

산사태의 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용

이진덕¹ · 연상호² · 김성길³ · 이호찬¹

The Application of GIS for the Prediction of Landslide-Potential Areas

Jin-Duk LEE¹ · Sang-Ho YEON² · Sung-Gil KIM³ · Ho-Chan LEE¹

요 약

본 연구에서는 구미시를 연구지역으로 하여 GIS를 이용한 광역적인 산사태 발생가능성을 분석하고자 하였다. 우선 산사태 예측을 위한 자연환경과 인문환경 인자들에 관련된 평가기준을 검토한 후, 수치지형도의 등고선 레이어로부터 생성된 수치고도모형을 통하여 경사도와 사면방향도를 추출하고, 위성영상자료의 영상처리를 통하여 정규식생지수(NDVI) 분포도와 토지피복 현황도를 얻었다. 구축된 공간데이터베이스로부터 자료들을 중첩시켜 발생가능지수를 산정하고 위험도 분포도를 작성하였다. 산사태의 발생가능성이 높은 몇 개 지역이 추출되었으며, 경사도가 30% 내외, 사면방향이 남동, 동, 남서, 북동향의, 수역 인접지 및 수계침단부, 그리고 단층지역 인접부, 식생 활력도가 중간정도인 지역에서 산사태 발생가능성이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 본 연구에 포함하지 못한 토양, 임상, 지하수위, 기상관측 등의 자료 등을 데이터베이스에 추가한다면 더 정확하고 종합적인 분석을 도모할 수 있을 것이다.

주요어: 지리정보시스템, 산사태, 재해예측, Landsat TM, 토양유실, 위성영상처리

ABSTRACT

This paper demonstrates a regional analysis of landslide occurrence potential by applying geographic information system to the Kumi City selected as a pilot study area. The estimate criteria related to natural and humane environmental factors which affect landslides were first established. A slope map and a aspect map were extracted from DEM, which was generated from the contour layers of digital topographic maps, and a NDVI vegetation map and a land cover map were obtained through satellite image processing. After the spatial database was constructed, indexes of landslide occurrence potential were computed and then a few landslide-potential areas were extracted by an overlay method. It was ascertained that there are high landslide-potential at areas of about 30% incline, aspects including either south or east at least, adjacent to water areas or pointed end of the water

2002년 3월 5일 접수 Received on March 5, 2002

¹ 금오공과대학교 토목공학과 (jdlee@kumoh.ac.kr)

Dept. of Civil Engineering, Kumoh National University of Technology

² 세명대학교 토목공학과 교수 (yshsmu@semyung.ac.kr) Dept. of Civil Engineering, Semyung University

³ 아키정보기술(주) (archi@archiit.com) Archi Information Technology Co., Ltd.

system, in or near fault zones, covered with medium vegetable. For more synthetic and accurate analysis, soil data, forest data, underground water level data, meteorological data and so on should be added to the spatial database.

KEYWORDS: GIS, Landslide, Diaster Prediction, Landsat TM, Soil Loss, Satellite Image Processing

서 론

하절기 집중호우 등으로 인하여 국내에서 연례적으로 발생하고 있는 산사태는 급격한 도시팽창과 무분별한 개발에 따른 산지나 구릉지역에서의 자연사면에 대한 대규모 절토와 성토로 인하여 그 발생이 증가되고 있다. 그러나 기존의 산사태 관련 데이터는 주로 과거 산사태 이력 및 산사태 발생지역에 대한 현황도 및 현장사진 등의 형태로 관리되어 왔으며, 산사태 발생 이후 피해복구에만 급급한 실정이었다. 산사태를 미연에 방지하거나 혹은 그 피해를 최소화하기 위해서는 산사태 발생지역, 원인분석, 발생시기, 규모 및 피해정도에 대한 예측이 필요하며, 넓은 지역일 경우에는 많은 양의 환경정보자료의 처리와 분석이 요구된다.

GIS는 다양한 정보의 통합활용 및 여러 가지 분석기능을 제공하므로 시플레이션을 통한 대안의 설정 및 평가가 가능하고 GIS를 공간 의사결정 지원시스템으로 활용하려는 노력이 시도되어 인공지능이나 전문가시스템 기법을 활용한 문제해결 도구로까지 그 응용이 확산되고 있다. 많은 양의 공간정보를 관리, 분석하는데 있어 효과적인 GIS의 기능을 이용한다면 산사태와 같은 재해정보시스템의 목적으로 적합할 수 있을 것이다.

산사태 지역의 분포에 관한 정보구축을 위하여 GIS를 이용한 사면경사 데이터, 지형데이터 및 사면 활동데이터의 상관관계와 빈도 해석으로 산사태 지도의 제작이 있었으며, 국내에서는 청주지역에 대해서 GIS를 이용한 광역적 산사태 분석 연구가 있었고, 벡터기반 GIS에서 산사태지역의 위치를 발견하기 위해 지형변화

를 벡터방법으로 해석하여 경사선의 발견을 시도한 연구가 있었다(이사로, 1992; 구호본 등, 1994). 또한 기존의 산사태 발생지역을 모델지역으로 하여 지형데이터의 특성을 분석하고 이를 임의의 지역에 적용하여 산사태 위험도를 분석한 연구가 있었다(강인준 등, 1994).

최근에는 GIS를 이용하여 공간정보를 중심으로 한 산사태 공간정보시스템이 개발되었으며, 산사태 예측 및 평가와 관련된 자료수집, 취합 및 분석을 자동화하여 실무적 판단을 지원해 주기 위한 산사태 위험지 판정시스템이 개발되기도 하였다(이사로 등, 2000; 지오매니아, 2001).

본 연구에서는 경북 구미시 전지역을 대상 지역으로 하여 산사태 발생 가능성을 분석할 목적으로 산사태 발생에 영향을 미치는 환경 요인들을 추출하고 기존 환경자료들과 위성영상자료를 GIS와 영상처리시스템을 이용하여 처리하여 GIS 공간데이터베이스 구축하였다. 이러한 사례연구를 통하여 지역개발을 위한 건설사업 및 토지이용에 활용할 수 있는 자료를 제시하고 궁극적으로 광범위한 지역의 자연재해 예측 및 관리를 도모하고자 하였다.

자료 처리 및 데이터베이스 구축

산사태는 경사진 토지의 일부가 활동면을 따라 완만하게 활동하는 현상으로서 산사태 발생에 영향을 끼치는 주 요인으로는 지형, 지질구조, 암질, 토질, 식생, 토양, 강우, 지하수, 침식, 임상, 지진 등 자연환경 요인과 절토, 성토 등과 같은 인위적 요인으로 분류될 수 있다(이사로, 1992). 산사태 예측을 위해 GIS를

적용하기 위해서 우선 사면의 안정성에 영향을 미치는 주 요인들을 분석하고 이들간의 상대적 중요도에 따른 합리적인 조합방법을 결정해야 한다.

본 연구를 위하여 처리된 관련 자료층(data layers)으로서 등고선도, 사면경사도, 사면방향도, 수계도, 도로망도, 지질도, 식생도, 토지이용/피복 현황도 등이 있다.

연구에 사용된 GIS 소프트웨어로는 MicroStation을 기반으로 하는 Intergraph사의 MGE이며, 국립지리원 발행 1/5,000 수치지형도로부터 5m 간격의 등고선도를 추출하여 TIN 모델을 생성한 후 그리드 형태의 수치고도모델(DEM)을 생성하였으며 이것을 이용하여 경사도 모델과 사면방향도를 작성하였다. 수계도는 토양의 침식과 관계된 중요한 자료로서 1/5,000 수치지형도에서 추출하였으며, 낙동강 분류 지형도상의 실측 수계와 세류로 분류하여 feature로 등록하였다. 지질도는 한국자원연구소 발행 1/25,000 지질도로부터 디지털을 이용하여 수치화하였으며, 이들 자료로부터 관계형 DBMS인 Oracle 7.0을 사용하여 데이터베이스를 구축하였다.

본 연구에 사용된 위성영상은 JERS-1 OPS 데이터와 Landsat TM 데이터로서 영상처리를 행하여 토지피복도와 정규식생지수 분포도를 생성하였으며, 이 자료들은 GIS 자료구조에 맞게 변환되어 데이터베이스 내에서 자료층으로 형성되었다(이진덕 등, 1998).

산사태 영향인자의 분석 및 등급 설정

환경요인들에 대한 등급구분은 연구지역의 환경지질학적 특성과 그 요인들이 산사태 발생에 미치는 영향을 고려하여 결정하여야 한다. 본 연구에서는 사면경사, 사면방향, 수계접근성, 지질, 식생, 토지피복 등 6개 인자에 한정하여 산사태 발생에 미치는 영향에 따라 등급을 설정

한 후, 토양유실 정도를 고려하여 등급을 조정해 주었으며, 이를 산사태 발생가능지수를 산정하기 위한 데이터로 적용하였다. 각 평가인자별 산사태 발생가능성이 높은 쪽에 하위 등급, 낮은 쪽에 상위등급을 부여해 주었다.

1. 사면 경사

경사도는 정밀토양도의 배수기준 등을 고려하여 표 1과 같이 7개 등급으로 분류하였다. 이 구분은 넓은 지역의 사면경사 분석을 위한 일반적 분류로서, 산사태 분석을 위하여 많이 활용되고 있다.

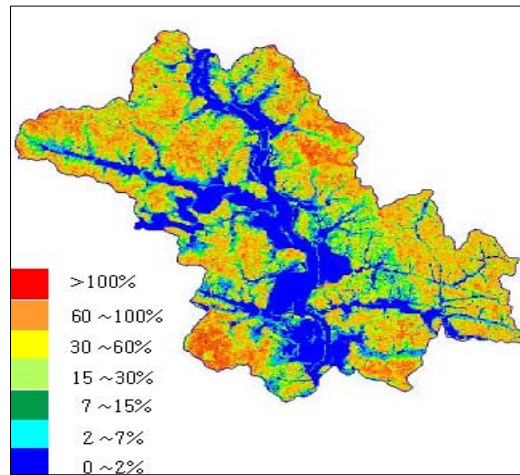


FIGURE 1. Slope map

TABLE 1. Grading slope

Slope(%)	Class
0~ 2	1
2~ 7	2
7~ 15	3
15~ 30	4
30~ 60	5
60~100	6
>100	7

2. 사면 방향

사면방향에 따른 일조시간 차이의 영향으로 남쪽 방향의 사면들의 풍화정도가 다른 방위의

사면보다 크기 때문에 남향의 사면에서 산사태 발생빈도가 가장 큰 것으로 알려져 있으며, 국내의 기연구 결과에서도 사면이 남동방향일 때 높은 발생률을 보이는 것으로 분석된 바 있다 (Blong과 Dunkerley, 1976; 강인준 등, 1994).

높은 지점에서 낮은 지점으로의 각도를 계산하여 나타내는 사면방향은 최대 고도변화율로서 주방향 8개와 평지면을 포함하여 9개 방향으로 계산하였다. 즉, 사면방향이 337.5°를 초과하고 22.5°이하인 사면은 북향, 22.5°를 초과하고 67.5°이하인 사면은 북동향, 67.5°를 초과하고 112.5°이하인 동향, 112.5°를 초과하고 157.5°이하인 남동향, 157.5°를 초과하고 202.5°이하인 남향, 202.5°를 초과하고 247.5°이하인 남서향으로 구분하였다.

그림 2는 사면 방향에 따라 분류된 향 분석도로서 사면방향에 따라 5단계의 등급을 부여하였다.

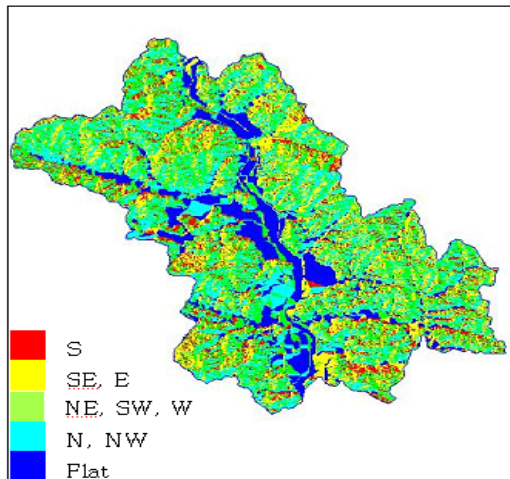


FIGURE 2. Aspect map

TABLE 2. Grading aspects

Aspect	Class
Flat area	1
N, NW	2
NE, SW, W	3
SE, E	4
S	5

3. 수계 접근성

산사태 기발생지의 등고선 특성을 분석한 결과, 계곡 주변 지역에서 산사태 발생 확률이 높았으며, 토석류가 계곡, 하천을 따라 하류로 흘러 가옥 등을 파괴하는 등 피해가 발생한다 (강인준 등, 1994).

본 연구에서 낙동강 본류(4차 하천)와 1/5,000 지형도상 실폭하천(3~2차 하천)으로부터 100m 이내 지역은 1등급, 100~200m 지역은 2등급, 200~300m 지역은 3등급, 300m를 벗어나는 지역은 4등급으로 구분하였으며, 실 개천과 같은 세류(1차 하천)로부터 50m 이내 지역은 2등급, 50~100m의 지역은 3등급, 그 이상의 지역은 4등급으로 구분하였다.

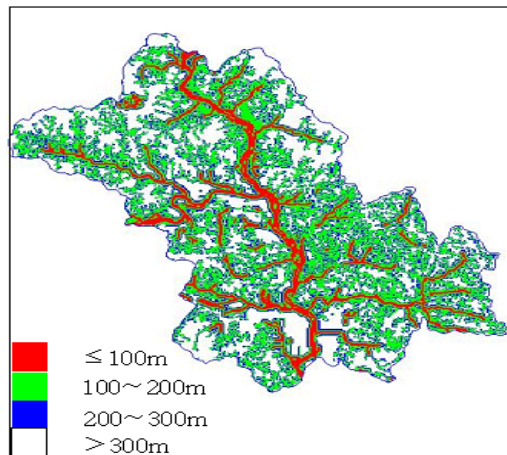


FIGURE 3. The map classified by adjacency to water areas

TABLE 3. Grading adjacency to water areas

Distance from water areas	Class
>300m	1
200~300m	2
100~200m	3
≤100m	4

4. 지 질

대상지역의 지질은 화강암, 편마암, 편암,

층적층이 주요 지층을 이루고 있으며, 넓은 지역에 걸쳐 단층지역을 포함하고 있다. 이 중 층적층과 단층 인접지역이 산사태의 발생 빈도가 높은 지역으로 발생빈도를 높게 주어야 하지만 층적층의 경우 경사도 5% 미만의 지역에 국한되어 있어 분석에서 제외하고, 단층 지역의 인접도를 기준으로 3개의 등급으로 나누어 분석하였다.

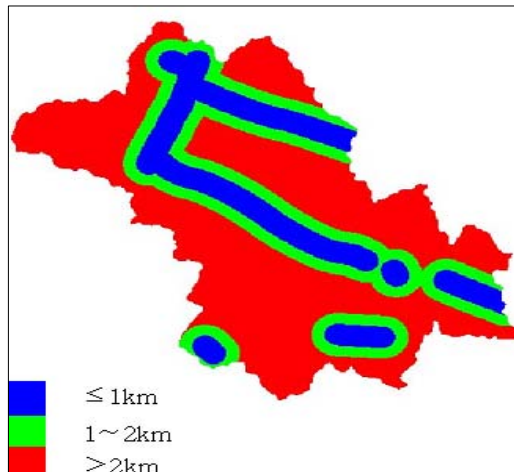


FIGURE 4. Geological map graded by adjacency to faults

TABLE 4. Grading geology by adjacency to faults

Adjacency to faults	Class
>2km	1
1~2km	2
≤1km	3

5. 식생

식생의 활력도는 산사태와 밀접한 관련을 지니므로 Landsat TM 자료의 밴드 3과 밴드 4 영상을 이용하여 $NDVI = \frac{\text{band 4} - \text{band 3}}{\text{band 4} + \text{band 3}}$ 의 밴드간 연산을 행하여 표준식생지수(NDVI)를 도출하여 작성하였다(그림 5).

밴드 3은 0.63~0.69 μm 의 적색 가시광선 영역, 밴드 4는 0.76~0.90 μm 의 근적외선 영역의 파장대이다. 분석을 위하여 영상 대 수치지도(image to vector)의 방법에 의해 기하보정 후 밴드간 연산을 통해 수역권을 따로 분리하여 제거한 영상을 분석에 사용하였다.

식생활력도가 높으면 지면에 대한 비의 충격이 완화되고, 많은 뿌리는 토양의 전단 강도를 증가시킨다. 그림 2에서 NDVI 값이 0 이하인 지역은 분석에서 제외하고 0~0.1인 지역을 1등급, 0.1~0.4인 지역을 2등급, 0.4 이상인 지역을 3등급으로 부여하였다.

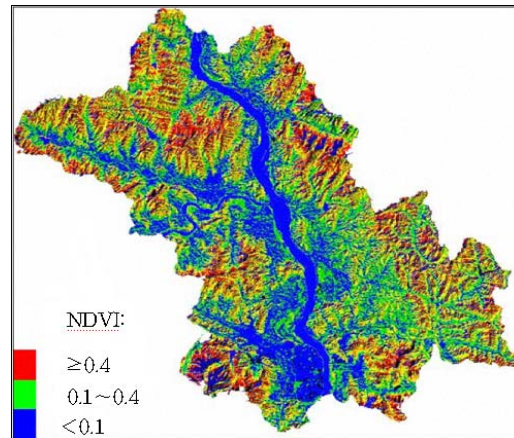


FIGURE 5. Vegetation map by NDVI

TABLE 5. Grading vegetation by NDVI

Vegetation(NDVI)	Class
Heavy vegetation(≥0.4)	1
Normal vegetation(0.1~0.4)	2
Light vegetation(<0.1)	3

6. 토지 피복

토지피복분류를 위해 이용된 JERS-1 OPS 위성영상(1997. 9)의 VNIR 자료는 지상해상도 18m×18m이며, 총 3개의 밴드로 구성되어 있다. 기하학적 보정은 영상 대 벡터(image to vector) 방법에 의하여 수치지도로부터 42개의

기준점을 취하여 행하였고 구미시 행정구역에 한하여 절출하였다. 사진확률을 이용하는 Bayesian 최대우도법을 적용하여 감독분류 방법으로 토지피복분류를 실시하였다.

Anderson(1976)이 제안한 Level II의 분류 항목에 따라 분류하여 8가지 항목으로 설정한 후, 그림 6과 같이 본 연구에서 산림지(forest), 초지(grass), 경작지(agriculture), 건물지역(built up), 수역(water area)의 5개 항목으로 재설정하였으며, 이들을 표 6과 같이 3개의 등급으로 나타내었다(이진덕 등, 1998).

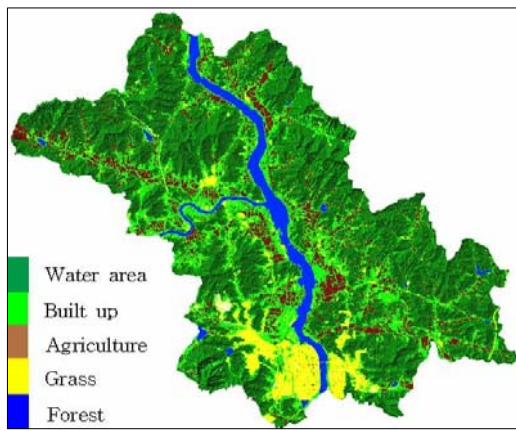


FIGURE 6. Land use/cover classification map

TABLE 6. Grading land use/cover

Land cover	Class
Built up, Water area	1
Agricultural land	2
Forest, Grass	3

산사태는 산림지에서 가장 높은 발생가능성을 나타내고 초지, 경작지는 침식의 가능성은 높지만 산사태 발생가능성은 비교적 낮다. 산림지, 경작지, 나지 같은 지역은 산사태가 발생하더라도 그 피해가 비교적 적을 것이고 시가화 지역이나 주거지역의 경우 산사태 발생가능성은 가장 낮은 반면, 산사태로 인한 인명과 재산 피해 등 그 위험도는 상대적으로

가장 클 것이다. 즉, 토지이용 및 피복현황은 산사태가 발생 가능성 예측은 물론 이로 인한 피해도를 예측하는데도 필요하다.

7. 토양 유실에 따른 산사태 발생가능성 보정

일반적으로 토양 침식에 의해 야기되는 토양유실은 상부토층의 안정성에 악영향을 미치므로 이에 대한 분석인자의 보정이 필요하다. 이러한 토양유실분석에는 지질환경적 특성이 고려되어야 하며 지형경사, 사면길이, 강우량에 따라 결정된다.

SI(토양유실계수) 모델은 산사태 발생 위험지역 예측을 위하여 대상지역 전체를 빠르게 분석하는데 경제적이며 효과적인 적용이 가능하다. Wischmeier의 토양유실 공식을 기초로 하여 응용된 SI 모델의 최종 토양유실계수는 각 요소들의 값들을 연구지역의 지질환경학적 특성을 고려하여 등급 구분을 한 후, 그 값들의 총합으로 표시된다. 기본 환경요소들은 강우, 토양 침식률, 사면 길이, 지형 경사, 식생 분포와 관리, 농작물 경작형태 등이다. SI 계산을 위한 연구지역 지질환경 요소들의 분석 방법은 그림 7와 같다(한국자원연구소, 1996).

1) SI 모델

$$SI = Kr \times Lr \times Sr \times Cr \times Pr \times Rr$$

SI : 토양유실 계수(soil loss index)

Kr : 토양 침식 등급,

Lr, Sr : 사면길이와 지형경사의 등급

Cr : 토지 피복 등급

Pr : 경작형태 구분

Rr : 강우

2) 토양유실 공식(USLE : Wischmeier et al, 1978)

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A : 토양유실량(tons/acre/year)

R : 강우침식 인자

L, S : 지형인자

C : 식생피복 인자

P : 침식조절방법 인자

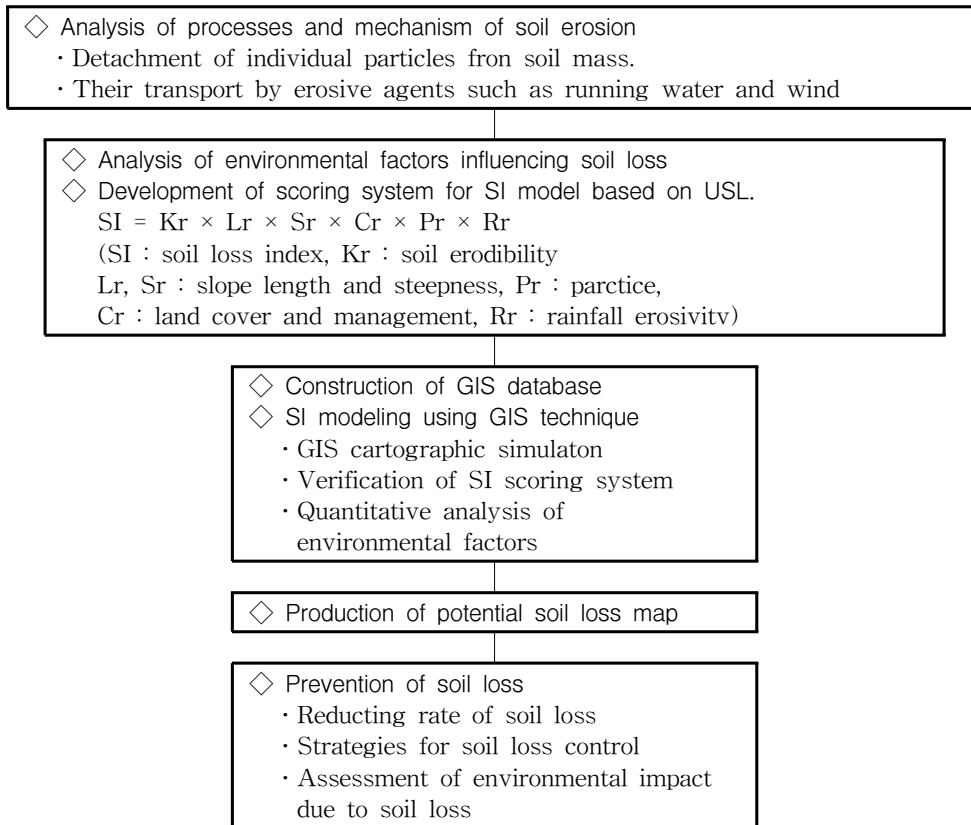


FIGURE 7. Computation procedure of soil loss rate using GIS

3) 사면길이 및 지형경사(LS factor)에 따른 토양유실 등급

사면길이(slope length)와 지형경사(steeptness) 분석은 전체 분수계를 몇 개의 부분수계(small catchments)로 구분하여 지형경사와 길이 관계표(Wiscmmeier, 1978)에서 그들에 대한 합리적 값(LSr)들이 표 7과 같이 추출되었다(한국자원연구소, 1996). 이 요소는 분수계 내의 사면길이와 지형기복이 토양 유실에 미치는 영향을 분석하는 요소로서, 실유실량의 계산을 위하여는 표준경사(reference slope)가 활용된다. 이것은 사면길이가 22.1미터, 경사각이 9%인 모델의 LS값을 1로 책정하여 각 분수계의 LS값들을 비례적으로 계산한 것이다. 따라서 사면길이가 길고 지형경사가 큰 분수계는 상

대적으로 많은 토양유실이 일어나며, 오목한 지형은 위의 표준 경사표를 참고하였을 때, 볼록한 지형보다 많은 토양유실을 유발한다.

TABLE 7. Slope length and steepness factor(LS)

Slope(%)	LS value	Rating(LSr)
0~ 1	0.14	1
1~ 2	0.40	1
2~ 4	0.70	2
4~ 8	1.41	3
8~12	1.80	5
12~16	2.10	7
16~20	2.88	9
20~30	5.80	10
30~40	9.50	11
≥40	12.20	12

TABLE 8. Distributing marks according to grades of environmental factors taking soil loss into account

Slope(%)	Aspect	Adjacency to waters	Geology	Vegetation (NDVI)	Land use/cover
0~ 2 (1)	Flat Area (1)	>300m (1)	Adjacency to faults:	Heavy (≥0.4) (1)	Built up, Water area (1)
2~ 7 (3)	Northwest, North (2)	200~300m (2)	>2km (1)	Normal (0.1~0.4) (2)	Agricultural land (2)
7~ 15 (7)	Northeast, Southwest, West (3)	100~200m (3)	1~2 km (2)	Light (0~0.1) (3)	Forest, Grass(3)
15~ 30 (9)	Southeast, East (4)	≤100m (4)	≤1km (3)		
30~ 60 (11)	South (5)				
60~100 (12)					
100 이상 (13)					

4) 지형경사의 등급 조정

산사태 발생에 영향을 미치는 6가지 인자들 중 지형경사에 대한 등급을 표 7의 토양유실도를 고려하여 조정함으로써 분석의 신뢰도를 높이고자 하였다. 표 8의 괄호 내에 나타낸 것은 등급이라기 보다는 산사태 발생가능지수를 산정하기 위한 점수에 해당한다고 할 수 있다.

산사태 발생 가능지역의 추출 및 고찰

연구지역에 대하여 산사태 발생 가능지역을 추출하기 위하여 6가지 인자들을 중첩시켰다. 즉, 개개의 자료층(layer)들을 합쳐서 새로운 자료층을 생성함에 있어서 새로운 자료층의 속성테이블에 중첩되어지는 모든 자료층들의 속성자료들을 계속 유지함으로써 다음과 같이 발생가능지수 I를 산정하였다. 이들 값이 높으면 상대적으로 산사태 발생 가능성이 높다는 것을 의미한다.

$$I = S_m + A_m + W_m + G_m + V_m + L_m \quad (1)$$

여기서 S_m , A_m , W_m , G_m , V_m , L_m 은 각각 사면경사, 사면방향, 수계 인접성, 지질, 식생, 토지피복의 등급별 점수를 나타낸다.

표 9는 발생가능지수 범위에 따른 해당 셀(cell)의 수, 분포면적비, 누적면적비, 해당면적등을 나타낸 것이다. 곡률이 급격히 변화하는 11과 21의 두 지점을 산사태 가능지역과 보통

지역, 안전지역의 경계로 취하였다. 즉, 0~11의 지수범위는 안정 지역, 11~21의 범위는 보통 지역, 21~30의 범위는 산사태 발생가능성이 높은 불안정한 지역으로 구분하여 분석한 결과, 안정 지역이 약 33%, 중간지역 약 61%, 불안정한 지역이 약 6.3%로 나타났다. 산사태 발생지의 규모가 비교적 크게 나타나는 4개 지역, 즉 도개면 동산리 일부지역, 옥성면 옥관리 일부지역, 금오산 도립공원구역의 원남동 일부지역, 거의동과 산동면 성수리간 경계일부지역을 예시하였다(그림 8).

이러한 결과에서 볼 때 경사도가 30% 내외, 최소한 남 또는 동향을 포함한 사면방향에서, 그리고 수역 인근 또는 수계 첨단부, 단층지역 내 또는 인접지역, 식생 활력도가 중간정도인 지역에서 산사태 잠재성이 큰 것으로 나타났다.

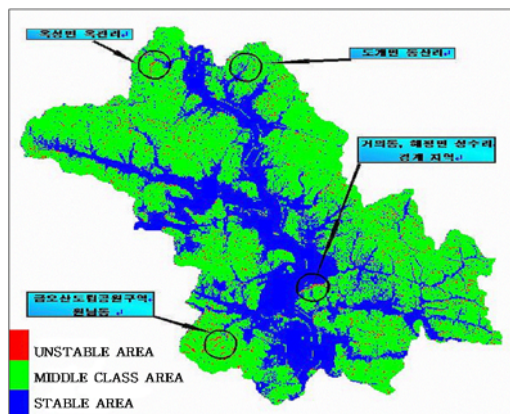


FIGURE 8. The map of landslide occurrence potential analysis

TABLE 9. Histogram for analysis of landslide areas

Index	Frequency	Area ratio(%)	Cumulative area ratio(%)	Area(m ²)	
STABLE AREA					
0					
0~1	164	0.01	0.01	65632.804	
1~2	50	0.00	0.01	20010.001	
2~3	38938	2.40	2.41	15582988.573	****
3~4	36985	2.27	4.68	14801397.925	****
4~5	91199	5.61	10.29	36497842.080	*****
5~6	117427	7.22	17.52	46994288.336	*****
6~7	52676	3.24	20.76	21080936.517	*****
7~8	65138	4.01	24.76	26068229.228	*****
8~9	56601	3.48	28.24	22651721.615	*****
9~10	40916	2.52	30.76	16374584.223	****
10~11	34916	2.15	32.91	13973384.073	***
11					
MIDDLE CLASS AREA					
11					
11~12	67000	4.12	37.03	26813401.675	*****
12~13	98937	6.09	43.12	39594589.873	*****
13~14	170714	10.50	53.62	68319747.068	*****
15~17	245004	15.07	68.89	98050606.925	*****
17~19	232186	14.28	82.97	92920843.005	*****
19~21	175304	10.78	93.75	70156665.183	*****
21					
UNSTABLE AREA					
21					
21~23	71917	4.42	98.18	28781185.198	*****
23~25	25799	1.59	99.76	10324760.445	**
25~27	3527	0.22	99.98	1411505.488	
27~29	331	0.02	100.00	132466.208	
29~30	2	0.00	100.00	800.400	
30					

본 연구의 문제점으로는 토양, 임상, 지하수 위, 기상관측 자료 및 산사태 기발생지역에 대한 자료가 포함되지 못하였다는 것이다. 향후 데이터베이스에 이들 자료에 대한 도형 및 속성정보를 추가하여 더 정확하고 종합적인 분석을 도모하여야 할 것이다.

결 론

산사태에 영향을 미치는 관련 환경자료로

부터 데이터베이스를 구축하고 산사태 지역의 분석기준을 토대로 GIS를 활용하여 분석한 결과, 산사태 발생가능성이 높은 불안정한 지역을 도출할 수 있었으며 분포면적비는 약 6.3%로 나타났다.

구미시 도개면 동산리 일부지역, 옥성면 옥관리 일부지역, 금오산 도립공원내 원남동 일부지역, 거의동과 산동면 성수리의 경계 일부지역이 비교적 규모가 큰 해당지역으로 추출되었다.

이 결과로부터 경사도가 30%내외, 사면방향이 남동, 동, 북동, 남서향의 수계인접 내지 수계첨단부, 그리고 단층지역 인접부, 식생 활력도가 중간정도인 지역에서 산사태 발생가능성이 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

도출된 1차 해당지역에 대하여 세부적인 자료를 통하여 GIS를 재차 적용한다면 세부적인 산사태 위험지점 및 위험도 등을 얻을 수 있을 것이며, 향후 더 정확한 분석을 위해서는 본 연구에 포함하지 못한 토양, 임상, 지하수위, 기상관측 등의 자료, 그리고 산사태 기발생지역에 대한 구체적인 속성정보 등을 데이터베이스에 추가함으로써 종합적인 분석을 도모할 수 있을 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 구호본, 구재룡. 1994. 산사태 데이터베이스 시스템의 GIS 이용. 한국GIS학회지 3(1):81-90.
- 강인준, 최철웅, 장용구. 1994. 지형데이터 해석에 따른 산사태 위험지역 선정기법. 한국측지학회지 12(2):147-154.
- 양인태. 2002. GIS를 이용한 산사태 지역의 분석 및 위험도 작성. 대한토목학회 학술발표회 초청 및 구두발표 초록집. 201쪽.
- 이사로. 1992. 지리정보시스템(GIS)를 이용한 청주지역의 광역적 산사태 분석 연구. 연세대 석사학위논문. 61쪽.
- 이사로, 김윤중, 민경덕. 2000. 산사태 공간정보시스템 개발 및 산사태 공간정보의 활용. 한국GIS학회지 8(1):141-153.
- 이진덕, 연상호, 유재엽, 김성길. 1998. LANDSAT TM과 JERS-1 OPS 영상을 이용한 도시지역의 토지이용변화 검출. 한국지리정보학회지 2(1):73~83.
- (주)지오매니아. 2001. 지오매니아 솔루션 가이드 - 산사태 위험지 판정시스템. 1-9-7~1-9-11쪽.
- 한국자원연구소. 1996. 산업입지 선정을 위한 지질자료의 정량적 분석(II). 과학기술처. 345쪽
- Blong, R.J. and D.L. Dunkerley. 1976. Landslide in the Razorback area, New South Wales, Australia. Geografiska Annaler 58A(3):139-147.
- Kingsbury, P. A. and W. J. Hazard. Landslides Assessment Using a Geographical Information System. 995pp.
- Mackean, J., S. Buechel and L. Gaydos. 1991. Remote sensing and landslide hazard assessment. PE & RS 57(9):1185-1193.
- Yoshizawa, N. 1992. Landsliding monitoring for presumption of underground sliding surface. ISPRS 478-485. **KAGIS**