국토계획
pISSN: 1226-7147, eISSN: 2383-9171
https://doi.org/10.17208/jkpa.2026.10.61.5.259
Check for updates
Journal of Korea Planning Association Vol.61, No.5 (2026)
대한국토·도시계획학회지 「국토계획」 제61권 제5호 pp.259-273

위성영상 기반 도시공간계획지표 활용 현황 연구*

A Study on the Status of Satellite Image-Based Urban Spatial Planning Indicators

이정민** · 최광열***
Lee, Jeongmin · Choi, Kwangyul

Abstract

Despite advancements in satellite technology producing a vast array of high-resolution, multitemporal imagery, its application in urban planning remains concentrated in limited domains. This study systematically analyzes the status of satellite image-based indicators within domestic urban planning research. A review of 133 relevant domestic academic papers identified 79 unique indicators. Accounting for overlapping applications across analytical dimensions, 307 indicator instances were extracted and categorized based on a three-dimensional framework comprising indicator type (single, composite, combined), planning domain, and planning step. A coding manual grounded in the National Land Planning and Utilization Act was established before the analysis to ensure classification objectivity, and all indicator names were standardized using well-known remote sensing terminology. The analysis revealed that the top five indicators—land cover, normalized difference vegetation index, land surface temperature, normalized difference built-up index, and urbanized area—accounted for 56.1% (172 instances) of the total. In terms of indicator types, 86.6% were classified as "single" indicators, whereas "combined" indicators, which integrate satellite imagery with ancillary spatial data (e.g., socioeconomic or topographic data), accounted for only 9.4%. Land cover alone accounted for 61 instances, whereas the remaining 74 indicators outside the top five collectively represented 135 instances (44.0%), with each appearing in six or fewer instances. This finding suggests that research remains skewed toward intuitive and policy-proven indicators addressing recurring urban issues such as sprawl, green space loss, and urban heat islands. Usage was predominantly focused on the "urban survey and future forecasting" step (87.3%), with minimal application in "goal setting" or "plan evaluation." This disparity reflects a structural constraint in which satellite-derived information serves primarily as a descriptive tool rather than a proactive instrument for long-term monitoring or policy feedback. Ultimately, this study emphasizes the need to diversify satellite-based indicators by integrating multisource spatial data, thereby enhancing the quantitative evidence base and evaluative capacity of future urban planning processes.

주제어 위성영상, 도시공간계획지표, 내용분석, 질적연구, 공간정보
Keywords Satellite Image, Spatial Planning Indicators, Content Analysis, Qualitative Research, Geospatial Information

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

2000년대 이후 위성영상 산출물이 본격적으로 제공되기 시작하면서 원격탐사 자료의 활용 범위는 급격히 확장되었다. 고해상도·다중시기 위성영상 자료가 축적됨에 따라, 그 활용은 농업·산림 등 자연환경 분야를 넘어 인구 추정, 주거지 환경 실태 조사 등 사회·경제적 연구 영역으로도 점차 확대되고 있다. 이는 위성영상이 원시 자료의 형태에 국한되지 않고, 분석 목적에 부합하는

* 이 논문은 2025년 11월 대한국토·도시계획학회 추계학술대회에서 발표한 논문을 수정·보완하여 작성하였음.
** Master's Student, Program in Smart City Engineering, Inha University (First Author: 3580ljm@inha.edu)
*** Associate Professor, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University (Corresponding Author: kwangyul@inha.ac.kr)

다양한 지표 형태로 가공·제공될 수 있기 때문이다. 대표적으로 식생지수, 지표면 온도, 토지피복과 같은 지표로 산출할 수 있으며, 이러한 지표들은 공간해상도, 분광해상도, 촬영주기 등의 특성에 따라 목적에 맞게 활용되며, 대표적인 위성영상으로는 Landsat, Sentinel-2, KOMPSAT 등이 있다. Landsat은 1972년 발사 이후 30m 공간해상도의 다중분광영상을 안정적으로 제공하여 장기 시계열 분석에 적합하며, Sentinel-2는 10~60m 해상도의 13개 분광밴드를 5일 이내의 짧은 촬영주기로 제공한다. 또한 KOMPSAT은 국내에서 발사된 독자적인 지구관측위성으로 0.55m급 고해상도 전자광학영상을 제공한다(이규성, 2021). 이처럼 위성영상은 광역적 공간 범위와 시계열적 연속성을 갖춘 자료로서, 식생지수·토지피복·지표면 온도 등 다양한 정량적 지표의 산출에 활용될 수 있다.

기존 도시계획 분야에서는 통계조사나 행정자료를 중심으로 지표를 산출해 왔으나, 이러한 자료는 조사 주기가 길어 최신 도시 현황을 즉각 반영하기 어렵다는 한계가 있는 반면(Wardrop et al., 2018), 위성영상은 광역 범위를 주기적으로 관측하고 식생분포, 열환경, 토지이용 변화 등 다양한 지표를 산출할 수 있어 도시계획 연구에서 보다 정밀한 분석 자료로 활용될 수 있는 잠재력을 지닌다. 그럼에도 위성영상이 도시계획의 각 부문과 절차에서 어떠한 양상으로 나타나는지에 대한 체계적인 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 도시계획 관련 연구에서 도출된 위성영상 기반 지표들을 종합적으로 검토하고, 위성정보의 활용 양상을 체계적으로 분석함으로써, 위성영상 기반 도시공간계획지표가 도시계획의 다양한 부문과 절차에서 어떻게 활용되고 있는지를 규명하는 것을 목적으로 한다.

II. 선행연구 고찰

1. 도시공간계획지표의 정의

도시공간계획지표는 도시계획 정책의 수립과 도시 관리 현황의 진단 등 도시 관리 전반에 걸쳐 활용되는 핵심 도구이다. 〈Table 1〉은 이러한 도시공간계획지표를 분류한 선행 연구를 정리한 것이다. 도시공간계획지표는 연구자에 따라 조금씩 다르게 정의되며, 공간지표, 도시계획지표, 계획지표 등 다양한 용어로 혼용되고 있다. 본 연구에서는 다양한 명칭을 아울러 '도시공간계획지표'를 통합적 용어로 사용하였으며, 도시계획 관련 연구에서 위성영상을 직접 활용하여 산출되고, 도시계획의 부문 및 절차에 적용할 수 있는 정량적 공간 지표를 도시공간계획지표로 정의하였다.

김형규 외(2025)는 계획지표를 도시·군기본계획의 비전과 목표를 정량적으로 설정하고 관리하기 위한 수단으로 정의하였으며, 도시는 이러한 지표를 통해 장기적인 발전 방향을 설정하고 정책 우선순위를 결정할 수 있다고 설명하였다. 연구에서는 도시·군기본계획을 구성하는 주요 지표로 인구 활동, 환경적 영향, 인구분포 등을 자동으로 산출하여 관리할 수 있는 빅데이터 기반 프로세스를 제시하였다. 한편, 문유석(2019)은 도시 지표를 도시생활환경을 대상으로 도시를 구성하는 각 요소의 상태나 변화를 측정하기 위해 설정된 일련의 척도라고 정의하였다. 연구에서는 도시 관리 현황을 진단하기 위해 교통, 시민 복지, 주거환경, 미세먼지 농도, 재정자립도 등 다양한 도시 지표를 활용하여 도시 경쟁력과 삶의 질 변화 추세를 평가하였다.

또한 박종안 외(2011)는 도시기본계획지표를 도시환경 변화의 효율적인 관리 전략을 제시하기 위한 방향을 설정하는 선행지수라고 정의하였는데, 해당 연구에서는 도시기본계획의 적정성을 검토하기 위해 계획지표의 설정 현황과 증가율 변화를 분석하고 계획인구, 주택 공급량, 상수도·하수도 보급률 등 도시기반시설 관련 지표의 변동성과 목표 달성도를 평가하였다. 이처럼 도시공간계획지표에 대한 정의는 연구자에 따라 차이를 보이지만, 도시 현황을 진단하고, 계획의 목표와 전략을 설정하며, 정책의 실행과 평가를 지원하는 일련의 척도라는 점에서 일치한다.

해외의 선행 연구에서도 도시공간계획지표는 공간의 특성과 계획 및 목적을 정량적으로 파악하고, 의사결정을 지원하는 도구로 정의된다. Sowińska-Świerkosz and Soszyński(2022)는 공간계획의 의사결정을 지원하기 위해 공간계획지표(Spatial Planning Indicators, SPI)를 공간 데이터 기반의 정량적 지표로 정의하고, 이를 지방자치단체, 마을, 공공 농촌 공간(마을광장·놀이터·학교 운동장·마을 상점 주변 공간 등), 단일 필지 등 서로 다른 공간 규모에 적용하였다. SPI는 원격탐사와 GIS 자료를 활용해 토지피복 특성, 거리, 접근성, 지형 등 다양한 공간 요소를 측정하는 지표로 구성되며, 문헌 분석을 통해 거리 지표, 토지피복 유형 지표, 토지피복 특성 지표, 변화 지표, 지형지물 지표의 다섯 범주로 체계화하였다. 해당 연구에서는 이러한 SPI가 공간 규모와 계획 목적에 따라 서로 다른 수준의 적합성과 효과성을 보인다는 점을 확인하였으며, 이를 통해 공간계획지표가 농촌 지역의 환경·경관 관리, 토지이용, 지속가능성 평가 등 다양한 분야에서 활용될 수 있음을 제시하였다.

또한 Wong(2015)은 UN-Habitat의 도시번영지표(City Prosperity Index, CPI)를 분석하여, 도시의 사회·경제·환경적 특성을 다차원적으로 측정하기 위한 지표 체계를 제시하였다. CPI는 생산성, 인프라, 삶의 질, 형평성 및 사회적 포용, 환경 지속가능성의 다섯 부문으로 구성되며, 각 부문은 교육, 보건, 공공공간, 기반 시설 접근성, 환경 오염도 등 구체적인 하위 지표를 포함한다. 해당 연구에서는 이러한 지표들이 도시의 복합적 상태를 진단하고 비교·평가를 가능하게 하는 도구로 활용되어야 한다고 보았으며, 지표 체계가 효과적으로 기능하기 위해서는 명확한 지표 정의, 자료의 일관성, 도시 간 벤치마킹이 가능한 구조가 필요

Table 1. Urban spatial planning indicators in previous studies

저자(연도) Author(Year)	지표 Indicators	지표 설명 Description
김형규 외 (2025) Kim et al. (2025)	인구 활동 Population activity	활동 인구, 심야 활동 인구, 주간 활동 인구, 야간 활동 인구, 토지이용 별 활동 인구 Active population, nocturnal, daytime active population, nighttime active population, active population by land use type
	환경적 영향 Environmental impact	토지이용 다양성, 공공시설 접근성, 공원면적 비율 Land use diversity, public facility accessibility, park area ratio
	인구분포 Population distribution	인구 압축도, 인구군집도 Population compactness, population clustering
문유석 (2019) Moon (2019)	교통 Transportation	대중교통 이용률, 버스 대 승용차 속도 비교 Public transit utilization rate, speed ratio of buses to passenger cars
	시민 복지 Social welfare	시민 1만 명당 사회복지사 수, 노후 생활자금 준비율, 국민기초생활보장 수급률 Number of social workers per 10,000 residents, retirement income preparation rate, national basic livelihood security recipient rate
	주거환경 Residential environment	보행로 이용 만족도, 1인당 도시공원 면적, 1인당 주거 면적 등 Pedestrian walkway satisfaction, per capita urban park area, per capita residential area, etc.
윤용석·송경일 (2022) Yoon and Song (2022)	사회문화 Socio-cultural	인구수, 문화시설 수, 공동체 행사 수, 참여 예술가의 수, 주민 참여 및 활동 현황 등 Population size, number of cultural facilities, number of community events, number of participating artists, resident participation and activity status, etc.
	경제 Economic	공시지가, 매출액 및 종사자 수, 가구별 월소득, 주요 지점 보행 통행량 등 Official land prices, sales revenue and number of employees, monthly household income, pedestrian traffic volume at major locations, etc.
	물리·환경 Physical environment	공가 및 폐가 호수, 노후 건축물 비율, 공원 및 녹지 면적, 접도율·도로율 등 Vacant and abandoned houses, proportion of aged buildings, park and green space area, road frontage rate and road ratio
Sowińska-Świerkosz and Soszyński (2022)	거리 Distance metrics	주거 지역까지의 거리, 수역까지의 거리, 도로까지의 거리 Distance to built-up area, distance to water, distance to road
	토지피복 특성 Land cover	집계 지표(연결성 지표), 밀도 지표(건물 및 도로 밀도) Aggregation metrics (connectivity metrics), density metrics (buildings and road density)
	토지이용 변화 Land use change	토지이용 변화, 시간에 따른 모든 유형의 토지이용 변화, 자연 및 반자연 지역 손실, 개발 지역과 개방(농업) 지역 간의 변화 Land use changes, all types of LC/LU change in time, natural and semi-natural areas lost, changes between built-up areas and open (agriculture) areas
Wong (2015)	기반시설 Infrastructure development index	인프라 및 주택 종합 지수 Combined index of infrastructure and housing
	삶의 질 Quality of life index	교육, 건강 및 공공 공간 통합 지수 Combined index of education, health, and public space
	형평성 및 사회적 포용 Equity and social inclusion index	대기질(PM10), 이산화탄소 배출량, 실내 오염의 통합 지수 Combined index of air quality (PM10), CO_2 emissions, and indoor pollution.

하다고 지적하였다. 이처럼 해외 연구에서도 도시공간계획지표는 도시 또는 지역의 특성을 정량적으로 파악하여 계획 수립과 정책 판단을 지원하는 분석 도구로 정의되며, 다양한 공간 규모와 계획 목적에 따라 활용되는 것으로 나타난다.

2. 지표 활용 연구 현황

국내 도시계획 분야에서 수행된 지표 활용 연구는 새로운 지표 체계를 제안하거나, 특정 정책 목적에 부합하도록 기존 지표를 재구성함으로써, 도시의 현황을 진단하고 계획 수립의 객관적 근거를 마련하는 데 주력해 왔다. 〈Table 2〉에 정리된 바와 같이 국내의 연구들은 공통적으로 지표를 항목별로 계층화하여 실무적인 진단 및 의사결정 지원 체계를 구축하는 것을 핵심 성과로 제시하고 있다. 우선 김억 외(2010)는 창의도시 평가를 위해 창의도시 지수 평가 모델을 제안하였다. 문헌·연구보고서 검토와 전문가 설문을 통해 8개 항목과 4개 부문을 결합한 지표 체계를 구축하고, 계층 분석 과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 통해 도출한 가중치를 적용하여 추상적인 도시 창의성을 단일 지수

Table 2. Domestic research using urban spatial planning indicators

저자(연도) Author (Year)	제목 Title	연구 주제 Research topic
김억 외 (2010) Kim et al. (2010)	A Study on Development of city-life indexing model for the creative city of the future	창의 도시 평가를 위한 지표체계 및 지수평가모형 제시 Presentation of an indicator system and index evaluation model for creative city assessment
김유정 외 (2018) Kim et al. (2018)	Development of Flood Mitigation Strategies for Urban Resilience - Focused on the Assessment of Gulpo Stream's Watershed in Incheon, South Korea -	도시홍수 대응 전략 및 계획지표 도출 Derivation of urban flood response strategies and planning indicators
박종안 외 (2011) Park et al. (2011)	Study of the Appropriacy of Key Plan Index Set-up in Comprehensive City Plan: Focusing on Projected Population, Planned Urbanized Area and Urban Spatial Structure	도시 기본 계획 지표 설정 현황 분석 Analysis of the current status of setting urban master plan indicators
엄정희 (2016) Eum (2016)	Vulnerability Assessment to Urban Thermal Environment for Spatial Planning - A Case Study of Seoul, Korea -	도시 구조적, 공간적 지표를 활용한 열환경 취약성 평가지표 선정 Selection of thermal environment vulnerability assessment indicators using urban structural and spatial indicators
윤용석·송경일 (2022) Yoon and Song (2022)	Development of Project Effect Monitoring Indicators of Urban Regeneration	도시재생 뉴딜사업 효과 모니터링 지표 구축 Development of monitoring indicators for the urban regeneration new deal project
임병호 외 (2010) Lim et al. (2010)	A Study on the Change and Prediction's Propriety of Planning Index in Daejeon Urban Master Plan	도시계획 지표의 변화 및 지표 설정 적정성의 실현율 평가 Evaluation of the implementation rate of changes in urban planning indicators and the appropriateness of indicator setting

로 수치화하는 지수화 모델을 제시하였다. 이를 통해 평가 기준이 모호했던 창의도시 평가를 체계화하고, 도시 관리의 취약 부문 식별과 정책 우선순위 결정에 활용할 수 있는 가이드라인을 제공하였다.

정삼석·하창현 (2014)은 도시 특성에 부합하는 용도지역 산정 기준을 마련하기 위해 163개 시·군 단위의 인구, 산업, 토지이용 관련 지표를 수집하고 통계 분석을 수행하였다. 연구 과정에서 요인분석을 통해 개발 규모와 성장성 등 6개의 핵심 요인을 추출하였으며, 이를 다시 7개의 도시 유형으로 군집화하는 과정을 통해 지표의 설명력을 확보하였다. 이는 일률적인 지수 산출을 넘어 각 도시 유형별 특성에 최적화된 토지이용계획 수립의 배경을 정의하고 용도지역 과다 지정을 방지하는 근거를 제시하였다.

또한, 엄정희(2016)는 공간계획 분야에서 활용할 수 있는 열환경 취약성 진단 체계를 구축하기 위해 기후 노출, 민감도, 적응 능력의 3개 분야로 지표를 구조화하였다. 해당 연구는 GIS 공간분석과 퍼지 로직을 결합하여 지표 간의 상충 관계를 통합한 열환경 취약성 지도를 제작함으로써, 픽셀 단위의 정량적 공간정보를 산출하는 구체적인 분석 절차를 수행하였다. 이를 통해 강남과 강북의 기후 취약 특성을 비교·분석하고, 단순 지표 나열을 넘어 실제 도시계획 현장에서 즉각적인 개입이 필요한 공간적 타겟을 식별하였다는 점에서 의의가 있다. 이들 연구를 종합하면 몇 가지 공통점과 차이점이 존재한다. 공통점으로는 세 연구 모두 방대한 지표군을 나열하는 데 그치지 않고, 통계적 기법(AHP, 요인분석, 퍼지 로직 등)을 적극 도입하여 의사결정 지원 도구를 산출하였다는 점이다. 반면 지표의 운용 지향점에 있어 차이점을 보이는데, 김억 외(2010)가 질적 가치를 수치화하는 평가 중심의 지수화에, 정삼석·하창현 (2014)이 계획 수립의 배경을 정의하는 진단 중심의 유형화에 집중했다면, 엄정희(2016)는 지표를 공간 정보와 결합하여 시각화하는 공간 중심의 지도화에 초점을 맞추었다. 이처럼 국내 연구는 목적 지향적 구조를 공유하면서도 각기 다른 분석 기법을 통해 지표의 실천적 활용성을 높여왔음을 알 수 있다.

해외의 도시계획 분야의 지표 활용 연구는 국내와 마찬가지로 다양한 지표 체계를 구축함과 동시에, 지표가 실제 계획 과정에 통합되는 조건이나 장기적인 모니터링 체계에서의 설명력을 확보하는 방식으로 활용되었다. 〈Table 3〉은 해외에서 수행된 주요 지표 활용 연구를 정리한 것이다. 먼저 Schindler and Dionisio(2024)는 도시의 사회·공간적 결과를 평가하기 위한 사회공간 지표(socio-spatial indicators)의 실무 적용성을 검토하였다. 연구 과정에서 국제 문헌 고찰과 뉴질랜드 도시계획 실무자 대상 설문 및 인터뷰를 실시하여, 문화적 적합성을 갖춘 데이터의 부족과 참여 구조의 부재 등 지표의 실질적 통합을 저해하는 요인을 분석하였다. 해당 연구는 지표 개발 자체보다 지표 기반 의사결정이 정책 현장에서 왜곡되거나 단절되는 원인을 규명하고, 지역적 맥락을 반영한 유연한 지표 운용 방안과 제도적 개선의 필요성을 강조하였다는 점에서 정책적 기여도가 크다.

이어 Cengiz et al.(2022)은 터키 앙카라시를 대상으로 1984년부터 2018년까지의 다중시기 위성영상을 활용하여 도시 성장 패턴을 추적하고, 엔트로피 지수와 공간 메트릭을 적용해 도시

Table 3. Current status of research abroad on the utilization of urban indicators

저자(연도) Author (Year)	제목 Title	연구 주제 Research Topic
Bourdic et al. (2012)	Assessing Cities: A New System of Cross-Scale Spatial Indicators	도시 평가를 위한 새로운 다차원적 공간 지표 체계 개발 연구 Development of a new system of cross-scale spatial indicators for urban assessment
Cengiz et al. (2022)	Analysis of the Urban Growth Pattern Through Spatial Metrics: Ankara City	공간계획지표를 활용한 도시 성장 패턴 분석 Development of a spatial-metrics-based framework for analyzing urban growth patterns
Garau and Pavan (2018)	Evaluating Urban Quality: Indicators and Assessment Tools for Smart Sustainable Cities	지속 가능 도시의 도시 질 평가를 위한 지표 및 평가 Development of indicator-based assessment tools for evaluating urban quality in smart sustainable cities
Mascarenhas et al. (2015)	Selection of Sustainability Indicators for Planning: Combining Stakeholders' Participation and Data Reduction Techniques	이해관계자 의견과 데이터 축소 기법을 통합한 지속가능성 계획 지표 선정 Development of a sustainability-indicator selection approach integrating stakeholder participation and data reduction techniques
Ruan et al. (2019)	High Spatial Resolution Landscape Indicators Show Promise in Explaining Water Quality in Urban Streams	도시 하천의 수질 설명 및 평가를 위한 고해상도 경관 지표 개발 Development of high-spatial-resolution landscape indicators for explaining and assessing water quality in urban streams
Schindler and Dionisio (2024)	Planning for Urban Livability: Integrating Socio-Spatial Indicators in City-Making	도시 생활성 향상을 위한 사회공간지표의 도시계획 통합 접근법 개발 Development of an approach for integrating socio-spatial indicators into city-making for urban livability planning

개발 형태를 정량화하였다. 특히 도시 확산(sprawl)과 압축 개발(compactness)의 임곗값을 산출하여 토지이용 정책의 변화가 공간구조에 미치는 영향을 규명하였다. 이는 원격탐사 자료 기반의 공간 지표가 도시계획 전략의 효과를 시계열적으로 검증하고 미래 성장을 관리하는 객관적 도구임을 입증하였다는 의의가 있다.

Mascarenhas et al.(2015)은 포르투갈 알가르브 지역의 지속가능성 지표 선정 과정의 고도화에 초점을 맞추어, 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)과 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation, MCS)을 활용해 지표의 중복성을 제거하고 정보 손실을 최소화하는 자료 정제 절차를 수행하였다. 이 과정에 이해관계자의 의견 수렴을 결합함으로써, 수많은 후보 지표 중 계획의 성과를 가장 잘 대표하면서도 통계적 민감도가 높은 핵심 지표 세트를 도출하는 방법론적 가이드라인을 제시하였다. 이는 지표 선정 과정에서 발생할 수 있는 주관성을 배제하고 과학적 엄밀성을 확보하는 데 기여하였다.

또한 Garau and Pavan(2018)은 스마트 지속가능도시의 품질 평가를 위해 객관적 지표와 주관적 지표를 결합한 도시 품질지수(Indicator of Smart Urban Quality, ISUQ)를 개발하였다. 이탈리아 칼리아리시를 대상으로 환경, 안전, 건강 등 다각적인 부문의 체크리스트와 공간 정보를 활용해 동네 단위의 정량 평가를 수행하였으며, 이를 통해 도시재생이 시급한 지역을 식별하는 실무 모델을 제시하였다. 이는 지표를 정책적 개입의 표적화 도구로 활용하여 자원 배분의 효율성을 높이는 구체적인 적용 사례를 보여주었다.

공간적 분석 범위를 확장한 Bourdic et al.(2012)은 건물, 블록, 지구, 도시의 네 단계 규모를 통합적으로 고려하는 60개의 교차 규모 지표체계를 제안하여, 도시 형태가 에너지 효율성과 사회적 접근성에 미치는 영향을 다층적으로 분석하였다. 마지막으로 Ruan et al.(2019)은 캐나다 밴쿠버를 대상으로 RapidEye 위성과 LiDAR에서 산출된 불투수면적, 패치 구조 등 경관 지표를 실제 수질 데이터와 결합하여, 공간 지표가 수질 변동의 최대 50%까지 설명할 수 있음을 통계적으로 검증하였다. 이는 고해상도 영상 기반 지표가 도시 생태계 모니터링의 핵심 척도로서 높은 예측력을 보유하고 있음을 입증한 연구이다.

이러한 해외 연구들은 몇 가지 공통점과 차이점을 보인다. 공통점으로는 지표를 정의하는 수준에 머물지 않고, 위성영상, 시뮬레이션, 실무자 설문 등 이종 자료를 결합하여 지표의 신뢰성과 실제 현장 적용 시의 설명력을 입증하려 했다는 점이다. 반면 차이점은 분석의 지향점에 있다. Schindler and Dionisio(2024)와 Mascarenhas et al.(2015)이 지표의 통합 조건과 선정 기법이라는 방법론적 측면에 집중했다면, Cengiz et al.(2022)과 Ruan et al.(2019)은 원격탐사 정보를 활용하여 물리적 변화와 환경적 인과관계를 규명하는 실증적 활용에 무게를 두었다. 아울

러 Bourdic et al.(2012)과 Garau and Pavan(2018)은 분석의 단위를 다중 스케일과 커뮤니티로 확장하여 지표의 공간적 적용 범위를 구체화하였다는 특성을 보인다. 국내·외 선행 연구를 비교해 보면 지표 활용의 목적과 적용 방식에서 뚜렷한 차이가 나타난다. 국내 연구는 주로 특정 정책 목표나 계획 과제를 위한 지표 체계 개발, 혹은 도시 현황 진단을 위한 정량적 지표 활용에 집중되어 있다. 예를 들어 창의도시 평가(김억 외, 2010), 토지이용계획 요인 도출(정삼석·하창현, 2014), 열환경 취약성 평가(엄정희, 2016)처럼, 명확한 목표를 달성하기 위해 지표를 구성하고 활용하는 목적 지향적 구조가 강하게 나타난다. 이러한 연구들은 지표 설정과 구조화에 강점을 가지지만, 지표가 실제로 목표 달성 여부를 장기적으로 평가하거나, 시계열로 변화를 추적하는 데에는 상대적으로 한계가 있다. 반면 해외 연구는 위성영상과 이종 공간정보 기반 지표를 결합하여 도시의 공간구조, 환경 변화, 사회적 조건을 장기적으로 관찰하거나, 다양한 자료를 결합해 복합적 현상을 설명하는 접근이 두드러진다. 도시 확산 패턴 분석(Cengiz et al., 2022), 수질·경관 구조 관계 분석(Ruan et al., 2019), 도시형태 및 다층적 공간지표 구축(Bourdic et al., 2012), 사회공간지표를 통한 삶의 질 측정(Schindler and Dionisio, 2024) 등은 다중시기 위성영상과 이종 공간정보 결합을 적극적으로 활용한다는 점에서 국내 연구와 차별화된다. 특히 해외 연구들은 지표를 단순히 설정하고 정의하는 단계에 머물지 않고, 지속적인 모니터링, 정책 평가, 도시 변화 진단에 직접 활용하는 경향이 강하다. 이처럼 선행 연구에서는 도시공간계획지표의 정의와 활용 범위를 폭넓게 제시하고 있으며, 이중 토지피복, 식생 분포, 열환경 분석 등과 같은 공간적 특성을 나타내는 지표들은 위성영상을 통해 산출할 수 있다. 그러나 이러한 이종 공간정보를 결합한 연구는 국내·외에서는 비교적 제한적인 상황이다. Wellmann et al.(2020)은 도시계획·원격탐사·생태학을 통합한 186편의 논문을 분석하여, 세 분야를 완전히 통합한 연구가 12%에 불과하고 계획 현장에 직접 기여하는 연구도 제한적이라고 지적하였다. Patino and Duque(2013)는 위성영상 활용이 도시 성장, 삶의 질, 인구 추정, 사회적 취약성 등 일부 주제에 집중되어 있음을 보고하였으며, Finizio et al.(2024) 역시 일부 위성자료에 활용이 집중되는 양상을 확인하였다. 이는 위성영상 활용의 편중과 이종 자료 통합의 부족이 국내에만 국한된 현상이 아님을 보여준다. 본 연구는 이러한 내용을 바탕으로, 국내의 실제 도시계획 관련 연구에서 위성영상을 직접 활용하여 산출된 지표가 어느 부문과 절차에서 활용되었는지를 분석하는 것을 목적으로 한다.

3. 본 연구의 차별성

선행 연구 고찰 결과, 국내 도시계획 분야에서는 토지이용, 환경, 사회·경제 등 다양한 도시공간계획지표가 활용됐으나, 이러한 지표들은 대부분 통계자료나 행정조사 기반으로 산출되어 온 것으로 확인된다. 그러나 통계 기반 지표는 조사 주기가 길어 최신 도시 현황을 즉각적으로 반영하기 어렵고(Wardrop et al., 2018), 통계자료에 의존한 분석만으로는 공간적으로 세밀한 분석에는 한계가 있다(임은선 외, 2006). 또한 행정조사 중심의 자료는 조사 방식이나 기준에 따라 결과가 달라질 수 있어 일관성 있는 정책 활용에 제약이 따른다. 반면 위성영상은 고해상도와 다중시기 자료를 안정적으로 제공할 뿐 아니라 광범위한 지역을 동시에 관측하고 접근이 어려운 지역도 탐사할 수 있다는 점에서, 도시공간계획지표의 시계열적·공간적 신뢰도를 높일 수 있는 잠재력을 지닌다(이규성, 2021). 그럼에도 기존 연구들은 위성영상을 활용한 개별 분석 사례는 풍부하게 축적되어 있으나, 도시계획의 부문과 절차에 적용할 수 있는 위성영상 기반 지표들을 체계적으로 정리하고 분류한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 도시계획 분야에서 수행된 위성영상 활용 연구를 분석하여, 실제 연구에서 사용된 지표 산출 자료를 기반으로 이를 유형별, 도시계획의 부문별·절차별로 재편성함으로써 위성영상 기반 도시공간계획지표의 활용성을 검토하고자 한다. 이러한 접근은 기존 연구가 개별 지표 또는 특정 분야 중심의 분석에 머물렀던 것과 달리, 위성영상 기반 도시공간계획지표를 구조화한 시도라는 점에서 학문적 차별성을 지닌다. 특히 본 연구는 이들 지표를 유형·부문·절차의 3중 분류체계로 정리하여 국내 도시계획에서 위성정보 활용의 구체적 양상을 제시하고, 활용이 부족한 영역을 도출하였다. 이를 통해 도시공간계획지표가 기존의 통계 중심 구조를 넘어 향후 위성영상 기반의 결합형·시계열 지표 개발로 확장될 수 있는 방향성을 제시하고, 도시계획의 실증성과 평가 가능성의 기반을 마련하였다는 점에서 의의를 지닌다.

Ⅲ. 분석의 틀

1. 분석 자료 수집 및 분석 방법

1) 분석 자료 수집

분석 자료는 정우진 외(2025)에서 구축한 국내 위성영상 기반 도시 연구 논문 데이터베이스를 활용하였다. 해당 연구는 위성영상 산출물이 본격적으로 제공되기 시작한 1999년 이후를 고려하여, 2000년부터 2024년 6월까지 발표된 국내 논문을 수집 대상으로 하였으며, 학술 데이터베이스인 DBpia를 통해 KCI 등재 및 KCI 우수 등재 학술지에 게재된 논문을 대상으로 검색을 수행하였다.

해당 연구의 문헌 수집은 2단계로 진행되었다. 1차 검색에서는 KCI 우수등재지로 지정된 도시 관련 학술지(국토계획, 대한교통학회지, 대한토목학회지, 대한지리학회지, 한국환경보건학회지,

대한원격탐사학회지)를 선정하고, 위성영상을 직·간접적으로 지칭하는 키워드(원격탐사, 위성영상, 위성정보, 인공위성), 위성영상의 종류를 나타내는 키워드(Landsat, Sentinel, SPOT, SAR, MODIS), 위성영상이 제공하는 정보와 관련된 키워드(NDVI, 정규식생지수)를 '도시' 키워드와 결합하여 검색을 수행하였다. 1차 검색을 통해 총 86편의 논문이 수집되었으며, 2차 검색에서는 검색 대상을 KCI 등재 학술지 전체로 확대하여 '위성'과 '도시' 키워드를 결합하여 검색한 결과 148편을 추가 수집하였다. 이후 중복 논문을 제거하여 최종 230편의 논문 데이터베이스를 구축하였다(정우진 외, 2025).

본 연구에서는 이전 연구에서 수집된 230편의 논문 중 위성영상을 직접 활용한 연구만을 분석 대상으로 선정하였다. 이를 위해 제목과 초록을 검토하여 위성영상을 직접 분석에 활용하지 않고 단순히 인용한 연구를 제외하였으며, LiDAR 및 항공사진 등 위성영상이 아닌 이미지 자료를 활용한 논문은 분석 범위에서 제외하였다. 항공사진과 LiDAR는 위성영상과 달리 주기적·반복적 관측을 통한 시계열 자료 구축에 한계가 있으므로(이규성, 2021), 본 연구에서는 이를 제외하였으며, 최종적으로 133편의 논문을 선별하였다.

해당 논문을 대상으로 각 연구에서 위성영상을 활용하여 도출한 지표를 추출하였으며, 분석의 일관성을 위해 다음과 같은 기준을 적용하였다. 우선 각 논문에서 위성영상을 직접 분석하여 산출한 결괏값을 지표로 간주하여 수집하였다. 이때 타 문헌의 지표를 단순히 인용한 경우는 제외하고, 해당 연구자가 위성 자료로부터 직접 계산하거나 가공하여 얻은 지표만을 선별하였다. 추출된 지표들은 연구자마다 '녹지율', '식생분포', 'NDVI' 등 서로 다른 용어로 기술되어 있었으나, 분석의 정확성을 위해 이를 'NDVI'와 같이 표준화된 명칭으로 재정의하였으며, 이를 바탕으로 단일·복합·결합형 유형 분류 및 분야별 활용 현황 분석을 수행하였다.

2) 분석 방법

분석 방법으로는 방대한 자료를 분류하고 범주화하여 공통적 특성과 경향을 도출하는 데 적합한 질적 내용분석을 사용하였다. 본 연구에서의 내용분석은 단순 빈도 산출에 그치는 것이 아니라, 사전에 설정된 분류 매뉴얼에 따라 지표를 체계적으로 분류하고 도시계획적 맥락에서 해석하는 과정을 포함한다. 내용분석은 문서 자료뿐만 아니라 그림, 상징적 기호, 의사소통과 같은 모든 종류의 자료를 활용하는 연구 방법이다. 선행 연구에 따르면, Weber(1985)는 내용분석은 텍스트로부터 타당한 추론을 끌어내기 위해 일련의 절차를 사용하는 연구 방법이라고 정의하였으며, 내용분석의 대표적 이론가인 Krippendorff(2004)는 내용분석이란 연구 자료로부터 반복할 수 있고 타당한 추론을 끌어내는 데 필요한 연구 기법이라고 정의하였다(최성호 외, 2016). 이러한 질적 내용분석의 과정에는 정해진 절차가 없어 연구자의 주관적 판단이 개입될 수 있다는 한계가 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 국토의 계획 및 이용에 관한 법령을 참고하여(도시·군기본계획수립지침, 2023; 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 2024) 〈Table 4〉와 같은 분류체계를 사전에 설정하여 지표 구분의 기준을 명확히 하고, 동일한 기준에 따라 자료를 구조화함으로써 위성영상 기반 지표를 유형·부문·절차의 3중 분류체계로 분류하여 주관성을 최소화하고 분석의 일관성을 확보하였다.

분류 매뉴얼은 위성영상의 활용 방식에 따른 지표 유형 분류를 위해 유형별 기준을 설정하였고 도시계획의 어떤 부문에서 지표가 활용되는지를 분석하기 위해 부문별 분류 기준을 마련하였다. 또한, 도시계획의 어느 단계에서 지표가 사용되는지를 함께 파악하기 위해 절차별 분류 기준을 설정하였다. 이러한 매뉴얼은 지표를 임의로 분류하는 것을 방지하고, 동일한 기준에 따라 자료를 구조화함으로써 분석의 일관성과 객관성을 확보하였다.

이후, 이러한 분류 매뉴얼에 따라 각 연구에서 활용된 지표를 체계적으로 정리하기 위해 〈Table 5〉의 예시와 같이 도시공간계획지표 정리표를 작성하였다. 실제 지표 정리표에는 제목 및 저자, 연구 내용 요약, 지표 설명, 지표 유형(단독, 복합, 결합), 부문, 절차, 활용 위성영상의 명칭 및 공간해상도 등을 포함하였다. 도시공간계획지표의 유형별 구분은 단독·복합·결합으로 구분하였으며, 단독 지표는 하나의 위성영상만을 활용하여 도출된 지표, 복합 지표는 두 개 이상의 위성영상을 활용하여 도출된 지표를 의미한다. 마지막으로 결합 지표는 위성영상 기반 지표와 이종 공간정보(수치표고자료, 인구밀도 등)를 결합한 지표를 의미한다.

또한, 이를 도시계획 연구의 맥락에서 해석하기 위해 부문별 구분과 절차별 구분으로 분류하였는데, 부문별 구분은 도시계획의 부문 체계에 따라 분류하였으며 계획인구 추정, 토지이용계획, 교통계획, 기반시설계획, 공원 및 녹지계획 등이 포함되며, 절차별 구분은 도시계획 과정에 따라 목표설정, 도시조사 및 미래예측, 대안의 설정 및 평가, 계획의 평가로 나누어 정리하였다.

Ⅳ. 분석 결과

1. 전체 지표 결과

본 연구는 총 133편의 논문을 대상으로 위성영상 기반 도시공간계획지표를 체계적으로 분석하였으며, 〈Table 6〉은 상위 지표 분포를 정리한 것이다. 분석 결과, 고유 지표의 종류는 총 79개로 확인되었으며, 이들 지표는 중복을 포함하여 총 307건의 지표 활용 사례가 확인되었다. 여기서 79개는 분석 과정에서 도출된 서로 다른 지표의 종류를 의미하며, 307건은 133편의 논문에서 각

Table 4. Manual for classifying urban spatial planning indicators

구분 Category	도시공간계획지표 분류 Classification of urban spatial planning indicators	
유형별 Classification	단독 Single	한 개의 위성영상을 단독으로 활용하여 도출된 지표 Indicators derived from a single satellite image
	복합 Composite	두 개 이상의 위성영상을 활용하여 도출된 지표 Indicators derived from multiple satellite images
	결합 Combined	위성영상과 이종 공간정보를 결합하여 도출된 지표 Indicators generated by integrating satellite imagery with ancillary spatial data
부문별 Subfield	계획인구 추정 Population projection	도시의 공간구조 설정과 인구 배분·수요 예측을 위한 인구 기반 계획 A population-based planning category for spatial structure design and population distribution forecasting
	토지이용계획 Land use planning	도시 토지의 이용·개발 방향과 용도별 수요·공급을 조정하기 위한 종합적 토지 계획 A comprehensive land plan that guides land use, development direction, and use-specific supply and demand
	교통계획 Transportation infrastructure planning	도시의 이동 체계 구축과 교통 기반 시설의 적정 배분·정비를 위한 계획 A plan for organizing mobility systems and allocating transportation infrastructure
	기반시설계획 Infrastructure planning	도시 기능 유지와 생활 편익을 지원하는 공공성 기반의 물리적 도시기반시설에 관한 계획 A plan addressing public-serving urban infrastructure essential for sustaining urban functions and daily life
	공원 및 녹지계획 Park & green space planning	도시의 녹지 체계와 공원, 광장, 자연환경의 보전·확충에 관한 계획 A plan for conserving and expanding urban green systems, including parks and natural spaces
	경관계획 Landscape planning	자연, 지형, 도시경관의 보전과 조화를 위한 경관관리 계획 A plan for managing and preserving natural and urban landscape elements
	안전 및 방재계획 Safety & hazard mitigation planning	재난, 범죄 등 도시 안전 위험을 분석하고 예방 및 대응체계를 구축하는 계획 A plan that assesses urban safety risks and establishes disaster and crime prevention systems
	기후 및 환경계획 Climate & environmental response planning	기후변화 대응, 에너지 절약 및 기상·기후 특성 분석을 위한 계획 A plan addressing climate change adaptation, energy conservation, and meteorological analysis
절차별 Step	목표설정 Goal setting	장기적인 발전 방향과 목표 설정 Setting long-term development goals
	도시조사 및 미래예측 Urban survey and future forecasting	도시 현황 분석 및 인구, 산업, 환경의 미래 수요 예측 Assessing current conditions and forecasting future population, industry, and environmental demand
	대안의 설정 및 평가 Setting and evaluation of alternatives	다양한 계획 대안의 비교·평가 Comparing and evaluating multiple planning alternatives
	계획의 평가 Plan evaluation	수립된 계획의 이행 및 성과 평가 Evaluating implementation and performance of the plan

지표가 산출된 총 활용 횟수를 의미한다. 동일한 지표라도 복수의 논문에서 활용된 경우 각각 집계하였으므로, 307건은 79종의 지표가 논문별로 중복 산출된 총합에 해당한다.

이 중 상위 5개 지표가 172건으로 전체의 56.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 도시공간계획 분야에서 위성영상을 활용한 지표 산출이 일부 핵심 지표에 강하게 집중되어 있음을 의미한다. 가장 높은 활용 빈도를 보인 지표는 토지피복으로, 총 61건(19.9%)이 확인되었으며, 이는 도시공간 계획연구에서 토지이용 현황과 공간구조 파악이 가장 기본적이면서도 핵심적인 분석 대상임을 보여준다. 이어 NDVI(46건, 15.0%)와 LST(38건, 12.4%)가 높은 활용 빈도를 보였는데, 이들 지표는 각각 도시 내 식생 분포와 열환경을 정량적으로 파악할 수 있다는 점에서 도시환경 문제와 직접적으로 연관된다. 한편, 도시화 지역 지표는 16건(5.2%), NDBI(Normalized Difference Built-up Index)는 11건(3.6%)을 차지한다. 반면, 나머지 74개 지표는 135건(44.0%)을 차지하나, 각각의 활용 빈도가 6건 이하로, 이러한 지표 활용의 편중 현상은 단순히 연구자의 선택 문제라기보다는, 국내 도시계획 연구가 주로 도시 확장, 녹지 감소, 도시열섬과 같은 반복적 정

Table 5. Example classification table for urban spatial planning indicators

지표 Indicator	지표설명 Description	유형별 Classification			부문별 Domain	절차별 Step
		단독 Single	복합 Composite	결합 Combined		
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	도시화로 인한 논, 밭, 산림 등 녹지공간 감소 분석 Analysis of the decline in green spaces such as rice fields, farmland, and forests due to urbanization	○			공원 및 녹지계획 Park & green space planning	도시조사 및 미래예측 Urban survey and future forecasting
지표온도 Land surface temperature	IKONOS와 Terra 위성영상 자료를 중첩하여 지표 온도 분포 특성 산출 Calculating surface temperature distribution characteristics by overlaying IKONOS and Terra satellite imagery data		○		토지이용계획 Land use planning	도시조사 및 미래예측 Urban survey and future forecasting
토지피복 Land cover	위성영상과 DEM(수치표고자료)를 결합하여, 도시, 산림, 수계, 기타의 네 가지 항목으로 분류 By combining satellite imagery and DEM (Digital Elevation Model), classified into four categories: urban, forest, water systems, and others			○	토지이용계획 Land use planning	도시조사 및 미래예측 Urban survey and future forecasting

Table 6. Frequency of top indicators

순위 Rank	지표명 Indicator	건수(%) Instances (%)
1	토지피복 Land cover	61 (19.9%)
2	NDVI	46 (15.0%)
3	LST	38 (12.4%)
4	도시화 지역 Urbanized area	16 (5.2%)
5	NDBI	11 (3.6%)
6	EVI	6 (2.0%)
7	NDWI	6 (2.0%)
8	SAVI	5 (1.6%)
9	Albedo	5 (1.6%)
10	기타 Others	113 (36.7%)
합계 Total		307 (100%)

책 이슈를 중심으로 축적됐다는 점과 밀접한 관련이 있다. 즉, 위성영상 기반 지표는 정책적으로 이미 중요성이 강조된 주제를 설명하기 위한 수단으로 활용됐으며, 그 결과 직관적이고 설명력이 높은 지표에 연구가 집중되는 구조가 형성된 것으로 해석할 수 있다. 이 중 주요 지표로는 EVI(Enhanced Vegetation Index, 6건), NDWI(Normalized Difference Water Index, 6건), SAVI(Soil Adjusted Vegetation Index, 5건), Albedo(지표면 반사도, 5건) 등이 있으며, 이들은 식생 활력, 수체 분포, 토양 영향 보정, 지표 에너지 특성 등 보다 세부적인 환경 특성을 반영할 수 있음에도 활용 빈도는 상대적으로 낮았다. 이는 위성영상의 다양한 정보 제공 가능성에 비해 도시계획 연구에서의 활용 범위가 제한적임을 보여준다. 따라서 향후 도시계획의 다양한 부문과 절차로 활용 범위를 확장할 필요가 있다.

도시공간계획지표 산출에 활용된 위성은 총 21종이었으나, Landsat, KOMPSAT, SPOT, Sentinel, MODIS, IKONOS 등 상위 6개 위성이 전체 활용도의 약 75%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 위성의 종류는 다양하지만, 실제 연구에서는 일부 위성에 대한 활용이 반복되고 있음을 의미한다. 이러한 결과는 위성영상의 접근성, 비용, 시계열 자료 확보 가능성, 공간해상도 특성 등이 복합적으로 작용한 결과로 해석할 수 있다. 특히 Landsat과 MODIS와 같이 장기간 축적된 시계열 자료를 제공하는 위성은 도시 변화 분석과 장기 추세 파악에 적합하다는 점에서 도시계획 연구에 반복적으로 활용되어 왔다. 반면, 고해상도 위성의 경우 공간 정보의 세밀한 분석이 가능함에도, 비용 부담과 자료 접근성의 한계로 인해 활용 빈도가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 보인다. 또한 도시계획 분야에서는 산림 연구와 달리 개별 식생 종이나 세부 피복 유형을 구분하기보다는, 녹지의 존재 여부나 토지피복 유형과 같은 거시적 공간 특성을 파악하는 경우가 많다. 이로 인해 고해상도 위성영상이 반드시 요구되지 않는 연구 환경이 형성되었으며, 이러한 점이 특정 위성에 대한 활용 집중으로 이어졌을 가능성이 있다.

2. 지표 유형별 결과

지표 유형별 분석 결과, 전체 307건의 도시공간계획지표 중 단독 지표는 266건(86.6%)으로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 복합 지표는 12건(3.9%), 결합 지표는 29건(9.4%)으로 나타났다. 이

는 위성영상 기반 도시공간계획지표가 대부분 단일 위성영상 자료만을 활용하여 산출되고 있으며, 서로 다른 위성 자료를 결합하거나 이종 공간정보와 연계하여 구성된 지표는 상대적으로 제한적인 수준에 머물러 있음을 의미한다. 〈Table 7〉은 이러한 유형별 지표 활용 빈도를 정리한 표이다. 한편, 유형별 분석에서는 토지피복, 도시화 지역, 토사이동 변화 등 하나의 지표가 단독·복합·결합 유형에 동시에 포함되는 경우가 확인되었으며, 이는 일부 범용 지표가 다양한 유형의 지표 구성에서 반복적으로 활용되고 있음을 보여준다.

단독 지표는 총 73종의 지표로 구성되었으며, 이 중 NDVI가 46건으로 가장 많았고, 이어 토지피복 42건, LST 38건 순으로 나타났다. 복합 지표는 5종, 결합 지표는 9종으로 확인되었으나, 일부 지표는 단독·복합·결합 유형에 중복 포함되는 것으로 나타났다. 예를 들어 토지피복 지표는 단일 위성영상만을 활용한 단독 지표로도 사용되었으며, 서로 다른 위성자료를 결합한 복합 지표와 현장·공간정보를 연계한 결합 지표 형태로도 활용되었다. 이로 인해 유형별 지표 수의 합은 전체 고유 지표 수인 79종과 일치하지 않는다. 이처럼 단독 지표 내부에서도 핵심 지표가 반복적으로 사용되는 구조가 나타났으며, 이러한 지표들은 도시 내 녹지 분포, 열환경 특성, 토지피복 상태 등 공간적 패턴을 직관적으로 제시할 수 있다는 장점이 있어, 도시공간계획지표로 반복적으로 활용된 것으로 해석할 수 있다. 특히 토지피복, NDVI, LST는 도시화 진전, 녹지 변화, 도시열섬 등 도시계획 및 도시환경 분야에서 지속적으로 다루어져 온 핵심 이슈와 직접적으로 연관되어 있어, 지표 단위에서도 활용이 집중되는 경향을 보였다.

복합 지표는 12건으로 나타나 전체 지표 중 매우 낮은 비중을 차지하였다. 복합 지표는 총 5종으로 확인되었으며, 이들 지표는 주로 서로 다른 위성 자료를 결합하여 시공간적 해상도의 한계를 보완하거나, 단일 지표로는 포착하기 어려운 현상을 분석하기 위해 구성되었다. 예를 들어 MODIS와 Landsat 영상을 결합하여 월별 고해상도 NDVI 영상과 NDVImax를 생성하고, 이를 기반으로 토지피복 유형별 식생 활력도 차이를 분석한 지표는 시계열 정보와 공간해상도를 동시에 확보하려는 시도로 볼 수 있다. 복합 지표의 세부 구성은 토사 이동 변화(5건)가 가장 많았고, 그 외 식생 활력도(2건), 지표 온도(2건), 토지피복(2건), 산불 피해지역(1건)으로 나타났다. 즉, 복합 지표는 재해·환경 변화(토사 이동, 산불)나 생태·열환경(식생, 지표 온도)처럼 시공간적 변동을 함께 고려해야 하는 주제를 중심으로 구성되는 경향이 확인된다. 다만 이러한 복합 지표는 구성 과정의 복잡성과 자료 결합의 제약으로 인해 지표 수 자체가 제한적으로 나타났다.

결합 지표는 29건으로, 단독 지표보다는 적지만 복합 지표보다는 상대적으로 높은 수를 보였다. 결합 지표는 위성영상만으로는 취득이 어려운 정보를 보완하기 위해 토탈스테이션 관측 자료나 현장 조사 자료 등 이종 공간정보를 함께 활용하여 구성된 지표이다. 결합 지표는 총 9종으로 확인되었으며, 세부 구성은 토지피복(17건)이 가장 큰 비중을 차지했고, 그 외 도시 내 시설물(3건), 도시화 지역(3건), DSI(Drought Severity Index, 1건), 도심의 그림자 지역(1건), 식생 비율(1건), 클로로필-a 농도(1건), 토사 이동 변화(1건), 해안선 정보(1건)로 나타났다. 이는 결합 지표가 전반적으로 '위성영상 기반 분류·추정 결과'를 현장·통계·관측 자료 등으로 보완하거나 검증하여 신뢰도를 높이는 방식으로 구성되며, 특히 토지피복처럼 다른 공간정보(지형, 시설, 행정·현장 자료)와의 결합 여지가 큰 지표에서 결합 사례가 집중되는 경향이 있음을 보여준다. 이러한 결합 지표는 생활밀착형 도시공간 정보나 세부 시설물 단위의 공간 특성을 더 정밀하게 반영할 수 있다는 점에서 의미가 있으나, 자료 구축에 필요한 비용과 절차상의 복잡성으로 인해 활용과 확산에는 한계가 있는 것으로 나타났다.

지표 유형별 결과를 종합하면, 도시공간계획지표는 단독 지표 중심의 구조가 뚜렷하게 나타나며, 복합 및 결합 지표는 보조적 수준에 머물러 있는 것으로 해석할 수 있다. 이는 위성영상 기반 지표가 주로 산출이 용이하고 해석이 직관적인 형태로 활용되고 있음을 보여주며, 단일 위성영상 기반 지표로는 설명하기 어려운 도시 현상을 이종 공간정보와의 결합을 통해 정밀하게 분석하려는 시도는 제한적 수준에 머물러 있음을 의미한다. 이러한 지표 유형별 편중 현상은 앞선 부문별·절차별 분석 결과와도 일관되게 나타나며, 위성영상 기반 도시공간계획지표가 분석 중심적 활용 구조에 머물러 있음을 보여주는 결과로 해석할 수 있다.

Table 7. Frequency of indicators by classification type

순위 Rank	유형명 Classification	건수(%) Instances (%)
1	단독 Single	266 (86.6%)
2	결합 Combined	29 (9.4%)
3	복합 Composite	12 (3.9%)
합계 Total		307 (100%)

3. 지표 부문별 결과

부문별 분석은 지표가 각 부문에서 어떻게 활용될 수 있는지를 파악하기 위한 것으로, 하나의 지표가 여러 부문에 동시에 해당하면 중복 집계를 허용하였다. 〈Table 8〉은 부문별 지표 활용 빈도를 정리한 것이다. 분석 결과, 토지이용계획 부문에 활용할 수 있는 지표가 169건으로 전체의 55.1%를 차지하여 가장 높은 비중을 보였다. 이는 본 연구의 분류 기준에 따르면 위성영상 기반 지표가 토지이용 현황 및 공간구조 변화를 파악하는 데 적용될 가능

Table 8. Frequency of indicators by subfield

순위 Rank	부문명 Domain	건수(%) Instances (%)
1	토지이용계획 Land use planning	169 (55.1%)
2	공원 및 녹지계획 Park & green space planning	62 (20.2%)
3	기후 및 환경계획 Climate & environmental response planning	23 (7.5%)
4	안전 및 방재계획 Safety & hazard mitigation planning	14 (4.6%)
5	경관계획 Landscape planning	6 (2.0%)
6	기반시설계획 Infrastructure planning	6 (2.0%)
7	교통계획 Transportation infrastructure planning	4 (1.3%)
8	계획인구 추정 Population projection	1 (0.3%)
9	미분류 Unclassified	22 (7.2%)
합계 Total		307 (100%)

성이 큰 사례가 다수였음을 의미하며, 도시공간계획지표 산출이 특정 부문에 집중되는 경향을 보여준다. 토지이용계획 부문으로 분류된 주요 지표로는 NDVI, 토지피복, UHI(Urban Heat Island), NDBI 등이 포함되었으며, 이들 지표는 도시화 지역의 공간적 분포 파악이나 도시열섬 현상 진단과 같이 토지이용 및 도시환경 변화와 연관된 분석에 적용될 수 있는 기초 자료로 판단되었다. 특히 토지피복 여부를 중심으로 도시화 정도와 환경 변화를 진단하려는 연구가 다수 포함되어, 토지이용계획 부문과의 연관성이 높게 해석되었다.

토지이용계획 다음으로는 공원 및 녹지계획 부문에 활용할 수 있는 지표로 분류된 사례가 62건(20.2%)으로 나타났다. 공원 및 녹지계획 부문으로 분류된 사례에서는 NDVI 지표가 높은 비중을 차지하였으나, 토지이용계획 부문과는 활용 목적에서 차이를 보였다. 토지이용계획에서는 도시화 여부나 토지이용 변화의 판별과의 연관성이 강조되지만, 공원 및 녹지계획에서는 도시지역 내 식생 분포 정도를 파악하고, 녹지율 및 생태환경의 질을 평가할 수 있는 지표로 NDVI가 분류되었다. 즉, 동일한 지표라 하더라도 부문에 따라 해석의 초점과 적용 가능성이 다르게 나타날 수 있다. 이와 함께 SAVI도 일부 사례에서 공원 및 녹지계획 부문에 활용할 수 있는 지표로 분류되었는데, 이는 NDVI와 유사하게 식생 상태를 관찰하기 위한 지표로 적용될 수 있으며, 토양의 영향 보정을 통해 토양 노출이 혼재된 환경에서도 안정적인 식생 정보를 제공할 수 있다는 점에서 해당 부문과 연관성이 있는 것으로 해석되었다.

기후 및 환경계획 부문에서 활용할 수 있는 지표로 분류된 사례는 23건(7.5%)으로 나타났다. 이 부문에서는 주로 위성영상의 열적외선 채널을 활용하여 고도에 따른 냉각 정도를 분석하거나, 상층과 하층의 운정 온도 차이를 이용해 대기 불안 정도를 산정하는 등 기후·대기 관련 분석에 적용될 수 있는 지표가 포함되었다. 이는 위성영상 기반 지표가 도시계획과 기후·환경 분석을 연결하는 방식으로 활용될 가능성이 있음을 시사한다. 그 밖의 부문으로는 안전 및 방재(14건, 4.6%), 경관계획(6건, 2.0%), 기반시설계획(6건, 2.0%), 교통계획(4건, 1.3%), 계획인구 추정(1건, 0.3%) 순으로 분류되었으며, 상대적으로 낮은 비중을 보였다. 안전 및 방재 부문으로 분류된 사례에는 NDVI, NDWI, 토사 이동변화 지표 등이 포함되었고, 홍수 취약성 분석이나 재해 위험 지역 파악과 연관된 분석에 적용될 수 있는 지표로 해석되었다.

경관계획 부문으로 분류된 사례에서는 인천광역시 2030 경관가이드라인에서 해안, 하천, 호수 등 수변 경관자원이 자연경관자원으로 명시되어 있음을 근거로 수역의 공간적 분포를 파악하는 MNDWI(Modified Normalized Difference Water Index), 클로로필-a 농도 지표 등이 경관계획 부문에 포함되었다. 이는 위성영상 기반 지표가 수변공간의 분포와 생태환경 특성을 함께 파악하는 데 활용될 수 있음을 보여준다.

기반시설계획 부문으로 분류된 사례에서는 도시 내 시설물 관련 지표가 포함되었다. 해당 사례들은 고해상도 위성영상을 이용해 가로등, 어린이 놀이터, 공원 음수대, 공공화장실, 건널목, 도로 요철 등 생활밀착형 시설물의 식별·분류를 위한 연구로, 본 연구의 분류 기준에 따라 기반시설계획 부문과의 연관성이 있는 것으로 해석하였다. 이는 위성영상 기반 지표가 토지이용이나 환경 진단을 넘어 도시 인프라 관리 영역으로 확장될 가능성을 보여주는 사례로 볼 수 있다.

그 밖에 교통계획 부문과 계획인구 추정 부문은 상대적으로 낮은 비중으로 분류되었다. 교통계획 부문으로 분류된 사례는 도로 지표를 중심으로 위성영상을 활용해 도로 유형별 판독이나 공간적 분포를 분석하는 연구로, 교통계획과의 연관성을 기준으로 분류되었다. 계획인구 추정 부문에서는 토지피복 분류를 활용한 단일 사례가 확인되었으며, 해당 연구는 Landsat TM 기반 전국 단위 토지피복 지도를 이용해 거주지역과 비거주지역을 구분하고 이를 바탕으로 인구분포를 재구성한 사례로 분류되었다.

한편, 미분류로 분류된 사례는 22건(7.2%)으로, 재검토 과정에서 농업이나 산사태 등 도시계획과 직접적인 연관성이 낮은 연구에서 산출된 지표를 제외한 결과이다. 이는 일부 위성영상 기반 지표가 도시계획 부문과의 연관성이 명확하지 않은 상태로 제시되는 사례가 존재함을 보여준다. 또한 부문별 분류 결과는 앞선 유형별 분석 결과와도 연관된다. NDVI, LST와 같이 토지이용과 직접적으로 연관된 지표의 비중이 높게 나타난 것은, 토지이용계

획 및 공원 및 녹지계획 부문으로 분류된 사례가 많았던 결과와 일관된다. 이는 위성영상 기반 도시공간계획지표가 토지이용과 환경 진단 중심의 분석 틀에 집중되는 경향이 있으며, 도시계획의 다양한 부문으로 확장되는 데에는 위성영상과 기존 공간정보 간의 해상도·좌표체계·속성 구조 불일치, 자료 접근성 및 비용의 한계가 제약으로 작용할 수 있음을 시사한다.

4. 지표 절차별 결과

마지막으로 지표 절차별 결과는 앞선 부문별 결과와 마찬가지로, 지표가 각 절차에서 어떻게 활용될 수 있는지를 파악하기 위해 〈Table 9〉와 같이 분류하였다. 따라서 하나의 지표가 여러 절차에 동시에 해당하면 중복 집계가 가능하다. 분류 결과, 위성영상 기반 도시공간계획지표는 도시계획 과정 전반에 고르게 분포하기보다 특정 단계에 집중된 것으로 나타났다. 전체 307건의 지표 활용 사례 중 도시조사 및 미래예측 단계에 활용할 수 있는 것으로 분류된 사례는 268건(87.3%)으로, 절대다수를 차지하였다. 반면, 미분류 사례는 22건(7.2%), 대안의 설정 및 평가 단계는 12건(3.9%), 계획의 평가 단계는 4건(1.3%), 목표설정 단계는 단 1건(0.3%)으로 나타나, 본 연구의 분류 기준에서는 위성영상 기반 지표의 활용이 도시계획 전반에 고르게 분포하지 못하고 특정 절차에 편중되는 구조가 확인되었다. 이는 위성영상 기반 도시공간계획지표가 도시계획 과정에서 현황 진단과 변화 추세 파악, 미래 예측과 직접적으로 연계될 가능성이 높게 나타났음을 보여준다.

도시조사 및 미래예측 단계로 분류된 사례가 다수를 차지한 것은 위성영상의 광역성, 반복 관측성, 시계열 분석 가능성 등이 현황 진단 및 추세 분석과 높은 연관성을 갖기 때문이다. 토지피복 변화 분석, NDVI 기반 식생 변화 진단, LST 기반 도시 열환경 분석과 같이 공간적 현황을 설명하거나 시간에 따른 변화를 분석하는 지표는 본 연구의 분류 기준에서 해당 단계에 주로 배정되었다. 반면, 목표설정 단계로 분류된 사례가 1건에 불과하다는 점은 위성정보 기반 지표가 도시계획의 초기 방향 설정이나 정책 목표 도출과 직접적으로 연계되는 사례가 상대적으로 드물게 나타났음을 의미한다. 이는 목표설정이 정책적 판단, 사회적 합의, 제도적 기준 등 비정량적 요소에 의해 구성되는 경우가 많아, 위성영상 기반 정량 지표가 직접적인 입력 변수로 연결되기 어려운 특성과 관련된 결과로 해석할 수 있다.

대안의 설정 및 평가 단계와 계획의 평가 단계로 분류된 사례는 각각 12건(3.9%)과 4건(1.3%)에 그쳐, 위성정보 기반 지표가 대안 비교나 계획 시행 이후의 성과 평가·정책 효과 분석 등 의사결정 및 평가 단계에서는 제한적으로 활용되고 있음을 보여준다. 한편, 미분류로 분류된 22건(7.2%)은 앞선 부문별 분석과 동일한 기준에 따라 재검토된 결과로, 도시계획 절차와 직접적인 연계가 어렵거나 농업·산사태 등 도시계획 범주에 명확히 포함되기 어려운 연구에서 산출된 지표를 제외한 결과이다.

Table 9. Frequency of indicators by step

순위 Rank	절차명 Step	건수(%) Instances (%)
1	도시조사 및 미래예측 Urban survey and future forecasting	268 (87.3%)
2	대안의 설정 및 평가 Setting and evaluation of alternatives	12 (3.9%)
3	계획의 평가 Plan evaluation	4 (1.3%)
4	목표설정 Goal setting	1 (0.3%)
5	미분류 Unclassified	22 (7.2%)
합계 Total		307 (100%)

V. 요약 및 결론

본 연구는 국내 도시계획 분야의 133편 논문을 분석하여, 서로 다른 79종의 위성영상 기반 지표를 도출하고, 중복을 포함하여 총 307건의 위성영상 기반 지표를 유형별, 부문별, 절차별로 분류하여 활용 양상을 구조적으로 파악하였다. 이러한 분포 결과는 위성영상만으로 비교적 쉽게 도출할 수 있는 NDVI, LST, 토지피복 등 단일 지표가 이미 도시계획 연구에서 폭넓게 활용되어 왔기 때문에, 단독 지표의 높은 비중은 자료 특성과 기존 연구 경향을 반영한 결과라고 볼 수 있다. 그럼에도 복합 및 결합 지표의 비중이 상대적으로 낮게 나타난다는 점은 주목할 만하다. 특히 결합 지표의 비율은 위성영상이 지닌 장점 중 하나인 다중시기 관측, 넓은 공간 범위의 일관적 모니터링, 다양한 환경·지형 요소의 객관적 측정이 도시계획 분야에서 충분히 활용되지 못하고 있음을 상징적으로 보여준다.

도시계획은 본래 토지이용, 인구, 교통, 환경, 기반시설 등 다양한 요소들이 함께 작동하는 복합적 시스템이기 때문에, 도시문제를 종합적으로 이해하기 위해서는 서로 다른 자료 간의 결합이 필수적이다. 그럼에도 실제 연구에서는 위성영상 단독 기반의 지표가 중심을 이루고 있어, 다양한 공간정보를 통합적으로 활용하는 연구가 아직 초기 단계에 머물러 있다는 점이 확인된다. 이러한 결합 부족은 여러 구조적 요인에서 비롯된다. 우선 위성영상과 행정·통계 기반의 공간정보는 해상도, 좌표체계, 속성 구조 등에서 차이를 보이기 때문에 서로를 연결하기 위해서는 전처리와 정합성 확보 과정이 필요하다. 선행 연구들 또한 이러한 자료의 공간 단위와 형식, 좌표기준, 속성 체계가 서로 맞지 않는 문제를 지속적으로 지적하며 자료 결합이 쉽지 않은 환경이 연구 확장의

속도를 제한하고 있다고 설명한다.

또한 도시계획 실무에서는 인구, 가구, 고용, 시설 현황 등 전통적인 통계자료가 계획 수립의 기본 틀을 구성하고 있기 때문에, 상대적으로 위성영상의 역할이 보조적 분석 도구에 머무르는 경향이 존재한다. 이와 같은 실무 관행 역시 결합형 지표 개발이 활발하게 이루어지지 못한 배경으로 해석될 수 있다. 절차별 분석 결과 역시 이러한 흐름과 일관된다. 전체 지표의 절반 이상이 도시조사 및 미래예측 단계에서 활용됐지만, 대안 설정·평가나 계획 평가 단계에서의 활용은 제한적으로 나타났다. 현황 분석 단계에서는 토지피복, NDVI, LST 등 위성영상 단독으로도 산출할 수 있는 지표가 충분히 역할을 할 수 있지만, 계획 대안 비교와 정책 효과 평가 단계에서는 다양한 공간정보의 통합과 정량적 비교가 필수적이다. 결합 지표가 매우 적은 현재의 구조에서는 위성영상 기반 분석이 자연스럽게 초기 단계에 집중될 수밖에 없는 한계를 보인다.

이러한 결과는 위성영상을 도시계획의 보다 다양한 단계에서 활용하기 위해서는 이종 공간정보와의 결합을 전제로 한 지표 개발이 필요하다는 점을 시사한다. 특히 위성영상이 제공하는 시계열·다중시기 자료는 기존의 행정 통계가 갖기 어려운 시간적 연속성과 공간적 일관성을 갖추고 있어, 교통이나 환경, 기후 등 도시문제를 종합적으로 다루는 연구에 기여할 수 있는 잠재성이 크다. 또한 결합형 지표가 확대될 경우, 계획 수립 및 대안 평가의 정밀도가 높아질 것으로 기대된다. 위성영상은 단독으로 활용할 경우 주로 현황 파악에 그치지만, 이종 공간정보와 결합하면 대안 비교나 계획 효과의 검증에도 활용될 수 있다. 예를 들어, LST와 인구 취약성 자료를 결합한 열취약성 지수는 기후 취약 지역을 식별하고 녹화 사업이나 냉방 시설 배치 등 계획 대안의 우선순위를 비교하는 데 활용될 수 있으며(엄정희, 2016), 토지이용 변화 지표와 교통 네트워크 자료의 결합은 개발 대안별 접근성 변화를 정량적으로 비교·평가하는 근거로 활용될 수 있다. 나아가 위성영상의 시계열 자료를 이종 공간정보와 결합할 경우, 계획 시행 전후의 공간적 변화를 정량적으로 비교함으로써 계획의 평가 단계까지 활용 범위를 확장할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 위성영상 자체의 특성 분석을 넘어, 이종 공간정보와의 연계 구조를 체계적으로 구축하는 방향이 요구된다.

본 연구는 국내 도시계획 연구를 검토하여 위성영상 활용 지표를 산출하고, 이를 도시계획적 맥락에서 해석하여 향후 지표 개발과 계획 평가에 효과적으로 활용될 수 있는 방향성을 제시하였다는 점에서 의의가 있으나, 본 연구는 몇 가지 한계점을 갖는다. 첫째, 본 연구는 현재 사용하고 있는 지표 체계를 분석한 것이 아니라, 학술적 맥락에서 사용할 수 있는 지표를 분석하였기 때문에 실무적 활용이 가능한가에 대한 검토는 이루어지지 않았다. 둘째, 연구자의 주관적 개입을 피하고자 분류 매뉴얼을 사전에 설정하였지만, 질적 내용분석의 특성상 연구자의 주관적 판단이 완전히 배제되었다고 보기 어렵다. 셋째, 일부 논문은 지표 산출 과정 또는 활용된 위성영상 정보가 명확히 제시되지 않아, 위성영상이 해당 지표 산출에 어느 정도의 영향을 주었는가는 객관적으로 판단이 어려운 한계가 존재한다. 넷째, 본 연구는 국내 연구만을 대상으로 하였기 때문에, 분석 결과가 국내 도시계획 연구에서만 나타나는 특징인지, 또는 위성영상 기반 도시계획 연구 전반에서 공통으로 나타나는 특징인지를 판단하는 데 한계가 있다. 향후 연구에서는 이러한 부분을 개선하는 동시에, 시기별 추세 분석이나 위성 종류와 지표 유형 간 교차분석 등을 보완한다면, 실무적으로 활용할 수 있는 국내 맞춤형 도시계획 체계에 적용될 것으로 기대된다.

● 이 논문에서 저자들은 논문의 문장 다듬기, 가독성 향상 및 내용 구성·표현의 검토를 위해 ChatGPT(OpenAI, 2025-2026)를 2025년 9월부터 2026년 7월까지 사용하였습니다. AI가 생성한 모든 내용은 저자들이 직접 검토·수정·검증하였고, 최종 내용에 대해 전적인 책임을 집니다.

인용문헌
References

1. 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 2024.1.9. 일부개정. “법률 제20176호”, 국가법령정보센터.
   National Land Planning and Utilization Act, January 9, 2024. Partial Amendment. “Act No. 20176”, Korean Law Information Center.
2. 김억·손영석·노경민, 2010. “창의적인 미래 도시 개발을 위한 도시 지표 모델 개발 연구”, 「한국공간디자인학회 논문집」, 4(3): 55-64.
   Kim, U., Sohn, Y., and Lho, K., 2010. “A Study on Development of City-Life Indexing Model for the Creative City of the Future”, *Journal of the Korea Institute of the Spatial Design*, 4(3): 55-64.
3. 김유정·이지은·김경배, 2018. “기후변화 수재해 회복력 증진을 위한 도시홍수 대응 전략 우선순위 분석 및 대응수준 인식 평가 - 인천시 굴포천 상류 도심지역을 중심으로”, 「한국도시설계학회지 도시설계」, 19(5): 5-20.
   Kim, Y., Lee, J., and Kim, K., 2018. “Development of Flood Mitigation Strategies for Urban Resilience: Focused on the Assessment of Gulpo Stream’s Watershed in Incheon, South Korea”, *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 19(5): 5-20.
4. 김형규·김승남·김찬호·김희철·박윤미·양승호·이재경·이제승·조기혁·황성주, 2025. “특집 빅데이터 기반 도시·군기본계획 지표 개발”, 「도시정보」, 520: 4-17.
   Kim, H., Kim, S., Kim, C., Kim, H., Park, Y., Yang, S., Lee, J., Lee, J., Cho, G., and Hwang, S., 2025. “Special Feature: Development of Big Data-Based Indicators for Urban or Gun Master Plans”, *Urban Information Service*, 520: 4-17.

5. 도시·군기본계획수립지침, 2023.12.28. 시행. "국토교통부훈령 제1694호, 2023.12.28., 일부개정, [별표] 기초조사 세부항목 및 조사내용".
Guidelines for the Formulation of Urban or Gun Master Plans, Effective December 28, 2023. "Ministerial Directive No. 1694, Dec. 28, 2023, Partial Amendment, Appendix: Detailed Survey Items and Contents for Basic Surveys".

6. 문유석, 2019. "도시지표 추이 분석을 통한 부산의 도시 관리 현황진단과 과제", 「지방정부연구」, 22(4): 263-289.
Moon, Y., 2019. "Diagnosis on City Management and Tasks for the Future of Busan Metropolitan City through Analyzing Changes in 'Busan City Indicators'", *The Korean Journal of Local Government Studies*, 22(4): 263-289.

7. 박종안·이강엽·채병선, 2011. "도시기본계획상 주요 계획지표 설정의 적절성에 관한 연구: 계획인구, 시가화예정용지, 도시공간구조 설정을 중심으로", 「국토연구」, 68: 61-83.
Park, J., Lee, G., and Chai, B., 2011. "Study of the Appropriacy of Key Plan Index Set-up in Comprehensive City Plan: Focusing on Projected Population, Planned Urbanized Area and Urban Spatial Structure", *The Korea Spatial Planning Review*, 68: 61-83.

8. 엄정희, 2016. "공간계획 활용을 위한 도시 열환경 취약성 평가 연구 -서울시를 사례로-", 「한국조경학회지」, 44(4): 109-120.
Eum, J., 2016. "Vulnerability Assessment to Urban Thermal Environment for Spatial Planning -A Case Study of Seoul, Korea-", *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*, 44(4): 109-120.

9. 윤용석·송경일, 2022. "도시재생뉴딜사업의 사업효과 모니터링 지표 개발", 「한국도시설계학회지 도시설계」, 23(3): 105-124.
Yoon, Y. and Song, K., 2022. "Development of Project Effect Monitoring Indicators of Urban Regeneration", *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 23(3): 105-124.

10. 이규성, 2021. 「원격탐사 원리와 방법」, 서울: 씨아이알.
Lee, G., 2021. *Principles and Methods of Remote Sensing*, Seoul: CIR.

11. 임병호·지남석·최봉문, 2010. "도시기본계획의 지표 변화와 예측 적정성에 관한 연구 -대전 도시기본계획을 중심으로-", 「도시행정학보」, 23(3): 79-101.
Lim, B., Ji, N., and Choi, B., 2010. "A Study on the Change and Prediction's Propriety of Planning Index in Daejeon Urban Master Plan", *Journal of the Korean Urban Management Association*, 23(3): 79-101.

12. 임은선·이종열·이희연, 2006. "도시성장관리를 위한 공간구조의 확산-압축패턴 측정", 「국토연구」, 51: 223-247.
Im, E., Lee, J., and Lee, H., 2006. "Measurement of Urban Form in Urban Growth Management: Urban Sprawl versus Compactness", *The Korea Spatial Planning Review*, 51: 223-247.

13. 정삼석·하창현, 2014. "토지이용지표를 활용한 도시특성분류와 도시유형별 토지이용계획의 실태분석", 「주거환경」, 12(2): 67-84.
Chung, S. and Ha, C., 2014. "Classification of the Urban Characteristics Using Land Use Index and Status Analysis on the Land Use Planning", *Journal of The Residential Environment Institute of Korea*, 12(2): 67-84.

14. 정우진·이정민·최광열, 2025. "텍스트 마이닝 기법을 이용한 위성영상 활용 현황 연구: 도시 분야를 중심으로", 「국토계획」, 60(6): 178-190.
Jung, W., Lee, J., and Choi, K., 2025. "A Study of Satellite Imagery Utilization in Urban Research Using Text Mining Techniques", *Journal of Korea Planning Association*, 60(6): 178-190.

15. 최성호·정정훈·정상원, 2016. "질적 내용분석의 개념과 절차", 「질적탐구」, 2(1): 127-155.
Choi, S., Jung, J., and Jung, S., 2016. "Concept and Procedures of Qualitative Content Analysis", *Journal of Qualitative Inquiry*, 2(1): 127-155.

16. Bourdic, L., Salat, S., and Nowacki, C., 2012. "Assessing Cities: A New System of Cross-Scale Spatial Indicators", *Building Research & Information*, 40(5): 592-605.

17. Cengiz, S., Görmüş, S., and Oğuz, D., 2022. "Analysis of the Urban Growth Pattern through Spatial Metrics; Ankara City", *Land Use Policy*, 112: 105812.

18. Finizio, M., Pontieri, F., Bottaro, C., Di Febbraro, M., Innangi, M., Sona, G., and Carranza, M.L., 2024. "Remote Sensing for Urban Biodiversity: A Review and Meta-Analysis", *Remote Sensing*, 16(23): 4483.

19. Garau, C. and Pavan, V., 2018. "Evaluating Urban Quality: Indicators and Assessment Tools for Smart Sustainable Cities", *Sustainability*, 10(3): 575.

20. Krippendorff, K., 2004. *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*, Beverly Hills, CA: Sage.

21. Mascarenhas, A., Nunes, L., and Ramos, T., 2015. "Selection of Sustainability Indicators for Planning: Combining Stakeholders' Participation and Data Reduction Techniques", *Journal of Cleaner Production*, 92: 295-307.

22. Patino, J.E. and Duque, J.C., 2013. "A Review of Regional Science Applications of Satellite Remote Sensing in Urban Settings", *Computers, Environment and Urban Systems*, 37: 1-17.

23. Ruan, X., Huang, J., Williams, D., Harker, K., and Gergel, S., 2019. "High Spatial Resolution Landscape Indicators Show Promise in Explaining Water Quality in Urban Streams", *Ecological Indicators*, 103: 321-330.

24. Schindler, M. and Dionisio, R., 2024. "Planning for Urban Livability: Integrating Socio-Spatial Indicators in City-Making", *Journal of Urban Technology*, 31(3): 53-82.

25. Sowińska-Świerkosz, B. and Soszyński, D., 2022. "Spatial Indicators as a Tool to Support the Decision-Making Process in Relation to Different Goals of Rural Planning", *Land Use Policy*, 119: 106180.

26. Wardrop, N.A., Jochem, W.C., Bird, T.J., Chamberlain, H.R., Clarke, D., Kerr, D., Bengtsson, L., Juran, S., Seaman, V., and Tatem, A.J., 2018. "Spatially Disaggregated Population Estimates in the Absence of National Population and Housing Census Data", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(14): 3529-3537.

27. Weber, R.P., 1985. *Basic Content Analysis*, Beverly Hills, CA: Sage.

28. Wellmann, T., Lausch, A., Andersson, E., Knapp, S., Cortinovis, C., Jache, J., Scheuer, S., Kremer, P., Mascarenhas, A., Kraemer, R., Haase, A., Schug, F., and Haase, D., 2020. "Remote Sensing in Urban Planning: Contributions towards Ecologically Sound Policies?", *Landscape and Urban Planning*, 204: 103921.

29. Wong, C., 2015. "A Framework for 'City Prosperity Index': Linking Indicators, Analysis and Policy", *Habitat International*, 45: 3-9.

Date Received	2026-01-31
Reviewed(1st)	2026-03-10
Date Revised	2026-06-08
Reviewed(2nd)	2026-06-22
Date Accepted	2026-06-22
Final Received	2026-07-21