

히어리 자생지 식생구조와 환경요인 간 상호관계*

박병주¹⁾ · 허태임²⁾ · 천광일³⁾

¹⁾국립백두대간수목원 백두대간보전실 연구원 · ²⁾국립백두대간수목원 산림생태복원실 팀장 ·

³⁾국립생태원 생태계서비스팀 선임연구원

Correlation Between Vegetation Structure and Environmental Factors of *Corylopsis coreana* Uyeki Habitats*

Park, Byeong-Joo¹⁾ · Heo, Tae-Im²⁾ and Cheon, Kwangil³⁾

¹⁾Division of Bioresources Conservation, Baekdudaegan National Arboretum, Researcher,

²⁾Division of Forest Ecosystem Restoration, Baekdudaegan National Arboretum, Research Manager,

³⁾Team of Ecosystem Service, National Institute of Ecology, Senior Researcher.

ABSTRACT

The purpose of this study is to understand the vegetation structure of the *Corylopsis coreana* habitats in South Korea and their correlation with environmental factors, in order to provide basic data for preparing conservation. A total of 40 vegetation survey plots were established in around Southern region, Gangwon-do and Gyeonggi-do Province. The cluster analysis revealed four distinct clusters: *Quercus mongolica*-*Pinus densiflora* (QmPd), *Castanea crenata* (Cc), *Quercus mongolica* (Qm), and *Pinus koraiensis* (Pk). Among them, the QmPd cluster was selected as the representative community. Soil texture analysis that most areas consisted of loamy soil and were distributed on the northern aspects. The plantation, represented by Pk, exhibited a high content of exchangeable aluminum (5.227 ± 0.342 mg/kg), suggesting the need for soil improvement and monitoring in these habitats. The canopy openness (forest gap) ranged from 11% to 21%, indicating a relatively closed canopy in many survey plots. Non-metric multidimensional scaling analysis indicated heterogeneous species composition between the QmPd cluster and the Pk cluster (total $R^2 = 0.608$).

* 이 논문은 국립백두대간수목원 세부사업인 “백두대간 중점 보전종 보전방안 연구”와 “국립생태원 생태계서비스 평가 기반 정책 결정 지원 체계 수립(*23)(NIE-고유연구-2023-3)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

First author : Park, Byeong-Joo, Team of Climate Change Research, Baekdudaegan National Arboretum, Researcher, Korea Arboreta and Gardens Institute, Bonghwa 36209, Korea.
Tel : +82-54-679-0967, E-mail : bzpark@koagi.or.kr

Corresponding author : Cheon, Kwang-il, Team of Ecosystem Services, National Institute of Ecology, Senior Researcher, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do, 33657, Republic of Korea.

Tel : +82-41-950-5463, E-mail : ndz1000@nie.re.kr

Received : 14 July, 2023. **Revised** : 31 August, 2023. **Accepted** : 25 August, 2023

Key Words: *plant community, conservation ecology, vegetation structure*

I. 서 론

급격한 기후변화로 서식처 증감 또는 공간적 격리로 인한 생물다양성 손실의 위험이 큰 생물종을 잔존종(relict species) 또는 잔존집단(relict population)이라고 정의하는데, 현재는 좁은 생물지리학적 생태 지위(ecological niche)를 차지하는 것으로 정의한다 (Habel et al. 2010; Grandcolas et al. 2014; Allan et al. 2021). 잔존집단은 생태계의 다양한 요인으로 인하여 개체군의 연결질이 끊어져 공간적 격리가 된 집단으로, 생물 분포역의 확산과 축소에 따라 기후위기를 가능할 수 있다. 그 중 식물의 분포는 기후조건과 토양환경 그리고 내성 범위(range of tolerance) 및 산포 과정 등의 영향을 받는다. 식물 분포 인자의 가장 대표적인 인자는 기후조건이며 이로 인한 격리 분포를 보이는 잔존집단을 기후적 잔존집단(climate relict population)으로 정의한다 (Kim et al. 2014).

지구환경 변화는 특정 생태계의 구조와 비생물적 제한 요인을 빠르게 분리 또는 변화시킬 수 있으며(Loarie et al. 2009), 분포역이 특이한 잔존집단에서 더욱 두드러진다. 한반도 내 잔존집단의 분포가 특이한 종들이 여러 학자들에 의하여 논의되고 있는데 이들 대부분은 남방계 식물(Southern plants)에 속한다(Lee and Yim, 2002; Oh et al. 2012; Kim et al. 2014). 남방계 식물이란 북위 35도 이남인 대한민국 남부지역 및 일본 일대에 널리 분포하며 기후변화에 의한 서식처가 확장되거나 이전 될 가능성이 높은 식물종으로 정의한다(Korea National Arboretum, 2010). 남방계 식물 관리 방안 연구를 위하여 특정 생물종의 생태계 요인간 상호작용과 서식지 패턴을 파악하고 시간의 흐름에 따른 서식지 구조의 변화 양상을 예측하는 것은 기후변화에 적

응하는 중요한 활동이 될 것이다(Lovejoy and Hannah, 2005; Franklin, 2009).

히어리는 강원도와 경기도 및 지리산 일대에 분포하고 있어 한반도 내 중앙지역에는 분포하지 않아 위도상 고립된 집단으로 식물지리학적 가치가 희귀한 식물종이다(Kim et al. 2014). 히어리는 관상 가치가 높고 사계절 조경 가치가 우수할 뿐 아니라 항염 및 진통에 효능이 좋아 산업적 가치가 뛰어난 목본식물이다(Lee et al. 1999). 국내에서 자생하는 생물자원의 주권 확보와 생물다양성 보전을 위하여서는 자생지 식생 구조와 환경요인 간의 특성을 밝히는 것은 향후 보전 및 정책 방향 등을 제시하기 위한 필수적 단계이다. 최근 NCP(Nature's contribute to People) 개념이 확장함에 따라 생물다양성의 보전 활동은 생태계서비스 측면에서 인간의 윤택한 생활에 영향을 미치는데(Westman, 1977, Costanza et al. 1998; Kline, 2006) 지속적으로 생물 자원 보전과 활용의 균형이 지속적이어야 한다는 견해가 확장되고 있다. 현재 히어리 개체군은 관리와 보호 대책 부족으로 서식 지역의 교란과 훼손 등이 빈번하게 일어나고 있어 이에 대한 서식 및 분포연구를 통한 보전 및 복원계획이 절실한 실정이다(Jang et al. 2008).

히어리의 식생동태 및 군집구조와 관련한 논문은 환경부 지정 멸종위기종과 특산식물로 해제되고 난 뒤, 연구가 진행되고 있지 않으나, 남방계 식물의 특이한 분포를 보이는 잔존집단의 경우 시계열적인 식생 구조 변화 연구가 지속적으로 진행되어야 한다. 그 이유는 잔존집단은 기후변화에 대한 적응과 반응을 확인할 수 있는 중요한 지표종으로써의 역할을 하며, 또한 급격한 기후변화로 인한 생물종의 분포 변화는 생물 다양성 균형에 영향을 미치고 이는 곧 생태계의 급격한 변화로 이어지기 때문이다(Kim et al. 2014; Tollefson, 2020).

특정 생물종의 서식 환경과 중간 관계를 파악하는 것은 보전을 위한 필수 및 기초 연구이다 (Newton, 2007). 이에 본 연구의 목적은 히어리 자생지 식생 구조와 환경 인자 간 상호관계를 분석함으로써 종 보전 및 관리방안의 기초자료를 마련하는 것에 있다. 또한 후속 연구인 히어리 자생지 미래 시나리오(리스크 요인 파악 및 의사결정, 대응 체계 마련) 연구에 필수 자료로 쓰일 것이며 최종 결과물은 보전 정책을 위한 정책 옵션을 제시하여 효율적인 관리가 이루어질 수 있도록 하는 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구의 조사지역의 행정구역상 위치는 강원도, 경기도, 전라남도, 경상남도이며, 위도 35°0′ 16.7″ ~ 38°5′ 36.58″ 경도 127°9′ 6.87″ ~ 128°55′ 12.67″ 사이에 위치한다. 조사지역 식생대는 온대북부와 중남부 낙엽활엽수림으로 온대북부 식생형은 신갈나무-철쭉군락에 속하는 신갈나무-잣나무군단이며 온대 중남부 식생의 경우 신갈나무-생강나무군단의 특징을 갖고 있다(Kim and Lee, 2006). 기상청(Korea Meteorological Administration, 2023)에서 제공한 히어리 개체군이 자생하는 기후환경의 평균은 평균기온 12.6℃, 최고기온 17.9℃, 최저기온 8.1℃, 상대습도 68.1%, 연강수량 1,382.7mm/yr, 평균풍속 2.2m/s이다.

2. 조사구 설치 및 조사 방법

국내 히어리 자생지 내 40개(100 m²) 조사구를 설치하였으며 층위 구조를 고려하여(교목, 아교목, 관목, 초본) Braun-Blanquet(1965)의 방법을 사용하여 식생의 피도(coverage)를 기록하였다. 조사 기간은 2021년 6월부터 2021년 10월까지이며 식물의 동정은 국립수목원에서 발간한 보고서와 원색식물도감(Lee, 2003a; Lee, 2003b) 등을

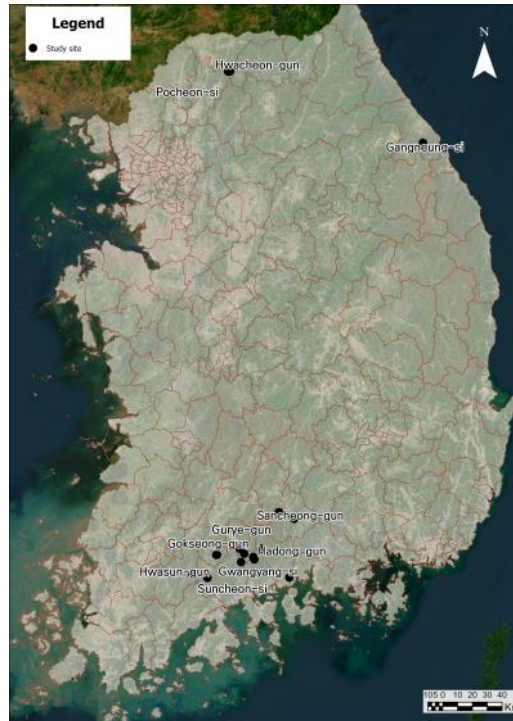


Figure 1. The location map of the surveyed plots in study site.

이용하였으며(Korea Fern Society, 2005; Korea National Arboretum, 2008; Park, 2009; Cho et al. 2016; Korea National Arboretum, 2017; Korea National Arboretum, 2020) 학명과 국명은 국가표준식물목록(Korea National Arboretum, 2023)에 준하였다.

3. 분석 방법

식생 분석에 적절한 방형구의 수가 조사되었는지 검증하기 위하여 종풍부도의 Jackknife 분석 결과를 이용하였다. Jackknife 분석은 비모수적 표본수가 크지 않을 때 사용되는 방법으로 추정량에 비해 모수에 빨리 수렴하는 특징을 가진다(Kang, 2002)며 Jackknife는 종수의 추정 방법 중 하나로 실측된 데이터에 대한 결과의 복제로 간단하게 종풍부도를 추정할 수 있기 때문에 적절한 표본구 수에 대한 누적되는 종수의 추정이 가능하다(Chao et al. 2005).

40개 표본점에서 출현한 식물종을 대상으로 군집 분류를 위하여 클러스터 분석(Cluster analysis)을 수행하였다. 거리척도는 Sørensen method, 군집 linkage는 Ward's method를 이용하였다(McCune and Grace, 2002; McCune and Mefford, 2006). 클러스터 분석시 적정 군집의 수를 판별하기 위하여 Indicator species analysis를 진행하였으며, p-value가 유의적인 ($p < 0.05$) 종수가 가장 많으면서 해당 지표종의 p-value가 가장 낮은 수치를 지니는 그룹수를 적정 군집 수로 정의하였으며 (McCune and Grace, 2002; McCune and Mefford, 2006). 지표값 검정은 4,999회의 몬테 카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)로 분석하였다(Dufrene and Legendre, 1997).

군집 간 종조성의 이질성 판단을 통한 군집 분류 검증을 위하여 MRPP(Multi-Response Permutation Procedures) 분석을 하였으며 거리 척도는 Sørensen의 방법을 사용하였다(McCune and Grace, 2002). 군집 내 조사구의 분포 특성을 파악하기 위해 NMS(Non-metric Multidimensional Scaling) 분석을 사용하였다. 그 후 높은 R^2 (설명력)의 상위 축 순위 2개를 선정하여 2차원 상에 배열하였다, NMS 분석은 상대 척도를 이용하면서, 생태계의 상대적 불연속성의 가능성이 높은 비모수 데이터에 분석이 유리한 방법이다 (McCune and Mefford, 2006). NMS 분석에 이용된 주요 환경요인으로는 수관열림, 임내광량, 지형지수(TPI, Topographic Position Index), 지형습윤지수(TWI, Topographic Wetness Index), 사면방위, 해발고도, 경사, 유기물, 석력함량, pH, 전기전도도, 치환성칼륨, 치환성칼슘, 치환성마그네슘, 치환성나트륨, 양이온치환용량, 치환성알루미늄, 모래함량, 미사함량, 점토함량, 종풍부도, 종다양도이다.

TWI와 TPI는 DEM(Digital Elevation Model)을 기반으로 추출하였다. 획득한 DEM 원자료는 DEM 생산 과정에서 오류가 발생할 수 있어 오류 격자 추출 후, 주변 격자를 이용하여 보정

을 수행하는 'Fill' Tool을 통해 오류가 제거된 DEM을 생산하였다. 이를 기반으로 TWI 및 TPI를 추출하였다. TWI는 특정 지점의 국부 경사면 상에서 특정 지점을 향해 흐르는 수분의 측정치로 정의된다. 이에 국부 경사 수준이 증가하거나 집수 면적이 낮을수록 토양 수분이 적으며 반대로 국부 경사 수준이 낮아지거나 집수면적이 높을수록 토양이 머금은 수분 조건이 양호함을 의미한다(Petroselli et al. 2013). TPI는 지형적 특성을 이용하여 능선부 및 계곡부 형태의 정량적 수치를 제공하며, 지수 값이 음수일수록 계곡부(오목한 지형)이며, 양수일수록 능선부(볼록한 지형)의 형태를 표현한다(Zwolinski and Stefańska 2015).

사면방위는 사면방위를 라디안 각도로 변환시킨 후, 코사인 함수에 적용하여 -1에서 1사이의 수치로 변환하였다. 즉, 1에 가까울수록 북쪽 사면이며 -1에 가까워질수록 남쪽 사면을 의미한다.

종풍부도의 경우 조사구 내의 출현종수로 정의하였으며, 종다양도는 Shannon의 지수를 이용하였다(Shannon, 1949). TPI 및 TWI 지수는 Arcgis (10.8 ver.)의 Arctoolbox 내 옵션을 이용하여 40개 조사구의 정보를 확인하였다.

임내광량 및 수관열림도의 경우 조사구 내 중앙에서 지면으로부터 1.2m 높이 및 수평을 유지하여 북쪽을 향하여 어안렌즈 촬영을 수행하였으며, 햇빛에 의한 오차를 최소화하기 위하여 오후 3시~6시 사이 또는 흐린날 수관을 촬영하였다. 어안렌즈 촬영 사진은 Gap Light Analyzer (2.0ver.)를 이용하여 분석하였다.

토양 채취는 조사구 내 유기물층을 제거하고 10~20cm 이내의 토양을 약 400cc 채취한 후 Table 1의 항목에 따라 토양 이화학적 성질을 분석하였다. 채취한 토양시료는 한국농업기술진흥원에 분석을 의뢰하였다.

III. 결과 및 고찰

Table 1. Analysis content of soil properties.

Contents	Index	Methods
Physical	Contents of sand, silt, clay	Hydro-meter
	Rock content	The soil particle size analysis method
Chemical	pH	pH-meter
	organic matter	Elemental analyzer
	Exchangeable cation	Atomic absorption spectroscopy
	Cation Exchange Capacity	ion exchange capacity determination and Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy
	Electrical conductivity	EC-meter
	Exchangeable aluminum	After extraction of 1MKCl, Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy

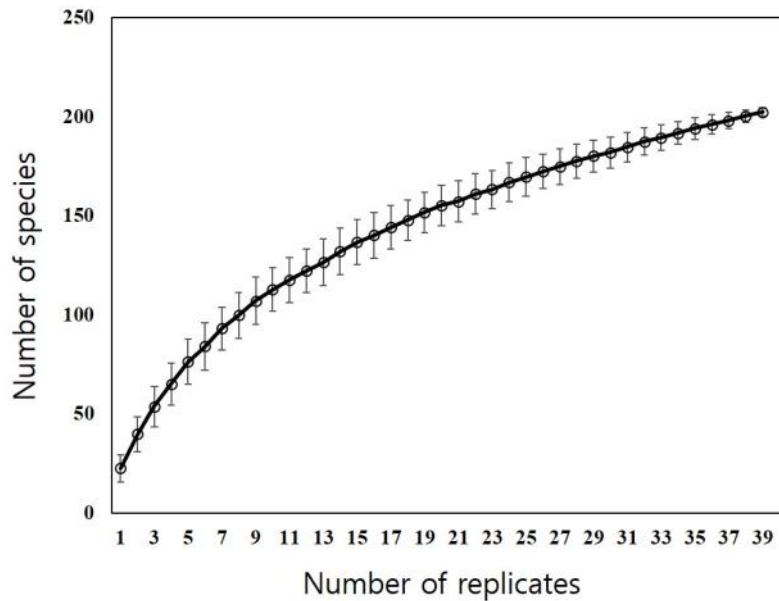


Figure 2. Estimation of species richness in *Corylopsis coreana* habitats (Jackknife 1 estimator was used).

1. 종수추정

종풍부도의 Jackknife 종수 추정 분석 결과 (Figure 2), 상층 및 하층 출현종의 기울기는 안정화되는 것으로 분석되었다. Jackknife 분석은 비모수적 표본수가 크지 않을 때 사용되는 방법으로 추정량에 비해 모수에 빨리 수렴하는 특징을 가진다(Kang, 2002). Jackknife는 종수의 추정 방법 중 하나로 실측된 데이터에 대한 결과의 복제로 간단하게 종풍부도를 추정할 수 있기

때문에 적절한 표본구 수에 대한 누적되는 종수의 추정이 가능하다(Chao et al. 2005). 종수 추정을 통한 히어리 숲의 식생구조 조사를 위한 적절한 조사구가 설치되었다고 판단된다.

2. 군집분류

적정 군집의 수를 파악하기 위하여 각 군집 수별로 Indicator Species Analysis를 분석하였다. 분석 결과, 4개의 군집에서 지표종이 6개, 도출된 지표종의 총 p-value의 합이 0.0354로 도

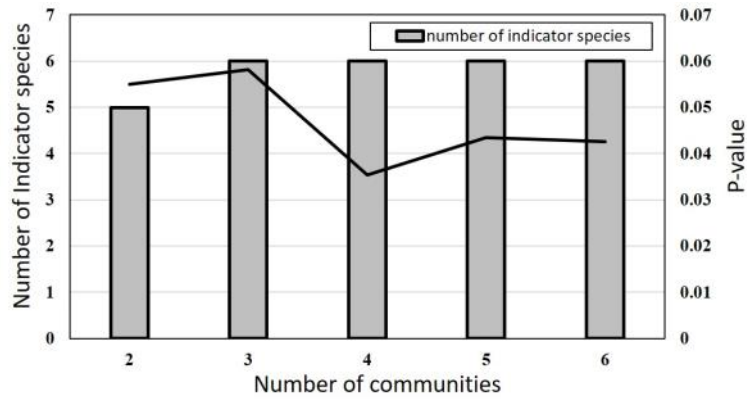


Figure 3. Appropriate number of vegetation communities in *Corylopsis coreana* habitats (Indicator species analysis was used).

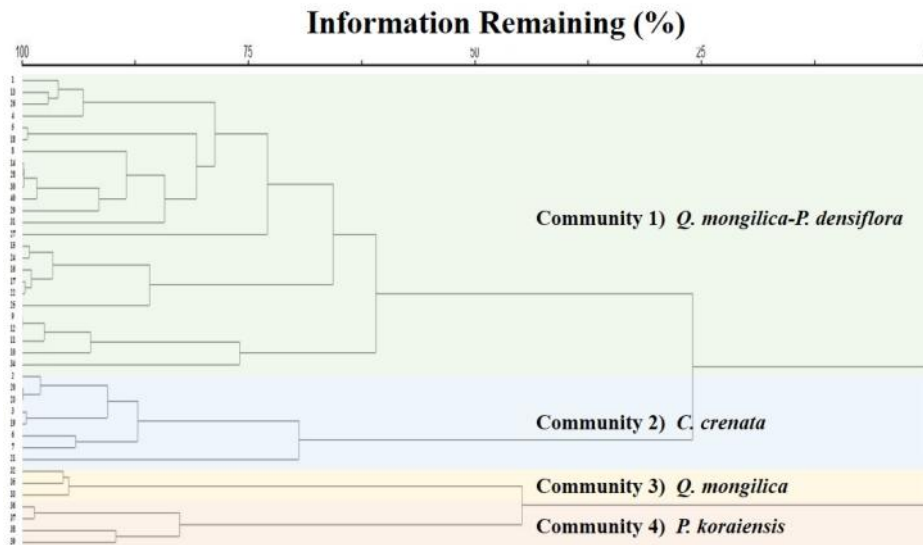


Figure 4. Dendrogram for communities of *Corylopsis coreana* habitats.

출되어 히어리 숲의 적정 군집은 4개로 판정하였다(Figure 3).

군집 분류를 위한 클러스터 분석 결과 신갈나무-소나무 군집(QmPd), 밤나무 군집(Cc), 신갈나무 군집(Qm) 그리고 잣나무 군집(Pk) 총 4개의 군집으로 나누어졌다. 신갈나무-소나무 군집과 신갈나무 군집의 경우 이차림 형태의 종조성을 밤나무 군집과 잣나무 군집은 조림지 특성이 나타나는 것으로 분류되었다(Figure 4). 가장 대표적인 신갈나무-소나무 군집은 전남 순천시 지

역을 중심으로 대부분 전남 및 경남 지역에 분포하고 있었으며, 강원 강릉시와 화천군에는 소규모로 분포하고 있었다. 밤나무 군집의 경우 경남 하동군과, 전남 광양시, 구례군으로 우리나라의 남부지역에 분포하는 군집으로 분포하였으며, 순림 형태의 신갈나무 군집과 잣나무 군집의 경우 강원도 화천군에 집중되어 우리나라 강원북부 지역에 분포하는 것으로 분석되었다.

각 군집 간 종조성의 이질성 검증을 위하여 MRPP 분석 결과 모든 군집 간 $p < 0.01$ 이하로

Table 2. Results of MRPP-test among 4 communities.

Communities compared	Test statistics-T	p
QmPd vs. Cc	-9.57008	P<0.001
QmPd vs. Qm	-2.68229	
QmPd vs. Pk	-5.08493	
Cc vs. Qm	-6.0309	
Cc vs. Pk	-6.83877	
Qm vs. Pk	-3.41724	

Table 3. Site description and information among communities

communities	Altitude*	Slope*	TPI ^{ns}	TWI ^{ns}	Aspect
QmPd	426.3±62.3 ^{ab}	14.4±1.2 ^b	-1.00±1.37	7.84±0.61	N
Cc	270.3±82.4 ^b	8.5±2.3 ^b	-5.60±0.60	9.62±1.15	NE
Qm	713.7±2.2 ^a	36.9±0.7 ^a	3.25±6.50	7.11±0.85	NE
Pk	724.0±7.8 ^a	35.4±0.5 ^a	-5.42±3.69	7.47±1.56	E

(ns: non significant, *: significant difference at p<0.05, one-way ANOVA, tukey's post hoc).

통계적 유의성이 인정되어, 각 군집 간 종조성은 이질성이 있는 것으로 판단된다(Table 2).

히어리의 분포 및 종조성과 군집 구조의 선형 연구에서는 히어리 자생지의 상층 우점식생이 대부분 소나무림이 었으나(Lee et al. 1999; Jang et al. 2008; Kim et al. 2014) 본 연구에서는 신갈나무와 소나무의 군집이 대부분으로 분석되어 혼효림 형태로 식생구조가 변화하였다. 국내 소나무와 참나무류의 혼효림은 우리나라를 대표할 수 있는 이차림(secondary forest)의 식생 형태이며, 양수인 소나무가 우선적으로 우점하다가 점차 졸참나무, 신갈나무 등 참나무류가 맹아 갱신을 진행하는 식생구조로 변화한다(Lee et al. 2010; Byeon et al. 2020). 본 연구대상지 도 시간의 흐름에 따른 식생구조의 변화를 거치면서 수관안정화가 진행되고 있으며, 소나무류는 실생묘 상태의 개체가 성장하였으며, 최근 신갈나무 등과 같은 참나무류가 근주 맹아에서 성장해온 개체가 교목층으로 발달하는 식생구조로 변화하고 있는 것으로 판단된다.

군집 간 지형 특성을 확인한 결과 Table 3과 같다. 해발고도는 신갈나무-소나무 군집 426.3±

62.3m, 밤나무 군집 270.3±82.4m, 신갈나무 군집 713.7±2.2m, 잣나무 군집 724.0±7.8m로, 각 군집 간 해발고도의 통계적 유의성이 인정되었으며(p<0.05) 잣나무 군집에서 가장 높은 해발고도로 분석되었다. 경사도는 신갈나무-소나무 군집 14.4±1.2°, 밤나무 군집 8.5±2.3°, 신갈나무 군집 36.9±0.7°, 잣나무 군집 35.4±0.5°로 잣나무 군집과 신갈나무 군집에서 사면경사가 가파른 지형으로 분석되었다.

TPI 지수의 경우 양의 값에 가까울수록 상대적으로 산정 및 사면상부에 위치하며, 음의 값일수록 계곡부 및 사면하부의 지형을 가진다. 군집 간 TPI 지수의 통계적 유의성은 인정되지 않았으나, 밤나무 군집에서 상대적으로 계곡부 지형 및 사면 상부에 위치하는 것으로 나타났다. TWI 지수의 경우 신갈나무-소나무 군집 7.84±0.61, 밤나무 군집 9.62±1.15, 신갈나무 군집 7.11±0.85, 잣나무 군집 7.47±1.56의 수치로 분석되었다. TPI 및 TWI 지수에서 군집 간 통계적 유의성은 인정되지 않은 것으로 분석되었다 (p>0.05). 사면 방위는 신갈나무-소나무 군집 북사면, 밤나무 군집과 신갈나무 군집은 북동사

Table 4. Soil properties of physical characteristics

Communities	Organic matter (%) ^{ns}	Rock (%) [*]	Sand(%) ^{ns}	Silt(%) ^{ns}	Clay(%) ^{ns}	soil texture
QmPd	9.50±17.18	36.53±2.73 ^a	47.6±2.9	40.4±2.1	12.0±1.0	loam
Cc	12.76±26.24	43.2±5.05 ^a	41.4±3.9	44.4±3.7	14.2±0.9	loam
Qm	6.57±7.81	15.6±0.76 ^b	37.3±3.3	46.3±3.3	16.4±1.4	loam
Pk	7.84±7.02	22.98±2.39 ^{ab}	45.5±1.8	42.6±1.9	12.0±1.3	loam

(ns: non significant, *: significant difference at $p < 0.05$, one-way ANOVA, tukey's post hoc).

면 그리고 잣나무 군집은 동사면으로 분석되어 대부분 북사면의 사면 방위로 분석되었다. 히어리 유묘의 생육은 사면 방위와의 관계가 있는데, 북사면의 적습한 환경이 유묘의 활착과 생육에 유리한 환경 조건으로 작용하여 히어리 개체군의 갱신이 양호할 것으로 판단된다(Lee et al. 2007; Kim et al., 2014).

3. 토양 이화학적 성질

토양의 물리적 성질을 분석한 결과 Table 4와 같다. 유기물 함량의 경우 신갈나무-소나무 군집 9.50±17.18%, 밤나무 군집 12.76±26.24%, 신갈나무 군집 6.57±7.81%, 잣나무 군집 7.84±7.02%로 분석되었다. 석력함량은 신갈나무-소나무 군집 36.53±2.73%, 밤나무 군집 43.2±5.05%, 신갈나무 군집 15.6±0.76%, 잣나무 군집 22.98±2.39%로 분석되었다. 석력 함량에서 군집 간 유의적인 차이가 나타났으며($p < 0.05$), 본 조사구의 대부분을 차지하는 신갈나무-소나무 군집 및 밤나무 군집에서 타 군집에 비해 많은 석력함량으로 분석되었다. 토성의 경우 모든 군집에서 양토(loam)으로 분석되었다.

토양의 유기물은 토양의 이화학적 성질의 변화에 영향을 주는 주 요인이며 임지 생산력에 필요한 질소, 유효인산 및 양이온치환용량 등의 개선과 관련 있다(Brady, 1990). 산림토양 내 유기물 함량의 일반적인 수치가 약 4.5%이나, 히어리 개체군에서는 대부분 높은 수치로 나타났다. 2008년도 히어리 개체군의 조사에 따르면, 피나무 우점군 9.18%, 소나무 우점군 5.51%, 비

목나무 우점군에서 7.08%로 평균 7.26%의 유기물 함량이었으나 본 연구에서는 약 9.17%로 나타나 약 1.90%의 유기물 함량이 증가한 것으로 판단된다(Jang et al. 2008). 이는 예전 소나무림이 우점한 침엽수림에서 점차 참나무류가 유입되어 혼효림으로 천이가 진행되어 활엽수 개체군의 발달이 토양 내 유기물층의 유입으로 이어진 것으로 판단된다.

토양 화학적 성질을 분석한 결과 Table 5와 같다. pH는 신갈나무-소나무 군집 4.28±0.07, 밤나무 군집 3.87±0.12, 신갈나무 군집 4.29±0.06, 잣나무 군집 4.12±0.07로 분석되었으며 전기전도도는 신갈나무-소나무 군집 0.43±0.05 ds/m, 밤나무 군집 0.55±0.09 ds/m, 신갈나무 군집 0.25±0.04 ds/m, 잣나무 군집 0.42±0.03 ds/m으로 분석되었다 두 항목 모두 군집 간 통계적 유의성은 나타나지 않았다($p > 0.05$). 국립산림과학원(2023)에서 발표한 우리나라 산림토양 평균 약 4.6으로 나타난 것에 비하여 다소 낮게 나타났으며 전기전도도의 경우에는 밤나무 군집에서 가장 높게 나타났으나 양호한 것으로 분석되었다.

치환성양이온 분석 결과 칼륨함량에서 통계적 유의성이 나타났으며 밤나무 군집에서 0.362±0.062 cmol⁺/kg으로 상대적으로 가장 높은 수치로 분석되었다. 나머지 치환성양이온 CEC에서는 군집 간 통계적 유의성은 나타나지 않은 것으로 분석되었다($p > 0.05$). 토양오염의 척도로 나타나는 알루미늄의 경우 신갈나무-소나무 군집 2.486±0.370 mg/kg, 밤나무 군집 4.041±0.468 mg/kg, 신갈나무 군집 3.560±0.508 mg/kg

Table 5. Soil properties of chemical characteristics

Communities	pH ^{ns}	EC (ds/m) ^{ns}	K ^{+ *} (cmol ⁺ /kg)	Ca ^{2+ ns} (cmol ⁺ /kg)	Mg ^{2+ ns} (cmol ⁺ /kg)	Na ^{+ ns} (cmol ⁺ /kg)	CEC ^{ns} (cmol ⁺ /kg)	Al ^{2+ *} (mg/kg)
QmPd	4.28± 0.07	0.43± 0.05	0.271± _{ab} 0.025	1.891± 0.470	0.580± 0.135	0.053± 0.008	30.069± 2.791	2.486± _b 0.370
Cc	3.87± 0.12	0.55± 0.09	0.362± _a 0.062	0.646± 0.119	0.442± 0.168	0.061± 0.015	35.492± 4.482	4.041± _{ab} 0.468
Qm	4.29± 0.06	0.25± 0.04	0.153± _b 0.012	0.251± 0.022	0.029± 0.007	0.026± 0.001	28.720± 3.023	3.560± _{ab} 0.508
Pk	4.12± 0.07	0.42± 0.03	0.133± _b 0.010	0.480± 0.125	0.055± 0.095	0.034± 0.003	29.650± 1.105	5.227± _a 0.342

(ns: non significant, *: significant difference at p<0.05, one-way ANOVA, tukey's post hoc).

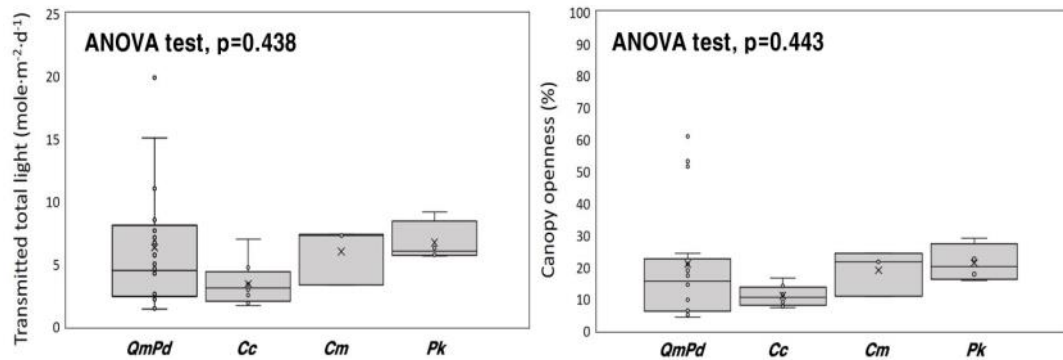


Figure 5. Box plots of transmitted total light and canopy openness

그리고 잣나무 군집 5.227±0.342 mg/kg으로 분석되었으며 통계적 유의성이 있는 것으로 분석되었다(p<0.05). 밤나무 군집 및 잣나무 군집은 조림지 형태의 식생구조를 지닌 곳으로 이차림 군집과는 상이한 치환성알루미늄 함량 정도로 확인되었다.

전반적인 양이온 치환용량과 치환성 양이온을 살펴보면 경사도가 비교적 완만한 신갈나무-소나무 군집 및 밤나무 군집에서 높게 나타났다. 산림 내 사면경사는 토양의 이화학적 성질에 영향을 미치며 이것은 낙엽층의 생산 및 분해와 연관이 있다(Brunaker et al. 1993). 비교적 계곡부에 위치하며 경사도가 낮은 지형은 경사가 급한 지역에 비하여 토양 유기물 함량이 높고, 토양입

단의 안정성이 높은 특징을 보인다(Pierson and Mulla, 1990). 이는 산림토양의 입단이 중력 방향으로 이동하기 때문이며 경사가 급할수록 영양물질을 보유하고 있는 토양입자가 유실되기 때문이며 경사도가 낮을수록 산림토양 내 양분을 보유하고 있는 토양입자가 집중된다(Malo et al. 1974; Gregorich and Anderson, 1985).

4. 임내 광량 및 수관 열림도

국내 히어리 군집의 임내 광량 조건에 의한 식생구조를 파악하기 위하여 어안렌즈를 통한 수관 열림도 측정을 수행하였다(Figure 5). 임내 광량의 경우 신갈나무-소나무 군집 6.32±0.24 mole·m⁻²·d⁻¹ 밤나무 군집 3.42±0.61 mole·m⁻²·d⁻¹

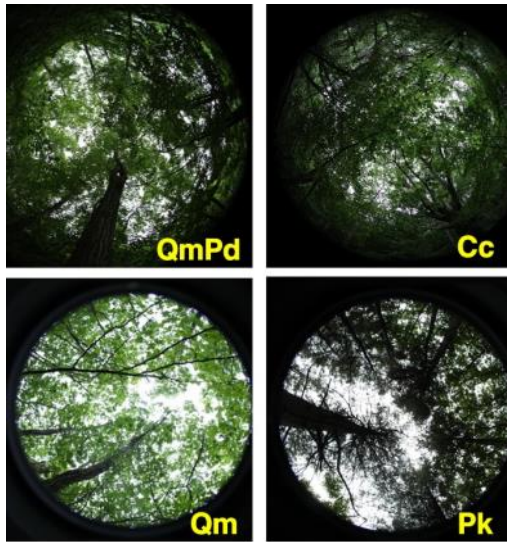


Figure 6. Canopy photograph taken by fisheye lens for each community.

신갈나무 군집 $6.00 \pm 1.33 \text{ mole} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 잣나무 군집 $6.71 \pm 0.83 \text{ mole} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 분석되었으며, 수관열림도의 경우 신갈나무-소나무 군집 $21.02 \pm 0.92\%$, 밤나무 군집 $11.02 \pm 1.15\%$, 신갈나무 군집 $18.98 \pm 4.10\%$ 그리고 잣나무 군집에서 $21.27 \pm 2.94\%$ 로 분석되었다. 두 항목의 군집 간 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 밤나무 군집에서 수관열림도가 가장 낮게 나타났으나, 대부분 히어리 자생지의 상층 임관은 우거져 있는 곳이 대부분으로 확인되었다. 히어리는 수관이 울폐된 지역에서 근주에서부터 맹아가 발생하여 개체군을 형성하는 경향이 있는데(Lee et al. 1999). 본 연구조사지 내 연구 결과가 히어리 개체군의 생육 특성을 뒷받침하는 것으로 판단되었다.

5. Ordination 및 종다양성

군집 간 NMS ordination 분석을 시행한 결과 Figure 7과 같다. 축 1($R^2=0.424$)과 2($R^2=0.184$)에서 가장 높은 설명력으로 종합설명력 0.608로 확인되었다. 종조성의 이질성을 확인한 결과, 국내 히어리 자생지의 가장 대표적인 군집인 신갈

나무-소나무 군집에서 종조성이 가장 다양한 것으로 나타났으며, 신갈나무-소나무 군집과 밤나무 군집이 유사한 종조성 공간 배열로 나타났으며, 신갈나무 군집 및 잣나무 군집과는 이질적인 종조성 분석되었다.

Ordination 2차원 공간 배열에서 상관관계가 나타난 환경인자는 종다양성 지수(x1), 모래함량(x2), 해발고도(x3), 경사도(x4), 치환성알루미늄(x5), 사면방위(x6)로 나타났다. 1축은 x1~x5, 2축은 x6와의 연관성이 있는 것으로 분석되었다. 잣나무 군집은 치환성알루미늄, 해발고도, 경사와 양의 상관관계이며, 종다양성과 모래함량과는 음의 상관관계로 나타났다. 국내 히어리 군집은 북쪽사면과의 상관관계로 나타나 조사지 사면방위가 대부분 북사면인 것과 동일한 연구 결과를 도출하였다. Jang et al. (2008)이 수행한 국내 히어리 자생지 ordination 분석 결과 해발고도와 상관성이 있다는 점에서 본 연구와 유사한 연구 결과를 도출하였다. 해발고도는 생태계 내 식물의 종조성 구조에 큰 영향을 끼치는 지형 인자 중 하나이다(Hawkins and diniz-Filho, 2006; Thorsten, 2013). 해발고도의 차이에 따라 대기온도가 변화함으로써 식물체의 호흡 및 광합성 등 생리대사에 영향을 미치고 결국 식생 내 생물량의 변화로 이어진다. 일반적으로 해발고도가 높아질수록 생물량이 감소하는 경향으로 나타난다(David and Robert, 2007). 본 연구에서 히어리 자생지의 해발고도 분포는 56m~1,008m이며, 해발고도 분포가 넓은 식물종은 생육의 내성 한계(tolerance range)가 확장되어 있어 대기 온도에 대한 민감성이 낮다(Stevens, 1992). 즉, 넓은 수직적 분포역을 가지고 있는 것은 히어리 개체군은 대기의 기온 변화에 넓은 내성범위를 가지고 있음을 의미한다. 우리나라를 대표하는 식생인 소나무숲과 신갈나무숲은 수평적, 수직적 분포역이 넓게 나타나는데 이들 식물종은 과거부터 비생물요인과 여러 식물종과의 생태적 지위 분포의 중복이 빈번

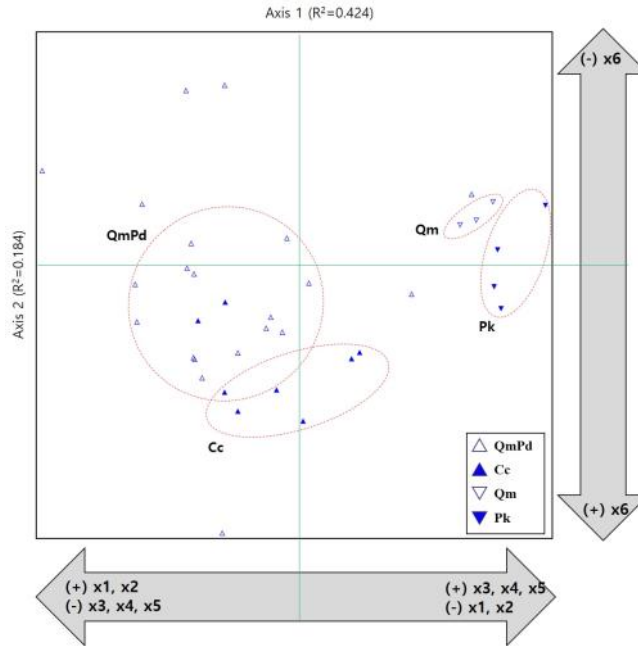


Figure 7. NMS ordination for each community in *Corylopsis coreana* habitats (x1: Species diversity index; x2: Sand content; x3: Altitude; x4: Slope degree; x5: Exchange Al²⁺; x6: Northness).

해진 환경에 장기간동안 적응해왔기 때문이다 (Seo et al. 2013; Chun and Lee, 2013),

군집별 종다양성 분석 결과 Figure 8과 같다. 종풍부도는 신갈나무-소나무 군집 27.04±1.38, 밤나무 군집 22.63±2.52, 신갈나무 군집 20.00±4.35, 잣나무 군집 23.50±3.32로 분석되어 신갈나무-소나무 군집에서 가장 높은 종풍부도로 분석되었으나, 유의적인 통계량으로 분석되지 않았다(p>0.05). 종다양도의 경우 신갈나무-소나무 군집 2.84±0.05, 밤나무 군집 2.51±0.14, 신갈나무 군집 1.65±0.21, 잣나무 군집 2.11±0.13로 분석되었으며, 통계적 유의성이 인정되었다(p<0.05). 균재도는 신갈나무-소나무 군집 0.872±0.010, 밤나무 군집 0.814±0.022, 신갈나무 군집 0.557±0.028 그리고 잣나무 군집에서 0.675±0.021로 나타나 신갈나무-소나무 군집에서 가장 높은 균재도로 나타났으며 통계적 유의성이 인정되었다(p<0.05).

온대낙엽활엽수림의 식생 특징은 대부분 소

수의 식물종에 의하여 우점되는 경향이 있는데 온대 식생대의 이차림에서 천이 이후 하나 또는 두 상층식생에 있는 목본식물의 상호관계가 식생의 우점 정도에 큰 영향을 미친다(Langford and Buell, 1969). 수관열림이 적은 히어리숲과 같이 안정된 수관의 구조를 나타내는 이차림은 숲 틈에 의한 크고 작은 교란이 반복되며 이러한 현상은 종다양성의 천이 과정에 영향을 미친다(Edward et al. 1989; Park et al. 2019). 본 연구대상지의 경우에도 이차림의 종조성 변화에 관한 선행연구를 뒷받침하고 있었는데, 신갈나무-소나무 군집에서 대부분 수관이 안정된 지역이 다수였지만 개체목 간 경쟁으로 소규모 숲 틈이 형성된 곳이 발견되었으며 이에 하층식생 구조가 발달하고 있었다. 온대림에서의 종다양성은 교목층을 구성하는 식물보다 하층식생에 의하여 많은 영향을 받으므로(Wilson, 1992; Magurran, 2004) 관목성 식물인 히어리를 포함한 주변 하층식생의 종조성의 변화가 히어리 숲

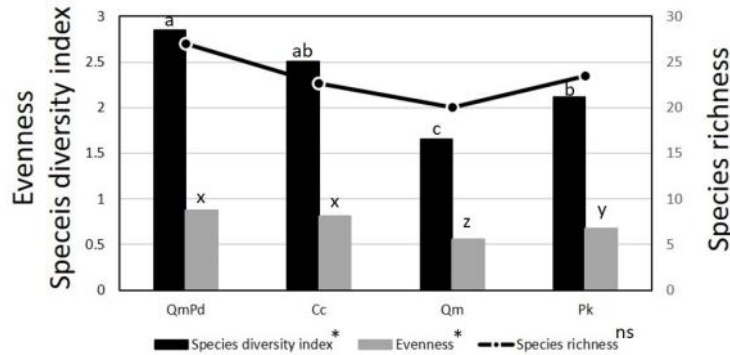


Figure 8. Results of Shannon's species diversity index, evenness and species richness in *Corylopsis coreana* habitats (ns: non significant, *: significant difference at $p < 0.05$, one-way ANOVA, tukey's post hoc).

전체의 종다양성과 숲의 생산력에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

균재도는 군집 내 다양한 종들이 특정 지역에서 동등하고 고르게 분포될 때 증가하고 반대의 경우에는 감소한다(DeJong, 1975; Norman et al. 2005). 균재도 지수가 낮은 값을 가질 때 특정 식물종이 우점하는 동안 일정 공간 내 식물의 생육에 필요로 하는 자원의 가용성이 부족함을 의미하고 이는 곧 생산성을 감소하는 것으로 해석된다(Norman et al. 2005). 본 연구에서는 히어리 숲의 대부분을 차지하는 신갈나무-소나무 군집에서 높은 0.85 이상의 균재도로 나타나 임분 내 생산량이 상대적으로 양호하며 이로 인한 생태계 요인 간 물질순환이 원활하였을 것으로 판단된다. 그러나 상대적인 균재도 지수가 낮은 신갈나무 군집과 조림지인 잣나무 군집에서는 자연적인 임지생산력이 다소 감소되었던 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구의 목적은 국내 히어리 자생지의 식생 구조와 환경요인 간의 상관관계를 파악하여 향후 보전에 필요한 기초자료를 제공하는 것이다. 이러한 보전 대책은 다양한 생태계 요인 간 상호관계에 대한 종합적 결론이 중요하다. 히어리

자생지의 상층 군집은 과거 소나무림이 우점하던 것과 달리 본 연구에서는 신갈나무-소나무림의 형태로 혼효임분을 지니고 있었는데, 천이 과정에 따른 상층식생의 변화로 판단되었으며 참나무류와 같은 활엽수 개체군 성장은 임지생산력을 높이고 토양 환경을 비옥하게 조성할 것으로 판단된다. 히어리의 토양은 대부분 양토로 배수가 용이하나 점토 함량이 다소 낮아 지하부에서 식물체 내 수분 스트레스를 받을 위험이 있었으나, 복사면 또는 완만한 경사지와 같이 지형 내 상대습도가 높게 지속되는 환경 조건 내 서식처를 형성하여 개체군을 유지하는 것으로 판단되었다.

특히 한반도의 106년간 기후변화 중 하절기가 약 19일 증가하며 온난한 몬순 기후로의 경향성이 증가하면서 (National Institute of Meteorological Sciences, 2018) 온대남부 지역의 대규모 서식하고 있는 히어리 자생지 변화에 큰 영향을 미칠 것이다.

일반적으로 난온대 식물 및 남방계 식물의 분포는 대기 기온 상승에 따라 위도상 북상한다. 또한 히어리 개체군의 경우 본 조사에서 수직적 분포의 다양성을 확인할 수 있었으며, 기후변화에 따른 내성범위가 타 식물종에 비하여 높을 것으로 판단되어, 대기온도의 변화에 따른 적응력이 다소 안정적인 식물 집단으로 판단된다.

결국 현재 히어리 개체군에 분포를 미치는 영향은 조림 및 등산객 등 인간의 활동으로 판단되며 특히 본 조사에서 잣나무 조림지 군집 내 토양오염을 확인 할 수 있었다. 이러한 증감의 예측은 사실상 생태계를 해석하기에는 단기적이며 일부의 해석으로 장기적인 개체군 존속에 대한 원인으로 단언하기는 사실상 어려운 점이 있다. 그러나 이러한 인간의 활동이 지속되거나 연속적으로 반복될 경우 서식처 파편화에 의한 개체군의 감소는 불가피하다. 장기적 측면에서의 보전 활동을 위하여 필요한 것은 특정 개체군 분포의 예측이다.

자생지를 직접 현장에서 모니터링한 결과를 기반으로 경관생태 단위에서의 중분포모델링 연구가 필요하다. 과거에는 단일 모델링을 통한 분석으로 예측의 불확실성이 존재하고 있으나, 최근 2010년도 전후를 기점으로 딥러닝 및 머신러닝 기술의 발달과 응용범위가 산림생태계에도 미치지면서 여러 모델링을 종합하여 해석하는 앙상블 모델(ensemble model)을 통한 연구가 활발히 진행 중이다. 이를 통하여 예측 기술의 명확성을 증대시켜 기후변화에 따른 생물다양성 보전의 효율성과 면밀성을 증대시켜야 한다. IPCC에서 제시하는 새로운 기후변화 적응대책에 따른 신기후변화 시나리오에 기반한 서식처 분포 변화 및 위협 요인에 대한 예측은 필수적이며, 모델링의 정확성을 증대시키는 것은 현장 조사를 통한 기초자료 구축이 우선적이다. 본 연구의 후속 연구로 진행 중이다. 최근 GIS 및 RS 학문이 다분야에 걸쳐 활용되는 이유는 기후 위기의 대규모화 및 가속화로 인한 생태계 모니터링의 공간적 범위가 개체군 및 군집을 넘어선 생태계 전반으로 진행되기 때문이다. 이러한 기후변화의 확장은 생태계 보전연구의 방향에 영향을 주는데 충분하다. 그러나 이러한 경관생태학적 측면의 분석에서는 현장 조사를 통한 원자료 분석이 뒷받침되어야 비로소 생태계를 이해하는 데 도움이 된다. 즉, 경관생태학적

측면과 현장 모니터링의 학문이 결합된 형태의 생태 정보 해석이 중요하며, 이러한 과학적 근거를 뒷받침하여 효율성 있는 보전 대책을 마련하는 것이 필요하다.

References

- Allan R.P. · E. Hawkins · N. Bellouin and B. Collins. 2021. IPCC, 2021: summary for Policymakers. In: V. Masson-Delmotte · P. Zhai · A. Pirani · S.L. Connors · C. Péan · S. Berger · N. Caud · Y. Chen · L. Goldfarb · M.I. Gomis · M. Huang · K. Leitzell · E. Lonnoy · J.B.R. Matthews · T.K. Maycock · T. Waterfield · O. Yelekçi · R. Yu R and B. Zhou (eds.) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 3-32.
- Brady N.C. 1990. The nature and properties of soil. Newyork: Macmillan.
- Braun-Blanquet J. 1965. Pflanzensoziologie, Grundzfige der Vegetationskunde, 3rd ed. New york: Springer.
- Brubaker S.C. · A.J. Jones · D.T. Lewis and K. Frank. 1993. Soil properties associated with landscape positions. Soil Science Society of America Journal 57: 235-239.
- Byeon J.G. · B.J. Park · S.H. Joo and K.I. Cheon. 2020. Community Structure and Species Composition of *Pinus densiflora* for. *erecta* Forest in Mt. Cheonchuk. Korean journal of resources 33(1):1-14. (in korean)
- Chao A. · R.L. Chazdon · R.K. Colwell and T.J. Shen. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition

- with incidence and abundance data. *Ecology Letters* 8: 148-159.
- Cho Y.H. · J.H. Kim and S.H. Park. 2016. Grasses and Sedges in South Korea. Seoul: Geobook. (in Korean)
- Chun J.H. and C.B. Lee. 2013. Assessing the Effects of Climate Change on the Geographic Distribution of *Pinus densiflora* in Korea using Ecological Niche Model. *Korean Journal of agricultural and forest meteorology* 15(4): 219-233. (in Korean)
- Costanza R. · R. d'Arge · R. de Groot · S. Farber · M. Grasso · B. Hannon · K. Limburg · S. Naeem · R.V. O'Neill · J. Paruelo · R.G. Raskin · P. Sutton and M. Van den Belt. 1998. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* 25(1): 3-15.
- David A.C. · B.A. Robert. 2007. Effect of size, competition and altitude on tree growth. *Ecology* 95: 1084-1097.
- DeJong T.M. 1975. Comparison of three diversity indices based on their components of richness and evenness. *Oikos*. 26: 222-227.
- Dubuis A. · J. Pottier · V. Rion · L. Pellissier · J.P. Theurillat and A. Guisan. 2011. Predicting spatial patterns of plant species richness: a comparison of direct macroecological and species stacking modelling approaches. *Diversity and Distributions* 17(6): 1122-1131.
- Edward E.C.C. and T.B. Richard. 1989. Secondary Succession, Gap Dynamics, and Community Structure in a Southern Appalachian Cove Forest. *Ecology* 70(3): 728-735.
- Grandcolas P. · R. Nattier and S. Trewick. 2014. Relict species: a relict concept?. *Trends in ecology & evolution* 29(12): 655-663.
- Gregorich E.G. and D.W. Anderson. 1985. Effects of cultivation and erosion on soils of four toposequences in Canadian prairies. *Geoderma* 36: 343-354.
- HABEL J.C. · T. Assmann · T. Schmitt and J.C. Avise. 2010. Relict species: from past to future. In: *Relict species: phylo- geography and conservation biology*. Berlin: Springer. pp. 1-5.
- Hawkins B.A. · J.A.F. Diniz Filho · C.A. Jaramillo and S.A. Soeller. 2006. Post Eocene climate change, niche conservatism, and the latitudinal diversity gradient of New World birds. *Journal of Biogeography* 33(5): 770-780.
- Jang H.T. · N.C. Kim · M.Y. Kim · H.J. Kwon and H.K. Song. 2008. Vegetation and Soil Properties of *Corylopsis coreana* Population in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 22(6): 609- 615.
- Kang C. 2002. A study of the jackknife estimate. *Journal of Industrial Science and Technology Institute* 34: 325-331. (in Korean)
- Kim J.S. · J.M. Chung · S.Y. Kim · J.H. Kim and B.Y. Lee. 2014. Phytogeographic study on the Holocene hypsithermal relict plant populations in the Korean peninsula. *Korean Journal of Plant Taxonomy* 44(3) 208-221. (in Korean)
- Kim J.W. and Lee Y.G. 2006. Classification and Assessment of Plant Communities. Seoul: World science. (in Korean)
- Kline J.D. 2006. Defining an economics research program to describe and evaluate ecosystem services. Research report to United state Department of Agriculture.
- Korea Fern Society. 2005. Ferns and Fern Allies of Korea. Seoul: Geobook. (in Korean)
- Korea Meteorological Administration. 2023.

- <http://www.kma.go.kr> (2023. 03).
- Korea National Arboretum. 2008. Rare Plants Data Book in Korea. Pocheon: Korea National Arboretum. (in korean)
- Korea National Arboretum. 2010. 300 Target plants Adaptable to Climate Change in the Korea Peninsula. Research report to Korea National Arboretum. (in korean)
- Korea National Arboretum. 2017. Checklist of Vascular Plnats in Korea. Pocheon: Korea National Arboretum. (in korean)
- Korea National Arboretum. 2020. Forest of Korea (VI) Biogeography of Korea: flora of vegetation 2020. Seoul: Sumeungil. (in korean)
- Korea National Arboretum. 2023. <http://www.nature.go.kr> (2023. 05).
- Langford A.N. and M.F. Buell. 1969. Integration, identity, and stability inthe plant association. *Advances in Ecologi- cal Research* 6: 83-135.
- Lee D.K, · K.W. Kwon · J.H. · Kim and G.T. Kim. 2010. Forest Silviculture - sustainable Forest Ecological Management. Seoul: Hyangmunsa. (in Korean).
- Lee E.H. · J.E. Ryu · D.O. Lim · H.L. Choung and J.S. Lee. 2007. Micrometeorological Factors and Restriction to Azimuth Distribution of *Corylopsis coreana* Population. *Korean Journal of Environmental Biology* 25(4): 363-369. (in korean)
- Lee J.H. · H.C. Kang · H.C. Ahn and H.S. Cho. 1999. Vegetation Structure and Sprouting Dynamics of *Corylopsis coreana* Community belong to Korean Endemic Plants. *Korean Journal of Environmental Ecology* 13(3): 280-287. (in korean)
- Lee T.B. 2003a. Coloured flora of Korea Vol. II. Seoul: Hyangmunsa. (in Korean)
- Lee T.B. 2003b. Coloured Flora of Korea. Vol. I. Seoul: Hyangmunsa. (in Korean)
- Lee W.C. and Y.J. Yim. 2002. Plant Geography. Chunchoen: Kangwon National Univer- sity Press. (in Korean).
- Loarie S.R. · P.B. Duffy · H. Hamilton · G.P. Asner · C.B. Field and D.D. Ackerly. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462(7276): 1052-1055.
- Lovejoy T.E. and L. Hannah, 2005, Climate change and biodiversity, Michigan: Yale University Press.
- Magurran A.E. 2004. Measuring biological diversity. Newyork: Blackwell.
- Malo D.D. · B.K. Worcester · D.K. Cassel and K.D. Matzdorf. 1974. Soil-landscape relationships in a closed drainage system. *Soil Science Society of America Journal* 38: 813-818.
- McCune B. and J.B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. Oregon: Gleneden Beach.
- McCune B. and M.J. 2006. PC-ORD. Multivariate analy7sis of ecological data, Version 5.17. Oregon: Gleneden Beach.
- National Institute of Meteorological Sciences. 2018. 100 Years Climate Change Report on the Korean Peninsula. Jeju: National Institute of Meteorological Sciences. (in Korean)
- National Institute of Forest Scieene. 2023. The status of Forest Soil of South Korea Acidifications in 2022. Seoul: National Institute of Forest Scieene. (in korean)
- Newton A.C. 2007. Forest Ecology and Conservation. Newyork: Oxford University Press.
- Norman W.H.M. · M. David · G.L. William and J.B. Wilson. 2005. Functional richness, functional evenness and functional

- divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111: 112-118.
- Oh Y.J. · J.H. Bang and W.K. Paik. 2012. Vegetation characteristics of *Corylopsis gotoana* var. *coreana* community at Mt.Baegun in Pocheon. *Korean Journal of Plant Resources* 25: 447-455. (in Korean).
- Park B.J. · J.J. Kim · J.G. Byeon · K.I. Cheon · S.H. Joo and Y.G. Lee. 2016. The Classification of Forest Community and Character of Stand Structure in Mt. Myeonbong - Focused on Research Forest in Kyungpook National University, Cheongsong-. *Journal of Korean Forest Society* 105(4): 391-400. (in Korean)
- Park S.H. 2016. Illustrations and Photography of Naturalized Plants of Korea. Seoul: Ilchokak. (in Korean)
- Petroselli A. · F. Vessella · C. Lucia · G. Piovesan and B. Schirone. 2013. Ecological behavior of *Quercus suber* and *Quercus ilex* inferred by topographic wetness index (TWI). *Trees* 27: 1201- 1215.
- Pierson F.B. and D.J. Mulla. 1990. Aggregate stability in the Palouse region of Washington: effect of landscape position. *Soil Science Society of America Journal* 54: 1407-1412. (in Korean)
- Seo D.J. · C.Y. Oh · K.S. Woo and J.C. Lee. 2013. A Study on Ecological Niche of *Pinus densiflora* Forests according to the Environmental Factors. *Korean Journal of agricultural and forest meteorology* 15(3): 153-160. (in Korean)
- Shannon C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Illinois: University of Illinois Press.
- Stevens G.C. 1992. The Elevational Gradient in Altitudinal Range: An Extension of Rapoport's Latitudinal Rule to Altitude. *The American Naturalist* 140(6): 893-911.
- Tollefson J. 2020. Why deforestation and extinctions make pandemics more likely. *Nature* 584(7820): 175-177.
- Thorsten K · A. Amparo · K. Jürgen and K. Michael. 2013. Effects of altitude and climate in determining elevational plant species richness patterns: A case study from Los Tuxtlas, Mexico. *Flora* 208: 197-210.
- Westman W.E. 1977. How Much Are Nature's Services Worth?. *Science* 197(4307): 960-964.
- Wilson E.P. 1992. *The Diversity of Life*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Zwolinski Z and E. Stefańska. 2015. Relevance of moving window size in landform classification by TPI. *Geomorphometry for Geosciences* 273-277.