

GIS 및 원격탐사를 이용한 2002년 강릉지역 태풍 루사로 인한 산사태 연구 (II) - 확률기법을 이용한 강릉지역 산사태 취약성 분석 및 교차 검증

Landslide susceptibility mapping and validation using the GIS and Bayesian probability model in Boeun

이명진, 이사로, 원중선

Moung-Jin Lee¹, Saro Lee^{2*}, Joong-Sun Won¹

¹Department of Earth System Science, Yonsei University, 134, Shinchondong, Seoul, 120-749, Korea

²Geoscience Information Center, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM), 30, Gajung-dong, Yusung-gu, Daejeon, 305-350, Korea, E-mail: leesaro@kigam.re.kr (교신저자)

본 연구에서는 분석된 산사태 발생원인을 근거로 산사태 발생 가능 지역에 대한 산사태 발생원인에 대한 등급값을 이용하여, 인접한 연구지역에 교차 적용하여 위험성을 평가하여 취약성도를 작성하고 산사태 피해 예방을 위한 방재 사업, 국토개발 계획 및 건설계획을 위한 기초 자료로 적용 및 활용할 수 있도록 하였다. 연구대상 지역은 여름철 집중호우시 산사태가 많이 발생하는 지역으로 정하였으며, 행정구상으로 강원도 강릉시 사천면 사기막리 와 주문진읍 삼교리에 해당한다. 산사태가 발생할 수 있는 요인으로 지형도로부터 경사, 경사방향, 곡률, 수계추출을, 정밀도양도로부터 토질, 모재, 배수, 유효토심, 지형을, 임상도로부터 임상, 경급, 영급, 밀도를, 지질도로부터 암상을, Landsat TM 영상으로부터 토지이용도와 추출하여 격자화 하였으며, 아리랑1호 영상으로부터 선구조를 추출하여 100m 간격으로 버퍼링한 후 격자화 하였다. 이렇게 구축된 산사태 발생 위치 및 발생요인 데이터베이스를 이용, Frequence ratio를 이용하여 각 요소간의 분류를 산사태와의 상관관계를 바탕으로 취약성도를 구하였다. 그리고 계산된 산사태 취약성 지수의 기존 산사태 발생을 설명하는 능력을 정량적으로 표현하기위하여 추정능력을 계산하였다. 또한 이를 교차적용 하여 산사태 취약성도를 각각의 경우에 맞게 만들었다. 이러한 평가는 산사태 피해 예방을 위한 방재 사업, 국토개발 계획, 건설계획 등에 기초 자료로서 적용 및 활용될 수 있다.

핵심되는 말 : 지리정보시스템(GIS), 산사태, 취약성, 교차검증, 강릉

서론

산사태는 폭우나 또는 지진 등의 급격한 자연환경의 변화에 의하여 일시에 산의 일부가 무너져 내려오는 것으로, 우리나라는 매년 장마철에 산사태가 집중적으로 발생하고 있다. 빈번히 발생하는 산사태에 의하여 많은 인적 자원 및 재산피해가 나고 있으며, 이를 복구하는데 많은 시간과 인력을 들이는 경제적인 손실이 발생하고 있다. 이러한 산사태 발생지역에 대한 다각적이고 종합적인 원인조사는 산사태의 발생 가능성 및 위험성을 평가하고 발생시의 피해를 최소한으로 줄일 수 있다.

산사태로 인한 인명피해와 재산피해를 줄이고 예방하기 위하여 산사태의 과학적인 분석기술 개발이 필요한 실정이다. 하지만 산사태를 분석하기 위해 필요한 각종 공간정보를 현장조사를 통하여 획득하기 위해서는 많은 시간과 인력, 비용을 소비하여야 한다. 그러나 원격탐사를 활용하면 산이라는 지리적 특성에서 발생하는 현장조사의 어려움을 줄일 수 있으며 넓은 지역에 대한 지표면의 형태적, 물리적 공간정보의 획득을 용이하게 할 수 있다는 장점이 있다. 지리정보시스템(GIS)을 사용한다면 산사태에 방대한 공간정보 데이터베이스를 계속적으로 수집 및 관리, 분석 할 수 있으며, 빈도비 (Frequency Ratio) 통하여 정량적인 산사태의 영향요인별 등급값을 구하여 산사태 취약성을 분석 할 수 있다. 산사태의 취약성 기법이 적용되면 산사태 발생원인을 분석 할 수 있으며 이를 바탕으로 산사태 발생 가능성을 예측할 수 있기 때문에 산사태에 의한 피해 예방과 관리가 가능해 진다. 따라서 본 연구의 목적은 빈도비를 2개

지역에 적용하여 취약성도를 작성하고, 교차검증을 통해 취약성도의 정확도를 평가하는 것이다.

기존의 GIS를 이용한 산사태 위험성 평가를 다룬 국내외 많은 연구가 진행되어왔다. 특히 Guzzetti et al. (1999)의 논문에서 많은 산사태 위험 평가 연구들이 잘 정리되어 있다. 최근에는 GIS를 기반으로 확률기법을 이용한 연구들이 많이 진행되어 왔다.

연구지역은 행정구상으로 강원도 강릉시 사천 면 사기막리 와 주문진읍 삼교리에 해당한다. 지리 좌표 상으로는 사기막리 지역의 경우는 동경 $128^{\circ} 45' 00''$ ~ $128^{\circ} 50' 00''$, 북위 $37^{\circ} 45' 00''$ ~ $37^{\circ} 50' 00''$ 이고, 삼교리 지역의 경우는 동경 $128^{\circ} 45' 00''$ ~ $128^{\circ} 47' 50''$ 북위 $37^{\circ} 52' 50''$ ~ $37^{\circ} 52' 80''$ 에 해당하는 지역이다. 이 가운데에서 상세 연구 대상지역은 사천면 사기막리 지역 일대, 즉 사기막 저수지 지역에서부터 강릉 고속도로 인터체인지 부근까지의 지역이다.

각각 구축된 데이터베이스는 $5 \times 5m$ 간격의 격자(ARC/INFO GRID 형태)로 변환하였다. 빈도비를 사용하여 각각 구분되어진 요인들이 발생한 산사태에 미치는 등급값을 계산하였다. 이후에 각각 등급값을 활용하여 산사태 취약성도를 작성하였으며, 검증을 위하여 계산되어진 산사태 취약성 지수가 기존 산사태 발생을 설명하는 것을 정량적으로 표현하기 위하여 추정능력(Success rate)을 계산하였다.

산사태 분석 기법 및 단계

산사태 분석방법에는 산사태의 취약성

(Susceptibility), 가능성(Possibility) 및 위험성(Risk) 분석이 있다. 이러한 분석 기법들은 대축척, 중축척, 소축척 등으로 나누어 적용된다. 산사태 취약성은 집중호우나 지진 과 같은 충격을 받았을 때 산사태가 일어날 수 있는 상대적인 가능성을 의미한다. 이러한 산사태 취약성 분석에는 여러 가지 방법이 있으며 입력 자료의 축척별로 분류되었는데 그 이유는 산사태 분석 기법이 축척에 따라서 다르기 때문이다. 소축척은 1:500,000 이상의 입력 자료를 사용하여 분석하며, 중 축척은 1:25,000 ~ 1:50,000의 자료를 사용하고, 대 축척은 1:5,000 이상의 자료를 사용하여 분석한다. 이러한 축척에 의한 산사태 취약성 분석 기법은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 다변량 확률방법이 사용되었는데, 이 방법은 확률기법에 의하여 각각 요소의 등급값을 정하고 이를 바탕으로 산사태 취약성도를 작성하게 된다. 중축척 에서는 확률방법이 사용된다. 산사태와 관련되는 각각의 요인과 산사태와의 관계가 확률적으로 분석하게 되고, 그 결과를 이용하여 산사태 취약성도가 작성되게 된다. 확률적으로 분석에 필요한 각각의 요인들은 DEM(Digital Elevation Model)으로부터 추출한 경사, 경사방향, 곡률과 토양도에서 추출한 토질, 배수, 지형, 모재, 유효토심이 있으며, 임상도로부터 추출한 임상, 경급, 영급, 밀도가 있고, 지질도로부터 추출한 암상과 Landsat TM 으로부터 추출하는 선 구조 와 토지이용도, 지형도에서 추출한 수계 등이 있다 (Table 2-3). 이러한 각각의 요인들은 취약성 분석을 위해 GIS 데이터베이스의 형태로 구축되어야 한다.

산사태 분석 단계에서의 취약성은 강우, 지진 등 산사태를 직접적으로 유발시키는 요인이 생겼을 때 그 지역이 얼마나

산사태 발생에 취약한가를 분석하는 것이다. 산사태 가능성은 어떤 지역의 산사태 취약성에 경우, 지진 등의 산사태 유발요인의 발생 가능성을 더해 그 지역에서 산사태가 얼마나 잘 일어날 수 있는가지를 분석하는 것이다. 그리고 산사태 위험성은 산사태 취약성 혹은 가능성에 인명, 시설물 등 피해요소를 같이 고려한 것으로 산사태로 인해 인명 및 시설물의 피해 가능성이 얼마인가를 분석하는 것이다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\text{Susceptibility} = f(\text{Landslide, Landslide related factors}) \quad (1)$$

$$\text{Possibility} = f(\text{Susceptibility, Impact factors}) \quad (2)$$

$$\text{Risk} = f(\text{Possibility, Damageable object}) \quad (3)$$

이러한 3단계의 분석 과정중 본 연구에서는 산사태의 취약성만 분석만을 실시하였다,

산사태 취약성도 작성

본 연구지역인 보은군에 대한 산사태 취약성도 작성을 위해 빈도비 값을 주어 이를 산사태 취약성 평가 결과에 중첩하여 연구지역의 전체적인 산사태 위험성을 평가하였다. 이러한 산사태 취약성 평가를 위해 산사태 취약성 지수(LSI: Landslide susceptibility index)를 구하였는데, 산사태 취약성 지수는 산사태와 각 요인과의 관계인 빈도비 값을 각 요인에 등급값으로 하여 식 (4)과 같이 각 요인에 대해 가중치를 1로 같이 주고 모두 더한 값이다.

$$LSI = \sum F_{ir} \quad (F_{ir} : \text{각 요인의 종류별}$$

등급값)

(4)

이렇게 계산된 산사태 취약성 지수 값으로 산사태 취약성도를 작성하였다. Table 1과 같이, 9가지 case경우로 취약성도를 작성하였다. 취약성도에서 산사태 취약성 지수 값의 구분은 등간격으로 하였다.

산사태 취약성 교차 검증

취약성도의 값들은 일종의 추정(assessment)값에 해당되는데, 예측(prediction)을 위해서는 검증과정(validation)이 필요하다. 본 연구에서는 사기막리 지역의 산사태 등급값과 삼교리 지역의 등급값을 교차 적용함으로써 각각의 경우의 산사태 등급값이 얼마나 올바른 추정치인지 여부를 검증하였다.

계산된 산사태 취약성 지수의 기존 산사태 발생을 설명하는 능력을 정량적으로 표현하기 위하여 추정능력(success rate)을 계산하였다. 추정능력을 계산하기 위하여, 산사태 취약성 지수 값을 그대로 사용하지 않고 상대적 순위(rank)를 계산하여 10%별로 값을 재분류하여 그 범위에 포함되는 기존 산사태 발생 위치의 셀 수를 계산하여 상대적 비율을 계산하였다.

취약성도에서 얻어진 취약성 지수 값을 단위 면적당 산사태 발생 비율 값을 그래프로 나타내면 Figure 3~4 이다. 이 그래프는 Y축에는 산사태 취약성에서 작성된 위험성이 높은 지역을 상위 퍼센트로부터 나열한 값이고 X축은 산사태가 발생한 하위 퍼센트 값을 나타낸다. 예를 들어 Y축의 값이 1% 일 때 X축의 값이 100% 라면 산사태 취약성도에서 위험성이 높게 나타난 1%의 픽셀 안에 산사태가 발생한 모든 위치가 속한다는 것을 의미하며, 산사태 취약성 분석이 올바르게 되었음을 의미한다.

상대적 순위를 사용할 경우, 각 범위가 연구지역 전체에서 차지하는 비율이 같기 때문에 서로 비교하기에 수월하며, 다른 모델을 사용하여 계산된 결과와 비교할 수 있다. 추정능력을 보게 되면(Figure 1), 산사태 취약성 지수가 높은 경우인 순위가 높은 부분으로 갈수록 산사태가 많이 발생되었음을 확인할 수 있다. 보다 정량적인 분석을 위해 그래프 아래쪽의 면적을 구하였다.

사기막리 지역에서 빈도비를 이용하여 구한 산사태 등급치를 사기막리 지역에 적용한 취약성도의 산사태 추정능력(Table 2)은 case25의 경우는 96.9%, case26의 경우는 96.0%이다. 삼교리 지역에서 빈도비를 이용하여 구한 산사태 등급치를 삼교리 지역에 적용한 취약성도의 산사태 추정능력은 case29의 경우에는 96.9%, case30의 경우에는 98.3%이다. 사기막리 지역에서 빈도비를 이용하여 구한 산사태 등급치를 삼교리 지역에 적용한 취약성도의 산사태 추정능력은 case27의 경우에는 91.7%, case28의 경우에는 91.2% 으로 나타났다. 삼교리 지역에서 빈도비를 이용하여 구한 산사태 등급치를 사기막리 지역에 적용한 취약성도의 산사태 추정능력은 case31의 경우에는 81.5%, case32의 경우에는 84.5를 나타냈다.

전체적인 등급값의 적용은 삼교리 지역의 등급값을 삼교리 지역에 적용하였을 때가 가장 높은 면적을 차지하였다, 그러나 교차 적용에서는 사기막리 지역의 등급값을 삼교리 지역에 적용한 것이 좋은 결과를 나타낸 것으로 나타났다. 이러한 결과는 삼교리 지역이 강원도청에서 조사한 태풍 루사 산사태 피해를 가장 많이 발생한 지역으로 조사된 지역이고, 사기막리 지역은 2번째로 피해가 많았다던 지역

으로 조사 되었다는 것을 생각해 볼 수 있다. 즉 산사태 발생이 많이 발생했던 지역의 등급값이 좋게 나왔다는 것을 알 수 있다. 그러나 이 삼교리 지역의 각각의 등급값을 사기막리 지역에 적용 하였을 때는 사기막리 지역의 등급값을 삼교리 지역에 적용한 것 보다 취약성도가 낮게 나왔다. 이는 삼교리 지역과 사기막리 지역의 선정의 크기를 고려해 볼 수 있다. 삼교리 지역은 산사태가 발생한 지역을 좁게 선정하고, 사기막리 지역은 산사태 발생한 지역을 넓게 선정하였다, 그렇기 때문에 사기막리 지역은 삼교리 지역에서는 분류되지 않은 값들도 포함되어 분류 되었다, 예를 들어 토양명 에서는 사기막리 지역에서는 바위가 있는 사양토와 바위가 있는 양토 등이 포함된다, 그러나 삼교리 지역은 연구지역 내에 이러한 분류는 없으며, 토양모재에서는 사기막리 지역에서는 산성화강암 잔 적층이 있으나 삼교리는 이러한 토양특성을 포함하지 못한다. 또한 임상종류에서는 사기막리 지역에는 낙엽송림, 제지, 인공 소나무림, 혼효림, 리기다 소나무림 등이 포함되어있지만 삼교리 지역에는 이러한 임상 종류가 포함되지 않으며, 지역이 좁기 때문에 수계추출을 이용한 버퍼링 에서도 400m는 포함되지 않는다, 즉 삼교리 지역은 사기막리 지역의 분류 중 일부만을 포함하는 지역이고, 이러한 좁은 지역에서 얻어진 등급값는 보다 넓은 지역에 적용 하였을 때 정확도가 떨어지는 것으로 사료된다. 또한 사기막리는 넓은 지역에서 다양한 분류를 포함하기 때문에 이를 삼교리에 적용하였을 때는 삼교리 지역의 분류들이 사기막리 지역의 분류에 교집합으로 속하기 때문에, 교차적용에서는 보다 좋은 결과가 있었던 것으로 사료된다.

높은 값을 나타내는 경우는 Frequence

ratio를 사용하여 교차 적용하지 않고 원래지역에 적용한 case25, case26, case29, case30이 높은 값을 나타내었다. 이는 원래 지역 자체의 특성을 원래 지역에 적용하였기 때문인 것으로 사료되고, 이를 교차 적용하면 취약성도가 떨어지는 것으로 나오는데 인접한 지역이라 할지라도 모든 지역 특성이 같지 않기 때문이고, 특히 좁은 지역을 대상으로 만들어진 Frequence ratio는 넓은 지역에 적용하면 좁은 지역에서는 제외되었던 분류들의 영향으로 낮은 산사태 추정능력을 보이는 것으로 사료된다.

결론 및 토의

본 연구에서는 Frequence ratio 방법을 이용한 산사태 발생 취약성을 분석하였으며, 교차 적용을 통하여 사기막리 지역의 등급값을 삼교리 지역에 적용하여 각각의 지역에 대한 전체적인 산사태 위험성을 평가 하였다. 분석된 취약성도는 계산된 산사태 취약성 지수를 기존 산사태 발생을 정량적으로 설명 및 표현하기 위하여 추정능력을 계산하여 검증을 실시하였다.

그 결과 산사태 취약성 지수가 높은 경우에 산사태가 발생한 지역을 많이 포함하고 있음을 확인 할 수 있었으며 실제 산사태가 가장 많이 발생한 삼교리 지역의 등급값을 삼교리 지역에 적용한 것이 가장 높은 산사태 추정능력을 보여 주었다.

지속적인 산사태 발생에 대한 자료의 누적이 이루어진다면 인공신경망을 통하여 산사태의 종류나 지역의 특성에 맞는 등급값을 계산 할 수 있을 것이다. 또한 산사태에 영향을 미치는 요인의 등급값와 이를 바탕으로 하는 취약성도는 불필요한 요인을 제거해 줌으로서 예측 있어서 불필요한 시간과 노력을 줄일 수 있으며 보다 효율적인 산사태 예방에 사용될 있을

것이다.

참고문헌

Tables 1 Case of riskmap for Sagimakri and Samkyori areas.

	방법	적용
Case 25	GPS 현장조사	사기막리 지역등급값를
Case 26	변화탐지 기법	사기막리 지역에 적용.
Case 27	GPS 현장조사	삼교리 지역 등급값를
Case 28	변화탐지 기법	삼교리 지역에 적용,
Case 29	GPS 현장조사	삼교리 지역 등급값를
Case 30	변화탐지 기법	삼교리 지역에 적용.
Case 31	GPS 현장조사	삼교리 지역 등급값를
Case 32	변화탐지 기법	사기막리 지역에 적용.

Tables 2 Each case of success rate curve measure percent

사기막리 지역 ~ 사기막리 지역	case 25	96.9%
	case 26	96.0%
삼교리 지역 ~ 삼교리 지역	case 29	96.9%
	case 30	98.3%
사기막리 지역 ~ 삼교리 지역	case 27	91.7%
	case 28	91.2%
삼교리 지역 ~ 사기막리 지역	case 31	81.5%
	case 32	84.5%

Bonham-Carter GF, 1999, Geograhic information systems for geoscientists : modelling with GIS, pergamon, p. 302-308.

ATKINSON, P.M. & MASSARI R. 1998. Generalized linear modeling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy. Computer & Geosciences 24 (4), 373-385.

BAEZA C. & COROMINAS J. 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques earth surface processes and landforms 26, 1251-1263.

CLERICI A., PEREGO S., TELLINI C. & VESCOVI P. 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. Geomorphology 48, 349364.

Figure 1 Sucess rate curva of 25 ~ 32

