

정밀도로지도 제작을 위한 이동식차량측량시스템(MMS) 점군 위치정확도 성능평가 시설 구축

Establishment of Point Cloud Location Accuracy Evaluation Facility for Car-mounted Mobile Mapping System for Mapping of High Definition Road Maps

오윤석¹⁾ · 권영삼²⁾ · 박일석³⁾ · 홍승환⁴⁾ · 이하준⁵⁾ · 이태경⁶⁾ · 장수영⁷⁾

Oh, Yoon Seuk · Kwon, Young Sam · Park, Il Suk · Hong, Seung Hwan · Lee, Ha Jun
· Lee, Tae Kyeong · Chang, Soo Young

Abstract

Car-mounted MMS (Mobile Mapping System) is the most effective tool for mapping of high definition road maps(HD Map). The MMS is composed of various sensor combinations, and the manufacturing methods and processing software are different for each manufacturer, performance cannot be predicted only by the specifications of the parts. Therefore, it is necessary to judge whether each equipment is suitable for mapping through performance evaluation, and facilities for periodic performance evaluation. In this paper, we explained the MMS performance evaluation facilities built at the SOC Evaluation Research Center of Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology and analyzed the conditions that the evaluation facilities should have through a literature survey and field tests.

Keywords : Mobile Mapping System, Accuracy Evaluation, High Definition Road Maps, Proving Ground, LiDAR

초 록

이동식차량측량시스템(이하 MMS)은 정밀도로지도 제작하는데 가장 효과적인 도구이다. MMS는 다양한 센서의 조합으로 이루어져 있으며, 제조사별로 제작방법과 처리 소프트웨어가 다르기 때문에 부품의 사양만으로 성능을 예측할 수 없다. 따라서 성능평가를 통해 각 장비가 정밀도로지도 제작에 적합한지 판단을 해야 하며, 주기적인 성능평가를 위한 시설이 필요하다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원의 SOC실증연구센터에 구축한 MMS 성능평가시설에 대해 설명하고, 문헌조사와 실험을 통해 평가시설이 갖추어야 할 조건에 대해 분석하였다.

핵심어 : 이동식차량측량시스템, 성능평가, 정밀도로지도, 평가시설, 라이다

Received 2020. 07. 29, Revised 2020. 08. 13, Accepted 2020. 08. 25

- 1) Corresponding Author, Member, Research Fellow, Department of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (E-mail: ysoh@kict.re.kr)
- 2) Research Specialist, Smart Construction Promotion Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (E-mail: youngsam@kict.re.kr)
- 3) Member, CEO, Stryx Inc. (E-mail: ceo@stryx.co.kr)
- 4) Member, CTO, Stryx Inc. (E-mail: cto@stryx.co.kr)
- 5) Member, Director, Geographic Information Division, National Geographic Information Institute (E-mail: leebug0130@korea.kr)
- 6) Assistant Deputy Director, Geographic Information Division, National Geographic Information Institute (E-mail: leetk9849@korea.kr)
- 7) Assistant Deputy Director, Geographic Information Division, National Geographic Information Institute (E-mail: su02gi@korea.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

정보통신기술의 발달과 더불어 자동차는 기계에서 전자기기로 변화하고 있으며, 교통안전, 교통 운영의 효율성 증대 등을 목적으로 미래 자동차 시장을 선점하기 위해 전 세계적으로 자율주행자동차 개발을 경쟁적으로 하고 있다(Samjong KPMG ERI Inc., 2020). 이미 미국 도로교통안전국(NHTSA)기준 Level 2에 해당하는 주행 경로조정과 지능형 크루즈 컨트롤이 결합한 차는 이제 도로에서 흔히 볼 수 있으며, 우리나라에서는 올해 2027년까지 1조 974억 원 규모의 완전 자율주행이 가능한 Level 4 수준의 자율주행자동차 및 관련 기술개발을 목표로 하는 '자율주행 기술개발 혁신사업'이 R&D 예비타당성조사를 통과하여 본격적으로 추진할 예정이다(etnews, 2020). 초기 자율주행자동차의 경우 차량 내부 센서(카메라, 레이더, LiDAR 등)만으로 자율주행이 가능할 것으로 판단하였지만 현재는 V2X 기술을 이용한 도로시설물과의 사물통신, 정밀도로지도 이용 등 보조수단의 필요성을 인식하였으며, 2015년부터 국토지리정보원에서는 정밀도로지도를 구축하고 있다(Won et al., 2019).

정밀도로지도 구축을 위한 여러 가지 방법이 있지만, 이동식 차량측량시스템(MMS: Mobile Mapping System)을 이용한 정밀도로지도 구축 방법이 가장 일반적이고 효율적인 방법으로 알려져 있다(Woo et al., 2011; Hyundai MnSOFT, 2017).

MMS는 다양한 계측 센서의 결합으로 이루어지며, 차량 등 이동체에 탑재되어 3차원 점군데이터와 사진측량이 가능한 영상 촬영이 가능하다. 그러나 MMS는 전통적인 측량장비와는 달리 센서의 종류가 다양하고, 각 센서별 성능을 검사하기 어렵게 패키징되어 있으며, 해석소프트웨어 성능에 따라 장비의 물리적인 사양과 비례하지 않는 성능을 도출할 수 있다. 다시 말

해서 장비의 사양이 좋더라도 소프트웨어 성능이 낮을 경우 낮은 성과 품질이 낮을 수 있고, 반대로 소프트웨어 성능이 높을 경우 성과품질이 높아질 수 있다.

본 논문에서는 정밀도로지도를 생산하기 위해 필요한 수준을 정의하고 MMS 성능평가를 수행할 수 있는 시설을 구축한 결과에 대해 설명하고, 본 시설에서 실험한 결과를 통해 본 시설에서 시행할 수 있는 성능평가 방법에 대해 제안하였다.

2. MMS와 정밀도로지도 동향

2.1 MMS 동향

MMS는 1991년 미국 오하이오 주립대학교에서 처음 소개되었으며, 상용제품이 출시되어 있는 기술이다.(Park and Lee, 2014) MMS 시장은 전 세계적으로 2022년 까지 244억 달러 규모로 성장할 것으로 예상되며, 산업 선점을 위한 선제적 기술도입을 목적으로 기술을 개발하는 추세이다.(Park, 2017) MMS의 구성은 GNSS, LiDAR, IMU, DMI, 카메라 등 다양한 센서 조합으로 구성되며, 측위 및 내비게이션 부문, 레이저 거리측정 부문, 차량 좌표 및 이동방향 측정 부문 등으로 나눌 수 있다(Puente et al., 2013)

현재 국내에서 정밀도로지도를 제작하기 위해 사용 중인 장비는 대부분 Leica Geosystems, Reigl, Trimble, Topcon 등 해외 제조사에서 완제품 형태로 도입한 장비가 대부분이다. 국내에서는 Stryx, TI labs, Mobiltech 등에서 자체 제작하여 민간에서 사용한 사례가 있다. 전수 조사로 볼 수는 없지만 국내에서 운영하고 있는 상용 MMS의 종류는 Table 1.과 같다.

MMS에 탑재되는 GNSS/INS 등의 위치 센서, 라이더 센서와 카메라 등으로 구성된 복합 센서의 캘리브레이션 기법에 따라

Table 1. MMS Model List which using at Rep. of Korea

Company	Model	LiDAR Model	Specification of IMU			
			IMU	Roll/Pitch (RTK)	Heading (RTK)	Gyro bias offset
Leica Geosystems	Pegasus-Two, Pegasus-Ultimate	Z+F 9012 PROFILER	iMAR FSAS	0.008°	0.013°	±0.75 deg/hr
Riegl	VMX-2HA	Riegl 2HA	POS LV 610 (Guess)	0.005°(0.005°)	0.015°(0.02°)	Unknown
	VMX-450	Riegl VQ450	Unknown	0.005°	0.015°	Unknown
Mitsubishi	MMS-G	Z+F 9012 PROFILER	KVH 1775	Unknown	Unknown	±0.5 deg/hr
Trimble	MX9	Riegl VUX-1HA	Applanix AP60	0.005°(0.005°)	0.015°(0.02°)	±0.75 deg/hr
Optech	Lynx Mobile mapper	Lynx M1 or Lynx V200	Compact MEMS	0.01°(0.012°)	0.02°(0.02°)	±1 deg/hr

측정 정확도에서 큰 차이를 보이므로 캘리브레이션 방법에 대한 다수의 연구가 진행되어 왔다(Schwarz *et al.*, 2004; Habib *et al.*, 2010; Puttonen *et al.*, 2013; Chan *et al.*, 2013).

국내에서도 MMS 장비를 국산화하기 위한 연구개발이 진행 중이며, MMS 캘리브레이션 기술에 관한 연구가 이미 완성 단계에 이르렀다(Hong *et al.*, 2017). 그러나 솔루션 개발에 성공했다 하더라도 결과를 테스트하고 검증할 수 있는 테스트 베드 확보가 어려운 실정이다. 국내에는 MMS 캘리브레이션을 위한 인프라가 확보되지 않아 그동안 대학 내 다수의 연구자들은 연구 목적으로 캠퍼스 내 임시 타겟을 설치하여 실험을 진행해 왔다. 캠퍼스 내에서 실험을 진행할 경우 GNSS의 수신 환경이 일정하게 확보되지 않을 가능성이 있고, 임시로 설치한 타겟 및 시설물의 보존이 어려워 실험을 진행할 때마다 새로운 타겟을 설치하고 정확한 3차원 좌표를 측정해야 하는 번거로움이 존재한다. 이러한 문제를 개선하기 위해서 상시 활용이 가능한 캘리브레이션 인프라 구축이 필요하다.

2.2 정밀도로지도 동향

「자율주행차 상용화 지원 방안 : 국토부, 미래부, 산자부가 합동으로 민간의 자율주행차 관련 개발 기술, 인프라 등 지원(규제개혁장관회의, 2015.05)」에 따라 국토지리정보원에서는 2015년부터 시범사업을 실시하여 2016년부터 본격적으로 정밀도로지도를 구축하였고 민간에서는 2011년부터 제작하여 2차선 이상 국도 대부분을 구축하였다(MOLIT, 2016; Won *et al.*, 2019). 정밀도로지도는 한국판 뉴딜의 10대 핵심과제에 포함되어 국도 및 4차선 이상의 지방도를 대상으로 구축하게 될 전망이다(MEF, 2020). 정밀도로지도는 자율주행차에 핵심 인프라로서 최신성이 요구된다. 따라서 구축만큼 갱신도 중요하기 때문에 해외에서는 공공과 민간의 협업을 하는 추세이다. 특히 일본의 경우 다이나믹 맵 플래닝(Dynamic Map Planning)이라는 민간 합자회사를 만들어 정밀지도 제작 및 갱신을 추진하고 있다. 국내에서도 민관 공동협력을 위한 「정밀도로지도 공동구축 협의체」가 2019년에 결성되어 정밀도로지도 공동활용에 대해 논의하고 있다(Won *et al.*, 2019).

3. 정밀도로지도 제작을 위한 MMS의 요구 위치정확도

FGDC(1998)에 따르면 정확도는 수평 및 수직에 대해 95% 신뢰구간에서 최소제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)를 구하여 표현하도록 정의하고 있다. 수평정확도와 수직정확도 계산은 Table 2.와 같다(Greenwalt and Schultz, 1968).

국내 정밀도로지도는 1:500축척 수준의 정확도를 요구한다. 국토지리정보원에서 발행한 「정밀도로지도 구축 매뉴얼」(NGII, 2019)과 「정밀도로지도 품질검사 매뉴얼」(NGII, 2020)에 따르면 레이저 점군데이터의 경우 수평, 수직 모두 RMSE 15cm(95% 신뢰수준), 도화정확도는 수평, 수직 모두 RMSE 25cm(95 신뢰수준)를 만족해야 한다.

4. MMS 성능평가용 시설 구축

4.1 SOC실증연구센터 소개

한국건설기술연구원은 경기도 연천군 연천읍 평화로 1709(옥산리)에 약 69만㎡ 규모의 SOC실증연구센터(Fig. 1)를 구축·운영하고 있다. 본 센터는 건설관련 종합실험시설 구축을 목적으로 2016년 부지조성을 완료했으며, 「기상환경 재현도로 성능평가 실험시설」 및 연구성과의 검증을 위한 개별 테스트베드가 구축되어 있다. 최근 2023년 완공을 목표로 「도로인프라 국가성능시험장」을 건설하고 있다. 본 부지는 도로법 상 도로부속시설(연구시설)로 지정되어 있어 다양한 도로실험이 가능하며, 2.5 km 길이의 타원형 주행트랙을 비롯하여 내부에 통제 가능한 주행로가 약 6km 설치되어 있다.

본 센터의 북쪽에 위치한 소형 트랙(Fig. 1의 점선 내)은 950m 길이의 왕복 2차선 아스팔트 포장되어 있으며, 왼쪽 트랙은 평지, 오른쪽 트랙은 경사면으로 되어 있고 도로 인근에 가로등 30 개와 시설물 2종이 위치하고 있어 MMS 성능평가 실험을 하는데 적합한 지형적 조건과 시설물이 설치되어 있다. 본 연구에서는 해당 부지에 MMS 성능평가를 위한 실험장을 구축하였다.

Table 2. Methods of Accuracy

Case	Condition	Accuracy Calculation Method (95% Confidence Level)
Horizontal	$RMSE_x = RMSE_y$	$Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$ [$RMSE_r = \sqrt{2 \times RMSE_x^2} = \sqrt{2 \times RMSE_y^2}$]
	$RMSE_x \neq RMSE_y$	$Accuracy_r \approx 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y)$
Vertical	-	$Accuracy_z = 1.96 \times RMSE_z$

※ $RMSE_x$: RMSE of X-coordination; $RMSE_y$: RMSE of Y-coordination; $RMSE_z$: RMSE of Z-coordination



Fig. 1. SOC Evaluation Research Center of KICT in Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do, Rep. of Korea (Source : Google earth, Capture on 2019.04.15.)

4.2 MMS 성능평가를 위한 타겟 제작

MMS의 성능은 라이다 점군데이터의 위치정확도 측정을 평가할 수 있으며, 위치정확도 측정을 위해서는 기준점과 수평 및 수직 편차를 측정하는 것이 일반적이다. 따라서 라이다 점군데이터 취득이 용이하면서 색 구분이 명확하여 타겟 중심점 확인 가능한 검정과 흰색을 배합한 타겟을 설계하였다. 타겟 제작을 위해 원형 타겟판과 사각형 타겟판을 제작하여 비교했다. 두 가지 타겟판은 바람에 의한 타겟위치의 변화를 방지하고, MMS의 주행방향을 고려하여 120도 각도로 두 개의 판을 접하게 한 후 부착위치의 가로등 직경을 측정하여 거치대를 제작하여 움직임 없도록 단단하게 설치하였다. 원형 타겟판(Fig. 2)은 100cm×45cm 크기 철판에 지름 20cm 크기의 검정색과 흰색(B/W)으로 4분할 한 원형 타겟 6개를 인쇄하였다. 본 타겟을 지상 라이다(Leica Geosystems RTC 360)로 정밀 측량하여 타겟의 중심점 좌표를 취득하고, MMS(Leica Geosystems Pegasus 2, Stryx Argos-S)를 이용하여 타겟 사용 가능성을 확인한 결과 원형 타겟은 입사각에 따라 원의 중심점을 확인하지 못하는 경우가 있었다.

사각형 타겟판(Fig. 3)은 100cm×40cm 크기 철판에 40cm×40cm 크기의 B/W 4분할 정사각형 타겟 1개, 20cm×40cm 크기의 B/W 8분할 정사각형 타겟 1개를 인쇄하여 제작하였다. 본 타겟판에는 9개 교차점이 있어 다양한 용도로 사용할 수 있도록 제작했으며, 다수의 타겟을 측정할 경우 타겟을 구분하기 위해 점군데이터에서 확인이 가능한 크기의 일련번호를 인쇄하여 제작했다. 본 타겟은 원형 타겟을 측정하는 방법과 동일하게 지상 라이다로 측량하여 타겟의 좌표를 측정하였고, MMS를 이용하여 타겟 인식 가능성에 대해 검토하였다. 그 결과 MMS로 측량할 경우 점군데이터의 점밀도가 낮을 경우 타겟점이 보이지 않는 경우가 발생하며, 이 경우 타겟점의 위치를 예측하여 좌표를 추출해야 한다. 이는 MMS를 이용한 지도제작 방식에서도 동일하게 사용하는 방식이다.

사각형 타겟의 경우 원형 타겟에 비해 모양을 예측하기 용이하여 점군데이터에 교차점을 찾기 용이하다. 따라서 본 연구에서는 앞의 두 가지 타겟을 비교해본 결과 원형 타겟보다는 사각형 타겟이 MMS의 점군데이터에서 타겟으로 사용하기 적합한 것으로 판단하여 사각형 타겟을 제작했다. 타겟의 재질은 외부 노출조건을 고려하여 갈바륨(아연합금도금강판)을 사용하여 틀을 제작하고, 두 개의 판이 접합되도록 절곡하여 제작하였다. 전면에는 PVC첼지 출력 및 UV코팅한 타겟 시트를 부착하여 내구성을 확보했으며, 후면에는 120도 각도를 유지하고, 가로등에 부착하기 위해 보강프레임과 고정용 밴드를 용접하여 부착하였다.

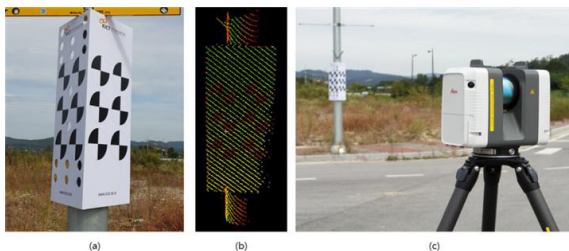


Fig. 2. Circle type target (a) Circle type target plat on the pole; (b) Point cloud of the circle type target plat; (c) LiDAR survey of the circle type target plat



Fig. 3. Square type target (a) Design of the square type target plate; (b) Square type target plate on the pole; (c) LiDAR survey of the square type target plate; (d) Point cloud of the square type target plate

4.3 MMS 성능평가 시설 구축

MMS 성능평가는 GNSS를 수신하는 경우와 차단하는 경우 나눠서 하도록 되어있다(NGII, 2019). 이 경우 점군데이터의 위치 보정을 위한 기준점이 필요하다. SOC실증연구센터 내에는 측량성과심사를 완료한 2급 기준점이 4점 설치되어 있으며, 이를 활용하여 성능평가 시설 내 기준점을 20점 설치하였다.(Fig. 4) 각 기준점은 도로 외측과 내측에 번갈아가며 약 50m 간격으로 설치했으며, 공공측량 작업규정 상의 4급 공공삼각점측량 및 수준점측량을 준용하여 측정하였다. 측량방법은 인근 2급 기준점으로부터 토털스테이션을 이용하여 기준점 위치를 측량했다. 각 기준점의 좌표는 현장에서 확인이 가능하도록 QR코드를 이용하여 좌표를 확인할 수 있도록 하였다.

본 시설 구역 내 도로의 총 연장은 약 950m이고, 도로 외측에 총 30개의 가로등이 설치되어 있다. 각 가로등은 높이 9m로 Fig. 3에서 설명한 타겟판 30개(타겟 면 60개)를 각 가로등에 부착하였다. 부착위치는 가로등의 유지보수를 위한 덮개 위치와 MMS 장비 부착위치를 고려하여 하단으로부터 1.5m 위치에 부착하였고, 연석 높이 20cm를 고려했을 때 타겟은 지면으로부터 1.7m~2.7m 사이에 위치한다.(Fig. 5) 각 타겟판의 대표 타겟은 가장 큰 정사각형 타겟의 중심으로 지정하여 해당 위치의 좌표를 측량하였다. 타겟은 지면으로부터 수직으로 설치되어 있기 때문에 GNSS 측량으로 불가능하여 기준점 측량과 마찬가지로 인근 2급 기준점을 사용하여 토털스테이션을 이용하여 측량했다. 시설 구역 전역에 대해 점군데이터를 비교할 수 있도록 또한 지상 라이다를 이용하여 4개 지점에서 360도 측량을 실시했으며, 각 점군데이터를 통합하여 하나의 점군데이터 모델을 구축하였다.(Fig 6)

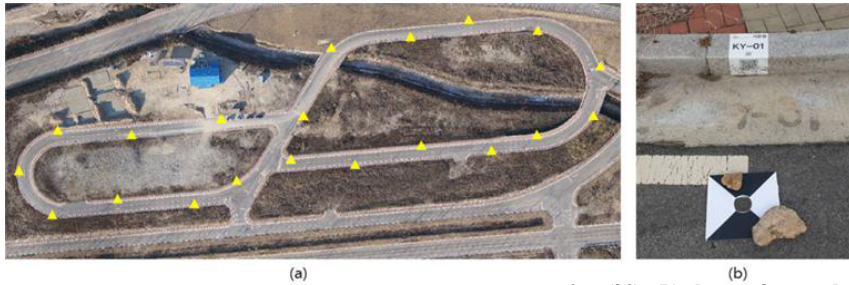


Fig. 4. Control points in the site (a) Location of control points(20); (b) shape of control point



Fig. 5. Target plates, which for accuracy evaluation of MMS, installation

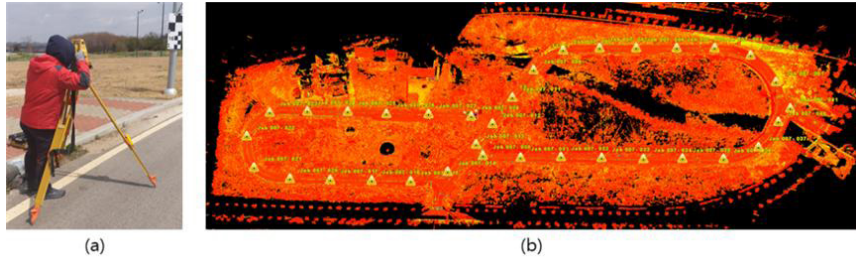


Fig. 6. Precise survey of targets (a) Precise survey of targets using Total Station; (b) Integration of precision LiDAR models using Leica RTC 360

Table 3. Specification of Argos-S


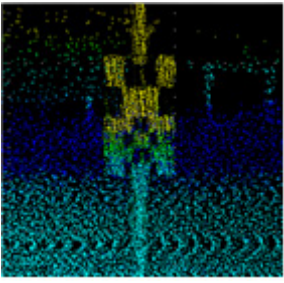
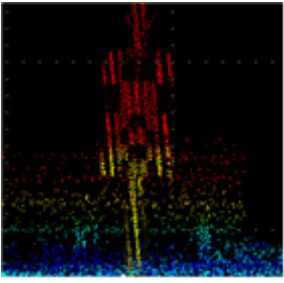
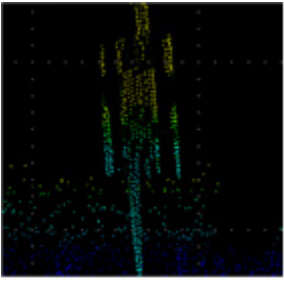
Item	Specification	
Max Measure Distance (LiDAR)	200m	
LiDAR Sensor	Velodyne Ultra Puck 1ea (up to 600k points/sec) Velodyne Puck 1ea (up to 300k points/sec)	
Scan Measure Angle	360° × 40°	
Scan Speed	Up to 900k points/sec	
Camera	Panorama Camera System (Max 13,000 × 6,500)	
Positional Accuracy	Horizontal : 0.02m RMS Vertical : 0.03m RMS	

Table 4. Results of MMS surveying test

Items	Speed	15km/h	35km/h	50km/h
	Point Cloud Pattern			
No. of Recognizable Targets		57ea	49ea	35ea

5. MMS 성능평가 시설에서 실증실험

5.1 MMS 성능평가 실험

MMS의 성능평가를 위해서는 점군의 위치정확도와 더불어 MMS 점밀도 측정이 필요하다. 일본 국토교통성 국토지리원에서 발행한 MMS 점군측량 매뉴얼에도 MMS 측량은 점군 정확도와 점밀도가 중요하다 설명하고 있다. 또한 성능평가를 고정

식 MMS의 경우 1년, 탈부착식 MMS의 경우 6개월에 1회 하도록 규정하고 있다(GSI, 2019). 점군의 위치정확도 측정을 위해서는 타겟의 정확한 위치정보를 취득해야 하고, 타겟이 점군데이터에서 인식되어야 한다. 또한 난반사 등으로 인해 점군데이터 수집에 어려움이 있어도 안 될 것이다. 점군데이터의 밀도는 10m 거리에서의 점군데이터 개수로 측정하는 것이 일반적이다. 본 실험은 이러한 환경이 본 시설에 구축되었는지 확인하

기 위해 실시하였다.

실험을 위해 사용한 장비는 국내기업이 개발한 MMS장비인 Argos-S이며, 사양은 Table 3에 설명한 바와 같다.

실험은 평가주로부터 주행방향을 달리하여 1회씩 측량한 값을 이용하여 타겟 인식 가능성을 평가하였다. 실험은 15km/h, 35km/h, 50km/h 등 3가지 주행속도에서 등속주행으로 측량을 실시하여 타겟 인식가능성을 평가하였다.

5.2 실증실험 결과

실험에 사용한 장비의 라이더 사양은 초당 점군데이터 240만개를 측량할 수 있다. 각 속도별 타겟 인식 결과는 Table 4와 같다. 저속인 15km/h로 주행할 경우 타겟의 육안인식이 용이했으며, 전체 60개 타겟 중 57개의 위치를 점군데이터에서 확인할 수 있었고, 35km/h로 주행할 경우 49개, 50km/h로 주행할 경우 35개를 확인할 수 있었다.

6. 결론

정밀도로지도는 자율주행자동차에 필요한 중요한 인프라로서 1:500 축척 수준의 정확도를 요구하며, 제작을 위해서는 MMS가 가장 효과적인 측량수단이다. 그러나 MMS는 LiDAR, GNSS, 카메라, IMU, DMI 등 다양한 센서가 결합되어 있고, 결합방식이 장비제조사별로 상이하며, 장비별 해석 소프트웨어의 성능에 따라 성과의 품질이 좌우되는 특징을 가지고 있다. 따라서 센서의 사양만으로는 성과의 품질을 예측할 수 없기 때문에 점군데이터 정확도에 대한 동일 환경에서의 성능평가가가 필요하다 판단되어 본 시설을 구축하게 되었다. 본 연구에서는 점군데이터의 정확도를 측정할 수 있는 성능평가시설을 구축하였고, 차량 속도별 점군데이터 밀도변화에 따른 타겟 인식율의 차이를 측정하는 실험을 실시하였다. 그 결과 원형 타겟 보다는 사각형 타겟이 MMS 점군데이터에서 측정 확인이 용이했으며, 초당 90만 포인트 주사 성능을 갖는 LiDAR의 1회 주행 기준으로 50km/h 등속 주행할 경우에도 MMS 점군데이터 위치정확도 성능평가를 위한 충분한 측점이 관측되었다. 본 연구에서는 기본 조건에서의 MMS 성능평가 시설 구축에 대해서만 언급하였다. 향후, 정밀도로지도 제작 구간별 MMS 측량계획 수립 최적화를 위해 다양한 도로환경 조건별 MMS의 성능변화 연구가 필요하다. 본 시설이 정밀도로지도의 품질향상과 국내 MMS기술 향상을 위해 활용되기를 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 한국건설기술연구원 중소기업지원사업인 “고정밀 공간정보 구축을 위한 MMS용 복합센서 모델링 지원연구” 및 2019년도 국토지리정보원 연구사업인 “정밀도로지도 공동구축 추진방안 연구”의 지원을 받아 작성하였음.

References

- Chan, T.O., Lichti, D.D., and Glennie, C.L. (2013), Multi-feature based boresight self-calibration of a terrestrial mobile mapping system. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, pp. 112–124.
- ETnews (2020), Passed preliminary feasibility study of 'Autonomous driving technology development innovation project'... Invested 1.97 trillion won over 7 years, <https://www.etnews.com/20200428000211> (last date accessed: 22 July 2020). (in Korean)
- Federal Geographic Data Committee (FGDC). (1998), *Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, FGDC, Virginia U.S., 24p.
- Geospatial Information Authority of Japan (GSI) (2019), *Manual for Three-dimensional Point Cloud Surveying Using An In-vehicle Photo Laser Surveying System (Draft)* (in Japanese), GSI, Tsukuba, Japan, 43p.
- Greenwalt, C. R. and Schultz, M. E. (1968), *Principles and Error Theory and Cartographic Applications*, ACIC Technical Report No. 96: St. Louis, Mo., Aeronautical Chart and Information Center, U.S. Airforce, 89p.
- Ministry of Economy and Finance (MEF) (2020), *Announcement of The Korean Version of The New Deal Plan*, <http://www.moef.go.kr/mp/nd/newDeal.do> (last date accessed: 19 July 2020). (in Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2016), *'High Definition Road Map' Accelerates Commercialization of Self-driving Cars*, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95078099 (last date accessed: 19 July 2020). (in Korean)
- National Geographic Information Institute (NGII). (2019), *Mapping Manual for High Definition Road Maps*, NGII, Suwon, Rep. of Korea, 159p. (in Korean)
- National Geographic Information Institute (NGII). (2020),

- Quality Inspection Manual for High Definition Road Maps*, NGII, Suwon, Rep. of Korea, 113p. (in Korean)
- Habib, A., Bang, K.I., Kersting, A.P., and Chow, J. (2010), Alternative methodologies for LiDAR system calibration. *Remote Sensing*, 2(3), pp. 874–907.
- Hong, S., Park, I., Lee, J., Lim, K., Choi, Y., and Sohn, H.G. (2017). Utilization of a terrestrial laser scanner for the calibration of mobile mapping systems. *Sensors (Switzerland)*, 17(3). 24p. <https://doi.org/10.3390/s17030474>.
- Hyundai MnSOFT (2017), *Core Technology of Self-driving Car; High Definition Road map*, <http://blog.hyundai-mnsoft.com/841> (Accessed March 25, 2020). (in Korean)
- Park, H.G. (2017), Domestic trend analysis of mobile mapping system through geospatial information market and patent survey. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 35(6), pp. 495–508. (in Korean with English abstract)
- Park, J.K. and Lee, E.S. (2014), Applicability estimation of mobile mapping system for efficient construction of road geospatial information. *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, 16(2), pp. 185–192. (in Korean with English abstract)
- Puente, I., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., and Arias, P. (2013), Review of mobile mapping and surveying technologies. Measurement: *Journal of the International Measurement Confederation*, 46(7), pp. 2127–2145.
- Puttonen, E., Lehtomäki, M., Kaartinen, H., Zhu, L., Kukko, A., and Jaakkola, A. (2013), Improved sampling for terrestrial and mobile laser scanner point cloud data. *Remote Sensing*, 5(4), pp. 1754–1773.
- Samjong KPMG ERI Inc. (2020), *New Changes Made by Autonomous Driving*, Samjong Insight Vol 69, Samjong KPMG ERI Inc. 49p. (in Korean)
- Schwarz, K.P. and El-Sheimy, N. (2004), Mobile mapping systems – state of the art and future trends. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Proceedings of the 20th International ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, July 2004*; ISPRS: Vienna, Austria, 2004; 35, Part 5. pp. 759–768
- Won, S.Y., Moon, J.Y., Yoon, S.Y., and Choi, Y.S. (2019), The future direction of HD map industry development plan and governance. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 22(3), pp. 120–132. (in Korean with English abstract)
- Woo, H.S., Song, K.S., Seok, K.K., Kim, B.G., and Hwang, T.J. (2011), Study on lightweight mobile mapping systems using high speed camera & MEMS IMU/GPS. *Spatial Information Research*, 19(4), pp. 73–79. (in Korean with English abstract)