

지역분석을 위한 시계열 공간연관성 탐색도구

안재성* · 이양원** · 박기호***

An ESDA Tool for Time-series Spatial Association

Jae-Seong Ahn* · Yang-Won Lee** · Key-Ho Park***

요 약

지역분석 기법에서 지리사상의 공간적인 특성을 가장 잘 반영하는 개념 중 하나인 공간연관성은 “모든 것은 다른 모든 것과 연관되어 있지만, 가까운 것은 먼 것보다 더욱 관련이 있다”고 하는 Tobler의 법칙과 그 맥을 같이 한다. 이 연구는 공간통계와 지리적시각화를 결합하여 공간연관성의 시계열 패턴을 탐색적으로 분석하는 지리정보시스템을 개발하는 것을 목적으로 하며, 전역적 및 국지적 공간연관성 분석을 통한 공간현상의 클러스터 탐지나 공간연관성의 시계열 탐색을 통한 사회경제적 변화의 모니터링은 공간정책 투입의 의사결정을 지원하는 수단으로 기능할 수 있다. 전역적 및 국지적 공간연관성을 측정하는 데 반드시 필요한 근린가중치행렬은 행정구역 폴리곤의 기하 및 거리에 기반한 유연한 가중치모형을 구현하여 사용하였으며, 기존의 지리적시각화 기법을 응용 및 개선한 시계열 평행좌표플롯, 시계열 애니메이션지도, 3D 시계열 모란산포도 등을 통해 공간연관성의 시계열 패턴을 효과적으로 표현하였다. 실제 공간현상에 대한 적용 및 평가를 위하여 1995년부터 2004년까지 10년간의 전국 시군구단위 지가변동률 자료를 이용하여 공간연관성의 시계열적 특성을 분석함으로써 시스템의 유용성을 확인하였다.

주요어 : 지역분석, 공간연관성, 시계열 패턴, 지리적시각화

ABSTRACT : The concept of “spatial association” explains spatial distribution pattern of geographical phenomenon based on similarity with neighborhoods, as in the Tobler's Law of Geography: “Everything is related to everything else, but near things are more related than

*서울대학교 사회과학대학 지리학과 박사과정(graahn03@snu.ac.kr)

**교신저자, 동경대학 공간정보과학연구소 연구원(jwlee@iis.u-tokyo.ac.jp)

***서울대학교 사회과학대학 지리학과 교수(khp@snu.ac.kr)

distant things.” In this study, we develop a time-series exploratory analysis tool for discovering temporal patterns of spatial association by combining spatial statistics and geo-visualization, and thus present a possibility to support spatial decision-making process. As for the spatial proximity weight matrix indispensable to measuring global and local spatial association, we employ a variety of flexible weighting schemes using geometric characteristics of areal unit. In addition, we renovate the existing visualization methods for more effective understanding of the procedures and results of time-series analysis on spatial association: for instance, temporal parallel coordinate plot with box plot, animated map for spatial association, and 3D Moran scatterplot. The feasibility of our system is verified by time-series analysis experiments on the spatial association of land price fluctuation rate for all administrative units in Korea, 1995~2004.

Keywords : Regional Analysis, Spatial Association, Temporal Pattern, Geo-visualization

1. 서 론

1.1 연구 배경과 목적

우리나라 정책통계자료의 80% 이상이 지역별 비교가 필요한 지리적 정보로 작성되고 있다는 사실은 국토계획에 있어 사회경제적 통계자료에 기초한 지역분석(regional analysis)의 중요성을 시사한다. 지역분석은 매우 포괄적인 개념으로서 지역의 경제, 사회, 인구, 시설 분포의 구조적 특성을 파악하거나 지역간의 비교, 그리고 지역의 특정 현상을 이해하고 설명하려는 모형의 정립 등 정량적 방법론에 그 기초를 두고 있다. GIS의 공간자료 관리기능과 연산기능은 효과적인 지역분석의 토대가 되고 있으며(Goodchild et al., 2000), 지역분석을 위한 공간분석 및 모델링 기법은 GIS 분야에서 꾸준히 논의되어 온 주제이다(Goodchild, 1987; Rogerson et al., 1995;

Fischer et al., 1996; Chou, 1997; Fotheringham and Wegener, 2000; Houlding, 2000; Laffan, 2002).

지역분석기법에서 지리사상(geographical feature)의 공간적인 특성을 가장 잘 반영하는 개념 중 하나인 공간연관성(spatial association)은 “모든 것은 다른 모든 것과 연관되어 있지만, 가까운 것은 먼 것보다 더욱 관련이 있다”고 하는 Tobler의 법칙(Tobler, 1970)과 그 맥을 같이 한다. 공간연관성은 인근지역과의 유사성에 기초하여 지역현상의 공간분포 특성을 표현하는데, 특히 LISA(Local Indicators of Spatial Association)는 전역적(global) 규모의 분석에서는 포착되지 않는 국지적(local) 규모의 공간연관성을 정량화하는 방법으로서(Anselin, 1995), 높은 속성값을 가진 단위지역이 몰려있는 곳(high cluster 또는 hot spot)이나 낮은 속성값을 가진 단위지역이 몰려있는 곳(low cluster 또는 cold spot)을 판별할 수 있게 한다. 다변량분석(multivariate analysis)을 응용하여 서로 다른 변수 또는

시점의 공간연관성 패턴을 탐색하려는 시도들(Lee, 2001; Anselin et al., 2002)은 시간의 흐름에 따라 변화하는 공간패턴에 대한 분석방법을 제시하기도 한다. 이러한 공간현상의 동적 특성과 연속적 변화양상은 시계열적 시각화를 통해 효과적으로 표현될 수 있으며, 최근 들어 GIS와 컴퓨터그래픽스 기법에 의해 시계열적 공간분석에 대한 지리적시각화가 시도되고 있다(Jacquez et al., 2005; Rey and Janikas, 2006).

전역적 및 국지적 공간연관성 분석을 통한 공간현상의 클러스터 탐지나 공간연관성의 시계열 탐색을 통한 사회경제적 변화의 모니터링은 공간정책 투입의 의사결정을 지원하는 수단으로 기능할 수 있다. 이 연구는 공간연관성 지수와 시계열 탐색기법을 결합하여 지역현상의 연속적인 변화패턴을 포착하는 지리정보시스템을 개발하는 것을 목적으로 하며, 실제 공간현상에 대한 적용 및 평가를 위하여 1995년부터 2004년까지 10년간의 전국 시군구단위 지가변동률 자료를 이용하여 공간연관성의 시계열적 특성을 분석함으로써 시스템의 유용성을 확인한다.

1.2 연구 내용과 방법

이 연구에서는 지역분석을 위한 시계열 공간연관성 탐색도구를 개발하고, 이를 이용하여 전국 시군구단위 지가변동의 시공간 특성에 대한 사례분석을 수행한다. 이를 위한 세부과제는 다음과 같이 관련이론의 검토, 분석시스템의 구현, 사례연구로 구성된다.

첫째, 전역적 및 국지적 공간연관성 분석과 공간자료의 시계열적 탐색에 관한

이론들을 검토함으로써 공간연관성을 시계열적으로 분석 및 시각화하기 위한 방법을 체계화한다. 시간의 흐름에 따라 동적으로 변화하는 공간연관성은 시계열적인 분석과 시각화에 의해 보다 효과적으로 파악될 수 있다.

둘째, 공간연관성의 시계열분석을 수행하는 시각적 탐색도구를 구현함으로써 지역분석에 기반한 공간의사결정을 지원할 수 있도록 한다. 이 분석시스템에서는 전역적 및 국지적 공간연관성 지수의 산출을 위한 근린가중치행렬의 구성방법을 유연적으로 다양화하고 기존의 시계열적 탐색방법들을 개선함으로써 분석의 과정 및 결과를 통해 공간연관성에 관한 지리적 지식발견이 가능하다.

셋째, 공간연관성의 시계열 분석도구를 실제 공간현상에 적용하여 그 가용성을 검증한다. 전국 시군구단위 지가변동률 자료의 시계열 분석을 수행함으로써 지역현상의 공간연관성 변화양상과 클러스터의 탐지 및 이레지점 검출 등 지역분석을 위한 탐색도구의 가용성을 확인한다.

2. 관련이론의 검토

전체지역에 대한 공간연관성의 경향을 요약하는 전역적 공간연관성 지수와 개별 지역의 인근지역에 대한 유사성 정도를 정량화하는 국지적 공간연관성 지수는 공간현상의 분포패턴 파악과 클러스터 탐지를 가능하게 한다. 이러한 공간연관성은 시간의 흐름에 따라 동적으로 변화하기 때문에 시계열적 시각화를 통해 보다 효

과적으로 표현될 수 있다.

개변수로 한다.

2.1 공간연관성 지수

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.1)$$

2.1.1 근린가중치행렬

공간연관성 지수는 어떤 공간현상이 인근 지역과 유사한 정도를 정량적으로 표현하는 것이므로, 이를 위해서는 단위지역들 사이의 공간적 근린관계에 대해 정의하는 근린가중치행렬의 구성이 선행되어야 한다. 근린가중치행렬(spatial proximity weight matrix) W 는 단위지역의 수를 차원으로 하는 정방형 행렬로서 W_{ij} 는 단위지역 i 와 j 간의 근린 정도를 나타내는 수치이다. 공간적 근린(neighborhood)의 개념은 다양하게 정의될 수 있지만(Bailey and Gatrell, 1995; Lee and Wong, 2001), 두 단위지역이 경계선을 공유하는지 여부에 의해 결정되는 이진연결성 행렬(binary connectivity matrix)이 일반적으로 통용되고 있다. 공간연관성 지수들은 표준화되었지만, 그 수식에 포함된 근린가중치행렬에 대한 표준은 아직 제시된 바가 없다.

$$C = \frac{(n-1) \sum \sum w_{ij} (x_i - x_j)^2}{2W \sum (x_i - \bar{x})} \quad (2.2)$$

$$G(d) = \frac{\sum \sum w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum \sum x_i x_j} \quad (2.3)$$

여기에서, n 은 단위지역의 수, x_i 와 x_j 는 각각 i 지역과 j 지역에서의 x 속성값, \bar{x} 는 전체지역에서의 x 속성값 평균이다. w_{ij} 는 i 지역과 j 지역 사이의 근린가중치, $w_{ij}(d)$ 는 반경 d 이내에 있는 인근지역을 대상으로 i 지역과 j 지역 사이의 근린가중치, W 는 근린가중치행렬 전체의 합을 의미한다. 기본적으로 $i \neq j$ 을 전제로 하며, $i = j$ 의 경우를 포함하는 G 통계량은 G^* 라고 한다.

2.1.2 전역적 공간연관성 지수

대표적인 전역적 공간연관성 지수로는 Moran의 I 지수(Moran, 1948), Geary의 C 지수(Geary, 1954), 그리고 Getis와 Ord의 G 통계량(Getis and Ord, 1992) 등이 있으며, 전체적인 공간연관성을 나타내는 하나의 지수값이 산출된다. Moran의 I 지수는 공분산(covariance)에 기초하고, Geary의 C 지수는 크로스 프로덕트(cross product)에 기초하며, Getis와 Ord의 G 통계량은 거리를 매

2.1.3 국지적 공간연관성 지수

국지적 공간연관성 지수는 전역적 공간연관성 지수의 LISA 버전으로서 국지적 Moran 지수(Anselin, 1995)와 국지적 G 통계량(Ord and Getis, 1995)이 주로 사용되며, 각 단위지역별로 하나씩의 지수값이 산출되므로 지도화가 가능하다. 전역적 지수들과 마찬가지로 $i \neq j$ 을 전제로 하며, $i = j$ 의 경우를 포함하는 국지적 G 통계량은 G_i^* 로 표기한다.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (2.4)$$

$$G_i(d) = \frac{\sum w_{ij}(d)x_j - \bar{x} \sum w_{ij}(d)}{S(i) \sqrt{\frac{(n-1) \sum w_{ij}^2(d) - (\sum w_{ij}(d))^2}{n-2}}} \quad (2.5)$$

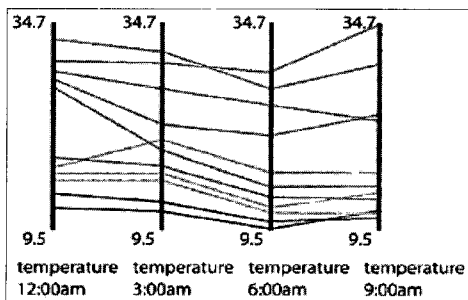
$$G_i^*(d) = \frac{\sum w_{ij}(d)x_j - \bar{x} \sum w_{ij}(d)}{S \sqrt{\frac{n \sum w_{ij}^2(d) - (\sum w_{ij}(d))^2}{n-1}}} \quad (2.6)$$

여기에서, $s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}$, $s(i) = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1} - \bar{x}^2}$ 이다.

2.2 공간자료의 시계열적 탐색방법

2.2.1 시계열 평형좌표플롯

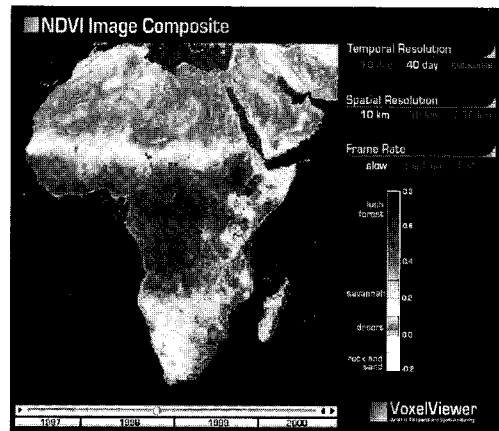
평형좌표플롯(parallel coordinate plot)은 다변량자료를 요약적 및 직관적으로 파악하게 하는 시각화방법으로서(Inselberg, 1985) 평형좌표플롯을 구성하는 개개의 축은 하나의 변수에 대한 통계량을 담고 있으며, 각 축에서의 통계량을 연결함으로써 다변량 자료의 분포특성을 표현한다([그림 1]). 평형좌표플롯에서 다변량자료를 시계열 자료로 대체하면 특정 속성에 대한 통계량의 시간적 변화양상을 나타내는 시계열 평형좌표플롯(temporal parallel coordinate plot)으로 응용할 수 있다(Edsall, 2003).



[그림 1] 시계열 평형좌표플롯

2.2.2 시계열 애니메이션지도

스냅샷(snapshot)은 시계열변화를 표현하기 위한 GIS 자료모형의 일종으로서 공간현상의 통계량을 포함하는 일련의 지도레이어로 구성된다(Langran, 1993; Peuquet and Wentz, 1994). 시계열 애니메이션지도(temporal animated map)는 한 시점의 자료 또는 통계량을 하나의 스냅샷으로 하여 시간의 흐름에 따른 프레임 집합을 애니메이션으로 표현하며(Peterson, 1995), 최근에는 웹 기반의 시계열 애니메이션지도([그림 2])에 대한 연구(Harrower, 2002; 2003)도 이루어지고 있다.



[그림 2] 시계열 애니메이션지도

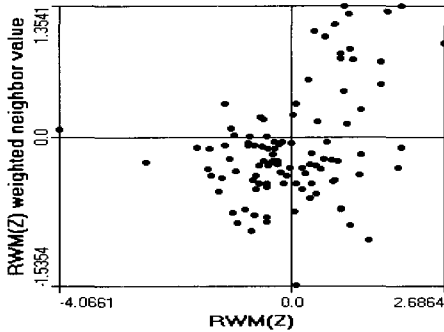
2.2.3 모란산포도

모란산포도(Moran scatterplot)는 Z통계량에 의해 표준화된 변수를 기준으로 인근지역과의 유사성 정도를 사분면(quadrant)상에 표현함으로써 공간연관성의 패턴을 파악하게 한다([그림 3]). 산포도의 가로축은 각 지역의 Z통계량, 세로축은 인근

지역의 Z통계량이며, 사분면의 원점(Z=0)을 기준으로 우측상단(1사분면)은 인근지역과 함께 높은 속성값을 가진 H-H(high-high) 클러스터, 좌측하단(3사분면)은 인근지역과 함께 낮은 속성값을 가진 L-L(low-low) 클러스터를 나타낸다(Anselin, 1995; 1996). 사분면 상의 H-H, L-H, L-L, H-L 쌍을 기준으로 모란산포도의 시계열적 추이를 관찰하면 공간현상 변화패턴의 파악이 가능하다(Rey, 2001).

3. 시계열 공간연관성 탐색도구의 개발

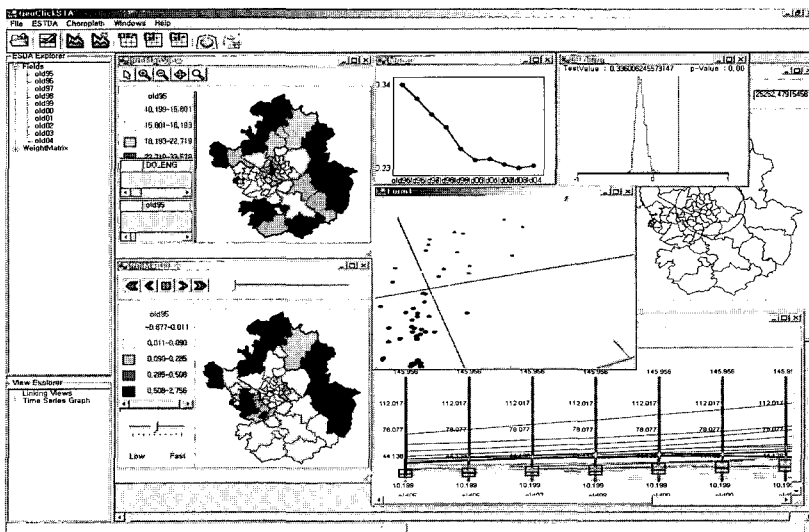
이 연구에서 제안하는 GIS 기반의 공간연관성 탐색도구는 공간연관성 지수와 시계열 탐색을 결합하여 지역현상의 연속적인 변화패턴을 포착하고, 이를 통해 공간의사결정을 지원할 수 있도록 구성되었으며, 모든 프로그램은 Visual Studio .NET을 이용하여 작성하였다(그림 4).



[그림 3] 모란산포도

3.1 공간자료분석 컴포넌트

공간연관성의 시계열패턴 파악을 위한 공간자료분석은 근린가중치행렬, 전역적 공간연관성 지수, 국지적 공간연관성 지수의 산출과 검정을 통해 이루어지며, 이들 컴포넌트의 기능적 세부사항은 <표 1>과 같이 요약된다. 전역적 및 국지적



[그림 4] 시계열 공간연관성 탐색도구의 전체화면

<표 1> 공간자료분석 컴포넌트의 기능적 구성

기능	설명
근린가중치행렬	<ul style="list-style-type: none"> - 공유경계선의 존재 여부 - 공유경계선 길이의 비율 - 단위지역 중심점간의 거리 - 단위지역 중심점간의 거리와 근린폴리곤의 면적 - K 최근린에 대한 단위지역 중심점간의 거리 - 일정반경내 중첩 면적의 비율 - 일정반경내 중첩경계선 길이의 비율
전역적 공간연관성	<ul style="list-style-type: none"> - Moran의 I지수 산출과 검정 - Geary의 C지수 산출과 검정 - G통계량 및 G*통계량의 산출과 검정
국지적 공간연관성	<ul style="list-style-type: none"> - 국지적 Moran지수의 산출과 검정 - 국지적 G통계량 및 G*통계량의 산출과 검정

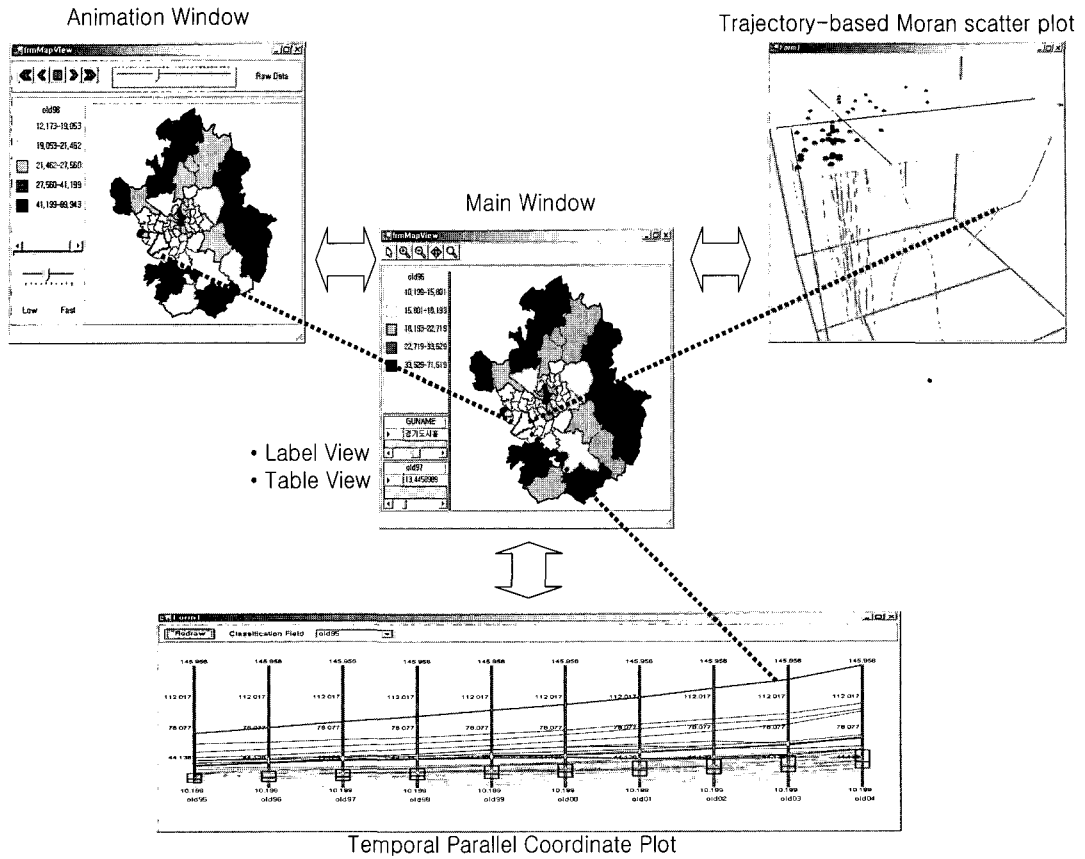
공간연관성 지수를 산출하는 데 필수적인 근린가중치행렬은 기존의 이진연결성 행렬뿐 아니라, 단위지역의 기하학적 특성과 단위지역간 거리를 이용한 다양한 방법(박기호, 2004)으로 구현함으로써 근린가중치행렬의 설정방식에 따라 달라질 수 있는 공간연관성 지수의 민감성을 반영할 수 있도록 하였다. 산출된 공간연관성 지수의 유의성 검정은 임의성(randomization) 가정하의 일반적 통계검정과 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)을 이용하는 검정방법을 제공한다.

3.2 지리적시각화 컴포넌트

박스플롯과 결합된 시계열 평형좌표플롯, 시계열 애니메이션지도, 3D 시계열 Moran산포도 등의 지리적시각화 기법은 공간연관성의 시계열분석 과정 및 결과에 대한 시각적 탐색을 가능하게 하며, 이들 컴포넌트의 기능적 세부사항은 <표 2>와 같이 요약된다. 지리적시각화 윈도우 객체들은 초점 맞추기(focusing), 객체 연결(linking), 선별적 강조(brushing)와 같은 시각적 탐색의 조작방법(Monmonier, 1989;

<표 2> 지리적시각화 컴포넌트의 기능적 구성

기능	설명
시계열 평형좌표플롯	- 속성값 및 표준화변수의 시계열적 변화추이
시계열 애니메이션지도	<ul style="list-style-type: none"> - 속성값 및 표준화변수의 시계열적 변화추이 - 국지적 공간연관성의 시계열적 변화추이 및 클러스터 탐지
3D 시계열 Moran산포도	- 국지적 공간연관성의 시계열적 변화추이 및 클러스터 탐지



[그림 5] 공간연관성 분석에서 객체 연결과 선별적 강조

Andrienko et al., 2003)에 의해 메인 윈도우를 중심으로 유기적으로 제어된다([그림 5]).

기존의 시계열적 평형좌표플롯에 박스플롯(box plot)을 중첩하여 시각화함으로써 시계열적 변화추이와 함께 각 시간대별 중위점(median) 및 사분위점(quartile)을 비교파악할 수 있도록 하였으며, 특정 시간대의 속성값을 기준으로 추세선에 단계구분화된(classified) 색상을 부여함으로써 시간의 흐름에 따른 단위지역별 변화양상의 직관적인 파악을 돕는다. 시계열 애니메이션지도는 속성값의 시계열적 변화뿐

아니라 국지적 공간연관성 지수와 클러스터 지역의 변화추이를 동적으로 제공한다. 또한, 기존의 모란산포도를 확장한 3D 시계열 모란산포도는 시간축을 따라 누적된 일련의 모란산포도를 이동체적 형식으로 표현함으로써 클러스터의 변화양상을 탐색할 수 있게 한다. 예를 들어, A 지역은 지속적으로 L-L 클러스터에 소속되어 있지만, B 지역은 L-H 영역에 소속되어 있다가 어느 시점 이후 H-H 클러스터에 소속되게 되었다면, 그 시점을 기준으로 B 지역은 주변지역과의 공간연관성 하에

변화가 발생한 것으로 해석할 수 있다.

4. 사례연구

이 연구에서 개발한 분석시스템을 실제 사례에 적용하기 위하여 지가변동률 자료를 이용하여 공간연관성의 시계열적 특성을 시각적으로 분석한다. 한국토지공사 인터넷 홈페이지를 통해 1995년부터 2004년까지 10년간의 전국 시군구단위 지가변동률 자료를 다운로드하여 가공처리 후 분석에 사용하였다.

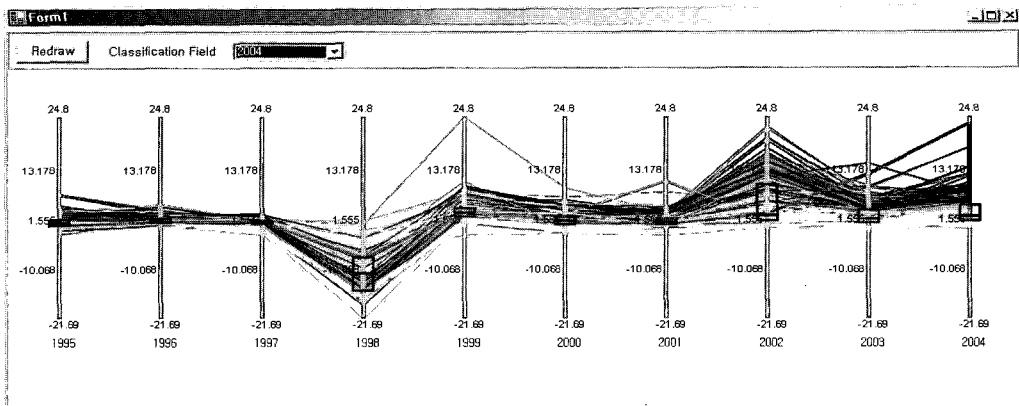
4.1 지가변동률의 시계열적 변화

박스플롯과 결합된 시계열 평형좌표플롯을 이용하여 10년간의 지가변동률 변화 추이를 살펴보면 1998년과 2002년이 다른 해에 비해 특징적임을 알 수 있다. 1998년에는 지가변동률이 전국적으로 하락하고 2002년에는 전국적으로 상승하는 경향을 보이면서 박스플롯의 사분위수 범위가

매우 커지는데, 이는 지가변동률 하락 및 상승 폭의 지역별 편차가 크다는 것을 의미한다. 시계열 평형좌표플롯에서는 전반적인 변화추이와 함께 개별 단위지역의 변화추이를 선별적으로 파악할 수 있다. 예를 들어, 충청북도 연기군([그림 6]에서 선택된 추세선)의 경우, 1995년부터 2002년까지 전국 중위값 수준을 유지하다가 2003년 급상승하여 2004년 전국의 지가상승률을 나타낸다.

4.2 지가변동률의 시계열 공간연관성과 클러스터의 탐지

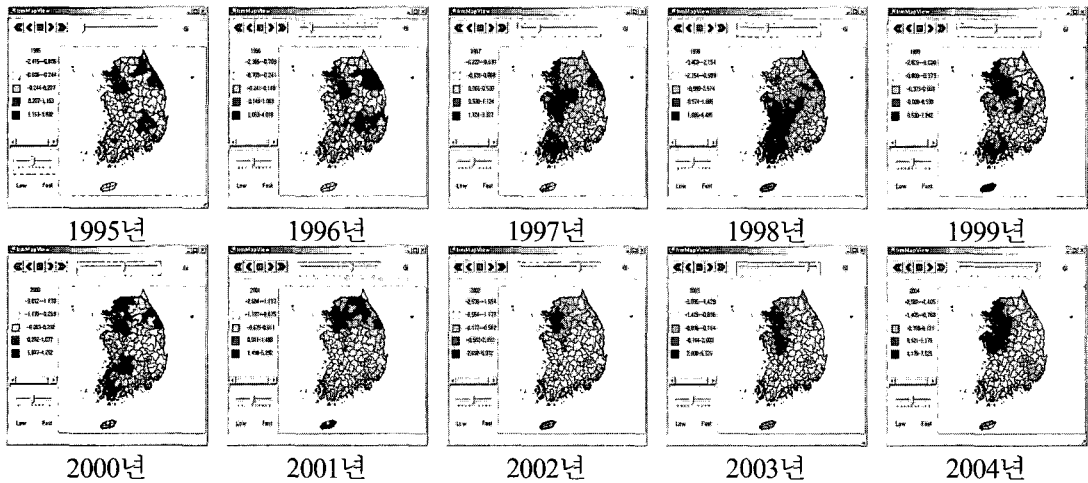
전역적 공간연관성 지수인 Moran의 I 지수를 통해 지가변동률의 전반적인 경향을 살펴보면, 앞서 시계열 평형좌표플롯에서 특징적이었던 1998년과 2002년을 비롯하여 2003년 및 2004년에 전국적인 공간연관성이 높게 나타남을 알 수 있다. 즉, 공간적으로 인접한 지역들은 서로 비슷한 지가변동률을 나타내어, 상승지역 및 하락지역의 클러스터가 형성되었을 가능성이 있는 것이다.



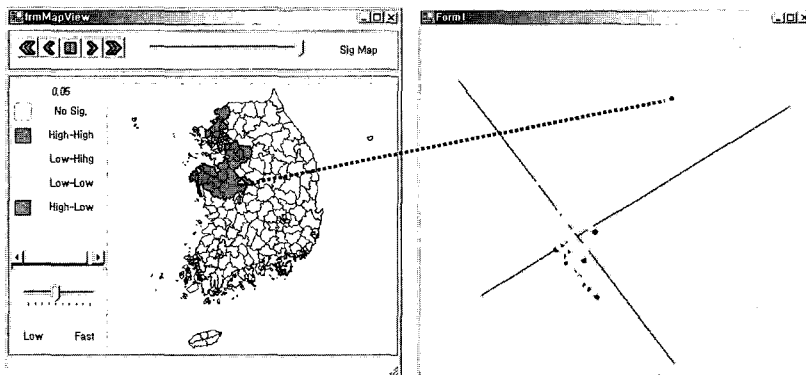
[그림 6] 시계열 평행좌표플롯을 통해 본 지가변동률의 변화추이(1995년-2004년)

전역적 공간연관성 지수에서는 클러스터의 존재여부를 확인할 수 있고, 국지적 공간연관성 지수에서는 클러스터가 존재하는 지역이 어디인지를 탐지할 수 있다. 국지적 G통계량을 시계열 애니메이션 지도로 표현한 결과(그림 7), 1998년 전국적으로 지가변동률이 대폭 하락하였으나 호남권 및 충청권에서는 상대적으로 하락폭이 작은 지역들이 클러스터를 형성

하고, 2002년 이후에는 전국적으로 지가변동률이 상승하는 가운데 수도권 및 충청권에서 상대적으로 상승폭이 큰 지역들의 클러스터가 형성됨을 알 수 있다. 이러한 클러스터는 국지적 공간연관성 지수의 유의성 지도(significance map)를 통해 확인할 수도 있으며, 시계열 모란산포도 상에서 H-H 영역이나 L-L 영역으로 연결된다(그림 8).



[그림 7] 국지적 G통계량의 시계열 애니메이션(1995년-2004년)



[그림 8] 국지적 모란통계량의 유의성 지도(左)와 3D 시계열 모란산포도(右)를 통한 클러스터의 탐지

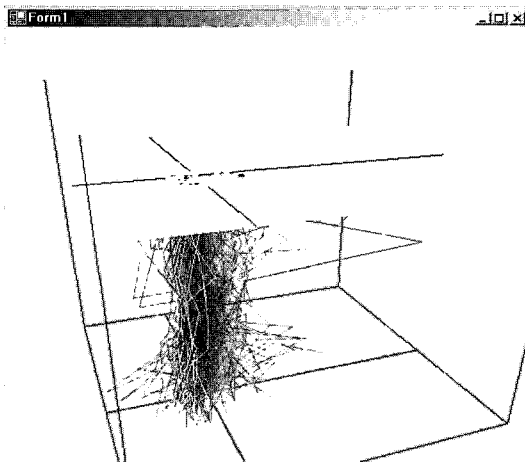
4.3 지가변동을 공간연관성의 이레지점

3D 시계열 모란산포도는 클러스터 탐지와 함께 이레지점의 검출을 가능하게 한다. 사분면 상에서 진폭이 큰 이동궤적을 통해 국지적 공간연관성이 이레적으로 변화하는 지역을 검출할 수 있다. 예를 들어, [그림 9]에서 선택된 전라남도 무안군의 경우, L-L → H-L → L-L로 영역이동을 하였는데, 이는 H-L 사분면에 속하게 된 시점에 인근지역과는 달리 이레적으로 지가변동률이 높게 나타났음을 의미한다. 반대로, 10년 동안 사분면 상의 영역이동이 없는 이동궤적의 경우([그림 10]), 인근지역과의 지가변동률 차이가 거의 없는 상태로 계속 유지되어 온 지역들로 해석된다.

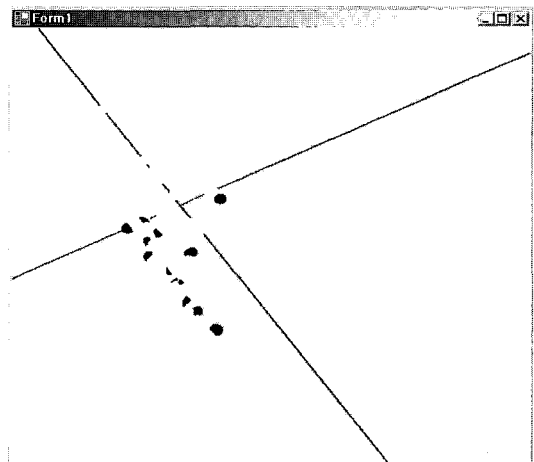
5. 요약 및 결론

이 연구에서는 공간연관성 지수와 시계열

탐색을 결합하여 지역현상의 연속적인 변화패턴을 포착하는 공간분석 및 지리적 시각화 시스템을 개발하고, 이를 통해 공간 의사결정을 지원할 수 있는 GIS 환경을 제시하고자 하였다. 이 시스템은 Moran의 I지수, Geary의 C지수, Getis와 Ord의 G통계량과 같은 전역적 공간연관성 지수와 함께 국지적 Moran지수, 국지적 G통계량 등 국지적 공간연관성 지수의 산출과 검정을 시계열적으로 수행할 수 있도록 구성되었다. 박스플롯과 결합된 시계열 평행좌표플롯, 시계열 애니메이션지도, 3D 시계열 모란산포도 등의 지리적시각화 기법은 지역현상의 속성값, 표준화변수 및 공간연관성 지수들의 시계열적 변화양상을 효과적인 그래픽으로 요약하여 공간연관성의 시계열패턴과 클러스터의 탐지 및 이레지점 검출을 통한 공간적 지식발견을 지원한다. 1995년부터 2004년까지 10년간의 전국 시군구단위 지가변동률 자료를 이용하여 공간연관성의 시계열적 특성에 대한 분석실험을 수행한 결과 시



[그림 9] 3D 시계열 모란산포도를 통해 검출한 국지적 공간연관성의 이레지점



[그림 10] 모란산포도 사분면 상에서 시계열적 변화가 없는 지역의 검출

시스템의 가용성을 검증되었으며, 이 연구의 의의는 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째는 분석방법 상의 의의로서 공간연관성 지수의 핵심요소인 근린가중치행렬의 구성방식을 유연화하였다는 점이다. 이 연구에서는 기존의 이진연결성 행렬뿐 아니라 공유경계선 길이의 비율, 단위지역 중심점간의 거리, 단위지역 중심점간의 거리와 근린폴리곤의 면적, K 최근린에 대한 단위지역 중심점간의 거리, 일정반경내 중첩 면적의 비율, 일정반경내 중첩경계선 길이 등을 이용한 다양한 근린가중치행렬을 개발함으로써 근린가중치행렬의 설정방식에 따라 달라질 수 있는 공간연관성 지수의 민감성을 반영할 수 있도록 하였다.

둘째는 시각화방법 상의 의의로서 기존의 시계열적 탐색방법을 개선하여 공간연관성 변화양상의 효과적인 파악을 지원한다는 점이다. 개선된 시계열 평형좌표플롯은 추세선과 박스플롯을 중첩하여 시각화함으로써 각 시간대별 변이를 요약하고, 추세선의 색상을 단계구분화하여 부여함으로써 시간의 흐름에 따른 변화패턴을 직관적인 파악할 수 있게 한다. 시계열 애니메이션지도는 국지적 공간연관성 지수의 지도표현과 함께 유의성 지도를 통해 클러스터의 변화추이를 동적으로 표현한다. 또한, 이 연구에서 새로이 제시하는 3D 시계열 모란산포도는 모란산포도의 이동궤적을 통해 클러스터의 탐지와 이레지점의 검출을 가능하게 한다.

셋째는 시스템 측면의 의의로서 공간연관성 지수와 시계열 탐색을 통합함으로써 시공간적 지식발견을 위한 지역분석 시스템의 프로토타입을 마련하였다는 점이다.

개별 프로그램이나 통계패키지의 스크립트언어로 처리되고 있던 전역적 및 국지적 공간연관성 분석을 단일한 시스템 내에서 시계열적으로 수행하면서 효과적인 그래픽으로 요약된 지리적시각화를 제공함으로써 지역분석에 기반한 공간의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

GIS의 분석기능을 확장하기 위한 노력은 많은 연구자들에 의해 계속되어 왔다. 이 연구에서 개발한 시계열 공간연관성 분석도구는 향후의 기능 확장을 통해 지역분석과 공간의사결정 지원을 위한 활용성이 제고될 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

- 박기호, 2004, “근린가중치행렬이 공간적 자기상관 추정에 미치는 영향: 서울시를 사례로”, *서울도시연구*, 5(3), pp.67-83.
- Andrienko, N., Andrienko, G., and Gatalsky, P., 2003, “Exploratory Spatio-temporal Visualization: An Analytical Review”, *Journal of Visual Languages and Computing*, 14(6), pp.503-541.
- Anselin, L., 1995, “Local Indicators of Spatial Association - LISA”, *Geographical Analysis*, 27(2), pp.93-115.
- Anselin, L., 1996, *The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association*, in Fisher, M., Scholten, H. J., and Unwin, D. (eds.), *Spatial Analytical Perspectives on GIS*, London: Taylor & Francis.
- Anselin, L., Syabri, I., and Smirnov, O., 2002, *Visualizing Multivariate Spatial Correlation with Dynamically Linked Windows*, in Anselin, L. and Rey, S. (eds.), *New Tools in Spatial Data Analysis*, Center for Spatially Integrated

- Social Science, University of California, Santa Barbara.
- Bailey, T. C. and Gatrell, A. C., 1995, *Interactive Spatial Data Analysis*, Essex, England: Longman Science & Technical.
- Chou, Y., 1997, *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. Santa Fe, New Mexico: OnWord Press.
- Edsall, R. M., 2003, The Parallel Coordinate Plot in Action: Design and Use for Geographic Visualization, *Computational Statistics and Data Analysis*, 43(4), pp.605-619.
- Fischer, M., Scholten, H. J., and Unwin, D. J. (eds.), 1996, *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. London: Taylor & Francis.
- Fotheringham, A. S. and Wegener, M., 2000, *Spatial Models and GIS: New Potential and New Models*. London: Taylor & Francis.
- Geary, R. C., 1954, "The Contiguity Ratio and Statistical Mapping", *Incorporated Statistician*, 5(3), pp.115-145.
- Getis, A. and Ord, J. K., 1992, "The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics", *Geographical Analysis*, 24(3), pp.186-206.
- Goodchild, M. F., 1987, "A Spatial Analytical Perspective as Geographical Information Systems", *International Journal of Geographical Information Systems*, 1(4), pp.327-334.
- Goodchild, M. F., Anselin, L., Appelbaum, R., and Harthorn, B., 2000, "Toward Spatially Integrated Social Science", *International Regional Science Review*, 23(2), pp.139-159.
- Harrower, M., 2002, "Visualizing Change: Using Cartographic Animation to Explore Remotely-Sensed Data", *Cartographic Perspectives*, 39, pp.30-42.
- Harrower, M., 2003, "Tips for Designing Effective Animated Maps", *Cartographic Perspectives*, 44, pp.63-65.
- Houlding, S. W., 2000, *Practical Geostatistics: Modelling and Spatial Analysis*, Berlin: Springer Verlag.
- Inselberg, A., 1985, "The Plane with Parallel Coordinates, Special Issue on Computational Geometry of The Visual Computer", 1, pp.69-97.
- Jacquez, G. M., Goovaerts, P., and Rogerson, P., 2005, "Space-Time Intelligence System: Technology", *Applications and Methods, Journal of Geographical Systems*, 7(1), pp.1-5.
- Laffan, S. W., 2002, "Using Process Models to Improve Spatial Analysis", *International Journal of Geographical Information Science*, 16(3), pp.245-257.
- Langran, G., 1993, *Time in Geographic Information Systems*. Washington, D. C.: Taylor & Francis.
- Lee, S., 2001, *Spatial Association Measures for an ESDA-GIS Framework: Developments, Significance Tests, and Applications to Spatio-temporal Income Dynamics of U. S. Labor Market Areas, 1969-1999*, Ph. D. Dissertation, The Ohio State University.
- Lee, J. and Wong, D., 2001, *Statistical Analysis with ArcView GIS*, New York: John Wiley & Sons.
- Monmonier, M., 1989, "Geographic Brushing: Enhancing Exploratory Analysis of the Scatter Plot Matrix", *Geographical Analysis*, 21(1), pp.81-84.
- Moran, P., 1948, "The Interpretation of Statistical Maps", *Journal of Royal Statistical Society*, 10(2), pp.243-251.
- Ord, J. K. and Getis, A., 1995, "Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distribution Issues and an Application", *Geographical Analysis*, 27(4), pp.286-306.
- Peterson, M. P., 1995, *Interactive and Animated Cartography*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Peuquet, D. and Wentz, E., 1994, "An Approach for Time-Based Analysis of Spatiotemporal

- Data”, Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Data Handling, pp.489-504.
- Rey, S., 2001, “Spatial Empirics for Regional Economic Growth and Convergence”, *Geographical Analysis*, 33(3), pp.195-214.
- Rey, S. J. and Janikas, M. V., 2006, “STARS: Space-Time Analysis of Regional Systems”, *Geographical Analysis*, 38(1), pp.67-86.
- Rogerson, P. A., Fotheringham, A. S., and Pellegrini, P., 1995, Research Initiative 14: GIS and Spatial Analysis, NCGIA Research Initiatives, National Center for Geographic Information & Analysis.
- Tobler, W., 1970, “A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region”, *Economic Geography*, 46(2): pp.234-240.