

MMS LiDAR 자료를 이용한 도로 주변 3차원 객체 추출*

정윤재¹*

Extraction of 3D Objects Around Roads Using MMS LiDAR Data*

Yun-Jae CHOUNG¹*

요 약

모바일 매핑 시스템(Mobile Mapping System: MMS) 센서를 이용한 3차원 정밀지도의 구축은 자율주행 자동차 개발에 필요한 기술이다. 본 논문은 MMS LiDAR(Light Detection And Ranging) 센서를 이용하여 획득한 점군자료를 이용하여 도로주변의 3차원 객체 추출에 관한 연구를 수행하였다. 우선, MMS LiDAR 점군자료 이용하여 수치표면모형(DSM: Digital Surface Model)을 제작하고, 생성된 DSM을 기반으로 경사도 지도를 제작하였다. 추출된 경사도 정보를 이용하여 도로주변의 3차원 객체를 식별하였고, 모폴로지 필터링 기법을 이용하여 도로주변의 3차원 객체 중 총 97%의 객체를 추출하였다. 본 연구는 MMS 센서를 이용하여 획득한 공간정보자료를 기반으로 도로 주변의 3차원 객체를 추출함으로써 최근 주목받고 있는 자율주행기술의 활용성에 관한 방안을 제시하였다는데 의의가 있다.

주요어 : 모바일 매핑 시스템 LiDAR, 3차원 객체, 수치표면모형, 경사도 지도, 모폴로지 필터링

ABSTRACT

Making precise 3D maps using Mobile Mapping System (MMS) sensors are essential for the development of self-driving cars. This paper conducts research on the extraction of 3D objects around the roads using the point cloud acquired by the MMS Light Detection and Ranging (LiDAR) sensor through the following steps. First, the digital surface model (DSM) is generated using MMS LiDAR data, and then the slope map is generated from the DSM. Next, the 3D objects around the roads are identified using the slope information. Finally, 97% of the 3D objects around the roads are extracted using the morphological filtering technique. This research contributes a plan for the application of automated

2017년 3월 13일 접수 Received on March 13, 2017 / 2017년 3월 23일 수정 Revised on March 23, 2017 / 2017년 3월 26일 심사완료 Accepted on March 26, 2017

* 본 연구는 미래창조과학부/한국연구재단 우주핵심기술개발사업의 연구비지원(NRF-2014M1A3A3A03067386)에 의해 수행되었음.

1 (주) 지오씨엔아이 공간정보기술연구소 Research Institute for Spatial Information Technology, GEO C&I Co., Ltd.

* Corresponding Author E-mail : choung12osu@gmail.com

driving technology by extracting the 3D objects around the roads using spatial information data acquired by the MMS sensor.

KEYWORDS : MMS LiDAR, 3D Objects, Digital Surface Model, Slope Map, Morphological Filtering

서 론

연구배경 및 목적

자율주행기술은 출발지부터 목적지까지의 경로를 주행하는 상황에서 부분 자동화 또는 완전 자율주행이 가능한 시스템을 의미하며, 이러한 자율주행기술이 탑재된 차량을 일반적으로 자율주행차로 정의한다(HMG Journal, 2017). 자율주행기술은 크게 인식, 판단 및 제어 분야의 기술로 구성되며, 다양한 센서(카메라, 레이저, 초음파 등)를 통해 상황을 인식하고, 제어시스템을 통해 상황에 대한 정보를 판단한 후, 가속, 제동 등을 통해 차량을 적절하게 제어함으로써 이루어지는 시스템이다(HMG Journal, 2017).

모바일 매핑 시스템(MMS: Mobile Mapping System)은 차량, 항공기 등 이동체에 관측시스템을 탑재하여 교통시설물, 지형지물 등 다양한 3차원 공간정보를 취득하는 이동형 관측시스템으로서 자율주행차의 핵심기술인 고정밀지도 제작에 주로 활용된다(Woo *et al.*, 2011; Hyudai MnSOFT, 2017). 일반적으로 MMS는 다양한 센서를 이용하여 지형지물의 위치, 속성정보 및 영상자료를 동시에 취득하므로, MMS 센서를 이용하여 취득한 공간정보자료는 도로 및 교통시설물 등 높은 정밀도가 요구되는 지형지물의 정보수집에 유용하게 활용될 수 있다(Kim and Sung, 2008; Woo *et al.*, 2011).

최근 MMS 센서를 이용한 고정밀지도 제작 기술은 다양한 도로 시설물 측량 및 관리, 토공량 산출 및 재난 모니터링 등 다양한 분야에 활용되고 있다. Kim and Sung(2008)은 다양한 도로시설물의 유지관리를 위한 MMS의 활용 방안에 관한 연구를 수행하였다. Kim(2012)은 MMS LiDAR 센서를 이용하여 토공량 산출에 관한 연구를 수행하였고, Ishikawa *et al.* (2013)

은 MMS LiDAR 자료를 기반으로 3차원 객체 인식에 관한 연구를 수행하였으며, Jwa *et al.* (2015)는 MMS LiDAR 센서를 이용하여 철도 선로 추출에 관한 연구를 수행하였다. 최근 Pastucha(2016)은 MMS LiDAR 자료를 이용하여 케이블 선 추출에 관한 연구를 수행하였다. 기존 연구에서는 MMS LiDAR 자료를 이용하여 철도 선로, 케이블 선 등 선형 형태의 객체 추출에 관한 연구는 활발히 수행되었으나, 가로등, 가로수, 도로표지판 등 도로주변에 위치한 수직 형태를 가진 다양한 객체 추출에 관한 연구는 상대적으로 수행되지 않았다.

본 논문에서는 MMS 센서를 이용하여 취득한 LiDAR 자료를 이용하여 수직 형태를 가진 도로주변의 다양한 3차원 객체 추출에 관한 연구를 다음과 같이 수행하였다. 우선 MMS LiDAR 센서를 이용하여 획득한 점군자료를 이용하여 3차원 수치표면모형(DSM: Digital Surface Model)을 제작하였다. 그리고 생성된 DSM을 기반으로 경사도 지도(Slope map)를 제작하였고, 경사도 지도에서 추출한 경사도 정보(Slope information)를 이용하여 도로주변의 3차원 객체를 식별하였다. 최종적으로 모폴로지 필터링 기법을 이용하여 도로주변의 3차원 객체를 추출하였다.

연구방법

MMS LiDAR 자료를 이용하여 도로주변의 3차원 객체를 추출하는 과정은 그림 1에서 확인할 수 있다.

1. 연구대상 지역의 선정 및 연구자료 확보

본 연구에서는 대구광역시 달성군 테크노폴리스로 일부구간(길이:800m)을 주행하면서 획득한 MMS LiDAR 자료를 이용하였다(그림 2). 그림 2에서 보는 바와 같이, 연구대상 지역으로 선정

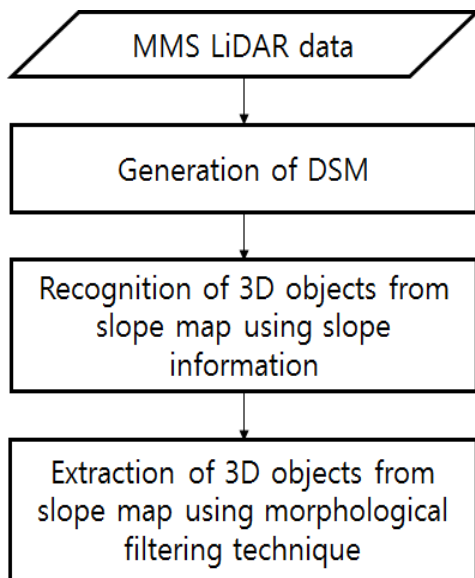


FIGURE 1. Flow chart showing the procedure for extracting 3D objects around roads using the MMS LiDAR data

된 테크노폴리스로 주변에는 가로등(그림 2의 빨간 상자 안에 위치) 및 가로수(그림 2의 파란 상자 안에 위치) 등 다양한 3차원 객체들이 위치하고 있다. 본 논문에서 사용한 MMS LiDAR 자료의 재원은 표 1에서 확인할 수 있다.

2. MMS LiDAR 점군자료를 이용한 DSM 제작

본 연구에서는 MMS LiDAR 점군자료를 기반으로 균일한 크기의 픽셀로 구성된 3차원 지형모델을 제작하기 위해서 공간보간법을 이용하여 수치표면모형(DSM)을 제작하였다. 공간보간법은 기존에 관측된 특정 지점의 속성값을 이용하여 관측되지 않은 지점의 속성값을 찾아내는 방법을 의미하며 계산 방식에 따라 선형보간법, IDW(Inverse Distance Weight) 보간법, Spline 보간법, Kriging 보간법 등이 있다(Lee *et al.*, 2004; Lee, 2010; Chung, 2015). 그림 2에서 보는 바와 같이, 연구대상 지역의 가로등, 가로수 등 3차원 객체는 복잡한 도심지역이 아닌 도로주변에 위치한 수직 형태의 선형 객체를 의미하며 이러한 수직 형태 객체들은 지표면으로부터 경사가 가파르고 표면이 직선 형태를 가지고 있다는 특징이 있다.

Chung(2014)은 지표면으로부터 경사가 가파른 선형 객체를 LiDAR 점군자료로부터 추출하기 위해 직선 보간 방식 기반의 선형 보간법을 이용하였다. 본 연구에서도 편평한 도로지역에서 경사가 가파른 선형 객체를 추출하기 위해 선형보간법을 이용하여 MMS LiDAR 자료를 기반으로 DSM을 제작하였다. 표 1에서 보는 바와 같이, 주어진 MMS LiDAR 자료의 점밀도는 7cm이므로, 생성된 DSM을 구성하는 픽셀이 최소 하나 이상의 LiDAR 점군자료를 포함할 수 있도록

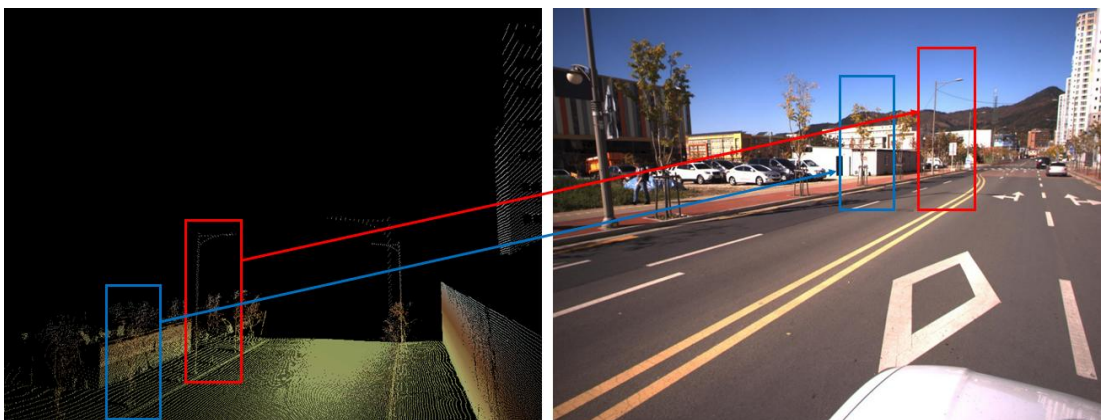


FIGURE 2. MMS LiDAR data showing 3D objects around roads

TABLE 1. Specifications of MMS LiDAR data used in this research

MMS model	Number of acquisition points	Accuracy
MMS-X 320	27100 points/sec	6 cm (RMSE: Root Mean Square Error)
Average point density	Acquisition date	Geodetic reference
7 cm	2016.11.15	WGS 84 UTM 52N

(Source:Mitsubishi Electric, 2017)

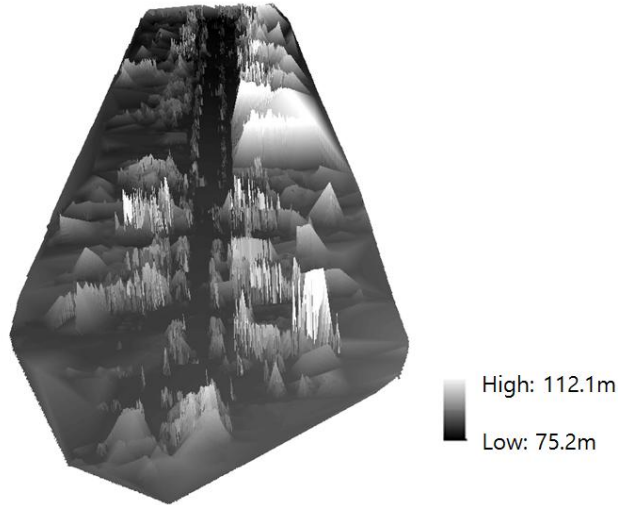


FIGURE 3. DSM generated from the MMS LiDAR data by using the linear interpolation method

DSM 의 공간 해상도를 10cm으로 설정하였다. 그림 3은 선형 보간법을 이용하여 MMS LiDAR 점군자료를 기반으로 제작된 DSM을 보여준다.

3. 경사도 정보를 이용한 3차원 객체 식별

본 연구에서는 MMS LiDAR 자료를 이용하여 제작한 DSM을 기반으로 도로 주변의 3차원 객체를 식별하기 위해 DSM에서 추출한 경사도 정보를 이용하였다. 우선, ArcMap 10.1 소프트웨어의 Spatial Analyst 기능을 이용하여 DSM을 기반으로 경사도 지도를 제작하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 경사도 지도에서 도로 주변의 다양한 객체 중 가로등(Streetlight) 또는 도로 표지판 등은 도로를 기준으로 가로형태의 선형 객체로 표현되고, 가로수(Streettree)는 불균일한 원형 객체로 표현된다.

경사도 지도를 구성하는 픽셀은 해당 지역의

경사도를 의미하며, 픽셀의 속성값이 높을수록 해당 지역은 가파른 경사도를 가지고 있고 픽셀의 속성값이 낮을수록 해당지역은 완만한 경사도를 가지고 있다(ArcGIS for Desktop, 2017). 그림 4에서 보는 바와 같이, 일반적으로 가로등 및 가로수와 같은 도로 주변에 위치한 3차원 객체는 지표면에 우뚝 서 있는 수직 형태의 객체이므로 경사도 지도에서 도로 주변의 3차원 객체를 구성하고 있는 픽셀은 최대 속성값인 90에 가까우나, 가로수 수관 등으로 인해 3차원 객체의 일부 지역에 위치한 픽셀은 속성값이 90보다 작다. 그러므로 본 연구에서는 식 (1)을 이용하여 경사도 지도에서 도로 주변 3차원 객체를 구성하는 픽셀을 추출하기 위한 임계값을 설정하였다.

$$TD \geq 90 - E \quad (1)$$

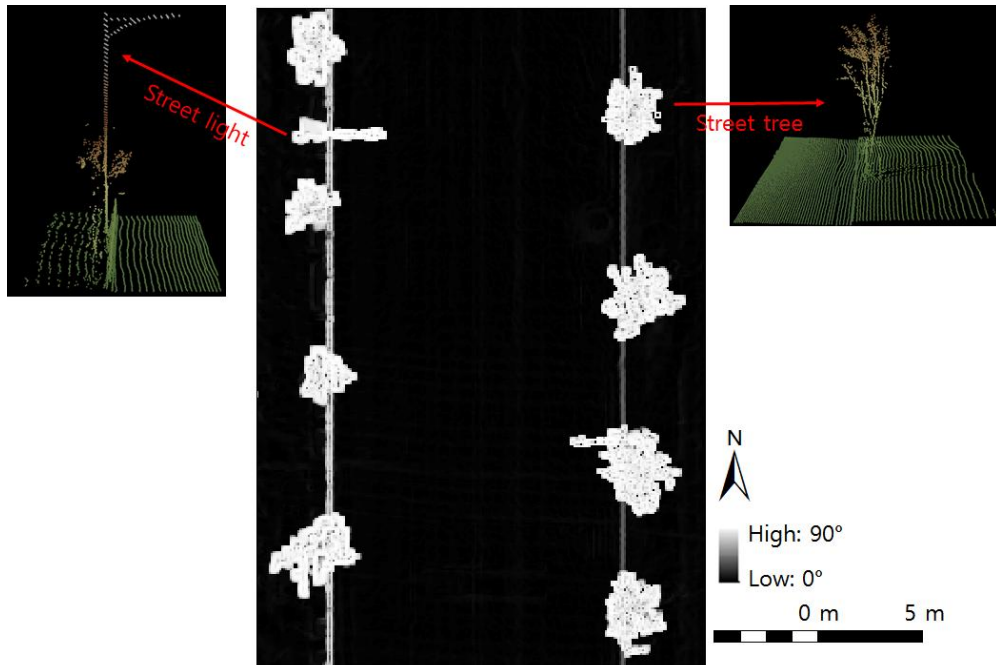


FIGURE 4. One section of the slope map

식(1)에서 TD는 도로주변 3차원 객체의 경사도 임계값을 의미하고, E는 가로수 수관 등으로 인해 3차원 객체의 내부의 편평한 지역에 위치한 픽셀의 속성값을 의미한다. Choung (2015)은 경사도 지도에서 편평한 지역에 위치한 픽셀의 임계값으로 10을 설정하였으며, 이를 기반으로 본 연구에서도 E는 10으로 설정하였다. 식 (1)에 의해 경사도 지도에서 도로주변 3차원 객체를 추출하기 위한 경사도 임계값으로 80이 설정되었고, 이를 기반으로 객체와 지표면을 구분할 수 있는 이진화 영상(Binary image)을 제작하였다. 그리고 제작된 이진화 영상에서 속성값이 80 이상인 픽셀들을 3차원 객체로 식별하였다(그림 5).

그림 5에서 보는 바와 같이, 가로등 및 가로수 등 높이가 상대적으로 높은 수직형태의 3차원 객체는 이진화 영상에서 객체(Objects)로 인식되나, 차도 경계선 및 도로의 길 어깨 등 높이가 상대적으로 높지 않은 객체는 이진화 영상에서 지표면(Grounds)으로 인식되었다.

4. 모폴로지 필터링을 이용한 3차원 객체 추출

그림 5의 이진화 영상에서 식별한 가로수 등 3차원 객체 표면의 불균일성으로 인해 객체를 구성하는 일부 픽셀의 속성값이 80이하인 경우가 발생하고, 이는 완전한 형태의 객체를 추출하는데 장애가 된다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 최대한 제거하기 위해 모폴로지 필터링(Morphological filtering) 기법을 이용하여 이진화 영상에서 식별한 3차원 객체의 형태는 최대한 유지하면서 객체 내부의 에러 픽셀들을 제거하였다. 모폴로지 필터링은 영상에서 특정 객체의 표현 및 묘사를 위해 필요한 경계선 및 골격 등 영상 성분을 추출하는 기법으로서, 입력영상과 구조 요소간의 합집합 또는 교집합 연산에 의해서 정의된다(Gonzalez *et al.*, 2012). 다양한 모폴로지 필터링 기법들 중에서, 팽창(dilation) 연산은 영상의 객체를 구조 요소를 이용하여 키우고 두껍게 하는 연산이며, 침식(erosion) 연산은 영상의 객체를 구조 요소를 이용하여 줄이거나 가늘게 하는 연산이다 (Gonzalez *et al.*, 2012). 본

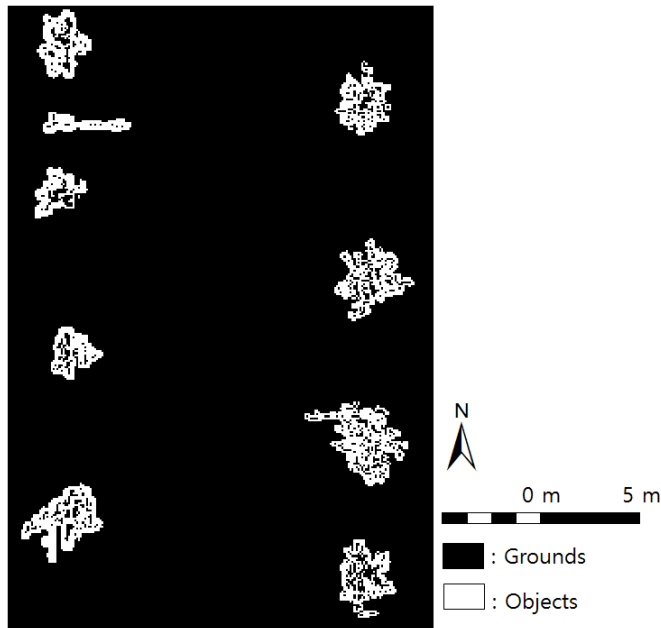


FIGURE 5. One section of the binary image

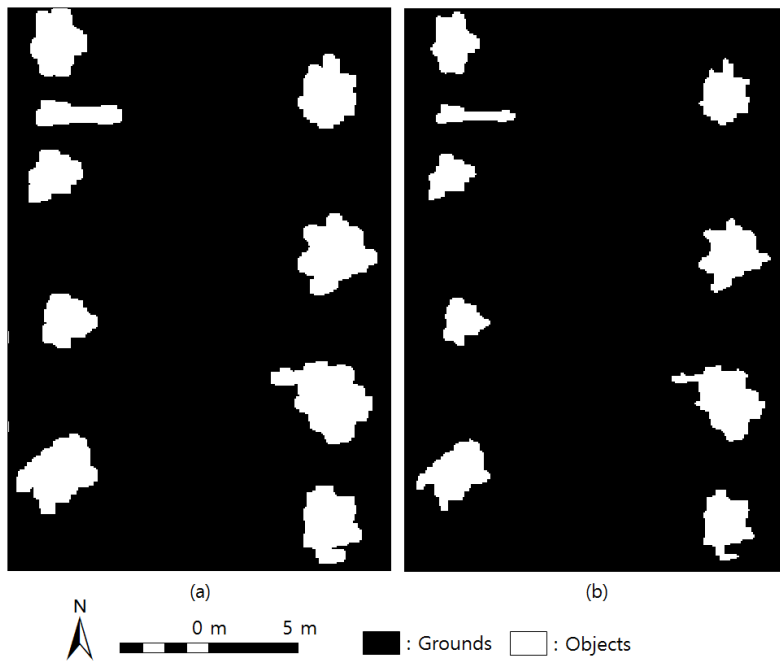


FIGURE 6. One section of the dilated image (a) and the eroded image(b)

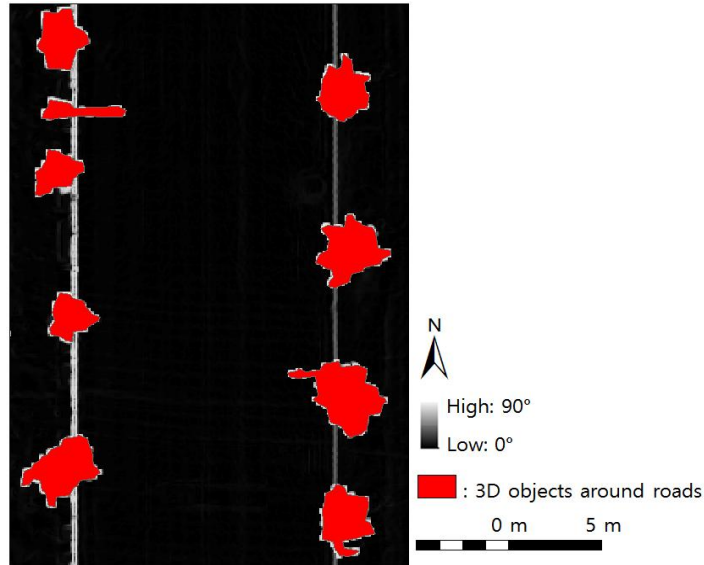


FIGURE 7. 3D objects around the roads finally extracted from the slope map

연구에서는 그림 5의 이진화 영상에서 식별한 도로주변의 3차원 객체의 경계를 유지하고 객체 내부에 존재하는 에리 픽셀들을 제거하기 위해 우선 이진화 영상에 팽창 연산을 적용하여 객체 내부의 에리 픽셀들을 없애는 동시에 외곽을 확장시키고(그림 6(a)), 그 후 침식 연산을 적용하여 확장된 객체의 부피를 축소시켜서 객체의 원 형태를 보존하였다(그림 6(b)).

모폴로지 필터링을 적용하여 객체의 형태를 유지시키고 내부의 에리 픽셀들을 제거한 후, 최종적으로 도로 주변의 3차원 객체를 선택하였다. 본 연구에서는 도로 주변의 3차원 객체를 도로표지판, 가로등 및 가로수로 정의하였으며, 추후 연구에서 건물 등 더욱 다양한 객체들을 추출할 필요가 있다. 이진화 영상으로부터 추출된 도로주변의 3차원 객체는 그림 7에서 확인할 수 있다.

결과 및 고찰

본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 도출한 결과는 표 2에서 확인할 수 있다.

표 2에서 보는 바와 같이, 연구대상지역으로 선정된 대구광역시 달성군 테크노폴리스로 800 m 구간의 주변은 총 125개의 3차원 객체(가로수, 교통 표지판 및 가로등)가 존재한다. 본 연구에서 제시한 방법을 적용한 결과 121개의 객체가 추출되어, 총 97%의 객체가 추출되었다. 추출되지 않은 객체의 예시는 아래와 같다.

이진화 영상에 모폴로지 필터링의 팽창 및 침식 연산을 적용할 경우, 도로주변의 3차원 객체들 중에서 근접한 두 객체들은 한 객체로 표현되는 경우가 발생한다. 이는 팽창 연산을 적용하여 근접한 두 객체의 외곽이 확대되어 하

TABLE 2. Statistical results of the 3D objects around the roads finally extracted using the MMS LiDAR data

Number of 3D objects around roads	Number of 3D objects extracted using MMS LiDAR data	Extraction ratio of 3D objects
125	121	97%

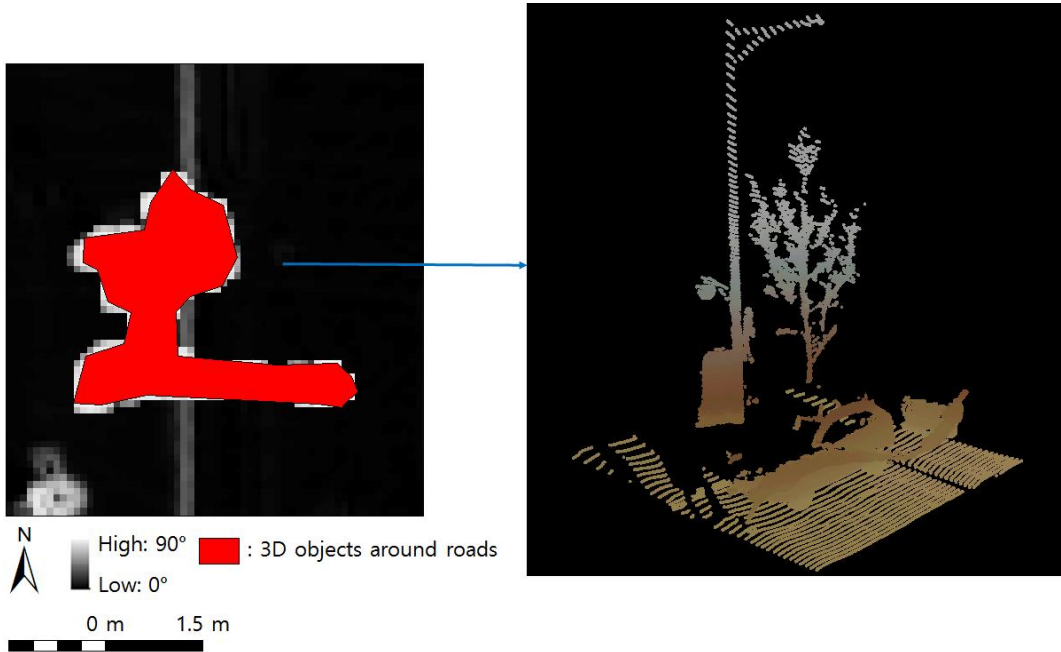


FIGURE 8. Example of the errors for extracting the 3D objects around the roads by the morphological filtering

나의 객체로 합쳐져서 발생하는 형상으로서, 본 연구에서는 이와 같은 에러가 총 4차례 발생하였다. 모폴로지 필터링을 적용하여 발생한 에러로 인해 두 객체가 한 객체로 표현된 예시는 그림 8에서 확인할 수 있다.

결론

MMS에 탑재된 센서를 이용하여 취득한 공간정보자료는 항공 LiDAR, 항공사진, 위성영상 등 기존의 공간정보자료에 비해서 정밀도가 월등히 높다는 특징으로 인해 고정밀지도가 필요한 자율주행차 뿐만 아니라 최근에는 도로 시설물 관리 및 데이터베이스 구축, 토공량 계산 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 본 연구에서는 MMS LiDAR 점군자료를 이용하여 도로주변에 위치한 수직 형태의 3차원 객체(가로등, 가로수 및 교통 표지판) 추출에 관한 연구를 진행하였다. 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 MMS LiDAR 자료를 기반으로 도로주변의 3차원 객


체를 추출한 결과, 연구대상 지역 도로 주변에 위치한 125개의 3차원 객체 중 121개의 객체가 추출되어 총 97%의 객체가 추출되었다.

본 연구는 MMS LiDAR 점군자료를 이용하여 도로 주변의 3차원 객체를 추출할 수 있는 자동화 기술을 개발하였다는데 의의가 있으나, 아래와 같은 다양한 한계점이 존재하며 이를 보완하기 위한 추후 연구 또한 필요하다.

첫째, 본 연구에서는 MMS LiDAR 센서만을 이용하여 취득한 자료를 이용하여 도로주변의 3차원 객체를 추출하였다. 일반적으로 LiDAR 점군 자료는 지표면의 3차원 정보를 획득할 수 있다는 장점이 있으나 점군자료의 특성으로 인해 영상에 존재하는 객체의 정밀한 형태를 묘사하는데 한계가 있다(Choung, 2014). 따라서 추후 연구에서는 MMS 영상자료를 융합하여 객체의 형태 및 외곽선을 더욱 정밀하게 묘사할 필요가 있다.

둘째, 그림 4에서 보는 바와 같이, 도로주변에는 가로등, 가로수 및 교통 표지판 등 다양한 형

태의 3차원 객체가 존재하며, 각 개체의 높이 및 형태 또한 서로 구별된다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법을 통해서도 서로 다른 높이 및 형태의 객체를 구분하는데 한계가 있다. 그러므로 추후 연구에서는 객체의 크기 및 높이 등 다양한 인자들을 파라미터로 설정하여 다양한 형태의 객체를 추출하는 기술을 개발할 필요가 있다.

셋째, MMS 자료는 차량, 드론 등에 탑재된 카메라, LiDAR 센서를 이용하여 높은 정밀도와 정확도를 가진 공간정보자료를 실시간으로 제공한다. 이는 장점으로 인해 산림, 해양, 하천지역 등 현장답사가 힘든 지역의 공간정보자료를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 그러므로 추후 연구에서는 해양지역 등에 위치한 다양한 3차원 객체를 추출하는 연구를 수행할 필요가 있다. 

REFERENCES

- ArcGIS for Desktop. 2017. How slope works. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>(Accessed March 21, 2017).
- Choung, Y.J. 2014. Mapping levees using lidar data and multispectral orthoimages in the Nakdong River Basins, South Korea. *Remote Sensing* 6(9):8696–8717.
- Choung, Y.J. 2015. A study on extraction of croplands located nearby coastal areas using high-resolution satellite imagery and lidar data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(1):170–181 (정윤재. 고해상도 위성영상과 LiDAR 자료를 활용한 해안지역에 인접한 농경지 추출에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 18(1):170–181).
- Gonzalez, R.C., R.E. Woods, and S.L. Eddins. 2012. *Digital image processing using matlab*. 2nd Edition, Columbus, OH, McGraw-Hill Higher Education. p.827.
- HMG Journal. 2017. Development of the automated driving technology. <http://www.hmgjournal.com/MediaCenter/News/Press-Releases/hyundaikia-motor-skill-160105.blg> (Accessed March 21, 2017).
- Hyundai MnSOFT. 2017. Precise road map. <http://blog.hyundai-mnsoft.com/841> (Accessed March 21, 2017).
- Ishikawa, K., F. Tonomura, Y. Amano, and T. Hashizume. 2013. Recognition of road objects from 3d mobile mapping data. *International Journal of CAD/CAM* 13(2): 41–48.
- Jwa, Y.S., G.H. Sohn, J.U. Won, W.C. Lee, and N.H. Song. 2015. Railway track extraction from mobile laser scanning data. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 33(2):111–122 (최원석, 손건호, 원종운, 이원춘, 송낙현. 2015. 모바일 레이저 스캐닝 데이터로부터 철도 선로 추출에 관한 연구. *한국측량학회지* 33(2):111–122).
- Kim, I.S. 2012. Evaluation for applying low-cost mobile laser system to earth volume calculation at construction site. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 30(6):539–547 (김인섭, 건설현장에서의 토공량산출을 위한 저가형 모바일 레이저시스템의 적용성 평가. *한국측량학회지* 30(6):539–547).
- Kim, M.G. and J.G. Sung. 2008. Application of mobile mapping system for effective road facility maintenance and management. *Korean Journal of Remote Sensing* 24(2):153–164 (김문기, 성정곤. 2008. 효율적인 도로 시설물 유지관리를 위한 모바일 매핑 시스템 활용에 관한 연구. *대한원격탐사*

- 학회지 24(2):153-164).
- Lee, H.S. 2010. Comparison and evaluation of root mean square for parameter settings of spatial interpolation method. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(3):29-41 (이형석. 2010. 공간보간법의 매개변수 설정에 따른 평균제곱근 비교 및 평가. *한국지리정보학회지* 13(3):29-41).
- Lee, G.S., D.K. Koh, and W.G. Kim. 2004. Efficient construction of topographic data for flood mapping using digital map. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 7(1):52-61 (이근상, 고덕구, 김우구. 2004. 수치지형도를 활용한 홍수지도 제작용 지형자료의 효과적인 구축방법 연구. *한국지리정보학회지* 7(1):52-61).
- Mitsubishi Electric. 2017. Mobile mapping system—High accuracy GPS mobile measuring equipment. <http://www.mitsubishielectric.com/bu/mms/lineup/index.html> (Accessed March 21, 2017).
- Pastucha, E. 2016. Catenary system detection, localization and classification using mobile scanning data. *Remote Sensing* 8(10):1-22.
- Woo, H.S., K.S. Song, K.S. Kwon, B.G. Kim, and T.J. Hwang. 2011. Study on light-weight mobile mapping systems using high speed camera & MEMS IMU/GPS. *Journal of Korea Spatial Information Society* 19(4):73-79 (우희숙, 송기성, 권광석, 김병국, 황택진. 2011. 고속카메라와 MEMS IMU/GPS를 이용한 모바일매핑시스템 경량화 방안 연구. *한국공간정보학회지* 19(4):73-79). **KAGIS**