

지리산과 한라산의 구상나무 임분 구조의 생태적 특성

송주현¹ · 한상학² · 이상훈² · 윤충원^{1,3*}

¹국립백두대간수목원 산림복원지원실, ²국립생태원 기후변화연구팀, ³공주대학교 산림자원학과

Ecological Characteristic of *Abies koreana* Stand Structure of Mt. Jirisan and Mt. Hallasan

Ju Hyeon Song¹, Sang Hak Han², Sang Hun Lee² and Chung Weon Yun^{1,3*}

¹Forest Restoration Support Division, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea

²Team of Climate Change Research, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

³Department of Forest Resource, Kongju National University, Kongju 32439, Korea

요약: 본 연구는 환경부에서 실시한 국가 장기 생태 연구를 위하여 구축된 지리산과 한라산의 구상나무림 1 ha(100 m×100 m)씩을 대상으로 흉고직경급 분포, 수간건강상태, 수관 계층구조, 중요치, 종다양도, DCA 분석을 통해 지리산과 한라산의 구상나무림 임분구조를 비교하기 위하여 실시하였다. 흉고직경급별 개체수 비교에서는 20 cm 미만에서는 한라산 구상나무의 개체수가 많았고 20 cm 이상에서는 지리산 구상나무의 개체수가 더 많이 나타났다. 구상나무 수간건강상태에서 곧게 서서 생육하는 개체(AS)의 비율이 지리산(72%)이 한라산(60.7) 보다 더 높게 나타났고 기울어 생육하는 개체(AL)의 비율은 한라산(10.2%)이 지리산(1.1%) 보다 더 높게 나타났다. 수관 계층구조를 살펴보면 지리산은 4개의 층위가 고르게 발달하고 각 층위의 구분이 명확히 구분되는 성숙한 임분의 형태를 보였지만 한라산은 10 m 미만의 아교목층을 제외한 3개의 층위로 발달하였다. 중요치 분석 결과 한라산 구상나무의 중요치(39.4)가 지리산 구상나무의 중요치(26.6) 보다 높게 나타났으며 종다양도는 지리산 구상나무림 종다양도(2.52)가 한라산 구상나무림의 종다양도(1.58) 보다 높게 나타났다. DCA 분석 결과 지리산과 한라산의 지소별 평균 거리가 비교적 명확히 구분되었고 지리산이 조사지간 종조성의 퍼져 있는 정도가 한라산에 비하여 상대적으로 조밀한 것으로 나타났다.

Abstract: This study compared the stand structure of *Abies koreana* forests between Mt. Jirisan and Mt. Hallasan by analyzing DBH distribution, stem vitality, crown structure, importance value, species diversity, and DCA. The data were acquired through the national long-term ecological research project conducted by the Ministry of Environment. In the comparison of DBH class distribution, the stem density of *A. koreana* with DBH < 20 cm was higher in Mt. Hallasan than that in Mt. Jirisan; however, the stem density of *A. koreana* with DBH > 20 cm was higher in Mt. Jirisan than that in Mt. Hallasan. For *A. koreana* stem vitality, the ratio of alive standing was higher in Mt. Jirisan (72.0%) than in Mt. Hallasan (60.7%), whereas the ratio of alive leaning was higher in Mt. Hallasan (10.2%) than in Mt. Jirisan (1.1%). *A. koreana* stand in Mt. Jirisan was a mature stand with four evenly developed and distinct layers, whereas the tree layer in Mt. Hallasan was less than 10 m and the stand had three layers without a subtree layer. Mt. Hallasan's importance value of *A. koreana* was 39.4% higher than Mt. Jirisan's importance value of 26.6%. The species diversity of the *A. koreana* community of Mt. Jirisan was 2.52 times higher than that of Mt. Hallasan, which was 1.58. DCA results revealed that the average distance between Mt. Jirisan and Mt. Hallasan was relatively distinguished, and the degree of scattering of species composition of Mt. Jirisan was relatively dense compared with that of Mt. Hallasan.


Key words: stand structure, DBH distribution, stem vitality, importance value, species diversity, DCA

서론

* Corresponding author

E-mail: cwyun@kongju.ac.kr

ORCID

Chung Weon Yun  <https://orcid.org/0000-0001-7048-6980>

기후변화에 따른 정부간 패널(Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC) 5차 평가보고서에 따르면 대기과

해양의 온도 상승, 만년설과 빙하의 감소, 해수면 상승, 온실가스 농도 상승 등 기후변화의 뚜렷한 증거들을 제시하고 있으며, 21세기 말까지 지속적인 지구온난화가 진행될 것으로 예측하고 있다(Intergovernmental Panel of Climate Change, 2014; Korea Forest Research Institute, 2014). 그 중에서도 기후변화의 원인물질로 생각되고 있는 이산화탄소를 흡수하거나 방출할 수 있는 역할을 하는 산림생태계는 지속적인 기온 상승 및 강수량 변화로 인해 식물 개체수 및 종다양성 감소 등 멸종위기에 놓인 식물종이 늘어나고 있는 추세이다(Fan et al., 2012; Tony, 2008; Song and Park, 2018). 이러한 기후변화에 의한 산림생태계 문제는 단순히 국가차원의 문제에서 벗어나 전 지구적인 문제로 확산되고 있는 실정이며, 산림생태계에 미치는 영향에 대한 취약성 평가는 향후 악영향을 최소화하고 이에 적응할 수 있는 기반을 마련한다는 측면에서 매우 중요하다(Intergovernmental Panel of Climate Change, 2014).

기후변화가 산림생태계에 미치는 영향에 대한 관심이 고조되면서 기후변화 지표종 선별 및 그에 따른 연구도 현안으로 떠오르고 있으며 기후 변화에 취약하다고 할 수 있는 고산 및 아고산식생에 대한 영향을 평가하는 것은 기후변화에 의한 한반도 식생의 변화를 예측하기 위한 시급한 연구 과제이다(National Institute of Environmental Research, 2006). 고산과 아고산 생태계는 상대적으로 미세한 기후변화에도 쉽게 서식지가 파괴되고 서식지 내에 자생하는 식물종들이 사라질 위험성이 크다. 우리나라 고산이나 아고산에 분포하고 있는 생물종은 과거 기후변화에 따라 북방에서 한반도로 이동해온 빙기의 잔존종(殘存種)이나 유존종(遺存種)으로 식물지리학적으로 가치가 높다(Kong et al., 2014).

구상나무(*Abies koreana* E. H. Wilson)는 한반도 특산식물이며, 산림청 지정 특별산림보호대상종, IUCN 적색목록지정식물 위기종(EN)으로 지정되어 있으며 환경부 지정 국가기후변화지표종으로 지정되어 있는 희귀식물로서 그 생육지가 아고산대에 한정되어 형질교환이 가능한 개체군의 크기가 매우 작기 때문에 진화가 불가능하고 그 결과 멸종될 가능성이 매우 높은 식물이다(Soule and Simberloff, 1986; Simberloff, 1988). 한반도에서 현재 구상나무 분포지역은 해발 1,000m 이상의 아고산 지역으로서 제한적이다. 신생대 제4기 뷔름빙기(wurm glaciation) 이후 현생 간빙기로 접어들면서 호냉성(cryophile) 수종인 구상나무는 저지대에서 견디지 못하고 보다 높은 고산 지역에만 남게 된 것으로 보이며(Trisurat et al., 2011; Kim et al., 2015), 최대 분포지역은 2003년을 기준으로 약 617.1ha를 차지하는 한라산과 지리산, 덕유산이 그 다음을 잇고 있다(Kim et al., 2012).

구상나무에 관한 연구는 식물사회학적 연구(Kim, 1986; Song, 1991; Kang et al., 1997), 복원 및 천연갱신에 관한 연구(Kim et al., 2001; Hong et al., 2008), 생장 및 생리에 관한 연구(Oh et al., 2001; Koo et al., 2001; Sim et al., 2009; Jang et al., 2014), 식생의 군집구조 및 동태에 관한 연구(Koh et al., 1996; Kim et al., 1998; Kim et al., 2007; Lee et al., 2010; Song et al., 2010a; Song et al., 2010b; Song et al., 2014; Song and Kang, 2016; Kim et al., 2017), 구상나무 쇠퇴원인 구명에 관한 연구(Kim, 1994; Koo et al., 2001; Kim et al., 2016) 등 다수의 연구가 진행되어 왔지만 하나의 지역에 국한하여 이루어진 연구가 주로 이루어졌고 지역간 구상나무림에 대한 비교를 통한 연구는 한라산, 지리산, 덕유산의 생육 현황을 비교한 연구(Kim and Choo, 2000) 외에 임분구조를 비교하여 밝힌 연구는 미흡한 실정이었다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 구상나무 면적이 가장 넓은 한라산과 지리산을 대상으로 환경부에서 국가 장기 생태 연구를 위해 구축한 구상나무림의 임분구조를 비교하는데 목적이 있으며 멸종위기종인 구상나무의 지역에 따른 합리적 유지관리를 위한 기초자료를 마련하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

조사지는 지리산 임결령 근처와 한라산 영실 지역에 환경부에서 국가장기생태연구를 위해 설치한 구상나무군락의 영구 조사지 각각 1 ha(20 m×20 m, 25개소)를 대상으로 실시하였다(Figure 1). 지리산은 행정구역상으로는 경상남도 산청군, 함양군, 하동군, 전라남도 구례군, 전라북도 남원군의 3개도 5개군에 걸쳐 있고 그 면적은 483,022 km²에 달한다(Korea National Park Service, 2019). 해발고가 1,915 m로 남한에서는 2번째로 높은 산이며, 연구지로 선정된 임결령 지역의 구상나무림은 1 ha(20 m×20 m 소방형구, 25개소)의 영구방형구로 N 35°18'13", E 127°33'30"에 위치하여 평균해발고 1285.7±2.6 m, 평균방위 295.8±9.3°(WNW), 평균사면경사각 5.7±1.8°, 평균암석노출도 34.0±26.8% 등으로 조사되었다. 한라산은 우리나라 최남단 제주도 중앙부에 위치하고 있으며 면적은 153.332 km², 해발고도는 1,950 m로 남한에서 가장 높다(Korea National Park Service, 2019). 연구지로 선정된 영실 지역 구상나무림은 1 ha(20 m×20 m 소방형구, 25개소)의 영구방형구로 N 33°21'22", E 126°30'36"에 위치하여 평균해발고 1652.4±5.1 m, 평균방위 322.4±31.5°(NNW), 평균사면경사각 6.2±3.4°, 평균암석노출도 44.6±29.8% 등으로 조사되었다. 2010년부터 2018년 사이의 기상청에서 측정된 지리산(뱀사골, 성삼재, 피아골)과 한라산(윗세오름)의 평균기온은 지리산

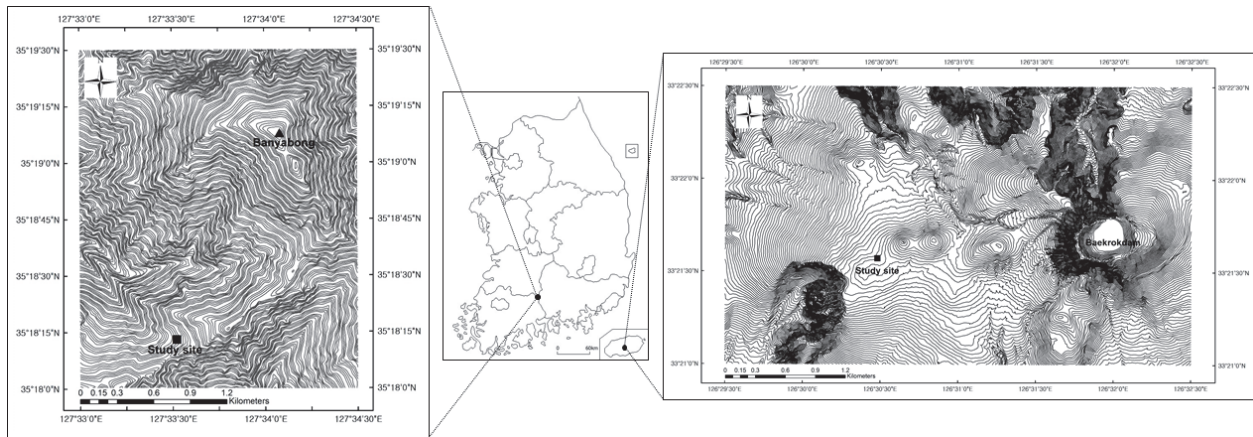


Figure 1. The location of the study site in Mt. Jirisan and Mt. Hallasan.

10.4°, 한라산 6.2°, 평균풍속은 지리산 1.4 m/s, 한라산 3.6 m/s로 나타났다(Korea Meteorological Administration, 2019).

2. 야외조사

지리산과 한라산 구상나무림 조사지역에 1 ha(100 m×100 m)씩의 고정조사구를 설치하여 흉고직경 2 cm 이상의 목본식물에 대하여 매목조사를 실시하였다. 식물사회학적 방법(Ellenberg, 1956; Braun-Blanquet, 1964)에 따라 조사구 내에 출현하는 각 종의 피도(coverage)와 개체수를 조합시킨 우점도(dominance) 계급을 층위별(교목층 15m 이상, 아교목층 5-15 m, 관목층 1-5 m, 초본층 0-1 m)로 구분하여 판정 기록하였고 종 개체의 집합 혹은 이산의 정도에 따른 군도(sociality)계급을 측정하였다. 수간건강상태를 9개 유형(AS-alive standing; AB-alive broken; AD=alive deadtop; AF-alive fallen; AL-alive leaning; DS-dead standing; DB-dead broken; DL-dead leaning; DF-dead fallen)으로 구분하여 입목의 수간 상태를 조사하였다. 환경요인의 측정은 해발고도, 방위, 경사, 암석노출도, 토양노출도, 낙엽층깊이, 층위별 평균 식피율, 층위별 평균 수고, 층위별 평균 흉고직경 등을 측정 및 기록하였다. 구성종의 식물분류 및 동정은 원색식물도감(Lee, 2003), 원색한국수목도감(Hong et al., 1987), 나무생태도감(Yun, 2016)을 기준하였으며, 학명과 국명은 국가표준목록(Korea National Arboretum, 2019a)과 국가생물종지식정보시스템(Korea National Arboretum, 2019b)을 기준으로 작성하였다.

3. 분석방법

지리산과 한라산 구상나무의 지속적 유지 가능성 및 분포 양상을 분석하기 위하여 흉고직경급별 개체수 분포도를 작성하였고 Pearson Chi-square test를 이용하여 동질성을 검증하였다. 또한 지역별 구상나무의 흉고직경급별 평

균의 차이를 알아보기 위하여 독립표본 T-검정(Independent samples *t*-test)을 실시하기 전에 정규성 검정(shapiro-wilk test)을 실시한 결과, 지리산과 한라산의 전체 흉고직경은 정규분포를 하고 있는 것으로 나타났으며($P=0.81$), Levene의 등분산 검정을 실시하여 흉고직경급별 등분산(a)일 경우와 이분산(b)일 경우를 구분하여 *t*값을 기재하였다. 가설검정의 귀무가설(null hypothesis, H_0)은 지리산과 한라산 구상나무의 흉고직경급별 평균은 차이가 없으며 예측결과도 다르지 않다는 것이며, 대립가설(alternative hypothesis, H_a)은 지리산과 한라산 구상나무의 흉고직경급별 평균에 대한 차이가 통계적으로 유의하다는 것이다. P 값은 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의하다고 판단하였다. 지역별 구상나무의 생육상태를 분석하기 위하여 수간건강상태 9개 유형별 개체수로 Pearson Chi-square test를 이용하여 동질성을 검증하였으며 수간의 건강상태를 직관적으로 비교하기 위해 비율로 치환하여 분포도를 작성하였다.

구상나무 임분의 군락구조적 속성 중 수관 계층구조를 파악하기 위하여 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층에 대한 수고 범위와 평균식피율을 도식화하여 나타내었다. 지역별 각 개체목들의 점유정도를 파악하고 구성종의 중요도를 파악하기 위하여 조사지 내의 수종을 대상으로 Curtis and McIntosh(1951)의 방법을 이용하여 상대밀도(RD), 상대빈도(RF), 상대피도(RC)를 합산하여 중요치 분석을 실시하였고 일정 면적 내 종수, 또는 군집 내에서 일정 개체수를 구성하는 종수를 의미하는 종풍부도(species richness)와 각 종에 속하는 개체수가 얼마나 고르게 분포하는가를 나타내는 균등도(species evenness)를 동시에 나타내는 척도인 종다양도지수(Shannon, 1949), 최대종다양도지수, 균재도, 우점도를 분석하였다(Herlbert, 1971; Brower and Zar, 1977). 지리산과 한라산의 종조성에 따른 조사구

의 거리를 판별하고자 각 종의 우점도값을 평균하여 DECORANA(detrended correspondence analysis)를 이용하여 이차원 공간에 지리산과 한라산의 각 조사구들을 배열하여 유연관계를 파악하였다(Hill, 1979).

결과 및 고찰

1. 구상나무 흉고직경급 분포

임분구조(Stand structure)를 평가하는 것은 임목의 분포 양상을 분석하는 것으로, 이는 산림을 보전하는데 기초적인 자료가 된다. 흉고직경급 분포 형태 분석은 해당 지역 개체군의 지속적인 유지 여부를 판단하는데 있어 중요한 자료가 된다(Lee and Cho, 1993; Park et al., 2015). 지리산과 한라산의 각 조사구에서 매목조사를 실시하여 얻어진 자료를 기초로 하여 구상나무의 흉고직경급 분포 빈도를 교차분석을 통해 비교한 결과(Figure 2), 지리산 조사대상지에서 매목조사된 구상나무 개체수는 총 323개체가 출현하였고 한라산 조사대상지에서 매목조사된 구상나무 개체수는 총 655개체가 출현하여 국내 구상나무 최대 분포 지역이 한라산(약 617.1 ha)이라는 기존 문헌과도 그 결과가 비슷하였다(Kim et al., 2012). 5 cm 미만의 흉고직경급에서는 지리산 구상나무 개체수가 16개체/ha, 한라산 구상나무 개체수가 87개체/ha로 나타났고, 5-10 cm 흉고직경급에서 지리산이 56개체/ha, 한라산이 225개체/ha, 10-20 cm 흉고직경급에서 지리산이 134개체/ha, 한라산이 293개체/ha, 20-30 cm 흉고직경급에서 지리산이 79개체/ha, 한라산이 49개체/ha, 30-40 cm 흉고직경급에서 지리산이 32개체/ha, 한라산이 1개체/ha, 40-50 cm 흉고직경급에서 지리산이 6개체/ha, 한라산이 0개체/ha로 나타났으며 지리산과 한라산 구상나무 흉고직경급별 분포 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Pearson Chi-Square test, $\chi^2 = 157.373$, $p < 0.001$). 각 흉고직경급별 Z-검정을 통해 빈도를 비교하였을 때는 10-20 cm의 흉고직경급을 제외하고는 집단간 차이가 통계적으로 존재하는 것으로 나타났다. 20 cm 미만의 흉고직경급에서는 한라산 구상나무의 개체수가 지리산 구상나무의 개체수보다 많이 나타나는 것으로 나타났고 20 cm 이상의 흉고직경급에서는 지리산 구상나무 개체수가 한라산 구상나무 개체수보다 많이 나타나는 것으로 나타났는데 이는 한라산 뒷세오름의 평균풍속이 3.6 m/s로 지리산 성삼재, 뱀사골, 피아골의 평균풍속인 1.4 m/s보다 빠른 풍속을 나타내고 한라산 조사지의 평균해발고도가 1,650 m이고 지리산 조사지의 평균해발고도가 1,280 m로 나타나(Korea Meteorological Administration, 2019), 한라산 조사지가 상대적으로 풍속이 강하고 해발고도가 높아 지리산에 비해 평균흉고직경이 작은 것으로

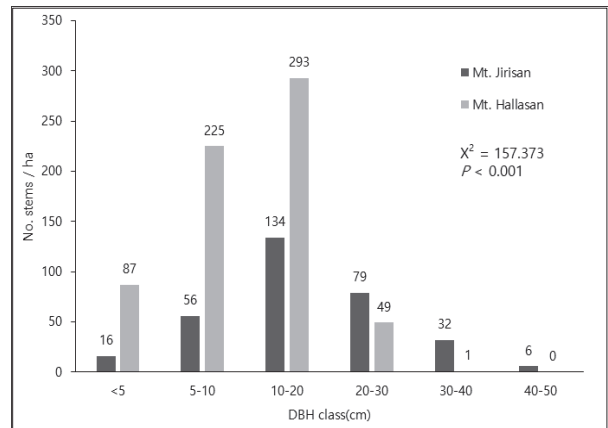


Figure 2. Chi square test of the DBH classes distribution for *A. koreana* in Mt. Jirisan and Mt. Hallasan.

사료되었으며 지역별 구상나무 생육현황을 비교한 기존의 문헌에서도 한라산 구상나무의 평균흉고직경과 평균수고가 덕유산과 지리산에 비해 상대적으로 가장 낮았던 연구와도 일치하였다(Kim and Choo, 2000).

구상나무의 각 흉고직경급별 평균의 차이를 확인하기 위하여 독립표본 t-검정을 실시한 결과(Table 2), 전체 흉고직경의 평균의 차이는 지리산이 18.1 cm, 한라산이 11.2 cm로 유의수준 0.05 이하의 통계적으로 유의한 차이가 나타나 지리산의 평균흉고직경이 한라산의 평균흉고직경보다 큰

Table 1. Environmental factors of *A. koreana* forest in Mt. Jirisan and Mt. Hallasan.

Environmental factor	District	
	Mt. Jirisan	Mt. Hallasan
Altitude (m)	1,285.7±2.6	1,652.4±5.1
Aspect (°)	295.8±9.3	322.4±31.5
Slope degree (°)	5.7±1.8	6.2±3.4
Bare rock (%)	34.0±26.8	54.6±29.8
Bare soil (%)	7.5±2.5	8.4±3.2
Litter layer (cm)	3.3±1.9	1.6±1.2
Coverage of tree layer (%)	69.0±14.1	-
Coverage of subtree layer (%)	33.0±13.6	38.6±21.9
Coverage of shrub layer (%)	38.0±17.9	68.8±14.9
Coverage of herb layer (%)	63.0±11.0	48.5±22.0
Height of tree layer (m)	18.6±2.1	-
Height of subtree layer (m)	11.1±1.2	5.2±0.8
Height of shrub layer (m)	4.0±1.3	1.6±0.5
Height of herb layer (m)	0.6±0.2	0.5±0.2
DBH of tree layer (cm)	31.7±4.1	-
DBH of subtree layer (cm)	17.4±4.5	14.6±3.9
DBH of shrub layer (cm)	4.7±3.7	3.2±1.3

Table 2. T-test of *A. koreana* in Mt. Jirisan and Mt. Hallasan by DBH class.

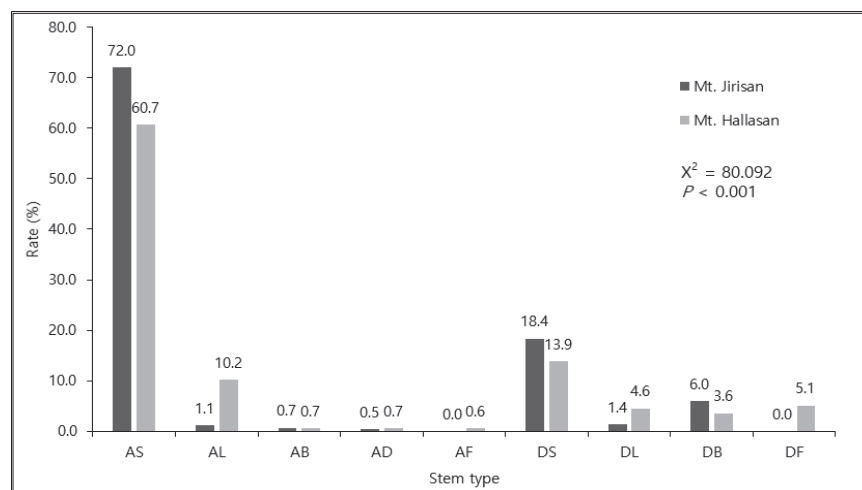
DBH class(cm)	District		t-value	P
	Mt. Jirisan (n=323)	Mt. Hallasan (n=655)		
	Mean(SD)	Mean(SD)		
<5	4.2(0.6)	4.0(0.8)	0.942a	0.348
5-10	7.6(1.3)	7.6(1.5)	0.163a	0.871
10-20	15.1(2.9)	14.1(2.7)	3.695a	0.000
20-30	24.8(2.8)	22.5(2.1)	5.313b	0.000
30-40	34.4(2.6)	32.1	-	-
40-50	43.5(1.6)	-	-	-
Total	18.1(9.4)	11.2(5.5)	12.276a	0.000

것을 확인하였다. 흉고직경급별로 살펴 보았을 때, 5 cm 미만은 지리산이 4.2 cm로 나타났고 한라산이 4.0 cm으로 나타나 지리산 구상나무의 평균흉고직경이 크게 나타났고, 5-10 cm의 흉고직경급에서는 지리산이 7.6 cm, 한라산이 7.6 cm로 나타나 동일하였다. 10-20 cm의 흉고직경급에서는 지리산이 15.1 cm, 한라산이 14.1 cm, 20-30 cm의 흉고직경급에서는 지리산이 24.8 cm, 한라산이 22.5 cm, 30-40 cm의 흉고직경급에서는 지리산이 34.4cm, 한라산이 32.1 cm, 40-50 cm의 흉고직경급에서는 지리산이 43.5 cm, 한라산은 개체수가 나타나지 않았다. 10-20 cm, 20-30 cm의 흉고직경급은 유의수준 0.05보다 낮게 나타나 통계적으로 유의한 차이가 있음을 나타내었다.

2. 구상나무 수간건강상태

지리산과 한라산의 각 조사구에서 매목조사를 실시하여 얻어진 자료를 기초로 하여 구상나무의 수간건강상태 빈도를 교차분석을 통해 비교한 결과(Figure 3), 곧게 서서 생육하는 개체(AS)의 비율은 지리산이 72.0%, 한라산이

60.7%로 지리산이 높게 나타났고 기울어 생육하는 개체(AL)의 비율은 지리산이 1.1%, 한라산이 10.2%로 나타났다. 서서 고사한 개체(DS)의 비율은 지리산이 18.4%, 한라산이 13.9%로 나타났고, 기울어 고사한 개체(DL)의 비율은 지리산이 1.4%, 한라산이 4.6%로 나타났다. 수간이 부러져 고사한 개체(DB)의 비율은 지리산이 6.0%, 한라산이 3.6%로 나타났으며, 쓰러져 고사한 개체(DF)의 비율은 지리산은 나타나지 않았고, 한라산이 5.1%로 나타났다. 그 외 유형에서는 큰 차이가 나타나지 않았으며 지리산과 한라산 구상나무 수간건강상태 빈도 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Pearson Chi-Square test, $\chi^2=80.092$, $p < 0.001$). 생목 중에서 곧게 서서 생육하는 개체의 비율이 지리산보다 한라산이 상대적으로 낮고 기울어 생육하는 개체가 한라산이 높은 이유는 아고산 지역의 바람이 심한 능선부와 산정 부근은 강한 바람과 효율적인 광합성을 하기 위해 수관이 옆으로 퍼지는 특징들과(Gebauer et al., 2010), 위에서 언급한 지리산 구상나무림 조사지보다 한라산의 구상나무림 조사지의 풍속과 해발이 상대적으

**Figure 3. Comparison of stem type of *A. koreana* in Mt. Jirisan and Mt. Hallasan.**

로 크고 높기 때문인 것으로 사료되었다. 고사목의 전체 비율을 살펴보면 지리산은 25.7%의 고사목 비율을 보였고, 한라산은 27.1%의 고사목 비율을 보였는데 Kim and Choo(2000)의 연구에서는 지리산의 고사목 비율(12.24%)이 한라산 고사목 비율(8.11%) 보다 높게 나타나 시간이 흐르면서 역전되는 현상을 보였지만 시간이 흐르면서 지리산과 한라산의 고사목 비율이 과거에 비해 상당히 높게 증가하여 한반도 구상나무림의 쇠퇴 현상을 연구한 기존 결과들을 뒷받침하였다.

3. 수관 계층구조

수직적 식생구조는 식물이 광합성을 통한 입내에서의 생육전략과 같은 생태계의 기능에 영향을 끼치는 중요한 요소이다(Lee et al., 1996). 또한 식생 적응 과정을 통해 나타나는 경쟁의 결과로 형성되는 것이 계층구조이므로 (Yun et al., 2011) 이들 수직적인 식생의 층위구조를 파악하여 산림 천이계열을 추정할 수 있다(Hwang et al., 2016). 지역별 층위에 따른 수고급을 살펴보면(Figure 4), 지리산은 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층의 4개 층위를 이루고 있었고 교목층의 평균 수고는 18.6 m(max 20.7 m, min 15.1 m), 아교목층의 평균 수고는 11.1 m(max 14.7 m, min 6.5), 관목층의 평균 수고는 4.0 m(max 4.8 m, min 1.8 m), 초본층의 평균 수고는 0.6 m(max 0.8 m, min 0.2 m)로 각각 나타났다. 한라산은 아교목층, 관목층, 초본층의 3개 층위를 이루고 있었고 아교목층의 평균 수고는 5.2 m(max 7.3 m, min 5.0 m), 관목층의 평균 수고는 1.6 m(max 2.5 m, min 1.2 m), 초본층의 평균 수고는 0.5 m(max 0.7 m, min 0.2 m)로 각각 나타났다. 전체적인 임분의 높이가 지리산이 높게 나타났고 층위의 발달 또한 지리산이 복잡한 층위 구조를 형성하고 있었다. 층상구조가 복잡해질수록 하층의 식물체가 받을 수 있는 상대 광도가 감소하므로 이 시기에 중간경쟁이 가장 치열할

것으로 예상된다. 기존의 연구 결과에 따라(Margalef, 1968; Odum, 1969; Shafi and Yarranton, 1973), 지리산 구상나무 임분이 한라산 구상나무 임분에 비하여 종내경쟁 또는 종간경쟁이 상대적으로 치열할 것으로 판단되었다.

지역별 층위에 따른 식피율을 살펴보면, 지리산은 교목층 평균 식피율이 69.0±14.1%, 아교목층 평균 식피율이 33.0±13.6%, 관목층 평균 식피율이 38.0±17.9%, 초본층 평균 식피율이 63.0±11.0%로 각각 나타났다. 한라산은 아교목층 평균 식피율이 38.6±21.9%, 관목층 평균 식피율이 68.8±14.9%, 초본층 평균 식피율이 48.5±22.0%로 각각 나타났다. 지리산 구상나무 임분은 교목층과 초본층의 식피율이 아교목층과 관목층의 식피율보다 상대적으로 높게 나타났으며, 한라산 구상나무 임분은 관목층의 식피율이 아교목층과 초본층의 식피율보다 상대적으로 높게 나타났다. 종풍부도가 가장 높은 초본층의 경우, 한라산의 초본층 식피율이 지리산보다 상대적으로 낮게 나타났는데 이는 초본층과 가장 인접해 있는 관목층의 식피율이 높게 나타나고 초본이 생육하기에 적합한 표토의 면적이 높은 암석 노출도로 인하여 넓은 면적의 확보가 어렵기 때문인 것으로 판단되었다.

4. 중요치

지리산과 한라산 구상나무림 내 DBH 2 cm 이상 입목의 매목조사된 결과를 바탕으로 중요치 분석을 한 결과 (Table 3), 지리산 구상나무는 한라산 구상나무에 비하여 상대피도(흉고단면적), 상대밀도(개체수), 상대빈도(출현율)가 모두 낮게 나타나 중요치가 지리산 구상나무가 26.6%로 나타났고 한라산 구상나무는 39.4%로 지리산에 비해 높게 나타났다. 지리산 구상나무림의 중요치를 살펴보면, 구상나무(26.6%), 신갈나무(15.7%), 쇠물푸레나무(7.2%), 당단풍나무(6.6%), 들메나무(4.2%), 피나무(4.0%),

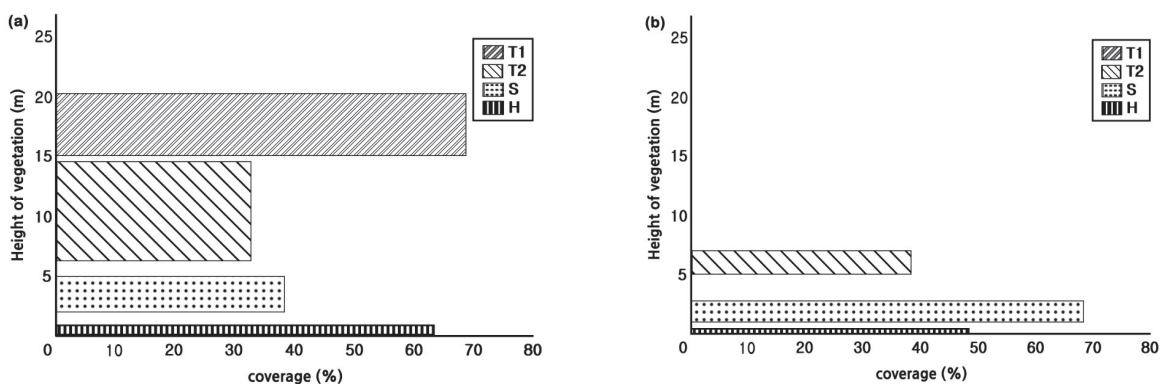


Figure 4. Crown structure of correlation between height of vegetation stratum (T1: tree layer, T2: subtree layer, S: shrub layer, H: herb layer) and coverage in Mt. Jirisan (a) and Mt. Hallasan (b).

Table 3. Comparison of importance value of *A. koreana* forest between Mt. Jirisan and Mt. Hallasan.

Scientific name (Korean name)	Mt. Jirisan				Mt. Hallasan			
	RD*	RC*	RF*	IV*	RD*	RC*	RF*	IV*
<i>Abies koreana</i> (구상나무)	33.9	36.8	9.2	26.6	38.5	63.8	16.0	39.4
<i>Quercus mongolica</i> (신갈나무)	11.2	27.7	8.1	15.7	9.9	11.8	15.3	12.3
<i>Prunus maximowiczii</i> (산개벚치나무)	-	-	-	-	24.5	12.3	16.7	17.8
<i>Taxus cuspidata</i> (주목)	0.3	0.3	0.7	0.4	21.1	9.7	16.7	15.8
<i>Fraxinus sieboldiana</i> (쇠물푸레나무)	10.3	3.4	7.7	7.2	-	-	-	-
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (당단풍나무)	9.7	3.1	7.0	6.6	0.1	0.0	0.7	0.3
<i>Fraxinus mandshurica</i> (들메나무)	2.3	6.6	3.7	4.2	-	-	-	-
<i>Betula ermanii</i> (사스래나무)	0.9	2.1	2.6	1.9	0.9	1.2	4.7	2.3
<i>Tilia amurensis</i> (피나무)	4.0	2.2	5.9	4.0	-	-	-	-
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> (고로쇠나무)	2.7	2.4	5.9	3.7	0.1	0.0	0.7	0.2
<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i> (노린재나무)	1.8	0.1	1.8	1.2	1.3	0.3	5.3	2.3
<i>Pinus koraiensis</i> (갯나무)	2.2	4.0	4.4	3.5	-	-	-	-
<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)	3.7	1.2	5.2	3.3	-	-	-	-
<i>Magnolia sieboldii</i> (함박꽃나무)	2.1	0.2	4.1	2.1	0.2	0.0	2.0	0.7
<i>Carpinus cordata</i> (까치박달)	2.6	1.0	3.7	2.4	-	-	-	-
<i>Sorbus commixta</i> (마가목)	0.7	1.4	2.2	1.4	0.5	0.2	2.0	0.9
<i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래)	-	-	-	-	0.8	0.1	4.7	1.9
<i>Pourthiaea villosa</i> (윤노리나무)	-	-	-	-	0.8	0.2	4.0	1.7
<i>Weigela subsessilis</i> (병꽃나무)	-	-	-	-	0.6	0.1	4.0	1.6
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> (털진달래)	-	-	-	-	0.5	0.0	4.0	1.5
<i>Prunus</i> spp. (벚나무류)	0.8	0.9	2.6	1.4	-	-	-	-
<i>Ilex macropoda</i> (대팻집나무)	1.3	0.7	2.2	1.4	-	-	-	-
<i>Acer ukurunduense</i> (부계꽃나무)	0.8	0.4	2.2	1.1	-	-	-	-
<i>Syringa patula</i> (털개회나무)	0.7	0.0	2.2	1.0	-	-	-	-
<i>Syringa wolfii</i> (꽃개회나무)	0.8	0.2	1.8	1.0	-	-	-	-
<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	0.3	1.7	0.7	0.9	-	-	-	-
<i>Euonymus macropterus</i> (나래회나무)	0.7	0.1	1.8	0.9	-	-	-	-
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> (철쭉)	1.4	0.1	1.1	0.9	-	-	-	-
<i>Sorbus alnifolia</i> (팔배나무)	0.3	0.2	1.1	0.5	0.1	0.1	0.7	0.3
<i>Fraxinus chiisanensis</i> (물들메나무)	0.5	0.7	1.1	0.8	-	-	-	-
<i>Picea jezoensis</i> (가문비나무)	0.5	1.1	0.7	0.8	-	-	-	-
<i>Stewartia pseudocamellia</i> (노각나무)	0.5	0.2	1.5	0.7	-	-	-	-
<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	0.4	0.2	1.5	0.7	-	-	-	-
<i>Cornus controversa</i> (층층나무)	0.3	0.4	1.1	0.6	-	-	-	-
<i>Aralia elata</i> (두릅나무)	0.5	0.1	1.1	0.6	-	-	-	-
<i>Euonymus sachalinensis</i> (회나무)	0.4	0.0	1.1	0.5	-	-	-	-
<i>Euonymus hamiltonianus</i> (참벚살나무)	-	-	-	-	0.2	0.0	1.3	0.5
<i>Cornus walteri</i> (말채나무)	0.2	0.3	0.7	0.4	-	-	-	-
<i>Viburnum carlesii</i> (분꽃나무)	-	-	-	-	0.1	0.0	0.7	0.2
<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (산철쭉)	-	-	-	-	0.1	0.0	0.7	0.2
<i>Acer mandshuricum</i> (복장나무)	0.1	0.2	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Kalopanax septemlobus</i> (음나무)	0.1	0.1	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Corylus heterophylla</i> (개암나무)	0.1	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Acer barbinerve</i> (청시닥나무)	0.1	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Deutzia glabrata</i> (물참대)	0.1	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> (물푸레나무)	0.1	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Styrax japonicus</i> (때죽나무)	0.1	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-
<i>Lonicera sachalinensis</i> (홍괴불나무)	0.1	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

RC* : Relative coverage, RD* : Relative density, RF* : Relative frequency, IV* : Importance vlaue

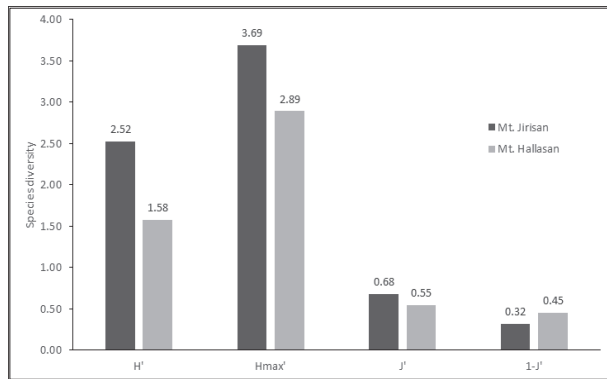


Figure 5. Comparing species diversity indices of *A. koreana* forest between Mt. Jirisan and Mt. Hallasan.

고로쇠나무(3.7%)의 순으로 나타났다. 한라산 구상나무림의 중요치를 살펴보면, 구상나무(39.4%), 산개벚치나무(17.8%), 주목(15.8%), 신갈나무(12.3%)의 순으로 나타났고 중요치 값이 가장 높은 구상나무와 다른 수종과의 중요치 차이가 지리산과 상대적으로 크게 나타났으며, 그 외 수종의 경우 중요치 값이 크지 않아 당분간 구상나무가 우점할 것으로 사료되었지만 기후변화 또는 다른 이유에서의 구상나무 감소에 대한 보전대책 마련이 시급할 것으로 사료되었다.

5. 종다양도

지리산과 한라산 구상나무림 내 DBH 2 cm 이상 임목의 매목조사된 결과를 바탕으로 연구대상지의 성숙도와 안정도 등의 간접적인 속성을 파악하는 종다양도를 비교하기 위해 산출한 결과는 다음과 같다(Figure 5). 종다양도는 종수와 이질성이라는 제한된 변수만으로 구해지는 한계가 있으나(Krebs, 1985), 임분의 안정도를 나타내는 지표로서 어느 지역의 종다양도가 높다는 것은 중간 경쟁이 심한 것으로 생태적으로는 건강하다는 의미를 가진다. 또한, 산림식생의 안정성을 유추할 수 있고 서로 다른 지역의 종다양성을 같은 척도로 비교할 수 있다는 장점이 있다(Moon, 2001). 지리산의 종다양도는 2.52, 한라산은 1.58로 나타났다. 최대종다양도지수는 지리산이 3.69, 한라산이 2.89로 나타났다. 균재도는 지리산이 0.68, 한라산이 0.55, 우점도는 지리산이 0.32, 한라산이 0.45로 나타났다. 지리산의 종다양도가 한라산보다 높게 나타나고 우점도가 지리산에 비하여 한라산이 높게 나타난 것은 위의 중요치 분석에서 지리산 구상나무의 중요치가 한라산에 비하여 높지 않고 기타 수종과의 중요치 차이가 크지 않음과 출현한 종수가 지리산이 많은 이유로 사료되어지며 두 지역의 입지환경의 차이, 교란의 종류 및 강도 등 여러 변수에 의해 차이가 발생할 수 있지만 종다양도와 균재도가

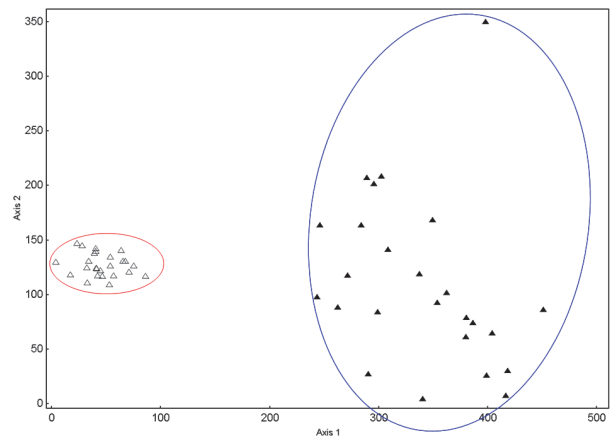


Figure 6. DCA (detrended correspondence analysis) ordination of *A. koreana* forest in Mt. Jirisan(Δ) and Mt. Hallasan(▲).

높은 지리산이 생태적으로 더 안정된 구상나무림을 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 지리산과 한라산의 구상나무림에 관한 산림구조를 살펴본 연구에서도 지리산의 구상나무림의 종다양도(Kim et al., 1991; Kim et al., 1997; Kim et al., 2000; Kim et al., 2018)가 한라산 구상나무림의 종다양도(Song et al., 2010; Song and Kang, 2016; Song et al., 2019; 보다 높게 나타나는 경향을 기존 연구결과에서도 유사한 결과는 확인할 수 있었다.

6. DCA

조사구 간의 상이성을 바탕으로 조사구를 배치하는 Ordination 분석(Orloci, 1978) 결과(Figure 6), DCA 제 1축과 제 2축의 eigenvalue가 각각 0.752, 0.332으로서 3개 축 전체 합 1.326의 81.7%에 해당하여 total variance에 대한 집중률이 높은 편이었다. 지리산 구상나무림의 제 1축 평균이 41.9, 제 2축 평균이 122.3으로 나타났고, 한라산 구상나무림의 제 1축 평균이 334.5, 제 2축 평균이 105.7으로 나타나 지소별 평균 거리가 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 지리산 구상나무림 종조성의 조사지간 차이가 한라산 구상나무림에 비하여 적은 것으로 나타나 조사지의 퍼져 있는 정도가 한라산에 비하여 상대적으로 조밀한 것으로 나타났다.

결론

구상나무(*A. koreana*)는 한국의 특산식물이자 국가기후변화지표종으로서 진행되고 있는 기후변화에 취약한 수종이며, 그 생육지가 아고산대에 한정되어 있어 멸종될 가능성이 매우 높다. 그에 따른 구상나무 생육감퇴의 원인구명과 복원에 관련한 연구들이 다수 진행되어 왔지만 하나

의 지역에 국한된 연구들이 대부분이었다. 우리나라에서 구상나무림이 가장 넓게 분포하고 있는 한라산과 지리산을 대상으로 지역간 임분구조의 비교를 통해 그 차이를 밝히고 새로운 구상나무 서식지의 발굴 및 식물보전에 있어 지역별 차별화된 전략을 세워야 한다.

조사대상지는 지리산 임결령 지역과 한라산 영실 지역에 각각 1 ha씩 환경부에서 국가장기생태연구를 위해 설치한 구상나무군락의 영구 조사지이며, 흉고직경 2 cm 이상의 목본식물에 대하여 매목조사 및 생육하고 있는 모든 종에 대한 식생조사를 실시한 결과, 20 cm 이하의 직경급은 한라산의 개체수가 지리산의 개체수보다 많이 나타났고 20 cm 이상의 직경급은 지리산의 개체수가 많았다. 각 흉고직경급별 평균 DBH 또한 모든 직경급에서 지리산이 한라산보다 높게 나타났다. 한라산의 구상나무가 지리산보다 소경목으로 주로 임분을 구성하고 교목층의 평균수고 또한 현저히 낮은 것은 지리산 보다 한라산의 평균기온이 낮고 평균풍속이 높은 식물이 생육하기에 더 극한기상인 이유로 사료되지만 그 외 지리산과 한라산의 지형 또는 지질적 차이로 인한 구상나무의 수분흡수율의 차이, 그리고 근계가 수간을 지탱할 수 있는 수용력의 임계점에 대한 근원적 차이가 있을 것으로도 사료되어 이에 대한 추가적인 연구의 진행이 필요하다. 수간건강상태에서도 지리산 구상나무의 수간건강상태가 한라산보다 끈게 서서 자라는 형태(AS)의 비율이 높았고 그 외 형태들에서 한라산이 높게 나타나는 경향을 보여 지리산 구상나무의 생육상태가 한라산 구상나무의 생육상태보다 더 좋음을 알 수 있었다. 수관계층 구조에서 지리산 구상나무림이 4개의 층위가 고르게 발달하였고 한라산의 경우, 교목층은 발달하지 않아 층상구조가 상대적으로 복잡한 지리산의 구상나무림이 한라산 구상나무림에 비하여 상대적으로 성숙한 임분을 형성하고 있는 것으로 판단되었다. 층위별 식피율에서는 종풍부도가 높은 초본층에서 한라산의 초본층 평균 식피율이 지리산에 비하여 더 낮게 나타났는데 이는 높은 관목층 평균식피율과 높은 암석노출도로 인하여 초본층 식생들이 생육하기가 불리하기 때문인 것으로 판단되었다. 중요치 분석에서는, 지리산의 경우, 구상나무와 신갈나무 및 그 외 수종간의 중요치 차이가 상대적으로 적게 나타나 향후 종내 또는 종간의 임지경쟁이 활발히 일어날 것으로 판단되었으며, 한라산의 경우, 구상나무의 중요치 비율이 타 수종보다 상대적으로 높아 당분간은 구상나무가 우점할 것으로 판단되었다. 종다양성 측면에서도 지리산의 종다양도가 한라산보다 높아 생태적으로 더 안정된 구상나무림을 유지하고 있음을 알 수 있었다. DCA 분석 결과, 지리산과 한라산의 구상나무림은 지소별 유연 거리의 차이가 명확하였고, 종조성의 조사지간 차이가 지리산

이 더 적게 나타나 조밀하게 분포하는 것을 알 수 있었다.

조사 및 분석을 통해 알아본 지리산과 한라산 구상나무림의 구조적 차이는 생육지 및 입지환경에 따라 차이가 있음이 밝혀졌고 구상나무의 지속성 전망에 따르면, 100여 년 후 현재의 구상나무 자생지는 모두 사라질 것으로 예측되고 있는 바(Korea Forest Research Institute, 2014), 그에 따른 쇠퇴원인 구명 및 복원방법 개발에 있어서도 구상나무 생육지별 차별화된 전략 수립이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 국립생태원 ‘생태계 기후변화 조사연구(NIE-기반연구-2021-21)’의 지원으로 수행되었기에 감사드립니다.

References

- Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Company Publishers. Iowa, U.S.A. pp. 596.
- Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32(3): 476-496.
- Fan, Z.M., Li, J. and Yue, T.X. 2012. Changes of climate-vegetation ecosystem in loess plateau of China. *Procedia Environmental Sciences* 13: 715-720.
- Gebauer, R., Volarik, D., Funda, T., Fundova, I., Kohutka, A., Klapetek, V., Martinkova, M., Anenkhonov, O.A. and Razuvaev, A. 2010. Pinus pumila growth at different altitudes in the Svyatoi Nos Peninsula (Russia). *Journal of Forest Science* 56(3): 101-111.
- Herlbert, S.H. 1971. The non-concept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-586.
- Hill, M.O. 1979. DECORANA – a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. *Ecology and Systematics*. Cornell Univ. Ithaca, New York, U.S.A. pp. 52.
- Hong, S.C., Byen, S.H. and Kim, S.S. 1987. Colored illustrations of trees and shrubs in Korea. Gyemyengsa. Korea. pp. 310.
- Hong, S.G., Kim, J.J. and Cho, H.K. 2008. Studies on natural regeneration of *Abies koreana*. *Journal of National Academy of Sciences*. Republic of Korea 47(1): 71-84.
- Hwang, K.M., Chung, S.H. and Kim, J.H. 2016. Forest type classification and successional trends in the national forest of Mt. Deogyu. *Journal of Korean Forest Society* 105(2): 157-166.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. 2014. Climate

- Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Summary for Policymakers. pp. 175.
- Jang, R.H., Cho, K.T. and You, Y.H. 2014. Annual biomass production and amount of organic carbon in *Abies koreana* forest of subalpine zone at Mt. Halla. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 28(6): 627-633.
- Kang, S.J., Kwak, A.K. and Kikuchi, Takao. 1997. A phytosociological description of the *Abies koreana* forest on Mt. Halla in Cheju island, Korea. *Journal of Ecology and Environment* 20(4): 293-298.
- Kim, C.H., Jo, M.G., Kim, J.K., Choi, M.S., Chung, J.M., Kim, J.H. and Moon, H.S. 2012. Vegetation change and growing characteristics of *Abies koreana* population by altitude in Georim valley of Mt. Jiri. *Journal of Agriculture and Life Science* 46(1): 1-8.
- Kim, E.S. 1994. Decline of tree growth and the changes of environmental factors on high altitude mountains. National Research Foundation, Korea. pp. 88.
- 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. and 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. *Journal of Marine and Island Culture* 5: 68-78.
- Kim, G.T., Kim, J.S. and Choo, G.C. 1991. Studies on the structure of forest community at Banyabong area. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 5(1): 25-31.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Um, T.W. 1997. Studies on the structure of forest community at Cheonwangbong-Deokpyungbong. *Journal of Korean Society of Forest Science* 86(2): 146-157.
- Kim, G.T. and Choo, G.C. 2000. Comparison of growth condition of *Abies koreana* Wilson by districts. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 14(1): 80-87.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Baek, G.J. 1998. Studies on the structure of forest community in subalpine zone of Mt. Halla – *Abies koreana* forest –. *Journal of Korean Society of Forest Science* 87(3): 366-371.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Baek, G.J. 2000. Studies on the structure of forest community at Myungsunbong, Tokpyongbong area in Chirisan national park. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 13(4): 299-308.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Koh, J.G. 2001. Experimental planting of the seedling for the restoration of *Abies koreana* forest in Hallasan. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 15(3): 207-212.
- Kim, G.T., Choo, G.C. and Um, T.W. 2007. Studies on the structure of *Abies koreana* community at subalpine zone in Hallasan. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 21(2): 161-167.
- Kim, J.D., Park, G.E., Lim, J.H. and Yun, C.W. 2018. The changes of seedling emergence of *Abies koreana* and altitudinal species composition in the subalpine area of Mt. Jiri over short-term (2015-2017). *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 32(3): 313-322.
- Kim, J.K., Koh, J.G., Yim, H.T. and Kim, D.S. 2017. Changes of spatial distribution of Korean fir forest in Mt. Hallasan for the past 10 years (2006, 2015). *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 31(6): 549-556.
- Kim, M.H. 1986. Phytosociological study on the coniferous forests of subalpine zone, Korea. *Journal of Science Education* 3: 25-36.
- Kim, N.S., Han, D.W., Cha, J.Y., Park, Y.S., Cho, H.J., Kwon, H.J., Cho, Y.C., Oh, S.H. and Lee, C.S. 2015. A detection of novel habitats of *Abies koreana* by using species distribution models (SDMs) and its application for plant conservation. *Journal of Korean Environment Restoration Technology* 18(6): 135-149.
- Koh, J.G., Kim, D.S., Koh, S.C. and Kim, M.H. 1996. Dynamics of *Abies koreana* forests in Mt. Halla. *Journal of Cheju Studies* 13: 223-241.
- Kong W.S., Kim, K.O., Lee, S.G., Park, H.N. and Cho, S.H. 2014. Distribution of high mountain plants and species vulnerability against climate change. *Journal of Environmental Impact Assessment* 23(2): 119-136.
- Koo, K.A., Park, W.K. and Kong, W.S. 2001. Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: effects of climate change on the growths. *Journal of Ecology and Environment* 24(5): 281-288.
- Korea Forest Research Institute. 2014. IPCC 5th climate change assessment report contents and implications. Korea Forest Research Institute. pp. 20.
- Korea Meteorological Administration. 2019. Weather data open portal. <http://www.data.kma.go.kr/>
- Korea National Arboretum. 2019a. Korea plant names index committee. <http://www.nature.go.kr/>
- Korea National Arboretum 2019b. Korea biodiversity information system. <http://www.nature.go.kr/>
- Korea National Park Service. 2019. National Parks of Korea. <http://www.knps.or.kr/>
- Krebs, C.J. 1985. *Ecology*. 3rd Ed. Harper & Low, New York. pp. 800.
- Lee, C.S. and Cho, H.J. 1993. Structure and dynamics of *Abies koreana* Wilson community in Mt. Gaya. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 16(1): 75-91.
- Lee, K.J., Han, S.S., Kim, J.H. and Kim, E.S. 1996. Forest

- Ecology. Hyangmunsa. Korea, pp. 395.
- Lee, S.C., Choi, S.H., Kang, H.M., Cho, H.S. and Cho, J.W. 2010. The change and structure of altitudinal vegetation on the east side of Hallasan national park. *Journal of Korean Society of Environment and Ecology* 24(1): 26-36.
- Lee, T.B. 2003. Coloured flora of Korea. Hyangmunsa. Korea. pp. 999.
- Margalef, R. 1968. Perspectives in ecological theory, University of Chicago Press, Chicago. pp. 112.
- Moon, H.S. 2001. Studies on the forest vegetation structure in subalpine zone of Mt. Deokyu national park. *Journal of Agriculture and Life Science* 35: 47-54.
- National Institute of Environmental Research. 2006. Indicator species for climate change impact assessment in Korean Peninsula. National Institute of Environmental Research pp. 128.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- Oh, S.J., Koh, J.G., Kim, E.S., Oh, M.Y. and Koh, S.C. 2001. Diurnal and seasonal variation of chlorophyll fluorescence from Korean Fir plants on Mt. Halla. *Journal of Korean Society of Environmental Biology* 19(1): 43-48.
- Orloci, L. 1978. Multivariate analysis in vegetation research, 2nd ed. W. Junk, The Hague. pp. 468.
- Park, B.J., Kim, J.J., Lee, D.J. and Joo, S.H. 2015. The analysis of vegetation clustering and stand structure for Thuja orientalis forest in Dodong, Daegu. *Journal of Korean Society of Forest Science* 104(4): 519-526.
- Shafi, M. and Yarranton, G.A. 1973. Diversity, floristic richness, and species richness during secondary (post-fire) succession. *Ecology* 54: 897-902.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Sim, M.Y., Eo, J.K. and Eom, A.H. 2009. Diversity of Ectomycorrhizal fungi of *Abies koreana* at Mt. Halla. *Journal of Korean Society of Mycology* 37(2): 134-138.
- Simberloff, D. 1988. The contribution of population and community biology to conservation science. *Journal of Annual Review of Ecology and Systematics* 19: 473-511.
- Song, B.G. and Park, K.H. 2018. Analysis of climate change sensitivity of forest ecosystem using MODIS imagery and climate information. *Journal of Korean Association of Geographic Information Studies* 21(3): 1-18.
- Song, J.H., Han, S.H., Lee, S.H. and Yun, C.W. 2019. Changes for stand structure of *Abies koreana* forest at the Youngsil area of Mt. Hallasan for six years (from 2011 to 2017). *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(1): 1-9.
- Song, J.S. 1991. Review of phytosociological vegetation units of *Abies koreana* forest on Mt. Halla. *Journal of Korean Society of Plant Biologists* 34(4): 341-347.
- Song, K.M., Kang, Y.J. and Hyeon, H.J. 2014. Vegetation structure at the slope direction and characteristic of seedling of *Abies koreana* in Hallasan mountain. *Journal of Environmental Science International* 23(1): 39-46.
- Song, K.M. and Kang, Y.J. 2016. A study on the vegetation structure of *Abies koreana* forest in Youngsil area of Hallasan mountain. *Journal of Environmental Science International* 25(1): 57-65.
- Song, K.M., Kim, C.S., Koh, J.G., Kang, C.H. and Kim, M.H. 2010a. Vegetation structure and distributional characteristics of *Abies koreana* forests in Mt. Halla. *Journal of Environmental Sciences* 19(4): 415-425.
- Song, K.M., Kim, C.S., Koh, J.G. and Kim, M.H. 2010b. Composition and structure of *Abies koreana* forest of the national long-term ecological research sites of Youngsil in Mt. Halla. *Journal of The Plant Resources Society of Korea* 2010: 46-46.
- Song, K.M. and Kang, Y.J. 2016. A study on the vegetation structure of *Abies koreana* forest in Youngsil area of Hallasan mountain. *Journal of Environmental Science International* 25(1): 57-65.
- Soule, M.E. and Simberloff, D. 1986. What do genetics and ecology tell us about the design of nature reserves? *Journal of Biological Conservation* 35: 19-40.
- Tony, P. 2008. Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *Ecological complexity* 5: 329-338.
- Trisurat, Y., Shrestha, R.P. and Kjelgren, R. 2011. Plant species vulnerability to climate change in peninsular Thailand. *Journal of Applied Geography* 31(3): 1106-1114.
- Yun, C.W., Shin, J.H., Yang, H.M., Lim, J.H. and Lee, B.C. 2011. Phytosociological classification of forest vegetation in Korea. Korea Forest Research Institute. Korea, pp. 135.
- Yun, C.W. 2016. Field guide to trees and shrubs. Geobook, Korea, pp. 703.