

항공 라이다 데이터를 이용한 건물 모델링의 자동화

Automation of Building Extraction and Modeling Using Airborne LiDAR Data

임새봄¹⁾ · 김정현²⁾ · 이동천³⁾

Lim, Sae-Bom · Kim, Jung Hyun · Lee, Dong-Cheon

Abstract

LiDAR has capability of rapid data acquisition and provides useful information for reconstructing surface of the Earth. However, Extracting information from LiDAR data is not easy task because LiDAR data consist of irregularly distributed point clouds of 3D coordinates and lack of semantic and visual information. This thesis proposed methods for automatic extraction of buildings and 3D detail modeling using airborne LiDAR data. As for preprocessing, noise and unnecessary data were removed by iterative surface fitting and then classification of ground and non-ground data was performed by analyzing histogram. Footprints of the buildings were extracted by tracing points on the building boundaries. The refined footprints were obtained by regularization based on the building hypothesis. The accuracy of building footprints were evaluated by comparing with 1:1,000 digital vector maps. The horizontal RMSE was 0.56m for test areas. Finally, a method of 3D modeling of roof superstructure was developed. Statistical and geometric information of the LiDAR data on building roof were analyzed to segment data and to determine roof shape. The superstructures on the roof were modeled by 3D analytical functions that were derived by least square method. The accuracy of the 3D modeling was estimated using simulation data. The RMSEs were 0.91m, 1.43m, 1.85m and 1.97m for flat, sloped, arch and dome shapes, respectively. The methods developed in study show that the automation of 3D building modeling process was effectively performed.

Keywords : Airborne LiDAR data, Building extraction, Surface patch segmentation, 3D modeling

초 록

LiDAR는 광범위한 지역의 지형·지물 및 지표면에 대한 3차원 좌표를 신속하게 획득할 수 있는 장비로 고정밀의 3차원 공간데이터를 제공하는 장점이 있다. 그러나 LiDAR 데이터는 불규칙한 3차원 점 데이터로 구성되어 있으므로, 의미적이고 시각적인 정보를 제공하지 않으며, LiDAR 데이터만을 사용하여 정보를 추출하는 것은 어렵다. 본 연구에서는 항공 LiDAR 데이터로부터 건물의 외곽선 자동 추출 및 3차원 상세 모델링을 위한 방법을 제안하였다. 전처리 과정으로 반복적 평면 fitting을 통하여 노이즈 및 불필요한 데이터를 제거하고, 히스토그램 분석을 수행하여 지면과 비지면 데이터를 효과적으로 분리하였다. 건물 외곽선을 추출하기 위해서 객체추적 기법을 이용하여 건물의 외곽에 해당하는 LiDAR 점들을 분류하였으며, 선행과정을 통해 LiDAR 데이터로부터 최종적으로 건물의 외곽선을 추출하였다. 정확도 검증을 위해 추출된 건물의 외곽선을 1:1,000 수치지도와 비교한 결과, 실험지역의 평면 RMSE가 약 0.56m였다. 또한, 건물의 상부구조물의 형태를 재현하기 위한 특성정보 추출 방법을 제안하였다. 지붕면을 세부적으로 분할하고 모델링하기 위하여 통계적 및 기하적 특성정보를 이용하였으며, 각각의 상부구조물에 적합한 수학적 함수를 최소제곱법에 의해 결정함으로써 3차원 모델링이 가능하도록 하였다. 상부구조물 모델링 결과, 각 형태에 따른 RMSE가 사각형 상부구조물은 0.91m, 삼각형 상부구조물은 1.43m, 아치형 상부구조물은 1.85m, 돔형 상부구조물이 1.97m였다. 이는 원시 LiDAR 데이터로부터 지붕면 분할 및 3차원 자동 모델링이 효과적으로 수행되었음을 보여주고 있다.

핵심어 : 항공 라이다 데이터, 건물추출, 면분할, 3차원 모델링

1) 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과 도시공간정보사업단 연구원(E-mail:qha84@naver.com)
2) 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과 박사과정(E-mail:jhkim83@sju.ac.kr)
3) 교신저자 · 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과 교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

1. 서 론

항공 LiDAR(Light Detection and Ranging)시스템은 넓은 지역에 대한 다량의 3차원 공간좌표 데이터와 반사강도를 정확하게 획득할 수 있을 뿐 만 아니라, 항공사진과는 달리 기상조건에 영향을 덜 받으며 주야에 관계없이 데이터 획득이 가능한 장점을 가지고 있다. 항공 LiDAR 기술이 지형도 제작 목적을 위해 요구되는 정확도를 확보하기 시작한 1990년 중반부터 성능이 더욱 향상된 LiDAR 시스템의 사용이 다양한 활용분야에서 증가하고 있다. 최근에는 상업용 LiDAR 시스템이 보편화됨에 따라 국내외적으로 많은 분야에서 활용이 급진적으로 증가하고 있는 추세이다(Flood, 1999).

건물을 정밀하게 3차원 모델링을 하기 위해서는 지붕의 다양한 형태와 상부구조물 등의 묘사가 요구된다. 그러나 이를 자동으로 처리하는 것은 어려운 문제이다. 이를 위하여 건물의 3차원 모델링에 대한 다양한 방법들이 제시되고 있다(송낙현 등, 2007; Lee 등, 2007a; Lee 등, 2007b). 기존의 연구들은 LiDAR 데이터와 다양한 영상 및 수치지도 데이터를 복합적으로 활용하여 건물 모델링 기법을 제안하고 있다. 이러한 방법들은 서로 다른 데이터를 상호 보완적으로 이용한 시너지 효과를 얻을 수 있는 반면, 경우에 따라 LiDAR 데이터만 존재하는 지역에서는 적용이 불가능하다는 단점이 있다(김성삼 등, 2006; 이동천 등, 2005; 조우석 등, 2003).

본 연구에서는 LiDAR 데이터만 이용하여 건물의 외곽선과 건물지붕의 상부구조물 특성분석에 의한 건물의 상세 모델링을 자동으로 수행하는 방법을 제안하였다. 그림 1은 전체적인 연구과정을 도식화한 것이다. 우선 항공기에 탑재되어 있는 레이저 스캐너로부터 지표상에

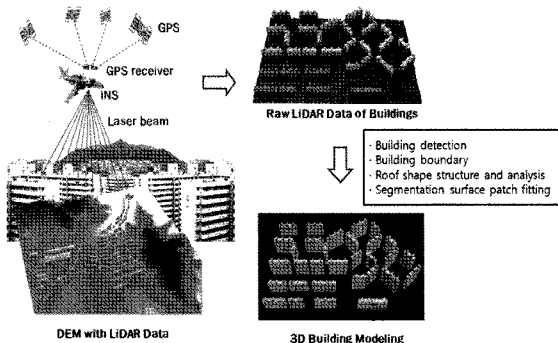


그림 1. 연구과정의 흐름도

존재하는 지형지물에 대한 LiDAR 데이터를 획득한다. LiDAR 데이터는 지표면상의 모든 객체에 대한 데이터를 모두 포함하고 있기 때문에 건물의 3차원 모델링에 필요한 데이터를 정확히 추출하는 과정이 핵심이다.

2. 건물 자동추출

본 연구에서는 LiDAR 데이터를 격자화를 하지 않고 불규칙한 원시 3차원의 LiDAR 측정점으로부터 자동으로 건물의 외곽선을 추출할 수 있는 방법을 제안하였다. 건물 자동추출 과정의 흐름도는 그림 2와 같다.

2.1 수목, 노이즈 및 불필요한 데이터 제거

LiDAR 데이터는 실세계에 존재하는 지형지물에 대한 3차원 좌표정보를 포함하고 있기 때문에 건물을 추출하기 위해서는 여러 종류의 불필요한 데이터를 제거할 필요가 있다(Bortolot 등, 2005; Vosselman 등, 2001; Zhang 등, 2003).

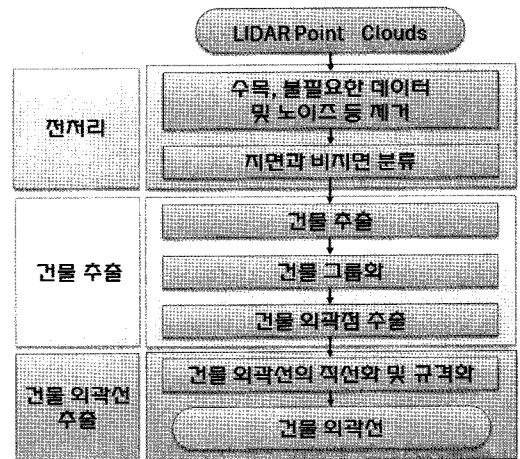


그림 2. 건물 외곽선 추출과정의 흐름도

본 연구에서는 원시 데이터로부터 수목 및 노이즈를 제거하고 남아있는 건물과 지면 데이터로부터 건물과 지면을 분리하여 최종적으로 건물만 추출하는 방법을 제안하였다.

이 방법은 반복적 최적평면 결정(Iterative planar fitting) 방법을 이용하여 노이즈 등 불필요한 데이터를 제거하는 것이다. 평면식은 주어진 점 $O(x_0, y_0, z_0)$ 에서 반지름 r 인 구의 내부에 존재하는 데이터 $\{P_i(x_i, y_i, z_i) | i=1 \dots n\}$ 을 이용하여 최적의 평면의 방정식을 구하고 평면 방

정식과 데이터간의 오차(또는 잔차)를 계산하여 과대오차(outlier)를 반복적으로 제거하는 방법이다. 그림 3과 같이 주어진 점 O 에서 반지름 r 의 구안에 존재하는 $P_i (i=1 \dots n)$ 데이터를 이용하여 최적의 평면의 방정식 $z = ax + by + c$ 를 결정하는 과정은 다음의 식 (1)과 같다.

$$y = A \cdot \xi + e \quad e \sim (0, \sigma_0^2 I) \quad (1)$$

미지벡터 ξ 는 식 (2)의 최소제곱법으로 구할 수 있다.

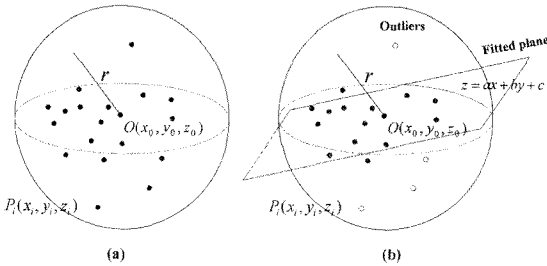


그림 3. 최적 평면결정

$$\hat{\xi} = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot y) \quad (2)$$

세 평면방정식 $y = ax + bz + c$, $x = ay + bz + c$ 또는 $z = ax + by + c$ 중에, 반복적으로 함수를 결정하여 최적의 평면 방정식을 구할 수 있다. 세 방정식에 대하여 모델 파라미터를 구한 후, 결정된 각 평면의 방정식에 대한 오차(\tilde{e}_p)를 식 (3)과 같이 계산하여 오차가 제일 작은 최적의 평면 방정식을 결정한다.

$$\tilde{e}_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{e}_i)^2}{n}} \quad (3)$$

총 n 개의 점이 반지름 r 의 구안에 존재하고, 최적의 평면 방정식을 결정하고 남은 점의 수가 n_p 라면, 보존율(Preserving ratio, R_p)을 식(4)와 같이 계산한다.

$$R_p(\%) = \frac{n_p}{n} \times 100(\%) \quad (4)$$

여기서 보존율(R_p)이 임계치 T_p 보다 작다면, 주어진 점 O 는 수목, 노이즈 또는 불필요한 데이터로 제거되며,

그렇지 않다면 지면 또는 건물 데이터로 간주되며, 이와 같은 특성을 기반으로 LiDAR 데이터에 포함되어 있는 식생 및 불필요한 자료를 제거할 수 있다.

2.2 건물추출

선행 과정을 통하여 불필요한 데이터가 제거된 LiDAR 데이터는 지면과 건물에 대한 데이터만 남게 되며, 지면과 비지면 데이터를 분류하면 건물에 해당하는 LiDAR 측정점을 추출 할 수 있다. 본 연구에서는 LiDAR 데이터의 히스토그램 분석 기법을 이용하여 건물의 LiDAR 측정점을 추출하며(Schenk 등, 1999), 이를 위해서 경사가 심하지 않고 완만하게 변하는 지역과 좁은 지역에서는 첫 번째 최고점이 평면의 평균표고를 나타낸다고 가정하였다. 히스토그램 분석 기법으로 얻은 건물점은 기존의 필터링 과정과 달리 DSM을 추출할 필요가 없기 때문에 효과적일 수 있다.

비지면 데이터는 주로 건물, 수목, 자동차 및 기타 지물들로 구성된다. 특히 비지면 데이터로부터 효과적으로 건물을 추출하기 위해서는 수목에 의하여 발생하는 데이터를 제거해야만 한다. 그러나 반복적으로 최적 평면결정을 수행하여 대부분의 수목 및 기타 지물들이 제거되었기 때문에 히스토그램 분석에 의해 건물이 추출 가능하다.

2.3 건물의 외곽선 추출

건물을 이루는 모든 점으로부터 건물의 외곽선을 정확하게 추출하기 위해서는 각 건물별로 그룹화된 점들로부터 건물의 외곽에 존재하는 LiDAR 점을 먼저 추출하는 것이 필요하다.

추출된 건물의 외곽선을 이루는 점은 불규칙하기 때문에 건물의 외곽선을 실제적으로 표현하기 위해서는 건물의 외곽선을 이루는 모든 점을 이용하여 직선화할 필요가 있다. 건물 외곽선의 직선화를 위해서는 건물 외곽선의 동일 선상에 존재하는 모든 점을 추출해야 하며, 이를 위해서는 건물의 코너점을 우선 결정해야 한다. 추출된 건물 외곽의 LiDAR점으로부터 Douglas-Peucker 알고리즘을 이용하여 건물의 코너점을 추출하였다(Rottensteiner 등, 2001).

2.4 건물의 외곽선 추출

LiDAR 점은 불규칙하게 존재하기 때문에 실제 건물처럼 직선으로 표현하기 위해서는 직선화하는 작업이

필요하며, 건물의 각 변에 해당하는 점들을 추출해야 한다.

건물 외곽선을 직선화하기 위하여 건물의 코너점 사이에 존재하는 모든 점을 이용하여 선형 방정식을 이용하여 최소제곱법으로 직선화한다.

건물의 외곽선이 식 (5)와 같이 4개의 선형방정식에 의하여 결정되었을 경우,

$$\begin{cases} y = a_1x + b_1 \\ y = a_2x + b_2 \\ x = c_1y + d_1 \\ x = c_2y + d_2 \end{cases} \quad (5)$$

두개의 선형방정식의 기울기가 이루는 교각이 임계치 $\pm \theta_c$ 보다 작다면, 두 방정식은 평행하다고 간주 할 수 있으며, 식 (6)에 의해서 판별된다.

$$\begin{cases} a_i = a_j, & \text{if } \left| \frac{a_i a_j + 1}{\sqrt{a_i^2 + 1} \sqrt{a_j^2 + 1}} \right| \geq \cos \theta_c \\ c_i = c_j, & \text{if } \left| \frac{c_i c_j + 1}{\sqrt{c_i^2 + 1} \sqrt{c_j^2 + 1}} \right| \geq \cos \theta_c \end{cases} \quad (6)$$

또한, 두개의 선형방정식의 기울기가 이루는 교각이 임계치 $\frac{\pi}{2} \pm \theta_c$ 이내에 있다면, 두 방정식은 수직이라고 간주 할 수 있으며, 이러한 조건은 식 (7)과 같이 판별된다.

$$\begin{cases} c_j = -a_i, & \text{if } \left| \frac{a_i c_j + 1}{\sqrt{a_i^2 + 1} \sqrt{c_j^2 + 1}} \right| \leq \cos \left(\frac{\pi}{2} + \theta_c \right) \end{cases} \quad (7)$$

3. 지붕 상부구조물의 모델링

LiDAR 데이터만을 가지고 다양하고 복잡한 구조를 가진 지붕 상부구조물의 상세 모델링은 거의 불가능하므로 3차원 건물 모델링을 신속하고 경제적으로 처리하기 위해서는 새로운 알고리즘의 개발이 필요하다. 최근에는 고정밀도를 갖는 LiDAR 데이터와 고해상도의 위성영상, 디지털 항공영상과 융합하여 3차원 건물 모델링이 연구되고 있다(박지혜 등, 2005; 송낙현 등, 2007; 유환희 등, 2006; Elaksher 등, 2002; Geibel 등, 2000; Habib 등, 2006).

본 장에서는 선행연구로부터 추출된 건물 LiDAR 데이터를 이용하여 자동으로 지붕 상부구조물 특성분석 및 3차원 모델링하는 방법을 제안하였으며, 전반적인 내용은 다음과 같은 과정으로 진행되었다(그림 4 참조).

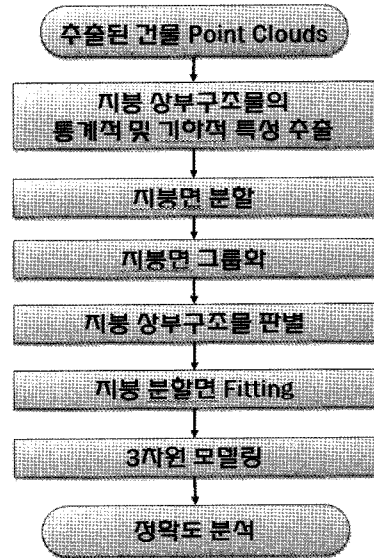


그림 4. 지붕 상부구조물의 모델링 과정

3.1 통계적 및 기하적 특성추출

LiDAR 데이터만 이용하여 다양한 형태 및 복잡한 구조를 가지고 있는 지붕의 상부구조물을 모델링하는 것은 불완전할 수 있다. 그러므로 추출된 건물에 대하여 지붕의 형태를 분석하고 건물의 지붕 상부구조물에 대한 상세 모델링하기 위한 특성정보를 추출 할 수 있는 방법이 요구된다(이동천 등, 2008; 정형섭 등, 2008).

본 연구에서는 지붕면을 분할하기 위해 추출된 건물에 대하여 통계적 및 기하적 특성을 분석하여 지붕의 형태를 분석하는 방법을 개발하였다. 이를 위하여, 이동영역(moving window)을 설정하고 이동영역을 이동하면 LiDAR 데이터의 평균 표고값과 표고의 표준편차를 계산한다. 또한 인접 LiDAR 점간의 경사도를 구한다.

3.2 지붕 상부구조물 형태 판별

건물 모델링을 위해서는 지붕의 상부구조물을 각각의 객체로 추출하여 지붕의 형태에 맞는 최적의 수학적 함수를 통해 모델링을 하여야한다. 그러나 지붕면 분할에

의해 결정된 지붕의 상부구조물은 하나의 건물 지붕에 대한 데이터를 포함하므로 상부구조물을 각각의 객체로 그룹화해야 한다. 이 과정은 2.3절에서 설명한 과정과 동일하게 수행하였다.

그룹화된 지붕면의 형태에 따라 수학적 함수를 결정하기 위해서는 먼저 지붕 상부구조물이 어떤 모양으로 생겼는지 판별 할 필요가 있다. 지붕 상부구조물의 형태를 미리 판별함으로써 그에 맞는 최적의 수학적 함수를 적용할 수 있으며 좀 더 정확하고 세부적인 3차원 건물 모델링이 가능하다. 본 연구에서는 지붕면 형태 판별을 위해 지붕면 분할과정에서 사용했던 평균, 표준편차, 경사도 정보를 종합적으로 분석하여, 지붕면을 사각형, 삼각형, 원형(아치형 및 돔형)의 세 가지 형태로 판별하였다.

3.3 지붕 분할면의 최적함수 결정

건물 지붕의 상부구조물 형태 판별 후, 각 상부구조물에 적합한 수학적 함수를 최소제곱법에 의해 결정함으로써 3차원 모델링을 수행하였다. 건물과 같은 대부분의 인공 구조물을 분할하면 평면, 경사면 및 곡면으로 이루어진 구조를 가지게 된다. 그러므로 객체 모델링을 위한 수학적 함수의 형태는 최대 2차 다항식으로 모델링하는 것이 적합하다. 최소제곱법에 의해 결정된 함수는 분할된 상부구조물의 형태에 따라 평면 또는 2차 곡면식을 사용한다.

4. 실험 및 분석

4.1 시뮬레이션 LiDAR 데이터

연구지역에는 다양한 형태의 지붕으로 구성된 건물이 존재하지 않으므로, 제안한 방법의 실험 및 검증 을 위해 시뮬레이션 LiDAR 데이터를 생성하였다. 시뮬레이션 데이터는 한 건물에 사각형, 삼각형, 아치형, 돔형 형태

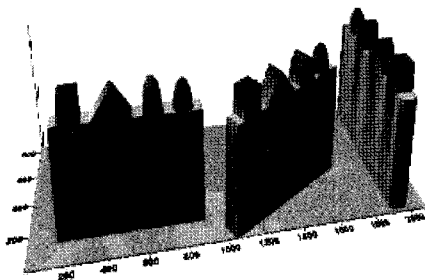


그림 5. 시뮬레이션 데이터

의 다양한 상부구조물을 구성하였다(그림 5 참조).

시뮬레이션 LiDAR 데이터의 격자간격은 0.4m로 형성하고, 표고 값에 -0.4m~+0.4m범위의 무작위 노이즈(random noise)를 추가하여 생성하였다. 또한, 원래의 시뮬레이션 데이터와 30° 회전한 데이터 및 90° 회전한 데이터를 포함하여 3개의 건물이 존재하는 테스트 데이터를 생성하였다.

먼저 반복적 평면결정을 통해 수목, 노이즈 및 불필요한 데이터를 제거하였다. 다음 과정으로 LiDAR 데이터로부터 비지면 데이터를 추출하기 위하여 히스토그램 분석 기법을 적용하였다(그림 6 참조).

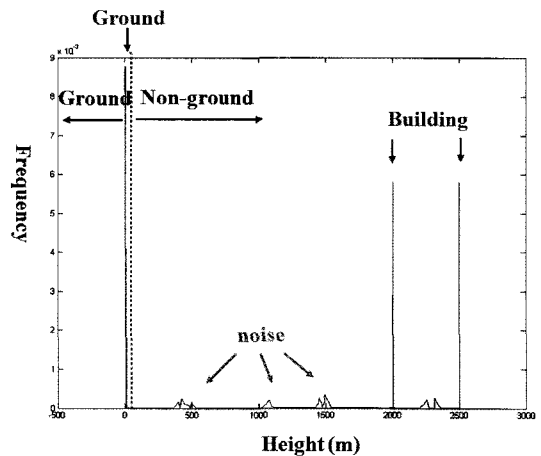


그림 6. 히스토그램 분석 결과

추출된 건물 데이터로부터 최적의 건물 외곽선을 결정하기 위하여 분할 및 병합과정에 의하여 단일 건물별로 그룹화 하였다. 다음으로 그룹화된 각 건물의 외곽선으로부터 Douglas-Peucker 알고리즘을 사용하여 건물의 코너점들을 추출하였다. 건물의 외곽을 이루는 점들은 불규칙하며 많은 오차를 포함하고 있기 때문에 외곽선을 보다 현실적으로 표현하기 위하여 수직, 수평조건을 이용하여 건물의 외곽선을 직선화하였다. 그림 7은 위 과정의 수행으로 결정된 최적화된 건물 외곽선을 보여 주고 있다.

외곽선 추출 결과의 검증을 위해서 시뮬레이션 LiDAR 데이터의 건물 코너점과 제안한 방법에 의해 추출된 건물 코너점을 비교하여 RMSE (Root mean square error)를 측정하였다. 총 12개의 건물 코너점을 비교한 결과, RMSE는 각각 X와 Y방향으로 0m와 0m였다.

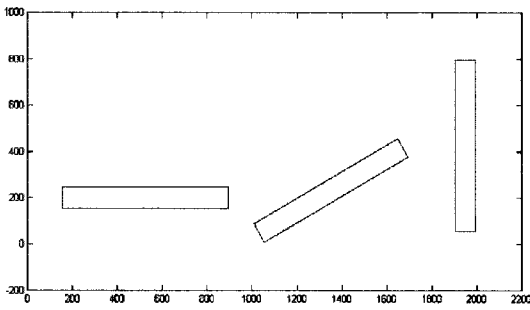


그림 7. 건물의 외곽선 추출 결과

LiDAR 데이터로부터 건물의 외곽선이 결정되면 각 건물 지붕의 상부구조물의 모델링을 수행한다. 지붕 모델링을 위해 그룹화된 각각의 건물 지붕의 상부구조물을 판별한 후 1차 함수 및 2차 다항식함수로 결정하였다. 그림 12는 지붕형태에 따라 1차 함수 및 2차 다항식 함수에 의한 모델링 결과를 보여주고 있다.

1차 함수로 평면지붕과 삼각형 지붕을 모델링한 결과, 평면지붕의 RMSE는 0.91m, 삼각형지붕의 RMSE는 1.43m이었다. 또한, 2차 다항식함수로 아치형지붕과 돛형지붕을 모델링한 결과, 아치형지붕의 RMSE는 1.85m, 돛형지붕의 RMSE는 1.97m이었다. 또한, 시뮬레이션 데이터와 30° 회전한 시뮬레이션 데이터 및 90° 회전된 데이터 3개의 건물이 존재한다는 가정으로 생성한 시뮬레이션 LiDAR 데이터에 대해 상부구조물을 모델링하였다. 그 결과, 그림 8과 같이 시뮬레이션 LiDAR 데이터의 지붕상부구조물의 모델링이 효과적으로 수행된 것을 확인할 수 있다. 그러나 30° 회전된 시뮬레이션 데이터에서는 삼각형의 상부구조물이 원형으로 모델링 되었다. 이는 제안한 방법이 회전에 대해 완전 불변하지 않는 한계가 있다.

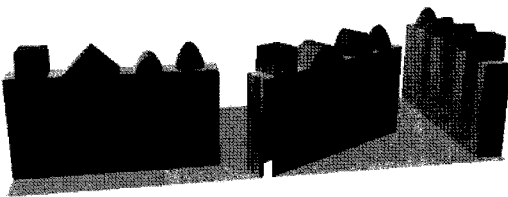


그림 8. 시뮬레이션 LiDAR 데이터의 모델링 결과

4.2 실제 LiDAR 데이터

실험에서 사용한 데이터는 한진정보통신에서 Optech

사의 항공 레이저 시스템인 ALTM 3070을 이용하여 획득한 데이터로, 항공기의 고도는 1,000m, 레이저 측정점의 밀도는 6점/m², 촬영 폭은 700m이었다. ALTM 3070의 주요 제원은 표 1과 같다.

표 1. 시스템 주요 제원

항목	내용
주사고도	200 - 3,000m
수직정확도	비행고도1,200m에서<15cm; 3,000m에서<35cm
주사각도	0 ~ 50°
수평정확도	1/2,000 × 비행고도
레이저 주파수	70kHz @ 지상고도: 1.5km 50kHz @ 지상고도: 2.0km 33kHz @ 지상고도: 3.0km
반사강도	12 bit

제안한 방법을 검증하기 위하여 대전지역의 실제 LiDAR 자료로부터 건물추출 및 건물 모델링을 실시하였다. 그림 9는 실험지역의 항공사진으로 상부구조물이 포함된 아파트 지역임을 보여주고 있다. 원시 LiDAR 데이터로부터 반복적 평면 결정을 통해 수목 및 불필요한 데이터를 제거하였다. 그림 10은 평면결정을 통해 수목 및 노이즈가 제거된 결과이며, 수목 및 노이즈가 제거되어 지표면과 건물의 면들이 평평해진 것을 확인할 수 있다.

평면결정을 수행한 뒤 지면과 비지면 데이터의 분리 위하여 히스토그램 분석 기법을 적용하였으며 비지면 데이터를 추출하여 건물에 해당하는 LiDAR 측정점을 추출하였다(그림 11 참조).

추출된 건물 데이터를 분할 및 병합과정에 의하여 단일 건물별로 그룹화 하였으며, 코너점 추출 과정을 통해 최종적으로 건물의 외곽선을 결정하였다. 그림 12는 대



그림 9. 항공사진

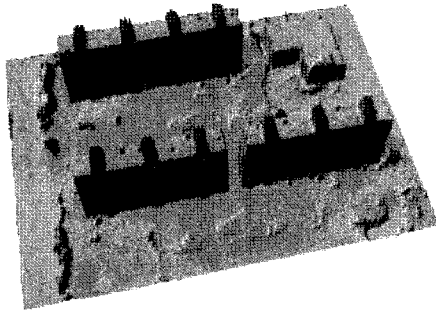


그림 10. 반복적 평면결정 결과

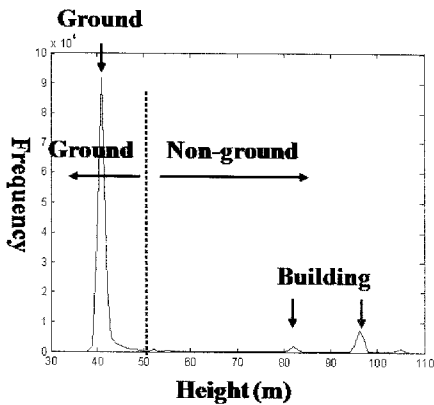


그림 11. 히스토그램 분석

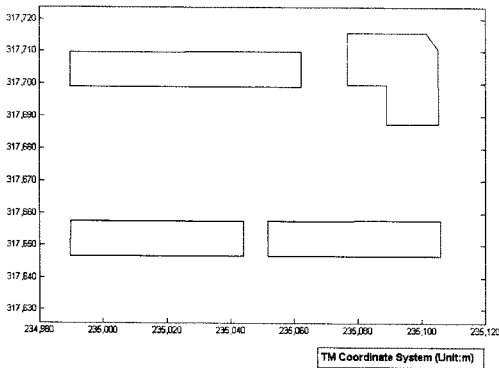


그림 12. 건물의 외곽선 추출 결과

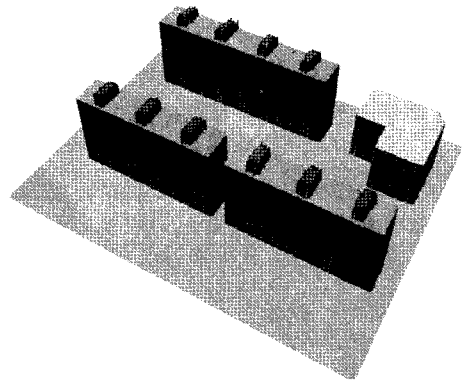


그림 13. 3차원 모델링 결과

코너점과 1:1,000 수치지도의 건물 코너점간의 평면 위치 정확도를 비교한 것으로, RMSE는 각각 X와 Y방향으로 0.42m와 0.37m였고, 평면 RMSE는 0.56m이었다. 이는 1:1,000 수치지도의 수평 정확도 평균오차가 0.2m, 최대오차가 0.4m임을 고려할 때, 제안한 방법으로부터 건물의 외곽선이 정확하게 자동으로 추출되었음을 보여준다.

다음으로 건물의 정확한 모델링을 위하여 건물 외곽선이 추출된 LiDAR 데이터로부터 각 건물의 지붕 상부 구조물 모델링과정을 수행하였다. LiDAR 데이터는 불규칙한 3차원 좌표(X, Y, Z)로 구성되어 있으므로 지붕 상부구조물의 모델링이 용이하도록 최근린(Nearest neighbour) 보간법에 의하여 격자화 하였으며, 격자 간격은 LiDAR 자료의 점 밀도를 고려하여 X, Y방향으로 각 1m로 설정하였다.

연구지역의 실제 건물은 평면지붕 상부에 직육면체의 엘리베이터 타워가 있는 단순 평면들로 이루어진 아파트 건물이므로 분할된 면들은 3차원 평면 방정식으로 모델링하여 그림 13과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 모델링 결과에 대한 정량적인 정확도 분석은 기준 데이터(예: 3차원 수치지도 또는 지상측량 성과 등)의 부재로 직접 평가 할 수 없으므로, 평면에 대한 분할 및 모델링 결과를 시각적으로 평가하여 합리직임을 판단하였다.

전 지역의 LiDAR 데이터로부터 추출된 최적화된 건물 외곽선이다.

건물 외곽선 추출의 결과를 확인하기 위해서 건물 외곽선 추출 결과와 1:1,000 수치지도를 중첩하여 RMSE를 계산하였다. 표 2는 LiDAR 데이터로부터 추출된 건물의

5. 결 론

본 연구는 항공 LiDAR 데이터만을 사용하여 건물의 외곽선을 정확하게 추출하는 과정의 자동화 및 지붕면

표 2. 제안한 방법에 의해 추출된 건물 코너점과 수치지도의 건물 코너점 비교(RMSE)

(unit:m)

건물 No.	LiDAR 데이터로부터 추출된 건물 코너점		수치지도 (1:1,000)		차이	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY
1	234989.59	317709.74	234989.10	317710.36	0.49	-0.62
	234989.59	317698.91	234989.40	317698.92	0.19	-0.01
	235062.25	317698.94	235062.81	317698.67	-0.56	0.27
	235062.25	317709.78	235062.96	317710.34	-0.71	-0.56
2	235076.73	317715.702	35077.07	317715.77	-0.34	-0.07
	235076.79	317699.51	235077.09	317699.58	-0.30	-0.07
	235088.91	317699.55	235089.03	317699.65	-0.12	-0.10
	235088.95	317687.52	235088.80	317687.79	0.15	-0.27
	235105.27	317687.57	235105.42	317687.82	-0.15	-0.25
	235105.19	317710.65	235105.26	317711.61	-0.07	-0.96
	235101.45	317715.79	235101.18	317715.81	0.27	-0.02
3	234989.76	317657.52	234989.40	317658.10	0.36	-0.58
	234989.74	317646.65	234989.51	317646.57	0.23	0.08
	235044.12	317646.53	235044.55	317646.42	-0.43	0.11
	235044.14	317657.39	235044.66	317657.89	-0.52	-0.50
4	235051.69	317657.48	235051.28	317657.77	0.41	-0.29
	235051.71	317646.53	235051.29	317646.67	0.42	-0.14
	235105.85	317646.64	235106.52	317646.51	-0.67	0.13
	235105.82	317657.59	235106.52	317657.87	-0.70	-0.27
RMSE					0.42	0.37
평면RMSE					0.56	

분할에 의한 3차원 건물 상세 모델링 방법을 제안하다. 제안한 방법의 검증을 위하여 시뮬레이션 데이터와 실제 항공 LiDAR 데이터로부터 건물을 자동으로 추출하고, 지붕 상부구조물을 모델링하기 위해 지붕의 형태 및 상부구조물 분석을 위한 특성정보 추출을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 항공 LiDAR 데이터로부터 제안하는 방법을 적용하여 건물 외곽선이 효율적으로 추출되었으며, 1:1,000 수치지도와 비교한 결과 평면 RMSE는 실험지역에 대해 각각 0.56m로 외곽선 추출이 정확하게 수행되었음을 알 수 있었다.
- (2) 실제 건물 데이터에 적용한 경우 건물 형태에 적합

한 3차원 평면함수로 모델링한 결과는 시각적으로 평가하여 그 결과가 타당함을 알 수 있었으며, 시뮬레이션 LiDAR 데이터의 상부구조물에 대한 RMSE는 평면의 상부구조물은 0.91m, 삼각형 상부구조물은 1.43m, 아치형 상부구조물은 1.85m, 돛형 상부구조물 1.97m였다.

- (3) 복잡한 형태의 건물에 대축척 정밀 3차원 수치지도 제작과 같은 높은 정확도가 요구되는 전문분야에 적용하는 데는 한계가 있지만, 3D 도시모델링 및 다양한 활용분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 향 후, 본 연구의 향상 및 개선을 위해 고려해야 할 사

항은 다음과 같다.

- (1) 건물의 외곽선 추출 시, 밀집해 있는 건물의 경우 하나의 건물로 인식될 가능성이 있으므로 데이터 획득 시 이를 고려하여 LiDAR 데이터의 점밀도를 향상시켜야 한다.
- (2) 건물 지붕 상부구조물 모델링의 경우, 기하적 특성 분석을 단일 방향으로만 수행할 경우 회전 및 변형된 데이터에 대해 모델링이 정확하게 이루어지지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 그러므로 건물의 회전에 관계없이 특성을 추출할 수 있는 알고리즘의 개발 필요하다.

감사의 글

본 연구는 서울시 전략산업 핵심 클러스터 육성 지원 사업을 통한 '서울형 공간정보산업 활성화를 위한 핵심 및 응용기술의 혁신 연구과제'(과제번호 : 10540)의 연구비 지원에 의하여 연구를 수행하였습니다.

참고문헌

김성삼, 구신희, 김원석, 유환희 (2006), LiDAR 자료를 이용한 수치지도 건물레이어 갱신, *춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회*, pp. 411-417.

박지혜, 이임평, 최윤수, 김성준 (2005), 다중 데이터를 융합한 3차원 건물 모델링 자동화 방안, *춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회*, pp. 259-265.

송낙현, 신성용, 조홍범, 조우석 (2007), LiDAR 데이터를 이용한 옥트리 분할 기반의 지붕요소 자동추출, *한국측량학회지, 한국측량학회*, 제 25권, 제 4호, pp. 327-336.

유환희, 김경환, 김성삼 (2006), LiDAR 자료기반의 3차원 건물정보 구축, *한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회*, 제 14권, 제 3호, pp. 13-22.

이동천, 염재홍 (2005), LiDAR 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성, *한국측량학회지, 한국측량학회*, 제 23권, 제 3호, pp. 311-322.

이동천, 정형섭, 임새봄 (2008), 디지털 영상처리 기법에 의한 LiDAR 표고 영상으로부터의 건물추출 및 지붕 상부구조물 분할, *2008 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회*, pp. 129-132.

정형섭, 임새봄, 이동천 (2008), 항공 LiDAR 데이터를

이용한 건물추출과 상부구조물 특성분석 및 모델링, *한국측량학회지, 한국측량학회*, 제 26권, 제 3호, pp. 227-239.

조우석, 좌윤석, 이영진 (2003), 항공 레이저스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출, *대한토목학회 논문집, 대한토목학회*, 제 23권, 제 5호, pp. 727-733.

Bortolot, Z. J. and Wynne, R. H. (2005), Estimating forest biomass using small footprint LiDAR data: An individual tree-based approach that incorporates training data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS*, Vol. 59, No. 6, pp. 342-360.

Elaksher, A. F. and Bethel, J. S. (2002), Reconstructing 3D buildings from LiDAR data, *ISPRS Commission III Symposium 2002, Institute for Computer Graphics and Vision*, pp. 102-107.

Flood, M. (1999), Commercial development of airborne laser altimetry, *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, ISPRS*, Vol. 32, pp. 13-20.

Geibel, R. and Stilla, U. (2000), Segmentation of laser altimeter data for building reconstruction: Different procedures and comparison, *International Archives of the Photogrammetry & Remote Sensing, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing and the Remote Sensing Society*, Vol. 33, No. B3, pp. 326-334.

Habib, A., Cheng, R., Kim, E., Mitishita, E., Frayne, R. and Ronsky, J. (2006), Automatic surface matching for the registration of LiDAR data and MR imagery, *ETRI Journal, Electronics and Telecommunications Research Institute*, Vol. 28, No. 2, pp. 162-174.

Lee, D. C., Jung, H. S. and Yom, J. H. (2007a), 3D building reconstruction and visualization by clustering airborne LiDAR data and roof shape analysis, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 25, No. 6-1, pp. 507-516.

Lee, D. C., Jung, H. S., Yom, J. H., Lim, S. B. and Kim, J. H. (2007b), Automatic generation of building footprints from airborne LiDAR data, *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2007, The Korean Society of Remote Sensing*, Unpaged CD-ROM.

Rottensteiner, F. and Briesse, C. (2001), A new method for

building extraction in urban areas from high-resolution LiDAR data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 34, pp. 295-301.

Schenk, T., Castho, B., Lee, D. C. (1999), Quality control issues of airborne laser ranging data and accuracy study in an urban area, *Internal Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 32, Part 3W14, pp. 101-108.

Vosselman, G. and Dijkman, S. (2001), 3D building model reconstruction from point clouds and ground plan,

International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, ISPRS, Vol. 34, No, 3, pp. 37-44.

Zhang, K., Chen, S. C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan ,J. and Zhang, C (2003), A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LiDAR data, *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 41, No. 4, pp. 872-882.

(접수일 2009. 9. 29, 심사일 2009. 10. 13, 심사완료일 2009. 10. 19)