

# Lidar 데이터의 점밀도에 따른 지물의 3D 모델링

## 3D Modeling of Terrain Objects according to the Point Density of Lidar Data

한동엽\*, 김용일\*\*, 유기윤\*\*  
Dong-Yeob Han, Yong-Il Kim, Ki-Yun Yu

서울대학교 지구환경시스템공학부, 02-880-7371  
[hkyon2@snu.ac.kr](mailto:hkyon2@snu.ac.kr), [yik@snu.ac.kr](mailto:yik@snu.ac.kr), [kiyun@plaza.snu.ac.kr](mailto:kiyun@plaza.snu.ac.kr)

### 요약

최근에 Lidar 데이터를 이용한 3차원 위치 정보와 지표면 속성 정보를 취득하는 연구가 많이 진행되고 있다. 높은 위치 정확도, 3차원 데이터 동시 취득, 기존 측정 방식에 비하여 점 데이터 취득의 자동화, 데이터 정확도의 안정성 등으로 인하여 복잡한 지형 및 인공구조물이 존재하는 지역에서 Lidar 데이터의 응용 사례가 많이 나타나고 있으며, 특히 건물 모델링에서 반자동 방식의 디지털 사진측량에 비하여 자동 모델링의 가능성을 보여주고 있다. 일반적으로 Lidar 데이터의 점밀도는 1점/㎡ 이내이며, 촬영된 스트립을 중복시켜 점밀도를 높이기도 한다. 건물은 크기와 형태가 다양하기 때문에 모델링에 필요한 점밀도를 제시하기는 어렵지만 5점 내외에서 모델링이 가능하다고 알려져 있으며, 건물외에 다른 지형지물에 대한 모델링 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 Lidar 데이터의 점밀도에 따라 지물의 모델링 가능성을 평가하고 효율적인 데이터 취득 방안을 제시하고자 한다.

#### 1. 서론

위치 및 속성 등의 지형정보를 취득하는 방법은 현지조사, 일반측량, 사진측량, 원격탐사, GPS 차례로 출현하였으며, 이후 1990년대 초에 시작된 항공레이저측량(ALS)이 새로운 정보 획득 수단으로 부각되고 있다. 항공레이저측량의 주요 성과물은 3차원 표고데이터, 반사강도 데이터이며 부가적으로 항공사진을 촬영하기도 한다. 3차원 표고데이터는 불규칙 격자의 점데이터(3D point cloud)로서 지구 표면의 높이(DSM: Digital Surface Model)를

제공하며, 보간을 이용하여 정규격자 DEM으로 변환하거나, 등고선을 생성할 수 있다. 반사강도 데이터는 대개 적외선 영역의 단파장에 대한 지표면 반사체의 반사 특성을 나타내는 것으로 지표면의 형상을 구분할 수 있는 정보가 된다. 두개의 데이터는 다시 첫 번째 펄스(first pulse)와 마지막 펄스(last pulse) 데이터로 구분할 수 있다면 4종류의 데이터를 이용할 수 있다.

초기 항공레이저측량 자료의 가능성이 예상되면서 정확도, 효율성, 자동화 여부

등의 기준으로 기존 정보 획득수단과의 비교 평가가 수행되었다. 그 결과 기존의 방법과 상호보완적으로 이용될 수 있는 기술로 인정을 받고 있으며, 응용분야의 확대 및 상업적 이용을 위한 연구개발이 이루어지고 있다. 지형정보 획득 수단의 하나로써 항공레이저 측량 데이터의 가능성을 검토하기 위하여 수행되고 있는 지형지물의 모델링에 대한 연구 성과를 소개하고자 한다. 본 연구의 연구 흐름도는 그림 1과 같다.

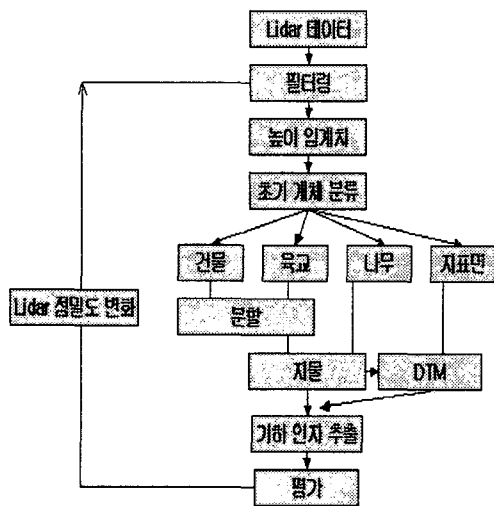


그림 1. 연구 흐름도

## 2. 연구 동향

항공레이저측량 데이터를 이용한 지형지물 추출은 크게 수치표고모델(DEM) 생성, 건물 추출 및 모델링, 수목 추출 및 모델링으로 나눌 수 있다. 우선 DEM 생성은 데이터를 필터링하는 것으로, Lohmann은 spline 근사, shift invariant 필터, moving minimum, convex hull을 테스트하였고, IPI(Institut für Photogrammetrie und GeoInformation)에서는 자체 개발한 Linear prediction 기법, Delft 대학의 Vosselman이 제안한 대상 점 주변의 점을 profiling slope 필터를 이용하여 나누는

Point Neighbour 분류 방법, 마지막으로 모폴로지 기법을 비교·평가하여 모폴로지 필터링의 우수성을 보여주었다.

건물을 모델링하기 위하여 Weidner와 Föstner(1995)의 연구, 그리고, Maas와 Vosselman(1999)의 연구에서 불변모멘트(invariant moments)를 이용한 건물 인자를 추출하는 방법과 평면분할을 통한 빌딩 재구성 방법을 평가하였다. 이 두 방법은 건물 모델링의 기본 방법으로 이후 연구되었으며, 건물 추출의 연구는 점데이터, TIN 또는 격자형 자료에 대한 필터링을 이용하여 수행되었다.

Magnussen 등은(1999)에 의하면 개개의 수목을 추출하기 위하여 6~10점/㎡의 점 밀도가 필요하다고 하였고, Persson(2002)은 71퍼센트의 정확도로 개개의 수목을 추출하였고, 수목의 높이와 수관의 지름은 0.63m와 0.61m의 평균제곱근오차로 추정할 수 있었다. 기타 지형지물의 추출에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

## 3. 지형지물 추출

### 3.1. 초기 지물 추출

항공레이저측량 데이터를 처리하기 위하여 DSM과 DTM의 구분이 필요하며, 구분은 전처리 과정으로 이루어지기도 하고, 최종결과물로서 나타나기도 한다. DTM은 모폴로지 필터(또는 dual rank 필터)나 Briese가 제안한 robust 보간법이 우수하다고 알려져 있으며, 일반적으로 DSM과 DTM의 차이를 이용하여 지물을 추출한다. 본 논문에서는 지물의 경계를 보존하기 위하여 이병길(2001)이 제안한 필터링 방법을 사용하여 초기 지물의 위치를 추출하였다.

### 3.2. 건물 및 수목 추출

단지 개체의 크기나 형태만을 고려한다면, 건물, 비건물 인공지물, 자연지물,

수목을 구별하기가 쉽지 않다. Brunn과 Weidner(1997)에 의하면 미분기하값(differential geometric quantities)에 의한 DSM의 굴곡을 사용한 연구도 있지만, 지면기하의 제약으로 인하여 구분될 수 있는 개체형이 매우 한정되어 거리나 토지이용 분류는 가능하지 않다고 하였다. 컬러 영상이나 지형정보 자료 등의 보조 데이터를 이용할 수 없는 경우 반사강도를 이용할 수 있지만 흑백영상에서 높은 성과를 기대하기 어렵다. 본 연구에서는 항공레이저 측량자료의 지물추출 가능성을 평가하므로 보조자료가 없다고 가정하고 정규화된 지물의 높이값과 면적, 기하량 등이 지형지물의 추출 및 분류 기준으로 사용하였다.

### 3.3. 기타 지형지물

다양한 지형지물이 대상지역에 존재하며, 특정 지형지물을 자동으로 인식하여 추출한다는 것은 불가능하다. 따라서 대상지역에 존재하는 지물을 먼저 추출하고 후처리시에 인식하는 반자동추출이 필요하다.

## 4. 모델링

### 4.1. 건물 모델링

건물의 형태에 대한 분류를 통하여 생성된 primitive 모델에 추출된 건물을 최소제곱매칭시켜 3D CAD 모델을 생성하거나, 항공레이저측량자료를 분할하여 평면을 생성하고 평면을 결합하여 건물의 구성요소를 추출하며 구성 평면의 높이 데이터를 이용하여 모델링을 하기도 한다. 위의 두 모델링 방법은 각각 단순한 형태의 건물과 복잡한 형태의 건물을 모델링할 때 장점을 가지고 있으며, primitive 모델은 아직 국내의 고유한 건물 양식이나 도심 고층건물, 아파트 등에 적용될 수 없기

때문에 본 연구에서는 데이터의 분할을 이용한 모델링 방법을 사용하였다.

### 4.2. 수목 모델링

수목을 모델링하기 위하여 수치수목모델(dcm: digital canopy model)을 생성해야 한다. 수치수목모델은 높은 정밀도가 필요하며, 추출된 수목에 대해 분류가 수행된다면 높이, 지름, 수관 등의 정보를 이용하여 수목의 primitive 모델을 적용할 수 있다.

### 4.3. 기타 지물 모델링

후처리 과정에서 인식된 대상지역내 지물에 대한 primitive 모델을 적용할 수 있다.

## 5. 실험 및 결과

### 5.1. 데이터 및 대상지역 특성

연구대상지역은 파주시 봉일천리 부근지역으로 도로, 건물, 경작지, 산, 내천이 존재하며, 건물은 주택·아파트, 대형건물, 학교, 소형가옥으로 나눌 수 있고, 기타 자동차와 육교, 담, 가로수 등의 지형지물도 존재한다. 참고용 수치지도는 베셀타원체, TM 중부원점 기준으로 제작되었지만, 항공레이저측량자료와 일치시키기 위하여 WGS84 타원체, UTM으로 변환시켰다. 시각적으로 검사한 결과 변환된 수치지도와 항공측량레이저자료는 거의 일치하였다. 데이터의 정밀도는 5.227점/㎡, 점간 평균거리는 0.437m이며, first 펄스와 last 펄스 및 반사강도가 모두 존재한다. 랜덤샘플링을 이용하여 4.0점/㎡, 2.5점/㎡, 1.0점/㎡, 0.5점/㎡의 정밀도를 갖는 데이터를 생성하고 지물의 추출 및 모델링 가능성을 평가하기 위하여 격자데이터로 보관하였다.

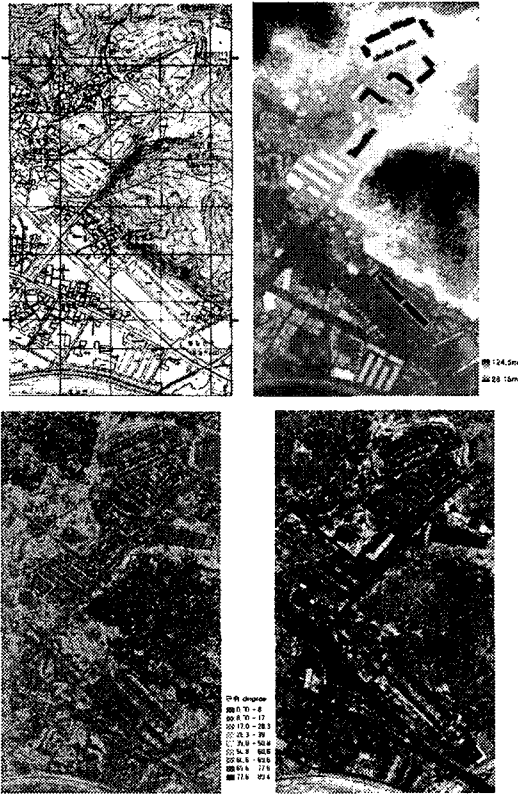


그림 2. 대상지역과 데이터 (좌상) 1:1000 수치지도, (우상) 격자형 항공측량레이저 DSM, (좌하) 경사도로 구분된 지형특성, (우하) first 펄스의 반사강도



그림 3. 원데이터와 점밀도 조정데이터의 차이:(좌상) 0.5점/㎡, (우상)1점/㎡, (좌하)2.5점/㎡, (우하)4점/㎡

표 1. 원데이터와 점밀도 조정 데이터의 차이 통계량

	평균	표준편차	최소	최대
5.2-0.5	-0.11	2.67	-59.08	57.55
5.2-1.0	-0.08	2.27	-60.50	60.86
5.2-2.5	-0.04	1.61	-53.66	57.39
5.2-4.0	-0.02	0.98	-53.64	41.88

### 5.2. 지형지물 추출

그림 3에서 분홍색과 하늘색으로 표시된 부분은  $\pm 50\text{cm}$  이상의 편차를 보이는 지역으로 지물의 경계와 산에서 편차가 심하다는 것을 알 수 있다. 0.5점과 1점으로 지정된 경우 건물지붕과 산에서 오차가 심하여, 건물지붕 모델링이나 DTM 생성시 오차가 심할 것으로 생각한다.

사용된 필터는 데이터의 점데이터를 직접 이용하므로 점데이터의 점밀도에 맞는 해상도로 지형지물을 추출해야 하며, 지형지물의 최소 높이를 1.5m로 잡고 추출된 선형을 점밀도에 따라 분석하였다.



그림 4. 지형지물 추출결과:(좌상)0.5점(1m), (우상)1점(1m), (좌하)2.5점(0.8m), (우하)5.2점(0.5m)

지형지물 추출결과는 그림 4와 같고, 0.5 점밀도와 1점밀도는 일부 건물의 선형은 추출할 수 있지만 건물이 밀집되어 있거나 지붕의 형태는 추출할 수 없었다. 또한 가로수의 경우도 일부 추출하였지만 형태나 크기가 많이 왜곡되었다. 2.5점밀도의 경우 자동추출에 어려움이 예상되지만, 많은 지형지물이 추출되었고, 지붕의 형태도 일부 추출되어 지형지물 추출에 사용가능한 점밀도라고 여겨진다.

### 5.3. 지형지물 모델링

지물의 모델링 가능성을 평가하기 위하여 대상지역내 아파트에 대한 수동 모델링을 수행하였다(그림5와 그림6 참고). 1점밀도 데이터는 격자데이터에서는 지붕의 형태가 구별되었지만 자동화기에는 어려움이 예상되며, 점 데이터를 이용한 수동 모델링에서 실제 모습과 약간 다르게 나타났다. 가로수의 경우 시각적으로 검사한 결과 0.5점밀도와 1점밀도에서 가로수의 크기와 위치가 변하여 모델링에 적합하지 않았다.

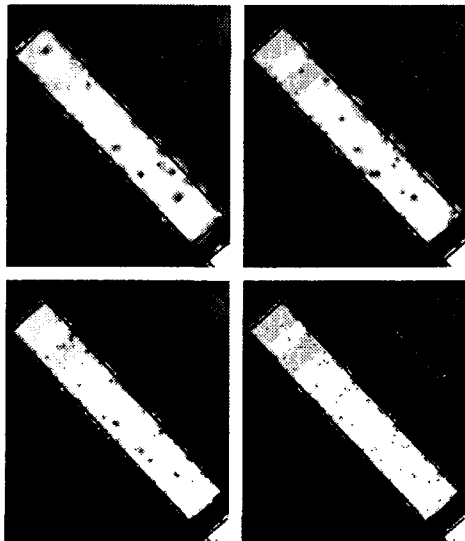


그림 5. 점밀도별 대형건물의 DSM:(좌상) 0.5점,(우상)1점,(좌하)2.5점,(우하)5.2점

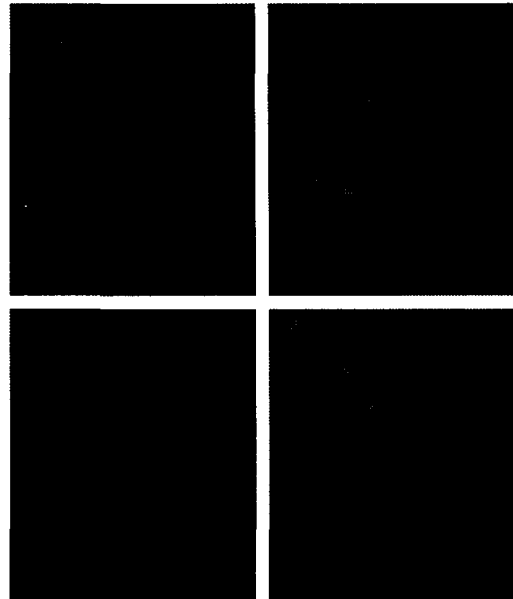


그림 6.가로수의 DSM:(좌상) 0.5점,(우상)1점,(좌하)2.5점,(우하)5.2점

대상지역에서 확인된 주요 지물은 표 2와 같이 나눌 수 있으며, 반사강도 자료를 함께 이용하여 수동으로 지형지물 추출 및 모델링에 대한 가능성을 평가하였다. 수동평가 결과와 자동화 구현이 비례하는 것은 아니지만 본 연구결과는 자동화 가능성에 대한 참고자료로 사용될 수 있을 것이다.

표 2. 점밀도에 따른 지형지물 정보의 추출 가능성(추출:모델링 가능성)

분류 I	분류 II	점밀도(점/㎡)				
		5.2	4.0	2.5	1.0	0.5
건물	아파트, 공공주택	OO	OO	OΔ	ΔΔ	Δ×
	대형건물	OO	OO	OΔ	Δ×	Δ×
	소형건물	ΔΔ	ΔΔ	ΔΔ	Δ×	×
도로	도로	O	Δ	Δ	Δ	Δ
	차선	Δ	Δ	×	×	×
물	내천	OO	OO	OO	ΔΔ	ΔΔ
식생	산	ΔΔ	Δ×	Δ×	×	×
	가로수	OΔ	OΔ	ΔΔ	Δ×	Δ×
경작지	논	^	^	^	-	-
	밭	^	^	^	-	-
기타	육교	OO	OO	OΔ	ΔΔ	Δ×

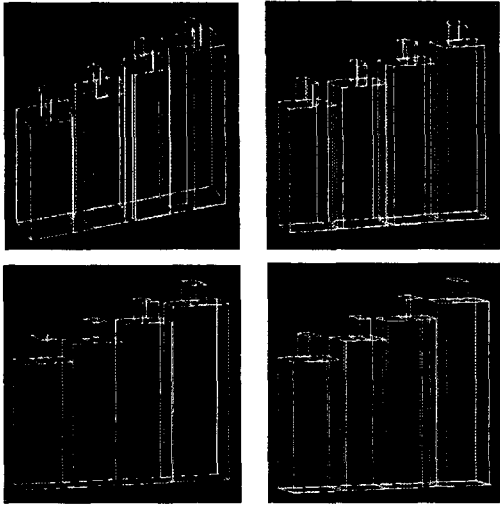


그림 7. 건물의 수동 모델링 결과: (좌상)0.5 점, (우상)1.0점, (좌하)2.5점, (우하)5.2점

## 6. 결론

복잡한 지형지물의 자동 영상처리에 어려움이 있는 것처럼 항공레이저측량자료도 복잡한 지형지물(특히 건물과 식생의 다양성)로 인하여 자동화하는데 많은 문제점을 지니고 있다. 하지만 이전 지형지물 추출 기법에 비하여 반자동 또는 자동화를 이룰 수 있는 가능성이 높으며, 기대 정확도나 경제성, 데이터 처리 효율성을 높이기 위하여 데이터의 정밀도와 지형지물의 추출에 대한 연구가 필요하다. 이에 정량적·정성적 평가를 수행하기 위한 작업의 일부로서 현재까지 진행된 연구 결과를 나타내었다.

데이터를 제공해주신 (주)바투엔지니어링에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

이원희, "수치지도와 LiDAR 자료를 이용한 도시지역 건물 3차원 모델링에 관한 연구", 서울대 대학원 석사학위논문, 2003

Norbert Haala, etc., "Extraction of buildings and trees in urban environments", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, No. 54, 1999, p. 130-137

Brunn, A., Weidner, U., "Extracting buildings from digital surface models", Vol. 32, IAPRS, Part 3-4W2, Stuttgart, Germany, 1997, pp. 27-34

Lohmann P., Koch A., Schaeffer M., "Approaches to the Filtering of Laser Scanner Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (33), B3/1, 534-541.

Hug, C., "Extracting artificial surface objects from airborne laser scanner data". In: Gruen, A., Baltsavias, E.P., Henricson, O. Automatic Extraction of Manmade Objects from Aerial and Space Images. Basel, pp. 203-212.

Kraus, K., Pfeifer, N., "Determination of terrain models in wooded areas with ALS data", ISPRS JPRS, 53:193-203, 1998