

# 인구밀도경사함수를 이용한 도시축소현상 진단

— 영주시를 사례로 —\*

김민석\*\* · 변태근\*\*\* · 이상호\*\*\*\*

## A Diagnosis of Shrinking City Using Population Gradient Curve: A Case Study on the City of Yeong-ju\*

Kim, Min-Seok\*\*, Byun, Tae-Geun\*\*\*, Lee, Sang-Ho\*\*\*\*

**국문요약** 전 세계적인 저성장 기조로 인하여 주요 선진국에서는 도시축소문제가 도시정책의 주요 이슈로 대두되고 있다. 국토연구원의 연구결과(2016)에 따르면 우리나라 77개 도시 중 23개 도시가 지속적 또는 일시적 축소도시로 진단되었다. 그러나 축소도시를 진단하는 기준은 단순한 인구통계학적인 측면에 머물러 있으며, 도시의 공간적 축소패턴은 고려되지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 도시공간구조 분석방법의 하나인 인구밀도경사함수를 이용하여 다핵도시인 영주시의 특성을 고려한 도시축소현상을 진단하였다. 진단결과, 영주시는 CBD의 인구밀도 및 인구밀도경사도가 증가하는 축소도시의 특성을 보이고 있다. 동지역의 경우 CBD의 인구밀도 및 인구밀도경사도가 감소하는 스프롤(sprawl) 현상이 나타났다. 또한, 풍기읍의 경우 CBD의 인구밀도만 감소하는 단순축소 현상이 나타났다. 본 연구결과는 한 도시 내에서도 중심지마다 공간변화의 패턴이 상이하게 나타날 수 있다는 것을 보여주었으며, 다핵구조를 갖는 도시의 경우에는 도시 전체뿐만 아니라 세부 지역에 대한 개별적인 진단이 필요하다는 시사점을 도출하였다.

**주제어** 인구밀도경사함수, 축소도시, 도시공간구조, 다핵구조도시

**Abstract:** Due to the global low growth trend, urban shrinkage is a major issue of urban policy in major industrialized countries. According to the research results of the KRIHS(Korea Research Institute for Human Settlements, 2016), 23 out of 77 cities in Korea were diagnosed as continuous or temporary shrinking cities. However, the criterion for diagnosing shrinking cities remain on the simple demographic side, and the spatial shrinkage pattern of the city is not considered. Therefore, this study diagnosed urban shrinkage phenomenon considering the characteristics of Yeong-ju, a poly-centric city, by using the population gradient curve, which is one of the urban spatial structure

\* 본 논문은 2019년 12월 한국지역학회 후기학술대회에서 발표된 논문을 수정 보완한 것임.

\*\* 국립한밭대학교 도시공학과 석사과정(주저자: kms8@naver.com)

\*\*\* (주)유진도시건축연구소 대표이사(arcinfo@hanmail.net)

\*\*\*\* 국립한밭대학교 도시공학과 교수(교신저자: lshsw@hanbat.ac.kr)

analysis methods. As a result of the diagnosis, Yeong-ju turned out to be a shrinking city with the population density and the slope of population density increasing. In the case of area of Dong, a sprawl phenomenon in which the population density of the CBD and the slope of the population density were decreased was shown. And in the case of Punggi-eup, a simple shrinkage phenomenon in which only the population density of the CBD was decreased was shown. The results show that even within a city, the pattern of spatial change can be different for each centers. In the case of a city with a poly-centric structure, the implications for the individual diagnosis of not only the entire city but also the detailed area were drawn.

**Key Words:** population gradient curve, shrinking city, urban space structure, poly-centric structure city

## 1. 서론

도시축소는 지속적이고 심각한 인구감소와 함께 나타나는 물리적 스톱의 공급 과잉현상이라고 정의할 수 있다(구형수, 2016). 우리나라의 중소도시들은 저출생·고령화로 인한 도시축소에 직면해있으며, 국토연구원(구형수, 2016)에서는 우리나라 77개 도시 중 23개 도시를 지속적 또는 일시적 축소도시로 진단하였다. 이상호(2018)는 전국 228개의 지자체 중 3분의 1 이상이 소멸위험지역이라고 주장하고 있다. 이와 같이 우리나라가 겪고 있는 도시축소 문제는 심각해지고 있는 상황이며, 이에 따라 관련 연구도 증가하고 있다.

하지만 대부분의 축소도시 및 지방소멸 관련 연구에서는 인구감소율, 출생률, 고령화율 및 노령화지수 등의 통계적 수치만으로 도시축소 현상을 진단하고 있다. 도시축소 현상은 도시계획의 대상인(수혜자) 지역 내 인구의 정량적 감소뿐만 아니라, 사람들이 활동하는 도시공간의 축소도 매우 중요한 특징이다. 윤갑식(2013)은, 도시공간구조는 해당 도시의 사회·경제적 지표뿐만 아니라 도시형태적 특성을 반영할 수 있는 물리적 지표를 함께 고려하여 측정되어야 한다고 주장하고 있으며, 이상준(1988)은 단순한 형태의 밀도경사함수식으로는 밀도분포의 공간적 변화를 정확하게 기술할 수 없다고 하였다.

도시의 공간구조는 도시의 중심지가 하나인 단핵구

조와 도시의 중심지가 도심 및 1개 이상의 부도심으로 구분되어 있는 다핵구조가 있다. 따라서 본 연구에서는 인구밀도경사함수를 활용하여 도시축소의 공간적인 현황을 진단하였으며, 특히 인구밀도경사함수에 도시의 특성(다핵구조)을 반영할 수 있는 방법을 적용하여 분석하였다. 연구의 공간적 범위는 고착형 축소도시로 선정된 지역 중 하나이며, 도시공간구조가 동지역과 읍지역의 두 개로 명확하게 구분되어 있는 영주시로 하였다. 연구의 시간적 범위는 통계청의 집계구별 인구데이터 구득이 가능한 2000년부터 2017년까지로 설정하였다.

분석모형은 C. Clark(1951)이 사용한 음지수함수(negative exponential model) 형태의 밀도경사함수(population gradient curve)를 사용하였다. 인구밀도경사함수는 CBD의 인구밀도( $D_0$ )와 CBD로부터의 거리( $x$ )를 독립변수로 하고, 거리  $x$ 만큼 떨어진 지점의 인구밀도( $D_x$ )를 종속변수로 하는 모형이며 인구의 공간적 분포패턴을 파악하기에 용이하다. 본 분석에서는 다핵구조 도시의 공간변화를 파악하기 위하여 기본 모형에 더미변수를 추가한 모형과 동지역과 읍지역을 분리한 모형을 추가하여 분석하였다.

## 2. 문헌 고찰

인구밀도함수를 이용한 연구를 살펴보면, 윤갑식

(2013)은 우리나라의 광역시를 제외한 70개 도시의 도시공간구조를 인구밀도경사함수를 이용하여 시계열로 분석하였으며, 비수도권 지역과 인구 20만 미만의 소도시에서 압축도시의 특성이 나타나는 것으로 분석하였다. 하지만 해당 연구의 인구밀도경사함수는 도시의 개별적인 공간적인 특성을 반영하지 못하고, 도시를 단핵구조로 가정하여 중심지에서의 거리를 독립변수로 하고 인구밀도를 종속변수로 하는 단순회귀분석을 적용하였다.

허윤경(2009)은 울산광역시의 도시공간구조의 패턴을 인구밀도, 고용밀도, 지가 등의 자료를 이용하여 분석하였으며, 시계열에 따른 공간구조의 변화를 찾아내어 향후 도시계획의 설정방향을 제시하였다. 최호현(2011)은 울산광역시의 도시공간구조 변화를 파악하기 위하여 고용중심지 및 밀도함수를 분석하였으며, 시기별로 도시의 밀도가 집중과 확산되는 특징이 있다는 것을 파악하였고, 새로운 도시중심지의 식별 가능성을 제시하였다. 김재익(2006)은 밀도함수의 독립변수  $x$ 의 차수를 늘려가면서 설명력( $R^2$ )이 높아지는 모형을 탐색하였다. 그 결과 2차식에서 3차식으로 변할 때 설명력 값이 급격하게 높아지는 것으로 나타났으며, 그 식은 다음과 같다.

$$\ln D_x = \ln D_0 - (g_1x + g_2x^2 + g_3x^3 + \dots + g_nx^n) \quad (\text{식 1})$$

여기서,

$D_x$ : CBD로부터 거리  $X$ 인 지점의 인구밀도

$D_0$ : CBD의 인구밀도

$g$ : 인구밀도 경사도

$x$ : CBD로부터의 거리

다만, (식 1)과 같은 경우 도시의 공간구조가 갖는 특성에 따라  $x$ 의 차수를 어디까지 늘릴 것인가에 대한 기준이 모호하고, 복잡한 요인이 작용하는 도시 공간구조를 단순화시켜 도시 간의 비교를 용이하게 하기 위한 인구밀도경사함수의 목적에 부합하지 않는다고 할 수 있다. 또한, 회귀식의 특성상 함수가 고차화 될 수록 모델의 설명력 값이 자연스럽게 커질 수밖에 없는, 수학적으로 당연한 결과를 내포하고 있기 때문에

고차함수가 실제 도시공간을 정확히 표현한다고 하기에는 한계가 존재한다.

다음으로 도시공간구조의 방향성을 고려한 연구를 살펴보면, 이상준(1988)은 서울시 CBD(서울시청)부터 7개의 간선도로망 주변의 동지역 인구밀도 및 지가를 시 경계까지 7등분하여 3차 사행함수(Cubic Spline)에 각 동 면적의 제곱근을 가중치로 하여 회귀 분석 수행하였다. 그 결과로 면적의 제곱근을 가중치로 적용한 결과, 회귀의 표준오차(Standard Error of Estimation)가 줄어들었으며, 4등분보다 7등분으로 분석하는 경우 회귀의 표준오차가 줄어들었고, 시계열의 변화(1975~1980~1985년)에 따라 CBD에서 3~4km 거리에 있는 지역의 인구밀도는 감소하고, 외곽지역의 인구밀도 증가하며, 7km 거리 이후의 전체적인 인구밀도는 평준화 경향이 있으며, 인구밀도와 지가는 유사한 경향을 보인다는 결과를 제시하였다. 황민아(2012)는 청주시를 4개의 방향별로 섹터를 나누어 지가분포함수를 통해 지가분포에 대한 시계열적 분석 수행하였으며, 섹터별로 도심에서 거리에 따른 지가분포가 상이하게 나타나는 것으로 분석하였다.

이상의 연구를 종합해보면, 인구밀도의 분포를 분석하는 데 있어서 방향성을 고려하는 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 회귀의 표준오차가 감소하고 정밀도가 향상되는 것으로 나타난다. 하지만, 방향성을 고려하기 위하여 섹터를 임의의 기준으로 설정해야 하며 이를 분석해야 할 모든 도시에 적용하기에는 명확한 기준이 존재하지 않고, 도시별 특성을 고려하기 어렵다는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 도시별 특성을 고려하기 위하여, 다핵공간구조를 반영할 수 있는 분석방법을 적용하였다. 구체적으로 인구밀도경사함수의 기본식에 부도심의 영향을 파악하기 위한 더미변수를 추가하였으며, 분석의 범위를 도심과 부도심으로 구분하는 방법을 사용하였다.

### 3. 분석모형 및 분석자료

#### 1) 분석모형

##### (1) 인구밀도경사함수 모델

본 연구에서는 도시공간구조 분석을 위하여, C. Clark(1951)이 사용한 음지수함수(negative exponential model) 형태의 밀도경사함수(population gradient curve)를 사용하며, 모형은 다음의 (식 2)·(식 3)과 같다.

$$D_x = D_0 \cdot e^{-gx} \quad (\text{식 2})$$

양변에 자연로그를 취하면,

$$\ln D_x = \ln D_0 - gx \quad (\text{식 3})$$

$D_x$ : CBD로부터 거리  $x$ 인 지점의 인구밀도

$D_0$ : CBD의 인구밀도

$g$ : 인구밀도 경사도

$x$ : CBD로부터의 거리

다만, 위의 모형은 도시공간에서의 방향성을 반영할 수 없는 한계가 있어 단핵도시구조에 적합하다. 연구의 공간적 범위에 해당하는 영주시의 경우 9행정동 1읍 9면의 행정구역(상망동, 하망동, 영주1동, 영주2동, 휴천1동, 휴천2동, 휴천3동, 가흥1동, 가흥2동, 풍기읍, 이산면, 평은면, 문수면, 장수면, 안정면, 봉현면, 순흥면, 단산면, 부석면)으로 이루어져 있으며, 총 인구 105,519명 중 69.3%인 73,210명이 동지역에 거주하고, 10.2%인 10,797명이 풍기읍에 거주하는 1도심-1부도심의 공간구조를 보이고 있다(행정안전부, 주민등록인구 현황, 2019년 8월 기준). 따라서 영주시와 같은 다핵구조의 도시에서는 다음과 같이 부도심에 대하여 더미변수 처리하는 것을 고려할 수 있다.

$$\ln D_x = \ln D_0 - g_1x + d_1 + d_2 + \dots + d_n \quad (\text{식 4})$$

$n$ : 부도심의 개수

부도심에 대하여 더미변수 처리를 하는 (식 4)를 영주시의 도시공간구조(다핵구조)에 맞게 변형하면, 풍기읍에 해당하는 지역을 더미변수로 처리할 수 있고, 풍기읍을 1, 풍기읍이 아닌 지역을 0으로 두어 인구밀도경사함수에서 풍기읍의 영향을 제거하는 방법으로 분석의 정밀도를 높일 수 있다. 풍기읍을 더미변수 처리하는 식은 다음 (식 5)와 같다.

$$\ln D_x = \ln D_0 - g_1x + d_{\text{풍기읍}} \quad (\text{식 5})$$

추가로, 도심과 부도심 각각의 공간변화 패턴을 관찰하기 위하여 CBD의 위치를 도심과 부도심에 각각 1개씩 설정하여 분석하는 방법도 고려할 수 있으며, 이런 경우 CBD로부터의 거리  $x$ 도 재산정하여 분석하여야 한다. CBD의 위치를 도심과 부도심으로 구분하는 식은 다음 (식 6)·(식 7)과 같다.

$$\ln D_{x\text{도심}} = \ln D_{0\text{도심}} - g_1x_{\text{도심}} \quad (\text{식 6})$$

$$\ln D_{x\text{부도심}} = \ln D_{0\text{부도심}} - g_1x_{\text{부도심}} \quad (\text{식 7})$$

영주시의 경우 동지역을 도심, 풍기읍을 부도심으로 구분할 수 있으며 동지역과 풍기읍의 CBD를 각각 설정하여 분석하는 식은 다음 (식 8)·(식 9)와 같다.

$$\ln D_{x\text{동지역}} = \ln D_{0\text{동지역}} - g_1x_{\text{동지역}} \quad (\text{식 8})$$

$$\ln D_{x\text{풍기읍}} = \ln D_{0\text{풍기읍}} - g_1x_{\text{풍기읍}} \quad (\text{식 9})$$

본 연구의 분석모형을 정리하면 크게 네 가지이며, 첫째, 기본적인 인구밀도경사함수(식 3), 둘째, 부도심(풍기읍)을 더미변수 처리한 인구밀도경사함수(식 5), 셋째, CBD를 도심(동지역)으로 설정한 인구밀도경사함수(식 8), 넷째, CBD를 부도심(풍기읍)으로 설정한 인구밀도경사함수(식 9)로 구분된다. 분석에 사용한 모형을 정리하면 다음 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 분석모형 요약

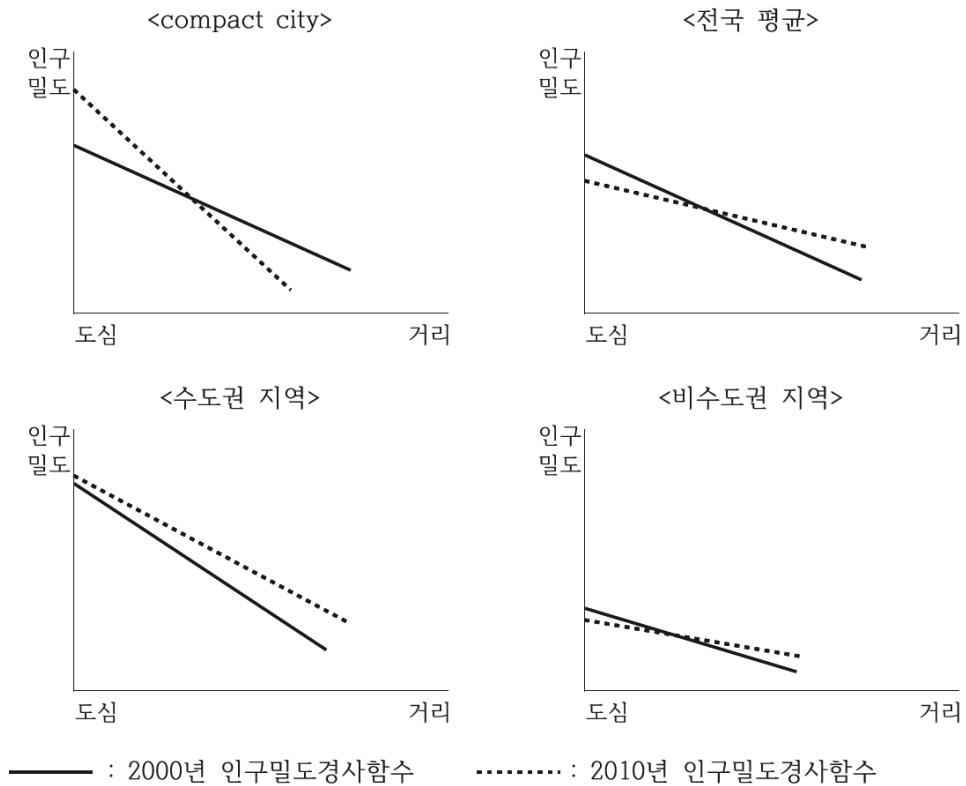
구분		모형 1(식 3)	모형 2(식 5)	모형 3(식 8)	모형 4(식 9)	
모델	특징	기본모형	부도심 더미	CBD 변경	CBD 변경	
	CBD 위치	영주시 중심	영주시 중심	동지역 중심	풍기읍 중심	
	더미변수	-	풍기읍 = 1	-	-	
데이터	분석 시점		2000년 2017년	2000년 2017년	2000년 2017년	
	분석 범위		영주시 전체	영주시 전체	동지역	풍기읍
	데이터 개수	2000년	196개	196개	127개	27개
		2017년	224개	224개	155개	27개

주: 인구가 존재하는 유효한 집계구(case) 수는 2000년은 196개(동지역 127개, 풍기읍 27개, 면지역 42개)이며, 2017년은 224개(동지역 155개, 풍기읍 27개, 면지역 42개)임

(2) 인구밀도경사함수의 결과 해석

인구밀도경사함수의 분석결과는 인구밀도의 기울기  $g$ 와 CBD의 인구밀도  $D_0$ ( $y$ 절편)를 갖는 1차함수 그래프로 나타난다. 대부분의 도시들은 CBD에서 거리

가 멀어질수록 인구밀도가 감소하는 경향을 보이며, 기울기  $g$ 는 음의 값을 나타낸다. 윤갑식(2013)은 우리나라 중소도시들의 인구밀도경사함수 분석결과를 네 가지 유형으로 제시하고 있다.



〈그림 1〉 도시 유형별 인구밀도경사함수 분석결과  
출처: 윤갑식, 2013.

첫 번째 유형은 ‘compact city(축소도시)’이며 시계열의 변화에 따라 CBD의 인구밀도 및 기울기가 증가하는 형태이다. 두 번째 유형은 ‘전국 평균’이며 CBD의 인구밀도 및 기울기가 감소하는 형태이다. 전국 평균의 경우 도심의 인구가 줄어들면서 외곽으로 시가화지역이 확산되는 스프롤(sprawl) 현상을 나타내는 형태이다. 세 번째 유형은 ‘수도권 지역’이며 CBD의 인구밀도는 증가하는 반면 기울기는 감소하는 형태이다. 수도권 지역의 경우 인구의 지속적인 증가와 각 도시별 외곽개발이 확대되고 있기 때문에 이러한 형태로 나타나고 있다. 마지막 유형은 ‘비수도권 지역’이며 CBD의 인구밀도가 및 기울기가 감소하는 ‘전국 평균’과 유사한 형태로 나타난다. 다만, 전국 평균에 비해 인구밀도의 절댓값이 낮은 지방 중·소도시의 모습을 보여주고 있다.

## 2) 분석자료

### (1) 분석자료 검토

인구밀도경사함수에서 CBD와 각 인구분포점과의 거리 산정을 위하여 인구측정 단위공간의 중심점 산출이 필요하며, 일반적으로 해당 공간(polygon)의 지리적 무게중심점(centroid)으로 나타나게 된다.

기존의 인구밀도경사함수를 활용한 도시공간구조 분석 문헌(윤갑식, 2013)에서는 도심(CBD)의 위치를 시청으로, 인구데이터를 읍면동 단위의 2000년과 2010년의 자료를 사용하였다. CBD의 위치를 시청으로 가정하는 경우, 시청이 도심의 외곽에 존재하거나 시청 주변지역의 쇠퇴로 인해 해당 도시 중심지로의 기능을 상실한 경우에는 통계적 유의성이 감소하게 된다.

인구데이터의 경우 읍면동 단위의 자료를 사용하면, 특히 도심 외곽에 존재하는 동단위 지역의 경우 도심에 가까운 쪽에 인구가 밀집되어있는 경향을 보이지만 해당 동의 지리중심점은 인구밀집지역과는 동떨어진 곳에 위치하게 된다. 따라서 본 연구에서는 좀더 정확한 분석을 위하여, CBD의 위치를 그 도시의 인구중심점으로, 인구데이터는 집계구 단위의 2000

년과 2017년의 자료를 사용하였다. 여기서 사용한 집계구는 통계지리정보서비스(SGIS)에서 제공하는 2018년 기준 집계구 공간정보를 사용하였다.

### (2) 인구중심점

인구중심점은 한 지역의 지리적 중심점에 인구를 가중평균하여 산출한 것이며, 중심점이 인구가 많은 쪽으로 치우치게 된다. 단위면적이 작은 공간에서는 큰 차이를 보이지 않지만, 단위면적이 크고 인구분포가 특정 지역에 집중되어 있는 경우는 지리적 중심점과 인구중심점 간의 차이가 크게 나타나게 된다. 인구중심점을 산출하는 식은 다음 (식 10)과 같다.

$$\bar{X} = \frac{\sum p_i X_i}{\sum p_i}, \bar{Y} = \frac{\sum p_i Y_i}{\sum p_i} \quad (\text{식 10})$$

$\bar{X}$  = 인구중심점의 X좌표

$\bar{Y}$  = 인구중심점의 Y좌표

$X_i$  = i지역지리중심점의 X좌표

$Y_i$  = i지역 지리중심점의 Y좌표

$p_i$  = i지역의 인구

2017년 통계청 인구센서스 자료의 집계구별 인구데이터 및 공간데이터를 이용하여 인구중심점을 산출하였으며, 영주시 전체 및 도심(동지역), 부도심(풍기읍)의 인구중심점은 다음 <표 2>와 같다.

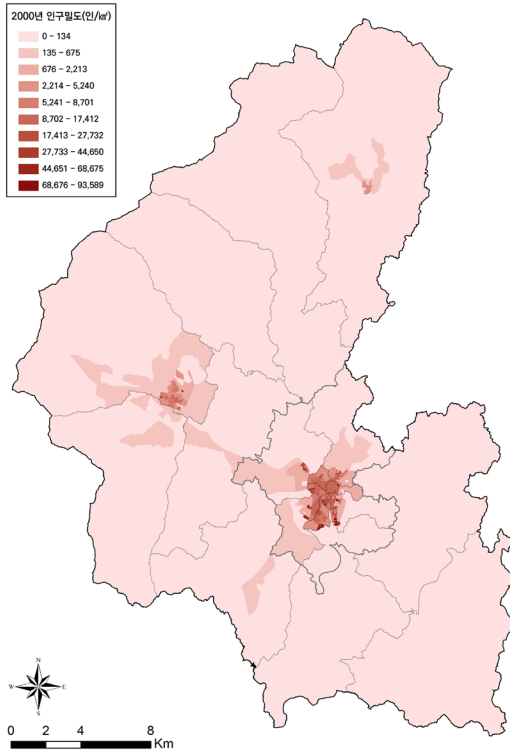
<표 2> 영주시 인구중심점 산출 결과

중심점 구분	X좌표	Y좌표
영주시 전체	1098554.01	1871065.08
도심(동지역)	1099936.77	1869607.31
부도심(풍기읍)	1091200.22	1875972.20

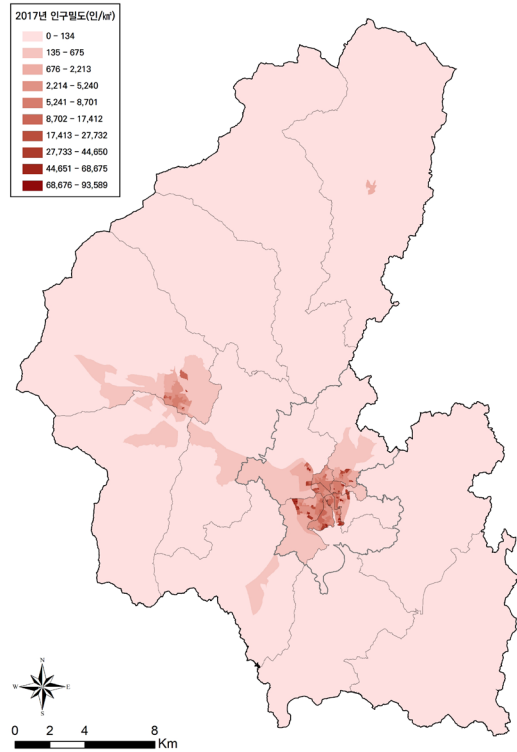
주: 인구중심점 산출에 사용한 좌표계는 UTM-K (GRS80타원체, EPSG:5179)임

### (3) 인구데이터

기존 연구에서는 읍면동 단위의 인구데이터를 사용하였으나, 분석의 정밀도 향상을 위하여 본 연구에서는 집계구 단위의 인구데이터를 사용하였다. 도시공간구조의 변화를 시계열의 변화에 따라 파악하기



〈그림 2〉 2000년 영주시 인구밀도



〈그림 3〉 2017년 영주시 인구밀도

위하여 집계구 인구데이터 구득이 가능한 2000년과 2017년의 값을 사용하였다. 2000년과 2017년의 영주시 인구밀도 분포를 비교해 보면, 동지역의 경우 인구밀도가 늘어난 집계구가 다수 있는 것으로 나타났고, 풍기읍 및 면지역의 경우 인구밀도가 감소한 지역이 다수 있는 것으로 나타났다.

분석에 사용되는 집계구는 2000년 196개, 2017년 224개이다. 2000년에는 영주시 가흥동택지지구의 개발이 이루어지기 이전이며, CBD로부터의 거리를 산출하기 위한 집계구 공간데이터는 2018년 통계지리정보서비스(SGIS) 센서스 공간 통계 자료를 사용하였기 때문에 28개의 집계구에 대하여 2000년도 인구밀도 값을 결측처리되었다.

#### 4. 분석결과

##### 1) 인구밀도경사함수 기본모델(모형1)

첫 번째로, 인구밀도경사함수 기본모델로 영주시의 공간구조를 분석한 결과 모델의 설명력( $R^2$ )은 2000년 33.4%, 2017년 44.3%로 나타났다. 또한, 2000년에 비해 2017년의 경사도  $g$ 값이  $-0.373$ 에서  $-0.430$ 으로 증가하는 것으로 나타났으며, CBD의 인구밀도  $D_0$ 의 값도  $13,657(e^{9.522})$ 인/ $km^2$ 에서  $20,537(e^{9.930})$ 인/ $km^2$ 으로 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 영주시가 CBD의 인구밀도가 증가하고, 외곽의 인구밀도가 감소하는 전형적인 도시축소 현상이 나타나고 있는 것을 보여준다.

2000년의 경우,  

$$Y_{2000} = 9,522 - 0.373x$$
(38,943)      (-9,853)  

$$F = 97.089, R^2 = 0.334$$

2017년의 경우,

$$y_{2017} = 9.930 - 0.430x$$

(50,345)    (-13,294)

$$F = 176.731, R^2 = 0.443$$

여기서,

$y_{2000}$ : 2000년 인구밀도

$y_{2017}$ : 2017년 인구밀도

$x$ : CBD로부터의 거리(이후 모형에도 동일) (식 11)

## 2) 인구밀도경사함수에 부도심(풍기읍)을 더미변수 처리(모형 2)

두 번째로, 인구밀도경사함수에 더미변수를 추가한 모델로 영주시의 공간구조를 분석한 결과 모델의 설명력( $R^2$ )은 2000년 38.1%, 2017년 48.5%로 나타나, 기본모델에 비하여 설명력이 높아졌다. 이는 인구밀도경사함수가 갖고 있는 직선모형의 한계를 고려하여 외곽지역의 인구밀집지역인 풍기읍을 더미변수로 처리하여 얻어진 결과로 보인다. 또한, 2000년에 비해 2017년의 경사도  $g$ 값이  $-0.430$ 에서  $-0.487$ 로 증가하는 것으로 나타났으며, CBD의 인구밀도  $D_0$ 의 값도  $14,172(e^{9.559})$ 인/ $\text{km}^2$ 에서  $21,634(e^{9.982})$ 인/ $\text{km}^2$ 으로 증가하는 것으로 나타나, 모형 1에 비하여 기울기 및 CBD의 인구밀도가 증가하는 것으로 나타났다.

2000년의 경우,

$$y_{2000} = 9.559 - 0.430x + 1.816d_r$$

(40,436)    (-10,902)    (3,859)

$$F = 59,465, R^2 = 0.381$$

$$\begin{cases} d_r = 0 \text{ (풍기읍이 아닌 경우),} \\ y_{2000} = 9.559 - 0.430x \\ d_r = 1 \text{ (풍기읍인 경우),} \\ y_{2000} = 11.375 - 0.430x \end{cases}$$

2017년의 경우,

$$y_{2017} = 9.982 - 0.487x + 1.753d_r$$

(52,392)    (-14,341)    (4,233)

$$F = 104,061, R^2 = 0.485$$

$$\begin{cases} d_r = 0 \text{ (풍기읍이 아닌 경우),} \\ y_{2017} = 9.982 - 0.487x \\ d_r = 1 \text{ (풍기읍인 경우),} \\ y_{2017} = 11.735 - 0.487x \end{cases}$$

여기서,  $d_r$ : 풍기더미

(식 12)

## 3) 인구밀도경사함수의 CBD를 도심(동지역)으로 설정(모형 3)

세 번째로, 인구밀도경사함수의 CBD를 동지역으로 설정하여 영주시 동지역의 공간구조를 분석하였다. 영주시 동지역을 CBD로 설정하여 인구중심점 및 중심점으로부터의 거리를 재산정하여 인구밀도경사함수를 분석한 결과, 모델의 설명력( $R^2$ )은 2000년 27.8%, 2017년 18.9%로 나타나 기존 모형에 비해 설명력이 낮아졌다. 이는 영주시 동지역의 경우 영주시 전체의 공간적인 인구밀도 변화패턴과는 다른 양상을 보인다는 것을 의미한다. 실제로 2000년에 비해 2017년의 경사도  $g$ 값이  $-1.265$ 에서  $-0.943$ 으로 낮아지는 것으로 나타났으며, CBD의 인구밀도  $D_0$ 의 값도  $39,537(e^{10.585})$ 인/ $\text{km}^2$ 에서  $34,098(e^{10.437})$ 인/ $\text{km}^2$ 으로 낮아지는 것으로 나타났다. CBD의 인구밀도 및 인구밀도경사도가 모두 감소하는 것은 동지역이 스프롤(Sprawl) 현상을 보인다고 판단할 수 있다.

2000년의 경우,

$$y_{2000} = 10.585 - 1.265x$$

(35,713)    (-6,946)

$$F = 48,241, R^2 = 0.278$$

2017년의 경우,

$$y_{2017} = 10.437 - 0.943x$$

(40,990)    (-5,964)

$$F = 35,572, R^2 = 0.189$$

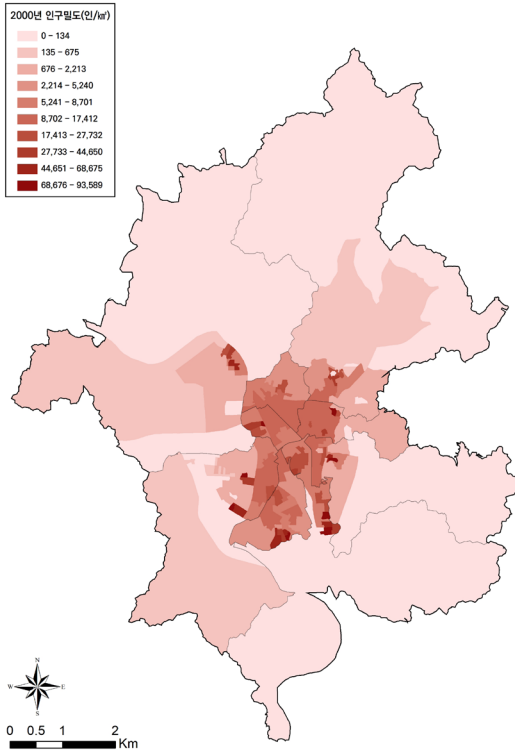
(식 13)

실제로, 2000년과 2017년의 동지역의 집계구별 인구밀도 변화를 보면(〈그림 4〉, 〈그림 5〉) 가흥동 택지구 개발 등으로 인한 외곽지역으로의 확산현상이 발생하고 있는 것을 볼 수 있다.

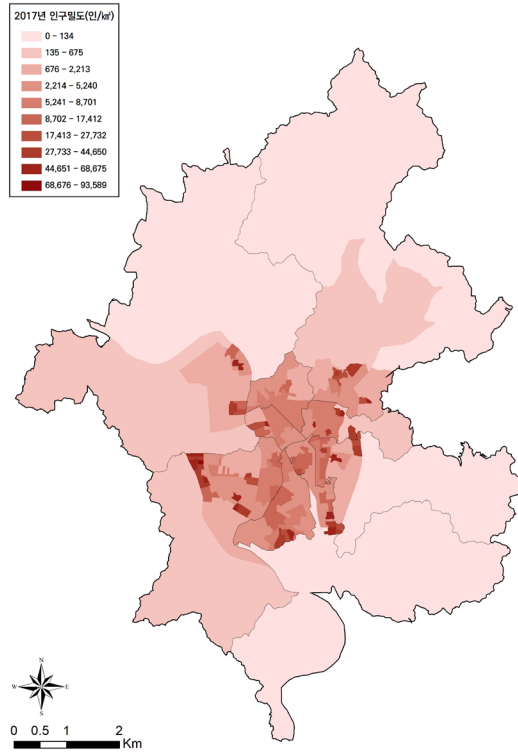
## 4) 인구밀도경사함수의 CBD를 부도심(풍기읍)으로 설정(모형 4)

네 번째로, 인구밀도경사함수의 CBD를 부도심으로 설정하여 영주시 풍기읍의 공간구조를 분석하였다. 영주시 풍기읍을 CBD로 설정하여 인구중심점 및 중심점으로부터의 거리를 재산정하여 인구밀도경사함수를 분석한 결과, 모델의 설명력( $R^2$ )은 2000년 49.3%, 2017년 58.3%로 나타나 기존 모형에 비해 설





〈그림 4〉 2000년 동지역 인구밀도



〈그림 5〉 2017년 동지역 인구밀도

명력이 높아졌다. 2000년에 비해 2017년의 경사도  $g$  값은  $-1.067$ 에서  $-1.050$ 으로 낮아지는 것으로 나타났다. CBD의 인구밀도  $D_0$ 의 값도  $9,897(e^{2.200})$ 인/ $km^2$ 에서  $8,358(e^{2.031})$ 인/ $km^2$ 으로 낮아지는 것으로 나타났다. 풍기읍도 동지역과 동일하게 CBD의 인구밀도 및 인구밀도경사도가 모두 감소하는 것으로 나타나지만, 경사도의 감소폭이 매우 적기 때문에 풍기읍은 단순 인구감소현상이 나타난다고 볼 수 있다.

2000년의 경우,

$$y_{2000} = 9.200 - 1.067x$$

(19,561)      (-4,931)

$$F = 24.319, R^2 = 0.493$$

2017년의 경우,

$$y_{2017} = 9.031 - 1.050x$$

(23,418)      (-5,918)

$$F = 35.021, R^2 = 0.583$$

(식 14)

실제로, 2000년과 2017년의 풍기읍의 집계구별 인

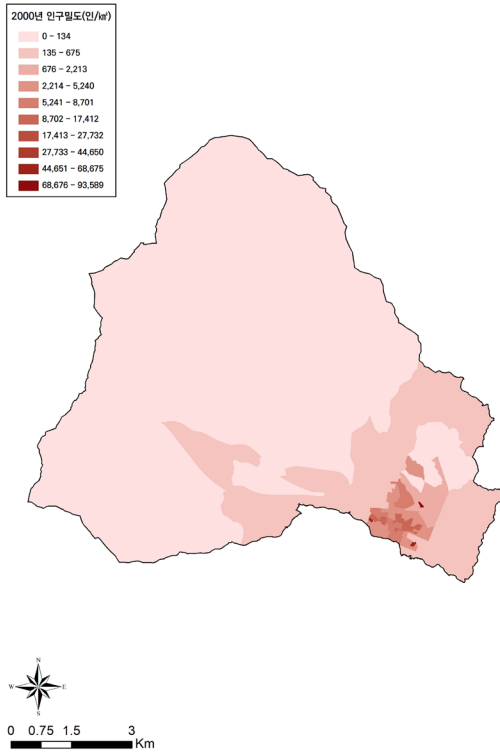
구밀도 변화를 보면(〈그림 6〉, 〈그림 7〉) 전체적인 인구 감소세가 나타나는 것을 볼 수 있다.

### 5) 분석결과 종합

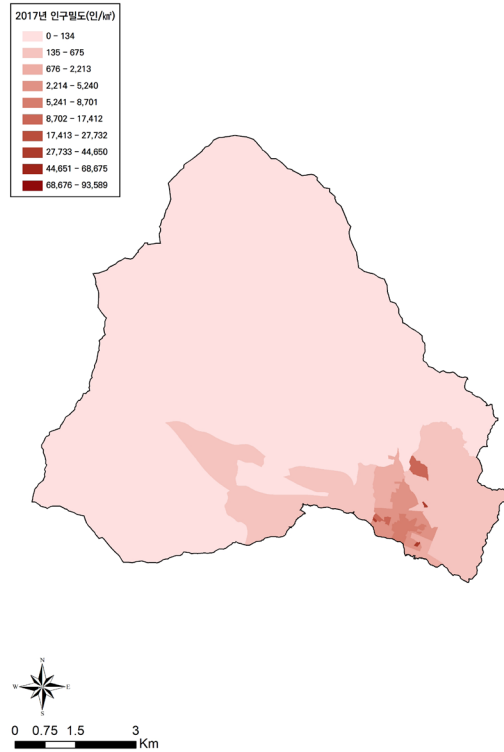
#### (1) 설명력 비교

이상 네 가지 모형의 설명력을 비교해 보면, 첫째, 기본 모형에 비해 풍기읍을 더미변수 처리한 모형의 설명력이 높게 나타났다. 이는 영주시 외곽에 위치한 부도심인 풍기읍이 영주시 전체를 대상으로 분석한 인구밀도경사함수 모형의 잔차를 증가시키는 것을 의미하며, 다핵구조의 도시를 분석하는 경우 부도심의 영향을 반드시 고려해야 한다는 것을 의미한다.

둘째, 동지역과 풍기읍을 각각 분리하여 분석한 경우 동지역보다 풍기읍의 설명력이 높은 것으로 나타났다. 이는 동지역이 영주시 전체 인구밀도경사함수의 경향에서 벗어난다는 것을 의미한다.



〈그림 6〉 2000년 풍기읍 인구밀도



〈그림 7〉 2017년 풍기읍 인구밀도

(2) 지역적 비교

인구밀도경사함수 분석결과를 지역적으로 구분하여 비교하면, 영주시는 CBD의 인구밀도 및 인구밀도의 기울기가 동시에 증가하는 축소도시로 나타났다. 즉, 영주시 외곽지역의 인구밀도가 줄어들고 도심으로 집중되는 모습을 보이는 것을 의미한다. 추가로, 1도심-1부도심의 다핵구조를 갖고 있는 영주시의 공간적인 특성을 반영하기 위하여 모델의 변화를 주어 분석한 결과, 부도심(풍기읍)을 터미변수로 처리하는 경우 설명력이 높게 나타났으며 더욱 뚜렷한 축소도시 경향을 관찰할 수 있었다.

인구의 70%가 동지역에 집중되어 있고 인구의 10%를 차지하는 풍기읍이 직선거리로 평균 10km 이상 떨어져 있는 영주시의 도시 공간구조의 특성상, 기존의 인구밀도경사함수로는 이를 정확히 반영하는 데에 한계가 있었으며, 터미변수 추가로 유의미한 분석결과를 도출해 낼 수 있었다.

반면, 동지역과 풍기읍을 구분하여 분석한 경우에는 영주시 전체를 분석한 경우와 다른 패턴으로 나타났다. 동지역의 경우 CBD의 인구밀도가 감소하고 외곽의 인구밀도가 증가하는 스프롤(sprawl) 현상을 보이고 있으며, 풍기읍의 경우 CBD의 인구밀도 및 외곽의 인구밀도가 동시에 감소하는 단순 축소현상(쇠퇴)을 보이고 있다.

(3) 시점 간 비교

두 시점 간 비교가 가능한 모형 1·2·3·4의 그래프를 그려보면 〈그림 8〉과 같다. 모형 1은 기본모델로 축소도시의 모습을 나타내고 있으며, 모형 2는 풍기읍을 터미처리한 모델로 모형 1에 비해 CBD의 인구밀도 및 기울기가 높아진 것을 볼 수 있다. 모형 3은 동지역을 중심으로 분석한 결과로 모형 1·2에 비해 CBD의 인구밀도 및 기울기가 급격하게 증가한 것을 볼 수 있다. 또한, 시간 변화에 따른 분포패턴이 모형

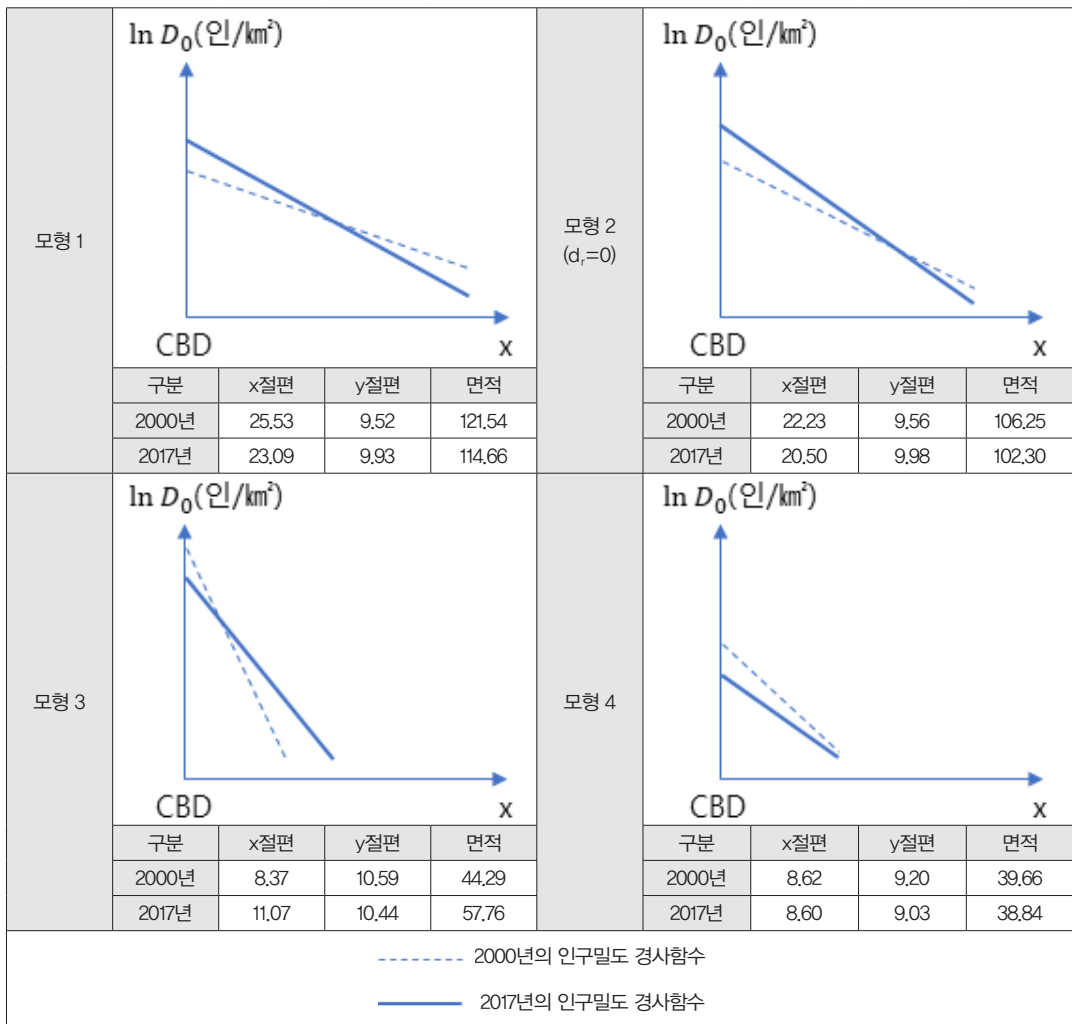
〈표 3〉 모형별 분석결과 비교

구분	연도	g		D <sub>0</sub> (인/km <sup>2</sup> )		d <sub>i</sub> (풍기음=1)		F	R <sup>2</sup>
		β	t-value	β	t-value	β	t-value		
모형 1	2000년	-0.373	-9.853***	13,657	38,943***	-	-	97.089	0.334
	2017년	-0.430	-13.294***	20,537	50,345***	-	-	176.731	0.443
모형 2	2000년	-0.430	-10.902***	14,172	40,436***	1.816	3.859***	59,465	0.381
	2017년	-0.487	-14.341***	21,634	52,392***	1.753	4.233***	104,061	0.485
모형 3	2000년	-1,265	-6,946***	39,537	35,713***	-	-	48,241	0.278
	2017년	-0,943	-5,964***	34,098	40,990***	-	-	35,572	0.189
모형 4	2000년	-1,067	-4,931***	9,897	19,561***	-	-	24,319	0.493
	2017년	-1,050	-5,918***	8,358	23,418***	-	-	35,021	0.583

\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

주: D<sub>0</sub>(CBD 인구밀도) 값은 자연로그(natural logarithm) 값으로 회귀분석 후, 지수(exponential) 값으로 환원한 결과

〈그림 8〉 2000년과 2017년의 인구밀도경사함수 분석결과 비교



주: 면적 = x절편×y절편×0.5

1·2와 정반대로 나타난다. 모형 4는 풍기읍을 중심으로 분석한 결과로 CBD 및 외곽의 인구밀도가 모두 감소하는 모습을 볼 수 있다.

한편, 그래프에서  $x$ 절편은 CBD로부터의 거리(km),  $y$ 절편은 CBD의 인구밀도(인/km<sup>2</sup>)이기 때문에, 1차 함수 그래프와  $x$ 축,  $y$ 축으로 둘러싸인 면적의 변화량은 인구 및 시가화면적의 변화량과 관계가 있다고 볼 수 있다. 모형 1의 경우 면적 값이 121.54에서 114.66으로 감소하며, 모형 2의 경우도 106.25에서 102.30으로 감소하는 것으로 나타난다. 실제 영주시의 인구(행정안전부 주민등록인구 기준)는 2000년 131,175명에서 2017년 108,371명으로 감소하고 있는 것으로 나타나고, 외곽지역(읍면지역)의 인구감소로 도시공간이 축소하는 등, 그래프의 면적 변화와 동일한 패턴인 것을 확인할 수 있다. 반면, 모형 3의 경우 면적 값이 44.29에서 57.76으로 증가하는 것으로 나타나는데, 실제 동지역의 인구는 2000년 84,266명에서 2017년 74,751명으로 감소하였으나 가흥동 택지지구의 개발 등 도시공간이 증가한 데서 기인했다고 볼 수 있다. 모형 4의 경우 면적 값이 39.66에서 38.84로 감소하며, 실제 풍기읍의 인구는 2000년 16,093명에서 2017년 11,211명으로 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하였을 때, 인구밀도경사함수 분석결과와 설명력, CBD인구밀도 및 기울기의 변화, 그래프의 면적 변화 등은 실제 영주시 공간구조변화를 상당 부분 설명하고 있다고 볼 수 있다. 또한, 하나의 도시지역 내에서 지역 전체를 분석한 결과와 세부지역(도심, 부도심)을 구분하여 분석한 결과가 상이하게 나타났으며, 본 연구의 결과는 다핵구조의 공간구조를 갖는 도시에 대한 공간변화 분석이 도시의 중심지를 고려한 복합적인 측면에서 이루어져야 한다는 것을 시사하고 있다.

## 5. 결론

우리나라는 최근 저출생·고령화 현상이 심화되어 지방 중·소도시의 인구감소 및 도시축소 현상이 급격

하게 증가하고 있는 상황이다. 본 연구에서는 도시축소현상을 단순 시계열 통계에 의한 진단이 아닌 도시공간적인 구조를 진단하기 위하여, 분석방법으로 인구밀도경사함수를 사용하였다.

하지만, 기존의 인구밀도경사함수는 도시 공간구조의 특성을 배제하여 단일 도심으로 가정하고 분석하였으며, 분석의 편의를 위하여 읍면동의 행정구역 단위로 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 분석의 정밀도를 높이기 위하여 기본모델에 터미변수를 추가하거나 CBD의 위치를 조정하는 등의 변화를 주어 분석하였다. 분석결과, 영주시는 축소도시로 나타났으며, 영주시의 공간적인 특성을 반영하기 위하여 모델의 변화를 주어 분석한 결과, 부도심(풍기읍)을 터미변수로 처리하는 것이 설명력이 높게 나타났다. 또한, 영주시 전체적인 공간변화 패턴과 동지역, 풍기읍의 공간변화 패턴이 상이한 것도 확인할 수 있었다.

다만, 본 연구에서 활용한 모델이 유사한 형태의 타 도시에도 적용이 가능한지 여부는 추가 연구가 필요한 것으로 판단되며, 부도심이 두 개 이상인 경우에는 터미변수처리 방법에 대한 시뮬레이션 등의 연구도 필요할 것이다.

본 연구는 다핵구조의 중·소도시 중 비교적 단순한 구조(1도심-1부도심)인 영주시를 공간적 범위로 하여 도시축소현상을 진단하였다. 통계자료로 파악할 수 있는 동지역으로의 인구집중 및 외곽지역의 인구감소현상을 공간상에서 좀 더 정확하게 파악했다는 것에 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

본 연구에서 사용한 방법론은 다양한 개별도시의 공간특성에 맞는 모형을 개발할 수 있는 가능성을 확인했다는 측면에서 의의가 있다. 다만, 영주시와 유사한 구조의 타 도시 또는 다핵구조의 도시에도 이러한 방법론이 적용될 수 있는지 여부는 추가적인 연구가 필요한 상황이다. 본 연구를 발전시켜 관련 분야 전문가 및 지방 중·소도시에서는 지역 전체뿐만 아니라 세부지역(도심 및 부도심)에 대한 도시축소현상을 정확하게 진단하고 악순환을 방지하기 위한 선제적인 대응을 해야 할 것이다. 특히, 외곽개발이 활발하게 일어나 통계적으로는 인구가 감소하지 않는 도시의 경

우, 본 분석방법을 활용하여 구도심의 인구감소 및 쇠퇴현상에 대비할 필요성이 있다.

또한, 국가 정책적인 측면에서도 지방 중·소도시들이 갖고 있는 공간구조 및 개별적인 특징을 파악하여 도시축소 현상을 진단할 수 있는 기준을 시급히 마련하여야 할 것이다.

**참고문헌**

강병기·최봉문·권일, 1997, 서울 인구밀도분포의 공간적 변화 분석 및 예측 시뮬레이션, 『국토계획』, 제32권 6호, pp.49-65.

강세진, 2009, 인천광역시 내 중심기능의 유형 분류 및 공간적 분포패턴 변화에 관한 연구, 『국토계획』, 제44권 2호, pp.195-207.

구형수·김태환·이승욱·민범식, 2016, 저성장 시대의 축소 도시 실태와 정책방안 연구, 국토연구원.

김재익·정현욱, 2006, 대도시 인구 및 주택밀도함수의 특성-구광역시 사례연구, 『주택연구』, 제14권 1호, pp.195-213.

김형기·서경천·이성호, 2003, 도심의 인구밀도곡선 및 스카이라인 곡선에 관한 연구, 『국토계획』, 제38권 5호, pp.231-246.

남광우·이성호, 2001, 인구밀도 및 인구잠재력의 공간적 변동성에 관한 연구-부산광역시(1966-1995년)를 중심으로, 『국토계획』, 제36권 4호, pp.57-76.

신정엽·김진영, 2012, 도시 스프롤에 대한 논의 재조명과 공간 분석 방법론에 토대한 도시 스프롤 측정 연구-수도권을 사례로, 『서울법학』, 제19권 3호, pp.317-354.

윤갑식·이갑정, 2013, 인구밀도경사함수를 이용한 우리나라 도시공간구조의 지역별·규모별 변화특성 분석, 『한국경제지리학회지』, 제16권 3호, pp.445-457.

이상준·유완, 1988, 가로망에 따른 인구밀도 및 지가분포의 변화, 『대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계』, 제8권 2호, pp.281-284.

이상호, 2018, 한국의 지방소멸 2018 - 2013~2018년까지의 추이와 비수도권 인구이동을 중심으로, 『고용동향브리프』, 한국고용정보원.

이희연·심재현, 2003, 『GIS지리정보학』, 법문사.

정창무·이춘근, 2004, 수도권 공간구조의 적정성 분석-인구분포를 중심으로, 『규제연구』, 제13권 1호, pp.101-

129.

최형관·장문현·이민석·김화환, 2018, 정규 격자망 분석을 통한 도시쇠퇴 측정 고도화 연구, 『한국지역지리학회지』, 제24권 1호, pp.143-158.

최호현·김선범, 2011, 울산시 공간구조의 변화특성, 『대한건축학회 논문집-계획계』, 제27권 3호, pp.261-268.

한상욱·오상진·박병호, 2008, 대도시 인구중심 및 밀도변화 패턴 분석-50-100만 도시를 중심으로, 『한국지역개발학회지』, 제20권 3호, pp.67-82.

허윤경·이주영, 2009, 울산의 도시공간구조 변화 분석, 『국토계획』, 제44권 2호, pp.111-121.

황민아·김정은·윤기범·황희연, 2012, 도시 내 방향별 섹터의 지가분포 특성에 대한 시계열적 분석-청주시 도심으로부터 거리 중심으로, 『국토계획』, 제47권 4호, pp.293-313.

국가통계포털(KOSIS), <http://kosis.kr>.

통계지리정보서비스(SGIS), <http://sgis.kostat.go.kr>.

계재신청 2019.11.20.  
 심사일자 2019.12.02.  
 게재확정 2019.12.10.  
 주저자: 김민석, 교신저자: 이상호