

산림지역에서의 항공 Lidar 자료의 특성 및 지면점 분리

윤정숙[†] · 이규성 · 신정일 · 우충식

인하대학교 지리정보공학과

Characteristics of Airborne Lidar Data and Ground Points Separation in Forested Area

Jong-suk Yoon[†], Kyu-Sung Lee, Jung-il Shin, and Choong-Shik Woo

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : Lidar point clouds provide three dimensional information of terrain surface and have a great advantage to generate precise digital elevation model (DEM), particularly over forested area where some laser signals are transmitted to vegetation canopy and reflected from the bare ground. This study initially investigates the characteristics of lidar-derived height information as related to vertical structure of forest stands. Then, we propose a new filtering method to separate ground points from Lidar point clouds, which is a prerequisite process both to generate DEM surface and to extract biophysical information of forest stands. Laser points clouds over the forest stands in central Korea show that the vertical distribution of laser points greatly varies by the stand characteristics. Based on the characteristics, the proposed filtering method processes first and last returns simultaneously without setting any threshold value. The ground points separated by the proposed method are used to generate digital elevation model, furthermore, the result provides the possibilities to extract other biophysical characteristics of forest.

Key Words : Lidar, filtering, forest, stand structure, multiple returns, DEM.

요약 : Lidar는 정확도 높은 고밀도의 점 자료를 제공함으로써 지형공간에 대한 3차원 정보를 제공한다. 특히, 산림과 같은 식생 지역에서는 레이저 신호가 투과되어 지면에서 반사되는 자료가 기록되므로 산림이 밀집하여 존재하는 공간에 대한 수치고도모델 제작에 용이하다. 이 연구에서는 우리나라 중부지역의 산림에서 획득한 Lidar 자료의 수직적 분포 특성을 살펴 보고자 하며, 산림자원정보를 추출 및 수치고도자료(DEM)를 획득하기 위한 필수 과정인 지면점들을 분리하는 방법을 제안하고자 한다. Lidar 자료의 수직적인 분포는 산림을 구성하는 수종, 밀도 및 수관의 형태 등에 따라 영향을 많이 받으며, 이러한 산림에서 나타나는 Lidar 자료의 특성을 이용하여 제안된 지면점 분리 방법은 초기 수신신호(First return: FR) 및 말기 수신신호(Last Return: LR)를 함께 이용함으로써 일반적으로 지면점을 분리하는데 요구되는 임계치를 고려하지 않아도 된다는 효율성을 가진다. 제시된 방법으로 분리된 지면점을 이용하여 수치고도모델을 제작하였으며, 이를 기반으로 산림의 중요한 정보가 되는 수고, 수관울폐도 등의 임목의 생물리학적 인자를 보다 정확하게 추출할 수 있다.

2006년 9월 26일 접수 ; 2006년 12월 22일 수리.

[†] 교신저자: 윤정숙(rs_yjs@inha.ac.kr, yjs91@hanmail.net)

1. 서론

Lidar 자료는 3차원 지형공간에 대한 정확하고 밀도가 높은 정보를 제공할 뿐 아니라, 산림과 같은 식생이 존재하는 지역에서 레이저 신호가 수관층을 투과하여 지면에서 반사되는 특성을 보인다. 이러한 특성은 식생이 고밀도로 존재함으로써 추출하기 어려운 지표면에 대한 정보를 제공하며, 2차원의 영상이 제공하는 공간의 수평적 분포 이외의 산림의 복잡한 수직적 구성에 대한 정보를 제공함으로써 그 활용 가치가 높다. 또한 산림 및 생태학 분야에서 Lidar 자료의 활용은 수고, 임목 밀도, 수관윙폐도, 흉고직경과 같은 물리적 인자를 추출하여 생체량 및 면적 지수와 같은 직접적인 조사가 어려운 생태학적 인자를 추출하는 연구 등이 활발히 진행되고 있다.

여러 가지 산림자원 정보를 추출하는데 중요한 인자가 되는 수고는 Lidar의 FR과 LR이 분리되어 기록되는 특성을 이용하여 추출하게 된다. 정확한 수고를 추출하기 위해서는 정확한 지형 정보가 바탕이 되어야 하므로, 반드시 선행되어야 할 과정은 여러 차례에 걸쳐 레이저 신호를 기록하는 Lidar 자료에서 정확한 지형 정보를 분리해내는 과정이다. 촬영된 공간에 대해 고밀도로 복잡하게 구성되는 Lidar 자료에서 지면점과 비지면점을 분리해내는 연구는 필터링(filtering)이라 불리며, 여러 선행 연구들이 다양한 접근 방법들을 선보이며 연구되어 왔다. 2002년 ISPRS Commission III working group 3(<http://enterprise.lr.tudelft.nl/frs/isprs/filtertest/>)에서는 각 필터링 방법들의 정확도를 검증하기 위한 독일의 8개 지역의 라이다 자료를 제공하였으며, 2003년 이 자료를 이용하여 8개의 필터링 방법들을 비교하여 정확도를 검증한 보고서(Sithole and Vosselman, 2003)를 발표하였다. 2004년에는 위에서 제시한 8개 지역을 정확하게 사람이 분리해낸 정확도 검증자료(reference data)로서 8개 지역 내에서 15개 site에 대한 지면점 및 비지면점을 분리한 자료를 발표하였다(ISPRS, 2004). 이 검증자료는 크게 도시지역(urban area)과 비도시지역(rural area)으로, 각 지역마다 지형적 특성에 따라 구분된다. Shao and Chen (2004)은 비지면점은 주변의 지면점보다 높다는 성질을 이용한 morphology operation 방법을 제시하였으며,

이에 대한 결과를 ISPRS에서 제공하는 검증 자료를 이용하여 정확도를 검증하였다.

이 논문의 목적은 산림 정보를 추출하는데 Lidar 자료를 적극적으로 활용하기 위하여, 먼저, 수종 및 임목 밀도에 따라 나타나는 Lidar 자료의 수직적 분포 특성을 살펴 보고, 산림 정보를 추출하는데 필수 요소가 되는 수치고도모델 제작을 위하여 필요한 지면점 분리 방법에 있어서 기존의 방법과는 다른, 향후 산림 정보를 추출하는 목적에 적절하다고 판단되는 방법을 제시하고자 한다.

대부분의 필터링 방법은 Lidar의 자료들을 2차원의 격자로 재배열하여 이동창을 이동하며 처리하는 접근 방법이거나(Kilian 외, 1996; Zhang 외, 2003), 지면점에서 반사 기록되는 자료가 많을 것으로 판단되는 LR만을 이용한다. 이 연구는 Lidar의 원자료(point clouds)를 직접적으로 처리하며, FR과 LR을 함께 이용하여 FR에서 지면점 이외의 대상물에서 반사 수신되는 정보를 이용함으로써 임계치 설정을 고려하지 않는다는 효율성을 가지고 있다. 또, 연구 지역의 지형적 혹은 공간적 특징에 따라 Lidar 자료의 지면점을 분리하는데 있어서 필터링이 적용되는 공간의 크기가 달라지게 된다. 이 연구에서는 10m×10m에 기록되는 100 ~ 150개의 자료를 대상으로 지면점이 분리된다. 이러한 자료의 수는 일정한 공간에서 기록되는 Lidar 자료의 공간적 특성을 이용하는데 충분한 자료의 양이라고 할 수 있다. 그러므로, 제시하는 방법에 대한 필터링 처리 면적은 Lidar 자료의 밀도에 따라서 변동 가능하다. 또한, Lidar 신호의 수신 특성 중에서 한번의 수신을 하여 FR과 LR로 중복 기록이 되는 'Singular Return'(SR)(Moffiet 외, 2005) 자료를 분리하여 필터링을 적용함으로써 처리 시간에 대한 효율성을 고려하였다.

2. 연구 자료 및 연구 지역

연구 지역은 경기도 가평군 및 양평군 일대의 유명산을 포함하는 지역으로 대표적인 수종은 잣나무와 낙엽송이며, 활엽수가 혼재하는 혼효림이 일부 존재한다. 이 지역의 산림은 비슷한 시기에 식재 된 산림이 많으며, 대부분 20-30년생 수목이 많아 수고가 15m 이상 20,

30m에 이르는 산림을 구성하고 있다. Lidar 자료는 Optech사의 ALTM 3070을 이용하여 2004년 4월 28일 촬영되었으며, ALTM 4K02 디지털 칼라항공CCD 영상을 함께 촬영하였다. Lidar 자료의 촬영 고도는 약 1,500m이고 점밀도는 2.5~2.55 point/m²이다.

식생을 투과하는 특성을 지닌 Lidar 자료는 활엽수의 경우 수관을 형성하는 잎이 나오는 시기 및 성장 정도에 따라 계절적인 영향을 받게 된다. 이 연구자료는 우리나라의 중부 지역에서 4월 말에 획득된 것으로서, 이 시기에 연구지역에서 참나무류가 우점하는 활엽수림은 잎이 거의 생성되지 않았음을 칼라 CCD 영상에서 확인 할 수 있으며, 침엽수이지만 잎이 나고 지는 활엽수의 특성을

보이는 낙엽송의 경우, 잎의 진행이 빨라 CCD영상에서 잎이 이미 나와 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 1 (a)의 첫 번째 연구 지역은 170m×122m 정도로 고밀도의 산림 지역으로 낙엽송이 주로 존재하며, 그림에서 묘지 아래 쪽으로 잣나무도 확인 가능하다. (b)의 두 번째 연구 지역은 도로를 포함한 200m×200m 정도 되는 지역으로 잣나무가 소밀도로 존재하며 경사가 상당히 급한 지역이다. 그림 1의 (c)는 첫 번째 연구지역에 해당하는 한 부분의 Lidar 원자료로써, FR과 LR이 고밀도로 혼재하고 있는 것을 보여준다. (c)에서 FR은 주로 수목의 수관에서 반사기록이 되며, LR은 수관 밑 부분이나 지면에서 반사수신 되는 특성을 살펴 볼 수 있다.

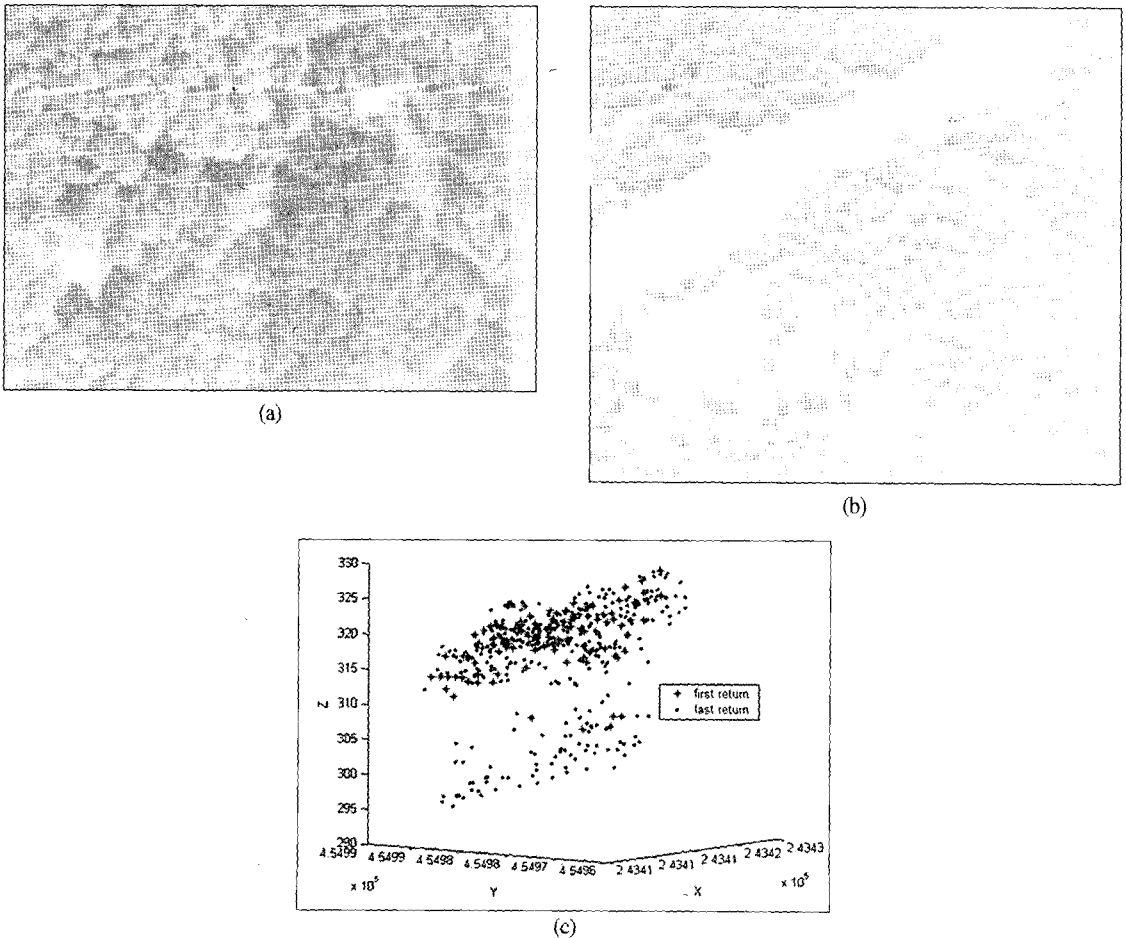


Fig. 1. Study site 1(a), study site 2 (b), Lidar point clouds over a part of the study site 1 of dense coniferous forest (c).

3. 산림 지역의 Lidar 자료의 특성

산림 지역의 Lidar 자료의 특성은 연구지역에 해당하는 경기도 지역의 대표 수종이라고 할 수 있는 잣나무,

낙엽송 및 활엽수에 대해서 밀도에 따라 나타나는 수직적인 분포를 Lidar의 표고와 직접 현지에서 조사한 자료를 이용하여 살펴볼 수 있다(표 1, 그림 2). 표 1은 현지조사를 통하여 얻은 잣나무, 낙엽송, 밤나무, 활엽수

Table 1. Stand characteristics of forest sample plots.

Stand	Species	Age (yr)	Height (m)	DBH (cm)	Canopy closure(%)	Remarks
A	Korean pine	20	15	18	90	No thinning
B	Korean pine	30	30	50	Thinning	
C	Larch	25	20	25	60	Medium understory
D	Korean pine, larch	30	27	25	80	
E	Chestnut	30	12	20	80	Leaf-off thick branches
F	Mixed deciduous	20	11	10	80	

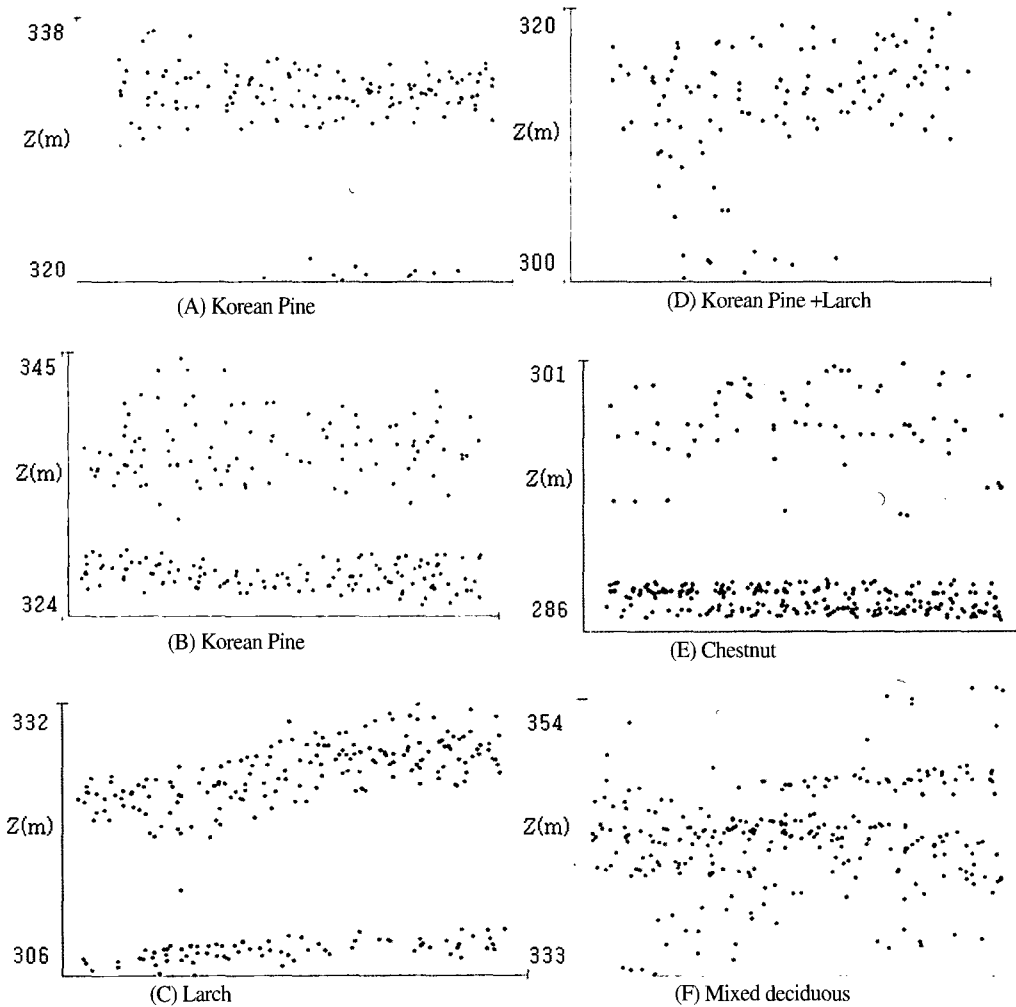


Fig. 2. Vertical distribution of Lidar point clouds over forest stands.

의 수중에 따라 수령, 수고, 흉고직경, 수관울폐도를 보여주며, 그림 2는 표 1에서의 각 수종별 Lidar의 표고를 나타내고 있다. 연구 지역 대부분의 산림은 인공림으로 비슷한 시기에 식재되어 수령 및 수고가 비슷한 양상을 보인다. 그림 2가 보여주는 Lidar 자료의 수직적 분포는 표 1에서 보여주는 수관울폐도(canopy closure) 및 수중에 따른 수관의 구조가 영향을 많이 미치는 것을 보여준다. 수목이 저밀도로 존재하는 지역은 CCD 항공영상에서도 확인 할 수 있듯이 지면이 그대로 드러나는 지역이 많으므로 수관 밑 부분에서 반사 기록되는 자료가 고밀도의 지역 보다는 많이 존재한다. 연구지역 내에 존재하는 잣나무와 같은 침엽수는 활엽수보다 잎이 적고 조밀하게 분포함으로써 Lidar 신호가 수관 밑으로 투과하는 비율이 잎이 넓고 성기게 나오는 활엽수 보다는 적으며, 그림 2 (a)는 이러한 잣나무의 특성을 보여준다. 침엽수가 고밀도로 존재할 경우, 수관 밑부분에서 기록되는 Lidar 자료가 현저하게 적게 나타난다. 이러한 현상은 고밀도의 침엽수 지역에서 수관 밑으로 들어오는 태양이 적어 관목이 자라지 않는 현상과 관계가 있다고 할 수 있다.

칼라항공영상에서 확인 할 수 있듯이 잎의 발달이 초기 단계인 낙엽송의 경우, 수관에서 반사 기록되는 Lidar 자료가 침엽수보다는 수직적으로 복잡하게 분포하는 것을 보여주며(그림 2(c)) 낙엽송 밑에서 관목이 자라는 경우는 수직적 구조가 더욱 복잡하게 나타나게 된다. 취락 지역 근처에 식재된 활엽수인 밤나무림의 경우는 잎이 나오지 않아 대부분의 Lidar 자료는 지면에서 반사 기록이 되며, 잣나무나 낙엽송에 비하여 가지가 많기 때문에 가지에서 일부분 반사 기록되는 것을 그림 2의 (e)에서 확인 할 수 있다. 그림 2의 (f)에 해당하는 활엽수림은 천연림으로서 수령이 다른 여러 종류의 나무와 수관 아래 부분에 복층구조로 형성된 관목림의 영향으로 Lidar의 수직적 분포가 상당히 복잡하게 구성되어 있는 것을 볼 수 있다.

그러므로 산림 지역의 경우, 수목의 존재로 인하여 대부분의 Lidar 자료가 수관부와 지면부에서 반사 기록되어 수목의 높이가 Lidar 자료의 수직적 분포에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히, 수고가 높고 수관이 수목의 상층부에 몰려있는 특성을 보이는 연구지역의 20-30년 수령의 잣나무의 경우 Lidar의 자료가 지표면

과 수관부 두 부분으로 뚜렷하게 구분되어 기록되는 것을 볼 수 있다. 이 연구에서 제시한 지면점 분리 알고리즘은 이와 같은 산림지역에서 나타나는 특성을 이용하였다.

4. 지면점 분리 알고리즘

3절에서 살펴본 바와 같이, 산림 지역에서는 수목이 존재함으로써 Lidar 자료의 FR은 대부분이 수목의 수관에서, LR은 지면이나 수관 밑 부분에서 반사 기록됨으로써, 수목의 높이가 Lidar 자료의 수직적 분포에 영향을 미치고 있음을 확인 할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 본 연구에서 제시하는 지면점 분리 방법은 지형의 고도 변화가 심한 우리나라의 산림지역을 대상으로 그림 3에서 보여주는 바와 같이 크게 두 단계로 구분하여 지면점을 분리한다. 먼저, 그림 1의 (c)에서 보여주는 고밀도의 Lidar 원자료는 순수 초기(Pure First Return: PFR), 순수 말기(Pure Last Return: PLR) 및 SR로 분리가 된다. 이 후 진행되는 1차 분리는 앞서 설명한 Lidar의 수직적 분포 특성을 바탕으로 지면점 후보와 비지면점으로 분리가 된다. 2차 분리에서는 지면점 후보가 되는 자료만을 바탕으로 지면에서 일정한 거리 이내에 존재하는 자료만을 구분하여 지면점으로 분리한다.

1) Lidar 원자료의 분리(pure first, pure last, singular)

Lidar의 원자료는 자료 획득 당시의 Binary자료를 FR과 LR로 분리하여 저장한 ASCII 자료를 말한다. 이러한 수신신호는 식생지역과 같이 투과되는 지역에서 각각의 수신신호의 위치가 달라지면서 기록이 되지만, 투과되지 않는 건물이나 도로와 같은 인공구조물과 같은 지역은 FR과 LR이 동일하므로 같은 좌표와 반사강도로 기록된다. 이렇게 FR과 LR이 동시에 중복되어 기록되는 자료를 'singular return(SR)'이라고 부르며, 지역적 분포특성으로 볼 때 산림지역과 같은 식생지역에서도 이러한 중복수신이 기록되지만, 인공구조물이 많은 도시 지역보다는 그 양이 현저하게 적다. PFR, PLR 및 SR신호를 분류하게 되면, 각각의 자료를 필터링 처리하는데

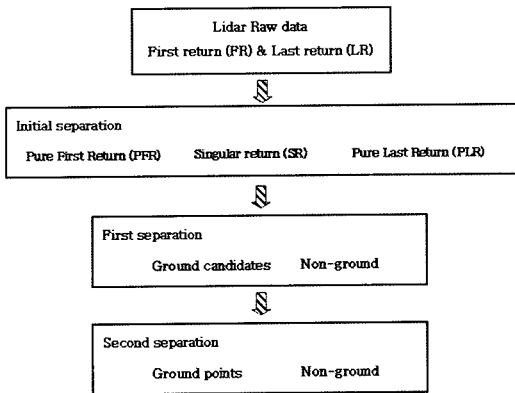


Fig. 3. Conceptual workflow of the proposed ground separation algorithm.

있어서 중복처리 되는 자료를 제거하게 됨으로써 고밀도의 Lidar 자료를 처리하는데 있어서 효율성을 가져올 수 있다. 그러므로 지면점 분리 알고리즘을 적용하기 이전에 Lidar 자료에서 SR을 먼저 분리 한다.

2) 1차 분리

1차 분리는 일정한 단위 면적 당 기록되는 Lidar 자료를 수목의 수관부와 지면부근에서 반사 기록되는 두 가지의 그룹으로 분리하는 과정을 의미하며, 지면점을 분리하기 위하여 먼저 수관부에서 반사된 신호로 확실할 수 있는 자료들을 걸어내는 역할을 한다. 1차 분리가 실행되는 면적은 10m×10m이며, 이 면적은 이 연구에서 이용한 Lidar 자료의 100 ~ 150개의 수신신호가 기

록되는 공간이다. 이러한 자료의 수는 FR가 LR이 적절하게 분포되어 있고, 자료 처리에 걸리는 처리 시간 측면에서도 제안된 필터링 방법을 적용하는데 적절한 면적으로 판단된다. 그림 4 (a)는 일정 면적 내에서 기록된 FR(*) 및 LR(·)을 보여주며 산림지역에 대한 Lidar 자료의 수직적 분포에 대한 특징을 보여준다. 그림에서 FR은 주로 수관에서 반사 기록되며, LR은 일부 수관 및 중간 부분에서 반사 기록되고, 대부분은 지면에서 반사 기록되는 것을 살펴볼 수 있다. 이러한 수직적 분포를 바탕으로 1차 분리가 실행된다.

일정한 면적에서 기록이 되는 Lidar 자료는 대부분 수관부에서 반사 기록된 FR의 제일 높은 표고(Z)와 수관층 보다 낮은 부분에서 대부분 반사 기록된 자료로 보이는 LR의 제일 낮은 표고(Z) 중에서 가까운 쪽으로 분리가 된다. 즉, FR의 표고 중 제일 높은 값을 가진 자료와 LR의 가장 낮은 값을 자료 중 가까운 쪽으로 1번째 자료가 결정이 된다. 식 (1)은 이러한 1차 분리를 설명한다.

$$D_1 = \max(Z)_{first} - Z_{Pi} \quad Z_{Pi} = Z \text{ of } i^{th} \text{ point}$$

$$D_2 = Z_{Pi} - \min(Z)_{last} \quad (1)$$

$$P_i = \begin{cases} \text{ground} & \text{if } D_1 < D_2 \\ \text{Non-ground otherwise} & \end{cases} \quad P_i = i^{th} \text{ point}$$

1차 분리는 수목이 존재하는 산림지역에서 표고 자료를 이용하여 1차적으로 수관부에 해당되는 자료와 지면점 부근에 분포하는 자료로 분리가 되므로, 완전하게 지면점만으로 분리되지는 않게 된다. 지면점 후보로 분리된 자료들을 살펴 보면, 산림 지형의 높이 변화에 따른

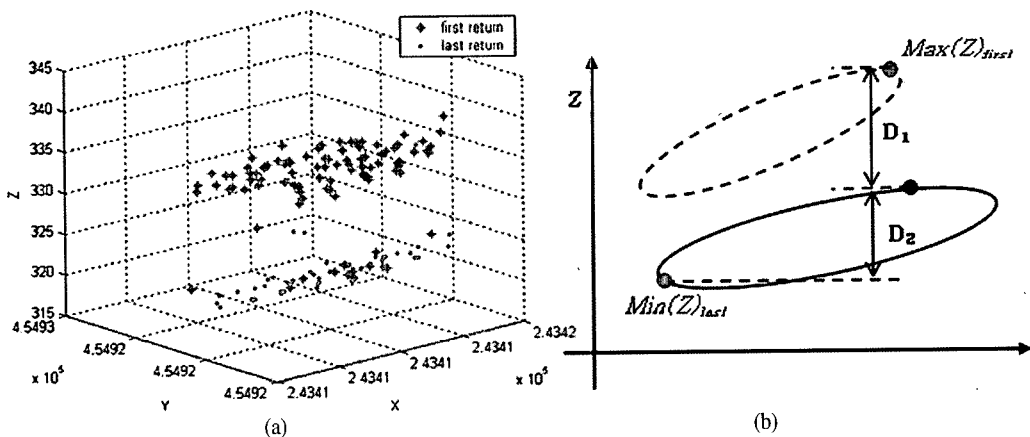


Fig. 4. (a) First and last returns of Lidar within a 10m×10m area, (b) the first separation.

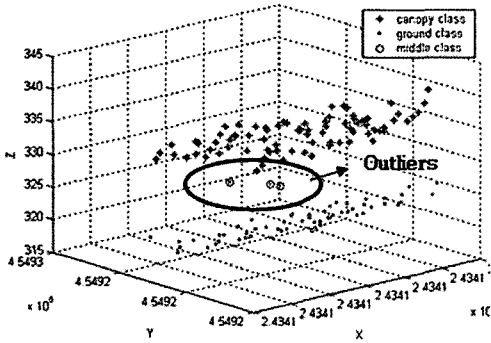


Fig. 5. Outliers within the ground candidate points group after the first separation.

경사가 나타나는 경우도 있고, 지면점보다 높은 위치에 있는 관목류 등의 하층식생에서 반사된 것으로 판단되는 자료들이 포함될 수 있다(그림 5). 지면보다 높은 위치에서 반사된 자료가 지면점으로 포함되는 경우 수치 고도모델을 제작하는데 있어서 반드시 제거해야하는 자료이며, 이러한 자료는 일정한 경사면 위에서 급격한 높이의 변화를 보여주므로 주변의 자료들을 이용하여 제거 된다.

3) 2차분리

1차적으로 수관이나 중간 부분 위로 반사되어 수신된 자료는 이미 분리 및 제거되었기 때문에 지면에 가까운 자료들만 남아 있는 상태라고 할 수 있다. 1차 분리에서 지면에 해당하는 자료가 적은 경우나, 두 그룹으로 분리하기 어려운 경우, 혹은 FR 및 LR이 제대로 분포되지 않는 경우, SR만 존재하여 FR 및 LR을 함께 이용할 수 없는 지역의 경우 등 예외에 해당하는 지역은 2차 분리를 거치게 된다. 2차 분리는 지면에 최대한 근접한 자료들로 이루어 지는 면을 기준으로, 이 면에서 일정한 거리 이상 떨어진 자료들은 지면이 아닌 다른 부분에서 반사 기록된 것으로 판단된다. 즉, 지면에서 가까운 곳에 위치한 지면점 후보 자료들이 성립하는 면은 식 (2)로 나타낼 수 있고, 이 면에서 어느 한 점 (i)까지의 거리 (d_i)는 식 (3)으로 나타낼 수 있다. d_i에 따라서, 지면과 지면 가까이에 위치한 대상물에서 반사 기록되는 자료가 분리되게 된다.

$$ax + by + cz + d = 0 \tag{2}$$

$$d_i = \frac{|ax_i + by_i + cz_i + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \tag{3}$$

$$P_i = \begin{cases} \text{ground} & \text{if } d_i < 0.3 \\ \text{Non-ground} & \text{otherwise} \end{cases} \quad P_i = i^{\text{th}} \text{ point}$$

d_i의 거리에 따라 지면점의 수가 영향을 받게 되며, 이 연구에서는 d_i가 0.3m 이상 되는 자료들이 제거되었다. ALTM 3070의 수직 오차가 비행고도 1200m 일 때 15cm이므로, 비행 고도 1500m인 점과 지면점의 손실의 정도를 고려하여 30 cm가 적절하다고 판단하였다. 2차 분리 과정은 1차 분리의 결과 지면으로 분리된 자료들에서 지면 가까이에서 반사 기록되는 자료들을 찾아 제거 함으로써 수치고도모델을 제작한 후에 연속적 공간을 표현하기에 적절한 자료만을 선택하는 과정이다.

5. 지면점 분리 결과

산림 지역에서 기록된 Lidar 자료의 특성은 수목이 밀집된 곳은 앞에서 살펴 본 것처럼 FR 및 LR이 수목의 높이 즉, 수고 만큼 떨어져서 기록되며, 제안된 지면점 분리 방법은 이러한 특성을 적극적으로 이용하였다. 먼저, Lidar 원자료를 PFR, SR, PLR로 분리 함으로써 SR의 분포 특성을 살펴 볼 수 있다. 건물이나 도로와 같은 인공 구조물은 모두 SR로 기록이 되며, 식생이 밀집된 곳일 수록 수관층에서 반사 기록되는 SR이 많으며, 수목이 존재하지 않는 지표면이 드러나거나, 초지와 같

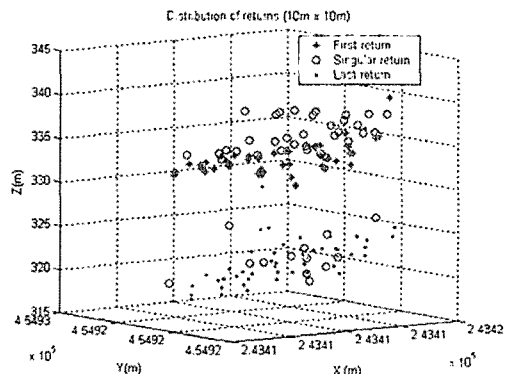


Fig. 6. Three groups of Lidar raw data within a defined area: Pure first, singular and pure last returns.

은 곳에서도 대부분의 Lidar 자료는 SR으로 기록이 된다. 그러므로 일정한 면적에서 SR의 양은 수목의 밀집 정도를 알려주는 정보가 될 수 있다. 그림 6은 Lidar 원 자료를 PFR, SR, PLR로 분류한 것을 보여주는데, SR의 경우, 수관부에 많이 분포되어 있으며, 수관 밑 부분에도 일부 존재하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 이 지역에서는 수목이 밀집되어 존재함을 알 수 있다. 세 가지 자료로 분리된 Lidar 자료는 1차 분리에서 지면점과 비지면점의 두 가지로 구분이 된다. 그림 7은 그림 6에서 보여지는 자료를 대상으로 1차 분리를 실행 한 후의 결과를 보여준다.

1차 분리가 수행 된 후 최종적인 지면점 만을 선별하는 2차 분리가 진행된다. 표 2는 연구 지역에 대한 Lidar 자료에 대한 정보 및 최종 분리 결과에 대한 결과를 보여준다. 두 지역 모두 SR이 상당히 많이 존재하며,

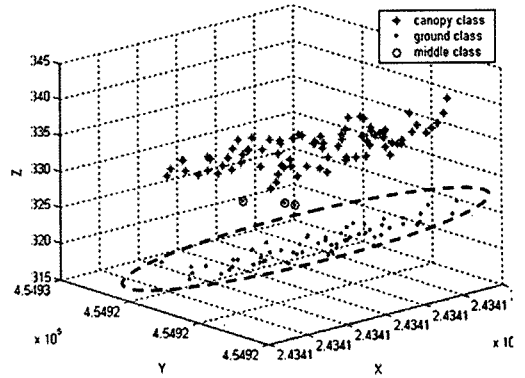
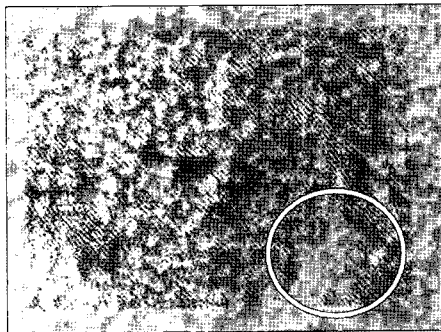


Fig. 7. Canopy, ground and middle (outlier) classes after the first separation.

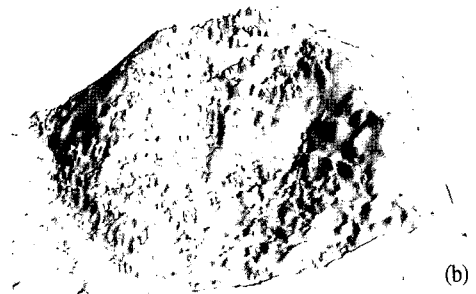
특히 연구 지역에 도로가 존재하는 두 번째 연구지역은 도로에 반사 수신되는 SR이 많은 이유로 SR 수가 첫 번

Table 2. The results after ground points separation for two study sites.

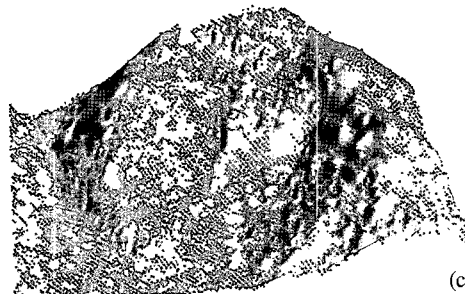
Study area	Total #	First return	Last return	Pure first	Singular return	Pure last	Canopy class	Ground class	Non-ground
1	50,574	38,593	38,589	11,985	26,608	11,981	32,066	13,613	36,961
2	85,736	72,632	72,598	13,138	59,594	13,104	40,675	32,992	52,744



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. The results of study area 1 (a) separated ground points, (b) hill-shading digital elevation model (DEM), (c) overlaid DEM with separated ground points

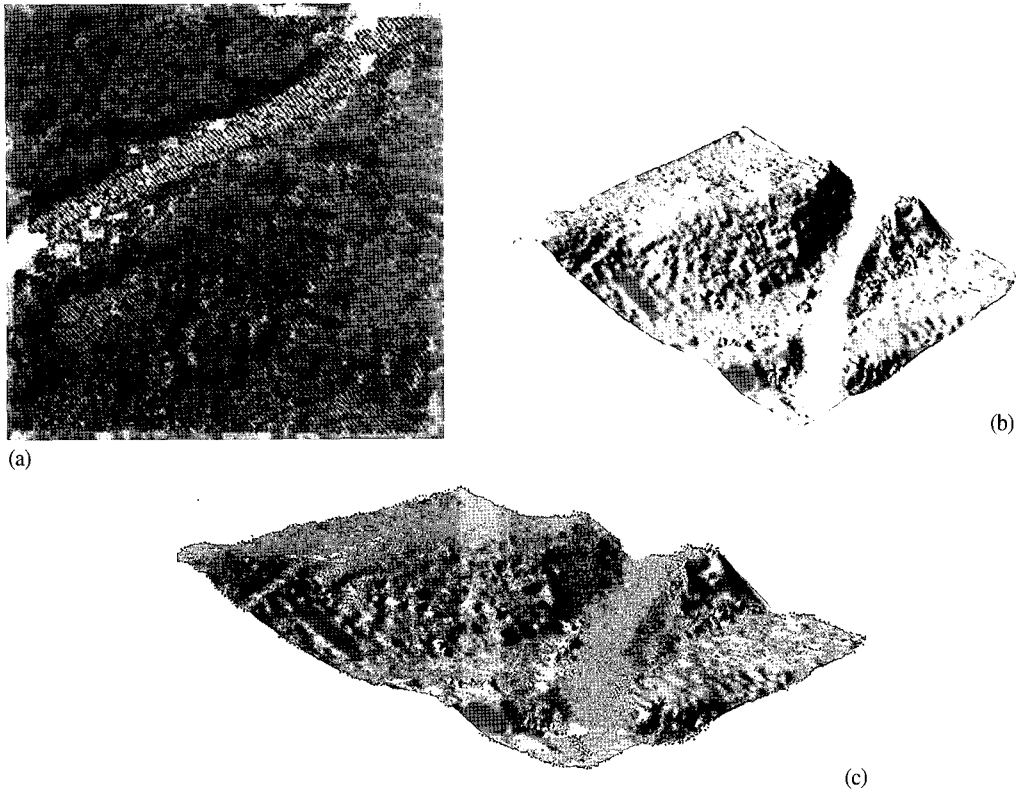


Fig. 9. The results of study area 2 (a) separated ground points, (b) hill-shading digital elevation model (DEM), (c) overlaid DEM with separated ground points.

째 연구지역보다 많은 것을 볼 수 있다. 첫 번째 연구지역의 분리된 지면점 수는 13,613개로서 전체 자료수의 26.92%에 해당하며, 두 번째 연구지역의 지면점 수는 32,992개로 38.48%에 해당한다. 두 번째 연구지역에서는 도로를 지면점으로 분리하였으며, 첫 번째 연구지역에 비하여 산림의 분포 면적이 적음으로 인하여 지면점 자료의 수가 많다. 표 2에서 수관층 자료수는 비지면점수 중에서 수관에서 반사 기록 되었을 것으로 판단되는 자료의 수를 말한다.

그림 8과 그림 9는 연구지역 1과 2에 대하여 각각 분리된 지면점 자료와 이를 이용하여 제작한 0.6m 해상도의 수치고도모델을 보여준다. 각 그림의 (a)는 Lidar 자료에서 분리한 지면점을 디지털 항공영상과 중첩한 것이며, (b)는 (a)의 지면점을 이용하여 수치고도모델을 제작한 것을 보여주며, (c)는 수치고도모델과 지면점에 해당하는 자료를 함께 중첩한 것을 보여준다. 지면점을 분

리한 결과를 살펴 보면 지면점이 많지 않아, 수치고도모델을 제작하는데 있어서 보간이 어려워 보이는 지역이 존재한다(그림 8 (a) 원으로 표시한 지역). 이것은 지면점 분리 방법에 따른 결과이기 보다는 잣나무가 고밀도로 존재하는 지역으로 그림 2 (a)에서 고밀도로 잣나무가 존재하는 경우 Lidar 자료의 수직적 분포에서 살펴볼 수 있듯이 수관 밑 부분으로 깊게 투과되어 반사 기록되는 Lidar 신호가 현저하게 적음으로써 나타나는 현상으로 판단된다. 그 외의 지역은 수목의 한 그루 한 그루를 지면점들이 감싸고 있는 듯이 보이는 것처럼 지면점 분리 결과가 상당히 좋은 것으로 판단된다. 그림 9의 두 번째 연구 결과에서도 마찬가지로 산림이 특히 잣나무가 무성하게 식재된 지역은 지면점의 비율이 상당히 떨어지고 있는 것을 살펴 볼 수 있다.

6. 결론 및 고찰

이 연구에서는 우리나라 산림지역을 촬영한 Lidar 자료의 표고를 이용하여 수종 및 밀도에 따른 Lidar 자료의 수직적 분포특성을 살펴 보았으며, 수치고도모델을 제작하거나, 더 나아가 수고와 같은 산림자원정보의 물리적 인자를 추출하기 위한 밑바탕이 되는 지면점 및 비지면점을 분리하는 방법을 제안하였다. 지표를 뒤덮은 수목이 차지하는 밀도는 지면에서 반사 기록되는 자료의 수에 민감하게 영향을 끼치며, Lidar 자료가 제공하는 수목의 수직적 분포에 대한 정보는 침엽수 보다는 잎이 무성하고 수관이 복잡하게 발달하는 수종이 Lidar 자료가 여러 층을 분리되어 반사 기록되는 특성을 보인다.

제안된 지면점 분리 방법은 Lidar의 점자료 형태를 처리하였으며, 처리하는 방법으로 FR 및 LR을 함께 이용하여 FR에서 제공되는 비지면점의 표고에 대한 정보를 이용함으로써 기존의 대부분의 방법들을 적용하는데 필요한 임계치 설정을 고려하지 않아도 된다는 장점을 지니고 있다. 자료 처리의 효율성 측면에서 이 연구에서 이용한 Lidar의 ACSII 자료형을 이용하는 것이 아니라 Binary 형태의 자료를 이용할 때 더 효과적이라고 할 수 있다.

이 연구에서는 연구 결과에 대해서, 시각적으로 지면점들을 살펴보고 수치고도모델을 제작하여 지면을 이루는 연속적인 면들이 잘 표현 됨을 살펴보는 것만을 제시하였으나, 산림 지역 이외의 지역에 대한 보완적인 연구를 진행하여 ISPRS에서 제공하는 참고자료들에 적용하여 일반적으로 제시되는 필터링 정확도를 제시할 수 있으리라 판단된다. 또한, 제안된 지면점 분리 방법은 지면점 이외의 수목의 수관부에 대한 자료도 분리 함으로써 향후 다른 산림 정보 추출을 위하여 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

사 사

이 논문은 2005년 교육인적자원부의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2005-041-D00800)입니다.

참고 문헌

- ISPRS, 2004. ISPRS Commission III WG3, <http://www.commission3.isprs.org/wg3>, <http://enterprise.lr.tudelft.nl/frs/isprs/filtertest/>
- Kilian, J., N. Haala, and M. Englich, 1996. DEM generation from laser scanner data using adaptive thin models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31: 383-388.
- Shao, Y.-C. and L.-C. Chen, 2004. DEM Generation from Lidar Data using Morphology Filtering Methods. AARS. ACRS2004.
- Sithole, G. and G. Vosselman, 2003. Report:ISPRS Comparison of Filters. ISPRS Commission III WG 3.
- Moffiet, T., K. Mengersen, C. Witte, R. King, and R. Denham, 2005. Airborne laser scanning: Exploratory data analysis indicates potential variables for classification of individual trees or forest stands according to species, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59: 289-309.
- Zhang, K., S.-C. Chen, D. Whitman, M.-L. Shyu, J. Yan, and C. Zhang, 2003. A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne Lidar data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4): 872-882.