

# 디지털 영상자료를 이용한 3D GIS의 사실적 모델링 및 가시화 Application of Photo-realistic Modeling and Visualization Using Digital Image Data in 3D GIS

정성혁<sup>1)</sup> · 이재기<sup>2)</sup>

Jung, Sung Heuk · Lee, Jae Kee

## Abstract

For spatial analysis and decision-making based on territorial and urban information, technologies on 3D GIS with digital image data and photo-realistic 3D image models to visualize 3D modeling are being rapidly developed. Currently, satellite images, aerial images and aerial LiDAR data are mostly used to build 3D models and textures from oblique aerial photographs or terrestrial photographs are used to create 3D image models. However, we are in need of quality 3D image models as current models cannot express topographic and features most elaborately and realistically. Thus, this study analyzed techniques to use aerial photographs, aerial LiDAR, terrestrial photographs and terrestrial LiDAR to create a 3D image model with artificial features and special topographic that emphasize spatial accuracy, delicate depiction and photo-realistic imaging. A 3D image model with spatial accuracy and photographic texture was built to be served via 3D image map services systems on the Internet. As it was necessary to consider intended use and display scale when building 3D image models, in this study, we applied the concept of LoD (Level of Detail) to define 3D image model of buildings in five levels and established the models by following the levels.

Keywords : Photogrammetry, LiDAR, Laser scanner, 3D model, LoD model, Texture mapping, 3D GIS

## 초 록

국토 및 도시정보의 공간분석과 의사결정을 위하여 디지털 영상자료를 이용한 3D GIS와 구축된 3D 도형정보를 현실적으로 가시화하기 위한 사실적 3D 영상모형(3D photo-realistic model)에 관한 기술이 급속히 발전하고 있다. 현재, 3D 모형 구축을 위하여 위성영상, 항공영상 및 항공라이다 데이터가 주로 이용되고 있으며, 항공경사사진 또는 지상사진에서 취득된 텍스처를 이용하여 3D 영상모형을 구축하고 있다. 그러나, 상기 데이터만을 이용하여 구축된 모형은 지형 및 지물을 세밀하고 사실감 있게 표현하는데 제한적이기 때문에 고품질의 영상모형 구축이 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 인공지물과 특수지형을 대상으로 공간정확도, 세밀묘사 및 현실감이 강조된 실세계에 근접한 3D 영상모형을 구축하기 위하여 항공사진, 항공라이다, 지상사진 및 지상라이다 데이터로 실세계를 표현하기 위한 기법을 분석하고, 위치정확도와 함께 사진과 같은 사실감을 확보한 3D 영상모형을 구축하고 인터넷 3D 영상지도 서비스를 통하여 제공할 수 있도록 하였다. 또한, 3D 영상모형은 이용목적 및 디스플레이 축척에 따라 표현요소를 구분하여 구축할 필요가 있으며, 본 연구에서는 LoD(Level of Detail) 개념을 도입하여 건물 3D 영상모형을 5단계로 정의하고 단계별로 모형을 구축하였다.

핵심어 : 사진측량, 라이다, 레이저스캐너, 3D 모형, LoD 모형, 텍스처, 3D GIS

## 1. 서 론

국토 및 도시정보의 공간분석과 의사결정을 위하여 3D

지형공간정보를 이용한 3D GIS와 구축된 3D 도형정보를 현실적으로 가시화하기 위한 사실적 3D 영상모형에 관한 기술이 급속히 발전하고 있다. 사실적 3D 영상모형

1) 연결저자·정회원·충북대학교 토목공학과 시간강사(E-mail:idealharry@gmail.com)

2) 정회원·충북대학교 토목공학과 교수(E-mail:leejk@cbnu.ac.kr)

은 정보이용자의 직관적인 인지를 지원함으로써, 지형·지물의 판독을 비롯한 각종 분석 및 의사결정에 매우 중요한 역할을 한다. 현재, 고해상도 위성영상, 항공영상 및 항공라이다 데이터를 이용하여 제작된 3D 영상지도는 기존 지도가 가지고 있는 단점을 보완하여 사용자에게 각종 지형공간정보를 효과적으로 제공할 수 있으며, 각종 정보 시스템과 결합을 통해 다양한 콘텐츠로 개발되고 있다.

이와 같이, 3D영상지도 서비스를 통해 고해상도 위성 및 항공영상을 일반인들도 인터넷을 통해 쉽게 검색하고 이용할 수 있게 됨으로써 Google Earth, Microsoft Virtual Earth 등과 같은 3D 영상지도 서비스는 이미 국내외에서 큰 시장으로 부상하고 있다(Google Earth ; Microsoft Virtual Earth).

특히, 세계 최초의 3D 영상지도 서비스인 Google Earth는 2005년부터 서비스를 시작한 이후 현재 많은 사용자를 확보하고 있으며, 상권정보 서비스, 부동산정보 서비스, 온라인 호텔 및 식당 예약, 교통정보 서비스, 내비게이션 시스템 등 관련 어플리케이션 및 비즈니스 모델이 빠르게 개발되고 있다(Wikipedia).

그러나, 현재 3D영상지도 자료는 저해상도 DTM과 위성영상, 항공영상으로 구축되어 있고, 건물 등과 같은 인공지물의 경우 일부지역의 특정지물만 3D 모형으로 구축되어 있다. 또한, 3D 건물모형의 경우 항공영상 또는 항공라이다에서 도화된 건물지붕의 형태를 지형과 연결하여 제작한 단순한 형태로 텍스처를 포함하고 있지 않거나 텍스처의 품질이 낮기 때문에 사실감이 부족한 현실이다. 뿐만 아니라, 항공 또는 위성영상의 촬영방향과 제한된 해상도 등의 원인으로 건물 벽면의 정보, 절벽, 절·성토 사면 및 해안 침식지형 등과 같은 특수지형과 유적지, 문화재 등과 같은 역사적 가치가 높은 대상물의 세밀한 표현이 어려운 점이 문제로 지적되고 있다.

이와 같이, 위성영상, 항공영상 및 항공라이다 데이터만으로 모든 지형·지물의 3D 영상모형을 구축하기에는 한계가 있으며, 이를 보완하기 위하여 지상사진, 지상라이다 등과 같은 데이터를 기존의 3D모형 제작기법과 함께 이용하여 사실적으로 지형과 지물을 표현할 수 있는 3D 영상모형 구축이 요구된다(Deng et al., 2005).

따라서, 본 연구에서는 항공사진, 항공라이다 및 지상사진, 지상라이다 데이터와 같이 다양한 센서에서 취득된 자료를 이용하여 일반 지형에 관한 3D 영상 모형뿐만 아니라 인공지물, 특수지형을 보다 현실적으로 표현할 수 있는 사실적 3D 영상모형을 구축하였다.

3D 영상모형은 세부표현정도와 텍스처의 유무에 따라 LoD(Level of Detail)를 5단계로 정의하여 구축하였으며, 동일한 형상의 건물 부재를 반복적으로 재사용이 가능한 컴포넌트로 제작하여 전체 파일크기를 줄일수 있도록 하였다. 또한, 카메라 캘리브레이션 데이터를 이용하여 영상에서 왜곡성분을 보정한 텍스처를 제작하고, 영상 모자이크 기법을 적용하였다. 구축된 영상모형은 3D GIS 어플리케이션 및 인터넷기반의 3D 영상지도 서비스를 통해 가시화하고, 활용될 수 있도록 하였다.

## 2. 실험 대상 선정 및 데이터 처리

본 연구에서 3D 영상모형을 구축하기 위한 실험대상은 인공지물과 특수지형으로 구분하여 데이터 확보, GPS 현장측량 및 결과확인이 가능한 지역으로 선정하였다. 인공지물에 관한 실험 대상은 호주 시드니에 위치한 UNSW(University of New South Wales) 캠퍼스를 선정하였으며, 고해상도 3D 영상모형을 제작하기 위한 실험대상으로는 Quadrangle building, Library building을 선정하였다.

특수지형의 3D 영상모형 구축을 위한 실험대상은 시드니 동남쪽에 위치한 Tamarama 비치와 비치의 좌우에 인접한 해안침식절벽 2개소를 선정하였다. 실험에 이용한 데이터는 항공영상, 항공라이다, 지상사진, 지상라이다 데이터 및 GPS 측량으로 취득된 기준점 성과 등을 이용하였다.

대상지역의 항공사진은 2005년에 RC30 항공 카메라로 촬영된 스테레오 영상을 이용하였으며, 지리보정을 위하여 대상지역내에 6개의 GCPs를 선정하고, GPS 측량을



Fig. 1. Oblique aerial image of UNSW

실시하여 GCPs성과를 취득하였다. 항공영상처리는 Leica SocetSet 5.1 DPW(Digital Photogrammetry Workstation)를 이용하였으며, 1m 간격으로 대상지역의 DTM을 추출하고, 대상지역의 건물을 도화하였다. 취득된 DTM 및 건물데이터베이스인 FDB(Feature DataBase)로부터 수치정사영상을 제작하였다.

항공라이다 데이터는 2005년에 Optech ALTM 3025 레이저 스캐너로 취득된 데이터를 이용하였으며, 포인트

간격은 평균 1.15m이다. 항공라이다 데이터는 Terrasolid 사의 TerraScan, TerraModeler 등을 이용하여 원시데이터를 지표, 초목, 건물 등으로 분류(classification)하고 DTM을 제작하였으며, 대상지역의 건물을 모델링하였다.

지상라이다 측량기법을 이용한 실험은 대상지역 내의 건물중 규모가 크고 형상이 복잡하며, 외관이 미려한 Quadrangle building을 대상으로 실시하였다. 건물 전면부의 정밀한 포인트 클라우드데이터를 취득하기 위하여 Trimble GX 3D scanner를 이용하였으며, 스캐닝 데이터를 정합하기 위하여 구형 타겟(sphere target) 4개를 대상물에 설치하고, 2지점에서 건물 전면에 대하여 각각 2회씩 스캐닝 작업을 실시하였다. 스캐닝 데이터는 Trimble Realwork Survey를 이용하여 Fig. 8과 같이 하나의 모형으로 정합하였다(Trimble).

스캐닝 현장 작업시간은 약 6시간이 소요되었으며, 취득된 데이터는 8,108,038개의 포인트로 포인트 간격은 평

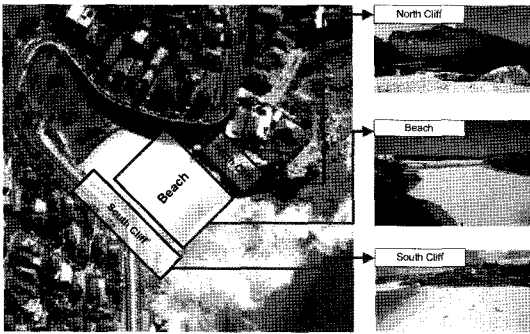


Fig. 2. Aerial image of Tamarama area

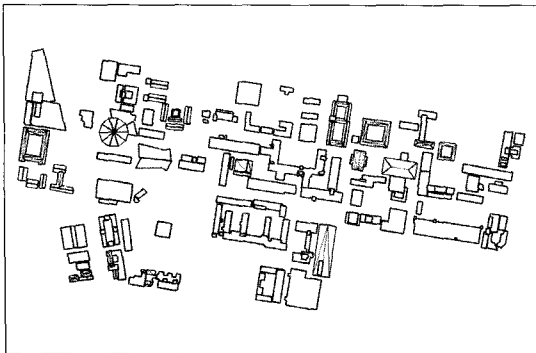


Fig. 3. FDB of Buildings



Fig. 5. Aerial LiDAR data



Fig. 4. Orthoimage of UNSW

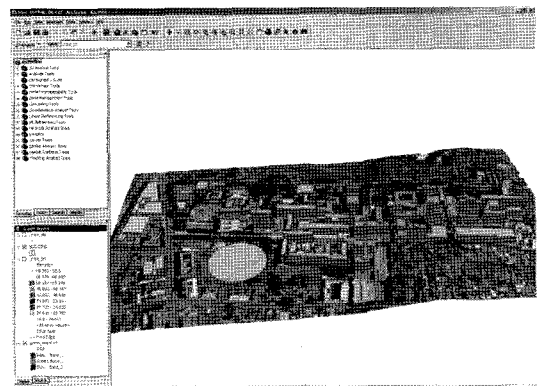


Fig. 6. 3D Building model, DTM and orthoimage

균 약 10mm 간격이다. 포인트 클라우드 데이터는 X, Y, Z 좌표, 강도(intensity) 및 RGB 값을 포함하는 ascii 파일로 export하였으며, 데이터 파일의 용량은 285mb로 RGB 값을 제외한 X, Y, Z좌표와 강도값만 export할 경우에는 198mb 이었다. 데이터 처리는 Geomagic Studio와 Rapidform을 이용하였으며, 데이터에서 노이즈를 제거하고 샘플링 과정을 통해 과도하게 많은 포인트 수를 줄여 신속하게 처리될 수 있도록 하였다. 처리된 데이터로부터 TIN 모형을 생성하고, 수정작업을 거쳐 3D 모형을 구축하였다.

지상사진 측량기법을 이용한 실험은 UNSW 캠퍼스 내의 Quadrangle building, Library building과 Tamarama 비치 및 해안침식절벽과 같은 특수지형을 대상으로 실시하였다. 실험에 사용한 카메라는 Canon 5D SLR카메라와 대상물의 크기, 촬영거리 등을 고려하여 다양한 화각(angle of view)을 확보할 수 있도록 17-40mm 광각 줌렌즈, 50mm 표준 단렌즈, 70-200mm 망원 줌렌즈를 이용하였다. 지상사진에 의한 3D 모형제작은 Photomodeler,

iWitness 등과 같이 여러매의 대상물 영상에서 특징점을 측정하고, 동일점으로 레퍼런스하여 3D 모형을 제작하는 싱글 포인트(single point) 측정 기법과 PI-3000과 같이 스테레오 영상에서 영상 매칭에 의해 포인트 클라우드를 취득하는 기법을 이용하였다.

실험대상으로 분류한 인공지물과 특수지형의 3D 영상 모형 구축에 효율적인 지상사진 측량기법을 평가하기 위하여 Photomodeler, iWitness 및 PI-3000을 이용하여 실험한 결과, 건물과 같은 인공지물의 경우 싱글 포인트 측정방식이 적합한 것으로 평가되었으며, 건물 중 특정부분의 일부 세밀한 DSM(Digital Surface Model)이 필요한 경우에는 영상매칭에 의해 취득된 포인트 클라우드 데이터를 이용하여 보완할 수 있었다. 지형의 경우 싱글 포인트 측정방식은 한정된 기준점(control point)으로 부터 다수의 기준점 또는 접합점(tie point)을 측정하기 위한 골조 측량에 이용될 수 있으며, 영상매칭 방식에 의해 불규칙한 지형을 보다 효율적으로 표현할 수 있었다. 이상과 같은 분석에 의해 본 연구에서는 인공지물의 3D 영상모형 제

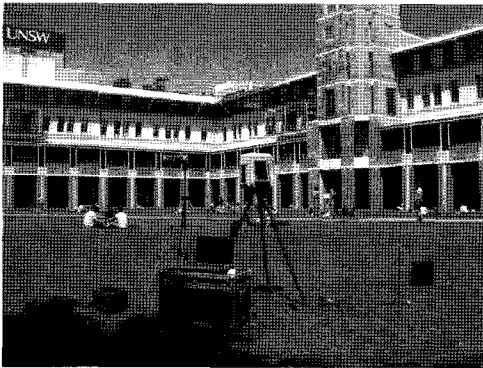


Fig. 7. Scanning field work

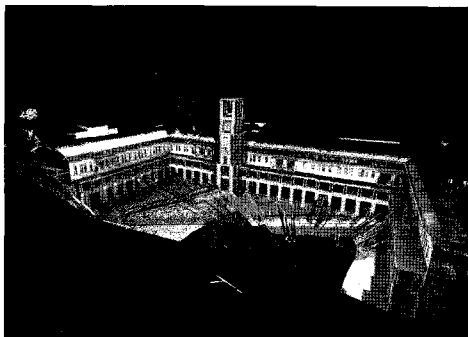


Fig. 8. Points cloud data of quadrangle building

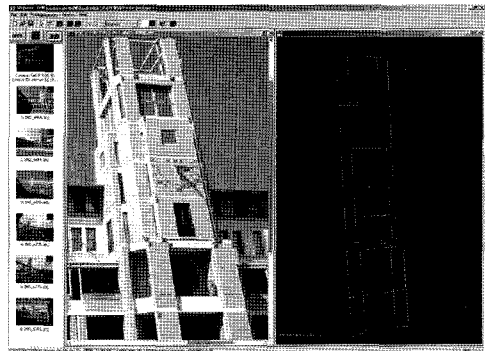


Fig. 9. Building modeling using iWitness

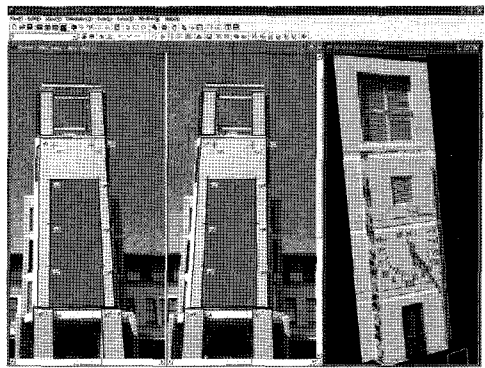


Fig. 10. Building modeling using PI-3000

작을 위해 Photomodeler를 이용하였고, 특수지형의 3D 영상모형 제작에는 iWitness와 PI-3000을 이용하였다.

### 3. 사실적 3D 영상모형 구축

#### 3.1 LoD 모형

본 연구에서는 인공지물의 3D 영상모형을 제작하기 위하여 LoD 개념을 도입하였다. LoD란 3D 영상모형의 응용분야, 디스플레이 축척 등에 따른 일반화 개념으로서 건물의 상세표현 정도 및 텍스처 유무에 따라 Fig. 11과 같이 5단계의 LoD 모형로 정의하였다. LoD 모형을 통하여 구축된 3D 영상모형을 사용목적에 따라 선택하여 이용할 수 있으며, 인터넷 기반의 영상지도 서비스에서 이용할 때 축척에 따라 일반화된 자료로 표현할 수 있고, 파일 크기에 따른 인터넷 전송 부담을 줄일 수 있다(Ewald and Coors, 2005; Kokkas and Smith, 2007).

LoD1 모형은 단순한 박스형태나 심볼로 대상을 표현하며 LoD2 모형은 블록형태의 모형으로 건물형태를 간략히 표현할 수 있으며, 실제영상이 아닌 컬러 또는 CG(Computer Graphics)로 제작된 텍스처를 포함할 수 있다. 현재 구축되어 있는 3D 모형에서 가장 일반적으로 제작되고 있는 모형으로 항공사진 또는 항공라이다 데이터를 이용하여 제작될 수 있다. LoD3는 LoD2 모형에 지상사진 또는 항공경사사진을 이용하여 건물 벽면 및 지붕의 텍스처를 처리한 3D 영상모형이며, LoD4 모형은 지붕의 형태, 테라스, 창호, 기둥, 도어 등 매우 세밀한 부분까지 모델링된 형태로서 텍스처 정보를 포함하고 있다. LoD5 모형은 건물내부까지 모델링이 이루어진 형태로 가장 상세한 부

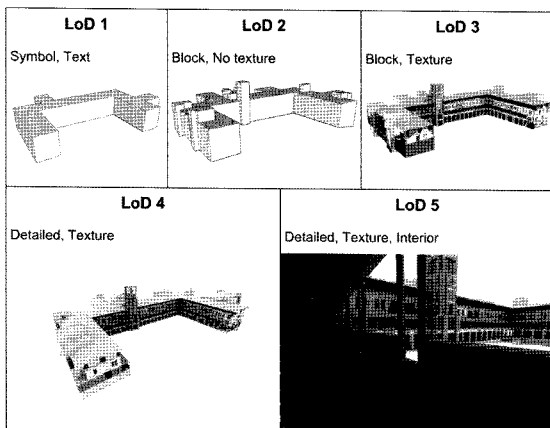


Fig. 11. 5 LoD models of Quadrangle building

분까지 표현할 수 있는 최종 단계의 3D 영상모형이다.

LoD 모형 구축 결과 항공영상 및 항공라이다 데이터에서 취득된 건물의 3D 모형은 촬영방향의 제한으로 건물 벽면에 대한 충분한 정보를 취득할 수 없기 때문에 LoD2 모형을 제작할 수 있었으며, 건물 지붕의 텍스처를 제외한 건물 벽면의 텍스처를 지상사진촬영을 통해 취득하여 LoD 3모형을 제작할 수 있다. LoD4와 LoD5 모형은 항공영상 및 라이다 데이터만으로는 제작이 불가능하며 지상사진 및 지상라이다 데이터가 반드시 필요하다.

#### 3.2 텍스처

3D 영상모형을 제작하는 경우 대상물의 3D 모형을 제작하고, 지상에서 촬영한 영상으로부터 텍스처를 제작하여 3D 모형에 사실감을 부여한다. Photomodeler, Imagemodeler 등과 같은 상용프로그램에서는 촬영된 영상으로부터 텍스처를 주어진 조건에 따라 자동수동으로 제작하여 3D 영상모형을 제작할 수 있으나, Fig. 12(top)와 같이 텍스처에 영상왜곡이 포함되어 있기 때문에 고품질의 영상모형을 기대하기 어렵다.

대상물 면에 대한 연직촬영을 통해서 텍스처의 품질을 다소 향상시킬수 있으나, 대부분의 도시내 건물들은 그 규모나 주변 건물과의 밀집 배치 및 건물에 인접한 가로수, 가로등과 같은 각종 시설물로 인하여 건물 벽면을 연직방향으로 촬영하기 어렵고, 촬영거리의 제한으로 광각렌즈를 이용하여 촬영하는 경우가 일반적이다. 이와 같이 촬영된 영상은 경사사진에 따른 불균일한 밝기와 해상도 및 광각렌즈에 의한 왜곡 등을 포함하고 있으며, 이러한 영상에서 직접 텍스처를 제작하고 왜핑(warping) 변환에 의해 건물 벽면의 텍스처로 적용할 경우 영상모형의 품질을 저하시키는 주요 원인이 된다(Alshawabkeh and Haala, 2005; Sequeira et al., 1999).

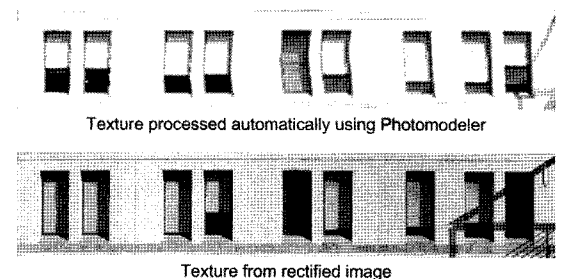


Fig. 12. Texture patches by Photomodeler (top) and corrected image (bottom)

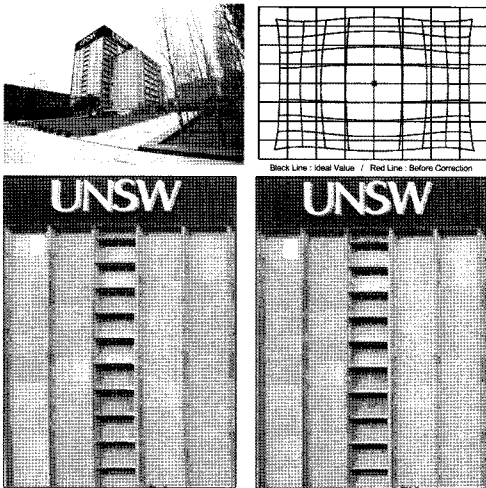


Fig. 13. Comparison between original (left) and corrected image (right)



Fig. 14. Mosaic image from corrected image patches

따라서, 본 연구에서는 Fig. 13과 같이 카메라 캘리브레이션 데이터를 이용하여 렌즈 왜곡을 제거하고, 리샘플링을 통해 촬영방향에 따른 왜곡을 보정하였다. 또한, 한 매의 촬영으로 벽면의 전체 텍스처를 취득하기 어려운 경우 Fig. 14와 같이 여러 매로 중복 촬영하고, 왜곡을 보정한 뒤 모자이크 영상으로 제작하여 텍스처로 이용하였다.

### 3.3 3D 컴포넌트 모형

인공지물의 경우 창문, 기둥 등과 같이 동일한 치수와

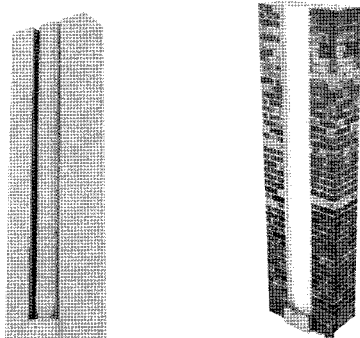


Fig. 15. 3D components model of column

형상을 갖는 요소가 반복적으로 구성되어 있는 경우가 많으며, 모든 요소를 모델링하기 위해서 많은 시간이 소요된다. 본 연구에서는 Quadrangle building의 3D 영상모형을 위해 크기가 동일한 기둥, 창호 및 출입문을 3D 컴포넌트로 제작하였다. 재사용이 가능한 3D 컴포넌트를 이용함으로써 3D 영상모형의 제작 시간을 절감할 수 있고, 수정 및 관리가 용이하며, 전체 3D 영상모형의 파일 크기를 감소시킬 수 있는 등의 장점을 가지고 있다.

### 3.4 인공지물의 3D 영상모형 구축

인공지물의 3D 모형은 항공사진, 항공라이다, 지상사진 및 지상라이다 데이터에 의해 구축하였다. 실험결과 항공사진과 항공라이다 데이터를 이용하여 인공지물의 LoD1, LoD2, LoD3 모형, DTM, 수치지정사영상 및 건물지붕의 텍스처 패치를 제작하였고, 지상라이다 및 지상사

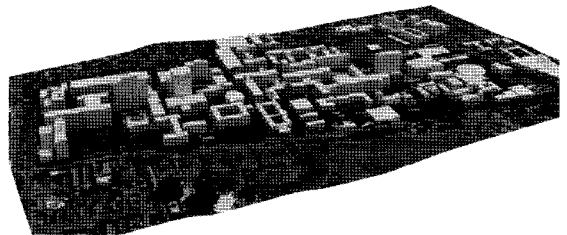


Fig. 16. 3D building model with DTM and orthoimage

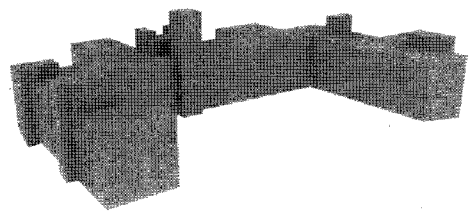


Fig. 17. 3D model from aerial data



Fig. 18. 3D model from terrestrial data

진측량을 이용하여 보다 정밀하고 사실적 표현이 가능한 LoD4, LoD5 모형을 제작하였다.

Quadrangle building은 규모가 크고 복잡한 형상이며, 주변건물 및 각종 시설물과 인접하고 있어 사진촬영에 어려움이 있었으며, 건물내부를 모델링하고 건물벽면의 텍스처를 제작하기 위하여 약 200매의 사진을 촬영하였다. Library building은 건물구조가 비교적 단순하고, 사진촬영

조건이 양호하여 20매의 사진을 이용하였다. 대상물의 사진촬영은 광각렌즈를 주로 사용하여 근거리에서 촬영하였으며, 촬영거리 및 각도에 따른 사각지역은 표준렌즈와 망원렌즈를 조합하여 촬영하였다. 제작된 3D 영상모형은 Fig. 19와 같다.

지상라이다 데이터는 대상물을 매우 조밀한 포인트 클라우드 형태로 비교적 빠른 시간에 취득할 수 있으나, 데이터 량이 방대하고, 수백만 포인트로 이루어진 데이터로부터 3D 모형을 구축하는 데이터 처리과정에서 시간이 다소 소요되었다. 또한, 스캐너에서 취득된 파노라마 영상은 해상도가 낮고 사각부분이 발생하여 텍스처 제작을 위한 사진촬영이 요구되었다.

상기 실험 결과 자연 지형 및 고건축물, 유적지 등과 같이 복잡한 형태의 모델링에 적합하며, 건물과 같이 평면으로 정형화되어 있는 대상물의 3D 모형 구축에는 지상 사진측량기법이 보다 효율적인 것으로 판단되었다(Fiani and Siani, 2005; Gonzo et al., 2004; Pollefeys et al., 2000).

항공사진 및 항공라이다 데이터를 이용하여 제작된 지형

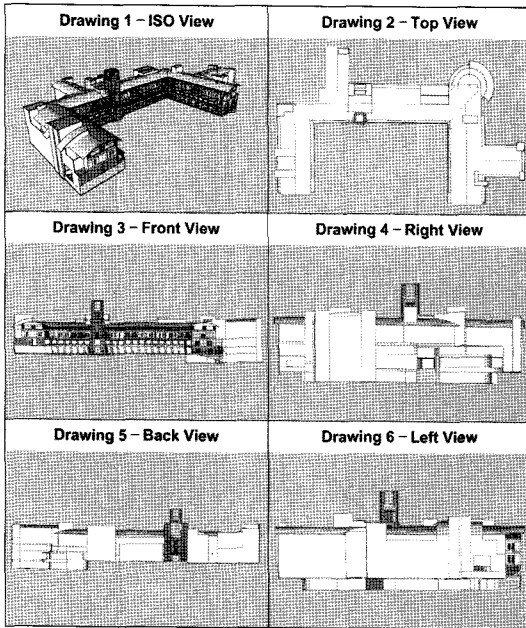


Fig. 19. 3D image model by close range photogrammetry

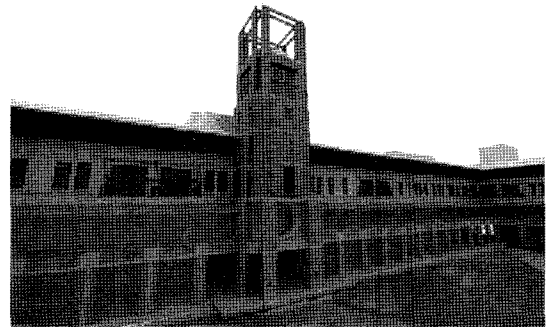


Fig. 21. LoD5 model of Quadrangle building

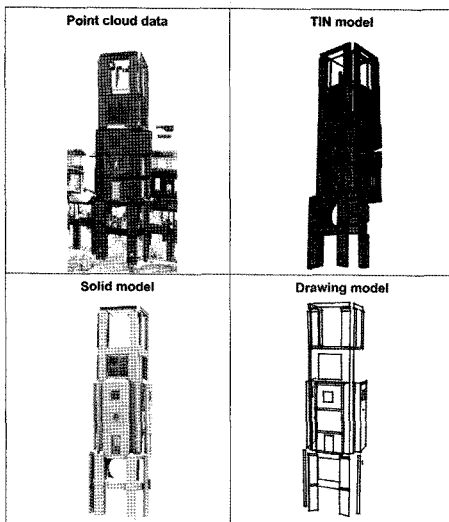


Fig. 20. 3D models from terrestrial LiDAR data



Fig. 22. LoD4 model of Library building

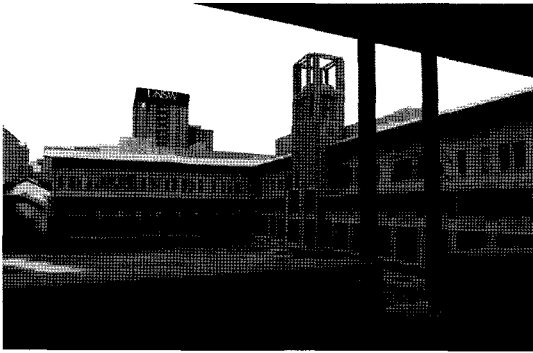


Fig. 23. Combination of 3D image models

모형과 지상사진측량기법으로 제작된 Quadrangle building의 LoD5 모형 및 Library building의 LoD4 모형은 Fig. 21, Fig. 22 및 Fig. 23과 같다.

### 3.4 특수지형의 3D 영상모형 구축

특수지형의 3D 영상모형을 구축하기 위하여 지상사진측량기법을 이용하였으며, 지상사진 촬영은 비치에 대한 수직사진을 취득할 수 없기 때문에 남북 절벽 상부 2개소의 위치에서 비치의 스테레오 영상을 촬영하였다. 해안침식절벽 2개소는 각각 절벽 전면에서 한 쌍의 스테레오 영상을 촬영하였다.

지리보정을 위해 대상지역에 3개의 GCPs를 선정하여 GPS측량을 실시하였고, 6매의 사진을 촬영하여 12개의 접합점을 취득하였다. 선정된 GPCs 성과와 스테레오 영상을 이용하여 영상매칭에 의한 사진측량기법으로 0.2m 간격으로 포인트 클라우드 데이터를 취득하여 3D 모형을 제작하고, 항공영상 및 지상사진으로 텍스처를 적용하여 3D 영상모형을 구축하였다.

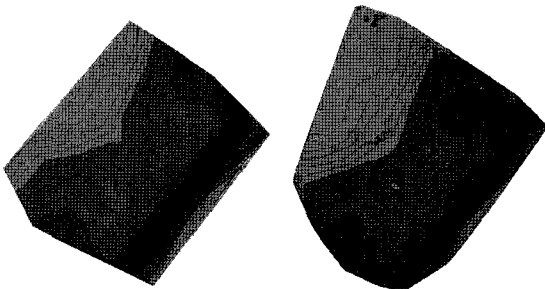


Fig. 24. DSM from RTK surveying and Photogrammetry method

비치의 3D 모형을 평가하기 위하여 GPS RTK 측량을 이용하여 약 5m 간격으로 측량하여 구축된 DSM과 지상사진측량을 이용하여 구축된 DSM을 비교하였다. 그 결과 Fig. 24와 같이 영상매칭에 의한 지상사진측량 기법이 적합함을 확인할 수 있었다.

Tamarama 비치 좌우에 위치한 40m, 150m 구간의 해안침식절벽에 대한 스테레오영상을 이용하여 Fig. 26, Fig. 28과 같이 3D 영상모형을 구축하였다.

실험대상인 Tamarama 비치와 해안침식절벽의 3D 영상모형은 Fig. 29와 같이 하나의 모형으로 통합하였고, Google Earth에서 제공하는 50m 급 저해상도 DTM과 항공영상을 이용하여 Fig. 30과 같이 Tamarama 비치 전체의 3D 영상모형을 구축하였다.



Fig. 25. TIN model of south cliff



Fig. 26. 3D image model of south cliff

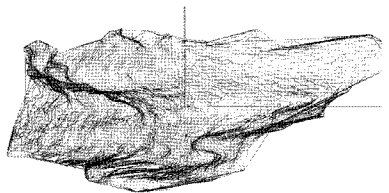


Fig. 27. TIN model of north cliff



Fig. 28. 3D image model of north cliff



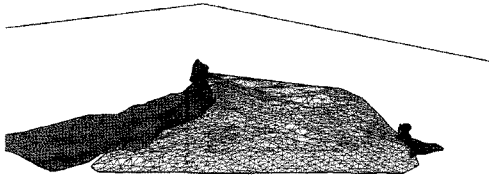


Fig. 29. TIN model of beach and cliff

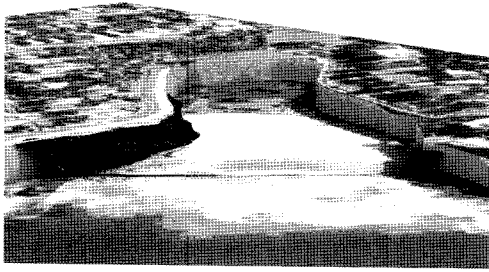


Fig. 30. 3D image model, aerial image and DTM

#### 4. 결과분석

본 연구에서 구축한 3D 영상모형의 정확도를 분석하기 위하여 Quadrangle building의 LoD5 모형을 대상으로 건물 주요부재의 길이를 Trimble VX 토털스테이션을 이용한 현장측량결과와 비교한 결과 RMSE는 2.216cm이었다.

또한, 3D 영상모형은 DXF, 3DS 및 3D 웹 표준인 X3D, VRML 및 KML 형식으로 제작하였으며, 자바플랫폼 및 Google Earth 환경에서 시뮬레이션을 통해 인터넷 지도서비스에서 활용 가능성을 분석하였다(Ewald and Coors, 2005; Wüst et al., 2004). Quadrangle building의 LoD 모형과 파일형식에 따른 자료 용량 및 비치와 해안침식절벽의 파일형식별 자료 용량은 Table 1과 같다.

구축된 3D 모형은 형식별로 자바, VRML 및 X3D 클

Table 1. File size of Quadrangle and Tamarama model

File Type		DXF	VRML	X3D	KML
Quadrangle	LoD1	57 KB	14 KB	30 KB	3 KB
	LoD2	79 KB	64 KB	65 KB	34 KB
	LoD3	925 KB	709 KB	879 KB	756 KB
	LoD4	9.12 MB	4.54 MB	5.32 MB	3.08 MB
	LoD5	15.7 MB	7.25 MB	8.11 MB	4.91 MB
Tamarama	Beach	3999 KB	1538 KB	1682 KB	230 KB
	NorthCliff	6563 KB	1369 KB	1508 KB	237 KB
	SouthCliff	8839 KB	1818 KB	873 KB	321 KB

라이언트에서 테스트 하였으며, 모두 좋은 결과를 얻을 수 있었으나, VRML의 경우 LoD4, LoD5 모형에서 데이터 로딩 및 모형의 회전, 이동시 다소 시간이 지체되었다. 실험에 사용한 클라이언트 소프트웨어는 Cortona VRML Client, Bitmanagement Software Contact VRML/X3D, Xj3D Browser, Flux Studio를 이용하였다. 또한, 인터넷

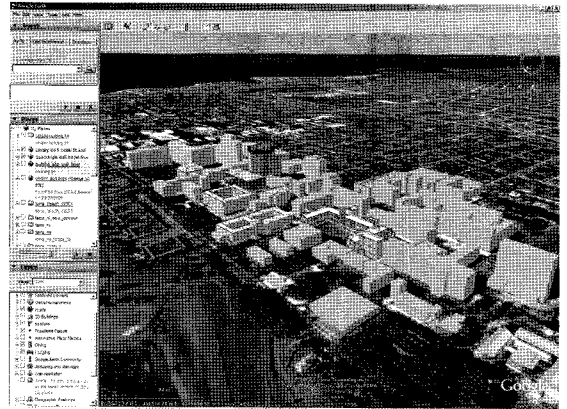


Fig. 31. LoD2 and LoD5 Model on Google Earth

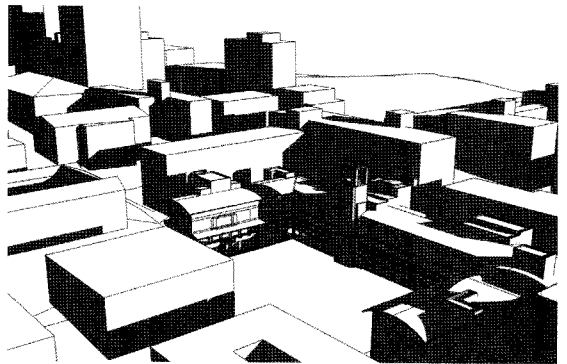


Fig. 32. Visualization example of shadow map

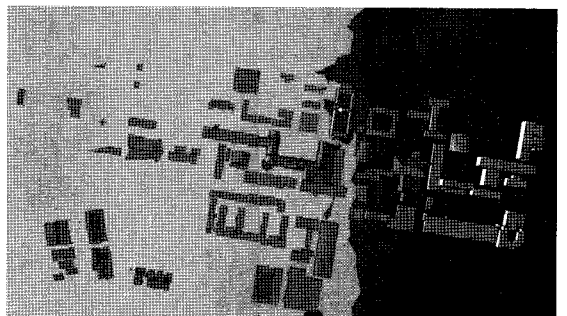


Fig. 33. Visualization example of flood map (height above sea level: 38 m)

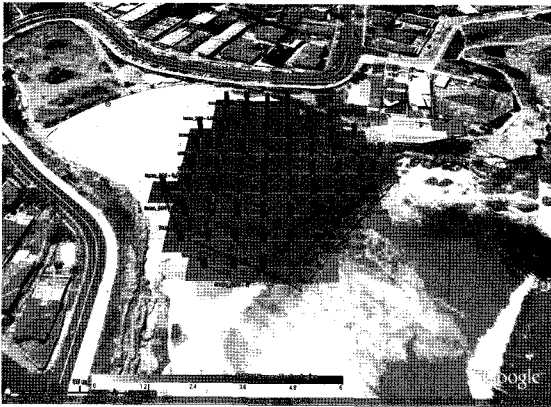


Fig. 34. Visualization example of elevation map for beach erosion

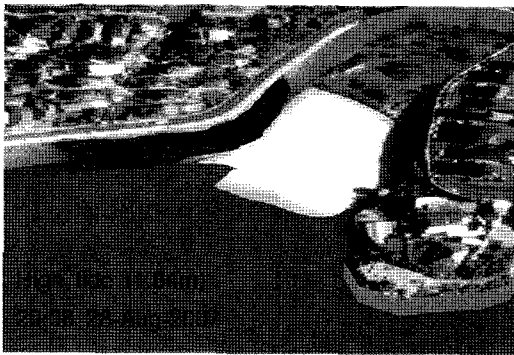


Fig. 35. Visualization example of tide map

지도서비스에서 구축된 3D 영상모형의 이용 가능성을 평가하기 위하여 Google Earth에서 테스트하였으며, 그 결과 건물 및 특수지형의 경우 모두 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

구축된 3D 영상모형은 조망권 및 경관 분석, 일조권 분석, 시설물 관리시스템, 소방, 방재 시스템, 안내 시스템, 문화재 관리시스템, 도시 계획 및 관리 시스템, 인터넷 부동산 서비스, 건설관리시스템, 내비게이션 시스템, 기존 3D GIS의 도형정보 갱신 등과 같은 각종 분야에서 활용될 수 있다(Gross et al., 2005; Pearce et al., 2007; 이계동 등, 2007; 이재기 등, 2004; 정성혁 등, 2003).

## 5. 결 론

인간은 입체시에 의해 물리적 형태로 구성된 3D 대상을 관찰하며, 인간의 시각체계인 망막에 비추어진 고해

상도의 상에 의해 대상물에 대한 정성적인 특징을 판단한다(Wolf and Dewitt, 2000). 이와 같은 인간 시각체계의 특성으로 인하여 CG 또는 저해상도 영상으로 제작된 3D 영상모형이나 고해상도 2D 영상을 기반으로 제작된 파노라마 VR(Virtual Reality)를 통해 정보사용자들이 사실감과 입체감을 느끼지 못하는 주된 원인이 된다. 따라서, 사용자가 3D 영상모형을 통해 대상을 입체적으로 인지하고 정성적 특성을 파악하기 위하여 대상물은 물리적으로 완벽한 3D 모형으로 제작되어야 하고, 영상왜곡이 보정된 고해상도 텍스처가 필수적으로 요구된다(Kersten et al., 2004).

본 연구에서 상기 서술한 내용에 충실한 사실적 3D 영상모형을 구축하고자 하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서는 인공지물과 특수지형을 대상으로 항공사진, 항공라이다, 지상사진 및 지상라이다 데이터를 이용하여 실험한 결과 위치정확도 및 사진과 같은 사실감을 확보한 3D 영상모형을 제작할 수 있었다.

2. 3D 영상모형은 이용목적 및 디스플레이 축척에 따라 표현요소를 구분하여 구축할 필요가 있으며, LoD(Level of Detail) 개념을 도입하여 건물의 3D영상모형을 5단계로 정의하였고 각 LoD모형을 제작하기 위한 적합한 축척기법을 제시하였다.

3. 대상물의 정성적 정보를 표현하는 텍스처를 제작하기 위하여 카메라 캘리브레이션 데이터를 이용하여 영상왜곡을 보정한 텍스처를 제작하고 영상 모자이크 기법을 이용함으로써 보다 사실감 있는 3D 영상모형을 제작하였다.

4. 기동, 창호, 출입문 등과 같은 동일 형상의 건물 부재를 반복적으로 재사용이 가능한 컴포넌트로 제작함으로써 3D 영상모형의 제작시간 및 파일용량을 줄일 수 있었으며, VRML, X3D, KML 형식으로 구축된 3D 영상모형은 전용 클라이언트 소프트웨어 및 Google Earth에서 시뮬레이션을 통해 인터넷 기반의 3D 영상지도 서비스 및 3D GIS 분야에서 활용할 수 있는 가능성을 평가하였다.

## 감사의 글

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-214-D00172).

## 참고문헌

- 이재동, 이재기, 정성혁 (2007), 3D 영상취득에 의한 매장문화재의 효율적 측정기법, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제25권, 제2호 pp. 157-163.
- 이재기, 정성혁 (2004), 산업사진측량을 이용한 터널의 천단 및 내공변위 관측, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권, 제3호, pp. 209-215.
- 정성혁, 유정훈, 손세원, 이재기 (2003), 근거리사진측량과 레이저스캐너를 이용한 문화재 정밀측정, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 493-496.
- Alshawabkeh, Y. and Haala, N. (2005), Automatic Multi-Image Photo-Texturing of Complex 3D Scenes, CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy, CD-ROM.
- Deng, F., Zhang, Z. and Zhang, J. (2005). Construct 3D City Model by Multi-Sensor Data, ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure, Hangzhou, China, pp. 187-190.
- Ewald, K. and Coors, V. (2005), Appraisal of standards for 3D City Models, Proceedings of the Ninth International Conference on Information Visualisation, pp. 157-162.
- Fiani, M. and Siani, N. (2005), Comparison of Terrestrial Laser Scanners in Production of DEMs for Cetara Tower, CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy, CD-ROM.
- Gonzo, L., El-Hakim, S., Picard, M., Girardi, S. and Whiting, E. (2004), Photo-Realistic 3D Reconstruction of Castles with Multiple-Sources Image-Based Techniques, Proceedings of ISPRS XXth Congress, Istanbul, Turkey: pp. 120-125.
- GoogleEarth, <http://earth.google.com>.
- Gross, H., Thoennesen, U. and Hansen, W.V. (2005), 3D Modeling of Urban Structures, IAPRS, Vienna, Austria, Vol. XXXVI Part 3/W24, pp. 137-142.
- Kersten, T., Pardo, C.A. and Lindstaedt, M. (2004), 3D Acquisition, Modelling and Visualization of North German Castles by Digital Architectural Photogrammetry, Proceedings of ISPRS XXth Congress, Istanbul, Turkey, pp. 126-132.
- Kokkas, N. and Smith, M. (2007), Automated 3D City Modelling and the Importance of Quality Assurance Techniques, ISPRS Hannover Workshop 2007, CD-ROM.
- Microsoft Virtual Earth, <http://map.live.com>.
- NSW MARITIME, <http://www.maritime.nsw.gov.au>.
- Pearce, J.M., Johnson, S.J. and Grant, G.B. (2007), 3D-Mapping Optimization of Embodied Energy of Transportation, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 51, pp. 435-453.
- Pollefeys, M., Koch, R., Vergauwen, M. and Gool, L.V. (2000), Automated Reconstruction of 3D Scenes from Sequences of Images, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 55, pp. 251-267.
- Sequeira, V., Ng, K., Wolfart, E., Goncalves, J.G.M. and Hogg, D. (1999), Automated reconstruction of 3D models from real environments, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, pp. 1-22.
- Trimble, <http://www.trimble.com>.
- Wikipedia, <http://www.wikipedia.org>.
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A. (2000), Elements of Photogrammetry with Applications in GIS - 3rd editions, pp. 147-163.
- Wüst, T., Nebiker, S. and Landolt, R. (2004), Applying the 3D GIS DILAS to Archaeology and Cultural Heritage Projects - Requirements and First Results, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX, CD-ROM.

(접수일 2007. 12. 16, 심사일 2008. 1. 25, 심사완료일 2008. 2. 21)