

## 3D-GIS 위상관계를 활용한 도시경관정보 가시화 방안 연구

장 문 현\*

### A Study on Visualization of Urban Landscape Information Using 3D-GIS Topological Relationship

Mun-Hyun Jang\*

#### 요 약

실세계에 가까운 가상현실의 표현기술과 웹을 통해 공간정보를 제공하는 3차원 GIS는 새로이 주목받는 분야 중에 하나이다. 특히, 공간데이터의 상호운용성에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, OGC는 상호운용을 지원하는 공간객체의 위상관계 명세를 발표하였다. 그러나 이 명세서는 2차원 공간객체에 국한되어있다. 이에 본 연구에서는 도시의 경관개선과 GIS 활용 기반 조성의 측면에서 3차원 공간객체의 위상관계를 구축하였다. 나아가 이를 토대로 신도시의 실정에 맞는 경관정보 가시화 방안을 제시하였다. 결과적으로 장소에 구애받지 않고 상시접속이 가능한 현실감 있는 도시경관에 대한 정보공유의 기틀을 마련하였다는 점에서 보다 큰 의의가 있다고 할 것이다.

주요어 : 웹 3D-GIS, 위상관계, 도시경관, 경관정보, 가시화

**ABSTRACT** : Three-dimensional GIS, which provides spatial information through expression techniques of virtual reality close to the real world and the web, is one of the fields that attract a new attention. In particular, Open GIS Consortium(OGC) announced a topological relationship specification of spatial object which supports interoperability while interest in interoperability of spatial data is increasing. However, this specification is limited to two-dimensional spatial object. So this research established a topological relationship of three-dimensional spatial object in order to improve urban landscape and provide a foundation to use GIS. Based on this, this study proposes ways to visualize landscape information which is appropriate for new town's circumstances. It can be concluded that this research has a bigger meaning since it established a base of sharing information about realistic urban landscape that

---

\*전남대학교 지리학과 강사(geosoma@hanmail.net)

can be accessed regardless of place and time.

**Keywords** : web 3D-GIS, topological relationship, urban landscape, landscape information, visualization

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

도시경관은 도시를 대표하는 이미지이며 도시민의 삶의 질을 나타내기도 한다. 삶의 질 향상이라는 명제를 두고 아름다운 도시를 만들어가기 위한 노력은 미래 도시의 필수적인 요소로 자리잡아가고 있다. 기존도시 및 신규 개발사업이 경관에 어떠한 영향을 미치는지는 사전에 예측되어야 하고, 그 결과를 바탕으로 의사결정이 이루어져야 한다. 이렇게 개발에 따른 미래의 영향예측과 주민의 의사를 반영하는 정책결정지원 수단으로서 도시경관의 가시화와 웹을 통한 경관정보의 공유가 절실히 요구되고 있다.

이에 도시계획을 비롯한 전반적인 분야에서 3차원 시각화는 기존의 도시경관을 진단하고, 개발예정 대상을 미리 조감하여 그 영향을 예측해 볼 수 있다는 점에서 활용의 가능성이 매우 크다고 할 것이다.

그러나 지금까지 사용되어온 시각화 기법은 대상지의 사진에 새로운 경관요소를 수작업이나 그래픽 툴을 이용해 삽입하는 사진합성법이나, CAD를 이용한 기초적인 장면연출 위주로 각종 계획에 활용하여왔다. 이는 단위장면의 처리에 많은 시간과

인력이 소요되고, 특히 지역·지구단위영역의 가시화에는 조사자의 편의에 따라 그 영향이 은폐·축소되어 나타나는 등, 수요자의 요구를 만족시키지 못하고 있는 실정이다.

한편, 다양한 공간 객체를 대상으로 하는 GIS 응용시스템들은 지원되는 데이터 형식, 질의어, 그리고 연산자의 한계 때문에 고차원의 공간데이터는 제대로 표현할 수가 없었다. 이를 극복하기 위해서는 공간객체의 위상관계 구축이 선행되어야 한다. 그러나 OGC(Open GIS Consortium)에서 제시한 위상관계 표준안은 2차원에 국한되어있어 다차원에서의 확장이 요구되고 있다.

이와 같은 맥락에서 본 연구는 국내 도시경관관리의 유형과 관리요소를 조사하고, 도시경관정보의 시각화에 필요한 이론과 적용기술을 고찰하였다. 또한 지리정보에서의 공간데이터 상호운용성에 대한 관심이 높아지고 있는 실정을 감안하여, OGC의 2차원 위상관계 표준명세를 토대로 다차원으로 확장하여 도시경관정보의 가시화를 시도하였다.

궁극적으로 본 논문은 첫째, 3D-GIS 공간객체의 위상관계를 정립하고, 둘째, 도시경관 관리 및 분석을 위한 3차원 경관 가시화와 적용을 목적으로 한다.

## 1.2 연구내용 및 방법

현재 3차원 GIS 기반의 가상도시 구축과 활용은 광범위하게 확산되고 있다. 그동안 2차원의 평면적으로 이루어지던 정보시스템의 운영 및 관리가 3차원 공간 개념에 기초를 둔 통합관리 중심으로 급변하고 있다. 또한 국민의 알권리 충족의 측면에서 웹을 기반으로 구현됨으로써 폭넓은 의견수렴의 시도가 이루어고 있다. 본 논문에서는 상기의 목적 달성을 위하여 다음과 같은 내용들을 연구하였다.

첫째, 기존의 연구동향 및 전반적인 관련 이론을 고찰하고, 현재 지방자치단체 단위로 진행되고 있는 도시경관관리의 유형 및 분석 기법의 한계점을 파악하였다. 둘째, 정보기술의 발달에 힘입어 사회 각 분야에서 활용되고 있는 경관평가방법과 시각화 기법 도입의 필요성을 고찰하고, 특히 OGC에서 제시한 2차원 공간객체 위상모델인 4IM(4-Intersection Model), 9IM(9-Intersection Model), DEM(Dimension Extended Model), 그리고 DE-9IM(Dimension Extended 9-Intersection Model)을 기초로 한 단계 진보한 3차원 공간객체의 위상관계를 정립하였다. 셋째, 정립된 위상관계를 토대로 설정 목표에 부합하는 웹 서비스 구성체계를 모색하고, 경관정보의 운용에 필요한 공간 및 속성 데이터를 가시화하였다. 넷째, 경관분석 및 시각화 기법을 사례지역에 기능별로 적용하고 이에 따른 효과와 한계점을 고찰하였으며, 끝으로 결론과 향후 지속되어야할 연구 과제를 제시하였다.

연구 결과의 도출을 위해 문헌연구와

사례지역 적용연구를 병행하였다. 문헌연구는 국·내외 서적과 논문, 저널, 관련기사와 인터넷을 통한 관련자료 수집을 수행하였다. 시스템 적용을 위해 대상지인 광주광역시 치평동의 지형자료, 시설 및 건축물 관련 자료와 도면을 수집하고 이를 전산화시켜 레이어를 설계하고 제작하였다. 자료 입력은 대상의 특성에 따라 형상을 설정하고, 속성 및 처리방식, 그리고 부가자료의 항목 결정을 행하였다. 또한 최종 표현방식이 웹을 통한 3차원 GIS라는 점을 감안하여 자료의 크기를 최소화 하고자 활용도가 낮은 자료는 과감히 배제하였다.

## 1.3 관련 연구 동향

국내·외적으로 3차원 GIS와 관련한 많은 연구개발이 이루어지고 있지만, GIS 고유의 위상관계를 적용하여 3차원 도시경관을 대상으로 웹 서비스할 수 있는 연구 사례와 그 기술적 수준은 아주 미흡한 실정이다. 이와 더불어 3차원 기반위에 Web GIS의 분석기능을 가미한다는 것은 한층 더 복잡하고 많은 장비와 시간을 필요로 한다.

동일한 맥락에서 공간객체에 대한 3차원 GIS의 위상관계는 지리정보의 최적화에 중요한 역할을 한다. 이와 관련하여 수행된 연구로서 황환규(2000)는 위상관계를 Equal, Disjoint, Overlap 등으로 구분하고, 주어진 위상관계로부터 모든 가능한 새로운 관계를 유도하는 알고리즘을 제시하였다. 그러나 2차원 객체를 대상으로 하고 있어서 보다 현실적인 3차원으로

의 확대 적용이 요구되고 있다. 황종하 외 2인(2001)은 기존 2차원 공간관계 모델링 기법들을 분석하고 공간관계를 필터 및 정제단계로 나누어 질의에 대한 예를 제시하였으나, 3차원 시점을 기반으로 하는 방향관계에 대한 보충연구가 필요하다. 김상호 외 2인(2003)은 이질적인 공간모델의 호환성 문제를 해결하고자 컴포넌트 환경의 3차원 연산자를 설계하였다. 이는 기본적으로 DE-9IM을 이용하였으나, 관계행렬의 패턴 인식이 어려우며 이를 극복하기 위한 수단으로서 관계코드의 도입방안이 마련되어야 할 것이다.

국외의 경우는 Svensson & Huang(1991)이 공간상의 위상관계를 이항 위상 연산자로 분류하여 Contain, Overlap, Cover 등 7가지로 표현하였다. Clementini *et al.*(1993)은 차원개념으로 확장된 방법과 계산에 기반한 방법을 이용하여 위상관계를 표현하였으며, Egenhofer(1994)는 공간객체를 내부와 외부, 경계로 나누는 방법을 사용하여 위상관계를 정의하였다. 이들은 모두 2차원의 수준에 머무르고 있으며, 장기적인 안목에서의 3차원 위상관계로의 확대 정의가 필요하다.

3차원 경관연구로는 홍장현·송창근(2001)이 웹을 통한 3차원 지형가시화시스템 구현을 위하여 DEM과 VRML을 이용하였고, 유환의(2002)는 VRML과 EAI를 이용하여 경관분석과 경로탐색을 시도하였다. Zlatanova *et al.*(1998)는 VRML로 공간분석과 데이터 저장을 위한 FDS(Formal Data Structure)를 제안하였다. Lin *et al.*(1999)은 웹 기반의 3차원 시각화를 위해 다차원 데이터와 응용시스템의 관계를 중심으로 VRML과 JAVA

3D 활용을 제안하였다. 그러나 이들은 모두 VRML과 Cosmo Player 등의 상용 입체 그래픽 툴을 이용하였으며, 위상구축 측면에서 진정한 GIS라고 볼 수 없고 근본적으로 3차원 GIS와 크게 구별이 된다.

대부분의 선행연구들이 동적인 기법의 활용으로 그 동안의 정적인 기법에서 한 차원 진보된 것은 사실이나, 이는 제한된 조작에 의한 고정된 1인칭 시점 변환이라는 단점을 지니고 있다. 이에 본 연구에서는 동적인 1, 3인칭 시점 변환이 가능한 도시경관 시각화 기법 도입의 가능성 검토를 연구범위에 포함하였다.

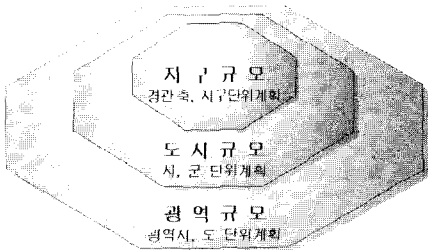
## 2. 도시경관관리 실태 및 분석

### 2.1 지방자치단체의 경관관리 현황

도시경관 관련계획은 규모에 따라 크게 광역시·도 단위의 광역규모, 시·군 단위의 도시규모, 경관 축 및 지구단위계획의 지구규모로 나누어 볼 수 있다. 광역규모 도시경관 관련 계획으로는 서울특별시를 비롯한 대부분의 광역시에서 도시경관형성 혹은 관리계획을 수립하고 있으며, 도 단위계획은 강원도와 경기도, 제주도, 전라남도 등에서 수립되었다. 도시규모의 계획은 2000년 이후 경관에 대한 관심이 증대됨에 따라 많은 도시들이 수립하였거나 수립 중에 있으며, 지구규모 경관관련계획은 대도시의 도로, 하천 등의 경관 축 혹은 지구단위계획구역을 대상으로 하고 있다.

“경관기본계획 수립 시기를 보면 90년

대 후반부터 도시 전역을 대상으로 수립되기 시작하고, 2000년대 들어 본격적으로 경관기본계획이 수립되고 있다”(신정철 등, 2003:7).



[그림 1] 규모에 따른 도시경관계획

## 2.2 경관관리 유형 및 요소 분석

1990년대 후반에 들어서면서 수도권을 비롯한 지방 도시들이 도시경관 관리 및 정비 차원에서 다양한 경관관리 방안을 제시하고 있다. 이에 본 연구에서는 서울 특별시를 포함하여 광역시중에는 부산시, 도 단위에서는 경기도, 시 단위에서는 진주시를 대상으로 도시경관의 관리유형 및 요소를 고찰하였다.

먼저 서울시는 경관유형을 자연경관, 역사문화경관, 시가지경관 등 세 종류로 구분하고 이에 따라 유형별 관리방향을 제시하고 있다. 관리요소로는 한강연접 지역은 고층아파트의 높이, 규모, 형태, 입면적, 구릉지는 표고에 따른 토지이용, 층수, 녹지율, 차폐도, 건폐율 등을 관리요소로 다루고 있다.

부산시는 도시계획과 보조를 맞추어 도시경관기본계획, 경관형성정비계획, 경관별 계획지침 등을 단계적으로 진행되도록 하고 있다. 관리대상은 산악 및 구릉지경

관과 해안, 사적지 및 역사가로, 도로경관으로 분류하고, 관리요소는 건물 외관, 도시색채, 옥외시설물, 안내체계, 가로 및 광장 등이 있다.

경기도는 수원시, 안양시, 부천시, 안산시 등 4개 도시에 대해 자연경관을 주요 대상으로 하고, 관리요소인 시각적 접근성, 조망점 확보를 위한 건축물 고도, 스카이라인 등을 고려하였다. 또한 세부전략으로 층수 및 양각규제를 절충하여 건축물의 고도를 규제토록 하고 있다.

마지막으로 진주시는 자주적, 체계적 경관정비를 목표로 하고 있다. 관리대상은 면(面)적인 구성으로 주거지, 업무·상업지, 공업지경관으로 나누고, 점(點)적인 구성인 공공시설경관을 추가하여 4가지로 분류하였다. 한편 관리요소로는 건축물 높이, 용도, 지붕과 옥상, 파사드, 그리고 입면폭 등이 있다.

위의 내용으로 볼 때 경관관리를 위해 고려해야 할 요소는 이보다 훨씬 다양하고 넓은 영역이 포함되어야 하며, 지역적 특성을 반영한 차별화된 항목설정이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 본고에서는 연구의 깊이와 한계를 명확히 하기 위하여 경관관리를 위한 도시정보시각화의 측면에서 크게 세 가지 범주로 연구범위를 한정하였다. 첫째, 임의의 조망점 설정에 의한 다인칭 조망권 분석, 둘째, 태양고도 및 시간설정에 의한 일조권 분석, 셋째, 사용자의 단면선 설정에 따른 관심영역의 스카이라인 분석이 바로 그것이다.

부가적으로 유용하게 활용될 수 있는 정보질의 및 분석, 건축물 시뮬레이션, 경관 네비게이션을 추가하여 범주를 설정하였다.

<표 1> 시각화 측면의 분석범주

분석범주	차별화	비고
조망권	다인칭(1, 3인칭) 시점 적용	관리차원의 용이성 확보
일조권	태양고도, 방위각 설정	일자, 시간별 그림자 생성
스카이라인	사용자 관심영역 설정	단면라인의 선택적 생성
부가항목	정보질의 및 조회	시설물 정보 및 세부속성
	건축물 시물레이션	신규건물 사전 경관모델링
	경관 네비게이션	실시간 경관 모의 주행

### 2.3 기존 경관평가기법의 한계점

“경관평가의 궁극적인 목적은 장래의 개발행위에 따른 경관의 훼손과 파괴 등의 악영향을 최소화하고 개발효과를 궁극적인 방향으로 유도함으로써, 경관의 질을 향상시키고 장기적인 경관관리의 기본 방향을 설정할 수 있도록 하는 것이다”(이왕기, 1996:12).

이렇듯 경관평가는 기존의 경관을 평가하는 것과 장래의 경관을 예측하는 것으로 나누어질 수 있으며, 전자의 경우에는 현장에서의 직접평가와 사진 및 슬라이드, 비디오에 의한 간접평가 등을 사용하였다. 근래에는 컴퓨터를 이용하여 기존 및 장래의 경관을 간접평가 할 수 있다.

즉, 경관평가기법은 크게 스케치(Sketch), 사진합성(Photographic Composition), 모형제작(Modeling)을 이용하는 것과 근래의 컴퓨터 그래픽(Computer Graphic), 애니메이션(Animation), 파노라마(Panorama), 실시간 시물레이션(Realtime Simulation) 등으로 분류된다. 또한 사용하는 도구와 생성되는

자료의 공간성에 따라 수작업과 컴퓨터작업, 2차원 기법과 3차원 기법으로 각각 분류할 수도 있다. 이용현황을 기법별로 살펴보면 “스케치와 모형제작은 거의 사용되고 있지 않으며, 사진합성의 경우 선(線)적인 사업에서 많이 쓰이고 있으나 다른 기법들과 비교해 볼 때 전반적으로 가장 많이 사용되는 기법이다. 컴퓨터그래픽은 주로 면(面)적인 사업에서 사용되는 것으로 나타났다”(변병설, 2000:94).

<표 2> 경관평가기법 분류

구분	2차원 기법	3차원 기법
수작업 (Freehand)	스케치	모형 제작
컴퓨터 (Computer)	사진합성 파노라마(VR)	CG, 애니메이션 시물레이션

자료: 변병설 (2000)

대체로 수작업을 통한 기법은 점차 이용 빈도가 낮아지고 컴퓨터를 이용한 처리기법이 호평을 받고 있으며, 보다 사실적인 표현과 객관적인 평가도구의 활용은 시대의 요구로 받아들여지고 있다. 특히 도시정보의 특성상 방대한 공간자료와 이를 설명해주는 속성자료의 원활한 연계운용을 위해서는 3차원 GIS의 위상관계 정립과 웹 기반의 공간분석 기능을 가진 시각화 시스템의 도입이 절실히 필요하다고 할 것이다.

## 3. 3D 위상관계 구축

### 3.1 공간객체의 계층구조

객체는 크게 공간객체와 비 공간객체로

대별할 수 있으며, 현실세계에 대한 객체 정의는 기하특성, 공간관계, 그리고 시간 등을 고려한 객체의 계층구조 생성이 요구된다.

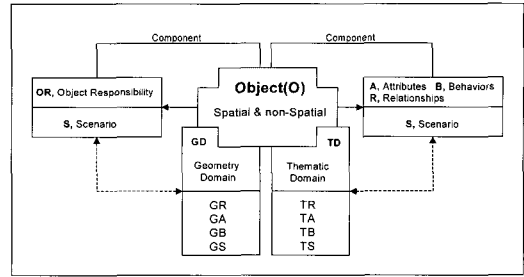
따라서 본 연구는 공간객체를 구분하는 일반적인 객체지향 접근법 중에 Coad가 제안한 객체 응답성(Object Responsibilities, OR)과 시나리오(Scenario, S)를 이용한 표기법을 활용하였다. 객체는 두 가지 구성요소, 즉 객체응답성(OR)과 시나리오(S)에 의해 다음과 같이 단순화하여 표현할 수 있다.

$$O(OR, S) = O(GD, TD) = O((GA, GR, GB, GS)(TA, TR, TB, TS))^{1)}$$

일반적으로, 현행 GIS에서 유지되는 정보는 GA, GR 및 TA, 즉 공간객체의 형상 및 위치, 공간 관계 그리고 주제 속성에 의해 표현된다. 그리고 주제 및 기하 구성요소 내부에서 공간 및 비 공간객체가 통합 데이터베이스로 구축될 수 있다. 본 논문에서 비 공간객체에 대한 속성, 관계 그리고 동작은 주제 영역으로 한정하고자 한다.

### 3.2 3D 객체의 위상관계 구축

공간객체들 사이의 위상관계를 정형화된 표기법을 사용하여 정의한 대표적인



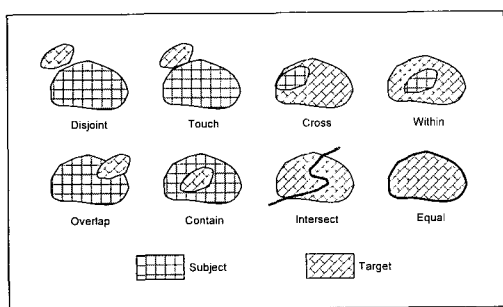
[그림 2] 객체 구성요소의 계층구조

연구로는 점집합 위상 방식(Point-Set Topology Method: PTM)과 해석기반 방식(Calculus-Based Method: CBM)이 있다. PTM은 다양한 위상 관계를 구별한다는 장점을 가지고 있으나, 기하 객체의 내부와 경계, 외부의 교차 및 교차의 결과에 대한 차원까지 고려하므로 많은 위상관계를 생성하며, 사용자들에게 친숙한 방식이 아니라는 단점이 있다. 이에 반해 CBM은 위에서 언급한 PTM의 단점을 보완해서 제안된 방식으로 사용자들이 잘 이해할 수 있는 5개의 위상 관계 연산자와 3개의 경계 연산자를 이용하여 모든 위상관계를 표현하고 있다. 따라서 본 연구에서는 PTM에 근간을 두고 Egenhofer에 의해서 제안된 Dimension Extended 9-Intersection Model(DE-9IM)을 기초로 3차원 확장을 시도하고자 한다.

OGC의 구현 명세는 기하 객체 모델을 기반으로 하고 있으며, 이 기하 객체 모델은 2차원 평면( $R^2$ )상의 공간모델로서

1) 객체 응답성(Object Responsibilities, OR)은 일련의 조작을 가하였을 때 나타나는 반응을 일컬으며, 시나리오(Scenario, S)는 시간의 흐름에 따른 관련요소, 즉 일, 월, 년 등의 변화를 의미한다. 기하 영역(Geometry Domain, GD)은 점, 선, 면, 입체 등이 만드는 공간도형으로 구성된 영역이며, 주제 영역(Thematic Domain, TD)은 기하의 세부 속성에 해당하는 영역을 의미한다. 기하 외형(Geometry Appearance, GA)은 기하, 즉 점, 선, 면, 입체 등의 겉으로 드러나 보이는 형세이며, 기하 관계(Geometry Relationships, GR)는 둘 이상의 기하요소 상호간에 미치는 영향 또는 교섭을, 기하동작(Geometry Behaviors, GB)은 기하를 구성하는 개별요소들의 움직임, 기하 시나리오(Geometry Scenario, GS)는 시간의 흐름에 따른 기하의 변화를 말한다.

단순하면서도 효율적이고 표현력이 풍부하다. 위상 관계의 설명을 위해 객체 각각의 경우에 대한 교집합의 값은 공집합( $\emptyset$ )이거나 공집합이 아닌 경우( $\neg\emptyset$ )로 표현되며, 이 값을 통해서 두 객체 사이의 위상관계를 구할 수 있다. 이를 통해서 얻어지는 두 객체(Subject, Target)간의 위상관계는 8가지로써 형상화하여 표현하면 [그림 3]과 같다.



자료: OGC, 「OpenGIS Simple Features Specification for SQL」, 1999, OpenGIS Project Document, pp. 18-24 내용을 형상화  
[그림 3] 2차원 공간객체의 위상관계

2차원 공간에서 기하를 구성하는 각 노드는  $x, y$  두 가지 좌표 값을 갖는다. 여기서 관계의 주체는 점(Point,  $P$ ), 선(Line,  $L$ ), 면(Area,  $A$ )이라고 할 수 있다. 이에 반해 3차원의 경우는 객체가 높이 값  $z$  좌표와 부피(Solid,  $S$ )라는 주체가 추가된다.

다시 말하자면, 공간객체들 사이의 관계성을 다루기 위하여 각각의 공간객체들은 유클리드 3차원( $R^3$ )이라고 가정한다.  $a$ 는 4가지 공간객체 중 하나를 의미하며 공간객체  $a$ 에 대한 내부(Interior), 경계(Boundary), 외부(Exterior), 그리고 차원(Dimension)은 각각  $I(a)$ ,  $B(a)$ ,  $E(a)$ , 그리고  $dim(a)$ 로 표시한다. 이때 3차원 DE-9IM은

교차 영역의 차원 값(-1, 0, 1, 2, 3)을 갖게 되는데 이는 다양한 경우의 수를 보이게 되며, 3차원 객체에 있어서 내부, 경계, 외부간의 차원 관계는 <표 3>과 같다.

<표 3> 3차원 공간객체 간의 차원

Classify	Interior	Boundary	Exterior
Interior	3	2	3
Boundary	2	1	2
Exterior	3	2	3

자료: OGC, 「OpenGIS Simple Features Specification for SQL」, 1999, OpenGIS Project Document, p. 19 내용을 확장 재구성

3차원 공간객체 위상 관계는  $3D\_Disjoint$ ,  $3D\_Touch$ ,  $3D\_Cross$ ,  $3D\_Within$ ,  $3D\_Overlap$ ,  $3D\_Contain$ ,  $3D\_Intersect$ , 그리고  $3D\_Equal$  연산으로 정의한다. 이들은 3차원 공간객체들 간의 Disjoint, Touch, Cross, Within, Overlap, Contain, Intersect, Equal의 관계가 성립하는지를 식별한다. 각각의 객체 관계는 9개의 패턴(Pattern,  $p$ )값을 갖는 패턴행렬을 구성하며, 가능한 패턴 값  $P = \{T, F, *, 0, 1, 2, 3\}$ 이다. 이때 T는 공집합이 아닌 경우를 의미하며, F는 공집합, 즉 -1을 나타낸다. 또한 \*는 모든 차원에 해당하며, 각각의 숫자는 객체의 고유한 차원을 의미한다. 그리고 패턴행렬은 행 우선으로 관계함수(Relate)를 이용하여 9개의 행렬 값을 7개의 코드로서 표현할 수 있다. 위상관계의 가독성을 높이기 위해 패턴행렬 값을 코드로 표시하면 <표 4>와 같다.

3차원 공간객체의 패턴행렬 코드는 OGC에서 국제표준으로 제시한 2차원 위상 관계와 관련한 정의를 수용하면서, 공간객체의 효율적인 시각화를 위해 3차원 위상



<표 4> 3차원 공간객체 패턴행렬 코드

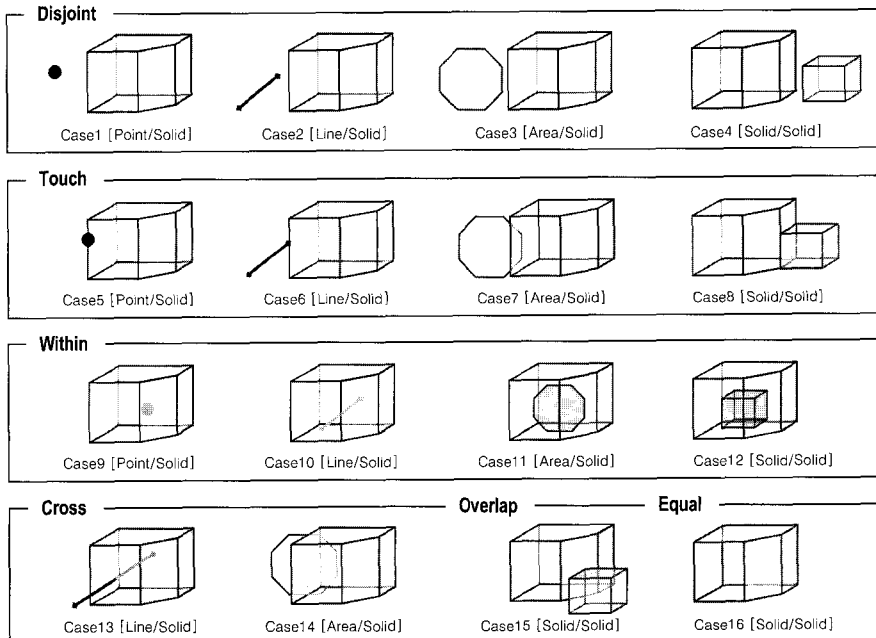
관 계	패 턴	$I(a) \cap I(b)$	$I(a) \cap B(b)$	$I(a) \cap E(b)$	$B(a) \cap I(b)$	$B(a) \cap B(b)$	$B(a) \cap E(b)$	$E(a) \cap I(b)$	$E(a) \cap B(b)$	$E(a) \cap E(b)$
Disjoint	Value1	F	F	*	F	F	*	*	*	*
	Value1	F	T	*	*	*	*	*	*	*
Touch	Value2	F	*	*	T	*	*	*	*	*
	Value3	F	*	*	*	T	*	*	*	*
	Value(L/L)	0	*	*	*	*	*	*	*	*
Cross	Value(etc)	T	*	T	*	*	*	*	*	*
	Value1	T	F	*	*	*	F	*	*	*
Overlap	Value(L/L)	I	*	T	*	*	*	T	*	*
	Value(etc)	T	*	T	*	*	*	T	*	*
	Value(P/P)	T	*	F	*	*	*	F	*	*
Equal	Value(etc)	T	*	F	*	*	F	F	F	*

주: Contain 관계는 임의의 객체 a, b에 대하여 Within 관계와 상반되는 개념으로 a, b의 위치가 상호간에 바뀌어 적용되며, 단 객체 a가 b보다 차원이 크거나 같아야만 한다. Intersect 관계는 객체 a와 b가 위상적으로 교차하는가를 식별하며, Disjoint 관계를 제외한 모든 관계를 포함하는 경우로 특별한 정의가 필요치 않아 생략하기로 한다.

관계를 정의하여 정립하였다. 적용한 위상 그룹은 P/P, P/L, P/A, P/S, L/L, L/A, L/S, A/A, A/S, S/S로 모두 10가지이며, 최종적으로 도출된 3차원 위상 관계는 모두 8가지 유형으로 정의 하였다. 기본적인

객체요소 P, L, A, S의 관계 그룹에 대한 경우의 수는 아주 다양하게 나타나므로 편의상 S, 즉 Solid의 경우만을 표현하면 [그림 4]와 같다.

제시된 3차원 위상관계 정의는 구조적



[그림 4] 3차원 공간객체 위상표현

으로 복잡하고 다차원으로 구성된 실세계를 3차원 GIS로 시각화 할 경우, 보다 효율적인 공간 위상관계 연산을 가능하게 하고, 수집된 공간 데이터의 상호 호환성을 증진시키는 중요한 매개체가 된다고 할 수 있다. 이를 응용시스템에 적용하기 위해서는 공간객체에 대한 스키마가 요구되며, 각 요소별 관계 테이블의 생성이 필요하다.

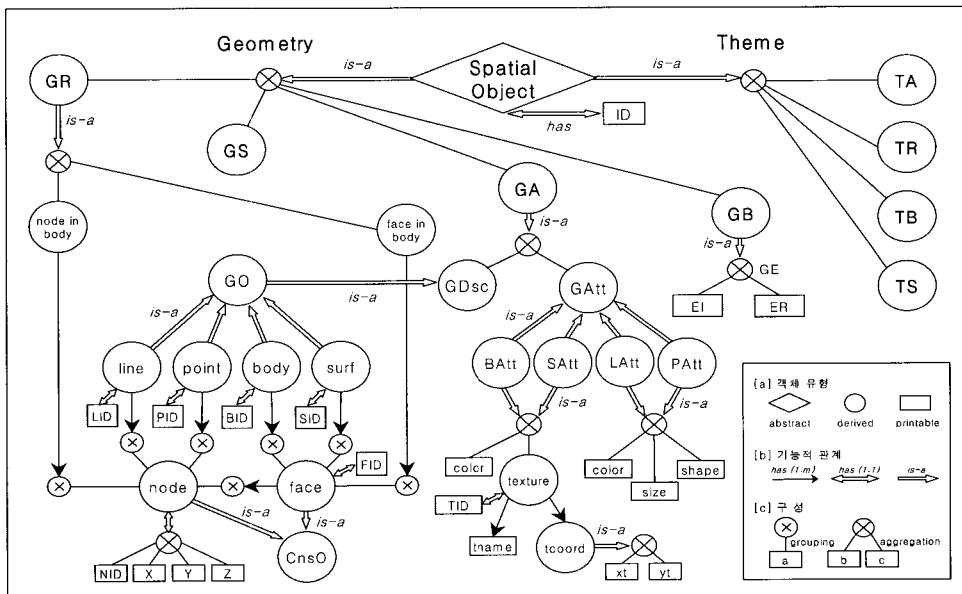
일반적으로 공간데이터베이스 설계에서 시스템 상에 현실 환경의 정확한 반영을 목표로 스키마를 구축한다. 그러한 스키마는 환경에서 실체를 확인하고 그 실체들 사이의 논리적 관계에 대하여 관계형 기반에서는 속성과 릴레이션(Relation)으로 정의하고, 객체지향에서는 속성(Attribute), 메서드(Method), 그리고 클래스(Class)로 정의한다. 이러한 스키마는 대상 환경이 변화해도 충분히 안정적이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 앞서 고찰한 공간 객체 위상 모델과 기하 및 복합객체의 구성요소 분류내용을 기반으로 3차원 공간 객체 스키마를 설계하였다.

앞서 정의한 객체(O)는 기하 영역(Geometry Domain, GD)과 주제 영역(Thematic Domain, TD)으로 구분할 수 있으며, 주제 및 기하 영역에 있어서의 속성(A), 관계(R), 동작(B) 및 시나리오(S)를 적용하였다.

추상객체 타입은 관계 테이블로 표현되고, 유도객체는 관계 테이블 또는 도메인으로 나타낸다. 따라서  $R = (\{A_1, \dots, A_2\}, \{PK\})$ 이며 여기서  $R = ( )$ 은 관계 테이블,  $\{A_1, \dots, A_2\}$ 은 도메인, 그리고  $\{PK\}$ 는 프라이머리 키(Primary key)이다. 여기서 공간관계 매핑이 이루어질 관계 테이블은 <표 5>와 같다.

관계 테이블은 공간객체를 구성하는 구성요소들의 관계설정에 사용된다. 일반적



[그림 5] 3차원 공간객체 스키마

<표 5> 공간객체 관계 테이블

객체	도메인	프라이머리키
BODY_A	{BID, color, TEXT_A, TEXT_D}	{BID}
BODY_B	{BID,EI,ER}	{BID}
BODY_D	{BID, enoseqb, FID}	{BID}
BODY_T	{BID, use}	{BID}
FACE	{FID, enoseqf, NID}	{FID}
FINB	{FID,BID}	{FID}
LINE_A	{LID, color, lshape, lsize}	{LID}
LINE_B	{LID,EI,ER}	{LID}
LINE_D	{LID, enoseql, NID}	{LID}
LINE_T	{LID, use}	{LID}
NINB	{NID, BID}	{NID}
NODE	{NID, x,y,z}	{NID}
POINT_A	{PID, color, pshape, psize}	{PID}
POINT_B	{PID,EI,ER}	{PID}
POINT_D	{PID, NID}	{PID}
POINT_T	{PID, use}	{PID}
SURF_A	{SID, color, TEXT_A, TEXT_D}	{SID}
SURF_B	{SID,EI,ER}	{SID}
SURF_D	{SID, enoseqs, FID}	{SID}
SURF_T	{SID, use}	{SID}
TEXT_A	{TID, tname}	{TID}
TEXT_D	{TID, enoseqt, xt,yt}	{TID}

주: 공간객체의 관계는 기본적으로 “객체={도메인}, {프라이머리 키}”의 형태로 표현되며, 고유 식별자인 프라이머리 키 값에 의해 상호 연계가 가능함

으로 공간객체는 X\_A 또는 X\_B의 형태로 표현이 되며, 여기서 X는 BODY, SURF, LINE, POINT 중의 하나와 조합을 이룬다. 도메인 속의 ID는 객체 고유의 식별자로 공간객체를 구성하는 기하객체들 사이에

서 속성을 전달하는 연결고리의 역할을 수행한다. 이는 임의의 두 기하객체가 일대일 대응의 함수관계를 갖는 경우에 가능하다. 이를 통해 기하영역에 대한 표현의 완성도를 높여줄 수 있다.

## 4. 3D 경관정보 가시화 적용

### 4.1 시각화 기법 도입의 필요성

경관정보를 체계화하기 위한 일련의 시도는, 컴퓨터 기술의 활용에서 두드러지고 있다. 특히, GIS의 경우는 복잡한 공간적 자료를 체계적으로 저장, 관리하고 그 자료를 바탕으로 과학적인 분석도 수행할 수 있으며, 미래의 변화 추이까지 정확하게 시뮬레이션 할 수 있다. 또한 주로 채택되는 멀티미디어 방식의 정보표현은 전문가뿐만 아니라 일반대중으로 하여금 보다 쉽고 빠르게 문제를 인식할 수 있도록 한다. 이와 같이 시각화 기법은 주민의 의견수렴과 정책결정자의 의사결정에 있어서 더욱 정확한 판단의 근거를 제공이 가능하다.

최근의 동향은 정보통신과 주변기기의 성능향상에 따른 3차원 관련 기법이 각광을 받고 있다. 더불어 WWW(World Wide Web)의 일반화로 3차원 시뮬레이션에 시간뿐만 아니라 상호작용성이 추가된 가상 현실(Virtual Reality)에 관심이 모아지고 있다. 이처럼 새로운 3차원 입체화 기술의 발전은 앞으로 경관정보의 시각화에 도입되어 많은 역할을 담당할 수 있을 것

으로 전망된다.

경관정보시스템은 도시의 개발에 따른 시시각각적인 영향예측과 효율적인 경관분석을 수행할 수 있도록 구현한 의사결정지원시스템의 일종이다. 이는 사용자가 인터넷 브라우저를 통해서 접근할 수 있는 웹 기반의 3차원 GIS 응용시스템으로 도시경관을 실세계에 가깝도록 시각화하였다.

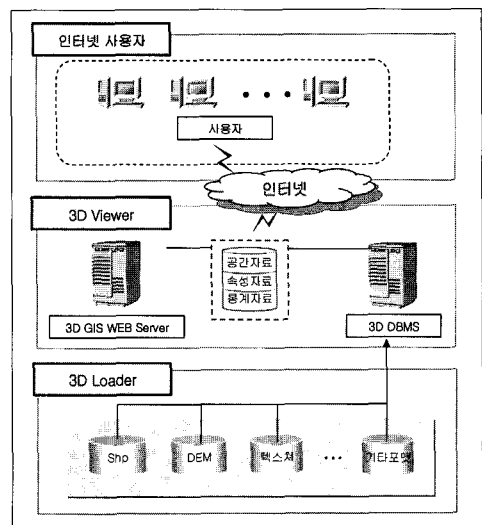
#### 4.2 경관관리체계의 개요 및 구성

기본적으로 시스템은 대부분 입방체 구조로 이루어진 도시경관의 표현을 위한 기초데이터인 3차원 공간데이터, 즉 지형, 건물, 도로, 수목 등의 공간객체 생성 및 관리가 가능하다. 웹 기반으로 서비스하기 위해 구조적으로 3D Loader로부터 Import한 데이터를 브라우징 할 수 있으며, 이를 기반으로 3차원 데이터를 생성한다. 생성된 3차원 데이터는 3D DBMS에 저장되고, 이는 3D Web GIS Server를 통해 인터넷 사용자에게 HTTP 프로토콜을 사용하여 제공된다. 이를 도식화하여 나타내면 [그림 6]과 같다.

본 시스템은 사용자에게 웹 서비스를 제공하는 웹 서버와 DB 및 3차원 관련 속성 데이터베이스를 관리하는 데이터베이스 서버로 구성된다. 두 서버는 모두 대용량 데이터 처리 및 향상된 기술이 지원되도록 Window 2000 Server 운영체제와 MS SQL Server 2000 DBMS를 사용하였다. 웹 서버는 안정성을 신뢰할 수 있는 IIS 6.0을 기반으로 3D Web GIS Server와 연동되어 동작한다.

기본도로 활용되는 공간자료는 지형 및 시설물 등의 현황데이터, 그리고 건물 및 도로 데이터 등으로 구성된다. 각 데이터는 국립지리원의 1/5,000 및 1/25,000 축척의 수치지도를 이용하여 등고선과 도로, 지형·지물 등의 자료를 획득하였고, 개별 건물과 시설물은 도로명 및 건물번호 부여 사업으로 구축된 자료를 최대한 활용하여 기본도의 작성에 불필요한 손실을 없애도록 하였다. 기본정보 위에 조사된 신축 건물, 도로, 녹지, 주요 구조물 등을 입력하여 2차원 데이터를 완성하였다. 대상지 내부의 지형은 자세한 지형 굴곡을 표현하기 위해 20m 격자의 수치표고모형으로 구축하고, 200m 격자의 원경과 20m 격자의 대상지역의 수치표고모형의 연결부를 불규칙 삼각망으로 접합하여 지형경관 자료를 구축하였다.

경관계획의 실행에 앞서 웹상에서 가상 공간의 모의실험을 통해 2차원의 평면도



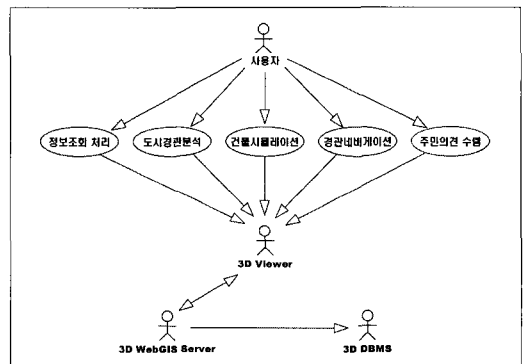
[그림 6] 시스템 구성도

<표 6> 공간자료 레이어

구분	주제도	기초자료	표현	형식
도엽관리	색인도	기본지형도	Area	Polygon
건물	일반주택	수치지형도	Area	Polygon
	아파트	"	Area	Polygon
	빌딩	"	Area	Polygon
도로 및 도로시설	도로	"	Area	Polygon
	중심선	"	Line	Arc
	교차점	"	Point	Node
	가로등	"	Point	Node
	가로수	"	Point	Node
지형	등고선	"	Line	Arc
	표고점	"	Point	Node
지적	지적	지적도	Area	Polygon
경관관리	주요조망점	수치지형도	Point	Node
	주요경관자원	"	Area	Polygon
도시계획	용도지역	현황평면도	Area	Polygon
	용도지구	"	Area	Polygon
개발사업	개발건물	수치지형도	Area	Polygon

면에서 발견하지 못한 제반 문제점을 실세계와 유사한 환경에서 검토해보고 계획안을 대안별로 시뮬레이션해볼 수 있다는 점에서 보다 의미가 있다고 할 것이다.

본고에서는 다양한 경관정보의 범주 가운데 도시경관에 대한 조망권, 일조권, 및 스카이라인의 3차원 분석에 중점을 두고 부가적으로 도시정보 검색, 건축물 시뮬레이션, 그리고 경관 네비게이션을 연구 범주에 포함하였다.



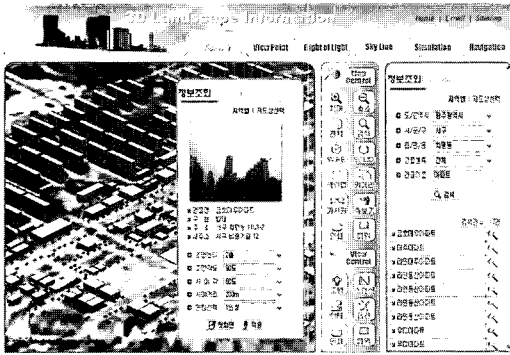
[그림 7] UseCase 다이어그램

### 4.3 3D 경관정보 가시화

복잡한 도시의 경관정보를 체계화하고 미래의 변화추이를 실세계와 동일하게 시뮬레이션 한다는 것은 경관관리에 있어서

대단히 중요한 사안이라고 할 수 있다. 신규 도시개발사업에 따른 도시경관을 예측·분석하여 도시경관 계획 수립과 정책 집행의 오차를 줄이고, 보다 객관적이고 가시적인 자료제시와 함께 주민의견을 수

럼도 병행할 수 있다는 측면에서 더욱 큰 의미를 갖는다. 이에 3차원 공간객체의 위상관계를 활용하여 경관정보를 가시화 하였다.



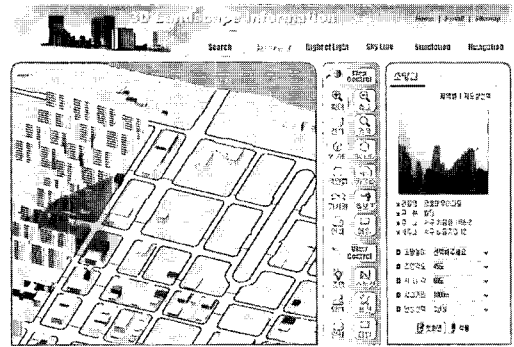
[그림 8] 정보질의 및 조회

경관정보 질의 유형은 속성 데이터를 검색하여 텍스트 형식으로 출력하는 경우와 공간 데이터를 검색하여 화면상에 출력하는 방법이 있다. 본 연구에서는 두 가지를 병용하여 검색한 후에 화면상에는 공간데이터를 출력함과 동시에 속성데이터도 함께 디스플레이 해주는 방법을 적용하였다. 3차원 건물에 대한 검색기능은 3차원 브라우저에 생성된 건물들을 간단히 클릭 함으로써 선택된 건물에 관련된 정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 건물명, 지번, 주소(지번주소, 새주소) 등 속성 데이터를 검색하여 화면상에 검색결과를 보여준다. 세부 속성정보 창에는 건물ID, 주소, 상호, 용도, 전화번호 등 건물에 관련된 정보와 건물 사진을 볼 수 있도록 하여 도시경관 현황을 파악하는데 필요한 정보를 제공받을 수 있도록 하였다.

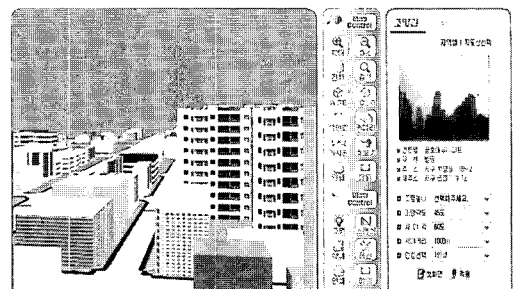
경관분석의 대표적 기능 중에 첫 번째로 조망권 분석은 먼저 3D Viewer에서 조

망점이 될 기준 건물을 설정한다. 다음으로 조망높이, 조망각도, 그리고 시야각 및 시야거리를 입력하여 조망방향을 지정하면 3차원 조망권 분석결과를 디스플레이 하게 된다. 사용자는 1인칭 시점뿐만 아니라 뷰콘(View cone)을 생성하여 3인칭 시점으로 각각 시각화할 수 있다.

[그림 9]는 조망권 분석 대상지에서 아파트를 사례로 7층 높이에서 정남방향을 기준으로 조망각도 45도, 시야각 60도로 시야거리 1km를 조망할 경우의 분석 결과를 보여주고 있다. 이는 3차원 위상관계 중에 Intersect를 활용하여 뷰콘과 교차하는 대상물을 추출하고 시야범위에 들어오는 건물을 활성화 하여 결과를 보여줄 수 있다.

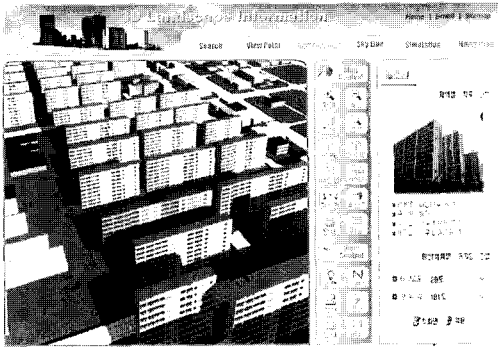


a) 3인칭 관찰자 시점(7층 높이, 조망각 45도)

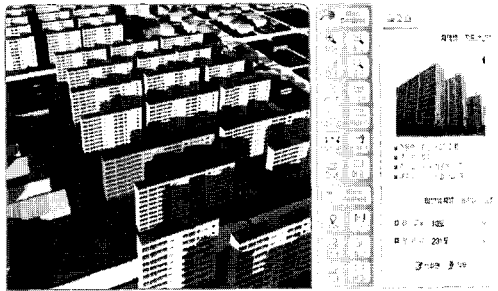


b) 1인칭 관찰자 시점(7층 높이, 조망각 45도)

[그림 9] 조망권 분석



a) 정오 12시(태양고도 29도, 방위각 181도)



b) 오후 4시(태양고도 10도, 방위각 231도)

[그림 10] 일조권 분석

두 번째로 일조권 분석은 3D Viewer에서 일조권을 분석할 대상 건물을 선택하고 태양의 고도와 방위각, 관측 높이 등을 설정하여 태양에 대한 조명속성을 조절하여 해당건물에 생성되는 그림자 효과를 통해서 일조권을 분석하게 된다. 일반적으로 일조권의 산정은 연중 낮의 길이가 가장 짧은 동지일인 12월 21일을 기준으로 직사일광을 받을 수 있는 시간을 산정한다. 따라서 동지일의 태양고도와 방위각 즉, 정북을 0도로하여 시계방향으로 360도까지 산출되는 값을 기초로 분석한다. 태양광의 조도 설정에 의하여 주·야간 및 계절별 대기환경 변화의 표현이 가능하며 이때의 음영 농도 또한 시각적으로 나타낼 수 있다. [그림 10]은 높이

1,000m에서 동짓날의 태양고도와 방위각에 따른 일조권 분석을 수행한 결과이다.

세 번째로 스카이라인 분석은 우선 3D Viewer의 Index Map을 활성화시킨 후, 스카이라인을 생성하고자 하는 방향을 따라 평행하게 단면생성 라인을 표시하여 분석 대상 영역을 지정한다. 이와 같은 단면생성 라인을 기준으로 하여 시설물과 건물, 그리고 지형의 단면도를 생성하고 3차원 객체의 외곽 라인을 2차원 평면에 도시하게 된다. 디스플레이 되는 배경색과 지형지물의 색상 표현은 흑과 백으로 스위칭 디스플레이를 할 수 있으며 분석 방향과 거리에 관계없이 결과 도출이 가능하다. [그림 11]은 분석 대상지에서 동서를 가로지르는 임의의 선형을 기준으로 생성한 스카이라인의 분석 결과를 보여주고 있다.



[그림 11] 스카이라인 분석

건축물 시뮬레이션은 신규 개발건물이 도시경관에 미치는 영향을 사전에 예측하기 위해 완성된 건물을 미리 조감해 보는 것으로, 도시의 경관을 바람직한 방향으로 가꾸어 나가기 위한 중요한 시각적 자료가 된다.

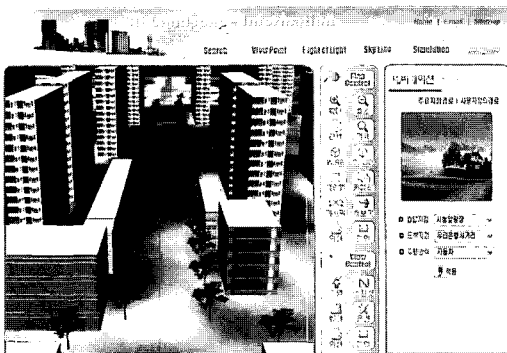
시뮬레이션은 먼저 신규 개발건물에 대



[그림 12] 건축물 시뮬레이션

한 검색을 실시하여야 한다. 검색하는 방법으로는 용도지역 구분과 건물구분에 의한 방법으로 검색을 할 수 있다. 그리고 검색결과 화면에 나타난 건물에 대해서 실제 시뮬레이션 할 건물을 선택한 후, 높이 값을 입력하여 가상적으로 건물을 올릴 수 있다. 또한, 다양한 조망점을 선택하여 신규 개발건물이 도시경관에 미치는 영향을 시각적으로 조망할 수 있으며, 파노라마 기능을 통하여 주위경관을 360도 회전하며 살펴볼 수 있다.

경관 네비게이션은 사용자가 가상경로로 도시경관을 조망 하고자 할 때, 출발점과 도착점을 지정하여 가상적으로 3차원 도시를 이동해 봄으로써 도시경관을



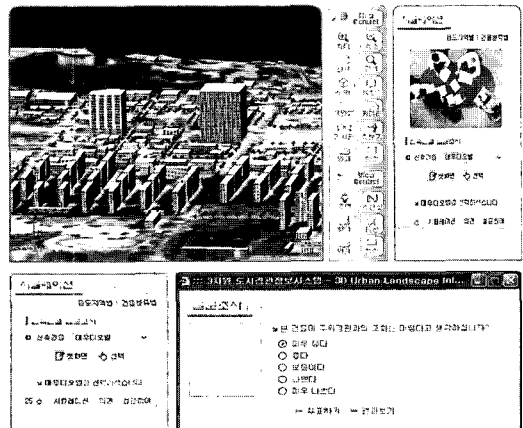
[그림 13] 경관 네비게이션

현장감 있게 체험할 수 있다. 네비게이션 기능은 건물명과 주소를 입력하여 가상경로로 이동하는 방법과 지도에 직접 두 지점을 설정하여 수행하는 방법이 있다.

사용자가 경로를 선택하게 되면 선택된 경로를 가지고 각 프레임별로 디스플레이 할 영역을 계산하게 되고, 계산된 영역의 형태들은 내부적으로 리스트의 형태로 구성된다. 각 프레임에 대한 형상을 구성하기 위해 뷰 포인트는 결정된 좌표로 이동하고, 이 과정을 거쳐 나온 결과물은 3차원 브라우저를 통해 사용자에게 디스플레이 되어진다.

도시개발 관련 사업이 주변 환경에 미치는 영향과 문제점은 사전에 예측할 수 있어야하고, 나아가 거주하는 주민의 알권리를 충족시킬 수 있어야한다. 따라서 신규 도시개발에 대한 각 대안들을 상호 비교할 수 있고, 주민의사를 수렴하여 정책집행의 오차를 줄일 수 있는 의사소통의 창구 역할을 할 수 있도록 하였다.

도시경관은 주민 개개인의 생활의식과 가치관을 반영하고 있고 그 평가에 있었



[그림 14] 개발안에 대한 주민의견 수렴



어도 주민을 제외하고서는 생각할 수 없으며, 지역 환경을 생활기반으로 하는 거주자의 의견을 적극 수용하여야 한다. 주민참여의 한 방법으로써 정책 입안자에 의해 선호도 조사 항목이 정해지면 주민들은 설문에 응답하여 행정에 반영할 수 있게 된다. 이는 주민자치 실현의 측면에서 보다 의의가 있다고 할 것이다.

#### 4.4 시각화 기법의 효과 및 한계

도시경관 정보를 시각화하여 웹을 통해 제공함으로써 보다 객관적이고 가시적인 도시계획의 비전 제시가 수월하게 된다. 더불어 행정기관의 신뢰도 상승효과를 얻을 수 있다. 또한 3D-GIS 위상관계를 통한 공간인식 기능을 활용할 경우 광범위한 공간자료 처리와 복잡한 공간검색 및 분석이 가능해진다는 것이다. 나아가 복잡한 구조의 도시환경을 실세계에 가까운 경관으로 연출할 수 있으며, 이를 토대로 난해한 정책집행의 오차를 최소화할 수 있다. 끝으로, 웹을 통해 경관정보를 제공함으로써 공공의 의견을 수렴과 정보시스템의 활용도를 최대화할 수 있다는 것이다.

한편, 긍정적인 효과의 이면에는 아직 개선의 여지가 부분적으로 남아있다. 우선 대상영역에 대한 경관관리의 주요 목표가 무엇인가에 따라 분석기능 및 활용기법의 차별화된 적용이 필요하다는 것이다. 또한 제공되는 정보에 대한 효율적인 검증과 갱신 방안이 요구되며, 이용 편의성을 고려한 인터페이스의 개선이 사용자 측면의 한계점으로 나타나고 있다.

## 5. 결 론

보다 현실에 가까운 가상도시의 표현기술과 웹 환경에서 공간정보를 제공하는 3차원 GIS는 새로이 주목받는 분야 중 하나이다. 이에 본 연구는 도시의 경관개선과 GIS의 활용기반 조성의 측면에서 3차원 공간객체의 위상관계를 구축하였다. 나아가 이를 토대로 신도시의 실정에 맞는 경관정보 가시화 방안을 제시함으로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 단일화된 객체 구성규칙을 적용하여 구성요소를 간략히 규정함으로써 공간객체의 식별과 관계 구성을 위한 기본적인 프레임워크를 마련할 수 있었다. 둘째, OGC의 2차원 공간객체 정의 및 위상관계 표현방식을 차원적으로 확장함으로써, 8가지의 3차원 위상관계를 정립하였다. 마지막으로, 도시경관관리체계를 구축하고 적용함으로써, 복잡한 도시경관의 가시화와 효율적인 경관분석이 가능함을 제시하였다.

결과적으로 상기의 내용을 토대로 장소에 구애받지 않고 상시접속이 가능한 현실감 있는 도시경관에 대한 정보공유의 기틀을 마련함에 큰 의의가 있다고 할 것이다. 더불어 향후에도 공간검색 및 연산을 위한 3차원 인덱싱 방법에 대한 지속적인 연구가 요구되며, 보다 현실적이고 직관적인 지리정보 자료의 활용과 서비스의 연계방안이 마련되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 김상호 · 강구 · 류근호, 2003, “3차원 공간 위상 관계 연산자의 설계”, 한국정보처리학회지, 10권, 2호, pp. 211-220.
- 변병설, 2000, 「경관평가기법개발에 관한 연구」, 한국환경정책평가연구원, p. 7.
- 신정철 · 신지훈, 2003, 「도시경관 개선을 위한 용도지역별 경관계획 기준 연구」, 국토연구원, p. 2.
- 유환의, 2002, “Web 3D를 이용한 3차원 가상 도시공간정보 구축”, 한국측량학회지, vol. 20, No. 2, pp. 119-116.
- 이왕기, 1996, “아파트 가격에 내재한 경관조망 가치의 측정 및 분석”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, pp. 12-13.
- 홍장현 · 송창근, 2001, “웹 환경 하에서 3차원 지형가시화시스템의 구현”, 한국정보과학회지 vol. 10, no. 1, p. 910.
- 황종하 · 한정규 · 황수찬, “2001, 3차원 그래픽 데이터베이스를 위한 공간관계 모델링”, 데이터베이스연구회 학회지, vol. 17, no. 4, pp. 68-82.
- 황환규, 2000, “공간 데이터베이스를 위한 새로운 위상 관계 유도 알고리즘, 대한전자공학회지”, 37권, 2호, pp. 11-20.
- Clementini, E., P. Di Felice and P. van Oosterom, 1993, “A Small Set of Formal Topological Relationships Suitable for End User Interaction”, Symposium on Large Spatial Databases, pp. 227-295.
- Coad, P. & E. Yourdon, 1991, 「Object oriented analysis」, Prentice Hall, p. 56.
- Egenhofer, M., 1994, “Spatial SQL: A query and presentation language”, IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, vol. 6, no. 1, pp. 86-95.
- Lin, H., J. Gong, & F. Wang, 1999, “Web based three dimensional georeferenced visualization”, Computer & Geosciences, vol. 25, pp. 1177-1185.
- OpenGIS Consortium, 1999, 「OpenGIS Simple Features Specification for OLE/COM Revision 1.1」, OpenGIS Project Document, pp. 2-50.
- OpenGIS Consortium, 1999, 「OpenGIS Simple Features Specification for SQL Revision 1.1」, OpenGIS Project Document, pp. 2-26.
- Svensson, P. and Z. Huang, 1991, “Geo-SAL: A Query Language for Spatial Data Analysis”, In Proceedings of the 2nd International Symposium on Spatial Databases, vol. 525, pp. 119-140.
- Zlatanova, S. & M. Gruber, 1998, “3D Urban GIS on the Web: Data Structuring and Visualization”, AGILE Conference, pp. 111-120.