

수치지형도와 항공 LiDAR를 이용한 도로인접 사면 땅밀림 발생지 변위 특성 분석

서준표, 김기대, 우충식*
국립산림과학원 산림방재연구과

Analysis on Displacement Characteristics of Slow-Moving Landslide on a slope near road Using the Topographic Map and Airborne LiDAR

Jun-Pyo Seo, Ki-Dae Kim, Choong-Shik Woo*
Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science

요약 본 연구는 땅밀림과 같이 예측할 수 없는 재해가 발생했을 때 신속·합리·효과적인 복구계획 수립에 기초자료를 제공하고자 수치지형도와 항공 LiDAR 자료를 이용하여 땅밀림 발생지역에서 변위 특성을 분석하였다. 이를 위해 본 연구에서는 항공 LiDAR 자료를 통하여 땅밀림 발생지점을 탐지하고 지형변화와 발생규모를 정량적으로 분석하였다. 그 결과 본 연구대상지는 국내 땅밀림 발생의 일반적 형태인 말굽형태로 나타났고, 붕괴방향은 북쪽이었다. 땅밀림 발생의 전체 면적은 약 2.5ha, 활락에는 길이 약 327.3m, 평균 폭 19.3m, 평균 깊이 8.6m로 분석되었다. 땅밀림이 대규모로 발생한 것은 아니지만, 도로가 위치한 인접사면에서 발생하여 옹벽·도로가 파손되는 등 큰 피해가 발생하였다. 땅밀림 발생지의 현장조사는 접근성, 안전성 등의 문제로 제한사항이 있지만 항공 LiDAR를 통하여 정확한 분석이 가능한 장점이 있었다. 그러나 항공 LiDAR는 비용이 많이 드는 단점이 있기 때문에 신속·지속·장기적인 모니터링에는 무인기에 LiDAR를 탑재하는 기술을 개발하여 이를 활용하는 것이 효율적이다. 이러한 땅밀림 발생지에서는 땅밀림의 이동방향, 규모 변화와 같은 정보를 지속적으로 획득해서 복구계획 수립 및 피해를 예방하는데 있어 활용해야한다.

Abstract The purpose of this study is to analyze the displacement characteristics in slow-moving landslide area using digital elevation model and airborne LiDAR when unpredictable disaster such as slow-moving landslide occurred. We also aimed to provide basic data for establishing a rapid, reasonable and effective restoration plan. In this study, slow-moving landslide occurrence cracks were selected through the airborne LiDAR data, and the topographic changes and the scale of occurrence were quantitatively analyzed. As a result of the analysis, the study area showed horseshoe shape similar to the general form of slow-moving landslide occurrence in Korea, and the direction of movement was in the north direction. The total area of slow-moving landslide damage was estimated to about 2.5ha, length of landslides 327.3m, average width 19.3m, and average depth 8.6m. The slow-moving landslides did not occur on a large scale but occurred on the adjacent slope where roads were located, caused damage to retaining walls and roads. The field survey of slow-moving landslides was limited by accessibility and safety issues, but there was an advantage that accurate analysis was possible through the airborne LiDAR. However, because airborne LiDAR has costly disadvantages, it has proposed a technique to mount LiDAR on UAV for rapidity, long-term monitoring. In a slow-moving landslide damage area, information such as direction of movement of cracks and change of scale should be acquired continuously to be used in restoration planning and prevention of damage.

Keywords : Airborne LiDAR, Displacement, DEM, Slow-Moving Landslide, Topographic Map

*Corresponding Author : Choong-Shik Woo(National Institute of Forest Science)

Tel: +82-2-961-2684 email: woocs@korea.kr

Received February 25, 2019

Revised April 12, 2019

Accepted May 3, 2019

Published May 31, 2019

1. 서론

현재 세계적 기후변화로 인해 자연재해 발생빈도가 증가하고 있으며, 빈도뿐만 아니라 새로운 유형의 재해가 발생하여 이에 대한 예방 및 관리가 중요하다[1].

국내에서 발생하는 자연재해는 산에서 발생하는 산사태 및 토석류 피해가 대표적이며 이러한 피해는 강우와 태풍이 집중되는 여름철에 대부분 발생한다[2]. 국내 산사태 연평균 피해 면적은 80년대 231ha, 90년대 349ha, 00년대 713ha로 피해가 증가하고 있기 때문에 이를 예방하기 위한 사방사업 및 연구개발이 지속적으로 수행되고 있다[3].

그러나 최근 국내에서는 산사태 및 토석류 외에도 땅밀림과 같은 새로운 유형의 산지토사재해 위험성이 대두되고 있다. 땅밀림(slow-moving landslide)은 강우 및 지하수에 의해 산지비탈면이 포화되고, 중력 작용에 의하여 느린 속도로 아래로 이동하는 것을 의미한다[4-5]. 이러한 땅밀림은 하루에 0.01~10mm 또는 일 년에 cm 또는 m 단위 정도로 서서히 이동하는 특징이 있다[6-8].

국내에서 땅밀림과 관련된 연구는 1996년부터 시작되어 현재까지도 관련연구가 진행되고는 있지만 피해 사례가 많지 않기 때문에 제한된 연구가 수행되고 있는 실정이다[9]. 그러나 최근 들어 산사태 등 산지토사재해를 주관하는 산림청에서 지진 산사태·땅밀림 등 새로운 유형의 재난대응 체계 구축을 위해 다양한 사업과 연구개발을 수행하고 있다[10]. 산지토사재해 피해에 대해 효과적으로 대응하기 위해서는 다양한 사례에 대한 자료조사와 분석을 통해 많은 경험이 축적되어야 한다. 따라서 땅밀림 발생 및 특성 분석 등 관련 연구가 활발히 수행되어 땅밀림 현장에서의 조사장비, 조사방법 개발 등 관련 산업분야가 활성화될 필요가 있다.

땅밀림 발생사례가 많은 일본에서는 조사방법에 관한 연구가 1970년대에 시작되었고[11], 항공사진 판독과 현장조사를 통하여 땅밀림 지형을 판독할 수 있는 연구가 수행되었다[12]. 또한, 공중 전자기 탐사를 통하여 땅밀림 등 불안정한 사면을 선별할 수 있는 기술을 개발하였다[13].

땅밀림 발생지를 모니터링하기 위한 계획수립 단계에서는 발생 규모 등 현황을 파악하는 것이 중요하다. 그러나 땅밀림과 같은 산지토사재해는 발생지점을 미리 예측할 수 없기 때문에 사전에 정밀한 수치지형도를 획득하는 것은 불가능하다. 산사태 및 토석류 피해지에서는 규모를 산정하기 위해서 지형복원기법을 이용하여 토석류

발생이전의 지형을 복원하고, 발생이후의 항공 LiDAR 자료를 이용하여 피해규모를 추정한다[14].

땅밀림은 균열 및 단차가 곳곳에 있기 때문에 정기적이고 장기적인 모니터링을 통하여 사면 변위 특성을 분석하는 것이 중요하다. 변위를 모니터링 하는 방법은 측량기기를 이용하는 방법, 와이어 신축계·지중경사계 등 센서를 이용하는 방법, 수치지형도를 이용하는 방법 등 다양하게 있을 수 있다[8].

한편, 수치지형도를 생성할 수 있는 방법 중 항공 LiDAR(Light Detection and Ranging)는 지형의 표고 자료를 단시간에 정밀하게 획득할 수 있기 때문에 신속한 복구계획 수립이 가능한 장점이 있는 등 산지토사재해 분야에서 변위모니터링을 위해 이용되고 있다[15-18].

본 연구는 땅밀림이 발생한 지역에서 변위 특성을 분석하고, 신속·합리·효과적인 복구계획 수립에 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다. 이를 위해 과거에 제작된 수치지형도와 땅밀림 발생이후의 항공 LiDAR를 비교·분석하여 균열 등 변위 특성을 분석하였다. 또한, 수치지형자료를 이용함으로써 측량분야와 나아가 센서 계측을 통한 땅밀림 모니터링 등 관련 산업분야 발전에 일조하고자 수행하였다.

2. 연구대상지

연구대상지는 경상북도 경주시 양북면 장항리 일대 도로사면의 땅밀림 발생지이다(35° 47'26"N, 129° 23'42"W). 이 지역은 도로사면으로 상부 산지에는 소나무, 참나무, 산벚나무 등이 생장하고 있는 혼효림 지역이다.

2018년 10월 5일~6일에 한반도 남부지역을 통과한 태풍 '콩레이(KONG-REY)'의 영향 이후 7일 새벽 1시 경에 땅밀림이 발생하였다. 사면이 밀리기 시작된 지점은 도로에서부터 약 190m 상류 산지이다. 이로 인해 다수의 균열이 발생하였고, 하부 도로면 옹벽이 붕괴되고 약 150m 이상의 도로가 용기 및 침강되었다(Fig.1).

3. 연구방법

3.1 항공 LiDAR 촬영 및 자료 획득

본 연구의 항공 LiDAR 촬영에 사용된 항공기는 미국 CESSNA사의 CESSNA 208이고, LiDAR 장비는 독일 IGI사의 Lite Mapper 6800로 제원은 Table 1과 같다.

LiDAR 장비는 레이저 펄스를 지표면에 발사하여 반사파형을 기록하는 시스템으로서 포인트 자료가 아닌 각각의 레이저 빔에 대한 파형을 처리하기 때문에 정밀도가 높은 양질의 자료를 획득할 수 있는 장점이 있다.



Fig. 1. Photograph of the slow-moving landslide damaged area

Table 2. Specification of the Lite Mapper 6800

Spec.	Lite Mapper 6800
Horizontal accuracy	0.1 m
Vertical accuracy	0.03 m
Reflect resolution	0.4 m
Max. of recorded echoes	Unlimited
Reflect separative power	16 bit per return
Scan cycle	240 kHz
Scan angle	60°
Scan width	60°
Pulse repetition rate	240 kHz

본 연구에서는 항공기에 LiDAR 장비를 탑재하여 해당지역을 촬영하였다(Fig.2). 촬영은 2018년 11월 15일에 실시하였고, 땅밀림 발생지를 중심으로 약 8km²를 촬영하였다. 촬영 시 해당지역 반경 30km 내에 지상기준점을 설치하였고, 항공기에 GPS/INS를 탑재하여 0.5초 간격으로 비행정보를 획득하였다.



Fig. 2. The airborne LiDAR equipment used in this study

3.2 항공 LiDAR 자료 처리 및 공간정보 생성

획득된 항공 LiDAR 자료는 GPS/INS 처리과정을 통해 보정 및 전·후처리 작업을 수행하였다. 전처리 후 데이터는 수목 등이 포함된 수치표면모델(DSM; Digital Surface Model)로서 후처리가 필요하다. 후처리는 LiDAR 포인트 처리 전용 소프트웨어 Microstation과 TerraScan을 이용하여 수목 및 지물을 자동분류 하였고, 그 외의 오류 값은 수동분류로 보정하였다.

항공 LiDAR 자료는 점과 점간의 보간에 의해 지형을 생성한다. 본 연구에서는 복잡한 지형을 비교적 섬세하게 표현하고, 지형분석에 많이 활용되고 있는 불규칙삼각망(TIN; Triangulated Irregular Network)을 이용하여 1m급 수치표고모델(DEM; Digital Elevation Model)을 제작하였다[19].

3.3 땅밀림 발생지 변위 특성 분석

지형변위량을 분석하기 위해서는 대상지의 지형자료 분석이 필요하지만, 산지토사재해 발생의 정확한 시점과 위치를 예측하는 것은 어렵다.

따라서 본 연구에서는 땅밀림 발생 이전의 지형특성을 파악하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 1:5,000 수치지형도와 정사영상을 활용하였다[20]. 연구대상지에서 2016년에 제작된 수치지형도를 이용하여 1m급 DEM을 제작하였다. 땅밀림 발생 이후에는 항공 LiDAR 촬영을 통하여 DEM을 제작하여 땅밀림 발생 전·후의 변위 및 지형변위량을 비교·분석하였다(Fig.3,4). 분석에는 지형분석에 일반적으로 많이 활용되고 있는 ArcMap(ver. 10.2.2)을 이용하였다.

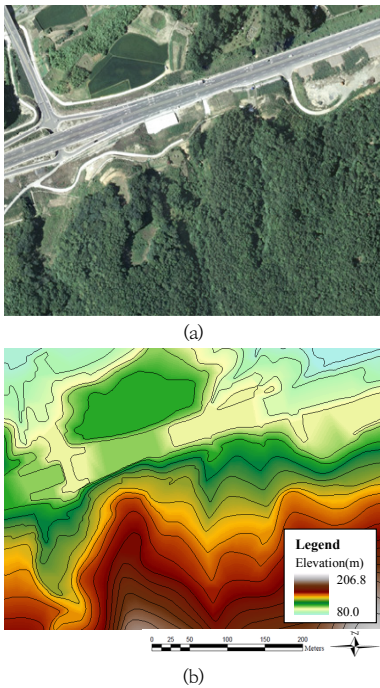


Fig. 3. Aerial photographs (a) and topographic map (b) in 2016

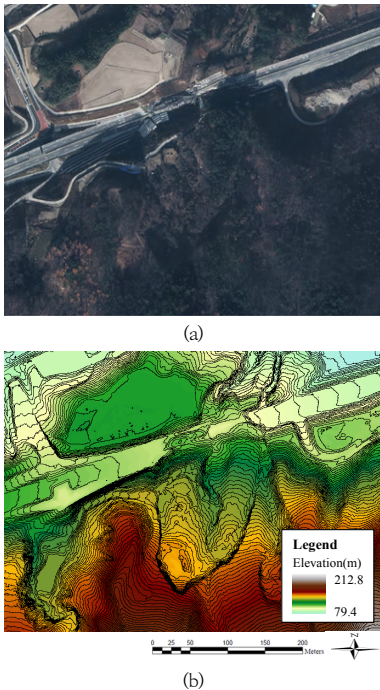


Fig. 4. Aerial photographs (a) and digital elevation model by airborne LiDAR (b) in 2018

4. 연구결과

4.1 땅밀림 발생지점 탐지

땅밀림 발생지에서 균열의 위치 및 규모를 파악하는 것은 진행방향과 특성 예측을 통한 복구계획 및 피해 예방에 있어 중요하다.

본 장에서는 땅밀림 발생지에 대한 기초 조사로서 항공영상과 추가로 촬영한 무인기(Unmanned Aerial Vehicle) 영상을 토대로 영상판독을 수행하였으며, 땅밀림 발생지의 주요 균열 위치를 도화하였다(Fig.5).

항공영상과 무인기 영상을 바탕으로 Fig. 5와 같이 땅밀림 균열 판독이 가능하였지만, 균열 위치, 균열 크기를 정량적으로 파악하기 위해서는 DEM을 이용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

그러나 땅밀림 발생지에서는 Fig. 5의 균열 위치 등 개략적인 피해정보를 이용하여 피해 발생 초기에는 추가 사고 방지를 위한 안전펜스 설치, 정밀조사 계획, 복구 계획 등에 효율적인 정보제공이 가능할 것으로 판단된다.



Fig. 5. Results of slow-moving landslide crack extraction at the study site

4.2 땅밀림 발생지 지형변위량

2016년에 촬영된 DEM과 2018년에 항공 LiDAR 촬영을 통하여 제작한 DEM의 비교·분석을 통하여 지형변위량을 산출하였으며, 산출방법은 식1과 같다.

$$\Delta z_{ij} = z_{ij}(1) - z_{ij}(2) \quad (\text{식 1})$$

여기서, Δz_{ij} : 개별 격자의 변위량, $z_{ij}(1)$: 변위 후 개별 격자의 높이, $z_{ij}(2)$: 변위 전 개별 격자의 높이, i : 라인 수, j : 행 수이다.

지형변위량을 비교한 결과 땅밀림 발생지에서 침식과 퇴적된 지점을 알 수 있었지만, 피해가 없는 주변지역을 비교한 결과 일부 오차가 포함되는 문제점이 있었다(Fig.6). 이는 수치지형도의 경우에는 산지의 수목 등 노이즈를 포함하고 있기 때문에 항공 LiDAR 결과와 지면점이 일치하지 않기 때문이다[21].

이를 보완하고자 본 연구에서는 땅밀림 피해 범위에 포함되지 않는 지면점을 기준으로 전·후 DEM 비교를 통하여 평균차 2.3m를 보정한 후 변위 특성을 분석하였다. 한편, 땅밀림 발생과 같은 재해 상황에서는 신속하게 그 피해 범위를 구축하고, 피해 규모 추정을 통하여 복구 및 피해예방 계획수립에 활용하는 것이 중요하기 때문에 지형변위량에 오차가 발생하더라도 수치지형도를 이용하는 방법이 전체적인 변위 패턴을 파악할 수 있어 효율적인 것으로 판단된다.

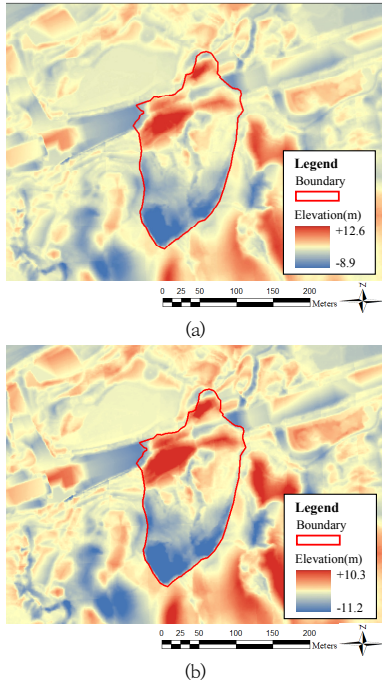


Fig. 6. Results of analysis on spatial variation using the DEM
(a) before calibration (b) after calibration

지형변위량 산출 결과 과거 지형에 비해 낮아진 지점은 침식된 것으로 (-)이고, 높아진 지점은 퇴적된 것으로 (+)이다. 본 연구지역에서는 최대 지형변위량이 -11.2m, +10.3m로 각각 나타났다(Fig.6(b)). 특히, Fig. 6(b)의 남쪽(사면 상부)에서 시작된 땅밀림으로 인해 침하된 부분과 북쪽 옹벽과 도로 부분에서 가장 큰 변위가 발생하였다.

땅밀림은 발생 지점 즉, 땅밀림 피해 경계부분에서 중력방향으로 토괴가 서서히 이동하여 균열이 발생하고 침하되기 때문에 지형변위 분석에서 (-)값으로 나타나는 것은 적합한 것으로 판단된다. 이는 국내의 다른 땅밀림 발생지를 대상으로 한 선행연구와 동일하였다[8]. 다만, 정량적인 수치에서는 오차가 있을 수 있지만 앞서 언급한 바와 같이 땅밀림 피해지의 전체적인 변위 패턴을 분석하고 원인을 파악하여 신속한 복구계획을 수립하는 것이 중요하다.

4.3 땅밀림 발생지 변위 특성

땅밀림으로 변화된 지형중 활락애(滑落崖, landslide scarp)는 사면 상부 이동토괴의 변위에 의해 활동면이 지표에 노출된 벼랑을 의미한다[22]. 땅밀림 발생지에서는 최상부에 발생하며, 그 깊이가 수 m에 이르는 특징이 있다.

본 장에서는 보정된 DEM을 이용하여 땅밀림 발생지를 구축하고, 변위가 큰 곳인 사면 상부의 활락애와 하부의 옹벽 파괴, 도로 용기가 발생한 곳을 대상으로 단면을 추출하여 지형변위를 분석하였다(Fig.7).

활락애가 있는 사면 상부는 5개의 단면으로 구분하여 MS_1 ~ MS_5로 표시하고, 균열의 길이와 깊이를 분석하였다(Fig.8). 활락애 중에서 가장 큰 변위를 나타낸 것은 MS_3번으로 폭 26.9m, 깊이 12.6m의 지형변화가 발생하였다. 또한, MS_1~3번의 변위 규모가 MS_4, 5번보다 상대적으로 큰 것으로 나타나 땅밀림 발생지의 좌측부분의 붕괴정도가 심한 것으로 판단되었다.

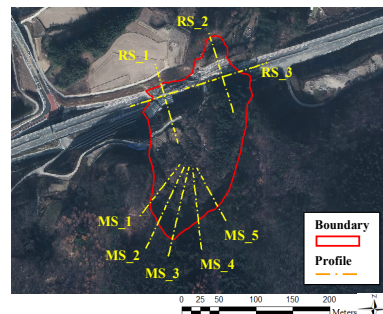


Fig. 7. Location of each profile in main scarp and road

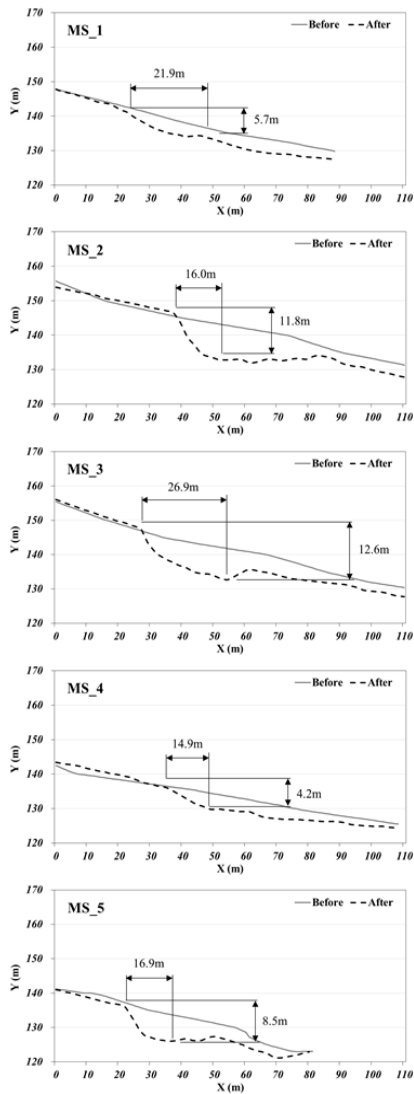


Fig. 8. Results of analysis on topography profile of MS_1-5 due to slow-moving landslide

한편, 땅밀림 사면의 하부 도로에는 횡방향 단면 RS_1, 2와 종방향 단면 RS_3의 변위를 분석하였다 (Fig.9).

RS_1에서는 사면에 시공된 옹벽이 토압을 견디지 못하고 약 11.0m 밀리면서 도로 피해에 영향을 준 것으로 추정되며, 이는 사면 상부의 좌측부분(MS_1~3)의 붕괴 규모와 관계있을 것으로 사료된다. 반면, RS_2단면의 경우 RS_1번 단면에 비해 변위가 크게 나타났는데 (Fig.9), 이는 옹벽과 같이 사면을 지지할 수 있는 구조물이 없었기 때문으로 판단된다.

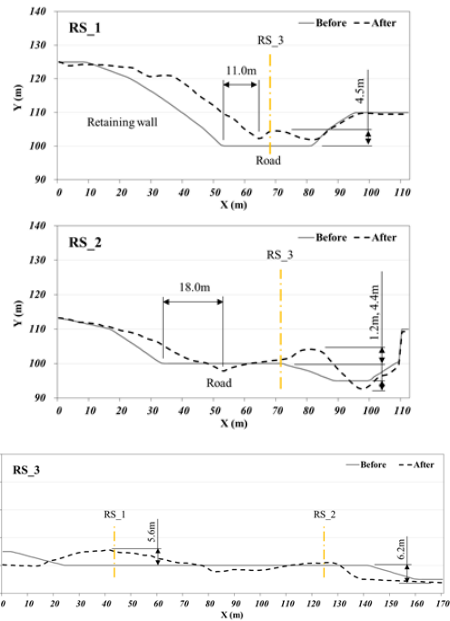


Fig. 9. Results of analysis on topography profile of RS_1-3 due to slow-moving landslide

본 연구의 땅밀림 대상지는 선행연구에서 밝혀진 하동 지역의 땅밀림 보다 폭과 깊이가 큰 규모였고[5] 반면, 광산지역에서 발생한 땅밀림의 균열 폭 보다는 작은 경향이 있었다[23]. 광산지역에서 발생하는 땅밀림은 채굴로 인해 대면적으로 암반이 깎이면서 상부의 토층이 아래로 무너져 내리는 지반침하 형태이기 때문에 그 피해규모가 큰 것으로 판단된다. 땅밀림 발생지에서 복구 계획을 수립하기 위해서는 발생원인과 균열의 규모를 고려해야만 효율적으로 추가 피해를 방지할 수 있을 것이다.

4.4 연구대상지의 땅밀림 발생 특성

연구대상지의 땅밀림 발생 특성을 분석한 결과 발생형태가 말굽형으로 다른 지역과 유사한 땅밀림 형태를 나타낸 것으로 판단된다. 붕괴방향은 북쪽을 향하고 있었는데 이는 국내의 땅밀림이 동쪽사면에서 많이 발생한다는 선행연구와 달랐다[24]. 그러나 땅밀림이 대부분 인위적인 원인에 의해 발생하는 것을 고려하면 사면의 방향은 발생원인 분석 및 복구계획 수립에 중요한 인자는 아닌 것으로 판단된다.

본 연구에서 땅밀림으로 피해를 받은 규모를 정량적으로 산정한 결과 산지사면 약 1.9ha, 도로 약 0.6ha로 전체 약 2.5ha로 나타났다. 또한, 활락애의 총 길이는 약

327.3m, 폭 약 19.3m, 깊이 약 8.6m로 나타났다(Table 3).

국내에서 발생한 다른 땅밀림 피해지보다 발생 규모가 크지 않았지만[8,23], 도로인접 사면에서 발생하여 옹벽·도로 파손 등 피해가 컸던 것으로 판단된다. 땅밀림은 이와 같이 산지전용, 산지개발 등 인위적인 원인에 의해서 발생하는 경우가 많이 있기 때문에 이에 대한 철저한 대비가 필요하다.

Table 3. Occurrence scale of slow-moving landslides in this study

Classification	Scale
Form of slow-moving landslide	Horseshoe
Direction of slow-moving landslide	North
Area of slow-moving landslide	2.5 ha
Length of landslide scrap	327.3 m
Average width of landslide scrap	19.3 m
Average depth of landslide scrap	8.6 m

또한, 본 연구수행 결과 땅밀림으로 인해 침식된 지형이 $-46,100\text{m}^3$ 이고, 퇴적된 지형이 $29,052\text{m}^3$ 으로 나타나 총 $17,048\text{m}^3$ 이 침식된 것을 알 수 있었다. 침식과 퇴적을 안다는 것은 응급복구 계획에 있어 퇴적 토사 제거를 위한 덤프트럭 이용, 침식지형 복구를 위한 성토계획 등 여러 계획수립에 효율적 활용이 가능하다.

5. 결론

본 연구에서는 과거 수치지형도와 항공 LiDAR 자료를 이용하여 땅밀림이 발생한 지역에서 변위 특성을 분석하고, 신속·합리·효과적인 복구계획 수립에 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다.

항공 LiDAR로 촬영된 지형영상을 이용하여 과거의 수치지형도와 비교·분석을 통하여 땅밀림 발생지점 탐지 뿐만 아니라 땅밀림으로 인한 지형변화와 발생규모를 정량적으로 분석하였다.

그 결과 본 연구대상지에서 발생한 땅밀림은 국내의 보편적 형태인 말굽형태를 나타내었고, 붕괴방향은 북쪽으로 나타났다. 발생면적은 전체 약 2.5ha이고, 활락에 길이는 약 327.3m, 평균 폭 19.3m, 평균 깊이 8.6m로 나타났다.

땅밀림 발생지의 현장조사는 접근성, 안전성 등의 문제로 제한사항이 있지만 항공 LiDAR를 통하여 보다 정확한 분석이 가능한 장점이 있었다. 반면, 항공 LiDAR 촬영은 비용이 많이 드는 단점이 있기 때문에 신속·지속·장기적인 모니터링에는 무인기에 LiDAR를 탑재하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

이러한 땅밀림 발생지에서는 땅밀림의 이동방향, 규모 변화 등의 정보를 지속적으로 획득해서 복구계획 수립 및 피해를 예방하는데 있어 효율적으로 활용할 수 있으며, 나아가 관련 산업분야 발전에도 도움이 될 것이다.

향후 땅밀림 발생지 조사에는 무인기에 LiDAR를 탑재하여 항공 LiDAR에 소요되는 비용과 시간을 단축시키고, 활용 범위도 넓어지기 때문에 관련 분야 발전에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] G. O'Brien, P. O'Keefe, J. Rose, B. Wisner, "Climate change and disaster management", *Disasters*, Vol.30, No.1 pp. 64-80, March, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00307.x>
- [2] B. G. Chae, J. H. and Jeong, H. K., "A feasibility study of a rainfall triggering index model to warn landslides in Korea", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.26, No.2 pp. 235-250, May, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.9720/kseg.2016.2.235>
- [3] Korea Forest Service, "2013 Main Business Plan Details", Korea Forest Service, Republic of Korea, 2013.
- [4] Korea Forest Service, "Soil Erosion Control Works Technology Textbook", pp. 432, Korea Forest Service, Republic of Korea, 2014.
- [5] K. W. Chun, "Erosion Control Engineering", pp. 426, Hyangmoon Publisher, Republic of Korea, 2011.
- [6] J. H. Park, K. Choi, J. S. Bae, H. S. Ma, J. H. Lee, "Analysis on the Characteristics of the Landslide in Maeri(I) -With a Special Reference on Geo-Topographical Characteristics-", *Journal of Korean Forest Society*, Vol.94, No.3 pp. 129-134, March, 2005.
- [7] K. D. Kim, J. H. Park, C. W. Lee, M. J. Kang, "Crack Form and Soil Physical Properties in Land Creeping area on Okjong, Hadong", *Journal of Korean Forest Society*, Vol.105, No.4 pp. 435-440, November, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.14578/ikfs.2016.105.4.435>
- [8] J. P. Seo, C. S. Woo, C. W. Lee, D. Y. Kim, "A Study on Detection and Monitoring in Land Creeping Area by using the UAV", *Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.11 pp. 481-487, November, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.11.481>
- [9] B. M. Woo, J. H. Park, H. T. Choi, G. S. Jeon, K. H.

- Kim, "A Study on the Characteristics of the Landslide in Hyuseok-dong(I) -Topographical Characteristics and Surface Displacement-", *Journal of Korean Forest Society*, Vol.85, No.4 pp. 565-570, March, 1996.
- [10] Korea Forest Service, "Implementation plan for landslide prevention in 2018", pp. 398, Korea Forest Service, Republic of Korea, 2018.
- [11] R. Tadashi, "A Survey of the landslides", *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol.27, No.3 pp. 41-50, December, 1974.
DOI: https://doi.org/10.11475/sabo1973.27.3_41
- [12] K. Inoue, "Interpretation of landslide topography -How to read aerial photographs-", *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol.61, No.1 p. 61, May, 2008.
DOI: https://doi.org/10.11475/sabo.61.1_61
- [13] T. Sugimoto, T. Nozaki, H. Sakai, "Applicability of helicopter magnetic prospecting to the landslide area on the rim area of Toga-Graben", *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol.66, No.1 pp. 23-29, January, 2013.
DOI: https://doi.org/10.11475/sabo.66.1_23
- [14] C. S. Woo, H. J. Youn, C. W. Lee, K. S. Lee, "Estimation of Spatial Soil Distribution Changed by Debris Flow using Airborne Lidar Data and the Topography Restoration Method", *Journal of Korean Forest Society*, Vol.101, No.1 pp. 20-27, October, 2012.
- [15] N. F. Glenn, D. R. Streutker, D. J. Chadwick, G. D. Thackray, S. J. Dorsch, "Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity", *Geomorphology*, Vol.73, No.2006 pp. 131-148, September, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.006>
- [16] M. V. D. Eechauk, J. Poesen, G. Verstraeten, V. Vanacker, J. Nyssen, J. Moeyersons, L. P. H. van Beek, L. Vandekerckhove, "Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest", *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.32, pp.754-769, September, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1417>
- [17] S. Ghuffar, B. Székely, A. Roncat, N. Pfeifer, "Landslide Displacement Monitoring Using 3D Range Flow on Airborne and Terrestrial LiDAR Data", *Remote Sensing*, Vol.2013, No.5 pp. 2720-2745, May, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5062720>
- [18] R. F. Chen, C. W. Lin, Y. H. Chen, T. C. He, L. Y. Fei, "Detecting and Characterizing Active Thrust Fault and Deep-Seated Landslides in Dense Forest Areas of Southern Taiwan Using Airborne LiDAR DEM", *Remote Sensing*, Vol.2015, Np.7 pp. 15443-15466, November, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs71115443>
- [19] H. Choi, "Evaluation of the Optimum Interpolation for Creating Hydraulic Model from Close Range Digital Photogrammetry", *Journal of the Korean society of surveying, geodesy, photogrammetry, and cartography*, Vol.23, No.3 pp. 251-260, September, 2005.
- [20] National Geographic Information Institute, National Geographic Information Platform,
<http://map.ngii.go.kr/>, 2019. (Retrieved 2019.2.13.).
- [21] C. S. Woo, "Development of the restoration method of topography for debris flow area using airborne Lidar data", pp. 122, Inha University, Ph.D. Dissertation, 2011.
- [22] Korea Forest Professional Engineer Association, "Soil erosion control works related glossary", pp. 491, Korea Forest Professional Engineer Association, Republic of Korea, 2011.
- [23] J. H. Park, S. G. Park, "Analysis of Instances of Characteristics Land Creep on the Mine Area in Korea", *Journal of Korean Society of Forest Science*, Vol.107, No.4 pp. 393-401, November, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.14578/jkfs.2018.107.4.393>
- [24] J. H. Park, C. W. Lee, M. J. Kang, K. D. Kim, "Analysis of Characteristics of Forest Environmental Factors on Land Creeping Occurrence", *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol.49, No.5 pp. 133-144, October, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14397/jals.2015.49.5.133>

서 준 표(Jun-Pyo Seo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 영남대학교 산림자원학과 (이학석사)
- 2019년 2월 : 영남대학교 산림자원학과 (농학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 연구원

<관심분야>

산지토사재해, 사방공학, 정보통신

김 기 대(Ki-Dae Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경남과학기술대학교 산림자원학과 (농학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 연구원

<관심분야>

산림수문, 사방공학

우 충 식(Choong-Shik Woo)

[정회원]



- 2006년 2월 : 인하대학교 지리정보학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 인하대학교 지리정보학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 연구사

〈관심분야〉

지리정보공학, RS/GIS