

LiDAR 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성

Generation of Building and Contour Layers for Digital Mapping Using LiDAR Data

이동천¹⁾ · 염재홍²⁾

Lee, Dong-Cheon · Yom, Jae-Hong

Abstract

Rapid advances in technology and changes in human and cultural activities bring about changes to the earth surface in terms of spatial extension as well as time frame of the changes. Such advances introduce shorter updating frequency of maps and geospatial database. To satisfy these requirements, recent research efforts in the geoinformatics field have been focused on the automation and speeding up of the mapping processes which resulted in products such as the digital photogrammetric workstation, GPS/INS, applications of satellite imagery, automatic feature extraction and the LiDAR system. The possibility of automatically extracting buildings and generating contours from airborne LiDAR data has received much attention because LiDAR data produce promising results. However, compared with the manually derived building footprints using traditional photogrammetric process, more investigation and analysis need to be carried out in terms of accuracy and efficiency. On the other hand, generation of the contours with LiDAR data is more efficient and economical in terms of the quality and accuracy. In this study, the effects of various conditions of the pre-processing phase and the subsequent building extraction and contour generation phases for digital mapping have on the accuracy were investigated.

Keywords : LiDAR data, Digital map, Building and contour layers, Accuracy evaluation

요 지

급속한 기술의 발전과 인간 생활 및 문화 활동의 범위가 변하고 확장됨에 따라 지표면에 빠른 변화가 발생하고 있으므로 지도와 지형공간 데이터베이스의 갱신주기는 짧아져야 한다. 이를 만족시키기 위하여 최근에 지형공간정보 분야에서는 지도제작 과정의 자동화와 데이터 처리속도의 단축을 위한 연구가 진행되고 있으며, 이 결과 수치사진측량 워크스테이션, GPS/INS 기술, 위성영상의 활용기술, 자동 정보추출 및 LiDAR 시스템이 개발되었다. 항공 LiDAR 데이터로부터 자동으로 건물을 추출하고 등고선을 생성할 수 있는 가능성에 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나 숙련된 작업자에 의해 수동으로 건물을 도화하는 기존의 사진측량 방법에 의한 결과와 비교하면, 정확도와 효율성에 대한 좀더 심도 깊은 연구가 수행되어야 한다. 반면에, LiDAR 데이터로부터 등고선을 생성한 결과, 품질 및 정확성에 있어서 효율적이고 경제적이었다. 본 연구에서는 수치지도 제작에 필요한 건물을 추출하고 등고선을 생성하기 위하여 LiDAR 데이터의 전처리 과정과 단계별 처리과정에 관련되는 다양한 조건의 영향 및 정확도에 관하여 평가하였다.

핵심용어 : LiDAR 데이터, 수치지도, 건물 및 등고선 레이어, 정확도 평가

1. 서 론

도시화와 산업화가 가속되고 국토개발이 빠르게 진행됨에 따라 지표면과 지형지물도 급속하게 변하고 있으며,

이에 대응할 수 있는 신뢰성 높은 공간 데이터의 신속한 획득과 처리의 필요성이 증가되고 있다. 그러므로 지형공간정보의 매체 중의 하나인 지도의 갱신주기가 단축되어야 하며, 활용분야에 따라서는 실시간 데이터 처리문제가

1) 연결저자 · 정회원 · 세종대학교 공과대학 지구정보공학과(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

2) 정회원 · 세종대학교 공과대학 지구정보공학과(E-mail:jhyom@sejong.ac.kr)

발생하게 되었다. 이에 따라 지도제작 과정의 자동화 연구가 진행되고 있으며, 효율적인 데이터 처리 방법의 개발도 꾸준히 진행되고 있다. 최근에는 다양한 센서를 이용하여 실시간으로 광범위한 지역을 관측할 수 있고, 데이터를 손쉽게 얻을 수 있으며 획득된 데이터는 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러므로 대량의 데이터를 신속하고 정확하게 처리할 수 있는 기법과 효율적인 시스템에 대한 연구가 더욱 필요하다. 최근에는 여러 측면에서 효율성과 다양한 분야에서 활용 가능성이 높게 평가되고 있는 LiDAR 시스템을 이용하여 획득한 3차원 공간 데이터는 지형도 제작, 3차원 건물 및 도시모델링, 통신환경 분석 등 여러 분야에서 활용되고 있다(Alharthy & Bethel, 2004; Vosselman & Dijkaman, 2001).

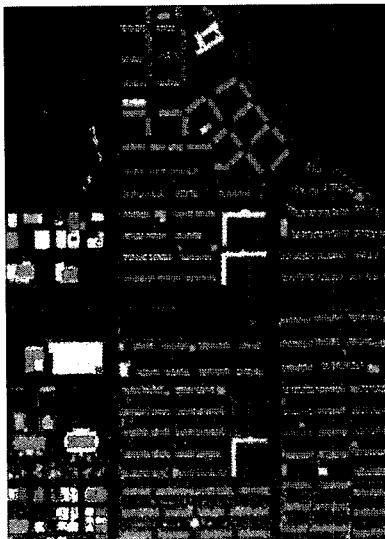
1990년대 중반부터 본격적으로 개발된 ALS(Airborne Laser Scanner) 시스템으로부터 획득한 LiDAR 데이터와 수치지도, 항공 및 위성영상 등과 같은 데이터를 융합하는 연구도 활발히 진행되고 있다. LiDAR 데이터는 지표면에 대한 고밀도의 정확한 3차원 좌표를 제공하므로 지형지물의 분류 결과와 3차원 좌표정보를 이용하여 3차원 건물추출 및 모델링이 가능하다(Suveg & Vosselman, 2002). 3차원 건물 재현 방법에는 여러 가지가 있다. 영상을 이용한 건물의 추출기법(이재기 등, 2003; Braun 등, 1995), 영상과 LiDAR 데이터를 복합적으로 이용한 건물의 추출방법(Schenk & Csatho, 2002; Habib 등, 2005), LiDAR 데이터만을 이용

하여 건물을 추출하는 방법 등 이다(조우석 등, 2003; Lee 등, 2002; Lee & Schenk, 2001; Maas & Vosselman, 1999). 또한 LiDAR 데이터를 이용하여 도심지역의 수치표고모델 생성에 관한 다양한 연구도 진행되고 있다(Shan & Sampath, 2005; Zhang & Whitman, 2005; Zhu 등, 2004).

본 연구에서는 LiDAR 데이터만을 이용하여 수치지도 작성 가능성을 조사하고 문제점을 파악하는 것을 주요 목표로 하고 있으며, 기존의 3D 건물 모델링에 대한 연구와는 달리 현재 2D 수치지도 작성 규정이 정한 건물 도화의 주요 기준인 외곽선 및 외곽점의 자동추출 및 편집에 중점을 두고 있다. 이를 위하여 LiDAR 데이터의 분류를 통해 지표면과 건물 데이터를 분리하고, 이 데이터로부터 건물의 외곽선과 지표면의 등고선을 추출하였으며 정확도를 시각적 및 정량적으로 분석하였다. 건물을 추출하는 과정은 원시 LiDAR 데이터의 전처리 단계와 건물 외곽선 추출 단계로 구분하였다. 등고선의 경우, 건물 및 식생과 같은 지물들을 제거한 순수한 지표면(bare-ground)에 대한 수치지형모델(DTM)을 형성한 후 이를 기반으로 등고선을 생성하였다. 각 단계에서 요구되는 선택 조건에 따라 추출한 건물을 기존의 수치지도의 건물 및 등고선 레이어와 비교 분석하였다.

2. 연구지역과 LiDAR 데이터

연구 대상지역은 대전광역시 청사주변의 주택지로 주로



(가) LiDAR 데이터



(나) 항공영상

그림 1. 연구 대상지역

표 1. ALTM 3070 스캐너의 사양

항 목	내 용
주사 고도	200 - 3,000 m
수직 정확도	비행고도 1,200m에서 < 15cm; 3,000m에서 < 35cm
주사 각도	0 ~ 50°
수평 정확도	1/2,000 × 비행고도
레이저 주파수	70kHz @지상고도: 1.5km 50kHz @지상고도: 2.0km 33kHz @지상고도: 3.0km
반사강도	12 bit
이중 반사파 측정	1~4th range

아파트 건물이 밀집된 지역으로 선정하였으며, 그림 1은 건물 레이어 생성을 위한 연구지역에 대한 LiDAR 데이터와 항공영상을 보여주고 있다. LiDAR 데이터는 Optech사의 ALTM 3070를 이용하여 획득하였으며, 항공기의 고도는 1,000m이었으며, 레이저 측정점의 밀도는 6 점/m², 촬영 폭은 700m 이었다.

시스템의 주요 제원은 표 1과 같다. 최적의 조건에서 획득된 데이터의 수평 정확도는 0.5m, 수직 정확도는 0.15m로 예상된다.

3. LiDAR 데이터 처리

LiDAR 데이터로부터 건물 및 등고선 레이어를 생성하기 위하여 LiDAR 데이터를 건물과 지표면으로 분류하였고, 건물로 분류된 데이터를 이용하여 건물의 외곽선을 추출하였으며, 추출된 건물의 외곽선은 수정 및 편집한 후 기존의 수치지도와 중첩시켜 정확도를 평가하였다. 지표면으로 분류된 레이저 측정점으로부터 수치지형모델(DTM)을 생성한 후 등고선을 생성하였다. LiDAR 데이터의 처리는 상업용 소프트웨어인 TerraScan과 TerraModeler를 이용하였으며, 다양한 조건 값을 적용한 실험을 통한 경험을 기반으로 수행하였다(이동천 등, 2005).

3.1 LiDAR 데이터의 분류

건물의 외곽선을 추출하기 위하여 LiDAR로 획득된 원시 데이터로부터 객체별로 분류하는 과정은 그림 2에 요약되어 있다. 이 과정은 연구지역의 특성에 따라 서로 다른 조건값을 부여하고 분류된 데이터를 기반으로 건물 레이어를 구축하였다. 연구지역은 아파트 단지 지역으로 높

은 건물들이 위치해 있다. 따라서 다양한 실험을 수행한 후 분류결과에 영향을 미치는 선택 조건을 고려하여 지역의 특성에 적합한 경험적 조건값을 설정하였다(표 2 참조). 그림 3은 원시 데이터에 전처리 조건 값을 부여하여 건물로 분류된 결과를 나타내고 있다.

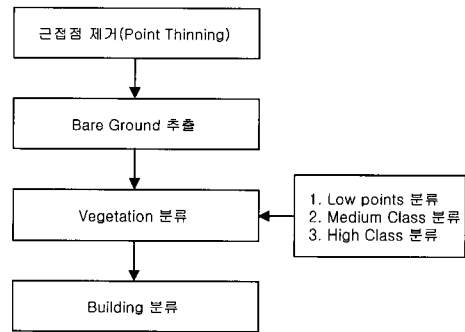


그림 2. LiDAR 데이터의 분류과정

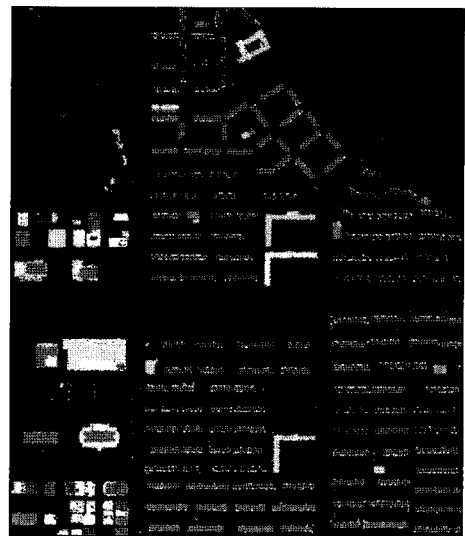


그림 3. 건물분류 결과

표 2. LiDAR 데이터 분류를 위한 선택 조건 및 조건값

데이터 분류 단계	선택 조건	선택 조건값	
근점점 제거	점간의 거리	0.001m	
	점간의 표고	0.001m	
지표면 추출	건물의 최대면적	60m ²	
식생 분류	Low point	Group of point	0.5m-5m
		single point	0.3m-2m
	Medium Class	0.25m 이상	
	High Class	2m 이상	
건물 분류	최소 - 최대 건물의 면적	40m-1000m	

3.2 건물 외곽선의 자동추출 및 편집

건물로 분류된 데이터로부터 자동으로 건물의 외곽선을 추출하기 위하여 선택조건을 세 가지 경우로 구분하여 각각의 결과를 비교하였다. 경우별 조건 값은 표 3에서 설명되어 있으며, 결과는 그림 4와 같다. 이 과정에서 확장범위에 대한 조건 값은 결과에 많은 영향을 미친 반면, 최소면적과 높이의 허용범위에 대한 조건값은 건물 추출에 큰 영향을 미치지 않았다. 여기서 확장범위는 LiDAR 측정점으로부터 하나의 객체로 인식하여 그룹핑하기 위해 요구되는 영역이며 반경으로 표시하고 있다. 각 경우에 대한 결과를 분석해 보면, “Case 1”은 부분적으로 건물의 외곽선을 추출하지 못한 경우이고, “Case 2”는 전반적으로 건물의 외곽선을 정확하게 추출한 경우이며, “Case 3”은 건물의 외곽선은 추출되지만 처리시간이 상대적으로 많이 요구되었

표 3. 조건 및 경우별 조건값의 선택

조건 \ 경우	Case 1	Case 2	Case 3
확장범위	0.5m	20m	50m
최소면적	40m ²	40m ²	40m ²
높이 허용범위	0.20m	0.20m	0.20m

으며, 부분적으로는 외곽선이 추출되지 않는 경우가 있었다. 본 실험에서는 다양한 실험에 의한 경험에 근거하여 Case 2에 사용한 조건값들이 최적으로 판단되어 이 조건값을 사용하여 연구지역의 건물 외곽선을 추출하였다.

자동으로 추출된 건물의 외곽선으로 수치지도의 건물 레이어를 생성할 경우, 추출된 건물의 외곽선은 완전하지 못하거나 불필요한 부분도 추출 될 수 있으므로 외곽선을 수정하거나 편집하는 과정 필요하다. 추출된 건물의 외곽

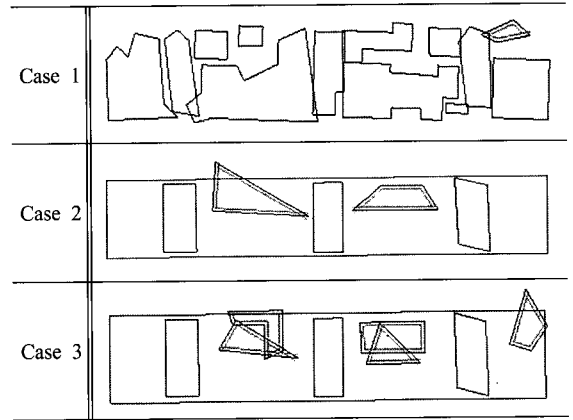


그림 4. 선택 조건값에 따른 건물 외곽선 추출결과와의 예

표 4. 건물 외곽선 추출형태 분류

건물형태	편집 전	편집 후	실제 건물형태
형태 1			
형태 2			
형태 3		편집 불가	
형태 4			

선을 분석하여 4가지 형태로 분류하였다(표 4 참조). 형태 1은 외곽선이 정확하게 추출되어 외곽선 내의 불필요한 폴리곤만 제거시킬 수 있는 경우이며, 형태 2는 외곽선이 연결되지는 않았지만 불필요한 선을 제거하고 가장 바깥의 선들을 연결하여 외곽선을 생성한 경우이다. 형태 3은 외곽선 추출이 불가능한 경우이며, 형태 4는 추출된 건물의 외곽선의 형태가 실제 건물의 외곽선과 다른 경우이다.

본 연구에서는 형태별로 분류된 건물 외곽선 중 자동추출이 가능한 경우(표 4에서 형태 1 및 형태 2)에 대하여 추출된 건물의 외곽선을 기반으로 건물 레이어를 구축하였다. 그림 5는 수치지도의 건물 레이어와 LiDAR 데이터로 생성한 건물 레이어를 보여주고 있다. 표 5는 건물 외곽선 추출 결과를 나타내고 있다. 형태 1과 형태 2는

표 5. 형태별로 추출된 건물의 개수

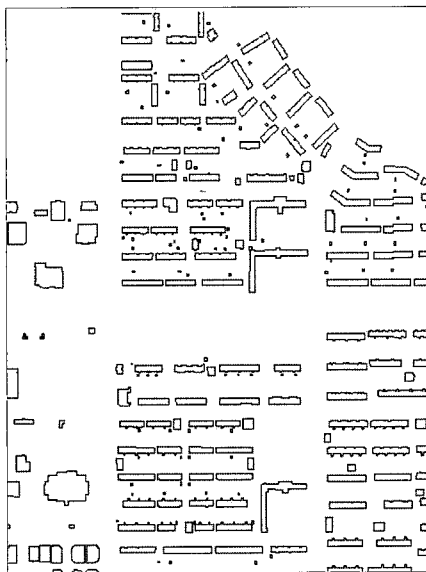
건물의 형태	추출된 건물의 수	구성비율(%)
형태 1	58	32%
형태 2	88	49%
형태 3	26	14%
형태 4	8	5%
합계	180	100%

편집 과정을 거쳐 수치지도의 건물 레이어를 생성할 수 있다고 판단되어, 연구지역에 대한 실험 결과 약 80%의 건물이 LiDAR 데이터로부터 추출되어 수치지도의 건물 데이터로 사용할 수 있는 가능성이 높음을 알 수 있다.

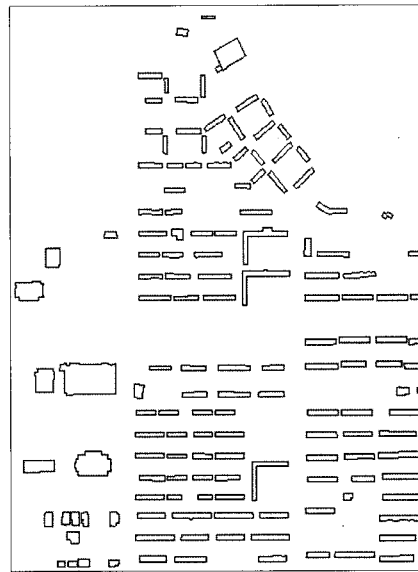
3.3 지표면에 대한 등고선 생성

LiDAR 데이터를 분류하여 건물 및 시설물과 같은 인공지물이나 식생 등을 제거한 순수한 지표면에 대하여 등고선을 생성하였으며, 지역적 및 지형적 특성에 따른 등고선의 형태 및 정확도를 분석하기 위하여 산악지, 구릉지 및 평지로 분류하여 실험을 수행하였다. 그림 6은 각 지표면에 대하여 LiDAR 측정점으로 구성된 불규칙 삼각망(TIN)으로 생성한 연구 대상지역에 대한 수치지형모델이다.

등고선은 정확도를 유지하면서 지형 및 지세의 특성을 잘 묘사하여야 한다. LiDAR 데이터로부터 생성된 등고선은 다량으로 분포된 LiDAR 측정점의 3차원 좌표로부터 보간법을 기반으로 간접적으로 추출된 수학적 선이다. 그러므로 경제적이고 효율적으로 신뢰성 높고 지형의 특성에 적합한 등고선을 생성하기 위해서는 특정 지형의 특성을 나타내기 위하여 반드시 필요하고 중요한 점인 model keypoint를 추출할 필요가 있다. Model keypoint는 TIN에 의한 DTM 생성을 위하여 지표면으로 분류된



(가) 수치지도(축척=1:1,000)



(나) LiDAR 데이터

그림 5. 건물 레이어

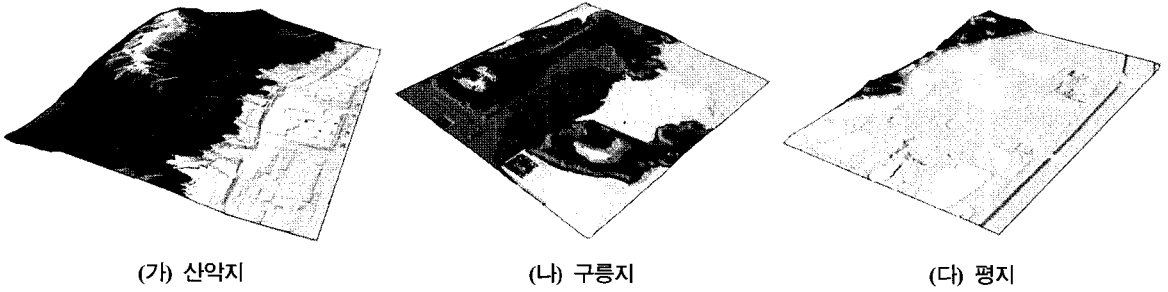


그림 6. 지표면에 대한 수치지형모델(DTM)



그림 7. Model keypoint의 추출

LiDAR 측정점에서 선택된 점이며, 이런 점들을 추출하기 위하여 고려할 사항으로는 (1) 근접한 점을 제외하기 위한 점간의 거리, (2) 하나의 TIN 평면을 기준으로 최고점 및 최저점의 허용범위이다. 이를 기반으로 지형의 표고변화 및 경사도 변화가 현저하게 발생하는 점들은 전체적인 지형의 특성을 나타내는 점이므로 model keypoint로 선정된다. 그러므로 model keypoint는 대량의 데이터를 효과적으로 DTM을 생성하기 위한 샘플링 기법인 점진적 데이터 추출(progressive sampling)에 해당된다. 그림 7은 추출된 model keypoint를 보여주고 있다.

Model keypoint로 구성된 데이터는 등고선을 생성하기 위한 최적의 데이터라고 판단할 수 있다. Model keypoint의 선정은 선택영역, 점간의 거리 및 기록의 변화량을 기반으로 하며, 본 연구에서는 지형의 종류에 따라 서로 다른 조건값을 적용하였다. 20m 범위에서 산악지역은 1m, 구릉지역은 5m, 평지는 15m의 높이차가 발생하는 점을 model keypoint로 결정하였다. 그 결과 LiDAR 데이터의 개수가 현저하게 감소하여 등고선 생성 속도를 향상시키게 된다.

표 6은 원시 LiDAR 점의 수와 추출된 model keypoint의 수를 지형별로 보여주고 있다. 그림 8은 수치지도의

등고선 레이어이며, 그림 9는 model keypoint를 이용하여 B-spline 방법으로 생성된 등고선을 보여주고 있다. 그림 8과 그림 9에서 화살표와 번호는 수치지도의 등고선과 LiDAR 데이터로 생성한 등고선을 서로 비교 분석한 등고선을 나타내고 있다(표 9 참조). 수치지도의 등고선과 비교하여 LiDAR 데이터로부터 생성된 등고선의 정확도 평가하기 위하여 수치지도의 등고선 간격과 같이 5m 간격으로 생성하였다.

기존의 수치지도는 입체 항공영상으로부터 도화기상에서 시각적인 방법으로 수동으로 추출되므로, 경험이 풍부하고 숙련된 사람과 정밀한 도화장비가 필요하다. 그러므로 숙련도와 주관적 판단에 의존되므로 생성된 등고선에 대한 객관성과 일관성이 결여될 가능성이 있다. 또한 산림지역은 나무나 식생으로 인하여 영상에서 순수한 지표면에 대한 등고선을 생성하는 것은 어렵다. 그림 8에서 보여주는 것처럼, 항공영상을 도화하여 생성한 등고선은 건물이나 시설물이 있는 곳은 등고선이 끊어지고, 사진의 모델이나 도곽의 경계선에서 등고선이 연결이 안 될 수 있는 가능성이 있다. LiDAR에 의한 등고선 생성은 자동화가 용이하고 정확도의 일관성이 유지될 수 있으며, 레이저 빔의 다중반사(multiple return)에 의한 순수한 지표면에 대한 등고선을 효과적으로 추출할 수 있다. 또한 사진도화로부터 등고선을 생성하기 위해서는 시간이 많이 소요되고 검증이 용이하지 않다. 그러나 LiDAR 데이터는 수치지도에는 없는 3차원 지형정보를 나타내는 DEM과 DTM 레이어를 구축할 수 있으며, 이로부터 다양한 보간법을 적용한 등고선을 자동으로 신속하고 경제적으로

표 6. LiDAR 측정점의 수와 model keypoint의 수의 비교

	산악지	구릉지	평지
원시 LiDAR 점의 수	808,456	665,655	48,381
Model keypoint의 수	18,161	7,472	5,349

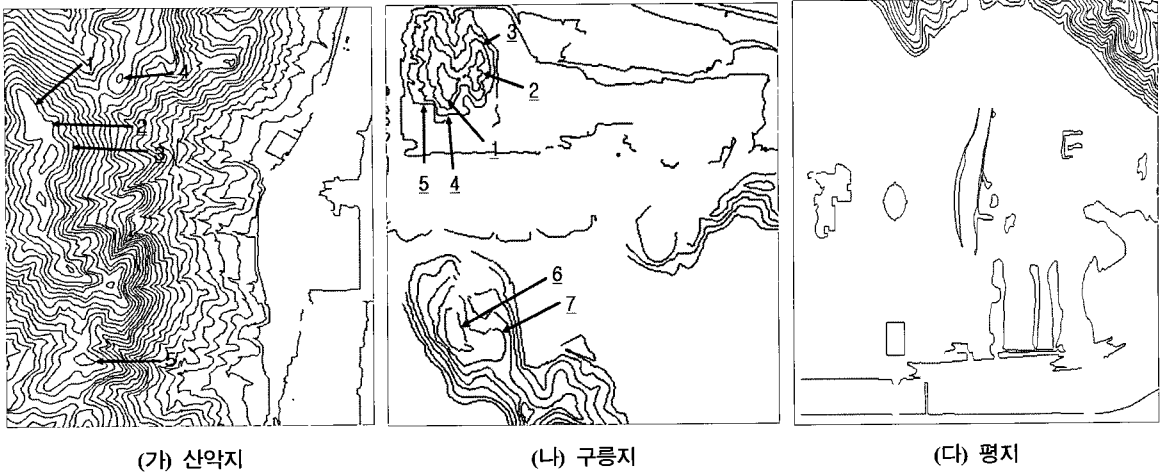


그림 8. 수치지도의 지형별 등고선 레이어(등고선 간격: 5m)

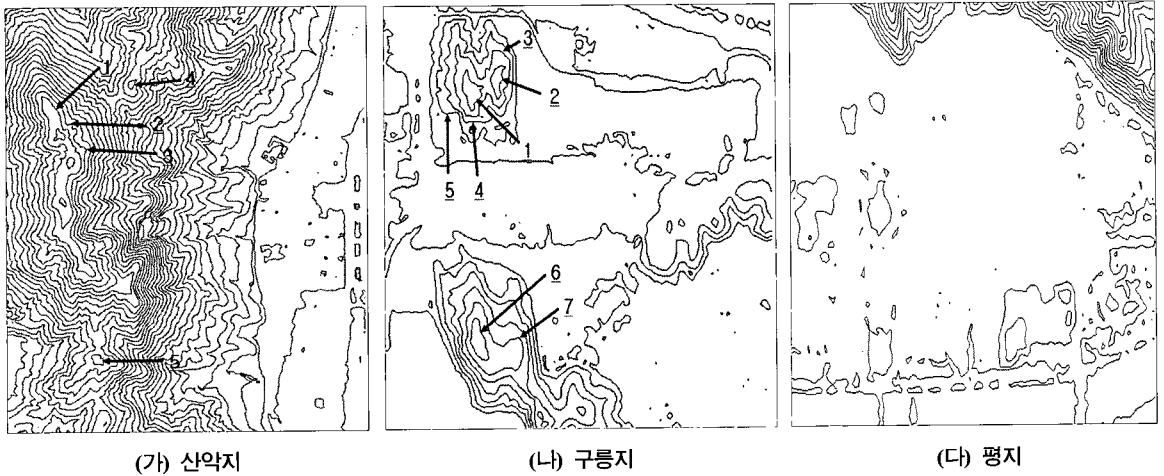


그림 9. LiDAR 데이터로부터 지형별로 생성된 등고선(등고선 간격: 5m)

로 생성할 수 있는 장점이 있다.

4. 수치지도와 LiDAR 결과의 비교

4.1 건물 레이어

LiDAR 데이터로부터 생성된 건물을 1:1,000 수치지도의 건물 레이어와 비교하여 정확도를 분석하였다. 이를 위하여 건물의 4개의 외곽점 좌표값을 비교하였다. 기존의 수치지도는 2차원 좌표정보만 제공하므로 외곽점의 X 좌표와 Y 좌표의 차이를 구하고 평균 평면좌표 차이를 계산하여 정확도를 평가하였다. 그림 10은 수치지도와 LiDAR 데이터로 추출한 건물 외곽점의 이격거리를 나타

낸다. D는 수치지도에서 건물의 외곽점이며, L은 LiDAR 데이터로 추출한 건물의 외곽점이다.

그림 11은 LiDAR 데이터로부터 추출한 102개 건물에 대한 408개의 외곽점 분포를 나타낸 것이며, 건물 외곽점과 수치지도의 건물 외곽점을 비교한 결과는 표 7과 같으

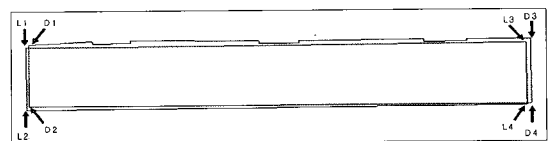


그림 10. 수치지도와 LiDAR 데이터로 추출한 건물 외곽점의 이격거리 비교

며, 평균 수평거리 차이는 약 0.7m 이다. 표 7은 지면 관계상 6개의 건물의 외곽점에 대한 결과만 보여주고 있다. 그림 12는 X 좌표와 Y 좌표의 차이를 그래프로 표시한 것이며, 이로부터 X 좌표에는 6개, Y 좌표에는 8개의 과대오차(outliner)가 포함되어 있다고 판단된다. 데이터 획득에 사용된 레이저 스캐너의 최적 수평 정확도(표 1 참조)를 고려하여, 좌표의 차이가 2.0m 보다 크면 과대오차로 추정하였다. 또한 그래프를 통하여 X 및 Y 좌표 차이의 분포가 양(+)의 성분과 음(-)의 성분으로 고르게 분포하고 있음을 알 수 있으므로, 사용된 LiDAR 데이터에는 편의(bias)가 없다고 판단된다.

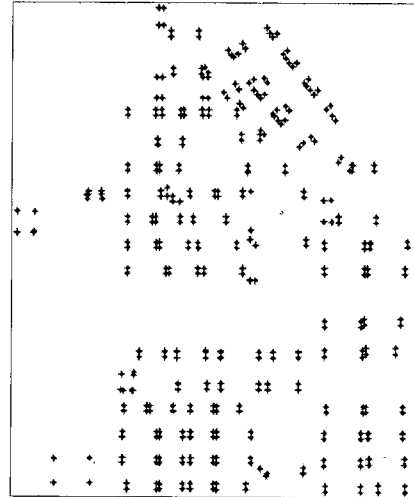


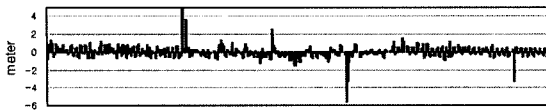
그림 11. 건물 외곽점의 분포

4.2 등고선 레이어

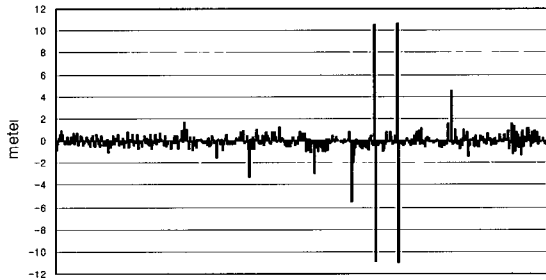
건물이나 시설물과 같은 인공지물은 그 경계가 명확하

표 7. 수치지도와 LiDAR 데이터로 추출한 건물 외곽점의 평면위치 비교 (단위: m)

건물 No.	수치지도		LiDAR		좌표 차이	
	X	Y	X	Y	dX	dY
1	235068.63	318081.29	235067.83	318080.46	-0.80	-0.83
	235057.81	318081.11	235058.55	318080.77	0.74	-0.34
	235068.67	318045.25	235068.58	318045.50	-0.09	0.25
	235057.73	318045.39	235059.03	318045.95	1.30	0.56
2	235084.72	318021.78	235085.69	318022.65	0.97	0.87
	235147.38	318021.76	235146.85	318022.31	-0.53	0.55
	235147.37	318034.04	235147.01	318034.04	-0.36	0.00
	235084.69	318034.11	235085.65	318033.83	0.96	-0.28
3	235243.97	318009.21	235244.56	318009.01	0.59	-0.20
	235304.41	318030.04	235304.52	318030.42	0.11	0.38
	235298.26	318040.72	235298.70	318040.43	0.44	-0.29
	235212.07	317995.43	235212.41	317995.14	0.34	-0.29
...	
100	235426.23	317035.72	235426.55	317036.59	0.32	0.87
	235426.36	317023.28	235426.53	317023.12	0.17	-0.16
	235499.51	317035.71	235499.35	317036.47	-0.16	0.76
	235499.66	317023.36	235499.33	317023.00	-0.33	-0.36
101	234787.79	317026.06	234788.22	317026.39	0.43	0.33
	234786.85	316997.27	234786.78	316997.20	-0.07	-0.07
	234808.94	317026.17	234808.75	317026.22	-0.19	0.05
	234808.92	316997.01	234808.51	316997.27	-0.41	0.26
102	234811.02	317027.32	234811.40	317027.16	0.38	-0.16
	234811.24	316995.02	234811.50	316994.68	0.26	-0.34
	234833.17	317027.25	234832.54	317027.23	-0.63	-0.02
	234833.20	316994.88	234832.64	316994.75	-0.56	-0.13
절대값의 평균					0.48	0.53
표준편차					0.43	0.56
평균 수평거리 차이					0.71	



건물 외곽점
(가) X 좌표 차이



건물 외곽점
(나) Y 좌표 차이

그림 12. 수치지도와 LiDAR 데이터로 추출한 건물 외곽점의 좌표 차이

고 정확도를 평가할 수 있는 기준이 되는 외곽선이나 외곽점이 존재하지만, 등고선은 지표면에 실제 존재하는 객체의 윤곽선이 아닌 높이가 동일한 지점을 연결한 수학적

인 가상의 선을 시각화한 것이므로 정확도를 비교할 수 있는 기준점이 없다. 그러므로 등고선의 정확도를 정량적인 방법으로 평가하는 것은 어려운 일이다.

본 연구에서는 기존의 수치지도의 등고선과 LiDAR 데이터로부터 생성된 등고선을 중첩하여 시각적인 비교를 하였으며, 간접적 정량적인 평가 방법으로 수치지도의 폐합 등고선과 이에 대응하는 LiDAR로부터 생성된 등고선의 면적과 길이를 비교 하였다. 그 결과 수목으로 덮여진 산악지에서 면적과 길이의 차이가 구릉지보다 더 큼을 알 수 있었다(표 8 참조). 평지의 LiDAR 데이터로부터 생성된 폐합 등고선은 순수한 지표면에 대한 등고선이 아닌 불완전한 건물의 제거로 인한 등고선의 경우로 판단되어 정량적인 평가에서 제외하였다.

등고선 형태에 대한 정확도를 정량적인 방법으로 정확하게 평가하기 위해서는 등고선 모양을 묘사할 수 있는 기하학적 파라미터를 타당하게 정의하고 이를 분석할 수 있는 심도깊은 연구가 수행되어야 한다. 영상으로부터 제작된 수치지도의 등고선이 정확한지, LiDAR에 의해 생성된 등고선이 정확한 것인지를 객관적으로 평가한다는 것은 어려운 일이며, 이를 위하여 test bed의 구축이 필요하다고 판단된다.

표 8. 폐합 등고선에 대한 정량적인 평가 결과

(가) 산악지

등고선 No.	표고(m)	수치지도		LiDAR		차이	
		면적(m ²)	길이(m)	면적(m ²)	길이(m)	면적(%)	길이(%)
1	210	16867.09	900.71	13209.2	902.29	21.68	0.17
2	205	32859.24	1303.23	28416.58	1286.64	13.52	1.27
3	200	50471.89	1426.93	44559.74	1406.45	11.71	1.43
4	175	225.63	60.95	322.63	75.85	42.99	24.44
5	165	908.14	122.95	646.61	105.72	28.79	14.01

(나) 구릉지

등고선 No.	표고(m)	수치지도		LiDAR		차이	
		면적(m ²)	길이(m)	면적(m ²)	길이(m)	면적(%)	길이(%)
1	75	2119.78	216.3	2126.15	231.98	0.30	7.24
2	75	1494.62	222.1	1322.65	177.59	11.50	20.04
3	70	12178.97	695.9	12371.89	661.7	1.58	4.91
4	65	23624.66	907.31	23810.54	846.31	0.78	6.72
5	60	35454.46	859.06	40365.56	1092.36	13.85	27.15
6	75	3115.3	261.75	2316.33	219.87	25.64	16.00
7	70	13290.87	535.65	11456.41	512.51	13.80	4.31

5. 결 론

본 연구는 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 수치지도를 제작할 수 있는 가능성을 평가하는 것을 주요 목적으로 하고 있으며, LiDAR 데이터를 건물과 지표면으로 분류하였고 분류된 데이터로부터 건물의 외곽선을 추출하고 지표면에 대한 등고선을 생성한 후 수치지도와 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. LiDAR는 신속하게 정밀한 고밀도의 3차원 정보를 제공하므로 지도갱신의 주기를 단축시킬 수 있으며 효율적인 갱신을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 다양한 실험을 통하여 LiDAR 데이터로부터 건물을 자동으로 추출하여 수치지도의 건물 레이어를 구축하는 것은 현재의 기술로는 한계가 있으며, 많은 수정과 편집 과정이 필요하다고 판단되므로 건물의 도화는 항공사진 측량 기법에 의한 방법이 효율적이라고 사료된다.

3. 기존의 등고선 작성방법은 정밀 도화기와 많은 경험 및 높은 숙련도를 요구하고 있다. LiDAR 데이터를 사용하면, 객관성과 일관성이 유지되는 등고선의 자동생성이 가능하므로 효율적이고 경제적으로 등고선 작성이 가능하다. 그러므로 건물 도화의 경우와는 달리 LiDAR 데이터로부터 수치지도의 등고선 레이어를 자동으로 구축할 가능성이 높다고 판단된다.

4. LiDAR 데이터에 의해 구축된 건물과 등고선 레이어의 정확도를 객관적으로 평가하기 위해서는 수치지도와의 상대적인 비교뿐 아니라, 기준점 측량성과를 기준으로 평가하는 것을 제안하며, 이를 위하여 향후 test bed의 구축이 필요하다고 판단된다.

5. 기존의 수치지도는 등고선 레이어가 유일하게 지형의 3차원 정보를 제공하고 있다. 최근 3차원 지형정보를 필요로 하는 활용분야가 지속적으로 증가하고 있으므로, 향후 수치지도에 수치지형모델 레이어가 추가되어야 할 것으로 전망되며 이는 LiDAR 데이터로부터 효율적으로 구축할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 국토지리정보원 “다차원 공간정보 구축사업” 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- 이동천, 염재홍, 김지선, 유근홍 (2005), LiDAR 데이터를 이용한 건물 레이어 구축 방안, 한국측량학회 춘계학술발표회, pp. 185-190.
- 이재기, 정성혁, 임인섭 (2003), IKONOS 정사영상을 이용한 건물의 자동추출, 한국측량학지, 21권, 1호, pp. 19-26.
- 조우석, 이영진, 좌윤석 (2003), 항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동추출, 대한원격탐사학회지, 19권, 4호, pp. 307-317.
- Alharthy, A. and Bethel, J. (2004) Detailed Building Reconstruction from Airborne Laser Data Using a Moving Surface Method, *20th ISPRS Congress*, July, 2004, Istanbul, Turkey, unpagged CD-ROM.
- Braun, C., Kolbe, T., Lang, F., Schickler, W., Steinhage, V., Cremers, A., Förstner, W., and Plumer, L. (1995), On the Models for Photogrammetric Building Reconstruction, *Computer & Graphics*, Vol. 19, No. 1, pp. 109-118.
- Habib, A., Ghanma, M., Morgan, J., and Al-Ruzouq, R. (2005), Photogrammetric and LiDAR Data Registration Using Linear Features, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 6, pp. 699-707.
- Lee, D.C., Yom, J., Kwon, J., and We, G. (2002), 3-Dimensional Building Reconstruction with Airborne LiDAR Data, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 2, No. 2, pp. 123-130.
- Lee, I. and Schenk, T. (2001), 3D Perceptual Organization of Laser Altimetry Data, *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 34, pp.57-65.
- Mass, H. and Vosselman, G. (1999), Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, No.2/3, pp. 153-163.
- Schenk, T. and Csatho, B. (2002), Fusion of Lidar Data and Aerial Imagery for More Complete Surface Description, *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 34, Part 4, pp. 295-301.
- Shan, J. and Sampath, A. (2005), Urban DEM Generation from Raw LiDAR Data: A Labeling Algorithm and Its Performance, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 2, pp. 217-226.
- Suveg, I. and Vosselman, G. (2002), Automatic 3D Building Reconstruction, *Electronic Imaging*, Vol. 4657, pp. 59-69.
- Vosselman, G. and Dijkman, S. (2001), 3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plan, *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 34, Part 3/W4, pp. 37-44.
- Zhang, K. and Whitman, D. (2005), Comparison of Three Algorithms for Filtering Airborne LiDAR Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No.3, pp. 313-324.

(접수일 2005. 9. 8, 심사일 2005. 9. 15, 심사완료일 2005. 9. 28)