

# 로지스틱 회귀분석과 지리 탐색기를 이용한 대구시 녹지 변화의 동인 분석\*

서현진\*\* · 전병운\*\*\*

## Analyzing the Driving Forces for the Change of Urban Green Spaces in Daegu with Logistic Regression and Geographical Detector\*

Seo, Hyun-Jin\*\* · Jun, Byong-Woon\*\*\*

**요약** : 본 연구는 1989년에서 2009년까지 대구시의 녹지 변화에 영향을 미친 동인을 분석하였다. 먼저, 녹지의 크기 및 다양성을 측정하는 화소 기반 공간메트릭스에 대한 핫스팟 분석을 수행하여 지난 20년간 녹지의 잠식 및 파편화가 나타난 지역을 도출하였다. 다음으로 선행연구를 바탕으로 경사도, 도로와의 거리, 지가, 인구밀도, 용도지역상 주거·상업·공업지역의 비율 등을 동인으로 선정하고 단계적 로지스틱 회귀분석을 이용하여 녹지의 잠식 및 파편화 여부와 이에 영향을 끼친 동인들 간의 관계의 방향을 분석하였다. 마지막으로 지리 탐색기(geographical detector)를 활용하여 지난 20년간 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 준 동인들의 상대적 중요도 및 동인들 간의 상호작용을 분석하였다. 분석 결과, 1989년에서 2009년까지 안심 택지개발지구의 일부 지역에서 녹지의 잠식이 집중적으로 나타났고, 성서 및 안심, 달성군, 칠곡 등의 택지개발지구를 중심으로 녹지의 파편화가 두드러지게 나타났다. 이들 지역에서 녹지의 잠식 및 파편화를 초래한 동인은 행정동 및 집계구 수준에서 상이했으나 경사도, 주거지역의 비율, 공업지역의 비율 등이 공통적으로 유의한 것으로 나타났다. 이들 동인은 녹지의 잠식을 측정하는 최대패치지수(LPI)와 정의 상관관계를 보였으나, 녹지의 파편화를 측정하는 Shannon의 다양성지수(SHDI)와는 부의 상관관계를 가지고 있었다. 즉, 대구시 녹지의 잠식 및 파편화는 경사도가 낮고 주거 및 공업지역의 비율이 낮은 지역에서 발생하였다. LPI에 대한 동인의 상대적 영향력은 공업지역의 비율, 지가, 상업지역의 비율 등의 순으로 나타났고, SHDI에 대한 동인의 상대적 영향력은 공업지역의 비율, 지가, 도로와의 거리 등의 순으로 나타났다. 또한, LPI와 SHDI에 영향을 미친 동인 간 상호작용은 경사도와 주거지역의 비율 조합에서 가장 크게 나타났다. 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식 및 파편화를 설명하는 가장 유의한 개별 동인은 공업지역의 비율이며, 경사도 및 주거지역의 비율 간 상호작용이 개별 동인의 독립적인 영향력 보다 가장 크게 나타났다. 본 연구의 결과는 대구시가 미래에 지속가능한 도시 녹지정책을 수립을 하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

**주요어** : 도시 녹지 변화, 동인, 로지스틱 회귀분석, 지리 탐색기, 국지적 공간통계량

**Abstract** : This study analyzed the forces to drive the change of urban green spaces in Daegu from 1989 to 2009. First, the loss and fragmentation of green spaces in the past 20 years were spatially identified by performing the hot spots analysis for the cell-based spatial metrics quantifying the size and diversity of green spaces. Next, seven drivers such as slope, distance to roads, land price, population density, ratios of residential, commercial, and industrial areas were selected based on the previous studies and the direction of the association between the loss and fragmentation of green spaces and seven drivers was analyzed with the stepwise logistic regression. Finally, the relative importance of the seven drivers and their interactions in the past 20 years were analyzed with the geographical detector. The results show that the loss of green spaces was concentrated on a part of the Anshim housing development district from 1989 to 2009 and green spaces were highly fragmented around the housing development districts such as Seongseo, Anshim, Dalseong-gun and Chilgok. The forces to drive the loss and fragmentation of green spaces in these areas were different at the administrative levels, but the drivers such as slope and ratios of residential and industrial areas were commonly significant. These drivers were positively correlated with largest patch index(LPI) quantifying the loss of green spaces while they were negatively correlated with Shannon's diversity index(SHDI) measuring the fragmentation of green spaces. In other words, the loss and fragmentation of urban green spaces in Daegu appeared around such regions with lower slope and lower ratios of residential and industrial areas. The relative importance of drivers for LPI was listed as ratio of industrial area, land price, and ratio of commercial area in descending order whereas that of

\* 이 논문은 주저자의 박사학위논문 중 일부를 수정·보완한 것임.

\*\* 경북대학교 사회과학연구원 연구원(Research Fellow, Institute for Social Science Research, Kyungpook National University)(hjseo2335@gmail.com)

\*\*\* 경북대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University)(bwjun@knu.ac.kr)

drivers for SHDI was listed as ratio of industrial area, land price, and distance to roads in descending order. Also, the interaction between slope and ratio of residential area had a great impact on LPI and SHDI. The ratio of industrial area was a single driver to most significantly explain the loss and fragmentation of urban green spaces in Daegu in the past 20 years. The interaction between slope and ratio of residential area was greater than the independent influence of a single driver. This study will provide the base data to build a sustainable urban green policy for the city of Daegu in the near future.

**Key Words** : urban green space change, driving forces, logistic regression, geographical detector, local spatial statistics.

## 1. 서론

도시 녹지는 도시의 대표적인 그린인프라(green infrastructure)로서 생물서식처 제공 및 생물종다양성 유지 등의 생태적 기능, 대기오염 정화 및 도시 미기후 조절 등의 환경적 기능, 쾌적성의 증대, 건강 증진, 교육 및 레크리에이션 장소 제공 등과 같은 심미적 혹은 사회적 기능을 담당한다(김귀곤, 2002; Meerow and Newell, 2017). 이러한 다양한 기능을 통해 도시민의 삶의 질을 풍요롭게 함으로써 도시 녹지는 지속가능한 도시를 구현하는데 중요한 역할을 한다(Kong and Nakagoshi, 2005). 그러나 도시 녹지는 주로 도시화에 따른 토지이용변화에 의해서 잠식 및 파편화(fragmentation) 되고 있으며(이인성·한재웅, 2001; 이동근·김은영, 2008; 김은영 등, 2012), 이에 따라 그 본래의 기능이 저하되고 있는 실정이다(Tian *et al.*, 2011). 도시 녹지의 기능이 제대로 발휘되게 하고 도시의 지속가능성을 제고하기 위해서는 도시 녹지에 대한 지속가능한 관리가 필요하다(김재환, 2012). 이를 위해서는 도시 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 주는 잠재적 동인 간의 관계에 대한 기본적 이해가 요구된다.

지금까지 기존의 연구는 상이한 지역과 공간 스케일에서 이루어졌지만, 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인으로 물리적, 사회적, 경제적, 정책적 측면의 요인을 제시하였다. 그 주요 동인은 도로, 시가화지역, 경사, 고도, 인구, 소득, 지가, 토지이용계획, 지역지구제(zoning), 도시개발사업, 도시정책 등과 주로 관련되어 있었다. 일부 연구는 도시 녹지의 잠식 및 파편화가 이전에는 도시화와 직선적이고 반비례 관계를 보였지만, 최근에는 사회경제적 변화 및 정부 정책과 비선형적으로 밀접하게 관련되어 있다고 주장하였다(Gong *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016). 이처럼 도시 녹지의 잠식 및 파편화가 사회경제적 및 정책적 요인

에 의해서 더 많이 영향을 받고 복합적 요인에 의해서 설명되는지를 실증적 사례를 중심으로 검증해 볼 필요가 있다.

기존의 연구는 도시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 미친 동인을 분석하기 위하여 정성적 방법과 정량적 방법을 사용하였다. 정성적 방법은 사회·경제·정책적 지표나 도시정책의 변화 등과 관련지어 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인을 기술하고 설명한다. 이러한 방법은 연구자의 주관적 해석에 지나치게 의존하고 통계적 분석이 수반되지 않기 때문에 결과를 정량화하기가 쉽지 않다. 정량적 방법은 도시 녹지의 잠식 및 파편화와 동인과의 관계를 다양한 통계적 방법으로 분석하기 때문에 보다 객관적이고 정량화가 용이하다. 통계적 방법으로 상관분석 및 단순회귀분석(이동근·김은영, 2008), 다중회귀분석(김훈희·이진희, 2001b; Gong *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016), 이항로짓분석(이인성·한재웅, 2001), 다항로짓분석(김훈희·이진희, 2001a) 등이 적용되었다. 이러한 방법은 다양한 통계적 방법 중에서 회귀분석을 가장 많이 이용하였다. 그러나 이러한 방법은 동인들 간의 상호작용을 정량적으로 분석할 수 없다.

정량적 방법을 이용하여 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인을 분석한 국내외 연구 중에서 녹지의 면적 및 다양성 관련 경관메트릭스의 변화와 이에 영향을 미치는 동인과의 관계를 실증적으로 분석한 연구(Gong *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016)는 소수에 불과하고, 주로 다중회귀분석을 사용하였다. 그러나 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 공간적 패턴을 확인하고 그 동인들과의 관계를 분석하기 위해 핫스팟 분석과 이항 로지스틱 회귀분석을 결합하여 활용한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한, MAUP(modifiable areal unit problem) 효과를 고려하여 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인을 분석한 연구도 아직 미흡한 실정이다. 더욱이 도시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 미

치는 동인들의 상대적 영향력 및 동인들 간의 상호작용을 분석한 연구도 아직 국내의 학계에 보고되지 않은 실정이다.

이에 본 연구는 이항 로지스틱 회귀분석과 지리 탐색기(geographical detector)를 활용하여 1989년에서 2009년까지 대구시 녹지 변화의 동인을 분석하고자 한다. 이를 위해 먼저 핫스팟 분석을 이용하여 대구시 녹지의 잠식 및 파편화의 공간적 패턴을 확인한다. 다음으로 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 대구시 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 미친 동인들 간의 관계의 방향을 분석한다. 마지막으로 지리 탐색기를 이용하여 대구시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 끼친 동인들의 상대적 영향력과 그 동인들 간의 상호작용을 분석한다. 이러한 동인 분석에서 MAUP 효과를 고려하기 위해 행정동 및 집계구 수준에서 각각 분석한다.

## 2. 도시 녹지 변화의 동인 및 그 분석 기법

도시 내 녹지의 공간적 변화는 주로 도시화에 따른 녹지의 잠식 및 파편화를 통해서 나타난다. 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인을 분석한 기존 연구는 크게 정성적 연구와 정량적 연구로 구분할 수 있다. 먼저, 정성적 연구는 경관메트릭스를 이용하여 도시 녹지의 잠식 및 파편화를 측정하고 이에 영향을 주는 특정한 동인들을 제시하고 그 연관성을 단지 설명한다. 이러한 정성적 연구는 장갑수·박인환(1999), Kong and Nakagoshi(2005), Uy and Nakagoshi(2007), Tian *et al.*(2011), Zhou and Wang(2011), 공인혜 등(2013) 등이 있다. 장갑수·박인환(1999)은 대구광역시와 경상북도의 구미시, 포항시, 경주시 등 4개 도시를 대상으로 1997년의 녹지 파편화를 평가하고, 녹지 파편화에 영향을 주는 다양한 도시개발 중에서 도로의 영향에 대해 고찰하였다. 녹지의 파편화는 면적, 패치의 밀도 및 크기, 다양성, 가장자리, 중심지역 등과 관련된 28개의 경관메트릭스를 활용하여 평가하였고, 1:50,000지도상에 나타난 도로의 개설에 따른 녹지의 영향을 설명하였다.

Kong and Nakagoshi(2005)는 중국의 제남시(Jinan)를 대상으로 1996년에서 2004년까지 도시화에 따른 녹지의 파편화를 분석하였다. 도시화의 영향을 고려하기 위하여 도시성장 방향을 고려하여 8개의

횡단축을 설정하고, 8개의 경관메트릭스를 선정하여 횡단축에 따른 녹지의 파편화를 분석하였으며, 녹지의 변화에 영향을 주는 동인으로 1997년에 수립된 도시기본계획인 '5년의 대변화(Great Change in Five Years)'에서 제시된 'One Ring, Three Greenbelts and Nine Wedge'와 녹지 네트워크 프로젝트와 같은 해에 시작된 'Conserving the Spring' 프로젝트에서 규제하는 녹지관련 지침들을 검토하였다. 또한, 동부 및 남부지역의 녹지의 파편화는 도시의 스프롤(sprawl) 현상과 관련성이 높고, 황하강과 가까운 일부 지역에서는 강우도 중요한 동인이 될 수 있을 것이라 주장하였다.

Uy and Nakagoshi(2007)는 베트남 하노이를 대상으로 1996년부터 2003년까지 녹지의 파편화를 분석하고, 이러한 변화를 유발하는 동인에 대해 고찰하였다. 이들은 경관메트릭스를 활용한 횡단축 분석과 6개의 시나리오를 바탕으로 한 네트워크 분석을 통해 녹지의 파편화를 분석하였다. 녹지 파편화의 동인으로는 도시화에 따른 토지이용의 변화, 경제의 성장, 인구의 증가, 도시 정책의 변화를 제시하였다.

Tian *et al.*(2011)은 홍콩의 13개의 지구를 대상으로 8개의 경관메트릭스를 대상으로 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 통해 파편화 지수(fragmentation index, FI)를 개발하여 홍콩의 녹지 파편화를 분석하였으며, 분석 결과를 종합하여 파편화 수준을 5개로 나누어 파편화 유형을 구분하였다. 녹지 파편화의 동인으로 녹지정책과 시가지 지역의 확장, 공업중심지의 이동을 제시하고, 구시가지와 신시가지간의 차이를 중심으로 고찰하였다.

Zhou and Wang(2011)은 1992년에서 2009년까지 중국 곤명(Kunming)시의 녹지 파편화를 분석하고, 이 시기에 진행된 도시 정책과 관련하여 파편화의 동인을 고찰하였다. 이들은 1992~2000년과 2000~2009년으로 시기를 구분하여 경관백분율, 패치밀도, 최대패치 지수, 경관형태 지수, Shannon의 다양성 지수를 활용하여 전역적으로 분석하고, 국지적인 변화는 도시성장 방향을 고려한 8개의 횡단축 분석을 통해 파악하였다. 파편화의 동인으로는 2003년에 수립된 '새로운 곤명 건설(Constructing New Kunming)' 계획이 녹지의 파편화에 준 영향에 대해 구체적으로 살펴 보았다.

공인혜 등(2013)은 미얀마 야메틴지역의 네피도와

그 주변지역의 1970년대부터 2012년까지 위성영상을 산림, 수역, 기타로 분류하여 대분류상의 토지피복 변화탐지와 산림 파편화를 분석하였다. 이들은 토지 피복변화 탐지에서 1970년대부터 지속적으로 감소한 산림의 변화를 구체적으로 확인하기 위하여 경관메트릭스 중 패치의 가장자리면적, 가장자리밀도, 평균형태지수, 총핵심면적을 선정하여 2003년과 2012년까지의 산림 파편화를 분석하였다. 네피도 지역의 산림 파편화는 고속도로와 도로의 건설, 택지개발 등에 영향을 받는 것으로 확인하였다.

다음으로 정량적 연구는 경관메트릭스를 이용하여 도시 녹지의 잠식 및 파편화를 측정하고 이에 영향을 주는 동인들과의 관계를 상관분석, 단순회귀분석, 다중회귀분석, 이항로지, 다항로지 등과 같은 다양한 통계적 방법으로 분석한다. 이러한 정량적 연구는 김훈희·이진희(2001a), 김훈희·이진희(2001b), 이인성·한재웅(2001), 이동근·김은영(2008), Gong *et al.* (2013), Liu *et al.*(2016) 등이 있다. 김훈희·이진희(2001a)는 천안시를 대상으로 토지이용변화에 영향을 주는 동인을 활용하여 토지이용변화 확률 모형을 구축하였다. 모형의 독립변수는 고도, 경사, 인구밀도, 도시접근성, 도로접근성, 지가로 선정하고, 종속변수는 다항 로짓분석을 활용하여 산림이 농경지, 나대지, 도시, 수역으로 전환될 확률을 산출하였다. 모형을 통해 1993~1996년과 1996~1999년에 각 변수의 중위수 값과 산림으로 남아 있을 확률 간의 관계를 분석하여 각 독립변수가 산림으로 남아 있을 확률에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한, 2016년 도시기본계획에서 제시하고 있는 인구수를 기초로 미래 천안시의 산림의 변화를 예측하였으나, 분석에서 제시한 토지이용변화의 다른 동인들이 예측 모형에 반영되지 못했다는 한계가 있었다.

김훈희·이진희(2001b)는 1985년에서 1999년까지의 토지피복도를 바탕으로 천안시의 녹지환경 민감성 지수를 산출하고, 이를 5개로 등급화하여 지역별 녹지환경 민감성을 평가 및 예측하였다. 민감성 지수는 주변 토지이용으로부터 반응하는 정도를 의미하는 지수로 정의하고, 이를 산출하기 위해 독립변수는 경관메트릭스와 식생지수(normalized difference vegetation index, NDVI)를, 종속변수는 산림으로 남아있을 확률을 선정하여 다중회귀분석을 수행하였다. 다중회귀분석의 가중치는 30개의 독립변수들 가운데 상관성

및 다중공선성이 높은 변수들을 제외한 5개의 변수와 종속변수 간의 회귀분석에서 표준화된 회귀계수를 산출하여 사용하였다.

이인성·한재웅(2001)는 도시성장과 녹지잠식의 관계를 파악하고자 서울시를 대상으로 1989년에서 2000년까지 용도지역의 주거지역 및 녹지지역에서 녹지의 감소 면적을 산출하고, 녹지잠식에 영향을 미치는 요인들과의 관계를 이항 로짓 분석을 수행하였다. 분석의 독립변수는 주변인구, 도로와의 거리, 지하철역과의 거리, 개발지와의 거리, 표고, 경사를 선정하고, 종속변수는 녹지의 잠식 여부로 하여 변수별로 주거지역과 녹지지역의 녹지잠식에 미치는 영향력을 비교하였다. 이들은 최종적으로 서울시 강서구 마곡지구와 송파구 문정지구의 용도지역상 녹지지역을 대상으로 녹지지역으로 유지될 때와 주거지역으로 변경될 경우의 녹지잠식 추이를 분석하였다.

이동근·김은영(2008)은 수도권권역관리체계에 의해 과밀억제권역으로 설정된 지역 내 13개의 표준유역에 대한 산림 파편화를 분석하고, 산림 파편화에 영향을 주는 동인과의 관계를 분석하였다. 2003년 토지피복도 자료를 바탕으로 산림 파편화를 평가하기 위하여 경관메트릭스 중 패치밀도, 패치수, 가장자리밀도, 평균패치크기, 면적가중 패치형태, 면적가중 프랙털지수를 선정하여 인자분석을 통해 산림경관의 구조적 안정성과 파편화를 측정하여 유역별로 비교하였다. 산림 파편화에 영향을 주는 동인으로는 도시화율, 택지개발면적, 시가지지역의 패치수, 도로밀도를 선정하여 상관분석 및 회귀분석을 수행하였다.

Gong *et al.*(2013)은 1973년에서 2005년까지 중국 선전(Shenzhen)시의 특별경제구역의 산림 파편화와 동인과의 관계를 단계적 회귀분석을 통해 분석하였다. 먼저, 종속변수인 산림의 잠식 및 파편화는 경관메트릭스(패치밀도(PD), 최근린평균직선거리(MNN), 면적가중 패치프랙털 차원(AWPFDD)) 값의 연 변화율을 통해 패턴화하였다. 독립변수인 파편화의 동인은 경제성장, 인구성장, 정부정책, 도시화로 4개로 유형화하고, 각 유형별로 지표를 선정하였다. 경제성장 지표로는 국내총생산, 국내농업생산, 국내공업생산, 국내기타전문생산, 지방정부수입, 가구당 수입이 활용되었고, 인구성장 지표로는 인구수, 가구수, 출생으로 인한 인구의 자연적 증가율, 이주로 인한 인구의 증가율이 활용되었다. 산림과 관련된 정부

정책의 지표는 도시 내에 설치한 녹지의 면적을 선정하였고, 도시화의 지표로는 도시지역을 대상으로 산정한 경관메트릭스(면적가중 평균모양지수(AWMSI\_UL), 최근린평균직선거리(MNN\_UL), 도시지역과 산림 간의 산포 및 병렬지수(IJI\_UL))를 활용하였다.

Liu *et al.*(2016)은 1979년에서 2014년까지 중국의 영파(Ningbo) 지역을 대상으로 다중시기 위성영상과 경관메트릭스(면적가중 평균패치면적, 면적가중 모양지수, 유클리드 최근린 거리, 효과적 메쉬 크기, 총면적)를 이용하여 산림의 잠식 및 파편화를 분석하고 상이한 토지이용계획 하에서 이에 영향을 미친 사회경제적 동인들을 다중회귀분석을 이용하여 분석하였다. 도시계획구역 내에서 녹지의 잠식을 초래한 주요한 동인은 인구 압력, 경제성장, 과일 소비, 토지이용정책 등이었지만, 녹지의 파편화는 경제 개방, 현금작물의 소비, 환경보호에 대한 인식 제고, 토지이용정책 등에 의해서 영향을 받았다고 주장하였다.

도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인을 분석한 국내외 연구에서 경관메트릭스가 녹지의 잠식 및 파편화를 측정하기 위한 지표로서 많이 활용되었다(장갑수·박인환, 1999; Kong and Nakagoshi, 2005; Uy and Nakagoshi, 2007; 이동근·김은영, 2008; Tian *et al.*, 2011; Zhou and Wang, 2011; Gong *et al.*, 2013; Zhang, 2013; 공인혜 등, 2013; Tian *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2016). 그러나 이들 연구들 가운데 녹지의 면적 및 다양성 관련 경관메트릭스의 변화와 이에 영향을 미치는 동인과의 관계를 정량적으로 분석한 연구는 소수에 지나지 않는다(Gong *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016). 또한, 도시 녹지의 공간적 변화가 내재하고 있는 MAUP를 고려하여 동인을 분석한 연구도 거의 이루어지지 않은 실정이다.

기존 연구에 의하면, 연구지역이나 시기 그리고 공간적 스케일은 다르지만 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인은 물리적, 사회적, 경제적, 정책적 요인으로 구분된다. 물리적 요인에는 주로 경사, 고도, 도로와의 거리, 시가지와의 거리 등이 활용되었다. 사회적 요인에는 대부분 인구밀도, 인구증가율 등 인구학적 요인이 활용되었고, 경제적 요인에는 대체로 국내총생산(GDP), 개별소득, 지가 등이 이용되었다. 정책적 요인들에는 토지이용과 관련된 도시기본계획 및 지역지구제(zoning), 도시개발 관련법의 제정 여부, 각종 도시개발사업 등이 활용되었다. 이를 종합해 보

면, 도시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 주는 동인에는 도로 및 시가지와의 거리, 경사 및 고도, 인구, 소득, 지가, 도시정책의 변화 등이 주로 사용되었으며, 일부 연구에서 지역적 특수성을 반영한 요인들이 고려되기도 하였다. 최근의 일부 연구는 도시 녹지의 잠식 및 파편화는 사회경제적 변화 및 정부 정책과 비선형적으로 밀접하게 관련되어 있다고 주장한다(Gong *et al.*, 2013).

도시 녹지의 잠식 및 파편화를 초래한 동인의 분석 방법은 두 가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 도시 녹지의 잠식 및 파편화가 나타난 지역의 사회·경제·정책적 지표나 도시정책의 변화를 중심으로 일반적으로 잠재적 동인을 설명한 유형이다. 이러한 유형은 연구자의 자의적 해석에 의존하는 경향이 있어 분석결과를 정량화하기가 어렵다는 단점이 있다. 둘째, 도시 녹지의 잠식 및 파편화와 동인과의 관계를 다양한 통계적 방법으로 분석한 유형으로 상관분석 및 단순회귀분석(이동근·김은영, 2008), 다중회귀분석(김훈희·이진희, 2001b; Gong *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016), 이항로지분석(이인성·한재웅, 2001), 다항로지분석(김훈희·이진희, 2001a) 등이 활용되었다. 이처럼 도시 녹지의 잠식 및 파편화의 동인을 통계적 방법을 이용하여 분석한 연구는 회귀분석을 가장 많이 활용하였다. 이러한 유형은 연구자의 자의적 해석에서 벗어나 보다 객관적으로 동인을 분석할 수 있지만, 동인들 간의 상호작용을 정량적으로 분석할 수 없다는 한계가 있다. 최근의 일부 연구는 도시 토지이용변화에 영향을 미치는 동인들 간의 상호작용을 분석하기 위하여 Wang *et al.*(2010)에 의하여 제안된 지리탐색기를 활용하였다(Ju *et al.*, 2016). 도시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 끼치는 동인들 간의 상호작용을 분석하기 위하여 지리 탐색기를 적용해 볼 필요가 있다. 본 연구는 이러한 선행연구의 한계를 보완하려는 시도에서 시작되었다.

### 3. 연구자료 및 방법

본 연구는 달성군을 포함한 대구시 전체를 연구지역으로 선정하여 대구시 녹지 변화의 동인을 분석하였다(그림 1). 대구시를 사례로 녹지의 공간적 변화를 실증적으로 분석 및 예측한 연구(서현진·전병운, 2017a; 서현진·전병운, 2017b)는 있으나, 이러한 변

화의 동인을 분석한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서 녹지는 농업지역을 제외한 식생으로 피복된 토지로서 환경부에서 제작한 대분류 토지피복도 상의 산림 및 초지를 지칭한다. 환경부 대분류 토지피복도는 30m의 공간 해상도를 가지는 Landsat TM 위성영상을 바탕으로 제작되었다. 시가화 지역, 농업지역, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역 등과 같은 총 7개 토지피복으로 분류되었으며, 분류 정확도는 약 75% 이상이다. 대구시의 대분류 토지피복도 제작연도는 1989년, 1998년, 2009년이며, 본 연구에서는 1989년과 2009년의 토지피복도를 사용하여 녹지의 변화를 분석하였다.

〈그림 2〉는 연구의 흐름을 보여준다. 본 연구에서 사용된 방법은 크게 세 가지로 구분된다. 먼저, 두 개

의 화소 기반 공간메트릭스를 활용하여 1989년에서 2009년 간 녹지의 공간메트릭스 변화 값을 이용한 차이지도(difference map)를 제작하고, 핫스팟 분석을 수행하여 지난 20년 동안의 녹지의 공간메트릭스 값이 증가한 지역인 핫스팟과 감소한 지역인 콜드스팟을 도출하여 녹지의 잠식 및 파편화가 나타난 지역을 확인하였다. 다음으로 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 주는 동인 간의 관계의 방향을 분석하기 위하여 핫스팟과 콜드스팟을 종속변수로 선정하고, 선행 연구를 통해 물리적, 사회적, 경제적, 정책적 요인들 중 7개의 독립변수를 선정하여 이항 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 마지막으로 지리 탐색기를 활용하여 동인의 상대적 중요도 및 동인 간의 상호작용을 분석하였다.

본 연구는 김훈희·이진희(2001b), Luck and Wu (2002), Herold *et al.*(2005), Tian *et al.*(2011), Zhou and Wang(2011), Gong *et al.*(2013), Tian *et al.*(2014) 등의 선행연구에서 주로 활용된 도시에서 녹지의 잠식 및 파편화를 잘 포착할 수 있는 두 개의 경관메트릭스를 공간메트릭스로 선정하였다. 공간메트릭스는 도시의 공간적 변화를 잘 포착할 수 있는 경관메트릭스를 말한다(Herold *et al.*, 2005). 〈표 1〉은 본 연구에서 사용된 두 개의 공간메트릭스를 보여준다. 면적 및 크기 지수(LPI)는 녹지의 잠식을 측정하는데 활용되었다. 그 값이 낮을수록 녹지의 잠식이 일어났다는 것을 의미한다. 다양성 지수(SHDI)는 단위면적 내에서 다른 토지피복과의 다양성을 분석하여 녹지의 파편화를 측정하는데 활용되며, 그 값이 높을수록 녹지의 파편화가 많이 진행되었다는 것을 의미한다. 녹지에 대한 두 개의 화소 기반 공간메트릭스는 서현진·전병운(2017b)이 제시한 방법을 이용하여 산출되었다.

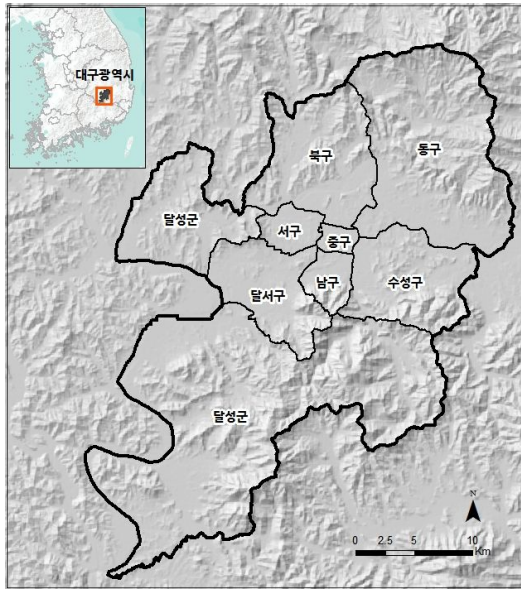


그림 1. 연구지역

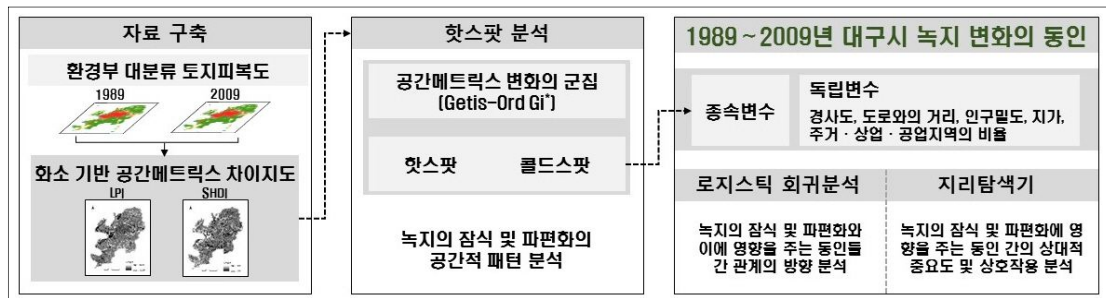


그림 2. 연구의 흐름

표 1. 본 연구에서 사용된 공간메트릭스

공간메트릭스	계산식	범위 및 단위	측 정
LPI (largest patch index, 최대패치지수)	$\frac{\max^n(a_{ij})}{A} \cdot 100$	0 < LPI ≤ 100 (%)	녹지의 잠식 정도 (면적 및 크기의 변화)
SHDI (Shannon's diversity index, Shannon's 다양성지수)	$-\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$	0 ≤ SHDI < ∞	녹지의 파편화 정도 (다양성의 변화)

주)  $a_{ij}$ : 패치  $ij$ 의 면적( $m^2$ ),  $A$ : 총 경관의 면적( $m^2$ ),  $P_i$ : 경관에서 토지피복  $i$ 가 차지하는 비율(%)

1989년에서 2009년까지 녹지의 화소 기반 공간메트릭스 변화 값에 대한 핫스팟 분석은 Getis-Ord  $G_i^*$ 를 통해 분석하였다(식 1). 국지적 공간 연관성 지수(local indicator of spatial association, LISA) 중에서 Getis-Ord  $G_i^*$ 는 국지적인 공간적 군집의 유형을 분석하는 방법이다(Getis and Ord, 1992).  $G_i^*$  통계치는 그 값이 양수이면 높은 속성 값들을 가지고 있는 공간 단위들의 군집인 핫스팟을, 반대로 그 값이 음수이면 낮은 속성 값들을 가지고 있는 공간 단위들의 군집인 콜드스팟을 나타낸다. 이처럼 Getis-Ord's  $G_i^*$  통계량은 핫스팟과 콜드스팟을 확실히 구별해주므로 공간메트릭스의 값이 상대적으로 크게 증가하거나 감소한 지역이 집중된 지역을 직관적으로 확인할 수 있게 해준다.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (식 1)$$

- $s$ : 표준편차
- $w_{ij}$ : 공간가중행렬의 요소( $i$ 와  $j$ 는 개별 공간 단위나 위치)
- $n$ : 전체 케이스 수
- $x$ : 공간단위의 값
- $\bar{x}$ : 공간단위의 평균값

녹지의 공간적 변화에 영향을 미치는 동인은 도시화에 따른 녹지 변화에 영향을 주는 요인들을 분석한 선행연구들과 자료의 획득 가능 여부, 대상지의 특성 등을 검토하여 물리적, 경제적, 사회적, 정책적 요인으로 구분하여 선정하였다. 먼저, 물리적 요인으로는 '경사도'와 '도로와의 거리'를 선정하였다. 대구시는

지형학적으로 표고 150m 이상 및 경사도 30%의 지역이 남동쪽에 집중되어 있고, 시가화지역 주변으로 개발제한구역과 같은 개발억제지 및 개발불능지가 상당부분 차지하고 있다(박선행·김재익, 2007). 뿐만 아니라, 개발가능지도 본 연구의 시간적 범위가 시작되는 1980년대 이전에 이미 많은 곳이 개발되어 녹지의 양에 있어서 시계열적으로 큰 변화를 찾기엔 어려움이 따른다. 따라서 본 연구는 표고와 경사도에 따른 도시개발가능 여부가 녹지의 변화에 미치는 영향을 고려하기 위해 경사도 변수를 사용하였다. 또한, 도로의 건설이 녹지의 변화에 끼치는 영향을 파악하기 위해 도로와의 거리를 물리적 요인으로 활용하였다. 유럽환경청에서는 도로의 건설이 토지파편화를 유발하고, 이로 인해 생물종의 감소 및 생태계 기능의 저하가 나타난다고 주장하며, 이러한 영향을 최소화하기 위한 도로의 설계지침을 구체적으로 제시하고 있다(EEA, 2011).

경제적 요인으로는 '개발공시지가'를 선정하였다. 지가는 지역의 사회경제적 특성을 반영하는 중요한 변수로서 도시의 성장과 쇠퇴에 따른 도시구조의 변화를 잘 반영하기 때문에 도시의 공간적 변화를 측정하는 경제적 요인 중 가장 대표적인 지표라 할 수 있다. 따라서 녹지의 공간적 변화에 큰 영향을 주는 변수로 사료된다.

사회적 요인으로는 '인구밀도'를 선정하였다. 인구는 도시화를 측정하는 가장 기본적인 지표이다. 도시 녹지의 경우 범률에 따라 1인당 최소면적을 지정하고 있으며, 이에 따라 대규모의 주거단지가 조성되는 택지개발사업에서는 자연녹지의 감소 및 인공녹지의 증가 등의 변화가 필연적으로 발생하기 때문에 인구밀도는 녹지의 공간적 변화에 큰 영향을 주는 변수이다.

정책적 요인으로는 ‘용도지역’을 선정하였다. 이인성·한재웅(2001)과 Zhang(2013) 등의 선행연구에서 정책적 요인의 대리지표로서 용도지역의 변화 과정을 살펴보고 있다. 우리나라의 용도지역은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 세분되어 있다. 본 연구의 대상인 녹지지역에 포함되어 있는 개발제한구역은 정책적 측면에서 개발을 억제하고 있는 지역이므로 제외하고, 주거지역, 상업지역, 공업지역 등의 비율을 정책적 요인으로 고려하였다.

본 연구에서는 MAUP 효과를 살펴보기 위하여 행정동 및 집계구 수준에서 종속변수와 독립변수 자료를 구축하였다. 녹지에 대한 화소 기반 공간메트릭스 변화 값과 동인들과의 공간적 관계를 분석하기 위하여 물리적, 경제적, 정책적 요인의 변수들은 구역(zonal) 연산을 활용하여 행정동 및 집계구 단위로 집계하였다. 사회적 요인인 인구자료는 이미 행정동 및 집계구 수준에서 인구가 집계되어 있으므로 이를 바탕으로 인구밀도로 변환하여 자료를 구축하였다. <표 2>는 본 연구에서 사용된 독립변수의 시간적 범위를 나타내고 있다. 일반적으로 연구자료의 시간적

범위를 일치시키는 것이 바람직하나, 경사도의 경우 획득할 수 있는 최신의 자료가 2000년 자료이어서 이 자료를 본 연구에 활용하였다. <그림 3>은 본 연구에서 사용된 독립변수인 녹지 변화의 동인들을 보여 주고 있다.

녹지의 잠식 및 파편화와 이에 대한 동인 간의 관계의 방향은 이항 로지스틱 회귀분석을 통해 분석하였다(식 2). 본 연구에서는 최적의 모델을 선정하기 위해 종속변수와 상관관계가 높은 변수들부터 차례로

표 2. 본 연구에서 사용된 독립변수의 시간적 범위

동 인	자 료	연 도
물리적	경사도	2000
	도로와의 거리	2009
경제적	개별 공시지가	2009
사회적	인구밀도	2009(행정동)
		2010(집계구)
정책적	용도지역도	2009
	개발제한구역도	

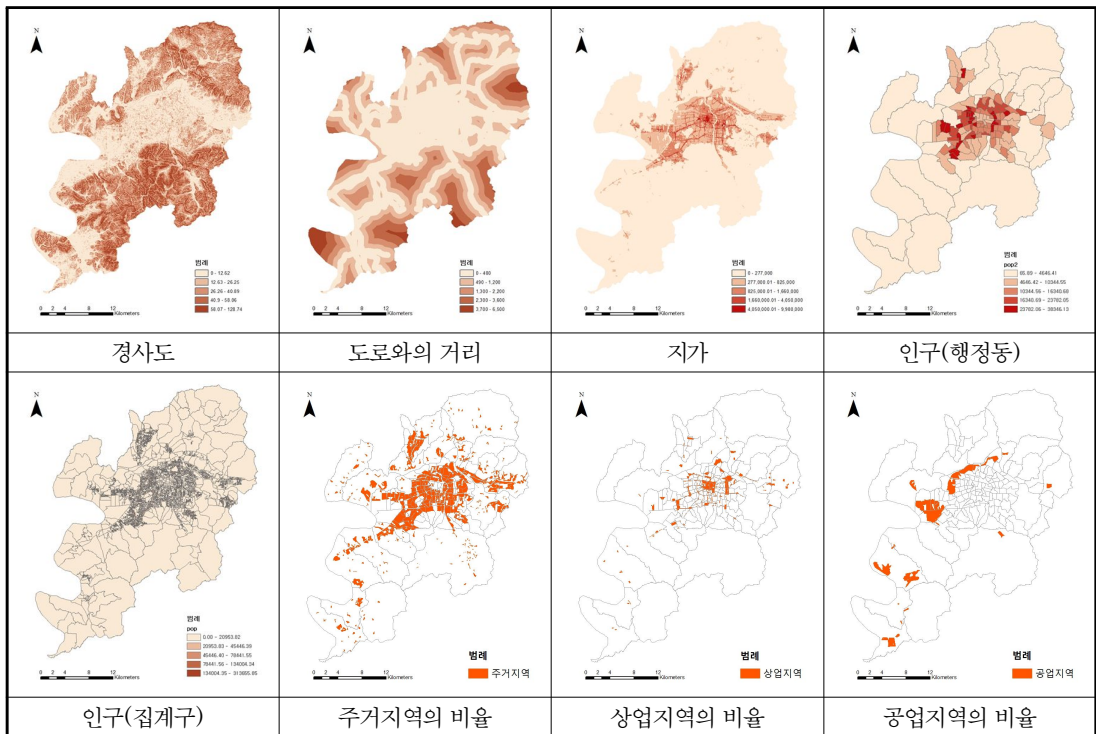


그림 3. 본 연구에서 사용된 녹지 변화의 동인



진입시키는 전진 LR(likelihood ratio, 우도비) 방법을 적용한 단계적 회귀분석(stepwise regression analysis)을 활용하였다. 각 독립변수들은 단위가 다르기 때문에 표준점수(Z-Score)로 표준화하여 사용하였다. 변수들 간의 다중공선성은 VIF(variance inflation factor, 분산팽창인자)로 진단하였으며, 분석 결과 7개의 변수 모두 5미만으로 나타나 다중공선성이 존재하지 않았다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (\text{식 2})$$

$$\frac{p}{1-p} : \text{승산(오즈, odds)}$$

로지스틱 회귀분석은 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 주는 동인 간의 관계의 방향을 알 수 있게 해주지만, 동인의 상대적 중요도와 동인 간의 상호작용을 분석할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 지리 탐색기를 활용하여 두 개의 공간메트릭스 변화 값에 대한 7개 동인의 상대적 중요도와 동인들 간의 상호작용을 분석하였다. 지리 탐색기는 지리적 현상과 잠재적 동인 간의 관계를 공간적 층화 이질성(spatial stratified heterogeneity)의 정도를 측정하여 검정하는 공간적 분산 분석법이다(Wang *et al.*, 2010). 공간적 층화 이질성은 지역 내 분산이 지역 간 분산 보다 적은 것을 말한다(Wang *et al.*, 2016). 지리 탐색기는 네 개의 탐색기(detector)로 구성되어 있다. 먼저, 종속변수에 대한 각 독립변수들의 독립적인 영향을 파악하기 위해 PD(power of determinant, 결정력)값을 산정하고 그 통계적 유의성을 검증하는 factor detector, 상호작용 PD값을 활용하여 두 변수간의 상호작용의 정도를 행렬로 제시하고 상호작용의 유형을 분석하는 interaction detector, 각 독립변수 내에서 등급 간 평균의 차이를 t 검정을 통해 분석하는 risk detector, 각 독립변수들 간의 평균의 차이를 F 검정을 통해 분석하는 ecological detector로 구분된다. 본 연구에서는 PD값을 산출하는 factor detector와 interaction detector를 이용하였으며, 식 3은 본 연구의 PD값을 산정하는 수식이다. PD는 0에서 1사이의 값을 가지고, factor detector에서 그 값이 0이면 종속변수에 대한 독립변수의 영향력이 없는 것이고, 그 값이 1에 가까울수록 독립변수의 영향력이 큰 것을

의미한다(Wang *et al.*, 2010; Ju *et al.*, 2016).

$$P_{D,S} = 1 - \frac{1}{n\sigma_S^2} \sum_{i=1}^5 n_{D,i} \sigma_{S_{D_i}}^2 \quad (\text{식 3})$$

$P_{D,S}$  : 종속변수 S(공간메트릭스 변화 값)에 대한 독립변수 D의 PD(결정력)

$n$  : 종속변수 관측치의 총 개수

$\sigma_S^2$  : 종속변수 S의 분산

$n_{D,i}$  : 독립변수의 i 범주 내 종속변수 관측치의 총 개수

$\sigma_{S_{D_i}}^2$  : 독립변수의 i 범주 내 종속변수 S의 분산

Interaction detector에서 PD는 두 독립변수가 가지는 상호작용의 크기로서 0과 1사이의 값을 가지며 상호작용의 유형은 식 4와 같이 구분된다. a 유형은 독립변수 D<sub>1</sub>과 D<sub>2</sub>의 상호작용이 두 독립변수의 PD 최솟값 보다 작은 것으로써 상호작용 강도가 가장 약한 유형이다. b 유형은 두 독립변수의 상호작용이 두 독립변수의 PD 최댓값 보다는 작고 최솟값 보다는 큰 유형이다. c 유형은 두 독립변수의 상호작용이 두 독립변수의 PD 최댓값 보다는 크고 각각의 PD 값의 합 보다는 작은 유형이다. d 유형은 두 독립변수의 상호작용이 각각의 PD 값의 합과 같은 유형이고, 마지막으로 e 유형은 두 독립변수의 상호작용이 각각의 PD 값의 합 보다 크며 상호작용 유형 중 그 강도가 가장 큰 유형이다(Ju *et al.*, 2016).

a) Nonlinear-weaken :  $P_{D,S}(D_1 \cap D_2)$   
 $\langle \text{Min}(P_{D,S}(D_1), P_{D,S}(D_2)) \rangle$  (식 4)

b) Uni-enhance/weaken :  $\text{Min}(P_{D,S}(D_1), P_{D,S}(D_2)) \langle P_{D,S}(D_1 \cap D_2) \rangle \langle \text{Max}(P_{D,S}(D_1), P_{D,S}(D_2)) \rangle$

c) Bi-enhance :  $\text{Max}(P_{D,S}(D_1), P_{D,S}(D_2)) \langle P_{D,S}(D_1 \cap D_2) \rangle \langle (P_{D,S}(D_1) + P_{D,S}(D_2)) \rangle$

d) Independent :  $P_{D,S}(D_1 \cap D_2) = (P_{D,S}(D_1) + P_{D,S}(D_2))$

e) Nonlinear-enhance :  $P_{D,S}(D_1 \cap D_2) \langle (P_{D,S}(D_1) + P_{D,S}(D_2)) \rangle$

핫스팟 분석 및 로지스틱 회귀분석은 MAUP를 고려하기 위해 독립변수 및 종속변수의 분석 단위를 각각 행정동 및 집계구로 설정하였다. 반면에 공간적 분산 분석법인 지리 탐색기에서 독립변수와 종속변수의

분석 단위는 독립변수의 범주에 따라 종속변수의 변이를 고려할 필요가 있으므로 선행연구의 고찰 및 탐색적 분석을 바탕으로 선정하였다(Ju *et al.*, 2016). 먼저, 분석 단위의 형태와 크기를 달리하여 탐색적 분석을 수행한 결과, 집계구 수준에서 공간메트릭스 값이 정형화된 격자에서 보다 상호작용을 비교적 잘 포착할 수 있었으므로 종속변수의 분석 단위로 집계구를 사용하였다. 독립변수의 경우에는 선행연구를 바탕으로 Jenks 최적화법을 이용하는 natural break 자료분류법을 사용하여 5개의 등급으로 범주화하였으며(Ju *et al.*, 2016), 탐색적 분석에서 집계구 보다는 행정동 수준에서 독립변수 범주 내 분산의 이질성을 공간적으로 패턴화하는데 용이하였으므로 행정동 수준에서 독립변수의 평균값을 추출하여 등급화하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 1) 대구시 녹지 변화의 공간적 패턴

흔히 도시화에 따른 토지이용변화는 도시 내 녹지

의 면적을 감소시키는 경향이 있다. LPI는 녹지의 잠식을 측정하는 공간메트릭스로서 그 값이 낮을수록 녹지의 감소가 나타난다는 것을 의미한다. <그림 4>는 1989년에서 2009년까지 대구시 LPI 변화 값에 대한 핫스팟 분석의 결과를 보여준다. LPI의 핫스팟은 지난 20년간 LPI 값이 상대적으로 크게 증가한 지역이 집중된 지역이고, LPI의 콜드스팟은 LPI가 상대적으로 크게 감소한 지역이 집중된 지역으로 녹지의 잠식이 심화된 것을 의미한다.

<그림 4>의 좌측은 행정동 수준에서 분석한 결과이며, 우측은 집계구 수준에서 분석한 결과이다. 먼저, 행정동 수준에서 콜드스팟은 달성군을 제외한 모든 행정구에서 콜드스팟이 조금씩 나타났는데, 이 지역들은 주로 중구 주변에 인접한 행정동들이다. 중구의 경우, 모든 행정동이 콜드스팟으로 나타났다. 동구는 동촌동, 지저동 방촌동, 신천4동, 효목2동 등이 콜드스팟에 속했다. 서구는 원대동, 평리4동, 비산6동 등이 콜드스팟으로 나타났다. 남구는 중구와 인접한 이천동, 대명2,3동 등 이었으며, 북구는 검단동, 산격2동, 북현2동, 신암1,5동, 노원1동 등이 포함되었다. 수성구는 만촌1,3동, 범어2,4동, 봉덕3동, 상동 등이

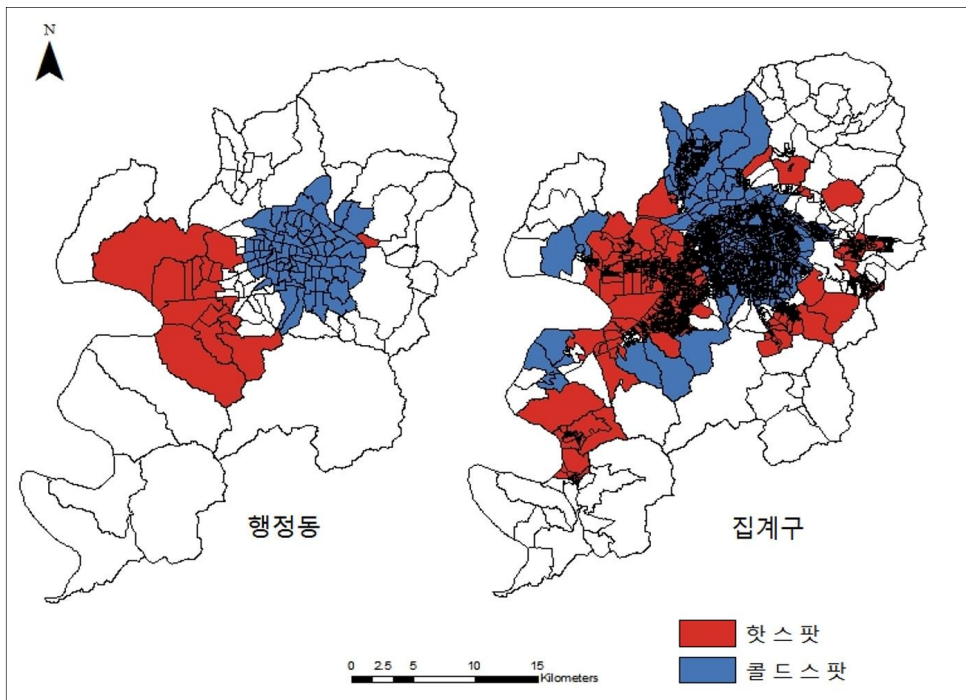


그림 4. LPI의 핫스팟과 콜드스팟

콜드스팟에 속했고, 달서구는 두류2동이 콜드스팟으로 나타났다. 즉, 콜드스팟에 속하는 행정동은 구시가지 지역이거나 1980년대 신시가지 지역으로 개발이 진행되었으나 현재 많이 쇠퇴한 지역들이 포함되어 있다.

집계구 수준에서는 행정동과 큰 맥락에서 유사한 패턴을 나타내지만, 행정동 수준에서 핫스팟이었던 달서구의 도원동, 다사읍, 화원읍의 일부 지역이 집계구 수준에서는 콜드스팟으로 분석되었다. 또한, 행정동 수준에서 핫스팟이나 콜드스팟에 속하지 않았던 지역인 북구의 읍내동, 무태조야동, 태전동, 국우동 등 도시성장이 활발하게 일어난 칠곡의 부도심 지역이 콜드스팟으로 나타났다. 이를 통해 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식패턴에서 MAUP가 존재함을 확인할 수 있었다.

SHDI는 토지피복의 다양성을 측정하는 지수로서 도시화로 인해 녹지가 파편화되면 그 값이 증가하는 경향이 있다(Zhou *et al.*, 2014). 따라서 높은 SHDI 값이 집중된 핫스팟은 녹지의 파편화가 집중된 지역을 의미한다. <그림 5>는 1989년에서 2009년까지 대구시 SHDI 변화 값에 대한 핫스팟 분석의 결과를

보여준다. 행정동 수준에서 SHDI의 핫스팟은 중구에 인접한 행정동을 포함한 구시가지 일대이다. 이 지역에서 택지개발 및 도시개발사업으로 인해 녹지의 파편화가 나타난 것으로 사료된다. 중구는 모든 행정동이 핫스팟이었으며, 중구에 인접한 다른 구의 행정동들도 대체로 비슷한 양상을 보이고 있었다. 동구는 동촌동, 지저동, 방촌동, 신암3·4동 등, 서구는 내당1~3동, 평리1~4동, 비산1~6동 등, 북구는 노원동, 침산1·3동, 산격1~4동 등, 남구는 대명2·3·5동, 수성구는 범어1~4동, 만촌1~3동, 황금1·2동, 지산1동, 두산동 등, 달서구는 두류1·2동, 내당1~3동 등이 핫스팟으로 나타났다.

집계구 수준에서는 행정동과 전반적으로 유사한 패턴을 나타내지만, LPI에 대한 핫스팟 분석 결과와 마찬가지로 집계구 수준에서만 드러나는 핫스팟 지역이 존재하였다. 특히, 행정동 수준에서 콜드스팟이었던 다사읍 일부 지역과 행정동 수준에서 핫스팟이나 콜드스팟에 속하지 않았던 칠곡 택지개발지구의 국우동, 구암동, 관음동, 읍내동 등이 핫스팟에 포함되었고, 이들 지역에서 녹지의 파편화가 나타났다. 지난 20년간 대구시 녹지의 파편화 패턴에서도 MAUP가

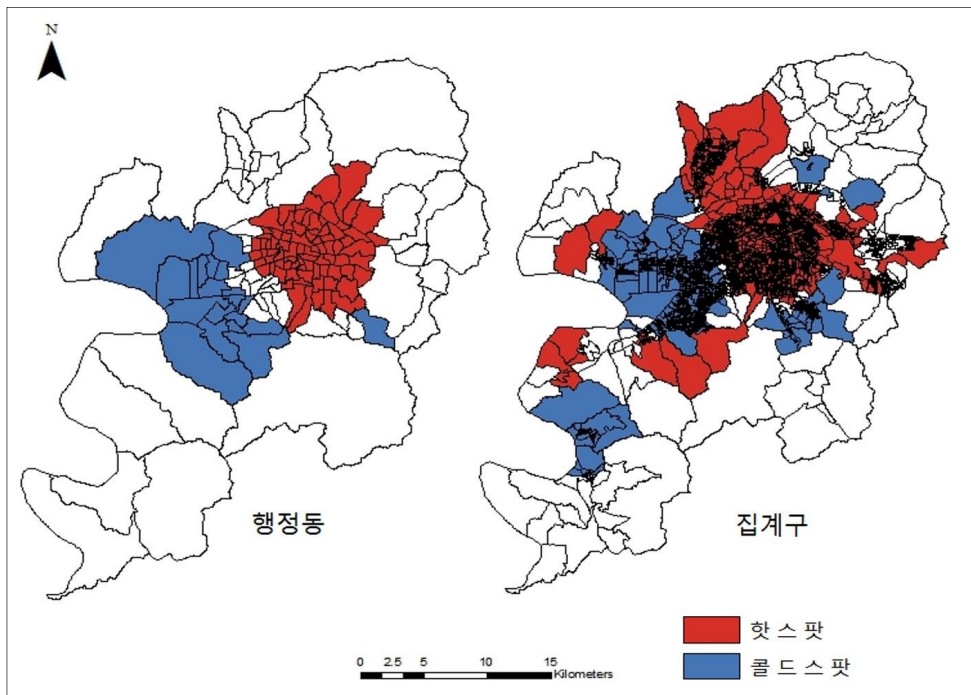


그림 5. SHDI의 핫스팟과 콜드스팟

존재했다.

공간메트릭스의 변화 값에 대한 핫스팟 분석을 요약하면, 1989년에서 2009년까지 안심 택지개발지구의 일부와 구시가지의 대부분 지역에서 집중적으로 녹지의 잠식이 일어났고, 성서 및 안심, 달성군, 칠곡 등의 택지개발지구를 중심으로 녹지의 파편화 현상이 두드러지게 나타났다. 이러한 공간적 패턴은 행정동 및 집계구 수준에 따라 다르게 상이하게 나타났으며, 집계구 수준에서 핫스팟 및 콜드스팟 지역이 더 많이 나타났다. 이는 행정동 보다 집계구의 공간단위가 보다 미시적이고, 세분화되어 공간적 변이가 더욱 많이 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

## 2) 대구시 녹지 변화와 그 동인들 간의 관계

이항 로지스틱 회귀분석은 1989년에서 2009년까지 대구시에서 나타난 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 끼친 동인들 간의 관계의 방향을 분석하기 위하여 적용되었다. 녹지의 잠식 및 파편화 여부를 종속 변수로 그리고 선행연구를 바탕으로 선정된 동인인 경사도, 도로와의 거리, 지가, 인구밀도, 용도지역상 주거·상업·공업지역의 비율 등을 독립변수로 설정하여 단계적 회귀분석을 수행하였다.

〈표 3〉은 LPI에 대한 이항 로지스틱 회귀분석의

결과이다. 행정동에서 LPI와 정의 상관관계가 있는 유의한 변수는 ‘경사도’, ‘주거지역비율’, ‘공업지역비율’ 등으로 나타났고, 부의 상관관계가 있는 유의한 변수들은 확인할 수 없었다. 집계구에서 정의 상관관계가 있는 유의한 변수들은 ‘주거지역비율’, ‘도로와의 거리’, ‘상업지역비율’, ‘공업지역비율’, ‘경사도’, ‘인구밀도’ 등으로 나타났으며, 부의 상관관계가 있는 변수는 ‘지가’만이 유의했다. 즉, 행정동에서는 경사도가 낮을수록 그리고 주거·공업지역의 비율이 낮아질수록 녹지의 잠식이 크게 나타났고, 집계구에서는 지가가 높고, 인구밀도와 주거·상업·공업지역의 비율이 낮고, 경사도가 낮으며 도로와의 거리가 가까워질수록 녹지의 잠식이 큰 것으로 나타났다. 또한, 행정동과 집계구 모두 유의한 변수는 경사도, 주거·공업지역의 비율로 나타났다.

〈표 4〉는 SHDI에 대한 이항 로지스틱 회귀분석의 결과이다. 행정동에서 정의 상관관계가 있는 유의한 변수들은 없었고, 부의 상관관계가 있는 유의한 변수들은 ‘경사도’, ‘주거지역비율’, ‘공업지역비율’ 등으로 나타났다. 집계구에서도 정의 상관관계가 있는 유의한 변수들은 없었고, ‘도로와의 거리’, ‘주거지역비율’, ‘인구밀도’, ‘공업지역비율’, ‘경사도’ 등이 부의 상관관계가 있었다. 다시 말해, 행정동에서는 주거·공업지역의 비율이 낮고, 경사도가 낮을수록 녹지의 파편화

표 3. LPI에 대한 로지스틱 회귀분석 결과

	변수	회귀계수	표준편차	Wald	유의확률	Exp(b)
행정동	경사도	2.402	0.655	13.446	0.000*	11.044
	주거지역비율	1.279	0.398	10.310	0.001*	3.594
	공업지역비율	1.237	0.308	16.108	0.000*	3.446
	상수항	-1.682	0.424	15.766	0.000*	0.186
집계구	경사도	0.203	0.048	18.082	0.000*	1.225
	도로와의 거리	0.435	0.065	45.102	0.000*	1.545
	지가	-0.234	0.069	11.571	0.001*	0.792
	인구밀도	0.155	0.054	8.199	0.000*	1.167
	주거지역비율	0.893	0.066	180.896	0.000*	2.444
	상업지역비율	0.340	0.070	23.762	0.000*	1.406
	공업지역비율	0.143	0.049	8.608	0.003*	1.154
	상수항	-0.984	0.052	351.688	0.000*	0.374

\* : P<0.05에서 유의함

행정동 : -2Loglikelihood=53.548, Cox and Snell R<sup>2</sup>=0.333(Nagelkerke R<sup>2</sup>=0.523), 분류정확도 : 79.5%

집계구 : -2Loglikelihood=2393.847, Cox and Snell R<sup>2</sup>=0.123(Nagelkerke R<sup>2</sup>=0.174), 분류정확도 : 69.8%

표 4. SHDI에 대한 로지스틱 회귀분석 결과

	변수	회귀계수	표준편차	Wald	유의확률	Exp(b)
행정동	경사도	-2,390	0,579	17,047	0,000*	0,092
	주거지역비율	-1,532	0,369	17,279	0,000*	0,216
	공업지역비율	-1,239	0,298	17,303	0,000*	0,290
	상수항	1,514	0,400	14,314	0,000*	4,544
집계구	경사도	-0,164	0,049	11,252	0,001*	0,848
	도로와의 거리	-0,352	0,066	28,050	0,000*	0,704
	인구밀도	-0,167	0,046	13,400	0,000*	0,846
	주거지역비율	-0,309	0,047	42,710	0,000*	0,734
	공업지역비율	-0,166	0,052	9,997	0,002*	0,847
	상수항	0,476	0,045	113,768	0,000*	1,610

\* : P < 0.05에서 유의함

행정동 : -2Loglikelihood=61,788, Cox and Snell R<sup>2</sup>=0,394(Nagelkerke R<sup>2</sup>=0,575), 분류정확도 : 73,4%

집계구 : -2Loglikelihood=2931,120, Cox and Snell R<sup>2</sup>=0,051(Nagelkerke R<sup>2</sup>=0,069), 분류정확도 : 61,5%

경향이 나타나고, 집계구에서는 경사도와 주거·공업 지역의 비율이 낮고, 인구밀도가 낮으며 도로와의 거리가 가까울수록 녹지의 파편화 경향이 나타났다. 또한, 경사도, 주거·공업지역의 비율 등이 행정동과 집계구 모두에서 유의한 변수였다.

지난 20년간 대구시에서 녹지의 잠식 및 파편화를 초래한 동인은 행정동 및 집계구 수준에서 상이했으나 경사도, 주거지역의 비율, 공업지역의 비율 등이 공통적으로 유의한 것으로 나타났다. 이들 동인은 녹지의 잠식을 측정할 LPI와 정의 상관관계를 보였으나, 녹지의 파편화를 측정할 SHDI와는 부의 상관관계를 가지고 있었다. 다시 말해서, 대구시 녹지의 잠식 및 파편화는 경사도가 낮고 주거 및 공업지역의 비율이 낮은 지역에서 발생하였다는 것을 확인할 수 있었다.

### 3) 대구시 녹지 변화의 동인들의 상대적 중요도 및 상호작용

1989년에서 2009년까지 대구시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 미친 7개 동인들의 상대적 중요도 및 동인들 간의 상호작용을 분석하기 위하여 지리 탐색기를 활용하였다. <표 5>는 LPI 변화에 대한 동인들의 상대적 중요도 및 동인들 간의 상호작용을 분석한 결과이다. <표 5>의 행렬에서 대각선 상의 값은 각 동인의 PD를 나타내고, 기타 행렬의 값은 두 동인 간의

상호작용 PD를 나타낸다. PD는 0과 1사이의 값을 가지고 그 값이 1에 가까울수록 해당 동인의 결정력이 크다는 것을 의미한다. 상호작용 PD도 0과 1사이의 값을 가지고 그 값이 1에 가까울수록 두 동인 간의 상호작용의 결정력이 크다는 것을 의미한다. 모든 동인들이 개별적인 영향 보다는 상호작용의 영향이 더 크게 나타났다. 상호작용의 유형은 공업지역의 비율과 도로와의 거리 그리고 공업지역의 비율과 지가 간의 상호작용을 제외한 모든 상호작용 조합에서 nonlinear enhance(식 4에서 e 유형)를 나타내어 두 동인들 간의 개별적인 영향의 합 보다 두 동인 간 상호작용의 영향이 크게 나타났다. 특히, 경사도와 주거지역의 비율 간의 상호작용의 영향이 0,177로 가장 크게 나타났다. 즉, 경사도와 주거지역의 비율 간의 상호작용이 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식에 가장 큰 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다. 다음으로 동인들 간의 상호작용의 영향력은 주거지역의 비율과 상업지역의 비율, 경사도와 상업지역의 비율 순으로 나타났다. LPI에 대한 동인들의 상대적 중요도는 공업지역의 비율, 지가, 상업지역의 비율, 경사도, 주거지역의 비율, 도로와의 거리, 인구밀도 순으로 나타났다.

<표 6>은 SHDI 변화에 대한 동인들의 상대적 중요도와 동인들 간 상호작용을 분석한 결과이다. LPI에 대한 분석과 마찬가지로, 모든 동인들에서 개별적인 영향 보다는 상호작용의 영향이 더 크게 나타

표 5. LPI에 대한 동인들의 상대적 중요도 및 동인들 간의 상호작용

변수	경사도	도로와의 거리	지가	주거지역의 비율	상업지역의 비율	공업지역의 비율	인구밀도
경사도	0.017						
도로와의 거리	0.093*	0.011					
지가	0.104*	0.076*	0.030				
주거지역의 비율	<b>0.177*</b>	0.069*	0.082*	0.015			
상업지역의 비율	0.135*	0.081*	0.085*	0.136*	0.028		
공업지역의 비율	0.095*	0.065**	0.085**	0.091*	0.123*	0.057	
인구밀도	0.043*	0.041*	0.066*	0.034*	0.057*	0.069*	0.007

\* : nonlinear enhance of A and B;  $PD(A \cap B) > (PD(A) + PD(B))$

\*\* : bi-enhance of A and B;  $Max(PD(A), PD(B)) < PD(A \cap B) < (PD(A) + PD(B))$

표 6. SHDI에 대한 동인들의 상대적 중요도 및 동인들 간의 상호작용

변수	경사도	도로와의 거리	지가	주거지역의 비율	상업지역의 비율	공업지역의 비율	인구밀도
경사도	0.016						
도로와의 거리	0.113*	0.035					
지가	0.114*	0.095*	0.042				
주거지역의 비율	<b>0.171*</b>	0.100*	0.102*	0.012			
상업지역의 비율	0.121*	0.106*	0.092*	0.157*	0.018		
공업지역의 비율	0.124*	0.109**	0.125**	0.123*	0.152*	0.086	
인구밀도	0.045*	0.078*	0.084*	0.039*	0.047*	0.102*	0.008

\* : nonlinear enhance of A and B;  $PD(A \cap B) > (PD(A) + PD(B))$

\*\* : bi-enhance of A and B;  $Max(PD(A), PD(B)) < PD(A \cap B) < (PD(A) + PD(B))$

났다는 것을 알 수 있다. 공업지역의 비율과 도로와의 거리 그리고 공업지역의 비율과 지가 간의 상호작용을 제외하고, 모든 상호작용 조합에서 nonlinear enhance(식 4에서 e 유형)의 상호작용 유형을 나타냈다. 이는 두 동인들 간의 개별적인 영향의 합 보다 두 동인 간의 상호작용의 영향이 크게 나타났다는 것을 의미한다. 경사도와 주거지역의 비율 간의 상호작용의 영향이 0.171로 가장 크게 나타났다. 다시 말해서, 경사도와 주거지역의 비율 간의 상호작용이 지난 20년간 대구시 녹지의 파편화에 가장 큰 영향을 끼쳤다는 것을 알 수 있다. 다음으로 동인들 간의 상호작용의 영향력은 주거지역의 비율과 상업지역의 비율, 상업지역의 비율과 공업지역의 비율 순으로 나타났다. SHDI에 대한 동인들의 상대적 영향력은 공업지

역의 비율, 지가, 도로와의 거리, 상업지역의 비율, 경사도, 주거지역의 비율, 인구밀도 순으로 나타났다.

지리 탐색기 분석의 결과를 요약하면, LPI에 대한 동인의 상대적 영향력은 공업지역의 비율, 지가, 상업지역의 비율 등의 순으로 나타났고, SHDI에 대한 동인의 상대적 영향력은 공업지역의 비율, 지가, 도로와의 거리 등의 순으로 나타났다. 또한, LPI와 SHDI에 영향을 미친 동인 간 상호작용은 경사도와 주거지역의 비율 조합에서 가장 크게 나타났다. 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식 및 파편화를 설명하는 가장 유익한 개별 동인은 공업지역의 비율이었으며, 경사도 및 주거지역의 비율 간의 상호작용의 영향이 가장 크게 나타났다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 1989년에서 2009년까지 대구시 녹지 변화가 어떠한 동인에 의해 추동되었는지를 분석하였다. 이를 위해 먼저 녹지의 면적 및 다양성을 측정한 화소 기반 공간메트릭스에 대한 핫스팟 분석을 통해 지난 20년간 녹지의 잠식 및 파편화가 나타난 지역을 확인하였다. 다음으로 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 미친 동인들 간의 관계의 방향을 분석하였다. 물리적·사회적·경제적·정책적 동인은 선행연구를 바탕으로 경사도, 도로와의 거리, 지가, 인구밀도, 용도지역상 주거·상업·공업지역의 비율 등을 선정하였다. 마지막으로 지리 탐색기를 이용하여 지난 20년간 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 미친 동인들의 상대적 중요도 및 동인들 간의 상호작용을 분석하였다.

핫스팟 분석의 결과에 따르면, 1989년에서 2009년까지 안심 택지개발지구의 일부 지역과 구시가지의 대부분 지역에서 녹지의 잠식이 집중적으로 나타났다. 또한, 성서 및 안심, 달성군, 칠곡 등의 택지개발 지구를 중심으로 녹지의 파편화가 현저하게 나타났다. 이항 로지스틱 회귀분석의 결과에 따르면, 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 미친 동인은 행정동 및 집계구 수준에서 상이했으나 경사도, 주거지역의 비율, 상업지역의 비율 등이 공통적으로 유의했다. 이들 동인은 녹지의 잠식에 정의 영향을 미쳤지만, 녹지의 파편화에는 부의 영향을 끼쳤다. 이는 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식 및 파편화는 낮은 경사도와 낮은 주거 및 상업지역의 비율에 의해서 영향을 받았다는 것을 의미한다. 지리 탐색기 분석의 결과에 따르면, 녹지의 잠식에 영향을 미친 동인의 상대적 영향력은 상업지역의 비율, 지가, 상업지역의 비율 등의 순으로 나타났고, 녹지의 파편화에 영향을 미친 동인의 상대적 영향력은 상업지역의 비율, 지가, 도로와의 거리 등의 순으로 나타났다. 지난 20년간 대구시 녹지의 잠식 및 파편화에 가장 큰 영향을 끼친 개별 동인은 상업지역의 비율이었다. 또한, 녹지의 잠식 및 파편화에 영향을 미친 동인 간 상호작용은 전반적으로 개별 동인의 영향의 합 보다 크게 나타났고, 경사도와 주거지역의 비율 조합에서 가장 크게 나타났다.

본 연구는 지난 20년간 대구시에서 나타난 녹지의 잠식 및 파편화와 이에 영향을 미친 물리적·사회적·

경제적·정책적 동인들 간의 관계의 방향, 동인들의 상대적 중요도, 동인들 간의 상호작용을 정량적으로 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구의 결과는 상대적으로 그 설명력은 약하지만, 대구시 녹지 변화의 잠재적 동인을 제시함으로써 미래에 지속가능한 도시 녹지정책을 수립을 하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서 사용된 방법론은 다양한 지리적 현상의 동인 분석에 적용될 수 있을 것이다.

그러나 본 연구와 관련된 두 가지 방법론적 이슈들은 향후에 고려되어야 할 것이다. 먼저, 핫스팟 분석에서 사용된 Getis-Ord's  $G_i^*$  통계량은 핫스팟이나 콜드스팟 주변에 상이한 값을 가지는 지역이 인접해 있을 때 공간군집 내에 이질적인 값을 갖는 공간단위를 포함시켜 공간군집을 형성할 수 있다는 한계를 가진다(Getis and Ord, 1992). 이러한 문제를 보완하기 위하여 Aldstadt and Getis(2006)에 의해 제안된 AMOEBA(a multidirectional optimum ecotope-based algorithm)를 활용하여 화소 기반 공간메트릭스에 대한 군집을 형성하고 녹지의 잠식 및 파편화의 공간적 패턴을 분석해 볼 필요가 있다. 다음으로 본 연구에서 사용된 지리 탐색기는 종속변수의 격자크기와 독립변수를 범주화하는 방법에 의해 영향을 받기 때문에(Cao *et al.*, 2013; Ju *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017) 향후 연구에서는 공간단위 변화와 범주화 방법에 따른 분석 결과의 민감성을 분석해야 할 것이다.

## 문헌

- 공인혜·백경혜·이동근, 2013, 미안마 네피도 지역의 도시개발로 인한 토지피복변화 탐지 및 산림파편화 분석, 환경영향평가, 22(2), 247-156.
- 김귀곤, 2002, 도시공원녹지의 계획·설계, 서울대학교출판부.
- 김은영·송원경·이동근, 2012, 산림파편화에 대한 국내·외 동향, 환경복원녹화, 15(2), 149-162.
- 김재한, 2012, 청주시 환상녹지의 경관 파편화 실태와 지속가능한 녹지관리 방안 모색, 대한지리학회지, 47(1), 79-97.
- 김훈희·이진희, 2001a, 토지이용변화 확률모형 구축 및 적용에 관한 연구, 국토계획, 36(4), 95-111.
- 김훈희·이진희, 2001b, 토지이용 변화에 따른 녹지환

- 경의 민감성 평가, 국토계획, 36(5), 211-224.
- 박선형·김재익, 2007, 대도시 주변 신개발지의 개발 특성에 관한 연구 : 대구광역시를 사례지역으로, 한국지리정보학회지, 10(2), 36-46.
- 서현진·전병운, 2017a, CA-Markov 모형을 이용한 대구시 녹지의 공간적 변화 모델링, 대한지리학회지, 52(1), 123-141.
- 서현진·전병운, 2017b, 화소 기반 공간메트릭스를 이용한 도시 녹지의 공간적 변화 분석 -대구시를 사례로-, 한국지역지리학회지, 23(1), 137-151.
- 이동근·김은영, 2008, 수도권 내 개발계획관련 요소와 산림파괴화 관계분석을 통한 관리방안, 한국조경학회지, 35(6), 37-47.
- 이인성·한재웅, 2001, 1985~2000년의 서울시 녹지 잠식 경향의 분석, 국토계획, 36(3), 41-54.
- 장갑수·박인환, 1999, 경상북도 4개 도시의 녹지파괴화 현상 비교, 환경영향평가, 8(4), 13-23.
- Aldstadt, J. and Getis, A., 2006, Using AMOEBA to create a spatial weights matrix and identify spatial clusters, *Geographical Analysis*, 38(4), 327-343.
- Cao, F., Ge, Y. and Wang, J., 2013, Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment, *GIScience & Remote Sensing*, 50(1), 78-92.
- EEA(European Environmental Agency), 2011, *Landscape fragmentation in Europe*, EEA Report, 87pp.
- Getis, A. and Ord, J.K., 1992, The analysis of spatial association by use of distance statistics, *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206.
- Gong, C., Yu, S., Joesting, H. and Chen, J., 2013, Determining socioeconomic drivers of urban forest fragmentation with historical remote sensing images, *Landscape and Urban Planning*, 117, 57-65.
- Herold, M., Couclelis, H. and Clarke, K.C., 2005, The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change, *Computer, Environment and Urban Systems*, 29, 369-399.
- Ju, H., Zhang, Z., Zuo, L., Wang, J., Zhang, S., Wang, X. and Zhao, X., 2016, Driving forces and their interactions of built-up land expansion based on the geographical detector—a case study of Beijing, China, *International Journal of Geographical Information Science*, 30(11), 2188-2207.
- Kong, F. and Nakagoshi, N., 2005, Changes of urban green spaces and their driving forces: a case study in Jinan city, China, *Journal of International Development and Cooperation*, 11(2), 97-109.
- Liu, Y., Feng, Y., Zhao, Z., Zhang, Q. and Su, S., 2016, Socioeconomic drivers of forest loss and fragmentation: a comparison between different land use planning schemes and policy implications, *Land Use Policy*, 54, 58-68.
- Luck, M. and Wu, J., 2002, A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA, *Landscape Ecology*, 17, 327-339.
- Meerow, S. and Newell, J.P., 2017, Spatial planning for multifunctional green infrastructure: growing resilience in Detroit, *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 141-153.
- Tian, Y., Jim, C.Y., Tao, Y. and Shi, T., 2011, Landscape ecological assessment of green space fragmentation in Hong Kong, *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 79-86.
- Tian, Y., Jim, C.Y. and Wang, H., 2014, Assessing the landscape and ecological quality of urban green spaces in compact city, *Landscape and Urban Planning*, 121, 97-108.
- Uy, P.D. and Nakagoshi, N., 2007, Urban green space gradient analysis and building eco-network in Hanoi, Vietnam. Hiroshima University, *The 21<sup>st</sup> Century COE Program Discussion Paper Series*, Vol.2007-5.
- Wang, J.F., Li, X.H., Christakos, G., Liao, Y.L., Zhang, T., Gu, X. and Zheng, X.Y., 2010, Geographical detectors-based health risk



- assessment and its application in the neural tube defects study of Heshun Region, China, *International Journal of Geographical Information Science*, 24(1), 107-127.
- Wang, J.F., Zhang, T.L. and Fu, B.J., 2016, A measure of spatial stratified heterogeneity, *Ecological Indicators*, 67, 250-256.
- Wang, Y., Wang, S., Li, G., Zhang, H., Jin, L., Su, Y. and Wu, K., 2017, Identifying the determinants of housing prices in China using spatial regression and the geographical detector technique, *Applied Geography*, 79, 26-36.
- Zhang, S., 2013, *Socio-Ecological Drivers and Consequences of Land Fragmentation Under Conditions of Rapid Urbanization*, Ph.D Thesis, Arizona State University.
- Zhou, D., Shi, P., Wu, X., Ma, J. and Yu, J., 2014, Effects of urbanization expansion on landscape pattern and region ecological risk in Chinese coastal city: a case study of Yantai city, *The Scientific World Journal* <http://dx.doi.org/10.1155/2014/821781>.
- Zhou, X. and Wang, Y.C., 2011, Spatial-temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies, *Landscape and Urban Planning*, 100, 268-277.
- **교신** : 전병운, 41566, 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 사회과학대학 지리학과(이메일: bwjun@knu.ac.kr, 전화: 053-950-5231)
- Correspondence** : Jun, Byong-Woon, 41556, Department of Geography, College of Social Sciences, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, Korea(E-mail: bwjun@knu.ac.kr, Tel: +82-53-950-5231)
- (접수 2017.04.23, 수정 2017.05.14, 채택 2017.05.20)