

최근 10년(2006~2015년) 동안 한라산 구상나무림의 공간분포변화¹

김종갑² · 고정근^{3*} · 임형택⁴ · 김동순⁵

Changes of Spatial Distribution of Korean fir Forest in Mt. Hallasan for the Past 10 Years(2006, 2015)¹

Jong-Kab Kim², Jung-Goon Koh^{3*}, Hyeong-Taek Yim⁴, Dong-Soon Kim⁵

요 약

최근 10년 동안 한라산 구상나무림의 공간분포변화를 알아보기 위해 2006년과 2015년의 분포면적, 수관밀도를 조사하고 해발고도, 방위 및 지역별 특성을 분석하였다. 2015년 구상나무림의 전체 면적은 626.0ha로 조사되었는데, 2006년 738.3ha에 비해 10년 동안 15.2%에 해당되는 112.3ha가 감소한 것으로 나타났다. 구상나무의 수관밀도가 41~70%에 해당되는 중밀도의 면적은 10년 동안 72.6ha가 감소하였고, 71% 이상의 조밀한 구상나무림도 21.3ha가 감소된 것으로 나타났다. 해발고도에 따라서는 1,510~1,600m 구간에서 전체 감소면적의 32.6%를 차지하여 가장 많은 변화를 보였다. 방위별로는 남동쪽이 23.4ha가 감소하였으며, 동쪽을 중심으로 남동과 북동의 면적 변화가 전체 면적의 55.5%인 62.3ha가 줄어든 것으로 나타났다. 지역별 구상나무림의 분포 변화는 진달래밭에서 정상에 이르는 지역이 전체 감소면적인 117.9ha중 71.8%에 해당되는 84.6ha가 감소하였으며, 영실등산로일대가 21.5%인 25.3ha, 큰두레왓일대는 6.8%인 8.0ha가 줄어든 반면 방애오름일대는 5.6ha가 증가된 것으로 분석되었다. 이들 구상나무림의 면적 감소는 해발고도, 방위 및 지역별 변화 상황을 고려하면 태풍, 가뭄 등의 이상기후의 증가가 주요 요인이 되어 한라산 특정 지역을 중심으로 크게 발생된 것으로 보인다.

주요어: 구상나무, 수관밀도, 분포변화, 자생지 환경

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the change of spatial distribution of Korean fir (*Abies koreana* E. H. Wilson) in Mt. Hallasan for the past 10 years. We examined the distribution and crown density between 2006 and 2015 and analyzed the elevation, direction, and regional characteristics.

The total area of Korean fir was 626.0ha in 2015, which declined by 112.3ha accounting for 15.2% for the past 10 years compared to 738.3ha in 2006. For the past 10 years, the area of moderately dense Korean fir with the crown density of 41% to 70% decreased by 72.6ha while the area of dense Korean fir with the crown density of 71% or more decreased by 21.3ha. The area with an elevation between 1,510m and 1,600m showed the largest

1 접수 2017년 8월 1일, 수정 (1차: 2017년 10월 15일, 2차: 2017년 11월 5일), 게재확정 2017년 11월 15일

Received 1 August 2017; Revised (1st: 15 October 2017, 2nd: 5 November 2017); Accepted 15 November 2017

2 제주특별자치도 산림휴양과 Forest & Recreation Division, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju 63122

3 제주특별자치도 세계유산본부 한라산연구부 Research Department for Hallasan, World Heritage Office, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju 63143

4 (주)동신지티아이 Dongshin GTI CO.,LTD., Changwon, Gyeongsangnam-do, 51720

5 제주대학교 농학과 Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Science, Jeju Natl. Univ., Jeju 63243

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-64-710-6576, Fax: +82-64-710-7599, E-mail: kjg3839@korea.kr

change, accounting for 32.6% of the total declining area. Regarding the distribution by the direction, the area in the southeastern direction decreased by 23.4ha while the area in the southeast and northeast centered on the eastern direction decreased by 62.3ha, which accounted for 55.5% of the total area. Regarding the change of the distribution of Korean fir forest area by the region, the decrease of the area from the Jindallaebat to the top of the mountain was the largest at 84.6ha, or 71.8% of the total decreased area. The Yeongshil Trail area decreased by 25.3ha or 21.5% of the total while the Keundurewat area decreased by 8.0ha or 6.8%. On the contrary, the Bangaoreum area increased by 5.6ha.

The results indicate the large decrease of area of Korean fir forest centered on a particular location of Mt. Hallasan. Considering the changes according to the elevation, direction, and regional characteristics, it can be attributed to increasing frequency of abnormal climates such as typhoons and droughts.

KEY WORDS: *Abies koreana* E. H. Wilson, CROWN DENSITY, DISTRIBUTION CHANGE, HABITAT LOCATION ENVIRONMENT

서론

구상나무(*Abies koreana* E. H. Wilson)는 1920년에 우리나라의 특산식물로 보고된 종으로 분포 범위는 한라산, 지리산, 덕유산, 가야산 등 남부지방의 해발 1,000m 이상의 고산지대에 주로 자란다. 하지만 한라산을 제외하고는 대부분 숲을 형성하지 못하고 있을 뿐만 아니라 소규모 면적이거나 소수의 개체만이 드물게 분포한다. 이에 비해 한라산에는 광대한 면적의 순림이 형성되어 있으며, 세계에서 유일한 구상나무림이 분포하고 있다(Kong, 2006; Kim *et al.*, 2007; Song, 2011).

한라산 구상나무림의 면적은 2003년 항공사진분석을 통해 한라산 사면에 따라 다소 차이는 있으나 해발 약 1,300m부터 정상까지 분포하고 있으며, 그 면적은 603.3ha라고 보고하였다(Kim, 2006). 그리고 해발고도 1,500m에서 1,800m 사이에 전체 면적의 87.4%에 해당하는 526.9ha가 형성되었고, 방위별로는 동쪽과 북쪽사면에 걸친 지역에 집중되어 있다고 하였다. Song(2011)은 2009년 2월에 촬영된 항공사진을 이용하여 한라산 구상나무림은 해발 1,300m 구간에서부터 정상까지 분포하고 있으며, 면적이 1.0ha 미만의 소규모 집단을 제외하면 전체 면적은 803.6ha 이상인 것으로 보고하였다. 더불어 동사면은 해발고도 1,300m, 서사면과 남사면은 1,400m, 북사면은 1,500m부터 구상나무림이 분포하며, 20°미만의 경사도에 전체의 약 70%가 분포한다고 제시하였다. 그리고 Kim과 Lee(2013)은 1988년과 2002년 Landsat 위성을 사용하여 분석한 결과에 따르면 1998년에는 175ha, 2002년에는 117ha가 조사되었다고 보고한 바 있다. 이처럼 한라산 구상나무림의 면적은 산출방법 등에 따라 많은 차이를 보이고 있다.

한편, 한라산 구상나무는 광범위하게 성장쇠퇴가 발생되는 것으로 알려져 있다. 이들 성장쇠퇴는 태풍, 가뭄이 주요 원인으로 제시되었을 뿐만 아니라 지속적인 기온상승도 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Kang, 1984; Kim, 1994; Koo *et al.*, 2001; Song *et al.*, 2016). 특히 겨울기온의 상승이 성장쇠퇴에 영향을 주는데, 이는 겨울기온이 상승하는 경우 상록수는 광합성을 할 수 있는 조건이 충족되거나 광합성에 필요한 수분공급이 부족하여 수분수지의 불균형이 발생하여 생장에 악영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Koo *et al.*, 2001). 그리고 고산지대에 자라는 식물은 낮은 온도, 가뭄, 강한 바람, 서리 등 극한 환경에 노출되어 있어, 이들 환경적 요인에 의해 영향을 많이 받는다고 볼 수 있다(Wildi and Lutz, 1996). 더욱이 구상나무와 같은 과거 빙하기에 존재했던 식생은 산간지역에서 수직적 기온상승에 민감하게 반응하여 고사하거나 군락지역에 타 수종 특히, 아고산대 전이지역에 분포하는 신갈나무 군락 같은 식생의 침입이 일어나고 있는 상황이다(Cho, 2014).

따라서 본 연구는 최근 10년 동안의 한라산에 분포하는 구상나무림의 정확한 면적변화를 조사하고, 분포지역의 해발고도, 방위 특성을 알아보고자 수관밀도에 따라 4개 등급으로 구분하여 비교분석하였다. 이는 구상나무림의 변화조사를 통해 향후 구상나무 보전연구의 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

연구방법

1. 한라산 구상나무 분포면적 조사

구상나무(*Abies koreana* E. H. Wilson)림 분포조사는 한라산 전 지역을 대상으로 실시하였다. 분포면적은 국토지리정보원에서 제공받은 2006년 4월에 촬영된 정사영상(30cm 급)과 2015년 11월에 촬영된 정사영상(25cm급)을 이용하여 구상나무림의 경계를 확인하였다.

구상나무림의 면적분석은 불명확한 라인에 의한 기존의 방법에서 벗어나 격자를 기반으로 한 면적 산출방법을 개발하여 적용하였다. 격자기반 면적 산출법은 AUTO CAD Map 3D 2010 프로그램을 이용하여 정사영상 레이어(layer)에 15m×15m의 크기의 격자로 나눈 레이어를 추가하고, 격자 내에 영상으로 구분되는 구상나무 수관의 울폐도를 제6차 국가산림자원조사 및 산림의 건강·활력도 조사의 구분기준을 참고하여 4단계로 구분하여 작성하였다(Figure 1, Table 1; Korea Forest Service, 2011). 또한 구상나무와 다른 수목과 구분이 불확실한 지역은 산림청에서 2006년부터 2010년 동안 실시한 제5차 전국산림자원조사 결과(Korea Forest Research Institute, 2011)를 토대로 작성된 임상도(1:5,000)와 2015년 환경부에서 제공된 토지피복지도 세분류(Ministry of environment, EGIS)를 기초로 하여, 2015년 10월부터 2016년 11월까지 현지조사를 통해 보강하였다. 단, 수관밀도가 10% 이하에 해당되는 지역은 구상나무림의 면적에서 제외시켰다. 이는 경계구역을 명확하게 제시하여 분포범위의 정확도 및 신뢰성을 한층 높인 것일 뿐만 아니라 분포패턴, 밀도까지 파악할 수 있는 효과적인 접근방법으로 판단하였다. 지금까지는 항공사진이나 위성사진을 이용하여 육안으로 구상나무 군락의 경계를 구분하거나 영상의 RGB432조합을 이용하여 경계를 추출해왔다(Kim, 2006; Song *et al.*, 2010; Song, 2011). 그러나 이러한 방법은 식생이 혼생하거나 작은 규모의 군락지역, 개체가 산발적으로 분포하거나 대규모의 군락 내 일정규모 이하의 개체가 분포하지 않는 지역 및 암반지역의 경계 라인을 설정하는 데에서 분포면적의 산출에 많은 오차를 가져오는 것으로 보인다.

Table 1. Criteria of crown density division in Korean fir forest

Crown density of Korean fir	Division	Color coding
0~10%	very sparse	None
11~40%	sparse	Yellow
41~70%	moderate	Orange
71~100%	dense	Red

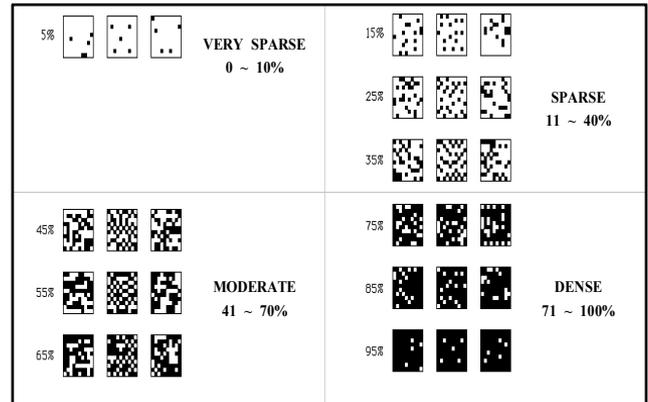


Figure 1. Crown occupancy pattern of Korean fir to distinguish the crown density in grid.

2. 구상나무림의 시·공간분포 분석

한라산 구상나무림의 최근 10년 동안의 공간분포 특성변화를 알아보기 위해 AUTO CAD Map 프로그램을 이용하여 구상나무 분포가 확인된 지역의 수관밀도별 색상코드를 부여한 후 ArcGIS을 이용하여 분석하였다(Table 1). 분포면적변화는 해발고도, 방위 및 사면을 중심으로 한 주요 지역별 분포를 분석하였다. 해발고도에 따른 분포는 해발고도 10m 단위로 조사한 후 해발 100m 단위로 구분하여 제시하였고, 방위 분석은 전체방위를 45°로 나누어 8개 방위로 구분하여 시·공간변화를 분석하였다(Table 2).

Table 2. Criteria of direction and azimuth range

Direction	Azimuth range
Flat	No slope
North	0 ~ 22.5°
Northeast	22.6 ~ 67.5°
East	67.6 ~ 112.5°
Southeast	112.6 ~ 157.5°
South	157.6 ~ 202.5°
Southwest	202.6 ~ 247.5°
West	247.6 ~ 292.5°
Northwest	292.6 ~ 337.5°
North	337.6 ~ 360.0°

결과 및 고찰

1. 구상나무림의 분포 및 수관밀도 변화

2015년 정사영상을 이용하여 한라산 구상나무 분포도를 작성한 결과, 구상나무의 수관밀도가 11% 이상을 차지하는 전체 면적은 해발 1,310m 이상 지역에 626.0ha로 나타났다(Figure 2, Table 3). 이중 수관밀도가 11~40% 범위에 포함되는 소밀도의 면적은 전체 면적의 50.5%에 해당되는 316.2ha로 나타나 상대적으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 수관밀도가 41~70%에 해당되는 중밀도의 면적은 40.4%인 253.1ha, 71% 이상의 수관밀도를 지닌 조밀도의 면적은 9.1%인 56.7ha 순으로 분석되었다. 이에 비해 2006년도에는 구상나무림이 해발 1,290m 이상 지역에 738.3ha가 분포하는 것으로 분석되었다. 이를 3단계의 수관밀도를 기준으로 보면 소밀도의 면적은 전체 면적의 45.3%인 334.3ha로 가장 높은 비율을 차지하였고, 중밀도의 면적이 44.2%인 326.0ha, 조밀도의 면적이 10.6%인 78.0ha 순으로 나타났다. 이들 결과는 기존의 항공사진을 이용하여 라인에 의해 산출된 한라산 구상나무림의 면적과는 많은 차이를 보였다(Kim, 2006; Song, 2011). 이는 구상나무림의 분석시점에 따른 차이도 다소 발생될 수 있으나 면적을 산출하는 방법이나 현지 확인의 미흡 등에 따라 많은 차이를 가져온 것으로 보인다.

전체적으로 한라산의 구상나무림은 정상을 중심으로 동사면과 북사면에 가장 넓은 분포 지역을 가지면서 서사면, 남사면 순으로 분포면적이 감소하는 경향을 보였다. 이는 한라산의 사면에 따라 일조량과 수분보유능력이 차이에서

구상나무림의 발달과 연관이 높다는 보고(Kim, 2006)와 유사한 경향을 보여준다. 즉, 일조량이 적은 지역이거나 수분이 충분히 유지되는 지역에 구상나무림의 형성이 더욱 발달하는 것으로 보인다.

2015년과 2006년의 분포결과를 기준으로 10년 동안의 구상나무림의 변화를 보면, 2006년 738.3ha에 비해 2015년에는 112.3ha가 감소한 것으로 나타났다(Figure 3, Table 3). 즉, 지난 10년 동안 11% 이상 수관밀도를 갖는 구상나무림이 2006년에 비해 15.2%가 감소한 것이다. 구상나무의 감소는 한라산 전 지역에서 관찰되기는 하였으나 정상을 중심으로 동사면 및 서사면에 집중적으로 발생된 것으로 나타났다. 특히, 동사면의 구상나무림 분포지역의 중간 부분과 해발고도가 낮은 서사면에서 대규모 면적 감소가 발생된 반면 남사면 지역의 구상나무림은 극히 한정된 부분에서 소규모로 감소된 것이 특이할 만하다.

구상나무림의 면적 감소에 대한 수관밀도에 따른 변동면적을 보면, 중밀도의 면적이 10년 동안 72.9ha가 감소하였고, 소밀도의 면적은 18.1ha가 감소된 것으로 나타났다(Table 3). 이와 같이 소밀도의 면적변화가 중밀도에 비하여 상대적으로 낮게 나타나는 것은 소밀도에서 수관밀도 10% 이하인 면적제외 밀도등급으로 변동이 112.3ha가 발생된 것이기 때문이다. 이는 고밀도에서 중밀도, 소밀도급으로 단계적인 변화뿐만 아니라 집중적인 고사목 발생에 따른 일시적인 밀도등급의 변화까지 포함된다.

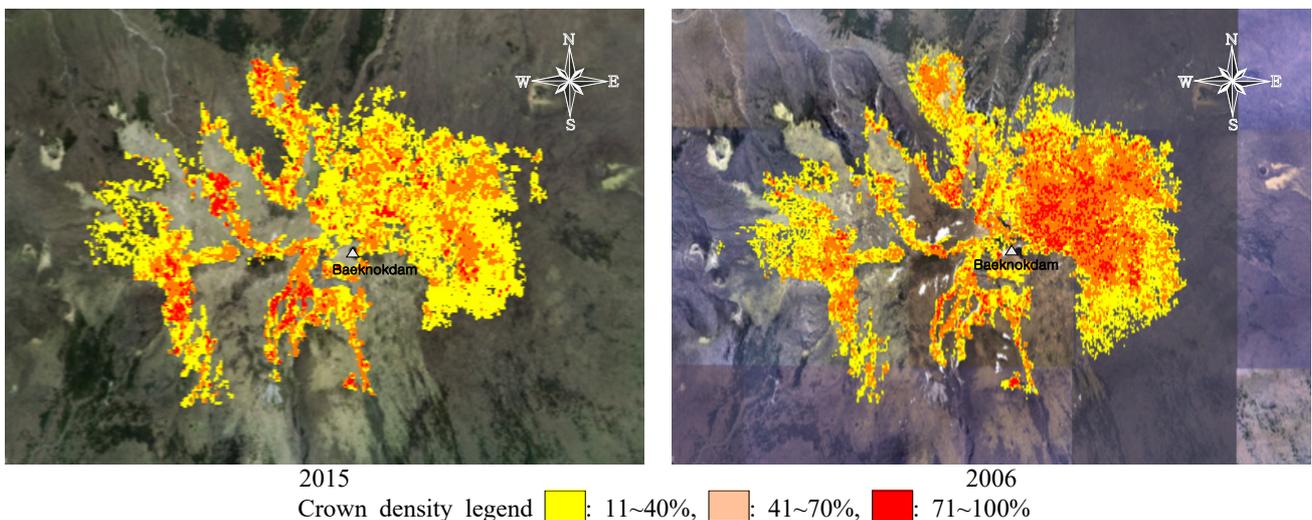


Figure 2. Distribution area of Korean fir forest in Mt. Hallasan in 2015 and 2006.

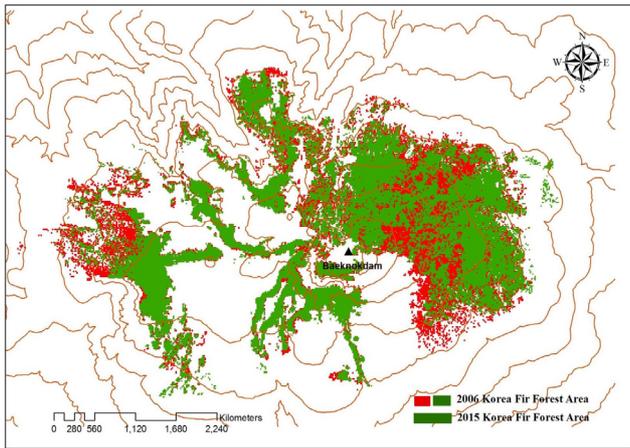


Figure 3. Changes of Korean fir forest in Mt. Hallasan for the last 10 years. The red area represents Korean fir forest that had disappeared for 10years from 2006 to 2015.

Table 3. Spatial and temporal changes of Korean fir forest in Mt. Hallasan

Crown density	Area by year(ha)		Area change(ha)	Relative change ratio(%)
	2015	2006		
Sparse	316.2	334.3	-18.1	16.1
Moderate	253.1	326.0	-72.9	64.9
Dense	56.7	78.0	-21.3	19.0
Total	626.0	738.3	-112.3	100.0

2. 해발고도별 구상나무림 변화

한라산의 해발고도에 따른 구상나무림의 분포면적은 2015년에는 해발 1,510~1,600m 구간에 전체 면적의 40.1%인 251.3ha로 가장 넓었으며, 이 구간을 중심으로 해발 1,500m 이하 지역의 면적은 8.7%에 해당되는 54.4ha인 반면에 해발 1,610m 이상에서는 51.2%인 32.3ha가 분포하는 것으로 조사되었다(Figure 4). 전체적으로 해발 1,510~1,700m 사이에 구상나무가 전체의 74.6%인 466.9ha가 분포하는 것으로 나타났다. 이들 구상나무림은 10년 전인 2006년에도 유사한 해발고도별 분포경향을 보였는데, 해발 1,510~1,600m 구간이 전체 면적의 39.0%인 287.8ha로 가장 넓었으며, 이 구간을 중심으로 해발 1,500m 이하 지역의 면적 비율이 10.2%에 해당되는 75.2ha인 반면에 해발 1,610m 이상은 50.8%인 375.3ha가 분포하는 것으로 나타났다.

최근 10년 동안 한라산의 구상나무림은 해발 1,910m 이상 지역인 정상일대를 제외하고는 해발고도에 관계없이 2015년 구상나무림의 면적이 2006년보다 모든 해발고도에

서 감소한 것으로 분석되었다. 특히, 상대적으로 가장 넓은 구상나무림의 면적을 지닌 해발 1,510~1,600m 구간이 전체 감소면적인 112.3ha의 32.5%에 해당되는 36.5ha로 가장 변화가 심하게 발생한 것으로 나타났다. 이 구간을 중심으로 해발고도가 1,500m 이하의 면적 감소는 전체 감소면적의 18.5%에 해당되는 20.8ha인 반면에 해발 1,610m 이상에서의 감소는 49.0%인 55.0ha로 조사되었다.

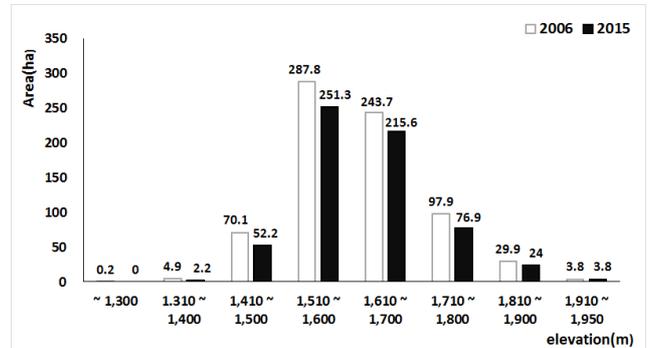


Figure 4. Changes of Korean fir forest according to elevation for the last 10 years.

3. 방위별 구상나무림의 변화

한라산 구상나무림의 방위별 전체적인 분포특성은 2015년에 동쪽을 중심으로 북동, 남동방향에 전체 면적의 46.7%를 차지하여 가장 넓게 분포하였고, 서쪽을 중심으로 남서와 북서방향으로 25.5%로 상대적으로 낮은 분포 비율을 보이는 것으로 나타났다(Figure 5). 2006년에는 동쪽을 중심으로 북동과 남동방향에 48.0%가 분포하고, 북쪽을 중심으로 북동과 북서가 37.6%가 분포하는 것으로 분석되었다. 이처럼 2015년과 2006년에 큰 변화를 보이지는 않았지만, 방위에 따른 감소 면적은 차이를 보였다. 즉, 최근 10년 동안 구상나무림의 남동쪽의 변화가 23.4ha가 감소하였으며, 동쪽을 중심으로 남동과 북동의 면적은 55.5%인 62.3ha가 줄어든 것으로 나타났다. 반면 남서쪽을 중심으로 하는 남쪽과 서쪽은 전체 변동면적의 17.7%인 19.9ha가 감소한 것으로 분석되었다.

이와 같은 한라산 방위별 분포특성은 구상나무림이 동사면과 북사면에 대부분 존재하고 일조량이 적고 수분이 충분히 유지되는 조건의 지역에 분포하며 구상나무림의 형성이 수분조건과 연관성이 높다는 연구와 유사한 경향을 보인다(Kim, 2006). 또한 한라산 토양조건이 점토로의 풍화작용이 매우 적으며, 대부분 굵은 입자여서 투수속도가 매우 빠를 수 있는 조건을 갖고 있어 수분조건과 사면의 방향이 구상나무림의 형성에 연관성을 가지는 것으로 판단할 수 있다

(Hyun, 2006). 그러나 구상나무의 생육환경이 양호한 곳으로 알려진 동쪽사면을 중심으로 지난 10년 동안 큰 규모의 고사목이 발생되고 구상나무림이 감소된 것은 태풍 등 외부적인 요인에 의해 많은 영향을 받은 것으로 추측할 수 있다.

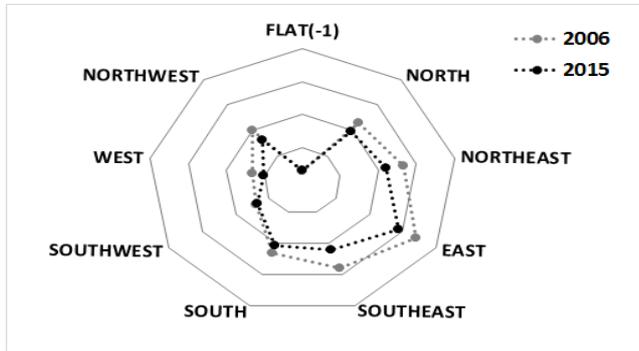


Figure 5. Changes of Korean fir forest according to azimuth for the last 10 years.

4. 주요 지역별 구상나무 분포변화특성

최근 10년 동안 한라산 구상나무림의 주요 분포지역의 변화를 알아보기 위해 분포상황 및 사면을 기준으로 크게 4개의 지역으로 나누어 분석한 결과, 성판악등산로를 중심으로 하는 진달래밭일대가 2006년에 비해 전체 감소면적 117.9ha중에 71.8%인 84.6ha가 감소한 것으로 나타났다 (Figure 6, 7). 또한 영실등산로일대는 21.5%인 25.3ha, 어리목등산로를 중심으로 하는 큰두레왓일대는 6.8%인 8.0ha 순으로 줄어든 것으로 조사되었다. 이에 반해 남벽등산로를 중심으로 하는 방애오름일대는 5.6ha가 증가한 것이 특징적이었다.

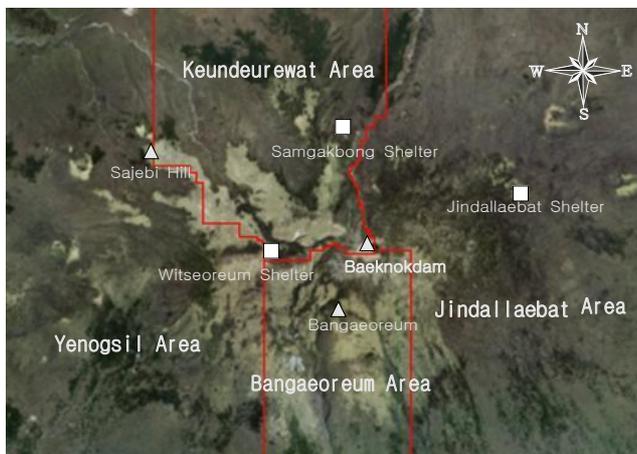


Figure 6. Boundary of main areas classified by slope and distribution situation of Korean fir forest.

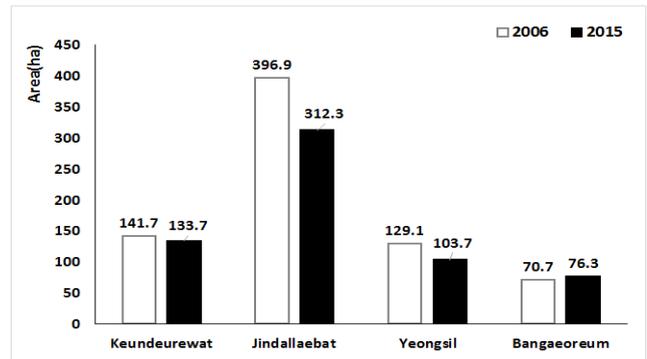


Figure 7. Changes of Korean fir forest in main areas for the last 10 years.

주요 지역별 구상나무림의 수관밀도분포 변화를 보면, 큰두레왓일대에서는 구상나무의 소밀도 면적이 14.2ha가 감소한 반면 중밀도와 조밀도의 면적은 각각 3.4ha, 2.8ha가 증가하였다(Figure 8). 이는 소밀도의 일부지역은 밀도제외 면적으로 이동하였지만, 일부에서는 소밀도에서 중밀도 면적으로, 중밀도에서 조밀도 면적으로 구상나무 개체수 증가 및 성장으로 인한 수관 확장으로 수관분포밀도가 상승한 것으로 판단된다. 진달래밭일대 구상나무 수관밀도 분포 변화는 중밀도의 면적이 79.7ha, 조밀도의 면적이 33.2ha가 감소하였으며, 상대적으로 소밀도의 면적은 28.2ha가 증가한 것으로 분석되었다. 증가한 소밀도의 면적은 상위단계의 등급 하락으로 증가한 것으로 보인다. 진달래밭일대의 수관 밀도는 단계별 하락보다는 조밀도에서 소밀도의 면적으로 변화되거나 일부는 면적제외 밀도까지 하락의 폭이 크게 발생된 것이 특징적이었다. 영실일대 구상나무림 분포 변화는 소밀도의 면적이 20.7ha로 가장 많이 감소한 반면 조밀도의 면적은 3.7ha가 증가하였다. 특히, 2015년 수관밀도 변화를 보면 해발 1,500m 이하 지역에서 소밀도의 면적이 대부분 면적제외 밀도로 등급이 하락한 것이 특이할 만하다. 방애오름일대 구상나무의 수관밀도 변화는 소밀도의 면적이 11.6ha가 감소하였으나, 이는 단계별 상승으로 인한 감소로 면적제외 밀도급에서 소밀도의 구상나무림으로 5.6ha로 발달한 것으로 분석할 수 있다. 그리고 수관 중밀도의 면적은 11.9ha, 조밀도의 면적은 11.1ha가 증가하여 지난 2006년의 면적보다 약 2배 정도 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 방애오름일대 구상나무림을 제외하고는 모든 지역에서 면적이 감소가 된 것으로 나타났다. 이는 한라산 구상나무의 생육상태와 어린 나무의 발생은 지역별로 많은 차이를 보이는데, 방애오름일대는 어린나무의 발생빈도가 일정하게 증가하고, 지속적인 숲의 성장과 확장이 이루어지고 있기 때문인 것으로 보인다(Koh et al., 1996). 또한 최근 한라산 구상나무의 주요 고사요인으로 제시한 태풍과 가뭄

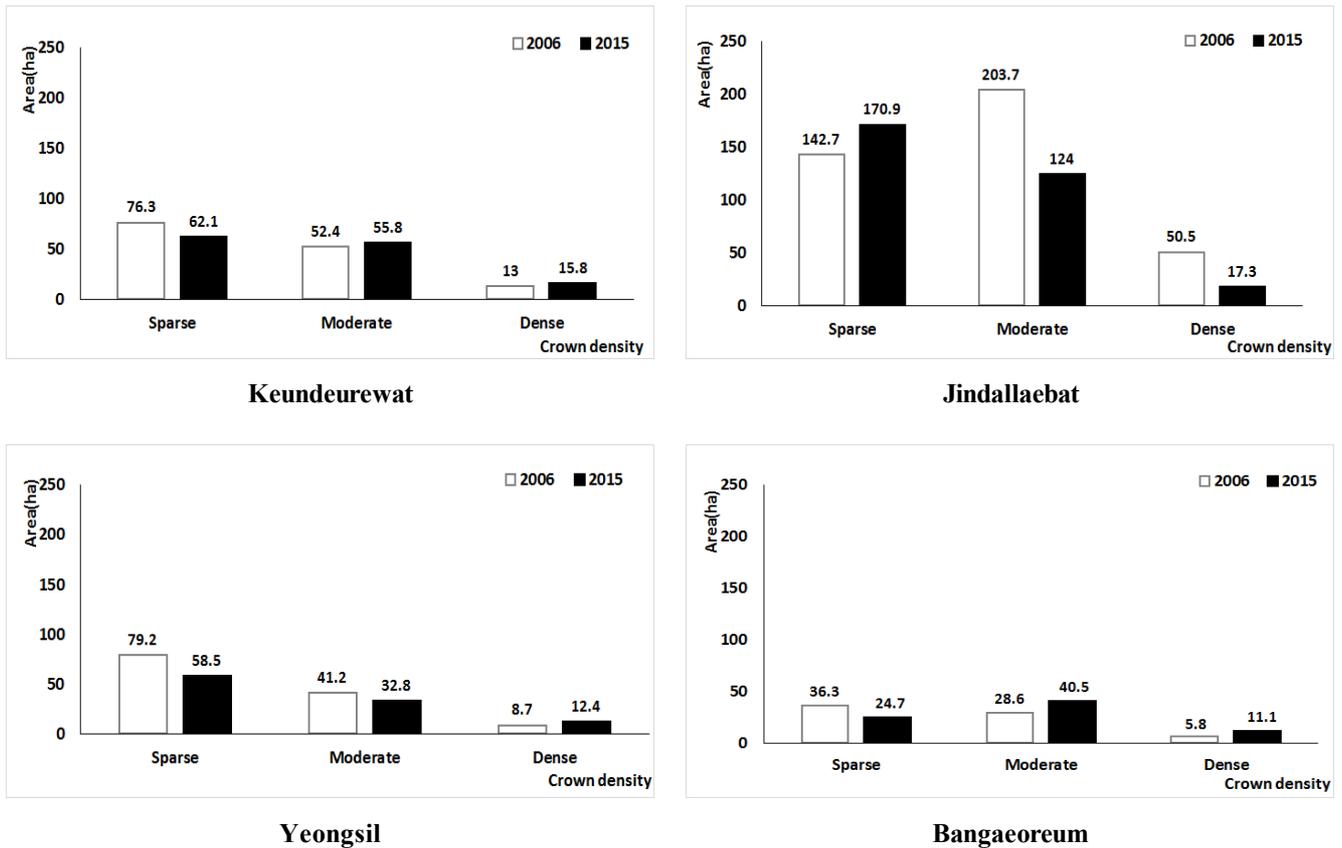


Figure 8. Changes of crown density of Korean fir forest in major regions of Mt. Hallasan for the last 10 years.

으로 인한 피해를 지형적 특성으로 인해 상대적으로 적게 받았기 때문인 것으로 추측된다(Song *et al.*, 2016). 그러나 어린 구상나무의 발생과 숲의 확장은 입지환경과 밀접한 관계를 가지는데, 암석노출과 고사목의 비율과는 정적 관계를 보이는 반면 제주조릿대의 피도, 숲 틈의 피도, 전체적인 식생피도와 초본류의 피도와는 부의 상관관계를 보인다는 보고(Song *et al.*, 2014)뿐만 아니라 적설기간동안 *Racodium therryanum* Thuem 종자 감염에 의해 구상나무숲 내의 종자 발아율이 아주 낮아진다는 보고(Cho *et al.*, 2007)를 볼 때 지역별 구상나무림의 면적 변화원인에 대해서는 보다 다양한 연구 접근이 필요한 것으로 판단된다.

2006년 이후 지난 10년 동안의 한라산 구상나무림의 면적 변화와 해발고도, 방위 및 지역별 변화 특성을 종합하면, 구상나무림은 해발 1,510~1,700m의 동쪽을 중심으로 한 남동과 북동에 위치한 성관악등산로 진달래밭에서 정상에 이르는 지역에 면적감소와 함께 수관밀도가 낮아지는 변화가 집중되었음을 알 수 있었다. 이는 지난 2012년에 발생한 태풍과 2013년 찾아온 가뭄으로 인하여 토양층이 빈약한 한라산 고산지대의 지지 기반이 더욱 더 약화되었고, 동사

면 진달래밭 지역과 서사면의 윗세오름 지역에 전년 대비 강수량의 20.8~30.0%만이 공급되는 수분 스트레스로 인해 일시적으로 고사목이 급증하였다고 보고(Song *et al.*, 2016) 하였다. 따라서 2012년 8월말부터 9월 중순까지 연이은 태풍 덴빈(Tembin), 볼라벤(Bolaven), 산바(Sanba)와 함께 90여년 만에 발생한 2013년 하절기에 59일 동안 지속된 극심한 가뭄 등 이상기후의 증가에 의해 구상나무림의 밀도와 자생지 면적의 감소에 크게 영향을 준 것으로 판단된다.

REFERENCES

Cho, H.Y., T. Mamoto, T. Kunihide, S.G. Hong and J.J. Kim(2007) Damage to *Abies koreana* seeds by soil-borne fungi on Mount Halla, Korea. Canadian Journal of Forest Research; 37, 2; ProQuest Central Basic pp. 371(in English)

Cho, M.K.(2014) Change of Vegetation Structure and Pattern of Annual Ring Growth of *Abies koreana* E. H. Wilson Forest in Mt. Jirisan. Ph. D. Dissertation, Gyeongsang National Univ. Gyeongsangnam-do, 100pp.(in Korean with English abstract)

Hyun, H.N.(2006) Soils in Hallasan National Park. Report of

- Survey and Study of Hallasan Natural Reserve 2006. Research Institute for Mt. Halla, Jeju, pp. 87-108. (in Korean with English abstract)
- Kang, S.J.(1984) Regeneration Process of Subalpine Coniferous Forest in Mt. Jiri. *Journal of Ecology and Environment* 7(4): 185-193.(in Korean with English abstract)
- Kim, E.S.(1994) Decline of tree growth and the changes of environmental factors on high altitude mountains .The Korea Science and Engineering Foundation Research Report KOSEF921-1500-081-2, pp. 89.(in Korean with English abstract)
- Kim, C.S.(2006) Characteristics of Distribution and Taxonomy of *Abies koreana*. Report of Survey and Study of Hallasan Natural Reserve 2006. Research Institute for Mt. Halla, Jeju, pp. 451-471.(in Korean with English abstract)
- Kim, G.T., Choo, G.C. and T.W. Um(2007) Studies on the structure of *Abies koreana* Community at Subalpine Zone in Hallasan. *Kor. J. Env. Eco.* 21(2): 161-167.(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)
- Koh, J.G., Kim, D.S., Koh, S.C. and M.H. Kim(1996) Dynamics of *Abies koreana* Forests in Mt. Halla. *Society for Jeju Studies.* No.13: 223-241.(in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2006) Biogeography of Native Korean Pinaceae. *Journal of the Korean Geographical Society* 41(1): 73-93.(in Korean with English abstract)
- Koo, K.A., 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. *Korean J. Ecol.* 24(5): 281-288.(in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute(2011) The 5th national forest inventory report. Korea Forest Research Institute 166pp. (in Korean)
- Korea Forest Service(2011) The 6th National Forest Resources Survey and Forest Health and Vitality Survey. Korea Forest Research Institute 23pp.(in Korean)
- Ministry of Environment(2015) Environmental Geographic Information Service(EGIS), <https://egis.me.go.kr>
- Song, K.M.(2011) Vegetation Structure and Dynamics of *Abies koreana* Forests on Mt. Halla. Ph. D. Dissertation, Univ. of Jeju National, Jeju-do, 96pp.(in Korean with English abstract)
- Song, K.M., C.S. Kim, J.G. Koh, C.H. Kang and M.H. Kim(2010) Vegetation Structure and Distributional Characteristics of *Abies koreana* Forests in Mt. Halla. *Journal of the Environmental Sciences.* 19(4): 415-425.(in Korean with English abstract)
- Song, K.M., Y.J. Kang and H.J. Hyeon(2014) Vegetation Structure at the Slope Direction and Characteristics of Seedlings of *Abies koreana* in Hallasan Mountain. *Journal of Environmental Science International* 23(1): 39-46.(in Korean with English abstract)
- Song, K.M., J. Kim, Y.J. Kang, H.S. Choi, S.C. Jung, S.Y. Lee, J.H. Lee, J.G. Koh, J.G. Kim, K.H. Lee, Y.P. Hong, J.H. Lm and C.S. Kim(2016) Korea Fir Hallasan Mountain, Why Are They Dying?. National Institute of Forest Service (in Korean with English)
- Wildi, B, and C. Lutz(1996) Antioxidant composition of selected high alpine plant species from different altitudes. *Plant Cell and Environment* 19: 138-146.