

환경정보시스템을 이용한 산사태 발생위험 예측도 작성: 경상북도를 중심으로

배민기 · 정규원* · 박상준**

환경정책평가연구원 초빙연구원, *경북대학교 임학과 박사과정, **경북대학교 임학과 교수
(2009년 1월 9일 접수; 2009년 5월 7일 수정; 2009년 7월 16일 채택)

Development of Landslide Hazard Map Using Environmental Information System: Case on the Gyeongsangbuk-do Province

Min-Ki Bae, Kyu-Won Jung* and Sang-Jun Park**

Research Fellow, Korea Environmental Institute, Seoul 122-706, Korea

*Doctoral Course, Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

**Professor, Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Manuscript received 9 January, 2009; revised 7 May, 2009; accepted 16 July, 2009)

Abstract

The purpose of this research was develop tailored landslide hazard assessment table (LHAT) in Gyeongsangbuk-do Province and propose building strategies on environmental information system to estimate landslide hazard area according to LHAT. To accomplish this purpose, this research investigated factors occurring landslide at 172 landslide occurred sites in 23 city and county of Gyeongsangbuk-do Province and analyzed what factors effected landslide occurrence quantity using the multiple statistics of quantification method(I). The results of analysis, factors affecting landslide occurrence quantity were shown in order of slope position, slope length, bedrock, aspect, forest age, slope form and slope. And results of the development of LHAT for predict mapping of landslide-susceptible area in Gyeongsangbuk-do Province, total score range was divided that 107 under is stable area(IV class), 107~176 is area with little susceptibility to landslide(III class), 177~246 is area with moderate susceptibility to landslide(II class), above 247 area with severe susceptibility to landslide(I class). According to LHAT, this research built landslide attribute database and made 7 digital theme maps at mountainous area located in Goryeong Gun, Seongju-Gun, and Kimcheon-City. The results of prediction on degree of landslide hazard using environmental information system, area with little susceptibility to landslide(III class) occupied 65.56% and severe susceptibility to landslide(I class) occupied 0.51%.

Key Words : Environmental information system, Landslide hazard map, Quantification method, Gyeongsangbuk-do

1. 서론

급경사의 산악지역이 많은 우리나라는 매년 여름철 집중호우로 인한 산사태 발생 횟수가 증가하고

있으며, 산림휴양공간, 전원주택단지 등 산지개발의 확대로 인해 생활권이 산사태 위험에 노출되어 있어 인명과 재산이 손실되고 있다. 앞으로도 기후변화로 인한, 집중호우, 태풍 등에 의해 산사태의 발생 빈도 및 강도가 증가할 것으로 예측되고 있어 그에 대한 예방과 대책이 마련이 시급한 실정이다. 실제로, 최근 10여 년간 집중호우와 루사와 나비 등 대규모 태풍으로 경북 지역에서만 1,025개소에서 1,140 ha 이상의 산사태가 발생한 바 있다¹⁾.

산사태에 의해 많은 인명과 물질적 피해가 발생하는 것은 산사태가 예측할 수 없는 곳에서 순식간에 발생할 뿐만 아니라 지형, 지질, 지질구조, 토층의 물리 및 공학적 특성, 산지의 개발정도 등 여러 가지 요인이 복합적으로 관련되어 있어 다른 자연재해에 비해 예방과 경보 및 대피가 어렵기 때문이다. 산사태의 발생은 지구의 지질작용의 일부이므로 이를 인위적으로 멈추게 할 수는 없겠지만, 발생지점을 미리 예측하고 진단하여 산사태의 2차적 토사재해인 토석류의 규모와 이동범위를 파악하여 피해 예상지역을 추출할 수 있다면, 만일의 사태에 대비하는 예방사업을 통해 인명과 재산손실을 크게 줄일 수 있을 것이다.

산사태 예방을 위해서 국립산림과학원과 국립공원관리공단 등 연구 및 공공기관에서는 산사태 위험지역 예측도를 만들어 운영하고 있으며, 지방자치단체에서도 사방댐, 버트리스 댐을 설치하고 산사태 발생 예상지역의 비탈면 유실과 강우측정 등을 감지하여 대처하고 있다. 그러나 이러한 기관에서 작성된 산사태 위험지도는 전국적으로 획일적 산사태 예측기준을 적용하여 지역의 산사태 특성에 맞는 예측 및 원인규명이 이뤄지지 못하고 있으며, 대부분 많은 비용이 소요되는 사후복구 또한 응급조치 수준을 벗어나지 못하고 있어 대책마련이 시급하다. 방법론적인 측면에서도 기본적인 지형정보뿐만 아니라 산사태 발생지형에 대한 면밀한 검토를 위한 보완책이 요구된다.

기존의 관련 연구를 고찰해보면, 양 등²⁾은 강원도 남부지역을 대상으로 산사태 유발인자에 대한 지리정보 데이터베이스를 구축한 후, 강우조건에 따라 산사태 취약지의 분포가 어떻게 변하는지를 분석한 결과, 200 mm이상의 강우시 산사태 발생가

능성이 생성됨을 규명하였다. 이 등³⁾은 산사태 발생 위험도를 1-4등급으로 예측할 수 있는 지리정보체계 응용모델을 개발하여 경기도 용인, 안성지역에 적용한 결과, 약 72%에 해당하는 산사태가 위험등급 2등급이상에서 발생한 것을 확인하였다. 김 등⁴⁾은 금호강 유역을 대상으로 지리정보체계와 리모트센싱 기법을 활용하여 산사태 위험 취약지를 6등급으로 분류한 결과 전체의 0.3%가 산사태에 아주 취약한 지역인 것으로 판명되었다. 김 등⁵⁾은 지리정보체계를 활용하여 사면 식생의 뿌리로 인한 산사태 방지효과를 고려한 산사태 위험도를 작성하였다. 강릉시를 대상으로 분석한 결과 유효토심이 50cm 이하이고 활엽수림인 지역의 산사태 위험도가 높음을 규명하였다. 장 등⁶⁾은 충북 보은지역을 대상으로 공간예측모델을 이용한 산사태 위험지역을 찾아내고 인구분포도를 고려하여 인명위험도를 평가하였다. 이 등⁷⁾은 경기도 안성지역을 대상으로 산사태 위험지역을 로지스틱 회귀분석과 AHP이론을 적용하여 7개 위험등급으로 분류하였다. Baldelli 등⁸⁾은 지질도, 지형도, DEM을 이용한 GIS 분석을 통해 산사태 취약도를 작성하였으며, Turrini와 Visintainer⁹⁾는 토양침식률, 배수율, 구조, 사면경사, 토지이용 등의 데이터베이스를 구축하여 산사태 취약지를 도출하였다. Kumar¹⁰⁾은 암석, 경사, 강우, 수계밀도 등의 산사태 유발인자를 고려하여 산사태 등급위험도를 4등급으로 분류한 바 있다. 그 외에 이 등¹¹⁾, 이 등¹²⁾, 조 등¹³⁾ 등도 경사면적, 토양, 식생, 강우량 등을 지리정보 데이터베이스로 구축하고 확률 및 로지스틱 회귀분석을 활용하여 산사태 위험지역 및 위험점수를 도출하였으나, 이론적인 고찰을 통해 요인을 도출한 후 지리정보체계에 적용하고 있을 뿐, 연구대상지에 적합한 위험요인 및 기준을 도출하지 못하고 있다. 이와 같이 관련 국내의 연구들은 산사태 위험지역 판별기준에서 임상 등 주요인자가 누락되거나 지역별 특성을 고려하여 산사태 예측을 위한 산사태 판정기준표를 작성하고 산사태 위험지역을 규명한 연구는 거의 없는 실정이다.

지역의 산사태 발생 특성을 고려한 합리적 산사태 예측과 진단을 통해 위험지역을 찾아내는 것은 산사태 피해를 줄이는데 아주 중요한 연구주제임에도 불구하고 지역특성을 고려한 산사태 유발 요인

을 찾아내지 못하였고, 각 요인들이 산사태를 발생 시키는데 기여하는 상대적 중요도를 고려하지 못하였기 때문에 정확한 산사태 예측이 거의 불가능하였다. 따라서 본 연구는 경상북도의 산사태 발생지역을 중심으로 산사태 발생 원인과 발생 특성을 다양한 요인별로 조사 분석한 결과, 도출된 요인들에 대한 환경지리정보를 구축하여 산사태의 발생가능성이 높은 지역의 위치를 예측하고, 위치별 산사태 발생 가능성을 등급화 및 계량화함으로써 산사태 발생 위험성을 평가하고 이에 대한 다양한 예방대책을 수립하는데 기여하고자 한다.

2. 산사태 예측도 작성을 위한 판정기준표 분석 및 개발

2.1. 조사지 및 조사방법

경상북도 지역의 산사태 위험지 예측도 작성을 위한 판정기준표를 개발하기 위하여 경상북도 23개 시·군(김천시, 상주시, 구미시, 문경시, 예천군, 의성군, 청송군, 안동시, 영양군, 영주시, 봉화군, 포항시, 경주시, 영천시, 영덕군, 울진군, 울릉군, 경산시, 청도군, 고령군, 성주군, 칠곡군, 군위군)의 산사태가 발생된 곳 총 172개소를 조사하였다¹⁾. 산사태에 관여하는 요인은 기존의 자연 및 임도 또는 암반사면 붕괴와 관련한 연구를 참고로 총 10개의 붕괴 위험 요인을 선정하여 조사하였다. 현지조사 결과, 경상북도 산사태 발생지의 대표적인 특징은 모암이 대부분 화강암류의 화성암지역이고 방위는 대부분 북쪽사면이었으며, 경사도는 21도~40도가 대부분 이었고 경사길이는 600 m 이하가 80%이었다. 임상은 대부분 혼효림이었고 임분밀도는 70% 이상이었으며, 대부분 중경목지역이었다. 산사태 폭과 길이는 30 m 이하와 100 m 이하였으며, 산사태 깊이는 1 m 이하로 나타났다^{1,14)}.

2.2. 판정기준표 분석

붕괴 위험도에 영향을 미치는 인자의 순위와 기여도를 알고, 붕괴위험도와 붕괴 인자와의 관계를 구명하기 위하여 수량화 I 류를 이용해 수량화에 의한 다변량 분석을 실시하였다. 수량화 이론이란 질

적인(정성적) 변수와 양적인(정량적) 변수 각각의 범주에 수량을 부여하는 통계적 수법으로 사면의 안정성 평가에 주로 사용되는 방법이다. 종속변수는 산사태 피해발생 토사량을 이용하였다. 토사량은 산사태 발생지역의 붕괴원을 중심으로 면적 및 깊이를 m 단위로 측정하였다. 피해발생 토사량으로 위험도를 평가하였으므로 엄밀히 말하면 본 연구는 산사태가 발생하였을 경우 피해규모가 큰 지역을 예측하는 것에 가깝다고 할 수 있다. 붕괴요인별 범주의 구분은 Table 1과 같이 요인의 특성이 명확하게 구분될 수 있도록 구분하였다. 분류된 범주간 조사 자료가 가급적 균일하게 배치되도록 하고, 결과 해석 자료의 일반성을 고려하여 각 인자의 범주간 통제함을 실시하고 반복적으로 계산하였다. 반복계산을 통해 붕괴도와 관련이 높은 상위인자를 선별하고, 내부 상관관계가 높은 인자는 배제하는 등의 작업을 거쳐 범주를 재구분하여 최종적으로 결정계수가 높은 모델을 선정하였다. 수량화 분석결과는 Table 1과 같다. 인자의 범주별 점수 값들 중 음(-)의 값을 나타내는 범주는 모두 안정측에 작용하는 요인으로서 사면을 안정하게 하는 범주이며, 반대로 양(+)의 값을 가지는 범주는 붕괴측에 작용하여 사면을 불안정하게 하는 요인으로 작용하는 것을 의미한다. 또한 상관도가 가장 낮은 인자와 편상관 관계를 고려하여 요인의 인자를 하나씩 제외한 결과, 붕괴위험도와와의 관련성을 나타내는 각 인자들의 편상관계수는 경사위치, 모암, 경사길이, 임분등급, 방위, 종단면형, 경사도 순으로 나타났으며, 이를 통해 자연사면에서 산사태 붕괴와 관계가 깊은 7개 인자를 얻을 수 있었다. 실제 조사된 붕괴위험도와 수량화 분석을 통한 본 모델에 의해 계산된 붕괴위험도를 비교해본 결과, 모델의 중상관계수가 0.5267(결정계수 : 0.2774)로 나타났으며, 분산분석 결과 0.1% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다^{1,14)}.

2.3. 산사태 붕괴 위험도 판정기준표 개발

자연사면에서 붕괴와 관계가 깊은 7개 인자에 의해 얻어진 각 인자의 범주별 점수를 보면, 하한치가 모두 0이하의 음수인 것을 알 수 있다. 이들은 계산의 단순화를 위해 각 인자별로 점수를 범주마다 그 점수만큼 더하여(양의 정수화) 모델회귀식의 절편 또한 고려하여 Table 2와 같이 산사태 판정기준 및

1) 각 개소에 대한 상세 조사사항은 '경상북도(2008), 산사태 피해예방 조사 연구'를 참조바람.

Table 1. Score and Partial Correlation Coefficient by Factor

Factor	Categories	N	Score	Range	Partial Correlation Coefficient
Bedrock	Sedimentary rock	26	277.3733	88.54	0.2736
	Granite	73	8.4084		
	Phyllite, Argillite	12	-608.0209		
	Gneiss, Schist	21	-25.2033		
Aspect	NE	51	45.3605	26.22	0.1320
	SE	20	166.2698		
	SW	17	-83.3953		
	NW	44	-95.9332		
Slope	-30°	34	-61.6500	15.18	0.0874
	30-35°	30	90.1216		
	35-40°	34	39.5941		
	40°-	34	-57.4631		
Slope position	Ten over one	24	-265.2376	59.04	0.3041
	Ten over two ~ four	61	-146.1967		
	Ten over five ~	47	325.1852		
Slope length	-100m	34	-203.1608	40.00	0.2290
	100-299m	30	-162.6304		
	300-599m	33	196.7941		
	600m-	35	151.2049		
Slope form	Descent	78	69.6910	17.04	0.1117
	Parallel Ascent, Mix	54	-100.6648		
Age and diameter class of forest	Young tree	6	-513.1740	71.99	0.1772
	Small diameter	31	-75.6648		
	Midium diameter	83	35.4735		
	Large diameter	12	206.6963		

점수표를 작성하였다. 또한, Table 1에서 Table 2를 만드는 과정에서 추가된 107점(붕괴발생 기준점)을 기준으로 Table 2에서 얻을 수 있는 최대점수인 318점을 감안하여 70점 단위로 Table 3과 같이 107점 미만 : 안정, 107~176점 : 위험(소), 177~246점 : 위험(중), 247점 이상 : 위험(대)으로 붕괴 위험도를 구분하였다.^{1,14)}

여기서 산사태 위험도 판정기준표 개발에 대한 기존의 연구결과^{15,16)}와 본 연구결과를 비교해 보면, 먼저 산사태 판정기준 및 점수표에 사용된 인자가 동일하게 7개의 인자가 사용되었으나 상기 기존 연구에서는 임상과 토심이 사용된 반면, 본 연구에서

는 방위와 임분경급이 사용되었으며, 모암 등의 인자에서 산사태 판정기준 및 점수가 본 연구에서 높게 나타났다. 또한 국립산림과학원에서 개발한 산사태 예측프로그램은 산사태 위험도 등급별 구분이 전국에서 발생한 산사태 조사 자료를 근거로 했기 때문에 지역적인 발생 특성을 예측하는데 한계가 있다. 실제로 국립산림과학원의 경우 토심을 중요한 인자로 고려하고 있으나 본 연구에서는 경사향이 중요한 요인으로 선정되었으며, 위험도를 판정기준 등급 구분도 상이하고 점수도 본 연구결과보다 낮은 것으로 나타났다.

따라서 이 결과는 기존의 연구결과를 중심으로

Table 2. Score Table for Prediction of Landslide-susceptible Area

Factor	Category and Score			
	1	2	3	4
Bedrock	Sedimentary rock	Grantie	Phyllite, Argillite	Gneiss, Schist
	89	62	0	58
Aspect	NE	SE	SW	NW
	14	26	1	0
Slope	- 30°	30-35°	35-40°	40° -
	0	15	10	0
Slope Position	Ten over one	Ten over two ~ four	Ten over five ~	
	0	12	59	
Slope Length	- 100m	100-299m	300-599m	600m -
	0	4	40	35
Slope form	Descent	Parallel Ascent, Mix		
	17	0		
Age and diameter class of forest	Young tree	Small diameter	Midium Diameter	Large Diameter
	0	44	55	72

Table 3. Total Score Range by Landslide-susceptible Class

Class	Total Score Range
Hazard level I (Severe)	over 247
Hazard level II (Moderate)	177~246
Hazard level III(Little)	107~176
Hazard level IV (Stable)	under 107

하여 현재 산림청에서 작성해 놓은 전국 산사태 발생 위험도보다 본 연구결과를 중심으로 하여 경상북도 산사태 발생위험도를 작성할 경우 경상북도지역의 산사태 발생 위험도가 다소 낮게 나타난다는 것을 알 수 있으며, 본 연구결과가 경상북도지역을 중심으로 한 산사태 발생 위험도 작성에 유용하게 사용될 것이다^{1,14)}.

3. 산사태 발생위험 예측도 작성을 위한 환경 정보시스템 구축

3.1. 예측도 대상지

본 연구의 대상지는 행정구역상 경상북도 고령군, 성주군, 김천시에 걸쳐 있는 산림지역이다. 본 연구대상지는 1998년 이전에는 거의 산사태가 발생되지 않았으나 2000년 이후 산사태가 자주 발생하

기 시작한 지역으로서 기존의 산사태 위험지역인 봉화나 울진 등의 산악지역보다 예측 후 정책 실효성이 높다고 판단되기 때문이다.

3.2. 예측도 작성 자료 및 방법

연구대상지역을 대상으로 산사태위험에 사용되는 7개 인자(모암, 방위, 경사도, 경사위치, 경사길이, 종단면형, 임분 등급)에 대해서 GIS 주제도를 작성하였으며, 작성된 7개 인자를 이용하여 지도대수 (Map Algebra)연산을 통하여 최종 산사태위험 분포도를 작성하였다. 주제도 작업을 위해 사용한 GIS 프로그램은 ArcView ver.3.3, ArcGIS ver.9.2와 3D Analyst와 Spatial Analyst Extension을 사용하였다. 사면의 위치를 결정하기 위해서는 Avenue Language로 작성된 Topographic Position Index (TPI) ver.1.3a를 활용하였다(Fig. 1)¹⁷⁾. TPI는 지형의 위치를 지수화하여 다양하게 분류할 수 있도록 해주는 방법으로 산지의 지형분류를 정량적으로 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 산사태위험 분포도를 작성하기 위해 사용한 수치지도들은 수치임상도 1:25,000, 수치지도 1:25,000, 수치지질도 1:50,000, 토지피복분류도 1:25,000이다. 토지피복분류도(중분류)는 연구대상지에서 산사태의 위험가능성이 거의 없는 기존의 도시개발지역 및 하천지역 등을 제외하기 위해 사

용되었다.

3.3. 산사태 판정인자 추출 방법

입력 도면은 수치지도로서 Vector 데이터의 형태로 되어 있다. Vector 데이터의 형식으로 분석을 하게 되면 데이터 용량이 커지게 되며, 뿐만 아니라 분석을 위한 처리속도가 오래 걸리게 된다. 따라서 각 수치지도를 Raster 데이터의 형태로 가공하였으며, 최종 산사태위험 분포도의 셀 해상도를 10×10 m의 격자형 데이터로 작성하였다.

(1) 모암 및 임분경급 인자는 산사태 위험 판정표에 나타난 항목별로 수치임상도와 지질도에서 속성을 추출하여 재분류(Reclassify)하였으며, 각 인자별 주제도에 가중치를 부여하여 모암 인자와 임분경급 인자에 관한 주제도를 생성하였다.

(2) 방위 및 경사도 분석 모형은 지형도의 등고선을 이용한 TIN(Triangulated Irregular Network)을 생성한 후 표면분석 기능을 이용하여 수치고도모델(DEM, Digital Elevation Model)을 작성하여 방위 및 경사도를 추출하였다. 방위분포도는 주변 셀과 중앙 셀의 표고값 차이로부터 경사방향을 추출하여 화소별 상이한 방위값 분포를 지닌 2차원 결과도면을 생성하였다.

(3) 경사 분포도는 주변 셀과 중앙 셀의 표고값 차이로부터 경사방향의 최대경사를 추출하여 화소별 경사도가 상이한 분포를 지닌 2차원 결과도면을 생성한다. 이렇게 생성한 방위분포도 및 경사 분포도는 재분류를 통하여 가중치를 설정하여 최종 방위인자와 경사도 인자를 생성하였다.

(4) 경사 길이는 경사량자료에서 누적흐름도(Flow Accumulation)를 분석하여 경사 길이인자를 산정하였다. 누적흐름도 작성을 위해 먼저 DEM 주제도에서 흐름에 오류를 일으킬 수 있는 Sink 및 Peak를 제거하였으며 누적흐름도 수치를 셀의 크기를 고려하여 재계산하였다. 그 후 산사태 위험 판정표의 점수로 재분류를 통해 경사길이 인자 주제도면을 생성하였다.

(5) 경사위치는 판정사면의 각 Cell이 판정사면의 최상단부와 최하단부에 대해 가지는 수직적 분포이다. 그러나 도출된 산사태 위험판정표의 사면위치는 기준이 되는 능선과 사면의 정의가 명확하지 않

고 주관적이기 때문에 논란의 대상이 되어 왔다³⁾. 또한, 경사위치는 경사와 방향분석과 같이 ArcGIS 등에 내장된 기능을 이용하여 산출할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 사면위치를 결정하기 위해서 기존의 국내의 연구에서 많이 활용된 바 있는 Avenue Language로 작성된 Topographic Position Index (TPI) ver.1.3a를 활용하였다^{18,19,20)}. TPI는 내외부 Radius를 어떻게 결정하는가에 따라서 지형의 형태를 반영하는 범위가 달라지지만, 평지에 가까울수록 0의 값이 되며, 주위보다 높은 지역(블록지역) 양의 값, 주위보다 낮은 지역(오목지역) 음의 값을 가진다. TPI를 산출하기 위해서 능선과 능선사이의 가장 짧은 거리는 SN TPI로 가장 긴거리를 LN TPI로 하여 SN TPI의 Scale Factor는 100m, LN TPI의 Scale Factor는 500 m로 결정하였다. 그 후 산사태 위험 판정표의 점수로 재분류를 통해 사면위치 인자에 관한 주제도면을 생성하였다.

(6) 종단면형 즉, 사면의 형태는 사면을 수직으로 잘랐을 때 지표형상이라 할 수 있다. 종단면형 주제도는 기복량도를 작성한 후 각 하강지역만을 추출하여 가중치를 부여하는 과정을 통해 작성되었다. 여기서 하강지역이란 오목사면으로서 올라갈수록 기울기가 커지는 사면을 의미한다. 기복량도는 단위지역내 평균고도값과 원 지형의 고도값의 차이로 작성되었으며, Raster Calculation을 통해 기복량도에서 하강지역을 추출하였다. 추출된 지역을 음영기복도를 배경으로 입체로 보이게 하여 검토하였다.

4. 환경정보시스템을 이용한 산사태 발생위험 예측도 작성

산사태 발생위험 7개 인자를 지도대수 연산을 이용하여 산사태 발생위험 예측도를 작성하였다. 지도대수 연산이란 격자형태로 저장된 공간 자료를 비교하기 위한 수학적 연산을 가능하게 하는 분석 방법으로 산술 연산자, 논리 연산자, 관계 연산자, 비트 연산자를 이용할 수 있다. 각 판정기준을 적용한 분석결과 주제도면은 Table 4와 같다.

상기의 연구과정을 통해 연구대상지에 대한 최종 산사태 발생위험 예측도를 작성하였다(Fig. 2). 예측결과, 3등급인 위험도(소) 지역이 65.56%로 가장 넓

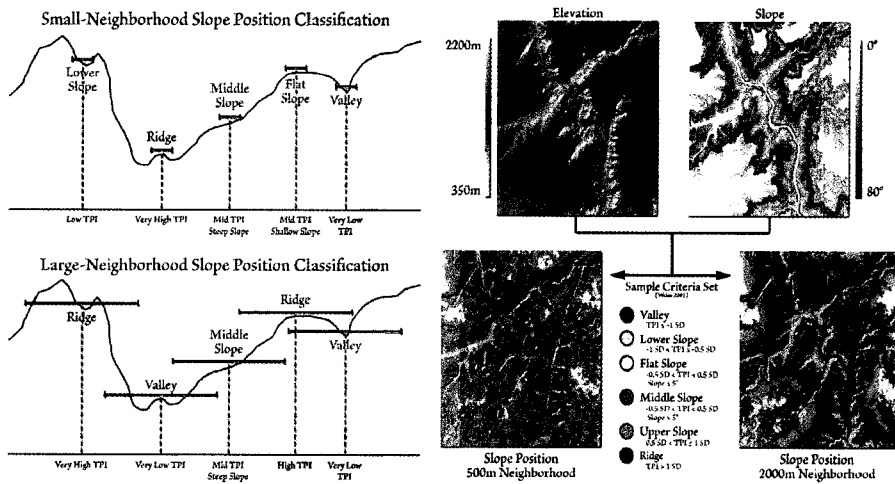


Fig. 1. Topographic Position Index Process.¹⁷⁾

Table 4. Theme Map by Landslide Hazard Map

Factor	Category and Score			Theme map	Factor	Category and Score			Theme map
Bed rock	Sedimentary rock	89			Aspect	NE	14		
	Granite	62				SE	26		
	Phyllite, Argillite	0				SW	1		
	Gneiss, Schist	58				NW	0		
Slope	- 30°	0			Slope position	1/10	0		
	30-35°	15				2/10-4/10	12		
	35-40°	10				5/10 -	59		
	40° -	0							
Slope length	-100 m	0			Slope form	Descent	17		
	100-299 m	4				Parallel Ascent, Mix	0 (?)		
	300-599 m	40							
	600 m -	35							
Age and diameter class of forest	Young tree	0			Total score	0-33			
	Small dia.	44				34-67			
	Midium dia.	55				68-101			
	Large dia.	72				102-134			
						135-168			
						169-202			
						203-235			
						236-269			
						270-303			

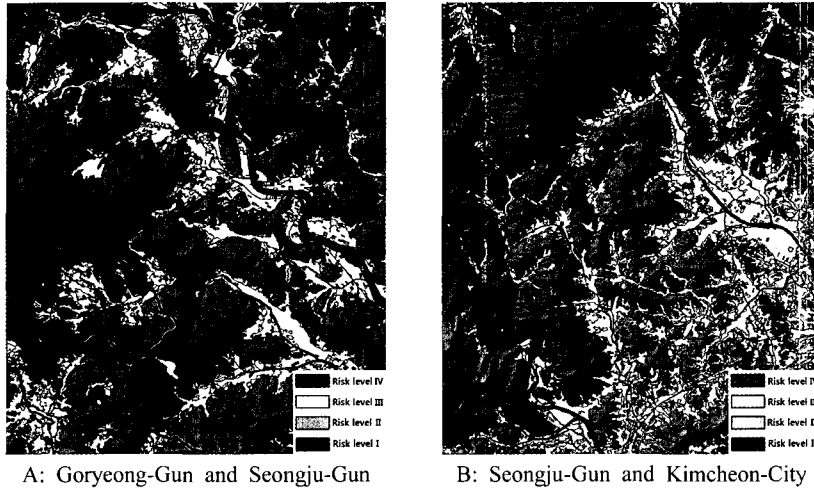


Fig. 2. Landslide Hazard Map.

Table 5. Predict Results of Landslide Hazard Level

Item	Total ares (m ²)	Hazard level I		Hazard level II		Hazard level III		Hazard level IV	
		Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)
Goryeong-Gun & Seongju-Gun	115,277,600	739,700	0.64	20,522,700	17.80	73,204,600	63.50	20,810,600	18.06
Seongju-Gun & Kimcheon-City	89,002,900	301,300	0.34	1,480,500	1.66	60,723,400	68.23	26,799,000	29.77
Total	204,280,500	1,041,000	0.51	22,003,200	10.77	133,928,000	65.56	47,609,600	23.16

계 나타났고, 4등급인 안정 지역이 23.16%, 2등급 위험도(중) 지역이 10.77%로 나타났으며, 가장 위험도가 높은 1등급 지역은 0.51%로 나타났다 (Table 5). 위험도가 높은 지역은 산의 정상부분보다는 능선부분의 계곡 지역이 많이 분포하여 집중호우로 인한 산사태 발생위험이 더 높음을 알 수 있었다. 또한 위험지역이 연구대상지내의 특정 지역에 집중되어 있지 않고 계곡전반에 걸쳐 작은 면적으로 분포하므로 알 수 있었으며, 시외곽지역에 많이 분포하여 산사태 발생시 신속한 조치를 받을 수 없는 경우도 많았다. 특히 도로와 인접한 계곡지역에도 많이 분포하고 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 경상북도 맞춤형 산사태 판정기준표와

환경정보시스템을 이용하여 판정기준표에 따른 산사태 발생위험 예측도 작성을 목적으로 하였다. 경상북도 23개 시·군 산사태 발생지 172개소를 대상으로 선정하여 산사태 발생 특성을 다양한 요인별로 조사하고 수량화 I류를 통해 분석한 결과, 경상북도에서 발생한 산사태 발생량에 영향을 많이 주는 요인은 경사위치, 경사길이, 모암, 방위, 임분경급, 종단면형, 경사도순으로 나타났다. 산사태 예측도 작성을 위한 산사태 붕괴 위험도 판정기준표를 개발한 결과, 107점 미만이 안정(IV등급), 107~176점이 위험도 소(III등급), 177~246점이 위험도 중(II등급), 247점 이상이 위험도 대(I등급)로 구분되었다. 도출된 기준에 따라 고령군, 성주군, 김천시 경계에 해당하는 산악지역을 대상으로 환경정보시스템을 구축하고 산사태 위험도를 예측한 결과, 3등급이 65.561%로 가장 넓은 지역을 차지하였고, 1등

급의 가장 위험지역은 0.51%로 나타났다.

본 대상지의 경우, 위험지역으로 판정된 지역이 산지의 능선계곡 부분에 넓게 분포하고 있음을 볼 때, 집중호우시 여러 곳에서 다발적인 산사태가 발생할 우려가 있다고 판단된다. 특히 돌발적인 산사태 발생에 대한 신속한 조치가 어려운 시외곽 지역에 위험지역이 많이 분포하고 있어 더욱 주의가 요구되었다. 따라서 1차적으로는 위험예측지역과 인접한 지역의 주민들에게 산사태 위험 경고 및 대피·출입통제 교육을 우선적으로 시행하는 것이 바람직하다고 판단된다.

집중호우와 태풍 등에 따른 산지 산사태는 인공적으로 조성된 절취사면과는 달리 예측과 예방이 매우 어렵다. 따라서 지속적인 현장조사를 통해 산사태 위험요인에 대한 데이터베이스를 구축하고, 본 연구와 같은 예측기법을 통해 산사태 발생지점과 발생가능성을 정량적으로 예측하고 피해규모를 계량화하는 연구가 축적되어야 한다.

본 연구에서 경상북도 지역을 중심으로 한 산사태 발생위험도 판정기준표를 이용하여 개발한 경상북도지역의 산사태 발생위험 예측도는 경상북도 산사태 발생 예측 예방에 매우 유용하게 사용될 것이며, 본 연구과정은 산사태 조기경보 시스템 개발에도 활용될 수 있을 것이다. 향후 산사태 예측과 진단 지역을 점차 확대하고 그에 따른 예방대책을 강구하는 노력이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 경상북도 “산사태 피해예방 조사 연구” 용역사업 연구결과의 일부입니다.

참고 문헌

- 1) 경상북도, 2008, 산사태 피해예방 조사 연구, 경상북도.
- 2) 양인태, 천기선, 박재국, 이상윤, 2007, GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가, 한국지형공간정보학회지, 15(1), 39-46.
- 3) 이승기, 이병두, 정주상, 2005, GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발, 한국지리정보학회지, 8(4), 81-90.
- 4) 김경태, 정성관, 박경훈, 오정확, 2005, GIS 및 RS기

법을 활용한 산사태 취약성 평가, 한국지리정보학회지, 8(1), 75-87.

- 5) 김민구, 윤영진, 장훈, 2005, GIS 기반의 뿌리보강 모델을 활용한 산사태 위험도 작성방법 연구, 한국지형공간정보학회지, 13(1), 45-53.
- 6) 장동호, Chang Jo, Chung F., 2007, 산사태 재해에 대한 삼림지 위험평가 분석모델 개발, 한국지형학회지, 14(4), 57-67.
- 7) 이용준, 박근애, 김성준, 2006, 로지스틱 회귀분석 및 AHP 기법을 이용한 산사태 위험지역 분석, 대한토목학회지, 26(5), 861-867.
- 8) Baldelli P., P. Aleotti and G. Polloni, 1996, Landslide Susceptibility Numerical at The Messina Straits Crossing Site, Italy Proceeding of the Seventh International Symposium on Landslide, 153-158.
- 9) Turrini C. M. and P. Visintainer, 1998, Proposal of a Method to Define Areas of Landslide Hazard and Application to an area of the Dolomits, Italy Engineering Geology, 50, 255-265.
- 10) Kumar K., D. S. Tolia and S. Kumar, 1996, Landslide Hazard Evaluation in Part of Himalaya, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslide, 257-262.
- 11) 이진덕, 연상호, 김철길, 이호찬, 2002, 산사태 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지, 5(1), 38-47.
- 12) 이사로, 김윤종, 민경덕, 2000, 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간정보의 활용, The Journal of GIS Association of Korea, 8(1), 141-153.
- 13) 조남춘, 최철웅, 전성우, 한경수, 2006, RS와 GIS 기법을 활용한 산사태 위험성의 검증, 한국지리정보학회지, 9(2), 54-66.
- 14) 정규원, 박상준, 이창우, 2008, 산사태 발생위험 예측을 위한 판정기준표의 작성, 한국임학회지, 97(3), 332-339.
- 15) 최경, 2001, 산사태 예보와 위험지 판정기술, 방재연구, 3(4), 12-27.
- 16) 이천용, 최경, 이종학, 이창우, 2002, GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성기법 개발, 산림과학논문집, 65권, 1-10.
- 17) <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- 18) Emily R. L., J. W. Dawn, F. N. David, T. D. Brian, M. Joyce, M. L. Emily and W. R. Ronald, 2004, Classifying Deep Water Benthic Habitats Around Tutuila, American Samoa. Proceedings of the 24th Annual ESRI User Conference, San Diego, CA, Paper 1208.
- 19) http://seafloor.csumb.edu/publications/posters/sb_poster_final2.pdf.
- 20) http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_srs071/gtr_srs071-shostak001.pdf.