

# 고해상도 항공라이다 DEM 해석을 통한 강원도 일원의 산사태 예측 가능성 분석

이 동 하\* · 김 영 섭\*\* · 서 용 철\*\*\*

## Analysis Possibility of the Landslide Occurrence in Kangwon-Do using a High-resolution LiDAR-derived DEM

Dong-Ha Lee\* · Young-Seup Kim\*\* · Yong-Cheol Suh\*\*\*

### 요 약

본 연구에서는 항공라이다 측량을 통해 생성된 고해상도 DEM을 산사태 발생 가능성 예측을 위한 객관적인 판단근거로 활용하고자 하였다. 이를 위해 산사태가 발생하지 않은 1개의 사면과 3개의 산사태 발생지역에 대하여 항공레이저 측량데이터에서 얻어진 2m 간격의 DEM을 이용하여 지형해석을 수행하였다. 해석요소에는 경사면 구배와 고유치 비(eigenvalue ratio)를 이용하였으며, 발생한 산사태의 피해현황 파악을 위해 한국도로공사에서 수행한 현장조사 자료를 활용하였다. 고해상도 DEM을 이용한 산사태 발생 가능성 분석 결과, 산사태 발생이 가능한 지형의 특징적인 해석값의 밀도분포가 명확해졌으며, 이러한 밀도분포를 통해 산사태의 발생 예측 및 현재 위험도의 표현이 가능함을 알 수 있었다.

**주요어** : 항공라이다 DEM, 지형해석, 경사면 구배, 고유치 비

**ABSTRACT** : This study investigates the use of geomorphic analysis results obtained from high-resolution LiDAR-derived DEM. The results of analysis, slope angle and eigenvalue ratio (ER) were derived from the DEM for 3 landslide and 1 non-landslide occurrence area. Results of this study highlighted the importance of geomorphic analysis in characterizing landslide feature as well as the various contents in their future occurrence and activity. The relationship between the results of geomorphic analysis and landslides are well expressed in this paper.

**Keywords** : LiDAR-derived DEM, Geomorphic analysis, Slope angle, Eigenvalue ratio

### 1. 서 론

댐이나 도로 등과 같은 대규모 구조물 주변에서 발생한 산사태의 위치나 상태를 파악하는 것은 산사태에 의한 피해를 경감하고 방지하기 위한 중요한 사항이다(유창호 외, 2008). 기존 산사태 예측에 이용되어 왔던 지형자료(DEM 및 지형도)는 항공사진으로부터 작성되는 것으로 산지의 등고선을 경험적으로 작성하므로, 지형정보의 신뢰성이 떨어지기 마련이다. 하지만 최근 활발

히 이용되고 있는 항공라이다(Airborne LiDAR)의 경우 식생이 현저하게 밀집되어 있는 얇은 한 고밀도/고정밀도의 지표면 측량이 가능하며, 신뢰성이 높은 상세한 표고모델 또는 지형의 이미지를 작성할 수 있게 되었다. 현재 이러한 세부적인 지형정보를 통해 산사태 예측의 정밀도가 대폭 향상되었지만, 아직도 산사태 발생 지역의 예측에는 현장에 대한 직접 조사에 의존하는 경우가 대부분이다. 따라서 보다 객관적으로 산사태를 판독하기 위해서는 특정한 객관적 판단방법이 필요하며, 이러한 객관적인 판단방법의 하나로 지형의 특징을 수치화하여 표현하는 것을 고려할 수 있다.

\*성균관대학교 공과대학 겸임교수, 공학박사(yhs@geo.skku.ac.kr)

\*\*부경대학교 위성정보과학과 교수, 이학박사(kimys@pknu.ac.kr)

\*\*\*교신저자, 부경대학교 위성정보과학과 교수, 공학박사(suh@pknu.ac.kr)

이러한 지형해석 결과를 산사태 발생 예측의 판단근거로 하기 위해서는 산사태 이외의 사면에 대하여도 동일한 지형해석을 수행하여 그 차이를 비교할 필요가 있다. 고밀도/고정밀도의 디지털 데이터인 항공라이다 측량데이터를 이용하는 경우 균열 및 단층 등의 미세지형이 발달되어 있는 산사태 발생가능 지형의 특징을 수치화하여 간편하게 해석할 수 있다. 산사태가 발생 가능한 지형은 기존의 산사태의 활동과 함께 변화하므로, 지형해석 결과를 통해 주변의 산사태 활동상황이나 발생 단계를 표현하는 것이 가능하다. 예를 들면 특정 지역에 산사태가 활발히 활동하게 되면, 동시에 이를 유발하는 미세지형의 발달도 활발하게 일어나 지형의 굴곡이 매우 거칠게 표현된다. 산사태의 발생을 인지할 수 있는 지표면의 굴곡 거칠기(roughness) 지표로 McKean and Roering(2004)은 고유치 비(eigenvalue ratio)를 제안하였으며, Glenn외(2006)은 가상곡면으로부터의 고해상도 DEM 각 격자와의 표고차에 대한 표준편차 또는 거리와 표고값의 분산과의 상관관계를 나타내는 통계량인 반분산(semivariance)을 구하여 이러한 값의 공간분포와 산사태의 발생 가능성과의 상관관계를 조사하였다. 그러나 이러한 지표는 산사태 발생과 밀접한 연관을 지니는 지질정보(이사로 외, 2002)가 고려되지 않은 결과로서, 지질조건이 서로 다른 장소에 대해서도 이러한 지표를 적용할 경우 동일한 결과를 얻게 되는 문제점이 존재한다. 하지만 고정밀 항공라이다 데이터를 이용하여 얻어지는 경사면 구배의 공간분포는 그 분포밀도를 수 미터 이하의 단위로 얻을 수 있으므로, 지질정보와의 통합이 수행되지 않더라도 현재의 산사태의 발생 가능성 및 활동 상태를 표현하는 지표로 활용하는 것이 충분하다고 판단된다.

본 연구에서는 항공라이다 측량 데이터로부터 작성한 2m 해상도의 고해상도 DEM을 이용하여 강원도 평창군 일원 지형의 고유값 비와 경사구배를 획득하였으며, 이를 통해 총 3개소의 산사태 발생지점과 1개소의 산사태가 미발생 사면에 대한 지형해석을 수행하였다. 최종적으로는 지형해석 결과와 현지조사로부터 얻은 지형정보를 비교하여, 강원도 일원 산사태의 지형적 특

징 및 발생 가능성, 또한 현재의 산사태 활동 상태에 대한 해석 결과와의 상관관계를 나타내었다.

## 2. 연구 대상지역

강원도 평창군 일원에 발생한 연구대상 산사태는 2002년에 발생한 것으로 발생지점과 피해량에 대한 현황은 한국도로공사에 의해서 도속도로 주변에서 발생된 산사태를 직접 현장조사한 자료에서 취득한 것이다. 2002년 강원도 일원에서 발생한 산사태 총 164개 중 대규모의 범면유실이 발생한 지점을 기준으로 피해 범위, 피해량 등의 피해정보를 명확히 알 수 있는 총 3개소의 지점을 선택하였다([그림 1] 참조).

[그림 1]에 표현된 연구대상지역의 지형 특성을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 표고 분포의 경우 최소 453.6m에서 최대 1169.3m의 분포를 보였으며, 평균표고는 675.8m로 표고 분포의 표준편차는 ±107.9m를 나타냈다. 경사면 구배의 경우 최대 70.37°의 급경사지가 존재하였으며, 평균사면 구배는 20.41°로 경사면 구배



[그림 1] 연구대상 산사태 발생 지역

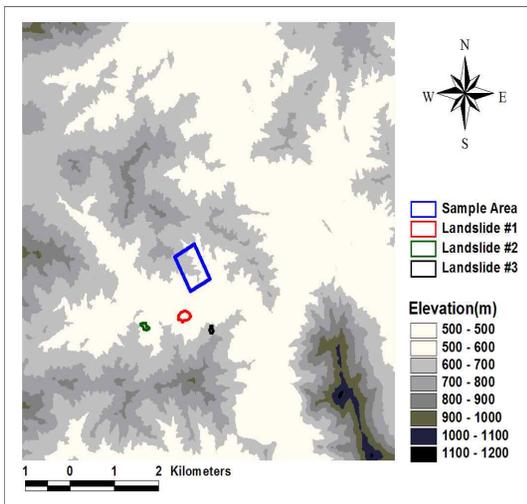
<표 1> 연구대상 산사태(3개소) 발생 현황

번호	면적 (km <sup>2</sup> )	발생장소 (강원도 평창군 內)	발생지점 (년-월-일)	주요 토질 (정밀토양도 기준)	피해내용
1	0.061	봉평면 면온리	02-07-04	사암질(SgE2)	범면유실, 농경지 파손
2	0.021	봉평면 진조리	02-08-07	사암질(JiB)	범면유실
3	0.013	봉평면 면온리	02-08-15	사암질(SgE2)	범면유실, 낙석

분포의 표준편차는 ±11.96°로서 연구대상지역 전체적으로 상당히 급격한 경사면 구배를 나타내었다.

연구대상지역에 분포한 총 67개의 산사태 발생지점(한국도로공사 조사자료 기준)에 대하여 정밀토양도를 중첩하여 획득된 토질정보를 정리한 결과 총 14개의 대표적인 토질 종류를 확인할 수 있었으며, 특히 사암질의 SgE2 토질에서는 총 35건의 산사태가 발생하여 전체 발생건수의 52%를 차지하였다. SgE2 토질은 토양통명으로서 삼각이며, 삼각통은 사양질계 암쇄토로서 미농무성의 분류방법에 의하면 ‘Coarse Loamy, Mesic Family of Typic Distrochrepts’에 속한다. 이러한 토양의 표토는 갈색의 사양토이고 심토는 진갈색이나 황갈색의 사양토이며 기층은 매우 두꺼운 갈황색의 풍화모질물인 사양토 내지 양질사토이다. 토양의 모재는 화강암의 잔적층으로 구릉지 및 산악지에 분포하는 것으로 알려져 있다. 즉, 사면부에 다량 분포하는 사암질의 토질인 SgE2에서 산사태가 다수 발생하였으며, 동일한 사암질 계통의 토질인 JiB와 WiE, OnD2, YaD2 등에서도 다수의 산사태가 발생하였음을 확인하였다. 본 연구에서 활용한 3개소의 산사태 발생지점의 주요 토질도 SgE2와 JiB로 확인되었다.

산사태 발생 가능성 예측을 위한 정밀한 지형해석을 위하여 연구대상지역을 포괄하는 강원도 일원 지역의 고해상도 DEM을 2m의 해상도로 작성하였다. DEM 작성을 위한 자료로서 Leica ALS 60 LiDAR 장비를 통해 관측된 항공라이다 데이터를 이용하였으며, 이 데이터의 경우 DEM 제작을 위한 클래스 분류를 수행한 후 LAS 1.1 포맷으로 작성한 것이다. 다음의 [그림 2]는



[그림 2] 연구대상지역의 고상도 DEM(해상도 2m)

본 연구대상지역에 대하여 작성된 2m 해상도의 DEM을 나타낸 것이다.

### 3. 산사태 예측을 위한 지형해석 알고리즘

본 연구에서는 지형의 특징을 나타내는 지표(index)로 경사면 구배와 고유치 비(eigenvalue ratio)를 사용하였다(Kasai 등, 2009). 경사면 구배(slope angle)은 ArcView 소프트웨어에 구현되어 있는 표준 알고리즘을 이용한 유한차분(finite difference)을 통해 계산되었으며(Burrough and McDonell, 1998), DEM 상 임의의 격자점에서의 수평면과 근방 8점에서 계산되는 근사평면으로 이루어지는 각을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$I = \arctan \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

여기서,  $I$ 는 DEM 상 임의의 격자점에서의 경사면 구배이며,  $\partial z/\partial x$ 은 동서방향의 경사각,  $\partial z/\partial y$ 는 남북방향의 경사각을 나타낸다.

고유치 비는 지표면의 거칠기 정도(degree of roughness)를 3차원적으로 나타내는 지표로서(Woodcock, 1977; Woodcock and Naylor, 1983), 여기서는 DEM의 각 격자별 평면의 법선벡터의 방향에 대하여 인접한 3×3 격자 간의 지표면의 거칠기를 나타낸다. 활발한 지표활동이 발생하는 장소에서는 지표면이 거칠게 되어, 고유치 비의 값이 작게 나타나는 것으로 알려져 있다(McKean and Roering, 2004).

본 연구에서는 고유치 비를 Woodcock(1977)이 제안한 방법을 이용하여 계산하였다. DEM의 각 격자면과 수직하는 단위벡터의 집합을  $(x_1, y_1, z_1) \dots (x_n, y_n, z_n)$ 이라고 하면, 이 단위벡터의 방위행렬 또는 위치변환행렬(orientation matrix)  $T$ 와 행렬 내 고유치  $\lambda$ 은 다음과 같이 계산된다(Kasai외, 2009).

$$|T - \lambda E| = \begin{vmatrix} \sum x_i^2 - \lambda & \sum x_i y_i & \sum x_i z_i \\ \sum y_i x_i & \sum y_i^2 - \lambda & \sum y_i z_i \\ \sum z_i x_i & \sum z_i y_i & \sum z_i^2 - \lambda \end{vmatrix} \quad (2)$$

여기서,  $x_i = \sin\theta_i \cos\phi_i$ ,  $y_i = \sin\theta_i \sin\phi_i$ ,  $z_i = \cos\theta_i$ 이며,  $\theta_i$ 와  $\phi_i$ 는  $i$ 번째 격자의 단위 방위벡터(unit orientation vector)의 여위도(colatitude) 및 경도를 각각 나타낸다. 상기의 식 (2)의 행렬은 이론적으로  $i = 1$ 에서

$n$ 까지의 모든 요소를 계산하게 되나, 본 연구에서는 계산범위를 특정 격자 주변의  $3 \times 3$  격자로 제한하였으며, 이를 통해  $n=9$ 로 결정되었다. 또한 총 세 개의 고유치 (eigenvalue)  $\lambda_k (k=1,2,3; \lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3)$ 도 식 (2)를 통해 계산되며, 이는 다음의 과정을 통해 정규화(normalized) 되어야 한다(Kasai의, 2009).

$$s_k = \lambda_k / n \tag{3}$$

여기서,  $S_1 + S_2 + S_3 = 1$ 이며, 지형해석을 위한 고유치 비(eigenvalue ratio)  $\gamma$ 은 정규화된 고유치  $S_1$ 과  $S_2$ 를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$\gamma = \ln(s_1 / s_2) \tag{4}$$

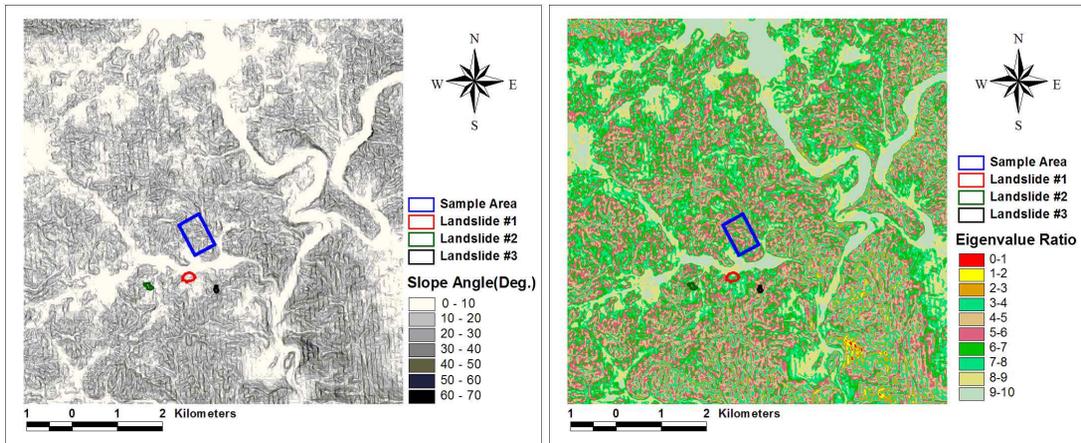
고유치 비  $\gamma$ 이 작을수록 계산범위( $3 \times 3$  격자) 내 격자들의 각 단위 방위벡터의 방향이 보다 불규칙(random)

하다는 것을 나타내며(Guth, 2003), 이는 곧 지표면이 보다 거친 것을 나타낸다(Woodcock, 1977; McKean and Roering, 2004; Kasai의, 2009).

최종적으로 상기의 지형해석 알고리즘을 활용하여 연구대상지역 일원에 대한 경사면 구배 및 고유치 비를 해석하였으며, [그림 1]에 표현된 산사태 발생지점 3개소 (Landslide #1, #2, #3)와 산사태가 발생하지 않은 지점 (Sample Area)에서의 지형해석 결과를 취득하여 비교 및 분석을 수행하였다. 다음의 [그림 3]은 연구대상지역 일원에 대하여 계산된 경사면 구배 및 고유치 비를 표현한 것이다.

#### 4. 비교 및 분석

다음의 [그림 4]는 산사태 발생지점과 샘플지역에 대하여 취득된 경사면 구배와 고유치 비의 밀도분포도를 나타낸 것이며, [그림 5]는 경사면 구배와 고유치 비의



(a) 경사면 구배(Degree)

(b) 고유치 비

[그림 3] 연구대상지역의 지형해석 결과

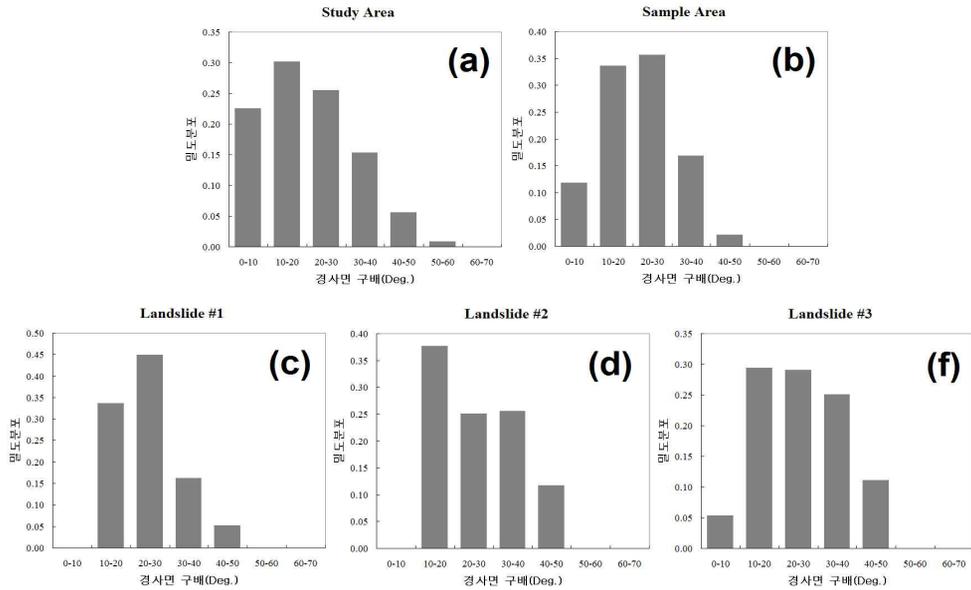
<표 2> 고유치 비에 따른 지형구분 조사 결과(Kasai의, 2008)

고유치 비	산사태 발생 가능성에 따른 지형구분				
	암반이 드러난 단층지역	작은 계곡 및 얇은 연못	경사변환선	토사붕괴 후 형성된 퇴적지	기복이 없는 완경사면
0 ~ 1					
1 ~ 2	O	O			
2 ~ 3	O	O	O		
3 ~ 4	O	O	O	O	
4 ~ 5	O	O	O	O	O
5 ~ 6			O	O	O
6 ~ 7				O	O
7 ~ 8				O	O

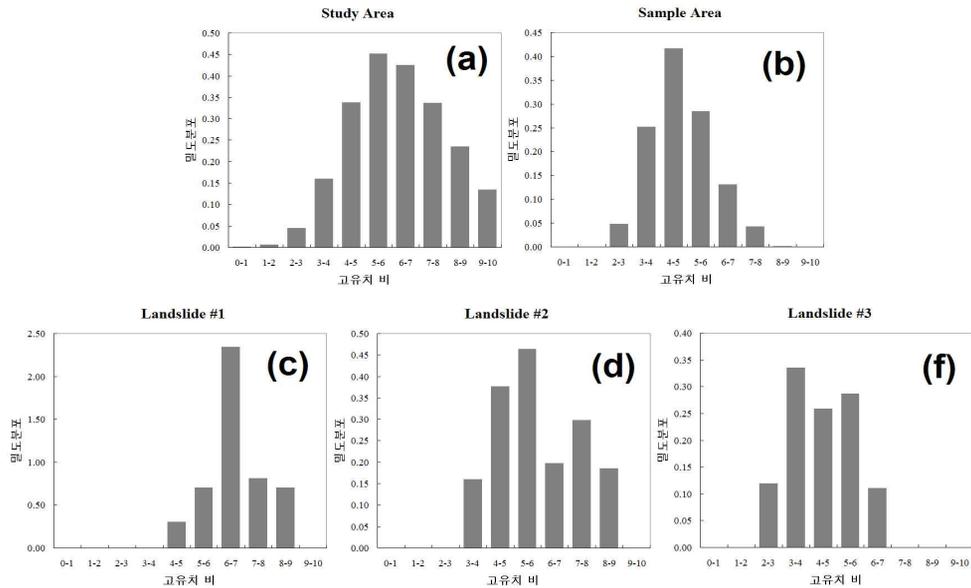
밀도분포를 누적하여 표현한 것이다. 또한 각 지형해석 결과가 나타내는 산사태 발생 가능성을 분석하기 위하여, Kasai의(2009)이 현지조사를 통해 제안한 지형해석 결과(고유치 비의 범위)에 대한 지형구분 비교 결과를 참조하였으며, 이는 위의 <표 2>에 표현되어 있다.

<표 2>에서와 같이 Kasai의(2008)이 제안한 지형구분 단위의 하나인 “기복이 없는 완만한 사면”은 산사태의

활동으로 형성된 함몰지의 내부나 습지, 평탄지 등을 나타내어 산사태 가능성이 매우 낮으며, 이에 따라 고유치 비도 높게 나타난 것을 알 수 있다. 하지만 대부분의 골짜기 부분은 [그림 3(b)]에서 명확하게 나타나듯이 고유치 비의 값이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 또한 <표 2>에는 표현되지는 않았지만 산악지 내 분수령의 경우 골짜기와 동일한 고유치 비 범위를 나타낸다(Kasai의,



[그림 4] 경사면 구배의 밀도분포



[그림 5] 고유치 비의 밀도분포

2008; Kasai외, 2009). 하지만 이러한 현장조사 결과는 우리나라와는 다른 지질구조 및 지형분포를 보이는 일본 지역에서 조사된 결과이므로, 본 결과를 적용하여 해석된 산사태 발생예측 결과를 그대로 수용하는 것은 다소 무리가 있다. 따라서 향후 강원도 지역에 직접적인 현장 조사를 통해 지형의 구배 및 고유치 비에 따라 산사태 발생 지형을 구분하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

전체 연구대상지역을 대상으로 경사면 구배의 밀도분포를 분석한 결과, 가장 밀도가 높은 범위는 경사각 10 ~ 20°로 나타났으며, 그 다음으로 경사각 20 ~ 30°의 범위에서 높은 밀도분포를 나타내었다(그림 4(a) 참조). 산사태가 발생하지 않은 샘플 지역의 경사면 구배 밀도분포의 경우 가장 밀도가 높은 범위는 경사각 20 ~ 30°로 나타났으며(그림 4(b) 참조), 산사태 발생지점(#1, 2, 3)의 경우 각각 경사각 20 ~ 30° 및 경사각 10 ~ 20°에서 가장 높은 밀도분포를 나타내었다. 경사면 구배 분석 결과 샘플 지역에서의 경사면 구배가 연구대상 전체 및 산사태 발생지점에 비해 다소 높은 것으로 나타났다.

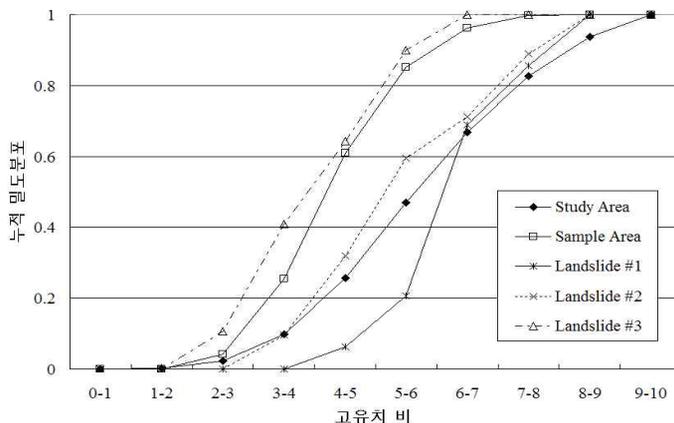
또한 고유치 비의 경우 연구대상지역 전체적으로는 대부분 5이상의 높은 고유치 비 이상에서 높은 밀도분포가 나타났으며(그림 5(a) 참조), 두 곳의 산사태 발생지점(#1, 2)에서도 5이상의 높은 고유치 비가 나타났다(그림 5(c) 및 [그림 5(d) 참조]. 하지만 샘플 지역 및

하나의 산사태 발생지점(#3)에서는 대체적으로 4이하의 고유치 비에서 높은 밀도분포를 나타내어 이 지역의 지표면이 상대적으로 거친 것으로 판단되었으며, 두 지역에서 산사태의 발생 가능성이 보다 높은 것으로 판단된다. 특히 산사태 발생지점(#1, 2)에 비하여 나머지 산사태 발생지점(#3)의 거칠기가 높은 것은 #1과 #2 지점의 경우 산사태의 활동이 이미 종료된 것으로 판단되지만, #3 지점의 경우 현재도 산사태 활동이 진행 중으로 추가적인 산사태 발생 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

이러한 사항은 [그림 6]에 고유치 비의 누적 밀도분포에서 알 수 있는데, 산사태 활동이 활발하여 산사태 발생 가능성이 큰 것으로 분석된 샘플 지역과 산사태 발생지점 #3의 경우, 고유치 비의 누적 밀도분포 곡선의 기울기가 매우 큰 것을 알 수 있다. 누적 밀도분포 곡선의 기울기는 연구대상지역 전체에 대하여 분석한 결과가 가장 완만하였으나, 이러한 결과는 대상지역이 범위가 넓어서 지형해석 결과가 전체적으로 상쇄되기 때문으로 분석된다. 또한 산사태 발생지점 #1의 경우에는 누적 밀도분포 곡선의 기울기가 매우 크게 나타났으나, 이는 낮은 고유치 비를 가지고 있는 지역이 존재하지 않음으로 인해 나타난 현상으로 판단되며, 실제로 고유치 비의 80% 이상이 5 이상의 값을 보이고 있어 상대적으로 산사태에서 가장 안정된 지역이라 판단된다. 다음의 <표 3>은 각 대상지역에 대한 고유치 비의 기본적인

<표 3> 대상지역별 고유치 비의 기본통계량

구분	연구대상지역	샘플지역	발생지점 #1	발생지점 #2	발생지점 #3
최소	0.215	2.340	4.012	3.649	2.064
최대	9.763	7.689	8.984	8.763	6.854
평균	5.715	5.282	7.188	6.389	4.940
표준편차	1.738	1.154	1.049	1.507	1.176



[그림 6] 고유치 비의 누적 밀도분포 곡선

통계량을 나타낸 것이다.

상기의 분석결과 연구대상지역 전체적으로 향후 산사태가 발생할 가능성은 다소 낮으며, 산사태 발생지점 #1과 #2의 경우 산사태 활동이 이미 종료되어 안정기에 들어선 지역으로 판단된다. 하지만 샘플 지역과 산사태 발생지점 #3은 현재 산사태 활동이 진행 중인 지역으로 해석되었으며, 향후 산사태 발생 가능성이 상대적으로 높은 지역이라 판단된다. 하지만 연구대상지역 전체적으로 분석한 결과는 앞서 언급하였듯이 지형해석 결과들이 서로 상쇄되는 효과로 인해 산사태 발생이 낮은 안정적인 지역이라고 단정할 수는 없으며, 본 연구에서 제안한 지형해석 결과를 토대로 세부 지역별로 토사 이동과 관계된 수리·수문적 구조, 식생, 지질 및 토질구조, 강수량 등의 정보를 활용한다면 좀 더 명확하게 산사태 발생을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구의 목적은 항공라이다 측량을 통해 생성된 고해상도 DEM을 산사태 발생 가능성 예측을 위한 객관적인 판단근거로 활용하는 것에 있다. 이를 위해 항공라이다 측량 데이터로부터 작성한 2m 해상도의 고해상도 DEM을 연구대상지역인 강원도 평창군 일원에 대하여 작성하였으며, 그 후 작성된 DEM 통해 연구대상지역 전체와 이 지역 내에 포함된 총 3개소의 산사태 발생지점과 1개소의 산사태 미발생 사면에 대한 지형해석을 수행하였다. 지형해석의 해석요소로는 경사면 구배와 고유치(eigenvalue) 값을 활용하였으며, 산사태 발생지점의 피해현황 등의 파악을 위해 한국도로공사에서 수행한 현장조사 자료를 이용하였다.

고해상도 DEM을 이용한 지형해석을 수행한 결과, 산사태 발생이 가능한 지형을 특징하는 경사면 구배 및 고유치 비(eigenvalue ratio)의 밀도분포가 명확해졌으며, 이러한 밀도분포를 통해 연구대상지역 일원의 산사태의 발생 예측 및 현재 위험도의 표현이 가능함을 알 수 있었다.

하지만 본 연구에서는 최종적인 산사태 발생 가능성 분석을 위한 기초자료로 Kasai의(2009)이 일본에서 수행한 지형구분 조사 결과를 이용하였는데, 이 조사 결과는 우리나라와는 다른 지질구조 및 지형분포를 보이는 일본 지역에서 조사된 결과로 분석 결과의 신뢰성이 다소 떨어지는 문제점이 존재한다. 따라서 향후 강원도 지역에 직접적인 현장조사를 통해 지형의 구배 및 고유치 비에 따라 산사태 발생 지형을 구분하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제안한 지형해석 결과를 토대로 산사태와 밀접한 연관을 갖는 수리·수문

적 구조, 식생, 지질 및 토질구조, 강수량 등의 정보를 활용한다면, 우리나라 지역의 산사태 예측을 좀 더 명확하게 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-3111)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 유창호, 최윤수, 김재명(2008) 지상라이다를 이용한 사면파괴 거동분석, 한국GIS학회지, 제16권 제3호, pp.279-290.
- 이사로, 최위찬, 장범수(2002) 지질구조자료를 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 한국GIS학회지, 제10권 제2호, pp.247-261.
- Burrough, P.A. and McDonnell (1998) Principles of Geographic Information System, Oxford University Press, New York.
- Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwick, D.J., Thackray, G.D. and Dorsch, S.J., 2006, Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, 73, pp.131-148.
- Guth, P.L.(2003) Eigenvector Analysis of Digital Elevation Model in a GIS: Geomorphometry and Quality control, *Concepts and Modeling in Geomorphology: International Perspectives*, pp.199-220.
- Kasai, M., Ikeda, M., Fujisawa, K., Matsuda, M. and Suzuki, S., 2008, Observation of the landslide development process by analysis of LiDAR-derived DEMs. *Journal of the Japan Landslide Society*, 45, pp.26-32.(in Japanese).
- Kasai, M., Ikeda, M., Asahina, T. and Fujisawa, K., 2009, LiDAR-derived DEM evaluation of deep-seated landslides in a steep and rocky region of Japan. *Geomorphology*, 113, pp.57-69.
- McKean, J. and Roering, J., 2004, Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology*, 57, pp.331-351.
- Woodcock, N.H., 1977, Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. *Geological Society of America Bulletin*, 88, pp.1231-1236.
- Woodcock, N.H. and Naylor, M.A., 1983, Randomness testing in three-dimensional orientation data. *Journal of Structural Geology*, 5, pp.539-548.

접수일	(2009년 10월 26일)
최종수정일	(2009년 11월 24일)
게재확정일	(2009년 11월 26일)