

# 지상라이다와 드론을 이용한 땅밀림 모니터링 연구

김종태<sup>1</sup> · 김정현<sup>2</sup> · 이창훈<sup>2</sup> · 박성철<sup>3</sup> · 이창주<sup>4</sup> · 정교철<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>주식회사 자연과기술 대표이사, <sup>2</sup>주식회사 자연과기술 선임연구원, <sup>3</sup>FITI시험연구원 선임연구원,  
<sup>4</sup>주식회사 대영건설 대표이사, <sup>5</sup>안동대학교 지구환경과학과 교수

## Monitoring Landcreep Using Terrestrial LiDAR and UAVs

Jong-Tae Kim<sup>1</sup> · Jung-Hyun Kim<sup>2</sup> · Chang-Hun Lee<sup>2</sup> · Seong-Cheol Park<sup>3</sup> · Chang-Ju Lee<sup>4</sup> · Gyo-Cheol Jeong<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>CEO, Nature and Tech Inc.

<sup>2</sup>Senior Researcher, Nature and Tech Inc.

<sup>3</sup>Senior Researcher, FITI Testing & Research Institute

<sup>4</sup>CEO, Dae Young Construction Inc.

<sup>5</sup>Professor, Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

### Abstract

Assessing landcreep requires long-term monitoring, because cracks and steps develop over long periods. However, long-term monitoring using wire extensometers and inclinometers is inefficient in terms of cost and management. Therefore, this study selected an area with active landcreep and evaluated the feasibility of monitoring it using imaging from terrestrial LiDAR and drones. The results were compared with minute-by-minute data measured in the field using a wire extensometer. The comparison identified subtle differences in the accuracy of the two sets of results, but monitoring using terrestrial LiDAR and drones did generate values similar to the wire extensometer. This demonstrates the potential of basic monitoring using terrestrial LiDAR and drones, although minute-by-minute field measurements are required for analyzing and predicting landcreep. In the future, precise monitoring using images will be feasible after verifying image analysis at various levels and accumulating data considering climate and accuracy.

**Keywords:** landcreep, terrestrial LiDAR, UAV, wire extensometer, monitoring

### OPEN ACCESS

\*Corresponding author: Gyo-Cheol Jeong  
E-mail: jeong@anu.ac.kr

Received: 7 February, 2023

Revised: 27 March, 2023

Accepted: 28 March, 2023

© 2023 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 초 록

땅밀림은 균열 및 단차가 오랜시간에 걸쳐 발생하기 때문에 장기적인 모니터링이 반드시 필요하다. 그러나 사면변위계, 경사계 등을 이용한 장기모니터링은 비용 및 관리 차원에서 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 땅밀림이 진행 중인 지역을 테스트베드로 선정하고 영상을 이용한 모니터링 가능성을 평가하였다. 이를 위해 지상라이다와 드론을 이용하여 땅밀림 모니터링을 실시하고 계측자료와 비교하였다. 현장 계측은 사면변위계를 설치하여 분단위 측정을 실시하였다. 분석값의 비교결과 정확도에 따라 미세한 차이는 있지만 지상라이다와 드론을 이용한 모니터링에서도 사면변위계와 유사한 값을 얻을 수 있었다. 이는 땅밀림의 정밀분석 및 예측을 위해서는 분단위의 현장계측이 필요하지만 지상라이다 및 드론을 활용한 기초 모니터링의 가능성을 보여준다. 향후 다양한 차원에서 영상분석에 대한 검증이 이루어지고 기후, 정확도 등을 고려한 데이터가 누적되면 영상을 이용한 정밀 모니터링도 가능할 것으로 판단된다.

**주요어:** 땅밀림, 지상라이다, 드론, 사면변위계, 모니터링

## 서론

최근 국내에서는 강우에 의한 산사태 및 토석류 뿐만 아니라 땅밀림에 대한 위험성이 제기되고 있다. 땅밀림(landcreep)은 강우 및 지하수 등에 의해 산지 비탈면이 포화되고, 중력 작용에 의하여 느린 속도로 이동하는 것을 의미하는 재해로서 하루에 0.01~10 mm 또는 일 년에 cm 또는 m 단위 정도로 서서히 이동하는 특징이 있다(Park et al., 2005; Kim et al., 2016; Seo et al., 2019).

국내에서 발생하는 땅밀림은 규모가 작고 발생 빈도도 적기 때문에 구체적인 연구가 시작된 것은 1990년대 중반부터이다(Woo, 1992). 그러나 땅밀림은 지질과 지형의 발달과정 뿐만 아니라 기후, 지하수위, 불연속면과 단층파쇄대의 붕괴 등 다양한 원인에 의해 발생하기 때문에 대부분의 연구는 원인 분석 및 해석이 주를 이루고 있다.

Lee et al.(2019)은 지진이 발생한 포항지역을 대상으로 지반조사를 통한 땅밀림의 특성을 분석하였으며 Jang and Yang(2010)과 Lee et al.(2018)은 암반사면의 안정성을 해석할 때 사면구성 암반의 지질학적인 요소, 사면 및 주변환경의 기하학적인 형태, 사면의 절개방법을 파악하는 것이 중요하지만 지하수에 의한 영향을 분석하는 것도 중요하다고 하였다. 최근 드론 등 원격탐사에 대한 연구가 활발해지면서 무인항공기를 이용한 땅밀림 분석에 대한 연구도 수행되었다. Kim et al.(2020)은 강원도 삼척시의 절토사면을 대상으로 땅밀림이 발생하는 사면에 대한 시계열 분석을 수행하였다.

Dewez et al.(2016)은 절벽 지형의 사진 측량을 통해 붕괴 위험성을 분석하였으며 땅밀림 발생사례가 많은 일본에서는 관련 연구가 1970년대에 시작되었고, 항공사진 판독과 현장조사를 통하여 땅밀림 지형을 판독할 수 있는 연구가 수행되었다(Tadashi, 1974; Inoue, 2008). 땅밀림은 균열 및 단차가 오랜시간에 걸쳐 발생하기 때문에 장기적인 모니터링을 통한 연구도 수행되고 있다. 특히 3D스캐너 등을 이용한 지형측량과 센서를 이용한 땅밀림 분석이 이루어지고 있으며 과거의 수치지형도와 비교하여 땅밀림을 예측하는 연구도 수행되었다(Glenn et al., 2006; Eechauk et al., 2007; Ghuffar et al., 2013; Chen et al., 2015; Seo et al., 2018).

또한 산사태와 땅밀림에 영향을 줄 수 있는 인자들을 대상으로 통계학적으로 분석하고 DEM 기반의 지형분석을 실시한 연구도 수행되었으며(Gritzner et al., 2001; Walsh et al., 2003; Miska and Hjort, 2005) 라이다를 이용한 산사태의 취약성 평가 및 산사태 발생에 따른 지형변화에 대한 연구도 수행되었다(Haugerud et al., 2003; Schulz, 2007).

그러나 대부분의 연구는 모니터링이 가능한 장치나 센서를 이용해서 각각의 가능성을 평가한 연구이다. 또한 땅밀림은 장기간 모니터링이 필요하지만 사면변위계, 경사계 등을 이용한 장기모니터링은 비용 및 관리 차원에서 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 땅밀림이 발생하는 지역을 테스트베드로 선정하고 영상분석 결과를 검증하였다. 이를 위해 계측은 사면변위계를 설치하여 분단위 측정을 실시하였으며 지상라이다(terrestrial LiDAR)와 드론(UAV)을 이용하여 땅밀림 모니터링을 실시하고 현장 계측자료와 비교하였다.

## 연구방법

본 연구는 영상과 계측을 통한 땅밀림 비교분석이 목적으로서 지상라이다, 드론, 사면변위계를 이용하여 땅밀림을 모니터링한 후 영상을 이용한 모니터링 가능성을 평가하였다.

연구지역은 경기도 양평군의 땅밀림 발생지역으로써 미그마타이트질 편마암과 용두리편마암복합체가 주를 이루고 있으며 산지개발에 의한 절토로 땅밀림이 지속되고 있다. 현장 조사 결과 토양은 산림토양인 것으로 나타났으며, B층까지의 토심은 0.6~0.9 m로 붕적층의 깊이가 비교적 깊은 것으로 조사되었다. 또한 해당지역 B층의 토성은 사질양토로 조사되었으며 토양구조는 괴상구조, 토양수분상태는 약건으로 나타났다. 임상의 경우 혼효림으로 조사되었으며, 생육수종은

소나무, 낙엽송, 잣관목 등인 것으로 확인되었다.

지상라이다는 고해상도의 디지털 카메라와 GPS가 탑재된 3차원 스캐너를 이용하였다(Table 1, Fig. 1). 측정기기는 최대거리 400 m, 정확도 6 mm인 3D 광대역 레이저 스캐너(RIEGL LMS-Z390)로써 레이저가 돌아오는 시간과 각도를 측정하여 대상물의 좌표(x, y, z)를 계산하는 방식이다. 레이저 스캐닝 체계를 이용하여 관측 대상물에 레이저를 발사하며 발사되는 레이저는 회전거울에 의해 일정한 간격을 유지한 채 여러 개의 레이저가 계속 발사되어 전체 관측대상물을 측량한다. 후처리 프로그램은 RIEGL의 RiSCAN PRO를 이용하여 필터링 및 정합을 수행하였으며 스캐닝 위치를 적절하게 바꾸며 여러 번 반복하여 스캔을 실시하였다.

**Table 1.** Specifications of terrestrial LiDAR (3D scanner\_RIEGL LMS-Z390i)

3D scanner	Technical data
3D scanner (RIEGL_LMS-Z390i)	Measurement range :
	for natural targets, r <sup>3</sup> 80 % : up to 400 m
	for natural targets, r <sup>3</sup> 10 % : up to 140 m
	Accuracy : 6 mm
	Vertical (line) scan_Scanning range : 0° to 80°
	Horizontal (frame) scan_Scanning range : 0° to 360°



**Fig. 1.** Terrestrial LiDAR surveying.

드론은 DJI사의 INSPIRE 2를 사용하였으며, HD 영상 전송 시스템, 360° 회전하는 짐벌, 4K 카메라인 젠뮤즈 X5 카메라(DJI ZENMUSE X5S)를 이용하여 고해상도의 영상을 획득하였다(Fig. 2). INSPIRE 2는 4축 회전익 드론으로서



**Fig. 2.** Collecting images using a drone for analysis of landcreep.



Google Map 기반의 경로 설명 및 자동비행이 가능한 특징이 있으며 GPS 수신 및 수동을 무선으로 제어하면서 빠르고 정확하게 영상을 획득할 수 있다. Table 2는 지상기준점(GCP)에 대한 정보를 나타낸다.

**Table 2.** GCPs data (3D GCP)

Label	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	264586.762	550088.715	152.072
2	264611.060	550092.409	147.696
3	264619.877	550070.544	152.863
4	264310.814	550135.697	137.817
5	264654.404	550109.119	138.332

사면변위계는 현장에 와이어센서를 설치하고 사면의 이동거리를 측정하는 방식으로 와이어센서를 고정하기 위해 상단부와 하단부를 천공하고 고정핀을 설치하였다. 사면 토층의 이동이 감지되면 바로 확인이 되며 초기장력이 유지되도록 조절하였다. 대상지역에는 1 m 간격으로 총 2개(E-1, E-2)를 설치하여 계측하였으며 센서의 주요 사양은 Table 3, Fig. 3과 같다. Fig. 4는 GCP에 대한 위치를 나타낸다.

**Table 3.** Specifications of the wire extensometer (PDP-1000)

Wire extensometer	PDP-1000
Dimensions (L × W × H)	88 mm × 68 mm × 76 mm
Measurement range	1,000 mm
Accuracy	±0.5% RO
Measurement time	1.0 s
Operating temperature	-10~80°C



(a) Model



(b) Setting

**Fig. 3.** Model and field installation.



Fig. 4. Location of POP-1000 and GCP in study area.

### 지상라이다, 드론, 사면변위계를 이용한 변위 측정

사면변위계를 이용한 측정은 최대한 정확한 데이터를 얻기 위해 분단위 모니터링을 수행하였으며 2개의 변위계를 설치하여 비교하였다. 2022년 4월부터 9월까지 모니터링 결과는 Fig. 5와 같다. 분석결과 2개의 사면변위계는 비슷한 경향을 보였으며 계측결과 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 라이다와 드론의 경우 땅밀림 연구대상지역에서 2022년 4월부터 9월까지 매월 1회씩 총 6회 촬영하였다. Fig. 6은 3D 스캐닝 분석결과인 데이터 이미지로써 연구지역 고도를 나타낸다.

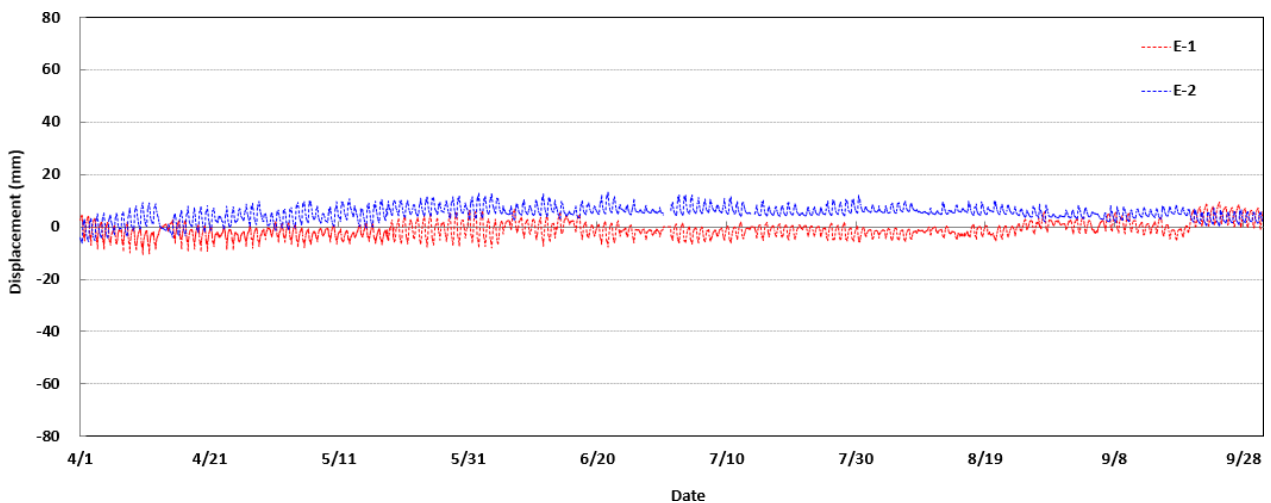


Fig. 5. Monitoring results using PDP-1000 (E-1, E-2).

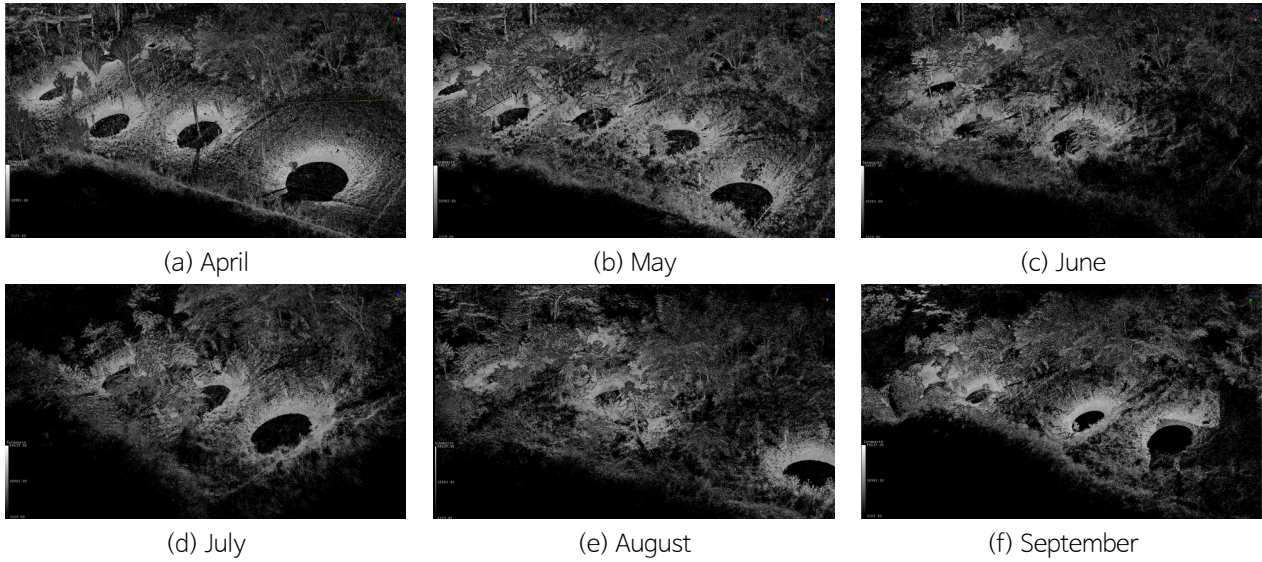


Fig. 6. 3D scans and monthly data from terrestrial LiDAR.

드론의 경우 PIX4D를 사용하여 2D 이미지를 3D 모델 또는 정사영상(고정밀 지리참조 지도)으로 생성하여 분석하였다. Fig. 7은 digital surface model(DSM)이며 Fig. 8은 정사영상을 나타낸다. Fig. 9는 월별 포인트클라우드를 나타내며, 포인트클라우드에서 데이터를 편집하고 분석할 수 있는 LiDAR360(terrain, forestry)프로그램을 이용하여 식생을 제거한 후 변위값을 분석하였다. LiDAR360은 포인트클라우드 후처리 소프트웨어로써 대규모 데이터의 시각화와 분류가 가능하다.

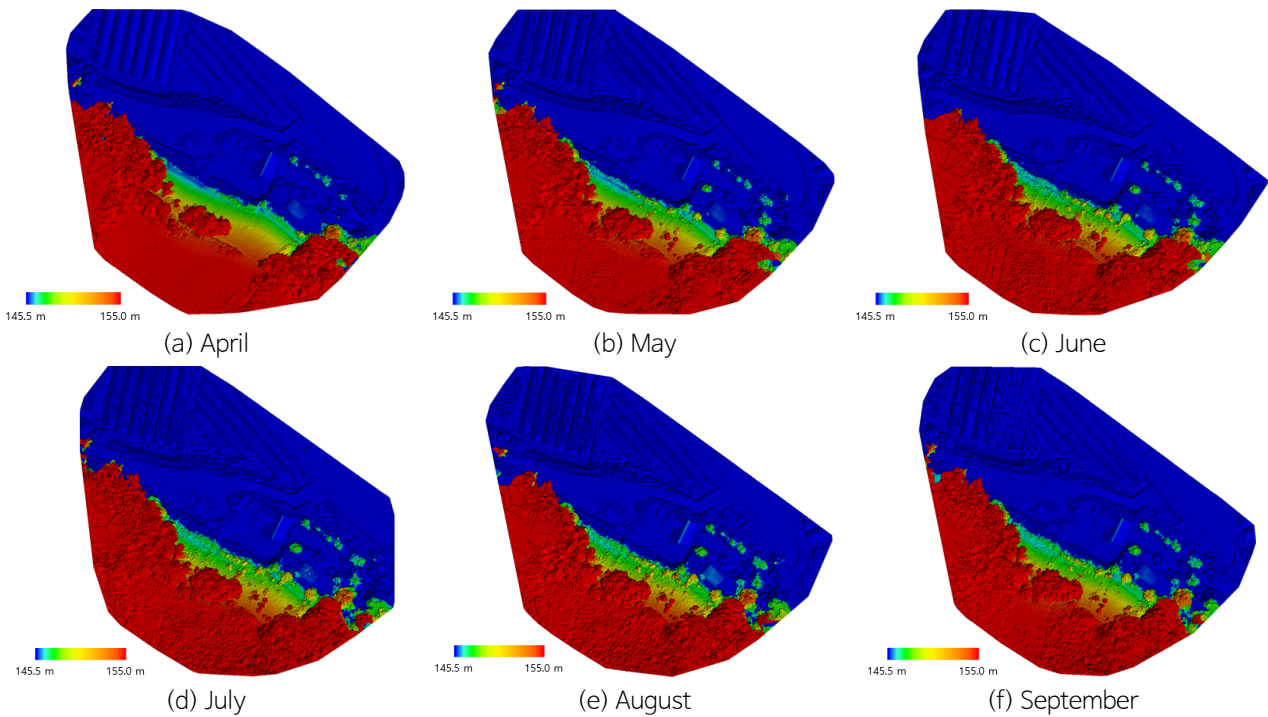


Fig. 7. Monthly DSM (Digital Surface Model) of the test bed.



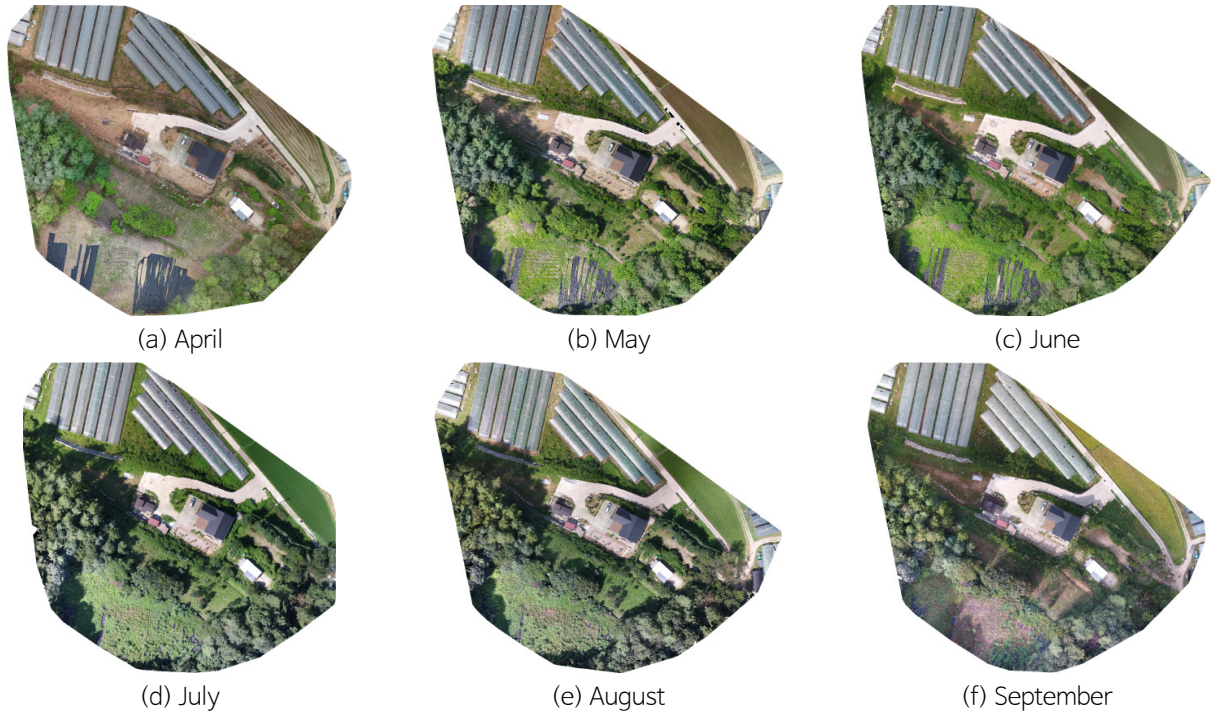


Fig. 8. Monthly drone images of the test bed.

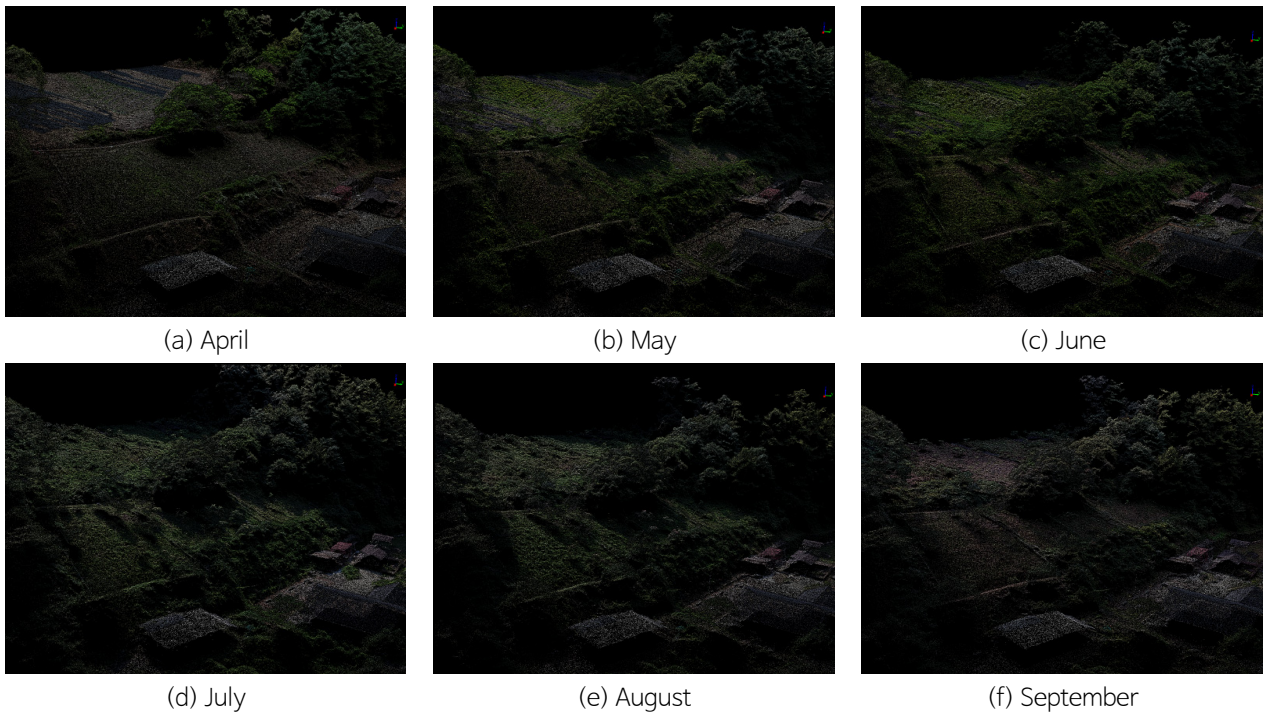


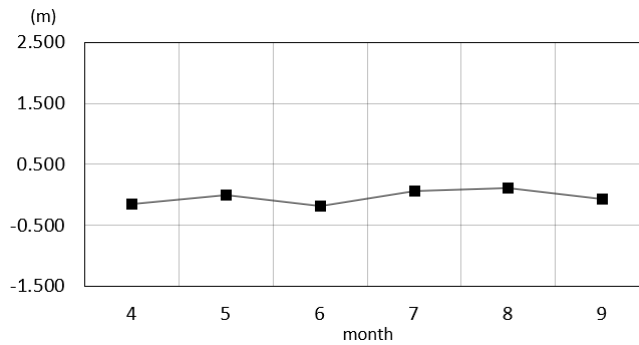
Fig. 9. Monthly point cloud data of the test bed.

### 측정결과와의 비교 분석

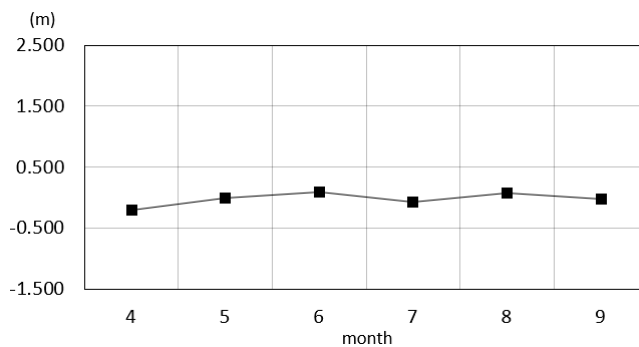
지상라이다와 드론 분석은 땅밀림 사면의 특정구역에 대한 면적과 부피 변화를 이용하여 고도를 계산하고 월별 비교하는 방식으로 하였다. 위치는 계측장치와 정확한 비교를 위해 계측기가 설치된 구간에서 분석하였으며 2022년 5월의 계측 결과를 기준으로 4월에서 9월까지 값을 비교하였다. Table 4는 땅밀림 모니터링 결과로써 월별 미세한 차이는 있으나 식생 등에 의한 일시적인 변화인 것으로 판단되며 연구기간 내 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 사면변위계 중 E-1의 최대 변위는 0.007 m, E-2의 최대변위는 0.001 m이며 지상라이다의 최대변위는 -0.194 m, 드론의 최대변위는 -0.182 m로 나타났다(Figs. 10~12). Fig. 13은 계측값과 영상분석 결과(드론과 지상라이다의 지형변위)를 비교한 그래프로써 영상자료를 통해 충분히 지형에 대한 측량 및 모니터링이 가능함을 보여준다.

**Table 4.** Analysis of topographic changes in the research areas (PDP-1000, terrestrial LiDAR, UAV)

Month	(m)			
	E-1	E-2	Terrestrial LiDAR	UAV
4	-0.007	0.001	-0.194	-0.152
5	0.000	0.000	0.000	0.000
6	-0.007	0.001	0.101	-0.182
7	0.000	0.000	-0.078	0.070
8	-0.007	0.001	0.073	0.118
9	-0.007	0.001	-0.029	-0.068



**Fig. 10.** Topographic change by month measured by UAV.



**Fig. 11.** Topographic change by month measured by terrestrial LiDAR.



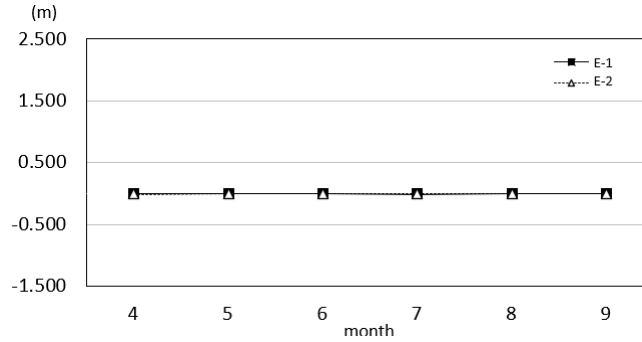


Fig. 12. Topographic change by month measured by PDP-1000 (E-1, E-2).

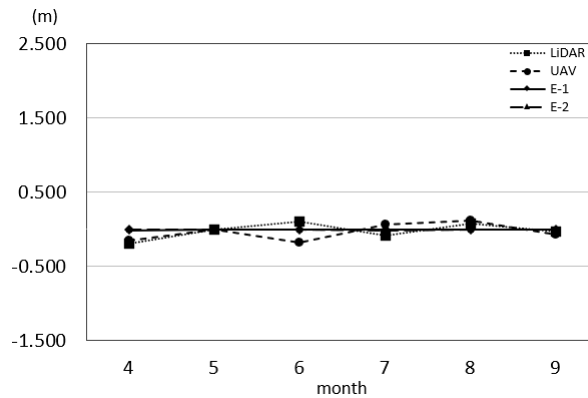


Fig. 13. Comparison of topographic changes in the research areas measured by different methods (E-1, E-2, LiDAR, UAV).

## 결론

본 연구에서는 계측장치와 영상을 이용하여 땅밀림을 비교하는 것이 목적으로서 지상라이다, 드론, 사면변위계를 이용하여 땅밀림이 발생하고 있는 지역을 대상으로 모니터링을 실시하였다. 사면변위계의 경우 1 m 간격으로 2개를 설치하고 오차를 줄이고 정확도를 높이기 위해 분단위 계측을 실시하였으며 지상라이다와 드론은 월 1회 촬영을 실시하여 비교하였다. 분석결과 정확도 차이에 따라 미세한 차이는 있지만 지상라이다와 드론을 이용한 모니터링에서도 사면변위계와 유사한 값을 얻을 수 있었다. 이는 땅밀림에 대한 정밀분석 및 예측을 위해서는 분단위 계측을 통한 모니터링이 필요하지만 지상라이다 및 드론을 활용한 기초적인 모니터링은 가능성을 보여준다. 향후 다양한 차원에서 검증이 이루어지고 데이터가 누적되면 영상을 이용한 정밀 모니터링도 가능할 것으로 판단된다.

## 사사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술연구개발사업(2021348A00-2123-CD01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## References

- Chen, R.F., Lin, C.W., Chen, Y.H., He, T.C., Fei, L.Y., 2015, Detecting and characterizing active thrust fault and deep-seated landslides in dense forest areas of southern Taiwan using airborne LiDAR DEM, *Remote Sensing*, 2015(7), 15443-15466.
- Dewez, T.J.B., Leroux, J., Morelli, S., 2016, Cliff collapse hazard from repeated multicopter UAV acquisitions: Return on experience, *Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 805-811.
- Eechauk, M.V.D., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Nyssen, J., Moeyersons, J., van Beek, L.P.H., Vandekerchove, L., 2007, Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 754-769.
- Ghuffar, S., Székely, B., Roncat, A., Pfeifer, N., 2013, Landslide displacement monitoring using 3D range flow on airborne and terrestrial LiDAR data, *Remote Sensing*, 2013(5), 2720-2745.
- Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwick, D.J., Thackray, G.D., Dorsch, S.J., 2006, Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity, *Geomorphology*, 73, 131-148.
- Gritzner, M., Marcus, A., Aspinall, R., Custer, S., 2001, Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho, *Geomorphology*, 37, 149-165.
- Haugerud, R.A., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., Weaver, C.S., Sherrod, B.L., 2003, High-resolution LIDAR topography of the Puget Lowland, Washington, *GSA Today*, 13, 4-10.
- Inoue, K., 2008, Interpretation of landslide topography -How to read aerial photographs-, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, 61(1), 61.
- Jang, H.D., Yang, H.S., 2010, An analysis of stability on rock lope by changing water level, *Tunnel and Underground Space*, 20(1), 7-14 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.D., Park, J.H., Lee, C.W., Kang, M.J., 2016, Crack form and soil physical properties in land creeping area on Okjong, Hadong, *Journal of Korean Forest Society*, 105(4), 435-440 (in Korean with English abstract).
- Kim, N., Choi, B., Choi, J., Jun, B., 2020, Time series analysis of soil creep on cut slopes using unmanned aerial photogrammetry, *The Journal of Engineering Geology*, 30(4), 447-456 (in Korean with English abstract).
- Lee, C.K., Moon, S.W., Yun, H.S., Seo, Y.S., 2018, Infinite slope stability analysis based on rainfall pattern in Ulleung-do, *The Journal of Engineering Geology*, 28(1), 11-24 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.S., Park, J.H., Park, Y., 2019, Analysis of characteristics using geotechnical investigation on the slow-moving landslides in the Pohang-si Area, *Journal of Korean Society of Forest Science*, 108(2), 233-240 (in Korean with English abstract).
- Miska, L., Hjort, J., 2005, Evaluation of current statistical approaches for predictive geomorphological mapping, *Geomorphology*, 67, 299-315.
- Park, J.H., Choi, K., Bae, J.S., Ma, H.S., Lee, J.H., 2005, Analysis on the characteristics of the landslide in Maeri (I) -With a special reference on geo-topographical characteristics-, *Journal of Korean Forest Society*, 94(3), 129-134 (in Korean with English abstract).
- Schulz, W.H., 2007, Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington, *Engineering Geology*, 89(1-2), 67-87.
- Seo, J.P., Kim, K.D., Woo, C.S., 2019, Analysis on displacement characteristics of slow-moving landslide on a slope near road using the topographic map and airborne LiDAR, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 20(5), 27-35 (in Korean with English abstract).
- Seo, J.P., Woo, C.S., Lee, C.W., Kim, D.Y., 2018, A study on detection and monitoring in land creeping area by using the UAV, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 19(11), 481-487 (in Korean with English abstract).

abstract).

- Tadashi, R., 1974, A survey of the landslides, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, 27(3), 41-50.
- Walsh, S.J., Bian, L., McKnight, S., Brown, D.G., Hammer, E.S., 2003, Solifluction steps and risers, Lee Ridge, Glacier National Park, Montana, USA: a scale and pattern analysis, *Geomorphology*, 55, 381-398.
- Woo, B.M., 1992, *Erosion control and conservation*, Hayngmunsa, 310p.