

대규모 택지 개발이 토지피복 변화에 미치는 영향 분석 – Land Change Modeler를 활용한 별내신도시와 다산신도시 사례 연구 –

최근호* · 김오석**

Analyzing Impacts of Residential Area Development on Land-cover Change using Land Change Modeler – Case Studies of Byeollae New Town and Dasan New Town –

Geunho Choi* · Oh Seok Kim**

요약: 본 연구는 경기도 남양주시의 별내신도시와 다산신도시를 중심으로 대규모 택지 개발이 지역의 토지피복 변화에 미치는 영향을 분석했다. 토지피복은 인간에게 미치는 또는 인간이 야기하는 환경영향을 연구하는데 있어 기초가 되는 공간지표로서 이에 근거하여 농지 감소, 탄소 배출, 에너지 사용 등을 가늠할 수 있다. 본 연구에서는 환경부 토지피복지도와 미국 클락대학교 지리공간분석센터에서 개발한 TerrSet2020의 Land Change Modeler를 활용하여 2010년부터 2023년까지의 토지피복 변화를 양적으로 분석하고, 신도시 개발 과정에서 발생한 주요 토지 이용 유형의 전환 양상을 파악했다. 변화감지 및 공간경향 분석 결과, 두 신도시 지역에서는 나지에서 시가화 지역으로의 전환이 두드러지게 나타났으며, 특히 다산신도시의 경우 농업 지역에서 나지로, 나지에서 시가화 지역으로의 순차적인 변화 과정이 두드러졌다. 본 연구 결과는 대규모 개발사업이 도시화 및 환경에 미치는 종합적인 영향을 이해하는 데 이바지하는 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

주요어: 토지피복지도, 도시화, 변화감지분석, 공간경향분석, Land Change Modeler.

Abstract: This study analyzes the impact of large-scale residential area development on land-cover changes, focusing on Byeollae and Dasan New Towns in Namyangju, Gyeonggi Province. Land cover serves as a spatial indicator foundational to studying environmental impacts on human or those caused by humans, allowing assessments of green space reduction, carbon emissions, and energy usage. Utilizing land-cover maps provided by the Ministry of Environment and the Land Change Modeler of TerrSet2020, developed by the Clark Center for Geospatial Analytics at Clark University, the study quantitatively analyzes land-cover changes from 2010 to 2023 and identifies key patterns in land-use transformation during the residential area development process. The results of change detection analysis and spatial trend analysis reveal a marked transition from barren to urban areas in both new towns, with Dasan New Town particularly showing a sequential transformation from agricultural areas to barren and then to urban areas. These findings are expected to serve as fundamental data for understanding the comprehensive effects of large-scale development projects on urbanization and the environment.

Key Words: Land-Cover Map, Urbanization, Change Detection Analysis, Trend Surface Analysis, Land Change Modeler.

* 고려대학교 사범대학 영어·지리교육 이중전공 학부생(Student, Department of Geography Education, College of Education, Korea University, choiroot715@korea.ac.kr)

** 고려대학교 지리학과, 지리교육과, 미래국토연구소 부교수(Associate professor, Department of Geography, Graduate School of Korea University, Department of Geography Education, College of Education, and Institute of Future Land, Korea University, oskim@korea.ac.kr)

1. 서론

대한민국은 1960년대 이후 국가 주도 경제개발계획의 영향으로, 수도권으로 인구가 집중되는 이촌향도 현상을 경험했다. 특히 1970~80년대 서울로의 인구 이동은 인구 불균형의 출발점이었으며, 이는 국토 면적의 11.8%에 불과한 수도권의 인구가 전체 인구의 50%를 초과하는 현재의 결과로 이어졌다(구양미, 2021). 이와 같은 서울의 도심 과밀화를 해소하기 위해 국가 주도 정책이 다시 한번 시행되었으며 주택 총량 확대에 초점을 둔 서울 주변의 택지 개발 사업이 대표적인 사례이다(박샘·최광용, 2016; 이희연·이승민, 2008). 1기 신도시와 2기 신도시로 대표되는 대규모의 택지 개발 사업 이후 전국적으로 크고 작은 개발 사업이 현재까지 이어지고 있다. 주로 비도시 지역을 대상으로 진행되는 신도시 개발은 도시의 총체적인 발전을 선도하며 전반적인 도시 환경에 영향을 미친다(권영상, 2011; 손승호, 2018).

도시화는 대표적인 토지 이용의 한 형태로써, 인간의 거주와 경제활동을 위한 토지 전환을 포함한다. 이처럼 인간의 사용 목적에 따라 토지를 개발하는 과정은 기존의 토지피복에 구조적인 변화를 초래한다(Lambin *et al.*, 2001). 또한 도시화는 단순한 물리적 변화를 일으키는 것에 그치지 않으며, 경제적 구조, 인구 조건 등과 상호 작용하며 토지 이용에서의 행위자의 특성으로 기능한다(Turner *et al.*, 2020). 즉, 도시화는 사회적·경제적 요인들과 함께 토지피복 양상의 변화를 만들어 낸다. 이러한 변화는 시간이 지나며 토지피복뿐 아니라 인간과 환경에 누적된 영향을 미치는데, 축적된 과거의 변화 역시 다시금 인간에게 영향을 끼친다. 대한민국 역시 도시화 과정을 겪으며 일반적인 토지 이용 및 토지피복 변화가 관측됐다. 부산광역시에서는 1985년부터 2000년 까지 농업 및 산림 지역이 주거 및 상업 지역으로 전환되었으며(박호명·백태경, 2009), 대전광역시에서는 1990년대 이후 인구 증가와 도시 확장으로 농업 지역이 산업, 주거 지역으로 변모했다(강신호 등, 2000). 또한 수도권 지역인 용인과 안성에서는 고속도로와 주요 도로를 따라 도시화가 가속화되어 논, 초지, 산림 지역이 대규모로 개발되었다(Gao and Kim, 2011).

토지 이용 및 토지피복의 전환을 거치며 도시화는 필연적으로 환경에 큰 영향을 미치는데, 이 영향은 국지적이고 지역적인 단계를 넘어 더 넓은 범위로 확장된다. 토지 이용의 변화는 지역의 생물 다양성과 환경을 변화

시키고, 고밀도의 토지 이용으로 인한 도시 열섬은 대기 및 수질 오염과 유사한 환경 문제를 유발한다(Bai *et al.*, 2017). 분당과 판교신도시의 경우, 신도시 개발로 녹지가 건물과 도로로 전환되며 평균 온도가 2°C 이상 상승하는 열섬 효과가 관측되었다(송영배, 2002). 세종특별자치시에서는 도심 지역의 식생 감소와 토지 이용 변화로 인해 도시 열섬이 강화되었으며, 도시화 지수와 지표면 온도 간 양의 상관관계가 확인되었다(김미경 등, 2014).

마지막으로 도시화는 기존의 농업 지역에도 상당한 영향을 끼친다. 기존의 농경지가 직접적으로 도시와 관련된 형태로 전환되는 것이 일반적이지만, 최근의 도시화는 교외화와 결합하여 기존의 농경지를 여가, 주말농장 등 비생산적인 농업 형태로 간접적으로 변화시킨다(Beckers *et al.*, 2020). 전체 인구의 절반 이상이 농촌에 거주하고 있는 중국은, 급격한 도시화와 산업화로 농촌 지역의 토지 이용 및 토지피복 양상이 변화했다. 2001년과 2018년의 위성 영상을 통해 중국의 난징시 일대를 조사한 결과, 도시화 면적의 94%가 기존 농경지를 대체하는 방식으로 개발된 것으로 확인되었으며(Hou *et al.*, 2021), 이는 남한 면적의 1/4에 달하는 규모이다. 이러한 농업 지역의 전환은 기후에 영향을 미치며, 도시화와 농업 지역의 토지 이용 변화를 함께 고려한 연구는 도시화만 고려할 때와 비교하여 평균 지표면 온도가 두 배 이상 상승하는 결과를 밝혔다(Kalnay and Cai, 2003).

인간이 땅을 어떠한 방식으로 이용하는지(land use)에 따라 토지피복(land cover)이 변화하고, 이러한 변화는 기존의 자연 시스템에 영향을 끼친다(김오석·윤정호, 2015). 따라서 토지 이용과 토지피복의 변화를 이해하는 것은 인간과 자연의 관계를 이해하는 데 필수적이다. 이에 본 연구는 급격한 도시화를 경험하고 있는 경기도 남양주시의 별내신도시와 다산신도시를 중심으로 토지피복 변화 양상을 분석하고, 신도시 개발이 지역의 토지 이용에 끼치는 영향의 흐름과 특징을 살펴보는 것을 목표로 한다. 이를 위해 환경부에서 제공하는 세분류 토지피복지도에 TerrSet 2020의 Land Change Modeler(LCM)를 적용하여 2010년부터 2023년까지의 토지피복 변화를 측정하고 주요 토지 이용 유형의 전환 양상을 분석한다. 또한 시기별 토지피복 변화 양상과 공간적 분포를 통해, 택지 개발의 직간접적 영향을 관측하고, 택지 개발이 지역 발전에 미치는 영향을 밝히고자 한다. 이러한 변화는 토지 이용 전환과 환경 변화의 주요 지표

로 활용될 수 있으며, 이는 국토 계획 및 도시 관리 정책 수립에 시사점을 제공할 수 있다. 더불어 LCM을 활용해 토지 이용 변화를 측정함으로써, 기존 연구에서 제시된 공간 경향 및 변화 감지 기법을 발전시키고 실제 사례에 적용하는 것을 목표로 한다. 이는 도시 계획 및 환경 관리 측면에서 실질적인 기여를 도출할 수 있다. 본 연구의 연구 질문은 다음과 같다.

- (1) 경기도 남양주시의 별내신도시와 다산신도시 지역의 택지 개발은 시간적으로 어떠한 양상을 보이는가?
- (2) 2010년부터 2023년까지의 별내신도시와 다산신도시의 토지피복 변화량과 토지피복 변화의 공간적 분포는 어떠한가?

2. 선행 연구

1) 토지피복

토지 이용이 도시화와 같이 특정 토지에 대해 인간이 부여하는 목적이나 활동을 의미한다면, 토지피복은 지표면의 물리적 특성, 즉 식생, 수역, 인공 구조물 등 실제로 관찰되는 물리적 피복을 의미한다(Anderson, 1976). 이러한 토지피복은 인간의 토지 이용 현황을 반영하며, 지표 경관의 현황이나 변화를 정량적으로 파악하는 데 중요한 자료로 활용된다(김성훈 등, 2016). 이는 토지피복이 인간이 야기하는, 혹은 인간에게 미치는 환경영향을 연구하는 데 있어 기초가 되는 공간지표로 활용될 수 있음을 의미한다.

토지피복은 녹지 감소와 같은 환경 문제를 분석하는데 기초 자료로 활용되며, 선행 연구에서는 환경부 토지피복지도를 주로 활용했다. 산업단지 개발로 인한 산림 훼손의 경향을 평가한 연구는, 환경부 토지피복지도를 활용하여 산업단지가 위치하는 주요한 토지 유형을 평가했다. 경상북도의 경우 60% 이상의 산업단지가 산림에 입지했고, 경상남도의 경우 산림과 농지에 비슷한 비율로 산업단지가 입지했으나 절대적으로 많은 수의 산업단지가 개발되며 대규모의 산림 훼손이 발생했다(김오석 등, 2016). 폭염 발생의 공간적 특성을 분석한 연구는 환경부 토지피복지도를 활용하여 폭염일수와 토지피복 유형 간의 상관관계를 평가했다. 산림 면적은 큰 폭으로 감소했으나, 폭염 완화 기능은 여전히 유지되었다. 반면, 비닐하우스 등 농업 지역은 인공열 발생

으로 도시 열섬 현상을 유발하는 주요 요인으로 확인되었다(박경훈 등, 2016). 대전광역시의 토지피복 시계열 분석은 지속적인 녹지 면적 감소를 확인했으며(권호중·이시영, 2024), 이는 토지피복지도가 산림 감소, 도시 열섬과 폭염, 지속 가능한 녹지 정책과 같은 국토 계획에 있어 중요한 자료로 기능함을 시사한다.

토지피복은 도시화에 따른 기후 변화와 탄소 배출 문제를 해결하는 데에도 중요한 역할을 한다. REDD (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation)는 개발도상국의 산림 보존과 온실가스 배출 저감을 목표로 하는 국제 환경 정책으로, 산림 전용과 산림 황폐화를 방지하는데 중점을 둔다. 이 과정에서 토지피복 자료는 탄소 배출량 측정을 위한 주요 기초 자료로 활용된다(김오석·윤여창, 2014). 인도네시아 깜빠르 지역을 대상으로 한 연구는 Landsat 위성영상을 기반으로 토지 이용과 피복 변화 자료를 구축하여 산림 전용과 산림 황폐화로 인한 탄소 유실을 분석했다(김오석·한기주, 2015). 한반도의 토지피복 변화에 따른 산림 탄소 저장량을 정량적으로 추정한 연구는 기계 학습을 활용하여 산림 전용과 탄소 흡수 기능 감소를 산출했다(이정희 등, 2015). 한편 중국 산동성을 대상으로 한 연구는 기준의 농경지가 개발로 전환되면서 주요 탄소 배출의 원인으로 작용함을 확인했으며, 토지피복 변화에 따른 탄소 배출의 시공간적 분포를 밝혔다(Zhu et al., 2022).

2) 변화 감지 분석

토지피복 변화 탐지를 위해 중첩분석을 활용한 국내 연구들은 도시화와 지역 개발이 특정 지역에 미치는 영향을 명확히 드러낸다. 중첩분석은 여러 시기의 토지피복 데이터를 겹쳐 시간에 따른 변화를 정량적으로 파악하는 기법이다. 세종특별자치시를 대상으로 한 연구는 2002년부터 2015년까지의 국가 토지피복지도를 활용해, 특정 시기의 토지 유형을 중첩하여 도시화로 인한 변화 패턴을 파악했다. 중첩분석 결과, 농업 지역이 주거 및 상업 지역으로 전환됨에 따라 세종시 내 농경지와 산림이 감소하고 도시 지역이 확장되는 양상이 확인되었다(김성훈 등, 2016). 구량천 유역을 대상으로 한 연구에서는 2000년대 초반부터 2010년대까지의 국가 토지피복지도를 중첩하여 농업 지역과 산림 지역의 감소와 같은 주요 변화를 파악했다. 연구 결과, 농경지와 산림이 주거 및 상업 지역으로 전환되면서 지역 내 생태적 변화가 발생했으며, 이러한 변화를 통해 도시화가 구량

천 유역의 환경에 미친 영향을 정량적으로 분석했다(박종철·김장수, 2014). 다만 중첩분석은 변화의 지속성을 명확히 구분하지 않기 때문에, 토지피복 분류 전환 간 전환 유형을 구체적으로 분석하는 데는 한계가 있다.

토지피복지도의 시계열적인 전환을 확인하기 위한 대안으로, 전이행렬표가 활용될 수 있다. 전이행렬은 두 시점의 자료를 비교하여 각 토지피복 유형의 전환 방향과 지속성을 구체적으로 분석할 수 있는 기법이다. 이 분석은 특정 영역의 분류 유형이 두 시점 동안 동일하게 유지되었는지, 또는 다른 유형으로 전환되었는지를 대각선과 비대각선을 통해 명확히 구분한다(Pontius and Malizia, 2004). 전이행렬표는 예측 지도와 실제 지도를 비교하여 토지피복 변화 예측 모델의 정확성을 평가하는데 주로 활용되지만, 특정한 두 시점의 변화를 감지하는 용도로 사용될 수 있다. 위성영상을 이용해 1975년부터 2001년까지 이란의 산림 변화를 조사한 연구는 시가지와 농지로 전환된 산림의 감소를 확인했고(Solaimani *et al.*, 2010), 1987년과 2001년 영상을 통해 이집트 해안의 토지피복을 감지한 연구는 농경지로 전환된 초원 면적의 감소를 확인했으며, 이를 토지 황폐화가 아닌 긍정적인 변화로 해석했다(Shalaby and Tateishi, 2007).

3) 공간 경향 분석

공간 경향 분석(Trend Surface Analysis)은 지리적 경향을 분석하기 위해 사용되는 기법으로, 넓은 지역에서의 공간 데이터 패턴을 파악하는 데 활용된다. 이 분석은 전반적인 경향성을 기반으로 특정 요인의 공간적 분포를 이해하고자 할 때 활용된다(Chorley and Haggett, 1965). 이러한 접근은 특히 넓은 지역에서 환경적 변화, 지가 상승, 인구 분포 등의 지리적 경향을 가시적으로 드러내어, 특정 데이터의 주요 패턴을 직관적으로 파악하도록 돋는다. 공간 경향 분석을 활용한 국내 연구는 서울특별시의 지가 변동 패턴을 시각화했으며, 상업 및 주거 지역의 변동이 특정 방향으로 확산하는 경향을 도출했다. 이를 통해 도심공동화 현상과 업무지구의 분산으로 인한 도심에서 외곽으로의 전환을 시각적으로 제시했다(손승호·남영우, 1999).

공간 경향 분석은 토지피복 전환의 공간적 분포를 드러낼 수 있다. 사회주의 체제 붕괴 이후 큰 변화를 겪은 체코 올로모우츠 지역을 대상으로 한 연구는 공간 경향 분석을 활용하여 농지에서 초원 및 도시로의 전환을 일반화된 지도로 제시했다. 농지에서 도시로의 전환은 기

존의 도시 지역을 중심으로 확장되었지만, 농지에서 초원으로의 전환은 도시권 바깥에서 발생한 양상을 가시적으로 제시했다(Vaclavik and Rogan, 2009). 인도 북부 유역을 대상으로 한 연구에서는 공간 경향 분석과 전이 행렬표를 결합하여 토지피복의 주요 전환 경향을 파악했다. 1994년부터 2011년까지의 시계열적 변화를 통해 농경지에서 초지 및 도시화 지역으로의 전환 경향을 지도화했으며, 유역을 포함한 넓은 지역에서의 전환 경향을 명확히 드러냈다(Gaur *et al.*, 2020).

4) Land Change Modeler

토지 이용과 토지피복의 변화를 감지하고 공간 경향을 확인하기 위해 TerrSet 2020의 Land Change Modeler (LCM)가 활용될 수 있다. 미국 클락 대학교의 지리공간 정보분석센터 Clark Labs에서 개발한 이 모델은 토지 계획을 위한 토지 변화 예측 도구로써 과거 시점 사이의 토지피복 변화를 파악하고, 토지 이용 전환과 요인 간의 관계를 경험적으로 모델링하여 미래 변화를 예측하는데 활용된다. 위성영상을 처리할 수 있는 ENVI, ERDAS 등의 소프트웨어는 영상 데이터의 시각적 분류에 초점을 둔다. 반면 LCM은 토지피복 변화를 파악하고 미래 변화를 예측하는데 주로 활용되며 공간적인 변화를 시각화하는데 강점을 가진다. 이를 통해 도시화, 산림 파괴, 탄소 배출, 생물 다양성 등 주요 토지 이용 변화를 모델링하고 시각화 할 수 있다(Eastman, 2015).

산업화와 도시화가 동시에 이뤄진 인도의 수도권 지역을 다룬 연구는, LCM을 이용하여 1989년부터 2020년 까지의 토지 이용과 토지피복 변화를 관찰했는데, 도시 면적은 13.44% 증가했지만, 농경지의 면적이 10.88%가량 감소한 것을 확인했다(Singh *et al.*, 2022). 또한 급격한 도시화를 경험한 중국 남부 지역을 대상으로 진행된 연구는 2005년부터 2017년까지 도시 면적의 가파른 증가를 관측했으며, 이러한 도시 면적의 증가로 인한 농경지와 어업 수역의 감소를 파악함과 동시에 국가 주도의 조림 사업으로 인한 산림 면적의 증가를 관측했다(Hasan *et al.*, 2020).

한편 한반도를 대상으로 LCM을 활용해 토지피복의 변화를 측정하고 예측하는 연구는 북한 지역과 비무장지대를 중심으로 수행되었다. 개성을 대상으로 진행된 연구는 1916년, 1951년, 2015년의 토지피복지도를 활용하여 토지 이용 및 토지피복 변화의 강도를 측정했다. 연구는 토지피복지도에 근거하여 식민지 시기와 분단

시기로 시점을 구분했고, 개성은 변화 강도의 측면에서 분단 시기보다 식민지 시기에 더 활발한 변화를 경험한 것을 밝혔다(Kim *et al.*, 2022). 또한 비무장지대를 대상으로 진행된 연구는 1951년과 2015년의 토지피복지도에 기반하여 50년 후의 비무장지대의 토지 이용 및 토지피복 변화를 예측했다. LCM의 예측은 변화의 크기와 위치에 기반하는데, 변화의 총량은 Markov Chain에, 변화의 위치정보는 철도, 도로망, 해발고도, 경사도, 토지피복 등을 함께 고려한 Multi-Layer Perceptron에 근거했다(Kim and Neubert, 2019).

3. 연구 지역 및 연구 방법

1) 연구 지역

본 연구의 연구 지역은 경기도 남양주시의 별내신도시, 다산신도시를 포함하는 지역으로, 서울특별시 노원구와 중랑구 일부 지역, 경기도 구리시 일부 지역을 포함한다(그림 1).

별내신도시는 경기도 남양주시의 계획도시로, 과거 경기도 남양주시 별내면 지역 일대의 택지 개발 사업을 대규모로 확장하면서 조성되었다. 수도권 인구의 주거 안정을 위한 대규모 국민 임대 주택을 건설하는 것을 목표로 2003년부터 2012년에 걸쳐 사업이 예정되었으나, 경제위기로 인해 개발이 지연되어 2019년 준공되었다.

다산신도시의 경우, 남양주 다산·진건 공공 주택지구 보금자리 주택 사업의 일환으로 시행된 택지 개발 사업이다. 2009년부터 현재까지 사업이 진행되고 있으며, 2017년 말 주민들의 입주가 본격화되어 현재 경기도 남양주시의 인구 성장을 주도하고 있다(남양주시, 2023).

두 신도시는 수도권의 대표적인 정부 주도의 택지 개발 사례로, 대규모 주거 공급과 도시 확장을 통해 수도권의 주거 문제를 해결하고자 했다. 특히, 2010년대 이후 이 지역들은 급격한 토지피복 변화를 경험했으며, 현재도 개발이 지속적으로 진행되고 있어 택지 개발과 환경 변화 간의 상호작용을 연구하기에 적합하다. 또한 연구 지역은 서울특별시와 인접해있으며, 주요 교통망과 연결되어 수도권의 도시 확장과 연계된 토지 이용 변화를 관찰할 수 있는 지리적 조건을 갖추고 있다. 이러한 특성은 도시 개발이 인근 지역의 토지피복 및 토지 이용 패턴을 어떻게 이끄는지 효과적으로 파악할 수 있다.

한편, 남양주시에는 현재 별내신도시와 다산신도시와 인접한 지역에 3기 신도시 개발이 추가로 진행되고 있다. 대표적인 사례로 인근의 왕숙신도시 역시 대규모 주거 공급을 통해 수도권의 주택 수요 분산을 위해 조성되고 있다. 향후 왕숙신도시 개발이 본격화될 시 연구 지역과의 연계성이 강화될 수 있다.

두 신도시 모두 정부 주도의 택지 개발 사업에 근거하여 개발된 지역으로, 2010년대 들어 급격한 토지피복

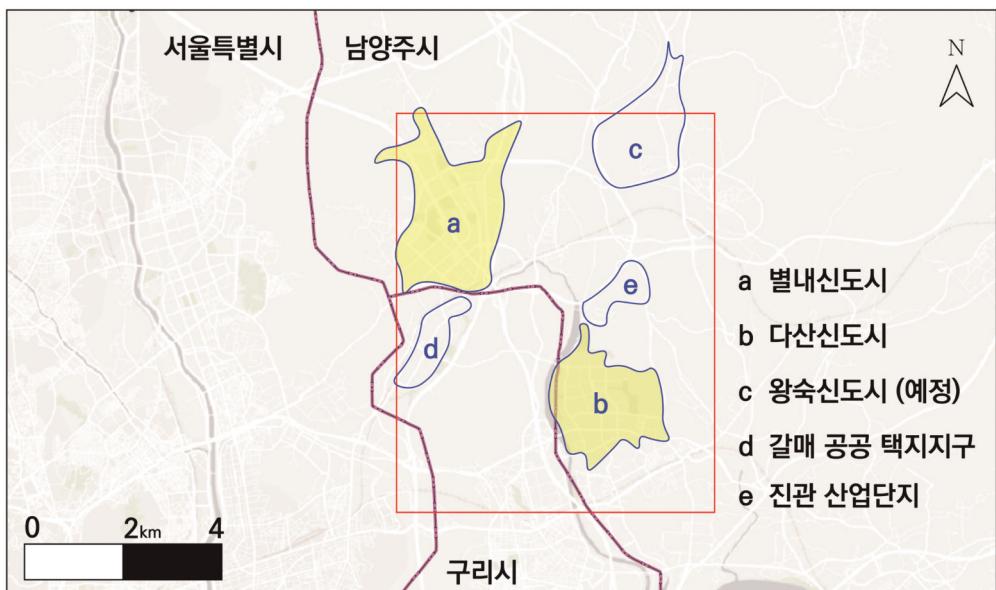


그림 1. 연구 지역

복 변화를 경험했다. 현재도 해당 지역의 개발이 진행되고 있으며, 인근 지역으로 개발이 확장되고 있다. 따라서 본 연구는 2010년대의 토지피복 변화 분석을 위해 남양주시의 두 신도시를 중심으로 연구대상지를 선정했다.

2) 연구 방법

(1) 환경부 토지피복지도

본 연구는 남양주시 다산신도시와 별내신도시의 토지피복 변화를 분석하기 위해 환경부에서 제공하는 세분류 토지피복지도를 활용했다. 세분류 토지피복지도는 환경부에서 제공하는 고해상도 벡터 기반의 자료이다 (환경부, 2013). 이 지도는 중분류, 대분류 토지피복지도에 비해 공간 해상도가 높아 동일한 지역을 더 정교한

정보로 나타낸다. 이를 통해 연구 지역의 세밀한 토지피복 변화를 포착하는데 기여할 수 있다. 환경부는 2010년부터 범위를 넓혀가며 지역별 세분류 토지피복지도를 구축했고, 2019년부터 전국을 대상으로 한 세분류 토지피복지도를 매년 배포하고 있다. 따라서, 2019년 이전 시기의 경우 별내신도시, 다산신도시를 포함하는 2010년과 2014년의 토지피복지도만을 사용했으며, 전체 도엽 중 두 지역을 다루고 있는 총 9개의 도엽을 병합하여 활용했다. 분석에 사용된 시점은 2010년, 2014년, 2019년, 2023년이다.

(2) 데이터 전처리

TerrSet 2020의 LCM을 사용한 여러 연구는, 벡터 기반의 자료를 래스터 형태의 자료로 변환하는 전처리 과정을 거쳐 분석이 수행되었다(Cojocariu *et al.*, 2022; Măgureanu

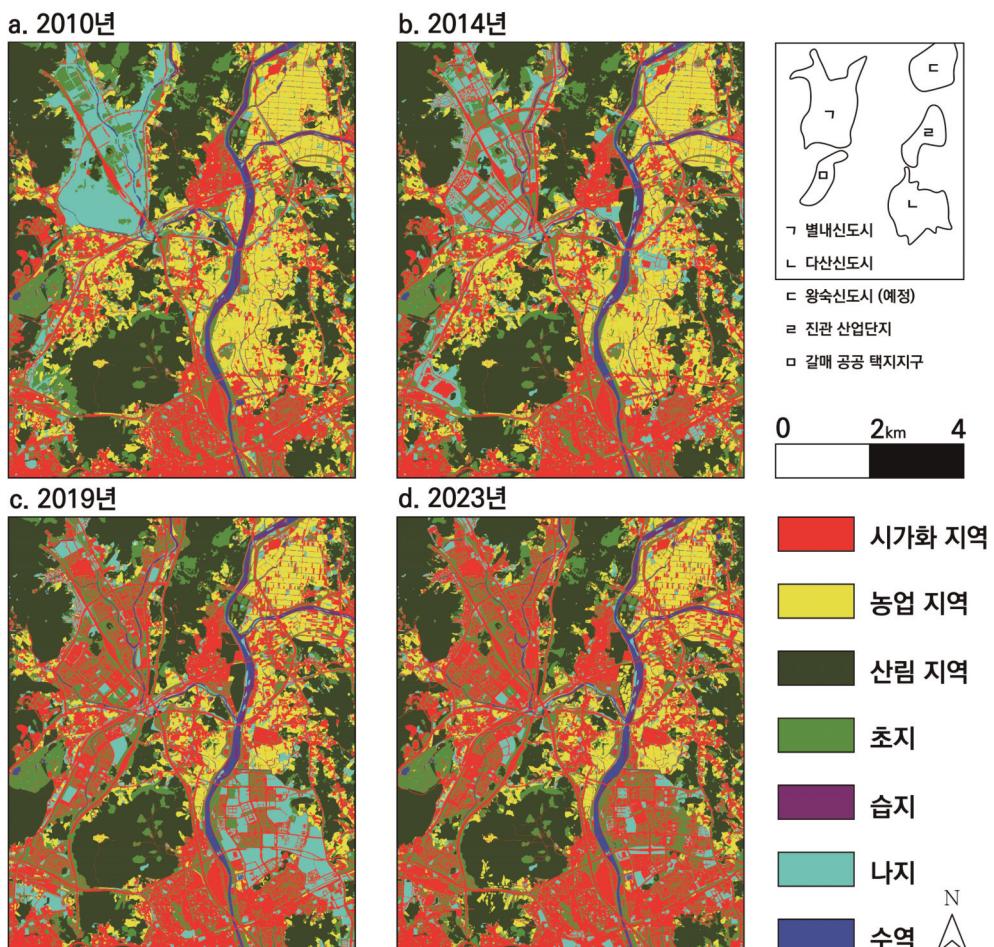


그림 2. 토지피복 재분류

표 1. 두 시점에 따른 일반 전이행렬표

		시점 1				시점 2 총합
		분류 1	분류 2	분류 3	분류 4	
시점 2	분류 1	P_{11}	P_{21}	P_{31}	P_{41}	P_{+1}
	분류 2	P_{12}	P_{22}	P_{32}	P_{42}	P_{+2}
	분류 3	P_{13}	P_{23}	P_{33}	P_{43}	P_{+3}
	분류 4	P_{14}	P_{24}	P_{34}	P_{44}	P_{+4}
시점 1 총합		P_{1+}	P_{2+}	P_{3+}	P_{4+}	1

et al., 2022; Žoncová and Masny, 2022). 벡터 형식의 파일을 LCM에서 구현하기 위하여, ASCII 파일을 RST 파일로 변환하는 단계가 필요하다(Eastman, 2015). 벡터 기반의 자료를 래스터 형태로 변환할 때, 자료의 해상도를 지정해야 한다. 환경부에서 제공하는 토지피복지도의 경우 대분류, 중분류, 세분류의 순서대로 30m, 5m, 1m급의 해상도를 가진다(환경부, 2013). 이에 따라 본 연구는 분석을 수행할 수 있는 최소 단위인 5m 단위의 해상도로 기본 자료를 구축했다. 위 단계는 ArcGIS를 이용해 수행되었다.

토지피복 분류체계에 따르면, 세분류 토지피복지도의 경우 41개 항목으로 세분되어 있지만 본 연구에서는 연구 지역에서 확인 가능한 보다 일반적인 토지피복 변화의 경향과 공간적 분포를 파악하기 위해 대분류 토지피복 분류인 7개의 항목으로 재분류했다. 7개의 항목은 시가화 지역, 농업 지역, 산림 지역, 초지, 습지, 나지, 수역으로 이루어져 있다(환경부, 2013).

이에 따라 환경부 토지피복지도를 재구성하여, LCM 분석에 사용될 4가지 시점의 기초 토지피복 분류 지도를 구축했다. 지도는 5m 격자 단위의 1322×1663 개의 픽셀로 구성 되어있으며, 공간 범위는 $6.6\text{km} \times 8.3\text{km}$ 이다(그림 2).

(3) 변화 감지 분석

토지피복지도의 시계열적인 전환을 확인하기 위해, 전이행렬표를 활용했다(표 1). 이 표는 범주형 데이터 자료를 비교하기 위해 활용되며, 같은 크기의 이미지나 지도의 범주 유형 변화 분석에 사용된다. 분류된 데이터 범주의 수량과 수치가 두 지도에서 같을 때 의미를 나타내는데, 두 지도 간의 일치와 변화 정도를 각각 구분한다. 특정 픽셀의 분류가 두 시점에 걸쳐 같은 경우에는 대각선에, 특정 픽셀이 두 시점에 걸쳐 변화했을 시 비 대각선에 표현되며, 변화의 방향 역시 확인할 수

있다(Eastman, 2015; Pontius *et al.*, 2004).

P_{ij} 는 시점 1에서 분류 i 로 할당되었던 영역이 시점 2에서 분류 j 로 전환된 비율을 나타낸다. 두 시점 모두에서 동일하게 할당된 대각선의 항목은 두 시점 사이에서 해당 분류의 지속성을 의미한다(Pontius and Malizia, 2004). 예를 들어, P_{jj} 는 시점 1에서 분류 j 로 할당되었던 영역 중 시점 2에서도 분류 j 로 할당된 영역의 비율을 보여주는데, 이는 토지피복의 측면에서 해당 영역에 변화가 없었음을 의미한다. 이 표를 통해 각 시점에서 각 범주의 총량도 확인할 수 있다. P_{+i} 항목은 시점 1에서 분류 i 로 할당된 영역을 의미하며, P_{+j} 항목은 시점 2에서 분류 j 로 할당된 영역을 의미한다. 또한 두 시점이 다루고 있는 연구 영역이 일치하므로, 특정 시점에서 하위 범주로 분류된 비율의 총합은 1이다.

(4) 공간 경향 분석

공간 경향 분석은 넓은 지역에서 발생하는 자료의 비체계적이고 세밀한 변동을 분리하는 보간의 일종으로, 전환이 발생한 픽셀을 1로, 변화가 없는 픽셀을 0으로 상정하여, 지도의 픽셀을 연속적인 것처럼 취급한다. 일반적으로 인간의 개입이 지배적인 경관에서는, 변화 패턴이 복잡하여 이를 해석하는 데 어려움이 존재한다. 이에 공간 경향 분석은 토지 분류 변화 패턴의 해석에 도움을 주며, 특정 분류 간의 전환 경향에 대한 일반화를 제공한다. 공간 경향 분석을 통해 제작된 공간 경향 변화 지도는 변화가 없는 지역에서부터 뚜렷한 변화가 나타나는 지역까지의 일반화된 위치를 제시한다(Eastman, 2015; Vaclavik and Rogan, 2009). 사회주의 체제의 붕괴 이후 토지 이용과 토지피복에 있어 큰 변화를 맞이한 체코 올로모우츠 지역을 대상으로 한 연구는 공간 경향 분석을 활용하여 농지에서 초원으로의 전환, 농지에서도 시로의 전환을 지도화했다. 농지에서 도시로의 전환은 기준의 도시 지역을 중심으로, 반면 농지에서 초원으로

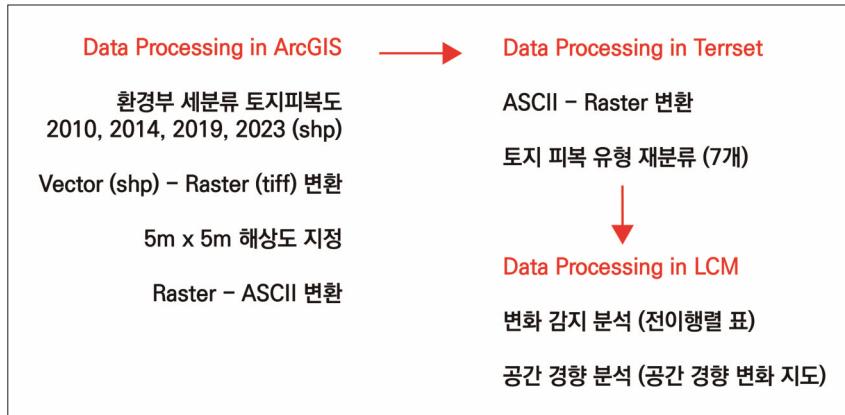


그림 3. 연구 방법 모식도

의 전환은 도시 권역 바깥에서 일어난 것을 가시화했다 (Vaclavik and Rogan, 2009). 구체적인 연구 방법은 그림 3과 같다.

4. 결과

1) 시기별 토지피복 변화

분석에 사용된 4개의 시점을 3개의 시기로 임의 구분 했다. 1차 시기는 2010년과 2014년 사이의 토지피복 전환, 2차 시기는 2014년과 2019년 사이의 토지피복 전환, 3차 시기는 2019년과 2023년 사이의 토지피복 전환이다. 아래 제시된 표 2, 3, 4는 LCM의 전이행렬표로, 두 시점 간의 변화를 각 토지피복 분류의 증감을 통해 표현했다.

1차 시기에서 확인할 수 있는 가장 큰 변화는, 나지에서 시가화 지역으로의 변화이다. 연구 지역 중 2.7% 가량이 나지에서 시가화 지역으로 변화했는데, 이는 전체 전환 유형 중 가장 큰 비중을 차지했다. 이 변화 유형은

별내신도시 지역에서 관찰되었고, 기존에 나지로 분류 되었던 지역에 격자 도로망이 생겨나고 용도구역이 구분된 것을 토지피복지도를 통해 확인할 수 있다. 이는 신도시 지역의 주요 주거 유형인 아파트 건설이 진행된 것을 의미하며 도시화 진행 단계에 해당한다.

2차 시기는 세 시기 중 토지피복의 변화가 가장 활발한 시기이다. 이 시기에서 관측된 주요 토지피복 변화는 농업 지역에서 시가화 지역으로의 변화, 나지에서 시가화 지역으로의 변화, 그리고 농업 지역에서 나지로의 변화이다. 농업 지역에서 시가화 지역으로의 변화는 연구 지역 전역에 걸쳐 나타났는데, 특히 신도시 개발이 진행 중인 다산신도시 지역에서 주로 관측되었다. 나지에서 시가화 지역으로의 변화는 별내신도시 지역에서 확인되었는데, 이는 2014년 나지가 시가화 지역으로 대부분 변화한 것에서 기인했다. 이는 별내신도시의 기반 시설 및 주거 시설이 확충된 것을 의미한다. 반면 다산신도시 지역의 경우, 기존 농업 지역이 나지로 변화한 것

표 2. 1차시기 전이행렬표

1차 시기	2010								2014 총계
	분류	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	초지	습지	나지	수역	
2014	시가화 지역	0.2180	0.0041	0.0007	0.0071	0.0002	0.0269	0.0003	0.2573
	농업 지역	0.0003	0.1776	0.0010	0.0021	0.0000	0.0019	0.0000	0.1829
	산림 지역	0.0024	0.0026	0.2845	0.0043	0.0000	0.0003	0.0000	0.2940
	초지	0.0019	0.0041	0.0032	0.1187	0.0001	0.0143	0.0003	0.1425
	습지	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0006	0.0005	0.0135
	나지	0.0058	0.0099	0.0020	0.0195	0.0012	0.0545	0.0015	0.0944
	수역	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0005	0.0144	0.0154
2010 총계		0.2284	0.1985	0.2913	0.1517	0.0143	0.0990	0.0170	1

표 3. 2차시기 전이행렬표

2차 시기	2014								2019 총계
	분류	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	초지	습지	나지	수역	
2019	시가화 지역	0.2294	0.0357	0.0055	0.0128	0.0009	0.0302	0.0002	0.3148
	농업 지역	0.0007	0.1038	0.0009	0.0016	0.0001	0.0018	0.0001	0.1090
	산림 지역	0.0030	0.0007	0.2743	0.0031	0.0000	0.0016	0.0000	0.2827
	초지	0.0079	0.0150	0.0072	0.1153	0.0006	0.0234	0.0002	0.1696
	습지	0.0001	0.0003	0.0000	0.0001	0.0112	0.0002	0.0002	0.0121
	나지	0.0161	0.0273	0.0062	0.0096	0.0006	0.0369	0.0002	0.0969
	수역	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003	0.0145	0.0150
2014 총계		0.2573	0.1829	0.2940	0.1425	0.0135	0.0944	0.0154	1

표 4. 3차시기 전이행렬표

3차 시기	2019								2023 총계
	분류	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	초지	습지	나지	수역	
2023	시가화 지역	0.3075	0.0040	0.0026	0.0111	0.0003	0.0313	0.0001	0.3568
	농업 지역	0.0011	0.0898	0.0072	0.0084	0.0002	0.0048	0.0000	0.1115
	산림 지역	0.0004	0.0002	0.2695	0.0009	0.0000	0.0003	0.0000	0.2713
	초지	0.0020	0.0126	0.0022	0.1458	0.0000	0.0150	0.0000	0.1777
	습지	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0111	0.0001	0.0000	0.0112
	나지	0.0037	0.0023	0.0011	0.0034	0.0001	0.0452	0.0000	0.0559
	수역	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	0.0149	0.0156
2019 총계		0.3148	0.1090	0.2827	0.1696	0.0121	0.0969	0.0150	1

을 알 수 있다. 이는 1차 시기 별내신도시에서 관찰된 것과 유사한데, 도시 지역 건설을 위해 농업 지역을 나지로 개간한 것을 알 수 있다.

3차 시기 역시 나지에서 시가화 지역으로의 변화가 가장 크게 확인되었는데, 이는 다산신도시 지역 개발에서 기인한다. 2차 시기에서 농업 지역에서 나지로 변환된 지역이, 신도시 개발 과정을 통해 시가화 지역으로 변화했다. 다산신도시의 택지 개발과 도시화가 완료되고 있음을 의미한다. 이 시기에서 확인된 주목할 만한 전환은 나지에서 초지로의 변화이다. 이러한 토지피복 전환은 다산신도시 지역에서 주로 관측되었는데, 신도시 개발 과정에서 아파트 단지에 대규모로 조성된 녹지가 이에 해당한다. 이는 토지 이용의 차원에서 주거 지역으로 분류된 지역이, 토지피복 유형에서는 초지로 분류된 것인데, 이는 토지 이용 유형과 토지피복 유형의 불일치할 수 있음을 의미한다.

2) 종합 토지피복 변화

2010년과 2023년을 대상으로 4개의 공간 경향 변화

지도를 작성했으며, 2010년부터 2023년까지 토지피복 변화 중 주요 전환 유형인 농업 지역에서 시가화 지역으로의 전환, 나지에서 시가화 지역으로의 전환, 농업 지역에서 초지로의 전환, 나지에서 초지로의 전환을 시각화했다(표 5 및 그림 4).

나지에서 시가화 지역, 초지로의 일반적인 전환 경향은 별내신도시에서 확인되었다. 이는 2010년 별내신도시 나지가 신도시 개발 과정을 거쳐 시가화 지역과 초지로 개발된 것을 나타낸다.

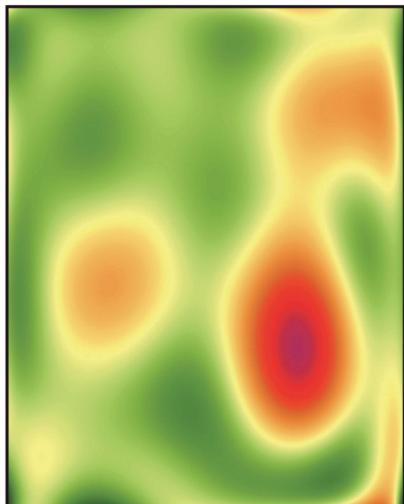
농업 지역에서 시가화 지역, 초지로의 일반적인 전환 경향은 다산신도시와 인근 지역에서 확인되었다. 다산신도시 지역의 경우, 2010년 농업 지역이 신도시 개발 과정을 거치면서 나지로 먼저 전환된 후 최종적으로 시가화 지역으로 전환된 것을 알 수 있다(그림 5). 이는 신도시 개발 과정에서 발생하는 일반적인 토지피복 유형의 전환을 보여준다.

두 신도시의 인근 지역에서 확인된 농업 지역으로부터의 토지피복 변화는 구리·갈매 공공 주택지구와 다산신도시 북측 지역에서 관측된다. 남양주 진관산업단지

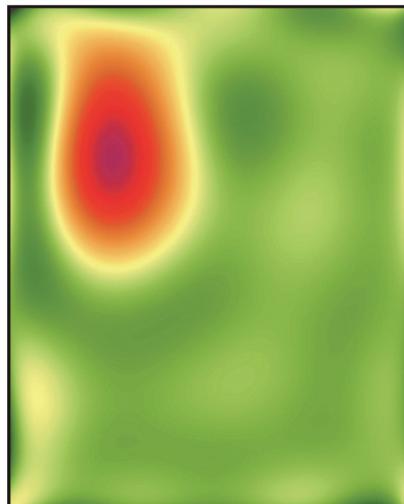
표 5. 종합 시기(2010–2023년) 전이행렬표

종합 시기	2010 (종합 시기 Overall Kappa = 0.5919)								2023 총계
	분류	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	초지	습지	나지	수역	
2023	시가화 지역	0.1992	0.0583	0.0109	0.0325	0.0016	0.0535	0.0008	0.3568
	농업 지역	0.0020	0.0906	0.0068	0.0084	0.0003	0.0033	0.0001	0.1115
	산림 지역	0.0053	0.0015	0.2554	0.0070	0.0000	0.0022	0.0000	0.2713
	초지	0.0115	0.0322	0.0143	0.0954	0.0009	0.0228	0.0005	0.1777
	습지	0.0002	0.0003	0.0000	0.0001	0.0094	0.0006	0.0007	0.0112
	나지	0.0101	0.0152	0.0039	0.0083	0.0013	0.0160	0.0010	0.0559
	수역	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0007	0.0006	0.0139	0.0156
2010 총계		0.2284	0.1982	0.2913	0.1517	0.0143	0.0990	0.0170	1

a. 농업지역 – 시가화 지역

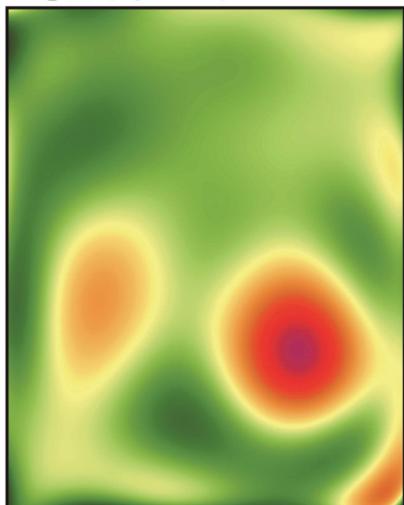


b. 나지 – 시가화 지역



0 2km 4

c. 농업지역 – 초지



d. 나지 – 초지

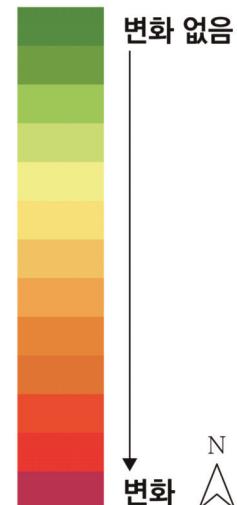
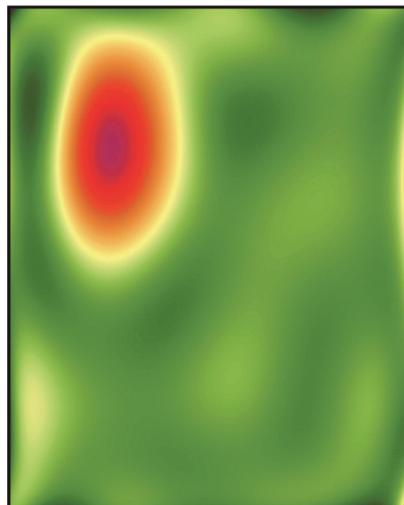


그림 4. 공간 경향 변화(2010–2023년)

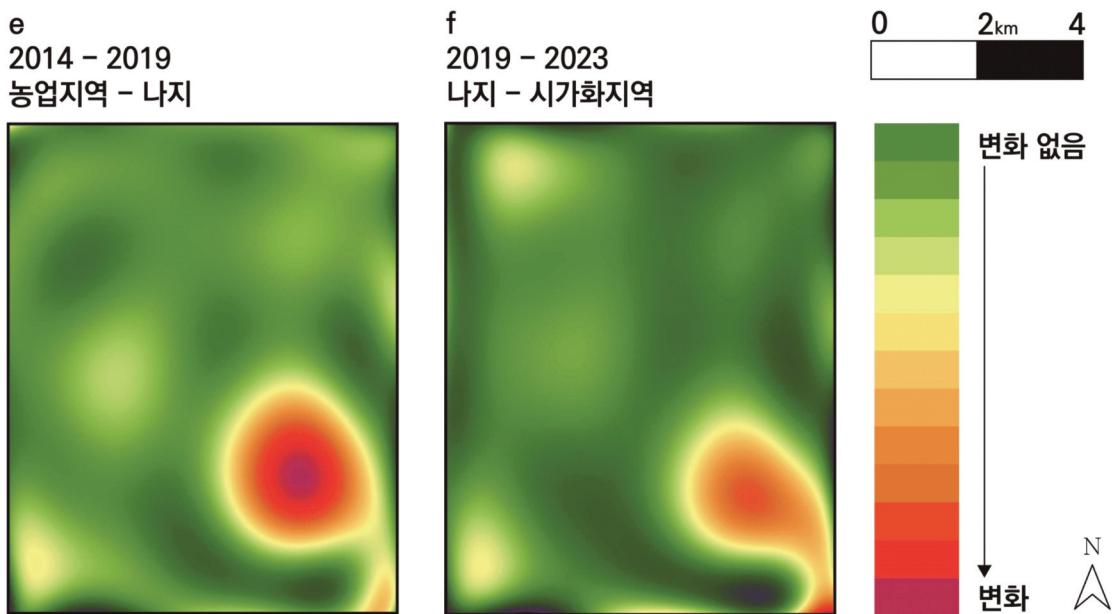


그림 5. 공간 경향 변화(다산신도시 일대)

를 포함한 다산신도시 북측 지역의 경우, 구리·갈매 공공 택지지구와 비교하여 토지피복 전환 유형에 차이가 있다. 이 지역은 녹지 면적을 수반한 아파트와 같은 주거 단지가 아닌 일반 산업 단지와 물류 창고 등으로 개발이 진행되었기 때문에 일반적인 신도시 형태와 다르게 농업 지역에서 초지로의 전환은 관측되지 않았다.

5. 논의 및 한계

본 연구는 TerrSet 2020의 Land Change Modeler(LCM)을 활용하여 2010년부터 2023년까지의 경기도 남양주시의 별내신도시와 다산신도시 일대의 토지피복 변화를 파악하고, 이를 통해 신도시 개발이 지역의 토지피복에 미치는 영향을 분석했다. 전이행렬표를 통해 시기별 토지피복 변화 양상을 확인한 결과, 2010년대 초반 별내신도시 개발이 본격화되며 나지가 시가화 지역으로 전환된 것을 확인했으며, 2014년 이후 다산신도시 개발이 시작되며 농업 지역이 나지로, 나지가 시가화 지역으로 변화되는 과정이 두드러졌다. 이와 같은 변화는 신도시 개발이 지역의 토지 이용 패턴을 어떠한 방식으로 재구성하는지를 나타낸다. 공간 경향 변화 지도를 이용하여, 별내신도시와 다산신도시 일대에서 나지와 농업 지역으로부터 시가화 지역으로의 전환을 확인했다.

이는 주거지 개발을 위한 토지 전환 과정에서 확인할 수 있는 전형적인 패턴으로 볼 수 있다. 또한 신도시 지역에서 초지로의 전환 역시 확인되었는데, 이는 신도시 개발 과정에서 녹지 공간이 조성된 결과이다.

신도시 아파트 단지 내 녹지 조성은 도시 미기후 조절과 환경 보존에 기여한다. 서울의 아파트 단지를 대상으로 진행된 연구는, 아파트 단지의 녹지 유형에 따라 예상온열감과 열쾌적성지표가 크게 감소하는 것을 밝혔다(지은주 등, 2023). 이는 아파트단지의 녹지 조성이 도시열섬현상을 완화하는데 기여함을 시사한다. 특히 경기도는 대한민국의 대표적인 주거 형태인 아파트 비율이 높으며, 전체 주거 형태의 70% 이상을 차지한다. 특히 경기도 내 아파트 단지의 녹지 면적은 단지 면적의 약 30% 가량을 차지하며, 일부 대규모 단지에서는 40% 이상의 녹지 면적이 조성되기도 한다. 김한수(2022)는 1기 신도시의 재건축과 3기 신도시의 건설을 고려하여, 도시공원보다 아파트 녹지의 증가 추세가 더 빠를 것임을 전망했다. 따라서 대규모 택지 개발 시 사유지로 간주되는 아파트 내 녹지를 공공 녹지로 간주하는 등 도시 환경에 대한 종체적인 고민이 필요하다.

반면 신도시 개발로 인한 농업 지역의 감소는 지역 환경에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다. 농업 지역이 차지하는 비중은 2010년 19.8%에서 2023년 11.1%로 감소

했다. 앞서 언급했듯 농업 지역의 축소는 생물 다양성의 감소, 토양 침식의 증가 등 지역 생태계와 환경에 대한 영향을 끼친다. 특히 도시화 과정에서 농업 지역이 도시로 전환됨에 따라 토지의 불투수 면적이 증가하고, 도시 열섬, 수질 오염과 같은 환경문제로 이어질 수 있다. 따라서 개발 과정에서 농업 지역의 전환을 최소화하고 지속 가능한 도시 환경을 조성하기 위한 토지 관리 방안이 마련되어야 한다.

본 연구는 택지 개발 사업이 지역의 토지피복에 미치는 영향을 파악하기 위해 경기도 남양주시의 다산신도시와 별내신도시로 연구 지역을 한정 지었다. 연구 지역이 두 사업 지역을 포함하고 택지 개발 사업으로 인한 토지피복 변화와 그 특성을 확인했으나, 미시적인 관점에서 두 지역의 토지피복 변화를 파악하는 것에 불과하다. 따라서 추후 연구 대상 지역의 범위를 확장 시켜 서울과 경기도 전역을 포함해 수도권 지역 전역을 대상으로 한 연구 지역의 확장이 필요하다. 수도권의 공간 구조는 지역에 따라 상당한 연계와 위계를 나타낸다(김 성록, 2014; 김현우·김호연, 2011). 따라서 남양주시와 경계를 맞대고 있는 서울특별시와 경기도 구리시 등과 연관 지어 토지피복 전환 양상을 파악하는 것이 필요하다. 또한 신도시를 대상으로 한 연구는 수도권에 국한되어 있으나, 최근까지 활발하게 진행되고 있는 택지 개발 사업은 수도권에만 관찰되지 않는다(유상민 등, 2012; 황희연·원정주, 2010). 택지 개발 사업으로 인한 토지피복 변화는 수도권 지역에 국한된 것이 아니므로, 더 나아가 전국을 대상으로 시가화 지역의 확장에 대한 분석이 필요하다.

LCM은 토지피복뿐 아니라 생물 다양성, 서식지, 수자원 등 광범위한 분야에서 활용되고 있다. 이 연구들은 단순히 변화를 파악하는 데 그치지 않고, 이후의 변화를 예측하고 검증하는 차원에서 연구가 이루어진다. 본 연구 역시 변화를 파악하는 것을 넘어 토지피복의 변화를 예측하고 검증하는 것이 필요하다. 변화를 예측하는 단계에서는 본 연구에 사용된 토지피복지도뿐 아니라 교통망과 도심지, 공업지대로부터의 거리와 같은 사회환경적 요인을 비롯해 지형적 요인인 경사도와 고도를 포함한 변수를 활용할 수 있다(Altuwaijri *et al.*, 2019; Rahnama and Wyatt, 2021).

결론적으로, 본 연구는 LCM을 활용하여 신도시 개발이 지역의 토지피복에 미치는 영향을 분석했고 이러한 분석 결과는 신도시 개발이 토지 이용 패턴과 도시

화 과정에 이바지하는 종합적인 영향을 이해하는 데 중요한 자료가 될 수 있다. 더불어, 신도시 개발이 환경에 미칠 수 있는 영향을 고려한 지속 가능한 개발 전략 수립에 이바지할 수 있다.

文獻

- 강신호·Nakagoshi, N·고성철, 2000, “도시화에 따른 대전시 토지이용의 변화,” *한국환경생태학회지*, 14(2), 154-161.
- 구양미, 2021, “인구 변화와 도시 쇠퇴의 지역 불균형: 저출산과 지방소멸 문제에 대한 시사점,” *국토지리학회지*, 55(3), 301-320. <https://doi.org/10.22905/kaopqj.2021.55.3.5>
- 권영상, 2011, “우리나라 신도시 계획에서 생활권 공간 구조의 변화: 창원시, 분당신도시, 세종시 사례 분석을 중심으로,” *국토계획*, 46(2), 193-210.
- 권호중·이시영, 2024, “토지피복도의 시계열 변화를 통한 녹지공간변화 및 정책분석 - 대전광역시를 중심으로,” *휴양및경관연구*, 18(2), 35-45. <https://doi.org/10.51549/JORAL.2024.18.2.035>
- 김미경·김상필·김남훈·손홍규, 2014, “LANDSAT 영상을 이용한 세종특별자치시의 도시화와 열섬현상 분석,” *대한토목학회논문집*, 34(3), 1033-1041. <https://doi.org/10.12652/ksce.2014.34.3.1033>
- 김성록, 2014, “수도권 공간구조 변화에 관한 연구: 1995년~2010년,” *국토지리학회지*, 48(1), 57-68.
- 김성훈·김찬수·위눈솔·김도희·장동호, 2016, “국가토지피복도를 활용한 세종시의 토지피복 변화 분석,” *한국사진지리학회지*, 26(3), 145-160. <https://doi.org/10.35149/jakpg.2016.26.3.010>
- 김오석·윤여창, 2014, “북한의 탄소저감과 산림보존을 위한 사업대상지 선정방법 연구,” *대한지리학회지*, 49(2), 264-274.
- 김오석·윤정호, 2015, “현 상태 유지 시나리오를 이용한 토지피복 변화 예측,” *한국도시지리학회지*, 18(3), 121-135.
- 김오석·은정·이영준, 2016, “산업단지 개발로 인한 산림훼손 시·공간 경향 분석: 경상북도와 경상남도 사례를 중심으로,” *한국도시지리학회지*, 19(3), 103-111. <https://doi.org/10.21189/jkugs.19.3.8>
- 김오석·한기주, 2015, “인도네시아 캄빠르 지역의 탄소

- 저감을 위한 시나리오별 기준선 설정 연구,” 한국지도학회지, 15(1), 59-68. <https://doi.org/10.16879/jkca.2015.15.1.059>
- 김한수, 2022, 아파트 녹지의 재발견, 도시의 핵심 그린 인프라로 활용하자, 경기연구원.
- 김현우·김호연, 2011, “수도권 신도시 건설과 서울 거주자의 통근통행패턴 변화,” 한국경제지리학회지, 14(3), 437-451. <https://doi.org/10.23841/egsk.2011.14.3.437>
- 남양주시, 2023, 디지털남양주문화대전. <https://www.grandculture.net/namyangju>
- 박경훈·송봉근·박재은, 2016, “토지피복유형과 지형특성이 폭염일수에 미치는 영향 분석,” 한국지리정보학회지, 19(4), 76-91. <https://doi.org/10.11108/kagis.2016.19.4.076>
- 박샘·최광용, 2016, “위성영상에 탐지된 1980년대 이후 수도권 지역의 도시 팽창,” 한국지리학회지, 5(3), 331-343.
- 박종철·김장수, 2014, “환경부 다중시기 토지피복도로 탐지한 토지피복 변화 지역의 정확도 평가: 구량천 유역을 사례로,” 한국지도학회지, 14(1), 61-75.
- 박호명·백태경, 2009, “원격탐사와 GIS를 이용한 부산 광역시 도시화지역의 확산과정과 토지이용 특성에 관한 연구,” 한국지리정보학회지, 10(1), 23-33.
- 손승호, 2018, “신도시 개발에 따른 화성시의 사회·경제적 공간재구조화,” 대한지리학회지, 53(6), 847-862.
- 손승호·남영우, 1999, “서울시 지가변동 패턴과 지역경향면분석: 1977~1997년,” 한국도시지리학회지, 2(1), 25-42.
- 송영배, 2002, “신도시 개발이 도시열섬 형성에 미치는 영향-분당신도시와 판교지역을 중심으로,” 한국조경학회지, 30(4), 37-46.
- 유상민·변병설·김수영, 2012, “택지개발사업에 따른 인구와 산업구조의 변화 특성 분석 - 천안시, 아산시를 대상으로,” 국토지리학회지, 46(4), 415-427.
- 이정희·임정호·김경민·허준, 2015, “다시기 Landsat TM 영상과 기계학습을 이용한 토지피복변화에 따른 산림탄소저장량 변화 분석,” 한국지리정보학회지, 18(4), 81-99. <https://doi.org/10.11108/>
- kagis.2015.18.4.081
- 이희연·이승민, 2008, “수도권 신도시 개발이 인구이동과 통근통행패턴에 미친 영향,” 대한지리학회지, 43(4), 561-579.
- 지은주·김다빈·김유경·이정아, 2023, “유형별 녹지 시뮬레이션을 통한 아파트 단지 내 도시열섬현상 저감효과 분석,” 한국조경학회지, 51(3), 153-165. <https://doi.org/10.9715/kila.2023.51.3.153>
- 환경부, 2013, 환경부 토지피복도 작성 지침.
- 황희연·권정주, 2010, “택지개발사업지구 지정에 따른 주변지역 개발행위가 공간분포 실태분석: 청주시를 대상으로,” 한국도시지리학회지, 13(3), 39-49.
- Altuwaijri, H. A., Alotaibi, M. H., Almudlaj, A. M. and Almaliki, F. M., 2019, Predicting urban growth of Arriyadh city, capital of the Kingdom of Saudi Arabia, using Markov cellular automata in TerrSet geospatial system, *Arabian Journal of Geosciences*, 12(4). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4261-z>
- Anderson, J. R., 1976, *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data* (Vol. 964). US Government Printing Office.
- Bai, X., Mcpearson, T., Cleugh, H., Nagendra, H., Tong, X., Zhu, T. and Zhu, Y.-G., 2017, Annual Review of Environment and Resources Linking Urbanization and the Environment: Conceptual and Empirical Advances, *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 215-240. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ>
- Beckers, V., Poelmans, L., Van Rompaey, A. and Dendoncker, N., 2020, The impact of urbanization on agricultural dynamics: a case study in Belgium, *Journal of Land Use Science*, 15(5), 626-643. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1769211>
- Chorley, R. J. and Haggett, P., 1965, Trend-Surface Mapping in Geographical Research, *The Royal Geographical Society*, 37, 47-67.
- Cojocariu, L., Copăcean, L., Horablagă, M., Bostan, C. and Sfircoci, M., 2022, Change Detection of the Grassland Surfaces in Hunedoara County by Land Change Modeler, *Research Journal of Agricultural Science*, 54(1), 37-46.

- Eastman, J., 2015, *TerrSet Manual. Clark Labs.* www.clarklabs.org
- Gao, Y. and Kim, D.S., 2011, Spatio-temporal change detection of land-use and urbanization in rural areas using GIS and RS - Case studies of Yongin and Anseong regions, *CNN Journal of Agricultural Science*, 38(1), 153-162.
- Gaur, S., Mittal, A., Bandyopadhyay, A., Holman, I. and Singh, R., 2020, Spatio-temporal analysis of land use and land cover change: a systematic model inter-comparison driven by integrated modelling techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 41(23), 9229-9255. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1815890>
- Hasan, S., Shi, W., Zhu, X., Abbas, S. and Khan, H. U. A., 2020, Future simulation of land use changes in rapidly urbanizing South China based on land change modeler and remote sensing data, *Sustainability*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114350>
- Hou, D., Meng, F. and Prishchepov, A. V., 2021, How is urbanization shaping agricultural land-use? Unraveling the nexus between farmland abandonment and urbanization in China, *Landscape and Urban Planning*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104170>
- Kalnay, E. and Cai, M., 2003, Impact of urbanization and land-use change on climate, *Nature*, 423(6939), 525-528. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Kim, O. S. and Neubert, M., 2019, Construction of a Historical Map Database as a Basis for Analyzing Land-Use and Land-Cover Changes, Exemplified by the Korean Demilitarized Zone and Inner-German Green Belt, *Korean Environment Institute*, 1-81. <http://www.kei.re.kr>
- Kim, O. S., Václavík, T., Park, M. S. and Neubert, M., 2022, Understanding the Intensity of Land-Use and Land-Cover Changes in the Context of Postcolonial and Socialist Transformation in Kaesong, North Korea, *Land*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/land11030357>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. and Xu, J., 2001, The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, *Global Environmental Change*, 11, 261-269.
- Măgureanu, M., Copăcean, L. and Cojocariu, L., 2022, Analysis of the Dynamics of Grasslands in the Mountain Area of Banat, Case Study, *Research Journal of Agricultural Science*, 54(3), 101-109.
- Pontius, R. G. and Malizia, N. R., 2004, Effect of Category Aggregation on Map Comparison, *International Conference on Geographic Information Science*, 3234, 251-268.
- Pontius, R. G., Shusas, E. and McEachern, M., 2004, Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 101(2-3), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Rahnama, M. R. and Wyatt, R., 2021, Projecting Land use change with neural network and GIS in northern Melbourne for 2014-2050, *Australian Geographer*, 52(2), 149-170. <https://doi.org/10.1080/00049182.2021.1920088>
- Shalaby, A. and Tateishi, R., 2007, Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt, *Applied Geography*, 27(1), 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2006.09.004>
- Singh, B., Venkatraman, V. and Deshmukh, B., 2022, Monitoring of land use land cover dynamics and prediction of urban growth using Land Change Modeler in Delhi and its environs, India, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(47), 71534-71554. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20900-z>
- Solaimani, K., Arekhi, M., Tamartash, R. and Miryaghobzadeh, M., 2010, Land use/cover change detection based on remote sensing data (A case study; Neka Basin), *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(6), 1148-1157. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1>

6.1148.1157

Turner, B. L., Meyfroidt, P., Kuemmerle, T., Muller, D. and Roy Chowdhury, R., 2020, Framing the search for a theory of land use, *Journal of Land Use Science*, 15(4), 489-508. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1811792>

Vaclavik, T. and Rogan, J., 2009, Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in Central Europe: A case study of the greater Olomouc region, Czech Republic, *GIScience and Remote Sensing*, 46(1), 54-76. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.46.1.54>

Zhu, L., Xing, H. and Hou, D., 2022, Analysis of carbon emissions from land cover change during 2000 to 2020 in Shandong Province, China, *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12080-0>

Žoncová, M. and Masný, M., 2022, Comparison of land cover spatial trend model and real land cover changes: case study of Slovak Republic, *Geocarto International*, 37(26), 13500-13517. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2082543>

교신: 김오석, 02841, 서울특별시 성북구 안암로 145 고려대학교 운초우선교육관 633호, 고려대학교 일반대학원 지리학과, 사범대학 지리교육과, 미래국토연구소
(이메일: oskim@korea.ac.kr)

Correspondence: Oh Seok Kim, Uncho-Useoun Hall #633, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Republic of Korea, Department of Geography, Graduate School of Korea University, Department of Geography Education, College of Education, and Institute of Future Land (e-mail: oskim@korea.ac.kr)

투고일: 2024년 12월 03일
심사완료일: 2024년 12월 11일
투고확정일: 2024년 12월 19일