

# 시계열 드론매핑기반 산사태 모니터링에 관한 연구

김성삼<sup>†</sup>, 정용한, 구슬, 박정욱  
국립재난안전연구원 재난원인조사실  
e-mail:sskim73@korea.kr

## Study on Landslide Monitoring at Mountainous Area through Time Series Drone Mapping Approach

Seongsam Kim<sup>†</sup>, Yonghan Jung, Seul Koo, Jungwook Park  
Division of Disaster Scientific Investigation, National Disaster Management  
Research Institute

### 요약

드론의 자율 비행 성능과 관측 센서 기술이 발달하면서 경사와 높이 등 지형 변화가 심한 산악지역에서도 일정한 GSD를 확보하며 안정된 매핑과 3차원 지형 모델을 생성할 수 있는 terrain following 매핑 기술이 보편적으로 적용되고 있다. 이에 더불어 경사가 급한 비탈면에 대해 종래의 수직 항공촬영 방식과 경사 항공촬영 방식을 병행하는 스마트 경사촬영 방식이 도입되면서 산악지역에서의 드론매핑과 3차원 지형모델의 정확도가 획기적으로 개선되고 있다. 본 논문에서는 이러한 terrain following 방식과 스마트 경사촬영과 같은 최신 드론 사진측량기술과 시계열 매핑분석 기술을 활용하여 산악지역에서의 산사태 재난을 주기적으로 모니터링하는 방안을 제시하고자 한다.

## 1. 서론

최근 집중호우로 인한 산사태 피해가 점점 증가하고 있다. 2022년 9월, 태풍 힌남노가 한반도를 내습하면서 경북 토함산 일대에 크고 작은 산사태가 발생하였으며, 중앙정부와 지자체 중심으로 구조적/비구조적 복구계획을 수립하여 추가적인 피해를 최소화하는 노력을 기울이고 있다. 2023년에도 7월 집중호우로 인해 전국적인 인명피해와 재산 피해가 발생하였으며, 특히 경북과 충청지역 등 한반도 중부지역을 중심으로 피해가 발생하여 약 2조에 가까운 피해액이 발생하였다. 2025년 7월에는 5일간의 폭우로 약 30여 명의 인명피해와 함께 경남 산청, 경기 가평, 충남 서산 등 전국 곳곳에서 주택 침수, 농경지 유실, 도로 끊김 등의 시설 피해가 발생하였다. 특히 우리나라와 같이 급경사 산지가 많은 환경에서는 기록적인 집중호우, 산불 이후 산사태 취약성, 벌목, 임도개설과 같은 무분별한 산림 개발 등이 산사태의 재해 위험을 가중시키는 직접적인 원인으로 알려져 있다. 그러나 종래의 산사태 피해조사는 전문가 중심의 육안 조사와 위성이나 항공측량 방식에 의존하면서 신속하고 정밀한 현장조사 수행에 한계가 발생하고 있다. 최근에는 고해상도 영상을 단시간 내에 저비용·고효율적으로 획득할 수 있는 드론 사진측량 기술이 산사태 피해조사와 모니터링 업무에 효과적인 대안으로 주목받고 있다.

특히, 고해상도 RGB 카메라 기반 항공촬영을 활용하면 정사영상(Orthoimage)을 제작하여 산사태 피해 전·후 비교분석, 토사유출 면적 산출, 사면 안정성 검토 등이 가능하다[1]. 드론의 자율 비행 성능과 관측 센서 기술이 발달하면서 경사와 높이 등 지형 변화가 심한 산악지역에서도 일정한 GSD를 확보하며 안정된 매핑과 3차원 지형 모델을 생성할 수 있는 terrain following 매핑 기술이 보편적으로 적용되고 있다. 이에 더불어 경사가 급한 비탈면에 대해 종래의 수직 항공촬영 방식과 경사 항공촬영 방식을 병행하는 스마트 경사촬영 방식이 도입되면서 산악지역에서의 드론매핑과 3차원 지형모델의 정확도가 획기적으로 개선되고 있다. 본 논문에서는 이러한 terrain following 방식과 스마트 경사촬영과 같은 최신 드론 사진측량기술과 시계열 매핑분석 기술을 활용하여 산악지역에서의 산사태 재난을 주기적으로 모니터링하는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 대상지

본 연구의 대상지는 2022년 9월, 태풍 힌남노가 한반도를 내습하면서 크고 작은 산사태가 발생했던 경북 토함산의 땅밀림 의심 지역으로 선정하였다.



[Fig. 1] Study Area (Mt. Toham at GyeongJu)

### 2.2 데이터 취득 장비 및 방법

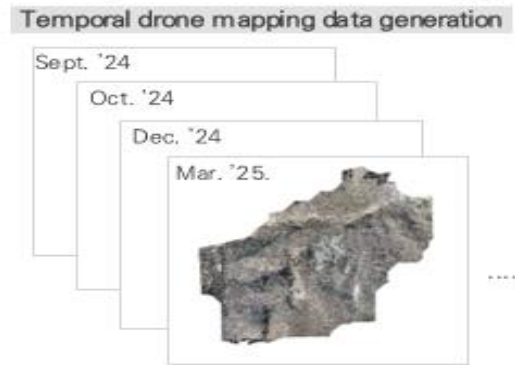
논문에서 활용된 실험장비는 DJI Matrice 350 RTK 드론과 이에 탑재된 고해상 광학카메라인 Zenmuse P1이며, 드론 항공사진을 드론맵핑처리하여 생성된 정사영상지도와 point cloud 자료 등 3차원 지형모델을 실험자료로 활용하였다.

촬영은 2024년 9월부터 2025년 8월까지 6회에 걸쳐 수행되었으며, 비행고도 120 m, 중·횡 중복도는 각각 80/80%로 설정하였다. 드론 항공영상은 DJI Pilot 2를 사용하여 RTK 기반의 동일한 촬영경로의 자동 비행계획을 수립후 취득했다.

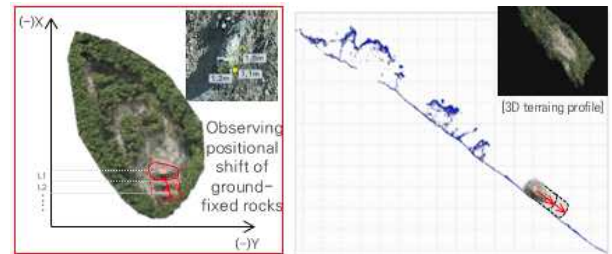


[Fig. 2] DJI Matrice 350 / Built-in Zenmuse P1

본 연구 대상지는 경북 토함산 일대 산사태로 인해 지반 변위가 의심되는 지역을 대상지로 선정하였다. 정사영상 생성을 위해 DJI Matrice 350 RTK 드론과 이에 탑재된 고해상 광학카메라인 Zenmuse P1으로부터 드론 경사사진과 정사사진을 동시에 취득하였으며, 대상면적은 14ha, GSD는 약 2cm였다. 드론매핑을 통해 생성된 정사영상지도와 3차원 지형모델을 통해 분석한 대상지의 지형의 평균 경사는 약 35~40도, 산사태 발생 면적은 약 1.8ha로, 붕괴 체적은 21,244m<sup>3</sup>로 관측되었다.



[Fig. 3] Temporal Drone Mapping Data Generation



[Fig. 4] Displacement Analysis using 2D Map / 3D Model

[Table 1] Specification of used drone

Drone model/Sensor	Specification	
Matrice 350 RTK	Size	810×670×430mm
	Weight	6.47kg(include battery)
	Flight speed	Max. 23m/s
	Flight time	Max. 55min.
	Hovering Accuracy	Hor. ±0.1m, Ver. ±0.3m
	RTK Accuracy	Hor. ±1.0cm, Ver.±1.5cm
Zenmuse P1	Size	198×166×129mm
	Weight	800g
	CCD size	359.24mm
	Eff. pixel	45MP
	Image size	8192×5460(3:2)
	Aperture	f/2.8~f/16

### 3. 실험 결과 및 분석

### 4. 결론

본 논문에서는 최신의 드론사진측량 기술과 시계열적인 매핑 분석을 적용하여 산악지역에서의 시간의 경과에 따른 산사태 변위를 모니터링하여 다음의 결론을 도출하였다.

첫째, 2024년 9월부터 2025년 여름에 걸쳐 토함산 산사태 발생지역에 대해 약 2,000여 장의 드론 항공사진을 취득하여 대상지의 3차원 지형 모델과 GSD가 2cm 내외의 영상지도를 생성하였으며, 이를 토대로 2D 정사영상/3D 모델상에서 시계열적인 지반 변위를 관측하고 분석하였다.

둘째, 대상 지형의 평균 경사는 약 35~40도, 산사태 발생 면적은 약 1.8ha, 붕괴 체적은 21,244m<sup>3</sup>로 관측되었으며, 이 기간동안 대상지의 변위는 거의 변화가 없는 것으로 확인되었다.

### 감사의 글

본 논문은 국립재난안전연구원의 연구과제(NDMI-주요-2025-06-01) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] 임언택, 정용한, 구슬, 김성삼, “드론매핑을 활용한 집중호우 산사태 피해 조사 및 분석” 대한원격탐사학회지, 제 40권 제 6호, pp. 1347-1357, 12월, 2024년.
- [2] 국립재난안전연구원(2024) 이동형조사로봇의 재난사고 현장 조사 운용 방안 연구, 국립재난안전연구원 연구보고서 (NDMI-주요-2024-06-02), pp. 133-144.