한국환경생태학회지 38(1): 67−78, 2024
Korean J. Environ. Ecol. 38(1): 67-78, February 2024
ISSN 1229-3857(Print) ISSN 2288-131X(Online)
https://doi.org/10.13047/KJEE.2024.38.1.67

AHP기법을 적용한 생태계서비스 InVEST 모형 서식지질 기준 설정[1a]

신해선[2] · 장정은[3] · 이상철[3] · 권혜연[3] · 김경록[4] · 장진[5] · 최송현[6*]

Establishing Habitat Quality Criteria for the Ecosystem Services InVEST Model Using AHP Techniques[1a]

Hae-Seon Shin[2], Jeong-Eun Jang[3], Sang-Cheol Lee[3], Hye-Yeon Kwon[3], Gyeong-Rok Kim[4], Jin Jang[5], Song-Hyun Choi[6*]

요 약

생태계서비스란 자연생태계가 인간에게 주는 혜택을 통틀어 일컫는 용어이다. 생태계서비스를 정량화하기 위하여 다양한 모형이 개발되어 적용되고 있다. InVEST는 대표적인 생태계서비스 모형이며 그 중 서식지질 평가가 폭넓게 사용되고 있다. 우리나라에서는 국립공원을 대상으로 서식지질 평가가 실시되고 있다. 서식지질 평가를 위해서는 서식지질 초기값으로 위협인자에 대한 민감도 평가가 이뤄져야 하는데, 이는 국가 및 적용분야에 따라 판이하다. 그래서 그동안 진행된 국립공원 서식지질 평가를 바탕으로 전문가 설문(AHP)을 실시하여 서식지질 초기값인 민감도의 기준을 조정하였다. AHP실시 결과 자연초지, 경지정리가 안된 밭 등 10개 항목이 상향조정되었으며, 하천, 호소 등 8개 항목이 하향조정되어 총 18개 항목이 조정되었다. 조정된 민감도 결과를 바탕으로 도시형인 북한산국립공원과 계룡산국립공원, 사적형인 경주국립공원, 해상해안형인 한려해상국립공원 그리고 산악형인 지리산국립공원과 설악산국립공원을 대상지 서식지질 분석을 실시하였다. 분석결과 국립공원내 분포하는 시가화건조지역과 수역에 대한 부분이 서식지질 평가에 반영되었음을 알 수 있었다. 향후 이 기준을 이용하여 자연공원의 서식지질 평가가 가능할 것이다.

주요어: 민감도, 국립공원, 자연공원, 보호지역

ABSTRACT

The term ecosystem services refers to natural ecosystems' benefits to humans. Various models have been developed and applied to quantify ecosystem services. Habitat quality assessment is a widely used leading InVEST ecosystem service model. In Korea, habitat quality assessment is conducted for national parks. For

1 접수 2023년 12월 8일, 수정 (1차: 2024년 1월 4일), 게재확정 2024년 1월 9일
Received 8 December 2023; Revised (1st: 4 January 2024); Accepted 9 January 2024
2 국립생태원 습지센터 전임연구원 Wetland Center, National Institute of Ecology, Changnyeong, 50303, Republic of Korea
3 부산대학교 응용생태연구실 연구원 Applied Ecology Lab., Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea
4 부산대학교 대학원 조경학과 석사과정 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea
5 국립공원공단 국립공원연구원 책임연구원 Korea National Park Research Institute, Korea National Park Service, Wongju 26441, Republic of Korea
6 부산대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea (songchoi@pusan.ac.kr)
a 이 논문은 국립공원연구원에서 진행하는 <2021년 국립공원 생태계서비스 가치평가 연구>에 의하여 연구되었음.
* 교신저자 Corresponding author: songchoi@pusan.ac.kr

habitat quality assessment, the initial value of habitat quality must be used to assess the sensitivity to threats, which varies depending on the country and application field. Therefore, an expert survey (AHP) was conducted based on previous habitat quality assessments in national parks to adjust the sensitivity, the initial value for the habit quality assessment. As a result of the AHP, 18 items were adjusted, including 10 items, such as natural grassland and unarranged fields, upward and 8 items, such as rivers and ponds, downward. Based on the adjusted sensitivity results, the habitat quality of Bukhansan National Park and Gyeryongsan National Park (urban type), Gyeongju National Park (historic type), Hallyeohaesang National Park (ocean type), and Jirisan National Park and Seoraksan National Park (mountain type) were adjusted. The results of the analysis showed that the habitat quality of urban dry areas and water bodies distributed in the national parks was reflected in the habitat quality assessment. In the future, it will be possible to evaluate the habitat quality of natural parks using this standard.

KEY WORDS: SENSITIVITY, NATIONAL PARK, NATURAL PARK, PROTECTED AREA

서 론

생태계서비스(ecosystem service)란 자연생태계가 인간에게 주는 혜택을 통틀어 일컫는 용어이다. 자연이 인간에게 제공하는 혜택의 전제는 생태계와 생태계를 구성하고 있는 생물종이 지속가능하여야 하며, 인간이 얻는 혜택은 직접 또는 간접적인 것을 모두 포함한다. 새천년 생태계 평가(Millennium Ecosystem Assessment; MEA, 2005)에서는 생태계서비스의 유형을 공급(provisioning)·조절(regulating)·문화(cultural)·지지(supporting)서비스로 분류하고 있다.

생태계서비스는 유형별로 그리고 다양한 방식으로 평가 연구가 이뤄지고 있다. 평가 모형은 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). 그 중 InVEST 모형은 미국 자연자산프로젝트(Natural Capital Project, 2023)의 일환으로 스탠포드 대학, The Natural Conservancy, 그리고 WWF(World Wildlife Funds)가 공동으로 개발하였으며(Choi and Lee, 2018; Choi *et al*., 2019; Jang *et al*., 2022; Kwon *et al*., 2022), 자연으로부터 얻는 재화와 서비스를 지도화하고 가치를 평가하기 위한 목적으로 오픈소스 소프트웨어를 이용해 만든 모형이다. 2008년부터 개발되었으며, 현재까지 탄소저장량, 작물 수분, 서식지질 등 19개 항목의 세부 모형이 개발되었다. 각 모형은 토지피복지도(LULC; land use/land cover)를 기반으로 관련 인자를 투입하여 가치를 평가할 수 있도록 구성되어 있다(Sharp *et al*., 2014; Bhagabati *et al*., 2014).

InVEST 서석지질 모형은 토지피복도 정보와 생물다양성에 대한 위협을 결합하여 서식지질 지도를 생성한다(Terrado *et al*., 2016). 위협요소, 위협요소에 대한 최대영향거리, 각 요소들의 서식적합성 지수 그리고 토지피복항목별 민감요인 값을 입력자료로 사용하는데, 입력자료는 상대적으로 객관적인 기준을 사용해야 한다. 이를 위해 가장 많이 사용하는 방법은 AHP를 사용하여 기준을 정하는 것이다(Choi and Lee, 2018). AHP는 수치로 나타낼 수 없는 정량적 평가 기준과 의사결정 문제에서 결정하기 어렵지만, 꼭 결정하지 않으면 안 되는 정성적 평가 기준도 쉽게 나타낼 수 있는 새로운 의사결정 방법 기법이다(Oh *et al*., 2021).

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 1977년 Tomas L. Saaty 교수가 개발한 계층분석과정으로, 복잡한 결정 문제를 계층 구조로 나누고 의사결정자의 주관을 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 반영하여 각 기준 또는 대안에 상대적 가중치를 할당하여 최적 선택을 도출하는 수학적 기법이다. 평자가들의 오랜 경험 또는 지식과 직관 등을 이용하는 방법이기도 하다(Saaty, 1977, 1978; Mu and Pereyra-Rojas, 2017; Kułakowski, 2021).

이에 본 연구에서는 국립공원을 대상으로 InVEST 서식지질 모형을 적용할 때 그에 적합한 입력자료의 기준을 산정하고자 실시되었다. 입력자료의 기준은 AHP를 사용하였으며, AHP는 국립공원, 생태 관련 분야 전문가 16명을 대상으로 실시하였다. 본 연구결과는 향후 국립공원을 대상으로 InVEST 서식지질 모형을 적용할 때 기준으로 사용될 수 있을 것이다.

연구방법

1. 연구대상지

서식지질 기준에 대한 변화를 알아보기 위하여 23개 국립공원 중 도시형인 북한산국립공원(76.922㎢)과 계룡산국립공원(65.335㎢), 사적형인 경주국립공원(136.550㎢), 해상해안형인 한려해상국립공원(535.676㎢) 그리고 산악형인 지리산국립공원(483.022㎢)과 설악산국립공원(398.237㎢)을 대상지로 선정하였다(Figure 1).

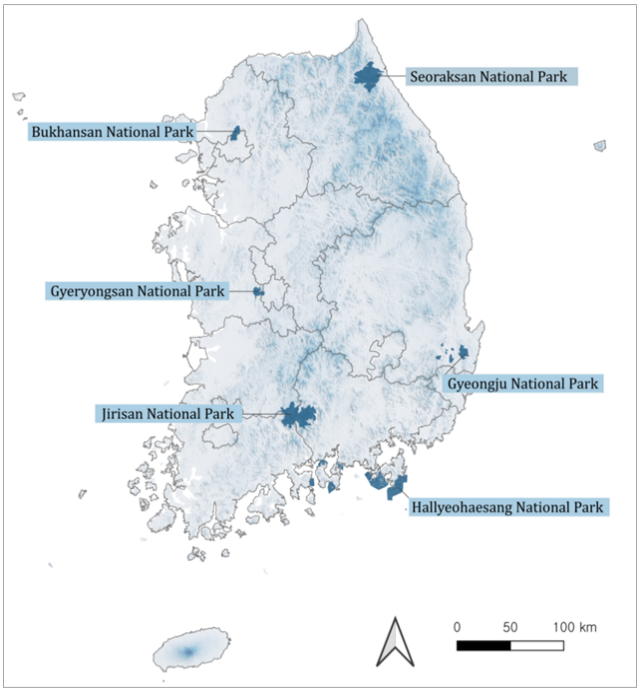


Figure 1. Study sites.

2. InVEST 서식지질 모형

InVEST 모형은 의사결정자들의 정책 결정에 자연자산(Natural capital)과 생태계서비스의 개념을 적용하는 것을 돕기 위한 목적으로 개발되었다. 국립공원연구원(KNPRI, 2019)에서는 국내 연구를 통해 적용 가능성이 검증된 InVEST Habitat Quality 모형을 QGIS에서 구동할 수 있도록 자체 모듈(KNPS-ES for QGIS v0.3.0, 2020)을 구축하였는데, 이를 이용하여 국립공원의 서식지 질을 분석하였다. 서식지질 분석에는 토지피복도를 기반으로 1) 위협인자(threat factors)의 영향력과 위협인자에 대한 최대영향거리, 2) 각 토지피복 인자의 위협요인에 대한 민감도(sensitivity), 3) 서식처와 위협요인 사이의 거리자료가 사용되었다.

서식지와 위협인자 간의 이격거리가 증가할수록 영향력은 감소하게 된다. 영향 감쇠는 '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 구분된다. 각 위협인자의 상대적인 영향(weight)과 민감도를 기반으로 각 토지피복 화소별 총 위협수준을 계산하였다(Jang *et al.*, 2022; Kwon *et al.*, 2022).

1) 위협인자

세분류토지피복도를 기준으로 서식지 위협인자를 선정하였다(Table 1). 서식지 위협인자는 시가화 건조지역, 공업지역·채광지역, 철도, 도로, 농업지역, 논, 밭, 인공나지 8개 항목이 있으며, 시가화 건조지역의 최대영향거리는 10㎞, 가중치(weight)는 1로 할당하였고, 그 외 다른 위협인자들은 Xu *et al.*(2019)의 기준을 따랐다.

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[a]
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[b]
Paddy	8,000	0.70	linear	Paddy field
Dry	8,000	0.60	linear	Field
Bare	1,000	0.50	linear	Bare[c]

[a]Urbanization and drying area: Excluding Industrial areas, Railroads and Roads
[b]Agricultural area: Excluding Paddy fields and Fields
[c]Bare: Excluding Mining areas

2) 서식지 위협인자별 민감도(Sensitivity)

서식지 위협인자별 민감도는 전 세계를 대상으로 Gloval Land Cover(GLC) 2000(2020)의 토지피복에서의 평균 종풍부도(MSA, Mean Species Abundance)를 분석하여 기본 서식처 가치 값을 산정하거나(Alkemade *et al*., 2009), 서식지 위협인자별 민감도 수치를 0～1에서 자연성 민감도를 상대 비교하여 왔다(Terrado *et al*., 2016; Chu *et al*., 2018; Xu *et al*., 2019). 그 결과 서식지 적합성 분석에 있어 적용방식에 따라 결과가 상이하게 달라졌다. 선행연구의 위협인자와 위협인자별 민감도 수치를 국내 서식지질 연구에 참고할 수는 있으나 국내 자연공원에 적용하기에는 문제가 있었다. 이에 국립공원연구원에서는 Xu *et al*.(2019)가 제시한 자료를 기반으로 환경부의 생태·자연도 작성지침, 선행연구 및 현장데이터로 HQS(Habitat Quality Spectrum) 방식을 적용하여 위협인자 간 상대 비교를 통하여 서식지질 초기값 항목 간 수치를 조정 하였다(KNPRI, 2019). 그러나 입력항목이 대상지 특성에 맞게 반영될 필요가 있어 서식지 위협인자별 민감도는 기존 연구(KNPRI, 2019)결과와 새로 전문가 설문을 통해 마련된 기준을 적용하여 비교하였다.

전문가 설문(AHP)을 통해 마련된 결과와 기존 결과의 비교는 국립공원 경계만 적용한 서식지질(N), 국립공원 외부 완충구역의 영향을 반영한 국립공원 경계의 서식지질(NbyB), 완충구역만의 서식지질(B), 그리고 국립공원내부와 완충구역을 모두 반영한 서식지질(NnB)의 4가지 분석을 수행하였다(Figure 2).

3. AHP기법을 이용한 서식지질 초기값 재조정

AHP는 다요인 의사결정기법의 한 가지로서 불분명한 의사선택 문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 평가할 수 있고 정성적인 특성들을 정량적인 판단 기준에 따라서 평가함으로써 의사결정문제에서 다루기 곤란한 정성적 평가기준들도 비교적 쉽게 처리가 가능하며, 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 반영함으로써 보다 객관적이고 일관적인 평가를 할 수 있는 이론이다(Saaty, 1977, 1978). 이론의 핵심은 각 단계에서 두 요소들 사이의 중요도를 결정하는 과정과 척도이다. 중요도는 동일한 단계의 두 요소들을 상호 비교하는 쌍대비교(pairwise comparson)를 통해서 얻을 수 있다. 본 연구에서는 1(동등하게 중요), 2(약간 중요), 3(중요), 4(아주 중요), 5(절대 중요)의 다섯 가지 척도를 적용하였다.

1) 전문가 설문

우리나라 토지피복유형과 국립공원 상황에 맞는 서식지질 초기값 산정을 위해서는 세분류 토지피복유형별 중요도 값을 측정해야 한다. 이를 위해서 전문가 집단을 대상으로 전문가 설문법을 실시하였다. 전문가 집단은 AHP 척도의 상대적 중요도를 이해하고 판단할 수 있는 능력이 있는 생태 및 환경 관련 전공자로서 3년 이상의 경력을 가진 16명을 선정하였으며, 총 2회에 걸쳐서 설문을 실시하였다. 1차 설문은 2021년 7월 5일~9일 5일간, 2차 설문은 2021년 9월 6일~8일 3일간 진행하였다. 2차 설문은 1차 설문에서 진행한 항목의 전체 설문자의 평균값을 비교한 후 값이 차이가 나는 항목에 대해 수정 여부에 대한 의견을 수렴하였다.

설문 내용은 Jang *et al*.(2022)의 서식지질 초기값을 바탕으로(Table 2) 대분류 토지피복유형별, 동일한 대분류 토지

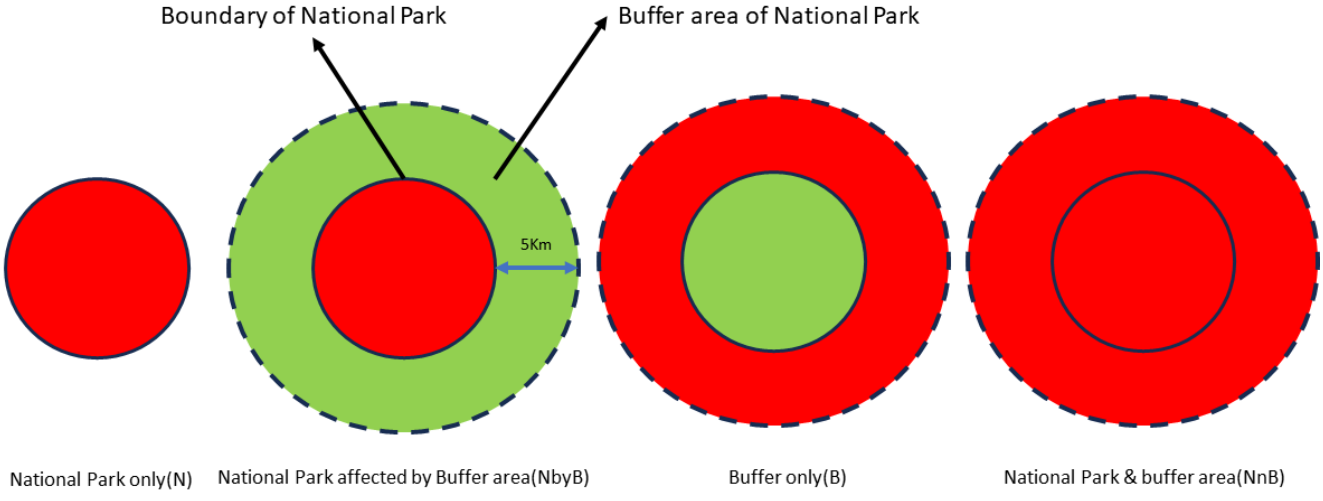


Figure 2. Four kinds habitat quality analyses.

Table 2. Sensitivity Values of Habitat Quality(Jang *et al*., 2022)

Land Cover Type			Sensitivity Values of Habitat Quality
(5M Resolution)		(1M Resoluion)	
Used Area		Single housing	0.05
		Apartment housing	0.20
		Industrial facility	0.05
		Commercial·Office building	0.05
		Mixed Area	0.05
		Cultural·Sports·Recreational facility	0.10
		Airport	0.05
		Port	0.00
		Railroad	0.05
		Road	0.02
		Other transportation·communication facility	0.00
		Environmental infrastructure	0.10
		Educational·Administrative facility	0.10
		Other public facility	0.10
Agricultural Land		Cultivated paddy field	0.60
		Uncultivated paddy field	0.60
		Cultivated field	0.40
		Uncultivated field	0.40
		Facility cultivation	0.20
		Orchard	0.40
		Farm	0.40
		Other cultivation	0.40
Forest		Deciduous forest	1.00
		Coniferous forest	1.00
		Mixed forest	1.00
Grass	Natural Grass	Natural grass	0.75
	Artificial Grass	Golf course	0.35
		Cemetery	0.35
		Other grass	0.60
Wetland		Inland wetland	1.00
		Tidal flat	1.00
		Saltern	0.20
Barren	Natural Barren	Beach	0.80
		Rock	0.80
		Riverbank	1.00
	Artificial Barren	Mining area	0.00
		Playground	0.00
		Other barren	0.00
Water		River	1.00
		Lake	1.00
		Marine water	1.00

피복유형 내 세분류 토지피복유형별 쌍대 비교를 통한 중요도 측정이었으며, 설문 정확성을 기하기 위하여 쌍대비교시 이용되는 자극의 배열 순서를 적용하여 설문지를 작성하였다. 대분류 유형 중 초지와 나지의 각 세분류 토지피복유형은 특성이 서로 상반되어 대분류별 비교에서는 자연초지, 인공초지 및 자연나지 인공나지로 구분하여 비교하였다. 기존 서식지질 초기값이 0 또는 1의 값을 가진 유형은 비교에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서의 AHP 쌍대비교 설문조사는 대분류 토지피복 9개 유형, 그리고 대분류 토지피복유형 중 세분류 토지피복유형의 중요도를 알아보기 위해 시가화건조지역 14개유형, 농업지역 8유형, 인공초지 3유형, 습지 및 자연나지(염전, 해변, 암벽·바위) 3유형 총 5가지로 구분하여 실시하였다.

2) 일관성 검증

AHP기법은 가중치의 일관성(consistency) 검증을 통해 주관적으로 결정한 중요도에 대한 논리적 일관성을 확인하고 가중치를 적용할 수 있다. Saaty(1978)는 일관성 검증을 위해 일관성 지표(consistency Index: C.I.), 무작위 지표(Random Index: R.I.)와 일관성 비율(Consistency Rate: C.R.)을 이용하여 검증하였다. 일관성 지표(C.I>)는 Formula 1, 일관성 비율(Consistency Rate: C.R.)은 C.I. 값을 R.I.값으로 나눈 값(Formula 2)을 적용하였다. Saaty(1978)는 일관성 비율(C.R.) 값이 0.1 이내인 경우에는 신뢰할 수 있는 만족스러운 수준으로 보았고, 0.2 미만이면 가용범위의 일관도라고 판단하는 기준을 제시하였다.

$$C.I. = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \quad \text{[Formula 1]}$$

$$C.R. = C.I./R.I. \quad \text{[Formula 2]}$$

Table 3. Consistency check

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

4. 토지피복도

분석의 바탕이 되는 토지피복도는 환경부의 환경공간정보서비스(egis.me.go.kr)의 1:5000 세분류토지피복도를 내려받아 분석에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. AHP 설문조사 결과

1) 대분류 유형별 중요도

대분류 토지피복유형에서 산림지역, 습지, 자연초지, 수역, 농업지역, 자연나지, 인공초지, 시가화건조지역, 인공나지 9개 유형에 대해 전문가 설문을 통해 중요도를 비교한 결과, 9개 유형 중 산림지역의 가중치가 0.266으로 가장 높게 나타났으며, 인공나지의 가중치가 0.032로 가장 낮게 나타났다(Table 4). 일관성 척도(CI)는 0.0487로 0.1보다 낮은 수치를 보여 전문가 설문 결과의 일관성을 확인할 수 있었다.

Table 4. Land Cover Type Importance (5M Resolution) result of the AHP

Land Cover Type (5M Resolution)	Weight
Forest	0.266
Wetland	0.189
Natural Grass	0.139
Water	0.123
Agricultural Land	0.073
Natural Barren	0.066
Artificial Grass	0.063
Used Area	0.048
Artificial Barren	0.032
Sum	1

2) 세분류 토지피복유형별 중요도

대분류 토지피복유형 중 세분류토지피복 유형별로 AHP 쌍대비교를 실시하였다(Table 5). 시가화건조지역, 농업지역, 인공초지 그리고 습지 및 자연나지의 세분류 토지피복유형에 대해 AHP 쌍대비교를 실시한 결과, 시가화건조지역의 세분류 토지피복유형의 중요도는 12개 유형 중 문화·체육·휴양시설의 가중치가 0.134로 가장 높게 나타났으며, 공업시설의 가중치가 0.050으로 가장 낮게 나타났다. 일관성 척도(CI)는 0.0389로 0.1보다 낮은 수치를 보였으므로 결과의 일관성을 신뢰할 수 있었다.

농업지역의 중요도를 비교한 결과, 8개 유형 중 경지정리가 안 된 논의 가중치가 0.230으로 가장 높게 나타났으며, 목장양식장의 가중치가 0.062으로 가장 낮게 나타났다. 일관성 척도(CI)는 0.0351로 0.1보다 낮은 수치를 보였으므로 결과의 일관성을 신뢰할 수 있었다.

인공초지의 중요도를 비교한 결과, 3개 유형 중 기타초지의 가중치가 0.437로 가장 높게 나타났으며, 골프장의 가중치가 0.276으로 가장 낮게 나타났다. 일관성 척도는 0.0028로 0.1보다 낮은 수치를 보였으므로 결과의 일관성을 신뢰할 수 있었다.

습지 및 자연나지의 중요도를 비교한 결과, 3개 유형 중 해변의 가중치가 0.457로 가장 높게 나타났으며, 염전의 가중치가 0.204로 가장 낮게 나타났다. 일관성 척도는 0.0060으로 0.1보다 낮은 수치를 보였으므로 결과의 일관성을 신뢰할 수 있었다.

2. 서식지질 초기값 재조정 결과

총 2회에 걸쳐 AHP 조사를 실시하여 서식지질 초기값을 재조정한 결과 18개 유형이 조정되었다. 이 중 상향 조정된 유형은 자연초지, 경지정리가 안 된 밭, 경지정리가 된 밭, 과수원, 시설재배지, 문화체육휴양시설, 단독주거시설, 환경기초시설, 혼합지역, 도로로 10개였으며, 하향 조정된 유형은 하천, 호소, 해양수, 경지정리가 된 논, 기타초지, 묘지, 골프장, 공업시설로 8개였다. 그 중 경지정리가 안 된 밭, 도로, 경지정리가 된 논, 공업시설 4가지 유형은 2차 설문조사 결과를 반영하여 값이 조정되었다.

AHP 적용 대상지가 국립공원임을 감안하면 산림지역, 습

Table 5. Land Cover Type Importance(1M Resolution) result of the AHP

Land Cover Type (5M Resolution)	Land Cover Type (1M Resolution)	Weight*
Used Area	Cultural·Sports·Recreational facility	0.134
	Single housing	0.123
	Apartment housing	0.107
	Environmental infrastructure	0.101
	Other public facility	0.082
	Mixed Area	0.082
	Educational·Administrative facility	0.080
	Railroad	0.065
	Airport	0.063
	Commercial·Office building	0.058
	Road	0.056
	Industrial facility	0.050
Agricultural Land	Uncultivated paddy field	0.230
	Uncultivated field	0.163
	Cultivated paddy field	0.155
	Cultivated field	0.127
	Orchard	0.115
	Other cultivation	0.078
	Facility cultivation	0.071
	Farm	0.062
Artificial Grass	Other grass	0.437
	Cemetery	0.287
	Golf course	0.276
Wetland and Natural Barren	Beach	0.457
	Rock	0.339
	Saltern	0.204

* Each Land Cover Type(1M Resolution) weight sum: 1

지, 인공나지, 자연나지는 초기 연구처럼 변화가 없었고, 시가화건조지역의 경우 토지피복에 따라 소폭 오르내림의 변화가 있었다. 전문가들은 수역의 경우 산림보다 민감도는 낮게 평가하였고, 오히려 농업지역은 소폭 높게 평가하였다. 인공초지는 “인공”이라는 용어로 저평가를 하고 있었다.

Table 6. Result of the rearranged Habitat Quality

Land Cover Type (5M Resolution)	Land Cover Type (1M Resolution)	Habitat Quality	1st Round Result of AHP	2nd Round Result of AHP (Final)
Forest	Broadleaf forest	1	1	1
	Coniferous forest	1	1	1
	Mixed forest	1	1	1
Wetland	Inland wetland	1	1	1
	Tidal flat	1	1	1
	Salt pond	0.2	0.2	0.2
Natural Grass	Natural grass	0.75	0.9↑	0.9
Water	River	1	0.8↓	0.8
	Lake	1	0.8↓	0.8
	Marine water	1	0.8↓	0.8
Agricultural Land	Uncultivated paddy	0.6	0.6	0.6
	Uncultivated field	0.4	0.5↑	0.6↑
	Cultivated paddy	0.6	0.6	0.5↓
	Cultivated field	0.4	0.5↑	0.5
	Orchard	0.4	0.5↑	0.5
	Other cultivation	0.4	0.4	0.4
	Facility cultivation	0.2	0.4↑	0.4
	Farm	0.4	0.4	0.4
Natural Grass	Riverbank	1	1	1
	Beach	0.8	0.8	0.8
	Rock	0.8	0.8	0.8
Artificial Grass	Other grass	0.6	0.35↓	0.35
	Cemetery	0.35	0.3↓	0.3
	Golf course	0.35	0.3↓	0.3
Used Area	Cultural·Sports·Recreational facility	0.1	0.2↑	0.2
	Single housing facilities	0.05	0.2↑	0.2
	Apartment housing facilities	0.2	0.2	0.2
	Environmental infrastructure facilities	0.1	0.2↑	0.2
	Other public facilities	0.1	0.1	0.1
	Mixed Area	0.05	0.1↑	0.1
	Educational·Administrative facility	0.1	0.1	0.1
	Railroad	0.05	0.05	0.05
	Airport	0.05	0.05	0.05
	Commercial·Office building	0.05	0.05	0.05
	Road	0.02	0.02	0.05↑
	Industrial facility	0.05	0.05	0.02↓
	Other transportation·communication facility	0	0	0
	Port	0	0	0
Artificial Barren	Mining area	0	0	0
	Playground	0	0	0
	Other barren	0	0	0

3. 서식지질 분석 결과

AHP를 적용하여 최종적으로 정리된 서식지질 초기값을 반영하여 도시형인 북한산국립공원과 계룡산국립공원, 사적형인 경주국립공원, 해상해안형인 한려해상국립공원 그리고 산악형인 지리산국립공원과 설악산국립공원을 대상지로 4가지 방법으로 서식지질을 분석하였다(Table 7, 8).

국립공원 경계외부의 영향력을 배제하고 경계 내부만을 대상으로(N) 기존 기준과 새로운 기준을 동시에 적용하여 서식지질을 분석한 결과, 북한산, 지리산, 설악산국립공원은 서식지질 변화가 거의 없었다. 이는 산악형국립공원으로 산림의 분포량이 넓기 때문으로 판단된다. 그러나 계룡산국립공원의 경우 국립공원내 토지이용의 영향으로 기존보다 서식지질이 소폭 낮아진 반면 경주국립공원은 서식지질이 소폭 상승하였다. 가장 큰 변화가 나타난 곳은 한려해상국립공원으로 기존 기준을 적용하였을 때 보다 서식지질이 대폭 낮아졌다. 이는 AHP 설문 결과를 통해 수역의 서식지질 초기값이 1에서 0.8로 하향 조정되어 이에 서식지질 값이 낮아진 것으로 판단된다.

국립공원 경계를 중심으로 5㎞의 완충구역을 설정하고 완충구역만(B)의 서식지질 분석을 실시한 결과, 6개 국립공원의 완충지역 서식지질은 두 기준 모두에서 국립공원 내부(N)에 비해 현저하게 낮게 나타났다. 다만, 지리산과 설악산국립공원의 경우 대형 산악형국립공원의 특성상 공원경계 외부도 다른 국립공원에 비해 상대적으로 높은 서식지질을 나타내었다. AHP 결과를 적용하기 전과 적용 후의 서식지질은 4개 국립공원 모두 큰 차이가 없었다.

국립공원 경계를 중심으로 5㎞의 완충구역을 설정하고 그 영향권 내에서 국립공원 경계 내부(NbyB)의 서식지질을 분석한 결과, 한려해상국립공원을 제외한 나머지 대상 국립공원은 기존의 분석 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 한려해상국립공원의 경우 경계 내부만을 대상으로(N) 분석한 결과와 마찬가지로 수역 평가를 기존 평가보다 낮게 조정한 것이 영향을 미친 것으로 사료된다.

국립공원 경계를 중심으로 5㎞의 완충구역을 설정하고 그 영향권 내에서 국립공원을 포함하여 완충지역(NnB)까지 넓게 분석한 결과 기존에 적용했던 기준과 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

이상 4가지 방법으로 기존의 서식지질 초기값과 새롭게 적용된 서식지질 초기값을 적용하여 본 결과, 국립공원 내 분포하는 시가화건조지역과 수역에 대한 부분이 반영되었음을 알 수 있었다.

4. 종합고찰

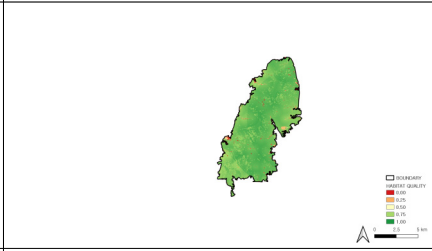
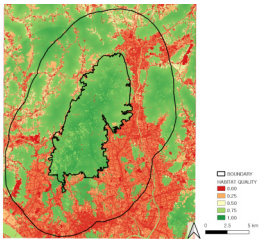
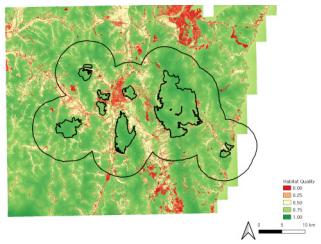
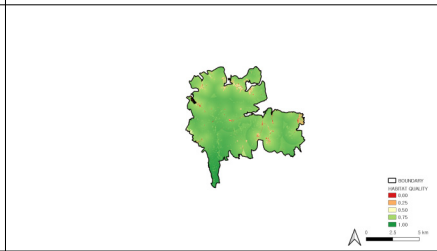
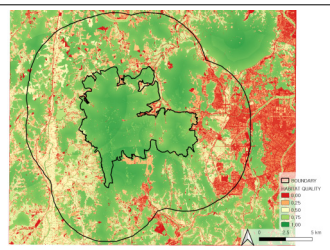
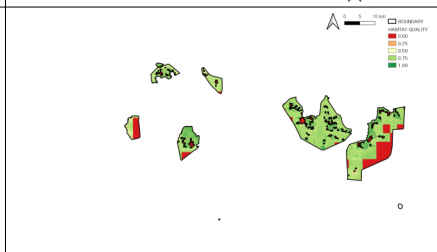
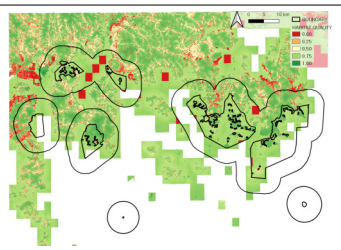
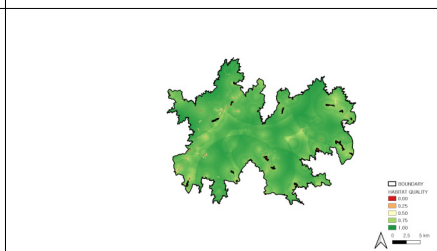
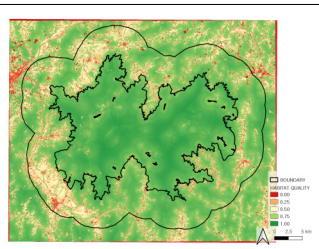
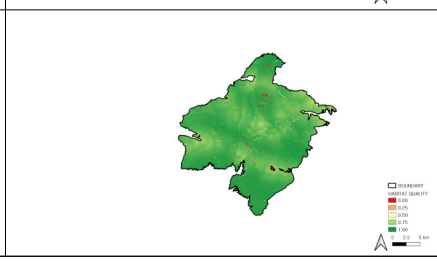
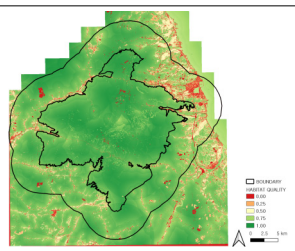
자연성에 대한 평가는 많은 연구에서 정량화를 시도하고 있지만 정성적인 영역을 크게 벗어나지는 못하고 있다(Kim & Lee, 1997; Bhagabati *et al*., 2014; Kim *et al.*, 2017; Lee & Oh, 2023). 이는 자연성 평가의 관점을 어디에 두느냐에 따라 크게 달라지기 때문이다. 식물의 경우 생물다양성, 천이단계 등을 평가하여 자연성을 반영하는 경우(Lim & Kim, 2015; Lee *et al*., 2017)가 많은 반면, 동물상의 경우에는 분류군별로 전혀 다른 결과가 도출되기도 한다(Shim *et al*., 2020).

InVEST의 서식지질(habitat quality) 평가는 근본적으로 생물다양성을 기반으로 하며, 생물다양성이 평가되는 지역이 어느 정도 민감하며, 위협요소와 얼마나 떨어져 있는가를 분석하여 평가한다. 그래서 높은 자연성을 지닌 지역이 개발로 인해서 어떻게 자연성이 변화하는지를 평가하는데 유효한 특징을 가지고 있다. 자연성 평가를 위한 서식지질 초기값 결정은 정성적인 영역을 정량화하는 대표적인 사례로 관련 분야 전문가들의 의견수렴이 필요하다. 이를 위해 AHP를 사용하여 토지피복 및 토지이용도를 민감도를 결정하였다. AHP는 전문가들의 의견을 모은 것으로 향후 평가

Table 7. Result of the Habitat Quality Analysis using four methods

Category	National Park only(N)		National Park affected by Buffer area(B)		Buffer only(NbyB)		National Park & Buffer area(NnB)	
	original	using of AHP	original	using of AHP	original	using of AHP	original	using of AHP
Bukhansan	0.84±0.11	0.84±0.12	0.47±0.37	0.47±0.35	0.85±0.11	0.85±0.12	0.55±0.37	0.55±0.35
Gyeongju	0.83±0.09	0.84±0.08	0.68±0.27	0.68±0.27	0.85±0.08	0.85±0.08	0.71±0.26	0.71±0.25
Gyeryongsan	0.82±0.11	0.81±0.11	0.60±0.29	0.59±0.29	0.84±0.11	0.84±0.11	0.65±0.28	0.64±0.28
Hallyeohaesang	0.75±0.32	0.64±0.27	0.53±0.41	0.48±0.36	0.75±0.32	0.64±0.27	0.58±0.40	0.52±0.35
Jirisan	0.89±0.07	0.89±0.08	0.71±0.22	0.70±0.23	0.89±0.07	0.89±0.07	0.78±0.20	0.77±0.20
Seoraksan	0.91±0.09	0.91±0.09	0.76±0.23	0.75±0.24	0.85±0.11	0.85±0.12	0.82±0.20	0.81±0.21

Table 8. Mapping of the Habitat Quality Analysis results using AHP

Category	Results of Habitat Quality Analysis using APH	
	National Park only(N)	Buffer only(B), National Park affected by Buffer area(NbyB), National Park & Buffer area(NnB)
Bukhansan		
Gyeongju		
Gyeryongsan		
Hallyeohaesang		
Jirisan		
Seoraksan		

시기 및 대상에 따라 달라질 수 있다. 그렇지만 국립공원의 서식지질 평가에 있어 사용되는 기준을 객관적 과정을 거쳐 마련했음에 본 연구의 의의가 있다. 본 기준은 향후 국립공원을 포함하는 자연공원 및 보호지역의 서식지질 평가에 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 연구결과 기존에 사용되었던 기준에 비교하여 18개 유형이 조정되었는데, 저평가된 자연성이 소폭 상향되었고, 인공요소가 포함된 토지피복이나 토지이용이 하향되었다.

InVEST를 활용한 서식지질 평가는 토지피복과 토지이용을 기반으로 분석이 이루어지고 있어 작은 규모의 지역에는 적용하기 어려움이 있고, 국립공원과 같은 광범위한 지역에서도 세부적인 자연성 평가를 하기에는 한계를 지니고 있다. 평가 대상지가 광범위한 지역에서는 산림지역으로 단일 처리를 하지만 실제 국립공원과 같은 상황에서는 생물다양성 측면에서 자연림과 인공림의 차이가 명확하다. 그러므로 향후 국립공원 등 자연공원을 대상으로 심화된 서식지질 평가를 위해서는 세부 토지피복과 토지이용에 대해 별도의 서식지질 초기값을 결정하는 연구 및 규모에 따른 서식지질 평가 연구 등이 수행되어야 할 것이다.

REFERENCES

Alkemade, R., M.V. 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. doi:10.1007/s10021-009-9229-5

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. doi:10.1016/j.ecoser.2013.07.007

Bhagabati, N.K., T. Ricketts, T.B.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. doi:10.1016/j.biocon.2013.11.010

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. doi:10.3390/su10113854

EPA(2016) A comparative analysis of ecosystem service valuation decision support tools for wetland restoration. 32pp.

Jang, J.E., H.Y. Kwon, H.S. Shin, S.C. Lee, B.H. Yu, J. Jang and S.H. Choi(2022) Habitat quality analysis and evaluation of InVEST Model using QGIS. Korean J. Environ. Ecol. 36(1): 102-111. doi:10.13047/KJEE.2022.36.1.102 (in Korean with English abstract)

Kim, E.Y., J.Y. Kim, H.J. Jung and W.K. Song(2017) Development and feasibility of indicators for ecosystem service evaluation of urban park. J. Environ. Impact Assess. 26(4): 227-241. doi:10.14249/eia.2017.26.4.227 (in Korean with English summary)

Kim, J.W. and E.J. Lee(1997) Multicriterion matrix technique of vegetation assessment: A new evaluation technique on the vegetation naturalness and its application. Korean J. Ecol. 20(5): 303-313. (in Korean with English abstract)

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)

KNPS-ES for QGIS v0.3.0(2020) https://github.com/osgeokr/KNPS-ES

Kułakowski, K.(2021) Understanding the analytic hierarchy process. CRC Press, 241pp. https://lccn.loc.gov/2020021002

Kwon, H.Y., J.E. Jang, B.H. Yu, S.C. Lee and S.H. Choi(2022) Habitat quality analysis and an evaluation of Gajisan Provincial Park ecosystem service using InVEST Model. Korean J. Environ. Ecol. 36(3): 318-326. doi:10.13047/KJEE.2022.36.3.318 (in Korean with English abstract).

Lee, B.E., J.W. Kim, N.I. Kim and J.G. Kim(2017) Evaluation on replacement habitat of two endangered species, *Aster altaicus* var. *uchiyamae* and *Polygonatum stenophyllum* using habitat suitability index. Journal of Wetlands Research 19(4): 433-442. doi:10.17663/JWR.2017.19.4.433 (in Korean with English summary)

Lee, E.H. and C.H. Oh(2023) Assessment and enhancement of ecosystem service on Hasidong Anin Coastal Sand Dune of ecological and landscape conservation area. Korean Journal of Environment and Ecology 37(5): 403-414. doi:10.13047/KJEE.2023.37.5.403 (in Korean with English abstract)

Lim, S.M. and J.J. Kim(2015) Classification of forest types and estimation of succession index in the natural forest of Jirisan (Mt.). J. Korean Soc. For. Sci. 104(3): 368-374. doi:10.14578/jkfs.2015.104.3.368 (in Korean with English summary)

MEA(Millennium Ecosystem Assessment)(2005) Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press, Washington DC, 137pp.

Mu, E. and M. Pereyra-Rojas(2017) Group decision-making in AHP. Practical Decision Making, pp.81-90. doi:10.1007/978-

3-319-33861-3_8

Natural Capital Project(2023) https://naturalcapitalproject.stanford.edu

Nelson, E.J. and G.C. Daily(2010) Modeling ecosystem services in terrestrial ecosystems. Faculty of 1000 Biology Reports 2: 53. doi:10.3410/B2-53

Oh, H.M., H.S. Lee and K.J. Yun(2021) Development strategy of Mok-po Port using AHP analysis. Korea Logistics Review 31(3): 59-72. doi:10.17825/klr.2021.31.3.59

Saaty, T.L.(1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology 15(3): 234-281. doi:10.1016/0022-2496(77)90033-5

Saaty, T.L.(1978) Modeling unstructured decision problems-the theory of analytical hierarchies. Mathematics and Computers in Simulation 20(3): 147-158.

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.

Shim, Y.J., S.R. Kim, K.B. Yoon, J.W. Jung, S.U. Park and Y.S. Park(2020) Evaluation of alternative habitats using habitat suitability index model of Lutra lutra in Banbyeoncheon Stream. J. Korean Env. Res. Tech. 23(1): 63-76. doi:10.13087/kosert.2020.23.1.63 (in Korean with English abstract)

Terrado, M., S. Sabater, B. Chaplin-Krame, L. Mandle, G. Ziv and V. Acuña(2016) Model development for the assessment of terrestrial and aquaic habitat quality in conservation planning. Science of the Total Environment 540: 63-70. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.03.064

Vigerstol, K.L. and J.E. Aukema(2011) A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. Journal of Environmental Management 92: 2403-2409. doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.040

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. Journal of Sustainability 11(13): 1-21. doi:10.3390/su11133513