

# 항공 라이다 수치지면자료의 오분류 영역 탐지 알고리즘 Misclassified Area Detection Algorithm for Aerial LiDAR Digital Terrain Data

김민철\* · 노명종\*\* · 조우석\*\*\* · 방기인\*\*\*\* · 박준구\*\*\*\*\*

Kim, Min Chul · Noh, Myoung Jong · Cho, Woo Sug · Bang, Ki In · Park, Jun Ku

## 要 旨

최근 수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model)을 구축하기 위한 목적으로 항공레이저측량(LiDAR : Light Detection And Ranging) 기술이 주목받고 있다. DEM은 항공레이저측량으로부터 획득된 라이다 데이터에서 지면 점만 추출한 수치지면자료(DTD : Digital Terrain Data)의 정확성에 의해 그 품질이 좌우된다. 하지만 원시자료에서 수치지면자료를 추출하기 위한 자동 필터링 작업은 필터링 알고리즘의 한계 및 라이다 데이터의 고유한 특성으로 인하여 항상 오분류 영역이 발생한다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 작업자에 의한 수동분류 작업이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 수동 작업이 원활하게 이루어 질 수 있도록 자동 필터링 작업에서 얻어진 수치지면자료에서 오분류 될 가능성이 있는 영역을 자동으로 탐지하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 2D 격자 구조를 적용하였으며 ‘Slope Angle’, ‘Slope DeltaH’, ‘NNMaxDH(Nearest Neighbor Max Delta Height)’로 명명한 매개변수를 사용하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 지형형태나 라이다 데이터 평균 점밀도에 제한받지 않는 안정적인 결과를 보여주었다.

핵심용어 : 라이다, 수치지면자료, 2D 격자 구조, 평면 근사, 고유벡터

## Abstract

Recently, aerial laser scanning technology has received full attention in constructing DEM(Digital Elevation Model). It is well known that the quality of DEM is mostly influenced by the accuracy of DTD(Digital Terrain Data) extracted from LiDAR(Light Detection And Ranging) raw data. However, there are always misclassified data in the DTD generated by automatic filtering process due to the limitation of automatic filtering algorithm and intrinsic property of LiDAR raw data. In order to eliminate the misclassified data, a manual filtering process is performed right after automatic filtering process. In this study, an algorithm that detects automatically possible misclassified data included in the DTD from automatic filtering process is proposed, which will reduce the load of manual filtering process. The algorithm runs on 2D grid data structure and makes use of several parameters such as ‘Slope Angle’, ‘Slope DeltaH’ and ‘NNMaxDH(Nearest Neighbor Max Delta Height)’. The experimental results show that the proposed algorithm quite well detected the misclassified data regardless of the terrain type and LiDAR point density.

Keywords : LiDAR, DTD(Digital Terrain Data), 2D Grid Structure, Plane Fitting, Eigen-vector

## 1. 서 론

최근 미국과 유럽 등 GIS 선진국들은 항공레이저측

량 기술을 이용해 DEM과 등고선을 구축하고 있다 (Meng et. al, 2010). 일반적으로 항공레이저측량으로 획득되는 라이다 원시자료는 지면과 비지면 그리고 각

2011년 2월 15일 접수, 2011년 3월 11일 채택

- \* 국토연구원 국토인프라GIS 연구본부 연구원(minchul@krihs.re.kr)
- \*\* 교신저자 · 인하대학교 지리정보공학과 박사후과정(ngnmj@inha.ac.kr)
- \*\*\* 정희원 · 인하대학교 토목공학과 교수(wcho@inha.ac.kr)
- \*\*\*\* 인하대학교 겸임교수(bkikse@naver.com)
- \*\*\*\*\* 학생회원 · 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(june@inhaian.net)

종 지형지물들로 분류되는 작업을 거친다(국토지리정보원, 2009). 이와 같은 분류작업은 보통 상용 소프트웨어를 이용하여 자동 분류를 수행하지만, 상용소프트웨어의 알고리즘의 한계 및 라이더 데이터의 고유한 특성으로 인하여 수작업을 통한 보완 작업이 필수적이다. 특히 라이더 원시자료에서 지면과 비지면 데이터를 분류하는 기술은 정확한 DEM을 구축하기 위한 핵심기술로서 매우 중요하게 여겨지고 있다.

수치지면자료(DTD)는 인공지물 및 식생 등과 같이 표면의 높이가 지면의 높이와 다른 지표 피복물에 해당하는 점자료를 제거한 점자료를 의미하며, 수치지면자료(DSD)는 라이더 원시자료를 기준점을 이용하여 기준좌표계에 의한 3차원 좌표로 조정된 자료로써 지면 및 지표 피복물에 대한 점자료를 의미한다(국토지리정보원, 2009). 따라서 수치지면자료는 수치지면자료에서 비지면점을 모두 제거하여 얻어진다. 수치표고모델(DEM)은 건물·수목 등을 제외한 순수한 지형만을 표현한 격자구조의 모델로써, 정확한 수치표고모델을 얻기 위해서는 수치지면자료를 정확히 제작하는 것이 매우 중요하다.

본 연구는 지면·비지면 자동 필터링의 한계를 보완하면서 수작업의 효율을 개선하는데 그 목적이 있다. 먼저 기존에 이루어지던 지면 필터링 작업에서 빈번하게 오분류가 발생하는 경우를 분석하였다. 일반적으로 지면점 추출과정에서 주로 오분류가 발생하는 영역은 작은 수목이나 복잡한 건물의 일부 등이 제거되지 않아 실제 지형보다 높게 형성되는 경우와 공사현장·지하주차장 등 실제 지형보다 지면점이 낮게 형성되는 경우 등 크게 두 가지로 구분된다. 또한 평지뿐만 아니라 지형의 굴곡이 심한 산림지역도 연구 범위에 포함하여, 지형 형태에 구애받지 않는 알고리즘을 개발하고자 하였다. 그림 1과 그림 2는 지면점 추출 과정에서 발생하는 오분류의 유형 두 가지를 나타낸다(최승식 등, 2007). 보통 지면점 분류가 잘되는 영역은 연구 범위에서 제외하였으며, 실제 현장에서 빈번하게 오분류가 발생하는 영역을 대상으로 하였다. 수치지면자료의 오분류는 최종 성과물인 DEM의 오류로 이어지므로, 이를 탐지·수정하는 것은 매우 중요하다.

현재까지 라이더 데이터의 지면점을 보다 정확히 분류하기 위해 많은 연구들이 수행되었다. 한 점과 주변 점들의 경사를 비교하여 비지면점을 제거하는 Slope-based 필터, 영상처리에서 사용하는 침식과 팽창 연산을 이용한 Mathematical morphology 필터(Zhang, 2003) 그리고 가장 일반적으로 사용하는 상용소프트웨어 테라스캔(TerraScan)에서 채택하고 있는 Adaptive-TIN

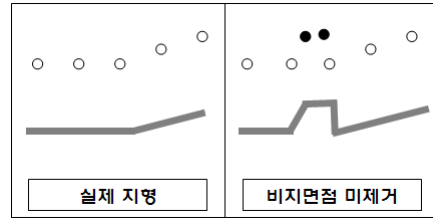


그림 1. 실제지형보다 높게 형성되는 오류

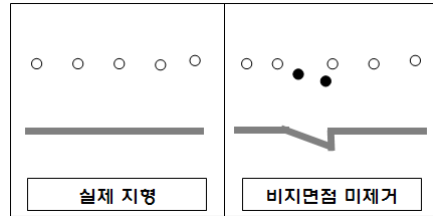


그림 2. 실제지형보다 낮게 형성되는 오류

filter(Axelsson, 2000) 등이 대표적인 자동필터이다. 하지만 여전히 완전한 자동화는 불가능한 것으로 여겨지고 있다(Sithole and Vosselman, 2004). 이러한 자동화 한계를 보완하기 위한 연구는 거의 시도되지 않았으나, Morphology 필터 임계값의 미세조정을 통해 지면점으로 분류된 데이터를 수정하여 분류정확도를 개선하는 연구가 있었다(Suyoung, 2007). 대부분 현장에서 자동 필터링을 적용한 후에 수동 분류 과정이 여전히 필요하다는 점에서 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 연구방법

### 2.1 2D 격자 구조

제한된 알고리즘은 2차원 형태인 2D 격자 구조를 적용하였다. 전체 라이더 데이터는 사전에 정의된 크기의 격자 단위로 구획되어 영역별 연산을 수행한다. 2D 격자 구조는 그림 3과 같이 XY 각 좌표축을 따라 일정한 크기로 배열되며, 각 격자에는 고유의 인덱스가 부여된다. 또한 개별 격자는 본 연구에서 제시된 알고리즘 연산에 의해 대표 값을 갖게 되며, 이 대표 값은 해당 격자에 포함되는 라이더 데이터의 오분류 여부를 판별하게 된다.

따라서 본 연구에서 제안한 알고리즘에서 격자크기는 매우 중요한 문제이며, 적절한 격자 크기를 결정하기 위하여 먼저 탐지하려는 오분류 후보 영역들의 크기를 분석하였다. 기존에 자동 필터링에서 제거되지 않는 객체는 주로 수목, 건물, 교량 그리고 지하주차장 입구

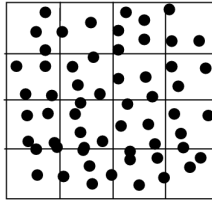


그림 3. 2D 격자 구조

등으로 구성된다. 대체로 이러한 영역들은 30m 정도의 영역 안에 모두 포함되는 것을 알 수 있었으며, 크기가 다소 큰 교량·육교 등은 일부만 포함되어도 탐지가 가능하다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 그리고 실험 결과를 손쉽게 판독하기 위한 의미 있는 크기로도 30m 크기의 격자는 매우 효율적이라고 판단하였다. 30m보다 작은 크기는 실험 결과의 육안판독에 어려움이 있으며, 50m 이상의 큰 격자는 오분류 탐지 영역이 너무 크므로 자동화의 의미가 퇴색된다고 할 수 있다. 결과적으로 오분류 영역을 탐지하려는 가장 적합한 격자 크기는 30m 크기로 구성할 때 가장 효과적이라고 판단하여 실험을 하였다.

2.2 알고리즘 개요

본 연구에서 제안한 알고리즘은 라이다 원시자료에서 먼저 라이다 데이터 지면점을 추출하여 2D 격자 구

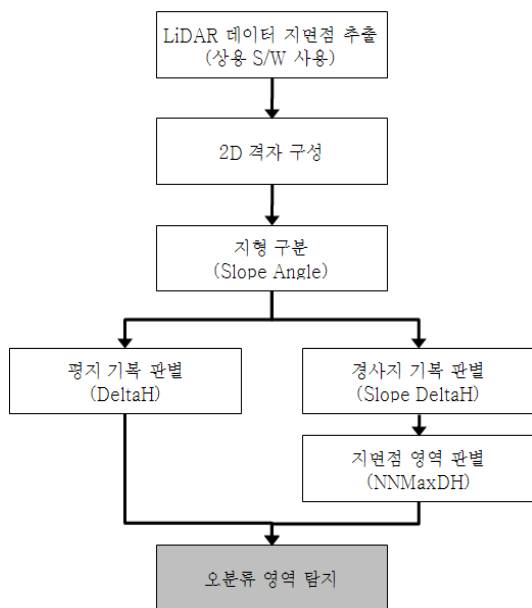


그림 4. 전체 알고리즘 흐름도

조(그림 3 참조)를 구성한다. 이 때 지면점 추출은 라이다 데이터 처리 전용소프트웨어(본 연구에서는 Terrasolid사의 TerraScan 사용)를 사용하였다. 다음 그림 4는 제안된 알고리즘의 전체적인 흐름을 보여준다.

제안된 알고리즘에서 각 격자는 하나의 연산단위가 되어 격자 단위별로 오분류 판별을 수행한다. 가장 먼저 Slope Angle 매개변수는 지형의 형태를 구분하는 역할을 한다. 다양한 평지 데이터의 분석을 통해서 완만한 지형은 대체로 10° 이하의 경사를 보인다고 판단하여 평지에 대한 임계값으로 10°를 적용하였다. 그리고 평지와는 달리 경사가 있는 지형은 Slope Angle이 고려된 변형된 DeltaH를 적용하며, NNMaxDH를 추가 적용하여 오분류 여부를 판별한다. 제안된 알고리즘은 지형의 형태에 관계없이 라이다 데이터의 기하학적 특성을 이용하여 오분류 영역을 탐지하도록 고안되었다.

2.2.1 Slope Angle

Slope Angle은 한 개의 격자에 포함된 라이다 데이터의 경사도를 파악하여 지형의 형태를 구분하는 매개변수이다. 또한 Slope Angle은 경사지의 매개변수 임계값 계산에도 활용된다. Slope Angle은 격자 내 라이다 데이터에 평면 근사(plane fitting) 기법을 이용하여, 근사된 가상 평면과 XY 기준 평면이 이루는 각도를 말한다. 일반적으로 평면 근사는 Least Squares(LS) 방법과 Orthogonal Distance Regression(ODR) 방법으로 나누어지며, 다음 그림 5는 두 방법의 개념적 차이를 보여준다.

두 방법 모두 평면의 법선벡터를 고려하지만 LS 방식은 Z축의 오차를 최소화 시키는 평면으로 근사를 수행하며(Eberly, 1999), ODR 방식은 특정 축에 구애받지 않고, X, Y, Z 모든 값을 고려하여 평면과 각 점들의 수직거리가 최소가 되도록 최적의 평면 근사를 수행한다(Al-Subaihi, 2008). 따라서 추정된 평면과 각 점들의 거리 평균제곱근오차(RMSE)는 LS 방법보다 ODR 방법이 더 작다. 즉 3차원 점 형태인 라이다 데이터에

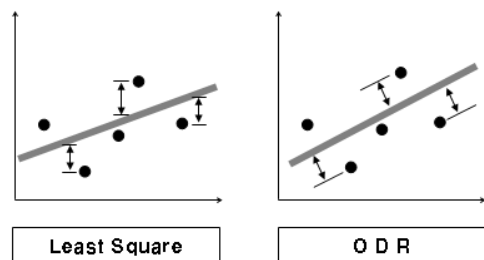


그림 5. Least Squares와 ODR 개념도

평면근사를 적용하기 위해서는 ODR이 더 적합하며, 평면과 한 점의 직선거리는 다음 식 (1)과 같다.

$$D_i = \frac{|ax_i + by_i + cz_i + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (1)$$

그리고 모든 점들에 대한 거리제곱의 합은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$f(a, b, c, d) = \sum \frac{(ax_i + by_i + cz_i + d)^2}{a^2 + b^2 + c^2} \quad (2)$$

$f(a, b, c, d)$ 가 최소값이 되기 위해서는  $f$ 의 일차 편미분 값이 0이며, 모든 점들의 무게중심점( $x_c, y_c, z_c$ )이 평면상에 존재해야 한다(Watson, 2002). 이 때 평면의 방정식은 식 (3) 그리고 거리제곱의 합은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$a(x - x_c) + b(y - y_c) + c(z - z_c) = 0 \quad (3)$$

$$f = \sum \frac{[a(x - x_c) + b(y - y_c) + c(z - z_c)]^2}{a^2 + b^2 + c^2} \quad (4)$$

위 식은 행렬 형태로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$f(a, b, c) = f(V) = \frac{(V^T M^T)(MV)}{V^T V} \quad (5)$$

여기서,  $V^T = [a, b, c]$

$$M = \begin{bmatrix} x_1 - x_c & y_1 - y_c & z_1 - z_c \\ x_2 - x_c & y_2 - y_c & z_2 - z_c \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n - x_c & y_n - y_c & z_n - z_c \end{bmatrix}$$

$M^T M$ 은 라이다 데이터들에 대한 공분산 행렬이며,  $f(V)$ 는  $M^T M$ 이 가장 작은 고유값(eigenvalue)을 가질 때 최소값을 갖는다(Fernandez, 2005). 이 고유값에

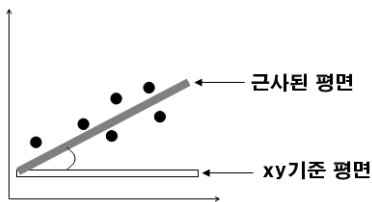


그림 6. Slope Angle 원리

대응되는 고유벡터(eigenvector)가 근사 평면의 법선벡터가 되며, 이 법선벡터와 평면을 지나는 한 점( $x_c, y_c, z_c$ )을 알면 평면의 방정식을 구할 수 있다.

본 연구에서는 개개의 격자에 대한 Slope Angle을 ODR 방법으로 평면근사된 평면과 그림 6과 같이 XY 기준 평면과 이루는 각도로 계산한다.

### 2.2.2 DeltaH

DeltaH는 라이다 지면점의 연속성에 위배되는 영역을 찾아 오분류 영역을 탐지하기 위한 매개변수이다. 격자로 나누어진 영역에서 지면점만을 추출하면, 격자 내에 라이다 데이터들의 Z값 차이는 크지 않아야 한다. 하지만 제거되지 않은 비지면(건물 등)이 있는 경우에는 그림 7과 같이 Z값 차이가 발생하게 된다.

적절한 임계값을 설정하기 위하여 실제 데이터를 이용한 수차례의 실험을 실시하여 경사가 없는 평지의 경우 허용 가능한 기복비율을 격자 크기의 10%로 도출하였다. 즉 30m 크기의 격자에서는 3m, 50m 크기에서는 5m의 Z값 차이 이내를 적절한 지면영역으로 정의하였다. 따라서 식 (6)과 같이 DeltaH 매개변수는 한 격자 내에서 Z값이 가장 높은 점과 가장 낮은 점의 차이를 격자 크기로 나누어서 그 비율을 계산한다.

$$Delta H = \frac{Highest Z - Lowest Z}{Grid Size} \quad (6)$$

If ... Delta H > 0.1 (DHT: 임계 값)  
 ⇒ Misclassified Area  
 Otherwise,  
 ⇒ Well-classified Area

각 격자 별로 라이다 데이터의 DeltaH를 계산하게 되며, 이를 이용하여 해당 지역이 지면으로 잘 분류됐는지 여부를 판단한다. 하지만 산림지와 같이 경사가 있는 영역은 그림 8과 같이 연속된 지면점이라 할지라도 어느 정도의 Z값 차이가 발생하게 된다. 이 경우 식 (6)의 적용은 부적절하며, 이러한 경사 지역은 경사도를 고려하여 오분류 영역을 판별하여야 한다.

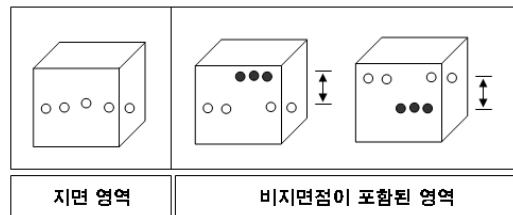


그림 7. Delta H 원리

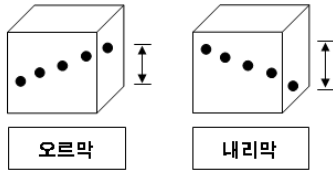


그림 8. 경사지의 점 데이터 분포

경사 지역인 경우에도 DeltaH는 동일하게 계산을 하지만 경사지에 대한 임계값(SDHT)은 위의 DHT에 Slope Angle과 Slope factor( $\alpha$ : 경사계수)를 이용하여 다음 식 (7)의 SDHT를 적용한다.

$$Slope\ Delta\ H = DH \times (SA \times \frac{1}{10^\circ}) \times \alpha \quad (7)$$

DH: Delta H

SA: Slope Angle (unit: degree)

$\alpha$ : Slope factor (= 0.7)

식 (7)에서 적용되는 Slope factor( $\alpha$ )는 일반적인 실제 경사지형의 완만한 상승/하강 형태를 고려하여 0.7을 적용하였다. 예를 들어 Slope Angle이 20°인 경우, 식 (6)의 평지에서 일괄적으로 적용한 임계값인 0.1은 0.14로 적용된다. 즉, 20° 정도의 경사를 가진 지형은 평지에 대한 임계값보다 큰 임계값이 적용된다. 결론적으로 SDHT는 경사지의 경사도를 반영한 가변적인 임계값을 계산하기 위한 수식이다.

### 2.2.3 NNMaxDH(Nearest Neighbor Max Delta Height)

‘NNMaxDH’는 산림지와 같은 경사지에서 지면점이 제거된 영역을 찾기 위한 매개변수이다. 일반적으로 산림지에서 지면점들은 대체로 균질한 분포를 보이나, 자동 필터가 실제 지면점을 비지면으로 인식하여 제거하는 경우가 있다. 이러한 영역들은 그림 9의 우측 그림과 같이 잘못된 DEM을 생성하게 되므로 이러한 영역은 반드시 탐지·수정되어야 한다.

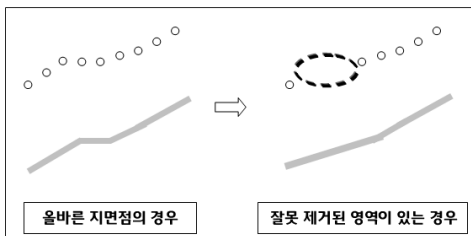


그림 9. 잘못 제거된 지면점 영역

NNMaxDH는 하나의 격자 내에 존재하는 모든 점과 서로 인접한 점들 간의 Z값 차이를 계산하며, 그 중에서 가장 큰 값을 찾는다. 인접한 점들 간의 계산을 효율적으로 수행하기 위하여 각 격자내에 존재하는 모든 점을 이용하여 불규칙삼각망(TIN)을 생성한다. 이 불규칙삼각망으로 연결된 점들 중 가장 큰 Z값 차이를 갖는 인접한 두 점이 선택되며, 이 Z값의 차이는 해당 격자의 NNMaxDH 대표 값으로 선택된다.

보통 연속되는 인접점들에서 Z값의 차이가 약 1~2m 정도이나, 경사가 있는 지형에서 데이터의 공백이 발생할 때, Z값 차이가 최소 3m를 넘는 것으로 확인되었다. 즉, NNMaxDH가 3m가 넘는 값을 가진 격자는 제거되지 않았어야 되는 지면점이 잘못 제거된 영역으로 판별된다. NNMaxDH는 일반적인 산지에서 누락된 지면점 영역을 찾기 위해, 앞서 설명한 Slope DeltaH를 보완하는 매개변수로 사용된다.

## 3. 실험결과

본 연구에서 제안한 알고리즘을 심험하기 위해 MS Visual Studio.NET 2005 환경과 3D 그래픽 표현을 위해 OpenGL(Open Graphics Library)을 사용하였다. 모든 실험은 실제 항공레이저 측량성공품이며, 항공레이저측량 작업규정에서 성과품 제출기준인 특정 도엽 단위 및 유사한 크기를 사용하였다.

### 3.1 점밀도 차이에 따른 알고리즘 실험

먼저 제안한 알고리즘이 평균점밀도에 무관하게 안정적인 결과를 제공하는지 실험하였다. 다음 그림 10은 알고리즘에서 사용하는 매개변수들을 평균 점밀도가 약 4배 차이가 나는 동일한 영역의 두 데이터를 이용하여 계산한 결과를 보여준다. 그림 10에서 보듯이 제안된 매개변수들은 평균 점밀도가 달라도 모두 유사한 값

파라미터	약 5.4 points	약 1.3 points
Slope Angle	8.384	8.545
Slope DeltaH	0.156	0.159
NNMaxDH	1.620	1.050

그림 10. 점밀도 차에 따른 파라미터 값

을 보였다. 즉 제안된 알고리즘은 라이다 데이터의 평균점밀도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

3.2 오분류 탐지 실험

다음은 오분류 영역에 대한 탐지 정확성과 안정성을 실험하였다. 실험에 사용된 데이터는 중앙항공업(주)에서 제공한 것이며, 제원은 표 1과 같다.

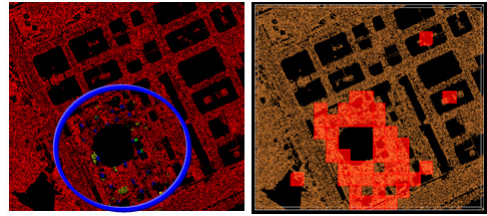
그림 11(a)는 표 1의 데이터를 지면점만 추출한 실제 항공레이저측량 성과품으로 제출된 수치지면자료이다. 오분류 영역은 사전에 육안으로 식별하여 붉은 원으로 표시하였으며, 제거되지 않은 작은 크기의 수목, 지면과 유사한 높이의 교량 그리고 공사현장에 흙더미를 쌓아올린 영역 등이 포함되었다. 그림 11(b)에서 보듯이 오분류 영역은 붉은 색 격자로 누락 없이 모두 탐지되었음을 확인할 수 있다. 하지만 실제 오분류 영역보다 몇 개의 영역이 더 탐지가 되었으며, 이는 해당 지형의 급격한 경사로 인한 것이다. 또한 라이다 데이터 고도 채색도를 통해 알 수 있듯이, 해당 지역은 평지와 경사가 지가 혼합되어 있는 지역이다.

다음은 실제 지면점보다 낮게 형성되어 오분류가 발생하는 지역에 대한 실험이다. 라이다 데이터는 (주)한진정보통신에서 제공한 것이며, 제원은 표 2와 같다.

그림 12(a)는 TerraScan으로 지면점 분류를 수행한 것이며, 공사현장에 파인 구덩이가 존재하는 공사현장에 대한 실험이다. 공사로 인하여 굴착된 구덩이는 실

표 2. 라이다 데이터 제원 2

항 목	제 원
촬영장비	Optech ALTM 30/70
촬영일자	2005년 10월
대상지역	경기 일산
촬영고도	1,280m
평균점밀도	약 3~4pts/m <sup>2</sup>



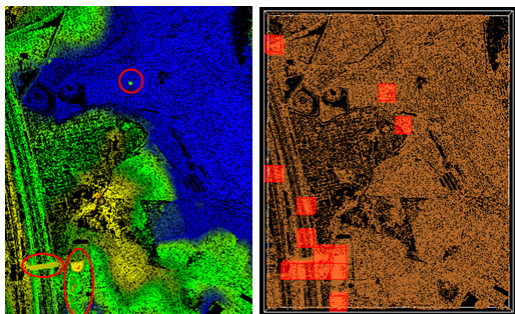
(a) 오분류 영역 (b) 오분류 탐지 결과  
그림 12. 알고리즘 실험 결과 2

제 지면보다 아래에 위치하며, 이는 지면점에 해당하지 않는다. 그림 12(b)는 제안된 알고리즘으로 실험한 결과이며, 공사현장을 잘 탐지하는 것을 알 수 있다. 하지만 몇 개의 영역이 더 탐지되었으며, 이는 동일지역을 동시에 촬영한 수치항공영상과 비교판독한 결과, 소규모 공사지역으로 라이다 데이터를 이용하여 육안으로 판독이 어려운 영역이었다.

다음 실험은 지하주차장 입구 영역이다. 도심지에는

표 1. 라이다 데이터 제원 1

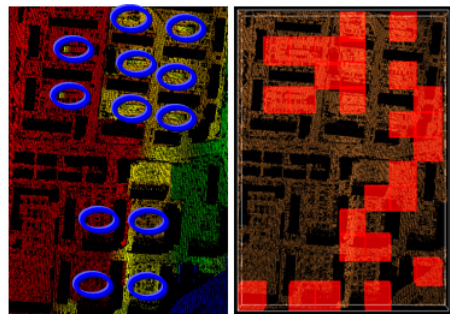
항 목	제 원
촬영장비	Leica ALS 50
촬영일자	2008년 8월
대상지역	전남 장성군
촬영고도	1,600m
평균점밀도	약 6pts/m <sup>2</sup>



(a) 오분류 영역 (b) 오분류 탐지 결과  
그림 11. 알고리즘 실험 결과 1(붉은 영역)

표 3. 라이다 데이터 제원 3

항 목	제 원
촬영장비	Optech ALTM 30/70
촬영일자	2009년 4월
대상지역	충남 천안
촬영고도	1,280m
평균점밀도	약 3pts/m <sup>2</sup>



(a) 오분류 영역 (b) 오분류 탐지 결과  
그림 13. 알고리즘 실험 결과 3

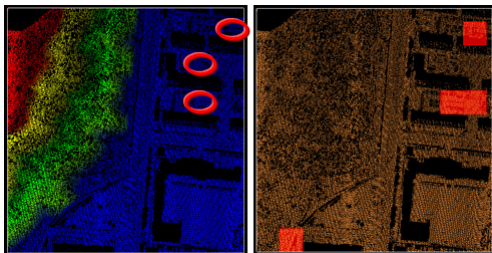
공사현장과 더불어 지하주차장 입구 역시 아파트 단지를 중심으로 많이 분포되어 있다. 하지만 이러한 지하주차장 입구 영역은 실제 지형과 유사한 경사를 가지므로, 자동 필터링에서 오분류되는 경우가 많다. 실험에 사용한 데이터는 (주)한진정보통신에서 제공한 것이며, 제원은 표 3과 같다.

일반적으로 지면점 필터링의 경우, 돌출된 건물과 같이 지형과 높이 차이가 확연한 객체들은 대체로 잘 제거한다. 하지만 그림 13(a)의 파란 원으로 표시된 영역과 같이 지면과 유사한 형태를 갖는 지하주차장 입구는 거의 지면으로 오분류 된다. 그림 13(b)는 오분류 영역의 탐지 결과이다. 실험 결과, 지하주차장 입구 영역은 대체로 잘 탐지되나 실제 지면을 오분류로 탐지한 경우도 발생하였다. 그림 13(a)의 좌측 고도 채색도에서 보듯이, 이 지역은 계단형으로 급격한 경사가 형성되어 있으며, 이러한 급경사 지역은 오분류를 탐지하기 위한 기하학적 조건에 차별성을 두기 매우 어렵다.

**3.3 지형 형태에 따른 알고리즘 실험**

제안된 알고리즘은 평지, 산림지 등 지형기복 무유에 관계없이 모두 적용가능하다. 라이다 데이터의 Z값만을 이용하였다면 산림지의 경우 모두 오분류로 탐지되어야 하지만, Slope Angle에서 계산되는 경사도를 이용함으로써 산림지의 경우도 별도의 처리 없이 일괄적으로 적용이 가능하다. 그림 14(b)는 산림지와 평지가 함께 있는 영역의 오분류를 탐지한 결과이다.

그림 14의 데이터에서 좌측은 산림지, 우측은 도심지로 구성된 영역이다. 오분류 영역은 그림 14에서와 같이 탐지가 비교적 어려운 지하주차장 입구 영역으로 대체로 잘 탐지가 되었으며, 오분류 영역이 없는 산림지는 Z값의 차이가 있더라도 지형의 기복이 고려된 알고리즘으로 올바르게 판별되었다.



(a) 오분류 영역 (b) 오분류 탐지 결과

그림 14. 알고리즘 실험 결과 4

**4. 결론**

본 연구는 라이다 원시자료에서 수치지면자료를 생성과정에서 발생하는 오분류 영역을 자동으로 탐지하는 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘의 장점은 다음과 같다. 첫째, 라이다 수치지면자료 생성 과정에서 소요되는 수작업의 비용을 절감할 수 있다. 제안된 알고리즘은 오분류 가능성이 높은 영역을 자동으로 탐지하며, 해당 영역의 확인·수정만으로 보다 정확한 수치지면자료 생성이 가능하다. 둘째, 제안된 알고리즘에서 적용한 매개변수들은 라이다 데이터의 점밀도에 구애받지 않고 일관되고 안정적인 결과를 보였다. 셋째, 지형의 경사나 기복에 영향을 덜 받는다. 기존에 연구된 지면 필터링 방법들의 경우, 지형 형태에 따라 임계값을 변경해야 하는 경우도 있지만 제안된 알고리즘은 경사도를 고려함으로써, 평지·경사지에 모두 적용 가능한 방법이다. 넷째, 제안된 방법은 라이다 성과품의 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 대안으로의 활용가능성을 보여준다.

본 연구에서는 수치지면자료의 오분류 영역을 대부분 자동으로 탐지가 가능함을 보여주었다. 하지만 지하주차장 입구 영역 등 실제 지면과 그 기하학적인 특성이 유사한 영역은 탐지에 한계도 보였다. 이를 해결하기 위해서는 격자들의 관계 연산과 격자 크기의 가변적인 적용, 통계적 분석 방법 등 새로운 방법이 필요하다고 판단된다. 현재 이루어지는 라이다 후처리 과정에서의 수작업의 비용은 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 라이다 수치지면자료의 오분류 영역을 자동으로 탐지해주는 본 알고리즘은 라이다 후처리 작업에서의 시간과 비용을 절감하는데 큰 도움을 줄 것이라 사료된다.

**감사의 글**

본 연구는 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었습니다. 또한 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보 C03)에 의해 수행되었습니다.

더불어, 본 연구에 라이다 데이터를 제공해주신 (주)한진정보통신과 (주)중앙항업에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. 국토지리정보원, 2009, *항공레이저측량 작업규정*.
2. 최승식, 송낙현, 조우석, 2007, "Airborne LiDAR 필터에 관한 연구", *한국측량학회지*, 제25권 제1호, pp.

- 55-62.
3. Al-Subaihi, I. A., 2008, Fitting Two Concentric Spheres to Data by Orthogonal Distance Regression, *Mathematical Communications* 13, pp.233-239.
  4. Eberly, D., 1999, "Least Squares Fitting of Data", Geometric Tools, LLC, pp.2-5.
  5. Fernandez, O., 2005, "Obtaining a Best Fitting Plane through 3D Georeferenced Data", *Journal of Structural Geology* 27, pp.855-858.
  6. Meng, X., Currit, N., Zhao, K., 2010, "Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues", *Remote Sensing* 2010, pp.833-860.
  7. Sithole, G., Vosselman, G., 2004, "Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds", *ISPRS Journal Photogrammetry, Remote Sensing*, pp.85-101.
  8. 스타, S, 2007, "Improving the Quality of Filtered LiDAR Data by Local Operations", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.23, No.3, pp.189-198.
  9. Watson, G. A., 2002, "On the Gauss-Newton Method for Orthogonal Distance Regression", *IMA Journal of Numerical Analysis* 22, pp.345-357.
  10. K. Zhang, S. Chen, D. Whitman, M. Shyu, J. Yan, C. Zhang, 2003, "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LiDAR Data", *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.41, No.4/1, pp.872-882