

3차원 심볼을 활용한 3차원 수치지도 제작에 관한 연구

Construction of 3D Digital Maps Using 3D Symbols

박승용¹⁾ · 이재빈²⁾ · 유기운³⁾ · 김용일⁴⁾

Park, seungyong · Lee jaebin · Yu, kiyun · Kim, yongil

Abstract

Despite of many researches related to create 3D digital maps, it is still time-consuming and costly because a large part of 3D digital mapping is conducted manually. To circumvent this limitation, we proposed methodologies to create 3D digital maps with 3D symbols automatically. For this purpose, firstly, the 3D symbol library to represent 3D objects as 3D symbols was constructed. In this library, we stored the attribute and geometry information of 3D objects which define types and shapes of symbols respectively. These information were used to match 3D objects with 3D symbols and extracted from 2D digital maps and LiDAR(Light Detection and Ranging) data. Then, to locate 3D symbols into a base map automatically, we used predefined parameters such as the size, the height, the rotation angle and the center of gravity of 3D objects which are extracted from LiDAR data. Finally, the 3D digital map in urban area was constructed and the results were tested. Through this research, we can identify that the developed algorithms can be used as effective techniques for 3D digital mapping.

Keywords : 3D object, 3D symbol library, automatic symbol mapping, 2D digital maps, LiDAR data

초 록

최근 몇 년 동안 많은 연구에서 3차원 수치지도를 효율적으로 제작하기 위한 방법론들이 제시되어 왔으나 3차원 수치지도를 제작하는 과정은 아직도 많은 부분들이 수작업이나 반자동 기법에 의존하고 있다. 이는 3차원 수치지도의 제작 및 표현에 많은 시간과 비용을 소요시키게 되므로 3차원 수치지도의 활용성을 저하시키는 주요한 원인이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 3차원 객체들을 심볼(symbol)의 형태로 표현하고 이를 자동으로 3차원 지형지도에 안착시킴으로써 3차원 수치지도제작을 효율적으로 수행하기 위한 방법론을 제시하였다. 이를 위해 3차원 심볼 라이브러리(library)를 구축하였으며, 2차원 수치지도와 항공레이저측량 자료를 활용하여 심볼의 분류 및 자동 안착을 위한 요소 값들을 결정하였다. 마지막으로 구축된 알고리즘의 평가를 위해 실제 측량자료들을 활용하여 3차원 수치지도를 작성하고, 작성된 지도에 대해 심볼 선택 및 자동안착 과정에 대한 오류 검사를 수행함으로써 구축된 3차원 수치지도의 활용 가능성을 평가하였다. 그 결과 본 연구로부터 구축된 방법론들은 3차원 지도를 작성하는데 있어 안정적이고 효과적인 방법론으로써 사용될 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심어 : 3차원 객체, 3차원 심볼 라이브러리, 3차원 심볼 자동안착, 2차원 수치지도, 항공레이저측량 자료

1. 서 론

21세기 지식정보화 사회에 진입하면서 국가지리정보시

스템, 대규모 건설사업, 자동차 자동항법시스템, 웹 지도 서비스 등의 다양한 분야에서 실세계를 3차원으로 표현할 수 있는 3차원 지리정보에 대한 수요가 급증하고 있

1) 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:slpak1@snu.ac.kr)

2) 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:dama77@snu.ac.kr)

3) 연결저자 · 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수(E-mail:kiyun@snu.ac.kr)

4) 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수(E-mail:yik@snu.ac.kr)

다. 특히, 하드웨어, 통신 및 자료처리 소프트웨어 기술의 발달로 인해 컴퓨터 공간상에서 다루어지는 수치 공간 정보는 2차원에서 3차원의 자료로 확장되어 가고 있으며, 이는 2차원 자료로부터 획득할 수 있는 정보의 한계성을 극복하고 실제세계를 보다 현실적으로 단말기 화면을 통해 이용하려 하는 사용자의 요구에 기인하고 있다.(손정영, 2001; 허병희, 1994) 이러한 3차원 수치 공간정보는 사이버 공간에서 현실세계 접근에 대한 용이성을 증가시키며 공간분석 및 의사결정에 효율적으로 이용되므로 활용가치가 매우 높다고 할 수 있다.(이엔지정보기술, 2003, 2004) 하지만 이러한 3차원 공간정보의 대표적인 형태인 3차원 수치지도의 제작은 관련된 많은 연구에도 불구하고 여전히 많은 시간과 비용이 소요되는 작업이다.(Fruh, 2001, 2003; Sidiropoulos, 2006; Zhou, 2004) 이는 3차원 수치지도의 제작 시 실제 세계에 존재하는 3차원 객체들을 표현하는 과정에서 주로 발생하게 된다. 따라서 이를 효율적으로 표현하기 위해 공간상에 존재하는 3차원 객체들을 대응하는 3차원 심볼로써 표현하고 활용하는 방법론들이 제시되어져 왔다.(Bandrova, 2001, 2005; company, 2004, Wu, 2005; Zlatanova, 1998) 하지만 이들 연구에서도 여전히 3차원 심볼을 공간상에 안착시키는 과정이 수동으로 이루어져왔으며 사용되는 심볼 또한 특정 3차원 객체들에 매우 한정적으로 사용되었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 제약조건 및 3차원 수치지도 구축의 어려움들을 극복하기 위해 3차원 심볼을 활용한 3차원 수치지도 구축 방법론들을 제시하였다. 이를 위해 첫째, 3차원 수치지도 제작에 사용될 3차원 심볼들에 대한 라이브러리(library)를 구축하였다. 구축된 라이브러리 상에 존재하는 3차원 심볼들은 국토지리 정보원에서 제공하는 2차원 수치지도의 레이어(layer)에 따라 분류되어 제작되었으며 각각의 심볼들은 속성정보(attribute information)와 형상정보(geometry information)을 갖는다. 속성정보들은 3차원 객체를 분류하는데 사용되며 형상정보들은 대응하는 3차원 객체의 크기와 형태를 표현하기 위하여 사용된다. 둘째, 구축된 3차원 심볼 라이브러리 상의 심볼들을 기 구축된 3차원 지형지도(terrain map) 상에 자동으로 안착시키기 위한 방법론을 개발하였다. 이때 사용되는 요소 값들은 항공레이저측량 자료 및 2차원 수치지도로부터 취득된다. 마지막으로 실제 대상지역에 본 연구에서 제시된 방법론들을 적용하여 3차원 수치지도를 구축하고 제작된 지도의 정확도와 효용성을 평가하였다.

2. 3차원 심볼 라이브러리의 구성

3차원 공간상에 존재하는 3차원 객체들을 3차원 심볼로 표현하기 위해서는 대응되는 심볼들이 특정한 분류 기준에 따라 데이터베이스화 형태로 존재하여야 한다.(ESRI, 2004) 따라서 본 연구에서는 3차원 수치지도 제작을 위한 과정의 일환으로 3차원 심볼들에 대한 라이브러리를 구축하였다. 구축된 3차원 심볼 라이브러리는 각각의 심볼들에 대한 공간형상 정보와 속성정보를 가지며 이는 3차원 객체를 효과적으로 분류하고 표현하기 위한 수단이 된다. 본 연구에서 구축된 3차원 심볼 라이브러리는 국토지리정보원에서 제작한 1:1,000 대축척 2차원 수치지도의 레이어 중 건물 레이어(layer)에 정의된 3차원 객체들에 대하여 작성되었다.(윤창열, 2005; 이동천, 2005) 또한 형상 및 색상의 경우 분류항목에서 가장 일반적인 형상을 이용하였으며 색상의 경우 시각화를 위해 베이스 맵과의 대비가 좋은 색상을 선정하였다. 다음의 표 1은 본 연구에서 대상으로 하는 3차원 객체들의 분류항목을 보여준다.

2.1 3차원 심볼 형상정보

본 연구에서 제시된 분류항목에 따라 3차원 심볼의 형상을 정의하고 3D max를 이용하여 심볼을 제작하였으며 이에 따라 3차원 심볼 라이브러리를 구축하였다. 다음의 표 2는 본 연구에서 구축한 3차원 심볼 라이브러리 상에 존재하는 심볼들의 형상들을 보여준다.

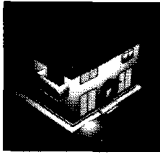
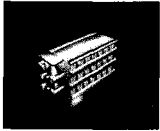
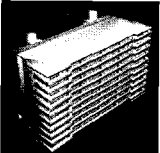
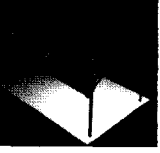

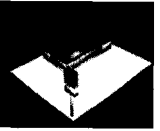
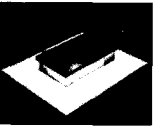
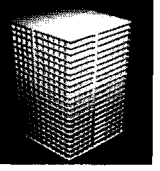

2.2 3차원 심볼의 속성정보

구축된 3차원 심볼 라이브러리 상의 심볼들을 대응하는 3차원 객체에 따라 분류하고 객체의 크기 및 형태 정보를 표현하기 위해서는 이를 표현하기 위한 속성정보가

표 1. Library에서 사용된 분류

Class code	class name	object type
AAA001	일 반 주 택	Polygon
AAA002	연 립 주 택	Polygon
AAA003	아 파 트	Polygon
AAA004	무 벽 건 물	Polygon
AAA005	온 실	Polygon
AAA006	공사중건물	Polygon
AAA007	가 건 물	Polygon
AAA008	빌 딩	Polygon
AAA999	기 타	Polygon

표 2. 3차원 심볼의 형태

class ID	항목명	심볼의 형태
AAA001	일 반 주 택	
AAA002	연 립 주 택	
AAA003	아 파 트	
AAA004	무 벽 건 물	
AAA005	온 실	
AAA006	공 사 중 건 물	
AAA007	가 건 물	
AAA008	빌 딩	
AAA999	기 타	

필요하다. 본 연구에서는 2차원 수치지도와 항공레이저 측량 자료로부터 추출되는 3차원 객체들에 대한 정보를 저장하고 이를 심볼들에 반영하기 위해 아래에 정의된 속성 값들을 사용하였다.

2.2.1 심볼 분류항목(Class ID)

구축되어진 3차원 심볼 라이브러리로부터 3차원 수치지도 상에 표현될 3차원 객체에 대응하는 심볼들을 탐색하고 심볼들을 분류하기 위해서 본 연구에서는 CLASS ID 필드를 이용하여 심볼들을 각각의 고유 ID로 정의하였다. 3차원 객체의 ID는 2차원 수치지도의 레이어로부터 취득되며 이를 통해 3차원 심볼 라이브러리 상에서 대응되는 3차원 객체에 대한 탐색이 이루어지게 된다.

2.2.2 심볼의 크기(X와 Y)

2차원 평면상에서 심볼의 크기 및 형상을 표현하기 위한 요소로서 본 연구에서는 X와 Y 필드로 정의 하였다. X와 Y 값들은 2차원 수치지도의 폴리곤 정보로부터 획득되어 사용되어 진다.

2.2.3 심볼의 높이(Z)

3차원 공간상에서 심볼의 높이를 결정하기 위 한 요소로써 본 연구에서는 Z 필드로 정의 하였다. 심볼의 높이를 결정하기 위한 요소 값 Z는 수직정확도가 높은 항공레이저측량 자료를 이용하여 취득하였다. 먼저 항공레이저측량 자료를 2차원 수치지도의 각 폴리곤에 대해 분할하고 분할된 항공레이저측량 자료의 높이 값을 산술평균하여 산출한다.

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n GH_i \quad (1)$$

여기서, h는 각 폴리곤의 높이이며 GH는 폴리곤에 포함된 항공레이저 측량자료 중 각 포인트의 높이 값이다. 그림 1은 폴리곤과 항공레이저측량자료를 보여주고 있다.

2.2.4 심볼의 면적(A)

심볼의 면적 결정은 3차원 객체의 면적을 2차원에 투영시킴으로서 결정된다. 이는 2차원 수치지도의 폴리곤



그림 1. 분할된 폴리곤과 항공레이저 측량자료

정보로부터 얻어지며 다음의 식으로 계산되어진다.

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2)$$

여기서, A는 수치지도 폴리곤의 넓이, x_i, y_i 는 폴리곤을 이루고 있는 절점의 좌표이며 폴리곤은 폐합되었다고 가정한다. 또한, 심볼의 투영면적과 실제폴리곤의 면적 사이에 중첩 불일치로 인하여 다음과 같이 안전율을 고려한 면적을 심볼의 최종면적으로 산출하여 적용하였다.

$$SA = (1+a)S * TfeatArea \quad (3)$$

여기서, SA는 심볼의 최종면적, a는 안전율, S는 축척계수이고 TfeatArea는 안착을 위한 실제 폴리곤의 넓이다.

3. 3차원 심볼의 자동 안착

3차원 수치지도를 3차원 심볼을 활용하여 제작하기 위해서는 정의된 심볼들을 대응되는 3차원 객체가 존재하는 위치에 안착시키는 과정이 필요하게 된다. 본 연구에서는 다음과 같은 요소 값들을 정의하고 활용함으로써 이 과정의 자동화를 위한 방법론을 개발하였다. 다음은 3차원 심볼의 자동 안착을 위해 사용되는 요소 값들이다.

3.1 심볼의 무게중심(X_i, Y_i)

심볼의 무게 중심 좌표(X_i, Y_i)는 심볼의 자동안착을 위한 기본적 요소로서 심볼에 대응되는 3차원 객체의 중심 위치를 제공한다. 이는 다음의 식으로 표현되어 진다.

$$X_i = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$Y_i = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (4)$$

여기서, (X_i, Y_i)는 폴리곤 무게중심 값이고, (x_i, y_i)는 폴리곤을 이루고 있는 절점들의 좌표이며, x_n 은 x_0 이 된다고 가정함으로써 폴리곤이 폐합되었다고 가정한다. 또한 A는 심볼의 2차원 면적을 의미한다.

3.2 회전요소(θ)

공간상에서 심볼의 방향성을 결정하기 위하여 기준 좌표계에 대한 3차원 객체의 회전각을 이용한다. 이는 3차

원 객체를 2차원 평면상에 투영하고 투영된 면의 최대변장을 결정한 후 이 변의 방위각을 구함으로써 얻어진다. 이는 다음의 식으로 표현된다.

$$\theta = \text{getangle}(ML) \quad (5)$$

여기서, θ 는 회전각이고, ML은 2차원 평면상에 투영된 3차원 객체의 최대변장을 가지는 변의 좌표이며 getangle은 이로부터 기준좌표계에 대한 방위각을 구하기 위한 함수이다.

4. 실험 및 평가

4.1 연구지역

연구 대상지역은 대전광역시 서구 정부종합청사주변의 주택지로 주로 아파트 건물과 빌딩 건물이 밀집된 지역으로 선정하였으며 그림 2는 본 연구에서 사용된 연구 대상지역의 항공레이저측량 자료와 항공사진, 수치지도를 보여준다.

4.2 3차원 수치지도 제작

4.2.1 3차원 지형지도 제작

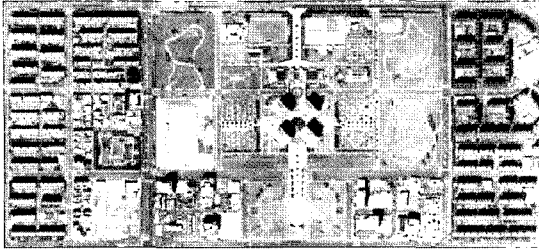
3차원 심볼 사용의 목적은 3차원 공간정보구축의 편리함과 3차원 시각화의 유용성이다. 본 연구에서는 3차원 시각화를 위해 배경이 되는 3차원 베이스 맵을 항공사진을 이용하여 구축하였다. 이 베이스 맵은 동일한 좌표로 기하보정 된 항공레이저측량 자료로부터 구축된 DEM과 항공사진을 이용하여 제작하였다.

다음 그림 3은 3차원 베이스 맵의 구축과정을 보여주고 있다.

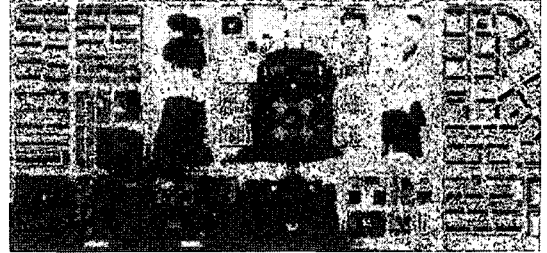
4.2.2 3차원 심볼을 활용한 지도제작

심볼을 이용한 지도제작과정은 그림 4(a)의 흐름도와 같으며 선택된 객체의 class ID 에 부합되는 심볼을 선택하여 심볼의 속성을 연결시켜 형상을 구성한 후 자동안착 요소에 맞게 위치를 정하고 방위각을 이용하여 안착하게 된다.

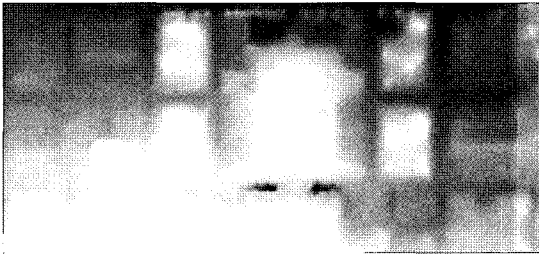
이러한 심볼의 형상과 안착을 위한 과정은 자동화된 과정으로 이루어지며 그림 4(d)는 그 과정을 보여주고 있다. 그림 4(b),(c)는 각각 심볼 속성 테이블과 안착정보를 보여주고 있다. 또한 그림 4(e),(f)는 안착된 후의 3차원 시각화 화면을 보여주고 있다.



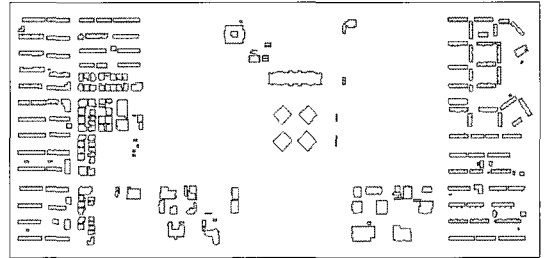
(a) 항공사진



(b) TIN(항공레이저측량 자료 이용)

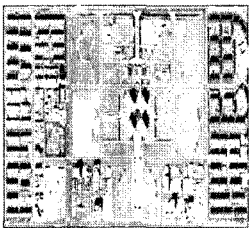


(c) DSM(항공레이저측량 자료 이용)

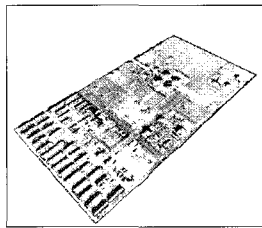


(d) 2차원 폴리곤(1:1000 수치지도 이용)

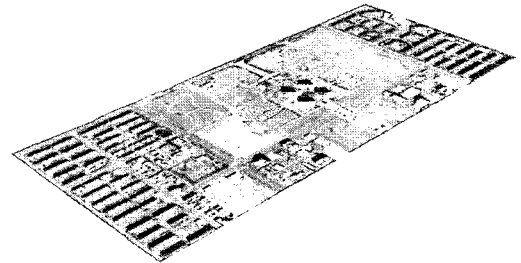
그림 2. 연구 대상지역



(a) 항공사진

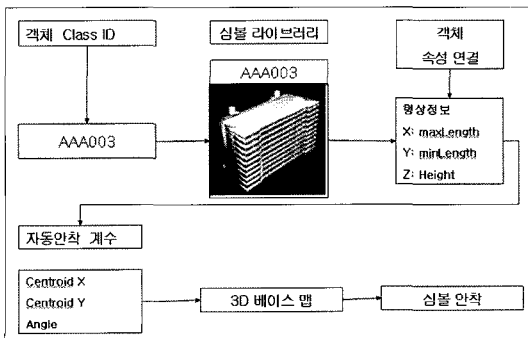


(b) 항공사진과 DEM 중첩



(c) 제작된 베이스 맵

그림 3. 3차원 베이스 맵 구축과정



(a) 심볼 안착 과정 흐름도

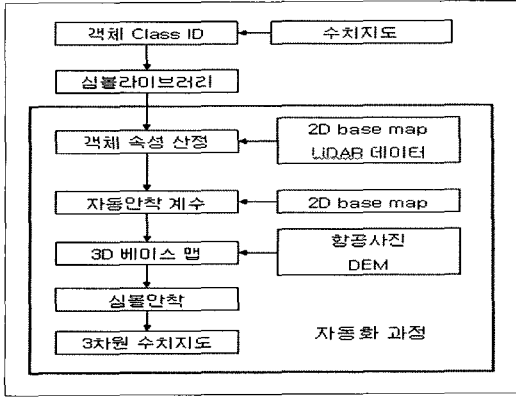
Area_1	X_length	Y_length	Z_1
20,065199	13,352730	1,502704	21,874681
20,237804	6,408387	3,158018	19,465854
20,295378	7,556026	2,684920	25,515490
20,332094	7,238018	2,809069	21,332547
20,399156	12,143991	1,679774	21,277183
20,493956	7,536014	2,719469	23,209512

(b) 객체 속성 테이블

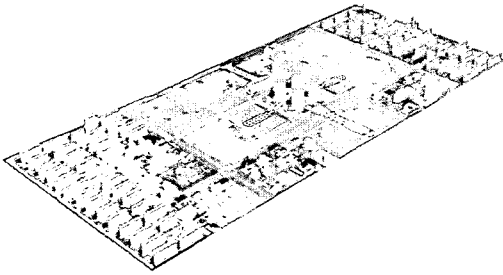
angle_1	Cen_X	Cen_Y
-44	234715,940216	318517,779256
84	234090,768494	318564,124829
-45	233848,720741	317963,374244
-20	233615,337408	318144,863726
-37	234038,650232	318168,147136
19	233725,964344	317913,680557

(c) 객체 자동안착 정보

그림 4. 3차원 심블이용 지도제작과정(계속)



(d) 자동화 과정



(e) 구축된 3차원 지도(심블이용)



(f) 구축된 3차원 지도 확대화면(심블이용)

그림 4. 3차원 심블이용 지도제작과정

4.3 검증

심블을 활용한 3차원 지도제작 과정에 대한 평가는 심블 안착의 정확도 평가와 3차원 수치지도제작 후의 시각적 평가를 수행하였다.

4.3.1. 심블 안착의 정확도 평가

심블 안착의 정확도 평가는 첫째, 2차원 폴리곤의 형태

표 3. 심블 안착의 정확도 분석

클래스ID	객체의 수	면적의 중첩비율(%)	둘레길이 비율(%)
AAA001	11	91.57	96.32
AAA002	0	0	0
AAA003	80	98.39	95.42
AAA004	25	99.31	95.94
AAA005	0	0	0
AAA006	2	95.80	87.23
AAA007	16	91.46	98.24
AAA008	104	96.33	93.23
AAA999	0	0	0
Σ	238	96.80	94.40

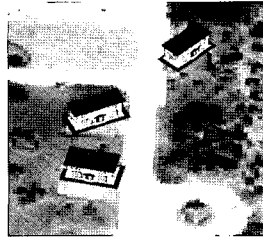
에 심블의 투영면적을 중첩시킨 중첩비율과 둘레, 심블의 둘레길리와 2차원 폴리곤의 둘레길이 비율을 계산하는 것으로 수행되었다. 표 3에서 심블 안착의 정확도의 경우 중심좌표는 기준이 되는 2차원 폴리곤과 심블들이 같은 중심좌표를 사용하며 maxlength의 경우 수치지도의 편집 오류로 인해 일반화의 과정을 수행한 후 평가한 결과 심블의 크기와 같을 수 있었으며 회전각 또한 건물의 회전 방향과 일치함을 확인 할 수 있었다. 면적 중첩비율의 경우 본 연구에서 제시된 안전율은 고려하지 않은 상태로 폴리곤 면적에 대한 심블의 중첩비율을 계산한 것으로서 복잡한 폴리곤 형상과 심블의 불일치로 인해 차이가 나지만 원 형상을 왜곡시킬 만큼의 오차는 생기지 않았다. 둘레길리의 비율은 폴리곤 둘레길리에 대한 심블의 둘레길이 비율을 나타낸 것으로서 서로간의 불일치가 존재하지만 이 또한 허용할 수 있는 범위 내에 있다고 판단된다.

4.3.2 시각적 평가

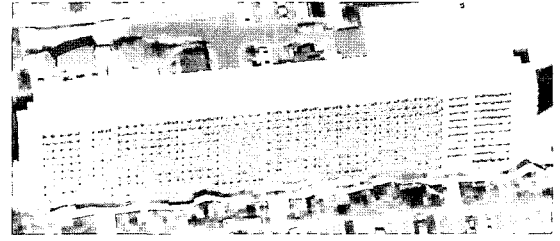
시각적 평가는 실제 3차원 심블들을 베이스 맵에 안착시켰을 경우의 시각적인 일치정도를 위주로 평가 하였으며 이를 위해 그림 5(d),(e)처럼 단순 폴리곤의 3차원화와 비교하였다. 시각적으로 보면 그림 5(c),(f),(g)의 아파트 및 빌딩 과 같은 단순 형태의 3차원 객체의 경우 심블을 활용한 표현력이 우수하다고 판단되었으나 그림 5(a),(b) 같이 기타 단독주택 및 가건물의 경우 그 규모가 작고 형태가 복잡하여 표현능력이 상대적으로 부족하다고 판단 된다. 실세계를 효과적으로 표현하기 위해서는 향후 심블 라이브러리의 확장을 통한 다양한 심블들의 개발 및 적용이 필요하다고 사료된다.



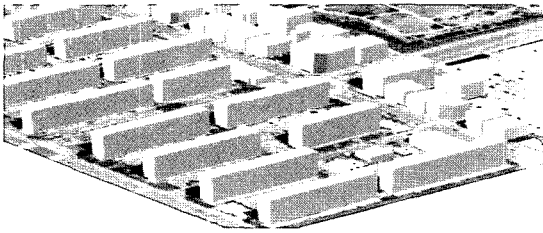
(a) 심볼 안착



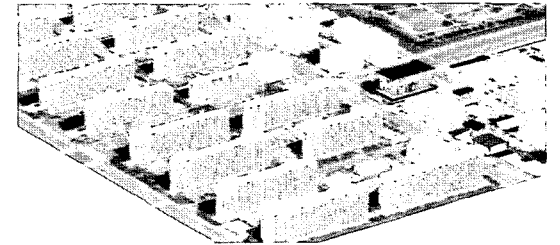
(b) 심볼 회전



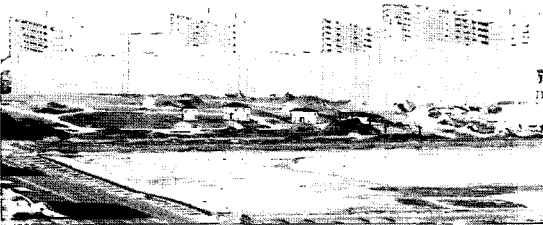
(c) 베이스 맵과의 일치 여부



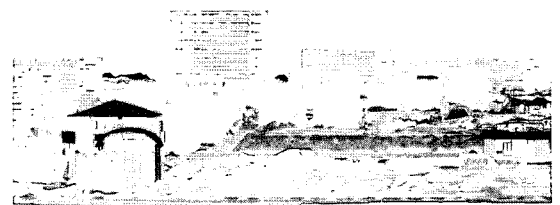
(d) 단순 폴리곤의 3차원화



(e) 심볼 이용 3차원화



(f) 3차원 심볼 자동 안착결과



(g) 3차원 수치지도

그림 5. 3차원 수치지도

5. 결 론

본 연구는 항공레이저 자료와 항공사진 대축척 2차원 수치지도를 이용하여 3차원 수치지도 제작 시 3차원 객체를 심볼로 표현하고 이의 자동 안착을 위한 방법론들을 개발함으로써 작업에 소요되는 시간과 비용을 최소화 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 3차원 객체를 표현하기 위한 심볼 라이브러리를 구축하고, 수치지도와 항공레이저측량 자료를 이용하여 3차원 심볼을 분류하고 심볼의 자동 안착을 위한 속성 값들을 산출하였다. 개발된 알고리즘들을 이용하여 3차원 수치지도를 작성하였고 작업 결과에 대한 시각적, 정량적 평가를 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존의 3차원 수치지도 제작 방법은 수작업에 의한 방법으로 사용자의 전문성을 요구하지만 본 연구에서 개

발된 3차원 심볼의 자동 안착 기법은 일반사용자들도 쉽게 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 검증결과 3차원 수치지도 제작에 심볼을 이용한 방법은 정량적으로 면적중첩비율과 둘레길이 비율에서 각각 96.8%, 94.4%를 나타내어 원형상의 왜곡정도가 오차 범위 안에 있고 안전율을 고려한다면 그 오차는 더 줄어들 것으로 판단되며 또한 시각적으로 객체를 표현하기에 어려움이 없을 것으로 사료된다.

3. 기존의 3차원 수치지도 제작 방법은 시간과 구축에 많은 비용이 소요되었지만 3차원 심볼을 이용하면 시인성이 높은 3차원 수치지도를 효율적으로 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 자동 안착 알고리즘은 프로그래밍을 통해 간편하게 3차원 시각화를 제공하지만 대부분의 심볼 형상은 직사각형이나 정사각형의 형태로 되어있고 그에 맞는 알고리즘만을 제공하기에 복잡한 형상이나 원형의 건물은 추후

연구를 통해 세분된 알고리즘으로 접근해야 할 것이라고 사료된다.

5. 수치지도와 항공사진의 취득시간 차이에 따른 불일치성으로 인하여 심플 안착의 오류가 발견되며 이는 수치지도의 업데이트 또는 항공레이저측량 자료를 이용한 누락된 객체의 추출을 통해 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 항공레이저측량 데이터 처리 기술의 발전에 따라 수치지도에 의한 분류 및 항목은 항공레이저 측량자료를 이용한 분류로 대체되어질 것으로 판단되며 이는 3차원 공간정보에 있어 신속한 업데이트 주기를 가능하게 할 것으로 사료된다.

참고문헌

손정영 (2001), 3차원기술 현황 및 전망, 한국광학회지 제5권, 제2호, pp. 7-12.
윤창열 (2005), LiDAR 자료를 이용한 건물 분류, 석사학위논문, 서울대학교, pp. 42-47.
이동천, 엄재홍 (2005), LiDAR 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성 한국측량학회지, 23권 3호, pp. 313-322.
이엔지정보기술 (2003), 3차원 공간정보구축 수립연구, 건설교통부, pp. 1-7, 155-157.
이엔지정보기술 (2004), 3차원 도시공간 모형의 활용성 연구, 건설교통부, pp. 1-6, 95-111.
허병희 (1994), 3차원 획득기술의 동향과 응용기술, 대한전자공

학회지, 제21권, 제10호, pp. 1036-1045.
Bandrova, T. (2001), Designing of Symbol System for 3D City Maps, *20th International Cartographic Conference* Beijing, China, Vol. 2, pp. 1002-1010.
Bandrova, T. (2005), Innovative Technology for The Creation of 3D Maps, *Data Science Journal*, Vol. 4, pp. 53-58.
Company, P., Contero, M., Conesa, J., Piquer, Ana. (2004), An optimisation-based reconstruction engine for 3D modelling by sketching, *Computers & Graphics*, Vol. 28, pp. 955-979.
ESRI. (2004), ArcGIS Engine Developer Guide v. 9.0, *Environmental Systems Research Institute*, Redlands, CA, pp. 370-382.
Fruh, C. and Zakhor, A. (2001), 3D Model Generation of Cities Using Aerial Photographs and Ground Level Laser Scans, *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE CS Press, vol. 2, pp. 31-38.
Fruh, C. and Zakhor, A. (2003), Constructing 3D City Models by Merging Aerial and Ground Views, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 23, No. 6, pp. 52-61.
Sidiropoulos, G. and Vasilakos, A. (2006), Ultra-real or symbolic visualization? The case of the city through time, *Computers & Graphics* Vol. 30. pp. 299-310.
Wu, Q., Xu, H., Zou, X. (2005), An effective method for 3D geological modeling with multi-source data, *Integration, Computers & Geosciences*, Vol.31, pp. 35-43.
Zhou, G., Song, C., Simmers, J., Cheng, P. (2004), Urban 3D GIS From LiDAR and digital aerial images, *Computers & Geosciences*, vol. 30, pp. 345-353.
Zlatanova, S. & Bandrova, T. (1998), User requirements for the Third Dimensionality, *E-mail Seminar of Cartography*, Sofia, Bulgaria, pp. 61-72.

(접수일 2006. 11. 15, 심사일 2006. 12. 15, 심사완료일 2006. 12. 22)