

화강암지역 산사태 예측모델을 이용한 강릉지역의 산사태 예측도 작성

조용찬^{1)*} · 채병곤¹⁾ · 김원영¹⁾ · 장태우²⁾

1. 서론

우리나라에서 매년 여름 집중호우에 의해 발생하는 산사태의 형태는 사면의 상단부에서 전이형 활동(translational slide)으로 파괴가 시작되어, 사태물질이 계곡부에 모여 토석류 산사태(debris flow landslide)로 바뀌어 하류로 내려가는 것이 가장 흔한 형태이다. 일반적인 우리나라의 강우형태는 연 평균 강우량 1,200mm 중의 절반 이상이 7, 8월에 집중되고, 최근 3~4년간 경기도 일대에서 측정된 강우자료에 의하면 2~3일간에도 최대 600mm 이상이 기록된 바도 있다

본 연구의 목적은 우리나라에서 집중호우에 발생하는 산사태에 대하여 그 발생지점을 사전에 예측할 수 있는 모델을 개발하는데 있다. 우리나라의 지질분포는 매우 다양하기 때문에 한 가지의 예측모델을 이용해서 전국을 대상으로 적용할 수는 없기 때문에, 본 연구에서는 우리나라에 가장 넓게 분포하는 화강암질암(granitic rock)지역에 적용 가능한 모델을 개발하고자 한다. 이를 위해서 경기도 장흥, 안성 및 용인지역과 경상북도 상주지역에서 발생한 산사태관련 자료를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 통하여 예측모델을 개발하고자 한다. 개발된 모델은 2002년 태풍 '루사'에 의해 산사태가 많이 발생한 강릉지역에 적용하여 산사태 예측도를 작성하고, 이를 실제 산사태 발생지점과 비교분석 함으로서 개발된 모델의 정확성과 범용적 사용 여부를 검증하고자 한다.

2. 화강암지역 산사태 예측모델

산사태 발생예측과 관련해서 기존에 발표된 모델은 2개의 범주형 변수(암종과 USCS분류)와 5개의 연속형 변수(공극률, 건조밀도, 투수계수, 고도, 사면경사)를 이용하여 만들어졌다. 그러나 이 모델에 포함된 범주형 변수중 흙의 통일분류(USCS)의 경우 산사태 예측도 작성을 위한 개별 주제도 작성에 어려움이 있어, 일부지역에서는 신뢰성이 다소 저하된 산사태 예측도 작성되는 경우가 있으며, 모델에서 투수계수의 회귀계수의 크기가 다른 변수에 비해 큰 관계로 산사태 예측도가 투수계수의 분포형태에 민감하게 반영되는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하면서 통계적 신뢰성을 확보를 통한 예측결과의 정확도 향상 및 화강암지역에 대한 범용적 사용을 위해서 기 모델을 수정·보완하는 새로운 모델을 개발하였다.

새로운 산사태 예측모델은 총 14개의 입력변수를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였으며, 사용된 자료 가운데 결측치가 5개 이상인 관측치는 분석에서 제외하였다.

분석에 이용된 자료는 총 89 개체이며, 정보손실을 줄이기 위해 해발고도(Elevation)와 사면경사(Angle)변수에서 발생된 4개의 결측자료에 대해서는 해당 그룹의 평균값으로 대체하였으며, 암종(Lithology)이 편암(Schist)인 4개의 값은 편마암(Gneiss)로 통합하였다.

조사된 14개변수를 이용하여 적합된 최적의 회귀분석의 결과는 표 1과 같다. 이 결과는 모든 가능한회귀의 결과를 바탕으로 전진선택법과 후진제거법을 통한 변수선택 순서 등을 고려

주요어: 로지스틱 회귀분석, 산사태 예측모델, 산사태 예측도

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (choych@kigam.re.kr)

2) 경북대학교 지질학과 (twchang@knu.ac.kr)

하여 최종적으로 선택된 최적모델이다. 이 모델에는 총 6개의 입력변수가 포함되었는데, 각 변수는 암석종류(Lithology), 지형변수 2개(Elevation, Angle), 토층변수 3개(Porosity, DryDensity, Permeability)로 나타나고 있다. 특히, 앞의 T-검정에서도 가장 유의한 것으로 판명된 사면경사(Angle) 변수가 가장 영향이 큰 변수로 선택되었다. 이 결과로부터 적합된 로지스틱 회귀모형은 다음과 같이 표현된다. 산사태가 일어날 확률의 추정치를 $p = \hat{P}$ (산사태가 일어날 확률)라 하자.

$$\begin{aligned} \text{logit}(p) \text{ (또는 } = \log[p/(1-p)]) \\ = -9.3670 + 0.2129 \cdot \text{Angle} + 0.7690 \cdot \text{DryDensity} - 0.0052 \cdot \text{Elevation} \\ + 0.4248 \cdot \text{Lithology} + 0.1777 \cdot \text{Permeability} + 0.0555 \cdot \text{Porosity} \end{aligned} \quad (1)$$

(주의: Lithology의 값은 Gneiss의 경우는 1이고, Granite의 경우는 0임.)

위 식은 다시 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$p = 1/[1 + \exp\{-\text{logit}(p)\}] \quad (2)$$

$$\text{또는 } p = \exp\{\text{logit}(p)\}/[1 + \exp\{\text{logit}(p)\}] \quad (3)$$

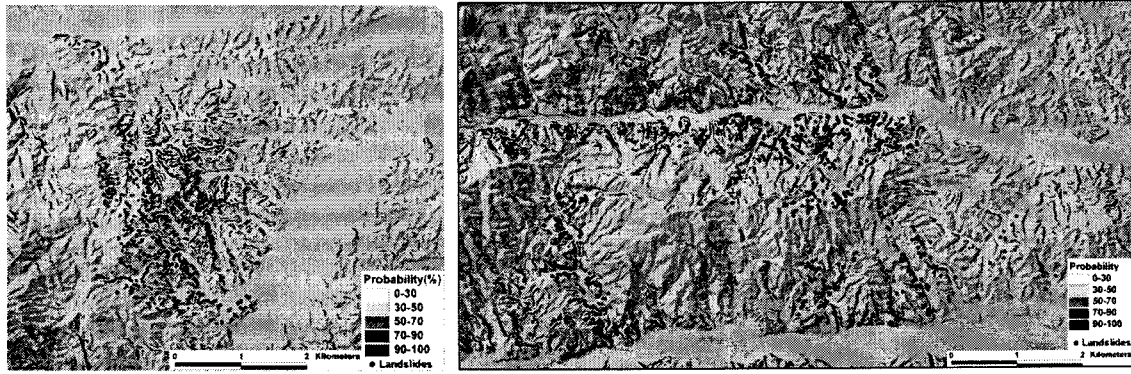
새롭게 개발된 회귀모델이 자료를 얼마나 정확하게 분류하는가를 알아보기 위하여 로지스틱 판별분석을 실시하였는데, 결과 분류기준값을 0.5로 가정하였을 때 86.5%의 정분류율, 90%의 민감도, 81%의 특이도를 나타내어 적합된 모델은 통계학적으로 만족할 만한 수준이라 할수 있다.

3. 산사태 예측도

새롭게 개발된 예측모델의 성능을 검증하기 위하여 2002년 태풍 '루사'에 의해 많은 산사태가 발생한 강원도 강릉지역을 대상으로 산사태 예측도를 작성하고자 한다. 예측도는 사천지역과 주문진-연곡지역으로 나누어서 작성하였으며, 이를 위하여 모두 81개 지점에서 불교란 토층시료를 채취하여 물성시험을 실시하였다.

사천지역에 대한 산사태 예측도는 그림 1(a)에 나타내었다. 예측도를 살펴보면 산사태가 집중되었던 노동리와 석계리지역에 발생확률이 높은 지점이 많이 나타나고 있다. 특히 북서-남동 방향으로 발달하는 계곡과 이 계곡에 거의 직각으로 교차 북동-남서 방향의 계곡 주변에 발생확률이 높은 지점이 분포하고 있다. 다음으로 발생확률이 높은 지역은 운계봉 북쪽에서 신왕저수지 사이에 위치하는 남-북 계곡 주변지역들이다. 이 지역도 계곡 주변 사면에서 발생확률이 높은 지점들이 분포하고 있다. 그러나 좌하단쪽의 사기막저수지 부근에 확률이 높은 지역이 도로를 따라 선상으로 분포하는 곳은, 이 지역의 사면이 암반절취사면으로 사면경사가 크게 분포하는 지역이기 때문이다. 사천지역의 예측도에서도 산사태 발생확률이 높은 지점은 대체로 북쪽 내지 북동방향의 사면에 분포하는 것을 알 수 있다.

그림 1(b)는 주문진지역의 산사태 예측도이다. 이 지역에서 산사태 발생 확률이 높은 지역은 주로 신리천 인근에 분포하고 있는데, 동-서방향의 주계곡에 연결되는 북북서-남남동 방향의 계곡주변에 발생확률이 높은 청색과 적색의 분포가 많이 나타나고 있으며, 신리천을 기준으로 남북방향으로 멀어질수록 발생확률은 낮아지는 경향을 보여주고 있다. 이 지역도 북쪽 내지



(a) (b)

그림 2. 강릉지역에 대한 산사태 예측도 (a) 사천지역, (b) 주문진-연곡지역, (검은점: 산사태 발생위치)

북동방향의 사면에 발생확률이 높은 지점이 많이 분포하고 있는데, 이러한 양상은 북북서-남남동 방향으로 발달하는 계곡과 이에 거의 직각으로 연결되는 동-서 방향 계곡의 양쪽 사면을 관찰하면 잘 나타나고 있으며, 동쪽의 해발고도가 낮은 구릉지형에서도 북동방향의 사면은 발생확률이 높은 청색과 적색으로 표시되고 있다. 또한 주문진읍 삼교리에서 연곡면 삼산리를 잇는 북북서-남남동 방향의 구월사 계곡주변에서도 산사태 발생확률이 높은 지점들은 주로 북동방향의 사면에 위치하고 있다. 연곡천을 기준으로 북쪽으로 발달하는 소계곡 주변의 사면에도 발생확률이 높은 지점이 분포하는데, 계곡에서 능선부로 올라가면서 계곡지형의 발달이 사면지형으로 바뀌는 지역, 즉 탐재가 위치하는 주능선의 남쪽사면은 이 지역의 중심부에 위치하면서 산사태 발생 확률이 50%이하로 낮게 나타나고 있다. 연구지역 산사태 예측도에서 발생확률 구간별 분포면적은 사천지역의 산사태가 발생할 확률이 높은 70% 이상의 지점이 전체의 약 3.8%인 2.9km²정도, 주문진-연곡지역은 약 5.9%인 3.6Km² 정도 분포하고 있어, 주문진-연곡지역에서 산사태 발생확률이 높은 지역이 조금 더 많이 분포하고 있다.

4. 결론

이 연구에서는 기 발표된 토석류 산사태를 예측하기 위한 모델의 단점을 보완하고, 산사태 예측도 작성과정의 적용성과 예측결과의 정확도 향상을 위해 수정·보완된 새로운 모형을 제시 하였다. 새롭게 제시된 모형은 범주형 자료를 제외하여 암종, 2개의 지형인자 및 3개의 토질인자를 이용하여 구성되었다. 로지스틱 회귀 및 판별분석을 통한 수치적 모형화를 통해, 새로운 개체에 대해 분류 및 예측을 수행할 수 있는 모형을 도출하였으며, 이 모델을 분석자료에 대해 적용한 결과 86.5%의 높은 정분류율(또는 정확도, accuracy)을 보였다.

새롭게 제안된 예측모형을 바탕으로 강원도 강릉지역에 적용하여 산사태 예측도를 작성하였다. 작성된 산사태 예측도는 사천지역의 경우 산불지역에 중심에 분포하고 있는것과 공원모지의 절성토사면에서 발생한 산사태 위치가 고려되지 않은점을 제외하면, 주문진읍-연곡면지역의 경우와 같이 예측결과가 잘 일치하는 경향을 보여주고 있다. 따라서 본 모델은 토석류산사태 예측을 위해 다른 화강암지역에 적용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

사사

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명: 산사태재해 예측 및 저감기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.