

논문 2011-48SP-1-2

# 지상라이다 데이터를 이용한 구조물 모델링 기법 연구

( Study of Structure Modeling from Terrestrial LIDAR Data )

이 경 근\*, 정 경 훈\*\*, 김 기 두\*\*

( Kyung-Keun Lee, Kyeong-Hoon Jung, and Ki-Doo Kim )

## 요 약

본 논문에서는 지상라이다에서 획득한 3차원 점군데이터로부터 구조물을 모델링하는 알고리듬을 제안한다. 지상라이다 점군데이터는 항공라이다의 경우와 달리 목표 구조물의 크기와 비슷한 다양한 장애물이 존재하고 데이터의 밀도, 거리 등의 특성이 다르기 때문에 항공라이다에서 사용된 기존의 알고리듬을 그대로 적용하기가 곤란하다. 제안한 방법에서는 색상정보와 호프변환을 이용하여 구조물을 추출하는 기법<sup>[7]</sup>을 기반으로 주어진 월드데이터를 여러 개의 클러스터로 구분한다. 클러스터링된 데이터의 우선순위에 따라서 Delaunay triangulation 기법을 차례대로 적용하여 모델링을 수행한다. 제안한 방법은 클러스터 단위로 모델링을 진행하므로 잡음에 의한 영향을 최소화할 수 있으며 사용자가 원하는 개수만큼의 클러스터를 선택함으로써 모델링의 수준을 대화식으로 조정할 수 있다는 장점이 있다.

## Abstract

In this paper, we propose a new structure modeling algorithm from 3D cloud points of terrestrial LADAR data. Terrestrial LIDAR data have various obstacles which make it difficult to apply conventional algorithms designed for air-borne LIDAR data. In the proposed algorithm, the field data are separated into several clusters by adopting the structure extraction method which uses color information and Hough transform<sup>[7]</sup>. And cluster-based Delaunay triangulation technique is sequentially applied to model the artificial structure. Each cluster has its own priority and it makes possible to determine whether a cluster needs to be considered not. The proposed algorithm not only minimizes the effects of noise data but also interactively controls the level of modeling by using cluster-based approach.

**Keywords :** Terrestrial LIDAR, Cloud point, TIN, Clustering, Modeling

## I. 서 론

3차원 레이저 스캐닝 센서 기술의 발달로 실제 공간 상에 존재하는 다양한 물체의 기하학적 정보를 쉽게 취득할 수 있게 되면서 3차원적인 GIS(GIS: Geographic Information System)을 구현하고 취득한 정보를 이용하여 구조물을 모델링하는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 라이다(LIDAR: Light Detection And

Ranging)는 짧은 시간 안에 높은 해상도의 3차원 영상 정보를 획득할 수 있는 측량장비로서 다양한 분야에서 중요한 기능을 담당하고 있다<sup>[2]</sup>. 라이다 장비는 크게 항공라이다와 지상라이다로 구별되는데, 지상라이다는 항공라이다와 달리 특정한 구조물을 대상으로 3차원 점군 데이터를 획득하기 위해 사용된다. 즉 지상 라이다 데이터는 고도, 반사강도 등으로 구성되는 점군데이터로서 건물이나 수목을 비롯한 다양한 여러 구조물에 대한 정보가 포함된다.

지상라이다 데이터의 경우에는 스캐닝 되는 3차원 정보를 모두 가지고 있다는 점에서 신뢰도는 매우 높지만 이와 동시에 높은 정밀도를 가지기 때문에 데이터양이 매우 많은 특성이 있다. 또한 특정 구조물 부근에는 주변 건물이나 수목 등 다양한 형태의 장애물이 존재하

\* 학생회원, \*\* 정회원, 국민대학교 전자공학부  
(Department of Electronics Engineering, Kookmin University)

※ 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형 국토정보기술 혁신사업과제의 연구비지원(과제번호 07국토정보C02-2-2-03)에 의해 수행되었음.

접수일자: 2010년5월29일, 수정완료일: 2010년8월31일

기 때문에 라이다 데이터로부터 구조물을 추출하거나 모델링하기 위해서는 잡음 데이터에 의한 영향을 최소화하기 위한 필터링 과정이 요구된다<sup>[3]</sup>. 그러나 기존의 구조물에 대한 삼차원 모델링에 관한 연구는 항공라이다 분야에서 상대적으로 활발하게 수행되었다. Bartels 와 Wei는 지면점의 분리 절차를 우선적으로 수행하며 나머지 미분류점들로부터 지면에 대한 상대적인 높이 차이나 인접한 미분류점간 높이값의 변이정도를 기준으로 식생 및 건물 등의 3차원 모델링을 실시하였다<sup>[4~5]</sup>. McIntosh와 Krupnik은 정확한 3차원 표면 모델링을 위해 함께 취득한 항공사진으로부터 지형지물의 경계선 추출을 병용하였는데, 지형이 평坦한 주거지를 대상으로 하였다<sup>[6]</sup>.

그러나 이러한 방법은 항공라이다 데이터에 대해서는 적합하지만, 지상라이다의 경우에는 대상 구조물과 레이저 센서 사이에 유사한 크기의 장애물이 다양하게 존재하기 때문에 이를 직접적으로 적용할 때 성능이 만족스럽지 못할 뿐 아니라 여러 제한 요소를 피할 수 없다. 뿐만 아니라 구조물의 모델링 작업을 자동화하기 위해서는 가능하면 사용자의 개입을 최소화할 필요가 있다. 따라서 지상 라이다 데이터의 특성에 적합하며 사용자의 편의성을 고려한 새로운 모델링 기법의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 지상라이다 점군데이터로부터 구조물 영역을 추출하는 기법<sup>[7]</sup>을 기반으로 하여 구조물을 모델링하는 기법을 제안한다. 즉 대상 구조물 영역의 추출을 위해 지상라이다 데이터에 포함된 색상 정보를 이용하여 구조물에 해당하는 점군데이터를 분할하고, Hough 변환을 통해 분할된 점군데이터로부터 삼차원 공간에서 구조물에 해당하는 직선 방정식을 추정한 후, 추정된 직선과 점군데이터 사이의 거리를 비교하는 방법을 사용한다. 이러한 과정을 거쳐 추출된 구조물은 모델링에 앞서 수행되는 데이터 클러스터링 과정에서 임계값을 설정하는 데에 필요하다. 최종적인 모델링 과정은 클러스터 단위로 TIN(Triangulated Irregular Network)을 생성함으로써 이루어진다.

## II. 제안 방법

### 1. 데이터 클러스터링

지상라이다의 경우는 일반적으로 목표 구조물이 정해진 상태에서 특정 영역만을 대상으로 측정이 이루어

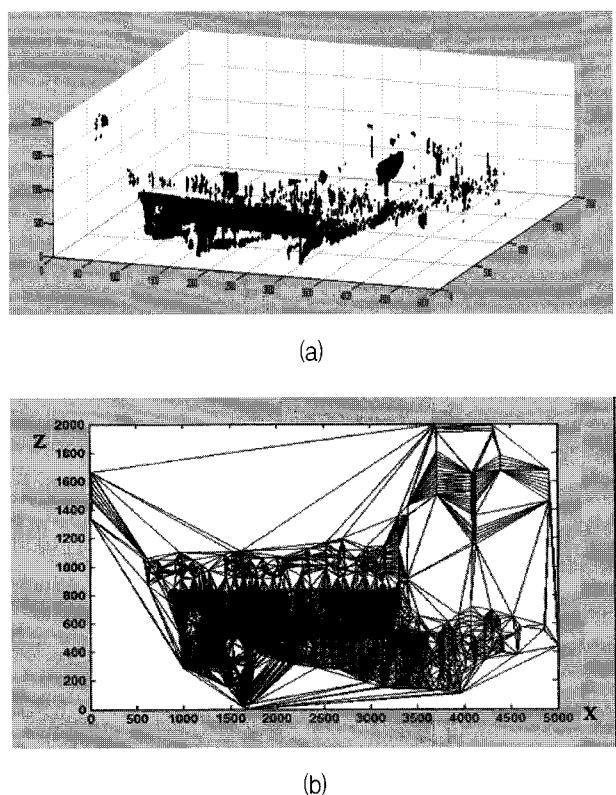
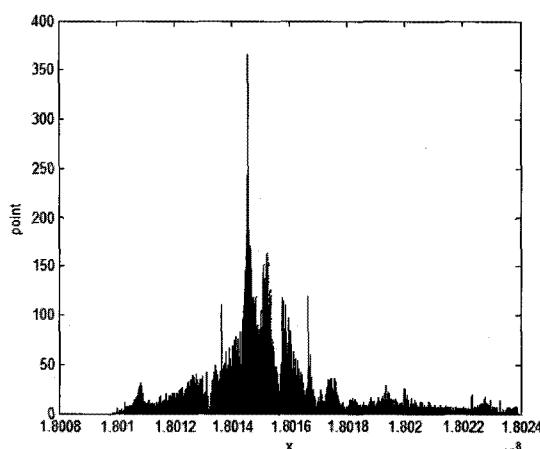


그림 1. 잡음의 영향으로 잘못된 모델링의 예  
(a) 필드 데이터, (b) TIN 생성 결과 (xz 평면)  
Fig. 1. The example of erroneous modeling due to noise.  
(a) field data;  
(b) TIN generation result (xz plane).

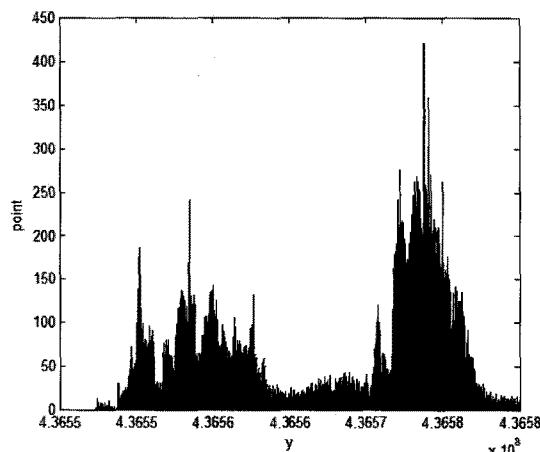
지기 때문에 획득한 데이터의 밀집도가 높고 레이저 센서가 지상에 위치하기 때문에 구조물의 인근에 주변 건물이나 수목 등의 장애물이 존재할 가능성이 높다. 그리고 이와 같은 데이터 획득 과정에서 장애물 등으로 인해 발생하는 잡음은 구조물의 3차원 모델링 성능에 상당한 영향을 미친다. 즉 구조물의 표면을 표현하기 위해서 TIN 형태를 구성하는 과정에서 작은 잡음이라도 존재하면 구조물과 잡음 사이에 TIN이 생성되면서 잘못된 결과가 나타난다. 그림 1은 지상라이다에서 획득한 필드데이터로부터 TIN을 생성하는 과정에서 잡음의 존재로 인해 잘못된 결과가 얻어짐을 보여준다.

이러한 결과는 구조물의 경계에 위치한 점과 잡음에 해당하는 점 사이에 TIN이 생성되기 때문에 발생한다. 따라서 안정적인 모델링 성능을 얻기 위해서는 잡음을 적절하게 필터링하는 과정이 반드시 요구된다.

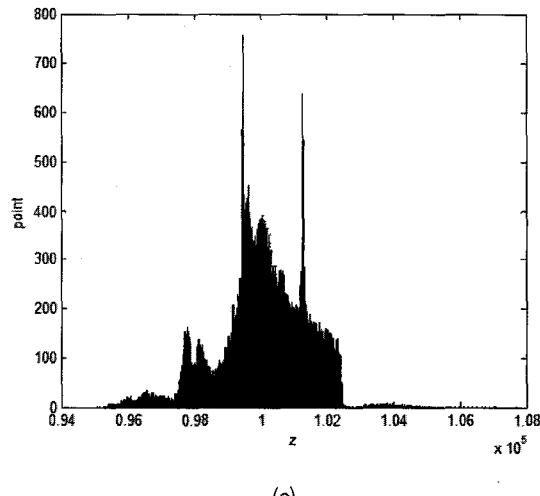
이를 위해 본 논문에서는 데이터 클러스터링을 통해 주어진 필드데이터를 여러 개의 클러스터로 구분하고 구조물에 해당하는 클러스터를 차례로 추가해 나가면서



(a)



(b)



(c)

그림 2. 3차원 필드 데이터의 분포

(a) x축, (b) y축, (c) z축.

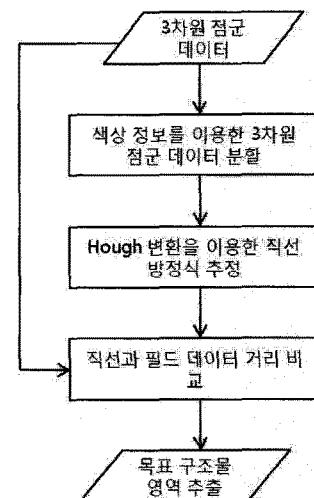
Fig. 2. Distribution of 3 dimensional filed data.  
(a) x axis, (b) y axis, (c) z axis.

그림 3. 구조물 추출기법 알고리즘 흐름도

Fig. 3. Flow chart of structure extraction method.

모델링을 진행하는 방법을 사용한다.

데이터 클러스터링 과정에서는 일단 분류를 위한 기준 축을 선택해야 한다. 일반적으로 특정 방향을 따라 잡음 데이터가 존재할수록 해당 방향의 데이터가 넓게 분포한다는 가정하에, x, y, z 각 방향의 데이터 분포의 정도를 살펴보고 이 가운데 데이터가 가장 좁게 분포한 축을 우선적으로 선택하여 분석한다.

그림 2는 3차원 필드 데이터의 x, y, z 각 축에 대한 데이터의 분포를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 z 축 방향의 분포가 가장 집중되어 있음을 알 수 있다. 그러나 이와 같은 데이터의 분포만을 가지고는 클러스터링을 위한 임계값을 결정하기가 용이하지 않다. 따라서 본 논문에서는 우리의 이전 연구결과인 3차원 점군데이터로부터 구조물 영역 추출기법<sup>[7]</sup>을 활용한다. 그림 3은 3차원 점군데이터로부터 구조물 영역 추출기법의 알고리즘 흐름도이다. Hough 변환을 활용하여 얻어진 직선 방정식을 임계값으로 하여 구조물을 추출하고 추출된 구조물 단위로 z 축의 데이터를 나누어 클러스터링을 수행한다.

## 2. 클러스터 단위의 대화형 모델링

구조물의 모델링을 위해 Delaunay triangulation<sup>[8~10]</sup> 기법을 이용하여 TIN을 생성한다. 이 기법은 삼각형을 이루는 임의의 세 점을 선택하여 외접원의 반지름을 구하고 이러한 원 안에 다른 꼭짓점이 존재하지 않는 형태로 불규칙적인 삼각형의 네트워크를 구성하는 방법이다. 그림 4는 임의의 점 데이터에 대한 Delaunay triangulation의 결과를 외접원과 함께 보여준다.

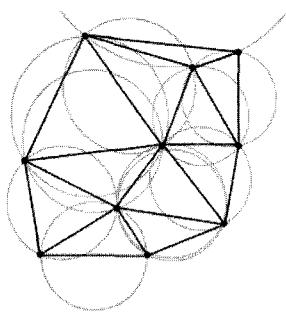


그림 4. Delaunay triangulation 기법의 예  
Fig. 4. The example of Delaunay triangulation.

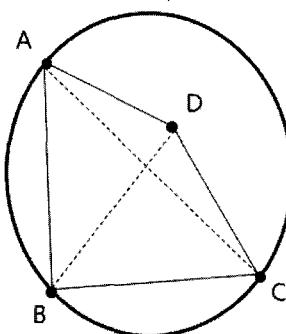


그림 5. 삼각형의 꼭지점과 외접원  
Fig. 5. The vertexes and the circumscribed circle.

그림 5에서는 Delaunay triangulation 기법에서 삼각형의 세 꼭지점을 이루는  $A(x,y)$ ,  $B(x,y)$ ,  $C(x,y)$ 를 외접원과 함께 평면상에 나타내었다. 여기서 점  $A$ ,  $B$ ,  $C$ 의 순서는 시계반대방향으로 정해진다.

이제 새로운 임의의 점  $D$ 가 주어질 때 이 점이 삼각형 외접원의 내부에 존재하는지 아니면 외부에 존재하는지를 판단하여야 한다. 이를 판별하기 위한 기준은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} D(A,B,C,D) &= \begin{vmatrix} A_x & A_y & A_x^2 + A_y^2 & 1 \\ B_x & B_y & B_x^2 + B_y^2 & 1 \\ C_x & C_y & C_x^2 + C_y^2 & 1 \\ D_x & D_y & D_x^2 + D_y^2 & 1 \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} A_x - D_x & A_y - D_y & (A_x^2 - D_x^2) - (A_y^2 - D_y^2) \\ B_x - D_x & B_y - D_y & (B_x^2 - D_x^2) - (B_y^2 - D_y^2) \\ C_x - D_x & C_y - D_y & (C_x^2 - D_x^2) - (C_y^2 - D_y^2) \end{vmatrix} > 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $D(A,B,C,D)=0$ 인 경우 점  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ 는 동일원상에 존재하며,  $D(A,B,C,D)>0$ 인 경우는 점  $D$ 가 점  $A, B, C$ 의 외접원 내부에,  $D(A,B,C,D)<0$ 인 경우는 외접원 외부에 존재한다.

제안하는 방법에서는 앞서 분할된 클러스터 단위로 모델링을 수행하는데, 클러스터의 우선순위에 따라서

Delaunay triangulation 기법을 차례대로 적용한다. 여기서 클러스터의 우선순위는 클러스터에 포함된 점군데이터의 개수가 많을수록 높게 결정된다. 이는 일반적으로 잡음에 해당하는 클러스터의 경우에는 이에 포함된 점군데이터의 개수가 적기 때문이다. 따라서 일단 최고의 우선순위를 가지는 클러스터 즉 점군데이터를 가장 많이 포함하는 클러스터에 대해서 TIN을 생성한 후, 클러스터를 차례대로 하나씩 더해 나가면서 TIN을 생성한다. 이 과정에서 사용자가 원하는 만큼의 클러스터를 선택함으로써 모델링의 수준을 대화식으로 조정할 수 있다는 장점이 있다.

### III. 실험결과

#### 1. 데이터 클러스터링

그림 6과 그림 7은 각각 본 실험에서 사용된 지상라이다의 3차원 점군데이터와 이에 해당하는 사진을 나타낸 것이다. 여기서 모델링의 대상이 되는 구조물은 다리이다.

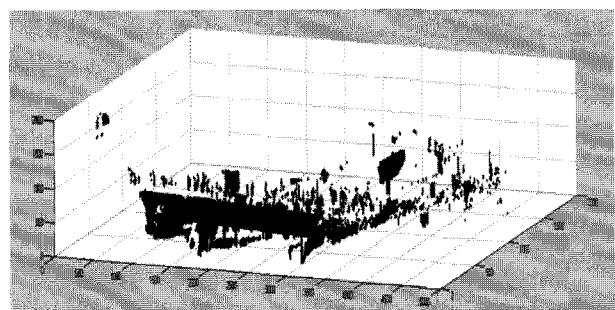


그림 6. 실험 3D 점군데이터  
Fig. 6. Experimental 3D cloud point.

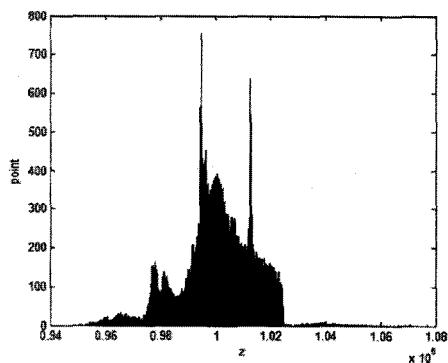


그림 7. 테스트 사진  
Fig. 7. A test picture.

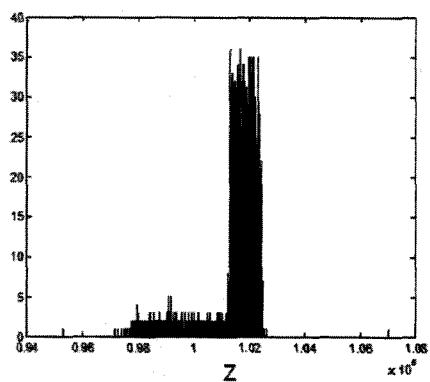
표 1. x, y, z 축에서 필드 데이터의 분포  
Table 1. Distribution of field data in x, y, z axis.

좌표축	데이터 분포 거리
x	140460 mm
y	27660 mm
z	12636 mm

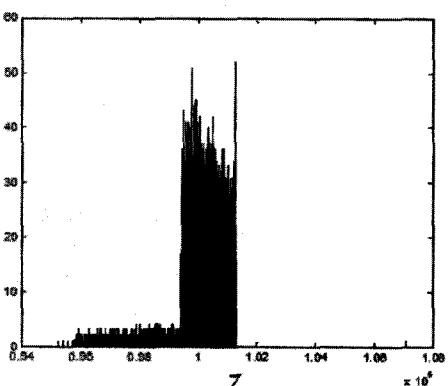
먼저 데이터 클러스터링의 기준 축을 결정하기 위해서 3차원 공간상에서 필드 데이터의 분포를 분석하였다. x, y, z 각 축마다 데이터가 존재하는 거리를 표 1에 나타내었으며, 여기서는 데이터의 분포 거리가 가장 짧은 축인 z 축을 기준 축으로 선정하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. z 축에서의 데이터 분포

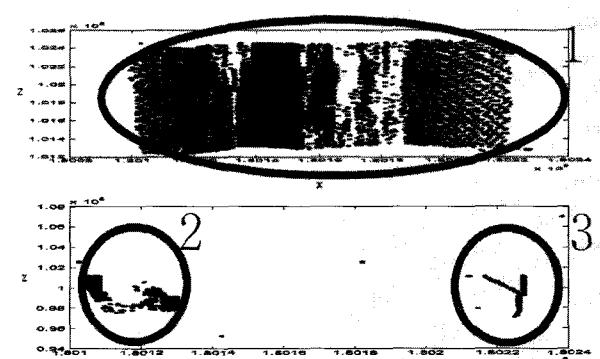
- (a) 필드 데이터, (b) 상부 구조물 데이터,
- (c) 하부 구조물 데이터

Fig. 8. Data distribution in z axis.

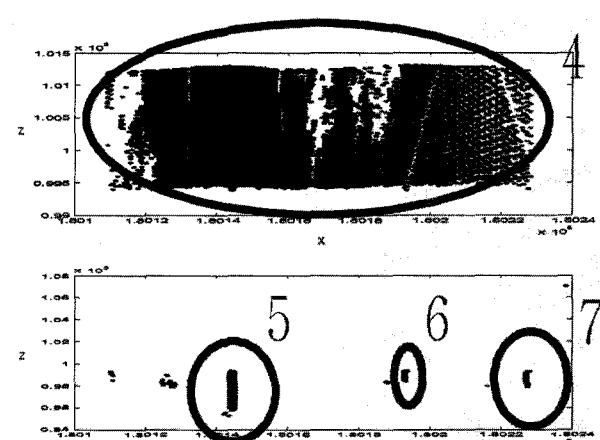
- (a) Field cloud points, (b) points in upper structure,
- (c) points in lower structure.

그림 8 (a)에서는 z축에서 필드 데이터의 분포를 나타냈으며, (b) 및 (c)에서는 구조물 추출기법<sup>[7]</sup>에서 구한 직선 방정식을 임계값으로 하여 분리한 상부 구조물 및 하부 구조물의 z축에서의 데이터 분포를 나타내었다.

그림 9는 상부 구조물의 데이터와 하부 구조물의 데이터에 대해서 각각 클러스터링을 수행한 결과이다. 지상라이다는 항공라이다와는 다르게 한 구조물 또는 일정지역을 집중적으로 찍기 때문에 주변에 비해 구조물의 점군데이터 밀도가 높게 나타난다. 따라서 본 논문에서는 클러스터링의 기준치를 데이터의 개수로서 10개로 설정하였다. 10개 이하의 데이터를 가진 클러스터는 합침으로 판단하여 배제시켰다. 최종적으로 클러스터링 된 데이터는 그림 9에서 굵은 원으로 표시하였으며 각 클러스터는 위에서부터 1번부터 7번까지 표시하였다.



(a)



(b)

그림 9. 클러스터링 결과

- (a) 상부 구조물, (b) 하부 구조물

Fig. 9. Clustering result.

- (a) Upper structure, (b) Lower structure.

## 2. 클러스터 단위의 대화형 모델링

목표 구조물을 모델링하기 위해서는 클러스터 단위로 우선순위를 적용하여 TIN을 생성하여야 한다. 표 2는 클러스터별 데이터 개수와 우선순위를 정리한 표이다.

잡음의 영향을 가능한 한 배제시키기 위해 우선순위가 높은 클러스터의 순서대로 추가하면서 TIN을 생성해나간다. 그림 10에 이 과정을 나타내었다. 그림 10 (a)는 1, 4, 5, 6, 7번의 다섯 개 클러스터를 선택하여 생성된 TIN을 xz 평면에서 표현하였으며, (b)는 (a)의 결과에 3번 클러스터를 추가한 TIN을 그리고 (c)는 (b)의

표 2. 클러스터별 데이터 개수와 우선순위

Table 2. Number of data per cluster and priority order.

Cluster	점군데이터 개수	우선순위
1	4,934	2
2	160	7
3	179	6
4	5,574	1
5	1,649	3
6	441	5
7	512	4

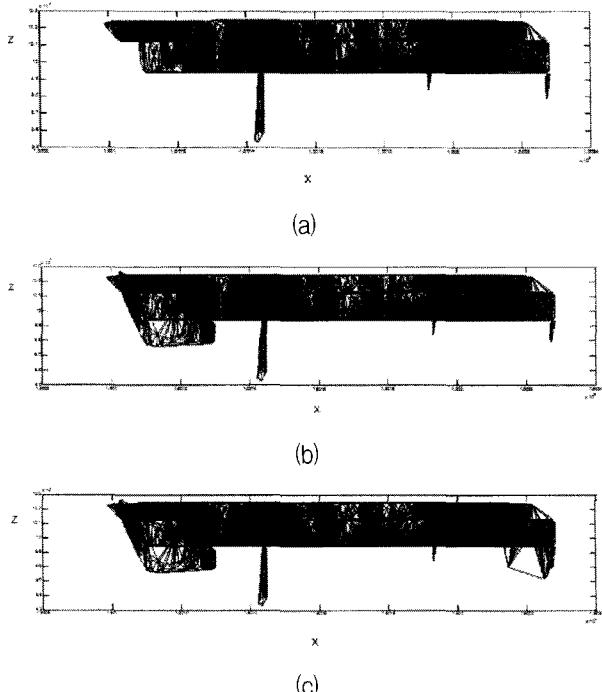


그림 10. 클러스터 단위 TIN 생성 결과

(a) 1,4,5,6,7 클러스터 사용, (b) (a)+3 클러스터 사용, (c) (b)+2 클러스터 사용

Fig. 10. The results of cluster-based TIN generation.  
(a) using 1,4,5,6,7 clusters, (b) using (a)+3 cluster, (c) using (b)+2 cluster.

결과에 2번 클러스터까지 추가한 결과를 표현하였다. 그럼에서 보듯이 (a)에서 나타난 구조물의 형태가 (b)에서 새로운 3번 클러스터를 추가하면서 왜곡된 모습을 확인할 수 있다. 즉 이 클러스터부터 잡음에 해당한다고 간주할 수 있다.

클러스터링된 데이터를 xz, xy, yz 평면에서 TIN을 생성하고 이를 종합하여 최종적인 3차원 TIN 생성 결과를 그림 11에 나타내었다. 여기서 2번 및 3번 클러스터는 잡음으로 판단하여 제외하였으며 나머지 1, 4, 5, 6, 7번 클러스터 데이터를 사용하였다. 최종 결과로부터 그림 7의 목표 구조물인 다리가 성공적으로 모델링됨을 확인할 수 있다.

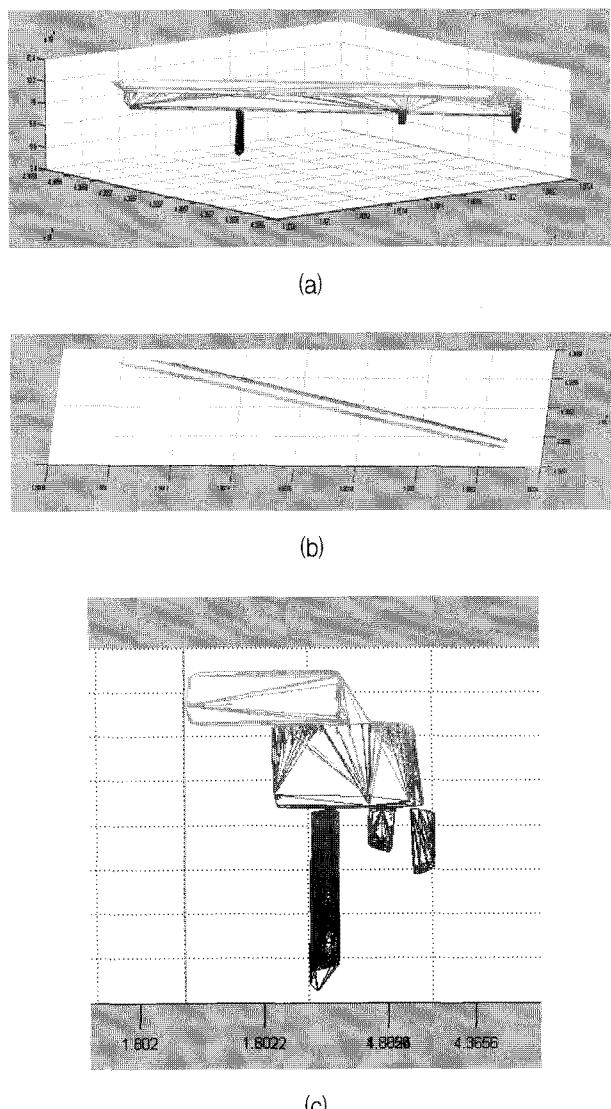


그림 11. 최종 3차원 TIN 생성 결과

(a) x,y,z 공간 (b) xz 평면, (c) yz 평면

Fig. 11. Final result of 3-D TIN generation.  
(a) x,y,z space, (b) x,z plane, (c) y,z plane.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 지상 라이다로 획득한 3차원 점군데이터의 구조물 모델링 기법을 제시하였다. 기존의 구조물 모델링 기법은 주로 항공 라이다 데이터 위주로 연구가 진행되었기 때문에 지상라이다 데이터에 적용하는데 적합하지 않았다.

본 논문에서 제안한 지상라이다 데이터의 3차원 모델링 방법은 잡음에 의한 영향을 최소화하기 위해 필드데이터를 여러 개의 클러스터로 구분하고 구조물에 해당하는 클러스터를 차례로 추가해 나가면서 모델링을 진행하였다. 데이터 클러스터 과정 중에 x, y, z 방향에 대해서 데이터 분포를 살펴보고 데이터가 가장 좁게 분포한 축을 우선적으로 선택하여 분석하였다. 이 때, 클러스터링을 위한 임계값을 결정하기 위해 지상라이다 데이터 기반 구조물 추출기법<sup>[7]</sup>을 사용하였다. 클러스터링된 데이터는 우선순위에 따라서 Delaunay triangulation 기법을 차례대로 적용하였다.

제안한 방법은 클러스터 단위로 모델링을 진행하므로 잡음에 의한 영향을 최소화하였고, 최종 모델링 과정에서만 사용자가 원하는 만큼의 클러스터를 선택함으로써 모델링의 수준을 대화식으로 조정할 수 있다는 장점이 있다.

추후 복잡한 구조물에 대한 구조물 윤곽선 획득 및 알고리듬 속도 개선에 관한 연구, 3D 호프 변환과 RANSAC 알고리듬을 이용한 점군데이터 처리 알고리듬<sup>[11]</sup>에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

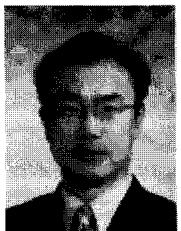
#### 참 고 문 헌

- [1] 조홍범, 조우석, “항공 LIDAR 데이터를 이용한 3 차원 건물모델링,” 대한원격탐사학회지, 제24권, 제2호, pp. 141-152, 2008년 4월.
- [2] 사석재, 이임평, “지상라이다와 디지털지상사진측량을 융합한 건축물의 3차원 정밀모델링,” 한국지적학회 추계학술대회논문집, pp. 61-68, 2004년 12월.
- [3] 이홍민, 박효선, “지상 LIDAR를 이용한 구조물의 안전성 및 사용성 모니터링을 위한 변위 및 변형 형상 계측 모델 제안,” 대한건축학회논문집, 제23권, 제1호, pp. 3-10, 2007년 1월.
- [4] Bartels, M. and Wei, H. “Segmentation of LIDAR data using measures of distribution,” International Archives of Photogrammetry,
- Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVI, Part 7, pp. 426-431, 2006.
- [5] Marc Bartels, Hong Wei and David C. Mason, “DTM generation from LIDAR data using skewness balancing,” International Conference on Pattern Recognition, pp. 566-569, Hong Kong, August 2006.
- [6] McIntosh K. and Krupnik A., “Integration of laser-derived DSMs and matched image edges for generating an accurate surface model,” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 56, No. 3, pp. 167-176, 2002.
- [7] 김남운, 노이주, “색상 정보와 호프변환을 이용한 3차원 점군데이터 구조물 추출 기법 연구,” 전자공학회논문지, 제49권 SP편, 제6호, 143-151쪽, 2009년 5월.
- [8] N. A. Golias and R. W. Dutton, “Delaunay triangulation and 3D adaptive mesh generation,” Finite Elements in Analysis Design, Vol. 25, issues 3-4, pp. 331-341, April 1997.
- [9] 조승현, 조명우, 김재도, “Delaunay 삼각형분할법을 이용한 3차원복합형상의 역공학,” 한국정밀공학회지, 제17권, 제7호, pp. 181-188, 2000년 7월.
- [10] B. Delaunay, “Sur la sphère vide,” Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk 7, pp. 793-800, 1934.
- [11] F. Tarsha-Kurdi, T. Landes and P. Grussenmeyer, “Hough-transform and extended RANSAC algorithms for automatic detection of 3D building roof planes from LIDAR data,” ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, pp. 407-412, Espoo, Finland, May 2008.

저 자 소 개



이 경 근(학생회원)  
2009년 2월 국민대학교  
전자공학과 학사 졸업  
2009년 3월~현재 국민대학교  
전자공학과 석사 과정  
<주관심분야 : 디지털통신, 디지털  
신호처리>



정 경 훈(정회원)  
국민대학교 전자공학부 교수  
대한전자공학회 논문지  
제 44권 TC편 제7호 참조



김 기 두(평생회원)  
국민대학교 전자공학부 교수  
대한전자공학회 논문지  
제 44권 TC편 제7호 참조