

드론 항공 라이다를 활용한 산림지형별 다중반사 성능 평가

구슬*, 정용한*, 박정욱*, 김성삼*

*국립재난안전연구원 재난원인조사실

e-mail:sskim73@korea.kr

Multi>Returns Performance Evaluation of Drone-Based Air-born LiDAR Across Forest Terrains

Seul Koo*, Young Han Jung*, Jeong Wook Park*, and Seong Sam Kim*

*Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute, Republic of Korea

요약

라이다 측량은 레이저와 고정밀 IMU, GNSS를 통합해 3차원 공간 정보를 정밀하게 수집하는 기술이다. 현재 센서 기술의 발전으로 드론에 라이다를 탑재하여 고해상도 포인트 클라우드를 효율적으로 수집하는 방식이 가능해졌다. 특히, LiDAR의 다중반사(Multi-return) 신호처리 기술은 하나의 레이저가 여러 표면에 반사된 신호를 기록함으로써, 빽빽한 나뭇잎 같은 장애물을 투과해 지표면의 점 데이터를 효과적으로 취득하게 한다. 본 연구에서는 DJI Matrice 350 RTK 드론에 Zenmuse L1과 L2 센서를 장착하여, 50m에서 150m까지 스캔 고도를 달리하며 산림지역에서의 데이터를 취득하고 성능을 비교했다. 연구결과, L2 센서는 L1 센서에 비해 Z 방향으로 높은 정밀도 성능을 보였다. 특히, 고밀도 식생이 있는 복잡한 산림내 환경에서도 효과적으로 지면 점군 자료데이터를 확보할 수 있음을 확인하였다. 또한, 다중반사 신호는 산림과 같은 복잡한 지형 환경에서 유용할 수도 있지만, 스캐닝 대상 환경에 따라 다중반사 신호가 신뢰성 있는 점군 데이터를 제공하지 못할 수 있음을 확인하였다. 결론적으로 L2 센서는 복잡한 지형에서 신뢰성있는 점군 데이터 수집과 정확한 3차원 지형 모델링을 수행하는 데 강점이 있어 산악지형에서 발생하는 재난원인 조사와 정밀 지형분석에 적합한 장비로 판단된다.

1. 서론

2024년 산림청 통계자료를 살펴보면, 최근 10년간 국내 산사태 발생은 기후변화로 인한 집중호우의 빈도와 강도 증가에 따라 피해규모와 양상이 크게 변화하고 있다[1]. 특히, 2020년도에는 산사태 피해면적이 1,343ha에 달했으며, 2023년도에는 산사태로 인한 인명피해가 13명으로 급증하는 등 재난의 복잡성과 위험 수준이 높아지고 있다. 드론은 접근이 어려운 광범위하거나 고산지, 급경사지, 절벽과 같은 곳에 대한 피해조사가 용이하고 적은 조사인원으로 짧은 시간에 조사가 가능하여 효과적이다[2]. 특히, 라이다 센서를 탑재한 드론은 접근이 어려운 재난 현장에서 복잡한 지형이나 구조물의 변형을 정밀하게 분석할 수 있는 3차원 데이터를 생성할 수 있다. 이러한 데이터는 3차원 좌표(X, Y, Z) 외에도 반사 강도 정보를 포함하여, 산림 지역의 수치표고모델(DEM)을 생성할 수 있어 다양한 지형 조건에서 높은 정확도를 나타낸다[3]. 라이다 센서의 다중반사 신호처리 기술은 레이저 신호가 물체에서 반사된 횟수를 기록하여 다양한 깊이와 표면에서

데이터를 수집할 수 있다. 일반적으로 라이다의 다중반사 기능은 3회까지 지원되며 정밀한 지형 분석과 구조물 검사에 효과적이다. 또한, 복잡한 산림 환경에서도 지면까지의 포인트 클라우드 데이터를 수집할 수 있어 산림 모니터링 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 라이다 L1 센서와 L2 센서를 이용하여 지면 포인트 클라우드 데이터의 취득 여부를 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 실험 대상지로는 울산광역시 울주군의 산림 지역을 선정하였으며, 최근 연구원에서 주로 사용되는 DJI사의 Matrice 350 RTK 드론에 Zenmuse L1 센서와 L2 센서를 장착해 실험을 수행하였다.

2. 연구 활용장비

본 연구에서는 고해상도 영상 획득을 위해 DJI Matrice 350 RTK 드론을 이용하였다. Matrice 350 RTK는 쿼드콥터 형상의 드론으로 임무 수행 목적에 맞는 고해상 광학카메라나 분광카메라, LiDAR 센서를 탈부착할 수 있다. 비행속도는 최대 23 m/s로 55분 동안 비행이 가능하며, 기체의 호버링 정확도는 수평수직 ± 0.1 m, RTK 정확도는 수평 ± 1.0 cm, 수직 ± 1.5 cm이다.

연구 활용장비인 Zenmuse L1 센서와 L2 센서의 제원은 표1과 같다[4].

[표 1] 연구 활용장비 제원

	Zenmuse L1	Zenmuse L2
센서		
반사횟수	3회	5회
감지범위	단일반사 450m (반사율 80%) 다중반사 190m (반사율 10%)	단일반사 450m (반사율 50%) 다중반사 250m (반사율 10%)
포인트 비율	단일 240,000pts/s 다중 480,000pts/s	단일 240,000pts/s 다중 1,200,000pts/s
스캔모드	반복 / 비반복	반복 / 비반복
스캔범위	450m, 2.0km ²	450m, 2.5km ²
시야각	반복 70.4° x 4.5° 비반복 70.4° x 77.2°	반복 70° x 3° 비반복 70° x 75°

3. 연구방법

연구방법은 라이다 L1 센서와 L2 센서를 활용하여 점군 데이터가 지면에 도달하는지 여부와 투과 성능을 비교하고 평가하는 것을 목표로 수행했다. 라이다 스캐닝 고도는 50m, 80m, 100m, 150m로 설정하여 실험을 진행했다. 조밀하고 완만한 산림 지역 내 식생 하부, 조밀하고 경사가 가파른 산림지역 내 식생 하부에 크기 70cm x 70cm의 대공표지를 설치하고 취득한 점군 데이터의 높이 (Z) 값을 GNSS 기준점 데이터와 비교하여 절대 정확도를 평가하고 다중 반사 특성을 분석했다. 이 과정에서 대공표지 중심점으로부터 반경 1cm 이내의 점군은 지형적 기복 변화가 없다고 간주하고, 해당 점군의 평균 값을 분석에 활용했다. 지상 기준점 데이터는 GNSS 측량 장비인 Trimble R10을 사용하여 측량했다. 식생이 조밀하고 지형이 완만한 산림 내부에서 7점, 식생이 조밀하고 지형이 가파른 산림 내부 7점을 포함해 총 14개의 좌표를 취득했다[그림 1].

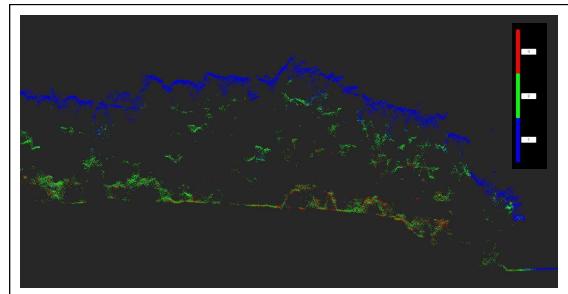


[그림 1] 연구흐름도

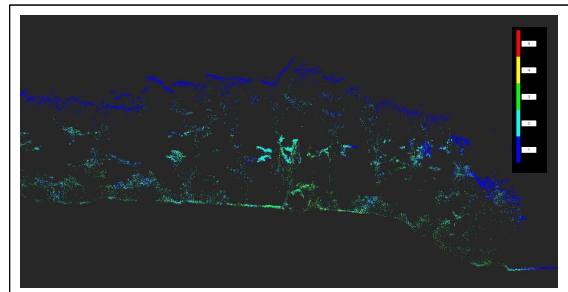
4. 연구결과

조밀하고 경사가 완만한 산림지역 내 식생 하부에 설치된 대공표지에서 취득한 점군 데이터를 GNSS 기준점 데이터와 비교한 결과, L1 센서와 L2 센서의 정확도 차이가 뚜렷하게 나타났다. L1 센서의 RMSE는 고도 50m에서 0.071m, 80m에서 0.112m, 100m에서 0.092m, 150m에서 0.132m로 나타났다. 반면 L2 센서는 고도 50m에서 0.041m, 80m에서 0.046m, 100m에서 0.054m, 150m에서 0.067m로, 전반적으로 더 낮은 RMSE를 기록하며 높은 정확도를 나타냈다. 두 센서를 비교한 결과, RMSE 차이는 고도 50m에서 0.03m, 80m에서 0.066m, 100m에서 0.038m, 150m에서 0.065m로 나타났다. 이를 통해 L2 센서가 L1 센서에 비해 약 1.7~2.4배 높은 정밀도를 제공한다는 점이 확인되었다. 특히, L2 센서의 작은 레이저 스팟 크기와 다중 반사 신호 처리 기능을 통해 조밀한 식생 하부에서도 안정적인 데이터를 효과적으로 취득 할 수 있을 것으로 판단된다.

다중 반사의 경우, 라이다 스캐닝을 통해 침엽수 수관의 점군과 수목 사이를 투과해 지면에서 취득된 점군이 동시에 나타난다. 하지만 침엽수는 잎이 작고 촘촘하게 분포하는 특성 때문에 라이다 신호를 흡수하거나 산란시키는 경우가 많아, 지면 점군이 나타나지 않는 부분도 확인되었다[그림 2].



(a) L1@50 조밀하고 완만한 산림 지역 내 식생 하부



(b) L2@50 조밀하고 완만한 산림 지역 내 식생 하부

[그림 2] L1센서와 L2센서의 산림지역 다중반사 특성(@50)

조밀하고 경사가 가파른 산림지역에 내 식생 하부에 설치된 대공표지에서 취득한 점군 데이터를 분석한 결과, L1 센서의 RMSE는 고도 50m에서 0.066m, 고도 80m에서 0.071m로 나

타났다. 반면 L2 센서는 고도 50m에서 0.039m, 고도 80m에서 0.052m로, 두 센서 간 RMSE 차이는 고도 50m에서 0.027m, 고도 80m에서 0.019m이다. 이는 L2 센서가 L1 센서보다 약 1.4~1.7배 높은 정밀도를 보여줌을 나타낸다.

다중 반사의 경우, 산림 중반부는 신호가 여러번 반사되는 환경으로 인해 L1 센서에서는 산림 내부 중반부에서 데이터 손실이 발생하는 것으로 나타났다. 반면, L2 센서는 5중 반사신호를 지원하기 때문에 L1 센서에 비해 복잡한 디층 구조에서도 레이저 신호를 효과적으로 감지하여 정밀한 점군 데이터를 수집할 수 있는 것으로 나타난다.

결론적으로 L1 센서와 L2 센서는 각각의 장점과 활용 범위를 가지므로 재난현장의 지형과 데이터 요구 사항에 따라 적절히 센서를 선택하여 운용할 필요가 있다. L1 센서는 넓은 평지와 같은 단순 지형에서 효율적이며, L2 센서는 산림 지역이나 복잡한 구조물에서 높은 정밀도와 점밀도를 제공한다. 특히, L2 센서의 다중반사 기술은 복잡한 지형에서 놓치기 쉬운 데이터를 보완할 수 있기 때문에 대규모 산림지역에서의 재난상황에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 행정안전부 국립재난안전연구원의 주요사업(이동형 로봇기반 재난사고 현장조사 공유 기술개발(NDMII-주요 -2025-06-01))로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 산림청, “산사태방지 종합대책” 2024년.
- [2] Tanzi, T. J., Chandra, M., Isnard, J., Camara, D., Sébastien, O., and Harivelo, F., 2016. Towards “drone-borne” disaster management: Future application scenarios. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3, 181–189. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-III-8-181-2016>
- [3] 구슬, 임언택, 정용한, 김성삼, “산악지형 현장운용을 위한 드론ライ다 센서 성능평가”, 대한원격탐사학회논문지, 제40권 6호, pp. 1359–1368, 2024년.
- [4] 국립재난안전연구원, “이동형 로봇기반 재난사고 현장조사 공유 기술개발” 2024년.