한국위기관리논집 제8권 제5호 2012. 08 203~212쪽

우도비를 이용한 산지재해 발생 위험인자 분석

오채연*, 전계원**

최근 태풍이나 국지성 집중호우의 빈번한 발생으로 인하여 산사태나 토석류 재해가 대규모로 광범위하게 발생하고 있으며 많은 인적 물적 손실을 야기 시키고 있다. 산사태나 토석류 피해를 최소화시키기 위해서는 피해 위험지에 대한 과학적 분석이 필요하며 각종 공간정보를 요구한다. 본 논문에서는 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 분석에 필요한 지형, 수문, 토양, 임상 등의 데이터베이스를 구축하였으며 2006년 태풍 에위니아에 의해 많은 산사태와 토석류가 발생한 인제군 인제읍 일대를 대상으로 항공영상과 현장모니터링을 통해 산사태 및 토석류 발생위치를 추출하였다. 공간정보와 산사태 및 토석류 발생지와의 상관성을 우도비를 이용하여 정량적으로 분석하였으며 산사태 및 토석류 위험지역 예측도를 작성하였다. 추후 이 결과와 다른 정량적 모델의 비교 분석을 통하여 좀 더 정확한 예측도를 작성할 수 있을 것이다.

주제어: 우도비, 산사태, 토석류, GIS, 예측도

Ⅰ. 서론

강원도의 경우 전 면적의 81%가 산지로 이루어져 있으며 산지사면이 대부분 급경사지를 이룬 곳이 많다. 또한 연평균 강수량의 대부분이 6~9월 사이에 집중되고 태풍 및 집중호우로 인해 많은 산사태나 토석류가 발생하고 있으며 그 피해액 또한 계속 증가하고 있다. 산림청에 따르면 2002년부터 지난해까지 10년 동안 산사태 피해 면적은 7789ha 이며 복구비용만 1조 132억 원이 투입됐다고 한다. 최근 산사태 발생 경향을 살펴보면, 2000년대 들어 연 평균 산사태가 713ha로서 1980년대의 231ha보다 3배 이상 현격히 증가 추세에 있다.<그림1>은 최근 10년 동안 산사태 피해면적과, 인명피해현황이다. 지난해의 경우 서울, 춘천 등에서 산사태 및 토석류가 발생하여 많은 인명과 재산피해가 발생하였으며 이는 기상이변에 따른 국지성 집중호우 등의 영향으로 보고 있다. 산사태나 토석류는 집중호우로 인한 사면파괴, 산지계류에서의 급류에 의한 하상의 침식 등 다양한 유발요인에 기인하여 발생하며, 피해의 저감과 예측을 위해서는 발생지역의 지형, 지질, 강우유출특성 등의 체계적인 연구가 필요하다

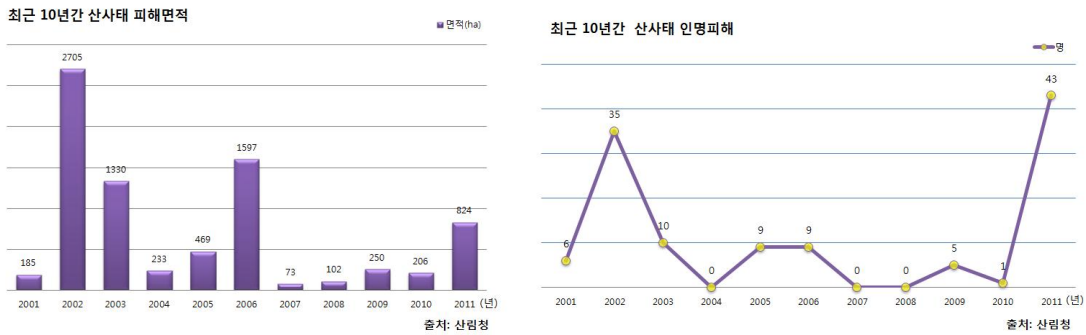
* 제1저자, ** 교신저자.

www.kci.go.kr

(전계원 등, 2010). 산지재해와 같이 광범위하게 발생하는 재해를 분석하는 것은 현장조사로는 한계가 있으므로 인공위성영상을 이용한 원격탐사 기술과 GIS를 이용한 연구들이 진행되고 있다. 산지재해의 원인을 분석하고 예측하기 위해 국내에서는 이사로 등(2000)은 인공신경망을 이용한 산사태 취약성 분석과 최재원 등(2004)은 GIS 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성도 작성 및 검증을 하였다. 김경태 등(2005)은 GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가를 하였고, 전계원등(2011)은 GIS 및 항공사진을 이용하여 토석류 유발 특성인자 분석에 관해 연구하였다.

국외의 경우 1990년대부터 GIS를 이용한 많은 연구가 진행되었는데 Baldelli 등(1996)은 지질도, 지형도, 수치지형모델을 이용하여 GIS 중첩분석을 통해 산사태 취약성도를 작성하였고, Chuang and Fabbri(1993, 1998)에 의해 조건부 확률 모델, certainty factor 모델, 퍼지 집합 모델 등을 이용하여 다양한 지역에 대한 객관적이고 정량적인 산사태 위험도를 작성하고자 하였다. 또한 시간적으로 구분되는 두 그룹의 산사태 발생 위치를 이용하여 여러 가지 확률적인 예측 모델을 비교하였다(Chung and Fabbri, 1999).

본 연구에서는 산지에서 주로 발생하는 산사태나 토석류와 같은 산지재해의 피해를 저감시키기 위해서 GIS 기반의 산지재해 예측기법을 연구하고 산지재해가 발생한 지역을 대상으로 피해지역 항공사진과 GIS 기반의 공간통합(Spatial Integration)기법을 이용하여 공간정보와 산지재해 발생지와의 상관성을 우도비를 이용하여 정량적으로 분석하였다.



<그림 1> 산사태 피해면적 및 인명피해현황

II. 모형이론

우도비(likelihood ratio)는 자료 검증에 사용되는 기법중 하나로 확률(probability)과 비슷한 개념으로 쓰이며 빈도(frequency)와도 관계가 있다. 일반적으로 의사결정을 할 때 사전정보를 이용하는 경우가 많으나 이것만으로는 효과적인 의사결정을 할 수 없기 때문에 추가정보를 활용하게 된다. 이때 이용할 수 있는 통계적인 방법이 조건부 확률(Conditional probability)의 원리이며, 조건부 확률에서는

www.kci.go.kr

새로운 정보를 알았을 때 확률의 개선이 일어나게 되며 여기서 처음 확률은 사전확률(prior probability)이라 하고, 개선된 확률을 사후확률(posterior probability)이라고 하며, 이러한 응용으로 추론된 정리가 베이즈의 정리(Bayes′ theorem)이다. 연구지역을 표본공간 T로 표시하고 일정한 크기를 갖는 단위 픽셀 s로 나누면, $N\{T\}=t/s$는 표본공간 T에 대한 총 단위 픽셀들이 된다. 산지재해 발생지점을 점으로 표시하고 그 사상을 D로 나타내면 경우의 수는 $N\{D\}$로 나타낼 수 있으며, 표본공간 T에 대한 사전확률은 식(1)과 같다.

$$P\{S\}=\frac{N\{D\}}{N\{T\}} \quad (1)$$

산지재해 발생지점 (D)와 관련된 각각의 인자를 F로 나타내어 D가 발생하였을 때 F가 발생할 확률은 식 (2) 식 (3)과 같다.

$$P\{D|F\}=\frac{P\{D\cap F\}}{P\{F\}}=P\{D\}\frac{P\{F|D\}}{P\{F\}} \quad (2)$$

$$P\{\overline{D}|F\}=\frac{P\{\overline{D}\}P\{F|\overline{D}\}}{P\{F\}} \quad (3)$$

$P\{F|S\}$는 산지재해 발생지점 (D)가 발생하였을 때 (F)가 발생 할 가능성을 나타내는 사후확률(Posterior Probability)이다.

식 (2)을 식 (3)으로 나누면

$$O\{D|F\}=O\{D\}\bullet\frac{P\{F|D\}}{P\{F|\overline{D}\}} \quad (4)$$

$$O\{D|\overline{F}\}=O\{D\}\bullet\frac{P\{\overline{F}|D\}}{P\{\overline{F}|D\}} \quad (5)$$

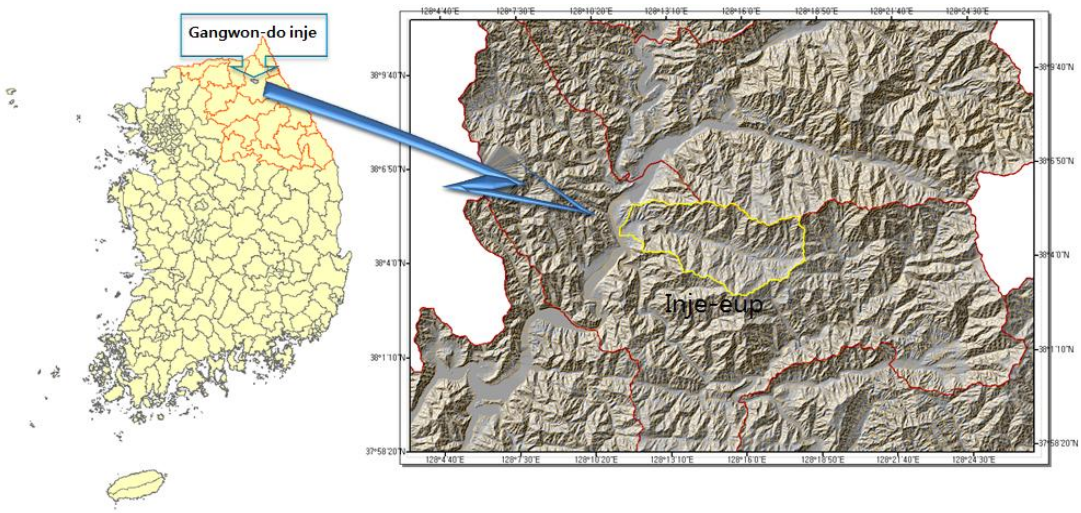
여기서, $\frac{P\{F|D\}}{P\{F|\overline{D}\}}$: Sufficiency Ratio(LS), $\frac{P\{\overline{F}|D\}}{P\{\overline{F}|\overline{D}\}}$: Necessity Ration(LN) 이다.

또한, LS와 LN은 우도비(likelihood ratios)라고 한다. 우도비는 주어진 인자들에서 종속변수가 존재하는 상황을 확률로 설명한다. 따라서 각 인자들의 어떤 등급에서 사건이 가장 많이 발생했는지를 계산할 수 있다.

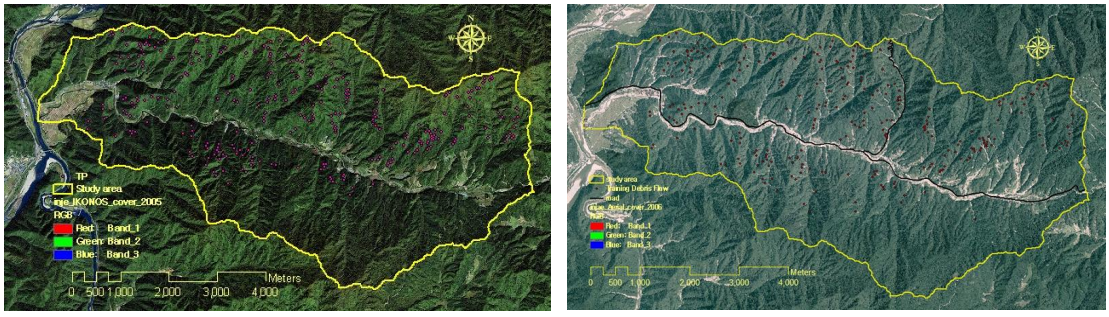
www.kci.go.kr

III. 연구지역 및 데이터베이스

산지재해 분석에 적용될 연구지역은 2006년 태풍 에위니아의 영향으로 많은 토석류가 발생한 강원도 인제군 인제읍 덕산리 및 덕적리 일대이며 전체 유역 면적은 약 33㎢이다. 연구지역은<그림 2>와 같으며 <그림 3>은 2005년과 2006년 토석류발생 전후의 항공사진의 중첩분석과 일부 현장모니터링을 통하여 추출한 산지재해 발생지점이다. 산지재해 예측도 분석에 적용될 연구지역은 2006년 태풍 에위니아의 영향으로 많은 산지재해가 집중적으로 발생한 지역으로 7월 12일부터 16일 까지 총강우량 569.6mm, 7월 15일 일강우량이 192mm, 최대시우량은 65.5mm로 많은 강우가 내린 지역이다.



<그림 2> 연구대상지지역



<그림 3> 2005, 2006 항공사진 및 산지재해 발생 지점

산지재해는 각기 다른 형태와 발생 빈도를 가지고 있으며, 산지재해와 관련된 요인들의 정량적인

www.kci.go.kr

기준값을 설정하기란 매우 어렵다. 그러므로 이러한 요인들을 선정 후 GIS를 이용한 산지재해 발생위치와 각 요인들 간의 공간적인 상관관계 분석이 필요하다. 분석을 위해 필요한 각 요인들의 속성정보인 점, 선, 면, 좌표값 등을 설정하고 GIS기반의 공간 데이터베이스를 구축하였다. 예측도 작성을 위해 필요한 각 요인들의 항목은 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구지역관련 데이터

Classification	Factors	Data Type	Scale
Topographic	DEM	Point, line	1:5,000
	Slope		
	River		
	Curvature		
	Landform		
Soil Map	Soil type	Polygon	1:25,000
	Soil Effective		
	Soil drainage		
Forest Map	Timber age	Polygon	1:25,000
	Timber diameter		
	Timber density		
Land Use	Land use	Polygon	1:25,000
Geological Map	Geology	Polygon	1:50,000

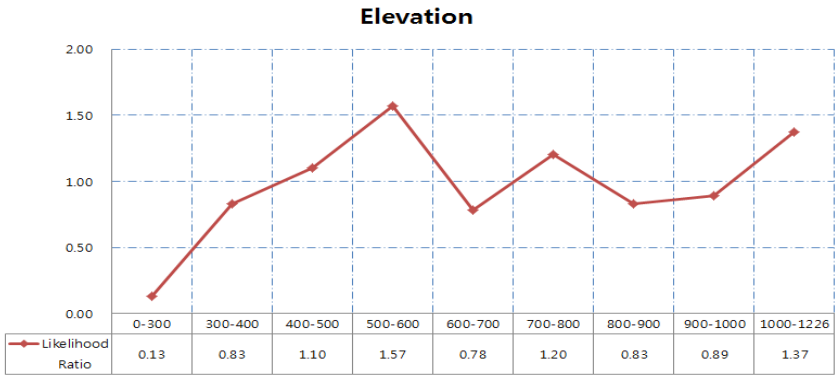
IV. 분석결과

우도비 모델의 적용은 추출된 산지재해 발생 지역과 산지재해 관련 인자들의 등급별 상관관계를 분석하고 정량적으로 계산하고 각 인자들의 등급별 확률 값을 통해 산지재해 위험지수를 계산하고 위험지역을 예측하는데 있다.

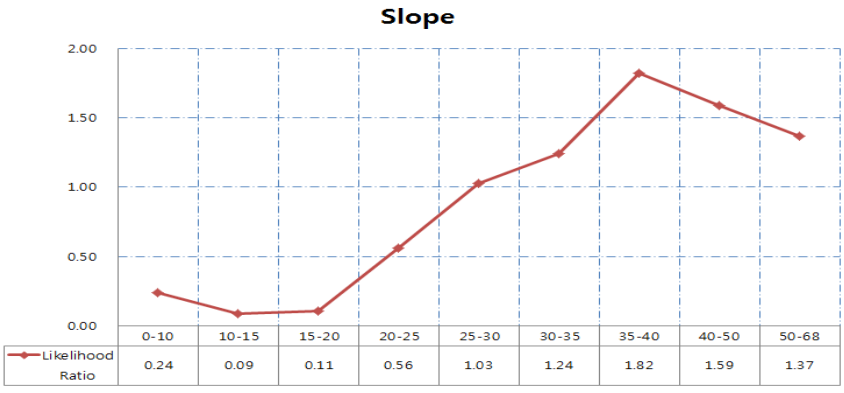
우도비는 조건부 확률 원리를 바탕으로 한, 각 요인의 등급별 산사태 발생 면적의 비율을 의미하며 우도비가 1이면 산지재해 발생 인자와 비교하여 평균적이라는 것을 의미하고, 1보다 크면 산지재해 발생 확률이 상대적으로 높다는 것을 1보다 작으로 산지재해 발생 확률이 상대적으로 작다는 것을 의미한다. 산지재해 발생위치의 특성을 파악하기 위해서 각 인자들을 속성별로 원자료의 값이 잘 반영되도록 적절한 등급으로 분류하여 각 클래스에서 산지재해가 얼마나 많이 발생하였는지를 통계적으로 파악할 수 있다. <그림 4>는 고도별 산지재해 발생 우도비 값으로 고도가 500-600m에서 1이상인 양의 상관관계를 보이며 <그림 5>는 경사도 관련인자로 경사가 25-30°, 30-35°, 35-40° 등급에서 우도비 값이 1이상으로 나타났고 경사가 35-40°에서 1.82로 높은 상관관계를 보이고 있다. <그림 6>의 경사방향은 동쪽, 남동쪽, 남쪽에서 각각 2.0, 3.39, 1.42로 산지재해 발생확률이 높은 것으로 나타났으며, <그림 7>의 곡률의 경우 볼록한 지역에서 1.48의 양의 상관관계를 보였으며 <그림 8>의 Landform은

www.kci.go.kr

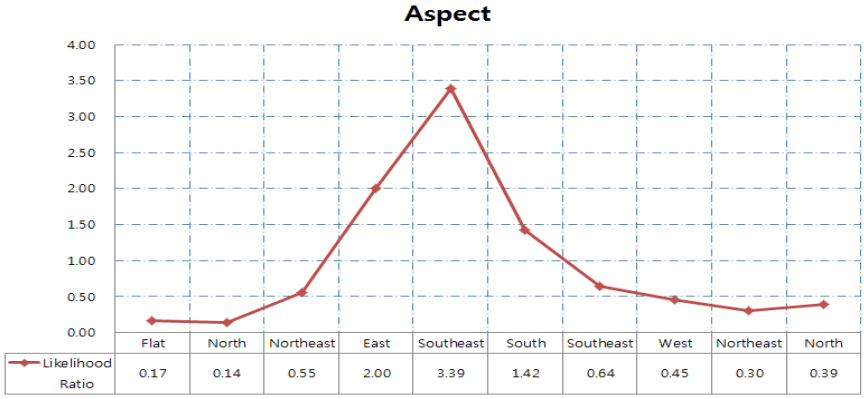
shallow valleys에서 3.27로 높은 상관성을 보였고 <그림 9>의 하천과의 거리에서는 200m, 300m에서 각각 1.27, 1.38의 우도비를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 인제군 덕산리 및 덕적리 지역에 대한 산지재해에 영향을 미치는 인자들을 추출할 수 있었다. 그리고 확률이 높은 상관관계를 보이는 지역을 중첩 분석하여 산지재해 위험지역을 도출할 수 있었다.



<그림 4> 고도 클래스별 우도비(Likelihood Ratio)

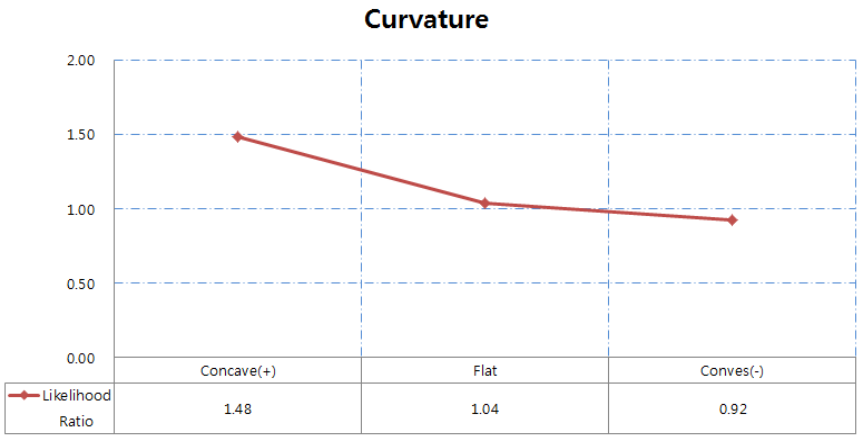


<그림 5> 경사도 클래스별 우도비(Likelihood Ratio)

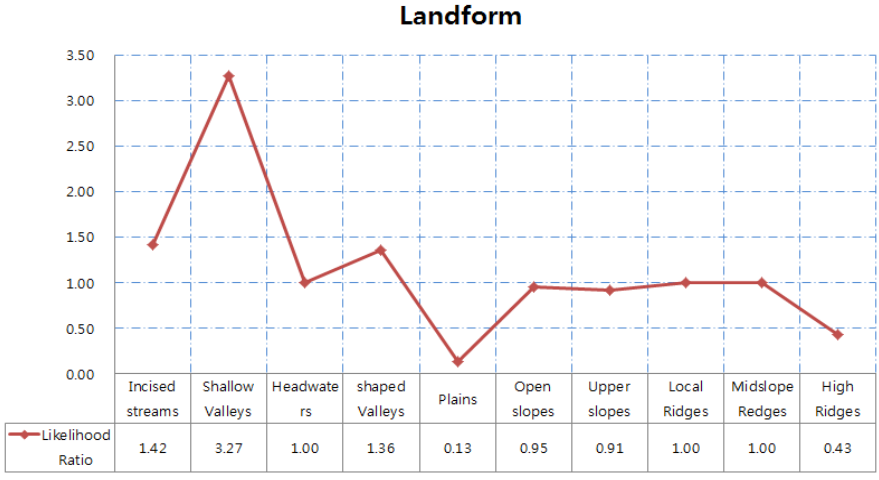


<그림 6> 경사방향 클래스별 우도비(Likelihood Ratio)

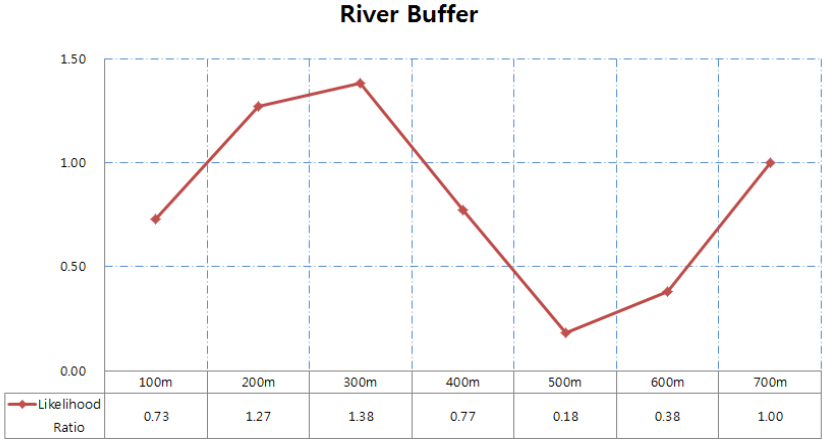
www.kci.go.kr



<그림 7> 곡률 클래스별 우도비(Likelihood Ratio)



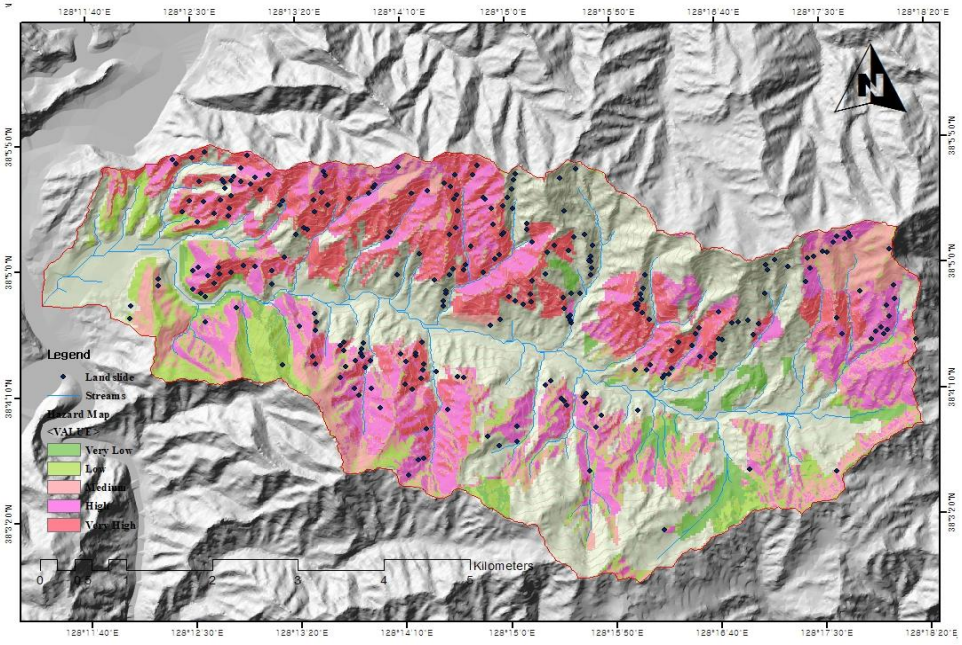
<그림 8> Landform 클래스별 우도비



<그림 9> 하천과의 거리 클래스별 우도비

www.kci.go.kr

<그림 10>은 확률이 높은 상관관계를 보이는 지역을 중첩 분석하여 산지재해 위험지역 예측도를 작성한 것이다. 위험도는 GIS의 등급 분류 방법을 이용하여 5개의 등급으로 구분하였으며 Very Low(40%), Low(30%), Medium(15%), High(10%), Very high(5%)로 등급화 하여 분석하였다. 비교적 위험도가 높은 구간인 Very high ~Medium 상위(30%)구간에 약 82%의 포인트가 분포하는 것으로 나타났다.



<그림 10> 우도비 모델의 산지재해 예측지도

III. 결론

본 연구에서는 집중호우로 산지에서 발생 가능한 산사태 및 토석류와 같은 산지재해 발생위험지역을 산정하기 위해 GIS 기법과 우도비 모델을 적용하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

GIS기법 및 항공영상을 이용하여 토석류 발생 지점을 포인트 자료로 추출하고 산지재해에 영향을 미치는 지형인자, 토양인자, 수문인자, 임상인자 등을 공간데이터베이스로 구축하였다. 우도비 분석결과는 고도의 경우 500~600m에서 1이상의 값을 보였고 경사도의 경우는 30~35°에서 우도비 값이 가장 높게 나타났으며 경사방향은 남동쪽에서 3.39의 발생확률을 보였다. 곡률의 경우 볼록한 지역에서 1.48의 양의 상관관계를 보였으며 Landform은 shallow valleys에서 하천과의 거리에서는 200m, 300m에서 각각 높은 상관성을 보였다. 확률이 높은 상관성을 보이는 지역을 중첩 분석하여 산지재해 위험

www.kci.go.kr

지역을 도출하였고 위험도를 5등급으로 분류하여 비교적 위험도가 높은 구간인 Very high ~Medium 상위(30%)구간에 약 82%의 포인트가 분포하는 것으로 분석되었으며 이는 실제 발생한 지역과 비교적 상관성이 높은 것으로 판단된다. 추후 이 결과와 다른 정량적 모델의 비교 분석을 통하여 좀 더 정확한 예측도를 작성할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

김경태・정성관・박경훈・오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회지. 8(1):75-87.

이사로・류주형・민경덕・원중선. 2000. 인공신경망을 이용한 산사태 취양성 분석. 자원환경지질학회지. 33(4): 333-340.

전계원・오채연・전병희. 2011. 토석류 유발 특성인자 분석에 관한 기초연구. 한국위기관리논집. 7(3): 223-232.

전계원・전병희・안광국・장창덕・김남균. 2010. 지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 산정에 관한 기초연구. 한국지반환경공학회. 11(3): 63-18.

최재원・이사로・민경덕・우익. 2004. 지리정보시스템(GIS) 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성도 작성 및 검증. 자원환경지질. 37(2): 207-223.

Bonham-Carter, G.F., F.P. Agterberg and D.F. Wright. 1989. Weights of Evidence Modeling: A New Approach to Mapping Mineral Potential. In: Agterberg, F.P. and G. F. Bonham-Carter(Eds.). Statistical Application in the Earth Sciences. *Geological Survey of Canads*. 989: 171-183

Chung, F. C., and Fabbri, A. G., 1993. The Representation of Geoscience Information for Data Integration. *Nonrenewable Resources*. 2(2): 122-139.

Chung, F. C., and Fabbri, A. G., 1998. Three Bayesian Prediction Models for Iandslide Hazard. In, A. Buccianttti, ed., *Proceedings of International Association for Mathematical Geology Annual Meeting*. (IAMG98). Ischia, Italy. October 3-7. 1998. 204-211.

Chung, F. C., and Fabbri, A. G., 1999, Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 65(12): 1389-1399.

吳采妍: 강원대학교에서 공학석사 학위(논문제목: "GIS기법을 활용한 산악지역 돌발홍수 경보발령 기준 설정에 관한 연구", 2007년 2월)를 취득하고 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 박사과정을 수료하였다. 산지재해, 토

www.kci.go.kr

석류재해, 피해예측지도(Hazard map), GIS 분야에 관심을 두고 연구 중이다(cyoh@kangwon.ac.kr).

全桂元: 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: “홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발”, 2004년 2월), 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지재해 방재, 자연재해관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다 (kwjun@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2012년 09월 16일
수 정 일: 2012년 10월 07일
게재확정일: 2012년 10월 20일

www.kci.go.kr

Analysis of Risk Factors for Mountainous Disasters Using a likelihood Ratio

Chae Yeon Oh, Kye Won Jun

Recently, typhoons and regional torrential rains frequently occur leading to a large-scaled landslides or avalanche disasters, further causing lots of casualties and material loss. To minimize damages made by landslides or debris flows, it is necessary to conduct scientific analyses on possible damage-risk areas, requiring a variety of space information. In this thesis, a database was established with GIS (Geographic Information System) about topography, hydrologic, soil and forest physiognomy needed for analyses, and by targeting the area around Inje Gu, Inje Eup, where many landslides and debris flows occurred in 2006, this study extracted landslide and debris flow-occurrence locations through aerial images and on-site monitoring. Particularly, this study quantitatively extracted the correlationship between the space information and landslide and debris flow-occurrence areas by using the likelihood ratio, while drawing up a prediction diagram of landslide and debris flow risk areas. Through analytically comparing this result with other quantitative models, it is expected to draw up a more accurate prediction diagram in the near future.

Key words: likelihood ratio, landslide, debris flow, GIS, heavy rainfall

www.kci.go.kr