

텍스트 마이닝 기법을 이용한 위성영상 활용 현황 연구 : 도시 분야를 중심으로*

A Study of Satellite Imagery Utilization in Urban Research Using Text Mining Techniques

정우진** · 이정민*** · 최광열****

Jung, Woojin · Lee, Jeongmin · Choi, Kwangyul

Abstract

The rapid development of satellite imaging technology has enabled us to obtain high-resolution images regularly and to acquire previously unknown information through electromagnetic waves of various wavelengths. However, relatively limited research has been conducted on urban planning using satellite image-based information. Thus, this study examines the current status of satellite imagery usage in urban research. Therefore, we performed network text analysis and topic modeling using a total of 230 peer-reviewed papers published in Korea Citation Index (KCI) Accredited journals since 2000. From the DBpia, we searched articles using keywords such as "satellite imagery," "remote sensing," "city," "urban," etc. Thereafter, we considered titles and keywords from the collected papers to extract words for the network text analysis using KrKwic, a computer program for analyzing Korean text, and examined the relationships among them using NetMiner. In the network text analysis, the relationships among the keywords are measured as connection centrality, determined primarily based on the frequency of co-occurrence of the texts. Our findings suggest that "urbanization," "urban heat island," "climate change," and "land cover" tend to have a higher degree of connection centrality with a high frequency of links to other words in the database, whereas "vegetation," "deep learning," and "3D" appear to have a lower degree of connection centrality. This implies that satellite imagery data is used primarily in studies where data can directly provide meaningful information. Additionally, we applied the Latent Dirichlet Allocation (LDA) model to extract four topics from the titles, which include urban risk management, land use and vegetation, urban growth management, and urban heat island. This reveals that satellite image data are primarily used in a few sub-fields of urban research. However, we concluded that the satellite big data have the potential to broaden their horizon in urban research owing to their quantity, expandability, and new analysis techniques.

주제어 위성영상, 도시연구, 네트워크 텍스트 분석, 연결 중심성, 토픽 모델링

Keywords Satellite Images, Urban Research, Network Text Analysis, Degree Centrality, Topic Modeling

1. 서론

기술의 발전으로 고해상도 위성영상 자료를 주기적으로 얻을 수 있을 뿐 아니라, 다양한 파장의 전자기파를 통해 이전에는 수

집하지 못하던 새로운 정보들을 손쉽게 얻을 수 있게 되었고, 그 결과 양질의 다양한 위성정보는 여러 분야에서 활용되고 있다. 예를 들어, 농업 분야에서는 토양을 분석하거나 작황을 분석하고 생산량을 예측하는 데 활용되고, 임업 분야에서는 식생의 종류나

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00155763).

** Undergraduate Student, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University (First Author: jwjin0501@inha.edu)

*** Master's Student, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University (3580ljm@inha.edu)

**** Associate Professor, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University (Corresponding Author: kwangyul@inha.ac.kr)

현황을 파악하여 산림 자원을 관리하는 데 활용되며, 수산업 분야에서는 수산자원을 관리하거나 해양 생태계 조사에 활용되고 있다(김현철 외, 2014). 또한 지형 변화나 광물 탐지를 위해 활용되고, 수치 지도 제작 측면에서는 지도 제작과 수정 및 갱신을 위한 보조자료로써 활용된다.

이와 같이 위성영상 자료의 범용성과 접근성 덕분에 다양한 학문 분야에서 연구 자료로 활발히 활용되고 있다. 그러나 도시 및 도시계획 분야 연구에서는 활용의 범위가 상대적으로 제한적이며, 주로 재해 대비나 환경 모니터링 등 도시의 운영과 관리 측면에 국한되어 있는 경향이 있다. 학술 검색 전문 사이트인 'DBpia'를 통해 'KCI 등재' 및 'KCI 우수 등재'로 분류된 학술논문들을 대상으로 '위성영상' 키워드로 검색을 진행한 결과 2000년부터 2024년 6월 사이에 출판된 1,671편의 논문이 검색되었는데, 이 중 도시 연구 분야에 해당하는 논문은 전체의 13.8%에 불과하여, 도시계획 분야에서 위성영상 자료의 활용이 아직 제한적임을 보여준다.

따라서 본 연구는 위성영상이 제공하는 공간정보를 연구의 자료로써 도시 및 도시계획 분야에서 더욱 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 모색하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 기존에 수행된 국내 도시 관련 연구를 분석함으로써 위성정보의 활용 현황을 파악하고, 향후 도시계획 분야에서의 활용 확대를 위한 시사점을 도출하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

1. 위성영상 활용 연구

위성영상 관련 기술은 비약적인 발전을 이루어, 공간정보 수집의 정밀성과 다양성을 크게 향상시키고 있다. 예를 들어, 초분광 센서는 대상 물체의 반사도를 수백 개의 좁은 스펙트럼 밴드로 분해하여 측정함으로써, 기존 센서에 비해 미세한 변화탐지에 더욱 민감하여 풍부한 정보를 제공한다. 이러한 고해상도 스펙트럼 정보는 토양 및 식생의 수분 함량, 대기 중 건조도 등의 환경 요소를 정밀하게 분석할 수 있게 하며, 이를 기반으로 산불 위험 지역을 사전에 식별하고 예방하는 데 활용되고 있다(장은미, 2000). <Table 1>은 위성정보를 활용한 다양한 분야의 논문을 정리한 것이다.

권민호(2012)는 항공 관측자료 등의 부족으로 인해 제한적으로 이루어지는 북서태평양 지역에서 발생하는 태풍에 대한 최대풍속반경(Radius of Maximum Wind, RMW) 연구를 기존 ASCAT 위성 자료를 활용하여 산출된 RMW와 COMS 위성의 고해상도 적외영상에 의해 산출된 RMW를 비교·검증하였다. 이광재 외(2020)는 다목적실용위성의 영상 활용에 관한 연구 현황을 종합적으로 분석하였다. 이들은 김보정, ARD(Analysis

Table 1. Studies about the utilization of satellite image

Author (Year)	Title	Research topic
Kwon (2012)	Estimation and Statistical Characteristics of the Radius of Maximum Wind of Tropical Cyclones using COMS IR Imagery	Estimation of the radius of maximum wind in typhoons using high-resolution infrared imagery
Kim et al. (2023)	Micro-scale Flood Susceptibility Analysis through Subdivision of Administrative Units in North Korea	Development of flood vulnerability data and spatial-scale flood risk analysis
Kim and Lee (2018)	Present Status and Future Prospect of Satellite Image Uses in Water Resources Area	Analysis of the present status and utilization of satellite image uses in the water resources area
Kim et al. (2019)	Forest Management Research using Optical Sensors and Remote Sensing Technologies	Forest resource assessment, forest disaster detection, and forest ecosystem monitoring
Kim et al. (2014)	Overview of Current Applications of Satellite Images in Agricultural Sectors	Earth observation satellite images and their applications in agricultural sectors
Song et al. (2006)	Analysis of Forest Fire Damage Using LiDAR Data and SPOT-4 Satellite Images	Forest damage analysis using LiDAR data and satellite images
Woo et al. (2019)	Precision Forestry Using Remote Sensing Techniques: Opportunities and Limitations of Remote Sensing Application in Forestry	Examination of research applicability using laser scanning, satellite imagery, and unmanned aerial vehicles in precision forestry
Lee et al. (2020)	Current Status of Application of KOMPSAT Series	Satellite image analysis techniques and characteristics of the KOMPSAT series
Lee (1998)	Remote Sensing Technologies for Hydrological Modeling and Water Resources Management	Remote sensing technologies in water resource management
Im (2015)	Status and Challenges in the Utilization of High-Resolution Satellite Image for Land Monitoring	Presentation of application areas for land observation using high-resolution satellite image
Hwang et al. (2010)	High-resolution Simulation of Meteorological Fields over the Coastal Area with Urban Buildings	Analysis of high-resolution meteorological field simulation reflecting building structures and surface characteristics in coastal urban areas

Note: The titles of papers by Lee (1998) and Im (2015) are translated by the authors.

Ready Data), 절대복사보정 기법을 포함한 영상 전처리 기술뿐만 아니라, 대규모 재난 대응, 고해상도 위성영상을 활용한 딥러닝 분석, 토지피복 분류 및 공간해상도에 관한 주요 이슈들을 다루었다. 또한 각 응용 분야에서 위성영상이 효과적으로 활용되기 위해 고려해야 할 요소들을 함께 제시하였다. 김은숙 외(2019)는 광학센서를 활용하는 산림 부문의 산림자원조사, 산림 재해 탐지, 산림 생태계 모니터링 분야의 연구 현황을 파악하였고, 산림의 정확한 탐지, 새로운 정보원의 활용, 인공지능 기법을 활용한 정확도 향상에 관한 연구가 중점적으로 수행되고 있음을 밝혔다.

한편, 농업 분야에서도 위성영상을 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 김현철 외(2014)는 농업 관련 위성영상 활용 연구가 전체의 70% 이상을 차지한다고 보고하였으며, 이는 재해 대응, 농작물 생육 및 수확량 관리, 토양 특성 분석 등 농림업 전반에 걸쳐 위성정보가 실질적으로 활용되고 있음을 시사한다. 또한 우희성 외(2019)는 선별적 문헌 검토 방법을 통해 총 46편의 논문을 분석하여 원격탐사 기술의 산림 분야 적용 현황을 파악하였다. 해당 연구는 레이저 스캐닝 기술의 경우 임분 단위의 실증적 연구가 부족하다는 점을 지적하였으며, 위성영상을 활용한 산림 측정 기술은 실용성 확보를 위해 추가적인 알고리즘 개발이 필요하다는 점을 강조하였다. 아울러, 무인항공기를 활용한 산림 인벤토리 구축에 있어서는 다양한 사례연구가 요구된다는 점을 밝혀, 향후 산림 원격탐사 기술의 발전 방향에 대한 시사점을 제시하였다.

김성준·이용관(2018)은 수자원 분야에서의 위성영상 활용에 관해 소개하였으며, 증발산량, 토양수분, 가뭄, 홍수, 폭설을 주로 다루었다. 또한 이규성(1998)은 수자원 관리를 위한 원격탐사의 활용 방안을 연구하였는데, 원격탐사를 활용하여 수문 모형을 위한 매개변수 추정, 수면 맵핑 및 홍수 특성 분석, 적설량, 수질 부문에 대해 얻을 수 있는 정보와 활용법에 대해 언급하였다. 임정호(2015)는 고해상도 위성영상정보의 국토 관측에서의 활용 분야를 살펴보고, 국토 관리, 위치기반 서비스, 환경 및 재난/재해 모니터링, 에너지 및 자원 관리를 다루었으며, 위성 센서 개발에 있어 부처 간 협력과 역할 분담의 결여와 제한된 예산 문제점에 대해서도 언급하였다.

재난 및 방재 분야에서도 위성영상을 활용한 연구가 수행되었다. 황미경 외(2010)는 도시 내 기온과 바람의 세밀한 분포 변화를 포함한 미기상 구조 분석을 위해 위성영상으로 산출한 식생 비율을 수치모델의 입력자료로 활용하여 건물 구조와 표면 특성이 반영된 고해상도 시뮬레이션을 제작하였다. 또한 김강민 외(2023)는 북한의 홍수 취약성 분석을 위하여 위성영상을 이용해 정규식생지수 및 정규수분지수를 산출하여 행정구역, 지형·환경 변수와 결합한 홍수 취약성 데이터를 구축하였다. 송영선 외(2006)는 강원도 지역의 대규모 산불로 인해 발생한 산림 피해 면적과 그에 따른 피해액 산정을 목적으로 SPOT-4 위성영상을 이용하여 산불 피해가 발생한 지역의 면적을 계산하였다.

도시 연구에서도 위성정보가 활용된 예를 찾아볼 수 있다. 윤민호·안동만(2009)은 Landsat 영상으로부터 추출된 표면온도를 이용하여 도시녹지가 주변 지역의 기온을 낮추는 영향력의 범위를 분석하는 방법을 제시하였고, 같은 위성영상 자료를 이용하여 정길섭 외(2011)는 도시지역의 용도지역에 따른 온도변화를 분석하였다. 또한, 위성영상은 도시성장의 시·공간적인 특징을 분석하거나 접근하기 어려운 지역의 변화탐지에도 활용되고 있다. 박샘·최광용(2016)은 30년(1984-2014)간 수집된 Landsat 위성영상을 활용하여 수도권 지역 도시 팽창의 시공간적 특징을 분석하였고, 대부분의 도시화가 녹지 지역의 전환으로 이루어지고 있음을 확인하였다.

도시 연구에서의 위성정보 활용은 단순히 자연 환경적 측면에 국한되지 않는다. 권영목 외(2023)는 위성영상을 활용하여 지표면 온도, 정규식생지수, 토양보정식생지수 등 다양한 평가 지수를 도출하고, 이를 기반으로 통계분석을 수행하여 삶의 질 지도를 구축하였다. 이는 위성정보를 활용하여 도시 환경의 물리적 특성과 주민의 생활 여건 간의 연계성을 탐색한 사례로 볼 수 있다. 한편, 김슬기·박승희(2022)는 위성영상을 활용하여 폭염에 취약한 건설 공사 현장을 식별하고, 도시열섬현상과의 상호작용을 고려하여 복합적인 피해가 발생할 수 있는 고위험 지역을 예측하였다. 이 연구는 도시의 사회경제적 취약성을 공간적으로 분석함으로써, 위성정보가 도시계획의 리스크 관리 및 정책 수립에 기여할 수 있음을 보여준다.

최근의 연구에서는 고해상도 위성영상의 활용이 두드러지는데, 송창우 외(2020)는 0.55m의 공간해상도를 갖는 KOMPSAT-3A 위성영상을 활용하여 도시의 변화 양상을 분석하기 위한 SPADE(Spatially-adaptive Denormalization)기반의 U-Net과 객체 영역 기반 변화탐지 기법을 제안하였다. 한편, 다른 공간 빅데이터와 결합한 연구도 수행되고 있는데, 정시운·전병운(2020)은 공공 Wi-Fi AP와 야간 위성영상을 활용하여 도시의 활력을 평가하였다. 그뿐만 아니라 이동전화 데이터, 대중교통 스마트카드 데이터, 신용카드 데이터를 사용하여 도시 활력의 사회적, 경제적 및 이동성 측면을 반영했다는 점과 공간 빅데이터의 통합 활용의 가능성을 제시한 점에서 의의가 있다.

하지만, 이러한 양질의 위성정보와 데이터 확장성에도 불구하고, 도시 관련 연구에서 위성정보 활용의 범위는 제한적이며, 이는 개별 위성영상이 제공하는 정보의 내용과 연관성이 높다. 따라서 앞선 연구와 같이 도시 분야의 위성영상 활용 현황을 파악하고 활용도를 높이는 방안을 마련하는 것이 필요하다.

2. 텍스트 마이닝 기법 활용 연구

본 연구 수행을 위해 텍스트 마이닝 기법 중 네트워크 텍스트 분석(Network Text Analysis)과 토픽 모델링(Topic Modeling)

기법을 이용하였다. 텍스트 마이닝 기법은 텍스트가 가지는 의미를 분석하는 기법이며, 그 중, 네트워크 텍스트 분석은 텍스트 내의 개념 배열의 구조적 특성을 분석하여 텍스트의 의미를 파악하고 이해하며, 개념 간에 연결된 패턴을 분석하는 방법이다. 이는 텍스트가 전달하고자 하는 명백히 드러나지 않는 핵심을 파악하는 데 유용하게 사용되며, 텍스트 간의 관계를 시각화하는 목적으로 주로 활용되는 기법이다(이수상, 2014). 또한 토픽 모델링 문장 구조 속에서 함께 출현하는 단어들을 기반으로 주제를 도출하는 기법으로 수많은 문서를 간결한 주제별로 분류함으로써 핵심 내용을 빠르게 파악하는 목적으로 활용된다. <Table 2>는 최근 2년 동안 텍스트 마이닝 기법을 활용하여 수행되었던 연구이며, 도시 분야 뿐만 아니라, 사회, 보건, 공학 분야에서 연구 동향이나 주제에 대한 현황을 파악하는 데 주로 사용되고 있음을 확인할 수 있다.

이재득·서지민(2023)은 기존에 동남아 지역 관련 연구가 지역 국가를 중심으로 정치, 경제, 종교, 문화적인 측면에서 기술한 한계점을 보완하기 위해 텍스트 마이닝 중 네트워크 텍스트 분석 기법을 연구에 활용하였다. 2000년에서 2020년 사이에 발간된 한국 연구재단에 등록된 918편의 논문을 대상으로 하였으며, 빈도분석과 시기별 중심성 분석을 통해 동남아 지역에 관한 연구 분야를 확인하고 최종 결과를 도출하였다. 김영환·황경림(2024)도 동일 분석 기법을 활용하여 과학기술 분야의 화두인 인공지능 윤리와 관련한 추세와 경향성을 파악하였다. 'AI Ethics' 혹은, '인공지능 Ethics'가 국문 초록과 연구 주제어에 모두 포함된 논문 중 KCI 등재 후보 이상의 학술지에 게재된 논문을 대상으로 하였으며, 463편의 논문에 대해 분석을 수행하였다.

네트워크 텍스트 분석 기법과 더불어 텍스트 마이닝 기법 중 문서 집합에서 주제를 찾아내는 기술인 토픽 모델링 기법은 연구 동

향을 파악하는 데 주로 활용된다. 예로, 박승미 외(2024)는 사회적 문제 중 하나인 청소년 임신에 관한 국내외의 연구 동향을 분석하기 위해 2013년 1월부터 2023년 7월까지의 자료 중 'adolescent pregnancy', 'teenager pregnancy', 'teen pregnancy'로 검색하여 총 3,819편의 논문을 선정하였다. 해당 논문들을 대상으로 하여 빈도분석과 중심성 분석뿐만 아니라 토픽 모델링을 진행하였으며, 이를 통해 청소년 임신의 올바른 산전 관리를 위한 통합 보건 서비스의 개발 필요성, 예방을 위한 학교와 지역사회의 프로그램, 모성과 아이의 건강에 미치는 영향, 주변인의 반응, 피임의 토픽을 도출하였고 이를 분석하였다. 이태화(2022)는 2004~2021년도에 「도시행정학보」에 게재된 644편의 문헌을 대상으로 네트워크 텍스트 분석과 토픽 모델링 기법을 적용하여 해당 학술지에 게재된 연구의 동향을 파악하였다. 도시 연구 분야에서도 해당 기법이 활용되는데, 조시영·이광국(2023)은 토픽 모델링과 네트워크 텍스트 분석을 사용하여 도시재생과 관광 분야의 연구 동향을 객관적이고 과학적으로 파악하고자 하였다.

윤지은(2023)은 바이오·헬스 분야에서의 인공지능 활용에 관한 연구 동향을 확인하였다. 해당 연구에서는 2016년부터 2021년도에 Web of Science에 게재된 논문 중 바이오·헬스 분야와 관련된 키워드를 사용하여 관련 논문들을 선정하였다. 이후 빈도수 분석을 통해 상위 5개국을 선정한 후 상위 15개의 핵심어를 대상으로 텍스트 마이닝 분석을 진행하였고, 주요 5개국을 대상으로 하여 토픽 모델링 기법 중 잠재 디리클레 할당(Latent Dirichlet Allocation, LDA) 분석을 수행하였다. LDA 알고리즘은 글을 쓰는 원리를 역추적하는 것으로, 일반적으로 하나의 문서는 여러 주제를 포함하고 있으며 해당 주제는 주제를 설명할 수 있는 단어로 구성되어 있다고 가정한다. 결과적으로 문서들에 대해 주제별

Table 2. Studies using network text analysis

Author (Year)	Title	Research topic
Kim and Hwang (2024)	Analysis of Korean AI Ethics Research: A Focus on Network Text Analysis	Examination of the current research status of AI ethics and its social implications
Park et al. (2024)	A Study on Research Trends for Pregnancy in Adolescence: Focusing on Text Network Analysis and Topic Modeling	Presentation and suggestions on topics related to pregnancy in adolescence
Bae (2023)	Comparative Analysis Study on Bibliotherapy Research Trends Using Text Mining and Network Analysis	Analysis of bibliotherapy research trends and their multidisciplinary characteristics
Yoon (2023)	Trend Analysis on Convergence Research of Bio-Health and AI in Major Countries: Focus on Text Mining and Keyword Network Analysis	Investigation of the current implementation status and international trends of convergence research on bio-health and AI
Yi and Sur (2023)	Text Mining, Network, and Topic Analysis on Korea's Southeast Asia Studies	Temporal trends and changes in research patterns on studies of Southeast Asia in Korea
Lee (2022)	The Analysis on Research Trend of The Journal of the Korean Urban Management Association through Applying Text Network Analysis and Topic Modeling	Analysis of research trends and characteristics of papers
Cho and Lee (2023)	Comparative Study of Domestic and Overseas Research Trends in Urban Regeneration and Tourism Using Text Mining and Keyword Network Analysis	Synthesis of research trends in urban regeneration and tourism combined with case studies

로 단어 비중과 문서별로 주제 분포를 추론함으로써 각각의 문서에 포함된 주제의 분포와 주제별로 포함된 단어의 분포를 정량적으로 파악하는 목적으로 주로 활용된다.

또 다른 텍스트 마이닝 기법 중 공동연구 네트워크의 특성을 파악하기 위한 인용 분석 기법도 연구 동향 분석에 활용된다. 배경임(2023)은 독서치료의 연구 동향을 분석하기 위해 2004~2022년까지의 논문 중 KCI 등재 논문들을 선별하여 382편을 대상으로 중심성 분석, LDA 분석에 더해 인용 분석을 진행하였는데, 여러 방법 중 논문의 인용 주체의 유형을 구분하는 논문 동시 인용 분석, 저자 동시 인용 분석을 사용하였다. 해당 연구를 통해 독서치료 연구의 경우 관련 분야의 연구자 간의 정보 교류가 활발하고 다양한 분야로 확장되어 가는 경향을 확인하였다.

3. 본 연구의 차별성

앞서 살펴본 바와 같이 위성영상 관련 기존의 연구들은 영상 자료로부터 얻어지는 위성정보를 활용한 비도시지역의 활용 현황들을 분석하거나 위성정보 수집 관련 기술개발 등에 초점을 맞춘 연구들이 대부분이다. 하지만 위성영상의 획득이 전보다 쉬워지고, 방대한 위성정보가 수집되고 있어 도시 분야에서도 활용될 잠재력이 상당하다. 따라서, 본 연구에서는 위성정보의 도시 분야에서의 활용 현황에 대해 텍스트 마이닝 기법을 적용하여 체계적으로 파악하고자 한다. 분석 측면에서는 정량적 분석을 중심으로 한 기존 연구의 한계점을 보완하기 위하여, 네트워크 텍스트 분석을 통해 연결성을 우선 파악하고 개별 노드를 살펴봄으로써 정성적인 분석을 수행하였으며, 연구 주제별 비중을 정량적으로 파악하기 위해 추가로 토픽 모델링 분석을 수행하였다.

본 연구의 결과는 위성정보 기반 빅데이터를 활용하여 지속 가능한 도시개발계획 수립과 도시 관리 방안에 대한 시사점을 도출할 것으로 기대되며, 궁극적으로는 관련 정책에 대한 제언을 통해 공간정보의 활용 가능성을 제고하고, 도시계획의 효율성과 지속가능성을 강화하는 데 기여하고자 한다.

III. 분석의 틀

1. 분석 자료

분석을 위한 자료는 'KCI 등재' 및 'KCI 우수 등재'로 분류된 국내 학술지에 게재되어 있는 논문 중, 학술 검색 전문 사이트인 'DBpia'를 통해 검색할 수 있는 논문들을 대상으로 하였고 시간적 범위는 2000년부터 2024년 6월로 설정하였다. 이는 위성영상 산출물이 본격적으로 공급되기 시작한 1999년 이후를 중심으로 살펴보기 위함이다. 논문 검색을 위해 위성영상을 직·간접적으로 지칭하는 키워드(예: 원격탐사, 위성영상, 위성정보, 인공위성)

와 위성영상의 종류를 나타내는 키워드(예: Landsat, Sentinel, SPOT, SAR, MODIS) 및 위성영상이 제공하는 정보가 포함된 키워드(예: NDVI, 정규식생지수)를 사용하였다. 도시 연구 분야 논문 수집을 위한 '도시' 키워드도 결합하여 검색을 진행하였다.

검색된 논문 중 제목과 초록을 검토하여 위성영상과 도시와 직접적인 관련이 없는 경우에는 목록에서 제외하였고, 항공영상을 활용한 논문인 경우에도 분석의 대상에서 제외하였다. 최종적으로 총 230편의 학술논문을 선정하였고 분석을 위해 해당 논문의 제목과 키워드를 발췌하여 개별적으로 데이터베이스를 구축하였다. <Table 3>과 <Table 4>는 각각 연도별 논문 편수와 주요 학술지별 논문 편수를 보여준다. 개별 연도로는 2010년에 가장 많은 22편이 출판되었으며 이후에는 차례대로 2023년 19편, 2002년 18편, 2000년 17편이 출판되었다.

2. 분석 방법

앞서 수집된 논문의 제목과 키워드를 발췌하여 분석을 위한 기초자료로 활용하였으며 연구 전체의 흐름도는 <Figure 1>과 같다.

본 연구에서는 수집된 논문의 제목과 키워드로부터 얻어낸 주요어에 대한 빈도분석과 연결 중심성 분석을 수행하였는데, 이를 위해 핵심어 코딩이라는 전처리 과정을 거쳤다. 코딩 작업은 유의어 또는 문맥상 의미가 유사한 단어를 하나의 단어로 분석의 목적에 맞게 통일하는 과정을 의미하며 이는 서로 다른 단어가 내포하는 의미는 같지만, 형태가 달라 동일 단어로 인지하지 못하는 것을 방지하기 위함이다. <Table 5>는 코딩 결과의 예를 보여준다.

키워드의 경우, 이미 해당 논문에 핵심어가 명시되어 있으므로, 본 연구에서는 의미상으로 유사한 단어들을 통일하는 절차만을 수행하였다. 반면, 제목의 경우 핵심어를 선별한 후 유의어를 처리하는 방식으로 분석을 진행하였다. 특히 제목에서 핵심어를 추출하는 과정은 연구자의 주관에 개입될 가능성이 있어, 다음과 같은 기준을 설정하여 진행하였다. 첫째, 해당 논문의 연구 방법, 대상, 목적, 지역, 시기, 자료를 중심으로 핵심어 추출을 진행하였으며 이는 핵심어를 되도록 객관적으로 추출하여 본 연구 목적을 효과적으로 달성하기 위함이다. 둘째, 위성정보의 지역적 활용도를 파악하기 위해 제목에 나타난 연구 지역은 추가로 '도시지역'과 '비도시지역'으로 구분하여 코딩하였다. 핵심어 코딩의 결

Table 3. Number of papers by year

Year	No. of papers
2000-2005	65
2006-2011	79
2012-2017	30
2018-2024	56
Total	230

Table 4. Number of papers by journal

Rank	Journal	No. of papers
1	대한지리학회지 Journal of the Korean Geographical Society	37
2	대한원격탐사학회지 Korean Journal of Remote Sensing	31
2	대한토목학회논문집 Journal of the Korean Society of Civil Engineers	31
4	한국측량학회지 Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography	14
5	대한공간정보학회지 Journal of Korean Society for Geospatial Information Science	13
6	국토계획 Journal of Korea Planning Association	12
7	대한건축학회논문집 Journal of the Architectural Institute of Korea	9
8	한국대기환경학회지(국문) Journal of Korean Society for Atmospheric Environment	6
8	한국지적정보학회지 Journal of the Korean Cadastre Information Association	6
8	한국주거학회논문집 Journal of the Korean Housing Association	6
11	기타 Others	65
Total		230

Note: Journal of the Korean Society of Civil Engineers includes Journal of the Korean Society of Civil Engineers B, Journal of the Korean Society of Civil Engineers C, Journal of the Korean Society of Civil Engineers D, and Journal of the Korean Society of Civil Engineers (Main Journal), and Journal of the Architectural Institute of Korea includes Journal of the Architectural Institute of Korea – Planning Division and Journal of the Architectural Institute of Korea Union Journal.

Table 5. Keyword coding results by source

Keywords		Title	
Original	Coded	Original	Coded
영상자료 (Image data), 인공위성영상 (Satellite image), 위성정보 (Satellite information)	위성영상 (Satellite image)	도시성장 (Urban growth), 성장 (Growth), 도시변화량 (Urban change detection)	도시화 (Urbanization)
Landsat-TM Landsat-8	Landsat	일산화탄소 (Carbon monoxide), 이산화탄소 (Carbon dioxide)	대기질 (Air quality)
열섬 (Heat island), 도시열섬 (Urban heat island)	열섬현상 (Urban heat island)	대구광역시 (Daegu Metropolitan City), 서울시 (Seoul), 수도권 (Capital region), 도시 주거지 (Urban residential area)	도시지역 (Urban)
시계열 (Time series), 다시기 (Multitemporal)	다중시기 (Multi-temporal)	동해 (East Sea), 임진강 유역 (Im-jin River Basin), 안면도 (Anmyeondo)	비도시지역 (Non-urban)
효과(Effect), 변동(Variation), 정확도(Accuracy), 요인(Factors), 교통 파급 (Traffic impact), 변화량(Changes)	분석 (Analysis)	공간적분포 (Spatial distribution), 지표온도분포 (Land surface temperature pattern), 분포지도 (Distribution map)	분포 (Distribution)

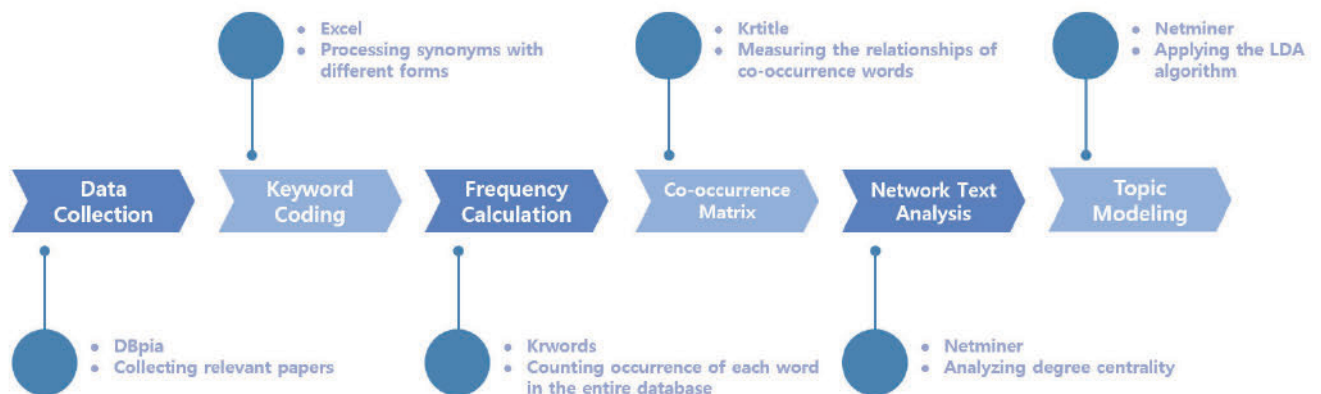


Figure 1. Research flowchart

과, 키워드의 경우 키워드가 제시되지 않은 18편의 논문을 제외하고, 212편의 논문으로부터 중복을 포함하여 총 912개의 핵심어가 추출되었고, 제목의 경우 전체 230편의 논문을 대상으로 중복을 포함하여 총 980개의 핵심어를 추출하였다.

다음 단계에서는 추출된 핵심어를 대상으로 빈도분석을 수행하고 동출현빈도 행렬을 제작하였다. 해당 단계 수행을 위한 소프트웨어로는 다양한 형태의 텍스트에서 핵심어를 파악하여 메시지 내용분석을 수행하며, 빈도수와 동출현빈도 등을 계산할 수 있는 KrKwic(Korean Key Words In Context) 프로그램을 활용하였으며, 빈도수 계산을 위해서는 Krkwic의 하위프로그램 중 메시지를 구성하는 단어의 빈도를 분석하는 'krwords'를 활용하였다.

빈도수 계산과 더불어 KrKwic의 또 다른 하위프로그램인 'krtitle'을 활용하여 한 논문에 같이 등장하는 핵심어 간의 빈도를 나타내는 동출현빈도 행렬을 제작하였다. 이때, 동출현빈도 계산에 포함될 핵심어는 최소 4회 이상 데이터베이스에 출현한 단어들을 대상으로 하였는데 이는 다음 단계에서 수행할 연결 중심성 분석 결과의 가시성을 확보하고, 시각화 결과 해석 측면의 중요도를 고려한 것이다(박은준 외, 2017).

연결 중심성 분석은 NetMiner 프로그램을 활용하여 수행하였다. 연결 중심성 분석은 개별 핵심어를 노드로, 노드끼리의 연결 관계를 링크로 정의하고 각각의 노드가 다른 노드들과 얼마나 어떻게 연결되어 있는지에 대한 분석을 통해 해당 노드의 중요도를 판단하는 기법이다. 이는 다른 노드와 가지는 링크 수가 증가할수록 해당 노드는 전체 네트워크에서 큰 영향력을 가진다는 가정에 기반하며 해당 분석을 통해 핵심어 간의 관계를 시각화하고 정량화할 수 있다. 또한 연구 주제와 주제별 비중을 정량적으로 파악하기 위해 수집된 230편의 논문 제목을 대상으로 LDA 알고리즘을 적용하여 토픽 모델링 분석을 수행하였다. 토픽 모델링 분석은 문장 구조 속에서 함께 출현하는 단어들을 기반으로 주제를 도출하는 기법으로, 개별 키워드만으로는 문장 구조와의 연결성이 부족하여 논문 제목을 대상으로만 적용하였다.

IV. 분석 결과

1. 빈도수 분석

빈도수 분석 결과 '위성영상'은 자료 출처(키워드, 제목)와 무관하게 높은 빈도수를 보였다. 이는 논문 검색 시 '위성영상'을 키워드로 사용했기 때문으로 해석할 수 있다. 마찬가지로 제목의 경우 '도시지역'이 가장 높은 빈도수를 보이는 것을 확인할 수 있으며, 'NDVI'와 '비도시지역'이 높은 빈도수를 갖는 것도 같은 이유라고 볼 수 있다.

빈도분석의 결과로는 직접적으로 위성영상의 활용도를 파악하기 어렵지만, 개별 핵심어의 출현 빈도를 바탕으로 몇 가지 추론이

가능하다. 우선 키워드 대상 빈도분석의 결과를 살펴보면, 분석에 포함된 연구는 위성정보를 활용하여 도시의 열섬현상을 분석·모니터링 하거나('지표면 온도', '열섬현상') 도시의 성장·변화를 탐지하는 데('토지피복', '도시화', '변화탐지') 주로 활용되는 것을 확인할 수 있으며, 제목을 대상으로 한 빈도분석의 결과도 유사하게 나타났다('토지피복', '변화', '열섬현상', '도시화', '지표면 온도').

또한 제목에 대한 빈도분석 결과에 따르면, '분석', '변화', '추출', '분포'와 같은 핵심어가 높은 빈도를 보이는 것을 확인할 수 있는데 이는 '효과분석', '경년변화', '피해지역 추출', '식생 분포'와 같은 단어들을 코딩한 결과로 나온 것이다. 이를 통해 기존 도시 연구에서는 대상을 분석하거나, 변화를 탐지하거나, 필요한 정보를 추출하거나, 현상의 분포를 파악하는 목적으로 위성정보를 활용하는 것을 확인할 수 있다.

한편, 위성영상 및 위성정보는 다양한 분석 방법론과 결합하여 연구에 활용되고 있음을 확인할 수 있다. <Table 6>에 따르면

Table 6. Top 15 words by frequency

Rank	Keywords		Title	
	Word	Frequency	Word	Frequency
1	위성영상 Satellite image	85	도시지역 Urban	147
2	지표면 온도 Land surface temperature	26	위성영상 Satellite image	101
3	토지피복 Land cover	25	분석 Analysis	51
4	도시지역 Urban	23	비도시지역 Non-urban	28
5	GIS	22	토지피복 Land cover	21
6	도시화 Urbanization	22	변화 Change	17
7	열섬현상 Urban heat island	19	GIS	16
8	변화탐지 Change detection	18	열섬현상 Urban heat island	15
9	NDVI	14	추출 Extraction	12
10	토지이용 Land use	12	고해상도 High resolution	11
11	딥러닝 Deep learning	10	도시화 Urbanization	11
12	유비쿼터스 Ubiquitous	9	지표면 온도 Land surface temperature	11
13	도시계획 Urban planning	7	다중 시기 Multi-temporal	9
14	다중 시기 Multi-temporal	6	대기질 Air quality	9
15	모니터링 Monitoring	6	분포 Distribution	9

‘GIS’, ‘딥러닝’, ‘고해상도’, ‘다중 시기’ 등이 높은 빈도수를 갖고 있는데, 이는 위성정보가 새로운 방법론과 다양한 자료유형과 융합되어 활용되고 있음을 나타낸다. 반면, ‘도시계획’은 상대적으로 낮은 빈도수를 보이며 위성정보가 도시계획 측면에서 제한적으로 활용되고 있음을 확인할 수 있다.

2. 키워드 연결 중심성 분석

키워드 대상 연결 중심성 분석 결과는 (Figure 2)와 같다. 빨간색 노드의 크기는 핵심어의 출현 빈도수를 나타내고 양방향 화살표의 두께는 핵심어 간 동출현 빈도수를 나타낸다. 따라서 빈도분석의 결과가 단순히 핵심어의 출현 빈도만을 보여주며 중요도를 확인하는 반면, 연결 중심성 분석의 시각화 결과는 핵심어 간 관계의 정도까지도 확인할 수 있다. 시각화 결과에서 노드의 크기는 해당 노드의 중요도를, 링크의 굵기는 해당 링크의 중요도를 나타낸다.

(Figure 2)에 따르면 ‘위성영상’ 노드는 ‘토지피복’, ‘지표면 온도’, ‘변화탐지’, ‘분류’, ‘GIS’ 노드와 상당히 높은 연결 중심성을 보이고, ‘NDVI’, ‘토지이용’, ‘도시화’, ‘열섬현상’, ‘분석’, ‘딥러닝’ 노드와도 높은 연결 중심성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 위성영상에서 얻어지는 정보가 도시의 토지이용, 토지피복 및 지표면 온도와 연관성이 높으며 GIS 소프트웨어나 딥러닝 기법을

활용하여 분류와 분석을 통한 도시 내 현상을 파악하고 변화를 탐지하는 데 주로 활용이 되고 있다고 해석할 수 있다. 다만 토지피복의 경우는, 해당 노드 자체가 연구의 대상이라기보다는 위성영상으로부터 얻어진 토지피복의 시계열적 변화를 통한 도시 변화를 탐지하는 수단으로 활용되는 것으로 파악할 수 있으며, 이와 관련하여 ‘토지피복’ 노드와 ‘다중 시기’ 노드가 연결성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

키워드 대상 연결 중심성 분석 결과로부터 다른 주요 노드들의 연결성을 살펴보면, 우선 ‘지표면 온도’는 ‘열섬현상’과 높은 연결 중심성을 보이는데, 위성영상으로부터 얻어진 표면온도의 정보가 도시열섬현상의 분석에 활용되는 것을 파악할 수 있다. 앞서 언급한 링크보다 연결 중심성은 약하지만 ‘NDVI’ 노드는 ‘토지이용’, ‘도시화’, ‘토지피복’ 노드와 연결 중심성을 갖고 ‘변화탐지’ 노드는 ‘토지피복’, ‘딥러닝’, ‘GIS’, ‘지표면 온도’, ‘NDVI’, ‘도시화’, ‘분류’와 링크를 형성하며, ‘도시화’ 노드는 ‘지표면 온도’, ‘열섬현상’, ‘토지피복’ 노드와 의미 있는 연결링크를 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞선 경우와 마찬가지로 위성영상에서 얻을 수 있는 정보들은 서로 연관성이 높으며 도시의 현상을 파악하고 변화를 탐지하는 목적으로 주로 사용된다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 도시 및 도시계획 연구에서 위성영상의 활용 현황 파악이므로 관련 노드에 대한 개별 연결 중심성 분석도 수행하였다. (Figure 3)은 ‘도시계획’ 노드에 관한 연결 중심성 분석

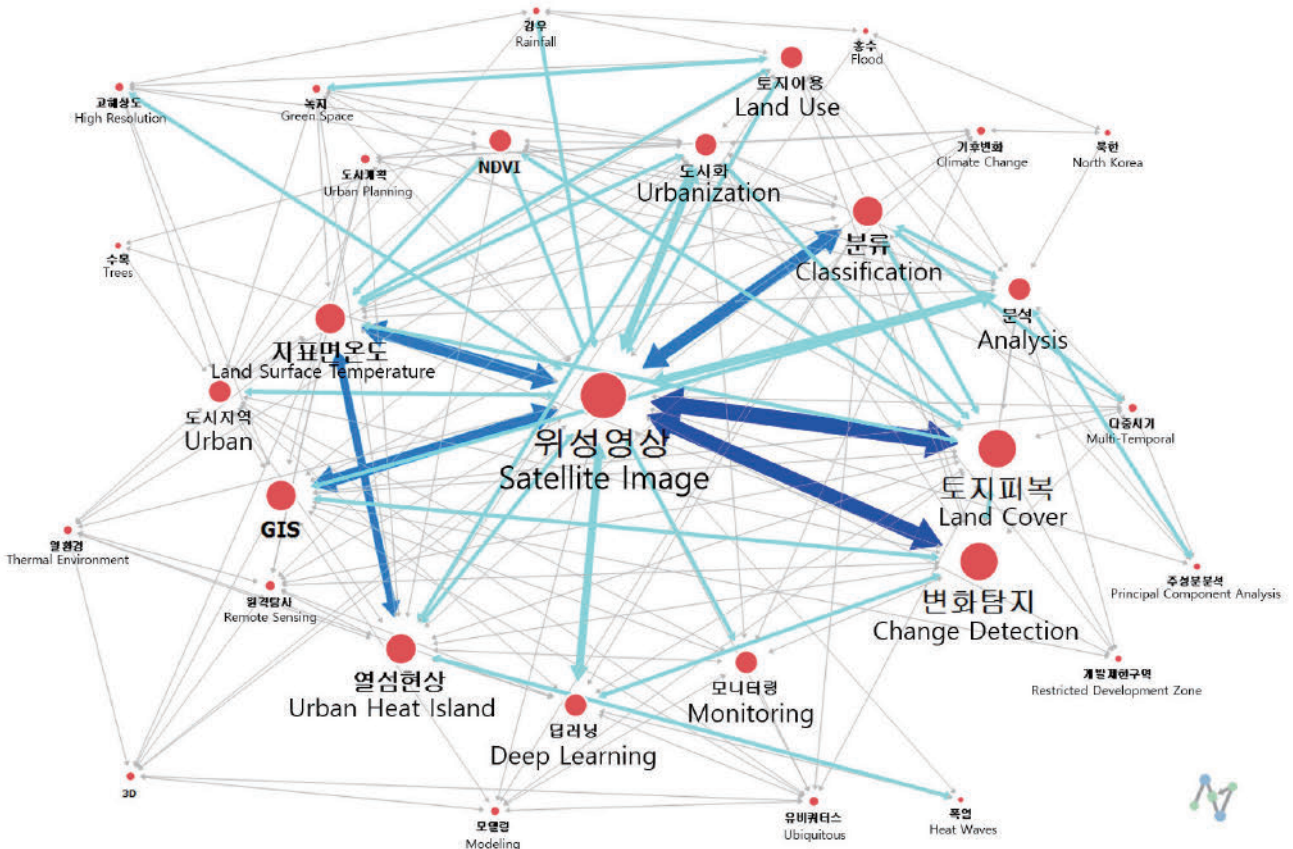


Figure 2. Result of degree centrality analysis for keywords

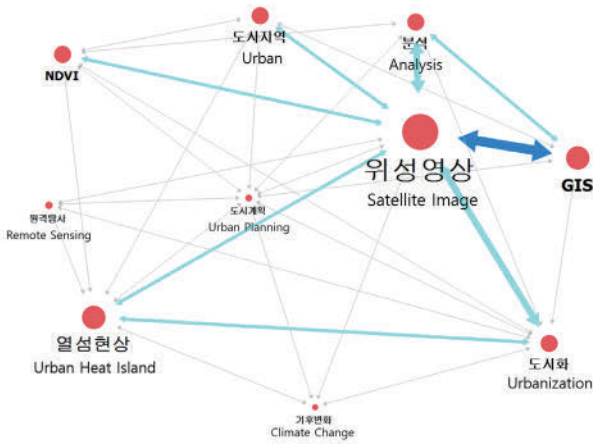


Figure 3. Results of degree centrality analysis for 'Urban Planning' (Keywords)

결과를 나타낸다. '도시계획' 노드는 총 9개의 주변 노드와 연결링크를 가지고 있으며, 주변 노드는 'NDVI', '열섬현상', '기후변화', '도시화', 'GIS', '분석', '도시지역' 노드를 포함한다. 이는 도시계획 측면에서 위성영상을 활용한 연구가 도시의 식생 분포, 열섬현상, 도시화 분석 등에 주로 활용됨을 확인할 수 있다. 이는 위성영상으로부터 직접적으로 얻어낼 수 있는 토지피복이나 지표면 온도와 같은 정보들이 주로 연구의 자료로 사용되고 있음을 나타내며, 기후변화에 관한 관심이 높아짐에 따라 도심 내 식생의 분포가 중요해졌고, 열섬현상이 주요 도시 문제로 주목받고 있는 현황과 연관성이 높은 것으로 파악된다.

'도시지역' 노드에 관해서도 연결 중심성 분석을 수행하였으며 그 결과는 <Figure 4>에 정리하였다. 해당 노드는 총 16개의 연결링크를 가지고 있으며, 주요 주변 노드는 '토지이용', '변화탐지', '지표면 온도', 'GIS', 'NDVI', '모니터링', '열섬현상', '딥러닝'을 포함하며, '고해상도', '강우', '녹지', '유비쿼터스', '열 환경', '수목'과도 연결성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞선 경우와 마찬가지로 도시 연구 측면에서 위성영상은 제공하는 정보를 바

탕으로 변화를 탐지하는 데 주로 활용됨을 확인할 수 있다. 그뿐만 아니라 주기적으로 위성정보를 얻을 수 있으므로 도시 관리 목적으로 모니터링의 자료로서도 활용되는 것으로 파악된다. 특히 '고해상도' 노드의 경우 '강우', '토지이용' 노드와 연결링크를 가지고 있는데, 이는 도시지역의 세부적인 변화와 현상을 탐지하는데 고해상도 위성영상을 활용한 연구가 수행되었음을 확인할 수 있다.

3. 제목 연결 중심성 분석

제목에서 추출한 핵심어를 대상으로도 연결 중심성 분석을 수행하였으며 시각화의 결과는 <Figure 5>와 같다. '위성영상' 노드는 '도시지역', '비도시지역', '분석', '변화' 노드와 강한 연결 중심성을 나타내었으며, 또한 '추출', '열섬현상', '토지피복', '분포', 'GIS', '도시화', '고해상도', '대기질' 노드와도 높은 연결 중심성을 보였다. 이러한 결과는 키워드를 대상으로 한 연결 중심성 분석과 유사한 경향을 보이며, 위성영상에서 얻을 수 있는 정보(열섬현상, '토지피복', '대기질')를 추출하고, 이를 기반으로 도시 내 현상의 공간적 분포 및 변화 양상을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있음을 나타낸다.

또한 '비도시지역' 노드와의 높은 연결 중심성을 보이는데, 이는 비도시지역 연구에도 위성영상이 활발히 활용되고 있음을 보여주며, 주목할 점은 '도시지역' 노드와 '비도시지역' 노드 간에 높은 연결 중심성을 보인다는 점이다. 이는 위성영상 자료의 형태와 연관이 있는데, 위성영상은 구역별로 촬영되어, 보통 해안선을 따라 위치한 도시 연구 수행 시 사용하는 영상 자료는 비도시지역으로 분류된 해안 지역을 포함하고 있기 때문이다.

제목도 개별 노드의 연결 중심성 분석을 통해 도시 연구에서 위성영상의 활용 현황을 파악하였으며, 그 결과는 <Figure 6>과 같다. '도시지역' 노드는 총 39개의 주변 노드를 가지고 있는데, 이는 분석을 위한 전처리 시 연구 목적에 맞게 해당 노드를 핵심어로 코딩한 영향으로 볼 수 있다. 주요 연결 노드를 살펴보면 '분석', '변화', '분포', '추출', '추정', '개발', '탐지'와 같이 연구 목적을 나타내는 노드와의 연결성이 높고, '고해상도', '녹지', '지표면 온도', '열 환경', '토지이용', '토지피복', '도시화'와 같이 연구 자료와 관련된 노드와의 연결성도 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 'GIS' 노드와도 높은 연결 중심성을 갖는데, 이는 도시 연구 시 주로 GIS 소프트웨어를 이용하여 위성정보를 활용함을 확인할 수 있다.

또한 상대적으로 연결 중심성은 낮지만, 위성영상 활용 도시 및 도시계획 연구의 현황을 방법, 대상, 목적, 자료 측면에서 파악도 가능하다. 우선 '3D'와 '딥러닝' 노드와의 연결링크를 통해 최근 해당 기술을 활용한 연구가 수행되었음을 확인할 수 있으며, '강우', '홍수', '도로', '대기질', '폭염' 노드와의 연결성을 통해 연구의 대상이 다양한 분야로 확장되고 있음을 확인할 수 있다.

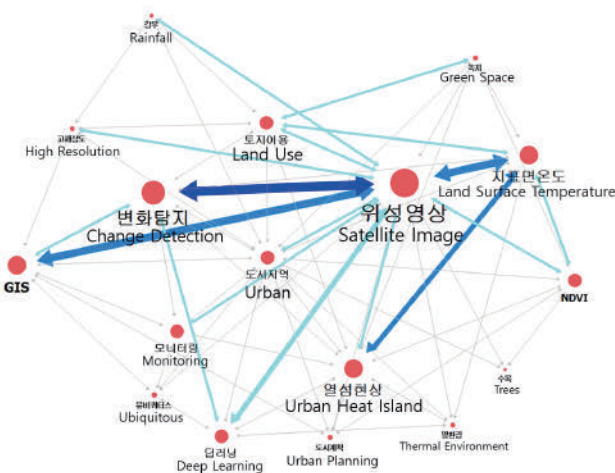


Figure 4. Results of degree centrality analysis for 'Urban' (Keywords)

주제별로 고르게 분포된 것으로 확인되었다.

첫 번째 주제는 도시의 재난·재해 대책 수립에 관한 연구가 포함되었으며 전체의 약 24%를 차지하는 것으로 나타났다. 주요 키워드로 '강우', '홍수', '생태', '유출' 등이 포함되었으며, 이는 기후 변화로 인한 도심지의 강우나 홍수 등 피해 분석에 위성영상이 활용되고 있음을 보여준다. 두 번째 주제는 식생에 따른 토지피복에 관한 연구가 포함되었으며, 전체의 약 27%를 차지하는 것으로 나타났다. 주요 키워드는 '토지', '피복', '식생', '열섬' 등의 키워드가 포함되어 있었으며, 이는 식생의 토지피복에 따른 열섬현상 분석에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있음을 나타낸다. 세 번째 주제는 도시성장 모니터링 및 예측에 관한 연구가 포함되었다. 전체의 약 24%를 차지하며 주요 키워드로는 '모니터링', '모델링', '도로', '건물', '성장' 등으로 도시화에 따른 도시성장 시계열 모니터링 연구에 위성영상이 활용되고 있음을 보여준다. 마지막 주제는 탄소 흡수량과 열섬에 관련된 연구가 포함되는 것으로 확인되었다. 전체의 약 25%를 차지하며 주요 키워드는 '열섬', '온도', '지표면', '탄소', '폭염', '취약' 등이 포함된다. 이는 탄소 배출량과 관련한 지표면 온도 상승과 취약계층에 관한 연구가 수행되었음을 확인할 수 있다.

토픽 모델링 분석의 결과 중 '열섬'과 '환경' 키워드는 첫 번째, 두 번째, 네 번째 주제와 연관되어 있는 것으로 나타났는데, 이는 본 연구에서 분석된 도시 연구의 상당수가 도시 열섬현상 파악이나 관련 분석을 위해 위성영상을 활용한 것으로 볼 수 있으며, 이는 위성영상이 제공하는 정보와 연관이 있음을 시사한다. 다른 한편으로는 위성정보가 도시의 재난·재해 분석, 도시성장 모니터링, 도시열섬 및 기후 위기 대응, 탄소중립 전략 수립 등 다양한 도시 문제 해결에 중요한 역할을 수행하고 있음을 보여준다.

V. 요약 및 결론

본 연구는 위성영상 산출물이 공급되기 시작한 1999년 이후 약 20년 동안 국내 주요 학술지에 게재된 도시 및 도시계획 연구에서 위성영상 활용에 대한 현황을 파악하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 위성영상이 직·간접적으로 사용된 도시 관련 국내연구 논문을 수집하였으며, 각 논문의 제목과 키워드로부터 주요어를 발췌하여 분석 자료로 활용하였다. 텍스트 마이닝 기법 중 의미 있는 단어 간 연관관계를 파악할 수 있는 네트워크 텍스트 분석을 전처리된 키워드와 제목을 대상으로 수행하였으며, 텍스트 간의 의미 해석이 어려운 네트워크 텍스트 분석 기법의 한계점을 보완하기 위해 제목에서 추출한 핵심어를 대상으로 추가로 토픽 모델링 분석을 수행하였다.

연결 중심성 분석 결과에 따르면, 위성영상은 제공할 수 있는 정보의 범위 내에서 다양한 목적을 위해 활용되고 있으며, 최근에는 다른 공간자료와의 결합을 통한 융합 연구나 최신 분석 기법

을 적용한 연구도 증가하고 있는 것으로 나타났다. 또한 제목과 키워드 분석 결과 간의 차이점도 확인되었는데, 이는 분석을 위해 다른 자료 전처리 과정을 거쳤기 때문으로 파악되었다. 키워드는 기존의 연구자가 지정한 핵심어이므로, 위성영상을 활용한 도시 연구의 세부 주제, 혹은 카테고리과 관련된 주요어가 많이 등장하였다. 반면, 제목 대상 분석 결과는 위성영상의 활용 방식이나 연구자의 관점을 반영한 내용이 도출되었으며, 이는 제목에서 핵심어를 추출하는 과정에서 연구자의 주관어 상당 부분 개입되었기 때문으로 파악된다. 또한 토픽 모델링의 결과를 통해 위성영상이 재난·재해 대책 수립, 탄소흡수와 식생의 토지피복에 따른 열섬 분석, 도시성장 모니터링 및 모델링 등 다양한 도시계획 연구 분야에서 활용되고 있음이 확인되었다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 도시 및 도시계획 연구에서 위성정보 활용에 대한 다음과 같은 시사점을 도출하였다. 첫째, 위성영상 관련 기술은 지속적으로 발전하고 있으며, 이에 따라 제공되는 정보의 양과 질 또한 증가하고 있다. 특히 최근의 영상 자료는 고해상도와 짧은 수집 주기를 특징으로 하며, 위성정보 빅데이터의 축적이 가속화되고 있다. 이는 향후 도시계획의 효율성과 지속가능성을 제고하는 데 있어 위성정보가 핵심적인 역할을 수행할 수 있음을 시사한다. 둘째, 위성정보는 다양한 공간자료와 결합함으로써 도시 및 도시계획 연구의 확장성을 기대할 수 있다. 위성정보는 위치기반 자료로서, 그 특성상 다른 공간자료와의 융합이 용이하며, 이러한 결합을 통해 더욱 풍부한 데이터베이스 구축이 가능하다. 이는 단순히 위성영상이 수집한 정보에 국한되지 않고, 새로운 형태의 정보 생산으로 이어질 수 있음을 의미한다. 마지막으로, 위성정보를 분석하는 새로운 기법도 계속해서 개발될 것으로 예상된다. 머신러닝 및 딥러닝 기반 알고리즘은 다양한 학문 분야에 적용되고 있으며, 도시 및 도시계획 분야에서도 이러한 고도화된 분석 기법을 활용한 연구가 활발히 이루어질 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 분석 대상이 국내 학술지로 한정되어 있어 해외 도시 및 도시계획 연구에서의 위성영상 활용 현황은 포함되지 않았다. 둘째, 제목과 키워드만을 분석 대상으로 삼았기 때문에 분석 자료의 범위가 제한적이며, 이에 따라 기존 연구들이 위성정보를 활용하여 도출한 이론적, 실증적 성과에 대한 체계적인 분석은 이루어지지 못하였다. 마지막으로 연결 중심성 분석의 한계를 보완하고자 토픽 모델링 기법을 적용하였으나, 해당 분석 결과의 해석 과정에서 연구자의 주관어 개입될 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 하지만, 본 연구는 지난 20년간 국내 도시 및 도시계획 연구 분야에서 위성영상 활용의 흐름을 총체적으로 파악하고, 이를 바탕으로 향후 연구 방향에 대한 시사점을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 향후 연구에서는 유사한 분석 기법을 적용하여 시계열 분석을 수행하고, 그 결과를 비교함으로써 시간의 흐름에 따른 위성

영상 활용의 변화 양상을 더욱 명확히 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 위성정보가 도시계획 분야에서 어떠한 방향으로 발전하고 활용될 수 있을지에 대한 전망도 더 구체적으로 제시할 수 있을 것이다.

인용문헌
References

1. 권민호, 2012. “천리안 위성 적외 영상 자료를 이용한 태풍의 최대풍속반경 산출 및 통계적 특성”, 『대기』, 22(4): 473-481.
Kwon, M., 2012. “Estimation and Statistical Characteristics of the Radius of Maximum Wind of Tropical Cyclones Using COMS IR Imagery”, *Atmosphere*, 22(4): 473-481.
2. 권영목·장효선·김혁재·손홍규, 2023. “Landsat 8 위성영상과 통계 데이터 기반 서울시 도시 삶의 질”, 『대한공간정보학회지』, 31(2): 35-43.
Kwon, Y., Jang, H., Kim, H., and Sohn, H., 2023. “Analysis of Quality of Life of Seoul City Based on Landsat 8 Satellite Images and Census Data”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 31(2): 35-43.
3. 김강민·황태진·조서립·이유빈·황철수, 2023. “미시적 공간단위 행정구역의 북한 홍수 취약성 분석”, 『대한지리학회지』, 58(2): 178-193.
Kim, K., Hwang, T., Cho, S., Lee, Y., and Hwang, C., 2023. “Micro-scale Flood Susceptibility Analysis through Subdivision of Administrative Units in North Korea”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 58(2): 178-193.
4. 김성준·이용관, 2018. “수자원분야의 위성영상 활용 현황과 전망”, 『생태와 환경』, 51(1): 105-123.
Kim, S. and Lee, Y., 2018. “Present Status and Future Prospect of Satellite Image Uses in Water Resources Area”, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 51(1): 105-123.
5. 김슬기·박승희, 2022. “인공위성영상과 딥러닝을 이용한 건설공사현장 폭염취약지역 분석”, 『대한토목학회논문집』, 42(2): 263-272.
Kim, S. and Park, S., 2022. “Heatwave Vulnerability Analysis of Construction Sites Using Satellite Imagery Data and Deep Learning”, *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 42(2): 263-272.
6. 김영환·황경립, 2024. “AI Ethics 관련 학술연구 동향 분석: 네트워크 텍스트 분석을 중심으로”, 『디지털콘텐츠학회논문지』, 25(4): 981-990.
Kim, Y. and Hwang, K., 2024. “Analysis of Korean AI Ethics Research: A Focus on Network Text Analysis”, *Journal of Digital Contents Society*, 25(4): 981-990.
7. 김은숙·원명수·김경민·박주원·이정수, 2019. “광학센서를 활용한 산림분야 원격탐사 활용기술”, 『대한원격탐사학회지』, 35(6): 1031-1035.
Kim, E., Won, M., Kim, K., Park, J., and Lee, J., 2019. “Forest Management Research using Optical Sensors and Remote Sensing Technologies”, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(6): 1031-1035.
8. 김철현·김범승·강서리·홍석영·김이현·이경도·나상일·이우경, 2014. “농림업 분야의 위성영상 활용현황”, 『한국위성정보통신학회논문지』, 9(2): 1-6.
Kim, H., Kim, B., Kang, S., Hong, S., Kim, Y., Lee, K., Na, S., and Lee, W., 2014. “Overview of Current Applications of Satellite Images in Agricultural Sectors”, *Journal of Satellite, Information and Communications*, 9(2): 1-6.
9. 박샘·최광용, 2016. “위성영상에 탐지된 1980년대 이후 수도권 지역의 도시 팽창”, 『한국지리학회지』, 5(3): 331-343.
Park, S. and Choi, G., 2016. “Urban Sprawl in the Seoul Metropolitan Region, Korea Since the 1980s Observed in Satellite Imagery”, *Journal of the Association of Korean Geographers*, 5(3): 331-343.
10. 박승미·곽은주·박혜옥·홍정은, 2024. “청소년 임신에 대한 연구 동향 분석: 텍스트 네트워크 분석과 토픽 모델링”, 『한국간호교육학회지』, 30(2): 149-159.
Park, S., Kwak, E., Park, H., and Hong, J., 2024. “A Study on Research Trends for Pregnancy in Adolescence: Focusing on Text Network Analysis and Topic Modeling”, *The Journal of Korean Academic Society of Nursing Education*, 30(2): 149-159.
11. 박은준·김영지·박찬숙, 2017. “텍스트네트워크분석을 활용한 국내·외 호스피스 간호 연구 주제의 비교 분석”, 『Journal of Korean Academy of Nursing』, 47(5): 600-612.
Park, E., Kim, Y., and Park, C., 2017. “A Comparison of Hospice Care Research Topics between Korea and Other Countries Using Text Network Analysis”, *Journal of Korean Academy Nursing*, 47(5): 600-612.
12. 배경임, 2023. “텍스트 마이닝과 네트워크 분석에 의한 독서치료 연구 동향의 비교 분석 연구”, 『차세대융합기술학회논문지』, 7(10): 1685-1696.
Bae, K., 2023. “Comparative Analysis Study on Bibliotherapy Research Trends Using Text Mining and Network Analysis”, *Journal of Next-generation Convergence Technology Association*, 7(10): 1685-1696.
13. 송영선·손홍규·이석우, 2006. “LiDAR 자료 및 SPOT-4 위성영상을 활용한 산불피해 분석”, 『대한토목학회논문집 D』, 26(3D): 527-534.
Song, Y., Sohn, H., and Lee, S., 2006. “Analysis of Forest Fire Damage Using LiDAR Data and SPOT-4 Satellite Images”, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, D, 26(3D): 527-534.
14. 송창우·Wiratama Wahyu·정지훈·홍성재·김대희·강주형, 2020. “SPADE 기반 U-Net을 이용한 고해상도 위성영상에서의 도시 변화탐지”, 『대한원격탐사학회지』, 36(6): 1579-1590.
Song, C., Wahyu, W., Jung, J., Hong, S., Kim, D., and Kang, J., 2020. “Urban Change Detection for High-resolution Satellite Images Using U-Net Based on SPADE”, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(6): 1579-1590.
15. 우희성·조승완·정진휘·박주원, 2019. “원격탐사 기술의 국내 정밀 임업 가능성 검토: 임업분야의 원격탐사 적용사례 분석을 중심으로”, 『대한원격탐사학회지』, 35(6): 1067-1082.
Woo, H., Cho, S., Jung, G., and Park, J., 2019. “Precision Forestry Using Remote Sensing Techniques: Opportunities and Limitations of Remote Sensing Application in Forestry”,

Korean Journal of Remote Sensing, 35(6): 1067-1082.

16. 윤민호·안동만, 2009. “위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석”, 『한국조경학회지』, 37(3): 46-53.
Yoon, M. and Ahn, T., 2009. “An Application of Satellite Image Analysis to Visualize the Effects of Urban Green Areas on Temperature”, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 37(3): 46-53.
17. 윤지은, 2023. “주요 국가 바이오·헬스와 인공지능 융·복합 연구 동향에 관한 연구: 텍스트 마이닝과 키워드 네트워크 분석을 중심으로”, 한양대학교 박사학위논문.
Yoon, J.E., 2023. “Trend Analysis on Convergence Research of Bio-Health and AI in Major Countries: Focus on Text Mining and Keyword Network Analysis”, Ph.D. Dissertation, Hanyang University.
18. 이광재·오관영·이원진, 2020. “최근 다목적실용위성 시리즈 활용 현황”, 『대한원격탐사학회지』, 36(6): 1485-1492.
Lee, K., Oh, K., and Lee, W., 2020. “Current Status of Application of KOMPSAT Series”, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(6):1485-1492.
19. 이규성, 1998. “수문모형 및 수자원 관리를 위한 원격탐사 기술”, 『물과 미래: 한국수자원학회지』, 31(1): 58-69.
Lee, G.S., 1998. “Remote Sensing Technologies for Hydrological Modeling and Water Resources Management”, *Water for Future*, 31(1): 58-69.
20. 이수상, 2014. “언어 네트워크 분석 방법을 활용한 학술논문의 내용분석”, 『정보관리학회지』, 31(4): 49-68.
Lee, S., 2014. “A Content Analysis of Journal Articles Using the Language Network Analysis Methods”, *Journal of the Korean Society for Information Management*, 31(4): 49-68.
21. 이재득·서지민, 2023. “한국의 동남아 연구에 대한 텍스트 마이닝과 네트워크 및 토픽 분석”, 『무역학회지』, 48(5): 139-165.
Yi, C. and Sur, J., 2023. “Text Mining, Network, and Topic Analysis on Korea’s Southeast Asia Studies”, *Korea Trade Review*, 48(5): 139-165.
22. 이태화, 2022. “텍스트 네트워크 분석과 토픽 모델링 기법을 활용한 「도시행정학보」 연구경향 분석”, 『도시행정학보』, 35(1): 1-22.
Lee, T., 2022. “The Analysis on Research Trend of The Journal of the Korean Urban Management Association through Applying Text Network Analysis and Topic Modeling”, *Journal of the Korean Urban Management Association*, 35(1): 1-22.
23. 임정호, 2015. “해의 고해상도 국토관측 위성영상정보 활용현황 및 도전 과제”, 『국토』, 40-47.
Im, J., 2015. “Status and Challenges in the Utilization of High-Resolution Satellite Image for Land Monitoring”, *Planning and Policy*, 40-47.
24. 장은미, 2000. “위성영상처리 기술의 발전 현황”, 『국토』, 21-27.
Jang, E., 2000. “Current Status of Satellite Image Processing Technology”, *Planning and Policy*, 21-27.
25. 정길섭·구슬·유환희, 2011. “Landsat 위성영상에 의한 용도지역 온도변화분석”, 『대한공간정보학회지』, 19(2): 55-61.
Jung, G., Koo, S., and Yoo, H., 2011. “Temperature Change Analysis for Land Use Zoning Using Landsat Satellite Imagery”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 19(2): 55-61.
26. 정시윤·전병운, 2020. “공간 빅데이터와 야간 위성영상을 활용한 도시 활력 평가: 대구시를 사례로”, 『한국지리정보학회지』, 23(4): 217-233.
Jeong, S. and Jun, B., 2020. “Urban Vitality Assessment Using Spatial Big Data and Nighttime Light Satellite Image: A Case Study of Daegu”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 23(4): 217-233.
27. 조시영·이광국, 2023. “텍스트 마이닝과 키워드 네트워크 분석을 이용한 도시재생과 관광 분야국내외 연구동향 비교 연구”, 『산업혁신연구』, 39(4): 162-175.
Cho, S. and Lee, K., 2023. “Comparative Study of Domestic and Overseas Research Trends in Urban Regeneration and Tourism Using Text Mining and Keyword Network Analysis”, *The Journal of Industrial Innovation*, 39(4): 162-175.
28. 황미경·김유근·오인보·강윤희, 2010. “건물효과를 고려한 연안 도시지역 고해상도 기상모델링”, 『한국대기환경학회지』, 26(2): 137-150.
Hwang, M., Kim, Y., Oh, I., and Kang, Y., 2010. “High-resolution Simulation of Meteorological Fields over the Coastal Area with Urban Buildings”, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 26(2): 137-150.

Date Received 2025-01-13
 Reviewed(1st) 2025-05-28
 Date Revised 2025-08-25
 Reviewed(2nd) 2025-09-02
 Date Accepted 2025-09-02
 Final Received 2025-10-17