

# 3차원 GIS를 이용한 웹 기반의 가상 도시 구현

## Web-based Virtual City Development using 3D GIS

송상훈, Sanghun Song, 정영기, Youngkee Jung  
호남대학교 컴퓨터공학과

**요약** 2D에서 3D로 이동하고 있는 현재의 GIS는 자료 크기가 기하급수적으로 커지고 이로 인해 처리속도가 느려지고 있으며 사용자의 실시간 렌더링(Rendering) 욕구는 커지고 있다. 대용량의 공간자료에 대한 처리속도, 3차원 처리기술, 가상현실 처리기술 등의 제약조건과 함께 3차원 GIS를 가시화하기 위해서는 방대한 데이터를 처리하기 위한 시간과 비용이 많이 과다하게 발생하는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 위성 및 항공으로부터 획득된 DEM 데이터를 이용하여 VRML로 가시화하여 3차원의 지형 정보를 생성하였다. 이렇게 생성된 지형 데이터에 LOD(Level of Detail) 기법을 통한 단순화 과정을 거쳐 3차원의 지형정보를 획득하고, 수치지도를 기반으로 한 모델링 및 텍스처 맵핑 과정을 통해 3차원의 도시 정보를 획득하게 된다. 이렇게 획득된 도시 정보에 3차원 공간적인 조건 및 검색을 가능하게 함으로써 언제 어디서든 누구나 쉽게 건물 및 도로에 대한 정보를 검색할 수 있도록 하였고, 네비게이션 및 시뮬레이션 기능을 추가한 웹 기반의 3차원 가상 도시를 구현하였다.

**핵심어:** 3D GIS, DEM, VRML, WEB 3D, Virtual City

### 1. 서론

정보화의 물결은 우리의 생활상을 많이 변화시켰다. 개인용 컴퓨터상에서 네트워크를 통해 전 세계의 정보를 접할 수 있고 안방에서 물건을 구매할 수도 있다. 또한 지리적으로 멀리 떨어진 곳에서 서로의 얼굴을 보면서 회의를 진행시킬 수도 있다. 이렇게 우리의 생활을 편리하고 윤택하게 변화시킨 정보화의 물결 속에서 GIS(Geographic Information System) 즉, 지리정보시스템은 정보관리 및 처리의 인프라로 그 중요성이 나날이 커지고 있다.

GIS를 간략하게 설명하면 지리적으로 배열된 모든 유형의 정보를 효율적으로 취득하여 저장, 갱신, 관리, 분석 및 출력력이 가능하도록 조직화된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리자료 및 인력의 집합체로 지표면과 지하 및 지상공간에 존재하고 있는 각종 자연물, 인공물에 대한 위치 정보와 속성 정보를 컴퓨터에 입력 후, 이를 연계시켜 각종 계획 수립과 의사결정 및 산업 활동을 효율적으로 지원할 수 있도록 만든 첨단 정보시스템으로 정의할 수 있다. [1][7]

과거 지도, 서류에 의존하여 복잡하고 긴 시간을 요하며, 많은 사람이 동원되던 작업이 현대에 와서 컴퓨터를 통해 통합 관리할 수 있는 효율적인 시스템으로 변모된 것이다. 이미 GIS는 실생활 속에서 지도서비스, 생활 지리정보서비스, 차량위치정보서비스, 관광정보서비스 등의 분야에서 많이 활용되고 있어 일반인들에게도 친숙한 단어가 되어가고 있다.

이러한 노력들은 지리정보 시스템 분야에서도 3차원시스템의 구현이라는 노력으로 이어져 왔으며, 그림 1과 같이 시각화, 시뮬레이션, 3차원 분석 등의 다양한 분야에서 사용되어지거나 연구가 진행되고 있으나, 대용량의 공간자료에 대한 처리속도, 3차원 처리기술, 가상현실 처리기술 등의 제약조건으로 인해 일부 전문가들의 공간 분석시스템이나, 건축 토목 공사를 위한 시뮬레이션 등 정보의 구축 및 유지관리를 통한 지속적 사용의 목적보다는 단기간의 프로젝트에 제한적으로 사용되어 온 것이 현실이다.

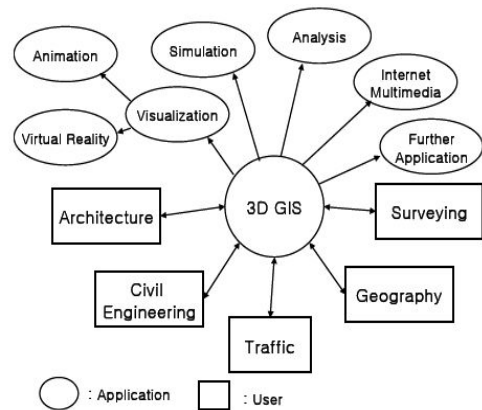


그림 1. 3차원 GIS 활용분야

최근 컴퓨터 하드웨어의 비약적인 발전은 이러한 제한사항들을 일부분 해결해 주고 있으며, 공공기관, 지자체의 지하시설물관리 시스템 등과 같이 비교적 단순한 3차원 공간

의 표현 및 관리 등에 적용되고 있다.

또한, 인공위성 및 항공사진을 통한 영상처리와 지형 디지털 수치고도자료의 제작 등으로 관련 자료의 생산 활동이 활발해지고, 획득이 원할 해지면서 이를 이용한 3차원 지형 가시화 연구가 진행되고 있다. 특히 일정간격으로 지형고도를 기록해 놓은 DEM 지리 데이터는 광범위한 용도로 즉시 사용할 수 있기 때문에 이를 이용한 연구가 대표를 이루고 있으며, 더욱이 웹상에서 2차원 공간정보를 확장하려는 노력에서 시작되었던 VRML은 현재 인터넷 표준 언어로 발전하면서 인터넷상의 각종 건축, 관광, 과학 등 다양한 3차원 그래픽 응용분야에서 폭 넓게 활용되고 있다.

하지만, 이러한 노력에도 불구하고 기존의 2차원 GIS에서 3차원 GIS로 발전함에 따라 대용량 데이터의 발생으로 인해 처리해야할 부수적인 정보가 많이 포함되어 있어 이를 이용한 빠르고 효율적으로 처리 및 실시간 렌더링과 또 다른 콘텐츠 제작에 많은 문제점을 가지고 있었다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고 웹상에서 가상 도시를 구현하기 위해 위성 및 항공으로부터 획득된 DEM 데이터를 이용하여 3차원 지형 정보를 생성하고, 수치지도를 기반으로 한 모델링 및 텍스처 맵핑 과정을 거쳐 3차원의 도시 정보를 획득하게 된다. 이렇게 획득된 도시 정보에 3차원 공간적인 조건 및 검색을 가능하게 함으로써 언제 어디서든 누구나 쉽게 건물 및 도로에 대한 정보를 쉽게 검색할 수 있도록 하였고, 네비게이션 및 시뮬레이션 기능을 추가한 웹 기반의 3차원 가상 도시를 구현하였다.

## 2. 전체 시스템 개요

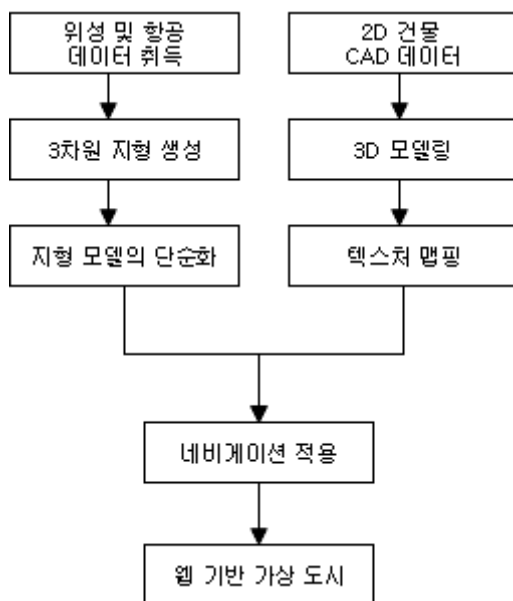


그림 2. 전체시스템 개요

3D GIS를 활용한 웹 기반의 가상 도시를 구현하기 위한 과정으로 3차원의 지형 데이터를 제작하는 과정과 획득된 지형 정보의 단순화를 통한 지형 데이터의 최적화 부분, 그리고 3차원 도시 정보에 근간이 되는 건물 및 도로를 제작하는 과정과 사실적인 면과 질감 및 재질을 표현하기 위한 텍스처 맵핑 과정, 끝으로 완성된 지형 데이터와 도시 정보를 기반으로 하여 웹 기반의 가상 도시를 구현하는 과정으로 이루어진다.

### 2.1. 3차원 지형 정보의 생성

지표면 모델링은 연속적인 면을 대상으로 하지만 현실적으로 면상에 연속적으로 존재하는 모든 지점의 고도 값을 저장하기 어렵기 때문에 대표 지점의 고도 값만으로 지형을 표현하는 샘플링 방법(Sampling Method)을 사용한다. 샘플링 방법에는 2차원의 등고선이나 3차원 GIS에서 활용하는 DEM(Digital Elevation Model)이 보편적으로 사용된다.

현재 GIS 분야에서 가장 범용 적으로 사용되는 DEM 자료는 아스키(ASCII) 코드의 형태로 제공되어 쉽게 자료의 내용을 검색할 수 있도록 되어있다. 따라서 획득된 DEM 자료를 VRML상에서 가시화하기 위해서는 DEM 파일의 헤더 부분을 해석하여 필요한 부분만을 선택하여 VRML파일 형태로 변환하여 사용한다.

DEM은 파일 크기가 매우 크고, 파일 헤더 정보 및 수치고도를 수록하는 방법이 매우 복잡하기 때문에 처리할 필요가 없는 부수적인 정보를 많이 포함하고 있고 격자점으로 표현되는 고도 값(Elevation Point)을 저장하기 위해서 6자리 정수를 가지고 있어 각 자리마다 1바이트의 아스키(ASCII) 값을 사용하므로 6바이트로 비효율적인 정보를 가지고 있다. [5]

우선은 이와 같이 비효율적인 데이터의 사이즈를 줄이고자 아스키 값을 2진화 형식으로 변환 한다. 이러한 변환을 통해서 6바이트 정수는 2바이트의 unsigned short형으로 표현 할 수 있어 파일 자체의 사이즈를 1/3정도로 줄 일 수 있다. 또한 하나의 파일에 행과 열이 1201\*1201로 저장되어 있어 데이터의 사이즈가 크고 웨이블릿(Wavelet)을 적용하기 위한 포맷인 행과 열이 2n\*2n 형태로 저장 되어 있지 않아서 이진화된 DEM을 256\*256의 BT(Binary DEM)로 재 저장 할 필요가 있다.

Original DEM을 2진화된 DEM로 변환하기 위해서 Original DEM의 헤더를 모두 읽어 위치 정보를 파일의 이름과 연관 시키는 정보 파일을 생성하고 정보 파일을 가지고 파일을 왼쪽에서 오른쪽 그리고 아래에서 위의 방향으로 정렬한 후 정보 파일에서의 왼쪽-아래 지점으로부터 이진화된 DEM 파일을 생성하기 시작하여 오른쪽-위 까지 만들

어 나아갔다. 그림3과 같이 네 가지 경우를 모두 처리 할 수 있도록 모든 경우에 4개의 파일을 통합한 후 하나의 256\*256 이진화된 DEM을 추출한다.

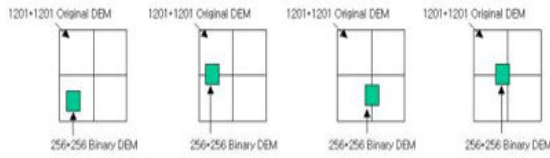


그림 3. 1201\*1201 파일 4개에서 256\*256 파일 1개를 추출 과정

이렇게 변환된 DEM을 읽어 들어 각각의 DEM의 구조를 분석하고 DEM 상의 변환될 구간을 설정하게 된다. DEM 자료로부터 측량된 지역의 넓이와 수치데이터 간격, 고도 수치 값을 읽어서 VRML 형태로 옮겨놓는다. 옮겨진 VRML 파일을 VRML 브라우저를 통해 3차원 지형으로 가시화하여 3차원의 지형 정보를 획득하게 된다.

표 1. 변환된 Binary DEM Header 구조

Offset	Length	Field Name	Description
0	10	biterra1.0	데이터 형식에 대한 signature
10	4(int)	열의크기	영역의 동서방향으로의 폭의 크기
14	4(int)	행의크기	영역의 남북 방향으로의 높이의 크기
18	4(int)	데이터크기	수치고도데이터의 크기, 2 혹은 4bytes
22	2(short)	UTM flag	UTM 좌표 사용 시 1, 그렇지 않으면 0
24	2(short)	UTM zone	UTM 좌표 사용 시 zone번호, 남반구에 대하여서는 음의 zone번호를 사용함
26	4(float)	왼쪽좌표	UTM 좌표 시에는 해당되는 좌표를 zone 번호와 함께 zone 내부에서는 위치를 표시. 그렇지 않으면 경위도를 표시함.
30	4(float)	오른쪽좌표	상동
34	4(float)	아래쪽좌표	상동
38	4(float)	위쪽좌표	상동
42	4(int)	실수 flat	수치고도 데이터를 실수로 표시하면 1, 그렇지 않으면 0
44-255	212	확장대비용	0으로 채움

## 2.2. 3차원 지형 모델의 단순화

지형 모델은 지난 20여 년 전부터 컴퓨터 그래픽스의 여러 응용 분야에 있어 중요한 데이터가 되어 왔다. 대표적인 응용 예로는 비행 시뮬레이션, 지상 운전 시뮬레이션, LIS, GIS, 비디오 게임, 그리고 가상현실 시스템 등이 있다.

기하학적 입장에서 보았을 때 지형 모델은 다른 모델과 구별되는 몇 가지 특성을 가지고 있다. 첫째, 지형물의 표면 모델은 평면상의 모든 점들에 대해 고도 값을 부여하는 연속 함수의 그래프로 볼 수 있다는 것이다. 이러한 점에서 지형 물은 기하학적 관점에서 본 모델 클래스 중 가장 간단한 것으로 분류되기도 한다. 둘째, 지형 모델은 대부분 그 크기가 매우 방대하다는 것이다. 응용 범위에 따라 차이가 있으나, 지형을 사실적으로 렌더링하기 위해 필요한 삼각형의 개수는 수백만 개에 이르기도 한다.

이와 같은 특성을 고려하여 지형 모델을 실시간에 렌더링하기 위한 많은 연구들이 수행되어 왔다. 지형물의 현실감 있는 표현을 위해서는 수백만 개의 삼각형들이 필요할 뿐만 아니라 대부분의 응용 분야에서는 이러한 삼각형들을 실시간에 렌더링 할 것을 요구하고 있다.

그러나 가장 최근의 그래픽 하드웨어 기술로도 이렇게 많은 양의 삼각형을 실시간에 렌더링 하는 것은 불가능하기 때문에, culling이나 LOD(Level of Detail)와 같은 소프트웨어적인 해결 방법이 불가피하게 되었다.

이 중에서 LOD기법은 렌더링 속도를 빠르게 하기 위해서 모델의 폴리곤수를 줄여야 하지만, 폴리곤은 모델의 정보를 나타내는 요소이므로, 모델의 자세함의 정도와 렌더링 속도 간에는 적절한 설정을 통해 시점에서 가까운 곳은 원래 모델에 가깝게 높은 상세도로 표현한다. 그리고 시점에서 멀리 떨어져 있거나 보이지 않는 곳은 덜 자세하게 표현하거나 그리지 않는 방법을 써서, 시각적인 효과를 유지하면서 계산 비용을 효과적으로 줄일 수 있는 방법으로 사람의 눈의 해상도가 한계가 있다는 것을 가정하여, 어떤 물체를 바라볼 때 거리에 따라 인식할 수 있는 물체의 크기가 다르다는 것에 착안하여 적용되었다.

따라서 가상의 공간에서 3D모델과 카메라의 거리가 짧은 경우 자세한 모델 정보를 렌더링하며, 반대로 거리가 먼 경우에는 상대적으로 자세함이 떨어지는 모델을 렌더링 함으로써, 렌더링 시스템의 연산되는 데이터의 양을 줄여주는 효과를 가지고 있다. [4] [6]

본 논문에서는 다단계 LOD(Level of Detail) 기법을 사용하여 대용량의 3차원 지형 데이터를 표현되는 요구 정도에 따라 처리 시간 대비 표현력의 최적화를 구현하였다. 3차원 데이터간의 거리를 자동으로 계산하여, 획득된 지형정보에서 근거리에는 지형을 표시하는 도형의 수를 많이 사용하여 자세하게 지형을 표현하였고, 이와 반대로 원거리에는 지형을 표시하는 도형의 수를 적게 함으로써 거리에 따른 표현의 상세도를 다단계로 나누어 실시간(동적)으로 조절하여 최단시간 내에 최적의 디스플레이를 구현하였고, 지형 및 건물, 도로, 기타 시설물 에 대한 개별적인 동적 처리가 가능하게 하였다.

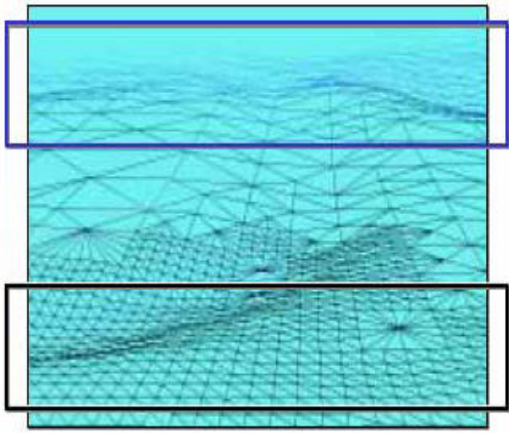


그림 4. LOD 기법을 이용한 지형 모델의 단순화 과정

### 2.3. 수치지도를 기반으로 한 3차원 도시 모델링

3차원 도시모델은 실세계와 유사한 가상모델을 의미하며, 도시를 구성하는 지표면상의 모든 지형지물들의 3차원 모델을 포함하며, 지형지물의 종류에 따라 표현하는 방식이 달라 지지만 기본적으로 지형지물의 기하학적 정보, 복사학적 정보, 속성정보로 구성된다. 건물의 예를 들면, 위치와 형상 등의 기하학적 정보를 다면체 모델로 표현하고, 건물의 외관에 대한 복사학적 정보를 다면체 모델의 각 면에 실제와 유사한 텍스처를 입혀서 표현하며, 건물의 용도, 소유자, 건축일 등과 같은 속성 정보를 다면체 모델과 함께 저장하는 것이다.

이러한 3차원 도시공간모델의 구축은 현실세계에 가까운 가상공간 형성의 기반이 되며, 다양한 국토계획의 수립, 공간 문제의 분석 및 의사결정에 많은 도움을 줄 수 있으며, U-City 구현의 기반이 된다. 더욱이 도시 지역의 대부분을 차지하는 건물에 대한 3차원 정보는 도로, 교통 등의 시설물 관리시스템 구축, 도로계획, 택지개발, 도시계획 등 여러 분야에 필요하다.



그림 5. 캠퍼스 건물의 수치지도

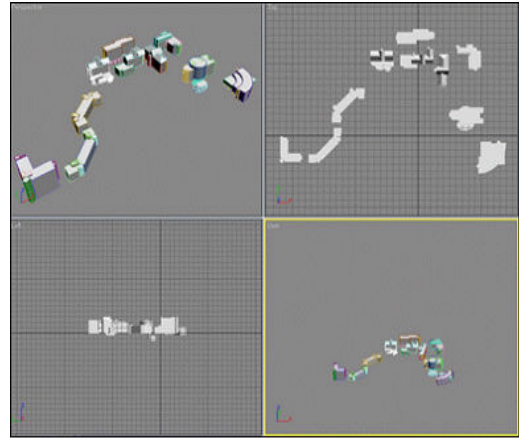


그림 6. 수치지도를 기반으로 한 모델링 과정

그림5와 6은 수치지도를 기반으로 하여 X, Y, Z축 방향의 좌표 값을 가진 실물과 같은 데이터를 입력하고, 가상의 공간상에 각각 생성하였다.

즉, 수치지도에는 도면 내에 그려진 요소들의 형상 및 위치를 나타내는 지리정보와 지리 정보에 추가하여 요소들의 성격을 정의하는 속성 정보, 지리 정보와 속성을 화면이나 도면에 표시하는 방법에 대한 자료인 출력정보, 도형요소간의 위상관계를 표현하는 위상정보가 포함되어 있다.

### 2.4. 텍스처 맵핑

본 논문에서는 각각의 위치에 해당하는 건물 및 도로에 대한 정보를 각 해당 건물의 정면에서 사진촬영을 하고 이를 바탕으로 모델링 프로그램에서 일반적인 UV 텍스처 맵핑 방법을 사용했다. 즉, 2차원 카메라로부터 획득한 이미지에서 텍스처를 추출하고, 3차원으로 모델링된 데이터에 맵핑 작업을 수행하여 실물에 가까운 텍스처 맵핑 작업을 하였다.

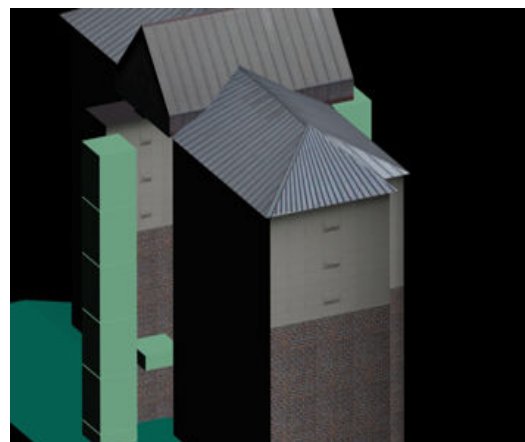


그림 7. 텍스처 맵핑 과정

## 2.5. 시물레이션 및 네비게이션의 적용

시물레이션은 신규 개발 건물이 도시경관에 미치는 영향을 사전에 예측하기 위해 완성된 건물을 미리 조감해 보는 것으로, 도시의 경관을 바람직한 방향으로 가꾸어 나가기 위한 중요한 시각적 자료를 제공한다.

본 논문에서 사용한 시물레이션 기능은 화면상의 시물레이션 버튼을 선택하여 사용자가 원하는 건물 및 장소로 쉽게 이동 및 검색하는 방법으로 구성하였으며, 사용자는 3차원 Viewer 컨트롤 버튼을 사용하여 다양한 시점을 선택할 수 있게 구성하였다. 또한, 줌 인(zoom-in) 및 줌 아웃(zoom-out) 기능과 360도 회전 기능을 추가하여 언제 어디서든 쉽게 건물에 대한 정보를 검색할 수 있도록 적용하였다.

다음으로 3차원 네비게이션 기능을 통해 사용자로부터 입력 받은 네비게이션 경로를 따라 가상도시의 주행을 가능하게 하여 사용자가 디테일한 카메라 정보를 통한 고품질의 가상주행을 수행할 수 있고, 사용자가 경로를 선택하게 되면 선택된 경로를 가지고서 각 프레임별로 디스플레이 되고, 디스플레이된 경로를 따라 사용자가 원하는 위치로 쉽게 접근할 수 있도록 하였다. 사용자가 가상경로로 도시경관을 살펴보고자 할 때, 출발점과 도착점을 지정하여 가상적으로 3차원 도시를 이동해봄으로써 도시경관을 현장감 있게 체험할 수 있도록 하였다.

## 3. Web3D를 활용한 웹 기반의 가상도시

과거 인터넷 속도의 한계 등으로 웹상에서의 3D 구현이 힘들었던 것이 사실이지만, 현재는 인터넷 환경의 급속한 발전과 Web3D 솔루션들의 눈부시게 발전하여 이전 뛰어난 퀄리티와 기능을 동시에 보여주면서도 웹상에서 충분히 동작할 만큼 적은 용량을 가진 콘텐츠를 제작할 수 있게 되었고, 고품질의 그래픽 처리 기술과 다양한 인터랙션 기능을 손쉽게 구현할 수 있게 되었다.

이러한 Web3D 관련 기술 중에서 3차원 공간을 표현하는 언어인 VRML은 인터넷 사용자들에게 현실감 있는 공간과 상호작용을 가능하게 해주는 장면표현 언어이다. 이것의 사용으로 텍스트, 이미지, 애니메이션, 사운드 등으로 이루어진 3차원 세계와 상호작용을 할 수 있으며, HTML(Hyper Text Markup Language)과 마찬가지로 텍스트 파일이기 때문에 텍스트 에디터만 있으면 VRML파일을 만들 수 있다.

본 논문에서는 이러한 VRML의 특성을 고려하여 위성 및 항공으로부터 획득한 DEM 데이터를 이용하여 VRML로 변환하고, 변환된 VRML 파일을 보다 사실적으로 가상 공간상에 디지털 콘텐츠를 생성하기 위해서 실제공간의 X, Y, Z축 방향의 좌표 값을 가진 실물과 같은 데이터를 입력하고, 가상의 공

간상에 하나씩 그려 나가게 된다. 이렇게 외형이 만들어진 후 사실감 있는 질감과 재질을 표현하기 위하여 실물에 가까운 텍스처 맵핑 작업을 하고, 텍스처 맵핑된 정보를 이용하여 가상 도시를 구현하였다.

## 4. 실험 및 결과



그림 8. DEM으로부터 가시화된 3차원 지형정보

위성 및 항공으로부터 획득된 DEM은 지형 위치에 해당하는 고도 정보만을 담고 있다. 현재 GIS 분야에서 가장 범용적으로 사용되는 DEM 자료는 ASCII 코드의 형태로 제공되어 쉽게 자료의 내용을 검색할 수 있도록 되어있다. 그림 7은 획득된 DEM 자료로부터 측량된 지역의 넓이와 수치데이터 간격, 고도 수치 값을 읽어서 생성된 지형 정보이다.

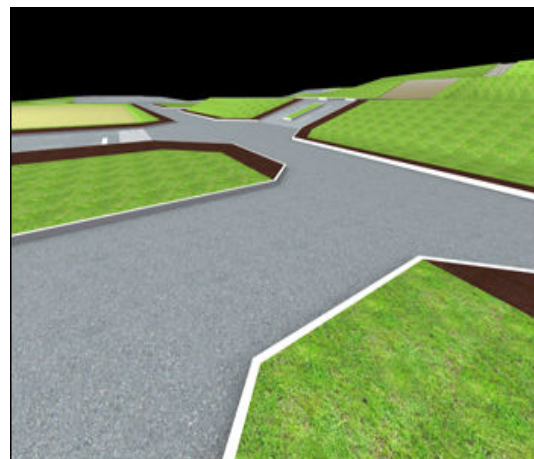


그림 9. 수치지도를 기반으로 생성된 3차원 지리정보

그림 9는 수치지도를 기반으로 가시화된 지형 정보에 도로 및 지형을 모델링 툴을 이용하여 생성된 3차원의 지리정보이다.



그림 10. 텍스처 맵핑된 도시 정보

그림 10은 모델링된 데이터를 기반으로 하여 각각의 위치에 해당하는 건물 및 도로에 대한 텍스처 맵핑된 3차원의 도시 정보이다.

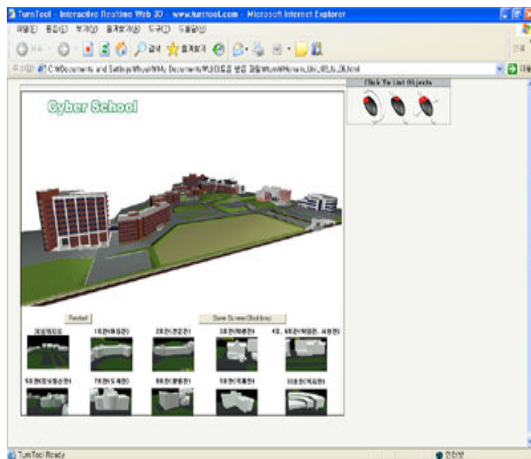


그림 11. 3차원 GIS를 활용한 웹 기반의 가상도시

그림 11은 가시화된 VRML 정보와 수치지도를 기반으로 하여 3차원의 도시 정보를 획득하고, 획득된 3차원 도시정보에 사실적인 면을 강조하고, 질감 및 재질을 표현하기 위한 텍스처 맵핑 과정을 통해 획득한 3D GIS를 활용한 웹 기반 가상도시(Virtual City)이다.

## 5. 결론

3차원 GIS는 인터넷 응용기술, 대용량 데이터베이스 응용 기술, 실시간 대용량 자료 처리 기술, 3차원 그래픽 처리 기술, 가상현실 기술 등의 제반 요소기술들이 종합적으로 적용되는 분야로써, 기존의 2차원 GIS가 갖는 한계를 극복하고 다양한 응용 분야에서 3차원 지리정보의 처리 및 활용이 활발히 모색되고 있다.

DEM을 직접 이용하게 되면, VRML의 가장 큰 단점인 VRML파일 작성이 필요 없게 되고 이를 활용 분야도 발전이 기대되고 있다. 이러한 3차원의 GIS를 활용하여 고품질의 그래픽 처리 기술과 다양한 인터랙션 기능을 통해 누구나 손쉽게 GIS를 접할 수 있고, 또한 해당하는 위치나 건물 정보를 빠르고 쉽게 접근 할 수 있는 웹과의 연동을 통해 보다 추후의 활용성이 높을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- [1] David Koller, Peter Lindstrom, William Ribarsky, Larry F. Hodges, Nick Faustg and Gregory Turner, "VIRTUAL GIS : A REAL-TIME 3D GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.
- [2] Zlatanova, S. and Gruber, M., 1998, 3D Urban GIS on the Web: Data Structuring and Visualization, presented ant the AGILE conference, pp.111-120.
- [3] T.M. Rhyne, W. Ivey, L. Knapp, P. Kochevar, and T. Mace, "Visualization and Geographic Information System Integration: What are the needs and requirements, if any?," Visualization '94 Proceedings, pp. 400-403 (1994).
- [4] P. Lindstrom, D. Koller, L.F. Hodges, W. Ribarsky, N. Faust, and G. Turner, "Level-of-Detail Management for Real-Time Rendering of Phototextured Terrain," Graphics, Visualization & Usability Center, Georgia Institute of Technology, Technical Report GIT-GVU-95-06 (1995).
- [5] 홍장현, 송창근, "웹 환경 하에서 3차원 지형가시화 시스템"
- [6] 서혜원, 1998 "지형물의 실시간 렌더링을 위한 다단계 모델 생성과 제어 알고리즘의 분석 및 성능평가" 한국과학기술원 석사학위논문
- [7] 김계현, "GIS 개론", 대영사, 1998
- [8] 김경호, 이기원, 이호근, 하영렬, "WWW에서 구동되는 3차원 GIS의 설계 및 구현"
- [9] 최봉문·강병기, 1992, "CAD를 활용한 도시경관 시물레이션과 건축물 규제방안에 관한 연구", 대한국토도시계획학회지 제27권 1호, pp.73-92.
- [10] 최장길·김종하, 1997, "건축시물레이션에 있어 컴퓨터 그래픽의 응용에 관한 연구", 대한건축학회논문집 제13권 11호, pp.71-80.