

토지피복 변화 기반의 자연환경 훼손지역 탐색:

경기도 성남시를 중심으로*

Identifying of Damaged Area based on Land Cover Change for Nature Restoration: Focused on Seongnam City

이길상** · 손승우***

Gil-Sang Lee · Seung-Woo Son

요약: 기후위기 대응 및 생물다양성 증진 방안의 하나로 자연환경복원이 부각되면서 국내외적으로 자연환경복원에 대한 관심이 증가하고 있다. GBF(Global Biodiversity Framework)와 NBSAP(National Biodiversity Strategy Action Plan)에서는 2030년까지 자연환경복원의 목표를 정량적으로 제시하였으며, 목표달성을 위해서는 우선적으로 자연환경 훼손지역의 발굴이 필요하다. 본 연구에서는 과거 자연지역(산림, 초지, 습지)이 기타초지·기타나지로 변화된 지역을 대상으로 합법적 개발과 토지의 속성, 경관생태학적 형태, 복원가능성 등을 고려하여 자연환경 훼손의심지역을 탐지하고, 현장조사를 통해 실제 훼손여부를 파악하고자 하였다. 1990년대 이후 급격한 도시화가 진행된 경기도 성남시를 대상으로 분석하여 총 43개소의 자연환경 훼손의심지역을 파악하였고, 현장조사를 통해 12개소의 실제 훼손지역을 확인하였다. 훼손지역을 유형별로 분류하면, 1) 간선도로와 연결함으로써 도로의 구조 및 시설 등에 의해 개발 가능성이 저하됨에 따라 관리가 미흡해지면서 훼손지역으로 변화된 지역, 2) 개발제한구역 내에 위치하여 토지이용에 대한 각종 제약으로 인해 방치 또는 부분적으로 이용되고 있는 나지, 3) 도로에 의한 접근에 제한이 있어 관리가 미흡해짐에 따라 현재는 방치된 지역, 4) 현재 나지 상태로 합법적으로 토지이용이 이루어지고 있어 훼손으로 분류되기에 다소 미흡하지만, 자연환경복원이 필요한 훼손지역으로 분류할 수 있었다. 본 연구는 지역차원에서 자연환경 훼손지역을 파악하는 체계를 제시함으로써, 지역의 자연환경복원 후보목록 마련 및 우선순위 선정에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심주제어: 환경공간정보, 경년변화, 자연환경훼손, 자연환경복원, 후보목록

Abstract: As a response to the climate crisis and a means of promoting biodiversity, the Nature Restoration Law is gaining attention both internationally and domestically. The Global Biodiversity Framework (GBF) and National Biodiversity Strategy Action Plan (NBSAP) have quantitatively set a goal for nature restoration by 2030, and the first step towards achieving this goal is the identification of degradation. This study thus aimed to identify areas suspected of degradation by considering legal development, land attributes, landscape ecological forms, and restoration possibilities in areas that have been transformed from past natural areas (forests, grasslands, wetlands) to other grasslands and barrens, to conduct field surveys for actual degradation. To achieve this, we analyzed Seongnam City, Gyeonggi

* 본 논문은 한국환경연구원에서 환경부의 수탁과제로 수행된 「과학 기반 자연환경복원 전과정 관리방안 연구(2024-020)」의 지원을 받아 수행되었음을 알립니다.

** 주저자, 한국환경연구원 환경계획연구실 연구원

*** 교신저자, 한국환경연구원 환경계획연구실 부연구위원

Province, where rapid urbanization has occurred since the 1990s, identifying a total of 43 suspected areas of degradation, and confirming 12 actual degraded areas through field surveys. The degraded areas can be classified into four types: 1) areas that have become degraded areas as a result of reduced development potential due to the structure and facilities of the main roads, 2) land that has been neglected or partially used due to various restrictions on land use located within the greenbelt, 3) areas that are currently neglected due to limited access by roads, and 4) areas that are difficult to classify as degraded areas because they are currently being used legally as land, but can be classified as degraded areas where nature restoration is needed. This study is expected to be used as basic data for preparing a candidate list for nature restoration in the region as well as prioritization of those areas by presenting a framework for identifying degraded areas at the regional level.

Key Words: Environmental Spatial Information, Secular Change, Degradation, Nature Restoration, Candidate List

I. 서론

전세계적으로 기후위기 대응 및 생물다양성 증진 방안의 하나로 자연환경 복원에 대한 관심과 중요성이 높아지고 있다. 2022년 12월 '제15차 생물다양성협약 당사국총회(COP15)'에서는 『쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(Global Biodiversity Framework, GBF)』를 채택하였다. 생물다양성 손실을 막고 인간에 대한 자연의 기여(Nature's Contributions to People, NCP)를 보호하기 위한 노력의 일환으로, GBF에서는 2030년까지 달성하여야 할 23개의 실천목표를 제시하였다(Diaz S. et al., 2018; Chapman, M. et al., 2024). GBF 실천목표의 하나로 Target 2.(T2)에서는 2030년까지 토지, 내륙 수역, 해양 및 연안 생태계 중 훼손된 지역의 최소 30%에 효과적인 복원의 시행을 목표로 생물다양성과 생태계 기능 및 서비스, 생태적 온전성과 연결성을 증진하고자 하였다. 또한 2023년 7월 EU 자연복원법(Nature Restoration Law)이 유럽의회를 통과하였는데, 이는 탄소중립 달성과 지속가능한 산업환경 구축을 목표로 EU가 추진 중인 그린딜(Green Deal)의 핵심 법안 가운데 하나로 2030 유럽 생물다양성 전략(EU Biodiversity Strategy for 2030)을 이행하기 위한 수단으로 마련되었다(황상일·구경아, 2023).

이러한 국제사회의 변화와 흐름에 대응하기 위하여 우리 정부는 국가생물

다양성전략(National Biodiversity Strategy Action Plan, NBSAP)을 마련하였으며(2023.12), GBF T2에 대응하여 자연환경복원을 통한 자연자본의 가치 확대를 추진하고 있다. 이를 달성하기 위해 2027년까지 자연환경 훼손지역을 식별하여 2030년까지 복원 우선지역 30%에 대한 자연환경복원을 착수하고 복원 관리 시스템을 구축하는 등의 세부 실천목표를 제시하였다(관계부처 합동, 2023).

2000년대 초반 우리나라에서 본격적으로 시작된 자연환경복원은 대부분 정부(중앙정부 또는 지방자치단체) 사업을 중심으로 시행되었으나, 자연환경복원을 추진할 훼손지역에 대한 국가차원에서의 조사와 과학적·체계적 계획이 부재한 상황에서 개별적·점적 훼손지역의 복원을 중심으로 추진되었다. 특히, 많은 사업들이 공모로 모집됨에 따라 복원을 추진하고자 하는 지역의 훼손 정도 또는 생태적 가치에 대한 고려 보다는 사업의 시행 및 실적 측면에서 효과가 크게 나타나는 지역, 또는 토지 확보 측면에서 기확보되었거나 확보가 용이한 지역 등이 사업지역으로 선정되기도 하였다. 또한, 사업을 추진함에 있어 형식적으로 진행되어 생태적 가치 증진에 도움이 되지 않고, 복원사업을 개발사업에 상응하는 또 다른 형태의 ‘사업’으로 여기거나 예산을 확보하여 사업을 추진하고 가시적인 효과를 내는데 더 관심을 갖는 경우도 있었다(길수현, 2023).

우리나라 법률상에서 자연환경훼손과 자연환경복원을 명확하게 규정하고 있지는 아니하지만, 이를 간접적으로 규정하고 있는 법률은 「환경정책기본법」과 「자연환경보전법」이다. 「환경정책기본법」 제3조제5호에서는 “환경훼손”을 야생동식물의 남획(濫獲) 및 그 서식지의 파괴, 생태계질서의 교란, 자연경관의 훼손, 표토(表土)의 유실 등으로 자연환경의 본래적 기능에 중대한 손상을 주는 상태로 정의하고 있으며, 환경훼손의 대상을 자연환경으로 규정하고 있다. 동법 제3조2호에서는 “자연환경”은 지하·지표(해양을 포함한다) 및 지상의 모든 생물과 이들을 둘러싸고 있는 비생물적인 것을 포함한 자연의 상태(생태계 및 자연경관을 포함한다)로 정의하며, 이는 「자연환경보전법」에서의 정의와 거의 유사하다.¹⁾ 따라서, 자연환경훼손을 “자연

환경의 본래적 기능에 증대한 손상을 주는 상태”로 보는 것이 타당하다. 또한, 「자연환경보전법」 제2조제19호에서는 “훼손된 자연환경의 구조와 기능을 회복시키는 사업”으로 자연환경복원사업의 정의를 하고 있어, 이를 통해 훼손된 자연환경의 구조와 기능을 회복시키는 것으로 자연환경복원의 정의를 간접적으로 규정하고 있음을 확인할 수 있다.

한편, 학술적으로는 자연환경훼손은 “인간 활동에 의해 직·간접적으로 야기된 지역 환경의 부정적 영향으로, 생물학적 생산성 또는 생태적 온전성, 생태계서비스 가운데 하나 이상의 장기적인 감소 또는 손실의 발생”으로 정의할 수 있으며(IPCC, 2022), 자연환경복원은 “질적·양적으로 저하, 훼손되었거나, 파괴된 생태계의 회복을 도와주는 과정”으로 정의할 수 있다(SER, 2004; 조동길, 2017), 그동안 자연환경복원은 주로 생물다양성 증진을 위하여 서식처의 보전과 확대 측면에서 자연환경 훼손지역을 중심으로 이루어졌다(Lima et al., 2016; Wei et al., 2022).

GBF와 NBSAP의 이행을 위해서 국가차원에서 자연환경 훼손지역의 식별 및 복원 우선지역의 도출이 우선적으로 요구되는데, 이와 관련된 법률적 근거는 「자연환경보전법」의 개정(2021.1.5. 개정, 2022.1.6. 시행)을 통해 이미 마련되었다. 「자연환경보전법」 제45조의3에서는 자연환경조사 등 조사 또는 관찰 결과를 토대로 훼손된 지역의 생태적 가치, 복원필요성 등의 기준에 따라 우선순위를 평가하여 자연환경복원이 필요한 대상지역의 후보목록의 작성을 규정하였으며, 이를 근거로 환경부에서는 2023년 후보목록 작성을 위한 체계를 마련하여 전국을 대상으로 5개년에 걸쳐 자연환경 훼손의심지역의 탐색과 우선순위 평가를 통해 후보목록 마련하고 있다.

토지피복의 경년변화(Secular Change)는 일정한 주기를 갖고 나타나는

-
- 1) 「환경정책기본법」과 「자연환경보전법」에서의 자연환경의 정의는 대상을 제외하고 정확히 일치하고 있음. 「환경정책기본법」에서는 대상에서 해양을 포함하지만, 「자연환경보전법」에서는 해양을 제외하고 있음. 이는 헌법을 기점으로 환경부와 해양수산부의 환경 관련 법률을 포괄하는 ‘환경법’으로서 「환경정책기본법」을 보는 관점과 유사함(윤소라, 2018). 이에 본 연구에서는 「환경정책기본법」을 환경분야의 기본법으로, 육상환경에서 「자연환경보전법」을, 해양환경에서 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」을 기본법으로 보는 관점으로 진행하였음.

계절변화(Seasonal Change)와 다르게 한 방향으로 변화가 나타나는 경우가 많다(송원경, 2006). 이러한 변화를 감지하여 토지피복을 분석하는 연구는 1972년 지상관측위성(Landsat) 발사와 함께 위성영상을 활용한 본격적으로 원격탐사가 시작되어 외국에서는 1970년대 이후로 진행되었으며, 국내에서는 1990년대 이후 다양한 지역과 규모에서 다양한 소스로부터 취합된 영상과 사진을 활용하여 연구가 진행되고 있다. 점차 발전하는 원격탐사 기법을 바탕으로 자연환경복원을 추진할 자연환경 훼손지역의 탐색과 관련하여 국내에서는 위성영상을 기반으로 훼손지역 도출 및 유형화 등의 연구가 수행되었으며(송원경, 2006; 이동근 외, 2007; 김준현·김재형, 2011; 박진우·이정수, 2013; 간조릭 외, 2014; 이아영 외, 2020; 조나혜·이정주·김현덕, 2023), 항공 및 UAV를 통한 영상 기반으로 훼손지역을 탐지·분류 연구가 진행되었다(서종철, 2002; 함보영 외, 2013; 문호경·이선미·차재규, 2017; 최재용 외, 2018; 오이균, 2018). 한편, 위성·항공영상을 바탕으로 AI를 활용하여 훼손지역을 정밀하게 판독하고자 하는 연구들도 최근 시작되었다(이성혁·이명진, 2020; 김준·송용호·이우균, 2021; 이성혁·이명진, 2021; 조나혜·이정주·김현덕, 2023). 이 외에도 광역적 차원에서 훼손지역을 도출할 수 있도록 토지피복지도 기반의 훼손지역 탐색 방법론 개발과 훼손원인별 유형 분류 및 복원방향 설정 연구가 수행되었으며(전성우 외, 2020; 서정영, 2020; 천정윤·장남정·배진아, 2022), 도시생태현황지도 등의 데이터를 기반으로 훼손지역 파악 및 복원방향을 제시한 연구가 있었다(송인주·윤초롱, 2021).

하지만, 많은 연구에서 지역에 얼마만큼의 훼손지역이 분포하는지 확인하고 복원 우선순위의 결정 및 지속적 모니터링을 위한 체계적·과학적 근거자료로 활용이 되기에는 분석의 공간적 범위와 분류체계의 정밀도 측면에서 한계가 있었다. 또한, 훼손지역 탐색 방법론이 체계적으로 마련되지 않아 지역에서 훼손의심지역을 발굴하지 못하였으며, 복원사업 신청시 기존 공모 방식으로 복원을 추진하였을 때와 동일하거나 유사한 지역을 제시하기도 하였다. 체계적이고 계획적인 자연환경복원이 필요한 지역을 선정하고자 마련한 자연환경복원 후보목록의 취지와 목적에 부합하지 않는 대상지가 자연환경

훼손지역으로 발굴되는 사례가 많은 것으로 파악되었다.

따라서, 본 연구에서는 전국토를 동일한 기준으로 작성한 환경부 토지피복 지도를 기반으로 체계적으로 자연환경 훼손의심지역을 파악하고, 현장검증을 통해 훼손여부를 확인하고자 하였다. 이를 통해 지방자치단체 차원에서 자연환경 훼손지역을 파악하는 방법론을 마련하고 자연환경복원이 필요한 후보지역을 목록화하는데 있어 기초자료로 활용되는데 기여하고자 하였다.

II. 연구 범위 및 방법

1. 연구의 대상

연구대상지는 경기도 성남시 141.66km²를 대상으로 하였다. 성남시는 1970년대 초 서울시 철거민 집단이주를 시작으로 1990년대 분당신도시 개발에 따른 양적 성장기를 거쳐 2000년대 판교·도촌·위례 등 신도시 개발 및 2010년대 각종 도시개발사업을 통해 지속적인 토지이용 변화 및 도시 공간 구조 개편이 이루어진 지역으로, 급격한 도시화에 따라 토지피복 변화와 토지이용 수요가 가장 많았던 지역이다(안천호, 2008; 성선용·이동근·모용원, 2015; 성남시, 2020; 이미숙·신동빈·김창훈, 2022).

2. 연구의 내용과 방법

1) 자료 수집

본 연구에서는 과거에는 생태적 가치가 높은 자연지역이었으나 다양한 원인에 의해 훼손되어 현재 생태적 가치가 낮은 지역으로 변화된 지역을 훼손지역으로 정의하며, 토지피복지도가 변화된 지역 가운데 합법적 개발행위 및 각종 토지이용 등을 배제하고 자연환경복원 가능성이 있는 지역을 훼손의심지역으로 정의하였다.

훼손의심지역 도출을 위해 수집된 자료는 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 분석을 위해 수집한 환경공간정보

No.	자료명	사용유무	자료 출처	제작년도	
1	대분류 토지피복지도	○	환경공간정보서비스 (www.egis.go.kr)	2001	
2	세분류 토지피복지도	○	환경공간정보서비스 (www.egis.go.kr)	2023	
3	행정구역도	○	통계지리정보서비스 (sgis.kostat.go.kr)	2021	
4	토지이용계획도	○	V world (www.vworld.kr)	2022	
5	산업단지	○	V world (www.vworld.kr)	2022	
6	개발진흥지구	○	V world (www.vworld.kr)	2023	
7	성/절토	○	V world (www.vworld.kr)	2021	
8	도시·군 계획 시설	공간시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
9		공공문화체육시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
10		교통시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
11		기타기반시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
12		도로	○	V world (www.vworld.kr)	2023
13		보건위생시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
14		유통공급시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
15		환경기초시설	○	V world (www.vworld.kr)	2023
16	Farm map	○	V world (www.vworld.kr)	2022	
17	임상도	○	산림공간정보서비스 (map.forest.go.kr/forest)	2023	
18	생태·자연도	○	환경공간정보서비스 (www.egis.go.kr)	2023	
19	건물통합정보	○	V world (www.vworld.kr)	2023	
20	토지소유정보	○	V world (www.vworld.kr)	2023	
21	국토계획	○	V world (www.vworld.kr)	2023	

이를 위해 국토 전체를 대상으로 자연환경복원 필요 후보목록 체계를 제시하였던 환경부(2023)에서 제시한 후보지역 발굴의 전제2)를 바탕으로 환경공간서비스에서 제공하고 있는 대분류(Level 1.) 및 세분류(Level 3.) 토지

2) 전국 단위의 자연환경복원 필요 후보목록 발굴 프레임워크의 전제로 1) 통일된 기준에 의한 평가, 2) 주기적 갱신, 3) 공신력 높은 자료의 활용, 4) 자료구축의 지속성, 5) 복원목록과 부합되는 복원유형을 제시함(환경부, 2023).

피복지도를 수집·중첩하여 토지피복 변화지역을 추출하고 통계지리서비스에서 제공하는 행정구역도를 통해 경기도 성남시 관내 지역을 추출하였다. 이후 브이월드에서 제공하고 있는 토지이용계획, 산업단지, 개발진흥지구, 성/절토 현황 및 각종 도시계획시설과 농경지 전자지도(Farm map)의 데이터를 수집·중첩하여 합법적 개발행위 및 각종 토지이용을 배제하였고, 현재의 토지이용 현황을 고려하기 위하여 산림공간정보서비스의 임상도, 환경공간정보서비스의 생태·자연도, 브이월드의 건물통합정보 및 토지소유정보, 용도지구도 등을 수집하여 분석에 활용하였다.

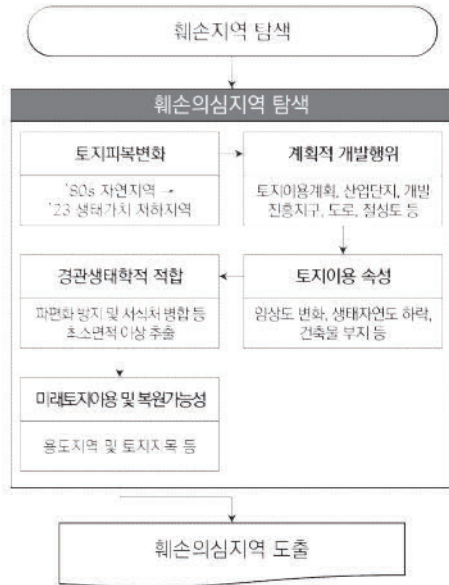
2) 자료 분석

수집된 자료의 분석 흐름은 다음 <그림 1>과 같다. 수집된 환경공간정보를 바탕으로 토지피복의 경년변화를 파악하고, 계획적 개발행위를 배제하고 토지이용 속성 및 현황을 반영하였다. 이후 경관생태학적 측면에서 복원에 적합한 지역을 선별하고 미래의 토지이용 및 복원가능성을 고려하여 자연환경 훼손의심지역을 도출하였다. 경년변화 파악은 생태적 가치가 높은 자연지역에서 생태적 가치가 낮은 기타초지·기타나지로 변화된 지역을 도출하고자 하였다.

자연환경 훼손지역을 탐색하기 위하여 우선 시기별 피복의 차이에 따라 변화여부를 탐지함으로써 생태적 가치가 변화된 지역을 파악하였다(Singh A, 1989; Mas JF, 1999; Jin et al., 2013; 김태연 외, 2015; 김민경·김동엽, 2017; 최철현 외, 2019; 이훈중, 2021; 김인현 외, 2022; 장정은 외 2022.). 훼손의 기준점을 폭넓게 설정하고자 수집할 수 있는 자료 가운데 가장 오래된 2001년 제작 대분류 토지피복지도의 자연지역(산림, 초지, 습지)³⁾ 지역에서 가장 최신의 2023년 제작 세분류 토지피복지도에서 자연생태적 가치가 낮은 것으로 판단되는 기타초지·기타나지⁴⁾로 변화된 지역을 우선적으로 도출하였다.

3) 본 연구에서는 환경부 「토지피복지도 작성 지침」에 따라 1987~1989년에 촬영된 영상자료를 바탕으로 2001년에 배포된 대분류(Level 1.) 토지피복지도를 활용하였으며, 분류항목 가운데 산림(300), 초지(400), 습지(500)를 자연지역으로 설정함.

〈그림 1〉 자료 분석의 흐름



계획적 개발행위에 따른 토지피복의 변화를 배제하기 위하여 각종 주거·산업단지 및 도로 등의 개발사업 및 이로 인해 불가피하게 변화된 지역을 파악하였다. 「택지개발촉진법」에 따른 주택건설용지와 공공시설용지의 개발행위와 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 산업단지, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른 도시·군계획시설 등 합법적 개발의 분포 현황과 중첩된 지역을 제거하였다(황희연·권정주, 2010; 옥현·김진욱, 2013). 특히, 도로 개발에 따라 주변 지역에 기타초지·기타나지 등이 다수 나타남에 따라

- 4) 본 연구에서는 환경부 「토지피복지도 작성 지침」에 따라 2021~2022년에 촬영된 영상자료를 바탕으로 2023년에 배포된 세분류(Level 3) 토지피복지도를 활용하였으며, 분류항목에서 기타초지(423), 기타나지(623)을 훼손지역으로 설정함. 지침에서는 도로의 절토부분 및 공사지역의 사면을 초지로 조성하여 인정된 경우와 인터체인지 안쪽 등이 기타초지에 포함됨에 따라 훼손지역으로 분류하였으나, 도로 및 아파트 등의 완충녹지와 초지로 조성된 스키장 슬로프 등도 함께 포함되어 추가적으로 제척이 필요하여 분석시 제거하였음. 또한 채광지역 및 운동장을 제외한 인공적으로 조성된 절성토면 및 벌채 등에 의해 조성된 나지가 기타나지에 포함되어 훼손지역으로 분류하였으나, 공사로 인한 나지와 비포장 도로·농로·임도 등에 대해서는 추가적인 제척이 필요하여 분석시 제거하였음.

수치지형도의 성/절토 지역과 형태지수(Landscape Shape Index, LSI)를 활용⁵⁾하여 개발에 의해 불가피하게 토지피복이 변화된 지역을 제외하였다(이인성·윤은주, 2008).

토지피복 변화가 탐색된 지역 가운데 계획적 개발행위 외에 발생하는 속성의 변화 및 소규모 개발 등 수집할 수 있는 정보를 취합하여 현재의 토지이용 현황을 반영하였다. 임상도에서는 인위적 변화(합법적 벌채, 산불 및 산사태 등) 지역에 변화 요인을 속성값으로 매년 갱신·제공⁶⁾하고 있으며, 이들 변화지역은 대부분 조림 등을 통해 계획적 복구가 추진되고 있어 훼손지역에서 배제하였다. 또한, 생태·자연도 하락 지역(1등급→2등급으로 변화) 또는 3등급으로 표기된 지역⁷⁾의 경우, 훼손의 원인은 특정할 수 없지만 합법적 사유에 의해 변경된 것으로 이해할 수 있어 훼손지역에서 제외하였다. 이 외에도 건축물대장에 등록되어 건물통합정보에서 제공되는 토지정보⁸⁾ 등을 활용하여 중첩된 지역을 훼손지에서 제외하여 탐색 과정에서 배제하였다.

토지피복 변화는 자연서식처가 파편화된 것을 의미하며 파편화된 패치 구조의 변화, 즉 패치 규모의 감소, 형태의 변화, 패치간의 격리화를 가져오며 이는 생물다양성의 감소를 가져온다(김명수, 2001). 이는 반대로 훼손지를 복원하는 경우 훼손지 규모가 클수록, 형태가 복잡할수록, 인접한 훼손지가

-
- 5) 나현섭 외(2015) 연구에서 훼손지역 패치 형태의 복잡성을 확인할 수 있는 AWMSI가 1.39~2.40으로 나타난 점에 착안하여 본 연구에서는 LSI ≥ 2인 지역을 개발에 의해 불가피하게 변화된 훼손지로 파악하여 제거함.
 - 6) 1:5,000 임상도가 제작되면서 자연생장에 따른 산림변화는 전국을 5개 권역으로 구분하여 연차별로 갱신하며, 인위적 변화는 전국 단위로 매년 갱신사항을 반영하고 있음(김경민, 2015).
 - 7) 환경부 「생태·자연도 작성 지침」에서는 생태·자연도 1등급, 2등급 및 별도관리지역을 제외한 지역을 3등급으로 작성함을 규정하고 있어 등급이 없는 지역과 3등급 지역이 같음을 의미함. 특히 3등급으로 표기된 지역의 경우, 1등급 또는 2등급에서 등급조정(하락)이 이루어졌던 지역으로 확인할 수 있어 합법적 절차에 의한 토지이용 변화가 진행되었던 것으로 판단할 수 있음.
 - 8) 연속지적도형정보를 기반으로 건물 공간정보와 건축행정시스템(세움터)의 건축물대장 속성정보를 건물단위로 통합하여 공간(토지)기반으로 건물통합정보를 구축하는데, 건축행정시스템은 허가건축물에 대한 정보만을 포함하고 있음(노승환, 2019). 따라서 본 연구에서는 건물통합정보가 있는 허가건축물이 위치한 토지(필지)의 피복변화는 합법적 토지이용으로 판단함.

많을수록 적합한 것으로 이해할 수 있으며, 이러한 측면에서 경관생태학 이론과 연결되고 있다(김명수, 2001; 이도원, 2001; 이동근·김은영·오규식, 2005; 송원경·김은영·이동근, 2012). 따라서 본 연구에서는 최소규모 이상⁹⁾의 훼손지를 우선적으로 도출하고, 일정 폭 이하로 서로 인접한 훼손지는 하나의 지역으로 묶음¹⁰⁾으로써 경관생태학 측면에서 복원에 적합한 곳을 선별하였다.

앞서 과정을 통해 토지피복 변화와 계획적 개발행위의 파악을 통해 훼손의심지역을 선별하였고 이를 바탕으로 경관생태학 및 토지이용 속성에 따라 배제하였으며, 추가적으로 미래의 자연환경복원 가능성을 고려하였다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에서는 도시지역 가운데 녹지지역과 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역 등의 용도지역을 선정하여 미래의 토지이용을 고려하였다. 또한, 토지의 주된 용도에 따라 토지의 종류를 구분한 분류체계로(「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제2조제24호), 28개로 분류된 지목 가운데, 전, 답, 임야, 과수원, 잡종지, 유지 등 7개의 지목을 복원 가능성이 높은 지역으로 선정하여 파악하였다.

이러한 토지피복변화 기반의 자연환경 훼손지역 탐색을 위한 환경공간정보 분석에는 QGIS 3.28.15를 이용하였다.

3) 현장검증

경기도 성남시에서 토지피복변화 기반으로 도출된 훼손의심지역을 대상으로 실제 훼손여부를 판단하고자 현장조사를 위해 야장을 마련하였으며(〈표 2〉.) 2024년 2월~3월에 현장조사를 실시하여 훼손지 분석 결과를 검증하고자 하였다.

9) 자연환경 훼손지역을 발굴하는데 있어 분석을 위한 최소 기준면적 이상의 기준이 필요하며, 본 연구에서는 환경부 「생태·자연도 작성지침」에 근거하여 2,500㎡를 설정함.

10) 국토교통부 「개발행위허가운영지침」에서는 최소 6m(실제 일반적 자연환경복원 조성 면적 10,000㎡ 내외 기준) 폭 이상의 진입구간 확보를 규정하고 있으므로, 도출된 훼손지 간의 이격거리가 6m 이내인 지역은 병합하여 하나의 훼손지로 파악함.

〈표 2〉 현장조사 야장

현장조사	조사내용
조사기간	2024.02.~ 03.
조사대상	경기도 성남시 자연환경 훼손의심지역
조사내용	토지의 식생피복
	현재의 토지이용 및 관리
	추정 훼손원인
	생태계 훼손유형
	훼손지의 식생층위/임상
	훼손지 여부 판정

Ⅲ. 연구 결과 및 고찰

1. 토지피복변화 기반 훼손의심지역 도출

경기도 성남시에서 자연환경복원이 가능할 것으로 판단되는 2,500㎡ 이상의 자연환경 훼손의심지역은 총 43개소가 도출되었다(〈그림 2〉 참조). 단계별로 도출과정을 살펴보면, 과거 자연지역(산림, 초지, 습지)이었으나 현재 기타초지·기타나지로 토지피복이 변화된 지역은 11,883개소가 파악되었다. 다음으로 계획적 개발행위가 이루어진 지역을 제외하여 2,595개소로 확인되었으며, 합법적 토지이용을 고려하여 3,713개소로 나타났다. 이후 경관 생태학적 기준에 의하여 126개소로 도출되었으며, 미래의 자연환경복원 가능성을 고려하여 최종적으로 43개소, 238,412.6㎡의 자연환경 훼손의심지역이 선정되었다(〈표 3〉 참고).

〈그림 2〉 훼손의심지역의 분포



〈표 3〉 단계별 추출 개소의 변화

구분	개소수	면적 (㎡)
토지피복 경년변화	11,883	28,816,553.58
계획적·합법적 개발행위 배제	2,595	3,733,434.54
토지이용 속성 및 현황 반영	3,713	3,417,572.16
경관생태학적 선별	126	870,754.12
미래의 토지이용 및 복원 가능성	43	238,412.62

훼손의심지역을 지역별로 살펴보면, 경기도 성남시 분당구에 25개소, 81,460.0㎡, 수정구에 12개소, 110,594.0㎡, 중원구에 6개소, 46,328.7㎡으로 분석되었다. 훼손의심지역의 개소는 분당구, 수정구, 중원구 순으로 나타났으나, 지역별 평균면적은 수정구가 가장 크며 다음으로 중원구, 분당구 순서인 것으로 파악되었다. 환경부 자연생태 관련 보호지역과 훼손의심지역과 중첩은 없었으며, 국토부 개발제한구역과는 26개소에서 나타났다. 면적별로는 5,000㎡ 이하의 소규모 지역이 27개소가 도출되었고 5,000~10,000㎡

는 10개소, 10,000㎡ 이상 지역은 6개소인 것으로 나타났으며, 평균적으로 훼손의심지역 1개소당 약 5,500㎡의 면적으로 파악되었다.

〈표 4〉 훼손의심지역의 지역별 분포

지역별 분포	전체	분당구	수정구	중원구
훼손지 개소수	43개소	25개소	12개소	6개소
훼손지 면적 (훼손지별 평균 면적)	238,412.62㎡ (5,544.48㎡)	81,489.98㎡ (3,259.60㎡)	110,593.97㎡ (9,216.16㎡)	46,328.67㎡ (7,721.44㎡)

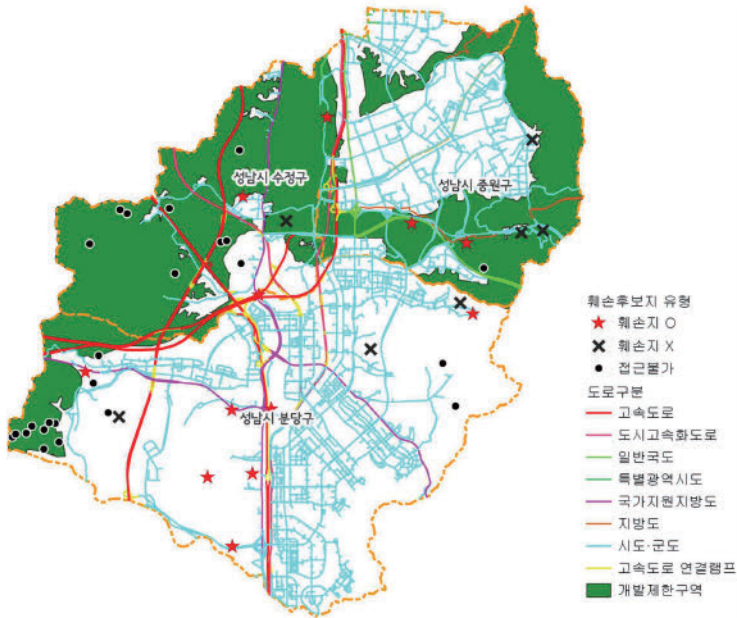
〈표 5〉 훼손의심지역의 면적별 분포

면적별 분포	전체	2,500~5,000㎡	5,000~10,000㎡	10,000㎡ 이상
훼손지 개소수	43개소	27개소	10개소	6개소
훼손지 면적 (훼손지별 평균 면적)	238,412.62㎡ (5,544.48㎡)	90,856.02㎡ (3,365.04㎡)	73,666.78㎡ (7,366.68㎡)	73,889.82㎡ (12,314.97㎡)

2. 훼손의심지역 현장검증

도출된 자연환경 훼손의심지역이 실제 훼손지역인지 확인하고자 현장조사를 실시하였다. 현장조사 결과, 총 43개소의 훼손의심지역 가운데 실제 훼손된 것으로 판단되는 지역이 12개소로 파악된다. 또한 개발이 진행되고 있거나 토지피복의 오인 및 오분류 등으로 인해 훼손되지 아니한 것으로 판단되는 지역이 7개소, 군사시설 및 출입통제 등 접근에 어려움이 있어 훼손여부를 확인하지 못한 지역이 24개소로 조사되었다(〈그림 3〉 참조).

〈그림 3〉 현장검증을 통한 훼손여부 판단 및 훼손지역의 분포



경기도 성남시에서 실제 자연환경 훼손지역으로 판단된 12개 지역의 현재 토지이용을 살펴보면 나지가 11개소(91.7%), 산림이 1개소(8.3%)로 파악되었으며, 훼손원인별로는 농업활동 5개소(41.7%), 개발행위 4개소(33.3%), 토지이용 3개소(25.0%)로 조사되었다. 훼손된 생태계의 유형으로는 식생이 존재하지만 생태적으로 빈약한 지역이 6개소(50.0%), 인간활동에 의해 식생이 없는 나지로 변화된 지역이 5개소(41.7%), 식생은 양호하지만 방치된 시설이 곳곳에 분포한 지역이 1개소(8.3%)로 분류할 수 있었다. 또한, 유휴부지로 방치됨에 따라 관리가 미흡한 지역이 6개소(50.0%), 부분적으로 관리(주말농장, 주차장 등)가 이루어지고 있는 지역이 3개소(25.0%), 다른 용도로 이용되고 있는 지역이 3개소(25.0%)로 파악되었다.

3. 자연환경 훼손지역의 고찰

현장조사를 통해 확인된 경기도 성남시의 자연환경 훼손지역 12개소는 대

부분 인위적 인간활동에 기인하는 것을 확인하였다(표 6). 지속적인 개발지역(시가화 및 도로 등)의 확대에 따라 개발지역 경계부와의 연결 또는 인접지역에서 주로 발생하는 것으로 판단되었다. 또한 개발지역과 연결, 인접함에 따라 토지이용 가치가 상승하였음에도 불구하고 다양한 이유로 추가적인 개발이 어려움에 따라 관리가 미흡하고 방치된 지역에서 자연환경훼손이 나타나고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 훼손지역 12개소의 평균면적은 4,304.08㎡로 대부분이 5,000㎡ 이하의 소규모 지역으로, 앞서 파악하였던 43개 전체 훼손의심지역 평균 면적과 비교하였을 때 약 20% 감소한 것으로 파악되었다.









〈표 6〉 훼손지역별 현황의 종합

구분	면적 (㎡)	현재 토지이용	식생유무	추정 훼손원인	비고
SN-1	2,606.68	도로변 유휴지(방치)	식생 훼손	개발행위	간선도로 연결
SN-2	4,709.93	방치 / 일부 수목식재	식생 훼손	농업활동	-
SN-3	3,002.05	방치 / 미관리	식생 훼손	농업활동	농업시설 방치
SN-14	2,503.47	방치 / 미관리	식생 훼손	농업활동	간선도로 연결
SN-16	6,742.34	녹지 부산물 적치장	나지	토지이용	농업시설 방치
SN-19	6,184.97	일부 주말농장 / 유휴지	나지	농업활동	간선도로 연결
SN-23	3,683.32	주차장 / 내대지	나지	개발행위	공원묘지 내
SN-25	3,020.39	주거용	나지	개발행위	간선도로 연결
SN-29	7,070.76	시멘트 하차장	나지	토지이용	개발제한구역
SN-35	6,114.70	대학교 수목원(실험림)	산림	토지이용	개발제한구역
SN-40	2,911.43	아파트 연결 공지(방치)	식생 훼손	개발행위	개발제한구역
SN-43	3,098.92	일부 주말농장	식생 훼손	농업활동	개발제한구역

SN-1, SN-14, SN-19 및 SN-25 지역은 간선도로와 연결함에 따라 도로의 구조 및 시설 등에 의해 개발여지가 오히려 저하됨에 따라 관리가 미흡해지면서 자연환경 훼손지역으로 도출된 것으로 판단되었다. SN-1과 SN-25는 도로 구성에 따른 성토부 일부가 포함되었으며, 지형적으로 둘러싸여 토지이용에 한계가 있어 관리가 이루어지지 않아 훼손지로 방치되고 있는 지역이다. 또한, SN-14와 SN-19는 간선도로에 인접하고 있으나, 오히려 원활한 진

입에 제약이 있어 일부 주말농장으로 이용되고 있지만 거의 관리가 이루어지지 않는 것으로 판단된다.

〈표 7〉 간선도로와의 연접에 따라 발생한 훼손지역

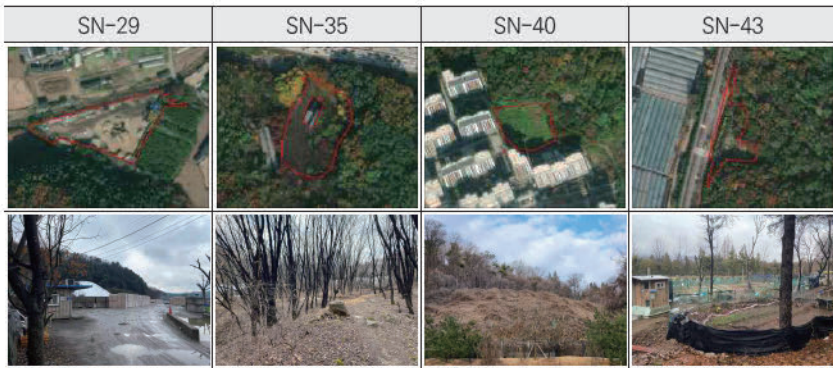
SN-1	SN-14	SN-19	SN-25
			
			

SN-29, SN-35, SN-40, SN-43은 개발제한구역 내에 위치하여 법제적으로 토지이용에 제약이 있는 지역으로, 대부분 교목이 부족한 방치된 나지로서 주말농장 또는 묘목장 등으로 시설물이 없는 제한적 토지이용이 이루어지고 있다. SN-2911)는 과거에는 산림이었으나, 나지로 변화되면서 현재는 시멘트 하차장으로 이용되고 있는 지역이다. 대학교 수목원으로 이용되고 있는 SN-3512)는 지목상 '전'이 일부 있는 것으로 미루어 과거 농지였으나 지속적인 수목식재에 따라 농지→나지→산림으로 토지이용이 변화되고 있는 지역으로 판단되며, 현재 식생은 전체적으로 풍부하지만 임령이 낮은 단일수종으로 구성되었고 곳곳에 관리가 미흡한 시설(비닐하우스 등)이 위치하고 있어 훼손지역으로 분류하였다. SN-40은 공동주택 옹벽 경계부에 위치한 나지로 주변 생태통로와 연결된 것으로 판단하였을 때 과거에는 식생이 우수하였으나 공동주택 조성 과정에서 훼손된 것으로 판단된다. 소규모 체육시설 및 주말농장으로 이용되고 있는 SN-43은 지목상 '답'인 것으로 미루어 과거 농지로 이용되었던 지역으로 부분적 작물재배 및 체육시설에 있었던 약수터가

11) SN-29과 SN-35는 개발제한구역 내에 위치하고 있지만, 법제적으로 허용되는 내에서 토지이용이 현재 이루어지고 있는 지역으로 판단됨.

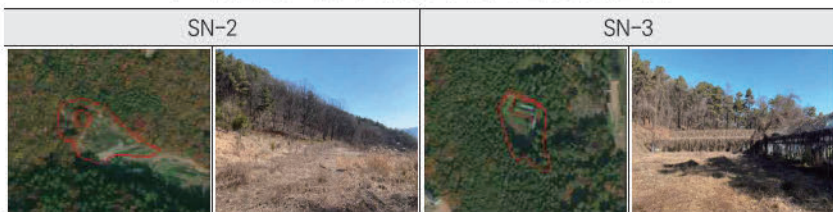
수질검사에서 부적합 판정을 받으면서 폐쇄됨에 따라 현재까지 방치되고 있어 훼손지역으로 분류하였다.

〈표 8〉 개발제한구역에서의 제한적 토지이용에 따라 발생한 훼손지역











SN-2, SN-3 지역은 주변에 양호한 산림이 위치하고 있으나, 도로를 통한 접근에 제한이 있어 과거에는 농업지역으로 활용되었다가 현재는 방치된 지역이다. SN-2는 산림 깊숙이 위치한 농지로 도로와 다소 이격되어 현재 일부 지역의 묘목 식재를 제외하고는 관리상태가 전반적으로 미흡하여 훼손 및 방치된 것으로 판단되는 지역이다. SN-3은 산림내 급경사지에 위치한 시설농지였으나 현재는 관리되지 아니한 상태로 방치되고 있어 훼손지로 파악되었다. 두 지역 모두 과거에는 농업 목적으로 이용되었던 것으로 판단되지만 도로를 통한 접근에 한계가 있어 관리에 어려움으로 인해 방치되어 훼손지로 분류된 것으로 사료된다.

〈표 9〉 접근성 제한에 따라 방치되면서 발생한 훼손지역



SN-16, SN-23, SN-29, SN-35 지역은 훼손의심지역으로 도출되었으나 현재 특정 목적으로 토지이용이 이루어지고 있어 훼손지역으로 분류하기에 부적합하지만, 자연환경복원이 필요한 것으로 판단되는 지역이다. 녹지 부산물 처리장으로 활용되고 있는 SN-16은 도심 내에 위치한 완경사의 대규모 나대지이며, SN-23은 공원묘지의 주차공간으로 이용되고 있는 나대지로 도시내 자연환경 회복 및 생물다양성 증진을 위한 자연환경복원에 적합한 입지적 특성을 지니고 있다. 또한, SN-29, SN-35는 개발제한구역 내에 위치하고 있으나 법제적으로 허용되지 아니한 시설물, 적치물 등이 없어 합법적 토지이용이 이루어지고 있으나, 자연환경의 회복을 위한 복원에는 적합한 지역으로 판단된다.

〈표 10〉 현재 토지이용은 이루어지고 있으나 복원에 적합한 것으로 판단된 훼손지역

SN-16	SN-23	SN-29	SN-35
			
			

IV. 결론

기후위기 대응 및 생물다양성 증진을 위하여 자연환경복원에 대하여 전세계적 관심과 중요성이 확대되면서 자연환경복원은 지속적으로 발전할 것으로 전망되고 있다. 하지만, 길수현(2023)이 지적한 바와 같이 자연환경복원에 대하여 소극적, 수동적으로 반응하거나 복원의 효과가 부동산 가치에 영향을 주는가에 주목하고, 개발사업에 상응하는 하나의 ‘사업’으로 예산을 확

보하고 사업을 추진하는데 관심을 갖는 등 복원에 대한 미흡한 인식이 아직도 폭넓게 존재하고 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 1990년대 이후 급격한 도시화에 따라 토지피복변화와 토지 이용수요가 풍부하였을 것으로 예상되는 경기도 성남시를 대상으로 토지 피복변화 기반으로 자연환경 훼손의심지역을 파악하고, 현장조사를 통해 실제 훼손여부를 판단함으로써 지방자치단체 차원에서 자연환경 훼손지역을 탐색하는 방법론을 제시하고자 하였다.

토지피복의 변화를 바탕으로 생태적 가치가 하락한 지역을 1차적으로 도출하고, 이후 계획적 개발행위 및 합법적 토지이용이 이루어진 지역을 제외하고, 마지막으로 경관생태학 및 미래 토지이용의 가능성 측면에서 자연환경복원에 적합한 지역을 선정하였다. 이와 같은 과정을 통해 경기도 성남시에서는 총 43개소, 238,412.6㎡의 자연환경 훼손의심지역을 도출하였다.

토지피복변화를 바탕으로 43개소의 훼손의심지역이 도출되었으나, 현장조사를 통해 완충녹지와 개발제한지역 등 합법적 행위에 의해 불가피하게 토지가 변형되었거나 묘지 및 묘목장, 묘지 등 피복분류 오인 등 훼손이 안 된 것으로 판단되는 지역(7개소)과 개발제한구역 내 사유지(주로 농업시설) 또는 군사·공공시설에 대한 출입금지 등으로 인한 접근불가 지역(24개소)을 제외하여 총 12개소의 실제 자연환경 훼손지역을 파악할 수 있었다. 현장조사를 바탕으로 경기도 성남시 훼손지역을 훼손원인과 관련하여 크게 4가지 유형으로 분류할 수 있었다. 1) 간선도로와 연결함으로써 도로의 구조 및 시설 등에 의해 개발여지가 저하됨에 따라 관리가 미흡해지면서 훼손지역으로 변화된 지역, 2) 개발제한구역 내에 위치하여 법제적으로 토지이용에 따른 제약으로 방치 또는 일부 이용되고 있는 나지, 3) 도로를 통한 접근에 제한이 있어 과거에는 농업지역으로 활용되었다가 관리가 미흡해짐에 따라 현재는 방치된 지역, 4) 현재 나지 상태로 합법적으로 토지이용이 이루어지고 있어 훼손으로 분류되기에 다소 미흡하지만 자연환경복원이 필요한 훼손지역으로 분류할 수 있었다.

지역 차원에서 자연환경복원이 필요한 훼손지역의 탐색 및 사전적 발굴은

체계적, 계획적으로 해당 지역의 자연환경을 보전·복원하는데 기여할 수 있으며, 자연환경복원 관련사업의 공모, 선정 및 추진의 합리성과 전문성을 높이는 수단으로 활용될 수 있다(길수현, 2023). 본 연구에서 수행한 방법론을 활용하여 지방자치단체와의 소통 및 협력을 통해 자연환경 훼손지역을 발굴하고, 이를 바탕으로 지역의 자연환경복원 후보목록의 선정 및 복원사업의 부지선정과 계획 및 설계, 시행이 체계적으로 이루어진다면 지역의 생태적 회복을 통한 생물다양성 증진은 물론 기후위기 대응과 지속가능성 향상을 도모하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행한 방법론을 통한 훼손지의 탐색은 지역의 자연생태적 가치와 그 변화를 고려하지 못하므로 자연환경복원의 우선순위를 판단하기 위해서는 훼손지의 자연생태계의 질적 상태와 가치에 대한 추가적인 조사는 반드시 필요하다. 또한, 자연생태계의 질적 변화를 파악할 수 있는 방법론에 대한 연구도 필요할 것이다.

토지피복분류를 바탕으로 자연환경 훼손지역을 도출한 본 연구는 환경부 토지피복지도의 높은 정확도를 전제로 수행되었으나, 현장검증을 통해 일부 지역에 있어 시간 간극에 따른 차이와 피복분류의 오인 및 오분류가 확인되어 훼손지역 분류의 정확도가 낮아지는 한계가 나타났다. 또한, 연구대상지로 살펴본 경기도 성남시의 경우 군사시설 및 국가중요시설이 다수 위치하며, 개발제한구역으로 지정된 지역의 특성상 사유지의 경우 폐쇄적으로 이용되어 접근이 어려운 지역이 다수 있는 것으로 확인되었다. 따라서, 토지피복 변화를 장기적이고 지속적으로 모니터링하고 이를 관리하기 위하여 고해상도 공간데이터를 기반으로 토지피복 변화의 자동탐지를 위한 원격탐사와 인공지능 기법을 접목하는 후속 연구가 필요하다. 또한, 인구 감소와 노후화에 따른 방치 또는 불용지와 리모델링 필요 지역 등은 지속적으로 증가할 것으로 전망되는데, 본 연구에서 제안한 방법을 통해서 이들 지역을 탐색하는데 한계가 있을 것이므로 이를 보완할 수 있는 추가적인 방법론 마련이 요구된다.

■ 참고문헌 ■

- 간조릭 외, 2014, “몽골 울란바토르 북드한산 자연보호지역의 산림훼손지 경년변화 분석.”, 『CNU Korean Journal of Agricultural Science』, 41(3), pp.205-211.
- 관계부처 합동, 2023, 『제5차 국가생물다양성전략(2024-2028년)』, 세종: 환경부.
- 길수현, 2023, “자연환경보전법의 개정으로 도입된 자연환경복원사업과 대상지역 후보 목록 작성규정에 대한 헌법적 고찰.” 『법학연구』, 72, pp.163-192.
- 김경민, 2015, “국내외 임상도 현황분석 및 발전방안”, 『KFRI 산림정책이슈』, 제54호, pp.1-22.
- 김명수, 2001, “파편화된 서식처 복원을 위한 기초이론 고찰”, 『한국환경복원기술학회지』, 4(2), pp.52-61.
- 김민경·김동엽, 2017, “토지피복지도를 활용한 철도개발지의 민감도 분석.”, 『한국철도학회』, 20(1), pp.76-84.
- 김인현 외, 2022, “토지피복도 기반 광역 생태면적률 산정 모듈 개발 연구.”, 『대한공간정보학회』, 30(4), pp.57-65.
- 김준·송용호·이우균, 2021, “U-Net 기반 딥러닝 모델을 이용한 다중시기 계절학적 토지 피복 분류 정확도 분석 - 서울지역을 중심으로 -.”, 『대한원격탐사학회』, 37(3), pp.409-418.
- 김준현·김재형, 2011, “토지적성평가의 적법훼손지 개선을 위한 모자이크 처리기법의 정확성 평가.” 『한국지적정보학회지』, 13(1), pp.117-128.
- 김태연 외, 2015, “InVEST 모델을 이용한 서식처 가치 평가 - 제주도를 중심으로 -.”, 『한국환경복원기술학회』, 18(5), pp.1-11.
- 나현섭 외, 2015, “영상판독에 의한 산림훼손지의 공간적 특성분석 -화천군과 철원군 DMZ일원을 대상으로-.”, 『한국사진지리학회지』, 25(3), pp.63-73.
- 노승환, 2019, 『공공정보시스템을 활용한 무허가건축물 탐색방안 연구: 국가주소정보 시스템과 건축행정시스템 연계방안으로』, 한국교원대학교 석사학위논문, 청주: 한국교원대학교
- 문호경·이선미·차재규, 2017, 『UAV와 객체기반 영상분석 기법을 활용한 토지피복 분류 - 충청남도 서천군 마서면 일원을 대상으로 -』, 『한국지리정보학회지』, 20(1), pp.1-14.
- 박진우·이정수, 2013, “고해상도 영상을 활용한 산림훼손지의 공간적 특성분석: 강원도 고성군의 DMZ일원을 대상으로.”, 『한국산림휴양학회 학술발표회 자료집』, pp.923-924.
- 서정영, 2020, “토지피복지도 변화지역 추출을 통한 훼손 유형분류에 관한 연구.”, 『한국환경과학회』, 29(5), pp.551-558.
- 서종철, 2002, “원격탐사와 GIS 기법을 이용한 신두리 해안사구지대의 지형변화 분석”,

- 『한국지역지리학회지』, 8(1), pp.98-109.
- 성남시, 2020, 『2035년 성남도시기본계획』, 성남: 성남시
- 성선용·이동근·모용원, 2015, “연결성 분석을 활용한 산림의 주변부와 내부의 탄소저장량 비교.”, 『한국농촌계획학회』, 21(4), pp.27-33.
- 송원경, 2006, “경년변화 분석을 통한 산림훼손 경향 분석 및 복원우선지역 선정에 관한 기초연구 : 백두대간 지역을 중심으로”, 서울대학교 석사학위논문
- 송원경·김은영·이동근, 2012, “이질적 경관에서의 연결성 측정: 리뷰 및 적용.”, 『한국환경영향평가학회』, 21(3), pp.391-407.
- 송인주·윤초롱, 2021, 『서울시 산림 훼손지 현황분석과 복원·관리방안』, 서울: 서울연구원
- 안천호, 2009, 『시스템다이내믹스를 활용한 토지이용 변화가 도시동태성에 미치는 영향에 관한 연구』, 경원대학교 박사학위논문, 성남: 경원대학교
- 오이균, 2018, “공간정보를 활용한 산림 변화 시공간분석: 형성과 원주를 사례로.”, 『지적과 국토정보』, 48(2), pp.21-30.
- 옥현·김진욱, 2013, “공공건설사업에서의 국가기반시설 건설정보 서비스 방안에 관한 연구.”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 13(12), pp.1026-1035.
- 윤소라, 2018, “해양환경보전을 위한 기본법의 검토와 향후 과제 - 해양환경법제 및 국가환경법체계와의 관계를 중심으로 -”, 『법제논단』, 2018년 3월호, pp.118-149.
- 이도원, 2001, 『경관생태학』, 서울: 서울대학교출판문화원
- 이동근 외, 2007, “백두대간지역의 산림훼손경향 분석.”, 『한국환경복원기술학회지』, 10(4), pp.41-53.
- 이동근·김은영·오규식, 2005, “패치크기, 연결성, 가장자리를 고려한 보전가치평가.”, 『한국환경복원기술학회지』, 8(5), pp.56-67.
- 이미숙·신동빈·김창훈, 2022, “시스템 다이내믹스 기법을 활용한 성남시 토지이용수요 예측에 관한 연구.”, 『한국측량학회지』, 40(4), pp.261-273.
- 이성혁·이명진, 2020, “위성영상을 활용한 토지피복 분류 항목별 딥러닝 최적화 연구.”, 『대한원격탐사학회지』, 36(6_2), pp.1591-1604.
- 이성혁·이명진, 2021, “항공 및 위성영상을 활용한 토지피복 관련 인공지능 학습 데이터 구축 및 알고리즘 적용 연구.”, 『대한원격탐사학회』, 37(5), pp.871-884.
- 이아영 외, 2020, “고해상도 위성영상 및 기후·지형 데이터를 이용한 DMZ 불모지의 유형화.” 『한국환경복원기술학회』, 23(1), pp.1-14.
- 이인성·윤은주, 2008, “도시녹지 평가를 위한 경관지수의 스케일 민감성 분석.”, 『한국조경학회지』, 36(2), pp.69-79.
- 이훈중, 2021, “우리나라 생태계서비스 가치의 시공간 변화 및 특성 - 1980년대 말부터 2000년대 말 사이의 토지변화를 중심으로 -.”, 『대한지리학회지』, 56(6), pp.675-704.

- 장정은 외, 2022, “QGIS를 이용한 InVEST 모델 서식지질 분석 및 평가 - 21개 국립공원을 대상으로 -”, 『한국환경생태학회지』, 36(1), pp.102-111.
- 전성우 외, 2021, 『훼손 유형별 생태복원사업 모델 개발 및 평가 체계 구축 사후관리 기술개발』, 서울: 고려대학교
- 조나혜·이정주·김현덕, 2023, “고해상도 위성영상과 인공지능을 활용한 국토 변화탐지 및 모니터링 연구: 실증대상 지역인 정읍시를 중심으로.”, 『지적과 국토정보』, 53(1), pp.101-121.
- 조동길, 2017, “생태복원 계획 설계론 1: 생태복원 이론과 법·제도”, 의왕: 넥서스환경디자인연구원
- 천정운·장남정·배진아, 2022, 『전라북도 자연환경 훼손지역 녹색복원 추진방안 연구』, 전주: 전북연구원.
- 최재용 외, 2018, “항공영상을 활용한 도로개발 전·후 산림 훼손지 개체목 분석.” 『한국환경복원기술학회지』, 21(4), pp.65-73.
- 최철현 외, 2019, “생태자연도 등급 하락에 영향을 미치는 인위적 토지피복 변화 분석.” 『한국환경복원기술학회지』, 22(6), pp.77-87.
- 함보영 외, 2013. “항공사진을 이용한 훼손 산지 탐지 연구.” 『대한공간정보학회지』, 21(3), pp.11-17.
- 환경부, 2023, 『국토환경 녹색복원 후보목록 선정방안 연구(I)』, 세종: 환경부
- 황희연·권정주, 2010, “택지개발사업지구 지정에 따른 주변지역 개발행위허가 공간분포 실태분석: 청주시를 대상으로.” 『한국도시지리학회지』, 13(3), pp.39-49.
- Díaz, Sandra et al. 2018. “Assessing Nature’s Contributions to People.”, *Science*, 359(6373), pp.270-272.
- Chapman, Melissa et al. 2024. “Meeting European Conservation and Restoration Targets under Future Land-Use Demands.”, *in review at Nature Sustainability*.
- European Commission, 2020, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives*, Brussels.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, “Climate Change and Land”, *Cambridge University Press*
- Jin S et. al., 2013, “A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011”, *Remote Sensing of Environment*, 132, pp.159-175.
- Lima, A.T. et al., 2016, “The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation”. *Environ. Sci. Policy* 66, 227-233.
- Mas JF, 1999, “Monitoring land-cover changes comparison of change detection

- techniques”, *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), pp.139-152.
- Singh A, 1989, “Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data.”, *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), pp.989-1003.
- Society for Ecological Restoration International, 2004, “The SER International Primer on Ecological Restoration”
- Wei, X. et al., 2022, “Progress of Ecological Restoration Research Based on Bibliometric Analysis” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(1): 520.
- 국가법령정보센터, 개발행위허가운영지침 [국토교통부훈령 제1375호]
- 국가법령정보센터, 생태·자연도 작성지침 [환경부예규 제727호]
- 국가법령정보센터, 자연환경보전법
- 국가법령정보센터, 토지피복지도 작성 지침 [환경부훈령 제1577호]
- 국가법령정보센터, 환경영향평가법
- 국가법령정보센터, 환경정책기본법.

이길상: 서울대학교에서 협동과정 조경학 박사과정을 수료하였으며, 현재 한국환경연구원 환경계획연구실에서 연구원으로 재직 중이다. 자연환경복원, 환경계획 및 공간환경 계획, 토지이용 기반의 온실가스 감축 등의 연구를 수행하고 있다(kslee@kei.re.kr).

손승우: 서울대학교에서 공학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경연구원 환경계획연구실에서 부연구위원으로 재직 중이다. 환경계획 수립, 녹색복원, AI를 이용한 생태계 모니터링 기술 개발, 정보시스템 개발 및 관리 등 ICT 기반의 연구를 수행하고 있다(swson@kei.re.kr).

투 고 일: 2024년 03월 14일
심 사 일: 2024년 06월 04일
게재확정일: 2024년 06월 08일