

LIDAR 데이터를 이용한 DEM 생성 기법에 관한 연구

이정호* 유기윤

서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공간정보연구실

ilome79@snu.ac.kr kiyun@snu.ac.kr

A Study on the technique of DEM Generation from LiDAR Data

Lee, Jeong Ho, Yu, Ki Yun

요 약

LiDAR 데이터의 필터링은 원 데이터로부터 건물, 수목 등과 같은 비지면점을 제거하는 과정이며, 이러한 필터링을 통해 DEM을 생성할 수 있다.

대표적인 필터링 방법들로는 분산을 이용한 linear prediction 기법, 주변 점들과의 경사관계를 이용한 slope-based 기법, morphology 필터, local maxima 필터 등이 있으며 이러한 기존의 기법들의 단점을 보완하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대부분의 필터링 기법들은 필터의 크기(윈도우의 크기)와 같은 인자를 대상 지역에 적합하게 사용자가 직접 설정해주어야 한다. 더욱이 복잡한 지형, 지물이 존재하는 지역에 적용하기 위해서는 인자를 변형시켜줘야 하며 특히, 다양한 크기의 건물이 존재하는 지역에 대하여 적용하기 위해서는 가변적인 크기의 필터가 필요하다.

이에 본 논문에서는 다양한 크기의 건물이 존재하는 지역에 대하여 필터의 크기를 변화시키지 않고 필터링을 수행할 수 있는 연산기법을 제안하였다. 본 연구에서는 수목이나 자동차 등과 같은 작은 개체의 제거를 위해 고정된 작은 크기의 윈도우를 가지는 모폴로지 필터를 우선 적용한다. 그 후 건물과 같은 큰 개체의 포인트는 이웃 포인트와의 고도 차이를 이용하여 인식하고 이웃에 위치하는 지면 포인트로 대체하며, 갱신된 값이 바로 다음 연산에 반영 되도록 한다. 또한 상, 하, 좌, 우 네 방향에 대하여 라인별로 독립된 연산을 수행한 후에 이들을 비교함으로써 오차를 보정한다.

1. 서론

LiDAR(Light Detection And Ranging)는 전통적인 측량기법이나 사진측량기법에 비하여 낮은 비용으로 높은 정확도의 고도 정보를 제공하여 공간분석, DSM(Digital Surface Model) 제작, 도시 모델링 등에서 많은 활용이 이루어지고 있

다. LiDAR 자료는 고도, 반사강도(intensity), 멀티에코(multi-echo) 등의 정보를 포함하는 점(point) 데이터 형태로 제공되며 지표면의 고도정보뿐만 아니라 건물, 수목, 기타 지상물 등의 고도정보와 형태를 포함하게 된다. 따라서 LiDAR는 공간 모델링 위한 지상 대상물의 자동 추출 등에 효과적으로 활용될 수 있

다. 그러나 LiDAR는 사용되는 레이저의 투과 특성으로 인해 오반사되거나, 반사체의 특성에 따르는 반사파의 왜곡으로 오차가 포함된다. 또한, 지면점을 나타내는 데이터와 지물을 나타내는 데이터가 함께 존재한다. 그러므로 오차 제거를 위한 전-후처리 기법의 적용과 정확한 DEM 및 대상물 추출을 위한 필터링 적용 등의 과정이 필요하다.

본 연구에서는 LiDAR로부터 획득한 고도 자료를 보간하여 생성한 DSM으로부터 빠르고 자동화된 방식으로 DEM을 추출하는 기법을 제안하였다.

2. 연구동향

DSM으로부터 DEM을 생성하는 필터링에 관한 많은 알고리즘이 개발되어 있으며 대표적인 방법으로는 Morphological operation, Local Maxima Filtering, Slope-based filtering 등이 있다. Morphological operation은 수축(erosion), 확장(dilation)의 기본 함수를 연속으로 적용하는 opening 연산을 통하여 건물, 수목 등을 제거하는 기법으로 가장 많이 이용되는 필터링 기법이다. 그러나 필터의 크기가 제거하려는 개체의 크기보다 커야하므로 대상물의 크기에 따라 필터의 크기를 조절해 주어야 하고 필터의 크기가 너무 클 경우 지형의 굴곡까지도 제거되는 문제가 발생할 수 있다. Local Maxima Filtering은 제거하려는 건물이 윈도우 내에 포함되어야만 제거가 가능하며 대상 지역의 경사가 클수록 적용하기가 어렵다는 문제점이 있다. Slope-based filtering 기법은 점과 점 사이의 경사를 구하여 급격한 경사값을 갖는 점을 제거하는 방법으로서, 대상 점과 주변에 위치한 점들의 경사를 계산하

여 급격한 경사가 지면의 변화에 의한 것인지 지물에 의한 것인지를 판단한다. 이 기법은 대상점 주변의 몇 개의 점을 고려할 것인지를 결정해야 하며 지물과 지표면을 구분하기 위한 적절한 경사도를 설정해줘야 한다.

위에서 언급한 필터링 방법들은 필터의 크기 혹은 필터링 수행 시에 고려할 주변점의 개수를 적절하게 결정하는 사용자의 개입이 요구되며 사용자의 판단과 지형의 특성에 의해 결과물의 품질이 크게 좌우될 수 있다는 단점이 있다.

3. 연구 방법

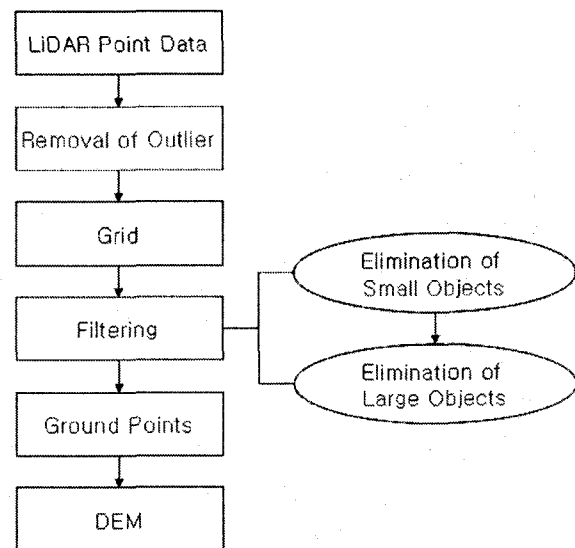


그림 1 연구 흐름도

3.1. 오차 제거

본 연구에서는 데이터의 통계적 특성치를 이용하여 outlier에 해당하는 오차를 제거하였으며, outlier는 일반적으로 실제 값보다 낮게 나오는 low-outlier와 실제의 지형지물보다 높게 측정되는 high-outlier로 나눌 수가 있다.

low-outlier의 경우는 필터링 과정에서

큰 오차를 야기 시킬 수 있기 때문에 전 처리과정에서 반드시 제거되어야 한다. 또한 DEM 생성시에 있어서 low-outlier로 인하여 움푹 파인 웅덩이와 같은 형상의 지형이 만들어질 수 있으며, 3차원 도시 모델링과 같은 작업에 있어서는 high-outlier로 인하여 건물이 뿔 형태의 모양으로 잘못 표현되어질 수 있기 때문에 이에 대한 처리 또한 매우 중요하다.

본 연구에서 적용한 outlier 제거 과정은 다음과 같다.

- 한 점(p_c)을 기준으로 일정 반경 이내에 있는 점들을 선택한다.(N개)
- 선택된 모든 점들을 이용하여 높이값의 평균(μ)과 표준편차(σ)를 계산한다.

low-outlier 제거

- $A = \{p_i \mid z_i < \mu - k\sigma, 1 \leq i \leq N\}$
- $n(A) \geq N_{thr}$ and $p_c \in A$ 이면 $p_i \in A (1 \leq i \leq N)$ 를 low-outlier로 간주하고 제거한다.

high-outlier 제거

- $A = \{p_i \mid z_i > \mu + k\sigma, 1 \leq i \leq N\}$
- $n(A) \geq N_{thr}$ and $p_c \in A$ 이면 $p_i \in A (1 \leq i \leq N)$ 를 high-outlier로 간주하고 제거한다.

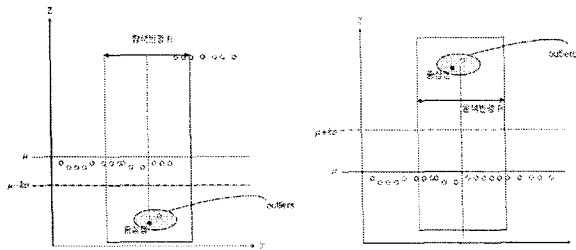


그림 2 low-outlier(좌)와 high-outlier(우)

3.2. 보간

일반적으로 LiDAR 데이터의 보간을 위해서는 IDW(Inverse Distance Weighted), Kriging, Natural Neighbor 기법 등이 많이 이용된다. 그러나 이러한 기법들은 자료를 평활화 시키는 경향이 있기 때문에 최종결과물을 생성하는데 있어서는 좋을 수 있지만, 필터링을 위한 전 단계로서 사용하기에는 단점을 가지고 있다. 즉, 지면점과 비지면점의 경계에서 높이값이 급변하는 특성은 필터링 과정에 있어서 가장 중요한 요소로 사용되어지는데, 보간에 의해서 그 급변하는 특성이 약해질 수가 있다. 이에 본 연구에서는 격자를 정한 후에 한 격자 내에 한 개 이상의 점이 있을 경우에는 가장 작은 표고값을 가지는 점을 선택하고, 격자 내에 한 점도 없을 경우에는 최근린값을 가져오는 방식을 사용하였다.[1]

3.3. 필터링

모폴로지 연산은 윈도우의 크기가 제거하려는 개체의 크기보다 커야하므로 사전에 대상 지역의 건물 크기에 대한 정보가 있어야 한다. 또한, 개체의 크기를 알더라도 그 크기가 매우 큰 경우에는 윈도우의 크기도 커져서 지면도 함께 제거가 되고 변형이 일어나게 된다.

본 연구에서는 자동차, 작은 수목 등과 같이 넓이가 작고 높이도 낮은 개체와 건물과 같이 큰 개체를 구분하여 제거하였다. 우선적으로 작은 크기의 윈도우를 이용한 모폴로지 필터를 이용하여 작은 개체를 제거하고, 각 라인별로 독립적으로 이웃 포인트끼리 연산을 하여 건물을 제거하였다.

3.3.1. 작은 개체 제거

모폴로지 연산은 확장연산과 수축연산이 기본이 되며 이 둘의 조합으로 이루어지고, 그 식은 다음과 같다.

확장연산 : $d_p = \max(z_d) \cdot (x_d, y_d) \in w$

수축연산 : $e_p = \min(z_d) \cdot (x_d, y_d) \in w$

수축연산을 수행하면 필터의 크기보다 작은 개체는 제거가 되고 필터의 크기보다 큰 개체들은 축소가 되어 크기가 작아진다. 이 결과에 연속해서 확장연산을 수행해주면 수축되었던 개체들은 원래 크기로 다시 확장이 되며, 제거되었던 개체는 다시 복원되지 않는다. 즉, opening연산을 이용하여 윈도우의 크기보다 작은 개체들은 제거를 하고 큰 개체들은 원래대로 유지할 수가 있다.

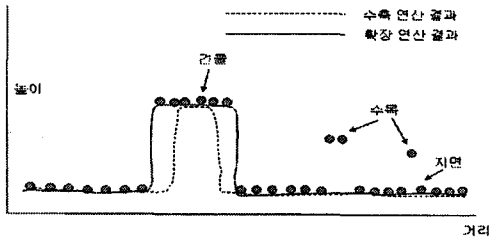


그림 3 opening 연산에 의한 수목 제거

3.3.2. 큰 개체 제거

기준점 $p_i(x_i, y_i, z_i)$ 와 이웃하는 점 $p_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ 사이의 높이차와 경사를 계산하여 그 값들이 임계치보다 크면 p_i 를 비지면점으로 간주하고 p_i 의 높이를 이웃점 p_{i-1} 의 높이값으로 대체하여준다. 그 계산식은 다음과 같다.

높이 차 : $\Delta z = z_i - z_{i-1} < \Delta z_{thr}$

경사각 : $\theta = \arctan\left(\frac{\Delta z}{\Delta d}\right)$

$$= \arctan\left(\frac{z_i - z_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}\right) > \theta_{thr}$$

그 다음 $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ 를 기준점으로 하여 $p_i(x_i, y_i, z_i)$ 와 높이차와 경사를 계산하는데, 이 때 바로 이전 계산에서 대체되어진 p_i 의 높이값 z_i 가 반영되어진다. 즉, 건물과 같은 지물의 경계부분에 위치한 지면점에 의하여 지물의 경계부분부터 차례대로 제거되어지게 된다.

따라서 윈도우를 사용하거나 연산에 포함되어지는 점들(neighborhood)의 범위를 고려하지 않고, 한 점과 바로 이웃하는 점 사이의 관계만을 이용하여 필터링을 수행하게 된다. 이러한 연산을 그림 4와 같이 각 라인별로 독립적으로 수행하게 된다. 그림 5는 한 라인에 대하여 비지면점들이 순차적으로 제거되는, 즉 이웃하는 지면점의 값으로 대체되는 과정을 보여주고 있다.

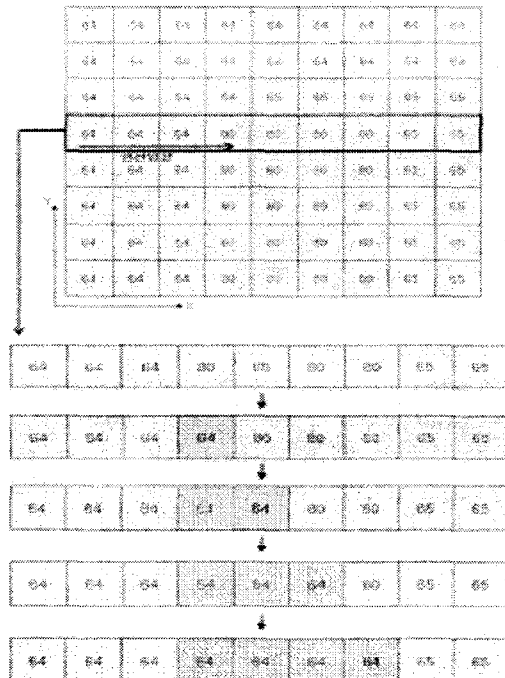


그림 4 한 라인에 대한 연산 과정

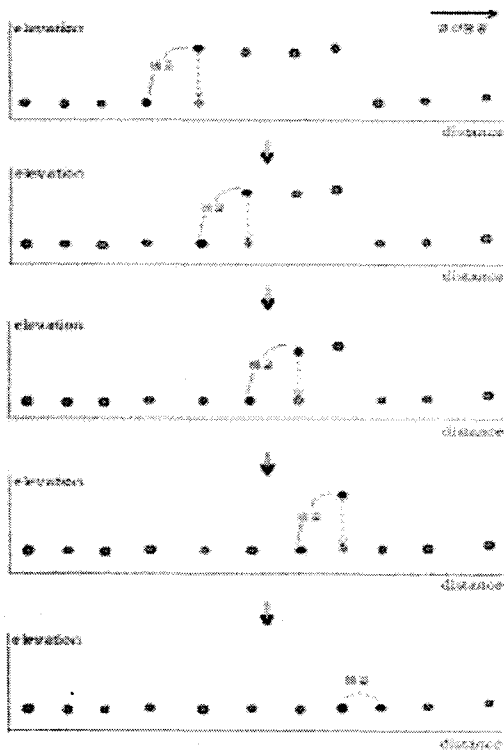


그림 5 라인별 순차적 개체제거 과정

이와 같은 방식으로 지물을 제거할 경우에, 경사가 급변하는 지형이 있으면 그 급변하는 지점이후의 지면점들이 모두 지물로 간주되어져서 제거되는 오류가 발생할 수가 있다. 또한, 낮은 오차가 포함되어있거나 지하도 입구와 같은 저지대가 포함되어있을 경우에도 그 점들에 의하여 그 이후의 점들이 전부 제거되어져서 오차가 발생할 수가 있다.

이러한 오차의 전파와 오류를 방지하기 위하여 앞에서 실행한 각 라인별 연산을 상, 하, 좌, 우 네 방향에 대하여 실시하였다. 상, 하, 좌, 우 네 방향에 대하여 각각 방향성을 가지면서 독립적으로 연산을 한 후에 그 결과들을 비교하여 최대값을 선택하였다.

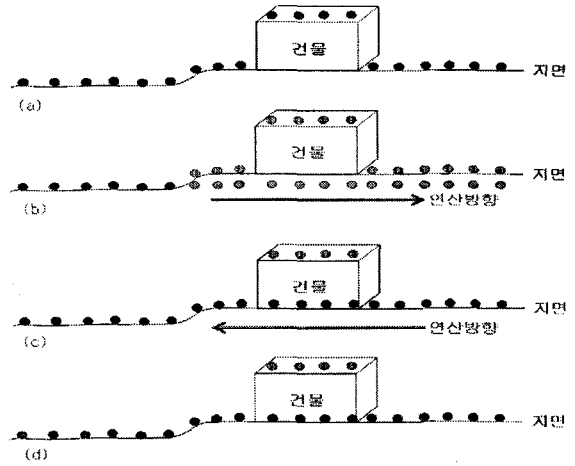


그림 6 (a) 필터링 이전의 데이터. (b) 오른쪽 방향으로 연산을 진행한 결과. (c) 왼쪽 방향으로 연산을 진행한 결과. (d) (b)와(c)를 함께 고려하여 지물을 제거한 모습

건물과 같은 지물들은 자기 자신의 주변에 대하여 모든 방향으로 더 낮은 높이를 나타내는 지면점을 가지는 특성이 있다. 따라서 지물은 상, 하, 좌, 우 네 방향 연산에 대하여 모두 제거가 되지만, 지면의 경우에는 일반적으로 사방으로 매우 급격한 경사를 가지는 경우는 드물기 때문에 네 방향으로 연산한 결과에서 최대값을 취함으로써 지면이 제거되는 것을 방지할 수가 있다.

4. 실험 적용 및 결과

경사가 있으며 다양한 크기의 건물이 혼재한 지역에 대하여 실험을 하였으며, 모폴로지 필터를 사용한 결과와 본 연구에서 제안한 두 단계의 과정을 거친 필터링 결과를 비교, 제시하였다. 실험에 사용된 LiDAR 자료의 제원은 표와 같으며, 그림 7은 대상지역의 라이다 원자료와 항공사진이다.

Flying Height	1000m (from the surface)
Scan Area	1310km×1611km
Repetition Rate	70000Hz
Scan Angle	±15°
Scan Rate	30Hz
Overlay Rate	75%
Scan Line	16 directions
Density of Points	5.17 points/m ²

표 1 Overview of ALS system

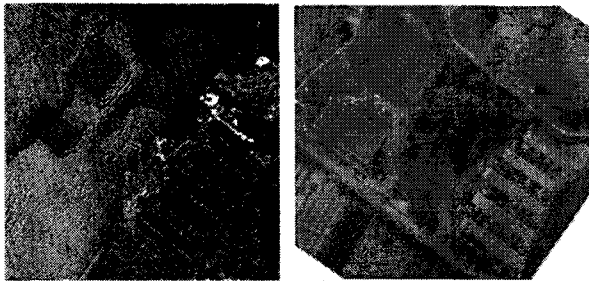


그림 7 대상지역 LiDAR(좌), 항공사진(우)

실험 지역에는 수목과 자동차와 같은 작은 개체가 많이 존재하며, 큰 개체로는 우측하단에 아파트 5개 동과 좌측 상단에 넓이가 매우 넓은 건물(항공사진에서 파란색) 2개가 존재한다. 원형(circle)의 모폴로지 필터만을 이용하여 대상 지역에 필터링을 수행할 경우에 필터의 크기를 8 정도로 하면 우측 하단의 아파트는 제거가 되지만 좌측 상단의 건물은 제거가 되지 않았다. 좌측 상단의 건물을 제거하기 위해서는 필터의 반경을 28pixel(28m)로 해주어야만 하였고, 필터의 크기가 증가함에 따라서 지면의 상당부분이 제거가 되어서 원래 높이 보다 낮아지고 많은 왜곡이 발생하였으며 그 결과는 그림8과 같다.

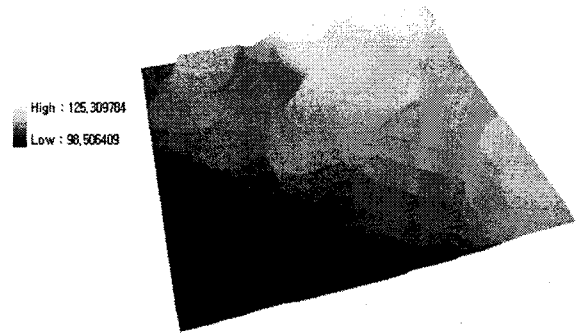


그림 8 모폴로지 필터(반경 28의 원형 필터)를 이용하여 생성된 DEM

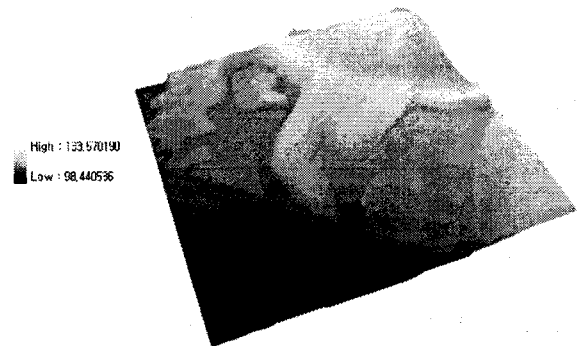


그림 9 제안된 기법에 의하여 생성된 DEM

그림 9는 본 연구에서 제안된 기법에 의하여 생성된 DEM을 보여주고 있다. 모폴로지 필터만을 이용하여 생성된 DEM과 비교 하였을 때, 보다 세밀한 지형 묘사가 되고 있음을 볼 수 있다. 좌측 상단 부근에 건물이 일부 제거되지 않은 이유는, 건물의 끝 부분과 바로 옆 지형의 높이가 비슷하며 그들 간의 거리도 매우 작아서 필터링하기에 매우 까다로운 지형이기 때문이다.

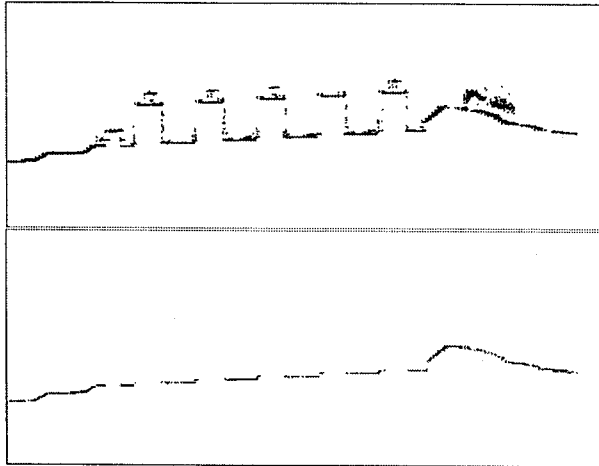


그림 10 제안된 필터링 기법 결과의 단면도.
(상)필터링 이전 (하)필터링 이후

그림 10은 필터링 이전의 포인트와 제안된 필터링 기법에 의하여 비지면점들을 제거한 후의 포인트들에 대하여 지면에 수직으로 자른 단면의 모습이다. 필터링 전에 존재하는 아파트, 건물, 수목 등이 모두 제거되었으며, 원래 지형의 경사가 잘 보존되었음을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 다양한 크기의 건물이 혼재하는 지역에 대하여 적용할 수 있는 필터링 기법을 제안하였다. 1차적으로 수목과 자동차와 같은 작은 건물을 작은 크기의 윈도우를 가지는 모폴로지 필터를 이용하여 제거한 후에 2차적으로 점들 간의 높이차를 이용하여 각 라인별로 순차적으로 건물 포인트들을 제거하였다. 모폴로지 필터만을 사용한 결과와 비교하였을 때 큰 건물이 존재하는 지역에 대하여 더 세밀한 지형표현이 가능하였으며, 경사가 있는 지역에 대해서도 적용이 가능하였다. 향후 연구에서는 보다 다양한 지역에 대한 평가와 실험결과에 대한 정량적 평가가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Keqi Zhang, Shu-Ching Chen, "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LIDAR Data", IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing. Vol. 41. No. 4, 2003.
- [2] J. Kilian, N. Haala, and M. English, "Capture and evaluation of airborne laser scanner data," Int. Arch. Photogramm. Remote Sens., vol. 31, pp. 383-388, 1996.
- [3] George Sithole, George Vosselman, "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59 (2004) 85- 101, 2004.
- [4] G. Vosselman, "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", ISPRS. Vol. 23, 2000
- [5] 한국전자통신연구원, "라이다 처리 기반 기술 개발", 고정밀 위성영상 처리 기술 개발, 2004