서 사용되었던 기기가 보완되어 측정 및 관독력이 강화된다면 쇠퇴의 징후를 조기에 객관적으로 파악하는데 기여할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 「설악산국립공원 자원모니터링」 및 「국립공원 기후변화 생태계 모니터링」 사업의 자료를 정리한 내용입니다. 조사 참여와 관련 도움을 주신 홍문표 박사님, 김성은, 백경태, 백창욱, 안재기, 이우성, 이현구, 이화서, 정승광, 정재훈, 장채수, 최지한, 홍도영님 그리고 손장익 국립공원공단 북부복원센터장님과 설악산국립공원사무소의 관계자분들께 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

- Boener, R.E.J., S.D. Runge, D.S. Cho and J.G. Kooser(1988) Localized ice storm damage in an Appalachian Plateau watershed. *Amer. Midl. Nat.* 119: 199-208.
- Braun-Blanquet, J.(1964) *Pflanzensoziologie. Grundzge der Vegetationskunde*, 3rd eds. Springer-Verlag, Wien.
- Brower, J.E. and J.H. Zar(1977) *Field and laboratory methods for general ecology*, Wm. C. Brown Co. Publisher, Iowa.
- 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.
- Chun, Y.M. Songgwang Ecological Institute, Suncheon, Korea (unpublished data).
- Chun, Y.M., J.H. Kwon, M.P. Hong, J.S. Lee, H.L. Choung and S.H. Lee(2010) Habitat environment and succession of *Abies nephrolepis* forest in Mt. Seorak. *Geogr. J. Kor.* 44(1): 93-102. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., J.K. Ahn, M.P. Hong, J.T. Shin, J.S. Won and S.H. Lee(2011) Structure and dynamics of *Abies nephrolepis* community in Odaesan National Park. *Geogr. J. Kor.* 45(4): 559-570. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.M., M.P. Hong, J.H. Kwon, J.S. Lee, H.L. Choung and S.H. Lee(2009) A study on community structure and growth variation of *Abies nephrolepis* forest in Mt. Seorak. *Geogr. J. Kor.* 43(2): 125-137. (in Korean with English abstract)
- Chung, J.M., S.W. Lee and K.Y. Lee(1996) Vegetation structure, regeneration niche, and dynamics of the saplings in *Abies koreana* forest of the Mt. Chiri. *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)
- Crawford, R.M.M.(1989) *Studies in Plant Survival: Ecological case stories of plant adaptation to adversity*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Despain, D.G.(1983) Nonpyrogenous climax lodgepole pine communities in Yellowstone National Park. *Ecology* 64: 231-234.
- Foster, J.R. and W.A. Reiners(1983) Vegetation patterns in a virgin subalpine forest at Crawford Notch, White Mountains, New Hampshire. *Bull. Torrey Bot. Club* 110: 141-153.
- Hong, M.P.(2004) *Ecological Studies on the Forest Vegetation of Mt. Seorak*. PhD Thesis, Konkuk University, Seoul, 263pp. (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.(1984) Regeneration process of subalpine coniferous forest in Mt. Jiri. *Korean J. Ecol.* 7(4): 185-193. (in Korean with English abstract)
- Kim G.T., G.C. Choo and T.W. Um(1997) Studies on the structure of forest community at Cheonwangbong-Deokpyungbong area in Chirisan National Park -*Abies koreana* forest-. *Jour. Kor. For. Soc.* 86(2): 146-157. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T. and G.C. Choo(1999) Studies on the structure of forest community in subalpine zone of Togyusan -*Abies koreana* forest-. *Kor. J. Env. Eco.* 13(1): 70-77. (in Korean with English abstract)
- Kim, 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 T.W. Um(1996) Studies on the structure of forest community at Turobong-Sangwangbong area -*Abies nephrolepis* and *Taxus cuspidata* forest-. *Kor. J. Env. Eco.* 10(1): 160-168. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., J.S. Kim, G.C. Choo and T.W. Um(1994) Studies on the structure of forest community at nature conservation area in Tokyusan National Park. *J. Kor. App. Eco.* 7(2): 164-171. (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)
- Kong, W.S. and D. Watts(1993) *The plant geography of Korea*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Kong, W.S.(1999) Global warming and alpine vegetation. *Korean J. Ecol.* 22(6): 363-369.
- Kong, W.S.(2000) Geocology on the subalpine vegetation and landscape of Mt. Sorak. *J. Kor. Geogr. Soc.* 35(2): 177-187. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2007) *Biogeography of Korea Plants*. GEOBOOK. Seoul, 335pp. (in Korean)

- Koo, K.A., W.K. Park and W.S. Kong(2001) Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of climate change on the growths. Kor. J. Ecol. 24(5): 281-288. (in Korean with English abstract)
- Korea Meteorological Administration(2011) Meteorological an annual report (1981-2010). Korea Meteorological Administration, Seoul, 678pp. (in Korean)
- Korea Meteorological Administration(2019) www.kma.go.kr
- Korea National Arboretum(2007) www.nature.go.kr
- Korea National Arboretum(2010) 300 target plants adaptable to climate change in the Korean Peninsula. Seoul, 492pp. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2014) Forest of Korea (1) Conservation of Korean fir (*Abies koreana*) in a changing environment. Pocheon, 231pp. (in Korean)
- Lee, C.S. and H.J. Cho(1993) Structure and dynamics of *Abies koreana* Wilson community in Mt. Gaya. Korean J. Ecol. 16(1): 75-91. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.Y.(2013) The Phytosociological Characteristics of *Abies nephrolepis* Community and Population Dynamics as Climate Condition Changes in Mt. Seorak, Korea. PhD Thesis, Dongguk University, Seoul, 181pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.R.(1984) A study on the strong winds in Young-Dong district. Geogr. J. Kor. 9: 561-570. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J.(2001) Tree Physiology. Seoul National University Press, Seoul, 514pp. (in Korean)
- 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, W.C.(1996) Standard illustrations of Korean plants. Academy Press, Seoul, 1688pp. (in Korean)
- Lee, Y.N.(2006a) New Flora of Korea I. Kyohak Publishing Co., Seoul, 975pp. (in Korean)
- Lee, Y.N.(2006b) New Flora of Korea II. Kyohak Publishing Co., Seoul, 885pp. (in Korean)
- Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon, J.H. Chun and J.H. Shin(2006) Phytosynthetic 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)
- National Institute of Biological Resources(2010) Climate-sensitive biological indicator species. www.nibr.go.kr
- Nicholas, N.S., S.M. Zedaker, C. Eagar and F.T. Bonner(1992) A comparison of overstory community structure in three southern Appalachian spruce-fir forests, Bull. Torrey Bot. Club 119: 316-332.
- Park, K.(2000) Morphology and genesis of block fields on the Seoraksan National Park in Kangwon Province, Korea. J. Kor. Geogr. Soc. 35(5): 653-663.
- Qian, H., P. Krestov, P.Y. Fu, Q.L. Wang, J.S. Song and C. Chourmouzis(2003) Phytogeography of northeast Asia. In: Kolbek, J., M. Srutek and E.O. Box (eds.), Forest vegetation of northeast Asia, pp. 51-91. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
- Rural Development Administration(2019) www.rda.go.kr
- Schmelz, D.V. and A.A. Lindsey(1965) Size class of old-growth forests in Indiana. Forest Science 11: 258-264.
- 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)
- The Geological Society of Korea(1999) Geology of Korea. Sigmappress, Seoul, 802pp. (in Korean)
- Willis, J.C.(1973) A dictionary of the flowering plants and ferns. 8th eds. Cambridge, London.
- Yim, Y.J. and S.D. Baik(1985) The vegetation of Mt. Seolag. Chung-Ang University Press, Seoul, 199pp. (in Korean)
- Yim, Y.J.(1977) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula, IV. Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. Jap. J. Ecol. 27: 269-278.