

# 무인기를 활용한 산지 땅밀림 피해지점 탐지 및 모니터링 방안 연구

서준표, 우충식\*, 이창우, 김동엽  
국립산림과학원 산림방재연구과

## A Study on Detection and Monitoring in land creeping area by Using the UAV

Jun-Pyo Seo, Choong-Shik Woo\*, Chang-Woo Lee, Dong-Yeob Kim  
Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science

**요약** 땅밀림 피해지에서 피해지점 및 균열 탐지, 피해규모를 효율적으로 분석하기 위해서 무인기를 활용한 피해지 탐지 및 모니터링 방안에 대해 본 연구에서 제시하였다. 땅밀림 피해지에서 무인기를 촬영하고 분석한 결과, 정사영상을 구축하면 피해지의 균열 탐지 및 규모를 파악할 수 있기 때문에 현장조사 전에 조사자 안전을 확보하고, 조사계획 수립에 효율적 활용이 가능하였다. 또한, 정사영상에서 지형정보를 추출하면 땅밀림 피해지 균열에 대한 정량적 분석이 가능하였다. 본 연구에서 시범적으로 적용한 대상지에서는 전체 균열 면적 1.01ha, 길이 1.07km, 평균 폭 10m, 단차범위 1~10m로 땅밀림 피해가 발생한 것으로 나타났다. 땅밀림 피해지에서는 정기적인 무인기 촬영을 통하여 지형변위를 탐지하고 피해 확산 방향, 규모 등에 대한 모니터링이 가능하기 때문에 복구계획 수립에 효율적으로 활용할 수 있다. 무인기를 이용하여 땅밀림 피해지에 시험 적용한 결과, 지형이 험준하고 위험한 산지에서 빠르고 쉽게 정성적·정량적 결과를 획득할 수 있는 장점이 있었다. 산사태, 토석류, 땅밀림과 같은 산지토사재해 현장에서 무인기 활용가치가 높기 때문에 관련 산업분야 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Abstract** This paper proposes a method to detect and monitor the land creeping area using a UAV to analyze the damaged area efficiently. Using a UAV, it was possible to secure the safety of the investigators before the field survey and effectively utilize it to establish an investigation plan because an orthophoto can be used to detect and scale the cracks in a land creeping area. In addition, it was possible to analyze the scale of the crack quantitatively by extracting the topographic information from the orthophoto. The study sites were found to have a total crack area of 1.01 ha, a length of 1.07 km, an average width of 10 m, and a step distance of 1 to 10 m. Periodic UAV measurements can be used to detect displacements on the land creeping area and monitor the direction and scale of crack spread. Therefore, it is expected to be used effectively during recovery planning. Applying the UAV to the land creeping area resulted in the qualitative and quantitative results quickly and easily in dangerous mountainous watersheds. Therefore, it is expected that it will contribute to the development of related industries because of the high availability of a UAV in forest soil sediment disasters, such as landslides, debris flow, and land creeping area.

**Keywords** : Detecting crack, Land creeping, Monitoring, UAV, Utilization possibility

### 1. 서론

산지 땅밀림은 밀린땅(지활지(地滑地); creeping land)

이라 표현하기도 한다. 땅밀림은 강우 및 지하수에 의해 산지비탈면이 포화되고, 특히 점토질이 많은 비탈면에서 중력작용에 의하여 느린 속도로 아래로 이동하는 것을

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

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

Received August 16, 2018

Accepted November 2, 2018

Revised (1st September 11, 2018, 2nd September 18, 2018)

Published November 30, 2018

의미한다[1-2]. 땅밀림지 상태에 따라 붕괴와 같이 이동 속도가 빠른 경우도 있지만, 대부분 하루에 0.01~10mm 또는 일 년에 몇 cm~몇 m 정도로 서서히 이동하는 특징이 있다[3-5].

국내에서 땅밀림에 관한 연구는 1996년부터 시작되어 현재까지도 관련연구가 진행되고 있으며, 땅밀림 발생지역의 지형 및 지질특성, 발생원인, 안정해석에 관한 연구가 대부분이다[3-4]. 최근 들어 땅밀림 피해지의 인장균열 형태와 토양 물리성 변화에 관한 연구가 수행되기도 하였다[5-6]. 땅밀림 피해지 특성에 대한 연구는 지속되고 있지만, 조사체계·조사방법에 관한 연구는 수행되지 않았다.

땅밀림 피해가 많이 발생하는 일본에서는 1974년 땅밀림 조사방법에 관한 연구가 수행되었고[7], 항공사진 판독과 현장조사의 시행착오 경험을 바탕으로 땅밀림 지형 판독에 관한 연구가 수행되었다[8]. 또한, 특정 기반암 지역에서 공중 전자기 탐사를 통하여 땅밀림 등 불안정한 경사면 조사를 진행하였다[9].

땅밀림 피해지는 균열(Crack)이 곳곳에 있는 경우가 많기 때문에 현장 조사시에는 안전에 유의하여야 한다. 따라서 땅밀림 현장조사에 앞서 피해범위, 균열 위치 등 안전성을 미리 확보하는 것이 중요하다.

땅밀림 현장조사에서 사용할 수 있는 장비 특히, 피해 규모 산정에 필요한 측량 장비는 줄자, 폴대, 레벨측량기, 광측거기, GPS, 지상 LiDAR, 항공 LiDAR 촬영 등 측량 산업분야에서 다양하게 있다.

최근에는 무인기(UAV; Unmanned Aerial Vehicle)를 이용하여 손쉽게 공간정보 획득이 가능해짐에 따라 관련 분야의 기술 개발이 급속도로 발전하고 있다. 특히 땅밀림 피해가 발생하는 산지 또는 붕괴지에서 무인기를 이용한 장비 개발과 산지훼손 현황 분석 등 산림공간정보 추출에 관한 연구가 진행되고 있다[10].

무인기를 이용한 산림공간정보 획득은 인력·시간·비용 절감·안전성 확보 등 여러 가지 측면에서 활용가치가 높은 것으로 생각된다. 특히 땅밀림 피해지에서 무인기 활용은 앞서 언급한바와 같이 균열의 위치, 크기 등을 미리 파악함으로써 현장 조사시 굉장히 유용한 정보를 제공하기 때문에 활용가치가 높을 것으로 생각된다.

본 연구는 산지 땅밀림 피해지에서 균열 위치·분포 탐지, 피해규모를 분석할 수 있는 조사 장비로서의 무인기 활용성을 검토하고, 효율적 활용방안을 제시하고자 수행

하였다.

## 2. 무인기 데이터 획득 및 공간정보 생성

### 2.1 무인기 촬영

연구에 사용된 무인기는 호주 DroneMetrex에서 개발된 Topodrone-100 고정형 무인비행 장치로 무인기 체원 및 모습은 Table 1, Fig. 1과 같다.

Table 1. Specification of topodrone-100

	Topodrone-100
Fuselage size	200cm×90cm×25cm
Fuselage weight	4.5kg
Max. Flight altitude	1,000m
Max. Flying speed	30m/s
Max. Flying time	40min

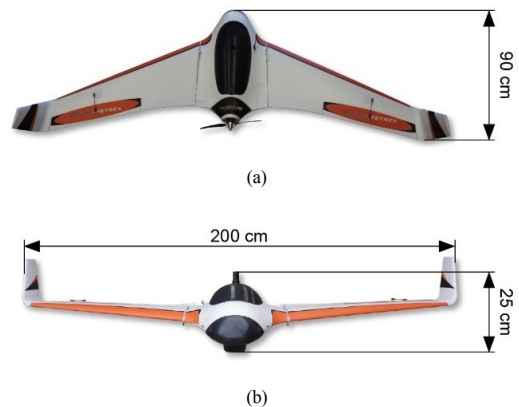


Fig. 1. Photograph of topodrone-100  
(a) Plan view (b) Front view

무인기 촬영지역은 경상북도내의 땅밀림 피해지를 대상으로 수행하였다(Fig.2). 본 지역은 무인기 촬영이전 비행승인 및 촬영승인 허가를 받고, 관련당국의 협조에 의해 수행되었다.



Fig. 2. Photograph of land creeping damaged area

무인기 촬영은 2016년 3월 22일에 실시하였으며, 땅밀림 피해를 중심으로 2km × 2km 촬영하여 약 4km<sup>2</sup>를 촬영하였고, 분석에 필요한 부분만 추출하여 이용하였다(Fig.3).



Fig. 3. Scene of UAV takeoff in survey area

무인기 촬영자료 정합은 PPK(Post-Processing Kinematic) 방식으로 수행하였다. 이 방식은 GCPs(Ground Control Points) 방식 보다 대면적 촬영에서는 시간효율성 등 장점이 많은 것으로 알려져 있다[11].

### 2.2 무인기 데이터 처리 및 공간정보 생성

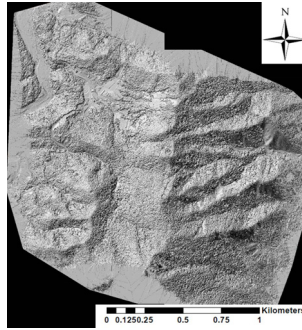
무인기 촬영후 본 연구에서는 Pix4D 프로그램을 이용하여 데이터 정합 및 후처리 작업을 수행하였다. Pix4D는 UAV 전용으로 개발된 프로그램으로 기존 사진촬영 정합 프로그램 및 UAV 기능이 추가된 프로그램보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있다[12].

본 연구에서는 공간해상도 7cm 급으로 정사영상이 구축되었고, 공간분석은 Arc GIS 10.2를 이용하여 균열 길이, 폭, 면적, 단차 크기, 공간변화량 추정을 실시하였다.

공간변화량 추정은 2014년 항공촬영 자료에서 연구대상 지역을 추출하여 1:5,000 수치지형도를 제작하고 분석에 활용하였다(Fig.4,5). 즉, 2014년 공간자료(항공촬영)와 2016년 공간자료(무인기촬영)의 비교·분석을 통하여 공간변화량을 추정하였다.

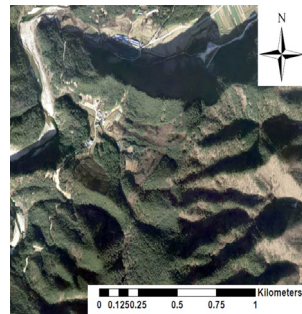


(a)

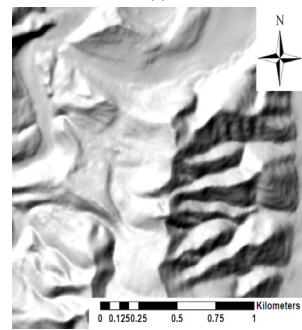


(b)

Fig. 4. Aerial photographs (a) and topographical data (b) acquired by UAV in 2016



(a)



(b)

Fig. 5. Air photographs (a) and topographical data (b) acquired by airphoto in 2014

### 3. 땅밀림 피해지 탐지

본 연구에서는 무인기 촬영으로 땅밀림 피해지역의 정사영상을 획득하고, 영상분석(image analysis)을 실시하였다. 이를 통하여 균열 발생 위치, 분포, 크기를 분석하고, 땅밀림 피해지에서의 무인기 활용성을 검토하였다.

#### 3.1 땅밀림 피해위치 및 분포 탐지

정사영상 분석을 통하여 땅밀림 피해지에서 균열 위치를 확인하고, 균열 길이·폭 등 피해규모를 정성적으로 파악하였다(Fig.6).

무인기 획득영상과 현장사진을 비교한 결과 신뢰성 있는 땅밀림 피해지 탐지가 가능한 것으로 판단된다(Fig.6(b)).

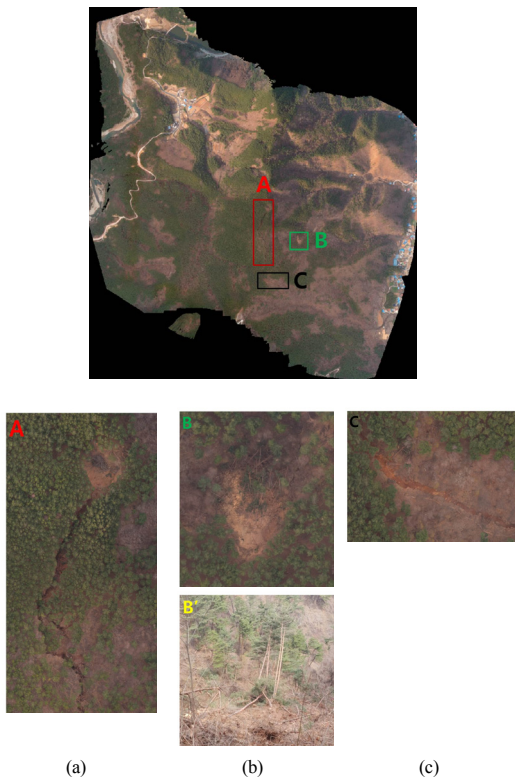


Fig. 6. Results of detection for land creeping area (a), (b), (c) enlarged photo. Yellow B' is a picture taken with a camera in the field

무인기를 통하여 획득한 땅밀림 피해지에 대한 정보 중에서 특히, 균열의 위치 및 규모 파악은 접근성이 어려

운 산지에서 유용하게 활용될 수 있다. 현장 조사자에 대한 사전 안전교육 자료로 활용하여 안전성을 확보하고, 땅밀림 피해지 현장조사 계획수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 관련분야의 선행 연구결과와 유사하게 산지도 사재해 피해 의심지역에서 주기적인 무인기 촬영을 통하여 지표 변위 분석 및 재해 위험성 분석에도 활용할 수 있다[13-14].

산사태·토석류·땅밀림과 같은 산지도사재해 피해 현장에서 무인기를 통하여 높은 산악지형에서도 신속하게 피해범위를 파악하는데 효율적인 것으로 판단된다.

#### 3.2 땅밀림 피해규모 분석

땅밀림 피해규모의 정량적 분석을 위하여 지형자료를 추출하고 GIS 공간분석을 수행하였다. 균열은 현장조사(Fig.7)와 영상분석 결과를 바탕으로 도화하였다(Fig.8(a)).



Fig. 7. Photograph of field survey

Fig. 8(a)에서 노란색 선은 균열, 녹색 선은 능선, 검은색 화살표는 외력방향을 나타낸 것이다.

땅밀림 피해지 균열을 분석한 결과, 피해면적 1.01ha, 길이 1.07km, 평균 폭 10m, 단차범위 1~10m로 나타났다(Table 2). 본 연구대상지는 선행연구에서 보고된 국내의 다른 지역 땅밀림 피해지보다 큰 규모로 관리가 필요한 것으로 판단된다[5].

Fig. 8(b)에는 A-A' 지점의 프로파일을 나타내었다. 프로파일을 통하여 땅밀림 피해지 균열의 단차를 파악할 수 있기 때문에 피해지 복구 계획수립에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

무인기로 획득한 정사영상을 통하여 지형자료를 추출하면 땅밀림 피해지 규모 등을 정량적으로 분석할 수 있다. 따라서 땅밀림뿐만 아니라 산지도사재해 피해 발생 시 피해면적 산출과 복구계획 수립을 비교적 쉽게 할 수 있는 장점이 있기 때문에 무인기 활용가치는 높은 것으로 판단된다.



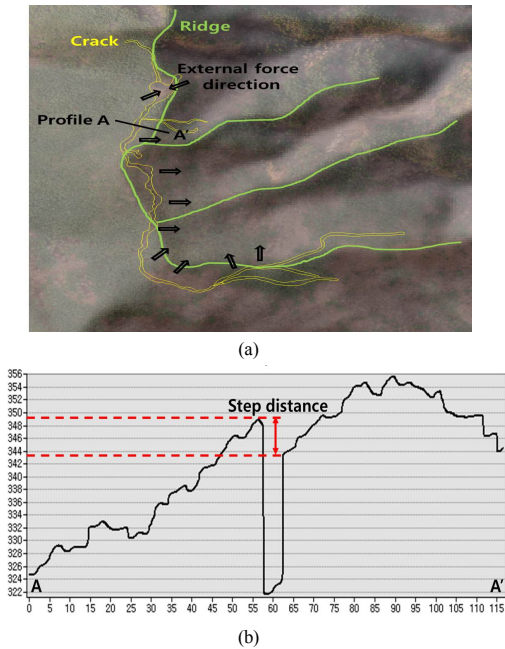


Fig. 8. Results of extracting land creeping area (a) location information for crack, ridge, and external force direction (b) profile graph for A-A'

Table 2. Results of quantitative analysis about crack

Crack area	1.01ha
Crack length	1.07km
Average width of crack	10m
Range of step distance	1~10m

### 3.3 땅밀림 피해지 공간변화량 분석

과거 항공 촬영된 자료와 무인기를 통하여 획득한 지형자료를 통하여 DEM을 형성하고, 식 1을 이용하여 공간변화량 분석을 하였다(Fig.9)

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

여기서,  $\Delta z_{ij}$  : 개별 격자의 변위량,  $z_{ij}(1)$  : 변위후 개별 격자의 높이,  $z_{ij}(2)$  : 변위전 개별 격자의 높이,  $i$  : 라인 수,  $j$  : 행 수를 의미한다.

공간변화량 분석을 통하여 변위가 발생한 지점을 쉽

게 탐지할 수 있고, 변위의 정량적 분석도 가능하였다.

본 연구대상지는 과거 지형에 비해 낮아진 지형은 최대 31m, 높아진 지형은 최대 32m 범위에서 변위가 발생하였다. 또한 땅밀림 균열이 위치한 지점은 대부분 과거에 비해 지형이 낮아진 것으로 나타났다. 이는 균열이 발생한 지점에는 지형 값이 없기 때문에 변위가 가장 크게 발생한 것으로 판단된다.

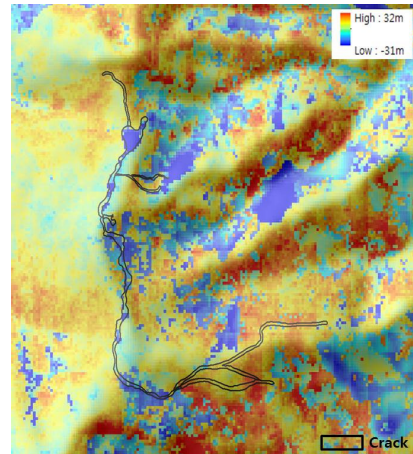


Fig. 9. Results of spatial analysis

### 3.4 무인기를 활용한 땅밀림 피해지 모니터링 방안

땅밀림 피해지는 균열이 발생하여 시각적으로 드러난 곳도 있지만, 심층에서 발생하기 때문에 현재까지 드러나지 않은 곳도 있다. 또한, 지진·강우·산지개발 등의 영향으로 땅밀림 피해가 새롭게 나타날 수 있다.

무인기를 땅밀림 피해지점 탐지 및 모니터링에 활용하기 위해서 무인기 촬영 횟수에 따라서 분석 및 목적이 다르게 적용될 수 있다.

최초 조사에서는 정밀 지형정보가 없기 때문에 기존에 촬영된 항공영상과 무인기 1차 촬영 자료를 비교/분석하여 피해지점 탐지 및 피해규모 파악에 활용할 수 있다.

2차 조사부터는 정기적인 무인기 촬영을 통하여 지형변위를 탐지하고 피해 확산 방향, 규모 등에 대한 모니터링이 가능하다. 이러한 결과를 통해서 복구방법·시기 등 복구계획 수립에 효율적으로 활용될 수 있다.

또한, 실제 크랙 규모와 유사한 정밀한 피해규모 산출은 무인기에 LiDAR를 탑재하는 기술을 고려할 수 있다.

LiDAR가 탑재된 무인기는 mm 급으로 지형정보를 획득할 수 있는 장점이 있지만, 산악지형을 고려하여 수목의 영향성(나뭇잎, 가지, 줄기 등)을 제거하는 데이터 후처리 기술과 융합하여 정밀한 피해 규모 산출이 가능할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구는 땅밀림 피해지에서 피해지점 및 균열 탐지, 피해규모를 분석할 수 있는 조사 장비로서의 무인기 활용성을 검토하고, 효율적 활용방안 제시를 위해 수행하였다.

무인기를 통하여 정사영상을 구축하면 땅밀림 피해지의 균열 탐지 및 규모를 파악할 수 있었다. 이는 현장조사 전에 균열의 위치와 규모를 정성적으로 파악함으로써 조사자의 안전을 확보하고, 조사계획 수립에 효율적 활용이 가능한 것으로 판단된다.

무인기에서 획득한 정사영상에서 지형정보를 추출하여 땅밀림 피해지 균열에 대한 정량적 분석도 가능하였다. 본 연구대상지의 경우 전체 균열 면적 1.01ha, 길이 1.07km, 평균 폭 10m, 단차범위 1~10m로 큰 규모의 땅밀림 피해가 발생한 것으로 나타났다.

또한, 과거의 지형정보와 비교를 통하여 공간변화량 분석을 할 수 있다. 공간변화량 분석을 통하여 변위발생 지점을 쉽게 알 수 있고, 피해강도, 확산방향도 추정할 수 있기 때문에 복구계획 수립에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

무인기를 이용하여 땅밀림 피해지 분석을 수행한 결과, 지형이 험준하고 위험한 산지에서 빠르고 쉽게 정성적·정량적 결과를 획득할 수 있는 장점이 있었다. 산지토사재해 현장에서 무인기를 이용할 때는 현장조사에 앞서 피해지역 전체를 촬영하고, 간단한 분석을 통해 피해 위치, 규모 등 피해 현황파악이 가능하다.

또한, 정기적인 무인기 촬영을 통하여 지형변위를 탐지하고 피해 확산 방향, 규모 등에 대한 모니터링이 가능하기 때문에 복구계획 수립에 효율적으로 활용될 수 있다.

산사태·토석류·땅밀림과 같은 산지토사재해 현장에서 무인기 활용가치가 높은 것으로 생각되기 때문에 관련 산업분야 발전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] Korea Forest Service, "Soil Erosion Control Works Technology Textbook", pp. 432, Korea Forest Service, Republic of Korea, 2014. [in Korean]
- [2] K. W. Chun, "Erosion Control Engineering", pp. 426, Hyangmoon Publisher, Republic of Korea, 2011. [in Korean]
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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/jkfs.2016.105.4.435>
- [6] K. D. Kim, m. J. Kang, J. H. Park, "Experimental Research for Collapse of Tension Crack in Land Creeping Area -The Case of Land Creeping Area in Okjong, Hadong-", *Journal of Agriculture and Life Science*, Vol.50, No.6 pp. 11-17, September, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14397/jals.2016.50.6.11>
- [7] 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. [in Japanese] DOI: <https://doi.org/10.11475/sabo1973.27.3.41>
- [8] 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. [in Japanese] DOI: <https://doi.org/10.11475/sabo.61.1.61>
- [9] 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>
- [10] Y. S. Lee, D. G. Lee, Y. G. Yu, H. J. Lee, "Application of Drone Photogrammetry for Current State Analysis of Damage in Forest Damage Areas", *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol.24, No.3 pp. 49-58, August, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2016.24.3.049>
- [11] C. Stöcker, F. Nex, M. Koeva, M. Gerke, "Quality assessment of combined IMG/GNSS data for direct georeferencing in the context of UAV-based mapping", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.XLII-2/W6, pp. 355-361, September, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-355-2017>
- [12] J. S. Visockiene1, D. Brucas, U. Ragauskas, "Comparison of UAV images processing softwares", *Journal of*

*Measurements in Engineering*, Vol.2, No.2 pp. 111-121, June, 2014.

- [13] U. Niethammer, M. R. James, S. Rothmund, J. Travelletti, M. Joswig, "UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results", *Engineering Geology*, Vol.128 pp. 2-11, March, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.03.012>
- [14] T. Peternel, Š. Kumelj, K. Oštir, M. Komac, "Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements" *Landslides*, Vol.14 pp. 395-406, September, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0759-6>

**이 창 우(Chang-Woo Lee)**

[정회원]



- 1994년 2월 : 영남대학교 입학과 (농학석사)
- 1998년 3월 : 일본 동경대학교 입학과 (농학박사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 연구관

<관심분야>

토질역학, 산지토사재해 예측, 사방연구

**서 준 표(Jun-Pyo Seo)**

[정회원]



- 2013년 2월 : 영남대학교 산림자원학과 (이학석사)
- 2018년 8월 : 영남대학교 산림자원학과 (박사수료)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 연구원

<관심분야>

산림재해, 사방공학, 정보통신

**김 동 엽(Dong-Yeob Kim)**

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울대학교 산림과학부 (농학석사)
- 2013년 8월 : 서울대학교 산림과학부 (농학박사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 연구사

<관심분야>

사방공학, 산사태 예측, 모델링

**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