

건설 인프라 스캔 작업 생산성 향상을 위한 로버 기반 실시간 3차원 모바일 맵핑 시스템 개발

강태욱

한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

Development of rover-based real-time 3D mobile mapping system to improve construction infrastructure scan work productivity

Tae-Wook Kang

Department of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and
Building Technology

요약 최근 건설 산업에서 스마트 건설 기술의 필요성이 높아지고 있다. 스마트 건설이 구현되기 위해서는 건설 현장 공간정보 데이터 수집이 필수적이다. 건설 현장 데이터는 목적에 맞는 다양한 센서 등을 이용해 취득된다. 이 중, 3차원 스캔 데이터는 다른 센서 데이터들에 비해 다양한 목적으로 활용될 수 있다. 스캔 데이터 취득에는 고정밀도 스캔을 위한 고정형 LiDAR 기술과 실시간 스캔이 가능한 SLAM 기술이 있다. 다만, 고정형 LiDAR 기술은 스캔할 때마다 매번 작업자가 무거운 센서 장비를 재설치하여 스캔한 후, 데이터 정합을 위해 후처리해야하는 불편함이 있다. 이 연구는 실시간으로 데이터 정합이 가능한 SLAM과 지상형 로버 기술을 활용해, 스캔 작업 생산성을 높일 수 있는 로버 기반 모바일 맵핑 시스템을 제안한다. 본 연구를 통해, 제안 방법은 프로토타입으로 개발되어 현장에서 시험되었으며, 시험된 결과는 분석되었다. 프로토타입을 통한 실험 분석 결과 모바일 맵핑 정확도는 고정밀 LiDAR에 비해서는 낮으나, 정밀 시공이 필요 없는 유스케이스에서 유용하다고 판단되었다. 이 연구는 고정밀도가 필요하지 않은 요구사항을 가진 프로젝트를 대상으로 테스트하였음을 밝힌다.

Abstract Recently, the need for smart construction technology in the construction industry has been increasing. Nevertheless, construction site data collection is essential before smart construction technology can be implemented. 3D scan data may be utilized for various purposes in construction sites. For scan data acquisition, there are fixed type LiDAR for high-density scanning and SLAM technology for real-time scanning. On the other hand, the fixed type LiDAR has the inconvenience of having to re-install heavy sensor equipment and post-processing for data registration after each scan. This study presents a rover-based mobile mapping that can increase the productivity of scanning tasks by utilizing SLAM in real-time. Through this study, the proposed method was developed as a prototype and tested in the field, and the tested results were analyzed. As a result of the analysis, mobile mapping accuracy is lower than that of high-precision LiDAR, but it was judged to be useful in cases not requiring precision construction. This study was targeted for use in cases with requirements that do not require high-density precision.

Keywords : LiDAR, Scan, Mobile, Mapping, Robotics, Rover, Construction

This research was supported by a grant "Scan To BIM Technology Development 3D Urban Building Model Process Automation" by the Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

*Corresponding Author : Tae-Wook Kang(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: laputa9999@gmail.com

Received July 29, 2022

Revised October 5, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

1. 서론

최근 건설 산업에서 스마트 건설 기술의 필요성이 높아지고 있다. 스마트 건설 기술이 구현되기 위해서는 건설 현장 데이터 수집이 필수적이다. 건설 현장 데이터는 목적에 맞는 다양한 센서 등을 이용해 취득할 수 있다. 이 중, 3차원 스캔 데이터는 다른 센서 데이터들에 비해 다양한 목적으로 활용된다. 3차원 스캔 데이터는 현장 상황을 3차원 그대로 재현하므로, 데이터 수집된 후에는 매번 작업자의 현장 방문과 조사 없이도 3차원 디지털 모델에서 건설 시설물의 정확한 위치, 크기, 부피 등을 필요할 때마다 얻을 수 있다. 스캔 데이터는 유용한 데이터를 포함하고 있어, 정밀시공, 무인 자율차, 로봇틱스, 3차원 지도 생성 등 다양한 어플리케이션에서 사용되고 있다[1].

스캔 데이터 취득에는 고밀도 스캔을 위한 고정형 LiDAR(Light Detection and Ranging) 기술과 실시간 스캔이 가능한 모바일 맵핑(Mobile Mapping) 기술이 있다. 고정형 LiDAR 기술은 스캔할 때마다 매번 작업자가 무거운 센서 장비를 재설치하여 스캔한 후, 데이터 정합을 위해 후처리해야 하는 불편함이 있다.

본 연구는 실시간으로 데이터 정합이 가능한 모바일 맵핑과 지상형 로버 기술을 활용해, 스캔 작업 생산성을 높일 수 있는 로버 기반 3차원 스캔 모바일 맵핑 시스템인 R-MMS(Rover-based Mobile Mapping System)을 제안하고, 효율성을 분석한다.

본 연구를 통해 제안 방법은 프로토타입으로 개발되어 현장에서 시험되었다. 단, 이 연구는 고밀도 정밀도가 필요하지 않은 요구사항을 가진 프로젝트를 대상으로 하였음을 밝힌다.

2. 연구방법

신속한 건설 인프라 현장 스캔 디지털 모델 구축에 필요한, 로버 기반 3차원 스캔 모바일 맵핑 방법 개발을 위해 다음과 같이 연구를 수행한다.

1. 건설 인프라 관리 지원을 위한 로봇틱스 기술 기반 모바일 스캔 개발 사례 조사
2. R-MMS 프레임워크 설계를 위한 요구사항 정의
3. R-MMS 컴포넌트 정의 및 프레임워크 설계
4. R-MMS 기반 데이터 취득 및 맵핑 프로세스

5. 맵핑 프로세스 데이터 구조 정의
6. 프레임워크 기반 프로토타입 구현
7. 현장 테스트를 통한 성능 평가
8. 고려사항 도출 및 결론

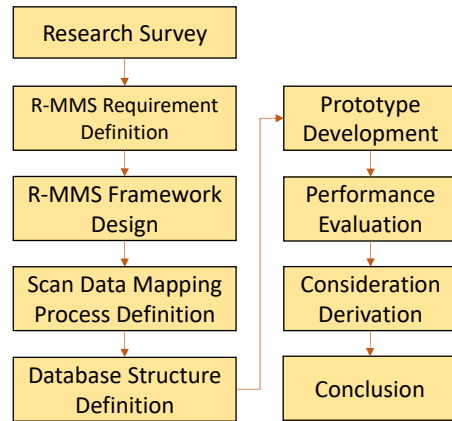


Fig. 1. Research process

3. 문헌조사

국내에서는 아직 건설 인프라 현장 3차원 스캔 모바일 맵핑 기술과 관련된 연구가 많지 않다. 해외는 로봇틱스와 SLAM(Simultaneous localization and mapping) 기술을 활용한 현황 데이터 조사 및 분석 기술 연구가 점차 많아지고 있다.

모바일 맵핑과 관련해, MMS(Mobile Mapping System) 기술 기반 정밀 공간 정보 매핑 시스템에 관한 연구가 있었다[2]. 이 연구는 저가의 MMS 장비 개발에 관한 연구로 LiDAR와 INS를 이용해 포인트 클라우드를 취득하는 방법을 제안했다.

카메라, LiDAR 등을 이용해 이미지 캡처 기술을 활용한 BIM(Building Information Modeling)기반 시설물 관리에 관한 연구가 있었다[3]. 이 연구는 다양한 이미지 캡처 기술을 BIM 데이터와 통합하는 방법을 제안했다.

디지털 트윈 서비스 지원을 위한 실내 맵핑 기술 연구가 있었다[4]. 이 연구는 실내 맵핑을 위해 스테레오 카메라 기술을 제안하였다. 도로 시공측량을 위한 모바일 맵핑 시스템 평가에 관한 연구가 있었다[5]. 이 연구는 Trimble 모바일 맵핑 장비를 이용해, 품질을 평가하는 방법을 제안한다.

해외 연구의 경우, 도로 포장 모니터링을 위한 모바일

맵핑 활용 사례가 있었다[6]. 이 연구에서는 인프라 분야에서 모바일 맵핑 시스템 활용성을 조사하고, 모바일 맵핑 기반 포장 표면 검사 알고리즘을 제안한다. SLAM 기반 3차원 점군 생성에 관한 연구가 있었다[7]. 이 연구는 ROS(Robot Operating System)를 기반으로 모바일 맵핑 데이터를 처리하는 방법을 제안한다. 모바일 맵핑 기술에 대한 소개 연구가 있었다[8]. 이 연구에서 다양한 모바일 맵핑 기술에 대한 비용과 효과를 조사하였으나, 로버와 같은 로봇틱스 기술을 이용한 모바일 맵핑에 대해서는 다루지 않고 있다.

연구 분야는 스캔, SLAM, 스테레오 카메라, 사진 측량 기술을 기반으로 어플리케이션 연구가 대부분이었다. 몇몇 연구의 경우, 실내의 측량 현황 정보를 얻기 위한 기술 개발에 집중되어 있었다. 이외에, 스캔 데이터와 BIM을 연계해 시설물 관리하는 방법 등에 대한 연구가 있었다.

본 연구는 현장 공간정보 데이터 취득 작업 생산성을 높일 수 있는 로봇틱스 기반 로버를 사용한 모바일 맵핑 기술을 이용하므로, 기존 연구와는 차이가 있다. 본 연구는 실시간으로 데이터 정합이 가능한 SLAM과 지상형 로버 기술을 활용해 작업 생산성을 높이는 것에 목적을 둔다.

4. 3차원 모바일 맵핑 시스템 프레임워크

4.1 시스템 프레임워크 요구사항 정의 및 설계

건설 현장 데이터 취득을 위한 3차원 모바일 맵핑 시스템 프레임워크를 설계하기 위해, 앞서 분석된 문헌조사 결과와 스캔 엔지니어링 경력 5년 이상 전문가들의 자문을 바탕으로 다음과 같이 요구사항을 정의하였다.

- R1. 인프라 시설물 내 비포장 순환 및 데이터 취득
- R2. 실시간 3차원 맵핑 지원
- R3. 공간정보 관련 데이터 수집 센서 지원
- R4. 작업자 진입 불가 지역 원격 제어 및 모니터링
- R5. 원격 제어를 위한 건설 현장 영상 데이터 수집
- R6. 모바일 맵핑 데이터 관리

이러한 요구사항을 바탕으로 Table 1과 같이 프레임워크 컴포넌트를 도출하였다.

Table 1. Framework Component Definition

ID	Component	Function
R1	C1. Rover Driving System	motor PID(proportional, integral, derivative) control
R1	C2. Power Management System	power supply system for motor, motor drive, control board, sensors.
R2	C3. SLAM	SLAM process module
R3	C4. Sensor Management	sensor devices management
R3	C5. LiDAR	PCD(Point Cloud Data) data collection
R3	C6. GPS(Global Positioning System)	GPS data collection
R3	C7. IMU(Inertial Measurement Unit)	IMU data collection
R4	C8. Camera Device Manager	camera device control
R4	C9. Remote Control Receiver	remote control data receiver
R4	C10. Ground Control Station	rover driving status and sensor data monitoring
R4	C11. Remote Control Device	remote control data translator
R5	C12. First Person View	camera image monitoring
R6	C13. Mobile Mapping Data Management	mobile mapping database management

다음은 정의된 컴포넌트를 고려해 설계된 프레임워크이다.

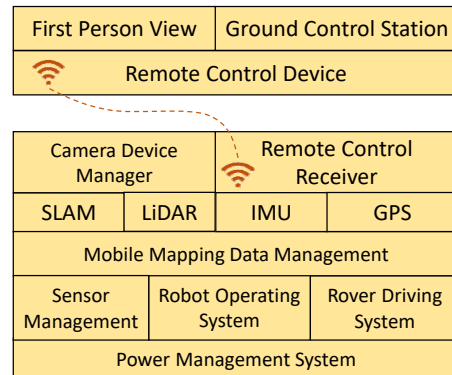


Fig. 2. R-MMS Framework Definition

4.2 모바일 맵핑 프로세스 정의

R-MMS 프레임워크는 크게 로버 동작 제어 및 운영, 센서 관리, 데이터 취득·처리·관리로 구분할 수 있다. 이 장은 하드웨어 기구부에 해당하는 로버 동작 제어 등을 제외한 센서 데이터 처리 부분의 프로세스를 분석·정의하고, 데이터 관리를 위한 구조를 정의한다.

모바일 맵핑 데이터 처리 프로세스는 Fig. 3과 같다. R-MMS에서 처리할 데이터는 LiDAR, IMU, GPS 등 다

양한 센서를 통해 얻어진다(A, B, C). 각 센서에서 획득된 데이터 처리를 위해, 노이즈 제거 등 데이터 필터링된 후, 데이터 정합(Registration) 시 필요한 데이터 획득을 위해, SDF(Sensor Data Fusion) 알고리즘에 전달된다(D, E).

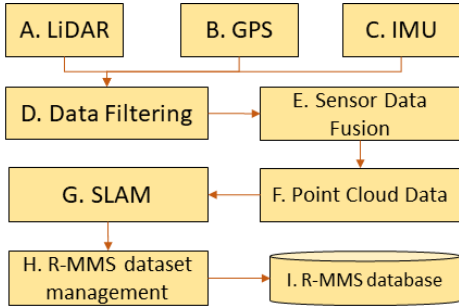


Fig. 3. Mobile Mapping Data Process Definition

SDF 알고리즘은 센서 별 상이한 데이터 취득 시점을 동기화하기 위해, 보간 알고리즘을 적용하여 센서 데이터 획득 시점과 데이터값을 동기화한다. 아울러, 데이터를 표준화된 형식으로 정규화해, 후처리 과정의 단순화를 지원한다. PCD를 포함한 데이터셋은 SLAM 처리 모듈에 전달된다(F, G). R-MMS가 현장을 이동하며 맵핑할 시점의 데이터는 시계열 데이터베이스 구조로 관리된다(H, I).

4.3 모바일 맵핑 데이터베이스 정의

이 장은 앞서 정의된 R-MMS 데이터 처리 프로세스를 수행하기 위해, 필요한 데이터베이스 구조를 설계한다. R-MMS는 모바일 맵핑을 위한 대상 인프라 시설물 및 현장을 순환하게 되므로, 스캔 시점마다 시계열 스캔 데이터셋(scan_dataset)이 생성된다. 스캔 데이터셋은 데이터 순차 생성 ID, 타임스탬프, PCD, IMU, GPS를 관리한다. R-MMS에서 사용되는 SLAM은 각 시점에서 스캔된 데이터를 정합한 데이터셋(registered_dataset)을 관리한다. 현장조건에 따라 불완전하게 구성될 수 있으므로, 어느 시점의 데이터 정합 시 문제가 발생하였는지 확인할 필요가 있다. 그러므로, SLAM 데이터셋은 스캔 시점 정보를 포함한다. 다음은 R-MMS에서 처리-관리하는 데이터셋을 정의한 것이다.

$$\begin{aligned} \text{scan} &= \{\text{scan_dataset}\}^* & (1) \\ \text{scan_dataset} &= \{\text{Seq, time_stamp, PCD, IMU,} \end{aligned}$$

GPS}

- Seq = sequence ID
- PCD = {point, intensity}*
- point = {x, y, z}
- IMU = {O, Va, Vl}
- O = orientation (quaternion unit)
- Va = angular velocity
- Vl = linear acceleration
- GPS = {Lat, Lon}
- Lat = latitude (degrees)
- Lon = Longitude (degrees)
- registered_dataset = {Seq, time_stamp, PCD}
- registration = {registered_dataset}*
- * = multiple

Fig. 4는 앞에서 기술한 내용을 UML(Unified Modeling Language)로 설계한 것이다.

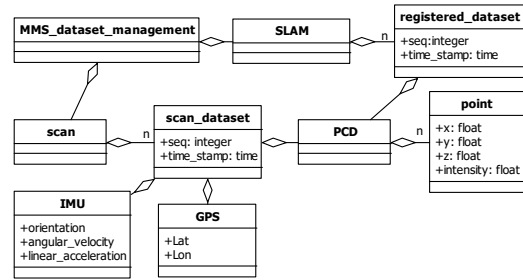


Fig. 4. R-MMS database architecture (UML)

5. 프로토타입 개발 및 분석

5.1 프로토타입 개발

제안한 R-MMS의 실시간 3차원 스캔 모바일 맵핑 방법에 대한 효율성을 확인해 보기 위해, 앞서 정의된 프레임워크 기반 프로토타입을 개발하였다.

Table 2. Prototype System Implementation

Systems	Framework Component
Drive operation and power system	C1, C2, C9, C14
Sensor system	C5, C6, C7, C8
Data collection system	C4
Data processing and management system	C3, C13
Control system	C10, C11, C12

프로토타입 시스템 전체는 로버 전원 및 구동, 센서 관리, 데이터 취득, 데이터 처리 및 관리, 제어 파트로 구성된다. 로버 전원 및 구동 파트는 70 Kg Payload를 지원하는 모터 드라이버와 배터리 시스템으로 구현되었다. 동작시간은 3시간까지 지원한다. 센서 파트는 트림블 고정밀 LiDAR 장비, 벨로다인 VLP-16 및 RGBD 카메라 센서 등 다양한 장비를 부착할 수 있도록 설계하였다 (Fig. 5). Table 2는 앞서 설계된 프레임워크 컴포넌트를 프로토타입으로 구현한 요약표이다.

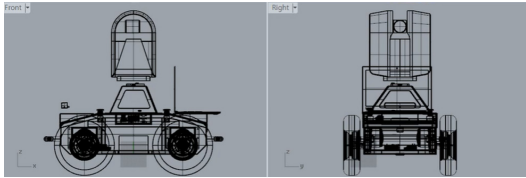


Fig. 5. R-MMS prototype hardware design

제어 파트는 원격으로 송수신되는 카메라 영상을 통해 로버를 제어하며, 통신 거리 200 meter 범위까지 제어 신호를 송수신할 수 있다. 데이터 처리 및 관리를 담당하는 제어 보드는 NVIDIA TX2를 사용하였다(Fig. 6). 야외에서 인프라 시설물에 대한 비전 정보를 취득하므로, 거친 지면을 운행할 수 있는 바퀴와 내구성 있는 바디 프레임이 지원된다. 데이터 취득 파트는 카메라, LiDAR, SLAM, IMU 정보를 취득하고, 제어 보드의 메모리에 저장 관리한다.

각 컴포넌트 간 데이터 교환 및 기능 호출을 위한 메시지 교환을 위해서 제어 보드는 말단 센서 및 장치들과 통신을 할 수 있어야 한다. 통신 상태는 모니터링 될 수 있어야 하며, 데이터 및 메시지 교환 시 문제가 있을 경우, 기록되고 진단될 수 있어야 한다.



Fig. 6. R-MMS control board, RF receiver, motor drive and power system

이를 고려해 ROS(Robot Operating System)을 적용하였다. 모바일 맵핑 중 오류 진단 및 시뮬레이션이 가능하도록, 데이터 기록 및 관리 모듈이 개발되었다. Fig. 7은 다양한 센서를 부착한 R-MMS 프로토타입 모습이다.

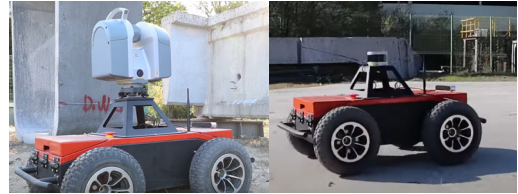


Fig. 7. Sensor system
(Left: Trimble TX8, Right: Velodyne VLP 16)

5.2 테스트 결과 분석

테스트는 K연구원과 U대학 내 건물과 내부 도로 인프라가 혼재된 환경에서 실험이 진행되었다. 테스트는 K연구원 건물 내 도로와 비포장도로를 로버로 주행하며, SLAM기반 모바일 맵핑을 수행하는 실험 조건에서 스캔 작업 생산성과 정확도 확인한다.

K연구원의 경우, 로버의 주행 거리는 630.8m이며, 스캔 면적은 11,356.3m²이다(Fig. 8). 로버는 SLAM을 수행할 수 있도록 Velodyne VLP 16 LiDAR센서를 장착되었고, 모래와 자갈이 혼재된 비포장 도로에서 테스트되었다. 해당 면적 내에 포함된 건물 및 시설물을 스캔하기 위해 필요한 시간은 전체 26분 소요되었다. 스캔과 동시에 3차원 지도가 생성되었다. 취득한 데이터는 후처리를 거쳐 LAS 표준 스캔 데이터로 변환되었다. 변환을 포함한 데이터 처리 시간은 32분 소요되었다(Table 3).



Fig. 8. Test site for R-MMS performance evaluation

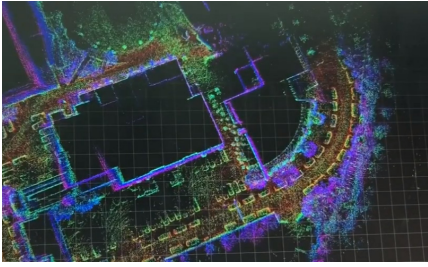


Fig. 9. 3D mobile mapping result of R-MMS

작업 생산성 비교는 스캔, 데이터 변환을 포함한 처리, 정합으로 구분해 비교하였다. Table 3는 각 단계별로 고정밀 고정식 LiDAR 장비인 Trimble TX8과 R-MMS 작업 생산성을 비교한 것이다.

Table 3. 3D mapping performance comparison (unit: minutes)

Step	Trimble TX 8	R-MMS	Difference (%)
Scanning	73	26	+47 (280.8%)
Data processing	13	32	-19 (40.6%)
Data Registration	48	0	-
Total	134	58	+76 (231.0%)

고정식 LiDAR를 이용해 해당 테스트 현장을 스캔 할 경우, 최소 10지점이 필요하였다. 또한, 장비 조작, 운반 및 사용에 최소 2명의 작업자가 필요하다. R-MMS는 1인이 원격 제어되는 범위내에서는 1인의 작업자가 FPV를 확인하며 스캔을 하므로, 작업 생산성이 높았다. R-MMS 자체가 무인 동작이므로 현장 작업 시 안전 문제 등의 발생 소지가 적었다.

R-MMS에 적용된 SLAM 데이터 정확도를 확인해 보기 위해, 정합된 PCD와 레이저 거리 측정기(Total Station) 측정값을 비교해 보았다. 정확도 비교를 위해서는 스캔 지점으로부터 측정 대상 지점의 점군까지 수평 거리를 측정한다. 본 연구에서는 측정을 위해 다음 수식을 정의하고 계산한다.

$$A_{h,L} = |D_{s,L} - D_{r,L}| \quad (2)$$

$D_{r,L}$ = measure distance
 $D_{s,L}$ = scan distance

$A_{h,L}$ = Absolute distance between $D_{r,L}$ and $D_{s,L}$
 $D_{r,L}$ = Measure distance using total station
 $D_{s,L}$ = Scan distance \in SLAM

$A_{h,L}$ 계산을 위해, CloudCompare란 포인트 클라우드 분석 소프트웨어를 이용해, 정합된 PCD의 바닥으로부터 2미터 지점의 단면을 생성하고 측정하였다. 정확도 비교 결과 0.16 ~ 0.52 meter 까지 편차가 있었다.

적용된 SLAM 기술의 정확도를 좀 더 확인해 보기 위해, U대학교 공과대학건물을 대상으로 같은 SLAM 장비를 이용해 데이터를 취득하고 테스트해보았다.

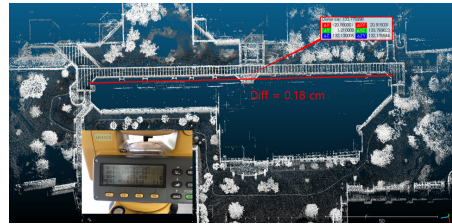


Fig. 10. 3D mobile mapping result of R-MMS

Table 4는 LoD(Level of Detail) 비교 결과 요약표이다.

Table 4. LiDAR SLAM LoD comparison (unit: meter)

Test Sample	SLAM	Total Station	Difference (ABS value)	Level of Detail(GSA)
K-H	75.47	75.30	0.17	Level 0
K-V	19.07	19.05	0.02	Level 2
C-H	133.77	133.58	0.19	Level 0
C-V	41.99	42.00	0.01	Level 3
Average	-	-	0.10	Level 2

비교 편차는 미국 GSA(General Services Administration)의 시설물 관리 기준으로 LoD(Level of Density) 기준 평균 Level 2를 만족한다[9]. 실외 인프라 시설물 및 토목 시공 시 현황조사, 대지 경계, 토공량 등 분석이 가능한 수준이다. 참고로 각 수준별 오차는 Level 2 ± 13 mm (26 mm), Level 3 ± 6 mm (12 mm), Level 4 ± 3 mm (6 mm) 이다[9].

5.3 실용화 개발 고려사항 도출

앞서 기술한 실험 조건에서 테스트한 결과를 통해 기술개발 시 고려사항을 도출하기 위해, 공간 측량 분야 경력 5년 이상의 전문가(3인) 자문을 통해 검토해 보았다.

전문가 검토 결과 SLAM 정확도는 고정밀 LiDAR에 비해서는 낮으나, 공간 기반 건축물 인프라 관리, 인테리어와 같이 정밀 시공이 필요 없는 유스케이스에서는 유용하다고 판단되었다. 또한, R-MMS에 적용된 SLAM기술의 정확도는 스캔 작업 방식 및 스캔 환경에 영향을 받으므로, 적절한 SLAM 작업 지침이 필요하다는 의견이 있었다. 이외에 R-MMS 개발 및 활용 시 다음과 같은 부분의 고려가 필요한 것으로 검토되었다.

- R1. 데이터 필터링 후처리: 스캔 데이터에 포함된 노이즈는 활용 시 나쁜 영향을 미친다. 반사 재질 등에서 발생하는 노이즈를 제거하기 위한 필터링 후처리가 필요하다.
- R2. 측량 기준점 활용: 스캔 데이터 정확도를 높이기 위해, 스캔 대상 부지의 주요 위치를 사전 측량하여, 이를 기준점으로 삼고, SLAM 데이터와 정합하는 프로세스를 고려할 필요가 있다.
- R3. R-MMS 활용 시 작업 절차 마련: 주행되는 로버의 속도, 스캔 경로의 폐합 여부 등은 SLAM 데이터 정확도 영향을 미치므로, 이를 활용하는 경우, 적절한 장비 운영 지침이 필요하다. 아울러, 이 기술이 적용 가능한 LoD를 제시하고, 그 범위 내에서 활용하도록 지침에 명시할 필요가 있다.
- R4. 작업 시 현장 통제 지침 필요: 데이터 취득 시 현장의 장비 활용 시간과 장소를 통제하여, 차량 및 사람 등 스캔 시 발생하는 노이즈를 최소화할 수 있는 여건에서 작업할 수 있도록, 작업 방식을 지침화할 필요가 있다.

6. 결론

본 연구에서 스캔 작업의 생산성을 높일 수 있는 로버 기반 3차원 스캔 모바일 맵핑 시스템인 R-MMS를 제안하고, 효율성과 한계를 분석하였다.

설계된 R-MMS 프레임워크를 기준으로 개발된 프로토타입을 이용해 실외 인프라 시설물을 스캔한 후 결과를 분석하였다. 이를 바탕으로 인프라 시설물 관리에 활용할 수 있는 이동식 스캔 장비 개발 고려사항을 도출하였다.

R-MMS는 정확도와 밀도 면에서 고정밀 LiDAR에 비해 낮다. 테스트 결과 GSA 평균 Level 2 수준 LoD가 필요한 영역에서 활용이 가능하였다. R-MMS는 1인이 원격 제어되는 범위내에서는 1인 작업자가 FPV를 확인하

면서 스캔 작업이 가능하므로 작업 생산성이 향상될 수 있었다. 또한, R-MMS 자체가 무인 동작이므로 현장 작업 시 안전 문제 등의 발생 소지가 적었다. 전문가 자문을 통해 기술 활용 시 고려사항을 도출하였으며, 이와 관련해, R-MMS와 같은 무인 장비를 사용할 경우, 일정한 작업 품질 수준을 보장할 수 있는 지침 개발 필요성이 제기되었다.

향후 연구에서는 지상형 정밀 GPS장치를 이용해 스캔 데이터의 위치 정확도를 확인할 계획이다. 또한, 형상을 맵핑할 때 정확도를 확보하기 위해 노이즈 필터링 기법을 개선하고, 딥러닝 기술 등을 이용한 데이터 품질 개선을 위한 방법을 연구할 계획이다. 이를 통해, 다양한 환경에서 적용이 가능한 모바일 맵핑 시스템을 개발할 계획이다.

References

- [1] T. W. Kang, "Study on 3D Image Scan-based MEP Facility Management Technology", KIBIM, vol. 6, no. 4, pp.18-26, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13161/kibim.2016.6.4.01>
- [2] K. D. Lee, S. H. Jung, K. H. Lee, Y. S. Choi, M. S. Kim, "Mobile Mapping System Development Based on MEMS-INS for Measurement of Road Facility", Journal of the Korean Society of Surveying, vol. 36, no. 2, pp.75-84, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.75>
- [3] Becker, R, Lublasser, E, Martens, J, Wollenberg, R, Zhang, H, "Enabling BIM for Property Management of Existing Buildings Based on Automated As-is Capturing", Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, vol. 36, pp.201-208, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0028>
- [4] Tanishq, G, Holden L, "Indoor mapping for smart cities - An affordable approach: Using Kinect Sensor and ZED stereo camera", International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp.18-21, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IPIN.2017.8115909>
- [5] J. K. Park, K. W. Lee, "Applicability Evaluation of Mobile Mapping System for Road Construction Surveying", Journal of the Korean Society of Surveying, vol. 40, no. 3, pp.169-175, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2021.39.2.103>
- [6] Ravi, R, Bullock, D, Habib, A, "Pavement Distress and Debris Detection using a Mobile Mapping System with 2D Profiler LiDAR", Transportation research record, vol. 9, no. 2675, pp.428-438, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1177/03611981211002529>

- [7] Hariz. F, Souifi. H, Leblanc. R, Bouslimani. Y, Ghribi. M, Langin. E, Mccarthy. D. "Direct Georeferencing 3D Points Cloud Map Based on SLAM and Robot Operating System", In 2021 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments. pp.1-6, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ROSE52750.2021.9611774>
- [8] Elhashash. M, Albanwan. H, Qin. R. "A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications", Sensors, vol. 22, no. 11, pp.42-62. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22114262>
- [9] GSA, BIM Guide For 3D Imaging, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11030365>
-

강 태 욱(Tae-Wook Kang)

[정회원]



- 2009년 3월 : 중앙대학교 건설환경공학 (공학박사)
- 2010년 6월 ~ 2011년 5월 : 중앙대 겸임교수
- 2011년 6월 ~ 2012년 6월 : 한길아이티 BIM본부장
- 2012년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

CAD, CAM, BIM, GIS, Computer Graphics, SW공학