

InVEST 모델을 이용한 가지산도립공원의 서식지질 분석과 생태계서비스평가^{1a}

권혜연² · 장정은³ · 신해선⁴ · 유병혁⁵ · 이상철⁶ · 최송현^{7*}

Habitat Quality Analysis and an Evaluation of Gajisan Provincial Park Ecosystem Service Using InVEST Model^{1a}

Hye-Yeon Kwon², Jung-Eun Jang³, Hae-Seon Shin⁴, Byeong-Hyeok Yu⁵, Sang-Cheol Lee⁶, Song-Hyun Choi^{7*}

요약

생물다양성협약(CBD)에서는 전 지구적으로 발생하는 환경문제의 대응방안으로 육상의 17%를 보호지역으로 지정하도록 할 것을 권고하고 있다. 우리나라도 국제적 수준에 맞춰 보호지역을 지정하고 보호지역 지정이 가지는 의미를 설명할 필요성이 생겼으며, 이에 따라 생태계서비스에 관한 연구의 필요성이 요구되고 있다. 우리나라는 보호지역 지정을 자연공원법에 의해 위계별로 국립공원, 도립공원, 군립공원으로 지정하고 있다. 그러나 정치, 행정적 측면이 우선시되면서 생태계서비스 가치평가 연구 및 서식지 관리가 국립공원에 편중되어 도립 및 군립공원은 다소 미비하여 연구의 필요성이 있다. 본 연구에서는 국립공원에 비해 서식지 관리 및 생태계서비스 가치평가 연구가 미비한 가지산도립공원을 대상으로 InVEST 모델 중 InVEST Habitat Quality 모델을 사용하여 서식지 질을 평가하고, 분석 결과를 16개의 산악형 국립공원과 비교하였다. 분석 결과 가지산도립공원의 서식지질 값은 0.83이었으며, 주변 지역에 비해 서식지 질이 높게 나타났다. 3개 지구별 서식지질 차이를 분석한 결과 통도사지구와 내원사지구가 0.84, 석남사지구가 0.83으로 나타났고 용도지구별로는 자연보존지구, 자연환경지구, 문화유산지구, 공원마을지구 순으로 서식지질 값이 높게 나타났다. 기존 국립공원 서식지질 분석 결과와 비교한 결과 가지산도립공원은 무등산국립공원 수준의 자연성을 나타내었다. 이러한 결과는 추후 도립공원의 생물다양성 보전 및 생태계서비스 증진을 위한 정책 수립과 관리방안 수립의 객관적인 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어: InVEST 서식지질 모델, 보호지역, 국립공원

ABSTRACT

The Convention on Biodiversity (CBD) recommends that 17% of the land be designated as a protected area to counter global environmental problems. Korea also realized a need to designate protected areas according

1 접수 2022년 2월 3일, 수정 (1차: 2022년 4월 6일, 2차: 2022년 5월 9일), 게재확정 2022년 5월 11일

Received 3 February 2022; Revised (1st: 6 April 2022, 2nd: 9 May 2022); Accepted 11 May 2022

2 부산대학교 대학원 조경학과 석사과정 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea

3 부산대학교 응용생태연구실 연구원 Applied Ecology Lab., Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea

4 국립생태원 습지센터 전임연구원 Wetland Center, National Institute of Ecology, Changnyeong, 50303, Republic of Korea

5 국립공원공단 사회가치혁신실 과장 Social Value & Innovation Office, Korea National Park Service, Wongju 26466, Republic of Korea

6 부산대학교 응용생태연구실 연구원 Applied Ecology Lab., Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea

7 부산대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea

a 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-055-350-5401, Fax: +82-055-350-5409, E-mail: songchoi@pusan.ac.kr

to the international level and explain the significance of designating protected areas. Accordingly, studies on ecosystem services are required. In Korea, the protected areas are designated as national parks, provincial parks, and county parks by hierarchy under the Natural Parks Act. However, as priority was on political and administrative aspects, research on ecosystem service value evaluation and habitat management were concentrated in national parks, and provincial and county parks were relatively neglected. Therefore, more studies on provincial and county parks are necessary. In this study, habitat quality for Gajisan Provincial Park, where there were few studies on habitat management and ecosystem service valuation, was evaluated using the InVEST Habitat Quality model among the InVEST models. The analysis results were compared with 16 mountainous national parks. The results showed that the habitat quality value of Gajisan Provincial Park was 0.83, higher than that of the surrounding areas. The analysis of habitat quality in three districts showed 0.84 for the Tongdosa and Naewonsa districts and 0.83 for the Seoknamsa district. By use district, the nature conservation district, the natural environment district, the cultural heritage district, and the park village district had the highest habitat quality value in that order. Compared with the existing habitat quality analysis results of national parks, Gajisan Provincial Park showed naturalness at the level of Mudeungsan National Park. These results can be used as objective data for establishing policies and management plans to preserve biodiversity and promote ecosystem services in provincial parks.

KEY WORDS: INVEST HABITAT QUALITY MODEL, PROTECTED AREA, NATIONAL PARK

서론

새천년생태계평가(Millennium Ecosystem Assessment; MA, 2005)에서는 생태계서비스를 공급, 조절, 문화, 지지의 4가지 서비스로 분류하고 있으며, 생태계서비스 평가항목 및 평가지표를 활용되고 있다. 최근 생태계서비스 평가가 대두된 배경에는 인간의 무분별한 개발과 자연자원 남용에 따른 기후위기, 환경오염, 서식지 파편화, 외래종 확산, 생물 다양성 감소라는 심각한 전 지구적 문제가 야기된 데 있다. 인류의 영속적인 삶을 위해서는 급격한 환경변화를 저지하고, 생물다양성의 지속가능성을 유지해야 한다. 이에 대한 대응방안으로 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD) 당사국 총회에서는 보호지역의 지정 및 관리를 생물다양성 감소 문제에 대처하는 중요한 전략으로 제시하며 보호지역과 관련한 생물다양성 목표(Aichi target-11)를 수립하고(Heo, 2020), 2020년까지 육상의 17%를 보호지역으로 지정할 것을 권고하였다(KNPRI, 2019). 우리나라에서도 생물다양성협약을 이행하기 위해 보호지역을 국제 권고 수준에 맞추려는 노력을 기울이고 있다(kdpa.kr). 그러나 단순한 보호지역 지정보다는 보호지역 지정이 가지는 의미를 설명할 필요성이 생겼으며, 자연이 제공하는 생태계서비스에 관한 연구의 필요성이 요구되고 있다(Choi and Lee, 2018).

생태계서비스를 평가하는 모델은 적용 방식, 대상지 규모,

기술의 난이도 등에 따라 InVEST, TESSA, Co\$ting Nature, WHBET, ARIES, SoLVES 등 다양하다(Nelson and Daily, 2010; Vigerstol and Aukema, 2011; Bagstad *et al.*, 2013; EPA, 2016). 국내 연구에서는 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)모델이 활용되고 있다. InVEST모델(naturalcapitalproject.stanford.edu)은 미국 자연자산프로젝트(Natural Capital Project, 2020)의 일환으로 스탠포드 대학, The Natural Conservancy, 그리고 WWF(World Wildlife Funds)가 공동으로 개발하였으며(Choi and Lee, 2018; Choi *et al.*, 2019), 자연으로부터 얻는 재화와 서비스를 지도화하고 가치를 평가하기 위한 목적으로 오픈소스 소프트웨어를 이용해 만든 모델이다. 2008년부터 개발되었으며, 현재까지 탄소저장량, 작물 수분, 서식지질 등 19개 항목의 세부 모델이 개발되었다. 각 모형은 토지피복지도를 기반으로 관련 인자를 투입하여 가치를 평가할 수 있도록 구성되어 있다(Sharp *et al.*, 2014).

InVEST는 지역(local) 단위부터 지구(global) 단위까지 분석이 가능한 특징을 가지고 있고(EPA, 2016) 적용범위가 다양하다. 국외에서는 미국 애리조나 남동쪽에 위치한 산페드로강 유역의 생태계서비스 평가(Bagstad *et al.*, 2013), 인도네시아의 호랑이 서식지 변화에 대한 연구(Bhagabati *et al.*, 2014), 토지 통합의 영향에 따른 서식지질의 변화연구(Zhong and Wang, 2017), 산사(三峽)댐 건설에 따른 서식처 변화(Chu *et al.*, 2018), 거시적인 생태계서비스 가치평가

(Posner *et al.*, 2016) 등 다수가 있으며, 국내에서는 Kim *et al.*(2015)이 제주도 전체를 대상으로 InVEST 모델을 적용하여 서식처 가치를 평가하였고, Choi and Lee(2018)은 제주도 구상나무 분포지에 대한 서식처질에 대한 분석을 진행하였다.

자연공원과 관련된 생태계서비스 가치평가 연구는 국립공원의 다양한 가치평가기법을 활용한 연구(Jang *et al.*, 2019; Jang, 2019; Lee *et al.*, 2017)가 진행되었으며, 국립공원연구원을 중심으로 2017년부터 InVEST모델 적용성 평가, 생태계서비스 평가항목 및 지표선정, 국립공원 실정을 반영한 InVEST모델 개발 등 국립공원 생태계서비스 가치평가를 위한 연구가 이루어지고 있다(KNPRI, 2017). 그러나 도립 및 군립공원의 생태계서비스 가치평가에 관한 연구는 전무하여 연구의 필요성이 있다. 이는 우리나라 자연공원의 지정이 과학적, 체계적 과정을 거치지 않는 정치, 행정적 측면을 고려하여 주로 이뤄졌기 때문이다. 종합적으로 보면 InVEST의 서식지질 모델은 토지피복(LULC) 정보를 기반으로 서식지질을 평가하고 각종 환경정책에 따른 서식지의 변화를 예측하는데 주로 사용되고 있다. 서식지질의 평가는 임의 시점에서 대상지 간의 서식지질의 정량적 평가가 가능하고, 통시적으로는 서식지질의 시간적 변화를 시나리오로 설정하여 결과에 따라 정책 결정에 활용할 수 있다.

우리나라에서는 보호지역 지정을 위해 자연생태계나 자연 및 문화경관을 대표할 만한 지역을 자연공원법에 의해 국립공원, 도립공원, 군립공원으로 지정하고 있다. 위계별 관리 체계를 살펴보면 국립공원은 국립공원공단에 의해 체계적인 자연자원 관리가 이루어지고 있는 반면 도립 및 군립공원은 관리를 시·도지사가 시장 또는 군수에게 위임할 수 있게 되어있어 각기 다른 시·군·구 행정구역으로 걸쳐 있는 도립 및 군립공원은 체계적인 관리가 어려운 실정이다(Sung and Kim, 2015). 이러한 한계점은 서식지 상태에 영향을 미칠 수 있는 요인이 된다.

이에 본 연구에서는 국립공원에 비해 서식지 관리 및 생태계서비스 가치 평가 연구가 미비한 가지산도립공원을 대상으로 InVEST Habitat Quality 모델을 활용하여 서식지질 분석을 실시하고, 분석 결과를 바탕으로 자연공원 위계별 생태적 가치를 비교해 보고자 한다. 이를 통해 도립공원의 생물다양성 보전 및 생태계서비스 증진을 위한 정책 수립과 관리방안 마련의 객관적인 자료로 활용될 수 있을 것이다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지인 가지산도립공원은 산악형 도립공원

으로 면적 104.345km²으로 울산광역시 울주군을 비롯하여 경남 양산, 밀양 등에 걸쳐 있다. 사찰을 중심으로 통도사지구, 내원사지구, 석남사지구 3구역으로 나뉜다. 주요 자연 및 문화자원으로는 신라시대 3대 거찰(巨刹)인 통도사, 통도사의 말사인 내원사, 석남사 등 고찰이 자리하고 있으며, 무제치늪, 철쭉군락지, 화강암 풍화지형 등과 주변 능동산, 신불산 등 해발 1,000m가 넘는 산을 중심으로 영남알프스가 형성되어 있어 우수한 자연경관을 보유하고 있다. 또한, 해발고도가 1,241m로 높아 난대에서 아한대까지 다양한 식물상을 보이고 있다. 석남사지구 내 정상부에는 구상나무, 설앵초, 솔나리 등, 내원사지구 무제치늪 내에는 국내 서식지가 한두 곳에 불과하여 보전이 필요한 식물인 작은황새풀, 좁조개풀 등이 분포하고 있다(KNPRI, 2017). 또한, 가지산도립공원 내 숙박시설 및 문화재, 자연경관은 많은 관광객을 끌어들인다. 그러나 관리가 지자체마다 달라 방문객 파악이 어려우며, 서식지의 훼손정도를 파악할 수 있는 정보가 부족하다(Sung and Kim, 2015). 본 연구는 생태적 가치가 우수하나 서식지 훼손 우려가 있는 가지산도립공원을 지구별(통도사지구, 내원사지구, 석남사지구), 용도지구별 구분하여 서식지 질을 분석하였다. 또한, 도립공원 밖에 위치한 위협인자가 도립공원 내 서식지 질에 영향을 미칠 수 있으므로 가지산도립공원 외곽 5km 완충지대까지 대상지로 지정하여 분석을 실시하였으며, 분석을 위한 도면은 환경부 세분류토지피복도를 사용하였다.

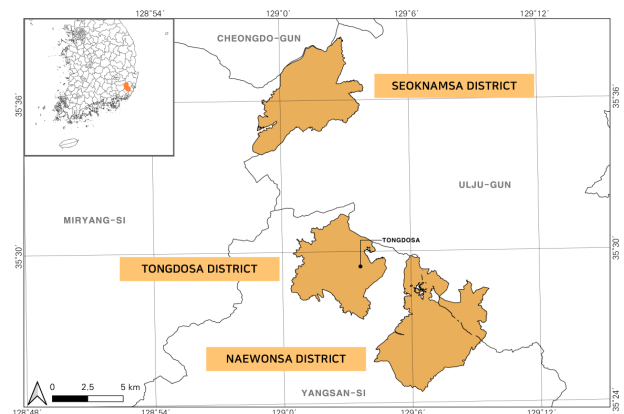


Figure 1. Study Area.

2. 분석 방법

1) InVEST 서식지질 모델

국립공원연구원(KNPRI, 2019)에서는 국내 연구를 통해 적용가능성이 검증된 InVEST Habitat Quality 모델을 QGIS에서 구동할 있도록 자체 모듈(KNPS-InVEST 서식



Figure 2. Natural and Cultural Resources of Gajisan Provincial Park.

지 질 모형)을 구축하여 국립공원의 서식지 질을 분석하였으며, 토지피복도를 기반으로 1) 위협인자(threat factors)의 영향력과 위협인자에 대한 최대영향거리, 2) 각 토지피복인자의 위협요인에 대한 민감도(sensitivity), 3) 서식처와 위협요인 사이의 거리자료를 사용하였다. 본 연구는 국립공원연구원원에 의해 구축된 ‘KNPS-InVEST 서식지 질 모형’을 사용하여 서식지 질을 분석하였다.

서식지와 위협인자 간의 이격거리가 증가할수록 영향력은 감소하게 되며, 영향 감소는 ‘거리-감쇠(distance-decay)’ 함수로 정의되며, 위협인자의 특성에 따라 위협인자 영향이 일정하게 감소할 때는 선형(linear), 거리가 증가함에 따라 위협인자 영향이 점점 높은 비율로 감소할 때는 지수형(exponential)으로 구분하며 Formula 1과 같다.

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

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

- * i_{rxy} = 화소 y 의 위협인자 r 이 화소 x 에 미치는 영향
- * d_{xy} = 화소 x 와 y 사이의 선형 거리
- * $d_{r\max}$ = 위협인자 r 의 최대영향거리

각 위협인자의 상대적인 영향(가중치, weight)과 민감도를 기반으로 각 토지피복 화소별 총 위협수준을 계산하였다 (Formula 2). β 는 법제적, 사회적 보호지역 및 물리적 접근 불가지역에 대한 접근성 정보 등을 추가할 수 있다. 최종 서식지질 Q_{xj} 는 기본 서식처 가치인 H_j 에 1에서 총 위협수준을 빼서 구한 서식처 평가 지수를 곱하여 나타낼 수 있다 (Formula 3).

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) \times r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr} \quad \text{[Formula 2]}$$

- D_{xj} : 토지피복 j 로 분류된 화소 x 의 총 위협수준
- i_{rxy} : 화소 y 의 위협인자 r 이 화소 x 에 미치는 영향
- β_x : 화소 x 의 법제-제도적-사회적-물리적 보호수준, $\beta_x \in [0, 1]$
- S_{jr} : 위협인자 r 에 대한 토지피복 j 의 민감도, $S_{jr} \in [0, 1]$

$$Q_{xj} = H_j \times \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right) \quad \text{[Formula 3]}$$

- Q_{xj} : 토지피복 j 로 분류된 화소 x 의 서식지 질
- H_j : 토지피복 j 의 서식지 질
- z : 축척 계수, 2.5
- k : 반포화 상수, 0.5

2) 위협인자

세분류토지피복도를 기준으로 서식지 위협인자를 선정하였다(Table 1). 서식지 위협인자는 시가화 건조지역, 공업 지역-채광지역, 철도, 도로, 농업지역, 논, 밭, 인공나지 8개 항목이 있으며, 시가화 건조지역의 최대영향거리는 10km, 가중치(weight)는 1로 할당하였고, 그 외 다른 위협인자들은 Xu et al.(2019)의 기준에 따라 정의하였다.

3) 서식지 위협인자별 민감도(Sensitivity)

서식지 위협인자별 민감도는 전 세계를 대상으로 Global Land Cover(GLC) 2000(2020)의 토지피복에서의 평균 종 풍부도(MSA, Mean Species Abundance)를 분석하여 기본 서식처 가치 값을 산정하거나(Alkemade et al., 2009), 서식지 위협인자별 민감도 수치를 0~1에서 자연성 민감도를 상대 비교하였다(Terrado et al., 2016; Chu et al., 2018; Xu et al., 2019). 그 결과 서식지 적합성 분석에 있어 적용 방식에 따라 결과가 상이하게 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 선행연구의 위협인자와 위협인자별 민감도 수치를 본

Table 1. Property values of 8 threat factors

Threat	Max_Distance(m)	Weight	Decay	Description
Urban	10,000	1.00	exponential	Urbanization and drying area*
Industry	6,000	0.50	exponential	Industrial and mining area
Rail	5,000	0.70	linear	Railroad
Road	3,000	0.60	linear	Road
Agri	5,000	0.60	exponential	Agricultural area**
Paddy	8,000	0.70	linear	Paddy field
Dry	8,000	0.60	linear	Field
Bare	1,000	0.50	linear	Bare***

*Urbanization and drying area: Excluding Industrial areas, Railroads and Roads

**Agricultural area: Excluding Paddy fields and Fields

***Bare: Excluding Mining areas

Table 2. The upward modified sensitivity of land-use type to habitat threat factors

LULC*	Habitat Qual 0	Urban**	Industry	Rail	Road	Agri***	Paddy	Dry	Bare****
Decideous Forest	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.85	0.80	0.70	0.50
Coniferous Forest	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.85	0.80	0.70	0.50
Mixed Forest	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.85	0.80	0.70	0.50
Rock Wall	0.80	0.50	0.50	0.50	0.60	0.20	0.20	0.20	0.20
Urban	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 3. The downward modified sensitivity of land-use type to habitat threat factors

LULC	Habitat Qual 0	Urban	Industry	Rail	Road	Agri	Paddy	Dry	Bare
Golf Course	0.35	0.50	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20
Cemetery	0.35	0.50	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20
Other Grassland	0.60	0.50	0.20	0.70	0.60	0.35	0.20	0.20	0.30
Saltern	0.20	0.50	0.20	0.60	0.55	0.35	0.00	0.00	0.00
Facility Cultivation	0.20	0.50	0.20	0.60	0.55	0.35	0.00	0.00	0.00

*LULC: Land use and land coverage

**Urbanization and drying area: Excluding Industrial areas, Railroads and Roads

***Agricultural area: Excluding Paddy fields and Fields

****Bare: Excluding Mining areas

연구에 참고할 수는 있으나 국내 자연공원에 적용하기에는 문제가 있었다. 이에 국립공원연구원에서는 Xu *et al.*(2019)가 제시한 자료를 기반으로 환경부의 생태·자연도 작성지침 및 선행연구 및 현장데이터로 HQS(Habitat Quality Spectrum) 방식을 적용하여 위협인자 간 상대 비교를 통하여 항목 간 수치를 조정 하였다(KNPRI, 2019). Table 2와 3은 위협인

자 간 상대비교를 통해 위협인자의 민감도를 조정한 결과로 국립공원연구원의 자료를 활용하였다. Xu *et al.*(2019)가 제시한 자료를 바탕으로 우리나라 실정에 맞게 상향 조정한 항목은 강기슭, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 도시화지역이다. 강기슭은 서로 다른 환경이 만나는 전이지역(ecotone)이며, 암벽·바위지대는 독특한 제한요인으로 희귀성(rarity)

있는 서식지로서 자연식생으로 가치가 있어 상향 조정하여 분석에 반영하였다.

4) 토지피복도

분석의 바탕이 되는 토지피복도는 환경부에서 운영하는 환경공간정보서비스에서 제공되는 자료를 사용하였으며, 축척 1:5000 세분류토지피복도를 연구대상지 범위만큼 내려받아 분석에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 서식지질 분석 결과

생태계서비스의 지지서비스 중 서식지는 생물이 생활을 영위할 수 있는 환경조건을 가진 터전이며, 서식지질은 생물다양성과 희귀성을 판단할 수 있는 근거이다(Nelson et al., 2009; Polasky et al., 2011; Gao et al., 2017). 이런 의미에서 서식지 질은 서식지의 자연성을 나타낸다고 할 수 있다. InVEST모델에 의한 서식지질 분석 시 서식지질은 0~1 사이의 값으로 나타나며, 1에 가까울수록 서식지질이 우수하고, 0에 가까울수록 서식지질이 떨어지는 것을 의미한다.

가지산도립공원은 통도사, 석남사, 내원사 3개의 지구로 분리되어 있는데, 3개의 지구와 주변의 비교지역 5km까지

를 포함하여 서식지질 분석을 실시하였다(Figure 3). 분석 결과 가지산도립공원 3개 지구에 대한 전체 서식지질 값은 0.83으로 나타났으며, 가지산도립공원 경계 외부 5km 완충구간의 서식지질 값은 0.72로 나타났다. 이는 가지산도립공원 내 서식지질이 주변 지역에 비해 상대적으로 높음을 나타내는 것이다(Table 4).

가지산도립공원의 용도지구별 서식지질의 차이를 알아보기 위하여 4개 용도지구별로 서식지질 분석을 실시하였다. 분석 결과 자연보존지구, 자연환경지구, 문화유산지구, 공원마을지구 순으로 서식지질 값이 높은 것으로 나타났다. 특히, 자연보존지구와 자연환경지구가 나머지 용도지구에 비해 상대적으로 높게 나타났다(Figure 4). 용도지구는 자연공원을 효과적으로 보전하고 이용할 수 있도록 법으로 행위를 제한하고 보전의 차별성을 둔 곳이다. 가지산 용도지구별 결과 값의 차이는 용도지구별 법적인 규제를 통해 인위적인 행위가 제한됨으로 인해 서식지질 차이를 보인 것으로 판단된다.

가지산도립공원의 서식지질 값이 가지는 의미를 파악하기 위하여 21개 국립공원 중 사적형(경주)과 해상해안형(한려해상, 태안해안, 다도해해상, 변산반도)을 제외한 16개의 산악형 국립공원을 대상으로 서식지질 값을 비교하였다(Table 4). 국립공원의 서식지질 분석은 같은 방법론을 적용하여 분석한 국립공원연구원(KNPRI, 2019)의 자료를 이용하였다. 국립공원의 서식지질 값은 태백산국립공원이 0.9로 가장 높았고, 무등산국립공원이 0.83으로 가장 낮았다. 가지산도립공원의 서식지질 값은 0.83으로 국립공원 중 가장 서식지질 값이 낮은 무등산국립공원의 수준을 보였다. 가지산도립공원은 자연생태적인 가치 측면에서 국립공원 수준이라는 평가가 있다는 점을 고려하면(Lee et al., 2014) 비록 도립공원이지만 공원 관리를 수반할 경우 국립공원에 버금가는 가치를 가질 수 있을 것으로 판단된다. 추후 가지산도

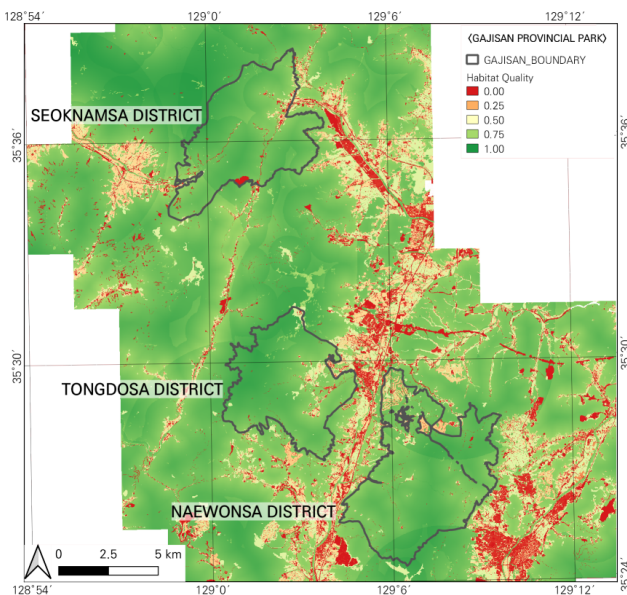


Figure 3. Map of InVEST Habitat Quality of Gajisan Provincial Park.

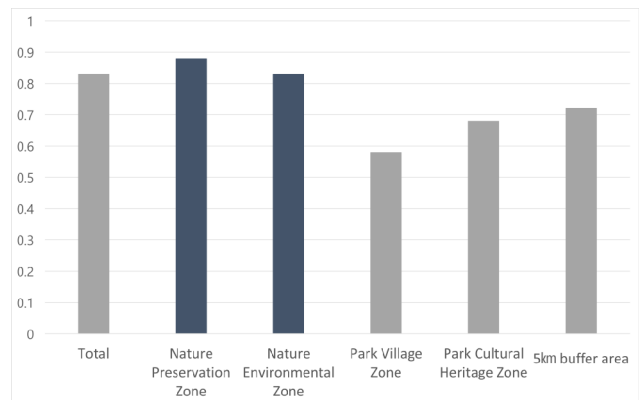


Figure 4. Habitat Quality of Gajisan Provincial Park by zones.

Table 4. The results of InVEST Habitat Quality analysis of 16 National Parks and Gajisan Provincial Park

National parks	Area (km ²)	National Park zoning					Outside	
		Total	Nature Preservation Zone	Nature Environmental Zone	Park Village Zone	Park Cultural Heritage Zone	5km buffer area	
01	Jirisan	479.84	0.89	0.92	0.88	0.54	0.75	0.71
02	Gyeryongsan	64.22	0.84	0.88	0.82	0.51	0.79	0.60
03	Seoraksan	398.08	0.90	0.91	0.87	0.45	0.79	0.82
04	Songnisan	276.23	0.85	0.88	0.84	0.50	0.75	0.72
05	Naejangsan	79.81	0.85	0.88	0.85	0.33	0.78	0.68
06	Gayasan	76.54	0.86	0.89	0.85	0.57	0.65	0.71
07	Deogyusan	227.65	0.86	0.91	0.83	0.59	0.79	0.66
08	Odaesan	327.09	0.89	0.92	0.87	0.60	0.66	0.78
09	Juwangsan	105.59	0.87	0.91	0.87	0.52	0.88	0.76
10	Chiaksan	175.11	0.87	0.91	0.84	0.46	0.81	0.66
11	Woraksan	283.71	0.85	0.88	0.83	0.45	0.74	0.74
12	Bukhansan	77.57	0.85	0.88	0.84	0.35	0.78	0.47
13	Sobaeksan	321.62	0.88	0.93	0.86	0.46	0.81	0.72
14	Wolchulsan	55.94	0.84	0.86	0.84	0.50	0.71	0.62
15	Mudeungsan	75.32	0.83	0.87	0.83	0.50	0.77	0.62
16	Taebaeksan	69.99	0.90	0.91	0.89	0.54	-	0.80
Gajisan PP		102.45	0.83	0.88	0.83	0.58	0.68	0.72

Table 5. The results of InVEST Habitat Quality analysis of Gajisan Provincial Park's districts

District	Area(km ²)	Result
Seongnamsa	32.58	0.83
Tongdosa	28.84	0.84
Naewonsa	41.03	0.84

립공원의 서식지질 가치가 도립공원 전체의 서식지질과 비교가 필요할 것이다. 다만, 가지산도립공원은 3개의 지구(통도사지구, 내원사지구, 석남사지구)로 분리되어 있어 대상지가 하나인 경우와 비교했을 때 불리한 서식 여건을 가지고 있다고 볼 수 있으나 본 연구의 서식지질 평가에 있어 이 점은 고려하지 않았다.

가지산도립공원 내 3개의 지구는 보호해야 할 멸종위기 야생생물이 다수 서식하고 있어 보전 가치가 높다. 특히 내원사지구 내 무제치늪은 습원 희귀식물이 분포하여 보존 가치가 높으며, 석남사지구는 해발고도가 높아 아한대성 식물인 구상나무, 솔나리, 설앵초 등이 생육하고 있다. 그러나 국립공원과 달리 지구 내 지방도와 임도가 탐방로와 연결되어 일부 탐방로는 차량의 진입이 빈번히 일어나 서식지 훼손이 심각한 상태이다(KNPRI, 2017).

따라서 국립공원과 비슷한 자연성을 가지고 있기는 하나 가장 낮은 무등산국립공원과 비슷한 결과 값이 나타났을 것으로 생각된다. 이는 가지산도립공원도 충분한 관리가 이루어진다면 현재의 결과값 보다 높은 서식지질 값을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 3개의 각 지구로 나누어져 있고, 각 지구가 밀양, 양산 등에 분산되어 있다. 이에 따라 서식지 상태에 영향을 미치는 탐방객, 탐방로, 시설물 등도 관찰 자치단체별로 다르게 관리되고 있어 보전할 가치가 있는 지역을 관리가 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 분산된 지구들의 일관된 공원 관리가 이루어질 수 있도록 통합적인 현황 파악이 필요할 것으로 보인다.

가지산도립공원의 3개 지구별 서식지질 차이를 분석하

였다(Table 5). 분석 결과 통도사지구와 내원사지구가 0.84, 석남사지구가 0.83으로 나타났다. 서식지질은 주변 지역의 토지피복의 차이, 공원의 면적 및 토지피복의 종류에 따라 달라지는데, 3개 지구는 서식지질을 좌우하는 요소가 복합적으로 작용한 결과로 보여진다. 즉, 내원사지구와 통도사지구는 자연보존지구가 차지하는 비중이 높은 반면, 석남사지구는 자연환경지구와 공원마을지구, 문화유산지구를 포함하고 있어 서식지질 결과에 영향을 미친 것으로 판단된다.

서식지질 분석은 토지피복도를 바탕으로 분석이 이루어져 다소 규모가 작은 해안형, 습지 등의 보호지역 서식지질 분석에는 한계가 있다. 따라서 전반적인 서식지질 뿐만 아니라 특정 보호종의 서식지질을 파악하기 위해서는 중분포도, 현존식생도, 환경요인 등을 고려한 생태계서비스 평가가 이루어진다면 좀 더 신뢰도 높은 결과 값을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Alkemade, R., M. Van Oorschot, L. Miles, C. Nellemann, M. Bakkenes and B.T. Brink(2009) GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss. *Ecosystems* 12: 374-390.
- Bagstad, K.J., D.J. Semmens and R. Winthrop(2013) Comparing approaches to spatially explicit ecosystem service modeling: A case study from the San Pedro River, Arizona. *Ecosystem Services* 5: e40-e50.
- Bhagabati, N.K., T. Ricketts, T. Barano, S. Sulistyawan, M. Conte, D. Ennaanay, O. Hadian, E. McKenzie, N. Olwero, A. Rosenthal, H. Tallis and S. Wolny(2014) Ecosystem services reinforce Sumatran tiger conservation in land use plans. *Biological Conservation* 169: 147-156.
- Choi, J.Y. and S.D. Lee(2018) Evaluation of Ecosystem Service for Distribution of Korean fir using InVEST Model. *J. Environ Impact Assess.* 27(2): 181-193. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.Y., Y.S. Lee and S.D. Lee(2019) A Study on the Ecosystem Services Value Assessment According to City Development: In Case of the Busan Eco-Delta City Development. *J. Environ. Impact Assess.* 28(5): 427-439. (in Korean with English abstract)
- Chu, L., T. Sun, T. Wang, Z. Li and C. Cai(2018) Evolution and Prediction of Landscape Pattern and Habitat Quality Based on CA-Markov and InVEST Model in Hubei Section of Three Gorges Reservoir Area (TGRA). *Sustainability* 10(11): 3854.
- EPA(2016) A comparative analysis of ecosystem service valuation decision support tools for wetland restoration. 32pp.
- Gao, J., F. Li, H. Gao, C. Zhou and X. Zhang(2017) The impact of land-use change on water-related ecosystem services: A study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production* 163: 148-155.
- Global Land Cover 2000(2021) <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>
- Heo, H.Y.(2020) A Review on the International Trends for Establishing Post-2020 National Targets Relevant to Protected Areas. *Kor. J. Env. Eco.* 34(6): 601-609. (in Korean with English abstract)
- Jang, J., J.H. Park and K.W. Sim(2019) Valuation of Dadohaesang National Park's Ecosystem Services Using the Contingent Valuation Method(CVM). *Journal of National Park Research* 10(2): 266-271.
- Kim, T.Y., C.H. Song, W.K. Lee, M.I. Kim, C.H. Lim, S.W. Jeon and J.S. Kim(2015) Habitat Quality Valuation Using InVEST Model in Jeju Island. *J. Korean Env. Res. Tech.* 18(5): 1-11.
- KNPRI(Korea National Park Research Institute)(2017) Nature resource comprehensive survey of Gajisan Provincial Park. (in Korean)
- KNPRI(Korea National Park Research Institute)(2019) A Study on the Value Evaluation of Ecosystem Service in National Park: Seoraksan, Deogyusan, Mudeungsan, Byeonsanbando. 352pp. (in Korean)
- Korea Database on Protected Area(KDPA) <http://kdpa.kr>
- Lee, S.C., H.M. Kang, J.S. Kim, C.Y. Yu and S.H. Choi(2014) A Study on the Correlation between Plant Community and Environmental Factors of Tongdosa (Temple) Area, Gajisan(Mt.) Provincial Park. *Kor. J. Env. Eco.* 28(6): 715-724.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment)(1990) *Ecosystems and Human Well-being Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington D.C., 92pp.
- Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D. Cameron, K.M. Chan, G.C. Daily, J. Goldstein, P.M. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, T.H. Ricketts and M.R. Shaw(2009) Modeling multiple ecosystem services, biodiversity Conservation, Commodity Production, and Tradeoffs at landscape scales. *Journal of Frontiers in Ecology and the Environment* 7(1): 4-11.
- Nelson, E.J. and G.C. Daily(2010) Modeling ecosystem services in terrestrial ecosystems. *Faculty of 1000 Biology Reports* 2: 53.
- 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. *Journal of Environmental and Resource Economics* 48(2): 219-242.
- Posner, S., G. Verutes, I. Koh, D. Denu and T. Ricketts(2016) Global use of ecosystem service models. *Ecosystem Services* 17: 131-141.

- Sharp, R., H.T. Tallis, T. Ricketts, A.D. Guerry, S.A. Wood, R. Chaplin-Kramer and K. Vigersto(2014) InVEST user's guide. The Natural Capital Project, Stanford.
- Sung, W. and D.P. Kim(2015) A study on the management-maintenance system in provincial park. Proceeding of Kor. J. Env. Ecol. 25(2): 44-45. (in Korean)
- Terrado, M., S. Sabater, B.C. Kramer, L. Mandle, G. Ziv and V. Acuna(2016) Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. Science of the Total Environment 540: 63-70.
- Vigerstol, K.L. and J.E. Aukema(2011) A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. Journal of Environmental Management 92: 2403-2409.
- World Heritage Tongdosa(2022) <http://www.tongdosa.or.kr>
- Xu, L., S.S. Chen, Y. Xu, G. Li and W. Su(2019) Impacts of Land-Use Change on Habitat Quality during 1985-2015 in the Taihu Lake Basin. Sustainability 11(13): 3513.
- Zhong, L. and J. Wang(2017) Evaluation on effect of land consolidation on habitat quality based on InVEST model. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 33(1): 250-255.