

국립공원의 산사태 발생 위험지역 예측기법의 개발

마호섭¹ · 정원옥^{2*} · 박진원¹

¹경상대학교 환경산림과학부(농업생명과학연구원),

²국립공원관리공단 국립공원연구원

Development of Prediction Technique of Landslide Hazard Area in Korea National Parks

Ho-Seop Ma¹, Won-Ok Jeong^{2*} and Jin-Won Park¹

¹Division of Environment Forest Science, Gyeongsang Nat'l Univ., Jinju 660-701, Korea
(Insti. of Agri. Llife Science)

²National Park Research Institute, Namwon 590-811, Korea

요약: 본 연구는 국립공원내 산사태 발생지 453개소를 조사 대상으로 붕괴토사량에 영향을 미치는 인자를 구명하고, 수량화이론(I)을 이용하여 붕괴토사량에 대한 각 인자의 기여도 분석을 통해 예방적인 측면에서 국립공원내 산사태 발생 위험지역에 대한 예측기준을 작성하였다. 산사태 발생지 붕괴토사량에 영향을 미치는 인자는 혼효림(임상), 토심 15 cm 이하, 해발고 801~1,200 m, 경사 31~40°, 토심 46 cm 이상, 해발고 1,201 m 이상, 남(S) 사면 등이었다. 각 인자의 Range를 추정된 결과, 토심(0.3784)이 가장 높게 나타나 국립공원의 산사태 발생 위험도에 큰 영향을 미치는 것으로 추정되었으며, 다음으로 해발고(0.2876), 임상(0.2409), 경사(0.1728), 방위(0.1681) 순이었다. 국립공원 산사태 발생 위험도 판정표를 기준으로 5개 인자의 category별 점수를 계산한 추정치 범위는 0점에서 1.2478점 사이에 분포하고 있으며, 중앙값은 0.6239점으로 산사태 발생 위험지역 I등급은 1.1720 이상, II등급은 0.7543~1.1719, III등급은 0.4989~0.7542, IV등급은 0.4988 이하로 예측하였다.

Abstract: This study was carried out to analyze the characteristics of each factors by using the quantification theory(I) for prediction of landslide hazard area. The results obtained from this study were summarized as follows; The stepwise regression analysis between landslide sediment (m³) and environmental factors, factors affecting landslide sediment (m³) were high in order of mixed (forest type), < 15 cm(soil depth), 801~1,200 m (altitude), 31~40° (slope gradient), 46 cm < (soil depth), 1,201 m < (altitude) and s(aspect). According to the range, it was shown in order of soil depth (0.3784), altitude (0.2876), forest type (0.2409), slope gradient (0.1728) and aspect (0.1681). The prediction of landslide hazard area was estimated by score table of each category. The extent of prediction score was 0 to 1.2478, and middle score was 0.6239. Class I was over 1.1720, class II was 0.7543 to 0.1719, class III was 0.4989 to 0.7542 and class IV was below 0.4988.

Key words : landslide hazard area, national park, quantification theory(I), prediction technique

서론

우리나라는 매년 여름철 집중호우로 7~8월에 산사태가 집중적으로 발생하고 있으며, 특히 최근에는 무분별한 개발로 인해 그 피해가 급증하고 있다. 지난 10년간 산사태로 인해 261명의 인명피해와 연평균 6천억 원의 재산피해

가 발생하였고, 피해규모 또한 지속적으로 증가하는 추세에 있다(국립방재연구소, 2005). 산지사면의 붕괴는 주로 과도한 강우에 의한 물과 중력의 복합적인 상호작용에 의하여 발생하는 것으로 인식되어 왔으나 최근에는 산지가 전체면적의 64%를 차지하는 제한된 국토면적에 주택 및 산업단지가 급속히 확대되어 가는 도시화 및 산업화 현상으로 경사가 급한 도심 주변의 산림지역도 개발됨으로써 그에 따른 산사태 발생과 토사유출에 대한 위험성도 점차 증대되고 있다. 또한 산지에서 발생한 토사가 계곡을 따라 하천에 퇴적하게 되면 물이 월류(越流)하면서 인명 및

*Corresponding author

E-mail: wonokjung@knps.or.kr

이 논문은 국립공원관리공단의 연구비 지원사업에 의해 수행된 결과물의 일부입니다.

재산 피해는 물론 자연환경의 파괴로 인한 산림생태계의 질서와 국토를 훼손하는 큰 원인 중의 하나이므로 국토환경 보전적인 측면에서 중요하게 다루어져야 한다.

이와 같이 최근 빈번하게 발생하고 있는 산사태로 인한 인적·물적 피해를 최소화하기 위한 연구가 산사태 발생지의 취약성 및 원인 분석(신은선, 1996; 이사로 등, 2001; Bell and Glade, 2004; 박노욱 등 2005)과 GIS 및 각종 기법을 이용하여 산사태 발생 위험지역을 사전에 예측하고 재해를 예방하기 위한 연구(최경, 1986; 마호섭 1994; 이진덕 등, 2002; Fabbri, *et al.*, 2004; 이상희, 2005; 이용준 등 2006) 등으로 구분되어져 많은 학자들에 의해 활발하게 진행되고 있다. 그러나 우리나라를 대표하는 자연자원 및 경관지로서 소중한 보전해야 할 유산이며 국민휴식 공간으로 국토보전과 합리적 이용측면에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 국립공원 내에서도 최근 집중호우로 인하여 크고 작은 산사태가 빈번하게 발생하고 있으나(마호섭, 1990; 1992; 2001; 마호섭과 정원옥, 2007) 산사태 발생에 대한 사전 예측이나 원인규명에 대한 연구가 미흡한 상태로 주로 사후 복구에 치중하고 있어 항구적인 재해 예방을 위한 대책 마련이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 국립공원내 산사태 발생지를 중심으로 붕괴토사량과 환경인자와의 관계를 구명함과 동시에 붕괴토사량에 대한 각 인자의 기여도 분석을 통한 산사태 발생 위험지역을 예측하여 향후 국립공원내 산사태 발생으로 인한 피해를 최소화하고 위험지역에 대한 관리방안 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 방법

우리나라 국립공원 중 2006년까지 태풍과 집중호우 등

으로 인하여 산사태가 많이 발생한 지리산(37개소), 설악산(393개소), 소백산국립공원(23개소) 총 453개소의 산사태 발생지를 대상으로 실시하였으며, 산사태 발생 지점을 중심으로 산사태 규모 및 각종 환경 인자를 아래와 같이 조사하였다.

- 1) 산사태 길이(m) : 붕괴 시작점에서 종점까지를 산사태 길이로 하여 측정함.
- 2) 산사태 폭(m) : 산사태지 상부, 중부, 하부 3지점에서 폭(너비)을 측정하여 평균함.
- 3) 산사태 깊이(m) : 산사태지 상부, 중부, 하부 3지점에서 깊이를 측정하여 평균함.
- 4) 붕괴토사량(m³) : 산사태 길이×폭×깊이로 계산함.
- 5) 사면경사(°) : Clinometer를 이용하여 측정함.
- 6) 사면방위 : Compass를 이용하여 N, E, S, W로 구분함.
- 7) 사면형태 : 산사태 발생지 종단·횡단사면을凸형, 凹형, □형, 凹凸형으로 구분함.
- 8) 해발고(m) : 고도계를 이용하여 측정함.
- 9) 사면위치 : 산사태 발생지점의 위치를 산정, 산북, 산록으로 구분함.
- 10) 하천차수 : 1/25,000 지형도상에서 Horton-Strahler (1952)의 방식에 의해 구분함.
- 11) 임상 : 임상도 및 현지조사를 통해 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 구분함.
- 12) 모암 : 지질도와 현지조사를 통하여 퇴적암, 화성암, 변성암으로 구분함.
- 13) 토심(cm) : 산사태지 상부, 중부, 하부 3지점에서 토심을 측정하여 평균함.

2. 분석방법

산사태 발생지점을 대상으로 붕괴토사량에 영향을 미치는 산림환경 인자를 조사하고, 산사태 발생 위험지역을 예측하기 위해 각 인자를 Table 1과 같은 카테고리로 구분하였다.

Table 1. Classification of category for each factor.

Factors	Category					
	1	2	3	4	5	6
Slope gradient	< 10°	11~20°	21~30°	31~40°	41~50°	51° <
Aspect	N	E	S	W		
Vertical slope	Concave	Straight	Convex	Complex		
Cross slope	Concave	Straight	Convex	Complex		
Altitude	< 400 m	401~800 m	801~1,200 m	1,201 m <		
Landslide position	Upper	Middle	Lower			
Stream order	0	1	2	3<		
Forest type	Coniferous	Deciduous	Mixed			
Parent rock	Igneous	Metamorphic	Sedimentary			
Soil depth	< 15 cm	16~30 cm	31~45 cm	46 cm <		

1) 산사태 붕괴토사량과 환경인자와의 관계분석

산사태 붕괴토사량(m³)에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위해 경사, 해발고, 방위, 임상, 사면형태(종단, 횡단) 등 각종 환경인자와 상관분석 및 단계별 회귀분석을 실시하였으며, 인자 중 질적변수(방위, 임상, 사면형태 등)는 반응하는 쪽에 1, 반응하지 않는 쪽에 0을 취하는 더미변수(dummy variable) 형태로 변환하여 분석하였다.

2) 산사태 발생 위험지역 예측

산사태 발생 위험지역을 예측하기 위해 붕괴토사량과 내적기준인 각종 인자와의 관계를 수량화이론(I)을 이용하여 각 인자의 category별 기여도 분석 및 상대점수를 구하였다. 특히 상대점수를 기준으로 하여 산사태 발생 위험지역을 예측하였다.

결과 및 고찰

1. 산사태 붕괴토사량과 환경인자와의 관계

산지사면에서 발생하는 토양침식은 각종 인자의 상호 복합적인 작용에 의해 발생하므로 10개의 환경인자를 조사하여 붕괴토사량에 영향을 미치는 인자를 도출하기 위해 상관 및 단계별 회귀분석을 실시한 결과는 Table 2 및 3과 같다.

산사태 발생지의 붕괴토사량과 각종 환경인자와의 관계를 상관분석한 결과(Table 2), 국립공원 산사태 발생지의 붕괴토사량은 경사 31~40°, 서(W) 사면, 종단사면(오목), 횡단사면(볼록), 해발고(800~1,200 m), 혼효림, 토심(16~30 cm, 31~45 cm, 46 cm 이상)과는 1% 수준 내에서 정의 상관관계를 보였고, 종단사면(직선), 횡단사면(직

선), 해발고(400 m 이하), 활엽수림, 토심(15 cm 이하)과는 1% 수준 내에서, 해발고 401~800 m, 침엽수림과는 5% 수준 내에서 부의 상관관계를 보였다. 그 외 경사 51° 이상, 동(E) 사면, 종단사면(볼록, 복합), 횡단사면(오목, 복합), 해발고 1,201 m 이상, 산정, 산복, 하천차수(1차, 2차, 3차), 화강암 등이 붕괴토사량에 정의 상관관계를 보였으나 상관성은 높지 않은 것으로 분석되었다.

長崎縣斜面對策危險度判定委員會(1985)에서 산지사면의 붕괴면적 및 붕괴빈도를 조사한 결과, 서 및 남향사면에서 붕괴발생율이 높게 나타났고, Dyrness(1967)는 북서, 서방향이 붕괴위험이 높으며, 일반적으로 사면붕괴는 강우의 진행방향, 풍향 등에 따라 붕괴방향에 차이가 있다고 하였다. 국립공원내 산사태 발생도 태풍 및 강우에 직접적인 영향을 받고 있는 서(W) 사면과 해발고(800~1,200 m)가 높은 지역 등에서 붕괴발생 빈도 및 상관성이 높게 나타났는데, 이러한 결과 또한 국립공원의 지리적 특성 때문이라고 생각된다.

국립공원내 산사태 발생지의 붕괴토사량과 각 인자간에 단계별 회귀분석을 실시한 결과(Table 3), 붕괴토사량에 영향을 미치는 요인 중 처음 도입된 변수는 혼효림(임상)으로 전체 설명력의 22%를 차지하였다. 다음으로 토심 15 cm 이하, 해발고 801~1,200 m, 경사 31~40°, 토심 46 cm 이상, 해발고 1,201 m 이상, 남(S) 사면 순으로 도입되었다.

각종 환경인자에 의한 국립공원 산사태 발생지의 붕괴토사량에 대한 추정식 $Y = 448.464 + 228.766(\text{혼효림}) - 343.344(\text{토심 } 15 \text{ cm 이하}) + 264.960(\text{해발고 } 801\sim 1,200 \text{ m}) + 169.804(\text{경사 } 31\sim 40^\circ) + 665.757(\text{토심 } 46 \text{ cm 이상}) + 212.939(\text{해발고 } 1,201 \text{ m 이상}) - 114.517(\text{남 사면})$ 로

Table 2. Correlation analysis between landslide sediment (m³) and factors.

Factors	Slope gradient (°)						Aspect			
	<10	11~20	21~30	31~40	41~50	51<	N	E	S	W
Sediment	-0.051	-0.046	-0.069	0.171**	-0.097	0.038	-0.081	0.048	-0.086	0.190**
Factors	Vertical slope				Cross slope					
	Concave	Straight	Convex	Complex	Concave	Straight	Convex	Complex		
Sediment	0.161**	-0.195**	0.066	0.038	0.108	-0.187**	0.133**	0.078		
Factors	Altitude (m)				Landslide position					
	< 400	401~800	801~1200	1201 <	Upper	Middle	Lower			
Sediment	-0.131**	-0.139*	0.224**	0.037	0.027	0.047	-0.086			
Factors	Stream order				Forest type					
	0차	1차	2차	3차	Coniferous	Deciduous	Mixed			
Sediment	-0.084	0.046	0.009	0.032	-0.135*	-0.269**	0.320**			
Factors	Parent rock			Soil depth(cm)						
	Igneous	Metamorphic	< 15	16~30	31~45	46 <				
Sediment	0.108	-0.108	-0.309**	0.204**	0.168**	0.147**				

Table 3. The stepwise regression analysis between landslide sediment (m³) and factors.

Variables	Regression coefficient	Standard error	Model R ²	F	Prob > F
Constant	448.464	80.718			
Mixed (Forest type)	228.766	60.981	0.224	36.077	0.000
< 15 cm (Soil depth)	-343.344	67.646	0.336	31.162	0.000
801~1,200 m (Altitude)	264.960	65.865	0.432	25.436	0.000
31~40° (Slope gradient)	169.804	55.304	0.473	21.397	0.000
46 cm < (Soil Depth)	665.757	288.100	0.501	18.405	0.000
1,201 m < (Altitude)	212.939	88.088	0.528	16.403	0.000
S (Aspect)	-114.517	57.624	0.550	14.758	0.000

도출되었다. 추정된 회귀모형식의 적합도에 대한 *F* 통계량은 14.758(유의확률 0.000)로 매우 유의하고 *R*² 값은 0.550으로 나타났다. 특히 상관관계 분석에서 산사태 발생 면적에 1% 수준에서 정의 상관관계를 나타낸 혼효림의 영향력이 22%로 가장 높게 나타나 혼효림 지역을 중심으로 비교적 많은 산사태가 발생한 것으로 보인다. 해발고 801~1,200 m와 경사 31~40° 또한 1%수준에서 정의 상관관계를 나타내고 있다.

따라서 국립공원 산사태 발생지는 지형 및 지세가 험준하고 경사가 급한 고산지대에서 주로 발생하여 토사유출에 영향을 미치는 것으로 분석되며, 특히 산사태가 계속적으로 까지 확대되어 토석류로 발전하면 대규모 산사태로 이어지는 경우가 많으므로 산지 상류유역 구간은 토석류 재해로 인한 피해를 최소화하기 위한 많은 노력이 필요한 것으로 생각된다.

2. 붕괴토사량에 대한 기여도 분석

국립공원내 산사태 발생 위험지역을 예측하기 위해 상관 및 단계별 회귀분석을 통해 붕괴토사량에 영향을 미치는 5개의 인자를 선정하였으며, 수량화 이론(I)에 의한 산사태 발생지 붕괴토사량에 영향을 미치는 각 인자의 category별 상대점수를 분석한 결과는 Table 4와 같다.

상대점수(Normalized score) 인자의 범주별 점수 값들 중 부(-)의 값을 나타내는 범주는 모두 안정측에 작용하는 요인이며, 반대로 정(+)의 값을 가지는 범주는 위험측에 작용하여 산사태로 인한 붕괴토사량에 기여를 많이 하는 것을 의미하며, 그 크기는 수치의 대소로 나타낸다. 국립공원 내에서 산사태 발생위험도에 영향을 미치는 정도와 방향을 파악하기 위하여 각 인자의 category별 상대점수를 분석한 결과(Table 4), 경사는 31~40°의 범위가 산사태 발생위험도에 가장 크게 영향을 미치며, 다음으로 21~30°, 41~50° 순으로 나타났다. 방위는 서, 동, 북 순으로 산사태 발생위험도의 불안정측에 속하고 있었고, 남사면은 상대점수가 낮게 나타나 산사태 발생위험도의 안정측에 기여하는 것으로 분석되었다. 해발고는 801~1,200 m

Table 4. Normalized score of each category and range.

Factors	Category	Mean score	Normalized score	Range
Slope gradient	< 10°	0.0203	-0.0173	0.1728
	11~20°		-0.0203	
	21~30°		0.0424	
	31~40°		0.1525	
	41~50°		0.0006	
	51° <		-0.0184	
Aspect	N	0.0993	-0.0907	0.1681
	E		0.0253	
	S		-0.0993	
	W		0.0688	
Altitude	< 400 m	0.0698	-0.0698	0.2876
	401~800 m		0.1027	
	801~1,200 m		0.2178	
	1,201 m <		0.1230	
Forest type	Coniferous	0.0415	-0.0415	0.2409
	Deciduous		0.0918	
	Mixed		0.1994	
Soil depth	< 15 cm	0.2625	-0.2625	0.3784
	16~30 cm		-0.0558	
	31~45 cm		0.0400	
	46 cm <		0.1159	

구간에서 산사태 발생위험도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 1,201 m 이상, 401~800 m은 산사태 발생위험도의 불안정측에 속하며, 400 m 이하는 산사태 발생위험도 안정측에 기여하는 것으로 분석되었다. 임상은 혼효림과 활엽수림 순으로 산사태 발생위험도에 큰 기여도를 보이며 불안정측에 속하고 있었고 침엽수림은 안정측에 기여하였고 토심은 토양 깊이가 깊을수록 붕괴토사량 발생위험도에 크게 기여하는 것으로 분석되었다.

Range는 산사태에 따른 붕괴토사량 발생에 대한 각 인자의 category별 상대점수의 변동 폭을 나타내는 척도로서 각 인자의 category별 상대점수의 최대치와 최소치의 상대점수차로 나타낸다. 각 인자의 Range를 산정한 결과, 토심(0.3784)이 가장 높게 나타나 국립공원의 산사태 발

Table 5. Score table for prediction of landslide hazard area.

Factors	Category					
	1	2	3	4	5	6
Slope gradient	< 10° 0.0030	11~20° 0	21~30° 0.0627	31~40° 0.1728	41~50° 0.0209	51° < 0.0019
Aspect	N 0.0086	E 0.1246	S 0	W 0.1681		
Altitude	< 400 m 0	401~800 m 0.1725	801~1,200 m 0.2876	1,201 m < 0.1928		
Forest type	Coniferous 0	Deciduous 0.1333	Mixed 0.2409			
Soil depth	< 15 cm 0	16~30 cm 0.2067	31~45 cm 0.3025	46 cm < 0.3784		

Table 6. Prediction score for evaluation of landslide hazard area by score table.

Class of landslide hazard area	Prediction score	Landslide possibility(%)
I	1.1720 <	81% <
II	0.7543~1.1719	61~80%
III	0.4989~0.7542	41~60%
IV	< 0.4988	< 40%

생에 따른 붕괴토사량은 큰 영향을 미치고 있으며, 다음으로 해발고(0.2876), 임상(0.2409), 경사(0.1728), 방위(0.1681) 순으로 나타났다.

3. 산사태 발생 위험지역 예측

상대점수(Normalized score)는 정(+) 및 부(-)의 값으로 되어 있기 때문에 이용상 불편한 점이 있다. 따라서 이들 점수 중 최소값을 0점으로 표시하고, 각 Category점수에는 최소값의 절대치를 증가하여 정의 값으로 변화시켜 산사태 발생 위험지역을 예측하기 판정표를 작성한 결과는 Table 5와 같다.

5개 인자의 category별 점수를 453개소의 산사태 발생지를 대상으로 계산한 추정치 범위는 0점에서 1.2478점 사이에 분포하고 있으며, 중앙값은 0.6239점이었다. 산사태 발생 위험지역을 예측하기 위해 위험등급을 I등급에서 IV등급으로 구분한 결과(Table 6), 산사태 발생 위험지역 I등급은 산사태 발생가능성 81% 이상지역으로 추정치 점수는 1.1720 이상, II등급(산사태 발생가능성 61~80%)은 0.7543~1.1719, III등급(산사태 발생가능성 41~60%)은 0.4989~0.7542, IV등급(산사태 발생가능성 40% 이하)은 0.4988 이하로 예측하였다.

결론

국립공원내 산사태 발생지를 중심으로 붕괴토사량에 영

향을 미치는 인자를 상관 및 단계별 회귀분석을 실시한 결과, 붕괴토사량은 경사 31~40°, 서(W) 사면, 종단사면(오목), 횡단사면(불록), 해발고(800~1,200 m), 혼효림, 토심(16~30 cm, 31~45 cm, 46 cm 이상)과는 1% 수준 내에서 정의 상관관계, 종단사면(직선), 횡단사면(직선), 해발고(400 m 이하), 활엽수림, 토심(15 cm 이하)과는 1% 수준, 해발고 401~800 m, 침엽수림과는 5% 수준 내에서 부의 상관관계를 보였다. 단계별 회귀분석을 실시한 결과, 산사태 발생지의 붕괴토사량에 영향을 미치는 요인은 혼효림(임상), 토심 15 cm 이하, 해발고 801~1,200 m, 경사 31~40°, 토심 46 cm 이상, 해발고 1,201 m 이상, 남(S) 사면 등이었다. 수량화 이론(I)에 의해 각 인자의 category별 상대점수를 분석한 결과, 경사는 31~40°가 국립공원 산사태 발생위험도에 가장 큰 영향을 미치고, 방위는 서, 동, 북, 남 순으로, 해발고는 801~1,200 m 구간에서 산사태 발생위험도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 400 m 이하는 안정측에 기여하는 것으로 분석되었다. 임상은 혼효림과 활엽수림 순으로, 토심은 토양 깊이가 깊을수록 산사태 발생 위험도에 크게 기여하는 것으로 분석되었다. 각 인자의 Range를 추정할 결과, 토심(0.3784)이 가장 높게 나타나 국립공원의 산사태 발생 위험도에 큰 영향을 미치는 것으로 추정되었고, 다음으로 해발고(0.2876), 임상(0.2409), 경사(0.1728), 방위(0.1681) 순으로 나타났다. 국립공원 산사태 발생 위험도 판정표를 기준으로 5개 인자의 category별 점수를 계산한 추정치 범위는 0점에서 1.2478점 사이에 분포하고 있으며, 중앙값은 0.6239점으로 산사태 발생 위험지역 I등급은 1.1720 이상, II등급은 0.7543~1.1719, III등급은 0.4989~0.7542, IV등급은 0.4988 이하로 예측하였다.

국립공원지역에서 발생하고 있는 대부분의 산사태는 지형 및 지세가 험준하고 경사가 급한 고지대에서 많이 발생하고 있어 이들 산사태가 계속으로 까지 확대되면 대규모 토사 및 석류가 계류로 유입되어 토석류에 의한 피해

가 발생할 수 있으므로 산지 상류유역 구간은 토석류 재해로 인한 피해를 예방하기 위한 많은 노력이 필요하다.

따라서 산사태 발생 위험지역에 대한 보다 객관적인 지표가 될 수 있는 위험 예측도를 작성하여 활용하면 산사태로 인한 각종 재해에 대한 피해를 최소화할 수 있고 국립공원내 자연자원 보전과 재해예방에도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 국립방재연구소. 2005. 8월 집중호우 피해조사 보고서.
2. 마호섭. 1990. 지리산지역의 산지붕괴와 토사유출에 관한 연구. 경상대 연습림연보 제1호: 13-25.
3. 마호섭. 1992. 지리산지역의 산지붕괴와 토사유출에 관한 연구(II). 경상대 연습림연보 제2호: 17-28.
4. 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안. 한국임학회지 83(2): 175-190.
5. 마호섭. 2001. 주요 국립공원의 산사태 발생특성과 복구 방향. 국립공원 제 27호: 17-21
6. 마호섭, 정원옥. 2007. 우리나라 국립공원지역의 산사태 발생특성 분석. 한국임학회지 96(6): 611-619.
7. 박노옥, 지광훈, 장동호. 2004. 통계학적 공간통합 모델을 이용한 태풍 루사로 발생한 강릉지역 산사태 취약성 분석. 한국지형학회지 11(4): 69-80.
8. 신은선. 1996. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 보령서천 지역의 산사태 분석. 충남대학교 석사학위 논문. pp. 66.
9. 이사로, 지광훈, 박노옥, 신진수. 2001. 산사태와 지형공간정보의 연관성 분석을 통한 장흥지역 산사태 취약성 분석. 자원환경지질학회지 34(2): 205-215.
10. 이상희. 2005. GIS를 이용한 천층산사태 발생 예측을 위한 수문물리모형의 적용. 충북대학교 박사학위논문. pp. 101.
11. 이용준, 박근애, 김성준. 2006. 로지스틱 회귀분석 및 AHP 기법을 이용한 산사태 위험지역 분석. 대한토목학회논문집 26(5): 861-867.
12. 이진덕, 연상호, 김성길, 이호찬. 2002. 산사태발생 가능지 예측을 위한 GIS의 적용. 한국지리정보학회지 5(1): 38-47.
13. 최 경. 1986. 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문. pp. 45.
14. 長崎懸斜面對策危險度判定委員會. 1985. 長崎懸斜面對策危險度判定調査資料. pp. 75.
15. Bell, R. and Glade, T. 2004. Multi-hazard analysis in natural risk assessment. In Brebbia C.A., ed., Risk Analysis IV, Southampton, Boston, WIT Press. 196-206.
16. Dyrness, C.T. 1967. Mass soil movement in the H.J. Andrews Experimental Forest. U.S. Forest Service, Rec. Pap. PNW-Technical Paper. 42: 1-42.
17. Fabbri, A.G., Chung, C.F. and Jang, D.H. 2004. A software approach to spatial predictions of natural hazards and consequent risks, In, Brebbia C.A., ed., Risk Analysis IV, Southampton, Boston, WIT Press. 289-305.
18. Strahler, A.N. 1952. Dynamic Basis of Geomorphology. Geological Society of America, Bulletin. 63: 923-938.

(2008년 5월 6일 접수; 2008년 6월 13일 채택)