

생태적 설계지표와 입지특성에 따른 도시공원 생태성 평가*

손희정¹⁾ · 김나영¹⁾²⁾ · 송영근³⁾

¹⁾서울대학교 대학원 협동과정 조경학 학생 · ²⁾국립생태원 멸종위기센터 전문위원 ·

³⁾서울대학교 환경대학원 환경설계학과 교수

Assessing the ecological aspects of urban parks based on ecological design indicators and location characteristics*

Sohn, heejung¹⁾ · Kim Nayeong¹⁾²⁾ and Song, Youngkeun³⁾

¹⁾Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Student,

²⁾National Institute of Ecology Research Center for Endangered Species, Research Associate,

³⁾Dept. of Environmental Design, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor.

ABSTRACT

As urbanization progresses, there is a growing and continuous demand for green spaces that provide ecosystem services. However, increasing the quantity of green spaces within major cities is challenging. Therefore, it is essential to pursue qualitative improvements that consider ecological characteristics of existing green spaces. In this study, we focus on local neighborhood parks in Seoul and present the following two questions through an evaluation utilizing ecological design indicators and land use data: 1. Which factor, design or location, has a greater influence on the ecological quality of neighborhood parks in Seoul? 2. Additionally, when evaluating ecological characteristics, is there similarity between assessments based on land-use data and those utilizing ecological design indicators?

For this study, we conducted research on 30 neighborhood parks in Seoul and classified them into

* 본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 습지생태계 가치평가 및 탄소흡수 가치증진 사업의 지원을 받아 수행되었음(2022003630004).

First author : Sohn, heejung, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Student,

Tel : +82-2-880-5647 E-mail : hjbbw91@snu.ac.kr

Corresponding author : Song, Youngkeun, Dept. of Environmental Design Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor,

Tel : +82-2-880-8860, E-mail : songyoung@snu.ac.kr

Received : 14 August, 2023. **Revised** : 24 August, 2023. **Accepted** : 24 August, 2023

mountainous types (adjacent to mountains, natural terrain parks) and urban types (independently designed within 300m without existing forests) based on previous studies. Firstly, we conducted evaluations according to park location types. When comparing the evaluation scores of urban types (14 parks) and mountainous types (16 parks), significant differences were observed with scores of 16.86 and 35.94, respectively. Statistical analysis showed a significant difference between park types. In terms of habitat quality, the average values for urban and mountainous parks were 0.33 and 0.53, respectively, and statistically significant differences were observed between park types indicating differences in ecological potential according to park location. Secondly, when comparing the results of ecological potential evaluations based on park design and external connectivity, a correlation was found between habitat quality and total scores according to evaluation indicators. The correlation analysis showed significant linear relationships between habitat quality and total scores, biodiversity scores, and ecosystem function scores, with high positive correlation coefficients of 0.829, 0.861, and 0.802, respectively. This study holds significance in analyzing the ecological aspects of urban parks through the lens of both park location characteristics and design indicators. The analysis results underscore the importance of planning and managing ecologically sound urban parks contingent upon their location. Moreover, the utilization of appropriate ecological design indicators can help alleviate environmental limitations surrounding parks. Integrating these considerations could enhance the ecological quality and ecosystem services of urban green spaces.

Key Words : *Biodiversity Indicators, Urban ecology, InVEST, Habitat Quality Model, Urban park*

I. 서 론

도시가 고도화됨에 따라 생태계서비스를 제공하는 녹지공간의 확보 요구가 증대되고 있다. 또한 최근에는 범국가적으로 정부, 기업과의 연계성을 통해 도시생태계의 생태성을 확대하는 GBF(Global Biodiversity Framework; UN)와 TNFD(Task Force on Climate-related Financial Disclosures) 등 생태계 공간 단위에서 자연과 조화롭게 사는 공동목표를 제안하고 생태계서비스를 보존 및 복원하고자 하는 사회적인 요구와 관심이 커지고 있다. 하지만 문제는 대도시 녹지 공간의 경우 양적 증가가 어렵다는 것이다. 이 때문에 생태적 특성을 모두 고려한 기존 녹지 공간의 질적 개선이 필수적이다(Wu 2019; Ahern 2013). 이와 관련하여 학계에서는 도시

녹지의 생태성을 높이기 위한 다양한 연구가 진행되었다. 녹지 패치의 크기, 위치, 파편화 등 구조적 연결성을 파악한 연구(Zhang et al., 2019), 종 기반의 관점에서 기능적 연결성을 식별한 연구(Pe'er et al., 2011; Carroll et al., 2012; Drielsma et al., 2022), 토지이용 변화에 따른 생물종의 변화 및 서식처 질을 평가하는 연구(Clergeau et al., 2002; Krauss et al., 2003; Walz and Syrbe, 2013; Sallustio et al., 2017; Cerreta et al., 2023), 도시 수준에서 생태적 지속성을 평가하기 위한 지표를 적용한 연구(Uchiyama et al. 2019; Stanislave et al. 2019)와 생태성을 평가하기 위한 새로운 지표를 개발하는 연구(Normander et al., 2012; Sowińska-Swierkosz., 2017; Morey et al., 2022; Peng and Zhang et al., 2022)가 여기에 해당한다.

위 논문들을 정리하면 도시 녹지의 생태성 확

대는 크게 두 가지 측면에서 접근할 수 있다. 첫 번째로, 광역적인 측면에서 녹지 분포를 분석하고, 녹지 패치 연결성을 증진하는 방안을 고려할 수 있다. 두 번째로, 생태적 기준을 공원 자체의 공간 계획 및 설계에 직접 적용하여 공원의 질적 생태성을 높일 수 있다(Apfelbeck et al., 2020; Langemeyer et al., 2020).

첫째, 광역적인 측면에서 녹지의 생태성 분석을 통해 서식처 연결성을 파악하여 환경 변화에 따른 생물 다양성 변화를 관찰하여 중요한 보존 지역을 도출할 수 있다. 특히 서식처 질 분석은 토지피복 정보를 활용하여 공간의 서식처로서의 가능성을 평가하기 때문에 생태적 특성 분석에 유용한 도구다(Sallustio et al., 2017). 서식처 질을 평가하는 하나의 방법인 InVEST 서식처 가치평가 모델(Habitat Quality Model)은 Natural Capital Project와 Nature Conservancy 그리고 World Wildlife fund가 개발하였으며, 토지피복지도를 기반으로 생태계서비스와 가치를 평가하는 오픈 소스 평가모델이다. 현재 18개의 생태계서비스 평가모델이 존재하는데, Habitat Quality 모델의 경우 서식처 질 값으로 생물다양성 정도를 나타낸다(Polasky et al., 2011; Tallis et al., 2013). 서식처에 대한 위협요인과 토지이용도를 활용하여 서식처 질이 0~1 사이에서 도출되며, 1에 가까울수록 생물다양성 및 생태성이 높다는 것을 의미한다. 광역적 측면의 평가는 도시의 생태성을 맥락적으로 파악하고 모니터링이 가능해 계획적 측면에서 향후 방향을 제시하기 때문에 필수적이다. 하지만 이와 같은 광역적 측면의 평가는 도시 규모 이상의 공간에서 진행되는 경우가 대부분이다. 광역적 평가의 결과는 공간적 규모의 제한으로 인하여 직접 사람이 경험하는 공간의 생태성을 대표하기에는 어려움이 있다. 또한 기본 구축된 토지피복 데이터를 활용하기 때문에, 데이터가 구축된 시점을 기준으로 평가가 진행된다. 이에 따라 현재의 변화된 상황을 반영하기

는 어렵다. 특히 실질적인 개선 방향을 직접 제시하지 않기 때문에 공원이나 중·소규모 녹지 등을 관리하는 실무자가 평가 결과를 활용하여 공간을 개선하는 데 큰 도움을 주지 못한다(Campagne et al., 2017; Roche et al., 2019).

도시 녹지의 생태성을 높이는 두 번째 방법으로 대상지 내 공간 설계를 평가하는 생태적 설계지표가 있다. 녹지의 지속성을 목적으로 USGBC(U.S Green Building Council)가 만든 LEED, GBCI(Green Business Certification Inc)가 수립한 SITES, URBIO 그룹이 제시한 Urban biodiversity and design index, 일본의 CASBEE 등의 평가지표가 대표적이다. 이 평가 시스템들은 다양한 분야, 계산 방법, 점수, 가중치를 이용하여 토지 개발 프로젝트 및 공간을 평가하며, 평가 결과에 따라 인증을 제공한다. 위 생태적 설계지표들은 기반 시설(Infrastructure), 접근성(Transportation), 생태 요소(Ecology (water, soil, vegetation)), 자원과 에너지(Resource and energy), 사회경제적 복지(Social and economic wellbeing) 측면에서 다양한 친환경 설계 기법을 제시한다. 또한 계획 단계-건설 단계-관리 단계 등 개발의 진행 프로토콜에 따라 지표와 기준을 제시한다. 평가시스템에 따라 대상지의 생태적 설계 항목 명칭이 다르지만, 공통으로 식물 식재에 관한 항목, 수환경 항목, 토환경 항목, 에너지 활용 항목, 관리 항목을 포함하고 있다. 설계지표를 활용한 생태적 특성 평가의 경우 실제 공원 등 지역적 규모에서 신속하게 평가할 수 있으며, 관리자 혹은 의사 결정자가 그 결과를 쉽게 활용할 수 있다(Jacobs et al., 2015). 또한 식물에 대한 항목, 수 환경에 대한 항목 등 각 설계 구성요소에 따라 이상적인 기준이 제시되어 있어, 현재 공간의 구성 수준 파악이 용이하며 이를 활용하여 설계 리모델링 및 관리를 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 설계지표를 활용한 생태적 특성 평가는 평가 초점이 공원 내부의 계획과 설계에 집중되어 광역적 측면에서의 녹지의 입지, 연결성 및 주변

환경과의 관계를 파악하기 어려운 단점이 있다.

본 연구는 도시 녹지 중 도시공원을 대상으로 선정하였다. 도시 내 공원은 도시에 다양한 생태계 서비스를 제공하는 공간이면서 생물다양성을 증진할 수 있는 주요 거점이다(Chiesura, 2004; Li et al., 2005). 도시공원의 생태적 거점 역할을 확대하기 위해서는 공원 내부의 설계를 통한 생태성과 도시 외부와의 연결에 따른 생태성 평가를 함께 고려하는 양방향에서 접근이 필요하다. 이에 본 연구에서는 서울시 내 근린공원을 대상으로 공원의 생태적 특성을 평가하고 효율적인 관리 방안을 제시하고자 한다.

한국은 ‘도시공원 및 녹지 등에 관한 법률’에 의거 기능 및 목적에 따라 공원을 11개로 분류한다. 예를 들어, 생활권공원의 경우 소공원, 어린이공원, 근린공원 등이 포함되며 도시생활권의 기반 공원 성격으로 설치된다. 주제공원의 경우 역사공원, 문화공원과 같이 목적이 비교적 명확한 공원이다. 하지만 각 공원의 위치, 크기, 설계 방법 등에 따라 같은 유형의 공원이라도 생태적 특성이 다르다. 특히 본 연구의 대상지인 서울은 대도시로 시가화지역(주거·상업·공업지역) 비율이 전체 용도지역 면적(605,598,290 km)의 약 61.5%로 이루어져 있지만 한강, 중랑천, 안양천 등 국가 하천과 중랑천, 양재천, 도림천 등 지방 하천이 분포한다. 또한 산림면적이 약 25.3%로 북한산, 도봉산, 관악산 등의 국립공원을 비롯하여 100여 개의 산이 위치한다. 이때문에 서울시 내 공원의 경우 위치에 따라 기반 환경이 다양한 특징이 있다. 하지만 도시공원 설계의 경우 ‘도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침’[시행 2015. 3. 23.][국토교통부 훈령 제504호, 2015. 3. 23., 일부개정]에 따라 규모와 시설면적 등이 제한되어 있다. 면적 제한으로 인하여 근린공원의 일반적인 설계 구성은 비슷하지만, 최근 친환경 기법을 활용한 공원 설계가 진행되고 있어 생태적 설계 방안 적용 정도가 공원별로 상이하다.

이에 본 연구에서는 서울시 내 근린공원을 대상으로 생태적 설계지표와 토지피복지도를 활용한 평가를 통해 다음 두 질문에 대한 답을 구하고자 한다. 1. 서울시 내 근린공원의 생태성은 설계 요소와 입지의 두 가지 요소 중 어느 것에 더 큰 영향을 받는가? 2. 생태성 평가에 있어 토지피복지도 기반의 평가와 생태 설계지표를 활용한 평가 결과 간에 유사성이 있는가?

본 연구를 통해 공원 관리 및 계획 등 평가목적에 적합한 평가 방안을 제시하고, 공원 입지에 따른 생태성의 차이를 분석하여 공원의 효율적인 관리 방안을 제시할 수 있을 것이다.

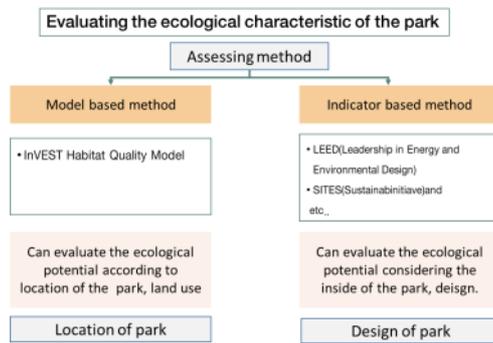


Figure 1. Framework of the research

II. 연구방법

1. 대상지 선정

본 연구에서는 서울시 내 총 2,939개의 도시공원 (2021년 1월 기준, 서울의 산과 공원) 중 공원시설 면적 40% 제한이 있고, 면적이 1ha 이상으로 생태적 지속가능성을 높일 가능성이 있는 근린공원을 연구 대상으로 선정하였다.

공원의 위치에 따른 생태적 기능 및 특성의 차이점을 분석하기 위해 본 연구는 다양한 위치의 공원을 고려하였다. 공원 위치별 유형분류를 위해 문헌 분석을 하였다. 국내 공원의 입지 특성을 반영하여 공원을 분류한 연구는 다음과 같다. 서울연구원(2018)은 주변 자연 지형 유무를 기준으로 평지형, 산지형으로 구분하였고, 이우성

외(2017)에서는 공원 내부의 경사도, 자연녹지, 인공녹지, 시설지역 및 공원 외부의 토지이용 특성을 고려하여 대구광역시 내 공원을 평지 시설(주거지 인접, 상공지 인접, 농지 인접), 산지 시설(농지 인접, 주거지 인접)로 분류하였다. 환경부(2012)는 입지 및 특성에 따라 산림형, 수변형, 평지형, 역사·문화형, 생태형 등 총 5개의 공원 유형으로 구분하였다. 김효정 외(2010)는 ‘산지자연형 공원’, ‘생태목적형 공원’, ‘시설집중형 공원’으로 분류하여 관리유형을 평가하였다. 외부 환경과의 연결성 연구의 경우 성현찬 외(2015)는 산림과 하천으로부터의 거리(300m, 1,000m)를 고려하여 직접 연결형, 고립형 도시공원으로 분류하였고, 서울시(2016)의 경우 서식지 연결성을 평가하기 위해 나비의 평균 이동 거리인 300m를 연결성의 기준으로 결정하였고, 서울시연구원(2018)도 공원 경계에서 거리 300m 이내의 공간 존재 여부에 따라 판단하였다.

본 연구는 위의 유형분류를 참고하여 공원의 입지에 따라 공원을 산지형(산지에 접한 유형, 자연 지형 공원)과 도심형(300m 이내 산림이 없이 독립적으로 조성된 유형)으로 분류하였고, 공원에 수공간이 근접하면 추가로 산지-수변형 혹은 도심-수변형(하천 300m 이내 위치)으로 구분하였다. 또한 규모에 따른 점수 분포를 분석하기 위해 2017년 기준 공릉동 근린공원(11,540 m²)부터 갈산 근린공원(138,596 m²)까지 다양한 면적의 공원 30곳을 선정하였다[Figure 2, Table

4]. 공원 평가는 Arc GIS pro 상에서 수행하였고, 공원 데이터의 경우 서울시 인프라 자료를 바탕으로 인터넷 기반 항공사진 서비스(Daum, Naver)를 종합하여 경계를 수정하였다.

2. 생태설계지표를 활용한 생태적 특성 평가

1) 생태적 설계지표 종합

본 연구에서는 공원의 생태적 설계의 방향성을 제시하는 국내 외 평가지표를 적용하고자 하였다. 먼저 국외에서 활용되고 있는 지표에 대한 전반적인 파악과 이를 국내 상황에 적용하기 위해 문헌 조사를 진행하였다. 본 연구는 조성된 공원을 대상지로 하였고, 생태적 특성 평가를 목적으로 하였기 때문에 각 평가 분야 중 생태적 설계 관련 지표만을 도출하여 재정립하였다.

또한 본 연구에서는 국제 범용적인 설계지표 항목을 바탕으로 하되 지역적 특성을 고려하기 위해 한국의 지자체 연구·활용 지표를 참고하였다. 구체적으로, 본 연구는 The Sustainable Sites Initiative™ (SITES™)를 기반으로 LEED ND, BREEAM를 종합하였고, 서울연구원(2018), 환경부(2012), 서울시 URBIO Index(2016)를 참고하였다. 이 지표들은 주목적과 활용성이 다르지만, 도시공원의 생태적 설계에 관한 지표라는 공통점이 있어 항목들이 일부 중첩된다. 따라서 본 연구는 연구 목적인 공원의 생태적 특성 평가에 부합하는 지표를 선별하였다.

SITES™의 경우 Green Business Certification Inc.(GBCI)에 의해 만들어진 토지 개발 프로젝트 평가 시스템이다. SITES™은 토양, 물, 식생, 인간 건강 분야 등 다양한 분야에 대한 평가가 진행되며, 획득하는 점수에 따라 인증 수준이 결정된다. 본 연구에서는 version 2를 활용하였으며, 10개의 평가 분야 중 7개의 평가 분야를 고려하였다. (section 2: Pre-Design Assessment + Planning; section 7 : Construction ; Section 10: Innovation of Exemplary Performance 항목 제외) LEED의 경우 U.S Green Building Council이

Table 1. Park types and classification criteria

Park types	Classification criteria
Adjacent to mountain	Parks located within a forest or adjacent to a mountain area
Isolated in the urban area	Isolated in the urban area (No mountain area around 300m)
Adjacent to river and mountain	Parks located adjacent to mountain and within 300m from a river
Adjacent to river and urban area	Parks Islated in urban are and within 300m from a river

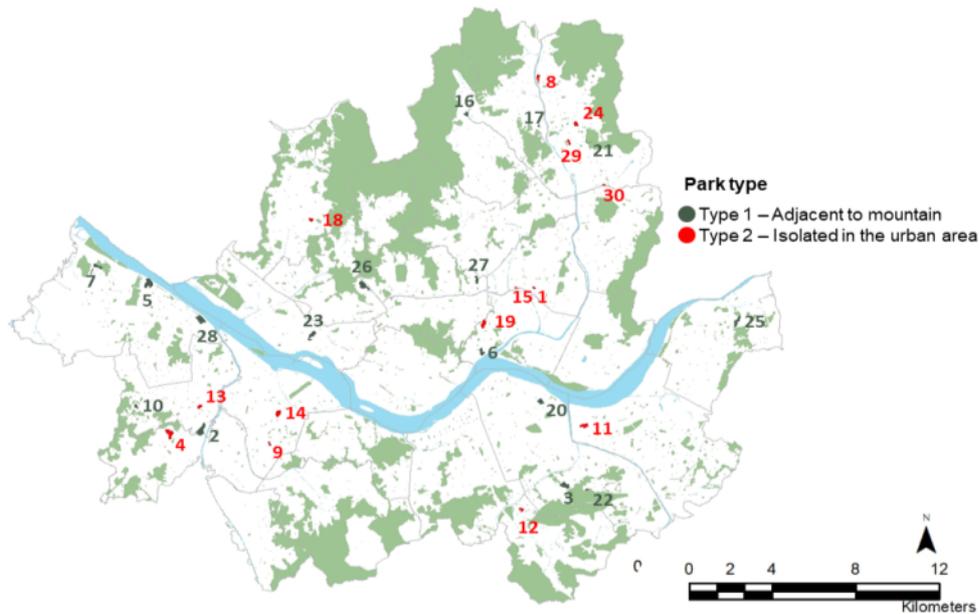


Figure 2. Geographical location of the study sites - Seoul, South Korea. The names of the parks corresponding to each number are listed in Table 4

수립한 평가지표로 Building Design and Construction(생물다양성 항목 + C), Interior Design and Construction(ID + C), Building Operations and Maintenance(O + M), Neighborhood Development(ND), Homes, Cities and Communities 등 6개의 범주로 분류되어 있으며, 총 100점을 기준으로 4개의 인증을 제공한다. 본 연구에서는 공원을 평가 대상으로 하기 때문에 LEED-ND를 활용하였으며, 2018년 업데이트된 version 4를 활용하였다. 연구 목적에 따라 건물과 관련된 인증지표와 사회적 평가 지표 (ex. Access to Quality Transit, Housing and Jobs Proximity) 등은 제외하였다. 그 결과 총 26개 지표를 고려하였다.

BREEAM(Building Research Establishment Environmental Assessment Method for buildings)은 영국의 BRE가 만든 최초의 평가지표로 계획단계-건설 단계-관리 단계 등 개발의 진행 프로토콜에 따라 6개의 분야를 평가한다. 본 연구에서는 BREEAM - Communities를 활용하였다. 해당 지표의 경우 경제-사회-생태적 항목을 모두 고려하고

있어 본 연구는 이 중에서 연구 목적에 부합하는 생태 항목만 추출하였다.

또한, 본 연구는 범국가적인 설계지표 항목을 바탕으로 지역적 특성을 고려하기 위해 한국의 지자체 연구·활용 지표를 참고하였다. 서울시는 2016년 서울 생물다양성 전략 및 이행계획(2017~2021) 수립을 통해 URBIO 지표 기반의 '지속 가능한 도시공원 녹지 조성을 위한 생물다양성 설계지표'를 개발했다. 이후 서울연구원은 「서울시 공원녹지 생물다양성 지표 개발 및 적용(서울연구원, 2018)」 정책 연구를 통해 서울시의 지표를 개선 보완했다. 개선된 지표는 총 6개 분야 25개의 지표로 구성되어 있다. 본 연구에서는 '계획과 설계', '이용 편의성' 등 공원 사회적 지속가능성 평가를 제외하고 '생물다양성', '생태계 기능', '유지관리' 3개 분야를 참고하였다.

또한 본 연구는 환경부(2012)의 「도시 녹지 생태적 기능 강화 연구」에서 제시한 생태적 건전성 평가 지침을 참고하였다. 위 고려 항목을 바탕으로 각 지표의 분야와 주목적에 따라 평가지표를

Table 2. The final evaluation items of ecosystems

	Ecosystem Service	Indicator	Literature sources	Data
Biodiversity	1 Size of green areas	size of a single green space within a park.(10ha/0.5ha/0)	Seoul Institute (2018)	aerial photo
	2 Vegetation type	mixed forest / deciduous forest / coniferous forest	Seoul Institute (2018)	vegetation map
	3 Ecological buffer space	presence of ecological buffer space (green belt, waterway)	MOE(2012), LEED	aerial photo, On-site photo
	4 Low-maintenance space	presence of low-maintenance space	Urbio Index, LEED	aerial photo, On-site photo
	5 External connectivity	connectivity with neighboring green areas	Urbio Index, MOE(2012) Seoul Institute (2018)	aerial photo Ecosystem and Nature Map
	6 Internal green continuity	fragmentation of internal green area size	MOE(2012)	aerial photo
	7 Habitat diversity	various types of habitats	Urbio Index,,Seoul Institute (2018), MOE(2012)	Layout, aerial photo
	8 Presence of key species	Presence of key species	Seoul Institute (2018), Urbio Index	Seoul Infrastructure Data
	9 Proportion of local genotype species in vegetation	natural forest / artificial forest / no-forest	Seoul Institute (2018), Urbio Index, SITES, BREEAM	Ecosystem and Nature Map
Ecosystem Function	10 Use of the by-product from site management	Use of the by-product from site management (composting facilities, leaf etc.)	Urbio Index, SITES	On-site photo
	11 Presence of large tree	presence of large trees	Urbio Index	On-site photo
	12 Aquatic spaces	presence of ecological retention spaces and aquatic habitats.	MOE(2012),Urbio Index	Layout,,aerial photo
	13 Vegetation structure	The vertical structure of the vegetation layer that occupies the largest area	MOE(2012), Urbio Index, BREEAM	On-site photo
	14 Environmental forest	large-scale forest communities with large-scale tree clusters are growing collectively.	MOE(2012)	Layout,,aerial photo
	15 Water circulation	Continuity of water flow	MOE(2012), SITES	Layout,,aerial photo
	16 Impervious surface area	Impervious surface area	MOE(2012), SITES, LEED	Layout,,aerial photo
17 Use of rainwater	Installation of facilities related to the reuse of rainwater	URBIO Index, MOE(2012), SITES, BREEAM, LEED	Layout,,On-site photo, Internet	
Management	18 Utilization of eco-friendly energy	Presence of energy utilization facilities.	URBIO Index,MOE(2012), SITES	Internet, On-site photo
	19 Ecological programs	Number of ecological programs in the park/green space program	URBIO Index, SITES, BREEAM	Internet
	20 Establishment of Biological Resource Database	Availability of information on biological resources.	MOE(2012)	Internet

통합하였으며, 국내의 현황을 반영하는 서울연구원(2018), 환경부(2012), 서울시 URBIO Index (2016)의 평가 방법을 채택하였다[Table 2].

선행연구를 토대로 공원의 생태적 설계를 평가하기 위해 총 3가지 카테고리, 20개의 지표를 도출하였다. 각 지표는 5점 혹은 4점을 만점으로 하며, 항목별 평가 점수/총점수로 분석하였다. 먼저, 생물다양성 항목에서는 공간이 생물종의 서식처로서 기능할 수 있는 기준 이상으로 설계가 이루어졌는지 평가하였다. 녹지 면적의 크기, 서식처로서 작용할 수 있는 숲, 초지, 습지 등 다양한 서식처가 조성되어 있는지, 핵심종 및 깃대종이 출현하는지, 저관리공간 및 완충공간이 있는지, 식물종 수 등의 설계 요소를 평가하였다. 예를 들어 개별녹지 면적의 크기(10ha/0.5ha/0) 등에 따라 각각 5, 3, 0점을 부여하였다. 다음으로, 생태계 기능 항목에서는 각 생태적 요소가 기후조절 기능, 수원함양 기능을 하는지, 내부에서 물 순환이 이루어지고 있는지, 건강한 녹지 구조를 가지고 있고, 탄소 저장 기능을 할 수 있는지 현재 공간 설계 요소를 평가하였다. 예를 들어 수공간이 있는지, 우수를 활용할 수 있는 설계 요소 여부, 물 순환 설계 여부, 다층구조 평가, 대교목 식재 여부 등을 평가하였다. 마지막으로, 유지관리 항목에서는 효율적 모니터링 및 관리, 공원 내 재생에너지 활용성 및 공원 프로그램 등을 평가했다.

3. 토지피복을 활용한 서식처 질 평가

InVEST 모델은 생태계서비스의 경제적, 서식지 측면 등 다양한 분석이 가능하기 때문에 한국 정책 평가연구원은 이를 한국형 의사 결정 지원 도구로 선정하여 연구를 진행하였다(MOE, 2016; Kim, 2015). 특히, InVEST 3.6.0 버전에서는 16가지의 평가모델을 제공하고 있다. 본 연구에서는 개체군이 지속할 수 있는 생태계 조건을 평가하는 Habitat Quality 모델을 활용하여 도시공원의 생물다양성 평가를 진행하였다. Habitat

Quality 모델은 일반적으로 인근 토지이용의 강도가 증가함에 따라 서식처 질이 저하되는 현상을 고려하여 서식처의 가치를 산출한다. 본 연구에서는 토지피복지도의 주거지역, 도로 등 시가화 건조지역과 논, 과수원 등 농업지역과의 거리를 위협요인으로 선정하였다. 특히, 토지피복도, 위협요인, 요인의 최대 영향 거리, 각 토지피복 유형에 따른 위협요인 민감도를 입력 자료로 이용하였다.

구체적으로, 본 연구에서는 EGIS (Environmental Geographic Information Service)에서 제공하는 세분류 토지피복지도를 활용하여 52개의 토지피복 유형, 선행연구에서 구축된 14개의 위협요인 [Table 3] 및 민감도 자료를 활용하였다(Kim et al., 2015). 이후 Habitat Quality model의 적절성을 평가하기 위해 ArcGIS v 10.2.1 상에서 생태자연도 및 국토환경성평가지도를 활용하여 두 지도 모형의 결과값이 비슷한 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 이후 연구 대상공원 30개의 공원 경계를 활용하여 각 공원 내부의 서식처 질의 평균을 도출하였다.

III. 결과 및 고찰

Table 3. Threat data

Threat data	Maximum		
	distance (km)	Weight	Decay
residential area	4.5	0.7	exponential
industrial area	7	0.85	exponential
urban area	5.5	0.75	exponential
railway	6	0.8	linear
road	3.5	0.6	linear
urban facility	6	0.78	linear
dump	5	0.85	linear
paddy	4	0.5	linear
paddy(undesigned)	3.5	0.45	linear
farm land	3.8	0.6	linear
farm	3.3	0.55	linear
land(undesigned)	3.3	0.55	linear
greenhouse	4.5	0.7	linear
orchard	3.8	0.4	linear

*출처: Kim et al., 2015

1. 공원 입지 유형에 따른 생태적 특성 평가

생물다양성 9개 지표, 생태계 기능 8개 지표, 유지관리 3개 지표를 적용하여 서울시 내 근린공원 대상지 30개 공원의 생태적 특성을 평가했다 [Table 4]. 공원 유형의 경우 도심형, 산지형 뿐만 아니라 강 유형과 산지 유형이 모두 인접한 유형과 도심과 강에 모두 인접한 유형이 다르다고 판단하였다. 이에 도심형, 산지형, 산지-수변형, 도심-수변형으로 분류하여 평균값을 비교하였다[Figure 3,4].

도심형(14개소), 산지형(16개소)의 지표 평가 점수는 각각 16.86(±6.84)점, 35.94(±11.05)점으로 상당한 차이를 보였고, 각각의 점수를 총점수로 나눈 비율 값으로 분석했을 때 통계적으로 공원의 유형 간 유의한 차이를(Mann-Whitney U=204, p<0.001) 보였다[Figure 3 (b)].

InVEST 모델을 활용하여 평가한 서식처 질의 경우 도심형 공원이 0.33(±0.07), 산지형 공원이 0.53(±0.13)으로 평균값이 도출되었고, 공원 유형별 통계적으로 유의한 차이를(Mann-Whitney

U=205, p<0.001) 보여, 공원의 입지 유형별로 기대되는 생태성의 차이가 있었다[Figure 3 (a)]. 공원의 생태적 특성에 영향을 끼치는 요인으로 공원 내부의 설계 의도, 공원의 관리 정도, 공원의 입지, 공원의 형태, 면적 등이 있다. 본 연구에서 대상으로 선정한 서울시 근린공원의 경우 크기와 설계자의 의도에 따라 공원 구성 방향이 달라질 수 있지만 공원시설 면적이 40% 이내로 제한되어 있고, 큰 틀에서 근린공원 조성은 같은 기준과 법례에 따라 부지 구성이 결정되는 특징이 있다.

평가 결과, 공원의 설계 또는 관리 방향 보다 공원의 입지가 공원의 생태성 정도에 더 큰 영향을 끼치고 있다고 판단되었다. 입지 유형을 세분화하여 공원 300m 이내에 강이 있는지를 고려하여 공원의 유형을 도심형, 산지형, 산지-수변형, 도심-수변형으로 구분하고 설계지표로 평가한 평균값을 비교했을 때, 산지-수변형, 산지형, 도심-수변형 및 도심형 순으로 생태성이 높았다[Figure 4 (b)]. 서식처 질의 평균값은 산

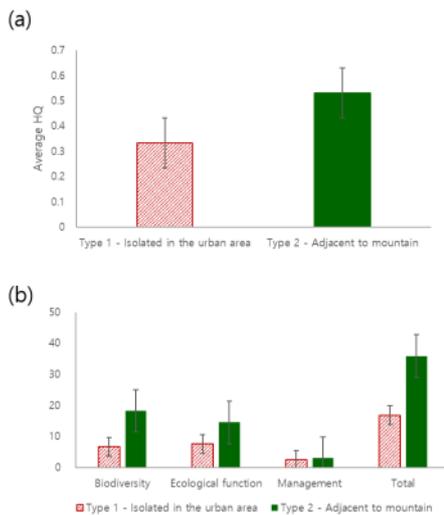


Figure 3. Average score by location of park (a)Evaluation by the location and its surrounding land use (b)Evaluation by ecological design indicators; Type 1: Isolated in urban area, Type 2: Adjacent to mountain

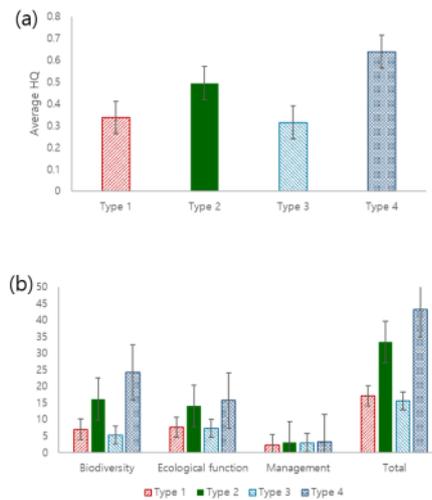


Figure 4. Average score by location of park (a)Evaluation by the location and its surrounding land use (b)Evaluation by ecological design indicators; Type 1: Isolated in the urban area, Type 2: Adjacent to mountain Type 3: Adjacent to river & urban area, Type 4: Adjacent to river & mountain area

Table 4. The results of assessment

ID	Park	Area(m ²)	Type		HQ	Score of applying Ecological design Indicators			
						Biodiversity	Ecological Function	Management	Total
1	Gandeme	15,180	U		0.328	8	6	1	15
2	Galsan	138,596	M	R	0.689	25	16	4	45
3	Gaepo	97,361	M		0.688	22	16	0	38
4	Gochuk	108,120	U		0.459	16	13	3	32
5	Gungsan	135,003	M	R	0.653	24	15	4	43
6	Dalmaetbong	63,411	M	R	0.680	23	15	1	39
7	Banghwa	72,132	M		0.496	24	19	6	49
8	Sanggye	30,479	U	R	0.362	4	6	1	11
9	Singil	19,504	U		0.283	1	6	4	11
10	Sinwol	33,058	M		0.411	7	6	0	13
11	Asia	66,028	U		0.380	7	9	1	17
12	Yangjae	32,523	U		0.298	2	6	2	10
13	Yangcheon	33,798	U		0.316	2	5	4	11
14	Yeongdeungpo	61,544	U		0.313	6	10	1	17
15	Yongdu	17,182	U	R	0.287	3	7	7	17
16	Uidongsolbat	34,955	M		0.453	18	14	4	36
17	Wolcheon	10,712	M		0.406	4	8	6	18
18	Nokbeonseo	29,945	U		0.479	15	11	1	27
19	Eungbong	75,570	U		0.301	11	8	4	23
20	Cheongdam	59,347	M		0.665	20	22	6	48
21	Chungsook	12,628	M		0.445	23	16	4	43
22	Hansol	12,878	M		0.402	12	8	0	20
23	Wawoo	87,432	M		0.636	22	16	1	39
24	Nohae	34,647	U		0.278	9	5	4	18
25	Bangjuk	87,749	M		0.607	22	16	0	38
26	Doglib	113,022	M		0.307	10	10	6	26
27	Sungin	45,615	M		0.429	11	19	4	34
28	Yeomchang	112,070	M	R	0.533	25	17	4	46
29	Deungnamu	22,727	U		0.280	1	6	1	8
30	Gongneungdong	11,540	U	R	0.297	9	9	1	19

*Type; U: Urban, M: Mountain, R: River

지-수변형이 가장 높았으며, 뒤를 이어 산지형, 도심형, 도심-수변형 순이었다[Figure 4 (a)]. 수변 유형의 경우 산지형과 함께 나타날 때 산지형 공원보다 생태성이 높지만, 도심-수변 유형의 경우 도심형과 큰 차이가 없었다. 이는 서울시 내 강 및 하천의 경우 거리상 근접하더라도 도로에 의해 단절되는 경우가 다수이며, 평가지

표 및 서식처 질 값 평가가 녹지와 근접성과 더 큰 관계성이 있기 때문으로 보인다.

2. 공원 내부 설계와 외부 연결성에 따른 생태성 평가 결과 비교

1) 설계지표와 서식처 질 평가 결과 상관분석
서식처 질과 생태적 설계지표에 따른 총점수 간의 관계는 양의 상관관계를 보였다[Table 5].

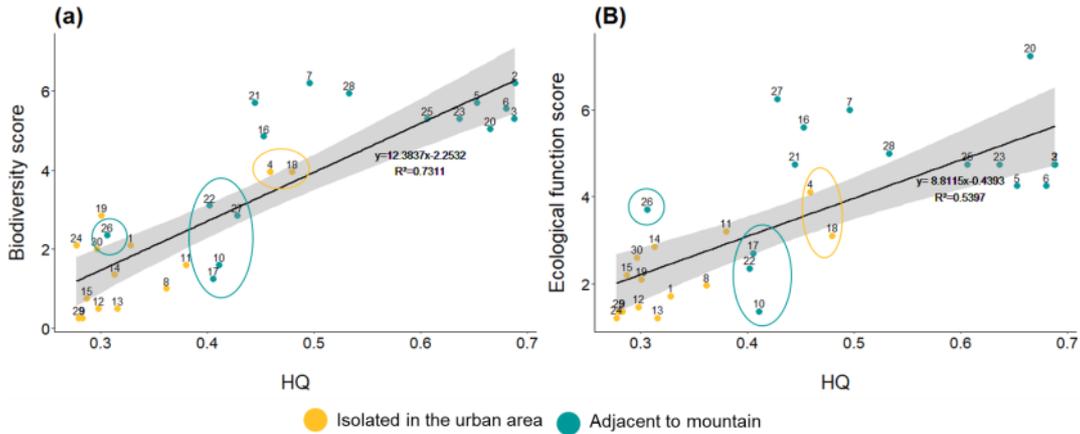


Figure 5. HQ values and trend lines for each sub-indicator-based score. Numbers correspond to the park numbers in Table 4. (a) shows the trend lines for biodiversity score and HQ values, and (b) shows the trend lines for ecological score and HQ values. The color of each circle represents whether the park is isolated in the urban area (yellow) or adjacent to a mountain (green).

상관분석 결과 서식처 질과 총점수, 서식처 질과 생물다양성 항목 점수, 서식처 질과 생태계 기능 항목 간의 상관관계가 각각 유의확률 $p < 0.001$, 유의수준 $\alpha = 0.01$ 미만으로 나타나 유의한 선형적 정적 상관관계가 있음을 알 수 있었고[Table 5], 각 상관계수가 0.829, 0.861, 0.802로 높은 양의 상관관계를 보였다. 높은 상관성이 나타났다는 것은 도시 녹지 공간의 생태적 기능을 평가할 때 한 가지 평가 방법의 결과로 다른 평가 방법의 결과와 경향성을 예측할 수 있다는 것을 의미한다. 유지관리 분야 항목과 서식처 질 간의 관계의 경우 통계적으로 유의미한 상관성이 없었다. 생물다양성 항목과 생태계 기능 항목의 경우 녹지의 양, 구성 및 연결성 등 토지피복에 영향을 많이 받지만, 관리의 경우 공원 내부의 관리현황 및 시설에 따라 평가되므로 서식처 질과 관련이 없다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 공원을 유지관리하는데 있어 서식처 질은 크게 중요하지 않으며, 각 공원의 생태적 설계 기준 활용 확대로 생태성을 높일 수 있다는 것을 시사한다.

Table 5. Correlation coefficients between model-based HQ and indicator-based Score

Score	HQ
Total score	0.829**
Biodiversity score	0.861**
Ecological function score	0.802**
Management score	-0.89

**correlation is significant at the 0.01 level (two-tailed)

**correlation is significant at the 0.01 level (two-tailed)

*correlation is significant at the 0.05 level(two-tailed)

또한 이 결과는 입지적으로 생태성이 부족한 지역에 위치한 공원의 경우 평가지표를 활용하여 공원 식생구조 개선, 유지관리 인력 확충 등 내부 생태성을 높이는 방식으로 공원의 생태성을 증진시킬 수 있다는 것을 보여준다. 현재 내부의 설계가 부족하다라도, 입지가 우수한 공원이라면 생태성을 고려한 관리를 통해 생태적 특성을 확대할 수 있다. 공원을 계획 시 모델을 활용하여 광역적 연결성이 높고 입지 측면에서의 생태적 특성이 높은 지역을 선정하여 조성하고, 입지의 생태적 특성이 상대적으로 낮은 공간도 평가지표를 활용하여 공원의 내부 생태성을 높일 수 있을 것이다.

생물다양성 분야, 생태계 기능 분야와 서식처

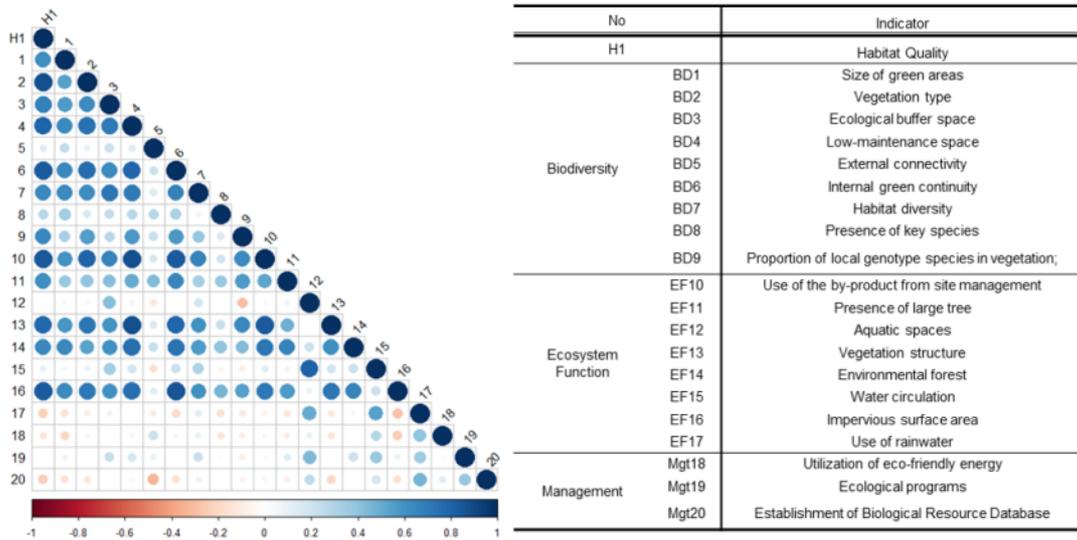


Figure 6. Correlation analysis between factors

질 간의 관계를 더 심층적으로 분석하기 위하여, 각 분야와 서식처 질 간의 관계를 도식화하였다 (Figure 5). 26번 독립근린공원의 경우 산지형 공원이지만 낮은 서식처 질과 낮은 생물다양성 항목, 생태계 기능 항목 값을 나타낸다. 독립근린공원의 경우 안산 자락에 있지만, 가까운 공원인 사직공원까지 약 1km의 거리가 있고, 종로구 지역의 주거지역 및 도로가 많은 특성이 위협요인으로 작용하여 서식처 질 값이 낮게 평가된 것으로 판단된다. 내부 설계의 경우 독립근린공원의 특성상 공원 내부에 조각상이 많고, 대부분 볼투수포장으로 공원이 조성되어 생물다양성 항목 값과 생태계 기능 항목 값이 낮게 평가되었다.

반면에 4번 고척근린공원과 18번 녹번서근린공원의 경우 도심공원임에도 비교적 높은 서식처 질과 생물다양성 항목, 생태계 기능 항목 값을 갖는 것으로 평가되었다. 고척근린공원의 경우 본 연구에서 선정한 산지형 공원의 기준인 인근 300m 이내에 산림은 없지만, 300m 이내에 계남근린공원이 위치하고, 1km 이내에 매봉산이 위치하여 비교적 높은 서식처 질을 나타낸 것으로 분석된다. 또한 높은 생물다양성 항목 값과 생태

계 기능 항목 값을 보인 공원 중 고척근린공원은 1988년 조성된 공원으로 그 기간이 오래됨에 따라 대교목이 존재하고 10ha가 넘는 공간에 녹지 공간 및 완충녹지 공간 등이 잘 조성되어 높게 평가되었다. 18번 녹번서근린공원의 경우 1km 이내에 백련산 자락이 존재하고, 3km 이내에 북한산 자락과 같은 서울의 주요 생태공간이 존재하여 서식처 질이 높게 평가된 것으로 판단된다. 녹번서근린공원의 경우 규모가 2.99ha로 작지만, 인공연못이 조성되어 수공간이 있고, 작은 언덕으로 내부 공간이 비교적 자연형으로 조성되어 있다. 이처럼 도심공원임에도 생태성이 높을 수 있는 것은 생태적 설계를 통해 공원의 생태성을 높일 수 있다는 점을 잘 보여준다.

2) 세부 지표 간 상관관계 분석

20개의 세부 지표 간의 상관관계 분석 결과는 일부 지표들 간에 상관관계가 있음을 보여준다[Figure 6]. 구체적으로, 서식처 질은 세부 지표 중 생태 완충공간(BD3), 내부 녹지 연속성(BD6), 잔존물 방치(EF10), 식피율(투수면)(EF16), 층위 구조 지표(EF13)와 높은 양의 상

관성이 있다($R>0.7$, $\alpha=0.01$). 이는 서식처 질 값이 녹지에 높은 점수가 부여되는 토지피복을 기반으로 평가되며, 위 해당 지표들의 경우 내부의 단일 녹지 규모와 그 질(식생 구조)로 평가되는 항목이기 때문에 서식처 질과 높은 양의 상관성을 나타내는 것으로 판단된다. 그 외에 서식처 질은 서식지 다양성(BD7), 자생종 비율(BD9), 대경목(EF11), 환경림-대규모 식재군락(EF14)과도 각각 유의한 양의 상관관계를 보였다($0.5<R<0.7$, $\alpha=0.01$). 하지만 토지피복을 활용한 연결성 평가와(H1) 지표를 활용한 외부연결성(BD5) 간에는 관계성이 없었다[Figure 6]. 이는 지표를 활용한 공원 연결성 평가의 경우 주변 녹지와 물리적 연결성만 평가한 것에 반해 InVEST를 활용한 서식처 질 값의 경우는 생태성에 영향을 끼칠 가능성이 있는 위협요인과 민감도 값을 활용한다. 본 연구에서는 시가지건조지역과 농업지역 등 인공적인 토지피복을 위협요인으로 선정하였고[Table 3] 인근 토지피복의 영향에 따라 서식처 질 값이 변하므로 지표를 활용한 공원 연결성 평가와 관계성이 낮게 평가된 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 서울시 근린공원을 대상으로 공원의 생태성을 설계지표와 토지피복지도를 활용하여 평가하였다. 이를 통해 서울시 근린공원의 생태성이 설계 요소와 입지 두 가지 중 어느 것에 더 큰 영향을 받는지 분석하였다. 서울시 내 30개의 근린공원을 선정하고 입지에 따라 도심형(14개소), 산지형(16개소)으로 분류했다. 공원의 입지가 상이한 도심형과 산지형의 지표 평가 점수를 비교했을 때, 도심공원은 평균 점수 16.86(± 6.84)을 가지고 있었으며, 산지 공원은 35.94(± 11.05)로 유의한 차이가 있었다. 토지피복 기반 서식처 질(HQ) 값도 도심형 공원이 평균 점수 0.33(± 0.07), 산지형 공원이 0.53(± 0.13)

으로 유의한 차이가 있었다. 이는 입지적 특성에 따라 공원의 기본적인 생태적 잠재성이 다르다는 것을 의미한다. 즉 공원의 생태성을 결정하는데 설계 요소와 입지의 두 요소 중 공원의 입지가 설계에 비해 더 큰 영향을 나타내고 있다는 것으로 판단되었다. 하지만 입지가 모든 공원의 생태성을 확정하지 않았다. 구체적으로 독립근린공원의 경우 입지가 뛰어난에도 주변의 토지피복에 기반한 위협요인의 영향으로 인한 서식처 질(HQ) 결과와 설계지표 평가를 활용해 공원 내부를 평가한 결과 모두 생태성이 낮게 평가되었다. 반면에 도심공원인 고척근린공원과 녹번서근린공원의 경우 입지 측면에서 산림과의 연결성이 떨어지지만 다른 공원과의 연결성 및 내부의 생태적 설계 요소를 도입하여 생태성이 높은 것으로 평가되었다. 이는 입지적으로 생태성이 높은 공원의 경우 현재 내부의 생태적 설계 요소가 부족할 수 있으며 생태성을 고려한 공간 개선을 통해 생태적 특성을 확대할 수 있다는 것을 보여준다. 또한 도심형 공원의 경우 입지적 한계에도 불구하고 적합한 생태적 설계를 활용한 전략을 통해 생태성을 높일 수 있다는 것을 시사한다. 생태적 설계지표의 활용은 산림이 주변에 없더라도 다른 공원과의 연결성 확충을 제안하고, 내부의 생태적 요소를 확대하는 등 도심지역의 생활권 녹지 질적 향상을 추구하는 최근의 공원녹지 기본계획(서울시 2040 공원녹지 기본계획)에 부합, 효과적으로 도시공원의 생태성을 평가, 개선하는 방법으로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구는 추가로 토지피복지도를 활용한 InVEST 평가와 생태적 설계지표 평가 결과의 유사성을 분석하였다. 분석 결과, 평가지표에 기반한 총점과 서식처 질 간에 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 서식처 질과 설계 평가의 총점수, 서식처 질과 생물다양성 항목 점수, 서식처 질과 생태계 기능 항목 간의 점수 간에는 각각 유의한 선형 관계가 있었다. 다만 관

리항목의 점수와 서식처 질 간에는 유의한 상관성이 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 두 방법 모두 공원의 생태성을 평가하는데 활용성이 높지만, 특히 공원의 관리 측면에서는 생태적 설계지표를 통한 목표가 설정되고 적용됨으로써 공원의 생태성을 높이는 것이 필요하다는 것을 보여준다.

향후 공원의 입지 유형을 추가하여 공원의 생태성에 입지의 영향을 보다 종합적으로 분석하는 연구가 요구된다. 특히, 수변공간은 도시 내 생태계서비스를 제공하는 육상-수생 시스템의 전이지역이자 생물다양성-확산 네트워크 확보를 위한 주요 서식처로(Fonseca et al., 2021) 이후 평가 개소 확대를 통해 서울시 내 공원의 입지와 수변공간의 관계에 관한 연구가 필요하다. 이러한 고려사항을 통합하여 공원의 질적 생태성 제고에 초점을 맞추어 나갈 때, 서울과 같은 도시의 녹지공간이 제공할 수 있는 생태성과 생태계서비스를 향상할 수 있을 것이다.

References

- Ahern, J. (2013). "Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design." *Landscape Ecology* 28(6): 1203-1212.
- Apfelbeck, B., Snep, R. P. H., Hauck, T. E., Ferguson, J., Holy, M., Jakoby, C., Scott Macivor, J., Schär, L., Taylor, M., & Weisser, W. W. (2020). Designing wildlife-inclusive cities that support human-animal co-existence. *Landscape and Urban Planning*, 200, 103817.
- Campagne, C. S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L., & Taton, T. (2017). Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. *Ecological Indicators*, 79, 63-72.
- Carroll, C., McRae, B. H., & Brookes, A. (2012). Use of Linkage Mapping and Centrality Analysis Across Habitat Gradients to Conserve Connectivity of Gray Wolf Populations in Western North America. *Conservation Biology*, 26(1), 78-87.
- Cerreta, A., McCarthy, K., Fowles, G., (2023). "Habitat suitability and landscape connectivity for an expanding population of bobcats." *Landscape Ecology* 38: 1-19.
- Chiesura, A. (2004). "The role of urban parks for the sustainable city." *Landscape and Urban Planning* 68(1): 129-138.
- Clergeau, P., Jokimäki, J., & Savard, J.-P. L. (2002). Are urban bird communities influenced by the bird diversity of adjacent landscapes? *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 1122-1134.
- Drielsma, M. J., Love, J., Taylor, S., Thapa, R., & Williams, K. J. (2022). General Landscape Connectivity Model (GLCM): a new way to map whole of landscape biodiversity functional connectivity for operational planning and reporting. *Ecological Modelling*, 465, 109858.
- Fonseca A, Zina V, Duarte G, Aguiar FC, Rodriguez-Gonzalez PM, Ferreira MT, Fernandes MR. (2021). Riparian Ecological Infrastructures: Potential for Biodiversity-Related Ecosystem Services in Mediterranean Human-Dominated Landscapes *Sustainability* 13, no. 19: 10508.
- Kim, E.-Y., Kim, J.-Y., Jung, H.-J, Song, W.-K (2017) Development and Feasibility of Indicators for Ecosystem Service Evaluation of Urban Park, *J. Environ. Impact Assess.* 26(4): 227~241 [Korean Literature]
- Kim, H.-J., Kang, E.-J., Cho, J.-H.(2010). An

- Evaluation on Management Types by Characteristics of Urban Parks. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 38(5), 21-30 [Korean Literature]
- Kim, T.-Y., Song, C.-H., Lee, W.-K., Kim, M.-I., Lim, C.-H., Jeon, S.-W., Kim, J.-S. (2015). Habitat Quality Valuation Using InVEST Model in Jeju Island, *J. Korean Env. Res. Tech.* 18(5) : 1~11 [Korean Literature]
- Krauss, J., Steffan-Dewenter, I., & Tschamtker, T. (2003). How does landscape context contribute to effects of habitat fragmentation on diversity and population density of butterflies? *Journal of Biogeography*, 30(6), 889-900.
- Langemeyer, J., Wedgwood, D., McPhearson, T., Baró, F., Madsen, A. L., & Barton, D. N. (2020). Creating urban green infrastructure where it is needed - A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of The Total Environment*, 707, 135487.
- Li, F., Wang, R., Paulussen, J., & Liu, X. (2005). Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 72(4), 325-336.
- Morey, B., Deshkar, S., Sukhwani, V., Mitra, P., Shaw, R., Mitra, B. K., Sharma, D., Rahman, M. A., Dasgupta, R., & Das, A. K. (2022). Towards Circulating and Ecological Sphere in Urban Areas: An Indicator-Based Framework for Food-Energy-Water Security Assessment in Nagpur, India. *Sustainability*, 14(13), 8123.
- Normander, B., Levin, G., Auvinen, A.-P., Bratli, H., Stabbetorp, O., Hedblom, M., Glimskär, A., & Gudmundsson, G. A. (2012). Indicator framework for measuring quantity and quality of biodiversity – Exemplified in the Nordic countries. *Ecological Indicators*, 13(1), 104-116.
- Park, S.-C. and B.-H. Han (2021). "Using the City Biodiversity Index as a Method to Protect Biodiversity in Korean Cities." *Sustainability* 13(20): 11284. [Korean Literature]
- Pe'er, G., et al. (2011). "Breaking Functional Connectivity into Components: A Novel Approach Using an Individual-Based Model, and First Outcomes." *PLoS ONE* 6(8): e22355.
- Peng, Y. and Zhang, H. (2022). "Global Sustainable Development Evaluation Methods With Multiple-Dimensional: Sustainable Development Index." *Frontiers in Environmental Science* 10.
- Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D., & Johnson, K. A. (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.
- Roche, P. K. and Campagne, C. S. (2019). "Are expert-based ecosystem services scores related to biophysical quantitative estimates?" *Ecological Indicators* 106.
- Sallustio, L., De Toni, A., Stollo, A., Di Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafo, M., Vizzarri, M., & Marchetti, M. (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *J Environ Manage*, 201, 129-137.
- Sowińska-Świerkosz. (2017). "Review of cultural heritage indicators related to landscape: Types, categorisation schemes and their usefulness in quality assessment." *Ecological*

- Indicators 81: 526-542.
- Sung, H.-C. (2015). "A Study on the Ecological Attributes Assessment and Comparison of Urban Parks according to Types of the Surrounding Green Areas." *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 18(2): 119-131.[Korean Literature]
- Stanislav, A. and Chin, J. T. (2019). "Evaluating livability and perceived values of sustainable neighborhood design: New Urbanism and original urban suburbs." *Sustainable Cities and Society* 47: 101517.
- Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K. (2013). *INVEST 2.5. 3 Users' Guide*. The Natural Capital Project, Stanford, CA.
- Uchiyama, Y. and Kohsaka, R. (2019). "Application of the City Biodiversity Index to populated cities in Japan: Influence of the social and ecological characteristics on indicator-based management." *Ecological Indicators* 106.
- Walz, U. and Syrbe, R.-U. (2013). "Linking landscape structure and biodiversity." *Ecological Indicators* 31: 1-5.
- Woo-sung, L., and Gab-sue, J. (2017). "Classification of Neighborhood Parks Considering Environmental Characteristics for effective Urban Park Management." *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 20(1): 26. [Korean Literature]
- Wu, J. (2019). "Linking landscape, land system and design approaches to achieve sustainability." *Journal of Land Use Science* 14(2): 173-189.
- Zhang, Z., Meerow, S., Newell, J. P., & Lindquist, M. (2019). Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 305-317.