

## 한라산(영실) 장기생태연구(LTER) 조사지 구상나무 숲 식생 변화

송국만 · 김재훈

국립산림과학원 난대아열대산림연구소

### Vegetation Change of Long-Term Ecological Research (LTER) Site of *Abies koreana* Forests in Hallasan Mountain (Yeongsil Area)

**Song, Kuk-Man and Kim, Jae-Hoon**

Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center,  
National Institute of Forest Science.

#### ABSTRACT

This study sought to analyze changes in the vegetation structure and species diversity indices in the *Abies koreana* forest in the Yeongsil area of Hallasan Mountain and establish basic data for Long-Term Ecological Research (LTER). The results show that the number of woody plants per 1ha has increased by 804 (45.1%) from 1,781 to 2,585 individual plants, whereas the number of live *A. koreana* did not change much with 796 individual plants. The number of dead tree plants, however, jumped by 807 (82.2%) from 982 to 1,789 plants. With other tree species, the number of live individual plants increased by 807 (82.2%) from 982 to 1,789 plants, whereas the number of dead plants increased by 31 from 10 to 41 individual plants. Results of the average importance index analysis show that the number of *A. koreana* decreased, while the number of *Weigela subsessilis*, *Rhododendron yedoense* for. *poukhanense*, and *Magnolia sieboldii* increased. The species diversity index increased by 6.7% as per the maximum level in the upper layer and by 7.2% in the lower layer, respectively. Results of the stem morphology analysis show that the number of AS type was highest with 700 individual plants among *A. koreana*, while their distribution by type shifted from AS>AL>DS>DB to AS>DS>AL>DB.

**First author** : Song, Kuk-Man, Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science,  
Tel : +82-64-730-7261, E-mail : kukman@empas.com

**Corresponding author** : Kim, Jae-Hoon, Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science,  
Tel : +82-64-730-7290, E-mail : jkim1922@korea.kr

**Received** : 8 November, 2017. **Revised** : 12 February, 2018. **Accepted** : 2 February, 2018.

As for other species, the AS type was most abundant with 1,580 individual plants, while their distribution by type shifted from AL>AS>AF>AB to AS>AL>AB>AD. The number of newly sprouted tree plants has increased from 420 in 2014 to 453 in 2016. Of the individual plants that were alive in 2014, 23 were found dead and 33 individual plants younger than 3 years old have been newly added to the group. The number of deaths after 2014 was highest among the 2 years olds, whereas the number of 2 years olds that sprouted in 2014 was highest among the newly sprouted tree plant group. In the *A. koreana* forest in Yeongsil, the density of other species was rising rapidly with the exception of the dead and live *A. koreana*. The occurrence of new tree plants is decreasing rapidly, thereby confirming the rapid change in the area's vegetation structure. Therefore, there is a need for continuous long-term ecological research to monitor vegetation change. It can also be used as a basic data for efficient restoration research.

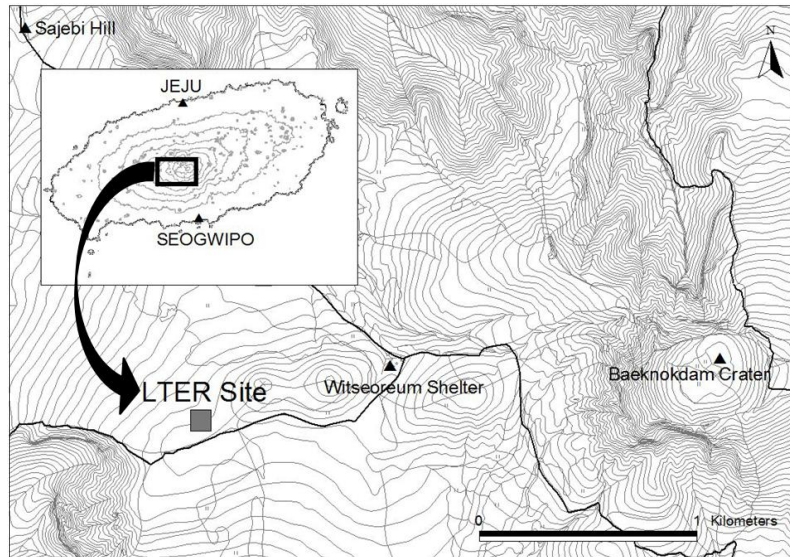
Key Words : *Species diversity, Mean Importance Values, Seedling, Abies koreana*

## I. 서 론

기후변화는 수자원의 감소, 생태계의 구조와 역할 변화, 식량 부족, 해수면 상승으로 인한 수해 지역 확대와 주변 생태계 변화, 각종 전염성 질병의 확산 등 다양한 부정적 변화가 나타나게 된다(Bates *et al.*, 2008; Korea Meteorological Administration, 2009). 한반도의 경우 21세기말이면 평년(1971~2000년) 대비 기온은 4 °C 상승하고, 강수량은 17% 증가할 것으로 예측하고 있으며, 태백산맥과 소백산맥 산지를 제외한 서해안과 동해안 중부까지 아열대의 기후대가 형성될 것으로 전망된다(National Institute of Meteorological Research, 2007; Korea Meteorological Administration, 2009). 최근 우리나라에서는 기후변화에 따른 생태계 변화 현상을 지역별로 중장기적으로 관찰하여 생물종 감소 및 생태계 변화관련 기초 자료를 확보하고 생태계 보호, 복원 및 멸종 방지 대책에 활용하기 위해 2000년대 이후 장기생태연구(LTER: Long-Term Ecological Research)가 이루어지고 있다. 장기생태연구는 산림생태계의 현 상태와 향후 추세를 평가, 분석, 예측하여 그것의 자연성과 다양성을 회복하고 지속시키며 기후 변화에 능동적

으로 대응하기 위한 중요한 기초 자료가 될 수 있다(Cho *et al.*, 2006). 특히 우리나라의 저위도 지역에 위치한 제주도 한라산 고산식물의 경우 심각한 위기에 처할 것으로 보는 견해가 많다(Kong, 1999; Lee *et al.*, 2008; Yun *et al.*, 2010; Kang *et al.*, 2014). 그 중 영실 지역은 봄철 건조한 편서풍의 영향을 직접 받아 상대습도가 가장 큰 영향을 받고 있으며, 강수량의 편차와 강우일수의 감소, 풍속의 증가 등의 기상 환경의 변화가 가장 심각하게 나타나고 있고(Rim, 2009; National Institute of Meteorological Research, 2010; Seol, 2010; Song, 2011; Korea Meteorological Administration, 2012; Choi *et al.*, 2013) 성장환경의 변화와 함께 이종 침입, 질병 발생 등으로 구상나무 숲이 빠르게 쇠퇴(Song *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2012; Kim and Lee, 2013)하고 있다.

전 세계적으로 전나무속(*Abies*) 식물은 산악 지역의 고산 지대에 주로 분포한다. 전나무속 식물은 약 60여종에 달하며, 대부분 기후변화에 민감하여 다양한 환경 변화에 취약한 수종으로 알려지고 있다(Tanaka *et al.*, 2012; Chan *et al.*,



**Figure 1.** Location map of Long-Term Ecological Research (LTER) site of *Abies koreana* forest on Yeongsil area in Hallasan Mountain.

2013; Papadoulos, 2016; Tiwari *et al.*, 2017). 특히 구상나무는 우리나라 아고산 지역의 대표적인 특산수종으로 신생대 제4기 이후 간빙기를 거치면서 현재 한반도 고산 지역에 남아 있는 대표적인 기후변화 민감종이며, 전 세계적으로 한반도가 유일한 자생지로 알려져 있다. 이들 구상나무를 비롯한 고산 식물이 최근 다양한 원인에 의해 서식지가 감소하거나 개체수가 급격히 감소하고 있는 실정이다. 따라서 장기생태연구를 위한 기초 자료구축이 절실히 요구되고 있다(Schweingruber, 1988; Kim and Choo, 2000). 하지만 한라산의 구상나무(*Abies koreana* E. H. Wilson)를 대상으로 한 주요 연구로는 외부 형태적 특성에 대한 연구(Kang *et al.*, 1997; Kim, 2006; Song *et al.*, 2007; Song *et al.*, 2008), 생리적 특성 구명을 위한 연구(Koo *et al.*, 2001; Oh *et al.*, 2001; Lim *et al.*, 2006; Lim *et al.*, 2007), 그리고 식생구조 특성을 밝힌 생태학적 연구(Kim and Choo, 2000; Song *et al.*, 2010)가 있지만 기후변화에 의한 구상나무 숲의 장기생태 변화연구는 매우 빈약한 실정이다.

따라서 본 연구는 한라산 영실 지역의 구상나무 숲에서 2009년부터 2016년까지 조사된 자료를 이용하여 식생구조 및 종다양성 지수의 변화를 분석하여 장기생태연구와 효율적인 자생지 복원 연구를 위한 기초자료를 구축하기 위하여 실시하였다.

## II. 연구범위 및 방법

### 1. 조사지

장기생태연구 조사지(100m×100m)는 한라산 서쪽 사면의 영실지역에 위치한다. 지리적 위치는 N 33° 21' 22", E 126° 30' 36"이며 해발고도는 약 1,650m 지점이다(Figure 1). 조사지 방위는 주로 북쪽을 향하고 있으며(Northwest~Northeast), 경사도는 10° 미만으로 완만한 경사를 갖는다(Table 1).

### 2. 조사방법

조사지역에 전체 100m×100m(10,000m<sup>2</sup>)의 고정 조사구를 설치하고, 여기에 20m×20m(400

**Table 1.** Characteristics for the study site in Yeongsil area of Hallasan Mountain

Characteristic	Value	Characteristic	Value
GPS coordinate	N 33° 21' 33.8" E 126° 30' 28.6"	Slope(°)	0~10
Altitude(m)	1,650	Topography	Middle Slope
Aspect(°)	Northwest~Northeast	Coverage of rock(%)	10~90

m<sup>2</sup>)의 소조사구 25개를 세분화하여 설치하였다. 조사구 안에서 흉고직경을 측정할 수 있는 모든 개체를 대상으로 흉고직경, 수고, 수관폭, 지하고, 줄기형태 등을 조사하였다(Lim, 2004). 2009년과 2016년에 조사결과를 이용해 출현종의 입목 변화, 수목의 형태 변화, 치수발생 변화, Curtis and McIntosh(1951)의 중요치를 통합하여 백분율로 나타낸 상대중요치를 계산하고, 이를 층위[상층(Upper layer), 하층(Lower layer), 초본층(Herbaceous layer)]를 고려한 평균중요도지수(Mean Importance Values: MIV)와 Shannon Indx(Pielou, 1975)에 의한 종다양도지수(Species Diversity index: H'), 최대종다양도(H'max), 균등도(Evenness: J'), 우점도(Dominant: D')를 산출하여 변화를 비교하였다.

$$MIV = [(Upper\ layer\ IV \times 3) + (Lower\ layer\ IV \times 2) + (Herbaceous\ layer \times 1)] / 6$$

IV: relative density(RD)+relative frequency(RF)  
+relative basal area(RB)

$$H' = -\sum P \log P_i, P_i = n_i / N_i \text{ (종 } i \text{에 나타난 수와 총개체 수와의 비)}$$

$$H'max = \log S, S = \text{종수}$$

$$J' = H' / H'max, D' = 1 - J'$$

수목의 줄기 형태는 장기생태연구의 조사방법으로(Lim, 2004; National Institute of Environmental Research, 2009) 9개 유형[AS (standing alive), AB(broken alive), AL(leaning alive), AF(fallen/prone alive), AD(standing alive dead

top), DS(standing dead), DB(broken dead), DL(leaning dead), DF(fallen/prone dead)]으로 구분하여 유형별 개체수 변화를 분석하였다. 줄기 형태는 물리적 환경변화에 오랫동안 적응한 결과이기 때문에 강한 바람, 많은 적설 등의 물리적 환경에 의해 쓰러지거나 기울어지는 등의 직접적인 영향을 추측하게 할 수 있고, 줄기 형태에 따라 개체군이 어떻게 발달해 왔는지부터 어떻게 변할 것인지에 대한 추측이 가능하다.

구상나무 치수는 발아 직후의 개체부터 초본층(제주조릿대 분포 층위)에 분포하는 모든 개체를 대상으로 2014년에 1차 조사를 실시한 후 2016년에 2차 조사를 실시하였다. 치수발생 조사는 5m×5m(25m<sup>2</sup>)의 고정 조사구 16개를 설치하여 치수의 개체수, 수고, 수령(매년 1회 발생되는 마디의 개수로 추정) 등을 조사하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 식생 피도 변화

영실 구상나무 숲에서 제주조릿대의 피도와 전체 식생 피도는 큰 변화가 없었다(Table 2). 이는 아고산 지역에서 오랫동안 적응한 제주조릿대는 물리적인 환경변화가 발생하지 않으면 급격한 피도 변화가 없고, 물이 지표로 흐르지 못하고 지하로 빠르게 침투하는 특성 때문인 것으로 추정된다. 상층 식생의 평균 높이는 0.2m 낮아졌으며 식생피도는 상층 22.4% 증가하였으며, 하층은 6.4% 감소하였다. 온대 낙엽활엽수종의 개체수 증가로 인해 식생피도가 증가하였으며, 키가 큰 구상나무 개체가 고사되어 식생

**Table 2.** Change in location environment of *Abies koreana* forest in 2009 and 2016

Forest status	2009	2016
Ratio of gravel (%)	<1	<1
Coverage of <i>Sasa quelpaertensis</i> (%)	0~95	0~95
Total vegetation coverage (%)	60~98	60~98
Height (m)/Coverage of upper layer (%)	5.0(4.0~8.0)/34.2(0~80)	4.8(4.0~5.5)/56.6(0~70)
Height (m)/Coverage of lower layer (%)	2.4(1.5~3.0)/50.0(25~70)	2.1(1.7~2.5)/43.6(25~65)
Height (m)/Coverage of herb layer (%)	0.8(0.2~1.2)/67.0(30~90)	0.8(0.4~1.0)/68.8(35~95)

**Table 3.** Distribution status(2009 and 2016) of *Abies koreana* and the other species in LTER site(1ha) *A. koreana* forest in Yeongsil area of Hallasan Mountain

Species	Year	Height Max./Mean. (m)	Population		Max. DBH (cm)	Basal Area (cm <sup>2</sup> )		Average of DBH(cm)	
			Alive	Death		Alive	Death	< 10	≥ 10
<i>A. koreana</i>	2009	5.85/3.07	799	190	30.5	81,209.1	19,969.9	5.4	12.9
	2016	5.90/2.39	796	312	33.3	84,527.9	32,729.9	5.8	15.1
The other species	2009	4.83/2.53	982	10	25.0	32,373.6	1,284.9	4.7	8.5
	2016	5.00/2.34	1,789	41	25.2	51,712.2	2,136.9	4.7	12.9
Total	2009	5.85/2.80	1,781	200	30.5	113,582.7	21,254.8	5.1	10.7
	2016	5.90/2.37	2,585	353	33.3	136,240.1	34,866.8	5.3	14.0

높이가 감소한 것으로 판단된다.

## 2. 입목 현황

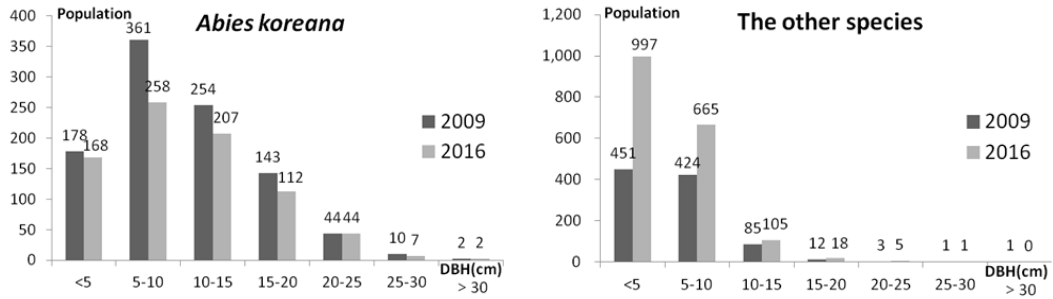
조사구 1ha당 목본식물은 1,781개체(2009년)에서 2,585개체(2016년)로 804개체(45.1%) 증가하였다. 그 중 구상나무는 살아있는 개체가 799개체에서 3개체가 감소하여 큰 차이는 없지만, 죽은 개체가 190개체에서 312개체로 122개체(64.2%)가 증가하였다. 구상나무를 제외한 기타 수종은 살아있는 개체가 982개체에서 1,789개체로 807개체(82.2%)가 증가했으며, 죽은 개체는 10개체에서 31개체가 증가한 41개체였다. 흉고직경이 가장 큰 구상나무는 2.8cm가 성장하였으며, 10cm 미만의 흉고직경을 갖는 구상나무는 평균 5.8cm로서 0.4cm 증가했으나, 10cm 이상의 개체에서는 2.2cm가 증가하였다(Table 3).

구상나무의 흉고직경급별 개체수는 흉고직경 5cm 이상 10cm 미만 개체가 가장 많지만 가장

많이 감소하였다(Figure 2). 구상나무를 제외한 기타 수종은 5cm 미만 개체가 가장 많이 증가했으며, 10cm 미만 개체가 93%를 차지한다. 이는 지리산(Chung *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 2000; National Institute of Environmental Research, 2009) 지역 5cm 미만의 개체가 약 10% 미만이고, 전나무속 식물이 분포하는 아시아 내륙의 아고산 지역(Qinghai-Tibetan Plateau, China)은 흉고직경 5cm 미만의 개체 비중이 약 22.8%를 차지하고 있는 것(Miao *et al.*, 2014)과도 큰 차이를 보이는 결과이다. 이 같은 이유는 한라산이 위도가 낮고 해안에서 가깝기 때문에 기후변화에 더 민감하거나 직접적인 영향을 받고 있기 때문인 것으로 판단된다.

## 3. 식생 구조와 종다양성 변화

영실지역 구상나무 숲 출현종의 상층부 중요도 변화는 Table 4와 같았다. 2009년 구상나무



**Figure 2.** Distribution of DBH (cm) classes of *Abies koreana* and the other species in Yeongsil area of Hallasan Mountain.

**Table 4.** Change of mean importance values (MIV) in Yeongsil area of Hallasan Mountain

Scientific name	MIV	
	2009	2016
<i>Abies koreana</i> 구상나무	83.74	78.27
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	58.18	58.82
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벗지나무	40.90	35.04
<i>Weigela subsessilis</i> 병꽃나무	16.16	20.41
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	31.58	20.38
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> 산철쭉	9.51	19.13
<i>Magnolia sieboldii</i> 함박꽃나무	10.09	16.89
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> 눈향나무	2.72	9.13
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	11.59	9.03
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i> 노린재나무	4.71	7.60
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	1.95	6.60
<i>Betula ermanii</i> 사스레나무	8.73	4.25
<i>Pourthiaea villosa</i> 윤노리나무	8.83	2.46
<i>Lonicera maackii</i> 괴불나무	0.52	2.28
<i>Euonymus hamiltonianus</i> 참빗살나무	1.94	1.85
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	3.58	1.80
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무	0.00	1.13
<i>Vaccinium japonicum</i> 산매자나무	0.00	1.11
<i>Smilax sieboldii</i> 청가시덩굴	0.00	0.94
<i>Viburnum sargentii</i> 백당나무	0.00	0.91
<i>V. furcatum</i> 분단나무	1.87	0.76
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍나무	0.82	0.42
<i>Sorbus alnifolia</i> 팔메나무	0.79	0.42
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> 고로쇠나무	0.00	0.38
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	1.78	0.00
Total	300	300

**Table 5.** Diversity indices(2009 and 2016) for tree and shrub layer of *Abies koreana* forest in Yeongsil area of Hallasan Mountain

Layer	Year	No. of Species	Species diversity (H')	H'Max	Evenness (J')	Dominance (D')
Upper	2009	15	0.645	1.176	0.549	0.451
	2016	19	0.787	1.279	0.615	0.385
Lower	2009	17	0.817	1.230	0.664	0.336
	2016	15	0.865	1.176	0.736	0.264

의 평균중요도는 83.74에서 2016년 78.27로 상층부 중요도는 감소하였으며, 한라산 온대낙엽활엽수림 지역의 주요 종인 산개벚나무와 신갈나무도 감소하였다. 반면에 하층의 주요 종인 병꽃나무, 산철쭉, 함박꽃나무 등은 평균중요도가 증가하였다. 층위별 가중치가 고려된 평균중요도지수의 경우 관목층의 급격한 개체수와 피도의 증가는 상층 주요종의 중요도 구성비에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에, 온대낙엽활엽수의 지수 감소가 일시적으로 발생한 것으로 판단된다. 영실지역 구상나무 숲은 구상나무를 제외한 기타 수종(주목, 산개벚나무 등)의 개체수 증가(Table 3)로 인해 아고산대 침엽수림 식생 구조가 변화하고 있음을 보여준다(Research Institute of Hallasan, 2007; Lee *et al.*, 2010).

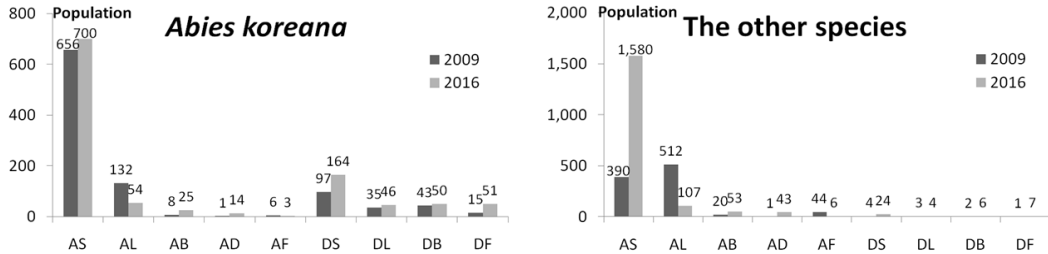
Table 5는 종다양도, 최대종다양도, 균재도, 우점도를 조사한 결과이다. 출현종수는 상층이 4종 증가하였으며, 하층은 2종이 감소하였다. 균등도는 상층 0.067, 하층 0.072가 증가하였다. 이 같은 종다양도 증가는 Antos *et al.*(2008), Lim and Lee(1991), Song(2011)와 같이 출현종수가 감소하더라도 종풍부도와 균등도의 증가로 인한 것이며, 이입 수종(온대낙엽활엽수종)의 증가로 인한 풍부도의 증가는 구상나무의 지수 감소를 발생시킬 수 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 수목 형태 분석

수목 줄기의 형태 조사결과, 구상나무는 줄기가 곧바로 서서 자라는 개체(AS)가 44개체 증가

하여 700개체로 가장 많았으며, 줄기가 기울어져서 자라는 개체(AL)가 132개체에서 54개체로 약 60%가 감소하였다. 각 유형의 변화를 세부적으로 비교한 결과 새롭게 발생한 개체의 대부분이 AS 유형이며, 기울어져서 자라던 개체는 대부분 땅에 쓰러지거나(DF) 줄기가 부러져서 자라는 개체(DB)로 발달하였다. 특히 구상나무 중에서 죽은 개체는 모든 유형이 증가했으며, 곧바로 서서 죽은 개체(DS)가 가장 많이 차지하였다. 부러져서 죽은 개체(DF)는 가장 높은 비율로 증가하였으며, 이는 강한 바람이나 많은 눈에 의한 물리적으로 강한 외부의 충격에 의해 발생되므로, 최근 발생했던 강한 태풍이나, 겨울철 북서계절풍 등에 의해 증가한 것으로 판단된다. 따라서 한라산 영실 지역 구상나무 숲은 AS형>AL형>DS형>DB형에서 AS형>DS형>AL형>DB형으로 변경되었으며, 줄기 형태의 변화는 발생되는 환경 변화에 따라 다양하게 나타나게 될 것이다.

구상나무를 제외한 기타 종은 AL형>AS형>AF형>AB형에서 AS형>AL형>AB형>AD형으로 변화하였다. 곧바로 서서 자라는 개체(AS)가 4배가 증가한 1,580개체로 가장 많이 증가하였다. 관목층에서 발생된 신규 개체의 경우 생장 초기에는 대부분 곧바로 서서 자라는 특성이 있기 때문에 이들 개체의 모니터링을 통해 유형 변화를 확인하고 변화의 원인을 구명할 필요가 있다. 줄기가 기울어져서 자라는 개체(AL)는 대부분 수관 하부에서 발생하였으며, 생장 초기에



**Figure 3.** Population change of species of stem vitality of *Abies koreana* and the other species in Yeongsil area of Hallasan Mountain.

**Table 6.** Change of population and average height by age class of *Abies koreana* seedling in Yeongsil area of Hallasan Mountain

	Year	Age				Dead	Total
		5 >	5 ~ 10	10 ~ 15	15 <		
Population	2014	264	136	13	7	-	420
	2016	133	248	40	9	23	453
Average height (cm)	2014	13.0	25.7	42.6	85.1	-	-
	2016	12.1	23.5	38.2	85.9	-	-

**Table 7.** Population distribution by age of dead seedling in Yeongsil area of Hallasan Mountain

Age	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Dead seedling	3	10	4	3	1	0	1	1	23
New seedling	8	16	9	0	0	0	0	0	33

는 주변 개체와의 수관 및 줄기의 생존 경쟁 때문에 기울어져서 자라다가 수관 상층으로 올라오면서 수직으로 자라는 형태를 보이고 있기 때문인 것으로 판단된다.

### 5. 치수 발생 변화

지속적인 치수 발생은 구상나무 숲의 안정적인 식생 구조의 유지에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 구상나무 치수는 2014년에 420개체에 2016년 453개체로 증가하였다(Table 6). 2014년에 살아있던 개체 중에서 23개체는 죽었으며, 3년생 미만의 33개체가 새롭게 발생하였다. 2014년에는 5년생 미만의 개체가 가장 많았지만, 2016년에는 5년 이상 10년 미만의 개체가 가장 많았다. 2014년 이후 죽은 치수는 2년생이

가장 많았으며, 새롭게 발생한 치수의 경우 2014년에 발생한 2년생 치수가 가장 많았다. 매년 불규칙한 치수 발생량을 보이는 것으로 조사되었다(Table 7). 하지만 성숙개체가 급격히 감소하고 있으며, 발생하는 치수량에 비해 고사되고 있는 치수량 비중이 높게 유지되고 있어 구상나무 숲의 쇠퇴가 지속적으로 발생할 것으로 추측된다. 아시아 내륙(Qinghai-Tibetan Plateau) 지역에 분포하는 아고산 *Abies*속의 일부 수종에서도 기후 온난화로 인해 고도가 낮은 지역에서는 발생하는 치수가 전혀 없고 해발고도가 비교적 높은 지역에서만 치수가 발생하고 있어 분포 변화가 빠르게 진행되고 있다(Dang *et al.*, 2010). 기존 치수의 성장과 고사에 의해 수령이 높아질수록 개체수는 적어지고, 새로운 개체가 지속적



으로 감소할 경우 건전한 식생구조를 유지시킬 수 없게 된다. 따라서 치수 발생과 발생한 치수의 생장 조사가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### IV. 요약

본 연구는 한라산 영실 지역의 구상나무 숲에서 식생구조와 종다양성 지수의 변화를 분석하여 장기생태연구의 기초자료를 구축하기 위해 실시하였다. 조사결과 1ha당 목본식물은 1,781개체에서 804개체(45.1%)가 증가한 2,585개체였으며, 살아 있는 구상나무는 796개체로 큰 변화는 없었지만 죽은 개체는 190개체에서 312개체로 122개체(64.2%)가 증가하였다. 기타 수종은 살아있는 개체가 982개체에서 1,789개체로 807개체(82.2%)가 증가했으며, 죽은 개체는 10개체에서 31개체가 증가한 41개체였다, 평균 중요도지수 분석결과 상층 구상나무는 감소하였고, 하층 병꽃나무, 산철쭉, 함박꽃나무는 증가하였다. 종다양도는 최대종다양도 대비 상층 6.7%, 하층 7.2%가 증가하였다. 줄기 형태 분석결과 구상나무는 AS형이 700개체로 가장 많았으며, AS형>AL형>DS형>DB형에서 AS형>DS형>AL형>DB형으로 변화하였다. 기타 수종은 AS형이 1,580개체로 가장 많았으며, AL형>AS형>AF형>AB형에서 AS형>AL형>AB형>AD형으로 변경되었다. 치수 발생 변화는 2014년에 420개체에서 2016년 453개체로 증가하였다. 2014년에 살아있던 개체 중에서 23개체는 죽었으며, 3년생 미만의 새로운 개체가 33개체 새롭게 발생하였다. 2014년 이후 죽은 치수와 새롭게 발생한 치수는 2년생 치수가 가장 많았다. 영실 구상나무 숲은 구상나무의 고사목과 구상나무를 제외한 기타 수종의 밀도가 급격히 증가하고 있고 치수발생이 급격히 감소하고 있어 식생구조의 변화가 빠르게 발생하고 있다. 따라서 식생변화를 모니터링 할 수 있는 지속적인 장기

생태연구가 필요하고 효율적인 자생지 복원 연구의 기초자료로 활용가능하다.

#### References

- Antos JA · Parish R and Nigh GD. 2008. Growth Patterns Prior to Mortality of Mature *Abies lasiocarpa* in Old-growth Subalpine Forests of Southern British Columbia. *Forest Ecology and Management*. 255(5-6): 1,568-1,574.
- Bates BC · Kundzewicz ZW · Wu S and Palutikof JP. 2008. Climate Change and Water, Technical. Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva. pp. 210.
- Chan MH · Hu ST · Lin HC and Fujimoto N. 2013. Comparison of COFECHA and TSAPWIN from Dendroclimatology for Climate Change and Taiwan Fir (*Abies kawakamii*) Growth Pattern in Alpine Central Taiwan. *Journal of the Faculty of Agriculture*. 58(1): 115-124.
- Cho HJ · Lee JH and Bae KH. 2006. Composition and Structure of the Major Forest Stands in Mt. Worak, Korea: On the National Long-Term Ecological Research Sites. *Journal of Ecology and Field Biology*. 29(6): 531-537. (in Korean with English summary)
- Choi YE · Oh JG and Kim CH. 2013. Community Distribution on Forest Vegetation of the Hyangjeokbong in the Deogyusan National Park. *Korean Journal of Ecology and Environment*. 46(2): 289-300. (in Korean with English summary)
- Chung JM · Lee SW and Lee KY. 1996. Vegetation Structure, Regeneration Niche, and Dynamics of the Saplings in *Abies koreana* Forest of the Mt. Chiri. *Journal of Korean*

- Forestry Society. 85(1): 34-43. (in Korean with English summary)
- Curtis, JT and McIntosh RP. 1951. An upland forest continuum in the Prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*. 32: 476-496.
- Dang H · Zhang Y · Zhang K · Jiang M and Zhang Q. 2010. Age structure and regeneration of subalpine fir (*Abies fargesii*) forests across an altitudinal range in the Qinling Mountains, China. *Forest ecology and management*. 259(3): 547-554.
- Kang SJ · Kwak AK and Kikuchi T. 1997. A Phytosociological Description of the *Abies koreana* Forest on Mt. Halla in Cheju Island, Korea. *The Korean Journal of Ecology*. 20(2): 293-298. (in Korean with English summary)
- Kang WS · Kim KO · Lee SG · Park HN and Cho SH. 2014. Distribution of High Mountain Plants and Species Vulnerability Against Climate Change. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 23(2): 119-136. (in Korean with English summary)
- Kim GT and Choo GC. 2000. Comparison of Growth Condition of *Abies koreana* Wilson by Districts. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 14(1): 80-87. (in Korean with English summary)
- Kim GT · Choo GC and Baek GJ. 2000. Studies on the Structure of Forest Community at Myung-sunbong, Tokp'yongbong Area in Chirisan National Park-*Abies koreana* Forest. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 13(4): 299-308. (in Korean with English summary)
- Kim HS · Lee SM and Song HK. 2011. Actual Vegetation Distribution Status and Ecological Succession in the Deogyusan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 25(1): 37-46. (in Korean with English summary)
- Kim NS and Lee HC. 2013. A Study on Changes and Distributions of Korean Fir in Sub-Alpine Zone. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 16(5): 49-57. (in Korean with English summary)
- Kong WS. 1999. The Vertical Distribution of Air Temperature and Thermal Amplitude of Alpine Plants on Mt. Halla, Cheju Island, Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*. 34(4): 385-393. (in Korean with English summary)
- Koo KA · Park WK and Kong WS. 2001. Dendrochronological Analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of Climate Change on the Growths. *The Korean Journal of Ecology*. 24(5): 281-288. (in Korean with English summary)
- Korea Meteorological Administration. 2009. Climate Change Handbook. Korea Meteorological Administration. pp. 91. (in Korean)
- Korea Meteorological Administration. 2012. The Korea Climate Change Prospect Report. pp. 151. (in Korean)
- Lee SC · Choi SH · Kang HM · Cho HS and Cho JW. 2010. The Change and Structure of Altitudinal Vegetation on the East Side of Hallasan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 24(1): 26-36. (in Korean with English summary)
- Lee SH · Heo IH · Lee KM · Kim SY · Lee YS and Kwon WT. 2008. Impacts of Climate Change on Phenology and Growth of Crops: In the Case of Naju. *Journal of the Korean Geographical Society*. 43(1): 20-35. (in Korean with English summary)
- Lim BS. 2004. Pilot Projects for National Long-term Ecological Research: Protocols and Guidelines. Ministry of Environment. pp. 404.

- (in Korean)
- Lim JH · Woo SY · Kwon MJ and Kim YK. 2007. Antioxidant Enzyme Activities and Soil Properties of Healthy and Declining *Abies koreana* (Wils.) in Mt. Halla. Journal of Korean Forestry Society. 96(1): 14-20. (in Korean with English summary)
- Lim JH · Woo SY · Kwon MJ · Chun JH and Shin JH. 2006. Photosynthetic Capacity and Water Use Efficiency under Different Temperature Regimes on Healthy and Declining Korean Fir in Mt. Halla. Journal of Korean Forestry Society. 95(6): 705-710. (in Korean with English summary)
- Lim YJ and Lee JH. 1991. On the Dominance-Diversity in the Forest Vegetation of Mt. Halla National Park. The Korean journal of ecology. 14(3): 257-271. (in Korean with English summary)
- Miao N · Liu S · Yu H · Shi Z · Moermond T and Liu Y. 2014. Spatial analysis of remnant tree effects in a secondary *Abies-Betula* forest on the eastern edge of the Qinghai-Tibetan Plateau, China. Forest ecology and management. 313(2014): 104-111.
- National Institute of Environmental Research. 2009. National long-Term Ecological Research Project(II). Ministry of Environment. pp. 1,855. (in Korean)
- National Institute of Meteorological Research. 2007. The Application of Regional Climate Change Scenario for the National Climate Change Report(III). Korea Meteorological Administration. pp. 559. (in Korean)
- National Institute of Meteorological Research. 2010. See the Climate Change VI-Climate Change of Jeju. pp. 63. (in Korean)
- Oh SJ · Koh JG · Kim ES · Oh MY and Koh SC. 2001. Diurnal and Seasonal Variation of Chlorophyll Fluorescence from Korean Fir Plants on Mt. Halla. Korean Journal of Environmental Biology. 19(1): 43-48. (in Korean with English summary)
- Papadopoulos A. 2016. Tree-ring patterns and climate response of Mediterranean fir populations in Central Greece. Dendrochronologia 40: 17-25.
- Park CH · Yun JH · Kim JS · Kim SY · Lee BY · Tanaka N and Nakao K. 2012. Habitat Prediction and Impact Assessment of Climate Change on Korean Plants (II). National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea. pp. 34. (in Korean)
- Pielou, EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons Inc, New York. 165pp.
- Research Institute of Hallasan. 2007. Korean Fir in Mt. Halla. Jeju Special Self-Governing Province. pp. 165. (in Korean)
- Rim CS. 2009. Spatial Distribution of Precipitation Trends According to Geographical and Topographical Conditions. Journal of Korea Water Resources Association. 42(5): 385-396. (in Korean with English summary)
- Schweingruber, FH. 1988, Tree Rings : Basics and application of dendrochronology. Kluwer Academic Pub., Dordrecht. Netherlands. 276. species from different altitude. Plant Cell Environ. 19138-146.
- Seol DI. 2010. Global Warming and Trends of Typhoon Variation. Journal of Navigation and Port Research. 34(6): 453-458. (in Korean with English summary)
- Song JH · Lee JJ and Kang KS. 2008. Variation in Cone, Seed, and Bract Morphology of *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. and *A. koreana* Wilson in Native Forests. Journal of Korean

- Forestry Society. 97(6): 565-569. (in Korean with English summary)
- Song JH · Lee JJ · Lee KY · Lee JC and Kim YY. 2007. Variation in Needle Morphology of Natural Populations of *Abies nephrolepis* Maxim. and *A. koreana* Wilson in Korea. Journal of Korean Forestry Society. 96(4): 387-392. (in Korean with English summary)
- Song KM. 2011. Vegetation Structure and Dynamics of *Abies koreana* Forests on Mt. Halla. Ph. D. Dissertation. Jeju National University. (in Korean)
- Song KM · Kim CS · Koh JG · Kang CH and Kim MH. 2010. Vegetation Structure and Distribution Characteristics of *Abies koreana* Forest in Mt. Halla. Journal of Environmental Science International 19(4): 415-425. (in Korean with English summary)
- Tanaka N · Nakao K · Tsuyama I · Higa M · Nakazono E · Matsui T. 2012. Predicting the impact of climate change on potential habitats of fir (*Abies*) species in Japan and on the East Asian continent. Procedia Environmental Sciences 13 (2012): 455 - 466.
- Tiwari A · Fan ZX · Jump AS · Li SF and Zhou ZK. 2017. Gradual expansion of moisture sensitive *Abies spectabilis* forest in the Trans-Himalayan zone of central Nepal associated with climate change. Dendrochronologia 41: 34-43.
- Yun JH · Kim JH · Oh KH and Lee BY. 2010. Vertical Distribution of Vascular Plants in Jungsanri, Mt. Jiri by Temperature Gradient. Korean Journal of Environment and Ecology. 24: 680-707. (in Korean with English summary)