

점군집 데이터에 의한 3차원 객체도화의 자동화와 정확도

Automatic 3D Object Digitizing and Its Accuracy Using Point Cloud Data

유은진¹⁾ · 윤성구²⁾ · 이동천³⁾

Yoo, Eun Jin · Yun, Seong Goo · Lee, Dong-Cheon

Abstract

Recent spatial information technology has brought innovative improvement in both efficiency and accuracy. Especially, airborne LiDAR system(ALS) is one of the practical sensors to obtain 3D spatial information. Constructing reliable 3D spatial data infrastructure is world wide issue and most of the significant tasks involved with modeling man-made objects. This study aims to create a test data set for developing automatic building modeling methods by simulating point cloud data. The data simulates various roof types including gable, pyramid, dome, and combined polyhedron shapes. In this study, a robust bottom-up method to segment surface patches was proposed for generating building models automatically by determining model key points of the objects. The results show that building roofs composed of the segmented patches could be modeled by appropriate mathematical functions and the model key points. Thus, 3D digitizing man made objects could be automated for digital mapping purpose.

Keywords : 3D point cloud data, Segmentation, Digital mapping, DBM

초 록

최근 공간정보 기술은 정확도와 효율성 측면에서 큰 발전을 이루어 왔다. 특히, 항공 레이저 스캐너로부터 획득한 점군집 데이터를 이용하여 3차원 공간정보를 획득할 수 있게 되었다. 다양한 3차원 공간 데이터 구축에 대한 연구는 국내외의 관심 분야이며, 객체 모델링은 가장 중요한 과정이다. 본 연구의 목적은 건물 모델링의 자동화 알고리즘 개발과 이를 검증할 수 있는 시뮬레이션 데이터의 생성이다. 시뮬레이션 데이터는 건물의 다양성을 고려하여 경사형, 피라미드형, 돔형, 복합 다각형과 같은 여러 복잡한 형태의 지붕으로 구성된 객체이다. 이 논문에서는 면교차점(Model key point) 결정을 통한 자동 건물 모델링을 위하여 지붕면 패치를 기하학적 특징을 기반으로 분할하였다. 실험 결과로부터 분할된 면들은 최적의 수학적 함수에 의해 모델링되며, 객체를 구성하는 면교차점들을 추출할 수 있었고, 인공지물에 대한 수치도화 제작을 위한 3차원 도화가 가능하였다.

핵심어 : 3차원 점군집 데이터, 분할, 수치도화, 수치건물모델

1. 서 론

실세계를 실감적으로 재현할 수 있는 고품질의 3차원 공간 데이터에 대한 수요가 증가하고 있으며, 국내외적으로 연구와 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 다양한 모양의 건물이 밀집해 있는 도심지역에 대한 공간정보

인프라(SDI; Spatial Data Infrastructure) 구축의 필요성이 증대되면서 효율적인 건물 모델링 방법의 개발이 중요하다. 이를 위하여 공간정보 생성기술과 활용의 고도화를 추구하기 위한 연구가 진행되고 있다. 최근 사양과 성능이 향상된 항공 라이다 시스템은 3차원 정밀 수치지도 제작에 이용되고 있으며, 기존의 지도제작 과정의 많은 부분을 대체

1) 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과, 박사과정(E-mail:cjyoo@sju.ac.kr)

2) 세종대학교 지구정보공학과, 석사과정(E-mail:sgyun@sju.ac.kr)

3) 교신저자 · 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과, 교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

하고 있다(이현직 등, 2006). 그러나 불규칙적으로 분포한 다량의 3차원 점군집 데이터를 이용하여 지형지물을 정확하게 모델링하는 것은 어려운 과정이다(Maunc, 2007).

본 논문은 다양한 형태의 객체에 대한 항공 라이다 데이터를 시뮬레이션하고, 이를 이용하여 3차원 건물의 지붕을 구성하는 단위 요소면을 분할하는 방법을 제시하였다. 본 논문의 선행 연구들로는 높이값을 영상화하여 건물지붕의 형태 변화를 분석하고 라이다 데이터를 분할하여 최소제곱법으로 모델링한 연구(이동천 등, 2005; 정형섭 등, 2008)와 라이다 데이터로부터 지붕면의 통계학적 및 기하학적 특성정보를 이용한 3차원 객체 모델링 연구가 수행되었다(임새봄 등, 2009). 또한, 항공영상과 라이다 데이터를 융합하여 효과적으로 분할을 수행할 수 있는 기법에 대한 연구를 포함하고 있다(이진형 등, 2010). 임새봄 등(2009)에선 2D 기반의 형태인식을 수행하였고, 이진형 등(2010)에서는 항공영상을 이용해 분할하였다. 본 연구에서는 3D 기반의 형태인식과 라이다기반의 분할을 통한 3차원 객체 자동 모델링을 수행하고자 한다.

국내의 주요 연구로는 송낙현 등(2007)은 수치지도의 건물 외곽선과 옥트리 분할 기반으로 항공 라이다 데이터를 이용하여 건물 지붕의 구성요소를 자동으로 추출하는 방법을 제안하였고, 이영진 등(2008)은 3D Hough 변환을 이용하여 지붕면의 평면 방정식을 추출하는 기법을 연구하였다. 이동혁 등(2008)은 컬러분할, 에지정합, 시각적 그룹핑 등을 이용하여 라이다 데이터와 광학 영상의 융합에 의한 구조물의 검출 및 복원 알고리즘을 제시하였다. Kim 등(2009)은 영상과 라이다 데이터를 이용하여 대략적으로 구분한 구조물로부터 보다 정확하게 추출한 다면체 형태의 건물모델을 자동으로 생성하는 방법을 연구하였다. 또한 조홍범 등(2008)은 건물로 분류된 항공 라이다 데이터를 옥트리 분할을 기반으로 3차원 공간상에서 재귀적으로 분할하여 패치를 구성하고, 동일한 속성을 갖는 패치들을 병합하여 건물의 구성요소를 추출하고 이 요소를 대표하는 모델을 생성하여 전체적인 건물의 3차원 모델을 구성하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

외국의 대표적 연구로는 Rottensteiner 등(2003)이 라이다 데이터로부터 건물을 자동으로 탐지하고, 지붕면을 곡면을 기반으로 한 분할기법으로 탐지하여 3차원 건물모델을 자동으로 생성하는 기법에 대해 연구를 수행한 바 있으며, Yao 등(2009)은 도시 지역의 항공 라이다 데이터로부터 의미론적인 개체들을 통해 건물 데이터를 분할하는 연구를 수행하였다. Miliarsis 등(2007)은 영역확장 기법을 이용하

여 각 객체와 연결된 구성요소에 분할을 적용하여 수행한 바 있으며, Lucieer 등(2005)은 라이다 데이터로 얻어진 수치표면모델(DSM)로부터 텍스처 기반의 영역확장에 의한 분할기법을 활용하여 지형정보를 추출하는 방법을 연구하였다. Yu 등(2010)은 위성영상으로부터 건물분할 Cue line을 추출하고 이를 바탕으로 LiDAR 데이터에서 각 건물의 지붕면을 추출하여 모델링하였고, Cheng 등(2011)은 LiDAR 포인트의 Triangle cluster를 이용하여 건물을 추출하고 Dynamic triangle을 기반으로 정확한 3차원 모델링을 수행하였다.

본 논문에서는 객체 모델링의 핵심인 단위면 분할을 위해 건물 지붕면의 기울기와 방향성을 분석하여 지붕형태를 최적의 수학적 함수로 재현하였다. 즉, 객체의 기하학적 특성을 기반으로 모델링하고 자동 3차원 도화방법을 제안하였다. 본 논문에서 3차원 객체도화는 모델링 결과를 기반으로 객체의 형상과 특성을 결정하는 면교차점의 3차원 좌표를 결정하는 것이다.

2. 항공 라이다 시뮬레이션 데이터

시뮬레이션 데이터의 생성 목적은 객체 모델링 알고리즘을 여러 측면에서 검증할 수 있는 다양한 형태의 건물들로 구성하기 위함이다. 대부분의 실제 라이다 데이터에는 다양한 형태의 건물이 포함되어 있지 않고, 사용 시에도 소유권 및 보안 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 데이터 생성 시에 노이즈 레벨, 점밀도, 분포패턴 등의 조절이 가능하고 결과에 대한 체계적인 분석과 정확도 검증이 용이한 장점이 있다.

연구에 사용한 시뮬레이션 라이다 데이터에 포함된 지붕형태는 평면을 기본으로 하는 게이블(Gable)과 피라미드, 그리고 곡면 형태의 돔형(Dome)을 포함하고 있다. 시뮬레이션 데이터는 고밀도의 항공 라이다 데이터의 점밀도인 0.25m와 유사하도록 점간의 평균 간격(GSD; Ground Sampling Distance)을 0.25m로 설정하였다. 실제 획득할 수 있는 데이터의 오차를 고려하여 평면과 높이좌표에 각각 $\pm 0.1m$ 무작위 오차를 부여하였다(이진형 등, 2010). 그러나 복잡하고 다양한 지붕형태를 재현할 수 있는 신뢰성 높은 알고리즘 개발이 연구의 목적이므로 건물 주위에 존재할 수 있는 식생, 자동차 등 기타 자연지물과 인공객체들은 시뮬레이션 데이터에 포함하지 않았다.

시뮬레이션 데이터는 그림 1에서 보여주는 것처럼 실제 존재하는 건물을 참조하여, 그림 2의 CAD 건물모델 프레

입을 형성하고, 3차원 좌표점을 분포시켰다. 그림 3은 객체의 DSM을 보여준다.



(a) 피라미드/십자형 Gable (b) 돔/일자형 Gable

그림 1. 시뮬레이션 데이터 생성에 참조한 건물

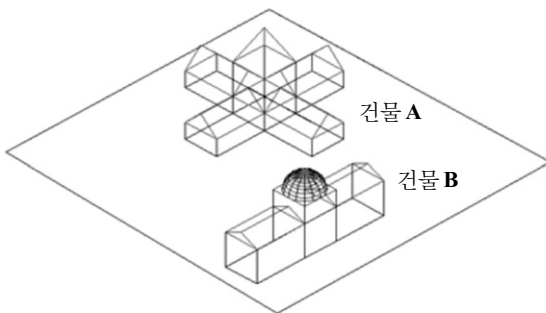


그림 2. 3D CAD 건물모델

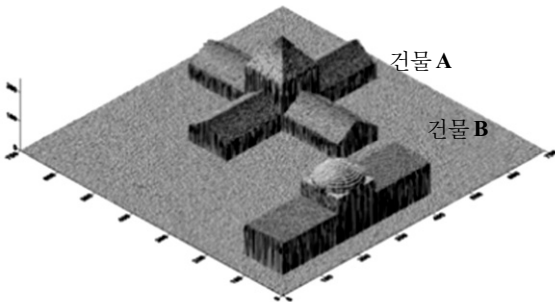


그림 3. 시뮬레이션 데이터의 DSM

3. 건물 데이터 추출

라이다 데이터는 다량의 3차원 좌표로 이루어져 있으므로 여러 건물의 지붕형태를 모델링하기 위해서는 건물 데이터를 지면으로부터 분리하여 건물의 외곽선을 결정하고 건물 데이터를 분석하여야 한다. 이를 위하여 히스토그램을 기반으로 지면과 비지면을 분류하고 비지면 데이터에서 건물을 추출하여 건물객체를 그룹화 하였다. 이 방법은 선행 연구인 임새봄 등(2009)에 자세히 설명되어 있으며, 그

림 4에 건물 외곽선을 추출하는 과정이 요약되어 있다.

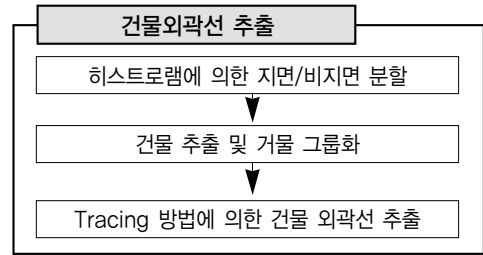


그림 4. 건물 외곽선 추출과정

외곽선을 추출하기 위해 점밀도를 고려하여 데이터를 $0.25m \times 0.25m$ 로 최근린 방법으로 격자화 하였다. 그림 5는 건물 외곽선을 추적하는 알고리즘을 시각적으로 보여주고 있으며, 적용한 modified convex hull 알고리즘은 기존 연구에 의하여 개발된 알고리즘을 복합적으로 이용하였다 (임새봄 등, 2009; Sampath 등, 2007).

단계	과정	세부내용
1		
2		
3		
4		
5		
추출된 객체 외곽선		

그림 5. 객체 외곽선 추출을 위한 modified convex hull 알고리즘 (참고: Sampath 등(2007)이 제시한 그림을 수정 및 보완하여 재구성한 것임.)

단계 1에서의 초기 시작점은 가장 좌측에 위치하는 점으로 결정하고, 가장 좌측의 점이 여러 개 존재할 경우에는 가장 위쪽에 위치하는 점으로 결정한다. 초기 시작점(P2)이 결정되면, 초기 시작점과 가상의 점(P1)을 기준으로 데이터 간격을 반지름으로 하는 가상의 원을 생성하고 원의 내부에 존재하는 점들을 모두 후보 외곽점(P3)으로 인식한다. 단계 2에서는 이전 단계 시작점(P1)과 결정된 외곽점(P2)이 후보 외곽점(P3)과 이루는 각이 가장 작은 점을 다음의 외곽점으로 결정하고 그 외곽점과 시작점을 기준으로 다음 외곽점을 결정한다. 이와 같은 추적과정의 반복을 통해 객체의 외곽선을 추출할 수 있다.

4. 지붕면 분할 및 형태재현

4.1 지붕면 분할

추출된 외곽선을 기준으로 지붕을 구성하는 단위면(surface patch)을 분할하기 위하여 각 데이터 점에서 3×3 크기의 영역을 설정하여 중심점에서 8개 방향으로 경사벡터를 구하였다(그림 6 참조). 점군집 데이터의 격자화는 3장에서 설명한 것과 동일한 방법으로 수행하였다.

8개의 경사벡터 중에서 기울기가 가장 작은 방향을 검색하여 그 방향에 수직인 법선벡터(normal vector)의 기울기를

그 점의 방향과 기울기로 결정하였다. 즉, 기울기 값이 가장 작은 방향에 수직인 방향을 중심점의 경사방향으로 정하였다. 또한, 각 점의 기울기와 방향을 계산하는 과정에서 경계에 위치한 점의 경우에는 연산이 불가능하다. 이런 경우에는 임의의 값을 부여하여 다른 점과 구분할 수 있도록 하였다.

지붕면의 형태를 수학적 함수로 모델링하기 위해서는 분할된 개별 단위면의 외곽선을 결정하여 각 단위면에 속하는 데이터를 그룹화 하여야 한다. 이를 위하여 추출된 건물 외곽선 내에 유사한 경사와 방향을 가지고 있는 데이터들을 그룹화 하여 요소 단위면을 분류하는 방법으로 지붕면 분할을 수행하였다. 구면의 경우, 그림 10b와 같이 9개의 면으로 분할되어진다. 이는 한 면을 기준으로 8개의 모든 방향각으로 이루어진 면이 존재함을 의미한다. 이러한 구면의 특성을 이용하여 구면을 결정하였다.

그룹화 된 데이터를 이용하여 3장에서 설명한 건물 외곽선 추출 방법을 적용하여 분할된 지붕면들의 분할 경계선을 추출하였다. 추출된 분할 경계선은 각각의 면을 정의할 수 있으며 지붕을 구성하는 기본 단위면이 된다. 이 결과를 시각화하면 면분할 정확도를 시각적으로도 평가할 수 있다(그림 11 참조).

4.2 지붕 모델링

분할된 데이터를 이용하여 각각의 분할면을 최적의 함수로 표현하여 건물 지붕형태를 재현하기 위하여 식 (1)과 식 (2)를 적용하였다.

$$\text{평면: } Z = aX + bY + c \tag{1}$$

$$\text{구면: } r^2 = (X-a)^2 + (Y-b)^2 + (Z-c)^2 \tag{2}$$

여기서 a, b, c, r 은 분할면의 형태를 정의하는 함수의 계수이고, X, Y, Z 는 데이터의 3차원 좌표값이다. 그림 7과 같이 건물 B의 동형에 적용되는 구면 방정식은 비선형이므로 Taylor 전개에 의한 선형화가 필요하며, 미지변수의 초기 근사값인 구의 중심 좌표(a_0, b_0, c_0)와 반지름 r_0 를 결정하여야 한다. 중심 좌표의 초기 근사값은 구면으로 분할된 데이터를 이용하여 반구면의 평면중심(또는 도심) 좌표를 계산하여 a_0, b_0 를 초기 근사값으로 사용하고, c_0 는 높이 데이터 중에서 가장 낮은 값을 초기 근사값으로 결정한다(식 (3) 참조). 근사값을 결정하는 또 다른 방법은 구면 데이터에서 높이값이 최대인 점의 평면 좌표값을 a_m, b_m, c_m 으로

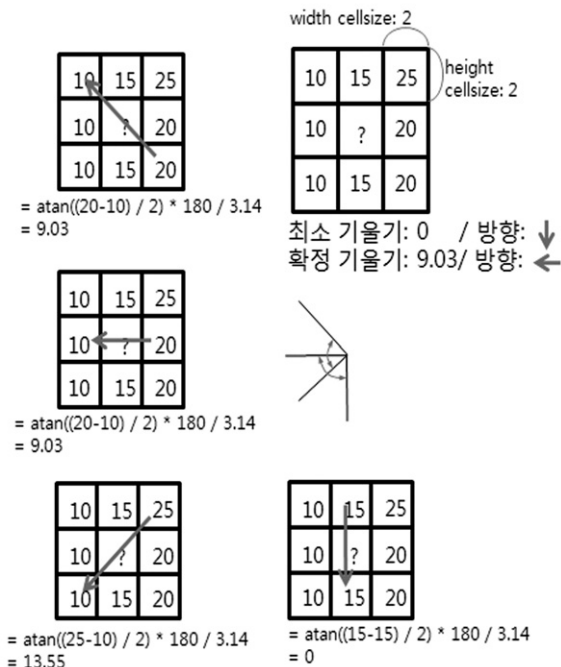


그림 6. 경사벡터 계산

결정한다(식 (4) 참조). 반지름의 초기 근사값인 r_0 는 최대 높이값(Z_{max})과 최소 높이값(Z_{min})의 차이를 계산하여 정할 수 있다(식 (5) 참조)(이진형 등, 2010).

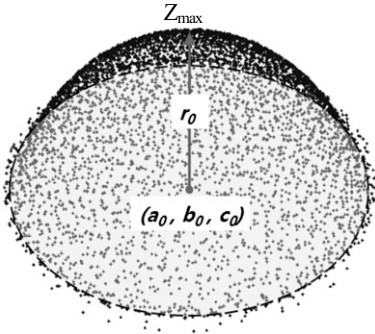


그림 7. 동형태를 형성하는 구면 방정식의 초기 근사값

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)}{n}, b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)}{n}, c_0 = \min(Z_i) \quad (3)$$

$$(a_m, b_m, c_m) = (X, Y, Z) \text{ at } Z_{max} \quad (4)$$

$$r_0 = Z_{max} - Z_{min} \quad (5)$$

건물 모델링을 위해 지붕 분할면의 방정식과 건물의 수직벽면 방정식을 생성하여 분할면들이 교차하는 점인 면교차점의 좌표를 계산하였다. 면교차점은 객체의 형태를 대표적으로 묘사하며, 3차원 도화와 객체 모델링에 필수적으로 측정되어야 하는 중요한 점으로서 자동으로 계산하였다. 그림 8에서 보여주는 것처럼 하나의 교차점을 구하기 위해서는 3개의 인접한 면이 필요하다. 이를 위하여 분할된 지붕면의 데이터를 기준으로 수직벽으로 가정하여 Z 축에 평행한 벽면의 방정식을 생성하였다. 예를 들어 그림

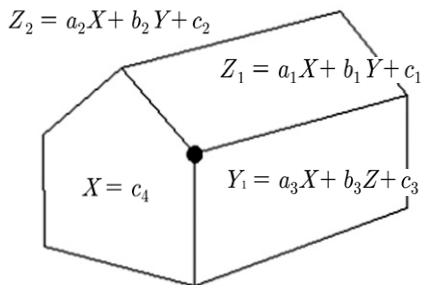


그림 8. 면교차점 좌표 추출

8과 같은 건물의 벽면 방정식을 계산하기 위해 두 지붕면의 최소 X값의 평균을 이용하였다. X, Y 모서리점 및 객체 경계선의 실제 좌표는 평면 오차분포를 50% 확률의 CEP(원형오차확률)로 가정하여 GSD의 1/2인 0.125m를 고려하여 계산하였다.

5. 시뮬레이션 데이터 결과 및 분석

5.1 건물 외곽선 추출

객체의 외곽선을 추출하기 위하여 3장에서 설명한 초기 시작점으로부터 다음 후보점들과의 사이각을 계산하여 다음 시작점을 결정하는 방법을 적용한 결과, 각 객체의 외곽선은 그림 9와 같이 추출되었다.

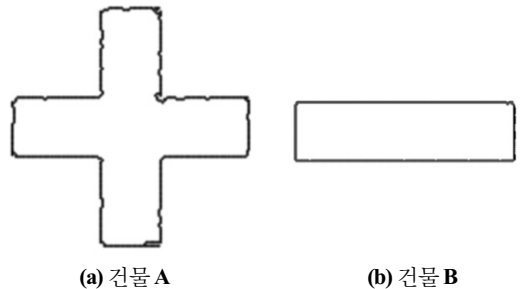


그림 9. 건물 외곽선 추출 결과

5.2 데이터 분할 및 모델링

건물의 외곽선을 추출한 후 4장에서 설명한 경사벡터 분석방법을 적용하여 각 건물 외곽선 안에 분포된 데이터의 분할을 수행하였다. 분할 결과 단일 점 또는 적은 수의 데이터로 구성된 고립된 패치가 발생할 수 있다. 이런 경우는 모델링에 불필요한 작은 객체이므로 이러한 분할면은 면적이 일정 임계값보다 작으면 제거하였다. 임계값의 설정은 데이터 점밀도에 따라 결정되며, 본 시뮬레이션 연구에서는 40점 이하로 구성된 패치를 제거하였다. 그림 10

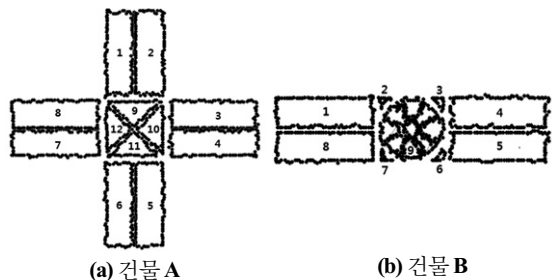


그림 10. 데이터 분할과 분할면의 경계선

은 데이터 분할 결과에 의한 분할면의 경계선을 보여주고 있다.

분할된 면에 포함되는 데이터를 이용하여 수학적 함수를 이용한 최소제곱법으로 지붕 모양을 재현하여 모델링을 수행하였다. 분할면을 중심으로 8개의 방향으로 인접한 분할면이 존재하면 구의 방정식으로 모델링하였다(그림 11 (b) 참조). 그러므로 분할된 단위면을 탐색하여 위의 조건을 만족하면 구의 방정식을 적용하였으며, 그 외의 분할면은 평면 방정식을 적용하여 모델링하였다. 그림 11은 건물 A와 건물 B의 분할 결과를 보여주고 있다.

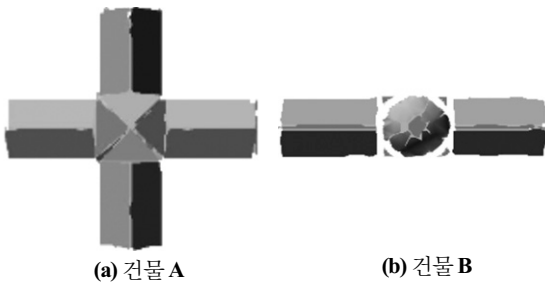


그림 11. 분할된 단위면

5.3 정확도 분석

분할면을 수학적 함수로 모델링하기 위해 결정된 방정식의 정확도는 식 (6)을 사용하여 모든 점에서 높이에 대한 RMSE(평균제곱근오차)를 계산하였다. 표 1에서 보여주는 것처럼 최소 ±0.001m에서 최대 ±0.077m까지의 정확도 분포를 보이고 있으며, 평균적으로 건물 A는 ±0.035m, 건물 B는 ±0.012m의 정확도를 보여주고 있다. 건물 A와 B의 정확도 차이가 발생하지만 두 정확도 모두 노이즈 레벨 범위를 고려했을 때 허용범위 안으로 들어오기 때문에 큰 의미를 갖지 않는다.

$$RMSE(Z) = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i^{LiDAR} - Z_i^{Model})^2}{n}} \quad (6)$$

여기서 Z^{LiDAR} 는 시뮬레이션 데이터의 높이값이고, Z^{Model} 은 모든 데이터 점에서 모델링된 함수의 높이값이며, n 은 데이터의 개수이다.

표 1. 지붕 재현결과 정확도 (단위: m)

건물 A		건물 B	
분할면	RMSE	분할면	RMSE
1	0.019	1	0.018
2	0.077	2	0.001
3	0.033	3	0.006
4	0.028	4	0.013
5	0.050	5	0.017
6	0.068	6	0.001
7	0.012	7	0.003
8	0.006	8	0.039
9	0.043	9	0.006
10	0.067	평균	0.012
11	0.016		
12	0.004		
평균	0.035		

분할면의 방정식을 연산하여 객체 내에 존재하는 교차점인 면교차점들의 좌표를 계산하고 시뮬레이션 데이터와 비교하여 정확도를 평가하였다. 모델링 결과와 면교차점의 위치는 그림 12에서 보여주고 있으며, 건물별로 계산된 면교차점 좌표와 정확도는 표 2와 같다. 건물 A의 평면 정확도는 0.685m, 수직 정확도는 0.539m 이었으며, 건물 B의 수평 정확도는 0.477m, 수직 정확도는 0.234m 이었다. 그림 13 (a)와 그림 13 (b)는 표 2 (a)와 표 3 (b)를 기반으로 면교차점의 평면과 높이 오차의 절대값을 그래프로 보여주고 있다.

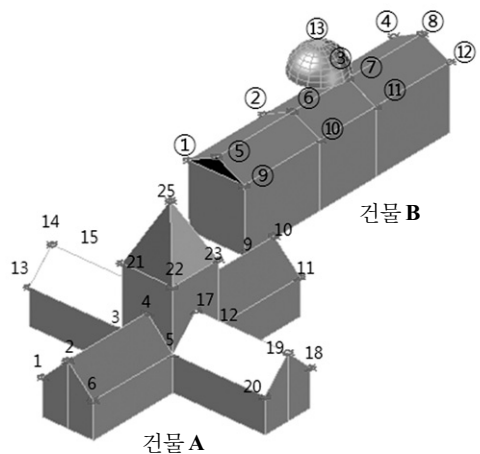


그림 12. 객체 모델링 결과

표 2. 면교차점 좌표와 정확도 (단위: m)

(a) 건물 A

Model key pt.	실제 좌표			계산 좌표			오 차		
	X	Y	Z	X	Y	Z	abs(ΔX) - (GSD/2)	abs(ΔY) - (GSD/2)	ΔZ
1	5	55	5	5.733	54.158	5.845	0.608	0.717	0.845
2	5	50	10	5.733	50.013	9.957	0.608	-0.112	-0.043
3	20	55	5	20.743	54.158	5.787	0.618	0.717	0.787
4	20	50	10	20.692	50.031	9.942	0.567	-0.094	-0.058
5	20	45	5	20.640	45.782	5.656	0.515	0.657	0.656
6	5	45	5	5.733	45.782	5.819	0.608	0.657	0.819
7	30	55	5	29.516	54.268	5.484	0.359	0.607	0.484
8	30	50	10	29.340	50.049	9.935	0.535	-0.076	-0.065
9	45	55	5	44.531	54.268	5.724	0.344	0.607	0.724
10	45	50	10	44.531	50.051	9.937	0.344	-0.074	-0.063
11	45	45	5	44.531	45.728	5.742	0.344	0.603	0.742
12	30	45	5	29.160	45.728	5.739	0.715	0.603	0.739
13	20	70	5	20.743	69.529	5.722	0.618	0.346	0.722
14	25	70	10	25.029	69.529	9.944	-0.096	0.346	-0.056
15	30	70	5	29.516	69.529	5.484	0.359	0.346	0.484
16	25	55	10	24.999	54.211	9.976	-0.124	0.664	-0.024
17	25	45	10	24.996	45.754	9.984	-0.121	0.629	-0.016
18	30	30	5	29.160	30.543	5.832	0.715	0.418	0.832
19	25	30	10	25.005	30.543	9.986	-0.12	0.418	-0.014
20	20	30	5	20.640	30.543	5.645	0.515	0.418	0.645
21	20	55	15	20.743	54.268	15.439	0.618	0.607	0.439
22	20	45	15	20.640	45.683	15.439	0.515	0.558	0.439
23	30	45	15	29.516	45.683	15.587	0.359	0.558	0.587
24	30	55	15	29.660	54.568	15.587	0.215	0.307	0.587
25	25	50	24	25.117	50.014	24.122	-0.008	-0.111	0.122
RMSE							0.470	0.498	높이: 0.539
							평균: 0.685		

(b) 건물 B

Model key pt.	실제 좌표			계산 좌표			오 차		
	X	Y	Z	X	Y	Z	abs(ΔX) - (GSD/2)	abs(ΔY) - (GSD/2)	ΔZ
1	50	70	10	50.633	69.467	10.261	0.508	0.408	0.269
2	65	70	10	64.810	69.467	10.275	0.065	0.408	0.275
3	75	70	10	75.261	69.467	10.271	0.136	0.408	0.271
4	90	70	10	89.216	69.467	10.268	0.659	0.408	0.268
5	50	65	12.5	50.633	64.813	12.589	0.508	0.062	0.089
6	65	65	12.5	64.810	64.820	12.600	0.065	0.055	0.100
7	75	65	12.5	75.261	64.812	12.591	0.136	0.063	0.091
8	90	65	12.5	89.216	64.809	12.590	0.659	0.066	0.090
9	50	60	10	50.633	60.285	10.326	0.508	0.16	0.326
10	65	60	10	64.810	60.285	10.334	0.065	0.16	0.334
11	75	60	10	75.261	60.285	10.294	0.136	0.16	0.294
12	90	60	10	89.216	60.285	10.294	0.659	0.16	0.294
13	70	65	20	70.005	65.006	20.002	-0.12	-0.119	0.002
RMSE							0.408	0.248	높이: 0.234
							평균: 0.477		

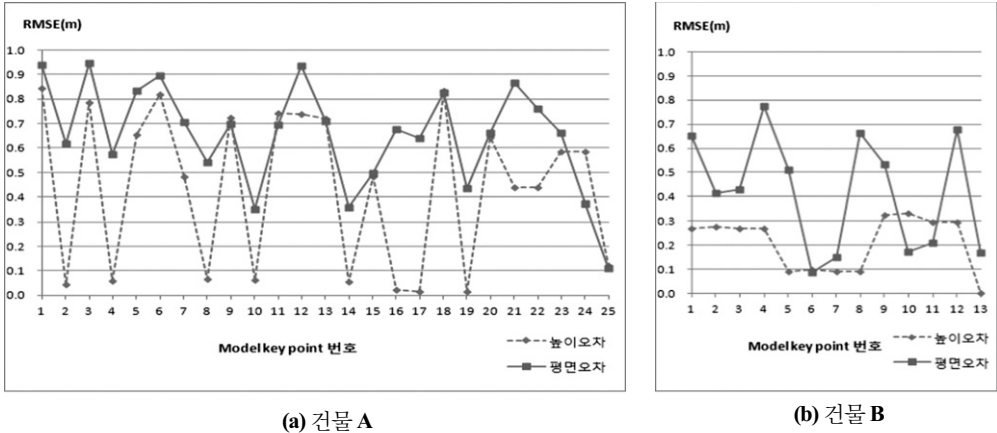


그림 13. 면교차점의 정확도

6. 실제 데이터 실험 결과 및 분석

6.1 건물 외곽선 추출 및 데이터 분할

본 논문에서 제안한 방법을 실제 데이터에 적용하였다. 그림 14는 실험에 사용된 LiDAR 데이터와 실험 건물의 향

공영상을 보여 주고 있다. 3장에서 설명한 방법으로 초기 시작점을 기준으로 외곽선을 결정하고 지붕을 구성하는 단위면을 분할하였다. 분할된 단위면은 그림 15(a)와 같고, 그림 15(b)는 추출된 건물 외곽선과 분할면 경계선 결과를 보여준다. 전체 객체의 5% 미만으로 분할된 부분은 모델링에 한계가 있으므로 제외시켰다. 표 3은 분할면의 평면 방정식 계수와 정확도를 보여준다. 평면 방정식의 평균 RMSE는 약 0.19m이다.

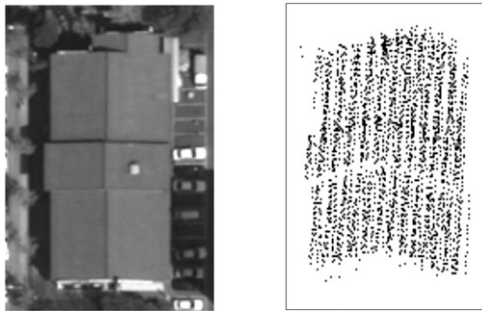


그림 14. 실제 실험 데이터

표 3. 평면 방정식 계수 및 정확도 (단위: m)

평면	Parameter			RMSE
	a	b	c	
1	0.3835	0.00095	40.0892	0.1885
2	-0.3346	-0.0013	58.4726	0.1859
3	-0.3211	0.0003	58.8438	0.2318
4	0.3868	-0.0024	41.1622	0.1784
5	-0.3452	0.0042	58.4050	0.2007
6	0.3772	-0.0005	40.2993	0.1731
			평균	0.1931

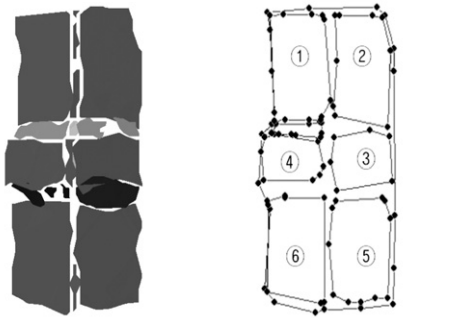
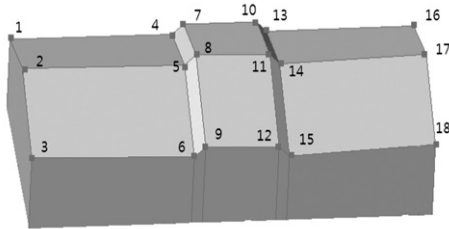


그림 15. 데이터 분할과 분할면의 경계선

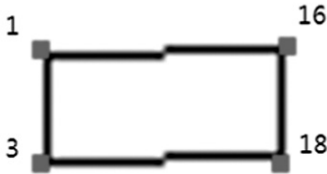
6.2 정확도 분석

정확도 분석을 위해서 모델링 결과와 수치지도를 이용하였다. 그림 16(a)는 계산된 면교차점을 이용해 모델링한 결과이며, 정확도 산정을 위해 그림 16(b)의 건물 수치지도를 사용하였다. 계산된 면교차점의 좌표는 3차원이고, 수치지도는 2차원이므로 평면 좌표의 정확도만 계산하였다. 또한, 두 좌표계는 서로 다르므로 절대 좌표비교 보다는 대응되는 4개의 외곽점간의 거리를 비교하였다.

계산된 면교차점은 표 4에 정리하였으며, 수치지도와의 비교결과는 표 5에서 보여주고 있다. 수치지도보다 모델링 결과에서 수직방향으로 약 2m 짧게 나타났다. 그 이유로는 수치지도 제작 시 건물 북쪽의 부속건물을 포함하였으며, 라이더 모델링에서는 분할시 제외되었기 때문에 차이가 발생된 것이라 판단되어진다.



(a) 모델링에 의한 면교차점



(b) 수치지도(축척: 1/5,000)

그림 16. 실제 데이터 모델링 결과 및 수치지도

표 4. 실제 데이터 면교차점 좌표 (단위: m)

Model key pt.	계산 좌표		
	X	Y	Z
1	233817.540	418691.960	46.874
2	233825.715	418691.960	49.920
3	233834.070	418691.960	47.026
4	233817.140	418677.790	46.730
5	233825.557	418677.790	49.808
6	233834.045	418677.790	46.976
7	233817.140	418676.840	47.610
8	233825.557	418676.840	50.766
9	233834.045	418676.840	47.934
10	233816.940	418670.440	47.548
11	233825.332	418670.440	50.733
12	233833.995	418670.440	47.948
13	233816.940	418669.505	46.652
14	233825.332	418669.505	49.810
15	233833.995	418669.505	47.011
16	233817.540	418656.645	46.870
17	233825.715	418656.645	49.967
18	233834.070	418656.645	47.002

표 5. 외곽점의 거리 비교 (단위: m)

Model key pt.	수치지도	모델링	거리차이
1-3	16.470	16.530	0.060
3-18	37.416	35.315	2.101
18-16	16.471	16.530	0.059
16-1	37.424	35.315	2.109

7. 결론

본 논문에서 항공 라이더를 시물레이션한 점군집 데이터를 생성하고, 수학적 함수로 건물 객체를 재현하는 방법을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 시물레이션 항공 라이더 데이터는 복잡하고 다양한 지붕의 형태를 임의로 구성할 수 있으며, 제안한 건물 모델링 방법과 자동 도화결과를 검증할 수 있었다.
- 시물레이션 데이터의 주요 장점은 소유권, 보안문제 등 제약 요소가 없으며, 점밀도, 정확도, 노이즈 등 여러 조건 및 촬영상황에 부합되는 데이터를 손쉽게 생성할 수 있다. 또한, 객체를 형성하는 면교차점들의 정확한 좌표를 알고 있으므로 개발한 알고리즘의 타당성과 결과의 정확도를 평가할 수 있었다.
- 모델링의 기반이 되는 모든 분할면에서의 RMSE를 제시하였다. 또한 건물 재현을 위해 면교차점 좌표를 계산하고 이에 대한 평균 정확도는 평면 0.5m, 높이 0.35m 이다.

감사의 글

이 연구는 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- 송낙현, 신성웅, 조홍범, 조우석 (2007), LiDAR 데이터를 이용한 옥트리 분할 기반의 지붕요소 자동추출, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 25권, 제 4호, pp. 327-336.
- 이동천, 엄재홍 (2005), LiDAR 데이터 분할과 지붕형태 분석에 의한 건물 모델링, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 25권, 제 6D호, pp. 921 -928.
- 이동혁, 이경무, 이상욱 (2008), 광학 영상과 Lidar의 정보 융합에 의한 신뢰성 있는 구조물 검출, 방송공학회논문지,

- 한국방송공학회, 제 13권, 제 2호, pp. 236-244.
- 이영진, 오재홍, 신성웅, 조우석 (2008), LiDAR 데이터의 3D Hough 변환을 이용한 지붕 평면의 세그멘테이션 및 정밀 평면방정식 추출, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 5호, pp. 505-512.
- 이진형, 이동천 (2010), 항공영상에 의한 LiDAR 데이터 분할에 기반한 건물 모델링, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 28권, 제 1호, pp. 047-056.
- 이현직, 류지호, 김홍섭 (2006), LiDAR 데이터를 이용한 수치지도 제작 방안 연구, 제 14권, 제 2호, pp. 33-42.
- 임새봄, 김정현, 이동천 (2009), 항공 라이다 데이터를 이용한 건물 모델링의 자동화, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 27권, 제 5호, pp. 619-628.
- 정형섭, 임새봄, 이동천 (2008), 항공 LiDAR 데이터를 이용한 건물추출과 상부구조물 특성분석 및 모델링, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 3호, pp. 227-239.
- 조홍범, 조우석, 박준구, 송낙현 (2008), 항공 LiDAR 데이터를 이용한 3차원 건물모델링, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 2, pp. 141-152.
- Cheng, L., Tong, L., Zhao, W., Liu, Y. and Li, M. (2011), Dynamic triangle - Based method for 3D building rooftop reconstruction from LiDAR data, *Geoinformatics 2011 19th International Conference*, pp. 1-4.
- Kim, C. and Habib, A. (2009), Object-Based Integration of Photogrammetric and LiDAR Data for Automated Generation of Complex Polyhedral Building Models, *Sensors*, Vol. 9, No. 7, pp. 5679-5701.
- Lucieer, A. and Stein, A. (2005), Texture-based landform segmentation of LiDAR imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 261-270.
- Maune, D. (2007), Digital Elevation Model Technologies and Applications : The DEM Users Manual, 2nd Edition, arsprs, pp. 199-252.
- Miliareisis, G. and Kokkas, N. (2007), Segmentation and object-based classification for the extraction of the building class from LIDAR DEMs, *Computers & Geosciences*, Vol. 33, No. 8 pp. 1076-1087.
- Rottensteiner, F. and Briese, C. (2003), Automatic Generation of Building Models from LIDAR Data and The Integration of Aerial Images, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Proc. ISPRS working group III/3 workshop on '3-D reconstruction from airborne laser scanner and InSAR data', Dresden, Vol. XXXIV, Part 3/W13.
- Sampath, A. and Shan, J. (2007), Building Boundary Tracing and Regularization from Airborne Lidar Point Clouds, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 73, No. 7, pp. 805-812.
- Yao, W., Hinz, S., and H. and Stilla, U. (2009), Object extraction based on 3d-segmentation of LiDAR data by combining mean shift with normalized cuts: Two examples from urban areas, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009 Urban Remote Sensing Joint Event, pp. 1-6.
- Yu, Y., Liu, X. and Buckles, P. (2010), A cue line based method for building modeling from LiDAR and satellite imagery, *Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2010 International Conference, pp. 1-8.

(접수일 2011. 11. 14, 심사일 2011. 12. 05, 심사완료일 2012. 02. 01)