

한라산국립공원 소나무림의 공간분포 변화¹

김종갑² · 고정근^{3*} · 임형택⁴ · 김동순⁵

Changes of Spatial Distribution of Korean Red Pine Forest in Hallasan National Park¹

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

요약

한라산국립공원 내 소나무림의 공간분포 변화를 알아보기 위해 2006년과 2015년의 분포면적과 수관밀도를 조사하고 해발고도, 경사, 방위 및 지역별 특성을 분석하였다. 2015년 소나무림의 전체 면적은 1,259.9ha로 조사되었는데, 2006년 1,208.5ha에 비해 10년 동안 4.1%에 해당되는 51.4ha가 증가한 것으로 나타났다. 소나무의 수관 밀도가 11~40%에 해당되는 소밀도의 면적은 10년 동안 59.8ha가 증가하였고 41~70%에 해당되는 중밀도의 면적도 59.0ha가 증가하였으며, 71% 이상의 조밀한 소나무림은 67.3ha가 감소된 것으로 나타났다. 해발고도에 따라서는 2015년에 1,010~1,400m 구간에서 전체 면적의 79.6%인 1,003.0ha로 가장 넓었으며, 1,100~1,300m 구간의 면적은 증가하였지만 수관밀도 등급변화는 고밀도 등급면적이 대폭 감소하고 중밀도와 소밀도급 면적은 증가하였다. 지표경사에 따라서는 특징적으로 증감이 나타나지 않고 2006년보다 경사와 관계없이 증가하였다. 방위별로는 남사면을 중심으로 남서, 남동방향에 56.4%가 분포하여 10년 동안 27.8ha가 증가한 반면 북사면을 중심으로 북동, 북서 면적은 7.6ha가 줄어든 것으로 나타났다. 지역별 소나무림의 분포 변화는 영실지역 일대가 2006년에 비해 전체 증가면적 중 49.6%인 25.5ha 증가하였으며, 산벌음 계곡 우측을 포함하는 입석오름지역은 20.4ha, 죽은드레를 포함하는 개미등지역은 7.4ha가 증가한 반면 성판악등산로 속밭지역은 1.9ha가 감소한 것으로 분석되었다. 이들 한라산국립공원 내 소나무림의 면적 및 밀도변화는 해발고도, 경사, 방위 및 지역별 변화 상황을 고려할 때 소나무림 분포의 확대는 초지나 관목이 우점 하는 식생구조를 갖고 있거나 교란으로 인한 숲 틈이 발생한 지역으로 한정된 반면 소나무림이 낙엽활엽수림대에 둘러싸이거나 혼효된 식생구조를 지닌 분포지역은 낙엽활엽수 등과 경쟁으로 인해 면적보다는 수관밀도 변화가 주로 발생된 것으로 판단된다.

주요어 : 소나무, 수관밀도, 분포변화, 자생지 환경

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the change of spatial distribution of Korean red pine (*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.) in Hallasan National Park by surveying the distribution and crown density and analyzing by the elevation, slope, orientation, and regional habitat in 2006 and 2015. The total area of the

1 접수 2019년 5월 28일, 수정 (1차: 2019년 8월 19일), 게재확정 2019년 9월 24일

Received 28 May 2019; Revised (1st: 19 August 2019); Accepted 24 September 2019

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

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

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

5 제주대학교 농학과 교수 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: kjpg3839@korea.kr

Korean red pine forest was 1,259.9 ha in 2015, which increased by 51.4 ha, or 4.1%, compared to 1,208.5 ha in 2006. For the past 10 years, the area of sparse density with crown density of 11% to 40% of Korean red pine increased by 59.8 ha, the area of moderate density with crown density of 41% to 70% increased by 59.0 ha, and the area of dense density with 71% or more crown density increased by 67.3 ha. In terms of the altitude above sea level, the Korean red pine forest area between 1,010 m and 1,400 m was the largest at 1,003.0 ha or 79.6% of the total area in 2015. The area between 1,100 m and 1,300 m increased, and the area of dense density decreased significantly while the areas of moderate density and sparse density increase. There was no notable change according to the land slope, and the area increased from 2006 regardless of the slope. By direction, 56.4% were distributed in the southwest and southeast directions centered on the south-facing slope with the increase of 27.8 ha over the 10 years while the northwest and northeast directions centered on the north-facing slope decreased by 7.6 ha. Regarding the distribution change of the Korean red pine forest by the region, the Yeongsil area showed an increase of 25.5 ha, or 49.6% of the total area increase, in 2006 while the Ibseog-oreum area including the right side on the Sanbeoleum mountain valley increased by 20.4 ha. The distribution in the Gaemideung area that includes Jogeundeule increased by 7.4 ha while that of Sogbat in Sungpanak Trail decreased by 1.9 ha. This study analyzed the changes in the distribution area and crown density of the Korean red pine forest according to the altitude, slope, direction, and regional habitat in Hallasan National Park. The expansion of Korean red pine forest distribution was limited to the areas where the grass and the shrub was the dominating vegetation structure, or the forest gap was created by the disturbance. On the other hand, the distribution area of the Korean red pine forest surrounded by deciduous broad-leaved forests or mixed vegetation structure is considered to result from the change in density more than the area due to competition with deciduous broad-leaved trees.

KEY WORDS: *Pinus densiflora Siebold & Zucc.*, CROWN DENSITY, DISTRIBUTION CHANGE, HABITAT LOCATION ENVIRONMENT

서론

우리나라의 산림면적 6,335천ha중에서 침엽수가 차지하는 면적은 2,339천ha로, 전체면적의 36.9%에 해당된다. 제주도의 산림면적은 88천ha중에서 침엽수림이 22천ha(24.6%)이다 (Korea Forest Service, 2016). 우리나라의 침엽수림 중에 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 것이 소나무림이며, IUCN의 분류학적 기준에 따르면 한반도에는 4과 10속 30종의 침엽수가 자생한다(Kong, 2004). 제주도에는 소나무 외에 곰솔, 삼나무, 구상나무, 비자나무, 편백나무, 주목 등의 침엽수가 분포한다.

소나무(*Pinus densiflora Siebold & Zucc.*)는 육송, 적송이라고 불리고, 다양한 생태형을 가진다(Lim, 1895). 소나무는 한반도를 비롯하여 중국의 산둥반도, 압록강 연안지역 및 일본의 북해도 이남지역에 분포한다. 한반도에서는 제주도부터 함경북도 언성군 증산까지 분포하고 있으며 동쪽으로는 울릉도, 서쪽으로는 백령도의 섬들까지 분포하고 있다. 수직적 분포는 완도가 200m, 한라산이 1,300~1,800m, 금강산이 100~180m,

백두산이 300~900m 사이에 위치한다(Korea Forest Research Institute, 2012).

한라산 소나무림 면적은 Sin(1981)이 항공사진을 분석하여 소나무 군락을 추출하고, 이를 고도와 방위별로 12개 지역으로 나누어 조사하여 소나무림 분포 형태로 표현하였는데, 사면별로 분포하는 해발고도를 보면 동사면은 1,050~1,150m, 남사면이 650~1,400m, 서북서사면이 700~1,450m, 북사면이 750~1,350m로 보고하였다. 이들 분포는 정상에서 평면거리로 동사면이 5.5km, 남북사면이 5.0km, 서사면이 7.0km로 나타났다고 제시하였다. 그리고 2009년 2월과 9월에 촬영된 항공사진분석을 통해 백록담을 중심으로 각 지역별로 지형적인 특징과 지리적 격리로 인해 독립된 소나무 군락을 형성하고 있으며, 해발고도 약 640m(아흔아홉골)부터 1,500m(개미등)까지 분포하고 있으며, 그 면적은 1,324ha라고 보고하였다(Song *et al.*, 2012). 또한 해발고도 1,000m에서 1,400m 사이에 전체 면적의 82.7%에 해당하는 1,095ha가 형성되었고, 지역별로는 성판악지역이 148.7ha, 개미등지역이 213.4ha, 1100도로지역이

111.3ha, 영실지역이 314.9ha, 돈내코지역이 472.7ha, 아흔아홉골지역이 63.3ha가 분포한다고 하였다. 최근 Jeju(2017)은 5차 임상도를 바탕으로 한라산 구역 내 소나무 임상도를 구획하여 산출한 결과, 면적은 461.8ha라고 보고하였다. 이들 소나무 면적의 91.3%인 421.8ha가 해발고도 1,000m 이상에 분포하여 대부분을 차지하는 반면 해발고도 1,000m 이하에는 39.9ha가 분포하는 것으로 분석하였다.

한편, 한라산 소나무림 대부분이 낙엽활엽수림과 경계를 이루고 있어 면적 확대가 이루어지지 않고 있으며(Song *et al.*, 2012), 기후변화 등의 원인으로 상록활엽수가 확산되어 소나무류 숲은 점점 그 세력이 약해질 것으로 예상하였다(Lee *et al.*, 2018). 또한 기온상승에 따른 수분결핍이 증가하여 결국 생장과 생리반응에 영향을 주는 가뭄과 연관된 기후환경이 소나무림의 감소를 초래 할 것으로 예상하고 있다(Lee *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2014). 이에 반해 한라산 소나무림은 사제비동산과 평괴대피소 지역의 초지대와 관목림 지역에서 급속히 확산되고 있으며 기온상승으로 한라산 고지대 지역에 소나무림이 확산될 수 있는 공간이 형성된다면 확산가능성이 매우 높다고 하였다(Song *et al.*, 2012).

이처럼 한라산 소나무림의 분포면적은 분석방법에 따라 많은 차이를 보이고 있을 뿐만 아니라 면적의 변화에 대해서도 다양한 의견이 제시되고 있는 상황이다.

따라서 본 연구는 2006년과 2015년을 기준으로 한라산국립공원 내에 분포하는 소나무림의 10년 동안의 면적변화를 조사하고, 수관밀도에 따라 4개 등급으로 구분하여 그 분포지역의 해발고도, 경사와 방위, 지역별 분포 특성을 알아보고자 비교분석하였다.

연구방법

1. 소나무림의 분포면적 조사

소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.)림의 분포조사는 한라산국립공원을 대상으로 실시하였다. 분포면적은 국토지리정보원에서 제공받은 2006년 4월 정사영상(30cm급)과 2015년 11월 정사영상(25cm급)을 이용하여 소나무림의 경계를 확인하였다. 정사영상에서 소나무와 다른 수목과 구분이 불확실한 지역은 산림청에서 2006년부터 2010년 동안 실시한 제5차 전국산림자원조사 결과를 토대로 작성된 임상도(1:5,000)와 2015년 환경부에서 식생 등 지표면의 물리적 상황이 제공된 토지피복지도 세분류(Ministry of environment, EGIS)를 기초로 하여 군락의 경계를 구분하였다. 특히, 구상나무(*Abies koreana* Wilson)와 같이 영상으로 경계구분이 불확실한 지역을 중심으로 2018년 10월부터 2019년 3월까지 현지조사를

통해 보강하였다.

소나무림의 면적분석은 Kim *et al.*(2017)이 제시한 격자 기반 면적산출 방법을 적용하였다. 즉, AUTO CAD Map 3D 2010 프로그램을 이용하여 정사영상 레이어(layer)에 15×15m의 크기로 격자로 나눈 레이어를 추가하고, 격자 내에 영상으로 구분되는 소나무 수관의 점유밀도를 분석하였다. 이는 경계구역을 명확하게 제시하고 격자별 수관점유밀도와 울폐정도에 따라 4개 등급(Korea Forest Research Institute 2011; Table 1, Figure 1)으로 구분하여 표현한 것이다. 이를 통해 격자별 수관 점유 면적과 밀도 변화를 동시에 확인할 수 있으며, 정확도와 신뢰성을 더욱 높였다.

Table 1. Criteria of crown density division in Korean red pine forest

Crown density of pine	Division	Color coding
0~10%	Very sparse	None
11~40%	Sparse	Yellow
41~70%	Moderate	Orange
71~100%	Dense	Red

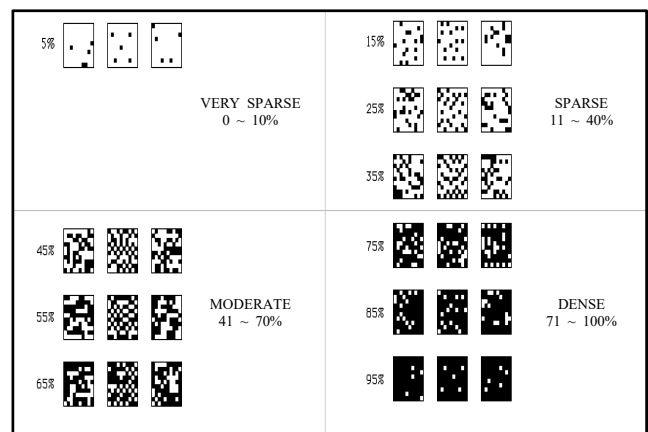


Figure 1. Crown occupancy pattern of Korean red pine to distinguish the crown density in grid.

2. 소나무림의 공간분포 분석

한라산국립공원 내 소나무림의 공간분포 특성변화를 알아보기 위해 AUTO CAD Map 프로그램을 이용하여 소나무 분포가 확인된 지역의 수관밀도별 색상코드를 부여한 후 ArcGIS를 이용하여 분석하였다(Table 1). 소나무림의 면적변화는 해발고도, 경사, 방위 및 사면을 중심으로 한 주요 지역별 분포를 분석하였다. 해발고도에 따른 분포는 해발고도 10m 단위로 조사한 후 해발 100m 단위로 구분하여 제시하였고, 방위는

전체방위를 45°로 나누어 8개 방위로 구분하여 공간변화를 분석하였다. 또한 경사도는 ArcGIS로 분석된 9단계를 수정하여 각도와 백분율을 5단계로 구분하여 실시하였다(Table 2, 3).

결과 및 고찰

1. 소나무림의 분포 및 수관밀도 변화

Table 2. Criteria of direction and azimuth range

Direction	Azimuth range
Flat	No slope
North	0 ~ 22.5°
Northeast	22.5 ~ 67.5°
East	67.5 ~ 112.5°
Southeast	112.5 ~ 157.5°
South	157.5 ~ 202.5°
Southwest	202.5 ~ 247.5°
West	247.5 ~ 292.5°
Northwest	292.5 ~ 337.5°
North	337.5 ~ 360.0°

Table 3. Criteria of percent and slope angle range

Percent range	Degree range
0 ~ 9%	5°
11 ~ 18%	6 ~ 10°
19 ~ 47%	11 ~ 25°
49 ~ 100%	26 ~ 45°
Over 100%	Over 45°

2015년 정사영상을 이용하여 한라산국립공원 내 소나무림 분포도를 작성한 결과, 소나무의 수관밀도가 11% 이상을 차지하는 전체면적은 1,259.5ha로 나타났다(Figure 2, Table 4). 이중 수관밀도가 11~40% 범위에 포함되는 소밀도의 면적은 전체면적의 46.5%에 해당되는 585.4ha로 나타나 상대적으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 수관밀도가 41~70%에 해당되는 중밀도의 면적은 34.6%인 436.2ha, 71% 이상의 수관밀도를 지닌 조밀도의 면적은 18.9%인 238.3ha 순으로 분석되었다. 이에 비해 2006년도에는 소나무림이 해발 700m 이상 지역에 1,208.5ha가 분포하는 것으로 분석되었다. 이를 3단계의 수관밀도를 기준으로 보면 소밀도의 면적은 전체 면적의 43.5%인 525.6ha로 가장 높은 비율을 차지하였고, 중밀도의 면적이 31.2%인 377.2ha, 조밀도의 면적이 25.3%인 305.6ha 순으로 나타났다. 이 결과는 기존에 발표된 한라산 소나무림 면적과는 많은 차이를 보였다(Song *et al.*, 2012; Jeju. 2017). 이는 소나무의 수관밀도 10% 이하 지역을 분포면적에서 제외하는 등의 면적산출방법의 차이나 기존 소나무림 면적분석 시 현지 확인 미흡 등에 따라 발생한 것으로 보인다.

2015년과 2006년의 분포결과를 기준으로 10년 동안의 소나무림의 변화를 보면, 2006년 1,208.5ha에 비해 2015년에는 11% 이상 수관밀도를 갖는 소나무림이 51.4ha가 증가한 것으로 나타났다(Table 4). 소나무림의 증가는 한라산 정상상을 중심으로 남사면 및 남동-서사면에 집중적으로 발생된 것으로 나타

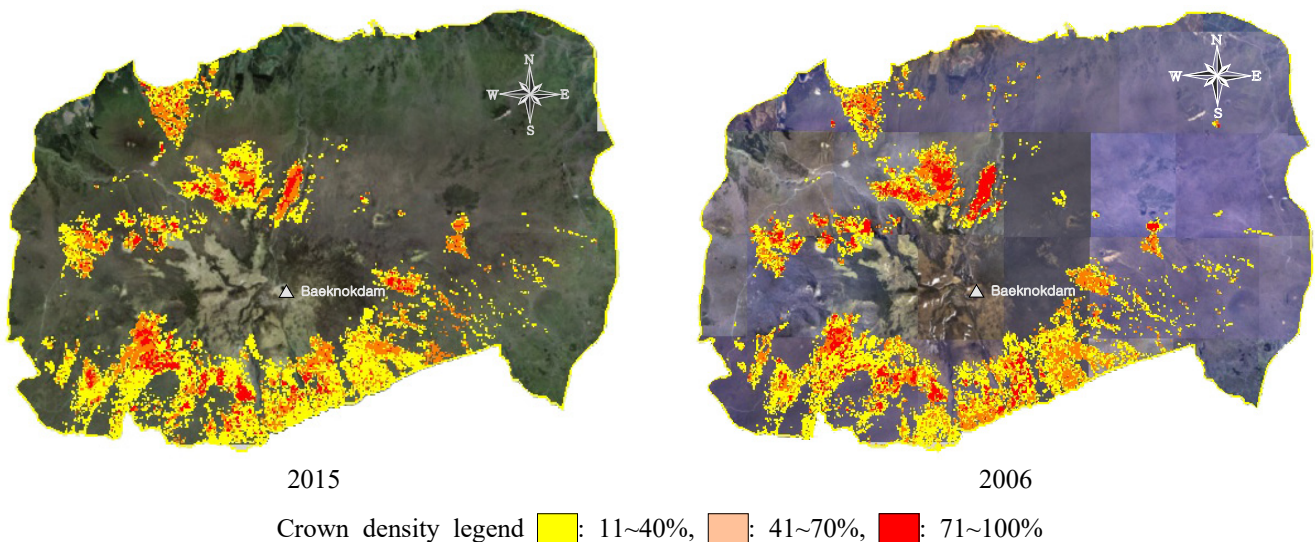


Figure 2. Distribution area of Korean red pine forest in Hallasan National Park in 2015 and 2006.

났다. 지역별로는 속밭지역을 제외하고는 대부분 지역에서 면적이 증가한 것으로 조사되었다.

소나무림의 면적 증가에 대한 수관 밀도에 따른 변동비율을 보면, 중밀도의 면적이 10년 동안 59.0ha가 증가하였고, 소밀도의 면적은 59.8ha가 증가된 것으로 나타났다(Table 4). 반면 고밀도는 67.3ha가 감소한 것으로 조사되었다. 고밀도 면적 변화는 중밀도와 소밀도 면적 증가에 단계적 영향을 미쳤을 뿐만 아니라 11% 이상의 밀도를 갖는 소나무림이 새롭게 발달되었기 때문으로 판단된다.

전체적으로 한라산국립공원 내 소나무림은 남사면을 중심으로 남동, 남서에 가장 넓은 분포 지역을 가지면서, 이 지역을 중심으로 증가한 것으로 나타났다. 이는 한라산의 사면에 따라 식생구조의 차이와 함께 일조량과 수분보유능력이 차이에서 소나무림의 발달과 연관이 높은 것으로 보인다. 더욱이 소나무림은 일조량이 많고 토양수분이 적은 건조한 지역에서 양호한 성장을 하는 것으로 알려져 있다(Youn, 2003).

Table 4. Spatial and temporal changes of Korean red pine forest in Hallasan National Park

Crown density	Area by year(ha)		Area change (ha)	Relative change ratio(%)
	2015	2006		
Sparse	585.4	525.6	59.8	116.2
Moderate	436.2	377.2	59.0	114.7
Dense	238.3	305.6	- 67.3	-131.0
Total	1,259.9	1,208.4	51.4	100.0

2. 해발고도별 소나무림 변화

한라산국립공원 내 해발고도에 따른 소나무림 분포면적은 2015년에는 해발 1,010~1,400m 구간에 전체 면적의 79.6%인 1,003.0ha로 가장 넓었으며, 이 구간을 중심으로 해발 1,000m 이하 지역의 면적비율은 14.6%인 반면에 해발 1,410m 이상의 면적비율은 5.8%가 분포하는 것으로 조사되었다(Figure 3). 이들 소나무림은 10년 전인 2006년에도 유사한 해발고도별 분포경향을 보였는데, 해발 1,010~1,400m 구간이 전체 면적의 81.4%인 983.4ha로 가장 넓었으며, 이 구간을 중심으로 해발 1,000m 이하 지역의 면적 비율이 12.4%인 반면에 해발 1,410m 이상은 6.2%로 나타났다. 이 결과는 한라산 소나무림의 분포 중심 해발고도가 1,200m에 있다는 의견(Song *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 1982)과 일치한다. 반면, 한반도에서 소나무림은 해발 1,250m 이하에 분포하고(Kong, 2004), 육지부 소나무림은 해발고도 200~300m 사이에 가장 높은 출현빈도를 보인다는 보고(Lee *et al.*, 2006)와 비교할 때 한라산의 소나무림의 분포양상은 육지부

와 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 한라산의 해발고도별 식생구조가 해발 600m부터 1,450m까지를 낙엽활엽수림대가 분포하는데(Uhm, 1962), 이들 지역에서 해발 1,000~1,400m 구간은 소나무가 우점 하는 온대침엽수림대로 제시한 보고(Song *et al.*, 2012)로 볼 때 한라산 소나무림은 해발고도 1,000~1,400m의 일정 지역에 주로 분포하는 특성을 가졌다.

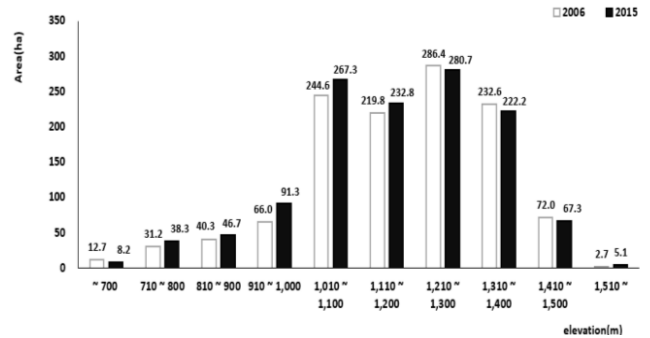


Figure 3. Changes of Korean red pine forest according to elevation for the last 10 years.

최근 10년 동안 한라산국립공원 내 소나무림 해발고도 구간별 면적변화 양상을 보면 해발 710~1,200m 지역은 2015년의 소나무림 면적이 2006년보다 증가한 것으로 분석되었다. 특히, 해발 910~1,100m 구간이 전체 증가면적의 93.0%에 해당되는 48.0ha로 가장 변화폭이 큰 것으로 나타났으며, 수관밀도 등급별 면적도 증가하였다. 반면 1,100~1,300m 구간의 면적은 구간에 따라 증가하거나 약간 감소한 것으로 조사되었지만, 수관밀도 등급의 변화를 보면 고밀도 등급 면적은 대폭 감소하고, 중밀도와 소밀도급은 증가한 것으로 분석되었다(Figure 4). 이러한 차이는 이들 대부분 소나무림이 서어나무 등의 낙엽활엽수와 혼효된 형태로 숲이 발달하면서 천이과정을 통해 밀도변화가 초래되거나 소나무림 주변부의 초자나 관목림 등의 식생구조특성에 따라 낮은 밀도의 새로운 소나무림이 발생된 것으로 추측된다.

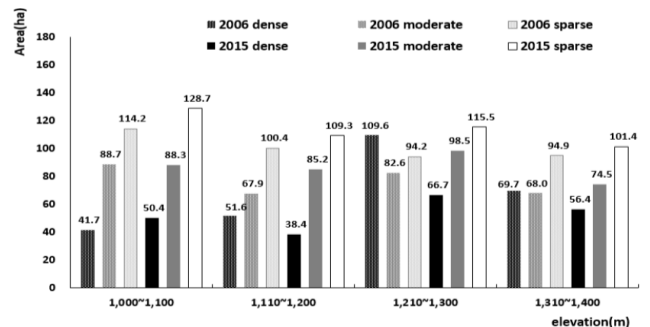


Figure 4. Changes of Korean red pine forest crown density according to specific elevation(1,000~1,400m) for the last 10 years.

또한 지역별로 가장 높은 해발고도의 변화를 보면 죽은드레를 중심으로 하는 개미등지역이 약 30m가 상승하였고 영실과 입석오름지역도 각 20m, 10m 상승한 반면 속밭지역은 10m 하강 한 것으로 조사되었다(Table 5). 이는 소나무림 전체가 낙엽활엽수에 둘러싸인 속밭지역을 제외하고는 고도가 높은 지역으로 확산된 것으로, 최근 한라산 고지대의 초지와 관목림 지역으로 소나무림의 분포 면적 확산과 함께 가장 높이 분포하는 위치의 해발고도 상승을 제시한 결과(Song *et al.*, 2012)와 유사하다. 이러한 소나무림의 고지대로의 확산은 기온상승 등 기후변화와 함께 더욱 빠르게 진행될 것이라 예측된다.

Table 5. A change of maximum altitude by distribution of Korean red pine forests in main regions for the last 10 years

Region	Maximum altitude(m)		Variation (m)
	2015	2006	
Sogbat area	1,510	1,520	-10
Ibseog-oreum area	1,550	1,540	10
Yeongsil area	1,550	1,530	20
Gaemideung area	1,560	1,530	30

3. 경사 및 방위별 소나무림의 변화

한라산국립공원 내 소나무림의 경사별 분포는 2015년을 기준으로 지표면 경사 25°이하의 지역에 87.4%가 분포하고 있는 것으로 조사되었으며, 경사가 25° 이상에서는 12.6%가 분포하는 것으로 나타났다(Figure 5). 이에 반해 2006년에 소나무림은 경사 25°이하 지역에 80.8%가 분포하는 것으로 분석되었다. 이는 최근 10년 동안 경사에 따른 소나무림의 분포 변화는 특징적으로 증가나 감소가 나타나지 않고 2006년 보다 경사에 관계없이 고루 증가한 것으로 조사되었다.

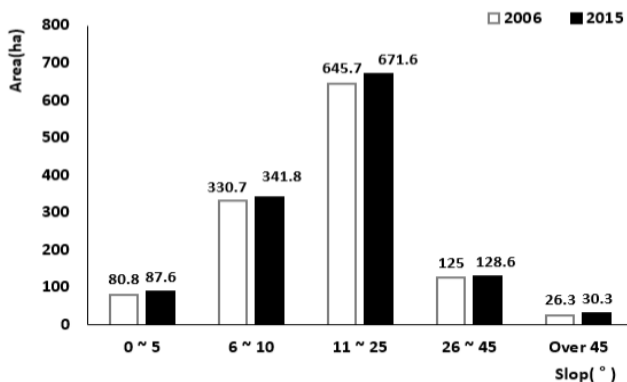


Figure 5. Changes of Korean red pine forest according to slope for the last 10 years.

한라산국립공원 내 소나무림의 방위별 전체적인 분포특성은 2015년에 남쪽을 중심으로 남서, 남동방향에 가장 넓게 56.4%가 분포하고, 북쪽을 중심으로 북서와 북동방향으로 24.5%로 상대적으로 낮은 분포 비율을 보이는 것으로 나타났다(Figure 6). 2006년도 남쪽을 중심으로 남서, 남동방향에 54.9%가 분포하고, 북쪽을 중심으로 북동과 북서가 26.2%가 분포하는 것으로 분석되었다. 이처럼 2015년과 2006년에 큰 변화를 보이지는 않았지만 방위에 따른 감소 면적은 차이를 보였다. 최근 10년 동안 소나무림은 남쪽방향 변화가 27.8ha가 증가하였으며, 북쪽을 중심으로 북동과 북서의 면적은 7.6ha가 줄어든 것으로 나타났다. 북쪽을 중심으로 북동과 북서 방위의 수관 밀도등급을 보면 고밀도 등급 면적이 줄어들고, 중밀도와 소밀도 등급면적이 늘어난 것으로 조사되었다(Figure 7).

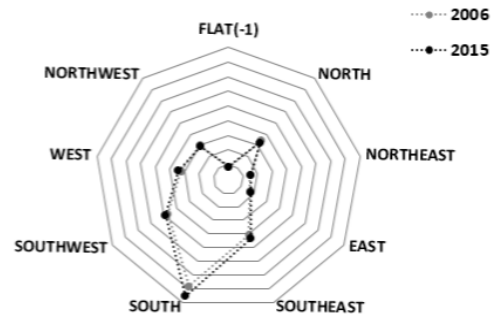


Figure 6. Changes of Korean red pine forest according to azimuth for the last 10 years.

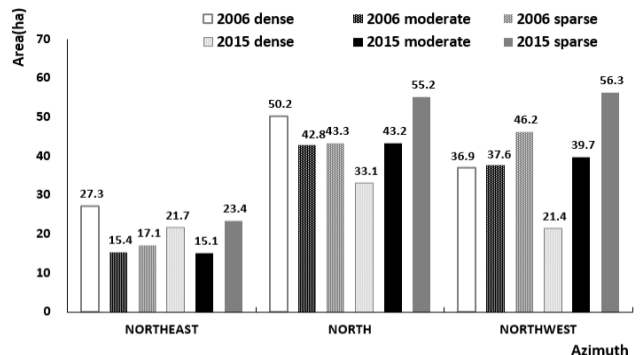


Figure 7. Changes of Korean red pine forest crown density according to specific azimuth for the last 10 years.

소나무림은 모든 방위에서 분포하나 일반적으로 남향이나 서향보다는 북향이나 동향에서 생장이 양호하다는 보고(Korea Forest Research Institute, 1999)와는 차이가 있는데, 이는 한라산 소나무림은 해양성기후와 섬이라는 지역적인 요인(Kang, 2006)으로 육지와는 다른 양상을 보이면서 분포하는 것으로 보인다. 그리고 소나무 분포에 미치는 영향력을 비교한

Kim et al.(2008)의 결과를 보면 경사보다 방위가 소나무 공간 분포에 미치는 영향력이 큰 것으로 분석되었지만 한라산에서는 그 차이를 확인할 수는 없었다.

4. 주요 지역별 소나무림 분포변화특성

한라산국립공원 내 소나무림 분포지역을 크게 4개 지역으로 구분하여 10년 동안의 지역별 분포 변화를 보면, 2015년에 영실지역 일대는 2006년에 비해 전체 증가면적인 51.4ha중에 49.6%인 25.5ha가 증가하였다(Figure 8, 9). 그리고 산벌음계곡 우측을 포함하는 입석오름지역은 39.7%인 20.4ha, 죽은드레와 개미등을 포함하는 개미등지역은 14.4%인 7.4ha 순으로 증가한 것으로 조사되었다. 이에 반해 성판악등산로 북측을 포함하는 속밭지역은 1.9ha가 감소한 것이 특징적이었다.



Figure 8. The classification of Korean red pine forest distribution area in Hallasan National park.

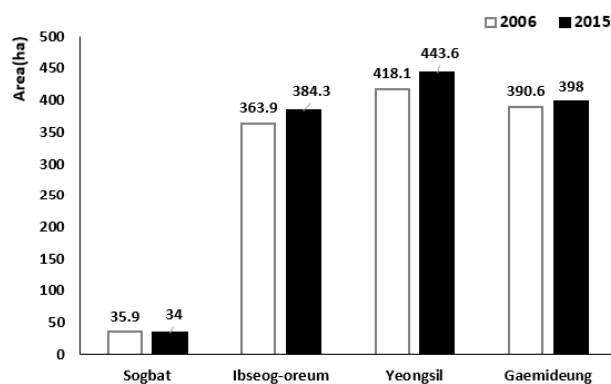


Figure 9. Changes of distribution area of Korean red pine forest in main regions of Hallasan National Park for the last 10 years.

주요 지역별 소나무림 분포 변화를 보면, 성판악등산로 속밭 지역 소나무림 수관밀도변화는 소밀도 면적이 8.6ha가 감소한 반면 중밀도와 조밀도의 면적은 각각 0.1ha, 6.5ha가 증가하였다(Figure 10). 이는 소밀도의 일부지역은 면적제의 밀도로 변화하였지만, 소밀도에서 중밀도 등급으로 중밀도에서 조밀도에 해당하는 수관밀도면적으로 상승하였다. 이 지역에 분포하는 소나무는 해발고도 1,010~1,200m 구간에서 2.8ha가 증가한 반면 대부분의 다른 해발고도에서는 감소하였으며, 전 방위에 분포하며 경사 5° 이하 지역에 대부분 자라는 것으로 조사되었다.

입석오름지역 소나무림 수관밀도 분포 변화는 중밀도 면적이 31.5ha, 조밀도 면적이 5.6ha가 증가하였으며, 상대적으로 소밀도 면적은 16.7ha가 감소한 것으로 분석되었다. 증가한 중밀도 등급면적은 소밀도 등급에 해당하는 지역의 개체수 증가와 생장으로 인한 수관 확장 등으로 인한 상위단계로 진입한 것으로 보인다. 또한 면적제의 밀도에서 새롭게 소밀도 등급으로 변화가 이루어진 곳이다. 해발고도는 910~1,200m 구간에서 2006년에 비해 26.8ha가 증가하였으며, 경사 11~25° 사이 구간에서 15.9ha가 증가하였다. 방위별로 보면 2015년에는 남쪽과 남동방향에 83%가 분포하며 21.2ha가 증가하였다.

영실지역 소나무림 분포 변화는 소밀도 면적이 35.7ha로 증가한 반면 조밀도 면적은 30.9ha가 감소하였다. 특히, 조밀도에 해당하는 수관밀도 등급이 중밀도나 소밀도로 등급하락 폭이 크게 발생하였지만 일부 면적제의 밀도에서 수관밀도가 높은 등급으로 진입도 가장 활발하게 이루어져 면적이 증가한 지역이다. 해발고도별 소나무림은 1,010~1,400m 구간에서 16.3ha가 증가하였고, 경사와는 무관하게 증가하였으며, 방위는 남쪽과 남서방향에 66%가 분포하며 16.7ha가 증가하였다.

개미등지역 소나무의 수관밀도 변화는 조밀도 등급 면적이 40.6ha로 가장 많이 감소한 반면 소밀도는 41.6ha 증가하였다. 이는 영실지역과 유사한 결과를 보이지만, 면적제의 밀도에서 소밀도 등급으로 변화가 활발하지 않는 것이 특징적이라 할 수 있다. 면적제의 밀도급에서 수관밀도 등급 소나무림으로 7.4ha가 확대된 것으로 분석할 수 있다. 해발고도별 소나무림은 710~1,000m 구간에서 15.6ha가 증가하였고, 경사별로는 관계가 없었으며, 방위별로는 북쪽을 중심으로 북서와 북동지역에 대부분 분포하지만 면적은 감소한 반면 다른 방위에서는 증가한 것으로 나타났다.

이들 결과를 종합하여 보면, 2006년 이후 지난 10년 동안의 한라산국립공원 내 소나무림의 면적 변화를 해발고도, 경사, 방위 및 지역별 특성을 고려할 때 대부분의 소나무 분포 면적이 확대되었으며, 해발고도도 상승한 것으로 나타났다. 소나무림 분포의 확대는 초지나 관목이 우점 하는 식생구조를 갖고 있거나 교란으로 인한 숲 틈이 주로 발생하고(Lee et al., 1992), 제주조릿대가 높은 밀도로 분포하지 않은 지역으로 한정되고

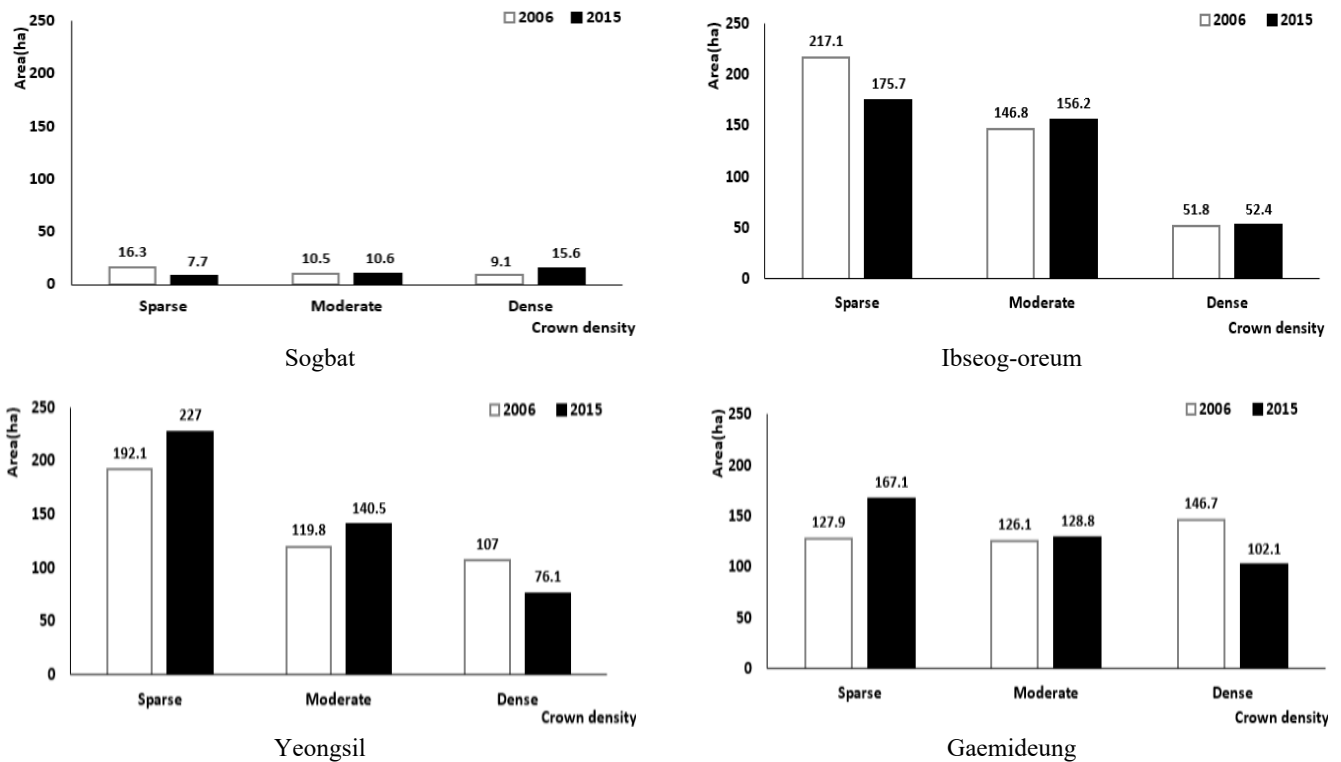


Figure 10. Changes of crown density of Korean red pine forest in major regions of Hallasan National Park for the last 10 years.

있었다. 이에 반해 소나무림이 낙엽활엽수림대에 둘러싸이거나 혼효된 식생구조를 지닌 분포지역은 낙엽활엽수와 경쟁으로 인해 면적 변화 보다는 수관밀도 변화에 주로 발생되었다. 이처럼 한라산국립공원 내 소나무림 분포의 변화는 식생구조나 환경변화에 의해 해발고도가 높은 지역에서 확대될 가능성이 높은 반면 해발고도가 낮은 낙엽활엽수와 혼효된 지역에서는 식생천이 등의 진행으로 인한 감소가 지속적으로 발생할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Jeju Special Self-Governing Province(2017) Mt. Hallasan National Park Precision control strategy to prevent the spread of pine wilt disease. Hallasan National Park Management Office, pp. 63-72. (in Korean)

Kang, T.G.(2006) Climate characteristics of Hallasna Natural Reserve. Report of Survey and Study of Hallasan Natural Reserve 2006. Research Institute for Mt. Halla, Jeju, pp. 33-41. (in Korean with English abstract)

Kim, G.N., S.H. Han and G.S. Park(2014) Differences on Growth,

Photosynthesis and Pigment Contents of Open pollinated *Pinus densiflora* Families Under Elevated Temperature and Drought. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 16(4): 285-296.

Kim, J.G., J.G. Koh, H.T. Yim and D.S. Kim(2017) Changes of Spatial Distribution of Korean fir Forest in Mt. Hallasan for the Past 10 Years(2006, 2015). Korean Journal of Environment and Ecology 31(6): 549-556. (in Korean with English abstract)

Kim, T.M., W.K. Lee, S.E. Jong and H.B. Kwak(2008) Analysis of relationship between spatial distribution of *Pinus densiflora* and topographical factors. The Journal of GIS Association of Korea 16(3): 359-372. (in Korean with English abstract)

Kong, W.S.(2004) Species Composition and Distribution of Native Korean Conifers. Journal of the Korean Geographical Society 39(4): 528-543. (in Korean with English abstract)

Korea Forest Research Institute(1999) Pine, Pine Forest. 22pp. (in Korean)

Korea Forest Research Institute(2011) 6th National Forest Resources Survey and Forestry Health and Vitality Survey. 35pp. (in Korean)

Korea Forest Research Institute(2012) Economic tree, *Pinus densiflora*. 250pp. (in Korean)

- Korea Forest Service(2016) 2015 Forest Basic Statistics Forest Service. 33pp. (in Korean)
- Lee, C.S., J.H. Kim, H. Yi and Y.H. You(2004) Seedling establishment and regeneration of Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) forests in Korea in relation to soil moisture. *Forest Ecology and Management* 199: 423-432.
- Lee, C.S., W.K. Lee, J.H. Yoon and C.C. Song(2006) Distribution Pattern of *Pinus densiflora* and *Quercus* Spp. Stand in Korea Using Spatial Statistics and GIS. *Journal of the Korean Forest Society* 95(6): 663-671. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., C.H. Ryu and S.H. Choi(1992) The Structure of Plant Community On Orimok, Yongsil and Donnaeko Area in Mt. Halla. *Korean Journal of Environment and Ecology* 6(1): 25-43. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.C., S.H. Hong, D.P. Kim, S.H. Choi and M.Y. Ahn(2018) A Study for Growth Density on the *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora* Communities in area of Busan, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 32(2): 215-224. (in Korean with English abstract)
- Lim, K.B.(1985) *Fundamental of Silviculture*. Hayngmoon Press, 327pp. (in Korean)
- Sin, H.G.(1981) *Ecological Studies on Pinus densiflora S. et Z. Communities in Mt. Halla, Korea*. Univ. of Jeju National, Jeju-do, pp. 12-15. (in Korean)
- Song, K.M., C.S. Kim, M.O. Moon and M.H. Kim(2012) A Change and Distribution in *Pinus densiflora* Forest of Mt. Hallasan. *Journal of the Environmental Sciences* 21(1): 41-47. (in Korean with English abstract)
- Uhm, K.B.(1962) Altitudinal zones of Mt. Halla according to Conifer distribution. *Kor. Jour. Bot.* V(2): 17-20.
- Youn, J.H.(2003) *Characteristics and change prediction of spatial distribution of Pinus densiflora stands in Korea : Emphasis on impacts of topography, climate, and soil factors*. Dissertation for the Degree of Doctor, the Graduate School University of Korea, 4pp. (in Korean with English summary)