

# 수치사진측량 기술을 이용한 3차원 가상도시공간정보 구축 및 활용에 관한 연구

## A Study on the Development and Application of 3Dimensional Spatial Information of Virtual City Using Digital Photogrammetry

김상봉<sup>1)</sup>, 조우진<sup>2)</sup>

Kim, Sang Bong · Cho, Woo Jin

<sup>1)</sup> 중앙항공업 영상정보사업부 기술개발팀 팀장(E-mail:speedweb@chollian.net)

<sup>2)</sup> 중앙항공업 영상정보사업부 기술개발팀 연구원(E-mail:jojoi007@naver.com)

### Abstract

The application of 3 dimensional virtual reality continuously pursues 3 dimensional system implementation in geographical information system, and is applied and studied in various fields like visualization, simulation, and 3 dimensional analysis. Orthoimage produced to construct basic data of virtual city is evaluated in accuracy, to fall in allowable error of the specification of image map generation.

In this paper, 3 dimensional virtual city is constructed and evaluated around Bucheon University using 3 dimensional virtual reality technique and digital photogrammetry.

Consequently, the constructed 3 dimensional virtual city around Bucheon University can visualize 3 dimensional reality, to help making decision. It can be substituted for existed 2 dimensional GIS in public and private sectors, and be helpful to decision makers.

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

가상현실이란 컴퓨터에서 만든 가상공간을 통해 현실에서 경험하기 힘든 상황을 체험할 수 있도록 해주는 것을 말한다. 이러한 노력들은 지리정보 시스템 분야에서도 3차원 시스템의 구현이라는 노력으로 이어져 왔으며, 시각화, 시뮬레이션, 3차원 분석 등의 다양한 분야에서 사용되어지거나 연구가 진행되고 있다. 최근 컴퓨터 하드웨어의 비약적인 발전은 3차원 가상현실 구축에 필요한 여러 제한사항들을 일부분 해결해 주고 있으며, 공공기관, 지자체의 지하시설물관리 시스템 등과 같이 비교적 단순한 3차원 공간의 표현 및 관리 등에 적용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 3차원 가상현실 기술을 기존의 수치사진측량기술과 GIS기술을 접목하여 3차원 가상도시공간정보를 구축하고 이렇게 구축된 3차원 가상도시공간정보를 활용할 수 있는 방안에 대해 논하도록 한다.

### 1.2 연구 내용 및 범위

3차원 가상도시공간정보를 구축하기 위해서는 3차원 도시의 공간정보를 제공할 수 있는 기초자료가 필요하다. 자료는 원시 데이터의 형태로는 적용이 불가능함으로 일련의 공정에 따라 3차원 공간정보 기능을 할 수

있는 활용 가능한 자료로 변환하여 사용하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 기초자료로서 수치지도와 항공사진영상, 위성영상을 이용하였으며 이러한 자료는 수치사진시스템을 이용하여 가공·변환하여 사용한다. 3차원 가상도시공간정보의 공간정보제작 작업을 수행하기 위해 부천대학을 포함하는 1/5,000 수치지형도와 촬영축척 1/5,000로 촬영된 항공사진 2매를 수치사진측량 시스템을 이용하여 수치정사투영영상을 제작하고, 또한 사실감 있는 3차원 건물생성을 위한 건물 텍스처 정보 취득을 위해 부천대학 내 건물을 실제 디지털 카메라를 이용하여 촬영·매핑 하였다. 구축된 3차원도시공간정보의 평가와 정확도를 분석하기 위해 다음 3단계의 과정을 거쳤다.

1단계, 항공사진측량 기법을 이용하여 얻어지는 공간정보자료 결과물의 정확도는 항공사진측량 모델링 정확도에 크게 관련이 있다. 결과물의 질을 향상시키기 위해서는 원천자료인 항공사진 모델링 작업에 정확한 작업이 요구되므로 실제 항공사진 모델링 작업을 수행하고 수치정사투영영상을 제작하여 그 성과를 분석한다.

2단계, 3차원 가상도시 구축을 위해서는 항공사진 모델링 작업에 의해 획득된 공간자료와 3차원 객체의 생성을 위한 자료가 필요하다. 3차원 객체의 생성을 위해서는 3차원 공간 모형 모델링 기법의 적용이 요구되며 이러한 모델링 기법을 적용하기 위한 기초자료 제작, 공간 모형 모델링 기법 및 매핑기법에 관한 전반적인 사항들에 대해 연구한다.

3단계, 부천대학 일대의 항공사진영상을 수치사진측량시스템을 이용하여 DEM(수치표고자료), 수치정사투영영상을 제작하고 대학 내 건물의 3차원 형상 및 텍스처 데이터를 이용하여 3차원 입체영상을 제작하여 3차원 가상도시공간정보를 구축한다. 구축된 가상도시공간정보자료는 3차원 시뮬레이션 자료로 제작하여 그 활용방안에 대해 평가, 검토하도록 한다.

## 2. 수치사진측량 및 3차원 공간정보 구축의 기본이론

### 2.1 수치사진측량 및 3차원 공간정보구축의 연구동향

#### 2.1.1 3차원 공간정보 기술의 발전 동향

3차원 GIS 관련 기술은 1980년대부터 현재까지 3차원 지형분석의 2차원적 표현에서부터 3차원 지형의 가시화 및 분석시스템을 거쳐 최근 3차원 가상도시 단계까지 발전해오고 있다. 하지만 현재의 3차원 기술은 3차원 공간분석, 질의처리 등 필수적인 공간분석 기능들은 제한적으로 사용되고 있다.

#### 2.2 수치사진측량의 기본이론

##### 2.2.1 내부표정

표정은 가상 값으로부터 구하고자 하는 정확도를 결정하는 단계적인 해석 및 작업을 말한다. 사진측량에서는 사진촬영 당시의 사정으로 엄밀 수직사진을 얻을 수 없으므로 촬영점의 위치나 사진기의 경사 및 사진축척 등을 구하여 촬영시의 사진기와 대상물(피사체)좌표계와의 관계를 재현하는 것을 말한다. 항공사진촬영용 카메라에 대한 보정정보는 실험자료를 증명하는 문서로 제공되며 이를 카메라 검정 증명서(Camera Calibration Certificate)라 한다. 이 파일을 이용하여 DPW770에서 내부표정을 수행하였으며, 사진좌표계와 스캐닝 영상좌표계의 일치 및 내부표정 방법으로는 부등각사상변환을 수행하였다. 각 지표좌표들에 대한 RMSE와 표준편차를 계산하여 RMSE와 각 지표좌표의 오차를 비교하여 3σ 이상의 과대오차를 포함한 지표의 상좌표 점들은 재관측을 실시하였다.

##### 2.2.2 외부표정 및 절대표정

외부표정은 다시 상호표정, 절대표정, 접합표정으로 세분화된다. 기계적 상호표정은 입체도화기에서 내부표정을 거친 후 상호표정인자에 의하여 종시차를 소거한 입체시를 통하여 3차원 가상좌표인 입체모형좌표를 구할 수 있는 작업이다. 해석적 상호표정은 사진좌표로부터 해석적으로 입체모형을 이루는 작업이다. 상호표정의 경우 최소한 사진 상에서 5점의 표정점이 필요하다.

절대표정은 가상좌표(2차원 및 3차원 가상좌표)를 대상물의 절대좌표로 환산하는 작업이다. 기계적 절대표정은 입체도화기상에서 내부, 상호표정을 마친 후 대상물의 절대좌표값을 이용하여 경사와 축척을 조정하여 대상물과 상사가 되게 하여 절대좌표를 구하는 작업이고, 해석적 절대표정은 2차원이나 3차원 가상좌표를 대상물좌표계로 환산하기 위한 7변수의 수치적 처리로 절대좌표를 구하는 작업이다. 접합표정은 사진간, 입체모형간, 스트립간을 접합하여 좌표계를 통일시키는 작업으로 기계적 접합표정은 만능도화기에 의한 스트립좌표계를 구하는 것을 뜻하며, 해석적 접합표정은 입체모형을 종방향으로 접합시켜 블록좌표계로 만들기 위한 7변수의 수치처리를 의미한다. 항공사진 처리를 위한 모델링 방법의 네 가지 방법들에 대한 특징은 표 1와 같다. 표 1를 분석하면 블록 형태의 항공사진을 이용한 모델링 방법으로 가장 성능이 우수한 방법은 일반적으로 알려진 바와 같이 광속조정법이라는 것을 알 수 있으며 현재 대부분의 항공사진 모델링 방법으로 사용되고 있다.

<표 1> 모델링 방법별 특성들

모델링방법	특 성
직접선형변환법 (DLT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 외부표정 6요소에 대한 초기치가 필요 없음.</li> <li>- 공선조건식의 변형된 형태를 사용함.</li> <li>- 계산과정이 비교적 간단함.</li> <li>- 기준점의 배치에 매우 민감한 결과를 도출함.</li> <li>- 독립모델조정법과 광속조정법에 비해 정확도가 떨어짐.</li> </ul>
다항식법 (Polynomial)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모델링을 계산하기 위한 초기치가 필요 없음.</li> <li>- 수평조정식과 수직조정식이 필요하며 상황에 따라 1,2차 식 등 다양한 형태를 사용함.</li> <li>- 계산과정이 비교적 간단함.</li> <li>- 독립모델조정법과 광속조정법에 비해 정확도가 떨어짐.</li> </ul>
독립모델조정법 (IMT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상호표정이 선행되어야 함.</li> <li>- 수평조정식과 수직조정식이 필요하며 다항식법에 비해 고정된 형태를 사용함.</li> <li>- 계산과정이 복잡하고 효율적인 처리과정이 필요함.</li> <li>- 광속조정법에 비해 정확도가 떨어지지만, 지도제작용으로 사용가능.</li> </ul>
광속조정법 (Bundle-adjustment)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모델링을 계산하기 위해서는 사진마다 외부표정 6요소에 대한 초기치가 필요함.</li> <li>- 공선조건식을 기본으로 하여 외부표정요소에 대해 1~3차식을 사용함.</li> <li>- 계산과정이 매우 복잡하고 메모리를 많이 필요로 하여 효율적인 처리과정이 필요함.</li> <li>- 가장 정확함.</li> </ul>

##### 2.2.3 수치표고모형의 제작

수치표고모형은 실제 지형, 즉 인공지물을 제외하고, 공간상의 연속적인 기복변화를 수치적으로 모형화한 것으로서 대상지역 내에서 추출한 임의의 3차원 좌표를 처리하며, 지형기복의 변화에 대하여 기하학적 관계를 격자형으로 구조화한 것을 말한다.

수치표고모형은 표고의 공간적분포를 수치적으로 표현한 것으로서 일반적으로 2차원 평면상에서 일정 간격

의 격자 형태 또는 불규칙 삼각망 형태를 취하며 그 응용분야는 원격탐사분야, 사진측량분야, 지리정보시스템, 지형의 3차원 시물레이션, 국토개발, 비행체의 지형 추적 항법장치 등 매우 광범위하다. 또한, 수치표고자료는 지형의 기록에 의한 왜곡을 수정하는 수치정사사진 제작에도 필수적인 자료이다. 수치지도의 표고값을 갖고 있는 점들의 좌표들은 불규칙하게 분포되어 있다. 이와 같이 불규칙하게 분포한 자료를 정규격자 형태의 자료로 생성하기 위해 일반적으로 사용하는 알고리즘은 가중평균법(Weighted Mean), 크리깅(Kriging) 등이 있다.

### 2.2.4 정사편위수정

정사영상 또는 정사사진이라 함은 촬영경사에 의한 왜곡과 지형의 기록에 의한 왜곡 및 중심투영에 의한 영상의 왜곡을 보정한 정사투영 영상을 말한다. 또한, 이러한 왜곡들을 편위라 하는데, 이러한 편위들을 보정하여 정사사진을 생성하는 과정을 정사편위수정이라 한다. 정사사진 생성에 필요한 입력자료로는 원래의 항공사진 영상, 사진기준점 측량 결과, 수치표고자료가 있으며, 이를 기반으로 수치미분 편위수정과정을 수행하여 생성한다. 모델링에서 공선조건식을 사용한 경우 수치미분 편위수정에 사용하는 일반적인 수식은 공선조건식을 사용하며, 반복적인 수렴과정을 통해 왜곡된 영상점을 정사사진의 위치로 결정한다.

격자화에 따른 영상재배열 과정이 필요하며, 이러한 영상재배열 방법에는 최근린 보간법(Nearest neighbour), 공일차보간법(Bilinear interpolation), 공삼차보간법(Cubic convolution)이 있다.

## 2.3 3차원 공간정보 구축의 기본이론

이전의 3D GIS에서의 관심의 대상은 어떻게 기존의 2D 자료와 Data를 최소한의 소모만을 치루고 3D에 접목하느냐에 집중되어 있었다. 그 예로서 미 국방부에서 기존의 VPF(Vector Product Format)라는 2D Data를 확장해서 만든 VPF+와 EVPF(Extended Vector Product Format) 등이 있다. 최근 GML30이 공간데이터 교환을 위한 Encoding 기술로 주목받고 있는 상황에서 ISO/TC211 및 OGC에서 공통으로 표준 공간데이터 모델로 채택하고 있는 ISO Spatial Schema가 가장 유력한 Vector기반의 공간데이터 모델로 자리매김을 하고 있는 실정이다. ISO Spatial Schema는 2D뿐만 아니라 3D 공간 데이터에 대한 개념적 모델을 제시한다 공간객체에 대한 기하모델, 지표 생성을 위한 TIN, Topology를 제시하고 있으며, 이를 3차원 공간 데이터 모델링에 활용할 수 있다 관련 국내 표준으로는 '지리정보DB 설계지침(TTASIS-19109)'이 있다.

### 2.3.1 3차원 지형 생성 기술

인터넷상에서 3차원의 공간정보를 제공하는데는 부피를 갖는 하나의 Object로 취급하는 3D Solid 모델(3차원 데이터 모델)을 사용하고 있다. 3D Solid 모델은 CAD/CAM 및 컴퓨터 그래픽 분야에서 먼저 사용하고 있으며, X, Y 좌표 지점에 대해 복수개의 Z 값을 갖고 있다. 데이터조작 및 공간분석 등 각종 연산 과정이 복잡하므로 3차원의 Surface 모델링 기법을 보편적으로 사용하고 있다 Surface 모델링 기법은 연속적인 2차원 X, Y 좌표에 고도 값을 마치 속성처럼 할당하여 처리하는 방식이다. Surface 모델링은 연속적인 면을 대상으로 하지만 현실적으로 면상에 연속적으로 존재하는 모든 지점의 고도 값을 저장하기 어렵기 때문에 대표 지점만의 고도 값으로 지형을 표현하는 Sampling Method를 사용한다. Sampling Method에는 2차원의 등고선이나 3차원 GIS에서 활용하는 DEM, TIN 등 보편적으로 사용된다. DEM과 같은 고도 데이터를 취득하는 방법은 지상측량, GPS측량, 항공사진측량, 수치사진측량, 위성영상 등 여러 가지가 사용되고 있으나 항공사진이나 위성영상 등에 의한 방법을 많이 사용하고 있다.

## 3. 수치사진측량 기술을 이용한 3차원 가상도시 구축

### 3.1 수치정사영상 제작

본 연구에서 항공사진촬영은 비행, 카메라의 작동, 촬영기술, 사진제작에 이르기까지 사전에 세밀한 계획을 수립하였으며, 적정조건인 기상조건에서 항공사진촬영을 실시하였다. 촬영완료 후 항공필름현상, 보안검열, 밀착인화사진, 양화필름제작 등의 작업공정을 수행하였다. 항공사진 자동독취는 이미 제작된 항공사진필름을 세척한 후 자동독취기(스캐너)에 의해 자동독취하여 래스터파일을 제작하고, 촬영성과를 입력하는 작업을 말한다. 정사투영영상을 제작하기 위해서는 먼저 촬영된 항공사진을 이용하여 모델을 구성하고 하나의 입체영상을 만들어 실제 공간상의 좌표를 입력하는 모델링 작업을 수행 하여야 한다. 본 사업에서는 영역기반 매칭을 통하여 항공사진 영상으로부터 2m×2m 수치표고모형을 획득하였다. 이때의 매칭영역은 작업 단위간 접합시의 오류를 제거하기 위하여, 표정 작업의 단위와 일치시켜 block1, block2, block3의 세 개 블록으로 작업하였다. 이 후, 제작된 세 개의 수치표고모형을 각기 1/2,500 도엽 단위로 분할하였다. 다음 그림1 는 연구지역인 부천대 주변의 1/5,000 수치지도를 이용하여 DPW770에서 제작한 수치표고모형 및 정사투영영상을

나타낸다. 수치표고모형의 정확도평가방법은 사진기준점 측량시 사용한 수준점의 Z값과 수치표고모형의 Z값을 비교하여 차를 구하였으며, 그 값들을 종합한 결과, 평균계급근오차(RMSE)는 0.403 m의 값을 얻을 수 있었다. 이 결과는 수치표고모형구축에 관한 작업규정에서의 허용오차 범위내의 수치에 해당된다.

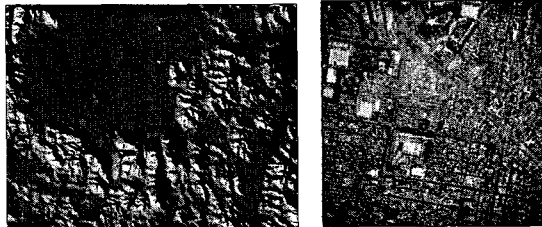


그림 1. 부천대 주변의 수치표고모형 및 정사투영영상

### 3.2 수치정사영상을 이용한 3차원 가상도시 공간정보 구축

본 연구에서는 3차원 가상도시 구축을 위해 3GCORE사의 3차원 구축프로그램인 3D-TIME이라는 개발툴을 이용하여 제작하였다. 보정처리가 완료된 수치정사투영사진, 지형데이터를 3D-Author가 처리해줄 수 있는 GeoTIFF 포맷이나 기타 다른 포맷으로 변환하여 데이터를 준비한다. 3D-TIME 자체는 데이터에 대한 보정처리 기능은 없으므로 보정처리 작업은 기존에 활용되고 있는 여러 가지 GIS/RS 소프트웨어를 이용하여 작업하였다. 이러한 GIS/RS 소프트웨어로는 SocetSet, Erdas Imagine, PCI, ER-Mapper 등 다양한 상용 솔루션들이 활용가능하며 본 연구에서는 상기 소프트웨어 중 가장 정확하다는 평가를 받는 SocetSet 을 이용하였다. GIS/RS분야에서 래스터 형태의 데이터를 위한 표준포맷으로는 GeoTIFF가 정착되어 있다. 항공사진을 이용하여 제작된 수치정사투영영상, 위성영상, DEM데이터등 모두 GeoTIFF로 변환이 가능하며, 여러 가지 소프트웨어에서 공용적으로 활용할 수 있다.

3D-SB(SceneBuilder)에서 기본적으로 요구하는 위성사진과 지형데이터에 시설물을 배치함으로써 보다 현실감이 있는 조감도를 제작할 수 있다. 이러한 시설물 데이터의 경우 일반적으로 3D 그래픽 툴(Autocad, 3D-Studio, Maya, Softimage 등)을 이용하여 제작하게 되는데, 데이터의 제작 작업은 이러한 외부 툴을 사용해야 하며, 3D-SB에서는 이렇게 제작된 데이터를 맵핑시키는 작업을 지원한다. 본 연구에서는 이러한 텍스처 데이터의 취득을 위해 부천대학의 건물들에 대해 그림 2와 같이 실제 촬영하였고 전문디자인 툴인 포토샵을 이용하여 텍스처 자료로 변환 저장 하였다.

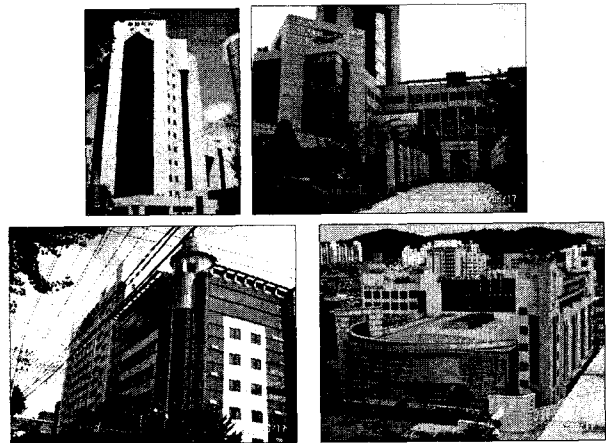


그림 2. 부천대학 영상자료

3D-SB에서 입력가능한 3차원 건물자료생성을 위해 3D 전문가 툴인 3D-MAX를 사용하였다. 3D-MAX에서의 건물형성 작업은 현장에서 촬영한 자료와 바탕으로 하여 건물 하나하나를 오브젝트화 하여 실제 건물의 형상과 같은 구조를 갖도록 제작하였다. 텍스처 매핑작업은 제작자의 시간이 많이 소요됨으로 본 연구에서는 부천대학안의 건물에 대해서만 적용하였다. 그림 3은 위와 같은 작업과정에 의해 제작된 부천대학 건물의 3차원영상이다.

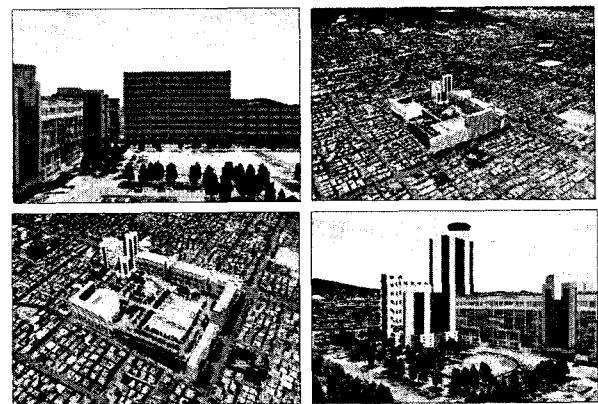


그림 3. 실제 텍스처 자료를 이용한 건물 매핑

본 연구에서 구축한 부천대학 일대의 도시공간정보는 입체데이터를 시각적으로 보여줌으로서 더욱 현실감 있는 가상환경을 제공함으로써 향상된 직관력과 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 공공 및 민간부분에 기존의 거의 모든 2차원 기반 GIS를 대체할 수 있으며, 민간 및 공공분야의 의사결정 등에 효과적인 지원이 가능할 것으로 판단된다. 예를 들어 시설물의 계획, 공원계획, 녹지조성 등을 위해 3차원 가상도시를 구축하고 편집 분석할 수 있게 함으로써 도시환경계획 분야의 도시계획 및 설계에 적용이 가능하다. 3차원상의 어떠한 방향에서도 뷰잉이 가능하기 때문에 가시권 분석이나 각종 민원정보 서비스 등으로의 활용

이 가능할 것으로 판단되며, 도로 교통 분야, 재해 재난 분야, 공공서비스 분야, 지하매설물 관리 분야 등 다양하게 필요에 따라 유용한 자료로 사용할 수 있다.

#### 4. 결론

3차원 가상도시공간정보는 대용량 항공사진 데이터베이스 응용기술, 실시간 대용량 자료 처리 기술, 3차원 그래픽 처리 기술, 가상현실 기술 등의 제반 요소기술들의 종합적인 적용이 필요한 것으로서, 기존의 2차원 자료가 갖는 한계를 극복하고 다양한 응용 분야에 적용이 가능하여 현재 3차원 지리정보처리 및 활용이 활발하게 모색되고 있다.

본 연구에서는 3차원 가상도시공간정보 구축을 위하여 실제 촬영된 항공사진영상을 수치사진측량 시스템을 이용하여 수치정사투영영상을 제작하고 제작된 결과물에 대한 정확도 검증 작업을 수행하여 규정에 만족하는 성과를 획득 했다. 또한 부천대학 일대의 3차원 도시공간정보 자료를 구축하고 그 결과물에 대한 평가와 활용방안을 제시 하였다.

국내 가상도시공간정보 구축 사업은 2004년 대전광역시 일부지역에 대한 시범사업을 토대로 올해부터 “3차원 국토공간정보구축사업”이란 이름으로 본격 착수될 예정이다. 이에 따라 본 연구에서 3차원 도시공간정보를 구축하기 위해 제시한 작업방법 및 활용방안이 유용한 자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

향후 3차원 도시공간정보의 구축에 있어 구축된 자

료의 효율을 극대화 하기 위해 Web을 이용한 제작방안에 관한 연구가 수행되어야 하며, 3차원 입체영상의 질과 정확도를 향상시킬 수 있는 보다 효과적인 3차원 자료의 제작 방법에 관한 연구가 수행되어야 하겠다.

#### 참고문헌

1. Arzu Coltekin, Henrik Haggren, VRML AS A TOOL FOR WEB-BASED, 3D, PHOTO-REALISTIC GIS, ASPRS, 2000.
2. ROLAND BILLEN, Siyka Zlatanva, 3D SPATIAL RELATIONSHIPS MODEL: A USEFUL CONCEPT FOR 3D CADASTRE
3. 서필화, "가상현실 환경 구현을 위한 데이터베이스를 이용한 통합 저작 도구 개발", 석사학위논문, 충남대학교, 2001.
4. 백승화, "Web 환경에서의 가상 건축물 구현과 응용에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2000.
5. 조정운, "인터넷상에서 3차원 가상도시 공간정보구축", 석사학위논문, 경상대학교, 2002.
6. Richard S. Wright, 인포북, "OpenGL Super Bible", 2000.
7. Edward Angel, 영한출판사, "OpenGL을 이용한 컴퓨터 그래픽스", 1999.
8. 임인성, 그린, "OpenGL을 통한 3차원 그래픽스 프로그래밍", 2001.
9. 유복모, 사이텍미디어, "사진측정학 개론", 2001.