

# 박스 계수법을 이용한 도시공간구조의 프랙탈 차원 분석 : 청주시의 건축물 분포 및 도로구조 사례를 중심으로\*

송선기\*\* · 김동원\*\*\* · 황희연\*\*\*\*

## Analysis of Fractal Dimension for Urban Spatial Structure Based on Box Counting Method : Focusing Buildings Locations and Road Compositions in Cheongju\*

Song, Sun-Gi\*\* · Kim, Dong-Won\*\*\* · Hwang, Hee-Yun\*\*\*\*

**요약** : 본 연구의 목적은 프랙탈 이론을 이용하여 도시공간을 구성하는 요소들의 특성을 반영하면서 도시형태를 정량적으로 측정하여 도시공간구조 측면에서 그 의미를 알아보고자 한다. 청주시를 대상으로 도시공간의 프랙탈 차원을 계산하여 이론 적용의 타당성과 실제 도시공간 내부를 비교분석하기 위하여 공간 내부요소인 건축물과 도로를 도시 전체와 시가화 지역으로 나누어 비교분석을 실시하였다. 분석방법으로는 건축물과 도로의 속성이 포함되어 있는 수치지형도를 GIS 프로그램과 연동하고 박스계수법을 사용하여 프랙탈 차원을 계산하였다. 분석 결과 건축물과 도로에 의한 프랙탈 차원 모두 높고 비슷한 결과 값으로 나타났다. 청주시 전체와 시가화용지도 유사한 결과 값을 도출 했지만 부분적으로 볼 때 상업 및 공업지역은 낮은 결과 값을 나타냈다. 하지만 이들 공간은 주거지역과 유기적으로 연결되어 있기 때문에 하나의 공간으로 간주하는 것이 옳바르다. 종합적으로 볼 때 청주시의 프랙탈 차원은 시가화구역의 차원으로 성장한다할 수 있다.

**주요어** : 도시공간구조, 프랙탈 차원, 박스계수법, 건축물, 도로

**Abstract** : This study, using Fractal theory, aims to examine the meaning in the aspect of urban spatial structure by reflecting the characteristics of elements organizing the urban space and at the same time measuring the urban form quantitatively. By calculating Fractal Dimension to Cheongju as a target, it conducted comparison and analysis by dividing building and road which are internal element of a space into the whole city and urbanized area to compare and analyze validity of the theory application and the inside of an actual urban space. For the method of an analysis, it calculated Fractal Dimension by linking a digital map including the property of building and road with GIS program and using box counting. An analysis result showed that the result value of Fractal Dimension by structure and road is all high and similar. It drew a similar result value from the whole Cheongju and the urbanized area as well, but commercial and industrial area showed low result value from the partial viewpoint. However, it is correct to regard these spaces as one space because they are intimately connected with a residential area. From the general viewpoint, it could be said that Cheongju's Fractal Dimension grows in the context of a urbanized area.

**Key Words** : Urban Spatial Structure, Fractal Dimension, Box Counting Method, Building, Road

### 1. 서론

#### 1) 연구의 배경 및 목적

도시는 다양한 구성요소가 결합되어 작용하는

공간적 범역을 가진 곳으로 개별 구성요소가 상호 작용을 통해 시·공간적으로 지속적인 변화를 나타내고 있는 유기체로서 내·외부적으로 끊임없이 변화하는 동태적인 공간체이다(박형규·서유석, 2009). 이러한 도시공간은 도시가 지니고 있던 기능이 변

\* 본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2010년 첨단도시개발사업(과제번호: 07 도시 재생/B01)에 의해 수행되었음.

2010 대한국토·도시계획학회 춘계산학협동학술대회 발표 논문임.

\*\* 충북대학교 환경·도시공학과 석사과정(Master Candidate, Environmental & Urban Engineering Chungbuk National University)(song9935@naver.com)

\*\*\* 충북대학교 환경·도시공학과 석사과정(Master Candidate, Environmental & Urban Engineering Chungbuk National University)(sakura3407@nate.com)

\*\*\*\* 충북대학교 도시공학과 교수(Professor, Urban Engineering Chungbuk National University)(hwang@cbu.ac.kr)

형되고 재배열되거나 새로운 기능이 시간의 흐름에 따라 축적하면서 형성되어 왔다. 그 결과 도시공간은 기하학적으로나 기능적으로 단순하지 않고 복잡한 구조를 나타내고 있다.

도시공간은 다양한 구성요소간의 상호작용이 연속성과 재조정작업이 반영된 다양하고 복잡한 구조이지만 그 변화는 기존의 질서 속에서 발전한다. 예를 들어 공업화 도시의 뼈대구조는 전통적 중심지를 감싸는 방사선형의 나무구조처럼 되어 있었다. 도시가 이 중점을 기준으로 성장할 때 도시는 그 배후로 방사선을 그리면서 거리를 확장하여서 위계를 형성해 나간다. 이 같은 패턴을 그리는 형식이 반복되면서 도시는 자기복제를 거듭한다(신병윤, 2002). 결국 도시는 수없이 많은 다양성과 복잡성을 표현하지만 그 변화는 기존의 질서 속에서 일어난다.

복잡하다는 것은 해석가능한 정보가 많지 않다는 것을 의미한다. 많은 정보를 가지고 있다면 정확한 원인과 결과를 연결시켜 귀납적 추론이 가능하겠지만, 도시의 공간을 해석하기에는 아직도 부족한 정보 상황에 노출되어 있다. 또한 도시는 일정요소들의 단순한 함수관계로 발전하는 것이 아니라 다양하고 불규칙적인 요소들에 의해 비정규적인 시간적 주기로 변화하기 때문에 기존의 단순한 통계학적 방법으로 도시공간구조를 분석하기에는 어려움이 많다.

따라서 본 연구는 단순 측정지표가 아니라 공간구조상의 특징을 감안한 정량적인 도시형태의 표현을 시도하여 도시공간구조의 의미를 분석하는 것이다. 이를 위해 복잡하지만 일정한 형태나 법칙성을 발견하여 정량적으로 해석하기 위해 등장한 프랙탈(fractal) 이론을 이용하여 도시공간구조를 해석하고자 한다.

## 2) 연구의 범위 및 방법

본 연구는 도시의 다양하고 복잡한 공간구조를 일반 기하학적 차원으로 설명하기에는 부족하다고 판단하여, 물성의 복잡성을 대표하는 변수인 프랙탈 차원을 이용하여 도시의 복잡성을 해석하고자 한다. 도시공간구조의 이해를 위하여 프랙탈 차원을 도구로 하여 연구하는 것은 도시구성이 어떻게

진행될 것인지 예견하고 또 바람직한 형태로서 도시가 어떻게 구성되어야만 하는가에 대한 판단의 도움을 줄 것으로 생각한다.

본 연구는 1단계로 이미 다양한 분야에서 응용되고 있는 프랙탈 이론을 도시 차원에서 해석하였다. 2단계로 관련 문헌 및 선행연구에서 추출한 내용을 근거로 분석요소를 도출하였다. 3단계로 도시공간구조의 프랙탈 특성 해석을 위해 앞서 도출한 분석요소를 공간의 프랙탈 차원을 결정하는 방법으로 가장 객관적으로 분석 가능한 박스계수법(box counting)을 통해 실시하였다. 이를 통해 사례지역 도시공간구조의 자기유사성과 복잡성을 정량적으로 해석하였다.

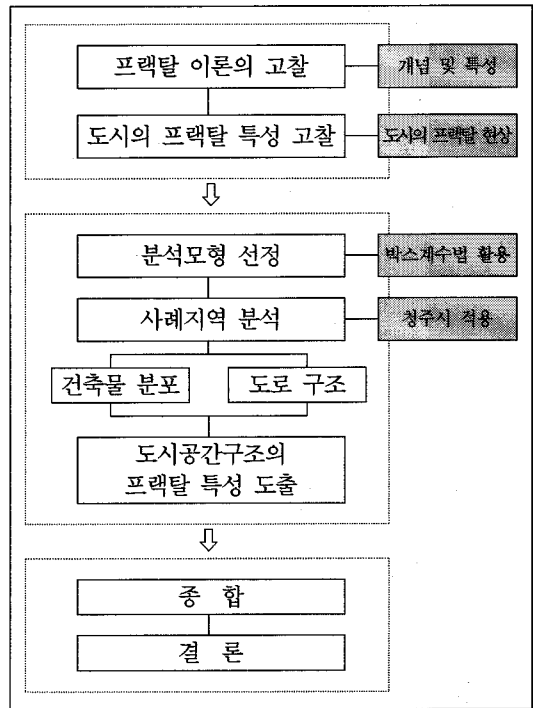


그림 1. 연구수행 방법

## 3) 선행연구 검토

최근 진행되었던 도시공간구조에 대한 연구는 크게 도시성장에 따른 토지이용 패턴변화를 분석하는 연구와 인구, 지가 등을 변수로 설정하여 밀도경사 함수모형에 적용하여 공간구조를 분석하는 연구가 대부분이었다.

공은미 외(2009)는 공간구문론을 바탕으로 진주시의 도시공간구조의 변화과정에서 가로체계화에 따른 도심기능과의 상호관련성을 파악하여 진주시의 도시공간구조의 변화를 분석하고 혁신도시계획에 따른 진주시의 도시 변화를 예측하였다. 선권수(2009)는 서울시 중심지체계를 고용 및 인구밀도, 지가경사계수, 유출입통행량 등의 변수를 통한 전통적인 이론적 방법과 주거, 업무, 상업, 공업의 4가지 지표에 의한 계획적 방법을 통해 서울시의 중심지를 식별하고, 도시기본계획 및 정책과의 적합성을 분석하였다. 박형규·서유석(2009)는 마산시를 대상으로 도시성장에 대한 다양한 지표를 활용하여 시기별 분석에서 토지이용패턴 및 계량적 기법을 활용하여 공간구조의 시기별 변화 분석과 변화요인의 도출을 동시에 수행하여 종합적인 분석을 수행하였다.

프랙탈 이론을 활용한 도시 분석에서 Batty, Michael and Longley, Paul(1994)은 프랙탈 차원을 이용하여 도시 규모를 측정하였으며, Lucien Benguigui, C et al(2000)는 국토 전체를 대상으로 국토개발의 형태를 연구하였다. 국내에서는 문태

현(2005)이 일본의 북구주시와 농촌형 지역인 신궁정을 대상으로 건물정보가 수록된 GIS 레스터 데이터를 사용하여 도시형태에 대한 프랙탈 해석을 시행하였다. 이상민(2007)은 안양시와 보은군의 토지이용별 지목현황을 프랙탈 차원으로 계산하여 이론 적용의 타당성과 실제 도시의 토지이용 형태를 비교분석하였다.

앞서 살펴본 선행연구들은 다양한 구성요소가 결합되어 있는 복잡한 도시공간구조를 해석하기 위해 단순한 통계적 측정자료를 활용하여 토지이용패턴 및 밀도함수의 변화를 분석하였다. 다른 측면에서는 대상체의 복잡성을 정량적으로 측정할 수 있는 프랙탈 차원을 이용하여 도시의 복잡성을 찾고자 하였다. 과거 fractal 차원을 이용하여 도시구조를 분석은 국외에서 활발히 이루어져 왔지만 아직까지 국내의 경우는 초기단계이기 때문에 새롭게 연구해볼 가치가 있다고 판단된다. 지금까지 진행된 국내의 연구에서는 도시공간구조의 복잡성을 건축물과 지목을 이용하여 도출하였다. 본 연구는 도시가 생성하면서 가장 기초적인 골격을 이루는 도로구조와 건축물 분포 이용하여 도시공간구조를 해석하고자 한다. 즉, 두가지 지표의 프랙탈 차원을 이용하여 도시공간구조의 복잡성을 분석하는데 주안점을 두고 있다.

표 1. 선행연구 종합

구분	연구제목 / 저자	내용 및 목적
토지 이용 패턴 및 밀도 함수	도시성장에 따른 도시 공간구조 및 기능 변화에 관한 연구 (공은미 외, 2009)	토지이용패턴 및 밀도 함수를 이용한 도시 공간구조의 시계열적 변화 분석
	중심지체계와 도시공간구조 특성에 관한 연구(선권수, 2009)	
	마산시의 도시공간구조 변천과 변화요인분석(박형규·서유석, 2009)	
프랙탈 차원	Fractal Cities(Batty, Michael and Longley, Paul., 1994)	프랙탈 차원을 이용한 도시공간구조의 복잡성 해석
	When and where is a city fractal(Benguigui, L et. all., 2000)	
	건물분포를 고려한 도시형태의 프랙탈(Fractal)해석(문태현, 2005)	
	프랙탈(Fractal) 이론을 이용한 도시공간구조 해석에 관한 연구(이상민, 2007)	

## 2. 이론적 고찰

### 1) 프랙탈 이론

#### (1) 프랙탈의 개념

프랙탈이란 단어는 브누아 만델브로트(Benoit Mandelbrot)가 모든 척도에서 나타나는 세부적인 모양을 나타내기 위해 만들어냈다. 그 어원은 '조각난', '부서진', '불연속적인'이란 뜻을 지닌 프락투스(Fractus)라는 라틴어이다(이충호, 2009).

기존의 유클리드 기하학은 주로 선, 평면, 원 등 이상적인 형태만을 다루어 왔지만, 하천, 산, 구름 등 우리 주위의 자연은 균일하지 않은 모양과 울퉁불퉁한 모서리로 이루어졌지 원도, 선도 아니다. 인체를 살펴보면 어느 정도의 대칭성은 있지만 유클리드 기하학으로는 균일하지 않은 그 모양을 정확하게 묘사하는 것은 불가능하다. 프랙

탈은 바로 지금까지 사용해온 유클리드 기하학으로 설명할 수 없는 자연계의 복잡한 현상과 형태를 정량적으로 해석하기 위한 하나의 수단인 것이다. 이런 프랙탈은 카오스적 현상<sup>1)</sup>처럼 복잡하지만 일정한 형태나 법칙이 반복된다는 반복성과 자기유사성을 기본 특징으로 두고 있다.

### (2) 프랙탈의 특성

프랙탈은 단순한 구조가 끊임없이 반복되면서 복잡하고 묘한 전체 구조를 만드는 것이다. 예를 들어 큰 번개 줄기에서 작은 번개 줄기가 가지쳐나오고 더 작은 번개가 갈라져 나온다. 작은 번개가 가지치는 단순한 모양이 반복되면서 거대한 번개를 만든다. 이처럼 프랙탈은 부분이 전체를 닮은 모양을 하고 있으면서 이런 닮는 과정을 끊임없이 반복하는 자기유사성(Self-similarity)을 가진다. 즉 어느 부분이나 전체를 재구성할 수 있는 정보를 모두 가지고 있음을 뜻하며 그 일부분만 보아도 전체가 어떤 구조인지 해석할 수 있다는 것이다. 또한 여기서 닮았다는 것은 반드시 모양이 똑 같다는 의미만은 아니며 통계적인 특성이 같아도 자기유사성이 있는 프랙탈이라고 할 수 있다.

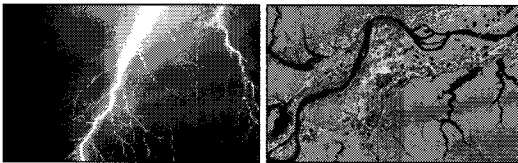


그림 2. 자연의 프랙탈<sup>2)</sup>

### (3) 프랙탈 차원

프랙탈 차원은 사물 내에서 공간을 얼마나 차지하고 있는가의 정도를 표현해 준 것으로 사물의 복잡성을 차원개념과 정량적으로 나타낸 것이다.

펠릭스 하우스도르프(Felix Hausdorff)는 모양이 주변 공간을 채우는 방식에 초점을 맞춰 우리의 직관적 차원 개념을 확장한 측도를 도출했다(이충호, 2009). 정상적인 유클리드 도형이 아닌 더 복잡한 모양에 대해 비정수 차원을 제시한 것이다. 즉, 유클리드 기하학에서 점은 0차원, 선은 1차원, 평면은 2차원 등 정수로 표현되는 개념을 정면으로 거부한 것으로 자연에서 나타나는 분명하게 정

의될 수 없는 물체의 성질들, 예컨대 불규칙적이거나 울퉁불퉁한 성질은 정수가 아니라 비정수로 측정해야 된다는 의미이다.

예를 들어 실을 헝클어서 복잡한 형태를 만든 다음 실마리를 가지고 다시 풀어내면 1차원이 되지만, 평면적으로 헝클어진 형태는 이차원이다. 본질적으로는 1차원이지만 형태는 2차원과 유사하며, 이차원은 아닌 일차원과 이차원의 중간 형태를 가지게 된다(최종근, 2007). 이처럼 프랙탈 차원은 어떤 물체가 지닌 복잡성을 비정수로 나타내며, 프랙탈 차원이 증가할수록 물체의 복잡성은 증가한다.

### 2) 프랙탈 도시

도시를 단순히 물리적 차원의 네트워크가 아니라 인문사회학 차원의 다양한 요소나 성격들을 고려하지 않고서는 도시에 관한 올바른 접근이 어렵다(신병윤, 2002). 프랙탈 이론을 도시에 적용하려면 자연적 구성 원리와 마찬가지로 건축과 도시, 사회조직 등에 대하여 하나의 유기체로서 이해할 필요가 있다. 하나의 프랙탈 구조체로서의 조건을 유기체적 활동을 하는 대상으로 확장할 경우 최소 단위인 원자부터 세포, 조직, 기관, 개체, 주거, 마을, 도시까지도 유기적 관계를 가진 하나의 유기체로 볼 수 있다.

이러한 유기적 특성은 여러 가지 요소들에 적용 가능하며 연속선상에서 나타난다. 그림 3은 런던과 잉글랜드 전체의 고용 밀도를 점으로 표현한 것이다. 하나의 거대한 유기적 집단을 중심으로 무한적·연속적으로 퍼져나가는 그림 속 패턴은 모티프의 확장과 부분·전체의 유사를 충실히 따른 대표적 프랙탈 구조를 보인다. 때문에 부분과 전체는 같은 구성 원리를 통해 비교가 가능하다(이상욱, 2007).

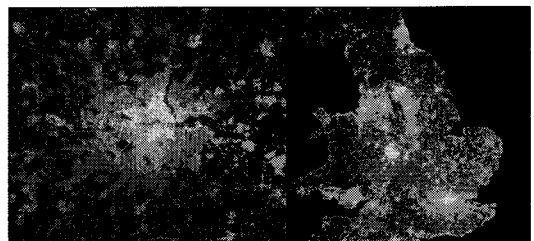


그림 3. 런던과 잉글랜드의 고용밀도 비교(신병윤, 2002)

이런 도시의 총체적 구성 속에 잠재되어 있는 유기성을 분석하기 위해 문태현(2005)은 건물의 배치에 의한 도시 형태를 프랙탈 차원을 도입하여 해석하였다. <그림 4>에서와 같이 특정 스케일로 건물의 배치를 도면화 하면 건물의 배치는 보는 시각에 따라 매우 무질서하고 복잡하게 보일 수도 있다. 그러나 비슷한 크기와 모양의 가구로 구획되어 질서를 유지하고 있음도 발견할 수 있다. 이를 통해 건물 배치에 의한 도시 형태는 무질서한 가운데 질서를 가지고 있으며 복잡성과 자기유사성이 존재하는 프랙탈이 있음을 보여주었다.

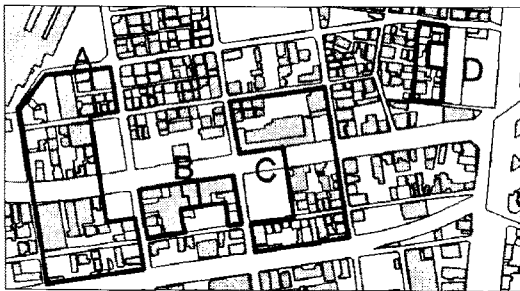


그림 4. 도시공간의 프랙탈 개념도(문태현, 2005)

이처럼 도시차원에서 프랙탈 이론의 응용을 생각해 보는 것은 기존의 유클리드적 기하학으로 설명이 어려운 부분에 그 사과의 차원을 달리하여 접근해 볼 수 있는 근거와 수단이 된다.

### 3. 분석의 틀

#### 1) 분석 방법

본 연구는 프랙탈 이론을 이용하여 도시공간을 구성하는 요소들의 특성을 반영하면서 도시형태를 정량적으로 측정하여 도시공간구조 측면에서 그 의미를 알아보고자 하는 것이다. 프랙탈 이론은 단순히 사물이 공간상에서 차지하는 비율만을 대상으로 하는 밀도와 달리, 도시공간에 존재하는 사물들 간의 자기유사성과 복잡함을 정량적으로 표현이 가능하다.

프랙탈 차원을 측정하기 위해서 형태의 복잡성 측정 수단으로 널리 사용되고 있는 박스계수법(Box-Counting)을 사용하였다. 먼저 연구 대상지

를 선정한 후 수치지형도를 이용하여 대상지 전체를 포함하는 크기의 정사각형 박스를 정하여 1/2의 비율로 축소해 나간다. 박스의 크기는 분석요소의 최소 크기까지만 축소하여 요소의 특성을 반영할 수 있도록 한다. 수치지형도상에 그려진 각각의 박스 내에 분석요소를 포함하는 박스의 수를 산출하기 위해서 지리정보시스템(GIS) 중 하나인 Arcview 3.2a 프로그램을 활용하였다. 우선 수치지형도와 각각의 박스를 셰이프파일로 변환하였으며 라인형태로 되어있는 박스를 덩어리 형태의 폴리곤으로 변환하여 Select by Theme을 실행하여 분석요소가 포함되는 박스의 수를 산출하였다. 산출된 데이터를 박스계수법 산정식에 적용하여 프랙탈 차원을 측정하였다.

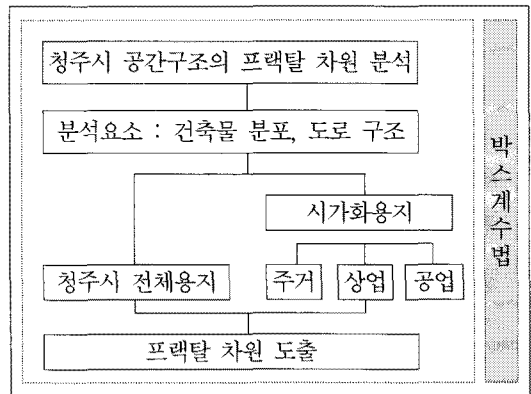


그림 5. 분석의 틀

#### 2) 분석 모형

프랙탈 차원을 결정하는 방법은 프랙탈 차원이 의미하는 복잡성의 대상이 무엇이냐에 따라 다양하지만, 일반적으로 많이 사용하는 방법은 다음과 같다.

첫째, 박스계수법(box counting method), 둘째, 중심질량법(radial mass method), 셋째, 스펙트럼 밀도법(spectrum density method), 넷째, 규모변화 분석법(rescaled range analysis), 다섯째, 베리오그램분석법(variogram method)이 있다. 하지만 박스계수법을 제외한 나머지 네가지 경우에는 실제로 계산하기는 어려운 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 대상체의 정량적인 분석을 위하여 2차원 평

박스 계수법을 이용한 도시공간구조의 프랙탈 차원 분석: 청주시의 건축물 분포 및 도로구조 사례를 중심으로

면에 대한 프랙탈 분석방법 중 처리시간 및 데이터의 특성상 변형된 box-counting 기법(Decola, 1991; 구본철, 2001)을 통해 도시공간구조의 복잡성을 해석하고자 한다.

박스계수법은 다음과 같은 방법으로 적용한다. 대상지역을 박스(정사각형)의 크기  $s$ 로 나타낸다. 분석요소를 포함하는 박스의 수를  $N(s)$ 로 표시한다.  $s$ 의 값을 점점 작게 크기를 줄여가며 분석요소를 포함하는 박스의 개수  $N(s)$ 를 계산한다. 박스 크기의 축소율과 분석요소를 포함하는 박스개수는 식(1)의 멱급수관계를 가진다.

$$N(s) \propto s^{-D} \quad (1)$$

$s$  = 대상지역 박스의 크기  
 $N(s)$  = 박스의 개수  
 $|D|$  = 프랙탈 차원

이와 같은 이론을 수식으로 나타내면 다음과 같이 설명할 수 있다.

$$N(s) = (s/\epsilon)^2 \quad (2)$$

만약 대상지역의 공간구조가 프랙탈인 경우에는 다음의 조건을 만족한다.

$$N(s) = (s/\epsilon)^D \quad (3)$$

이 때 식(3)의  $D$ 가 프랙탈 차원이다. 식(3)을  $D$ 에 관하여 전개하면,

$$D = \log_{(s/\epsilon)} N(s) \quad (4)$$

와 같이 되며 이를 간단히 하면 다음과 같다.

$$D = \log N(s) / \log(s/\epsilon) \quad (5)$$

따라서 그림 6와 같이 대상지역을 다양한 크기의 박스에 대하여 각각의 경우에 식(5)를 계산한 후, 그 값들의  $N(s)$ 와  $s$ 를 log-log 그래프를 그려 보면 하나의 일정한 직선이 나오게 되는데, 이 기울기의 절댓값이 바로 프랙탈 차원이 된다.

산정된 프랙탈 차원의 신뢰도는 log-log 그래프

의 선형성에 의해 결정되는데 일반적으로 결정계수  $R^2$ 의 값이 0.81 이상일 때 산정된 프랙탈 차원의 신뢰도가 높다(엄정기 외, 2006). 프랙탈 차원은 1과 2사이의 소수값을 나타내며, 1이라는 차원은 완전히 부드러운 것을 의미하고 2를 향해 갈수록 프랙탈의 복잡성이 증가한다는 것을 의미한다(이충호, 2009).

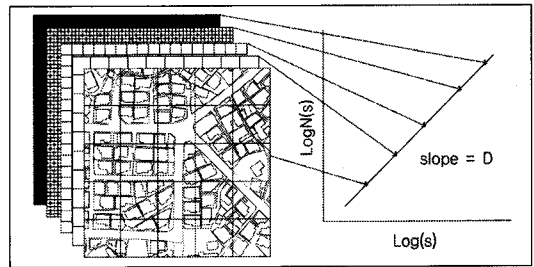


그림 6. 박스계수법(Box Counting Method)

### 3) 분석 요소

본 연구는 도시 구성요소를 프랙탈 차원에 이용하여 도시공간구조의 복잡성을 분석하는데 주안점을 두고 있다. 이에 선행연구에서 진행하였던 건축물의 배치에 의한 분석을 중심으로 하며 더 나아가 도시의 골격을 형성하는 도로를 추가로 분석하고자 한다.

건축물, 도로의 분포는 보는 시각에 따라 무질서하고 복잡하게 보일 수 있지만 비슷한 크기와 모양이 가구와 도로로 구획되어 질서를 유지하고 있다. 또한 규모가 다른 지구들의 구성 가구수가 일치하지 않아도 건축물과 도로의 배열은 크게 보아 완전하지는 않으나 서로 닮아 있다. 거시적으로나 미시적으로 축적을 달리하여도 그 유사성은 변함이 없다. 따라서 지역 내의 건축물, 도로에 의한 도시공간구조는 무질서한 가운데 질서를 가지



그림 7. 도시공간 프랙탈 분석 개념도(청주시)

고 있으며 복잡성과 자기유사성이 내재되어 있는 프랙탈이 존재함을 판단할 수 있다.

도시공간의 프랙탈 특성을 측정하기 위한 분석 자료는 연구의 목적, 데이터 취득 가능성 등을 고려하여 비교적 취득이 용이하고 GIS와 연동이 가능하며 건축물, 도로의 정보가 수록되어 있는 축척 1:25,000 수치지형도 자료를 사용하였다.

#### 4) 분석 대상지

도시의 복잡한 프랙탈 특성을 파악하기 위해서는 일차적으로 어느정도 시가화가 진행되어 도시의 규모 및 형태의 확장이 안정되고, 이차적으로 도시의 확장으로 인해 인접한 도시와 경계 구분이

명확하지 않은 대도시권을 제외 하였다. 따라서 본연구에서는 우리나라 중소도시를 대상으로 하였으며, 이 중 자료 취득이 용이한 청주시를 사례지역으로 선정하였다.

청주시는 지방행정의 중심지로 성장 발전되어 오면서 조선시대 말까지 오랜 역사 속에서 지속된 공간의 기본적 형태를 유지한 채 별다른 지역적 변화 없이 지속되어 왔다. 이후 청주시는 T자형의 시가화 골격이 생성되면서 골격의 주변지역 개발이 진행되어 북쪽과 남쪽, 서쪽 방향으로 시가화 구역이 확대되었고, 동쪽으로는 우암산에 의해 시가화가 정지됨에 따라 방사형의 시가화가 진행되었다.

분석을 위한 청주시의 기본정보는 <표 2>와 같다.

표 2. 청주시 분석개요

구 분	전체 용지	시가화 용지 <sup>3)</sup> (용도지역)			
		전체	주거	상업	공업
면적(km <sup>2</sup> )	153.52	38.68	29.79	4.06	4.83
비율(%)	100.0	25.2	19.4	2.6	3.1
박스크기(m)	17,500	9,800	9,800	8,200	4,800
박스크기 축소율	박스크기 / 2				
분석요소	건축물, 도로				
분석 도면 / 시점	도로	1:2,5000 수치지형도			2
	건축물				0
	용도지역	청주시지리정보(GIS)			05

#### 4. 도시공간구조의 프랙탈 차원 분석

프랙탈 특성 분석을 위한 박스계수법의 적용은 건축물 분포와 도로 구조를 청주시 전체와 시가화 용지로 나누어 비교분석을 실시하였다. 비시가화 용지는 건축물 및 도로의 형성이 시가화 용지에 비해 규모가 작고 부분적이다. 즉, 복잡성이 낮기 때문에 비시가화 용지를 포함한 전체용지의 프랙탈 차원은 시가화 용지에 비해 떨어질 것으로 판단된다. 따라서 청주시 전체용지와 시가화 용지의 프랙탈 차원을 비교 분석함으로써 청주시의 시가화율을 판단하는 근거가 될 것으로 판단된다.

##### 1) 건축물 분포

###### (1) 청주시 전체용지

청주시 전체용지의 건축물의 수는 약 93,186동이며, 시가화 용지는 주거지역 57,426동, 상업지역 9,961동, 공업지역 227동이다. 박스의 크기는 청주시의 전체용지의 건축물을 모두 포함할 수 있도록 17,500m×17,500m의 분석영역을 설정하고 각 변을 1/2씩 축소하면서 프랙탈 차원을 계산 하였다. 여기서 최소 박스의 크기는 건축물을 중심으로 하기 때문에 건축물 한 동의 크기보다 작은 박스로 나누는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단하여 건축물 한 동을 포함할 수 있을 정도까지의 크기로 나누었다. 따라서 최소 분할 대지면적인 60m<sup>2</sup>을 기

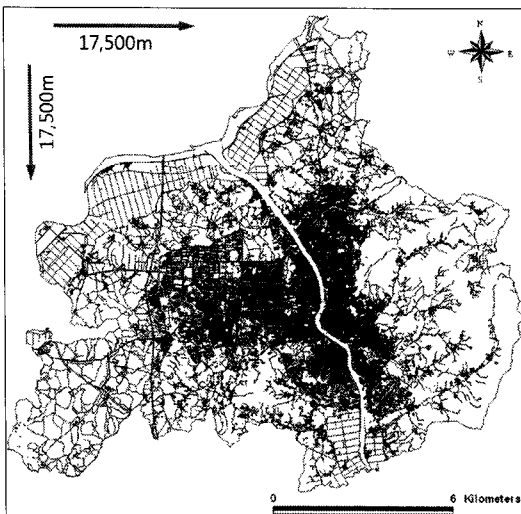


그림 8. 청주시 건축물, 도로 및 전체 박스크기

박스 계수법을 이용한 도시공간구조의 프랙탈 차원 분석: 청주시의 건축물 분포 및 도로구조 사례를 중심으로

준으로 한변의 길이를 이와 가장 근사값인 9m로 설정하였다. 하지만 청주시 전체용지로 대상을 선정하여 한변의 길이를 9m로 설정할 경우 총 박스의 수가 400만개 이상의 수로 증가하여 데이터의 컴퓨터 처리가 매우 어려워져 17m×17m까지 적용하였다. 이와 같은 가정 하에 청주시 전체용지를 박스로 나누면서 건축물을 포함하는 박스의 수를 산정하면 <표 3>과 같다.

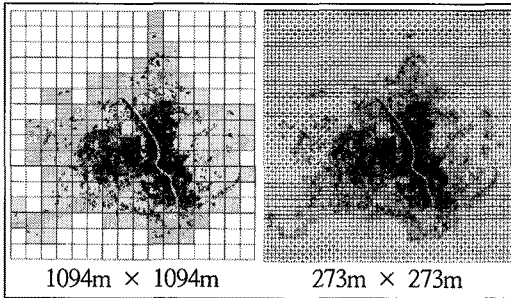


그림 9. 청주시 전체용지(건축물) 박스계수법 예

박스 크기와 박스 수에 각각 대수 값으로 식(5)를 적용하여 선형 그래프로 나타낸 것이 <그림 10>이다. 그래프의 기울기가 프랙탈 차원으로 건축물에 의한 청주시 전체용지의 프랙탈 차원은 1.659로 높게 나타났다. 결정계수 값은 0.999로 높은 신뢰수준을 보여주고 있다.

(2) 청주시 시가화용지

청주시 전체용지와외의 비교분석을 위해 청주시의 시가화용지 전체와 부분적으로 주거, 상업, 공업지역을 중심으로 분석대상을 설정하였다.

앞 절과 동일한 방법으로 시가화용지 전체와 주거지역은 건축물을 모두 포함할 수 있는 박스크기 9,800m × 9,800m의 분석영역을 설정하고 각 변을 1/2씩 축소하면서 프랙탈 차원을 계산 하였다. 최소 규모의 박스크기는 전체용지 최소 박스크기와 차이가 적은 크기에서 더 이상 세분하지 않았다. 이와 마찬가지로 상업지역은 8,200m × 8,200m,

표 3. 건축물 분포에 의한 프랙탈 차원(전체용지)

단위: m, 갯수

총 박스 수	박스 크기 (s)	포함박스 N(s)	logN(s)	log(s/ε)	R <sup>2*</sup>	D <sup>**</sup>
1	17,500	1	0.0000	0.0000	0.999	1.659
4	8,750	4	0.6021	0.3010		
16	4,375	13	1.1139	0.6021		
64	2,488	44	1.6435	0.9030		
256	1,094	138	2.1399	1.2040		
1,024	547	451	2.6542	1.5051		
4,096	273	1,420	3.1523	1.8069		
16,384	137	4,280	3.6314	2.1063		
66,536	68	12,384	4.0929	2.4105		
262,144	34	36,815	4.5660	2.7116		
1,048,576	17	110,791	5.0445	3.0126		

\*\* R<sup>2</sup>=결정계수  
\*\* D=프랙탈 차원

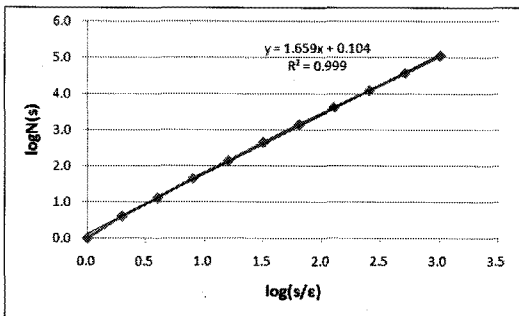


그림 10. 청주시 전체용지(건축물)의 프랙탈 차원

공업지역은 4,800m × 4,800m의 분석영역을 설정하고 각 변을 1/2씩 축소하였고, 최소 규모의 박스크기도 전체용지 최소 박스크기와 차이가 적은 크기에서 더 이상 세분하지 않았다.

시가화 용지의 경우 프랙탈 차원이 전체 1.7589, 주거지역 1.7167, 상업지역 1.4069, 공업지역 1.5787으로 나타났으며, 결정계수 모두 0.9 이상으로 높은 신뢰수준을 보여주고 있다. 여기서 시가화용지 전체 및 주거지역은 청주시 전체용지를 대상으로



표 4. 건축물 분포에 의한 프랙탈 차원(시가화 용지)

단위: m, 개수

총 박스 개수	시가화용지				주거지역				상업지역				공업지역			
	박스 크기(s)	포함 박스 N(s)	log (s/ε)	logN (s)	박스 크기(s)	포함 박스	log (s/ε)	logN (s)	박스 크기(s)	포함 박스	log (s/ε)	logN (s)	박스 크기(s)	포함 박스	log (s/ε)	logN (s)
1	9,800	1	0.0000	0.0000	9,800	1	0.0000	0.0000	8,200	1	0.0000	0.0000	4,800	1	0.0000	0.0000
4	4,900	4	0.3010	0.6021	4,900	4	0.3010	0.6021	4,100	4	0.3010	0.6021	2,400	4	0.3010	0.6021
16	2,450	15	0.6021	1.1761	2,450	14	0.6021	1.1461	2,050	12	0.6021	1.0792	1,200	8	0.6021	0.9031
64	1,225	47	0.9031	1.6721	1,225	43	0.9031	1.6335	1,025	23	0.9031	1.3617	600	25	0.9031	1.3979
256	613	152	1.2038	2.1818	613	135	1.2038	2.1303	513	45	1.2037	1.6532	300	73	1.2041	1.8633
1,024	306	506	1.5055	2.7042	306	432	1.5055	2.6355	256	101	1.5056	2.0043	150	230	1.5051	2.3617
4,096	153	1,723	1.8065	3.2363	153	1,429	1.8065	3.1550	128	306	1.8066	2.4857	75	739	1.8062	2.8686
16,384	77	5,826	2.1047	3.7654	77	4,708	2.1047	3.6728	64	975	2.1076	2.9890	38	2,232	2.1015	3.3487
66,536	38	20,146	2.4114	4.3042	38	15,989	2.4114	4.2038	32	3,218	2.4087	3.5076	19	6,745	2.4025	3.8290
262,144	19	65,764	2.7125	4.8180	19	51,740	2.7125	4.7138	16	10,763	2.7097	4.0319	-	-	-	-
R <sup>2</sup> *	0.9997				0.999				0.9912				0.9983			
D**	1.7589				1.716				1.4069				1.5787			

\*\* R<sup>2</sup>=결정계수  
\*\* D=프랙탈 차원

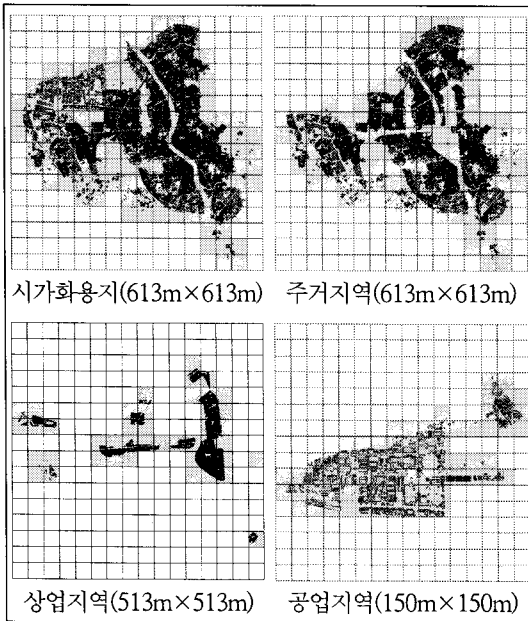


그림 11. 시가화용지(건축물) 박스계수법 예

한 경우보다 건축물의 배치와 형태가 복잡하고 프랙탈성이 강하다 할 수 있다.

전체 시가화용지를 대상으로 하는 경우, 청주시 전체용지에 비해 건축물의 밀도가 높고 가구내의 건축물 배치와 형태가 복잡하며 비슷한 형태의 건축물이 유사한 형태로 배열되어 있음을 프랙탈 차

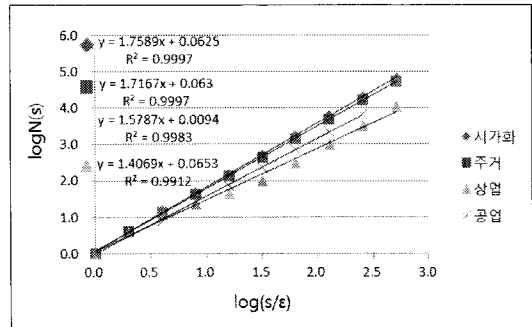


그림 12. 시가화용지(건축물)의 프랙탈 차원

원 값을 통해 알 수 있다. 이에 비해 상업지역과 공업지역은 프랙탈 차원이 낮은 수치를 나타냈다. 상업지역의 경우는 건축물의 배치가 선상에 가깝고, 공업지역은 면적으로 구성하지만 공업지역의 특수한 성격을 반영 하듯이 대부분 건축물의 규모가 크며 복잡함과는 거리가 먼 단순하고 획일적인 형태를 가지고 있기 때문이다.

## 2) 도로 구조

### (1) 청주시 전체용지

다음으로 도로구조를 대상으로 프랙탈 차원을 측정하였다. 분석방법은 앞 절의 건축물에 의한 프랙탈 차원 산정과 동일한 방법으로 진행하였다.

박스 계수법을 이용한 도시공간구조의 프랙탈 차원 분석: 청주시의 건축물 분포 및 도로구조 사례를 중심으로

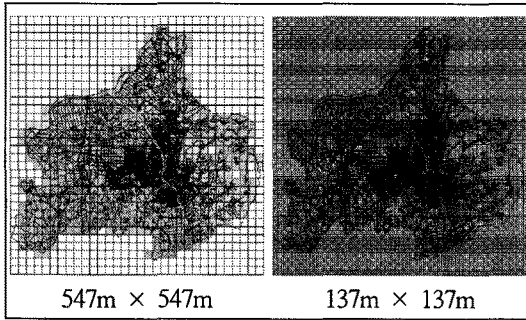


그림 13. 청주시 전체용지(도로) 박스계수법 예

도로는 도시의 골격을 형성하면 도시의 형태를 형성하는 중요한 인자로서 도로의 범위는 법적도로 및 일반적으로 사용되는 사도까지 모두 포함하였다.

<표 5>의 결과에 따라 박스의 크기와 도로를 포함하는 박스의 수에 대한 선형 그래프를 표시하면 <그림 12>와 같다. 도로에 의한 청주시 전체용

지의 프랙탈 차원은 1.704이고 결정계수 값이 0.997로 높은 신뢰수준을 만족하고 있다. 도로의 경우는 건축물 보다 높은 차원으로 나타났다. 이는 건축물과 마찬가지로 도로는 도시 형태를 구분하지만, 도로의 경우는 도시 전체적으로 골격을 형성하여 확산하기 때문에 건축물 보다는 좀 더 복잡성이 강한 것을 알 수 있다.

(2) 청주시 시가화용지

청주시 시가화용지 및 주거지역도 마찬가지로 도로를 모두 포함할 수 있는 박스 크기 9,800m x 9,800m의 분석영역을 설정하고 각 변을 1/2씩 축소하면서 프랙탈 차원을 계산 하였다. 상업지역은 8,200m x 8,200m, 공업지역은 4,800m x 4,800m의 분석영역을 설정하여 각 변을 1/2씩 축소하면서 프랙탈 차원을 산출하였다.

표 5. 도로 구조에 의한 프랙탈 차원(전체용지)

단위: m, 갯수

총 박스 수	박스 크기 (s)	도로 포함 박스 수 N(s)	logN(s)	log(s/e)	R <sup>2</sup> *	D**
1	17,500	1	0.0000	0.0000	0.997	1.704
4	8,750	4	0.6021	0.3010		
16	4,375	14	1.1461	0.6021		
64	2,488	47	1.6721	0.9030		
256	1,094	162	2.2095	1.2040		
1,024	547	559	2.7474	1.5051		
4,096	273	2,037	3.3090	1.8069		
16,384	137	6,655	3.8231	2.1063		
66,536	68	18,940	4.2774	2.4105		
262,144	34	49,001	4.6902	2.7116		
1,048,576	17	117,011	5.0682	3.0126		

\*\* R<sup>2</sup>=결정계수  
\*\* D=프랙탈 차원

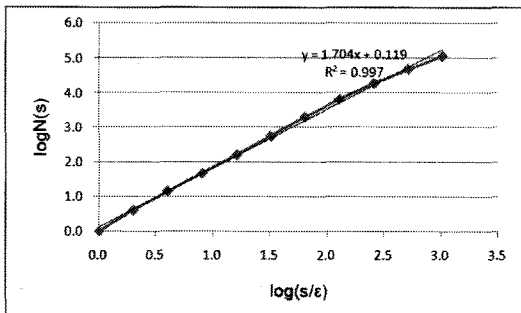


그림 14. 청주시 전체용지(도로)의 프랙탈 차원

박스의 크기와 도로를 포함하는 박스의 수는 <표 8>과 같다. 전체 시가화용지 및 주거지역의 경우 크기가 가장 작은 박스는 19m x 19m로 총 박스의 수는 262,144개이며 이 중 도로를 포함하는 박스의 수는 각각 44,955, 36,100개 이다. 상업, 공업지역의 경우 크기가 가장 작은 박스의 수와 총 박스 수는 상업지역 16m x 16m, 262,144개, 공업지역 19m x 19m, 66,536개 이며, 이 중 도로를 포함하는 박스의 수는 각각 6,779개, 6,745개로 나타났다.

표 6. 도로 구조에 의한 프랙탈 차원(시가화용지)

단위: m, 개수

총 박스 개수	시가화용지				주거지역				상업지역				공업지역			
	박스 크기(s)	포함 박스 N(s)	log (s/ε)	logN (s)	박스 크기(s)	포함 박스	log (s/ε)	logN (s)	박스 크기(s)	포함 박스	log (s/ε)	logN (s)	박스 크기(s)	포함 박스	log (s/ε)	logN (s)
1	9,800	1	0.0000	0.0000	9,800	1	0.0000	0.0000	8,200	1	0.0000	0.0000	4,800	1	0.0000	0.0000
4	4,900	4	0.3010	0.6021	4,900	4	0.3010	0.6021	4,100	4	0.3010	0.6021	2,400	4	0.3010	0.6021
16	2,450	15	0.6021	1.1761	2,450	9	0.6021	1.1461	2,050	11	0.6021	1.0414	1,200	9	0.6021	0.9542
64	1,225	48	0.9031	1.6812	1,225	14	0.9031	1.6435	1,025	22	0.9031	1.3424	600	26	0.9031	1.4150
256	613	152	1.2038	2.1818	613	44	1.2038	2.1303	513	44	1.2037	1.6435	300	77	1.2041	1.8865
1,024	306	521	1.5055	2.7168	306	135	1.5050	2.6454	256	100	1.5056	2.0000	150	226	1.5051	2.3541
4,096	153	1,780	1.8065	3.2504	153	1,472	1.8065	3.1679	128	295	1.8066	2.4698	75	589	1.8062	2.7701
16,384	77	5,561	2.1047	3.7452	77	4,548	2.1047	3.6578	64	909	2.1076	2.9586	38	1,543	2.1015	3.1884
66,536	38	17,011	2.4114	4.2307	38	13,730	2.4114	4.1377	32	2,659	2.4087	3.4247	19	3,744	2.4025	3.5733
262,144	19	44,955	2.7125	4.6528	19	36,100	2.7125	4.5575	16	6,779	2.7097	3.8312	-	-	-	-
R <sup>2</sup> *	0.9987				0.9989				0.9946				0.9946			
D**	1.7172				1.6779				1.3600				1.4774			

\*\* R<sup>2</sup>=결정계수  
\*\* D=프랙탈 차원

시가화용지의 경우 <그림 14>와 같이 프랙탈 차원이 전체 시가화용지 1.7172, 주거지역 1.6779, 상업지역 1.3600, 공업지역 1.4774로 나타났으며, 결정계수 모두 0.9 이상으로 높은 신뢰수준을 보여주고 있다.

청주시 전체용지의 프랙탈 차원과 유사한 전체

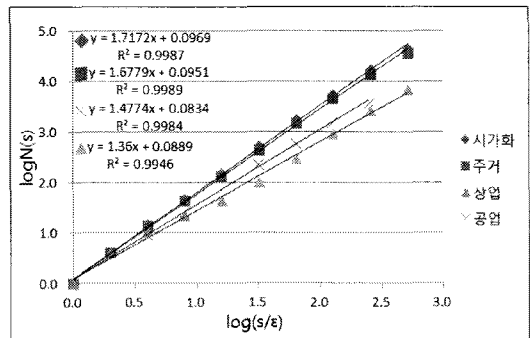


그림 14. 청주시 전체용지(도로)의 프랙탈 차원

시가화용지 및 주거지역을 제외하고는 모두 낮은 수치를 보이고 있다. 이러한 현상은 건축물에 의한 프랙탈 특성과 마찬가지로 상업지역은 선상에 가깝고, 공업지역은 도로 구조가 단순한 형태로 반복되기 때문에 프랙탈의 고유 특성인 복잡성이 낮게 나타난 것으로 해석할 수 있다.

### 3) 분석결과 종합

분석 결과 건축물과 도로에 의한 프랙탈 차원은 모두 높고 유사한 결과 값으로 나타났다. 이는 도로와 건축물은 강한 상관관계 있음을 증명하며 도시의 복잡성을 설명할 수 있는 프랙탈 특성의 분

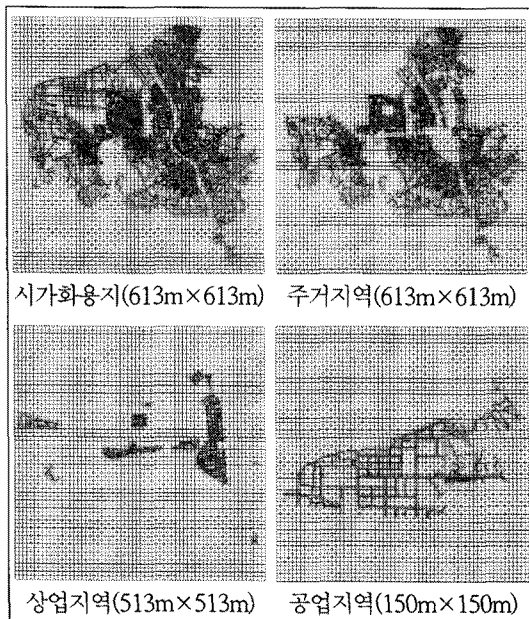


그림 13. 시가화용지(도로) 박스계수법 예

석 요소로 활용할 수 있음을 시사한다. 부분적으로는 전체용지보다 시가화용지가 좀 더 높은 프랙탈 차원 값이 나타났다. 시가화용지는 청주시 전체용지에 비해 작은 공간이지만 실질적으로 도시의 공간이 압축적으로 구성되고 내부적으로 건축물의 개발 밀도가 높다. 이러한 영향으로 공간의 형태를 결정하는 가구 내의 건축물 배치 및 도로 구조의 복잡성이 높은 것을 구체적인 수치로 확인할 수 있다. 상업지역과 공업지역은 건축물 분포 및 도로 구조 모두 프랙탈 차원이 낮은 결과 값을 나타냈다. 이러한 현상은 청주시의 상업지역은 선상으로 도시공간을 형성해 나가고 있으며, 공업지역은 지역의 특성상 규모가 크며 단순하고 획일적인 구조로 공간을 형성하기 때문으로 해석할 수 있다. 하지만 전체적으로 볼 때 청주시 공간구조 상 상업지역 및 공업지역은 주거지역 내부에 형성되어 있는 공간을 나타내고 있기 때문에 주거지역과 하나의 공간으로 간주해야 될 것이다. 이러한 차원으로 볼 때 청주시의 프랙탈 차원은 주거, 상업, 공업지역을 포함한 시가화용지로 간주하는 것이 옳바르다고 판단되며, 이는 곧 시가화 정도에 따라 도시의 복잡성 및 구성요소 간의 복잡성이 커짐을 예측할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 청주시의 건축물 분포와 도로 구조를 대상으로 청주시 전체용지와 시가화용지 간의 프랙탈 특성을 분석하였다. 이를 위해 도시적 차원에서 나타나는 프랙탈 특성을 고찰하고 프랙탈 특성을 산정하기 위한 방법으로 박스계수법을 활용하였다.

분석결과 건축물 분포와 도로 구조에 의한 청주시의 프랙탈 차원은 전체적으로 높게 나타났지만 부분적으로는 청주시 전체용지 보다는 시가화용지가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 건축물과 도로는 도시화가 진행되면서 도시의 형태와 골격을 형성하면서 확산되는 성격을 지니고 있다. 도시에서 시가지 확산은 그 공간 내부의 수많은 구성요소들이 유기적 관계를 형성하면서 이루어진다. 따라서 그 도시공간내부 구조는 복잡성이 커질 수 밖에 없다. 이는 건축물과 도로에 의한 프

랙탈 차원이 도시 전체용지보다 시가화용지에서 더 높게 나타난 것에서 명백히 알 수 있다. 결론적으로 도시의 프랙탈 차원은 도시화가 진행되면서 형성되는 시가화용지를 통해서 그 도시의 도시화율을 설명할 수 있겠다.

위에서 제시한 연구 의의에도 불구하고 본 연구에서 사용된 수치지형도는 지도화 과정에서 일반화 과정을 거치게 되기 때문에 축척이 달라지면 분석의 결과가 달라지는 한계가 노출된다. 또한 특정 시점에 초점을 두어 진행되었기 때문에 연구의 논리적 근거로 제시하기에는 한계가 있다. 따라서 향후 시계열적인 도시공간구조의 변화를 프랙탈 차원을 통해 규명하면 미래 도시의 도시화에 대한 정량적인 지표로 활용될 가능성이 있음을 시사한다.

## 주

- 1) 외관상으로는 무질서하고 불규칙적으로 보이지만 나름대로 질서와 규칙성을 지니고 있는 현상들을 설명하려는 이론이다.
- 2) 자료: <http://www.afactal.com>
- 3) 도시기본계획 수립지침의 제5절 토지이용계획에서 시가화용지는 현재 시가화가 형성된 기개발지로서 도시지역내 주거지역, 상업지역, 공업지역을 말한다.

## 문헌

- 공은미·김영옥·신행우, 2009, 도시성장에 따른 도시 공간구조 및 기능 변화에 관한 연구, 한국도시설계학회지, 10(3), 19-32.
- 구본철, 2001, sub-area와 전체영상간의 프랙탈 차원 차이를 이용한 분류정확도 추정 기법에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김승환, 1993, 카오스와 프랙탈: 자연 속에 숨은 질서, 외국문학, 36, 12-37.
- 문태현, 2005, 건물분포를 고려한 도시형태의 프랙탈(Fractal) 해석, 한국지리정보학회지, 8(3), 1-10.
- 박형규·서유석, 2009, 마산시의 도시공간구조 변천과 변화요인 분석, 한국도시설계학회지, 10(3), 5-18.
- 선권수, 2009, 중심지체계와 도시공간구조 특성에

- 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문.
- 신병윤, 2002, 경계없는 형태와 공간을 향하여, Spacetime시공문화사, 서울.
- 엄정기·조태진·권순진, 2006, 절리암반내 지구 조구 설정을 위한 정량적 기준에 대한 연구, 한국암반공학회지, 16(1), 26-37.
- 이상민, 2007, 프랙탈(Fractal) 이론을 이용한 도시 공간구조 해석에 관한 연구, 안양대학교 석사학위 논문.
- 이상욱, 2007, 한국의 전통 및 근대기 마을에서의 프랙탈 구조 연구, 목원대학교 석사학위논문.
- 이은수·김영석, 2008, 프랙탈 기하학의 형태 생성 알고리즘을 적용한 도시집합주거 계획안, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, 797-803.
- 이충호, 2009, 프랙탈 기하학, 김영사, 파주(Nigel, Lesmoir-Gordon, Will, Rood and Ralph, Edney., 2000, *Introducing Fractal Geometry*, Totem Books).
- 이현열, 1999, 알기쉬운 프랙탈 입문, 영한출판사, 서울.
- 차상화·권기욱, 2001, GIS를 이용한 하천유역의 프랙탈 특성 분석, 한국지리정보학회지, 4(4), 51-60.
- 최종근, 2007, 지구통계학, (주)시그마프레스, 서울.
- Crompton, A., 2000, The Fractal Nature of the Everyday Environment, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(2), 243-254.
- Batty, Michael and Longley, Paul., 1994, *Fractal Cities*, Academic Press, London.
- Decola, L., 1991, Fractal analysis of multiscale spatial autocorrelation among point data, *EPA*, 23, 546-556.
- Lucien Benguigui C., Daniel, M., Maria and P., Yuval, 2000, When and where is a city fractal, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27, 507-519.
- 교신 : 황희연(충북대학교 도시공학과, hwang@cbu.ac.kr, 전화: 043-261-2494)  
Correspondence : Hwang, Hee-Yun, Urban Engineering Chungbuk National University(hwang@cbu.ac.kr, phone: 043-261-2494)
- (접수: 2010.5.24, 수정: 2010.6.17, 채택: 2010.7.20)