

급경사지 붕괴 예측을 위한 모형 개발[†]

박기병¹ · 주용성² · 박덕근³

¹²동국대학교 통계학과 · ³방재청 방재연구소 지반방재팀

접수 2011년 4월 16일, 수정 2011년 5월 19일, 게재확정 2011년 6월 17일

요약

현재까지 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 급경사지 붕괴는 대표적인 자연재해로 알려져 있다. 급경사지 붕괴 피해를 방지하기 위해 행해진 많은 선행 연구를 바탕으로 일부 국내기관에서는 급경사지 평가표를 만들어 붕괴 예측에 활용하고 있다. 하지만, 대부분의 기존 연구는 비통계전문가들에 의해 행해졌기 때문에 평가표 구성의 통계적 타당성을 제시하지 못했다. 본 연구는 전국 지역을 대상으로 급경사지 (암반사면, 토사사면) 붕괴에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들의 자료를 수집하고 그 인자들의 가중치를 판정하기 위하여 로지스틱 회귀분석 방법을 사용하였다. 선행연구들 중에 로지스틱 회귀분석을 이용한 기존의 연구들이 있었지만 다중공선성을 전혀 고려하지 않았기 때문에 결과가 신뢰할 만하지 못하다. 본 연구에서는 다중공선성을 제거된 급경사지 붕괴 예측모형을 제시하였다.

주요어: 급경사지 붕괴, 다중공선성, 단계별 선택법, 로지스틱 회귀분석.

1. 서론

최근 우리나라에서도 기후의 변화가 심해지면서 집중호우와 태풍의 영향으로 급경사지 사면에 단시간 동안 많은 양의 물이 스며들면서 급경사지에 붕괴가 빈번이 발생하고 있다. 급경사지 붕괴에 영향을 미치는 인자에 관한 연구는 국내외서 활발히 진행되었다. (Ohlmacher, 2003; Pradhan, 2008; Lee, 2007; 채병근, 2009). 이를 바탕으로 유관기관에서는 급경사지 붕괴 예측을 위한 평가표를 개발하여 국내 급경사지 위험도를 파악하였다. 평가표는 급경사지 붕괴에 관한 전문적인 지식을 가지지 않은 지방공무원들이 작성하는 경우가 많기 때문에 쉽게 측정할 수 있는 붕괴 영향인자를 기록하도록 만들어져 있다. 하지만, 이러한 평가표들은 대부분 기존의 자료를 바탕으로 한 통계적 타당성을 입증하지 못한 상태에서 만들어진 것이다.

본 연구는 평가표 개발에 근거를 제공하는 통계모형 (로지스틱 회귀모형)을 개발하는 것을 목표로 하였다. 평가표 작성에 반영되지는 않았지만, 로지스틱모형을 이용하여 통계적 타당성을 입증하려고 한 논문들도 있었다. (조용찬, 2007; 채병근, 2004a; 채병근, 2004b). 하지만, 비통계전문가에 의해 모형이 구축되었기 때문에 심각한 다중공선성 문제를 간과한 채 최종모형들이 제시되었다. 예를 들어, 조용찬 (2007)의 최종 로지스틱 회귀모형에서 permeability와 porosity가 설명변수로 함께 사용되었다. 토

[†] 본 논문은 2010년도 소방방재청 방재연구소과제 “지반침투 특성을 고려한 급경사지 붕괴 인자 가중치 판정 연구”과제 결과물임.

¹ (100-715) 서울특별시 중구 필동3가 26번지, 동국대학교 통계학과, 대학원생.

² 교신저자: (100-715) 서울특별시 중구 필동3가 26번지, 동국대학교 통계학과, 부교수.

E-mail: yongsungjoo@dongguk.edu

³ (121-719) 서울특별시 마포구 마포로 136, 지방재정회관 6층 소방방재청 방재연구소 지반방재팀, 팀장.

석내의 빈 공간을 통하여 물이 흐를 수 있는 정도를 나타내는 permeability와 토석내의 빈 공간의 정도를 나타내는 porosity는 강한 연관성을 가질 수밖에 없다.

총 92개의 암반사면과 55개의 토사사면을 방문하여 자료를 직접 수집하였다. 이들 중 일부는 붕괴가 일어난 사면이고 나머지는 미붕괴 사면들이다. 로지스틱 회귀모형을 이용하여 붕괴사면과 미붕괴 사면의 차이점을 파악하였다. 붕괴여부를 반응변수로 사용하고, 붕괴에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들을 설명변수로 사용하였다. 급경사면을 크게 암반사면과 토사사면으로 나누고 암반사면에서는 붕괴에 영향을 미칠 것으로 예상되는 11개의 인자를 수집하였고, 토사사면에서는 8개의 인자를 고려하였다.

2. 연구 방법

2.1. 자료 수집

우리나라는 만장년기의 지형을 가지고 있지만 산이 많기 때문에 외국 (일본과 홍콩)의 지질 상태에 비하여 비교적 얇은 토층 (수십 cm 정도)을 가지고 있다. 도로주변에는 암반급경사면이 주로 분포하고, 계곡이나 농가주변에는 토사사면이 많이 분포한다. 새로 개발된 지역일수록 급경사면의 풍화도는 약하지만 사면안정도가 이루어지지 않아 붕괴 위험성을 가진 경우가 많다. 본 연구에서는 2006년에서 2009년 사이에 급경사지 붕괴가 발생한 기록을 가진 지역의 암반사면 자료 (92개)와 토사사면 자료 (55개)를 수집하였다. 수집된 암반사면은 주로 강원도 양구군과 영월군, 충청북도 단양군, 경상북도 봉화군, 경상남도 거창군과 합천군 등에서 수집되었고 이들 사면은 산 인근지역이거나 도로주변에 위치하고 있다. 그리고 토사사면은 주로 강원도 양구군, 충청북도 음성군, 경상북도 봉화군, 전라남도 보성군 등에서 수집되었고 이들은 계곡이나 농가주변에 위치하고 있다 (그림 2.1 참조). 미붕괴 사면은 붕괴사면주변이지만 붕괴가 일어나지 않은 사면을 선택하여, 붕괴사면의 붕괴원인을 대조적으로 반영할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 고려된 인자들은 표 2.1에 정리되어 있다.

표 2.1 변수 리스트

종속변수	암반	토사
	붕괴/미붕괴	붕괴/미붕괴
	경사각 (연속형)	경사각 (연속형)
	높이 (연속형)	높이 (연속형)
	풍화도 (신선, 약간풍화, 보통풍화, 심한풍화)	연경도 (대단히 견고, 견고, 중간, 느슨, 매우 느슨)
	용수상태 (용수없음, 습윤상태, 상시존재)	용수상태 (용수없음, 습윤상태, 상시존재)
	인공배수상태 (양호, 보통, 불량)	인공배수상태 (양호, 보통, 불량)
독립변수	절취상태 (양호, 보통, 불량)	법면유실 (유, 무)
	인장균열 (유, 무)	인장균열 (유, 무)
	평면파괴 관련 절리의 발달 정도 (심함, 보통, 없음)	재해도 (연속형)
	췌기파괴 관련 절리의 발달 정도 (심함, 보통, 없음)	
	전도파괴 관련 절리의 발달정도 (심함, 보통, 없음)	
	재해도 (연속형)	

2.1.1. 암반사면

암반사면의 급경사지 붕괴를 예측하기 위해서 고려된 설명변수 가운데 경사각, 높이, 재해도는 연속형 변수로 측정되었고, 나머지 변수들은 범주형으로 측정되었다. 풍화도는 3개의 범주 (신선 혹은 약간 풍화 - 광물입자들이 광택을 내고 절리가 이물질에 의해 착색되어 있지 않거나 절리를 따라 약간 변색된 흔적이 있음, 보통 풍화 - 암석의 일부분이 변색되고 풍화흔적이 있고, 장식질의 색이 변색되어 있음, 심한 풍화 - 대부분의 구성광물들이 변색되거나 착색되어 있고, 대부분의 장식질이 고령토화 됨), 용수상

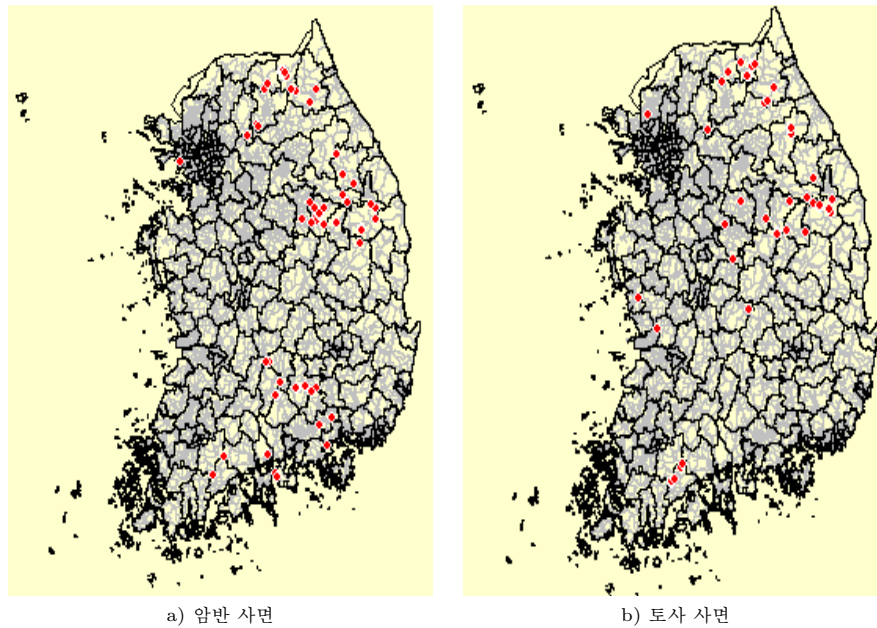


그림 2.1 급경사지 자료 수집 지역

태는 2개의 범주 (용수없음 - 사면에 물의 흔적이 없음, 습윤상태 혹은 상시존재 - 사면에 물의 흔적이 존재하거나 물이 지속적으로 흐름), 인공배수로상태는 3개의 범주 (양호 - 훼손이 거의 없는 상태, 보통 - 일부 훼손된 상태, 불량 - 인공배수로가 없거나 훼손이 많이 된 상태), 절취상태는 2개의 범주 (양호 - 사면의 절취가 안정한 경우, 불량 - 사면의 절취가 불안정한 경우), 인장균열은 2개의 범주 (유 - 인장균열이 있는 경우, 무 - 인장균열이 없는 경우)로 나뉜다.

절리는 바위들 사이의 틈이 벌어진 정도를 나타낸 것으로 절리가 많이 발달될수록 붕괴 위험도가 높아진다. 붕괴유발 형태에 따라 크게 평면파괴, 쉼기파괴, 전도파괴 관련 절리의 발달정도가 있다. 절리의 발달정도는 3개의 범주 (심함 - 주 절리가 해당 파괴에 대해 많이 발달되어 있는 경우, 보통 - 주 절리가 해당 파괴에 대해 조금 발달되어 있는 경우, 없음 - 주 절리가 해당 파괴에 대해 거의 발달되지 않는 경우)로 나뉜다.

2.1.2. 토사사면

암반사면과 마찬가지로 경사각, 높이, 재해도는 연속형 변수로 측정되며, 나머지 변수들은 범주형으로 측정되었다. 연경도는 2가지 범주 (견고 - 엄지손가락으로 흙을 눌러 수 cm 들어가게 하는 것이 힘들, 연약 - 엄지손가락이 수 cm 이상 쉽게 들어 감)로 나뉘고, 용수상태는 2개의 범주 (용수없음 - 사면에 물의 흔적이 없음, 습윤상태 혹은 상시존재 - 사면에 물의 흔적이 존재하거나 물이 지속적으로 흐름), 인공배수로상태는 3개의 범주 (양호 - 훼손이 거의 없는 상태, 보통 - 일부 훼손된 상태, 불량 - 인공배수로가 없거나 훼손이 많이 된 상태), 법면유실은 2개의 범주 (유 - 법면유실의 흔적이 있는 경우, 무 - 법면유실의 흔적이 없는 경우), 인장균열은 2개의 범주 (유 - 인장균열이 있는 경우, 무 - 인장균열이 없는 경우)로 나뉜다.

2.2. 분석 방법

급경사지 붕괴 예측모형을 개발하기 위해 로지스틱모형을 사용하였다 (이혜정, 2009; Kahng, 2011).

$$\text{로지스틱 회귀모형} : y \sim \text{Bernoulli}(p), \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

여기서 y 는 붕괴여부 (붕괴=1, 미붕괴=0), p 는 붕괴가 일어날 확률, x 는 인자들을 나타낸다. 로지스틱 회귀분석에서는 흔히 오즈를 이용하여 추정된 회귀계수를 해석한다. 붕괴가 일어났을 때의 오즈는 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{p}{1-p} = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k) = e^{\beta_0} (e^{\beta_1})^{x_1} (e^{\beta_2})^{x_2} \dots (e^{\beta_k})^{x_k}$$

붕괴가 일어날 확률과 실패가 일어날 확률의 상대적 크기 비교를 위해 사용되는 오즈는 붕괴확률을 미붕괴 확률로 나눈 것이다. 예를 들어, 다른 요인들은 고정되어 있는 상태에서 x_1 이 한 단위 증가하면 붕괴가 일어날 오즈는 e^{β_1} 배만큼 증가한다.

3. 분석 결과

암반사면의 경우 용수가 상시 존재하는 암반사면과 풍화가 거의 되지 않은 신선한 암반사면은 현실적으로 거의 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 용수상태를 나타내는 설명변수는 상시 존재와 습윤 상태를 하나로 묶었고, 풍화도를 나타내는 설명변수는 신선한 상태와 약간 풍화 상태를 하나로 묶었다 (표 3.1 참조).

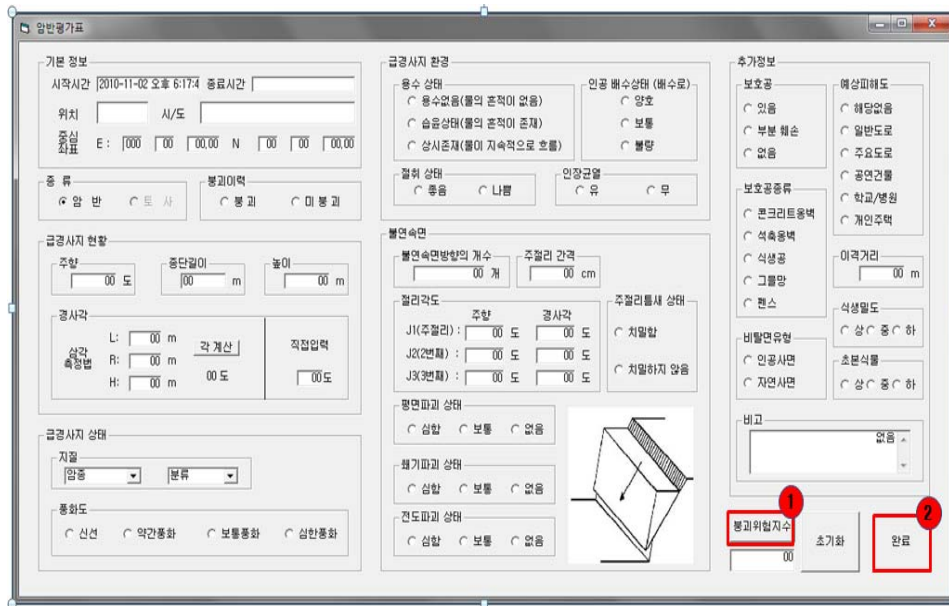
표 3.1 통계모형 구축을 위하여 암반사면 항목의 재분류

암반 변수	평가표 항목	항목 재분류
풍화도	신선	신선 또는 약함
	약함	
독립변수	보통	보통
	심함	심함
	없음	없음
용수상태	습윤	습윤 (상시 포함)
	상시	

토사사면은 크게 자연사면인 경우와 암반사면에서 심한 풍화로 인해서 토사로 변하는 경우로 나눌 수 있다. 자연사면의 경우는 눈에 잘 들어나지 않아 측정하기가 힘들고, 암반사면에서 심한 풍화로 인해 토사로 변하는 경우는 흙의 단단한 정도가 이미 약해진 상태이기 때문에 자료를 측정하는데 있어서 연경도의 대부분은 중간 또는 느슨한 형태이다. 따라서 본 연구에서는 연경도를 나타내는 설명변수에서 대단히 견고와 견고, 중간을 하나로 묶었고, 느슨과 매우 느슨을 하나로 묶었다. 용수상태 역시 용수가 상시 존재하는 토사사면이 거의 존재하지 않기 때문에 상시 존재와 습윤 상태를 하나로 묶었다 (표 3.2 참조). 다중공선성을 제거하기 위하여 다중공선성을 발생시키는 일부 변수의 제거, 주성분회귀분석법, ridge 회귀분석법 등을 흔히 사용한다 (정수정, 2010; Kutner, 2005). 본 연구에서는 최종적으로 제안될 모형이 비통계전문가에게 설득력이 있으면서 단순한 형태를 가지도록 하기 위하여 다중공선성을 유발시키는 변수를 제거하는 방식을 택하였다. 기존의 연구와 급경사지붕괴 관련 전문가들에게 가장 중요한 붕괴영향 인자로 여겨지는 경사각을 모형에 기본적인 설명변수도 넣고 추가적인 변수의 선택을 위하여 단계별 선택법 (stepwise)을 사용하였다 (조장식, 2010; Hong, 2008). 또한, 본 연구에서 개발된 모형을 현장에서 쉽게 적용하기 위하여 Visual Basic 프로그램이 그림 3.1에 보이는 바와 같이 개발되었다.

표 3.2 통계모형 구축을 위하여 토사사면 항목의 재분류

토사 변수	초기 항목	항목 재분류
독립 변수	대단히 견고	
	견고	견고
	중간	
	느슨	느슨
매우 느슨		
용수상태	없음	없음
	습윤	습윤 (상시 포함)
	상시	



- 1 을 클릭하면 가중치에 의한 붕괴위험지수가 계산된다.
- 2 을 클릭하면 Excel에서 모든 인자에 대한 선택한 항목이 입력된다.

그림 3.1 새로 개발된 평가표 작성을 용이하도록 만들어진 Visual Basic 프로그램

3.1. 암반사면에 대한 로지스틱 회귀분석 결과

암반사면의 붕괴에 영향을 미칠 것으로 예상되는 11개의 설명변수 중에서 단계별 선택법을 통해서 선택된 설명변수는 총 6개로 사면의 경사각과 풍화도, 용수상태, 절취상태, 평면파괴 관련 절리의 발달 정도, 쉐기파괴 관련 절리의 발달 정도이다. 하지만, 절편에 대한 p값이 0.4로 유의하지 않게 나왔기 때문에 절편을 제외하고 분석을 다시 실시하였다. 각 변수들의 유의성을 알아보기 위해서 Wald 카이제곱 검정 결과를 살펴보면, 표 3.3에서 볼 수 있듯이 선택된 모든 변수가 통계적으로 매우 유의함을 알 수 있다. 또한 범주형 설명변수가 가진 각 그룹이 각각 유의하게 다르다는 것을 표 3.4에 나타난 회귀계수 추정치의 유의성을 통해 알 수 있다. 경사각과 풍화도, 용수상태, 절취상태, 평면파괴 관련 절리의 발달 정

도, 썩기파괴 관련 질리의 발달 정도를 통해서 암반사면 붕괴 확률을 예측한 로지스틱 회귀모형은 다음과 같다.

암반사면 로지스틱 회귀모형 :

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = & 0.18 \times \text{경사각} - 5.38 \times \text{풍화도_신선 또는 약함} - 3.02 \times \text{풍화정도_보통} \\ & - 2.70 \times \text{용수상태_없음} - 2.26 \times \text{절취 상태_좋음} - 5.09 \times \text{평면 파괴 관련 질리_없음} \\ & - 3.43 \times \text{평면 파괴 관련 질리_보통} - 5.33 \times \text{썩기 파괴 관련 질리_없음} \\ & - 4.64 \times \text{썩기 파괴 관련 질리_보통} \end{aligned} \tag{3.1}$$

본 과제에서 수집한 92개의 암반사면 중 일부를 표 3.5에 예시하였다. 붕괴예상 확률은 식 (3.1)에서의 $p \times 100$ 값이다. 이미 붕괴가 발생한 충청남도 단양과 강원도 양구 급사면의 붕괴예상 확률은 99%로 상당히 높게 나타났다. 붕괴가 일어나지 않은 경상남도 남해 급사면의 붕괴예상 확률은 41%이므로 어느 정도 안전하다고 볼 수 있다. 하지만, 아직 붕괴가 발생하지 않은 경상남도 마산 급사면의 경우 붕괴예상 확률이 54%로 나타났다. 붕괴가 발생 할 위험이 있기 때문에 사전 조치하여 붕괴를 예방해야 할 것으로 여겨진다. 남해지역 자료와 비교해 보았을 때, 마산지역의 용수상태가 더 좋지만, 용수상태보다 붕괴에 더 큰 영향을 미치는 풍화도가 남해지역보다 높다.

표 3.3 암반사면에서 각 변수들의 상대적 기여도 (Type 3 Analysis of Effects)

요인	χ^2 값	p값
경사각	15.81	<0.0001
풍화도	10.62	0.0049
용수상태	5.42	0.0199
절취상태	4.86	0.0275
평면파괴 관련 질리의 발달 정도	10.23	0.0060
썩기파괴 관련 질리의 발달 정도	15.55	0.0004

표 3.4 암반사면의 회귀계수 추정치와 오즈비

요인	추정치	표준오차	p값	오즈비	
경사각	0.18	0.05	<0.0001	1.198	
풍화도	신선 또는 약함	-5.38	1.65	0.0011	0.005
	보통	-3.02	1.29	0.0193	0.049
	심함*	0.00	.	.	1.000
용수상태	없음	-2.70	1.16	0.0199	0.067
	습윤 (상시 포함)*	0.00	.	.	1.000
절취상태	좋음	-2.26	1.03	0.0275	0.104
	나쁨*	0.00	.	.	1.000
평면파괴 관련 질리의 발달 정도	없음	-5.09	1.72	0.0032	0.006
	보통	-3.43	1.22	0.0050	0.032
	심함*	0.00	.	.	1.000
썩기파괴 관련 질리의 발달 정도	없음	-5.33	1.47	0.0003	0.005
	보통	-4.64	1.32	0.0005	0.010
	심함*	0.00	.	.	1.000

*각 명목형 변수의 기준 (reference) 집단

표 3.5 암반사면의 붕괴예상 확률 예시

위치	붕괴이력	경사각	풍화정도	용수상태	절취상태	평면과괴절리발달	쇄기과괴절리발달	붕괴예상확률(%)
충청북도 단양	붕괴	58	심함	없음	좋음	심함	심함	99
강원도 양구	붕괴	70	보통	습윤	좋음	심함	보통	99
경상남도 남해	미붕괴	64	약함	습윤	좋음	보통	없음	41
경상남도 마산	미붕괴	52	보통	없음	좋음	보통	없음	54

3.2. 토사사면에 대한 로지스틱 회귀분석 결과

토사사면의 붕괴에 영향을 미칠 것으로 예상되는 8개의 설명변수 중에서 단계별 선택법을 통해서 선택된 설명변수는 총 3개로 사면의 경사각과 연경도, 용수상태이다. 선택된 변수들의 유의성을 알아보기 위해서 Wald 카이제곱 검정 결과를 살펴보면, 표 3.6에서 볼 수 있듯이 모든 변수가 통계적으로 매우 유의함을 알 수 있다. 구체적인 회귀계수의 추정치와 유의성은 표 3.7에 나와 있다. 따라서 경사각과 연경도, 용수상태를 통해서 토사사면의 붕괴여부를 예측하는 로지스틱 회귀모형은 다음과 같다.

토사사면 로지스틱 회귀모형 :

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = -4.36 + 0.12 \times \text{경사각} - 1.85 \times \text{연경도-견고} - 1.72 \times \text{용수 상태-없음} \quad (3.2)$$

본 과제에서 수집한 55개의 토사사면 중 일부를 표 3.8에 예시하였다. 붕괴예상 확률은 식 (3.2)에서의 $p \times 100$ 값이다. 이미 붕괴가 발생한 충청북도 음성과 전라남도 보성 급사면의 붕괴예상 확률은 각각 74%, 60%로 높게 나타났다. 붕괴가 일어나지 않은 경상북도 영주와 봉화 급사면의 붕괴예상 확률은 각각 21%, 8%로 낮게 나타났다.

표 3.6 토사사면에서 각 변수들의 상대적 기여도 (Type 3 Analysis of Effects)

요인	χ^2 값	p 값
경사각	9.30	0.0023
연경도	5.37	0.0205
용수상태	4.76	0.0291

표 3.7 토사사면의 회귀계수 추정치와 오즈비

요인	추정치	표준오차	p 값	오즈비	
절편	-4.36	1.89	0.0209	.	
경사각	0.12	0.04	0.0023	1.212	
연경도	견고	-1.85	0.80	0.0205	0.752
	느슨*	0.00	.	.	1.000
용수상태	없음	-1.72	0.79	0.0291	0.840
	습윤 (상시 포함)*	0.00	.	.	1.000

*각 명목형 변수의 기준 (reference) 집단

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 급경사지 붕괴에 영향을 미치는 요인과 그 인자들의 가중치를 판단하기 위해서 암반사면 92개 (미붕괴 44개, 붕괴 48개)와 토사사면 55개 (미붕괴 27개, 붕괴 28개)에 대한 현장조사를 실시

표 3.8 토사사면의 붕괴예상 확률 예시

위치	붕괴이력	경사각	연경도	용수상태	붕괴예상확률(%)
충청북도 음성	붕괴	45	느슨	습윤	74
전라남도 보성	붕괴	55	건고	습윤	60
경상북도 영주	미붕괴	55	건고	없음	21
경상북도 봉화	미붕괴	30	느슨	없음	8

하였다. 로지스틱모형이 사용되었으며 다중공선성을 제거하면서 붕괴에 영향을 미치는 유의한 요인을 찾기 위해 단계별 선택법을 이용하였다.

암반사면의 경우 11개의 사면 붕괴 위험 요인들 가운데 사면의 경사각, 풍화도, 용수상태, 절취상태, 평면과괴 관련 질리의 발달 정도, 쐐기과괴 관련 질리의 발달 정도가 선택 되었다. 다른 요인이 모두 같은 경우 경사가 10도 더 높은 사면에서는 그렇지 않은 사면보다 붕괴위험이 약 5배가 더 높은 것을 알 수 있다.

토사사면의 경우 9개의 사면 붕괴 위험 요인들 가운데 사면의 경사각, 연경도, 용수상태가 선택 되었다. 다른 요인이 모두 같은 경우 경사가 10도 더 높은 사면에서는 그렇지 않은 사면보다 붕괴위험이 약 3배가 더 높은 것을 알 수 있다.

참고문헌

- 이혜정, 조수현, 김재희 (2009). 한우 수소 고기 관능평가 데이터에 대한 범주형 자료 분석. <한국데이터정보과학회지>, **20**, 819-827.
- 조용찬, 채병근, 김원영, 장태우 (2007). 화강암질암지역 토석류 산사태 예측을 위한 로지스틱 회귀모델의 수정 및 적용. <자원환경지질>, **40**, 115-128.
- 조장식. (2010). 회귀분석에 기초한 균동화 방법에 관한 연구. <한국데이터정보과학회지>, **21**, 513-521.
- 채병근, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 최영섭 (2004a). 토석류 산사태 예측을 위한 로지스틱 회귀모형 개발. <지질공학>, **14**, 211-222.
- 채병근, 김원영, 나중화, 조용찬, 김경수, 이춘오 (2004b). 제3기 퇴적암 및 화산암 분포지의 산사태 예측모델. <지질공학>, **14**, 443-450.
- 채병근, 조용찬, 송영석, 서용석 (2009). AIP분석기법을 이용한 급경사지재해 취약성 평가표 개발. <지질공학>, **19**, 99-108.
- Hong, C. S. and Choi, J. M. (2008). Validation comparison of credit rating models using Box-Cox transformation. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **19**, 789-800.
- Kahng, M. W. (2011). A study on log-density ratio in logistic regression model for binary data. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **22**, 107-113.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter J. and Li, W. (2005). *Applied linear statistical models*, fifth Ed, Mcgraw-hill, USA.
- Lee, S., Ryu, J. H. and Kim, I. S. (2007). Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: Case study of Youngin, Korea. *Landslides*, **4**, 327-338.
- Ohlmacher, G. C. and Davis J. C. (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, **69**, 331-343.
- Pradhan, B. and Youssef, A. M. (2009). Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences*, **3**, 319-326.

Development of model for prediction of land sliding at steep slopes[†]

Ki Byung Park¹ · Yongsung Joo² · Dugkeun Park³

¹²Department of of statistics, Dongguk University

³National Institute of Disaster Prevention

Received 16 April 2011, revised 19 May 2011, accepted 17 June 2011

Abstract

Land sliding is one of well-known nature disaster. As a part of effort to reduce damage from land sliding, many researchers worked on increasing prediction ability. However, because previous studies are conducted mostly by non-statisticians, previously proposed models were hardly statistically justifiable. In this paper, we predicted the probability of land sliding using the logistic regression model. Since most explanatory variables under consideration were correlated, we proposed the final model after backward elimination process.

Keywords: Land sliding, logistic regression analysis, multicollinearity, stepwise process.

[†] This research is supported by National Institute of Disaster Prevention, “Development of assessment tool for landslide at steep slopes, based on soil infiltration properties” research fund.

¹ Graduate student, Department of statistics, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea.

² Corresponding author: Professor, Department of statistics, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea.
E-mail: yongsungjoo@dongguk.edu

³ Team leader, Geotechnical disaster prevention team, National Institute of Disaster Prevention, Mapo-gu Mapo-ro 136, Seoul 121-719, Korea.