

바이오톱 지도작성의 고도화를 통한 프레임워크 구축 연구[†]

- 디지털트윈 적용가능성의 측면에서 -

A Study on Framework Development through the Advancement of Biotop Mapping[†]

- Digital Twin Applicability and 3D Visualization Methods -

손시현*, 조현주**, 나정화***, 김진효***

*대구대학교 원예·조경학과 석사, **대구대학교 조경산림정원학과 교수, ***경북대학교 조경학과 교수

Son, Sihyeon*, Cho, Hyunju**, Ra, JungHwa***, Kim, JinHyo***

*Master, Dept. of Horticulture and Landscape Architecture, Daegu University

**Professor, Dept. of Landscape Architecture, Forestry and Gardening, Daegu University

***Professor, Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

Received: February 13, 2026

Revised: March 14, 2026 (1st)
April 15, 2026 (2nd)

Accepted: April 15, 2026
3인익명 심사필

Corresponding author :

Hyunju Cho
Professor, Dept. of Landscape
Architecture, Forestry and
Gardening, Daegu University,
Gyeongsan 38453, Korea
Tel.: +82-53-850-6743
E-mail: hjcho@daegu.ac.kr

국문초록

본 연구에서는 바이오톱 지도작성의 체계성과 객관성을 제고하고 실무 환경에서의 활용 가능성을 확장하기 위해 바이오 톱 유형분류 및 평가지표 고도화와 수치지도 및 입체적 시각화 방법론을 기반으로 한 바이오톱 지도작성 프레임워크를 구축하였다. 바이오톱 유형분류 고도화에서는 환경부 지침, 선행연구 및 지역별 사례를 종합하여 보다 일반화된 유형분류 체계를 도출하였으며, 평가지표 고도화 단계에서는 산술적·통계적 방법을 적용하여 평가의 정량성과 객관성을 확보하였다. 제안된 방법론을 적용한 결과, 선행 연구 대비 바이오톱 유형분류의 세분화 정도가 향상되었으며, 가치평가에서도 보다 유의미한 바이오톱 유형을 효과적으로 선별할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 본 연구는 바이오톱 유형분류, 가치평가, 수치지도화, 입체적 시각화에 이르는 전 과정을 통합한 프레임워크를 구축하여 실무자들이 지도 작성 단계 간 연계성을 직관적으로 파악할 수 있도록 하였으며, 자료의 누락이나 해석의 오류 등을 최소화하도록 하였다. 또한 Blender프로그램을 활용한 3D 바이오톱 지도 제작 방법을 제안함으로써 향후 디지털트윈 기반 공간 계획 및 환경관리 분야에서의 활용 가능성을 제시하였다.

주제어: 도시생태현황도, 바이오톱 유형분류, 바이오톱 가치평가, 3D바이오톱지도, 공간계획 및 환경관리

ABSTRACT

This study aims to enhance the systematic structure and objectivity of biotop mapping and to expand its applicability in practical environments by establishing a biotop mapping framework based on the advancement of biotop classification and evaluation indicators, as well as numerical mapping and 3D visualization methodologies. For the advancement of biotop classification, a more generalized classification system was derived by synthesizing national guidelines, previous studies, and regional case reports. In the evaluation stage, arithmetic and statistical approaches were applied to improve the quantitative and objective nature of the assessment. The results demonstrate that the proposed methodology improves the level of classification detail compared to existing studies and enables more effective identification of ecologically valuable biotop types. Furthermore, this study integrates the entire process—from classification and evaluation to numerical mapping and 3D visualization—into a unified framework, allowing practitioners to intuitively understand the interconnections between each stage while minimizing data omission and interpretation errors. Finally, a method for producing 3D biotop maps using the software Blender is presented, suggesting its potential application in digital twin-based spatial planning and environmental management.

[†]이 연구는 2025학년도 대구대학교
연구년 결과물로 제출됨

Keywords: Urban Ecosystem Map, Biotop Type Classification, Biotop Value Assessment, 3D Biotop Map, Spatial Planning and Environmental Management

1. 서론

1.1 연구 배경과 목적

1970년대 우리나라는 경제가 급속도로 발전하게 되면서 국토의 무분별한 개발계획으로 인하여 지속적인 경관훼손 문제에 노출되어 있다. 특히 제조업에 대한 수요가 급증하게 되는 1985년 이후에는, 공장이나 주거단지 등의 개발계획이 도시지역을 넘어 농·산촌지역으로까지 진행되었다(허수열, 2012). 이러한 무분별한 개발계획으로 인해 경관 훼손 면적은 점차 넓어지게 되었으며, 그 후로도 지금까지 광역적 범위의 경관 훼손 문제는 사회적인 이슈로 언급되어 왔다. 이를 해결하기 위한 방안으로 1990년대 후반에는 비오톱에 대한 개념이 대두되었으며, 2017년도 '자연환경보전법'의 개정을 통해 시 이상의 지방단체에서는 비오톱 지도(도시생태현황지도)의 작성을 의무화하도록 하였다. 이러한 추세에 따라 비오톱 지도작성에 대한 관련 연구도 활발히 이루어지게 되었는데, 이를 연구의 흐름 별로 파악해 보면, 우선 비오톱의 개념 및 비오톱 지도의 필요성 제시에 관한 연구를 들 수 있다(나정화, 1999; 정문선과 이명우, 2000; 장동민, 2001; 김현수와 안근영, 2002). 일례로, 나정화와 박인환(1998)은 도시 생태 시스템의 불균형을 해결하기 위한 경관생태적 기초자료로서 비오톱 도면화 작업과 그 정보의 구축을 제안하였으며, 해당 기초자료들은 도시 자연 체험 및 보전·발전 등의 핵심적 평가 자료가 될 수 있다고 역설하였다.

다음으로는 비오톱 지도작성의 기초 방법론 제시에 관한 연구가 진행되었던 바(이동근과 윤소원, 1998; 김영선과 김우열, 2008; 반수홍 등, 2009; 김지석 등, 2014), 최일기 등(2008)은 비오톱 유형분류 체계를 작성하기 위해 기존의 국내·외 연구를 토대로 분류체계를 제시하였으며, 지역적 특성 고려를 위해서는 소분류 및 세분류 단계에서 추가적 보완이 필요하다고 제안하였다.

이후에는 평가지표의 객관화 및 고도화에 대한 연구가 전개되었다(정성은 등, 2008; 박천진 등, 2012; 나정화 등, 2012; 김진호, 2020). 일례로, 조현주 등(2010)은 지구단위 차원에서 대상지를 선정하여 비오톱 유형분류를 진행한 후, 이를 바탕으로 평가지표를 선정하였으며, 경관가치평가 모형을 설정함에 있어 지표의 가중치 부여 및 요인분석을 통한 그룹화 등의 정량적·통계적 방식을 제안한 바 있었다.

나아가서 최근에는 비오톱 지도작성의 3D시각화 또는 그래픽화에 대한 연구의 필요성이 제시되고 있다(방은길 등, 2014; 김현진 등, 2022; 조성환 등, 2023; 최인하 등, 2023). 특히 Yu et. al.(2022)은 산림 및 지리 데이터와 게임엔진을 접목하여 산림경관 3D 시각화 플랫폼을 개발하고, 중국 장백산에 해당 플랫폼을 적용하여 경관훼손 이전과 이후의 경관규모 및 시계열을 분석하고 변화대응책을 제시하였다.

그러나 이러한 연구에도 불구하고 지금까지의 선행 연구들은 지자체 및 연구자의 성향에 따라 비오톱 유형분류 및 평가에 대한 방법이 상이한 문제점이 있었다. 또한 대부분의 연구가 광역단위로 이루어지고 있는 바, 세부적인 비오톱 유형을 포함하지 못한다는 한계를 지니고 있었다. 이는 자연환경보전법에 적시된 비오톱 지도(도시생태현황 지도) 의무화 즉, 비오톱의 기능별·생태별 유형분류를 통한 비오톱의 체계적인 보호 및 관리라는 근본 취지와 부합하지 못하다고 볼 수 있다. 특히 비오톱 유형분류 및 평가에 대한 다양한 연구 및 지침은 있으나 실무에서 도면을 제작하기에 어려움이 존재하였던 바, 무엇보다 상세한 도면 작성 지침이 필요할 것으로 판단된다. 더불어 비오톱 지도 시각화에 대한 연구 역시 일부 존재하나, 방향제시 수준에 머물러 있으며 실제에 적용 가능한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지구 단위 차원에서 개발 압력을 심하게 받는 대상지를 설정하고, 이를 토대로 비오톱 지도작성의 고도화를 통한 상세한 비오톱 지도작성 프레임워크 제시에 가장 큰 의미를 두었다. 또한, 비오톱 지도를 수치지도화 시키는 과정에 있어서는 디지털트윈을 활용한 3D 비오톱 지도 제작 절차를 제시하여 시각적 효용성을 증대시키고 디지털트윈과의 활용가능성 및 한계를 모색해 보았다.

1.2 이론적 고찰

1.2.1 비오톱의 개념

비오톱이란 동·식물 군집이 서식하고 있거나, 서식할 수 있는 최소한의 공간단위를 의미한다. 비오톱(Biotop)의 유래는 독일 어원 'bio(생명·생물종)'와 'top(공간·장소)'의 합성어로 일반적으로는 서식지(habitat)와 유사하게 사용되고 있다(김영선, 2014). 여기서 비오톱은 특히 시간의 흐름에 따라 초기의 학술적 의미와 오늘날의 광의적 의미로 구분할 수 있다. 우선 초기의 학술적 의미에서 비오톱은 경관단위 개념에 포함되어 정의되었다고 볼 수 있다. Leser(1991)은 경관단위(landschaftstop)를 지생태적 관점에서 경관의 공간구조적 연구인 Geotop 분야와 생물생태

적 관점에서 경관의 공간구조적 연구인 Biotop 분야, 그리고 인문·사회적 관점에서 경관의 공간구조적 연구인 Anthropotop 분야 등 각각의 전문분야에 해당하는 공간의 동질성을 하나로 합성하였을 때 출현하는 또다른 차원의 동질적이고 명확한 경계를 나타내는 최소한의 공간단위라고 정의하였다. 이와 같이 경관단위 개념 속에 포함되어 정의된 비오톱 개념을 살펴보면(Sukopp and Weiler, 1986), 비오톱(Biotop)이란 생물·생태적 주요 인자들의 동질적 특성을 나타내는 최소공간단위로 정의하고 있다. 또한, 나정화(1997)는 경관생태적 개념 속에서 비오톱의 개념을 동식물이 서식하거나 생육할 수 있는 명확한 공간적 경계를 가짐과 동시에 무생물적 요소들과 상호물질교환작용하는 생물군집의 3차원적 공간이라고 서술한 바 있다. 다음으로 오늘날 광의적 의미에서 해석되는 비오톱은 경관단위의 의미로 확대된 차원의 비오톱으로써, 인간의 직간접적 영향 속에서 동식물이 서식하거나 생육할 수 있는 환경을 가짐과 동시에 무생물적 요소와도 상호작용을 하는 3차원적 공간단위라고 할 수 있다. 이는 Geotop과 Biotop, 그리고 Anthropotop의 조합에 의해 형성되는 최소한의 공간단위인 경관단위의 의미와 유사한 알고리즘을 구성한다고 해석할 수 있다.

더불어 나정화(2021)는 비오톱을 지생태적, 생물·생태적, 인문·사회적 요소들의 조합을 통해 유형분류를 수행하고, 이를 바탕으로 비오톱의 지생태적 기능, 생물·생태적 기능, 휴양 및 미·시각적 기능에 대한 가치평가를 진행한다면 비오톱의 의미를 경관단위의 의미로 확대시켜 나갈 수 있다고 제시한 바 있다. 한편, 앞서 설명된 비오톱 개념을 기반으로 도시 및 농촌 공간에 분포한 비오톱들은 보전적 측면과 휴양적 측면에서 중요한 기능을 수행하고 있다. 해당 기능을 조절하고 훼손을 방지하기 위해서는 적절한 생태적 기초자료를 통해 보전 및 관리되어야 하나, 일부 측면에서는 광역단위로 제작된 기초자료로 인해 세부적인 비오톱 유형 관리에 대해서는 미흡한 점이 있다고 판단되며, 도시지역의 비오톱 관련 자료와 비교했을 때 농촌지역과 같은 반자연지역에 대한 보전 및 관리 자료 또한 부족하다고 판단된다. 이에 따라 반자연 지역 위주의 보다 상세한 비오톱 유형분류와 가치평가 등의 과정이 요구되며, 해당 자료를 기반으로 한 비오톱 지도가 작성되어야 할 필요가 있다고 판단된다. 특히 비오톱 제작과정에 있어 상세한 작업과정은 제시되지 않은바, 보다 효율적인 지도작성의 방법론이 요구되며, 이에 대한 프레임워크가 구축될 필요성이 있을 것으로 사료된다.

1.2.2 디지털트윈과 비오톱지도분야의 접목가능성

디지털트윈이란, 현실세계(특히 물리적인 환경)에 존재하는 사물·시스템·환경 등을 디지털 공간에 쌍둥이처럼 구현하고 발생 가능한 여러 상황들을 시뮬레이션하여 결과를 예측할 수 있는 기술로 설명할 수 있다(김영일과 임상국, 2023).

디지털트윈의 확장성 측면에서는 드론, LiDAR 등 첨단 기술의 발전으로 인해 토목, 건설, 산림 등의 분야에서도 디지털트윈 기술이 활용되고 있다. 토목·건설 분야에서는 해당 기술을 활용하여 기존 현장 정보를 얻거나, 시공 전 시뮬레이션을 통해 오류 시공을 감소시키고, 건설현장 관리자가 실시간으로 작업 진행 상황을 추적함으로써 업무적 효율을 얻고 있다. 일례로, 시공단계에서는 공사 중에 발생할 수 있는 지반 붕괴 사고를 예방하기 위해 자동계측 모니터링 시스템을 도입하여 현장을 실시간으로 모니터링하는 디지털트윈 기술을 활용하고 있다(이병선, 2024). 또한 산림 분야의 경우 산림 공간을 가상 환경에 디지털트윈 함으로써 디지털 상에서 산림자원을 모니터링하는 등의 업무적 효율을 얻고 있다.

더 나아가 최근에는 경관관리 분야에서도 디지털트윈이 일부 적용되고 있다. 일례로 국토교통부에서 제시하는 'V-WORLD', 서울시에서 제공하는 'S-MAP' 등과 같은 3D 지도 플랫폼은 현실공간의 다양한 요소들을 디지털트윈화 하여 디지털 상에서 공간에 대한 정보를 얻거나 사후관리에 적용되고 있다. 현재로서는 일반지도의 시각적 제시에 디지털트윈이 활용되고 있지만 경관관리 분야의 세부적 요소에 디지털트윈 기술을 적용한다면 더욱 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 특히 유한한 자원을 소재로 공간을 다루는 경관관리분야에 디지털트윈이 접목된다면 생태계의 변수를 예측적으로 파악하여 시간적·경제적 절감을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 3D 시각화 관점에서도 비오톱 지도 분야의 효율성을 높일 수 있으며, 기존의 2D자료(설계도 또는 지도)의 경우 전문가 외에는 자료에 대한 현장감을 파악하기 어려우나, 디지털트윈 기술을 활용한 3D자료(3D설계물 또는 지도)의 경우 시각적으로 현실과 가까운 현장을 제공함으로써 전문가와 비전문가 모두 자료에 대한 접근 또는 이해가 쉬울 것으로 생각된다.

이처럼 비오톱지도분야에 디지털트윈이 접목된다면 현대적 기술의 융합과 지속가능한 발전을 동시에 만족시킨다는 측면에서 학문적·실무적 의미를 가질 수 있다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 기존의 2D 비오톱 지도를 디지털트윈 기술을 적용한 3D 지도로 제작하는 절차를 제시하여 시각적 효율성을 증대시키는 방안을 제안하였으며, 디지털트윈과 비오톱지도분야 상호간의 적용가능성 및 한계성을 모색해 보았다(그림 1 참조).

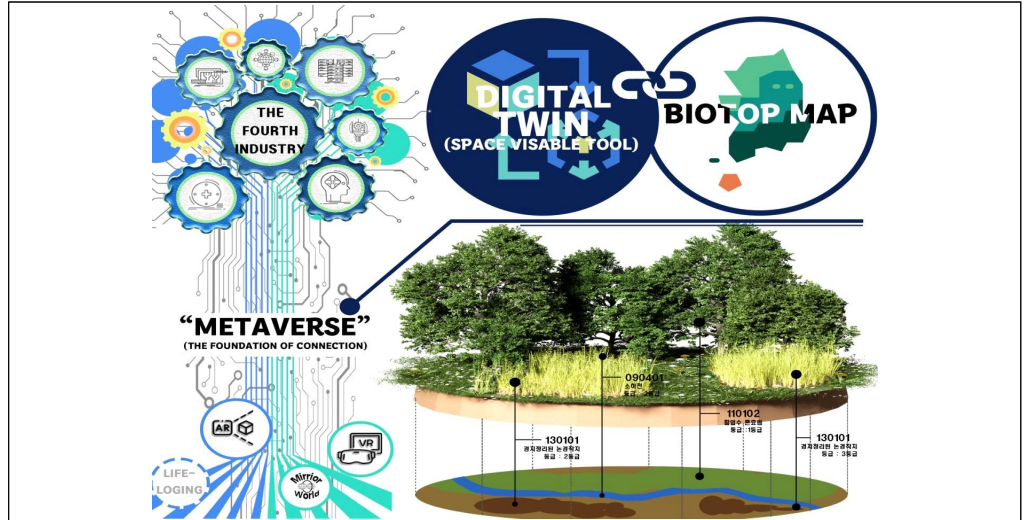


그림 1. 디지털트윈과 비오톱지도분야의 접목가능성

2. 연구방법

2.1 연구 범위

본 연구의 내용적 범위는 비오톱 지도 제작 시 보다 효율적이고 절차집약적인 과정을 제시한다는 점에서 비오톱 지도작성에 대한 프레임워크 구축으로 제한하였다. 또한, 연구의 공간적 범위는 국제과학비즈니스벨트 사업 대상지인 대전광역시 신동지구 일원으로, 면적은 약 9km²로 한정하였다(그림 2 참조). 다만, 비오톱 지도 작성 시 가치평가 단계의 경우 비오톱의 종과 비오톱 보전적 기능, 자연체험 및 휴양적 기능, 미시각적 기능, 지생태적 기능 등 다차원적인 기능을 종합적으로 고려하되, 평가 체계의 복잡성을 최소화하고 결과의 신뢰도를 높이기 위해 현장조사를 기반으로 정량화가 가능한 항목만을 선정하여 보전가치 평가 그룹과 자연체험 및 휴양가치평가 그룹으로 제한하였다.

2.2 연구 수행 절차

본 연구는 크게 4단계로 구분해볼 수 있다(그림 3 참조). 우선 첫 번째로는 일반유형분류 체계 항목 검토를 통한 유형분류 체계 설정과 기초자료 분석 및 현장조사를 바탕으로 한 비오톱 유형분류 고도화 단계이다. 두 번째로 평가지표의 설정 및 통계적·산술적 체계화를 바탕으로 한 비오톱 가치평가의 고도화 단계이며, 세 번째로는 Q-GIS 프로그램을 활용한 지도작성법을 제안하는 수치지도의 고도화 단계이다. 특히 수치지도의 고도화 단계의 경우 기작성된 유형분류도 및 평가결과도의 좌표계와 데이터를 바탕으로 지도의 3D 시각화를 구현하는 방법론을 제시하였다. 마지막으로 각 단계의 내용을 종합하여 절차집약적인 프레임워크를 구축하는 단계로 구성된다.

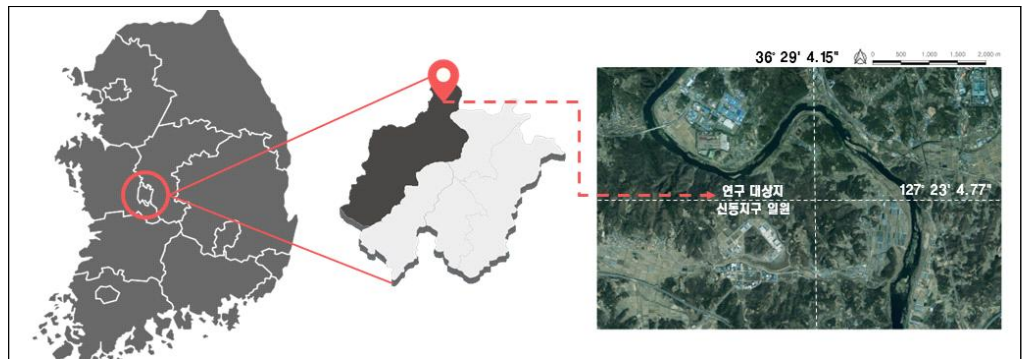


그림 2. 연구대상지 위치도

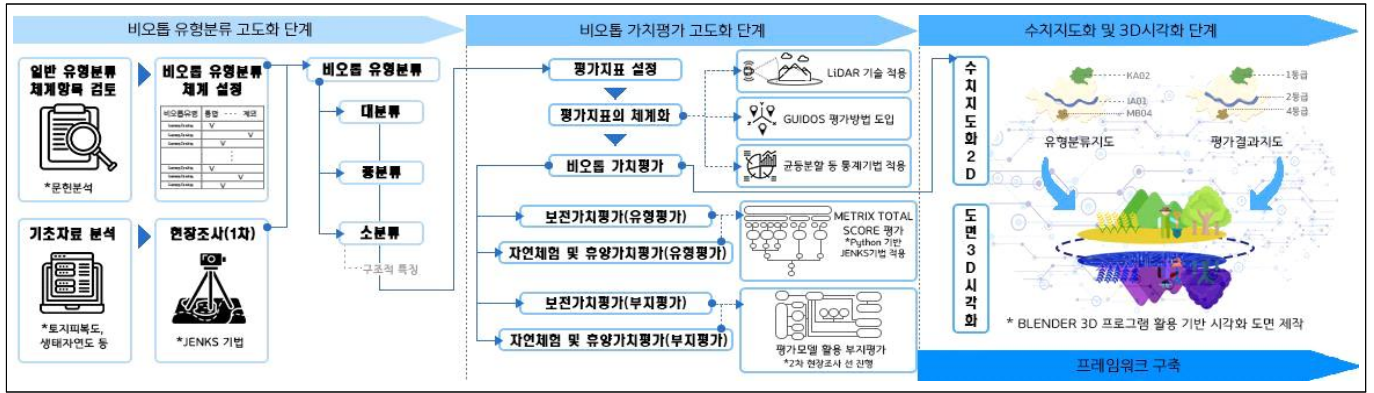


그림 3. 연구 수행 절차

2.3 비오톱 유형분류의 고도화

비오톱 유형분류 과정을 거치기에 앞서 우선 비오톱 유형분류 체계를 설정할 필요가 있다고 판단된 바, 기존에 연구되었던 비오톱 유형분류 항목들을 검토하여 비오톱 유형분류 일반체계를 설정하였다. 비오톱 유형분류의 일반 체계 설정은 환경부 제시 대분류 항목, 선행연구 그리고 지역별 비오톱 작성 보고서 자료를 토대로 비오톱 유형분류 목록을 검토하여 재설정하였다. 특히 보고서 자료의 경우 수원시, 시흥시, 안산시, 광명시, 공주시 등 도시 비오톱 지도작성 방법에 대한 기준이 제시된 지역을 중심으로 비오톱 유형분류 목록을 검토하였다. 더불어 검토 전 유형분류 목록을 나열하여 명칭이 유사 또는 같은 지표는 한 개의 지표로 정리하는 과정을 거쳤으며, 결과적으로 375 개의 지표를 선택, 통합, 분리, 변경, 추가, 제외 등을 통해 비오톱 유형을 재설정 하였다(표 1 참조).

일례로 중분류 건조지성 경작지에 해당하는 휴경지는 의미의 구분을 위해 중분류 농촌 유희지로 분류위계를 변경하였다. 또한 문헌분석에서는 발견되지 않았으나 사례지 현장조사 시에 발견된 유형분류의 경우 또한 비오톱 유형 재설정 항목에 추가하였다. 일례로 다면식생지의 경우 문헌 검토 과정에서는 발견되지 않았으나 지구단위 차원에서 사례지 현장조사에서 높은 빈도수로 발견되어 새롭게 유형을 추가하였다. 재설정된 비오톱 유형분류 항목 중 대분류와 중분류는 환경부에서 제시하는 기준을 적용하였으며, 소분류의 경우 지구단위차원에서 분류될 수 있는 일반적인 유형분류 항목을 적용하였다.

한편, 비오톱 지도 작성에서 주로 활용되는 기초자료로는 1:5,000 토지파복도, 1:25,000 생태자연도, 연속수치지도, 항공사진 또는 위성사진, 1:25,000 임상도, 1:5,000 연속지적도, 전국자연환경조사자료, 1:50,000 현존식생도, 1 : 25,000 토양도 등이 있다. 특히 항공사진 또는 위성사진의 경우 비오톱의 형태나 위치, 분포 등의 물리적 정보를 더욱 입체적으로 판단할 수 있는 요소라고 할 수 있다. 앞서 기술된 내용을 토대로 1차 현장조사가 진행되었으며, 1차 현장조사의 경우 조사항목으로는 비오톱 전형종의 다양성, 멸종 및 위협에 처한 종들이 출현·생육할 수

표 1. 주요 비오톱 유형분류 항목 검토 결과표

| 비오톱 유형 | 선택 | 통합 | 분리 | 변경 | 추가 | 제외 | 비고 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|--------------|
| 농촌단독주택지 | | | | | | ● | |
| 농가주택지 | | | ● | | | | 의미 세분화 |
| 개량주택지 | | | | | | ● | |
| 밭 | | | | ● | | | 적절한 용어로 변경 |
| 과수원 | | | | ● | | | 적절한 용어로 변경 |
| ⋮ | | | | | | | |
| 휴경지 | ● | | | | | | 나지 및 폐허지로 이동 |
| 묘포장 | ● | | | | | | |
| 다면식생지 | | | | | ● | | 사례지 조사 |
| 도시유희지 | ● | | | | | | |
| 식생이 없는 농촌유희지 | | | | ● | | | 적절한 용어로 변경 |





있는 현장부지조건, 이용강도, 포장율, 층위구조, 특별한 현장조건, 희귀성, 위험성, 복원능력, 발전기간 등이 있다. 특히 대상지에서 조사 지점을 선정할 때에는 객관적이고 산술적인 방식으로 접근하기 위해 면적과 수를 고려하여 지정하도록 JENKS 기법을 활용하였다. JENKS 기법이란, 어떤 데이터를 가장 최적의 상태로 그룹화시키는 알고리즘으로, 그룹 내에서는 데이터 값의 차이를 최소화시키면서 각 그룹 간의 차이는 최대화시키는 방식이다. 해당 기법은 주로 지리정보시스템 및 데이터 시각화에서 사용되며, 그룹 간의 분산은 극대화하여 데이터 구분의 본질을 강조하면서도 그룹 내에서의 평균편차는 최소화시킬 수 있는 장점이 있다(North, 2009). 또한 비오톱 구조적 특징의 경우 축척상의 이유로 인해 도면에는 표현이 어렵지만 유형평가 또는 부지평가에서 상향조정될 수 있다고 판단된 바, 1차 현장조사 시 함께 병행되었다. 해당 특징들은 유형평가 진행 시 독특한 경관요소, 문화·역사성 등의 평가에 유의미한 결과를 미칠 수 있다고 판단된다(표 2 참조).

2.4 비오톱 가치평가의 고도화

2.4.1 평가지표의 설정 및 체계화

가치평가를 진행하기에 앞서 평가지표에 대한 설정 및 체계화가 필요하다고 판단된 바, 선행 연구(조현주, 2011)를 기반으로 지표를 설정 및 고도화하였다. 우선 보전가치평가의 1차 평가인 유형평가의 지표는 비오톱 전형종의 다양성, 멸종 및 위험에 처한 종들이 출현·생육할 수 있는 현장부지조건, 이용강도, 포장율, 층위구조, 특별한 현장조건, 희귀성, 위험성, 복원능력, 발전기간 등의 10가지 평가지표로 나뉜다. 2차 평가인 부지평가의 지표는 규모, 구조적 다양성, 정주공간과의 인접성, 종 조성 형태의 완전성, 멸종 및 위험에 처한 종의 출현, 연결성, 완충기능, 복원을 위한 잠재성 등의 8가지 평가지표로 나뉜다. 다음으로 자연체험 및 휴양가치평가의 1차 평가인 유형평가의 지표는 헤메로비, 발전기간, 녹피율, 포장율, 층위구조, 경사도, 일반적 접근성,

표 2. 사례지에 적용된 비오톱 구조적 특징

| 비오톱 유형 | 도면 표기 | | 주요 특징 |
|---------|---|-----------|------------------|
| 산림비오톱 | 영급 구분 | 1 | 1-10년생 |
| | | 2 | 11-20년생 |
| | | 3 | 21-30년생 |
| | | 4 | 31-40년생 |
| | | 5 | 41-50년생 |
| | 경급 구분 | I | 치수 |
| | | II | 소경목 |
| | | III | 중경목 |
| | | IV | 대경목 |
| | 소밀도 | (I') | 50% 이하 |
| (II') | | 51-70% | |
| (III') | | 71% 이상 | |
| 경작지비오톱 |  | 경작지테두리띠숲 | |
| |  | 비경작지테두리띠숲 | |
| |  | 문화재 | |
| 수공간비오톱 |  | 웅덩이 | |
| 기타 특이사항 | 주요 출현 수종 | QaPr | 상수리나무-리기다소나무 |
| | | QaPd | 상수리나무-소나무 |
| | | Qa | 상수리나무 |
| | | PrQa | 리기다소나무-상수리나무 식재림 |
| | | Pr | 리기다소나무 식재림 |
| | | Cc | 까치박달 |

이용가능성, 독특한 경관요소, 조망 등의 10가지 평가지표로 나뉜다. 2차 평가인 부지평가의 지표는 규모, 정주공간과의 인접성, 문화·역사성, 이용흔적, 수공간과의 접촉 및 조화, 경관패턴의 다양성, 형·색채·열매의 풍부성 등의 7가지 평가지표로 나뉜다.

앞서 설정한 평가지표들은 통계적·산술적 체계화를 통해 객관성을 확보할 필요가 있다고 판단된 바 각 지표별 고도화 과정을 진행하였다.

2.4.2 가치평가

본 연구에서 가치평가는 보전가치평가와 자연체험 및 휴양가치평가로 나뉜다. 우선 보전가치평가의 경우 다시 1차 평가인 유형평가와 2차 평가인 부지평가로 나뉘게 된다. 유형평가는 비오톱 1차 평가지표를 토대로 유형평가를 실시하며, 각각의 평가지표에 영향을 받아 비오톱 유형별로 1-3등급이 산출된다. 해당 등급들의 합산가치평가는 파이썬 프로그래밍(그림 4 참조)을 활용한 매트릭스 평가방법을 통해 1-5등급으로 가치가 다시 산정된다.

부지평가는 1차평가에서 수행하였던 각 평가지표의 산술적 합산을 토대로 정성적·서술적 평가를 진행하였다. 더불어 평가 진행 시에는 2차 현장조사 자료를 바탕으로 평가가 진행된다. 해당 평가에서 중간등급 이상의 비오톱들은 각각의 평가지표에 의해 특별히 가치가 높은 경관단위로 상향조정되거나 하향조정될 수 있다(표 3, 표 4 참조).

평가 모델의 경우 선행연구(조현주, 2011)의 종합적 검토를 통해 3D 형태의 모델로 재구성하여 가시성을 높였다(그림 5, 그림 6 참조).

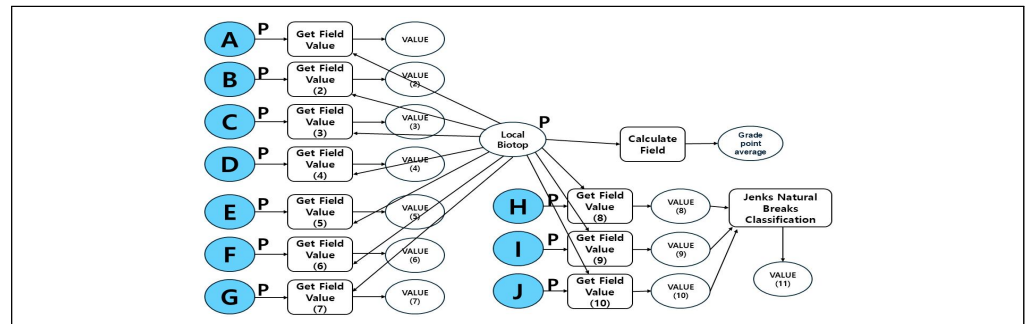


그림 4. 파이썬 프로그래밍 활용 매트릭스 평가 모식도

표 3. 보전가치평가 등급 구분 및 의미

| 구분 | 가치등급 기준 | |
|---------------|---|---|
| 1 | 1α | 공간의 면적이 크며, 유형평가에서 동물 및 식물을 위한 서식·생육공간의 의미가 높거나 또는 매우 높은(1, 2 등급) 비오톱 유형들의 차지비율이 높은 공간. 종과 비오톱의 보전을 위해 특별한 의미를 가진 비오톱. |
| | 1β | 공간의 면적이 크며, 유형 평가에서 동물 및 식물을 위한 서식·생육공간의 의미가 높거나 매우 높은 비오톱 유형들의 차지비율이 낮은 공간. 종과 비오톱 보전을 위해 특별한 의미를 가진 비오톱. 다만, 공간 내 활력·충전요소로 작용하는 소규모 잔여경관요소들의 공간적 이질성과 다양성이 높아야 함(그 외 가치등급을 높일 수 있는 특징적인 요소로는 위험에 처한 동·식물종의 출현, 종 조성 형태의 완전성 정도 등이 있음). |
| 2 | 2α | 공간의 면적이 작으면서, 유형 평가에서 동물 및 식물을 위한 서식·생육공간의 의미가 매우 높은 비오톱 유형들을 가진 공간. 종과 비오톱 보전을 위해 의미를 가진 비오톱. |
| | 2β | 유형평가에서 동물 및 식물을 위한 서식·생육공간의 의미가 높거나 주거지역으로부터의 위치가 양호한(인접 또는 접한) 비오톱 공간. 종과 비오톱 보전을 위해 의미를 가진 비오톱. |
| | 2r | 종과 비오톱 보전을 위해 의미를 가진 비오톱. 유형평가에서는 동물 및 식물을 위한 서식·생육공간의 의미가 대부분 중간 등급(3등급)이지만 아래와 같은 특별한 기능을 가지고 있는 공간. <ul style="list-style-type: none"> • 연결을 위한 특별한 기능을 가진 공간 • 완충을 위한 특별한 기능을 가진 공간 • 복원을 위한 특별한 기능을 가진 공간 • 희귀 또는 위험에 처하거나 거의 복원이 불가능해진 공간 |
| 가치가 낮거나 매우 낮은 | 야생 동물 및 식물을 위한 서식생육공간의 의미, 희귀성 및 위험성, 재생 및 복원능력이 낮거나 매우 낮은 등급으로 평가된 모든 비오톱 유형. 유형평가 결과 종과 비오톱 보전을 위한 의미가 크지 않은 비오톱. | |

출처: 조현주(2011) 필자 재작성

표 4. 자연체험 및 휴양가치평가 등급 구분 및 의미

| 구분 | 가치등급 기준 |
|---------------|--|
| 1 | 1 α 공간의 면적이 크며, 매우 높은 자연체험의 질을 가진 비오톱(1, 2등급)들의 차지비율이 높은 공간. 자연체험 및 휴양을 위해 특별한 의미를 가진 비오톱. |
| | 1 β 공간의 면적이 크며, 매우 높은 자연체험의 질을 가진 차지비율이 낮은 공간. 자연체험 및 휴양을 위해 특별한 의미를 가진 비오톱. 다만, 획일화된 기질면으로부터 접근성 및 이용가능성은 높아야 함(그 외 가치등급을 높일 수 있는 특징적 요소들은 양호한 주거지와의 인접성, 문화/역사유적의 출현, 이용흔적 등이 있음). |
| 2 | 2 α 공간의 면적이 작으면서, 유형평가에서 매우 높은 가치가 있는 비오톱(1, 2등급)으로 평가된 공간. 자연체험 및 휴양을 위해 의미를 가진 비오톱. |
| | 2 β 공간의 면적이 크거나, 대부분 정주공간과의 인접성이 높고 역사·문화유적 또는 이용흔적이 나타나는 공간(다만, 자연체험의 질이 높은 비오톱들이 반드시 출현해야 하고 이용가능성 및 접근성이 높아야 함). 자연체험 및 휴양을 위해 의미를 가진 비오톱. |
| 2 | 2 γ 자연체험 및 휴양을 위해 의미를 가진 비오톱. 자연체험의 질의 가치는 중간정도이나 이용흔적이 나타나면서 아래와 같은 특별한 의미를 가지는 공간. <ul style="list-style-type: none"> • 양호한 수공간과의 접촉 및 조화가 높은 공간. • 경관패턴의 다양성이 높고, 다양한 잔여경관 요소들이 존재하는 공간. • 높은 이용성을 가지면서 다양한 수종이 존재하고 형·색채·열매의 풍부도가 높게 조성된 공간. |
| 가치가 낮거나 매우 낮은 | 가치가 낮거나 매우 낮은 등급으로 평가된 모든 비오톱 유형을 의미함. 또한 중간 정도(3등급)의 가치를 가졌지만 일반적인 적용가능성과 접근성이 매우 불량하고 물리적 제한요소 및 사회적 제한요소에 의해 단지 시각적으로만 간접적 체험할 수 있는 공간. 유형평가 결과 자연체험 및 휴양을 위해 큰 의미가 없는 비오톱. |

출처: 조현주(2011) 필자 재작성

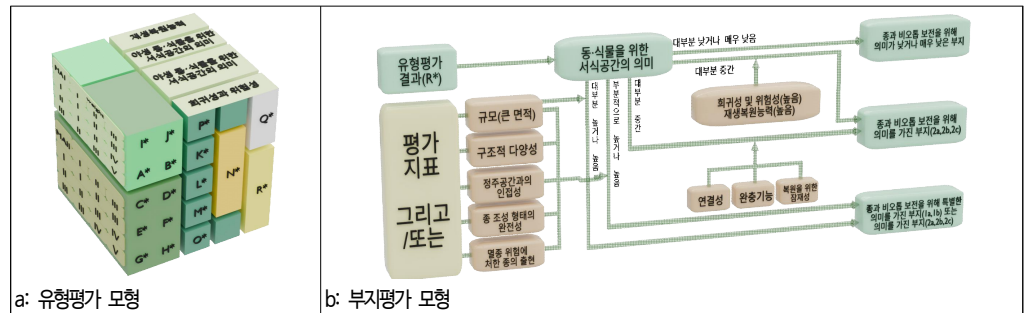


그림 5. 보전가치평가 모형

A: 비오톱 전형종의 다양성, B: 멸종 및 위험에 처한 종이 출현·생육할 수 있는 현장부지조건, C: 이용강도, D: 포장율, E: 층위구조, F: 특별한 현장조건, G: 희귀성, H: 위험성, I: 복원능력, J: 발전기간, K: A, B 합산 Matrix 점수, L: C, D 합산 Matrix 점수, M: E, F 합산 Matrix 점수, N: K, L, M 합산 점수, O: G, H 합산 Matrix 점수, P: I, J 합산 Matrix 점수, Q: N, O, P 합산 점수, R: JENKS 적용 최종 등급

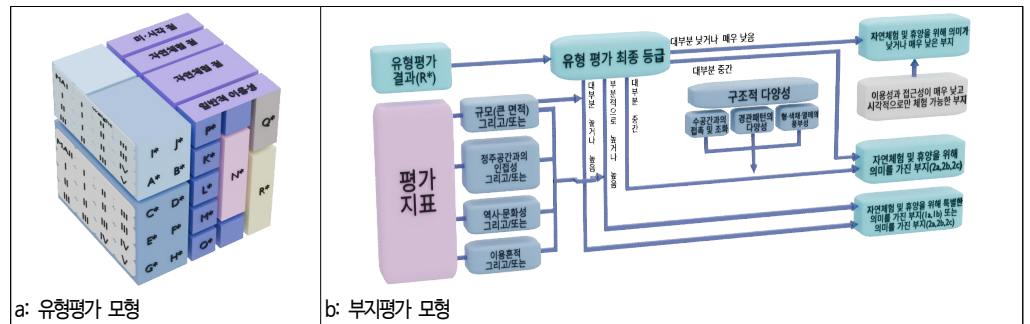


그림 6. 자연체험 및 휴양가치평가 모형

A: 해메로비, B: 발전기간, C: 녹피율, D: 포장율, E: 층위구조, F: 경사도, G: 일반적 접근성, H: 이용가능성, I: 독특한 경관요소, J: 조망, K: A, B 합산 Matrix 점수, L: C, D 합산 Matrix 점수, M: E, F 합산 Matrix 점수, N: K, L, M 합산 점수, O: G, H 합산 Matrix 점수, P: I, J 합산 Matrix 점수, Q: N, O, P 합산 점수, R: JENKS 적용 최종 등급

2.5 수치지도의 고도화 및 시각화

본 연구에서는 수치지도화에 해당하는 비오톱 유형분류도와 비오톱 가치평가도를 Q-GIS 3.40.0 프로그램을 활용하여 제작하였다(그림 7 참조). 비오톱 유형분류도 작성 절차는 다음과 같이 진행되었다. 첫 번째로 토지피복도, 위성지도 등의 기초자료 레이어를 중첩한 후 테두리를 생성하여 대상지를 추출하였다. 두 번째로 각 비오톱 유형의 분할과 병합 작업을 통해 비오톱의 경계를 정리하였으며, 세 번째로 분할된 각각의 비오톱 유형 식별을 위해 속성 테이블 내에 비오톱 소분류 및 구조적 특징을 기입하였다. 마지막으로 각 비오톱 유형별 시각적 구분을 위해 유형별 RGB값을 지정하고, 소분류 라벨(텍스트 기호)을 표시하였다. 다음으로 비오톱 유형평가도의 경우 첫 번째로 유형분류도 셰이프 파일(shapefile, .shp)을 불러온 후, 사전에 평가된 유형평가 결과 CSV 파일(Comma-Separated values, .csv)을 유형분류도 셰이프 파일과 조인시키는 과정을 진행하였다. 해당 과정을 통해 유형분류도 레이어의 속성테이블에서 각각의 비오톱 유형별로 유형평가점수들을 연동시킬 수 있다. 두 번째로 파이썬 콘솔 창에 유형평가 최종등급 산출을 위한 자동화 Python CODE를 입력하여 유형분류도 레이어의 속성테이블에 유형평가 최종등급 열을 생성하였다. 세 번째로 유형평가 최종등급의 시각적 구분을 위해 등급별 RGB값을 부여하고, 소분류 라벨을 표시하였다. 마지막으로 비오톱 부지평가도의 경우 첫 번째로 유형평가도 셰이프 파일을 불러온 후, 기질면이 유사한 비오톱 유형들을 병합하는 작업을 진행하였다. 두 번째로 비오톱 유형평가 결과 3등급 이상에 해당하는 비오톱 유형들을 대상으로 부지평가를 실시하였으며, 해당 결과를 속성테이블에 기재하였다. 마지막으로 부지평가 결과 등급의 시각적 구분을 위해 등급별 RGB값을 부여하고, 부지평가결과 도면번호 라벨을 표시하였다.

도면의 3D 시각화 단계의 경우 제작 절차는 다음과 같이 진행되었다(그림 8 참조). 첫 번째로 대상지 지도에서 좌표를 찾아 대상지 좌표를 프로그램에 입력 후 지형 레이어를 업로드 하였으며, 그 후 항공사진을 지형 레이어에 적용하였다. 두 번째로 대상지의 현황과 최대한 동일한 모습을 나타내기 위해 전체 지형의 등고선 등을 성형하였으며, 세 번째로 자연요소(저수지 및 소하천, 산림 등)와 인공요소(농경지, 도로 및 가로수, 주거지역 및 창고 등)의 물리적 환경을 성형하였다. 세 번째로 각각의 유형분류도와 평가결과도 SHP파일 좌표계를 프로그램에 업로드 한 후 현황지도에 오버랩하여, 유형분류도의 경우 유형별 수직 구분면을, 평가결과도의 경우 평가등급별 수직 구분면을 제작하였다.



그림 7. 비오톱 유형분류 및 가치평가 작성절차

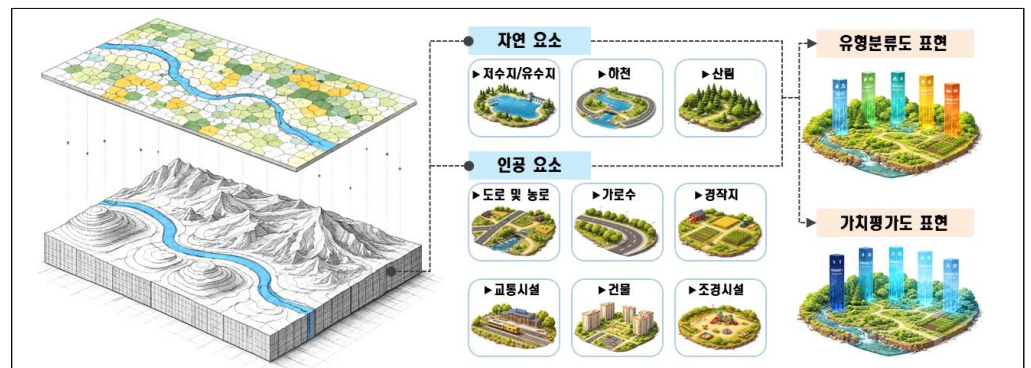


그림 8. 도면의 3D 시각화 절차

2.6 프레임워크 구축

본 연구에서는 앞서 제시한 연구방법의 각 단계를 종합하여 보다 효율적이고 절차집약적인 비오톱 지도를 제작하기 위한 과정을 제안하였다. 해당 프레임워크는 유형분류 단계-가치평가 단계-수치지도화 단계-입체적 시각화 단계로 이루어지며, 비오톱 지도 제작시에 필요한 일련의 데이터와 작업 순서를 제시함으로써 전문가뿐만 아니라 비전문가도 지도 제작을 함에 있어 어려움이 없도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 비오톱 유형분류의 고도화

앞서 재설정된 체계를 토대로 비오톱 유형분류의 경우 13개의 대분류, 51개의 중분류, 121개의 소분류로 표준체계가 정립되었다. 또한 비오톱의 가치가 높은 유형들을 더욱 세밀하게 선별하기 위해 지구단위 차원에서 발견할 수 있는 유형항목을 사례지 현장조사를 통해 추가하였으며, 녹지율에 따라 비오톱의 유형을 세분화하였다(표 5 참조).

앞서 재설정된 비오톱 유형분류 일반체계를 토대로 대상지의 비오톱 유형분류를 진행한 결과 대분류 12개, 중분류 30개, 소분류 58개로 분류되었다. 해당 결과는 선행연구(김진호, 2020)에서 대분류 9개, 중분류 24개, 소분류 56개로 분류된 바 있는 점에서 보다 더 세부적인 비오톱 유형분류가 진행되었다고 판단할 수 있다.

표 5. 대상지에 나타난 비오톱 유형분류 결과표

| 대분류 | 중분류 | 소분류 |
|-------------|-----------------|---------------------------|
| 주거지(A) | 도시단독주택지(AA) | 녹지가 풍부한 기외형 단독주택지(AA01) |
| | | 녹지가 빈약한 기외형 단독주택지(AA02) |
| | | 녹지가 풍부한 전원형 단독주택지(AA04) |
| | | 녹지가 빈약한 전원형 단독주택지(AA05) |
| | 농촌단독주택지(AB) | 녹지가 풍부한 전원형 옛날마을(AB01) |
| | | 녹지가 풍부한 복합형 주거지역(AB02) |
| | | 녹지가 빈약한 복합형 주거지역(AB03) |
| | 저층공동주택지(AC) | 녹지가 풍부한 저층공동주택지(AC01) |
| | | 녹지가 빈약한 저층공동주택지(AC02) |
| 상업업무지(B) | 저층상업업무지(BA) | 녹지가 풍부한 저층상업업무지(BA01) |
| | | 녹지가 빈약한 저층상업업무지(BA02) |
| 공공용도지(D) | 교육기관(DA) | 녹지가 빈약한 초·중·고 비오톱(DA02) |
| | 병원 및 사회문화시설(DC) | 녹지가 풍부한 병원 및 사회문화시설(DC01) |
| 공업지(E) | 소규모 공장(EB) | 소규모 공업지역(EB01) |
| | 창고(EC) | 창고(EC01) |
| 공급처리 시설지(F) | 물관련 시설지(FA) | 물관련 시설지(FA01) |
| | 폐기물관련 시설지(FB) | 폐기물관련 시설지(FB01) |
| | 에너지관련 시설지(FC) | 에너지관련 시설지(FC01) |
| | 통신관련 시설지(FD) | 통신관련 시설지(FD01) |
| 교통시설지(G) | 도로(GA) | 도로(GA01) |
| 교통시설지(G) | 도로(GA) | 도로사면(GA02) |
| | 주차장(GB) | 일반주차장(GB01) |
| 하천(I) | 자연하천(IA) | 식생이 풍부한 자연하천(IA01) |
| | | 식생이 빈약한 자연하천(IA02) |
| | | 생태섬 및 습지(IA03) |
| | | 하천변 수림대(IA04) |
| | 소하천(ID) | 소하천(ID01) |
| 농수로(IE) | 농수로(IE01) | |

표 5. 계속

| 대분류 | 중분류 | 소분류 |
|-------------|------------------------|--------------------------|
| 호소 및 습지(J) | 자연습지(JA) | 경작지내 소규모 습지 및 늪지(JA03) |
| | 인공습지(JB) | 자연재료로 정비된 저수지 및 방죽(JB01) |
| 산림(K) | 자연림(KA) | 소나무 중심의 침엽수림(KA01) |
| | | 활엽수 혼효림(KA02) |
| | | 침·활 혼효림(KA03) |
| | 인공림(KC) | 인공 조림지(KC01) |
| 관목식생지(KD) | 관목,아교목 중심의 관목식생지(KD01) | |
| | | 띠형덤불림(KD02) |
| 산림(K) | 벌채 및 훼손지(KE) | 묘지(KE01) |
| | | 벌목지(KE02) |
| | | 나지 및 미입목지(KE03) |
| | 마을숲(KF) | 산림과 접해있는 마을숲(KF01) |
| | | 경작지 및 주거지와 인접한 마을숲(KF02) |
| | | 거수목·군(KF03) |
| | | 마을숲의 가장자리(KF04) |
| 초지(L) | 자연초지(LA) | 자연초지(LA01) |
| | 인공초지(LB) | 인공초지(LB01) |
| 경작지(M) | 습윤지성 경작지(MA) | 경지정리된 논경작지(MA01) |
| | | 경지정리되지않은 논경작지(MA02) |
| | | 비닐하우스(MA04) |
| | | 묘포장 및 조경수 재배지(MA05) |
| | 건조지성 경작지(MB) | 키낮은 밭작물 재배지(MB01) |
| | | 키높은 밭작물 재배지(MB02) |
| | | 유실수 재배지(MB03) |
| | | 다면식생지(MB04) |
| | 축산시설(MC) | 축사(MC01) |
| | | 가축(분뇨)처리시설(MC02) |
| 나지 및 폐허지(O) | 농촌 유희지(OB) | 폐허지(OB01) |
| | | 휴경지(OB02) |
| | | 방치된 궁터(OB03) |

3.2 바이오톱 가치평가의 고도화

바이오톱 가치평가의 경우 지표의 수치적·산술적 체계화를 통해 객관성을 확보하였다(표 6 참조). 일례로 자연채험 및 휴양가치평가 ‘헤메로비’ 지표의 경우 국토환경 공간정보 중 토지피복 세부류를 독일에 적용했던 CLC CODE(CORINE LAND COVER CODE) 분류를 변경 적용하여 5단계로 등급분류한 프레임워크(김도훈 등, 2021)를 기반으로 하여 3단계 등급으로 재설정하였다. 또한 녹피울의 경우 LiDAR를 활용하여 파악하고자 하는 바이오톱에 원격탐사 촬영을 진행한 후, 바이오톱 유형이 나누어진 평면도에 레이더링하여 녹피울 자료를 얻어낼 수 있다. 해당 지표의 가치등급은 대상지내 상대적 비교를 통해 3등급 구분할 수 있다. 재구성된 바이오톱 가치평가지표를 바탕으로 평가된 바이오톱 등급 구분은 표 7, 표 8 및 표 9와 같이 설정되었다.

표 6. 보전 가치평가 및 휴양가치평가 지표

| 보전적 측면 유형평가 지표 | | | |
|------------------------------------|--|--|---------------------------|
| 지표명 | 등급 | 내용 | 비고 |
| 바이오톱 전형종의 다양성 | I 등급 | 많은 | 균등분할 |
| | II 등급 | 중간 | |
| | III 등급 | 적은 | |
| 멸종 및 위험에 처한 종들이 출현·생육할 수 있는 현장부지조건 | I 등급 | 유리한 ¹⁾ | Finck et al.(2002) |
| | II 등급 | 중간 | |
| | III 등급 | 불리한 | |
| 이용강도 | I 등급 | 낮은 ²⁾ | 나정화(2021), 이은희 등(2010) |
| | II 등급 | 중간 ³⁾ | |
| | III 등급 | 높은 ⁴⁾ | |
| 포장율 | I 등급 | 낮음(0~20%) | 홍석환과 이경재(2008) |
| | II 등급 | 중간(20~60%) | |
| | III 등급 | 높음(60% 이상) | |
| 층위구조 | I 등급 | 다층구조(층위구조가 3층 이상) | Forman(1995) |
| | II 등급 | 중간(층위구조가 2층) ⁵⁾ | |
| | III 등급 | 단층(층위구조가 1층) ⁶⁾ | |
| 특별한 현장조건 | I 등급 | 높거나 매우 높게 출현 ⁷⁾ | |
| | II 등급 | 산별적인 출현 ⁸⁾ | |
| | III 등급 | 출현하지 않음 | |
| 희귀성 | I 등급 | 매우 희귀하게 출현 | 나정화(2021), 이은희 등(2010) |
| | II 등급 | 희귀하게 출현 | |
| | III 등급 | 보편적으로 많이 출현 | |
| 위험성 | I 등급 | 위험에 처한 바이오톱 유형 ⁹⁾ | 나정화(2021) |
| | II 등급 | 부분적으로 위험에 처한 바이오톱 유형 또는 위험상태가 불확실한 유형 ¹⁰⁾ | |
| | III 등급 | 위험에 처하지 않은 유형 | |
| 복원능력 | I 등급 | 50년 이상 바이오톱 유형 ¹¹⁾ | 조현주(2011), 나정화(2021) |
| | II 등급 | 50-5년인 바이오톱 유형 ¹²⁾ | |
| | III 등급 | 5년 이하인 바이오톱 유형 ¹³⁾ | |
| 발전기간 | I 등급 | 발전기간이 50년 이상 | 이은희 등(2010) |
| | II 등급 | 발전기간이 50-25년 | |
| | III 등급 | 발전기간이 25년 이하 | |
| 보전적 측면 부지평가 지표 | | | |
| 규모 | 가장자리 종의 수가 증가할 수 있는 최대면적을 1ha로 설정 | | Forman(2000) |
| 구조적 다양성 | 일반적으로 경관 내 종 다양성은 이질성의 정도가 중간일 때 가장 높다고 할 수 있음 ¹⁴⁾ | | Forman(2000) |
| 정주공간과의 인접성 | I 등급 | 정주공간과의 인접성이 양호함(250m 이내) | |
| | II 등급 | 정주공간과의 인접성이 보통(250m-1km 이내) | |
| | III 등급 | 정주공간과의 인접성이 불량함(1km 이상) | |
| 종 조성 형태의 완전성 | 어떤 바이오톱 유형의 전체 종 조성이 해당 유형에 상응하는 전형적인 '잠재적 자연식생' 형태를 보이거나 이에 준하는 경우 ¹⁵⁾ | | |
| 멸종 및 위험에 처한 종의 출현 | 어떤 바이오톱 유형 내에 멸종 및 위험에 처한 종이 나타났는지의 출현 여부로 해당 부지의 가치를 평가 | | |
| 연결성 | 녹지 네트워크 연결선이 직접 지나거나 네트워크 구축을 위한 핵심지역에 바이오톱 유형 공간이 위치한 경우에는 연결성이 높다고 판단하며, 반대로 녹지 네트워크 선이 지나지 않거나 핵심지역에 위치하지 않는 경우에는 연결성이 낮다고 판단함 | | 김진호(2020) |
| 완충기능 | 통상적인 도시 내 바이오톱 유형이 완충을 위한 특별한 기능을 수행하기 위해서는 완충기능을 이행하는 바이오톱의 최소 폭이 10-30m, 오염시설 등이 주변에 위치한 바이오톱의 경우 완충기능을 이행하기 위한 바이오톱의 최소 폭은 50-200m가 되어야 함 | | |
| 복원을 위한 잠재성 | 당장으로서의 해당 바이오톱 유형에 대한 보전적 가치가 낮으나 예후적으로 바라보았을 때 가치가 있는 공간으로 발전해 갈 수 있는 특별한 기능을 가지고 있다는 의미 ¹⁶⁾ | | |

표 6. 계속

| 자연체험 및 휴양가치적 측면 유형평가 지표 | | | |
|-------------------------|--|--|---------------------------------------|
| 지표명 | 등급 | 내용 | 비고 |
| 헤메로비 | I등급 | 높음(인간의 영향 및 간섭을 거의 받지 않는 생태계) | Hermes et al.(2018), 김도은과 손용훈(2021) |
| | II등급 | 중간(심한 인위적 간섭을 다소 인지할 수 있는 생태계) | |
| | III등급 | 낮음(인간의 영향 및 간섭이 매우 지배적인 생태계) | |
| 발전기간 | I등급 | 발전기간이 60년 이상 | Forman(2000) |
| | II등급 | 발전기간이 60-20년 | |
| | III등급 | 발전기간이 20년 이하 | |
| 녹피율 | I등급 | 높음(60% 이상) | 이영경(2004), Nijnik and Mather(2008) |
| | II등급 | 중간(20-60%) | |
| | III등급 | 낮음(20% 미만) | |
| 포장율 | I등급 | 낮음(0-20%) | 홍석환과 이경재(2008) |
| | II등급 | 중간(20-60%) | |
| | III등급 | 높음(60% 이상) | |
| 층위구조 | I등급 | 다층구조 ¹⁷⁾ | 조현주(2011) |
| | | 중층구조 ¹⁸⁾ | |
| | | 중층구조 ¹⁹⁾ | |
| | III등급 | 다층구조 ²⁰⁾ | |
| | | 단층구조 ²¹⁾ | |
| | | 중층구조(한 종 혹은 똑같은 성장형태의 여러 종들의 출현) 단층구조(한 종 혹은 똑같은 성장형태의 여러 종들의 출현) | |
| 경사도 | I등급 | 낮음(0° - 5°) | |
| | II등급 | 중간(5° - 10°) | |
| | III등급 | 높음(10° 이상) | |
| 일반적 접근성 | I등급 | 높음(2차선 이상 지방도 및 국도가 관통하거나 인접함) | Garbretcht and Matthes (1980) |
| | II등급 | 중간(임도 및 산책로와 인접) | |
| | III등급 | 낮음(접근불량) | |
| 이용 가능성 | I등급 | 높음 ²²⁾ | Kiemetedt et al.(1975) 나정화 등(2011) |
| | II등급 | 중간 ²³⁾ | |
| | III등급 | 낮음 ²⁴⁾ | |
| 독특한 경관요소 | I등급 | 출현빈도 높음(5회 이상 출현) ²⁵⁾ | 조현주(2011), 나정화(2021) |
| | II등급 | 보통(2-4회 출현) | |
| | III등급 | 출현빈도 낮음(2회 미만) | |
| 조망 | I등급 | 높음 ²⁶⁾ | 조현주(2011), 김진효(2020) |
| | II등급 | 중간 ²⁷⁾ | |
| | III등급 | 낮음 ²⁸⁾ | |
| 자연체험 및 휴양가치적 측면 부지평가 지표 | | | |
| 규모 | 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률에서 제시하는 공원면적 기준을 따라 최대면적을 1만 ㎡로 설정 | | 이석철(1999) |
| 정주공간과의 인접성 | I등급 | 정주공간과의 인접성이 양호함(250m 이내) | 조현주(2011) |
| | II등급 | 정주공간과의 인접성이 보통(250m-1km 이내) | |
| | III등급 | 정주공간과의 인접성이 불량함(1km 이상) | |
| 역사·문화성 | I등급 | 지정문화재 등이 유형내 2회 이상 출현 | 김진효(2020) |
| | II등급 | 지정문화재 등이 유형내 1회 출현 | |
| | III등급 | 출현하지 않음 | |
| 이용흔적 | I등급 | 산책로 등에 실제 사람 이용이 나타나는 경우(높음) | 김진효(2020) 수정후 재작성 |
| | II등급 | 시설은 있으나 이용 흔적이 육안으로 파악되지 않는 경우(중간) | |
| | III등급 | 이용흔적이 없음(낮음) | |
| 수공간과의 접촉 및 조화 | I등급 | 수공간인 공간(높음) | 김진효(2020) |
| | II등급 | 수공간과 인접하여 수공간으로 발전가능성 높음(중간) | |
| | III등급 | 발전가능성이 낮은 공간(낮음) | |
| 경관패턴의 다양성 | I등급 | 경관패턴의 상호조합이 3종류 이상으로 이질성을 보이는 경우(높음) | 나정화(2021) |
| | II등급 | 경관패턴의 상호조합이 2종류로 미흡한 이질성을 보이는 경우(중간) | |
| | III등급 | 경관패턴이 단일로 동질성을 보이는 경우(낮음) | |
| 형·색채·열매의 풍부성 | 앞선 1차 평가에서 층위구조의 등급이 높을 경우 해당 지표의 풍부도는 상관적으로 오른다고 볼 수 있음 | | 조현주(2011) |

표 7. 유형평가-보전가치평가

| 비오톱 유형군 | 비오톱 유형 | 구조적 특징 | 평가지표 | | | | | | | | | |
|---------|--------|-----------------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | A' | B' | C' | D' | E' | F' | G' | H' | I' | J' |
| A | AA01 | | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| K | KA01 | II/III,(III'),2/4/5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | KA02 | III,(III'),2/4,▲,Qa/Cc | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | KA03 | II/III,(III'),2/4,QaPr/QaPd | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | KC01 | PrQa/Pr | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| M | MA01 | □□□□/■■■■■ | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | MA02 | □□□□/■■■■■ | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | MA04 | | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| | MA05 | | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| | MB01 | □□□□/■■■■■ | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| | MB02 | □□□□/■■■■■ | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| O | OB03 | | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |

A': 비오톱 전형종의 다양성 D': 포장율 H': 위험성
 B': 멸종 및 위험에 처한 종들이 출현·생육할 수 있는 E': 층위구조 I': 복원능력
 현장부지조건 F': 특별한 현장조건 J': 발전기간
 C': 이용강도 G': 희귀성 (1=높음/많음, 3=낮음/적음)

표 8. 유형평가-자연체험 및 휴양가치평가

| 비오톱 유형군 | 비오톱 유형 | 구조적 특징 | 평가지표 | | | | | | | | | |
|---------|--------|-----------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | A'' | B'' | C'' | D'' | E'' | F'' | G'' | H'' | I'' | J'' |
| A | AA01 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| K | KA01 | II/III,(III'),2/4/5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | KA02 | III,(III'),2/4,▲,Qa/Cc | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | KA03 | II/III,(III'),2/4,QaPr/QaPd | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | KC01 | PrQa/Pr | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| M | MA01 | □□□□/■■■■■ | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | MA02 | □□□□/■■■■■ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | MA04 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | MA05 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | MB01 | □□□□/■■■■■ | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | MB02 | □□□□/■■■■■ | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| O | OB03 | | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |

A'': 헤메로비 E'': 층위구조 I'': 독특한 경관요소
 B'': 발전기간 F'': 경사도 J'': 조망
 C'': 녹피율 G'': 일반적 접근성 (1=높음/많음, 3=낮음/적음)
 D'': 포장율 H'': 이용가능성

표 9. 유형평가 결과-매트릭스합산 결과표

| 비오톱 유형군 | 비오톱 유형 | 평가지표 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| | | 보전가치평가 | | | | | | | | | 자연체험 및 휴양가치평가 | | | | | | | | |
| | | K' | L' | M' | N' | O' | P' | Q' | R' | K'' | L'' | M'' | N'' | O'' | P'' | Q'' | R'' | | |
| A | AA01 | 3 | 3 | 3 | 9 | 2 | 2 | 13 | Ⅲ | 2 | 3 | 4 | 9 | 2 | 5 | 16 | Ⅲ | | |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | KA01 | 5 | 5 | 3 | 13 | 3 | 5 | 21 | I | 5 | 5 | 3 | 13 | 3 | 5 | 21 | I | | |
| | KA02 | 5 | 5 | 3 | 13 | 3 | 5 | 21 | I | 5 | 5 | 3 | 13 | 3 | 5 | 21 | I | | |
| | KA03 | 4 | 5 | 3 | 12 | 3 | 5 | 20 | I | 5 | 5 | 3 | 13 | 3 | 5 | 21 | I | | |
| | KC01 | 2 | 4 | 3 | 9 | 3 | 4 | 16 | Ⅱ | 4 | 5 | 4 | 13 | 3 | 4 | 20 | I | | |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | MA01 | 5 | 2 | 2 | 9 | 3 | 3 | 15 | Ⅲ | 2 | 3 | 2 | 7 | 3 | 4 | 14 | Ⅲ | | |
| | MA02 | 5 | 2 | 2 | 9 | 3 | 3 | 15 | Ⅲ | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 11 | Ⅳ | | |
| | MA04 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 9 | V | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 11 | Ⅳ | | |
| | MA05 | 2 | 2 | 1 | 5 | 3 | 2 | 10 | Ⅳ | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 11 | Ⅳ | | |
| | MB01 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 | 4 | 11 | Ⅳ | 2 | 2 | 3 | 7 | 3 | 4 | 14 | Ⅲ | | |
| | MB02 | 1 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 7 | V | 2 | 3 | 3 | 8 | 2 | 4 | 14 | Ⅲ | | |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O | OB03 | 1 | 4 | 2 | 7 | 1 | 3 | 11 | Ⅳ | 3 | 3 | 3 | 9 | 3 | 3 | 15 | Ⅲ | | |

K': A', B' 합산 Matrix 점수 K'': A'', B'' 합산 Matrix 점수 Q': N', O', P' 합산점수
 L': C', D' 합산 Matrix 점수 L'': C'', D'' 합산 Matrix 점수 R: 최종등급
 M': E', F' 합산 Matrix 점수 M'': E'', F'' 합산 Matrix 점수 Q'': N'', O'', P'' 합산점수
 N: K', L', M' 합산 점수 N'': K'', L'', M'' 합산 점수 R'': 최종등급
 O: G', H' 합산 Matrix 점수 O'': G'', H'' 합산 Matrix 점수
 P: I', J' 합산 Matrix 점수 P'': I'', J'' 합산 Matrix 점수

선행 연구(김진효, 2020)에서 제시된 유형 평가에서 보전가치평가의 경우 1-3등급에 해당하는 비오톱 유형의 개수는 30개로 나타났으며, 자연체험 및 휴양가치평가에서 1-3등급에 해당하는 비오톱 유형의 개수는 30개로 나타난 반면, 본 연구에서 실시한 유형 평가에서는 보전가치평가에서 1-3등급에 해당하는 비오톱 유형의 개수는 32개, 자연체험 및 휴양가치평가에서 1-3등급에 해당하는 비오톱 유형의 개수는 32개로 나타났다. 본 연구에서는 가치 있는 비오톱 유형의 개수가 선행 연구의 결과보다 증가하였다는 결과를 나타내는 바, 가치 있는 비오톱 유형을 발견하는데에 의미가 있었다고 판단하였다. 앞서 진행된 유형 평가를 토대로 중간 등급 이상에 해당하는 비오톱 유형들을 부지 평가한 결과 종과 비오톱 보전을 위해 특별한 의미를 가진 공간(1 α , 1 β)은 30개, 종과 비오톱 보전을 위해 의미를 가진 공간(2 α , 2 β , 2 γ)은 61개로 평가되었다. 또한 자연체험 및 휴양을 위해 특별한 의미를 가진 공간(1 α , 1 β)은 30개, 자연체험 및 휴양을 위해 의미를 가진 공간(2 α , 2 β , 2 γ)은 70개로 나타났다. 해당 결과는 각각 선행 연구에서의 보전가치평가 90개(1 α , 1 β , 2 α , 2 β , 2 γ), 자연체험 및 휴양가치평가 97개(1 α , 1 β , 2 α , 2 β , 2 γ)라는 결과보다 증가한 수를 나타내는 바, 가치 있는 공간을 선별하는 데에 의미가 있었다고 판단하였다.

3.3 수치 지도화 및 3D 시각화

본 연구에서는 비오톱 유형분류결과와 비오톱 가치평가 결과를 토대로 Q-GIS 프로그램을 활용하여 지도작성과정을 제안하였다. 비오톱 유형분류도 작성 결과, 가장 빈번하게 나타난 유형은 KE01(모지) 343개, MB01(키 낮은 발작물 재배지) 329개, LB01(인공초지), 306개 순으로 나타났으며, 면적이 큰 유형은 KA02(활엽수림) 2,044,723m², KA01(소나무 중심 침엽수림) 1,171,807m², IA01(식생이 풍부한 자연형 하천) 1,076,512m² 순으로 나타났다. 지도를 작성하면서 비오톱 유형의 식별도를 높이고자 RGB 값을 부여하였다(그림 9 참조).

비오톱 유형 평가결과, 보전가치평가의 경우 1등급 면적은 약 5,347,640m², 2등급 면적은 약 745,352.2m² 그리고 3등급 면적은 약 2,545,397m²이었으며 1-3등급에 해당하는 비오톱 유형은 32개로 나타났다. 해당 지도에서 가장 많은 면적을 차지하는 2등급은 북서쪽에 주로 분포함을 시각적으로 판단할 수 있다. 다음으로 자연체험 및 휴양가치평가의 경우 1등급 면적은 약 4,562,043m², 2등급 면적은 약 2,243,896m² 그리고 3등급 면적은 약 1,504,853m²

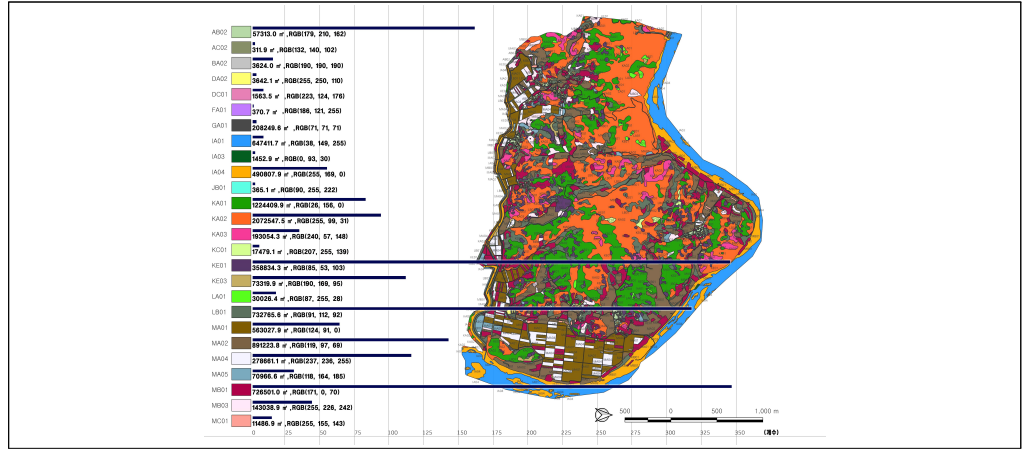


그림 9. 유형분류지도

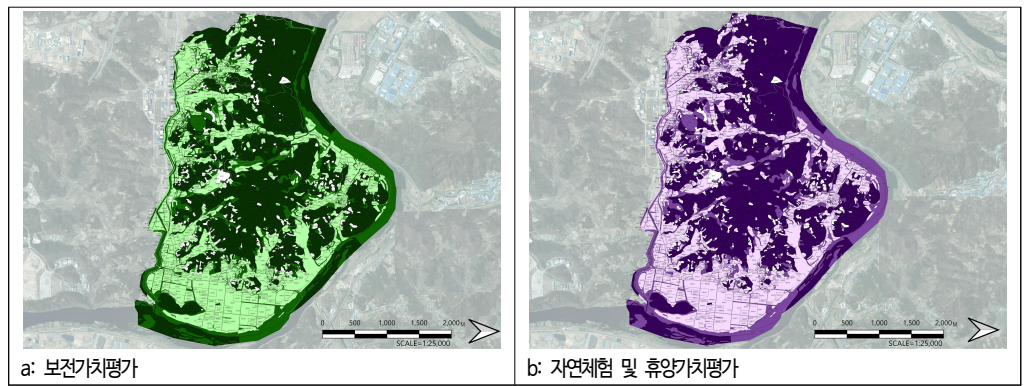


그림 10. 비오톱 유형 평가도

범례: : 1등급 : 2등급 : 3등급 : 4등급 : 5등급

이었으며, 1-3등급에 해당하는 비오톱 유형은 32개로 나타났다. 해당 지도에서 가장 많은 면적을 차지하는 1등급은 주로 중앙과 서쪽에 분포함을 시각적으로 판단할 수 있다(그림 10 참조).

비오톱 부지평가 결과 종과 비오톱 보전을 위해 특별한 의미를 가진 공간(1 α , 1 β)은 30개, 종과 비오톱 보전을 위해 의미를 가진 공간(2 α , 2 β , 2 γ)은 61개로 나타났으며, 자연체험 및 휴양을 위해 특별한 의미를 가진 공간(1 α , 1 β)은 30개, 자연체험 및 휴양을 위해 의미를 가진 공간(2 α , 2 β , 2 γ)은 70개로 나타났다. 일례로 보전적 측면에서의 도면 번호-2에 해당하는 공간의 경우 유형 평가에서 1등급으로 평가되었으며, 공간의 크기가 크고 생물 종이 풍부한 하천과 접하고 있어 생태적으로 큰 가치를 보였기 때문에 1 α 로 평가되었다. 다음으로 휴양적 측면에서의 도면 번호-93에 해당하는 공간의 경우 유형 평가에서는 3등급으로 평가되었으나, 식생의 조성상태가 양호하며 주변에 문화/역사적 및 이용 흔적이 나타나는 등 자연체험 및 휴양적 측면에서 특별한 가치를 발견한바 부지평가에서는 2 β 로 평가하였다(그림 11 참조).

3D 도면 작성의 경우 앞서 제작된 2D 유형분류도면과 가치평가도면의 좌표계를 연결하여 현황지도(그림 12 참조), 유형분류도와 평가결과도(그림 13 참조)를 제작하였다. 3D도면 구축 작업 시에는 Blender 3.40.0 프로그램을 활용하였다.

3.4 프레임워크 구축

앞서 제시한 각 연구방법의 단계들을 종합하여 비오톱 지도작성에 대한 프레임워크를 구축한 결과는 그림 14와 같다. 해당 프레임워크의 메인 프로세스는 비오톱 유형분류 단계, 비오톱 가치평가 단계, 수치지도화, 입체적 시각화 단계로 구성되어 있다. 메인 프로세스를 기반으로 연결된 창들의 경우 연결된 노드에 따라 기능이 구분된다. 청색 노드의 경우 메인 프로세스의 연결을 의미하며, 주황색 노드의 경우 메인 프로세스별 관련 수행항목, 수행기준, 프로세스 모델을 연결하는 의미이다. 다음으로 빨간색 노드의 경우 관련 항목에 적용된 계산식 또는 프로그램을 연결하는 의미이다.

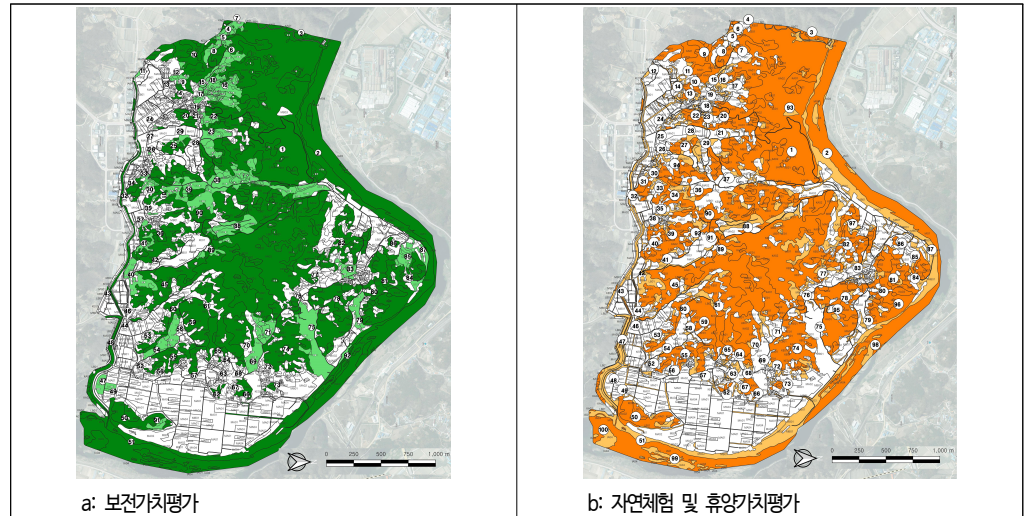


그림 11. 비오톱 부지평가도

범례: ■ ■ : 1등급(1a,1b) ■ ■ : 2등급(2a, 2b, 2c)



그림 12. 현황도

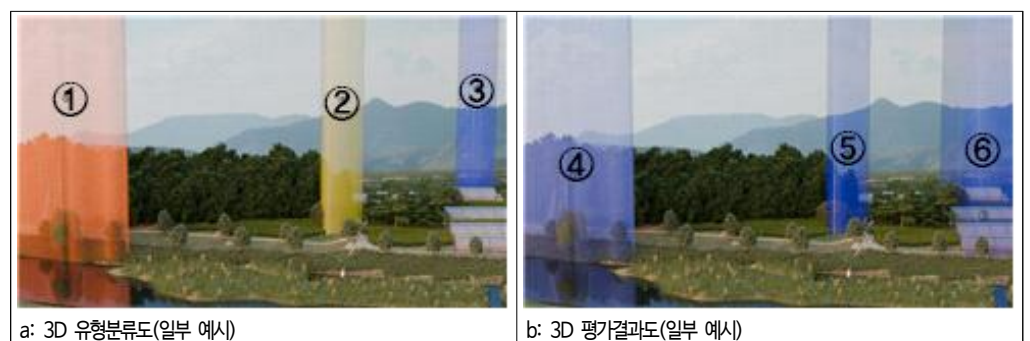


그림 13. 3D 유형분류 및 평가결과도

범례: ① 하천변 수림대(IA04) ② 인공형 초지(LB01) ③ 인공 저수지(JB01)
 ④ 하천변 수림대(2등급) ⑤ 인공형 초지(3등급) ⑥ 비닐하우스(3등급)

본 연구에서 제시한 프레임워크는 지도 제작의 일련 과정을 통합적으로 구조화함으로써 비오톱 지도 작성 절차의 체계성과 일관성을 확보하였다. 특히 각 항목들의 메인 수행항목과 수행기준, 그리고 평가 모델을 노드 기반으로 연계함으로써 기존에 단절적으로 제시되었던 비오톱 지도 작성 관련 연구의 문제를 극복하고 실무자가 지도 작성 단계 간의 연계성을 직관적으로 파악할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 현장조사, 시각화 프로그램, 평가모델 등을 유기적으로 연결함으로써 지도 작성 단계에서 자료의 누락이나 해석의 오류 등을 최소화시킬 수 있으며, 기존의 GIS 기반 수치지도화와 3D 입체 시각화를 프레임워크에 통합함으로써 2차원적 도면에서 파악하기 어려웠던 공간적 구조와 경관의 특성을 직관적으로 파악하고 도면의 시각적 이해도를 향상시키는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

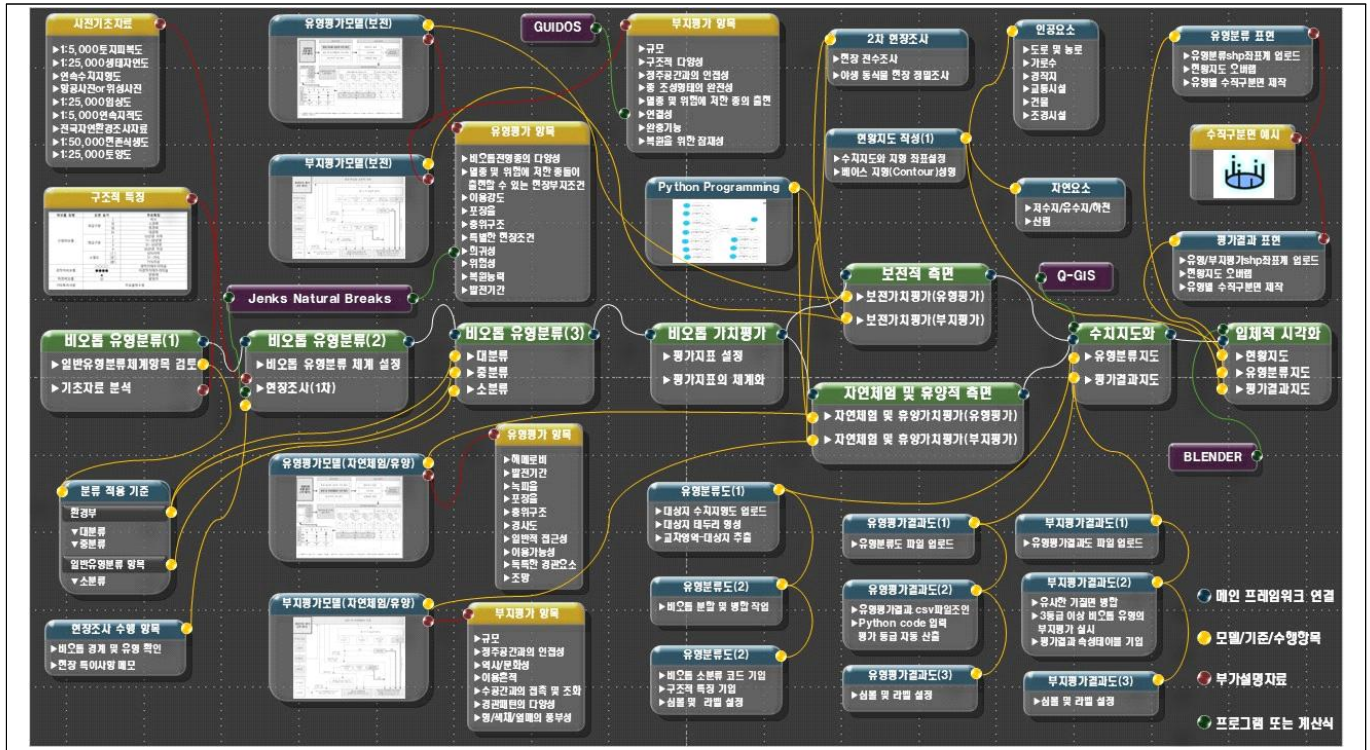


그림 14. 비오톱 지도작성 프레임워크

4. 결론

본 연구는 비오톱 지도작성 절차에 대한 고도화를 기반으로 보다 상세한 지도작성 프레임워크를 제시하였으며, 지구 단위 차원에서 압력을 받는 대상지를 선정하여 고도화된 비오톱 지도작성 방법론의 적용을 통해 선행연구 결과와의 비교작업을 수행하여 고도화의 효율성을 모색해 보았다. 더불어 비오톱 지도 제작 과정에 있어서는 2D 지도 작성에서 나아가 디지털트윈을 활용한 3D 비오톱 지도 제작 절차를 제시하였으며, 이를 통하여 비오톱 지도의 시각적 효율성 및 비오톱 지도와 디지털트윈의 적용 가능성을 제고하였다.

다음으로 연구의 요약은 크게 네 가지로 구분되었다. 첫 번째로 비오톱 유형분류 고도화 단계에서는 문헌분석에 기반하여 비오톱 유형분류 체계 항목 검토를 통해 대분류 15개, 중분류 57개, 소분류 121개의 일반 비오톱 유형분류 항목을 설정하였다. 또한, 축척 상의 이유로 인해 도면에 표기되지 못하였으나 유의미한 가치가 있다고 판단되는 구조적 특징을 소분류에 함께 기입하였다. 연구대상지의 비오톱 유형분류의 경우 선행 연구(김진호, 2020)에서는 대분류 9개, 중분류 24개, 소분류 56개로 분류되었으며, 고도화된 유형분류 방법론을 적용한 경우 대분류 12개, 중분류 30개, 소분류 58개로 분류가 되었던 바, 고도화된 비오톱 유형분류 체계를 통해 보다 더 세부적인 비오톱 유형분류가 진행되었다고 볼 수 있다.

두 번째로 비오톱 가치평가 고도화 단계에서는 선행 연구를 기반으로 설정된 평가지표의 산술적·통계적 체계화를 통해 평가지표의 객관성을 확보하였다. 유형평가에서 적용된 매트릭스 합산평가의 경우 Q-GIS 프로그램 내에서 평가지표별 등급을 기반으로 최종 합산 등급을 속성테이블에 자동으로 도출시키는 매트릭스 합산평가 Python Code를 구축하여 평가의 효율성을 제고하였다. 선행 연구에서 제시된 보전가치평가의 유형평가에서 1-3등급에 해당하는 비오톱 개수는 30개, 자연체험 및 휴양가치평가의 1-3등급에 해당하는 비오톱 개수는 30개였으며, 고도화된 유형평가지표를 적용한 연구대상지의 경우 보전가치평가의 1-3등급에 해당하는 비오톱 개수는 32개, 자연체험 및 휴양가치평가의 1-3등급에 해당하는 비오톱 개수는 32개로 선행연구 결과 대비 가치 있는 비오톱의 개수가 증가한 것으로 나타났다.

세 번째로 수치 지도화 및 3D 시각화 단계에서는 평가결과를 토대로 Q-GIS 3.40.0 프로그램을 활용하여 수치 지도의 유형분류도와 평가결과도를 제작하는 과정을 제시하였으며, 3D 시각화의 경우 BLENDER 4.4 프로그램을 활용하여 현황도, 유형분류도, 평가결과도를 제작하는 과정을 제시하였다. 마지막으로 앞선 과정들의 연결을 통해 '유형분류 단계-가치평가단계-수치지도화 단계-입체적 시각화 단계'의 종합적인 지도 제작

과정 프레임워크를 제시하였다.

본 연구에서는 비오톱 유형분류 및 가치평가의 고도화를 통해 보다 세부적인 유형분류 개수를 도출하고, 가치 있는 비오톱 유형을 발견했다는 점에서 의미가 있었다고 판단된다. 특히 비오톱 지도 제작 프레임워크를 구축함으로써 기존에 단절적으로 제시되었던 비오톱 지도 작성 관련 연구의 한계를 극복하고, 실무자가 지도 작성 단계 간의 연계성을 직관적으로 파악할 수 있다는 점에서 의의가 있을 것으로 사료된다. 더불어 작성 단계 상에서의 자료 누락 및 해석의 오류를 저감하고, 기존의 2차원적 도면에 3D 시각화 도면 작성 방법론을 적용하여 공간적 구조 및 경관 특성을 시각적으로 파악하는 데에 도움이 될 것으로 사료된다. 나아가 본 프레임워크의 제안은 복잡한 비오톱 지도 작성 과정을 표준화된 절차로 체계화함으로써 작업의 효율성과 실무적 효용성을 동시에 향상시킬 수 있는 기반을 마련하였다는 점에서 학문적·실무적 기여를 가질 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 향후 연구에서는 지구 단위 차원에서의 실사례지 선정을 통해 지도의 3D 시각화를 제작할 필요가 있으며, 사례지 현장과 디지털트윈된 시스템 공간상의 데이터 연계가 실시간으로 피드백될 수 있도록 데이터 연계 구축이 이루어져야 할 필요가 있을 것으로 사료된다. 더불어 프레임워크의 시각적 제시에서 더 나아가 프레임워크 구축의 전산화에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

- 주 1. 질소나 영양물질이 매우 부족하거나 풍부한 경우, 매우 건조하거나 습한 경우, 광요구도가 높은 경우, 미기후 변화가 심한 경우 등.
- 주 2. 적게 또는 전혀 이용·관리가 되고 있지 않은 비오톱 유형(건물 층수 저층 혹은 건물이 없는 환경, 식생에 대한 관리강도가 낮거나 방치 혹은 연 1회).
- 주 3. 중간 정도로 관리되거나 이용되는 비오톱 유형(건물층수가 중·저층의 건축물, 식생에 대한 관리강도가 연 2회).
- 주 4. 계속해서 심하게 이용·관리되고 있는 유형(건물 층수가 고층·초고층 건물, 식생에 대한 관리강도가 연 3회 이상).
- 주 5. 교목층과 관목층, 교목층과 초본층, 관목층과 초본층 등 다양하게 구조화 된 경우.
- 주 6. 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층 중 어느 한 층만 출현하는 경우.
- 주 7. 특별히 건조하거나 습한 현장조건, 암석노출지, 수분함유량이 많은 저지대, 토양의 Ph 농도가 매우 높은 장소, 대부분의 면적이 토양노출지인 경우 등.
- 주 8. 평균보다는 높은 토양 노출지를 가지는 경우.
- 주 9. 면적이 시계열의 흐름상 감소 양상을 띄며, 외부환경이 개발이 진행 중인 상태.
- 주 10. 면적이 감소양상을 띄거나, 외부환경의 개발로부터 인접해 있는 상태.
- 주 11. 어떤 비오톱 유형의 복원을 위하여 여러 세대에 걸쳐 연속적인 계획을 필요로 하는 비오톱 유형들 또는 복원 기간이 인 간의 계획 시공간을 완전히 벗어난 비오톱 유형.
- 주 12. 인간이 경험할 수 있는 최대 시공간 및 단기 시공간의 범위 내에서 복원될 수 있는 비오톱 유형들.
- 주 13. 단기간 및 일시적으로 발생하고 대부분 매우 빠르게 다음 군락으로 치환되는 비오톱 유형들.
- 주 14. 일반적인 종이 서식하는 경우에는 비오톱의 구조적 다양성이 4-8개월 때 종 풍부도에 영향을 미치며, 보전이 필요한 종이 서식하는 경우에는 2-4개의 구조적 다양성이 영향을 미친다고 할 수 있음.
- 주 15. 이를테면 소나무 중심의 침엽수림으로 주변에 비해 소밀도가 높은 경우는 해당 부지에서 종 조성 형태의 완전성이 높다고 볼 수 있음.
- 주 16. 일례로 강이나 하천변에 분포한 경작지는 종과 비오톱 보전을 위해 현재로서는 가치가 낮지만 예후적으로 초원지 또는 근자연형 수변 수림대로 토지이용이 전환된다면 종과 비오톱 보전을 위한 가치등급을 상향조정할 수 있음.
- 주 17. 서로 다른 성장형태와 열매, 꽃, 색채를 가진 식물종이 풍부할 경우.
- 주 18. 서로 다른 성장형태와 열매, 꽃, 색채를 가진 식물종이 풍부할 경우.
- 주 19. 서로 다른 성장형태와 열매, 꽃, 색채를 가진 식물종이 빈약할 경우.
- 주 20. 서로 다른 성장형태와 열매, 꽃, 색채를 가진 식물종이 빈약할 경우.
- 주 21. 서로 다른 성장형태와 열매, 꽃, 색채를 가진 식물종이 빈약할 경우.
- 주 22. 부지의 출입에 행위제한이 없으며, 일반적으로 접근이 용이하고 쉽게 이용할 수 있는 비오톱유형.
- 주 23. 부지의 출입에는 행위제한이 없으나, 식생의 높은 밀도, 종류 및 토양의 습도 측면에서 통행이 어려운 비오톱유형. 혹은 그 반대의 경우.
- 주 24. 부지의 출입에 행위제한이 심하며, 높은 식생의 밀도 및 종류 혹은 토양의 습도로 인해 통행이 어려운 비오톱 유형.
- 주 25. 시각적으로 확인 가능한 물리적 요소, 즉, 협곡, 능선, 표석, 구릉지 등의 상대적 출현 빈도가 매우 높음.
- 주 26. 투시성이 80% 이상이며, 인공물의 분포가 30% 미만으로 인공물보다 자연경관요소가 부각되는 경우.
- 주 27. 투시성이 40-80%이며, 인공물의 분포가 30-50%로 가시성에 미미한 불편감을 느끼게 되는 경우.
- 주 28. 투시성이 40% 미만이며, 인공물의 분포가 50% 이상으로 자연경관요소보다 인공물로 인해 가시성이 떨어지는 경우.
- 주 29. 일반적인 종이 서식하는 경우에는 비오톱의 구조적 다양성이 4-8개월 때 종 풍부도에 영향을 미치며, 보전이 필요한 종이 서식하는 경우에는 2-4개의 구조적 다양성이 영향을 미친다고 할 수 있음.

- 주 30. 이를테면 소나무 중심의 침엽수림으로 주변에 비해 소밀도가 높은 경우는 해당 부지에서 종 조성 형태의 완전성이 높다고 볼 수 있음.
- 주 31. 일례로 강이나 하천변에 분포한 경작지는 종과 비오톱 보전을 위해 현재로서는 가치가 낮지만 예후적으로 초원지 또는 근자연형 수변 수림대로 토지이용이 전환된다면 종과 비오톱 보전을 위한 가치등급을 상향조정할 수 있음.

References

1. 김도은, 손용훈(2021) 헤메로비 등급을 활용한 도시공원의 인식된 자연성 평가: 헤메로비 지수를 이용한 도시공원의 인지된 자연성 평가. 한국조경학회지 49(2): 89-100.
2. 김영선(2014) 한국 도시생태환경 관리를 위한 비오톱 평가지표 개발. 호남대학교 박사학위논문.
3. 김영선, 김우열(2008) 비오톱 유형분류에 관한 비교 연구(안). 한국환경생태학회 학술발표논문집 2008(2): 93-95.
4. 김영일, 임상국(2023) 유니터를 활용한 메타버스 교과서. 길벗캠퍼스.
5. 김지석, 정태준, 홍석환(2014) 식물군집 특성에 따른 비오톱 유형분류. 한국환경생태학회 학술대회논문집 24(2): 26-27.
6. 김진호(2020) 경관단위 유형분류 및 가치평가에 기초한 지구단위 경관계획 기법 개발. 경북대학교 박사학위논문.
7. 김현수, 안근영(2002) 생태적 도시계획을 위한 생태기반지표 개발과 활용에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표논문집 22(1): 407-410.
8. 김현진, 권문혁, 조완희, 김기철, 김진곤(2022) 물관리 디지털 전환, 디지털 트윈 기반 플랫폼 구축. 한국정보통신학회 종합학술대회 논문집 pp. 284-287.
9. 나정화(1997) 도시 소생물권 도면화 작업(UBM)과 그 정보시스템(BIS) 구축방법에 관한 연구(1): 도시 소생물권(Biotop)의 개념분석을 중심으로. 한국정원학회지 15(2): 133-145.
10. 나정화(1999) 도시비오톱의 유형분류 및 분석에 관한 연구. 한국환경생태학회지 13(2): 129-142.
11. 나정화(2021) 경관생태에 기초한 경관계획: 통섭적 접근에 의한 경관계획의 개념 연구. 대구: 경북대학교 출판부.
12. 나정화, 박인환(1998) 도시지역 생태복원계획의 핵심도대로서 도시소생물권 도면화작업과 정보시스템 구축방법론 개발에 관한 연구. 한국조경학회지 26(2): 118-132.
13. 나정화, 조현주, 구지나(2012) GIS를 기반으로 한 비오톱 가치평가도구(B-VAT)개발과 적용: 휴양 및 자연체험적 관점에서. 한국산림휴양학회지 16(4): 103-117.
14. 나정화, 조현주, 이현택, 김진호, 박천진(2011) 자연체험 및 휴양가치 등급 설정을 위한 비오톱 구조분석: 광명시흥 보급자리 주택지구를 대상으로. 한국농촌계획학회지 17(3): 27-41.
15. 박천진, 나정화, 조현주, 김진호, 권오성(2012) 비오톱 유형분류를 기반으로 한 경관평가 모형개발 및 적용. 한국조경학회지 40(4): 114-126.
16. 반수홍, 이호영, 오충현(2009) 시흥시 비오톱지도 제작을 위한 비오톱 평가 방법. 한국환경생태학회 학술대회논문집 19(2): 222-225.
17. 방은길, 윤동현, 고준환(2014) LiDAR 데이터와 임상도를 이용한 산림정보의 3차원 시각화. 대한공간정보학회지 22(5): 53-63.
18. 이동근, 윤소원(1998) 비오톱 조성을 위한 도시녹지 평가 모형의 개념적 연구. 산업과학연구 6: 61-75.
19. 이병선(2024) LiDAR를 활용한 디지털트윈 구축과 건축산업에의 실용화연구. 동신대학교 박사학위논문.
20. 이석철(1999) 도시비오톱에 대한 분석 및 수치지도화: 대구광역시 수성구를 중심으로. 경북대학교 석사학위논문.
21. 이은희, 최일기, 이준호, 강혜순, 오충현, 임동욱, 조동길, 이시완, 김인규, 김승태, 김현성(2010) 비오톱 유형별 보전 및 복원기법 개발: 최종보고서(환경부 차세대 핵심환경기술개발사업). 서울대학교 산학협력단.
22. 장동민(2001) 친환경적 도시건축계획을 위한 환경계획지표개발의 방향. 한국생태환경건축학회지 1(2): 5-12.
23. 정문선, 이명우(2000) 우리나라 중소도시 비오톱 공간의 조성방안. 한국조경학회지 28(4): 75-90.
24. 정성은, 이우균, 곽두안, 최현아(2008) LiDAR의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시지역의 3D기반 분류. 한국지리정보학회지 16(3): 373-383.
25. 조성환, 조기성, 이현직(2023) 고밀도 항공레이저측량 기반의 산림자원관리 디지털트윈 구축. 대한토목학회 학술대회 논문집 pp. 35-38.
26. 조현주(2011) 비오톱 지도를 기반으로 한 경관계획 모형개발 및 적용. 경북대학교 박사학위논문.
27. 조현주, 이현택, 사공정희, 나정화(2010) 종과 비오톱 보전을 위한 가치평가 모형 개발 및 적용. 한국환경복원기술학회지 13(5): 59-80.
28. 최인하, 남상관, 김승엽, 이동국(2023) 3차원 산림공간정보 서비스를 위한 산림 디지털트윈 구현 연구. 한국원

- 격담사학회지 39(5-4): 1165-1172.
29. 최일기, 오충현, 이은희(2008) 전국적 적용을 위한 비오톱유형분류제안 1a. 한국환경생태학회지 22(6): 666-678.
 30. 허수열(2012) 1945년 해방과 대한민국의 경제발전. 한국독립운동사연구 43: 463-509.
 31. 홍석환, 이정재(2008) 시가화지역 생태적 유형구분을 위한 관련지표 특성 연구: 서울시 강동구를 사례로. 한국조경학회지 36(2): 24-31.
 32. Finck, P., U. Riecken and E. Schröder(2002) Pasture landscapes and nature conservation: New strategies for preservation of open landscapes in Europe(BfN-Skripten66). Bundesamt für Naturschutz.
 33. Forman, R. T. T.(1995) Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press.
 34. Forman, R. T. T.(2000) Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. Conservation Biology 14: 31-35.
 35. Garbretcht, D. and U. Matthes(1980) Entscheidungshilfen für die Freiraumplanung: Planungshandbuch, ILS.
 36. Hermes, J., C. Albert and C. von Haaren(2018) Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. Ecosystem Services 31: 296-307.
 37. Kiemstedt, H., A. Bechmann, G. Heitmann, E. Hoerschlemann, C. Hultsch, A. Muhs and E. Meyer(1975) Landschaftsbewertung für Erholung im Sauerland. Wirtschaft und Verwaltung.
 38. Leser, H.(1991) Landschaftsökologie. Eugen Ulmer.
 39. Nijnik, M. and A. Mather(2008) Analyzing public preferences concerning woodland development in rural landscape in Scotland. Landscape and Urban Planning 86(3-4): 267-275.
 40. North, M. A.(2009) A method for implementing a statistically significant number of data classes in the Jenks algorithm. In Proceedings of the Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery(FSKD2009).
 41. Sukopp, H. and S. Weiler(1986) Biotopkartierung im besiedelten Bereich der Bundesrepublik Deutschland. Landschaft und Stadt 18(1): 25-38.
 42. Yu, H., M. M. Wu and H. S. He(2022) Developing Platform of 3-D Visualization of forest landscape. Environmental Modelling & Software 157: 105524.