

공간자기상관분석을 통한 시계열적 경관구조의 변화 분석*

- 남양주시지역을 대상으로 -

김희주¹⁾ · 오규식¹⁾ · 이동근²⁾

¹⁾ 한양대학교 도시공학과 · ²⁾ 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

A Time-Series Analysis of Landscape Structural Changes using the Spatial Autocorrelation Method*

- Focusing on Namyangju Area -

Kim, Heeju¹⁾ · Oh, Kyushik¹⁾ and Lee, Dongkun²⁾

¹⁾ Department of Urban Planning, Hanyang University,

²⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University.

ABSTRACT

In order to determine temporal changes of the urban landscape, interdependence and interaction among geo-spatial objects can be analyzed using GIS analytic methods. In this study, to investigate changes in the landscape structure of the Namyangju area, the size and shape of landscape patches, and the distance between the patches were analyzed with the Spatial Autocorrelation Method. In addition, both global and local spatial autocorrelation analyses were conducted.

The results of global Moran's I revealed that both patch size and shape index transformed to a more dispersed pattern over time. Next, the local Moran's I of patch size in all time series determined that almost all patches were of a high-low pattern. Meanwhile, the local Moran's I of the

* 본 연구는 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. R01-2008-000-20348-0).

First author : Kim, Heeju, Department of Urban Planning, Hanyang University,
Tel : +82-2-2298-5410, E-mail : hjkim@sdi.re.kr

Corresponding author : Oh, Kyushik, Department of Urban Planning, Hanyang University,
Tel : +82-2-2220-0336, E-mail : ksoh@hanyang.ac.kr

Received : 26 November, 2010. **Revised** : 24 December, 2010. **Accepted** : 2 May, 2011.

shape index was found to have changed from a high-high pattern to a high-low pattern in time series. Finally, as time passes, the number of hot spot patches about size and shape index had been decreased according to the results of hot spot analysis. These changes appeared around the development projects in the study area.

From the results of this study, degradation of landscape patches in Namyangju were ascertained and their specific areas were delineated. Such results can be used as useful data in selecting areas for conservation and for preparing plans and strategies in environmental restoration.

Key Words : *Landscape Ecology, Moran's I, Spatial Autocorrelation Method, Hot Spot, GIS*

I. 서 론

도시경관은 자연적 간섭뿐 아니라 인간의 활동에 의한 간섭이 큰 지역이다. 시간의 흐름에 따라 동적인 공간 변화를 보이고 도시경관 내에서 그 변화는 경관과 생태적 대상(생물종, 에너지의 흐름, 물질의 분포 등)의 공간적 패턴에 영향을 미친다. 김태민 외(2008)는 어느 한 수준의 공간 분포와 출현패턴의 분석은 그 수준의 생태적 특성분석에 중요한 수단이 된다고 하였다. 이렇듯 경관 내에서 경관구조의 공간적 패턴은 생태계 군집에 중요한 영향을 주고, 이러한 공간패턴에 대한 변화를 분석하고 살펴보는 것은 경관생태계를 평가함에 있어 매우 중요하다(홍선기 외, 2007). 그리고 경관조각과 같은 경관구조 요소들의 공간적 분포 및 패턴 등은 공간분석에 있어 대표적 기법인 GIS 분석방법을 활용하여 계량화할 수 있다. 최근에는 GIS관련 프로그램들에 공간계량분석 기법들이 통합되어 공간적 계량분석이 더욱 발전하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 도시경관의 시간적 구조변화를 대상으로 공간객체간의 상호의존성과 상호작용을 GIS 공간통계 분석을 이용하여 분석하고자 한다.

II. 이론고찰 및 관련연구 동향

1. 경관구조 변화 연구

경관생태학에서 경관을 3개 요소인 구조, 기

능, 변화의 상호 관계에 의해 설명하고 있다. 구조는 경관요소의 공간적 크기와 형상, 수, 종류, 방향, 대비, 구성요소들의 짜임과 관련된 에너지와 물질, 생물 그리고 유형의 분포상태를 말한다. 기능은 공간적인 요소의 상호작용으로 경관요소 사이에서 일어나는 에너지와 물질, 생물종 그리고 정보의 흐름을 의미한다. 변화는 시간에 따른 구조와 기능의 변화특성을 말하는 것으로 구조는 흐름을 결정하고 흐름은 구조의 변화를 초래한다(이도원, 2001).

경관생태학에서는 대표적으로 경관구조와 관련된 연구(박찬열, 1994; Gustafson and Parker, 1994; Zuidem et al, 1996; 이종성, 1998; 장갑수 · 박인환, 1999; 정종철, 1999; 조용현, 2000; Cook, 2002)가 활발하게 이루어져 왔다. 그리고 경관구조의 정량화방법 연구로 경관지수를 활용한 연구(McGarigal and Marks, 1994; Kohn and Walsh, 1994; 김명수 · 안동만, 1996; 조용현, 2000; 김명수, 2002; 윤은주, 2006)가 많이 이루어졌다. McGarigal과 Marks(1994)는 경관조각, 통로, 매트릭스와 같은 경관구조에 따라 그 요소를 구분하고 면적지수, 형태지수, 가장자리지수, 근접성지수 등 다양한 지수를 통해 지역생태계의 현황과 변화를 살펴볼 수 있다고 하였다. 김명수와 안동만(1996)은 경관구조 중 경관조각에 해당되는 도시내 공원을 선정하여 각 조각의 형태적 특징을 분석하고 조각간 상호작용의 정도를 알아보기 위해 경관조각의 분산도를 분석하였다. 오

정학 외(2007)는 백두대간의 지속가능한 보전 및 주변 환경과의 조화로운 관리방안을 수립하기 위해 GIS와 경관지수를 이용하여 시계열적인 토지피복 및 경관구조의 변화를 분석하였다.

2. GIS를 활용한 공간통계 관련 연구

GIS 공간통계분석을 이용한 공간분석은 중첩(Overlay), 버퍼링(Buffering), 근린분석(Neighboring) 등의 시각적 분석(지도화) 기능뿐만 아니라 각 위치정보와 속성정보가 가지는 공간적 관계를 고려한 통계적 기법을 이용하는 것이다. GIS에 통계기법을 접목시킨 공간통계분석은 공간자료가 가지는 공간적 자기상관 또는 공간의존성 및 공간이질성의 존재를 파악함으로써(하창현, 2005) 공간자료간의 관계분석에 적극 활용할 수 있다. 김광구(2003)는 최신 기술의 발달은 복잡한 통계분석을 가능하게 하고 공간계량분석의 발전에 커다란 영향을 미쳤으며, 이로 인해 대용량의 공간자료를 손쉽게 다룰 수 있는 GIS의 발전에도 연결된다고 하였다. 공간분석에 GIS의 활용은 레이어들 중첩기능을 통한 공간적 패턴 및 상관성 분석, 시뮬레이션을 통한 공간적 확산 분석, 개인 의사결정과 형태분석을 위한 공간정보의 분석, MAUP(Modifiable Areal Unit Problem)¹⁾ 문제의 접근 등 복잡하고 많은 양의 자료들의 계산을 요구하는 모델링을 수행할 수 있다(김영표 · 임은선, 2004; 윤은주, 2008).

오정학 외(2007)는 생태계를 평가하고 관리할 수 있는 공간단위 개념으로서 유역을 선정하고, 낙동강 유역권의 토지이용을 대상으로 GIS 공간분석 기법을 이용하여 유역의 경관생태적 특성을 분석하였다. 손정우 외(2009)는 도시확장으로 발

생된 난개발, 환경훼손, 교통 등의 문제를 해결하기 위해 도시확장 패턴을 분석하고 통계적 기법을 이용해 광역자치단체 및 대도시권, 지방권의 도시공간구조와 패턴을 분석하였다. 정대영 · 손영기(2009)는 공간특성 분석을 목적으로 근린생활권내의 점포 밀집도, 분산의 형태를 가시적으로 분석하고 공간자기상관분석을 통해 업종간 공간의존성 및 자기상관과 공간 이질성을 파악하였다.

3. 공간자기상관분석 연구

Tober의 지리 제1법칙에서 공간상의 객체들은 공간상에 무작위하게 있지 않고, 서로 간에 영향을 주고받으며 존재한다고 하였다(Tober, 1970). 지리적 공간상에서 공간객체간의 상호의존성과 상호작용을 공간적 자기상관 관계(Global Spatial Autocorrelation)라고 할 수 있다. 즉, 공간자기상관은 인문 사회적 또는 자연적 현상들이 지리적 공간상에서 갖는 상호의존성 및 상호작용이며(하창현, 2005; 정대영 · 손영기, 2009), 주어진 거리 내에서 무작위변수(Random Variable)가 어떠한 상호관계를 보이고 있는지 파악하여 공간적 상호의존성을 평가하는 것이다(홍선기 외, 2007). 관련 연구로 김영 · 하창현과 안정근(2004), 하창현(2005)은 모도시로서 마산시와 자족적 신도시로 이루어진 창원시를 대상으로 두 도시 상호영향력을 공간구조차원에서 규명하고 기존 공간구조분석기법의 고찰과 공간적 자기상관분석을 고려한 공간통계분석을 비교 · 평가하였다. 정대영 · 손영기(2009)는 지리적인 공간상에서 공간객체간의 상호의존성과 상호작용을 통계적 상관분석을 이용하여 서비스업종간의 상관분석법을 제시하였다. 변병설(2004)은 공간자기상관분석을 이용하여 서울시 중심부 토지이용의 군집현상을 분석하고 도심기능이 유사한 것끼리는 강한 군집을 형성하여, 도시중심부 토지이용에는 유기적인 질서가 존재하고 생태적인 공생관계가 있음을 확인하였다. 최현우 외(2007)는 해양환경의 시공간적

1) MAUP(Modifiable Areal Unit Problem)는 ‘공간단위 수정가능성의 문제’라고 번역되며, 1979년 Openshaw와 Taylor에 의해 생성된 용어로, 연구에 이용되는 공간단위의 선택은 기본적으로 작위적(공간단위의 수정가능성)이며, 연구결과에 이용된 공간단위의 크기에 영향을 받아 분석결과 통계치들이 달라진다는 것이다(김영표 · 임은선, 2004).

표 1. 남양주시 사업유형에 따른 건수 및 면적.

사업유형	1995년 이전	1995년 이후	2005년 이후	계 (건)	면적 (km ²)
도로의 건설	-	12	3	15	3.901
도시의 개발	-	4	3	7	11.534
산업입지 및 산업단지의 조성	-	1	-	1	0.260
에너지개발	-	2	-	2	37.737
철도(도시철도 포함)의 건설	-	5	-	5	2.826
체육시설의 설치	3	2	1	6	5.919
토석모래자갈광물 등의 채취	-	-	1	1	0.148
폐기물처리시설 및 분뇨처리시설의 설치	-	2	-	2	-
합	3	28	8	39	62.326

※ 환경영향평가정보지원시스템(EIASS) 등록 자료 참고.

분포 패턴을 정량적으로 분석하기 위해 글로벌 및 국지적 공간자기상관 통계를 적용하였다.

4. 기존연구의 한계

앞서 살펴본 바와 같이 경관구조를 계량적으로 분석하는 연구는 도시경관의 생태환경에 대한 기능과 공간적 패턴을 설명하는데 중요하고, 공간 요소간의 상관성을 분석함으로써 도시 공간에서 경관의 공간적 역할도 유추할 수 있다. 그러나 도시생태공간을 대상으로 경관구조 요소간의 공간적 상관성 또는 연관성에 대해 GIS를 활용한 공간통계분석 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구는 GIS 공간통계분석 기법 중 공간자기상관기법(Spatial Autocorrelation)을 사례 대상지에 적용하여 경관구조의 변화 방향을 파악하고, 공간 분포와 패턴의 상관성 또는 연관성을 분석하고자 한다. 이와 같은 도시내 경관구조의 변화와 흐름에 대한 공간 계량화 분석은 미래 도시공간의 변화방향을 예측 가능하게 하여 보다 생태적으로 안정적인 도시환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것이다.

III. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구에서는 남양주시를 사례 대상지로 한

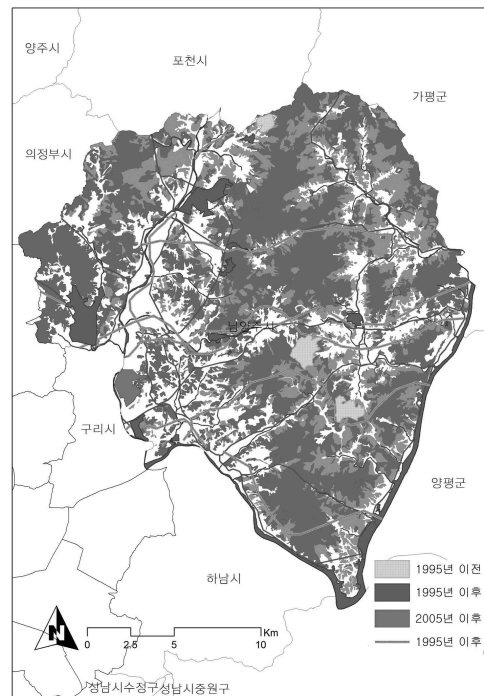


그림 1. 대상지내 주요 개발사업.

다. 대상지 면적은 458.5km²로 경기도의 4.5%에 해당되며 530,611명이 거주하고 있다. 임야가 전체 행정구역 중 68.6%로 절반 이상을 차지하며, 규제지역은 개발제한구역이 186.13km²(40.6%), 상수원특별대책지역 194.91km²(42.3%), 상수원보호구역 42.38km²(9.2%), 군사시설보호구역 47.3km²

(10.0%)에 달하고 전체면적의 절반 이상이 보호 또는 규제지역으로 지정되어 있다. 그러나 최근 각종 개발규제의 완화로 도로 및 주택건설 등이 활발히 진행되고 있으며 이에 따른 녹지의 파편화가 급격히 이루어지고 있다. 대상지의 과거 개발현황을 살펴보면 1995년 이전에는 골프장건설이 주를 이루었으며 1995년 이후부터 현재까지는 대규모 택지개발사업(별내지구, 진접지구 등)과 도로확장과 같은 도로건설 사업이 진행되고 있다. 특히 1995년 이후 도로건설, 철도건설(도시철도 포함)과 같은 선형사업이 많이 발생하였다. 또한 미금변전소 건설사업과 송전선로 건설사업과 같은 대규모 에너지개발 사업이 이루어졌다(표 1). 이처럼 본 연구대상지는 우수한 자연환경을 보유하고 있으나 다양한 개발 압력이 지속적으로 증가되고 있어 녹지 및 자연환경의 관리가 절실히 요구되는 지역이다.

2. 연구의 방법

1) 경관구조 분석

경관생태학에서 경관을 이루는 기본단위는 경관구조이다. 생태계에서의 구조가 동일한 공간범위 내에서 생물과 비생물로만 구분하는 상태를 의미한다면, 경관생태학에서의 경관구조는 이질적인 공간요소들이 형성하는 유형을 의미한다(Forman and Godron, 1986). 경관구조의 기본단위는 경관조각(Patch)이고 공간요소간의 상호작용에 영향을 받는다. 면적, 형태, 거리는 경관조각의 특성을 설명하는 가장 중요한 지표로 경관구조 분석에 있어 사용 빈도 또한 높다. 면적은 서식공간의 안정성과 종 다양성에 직접적인 영향을 주고, 각종 개발에 따른 영향을 직관적으로 판단할 수 있게 한다. 이러한 이유로 패치의 면적은 인위적으로 간섭을 받는 경관에서 자연과 인간에 의해 간섭되는 교란강도를 반영하고 그 강도를 평가하는 수단이 된다(Forman and Godron, 1986; Turner etc., 2001; 이동근 외, 2005). 형태는

시간이 지남에 따라 변하고 형태의 규칙성과 불규칙성은 생물의 이동에 매우 중요하다. Forman과 Godron(1986)은 생물지리학에서 종 분포의 안정성, 확장과 축소, 이동의 분석에 있어 경관조각의 형태가 사용될 수 있다고 하였다. 경관조각의 형태를 측정하기 위해 일반적으로 사용하는 형태지수는 다음과 같다.

$$SI = \frac{P_i}{2\sqrt{A_i\pi}}$$

P_i : 경관조각 i 의 둘레길이

A_i : 경관조각 i 의 면적

마지막으로 공간상에서 경관조각간의 거리가 멀어질수록 파편화는 커지고 연결성은 감소된다. Tischendorf and Fahrig(2000)은 공간상에서의 연결은 생물들의 이동이 가능하다는 것을 의미하고 경관의 기능을 결정한다고 하였다. 이처럼 거리는 경관조각의 유지와 기능을 가능하게 하는 것으로 공간적 분포를 정량적으로 설명하는 중요한 지표중의 하나이다. 본 연구에서는 거리 측정방법 중 인접한 경관조각간의 평균거리(Average Nearest Neighbor)를 사용하여 대상지 경관조각의 기본 현황을 분석하였다(표 2).

대상지의 1985년, 1995년, 2005년의 Landsat TM 위성영상으로 토지피복분류를 하고 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, 이하 NDVI)를 이용하여 경관조각을 추출하였다. 토지피복분류는 다년간의 분류를 통해 시계열적인 경관의 변화량과 그에 따른 공간 변화를 추출함에 있어 통계연보 등에 의한 통계자료보다 공간상의 분포 파악이 용이하여 널리 이용되고 있다. 한편 여러 가지 식생지수중 가장 많이 사용되는 NDVI는 식물의 활력도와 녹피율에 따른 가시광선과 근적외선 파장대 광선의 반사량의 차이를 이용하는 것으로 최소 -1에서 최대 1의 범위를 가지며 지수값이 높은 지역이 산림이나 초목을 나타낸다.

표 2. 대상지경관조각의 면적, 형태지수, 거리분석.

년	개	면적(m ²)			형태지수		거리(m)	
		경관조각	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준화점수
1985	1,018	352,351,819	311,992.406951	8,518,163.863614	1.32	0.40	85.824728	-55.948819
1995	2,862	349,780,433	106,463.097455	4,665,839.186757	1.31	0.30	126.576819	-45.671432
2005	2,266	336,368,629	135,057.591187	4,369,671.308361	1.33	0.36	150.527079	-37.399178

2) GIS를 활용한 공간자기상관 분석

(1) 전역적 공간자기상관 분석

대상지역 전체에 걸쳐 공간적 자기상관 관계를 측정하는 대표적인 지수로 Moran's I 가 있다. Global Moran's I 지수는 전체 연구지역에 걸쳐 유사한 값을 갖는 경우 '정적(Positive) 공간상관'을 갖는 반면, 인접한 공간 단위들이 서로 상이한 값들을 갖게 되면 Moran's I 지수는 높은 '부적(Negative) 공간상관'을 갖게 된다. Moran's I 지수는 -1(부적 공간자기상관)에서부터 +1(정적 공간자기상관)까지의 값을 갖는다.

$$Moran's I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

n : 경관조각의 전체 개수

w_{ij} : i 와 j 사이의 강도를 나타내는 가중치
(이웃하고 있으면 1, 그렇지 않으면 0)

\bar{x} : x 의 평균값

위의 식에서 분모를 보면 공간단위 i 와 j 가 인접할 경우 이들의 변수 x 의 값들이 이 변수의 평균값 \bar{x} 와의 차이가 계산된 후 서로 곱해지게 된다. 이 때 x_i 와 x_j 가 모두 평균값 \bar{x} 보다 클 때와 모두 작을 경우 이들의 곱은 양수가 되어 '정의 공간자기상관'을 갖게 된다. 하지만 x_i 가 평균값 \bar{x} 보다 크고 x_j 가 평균값 \bar{x} 보다 작을 경우 음수를 갖게 되어 '부적 공간자기상관'을 나타낸다(김광구, 2003).

(2) 국지적 공간자기상관 분석

국지적지수(Local Spatial Autocorrelation, 이하 LISA)는 공간자기상관의 범위를 국지화 시켜 특정 영역과 그 주변을 둘러싼 지역들을 개별적으로 비교한다. 연구지역이 상대적으로 넓은 경우 이 지역 안에서도 공간자기상관이 발생할 수 있고, 국지적인 규모에서 공간자기상관 정도를 측정하기 위해서는 각각의 공간단위에서 공간자기상관값이 계산되어야 한다. Anselin(1995)은 Moran's I와 Geary C를 재정의해 연구지역내에서 발생할 수 있는 공간자기상관의 국지적 변이를 고려한 국지적 공간자기상관(Local Indicators of Spatial Autocorrelation, LISA)을 제시하였다. 여러 LISA 중 가장 손쉽게 활용될 수 있는 것이 Local Moran's I이고 다음과 같이 정의된다.

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

n : 경관조각의 전체 개수

w_{ij} : 관련된 경관조각 i 와 j 사이의 강도를 나타내는 가중치

z_i, z_j : 평균과의 편차

위의 식에 따르면, 공간단위 i 와 인접한 j 만을 i 에 고려해 합을 구한다(김광구, 2003). LISA를 이용하면 '특정지역과 주변지역 간의 차이'를 통해 Hot Spot과 Cold Spot을 찾아낼 수 있다. 그러나 Local Moran's I나 Local Geary C도 인접한 곳에 있는 속성값이 얼마나 비슷한지만 측정하기 때문에 Hot Spot이나 Cold Spot 구분에는 어려움이 있다. 연구지역 전체에 걸쳐 통계적으로 유의

미한 공간자기상관이 측정되는 경우 국지적으로 어느 곳에 Hot Spot과 Cold Spot이 있는지 파악할 필요가 있다(임현우 외, 2009).

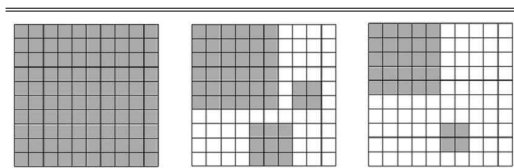
$$G^*_i = \frac{\sum_j w_{ij} x_j}{\sum_j x_j}$$

거리 내 인접한 경관조각들과 거리 가중치를 곱한 합을 구하고, 이를 연구지역 전체의 이웃한 모든 경관조각들의 합으로 나눈다. G^*_i 가 0에 근접하면 대상 경관조각 주위의 값이 전체 지역의 평균에 가깝거나 높고 낮은 값들이 이질적으로 분포하고 있으며 G^*_i 가 낮은 값이면 주위 경관조각들이 낮은 값의 군집을, 높은 값이면 주위 경관조각들이 높은 값의 군집을 이루는 것이다. 따라서 G^*_i 는 군집을 이루는 속성 값의 Hot Spot과 Cold Spot을 파악하게 한다(최현우 외, 2007).

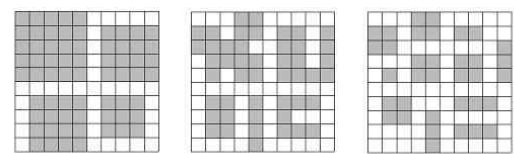
IV. 분석의 결과

1. 남양주시 경관조각 현황

경관조각 추출을 위해 1985년, 1995년, 2005년의 3개년도 영상을 대상으로 토지피복분류를 실시하고, 오류를 최소화하기 위해 NDVI를 산출하



A. 경관조각의 파편화와 소실



B. 경관조각의 파편화와 공간적 분포

그림 2. 국지적 범위에서 경관조각의 파편화로 인한 소실(A)과 공간적 분포(B) 예시.

였다. 다음으로 남양주시 경관조각의 3개년도별 면적, 형태지수, 거리를 분석하였다(표 2).

남양주시의 전체 경관조각 면적은 1985년(352km²)에서 2005년(336km²)으로 감소하였으며, 표준편차의 값도 작아졌다. 전체 개수는 1995년에 1985년 대비 60%이상의 증가를 보이다가 2005년에는 1995년 대비 21%(596개)로 감소하였고, 2005년의 평균면적은 1995년과 비교하여 오히려 커진 것으로 나타났다. 전체 경관조각의 개수와 평균면적의 변화를 살펴보면 1985년에서 1995년에 경관조각의 파편화가 심각하게 증가되었고, 1995년에서 2005년에는 파편화되어 작은 면적의 경관조각이 소실되고 있는 것을 알 수 있다(그림 2의 A). 연도별 형태지수의 변화는 미미한 것으로 나타났다. 경관조각간의 평균거리가 시간이 경과함에 멀어지는 것으로 나타났고 거리 표준화점수가 음(-)의 값을 보임에 따라 경관조각간 거리가 분산되고 있는 것으로 분석되었다(표 2). 이는 하나의 덩어리였던 경관조각이 비슷한 크기의 작은 경관조각으로 파편화되면서 파편화된 조각끼리 인접함에 따른 결과로 볼 수 있다(그림 2의 B). 이러한 경관조각의 소실, 형태지수로 본 경관조각 외연부 형태의 변화, 경관조각간의 거리 증가와 같은 변화는 생물종 서식처의 변화를 야기하고 서식처의 감소, 종간 이동의 방해, 종 고립 및 서식지 다양성을 저해하게 된다. 즉 생물종 공급원으로서의 역할에 부정적인 흐름으로 변화됨에 따라 남양주시의 경관조각은 과거 20년에 걸쳐 양적·질적으로 저하되었다(표 3).

2. 전역적 공간자기상관 분석

전역적 지수인 Global Moran's I를 활용하여 남양주 경관조각의 공간적 자기상관성 분석을 하고 이를 통해 분포 패턴의 변화를 살펴보았다(표 3). 전역적 Moran's I를 활용한 측정값은 남양주시 경관조각들의 상대적인 값을 나타내기 때문에 보다 정확한 해석을 위해서는 측정값을 표준화해야 한다. 표준화점수는 측정값에서 기대치를 뺀

표 3. 전역적 지수를 이용한 분석 결과.

년	Moran's I			
	면적		형태지수	
	Index	Z-Score	Index	Z-Score
1985	-0.650089	-37.651149	-1.199966	-43.893340
1995	-0.584124	-64.799836	-0.181409	-11.405524
2005	-0.685883	-60.587229	-0.414431	-19.983148

후, 기대분포의 표준편차로 나눈 값이다. 표준화 점수가 양(+)이면 군집, 음(-)일 경우 분산의 패턴을 나타내며 그 값이 1.65, 1.96, 2.57 이상이면 유의수준 0.1, 0.05, 0.01에서 군집이 우연히 생성되지 않았음을 의미한다(최현우 외 2인, 2007).

남양주시의 전역적 Moran's I를 분석한 결과, 면적과 형태지수의 지수는 모두 음(-)의 값으로 측정되었고 시간이 지날수록 더욱 커지고 있다. 이는 대상이 되는 각 경관조각의 값이 전체 경관조각 평균과의 차보다 작고(-) 인접한 경관조각의 값이 전체 경관조각 평균과의 차보다 큰(+)상태이거나, 대상이 되는 경관조각의 값이 전체 경관조각 평균과의 차보다 크고(+) 인접한 경관조각의 값이 전체 경관조각의 평균보다 작음(-) 상태로서 서로 상이한 값을 가지고 분산되어 있음을 의미한다. 결론적으로 남양주시의 경관조각은 1985년에서 2005년까지 전체적으로 '부적 공간자기상관'을 보이며 전반적으로 분산된 형태를 보이는 패턴으로 나타났다. 이렇게 상이한 면적의 경관조각이 전체지역에 걸쳐 분포되어 있다는 것은 대상지 경관조각의 분포 패턴이 생물종 다양성과 서식지 확보 측면에서 부정적임을 나타낸다.

3. 국지적 공간자기상관 분석

그림 3은 국지적 Moran's I를 이용한 Cluster와 Outliner(Anselin Local Moran's I)분석 결과이다. 전역적 Moran's I와 마찬가지로 높은 값을 갖는 국지적 Moran's I는 유사한 값을 갖는 인접한

경관조각들의 군집(Cluster)을 나타내는 반면, 낮은 국지적 Moran's I는 서로 상이한 값의 군집(Cluster)을 나타낸다. Anselin(2003)은 Moran Scatter Plot에서 국지적 공간의 양상을 4가지로 설명하였다. 제1사분면은 High-High(높은 값이 높은 값과 인접해 있음, HH), 제3사분면은 Low-Low(낮은 값이 낮은 값과 인접해 있음, LL), 제2사분면은 Low-High(낮은 값이 높은 값과 인접해 있음, LH), 제4사분면은 High-Low(높은 값이 낮은 값과 인접해 있음, HL)으로 나타내었다. 이중 HH와 LL은 측정값(Z-Score)이 높거나 혹은 낮거나에 상관없이 대상과 주변의 값이 비슷한 값이 군집되어 있는 패턴을 나타낸다. LH와 HL은 대상의 값은 낮고 주변에는 높은 값들이 인접해 있거나, 대상의 값은 높으나 주변에는 낮은 값들이 인접해 있는 상이한 값이 분포하는 공간패턴을 나타낸다. 본 연구에서는 ArcGIS 9.3의 Cluster and Outlier Analysis(Anselin Local Moran's I) 툴을 이용하여 대상지 경관조각의 국지적 패턴을 분석하였다.

면적지표의 분석결과 주로 HL로 나타났다. 앞서 설명한 바와 같이 면적이 큰 경관조각 주변으로 작은 면적의 경관조각이 분포하는 공간패턴을 보이고 있다. 1995년, 남양주시 중앙부에 위치한 경관조각에서 HH의 패턴이 보이는데, 이는 상대적으로 대상과 인접한 경관조각이 주변부의 경관조각보다 큰 값을 가지고 군집되어 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 2005년에는 해당 지역의 대상과 인접한 경관조각의 주변부가 서로 상관성이 없는 것으로 나타났고, 큰 값의 주변으로 작은 값이 분산되어 있는 HL로 변화되었음을 파악할 수 있다. 형태지수도 경관조각들간에 높은 값이 인접해 있는 HH의 공간적 패턴을 보이다가 시간이 지날수록 주변부는 작은 값들로 둘러싸이는 HL의 공간적 패턴이 변화되는 것으로 나타났다.

그러나 전역적 지수와 마찬가지로 국지적 Moran's I도 인접한 곳에 있는 속성값들이 얼마나 서로 유사한지만을 측정하기 때문에 연구지역

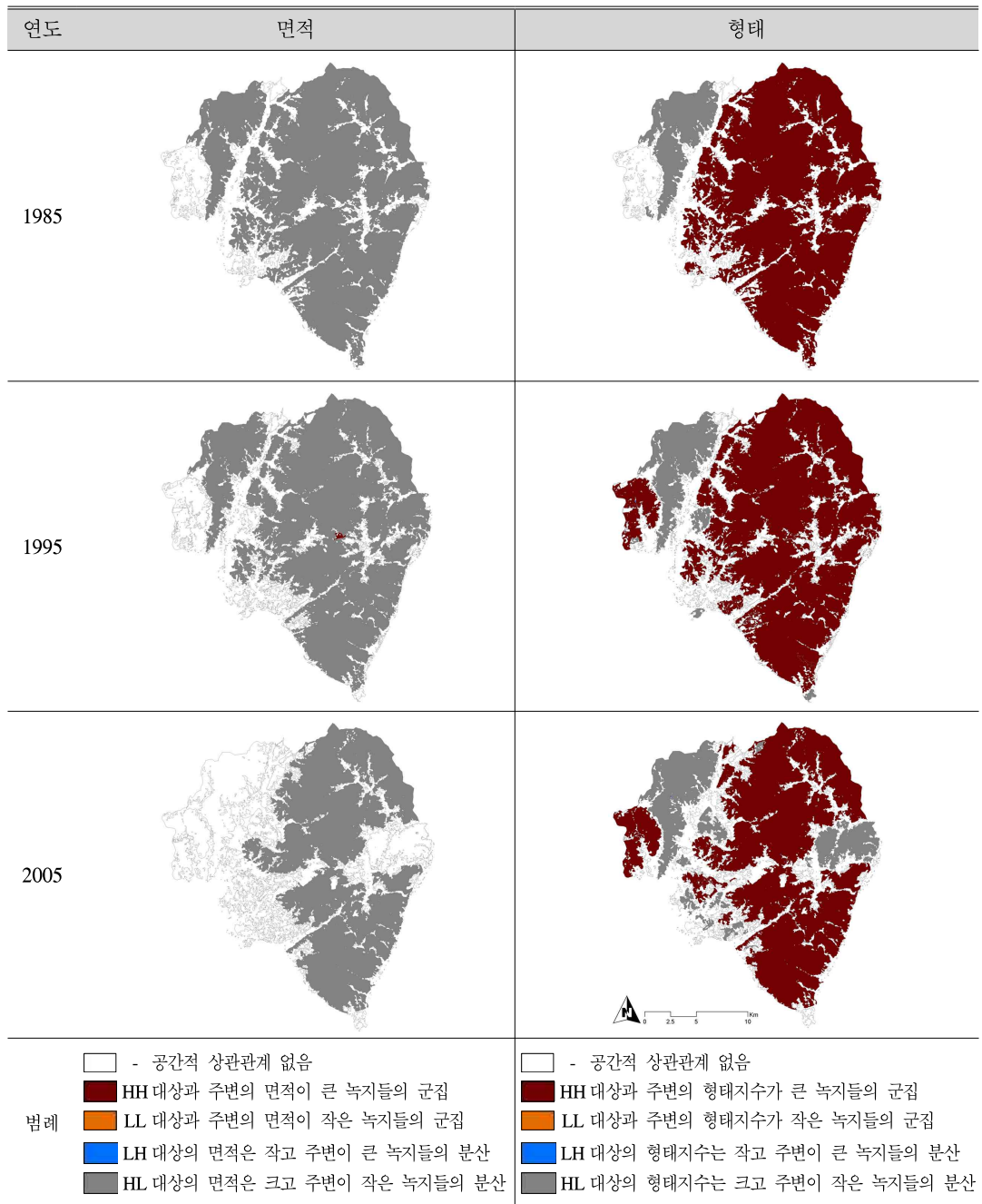
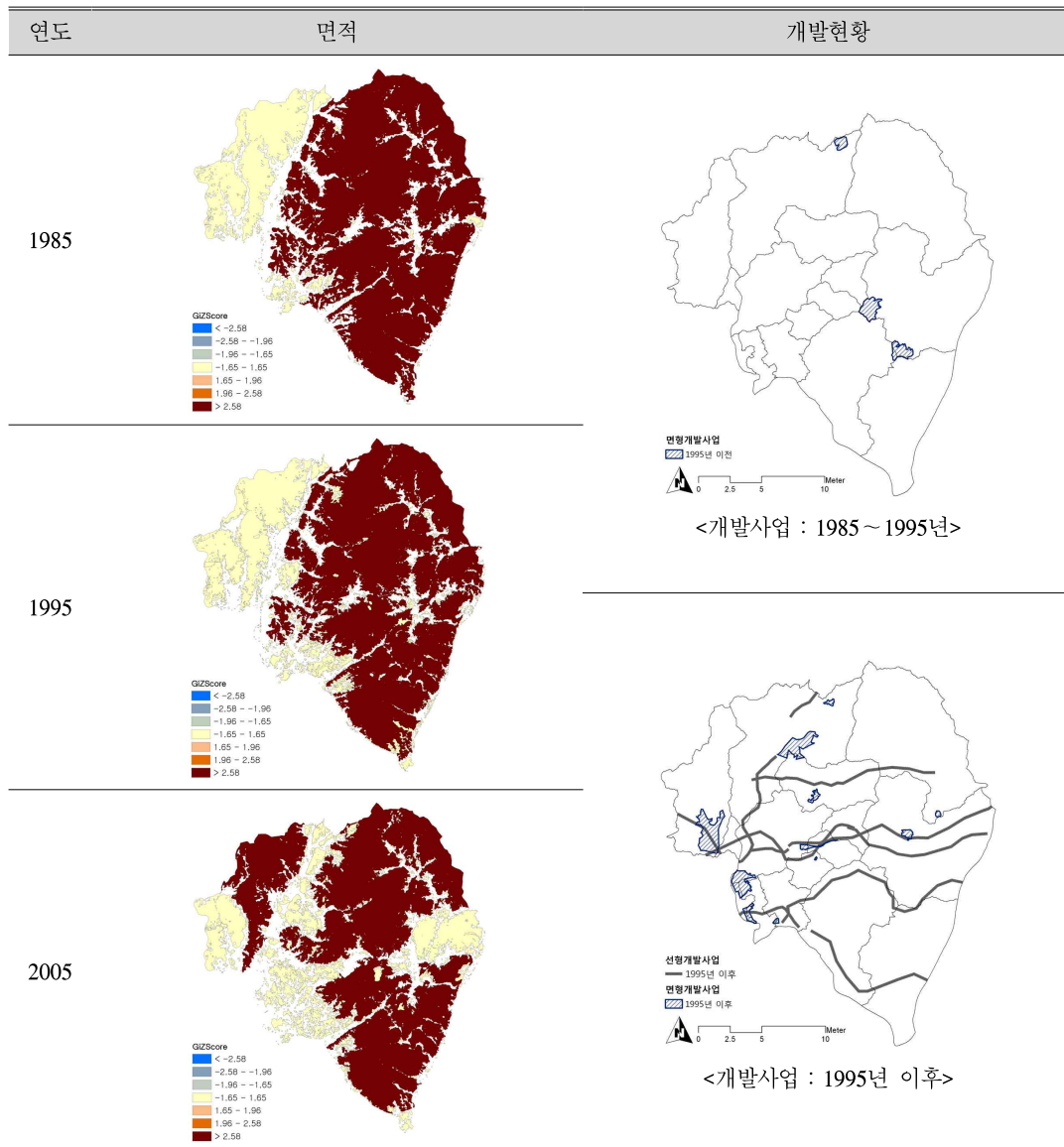


그림 3. Cluster and Outlier(Anselin Local Moran's I) 분석 결과.

전체에 걸쳐 통계적으로 유의미한 공간자기상관이 측정되는 경우 어느 곳에 Hot Spot과 Cold Spot이 있는지 파악할 수 없다. Getis-Ord(1992)는 G_i^* 와 ZScore를 결합시킨 $Z(G_i^{**})$ 를 G_i^* 결

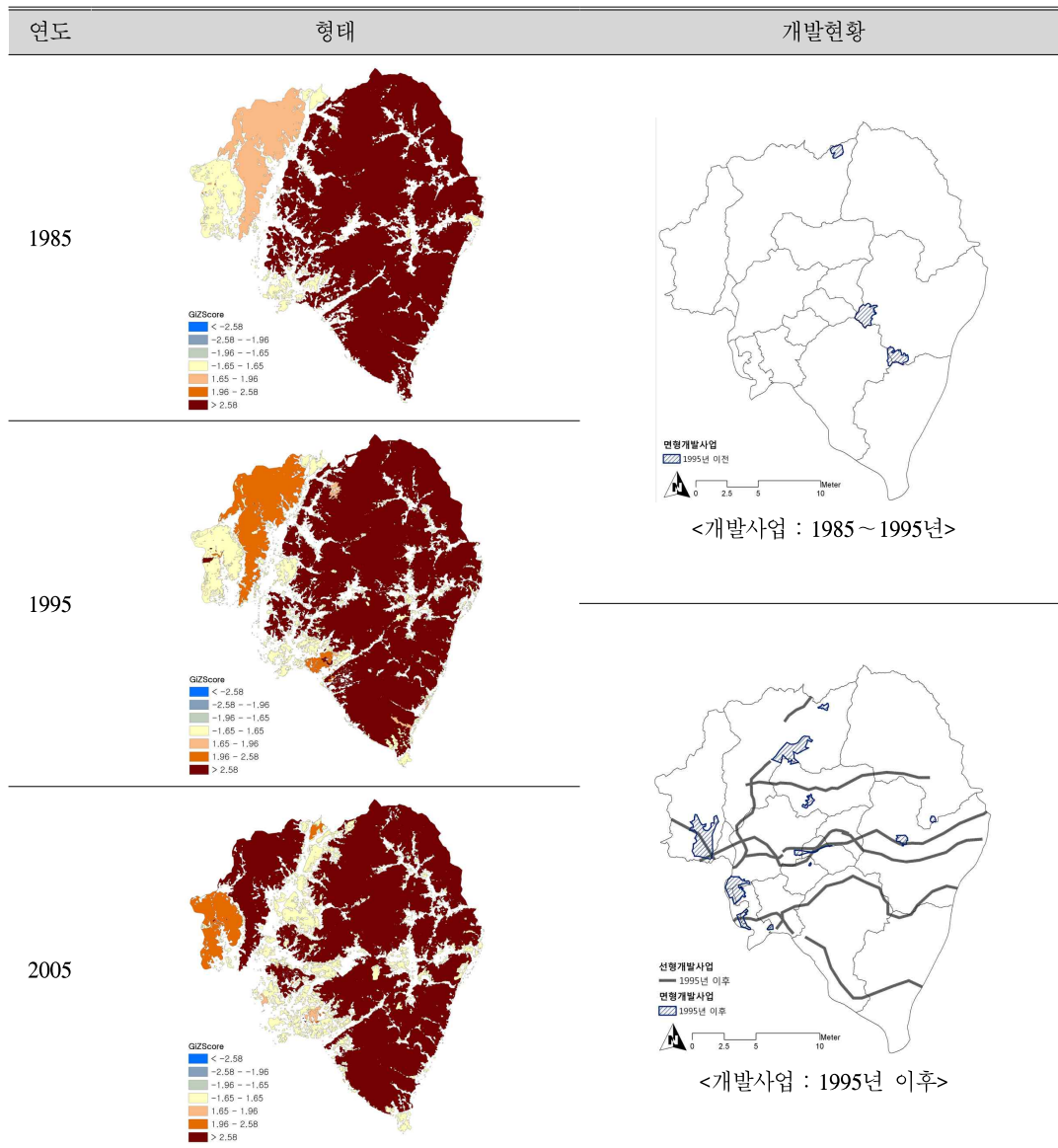
과로 해석하여 높은 값의 G_i^* 는 통계적으로 유의성 있는 높은 값의 군집을, 낮은 값의 G_i^* 는 유의성 있는 낮은 값의 군집으로 나타내었다. 이러한 G_i^{**} 는 대상 경관조각이 군집에 미치는 영향을

그림 4-1. Hot-Spot(Getis Ord G_i^*) 분석(면적) 결과.

파악하고자 할 때 유용하다(최현우 외, 2007).

그림 4-1, 4-2는 남양주시 경관조각에 대한 면적과 형태지수를 대상으로 Hot Spot(Getis-Ord G_i^*) 분석을 실시한 결과이다. 그림에서 Z통계량이 1.96 이상으로 밝게 표시된 곳은 Hot Spot을 의미하며 G_i^* 값이 큰 경관조각들이 위치하고 있음을 나타낸다. 면적의 경우 1985년부터 시간이 경과할수록 큰 경관조각이 작은 경관조각으로

파편화되고 2005년에는 파편화된 경관조각들이 서로 높은 값을 가지고 군집되어 있는 것으로 분석되었다. 형태지수는 1985년에 대상지 북서측에 위치하고 있는 1.65 이상의 경관조각이 1995년도에는 1.96 이상의 값으로 변화되면서 Hot Spot으로 분류되고, 2005년도에 이르러 2.58 이상의 높은 값을 보였다. 이는 남양주시 전체에 걸친 큰 경관조각의 주변부가 각종 개발사업으로

그림 4-2. Hot-Spot(Getis Ord G_i^*) 분석(형태) 결과.

파편화가 급속히 진행되면서 경관조각의 둘레 길이가 증가됨에 따른 결과로 판단된다. 경관조각의 둘레길이 증가로 인한 형태지수의 G_i^* 값의 증가는 면형(形) 경관조각이 선형(形)으로 변화되고 있음을 의미한다. 일반적으로 면형의 경관조각이 선형보다 생물 서식처 및 종 다양성 확보에 안정적인을 고려할 때, 대상지는 1990년대 후반 이후 경관조각의 면적 소실과 형태적 변화가

급격하게 진행되고 있음을 알 수 있다.

4. 결과 종합

남양주시 경관조각의 면적과 형태지수를 ArcGIS 공간통계분석 기법을 활용하여 공간상관관계를 분석하였다. 그러나 본 연구대상지와 같이 큰 단위규모지역을 포함하고 있거나 공간규모가 안정적이지 않은 경우 전역적 Moran's I와 같은 지수

는 통계적 모형의 유효성에 대한 판단오류를 초래할 위험이 매우 크다. 이에 LISA를 활용하여 HH, LL, LH, HL과 같이 특정지역에서 유의수준을 만족하는 Hot Spot(G^*) 분석을 실시하였다.

LISA 분석결과 면적과 형태지수 모두 1985년에서 2005년으로 시간이 경과함에 따라 HH의 공간적 패턴이 HL 변화되는 큰 값의 주변으로 작은 값의 경관조각이 분산되고 있는 공간패턴을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 면적과 형태지수의 변화와 (표 1)과 (그림 1)에서 제시된 1995년 이후의 개발사업 증가건수와 공간 중첩을 통해 당시의 개발사업으로 큰 경관조각이 작은 경관조각으로 파편화되고, 큰 조각에서 파편화된 경관조각이 더욱 작은 조각으로 파편화되어 군집되고 있는 현상을 볼 수 있다.

다음으로 높은 값과 낮은 값들의 집중도를 보여줌으로써 공간적자기상관이 높게 나타나는 Hot Spot을 찾아냈다. 시간이 경과함에 따라 면적과 형태지수 모두 주변과 높은 값을 가지는 Hot Spot 지역으로 경관조각이 변화되고 있는 것으로 나타났다. 그리고 Hot Spot 분석으로 도출된 경관조각은 면적과 형태의 변화정도가 다른 경관조각에 비해 크게 나타남으로써 높은 공간상관관계를 보였다. 이러한 원인을 파악하기 위해 최근 20년간 남양주시 도시개발사업을 Hot Spot 분석결과와 비교하였다(그림 4-1, 4-2). 경관조각의 면적과 형태는 과거에는 ‘정(+)적 공간상관관계’를 보이다가 현재에 이를수록 ‘부(-)적 공간상관관계’를 보이는 것으로 나타났다. 그리고 변화가 큰 지역에서 지속적으로 도시개발이나 도로건설과 같은 각종 도시개발사업이 발생되었다. 큰 경관조각은 작은 경관조각으로 파편화되고 작은 경관조각은 소실되었으며, 그로인해 경관조각의 개수는 감소하였다. 또한 경관조각간 거리의 증가, 경관조각 외연부의 변화는 경관조각 형태의 변화를 야기했다. 특히 최초 변화가 발생한 경관조각을 중심으로 그 변화는 가속화되고, 인접한 경관조각 간에 정(+) 또는 부(-)의 공간상관관계

를 가지고 영향의 양상과 정도가 변화되는 것으로 나타났다. 이러한 상호작용과 공간적 상관관계는 전체의 경관조각에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 지난 20년간 남양주시 경관조각의 변화가 면적과 형태지수 모두 상이한 값의 경관조각과 인접하여 분산되는 ‘부(-)적 공간자기상관’의 방향으로 진행되어 왔음을 의미한다.

IV. 결 론

그동안 대부분의 공간통계연구는 경제학, 부동산, 의학(역학)등의 분야에서 적극 활용되어 왔으나, 자연환경분야에서의 활용은 상당히 미비하였다. 또한 경관생태학에서는 주로 경관지수를 활용한 공간통계분석 연구가 주로 진행되어 왔고 공간통계방법을 이용한 정량화 연구는 심도 있게 이루어지지 못하였다. 최근 들어, 환경을 구성하는 요소들의 공간적 패턴과 관계성을 중요시 하는 경관생태학의 발달과 GIS 관련 기술의 발달로, 자연환경분야이면서 도시생태공간인 도시경관의 공간패턴의 정량화와 계량화에 공간통계방법이 가능하게 되었다. 본 연구는 경기도 남양주시에 공간통계분석 방법에 따른 경관조각의 공간적 패턴변화를 GIS기술을 활용하여 표현하였다.

연구의 결과로 경관구조 분석을 실시하여 파편화에 따른 남양주시내 경관조각의 소실과 군집을 확인하였다. 그리고 전역적 Moran's I 대상지의 전체적인 분포와 변화흐름을 확인하고, 국지적 상관지수인(LISA) I_i^* 와 Getis-Ord G_i^* 를 이용하여 지도상에 Hot Spot지역을 표출하였다. 이러한 일련의 공간통계분석 과정을 통해 대상지의 경관구조의 기능 변화를 공간적으로 파악할 수 있었으며 경관훼손이 심각하게 발생하고 있는 지역을 도출할 수 있었다. 이러한 분석은 향후 환경계획 수립시 주요 보존지역 선정 및 복원계획을 수립함에 있어 실증적 자료로 활용될 수 있을 것이다.

그러나 본 연구에서는 다음과 같은 한계점을

가지고 있다. 첫째, 경관구조의 분석을 위한 지표 선정에 있어 특정종의 서식과 출현빈도 등과 같은 생물종다양성지표가 과거 시점의 자료구득 한 계로 고려되지 못하였다. 둘째, 대상지의 래스터 자료의 벡터자료화에 따른 일부 데이터의 누락과 형태적 변화가 이루어짐에 따른 기술적인 보완이 필요하다. 셋째, 경관패턴의 변화는 기준 시간과 현 시간 그리고 미래 시간 사이에서 연속적으로 발생한다. 그러나 본 연구에서는 분석을 위한 시계열 데이터의 구득이 용이하지 않아 특정 시점의 결과만을 비교함으로써 시간 흐름에 따른 누적영향(Cumulative Impact)은 다루지 못하였다. 시간의 영향을 공간패턴에 반영하여 경관변화의 단위시기별 흐름을 고려한다면, 보다 구체적으로 현 실세계에 대한 분석이 가능할 것이며, 도시생태공간의 장기적인 변화를 예측함에 있어 정확성을 높일 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 공간통계분석 연구가 전무한 경관생태학 분야에서 경관조각의 공간적 특성 분석을 시도한 방법론 연구로서 그 의의가 있다.

인 용 문 헌

- Andy, M. 2005. The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2. ESRI Press.
- Anselin, L. 1995. GeoDa 0.9 User's Guide. [http : //geodacenter.org](http://geodacenter.org)
- Anselin, L. 2003. An Introduction to Spatial Autocorrelation Analysis with GeoDa. Anselin, L. 1995. GeoDa 0.9 User's Guide. [http : //geodacenter.org](http://geodacenter.org)
- Cook, E. A. 2002. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. *Landscape and Urban Planning* 58 : 269-280.
- Forman, R. T. T., and M. Godron. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley & Sonns, Inc.
- Getis, A., and T. K. Ord. 1992. The Analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographic Analysis* 24(3) : 189-257.
- Gustafson, E. J., and G. R. Parker. 1994. Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landscape and Urban Planning* 29 : 117-130.
- Kohn, D. D., and D. M. Walsh. 1994. Plant species richness-the effect of island size and habitat diversity. *Journal of Ecology* 82 : 367-377.
- McGarigal, K., and B.J. Marks. 1994. *Fragstats-Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Forest Science Department, Oregon State University.
- Tischendorf, L., and L. Fahrig. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos* 90(1) : 7-19.
- Tobler, W. 1970. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography* 46 : 234-240.
- Turner, M. G., R. H. Gardner and R. V. O'neil. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer Science Business Media, Inc.
- Wong, D. W. S., and J. Lee. 2005. Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS, John Wiley & Sons, Inc.
- Zuidema, P. A., J. A. Sayer and W. Dijkman. 1996. Forest fragmentation and biodiversity : the case for intermediate-sized conservation areas. *Environmental Conservation* 23 : 290-297.
- 김광구. 2003. 공간자기상관(spatial autocorrelation)의 탐색과 공간회귀분석(spatial regression)의 활용. *한국행정학회 하계 학술대회* 983-1001.
- 김명수 · 안동만. 1996. 도시공원의 경관생태학적 분석-패취의 형태지수와 분산도 분석을 중심으로. *한국조경학회지* 23(4) : 4012-4019.

- 김영 · 하창현 · 안정근. 2004. 공간적 자기상관분석을 이용한 지방 연담도시의 도시공간구조 비교분석 및 상호작용분석. 국토계획39(6) : 7-22.
- 김영표 · 임은선. 2004. GIS기반 공간분석방법론 적용 연구. 국토연구원.
- 김태민 · 이우균 · 정성은 · 곽한빈. 2008. 소나무 공간분포와 지형인자간의 상관성 분석. 한국GIS학회지 16(3) : 359-372.
- 박찬열. 1994. 야생조류의 서식에 적합한 도시환경 조성 및 관리방안. 서울대학교 산림자원학과 석사학위논문.
- 변병설. 2004. 서울시 중심부 토지이용의 군집형성에 대한 공간적 자기상관분석. 2004 7(1) : 71-78.
- 손정우 · 전성우 · 최철웅. 2009. GIS와 통계기법을 이용한 대한민국 도시확장 패턴분석. 한국지형공간정보학회지 17(4) : 13-22.
- 오정학 · 김영걸 · 권진오. 2007. 백두대간 마루금 지역의 시계열적 토지피복 변화 및 경관구조 분석. 한국지리정보학회지 10(3) : 49-57.
- 오정학 · 정성권 · 권진오 · 박경훈. 2007. 경관생태학적 유역관리를 위한 토지이용 유형 분류. 한국지리정보학회지 10(4) : 22-34.
- 윤은주. 2006. 서울시 도시녹지 평가를 위한 경관지수의 민감성 및 변별력 분석. 서울시립대학교 박사학위논문.
- 이도원. 2001. 경관생태학. 서울대학교출판부.
- 이동근 · 김명수 · 구본학 · 김경훈 · 김동성 · 나정화 · 윤소원 · 이명우 · 전성우 · 정홍락 · 조경두 · 제종길 · 홍선기. 2005. 경관생태학. 보문당.
- 이종성. 1998. Landsat Mss Data를 이용한 서울시 산림패취의 패턴 변화분석. 한국조경학회지 26(2) : 240-250.
- 임현우 · 임종원 · 이한석. 2009. 방문판매 영업의 지역거점 구조 개선에 관한 연구-공간통계기법을 이용한 매출 분포분석을 중심으로-. 한국마케팅학회 87-105.
- 장갑수 · 박인환. 1999. 경상북도 4개 도시의 녹지파편화 현상 비교. 환경영향평가학회지 8(4) : 13-23.
- 정대영 · 손영기. 2009. 공간자기상관기법을 이용한 근린상권의 공간특성분석. 한국지형공간정보학회지 17(1) : 141-147.
- 정종철. 1999. 식생지수에 의한 경관파편화의 해석기법. 한국지리정보학회지 2(3) : 16-22.
- 조용현. 2000. 경관지수를 이용한 지역생태계 평가. 환경영향평가 9(4) : 349-362.
- 최현우 · 김계현 · 이철웅. 2007. 해양환경 공간분포 패턴 분석을 위한 공간자기 상관 적용 연구-광양만을 사례 지역으로-. 한국지리정보학회지 10(4) : 60-74.
- 하창현. 2005. 공간적 자기상관분석을 이용한 연담도시권의 공간구조분석에 관한 연구. 경상대학교 박사학위논문.
- 홍선기 · 강신규 · 김재은 · 노백호 · 노태호 · 이상우. 2007. 경관생태계. 라이프사이언스.
- <http://hpl.umces.edu/meerc/>
- <http://geodacenter.asu.edu/>