

ORIGINAL ARTICLE

한라산 구상나무 치수의 10년간 성장 변화

송국만* · 김재훈 · 최형순

국립산림과학원 난대·아열대산림연구소

Growth Changes in *Abies koreana* Seedlings of the Hallasan Mountain Over a 10-year Period

Kuk-Man Song*, Jae Hoon Kim, Hyung Soon Choi

Warm-temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea

Abstract

This study was conducted to monitor the growth and development of *Abies koreana* seedlings in the Hallasan Mountain. Accordingly, the obtained results indicate that the number of *A. koreana* seedlings increased by 2.6 and 4.8 times in the Yeongsil and Jindallaebat areas, respectively, over the 10-year period. Most of these seedlings were found to be growing on moss-covered rocks. The average tree height over the last 10 years was obtained as 20.4 cm in the Yeongsil area and 3.6 cm in Jindallaebat with growths of 4.1 cm and 1.4 cm, respectively over the last 2 years. Of all the mature trees that were surviving in 2009, 6 died in Yeongsil in 2014 (with an additional 4 in 2018) and 13 in Jindallaebat in 2016. Over the 10-year period, the diameter at breast height of the trees in Yeongsil and Jindallaebat has increased by an average of 0.6 cm and 4.2 cm. Similarly, an average of 6.8 cones was found in the Yeongsil area in 2014 and 26.3 in Jindallaebat in 2016. However, in 2018, no additional cones were found in the former, although an average of 1.4 cones was observed in the latter. With respect to the average temperature and relative humidity, no significant difference could be observed between two monitored areas from 2016 to 2018. However, in July 2017 and February 2018, the average temperature was higher in the Jindallaebat area, while relative humidity was higher in Yeongsil, there by possibly affecting cone growth and flowering between areas. These results indicate the survival and growth of *A. koreana* seedlings in the Hallasan Mountain is sensitive to the environments of each area. Hence, continuous monitoring of the environment changes and in-depth studies on the flowering and fruiting of *A. koreana* seedlings needs to be carried out in order to analyze the relationship between their survival rates and changes in weather conditions.

Key words : *Abies koreana*, Seedling, Growth changes, Hallasan Mountain

1. 서론

IPCC(2014, 기후변화에 관한 정부간 협의체)는 전 세계적으로 관측된 변화로 기후가 온난해지고 있으며,

1950년대 이후 관측된 변화의 대부분은 전례 없던 현상이며, 대기와 해양의 온도 및 해수면이 상승하고 있는 반면 눈과 빙하의 양은 감소하였음을 보고하였다. 지속적인 기온상승 뿐만 아니라 지속된 가뭄과 봄철 이상 저온

Received 2 October, 2019; Revised 4 February, 2020;

Accepted 12 February, 2020

*Corresponding author: Kuk-Man Song, Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea
Phone : +82-64-732-8222
E-mail : kukman@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

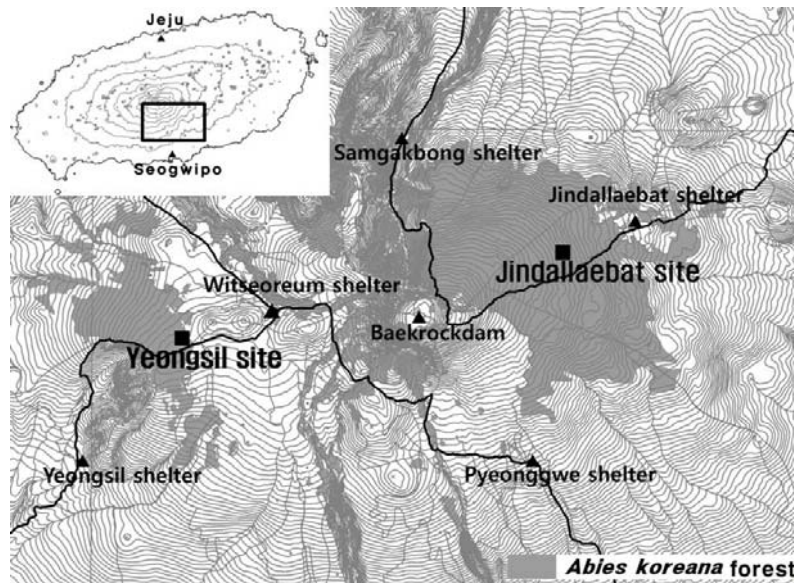


Fig. 1. Location map of survey sites of *Abies koreana* seedling in Hallasan Mountain.

으로 인한 산림 피해, 집중호우와 태풍으로 인한 산사태 발생 등 국지적이고 돌발적인 환경 변화가 지속적으로 발생하고 있다(KMA, 2018). Antos et al.(2008)은 세계적으로 고산지역에 분포하는 전나무(*Abies*)속 식물의 대부분이 기후변화가 발생할 경우 생육이 힘들고 개체수 유지가 어려워져 위기에 처할 것으로 예측하였다. 특히 저위도의 한라산 지역에 분포하는 아고산 식물의 경우 다른 지역에 비해 더 심각한 위기에 처할 것으로 보는 견해가 많으며(Kong, 1999; Lee et al., 2008; Yun et al., 2010; Park et al., 2012), 그 중 구상나무는 온도 상승과 강수량 변화 등의 성장환경 변화(Kim and Lee, 2013; Ahn et al., 2019)와 함께 이종 침입(Song et al., 2010; Kim et al., 2011; Park et al., 2012), 해충 발생(Nam, 2014), 건조한 동절기 기후로 인한 수분스트레스 증가와 그로 인한 수분수지 불균형(Koo et al., 2001; Lim et al., 2006) 등으로 빠르게 쇠퇴하고 있는 수종이다.

한라산에 분포하고 있는 구상나무숲의 경우 식생 구조의 불균형, 특히 초본층에서 구상나무 치수의 발생 감소와 상층(수관층)으로의 원활한 개체공급이 이루어지지 않아 발생하는 식생 구조의 불균형이 발생하고 있다(Kim et al., 1991; Lim et al., 2006; Song et al., 2010; Kim et al., 2016). 또한 제주조릿대 확산 및 밀도 증가로

인해 구상나무 종자의 발아 저해와 피압으로 인한 치수 생육 상태가 불량해지고 있다(Park and Kim, 1986; Lee and Hong, 1995; Song, 2011; Kim et al., 2016). 이 같은 구상나무의 종자 산포에 의한 발아와 이들 개체의 지속적인 생장은 구상나무숲의 유지와 발달에 중요한 요소로 작용하지만 발생된 개체의 지속적인 모니터링 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 한라산의 아고산 지역 구상나무숲에서 발생하는 구상나무 치수를 대상으로 지속적인 생육 및 성장 모니터링과 구과량을 조사하여 구상나무 숲의 식생 구조 변화와 구상나무 치수의 발생 추이, 성장량 변화를 분석하여 건전한 구상나무숲의 유지 및 장기생태 연구를 위한 기초 자료를 수집하는데 목적이 있다.

2. 조사지 및 조사방법

2.1. 조사지

한라산 구상나무숲은 사면별로 약간의 차이가 있지만 대략 해발고도 1,300 m 이상의 아고산 지역에 분포한다(Fig. 1). 구상나무숲의 장기생태 연구를 위해 정상의 백록담을 중심으로 구상나무숲이 넓게 분포하는 동부지역의 진달래밭과 서부지역의 영실에 2008년에 400 m²의

Table 1. Location characteristics of survey sites in Hallasan Mountain

Survey Site	Yeongsil	Jindallaebat
GPS coordinate	N 33° 21' 34.6", E 126° 30' 27.8"	N 33° 22' 13.0", E 126° 33' 4.8"
Altitude(m)	1,650	1,550
Aspect(°)	Northwest	East
Topography	Middle slope	Middle slope
Coverage of rock(%)	35 ~ 95	5 ~ 45

연결된 고정방형구 25개(1 ha)를 설치(Song, 2011)하였다. 설치된 방형구 중에서 구상나무 치수 밀도가 가장 높은 1개의 방형구(400 m²)에서 보다 정밀한 조사를 실시하기 위해 5 m×5 m(25 m²)의 소방형구 16개를 구획하여 치수 조사를 실시하였다.

영실 지역의 조사구 해발고도는 1,650 m이며, 진달래밭 지역은 1,550 m로 100 m의 차이가 나지만, 두 지역 모두 높은 밀도의 구상나무숲이 형성되어 있다. 조사구의 방위는 영실 지역이 서쪽 방향이며, 진달래밭 지역은 동쪽 방향을 하고 있어 지역별로 강수량, 기온 등 다양한 기상 환경이 나타난다. 이들 지역에서는 환경 변화에 오랫동안 적응된 구상나무 숲이 존재한다(Moon, 1988; Oh et al., 2001; Song et al., 2010). 암석노출비율은 영실 지역이 35%이상 95%까지 비교적 높은 비율로 나타나지만, 진달래밭 지역은 5%에서 45%까지 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 조사되었다(Table 1).

2.2. 조사방법

영실과 진달래밭의 각 조사지역에 400 m²(20 m×20 m)의 고정 방형구를 설치(2008년)하고, 정밀 조사를 실시하기 위하여 조사구 내에 5 m×5 m의 소방형구 16개를 세분화하여 설치(2014)하였다. 2009년 방형구별로 치수 밀도 조사가 이루어졌으며, 2014년부터 2018년까지 2년 주기로 3차 조사까지 실시되었다. 구상나무의 치수는 발아 직후의 1년생부터 초본층 이하의 모든 구상나무 개체를 대상으로 조사하였으며, 지속적인 모니터링을 실시하기 위하여 각 개체별로 알루미늄태그를 이용하여 고유번호를 부여하여 철사로 줄기에 고정하였다. 치수가 너무 작거나 부착이 어려운 개체는 지표면에 알루미늄 못을 이용하여 고정하였다. 치수의 생장량 및 생존율 변화를 분석하기 위하여 치수의 높이와 수관폭, 수령, 발아 지점의 지표면 현황을 바위, 나무, 토양으로 구분하였고

각 현황별로 유기물, 이끼로 세분하여 조사하였다. 각 조사 지역의 입지변화와 생육상태 변화를 알아보기 위해 방형구 내에 출현하는 모든 구상나무 개체의 흉고직경, 줄기의 형태와 생육상태를 조사하였으며, 치수 밀도에 영향을 끼치는 구과량 조사는 2009년, 2014년, 2018년에 실시하였으며, 조사구내 모든 구상나무 개체에서 발생한 구과의 개수를 조사하였다. 구과량 및 치수 생장량에 영향을 끼치는 환경 요인을 추정하기 위해 조사구의 현지 기상 자료를 수집하였으며, 조사구에서 2016년부터 간이기상장비(HOBO U30 Station, ONSET[®])를 설치하여 기온과 상대습도를 30분 간격으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 입지 변화

조사지역별로 제주조릿대, 고사목, 숲 틈에 대한 각각의 피도를 조사하였다. 조사결과 제주조릿대의 피도는 진달래밭 지역에서는 변화가 없었지만, 영실 지역에서는 4개의 소방형구에서 미미하게 감소한 것으로 조사되었다. 고사목의 피도는 진달래밭 지역에서는 변화가 없지만, 영실 지역에서는 2개 소방형구에서 소폭 상승하였으며, 숲틈의 피도는 영실 지역에서 5개의 소방형구에서 증가하였다(Table 2).

한라산에 분포하는 구상나무 숲은 사면에 따라 식생 구조와 천이단계가 다양하게 나타난다(Lim et al., 2006; Song et al., 2010). 제주조릿대의 밀도(Park and Kim, 1986; Kong and Watts, 1993; Song, 2011)와 고사목의 발생빈도 증가로 인해 발생하는 숲틈의 피도(Chung et al., 1996; Kim et al., 1998) 증가는 구상나무의 치수 발생과 생육에 큰 영향을 끼친다. 따라서 구상나무의 종자산포가 지속적으로 이루어진다면, 입지 환경의 변화가 없는 진달래밭 지역 보다는 영실 지역에서 구상나무의

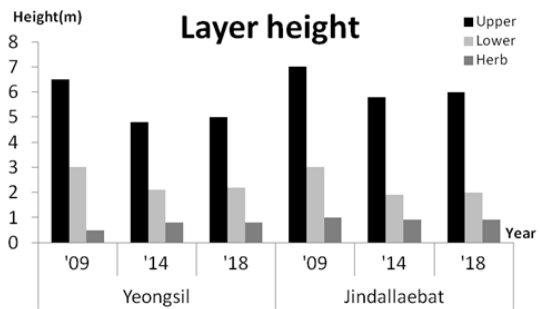
Table 2. Vegetation coverage changes among habitats at the survey sites in Hallasan Mountain in 2009, 2014 and 2018

Quadrat	Coverage class ¹⁾ of <i>Sasa</i> sp.						Coverage class ¹⁾ of dead tree						Coverage class ¹⁾ of forest gap					
	Yeongsil			Jindallaebat			Yeongsil			Jindallaebat			Yeongsil			Jindallaebat		
	'09	'14	'18	'09	'14	'18	'09	'14	'18	'09	'14	'18	'09	'14	'18	'09	'14	'18
a1		+	+		11	11		2	2		4	4		3	3		5	5
a2		+	+		11	11		3	3		4	4		4	4		2	2
a3		+	+		10	10		6	6		3	3		8	8		5	5
a4		2	3		11	11		6	6		4	4		6	6		3	3
b1		+	+		11	11		4	4		3	3		4	4		6	6
b2		+	+		11	11		4	4		2	2		5	5		5	5
b3		4	3		11	11		6	6		5	5		7	7		3	3
b4	2	10	9	11	11	11	5	3	3	4	5	5	5	7	7	6	3	3
c1	(Avg.)	+	+	(Avg.)	10	10	(Avg.)	4	5	(Avg.)	1	1	(Avg.)	4	5	(Avg.)	3	3
c2		+	+		11	11		5	5		4	4		7	7		4	4
c3		+	+		11	11		5	5		2	2		4	5		3	3
c4		7	7		11	11		5	5		2	2		4	5		4	4
d1		+	+		11	11		3	3		3	3		4	5		8	8
d2		+	+		11	11		3	4		5	5		4	5		6	6
d3		1	1		11	11		2	2		1	1		3	3		4	4
d4		11	10		11	11		4	4		3	3		5	5		5	5

¹⁾ +: under 1 %, 1: 1-5, 2: 5-10, 3: 10-20, 4: 20-30, 5: 30-40, 6: 40-50, 7: 50-60, 8: 60-70, 9: 70-80, 10: 80-90, 11: 90-100.

치수 발생량이 증가하거나 감소하는 등의 다양한 변화가 발생할 것으로 판단된다. 앞선 연구에서는 제주조릿대의 피도 감소와 고사목과 숲틈의 피도 증가는 구상나무 치수 발생량을 증가한다고 보고하였다. 따라서 치수가 발생 할 수 있는 조건은 진달래밭 지역보다 영실 지역이 더 높을 것으로 판단된다.

조사지역 구상나무 숲의 상층부와 관목층의 하층부 높이는 2014년을 전후로 소폭 감소했다가 증가하는 것으로 조사되었다(Fig. 2). Song et al.(2016)은 태풍과 가뭄 등의 돌발 기상 이변에 의해 영실 지역 구상나무 고사목이 증가한 것으로 추정하였다. 반면에 상층부의 식생 피도는 진달래밭 지역보다 영실 지역이 더 높게 증가한 것으로 조사되었다(Table 3). 이는 구상나무 보다는 구상나무를 제외한 기타 수종(산개벚치나무, 주목 등)의 개체수 증가(Song, 2011; Song et al., 2016)가 원인으로 판단된다.

**Fig. 2.** Changes in vegetation height at the survey sites in Yeongsil and Jindallaebat area.

3.2. 구상나무 숲의 기상 변화

2016년부터 2018년까지 구상나무 숲에서 조사된 기온 및 상대습도 변화를 측정된 결과 평균 온도와 상대습도가 측정된 기간 동안 두 지역에서는 큰 차이가 발생하지 않았지만, 2017년 A(7월)와 2018년 B(2월)구간에서는 두 지역 간 차이가 유사한 패턴으로 발생하는 것으로

Table 3. Changes in total vegetation coverage by layer at the survey sites in Yeongsil and Jindallaebat area

Layer	Yeongsil			Jindallaebat		
	'09	'14	'18	'09	'14	'18
Upper	50	56.6±13.5	55.0±13.0	65	65.0±17.0	65.3±15.3
Lower	50	45.0±13.7	43.8±11.2	30	27.5±10.0	28.1±10.3
Herb	40	68.8±16.5	66.3±15.4	90	92.8±3.1	93.1±3.1

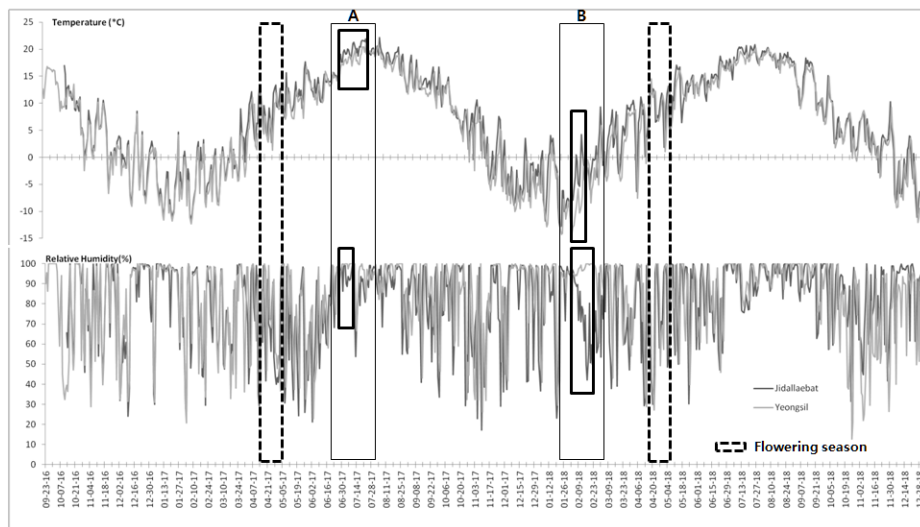


Fig. 3. Changes of temperature and relative humidity(2016-2018) of *Abies koreana* forests in Yeongsil and Jindallaebat (A and B : The difference occurred zones).

측정되었다(Fig. 3). 기온은 진달래밭 지역에서 더 높았으며, 상대습도는 영실 지역이 더 높게 측정되었다. 4월부터 5월까지 개화시기임을 감안하면, 2018년도 개화량에 B 구간이 더 큰 영향을 끼쳤을 것으로 판단된다. 구과 발생량 변화와 기상환경의 변화와의 상관관계 분석을 위해서는 지속적인 환경변화 모니터링과 개화 및 결실량 변화에 대한 다양한 연구가 수반되어야 한다.

3.3. 구상나무의 입목 변화

치수 조사구에서 구상나무 성숙개체의 생육 상태 변화 조사결과, 모든 조사구에서 살아 있는 구상나무 개체수가 감소하였으며, 영실 조사구에서는 지속적인 개체수 감소가 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 구상나무를 제외한 기타 수종의 경우 2014년부터 2018년까지 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다(Table 4). 구상나무 개체수가 많은 진달래밭 지역이 상층 구상나무의 피도가 더

높다. 구상나무의 치수 발생은 상층 피도가 25% 정도의 임분에서 가장 높고, 75% 정도의 임분에서는 발생량이 상대적으로 낮다(Chong et al., 1996). 따라서 본 연구에서도 구상나무 치수는 상층 구상나무 피도가 낮은 영실 지역에서 더 많이 발생한 것으로 조사되었다. 2009년에 살아 있었지만 2014년 조사에서는 고사된 것으로 조사된 개체는 영실 지역이 6개체, 2016년에 조사된 진달래밭 지역은 13개체였으며, 상층목으로 새롭게 추가된 개체는 영실 지역이 4개체, 진달래밭 지역은 1개체였다. 2018년 조사에서는 영실 지역에서 4개체가 고사했으며, 진달래밭 지역은 고사된 개체가 발생하지 않은 것으로 조사되었다(Table 5). 2015년 이전부터 구상나무 고사목 발생량은 지속적으로 증가(Koh et. al., 2015) 했지만, 조사결과 진달래밭 지역에서 고사목 발생량 감소가 더 뚜렷하게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

Table 4. Changes in the number of *Abies koreana* and the other species at survey sites in Yeongsil and Jindallaebat

Year	Yeongsil				Jindallaebat			
	<i>Abies koreana</i>		The other species		<i>Abies koreana</i>		The other species	
	Alive	Dead	Alive	Dead	Alive	Dead	Alive	Dead
2009	34	26	44	1	41	15	49	0
2014	32	32	73	2	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	30	27	64	4
2018	23	36	74	2	30	27	64	4

Table 5. Change in the number of mature *Abies koreana* died and newly occurred at survey sites in Yeongsil and Jindallaebat

Year	Yeongsil		Jindallaebat	
	Live to die	New occurrence	Live to die	New occurrence
2014	6	4	-	-
2016	-	-	13	1
2018	4	0	0	0

Table 6. Changes in DBH (diameter at breast height, cm) of *Abies koreana* and the other species at Yeongsil and Jindallaebat

Year	Youngish						Jindallaebat					
	<i>Abies koreana</i>			The other species			<i>Abies koreana</i>			The other species		
	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.
2009	2.0	12.1	24.0	2.0	6.2	13.5	4.0	14.9	32.0	2.0	6.8	17.0
2014	2.7	12.3	20.7	2.1	6.4	14.4	-	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-	-	3.5	18.5	33.2	2.0	7.6	20.7
2018	3.1	12.7	21.2	2.4	6.8	13.9	3.6	19.1	33.3	2.2	7.9	28.0

상층목의 흉고직경의 성장량 변화를 조사하였다. 구상나무와 기타 수종의 흉고직경은 영실 지역보다 진달래밭 지역에서 더 많이 성장하였으며, 지난 10년간 영실 지역의 구상나무는 평균 흉고직경 0.6 cm, 진달래밭 지역은 4.2 cm가 증가하였다(Table 6). 두 지역에서 구상나무 개체수는 큰 차이 없이 감소했지만, 진달래밭 지역에 자생하는 구상나무 흉고직경 성장량이 7배 이상 더 높은 것으로 조사되었다.

3.4. 구상나무 구과량 변화

구과량 조사 결과, 영실 조사구에서는 2014년에 평균 6.8개, 진달래밭 조사구에서는 2016년에 평균 26.3개로 조사되었다. 구상나무 치수는 다양한 원인에 의해 개체수와 성장 및 생존여부가 결정된다(Kong and Watts, 1993; Lee and Hong, 1995). 건강한 종자의 생산은 어

떤 종의 천연림 생태계에서 지속적인 생존에 가장 기본적인 요건이며, 치수발생 밀도는 낙하종자 밀도로 설명되기도 한다(Masaki et al., 2007). 따라서 구상나무의 구과량에 따라서 치수발생량에 영향을 끼치게 된다. 2017년에는 구상나무 구과량이 매우 적었기 때문에 2018년 두 지역에서 구상나무 치수 1-2년생 개체가 급격히 증가한 것은 2016년에 구과 발생량이 많았기 때문으로 추정된다.

3.5. 치수 변화

영실과 진달래밭 지역에서 조사된 구상나무의 치수의 개체수 변화에 대한 조사결과, 영실 지역은 살아있는 구상나무의 치수 개체수가 2009년(242개체)에 비해 2018년에는 2.6배(631개체) 증가했지만, 진달래밭 지역은 4.8배(41개체→197개체)가 증가한 것으로 조사되었다.

Table 7. Changes in the number of cones produced from *Abies koreana* in Yeongsil and Jindallaebat

Year	Yeongsil			Jindallaebat		
	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.
2014	0.0	6.8	25.0	-	-	-
2016	-	-	-	0.0	26.3	75.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	12.0

Table 8. Changes of the number and age of *Abies koreana* seedlings at Yeongsil and Jindallaebat in Hallasan Mountain

Year	Yeongsil							Jindallaebat						
	Number of individuals			Age of tree				Number of individuals			Age of tree			
	Alive	Dead	Total	1-2	3-5	6-10	11<	Alive	Dead	Total	1-2	3-5	6-10	11<
2009	242	-	242	-	-	-	-	41	-	41	-	-	-	-
2014	449	-	449	62	211	156	20	28	-	28	25	3	0	0
2016	462	20	482	24	110	279	49	52	10	62	31	20	1	0
2018	631	51	682	147	90	272	122	197	31	228	175	14	8	0

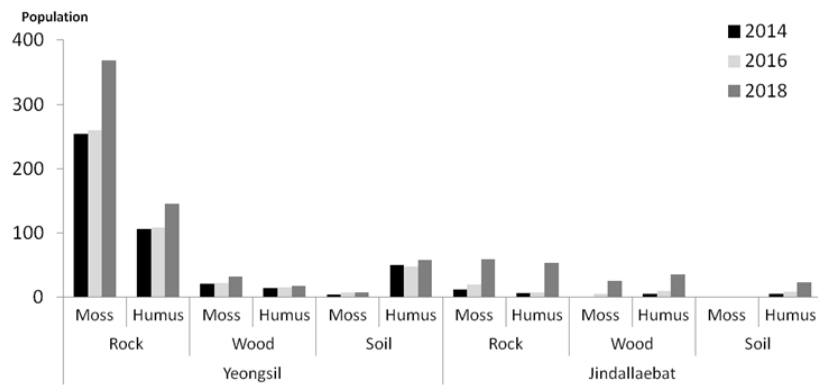


Fig. 4. Changes of the number of *Abies koreana* seedlings according to forest floor types in Yeongsil and Jindallaebat.

개체수 증가율은 영실 지역보다 진달래밭 지역이 더 높게 나타나고 있다. 구상나무 숲에서 구상나무 치수의 발생은 제주조릿대의 높은 밀도와 피도에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Park and Kim, 1986; Lee and Hong, 1995; Song, 2011; Kim et al., 2016). 본 연구에서 조사된 제주조릿대 피도 등급의 변화(Table 8)는 영실 지역이 조금 낮아져 치수 발생 가능성이 높아졌지만 진달래밭 지역은 큰 변화가 발생하지 않았다. 일반적으로 치수의 발생과 생육에 관련된 연구에서는 제주조릿대 피도와 밀도(Song, 2011; Kim et al., 2016), 기온 및 강수량(Kim et al., 2016; Lee, 2016)의 변화가 치수의 개

체수 감소와 생육 저하의 원인으로 추정하고 있다. 하지만 본 연구에서는 치수발생 가능성은 영실 지역이 더 높게 나타났지만, 개체수 증가는 진달래밭 지역이 더 높게 나타나는 것으로 조사되어 제주조릿대의 밀도와 기상환경의 변화뿐만 아니라 치수가 자라고 있는 지형의 특성 및 구과량 등의 다양한 원인을 조사할 필요가 있다.

구상나무 치수가 자라는 지표면의 특성을 유형별(암석, 나무, 토양)로 구분하고, 치수가 발아된 각 유형의 표면은 이끼와 유기물이 쌓여 있어 세부 유형별로 개체수를 조사하였다. 조사결과 구상나무 치수는 암석위에 이끼가 자라고 있는 곳에서 가장 개체수가 많았다(Fig. 4).

Table 9. Changes of height (cm) *Abies koreana* seedlings in Yeongsil and Jindallaebat

Year	Yeongsil					Jindallaebat				
	Height		Height growth			Height		Height growth		
	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.
2014	19.1	130.0	-	-	-	3.5	11.2	-	-	-
2016	22.7	135.0	-14.0	4.4	27.5	5.2	12.0	-1.1	2.5	7.5
2018	20.4	102.7	-35.0	4.1	37.0	3.6	21.0	-7.0	1.4	10.0

아고산 지역에서 지속적이고 돌발적으로 발생하고 있는 강수량 부족은 구상나무의 생육에 큰 영향을 끼친다. 일반적으로 강수가 발생한 후 암석에서 수분 유지가 가장 어렵고, 토양에서 수분유지가 가장 오랫동안 지속될 수 있을 것으로 알려져 있다(Kim and Lee, 2013; Ahn et al., 2019). 영실 지역에서는 암석에서 발생하는 치수가 상대적으로 많고, 오랫동안 생존할 수 있을 것으로 추정되는 토양에서 발생한 개체수는 진달래밭 지역이 더 많은 것으로 조사되었다. 이 같은 추정은 유형별로 발생하고 있는 치수의 고사목 수에서도 같은 결과를 보이는데 영실 지역에서 암석위에 자라는 구상나무 치수가 40개체로 지표면 유형 중에서 가장 많이 고사된 것으로 조사되었다.

구상나무 치수의 수고 성장량은 2016년까지 증가했지만 2018년 조사에서는 감소된 것으로 나타났다(Table 9). 이 같은 감소는 영실 지역에서는 수고가 큰 개체가 2018년 조사에서는 고사되어 일시적으로 감소한 것으로 추정되며, 평균 수고는 20.4 cm, 지난 2년간 평균 4.1 cm가 성장했으며, 성장량이 가장 많은 개체는 수고 37 cm가 증가한 것으로 조사되었다. 진달래밭 지역은 평균 수고는 3.6 cm, 지난 2년간 평균 1.4 cm가 성장했으며, 성장량이 가장 많은 개체는 10 cm가 증가하였다. 수고 성장량의 감소는 건조에 의해 발생하는 고사목 발생과 폭설로 인해 가지 부러짐 등에 의한 원인으로 판단되며, 수고가 큰 개체일수록 상대적으로 많이 생장(Cho et al., 2001)하기 때문에 평균수고가 높은 영실 지역에서 더 높은 성장량을 보이는 것으로 판단된다.

4. 결론

한라산 구상나무 숲은 초본층에서 구상나무 종자의 산포에 의한 치수의 발생감소와 상층(수관층)으로의 원

활한 개체공급이 이루어지지 않아 발생하는 식생 구조의 불균형이 발생하고 있으며, 제주조릿대 확산 및 밀도 증가로 인해 구상나무 종자의 발아 저해와 피압으로 인한 치수의 생육이 매우 불량하다. 구상나무의 종자 산포에 의한 치수의 발생과 이들 개체의 지속적인 생장은 구상나무숲의 유지와 발달에 중요한 요소로 작용하지만 치수의 발생과 생장에 관련된 지속적인 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 한라산 구상나무숲에서 발생하는 구상나무 치수를 대상으로 지속적인 생육 및 생장 모니터링과 구과량 조사 결과를 활용하여 구상나무숲의 식생구조 변화와 구상나무 치수의 발생 변화, 생장량 변화를 분석함으로써 건전한 구상나무숲의 유지 및 장기생태 연구를 위한 기초 자료를 수집하는데 목적이 있다. 조사결과, 치수 개체수는 지난 10년간 영실 지역은 2.6배, 진달래밭 지역은 4.8배 증가하였으며, 이들 구상나무 치수가 자라는 지표면의 유형은 암석위에 이끼가 자라는 유형에서 가장 많은 치수가 자라는 것으로 조사되었다. 또한 고사된 구상나무 치수도 암석위에 자라고 있는 유형에서 더 많이 고사되었으며, 이 같은 결과로 추정하면 구상나무 치수 개체수는 영실 지역에서 더 빠르게 감소할 것으로 판단된다. 구상나무 치수 조사구에서 구상나무 성숙개체의 임목량과 구과량 조사결과, 상층에 있는 구상나무의 개체수는 영실 지역에서 더 빠르게 감소하였으며, 흉고직경은 지난 10년간 영실 지역은 0.6 cm, 진달래밭 지역은 4.2 cm가 증가한 것으로 조사되었다. 조사구의 상층에서 구과가 열린 구상나무 개체의 구과량 조사결과 영실 조사구에서는 6.8개, 진달래밭 조사구에서는 26.3개가 조사되었다. 구상나무 치수의 개체수 감소는 종자를 공급하는 상층 개체의 감소와 구과량에 큰 영향을 받기 때문에 영실 지역이 구상나무 치수 개체수 감소가 더 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 또한 구상나무의 생육 상태뿐만 아니라 구과량에 영향을 끼칠 수

있는 기온과 상대습도가 지역별로 차이가 발생하고 있기 때문에 기상 요인과 구과량, 치수발생량 및 생장량에 다양한 영향을 끼치고 있다. 결론적으로, 한라산 구상나무 숲은 지역별로 다양한 식생구조와 기상 환경의 차이가 발생하는데 이로 인해 치수의 발생과 생육뿐만 아니라, 구과량에도 큰 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 특히, 영실 지역보다는 진달래밭 지역에서 구상나무의 치수뿐만 아니라, 종자 산포능력이 있는 상층의 구상나무 개체의 생존 가능성 및 생장량이 더 양호하였다. 구상나무 치수의 생육 및 생장 변화에 대한 다양한 연구와 구상나무 구과량에 영향을 끼치는 다양한 요인의 지속적인 모니터링 연구가 필요하다.

REFERENCES

- Ahn, U. S., Kim, D. S., Yun, Y. S., Ko, S. H., Kim, K. S., Cho, I. S., 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. Agr. For. Meteorol., 21, 1-28.
- Antos, J. A., Parish, R., Nigh, G. D., 2008, Growth patterns prior to mortality of mature *Abies lasiocarpa* in old-growth subalpine forests of southern British Columbia, For. Eco. Mana., 255, 1568-1574.
- Cho, H. K., Hong, S. G., Kim, J. J., 2001, Studies on growth and biomass production of *Abies koreana* seedlings under different relative light intensity, J. Korea For. Ener., 20, 58-68.
- Chung, J. M., Lee, S. W., Lee, K. Y., 1996, Vegetation structure, regeneration niche, and dynamics of the saplings in *Abies koreana* forest of the Mt. Chiri, J. Korean For. Soc., 85, 34-43.
- IPCC, 2014, Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- Kim, E. S., Oh, C. H., Park, H. C., Lee, S. H., Choi, J. H., Lee, S. H., Cho, H. B., Lim, W. T., Kim, H. J., Yoon, Y. K., 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. Mar. Isl. Cul., 5, 68-78.
- Kim, G. B., Lee, K. J., Hyun, J. O., 1998, Regeneration of seedlings under different vegetation types and effects of allelopathy on seedling establishment of *Abies koreana* in the Banyabong peak, Mt. Chiri, J. Korean For. Soc., 87, 230-238.
- Kim, G. T., Kim, J. S., Choo, G. C., 1991, Studies on the structure of forest community st Banyabong area-*Abies koreana* forest, Korean J. Environ. Eco., 5, 25-31.
- Kim, H. S., Lee, S. M., Song, H. K., 2011, Actual vegetation distribution status and ecological succession in the Deogyusan National Park, Korean J. Environ. Eco., 25, 37-46.
- Kim, N. S., Lee, H. C., 2013, A Study on changes and distributions of Korean fir in sub-alpine zone, J. Korea Soc. Environ. Res. Tec., 16, 49-57.
- KMA, 2018, 2018 Abnormal climate report, Korea Meteorological Administration, 198.
- Koh, J. G., Kim, D. S., Kim, J. G., Ko, Y. J., 2015, Growth dynamics of Korean fir in Mt. Hallasan, Hallasan Research Report, 14, 9-25.
- Kong, W. S., 1999, The vertical distribution of air temperature and thermal amplitude of alpine plants on Mt. Halla, Cheju Island, Korea, J. Korean Geo. Soc., 34, 385-393.
- Kong, W. S., Watts, D., 1993, The plant geography of Korea with emphasis on the alpine zones, Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 244.
- Koo, K. A., Park, W. K., Kong, W. S., 2001, Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: effects of climate change on the growths, Korean J. Eco., 24, 281-288.
- 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, M.S. Dissertation, Kookmin University, Seoul, Korea.
- Lee, S. H., Heo, I. H., Lee, K. M., Kim, S. Y., Lee, Y. S., Kwon, W. T., 2008, Impacts of climate change on phenology and growth of crops in the case of Naju, J. Korean Geo. Soc., 43, 20-35.
- Lee, Y. W., Hong, S. C., 1995, Ecological studies on the vegetation characteristics of the *Abies koreana* forest, J. Korean For. Soc., 84, 247-257.
- Lim, J. H., Woo, S. Y., Kwon, M. J., Chun, J. H., Shin, J.

- H., 2006, Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean fir in Mt. Halla, J. Korean For. Soc., 95, 705-710.
- Masaki, T., Osumi, K., Takahahi, K. Hoshizaki, K., Matsune, K., Suzuki, W., 2007, Effects of micro-environmental heterogeneity on the seed-to-seedling process and tree coexistence in a riparian forest. Ecological Research, 22, 724-734.
- Moon, H. S., 1989, A Comparative study of climate in Cheju and Sogwipo, M.S. Dissertation, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Nam, J. W., 2014, The study for the community structures of the Korean fir (*Abies koreana*) deadwood-dwelling beetles on Mt. Halla National Park, Jeju Island, Korea, Ph. D. Dissertation, Seoul Women's University, Seoul, Korea.
- Oh, S. J., Koh, J. G., Kim, E. S., Oh, M. Y., Koh, S. C., 2001, Diurnal and seasonal variation of chlorophyll fluorescence from Korean fir plants on Mt. Halla, Korean J. Environ. Bio., 19, 43-48.
- Park, C. H., Yun, J. H., Kim, J. S., Kim, S. Y., Lee, B. Y., Tanaka, N., Nakao, K., 2012, Habitat prediction and impact assessment of climate change on Korean plants (II). National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea, 34.
- Park, I. H., Kim, G. D., 1986, Forest structure, biomass, and net production in a natural forest ecosystem at Mt. Baekun Area, J. Korea For. Ener., 6, 1-45.
- Song, K. M., 2011, Vegetation structure and dynamics of *Abies koreana* forests on Mt. Halla, Ph. D. Dissertation, Jeju National University, Jeju, Korea.
- Song, K. M., Kim, C. S., Koh, J. G., Kang, C. H., Kim, M. H., 2010, Vegetation structure and distribution characteristics of *Abies koreana* forest in Mt. Halla, J. Environ. Sci. Int., 19, 415-425.
- Song, K. M., Kim, J., Kang, Y. J., Choi, H. S., Jung, S. C., Lee, S. H., Lee, J. H., Koh, J. G., Kim, J. G., Lee, K. H., Hong, Y. P., Lim, J. H., Kim, C. S., 2016, Korea fir of Hallasan Mountain, why are they dying? National Institute of Forest Service, Seoul, Korea.
- Yun, J. H., Kim, J. H., Oh, K. H., Lee, B. Y., 2010, Vertical distribution of vascular plants in Jungsanri, Mt. Jiri by temperature gradient, Korean J. Environ. Eco., 24, 680-707.

-
- Researcher. Kuk-Man Song
Warm-temperate and Subtropical Forest Research Center,
National Institute of Forest Science
kukman@korea.kr
 - Researcher. Jae-Hoon Kim
Warm-temperate and Subtropical Forest Research Center,
National Institute of Forest Science
jkim1922@korea.kr
 - Researcher. Hyung-Soon Choi
Warm-temperate and Subtropical Forest Research Center,
National Institute of Forest Science
forgene@korea.kr