

드론 및 지상 LiDAR 기반 실내외 융합모델의 재난현장 활용방안 연구

정용한*, 구슬*, 박정욱*, 김성삼*
*국립재난안전연구원 재난원인조사실
e-mail:jyh@korea.kr

A Study on the Application of Indoor-Outdoor Integrated Models Based on Drone and Terrestrial LiDAR for Disaster Sites

Yong-Han Jung*, Seul Koo*, Jung-Wook Park*, Seong-Sam Kim*
*Disaster Scientific Investigation Div., National Disaster Management Research Institute

요약

본 연구에서는 드론과 지상 LiDAR 등 다중 플랫폼 관측 자료를 기반으로 실내외 통합 3차원 융합 모델을 구축하여 재난 현장 조사를 수행하기 위한 활용성을 평가하였다. 한국로봇융합연구원(KIRO)의 십자형 및 터널형 구조물을 포함한 실증 실험장을 대상으로 드론 기반 실외 매핑과 지상 LiDAR 기반 실내 매핑을 수행하였으며, 실내외에 설치된 검사점 좌표를 활용하여 정확도를 평가하였다. 그 결과, 구축된 3차원 융합 모델의 평균 RMSE는 0.028 m로 나타났으며, 이를 통해 재난 피해 건축물에 대한 정밀 공간정보 구축의 가능성과 재난 현장 조사의 적용 가능성을 확인하였다. 또한, 향후 재난으로 인한 지형 및 지반 변화가 인공구조물 피해로 확산되는 과정을 정량적으로 분석하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 기후변화와 도시화의 가속으로 자연재난의 발생 빈도와 규모가 증가하고 있으며, 이에 따라 지형 및 지반과 밀접하게 연계된 건축물 피해 또한 확대되고 있다. 자연 재난으로 인한 피해는 실외 환경에서 발생하여 실내로 확산하는 양상을 보이므로, 실질적인 피해 조사를 위해서는 건축물의 실내외를 포괄하는 조사 체계가 요구된다. 그러나 육안에 의한 재난 현장 조사는 추가적인 붕괴 위험과 접근성 제한으로 인해 피해 원인 및 현황을 명확히 파악하는 데 한계가 있다.

LiDAR(Light detection and ranging) 레이저 펄스를 통해 대상물을 스캔하여 3D 모델 구축이 가능한 기술이다[1]. LiDAR 센서는 지상에 고정하거나, 드론 등 이동형 플랫폼에 탑재하여 활용할 수 있다. 지상 LiDAR는 고정밀의 데이터 취득이 가능하지만 스캔 위치에 대한 한계가 있고, 드론 LiDAR는 자유로운 데이터 취득이 가능하지만 실내 데이터 취득에는 어려움이 있다[2].

따라서, 본 연구에서는 드론 및 지상 LiDAR를 함께 활용하여 실내외 통합 3차원 융합 모델을 구축함으로써, 두 장비의 한계를 극복하고자 하였다. 한국로봇융합연구원(KIRO)의 십자형 및 터널형 구조물을 포함한 실증 실험장을 대상으로 드론 기반 실외

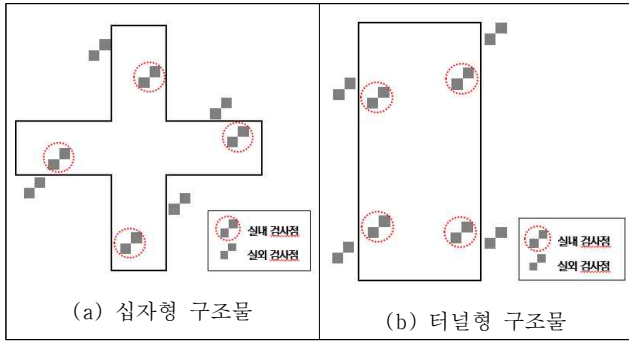
매핑과 지상 LiDAR 기반 실내 스캔을 수행하였다. 취득한 실내외 데이터는 사전에 설치 및 취득한 검사점의 좌표를 통해 정확도를 평가하여 지상 LiDAR가 드론 LiDAR보다 정확도가 높은 것을 확인하였다. 이후 3차원 융합모델을 구축하여, 그 정확도 평가를 통해 재난 피해 건축물에 대한 정밀 공간정보 구축의 신뢰성과 재난 현장 조사에의 적용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 대상지 및 검사점 좌표 취득

연구의 대상지는 한국로봇융합연구원(Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, KIRO) 안전로봇실증센터의 실외 실증 시험장에 위치한 십자형 및 일자형 구조물이다. 구조물은 콘크리트 재질로 주변에는 실제 재난현장과 유사한 붕괴 잔해물들이 널부러져 있는 형상이다. 십자형 구조물은 높이 1.7 m, 길이 10 m이며, 터널형 구조물은 높이 3.5 m, 길이 10 m로 설계되었다. 검사점은 구조물의 실내외 벽면에 부착되었으며, 구조물별로 총 8개로 총 16개의 검사점을 부착하였다[그림 1]. 부착한 검사점은 Black&White 타겟을 A4용지에 인쇄하였다. 검사점은 Trimble R10 GNSS 수신기를 통해 지상에 기준점의 좌표를 취득하고, 이를 기반으로 Leica TS10 토탈 스테이션

을 통해 벽면에 부착된 검사점의 좌표를 취득하였다.



[그림 1] 검사점 배치 현황

2.2 지상 LiDAR를 통한 실내 모델 구축

연구에 활용한 지상 LiDAR는 Leica BLK360이다. BLK360은 최대 초당 360,000 포인트를 취득하며, 최소 0.6 m에서 최대 60 m까지 스캔 가능하다. 지상 LiDAR를 통해 십자형은 5회, 터널형은 2회를 수행하였고, 두 구조물의 정합을 위해 2회를 수행하여 총 9회의 스캔을 수행하였다. 취득한 데이터는 자료처리 전용 SW Cyclone을 통해 Visual alignment 정합을 수행하여 하나의 실내 모델을 생성하였다.

2.3 드론 LiDAR를 통한 실외 모델 구축

실외 데이터 취득은 Matrice 350 RTK 드론과 Zenmuse L2 LiDAR 센서를 활용하였다. L2 센서는 총 5개의 반사 신호를 감지할 수 있으며, 초당 최대 1,200,000 포인트 취득이 가능하다. 촬영은 수직으로 40 m 높이로, 중복률은 80%, 스캔모드는 반복 모드로 수행하였다. 취득한 데이터는 DJI Terra SW를 통해 자료처리 하였고, 하나의 실외 모델을 생성하였다.

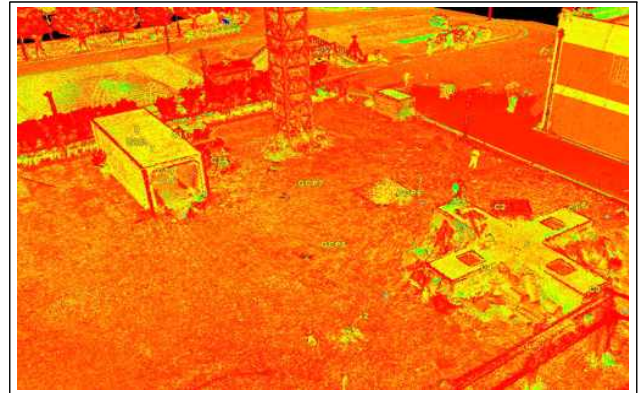
3. 결과 분석

3.1 실내 및 실외 모델 정확도 평가

생성한 실내외 모델을 검사점을 좌표를 통해 정확도를 평가를 수행하였다. 먼저, 구조물 내부에 부착한 8개의 검사점을 통해 실내 모델의 정확도를 평가하였다. RMSE는 X=0.005 m, Y=0.005 m, Z=0.035 m로 확인되어, 수평 방향의 정확도가 더 높게 나타났으나 수직 방향으로도 양호한 정확도를 나타내었다. 실외에 부착한 8개의 검사점을 통해 실외 모델의 정확도를 평가한 결과, RMSE는 X=0.030 m, Y=0.037 m, Z=0.047 m로 실내 데이터의 정확도와 같이 수평 방향의 정확도가 수직 방향의 정확도보다 높게 확인되었다. 수평 방향보다 수직 방향보다 정확도가 높았고, 실내 모델의 정확도가 실외 정확도보다 높은 것을 확인할 수 있었다.

3.2 실내외 융합모델 정확도 평가

정확도가 높은 지상 LiDAR를 통해 생성한 실내 모델을 기준으로 드론 LiDAR의 실외 모델을 융합하여 실내외 융합모델을 구축하였다[그림. 2].



[그림 2] 드론 및 지상 LiDAR 융합모델

구축한 모델의 RMSE는 X=0.009 m, Y=0.10 m, Z=0.035 m의 양호한 정확도를 확인할 수 있었다. 이를 통해 재난 피해 건축물에 대한 정밀 공간정보 구축의 가능성과 재난 현장 조사의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 드론 및 지상 LiDAR를 기반으로 실내외의 3차원 융합 모델을 구축하여 재난 현장 조사를 수행하기 위한 활용성을 평가하였다. 한국로봇융합연구원(KIRO)의 십자형 및 터널형 구조물을 포함한 실증 실험장을 대상으로 드론 기반 실외 매핑과 지상 LiDAR 기반 실내 매핑을 수행하였으며, 실내외에 설치된 검사점 좌표를 활용해 정확도를 평가를 수행하였다.

지상 LiDAR를 통해 구축한 실내 모델의 RMSE는 X=0.005 m, Y=0.005 m, Z=0.035 m로 확인되었으며, 드론 LiDAR를 통해 생성한 실외 모델의 RMSE는 X=0.030 m, Y=0.037 m, Z=0.047 m로 확인되었다. 그 결과, 수평 방향의 정확도가 수직 방향의 정확도보다 높게 나타났고, 지상 LiDAR의 정확도가 드론 LiDAR보다 높은 것을 확인할 수 있었다. 정확도가 높은 실내 모델 기반으로 실외 모델을 정합하여 구축한 실내외 모델의 RMSE는 X=0.009 m, Y=0.10 m, Z=0.035 m의 양호한 정확도를 확인하였다.

이를 통해, 재난 피해 건축물에 대한 정밀 공간정보 구축의 가능성과 재난 현장 조사의 적용 가능성을 확인하였으며, 향후 재난으로 인한 지형 및 지반 변화가 인공구조물 피해로 확산되는 과정을 정량적으로 분석하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 국립재난안전연구원의 주요연구과제(드론 기반 복합레저 시설물 안전 모니터링 방안 연구

(NDMI-2026-06-03))로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 정용한, 임언택, 석재욱, 구슬, 김성삼, “붕괴사고 현장조사를 위한 드론 LiDAR 활용”, 대한원격탐사학회지, 제 39권 5호, pp. 849-858, 2023년.
- [2] 국립재난안전연구원, “이동형 조사로봇의 재난사고 현장조사 현업 고도화 연구”, 연구보고서, pp. 105-113, 2025년.