

자연공원 용도지구 설정을 위한 환경공간정보와
SOM(Self-Organizing map)을 활용한 지역 특성 도출*
- 태안해안국립공원을 대상으로 -

이성희¹⁾ · 손용훈²⁾

¹⁾서울대학교 환경대학원 협동과정조경학 학생 · ²⁾서울대학교 환경대학원 환경설계학과 교수

Deduction of regional characteristics using environmental spatial
information and SOM (Self-Organizing map) for
natural park zoning*

- Focused on Taeanhaean National Park -

Lee, Sung-Hee¹⁾ and Son, Yong-Hoon²⁾

¹⁾Ph.D. Course Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Student,

²⁾Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor.

ABSTRACT

Korea's natural parks are managed by dividing them into four use districts: nature preservation district, natural environment district, cultural heritage district, and park village district within the park under the goal of 'conservation and sustainable use of natural parks'. However, the use districts divided in this way are designated by reflecting the results derived from the simple drawing overlapping method, and there is a limit in that objective and scientific evidence for this is insufficient. In addition, in Taeanhaean National Park, the case of this study, only a very small area of less than 1% of the nature preservation district is designated, and the natural environment district that serves as a buffer space is designated on an excessively wide scale, making it difficult to efficiently manage the national park.

* 본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구사업(과제명 : 이용자 참여 데이터와 공간정보를 통합한 경관질 평가 모델 개발) 지원을 받아 수행되었습니다(2021R1A2C109486012).

First author : Lee, Sung-Hee Ph.D. Course Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Student,

Tel : +82-2-880-8107, E-mail : tjdgml0413@snu.ac.kr

Corresponding author : Son, Yong-Hoon Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor,

Tel : +82-2-880-8107, E-mail : sonyh@snu.ac.kr

Received : 27 February, 2023. **Revised** : 4 May, 2023. **Accepted** : 27 April, 2023

Therefore, the use district is not fulfilling its role. In this study, the purpose of this study was to present a method for analyzing the spatial characteristics of natural parks using environmental indicators and unsupervised learning analysis methods to set the use districts of natural parks. In this study, evaluation indicators that can evaluate the natural and human environments were derived, and the distribution patterns for each indicator were analyzed. Afterwards, by applying Self-Organizing Map (SOM) analysis, one of the unsupervised learning analysis methods, districts with similar characteristics were derived in Taeanhaean National Park, and the characteristics of each district were analyzed. As a result of the study, 7 districts with different characteristics were derived in Taeanhaean National Park, and by examining the contribution of each indicator together, it was possible to reveal that each district had different representative characteristics even though it was an adjacent area. This study evaluated natural parks by comprehensively considering the indicators of the natural and human environments. In addition, the SOM method used in the study is meaningful in that it can provide scientific and objective grounds for the existing zoning and apply it to the management plan.

Key Words : *Regional Characteristics, Landscape Assessment Method, Spatial Evaluation, Cluster Analysis, Self-Organizing Map, Unsupervised Machine Learning*

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

자연공원은 인간과 자연의 상호작용을 돕는 주요 역할을 할 뿐만 아니라(Ostojic et al., 2020), 더 나아가 야외 자연 경관에 대한 접근은 인간의 정신적, 신체적 건강과 높은 상관관계를 갖는다(Slater et al., 2020). 따라서 생물다양성과 생태계 보전에 있어서 중요한 역할을 하는 자연공원의 효과적이고 지속적인 관리가 점점 더 중요해지고 있다(Bruner et al., 2001).

자연공원의 계획과 관리에 있어서 구역 설정은 보전해야 할 장소와 적절하게 활용할 장소를 구분하여, 생태계 보호와 인간의 활동 사이의 갈등을 해결하는 중요한 방법이다(Liu and Li, 2008). 특히 기능적 구역 설정은 지역의 통합적 계획 및 과학적 관리를 위한 핵심단계이며(Fu et al., 2019), 이를 통해 자연공원의 지속적인 모니터링과 관리방안 마련이 가능하다. 따라서 공원 관리자는 적절한 평가 프레임워크와 지표를 선택할 필요가 있다(Geneletti and Duren, 2008). 세계

적으로도 자연공원 관리에 있어서 객관적·과학적 지식 기반의 모니터링 체계 수립이 강조되고 있다(IUCN and WCPA, 2017). 자연지역을 보전하고 관리하기 위한 구역 설정의 효율성을 평가하기에는 객관적인 접근 방식과 명확한 단계별 지침이 필요하지만, 아직까지 효과적인 구역 지정과 규칙 시행에 어려움이 있다(Weihua et al., 2016; Hull et al., 2011; Liu and Li, 2008).

우리나라 자연공원은 용도지구별 관리 제도를 가지고 있기 때문에 용도지구의 설정이 매우 중요하다. 현재의 자연공원 용도지구는 산림의 경우 비교적 적절하게 지정되어 있으나, 해안형 자연공원의 경우에는 생태적·공간적 특성이 반영되지 못하고 있는 것으로 나타났다(Ahn et al., 2009). 태안해안국립공원의 경우를 살펴보면, 자연공원의 완충지역 성격인 공원자연환경지구가 해양지역을 포함하여 공원 범위의 약 99.9%에 해당된다.

환경부에서 수행한 제3차 국립공원 타당성 조사기준 및 자연공원 제도개선 마련 연구에 따르면, 우리나라 국립공원의 공원자연환경지구가

평균적으로 76.9%에 해당되고 있으며(Ministry of Environment, 2019), 넓은 공간 범위가 동일한 관리지침 하에 관리되고 있는 것으로 나타났다. 또한 이용 측면에서도 높은 가치를 지니고 있음에도 불구하고, 아직까지 인문환경 지표가 자연공원의 평가에 고려되지 못하고 있다. 따라서 자연공원의 지속가능한 관리를 위해서는 멸종위기 야생생물, 천연기념물 등의 자연환경 지표 외에도 보존과 이용 두 가지 관점에서 공간적 특성을 파악할 수 있는 적합한 환경 평가지표가 필요하다. 이를 통해 자연공원 관리자 및 계획가들은 현 상태의 용도지구보다 조금 더 세밀하게 나뉘는 구역을 토대로 체계적 관리방안을 수립할 수 있을 것이다. 특히 자연환경 요소와 인문환경 요소를 함께 고려함으로써, 지역 사회 및 거주민의 생활과 이용을 반영하고 무조건적인 보전이 아닌 자연과 인간이 상생할 수 있도록 돕는 것이 중요하다.

본 연구에서는 머신러닝을 활용하여 여러 환경지표에 대한 데이터의 중첩 및 통합 과정을 수행하고자 하였다. 컴퓨터의 활용 가능성이 발전함에 따라 머신러닝을 활용한 분석 및 평가와 관련한 다양한 연구들이 수행되었다(Das et al., 2021; Ge et al., 2020; Gosal et al., 2020; Yutian et al., 2020). 머신러닝에는 지도학습과 비지도 학습 두 가지로 나뉘며, 두 방식 모두 복잡한 계산을 손쉽게 함으로써 결과 도출에 효율적이고 분석 결과에 대하여 객관적으로 검증이 가능해졌다. 특히 Self-Organizing Map (SOM)은 자기 조직화 및 자기학습의 특성을 가진 비지도 인공지능망 모델로, 생태학, 지리학 및 토지 시스템 관련 연구에 널리 사용되어 왔다(Peng et al., 2016; Peng et al., 2019).

자연공원의 용도지구를 설정함에 있어서 공간적 특성에 따라 지구를 구분할 수 있도록 그 특성을 먼저 살펴보는 것이 중요하다. 이러한 배경으로 본 연구는 자연공원 중 해안형 국립공원인 태안해안국립공원을 분석 대상으로, 환경공간정

보와 SOM을 활용하여 구분되는 동질의 구역을 도출하고 이에 대한 특성을 살펴보고자 하였다.

II. 이론적 고찰

1. 자연공원 용도지구 지정과 평가

우리나라 자연공원은 자연생태계나 자연 및 문화경관을 대표할 만한 지역으로서 「자연공원법」에 의해 지정된 국립공원, 도립공원, 군립공원 및 지질공원을 말한다. 그중 국립공원은 1967년 지리산국립공원 지정 이후 우리나라의 생태계 및 자연자원의 보전과 지속가능한 이용을 위하여 다양한 노력을 기울여 왔다. 2000년대부터는 ‘자연공원의 보전과 지속가능한 이용’ 목표 하에 자연공원 내의 용도지구를 구분하였다. 이에 자연공원의 생태적·경관적·문화적 가치와 지역사회를 고려하여 공원자연보존지구, 공원자연환경지구, 공원문화유산지구, 공원마을지구로 구분하고 관리체계를 마련해왔다.

우리나라 자연공원의 용도지구는 1980년 자연공원법 제정과 함께 구획되었으며, 2009년부터 2012년까지 수행된 2차 타당성 조사 및 구역조정 단계에서 생태계 기반 평가체계가 도입되었다(Ministry of Environment, 2008). 이후 제3차 국립공원 타당성 조사 및 자연공원 제도개선 마련 연구에서는 객관적·과학적으로 국립공원의 용도지구 변경을 위하여 서식지 기반, 원시성, 보호지역, 경관·지형·지질 및 문화자원을 종합하여 생태기반평가 방법을 고도화하였다(Ministry of Environment, 2019).

이처럼 우리나라의 자연공원에 대한 용도지구를 지정함에 있어서 아직까지는 주로 생태적 관점에서만 평가가 이루어지고 있다. 국외에서는 생태계 보호지역 지정에 생태적 관점 외에 생태계서비스와 인문적 가치 등을 다각적으로 고려한 지표를 활용하여 생태적 가치와 주변 지역사회와의 관계성을 종합하여 고려하고 있다(Giakoumi et al., 2013; Levin et al., 2013;

Dickson et al., 2017).

또한 평가 지표에 대한 분석 방법도 단순 도면 중첩 방법을 통해 구역을 구분하고 평가되고 있는 것이 한계로 제시되어 왔다(환경부, 2007; 환경부, 2008). 나아가 우리나라 자연공원은 산림형, 도시·사적형, 해안·해상형으로 공원의 위치와 특성에 따라 유형이 구분되고 있으나, 아직까지 자연공원의 유형에 따라 나타나는 공간적 특성이 고려되지 못하고 획일적인 분석 방법에 의해 평가되어 유형별 가치가 반영되지 못하고 있다는 지적도 있다(Koo et al., 2022). 이처럼 현재까지 유지되고 있는 기존의 용도지구 관련 평가 기준과 평가의 타당성 및 실효성 등에 대한 문제점은 다수의 연구에서도 지속적으로 제기되어 오고 있다(Park et al., 2008; Koo, 2020; Koo and Park, 2020; Koo et al., 2022).

2. Self-Organizing map을 활용한 지역 및 공간 구획과 평가

본 연구에서 활용하는 Self-Organizing map (SOM)은 지도도 학습 방법 중 하나로, 고차원의 데이터 세트를 저차원 공간에 투영하여 데이터들을 클러스터링 및 시각화하는 분석 기법이다(Ji, 2000; Hilker et al., 2009).

SOM은 동일한 속성을 가진 데이터끼리 그룹화하고 분류한다는 점에서 K-means와 유사하다(Jain et al., 1999). 하지만 선행연구 결과를 통해 SOM이 K-means보다 평균오차 및 표준오차 측면에서 더 작았고, 분석에 있어서도 구조적인 오류의 발생이 더 적은 것으로 나타났다(Bação et al., 2005).

또한 데이터를 클러스터링함에 있어서 K-means는 단순 유사 속성을 기반으로 군집을 이루는 반면에, SOM 방법은 데이터의 토폴로지(topology) 및 분포를 유지하면서 그룹화하는 점에서 차이가 있다(Bagan et al., 2010). 따라서 공간기반으로 작성된 데이터에 대하여 일관된 그룹을 식별하고 시각화 및 분석을 수행할 때

SOM이 더욱 적합하다고 볼 수 있다.

SOM은 현재 생태적 가치 평가 및 원인규명과 지리학, 지질학, 수문학 등의 공간기반 연구 분야에서 널리 사용되고 있으며, 그 효과성도 입증되었다(Kalteh et al., 2008, Park et al., 2014, Zhou et al., 2021; Clark et al., 2020; Ditttrich et al., 2017). 이에 본 연구에서 자연공원의 공간 특성을 구분하는 데 SOM 방법을 적용하는 것이 적합하다고 판단하였다.

III. 연구방법

1. 연구의 범위

태안해안국립공원은 한국의 유일한 해안형 국립공원이며, 면적은 해상면적 352.796km²와 육상면적 24.223km²로 총 377.019km²이다. 태안해안국립공원의 해안지역은 학암포에서 영목까지 총 230km 길이의 리아스식 해안이 길게 형성되어 있으며, 천연기념물 제431호로 지정된 신두리 해안사구와 갯벌 등 생태적으로 주요한 자원과 다양한 경관자원을 보유하고 있다. 또한 트레킹코스인 태안해변길이 조성되어 있어서 트레일을 따라 걸으면서 바다, 갯벌, 사구, 숲길 등 태안해안국립공원 전역의 자연경관을 감상할 수 있다.

태안해안국립공원의 용도지구 중 공원자연환경지구는 공원 전체의 99.9%에 해당된다. 이는 국립공원 범위의 전체가 하나의 지구로 관리되고 있음을 의미한다. 그러나 태안해안국립공원에는 다양한 자원과 경관, 이에 따라 나타나는 특성들이 존재하기 때문에, 넓은 해안지역에 대하여 생태적·환경적 특성에 따라 관리구역이 설정될 필요가 있으며, 특성에 따라 용도지구의 조정이 필요하다. 이를 통해 각 환경특성에 맞는 보전과 활용의 균형있는 관리 방안을 수립할 수 있다. 그러기 위해서는 국립공원 전체 범위에서 어떤 곳이 어떤 특성을 갖고 있는지 파악되어야 한다. 이에 본 연구에서는 태안해안국립

Table 1. Indicators used in this study

Evaluation factors	Category	Detailed evaluation indicators	Utilization data	Data source
Natural Environment	Terrain	Elevation	DEM	National Geographic Information Institute
		Slope	DEM	National Geographic Information Institute
	Naturalness	Naturalness	Hemeroby	Land Cover Map
	Ecology	Habitat Quality	Habitat Quality	Land Cover Map
		Forest Landscape Integrity	Forest Landscape Integrity Index	Acquired from UNBL
Diversity	Landscape Diversity	Shannon Diversity	Land Cover Map	
Humanities Environment	Traffic	Accessibility	Road	Continuous digital topographic map
	Residence and tourism	Built Area	Total number of buildings	National Statistical Map
	Population	Population	Total number of residents	National Statistical Map

공원을 대상으로 환경지표를 활용하여 용도지구 구역 설정을 하고자 하였으며, 그 결과로 도출되는 구역들에 대하여 어떤 특성을 갖고 있는지를 파악하였다.

마지막으로, 태안해안국립공원의 해양지역은 공간토지피복도, DEM과 같은 공간정보와 이용자 특성 분석에 있어서 적합한 대상이 아니므로 분석의 내용범위에서 제외하였다. 이에 대해서는 3차 국립공원 타당성조사 연구에서 용도지구 조정안 제시에서 육상지역을 대상으로 한정하여 분석한 사례를 참고하였다.

2. 지표 선정 및 데이터 구축

먼저 태안해안국립공원의 용도지구를 설정하기 위하여 분석에 사용될 지표를 선정하는 것이 매우 중요하다. 연구에서는 환경지표를 자연환경과 인문환경으로 구분하여 평가지표를 선정하였다(Table 1). 개별 지표들은 Qgis와 R, InVEST 등의 툴을 활용하여 평가하였으며, 최종적으로는 Qgis를 이용하여 공간상에 표현하였다. 또한 연구대상 범위에 대한 전 지표를 용이하게 통합하기 위하여 태안해안국립공원 전

역에 대하여 500×500m 그리드를 기반으로 격자화 하였다.

1) 자연환경 요소

(1) 지형, 경사

지형과 경사도는 국립공원의 자연환경을 파악하기에 가장 기본적인 분석 지표이다. 이를 통해 대상지의 전반적인 지형을 파악할 수 있으며, 이 지표들은 이후 분석에 활용된 자연성, 식지 질, 산림경관 건전성 지표와의 관계와 해석에서 활용하였다. 지형 및 경사도는 국토지리정보원의 국토정보플랫폼에서 DEM 래스터 파일을 취득하여 도출하였다.

(2) 자연성

자연성 지표는 헤메로비 지수(Hemeroby Index)를 활용하였다. 헤메로비 지수는 식물학자 Jalas에 의해 식물과 인간의 영향 정도를 측정하기 위해 개발되었다(Jalas, 1955). 이후 인간이 생태계에 미치는 영향을 통합적으로 측정하기 위한 도구로서 활용되고 있다(Borhidi, 1995; Winter, 2012). 헤메로비 지수 값은 자연과 경관에 대한 인간의 영향 정도를 토지피복분류에 따

Table 2. Assignment of perceived land cover naturalness scores by Land cover classes

Perceived naturalness score	Class and code
Very high (7)	Rock(613)
High (6)	Broad-leaved forest(311), Inland marshes(511), Tidal flat(521), Beach(611), Ocean water(721), Salt field(522), Riparian zone(612), River(711), Lake(712)
Rather high (5)	Coniferous forest(321), Mixed forest(331), Natural grasslands(411), Other grasslands(423), Mined areas(621)
Medium (4)	Irrigated rice paddy(211), Irrigated arable land(221), Pasture(251), Other cultivation patterns(252), Cemetery(422), Land in fallow(623)
Rather low (3)	Non-irrigated rice paddy(212), Non-irrigated arable land(222), Orchard(241), Golf course(421), Unpaved playground(622)
Low (2)	Residential area/housing area(111), Block of flats(112), Mixed area(132), Culture, sports and recreation facilities(141), Facility cultivation(231), Environmental facilities(161), Educational administration facilities(162), Other public facilities(163)
Very low (1)	Industrial facilities(121), Commercial and business facilities(131), Airports(151), Ports(152), Rail roads(153), Roads(154), Other transportation and communication facilities(155)

라 평가함으로써 경관을 평가하고 모니터링하는 데 사용되는 지표이며(Kowarik, 1988; Walz and Stein, 2014; Kim and Son, 2021), 사이트 및 서식지의 자연성 상태를 체계적으로 추정하는 간단하면서도 강력한 방법이다(Kim et al., 2002; Sengl et al., 2017).

헤메로비 지수를 분석하기 위해 토지피복도 세 분류를 활용하였으며, 각 인자별로 Hermes(2018)에서 제시된 Perceived Naturalness Code에 맞추어 자연성 등급을 설정하고 점수화 하였다(Table 2). 이후 전체 레스터 데이터에 대하여 공간통계를 사용하여 헤메로비 점수 평균값을 산출하였다.

(3) 산림경관 건전성

산림경관 건전성 지수(Forest Landscape Integrity Index, FLII)는 UNBiodiversity Lab (UNBL)에서 제공하는 데이터로, 관측 및 추론된 산림 압력과 파괴된 산림연결성 데이터를 통합하여 도출된 지표이다(Grantham et al, 2020). 이 데이터는 2020년 이후 세계 생물다양성 프레

임워크에 해당되는 생태계 건전성과 관련된 목표를 위하여 전 세계의 산림을 정량적 모니터링하기 위해 개발되었다. 여기에 포함되는 데이터로는 (i) 전체 산림 범위, (ii) 농업 및 벌채 등으로 인해 영향을 미치는 인간의 압력, (iii) 관찰된 압력에 대하여 모델링된 가장자리 효과 및 사냥 및 선택적 로깅 등과 관련한 추론된 압력, (iv) 산림 손실로 인한 산림 연결성의 인위적 변화 양상이 있다. 생태학적으로 건전성이 높은 산림은 향후 탄소 흡수 및 저장에 대하여 중요한 역할을 수행하기 때문에 해당 데이터는 높은 가치를 가진다.

데이터는 2019년 전 세계의 산림 범위에 300×300m 그리드에 적용하여 계산되었다. 계산된 수치의 범위는 0(최저 건전성)에서 10(최고)까지 분포될 수 있으며, 선행연구에서는 해당 범위에 대하여 ‘낮음(≤6.0)’, ‘중간(>6.0 및 <9.6)’, ‘높음(≥9.6)’ 세 가지 기준으로 산림의 건전성을 정의하였다. 이에 따라 본 연구에서는 태안지역의 산림경관, 식생의 건전성 정도를 살

펴보기 위하여 연구범위에 해당되는 데이터를 취득하여 도면화 하였다.

(4) 서식지 질

서식지 질은 개체군과 종의 생존에 요구되는 자연 환경의 능력을 의미하며(Krausman, 1999; Song et al., 2020), 생물종이 생존할 수 있는 생태계의 능력을 나타낸다(Polasky et al., 2011; Terrado et al., 2016; Sun et al., 2019). 서식지질을 평가하기 위해서 InVEST를 활용하였다. InVEST 모델은 미국 자연자산프로젝트(Natural Capital Project, 2020)의 일환으로 자연으로부터 얻을 수 있는 가치를 평가하기 위한 목적으로 오픈소스를 이용해 만든 모델이며, 현재 작물 수분, 탄소저장량, 서식지질, 레크리에이션 등 19개 항목의 세부 모델이 개발되었다. 각각의 모델은 토지피복도를 기반으로 관련 인자를 적용하여 가치 평가를 가능하게 하였다(Sharp et al., 2014). 그중 ‘Habitat Quality’ 모델은 시나리오 분석 프레임워크에서 인위적 위협의 함수로 서식지 품질을 추정하는 새로운 평가도구이다(Polasky et al., 2011). 또한 이 모델은 종 분포 데이터의 수가 적거나 혼합 서식지 유형이 공존하는 연구 지역을 분석할 때에도 활용 가능한 특징을 갖는다.

(5) 경관 다양성

경관다양성 지수는 풍부함(richness)와 균일함(evenness)을 포착하도록 설계된 지표이며, 풍부함은 한 지역에서의 다양한 경관 유형의 수를 의미하고, 균일함은 전체 지역에서의 여러 경관 유형간의 비율 분포를 반영하고 있다. Shannon-Wiener Index는 종의 풍부도 분포의 변화를 나타내기 위해 개발된 지표이며, 경관의 질을 평가하는데 주로 사용되는 지표이다(Hunziker and Kienast, 1999; Frank et al., 2013; Plexida et al., 2014). 또한 크기, 모양 등의 서로 다른 크기의 경관패치에 대해서도 적용이 가능한 특징을 가진다.

이에 본 연구에서는 여러 토지피복 유형을 기

반으로 나타나는 경관 패턴의 다양함 정도를 살펴보기 위하여 Shannon의 다양성 지수(Shannon Diversity Index)를 활용하였다. Shannon 다양성 지수(SHDI)는 다음과 같이 표현된다.

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i$$

P_i 는 토지피복 유형 i 의 면적 비율이고 m 은 토지 피복 유형의 총 수를 의미한다. Shannon의 다양성 지수는 지역에서의 경관 이질성을 나타내며, H 값이 높아질수록 경관이 다양하고 균일도도 높아짐을 의미한다(Nagendra, 2002). Shannon의 지수 값은 경관 선호도와 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며(Dramstad et al., 2006), 따라서 본 연구에서는 자연환경에 대한 경관의 다양성을 산출하기 위하여 시가화지역을 제외하고 총 5유형(Arable Land, Forest, Greenspace, Waterland, Wetland)의 자연환경요소에 대하여 분석하였다.

본 연구에서는 경관다양성을 도출하기 위하여 토지피복도 세분류 데이터를 R의 vegan 패키지로 분석하였다.

2) 인문환경 요소

연구에서는 인문환경 요소로 도로망, 건축물 수 그리고 인구 데이터를 활용하였다. 국립공원, 도립·군립공원을 포함하고 있는 자연공원은 무조건적인 보전만을 목적으로 한 곳이 아니라 일부 지역에 주민과 관광객 등의 인간 활동이 허용되고 그들의 생활을 유지하는 데에 필요한 지역을 포함하고 있다.

따라서 자연공원에 대한 접근성과 생활 기반 및 관광시설을 자연환경과 함께 살펴볼 필요가 있다. 접근성을 파악하기 위해 도로망 데이터를 사용했으며, 이는 연속수치지형도에서 도로에 해당되는 폴리곤을 그리드에 투영하여 계산하였다.

또한 주민들의 생활을 포함하기 위하여 총인구 데이터를, 마을지역과 펜션 및 상업시설구역을 도출하기 위하여 공원 내 건축물 수를 국가공간정보포털의 국토통계지도에서 제공하는 데

이터로 활용하였으며, 해당 데이터는 각각 2022년 4월과 5월을 기준으로 기록된 데이터이다.

3. Self-Organizing Map(SOM)을 활용한 도면 중첩 및 특성 분석

앞서 도출한 환경공간정보에 대하여 각각의 그리드 맵으로 데이터를 변환하고 SOM 분석을 수행하였다. SOM은 R에서 kohonen 패키지를 사용하여 분석하였다.

SOM 분석에서는 데이터의 특이치에 민감하게 반응하기 때문에, 전체 데이터에 대하여 z-score로 표준화 과정을 거쳤다. 또한, 분석과정에 있어 클러스터링할 군집 수를 설정하는 단계가 필요하다. 따라서 python에서 yellowbrick을 활용하여 최적의 군집 개수를 도출하였으며, 그 결과로 도출되는 군집 개수를 SOM에서 나누어지는 구역 수로 설정하였다.

SOM 분석 결과로 도출된 클러스터링에 대하여 각 그룹마다의 지표별 기여도를 함께 산출하였다. 이를 통해 클러스터(그룹)별 나타나는 공간 특성을 파악하고 해석하고자 하였다.

IV. 연구결과 및 고찰

1. 지표별 공간 패턴

500×500m의 격자로 이루어진 태안해안국립공원에 대하여 앞서 선별한 9개의 환경지표의 공간적 분포 및 패턴을 도출하였으며, 그 결과는 Figure 1과 같다.

표고와 경사는 표고가 높아지면 경사도 함께 높아진다. 그러나 산림경관 건전성은 이 두 지표와 다른 패턴을 보이고 있었다. 보통 경사가 높은 곳이 산림으로 되어 있는 경우가 많지만, 산림경관 건전성 지표 도면을 보면 원부면, 소원면을 따라 선형으로 값이 높은 것으로 나타났고 안면도에서 국사봉을 중심으로 산림 건전성이 높게 나타났다. 또한 표고나 경사 도면에 의하면 삼봉해수욕장과 빗개해수욕장 부근이 산림지역으로 보이지만 산림 건전성 지표에는 그

곳의 점수가 낮은 것을 볼 수 있다.

경관다양성 지표에 대해서는 진한 색상을 띄는 곳이 자연경관이 다양한 곳을 의미한다. 그 결과로 태안해안국립공원에는 근흥면의 섬 지역을 제외하고 전체 지역의 경관이 다양하게 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. 특히 신두리해안사구와 꽃지해수욕장을 중심으로 경관 다양성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 신두리해안사구와 꽃지해수욕장 주변에 여러 경관들이 복합적으로 작용하고 있는 것을 의미한다. 실제로 신두리해안사구와 꽃지해수욕장은 태안해안국립공원의 대표적인 경관 중 하나로 알려져 있으며, 그 주변으로는 습지와 수역 등 다른 위치에서는 보기 힘든 경관들이 존재한다.

자연성 지수는 서식지 질 분석 결과와 비슷하게 나타났다. Figure 1에서 나타난 것과 같이 자연성 지표의 값이 낮거나 높게 나타난 곳에 대해서 서식지 질 지표 값도 낮거나 혹은 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 두 지표는 해안가를 중심으로 내륙지역에 대해서 자연성과 서식지 질이 낮았는데, 특히 천리포해수욕장, 몽산포해수욕장, 안면해수욕장 등 태안해안국립공원의 주요 해수욕장을 중심으로 가장 낮은 값을 보이고 있다.

인문환경 요소에 해당되는 접근성, 건축물 수와 총인구 지표들은 비슷한 패턴을 보여준다. 이는 도로망 발전으로 인해 접근성이 우수한 곳에 건축물이 지어지고, 그곳을 중심으로 지역사회가 형성되기 때문이다. 도면에서 나타나는 분포를 살펴보면, 만리포해수욕장, 몽산포해수욕장, 삼봉해수욕장, 꽃지해수욕장을 중심으로 주로 발전된 것으로 나타났다. 이러한 양상은 자연성 지표와 서식지 질의 분석 결과와 일치하며, 인문환경 요소의 비중이 높은 곳은 개발 등으로 인해 자연환경에 대하여 인간 활동의 압력이 강한 곳임을 알 수 있다.

2. Self-Organizing map(SOM) 분석 결과

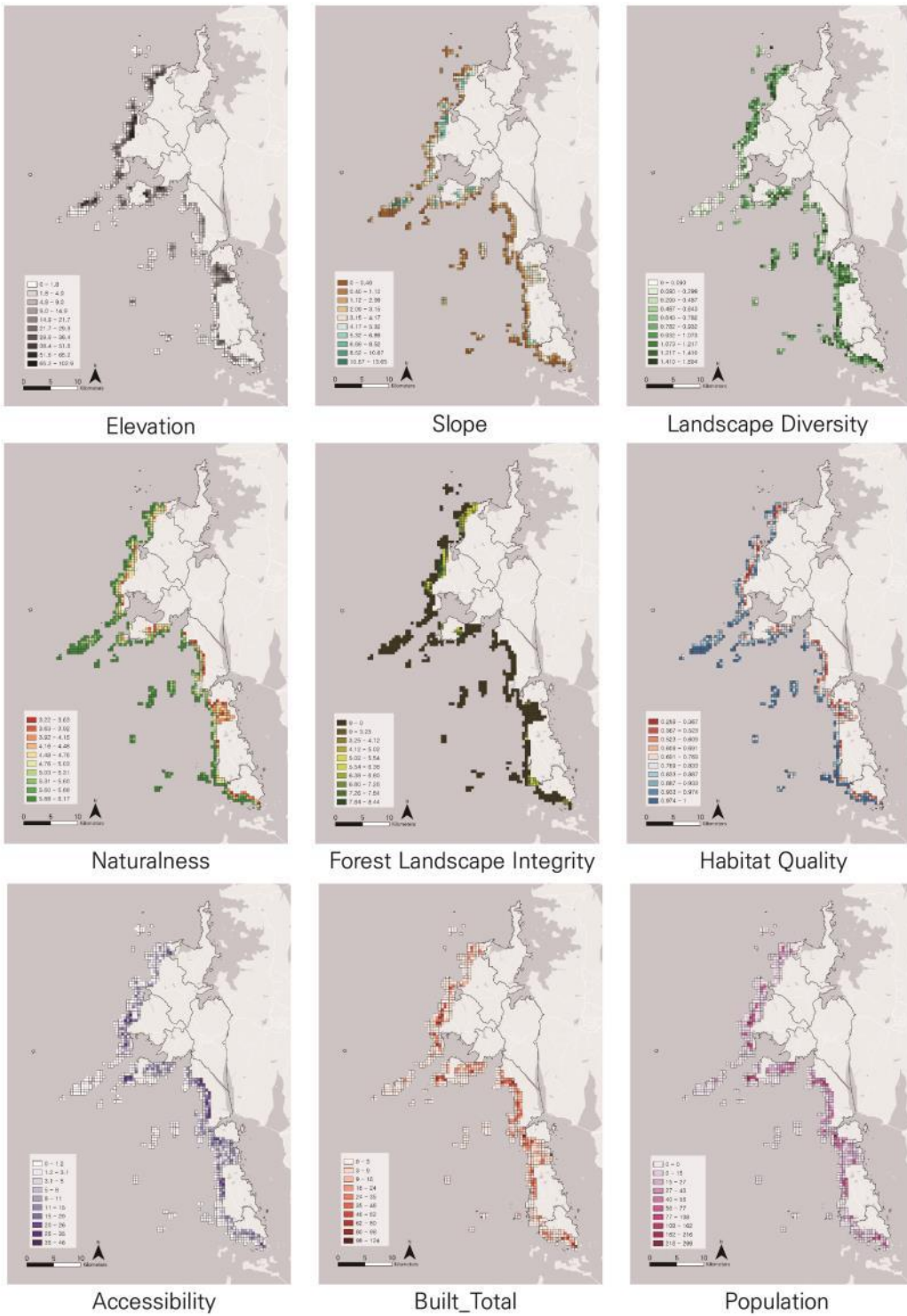


Figure 1. Maps according to environment variable analysis

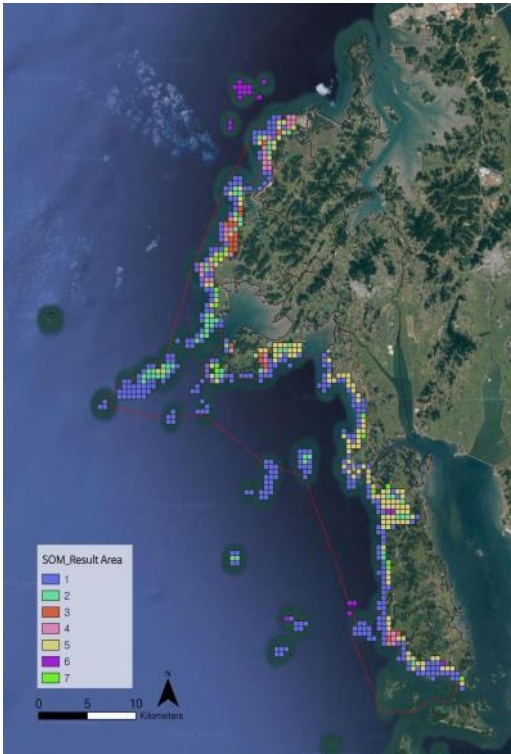


Figure 2. Areas of Taeanhaean National Park derived from SOM analysis results

앞서 분석된 9개 지표 값에 대하여 개별 지표들이 태안해안국립공원 전역에서 얼마만큼의 비중으로 서로 연관되어 있으며, 그 결과로 구역으로 어떻게 나누어지는지 분석하기 위하여 SOM 분석 기법을 활용하였다. 분석에 앞서 python을 활용하여 최적의 구역의 수를 도출하였으며, 태안해안국립공원에는 7개의 특성을 가진 구역으로 나누어지는 것을 확인하였다. SOM 결과는 다음과 같다(Figure 2).

태안해안국립공원에 대해 A1이 53.5%로 가장 높은 비율로 분포하고 있으며, A5(22.4%), A2(9.7%), A4(5.7%) 순으로 넓게 분포하고 있었다. 그중 가장 낮은 비율로 일부 지역에서만 나타난 구역은 A7로 2.3%이다.

A1은 태안에서의 해안선을 따라 선형으로 길게 분포되어 있으며, 해수면에 해당되는 곳을 함께 포함하고 있다. A2는 원북면, 소원면, 근흥

면 위주로 분포하고 있다. 그중에서도 구례포해수욕장에 위치한 캠핑장, 천리포수목원, 가의도 등 수목 및 식재와 관련된 장소들이 주요 경관으로 보이는 곳에 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. A3은 소원면을 중심으로 나타났고, 그중에서도 특히 천리포와 만리포를 중심으로 강하게 밀집되어 있었다. 천리포에는 천리포수목원이 위치하고 있고 만리포에는 오토캠핑장과 솔밭캠핑장이 위치한다. 이를 통해 A3은 경관과 관련되어 있는 것으로 볼 수 있다. A4는 원북면과 소원면에 주로 분포되어 있으나 A3와 서로 비슷한 양상을 보이고 있는 것으로 나타났다. A4역시 국사봉, 천리포수목원, 만리포 솔숲, 그리고 모항항 인근의 숲을 중심으로 위치하고 있었다. A2,3,4는 세세하게 살펴보면 다르게 분포되어 있으나, 수목과 관련한 장소를 중심으로 분포되어 있는 것을 보았을 때, 일정부분 동일한 성격을 갖는 구역임을 알 수 있다.

A5는 태안해안국립공원 중 내륙지역에 선형으로 길게 분포되어 있다. A5는 특히 주요 해수욕장들 주변에서 주로 분포하고 있었고, 펜션단지나 기타 숙박시설위주, 그리고 생활기반시설을 중심으로 분포되어 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 A5는 태안해안국립공원 주변에 존재하는 주민생활 및 관광업과 관련된 곳임을 알 수 있다. A7은 태안해안국립공원에서 가장 낮은 비율을 가진 구역이다. 지도를 통해 해당 구역의 위치를 파악한 결과 A7은 A5와 비슷하게 펜션단지 및 캠핑장을 중심으로 분포되었으며, A5와의 다른 점으로는 A7은 주민생활보다는 방문객이 머무를 수 있는 관광 관련 숙박에 대해서만 위치하고 있는 점이다.

마지막으로 A6는 주로 섬 지역에 분포하고 있으며, 그 외에도 저수지, 갯벌 등 수변경관과 관련한 구역을 중심으로 나타났다.

3. SOM을 활용하여 도출된 태안해안국립공원의 공간 특성

Table 3. Contribution of the environment variables to the SOM identified areas

Area	DEM	Slope	Naturalness	Forest Integrity	Habitat Quality	Landscape Diversity	Road	Built	Population
A1	-0.522	-0.530	0.681	-0.342	0.467	-0.068	-0.369	-0.495	-0.473
A2	1.353	1.716	-0.392	-0.139	0.306	-0.492	-0.005	-0.309	-0.117
A3	3.014	2.147	-0.538	2.828	0.266	0.194	-0.195	-0.032	-0.130
A4	0.371	0.658	-0.180	2.637	-0.159	0.535	-0.248	-0.120	-0.322
A5	0.208	0.137	-0.928	-0.139	-0.571	0.144	0.596	1.236	1.287
A6	-0.625	-0.762	-1.739	-0.373	-3.623	0.021	-0.345	-0.516	-0.555
A7	0.104	0.158	-1.521	-0.081	-1.500	0.652	4.233	1.895	0.764

SOM 분석 결과로 도출된 구역들에 대하여 9개의 환경변수들이 어떻게 적용되었는지, 그리고 이를 통해 각 구역마다 어떤 특성을 가지고 있는지 살펴보았다(Table 3).

A1은 7개 구역 중 자연성 지수 및 서식지 질이 가장 높은 곳이다. 앞서 구역들의 분포를 보았을 때, 태안해안국립공원 전역에 대하여 건선형으로 해안지역을 포함하고 있었다. 이 구역은 도로, 건축물 등으로 이루어진 인문환경 요소의 영향을 받지 않고 자연성이 가장 유지되고 있는 곳임을 알 수 있다.

A2,3,4는 각 구역의 분포에서도 비슷한 양상을 보이고 있으며, 지표별 기여도 결과에서도 세 구역이 유사하다. 우선 A2, A3, A4는 공통적으로 경사와 표고가 가장 큰 영향을 미치며, 세부적으로 A2는 서식지 질이, A3은 산림경관 건전성과 서식지질, 그리고 A4는 산림경관 건전성이 중점이 되면서도 경관다양성 지수의 비중이 높은 것으로 나타났다. 세 구역 중 산림 환경과 서식지 질 등을 고려하여 생태적 자연성이 높은 곳은 A3임을 알 수 있다. 또한 A4의 경우에는 산림경관 건전성이 높음과 동시에 다양한 경관을 보유한 곳으로, 태안해안국립공원의 여러 경관을 보유한 생태적 경관거점으로서 역할을 수행할 수 있는 구역이다. 이렇듯 세 구역들의 물리적 환경이 비슷하더라도 구역별 지표의 비중에 따라 특성이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

A5와 A7은 분포에서도 확인하였듯이, 인문 환경 지표들의 비중이 가장 높았다. 두 구역에 대한 기여도를 살펴보면 건축물에 대한 비중은 두 구역 모두 높게 나타나지만, 인구 지표에 있어서는 A5가 A7보다 높다. 이를 통해 A5에 해당되는 구역이 주민들이 거주하고 있는 지역생활권일 확률이 높은 것으로 해석 가능하다. 반면에 A7은 접근성의 비중이 가장 높았으며, 앞서 실제 지도와의 대조를 통해 보았을 때 펜션 단지 및 캠핑장으로 이루어진 관광구역으로 볼 수 있다.

또한 A6은 전체 지표에 대하여 전반적으로 비중이 모두 낮게 나타났으며 그중에서는 경관 다양성 지표가 높았으나, 이것 또한 다른 구역에 미치는 영향에 비해 낮다. 그 이유로는 A6은 섬지역과 해안지역, 그리고 갯벌 등이 존재하는 지역에 대해서만 분포되어 있기 때문에 산림 및 생태지표를 포함한 자연환경과 인문환경 요소들의 적용이 미미했던 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 자연공원의 용도지구를 새롭게 설정하기 위한 기초자료로서 공원의 특성에 따라 구분되는 지역을 도출하는 방법을 제시하였다. 이에 따라 구역 설정에 적용 가능한 자연환경 및 인문환경에 해당하는 지표를 선정하고, 머신러닝 중 비지도학습을 기반으로 한 Self-Organizing Map(SOM)

분석 방법을 활용하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 자연환경을 나타낼 수 있는 지표 6개와 인문환경을 반영할 수 있는 지표 3개를 선정하였다. 자연환경에 대해서는 표고, 경사, 자연성, 서식지 질, 경관다양성, 산림경관 건전성 지표를, 인문환경은 접근성, 건축물 수, 총인구 지표를 선정하였다. 자연공원은 자연생태계와 자연 및 문화경관 등을 보전하고 지속 가능한 이용을 도모하기 위해 지정된 곳이기 때문에, 생태적·자연적 가치를 평가할 수 있는 지표 선정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 헤메로비 지수를 이용하여 자연성지수를 도출하였고, 서식지 질과 산림경관 건전성 지표를 활용하여 생태적 가치를 평가하고자 하였다. 또한 경관다양성 지표를 선정하고 적용함으로써 자연경관의 다양성을 보유한 구역을 도출하고자 하였다. 또한 자연환경 요소와 함께 인문환경 요소를 용도지구 도출에 포함함으로써 자연공원 지역에 함께 살아가는 거주민 및 방문객 또는 관광객을 고려하는 구역 설정에 도움이 되고자 하였다.

둘째, SOM 분석 방법을 적용하여 태안해안국립공원 내에 7개의 구역을 도출하였다. 각 구역의 분포 패턴을 살펴본 결과 A1과 A6은 해안지역에 위치하고 있거나 해안선 및 그 주변 수공간을 중심으로 분포하고 있다. A2, A3, A4는 원북면과 소원면을 중심으로 주로 분포하고 있었으며 이 구역들은 숲, 수목원, 산림 등 숲과 식재와 관련된 장소를 포함하고 있는 것으로 나타났다. 또한 A5와 A6은 태안해안국립공원 내 혹은 주변에 위치하고 있는 주민생활지역 및 캠핑장, 펜션단지 등 이루어진 관광지역임을 알 수 있다.

각 구역들의 분포와 함께 각각의 지표들이 어떤 비중을 갖는지 살펴보고, 이를 토대로 구별별 특성을 밝혔다. 자연성과 서식지 질이 가장 높은 구역은 A1이었으며, A2, A3, A4는 개별적으로 특성이 다르지만 전체적으로 산림경관과 서식지 질이 우수한 구역으로 나타났다. 이는 분포패턴

을 보았을 때에도 서로 인접한 지역에 분포하고 있어서 동일한 성질을 가진 것으로 보일 수 있으나, SOM분석을 통해 도출된 각 지표의 기여도를 분석함으로써 세부적인 특성을 밝혀낼 수 있었다. 또한 A5와 A7에 대해서도 시가화지역으로 동일한 성격을 가진 구역으로 볼 수 있으나, A5는 지역주민의 생활을 기반으로 구역이 설정된 곳이고 A7은 관광 위주의 구역임을 알 수 있다.

기존의 용도지구는 지역의 자원과 보호지역 등을 고려하여 설정되지만, 태안해안국립공원의 용도지구는 공원의 99.9%가 자연환경지구 하나로 구분되어 관리되고 있다. 그러나 자연환경지구 내에서도 세부적으로는 각 지역 및 위치마다 자연 및 인문환경의 특성이 다르게 존재한다. 따라서 환경적 요소를 기반으로 구역을 나누고 그 특성에 맞게 관리방안을 수립할 필요가 있다.

본 연구에서 적용한 지표는 자연공원의 자연환경과 인문환경을 종합적으로 평가 가능한 지표이며, 지형·경사, 헤메로비 지수, 서식지 질, 경관다양성, 총인구 등의 지표 분석에 사용된 데이터는 DEM, 토지피복도, 국토통계지도 등의 전국 데이터로, 태안해안국립공원에만 해당되는 특수한 데이터가 아닌 다른 자연공원에도 적용·평가 가능하고 공간적 특성을 도출할 수 있다. 또한 본 연구에서 제시하고 활용한 SOM 방법은 유사한 속성을 가진 데이터를 인접한 데이터와 연결하고, 클러스터링 분석 및 데이터 시각화에 적합한 방법이다. 이는 자연 및 인문환경 데이터를 종합하여 군집을 만들고 도면화하여 관리계획을 수립하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 더불어 본 연구에서 제시한 분석 방법은 단순 도면중첩법이 아닌 머신러닝 기법을 적용하였기에, 국제적으로도 요구되는 보전지역 관리에 대한 객관적이고 과학적인 분석 방법의 필요성에 부합하며, 관리체계를 고도화하는 데 효과적인 방법이 될 수 있다.

다만, 본 연구의 결과는 격자 형태로 도출되었기 때문에 연구 결과에서 바로 새로운 용도지

구로 경계를 구분하는 것에는 어려움이 있다. 2019년에 수행된 제3차 국립공원 타당성 검토 관련 연구에서도 격자 형태의 분석결과를 기반으로 용도지구를 구분하였으나, 이러한 결과는 실질적으로 자연공원 내의 용도지구 경계를 구분하고 관리하기에는 현실적으로 한계가 발생한다. 따라서 향후 용도지구의 경계를 설정함에 있어서 본 연구결과와 공원 내 개발정도, 토지 소유 관계 등의 사항들이 종합적으로 고려되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 생물종 관련 데이터를 분석에 반영하지 못한 한계가 있다. 국립공원에는 멸종위기종과 보호종 또는 보호지역이 존재하고 있으며, 지자체 및 관리 기관에서는 이에 대한 분포를 주요 지표로 설정하고 관리에 적용하고 있다. 본 연구는 다른 자연공원에 대해서도 분석이 가능하도록 지표를 설정하는 것을 목표로 하였으며, 향후 연구에서는 생물종과 관련된 데이터의 적용이 고려될 필요가 있다.

References

- Bação, F., Lobo, V. and Painho, M.(2005) Self-organizing maps as substitutes for k-means clustering. In Computational Science - ICCS 2005: 5th International Conference, Atlanta, GA, USA, May 22-25, 2005, Proceedings, Part III 5 (pp. 476-483). Springer Berlin Heidelberg.
- Bagan, H., Takeuchi, W., Kinoshita, T., Bao, Y. and Yamagata, Y. (2010). Land cover classification and change analysis in the Horqin Sandy Land from 1975 to 2007. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(2), 168-177.
- Borhidi, A.(1995) Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian flora. *Acta Bot Hung* 39: 97-181.
- Bruner, A. G., R. E. Gullison, R. E. Rice and G. A. Da Fonseca(2001) Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *science* 291(5501): 125-128.
- Clark, S., Sisson, S. A. and A. Sharma(2020) Tools for enhancing the application of self-organizing maps in water resources research and engineering. *Advances in Water Resources* 143: 103676.
- Das, S., P. P. Adhikary, P. K. Shit and B. Bera(2021) Urban wetland fragmentation and ecosystem service assessment using integrated machine learning algorithm and spatial landscape analysis. *Geocarto International* 1-19.
- Dittrich, A., R. Seppelt, T. Václavík and A.F. Cord(2017) Integrating ecosystem service bundles and socio-environmental conditions - A national scale analysis from Germany. *Ecosystem Services* 28: 273-282.
- Dramstad, W.E., M.S. Tveit, W.J. Fjellstad and G.L.A. Fry(2006) Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure. *Landscape and urban planning* 78(4): 465-474.
- Frank, S., C. Fürst, L. Koschke, A. Witt and F. Makeschin(2013) Assessment of landscape aesthetics - Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty. *Ecological indicators* 32: 222-231.
- Fu, M., J. Tian, Y. Ren, J. Li, W. Liu and Y. Zhu(2019). Functional zoning and space management of three-river-source national park. *Journal of Geographical Sciences*

- 29(12): 2069-2084.
- Geneletti, D. and I. van Duren(2008) Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. *Landscape and urban planning* 85(2): 97-110.
- Ge, G., Z. Shi, Y. Zhu, X. Yang and Y. Hao(2020) Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: Performance assessment of four machine learning algorithms. *Global Ecology and Conservation* 22: e00971.
- Gosal, A. S., I. R. Geijzendorffer, T. Václavík, B. Poulin, and G. Ziv(2019) Using social media, machine learning and natural language processing to map multiple recreational beneficiaries. *Ecosystem Services* 38: 100958.
- Gosal, A. S., and G. Ziv(2020) Landscape aesthetics: Spatial modelling and mapping using social media images and machine learning. *Ecological Indicators* 117: 106638.
- Grantham, H. S., A. Duncan, T. D. Evans, K. R. Jones, H. L. Beyer, R. Schuster, J. Walston, J. C. Ray, J. G. Robinson, M. Callow, T. Clements, H. M. Costa, A. DeGemmis, P. R. Elsen, J. Ervin, P. Franco, E. Goldman, S. Goetz, A. Hansen, E. Hofsvang, P. Jantz, S. Jupiter, A. Kang, P. Langhammer, W. F. Laurance, S. Lieberman, M. Linkie, Y. Malhi, S. Maxwell, M. Mendez, R. Mittermeier, N. J. Murray, H. Possingham, J. Radachowsky, S. Saatchi, C. Samper, J. Silverman, A. Shapiro, B. Strassburg, T. Stevens, E. Stokes, R. Taylor, T. Tear, R. Tizard, O. Venter, P. Visconti, S. Wang and J. E. M. Watson(2020) Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity. *Nature communications* 11(1): 1-10.
- Gu, Q., H. Hu, L. Ma, L. Sheng, S. Yang, X. Zhang, M. Zhang, K. Zheng and L. Chen(2019) Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological Indicators* 102: 633-643.
- Hermes, J., C. Albert and C. von Haaren(2018) Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. *Ecosystem services* 31: 296-307.
- Hilker, T., M. A. Wulder, N. C. Coops, J. Linke, G. McDermid, J. G. Masek, F. Gao and J. C. White(2009) A new data fusion model for high spatial-and temporal -resolution mapping of forest disturbance based on Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment* 113(8): 1613-1627.
- Hull, V., W. Xu, W. Liu, S. Zhou, A. Viña, J. Zhang, M. Tuanmu, J. Huang, M. Linderman, X. Chen, Y. Huang, Z. Ouyang and J. Liu(2011) Evaluating the efficacy of zoning designations for protected area management. *Biological Conservation* 144(12): 3028-3037.
- Huang, F., K. Yin, J. Huang, L. Gui and P. Wang(2017) Landslide susceptibility mapping based on self-organizing-map network and extreme learning machine. *Engineering Geology* 223: 11-22.
- Hunziker, M. and F. Kienast(1999) Potential impacts of changing agricultural activities

- on scenic beauty - a prototypical technique for automated rapid assessment. *Landscape ecology* 14(2): 161-176.
- IUCN and World Commission on Protected Areas(WCPA)(2017) IUCN Green List of Protected and Conserved Areas: Standard, Version 1.1. Gland, Switzerland.
- Jalas, J.(1955) Hemerobe und hemerochore Pflanzenarten: Ein terminologischer Reformversuch. *Acta Soc. Pro Fauna Flora Fenn* 72: 1-15.
- Ji, C. Y.(2000) Land-use classification of remotely sensed data using Kohonen self-organizing feature map neural networks. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 66(12): 1451-1460.
- Kalteh, A. M., P. Hjorth and R. Berndtsson(2008) Review of the self-organizing map (SOM) approach in water resources: Analysis, modelling and application. *Environmental Modelling & Software*, 23(7): 835-845.
- Kim, D. E. and Y. H. Son(2021) Evaluation of Perceived Naturalness of Urban Parks Using Hemeroby Index. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 49(2): 89-100.
- Kim, Y. M., S. Zerbe, and I. Kowarik(2002) Human impact on flora and habitats in Korean rural settlements. *Preslia* 409-419.
- Kohonen, T.(1998). The self-organizing map. *Neurocomputing* 21(1-3): 1-6.
- Koo, K.(2020) Application of an ecological engineering approach in evaluating protected area at local scales. *Journal of Environmental Impact Assessment* 29(2): 144-155.
- Koo, K.A. and S.U. Park(2020) Prioritizing ecologically important areas under land-use changes in Jeju Island, Jeju, Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 55(3): 253-264.
- Koo, K.A., C.M. Im and B.Y. Yang(2022) Advancement on an Ecosystem-based Assessment System to Determine a New Special-purpose District in Terms of National Park Management. *The Geographical Journal of Korea* 56(4): 353-366.
- Kowarik, I.(1988) Zum Einfluss des Menschen auf Flora undVegetation. Theoretische Konzepte und ein Quantifizierungsansatz amBeispiel von Berlin (West). Berlin. Schriftenreihe des Fachbereichs. Landschaftsentwicklung der TU Berlin Berlin 56(1): 280.
- Krajter Ostoić, S., A. M. Marin, M. Kičić and D. Vuletić, D(2020) Qualitative exploration of perception and use of cultural ecosystem services from tree-based urban green space in the city of Zagreb (Croatia). *Forests* 11(8): 876.
- Krausman, P.R.(1999) Some basic principles of habitat use. *Grazing behavior of livestock and wildlife* 70: 85-90.
- Liu, X. and J. Li(2008) Scientific solutions for the functional zoning of nature reserves in China. *Ecological Modelling* 215(1-3): 237-246.
- Ministry of Environment(2007) Study on objectification of ecosystem protection area designation standards.
- Ministry of Environment(2008) 2nd National Park Feasibility Study Criteria and Natural Park System Improvement Research Report.
- Ministry of Environment(2019) 3rd National Park Feasibility Study Criteria and Natural Park

- System Improvement Research Report.
- Nagendra, H.(2002) Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied geography* 22(2): 175-186.
- Park, Y., H. Lee, K. Kim, G. Lee, J. Choi, S. Heo and G. Seo(2008) Development of designation criteria for ecological protected areas and its application methodology. *Journal of Environmental Impact Assessment* 17(3): 177-188.
- Park, Y. S., Y. S. Kwon, S. J. Hwang and S. Park(2014) Characterizing effects of landscape and morphometric factors on water quality of reservoirs using a self-organizing map. *Environmental Modelling & Software* 55: 214-221.
- Peng, J., X. Chen, Y. Liu, H. Lü and X. Hu(2016) Spatial identification of multifunctional landscapes and associated influencing factors in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Applied Geography* 74: 170-181.
- Peng, J., X. Hu, S. Qiu, J. Meersmans and Y. Liu(2019) Multifunctional landscapes identification and associated development zoning in mountainous area. *Science of the Total Environment* 660: 765-775.
- Plexida, S.G., A.I. Sfougaris, I.P. Ispikoudis and V.P. Papanastasis(2014) Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity – a comparison among Greek landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26: 26-35.
- Polasky, S., E. Nelson, D. Pennington and K.A. Johnson(2011) The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics* 48(2): 219-242.
- Sengl, P., M. Magnes, L. Erdős and C. Berg(2017) A test of naturalness indicator values to evaluate success in grassland restoration. *Community Ecology* 18(2): 184-192.
- Sharp, R., H.T. Tallis, T. Ricketts, A.D. Guerry, S.A. Wood, R.C. Kramer and K. Vigersto(2014) *INVEST user's guide. The Natural Capital Project: Stanford, CA, USA.*
- Slater, S. J., R. W. Christiana and J. Gustat(2020) Peer Reviewed: Recommendations for keeping parks and green space accessible for mental and physical health during COVID-19 and other pandemics. *Preventing chronic disease* 17.
- Song, S., Z. Liu, C. He and W. Lu(2020) Evaluating the effects of urban expansion on natural habitat quality by coupling localized shared socioeconomic pathways and the land use scenario dynamics-urban model. *Ecological Indicators* 112: 106071.
- Sun, X., Z. Jiang, F. Liu and D. Zhang(2019) Monitoring spatio-temporal dynamics of habitat quality in Nansihu Lake basin, eastern China, from 1980 to 2015. *Ecological Indicators* 102: 716-723.
- Terrado, M., S. Sabater, B. Chaplin-Kramer, L. Mandle, G. Ziv and V. Acuña(2016) Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. *Science of the total environment* 540: 63-70.
- Ahn, T.M., Heo, H.Y., Lee, J.Y., Yoon, M.H., Shin, M.J. and J.K. Choi(2009) *The Study on the Management Suggestion and*

- Current Conditions of Marine and Coastal National Park in Korea. *Journal of National Park Research* 1(1):13-28.
- Visconti, P., S. Butchart, T. Brooks, P. Langhammer, D. Marnewick, S. Vergara, A. Yanosky and J. Watson(2019) Protected area targets post-2020. *Science* 364(6437): 239-241.
- Walz, U. and C. Stein(2014) Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation* 22(3):279-289.
- Winter, S.(2012) Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. *Forestry* 85(2): 293-304.
- Xu, W., X. Li, S. L. Pimm, V. Hull, J. Zhang, L. Zhang, Y. Xiao, H. Zheng and Z. Ouyang(2016) The effectiveness of the zoning of China's protected areas. *Biological Conservation* 204: 231-236.
- Yutian, L. U., X. U. Sun, L. I. U. Songxue, and W. U. Jiayu(2022) An approach to urban landscape character assessment: Linking urban big data and machine learning. *Sustainable Cities and Society* 103983.
- Zhou, Y., Shen, Y., Yang, X., Wang, Z., & Xu, L. (2021). Where to Revitalize, and How? A Rural Typology Zoning for China. *Land*, 10(12), 1336.
- Natural Capital Project (2020) <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/>
<https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148830206>