

시계열 토지피복 변화 탐지를 통한 대전광역시의 시가화지역 변화 패턴 분석: 다중시기 위성영상을 활용하여*

박현수** · 장동호***

Analysis of Changes in Urbanized Areas in Daejeon Metropolitan City by Detection of Changes in Time Series Landcover: Using Multi-temporal Satellite Images*

Hyun-Su Park** · Dong-Ho Jang***

요약 : 본 연구는 대전광역시의 과거 시가화지역의 변화 패턴을 분석하기 위해 다중시기 위성영상을 기반으로 토지피복 변화를 탐지하였다. 또한 대전광역시 5개 구(區)별로 시가화지역의 변화 면적과 지형공간 자료 간의 중첩분석을 통하여 지난 30여 년 동안의 대전광역시의 토지피복 변화 패턴을 분석하였다. 연구결과, 지난 30년 동안 토지피복 변화는 시가화지역, 수역, 초지, 습지에서 증가 추세가 나타났으며, 반면에 논, 밭, 산림, 나대지는 감소하는 경향이 나타났다. 구별 분석결과, 시가화지역의 면적이 가장 크게 증가한 곳은 유성구이며, 다음으로 서구, 대덕구, 동구, 중구 순이다. 특히, 유성구는 대규모 택지 개발 및 상업지역 확대에 따라 시가화지역의 면적이 가장 크게 증가하였으며, 변화된 대부분의 시가화지역은 과거 논, 밭, 그리고 산림지 등이다. 지형자료와의 분석결과, 100m 이하의 평탄지를 중심으로 도시 확장이 일어난 것을 확인할 수 있었다. 이러한 시가화지역에 대한 토지피복 변화 탐지 및 변화 패턴 분석은 향후 대전시의 도시개발·관리 계획 수립의 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.
주요어 : 토지피복, 다중시기 위성영상, 시계열분석, 시가화지역, 지형자료

Abstract : This study detected changes in land cover based on multi-temporal satellite images in order to analyze patterns of changes in past urban areas in Daejeon Metropolitan City. In addition, the pattern of land cover changes in Daejeon Metropolitan City over the past 30 years was analyzed through an overlapping analysis between the area of change in the urban area and the data of the topographical in each of the five districts of Daejeon City. Studies have shown that changes in land cover over the past 30 years have shown an increasing trend in urbanized areas, water areas, grasslands and wetlands, while rice paddies, fields, forests and barelands tend to decline. As a result of the districts analysis, the largest increase in the area of the urbanization area is Yuseong-gu, followed by Seo-gu, Daedeok-gu, Dong-gu, and Jung-gu. In particular, Yuseong-gu has seen the largest increase in the area of urbanized areas due to the development of large-scale housing sites and the expansion of commercial areas, and most of the changed urbanized areas include paddies, fields, and forest areas in the past. As a result of the analysis with the topographical data, it was confirmed that urban expansion took place around flat land of less than 100 meters. The detection of changes in land cover and analysis of patterns of change in land cover for these urbanized areas could be used as important basic data for future urban development and management planning in Daejeon.

Key Words : Landcover, Multi-temporal Satellite Images, Time-series analysis, Urbanization-area, Topographic data

*본 연구는 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5A2A01026274).

**공주대학교 지리학과 박사과정(Doctoral Student, Department of Geography, Kongju National University, tagyuk22@smail.kongju.ac.kr)

***공주대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Kongju National University, gisrs@kongju.ac.kr)

I. 서론

토지피복 변화는 인간과 자연의 관계를 이해하는 데 있어 가장 근본적인 토대가 되는 연구 분야이며, 토지관리 및 국토개발 계획에 있어 합리적인 결정을 내리기 위해서는 지표면의 변화 정보를 습득하는 것이 필수적이다(한국환경정책·평가연구원 편, 2015). 지표경관은 여러 가지 사회·경제적 요인에 따른 토지이용의 변화로 야기되는 다양한 문제에 직면하고 있어 지표면의 변화를 이해하고 분석하는 것은 대단히 중요하다(김찬수 등, 2011).

최근 들어 인구 증가 및 산업 발달에 따른 도시화와 공업화가 진행되면서 지표면에 다양한 변화가 일어나고 있으며, 이러한 지표경관의 변화가 인간에게 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 논의가 여러 분야에서 진행되고 있다. 이러한 논의를 통하여 효율적인 도시계획 및 지역개발 정책을 수립할 수 있으며, 토지피복 자료는 국토계획 및 지역단위 계획을 수립하기 위한 기초자료로 이용되기 때문에 급속히 감소하는 자원과 환경문제를 진단하고 해결하는 데에 필요한 보조 자료로서 중요한 역할을 한다(조자영·장동호, 2014). 국토계획이나 지역단위 계획은 과거부터 현재까지의 토지피복의 변화를 전제하여 계획되기 때문에 과거~현재의 토지피복 변화를 연구하는 것은 중요하며, 특히 도심지역의 변화 및 분포 특성을 파악하는 것은 지속가능한 도시발전 계획을 수립하기 위해서 반드시 필요하다.

토지피복 변화탐지와 관련된 연구는 여러 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 장동호(2002)는 지표환경 변화를 평가하기 위한 방법을 개선하기 위해 다중시기 위성영상을 기반으로 한 GIS·RS기법을 통해 안면도와 천수만 연안의 지표환경을 평가하였으며, 김연희(2002)는 토지이용 계획 수립 시 원격탐사 기반의 토지피복 현황 자료의 중요성을 강조하여 보다 효율적이고 경제적인 분류 방법을 모색하기 위해 피지감도분류 기법을 이용하여 위성영상의 분류 정확도를 평가한 바 있다. 고석렬(2004)은 다중시기 위성영상을 감도분류하여 2000년대 이전 대전시의 토지이용 특성을 분석하였으며, 이미선(2010)은 토지피복 변화에 따른 수질오염 실태를 모니터링하기 위해 고해상도 위성영상을 활용하여 정밀토지피복도 제작 기법을 개발하였다. 또한 특정 토지피복 유형을 탐지하기 위한 연구도 다양한 분야에서 시도되었는

데, 박미성 등(2010)은 농업관측 분야에 원격탐사 기술을 도입하기 위해 고해상도 위성영상 기반의 영상분류를 하여 논 면적을 탐지하였으며, 김예슬 등(2016)은 MODIS NDVI 자료를 이용한 선택적 계층 분류 방법을 통해 중국의 옥수수, 콩, 벼의 재배면적을 탐지하였다. 박현수·장동호(2018)는 다중시기 위성영상을 이용한 무감독분류를 통해 국내 주요 쌀보리 생산지인 전라남도 일대의 쌀보리 생산면적을 탐지하였다.

토지피복 변화를 탐지하기 위해 국가데이터를 활용한 연구도 시도되었는데, 박종철·김장수(2014)는 환경부에서 배포한 국가토지피복도와 통계자료 간의 경향성을 확인하여 오류 유형과 원인을 분석하였으며, 김성훈 등(2016)은 토지피복도를 통한 세종시 일대 토지피복 변화를 탐지하여 환경정책 수립 및 환경부문 의사결정을 위한 기초자료로서의 국가토지피복도의 활용도를 검토하였다. 이밖에 미래의 토지피복 변화를 예측하기 위한 연구도 다양하게 진행되었다. 김찬수 등(2011)은 미래 토지피복도 작성을 위해 다중시기 위성영상을 이용하여 토지피복 변화를 분석하였고, 통계분석 방법인 이중지수 평활법(Double Exponentially Smoothing)을 통하여 미래 토지피복 변화를 예측하였다. 조자영·장동호(2014)는 경험도수분포함수를 이용한 토지피복 변화탐지기법을 개발하였으며, 김동우 등(2018)은 1990년과 2000년의 토지피복도와 분석지표를 바탕으로 상대선호도함수모델을 이용하여 2010년의 토지피복도를 예측하고 이를 검증하였다. 한국환경정책·평가연구원 편(2015)에서는 사회·경제적 요인과 자연·물리적 인자를 동시에 고려하여 다양한 시나리오를 적용한 예측모델을 제시한 바 있다.

선행연구들을 살펴본 바와 같이, 최근 인간의 활동 영역이 과거에 비해 급속도로 확장되면서 지표경관을 변화시키는 요인들이 더욱 복잡해지고 있는 실정이다. 따라서 이러한 요인들을 보다 더 객관화할 필요성이 있기 때문에 과거의 토지피복 변화를 정량적으로 평가하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 대전광역시외의 과거 시가지지역의 토지피복 변화 패턴을 분석하기 위해 다중시기 위성영상을 기반으로 토지피복 변화를 탐지하고, 대전광역시 5개 구(區)별로 시가지지역의 변화 면적과 지형공간 자료 간의 중첩분석을 통하여 지난 30년 동안의 대전광역시외의 토지피복 변화 패턴을 분석하였다. 이러한 시가지지역에 대한 토지피복 변화 탐지 및 변화 패턴 분석은 향후 대전

광역시의 도시개발·관리 계획 수립의 중요한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구지역, 연구방법 및 사용자료

1. 연구지역

연구지역인 대전광역시는 동구, 중구, 서구, 유성구, 대덕구 5개의 구로 구성되어있다. 지리적 좌표는 127° 14' 54"E ~ 127° 33' 21"E, 36° 10' 50"N ~ 36° 29' 47"N에 해당한다. 대전은 지리적으로 한반도의 중부지방에 위치하며, 세종특별자치시와 충청남도의 공주시, 논산시, 금산군, 충청북도의 청주시, 보은군, 옥천군과 접해있다(그림 1). 경부·호남·대진고속도로, 국도 및 철도가 경부선과 호남선으로 분기하고 있어 교통·물류의 요충지로 자리 잡고 있다.

대전시와 공주시의 경계에는 계룡산(845m)이, 청주시와의 경계에는 대청댐이 위치하고 있다. 지형여건은 차령산맥과 소백산맥의 사이에 위치하여 대전시를 중심으로 동쪽에는 식장산, 서쪽에는 구봉산, 남쪽에는 보문산, 북쪽에는 계족산의 연봉에 둘러싸여 있다. 대전시는 동·서·남·북 어디에서나 산줄기가 연속되는 분지의 형태이며, 산계는 대체로 남북 방향으로 발달되어 있다. 기반

암은 규암층과 옥천층군에 속하는 것으로 알려진 변성암류가 동쪽 산지에 주로 분포해있으며, 맥암류와 반암류가 밀집되어 있는 서부 산지지역은 대전 중심부의 화강암 분포지역에 비해 풍화와 침식에 강하여 높은 산지로 남아있다. 대전시의 중앙부의 화강암 지역은 풍화 및 침식에 의하여 넓은 평야지대가 형성되어 있다(지광훈 등, 2009).

대전은 금강유역에 속하며, 진안고원에서 발원한 금강은 북쪽으로 흘러 대전시 남동부의 구조곡을 따라 감입사행하면서 빠져나와 대청댐 입구 신탄진 부근에서 서쪽으로 꺾여 대전의 북쪽을 돌아 흐른다(박지훈 등, 2012). 대전시 내부의 수계를 살펴보면, 대전분지를 둘러싸고 있는 산줄기를 중심으로 남북방향의 수계가 나타나며, 갑천, 유등천, 대전천의 3개의 큰 하천과 그 지류인 여러 개의 작은 하천들이 남쪽에서 발원하여 북쪽으로 흘러서 금강의 본류로 유입하고 있다. 갑천은 대전분지의 서부를 관류하며, 대전분지의 동부를 관류하는 유등천과 대전천과 회덕 부근에서 합류하여 북쪽으로 흘러 신탄진 부근에서 금강 본류와 유입된다(박지훈, 2011). 대전시내를 흐르는 하천변에는 해발고도 40m의 넓은 충적지가 형성되었으며, 충적지 주변에는 경사가 완만한 구릉지가 분포하고 있다. 넓은 충적지와 저구릉지를 중심으로 시가지가 분포하고 있다.

우리나라는 1970년대 이후 급격한 경제 지향적 도시

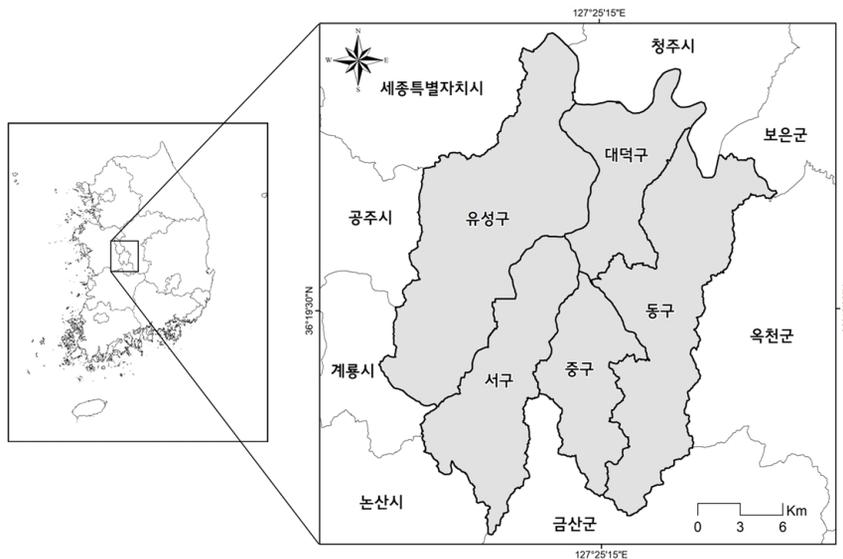


그림 1. 연구지역

개발정책이 1990년대에는 2000만호 주택건설사업과 같은 대규모 도시개발로 이어져 도시가 급속하게 확장되었다(김준영, 2015). 특히 대전시는 1960년대 경제개발 5개년 계획 수립 이후 급속한 경제성장이 이루어졌으며, 80~90년대 대덕연구단지의 출범으로 과학기술 도시로 발전하였다. 이로 인해 급격한 도시화와 가속화된 도시 인구집중 현상이 나타났으며, 그 결과로 시가지지역의 확산과 공간구조의 변화가 나타났다. 이러한 사실들로 미루어보아 도시성장 변화 탐지를 위한 최적지라고 판단되어 연구지역으로 선정하였다.

2. 연구방법 및 사용자료

본 연구에서는 대전시의 지난 30년간의 토지피복 변화를 분석하기 위하여 다중시기 위성영상 자료를 이용하여 토지피복도를 작성하고, 분류된 영상자료와 GIS 공간자료와의 중첩분석을 통하여 대전시 구(區)별 도시성장 패턴을 분석하였다. 이를 통하여 구 단위의 토지피복 패턴 변화와 시간 변화에 따른 도시성장 패턴을 분석하는 데에 위성영상분류의 효용성을 검토하였다. 위성영상을 이용한 원격탐사는 현장조사나 항공사진측량에 비해 광범위한 지역을 관측할 수 있으며, 내부적인 데이터 간의 일관성을 제공하므로 지표의 상태와 지표 변화의 특징들을 파악하는 연구에 효과적이다. 특히 토지피복 관측 분야에서 위성영상은 주기적으로 자료를 획득할 수 있고, 광범위한 지역의 정보를 신속하게 얻을 수 있기

때문에 위성영상을 이용한 지표환경 변화 분석연구는 다양한 분야에서 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구는 다중시기 위성영상을 기반으로 감독분류를 실시하여 대전시의 토지피복 변화를 탐지하였으며, 영상분류 결과를 대전시 5개의 구별로 나누어 지형공간자료와 중첩분석하였다. 구체적인 연구방법은 크게 다음의 두 가지 방법으로 수행하였다(그림 2).

첫째, 다중시기 위성영상의 위치정확도를 확보하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 1:25,000 수치지형도를 이용하여 Vector to Image 방법으로 기하학적 보정을 실시하였다. 원격탐사자료를 활용한 정확한 토지피복 면적을 산출하기 위한 위성영상의 전처리인 연구결과물의 질을 향상시키는 데에 중요한 역할을 하기 때문에 기하보정 시 10개 이상의 지상기준점(Ground Control Point, GCP)을 선정하여 연도별 영상의 전처리를 실시하였다. 보정된 각 연도별 영상은 대전시의 행정구역 경계를 기준으로 마스킹(Masking) 처리하였으며, 처리된 영상은 비모수적 분류처리 기법인 최대우도법(Maximum Likelihood Classification, MLC) 방법을 이용한 감독분류를 실시하여 토지피복도를 작성하였다. 다음으로 작성된 다중시기 토지피복도에 대한 분류정확도 검증을 실시하였으며, 검증은 통계적 유의성을 유지하기 위해 무작위적 추출법(Simple Random Sampling)을 사용하였다. 본 검증방법은 각 분류 클래스의 수를 충분히 획득할 수 있으며, 분류 오차 행렬(error matrix)을 만드는 것으로 알려졌다(Congalton, 1991). 본 연구에서는 무작위

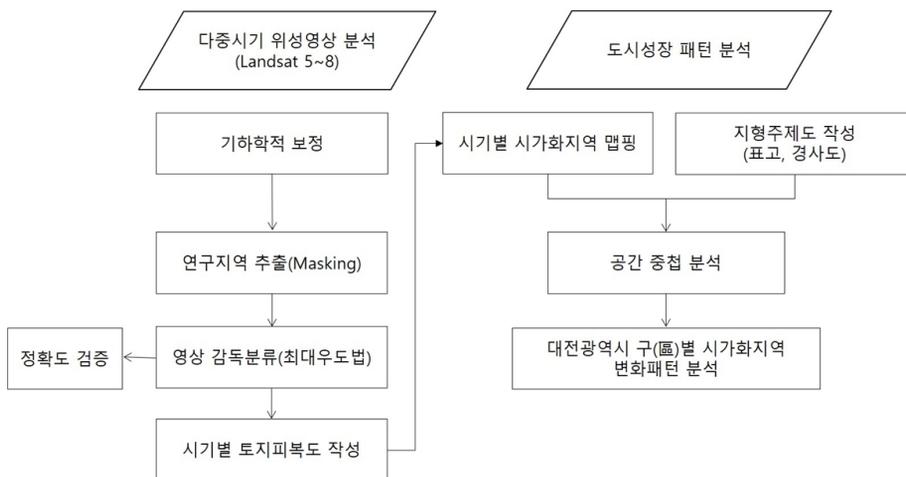


그림 2. 연구의 흐름

표 1. 연구에 사용한 위성영상 시기 및 제원

위성영상	센서	Path/Row	날짜(년-월-일)
Landsat 5	TM	115/35	1989-06-03
Landsat 5	TM	115/35	1999-05-30
Landsat 5	TM	115/35	2009-05-25
Landsat 8	OLI	115/35	2019-05-21

적 추출법을 이용해서 분류정확도의 시기별 변화가 크지 않다는 가정 하에, 각 시기별 분류된 토지피복도와 환경부에서 제공하는 시기별 중분류 및 대분류 토지피복도를 검증자료로 활용하여 분류정확도를 평가하였다.

둘째, 대전시의 구(區)별 도시성장 패턴을 분석하기 위해 시기별 시가지지역 분포도를 제작하였으며, 지표공간정보 분석 자료를 구축하여 이를 다중시기 토지피복도와 중첩분석 하였다. 구축한 공간주제도는 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM), 사면경사 분포도이며, 수치지형도의 표고 값을 가지는 객체(Feature)들을 격자형(Raster) 자료로 변환하였다. Vector 자료의 Raster 자료로의 변환 시에는 다중시기 토지피복도와 격자 간 중첩도를 향상시키기 위해 Raster 자료의 격자배열을 다중시기 토지피복도의 격자배열과 들어맞게 해주는 Raster Snapping 기능을 사용하였다. 영상분류와 GIS 공간분석에는 각각 PCI 9.1과 Arc GIS 10.4 프로그램을 사용하였다.

시계열 토지피복 변화 탐지에 사용된 다중시기 위성영상은 1989년도부터 2019년도까지 시기가 각기 다른 10년 단위 Landsat 위성영상자료이며, 각 시기의 위성영상 및 제원은 표 1과 같다.

III. 위성영상 분류 및 검증

1. 위성영상 분류결과

본 연구에서는 1989년과 1999년, 2009년, 2019년 획득된 Landsat 영상을 감독분류 기법인 최대우도법을 통해 대전시의 토지피복도를 작성하였다. 분류된 토지피복 유형은 총 8개이며, 전체 분류영상의 화소수는 1,125×1,325 pixel, 분석에 사용된 연구지역의 면적은 약 540.3 km²이다.

분류 결과를 살펴보면, 시가지지역, 수역, 초지, 습지는 증가 추세가 나타났으며, 논, 밭, 산림, 나대지는 감소하는 경향이 나타났다(표 2). 1989년 분류면적은 산림(316.3km²), 논(54.0km²), 밭(50.7km²), 시가지지역(50.3km²), 나대지(25.7km²), 수역(21.7km²), 초지(21.5km²), 습지(0.04km²) 순으로 나타났다. 1999년 분류에서는 산림(287.3km²), 시가지지역(94.4km²), 논(47.3km²), 밭(43.6km²), 수역(23.7km²), 나대지(20.5km²), 초지(18.3km²), 습지(5.3km²) 순으로 나타났다.

1989년에서 1999년 사이의 토지피복 변화 특징을 살펴보면, 산림, 논, 밭, 초지, 나대지의 면적이 감소하였고, 반면에 시가지지역, 습지, 수역의 면적은 증가하였다. 면적의 감소가 가장 크게 일어난 토지피복 유형은 산림(-28.99km²)이며, 다음으로 밭(-7.07km²), 논(-6.76km²), 나대지(-5.12km²) 순이다. 반면에 면적의 증가가 가장 크게 일어난 토지피복 유형은 시가지지역(+44.03km²)이며, 다음으로 습지(+5.28km²), 수역(+1.91km²) 순이다. 이러한 토지피복 유형의 변화는 1989년 대전시가 대덕

표 2. 연구지역 토지피복 분류 결과

유형	1989		1999		2009		2019	
	면적(km ²)	비율(%)						
시가지지역	50.3	9.3	94.4	17.5	111.9	20.7	127.1	23.5
논	54.0	10.0	47.3	8.7	29.2	5.4	19.3	3.6
밭	50.7	9.4	43.6	8.1	38.6	7.1	36.6	6.8
산림	316.3	58.5	287.3	53.2	283.1	52.4	263.7	48.8
초지	21.5	4.0	18.3	3.4	25.8	4.8	42.9	7.9
습지	0.0	0.0	5.3	1.0	6.0	1.1	11.0	2.0
나대지	25.7	4.7	20.5	3.8	21.3	3.9	14.2	2.6
수역	21.7	4.0	23.7	4.4	24.4	4.5	25.4	4.7
합계	540.3	100.0	540.3	100.0	540.3	100.0	540.3	100.0

군과 통합하여 대전직할시로 승격되면서 사회기반 시설의 확충에 따라 산림과 농경지가 시가화지역으로 바뀌게 된 결과로 해석된다.

2009년 분류면적은 산림(283.1km²), 시가화지역(111.9km²), 밭(38.6km²), 논(29.2km²), 초지(25.8km²), 수역(24.4km²), 나대지(21.3km²), 습지(6.0km²) 순으로 나타났다. 1999년에서 2009년 사이의 토지피복 변화 특징은 산림과 농경지가 감소하였고, 그밖에 다른 토지피복 유형들의 면적은 모두 증가하였다. 이 기간 동안 면적의 감소가 가장 크게 일어난 토지피복 유형은 논(-18.10km²)이며, 다음으로는 밭(-4.99km²), 산림(-4.17km²) 순이다. 반면에 면적의 증가가 가장 크게 일어난 토지피복 유형은 시가화지역(+17.51km²)이며, 다음으로 초지(+7.58km²) 등이다.

1999~2009년 기간에는 전년 기간(1989~1999)에 비해 산림의 감소가 줄어들었으나, 농경지의 감소가 두드러지게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 2000년대 도시의 확산은 산지지역보다는 주로 농지지역을 개발하며 이루어진 것임을 명확하게 알 수 있다.

2019년 분류면적은 산림(263.7km²), 시가화지역(127.1km²), 초지(42.9km²), 밭(36.6km²), 수역(25.4km²), 논(19.3km²), 나대지(14.2km²), 습지(11.0km²) 순으로 나타났다. 2009년에서 2019년 사이의 토지피복 변화 특징은 산림, 농경지, 나대지가 감소하였고, 시가화지역, 초지, 습지, 수역이 증가하였다. 이 기간 동안 면적의 감소가 가장 크게 일어난 토지피복 유형은 산림(-19.39km²)이며, 다음으로는 논(-9.87km²), 나대지(-7.11km²), 밭(-2.00km²)이다. 반면에 면적의 증가가 가장 크게 일어난 토지피복 유형은 초지(+17.07km²)이며, 다음으로 시가화지역(+15.24km²) 등이다. 2009~2019년 기간에는 전체 기간 중 초지의 증가 폭이 가장 크게 나타났으며, 전년 기간(1999~2009년)에 비해 농경지의 감소는 상대적으로 적었으며, 산림의 감소가 두드러지게 나타났다.

위성영상 분류를 통한 1989~2019년 사이의 토지피복 변화를 종합 고찰하면, 전체 기간 사이의 토지피복 면적 비율상 가장 큰 증가를 보인 항목은 시가화지역으로 나타났다. 토지피복 유형별 증감 면적을 살펴보면, 시가화지역(+76.78km²)에서 가장 큰 증가가 나타났으며, 다음으로 초지(+21.37km²), 습지(+10.98km²), 수역(3.66km²) 순으로 증가하였다. 감소된 유형으로는 산림(-52.55km²)에서 가장 큰 감소가 나타났으며, 다음으로 논(-34.73km²), 밭(-14.06km²), 나대지(-11.45km²) 순으로 감소하

였다. 분석기간(1989~2019) 동안 가장 큰 변화 유형은 대전시의 도시화에 따라 시가화지역이 확대되면서 산림 및 농경지가 시가화지역으로 바뀐 것이다.

또한 분석기간 동안 나대지의 면적이 전체적으로는 감소하고 있지만, 증가와 감소 패턴이 번갈아가며 나타나고 있는 경향을 보였다. 일반적으로 나대지는 시가화지역의 개발로 인한 인공구조물들이 들어서기 전 단계의 토지피복 유형에 해당한다. 따라서 나대지 면적의 변화는 향후 도시개발로 인한 시가화지역 면적의 확대와 연관이 있다고 할 수 있으며, 보다 더 정확한 도시개발의 면적변화를 탐지하기 위해서는 시간해상도를 높여 나대지의 위치와 면적을 파악하는 것이 중요하다. 이밖에 2000년대 이후 초지, 습지, 수역의 면적이 지속적인 증가추세를 보였는데 이는 증가된 시가화지역의 면적만큼 증가된 도시공원 면적의 증가가 원인으로 보인다. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」(2020년 2월 4일 일부개정, 약칭 「공원녹지법」)에 따르면 도시개발계획의 규모별 도시공원 및 녹지의 확보기준이 제시되어 있기 때문에 대전시의 체육공원, 수변공원, 근린공원, 도시자연공원 등의 형태로 초지를 비롯한 습지·수역의 면적이 늘어난 것으로 판단된다.

대전시 5개 구별 토지피복의 변화패턴을 살펴보기 위해 각 연도별 토지피복도를 작성한 결과는 그림 3과 같다. 5개 구별 토지피복 변화량을 살펴보면, 1989~2019년 동안 시가화지역의 면적이 가장 크게 증가한 곳은 유성구(+35.23km²)이며 다음으로 서구(+16.93km²), 대덕구(+12.17km²), 동구(+7.89km²), 중구(+4.53km²) 순이다. 특히, 유성구는 대규모 택지 개발 및 상업지역 확대에 따라 시가화지역의 면적이 가장 크게 증가하였으며, 변화된 대부분의 시가화지역은 과거 논, 밭, 그리고 산림지 등이다. 유성구의 산림은 -17.23km² 감소하였으며, 다음으로 동구(-12.29km²), 대덕구(-8.92km²), 서구(-8.79km²), 중구(-5.30km²) 순이다. 유성구의 농경지(논, 밭)는 -28.30km² 감소하였으며, 다음으로 서구(-12.24km²), 대덕구(-6.80km²), 중구(-0.96km²), 동구(-0.41km²) 순이다.

1989년 토지피복도에서는 대전시 중앙부인 중구에 시가화지역이 밀집되어 있는 형국이 나타나며, 외곽지역에는 산림을 비롯한 연속된 곡지평야의 농경지가 분포하고 있다. 1989년 대전시는 대덕군 전역을 편입하여 직할시로 승격하였으며, 시청은 중구에 위치하여 중구와 동구지역을 중심으로 도심이 발달했던 시기이다. 서구

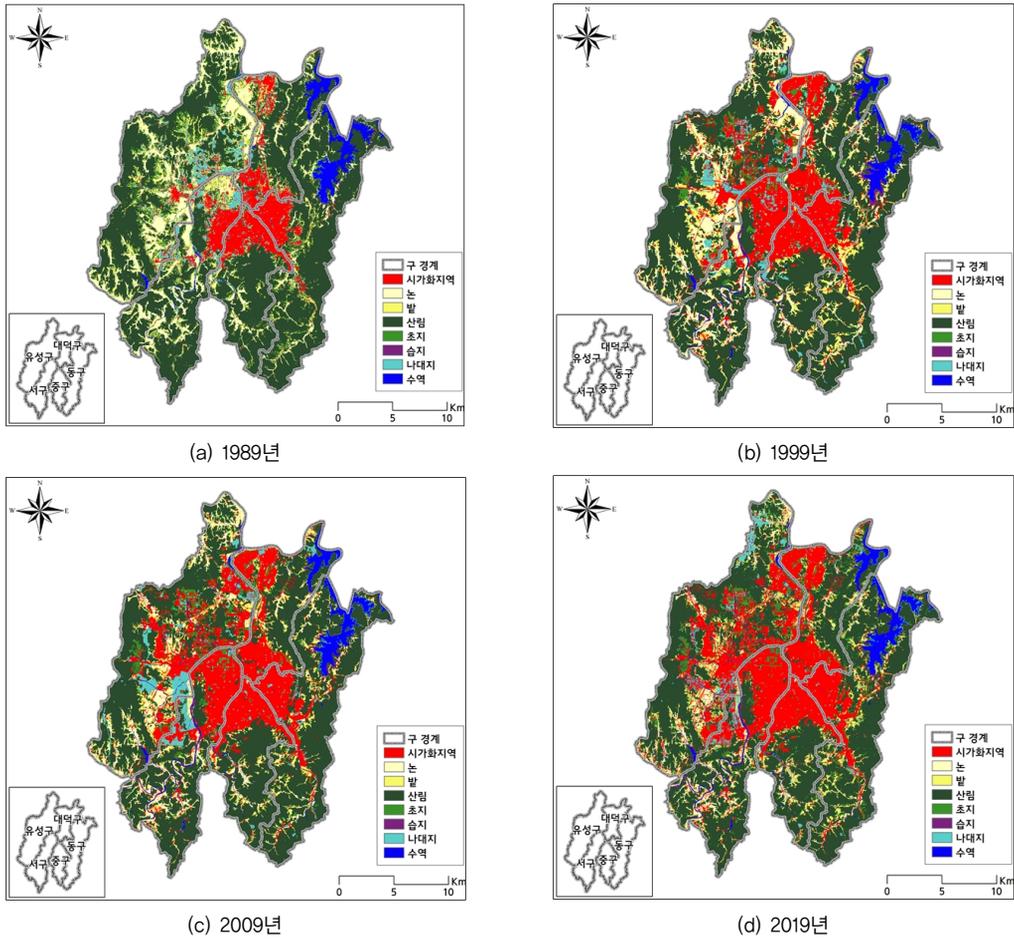


그림 3. 연구지역 시기별 토지피복 분류 결과

북동단 일부지역에는 부도심의 형태로 시가화지역이 발달하였으며, 이밖에 대덕구청이 위치한 대덕구 남단과 신탄진역 일부지역에 시가화지역이 분포하고 있다. 또한, 이 당시 도심의 북서쪽에 해당하는 서구와 유성구의 일부지역에서 나대지의 분포가 확인되는데, 이는 대전시가 직할시로 승격되면서 인구성장과 산업발전을 바탕으로 한 본격적인 도시의 확장을 준비하는 과정이라고 해석할 수 있다.

1999년 토지피복도에서는 산림과 농경지의 면적이 크게 감소하였는데, 주로 서구와 유성구를 중심으로 도시가 확장되면서 시가화지역 및 나대지로 변화된 결과이다. 특히 서구와 유성구 시가화지역 면적의 확산이 두드러지게 나타났다. 서구와 유성구의 시가화면적은 각각 11.8km², 15.7km² 증가하였으며, 이는 중구(+2.8km²),

동구(+4.2km²)의 증가 양상과 대조적이다. 1989~1999년 기간에는 서구의 둔산 일대를 중심으로 도시가 확장하였으며, 1999년 대전시청이 중구에서 서구 둔산으로 이전되어 이 일대가 신도심으로 급부상하였다. 또한 1989년 유성구에 분포하였던 나대지 지역이 1999년 대전 엑스포를 비롯한 대덕연구단지로 탈바꿈하게 되었다. 이 시기에는 이러한 나대지에서 시가화지역으로의 토지피복 변화와 더불어 산림, 농경지에서 나대지로의 피복변화도 나타났는데, 유성구 노은동과 봉명동 일대의 나대지 분포가 확인되었다.

2009년 토지피복도에서는 이전 시기에 비해 산림지역의 면적감소는 미미(-4.2km²)하였으나, 농경지의 면적이 크게 감소(-23.1km²)하였다. 1999년에 나대지였던 유성구 노은동과 봉명동 일대가 각각 택지지구, 상업지역으

표 3. 대전시 구(區)별 토지피복 분류 결과

구분	연도	1989		1999		2009		2019	
		면적(km ²)	비율(%)						
동구	시가화지역	12.1	8.9	16.3	11.9	18.4	13.6	20.0	14.7
	논	5.0	3.7	4.8	3.5	3.1	2.3	2.1	1.6
	밭	7.5	5.5	12.1	8.9	9.2	6.7	10.0	7.3
	산림	92.3	67.8	85.0	62.4	86.8	63.8	80.0	58.8
	초지	4.2	3.1	1.8	1.4	2.7	2.0	8.4	6.2
	습지	0.0	0.0	2.2	1.6	1.2	0.9	1.7	1.2
	나대지	2.2	1.6	2.4	1.7	2.9	2.1	1.9	1.4
	수역	12.8	9.4	11.7	8.6	11.7	8.6	12.0	8.8
	합계	136.1	100.0	136.1	100.0	136.1	100.0	136.1	100.0
중구	시가화지역	12.4	20.0	15.2	24.6	16.1	26.1	16.9	27.4
	논	3.0	4.9	2.8	4.5	1.8	2.9	1.2	1.9
	밭	3.4	5.5	4.3	7.0	4.0	6.5	4.3	7.0
	산림	39.5	63.9	35.6	57.6	36.9	59.7	34.2	55.3
	초지	1.4	2.3	1.2	1.9	1.2	1.9	3.2	5.2
	습지	0.0	0.0	0.4	0.6	0.6	0.9	0.7	1.2
	나대지	1.9	3.1	2.0	3.2	0.7	1.1	0.6	1.0
	수역	0.2	0.3	0.4	0.7	0.6	0.9	0.7	1.1
	합계	61.8	100.0	61.8	100.0	61.8	100.0	61.8	100.0
서구	시가화지역	9.6	10.0	21.4	22.3	23.3	24.3	26.5	27.6
	논	13.0	13.5	10.9	11.4	7.6	8.0	5.7	6.0
	밭	10.3	10.7	5.0	5.2	5.2	5.5	5.3	5.5
	산림	53.0	55.2	48.3	50.4	46.5	48.5	44.2	46.1
	초지	2.8	2.9	2.8	2.9	4.4	4.6	6.3	6.6
	습지	0.0	0.0	1.1	1.2	1.9	2.0	2.5	2.6
	나대지	6.4	6.6	4.3	4.4	4.7	5.0	3.0	3.1
	수역	1.0	1.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.4	2.5
	합계	95.9	100.0	95.9	100.0	95.9	100.0	95.9	100.0
유성구	시가화지역	4.9	2.8	20.7	11.8	31.7	18.1	40.2	22.9
	논	27.5	15.6	25.2	14.4	14.8	8.4	9.1	5.2
	밭	23.4	13.3	17.8	10.1	15.7	8.9	13.4	7.7
	산림	96.3	54.8	89.3	50.8	83.9	47.8	79.0	45.0
	초지	10.8	6.1	9.9	5.6	13.6	7.7	18.2	10.4
	습지	0.0	0.0	0.9	0.5	1.5	0.9	4.5	2.6
	나대지	11.4	6.5	8.8	5.0	11.0	6.3	7.4	4.2
	수역	1.3	0.8	3.1	1.8	3.4	2.0	3.7	2.1
	합계	175.6	100.0	175.6	100.0	175.6	100.0	175.6	100.0
대덕구	시가화지역	11.4	16.3	20.8	29.8	22.2	31.9	23.5	33.7
	논	5.5	7.8	3.5	5.0	1.8	2.5	1.2	1.7
	밭	6.1	8.8	4.4	6.4	4.5	6.5	3.6	5.2
	산림	34.5	49.5	28.3	40.6	28.3	40.5	25.6	36.7
	초지	2.3	3.2	2.5	3.7	4.0	5.8	6.6	9.5
	습지	0.0	0.0	0.8	1.1	0.7	1.0	1.6	2.3
	나대지	3.7	5.4	3.2	4.5	2.0	2.8	1.2	1.8
	수역	6.3	9.0	6.2	8.9	6.3	9.0	6.4	9.2
	합계	69.8	100.0	69.8	100.0	69.8	100.0	69.8	100.0

로 탈바꿈하였으며, 신탄진 일대 공업지역, 자운동 일대 군부대가 확장되었다. 또한, 1999년 논이었던 유성구 갑천 하류 평야지대가 시가화지역으로 바뀌게 되었는데

2001년 착공된 관평동 대덕테크노밸리가 불과 8년만인 2009년에 완공된 결과이다. 1999년에 비해 2009년 논 면적의 감소가 두드러지게 나타났는데, 이는 서구 도안동-

표 4. 토지피복 분류 정확도 분석 결과

연도 \ 정확도	생산자정확도(%)	사용자정확도(%)	전체정확도(%)	Kappa 계수(%)
1989	81.5	91.5	86.5	0.828
1999	84.4	93.5	89.0	0.861
2009	87.4	95.6	91.5	0.889
2019	88.0	96.0	92.0	0.888

유성구 원신흥동의 남북방향으로 이어지는 유성천과 갑천의 넓은 평야지대가 나대지로 바뀐 결과이다.

2019년 토지피복도에서는 이전 시기에 비해 산림의 감소가 두드러지게 나타났는데(-19.4km²), 이는 2000년대 산지를 제외한 개발 가능 토지가 거의 시가지화되었기 때문에 불가피한 산지의 훼손이 일어난 것이라고 판단된다. 2019년에는 2009년에 비해 시가지 면적이 15.2km² 증가하였는데, 2009년 나대지였던 서구 도안동과 유성구 원신흥동, 학하동 일대가 택지개발로 시가지지역으로 바뀌게 된 결과이다. 또한 초지의 면적이 17.1km² 증가하였는데, 이는 증가된 시가지면적에 따라 새로운 도시공원과 기존에 계획되었던 미집행 도시공원들이 조성된 결과로 판단된다.

대전시 공원녹지와 도시공원 통계에 따르면, 2010년 대전시에 조성된 도시공원은 288개소였으며, 2018년 조성된 도시공원은 398개소로서 100개소 이상의 도시공원이 2010년대 조성되었다. 그리고 2019년 대전시의 나대지 면적은 14.2km²로 분류되었는데, 학하동과 도안동 시가지지역의 인근에서 나대지가 분류된 것으로 미루어보아 향후 학하·도안 택지지역의 규모가 확장될 것으로 판단된다. 또한 2009년 농경지였던 유성구 북쪽 둔곡동 일대에서 넓은 면적의 나대지가 분류되었는데, 이는 둔곡 택지지역 개발예정지역으로서 세종시와 인접한 지리적 위치 덕분에 향후 세종시와의 네트워크형성에 중요한 영향을 미칠 지역으로 판단된다.

2. 토지피복분류 검증

본 연구에서는 분류의 정확도 검증을 위해 분류 오차 행렬을 이용하여 정확도 검증을 하였다. 분류 오차는 객관적으로 타당하게 생성해야 하는데, 훈련집단으로 사용한 영역을 그대로 분류 오차표 생성에 사용하면 전체

정확도가 과대평가된다(Congalton, 1991). 따라서 본 연구에서는 훈련 집단과 독립적으로 작성한 검증 집단을 분류 결과와 비교하였다. 토지피복 피지분류에 사용한 검증 자료의 화소 수는 총 200개 화소를 사용하였으며, 전체적으로 연구지역에 골고루 분포하고 균일한 지역 분광특성을 갖는 지역을 선택하였다.

표 4를 보면, 전체정확도는 모든 시기의 토지피복도에서 86% 이상의 정확도를 보이며, Kappa 계수는 0.828% 이상 높은 분류정확도를 나타냈다. 각 시기별로 살펴보면, 1989년 토지피복도가 가장 낮은 86.5%의 전체정확도를 보이고, 2019년 토지피복도가 92.0%의 전체정확도를 보였다. 이는 1989년 토지피복도에 사용된 검증자료가 환경부 대분류 토지피복도 자료로 분류 오차를 이미 포함하고 있어서 다른 시기의 토지피복도에 비해 상대적으로 정확도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

생산자 정확도와 사용자 정확도를 살펴보면, 각 시기별 모든 토지피복도에서 사용자 정확도가 높게 나타났지만, 그 편차는 10% 이내의 비슷한 비율로 나타나 분류 결과가 비교적 높은 신뢰성을 보여주고 있다. 세부적으로 살펴보면, 1989년 토지피복도가 가장 편차가 크고, 2019년 토지피복도가 가장 편차가 낮게 나타났다.

토지피복 유형별로 살펴보면, 수역, 산림지, 인공구조물, 습지 등은 사용자 및 생산자 정확도가 90% 이상 나타났다. 반면에 논, 밭, 초지 및 나대지 등의 분류 항목은 90% 이하의 생산자와 사용자 정확도를 보인다. 특히, 밭과 초지에 대한 정확도는 다른 분류 항목에 비해 낮게 나타났다. 이는 초지와 밭이 계절적 요인으로 인해 분광특성이 비슷하고, 밭의 경우 규모가 작고 주변 녹지 및 나대지와 혼재되어 있기 때문에 분광 특성을 추출하는데 한계가 있었던 것으로 판단된다. 향후 이들 분류 항목의 분류 정확도를 높이기 위해서는 계절적 요인을 반드시 고려하여야 할 것이다.

IV. 지형특성에 따른 시가화지역 면적 변화 분석

대전시 시가화지역의 확장과 지형요소와의 관계를 분석하기 위해, 위성영상에서 추출한 각 연도별 시가화지역의 분포도와 국토지리정보원에서 제공하는 수치지도를 활용하여 제작한 고도분포도(DEM), 경사분포도를 이용하여 공간중첩분석을 실시하였다. 격자별로 연속된 값이 나타나는 고도분포도와 경사분포도는 시가화지역 분포도와 Raster 중첩분석을 위해 일정기준으로 재분류(Reclassify)하였다. 고도의 경우 도시의 개발이 주로 이루어지는 100m 미만의 지역을 50m 간격으로 분류하였고 100m 초과지역을 포함하여 총 3개의 클래스로 재분류하였다. 경사의 경우 경사 기준에 따른 지형분류(건설교통부, 1999)의 분류 기준을 인용하여 평탄지(5°미만), 완경사지(5~15°), 경사지(15~20°), 급경사지(20~30°), 험준지(30~40°), 절협지(40°초과)에 해당하는 총 6개의 클래스로 재분류하였다. 위성영상 분류시기별 고도 및 경사도 분포에 따른 시가화지역의 면적과 비율은 표 5와 같다.

연구지역에 분포하는 시가화지역의 면적은 1989년 50.34km², 1999년 94.37km², 2009년 111.88km², 2019년 127.11km²로 꾸준히 증가하였다. 네 시기 모두 평균해발 고도 50~100m 구간에서 가장 많은 시가화지역이 분포하였으며, 0~100m 구간에서 전체 시가화면적 대비 90% 이상에 해당하는 면적이 나타났다.

우선 1989년 시가화지역의 면적을 살펴보면, 전체면적 50.34km² 중 31.59km²가 50~100m 구간에 분포하였으며, 17.26km²가 0~50m 구간에, 1.49km²가 100m 초과 구간에 분포하였다. 1989~1999년은 전체시기 중 시가화지역 면적의 증가가 가장 두드러졌던 기간으로서 1989년에 비해 50~100m 구간에서 24km² 증가하였으며, 0~50m 구간에서 14.36km² 증가하였다. 이 시기 50~100m 구간의 증가는 유성구 도룡동·신성동·장동 일대 저구릉지를 비롯한 갑천의 총적평야 지대가 연구단지 및 상업단지로 개발된 결과이며, 0~50m 구간의 증가는 갑천과 유등천 합류구간의 총적평야지대에 정부청사를 비롯한 둔산동 택지개발과 신탄진 공업지역의 개발로 인한 결과로 판단된다. 그리고 1989년도에 비해 100m 초과 지역에서 5.67km² 시가화지역의 증가가 나타났는데, 이는 대덕구 계족산 남사면 송촌동 일대의 택지개발 및 유성구 일대 군시설 개발 등에 따른 결과라고 판단된다. 또한 이 시기 확장된 대부분의 시가화지역의 면적은 경사도 15°이하의 완경사지에 입지하고 있음을 확인할 수 있었다.

2009년 시가화면적은 1999년에 비해 50~100m 구간에서 11.34km² 증가, 0~50m 구간에서 4.56km² 증가하였으며 이는 둔산동 일대 도시 확장 및 노은동 택지지구, 봉명동 상업지역의 개발로 인한 결과라고 판단된다. 2019년 시가화면적은 2009년에 비해 50~100m 구간에서 9.26km², 0~50m 구간에서 3.75km² 증가하였으며 이는 도심의 확장 및 학하동 택지지구 개발 등에 의한 결과이다. 2009년과 2019년에도 앞선 시기와 마찬가지로 완경사지

표 5. 지형특성에 따른 시기별 시가화지역 면적 변화

지형요소	연도	1989		1999		2009		2019	
		면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)
고도 (m)	<50	17.26	34.3	31.62	33.5	36.18	32.3	39.93	31.4
	50.1~100	31.59	62.8	55.59	58.9	66.93	59.8	76.19	59.9
	100<	1.49	3.0	7.16	7.6	8.77	7.8	10.98	8.6
	합계	50.34	100.0	94.37	100.0	111.88	100.0	127.11	100.0
경사 (°)	<5	39.79	79.0	70.22	74.4	84.12	75.2	95.27	75.0
	5.1~15	9.39	18.7	20.78	22.0	24.55	21.9	27.83	21.9
	15.1~20	0.62	1.2	1.89	2.0	1.98	1.8	2.41	1.9
	20.1~30	0.47	0.9	1.27	1.3	1.08	1.0	1.39	1.1
	30.1~40	0.06	0.1	0.19	0.2	0.12	0.1	0.18	0.1
	40<	0.01	0.0	0.02	0.0	0.02	0.0	0.03	0.0
합계	50.34	100.0	94.37	100.0	111.88	100.0	127.11	100.0	

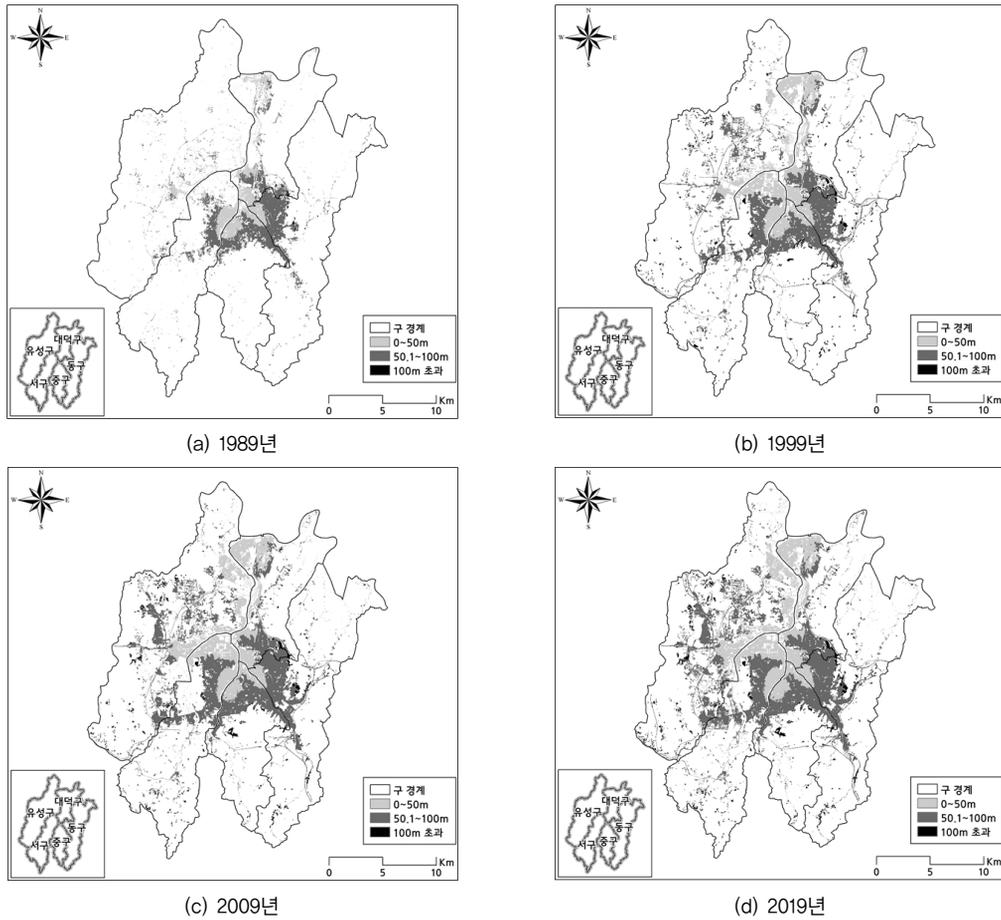


그림 4. 시기별 시가화지역의 표고 분포

와 평탄지를 중심으로 시가화지역이 확장하였다(그림 4, 그림 5).

대전시 시가화지역의 면적과 고도, 경사도의 관계를 종합해보면 일부 고도 100m 초과지역의 군부대 입지를 제외하고, 주로 100m 이하 지역에서 도시의 개발이 이루어졌으며, 전체 시가화지역 면적의 90% 이상이 경사도 15°이하의 완경사지 및 평탄지에 입지해 있어 완경사지 및 평탄지를 중심으로 도시의 확장이 일어난 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론 및 토의

인구증가 및 산업이 발전함에 따라 도시가 성장하게

되고, 도시의 성장에는 다양한 변화가 수반된다. 도시가 팽창함에 따라 지표경관에는 다양한 변화가 발생하며, 토지피복의 변화는 자연환경 및 인문환경에 직접적인 영향을 미치게 된다. 따라서 토지피복에 관한 연구는 다양한 분야의 주요 관심사가 되고 있으며, 특히 각종 도시 개발계획의 정책 수립과 성공적인 추진을 위해서는 과거 토지피복 변화 패턴을 탐지·분석하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 향후 대전광역시의 토지개발·관리 계획을 수립하기 위한 기초자료로서 1989년부터 2019년까지의 다중시기 위성영상을 이용하여 대전시의 지난 30여 년 동안의 토지피복 변화를 탐지하였다. 나아가 다중시기 토지피복 분류 자료와 지형공간자료 간의 중첩 분석을 통하여 대전시 토지피복과 지형자료 간의 연관성을 분석하였다. 대전시 토지피복을 주제로 다루는 선

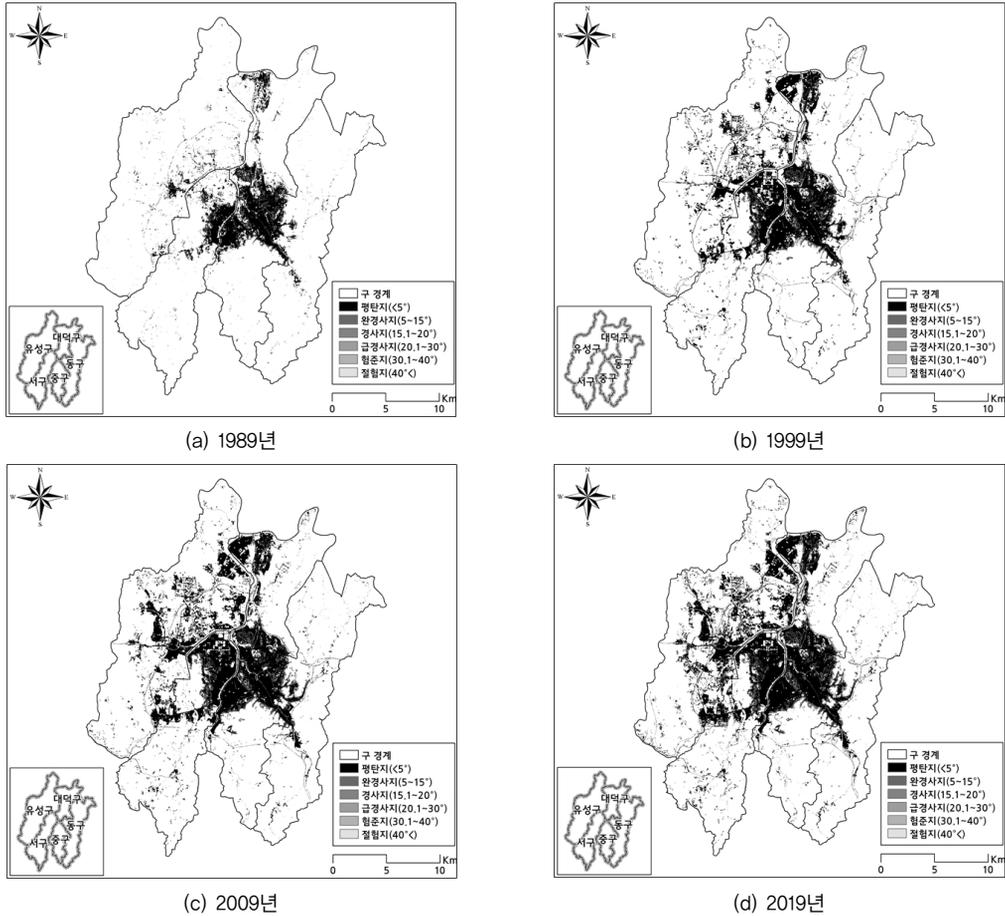


그림 5. 시기별 시가화지역의 경사도 분포

행연구들과 비교하였을 때 최근자료를 기반으로 분석을 실시하였다는 점, 대전시를 5개 구(區)로 나누어 분석을 하였다는 점에서 선행연구들과는 차별성이 있다.

위성영상 분류 결과, 지난 30년 동안 시가화지역, 수역, 초지, 습지는 증가추세가 나타났으며, 논, 밭, 산림, 나대지는 감소하는 추세가 나타났다. 1989년 분류면적은 산림(316.3km²), 논(54.0km²), 밭(50.7km²), 시가화지역(50.3km²), 나대지(25.7km²), 수역(21.7km²), 초지(21.5km²), 습지(0.04km²) 순으로 나타났으며, 1999년 분류에서는 산림(287.3km²), 시가화지역(94.4km²), 논(47.3km²), 밭(43.6km²), 수역(23.7km²), 나대지(20.5km²), 초지(18.3km²), 습지(5.3km²) 순으로 나타났다. 2009년에는 산림(283.1km²), 시가화지역(111.9km²), 밭(38.6km²), 논(29.2km²), 초지(25.8km²), 수역(24.4km²), 나대지(21.3km²), 습지(6.0km²)

순으로 나타났으며, 2019년에는 산림(263.7km²), 시가화지역(127.1km²), 초지(42.9km²), 밭(36.6km²), 수역(25.4km²), 논(19.3km²), 나대지(14.2km²), 습지(11.0km²) 순으로 나타났다.

대전시 구별 토지피복의 변화를 살펴본 결과, 시가화지역의 면적이 가장 크게 증가한 곳은 유성구(+35.23km²)이며 다음으로 서구(+16.93km²), 대덕구(+12.17km²), 동구(+7.89km²), 중구(+4.53km²) 순이다. 유성구는 시가화지역에서 가장 큰 면적증가를 보인 만큼 모든 구를 통틀어 논과 밭, 그리고 산림에서 가장 큰 면적감소가 나타났다.

본 연구의 위성영상 분류 정확도를 검증하기 위해 분류 오차 행렬을 이용한 정확도 검증을 실시한 결과 모든 시기의 토지피복도에서 86% 이상의 정확도를 보이며,

Kappa 계수는 0.828% 으로 높은 분류정확도를 보였다.

대전시 시가지지역의 확장과 지형자료 간의 관계를 알아보기 위해 시가지지역 분포도와 고도분포도, 경사도 간의 중첩분석결과 주로 고도 100m 이하의 완경사지 및 평탄지를 중심으로 도시의 확장이 일어난 것을 확인할 수 있었다.

대전시의 과거 30년간 토지피복변화를 종합해보면, 90년대 중구에서 서구·유성구 일대로의 도심의 이동을 확인할 수 있었으며, 2000~2010년대 서구·유성구·대덕구에 집중된 도시개발을 확인할 수 있었다. 향후 「2030년 대전시 도시기본계획」에 제시(대전광역시 편, 2013)된 바와 같이 지속가능성을 고려한 분산집중형 도시공간구조를 구상하기 위해서는 서구, 유성구의 집중개발과 동시에 중구와 동구 일대의 구도심 활성화 방안을 동시에 추진해야 할 것으로 판단된다. 실제로 오늘날 대전시에 나타나고 있는 서구·유성구와 중구·동구 간의 지리적, 계층적 분리현상을 해결하기 위해서도 구도심의 활성화 방안이 시급하다고 판단된다.

또한 도시의 개발·확장의 외중에도 무분별한 도시팽창을 억제하기 위해 거점지역 사이에 오픈스페이스 형태의 녹지공간을 충분히 확보하고, 대청호와 외곽 산악축을 연결하는 광역녹지축을 형성하여 도시생태계 보호 및 지속가능한 도시개발을 추진해야 할 것이다. 더불어 도시 내 구릉지와 연결되어 있는 농경지의 보전이 전제된 개발유보지역을 고려한 개발을 추진한다면, 향후 토지피복 여건 변화에 유연하게 대처할 수 있을 것이라고 판단된다.

참고문헌

건설교통부, 1999, 「개발제한구역 제도개선을 위한 환경평가 기준 연구」.

고석렬, 2004, “GIS를 이용한 대전시 성장과 토지이용 특성 분석” 한국교원대학교 석사학위논문.

국토교통부, 2020, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」(법률 제16949호, 2020년 2월 4일 일부개정).

김동우·김장수·김만규, 2018, “남한지역 토지피복 변화 예측을 위한 상대선호도함수 모델 적용,” 한국지리학회지, 7(3), 463-478.

김성훈·김찬수·위눈솔·김도희·장동호, 2016, “국가토지피복

도를 활용한 세종시의 토지피복 변화 분석” 한국사지 지리학회지, 26(3), 145-160.

김연희, 2002, “퍼지감도분류를 이용한 토지피복 분류정확도에 관한 연구” 부산대학교 석사학위논문.

김예슬·이경도·나상일·홍석영·박노옥·유희영, 2016, “선택적 계층 분류를 이용한 MODIS 자료 기반 작물 분류” 대한원격탐사학회지, 32(3), 235-244.

김준영, 2015, “도시재생의 관점에서 본 전북 구도청사 주변 재생방안에 대한 연구: 전주 구도심 구도청사 재사용을 중심으로,” 한국지리학회지, 4(2), 279-291.

김찬수·박지훈·장동호, 2011, “다중시기 위성영상과 토지 통계자료를 이용한 토지피복 변화 예측: 천안시, 아산시를 사례로,” 한국지형학회지, 18(1), 41-56.

대전광역시 편, 2010, 「대전광역시 2010년 도시공원·녹지 현황」, 대전: 대전광역시 환경녹지국 공원녹지과.

대전광역시 편, 2013, 「2030년 대전도시기본계획」, 대전: 대전광역시.

대전광역시 편, 2018, 「대전광역시 2018년 도시공원·녹지현황」, 대전: 대전광역시 환경녹지국 공원녹지과.

박미성·함보영·민병걸·김배성, 2010, “아리랑 2호 영상을 이용한 당진군 벼 재배면적 추정,” 농촌경제, 33(3), 1-17.

박종철·김장수, 2014, “토지피복 변화탐지에서 국가 토지피복도의 활용과 한계 -충청남도를 사례로,” 한국사지 지리학회지, 24(1), 19-34.

박지훈, 2011, 「금강유역(대전시)의 옛 유적입지와 환경변화」, 대전: (재)금강문화유산연구원.

박지훈·장동호·김찬수, 2012, “대전지역에 있어서 선사, 고대 유적의 입지환경” 한국지형학회지, 19(1), 41-54.

박현수·장동호, 2018, “다중시기 위성영상을 이용한 쌀보리 재배지 분류 및 생산량과 기후자료 간 관계분석” 한국지리학회지, 7(2), 129-139.

이미선, 2010, “하천유역 관리를 위한 고해상도 위성영상 활용” 건국대학교 박사학위논문.

장동호, 2002, “지표환경변화 평가 개선을 위한 원격탐사와 GIS 기법 연구: 안면도와 천수만 지역을 중심으로” 건국대학교 박사학위논문.

조자영·장동호, 2014, “경험도수분포함수를 이용한 토지피복 변화탐지 기법 개발 -천안·아산시를 사례로,” 한국지형학회지, 21(3), 119-138.

지광훈·장동호·박지훈·이성순, 2009, 「위성에서 본 한국의 산지지형」, 대전: 한국지질자원연구원.

박현수 · 장동호

한국환경정책·평가연구원 편, 2015, 「기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용 모델 개발(1)」, 세종: 한국환경정책·평가연구원.

Congalton, R.G., 1991, A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46.

교신 : 장동호, 32588, 충남 공주시 공주대학로 56, 공주대학교 인문사회과학대학 지리학과(이메일: gisrs@kongju.ac.kr)

Correspondence : Dong-Ho Jang, 32588, 56 Gongju-daehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, Kongju National University (Email: gisrs@kongju.ac.kr)

투고접수일: 2020년 3월 20일

심사완료일: 2020년 4월 3일

게재확정일: 2020년 4월 10일