


제주도 남동사면의 산림식생구조와 해발고별 산림군집 및 개체군 분포 특성

이정은 · 윤충원 *

국립공주대학교 산림과학과

Vegetation Structure and Distribution characteristics of Forest Community along Elevation on Mt. Hallasan

Jeong Eun Lee and Chung Weon Yun *

Department of Forest Science, Kongju National University, Kongju 32588, Korea

요약: 본 연구는 한라산 남동사면을 대상으로 해발에 따라 변화하는 산림식생구조 특성을 파악하고자 하였다. 해발 16 m부터 1,565 m까지 100 m 간격으로 총 59개의 조사구에서 식생조사를 수행하고, 클러스터 분석으로 군집유형을 분류하였으며, 해발고별 수종 구성과 종다양도를 분석하였다. 군집유형은 유형1 졸참나무군집(*Quercus serrata* community), 유형2 개서어나무군집(*Carpinus tschonoskii* community), 유형3 서어나무군집(*Carpinus laxiflora* community), 유형4 소나무군집(*Pinus densiflora* community), 유형5 구상나무군집(*Abies koreana* community), 유형6 구실잣밤나무군집(*Castanopsis sieboldii* community), 유형7 붉가시나무(*Quercus acuta* community)로 분류되었다. 해발고별 교목층의 중요치 분석 결과 100-600 m까지는 구실잣밤나무와 붉가시나무, 700-800 m에서 서어나무, 졸참나무, 개서어나무, 1,100-1,200 m에서 소나무, 1,500-1,600 m 구간에서 구상나무의 중요치가 각각 높게 나타났다. 종다양도의 경우 해발 700-800 m, 1,200-1,300 m, 1,400-1,500 m에서 종다양도가 높아지는 경향이 나타났으며 이는 생태계의 추이대 영향으로 판단되었다.

Abstract: The change in vegetation structure along elevational gradients on the southeastern part of Mt. Hallasan was studied. Vegetation data were collected with 59 quadrates located from 16 to 1,565 m with 100 m intervals. Community types were classified using cluster analysis, and species composition and diversity were analyzed along elevational gradients. The vegetation was classified into seven, namely, type 1 *Quercus serrata* community, type 2 *Carpinus tschonoskii* community, type 3 *Carpinus laxiflora* community, type 4 *Pinus densiflora* community, type 5 *Abies koreana* community, type 6 *Castanopsis sieboldii* community, and type 7 *Quercus acuta* community. The species with a high importance value in tree layer in each elevational zone were *C. sieboldii* and *Q. acuta* at 100-600 m; *C. laxiflora*, *Q. serrata*, and *C. tschonoskii* at 700-800 m; *P. densiflora* at 1,100-1,200 m; and *Abies koreana* at 1,500-1,600 m. The species diversity indicated higher value at 700-800 m, 1,200-1,300 m and 1,400-1,500 m than at the other elevation.

Key words: community type, indicator species, importance value, species diversity

서론


지리지역이나 특정 지형에 있어서 기후가 식물 성립과 성장의 제한요인이 될 때 해발고가 특히 중요하다(Barnes et al., 1998). 특정 입지의 해발고는 그 지역에 기후요인의

정보가 없는 경우 식물 분포 및 생육효과를 판정하는 중요한 지표이며, 산지의 유사 지형에 대한 식생을 비교하거나 고위도와 저위도의 식생을 비교하고자 할 때 중요한 결정 요인이다(Son et al., 2016). 따라서 고도구배는 기후변화와 식생분포간의 상호관계, 환경변화에 따른 생물다양성의 분포 패턴 연구를 수행하기 위한 가장 중요한 물리적 인자로 인식되고 있다(An et al., 2019). 해발고에 따른 기후인자는 위도, 방위, 경사도 등에 따라 달라지며, 이는 동일한 산지 내에서도 사면방향 등에 따라 다르다(Daubenmire, 1966;

* Corresponding author

E-mail: cwyun@kongju.ac.kr

ORCID

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

Park et al., 2002). 따라서 동일 사면에서도 해발고도에 따라 또는 동일 해발고에서도 사면방향에 따라 군집구조가 달라질 수 있다(Webster, 1961; Katagiri and Tsutsumi, 1978; Oh and Jee, 2000).

제주도는 사면과 해발고도에 따라 강수량과 기온이 매우 다양한 분포를 나타내는 지역으로(Choi, 2013), 북사면과 남사면은 경사가 급하게 나타나고, 동사면과 서사면은 상대적으로 경사가 완만하다(Choi, 2011). 또한 반시계 방향으로 상승하는 저기압의 흐름과 관련하여 남서 또는 북서사면 보다는 남동 또는 북동사면에 강수량이 많으며(Park et al., 2014), 해발고도에 따라 상록활엽수, 온대낙엽활엽수림대 및 한대침엽수림대까지 여러 기후대의 식물들이 분포하고 있다(Lee et al., 2010).

제주도 상록활엽수림대의 대부분은 계곡을 중심으로 발달하고 있으며(Jeon et al., 2016) 기후변화에 따라 한반도 상록활엽수림의 분포가 확대되며, 졸참나무(*Quercus serrata*), 신갈나무(*Quercus mongolica*)림 등의 낙엽활엽수와의 경쟁이 예상되고 있다(Yun et al., 2011). 낙엽활엽수림은 상록활엽수림과 침엽수림대의 사이이며 제일 저지대에 졸참나무와 개서어나무(*Carpinus tschonoskii*) 군락이 우점하고 있다(Jeju Natural Environment Ecology Information System, 2001). 한라산의 침엽수림은 대면적으로 집단화되어 있으면서 감소율이 가장 큰 지역이며, 제주 지역은 타 지역보다 온도상승이 가장 가파르게 진행되고 있어 한라산이 기후변화로 인한 산림생태계 취약성이 가장 높을 것으로 추정되고 있다(Kim et al., 2019).

한라산의 해발고도와 사면에 관한 식생 연구로는 동사면의 해발고도별 식생변화(Lee et al., 2010), 돈내코계곡의 해발고도별 식물군집분포(Oh et al., 2007), 남사면 계곡 모새나무 자생지의 식생구조(Song et al., 2013), 동,서사면 좁팍나무의 생태적 특성(Lee et al., 2011)에 관한 연구 등이 있다. 한라산은 해발고도에 따른 식생대의 수직적 발달이 뚜렷하여 생물지리학적·생태학적으로 매우 중요한 지역이며, 남동사면은 강수량이 많기 때문에 생물다양성이 높을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 한라산 남동사면의 해발고도별 식생군집구조와 층위구조를 파악하고 해발고도별 종다양도 분석을 통해 해발에 따라 변화하는 산림식생구조 특성을 파악하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

한라산은 우리나라 3대 영산중의 하나로 한반도의 최남단에 위치하고 있으며 해발은 남한에서 가장 높은 1,950 m이며, 백록담을 중심으로 153.332 km²에 달하며, 91.654 km²가

천연보호구역으로 지정되어 있다(Hallasan National Park, 2019). 한라산의 지질은 하위로부터 상위로 탐라층 이전의 전기분석구, 탐라층, 현무암질, 암백복합체, 탐라층 이후의 후기분석구, 한라산현무암군 및 백록담조면암군으로 구분할 수 있다(Yoon et al., 2005). 한라산은 기후는 해발고도에 따라 강수량과 기온이 매우 다양한 분포를 보이고 있으며(Choi, 2013, Park et al., 2014), 한라산의 지역과 사면, 해발을 기준으로 Choi(2011)가 선정한 기상관측 지점을 참고하여 해안지역-서귀포(남사면), 저산간 지역-태풍센터(남동사면), 중산간 지역-성판악(동사면), 고산지역-윗세오름(서,북,남사면)에 대한 기상자료(Korea Meteorological Administration, 2019)를 수집하였다. 기후도(climate diagram)를 작성한 결과(Walter et al., 1975) 대부분 8월에 강수량이 가장 높았으며, 해발이 높아질수록 연평균강수량이 많아졌다. 해발 760m 지점에 위치한 성판악관측소에서 1월, 윗세오름 관측소에서는 1월, 2월, 3월, 12월에 평균기온이 영하로 나타났다(Figure 1).

2. 식생조사 및 분석

본 조사는 한라산 남동사면의 해발고도별 식생구조 및 변화를 알아보기 위하여 2020년 6월에 수행하였으며, 해발 16 m부터 해발 1,565 m까지를 대상으로 해발 100 m 간격마다 2개의 조사구를 20×20 크기로, 총 59개의 조사구에서 식생을 조사하였다. 해발 1,565 m 이상은 출입이 통제되어 있어 조사를 하지 못하였다.

식생조사는 군락의 특징적인 종의 조성을 중시하는 Z-M학파의 식물사회학적 방법(Ellenberg, 1956; Braun-Blanquet, 1964)에 따라 출현하는 구성종의 우점도와 군도등을 측정하였다. 층위는 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층으로 구분하였고, 각 조사지의 해발고도, 방위, 경사를 조사하였다. 종 동정은 원색식물도감(Lee, 2003)과 나무생태도감(Yun, 2016)을 기준으로 하였으며 명명은 국가표준 식물목록(Korea Forest Service, 2010a)과 국가생물종지식정보시스템(Korea Forest Service, 2010b)을 기준으로 작성하였다.

군집분류는 클러스터 분석을 하였으며, 적절한 군집수를 결정하기 위해 Dufrière and Legendre(1997)의 지표종 분석(Indicator species analysis, ISA)을 실시하였다. 분석 프로그램은 Pc-ord v7.02를 이용하였고, 지표종 분석의 통계적 유의성 평가는 Monte Carlo method를 사용하였다(McCune and Grace, 2002).

박스플롯(box plot)은 그림으로서 동일항목의 공간적 비교 또는 다양한 실험결과들을 비교할 때 쉽게 활용할 수 있는 방법으로(Park et al., 2014) 각 군집유형별 해발고도의 분포를 한 눈에 알아보기와, R v3.5.1을 이용하여 분석하였다.

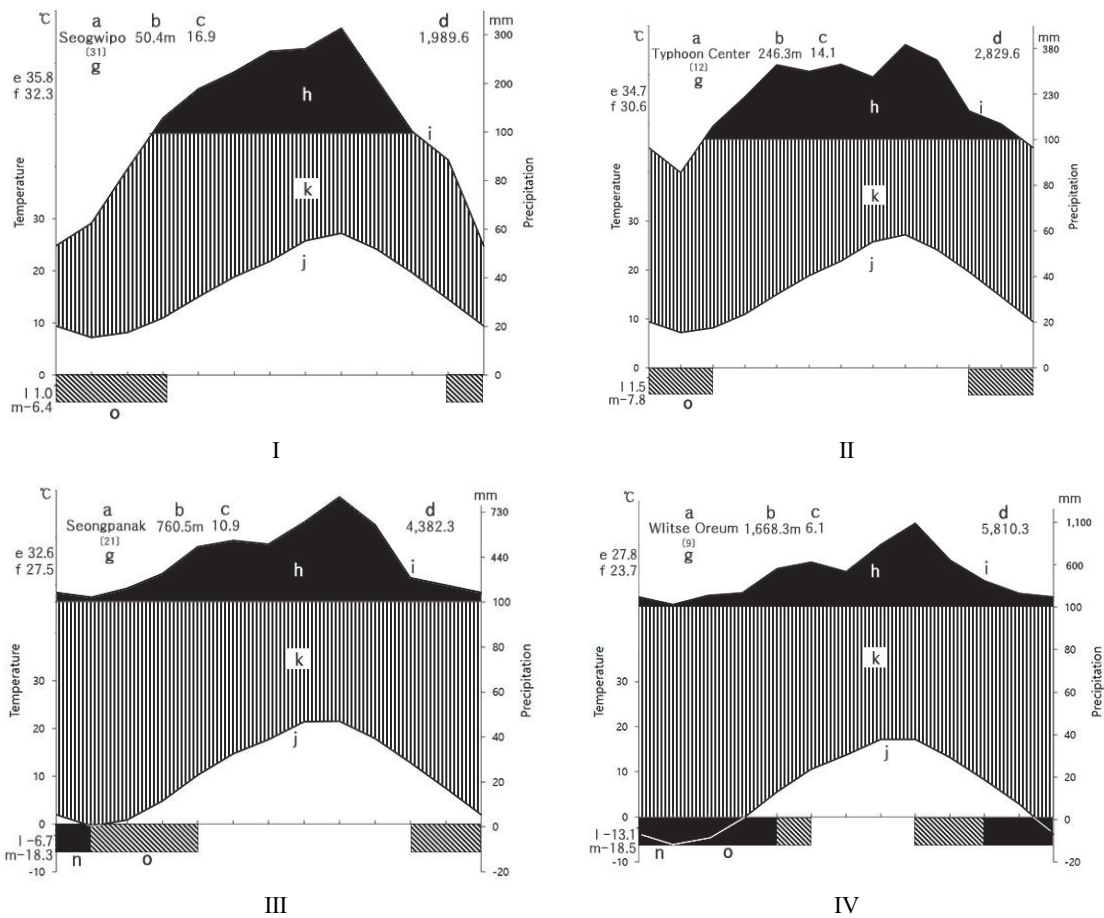


Figure 1. Climate diagram of Mt. Hallasan(I: Seogwipo, II: Typhoon Center, III: Seongpanak, IV: Witse Oreum).
 a : Station name, b : Height above sea level(m), c : Mean annual temperature(°C), d : Mean annual amount of precipitation (mm), e : Absolute maximum temperature(°C), f : Mean daily maximum of the hottest month(°C), g : Number of years observation, h : Average monthly precipitation exceeding 100 mm(black area), i : Monthly means of precipitation(mm), j : Monthly means of temperature(°C), k : Humid period(lined), l : Mean daily minimum temperature of the coldest month(°C), m : Absolute minimum temperature(°C) n : Months with a mean daily minimum temperature below 0°C, o : Months with an absolute minimum below.

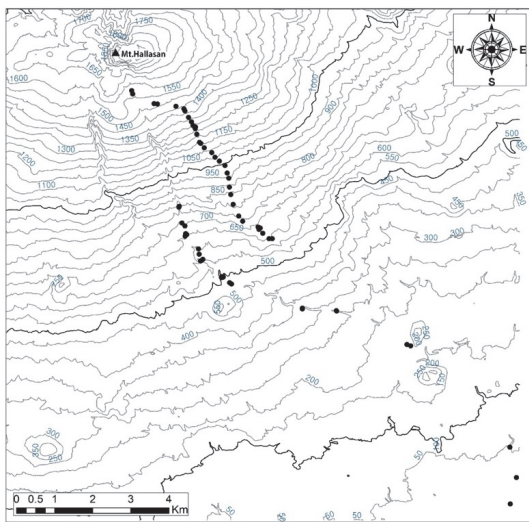


Figure 2. The location of survey plots on Mt. Hallasan.

군집유형과 층위별 주요 구성종의 점유정도를 파악하기 위해 모든 수종을 대상으로 개체수와 피도급의 조합인 우점도 계급을 백분율로 환산한 후 Curtis and McIntosh (1951)의 중요치(Importance Value)를 통합하여 백분율로 나타낸 상대우점치(Importance Percentage)를 층위별로 분석하였다(Brower and Zar, 1977). 상대우점치는 (상대밀도+상대피도+상대빈도)/3로 계산하였으며, 각 층위에 생육하고 있는 수종들의 개체크기를 곱하여 (교목층 I.P.×3+아교목층 I.P.×2+관목층 I.P.×1+초본층 I.P.×0.5)/6.5으로 평균상대우점치(Mean Importance Percentage; M.I.P)를 분석하였다. 또한 식생유형별로 평균상대우점치가 높은 수종인을 대상으로 교목층과 아교목층의 해발고별 중요치를 산출하였다.

해발별로 다양성, 우점도, 경쟁 등을 분석하기 위하여 Shannon-Weaver의 종다양도(H'),를 구하고 그에 따른 최

대 종다양도(H' max), 종균재도(J'), 그리고 종우점도($1-J'$)를 산출하였다(Shannon and Weaver, 1949).

$$\text{종다양도}(H') = -\sum P_i \times \ln P_i = -\sum \left(\frac{N_i}{N}\right) \times \ln\left(\frac{N_i}{N}\right)$$

P_i = 한 조사구내의 특정 종의 개체수와의 비
 N_i = 한 조사구내의 특정 종의 개체수
 N = 총 개체수

$$\text{최대종다양도}(H'_{\max}) = \ln S$$

S = 종의 수

$$\text{균재도}(J') = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

$$\text{우점도}(1 - J') = 1 - \frac{H'}{H'_{\max}}$$

결과 및 고찰

1. Cluster에 의한 군집분류

최적의 군집 수를 결정하는 근거자료는 Indicator 값의 평균 P 값이 가장 낮을 때 혹은 유의수준을 만족시키는 수종의

수가 가장 많을 때나, 위의 두 개의 조건을 모두 만족시킬 때이다(Chung and Kim, 2013). 본 연구에서는 군집의 수가 6개 일 때 평균 P 값이 0.308로 가장 낮게 나타났으나, $P < 0.01$ 을 만족시키는 수종의 수가 32종으로 낮게 나타났다. 군집의 수가 7개 일 때는 P 값이 0.311로 나타났으며, $P < 0.01$ 을 만족시키는 수종의 수가 47종으로 높게 나타나 제주도 남동사면 산림을 7개의 군집으로 분류하였다(Figure 3, Figure 4).

군집명은 각 군집유형에서 $P < 0.01$ 을 만족시키며, 지표값이 50.0 이상인 수종으로는 교목성 수종을 기준으로 유형1 졸참나무군집, 유형2 개서어나무군집, 유형3 서어나무군집, 유형4 소나무군집, 유형5 구상나무군집, 유형6 구실잣밤나무군집, 유형7 붉가시나무군집으로 명명하였다(Table 1). 지표종은 다양한 유형의 서식처와 환경에 살아가는 종의 개체생태학적 상세한 내용을 이해할 수 있으며, 지표종은 생태계에서 핵심종의 역할을 하는 종이다(Dufrene and Legendre, 1997; Rubio et al., 2011; Cheon et al., 2014). 각 군집에 나타난 지표종으로는 졸참나무군집에서 졸참나무, 참식나무(*Neolitsea*

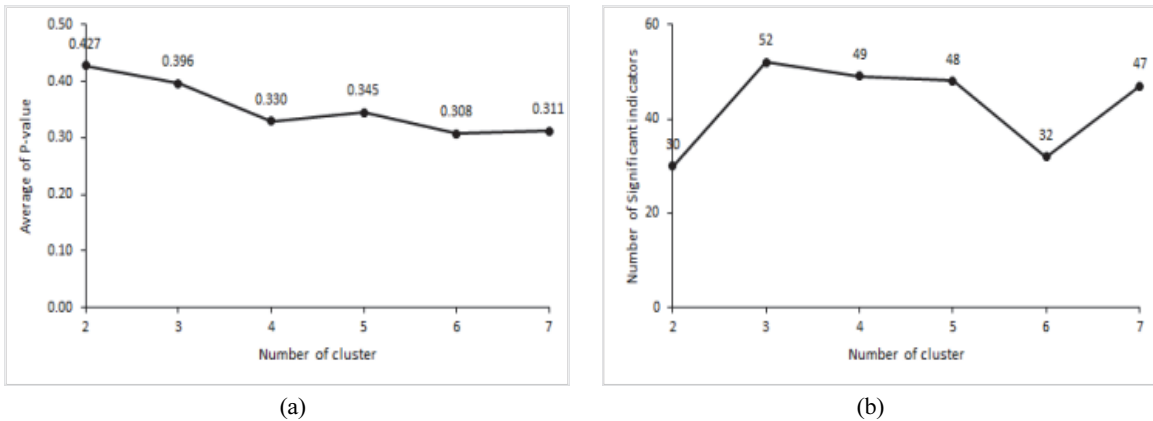


Figure 3. Result of indicator species analysis from step 2 to 7 during the clustering process. (a) Change in P -value after 4,999 permutations of the 283 species, (b) Number of species with $P < 0.01$.

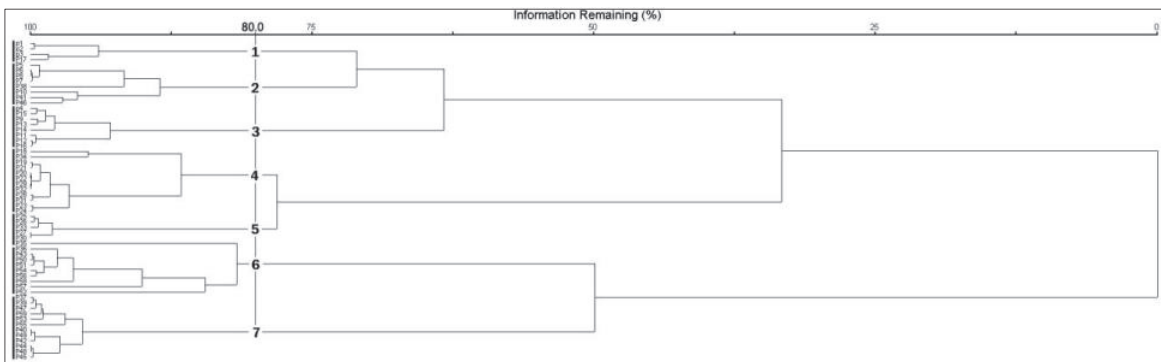


Figure 4. Dendrogram for the 59 plots of the forest vegetation on cluster analysis.

sericea), 홍지네고사리(*Dryopteris erythrosora*), 때죽나무(*Styrax japonicus*), 층층나무(*Cornus controversa*)가 나타났으며, 개서어나무군집에서 개서어나무, 등수국(*Hydrangea petiolaris*), 나도밤나무(*Meliosma myriantha*), 서어나무군집에서 서어나무(*Carpinus laxiflora*), 굴거리나무(*Daphniphyllum macropodum*), 금창초(*Ajuga decumbens*)가 나타났다. 소나무군집에서는 소나무(*Pinus densiflora*), 마가목(*Sorbus commixta*), 윤노리나무(*Pourthiaea villosa*), 팔배나무(*Sorbus alnifolia*), 정금나무(*Vaccinium oldhamii*), 구상나무군집에서 김의털(*Festuca ovina*), 털진달래(*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*), 구상나무(*Abies koreana*)가 나타났다. 구실잣밤나무군집에서 백량금(*Ardisia crenata*), 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*),

호자나무(*Dammacanthus indicus*), 자금우(*Ardisia japonica*), 후박나무(*Machilus thunbergii*), 붉가시나무군집에서 붉가시나무(*Quercus acuta*), 비쭈기나무(*Cleyera japonica*), 조록나무(*Distylium racemosum*) 지표종으로 나타났다. 구실잣밤나무군집은 한국에 분포하는 난온대 상록활엽수림 중 후박나무우점림과 함께 넓은 분포를 나타내는 식물군락이며(Choi, 2013), 구실잣밤나무가 우점하는 군락 내에서 표징종, 구분 종에 따라 식생단위가 분류되고 있으며, 제주도 구실잣밤나무림의 주요 군락으로는 구실잣밤나무-자금우군락(Yun et al., 2011), 구실잣밤나무-후박나무군락, 구실잣밤나무-붉가시나무 등으로(Jeon et al., 2016) 지표종인 자금우, 후박나무와 일치하였다.

Table 1. Species exhibiting significant associations, based on indicator species analysis(ISA).

Community type	Species Scientific name (Korea name)	Indicator value	Mean	Standard deviation	P
1	<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	82.2	21.7	7.9	0.0002
	<i>Neolitsea sericea</i> (참식나무)	72.4	20.3	9.0	0.0008
	<i>Dryopteris erythrosora</i> (홍지네고사리)	57.2	19.2	8.2	0.0028
	<i>Styrax japonicus</i> (때죽나무)	52.9	14.7	7.4	0.0018
	<i>Cornus controversa</i> (층층나무)	50.6	13.1	7.0	0.003
2	<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)	65.6	20.5	6.1	0.0002
	<i>Hydrangea petiolaris</i> (등수국)	47	16.4	8.6	0.0084
	<i>Meliosma myriantha</i> (나도밤나무)	42.3	16.4	6.3	0.005
3	<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	80.4	17.2	6.8	0.0002
	<i>Daphniphyllum macropodum</i> (굴거리나무)	44.5	19.7	5.7	0.002
	<i>Ajuga decumbens</i> (금창초)	35.3	11.3	6.6	0.009
4	<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	80.2	17.9	6.4	0.0002
	<i>Sorbus commixta</i> (마가목)	68.2	14.3	7.2	0.0002
	<i>Pourthiaea villosa</i> (윤노리나무)	58	14.4	7.9	0.0016
	<i>Sorbus alnifolia</i> (팔배나무)	54.4	15.2	7.5	0.0018
	<i>Vaccinium oldhamii</i> (정금나무)	51.3	16.3	8.2	0.0044
5	<i>Festuca ovina</i> (김의털)	100	13.9	7.8	0.0002
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> (털진달래)	99.9	13	7.1	0.0002
	<i>Abies koreana</i> (구상나무)	80	11.5	6.8	0.0002
6	<i>Ardisia crenata</i> (백량금)	78.8	17.7	8.6	0.0002
	<i>Castanopsis sieboldii</i> (구실잣밤나무)	75.2	19.2	6.5	0.0002
	<i>Dammacanthus indicus</i> (호자나무)	56	12.8	7.2	0.0016
	<i>Ardisia japonica</i> (자금우)	54.2	21.1	8.0	0.004
	<i>Machilus thunbergii</i> (후박나무)	49.9	17.4	9.5	0.009
7	<i>Quercus acuta</i> (붉가시나무)	84.3	18.1	6.2	0.0002
	<i>Cleyera japonica</i> (비쭈기나무)	44.9	16.1	6.0	0.0028
	<i>Distylium racemosum</i> (조록나무)	42.3	15.9	6.9	0.006

2. 해발고에 따른 군집분포

구실잣밤나무군집의 평균해발은 253.2 m이며, 16-672 m로 가장 낮은 곳에 나타났다. 붉가시나무군집의 평균해발은 541.0 m이며, 258-695 m에 나타났으며, 한라산 돈내코계곡에서는 해발 350-750 m에 나타나고 있었다(Oh et al., 2007). 졸참나무군집의 평균해발은 682.0 m이며, 분포범위는 647-720 m로 가장 좁게 나타났다(Figure 5). 졸참나무의 분포범위는 중부지방에서 600 m, 남부지방은 800 m 이하로 나타났으며 북부로 갈수록 해발고도가 낮아진다(Kim and Kim, 2017). 서어나무군집의 평균해발은 862.6 m이며, 분포범위는 673-1,079 m로 가장 넓게 나타났다. 제주도의 자연환경생태정보시스템(Jeju Natural Environment Ecology Information System, 2001)에 의하면 한라산에 분포하는 낙엽활엽수림의 사면별 해발고도 분포 범위는 동사면 해발 600-900 m과 북사면 해발 600-1,200 m에서는 서어나무, 졸참나무, 개서어나무 등이, 서사면(어리목 및 영실 등산로 주변)의 해발 약 900-1,400 m 일대에는 서어나무, 개서어나무, 졸참나무, 물참나무군락 등이, 남사면 해발 약 1,000-1,200 m에서는 서어나무, 개서어나무, 물참나무군락 등으로 구성되어있다. 개서어나무군집의 평균해발은 870.4 m이며, 분포범위는 549-1,105 m에 나타났다. 소나무군집의 평균해발은 1,186.6 m이며, 분포범위는 652- 1,423 m에 나타났다. 한라산에 분포하는 소나무의 사면별로 해발고도 분포범위는 동사면 1,050-1,150 m, 남사면 650-1,400 m, 북사면 750-1,350 m(Sin, 1981; Kim et al., 2019)로 본 조사지의 소나무군집의 분포범위는 남사면과 일치하였다. 구상나무군집의 평균해발은 1,517.6 m이며, 1,456-1,565 m로 가장 높은 곳으로 나타났다. 한라산의 온대림은 해발 600m-1,500 m 범위(Yim, 1985), 온대림 수종인 졸참나무, 서어나무, 개서어나무, 소나무가 비슷한 고도에서 나타난 것으로 판단되었다. 주요 국립공원 아고산대에 자생

하고 있는 구상나무는 해발고도의 범위가 넓으며, 주로 1,100 m-1,500 m 구간에 주로 분포하고 있었으며(Park et al., 2019), 한라산 동사면의 경우 1,350 m 이상에서 출현하고 있었다(Lee et al., 2010).

3. 군집유형별 층위별 수종 구성

클러스터에 의해 분류된 7개의 군집유형을 대상으로 중요치(Importance value)를 산출한 결과(Table 2) 군집유형 1의 경우, 교목층은 졸참나무 35.3, 층층나무 9.6, 섬벚나무(*Prunus takesimensis*) 8.3 등으로, 아교목층은 동백나무(*Camellia japonica*) 25.3, 사스레피나무(*Eurya japonica*) 11.9, 개서어나무 8.9 등으로, 관목층 참식나무 18.2, 굴거리나무 16.4, 사스레피나무 15.4 등으로, 초본층 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum*) 9.3, 졸참나무 4.2, 참식나무 3.0 등으로 나타났다. 제주도 중산간 지역의 졸참나무는 넓은 지역에 자라고 있었지만 표고 재배를 위해 지나치게 벌채되어 개체수가 많이 감소하였다(Korea Forest Research Institute, 2009). 본 연구결과에서는 졸참나무군락으로 유지될 것으로 판단되었으나, 제주도 어리목과 성판악지구에서는 졸참나무의 세력이 약해지면서 서어나무류의 천이가 진행될 것으로 판단되었으므로(Song, 2014), 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

군집유형 2의 경우, 교목층은 개서어나무 53.5, 섬벚나무, 솔비나무(*Maackia faurie*), 소나무 7.5 등으로, 아교목층 단풍나무(*Acer palmatum*) 12.8, 개서어나무 10.1, 당단풍나무(*Acer pseudosieboldianum*) 9.3 등으로, 관목층 굴거리나무 16.6, 사스레피나무 13.5, 주목(*Taxus cuspidata*) 12.9 등으로, 초본층 굴거리나무 3.0, 주목 2.2, 개서어나무 1.4 등으로 나타났다. 본 유형은 개서어나무군락으로 유지될 것으로 판단되었으며 영실, 성판악 지역에서 한동안 개서어나무의 세력이 유지 될 것(Lee et al., 2014)이라는 연구와 일치하였다.

군집유형 3의 경우, 교목층 서어나무 53.8, 개서어나무 14.8, 소나무 10.9 등으로, 아교목층 서어나무 12.9, 단풍나무 12.4, 굴거리나무 12.2 등으로, 관목층 굴거리나무 21.9, 사스레피나무 14.5, 새덕이(*Neolitsea aciculata*) 8.5 등으로, 초본층 제주조릿대(*Sasa palmata*) 26.6, 굴거리나무 4.5, 사스레피나무 3.9 등으로 나타났다. 개서어나무 군락과 서어나무군락에서 초본층의 제주조릿대의 중요치가 높았으며 이는 서어나무류의 우점군락은 냉온대 남부저산지대의 토지적 잠재자연식생을 구성하는 단위식생으로 알려져 있으며(Choi et al., 2015), 서어나무와 개서어나무가 졸참나무 보다 우세하면서 하층에는 제주조릿대가 우점한다는 견해와 일치하였다(Kim and Lee, 2006; Kim, 2006).

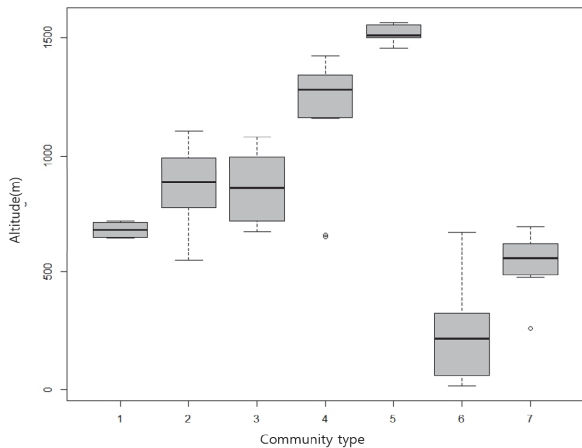


Figure 5. Box plots of altitude distribution in community type.

군집유형 4의 경우, 교목층 소나무 62.1, 산개벚치나무 (*Prunus maximowiczii*) 7.6, 마가목 6.1 등으로, 아교목층 마가목 9.8, 산개벚치나무 9.1, 팔배나무(*Sorbus alnifolia*) 8.7 등으로, 관목층 주목 9.1, 굴거리나무 7.8, 참꽃나무 (*Rhododendron weyrichii*) 4.6 등으로, 초본층 제주조릿대 42.5, 굴거리나무와 주목 1.5, 개서어나무 1.0 등으로 나타났다. 한라산 소나무군락은 우리나라 중부지방 소나무림에 비해 서어나무, 팽팽나무, 제주조릿대의 피도가 높게 나타나는 것이 특징이다(Song et al., 2012). 또한 서어나무 군락으로 천이가 될 것으로 판단한 연구가 있으나(Kim et al., 1982) 본 연구에서는 소나무의 중요치가 낙엽활엽수종에 비해 높게 나타났으므로 소나무군락 유지될 것으로 판단되었다.

군집유형 5의 경우, 교목층 구상나무 45.5, 소나무 25.6, 사스레피나무(*Betula ermanii*) 19.2 등으로, 아교목층 구상나무 59.7, 산딸나무(*Cornus kousa*) 20.1, 사스레피나무와 노린재나무(*Symplocos chinensis* f. *pilosa*) 10.1 으로, 관목층 털진달래(*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*) 24.1, 산철쭉(*Rhododendron yedoense* f. *poukhanense*) 11.5, 구상나무 10.1 등으로, 초본층 제주조릿대 48.0, 호장근(*Fallopia japonica*) 5.1, 구상나무 2.8 등으로 나타났다. 한라산 진달래밭 지역과 영실지역 두 지역에서 교목층은 구상나무, 관목층은 주목, 초본층은 제주조릿대의 중요도가 가장 높게 나타난 Song et al.(2014)의 연구와 일치하였다.

본 군락에서 출현하는 시로미는 한반도 북부와 한라산에 격리 분포하고, 해발 1,700-1,900 m 종으로 지구온난화가 지속될 경우 난온대성 수종과 경쟁하거나, 생리생태적인 스트레스로 적응하지 못하고 멸종될 위기에 있으므로(Kong, 2002) 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

군집유형 6의 경우, 교목층 구실잣밤나무 51.6, 붉가시나무 8.7, 조록나무 7.4 등으로, 아교목층 구실잣밤나무 12.2, 동백나무 12.0, 조록나무 9.1 등으로, 관목층 조록나무 9.7, 동백나무와 사스레피나무 5.5, 구실잣밤나무 4.7 등으로, 초본층 사스레피나무 2.5, 동백나무 2.4, 구실잣밤나무 1.6 등으로 나타났다. 가거도(Lee et al., 2015)와 홍도(Kim et al., 2018)의 구실잣밤나무군락의 구성종인 붉가시나무, 동백나무, 후박나무, 참식나무, 황칠나무, 사스레피나무 등과 일치하였다.

군집유형 7의 경우, 교목층 붉가시나무 53.5, 구실잣밤나무 13.1, 참가시나무(*Quercus salicina*) 6.9 등으로, 아교목층 16.1, 붉가시나무 12.1, 황칠나무(*Dendropanax morbiferus*) 10.1 등으로, 관목층 동백나무 17.5, 조록나무 12.6, 사스레피나무 11.2 등으로, 초본층 콩짜개덩(*Lemmaphyllum microphyllum*)굴 9.2, 붉가시나무 5.4, 동백나무 4.9 등으로 나타났다. 보길도(Kim et al., 2000)와 홍도(Lee et al., 2010)의 붉가시나무군락의 구성종인 황칠나무, 동백나무, 콩짜개덩굴, 사스레피나무 등이 일치하였다.

Table 2. Importance value of major species in each community type.

Community type	Species Scientific name (Korean name)	Layer				MIV
		T	ST	S	H	
1	<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	35.3	-	-	4.2	16.6
	<i>Camellia japonica</i> (동백나무)	-	25.3	5.9	2.2	8.9
	<i>Eurya japonica</i> (사스레피나무)	-	11.9	15.4	2.6	6.2
	<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)	6.8	8.9	1.7	1.5	6.2
	<i>Cornus controversa</i> (층층나무)	9.6	-	-	-	4.4
	<i>Daphniphyllum macropodum</i> (굴거리나무)	-	5.7	16.4	0.4	4.3
	<i>Prunus takesimensis</i> (섬벚나무)	8.3	-	-	-	3.8
	<i>Styrax japonicus</i> (매죽나무)	4.0	5.7	-	-	3.6
	<i>Castanopsis sieboldii</i> (구실잣밤나무)	6.8	-	1.7	-	3.4
	<i>Neolitsea sericea</i> (참식나무)	-	-	18.2	3.0	3.0
	<i>Idesia polycarpa</i> (이나무)	6.2	-	-	-	2.8
	<i>Acer palmatum</i> (단풍나무)	-	7.9	-	0.4	2.5
	<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)	-	7.9	-	-	2.4
	<i>Trachelospermum asiaticum</i> (마삭줄)	-	4.4	1.7	9.3	2.3
	<i>Dendropanax morbiferus</i> (황칠나무)	-	4.4	4.7	0.4	2.1
	Others (86 species)	23.0	17.9	34.3	76.0	27.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
2	<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)	53.5	10.1	1.2	1.4	28.1
	<i>Daphniphyllum macropodum</i> (굴거리나무)	-	6.3	16.6	3.0	4.7
	<i>Acer palmatum</i> (단풍나무)	-	12.8	3.6	0.5	4.5
	<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	6.7	4.1	-	-	4.4

Table 2. (Continued)

Community type	Species Scientific name (Korean name)	Layer				MIV
		T	ST	S	H	
2	<i>Prunus takesimensis</i> (섬벚나무)	7.5	1.0	1.8	-	4.0
	<i>Taxus cuspidata</i> (주목)	-	4.8	12.9	2.2	3.6
	<i>Maackia fauriei</i> (솔비나무)	7.5	-	-	0.5	3.5
	<i>Quercus acuta</i> (붉가시나무)	4.8	2.0	1.8	0.7	3.2
	<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	6.7	-	-	0.7	3.2
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (당단풍나무)	-	9.3	0.7	0.2	3.0
	<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)	-	8.9	0.7	-	2.8
	<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	5.8	-	-	-	2.7
	<i>Eurya japonica</i> (사스레피나무)	-	1.8	13.5	0.7	2.7
	<i>Meliosma myriantha</i> (나도밤나무)	-	5.6	5.9	-	2.6
	<i>Dendropanax morbiferus</i> (황칠나무)	-	4.5	2.4	0.2	1.8
	Others (105 species)	7.5	28.8	38.9	89.9	25.2
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	53.8	12.9	-	0.8
<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)		14.8	4.4	-	0.5	8.2
<i>Daphniphyllum macropodum</i> (굴거리나무)		-	12.2	21.9	4.5	7.5
<i>Pinus densiflora</i> (소나무)		10.9	-	-	-	5.0
<i>Dendropanax morbiferus</i> (황칠나무)		4.4	5.9	3.0	0.3	4.3
<i>Acer palmatum</i> (단풍나무)		-	12.4	1.6	1.3	4.2
<i>Eurya japonica</i> (사스레피나무)		-	3.7	14.5	3.9	3.7
<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)		-	9.2	0.8	-	3.0
<i>Taxus cuspidata</i> (주목)		-	4.0	6.5	1.3	2.3
<i>Kalopanax septemlobus</i> (음나무)		4.4	1.0	-	-	2.3
<i>Sasa palmata</i> (제주조릿대)		-	-	-	26.6	2.0
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (당단풍나무)		-	5.7	1.4	-	2.0
<i>Castanopsis sieboldii</i> (구실잣밤나무)		3.0	1.7	-	-	1.9
<i>Neolitsea aciculata</i> (새택이)		-	1.0	8.5	2.7	1.8
<i>Prunus takesimensis</i> (섬벚나무)		2.2	2.0	-	-	1.6
Others (72 species)		6.5	23.9	41.8	58.1	21.3
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4	<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	62.1	0.9	-	-	28.9
	<i>Prunus maximowiczii</i> (산개벚지나무)	7.6	9.1	1.4	0.2	6.5
	<i>Sorbus commixta</i> (마가목)	6.1	9.8	3.3	0.2	6.4
	<i>Sorbus alnifolia</i> (팔배나무)	5.2	8.7	3.3	-	5.6
	<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)	2.0	8.2	0.7	1.0	3.7
	<i>Sasa palmata</i> (제주조릿대)	-	-	-	42.5	3.3
	<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)	-	8.2	3.0	0.2	3.0
	<i>Daphniphyllum macropodum</i> (굴거리나무)	-	5.4	7.8	1.5	3.0
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (당단풍나무)	-	8.6	2.0	0.2	3.0
	<i>Prunus takesimensis</i> (섬벚나무)	2.6	4.0	1.4	0.2	2.7
	<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	2.6	4.0	1.1	0.2	2.6
	<i>Cornus controversa</i> (층층나무)	4.1	0.9	-	-	2.2
	<i>Taxus cuspidata</i> (주목)	-	1.4	9.1	1.5	1.9
	<i>Quercus mongolica</i> (신갈나무)	3.5	0.9	-	0.2	1.9
	<i>Rhododendron weyrichii</i> (참꽃나무)	-	3.7	4.6	0.2	1.9
	Others (116 species)	4.2	26.2	62.3	51.9	23.4
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5	<i>Abies koreana</i> (구상나무)	45.5	59.7	10.1	2.8	41.2
	<i>Betula ermanii</i> (사스래나무)	19.2	10.1	1.8	-	12.2
	<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	25.6	-	1.8	-	12.1
	<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)	-	20.1	1.8	-	6.5
	<i>Sorbus alnifolia</i> (팔배나무)	9.7	-	-	-	4.5

Table 2. (Continued)

Community type	Species Scientific name(Korean name)	Layer				MIV	
		T	ST	S	H		
5	<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i> (노린재나무)	-	10.1	6.0	-	4	
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> (털진달래)	-	-	24.1	-	3.7	
	<i>Sasa palmata</i> (제주조릿대)	-	-	-	48.0	3.7	
	<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (산철쭉)	-	-	11.5	-	1.8	
	<i>Euonymus alatus</i> (화살나무)	-	-	7.6	1.0	1.2	
	<i>Weigela florida</i> (붉은병꽃나무)	-	-	8.0	-	1.2	
	<i>Taxus cuspidata</i> (주목)	-	-	6.6	-	1.0	
	<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> (섬매발톱나무)	-	-	4.2	2.0	0.8	
	<i>Fallopia japonica</i> (호장근)	-	-	1.8	5.1	0.7	
	<i>Prunus maximowiczii</i> (산개벚나무)	-	-	3.2	-	0.5	
	<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> (시로미)	-	-	-	2.5	0.2	
	<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> (눈향나무)	-	-	-	1.0	0.1	
	Others (26 species)	-	-	11.5	37.6	4.6	
	Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	6	<i>Castanopsis sieboldii</i> (구실잣밤나무)	51.6	12.2	4.7	1.6	28.5
<i>Distylium racemosum</i> (조록나무)		7.4	9.1	9.7	0.8	7.8	
<i>Quercus acuta</i> (붉가시나무)		8.7	4.2	-	0.4	5.4	
<i>Quercus glauca</i> (중가시나무)		8.0	4.2	0.9	0.2	5.2	
<i>Camellia japonica</i> (동백나무)		-	12.0	5.5	2.4	4.7	
<i>Machilus thunbergii</i> (후박나무)		5.6	1.1	3.5	0.4	3.5	
<i>Aphananthe aspera</i> (푸조나무)		3.1	2.3	4.2	0.6	2.8	
<i>Neolitsea sericea</i> (참식나무)		2.5	3.4	2.5	0.7	2.6	
<i>Pinus thunbergii</i> (곰솔)		5.6	-	-	-	2.6	
<i>Dendropanax morbiferus</i> (황칠나무)		-	6.5	2.9	0.9	2.5	
<i>Quercus salicina</i> (참가시나무)		2.5	4.2	-	0.4	2.5	
<i>Cleyera japonica</i> (비쭈기나무)		-	6.2	3.3	0.4	2.4	
<i>Eurya japonica</i> (사스레피나무)		-	2.3	5.5	2.5	1.7	
<i>Elaeocarpus sylvestris</i> var. <i>ellipticus</i> (담팔수)		-	5.0	1.0	-	1.7	
<i>Lemmaphyllum microphyllum</i> (콩짜개덩굴)		-	2.3	3.0	5.4	1.6	
Others (137 species)		5.0	25.0	53.3	83.3	24.5	
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
7		<i>Quercus acuta</i> (붉가시나무)	53.5	12.1	4.7	5.4	29.6
	<i>Castanopsis sieboldii</i> (구실잣밤나무)	13.1	4.1	4.2	2.2	8.1	
	<i>Camellia japonica</i> (동백나무)	-	16.1	17.5	4.9	8	
	<i>Distylium racemosum</i> (조록나무)	1.5	10.4	12.6	1.6	5.9	
	<i>Dendropanax morbiferus</i> (황칠나무)	1.2	11.0	4.2	1.3	4.7	
	<i>Quercus salicina</i> (참가시나무)	6.9	3.4	1.0	0.4	4.4	
	<i>Cleyera japonica</i> (비쭈기나무)	-	8.2	9.8	0.9	4.1	
	<i>Eurya japonica</i> (사스레피나무)	-	5.8	11.2	4.6	3.9	
	<i>Carpinus tschonoskii</i> (개서어나무)	4.9	2.8	-	0.2	3.1	
	<i>Prunus takesimensis</i> (섬벚나무)	4.4	1.6	-	0.4	2.5	
	<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	4.4	0.8	-	1.3	2.4	
	<i>Lemmaphyllum microphyllum</i> (콩짜개덩굴)	-	2.1	6.1	9.2	2.3	
	<i>Acer palmatum</i> (단풍나무)	-	5.1	1.4	0.6	1.8	
	<i>Meliosma myriantha</i> (나도밤나무)	1.5	1.6	1.9	0.2	1.5	
	<i>Pinus densiflora</i> (소나무)	2.9	-	-	-	1.3	
	Others (84 species)	5.7	14.9	25.4	66.8	16.4	
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

* T: Tree layer, ST: Subtree layer, S: Shrub layer, H: Herb layer.

4. 해발고별 우점종 개체군의 분포 특성

군집유형별로 상대우점치(Mean importance Percentage)가 높은 수종인 구실잣밤나무, 붉가시나무, 졸참나무, 서어나무, 개서어나무, 소나무, 구상나무를 대상으로 교목층과 아교목층의 해발고별 중요치를 산출하였다(Figure 6).

100 m 미만에서부터 600 m까지는 구실잣밤나무와 붉가시나무의가 주를 이루었으며, 400-500 m에서 부터 졸참나무와 서어나무가 출현하였다. 해발 600-700 m 구간에서 교목층의 구실잣밤나무와 붉가시나무의 중요치가 급격하게 낮아지며, 해발 700-800 m부터 교목층의 서어나무, 졸참나무, 개서어나무의 중요치가 높게 나타났으며 아교목층에서 구실잣밤나무와 붉가시나무가 나타나고 있었다. 800-900 m까지 붉가시나무가 출현하였는데 이러한 결과는 붉가시나무의 경우 난대성 상록활엽수종 중에서는 내한성이 비교적 강한수종으로 난대수종의 분포 북한계선에 인접한 내륙이나 난대지역의 고산지대에서 자랄 수 있다(Oh, 1994; Oh and Kim, 1996; Yeo, 2005, Kim and Park, 2019)는 연구결과와 일치하였다. 1,000-1,100 m 구

간 교목층의 개서어나무(55.9)와 서어나무(44.1)의 중요치의 차이가 크게 나타나지 않았는데 한라산 남사면의 서어나무군락과 개서어나무군락은 해발 1,000-1,100 m 부근에서 혼생하여 분포한다(Jeju Natural Environment Ecology Information System, 2001)는 것과 일치하였다. 1,100-1,200 교목층에서 소나무(58.1)의 중요치가 높게 나타났으며, 한라산국립공원 내 해발고도에 따른 소나무림 분포면적은 1,010~1,400 m 구간의 면적이 가장 넓게 나타났으며(Kim et al., 2019), 한라산 소나무림의 분포 중심 해발고도가 1,200 m에 있다는 연구결과와 일치하였다(Kim et al., 1982; Song et al., 2012; Kim et al., 2019). 1,400-1,500 m 구간에서 교목층은 소나무(80.8)가, 아교목층에서는 구상나무(63.0)의 중요치가 높게 나타났다. 1,500-1,600 m 구간에서는 교목층과 아교목층에서 구상나무의 중요치가 높게 나타났다. Song et al.(2010)의 한라산 구상나무림의 분포면적 조사 결과 1,500-1,600 m에서 가장 높은 비율이 나타난다고 하였다.

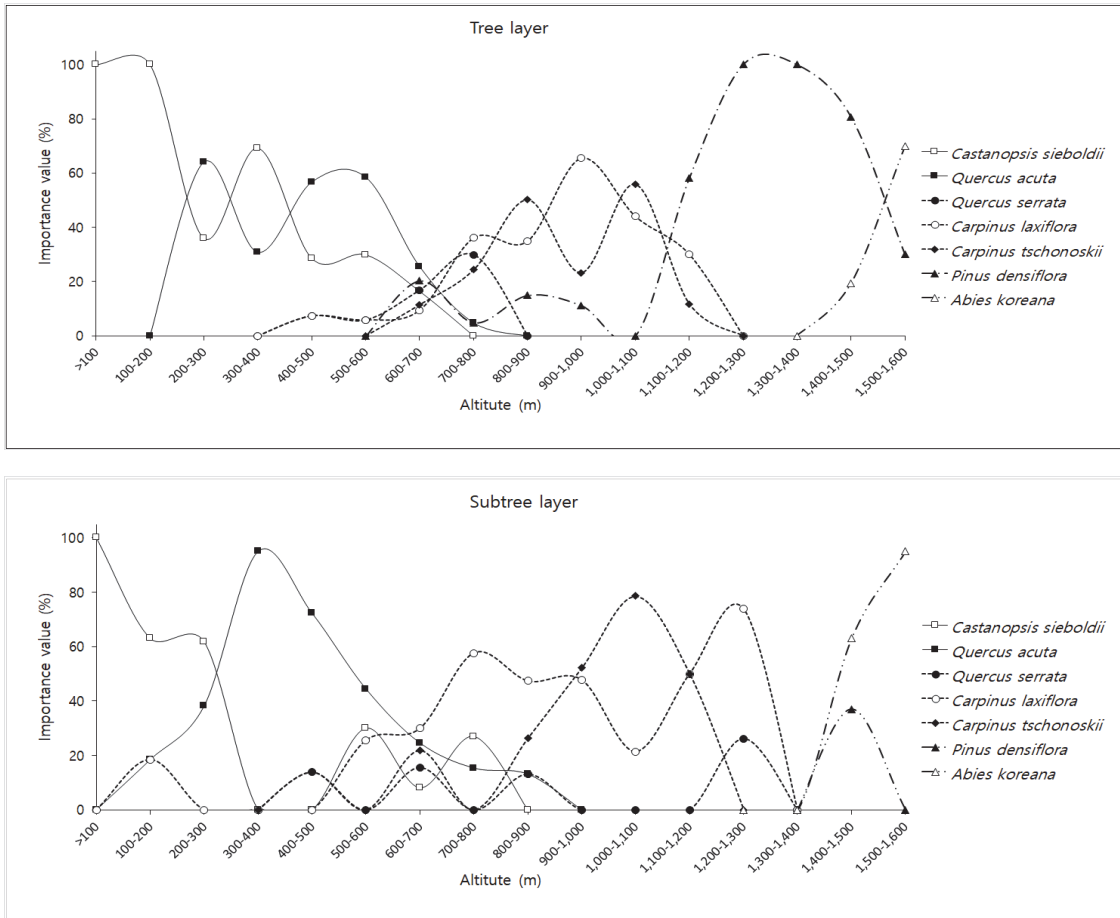


Figure 6. Distribution of major species by altitude.

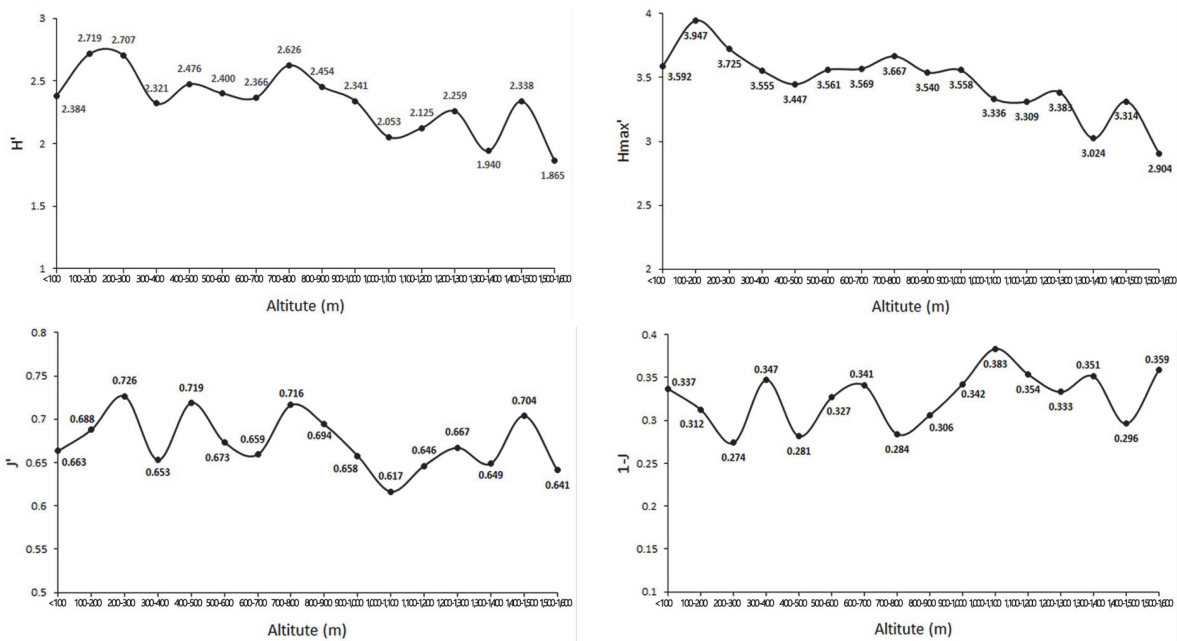


Figure 7. Species diversity index by altitude distribution (*Shannon's diversity index uses logarithms to base 10).

5. 해발별 종다양도

종다양도는 임분의 안정도를 나타내는 지표로서 어느 지역의 종다양도가 높다는 것은 중간 경쟁이 심한 것으로 생태적으로는 건강하다는 의미를 가진다(Song et al., 2019; Moon, 2001). 일반적으로 지구상의 위도와 고도가 낮아질수록 산림군집의 종다양성은 증가하는 경향을 보이는데(Lee et al., 1996), 본 연구에서도 해발이 높아질수록 종다양도가 낮아지는 경향이 나타났다(Figure 7). 이러한 결과는 초본층의 제주조릿대의 중요치가 점차적으로 높게 나타나는데 조릿대의 경우 상록성인 잎이 지피층에 도달하는 빛을 사계절 연속적으로 차단해 지피층에 발생한 치수를 현저하게 피압해 타식물의 성장 및 종다양성에 영향을 주었기 때문인 것(Song et al., 2019; Park et al., 2012)으로 판단되었다.

Odum(1983)은 같은 곳에 형성된 생태계에서도 주변부와 추이대의 경우 종의 수와 밀도가 높아지는 경향이 있다고 하였는데 해발 700-800 m는 붉가시나무군락에서 서어나무, 졸참나무, 개서어나무 혼합림으로, 1,200-1,300 m는 소나무, 서어나무 혼합림에서 소나무군락으로, 1,400-1,500 m는 소나무군락이지만 교목층과 아교목층에서 구상나무가 나타나는 추이대로 종다양도가 높아지는 경향이 나타난 것으로 판단되었다.

결론

고도구배는 기후변화와 식생분포간의 상호관계, 환경변

화에 따른 생물다양성의 분포 패턴 연구를 수행하기 위한 가장 중요한 물리적 인자로 해발고에 따른 기후인자는 위도, 방위, 경사도 등에 따라 달라지며, 이는 동일한 산지 내에서도 사면방향 등에 따라 다르다. 제주도는 사면과 해발고도에 따라 강수량과 기온이 매우 다양한 분포를 나타내는 지역으로(Choi, 2013) 여러 기후대의 식물들이 분포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 한라산 남동사면의 해발고별 식생군집구조와 층위구조를 파악하고 해발고별 종다양도 분석을 통해 해발에 따라 변화하는 산림식생구조 특성을 파악하고자 수행하였다.

군집유형으로는 유형1 졸참나무군집, 유형2 개서어나무군집, 유형3 서어나무군집, 유형4 소나무군집, 유형5 구상나무군집, 유형6 구실잣나무군집, 유형7 붉가시나무군집으로 구분되었다. 중요치 분석 결과 졸참나무군집은 아교목층의 개서어나무에 의해 천이가 진행될 것으로 판단되므로 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 구상나무군집의 분포범위는 1,456-1,565 m에 집중적으로 나타났으며, 한라산 동사면의 경우 1,350 m 이상에서 출현하여(Lee et al., 2010) 사면별로 분포범위의 차이가 있는 것으로 판단되었다. 종다양도의 경우, 추이대에서 종다양도가 높아지는 것으로 판단되었으며 추이대는 양쪽 군집에서 관찰되지 않는 특유의 식물 종들이 분포하는 경우도 있기 때문에 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단되었다.

최근 기후환경 변화에 의해 식물의 분포와 생육범위가 변화하여 산림 식생대가 변하고 있다. 한라산은 해발고에 따른 식생대의 수직적 발달이 뚜렷하여 생물지리학적·생태

학적으로 매우 중요한 지역으로 식생대의 변화 연구에 필요한 기초 자료를 지속적으로 구축할 필요가 있다. 따라서 해발고도와 여러 사면별로 한라산의 산림식생구조, 개체군 분포 등에 관한 후속 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 공주대학교의 “2020년 공주대학교 학술연구 지원사업”에 의하여 수행되었습니다.

References

- An, J.H., Park, H.J., Lee, S.R., Seo, I.S., Nam, G.H. and Kim, J.H. 2019. Analysis of environmental factors and change of vascular plant species along an elevational gradients in Baekdansa, Mt. Taebaeksan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 33(4): 378-401.
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton S.R. and Spurr, S.H. 1998. *Forest ecology*. 4th Ed. John Wiley & Sons. New York, U.S.A. pp. 762.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie grundzüge der vegetation der vegetation*(3rd Ed.). Springer-Verlag. New York, U.S.A. pp. 865.
- Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm. C. Brown Company. Dubuque, U.S.A. pp. 194.
- Cheon, K.I., Joo, S.H., Sung, J.H., Chun, J.H. and Lee, Y.G. 2014. Understory vegetation structure by altitude and azimuth slope and indicator species analysis in Mt. Gyeong. *Journal of Korean Society* 103(2): 165-174.
- Choi, B.K. 2013. *Syntaxonomy and syngelography of warm-temperate evergreen broad-leaved forests in Korea*. (Dissertation). Daegu. Keimyung University.
- Choi, B.K., Huh, M.K. and Kim, S.Y. 2015. *Syntaxonomical and synecological research of forest vegetation on Mt. Byeokbang*. *Journal of Life Science* 25(6): 646-655.
- Choi, G.Y. 2011. *Variability of temperature lapse rate with height and aspect over Halla mountain*. *Journal of Climate Research* 6(3): 171-186.
- Choi, G.Y. 2013. *Spatial patterns of seasonal extreme precipitation events in Mt. Halla*. *Journal of Climate Research* 8(4): 267-280.
- Chung, S.H. and Kim, J.H. 2013. *The classification of forest cover types by consecutive application of multivariate statistical analysis in the natural forest of western Mt. Jiri*. *Journal of Korean Forest Society* 102(3): 407-414.
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. *An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin*. *Ecology* 32(3): 476-496.
- Daubenmire, R. 1966. *Vegetation: Identification of typical communities*. *Science* 151(3708): 291-298.
- Dufrène, M. and Legendre, P. 1997. *Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach*. *Ecological Monographs* 67(3): 345-366.
- Dufrene, M. and Legendre, P. 1997. *Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach*. *Ecological Society of America* 67(3): 345-366.
- Ellenberg, H. 1956. *Aufgaben und methoden der vegetation-skunde*. E. Ulmer. Stuttgart, Germany. pp. 136.
- Hallasan National Park. 2019. *Facilities introduction*. <http://www.jeju.go.kr/hallasan/intro/info.htm>. (2019. 10.15)
- Jeju Natural Environment Ecology Information System, 2001. www.jejunature.com. (2019. 10.15)
- Jeon, C.H., Won, H.K., Kim, H.S. and Cho, Y.J. 2016. *The vegetation structure of evergreen broad-leaved forest of Jeju experimental forest, Korea*. *The Journal of Korean Island* 28(1): 221-238.
- Katagiri, S. and Tsutsumi, T. 1978. *The relationship between site condition and circulation of nutrients in forest ecosystem (V). The difference in nutrient circulation between stands located on upper and lower part of slope*. *Japanese Journal of Forest Society* 60(6): 195-202.
- Kim, C.Y., Lee, J.S., Oh, K.I., Jang, S.K. and Park, J.H. 2000. *Community ecological study on the Quercus acuta forests in Bogildo-Island*. *Journal of Korean Forestry Society* 89(5): 618-629.
- Kim, E.S., Lee, J.S., Park, G.E. and Lim, J.H. 2019. *Change of subalpine coniferous forest area over the last 20 years*. *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(1): 10-20.
- Kim, H.J., Shin, J.K., Lee, C.H. and Yun, C.W. 2018. *Phytosociological community type classification and stand structure in the forest vegetation of Hongdo Island, Jeollanam-do province*. *Journal of Korean Society of Forest Science* 107(3): 245-257.
- Kim, J.K., Koh, J.G., Yim, H.T. and Kim, D.S. 2019. *Changes of spatial distribution of Korean red pine forest in Hallasan National Park*. *Korean Journal of Environment and Ecology* 33(5): 578-586.
- Kim, J.W. 2006. *Vegetation ecology*. 2nd Ed. World science. Seoul, Korea. pp. 340.
- Kim, J.W. and Lee, Y.K. 2006. *Classification and assessment of plant communities*. World science. Seoul, Korea. pp. 240.
- Kim, M.H., Shin, H.K. and Han, G.J. 1982. *Phytosociological studies on forest vegetation in Jeju Island: 1. National forest of Pinus densoflora S et Z*. *Journal of Jeju National University* 14: 129-138.
- Kim, S.D. and Park, I.H. 2019. *Growth and fruiting charac-*

- teristics and No. of acorns/tree allometric equations of *Quercus acuta* Thunb. in Wando Island, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 33(4): 440-446.
- Kim, Y.H. and Kim, J.W. 2017. Distributional uniqueness of deciduous Oaks (*Quercus* L.) in the Korean Peninsula. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 20(2): 37-59.
- Kong, W.S. 2002. Species Composition and distribution of Korean alpine plants. Journal of the Korean Geographical Society 37(4): 357-370.
- Korea Forest Research Institute. 2009. Sustainable forest management of warm-temperate forests. Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea. pp. 18.
- Korea Forest Service. 2010a. Korea plant names index committee. <http://www.nature.go.kr/kpni>. (2019. 09.15)
- Korea Forest Service. 2010b. Korea biodiversity information system. <http://www.nature.go.kr>.
- Korea Meteorological Administration. 2019. <http://www.weather.go.kr>. (2019. 09.15)
- Lee, D.G., Kim, Y.S. and Shin, H.T. 2011. Environmental and ecological characteristics of *Ilex crenata* var. *microphylla* Max. subpopulations habitats in the east-west slopes in Mt. Halla National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 25(4): 562-572.
- Lee, J.H., So, S.K., Suh, G.U., Kim, M.Y. and Song, H.K. 2010. Vegetation and soil properties of warm temperate evergreen broad-leaved forest in Hongdo, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 24(1): 54-61.
- Lee, J.Y., Myeong, H.H., Lee, S.M., Kim, H.S. and Oh, J.G. 2015. A study on the current distribution of vegetation of Gageodo, Jeollanamdo. Journal of Korean Island 27(1): 195-210.
- Lee, K.J., Han, S.S., Kim, J.H. and Kim, E.S. 1996. Forest ecology. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 395.
- Lee, S.C., Choi, S.H., Kang, H.M. and Cho, H.S. 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.
- Lee, S.H., Han, B.H., Kim, J.Y. and Yoo, S.Y. 2014. A study on vegetation structure of *Daphniphyllum macropodum* of Yeong-sil and Seong-panak in Hallasan (Mt.) National Park, Jeju-do. Korean Journal of Environment and Ecology 28(2): 197-204.
- Lee, T.B. 2003. Coloured flora of Korea. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 999.
- McCune, B. and J.B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Gleneden Beach. Oregon, U.S.A. pp. 300.
- Moon, H.S. 2001. Studies on the forest vegetation structure in subalpine zone of Mt. Deokyu National Park. Journal of Agriculture & Life Sciences 35: 47-54.
- Odum, E.P. 1983. Basic ecology. Saunders College. Philadelphia, U.S.A. pp. 613.
- Oh, K.K. 1994. Plant Community structure of evergreen broad-leaved forest in Mt. Turyunsan, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 8(1): 43-57.
- Oh, K.K. and Jee, Y.K. 2000. Plant community structure by aspect and altitude at eastern district in Chirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 14(1): 67-79.
- Oh, K.K. and Kim, Y.S. 1996. Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region(1) -vegetational Structure-. Korean Journal of Environment and Ecology 10(1): 87-102.
- Oh, K.K., Koh, J.G. and Kim, T.H. 2007. Altitudinal distribution of plant communities at Donnaeko valley in the Mt. Hallasan. Korean Journal of Environment and Ecology 21(2): 141-148.
- Park, H.C., Lee, H.Y., Lee, N.Y., Lee, H. and Song, J.Y. 2019. Survey on the distribution of evergreen conifers in the major national park - a case study on Seoraksan, Odaesan, Taebaeksan, Sobaeksan, Deogyusan, Jirisan National Park -. Journal of National Park Research 10(2): 224-231.
- Park, I.H., Choi, Y.H., Lee, S.M., Choi, Y.C. and Ryu, S.B. 2002. Forest structure in relation to slope aspect and altitude in valley forests at Hambaeksan area. Korean Journal of Environment and Ecology 15(4): 361-368.
- Park, J.C., Choi, K.J. and Song, S.H. 2014. Prediction of regional drought considering aspect and elevation in Jeju Island under future climate change. Journal of Environmental Science International 23(4): 649-660.
- Park, J.W., Moon, M.J. and Kim, K.S. 2014. Analysis of relationship between water quality parameters with land use in Yeongsan river basin. Journal of Environmental Impact Assessment 23(1): 19-27.
- Park, S.G., Yi, M.H., Yoon, J.W. and Sin, H.T. 2012. Environmental factors and growth properties of *Sasa borealis* (Hack.) Makino community and effect its distribution on the development of lower vegetation in Jirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 26(1): 82-90.
- Rubio, A., Gavilan, R.G., Montes, F., Gutierrez-Giron, A., Diaz-Pines, E. and Mezquida, E.T. 2011. Biodiversity measures applied to stand-level management: can they really be useful?. Ecological Indicators 11(2): 545-556.
- Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Illinois, U.S.A. pp. 125.

- Sin, H.G. 1981. Ecological studies on *Pinus densiflora* S.et Z. communities in Mt.Halla Korea. (Dissertation). Jeju-do. Jeju National University.
- Son, Y.H., Koo, C.D., Kim, C.S., Park, P.S., Yun, C.W. and Lee, K.H. 2016. Forest ecology. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 346.
- Song, J.H. 2014. A study on characteristics of vegetation structure of the deciduous broad-leaved forest in Gyorae Gotjawal on Jeju Island, Korea. (Dissertation). Seoul. University of Seoul.
- Song, J.H., Han, S.H., Lee, S.H. and Yun, C.W. 2019. Changes for stand structure of *Abies koreana* forest at the Yeongsil area of Mt. Hallasan for six years (from 2011 to 2017). Journal of Korean Society of Forest Science 108(1): 1-9.
- Song, J.H., Kwon, J.O. and Yun, C.W. 2019. Forest vegetation structure in maruguem (the Ridge Line) area of Dakmokryeong to Daetjae, the Baekdudaegan. Korean Journal of Environment and Ecology 33(1): 28-51.
- Song, J.M., Kim, Y.J., Sun, B.Y. and Kim, C.H. 2013. Vegetation structure of *Vaccinium bracteatum* Thunb. habitat area at A valley of southern slope in Mt. Halla, Jeju Island. Korean Journal of Plant Resources 26(5): 589-596.
- Song, K.M., Kang, Y.J. and Hyeon, H.J. 2014. Vegetation structure at the slope direction and characteristic of seedlings of *Abies koreana* in Hallasan Mountain. Journal of Environmental Science International 23(1): 39-46.
- Song, K.M., Kim, C.S., Moon, M.O. and Kim, M.H. 2012. A Change and distribution in *Pinus densiflora* forest of Mt. Hallasan. Journal of Environmental Science International 21(1): 41-47.
- Song, K.M., Kim, C.S., Koh, J.G., Kang, C.H. and Kim, M.H. 2010. Vegetation structure and distributional characteristics of *Abies koreana* forests in Mt Halla. Journal of the Environmental Sciences 19(4): 415-425.
- Walter, H., Harnickell, E. and Müller-Dombois, D. 1975. Climate-diagram maps of the individual continents and the ecological climatic regions of the earth. Springer-Verlag. Berlin, Germany. pp. 36.
- Webster, G.L. 1961. The altitudinal limits of vascular plants. Ecology 42(3): 587-590.
- Yeo, U.S. 2005. Natural regeneration patterns and strategies of *Quercus acuta* in Wando, Korea. (Dissertation). Seoul. Seoul National University.
- Yim, K.B. 1985. Principles of silviculture. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 491.
- Yoon, S., Hyun, W.H. and Jung, C.Y. 2005. Geology of Hallasan (Mt. Halla), Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea 41(4): 481-497.
- Yun, C.W. 2016. Field guide to trees and shrubs. Geobook. Seoul, Korea. pp. 703.
- Yun, J.H., Hukasa, T., Kim, M.H. and Yoshikawa, M. 2011. The comparative studies on the distribution and species composition of forest community in Korea and Japan around the East sea. Journal of Environment and Ecology 25(3): 327-357.

Manuscript Received : February 23, 2021

First Revision : May 26, 2021

Accepted : May 28, 2021