

우면산 산사태 발생 지점의 지형분석

Topographic Analysis of Landslides in Umyeonsan

고석민¹⁾ · 이승우²⁾ · 윤찬영³⁾ · 김기홍⁴⁾

Ko, Suk Min · Lee, Seung Woo · Yune, Chan-Young · Kim, Gihong

Abstract

In this study, we investigated the landslides area which occurred in Umyeonsan in 2011 and collected landslide location data. Using this field data with aerial photos and LiDAR data which is obtained before and after disaster event, we analyzed the landslide occurrence frequency per unit area about various topographic characteristics. In case of slope, we compared two kind of slopes which are calculated with Neighborhood algorithm and maximum slope algorithm. Also we used aspect, elevation, profile curvature and planform curvature in topographic analysis of landslide occurrence locations. As a result, the region of which maximum slope is 40°-45° is relatively hazardous in landslide. If the perpendicular surface to the direction of the maximum slope is concave, it is more hazardous than other case.

Keywords : Landslide, Topography, Slope, Curvature, GIS

초 록

본 연구에서는 2011년 우면산 산사태 지역에 대한 현장조사를 수행하여 발생지점에 대한 자료를 구축하였으며, 산사태 발생 전후의 항공사진과 항공LiDAR DEM을 이용하여 여러 가지 지형인자들에 대한 단위면적당 발생빈도를 분석하였다. 경사도는 Neighborhood 알고리즘과 Maximum Slope 알고리즘을 적용하여 비교하였으며, 경사방향, 고도뿐만 아니라 최대경사방향의 곡률과 그 수직인 면에 대한 곡률을 분석에 이용하였다. 그 결과 최대경사방향 경사도 40°-45° 구간이 상대적으로 매우 위험한 것으로 나타났으며 최대경사방향에 수직으로 오목한 사면이 더 위험한 것으로 분석되었다.

핵심어 : 산사태, 지형, 경사도, 곡률, GIS

1. 서론

우리나라는 매년 국지성 집중호우와 태풍으로 산사태와 같은 사면재해가 발생하여 많은 인명과 재산피해가 발생하고 있다. 국내에서 산사태에 대한 연구는 과거 1970년대부터 시작되었으며, 국립산림과학원, 한국지질자원연구원 같

은 전문연구기관에서 주로 연구가 수행되었다. 국립산림과학원에서는 일정 수준을 넘는 연속강우량 하에서 산사태가 발생하는 것을 확인하였고(Lee, 2005), 한국지질자원연구원의 Kim *et al.* (2007)은 산사태가 발생한 자연사면의 기하특성을 조사하였다. 또한 지질 조건에 따라 단기간의 강우에서 산사태가 발생하는 경우와 장기간의 강우에 의해 산사태가 발

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail : seaintosky@naver.com)

2) Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

3) Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail : yune@gwnu.ac.kr)

4) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail : ghkim@gwnu.ac.kr)

Received 2014. 02. 03, Revised 2014. 02. 12, Accepted 2014. 02. 20

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

생하는 경우가 있다는 것을 확인하였다(Kim *et al.*, 2006). 1976년에 142ha 면적의 산사태가 발생하였고, 1980년대 231ha/yr, 1990년대는 349ha/yr, 2000년대 들어서는 667ha/yr가 발생하여 해마다 증가하는 추세를 나타내고 있다. 복구 비용은 2002년 1,917억, 2003년 1,600억, 2006년 2,751억이 발생하였고, 인명피해는 1970년대 116명/yr, 1980년대 37명/yr, 1990년대 23명/yr, 2000년대 8명/yr이 발생하였다. 특히 집중호우 및 태풍이 발생한 해에는 큰 인명피해가 발생하여 사회적 이슈가 되고 있다(Kim, 2011). 2011년 우면산 산사태 이후 방재대책에 대한 인식의 전환이 이루어지고 있다. 서울시 서초구에 위치한 우면산은 집중호우로 인한 산사태 발생에 있어서 도심지역이 산사태의 안전지대가 아니라는 것을 보여주는 가장 대표적인 사례라 할 수 있다. 우면산에 연평균 강우량 1,451mm의 약 40%에 해당하는 588mm의 집중호우가 7월 26일에서 28일까지 3일 동안 집중되었으며, 산사태 및 토석류로 17명이 사망하고 수십 채의 가옥이 피해를 입는 등 많은 피해가 발생하였다(Lee *et al.*, 2012). 국내 산사태 연구는 최근 사회적인 이슈와 함께 활발하게 진행되고 있는 단계로 산사태의 발생, 유하, 퇴적의 각 단계별로 연구가 진행되고 있으며, 대규모 피해를 대상으로 현장조사를 수행하는 등 사례연구가 주류를 이루고 있다(Jun *et al.*, 2011). Lee *et al.*(2012)는 산사태 및 토석류가 발생한 지역에서 현장 조사를 수행하고, 수치지형도, 토양도, 임상도, 기상자료 등을 이용하여 산사태 발생과 미발생지역에 대한 데이터베이스를 구축하였다. 이렇게 구축된 DB를 이용하여 여러 인자 중에서 산사태 발생과 통계학적으로 상관성이 높은 인자를 선정하고 이를 회귀분석에 이용하여 산사태 발생 모델을 개발하였다. 그러나 아직까지 신뢰성을 확보하고 제도적으로 활용되기에는 부족한 실정이다. 산사태를 정확히 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위해서는 보다 많은 자료의 축적과 연구가 진행되어야 한다.

본 연구에서는 산사태 발생 지점에 대하여 지형적인 인자들을 집중적으로 분석하기 위하여 서울시 서초구 우면산에서 발생한 산사태 지점(Fig. 1)을 대상으로 2011년부터 2012년까지 대표적인 30개 구역에 대해 지속적인 현장조사를 수행하였다.

기존의 산사태 발생지 사례 연구에서 지형적인 요소들에 대한 많은 조사 연구들이 이루어졌으나 단순히 빈도에 관한 내용이 대부분이며 경사도, 경사향, 고도에 대한 내용만이 다루어져 왔다. 본 연구에서는 실제 현장조사로 구한 산사태 발생지점에 대해 수치지도 DEM이 아닌 항공 LiDAR으로부터 구한 DEM을 이용하여 대표적인 지형인자뿐만 아니라 표면

곡률에 대한 분석을 수행하였으며, 단순 빈도분석이 아닌 해당 산지 전체에 대해 해당 지형인자 등급의 단위면적당 발생 빈도 분석을 수행하였다.

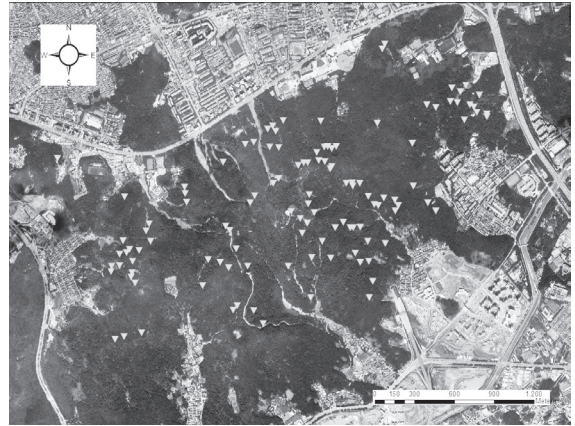


Fig. 1. Landslides in Umyeonsan

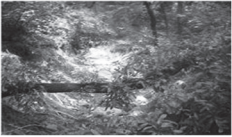
2. 연구 자료 수집

우면산 전체에 걸쳐 Fig. 2와 같은 대규모의 산사태 흔적이 곳곳에 산재해 있다. 발생전후의 항공 LiDAR DEM과 항공 사진 판독을 기초자료로 하여 유역을 구분한 후 각 유역 별로 현장조사를 수행하였다. 관측을 위한 도구로 레이저 거리 측정기, 클리노미터, 핸드헬드 GPS 등을 이용하였고, 현장 조사 야장은 Fig. 3과 같다. GPS를 이용한 발생지점의 좌표, 발생부의 길이, 폭, 사진 등의 정보를 현장조사야장에 기록하였다. 유하부 및 퇴적부 또한 측정이 가능한 범위 내에서 약 10~50m의 거리 간격으로 경사도, 진행방향, 폭 등을 조사하였다.



Fig. 2. Landslide in Umyeonsan

발생부										
ID	GPS좌표	유역형태	기반암	지질	지형지도	지형지도	지형지도	지형지도	지형지도	지형지도
유역사1	N13.47619 E127.02074	발생부	유역사1	유역사1	F	SW	MW	HW	CW	RS
사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사	사면경사
표고	표고	표고	표고	표고	표고	표고	표고	표고	표고	표고
산도	산도	산도	산도	산도	산도	산도	산도	산도	산도	산도
기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항	기타사항



발생부 경사 : 80°
폭이 (D) : 1.0m

상부
폭 (W) : 6.8m
폭 (D) : 1.0m

중부
폭 : 6.1m
D : 1.6m

하부
폭 : 6.6m
D : 1.6m

(최초조사 > 최근조사)







유역부										
유역 No.	GPS좌표	경사도	방향	폭	길이	면적	면적	면적	면적	사진
0	-N87.47628 -E127.02161	31	14 SE80		12	1.7			0.3	
1	-N87.47594 -E127.02165	42	20 SE72		12	1.6			0.5	
2	-N87.47562 -E127.02189	32	20 S90		12	1.2			0.4	
3	-N87.47617 -E127.02174	24	7 SW22		12	1.6			0.6	
4	-N87.47515 -E127.02175	35	8 SW15		12	1			0.7	
5	-N87.47459 -E127.02184	24	6 SE75		12	1			0.8	

Fig. 3. Field surveying note

산사태의 지형적인 특성을 분석하는데 있어서 실제 산사태 발생 지점의 정확한 위치데이터 취득은 매우 중요하다. 이를 위하여 현장조사야장에서 GPS로 취득된 산사태 발생지점의 좌표정보를 수집하여 ArcGIS에서 포인트 데이터 형식의 Shp 파일로 제작하였다. GPS를 이용한 위치 관측이 가장 효율적인 방법이나, 수목이 우거진 산악 지역에서 핸드헬드 GPS를 사용하는 경우 개활지에서의 일반적인 오차인 3-5m 정도가 아니라 경우에 따라 수십m까지 오차가 발생할 수도 있다. 따라서 발생 전인 2009년 LiDAR DEM과 항공사진, 그리고 발생 후인 2011년 LiDAR DEM과 항공사진을 이용하여 정확한 데이터에 대한 선별작업과 위치 좌표 수정작업을 수행하

였다. 산사태 발생지점이 항공사진 상에서 정확히 확인되고 그 위치가 일치하는 경우 문제가 없으나 산지 깊숙한 곳의 소규모 산사태 발생부는 수목에 가려 일부 경우를 제외하고는 확인이 어려웠다. 이를 추가적으로 보완하기 위해 피해 전후의 항공 LiDAR DEM을 이용해 차분 DEM을 제작하였다. 발생전후의 DEM 표고값을 서로 빼게 되면 특정 침식 지역이나 퇴적지역이 나타나게 되고 이를 산사태 발생지점의 위치 확인에 이용할 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 정확한 산사태 발생지점이라고 판단되는 총 117개의 위치데이터를 선별하였고 연구에 적용하였다.

3. 산사태 발생 지점의 지형분석

우면산 산사태 발생 지점의 지형적인 특성을 파악하기 위해 GIS 툴을 이용하여 해당 지역 DEM 전체에 걸쳐 각 지형인자별 면적을 추출하였고 각각의 발생지점에 대한 지형인자도 추출하였다. 지형 분석에 이용된 인자들은 발생부의 경사도, 경사방향, 표고, 표면 곡률이다. 각각의 인자들에 대해 발생빈도 및 단위 면적당 발생빈도 분석을 실시하였다.

3.1 경사도

일반적으로 ArcGIS 공간분석 툴에서 추출되는 경사도 계산에는 Neighborhood 알고리즘이 사용된다. 이 방법은 한 개의 셀이 인접하고 있는 8개의 셀을 이용하며 알고리즘은 식 (1)과 같다. 셀들의 표고값을 의미하는 Z의 밑첨자 숫자는 인접한 셀의 위치를 의미하며 북서쪽 셀이 1이고 시계방향으로 돌아 8가지며 중심셀은 9이다. d는 격자의 행상도로 셀 간의 수평거리이다.

$$S = ATAN(\sqrt{((dz/dx)^2 + (dz/dy)^2)}) \times 57.29578$$

$$dz/dx = \frac{(Z_3 + 2Z_4 + Z_5) - (Z_1 + 2Z_8 + Z_7)}{8 \times d} \tag{1}$$

$$dz/dy = \frac{(Z_1 + 2Z_2 + Z_3) - (Z_7 + 2Z_6 + Z_5)}{8 \times d}$$

DEM으로부터 경사도를 계산하는 방법에는 이 외에 Quadratic Surface, Maximum Slope 등의 방법이 있다 (An et al., 2005). Quadratic Surface의 기본적인 개념은 Neighborhood 알고리즘과 같으나 대각선 방향의 셀은 고려하지 않고 인접한 동서남북 4개의 셀만을 계산하는 방법이다. Maximum Slope는 식 (2)와 같이 중심 셀을 기준으로 8방향

의 인접 셀과의 경사도를 계산하고 그 중 최대 경사만을 대표 경사값으로 추출한다. L_i 는 해당 셀과 중심 셀까지의 수평거리로 동서남북 인접 셀과의 거리는 DEM의 해상도와 같다.

$$S = ATAN(\max|\frac{Z_9 - Z_i}{L_i}|) \times 57.29578 \quad (2)$$

본 연구에서는 산사태 발생지점과 경사도의 관계를 분석하기 위하여 Neighborhood 알고리즘과 Maximum Slope 알고리즘을 적용하여 비교분석하였다. Neighborhood 알고리즘을 이용한 경사도는 ArcGIS의 툴을 이용하여 추출하였으며, Maximum Slope 알고리즘은 S/W툴이 없어서 C언어를 이용한 프로그램을 제작하여 계산하였다. 발생부 117개소를 대상으로 Neighborhood 알고리즘의 단순 빈도분석을 실시한 결과, 산사태 발생 지점의 평균 경사는 27.2°이며, 산지 정상부에 가까운 지점의 경우 36°~45°의 가파른 경사도를 보였다. 경사도의 분포를 파악하기 위해 5° 간격으로 11개의 범위로 나누어 Fig. 4와 같이 도시하였다. 산사태 지점의 경사도는 20°~25° 사이의 범주에서 가장 높은 빈도수를 보였으며, 20°~35° 사이의 빈도수는 전체 빈도수의 70% 이상을 차지하였다. 이는 강릉지역 산사태의 기하학적 특성과 절리특성에 관한 연구에서 Cho *et al.*(2006)이 제시한 21°~35°와 비슷한 결과로 20°~35° 사이의 사면이 적당한 토층을 가지고 있으면서 단순 사면파괴가 아닌 산사태로 발달할 수 있는 급경사를 동시에 갖으며, 산사태 발생경사에 가장 많이 분포 한다고 판단된다.

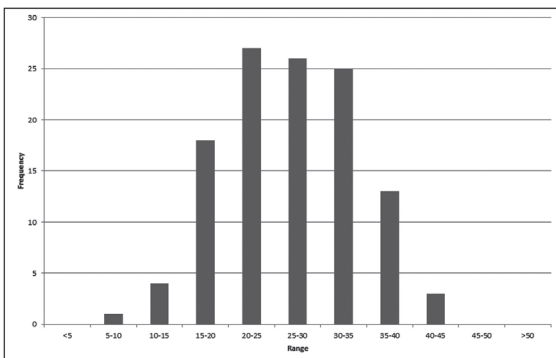


Fig. 4. Landslide histogram in slope(neighborhood)

단위 면적당 발생빈도를 분석하기 위해 우면산 전체에 대해 경사도 등급당 면적을 추출하였다. Neighborhood 알고리즘으로 계산된 경사도의 면적분포는 <5°(18.9%)의 면적이 가장 많은 비율을 차지하였고, 그 다음 15°~20°(17.7%),

10°~15°(15.3%)로 나타났다. 우면산 지역은 50°이상의 경사는 존재하지 않으며, 각 경사별 0°~50° 사이를 5° 간격으로 11단계로 구분하였다(Table 1). 분석하는데 있어서 전체에서 각 등급에 해당하는 단위면적당 발생빈도의 상대적인 크기를 비교하기 위해 전체 합으로 나눈 비율을 이용하였으며 이 비율은 0에서부터 1 사이의 값을 가지며 비율의 전체 합은 1이 된다. Fig. 5는 각 경사도 등급에 대한 단위면적당 발생빈도의 상대적인 비율을 꺾은선 그래프로 도시한 것이다. 경사도가 30°~45°에 해당하는 경우 면적에 비해 발생빈도가 크게 나타났다. 이는 이러한 경사도를 갖는 지역이 다른 경사도를 갖는 지역에 비해 상대적으로 산사태 발생빈도가 높아 더 위험하다고 할 수 있다. 결과적으로 단순히 Fig. 4의 발생빈도만을 생각하여 언급한 20°~35° 구간보다 발생확률적으로 봤을때 30°~45° 구간이 더 위험하다고 보는 것이 합리적이다.

Table 1. Area of slope and landslide frequency(Neighborhood)

Class	Frequency	Area(m ²)	Ratio of landslide frequency per unit area
<5°	0	1,539,700(18.9%)	0
5°~10°	1	984,000(12.1%)	0.004
10°~15°	4	1,247,000(15.3%)	0.013
15°~20°	18	1,436,900(17.7%)	0.053
20°~25°	27	1,331,400(16.4%)	0.085
25°~30°	26	857,800(10.6%)	0.127
30°~35°	25	452,600(5.6%)	0.232
35°~40°	13	207,200(2.5%)	0.263
40°~45°	3	56,400(0.7%)	0.223
45°~50°	0	12,700(0.2%)	0
>50°	0	0	0
Sum	117	8,125,700(100%)	1

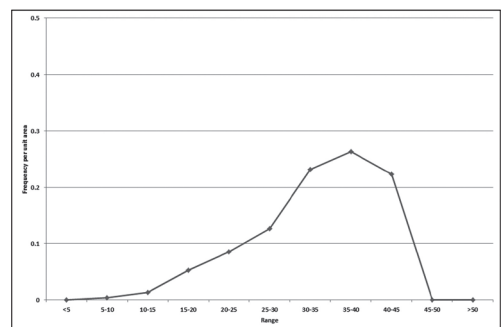


Fig. 5. The ratio of landslide frequency per unit area in slope(neighborhood)

동일한 분석을 Maximum Slope 알고리즘으로 구한 경사도에도 적용하였다. 우면산 지역의 평균 경사는 26.3°이며, 경사의 분포를 파악하기 위해 11개의 범위로 나누어 나타내었다(Fig. 6).

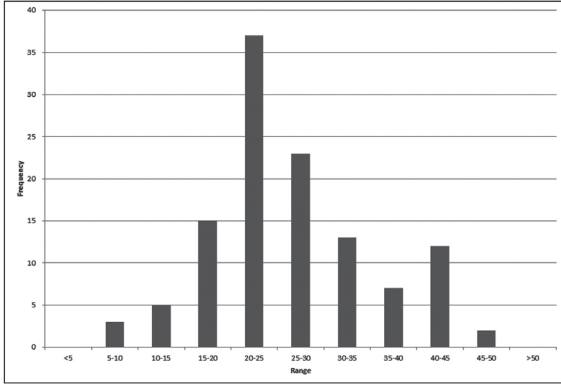


Fig. 6. Landslide histogram in slope(maximum)

Maximum Slope 알고리즘으로 계산된 경사도에서는 Fig. 6 과 같이 20°~25° 등급에서 절대적으로 높은 빈도수를 보였으며 40°~45° 등급에서도 상대적으로 높은 빈도를 나타내었다. Neighborhood 알고리즘으로 계산된 경사도의 발생빈도 분포와 많은 차이를 볼 수 있으며, 전자의 경우 후자보다 등급 간에 보다 평균화된 분포를 보여주는 것으로 판단된다.

Maximum Slope 알고리즘으로 계산된 경사도의 면적 분포는 Table 2와 같이 <5°(18.4%)가 가장 많은 비중을 차지하였고, 그 다음 15°~20°(17.8%), 10°~15°(15.3%)로 나타났다. 차이가 있는 부분은 35°이상의 급경사가 Neighborhood 알고리즘보다 많

Table 2. Area of slope and landslide frequency(maximum)

Class	Frequency	Area(m ²)	Ratio of landslide frequency per unit area
<5°	0	1,437,800(18.4%)	0
5°~10°	3	962,700(12.3%)	0.013
10°~15°	5	1,197,300(15.3%)	0.017
15°~20°	15	1,391,300(17.8%)	0.044
20°~25°	37	116,300(14.3%)	0.134
25°~30°	23	806,300(10.3%)	0.115
30°~35°	13	440,300(5.6%)	0.119
35°~40°	7	252,100(3.2%)	0.112
40°~45°	12	148,600(1.9%)	0.326
45°~50°	2	67,100(0.9%)	0.12
>50°	0	0	0
Sum	117	7,819,800	1

이 추출되는 것으로 이는 평균화된 개념이 아닌 최대경사를 계산하는 알고리즘의 특성차이 때문이다. 각 경사도 등급에서 산사태에 대한 위험도를 알아보기 위해 두가지 방법에 대해 단위면적당 산사태 발생빈도를 비교하였다. Fig. 7을 보면 경사도 산정 방법에 따라 산사태에 위험한 경사도 구간이 달라질 수 있다고 판단된다. 우면산의 경우 Neighborhood 알고리즘에서는 30°~45° 구간이 단위면적당 산사태발생빈도가 비슷하게 높아 위험한 구간으로 나타났으나, Maximum Slope 알고리즘에서는 40°~45° 구간이 특히 위험한 구간으로 나타났다.

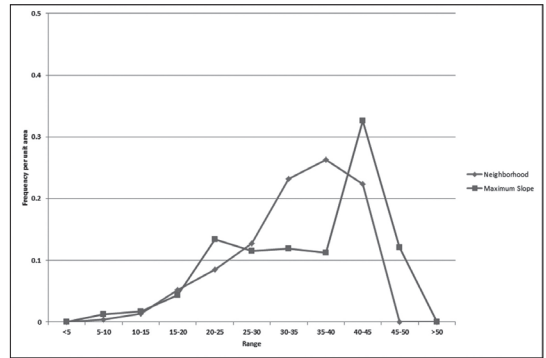


Fig. 7. Comparison of two methods

3.2 경사향

경사향은 래스터 DEM 각 셀의 경사 방향을 계산하여 추출하며, 총 8방향으로 표현된다. 산사태 발생지점의 경사향 빈도는 Fig. 8과 같고, 단위면적당 발생빈도의 상대적인 비율은 Fig. 9와 같다. 전체적으로 경사향에 따라 다소 발생빈도에 차이가 있으나, 유의미한 수준의 차이는 아닌 것으로 판단된다. 실제로 우면산 산사태의 경우 특정 방위의 사면에서만 산사태가 발생하기 보다는 산의 중심에서 모든 방향으로 산사태가 발생하였다.

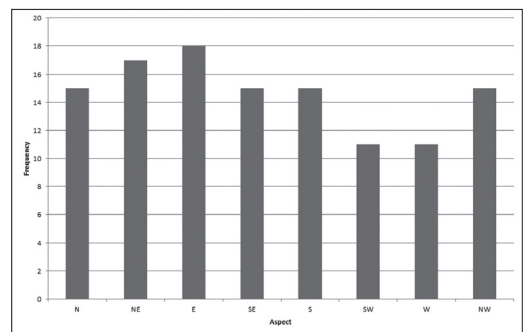


Fig. 8. Landslide histogram in aspect

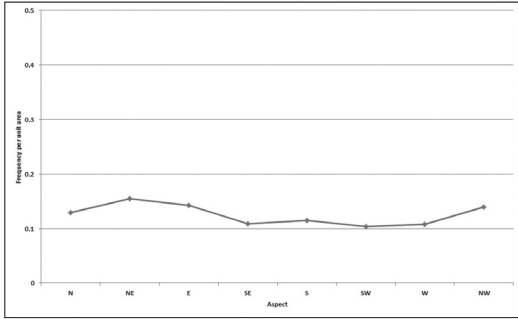


Fig. 9. The ratio of landslide frequency per unit area in aspect

3.3 고도

각 고도별 산사태 발생지점의 분포를 파악하기 위해 평균고도 91m, 최고고도 291m의 우면산 DEM에서 50m 간격의 6단계로 등급을 구분하여 분석하였다. Fig. 10과 같이 다수의 산사태가 중간 정도의 고도인 고도 100m~150m에서 발생하였으나, 해당 고도가 차지하는 단위면적당 발생빈도를 보면 Fig. 11과 같이 간 정상부보다 조금 낮은 곳이 매우 위험한 지역인 것으로 나타났다.

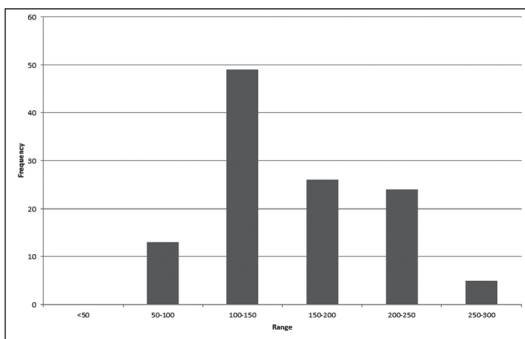


Fig. 10. Landslide histogram in elevation

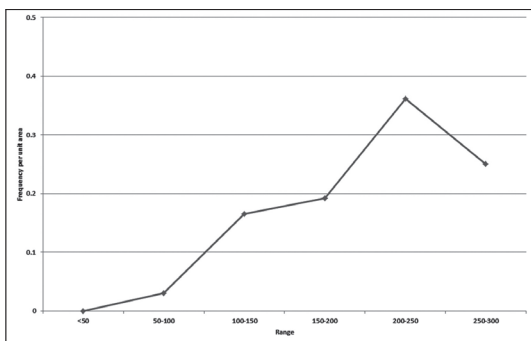


Fig. 11. The ratio of landslide frequency per unit area in elevation

3.4 표면 곡률

ArcGIS 공간분석 툴에서 제공하는 지형 표면의 곡률은 Zevenbergen and Thorne(1987)이 제안한 방법을 이용하며, Fig. 12와 같이 해당 셀의 주변 8개의 고도값에 대한 1차 및 2차 편미분을 기반으로 계산된다. 계산된 곡률값은 매우 작기 때문에, 경우에 따라 100을 곱한 것으로 해석될 수 있으며, 분석 기법의 다양하나 신뢰성을 찾기 위해 어느 정도의 값을 오목, 볼록으로 판단하는 지는 상황에 따라 다를 수 있다. 본 연구에서는 지형분석을 수행하는데 있어서 표면에 대한 전체적인 곡률값 대신 세분화된 두 개의 곡률값을 적용하였다. Fig. 13과 같이 최대경사방향의 곡률은 Moore *et al*(1993), Wilson & Gallant(2000), 그리고 Schmidt *et al*(2003)이 정의한 방법에 의해 계산되며 profile curvature라고 한다. 이 값은 곡면을 따라 흐르는 물질의 가속 여부와 관계가 있으며, 경사방향의 곡률이 볼록인 경우 음수 값을 가지고, 오목인 경우 양수 값을 가지게 된다. 산사태 발생지점의 최대경사방향에 대한 곡률값은 $-5.766 \sim +7.262$ 사이의 값이 추출되었으며, 단위면적당 발생빈도는 Fig. 14와 같다. 최대경사방향이 등경사를 의미하는 곡률값 0 주변의 발생빈도가 높으며 볼록과 오목 사면은 모두 낮은 사면의 요철에 따른 유의미한 차이는 없는 것으로 판단된다.

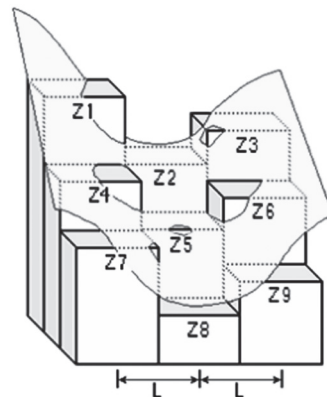


Fig. 12. Curvature value diagram

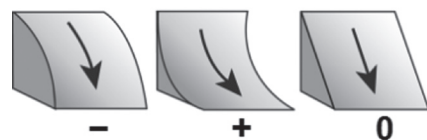


Fig. 13. Profile curvature value

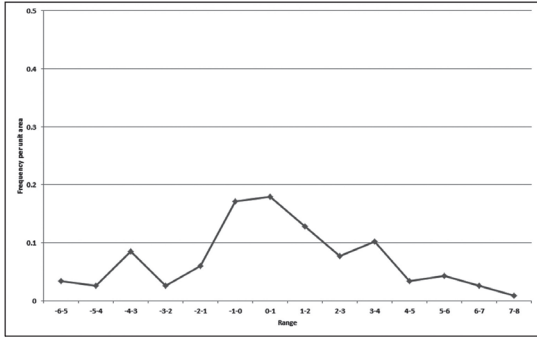


Fig. 14. The ratio of landslide frequency per unit area in profile curvature

planform curvature는 최대 경사방향에 수직인 방향의 곡률로 값의 의미는 Fig. 15와 같다. 산지에서 능선 및 요선을 의미하는 지성선과 연관이 높으며, 최대 경사방향에 수직인 방향으로 볼록인 경우 양수 값을 가지고, 반대로 오목인 경우 음수 값을 가지게 된다. 산사태 발생지점에서 최대경사방향에 수직인 면에 대한 곡률값은 -6.877~+5.301 사이의 값이 추출되었으며 단위면적당 발생빈도는 Fig. 16과 같다. -5에서 -7의 사이의 곡률값을 가지는 부분에서 단위면적당 산사태 발생빈도가 높아 상대적으로 위험한 구간으로 나타났다. 볼록한 면 보다는 오목한 면에서 상대적으로 발생빈도가 높았는데 이는 산지 지형상 계곡부에 해당하는 지역이다. 실제 우면산에서 물이 갈라지는 능선 보다는 물이 모이는 계곡선 부근에서 주

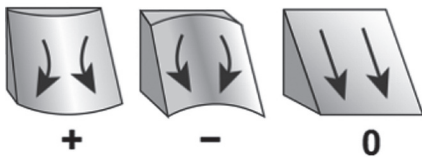


Fig. 15. Planform curvature value

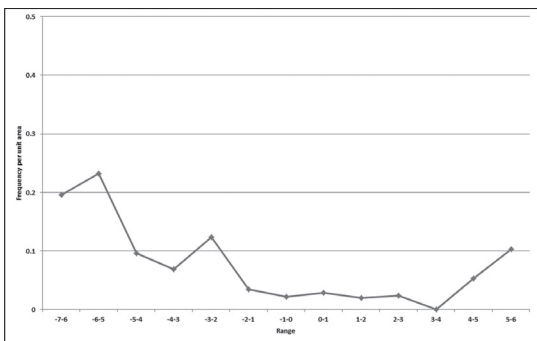


Fig. 16. The ratio of landslide frequency per unit area in planform curvature

로 사면 붕괴가 많이 발생하였기 때문에 이 지형인자는 산사태와 연관성이 높을 것이라고 판단된다. 곡률 5-6에 해당하는 볼록한 면도 다소 위험하게 나타났으며 이는 일부 능선 아래 급경사지에서 진행된 사면 붕괴 지점들이었다.

4. 결론

본 연구에서는 2011년에 발생한 우면산 산사태 지역을 현장 조사하여 30여개 유역에 걸쳐 여러 산사태 발생지점을 관측하였다. 현장조사 자료에서 산사태 발생 전후의 항공사진과 항공LiDAR DEM을 이용하여 보다 정확한 발생지점을 선별하고 수정하여 총 117 개소로 정리하였다. 산사태 발생지점에 대한 항공LiDAR DEM의 지형분석을 수행하였으며 지형분석인 자로는 경사도, 경사향, 고도, 표면 곡률을 이용하였다. 기존에 주로 이루어졌던 단순한 발생빈도 분석이 아닌 단위면적당 발생빈도 분석을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 경사도의 경우 계산하는 알고리즘에 따라 차이가 나타났으며, 특히 Maximum Slope 알고리즘으로 계산된 경사도 40°-45°구간이 상대적으로 산사태에 매우 취약한 곳으로 나타났다. 기존의 연구에서 주로 사용되던 ArcGIS의 spatial analyst tool을 이용한 경사도는 Neighborhood 알고리즘을 쓰기 때문에 특정방향의 급경사가 표현되지 않고 평균화되면서 스무딩되는 효과가 발생한다. 따라서 Maximum Slope 알고리즘으로 계산된 경사도도 산사태 위험도를 예측하는 지형인자로 의미를 가질 수 있다고 판단된다. 산사태 예측모델을 개발하는데 두 가지 경사도 인자를 모두 고려한다면 보다 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

둘째, 경사향의 경우 특별한 유의성을 발견하지 못했으며, 고도의 경우 정상부에 조금 못미치는 곳이 가장 위험한 것으로 나타났다.

셋째, 지형표면 곡률의 경우 최대경사방향에 수직인 면에 대한 곡률값이 상대적 산사태 발생 위험을 구분하는데 연관성이 높은 것으로 판단되며, 오목한 면인 계곡부가 상대적으로 단위 면적당 산사태 발생빈도가 높아 가장 위험하고 그 다음이 매우 볼록한 능선부이며 평면 및 완만한 볼록사면은 상대적으로 안전한 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012M3A2A1050982).

References

- An, S.H., Kang, Y.S., and Shin, Y.C. (2005), Developing of slope calculation algorithm using cell-based modeling, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 8, No. 3, pp. 121-128. (in Korean with English abstract)
- Cho, Y.C. and Jang, T.W. (2006), The geometric characteristics of landslides and joint characteristics in gangneung area, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 16, No. 4, pp. 437-453. (in Korean with English abstract)
- http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Curvature_works/00q90000000t000000/ (last date accessed: 10 January 2014)
- Jun, K.W., Oh, C.Y., and Jun, B.H. (2011), Study on analyzing characteristics which causes a debris flow –focusing on the relation with slope and river-, *Journal of Safety and Crisis Management*, Vol. 7, No. 3, pp. 223-232. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.N. (2011), *A Basic Study on The Development of The Guidelines on Setting Debris Flow Hazards*, Research Institute for Gangwon, Korea, pp. 170. (in Korean)
- Kim, K.S., Song, Y.S., Cho, Y.C., Kim, W.Y., and Jeong, G.C. (2006), Characteristics of rainfall and landslides according to the geological condition, *Journal of Engineering Geology*, Vol. 16, No. 2, pp. 201-214. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.S., Song, Y.S., Chae, B.G., Cho, Y.C., and Lee, C.O. (2007), Geometric Characteristics of Landslides on Natural Terrain according to the Geological Condition, *Journal of Engineering Geology*, Vol. 17, No. 1, pp. 75-87. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H. (2005), Management system for landslides hazard area using GIS, *Journal of Korea Society Forest Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 3, pp. 245-255. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.S., Cho, G.B., Yoon, J.G., and Kim, H.W. (2012), A case analysis on repair method of landslides at mt. Woomyun, *Proceedings of Korean Geo-Envlronmental Society*, Vol. 9, pp. 233-436. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.W., Kim, G., Yune, C.Y., Ryu, H.J., and Hong, S.J. (2012), Development of landslide-risk prediction model thorough database construction, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 28, No. 4, pp. 23-39. (in Korean with English abstract)
- Moore, I.D., Gayson, R.B., and Ladson, A.R. (1991), Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrological Processes*, Vol. 57, No. 2, pp. 443-452.
- Schmidt, J., Evans, I.S., and Brinkmann, J. (2003), Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 3-30.
- Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (2000), *Terrain Analysis*, John Wiley & Sons Inc.
- Zevenbergen, L.W. and Thorne, C.R., (1987), Quantitative analysis of land surface topography, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 12, pp. 47-56.