

ORIGINAL ARTICLE

해남 달마산 상록활엽수림 식생과 생태적 특성

조지웅 · 이계한^{1)*}

전라남도 산림자원연구소, ¹⁾전남대학교 농업생명과학대학 산림자원학과

The Vegetation and Ecological Characteristics of Warm Temperate Forest in Dalma Mountain, Haenam

Ji-Woong Cho, Kye-Han Lee^{1)*}

Jeollanamdo Forest Resources Research Institute, Jeonnam 58213, Korea

¹⁾Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

Abstract

The study was conducted to provide basic data for stable forest management according to climate change by identifying the ecological characteristics of Mt. Dalma warm temperate forest. 30 survey plots were established for vegetation structure analysis, and communities which classified by applying TWINSpan analysis and DCA analysis techniques. Four plant communities were subdivided into *Quercus acuta-Eurya japonica* community, *Quercus acuta* community, *Quercus salicina-Camellia japonica* community, and *Quercus acuta-Camellia japonica* community. The tree layers were dominated by *Quercus acuta* and *Quercus salicina*, and the subtree layers were dominated by *Camellia japonica* and *Eurya japonica*, and the *Sasa borealis*. The species diversity index were in the range of 0.849 to 0.969, and the degree of Evenness index were 0.514 to 0.569, and the similarity index were 59.57 to 75.47%. The species composition in the community indicated that the deciduous broad-leaved and coniferous trees have already been eliminated in competition with evergreen broad-leaved trees. Tree species with good cold resistance such as *Quercus acuta* and *Quercus salicina* were dominant species under current climatic conditions, but the dominant species might be changed to more shade-tolerance evergreen broad-leaved through the succession.

Key words : Dominant species, Succession, Vegetation structure, Warm temperate forest

1. 서론

달마산은 달마봉(489 m), 관음봉(434 m), 떡봉(422 m), 도솔봉(416.8 m)의 봉우리가 능선을 이루고 있으며, 여러 기반암 괴봉과 형형의 기암들이 울퉁불퉁하게 솟아 있다. 행정구역상 전라남도 해남군의 송지면, 북평면, 현산면의 접경에 위치하며, 북쪽으로는 두륜산(700 m)과

대둔산(673.45 m)이 자리 잡고 있고, 동쪽으로는 바다를 사이에 두고 완도의 상왕산(644 m)과 마주보고 있다 (Lee et al., 2009). 달마산 내에는 가치 있는 불교 유적인 미황사(보물 947호 대응보전, 보물 제1183호 응진당, 보물 제1342호 괘불탱)가 위치해 있으며, 해남 달마산 미황사 일원은 아름다운 자연지형과 수려한 경관으로 우리나라 명승 제59호로 지정되어 있다.

Received 20 January, 2022; Revised 24 January, 2022;

Accepted 24 January, 2022

*Corresponding author: Kye-Han Lee, Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
Phone : +82-62-530-2087
Email : khl@jnu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

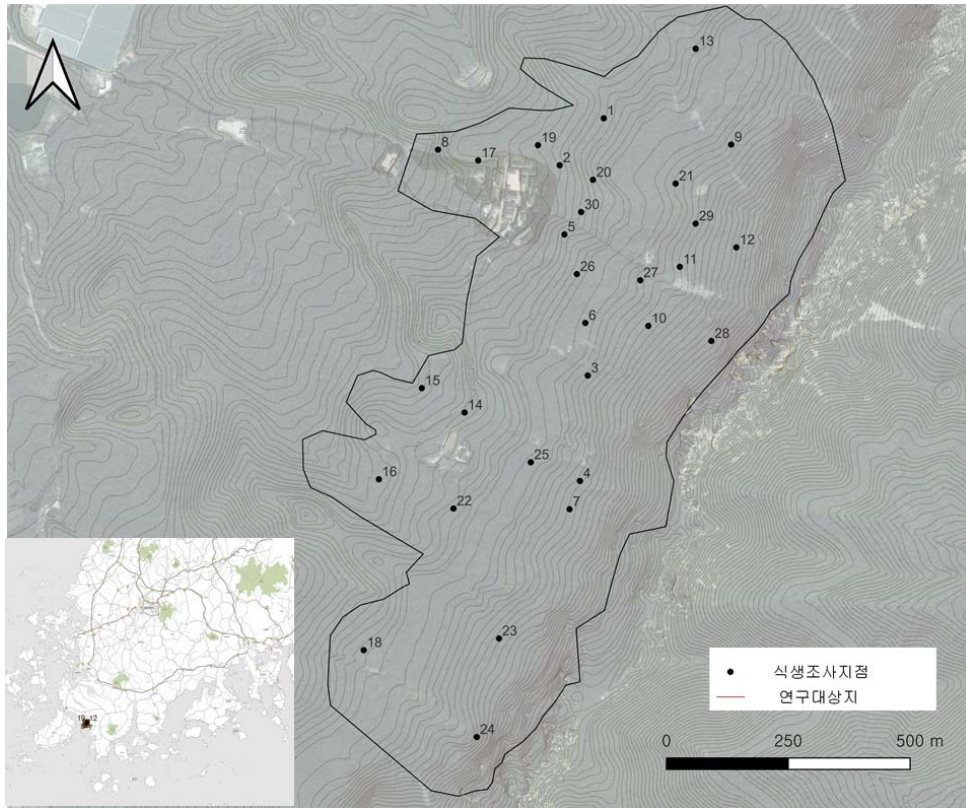


Fig. 1. Map of the study sites.

식물상 구성인자를 바탕으로 달마산의 한반도의 식물 구계학적 위치는 전라남도 및 경상남도의 해안도서지역을 포함하는 남해안아구에 해당되며(Lee and Yim, 2002), 난대성 기후와 해양성 기후가 조화되어 상록활엽수림 및 온대 낙엽활엽수림, 침엽수림 등이 잘 어우러져 있어 식생과 생태적 특성을 연구하기 좋은 장소이다. 특히 달마산에 분포하는 상록활엽수림은 종교적 또는 방재적 목적으로 보존상태가 양호한 지역으로 우리나라가 난온대 상록활엽수림의 북방한계(Choi, 2013) 지역임을 고려하면 달마산에 분포하는 보존상태가 양호한 임상은 매우 연구가치가 높은 지역이다. 그러나, 달마산에서 이루어진 식물 생태학적 연구로는 2009년 달마산과 그 인근지역의 식물상(Lee et al., 2009) 연구와, 미항사 사찰림의 식생구조 및 종다양성 분석(Lee et al., 2011)연구만 진행되어 연구 가치가 높은 달마산 상록활엽수에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기후변화와 관련하여 그 중요성이 높아지고 있는 상록활엽수림 중 보존상태가 양호한 달마산 상록활엽수림의 식생구조와 생태적 특성을 정량적으로 파악하여 우리나라 난온대 상록활엽수림의 보전 및 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 달마산에 분포하는 상록활엽수림의 식물군집구조 특성과 동태를 파악하기 위해 임상도와 현지답사를 통해 상록활엽수가 우점하고 있는 지역을 대상으로 연구대상지를 구획하고, 분포식생과 면적을 고려하여 30개소의 방형구를 설치하였다(Fig. 1). 방형구의 간격은 동서남북 4방위에서 최소 100 m 이상으로 설정하여 방형구가 일부에 집중되거나 편향되지 않도록 조절하였으며, 수관층의 위치를 고려하여 햇빛을 직접 받는 상층을

Table 1. Climate characteristics of Haenam-gun in recent 20 years(2001-2020)

Annual mean temperature (°C)	13.5	Warmth index (°C)	110.1
Mean maximum temperature(°C)	19.0	Coldness index (°C)	-8.3
Mean minimum temperature(°C)	8.4	Annual mean precipitation (mm)	1317.4

교목층, 4 m미만을 관목층, 그 중간 수관의 수목을 아교목층으로 구분하여 출현하는 수종과 규격을 측정하였다. 각 방형구는 400 m²(20×20 m) 크기로 설치하였고, 방형구내 2×2 m 소방형구 1개소를 설치하는 방식으로 방형구내 지표면의 출현식물을 기록하였다.

식생조사 자료를 통해 방형구별 출현종의 상대적 우세를 비교하기 위한 중요치를 통합하여 백분율로 나타낸 상대 우점치에 층위별 기중치를 적용한 평균상대 우점치를 산출하고, 이 자료를 바탕으로 대표적 군락분류법 중의 하나인 TWINSPAN (Two-way indicator species analysis)(Hill, 1979)기법과 서열분석방법인 DCA (Detrended correspondence analysis), (Hill, 1979) 분석을 적용하여 군락을 구분하였다. TWINSPAN은 양적 데이터를 질적데이터로 변환해 분할을 실시하므로, 평균상대우점치의 양적 변량을 가상종(pseudo species)의 출현 유무 데이터로 변환하였다. 분석의 오차를 줄이기 위해 전체 조사구 중 8회 이상 출현한 16종을 구분하여 48종의 가상 식별종을 생산하여 분석하였다. 서열분석방법인 DCA는 종과 조사지를 점과 벡터로 표시되는 인자가 하나의 도표에 나타낼 수 있어 식물군락별 관계를 보다 잘 알 수 있다(Hill, 1979). 위 의 과정을 통해 구분된 군락은 우점종(MIP 20% 이상)을 기준으로 식물군락을 명명하였다.

식생천이 경향에 대해서는 각 군락의 평균상대우점치, 흉고직경급 분포 분석 등을 통해 종합적으로 판단하며, 종 구성의 다양한 정도를 분석하기 위해 Shannon의 수식(Pielou, 1975)을 이용하여 종다양도(H')와 최대종다양도(H'max)를 산출하였으며, 각 수목에 대한 개체들의 분포정도를 의미하는 균재도(Evenness, J'), 우점도(Dominance, 1-J')를 계산하였고, Sorensen(1948)의 수식을 이용하여 군락의 유사도지수를 분석하였다. 또한 종합적으로 주요 수종의 생태적 지위를 파악하고자 출현 빈도와 중요치를 고려하여 16종에 대해 서로간의 상관분

석을 실시하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 통계프로그램 R(R-Studio)을 통해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 입지환경

난온대 상록활엽수림은 온량지수(WI) 85~240°C·월, 강수량 900~1,500 mm 정도의 범위에 분포하며(Park et al., 2018). 특히, 한랭지수(CI) -10~-15°C·월(Kira, 1991), 최한월평균기온 1~-1°C가 한계가 된다(Hattori and Nakanishi, 1985).

본 연구대상지의 기후조건을 살펴보고자 인근 해남 기상관측소의 20년(2001~2020년)간 기상자료(Korea Meteorological Administration, 2020)를 분석하였다. 그 결과 연평균기온은 13.5°C, 평균 최고기온은 19.0°C, 평균 최저기온은 8.4°C, 온량지수 110.1, 한랭지수 -8.3, 연평균강수량 1317.4 mm로서(Table 1) 난온대 상록활엽수림대의 기후특성(Yim and Kira, 1975)을 보이고 있다.

지리적 분포로 달마산 상록활엽수림의 평균표고는 289 m(156~400 m), 평균 경사는 21°이며, 상록활엽수림의 대부분은 표고 200~350 m 범위에 분포하였다.

조사지역 토양의 이화학적 성분을 파악하기 위해 실시한 토양을 분석한 결과 토양산도(pH) 4.23, 전기전도도(EC) 0.50 ds/m, 전질소함량(TN) 0.589%, 유기물함량(OM) 5.45%, 유효인산(AP) 18.07 mg/kg, 치환성용양이온 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺은 각각 0.38 cmolc/kg, 2.30 cmolc/kg, 0.81 cmolc/kg 로 나타났다.

3.2 조사지 개황

교목층의 수고는 평균 14.5 m(10~20 m)이며 평균 흉고직경은 22.3 cm (5.0~73 cm)이었다(Table 2). 식피율은 65~90% 이고 30개 조사구 중 21개 조사구에서 붉가시나무가 가장 우점하고 있으며, 6개 조사구에서 참가시나무, 2개 조사구에서 졸참나무, 1개 조사구에서 굴참

Table 2. General description of the study plots with vegetation structure

Plot number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Altitude(m)	225	216	307	315	250	268	317	255	296	332	334	361	252	237	218
Aspect(°)	285	220	315	315	330	280	135	270	320	324	270	285	305	329	315
Slope(°)	16	20	18	17	14	6	17	38	21	18	9	27	16	12	12
Number of species	25	24	24	23	28	17	25	22	17	20	22	24	25	18	22
Tree Layer															
Height(m)	13.5	13.9	14.9	15.0	14.5	16.1	16.4	15.7	13.8	15.0	14.3	13.9	15.4	14.6	15.4
Mean DBH(cm)	21.3	26.7	18.7	17.7	32.0	21.9	20.0	22.5	20.5	21.9	18.4	20.6	20.5	22.5	26.8
Coverage(%)	65	85	80	85	70	70	80	75	90	70	85	70	90	85	90
Dominant species*	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qs	Qac	Qsa	Qa	Qsa	Qsa	Qsa	Qa	Qa
Subtree Layer															
Height(m)	6.4	8.2	7.2	7.0	5.5	6.1	7.2	7.2	6.6	7.2	6.2	6.0	7.6	6.7	7.5
Mean DBH(cm)	6.9	12.5	7.7	7.0	5.1	6.8	7.2	8.4	6.6	7.4	6.7	6.6	7.8	8.0	9.1
Dominant species*	Ej	Qa	Ej	Cj	Ct	Ej	Cj	Cj	Cj	Qa	Sj	Cj	Cj	Cj	Cj
Shrurb															
Height(m)	3.0	3.5	-	3.5	3.5	3.4	-	-	3.4	-	3.3	3.5	3.4	3.1	3.3
Mean DBH(cm)	3.5	4.8	-	4.2	3.1	4.8	-	-	4.7	-	4.4	4.2	5.0	4.7	5.0
Dominant species*	Sb	Sb	Sb	Sb	Sb	Ej	Sb	Cj	Sb	Sb	Sb	Sb	Cj	Cj	Lj
Plot number	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Altitude(m)	217	198	234	218	251	299	255	330	346	275	256	298	368	323	237
Aspect(°)	300	200	310	295	250	275	300	310	295	305	285	295	295	275	290
Slope(°)	10	32	10	8	26	13	22	18	28	17	18	28	16	18	13
Number of species	13	14	27	21	14	14	20	31	20	18	7	25	19	15	7
Tree Layer															
Height(m)	13.8	12.7	13.1	12.4	12.4	12.0	14.1	14.3	14.7	15.8	14.2	13.6	13.3	14.3	17.6
Mean DBH(cm)	23.0	27.7	21.7	24.6	28.5	19.9	17.8	20.2	25.6	25.8	24.4	25.2	22.4	17.7	33.9
Coverage(%)	70	90	90	90	80	90	90	85	70	90	90	80	85	90	90
Dominant species*	Qa	Qsa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qa	Qsa	Qsa	Qa
Subtree Layer															
Height(m)	6.0	6.0	7.5	7.7	6.0	5.8	7.2	5.6	5.6	6.6	5.3	6.3	5.6	6.5	5.9
Mean DBH(cm)	8.0	14.6	9.2	12.1	6.9	7.2	7.1	5.9	5.9	6.6	6.6	6.9	6.0	7.0	7.6
Dominant species*	Ej	Cj	Qs	Qa	Qa	Ej	Im	Ej	Ej	Cj	Cj	Cj	Cj	Ej	Cj
Shrurb															
Height(m)	3.2	3.3	3.1	2.8	3.0	3.2	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	2.8	3.0	2.8	2.7
Mean DBH(cm)	5.4	7.2	4.1	4.2	3.7	3.8	3.3	3.4	3.4	3.1	3.6	3.2	2.9	3.4	3.0
Dominant species*	Ej	Cj	Cj	Cj	Ej	Sb	Sb	Ej	Cj	Cj	Cj	Cj	Cj	Ej	Cj

* Ct: *Carpinus tschonoskii*, Qa: *Quercus acuta*, Qsa: *Quercus salicina*,
 Qs: *Quercus serrata*, Qv: *Quercus variabilis*, Cj: *Camellia japonica*, Ej: *Eurya japonica*, Im: *Ilex macropoda*,
 Sj: *Styrax japonicus*, Lj: *Ligustrum japonicum*, Sb: *Sasa borealis*,

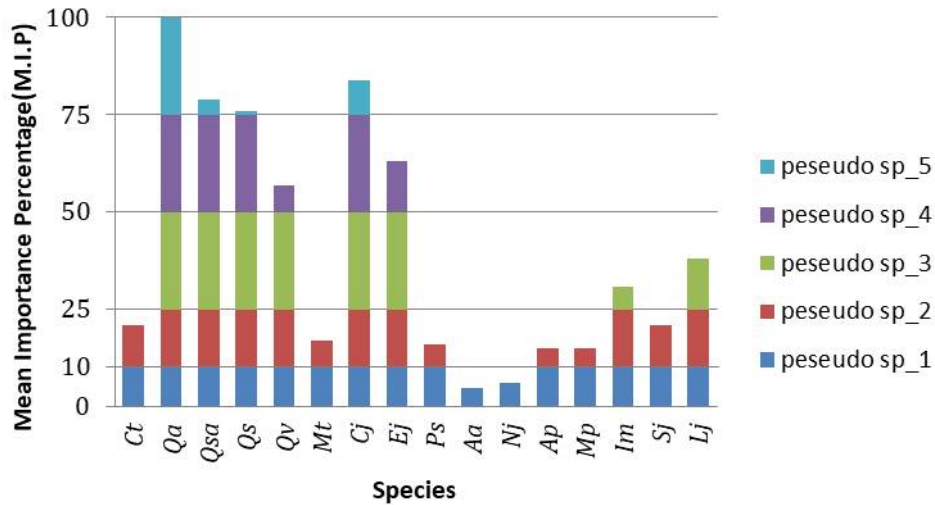


Fig. 2. pseudo species conversion for TWINSpan analysis. TWINSpan converts quantitative data into qualitative data and performs division, quantitative data of Mean Importance Percentage(M.I.P) was converted into data on the presence or absence of pseudo species. It was assumed that the Mean Importance Percentage of the present species were divided into 0, 10%, 25%, 50%, and 75%, and when the average relative dominant values of the species A appearing in one survey A were 25%, the virtual species a_1, a_2, and a_3 appeared.

Species : Ct: *Carpinus tshonoskii*, Qa: *Quercus acuta*, Qsa: *Quercus salicina*, Qs: *Quercus serrata*, Qv: *Quercus variabilis*, Mt: *Machilus thunbergii*, Gj: *Camellia japonica*, Ej: *Eurya japonica*, Ps: *Prunus serrulata*, Aa: *Aria alnifolia*, Nj: *Neoshirakia japonica*, Ap: *Acer pseudosieboldianum*, Mp: *Meliosma pinnata* var. *oldhamii*, Im: *Ilex macropoda*, Sj: *Styrax japonicus*, Lj: *Ligustrum japonicum*.

나무가 우점하였다. 아교목층은 평균수고 6.6 m(4.0~13.5 m), 평균흉고직경 7.5 cm(1.3~31.4 cm)로 14개 조사구에서 동백나무, 8개 조사구에서 사스레피나무가 우점하였으며, 4개 조사구에서 붉가시나무, 1개 조사구에서 개서어나무, 패죽나무, 졸참나무, 대팻집나무가 우점종이었다. 관목층은 조릿대가 22개 조사구에서 출현하였으며, 이중 12개 조사구에서는 우점종으로 조릿대로 인해 하층 식생의 종다순화를 이루고 있었다. 또한 조릿대가 없는 지역도 너털지역이거나 암석노출도(조사구27)가 매우 높아 관목층의 발달이 미약하였다. 부분적으로 광나무, 동백나무, 사스레피나무, 육박나무, 후박나무, 참식나무와 같은 상록활엽수 치수와 개서어나무, 단풍나무와 같은 낙엽활엽수 치수가 출현하였으며, 남오미자, 마삭줄, 노루발, 고사리 등 하층식물이 출현하였다.

30개 조사구의 식생조사 결과를 종합해 보면, 교목층은 붉가시나무와 참가시나무가 아교목층은 동백나무와 사스레피나무, 관목층은 조릿대가 주요 수종이었으며,

특히 관목층은 조릿대로 인해 하층식생의 구조가 단순하였다. 이는 2011년 미황사 사찰림의 식생구조와 종다양성 연구에서 조릿대가 관목층 이하에서 우점하여 저층부의 종 단순화를 이루고 있다는 Lee et al.(2011)의 조사결과와 동일하였다.

한편, 본 조사에서는 63종의 목본식물이 출현하였으며, 이중 상록활엽수는 15종으로 영광 불갑산의 5종(Oh and Jee, 1996)에 비하여 많았으나, 해남 두륜산의 17종(Oh, 1994), 진도 첨찰산의 23종(Oh and Cho, 1996), 신안군 흥도의 30종(Oh and Cho, 1994) 보다는 적게 나타났다.

3.3. 산림군집구조 및 특성

3.3.1. 군락분석

군락의 분류 및 서열분석을 위해 전체 30개 조사구에서 8회 이상 출현한 16종의 평균상대우점치를 이용하여 48종의 가상종(pseudo species)을 생산하였다(Fig. 2).

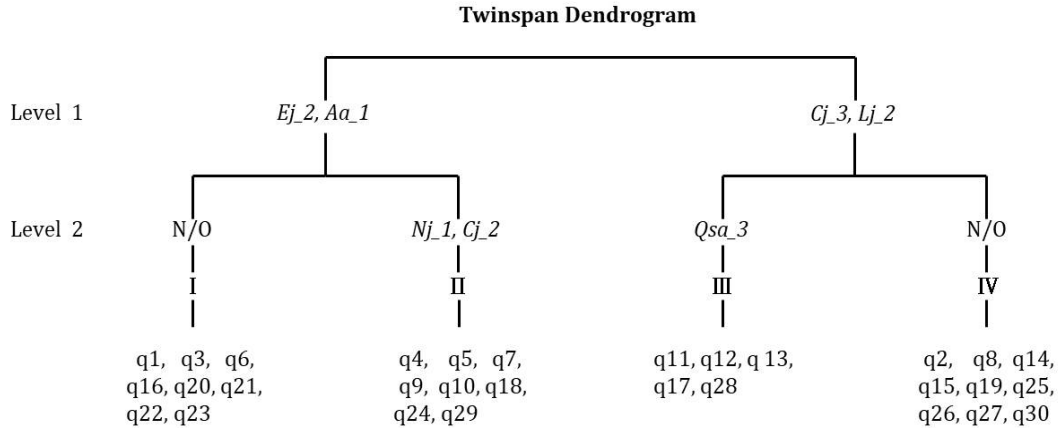


Fig. 3. Dendrogram of TWINSpan stand classification.

Ej_2 : *Eurya japonica_2*, *Aa_1* : *Aria alnifolia_1*, *Cj_3* : *Camellia japonica_3*, *Lj_2* : *Ligustrum japonicum_2*,
Nj_1 : *Neoshirakia japonica_1*, *Cj_2* : *Camellia japonica_3*, *Qsa_3* : *Quercus salicina_3*
 q1~q30 : Quadrat number

이 결과를 토대로 TWINSpan 분석을 적용한 결과, 첫 번째 단계에서는 사스레피나무 2(-), 팔배나무 1(-), 동백나무 3(+), 광나무 2(+)로 출현하는 집단과 출현하지 않는 집단으로 크게 두 그룹이 나누어 졌으며, 두 번째 단계에서 사스레피나무 2, 팔배나무 1이 출현한 그룹은 사람주나무 1(+), 동백나무 2(+)가 출현하는 집단과 출현하지 않는 집단으로 구분되며, 동백나무 3과 광나무 2가 출현한 집단은 참가시나무 3(-) 유무에 의해 나누어졌다. 2 단계에서 분할을 종료하면 전체적으로 4개의 군락으로 분류되었다(Fig. 3).

TWINSpan 분류분석은 식별종의 출현빈도 등이 고려되므로 이와 상호보완적인 방법으로 군락의 분포를 알아보기 위해 조사구간 상이성을 바탕으로 조사구를 배치하는 서열분석 방법중 DCA 서열분석을 수행하였다. DCA 분석 결과도 TWINSpan분류에 의한 조사구 분리 형상과 같은 경향을 보였다. 결과를 살펴보면 4개의 그룹으로 구분되며 이중 좌측의 3개 그룹은 붉가시나무를 우점종으로 하는 그룹이고 우측 1개 그룹은 참가시나무를 우점종으로 하는 그룹이다. 군락분리가 세분화된 TWINSpan과 DCA 분석결과를 바탕으로 우점도(MIP 20% 이상)를 기준으로 군락명을 명명하고 그 특성을 기술하였다.

3.3.2. 상대우점치 및 흉고직경급 분포

식물군락의 층위별 상대우점치 및 평균상대우점치를 분석하였다. 붉가시나무-사스레피나무 군락(군락 I)의 교목층에서는 붉가시나무의 상대우점치가 62.2%로 가장 우점종이었으며, 졸참나무(16.6%), 소나무(7.8%), 곰솔(4.0%), 굴참나무(3.1%) 등이 출현하였다. 아교목층에서는 사스레피나무의 상대우점치 33.1%로 우점종이었으며, 붉가시나무(13.0%), 졸참나무(12.6%), 때죽나무(12.5%), 대팻집나무(11.8%) 등이 출현하였다. 조릿대를 제외한 관목층에서는 사스레피나무(I.P: 71.4%), 철쭉(5.7%), 정근나무(4.3%) 등이 출현하였다. 붉가시나무 군락(군락 II)은 붉가시나무의 교목층 상대우점치가 53.0%이었으며, 졸참나무(26.6%), 참가시나무(11.9%), 개서어나무(2.7%) 등이 출현하였다. 아교목층에서는 동백나무(29.7%), 사스레피나무(19.9%), 대팻집나무(9.7%), 졸참나무(8.7%), 붉가시나무(7.9%), 때죽나무(7.1%) 등이 출현하였다. 조릿대를 제외한 관목층에서는 사스레피나무(43.7%), 동백나무(41.4%)가 가장 우점종이었으며, 당단풍나무(2.1%), 사람주나무(2.1%) 등이 출현하였다(Table 3).

아교목층에서 졸참나무의 우점치가 붉가시나무 보다 높은 이유는 아교목층에서 생육하던 붉가시나무가

교목층으로 성장하고 이로 인해 교목층위를 구성하던 졸참나무가 피압 된 채로 남아있기 때문이다. 참가시나무-동백나무 군락(군락III)의 교목층에서는 참가시나무(IP:59.1%)가 우점종이며, 붉가시나무(14.8%), 졸참나무(11.9%) 등이 출현하였다. 아교목층에서는 동백나무(IP:55.6%), 참가시나무(12.0%), 때죽나무(8.3%), 붉가시나무(5.2%) 등이 출현하였다. 조릿대를 제외한 관목층에서는 동백나무(77.5%)가 두드러지게 우점종이었으며, 광나무(11.1%), 사스레피나무(3.4%), 육박나무(3.0%), 새덕이(2.8%), 생달나무(1.1%), 참가시나무(1.1%)가 출현하였다. 붉가시나무-동백나무 군락(군락IV)의 교목층에서는 붉가시나무(IP: 62.9%)가 우점하였으며, 졸참나무(15.6%), 굴참나무(4.0%), 참가시나무(3.3%), 후박나무(2.2%) 등이 출현하였다. 아교목층에서는 동백나무(IP: 41.6%), 붉가시나무(21.4%), 후박나무(5.6%), 졸참나무(3.8%), 광나무(3.4%) 등이 출현하였다. 조릿대를 제외한 관목층에서는 동백나무(61.2%), 광나무(23.1%), 사스레피나무(9.9%), 사람주나무(2.4%), 비자나무(0.7%), 육박나무(0.7%), 생달나무(0.7%), 생달나무(0.7%), 후박나무(0.7%)가 출현하였다(Table 3).

군락별 주요 출현종의 흉고직경급별 분포(Table 4)를 살펴보면 붉가시나무-사스레피나무 군락(군락 I)에서 붉가시나무는 D2~D12 (2~52 cm 이상)까지 분포하며 D5~D6구간(17~27 cm)에서 45.6%로 출현 빈도가 높았다. DBH 12 cm 이하의 소경목 구간에서는 사스레피나무가 가장 많이 출현하였고, 대팻집나무와 때죽나무의 출현빈도가 비슷하게 확인되었다. 졸참나무는 D3, D4구간에서는 붉가시나무와 유사하게 출현하였으나 D6(22~27 cm)구간부터는 현저하게 출현빈도가 급격하게 낮아졌다.

붉가시나무 군락(군락II)에서 붉가시나무의 분포범위는 D2~D12(2~52 cm 이상)로 전체적으로 고른 분포범위를 나타내었고, D7~D12(27~52 cm 이상)에서 절대적으로 우세한 세력을 형성하였다. 참가시나무는 D3~D7(7~32 cm)구간에서 확인되었지만 모든 구간에서 붉가시나무보다 출현빈도가 적었다. 졸참나무는 D4, D5(12~22 cm)구간에서 출현빈도가 붉가시나무보다 높아 우세한 세력을 형성하였으나 D6(22~27 cm)이후 출현빈도가 급격히 감소하였다. D3 이하(DBH 12 cm)의 소경목 구간에서는 동백나무와 사스레피나무의 출현빈도가 비슷하게 나타났다. 참가시나무-동백나무 군락(군락III)

에서 참가시나무의 분포범위는 D2~D8(2~37 cm)로, 붉가시나무의 분포범위는 D3~D11(7~52 cm)보다는 적으나 출현빈도가 훨씬 많았다. 특히, D3~D5(7~22 cm)구간에서 우세한 세력을 형성하였다. 동백나무는 D7(27~32 cm)구간까지 흉고직경급 분포가 확인되었으나 D2(2~7 cm)구간에서 출현빈도가 집중되었다. 붉가시나무-동백나무 군락(군락IV)에서 붉가시나무는 D2~D12(2~52 cm 이상)구간에서 고른 분포범위를 나타내었고, D4(12~17 cm)이후 모든 구간에서 출현빈도가 가장 높았다. 동백나무는 D2(2~7 cm)구간에서 72%, D3(7~12 cm)구간에서 23%가 출현하였다.

달마산 상록활엽수림의 군락별 특성은 교목층의 경우 붉가시나무, 참가시나무, 아교목층은 동백나무, 사스레피나무로 구분되며, 인위적 훼손, 산불과 같은 특별한 위협이 없을 경우 당분간은 교목층과 아교목층 모두 현재의 종 구성 상태 상록활엽수(붉가시나무, 참가시나무)가 우점하게 될 것으로 예상된다. 이는 교목의 밀도가 높은 경우에는 현재의 식생구조에서 급격한 변화를 기대하기 어렵고(Han et al., 2007), 천이 초기단계가 지나면 다음 단계의 천이종이 출현하여도 당분간 현 상태를 유지한다는 Lee and Ann(2013)의 연구결과를 통해서도 확인할 수 있다.

그러나 대상지의 층위별 우점도와 흉고직경급 분포를 통해 장기간의 식생 천이방향을 예측해 보면 본 조사를 통해 낙엽활엽수는 상록활엽수로 변화가 거의 마무리 된 것을 확인 할 수 있었으며, 일부 조사구의 교목층과 아교목층, 관목층에서 Oh and Kim(1996)의 연구에서 추정된 내음성인 육박나무와 참식나무, 후박나무, 생달나무가 국지적으로 확인되어 달마산의 상록활엽수림은 양수성의 상록활엽수에서 보다 내음성이 강한 상록활엽수로 종구성의 변화가 있을 것으로 판단된다. 이는 상대적으로 내한성이 강한 붉가시나무와 참가시나무가 천이 초기 수종으로(Park, 2012) 양수의 특성을 보여 빠르게 생장하나, 이후에는 종자 번식력이 더 좋고 음수성인 육박나무, 후박나무, 참식나무 등의 상록활엽수종과의 경쟁에서 도태될 것으로 예상되기 때문이다. 이와 관련된 연구로 인접한 완도 보길도 붉가시나무군락에서 이루어진 1999년 식생조사(Kim, 1999)결과와 동일지역에서의 변화를 관찰한 2020년 조사결과(Park, 2021)에서도, 1999년 출현하지 않았던 육박나무, 후박나무가 2020년 새롭게

Table 3. IP(Importance percentage) of the communities in the study area

Scientific name	I*				II			
	C**	U	S	MIP	C	U	S	MIP
<i>Pinus densiflora</i>	7.8	0.7	-	4.1				
<i>Pinus thunbergii</i>	4.0	0.8	-	2.3	0.9	0.3	-	0.5
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	-	1.3	1.4	0.7				
<i>Carpinus tshonoskii</i>	0.2	2.2	-	0.8	2.7	4.1	-	2.7
<i>Quercus acuta</i>	62.2	13.0	-	35.5	53.0	7.9	1.1	29.3
<i>Quercus acutissima</i>	1.8	-	-	0.9	0.3	-	-	0.2
<i>Quercus salicina</i>	-	1.4	-	0.5	11.9	2.1	-	6.6
<i>Quercus serrata</i>	16.6	12.6	-	12.5	26.6	8.7	-	16.2
<i>Camellia japonica</i>	-	0.9	1.6	0.6	-	29.7	41.4	16.8
<i>Eurya japonica</i>	-	33.1	71.4	22.9	-	19.9	43.7	13.9
<i>Ilex macropoda</i>	2.3	11.8	3.8	5.7	1.7	9.7	0.6	4.2
<i>Styrax japonicus</i>	-	12.5	2.3	4.6	0.4	7.1	0.7	2.7
Others	4.9	11.1	19.3	9.5	14.3	10.4	10.4	12.3

Scientific name	III				IV			
	C	U	S	MIP	C	U	S	MIP
<i>Pinus densiflora</i>	0.5	-	-	0.3	0.4	-	-	0.2
<i>Carpinus tshonoskii</i>	3.6	0.5	-	2.0	0.3	1.6	-	0.7
<i>Quercus acuta</i>	14.8	5.2	-	9.2	62.9	21.4	-	38.6
<i>Quercus salicina</i>	59.1	12.0	1.1	33.7	3.3	2.4	-	2.5
<i>Quercus serrata</i>	11.9	0.7	-	6.2	15.6	3.8	-	9.0
<i>Quercus variabilis</i>	0.4	-	-	0.2	4.0	3.0	-	3.0
<i>Machilus thunbergii</i>	2.7	2.1	-	2.1	2.2	5.6	0.7	3.1
<i>Camellia japonica</i>	-	55.6	77.5	31.5	-	41.6	61.2	24.1
<i>Eurya japonica</i>	-	4.0	3.4	1.9	-	0.2	9.9	1.7
<i>Prunus serrulata</i>	2.9	0.9	-	1.7	1.4	1.3	-	1.1
<i>Styrax japonicus</i>	0.3	8.3	-	2.9	0.6	3.1	-	1.3
<i>Ligustrum japonicum</i>	-	1.6	11.1	2.4	-	3.4	23.1	5.0
Others	4.3	9.1	6.9	6.2	9.7	12.6	5.1	9.9

* I : *Quercus acuta-Eurya japonica* Community, II : *Q. acuta* Comm.,
 III : *Q. salicina-Camellia japonica*-comm., IV : *Q. acuta-C. japonica* comm.
 ** C : Importance percentage in canopy layer, U : Importance percentage in understory layer,
 S : Importance percentage in shrub layer, MIP : Mean importance percentage

출현하고, 생달나무의 중요치가 증가하였으며, 붉가시나무는 아교목층과 관목층에서 출현하지 않고, 실생묘보다 근주맹아 형태로 유래하였다.

3.3.3. 종 다양성

군락별 출현종수와 Shannon의 수식(1977)을 적용하여 종 다양도(H'), 최대종다양도(H'max), 균재도(J), 우

점도(D)를 조사한 결과는 Table 5와 같다. 수관층 전체의 군락별 출현 종수는 45~61종으로 붉가시나무-동백나무 군락(군락IV)이 61종으로 가장 높게 나타났으며, 붉가시나무 군락(군락II)이 55종, 붉가시나무-사스레피나무 군락(군락I)이 49종, 참가시나무-동백나무 군락(군락III)이 45종으로 나타났다.

Table 4. The DBH distribution of major woody species for 4 communities (Unit: 10,000 m²)

Comm	Species	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
I*	<i>Pinus densiflora</i>		9	9	13	3	9	6	6	3		
	<i>Quercus acuta</i>	56	94	122	166	141	56	13	9	9	3	3
	<i>Quercus serrata</i>	6	81	109	84	19	3					
	<i>Eurya japonica</i>	953	225	9								
	<i>Ilex macropoda</i>	188	81	28	3							
	<i>Styrax japonicus</i>	125	122	6								
II	<i>Quercus acuta</i>	44	72	97	72	94	84	31	13	6	3	9
	<i>Quercus salicina</i>	0	41	38	41	25	9					
	<i>Quercus serrata</i>	0	34	128	134	50	6	3				
	<i>Camellia japonica</i>	600	88	3								
	<i>Eurya japonica</i>	575	103									
	<i>Ilex macropoda</i>	84	88	28	3							
III	<i>Quercus acuta</i>		5	15	40	30	30	10	5			5
	<i>Quercus salicina</i>	55	105	185	190	80	55	35				5
	<i>Quercus serrata</i>	0	10	25	55	10	10			5		
	<i>Camellia japonica</i>	795	190	90	5	5	15					
	<i>Eurya japonica</i>	85	10									
	<i>Ligustrum japonicum</i>	45	15									
IV	<i>Quercus acuta</i>	39	50	92	100	131	69	58	28	17	6	11
	<i>Quercus salicina</i>		8	22	11		8					
	<i>Quercus serrata</i>		3	39	44	39	11	14	3			
	<i>Camellia japonica</i>	689	225	28	3							
	<i>Eurya japonica</i>	50	3									
	<i>Ligustrum japonicum</i>	197	8									

* D1<2 cm, 2 cm≤D2<7 cm, 7 cm≤D3<12 cm, 12 cm≤D4<17 cm, 17 cm≤D5<22 cm, 22 cm≤D6<27 cm, 27 cm≤D7<32 cm, 32 cm≤D8<37 cm, 37 cm≤D9<42 cm, 42 cm≤D10<47 cm, 47 cm≤D11<52 cm, 52 cm≤D12

* I : *Quercus acuta-Eurya japonica* Community, II : *Q. acuta* Comm.,
 III : *Q. salicina-Camellia japonica*-comm., IV : *Q. acuta-C. japonica* comm

종간경쟁수준을 나타내는 종다양도(H')는 0.849~0.969의 범위로 붉가시나무가 우점하는 군락(붉가시나무-동백나무 군락, 붉가시나무 군락, 붉가시나무-사스레피나무 군락)이 참가시나무가 우점하는 군락(참가시나무-동백나무 군락)보다 약간 높게 나타났다.

출현종수로 산출되는 최대종다양도(H' max)는 붉가시나무-동백나무 군락, 붉가시나무 군락, 붉가시나무-사스레피나무 군락, 참가시나무-동백나무 군락 순으로 나타났다.

본 연구와 기존 연구된 상록활엽수림 중 우점종이 유

사한 균락을 중심으로 종다양도를 비교하였다. 지리적으로 인접한 완도 상왕봉 상록활엽수림의 사면방향과 해발고에 따른 산림구조 및 동태 연구에서 붉가시나무를 우점종으로 하는 군락의 종다양도는 남사면 0.841, 북사면 0.596(Park, 2017)으로 본 연구보다 낮게 나타났으며, 해남 두륜산 상록활엽수림의 식생구조 연구에서 붉가시나무를 우점종으로 하는 군락의 종다양도는 1.321~1.492(Kang 2019)로 본 연구보다는 높게 나타났다. 이는 상록활엽수의 분포의 집단화 정도에 따른 차이로 판단되며, 달마산 상록활엽수림의 분포가 완도 상왕봉 보다는

Table 5. Species diversity indices in 4 communities

Comm	No. of species	Species diversity (H')	Maximum H' H'max	Evenness (J')	Dominance (D)
I*	49	0.962	1.690	0.569	0.431
II	55	0.969	1.740	0.557	0.443
III	45	0.849	1.653	0.514	0.486
IV	61	0.923	1.785	0.517	0.483

* I : *Quercus acuta*- *Eurya japonica* Community, II : *Q. acuta* Comm.,
III : *Q. salicina*- *Camellia japonica*-comm., IV : *Q. acuta*- *C. japonica* comm

Table 6. Similarity index among 4 communities

Comm.	I*	II	III
II	0.692		
III	0.596	0.720	
IV	0.636	0.655	0.755

* I : *Quercus acuta*- *Eurya japonica* Community,
II : *Q. acuta* Comm.,
III : *Q. salicina*- *Camellia japonica*-comm.,
IV : *Q. acuta*- *C. japonica* comm.

분산되어 있고, 두류산보다 집단화되어 있는 것에 따른 영향으로 생각된다. 이는 두류산도립공원 내 붉가시나무의 종다양성이 타 지역의 상록활엽수림보다 협소한 형태로 존재하여 종다양성이 높다고 보고한 Kang (2019)의 연구결과와 유사하다. 종 다양성은 하층식생이 종다양성에 중요한 역할을 한다고 볼 수 있는데(Kang, 2019) 달마산의 경우 관목층을 조릿대가 우점하는 조사구가 많아 대체적으로 종다양성이 낮은 것으로 판단된다.

균재도(J)는 상대적인 종 다양도, 즉 각 종마다 개체수의 분포정도를 뜻하는 것으로 1에 가까울수록 종별 개체수가 균일한 상태를 나타내는데 군락별 균재도는 0.514~0.569의 범위로 비교적 소수의 우점종이 균일하게 분포되어 있는 상태로 판단되며, 군락별로는 붉가시나무-사스레피나무 군락이 가장 높게 나타났으며, 참가시나무-동백나무 군락이 가장 낮게 나타났다.

Whittaker(1965)는 우점도가 0.9이상일 경우 1종, 0.3~0.7에서는 2~3종, 0.3이하일 경우 다수의 종이 우점을 이룬다고 하였는데, 본 연구에서 군락별 우점도는 0.431~0.486으로 2~3종이 우점하고 있는 것으로 나타났다.

3.3.4. 유사도 지수

군락간 유사도 지수를 살펴보면, 참가시나무-동백나무 군락과 붉가시나무-사스레피나무군락 간의 유사도지수가 75.47%로 가장 높게 나왔는데 이 두 군락에서 공통적으로 출현하는 수종이 산점양옻나무, 새덕이, 노루발, 센달나무 등으로 다수인 것을 알 수 있다(Table 6).

전체적으로 59.57~75.47% 범위로 유사도가 20% 미만일 때 서로 이질적인 집단이고, 80%이상일 때 서로 동질적인 집단으로 구분한 Cox,(1972)의 주장을 참고하면 군집간 유사도가 높은 것으로 나타났다. 이는 군집간 구성종이 대체로 동질적인 것으로 판단된다.

3.3.5 수종간 상관관계

30개 조사구에서 식생조사를 통해 얻어진 수종 중 서로 간의 상관성을 규명하기 위하여 출현빈도와 중요치를 고려한 16개 수종의 중요치를 변수로 상관관계를 분석하였다(Table 7). 주요 수종간 상관관계는 중간 생태적 지위의 동질성 또는 이질성을 추정할 수 있는 자료이며, 상관관계가 형성되는 이유는 두 수종의 특정한 생육지를 공동으로 선호하거나 회피하는 경우, 한 수종 또는 두 수종 모두 고유의 친화력 또는 반발력을 가지는 경우라고

Table 7. Correlation between species

	Ct**	Qa	Qsa	Qs	Qv	Mt	Cj	Ej	Ps	Aa	Nj	Ap	Mp	Im	Sj
Qa	.														
Qsa	.	--													
Qs	.	.	.												
Qv											
Mt											
Cj	+									
Ej	--								
Ps							
Aa	+						
Nj	++	++	.					
Ap	++	++	.				
Mp	+	.			
Im	--	++	.	+	.	.	.		
Sj	
Lj

* --, ++ : $p \leq 0.01$, ., + : $p \leq 0.05$

** Ct: *Carpinus tschonoskii* Qa: *Quercus acuta*, Qsa: *Quercus salicina*, Qs: *Quercus serrata*
 Qv: *Quercus variabilis*, Mt: *Machilus thunbergii*, Cj: *Camellia japonica*, Ej: *Eurya japonica*
 Ps: *Prunus serrulata*, Aa: *Aria alnifolia*, Nj: *Neoshirakia japonica*, Ap: *Acer pseudosieboldianum*,
 Mp: *Meliosma pinnata* var. *oldhamii* Im: *Ilex macropoda*, Sj: *Styrax japonicus*, Lj: *Ligustrum japonicum*

하였다(Ludwig and Reynolds, 1988). 본 연구에서는 붉가시나무-참가시나무, 동백나무-사스레피나무간 임지 내 경쟁이 심하며, 후박나무의 경우 동백나무와는 친화력, 사스레피나무와는 반발력이 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구는 종교적 또는 방재의 목적으로 오랫동안 보존상태가 양호한 달마산 상록활엽수림의 생태적 특성을 파악하여 기후변화에 따른 안정적인 산림관리의 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다. 식생구조 분석을 위해 30개의 조사구를 설정하였으며, TWINSpan 분석과 DCA 분석기법을 적용하여 군락을 분류하였다. 그 결과 4개의 식물군락이 세분화되었는데 이들 군락은 붉가시나무-사스레피나무 군락, 붉가시나무 군락, 참가시나무-동백나무 군락, 붉가시나무-동백나무 군락이었다. 교목층은 붉가시나무와 참가시나무, 아교목층은 동백나무와 사스레피나무가 우점종이며, 다수 조사구에서 출현한 조릿대는 관목층과 하층식생의 종 단순화를 야기했다.

군락별 종구성을 살펴본 결과 낙엽활엽수와 침엽수는 상록활엽수와 경쟁관계에서 이미 도태되었고, 인위적 훼손이나 산불과 같은 특별한 위협이 없을 경우 당분간은 교목층과 아교목층 모두 현재의 종구성상태가 우점하게 될 것으로 예상된다. 한편 교목층의 우점종인 붉가시나무와 참가시나무는 상록활엽수중 비교적 내한성이 좋은 수종으로 현재 기후조건에서는 우점종이나 이후에는 내음성이 강한 음수성 상록활엽수림으로 종 변화가 진행될 것으로 예상된다. 종다양성 지수는 0.849~0.969, 균재도는 0.514~0.569 범위로 조사되었으며, 구분한 군락간 유사도는 59.57~75.47%로 나타났다. 임지 내에서 우점종인 상록활엽수 간의 지위경쟁이 진행 중이었으며, 이에 대해서는 지속적인 모니터링이 필요하다.

비교적 안정된 상록활엽수림을 대상으로 연구를 실시한데 의의가 있다고 할 수 있다. 나아가 올바른 생태조성을 위해 상록활엽수림의 효과적인 관리를 위한 지속적인 조사와 실질적인 관리방안 수립에 대한 연구가 반드시 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업 '2020183A00-2222-AA02'의 지원에 의하여 이루어진 것임.

REFERENCES

- Choi, B. K., 2013, Syntaxonomy and synegeography of warm-temperate evergreen broad-leaved forests in Korea, Ph.D Dissertation, Keimyung University, Daegu, Korea.
- Cox, G. W., 1972, Laboratory manual of general ecology, 2nd ed., W.C. Brown Co., Iowa, 232.
- Han, B. H., Kwak, J. I., Lee, K. J., Song, J. H., Jang, J. S., 2013, A Study on the vegetation structure of evergreen broad-leaved forest Dongbaekdongsan(Mt.) in Jeju, Korea, Korean J. Environ. Ecol., 27, 241-252.
- Hattori, T., Nakanishi, S., 1985, On the distributional limits of the lucidophyllous forest in the Japanese Archipelago., Bot. Mag., 98, 317-333.
- Hill, M. O., 1979, Decorana- A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging, 1st ed., Cornell Univ, New York, 52.
- Hill, M. O., 1979, TWINSpan-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two way by classification of the individuals and attributes, 1st ed., Cornell Univ, New York, 99.
- Kang, H. M., 2019, Vegetation characteristics of evergreen broad-leaved forest in the Duryunsan Provincial Park, Korean J. Environ. Ecol., 33, 552-564.
- Kim, J. Y., 1999, Community ecological study on the *Quercus acuta* forests in Bogildo-island, master' thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea.
- Kira, T., 1991, Forest ecosystems of east and southeast Asia in global perspective, Ecol. Res., 6, 185-200.
- Lee, S. J., Keiichi, O., Ann, Y. H., 2011, Study of analysis of vegetation structure and species diversity for vegetation management on shrine forest of Miwhang-sa, Korea, Korean J. Environ. Ecol., 25, 540-561.
- Lee, S. J., Ann, Y. H., 2013, Original Article : Change Prediction for vegetation structure, species diversity and life-form of evergreen broad-leaved forest by climate change in Gageo-Do Island Korea, The Korean Environmental Sciences Society, 22, 979-997.
- Lee, Y. M, Park, S. H, Choi, H. S., Yang, J. C., Nam, F. H., Chung, G. Y., Choi, H. J., 2009, Floristic study of Dalmasan and its adjacent regions, Korean J. Environ. Ecol., 23, 1-21.
- Ludwig, J. A., Reynolds, J. F., 1988, Statistical ecology: A Primer on methods and computing, 1st ed., Wiley-Interscience Pub., New York. 337.
- Oh, K. K., 1994, Plant community structure of warm temperate evergreen broad-leaved forest in Mt. Turyunsan, Korean J. Environ. Ecol., 8, 43-57.
- Oh, K. K., Cho, W., 1994, Plant community structure of warm temperate evergreen broad-leaved forest in Hongdo, Korean J. Environ. Ecol., 8, 27-42.
- Oh, K. K., Cho, W., 1996, Vegetation structure of warm temperate evergreen forest at Ch'omch'alsan, Chindo, Korea, Korean J. Environ. Ecol., 10, 66-75.
- Oh, K. K., Jee, Y. G., 1995, Plant community structure of evergreen broad-leaved forest in (Mt.) Pulgapsan, Korean J. Environ. Ecol., 9, 30-41.
- Oh, K. K., Kim, Y. S., 1996, Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region(I), Korean J. Environ. Ecol., 10, 87-102.
- Park, C. H., 2021, Vegetation structure and dynamics of *Quercus acuta* forests, master' thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea.
- Park, I. H., 2012, Structure and dynamics of *Quercus acuta*, *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests in Wando Island, Korean J. Environ. Ecol., 406-411.
- Park, S. J., 2017, Forest structure and dynamics in relation to slope aspect and altitude at Sanghwangbong in Wando Island, master' thesis, Sunchun University, Jeollanamdo, Korea.
- Pielou, E. C., 1975, Mathematical ecology, 1st ed., John Wiley & Sons, NewYork, 385.
- Sorensen, T., 1948, A Method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons., 1st ed., Munksgaard, København, 33.
- Whittaker, R. H., 1965, Dominance and diversity in land plant communities, Sci, 147, 250-260.
- Yim, Y. J., Kira, T., 1975, Distribution of forest vegetation and climate in the korea peninsula: I. distribution of some indices of thermal climate, Jap. J. Eco., 25, 77-88.

• Research Scientist. Ji-Woong Cho
Jeollanamdo Forest Resources Research Institute
90259997@hanmail.net

• Professor. Kye-Han Lee
Department of Forest Resources, Chonnam National
University
khL@jnu.ac.kr