

시·공간분석을 위한 GIS기법의 시간 지도 구현에 관한 연구

- 안양시를 사례로 -

오 충 원*

A Study on Temporal Map for Spatio-temporal Analysis

Chung-Weon Oh*

요약 : 지리 사상과 인간의 활동은 공간적 차원(spatiality)과 시간적 차원(temporality)으로 구분되는데, 공간에서의 지리 사상과 인간 활동의 변화는 시간의 흐름 속에 기록된다. 이를 체계적으로 연구하기 위해서는 공간적 특성과 시간적 특성을 통합적으로 분석하고 표현할 수 있는 방법이 필요하다. 이 연구에서는 지가 변동과 같은 지리적 현상의 시·공간적 차원을 통합적으로 분석할 수 있도록 GIS 기법을 이용하여 시간 지도를 구현하는 것을 목적으로 하여, 안양시의 지가 변동 분석을 사례로 모델을 설계하고 구현하며 지가의 시·공간적인 통합 분석을 시도하였다. 이를 위하여 이 연구에서는 문헌 연구를 통하여 지가 변동 분석과 Temporal GIS의 연계 가능성에 대해 탐색하였고, 실험적 차원에서 구체적인 지역을 대상으로 시·공간적으로 통합 분석이 가능한 지가 변동 분석 모델을 설계하고 구현하였다. 토지는 공간 자료, 속성 자료, 시간 자료의 변화가 지속적이기 때문에 시간 지도의 필요성이 매우 높은 분야이다. 본 연구에서 구현한 시간 지도를 통해 지가 정보를 비롯한 다양한 지리 사상의 시간 자료, 속성 자료, 공간 자료의 변화과정을 통합적으로 분석할 수 있다.

주요어 : 시간 지도, 시·공간 분석, 시간 GIS, 시·공간 데이터베이스

Abstract : Characteristics and patterns of geographic features and human activities can be interpreted in terms of spatiality and temporality. The necessity to record the historical changes and the ability to reason in the real world has lead to a new field of research so called Integrated Spatio-Temporal Analysis. The objective of this study is to investigate temporal maps for Spatio-temporal analysis, which have the integration functionality for visualizing spatiality and temporality of the geographic appearances and human activities. Land information is composed of spatial, attribute and temporal data and requires spatio-temporal representations. It is possible to visualize spatio-temporal variations with spatio-temporal databases and temporal map produced by integrated data models. This study constructs spatio-temporal model for temporal maps of land price variation analysis. Taking advantage of the spatio-temporal model proposed here, it is possible to visualize spatio-temporal variations with spatio-temporal database and temporal map. On a practical level, this study would be extended and utilized to various geographic features.

Key Words : temporal map, spatio-temporal analysis, temporal GIS, spatio-temporal database

1. 서론

지리적 현상과 인간의 활동은 공간적 차원(spatiality)과 시간적 차원(temporality)으로 구분된다. 공간에서의 지리 사상과 인간 활동의 변화가 시간의 흐름 속에 기록된다. 따라서 인간의 복잡한

활동과 실세계의 현상을 체계적으로 연구하기 위해서는 공간적 차원과 시간적 차원을 통합적으로 분석하는 시·공간적(時空間的, spatio-temporal)인 접근이 필요하다. 지리학에서는 공간 분석에 시간 요소를 도입하여 인간의 활동을 시·공간적으로 분석하는 시간 지리학에 대한 연구가 시작되면서

* 서울대학교 국토문제연구소 연구원(Research Fellow, Institute for Korean Regional Studies, Seoul National University)

현실 세계의 현상과 인간의 활동에 대해 공간과 시간을 통합적으로 연구하고 있다. 지리정보학에서도 시간의 흐름에 따라 지리정보의 변화 양상을 분석할 수 있도록 시간을 중요한 분석 요소로 고려한 Temporal GIS가 지리정보시스템의 발전 방향으로서 제시되고 있다.

인간 활동과 지리적 현상을 시·공간적으로 분석하는 경우에는 연속적인 지리적 현상을 인위적인 시간 단위로 분할하고, 행정 구역과 같은 공간 단위로 집계하여 조사·비교하게 된다. 그런데 일정 공간 단위로 합산된 속성 자료는 가변적이고 미시적 공간에 대한 해석 능력이 부족하게 된다. 이는 분석 공간 단위가 시간의 흐름에 따라 변화하여 속성 자료와 공간 자료의 불일치 문제가 발생하기 때문이다. 그래서 시간적 차원과 공간적 차원을 통합적으로 분석할 때 속성 자료와 공간 자료의 불일치 문제를 어떻게 해결해야 할 것인지가 중요한 연구 과제로 대두되고 있다.

이 연구는 다음과 같은 연구 문제들로부터 출발하였다. 첫째, 인간 활동과 지리적 현상에 대하여 시·공간적인 차원을 통합적으로 분석할 수 있는 방법은 무엇인가? 둘째, 시·공간적으로 분석할 때 시간의 흐름에 따라 가변적인 분석 공간 단위로 인해 발생하는 속성 자료와 공간 자료의 불일치 문제에 대한 대책은 무엇인가? 셋째, 전자의 문제를 해결하기 위한 방법론으로써 지리정보시스템을 어떻게 활용할 수 있을 것인가?

이러한 문제들을 해결하기 위하여 다음과 같은 연구 목적을 설정하였다. 즉 지리적 현상의 시간적 특성과 공간적 특성을 파악하고 이를 통합적으로 분석할 수 있도록 시간 지도를 구현하는 것이다. 그리고 이러한 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 세부 사항들을 설정하였다.

첫째, 지리적 현상의 시간적 차원과 공간적 차원을 파악하고, 이를 통합적으로 분석할 수 있는 방법을 탐색한다. 본 연구에서는 시·공간적 변화가 역동적인 지가 변동(地價變動)을 사례로 분석한다.

둘째, 시·공간적인 분석에서 공간 단위의 가변성을 고려하고 지역의 미시적인 특성을 분석할 수 있는 방법을 탐색한다.

셋째, 시·공간적인 정보를 분석하고, 시각화할 수 있는 방법을 탐색한다. 이를 통하여 본 연구에서는 실험적으로 지가 변동 분석을 위한 시간지도를 구현한다.

본 연구의 공간적 범위는 경기도 안양시를 대상으로 한다. 그리고 시간적 범위는 1990년부터 2000년까지의 기간이다. 안양시는 1990년대 평촌 신도시 개발을 계기로 서울 주변의 수도권 지역에서 가장 활발하게 도시 성장이 이루어지는 도시 중 하나이다. 안양시는 신도시 건설에 따른 지역 발전과 인구 증가로 인해 1990년 이후 14회의 행정 구역 변동이 있었다. 또한 시청, 경찰서 등의 관공서의 이전으로 도시 공간 구조가 역동적으로 변화하고 있다. 이와 같은 시공간적 변화를 지가 변동

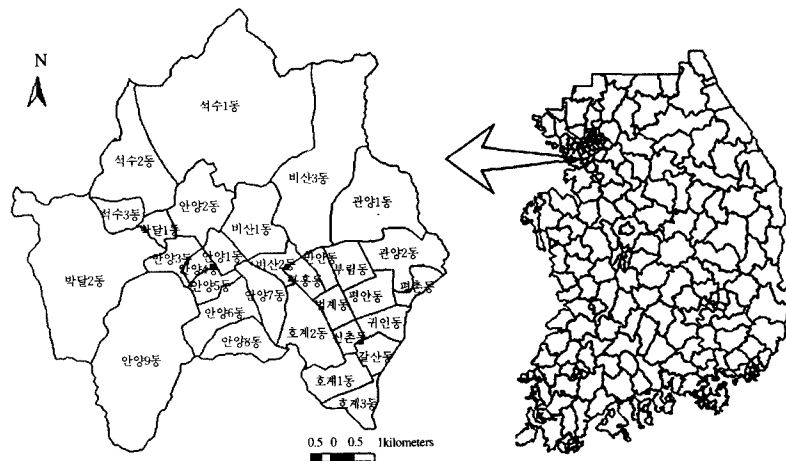


그림 1. 연구의 공간적 범위 - 경기도 안양시

을 통해 분석할 수 있다. 그림 1은 본 연구의 공간적 범위를 나타낸 그림이다.

2. 시간 지도

1) 시간 지도의 개념

시간 지도(temporal map)는 지리적 현상의 시·공간적인 변화를 시각화한 지도를 의미한다(Johnson, 2000). 시간 지도는 사용자가 원하는 시기에 실시간으로 자료를 지도화할 수 있기 때문에 사용자에게 시각적인 사고(visual thinking)와 함께 지도와의 상호 작용(interactive communication)을 가능하게 한다. 이러한 시간 지도는 지리 사상의 위치와 속성을 표현한 비시간적 지도(atemporal map)에 시간 요소를 추가한 것이기 때문에 기본적으로 지도의 특성을 유지한다.

시간 요소를 통합한 지도 제작에서는 현실 세계의 연속적인 시간을 이산적(離散的)인 시간의 상태로 요약한다. 대부분의 지리 사상은 연속적인 시간의 흐름속에서 변화한다. 반면, 지진에 의한 급격한 지형 변동처럼 일부 지리 사상은 이산적으로 변화하기도 한다. 지가의 경우 시장 가격은 매시간 변화하지만 지가 변동을 측정하기 위해 특정 시점을 표본으로 지가를 조사하여 이산적인 시간 자료를 기록하게 된다.

지리 사상의 변화는 관련된 속성의 변화를 유발한다. 어떤 속성은 변하지 않는 것이 있으며, 어떤 속성은 시간의 흐름에 따라 변하는 것도 있다. 예를 들어 토지의 지번은 시간의 변화에 의해 일반적으로 변하지 않지만 소유자의 속성은 시간의 흐름에 따라 자주 바뀔 수 있다. 이와 같은 시간 자료는 공간 자료의 공간 해상도(spatial resolution)의 경우처럼 적절한 시간 간격을 결정하는 시간 해상도(temporal resolution)를 고려해야 한다. 현실세계의 지리 사상의 변화가 일정하지 않기 때문에 적합한 시간 해상도를 정하는 것은 어려운 문제이다. 지리 사상마다 시간적 변화율이 다르므로 시간 해상도는 지리 사상의 특성에 의해 좌우된다. 공간 해상도의 경우 분석하려는 자료가 저장된 자료보다 낮은 해상도를 요구할 때 자료를 일반화(generalizing) 또는 저해상도화(coarsen)시킨다. 반

대로 저장된 자료보다 높은 해상도가 필요한 경우에는 자료를 내삽(interpolation)하게 된다. 그러나 공간 해상도의 변화에 비해 시간 해상도의 변화는 오차의 위험이 있기 때문에 매우 신중해야 하며, 많은 기술적인 연구가 필요하다. 따라서 시간 자료를 시·공간 데이터베이스로 구축할 때 최적의 시간 해상도로 저장해야 한다. 공간 자료의 일반화 또는 내삽이 2차원(혹은 3차원)적으로 지리 사상을 다루는 것에 비해 시간 자료의 일반화 또는 내삽은 1차원적인 문제를 다루게 된다. 시간적 흐름에 대한 점진적인 변화들은 연속적이지만 측정은 주기적인 시점에 행해지므로 연속적인 과정에 대한 시간 해상도의 변화는 선형 일반화 기법(linear generalization)이나 선형 내삽기법이 바람직하다.

2) 시간 지도의 유형

시간 지도는 지리 사상의 위치와 속성을 표현한 비시간적 지도(atemporal map)에 시간 요소를 추가하여 지리적 현상에 대하여 시간적 패턴을 표현한다. 시간 지도는 표현 형태에 따라 시각적 표현이 정적인 지도(static map)와 동적인 지도(dynamic map)로 구분할 수 있다.

(1) 정적인 지도

정적인 지도(static map)는 지리 사상의 위치, 크기, 색조, 질감 등으로 시간의 순서를 기호화하거나 시간 간격을 표현하며 스냅샷(snapshot)의 형태로 시각화한다. 정적인 지도는 단계구분도(choropleth map)나 연속면 지도(surface map) 등으로 구분된다. 단계구분도는 지역간 분포의 차이를 구별되는 색상이나 서로 다른 패턴으로 표현한 지도로, 주로 행정 구역별로 집계된 자료를 지도로 표현한 것이기 때문에 행정 구역 구분도(enumeration mapping)로 표현되기도 한다. 연속면 지도는 대상지역을 격자로 분해하고 각 격자에 유형값을 입력하는 방법으로 제작한다. 각 격자값은 지리 사상의 연속적 변화를 시각화한다. 지리사상의 연속적 변화를 표현하기 위해 내삽(interpolation)과 같은 통계기법을 적용한다.

(2) 동적인 지도

동적인 지도(dynamic map)는 정적인 지도를 연속적으로 나열하여 표현 시기, 기간, 빈도, 순서, 변

화 속도 등을 조절하여 역동적으로 시·공간적 패턴을 표현하여 개별적인 지도로 시각화되었을 때는 탐색되지 않는 경향이나 변화 양상을 파악하기 위해 사용된다. 동적인 지도는 유연한 시간 지도(interactive temporal map)의 표현이 가능하다. 동적인 지도는 2차원 동영상 지도(animated map)와 3차원 동영상 지도로 구분된다. 동영상 지도에서 개별적인 지도는 동영상의 주요 프레임(frame)으로 저장된다. 시간 지도의 차원에서 3차원 동영상 지도는 객체가 고정된 상태에서 보는 각도를 다양하게 시뮬레이션해서 보여주는 3차원 동영상과(3D flight animation)과 달리 객체가 3차원적으로 변화하는 모습을 보여주는 3차원 동영상(3D time series animation)을 의미한다.

3) 공간 단위의 문제

지리적 현상의 시·공간적 변화를 지도로 표현한 기존의 연구들을 보면 행정 구역 신설이나 경계 변동 같은 공간 단위(areal unit)의 가변성을 제대로 반영하지 못하는 경우가 많다. 행정 구역은 인구 증감, 지역 개발 등 사회·경제적 환경의 변화에 영향을 받아 단위 신설, 분동(分洞)이나 편입 등과 같이 변동이 많이 발생한다. 지가 자료를 비롯한 대부분의 속성 자료는 읍·면·동이나 시·군·구 등의 행정 구역 단위로 합산된 값을 가진다. 특히 여러 해의 통계 자료를 이용하여 특정 지역의 시계열 분석을 하고자 할 때에는 기준 연도를 정하여 다른 연도의 정보를 기준 연도에 맞추어야 하는 번거로움이 있으며, 이러한 과정에서 정확도와 신뢰도가 떨어지게 된다. 행정 구역 변동을 제대로 반영하지 않으면 공간 자료와 속성 자료가 일치하지 않게 되며, 공간 구조 분석에 오류를 가져오게 된다. 이는 과거의 속성 자료는 통계 자료 등을 통하여 확보하였으나, 과거 시점을 나타내는 공간 자료의 부재로 인해 이전의 속성 자료를 현재의 공간 자료에 대입시키는 경우가 많기 때문이다.

일정 공간 단위로 합산된 속성 자료는 가변적이고 미시적 공간에 대한 해석 능력이 부족하다. 이러한 문제점을 '가변적 공간 단위의 문제(MAUP: Modifiable Areal Unit Problem)'라고 할 수 있다. '가변적 공간 단위의 문제'는 공간적 패턴을 분석하는데 연속적인 지리적 현상에 대해 인공적인 공

간 단위로 조사하면서 발생하는 문제이다(Heywood, 1998). 공간 단위가 변화함으로써 분석에 영향을 미치게 된다. '가변적 공간 단위의 문제'를 해결할 수 있는 방법은 행정 구역과 같은 공간 단위의 변동에 영향을 받지 않는 기본 공간 단위(격자)로 자료를 구축하는 방법이 유용하다. 이를 분석 기준 시점의 행정 구역 등의 분석 공간 단위로 집계하면 공간 단위의 가변성을 충분히 반영할 수 있다. 이런 경우 기본 공간 단위를 가능한 작게 만드는 것이 효과적이다. 이와 같은 관점에서 미국은 통계국에서 개발한 센서스 조사 지역 단위의 기본 통계 지도인 TIGER(Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing system)를 활용하고 있다. 일본의 경우 통계국과 국토지리원 등의 정부기관에서 1968년부터 지역 메쉬(mesh) 통계(소지역 통계)를 작성하기 시작하였다. 메쉬는 지역을 1km 정도의 격자로 나누어 격자 형태로 자료를 구성하는 것이다. 1974년부터는 표준 메쉬 체계를 기초로 국토수치정보를 작성하였으며 1990년대부터 GIS를 이용하여 정부기관뿐 아니라 민간부에서도 수치지도와 통계 자료를 메쉬 체계로 통합하여 활용하고 있다. 우리나라의 경우 센서스 조사구 통계 지도, 소지역 통계 지도, 행정 구역 통계 지도 등으로 통계 자료를 다양하게 시각화하는 방법이 연구되고 있다(김영표·한선희, 1999). 최근의 지가 변동 분석 연구에서도 지가의 경향을 분석하기 위해 일정 크기의 격자(grid)로 지가 연속면 지도를 만들었다. Dubin(1998)은 미국 볼티모어 지역의 주택 특성 가격 함수를 추정하면서 500 제곱피트 크기의 그리드로 자료를 구축하여 분석하였다. 서경천·이성호(2001)는 표준지 공시지가를 내삽(interpolation)하여 50m 크기의 격자로 지가 연속면 지도를 제작하였고, 이진호·박신원(1999)는 개별 공시지가자료를 내삽하여 100m 크기의 격자로 지가 연속면 지도를 제작하여 도시 공간 구조를 분석하였다. Spiekermann(2000)은 '가변적 공간 단위의 문제'를 '공간 해상도가 낮은 구역의 횡포(Tyranny of Zones)'라고 규정하면서, 이를 해결하기 위해 해상도를 향상시키고 분석 결과를 단계 구분도 이외에 연속면 지도 등의 형태로 다양하게 시각화할 것을 제안하였다.

본 연구에서는 '가변적 공간 단위의 문제'를 해

결하기 위해 기본 격자로 지가 변동 자료를 구축하였다. 필지 단위로 구성되는 지가 자료의 특성을 고려하여 필지의 기본 격자 크기를 최소 면적에 해당하는 10m로 정하였으며, 이를 내삽한 자료를 시·공간 데이터베이스로 구축하였다.

3. 지가 변동의 시·공간적 특성

1) 지가 자료의 특성

지가 변동 분석은 시·공간적인 지가 변동을 지역 구조 분화, 지역 발전 등의 지역 특성과 관련지어 지가를 연구하는 주요한 분야이다. 지가 변동과 관련된 기존의 연구들은 거시적 차원의 공간적 변화 분석이나 단순 시계열적 분석이 대부분이었다. 이는 많은 연구들이 지가 분석의 기초 자료로써 동별 총계 자료(aggreated data)인 동별 평균 지가나 동별 최고 지가를 사용하였기 때문이다. 특히 여러 연구에서 원자료(source data)로 사용하고 있는 한국감정원의 '전국 토지 시가 조사표' 등의 자료는 기록 당시의 행정 구역 단위(법정동)로 집계된 동별 평균 지가나 동별 최고 지가를 제시하고 있어 행정 구역 내부의 지가의 공간적 분포를 추정할 수 없다(채미옥, 1997). 동별 총계 자료는 시, 군 단위의 거시적인 공간 구조를 분석하는 데는 유용하지만 지역 내부의 미시적인 특성들이 간과되는 근본적인 한계가 있다. 또한 공시지가 제도 시행 이전의 지가 자료들은 공공용지취득에 따른 기준 지가, 내무부의 과세 시가 표준액, 국세청의 기준 시가, 한국감정원의 토지 감정 시가 등 기관별로 다원화되어 있었고, 기관마다 지가 평가 기준이 상이하게 때문에 자료의 통일성이 부족하고, 일관성이 부족하다는 문제점이 있다. 우리나라는 1990년 공시지가제도를 시행하면서 공적 지가 자료 체계를 일원화하였다. 2000년 현재 우리나라는 전국 약 45만 필지의 표준지 공시지가를 조사하고, 이를 기준으로 약 2,700만 필지의 개별 공시지가를 산정하고 있다. 표준지 공시지가는 건설교통부 장관이 전국의 토지 중에서 토지 이용 상황이나 주변환경 혹은 기타 자연적 사회적 조건이 일반적으로 유사하다고 인정되는 일단의 토지 중에서 선정

한 후, 토지평가위원회의 심의를 거쳐 공시하는 표준지의 단위 면적당 적정 가격이다. 개별 공시지가는 시장 군수 구청장이 "표준지 공시지가"를 기준으로 인근 토지의 토지 가격을 산정하여 결정한 필지별 단위 면적당 토지가격으로써 토지에 대한 과세, 부담금 부과 기준으로 사용되고 있다. 표준지 공시지가는 현재 우리나라의 토지에 대한 가장 대표적이고 공식적인 가격 지표로 인정되고 있다. 본 연구에서는 표준지 공시지가를 기본 자료로 사용하였다. 표준지 공시지가는 시·공간적 특성을 지니며 공간 자료, 속성 자료와 시간 자료로 구분되어 사용된다. 행정구역, 지번 등의 공간적 위치는 공간 자료로 기록되며, 지목, 면적, 토지 이용상황이 속성자료로 기록된다. 그리고 시간 자료는 연구 기간 동안에 매년마다 산정되기 때문에 1년 단위의 시간 해상도로 기록된다. 표준지의 경우 일단 선정이 되면 위치, 면적 등과 같은 입지적 특성과 이용 상황, 용도 지역 등과 같은 물리적 특성을 반영하는 공간 자료와 속성 자료에 기록되는 내용은 거의 변화하지 않는다. 그러나 시간 자료는 1년 단위로 새로운 공시지가가 산정되기 때문에 이전 자료를 유지하면서도 최신의 상태로 갱신해야 한다.

2) 시·공간 데이터베이스

시간 자료는 시간의 개념에 따라 유효 시간 자료, 거래 시간 등의 다양한 자료 형태로 구분된다. 시간적 차원을 고려하는 경우에는 기존의 지리정보시스템보다 자료 구조가 복잡해지고 자료 용량이 방대해져 효율적인 관리가 필요하다. 이를 위해 1980년대부터 Snodgrass(1995)를 비롯한 많은 연구자들이 데이터베이스에 시간 영역(time domain)을 저장하는 Temporal Database에 대해 연구하였다. Temporal Database는 GIS에 적용되면서 시·공간 모델링이 가능한 시·공간 데이터베이스로 발전되었고, 이를 기반으로 Temporal GIS와 시간 지도의 시·공간 자료 모형들이 연구되었다. 스냅샷 모델, 업데이트 모델, 시·공간 객체 모델 등의 시·공간 자료 모형 중에서 현재의 기술로 구현이 가능한 장점들만 조합하여 지리 사상의 특성에 맞게 통합하는 것이 필요하다. 이러한 관점에서 Peuquet (1999)은 통합 복합 모델(integrated composite TGIS model)을 제시했다. 그림 3은 통합 복합 모

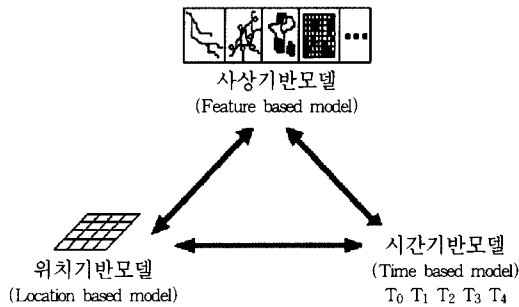


그림 2. 통합 복합 모델
(인용: <http://www.geog.psu.edu/tempest/>)

델의 개념도이다.

통합 복합 모델은 공간상의 사상 기반 모델(feature based model), 위치 기반 모델(location based model) 및 시간 기반 모델(time based model)로 구성된다. 사상 기반 모델은 지리 사상의 이름, 레이어 정보 등과 같은 특징들을 관리하며 일반적인 속성 자료를 저장하는 데이터베이스와 유사한 기능을 가진다. 위치 기반 모델은 지리 사상의 위치 속성을 관리하는 래스터 모델로서 공간 자료가 고정된 크기의 그리드(grid)로 공간 데이터베이스에 저장된다. 시간 모델은 사상 기반 모델에서 관리되는 지리 사상에 발생하는 임의의 사건을 기록하여 데이터베이스의 변화를 관리한다. 지가와 지적 등의 지리 사상의 시간적 특성과 공간적 특성을 고려할 때 통합 복합 모델을 이용하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다. 필지 중심 토지 정보시스템의 관점에서는 지가와 지적이 동일한 공간 해상도로 자료를 구축하게 되며, 구역 중심 토지 정보시스템의 관점에서는 지가는 행정 구역 단위로 집계되어 지적과 별도로 관리하게 된다. 이 연구에서는 시험적으로 지가에 대하여 통합 복합 모델의 차원에서 시·공간 데이터베이스를 구축하고 시간 지도를 구현하였다. 지가의 경우 시간 자료는 1년 단위로 새로운 공시지가가 산정되기 때문에 이전 자료를 유지하면서도 새로운 내용으로 갱신해야 한다. 기존의 방법대로 공간 자료나 속성 자료와 시간 자료를 통합하여 단일 데이터베이스로 관리하는 경우에는 자료 입력, 처리, 저장 등과 같은 자료 관리에 많은 시간과 용량을 소모하게 되어 비효율적이다. 내용의 입출력 및 갱신이 빈번한 시간 자료를 분리하여 별도의

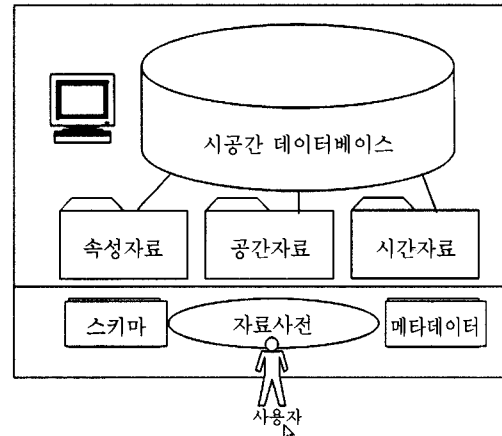


그림 3. 시·공간 데이터베이스와 자료 사전

데이터베이스로 관리하는 것이 필요하다. 그림 4는 통합 복합 모델의 관점에서 공간 자료, 속성 자료, 시간 자료를 별도의 시·공간 데이터베이스로 구성하고, 이를 자료 사전을 통해 검색하고 관리하는 자료 모형을 제안한 것이다.

4. 지가의 시·공간 분석 모델을 통한 시간 지도 구현

1) 지가 변동 분석 모델

본 연구는 실험적 차원에서 시·공간 질의와 시각화를 통한 지가의 시·공간 변동 분석 모델을 디자인하고, 시험적으로 구현한다. 지가 변동 분석 모델은 지가의 시간적 요소와 공간적 요소를 반영하는 시·공간 데이터베이스, 자료 사전과 지가 변동에 대한 시·공간 질의 및 분석 결과를 시각화하는 시간 지도로 구성된다. 그림 5는 지가 변동 분석 모델의 구성을 그림으로 나타낸 것이다. 먼저 지가 변동 분석에 필요한 원자료들의 특성을 분석하여 시·공간 스키마(spatio-temporal schema)와 메타데이터(metadata) 구조를 설계하여 시·공간 데이터베이스로 구축하고, 다양한 참조 자료를 자료 사전을 통해 제공한다. 둘째, 지가의 시·공간적인 변화를 통합적으로 분석할 수 있는 시·공간 질의를 제시한다. 시·공간 질의를 통하여 지가 변동의 시간적 요소와 공간적 요소를 통합적으로 분

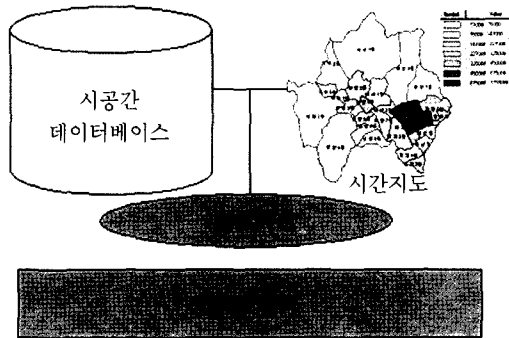


그림 4. 지가 변동 분석 모델의 구성

석할 수 있게 된다. 셋째, 시·공간 질의의 분석 결과를 다양하게 시각화할 수 있는 시간 지도를 설계하고 구현한다. 시간 지도는 단계 구분도, 지가 연속면 지도 등의 정적인 시간 지도와 3차원 동영상 지도 등의 동적인 시간 지도를 구현한다.

2) 시·공간 자료의 구축

공간 자료의 형식(format) 중 벡터(vector) 자료는 Arcview의 SHP형식으로, 래스터(raster) 자료는 Arcinfo GRID형식과 IDRISI의 IMG(RST)형식으로 정하였다. 이들은 널리 사용되며 자료 형식으로써 호환성이 높아서 다른 종류의 하드웨어와 소프트웨어에서도 사용될 수 있기 때문에 자료 교환에 매우 효과적이다. 행정 구역 변동 자료로는 토지 특성도와 수치지도를 이용하여 공간 자료를 입력하였다. 그리고 AutoCAD와 Arcinfo를 이용해 공간 자료를 수정하여 Arcview의 Shp형식으로 변환하였다. 속성 자료와 시간 자료의 형식은 MS Access 2000의 MDB형식으로 저장하였다. MDB형식은 토지정보시스템의 자료 형식으로 사용되고 있어 호환성이 높고, 사용자가 관리하기 용이한 자료 형식이다. 기본 설계에서 정의된 시공간 스키마에 근거하여 속성 자료와 시간 자료를 데이터베이스에 입력하고, 공간 자료와 연결하였다. 그리고 데이터베이스를 GIS 소프트웨어와 통합하기 위해 ODBC로 연결하였다.

ODBC(Open Database Connectivity)는 데이터베이스 접근을 위한 애플리케이션 프로그램 인터페이스(API: Application Program Interface)로써, 동일한 소스 코드로 다른 데이터베이스를 접근할 수 있도록 최대의 상호운용성(Interoperability)을 위하

여 만들어졌다. ODBC 드라이버(driver)는 프린터 드라이버와 같은 방식으로 데이터베이스의 고유 함수를 호출하는 것으로부터 애플리케이션을 분리한 것이다. 여러 애플리케이션이 SQL(Structured Query Language)를 이용해 데이터베이스 내의 데이터에 접근하게 된다. Arcview에서는 ODBC로 연결된 MDB파일의 속성 자료와 시간 자료를 DBF 형식으로 저장한다.

지가의 경우 분석 기준이 되는 행정 구역이나 지적의 경우 각 필지의 공간적 변동에 대한 자료는 복합 모델의 차원에서 업데이트 모델을 수정해서 사용하는 것이 바람직하다. 기존의 업데이트 모델은 전체 정보가 저장된 기본 레이어와 변화된 내용만 기록된 추가 레이어들로 구성된다. 추가 레이어는 새로운 지리 사상들과 수정된 지리 사상, 삭제된 지리 사상들을 저장한다. 이 모델은 스냅샷 모델보다 효율적인 저장이 가능하고, 각 사상의 연계성이 기록되어 지리 사상의 속성 변화를 추적할 수 있어 시계열적 분석이 가능하지만, 공간적 위상 처리 능력이 부족하고 분석 처리 시간이 오래 걸리는 단점이 있다(Hazeltan, 1992).

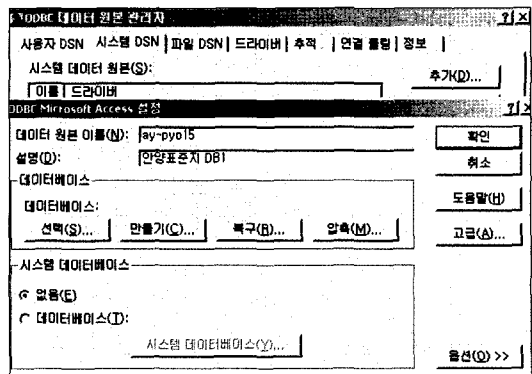


그림 5. ODBC 설정

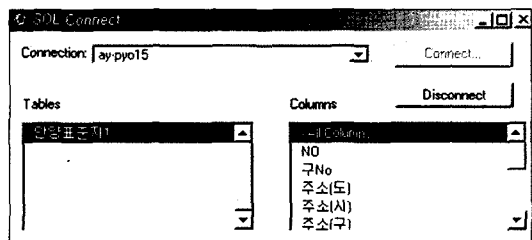


그림 6. Arcview에서의 ODBC 연결

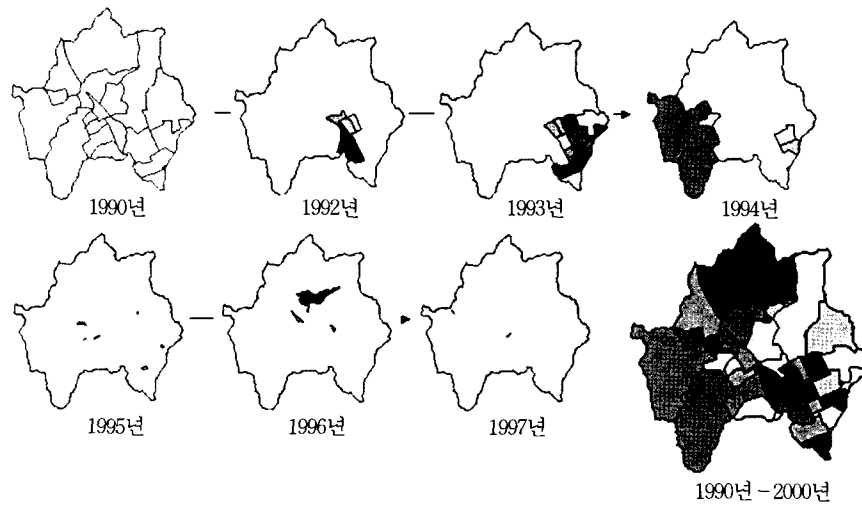


그림 7. 행정 구역 변동 데이터베이스

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 전체 정보가 저장된 기본 자료와 변화된 추가자료를 단일 레이어로 구축하고, 행정 구역 변동에 대한 속성 자료를 데이터베이스로 저장하여 통합시켜 지가의 시·공간 자료와 지가의 분석 공간 단위인 행정 구역을 일치시켰다. 그림 8은 지가를 집계하여 분석하는 기본 공간 자료인 행정 구역 변동 데이터베이스의 개념도이다. 그림 8에서 연도가 표시된 지역은 행정 구역 변동이 일어난 연도의 개별적인 자료들이다. 이러한 자료들이 [1990-2000]으로 표시된 형태로 데이터베이스에 저장된다. 각 연도의 자료들은 이전의 속성을 유지하면서도 변화된 내용을 수록하게 된다. 1990년의 안양시 행정구역을 기본 기준 자료로 하고, 1990년부터 2000년까지의 행정 구역 변동 사항을 연도별로 업데이트 데이터로 추가하여 단일 레이어로 행정 구역 변동 데이터베이스로 구축하여 자료 구축과 관리의 효율성을 모색하였다.

일반적인 데이터베이스의 경우 각 연도의 자료를 개별적으로 입력하여 중복된 자료로 인해 자료 저장 공간의 문제, 처리 시간의 증가 등 데이터베이스의 효율성 문제가 나타난다. 행정 구역은 지가 자료와 달리 매년 전체 자료가 변화하는 것이 아니라 불규칙적인 시기에 일부 지역에 대하여 변화가 나타난다. 불규칙적인 변화가 있는 지역을 업데이트 자료로 데이터베이스에 입력하면 위와 같은

효율성의 문제점을 해결할 수 있다. 또한 시, 구, 법정동, 행정동 등 여러 행정 구역 단위를 단일 시·공간 데이터베이스로 저장하였기 때문에 여러 연구의 분석 공간 단위로 사용되는 다양한 행정 구역을 추출할 수 있으며, 향후 연구에서 주변 지역으로 확대도 가능하다. 이와 같은 방법은 공간적 해상도를 향상하여 필지 단위의 시간 지도에서도 적용이 가능하다.

3) 시간지도의 구현

(1) 정적인 시간 지도의 구현

본 연구에서는 정적인 시간 지도로 지가 단계구분도, 지가 연속면 지도 등을 구현하였다. 이를 통해 지가 변동에 대한 시·공간 질의의 분석 결과를 시화할 수 있었다. 지가 연속면 지도는 행정 구역 지가 단계구분도보다 미세적인 공간 구조를 분석하는데 더 용이하지만, 단계구분도는 공간 단위별 지가 변동을 분석하는데 더 적합하다. 단계구분도는 지가 연속면 지도를 통하여 분석된 지가 변동 자료를 행정동을 비롯하여 법정동, 구, 시 등의 다양한 분석 공간 단위(행정 구역)로 집계하여 표현할 수 있다. 사용자는 분석의 기준이 되는 연도의 지가 자료와 기준 연도의 행정 구역을 시공간 데이터베이스에서 질의하여 속성 자료와 공간 자료의 범위가 일치되도록 분석할 수 있다. 이를 통해 가변적

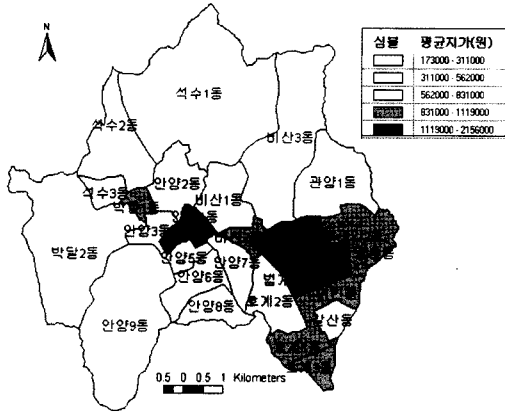


그림 8. 2000년 지가 단계 구분도
(2000년 행정 구역 기준)

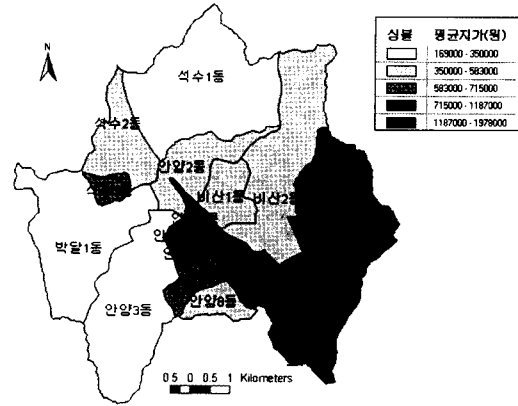


그림 9. 2000년 지가 단계 구분도
(1990년 행정 구역 기준)

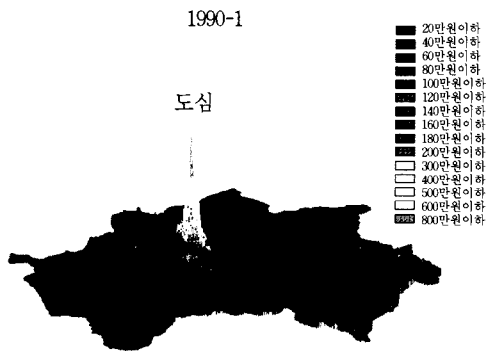


그림 10. 1990년의 3차원 지가 연속면 지도

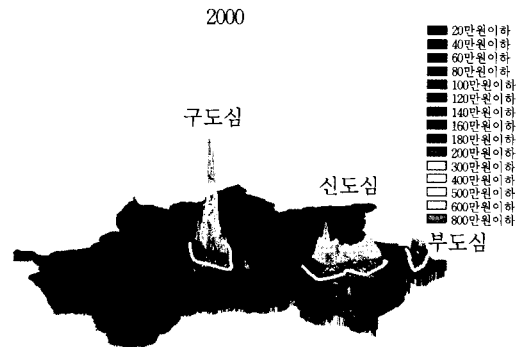


그림 11. 2000년의 3차원 지가 연속면 지도

공간 단위의 문제를 보완할 수 있다. 그림 9는 2000년 행정 구역 기준의 지가 단계 구분도이다. 지가 연속면 지도의 공간 연산 결과를 2000년 기준의 행정동 단위로 집계하여 평균값을 부여하였다. 만약 1990년을 기준 연도로 지가 변동을 분석한다면 1990년의 행정 구역 경계가 필요하다. 다음 그림 10은 2000년의 지가 자료를 1990년의 행정 구역을 기준으로 단계 구분도로 표현한 것이다. 이런 경우는 1990년을 기준으로 작성된 통계 자료를 현재와 비교하여 분석할 때 유용하다. 이렇게 행정 구역 변동 데이터베이스에서 사용자가 원하는 행정 구역을 추출하여 단계구분도를 만들 수 있다.

각 년도의 안양시의 지가를 보면 가격의 편차가 크고 지역적으로 분산되어 있어 도시 공간 구조 변화를 파악하기 위해 최고 지가와 최저 지가를

고려하여 15단계로 분류하고 이를 3차원적으로 시각화하여 지역 구분을 용이하게 하였다. 1990년의 지가 분포를 나타낸 그림 11과 2000년의 지가 분포를 나타낸 그림 12를 비교하면 안양시의 도시 공간 구조의 변화를 추정할 수 있다. 이를 통해 보면 안양시에는 안양역을 중심으로 한 구도심 지역과 평촌 신도시의 신도심 지역이 지가가 높은 지역으로 분석된다. 또한 안양 동부에서 지가가 높은 지역은 동안구 관양2동의 인덕원 사거리 지역인데, 이는 과천시나 의왕시와의 교통 결절 지역이기 때문에 지가가 높게 형성되었을 것으로 추정된다. 지가의 절대값으로 보면 구도심 지역이 최고 지가를 비롯하여 높은 지가를 유지하고 있지만, 지가가 높은 지역 면적으로 보면 평촌 신도시의 신도심 지역이 점차 도시 중심지의 역할을 하고 있다.

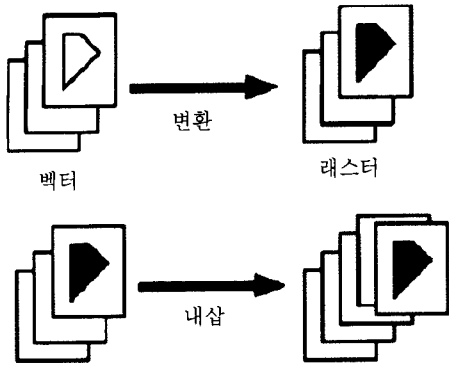


그림 12. 동영상 지도의 제작 과정

2) 동적인 시간 지도의 구현

동적인 시간 지도(time series animation map)를 구현하기 위해서는 자료 변환을 비롯한 기본 프레임 제작과 편집 등의 제작 과정이 필요하다. 다음 그림 13은 동영상 지도의 제작 과정을 그림으로 나타낸 것이다.

첫째, 각 시기별 공간 자료를 벡터에서 래스터 형식으로 변환한다. 동영상 자료 형식들은 기본적으로 래스터 형식을 지원하기 때문이다. 현재의 동영상 자료 형식은 대부분 래스터 형식이며, 일부 벡터 형식의 동영상 자료 형식이 연구되고 있다.

둘째, 각 시기별로 시각화된 정적인 지도는 동영상 지도에서 동영상의 주요 프레임(frame)으로 저장한다. 다음 그림 14는 3차원 동영상 지도의 주요 프레임을 나타낸 것이다.

셋째, 시간 해상도(temporal resolution)를 향상시키기 위해 시계열적 내삽법으로 주요 프레임 사이의 보조 프레임을 제작한다. 동영상 지도를 만드는 기법을 연구한 여러 연구에서는 기본 프레임을 중심으로 동영상을 제작하고 있다. 원자료의 시간 해

상도가 충분하거나, 도시 성장 분석처럼 분석의 시간적 범위가 긴 경우에는 이런 방법이 적합하다. 시간 해상도가 충분하지 않거나, 분석의 시간적 범위가 짧은 경우에는 시간 해상도를 향상시키는 방법이 필요하다. 특히 지가의 경우 전체 자료의 값이 매 시간 단위별로 변화하기 때문에 시간 해상도가 매우 중요하다. 본 연구에서는 이를 위해 1년 단위의 지가 자료를 시계열 내삽법을 적용하여 시간 해상도를 향상시켰다. 보조 프레임으로 저장된 시계열 내삽 자료는 동영상을 시각적으로 원활하게 해줄 뿐 아니라, 다른 속성 자료와 더불어 지역의 특성을 분석하는데 활용될 수 있다. 그림 14에서 첫째 프레임은 각 연도의 3차원 지가 연속면 지도로써 주요 프레임으로 사용된다. 둘째부터 넷째 프레임은 위의 시간 해상도를 향상시키기 위해 시계열적으로 내삽한 결과를 3차원 지가 연속면 지도로 구현한 보조 프레임이다.

넷째, 시간, 축척 등의 주기(annotation)를 개별 프레임에 저장한다. 주기는 지도의 내용을 이해할 수 있는 주요 참조 자료이다.

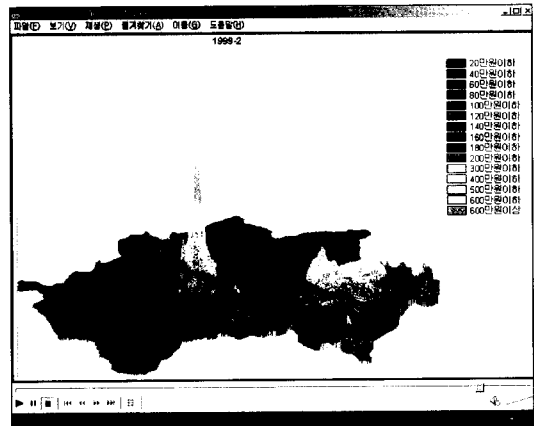


그림 14. 3차원 동영상 시간 지도

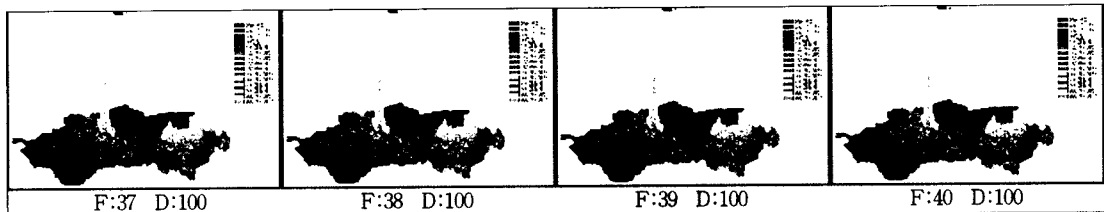


그림 13. 3차원 동영상 지도의 일부 프레임

다섯째, 이를 동영상 제작 프로그램으로 편집하면 동적인 시간 지도를 구현할 수 있다. 완성된 동영상 지도는 윈도우 미디어 플레이어 등의 동영상 구동 프로그램으로 구현할 수 있다. 상태 바(bar)를 통해 동작, 정지, 특정 프레임 확인 등이 가능하다. 그림 15는 주요 프레임과 보조 프레임을 저장하여 구현한 3차원 동영상 지도를 AVI 동영상 포맷으로 변환하여 윈도우 미디어 플레이어로 실행시킨 것이다. 이처럼 3차원 동영상 지도를 미디어 플레이어 등의 동영상 구동 프로그램을 이용하여 실행시킬 수 있으며, 이를 통해 특정 시점 또는 전체적 지가 변동의 경향을 분석할 수 있다.

3차원 동영상 지도를 통해 1990년부터 2000년까지의 지가 변동을 살펴보면, 평촌 신도시가 완성된 시기인 1995년을 분기점으로 하여 안양시의 지가 변동 양상이 달라짐을 알 수 있다. 1990년부터 1995년까지는 안양시 동부 지역인 만안구의 지가가 전반적으로 높았고, 그를 중심으로 하여 도시 중심지가 형성되었다. 그러나 1995년부터 2000년까지는 평촌 신도시가 위치한 안양시 서부 지역인 동안구의 지가가 많이 상승하면서 이를 중심으로 새로운 도심이 형성되는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 지리적 현상과 인간 활동에 대하여 공간적 특성과 시간적 특성을 통합적으로 분석하고 표현할 수 있는 시간 지도 구현에 대해 연구하였다. 특히 시·공간적 역동성이 큰 지가 변동 분석에 적합한 시간 지도를 구현하였다. 토지 정보는 한번 정리하면 고정되는 것이 아니라 시간의 경과와 함께 공간 정보의 변화가 발생하고 공시 지가 산정과 같은 시간적 정보가 지속적으로 갱신되기 때문에 시간 지도의 필요성이 매우 높은 분야이다. 이를 위해 문헌 연구를 통해 시간 개념과 시간 자료에 대한 일반적 특성 등의 이론적 배경을 탐구하였으며, 데이터베이스와 지리정보시스템 분야에서 지속적으로 개발되고 있는 자료 모형을 탐색하였다. 그리고 실험적으로 지가에 대하여 통합 복합 모델의 차원에서 시·공간 데이터베이스를 구축하고 시간 지도를 구현하였다.

본 연구는 개별적인 공간 자료를 관리하는 방법으로 지가의 분석 기준이 되는 행정 구역이나 각 필지의 공간적 변동에 대한 자료를 통합 복합 모델의 차원에서 업데이트 모델을 수정해서 사용하는 방법을 제안하였다. 이를 통해 행정 구역 변동과 지가의 시·공간 자료를 데이터베이스로 저장하여 통합시킬 수 있었다.

본 연구에서는 가변적이고 미시적인 시·공간 단위의 지가 변동 분석 모델을 실험하여 지가 변동 시간적 요소와 공간적 요소를 통합적으로 분석할 수 있는 방법을 확인하였다. 지리적 현상과 인간의 활동은 시·공간인 요소를 통합적으로 분석하는 것이 필요하다. 그러므로 본 연구에서 구현된 모델은 지가를 비롯하여 다양한 지리 사상을 통합적으로 접근할 수 있는 확장 가능성을 가진다. 또한 시·공간적인 분석에서 가변적인 공간 단위의 문제에 대응할 수 있는 방법의 하나를 제시하였다. 지역의 특성을 파악하기 위해 지가와 같은 지리적 현상을 행정 구역의 단위로 집계할 때 발생하기 쉬운 속성 자료와의 불일치 문제를 보완할 수 있는 방법을 마련하여 가변적 공간 단위의 문제를 보완할 수 있었다.

본 연구에서 표준지 공시지가를 이용하여 분석한 결과를 일반화하기에는 무리가 따를 수 있다. 안양시뿐 아니라 여러 지역에 이 방법을 적용하여 이 모델을 지속적으로 검증하고 발전시킬 필요가 있다. 또한 본 연구의 지가 변동 분석자료는 개별 필지 단위의 분석이 아니라 표준지의 공간적 분포를 일반적인 공간 내삽법으로 추정한 것이다. 이는 본 연구가 특정 필지의 지가를 추정하는 것에 의미를 두는 것이 아니라, 지역적 경향의 시공간적 특성을 탐색하는데 초점을 두고 있기 때문이다.

이 연구에서 제안된 시·공간 시각화 방법을 다양하게 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 시간 해상도와 공간 해상도가 향상된 시·공간 데이터베이스는 지가 변동 분석뿐 아니라 지가 산정 모델, 지가 예측 모델 등의 기초 자료로 사용될 수 있다.

文獻

김영표·한선희, 1999, GIS를 이용한 국가 통계정

- 보의 활용도 제고방안, 국토연구원.
- 오충원, 2002, 지리정보시스템의 시간 요소에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
- 서경천·이성호, 2001, “지가의 공간적 변동에 따른 입지지의 분석에 관한 연구-공간적 자기 상관을 고려한 방법론을 중심으로,” 국토도시계획학회지, 36(1), 55-72.
- 이건호·박신원, 1999, “대전광역시 지가변화 분석을 통한 공간 구조 해석에 관한 연구,” 건축도시환경연구, 7, 93-101.
- 채미옥, 1997, 서울시 지가의 공간적 분포특성과 지가결정요인에 관한 연구, 서울시립대학교 박사학위논문.
- Acevedo, W. and Masuoka, P., 1997, Time Series Animation Techniques for Visualizing Urban Growth, *Computers & Geosciences*, 23(4), 423-435.
- Buurman, J., 2001, Rural Land Use Changes in Europe and Evaluation of Policy Alternatives, Ph.D. Research Project Proposal, Amsterdam: Vrije Universiteit.
- Dubin, R. A., 1998, “Predicting House Prices Using Multiple Listings Data”, *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17(1), 35-59.
- Hazelton, N. et al., 1992, “Beyond the 2-D Map: A New Metaphor for Multi-Temporal 4-D GIS,” *Proceedings of GIS/LIS '92*, 303-313.
- Hermosilla, L.H., 1994, A Unified Approach for Developing a Temporal GIS with Database and Reasoning Capabilities, *Proceedings of EGIS '94*, 122-131.
- Heywood, 1998, *Introduction to Geographical Information Systems*. New York: Addison Wesley Longman.
- Joerin, F. and Claramunt, C., 1994, Integrating the Time Component in a GIS: An Application to Access Flooding Impacts on Agriculture, *Proceedings of EGIS '94*, 524-532.
- Johnson, I., 2000, ECAI/TimeMap Data Preparation Manual, University of Sydney
- Langran, G., 1989, A Review of Temporal Database Research and its Use in GIS applications, *International Journal of Geographical Information Systems*, 3(3), 215-232.
- _____, 1992, States, Events, and Evidence: The Principle Entities of a Temporal GIS, *Proceedings of GIS/LIS '92*, 1(4), 16-425
- _____, 1993a, *Time in Geographic Information Systems*, London: Taylor & Francis.
- _____, 1993b, Issues of Implementation a Spatiotemporal Systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(4), 305-314.
- Montary, A. and Pernici, B., 1993, Temporal Reasoning. In *Temporal Databases. Theory, Design and Implementation*, The Benjamin/Cummings publishing co.
- Peuquet, D., 1994, It's about Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in GIS, *Annals of the Association of American Geographers*, 84, 441-461.
- Peuquet, D., 1999, Time in GIS and Geographical Database, in Maquire, D.J., Goodchild, M.F., and Rhind, D.W.(eds), *Geographic Information Systems Principles and Technical Issues*, Jone Willy & Sons, 91-113.
- Snodgrass, R., 1995, *SQL2 Temporal Query Language*, Kluwer Academic Publishers.
- Spiekermann, K. and Wegener, M., 2000, “Freedom from the Tyranny of Zones: Toward New GIS-based Spatial Model,” *Spatial Models and GIS*, Taylor & Francis, 45-61
- Terje Midtbø, 2000, Visualization of the Temporal Dimension in Multi-media Presentations of Spatial Phenomenon, *The Proceedings of the 9th International Symposium on Spatial Data Handling*, Beijing, China, 74-86.
- Worboys, M.F., 1992, Object-Oriented Models of Spatiotemporal Information, *Proceedings of GIS/LIS '92*, 825-834.

원고접수일 2002. 5. 2

최종원고접수일 2002. 5. 27