

낙동정맥 내 OECM 적용 가능 지역 발굴을 위한 마을 특성과 서식지 질 비교*

오주형¹⁾ · 김수진²⁾ · 김태수³⁾ · 장갑수⁴⁾ · 전성우⁵⁾

¹⁾국립산림과학원 산림생태연구과 학연협동과정생 · ²⁾국립산림과학원 산림생태연구과 임업연구사
³⁾영남대학교 자연과학대학 생명과학과 박사후연구원 · ⁴⁾영남대학교 자연과학대학 생명과학과 교수
⁵⁾고려대학교 생명과학대학 환경생태공학과 교수

Comparison between village characteristics and habitat quality to application OECM in Nakdong-Jeongmaek*

Oh, Ju-Hyeong¹⁾ · Kim, Su-Jin²⁾ · Kim, Tae-Su³⁾ · Jang, Gab-Su⁴⁾ and Jeon, Seong-Woo⁵⁾

¹⁾Division of Forest Ecology, National Institute of Forest Science, Cooperative program student,

²⁾Division of Forest Ecology, National Institute of Forest Science, Researcher,

³⁾Department of Life Sciences, College of Natural Science, Yeungnam University, Researcher,

⁴⁾Department of Life Sciences, College of Natural Science, Yeungnam University, Professor,

⁵⁾Department of Environmental Science & Ecological Engineering, College of Life Science & Biotechnology
Korea University, Professor.

ABSTRACT

The Jeongmaeks are Korea's unique forest space recognition system that diverged from the Baekdudaegan. The Jeongmaeks are easily exposed to pressure because it is adjacent to the living area. Among them, Nakdong-Jeongmaek has high biodiversity, but damage is accelerating. According to the Convention on Biological Diversity (CBD) in 2022, the target is to expand the area of terrestrial and marine protected areas to 30% of national territory by 2030. As of September 2023, the area of terrestrial protected areas in South Korea is only 16.97% of the country's territory. This is due in part to the high proportion of private forests in the region, which makes it difficult to establish protected areas. Therefore, there is a need to establish Other Effective Area-based Conservation Measures

* 본 연구는 국립산림과학원 일반연구과제 '백두대간과 정맥의 환경·경제·사회 가치유형별 관리체계 고도화'의 지원에 의하여 수행되었음.

First author : Oh, Ju-Hyeong, Division of Forest Ecology, National Institute of Forest Science, Seoul, 02455, Republic of Korea,

Tel : +82-2-961-2960, E-mail : ojhh16@gmail.com

Corresponding author : Kim, Su-Jin, Division of Forest Ecology, National Institute of Forest Science, Seoul, 02455, Republic of Korea,

Tel : +82-2-961-2605, E-mail : foresthydro@korea.kr

Received : 5 October, 2023. **Revised** : 20 November, 2023. **Accepted** : 16 November, 2023

(OECMs), which pursue complex and effective conservation that considers multiple values, as an alternative to protected areas. This study aims to identify areas suitable for OECM and to provide opinions on the establishment of appropriate management plans for each value using SOM and InVEST Habitat Quality model. This study evaluated the habitat quality of 206 villages located within 1km of the Nakdong-Jeongmaek and compared the characteristics of villages classified by SOM. As a result, the habitat quality was 0.867 for Tourism village (Cluster IV), 0.838 for Conservation village (Cluster VI), 0.835 for Mixed village (Cluster I), 0.796 for Production (Cluster V), 0.731 for Rural village (Cluster III) and 0.625 for Urban village (Cluster II). When the distribution was identified through statistical analysis, the Kruskal-Wallis test showed that the distributions were not identical, with a p-value of 1.53e-08. Dunn's test showed a difference between Tourism, Conservation and Rural, Urban village. However, Mixed village was overestimated due to the lack of villages and the small area included in the study area. Moreover, Conservation village was somewhat under-evaluated in the analysis due to the use of a single weight for protected areas. It is necessary to perform additional reinforcement of the value evaluation of Jeongmaeks by conducting Forest Resource Survey and the National Natural Environment Survey. Therefore, we believe that sufficient validity for the establishment of OECMs in the Nakdong-Jeongmaek can be provided by addressing these limitations and conducting additional research.

Key Words : *Jeongmaek, Baekdudaegan, InVEST model, OECM, Forest management*

I. 서론

정맥은 우리나라의 고유한 산림공간 인식체계로 조선 시대 지리학자 신경준이 저술한 ‘산경표’에 따르면 우리나라의 산줄기 체계는 1개의 대간과 1개의 정간 그리고 13개의 정맥으로 정의되었다(Kim, 2005; Kim, 2018). 이 중 정맥은 「백두대간 보호에 관한 법률」에 따라 ‘백두대간에서 분기하여 주요 하천의 분수계를 이루는 대통령령으로 정하는 산줄기’로 정의되며, 휴전선 이남의 9개 정맥은 주요 도심지 주변을 지나 는 광역생태축을 형성해 동식물을 비롯한 지역 주민의 생활 터전으로서도 중요한 기능을 수행하고 있다(NIFOS, 2021). 이러한 사회-생태적 중요성에도 불구하고 정맥은 백두대간에 비해 생활권 주변에 위치한 관계로 다양한 훼손 압력에 쉽게 노출되어 있는 상태이다(NIFOS, 2021).

한편, 2022년 생물다양성협약(CBD)에서 채택한

‘쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework)’에서는 2030년까지 육상 및 해양 보호지역 면적을 국가 면적의 30%까지 확대할 것을 목표로 하고 있으나, 국내의 경우 2023년 9월 기준으로 육상 보호지역 면적이 국토 면적의 16.97%에 불과한 실정이다(Wrobel, 2023; UNEP -WCMC, 2023). 국제협약의 기준을 충족하기 위해서는 정맥을 포함하는 주요 광역생태축의 보호지역 지정이 필요하나, 우리나라는 사유림 비율이 높아 보호지역 지정에 한계가 있다(NIFOS, 2021). 이에 대한 보완적인 조치로 기타 효과적인 지역 기반 보전 수단(OECM; Other Effective Area-based Conservation Measures) 도입의 필요성이 대두되고 있다(Hong et al., 2017). OECM은 ‘생태계 기능 및 서비스, 문화적, 사회-경제적, 그리고 기타 지역적으로 관련된 가치들의 보존에 대한 지속 가능한 장기 성과 달성을 목표로 관리가 되는 보호지

역이 아닌 지리적으로 정의된 지역'을 의미한다(CBD, 2018). 이와 같이, OECM은 보호지역과 동일하게 생물다양성을 장기적이고 효과적으로 보전하는 것을 목표로 하나, 보호지역이 자연보전을 우선적인 목적으로 고려하는 것과 다르게 여러 가치들을 고려한 복합적이고 효과적인 보전을 추구한다(IUCN-WCPA Task Force on OECMs, 2019).

이러한 측면에서 다양한 가치 특성들이 나타나는 우리나라 주요 광역생태축인 정맥에 대해 OECM 설정 가능성을 발굴할 필요성이 있다. 그중 낙동정맥의 경우 남-북으로 뻗은 지형 특성으로 위도와 해발 고도 변화에 따라 높은 생물다양성과 다양한 지역적 특성들이 나타난다(NIFOS, 2022). 이러한 낙동정맥의 독특한 특성으로 인해 낙동정맥의 환경 조건과 인위적 영향을 고려한 식생 구조 특성과 유형을 파악하기 위한 연구가 진행되었으며(Park et al., 2016), 서식지 유형별 조류의 군집을 분석(Han et al., 2016) 등 동·식물의 생태 관련 연구가 다수 진행되었다(Kim, 2016; You et al., 2017, Kang et al., 2020). 그리고, 복합적인 가치들을 고려한 연구는 최근 자연환경뿐만 아니라 문화적·사회경제적·생태적인 가치를 고려하여 이진평가법을 통해 마을 단위 자원평가체계를 확립한 연구(Kim et al., 2020)와 자기조직화지도(SOM: Self-Organizing Map)와 지리적 자기조직화지도(Geo-SOM: Geographic Self-Organizing Map) 분석을 이용해 마을들을 특징과 자원을 따라 분류하여 시각화한 연구가 있었다(Kim et al., 2023). 그러나, 전술한 연구는 문화적, 사회경제적, 생태적인 가치들을 비롯하여 기타 지역 관련 가치까지 고려하는 OECM의 설정에 중요한 의미를 가지나, 각 가치별 마을들의 산림생태계 상대적 평가에 대한 고려가 부족하였다. 이에 본 연구에서는 낙동정맥을 대상으로 자기조직화지도(SOM: Self-Organizing Map)를 통해 분류된 마을 단위 특성과 InVEST (Integrated

Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)의 Habitat Quality 모델을 통해 산출된 서식지 질 평가를 상호비교하였다. 이러한 결과를 활용하여 보전 가치가 높은 지역을 선발해 향후 OECM의 적용 가능 지역을 발굴하는 것을 목적으로 수행하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 대상 지역

낙동정맥은 백두대간에서 분기해 강원도 태백시 매봉산에서부터 경상북도, 경상남도과 울산광역시 거쳐 부산광역시 물운대까지 이어지는 산줄기로, 동해안 지방과 내륙지방의 자연과 함께 생활환경을 나누는 경계로 큰 의미를 가진다(Kim et al., 2020; Figure 1(a)).

낙동정맥은 천연림에서부터 도시화까지 다양한 환경 특성이 나타나 지역별 차별화된 관리 방안 마련이 필요하다. 마을은 지역 현황을 가장 잘 이해하고 지역 내 자원에 대해 지속적인 관리 및 보전이 가능하며, 사회적 기본 단위로써 구성원들에게 연대감과 정체성을 부여함과 동시에 공통의 가치를 공유한다(Kim et al., 2023). 우리나라의 경우, 시·군·구보다 작은 동·리 수준을 마을로 고려할 수 있으며, 동·리 수준의 단위 평가는 OECM을 관할하고 관리하는 요소가 장기적으로 지속되어야 한다는 IUCN의 지침에 따라 적합한 공간 범위라 판단하였다(IUCN-WCPA Task Force on OECMs, 2019).

본 연구는 해당 대상지에 대해 주변 환경을 토대로 서식지 질을 분석하는 InVEST 모델을 위해 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/>)에서 제공하는 2019년 세분류 토지피복도(1:5,000)를 이용했다. 그리고, 낙동정맥 산줄기 능선을 기준으로 선행연구(Kim et al., 2023)와 비교를 위해 선행연구에서 사용한 양쪽 간격 1km를 동일하게 추출하여 사용했다. 해당 영역 내에는 총 206개의 마을들이 존재한다(Table 1).

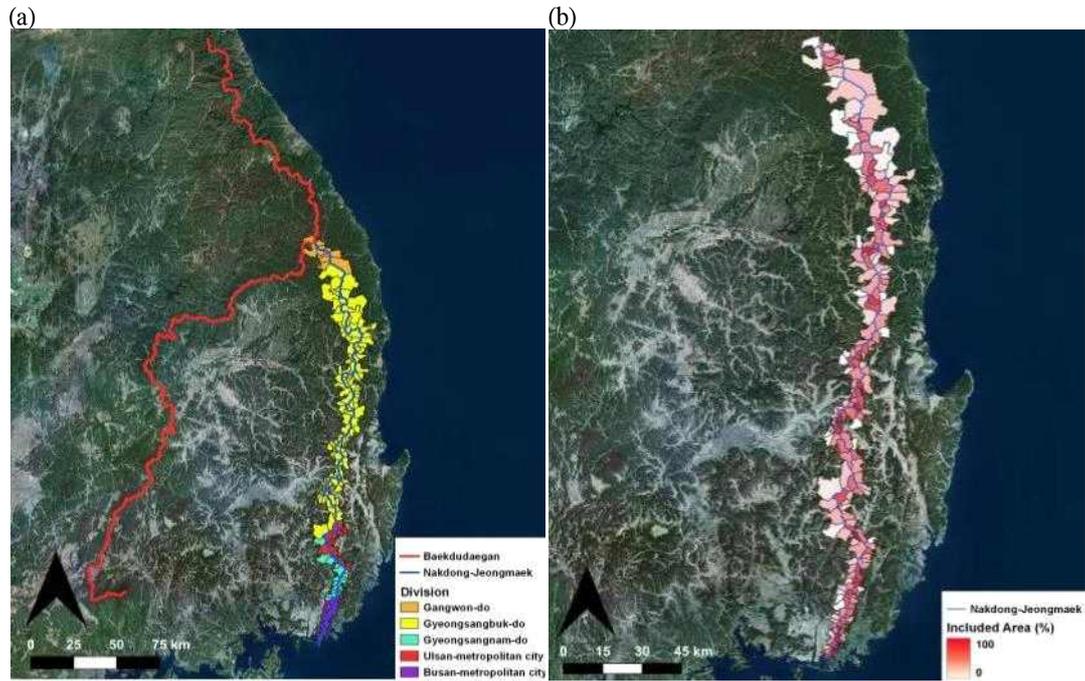


Figure 1. (a) A Map show the Baekdudaegan and Nakdong-Jeongmaek ridgeline. The villages along the Nakdong-Jeongmaek ridgeline are shown by province and metropolitan city. (b) is the ratio of the area included within a 1km buffer on both sides of the Nakdong-Jeongmaek ridgeline to the total area of each village

Table 1. The number of villages in the Nakdong-Jeongmaek buffer.

Jeongmaek	City and County	The number of villages	
Nakdong-Jeongmaek	Gangwon-do	Samcheok-si	5
		Taebaek-si	7
	Gyeongsangbuk-do	Bonghwa-gun	3
		Uijin-gun	8
		Yeongdeok-gun	20
		Yeongyang-gun	21
		Cheongdo-gun	2
		Cheongsong-gun	11
		Gyeongju-si	18
	Yeongcheon-si	22	
	Gyeongsangnam-do	Pohang-si (Buk-gu)	15
		Yangsan-si	20
		Miryang-si	1
	Ulsan-metropolitan city (Ulju-gun)	15	
	Busan-metropolitan city	38	

Table 2. Weights, max distance and decay by threat factors.

Threat Factors	Weight	Max distance(km)	Decay
Urban*	1.0	10	Exponential
Agriculture**	0.6	5	Exponential
Industry, Mining	0.2	6	Exponential
Paddy	0.7	8	Linear
Upland	0.6	8	Linear
Bare***	0.5	1	Linear
Rail	0.7	5	Linear
Road	0.6	3	Linear

*Exclude Industry, Rail, Road

**Exclude Paddy, Upland

***Exclude Mining

강원도는 기초자치단체 2곳인 삼척시와 태백시가 포함되어 있으며, 삼척시는 5개, 태백시는 7개 마을들이 영역 내에 존재했다. 경상북도는 전체 중 9개의 기초자치단체가 포함되어 가장 넓은 면적을 포함하고 있으며, 봉화군 3개, 울진군 8개, 영덕군 20개, 영양군 21개, 청도군 2개, 청송군 11개, 경주시 18개, 영천시 22개, 포항시(북구) 15개 마을들이 영역 내에 존재했다. 경상남도의 기초자치단체 2곳이 영역 내에 포함되며, 양산시가 20개 밀양시는 1개의 마을만이 존재했다. 광역시의 경우, 울산광역시의 울주군이 15개의 마을을 영역 내에 포함하고 있고, 부산광역시는 38개의 마을이 영역 내에 포함되었다. 그러나, 해당 영역에 포함된 마을들의 면적은 마을 단위 가치평가 면적과는 다소 차이가 있었다(Figure 1(b)).

2. 분석방법

1) InVEST 모델을 활용한 서식지 질 평가

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) 모델은 NatCap (Natural Capital Project)과 스탠퍼드 대학 외 5개의 연구기관들이 개발하였다. 해당 모델은 인간의 삶을 직·간접적으로 유지·충족시켜주는 자연의 재화와 서비스를 평가하는데 주로 사용하였다(Sharp et al., 2016). 본 연구에서는 InVEST 모델 중

Habitat Quality 모델을 활용했다. 서식지는 생물종들이 성장하고 생활하는 장소로서, InVEST Habitat Quality 모델은 토지피복도를 기반으로 생물다양성에 위협이 되는 인자의 영향력을 평가하여 서식지의 생물다양성과 희귀성의 판단 근거를 제공한다(Yapp, 1922; Jang et al., 2022). 본 연구에서는 국립공원연구원(KNPRI)에서 개량한 InVEST Habitat Quality 모델인 KNPS-InVEST Habitat Quality 모델을 활용했다(KNPRI, 2020; Jang et al., 2022). 개량 모델은 국내에 적합하게 토지피복도의 위협요인에 따라 최대 영향 거리, 가중치 그리고 함수 유형이 설정되어 있으며, QGIS를 통해 간단한 방식으로 실행되도록 설계되었다(KNPRI, 2020; Jang et al., 2022, Table 2).

인자에는 위협요인의 영향력과 최대 영향 거리, 서식지와 위협요인 사이의 거리, 인자들의 위협요인들에 대한 민감도를 통해 0~1의 값으로 평가한다(Kim et al., 2015). 서식지와 위협요인의 최대 영향 거리는 위협요인 주변으로 영향을 끼칠 수 있는 최대 범위이다(Sharp et al., 2016). 서식지와 위협요인 간의 거리는 ‘거리-감쇄(distance-decay)’ 함수를 적용하여 $i_{r,xy}$ 에 위협요인이 미치는 영향을 산정한다(Jang et al., 2022; Xu et al., 2019; Eq 1, Eq 2). 해당 값은 위협요인의 특성에 따라 선형 또는 지수형으로

거리가 멀어질수록 영향력이 감소하게 된다.

$$i_{r,xy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r,max}}\right) \quad \text{if linear} \quad (1)$$

$$i_{r,xy} = \exp\left(-\left(\frac{2.99}{d_{r,max}}\right)d_{xy}\right) \quad \text{if exponential} \quad (2)$$

- $i_{r,xy}$ = 그리드 셀 y 의 위협요인 r 이 그리드 셀 x 에 미치는 영향
- d_{xy} = 그리드 셀 x 와 y 사이의 직선거리
- $d_{r,max}$ = r 의 최대 영향 거리

D_{xj} 는 0-1 사이의 값을 가지는 가중치 w_r 을 위협요인의 특성에 따라 서식지에 미치는 영향력을 다르게 설정한다(Sharp et al., 2016). D_{xj} 는 서식지 유형에 따른 위협요인에 대한 민감도인 S_{jr} 의 값이 높을수록 서식지 질을 저하할 때, 영향을 많이 받게 된다(Sharp et al., 2016). 서식지는 모든 위협요인에 대해 같은 방식으로 영향을 받는 것이 아니므로 S_{jr} 은 세분류 토지피복도를 기반으로 국내 환경에 맞춰 민감도를 재조정하여 사용했다(KNPRI, 2020; Jang et al., 2022). 추가적으로, 0~1의 데이터로 나타나는 β_x 의 경우, 본 연구에서는 전부 1로 설정했다. R 은 총 위협요인 래스터의 수, Y 는 위협요인 r 의 총 그리드 셀의 수를 나타낸다. 그리고 가중치 w_r 은 모든 위협요인의 가중치의 합계가 1이 되도록 정규화시킨다. 이로 인해, D_{xj} 는 가중 평균으로 간주할 수 있게 된다(Sharp et al., 2016; Eq 3).

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r}\right) r_y i_{r,xy} \beta_x S_{jr} \quad (3)$$

- D_{xj} = 토지피복도 j 의 그리드 셀 x 의 총 위협 수준
- w_r = 위협요인 r 의 가중치
- $i_{r,xy}$ = 그리드 셀 y 의 위협요인 r 이 그리드 셀 x 에 미치는 영향

- S_{jr} = 서식지 유형 j 의 위협요인 r 에 대한 상대적 민감도
- β_x = 그리드 셀 x 의 법적·제도적·사회적·물리적인 보호수준

마지막으로 서식지 질은 Eq 4와 같이 계산하였다. 토지피복도 j 로 분류된 그리드 셀 x 의 서식지 질인 Q_{xj} 는 토지피복도의 기본 서식지 질인 H_j 에 스케일링 파라미터 1을 고려한 위험 수치를 뺀 값을 곱하여 산정하였다. 스케일링 파라미터인 축척 계수 z 와 반포화 상수 k 를 기본값인 2.5와 0.5로 설정했다(Sharp et al., 2019).

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z}\right)\right) \quad (4)$$

- Q_{xj} = 토지피복도 j 의 그리드 셀 x 의 서식지 질
- H_j = 토지피복도 j 의 기본 서식지 질

2) SOM 모델을 이용한 낙동정맥 마을 특징 분류

OECM은 문화적·영적·사회경제적 등 여러 가치들을 고려한 복합적인 보전 관리가 이루어지는 지역으로서 각 가치별로 나누어 생물다양성을 평가할 필요성이 있다(IUCN-WCPA Task Force on OECMs, 2019). SOM (Self-Organizing Map)은 Kohonen (1982)에 의해 제안되었으며, 기계학습인 인공신경망(Artificial Neural Network)의 한 종류이다. 해당 모델은 데이터의 패턴을 식별하고 고차원에서 저차원의 뉴런으로 군집화하여 시각화하는데 유용한 비지도 학습 모델로 낙동정맥의 마을들을 가치별로 분류하고 시각화하는데 적합하다. Kim et al (2023)은 정맥 관리를 위해 토지피복도, 임상도를 비롯한 GIS 데이터들과 통계 자료들을 이용하여 총 18개의 변수들을 획득하였고, 해당 변수들을 생태적, 경제적, 사회문화적 가치로 분류하여 SOM 분석을 진행하였다(Table 3). 결과적으로, 마을들은 SOM을 통해 가치와 특성에 따라 6개의 cluster로 분류하였다.

Table 3. Types of the variables used in SOM

Indicators	Variables
Ecological	Forest, Wetland, Water area
	Above 5 age class forest area
	Protected area
	Natural environment conservation forest area
Economic	Agriculture area
	Water yield forest, Timber production forest, Recreation forest area
	Productive population
Socio-cultural	Living environment forest
	Built-up area
	Cultural heritage
	Tourism spot, Scenic spot
	Distance from living infrastructure, Distance from medical infrastructure

(Kim et al., 2023)

3) 마을 특징에 따른 서식지 질의 통계 분석

InVEST Habitat Quality 모델을 통해 산출된 서식지 질과 SOM을 통해 분류된 가치들을 공간적으로 결합하여 비교를 한다. 분석 결과로 분류된 가치별 마을들의 서식지 질 값이 다른 가치들과 분포의 차이성이 존재하며 적합한지 검증할 필요성이 있다. 분포의 검증은 각 가치별 서식지 질 값의 차이가 분류된 가치의 특징에 타당한 값을 보유하고, 가치별 서식지 질 값 사이를 비교했을 때 적합한 순서도를 가졌는지를 검증한다. 본 연구에서는 R 4.2.2 프로그램을 활용하여 통계적 처리 및 분석을 하였다. 통계 분석은 데이터의 정규성, 등분산성 유무에 따라 Kruskal-Wallis test와 Dunn's test를 진행했다.

으로 대도시와 인접한 주거 중심 개발이 이루어진 지역 또는 도시화가 진행 중인 지역 특징이 나타났다. 도시형 마을(Cluster II)은 사회·문화적 측면에서 강점을 보이는 전형적인 대도시의 특징이 나타났다. 농촌형 마을(Cluster III)은 농업 중심의 마을의 특징을 보였으며, 지역 내 대규모 공업 단지가 나타나는 경우도 존재했다. 관광형 마을(Cluster IV)은 보호지역과 인접한 산림으로 인해 자원이 풍부하고 명승지와 관광 자원이 다수 존재하는 지역이며, 생산형 마을(Cluster V)은 임업 기반 경제 활동이 활발한 마을의 특징을 보였다. 마지막으로, 보전형 마을(Cluster VI)은 도시화가 느리고 인구 감소에 직면했으나 산림 보전이 잘 유지되어 잠재적 보호 가능성이 가장 높은 지역으로 나타났다(Kim et al., 2023).

III. 결과 및 고찰

1. SOM을 통해 구분한 마을 유형

본 논문은 SOM을 통해 분류된 마을들을 복합형 마을(Cluster I), 도시형 마을(Cluster II), 농촌형 마을(Cluster III), 관광형 마을(Cluster IV), 생산형 마을(Cluster V), 보전형 마을(Cluster VI)로 정의하였다. 복합형 마을(Cluster I)은 세 유형에서 복합적인 특징을 보여 주었으며, 전반적

2. 낙동정맥의 서식지 질 분석 결과

InVEST 모델을 이용하여 낙동정맥 산출기 능선을 기준으로 1km 양안의 서식지 질을 분석한 결과는 Figure 2와 같다. 분석 대상지 중 강원도에 위치하는 12개 마을 중 8개의 마을에서 0.82 이상의 서식지 질이 나타났으며, 4개의 마을은 약 3km² 이하의 시가화·건조지, 농경지, 도

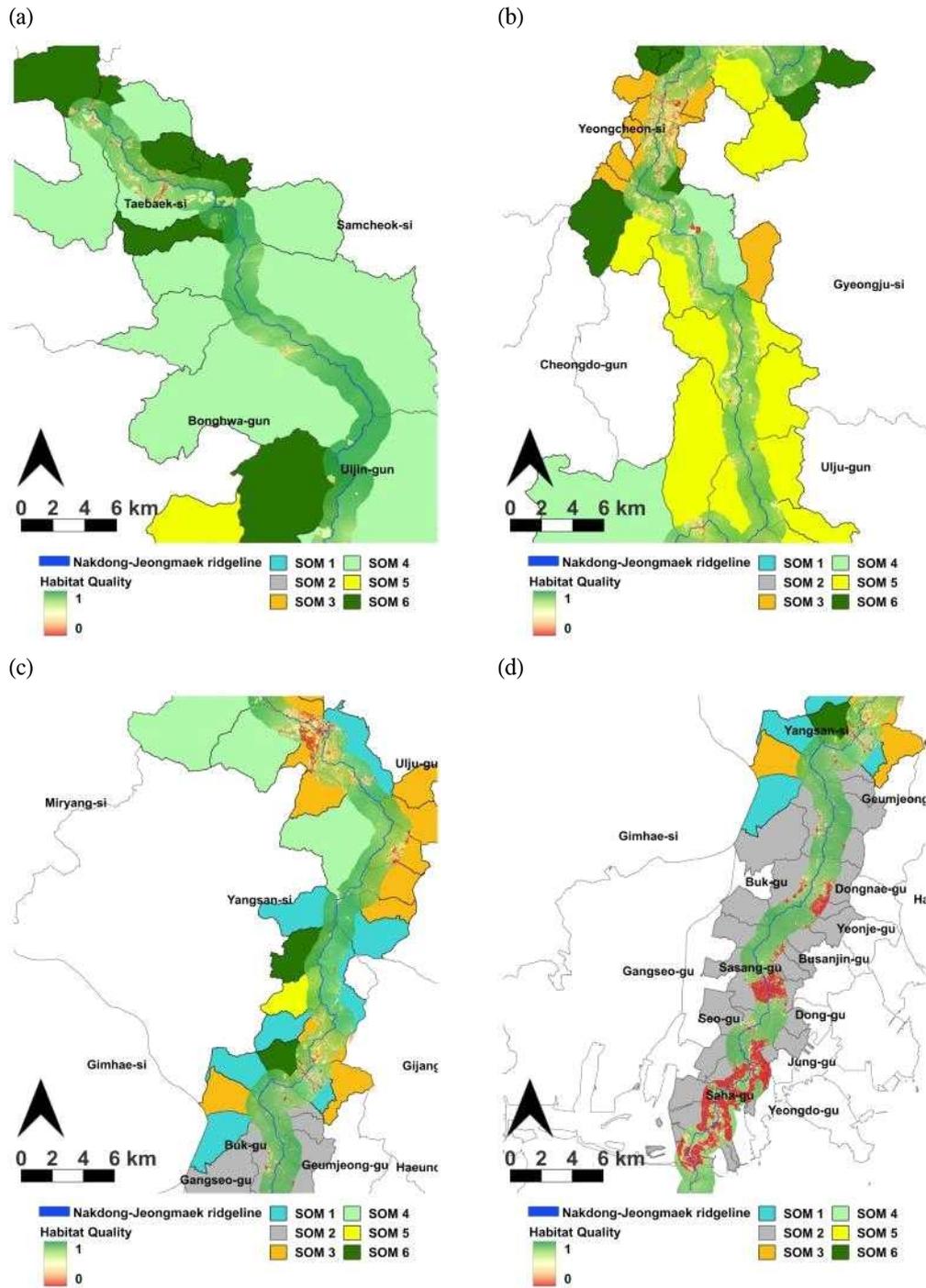


Figure 2. Habitat quality of village's clusters in Nakdong-Jeongmaek ridgeline. (a) represents the habitat quality of Samcheok-si and Taebaek-si in Gangwon-do, and Bonghwa-gun and Uljin-gun Gyeongsangbuk-do, (b) represents Yeongcheon-si and Gyeongju-si in Gyeongsangbuk-do, (c) represents Ulju-gun in Ulsan-metropolitan city and Yangsan-si in Gyeongsangnam-do, (d) represents Busan-metropolitan city

로가 분포하여 서식지 질 저하가 나타났다 (Figure 2(a)). 경상북도의 경우, 대부분 지역에서 서식지 질이 0.8 이상으로 평가되었으나, 봉화군 분천리와 남회룡리는 전체 면적의 약 0.004%와 0.003%만이 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함되었다. 특히, 남회룡리는 시가화·건조지와 농경지가 해당 영역에 존재하여 서식지 질이 과소 평가된 것으로 나타났다. 경북 영양군은 마을이 낙동정맥 산줄기 능선의 양안 1km 영역이 계곡부를 따라 이어져 있으며, 시가화·건조지, 농경지, 도로 등의 위협요인의 영향을 받아 일부 마을들의 서식지 질이 0.7~0.8 사이의 값으로 나타났다. 또한, 영양군의 경우 산줄기 능선 주변에서 운영 중인 풍력발전단지로 인해 서식지 질의 저하가 나타났다. 경주시는 대부분 마을에서 농경지와 시가화·건조지가 존재하고, 공업지역의 영향을 받는 마을들이 다수 존재했다(Figure 2(b)). 경주시는 영천시 인접하여 약 10km² 이상의 크기로 형성된 시가화·건조지, 농경지, 도로의 영향을 받는 마을이 다수 존재하였으며, 일부 마을은 철도의 영향 범위 내에 존재하고 있었다. 양산시는 부산광역시, 울산광역시와 인접한 곳에 위치하여 서식지 질의 편차가 크게 나타났다. 양산시와 울산광역시 울주군의 일부 마을은 약 10km² 이상의 면적을 가진 시가화·건조지, 농경지, 공업지역, 도로가 형성되어 있으며, 관광지와 명승지를 중심으로 다양한 영향 요인들이 서식지 질 평가에 영향을 주고 있는 것으로 나타났다(Figure 2(c)). 부산광역시는 38개의 마을 중 35개의 마을이 대도시의 특징을 가지고 있으며, 서식지 질의 편차가 크게 나타났다. 금정산 일대의 부산광역시 금정구 구서동, 남산동, 장전동, 금성동, 청룡동은 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함된 면적이 전부 개발제한구역으로 설정되어 있으며, 개발제한구역이 아니지만 북구 구포동, 사상구 모라동, 패법동, 부산진구 초읍동은 금정산에서 뻗어 나온 백양산을 포함하고, 부산광역시의 사상구

학장동, 사하구 당리동, 동구 초량동, 수정동은 금정산지의 말단부에 뻗어 나온 산들을 포함하고 있다. 해당 마을들은 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함되는 면적에 시가화·건조지, 공업지역을 포함하지 않고 있어 서식지 질이 높게 평가된 것으로 판단된다(Figure 2(d)).

3. 낙동정맥의 마을 특성과 서식지 질 비교

SOM으로 구분한 마을 특징별 서식지 질을 비교한 결과, 도시형 마을(Cluster II)의 부산광역시 서구의 토성동이 가장 낮은 0.02, 관광형 마을(Cluster IV)의 경상북도 청송군 상의리와 울진군 온정리가 0.98로 최고값을 나타냈다 (Table 4; Figure 3). 서식지 질이 높게 평가된 관광형 마을(Cluster IV)은 평균 0.867이었고 편차는 0.075로 평가되었다. 34개의 마을을 포함하는 관광형 마을(Cluster IV)은 다른 마을 유형에 비해 명승지와 관광자원이 풍부하나 보호지역과 인접하고 농경지가 가장 적은 특징이 있어 서식지 질이 가장 높게 측정된 것으로 판단된다 (Figure 2(a)).

산림 보전이 잘되어 있고 잠재적 보호 가능성이 높은 보전형 마을(Cluster VI)은 평균 서식지 질이 0.838, 편차가 0.072로 나타났으며, 58개의 마을이 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 위치하고 있었다(Figure 2(a)).

복합적인 특징을 가진 복합형 마을(Cluster I)의 경우, 평균 서식지 질이 0.835, 편차가 0.082로 나타났다. 해당 마을 유형의 경우, 대도시와 인접하고 도시화가 진행 중인 마을 특징을 가지고 있으나, 서식지 질은 생태적 가치가 높게 나타난 보전형 마을(Cluster VI)과 큰 차이가 없었다. 복합형 마을(Cluster I)은 주변에 골프장과 큰 마을이 존재하는 부산광역시 금정구 노포동과 울산광역시 울주군 조일리를 제외한 마을들의 서식지 질은 0.8 이상인 것으로 나타났다. 그러나, 복합형 마을(Cluster I)에 속하는 11개 마을로 타 마을 유형에 비해 적었고, 영천시 충효

Table 4. Results of habitat quality evaluation for villages by city and county

City and County	Cluster	Habitat Quality		The number of villages	
		Mean	Standard deviation		
Gangwon-do	Samcheok-si	IV	0.913	0.035	3
		VI	0.800	0.057	2
	Taebaek-si	IV	0.845	0.105	4
		VI	0.840	0.092	3
	Bonghwa-gun	IV	0.880	-	1
		V	0.830	-	1
VI		0.530	-	1	
Uijin-gun	IV	0.908	0.059	6	
	VI	0.905	0.007	2	
Yeongdeok-gun	IV	0.833	0.050	3	
	V	0.820	-	1	
	VI	0.873	0.053	16	
Yeongyang-gun	IV	0.900	0.048	4	
	V	0.775	0.044	10	
	VI	0.857	0.062	7	
Cheongdo-gun	IV	0.88	-	1	
	VI	0.84	-	1	
Cheongsong-gun	IV	0.947	0.042	3	
	V	0.823	0.035	6	
	VI	0.895	0.092	2	
Gyeongju-si	III	0.713	0.165	4	
	IV	0.810	0.070	2	
	V	0.780	0.051	9	
	VI	0.760	0.027	3	
Yeongcheon-si	I	0.853	0.050	3	
	III	0.723	0.078	8	
	V	0.760	-	1	
Pohang-si (Buk-gu)	VI	0.807	0.037	10	
	IV	0.740	0.071	2	
	V	0.793	0.052	4	
	VI	0.846	0.035	9	
	Gyeongsangnam-do	I	0.876	0.034	5
		III	0.680	0.181	9
Yangsan-si		IV	0.803	0.074	3
		V	0.850	-	1
		VI	0.800	0.099	2
Miryang-si	IV	0.870	-	1	
Ulsan-metropolitan city (Ulju-gun)	I	0.740	-	1	
	II	0.847	0.040	3	
	III	0.823	0.100	6	
	IV	0.850	-	1	
	V	0.825	0.013	4	
Busan-metropolitan city	I	0.755	0.163	2	
	II	0.606	0.264	35	
	III	0.77	-	1	

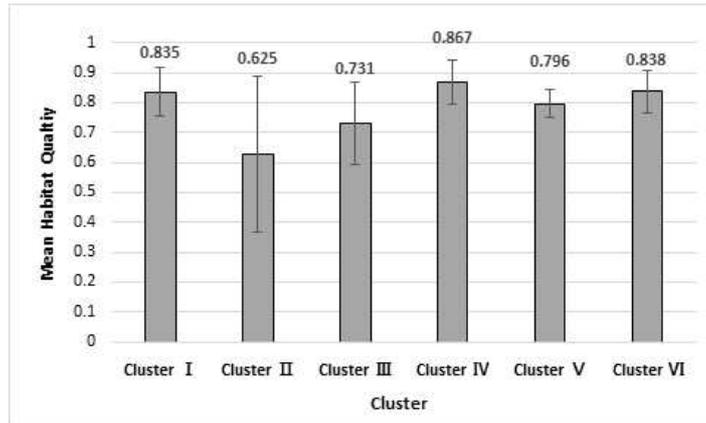


Figure 3. Mean habitat quality for each cluster

리는 전체 면적 중 0.00008%, 신방리는 0.07%, 양산시 내송리는 0.03%, 부산광역시 북구 금곡동은 0.02%만이 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함되어 과대평가된 경향이 나타났다 (Figure 2(c)).

생산형 마을(Cluster V)은 37개의 마을들을 포함하며, 평균 서식지 질이 0.796, 편차는 0.045로 나타났다. 생산형 마을(Cluster V)은 마을들이 도심으로부터 이격되어 산림과 인접한 지역에 위치한다. 그러나, 소규모의 주거지와 농경지가 대부분 존재하여 0.9 이상의 서식지 질을 가진 마을이 존재하지 않는 것으로 평가되었다 (Figure 2(b)).

29개 마을들을 포함하는 농촌형 마을(Cluster III)은 평균 서식지 질이 0.731로 생산형 마을(Cluster V)보다 작은 값을 가졌으나 편차는 0.138로 생산형 마을(Cluster V)에 비해 크게 나타났다. 농촌형 마을(Cluster III)은 약 10km² 이상의 마을을 이루는 경주시와 영천시 양산시, 울산광역시 울주군이 속해있어 서식지 질이 낮게 나온 것으로 판단이 된다 (Figure 2(b)).

38개의 마을들을 포함하는 도시형 마을(Cluster II)은 평균 서식지 질이 0.625로 나타났으며, 편차는 0.261로 가장 크게 나타났다. 도시형 마을(Cluster II)의 경우 전형적인 대도시의 모습을 나타내는 마을 유형 특징에 맞게 낮은

서식지 질이 나타났으나, 도시형 마을(Cluster II)에 포함된 마을의 서식지 질 분포는 0.02~0.91를 보였다. 큰 편차가 나온 이유는 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함되는 일부의 마을들이 도시형 마을(Cluster II)의 특징을 보이는 마을의 전체 면적을 포함하지 못하고 산림이 풍부한 개발제한지역과 인접한 면적만을 포함하게 되어 서식지 질이 높은 결과로 나타난 것으로 판단된다 (Figure 2(d)).

3. 낙동정맥 마을 특성과 서식지 질에 대한 통계 분석 결과

해당 데이터는 등분산성이 존재하지 않으므로 비모수적 통계 분석 방법인 Kruskal-Wallis test를 수행하였다. 모수적 검정 방법인 ANOVA (Analysis of Variance)에 비해 검정력이 다소 떨어진다는 단점이 있으나 정규성, 등분산성이 필요 없어 해당 데이터의 동일성을 확인하는데 적합한 방식이다 (Hecke, 2012). 마을 특징에 따른 서식지 질 분포의 동일성을 확인하기 위해 Kruskal-Wallis test를 실시한 결과, p-value가 1.53e-08로 낮은 값을 나타내 전반적으로 동일성이 없음이 확인되었다. 추가로 각 cluster 사이의 동일성을 검정하기 위해 사후검정인 Dunn's test를 수행하였다 (Table 5). Dunn's test는 비모수적이고 등분산성이 없는 해당 데이터에 적합

Table 5. The post-hoc test result (Dunn's test) between clusters

Dunn's test result						
Cluster	1	2	3	4	5	6
1	1					
2	z = 2.8088 p = 0.0746	1				
3	z = 2.5253 p = 0.1734	z = -0.2531 p = 1.0000	1			
4	z = -0.7630 p = 1.0000	z = -5.1948 p = 0.0000	z = -4.5582 p = 0.0001	1		
5	z = 2.0348 p = 0.6181	z = -1.1382 p = 1.0000	z = -0.7978 p = 1.0000	z = 4.0554 p = 0.0008	1	
6	z = 0.2497 p = 1.0000	z = -4.2142 p = 0.0004	z = 3.5479 p = 0.0058	z = 1.6056 p = 0.8127	z = -2.9307 p = 0.0507	1

한 방식으로 해당 결과에 대해 중앙값을 이용하여 차이를 확인하였다(Dunn, 1961). 복합형 마을(Cluster I)은 모든 마을 유형들과 동일한 분포로 나타났다. 이러한 분포는 복합형 마을(Cluster I)이 생태적, 경제적, 사회·문화적 특징을 복합적으로 보유하고 있고, 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함되어 있는 마을 수와 면적이 작아 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 가장 높은 서식지 질을 나타내는 관광형 마을(Cluster IV)은 산림이 풍부하고 잠재성이 높은 보전형 마을(Cluster VI)과 동일성을 보였고, 2번째로 높은 보전형 마을(Cluster VI)은 산림자원이 풍부해 임업 기반 경제 활동이 활발하고 소규모의 마을이 존재하는 생산형 마을(Cluster V)과 추가적으로 동일성을 보였다. 그러나, 관광형(Cluster IV), 보전형 마을(Cluster VI)은 대도시와 마을의 특징을 가진 도시형(Cluster II), 농촌형 마을(Cluster III)과 동일성에서 차이가 존재했다. 즉, 이러한 차별성 검증 결과는 관광형(Cluster IV), 보전형 마을(Cluster VI)의 특징에 맞게 서식지 질이 높게 나타났으며, 충분한 보호 가치를 보유한 것으로 판단된다.

IV. 결 론

생물다양성협약에 따라 2030년까지 국토 면적의 30%를 육상 및 해양 보호지역으로 설정해야 한다. 국토의 주요 산줄기인 정맥은 백두대간과 달리 생활권 주변에 위치하고 있어 보호지역 설정에 한계가 있다. 이러한 상황을 고려할 때 정맥의 OECM 설정은 생물다양성협약을 통한 보호지역의 대체제로서 목표 달성에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 OECM 적용 지역 발굴을 위해 낙동정맥을 대상으로 SOM을 통해 분류된 마을 단위 특징과 InVEST의 Habitat Quality 모델을 통해 산출한 서식지 질을 비교하여 보전 가치가 높은 지역을 선별하고, 가치별 생태계의 장기적인 관리를 위한 기초 자료로서 활용 가능성을 확인했다.

본 연구는 OECM의 장기적 관리와 보전에 적합한 동·리 수준의 마을 단위에서 연구를 진행했다. InVEST Habitat Quality 모델 결과, 서식지 질은 낙동정맥의 남쪽으로 향할수록 서식지 질이 감소하는 양상을 보였다. SOM을 통해 분류된 마을 특징별 서식지 질을 확인했을 때, 관광형 마을(Cluster IV)이 가장 높은 서식지 질

로 나타났고, 보전형(Cluster VI), 복합형(Cluster I), 생산형(Cluster V), 농촌형(Cluster III), 도시형(Cluster II) 순서로 평가됐다. 그러나, 복합형(Cluster I)과 같이 낙동정맥 산줄기 능선 1km 영역에 포함되는 마을의 면적이 극히 일부만 존재하여 서식지 질을 과평가하는 경우가 존재했으며, 보호지역에 대해 동일한 가중치로 반영하였기에 보전형(Cluster VI)의 평가에서 다소 부족한 모습을 보였다.

현장 조사를 통한 검증 결과, 대부분 마을은 가치 유형에 적합한 모습으로 나타났으나, 영양군의 일부 마을은 풍력발전단지의 존재로 서식지 질 감소가 있었고 도시형 마을로 분류된 울산광역시 울주군 등억알프스리의 경우 관광형 마을의 특징에 가깝게 나타나는 경우도 존재하였다(NIFOS, 2023). 또한, 복합형 마을의 경우, 도시 개발이 진행 중이나 이 부분이 포함되지 않아 서식지 질이 높게 평가된 경향도 존재했다(NIFOS, 2023).

결과적으로 마을 유형별 서식지 질은 OECM 적용 가능성이 있는 잠재적인 지역들을 확인할 수 있었으나 여러 한계점들이 존재하였다. 이러한 한계점에 대한 해결을 위하여, 각 보호지역의 수준에 따른 계수를 산정하고, 산림자원조사와 전국자연환경조사 자료를 토대로 추가적인 연구를 진행할 필요성이 있다. 향후, 이런 한계점에 대한 보완과 추가적인 연구를 진행함으로써 낙동정맥의 OECM 설정에 대해 충분한 타당성을 제공할 수 있을 것으로 판단되며 생물다양성 협약에 따른 목표 달성에 기여할 수 있을 것이라 기대된다.

References

CBD (Conservation on Biological Diversity). 2018. Protected areas and other effective area-based conservation measures. Conservation on Biological Diversity.

Dunn, O.J. 1961. Multiple comparisons among means. *Journal of the American statistical association* 56(293): 52-64.

Han SW · Kang TH · Park CY · Shin YW · Lim EH and Lee JW. 2016. Analysis of Bird Community by Habitat Type in Nakdong Jeongmaek. *Korean Journal of Environment and Ecology* 30(3): 335-343. (in Korean with English abstract)

Hecke, T.V. 2012. Power study of anova versus Kruskal-Wallis test. *Journal of Statistics and Management Systems* 15(2-3): 241-247.

Hong JP · Shim YJ · Heo HY. 2017. Identifying Other Effective Area-based Conservation Measures for Expanding National Protected Areas. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 28(6): 93-105.

IUCN-WCPA Task Force on OECMs. 2019. Recognising and reporting other effective area-based conservation measures. IUCN Publication.

Jang JE · Kwon HY · Shin HS · Lee SC · Yu BH · Jang J and Choi SH. 2022. Habitat Quality Analysis and Evaluation of InVEST Model Using QGIS. *Korean Journal of Environment and Ecology* 36(1): 102-111. (in Korean with English abstract)

Kang HM · Kim DH and Park SG. 2020. Characteristics of *Quercus mongolica* Dominant Community on the Ridge of the Nakdong-Jeongmaek -Focusing on the Baekbyeongsan, Chilbosan, Baegamsan, Unjusan, Goheonsan, Gudeoksan-. *Korean Journal of Environment and Ecology* 34(4): 318-333. (in Korean with English abstract)

Kim CH · Jung TY · Kang KR. 2018. A Study for Education Policy Suggestions through the

- Survey of Baekdudaegan Awareness. *Journal of Korean Institute of Traditional Landscape Architecture* 35(2): 38-45. (in Korean)
- Kim JS · Lee SD · Kim H. 2016. A Study of the Correlation between Butterfly Communities and Environment Factors of the major mountain, Nakdong-jeongmaek. *Conference Proceeding of Korean Society of Environment and Ecology* 2016(2): 26-27. (in Korean)
- Kim TY · Song CH · Lee WK · Kim MI · Lim CH · Jeon SW and Kim JS. 2015. Habitat Quality Valuation Using InVEST Model in Jeju Island. *Korea Society of Environment Restoration Technology* 18: 1-11. (in Korean with English abstract)
- Kim TS · Hwang SH · Cho KH · Kim SJ and Jang GS. 2020. Evaluating Village-based Resources for Conserving Nakdong-Jeongmaek. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 23(4): 47-58.
- Kim TS · T Dhakal · Kim SH · Lee JH · Kim SJ and Jang GS. 2023. Examining village characteristics for forest management using self- and geographic self-organizing maps: A case from the Baekdudaegan mountain range network in Korea. *Ecological Indicators* 148: 110070.
- Kim YP · Im ES. 2005. A Literature Review and Analysis on Problems of Mountain Systems in Korean Peninsula. *The Korea Spatial Planning Review* 45: 145-163. (in Korean with English abstract)
- KNPRI (Korea National Park Research Institute). 2020. 2020 A Study on the Value Evaluation of Ecosystem Service in National Park: Songnisan, Juwangsan, Woraksan, Wolchulsan. Wonju: Korea National Park Research Institute. (in Korean)
- Kohonen, T. 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biol Cybern* 43(1): 59-69.
- NIFOS (National Institute of Forest Science). 2021. Understanding the JEONGMAEK in Baekdu-daegan Mountain System of Korea: Field Survey Report 2015-2020. Seoul: National Institute of Forest Science. (in Korean)
- NIFOS (National Institute of Forest Science). 2022. 2021 Field Survey Report on Forest Resource: Nakdong-Jeongmaek. Seoul: National Institute of Forest Science. (in Korean)
- NIFOS (National Institute of Forest Science). 2023. Monitoring and evaluating the Nakdong and Naknam Jeongmaek mountain networks for establishment of sustainable regional management plans. (in Korean)
- Park SG and Kang HM. 2016. Characteristics of Vegetation Structure in the Ridgeline Area of the Nakdong-Jeongmaek. *Korean Journal of Environment and Ecology* 30(3): 386-398. (in Korean with English abstract)
- Sharp, R. · Tallis, H.T. · Ricketts, T. · Guerry, A.D. · Wood, S.A. · Chaplin-Kramer, R., ... and Douglass, J. 2016. InVEST +VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project.
- UNEP-WCMC. 2023. Protected Area Profile for Republic Of Korea from the World Database on Protected Areas. <http://www.protectedplanet.net>. (accessed 4. Sep. 2023)
- Wrobel, V. · Millette, K. and Radulovici, A. 2023. COP15. *Science* 8: 10.
- Xu, L. · Chen, S. · Xu, Y. · Li, G. and Su, W. 2019. Impacts of Land-Use Change on Habitat Quality during 1985-2015 in the

- Taihu Lake Basin. Sustainability 11(13): 3513.
- Yapp, R.H. 1922. The concept of habitat. Journal of Ecology 10(1): 1-17
- You JH · Kim DP and Oh HK 2017. Vascular Plants Distributed in the Nakdong-Jeongmaek Mountains - Focused on Mt. Baekbyeong, Mt. Chilbo, Mt. Baekam, Mt. Unju, Mt. Goheon and Mt. Gudeok -. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 20(5): 15-41. (in Korean with English abstract)