

# 최적 매개변수 선정을 이용한 라이다 데이터로부터 3차원 평면 추출

## Planar Patch Extraction from LiDAR Data Using Optimal Parameter Selection

신성웅\* · 방기인\*\* · 조우석\*\*\*

Shin, Sung Woong · Bang, Ki In · Cho, Woo Sug

### 要 旨

라이다 시스템은 신속하고 정확한 3차원 데이터 생성으로 인해 주목받는 시스템이 되었다. 지형공간정보 분야에서 원시 라이다 데이터로부터 3차원 건물모델과 같은 가치가 부가된 정보를 생산하는 기술은 오랫동안 관심 있는 연구 주제로 다루어졌다. 본 논문은 라이다 데이터로부터 건물과 같은 인공지물의 주요 구성요소인 3차원 평면을 추출하는 내용을 담고 있다. 이 연구에서는 최적의 평면을 결정하기 위해 라이다 데이터에 포함된 이상치의 영향을 제거 또는 최소화 시키고, 두 평면이 만나는 지역에서 정확한 평면을 추출하는 하는 방법을 소개한다. 각 라이다 포인트에 대해서 plane fitting이 수행된 후, 결정된 세 개의 평면식 매개변수들은 의사색상값으로 변환되고, 이를 이용하여 평면을 추출하게 된다. 제안된 방법은 항공 라이다와 지상라이다 데이터 두 가지를 사용하여 그 유효성을 검증하였다.

핵심어 : LiDAR, plane fitting, segmentation, surface normal

### Abstract

LiDAR system has become a popular tool for generating 3D surface data such as Digital Surface Model. Extraction of valuable information, such as digital building models, from LiDAR data has been an attractive research subject. This research addresses to extract planar patches from LiDAR data. Planar patches are important primitives consisting of man-made objects such as buildings. In order to determine the best fitted planes, this research proposed a method to reduce/eliminate the impact of the outliers and the intersection areas of two planes. After finishing plane fitting, planar patches are segmented by pseudo color values which are calculated by determined three plane parameters for each LiDAR point. In addition, a segmentation procedure is conducted using the pseudo color values to find planar patches. This paper evaluates the feasibility of the proposed method using both airborne and terrestrial LiDAR data.

Keywords : LiDAR, plane fitting, segmentation, surface normal

### 1. 서 론

지난 10여 년간의 기술적인 발전은 과거의 수치지도 기반의 2차원 정보를 넘어서, 이제는 3차원 또는 4차원의 위치기반 서비스가 가능한 상태에 이르고 있다. 또한, 다양한 사용자의 지형공간정보 소비욕구도 높은 수준으로 발전하였다, 과거의 지형공간정보에 대한 요구

사항이 2차원의 위치정보제공에 머물렀다면, 현재는 다차원의 실제와 유사한 환경의 지형공간정보를 컴퓨터 뿐만 아니라 스마트폰과 같은 다양한 형태의 개인용 정보단말기를 통하여 제공받기를 원하고 있다. 라이다(LiDAR: Light Detection And Ranging)시스템은 처음 등장한 이후부터 상대적으로 신속하고 정확한 3차원 데이터 제공능력으로 인하여 많은 관심과 연구의 대

2011년 2월 17일 접수, 2011년 3월 16일 채택

\* 정희원 · 한국전자통신연구원 공간정보연구팀(sshin@etri.re.kr)

\*\* 교신저자 · 지온텍코리아(bkikse@naver.com)

\*\* 정희원 · 인하대학교 토목공학과(wcho@inha.ac.kr)

상이 되었다. 이제는 국내에서도 다양한 분야에 도입되어 사용되고 있으며, 라이다 데이터 처리 및 활용분야에서 많은 관련연구들이 진행되어 높은 수준의 기술들이 많이 축적되어 있다.

초기의 원시 라이다 데이터는 고밀도의 3차원 불규칙 포인트(point cloud)로 제공된다. 이는 정규화 과정을 통해서도 고품질의 DSM(Digital Surface Model)으로서 활용이 가능하다. 비록, 영상처럼 텍스처정보를 제공할 수는 없지만 점밀도가 충분히 고려되어 데이터가 획득된 경우, 일반적인 인공지물 및 주요 지형의 판독이 시각적으로 구별할 수 있는 수준의 데이터를 제공하는 것이 가능하다. 더 활용도 높은 수준의 정보를 가공하기 위해서는, 라이다 데이터를 관심 대상으로 분류하는 단계부터 시작한다. 예를 들어, 지면(ground)과 비지면(non-ground)을 정의하여 분리하고, 비지면 포인트들 중에서 건물과 같은 인공지물과 수목과 같은 자연지물을 구별하는 과정을 거쳐 부가가치가 높은 정보로 재생산될 수도 있다. 본 연구는 라이다 데이터로부터 획득된 원시데이터로부터 인공지물을 구성하는 기본적인 요소인 평면을 추출하는 기술에 초점을 맞추고 있다. 다음의 내용은 선행연구에서 활용되어왔던 평면 추출에 관련된 방법들을 소개한다.

Fischler and Bolles(1981)과 Seo(2003)는 RANSAC(RANdom Sample Consensus)을 이용하여 라이다 데이터로부터 평면을 추출하였다. RANSAC은 임의의 최소점들을 선택하여 최적의 평면을 추출할 수 있는 효과적인 알고리즘이지만, 사용되는 매개변수에 민감하다는 단점을 안고 있다. Tseng and Wang(2005)은 영역 분할(split-merge) 기법을 사용하여 건물을 구성하는 평면 요소들을 추출 분리하였다. 영역분할 기법은 소규모의 평면으로 분할하고 이를 다시 병합하여 최종적으로 건물의 지붕 또는 벽면을 추출하는 방법이다. 이 방법은 분할된 영역의 병합되는 임계값의 결정에 결과가 큰 영향을 받고, 두 평면이 교차하는 지역에서 사용자의 의도와는 다른 분할 영역을 산출할 수 있는 단점을 안고 있다. 영역분할 기법과는 달리 각 점들을 중심으로 일정영역을 설정하여 3차원 평면식의 매개변수 또는 이에 준하는 대체값들을 계산하여 이를 누적한 후, 최적의 평면을 찾는 방법이 사용되기도 한다. Kim 등(2008)은 임의의 두 원점을 설치하고 이로부터 추정되는 평면까지의 거리를 계산하여 두 거리값을 유일 평면을 정의하는 매개변수로 사용하였다. 이를 2차원의 주파수 도메인에 누적하여 높은 빈도를 나타내는 값을 매개변수를 찾는 방법으로 최적의 평면을 추출하였다. 이 방법은 공간 도메인이 아닌 주파수 도메인에서 최적의

평면을 선택하기 때문에 동일한 평면이 두개 이상 존재하는 경우에는 이를 공간 도메인에서 점검하여 분리해주는 추가적인 절차가 필요하게 된다.

본 연구에서는 제안하고 있는 방법은 평면식의 매개변수를 산출하여 이를 주파수 도메인이 아닌 공간도메인에 기록한 후, 유사한 매개변수를 가진 점들을 군집화하는 방법으로 빌딩의 평면 세그먼트를 분리하였다. 세그먼트 추출 과정이 어려움을 줄이기 위해 각 점들에 부여된 평면식 매개변수의 값을 의사색상값(pseudo color)으로 전환하여, plane fitting의 결과를 가시적으로 확인할 뿐만 아니라, 기존의 영상처리 기법과 유사하게 평면 세그먼트가 추출이 되는 방법을 사용하였다.

## 2. 평면식 매개변수 추정

### 2.1 Plane fitting

식 1은 3차원 공간상에서 평면을 정의하기 위해 일반적으로 사용되는 3차원 평면식이다. 이 식에서  $a$ ,  $b$ , 그리고  $c$ 는 3차원 공간에서 유일평면을 정의하는 3개의 매개변수들이고,  $(X_p, Y_p, Z_p)$ 는 평면위에 존재하는 임의의 점을 나타낸다. 식 1을 사용하여 최소제곱법으로 선택된 점들이 구성하는 의 평면을 결정하는 경우, 추정되는 평면이 원점을 지나거나, 근접하는 경우에 최적의 해를 얻는데 실패할 수 있다. Tseng and Wang(2005)은 이러한 문제가 발생하지 않는 방향코사인( $l, m, n$ )과 평면에서 원점까지의 거리( $d$ )로서 3차원 평면을 정의하였다(식 2). 또한, 3차원 평면식에서는 3개의 매개변수만이 독립적이므로, 4개의 매개변수로 평면식을 구성하는 대신, 추가적인 구속조건을 도입하여 문제점을 해결하였다. 여기서 도입된 구속조건은 방향코사인의 제곱의 합이 1이 되는 조건이다(식 3). 또 다른 방법으로 식 1을 식 4와 같이 변형하여 사용하는 방법이 있다. 식 4에서 독립된 세 개의 매개변수는 각각  $X_p$ 와  $Y_p$  좌표에 대한 계수,  $a'$  및  $b'$ 와 상수항을 나타내는  $c'$  구성된다. 최소제곱법을 이용하여 식 4의 매개변수를 추정하는 경우, Z축과 평행인 법선벡터를 갖는 평면 추출에서 유리하게 된다(Lee, 2003과 Kim 2008).

$$aX_p + bY_p + cZ_p = 1 \quad (1)$$

$$lX_p + mY_p + nZ_p = d \quad (2)$$

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad (3)$$

$$a'X_p + b'Y_p + c' = Z_p \quad (4)$$

본 연구에서는 식 4를 사용하여 평면을 추출함에 있어서, Z축과 법선벡터의 방향이 평행하도록 좌표축의

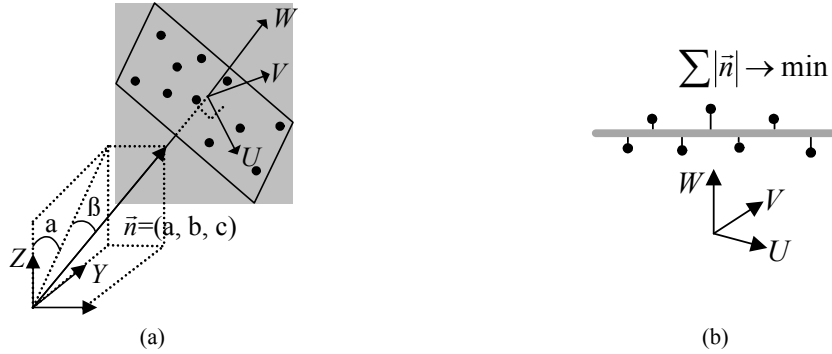


그림 1. 3차원 공간에서의 평면과 법선벡터 방향

회전을 동시에 고려하였다. 최소제곱법에 의해서 3차원 평면은 선택된 점들과 평면사이의 법선거리가 최소화 되는 방향으로 수렴되기 때문에, Z축을 평면의 법선벡터 방향과 평행하도록 좌표축을 회전시키고(식 5), 회전된 좌표에 대해서 식 4를 적용하여 최적의 매개변수를 구하게 된다(식 6). 이러한 과정은 반복계산에 의해서 수행된다. 먼저, 법선벡터를 알 수 없는 첫 번째 plane fitting은 회전행렬을 단위행렬로 가정하여 수행하고, 이 후에, 그림 1(a)에서 보듯이, 추정된 법선벡터로부터 X축과 Y축에 대한 회전  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 계산하여 XYZ 축을 UVW축으로 변환하게 된다. 이러한 반복계산은  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 크기 또는 각 점의 법선거리 오차의 합이 일정 변화보다 작을 때까지 수행한다. 그림 1(b)에서 보듯이, 최소제곱법으로 식 6의 매개변수를 추정함에 있어서 W 좌표값 오차의 제곱의 합이 최소가 되는 조건을 사용하며 이는 결국 선택된 각 점들의 평면까지의 법선거리가 최소가 되는 방향으로 수렴하는 결과를 낳는다. 이러한 방법을 통하여, 원점을 지나는 평면식의 문제점을 극복하고, 최적의 평면계수를 구하기 위한 기하학적인 조건을 유지하게 된다.

$$\begin{bmatrix} U_p \\ V_p \\ W_p \end{bmatrix} = R_\alpha R_\beta \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$a' U_p + b' V_p + c' = W_p \quad (6)$$

### 2.2 이상치(Outlier) 및 비평면 요소

Plane fitting에 있어서 또 다른 어려움은, Outlier가 평면상에 존재하거나 추출하고자 하는 평면이외의 다른 대상이 plane fitting 과정에 포함된 경우에 발생할 수 있다. 본 연구에서 이 두 가지 경우에 대응할 수 있는, 방법론을 제시하고 있다. 첫번째로 Outlier에 대한

대응을 위해 studentized residual을 사용하여 가중치를 조정하는 방법을 사용한다. 이는 robust estimation에서 L1 영향함수(influence function)와 유사한 방법으로서 각 관측값의 잔차의 크기를 고려하여 가중치를 조정하게 된다(Mikhail, 1976; Koch, 1999). 식 7는 studentized residual을 이용하여 가중치를 결정하는 방식을 보여주고 있다. 이 식에서  $r_i/\hat{\sigma}$ 는 studentized residual을 나타내고 studentized residual의 절대값의 역수를 가중치로 사용한다. studentized residual의 절대값의 크기가 주어진 임계값(T)보다 클 경우 가중치를 영으로 설정하여 plane fitting에서 완전하게 배제시킨다. 본 연구에서는 라이다 데이터의 정확도를 기반으로 가중치의 임계값을 설정하였다. 그림 2는 line fitting 문제에 있어서, 이상치의 영향을 효과적으로 제거하는 실험결과를 보여주고 있다. 본 실험에서는 기울기 0.5와 y절편 3.0을 가지는 직선을 설정하고 우연오차와 이상오차를 반영하여 점들을 직선주변으로 생산하였다. 그림에서 삼각형으로 표시된 점들은 이상오차가 반영된 점들이고 그 외의 점들은 설정된 직선 주변으로 우연오차가 반영된 점들을 나타내고 있다. 일반적인 최소제곱법을 사용하여 직선식을 추정하는 경우, 기울기와 y절편은 각각 0.3577과 2.25로 추정된 반면, studentized residual을 사용하여 가중치를 조정한 경우, 기울기는 0.4976, y절편은 2.9305로 추정되어 계획된 직선에 더욱 유사한 직선이 점들로부터 추정되었음을 알 수 있다. 그림 3은 이상치의 효과가 반복계산과정에서 제거 또는 줄어드는 과정을 도식적으로 보여주고 있다. 첫 번째 계산에서는 잔차에 대한 정보가 없으므로, 이상치에 대한 배제 없이 최소제곱법을 수행하고, 두 번째 계산부터 잔차의 정보를 활용하여 가중치를 갱신하게 되면 최종적으로 이상치의 효과가 배제된 최적의 결과를 얻게 된다.

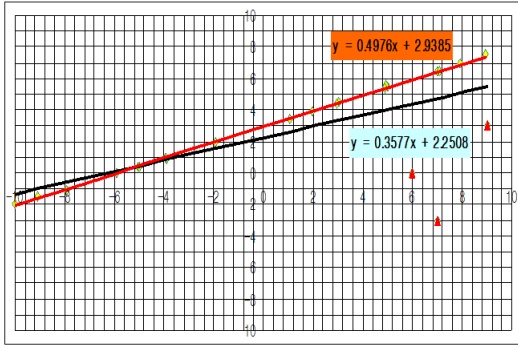
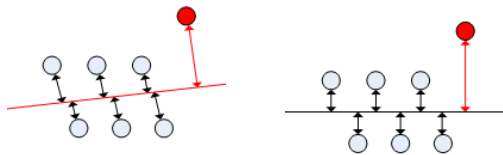


그림 2. Studentized residual을 이용한 line fitting에서의 이상치(outlier) 효과 제거 실험



첫 번째 계산                      최종계산  
그림 3. 반복 계산과정에서의 가중치 조절

$$\begin{cases} p_i = 1 / \frac{|\hat{r}_i|}{\hat{\sigma}} & \text{if } \frac{|\hat{r}_i|}{\hat{\sigma}} < T \\ p_i = 0 & \text{if } \frac{|\hat{r}_i|}{\hat{\sigma}} > T \end{cases} \quad (7)$$

2.3 최적 매개변수의 결정

Plane fitting은 선택된 임의의 점을 기준으로 일정범위 내에서 검색되는 점들을 추출하고 이들 점들이 나타내는 평면을 추정하는 방식으로 진행된다. 이러한 이유로 그림 4에서처럼 두 평면이 만나는 영역에서 점들이 선택된 경우, 최적의 평면을 결정함에 있어서 어려움이

발생하게 된다. 그림 4(a)는 건물의 지붕과 벽면이 만나는 경우를 보여주고 있고, 그림 4(b)는 gable roof의 경우를 보여주고 있다. 이 그림에서 보듯이 두 평면이 만나는 영역 주변의 점들이 선택된 경우, plane fitting은 이 점들로부터 법선거리가 최소가 되는 평면으로 수렴하게 된다. 따라서 두 평면으로 교차하는 영역에서는 새로운 평면이(두 평면의 평균에 유사한) 좁고 긴 모양으로 추출되는 문제점이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 모든 점들을 중심으로 일정영역을 선택하여 plane fitting을 수행하고, 각 점들은 자신이 포함되는 plane fitting의 결과를 계속해서 저장 및 모니터링하여 최종적으로 최적의 평면 매개변수가 할당되도록 하였다. 예를 들어, 그림 4에서 a 영역이 선택된 경우, plane fitting의 결과는 실제 물리적인 평면과 유사하게 결정되지만, 선택영역 b에서는 두 인접 평면의 중간평면에 유사한 형태로 plane fitting이 수렴하게 된다. 이러한 경우, 영역 a와 b 두 영역에서 plane fitting에 참여했던 점들은 선택영역 b에서의 결과를 기 수행된 선택영역 a의 결과와 비교하여 법선거리가 오차가 더 작고, 수렴된 결과의 통계적 평가가 더 우수한 선택영역 a의 결과를 최종적으로 수용하도록 알고리즘을 구성한다. 따라서, 영역 a에 포함되었던 점들의 plane fitting 결과는 영역 b를 처리한 후에도, 새롭게 갱신되지 않는다. 반면, 영역 c가 선택되어 plane fitting이 수행되면, 영역 b와 c 두 영역에서 공유되는 점들의 plane fitting 결과는 새롭게 갱신된다. 즉, 영역 b에서의 plane fitting 결과에 비해서 영역 c의 plane fitting 결과가 상대적으로 최적에 가까운 결과를 보이게 되므로, 영역 b에 포함되었던 점들 중에서 영역 c에서 재처리 되는 점들은 새로운 결과를 이용하여 기존의 영역 b의 결과를 갱신하게 된다. 이러한 방법을 통하여 복수의 평면이 만나는 영역에서도 최적의 평면을 결정할 수 있게 된다.

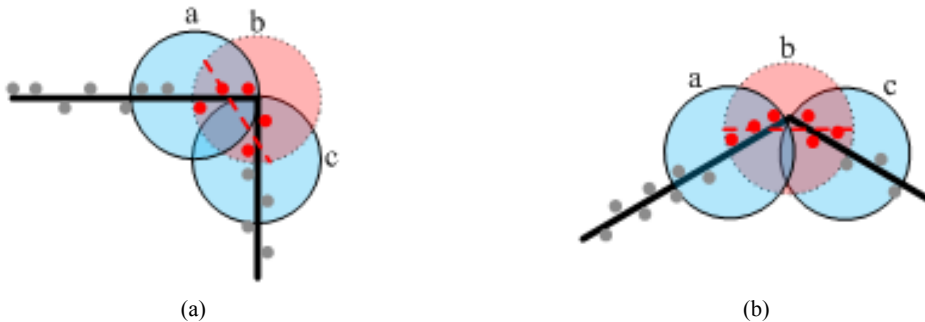


그림 4. 두 평면이 만나는 영역에서 plane fitting의 문제점

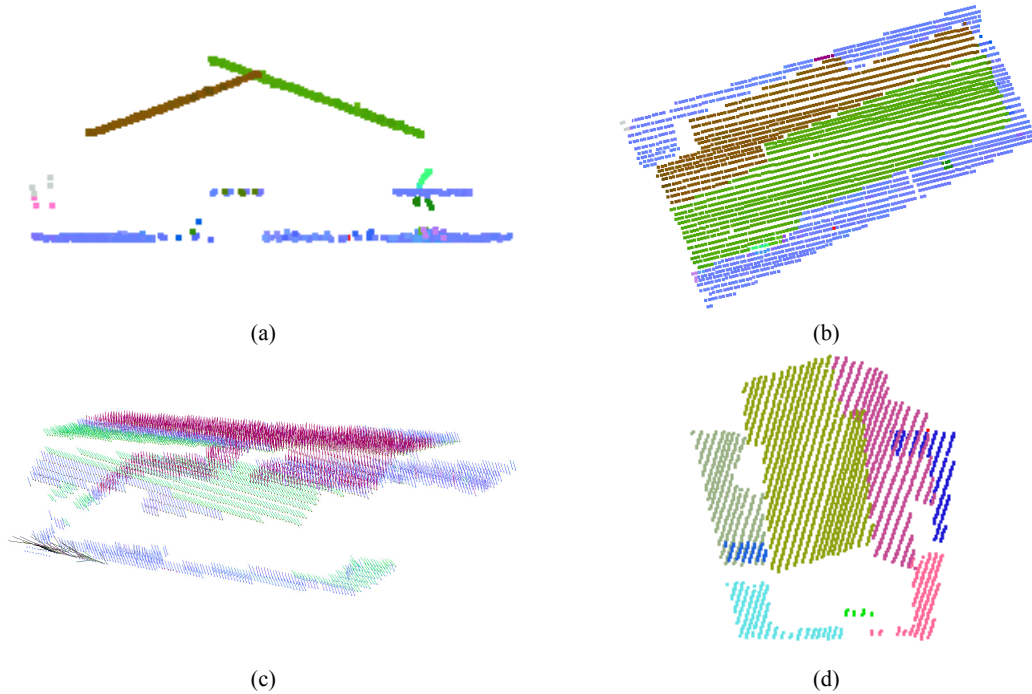


그림 5. 항공라이다 데이터를 이용한 평면추출 실험 결과 I

### 3. 실험결과

본 연구에서는 항공측량 및 지상측량을 통해서 획득된 라이다 데이터에 대해서 평면추출 실험을 수행하였다. 그림 5(a)와 그림 5(b)는 본 연구에서 제안된 방법으로 평면식의 매개변수를 구한 후, 의사색상을 할당된 모습을 보여주고 있다. 반면, 그림 5(c)는 이상치와 인접평면의 효과에 대한 고려를 하지 않고, 평면식 매개변수를 구한 후, 법선벡터를 3차원 상에서 보여주고 있다. 이 두 경우의 비교에서 보듯이, 평면의 교차지역과 이상치 발생지역에서 제안된 방법이 우수한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 그림 5(d)는 추출된 할당된 의사색상을 이용하여 최종적인 평면을 추출한 후, 각 평면에 임의의 색상을 부여한 그림이다. 각 라이다 포인트에 부여된 의사색상을 이용하여 평면을 군집화(grouping)하는 과정에는 영상처리기법중의 하나인 영역확장기법(region growing)을 사용하였다. 주변 점들과 색상의 유사도를 분석하여 region growing을 수행함으로써 동일한 평면속성을 갖는 점들을 하나의 평면으로 분류해낼 수 있게된다. 그림 5(d)에서 보듯이 의사색상을 이용한 regions growing 기법은 동일하거나 유사한 평면 매개변수를 가지는 대상 포인트들도 공간적인 조건이 고려되어 군집화되기 때문에 서로 다른 평

면으로 분리 추출됨을 알 수 있다. Region growing에 사용되는 임계값을 결정하기 위해서는 사용된 데이터의 공간 정밀도와 부여된 색상의 depth를 고려하여 결정할 수 있다.

그림 6(a)는 실험에 사용된 캐나다 캘거리 대학의 캠퍼스 지역에 대한 항공 LiDAR 데이터로서 1제곱미터당 약 0.75 포인트의 점밀도를 가지고 있다. 이 그림은 사용된 데이터를 지면과 비지면으로 분리한 후의 결과를 보여주고 있으며, 비지-비지면 분리를 위해서는 Chang et al.(2008)에 소개된 방법을 사용하였으며, 이 방법은 중심투영의 폐색영역 검색 방법을 통해서 지면과 비지면을 분리하게 된다. 그림 6(b)는 비지면 데이터에 대해서 제안된 방법으로 평면식의 매개변수를 계산한 후, 이를 색상으로 표현하여 보여주고 있다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 인공지물에서는 색상의 분포가 균일하게 보이는 반면 식생에서는 불규칙한 색상의 패턴이 보임을 알 수 있다. 그림 6(c)는 그림 6(b)의 결과로부터 평면을 추출한 결과를 보여주고 있다. 인공지물이 잘 추출되었음을 알 수 있고, 인공지물이 다수의 평면으로 구성된 경우에도 이를 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 이 실험 결과를 통해서 알 수 있듯이, 지면과 비지면이 분리되는 과정에서 오분류되는 지면점들이 있으면 이들 지역이 평면으로 추출되었음을 알 수

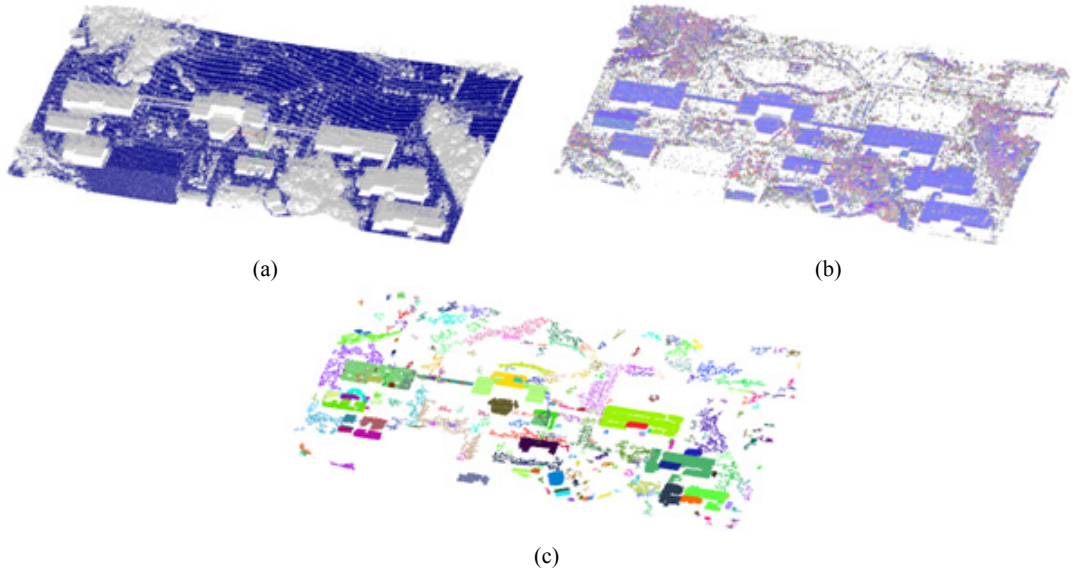


그림 6. 항공라이다 데이터를 이용한 평면추출 실험 결과 II

있다. 또한 식생지역이 비록 불규칙한 패턴으로 보여지더라도 밀집된 점들중에서 임계값을 수용하는 점들이 평면으로 군집되는 결과를 보여주고 있다.

그림 7(a)와 그림 7(b)는 지상 레이저 스캐닝 시스템(TITAN)으로 취득한 캐나다 토론토 인근 지역의 데이터를 이용하여 평면을 추출한 결과를 보여주고 있다. 그림 7(a)는 각 점을 기준으로 계산된 평면 매개변수들의 의사색상을 이용하여 보여주고 있고, 그림 7(b)는 평면을 추출하기 위해 각 점들을 군집화시킨 후의 결과이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 건물 옆의 식생은 군집화 결과 제거되었으며, 건물의 벽면 및 지붕도 독립된

평면으로 잘 분리 추출되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

이 논문은 라이다 데이터로부터 평면을 추출하는 새로운 방법을 제안하였다. 선행된 연구와 비교하여 이상치 및 인접 평면상에 위치하는 점들의 효과로 인한 평면 추출의 왜곡효과를 효과적으로 감쇄시키는 방법론이 실험을 통하여 유효함을 증명하였다. 또한, 항공 및 지상 라이다에 관계없이 동일한 알고리즘으로 건물의 벽면 및 지붕 모두 동일하게 분리 추출되는 장점을 실

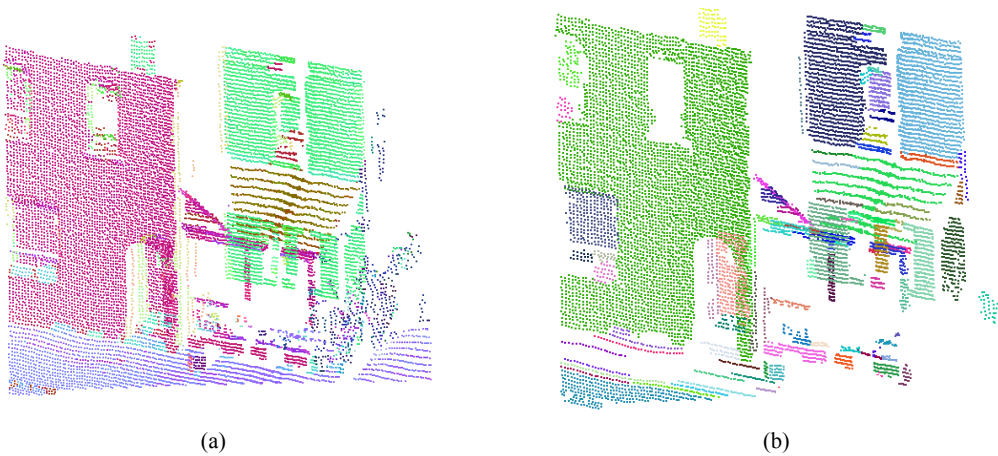


그림 7. 지상라이다 데이터를 이용한 평면추출 실험 결과

험 결과를 통해서 점검하였다.

실험결과를 통해서 제안된 방법의 한계점 및 단점도 알 수 있었으며 이를 통해 향후 연구에 대한 요구사항을 도출할 수 있었다. 라이다 데이터가 지면 및 비지면으로 분류하는 과정에서 오류가 있을 경우, 지면점들이 평면으로 분류되는 단점을 안고 있다. 따라서, 향후의 연구에서 기존 연구에서 차용해온 지면/비지면 분류에 대한 연구를 본 연구방법에 알맞도록 발전시킬 필요가 있다. 또한 밀집된 식생지역에서 원하지 않는 평면이 추출되는 것을 방지하기 위해 식생에 대한 정의를 마련하여 분리추출하거나 평면추출을 위한 군집화 알고리즘을 개선할 여지가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형 국토정보기술혁신사업과제의 연구비 지원(과제번호 07 국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Chang, Y., A. Habib, D. Lee, and J. Yom, 2008, "Automatic classification of LiDAR data into ground and non-ground points", In International archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, Part B4, pp.463-468.
2. Fischler, M. A. and Bolles, R. C., 1981, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," Communications of the ACM, Vol. 24, No. 6, pp.381-395.
3. Kim, C., Habib, A., and Chang, Y., 2008, "Automatic generation of digital building models for complex structures from LiDAR data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, Part B4, pp.456-462
4. Kim, C., 2008, "Object-based Integration of Photogrammetric and LiDAR Data for Accurate Reconstruction and Visualization of Building Models" Ph.D. thesis, The University of Calgary, p.221.
5. Koch, K. R., 1999, "*Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*", Springer, p.333.
6. Lee, I., 2002, "Perceptual Organization of Surfaces", Ph.D. thesis, The Ohio State University, p.159.
7. Mikhail, Edward M., 1976, "*Observations and Least Squares*", University Press of America, p.497.
8. Seo, S. 2003, "Model-based Automatic building extraction from LiDAR and aerial imagery", PhD thesis, Ohio State University.
9. Tseng, Y. H. and Wang, M., 2005, "Automatic Plane Extraction from LiDAR Data Based on Octree Splitting and Merging Segmentation," Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '05 Proceedings, CD-ROM.