

우 수 논 문

연제: LiDAR 자료를 이용한 3차원복원 정확도 평가
Accuracy Assessment of 3D Reconstruction
Using LiDAR Data

연사: 정 동 기 (경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정)

LiDAR 자료를 이용한 3차원복원 정확도 평가

Accuracy Assessment of 3D Reconstruction Using LiDAR Data

정 동 기¹⁾

Chung Dong Ki

Abstract

Accurate 3D models in urban areas are essential for a variety of applications, such as virtual visualization, GIS, and mobile communications. LiDAR(Light Detection and Ranging) is a relatively new technology for directly obtaining 3D points. Because Manual 3D data reconstruction from LiDAR data is very costly and time consuming, many researchs is focused on the automatic extraction of the useful data. In this paper, we classified ground and non-ground points data from LiDAR data by using filtering, and we reconstructed the DTM(Digital Terrain Model) using ground points data, buildings using nonground points data. After the reconstruction, we assessed the accuracy of the DTM and buildings. As a result of, DTM from LiDAR data were 0.16m and 0.59m in high raised apartments areas and low house areas respectively, and buildings were matched with the accuracy of a 1/5,000 digital map.

Keywords: LiDAR, filtering, accuracy, ground, nonground, DTM, building

요 지

가상공간 시현이나 GIS 및 이동통신과 같은 다양한 응용분야에 정확한 3차원 도시모델은 기본적인 자료가 되고 있다. LiDAR 시스템은 대상물의 3차원 정보를 직접적으로 획득할 수 있는 새로운 시스템이다. LiDAR 자료로부

1) 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정(E-mail : happytongkey@hanmail.net)

터 수동적으로 3차원 정보를 구축하는 것은 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 이와 같은 이유로 많은 연구가 자동화에 그 초점을 맞추고 있다. 본 연구에서는 필터링기법을 이용해서 LiDAR 자료로부터 지면과 비지면을 분류하고, 지면점을 이용하여 DTM을 생성하고, 비지면점을 이용해서 건물을 구축하였다. 정확도의 평가결과 DTM은 고층아파트지역에서 약 0.16m, 저층주거지역에서 0.59m의 오류가 나타났으며, 건물의 경우 1/5,000 수치지형도의 정밀도와 부합하는 결과를 나타냈다.

핵심용어: LiDAR, 필터링, 정확도, 지면, 비지면, DTM, 건물

1. 서론

실세계의 정보를 좀더 정확하게 획득하려는 활동은 인류가 생겨나면서부터 있어왔고, 이제는 정보의 취득 방법은 2차원을 넘어 3차원의 정보를 대량으로 획득할 수 있는 수단이 개발되고 있다. 기존의 대표적인 3차원 정보의 취득수단으로는 항공영상, 위성영상, 직접측량 등이 있다. 이러한 기존의 3차원 취득수단은 대량의 자료를 획득하기 힘들거나, 복잡한 처리과정을 거쳐야 하고, 그에 비해 정확도 또한 현재 여러 분야에서 요구되고 있는 정확도를 만족시키지 못하는 상황이다. 이러한 기존취득 시스템의 단점을 극복할 수 있는 취득수단은 대량으로, 직접적으로 3차원 정보를 획득해야하고, 그 처리과정이 자동화가 가능해야 한다. 이러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 3차원정보의 취득수단에 대한 요구로 LiDAR시스템이 등장하게 되었다.

LiDAR(Light Detection And Range)는 GPS, INS, Laser Scanner 3가지의 첨단 시스템이 결합된 시스템이다. LiDAR 레이저가 물체에 반사되어 되돌아올 때 가지고 있는 정보, 그 순간의 GPS(Global Positioning System), INS(inertial navigation system)정보를 통합하여 대상물의 직접적인 3차원정보를 획득한다. LiDAR 시스템을 통해 획득된 정보는 3차원 점(X,Y,Z)형태의 자료로, 부가적으로 레이저의 반사강도정보, 멀티리턴정보 그리고 항공사진도 획득할 수 있다.

LiDAR 시스템의 등장으로 인해 대량의 3차원 정보를 획득할 수 있게 되었고, 자동화의 가능성 또한 증가하였다. 하지만 아직까지 자료처리에 대한 정형적이고 체계화된 방법이 개발되지 않아 다양한 방법으로 원하는 자료를 추출해내고 구축하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

국내의 연구동향을 살펴보면 김형태(2000)는 LiDAR 자료와 항공영상의 융합을 통해 GIS 건물레이어를 자동으로 구축하는 연구를 수행하였다. 좌윤석(2003)은 처리속도 향상을 위해 정규격자의 형태를 가지면서 점 데이터를 직접 이용하는 pseudo-grid를 제안하였다. pseudo-grid란 각 격자가 해당공간에 포함되는 점을 모두 갖고 있는 것으로 격자기반의 처리가 가능하여 처리속도가 빠르고, 점 데이터를 직접 이용하므로 보간에 의한 오차가 발생하지 않는다는 장점이 있다. 조우석(2003)등은 데이터의 형태에 따라 point level process에서는 LiDAR의 점 데이터에서 과대오차를 제거하고 건물 후보점을 추출하여 같은 특성을 갖는 점들을 모아 폴리곤을 제작하고, polygon level process에서는 면적조건과 circularity를 이용하여 수목폴리곤을 제거하고 건물폴리곤 사이의 포함관계를 정립, parameter space level process에서는 이전단계의 최종 건물 폴리곤을 공선 조건식을 이용하여 항공사진 위에 투영하고 모폴로지 필터링을 통한 탐색영역을 제한한 후, hough 변환의 파라미터 공간에서 다양한 가정과 제약조건을 이용하여 건물의 외곽선을 추출하였다. 이원희(2003)는 수치지도를 LiDAR 자료와 같이 이용하여 건물 3차원 모델링 시 작업자의 수동적인 과정을 단축하였다. 그리고 LiDAR 자료를 이용하여 기존의 수치지도에 누락된 건물을 탐지하여 선형화한 다음, 이 건물들을 수치지도 갱신에 사용하였으며 실용화 측면에서 자동화 가능성을 평가하였다. 최승식(2004)은 항공 라이다 데이터로부터 실세계를 구성하고 있는 지면(Ground)과 비지면(Non-ground)을 분리하는 새로운 필터링 방법을 제안한다. “지물(Object)의 양쪽 가장자리는 인접한 지면으로부터 급격한 높이 차이를 가진다.”는 가정을 전제로 수행되었으며, 대부분의 변수를 항공 라이다 시스템의 수직·수평 정확도와 평균 점 간격으로부터 유도하여 수행하였다. 정동기(2005)등은 필터링을 이용해서 지면점과 비지면점을 분류하고 LoG 연산자를 이용해서 건물의 경계를 구축하는 연구를 수행하였다.

국외의 LiDAR에 대한 연구는 1990년대 중반부터 활발하게 연구가 수행되

었다. Weidner(1995)등은 우선 수리형태학적 특성을 이용하여 건물과 같은 특정 영역만을 분할하고 간단한 박스형 건물에 대해서는 건물 모델의 매개변수를 추출하여 빌딩을 재구성하였고, 복잡한 건물에 대해서는 프리즘식(prismatic) 모델을 이용하여 건물을 추출하였다. 수리형태학적 연산의 경우 특성상 격자(raster) 구조에서 행해져야 하므로 LiDAR의 원 자료인 포인트 자료가 격자구조로 보간 되어야 하고, 이로 인해 단절선이 발생하는 건물의 경계 부분에서 건물의 실제 모양이 약간 변형되는 단점이 있다. 특히 건물 모델의 매개변수를 이용하는 방법은 건물이 직사각형 구조를 가질 때만 가능하므로 다양한 건물의 자동추출에 문제가 있다. Wang과 Schenk(2000)는 LiDAR 데이터로부터 직교성, 평행성, 원형성, 대칭성등을 포함한 기하와 형태를 기초로 하여 건물의 경계선을 추출하였다. 추출된 건물의 경계선에서 외관점을 추출하고 이 점을 이용하여 TIN을 제작한 후, 건물을 재구성하였다. Morgan(2001)등은 3D TIN을 이용하여 벽과 건물들을 추출하였다. 우선 데이터 구조를 3D TIN구조로 만들고 morphological filter를 사용하여 건물을 탐색하였다. 건물 점들은 공간적인 관계와 기하학적 성질(topology)에 의해 분석되고 region growing을 사용하여 triangles segment를 실시하였다. plane fitting을 이용하여 plane 계수들을 구한 후 건물을 추출하였다. Keqi Zhang (2003)이 제안한 progressive morphology filter는 비지면점을 제거하기 위하여 일반적으로 흑백영상에 적용되는 mathematical morphology filter를 사용하였다. mathematical morphology filter란 나무, 자동차와 건물들은 일반적으로 주위의 점들보다 높은 고도값을 가지고 있으며, 만일 LiDAR point의 고도값을 gray scale로 변환하여 정규격자 영상으로 바꾼다면 건물, 자동차와 나무는 픽셀 값의 변화에 의해 인식될 수 있다는 가정으로 수행된다. 침식연산자와 팽창연산자를 사용하였으며, 변수로는 블록(Block)의 크기와 높이 차이에 대한 임계값, 그리고 반복횟수가 있다. 높이 차이가 큰 산악 지역에서는 설정되는 변수들의 영향이 크기 때문에 대상지역에 대한 사전지식 또는 작업자의 경험이 필요하다는 한계점을 가지고 있다.

본 연구에서는 LiDAR 자료를 지면과 비지면으로 분류하고, 실세계의 가장 중요한 정보라고 할 수 있는 지형과 건물정보를 추출하여 정제하고 3차원으로 복원하는 방법에 대해 정확도를 평가하여 구축자료의 활용가능성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 필터링 기법

필터링이란 자료들 중에서 사용자가 원하는 정보만을 추출하거나 필요 없는 정보만을 제거하는 과정을 말한다. 필터링을 위해서는 자료의 특정한 성질을 찾아내야하고, 그 자료의 특정한 성질을 이용해서 필요한 자료만을 추출해 낼 수 있다. 본 연구에서는 3차원 좌표를 가진 LiDAR자료의 특징적인 성격으로 높이, 경사, 그리고 형태학적인 특징을 이용하여 필터링을 수행하였다.

2.1.1 ETEW 필터(Elevation Threshold Expanding Window Filter)

LiDAR 자료와 기존의 영상자료의 가장 큰 차이점은 평면좌표뿐만 아니라 대상물의 직접적인 3차원 좌표를 가지고 있다는 것이다. ETEW 필터는 이 높이 값을 이용한 필터링 기법으로 단순히 인접점과의 높이차를 이용하는 것이 아니라 영역을 설정하고 그 영역내의 특정값, 즉 최소값을 이용하여 임계값 이상의 점을 비지면으로 분류하는 기법이다. 이 기법은 윈도우 크기와 임계값을 결정하는 것이 가장 중요한 단계인데 ETEW는 윈도우의 크기를 고정하지 않고 그 크기를 증가시키고, 임계값의 설정을 대상지역의 윈도우의 크기와 대상지의 최대 경사를 이용하여 결정하였다.

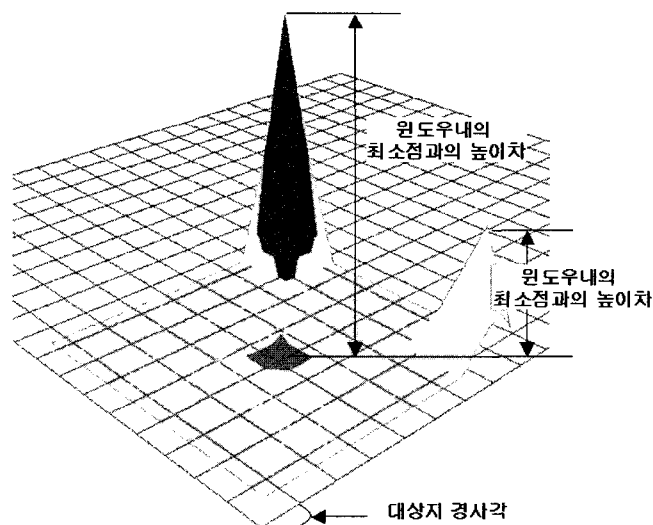


그림 1. ETEW 필터의 연산요소

2.1.2 모폴로지 필터(Morphological_Filter)

모폴로지기법은 자료의 수리 형태학적인 특성을 이용해서 자료를 처리하는 방법으로 기존의 영상 처리 분야에서 잡음의 제거, 경계의 검출 등에 다양하게 이용되어왔다. 모폴로지기법은 침식과 팽창연산을 이용하는데, 침식 연산자는 자료 영역을 축소하는 작용을 하고, 팽창연산자는 영역을 확장하는 작용을 한다. 침식이나 팽창연산을 단독으로 사용하기도 하지만 두 연산의 적절한 조합으로 데이터를 처리하기도 한다. 침식 후 팽창연산을 수행하는 방법을 제거(opening)연산, 팽창 후 침식연산을 수행하는 방법을 채움(closing)연산이라고 한다. 모폴로지의 기본적인 원리를 수식으로 나타내면 식 (1), (2), (3)과 같이 나타낼수 있다.

$$A \oplus B = \{x \mid [(B)_x \cap A] \subseteq A\} \quad (1)$$

$$A \ominus B = \{x \mid (B)_x \subseteq A\} \quad (2)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

2.1.3 MLS 필터(Maximum Local Slope Filter)

높이값을 가지고 있는 자료는 인접점과의 경사가 자료의 독특한 특징이 될 수 있다. MLS는 LiDAR 자료의 경사특성을 이용해서 지면점과 비지면점을 구분해 낸다. 먼저 윈도우의 크기를 지정하고 지정 윈도우 내의 최소점을 검색하여 그 최소점과 인접점과의 경사를 이용하여 비지면점을 분류해낸다. MLS 필터 또한 윈도우의 크기를 고정하지 않고 점차적으로 증가시켜 가면서 임계경사 값을 적용하였다.

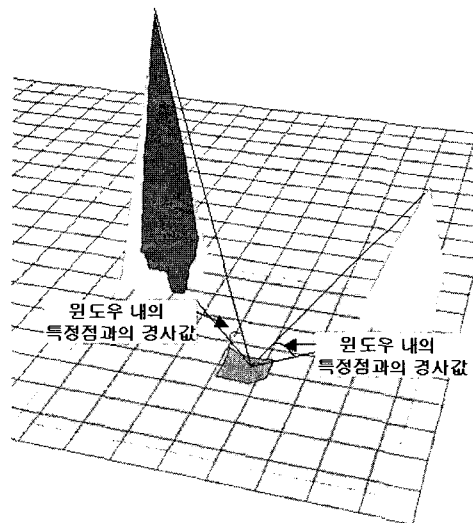


그림 2. MLS 필터의 연산요소

2.2 LoG연산자에 의한 건물경계추출

경계선 검출에 있어서 여러 가지 연산자에 대한 특성이 분석되어 왔으나 본 연구에서는 Zero-Crossing을 구하기 위해 LoG(Laplacian of Gaussian)연산자를 사용하였다. LoG연산자는 가우스곡선의 2차미분으로부터 구할 수 있으며, 가우스 곡선을 2차원 정규분포를 갖는 매개변수로 정의하면 σ 는 경계선사이의 평균거리를 의미하고 $\sigma x = \sigma y$ 가 된다

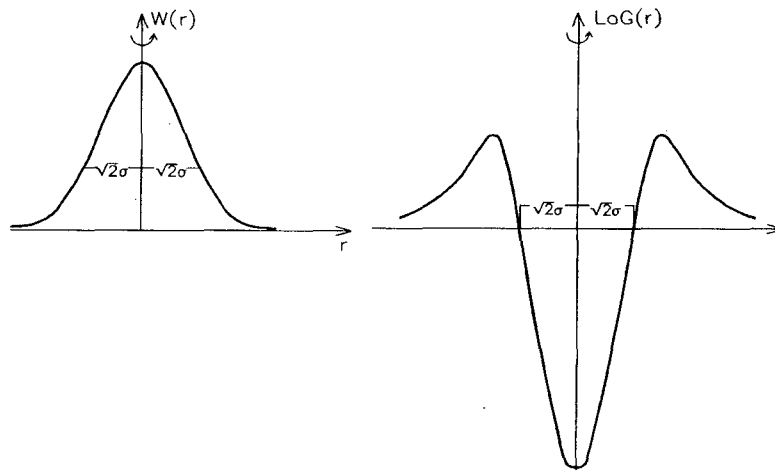


그림 3. LoG연산자

$$W(xy) = W(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad r^2 = x^2 + y^2 \quad (2)$$

x 와 y 에 대한 1차 도함수는

$$W'_x(xy) = \frac{x}{2\pi\sigma^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

$$W'_y(xy) = \frac{y}{2\pi\sigma^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

이며, 2차 도함수는 다음과 같다.

$$W_x''(xy) = \frac{-x^2 - \sigma^2}{2\pi \sigma^6} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

$$W_y''(xy) = \frac{-y^2 - \sigma^2}{2\pi \sigma^6} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

식(5), (6)에서 두개의 2차도 함수를 더하면 LoG연산자가 된다.

$$LoG = \frac{-x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{2\pi \sigma^6} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

Zero-Crossing 추적은 LoG연산자에 의해 생성된 Zero-Crossing을 따라가며 한 수치영상에 생성된 경계선들의 경계선수, 영상좌표, LoG convolution 값의 경사값과 경사방향 등에 대한 정보를 계산하며, 이때 이용되는 방법으로써 chain code가 이용되는데, 경계선 방향의 정의에 따라 4-connected chain code와 8-connected chain code가 있다. 또한 경계선 추적에 의해 생성된 경계선들을 분석하여 경계선의 굴곡이 정의된 허용범위내에 있는 구간은 직선화하여 굴곡점의 수를 줄이고, 굴곡의 변화가 큰 곳을 특징점으로 지정하여 향후 영상정합시 특징점으로 사용할 수 있다.

3. 연구 대상지 선정 및 자료처리

3.1 연구 대상지 및 자료현황

연구 대상지역은 경남 마산시로, 2004년 4월 캐나다의 Opetch사의 ALTM3070을 이용해서 (주)한진정보통신에서 취득한 자료이다. LiDAR 자료와 항공기에 탑재된 DC-4K02 카메라로 촬영된 항공사진도 함께 제공되었다. 그림 4는 기준자료의 제작에 이용된 대상지역의 수치지형도와 동일지역의 항공영상과 LiDAR 자료를 나타낸 그림이다. 본 연구에서는 대상지역중 아파트가 밀집한 고층아파트지역과 주택지가 밀집한 저층주거지역의 두가지 유형의 지형에 적용하였다. 그림 5는 실제 자료를 적용할 대상지역의 LiDAR

점자료를 점자료를 정규격자 형태로 제작한 그리드 자료를 증첩한 그림이다.

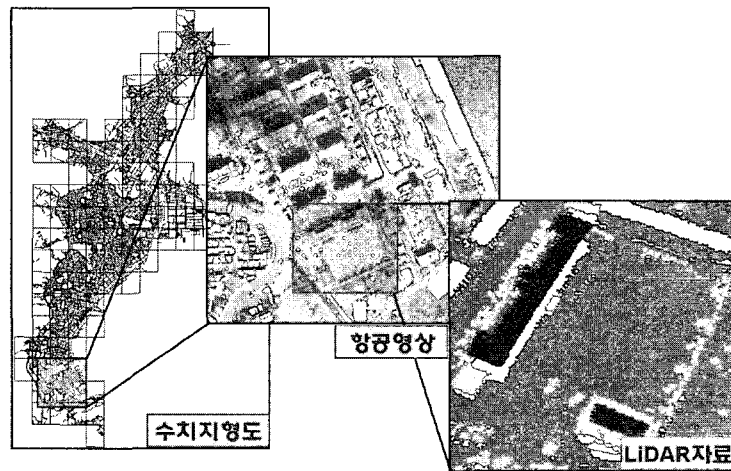
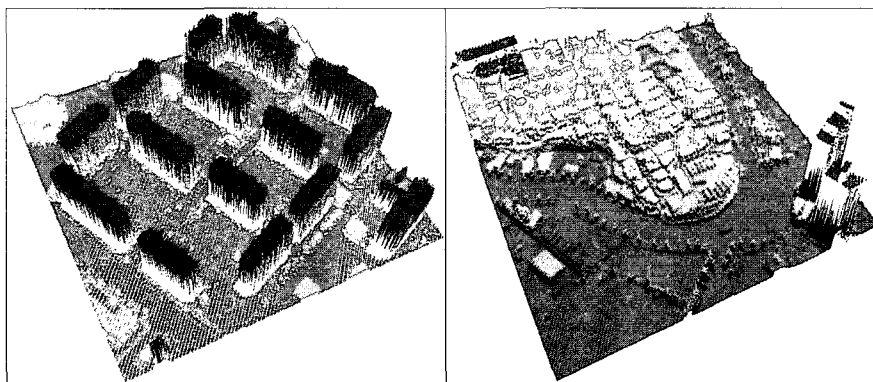


그림 4. 대상지역 전체 자료현황



(a) 고층아파트지역

(b) 저층주거지역

그림 5. LiDAR 자료처리 대상지역

3.2 자료처리 흐름

본 연구의 전체적인 자료처리 흐름은 그림 6과 같다. 먼저 필터링기법 적용을 위해서 불규칙적인 LiDAR 점자료를 정규격자로 변환한 다음 3가지의 필터를 적용하여 지면과 비지면을 분류하여, 그 결과에 대한 분류정확도를 평가하였다. 그리고 분류된 지면자료는 보간후 DTM을 생성하여 그 정확도를 평가하였으며, 비지면으로 분류된 자료는 LoG 연산자를 사용하여 경계를 검출하고 정제과정을 거쳐서 건물 경계를 구축하고 수치지도와 비교를 통해

서 그 정확도를 검증하였다.

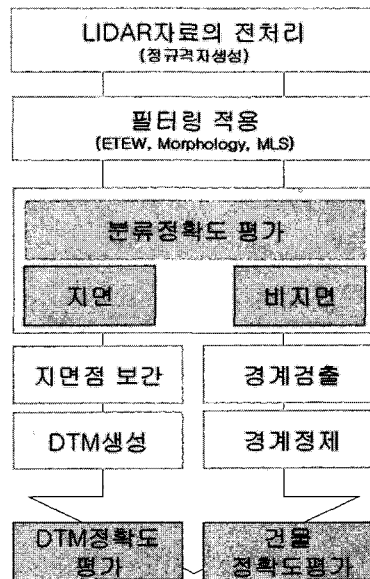


그림 6. 자료처리흐름도

3.3 기준자료의 작성 및 평가 방법

본 연구에서는 진행과정에서 세 번의 평가가 이루어진다. 먼저, 필터링의 적용 후 지면과 비지면의 분류정확도를 이용해서 필터링 오류가 최소인 계수값을 찾아내고, 두 번째로 그 값을 이용해서 필터링을 수행한 다음 지면 정보를 이용해 생성된 DTM을 기준자료와 비교해 평가하고, 마지막으로 비지면 정보로 생성한 건물의 경계를 1:1000, 1:5000 수치지도와 비교하여 최종적으로 정확도를 평가한다. 기준자료는 수치지형도와 항공영상을 참고로 대상지역의 LiDAR자료에서 수동으로 지면과 비지면을 분류하여 제작하였다.

4. 결과 분석

4.1 필터링 적용 및 결과 분석

4.1.1 고층아파트지역 필터링적용 결과분석

아파트 지역에서 필터링해야 할 대상물은 아파트 외에 단지내에 있는 수목, 주

차된 자동차, 도로 등을 들 수 있다. 아파트 지역은 건물과 지면과의 높이차가 명확하고 건물의 경계가 직선이어서 다른 지역에 비해서 비교적 쉽게 건물이 추출되었다. 그림 7에서 보듯이 3가지 필터링 모두 건물영역이 뚜렷하게 추출된 것을 볼 수 있다. ETEW와 MLS 필터는 아파트 지역에서는 건물뿐만 아니라 단지내의 나무, 자동차도 제거된 것을 볼 수 있어서 작은 지물에 대해서도 다소 민감하게 추출되는 경향을 보여주고 있다. 또한 모폴로지 필터의 경우도 건물을 명확하게 분리했지만 자동차나 나무와 같은 작은 개체는 다른 필터에 비해 덜 민감하게 분류하는 특성을 보여주었다. 그림 7은 3가지 필터의 전체적인 적용결과를, 그림8은 건물, 자동차, 수목에 대한 세부적인 필터링결과를 시각적으로 보여주고 있다.



그림 7. 고층아파트지역 적용결과

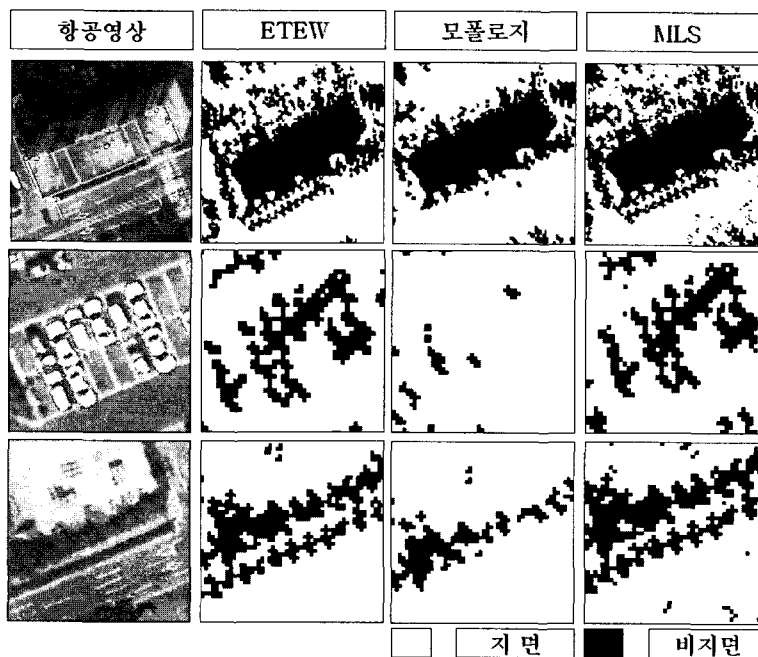


그림 8. 세부지물의 필터링 결과

필터링한 결과는 임계값을 변화시키면서 기준자료와 비교하여 전체 오류가 가장 작은 지점을 찾아내고 그때의 지면과 비지면의 비율을 DTM의 생성에 이용하였다. 필터링에 의한 지면 및 비지면요소 추출에서 두가지 유형의 분류 오류가 발생하며, 이들 오류는 지면이 비지면으로 분류되는 오류(Error_I), 비지면이 지면으로 분류되는 오류(Error_II), 또한 전체오류(Total_Error)로 구분된다.

필터링 적용결과 고층아파트지역에 대해 Error_I, Error_II, Total_Error가 표 1, 2, 3에서와 같이 나타났다. 표 1, 2, 3은 최소 오류가 발생한 임계값을 기준으로 하여, 오류값을 선택적으로 표시하였다. 고층아파트지역의 경우 ETEW 필터는 임계값이 0.3m일 때 약 5.5%, 모폴로지 필터의 경우 임계값이 1.1m일 때 약 8.6%, MLS의 경우 1.1m 일때 5.5%로 가장 적은 Total_Error가 발생하였다.

표 1. 고층아파트지역 ETEW 필터 오류

임계값	Error_I	Error_II	Total_Error
0.1	31.87943	1.425238	19.6999
0.2	10.00892	4.315227	7.662
0.3	4.469298	7.623043	5.513947
0.4	2.684364	11.67739	5.790576

표 2. 고층아파트지역 Morphology 필터의 오류

임계값	Error_I	Error_II	Total_Error
0.8	13.32308	5.842575	10.20447
0.9	10.90013	7.279459	9.255649
1	9.229124	8.74465	8.754451
1.1	7.849281	10.7496	8.591437
1.2	6.9239	12.51244	8.601317
1.3	6.327656	13.86937	8.666674
1.4	5.700397	15.28344	8.720632

표 3. 고층아파트지역 MLS 필터의 오류

임계값	Error_I	Error_II	Total_Error
0.8	6.287147	6.474769	6.20464
0.9	4.970599	7.243362	5.68342
1	4.076233	8.277829	5.502548
1.1	3.410997	9.377925	5.474429
1.2	2.93185	10.65173	5.607423
1.3	2.560305	12.01397	5.823634
1.4	2.265348	13.50564	6.115462

4.1.2 저층주거지역의 필터링적용 결과분석

저층 주거지역은 저층의 주택이 밀집해 있는 지역으로, 주택사이에는 좁은 통로가 나 있고, 오른쪽은 도로와 도로주변에 가로수가 줄지어 있다. 저층주거지역에서 주로 제거할 지물은 저층의 주택과 도로 주변의 가로수이다. 필터링 결과, 필터링방법에 따라 결과의 차이가 고층아파트지역에 비해 다소 큰 것으로 나타나고 있다.

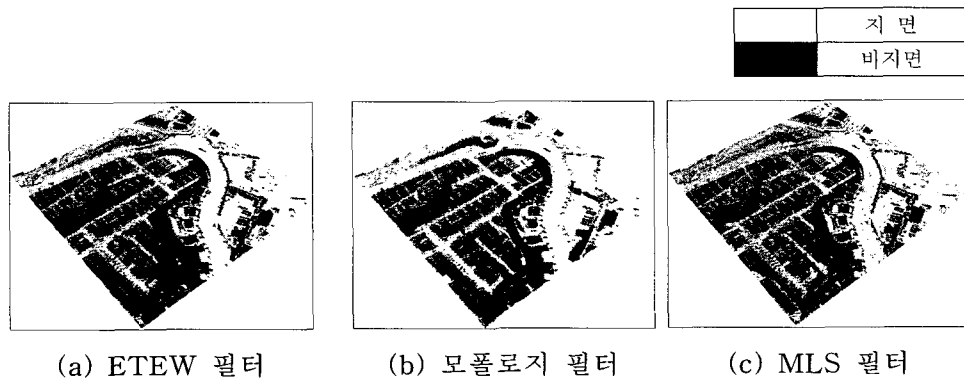


그림 9. 저층주거지역 적용 결과

고층 아파트 지역과 마찬가지로 기준자료와의 비교해 오류가 최소인점을 찾아내고 그 때의 지면과 비지면의 값을 이용해 DTM을 생성하였다. 저층주거지역의 경우 표 4, 5, 6에서와 같이 Total_Error가 ETEW 필터의 경우 임계

값이 0.4m 일 때 9.4%, 모폴로지 필터의 경우 2.1m 일 때 10.2%, MLS 필터의 경우 1.4m일 때 10%로 가장 작은 Total_Error를 나타냈다.

표 4. 저층주거지역 ETEW 필터의 오류

임계값	Error_I	Error_II	Total_Error
0.1	47.25543	0.526405	29.2827
0.2	23.78856	2.074509	15.42127
0.3	15.00161	4.516775	10.89414
0.4	10.69056	8.108137	9.463501
0.5	8.265208	13.21238	9.574836

표 5. 저층주거지역 Morphology 필터의 오류

임계값	Error_I	Error_II	Total_Error
1.8	9.06913	14.10582	10.33556
1.9	8.509101	14.97949	10.24703
2	8.069476	15.90513	10.24361
2.1	7.70024	16.6035	10.21511
2.2	7.37793	17.56377	10.28617
2.3	7.054385	18.63308	10.38192
2.4	9.738447	13.22251	10.48452

표 6. 저층주거지역 MLS 필터의 오류

임계값	Error_I	Error_II	Total_Error
1.1	11.99832	8.192498	10.29605
1.2	10.95606	9.575827	10.10339
1.3	10.04409	11.08636	10.01942
1.4	9.252513	12.65917	10.01562
1.5	8.576403	14.36497	10.10871
1.6	8.023167	16.06064	10.25957
1.7	7.491541	17.98587	10.47312

4.2 건물경계의 추출 및 정제분석

4.2.1 건물의 경계추출

건물 경계의 추출을 위해 필터링기법을 이용해 분류된 비지면 자료에 LoG 연산자를 적용하였다. 그림 10은 LoG 연산자를 이용하여 추출된 비지면요소에서 건물의 경계선 정보를 추출하는 과정을 나타낸 그림이다. 아파트 건물에 대하여 건물의 높이정보와 LoG의 scale-factor를 이용하여 경계선을 추출한 그림으로 그림 10(a)는 scale factor 값을 조절하여 조밀하게 경계선을 추출한 그림이며, 그림 10(b), (c)와 같이 필요에 따라 건물의 높이별로 건물의 외곽선을 다양하게 추출할 수 있다.

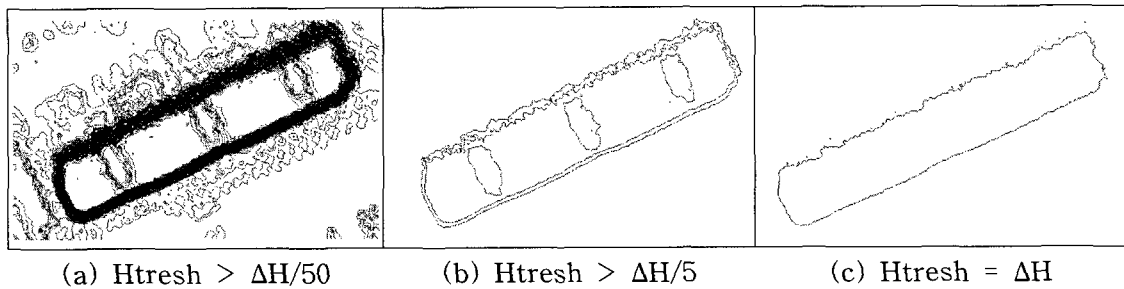


그림 10. LOG를 이용한 경계선 검출(고층건물)

비교적 단순한 아파트형 건물에 비해 다소 복잡한 학교 건물에 대해서도 LoG 연산자를 적용하여 건물의 경계를 검출해 보았다. 저층의 학교 건물에 대하여 건물의 높이정보와 LoG의 scale-factor를 이용하여 경계선을 추출한 그림으로 그림 11은 scale factor 값을 조절하여 학교 주변의 시설물이나 수목까지 조밀하게 경계선을 추출한 그림이며, 그림 11 (b), (c)에서 같이 필요에 따라 건물의 높이별로 건물의 외곽선을 다양하게 추출한 그림을 보여주고 있다.

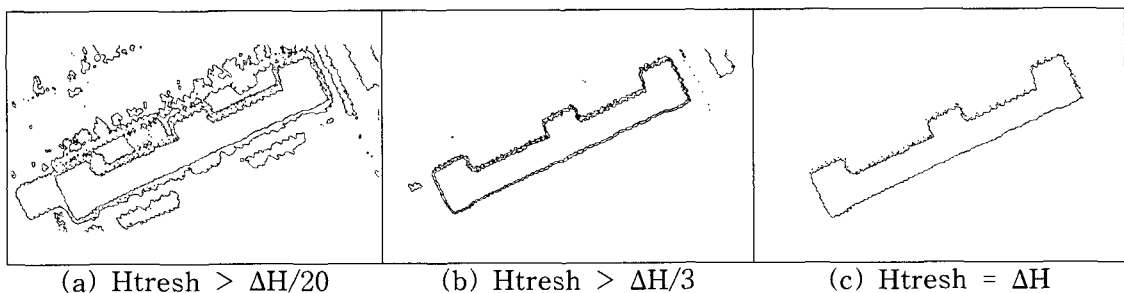


그림 11. LoG를 이용한 경계선 검출(저층건물)

4.2.2 건물의 경계정제

LoG 연산자를 사용하여 추출한 건물의 경계는 그림 12에서처럼 코너점에 굴곡이 생기는 현상이 발생하여 건물의 모양을 왜곡하는 현상이 생긴다. 이를 수정하기 위해 그림 12은 건물 경계선을 정제하는 과정으로 LoG연산을 통해 추출된 특징점을 탐색윈도우내 seed point로 설정하고 반자동으로 Georeferencing된 항공영상에서 나선방향으로 밝기값을 계산하여 정확한 건물의 모서리점을 결정함으로써 반자동으로 건물의 경계선을 정제하는 과정을 나타내고 있다.

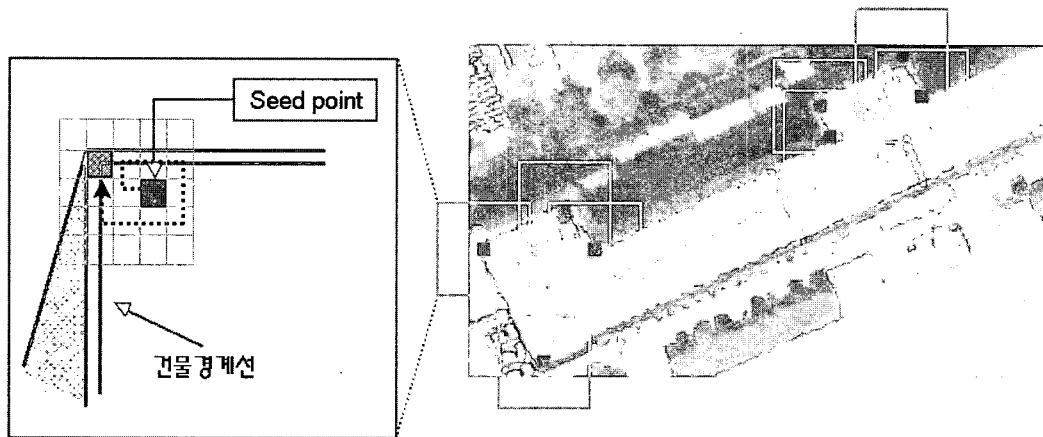
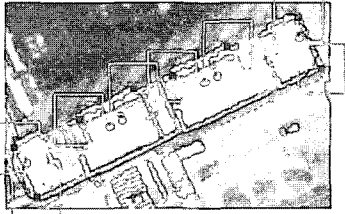
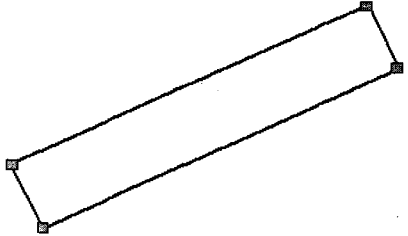
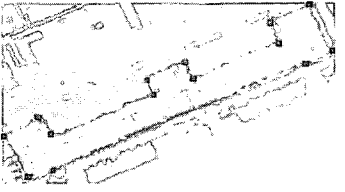
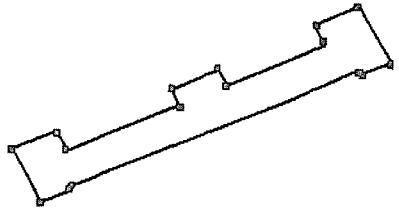
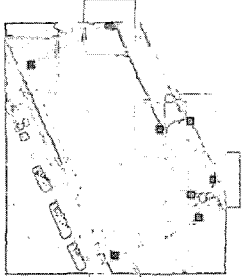
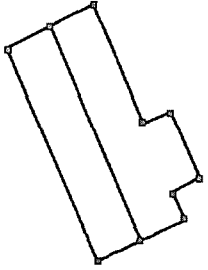
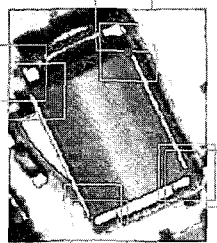
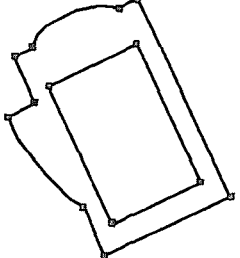


그림 12. 건물 특징점 정제

LiDAR 자료로부터 건물 경계선과 정제된 특징점을 추출하고 이 특징점들을 연결하여 각 단위건물별 최종적인 건물경계선을 검출하였다. 표 7은 특징적인 몇 가지 건물에 대해서 경계를 검출한 결과를 보여주고 있다.

표 7. 건물유형별 경계선검출 현황

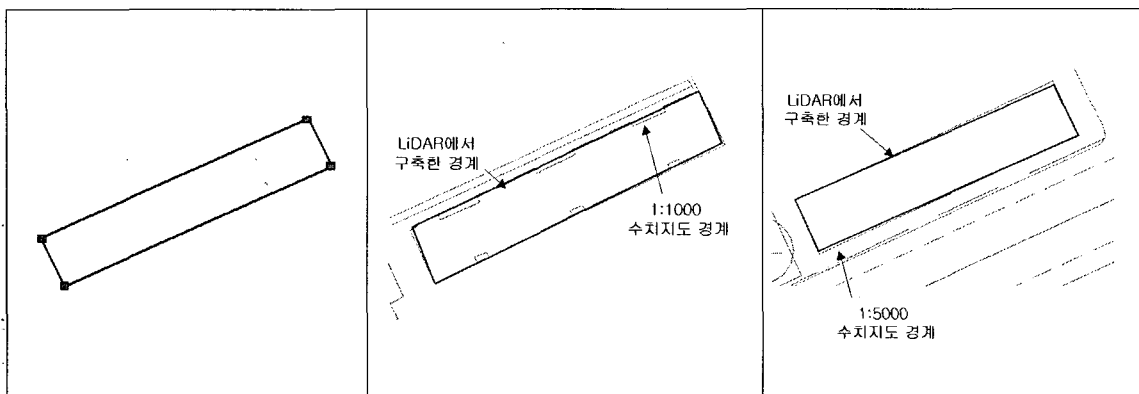
구분	특징점 추출	특징점 선형화
아파트형 (고층)		
아파트형 (저층)		
박공형		
돔형		

5. 정확도평가

5.1 건물경계의 정확도 평가

추출된 건물정보의 정확도 평가는 국토지리정보원에서 제작한 1/1,000 수치지형도와 1/5,000 수치지형도를 활용하여 수행하였다. 그림 13 (a)는 고층 아파트에 대하여 LiDAR 자료로부터 건물 경계선과 특징점을 추출하고 정제

한 건물경계선이다. 그림 13 (b)는 1/1,000 수치지형도의 건물과 LiDAR자료에서 검출한 건물경계와 중첩한 그림이고, 그림 13 (c)는 1/5000 수치지형도 상에서의 건물과 중첩한 그림이다. LiDAR 자료로부터 추출된 건물 경계선은 1/1,000과 같이 건물의 세밀한 경계를 표현하지는 못하지만 1/5,000 수치지형도에서 표현하는 건물의 정밀도와 거의 유사함을 확인할 수 있었다. 차후 건물 레이어의 유효성을 검증하기 위해서는 다양한 건물에 대한 경계를 구축하고 그에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

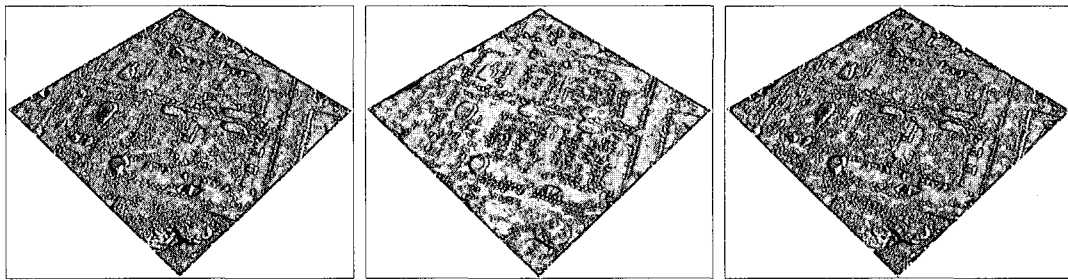


(a) 경계선 추출 (b) 1/1,000 수치지형도와 중첩 (c) 1/5,000 수치지형도와 중첩

그림 13. 수치지도와의 정확도 평가

5.2 DTM의 정확도 평가

DTM의 정확도 평가는 기준자료로 생성한 DTM과의 전수검사를 수행였다. 필터링 기법을 이용해서 분리된 지면 및 비지면점 중 비지면점을 제거하고 제거된 부분을 선형보간하여 DTM을 생성하였다. 그림 14는 고층아파트 지역에서 추출한 지면점을 이용하여 DTM을 생성하고 음영기복도로 나타낸 모습이다. 비지면점으로 지물이 제거된 부분은 주변의 높이값을 선형적으로 보간하는 방법으로 해당지역의 DTM을 생성하였다. 3개의 필터링 모두 공통적으로 지하주차장 입구와 지하계단 부분이 과도하게 검출되어 움푹 패인 현상이 나타났으며, 제거되지 못한 작은 지물이 나타나는 현상을 보여주고 있다.



(a) ETEW 필터

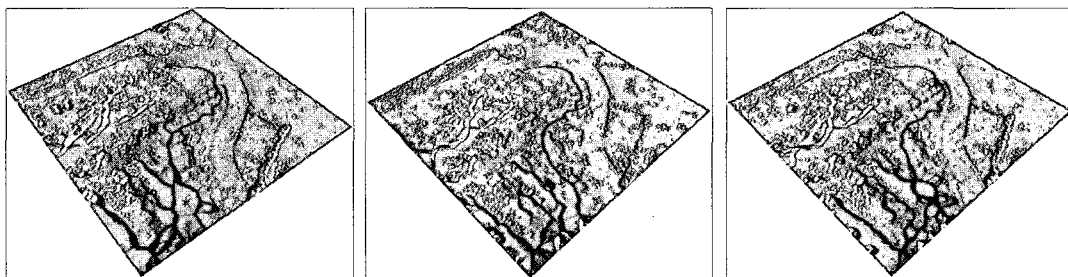
(b) 모폴로지 필터

(c) MLS 필터

그림 14. 고층아파트지역의 DTM

모폴로지 필터의 경우 지하 구조물, 지하주차장, 지하계단 부근이 다른 필터 보다 과도하게 분류되었으며 대상지의 자동차, 수목 등의 낮은 지물은 제대로 분류해 내지 못한 것을 볼 수 있다. 이와 같이 비슷한 비율의 오류가 지면과 비지면점에 포함되어 있어 전체적인 지면과 비지면점의 비율이 기준 자료와 비슷하게 나타난 것이다. 그리고 DTM 제작시 오류에 크게 영향을 미치는 오류는 비지면점이 지면점으로 잘못 분류된 오류이다. 모폴로지의 경우 이러한 오류가 다른 필터에 비해서 많이 포함되어 있어서 DTM 제작시 다른 필터링에 비해서 시각적으로 더 거칠게 나타난 것으로 분석되었다.

저층 주거지역의 경우 복잡한 지형지물을 많이 포함하고 있어 고층 아파트 지역에 비해 많이 발생했다. 저층주거지역에 나타난 오류는 주로 지면점이 과도하게 비지면점으로 검출된 오류이다. 하지만 DTM 생성에 크게 영향을 주는 오류는 비지면점이 지면점으로 분류되는 경우이므로 DTM 생성결과 그림 15에서 볼 수 있듯이 시각적으로는 커다란 영향을 주지 않은 것을 볼 수 있다.



(a) ETEW 필터

(b) 모폴로지 필터

(c) MLS 필터

그림 15. 저층주거지역의 DTM

정량적인 평가는 항공사진, 수치지도, 현장조사 결과를 바탕으로 수동으로 제작한 기준 자료를 이용해서 만든 DTM과 필터링 기법을 적용해서 생성한 DTM을 비교해서 기준 DTM과의 차이를 평균오차로 산정하였다. 즉 기준 DTM자료는 항공사진과 현장조사과정에서 비 지면요소로 분류되는 것을 원시 LiDAR 자료에서 수동으로 제거하고 난 후 DTM을 생성하였다. 그림 16은 필터링에 의해 비지면점이 제거된 후의 고층 아파트지역의 DTM 단면도를 보여주고 있으며, 기준자료와 필터링 간의 자세한 변화를 보기 위해 세로 축척을 확대하여 표시된 것으로 3가지 필터링 모두 기준자료에 근접한 형상을 보여주고 있다.

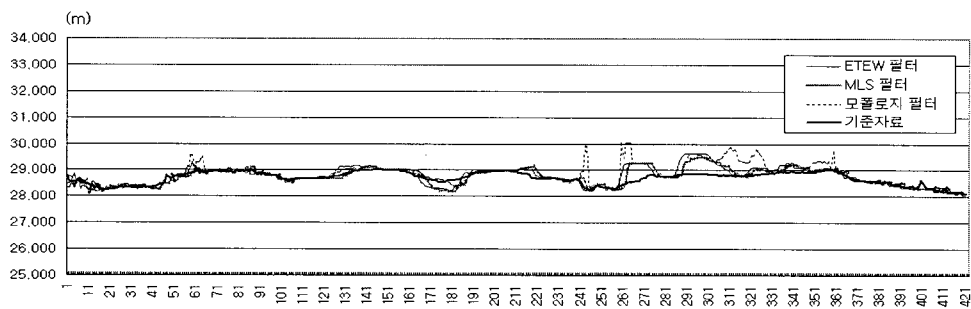


그림 16. 필터링 적용후의 고층아파트지역 단면도

그림 17은 저층 주거지역의 필터링을 적용한 후의 생성한 DTM의 단면도를 나타내고 있으며 저층건물이 분리되고 지면의 형상만 남아 있는 것을 볼 수 있으나 복잡한 지물형태로 인하여 다소 불규칙한 단면 모양을 보여주고 있다.

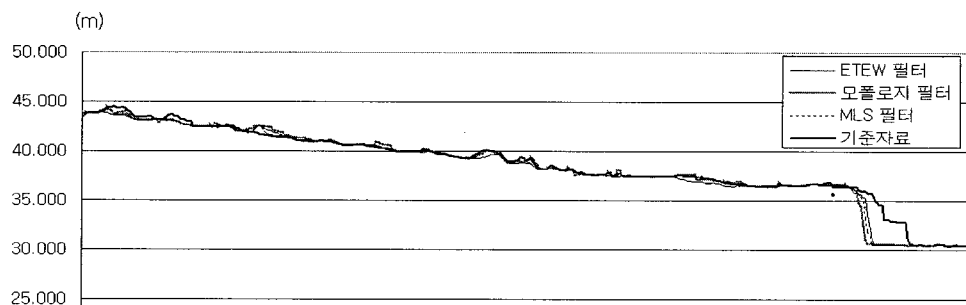


그림 17. 필터링 적용후의 저층주거지역단면도

정량적인 평가결과 ETEW 필터의 경우 고층아파트 지역의 경우 평균오차가 약 0.13m이고, 저층주거지역의 경우 평균오차가 0.64m이었다. 모폴로지 필터의 경우는 고층아파트 지역의 경우 평균오차가 0.22m, 저층주거지역의 경우 평균오차가 0.57m이었다. 또한 MLS 필터의 경우 고층아파트 지역의 경우 오차가 0.12m, 저층주거지역의 경우 오차가 0.57m이었다. 3개 필터에 의해 생성된 DTM 오차에 대한 평균값을 보면 고층아파트의 경우 0.16 m이고 저층주거지역의 경우 0.59m로 나타났다.

표 8. DTM생성 정확도

(단위: m)

필터	고층아파트지역 평균오차	저층주거지역 평균오차
ETEWS	0.13	0.64
모폴로지	0.22	0.57
MLS	0.12	0.57
평 균	0.16	0.59

6. 결론

본 연구에서는 LiDAR 자료로부터 필터링 기법을 이용하여 지면과 비지면을 분류하고 그 정확도를 평가하였으며, LoG연산자를 이용하여 건물의 경계를 검출하고 정제과정을 통해 최종적으로 건물 경계를 구축한 후 그 정확도를 평가하였다. 추출된 지면점을 이용해서 생성한 DTM은 필터에 따라 약간의 차이는 있지만 고층아파트지역은 기준자료와 비교해 평균적으로 약 0.16m, 저층주거지역의 경우 0.59m의 정확도를 나타냈으며, 비지면으로 구축한 건물 경계의 경우 1/5,000의 수치지형도를 구축할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 좀더 다양한 지형 유형에 필터링 기법을 적용해 유형에 따라 알맞은 필터링 기법을 선정하고, 좀더 정밀한 3차원복원을 위해 이기종의 센서자료와의 융합이나 지상시설물의 유형별 복원기술개발이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 김형태 (2000), GIS 건물 레이어 자동구축을 위한 Lidar 데이터와 항공사진의 융합, 박사학위논문, 서울대학교.
- 이원희 (2003), 수치지도와 LiDAR 자료를 이용한 도시지역 건물 모델링에 관한 연구, 공학석사 학위논문, 서울대학교.
- 정동기 (2005), LiDAR 자료로부터 건물 추출 및 3차원 복원, 춘계발표회 논문집, 한국측량학회, pp229-235.
- 조우석 (2003), 항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동추출, Korean Journal of Remote Sensing, 대한측량학회, Vol, 19, No, pp. 307~317.
- 좌윤석 (2003), 항공 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
- 최승식 (2004), 항공 라이다 데이터 필터에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
- Keqi Z., Shu-Ching C. (2003), A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LiDAR Data, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, IEEE, Vol. 41 No.4, pp. 872-882.
- Michel Morgan and Ayman Habib (2001), 3D Tin for automatic building extraction from airborne laser scanning data, Proceedings of the ASPRS "Gateway to the New Millennium", ASPRS, St. Louis, Missouri.
- Weidner , U. and Föstner , W., 1995, Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models , ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing , ISPRS, Vol. 50, pp. 38- 49.
- Wang Zheng and Schenk, T.(2000), Building Extraction and Reconstruction from LIDAR Data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS, Amsterdam, Vol XXXIII, Part B3., pp. 959.