

# GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가

김경태<sup>1</sup> · 정성관<sup>1\*</sup> · 박경훈<sup>2</sup> · 오정학<sup>3</sup>

## Evaluation of Landslide Susceptibility Using GIS and RS

Kyung-Tae KIM<sup>1</sup> · Sung-Gwan JUNG<sup>1\*</sup> · Kyung-Hun PARK<sup>2</sup>  
Jeong-Hak OH<sup>3</sup>

### 요 약

본 연구는 금호강 유역을 대상으로 GIS와 원격탐사기법을 활용하여 산사태 취약성의 예측과 지도화를 수행하고자 한다. 산사태 영향인자인 사면경사, 사면방향, 지질, 토지이용도, 식생지수(NDVI)의 공간데이터베이스는 30m×30m 해상도로 구축하였다. 산사태 취약성은 중첩분석과 합산평가 매트릭스 방법으로 예측하였고, 6개 범주(안정, 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음)로 구분한 산사태 취약성 지도를 제작하였다. 분석결과에 따르면, 산사태 취약성이 '매우높은' 지역은 전체 대상지의 약 0.3% 정도를 차지하며, 이들 지역은 주로 높은 경사도와 낮은 식생지수를 가지는 산림지역에 분포하는 것으로 나타났다.

주요어: 산사태, GIS, 원격탐사, 중첩분석, 합산평가 매트릭스, 산사태 취약성

### ABSTRACT

This study aims at predicting and mapping of the landslide susceptibility in the Geumho river watershed using GIS and Remote Sensing techniques. We constructed the spatial database of affecting factors such as slope angle, slope aspect, lithology, landuse, and vegetation index(NDVI) at a 30m×30m resolution. The landslide susceptibility of the study area was predicted through overlay analysis and adding up estimation matrix, and the predicted map of landslide susceptibility with six categories(stable, very low, low, moderate, high, very high) was constructed. As the results, it showed that the very high susceptibility zones made up approximately 0.3% of the total study area, and these zones were mainly distributed in the forest area with the high slope angle and low vegetation index.

2005년 2월 10일 접수 Received on February 10, 2005 / 2005년 3월 22일 심사완료 Accepted on March 22, 2005

<sup>1</sup> 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

<sup>2</sup> 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environment Engineering, Changwon National University

<sup>3</sup> 국립산림과학원 산림생태과 Div. of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute

\* 연락저자 E-mail: sgjung@knu.ac.kr

**KEYWORDS:** *Landslide, GIS, Remote Sensing, Overlay Analysis, Adding Up Estimation Matrix, Landslide Susceptibility*

## 서 론

산사태는 토양의 응집력을 약화시키는 강우나 지진과 같은 외력에 의하여 토양이나 암석이 균형을 잃고 중력작용에 의해 일시에 아래로 무너져 내리는 현상을 말한다(이천용 등, 2002). 우리나라의 산사태는 매년 태풍 및 집중호우가 내리는 시기에 집중적으로 발생하는 것이 특징이며, 축대, 옹벽, 절취사면 등의 붕괴 및 자연사면에서의 산사태로 인하여 연평균 29명의 사망자와 막대한 재산 피해를 초래하고 있다(국립방재연구소, 2002). 특히, 최근에는 대규모 택지 조성을 위한 국토의 난개발과 산지나 구릉지에서의 자연사면에 대한 절·성토로 인하여 그 발생이 더욱 증가되고 있는 실정이다. 그러나 국내의 경우 아직까지도 많은 산사태 관련 재해에 대한 대처방안이 과거 기술의 답보수준에 머물러 산사태 발생 후의 복구 사업에만 치중하고 예방 및 방지를 위한 대책사업에는 소홀한 편이다. 따라서 산사태 예방에 있어 현재의 응급복구수준을 넘어서는 중장기적 대책을 마련하는 것이 필요한 시점이다(구호본과 구재룡, 1995; 국립방재연구소, 1998).

산사태 발생 예측은 현장관찰 및 계측, 현장정밀 조사에 의한 직접적 방법과 통계를 이용한 간접적 방법이 있다. 산사태는 기상, 지형, 지질, 토양 및 지구물리화학적 많은 인자들이 상호 작용하여 발생하기 때문에 각종 공간정보를 현장관측에 의해 획득하기 위해서는 많은 인력과 시간이 필요하고 급속히 발생하는 산사태를 관측하기란 더욱 어려운 실정이다(강인준 등, 1993; 최경, 2001). 더욱이, 광범위한 지역에서는 산사태 관측을 위해 많은 공간정보의 처리와 분석이 요구된다. 한편, GIS는 다양한 정보의 통합·활용 및 분석기능을 제공하고 공간예측 모델링 및 평가를 할 수 있기 때문에 산사태와 같이 많은

양의 공간정보를 관리·분석하는데 유용하게 활용할 수 있다(이진덕 등, 2002).

이러한 배경에서 그 동안 산사태 예측에 관한 연구가 국내·국외에서 많이 이루어져 왔다. 먼저 Chau 등(2004), Lui 등(2004)이 산사태에 영향을 미치는 인자별 주제도의 작성 및 중첩 분석을 통해 산사태 취약성의 예측 및 지도화를 수행하였으며, 국내에서도 이진덕 등(2002)이 토양유실계수 모델을 이용한 등급 보정으로 산사태 발생가능지수를 산정하였다. 또한 강인준 등(1994), Dai와 Lee(2002)는 기존 산사태 발생 지역에 대한 환경특성을 분석하여 예측모델을 구축하였다. 최근에는 산사태 발생인자의 특성을 파악하고 이들의 상호조합을 통하여 산사태 취약성을 평가하는 연구가 수행되고 있으나(Perotto-Baldviezo 등, 2004), 아직까지 국내에서 광범위한 지역을 대상으로 산사태 취약성의 정량적 평가를 위한 연구는 미흡한 실정이라 판단된다.

이에 본 연구는 금호강 유역을 대상으로 산사태 발생에 영향을 미치는 환경인자들을 추출하고, GIS와 원격탐사 기법을 활용하여 각 인자에 대한 공간정보를 구축한 후, 이를 토대로 산사태 취약성의 정량적 예측모델을 개발하고자 한다. 아울러, 산사태 취약성 지도화를 통해 광범위한 지역의 자연재해 예측 및 관리시스템의 개발과 효율적인 국토자원관리를 위한 친환경적인 개발계획 수립에 있어 유용한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 연구 방법

본 연구는 행정구역상 대구광역시와 경상북도 경산시, 영천시, 고령군 등에 위치하면서 낙동강 유역의 중류에 해당하는 금호강 유역을 대상으로 하였으며(그림 1), 산사태에 영향을 미

치는 인자를 설정하기 위하여 관련된 선행연구와 문헌들을 조사·분석하였다.

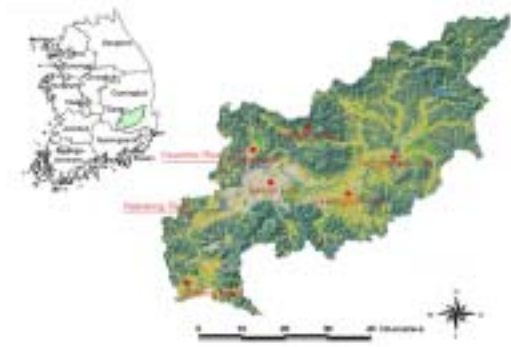


FIGURE 1. Location of the study area

산사태 발생에 영향을 미치는 요인으로는 지형, 지질, 식생, 강우 등의 물리적 요인과 토지이용 등의 인간활동을 들 수 있는데, 인자설정 및 평가방법의 설정은 공간정보의 양과 정도(精度)의 부족 등 많은 제한요소와 한계성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 산사태에 관련된 선행연구(최경, 2001; 이진덕 등, 2002; 이천용 등, 2002; Dai와 Lee, 2002; Perotto-Baldiviezo 등, 2004)를 바탕으로 물리적 요인과 인간활동 요인에 관한 5개 인자를 선정하였으며, 평가인자별 범위 및 등급설정은 표 1과 같다.

산사태 평가인자의 생성은 한국지질자원연구원에서 제작한 지질도(1:50,000)와 국토지리정보원에서 발행한 토지이용도(1:25,000)를 활용하였으며, 경사도와 경사방향 분포도는 수치지형도(1:25,000)에서 10m 간격의 등고선 레이어를 추출하여 생성된 30m 해상도의 DEM 자료를 활용하였다. 식생활력도 평가를 위한 정규식생지수(NDVI: normalized difference vegetation index)는 2002년 4월 5일에 촬영된 Landsat7 ETM+(114/35) 영상자료의 band 3, 4를 이용하여 산출하였다.

생성된 인자는 ArcGIS 8.3을 이용하여 30m 셀의 래스터(raster) 자료로 구축하였으며, 최종적으로 GRID 모듈의 중첩기능과 조합기능을 이용하여 산사태 취약성 지도를 작성하였다(그림 2).

## 결과 및 고찰

### 1. 평가인자 추출

#### 1) 사면경사

국내의 산사면에서 발생하는 산사태는 오랫동안 풍화작용을 받은 흙과 암석편이 흘러내리는 토석류(debris flow)가 90% 이상을 차지한다(한국자원연구소, 2000). 토석류와 같은 산사태에 가장 큰 영향을 미치는 사면경사는 농업진흥청에서 발행된 정밀토양도의 경사도 구분을 참

TABLE 1. Assessment factors and criteria for determining landslide susceptibility

Category	Range	Score	Category	Range	Score
Slope angle(%)	0-2	1	Lithology	Sedimentary	1
	2-7	2		Igneous	2
	7-15	3		Metamorphic	3
	15-30	4		Igneous	4
	30-60	5		(Andesite, Porphyry)	
Slope aspect	60≤	6	NDVI	0.4≤	1
	Flat	1		0.1-0.4	2
	N, NW	2		0-0.1	3
	NE, SW, W	3	Landuse	Urban, Water	1
	SE, E	4		Agriculture, Barren	2
S	5	Forest, Grass	3		

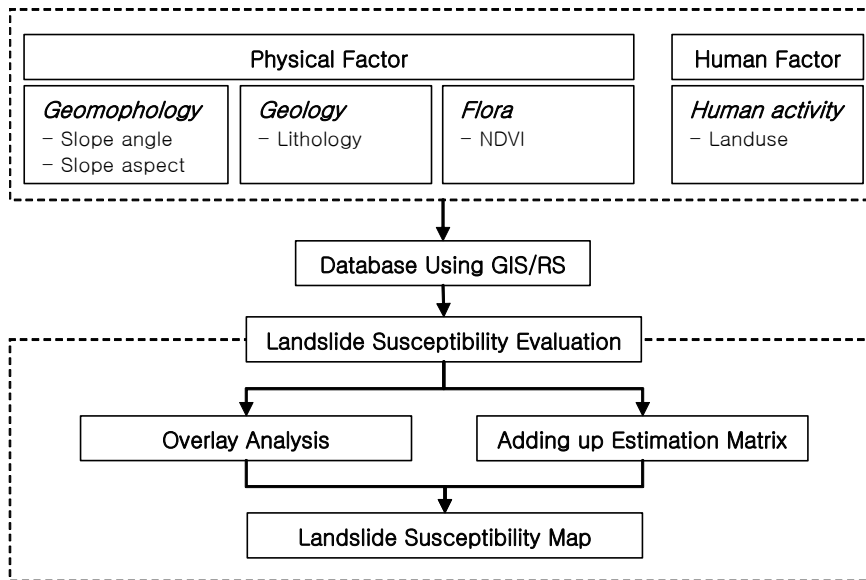


FIGURE 2. Procedure of landslide susceptibility evaluation

고하여 6개 등급으로 나누었으며, 경사도가 증가할수록 높은 점수를 부여하였다.

분석결과에 따르면, 전체면적의 약 27%(700.51 km<sup>2</sup>)가 7% 이하의 낮은 사면경사로 나타났는데(표 2), 이는 그림 3(a)에서와 같이 금호강 중·하류에 분포하는 대구광역시와 이에 인접한 경산시, 영천시 등의 도시 및 농업지역이 대부분을 차지했다. 한편, 60% 이상의 경사는 전체면적의 약 14%(374.03km<sup>2</sup>)로서 대구광역시 동구 능성동, 달성군 가창면, 유가면 및 영천시 자양면에 집중적으로 분포하는 것으로 나타났다. 이와 같은 지역은 지형적 특성에 따른 산사태 발생위험이 상대적으로 높은 지역으로 도로건설 등과 같은 각종 개발사업시 지형적 영향을 충분히 고려해야 할 것으로

판단된다.

## 2) 사면방향

사면방향에 따른 일조시간의 차이는 수분보유력, 식생 및 풍화정도의 차이를 유발하여 토양의 응집력과 안정성에 영향을 미친다. 선행연구 결과에 따르면, 북향사면의 경우 산사태 발생률이 낮은 반면, 남쪽과 남동사면일 때 높은 발생률을 보이는 것으로 분석되었다(이진덕 등, 2002; Dai 등, 2002). 사면방향은 평지면을 포함한 9개 방향으로 계산하였으며, 표 3과 같이 5등급으로 재분류하였다.

사면방향의 분석결과, 평탄지는 대구광역시 북구, 달서구 및 달성군 다사면, 영천시 금호읍

TABLE 2. Classification of landslide susceptibility for slope angle

Range(%)	Score	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)
<2	1	534.38	21
2-7	2	166.13	6
7-15	3	229.89	9
15-30	4	455.40	18
30-60	5	816.57	32
60≤	6	374.03	14

등으로 주로 낙동강 분류 및 금호강에 인접하여 분포하는 것으로 분석되었으며, 가장 많은 면적비를 차지하는 항목은 북동향과 남서향, 서향으로 전체면적의 약 32%(843.59km<sup>2</sup>)로 나타났다. 산사태 취약성이 가장 높은 남향 사면은 대구광역시 동구 공산동 및 달성군 유가면, 가창면 등에 분포하며 전체면적의 약 11%(278.35km<sup>2</sup>)를 차지했다.

생조건이 동일한 지역일지라도 암석을 구성하는 지질조건이 다를 경우 산사태 특성도 다르게 나타난다(한국지질자원연구원, 2003; Liu 등, 2004).

우리나라에 분포하는 암석은 변성암, 화성암, 그리고 한반도의 동남부에 분포하는 퇴적암 및 화산암으로 크게 분류할 수 있는데, 퇴적암의 경우 단위면적당 산사태 발생빈도가 화성암이나 변성암에 비해 낮다. 이는 화성암과 변성암은

TABLE 3. Classification of landslide susceptibility for slope aspect

Range	Score	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)
Flat	1	428.64	17
N, NW	2	516.03	20
NE, SW, W	3	843.59	32
SE, E	4	509.79	20
S	5	278.35	11

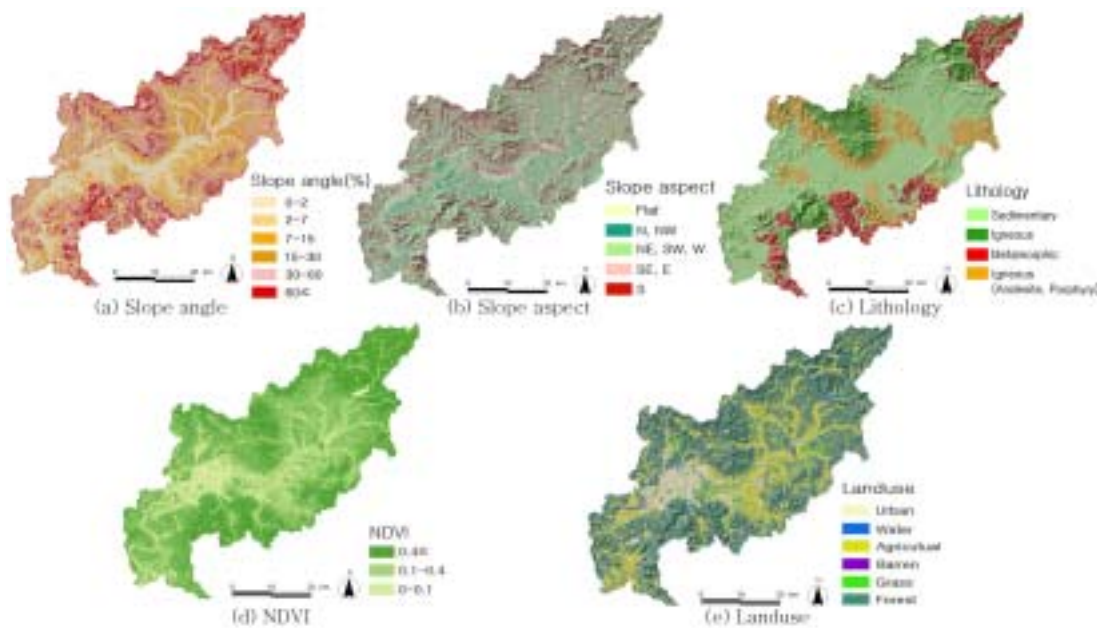


FIGURE 3. Spatial data set for evaluating landslide susceptibility

### 3) 지질

암석을 구성하는 물질은 생성과정이나 지질시대를 거치는 동안 변성작용 등에 의하여 서로 다른 토층과 풍화대를 가지게 되므로 산사태 발

생성시기가 오래 될수록 풍화정도가 깊어 산사태 발생빈도가 높은 반면, 퇴적암은 고화(固化) 정도가 커서 산사태 발생빈도가 낮기 때문이다(문정희와 윤혜철, 1997).

지질은 표 4와 같이 4등급의 암질로 분류하였으며, 퇴적암층이 전체면적의 약 54%(1,410.26 km<sup>2</sup>)로 가장 많은 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 산사태 취약성이 높은 변성암 및 안산암질 화성암은 그림 3(c)에서와 같이 대구광역시 동구에 위치한 팔공산 일대 및 달성군 성산면, 유가면, 남산면을 비롯한 포항시 북구 죽장면 등의 산지에 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 한편, 이들 지역은 사면경사 분석에서 높은 인자 등급을 받은 지역과도 대부분 일치하는 곳으로서 집중강우시 산사태를 유발할 수 있는 잠재적 인자를 가지고 있는 것으로 판단된다.

NDVI 값이 0이하인 지역에 해당하는 도시지역과 수역은 분석에서 제외하였으며, 표 5와 같이 3개의 등급으로 분류한 후 각 등급에 해당하는 점수를 부여하였다.

NDVI에 의한 식생의 활력도 분석결과, 식생지수가 0.1이하인 지역은 전체면적의 약 10%에 해당하는 246.4km<sup>2</sup>이며, 공간적으로 비산림지역에 인접한 저지대에 분포하는 것으로 파악되었다. 식생활력도가 0.4이상인 지역은 전체면적의 약 45%(1,081.47km<sup>2</sup>)를 차지하고 있으며, 주로 대구광역시 동구 공산동, 칠곡군 동명면, 영천시 자양면, 화북면, 달성군 가창면의 도시외곽에 분포

TABLE 4. Classification of landslide susceptibility for lithology

Range	Score	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)
Sedimentary	1	1,410.26	54
Igneous	2	376.68	15
Metamorphic	3	415.47	16
Igneous(Andesite, Porphyry)	4	373.99	15

#### 4) 식생

식생의 활력도는 산사태와 밀접한 관련성이 있으며, 식생활력도가 높으면 지면에 대한 강우의 충격이 완화되고, 많은 뿌리는 토양의 전단강도를 증가시킨다(이진덕 등, 2002).

NDVI는 식물의 활력도와 녹지 피복에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량 차이를 이용하여 지표 식생의 유무와 상태를 수치로 표현한 식생지수로서 다음과 같은 식(1)에 의해 최소 -1에서 최대 1까지 범위의 값을 갖게 된다(Lillesand와 Kiefer, 1994).

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (1)$$

하는 산림지역으로 나타났다. 한편, 도심지는 점적인 형태로 분포되어 있는 일부 공원녹지만이 식생활력도가 비교적 높은 것으로 분석되었다(그림 3(d)).

#### 5) 토지이용

산사태 발생가능성은 산림지역에서 가장 높게 나타나고, 초지, 농업지역의 경우 침식의 가능성은 높지만 산사태 발생가능성은 비교적 낮다고 할 수 있다(이진덕, 2002). 토지이용패턴은 수치토지이용도를 이용하여 도시지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 나지, 수역의 6가지 항목으로 설정하였으며, 표 6과 같이 3등급으로 재분류하였다.

TABLE 5. Classification of landslide susceptibility for NDVI

Range	Score	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)
0.4 ≤	1	1,081.47	45
0.1-0.4	2	1,066.59	45
0-0.1	3	246.40	10

**TABLE 6.** Classification of landslide susceptibility for landuse pattern

Range	Score	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)
Urban, Water	1	327.12	13
Agriculture, Barren	2	638.79	25
Forest, Grass	3	1,610.49	62

토지이용패턴의 분석결과에 따르면, 도시지역과 수역은 전체면적의 약 13%(327.12km<sup>2</sup>)로서 일부 수역을 제외한 대부분의 도시지역이 여기에 해당되며, 그림 3(e)에서 보는 바와 같이 대구광역시 중심부를 비롯한 경산시와 영천시 동(洞)지역에 집중적으로 위치하고 있다. 금호강 본류를 중심으로 남북방향으로 폭넓게 분포하고 있는 산림지역은 전체면적의 약 62%(1,610.49 km<sup>2</sup>)를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

## 2. 산사태 취약성 평가

산사태 취약성은 강우, 지진 등 산사태를 직접적으로 유발시키는 요인이 생겼을 때 그 지역이 얼마나 산사태 발생에 취약한가를 분석한 것이다(이사로 등, 2000).

본 연구에서는 사면경사도, 사면방향, 지질, NDVI, 토지이용의 인자별 주제도를 토대로 중첩 및 합산평가 매트릭스 분석기법을 적용하여 산사태 취약성을 평가한 후, 최종적으로 전체 대상지를 6개 범주로 구분한 산사태 취약성 지도를 제작하였다.

### 1) 중첩분석

중첩분석은 하나의 자료층 위에 다른 자료층을 겹쳐 올려놓고 서로 동일한 위치에 존재하는

그리드 셀을 기준으로 전체 자료층의 속성값을 수학적으로 연산처리 함으로써 산사태 취약성지수를 산정한다. 산사태 취약성지수는 다음 식(2)에 의해 산정되며, 이들 값이 높으면 상대적으로 산사태 발생위험이 높다는 것을 의미한다(이진덕 등, 2002).

$$Susceptibility\ index(x) = \sum_{i=1}^5 L_i(x) \quad (2)$$

여기서  $L_1 \sim L_5$ 는 각각 사면경사도, 사면방향, 지질, 식생, 토지이용의 등급별 점수를 나타내며, 산정된 취약성지수를 표 7과 같이 6등급으로 분류하였다.

분석결과를 등급별로 살펴보면, 산사태 발생에 있어 매우 안정적인 I, II등급은 전체면적의 약 21%에 해당하는 549.96km<sup>2</sup>로 금호강 중·하류에 분포하는 대구광역시 북구, 남구와 이에 인접한 경산시, 영천시 등의 동(洞)지역으로 나타났다. 이는 하천을 따라 분포하는 범람원 또는 충적토 지역으로서 토지이용패턴의 대부분이 15°이하의 낮은 사면경사를 가진 농경지와 도시지역에 해당되어 산사태 취약성이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

중간지역인 III, IV등급은 전체면적의 약 58%(1,495.56km<sup>2</sup>)를 차지하는 것으로 나타났다.

**Table 7.** Classification of landslide susceptibility by overlay analysis

Grade	Score
I Stable	4-6
II Very low	7-9
III Low	10-12
IV Moderate	13-15
V High	16-18
VI Very high	19-21

이는 대구광역시 동구 공산동, 영천시 임고면, 화남면을 비롯한 달성군 가창면 등에 분포하는 산림지역 및 경사진 지역에 위치하는 농경지로서, 식생활력도가 다소 높은 지역으로 분석되었다. 최근 개발가능지의 부족과 도시로의 인구집중 등으로 인하여 대도시에 인접한 산림지역에서의 개발 압력이 높아지고 있다. 그러나 이와 같은 지역은 집중강우시 산사태를 유발할 수 있는 잠재적 인자를 가지고 있는 지역으로서, 향후 이들 지역의 도시계획수립시 산사태 위험에 대한 영향도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

산사태 발생 가능성이 높은 V, VI등급은 530.88km<sup>2</sup>로서 전체면적의 약 21%를 차지하며, 대구광역시 외곽의 팔공산, 앞산을 비롯하여 달성군의 비슬산, 와룡산 및 영천댐 상류지역에 집중적으로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이들 지역은 사면경사가 높은 산림지역에 위치하며, 토지이용패턴이 초지로서 식생활력도가 비교적 낮은 것으로 분석되었다(그림 4).

2) 합산평가 매트릭스분석

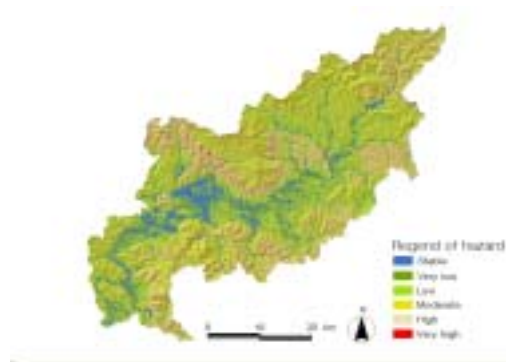


FIGURE 4. Map of landslide susceptibility by overlay analysis

합산평가 매트릭스분석(나정화 등, 2003; Marks, 1989)은 표 8에서 보는 바와 같이, 최초 사면경사와 사면방향 주제도를 결합한 매트릭스(M1)를 작성하여 6개 등급으로 구분한 후, 단계적으로 M1과 지질인자를 결합한 매트릭스(M2), M2와 NDVI를 결합한 매트릭스(M3), 그리고 M3와 토지이용인자를 결합한 매트릭스(M4)를 작성하였다. 합산평가 매트릭스 분석에 의한 최종적인 산사태 취약성 평가결과(M4)도 중첩분

TABLE 8. Classification of landslide susceptibility for the adding up estimation matrix analysis of each individual map layers

M1	Slope angle						
	0-2	2-7	7-15	15-30	30-60	60≤	
Flat	I	I	I	I	I	I	
Slope aspect	N,NW	I	I	II	III	IV	IV
	NE,SW,W	I	II	II	III	IV	IV
SE,E	I	II	III	IV	V	V	
S	I	III	III	IV	V	VI	

(a)Combination of slope angle and slope aspect layers

M2	M1						
	I	II	III	IV	V	VI	
Lithology	Sedimentary	I	I	II	II	III	III
	Igneous	I	II	II	III	III	IV
	Metamorphic	I	II	III	III	IV	V
	Igneous (Andesite, Porphyry)	I	III	III	IV	V	VI

(b)Combination of slope angle, slope aspect and lithology layers

M3	M2						
	I	II	III	IV	V	VI	
0.4≤	I	II	III	IV	IV	V	
NDVI	0.1-0.4	I	II	IV	IV	V	V
	0-0.1	I	III	IV	V	V	VI

(c)Combination of slope angle, slope aspect, lithology and NDVI layers

M4	M3						
	I	II	III	IV	V	VI	
Landuse	Urban, Water	I	I	I	I	I	I
	Agricultural, Barren	I	II	III	IV	V	VI
	Forest, Grass	I	II	IV	V	VI	VI

(d)Combination of slope angle, slope aspect, lithology, NDVI and landuse layers



석과 동일하게 전체 6등급으로 분류하였다.

한편, 각 인자별 합산평가 시 사면경사도가 매우 낮거나 사면방향이 평탄한 지역, 그리고 토지이용 패턴이 도시 혹은 수역인 지역은 산사태 발생가능성이 없는 것으로 판단되어(Chau 등, 2003; Liu 등, 2003) 인자 점수에 관계없이 가장 낮은 I 등급을 부여하였으며, 이들 지역은 다른 인자와의 합산평가 과정에도 I 등급이 유지되도록 평가하였다.

합산평가 매트릭스분석 결과 산사태 발생에 있어 매우 안정적인 I, II등급이 전체면적의 약 60%(1,557.92km<sup>2</sup>)로 나타났다. 이들 지역은 가장 많은 면적비를 점하고 있으며, 대구광역시를 비롯한 경산시, 영천시 및 달성군의 동(洞)지역과 이에 인접한 산림지역 및 농경지에 폭 넓게 분포하고 있는 것으로 분석되었다.

포항시 죽장면, 대구광역시 동구 공산동 및 달성군 가창면에 위치하고 있는 III, IV등급 지역은 542.36km<sup>2</sup>로서 전체면적의 약 22%를 차지하며, 도시외곽에 위치한 산림지역에 분포하는 것으로 나타났다. 특히 III등급 지역은 경사진 지역에 위치한 농경지로 박경훈(2003)의 연구에서도 언급했듯이 경사도 26.8% 이상의 등고선 경작형태를 보이고 있어 산사태 발생의 잠재적 위험성이 그리 높지는 않지만 토양침식 위험도가 상당히 높은 지역으로 판단된다.

V, VI등급 지역은 전체면적의 약 18%로서 476.12km<sup>2</sup>의 면적을 차지하는 것으로 분석되었다. 이들은 지질분석 결과 변성암 및 안산암질 화성암이 위치한 지역에 집중적으로 분포하고 있으며, 행정구역상 팔공산 일대를 비롯한 칠곡군 동명면, 달성군 유가면에 속하는 지역으로 나타났다(그림 5).

### 3) 산사태 취약성 분석 기법의 비교

본 연구에서는 산사태 취약성 지역의 추출을 위해 중첩분석 및 합산평가 매트릭스분석 기법

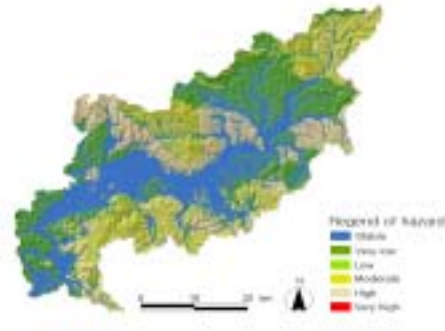


FIGURE 5. Map of landslide susceptibility by adding up estimation matrix

을 적용하였으며, 분석 기법의 분류등급별 결과 값은 표 9와 같다.

분석 기법간의 변화 양상을 살펴보면, 중첩분석에서 I, II등급으로 평가된 지역은 전체면적의 약 21%(549.96km<sup>2</sup>)로서 대구광역시와 경산시, 영천시 등의 하천을 따라 분포하는 도시지역으로 나타났으나, 매트릭스분석에서는 이들 도시지역과 그에 인접한 농경지와 산림지역까지 일부 포함하는 것으로 분석되었다. 면적비를 비교해 보았을 때도 전체면적의 약 60%(1,557.92km<sup>2</sup>)로서 중첩분석에 비해 3배가량 넓은 면적비를 차지하는 것으로 나타났다.

중첩분석결과 전체면적의 약 58%(1,495.56km<sup>2</sup>)를 차지하던 III, IV등급지는 매트릭스 분석에서 전체면적의 약 22%(542.36km<sup>2</sup>)로 나타나 중첩분석 결과에 비해 III, IV등급지의 면적이 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 중첩분석 결과에 비해 매트릭스분석에서 안정적인 지역이 증가하고 중간지역이 감소하는 경향을 나타낸 것은 표 10에서 보는 바와 같이 중첩분석에서 III등급으로 평가된 지역의 416.56km<sup>2</sup>(93.5%)가 매트릭스분석에서 각각 I 등급(245.69km<sup>2</sup>)과 II등급(170.87km<sup>2</sup>)으로 변화하고, 중첩분석결과 IV등급지의 492.55km<sup>2</sup>(46.8%)가 매트릭스 분석에서 II등급으로 평가되었기 때문이다.

**TABLE 9.** Classification of landslide susceptibility by overlay analysis and adding up estimation matrix analysis

Grade	Overlay analysis		Adding up estimation matrix analysis	
	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)
I Stable	155.50	6	830.30	32
II Very low	394.46	15	727.62	28
III Low	445.49	17	35.50	1
IV Moderate	1,050.07	41	506.86	21
V High	513.54	20	442.77	17
VI Very high	17.34	1	33.35	1
Total	2,576.40	100	2,576.40	100

**TABLE 10.** Variation patterns of grade by overlay analysis and adding up estimation matrix analysis (Unit: km<sup>2</sup>)

Grade	Adding up estimation matrix analysis						Total
	I	II	III	IV	V	VI	
I	154.67	0.79	0.03	0.01	0.00	0.00	155.50 (6%)
II	360.92	25.87	3.03	3.65	0.97	0.02	394.46(15%)
III	245.69	170.87	6.43	15.39	6.33	0.78	445.49(17%)
IV	59.47	492.55	25.18	363.27	108.00	1.60	1,050.02(41%)
V	9.29	37.37	0.83	124.26	319.52	22.27	513.54(20%)
VI	0.26	0.17	0.00	0.28	7.95	8.68	17.34 (1%)
Total	830.30 (32%)	727.62 (28%)	35.50 (1%)	506.86 (21%)	442.77 (17%)	33.35 (1%)	2,576.40(100%)

이는 중첩분석의 경우, 경사도가 매우 낮고 평탄한 지역이라 할지라도 지질과 식생활력도, 토지이용에서 높은 평가등급을 받으면 산사태 취약성 등급도 높게 나타난 반면, 합산평가 매트릭스분석의 경우에는 경사도가 매우 낮거나 평탄한 지역은 지질의 종류나 식생활력도, 토지이용에 관계없이 산사태 발생에 있어 매우 안정적인 지역으로 판단하여 가장 낮은 등급인 I 등급을 유지하도록 평가하였기 때문이다.

한편, 매트릭스분석 기법과 중첩분석 기법간의 평가인자별 가중치와 분석기준에 따라 그 예측결과가 변화하는 양상을 볼 수 있었다. 중첩분석은 인자별 등급에 해당하는 점수를 그대로 반영하여 간단한 계산에 의해 결과를 도출할 수

있으므로 기법적용이 편리하고 계산과정 및 입력, 결과 값을 쉽게 이해할 수 있어 산사태 발생인자의 중요성을 쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있었다. 반면 합산평가 매트릭스분석 기법은 인자별 자료층을 결합하여 새로운 자료층을 생성하여야 하며, 그 결과값을 속성자료에 다시 입력해 주어야 한다는 단점이 있었으나, 각 인자들 상호간의 관계성을 쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있었다. 그러나 향후 산사태 발생위험의 정확한 예측을 위해서는 현장조사를 통한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

V, VI등급 지역의 경우 중첩분석 결과 V등급이었던 지역의 124.26km<sup>2</sup>(24.2%)가 IV등급으로 하락하는 등 일부 면적이 감소하였으나, 중

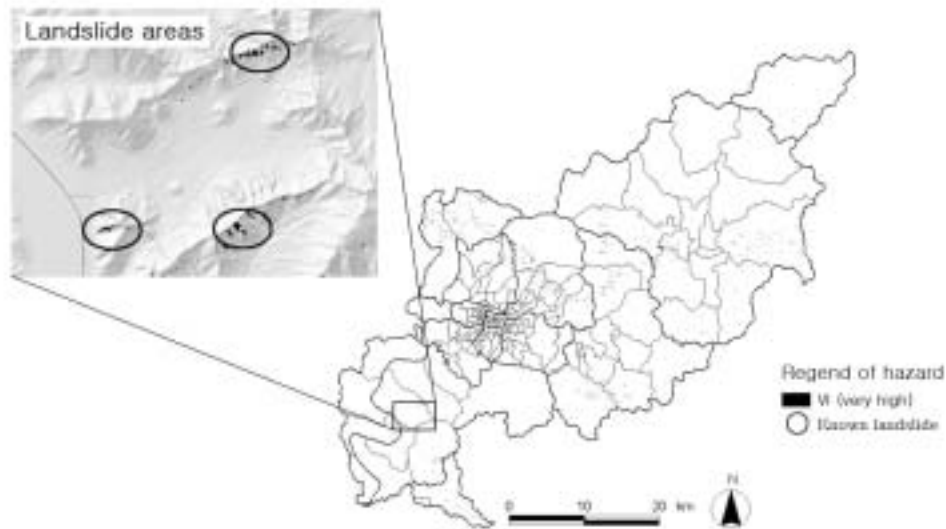


FIGURE 6. Map of very high (VI) landslide susceptibility and locations of landslide

첩분석이나 매트릭스분석의 결과값은 크게 차이나지 않는 것으로 나타났다.

중첩분석과 합산평가 매트릭스에서 산출된 결과값의 공간적 분포패턴을 분석하기 위해 등급별 레이어를 중첩한 결과(그림 6), 두 분석방법 모두에서 산사태 발생 가능성이 가장 높은 VI등급지는 8.67km<sup>2</sup>로서 전체면적의 0.3%를 차지하는 것으로 나타났다. 공간적 위치는 행정구역 상 대구광역시 동구 공산동, 북구 무태동, 달성군 유가면 및 논공읍 그리고 대구광역시 외곽에 위치한 칠곡군 동명면, 지천면, 경산시 하양읍, 영천시 고경면 등으로 사면경사가 높은 산림지역에 위치하나 식생활력도가 비교적 낮은 지역에 집중적으로 분포하는 것으로 분석되었다.

이들 지역은 지난 2003년 태풍 ‘매미’로 인해 산사태 피해를 입은 대구광역시 동구 공산동 일대를 비롯한 달성군 유가면 초곡리, 논공읍 본리 등의 지역과도 일치하는 경향을 보였다. 특히, 논공읍 본리는 인간활동이 활발한 논공단지과 인접한 지역으로서, 대규모 산사태 발생 시 재산 및 인명피해까지 유발할 가능성이 높다.

따라서, 향후 자연친화적 산지개발을 위한 각종 개발사업의 수행에 앞서 실시되는 사전환경성 검토에 있어서 지형, 지질, 식생 등을 고려한 산사태 발생위험이 평가항목으로 추가될 필요성이 있을 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구는 금호강 유역을 대상으로 산사태 발생에 영향을 미치는 환경요인들을 추출하였으며, GIS와 원격탐사 기법을 활용하여 산사태 발생인자들에 대한 공간정보를 구축하였다. 이를 토대로 중첩분석 및 합산평가 매트릭스분석 기법을 이용한 산사태 취약성 평가 및 산사태 취약성 지도의 제작을 통해 향후 산사태재해 방제를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

평가인자별 추출 결과를 요약하면, 낙동강 본류 및 금호강 중·하류에 인접한 대구광역시 북구, 달서구 다사면, 영천시 금호읍 등에 분포하는 도시 및 농업지역은 평탄지 혹은 7% 이하의 낮은 사면경사 지역으로 나타났다. 반면, 대구광역시 동구 공산동, 달성군 가창면, 유가면

등의 지역은 변성암 및 안산암질 화성암이 분포하고 사면경사 60% 이상의 지형적 특성을 나타내 산사태 발생위험이 상대적으로 높게 분석되었다.


토지이용 및 NDVI에 의한 식생의 활력도 분석결과, 대구광역시 동구 공산동, 칠곡군 동명면, 영천시 자양면, 화북면, 달성군 가창면 등의 지역에 분포하는 산림지역이 식생활력도가 0.4 이상인 것으로 분석되었으며, 도심지내에 분포하는 공원녹지도 식생활력도가 비교적 높은 것으로 나타났다.

중첩분석 및 합산평가 매트릭스분석 결과에 따르면, 금호강 중·하류에 분포하는 대구광역시 북구, 남구와 이에 인접한 경산시, 영천시 등의 동(洞)지역이 15% 이하의 낮은 사면경사를 가진 농경지와 도시지역으로서 산사태 발생위험이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 반면, 대구광역시 동구 공산동을 비롯한 달성군 가창면 등에 분포하는 산림지역 및 농경지는 산사태 취약성 등급이 중간인 지역(Ⅲ, Ⅳ)으로서 집중강우 시 산사태를 유발할 수 있는 잠재적 인자를 가지고 있어, 향후 이들 지역의 도시계획수립 시 산사태 위험에 대한 영향도 고려되어야 할 것으로 생각된다.

산사태 발생 잠재력이 가장 높은 VI등급지는 행정구역 상 대구광역시 동구 공산동, 북구 무태동, 달성군 유가면과 논공읍 그리고 대구광역시 외곽에 위치한 칠곡군 동명면, 지천면, 경산시 하양읍, 영천시 고경면에 위치하는 것으로 분석되었다. 이들 지역은 사면경사가 높은 산림지역에 위치하나 식생활력도가 비교적 낮은 지역으로서, 지난 2003년 태풍 '매미'로 인해 산사태 피해를 입은 지역과도 일치하는 경향을 보였다.

한편 중첩분석결과에 비해 매트릭스분석에서 안정적인 지역이 증가하고 중간지역이 감소하는 경향을 보였는데, 이는 중첩분석의 경우, 경사도가 매우 낮고 평탄한 지역이라 할지라도 지질과 식생활력도, 토지이용에서 높은 평가등급을 받

으면 산사태 취약성 등급도 높게 나타난 반면, 합산평가 매트릭스분석의 경우에는 경사도가 매우 낮거나 평탄한 지역은 지질의 종류나 식생활력도, 토지이용에 관계없이 산사태 발생에 있어 매우 안정적인 지역으로 판단하여 가장 낮은 등급인 I 등급을 유지하도록 평가하였기 때문이다.

본 연구를 수행하면서 도출된 문제점과 향후 과제로서, 합산평가 매트릭스분석의 경우 결과 도출에 있어 정량적 평가 기법을 활용하였으나, 산사태 평가인자 및 등급설정에 있어서는 전문가 설문조사 등을 통한 객관화된 검증작업과 산사태 발생 현장의 조사 및 국내에서의 실험치를 통한 적절한 보정이 필요할 것으로 생각된다. 아울러 산사태 발생에 결정적인 영향을 주는 강우강도 측정자료의 도입과 함께 향후 산사태에 의한 피해를 최소화하기 위한 위험지역의 예측 및 실시간 모니터링을 통한 지속적인 관리시스템의 개발이 필요하리라 판단된다. 

## 참고문헌

- 강인준, 이홍우, 광재하, 정재형. 1993. 표고 데이터베이스에 의한 산사태 위험평가의 기초적 연구. 대한토목학회논문집 13(2):211-218.
- 강인준, 최철웅, 장용구. 1994. 지형데이터 해석에 따른 산사태 위험지역 선정기법. 한국측지학회지 12(2):147-154.
- 구호본, 구재룡. 1995. 산사태 데이터베이스 시스템의 GIS 이용. 한국GIS학회지 3(1):81-90.
- 국립방재연구소. 1998. 사면안정성 조사와 피해경감을 위한 기초조사.
- 국립방재연구소. 2002. 사면붕괴의 유형별 원인과 저감대책 연구.
- 김윤중, 김원영, 유일현, 박수홍, 백종화, 이현우. 1991. GIS를 이용한 광역 지질재해(산사태) 분석 연구. 한국원격탐사학회 7(2):165-178.
- 나정화, 채인홍, 사공정희, 류연수. 2003. 도시계획지역 내 농경지의 잔여경관요소에 대한 경

- 관생태학적 평가 및 보존 방안. 한국조경학회지 31(5):31-42.
- 문정희, 윤혜철. 1997. 산사태의 발생요인과 재래 예지방법연구. 한국지리정보학회지 9(3):107-124.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지 6(4):24-36.
- 신진수. 2001. 다목적실용위성과 공간정보를 이용한 산사태 예측 기법 비교연구. 고려대학교 석사학위 논문.
- 이사로. 1992. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용연구. 연세대학교 박사학위 논문.
- 이사로, 김윤종, 민경덕. 2000. 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용. 한국GIS학회지 8(1):141-153.
- 이진덕, 연상호, 김성길, 이호찬. 2002. 산사태 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용. 한국지리정보학회지 5(1):38-47.
- 이천용, 최 경, 이종혁, 이창우. 2002. GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성기법개발. 산림과학논문집 65:1-10.
- 지광훈, 신진수, 박노욱. 2001. 예측비율곡선을 이용한 GIS 기반 산사태 예측 모델의 정량적 비교. 한국원격탐사학회지 17(3):199-210.
- 최경. 2001. 산사태 예보와 위험지 판정기술. 방재연구 3(4):15-27.
- 한국자원연구소. 2000. 산사태 예측 및 방지기술 연구.
- 한국지질자원연구소. 2003. 산사태 예측 및 방지기술 연구.
- Chung C.F. and A.G. Fabbri. 1998. Three Bayesian prediction models for landslide hazard. In A. Bucciantti, ed., Proc. of International Association for Mathematical Geology Annual Meeting (IAMG98), Ischia, Italy, October3-7, 1998, 204-211.
- Dai, F.C. and C.F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42:213-228.
- Marks. R. 1989. Methoden Oekologischer Planung im Kommunalen Umweltschutz am Beispiel der Stdt Dortmund. VGFO Band 18. Goeltingen. pp. 589-592.
- Perotto-Baldiviezo, H.L., T.L. Thurow, C.T. Smith, R.F. Fisher and X.B Wu. 2004. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 165-176.
- Liu, J.G., P.J. Mason, N. Clerici, S. Chen, A. Davis, F. Miao, H.L. Deng and Liang. 2004. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui-Badong. *Geomorphology* 61:171-187.
- Chau, K.T., Y.L. Sze, M.K. Fung, W.Y. Wong, E.L. Fong and L.C.P. Chan. 2004. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. *Computers and Geosciences*. 30(4):429-443.
- Lillesand, M. and W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd ed. New York, John Wiley. 