

GIS분석기법을 이용한 도시화 지역의 공간적 분포패턴에 관한 연구: 수도권의 도시성장을 중심으로*

정재준** · 노영희***

요약: 도시화 지역은 지역발전과 더불어 공간적 범위가 확대되고 있다. 수도권 역시 예외는 아니어서 1960년대 이후 우리나라의 경제개발을 주도하며 도시화 지역의 공간적 범위가 확대일로에 있다. 그러나 도시화 지역의 공간적 분포를 평가함에 있어 그 분포 양상이 집적형태인지 임의적 형태인지 아니면 분산된 형태인지는 정확히 판단하기 어렵다. 즉, 시기가 지남에 따라 도시화 지역이 확대되기는 하지만 정량적으로 그 분포를 판단하기란 쉽지 않다.

본 연구는 GIS의 통계적 분석 기법을 이용하여 도시화 지역의 확대와 성장이 도시화 지역의 분포 패턴에 어떠한 영향을 주었는지를 살펴보고자 하는 것이다. 시계열적 도시성장 과정에서 수도권 내 도시화 지역의 분포패턴을 파악하고자 래스터 기반의 GIS 분석방법, 방격 분석(quadrat analysis), 그리고 최근린 분석(nearest neighbor analysis)을 사용하였다. 실험 결과 수도권의 도시화 지역의 집적정도는 1980년대 초반까지는 증가하다가 그 후로는 약화되는 것으로 분석되었다. 또한 1980년대 중반 이후 수도권 내에서는 외연적 성장이 약화되고 비지적 도시성장 또는 도로망과 연계한 소규모 개발이 증가함을 알 수 있었다.

주요어: GIS(Geographic Information Systems), 점분포 패턴, 방격 분석, 최근린 분석, 공간분포 패턴

1. 서론

수도권은 지난 50여 년 간 질적인 발전과 양적인 발전을 동시에 겪었다. 시간이 흐름에 따라 도시로 집중되는 인구로 인해 점차 그 경계를 확장해 왔고 그에 따라 수용인구 또한 증가하였으며, 이런 변화가 지속적으로 일어나 지금에 이르렀다. 이러한 공간적 변화나 인구의 변화는 과거의 데이터를 기준으로 하여 증가 혹은 감소라는 판단을 내릴 수 있지만, 도시적 특성을 가지고 있는 도시화 지역(행정구역에 근거

한 도시의 개념과 대별하기 위해 도시화 지역이라 칭함)의 응집성 정도를 시계열적으로 판단하기란 쉽지 않은 않다. 도시화 지역의 응집성은 단지 수도권이 양적 팽창과정을 거친다고 해서 증가하는 것이 아니기 때문이다.

수도권의 경우 도시화가 급속히 진행되었고, 그 개발밀도가 매우 높다고 하지만 실제로 개발된 도시화 지역들은 과거에 비해서 공간상에서 넓게 산포되어 있다. 즉, 도시화 지역이 수도권이라는 단위 공간상에서 차지하는 밀도는 높아졌으나 그 분포가 집적되

* 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-332-B00586)

** 성신여자대학교 지리학과 조교수

*** 성신여자대학교 지리학과 대학원 석사과정

어 있는지 아니면 분산되어 있는지는 정량적으로 평가되지 못했던 실정이다.

따라서, 수도권 도시화 지역의 분포패턴을 평가하기 위한 본 논문에서는 먼저, 지금까지의 수도권 도시화 지역의 성장과정을 시계열적으로 파악하였다. 그 후 수도권 도시화 지역을 점사상이라 가정하여 점분포 패턴의 분석에 사용되는 방격 분석과 최근린 분석을 통하여 도시화 지역의 응집도를 평가하였다.

점분포 패턴에 대한 연구는 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔으며(Diggle, 1983;이희연, 1989; 남영우, 1992; Bailey and Gatrell, 1995; Gatrell, et al., 1996, Besussi and Chin, 2003), 우리나라에서도 점분포 패턴을 이용하여 지리적인 사상의 분포형태를 탐구하는 연구가 상당히 여러 분야에서 진행되어 왔다. 기존 연구들은 주로 위치를 가지는 구체적인 대상물을 그 대상으로 삼고 있었으나(문태현, 1995; 이병길, 2003; 신우진 등, 2002) 본 연구에서는 도시화 지역의 분포를 연구대상으로 하여 분포 패턴을 정량적으로 파악하고자 한다.

2. 점분포 패턴의 평가방법

점분포 패턴의 분석을 위해서 본 논문에서는 벡터 형태와 래스터 형태의 자료를 사용한다(3장 참조). 따라서 입력데이터가 도시화 지역을 래스터 형식으로 나타내는 경우에는 군집수, 군집면적, 군집둘레, 프랙탈 차원 등을 이용하여 공간적 분포상태를 시계열적으로 파악하였고, 입력데이터가 도시화 지역의 위치를 나타내는 포인트 형태의 벡터자료인 경우에는 방격 분석과 최근린 분석을 사용하였다.

1) 래스터 기반의 분석

본 연구를 위한 기초 자료는 위성영상을 분류한 래스터 데이터이다. 래스터 데이터를 이용한 사상의 공

간 분포에 관한 분석은 가설검정 등의 실증적인 분석 도구는 아니지만 실제 공간상에서 시계열적 분포패턴의 변화를 잘 나타낼 수 있는 장점이 있다. 래스터 데이터에 기반하여 공간분포를 측정할 수 있는 방법은 아래와 같은 방법들이 있다(정재준, 2001).

(1) 도시화 지역의 면적

위성영상 분류를 통해 도시화 지역을 추출하고 도시화 지역의 면적 추이를 살펴봄으로써 물리적인 도시성장을 파악할 수 있다. 래스터 데이터인 경우 도시화 지역 셀수와 단위셀의 크기를 곱하여 도시화 지역의 면적 증가 추이를 쉽게 파악할 수 있다.

(2) 도시화 지역 군집수와 군집당 평균 면적

도시화 지역은 군집을 이루는 경향이 있다. 즉, 외연적 성장에 의해 기존 도시화 지역에 인접하여 새로운 도시화 지역이 성장하게 된다. 따라서 도시화 지역의 면적이 같더라도 분산형인 경우와 집적형인 경우 사이에는 군집수의 차이가 존재하므로 산포 정도가 다르게 나타난다. 군집당 평균 면적은 집적화된 분포일 경우 커지고, 분산된 분포인 경우는 작아지게 된다. 군집은 셀간의 인접 여부를 이용하여 계산되므로, 이웃 셀의 범위를 지정하는 방식에 따라 군집수가 달라진다. 본 연구에서는 Neumann의 방식(4방향)과 Moore의 방식(8방향) 두 가지로 군집수와 군집당 평균 면적을 계산하였다.

(3) 도시화 지역의 총 둘레(edge) 길이 및 군집당 평균 둘레 길이

군집수와 비슷하게 도시화 지역의 크기가 동일하더라도 산포된 정도에 따라 총둘레 및 군집당 평균 둘레 길이가 달라진다. 집적된 유형에서는 둘레 길이가 짧아지고 분산된 유형에서는 둘레 길이가 길어진다.

(4) 프랙탈 차원

프랙탈 차원은 형태의 복잡성을 측정하기 위한 수

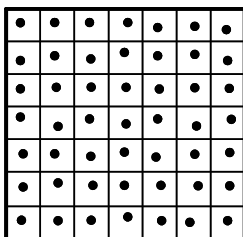
단으로 널리 사용되고 있으며(Batty and Longley, 1994) 고전적인 유클리드 기하학이 정수차원으로 정의되는데 반해 프랙탈 차원은 소수차원으로 정의될 수 있다. 예를 들면, 2차원 공간(유클리드 기하학에서의 면)에서 존재하는 사물의 프랙탈 차원은 1과 2 사이의 소수 값이 된다. 만약 사물의 형태가 매우 복잡하다면 프랙탈 차원은 거의 2에 가깝게 되고, 사물의 형태가 단순하다면 프랙탈 차원은 1에 가깝게 된다. 도시가 2차원 공간에 존재한다고 가정할 때, 도시의 프랙탈 차원으로 도시 형태의 복잡성을 측정할 수 있으며, 도시가 도시의 특성에 따라 고유한 프랙탈 차원 값을 가지고 있다(White and Engelen, 1993). 프랙탈 차원을 계산하는 방법은 Isarithm 방법, Variogram 방법, Triangular prism 방법 등 여러 방법이 있는데, 본 연구에서는 처리시간 및 데이터의 특성상 변형된 box-counting 기법(DeCola, 1991; 구본철, 2001)을 사용하였다. 각 영상에 대해 프랙탈 차원을 계산하는 방법은 다음의 과정을 거친다.

- ① 영상에 box를 씌움
- ② box안의 값이 동일하지 않을 때 count 증가
- ③ 동일한 영상에 2×2배의 축소된 box를 씌움
- ④ 위의 과정을 반복
- ⑤ Window box가 2×2에 이를 때까지 계속 위의 과정 반복
- ⑥ $\log(\sqrt{\text{box}})$ 와 $\log(\sqrt{\text{count}})$ 와의 관계식에서 기울기로 프랙탈차원 계산

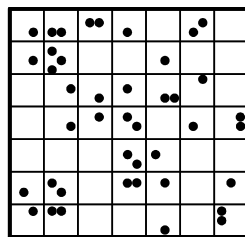
2) 방격 분석

방격 분석은 먼저 대상이 되는 단위지역을 같은 간격의 격자로 나눈 후 각 방안에 놓여 있는 관심의 대상이 되는 사상의 수를 세고, 사상의 수의 분산과 평균의 비율을 이용하여 지역 내 사상의 분포를 평가하는 방법이다. 분포패턴의 분석결과를 크게 세 가지의 분포유형 즉, 규칙적 분포유형, 임의적 분포유형, 그리고 집적유형으로 나누어 볼 수 있다(그림 1) 참조). 격자내의 사상의 수가 모든 격자에서 동일한 극단적인 규칙적 분포의 경우 사상의 수의 분산은 0이 되며, 반대로 모든 사상이 한 격자에 집중되어 있는 경우 사상의 수의 분산이 최대가 된다. 이 두 가지 경우의 중간 정도에는 임의적 분포가 존재한다.

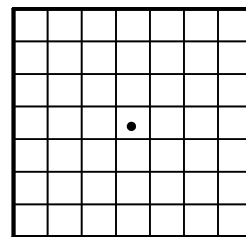
여기에서 임의적인 분포의 기준으로 사용되는 것이 포아송 확률분포이다. 포아송 분포는 평균과 분산이 동일한 분포인데 점사상의 분포가 임의적일 경우 포아송 분포를 따르고 결과적으로 평균과 분산이 동일하게 되어 분산 대 평균의 비율이 1이 될 것이다. 대표본에서 포아송 분포를 이용한 가설검정에는 정규분포 근사에 의한 방법과 K-S(Kolmogorov-Smirnov) D 검정 방법이 있다. 정규분포 근사에 의한 방법은 귀무가설로 자료의 분포가 임의(포아송)분포를 따른다고 설정한 후, 임계값(기각역)과 <식 (1)>의 정규분포로 근사화 한 검정통계량을 비교하여 가설을 검정한다. 예를 들어 95% 신뢰수준에서 검정통계량이 -2.58보다 작은 경우에는 분산/평균비가 1보다 작은 경우이므로 규칙적인 분포라 할 수 있고, 검



(a) 규칙적 유형



(b) 임의적 유형



(c) 완전한 집적 유형

그림 1. 방격내 점분포 유형

정통계량이 -2.58에서 +2.58인 경우에는 임의적 분포, 검정통계량이 2.58보다 큰 경우에는 분산/평균비가 1보다 큰 경우이므로 집적된 분포 유형이라 생각할 수 있다.

$$Z = \frac{\frac{s^2}{\bar{x}} - 1}{\sqrt{2/(n-2)}} \quad \text{----- (1)}$$

여기에서, s^2 : 방격내 점사상 수의 분산
 \bar{x} : 방격내 점사상 수의 평균
 n : 방격의 수

다른 방법인 K-S D 검정은 관측자료와 기대자료의 유사한 빈도분포 자료가 있을 경우에서 각각의 자료는 통계적으로 유의하게 다르지 않다고 가정하는 것으로부터 출발한다. 통계적 유의수준을 설정하고(예를 들어, $\alpha = 0.05$) 두 경우의 분포에서 각각의 모든 사상을 누적비율로 환산한 후 아래의 <식 (2)>를 통해 결과 값을 산출한다. 이 때, $F_0(X)$ 는 포아송 분포에 의해 계산되며, 표본이 하나이고 유의수준이 0.05인 경우 임계값은 <식 (3)>과 같이 설정한다.

$$D = \max |F_0(X) - S_n(X)| \quad \text{----- (2)}$$

여기에서, $F_0(X)$: 기대되는 상대적 누적확률
 $S_n(X)$: 관찰되는 상대적 누적확률

$$D_{\alpha=0.05} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} \quad \text{----- (3)}$$

여기에서, n : 방격의 수

K-S D 검정통계량은 위에서 살펴보았듯, 관측된 데이터의 빈도분포와 이론적으로 기대되는 기대빈도 분포의 통계학적 차이를 비교할 때 사용된다. 따라서 D 통계량이 클수록 관측된 데이터와 이론적으로 계산된 데이터, 즉 랜덤하게 흩어져 있는 임의적 분포 패턴 간의 차이가 크다는 뜻이 되므로 분포가 임의적

으로 랜덤하게 흩어져 있다는 가설을 기각할 수 있게 된다.

3) 최근린 분석

최근린 분석은 방격 분석과 더불어 점사상의 분포 패턴을 파악하기 위해 실시한다. 최근린 분석은 실제의 점분포에서 가장 가까운 주변지점까지의 평균 최근접거리와, 계산을 통해 형성된 점분포 패턴으로부터 기대되는 평균 최근접거리의 비율을 통해 실제 점분포 패턴이 이론적인 점분포 패턴에 비해 어느 정도 벗어났는가를 파악하여 분석하는 방법이다.

실제 점사상에서의 평균최근접거리(\bar{r}_a)와 독립적이고 임의적으로 점분포패턴이 이루어졌을 경우에 기대되는 평균최근접거리(\bar{r}_e)는 각각 <식 (4)>와 <식 (5)>에 의해 구할 수 있다. 또한 \bar{r}_a 와 \bar{r}_e 의 값이 산출되고 나면, 최근린지수(nearest neighbor index : R)를 <식 (6)>과 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{r}_a = \frac{\sum \text{mind}_i}{n} \quad \text{----- (4)}$$

여기에서, d_i : i 점에서의 최근접 유클리디안 거리
 n : 점사상의 수

$$\bar{r}_e = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} \left(= \frac{1}{2\sqrt{\frac{n}{A}}} \right) \quad \text{----- (5)}$$

여기에서, λ : 단위면적당 추정된 점밀도
 A : 단위면적

$$R = \frac{\bar{r}_a}{\bar{r}_e} \quad \text{----- (6)}$$

최근린지수가 0에 가까울수록 점사상의 분포는 집적화되어 있다고 볼 수 있으며, 최근린지수가 1 근방에서는 임의적 분포유형이 된다. 완전히 분산화되어 있는 경우에 이론적으로 최근린지수는 2.149가 된다.

실제 최근린 분석에서는 귀무가설은 점사상의 분포가 임의적이라 설정한 후, 검정통계량을 구하고 그것을 임계값과 비교하여야 한다. 이를 위해서는 <식(7)>과 같은 정규분포를 이용한다. 만약 유의수준 0.05의 양측검정을 할 경우 검정통계량 값이 -2.58보다 작은 경우에는 실제 평균최근접거리가 임의 분포를 가정한 평균최근접거리에 비해 상당히 그 값이 작은 경우이므로 집적분포라 할 수 있고, +2.58보다 큰 경우에는 그 반대의 경우에 해당하여, -2.58과 +2.58 사이인 경우에는 임의적인 분포라 할 수 있다.

$$Z = \frac{\bar{r}_a - \bar{r}_e}{SE_d} \quad \text{----- (7)}$$

$$\text{여기에서, } SE_d: \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}}$$

3. 데이터 처리

연구에 사용되는 데이터, 데이터에 대한 처리, 분석 방법 등은 <그림 2>에 나타난 바와 같다. 데이터 처리 중 분류에 관해서는 ER-Mapper[®]를 사용하였고, 다른 데이터 처리 및 분석에는 ESRI사의 ArcView[®], ArcGIS[®] 그리고 ArcView 스크립트(Wong and Lee,

2005)를 사용하였으며, 군집수, 둘레길이, 프랙탈 차원 등은 상용프로그램에서 지원되지 않거나 기능상 제약점이 있어서 직접 프로그램을 제작하여 계산하였다.

본 연구를 위하여 수도권의 시계열적인 도시화지역의 분포를 나타내는 자료가 필요하다. 실제 도시화지역의 위치를 잘 나타낼 수 있도록 위성영상 분류를 통해 도시화지역의 분포를 나타내는 자료를 구축하였다. 구축된 데이터의 공간적 범위는 서울을 중심으로 하여 80km×80km에 해당하는 지역이다. 1972년부터 2000년 사이에 수집된 Landsat MSS(Multi Spectral Scanner)와 TM(Thematic Mapper) 자료 중 계절이 비슷한 8시기의 영상을 대상으로 도시, 산림, 경작지, 수계, 간석지의 5개 영역으로 분류한 후, 이중 도시지역만을 추출하였다(<그림 3> 참조).

이렇게 추출된 도시화지역 데이터는 래스터 데이터이다. 래스터 도시화 지역 영상에서는 도시화 지역이 연속되어 있기도 하고, 다른 지역과 분리해서 나타나기도 한다. 따라서 래스터 영상 전체의 특성을 파악하기 위해 도시화 지역의 면적, 도시화 군집의 수, 군집당 도시화지역의 평균 면적, 도시화 군집의 둘레, 군집당 도시화지역의 평균 둘레, 프랙탈 차원의 변화 등을 살펴보았다.

다음으로는 본 연구의 핵심이 되는 도시화 지역의 패턴 분석을 하기 위하여 래스터 형식인 도시화 지역 데이터를 벡터형식의 포인트 자료로 변환하였다. 방

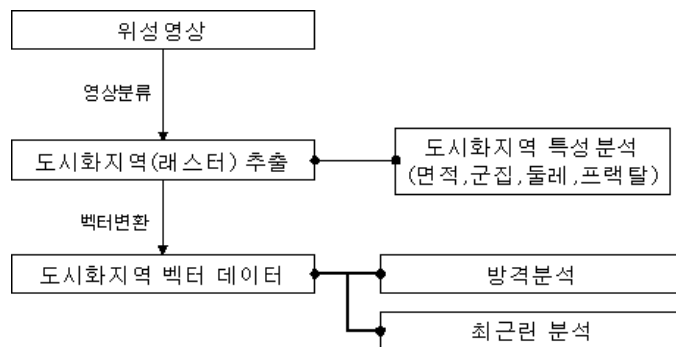


그림 2. 데이터처리 절차와 관련 분석 방법



그림 3. 도시, 비도시, 수계로 구분한 분류결과

격 분석과 최근린 분석은 기본적으로 벡터 형식의 포인트 자료를 기반으로 하므로 이 과정이 반드시 필요하다. Landsat 데이터의 공간해상도가 30 내지 80m 인데 실제 방격 분석과 최근린 분석에서 계산시간을 고려하여 공간해상도를 500m로 리샘플링하는 과정을 거친 후 벡터형식의 자료로 변환하였다.

과 약 30년간 도시화 지역이 7배(193km²에서 1321km²로 증가) 가까이 증가하였다. 같은 기간 연구 대상지의 인구성장률이 약 2.3배(900만명에서 2100만 명으로 증가)인 점을 감안할 때, 도시화 지역의 확산율이 인구성장률 보다 훨씬 높다는 것은 알 수 있다. 그 이유는 1인당 토지수요량의 증가 등에 기인한 것으로 추측된다.

4. 분석과정 및 결과

1) 래스터 기반의 분석

위성영상을 이용하여 도시화 지역을 추출한 후 도시화 면적, 군집수, 군집당 도시화 면적, 총둘레 길이, 군집당 둘레 길이, 프랙탈 차원 등에 대하여 시계열적 추세를 파악하였다. 그 결과를 요약하면 <표 1>과 같다.

(1) 도시화 지역의 면적

1972년부터 2000년까지 도시화 지역을 추출한 결

(2) 도시화 지역 군집 수와 군집당 평균 면적

도시화 지역의 군집 수와 군집당 평균 면적은 4방향과 8방향 방법을 사용하여 계산하였다. 군집수는 도시화 지역이 확산됨에 따라 급속히 증가하고 있었다. 그런데 여기서 군집당 면적의 변화 추이를 잘 살펴볼 필요가 있다. <그림 4>는 그 변화 추이를 나타낸 것인데 1980년대 초반까지 증가하던 군집당 평균 면적이 1980년대 중반 이후 감소하였고 아직도 그 추세를 유지하고 있다. 1972년 이전의 데이터가 존재하지 않아 정확하게 판단하기는 어려우나 1980년대 초반까지는 수도권외 도시성장이 기존 도시에 연속하여

표 1. 래스터 기반의 분석 결과

년도	1972년	1979년	1981년	1984년	1988년	1992년	1996년	2000년
도시화면적(km ²)	1923	341	454	575	680	9412	1117	1321
군집수	4방향	2207	2881	4256	7852	8875	11888	16479
	8방향	1377	1823	2711	4885	5528	7317	10624
군집당면적(km ²)	4방향	0.09	0.12	0.11	0.07	0.08	0.08	0.07
	8방향	0.14	0.19	0.17	0.12	0.12	0.13	0.12
총둘레길이(km)	2007	2736	3604	5540	6484	9100	12060	15142
군집당둘레(km)	4방향	0.91	0.95	0.85	0.71	0.73	0.77	0.73
	8방향	1.46	1.50	1.33	1.13	1.17	1.24	1.26
프랙탈차원	1.43	1.48	1.53	1.61	1.64	1.70	1.74	1.78

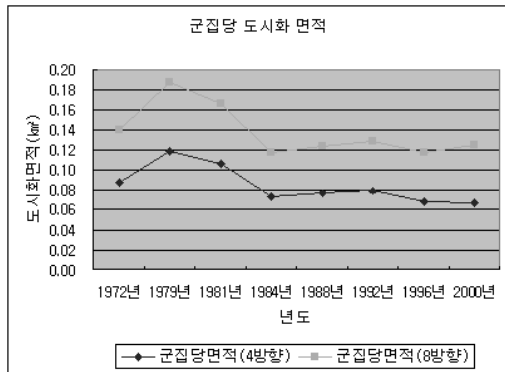


그림 4. 군집당 도시화면적 변화 추세

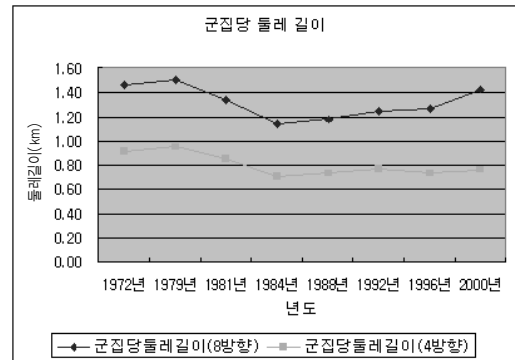


그림 5. 군집당 둘레길이 변화추세

일어나는 외연적인 확산에 의해 주도되었기 때문에 군집당 평균면적이 늘어났으나, 1980년대 중반 이후로는 비지적 성장 또는 도로유발 성장에 의해 도시화 지역이 성장하는 경우가 많아져서 군집당 평균면적이 오히려 감소한 것으로 판단된다.

(3) 도시화 지역의 총 둘레(edge) 길이 및 군집당 평균 둘레 길이

도시화 지역의 총 둘레 역시 급속히 증가하고 있는 추세이다. 도시화 면적이 늘어나고 있고, 1980년대 중반 이후 군집당 도시화 면적이 1980년대 초반 보다 감소해서 도시화 지역의 평균 면적이 커지지 않음을 고려할 때, 도시화 지역의 총 둘레가 늘어나는 것은

당연하다. 그러나 군집당 둘레길이는 군집당 도시화 면적과 관련이 있기 때문에 1980년대 초반까지에 비해 1980년대 중반 이후의 군집당 둘레 길이가 감소하였다(〈그림 5〉 참조).

(4) 프랙탈 차원

프랙탈 차원은 도시화 면적의 확대에 인하여 1.43에서 1.78까지 증가하였다. 이론적으로 2.0차원이 되면 전체 연구대상지역이 도시화가 되는 것을 의미하는데 도시화 지역의 확대에 인하여 앞으로도 계속 증가할 것이다.

2) 방격 분석

도시화 지역 래스터 데이터를 포인트 데이터로 변환시킨 후 방격 분석을 실시하였다. 방격 분석은 방격의 크기에 따라 그 결과가 차이가 난다. 생태학자들은 방격의 크기를 $2A/N$ (A 는 대상지의 면적, N 은 점의 수)이 적당하다고 보고 있지만, 지리적 연구에서 이 공식에 의해 산출된 방안의 크기가 너무 크다고 보여지며, 공간적 경쟁이 심한 경우에는 A/N 이 더 적합한 것으로 간주되고 있다(이희연, 1989). 본 연구에서는 2000년을 기준으로 N 을 정하였고, 연구 대상지역의 면적 약 6400km²인 점을 감안하면 방격의 수는 약 6000개와 10000개 정도가 된다(실제 방격 수는 도시화지역의 공간적 범위가 시기별로 다르므로 약간씩 변한다).

방격수를 6000으로 한 1972년 데이터(이 경우 정확한 방격수는 6035개임)에 대한 실험내용을 기준으

로 실험을 설명하면 다음과 같다(〈표 2〉 참조). 먼저, Z 검정을 이용한 방격 분석을 실시하기 위해 방격 내 도시포인트 수를 추출하고 이를 이용하여 방격당 평균 포인트수와 방격당 포인트의 분산을 구한 후 분산/평균을 계산하였다. 그리고 〈식 (1)〉을 이용하여 Z 통계량을 계산하였다. 〈표 2〉와 같이 유의수준을 0.05로 설정할 경우 귀무가설을 기각하여 도시화 지역의 분포를 집적된 형태로(보다 정확히는 임의적인 형태가 아닌 것으로) 판단하게 된다.

다음으로 K-S D 검정을 이용한 방격 분석을 실시하기 위해서 포아송 분포를 이용하여 누적기대확률을 계산한 후 〈식 (2)〉에 의하여 D 통계량을 계산하였다(〈표 3〉 참조). 결과적으로 D 통계량은 최대값인 0.1304가 되었다. 이를 〈식 (3)〉의 임계값과 비교해보면 K-S D 검정에 의해서도 도시화 지역이 임의적으로 분포하지 않았음을 알 수 있다.

표 2. Z 검정을 이용한 방격 분석

포인트수	방격수	포인트합	방격당 평균포인트	개별분산합	방격당 포인트분산	분산/평균	Z 통계량	임계값(유의수준 0.05)
0	5344	0	0.281	421.6	0.771	2.744	95.814	2.58
1	199	199		102.9				
2	180	360		532				
3	112	336		828.1				
4	200	800		2766				
합계	6035	1695		4651				

표 3. K-S D 검정을 이용한 방격 분석

포인트수	방격수	포인트합	누적기대확률	누적관찰확률	D통계량	임계값(유의수준 0.05)
0	5344	0	0.75513281	0.88550124	0.130368	0.018
1	199	199	0.96722065	0.91847556	0.04875	
2	180	360	0.99700432	0.94830157	0.0487	
3	112	336	0.99979268	0.96685998	0.03293	
4	200	800	1	1	0	
합계	6035	1695				

표 4. 방격 분석 결과 (방격수 6000)

년도	1972년	1979년	1981년	1984년	1988년	1992년	1996년	2000년	
도시포인트수	1695	2580	3532	5026	5991	8294	10097	11772	
Z 검정	분산	0.771	1,217	1,809	2,255	2,522	3,152	3,528	3,895
	평균	0.281	0,429	0,590	0,840	1,001	1,386	1,687	1,967
	분산/평균	2,744	2,840	3,065	2,685	2,520	2,275	2,092	1,981
	Z통계량	95,814	100,947	112,966	92,192	83,170	69,737	59,727	53,641
	임계값(유의수준 0.05)	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
K-S D 검정	D통계량	0,130	0,185	0,228	0,245	0,252	0,264	0,262	0,254
	임계값(유의수준 0.05)	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018

표 5. 방격 분석 결과 (방격수 10000)

년도	1972년	1979년	1981년	1984년	1988년	1992년	1996년	2000년	
도시포인트수	1695	2580	3532	5026	5991	8294	10097	11772	
Z 검정	분산	0,354	0,565	0,767	0,982	1,126	1,431	1,658	1,783
	평균	0,169	0,258	0,351	0,499	0,595	0,824	1,012	1,169
	분산/평균	2,090	2,188	2,187	1,968	1,892	1,738	1,638	1,525
	Z 통계량	77,100	83,937	84,212	68,674	63,325	52,358	45,022	37,286
	임계값(유의수준 0.05)	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
K-S D 검정	D 통계량	0,059	0,091	0,117	0,129	0,137	0,150	0,155	0,145
	임계값(유의수준 0.05)	0,018	0,018	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014

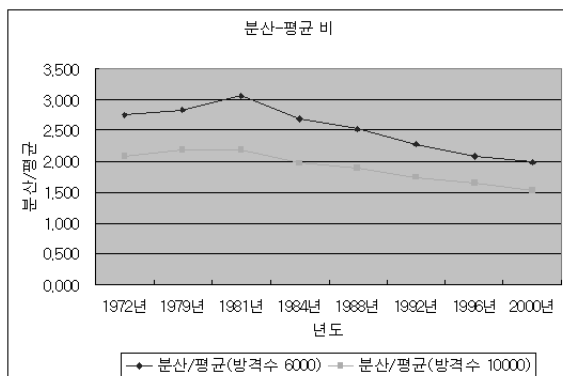


그림 6. 분산-평균비의 변화 추세

이런 절차를 거친 방격수 6000과 방격수 10000에 대한 실험 결과는 <표 4>와 <표 5>에 정리되어 있다.

<표 4>와 <표 5>의 Z검정 결과를 살펴보면 1980년대 초반까지는 분산/평균의 값이 커졌고 그 후로는 다시

감소하는 것을 알 수 있다. 이는 1980년대 초반까지 도시화 지역의 집적화가 진행되다가 1980년대 중반 이후로 그런 현상이 약화되고 있음을 보여준다(그림 6) 참조). <그림 4>에서도 알 수 있듯이 도시화 지역의 집적화가 1980년대 초반에 정점을 나타내었음을 의미하는 것으로 판단된다. 집적화가 약화되었다고는 하나 여전히 집적화는 현상 자체는 유지되고 있음을 알 수 있다. K-S D 검정에서는 16번의 실험 모두에서 D 통계량이 임계값에 비해 현저히 커서 도시의 분포가 임의적이라고 할 수 없다는 사실을 알 수 있다.

3) 최근린분석

방격 분석과 더불어 공간적 분포 패턴을 평가할 수 있는 최근린 분석을 실시하였다. 최근린 분석을 하기 위해서 <식 (4)>에서 <식 (7)>까지를 계산하였는데 그 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6>에 의하면 1980년대 초반까지는 \bar{r}_a 가 \bar{r}_e 에 비해 그 값이 적다. 즉, 실제 평균근접거리가 임의적 분포를 가정한 경우의 평균근접거리에 비해 짧고 통계량 또한 임의적 분포를 가정한 귀무가설을 기각하기에 충분하므로 결과적으로 도시화 지역의 분포가 집적된 형태임을 반증하고 있다. 그러나 1980년대 중반 이후로는 도시화 지역의 분포가 분산된 형태임을 나타내고 있어 방격 분석의 결과와 상이하다. 하지만 전체적으로 과거에 비해 현재의 도시화 지역 분포가 분산된 형태로 변화해가고 있다는 점에서는 동일한 결론을 내릴 수 있었다.

4) 분석결과의 비교 및 연구의 한계점

래스터 기반의 분석, 방격 분석, 최근린 분석을 실

시하는 과정에서 각 분석의 결과를 비교하면 일치되는 면과 상반되는 면이 있었다. 먼저 일치하는 면을 살펴보면, 첫째, 세 분석 모두 도시화 영역의 집적양상이 약화됨을 알 수 있었다. 래스터 기반의 분석에서는 1980년 초반의 군집당 평균 도시화 면적의 크기가 그 후 시기의 평균 도시화 면적의 크기에 비해 커서 도시화 지역의 집적화가 약해지고 있음을 알 수 있었고, 이런 결과는 Z검정을 이용한 방격 분석에서도 정확히 일치하였다. 또한 최근린 분석에서도 도시화 지역의 분포가 집적화된 분포에서 분산된 분포로 변화해 가고 있다는 결과가 나와 앞의 두 분석과 그 추세가 일치하였다. 둘째, 모든 분석에서 도시화 지역의 분포가 임의적인 경우는 단 한 번도 나타나지 않았다. 방격 분석 실험 32회와 최근린 분석 실험 8회에서 모두 귀무가설을 기각할 만한 통계량이 도출되지는 않았다. 다시 말해서, 도시화 지역의 분포는 집적인지 분산인지는 단언하기 어렵지만 적어도 임의적이 아니라는 결론을 도출할 수 있었다.

반면, 분석의 결과가 상반된 경우도 있었다. 먼저, 방격 분석 중 Z검정을 이용하는 방법과 K-S D 검정을 이용하는 경우를 살펴보면 전자의 경우에는 집적화가 심화된 후 1980년대 초반을 정점으로 집적화가 약화되는 양상을 보이고 있으나, 후자의 경우에는 집적화가 오히려 심화되는 양상을 보이고 있다. 하지만, 양자 모두 검정통계량 값이 임계값에 비해 월등히 커서 집적화 패턴은 심화나 약화를 떠나 도시화 지역의 분포가 집적 패턴이라는 점은 동일하였다. 두 번째로 상반된 결과는 방격 분석과 최근린 분석의 결과 차이이다. Z검정을 사용한 방격 분석이나 K-S D 검정을 사용한 방격 분석에서는 도시화 지역의 분포가 모든 기간에 대해서 집적 패턴이라는 결론을 내릴

표 6. 최근린 분석 결과

년 도	1972년	1979년	1981년	1984년	1988년	1992년	1996년	2000년
$R = \bar{r}_a / \bar{r}_e$	0.67	0.77	0.87	1.02	1.09	1.25	1.36	1.46
Z 통계량	-25.9	-21.6	-14.1	3.5	14.7	44.1	69.6	96

수 있었으나, 최근린 분석에서는 1980년대 초반까지는 집적 패턴이며, 1980년대 중반 이후로는 분산 패턴이라는 결과가 도출되었다. 좀 더 자세히 결과를 살펴보면, Z검정을 이용한 방격 분석과 최근린 분석은 집적화가 약화되어가는 추세라는 비슷한 결론을 유도할 수 있으나, K-S D검정을 이용한 방격 분석과 최근린 분석은 그 결과가 상반되게 나타나고 있다. 즉 K-S D 검정에 의하면 점점 집적화가 심화되고 있는 추세를 보이고 있고, 최근린 분석의 경우에는 집적화가 약화되고 오히려 분산 패턴을 보이고 있음을 나타내고 있다.

여기에서 바로 데이터 구축의 문제점과 각 분석의 한계를 살펴볼 필요가 있다. 데이터 구축의 문제를 살펴보면, K-S D 검정의 경우 D값이 가장 큰 것 하나만을 기준으로 검정을 실시하는데 실험에서 D값이 가장 큰 경우는 언제나 방격 내 포인트가 하나도 없는 경우에 일어났다. 연구대상지의 경우 서해안 상당 부분과 한강 등 수계 지역이 방격은 있으나 도시화 지역은 존재할 수 없는 지역이기 때문에 누적기대확률보다 누적관찰확률이 클 수밖에 없다. 즉, 균질하지 않은 공간상에서 D값의 분포를 이용해 검정을 실시하기 때문에 이런 문제가 발생한 것으로 생각된다. 반면 같은 방격 분석이지만 Z검정을 하는 경우에는 포인트 수가 0인 경우 말고 다른 경우도 같이 계산에 포함되기 때문에 분석을 위한 통계량 계산이 K-S D 검정에 비해 왜곡되지 않으리라 생각된다. 다음으로 분석방법의 한계를 살펴보면, 최근린 분석의 경우 최근접거리 계산을 위해서 인접 사상과의 거리를 계산하는데 근접지점을 구분하기 어려워 질 수 있다는 제한점이 있다. 특히 본 연구에서 사용되는 데이터의 경우 도시화 지역 포인트 주위가 도시화 지역인 경우가 많은데(군집을 이루어 도시화 지역이 형성된 경우) 이 경우에도 포인트 간의 거리를 계산하기 때문에 관측된 평균근접거리가 실제보다 크게 계산될 가능성이 있다.

이러한 데이터 구축과 분석방법 상의 한계가 있지만, 전술한 바와 같이 모든 검정에서 도시의 분포가

임의적이지 않다는 결론을 내릴 수 있었다. 또한 데이터 구축에 한계점이 있어 통계량이 왜곡되었다고 생각되는 K-S D 검정을 제외한 래스터 기반의 분석, Z검정을 이용한 방격 분석, 최근린 분석 모두에서 집적화가 약화되고 있는 추세를 알 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

도시화 지역의 확산이 계속되는 현 시점에서, 과연 도시화 지역의 공간적 분포는 집적화되는 것인가 아니면 분산화 되는 것인가에 대한 물음으로 출발한 본 연구에서 수도권 내 도시화 지역의 공간적 분포 양상을 시계열적으로 살펴보고 계량분석 방법에 의해 분포패턴의 변화를 통계적으로 분석하여 보았다. 분석 결과 도시화 지역의 분포와 관련하여 다음과 같은 두 가지 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 수도권의 도시화 지역의 분포패턴은 집적정도가 약화되고 있다. 래스터 기반의 분석, Z검정을 이용한 방격분석, 그리고 최근린 분석에서 모두 그 도시화 지역의 분포패턴이 약화됨을 알 수 있었다. 그리고 도시화 지역의 집적정도가 약화되는 시점이 세 분석 모두 1980년대 중반으로 일치하는 것도 알 수 있었다.

둘째, 수도권 내 도시화 지역의 면적이 꾸준히 증가하는 점과 도시화 지역의 집적정도가 약화되고 있는 점을 고려할 때, 1980년대 중반 이후 수도권 내에서는 외연적 성장이 약화되고 비지적 도시성장 또는 도로망과 연계한 소규모 개발이 증가함을 알 수 있었다. 만약 도시화 지역의 면적 증가와 함께 도시화 지역의 집적도 역시 증가하였다면 이는 외연적 성장이 지속적으로 일어나고 있다는 것을 증명하는 것이지만 이러한 현상은 1980년대 초반까지만 나타났고, 1980년대 중반 이후로는 나타나지 않았다. 1990년대 중후반 이후 이슈화 되고 있는 난개발은 토지의 효율적 이용이라는 관점에서는 문제시되지만, 도시화 지

역의 분포와 관련해서는 적어도 도시화 지역의 집적화를 억제하고 있는 것으로 판단된다. 물론 토지이용 측면에서 보면, 난개발을 억제하면서 도시화 지역의 집적화도 막을 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

향후, 본 논문에서 제시한 결론을 증명할 만한 더 많은 분석이 필요할 것이다. 전술한 바와 같이 데이터 구축의 문제와 분석 방법의 문제가 있었고, 이로 인해 때에 따라 분석의 결과가 상반된 경우도 있었다. 또한 분석의 용이성을 위해서 데이터의 공간해상도를 80m에서 500m로 리샘플링한 점, 방격 분석의 경우 방격 수를 6000과 10000 두 가지 경우로만 실험을 실시한 점 등도 문제시 될 수 있으며 수도권에 대해서만 실험을 실시한 것도 문제시 될 수 있다. 따라서 보다 객관적인 결론을 얻기 위해서는 연구대상지, 데이터 해상도, 방격의 크기, 방격의 범위, 그리고 분석 방법을 다양화 하여 보다 심층적인 실험이 필요하다. 만일, 이러한 객관성이 확보된다면 본 논문에서 제시하는 방법을 이용하여 각 지역이 가지고 있는 도시화 지역의 분포패턴의 시계열적 변화양상을 파악할 수 있게 되어 지역의 물리적인 도시성장 특성을 규명할 수 있을 것이다.

참고문헌

구본철, 2001, "Sub-area와 전체영상간의 프랙탈 차원 차이를 이용한 분류정확도 추정 기법에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사학위논문.
 남영우, 1992, 계량지리학, 법문사.
 문태현, 1995, "공간적 분포형태를 고려한 도시시설 입지패턴 분석", 대한국토도시계획학회지 31(4), pp.19-33.
 신우진, 정창무, 이상경, 2002, "GIS를 이용한 소매업종 상권 반경과 중심지 이동분석", 부동산학연구 8(1), pp.1-11.
 이병길, 2003, "비즈니스 GIS에서 공간 데이터마이닝(Spatial Data Mining) 기법을 이용한 상권추출", 한국 GIS학회지 11(2), pp.171-184.
 이희연, 1989, 지리통계학, 법문사.

정재준, 2001, "수도권의 도시성장 분석 및 예측을 위한 셀룰라 오토마타 모델링", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
 Batty, M. and Longley, P., 1994, *Fractal Cities*, London : Academic Press.
 Bailey, T. C., Gatrell, A. C., 1995, *Interactive Spatial Data Analysis*, New York : Longman Science & Technical.
 Besussi, F. and Chin, N., 2003, "Identifying and measuring urban sprawl", in Longley, P. A. and Batty, M.(Eds), *Advanced Spatial Analysis*, Redlands : ESRI Press, pp. 109-128.
 DeCola, L., 1991, "Fractal analysis of multiscale spatial autocorrelation among point data", *EPA* 23, pp. 545-556.
 Diggle P.J., 1983, *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*, London : Academic Press.
 Gatrell A.C., Bailey T.C., Diggle P.J. and Rowlingson B.S., 1996, *Spatial Point Pattern Analysis and its Application in Geographical Epidemiology*, London : Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographer), NS 21, pp.252-746.
 White, R. and Engelen, G., 1993, "Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to evolution of urban land-use patterns", *EPA* 25, pp. 1175-1199.
 Wong, D. W., Lee, J., 2005, *Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and ArcGIS*, Hoboken : Wiley.

교신: 정재준, 서울특별시 성북구 동선동 3가 249-1, 성신여자대학교 지리학과, Tel: 02-920-7604, E-mail: jeongjj@sungshin.ac.kr
 Correspondence: Jeong, Jae-joon, Department of Geography, Sungshin Women's University, Seoul, Korea, 136-742, Tel: 82-2-920-7604, E-mail: jeongjj@sungshin.ac.kr

최초투고일 2007년 7월 23일

최종접수일 2007년 8월 20일

Journal of the Economic Geographical Society of Korea
Vol.10, No.3, 2007(319~331)

A study on Spatial Distribution Pattern of Urbanized Area using GIS Analysis: Focused on Urban Growth of Seoul Metropolitan Area*

Jae-joon Jeong**, Young-hee Roh***

Abstract: Nowadays, urbanized area expands its boundary, and distribution of urbanized area is gradually transformed into more complicated pattern. In Korea, SMA(Seoul Metropolitan Area) has outstanding urbanized area since 1960. But it is ambiguous whether urban distribution is clustered or dispersed. That is to say, it is difficult to understand spatial distribution pattern of urbanized area, although urbanized area has grown gradually. This study aims to show the way in which expansions of urbanized area impact on spatial distribution pattern of urbanized area. We use GIS analysis based on raster dataset, quadrat analysis, and nearest neighbor analysis to know distribution pattern of urbanized area in time-series urban growth. Experiments show that cohesion of SMA's urbanized area had increased to the early 1980s, but has decreased from the middle 1980s. Also, urban growth of SMA has been characterized not by spillover growth but by leapfrogging growth and road-influenced growth since the middle 1980s.

Keywords: GIS(geographic information systems), point distribution pattern, quadrat analysis, nearest-neighbor analysis, spatial distribution pattern

* This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government(MOEHRD) (KRF-2006-332-B00586)

** Assistant Professor, Department of Geography, Sungshin Women's University

*** Graduate Student, Department of Geography, Sungshin Women's University