

DSM 자료를 이용한 우면산 산사태 지형 분석

김기홍¹, 최현^{2*}

¹강릉원주대학교 토목공학과, ²경남대학교 토목공학과

Topographical Analysis of Landslide in Mt. Woomyeon Using DSM

Gihong Kim¹, Hyun Choi^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University

²Department of Civil Engineering, Kyungnam University

요약 우리나라에서는 매년 집중호우로 인하여 다양한 산사태 피해가 발생하고 있다. 특히 2011년 집중호우는 우면산 전체에 걸쳐 여러 지점에서 산사태를 야기하였고, 이로 인하여 인명 및 재산 등에 많은 피해가 발생하였다. 우면산 산사태는 특히 도심지에서 발생하였기 때문에 사회적으로 큰 이슈가 되었고, 국민적 관심을 받음에 따라 다각적인 조사와 피해복구를 위한 대책들이 빠르게 시행되었다. 폭우로 인한 산사태는 발생 당일 강우량에 큰 영향을 받으며, 상부에서 발생한 산사태가 유로를 침식하면서 그 규모가 커지게 되어 하부에 많은 피해를 야기한다. 본 연구에서는 우면산의 피해 지역 중 전원마을을 대상지역으로 선정하여, 항공 LiDAR로부터 취득한 DSM 자료를 이용하여 산사태 발생 전후 지형의 종단면 변화를 분석하였다. 이 지역은 크게 3개의 수문학적 유역으로 나눌 수 있으며, 발생부와 유하부의 평균경사를 비롯해 토사 흐름으로 인한 침식과 퇴적에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과 전원마을에서 발생한 토사의 총 유출량은 15,300m³으로 추정되었다. GIS를 기반으로 한 이러한 현장 데이터는 향후 비슷한 조건의 재해 발생시 그 피해를 예측하는데 기초 정보로 활용될 수 있으며, 다양한 토석류 시뮬레이션 결과를 비교분석하는데 도움이 될 수 있다.

Abstract Torrential rain causes landslide damage every year. In particular, the 2011 downpour caused landslides at numerous points throughout Mt. Woomyeon, which resulted in considerable damage to people and property. Because it occurred in an urban area, this case became a major social issue and received public attention. Measures were quickly implemented for multilateral investigations and recovery. Landslides caused by heavy rain are greatly affected by rainfall at the time. Landslides from the upper part erode the flow path, increasing the size, causing much damage to the lower part. This study selected a rural village area among the damaged areas of Mt. Woomyeon, and analyzed the change in terrain profile before and after a landslide using the DSM data obtained from airborne LiDAR. This area can be divided into three hydrological basins. For each basin, the analysis was performed on the average slope of each part of the flow path, as well as the erosion and deposition due to soil flow. As a result of the analysis, it was estimated that the total amount of soil from the Jeonwon village was 15,300m³. These field data based on GIS can be used as basic information to predict damage in the case of a similar disaster, and it can be helpful in analyzing the results of various debris flow simulations.

Keywords : Landslide, Airborne LiDAR, Profile, GIS, Erosion, Deposition

이 논문은 2017년도 강릉원주대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyun Choi(Kyungnam Univ.)

email: hchoi@kyungnam.ac.kr

Received November 4, 2020

Accepted December 4, 2020

Revised November 11, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

2011년 집중호우로 인하여 서울시 우면산에서 다발적인 산사태가 발생하였다. 연평균 강우량 1,451mm의 약 40%에 해당하는 588mm의 집중호우가 7월 26일에서 28일까지 3일 동안 집중되었으며, 이로 인하여 우면산에서 여러 건의 산사태 및 토석류가 발생하여 인명피해 67명, 주택파손 11세대, 침수 3,687건 등의 피해를 야기하였다[1]. 도심지역에서 발생한 재해로 인해 많은 인명피해가 발생하여 산사태에 대한 국민적 관심이 집중된 대표적인 사례라고 할 수 있다. 국내 산사태 연구는 최근 여러 연구자들이 관심을 가지고 활발하게 수행하고 있으며, 산사태의 발생에 대해 대규모 피해지를 대상으로 현장조사를 수행하는 사례연구가 이루어지고 있다[2,3]. 산사태 발생지역의 강우특성을 분석하는 연구는 실제 피해 지역의 시간당 강우강도에 대한 분석과 위험도를 예측하기 위한 강우기준 설정에 대해 주로 수행되었다[4-6]. 발생한 산사태 흐름에 관해서는 연형침식작용 분석을 이용해 강우의 침투, 산사태, 토석류에 이르는 일련의 과정을 해석한 연구가 수행되었다[7].

우면산의 경우 도심지에서 발생하였기 때문에 강우, 지질, 식생 등 다양한 현장 자료가 재해 발생 후 신속하게 취득되었다. 이러한 자료들은 산사태 발생 및 흐름을 보다 정확히 예측하고 시뮬레이션하는데 유용한 기초 데이터로 활용될 수 있다. 이와 관련된 연구로는 FLO-2D 모형을 적용하여 유동 매개변수들을 산정하고 모형의 적용성을 평가한 연구[8], Random Walk Model을 이용하여 유역의 흐름을 시뮬레이션한 연구[9] 등이 있다.

본 연구에서는 2011년 우면산 산사태 피해 지역 중 전원마을 구역을 연구대상 지역으로 선정하였다. 기존의 연구에서는 피해 전후의 DSM을 이용하여 흐름경로의 자세한 종단 비교 분석을 유역 전체에 수행한 연구사례가 드물며, GIS기법을 이용하여 유출량을 정량적으로 추정하는 것은 유용한 분석기법이 될 수 있다. 본 연구에서는 재난 발생 전후에 취득한 항공 LiDAR(Light Detection and Ranging) 데이터로부터 가공된 DSM(Digital Surface Model)을 기초 데이터로 이용하여 산사태 발생 지점부터 흐름 경로의 종단면을 추출함으로써 침식과 퇴적에 따른 지형 변화를 정량적으로 분석하였다.

2. 연구대상 지역 및 자료

우면산 산사태 피해지역 중 전원마을 지구는 남태령

동쪽에 위치하고 있으며, 행정구역상으로는 서울시 서초구 방배동에 위치하고 있다. 전원마을 유역 면적은 271,800㎡이며, 가장 많은 인명 피해가 발생한 지역이다(Fig. 1).



Fig. 1. Study area

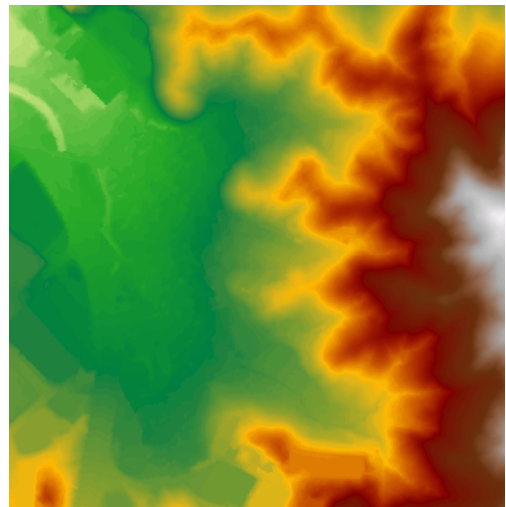


Fig. 2. DSM(1m grid, 2011)

현장조사 결과 유역 상부에 위치한 산사태 발생부는 22개소로 조사되었으며, 발생부 평균 부피는 62.9㎡로 비교적 작은 규모이고, 발생부 평균경사는 27°, 유하부 평균경사는 15.6°, 유하부 길이는 454.4m로 조사되었다[10]. 지형변화를 분석하기 위해 사용된 자료는 산사태 발생 이전인 2009년과 발생 이후인 2011년 취득된 항공

LiDAR 자료를 1m 격자로 가공한 DSM이다(Fig. 2).

3. 지형 분석

전원마을 지구를 주요 토사 배출구를 기준으로 유역을 크게 3개로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 A유역, B유역, C유역으로 구분하였다.

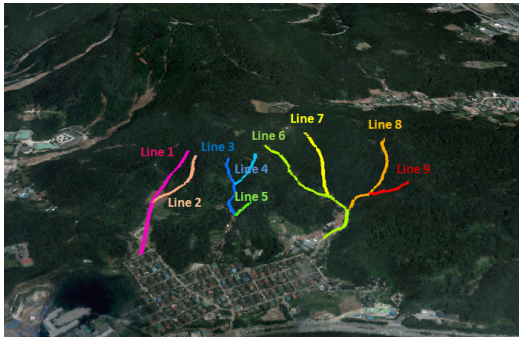


Fig. 3. Landslide path lines



Fig. 4. Profile lines

분석을 위한 산사태의 큰 흐름경로는 A유역에 2개 유하부(Line1-2), B유역에 3개 유하부(Line3-5), C유역에 4개 유하부(Line6-9) 등 총 9개가 존재한다(Fig. 3). Fig. 4는 각 유역에서의 종횡단면을 추출하기 위한 선을 나타낸다. 각각의 Line을 따라 종단면도를 작성하는데 있어서 변화의 차이를 육안으로 확인할 수 있게 2011년의 표고는 2009년의 표고 차이의 3배로 과고감을 주어

도시하였다.

전원마을 A유역의 면적은 79,100㎡, 발생부는 5개소, 발생부의 경사는 6°~27°이며 평균경사는 34.0°로 나타났다. 1개의 주요한 유하부가 존재하고, 유하부 주변의 경작지 사면 유실로 피해범위가 컸다[10].

Line1은 A유역에 위치한 유하부로, 산사태로 인한 토사가 전원마을의 북쪽 유역출구인 전원말안길 방향으로 유출된 유하부이다. 발생부 표고는 160m, 발생부 경사는 30~35°이며, 유역출구에서의 표고는 60m, 경사는 5° 이내이다. 발생부로부터 유역출구까지의 유하부 길이는 400m 정도였으며, 발생부와 유역출구의 표고 차이는 100m이다. 유하부의 폭은 15m 내외로 유지되다 발생부로부터 140m 지점 이후 경작지가 존재하는 지역을 지나며 크게 증가하였다. 유하부에서는 전체적으로 평균 0.5m 정도의 비교적 적은 침식이 관측되었고, 발생부로부터 100m 지점에서 급격히 경사가 완만해진 특징을 갖고 있었으며, 이 지점에서 최대 1.7m 내외의 가장 큰 침식이 발생하였다(Fig. 5).

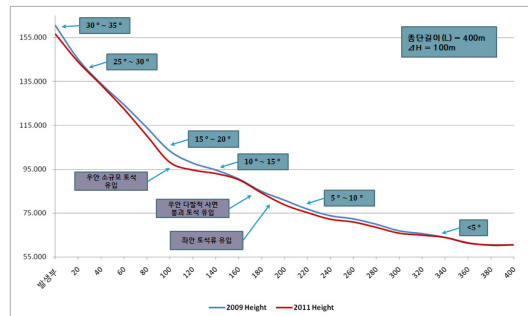


Fig. 5. Profile analysis(Line1)

A유역의 Line2는 산사태로 인한 토사가 Line1의 180m 지점에서 합류하게 되는 유하부이다. 발생부 표고는 155m, 발생부 경사는 30~35°이며, Line1과 합류하게 되는 지점에서의 표고는 85m, 경사는 5~10°이다. 발생부로부터 Line2와 합류하기까지의 유하부 길이는 200m 정도였으며, 발생부와 유역출구의 높이 차이는 70m이다. 유하부의 폭은 10m 내외로 유지되었으며 발생부로부터 140m 지점 이후 경작지가 존재하는 지역을 지나며 크게 증가하였다. 유하부에서는 전체적으로 평균 1.2m 정도의 침식이 관측되었고, 발생부로부터 100m 지점 우안에서 큰 규모의 사면붕괴로 인한 토석이 유입되었다. 이 지점에서 최대 2.5m 내외의 가장 큰 침식이 발생하였다(Fig. 6).

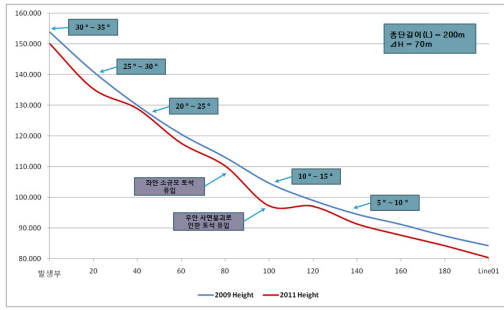


Fig. 6. Profile analysis(Line2)

전원마을 B유역의 면적은 43,800㎡, 발생부는 7개소, 발생부의 경사는 11°~45°이며 평균경사는 35.7°로 나타났다. 1개의 주요한 유하부가 존재하고, 토석류의 흐름이 전원마을 바로 전까지 나타났다[10].

B유역에 위치한 Line3은 산사태로 인한 토사가 전원마을 중앙부 유역 출구인 전원말8길 방향으로 유출된 유하부이다. 발생부 표고는 140m, 경사는 20~25°이며, 유역출구의 표고는 80m, 경사는 5~10°이다. 발생부로부터 유역출구까지의 유하부 길이는 200m 정도였으며, 발생부와 유역출구의 높이 차이는 60m이다. 유하부의 폭은 발생부로부터 100m 이전 지역까지는 15~20m였으며, 이후 유역출구까지 10m 이내로 좁아진다. 유하부에서는 전체적으로 평균 1.0m 정도의 침식이 관측되었고, 발생부로부터 100m 지점에서 Line4와 합류하게 되는데 이 지점에서 최대 1.7m 내외의 가장 큰 침식이 발생하였다(Fig. 7).

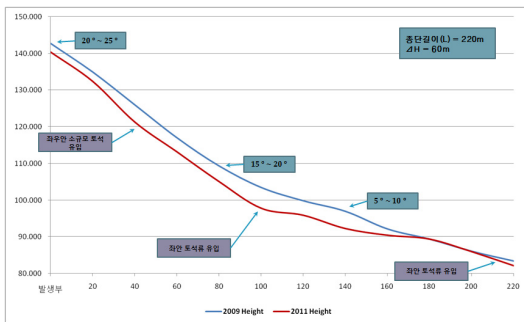


Fig. 7. Profile analysis(Line3)

Line4는 산사태로 인한 토사가 Line3의 100m 지점에서 합류하게 되는 유하부이다. 발생부 표고는 145m, 경사는 15~20°이며, 합류하는 지점에서의 표고는 105m, 경사는 15~20°이다. 유하부 길이는 140m 정도

였으며, 발생부와 유역출구의 높이 차이는 40m이다. 유하부의 폭은 발생부로부터 Line3과 합류하기까지 10m 내외로 유지되었다. 유하부에서는 전체적으로 평균 1.6m 정도의 비교적 많은 침식이 관측되었고, 발생부로부터 20m 지점 우안에서 소규모 토석이 유입되는데 이 지점에서 최대 2.6m 내외의 가장 큰 침식이 발생하였다(Fig. 8).

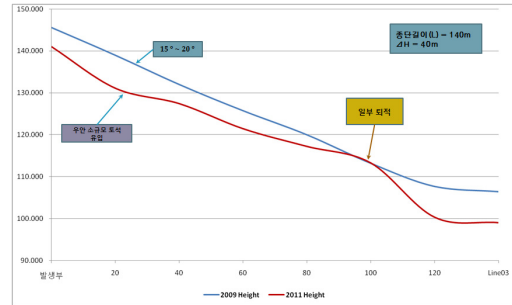


Fig. 8. Profile analysis(Line4)

Line5는 산사태로 인한 토사가 Line3의 유역출구 지점에서 합류하게 되는 유하부이다. 발생부 표고는 105m, 경사는 20~25°이며, 합류하는 지점에서의 표고는 85m, 경사는 5~10°이다. 발생부로부터 유역출구까지의 유하부 길이는 60m 정도였으며, 발생부와 유역출구의 표고 차이는 20m이다. 유하부의 폭은 발생부로부터 Line3과 합류하기까지 10m 내외로 유지되었다. 유하부에서는 전체적으로 평균 1.3m 정도의 침식이 관측되었고, 발생부로부터 40m 지점 전후로 토사의 퇴적이 최대 0.8m로 관측되었다(Fig. 9).

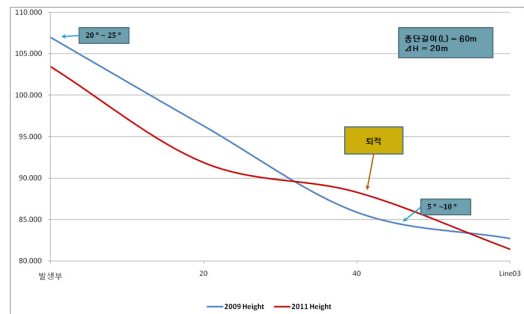


Fig. 9. Profile analysis(Line5)

전원마을 C유역의 면적은 148,900㎡, 발생부는 10개소, 발생부의 경사는 7°~31°이며 평균경사는 35°로 나

타났다. 유역의 퇴적부에 상당량의 토사량이 퇴적되었고, 전원마을 유역중 산사태 발생규모가 가장 컸다[10].

C유역에 위치한 Line6은 산사태로 인한 토사가 전원 마을의 남측 지역 유역 출구 전원말8길로 유출되는 유하부이다. 발생부 표고는 150m, 경사는 20~25°이며, 유역 출구에서의 표고는 65m, 경사는 5~10°이다. 발생부로부터 유역출구까지의 유하부 길이는 500m 정도였으며, 발생부와 유역출구의 표고 차이는 85m이다. 유하부의 폭은 발생부로부터 15m 내외로 유지되다가 Line8과 합류하는 340m 지점 이후부터 지형의 경사 및 경각지 등으로 인하여 확장되었다. 유하부에서는 전체적으로 평균 0.7m 정도의 침식이 관측되었고, 발생부로부터 1800m 지점에서 좌우안으로부터 토석이 유입되는데 이 지점에서 최대 3.9m의 가장 큰 침식이 관측되었다. 발생부로부터 340m 지점에서 퇴적이 시작되었으나 많은 양이 퇴적되지는 않았으며, 이후 유로의 침식이나 퇴적 없이 대부분의 토사가 유역출구로 이동한 것으로 분석된다(Fig. 10).

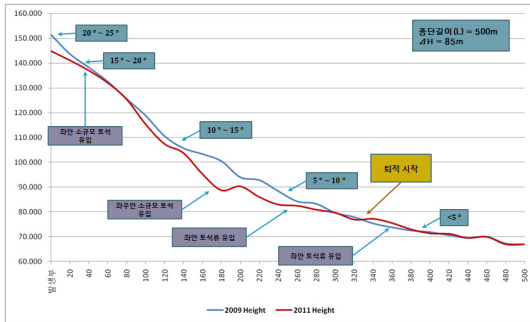


Fig. 10. Profile analysis(Line6)

Line7은 산사태로 인한 토사가 Line6의 260m 지점에서 합류하게 되는 유하부이다. 발생부 표고는 165m, 발생부 경사는 25~30°이며, 합류하게 되는 지점에서의 표고는 85m, 경사는 10~15°이다. 발생부로부터 유역출구까지의 유하부 길이는 240m 정도였으며, 발생부와 유역출구의 표고 차이는 80m이다. 유하부의 폭은 발생부로부터 10m 내외로 유지되었다. 유하부에서는 전체적으로 평균 0.4m 정도의 적은양의 침식이 관측되었고, 발생부에서 최대 1.1m의 가장 큰 침식이 관측되었다(Fig. 11).

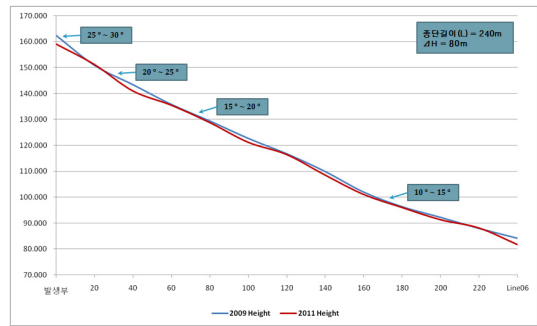


Fig. 11. Profile analysis(Line7)

Line8은 산사태로 인한 토사가 Line6의 340m 지점에서 합류하게 되는 유하부이다. 발생부 표고는 145m, 경사는 15~20°이며, 합류하게 되는 지점에서의 표고는 75m, 경사는 5° 이내이다. 발생부로부터 Line6과 합류하게 되는 지점까지의 유하부 길이는 340m 정도이며, 표고 차이는 70m이다. 유하부의 폭은 발생부로부터 15m 내외로 유지되다 160m 지점 좌우안으로부터 소규모 토석이 유입되며 20m까지 확장되었으며, 이후 다시 10m 이내로 유지되었다. 유하부에서는 전체적으로 평균 1.3m 정도의 침식이 관측되었고 발생부로부터 160m 지점에서 최대 2.6m의 가장 큰 침식이 관측되었으며, 합류하는 지점 부근에서 소량의 토사가 퇴적된 것으로 관측되었다(Fig. 12).

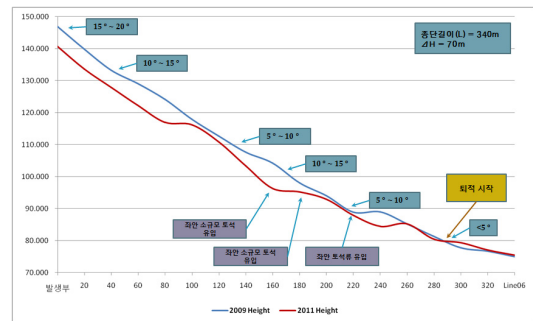


Fig. 12. Profile analysis(Line8)

Line9는 산사태로 인한 토사가 Line8의 220m 지점에서 합류하게 되는 유하부이다. 발생부 표고는 125m, 경사는 20~25°이며, 합류하게 되는 지점에서의 표고는 85m, 경사는 10~15°이다. 발생부로부터 Line8과 합류하게 되는 지점까지의 유하부 길이는 120m 정도이며, 표고 차이는 40m이다. 유하부의 폭은 10~15m 전후로

형성되었다. 유하부에서는 전체적으로 평균 1.0m 정도의 침식이 관측되었다(Fig. 13). 3개 유역에 대한 종합적인 분석결과를 Table 1로 정리하였다.

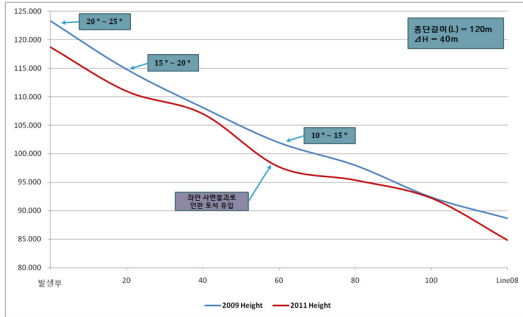


Fig. 13. Profile analysis(Line9)

Table 1. Analysis results

Drainage area	Line	Length (m)	Max erosion depth(m)	Sediment discharge(m ³)
A	1	400	1.7	5,200
	2	200	2.5	
B	3	200	1.7	2,600
	4	140	2.6	
	5	60	1.6	
C	6	500	3.9	7,500
	7	240	1.1	
	8	340	2.6	
	9	120	1.5	

4. 결론

본 연구에서는 산사태가 발생한 우면산 전원마을 유역을 대상으로, 현장조사 자료와 항공LiDAR DSM을 이용하여 산사태 경로의 지형 변화를 분석하였다. ArcGIS 소프트웨어를 이용하여 DSM 데이터를 가공하였으며, 스크립트 언어를 이용하여 중단면을 추출하고 Excel을 이용하여 도시하였다.

대상지역이 전원마을이기 때문에 유역 출구 지점 근처에 경작지가 존재하여 유역폭이 급격히 확장되는 특징이 있었다. 유로 내에 퇴적된 토사는 극히 적은 것으로 관측되었으므로, 대부분의 침식된 토사는 유역출구를 통해 유출되어 인명을 비롯한 큰 피해를 발생시킨 것으로 해석된다. DSM 자료를 이용하여 전원마을 지구의 유로별 특성을 분석하였으며, 유역출구 토사 유출 퇴적량을 추정해 본 결과 A유역의 토사 유출량은 5,200m³, B유역은

2,600m³, C유역은 7,500m³ 정도로 추정되었다. 발생 전후 중단면 표고 차이를 통해 유역내 산사태 경로 전체에 걸쳐 침식과 퇴적을 분석할 수 있었으며, 분석 자료는 향후 산사태의 흐름을 분석하거나 시뮬레이션할 때 검증 자료로 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] K. Y. Lee, K. N. Kim, S. J. Jang, G. B. Seo, B. S. Kim, K. W. Chun, "Study on the prediction of the shallow failure-prone sites by using digital aerial photos: on the Mt. Umyeon in Seoul city", *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.3, pp.151-160, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.3.151>
- [2] S. J. Lee, H. S. Ma, K. N. Kim, S. J. Jang, G. B. Seo, B. S. Kim, K. W. Chun, "Analysis of landslide characteristics of the central regions in Korea", *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol.53, No.1, pp.61-72, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14397/jals.2019.53.1.61>
- [3] S. J. Jang, Y. T. Lee, K. Y. Lee, K. N. Kim, J. H. Lee, K. W. Chun, "A study of disaster prevention and characteristics of landslides triggered by the 2019 typhoon Mitag in Samcheok", *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.20, No.2, pp.221-227, 2020. DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.2.221>
- [4] H. U. Kim, B. J. Kim, "Effect of rainfall pattern on landslide occurrence: focusing on Wonju-si and Chuncheon-si Area", *Journal of The Korean Data Analysis Society*, Vol.21, No.3, pp.1469-1481, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.37727/jkdas.2019.21.3.1469>
- [5] H. S. Kang, Y. T. Kim, "A study on warning level-based-landslide triggering rainfall criteria considering weathered soil type and landslide type", *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.2, pp.341-350, Apr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.2.341>
- [6] J. S. Lee, H. S. Kang, J. W. Suk, Y. T. Kim, "Development of hazard level-based rainfall threshold for prediction of rainfall-induced landslide occurrence in Korea", *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.19, No.5, pp.225-236, 2019. DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.5.225>
- [7] M. Hong, S. Jeong, "A combined method for rainfall-induced landslides and debris flows in regional-scale areas", *Journal of The Korean Geotechnical Society*, Vol.35, No.10, pp.17-31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7843/kgs.2019.35.10.17>
- [8] S. Kim, J. Paik, K. S. Kim, "Run-out modeling of debris flows in Mt. Umyeon using FLO-2", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers proceedings of*

Korean Geo-Enlvironmental Society, Vol.33, No.3,
pp.965-974, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.3.965>

- [9] G. Kim, S. Won, S. Mo, "Umyeon Mountain Debris Flow Movement Analysis Using Random Walk Model", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.32, No.5, pp.515-525, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2014.32.5.515>
- [10] M. M. Kim, Mt. Woomyeon Landslide Cause Investigation and Complementary Work, Technical Report, The Seoul Institute, Korea, pp.30-32, 2014.
-

김 기 흥(Gihong Kim)

[정회원]



- 1997년 8월 : 연세대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 연세대학교 일반대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 11월 ~ 2005년 2월 : 한국건설기술연구원 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

GIS, 사진측량

최 현(Hyun Choi)

[정회원]



- 2000년 2월 : 부산대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 부산대학교 일반대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2005년 8월 ~ 2005년 12월 : 한국전산원 연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 경남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

GIS, 원격탐사