

전자지도를 이용한 3차원 가상공간 구축에 관한 연구

성 원 석

전남대학교 지역·바이오시스템공학과
(2009. 3. 23. 접수 / 2009. 12. 1. 채택)

A Study on Construction of 3D Virtual Space from Digital Map

WonSuk Sung

Department of Rural & Bio-systems Engineering, Chonnam National University
(Received March 23, 2009 / Accepted December 1, 2009)

Abstract : This study describes a construction procedure of 3D virtual space using the NGIS data and its application to simulation. 3D space topography is modeled by using DEM consisted with triangular regular network. The elevations of nodal points of DEM are calculated through the interpolation with contour line and elevation points from the NGIS. Also, data for 2D roads and their environments, such as trees, lamps, and traffic signals, were extracted from the NGIS and projected on the DEM surfaces to get 3D virtual space. To give a reality to 3D virtual space and accelerate its graphic speed, data were converted into the directX format. It is believed that the virtual space constructed in this work can be applicable to the ubiquitous because DEM data can be converted to the AutoCAD format and ASCII code.

Key Words : VR(virtual reality), NGIS(national geographic information system), DEM(digital elevation model), fixed vehicle driving simulator

1. 서론

3차원 가시화 기술은 추상적인 개념을 시각화하여 정보간의 상관관계와 요인분석에 효율적이기 때문에 최근 추상적이거나 복잡한 정보를 요하는 공학 또는 과학분야에서 정보를 시각화하려는 연구가 진행되고 있다¹⁻⁶⁾.

최근 GIS관련 가시화에 대한 연구로는 도시계획, 도시경관 업무를 합리적이고 과학적인 도시행정 의사결정을 위한 정보시스템⁷⁾, 다중센서로부터 획득된 시변정보를 이용하여 3차원 지형모델 생성에 관한 연구⁴⁾, 영상자료와 수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model)을 통해 3차원 지형 모델을 생성하는 방법에 관한 연구⁵⁾, 최신무선통신과 IT 기술을 이용하여 웹서비스를 기반으로 실시간 자연재해 피해정보관리 시스템개발⁵⁾, 원격탐사 자료를 이용하여 3차원 가상공간구축에 대한 방법론적인 연구⁶⁾ 등의 연구는 가시화에 중점을 두고 있다.

전자지도를 이용하여 시뮬레이터의 시각효과를 위한 가상공간^{1,2)}에서 지형은 2차원 평면이며, 도로

는 지면과 객체 구분을 하지않아 시각적으로 현실감과 입체감이 부족하며, 객체간 상호작용을 정의하기 곤란하다. 이는 도로안전과 시설물관리 등에 있어 효율적이지 못하다. 따라서, 입체감을 위해 지형을 3차원화 하고, 지형지물에 대한 객체를 구분할 필요가 있다.

본 연구는 전자지도를 이용하여 3차원 가상공간을 구축하기 위한 연구로서, 먼저 NGIS로부터 등고선 및 표고점을 추출하여 객체구분이 가능한 DEM을 생성하였다. 그리고 생성된 DEM에 건물, 도로, 신호등, 가로등과 같은 지형지물을 객체화하여 와이어 프레임으로 구성된 3차원 전자지도를 구축하였다. 3차원 전자지도에 texture mapping 기법을 적용하여 실제감 및 그래픽 재생속도를 보장하는 가상공간을 구축하였다. 가상공간의 개발환경은 전자지도로부터 DEM 및 지형지물의 와이어프레임 생성은 AutoCAD, AutoLISP을 적용하였으며, Visual C++, DirectX를 통해 가시화 하였다.

생성한 DEM은 표준 AutoCAD 포맷과 ASCII코드로 출력이 가능하여 호환성이 좋으므로 최근 다양한 서비스가 개발되는 LBS(Location Based Service)

및 유비쿼터스 환경에 적합할 것으로 판단된다. 또한 지리학, 의학, 토목공학, 산업공학, 통신, 애니메이션, 재해관리 및 통제 등을 위한 도시 및 도로 안전관련 시뮬레이션에 효과적인 지형모델로 적용될 것으로 판단된다.

2. 3차원 지형

현재 국내 표준 전자지도는 국립지리원에서 제작한 NGIS로 DXF¹⁴⁾형식으로 배포되고 있다. 또한 2차원상에 mapping된 지반 공간 데이터는 일련의 code¹²⁾에 따라 명명된 레이어에 저장되어 있다.

2.1. 고도정보

수치표고모델(DEM)은 인공구조물과, 수목, 바위 등의 자연물을 제외한 순수지형의 높이를 3차원으로 표현한 것이다. DEM의 기하학적 구조는 일정 간격을 가지는 규칙격자망(Regular Grid, Elevation Matrix)과 불규칙한 삼각형으로 구성된 불규칙격자망(TIN : Triangular Irregular Network)으로 분류할 수 있다. 규칙격자망은 지형을 잘 표현할 수 있는 장점이 있으나, 구성하는 삼각격자의 수가 불규칙격자망에 비해 많이 요구된다. 반면, 불규칙격자망은 적은 수의 삼각격자로 지형을 표현되나⁸⁾, 삼각형 크기에 따라 지형에 대한 외곡이 심하다.

NGIS에서 얻을 수 있는 지형의 고도에 관한 정보는 표고점과 등고선으로 한정된다. 표고점은 (x, y, z)의 구조를 가지고 있다. 표고점은 일정한 규칙 없이 분포하게 되나, 도로경계선 주변에서는 비교적 고른 분포를 나타낸다. 등고선은 n개의 점으로 구성되며, 고도를 속성(Elevation)으로 가지고 있다. 따라서 등고선 구성점은 (x, y, z)인 3차원 데이터를 갖게 된다.

2.2. 고도추정

규격화된 삼각형을 규칙적으로 연결하여 구성하는 규칙삼각격자망(TRN : Triangular Regular Network)구조로 3차원 지형인 DEM을 구축하기 위해서는 TRN을 구성하는 각 절점의 3차원 좌표가 필요하므로 각 절점의 고도를 NGIS정보를 이용하여 추정하여야 한다. 이에 대한 연구로 TIN 구축시 격자점을 선정하는 방식과 연산법¹⁰⁾에 대한 연구와 삼각망을 계층적으로 분할해 나가는 계층적 삼각망 구성¹¹⁾에 대한 연구에서 표본의 선택이 중요하다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 AutoCAD에서 전자

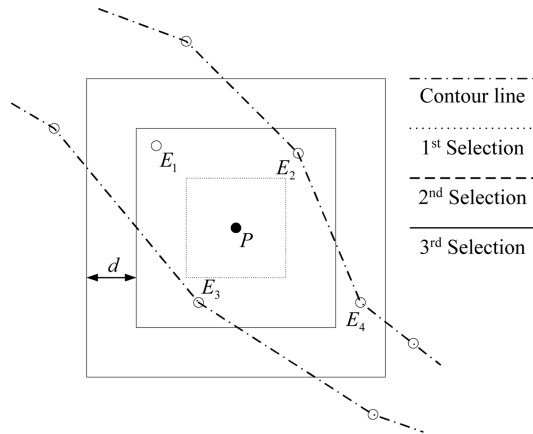


Fig. 1. Selection of sample points for determining elevation of point P.

지도를 호출하고 AutoLISP을 이용하여 그래픽상에서 표본을 선택하는 방법을 적용하여 빠른 연산속도를 확보하였다.

전자지도상의 임의점 P(x, y)의 고도값 z는 Fig. 1과 같이 P점의 주변 지형정보를 이용하여 추정할 수 있다. Fig. 1에서 점 E₁은 표고점이고, 점 E₂, E₃, E₄는 등고선을 구성하는 점들이다. 검색구역은 점 P를 중심으로 하는 원형구역을 검색하는 것이 일반적이거나, 본 연구에서는 검색의 편의를 위하여 사각형구역을 설정하였다.

점 P의 고도를 추정하기 위하여, Fig. 1과 같이 점 P를 중심으로 하여 검색구역에 존재하는 표고점과, 등고선 구성점 E_i의 개수가 원하는 표본수 n을 만족할 때까지 일정간격 d만큼씩 검색범위를 확장하여 검색한다. 점 P로부터 고도점 E_i까지의 xy평면상의 거리를 l_i라 할 때, 점 P의 고도 z_P는 식 (1)과 같이 근사화 할 수 있다.

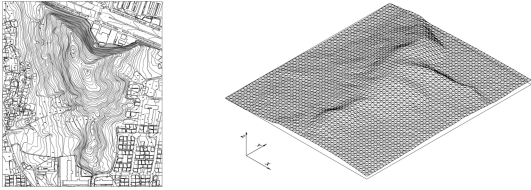
$$z_P = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n l_j^{-1} \right)^{-1} \frac{z_{E_i}}{l_i} \quad (1)$$

여기서 z_{E_i}는 점 E_i의 고도이다.

2.3. DEM 구축

DEM을 구축하기 위하여는 일정간격의 격자점들을 구하여 규칙삼각망을 구성하여야 한다.

본 연구에서는 Fig. 2(a)의 Digital map에 대해 격자간격 10m의 규칙삼각격자망을 구성하였다. DEM을 구성하는 격자점을 구하고, 고도는 표고점의 표본수를 4로 하여 추정하였다. 이들 격자점을 연결



(a) NGIS digital map (b) DEM : Triangular Regular Network
 Fig. 2. Construction of DEM for digital map.

하여 Fig. 2(b)와 같이 규칙삼각격자로 구성된 DEM을 구축하였다. 생성된 격자는 일정한 형태의 삼각형으로 반시계방향으로 연결하고, 그 결과를 별도의 레이어에 저장하였다.

작업도엽의 인접도엽 8개로부터 일정구역의 표고점과 등고점을 작업도엽의 DEM 구성을 위한 샘플링에 포함시켜 인접도엽간의 TRN이 일치할 수 있도록 하였다. 그러나, 인접도엽간 경계면이 일치하지 않는 문제로 경계면의 연결이 자연스럽게 못하였다. 이러한 문제 해결을 위한 연구가 필요하다.

TRN으로 구성된 DEM을 통해 지형지물의 구성점들의 고도 추정시 3개의 점만으로 고도를 추정할 수 있으므로 빠른 계산이 가능하다. 또한 DEM과 지형지물간의 연산에서 정규화된 DEM의 삼각형 요소로 인해 boolean연산이 규칙설정이 명확하고 연산이 빠르며, 이로 인해 객체간 상호작용의 정의가 용이하다.

3. 도로생성

DEM을 구축한 후에는 DEM에 3차원 도로를 구축하여야 한다. 전자지도로부터 추출가능한 도로 관련 정보는, 도로경계선, 도로중심선, 횡단보도, 신호등, 가로등, 가로수 등으로 모두 2차원 데이터이다. 또한 추출된 도로의 정보는 선이 끊어지는 등 완전하지 않으므로, 이를 수정보완하여 사용하여야 한다. 도로자료로부터 2차원 도로와 교차로를 생성하고, DEM에 투영하여 3차원 도로를 구축한다.

3.1. 2차원 도로

일반적으로 도로는 지형에 따라 폭 및 형태가 다양하여 도로구간을 정의하기 곤란하다. 또한 전자지도로부터 얻을 수 있는 도로정보는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 도로경계선 및 도로중심선으로 한정된다. 도로중심선은 도로폭을 2등분하는 선분이다. 도로중앙선에 대한 정보가 없는 관계로 본 연구에서는 도로중심선을 도로중앙선으로 하고, 차선수

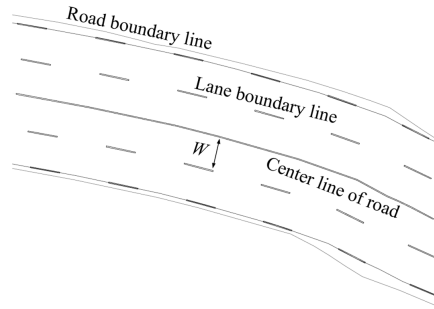


Fig. 3. Road region.

는 도로중심선과 차선경계선과의 거리를 고려하여 차선 수를 결정하였다. 이를 이용하여 도로를 차선구간과 그 외 구간으로 구분하여 모델링하였다.

도로는 도로중심선을 도로경계를 벗어나지 않도록 도로중심선을 차선 폭 W 만큼씩 평행이동시켜 Fig. 3과 같이 차선구간을 정의하였다. 차선이 존재하지 않는 영역은 노면 혹은 안전지대로 하여, 도로경계형태를 유지한 2차원 도로를 구축하였다.

도로의 차선은 일정간격으로 그어져 있고, 속도감을 주는 중요한 요소이다. 차선은 중앙선, 교차로 안내선, 그리고 차선구획선으로 구분하여 생성한다. 본 연구에서는 도로교통법의 노면표시규정에 따라, 백색 점선을 3m, 점선간격 5m, 그리고 황색선과 백색 점선의 폭을 0.1m로 하였다.

3.2. 2차원 교차로

교차로는 도로를 구성하는 데 있어 아주 중요한 요소이다. 그러나 전자지도상에는 교차로에 대한 별도의 정보가 없다. 따라서 본 연구에서는 도로중심선이 서로 교차하는 지역에 대해 단순화한 교차로 모델을 구축하였다.

단순 교차로 모델은 Fig. 3과 같이 도로중심선을 W 만큼씩 평행이동하고 외각 차선경계선간의 교점을 연결하여 Fig. 4와 같이 교차로 영역을 설정하였다.

단순화한 4거리교차로 모델을 나타낸 Fig. 4(a)는 도로중심선으로부터 가장 멀리 떨어진 차선 경계선간의 교점 ①~④를 반시계방향으로 연결하여 폴리곤(polygon)을 구성하고 이를 교차로영역으로 정의한 것을 나타낸 것이다. Fig. 4(b)의 3거리교차로는 Fig. 4(a)와 같이 차선 경계선과 도로중심선의 교점 ①~④를 반시계방향으로 연결하여 교차로 영역으로 정의한 것이다. 형성된 다각형의 교차로영역은 별도의 레이어에 각각 저장한다.

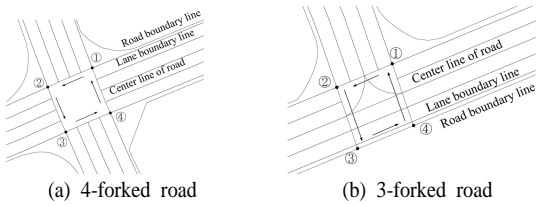


Fig. 4. Polygon schema of intersection area.

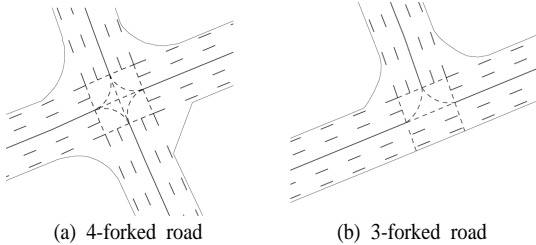


Fig. 5. Lane mark of forked road region.

교차로 안내선은 도로교통법에 따라 Fig. 5와 같이 교차로 안내선을 생성하였다. 생성된 차선 및 교차로 안내선을 2차원 도로면과 동일한 레이어에 저장하여 2차원 도로를 완성하였다.

3.3. 3차원 도로

다객체 DEM을 구성하기 위하여, DEM으로부터 도로영역을 분리할 필요가 있다. 3.2절에서 생성된 2차원 도로를 DEM에 투영하여 3차원 도로를 생성하였다. 이때 본 연구에서는 대상면을 원하는 방향으로 연장하여 도형간의 간섭영역을 생성한 후, 이 간섭영역을 별도의 레이어에 저장하였다.

DEM과 2차원 도로는 Fig. 6(a)에 나타낸 바와 같이 고도차로 인해 서로 간섭되는 영역이 없다. 2차원 도로면을 z방향으로 DEM의 최고 고도값 h 까지 extrude¹⁷⁾하여 Fig. 6(b)와 같이, DEM과 2차원

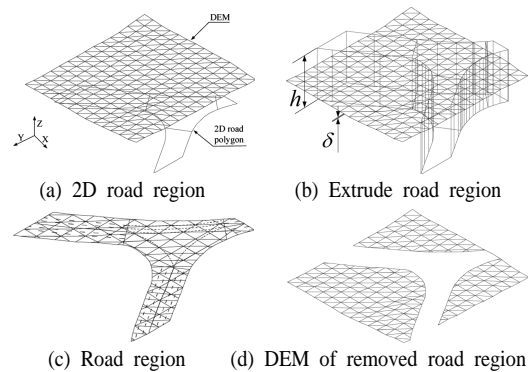


Fig. 6. Separate road surface from DEM.

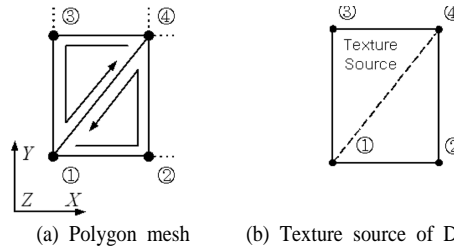


Fig. 7. Texture mapping scheme.

도로가 서로 간섭될 수 있도록 하였다. 이때, DEM의 extrude 방향은 $-z$ 이며, 크기는 미소량 δ 이다. Fig. 6(c)는 DEM 표면의 3차원 도로를 나타낸 것으로, Fig. 6(b)에 대해 interfere¹⁷⁾명령으로 추출한 것이다. 추출된 3차원 도로는 Fig. 6(a)의 DEM의 표면에 위치한다. subtract¹⁷⁾명령을 적용하여 DEM으로부터 3차원 도로를 분리하여 별도의 레이어에 저장한다. Fig. 6(d)는 3차원 도로영역을 분리한 DEM을 나타낸 것이다.

3.4. 텍스처 매핑(Texture mapping)

텍스처 매핑 기법을 사용하여 환경을 구축하였다. 다각형격자(Polygon mesh)는 spline¹⁷⁾ 명령을 이용하여 Fig. 7(a)와 같이 형성하였다. Fig. 7(b)의 texture source가 Fig. 7(a)와 같이 다각형 격자의 면 $\triangle 1\textcircled{2}\textcircled{4}$, $\triangle 1\textcircled{4}\textcircled{3}$ 으로 매핑된다. 이때, Fig. 7(b)의 texture source는 확대 또는 축소되어 Fig. 7(a)의 대응하는 면으로 매핑된다.

4. 도로주변 환경

가상공간에 실감을 주기 위해서 건물이나, 가로수, 가로등, 신호등과 같은 도로주변 환경을 구축할 필요가 있다.

4.1. 건물

가상현실을 위한 가상공간을 구축하기 위하여는 DEM 표면에 건물을 도시하여야 한다. 전자지도로부터 얻을 수 있는 건물 정보는 건물의 외곽선과 건물의 성격을 나타낸 기호로 한정되고, 건물의 높이정보는 얻을 수 없다. 건물 높이는 건물대장에 수록되어 있고, 건물대장에 수록된 건물을 검색하기 위해서는 지번도가 필요하다. 즉 지형도와 지번도, 건물대장의 연동을 통해 건물의 높이를 결정할 수 있다⁷⁾. 본 연구에서는 이러한 연동과정 대신 건물의 면적에 따라 건물의 높이를 결정하였다. 이

때 건물의 층간높이를 3.5m로 하였다.

NGIS로부터 추출한 개의 구성점을 갖는 건물의 고도를 DEM을 구성하는 격자점을 이용하여 구하였다. 이때 건물의 고도는 DEM의 표면으로부터 건물이 이격되지 않도록 지정하여야 한다. 먼저 건물의 구성점 P_i 의 수직상에 위치한 DEM의 규칙삼각 격자의 3점 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) 중 최저고도를 P_i 의 고도 z_p 로 한다. 그리고, 건물의 최종 고도는 z_p 중 가장 낮은 값을 건물의 고도로 하여 건물이 지면으로부터 들뜨는 것을 방지하였다.

4.2. 가로수, 가로등 및 신호등

가로수, 가로등, 신호등은 차선과 함께 속도감을 느낄 수 있도록 하는 중요한 요소이다. 이들은 NGIS에서 각각의 기호와 2차원 점좌표로 주어진다. 이들의 고도는 이들이 위치하는 DEM의 규칙삼각 격자를 구성하는 3점 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) 을 이용하여 다음과 같은 평면의 방정식으로부터 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_p - x_1 & y_p - y_1 & z_p - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

가상공간에서 가로수, 가로등, 신호등의 이미지는 디지털 영상으로부터 추출하여 특정 채널의 특정색을 투명 상태로 하는 Alpha blending 기법⁹⁾을 적용하여 Fig. 8과 같이 제작하였다. 이 이미지를 각각의 3차원 위치정보를 가지고 있는 ASCII 파일을 호출하여 해당위치에 위치시킨다.

텍스처 매핑 기법을 적용하여 렌더링한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. DEM의 표면에 건물이 이격되어 있지 않으며, 도로는 DEM의 표면에 위치한 것을 알 수 있다. 또한 가로수, 가로등, 신호등 등이 DEM의 표면에 위치한 것을 알 수 있다.

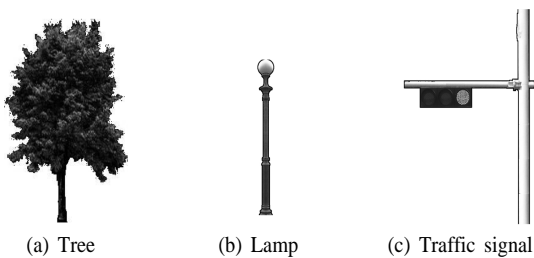
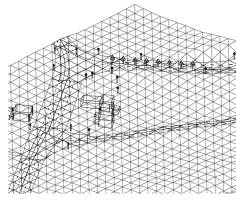


Fig. 8. Roadside environment images.

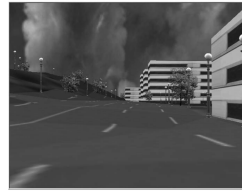


(a) Full 3D GIS



(b) 3D virtual space

Fig. 9. Rendering of 3D GIS.



(a) 3D virtual environment



(b) Real environment

Fig. 10. Appearance of 3D virtual space.

5. 가시화 및 응용

구축된 가상공간을 차량시뮬레이터¹⁾에 적용하여 운전환경을 설정하였다. 주행시뮬레이션 중 운전자가 바라본 가상공간을 Fig. 10(a)에 나타내었으며, 이때의 실제환경을 Fig. 10(b)에 나타내었다. Fig. 10에서 위치정보의 좌표는 Korea-TM 좌표계에 따른 값이다.

Fig. 10(a) 주행시 가로등 및 가로수 그리고 차선 등으로 속도감을 느낄 수 있었으며, 도로 주변의 건물은 현실적인 느낌을 주었다. 그러나, 주행시뮬레이션의 경우 교통량에 따른 주변 차량이나, 도로 노면등을 고려하지 않아 현실감이 부족하였다. 따라서 노면 조건 및 교통량에 따른 주변 차량 및 주변 환경 조성에 대한 차후 연구가 필요하겠다.

Korea-TM좌표에 따른 위치를 나타낼 수 있으므로 GPS 등에서 수신되는 WGS-84를 변환하여 사용하면, 구축된 가상공간은 유비쿼터스 환경 구축, GPS(Global Positioning System), 및 LBS 등과 같은 지형관련 서비스에 공간데이터로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 주행시뮬레이션, 교통시뮬레이션, 도시환경 시뮬레이션 등에 활용할 수 있을 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 국립지리원에서 배포하는 NGIS 데이터를 이용하여, 규칙삼각망으로 구성된 DEM을 구축하였다. DEM 구성시 그래픽 상태에서 표본

을 선택하여 데이터 검색 속도를 최소화하여 빠른 DEM 생성이 가능하도록 하였다. 또한, 2차원 지형 지물에 대한 정보를 추출하고 면적에 따른 건물의 높이를 지정하여 DEM에 위치시켜 3차원 와이어 프레임으로 구성하였다. 텍스처 매핑 기법을 통해 3차원 가상공간을 구축하여 3차원 가상공간 시뮬레이션을 수행하였다.

3차원 가상공간의 가시화 및 차량의 공간좌표에 따른 시뮬레이션을 수행한 결과 직관적인 차량의 위치 파악과 지형지물에 대한 3차원 위상정보로 인해 적절한 속도감과 도로의 고도차등에 따른 입체감을 느낄 수 있었다. 그러나, 주변 차량이나, 노면 조건 및 교통량에 따른 주변 차량 및 주변환경 조성에 대한 차후 연구가 필요하다.

생성된 DEM과 3차원 전자지도는 표준AutoCAD 포맷과 ASCII코드로 출력이 가능하여 호환성이 좋으므로 최근 다양한 서비스가 개발되는 LBS 및 유비쿼터스 환경에 적합할 것으로 판단된다. 또한, TRN으로 구성된 DEM은 재해관리 및 통제 등을 위한 도시 및 도로 안전관련 시뮬레이션에 효과적인 지형모델로 적용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Im, Hyung-Eun, Sung, Won-Suk, Hwang, Won-Gul, and Ichiro, Kageyama, "Modeling of Roads for Vehicle Simulator Using GIS Map Data", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 1229-8557, Vol. 6, No. 4, pp. 3~7, 2005.
- 2) Yang, S. D., "A Study for Development on Real-time Vehicle Simulator System", Chonnam Nat. Univ., Master thesis, 2002.
- 3) R. Tonjes, "3D Reconstruction of Objects from Aerial Images using a GIS", ISPRS Joint Workshop on "Theoretical and Practical Aspects of Surface Reconstruction and 3-D Object Extraction", Haifa, Israel, September 9~11, 1997.
- 4) S. Gowe, P. Schulze, R. Tonjes, "3D Visualization and Evaluation of Remote Sensing Data", Computer Graphics International(CGI'98), 1998.
- 5) 김태훈, 김계현, 심재현, 최우정, "웹GIS를 이용한 실시간 자연재해 피해정보 관리시스템 개발에 관한 연구", 한국공간정보시스템학회, 한국공간정보시스템학회 논문지, 제10권, 제4호, pp. 103~107, 2008.
- 6) 정명희, 윤의중, "원격탐사 영상의 3D 시각화와 데이터베이스의 활용", 대한전자공학회, 전자공학회논문지-CI, 전자공학회논문지, 제45권 CI편, 제3호, pp. 40~46, 2008.
- 7) 정대영, 손영기, 안상현, "GIS기반의 건축물관리 대장 DB구축 및 정보시스템 개발에 관한 연구", 한국부동산학회, 부동산학보 不動産學報 第34輯, pp. 318~332, 2008. 8.
- 8) Mark, D. M., "Geomorphometric parameters : a review and elevation", Geografiska Annaer, 57A, pp. 165~177, 1975.
- 9) Chen, Z. T., and Guevara J. A., "Systematic Selection of Very Important Points(VIP) from DTM for constructing TIN", Proceedings of Auto-Carto, Vol. 8, pp. 50~56, 1987.
- 10) Floriani, L. D., Falcidieno, B., Nagy, G., and Pienovi, C., A hierarchical structure for surface approximation, Compute & Graphics, Vol. 8, No. 2, pp. 183~193, 1984.
- 11) Losa, D. L. A., Cervelle, B., "3D Topological modeling and visualisation for 3D GIS", Computers & Graphics, Vol. 23, pp. 469~478, 1999.
- 12) Abanmy, Fahd A., "Grid-Based DEM Generation using Existing DEM Information", Ph. D. Dissertation, University of Wisconsin, Madison, 1995.
- 13) Kim, G. H., "Road Management Information System Construction with Geographical Information System", Hongik Univ., Master thesis, 1995.
- 14) Telecommunications Technology Association, "A Standard for the National Base Map for National Geographic Information System (NGIS) Terrain Feature and Attribute Code Ver. 1.1", 1998.
- 15) Adams, Jim, "Programming Role Playing Games with DirectX", The Premier Press, Course Technology PTR, 2002.
- 16) Autodesk, DXF Reference Guide, 2009.
- 17) Autodesk, AutoCAD User's Guide, 2009.