

산사태취약성 분석을 통한 북한산국립공원의 생태적 위험도 평가¹

김경태² · 정성관^{3*} · 유주한⁴ · 장갑수⁵

An Assessment of Ecological Risk by Landslide Susceptibility in Bukhansan National Park¹

Kyung-Tae Kim², Sung-Gwan Jung^{3*}, Ju-Han You⁴, Gab-Sue Jang⁵

요약

본 연구는 북한산 국립공원을 대상으로 산사태 발생인자들에 대한 공간정보를 구축하였으며, 중첩분석 및 합산평가 매트릭스분석을 이용한 산사태 취약성 지도 및 생태적 위험 지도 작성을 통해 향후 산사태 재해 예방을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다. 산사태 평가 인자로는 사면경사, 사면방향, 경사길이, 토양배수, 식생활력도(NDVI), 토지이용도가 선택되었으며, 공간데이터베이스는 30m×30m 해상도로 구축되었다. 분석결과, 우이동 및 도봉계곡 일대의 산사태 취약성이 높은 것으로 분석되었으며, 생태적 위험도는 도봉계곡, 용어천계곡 및 정릉계곡, 평창계곡 등이 높은 것으로 분석되어 향후 이들 지역의 관리계획 수립 시 산사태 위험에 대한 영향도 고려되어야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 중첩분석, 합산평가 매트릭스, 재해예방, 산사태 평가 인자

ABSTRACT

This research managed to establish the space information on incidence factors of landslide targeting Bukhansan National Park and aimed at suggesting a basic data for disaster prevention of a landslide for the period to come in Bukhansan National Park through drawing up the map indicating vulnerability to a landslide and ecological risks by the use of overlay analysis and adding-up estimation matrix analysis methods. This research selected slope angle, slope aspect, slope length, drainage, vegetation index(NDVI) and land use as an assessment factor of a landslide and constructed the spatial database at a level of '30mx30m' resolution. The analysis result was that there existed high vulnerability to a landslide almost all over Uidong and Dobong valleys. As for ecological risks, Dobong valley, Yongueocheon valley, Jeongneung valley and Pyeongchang valley were analyzed to be higher, so it is judged that the impact on a landslide risk should be also considered in time of establishing a management plan for these districts for the time to come.

KEY WORDS : OVERLAY ANALYSIS, ADDING UP ESTIMATION MATRIX, LANDSLIDE DISASTER PREVENTION, LANDSLIDE AFFECTING FACTOR

1 접수 2월 28일 Received on Feb. 28, 2008

2 경북대학교 대학원 조경학과, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Kyungpook National Univ., Daegu(702-701), Korea(free8420@hanmail.net)

3 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National Univ., Daegu(702-701), Korea(sgiung@knu.ac.kr)

4 창원대학교 산업기술연구원 Institute of Industrial Technology, Changwon National Univ., Changwon(641-773), Korea(kurodai@hanmail.net)

5 충남발전연구원 환경생태연구부 Dept. of Environmental and Ecological Research, Chungnam Development Institute, Daejeon (305-313), Korea(janggs@cdi.re.kr)

* 교신저자, Corresponding author

서론

산사태는 토양의 응집력이 약화되어 토양이나 암석이 중력작용에 의해 일시에 붕괴되는 현상으로 우리나라의 경우 태풍 및 집중호우 시기에 축대, 옹벽, 절취사면 등에서 많이 발생되며(김경태 등, 2005), 인적, 물적 피해뿐만 아니라 토사의 붕괴·유출·유입 등으로 인해 생태계에 막대한 영향을 미치는 현상이다. 이러한 산사태는 토양 자체의 응집력 부족으로 발생하는 것도 있지만 주로 집중호우에 의해 일어나는 경우가 대부분이다.

최근 지구온난화로 인한 게릴라성 집중호우가 빈번히 발생하면서 산사태 위험성도 증가되고 있다. 산사태의 발생요인은 크게 내적 요인과 외적 요인으로 구분될 수 있는데, 내적 요인은 지형, 지질, 토양 등이며 외부환경의 영향이 비교적 적은 고정적 특성을 갖는다. 이에 반해, 외적 요인은 강우나 지진과 같이 외부 충격이 사면 거동을 발생시켜 산사태를 유발시키는 경우이다(양인태 등, 2007). 이러한 산사태는 자연식생 훼손, 지형변경과 그에 따른 생물 서식처 소멸로 연관되는 메카니즘을 가지고 있기 때문에, 국립공원 등과 같이 보전가치가 높은 지역은 적극적인 산사태 발생의 사전방지대책이 요구된다.

산사태 관련 연구동향을 살펴보면, 안양지역 산사태연구(우보명 등, 1978), 지형정보시스템에 의한 산사태 예측(강인준 등, 1993), 산지사면의 붕괴위험도 예측(마호섭, 1994), 산사태 공간 정보시스템 개발(이사로 등, 2000), 산사태 발생가능지 예측(이진덕 등, 2002), 산사태 위험지역 분석(이용준 등, 2006), 산사태 위험성 검증(조남춘 등, 2006), 산사태 취약지 평가(양인태 등, 2007), 산사태 취약지의 토지피복연구(천기선과 박재국, 2007) 등 다양한 지역에서 수행되었으나 국립공원지역의 경우 지리산(마호섭, 1990), 덕유산 등 7개 지역(마호섭과 정원옥, 2007) 등만 연구되었고 그 중 북한산에 대한 연구는 부족한 실정에 있다.

자연의 핵심지역(core area)으로 자연생태계 회복에 대한 중요한 정보를 제공하며(김종원과 남화경, 1996), 한반도의 중요한 핵심 생태계를 형성하고 있는 국립공원은 생물종다양성 유지에 있어 매우 중요한 지역이라 할 수 있다. 그러나 주 5일제 근무의 보편화에 따른 등산객의 폭발적인 증가는 주변 토지이용의 변화 및 산림훼손을 초래하여 나대지의 발생을 유발하고 있다. 또한 자연지역의 등산객들에 의한 답압은 수목근계의 노출과 사면을 피복하고 있는 초본군란의 소멸원인으로 작용하고 있으며, 식물근계에 의한 토양지력 약화를 초래하여 1차적인 토양유실뿐만 아니라 대규모 산사태의 발생원인으로 작용되고 있다.

따라서 본 연구는 서울을 비롯한 수도권에 위치하여 우리나라 국립공원 중 이용객이 가장 많은 북한산국립공원을

대상으로 인위적 간섭에 따른 산사태 발생의 취약성과 그에 따른 생태적 위험도를 평가하여 생태계 보전 및 관리, 복원 방안을 마련하는데 유용한 정보를 제공하고자 한다.

연구범위 및 방법

1. 연구대상지

북한산 국립공원은 지리적으로 북위 37°35'53" ~ 37°43'54"에서 동경 126°56'05" ~ 127°03'04"에 위치하고, 행정구역상 서울특별시와 의정부시, 고양시에 걸쳐 있다(Figure 1). 전국 20개소 국립공원 중 유일하게 도심속에 위치한 북한산 국립공원은 우이령을 중심으로 남쪽의 북한산 지역과 북쪽의 도봉산 지역으로 구분되며, 백운대, 만경대, 인수봉 등의 거대한 주요 암봉 사이로 수십 개의 맑고 깨끗한 계곡과 더불어 북한산성을 비롯한 수많은 역사, 문화유적 및 100여개의 사찰, 암자가 곳곳에 산재해 있다(우경덕 등, 2003).

북한산 국립공원은 주 5일제 근무의 확대와 도시민의 휴양 욕구 증가, 그리고 접근 용이성 등으로 인해 연간 600만에 이르는 탐방객이 방문하고 있다. 그러나 탐방객들에 의해 무분별하게 개설된 셋길, 등산로 등은 자연생태계의 상당한 위협요인으로 작용하고 있으며, 등산로 주변으로 형성된 계곡에서의 산사태는 인명피해의 잠재적 위험요소를 내재하고 있다(국립방재연구소, 1998). 따라서 GIS 및 원격탐사와 같은 과학기술을 활용한 산사태 발생 취약지역의 예측과 더불어 이에 대한 관리대책을 마련하는 것이 필요하다.

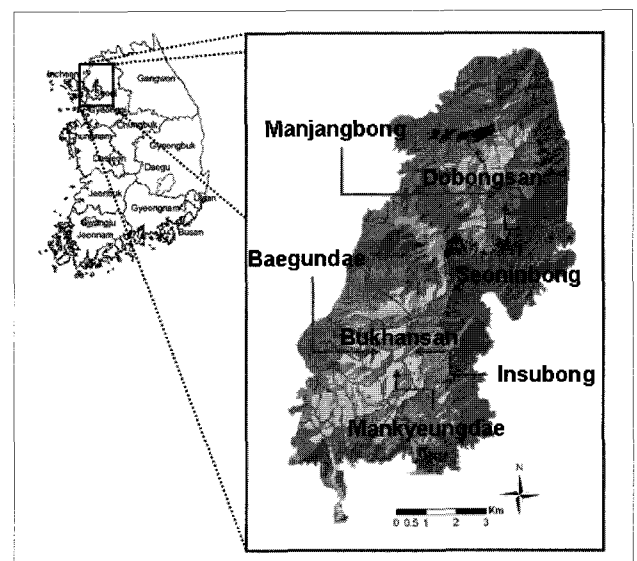


Figure 1. Location of study area

2. 연구방법

연구수행 과정은 Figure 2와 같다. 먼저 산사태발생에 영향을 미치는 인자 설정을 위하여 관련된 선행연구와 문헌들을 조사·분석하였으며(최경, 2001; 이진덕 등, 2002; 이천용 등, 2002; 김경태 등, 2005; Dai and Lee, 2002; Perotto-Baldiviezo *et al.*, 2004), 각각의 인자는 Arc/Info 8.0.2(ESRI Inc., 1999)를 이용하여 생성하였다.

산사태 평가인자는 Table 1과 같으며, 카테고리 별로 살펴보면 지형, 토양, 식생 등 물리적 요인과 토지이용과 같은 인간활동에 관련된 요인으로 구분된다. 산사태 평가 인자별 주제도는 국가수자원종합관리시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공받은 30m 해상도의 토양도와 국립지리원에서 제작한 수치지형도(1:25,000) 및 Landsat TM 영상자료 등을 이용하여 제작하였다. 경사도, 사면방향, 경사길이 등의 지형분석은 수치지형도에서 고도값을 가지는 등고선 레이어

를 추출하여 불규칙삼각망(triangulated irregular network, TIN)으로 변환한 후, 30m 해상도의 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 실시하였다. 2006년 9월 13일 오전 10시경 촬영된 Landsat TM 영상자료(116/34)는 감독분류(supervised classification)를 통한 토지피복분류 및 식생활력도 평가를 위한 정규식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) 산출에 활용하였다. 최종적으로 GRID 모듈의 중첩기능과 조합기능 및 등산로와의 버퍼링 분석을 통해 산사태 취약성 지도와 생태적 위험지도를 작성하였다.

결과 및 고찰

1. 산사태 평가 인자의 추출

국내에서 발생하는 산사태의 90%이상은 흙과 암석이 흘러내리는 토석류로써 이와 같은 토석류는 사면경사에 가장 큰 영향을 받는다(한국자원연구소, 2000; 김경태, 2005). 북한산 국립공원의 평균 경사는 38%로 분석되었으며, 30~60%이상의 경사지가 전체면적의 약 53.7%(42.6km²)로써 가장 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 다음으로 15~30%의 경사지가 전체면적의 20.7%를 차지하는 한편 60%이상의 급경사지도 북한산 지역의 만경대, 백운대를 비롯한 도봉산 지역의 자운봉 지역에 걸쳐 전체면적의 11.2%(8.9km²)나 분포하는 것으로 나타나 북한산 국립공원의 전반적인 지형이 험준한 산악지형으로 분석되었다.

사면방향은 평지를 포함하여 전체 10개의 방향으로 계산하였으며, 최종적으로 Figure 3(b)와 같이 5개의 평가인자 항목으로 재분류하였다. 시설지구 및 취락지구를 중심으로 평탄지가 전체면적의 약 8.6% 분포하고 있었으며, 산사태

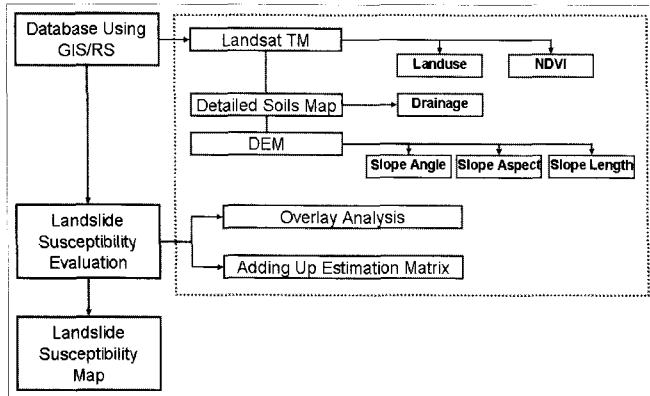


Figure 2. Procedure of landslide susceptibility evaluation

Table 1. Assessment factors and criteria for determining landslide susceptibility

Category	Factors		Scoring system						
Factor I (Topography)	Slope angle(%)	Class	0-2	2-7	7-15	15-30	30-60	60≤	
		Score	1	2	3	4	5	6	
	Slope aspect	Class	Flat	N, NW	NE, SW, W	SE, E	S		
		Score	1	2	3	4	5		
Factor II (Soil)	Drainage	Class	< 50	50-100	100-200	200≤			
		Score	1	2	3	4			
Factor III (Flora)	NDVI	Class	Rock	Poorly drained	Well, Moderately, Somewhat poorly drained	Excessively drained			
		Score	1	2	3	4			
Factor IV (Environment)	Landuse	Class	< 0	0-0.1	0.1-0.4	0.4≤			
		Score	1	2	3	4			
Factor IV (Environment)	Landuse	Class	Urban, Water	Agriculture, Barren	Forest, Grass				
		Score	1	2	3				

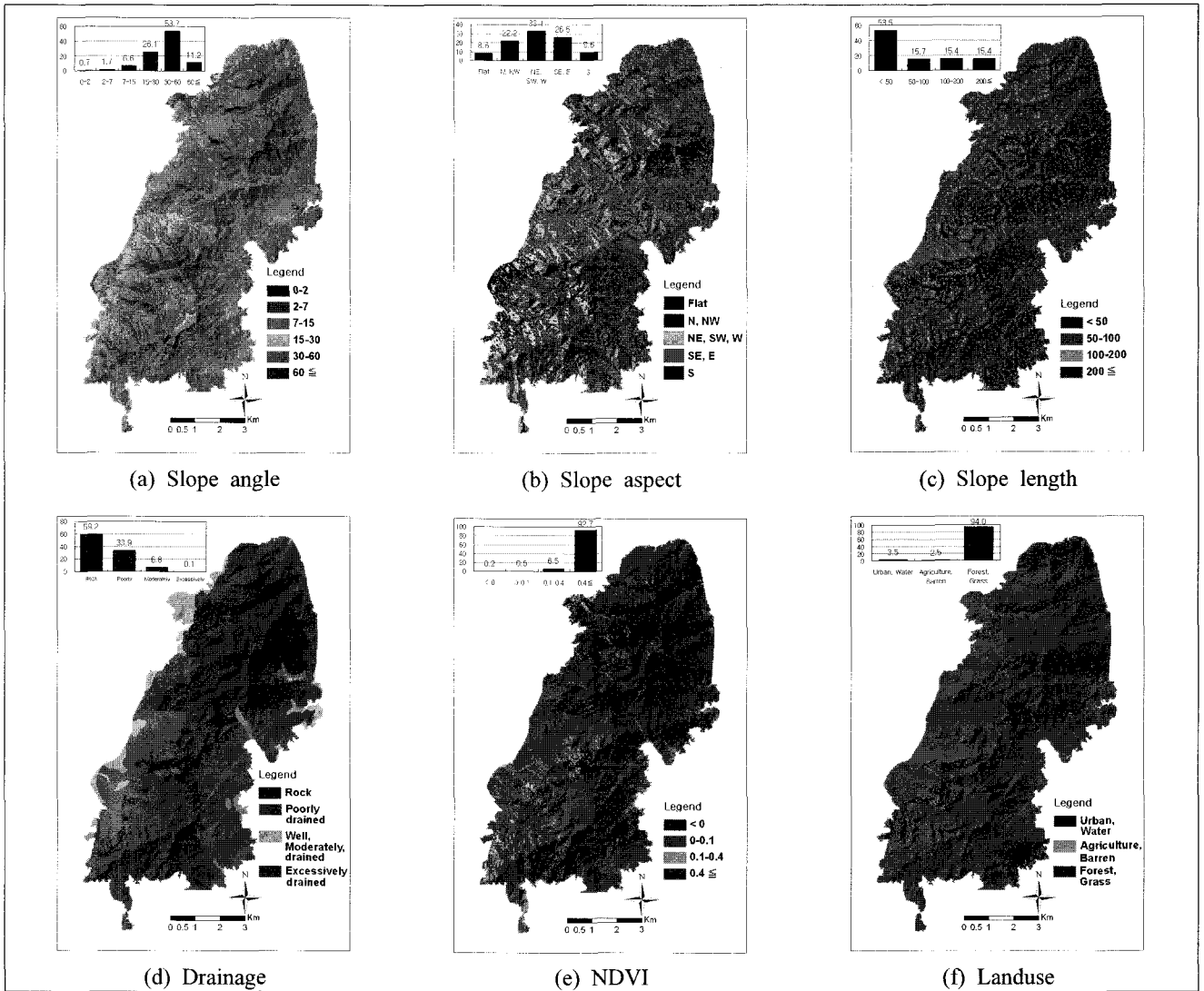


Figure 3. Spatial data set for evaluating landslide susceptibility

에 상대적으로 취약한 동향, 동남향, 남향이 약 28.7km²로써 전체면적의 약 36.1%를 차지하는 것으로 분석되었다. 한편, 사면에 집수될 수 있는 최상지점까지의 거리를 나타내는 경사길이의 경우 50m이하인 지역이 전체면적의 53.5%인 42.6km²로 가장 많은 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 200m이상인 지역도 15.4%나 분포하는 것으로 분석되었다(Figure 3(c)).

토양배수 분석결과(Figure 3(d))에서는 북한산 국립공원의 59.2%가 암반노출지로 나타났으며, 배수불량인 지역도 33.9%(26.9km²) 정도 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 이에 반해 배수양호 지역은 전체면적의 0.1%에 불과한 것으로 나타났다. NDVI에 의한 식생활력도 분석결과, 평균 활력도는 0.55, 최대 활력도는 0.79로 분석되었으며, 약 92%

의 산지가 식생활력도가 0.4이상의 지역으로 나타났다(Figure 3(e)).

토지이용패턴의 분석결과에 따르면, 도시지역과 수역은 전체면적의 3.5%, 2.8km²로써 Figure 3(f)에서 보는 바와 같이 북한산 국립공원의 진입부에 위치한 시설지구 및 취락지구가 여기에 포함되는 것으로 나타났다. 일부 농경지로 분류된 지역을 제외한 북한산 국립공원 전체에 고르게 분포하고 있는 산림 및 초지지역은 74.7km²로써 전체면적의 94%를 차지하는 것으로 분석되었다.

2. 산사태 취약성 평가

1) 중첩분석

Table 2. Classification of landslide susceptibility by overlay analysis

Grade	Score	Area(km ²)	Rate(%)
I Stable	≤10	0.13	0.16
II Very low	11-13	1.54	1.93
III Low	14-16	13.72	17.17
IV Moderate	17-19	49.26	61.64
V High	20-22	15.11	18.90
VI Very high	23≤	0.16	0.20
Total		79.92	100.00

중첩분석은 여러 개의 자료 레이어를 복층으로 중첩하여 동일한 위치에 존재하는 그리드 셀 값을 수학적으로 연산처리 하는 과정으로써 다음 식(1)에 의해 산사태 취약성 지수가 산정된다.

$$Susceptibility\ index(x) = \sum_{i=1}^6 L_i(x) \quad (1)$$

여기서 $L_1 \sim L_6$ 은 각각 사면경사도, 사면방향, 경사길이, 배수, 식생, 토지이용의 등급별 점수를 나타내며, 산정된 취약성지수를 Table 2와 같이 6등급으로 분류하였다(김경태, 2005).

분석결과를 등급별로 살펴보면, 산사태 발생가능성이 상대적으로 매우 낮은 I, II등급 지역은 전체면적의 약 2%에 해당하는 1.67km²로써 북한산 국립공원 외곽지역에 위치한 자연마을지구, 밀집마을지구, 집단시설지구에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 중간지역이라 할 수 있는 III, IV등급 지역은 78.81km²로써 전체면적의 62.98%를 차지하는 것으로 분석되었으며, 북한산 국립공원 전 지역에 걸쳐 고르게 분포하고 있었다. 한편 산사태 발생가능성이 상대적으로 높은 V등급 지역은 전체면적의 18.90%(15.1km²)로 대상지의 동쪽 사면에 주로 분포하는 것으로 분석되었으며, 산사태에 가장 취약한 VI등급 지역은 0.2km²로써 전체면적의 0.16%를 차지하는 것으로 나타났다. VI등급 지역은 도봉산 구역의 도봉계곡과 도봉 계곡 일대를 비롯해 우이동 계곡 북서쪽 및 정릉계곡, 그리고 내원사 북부지역에 주로 분포하는 것으로 분석되었다. 특히 우이동 계곡 일대는 지난 1998년 8월 산사태로 인한 인명피해 및 재산피해가 발생한 바 있는 지역으로 분석되었다(국립방재연구소, 1998).

2) 합산평가 매트릭스

합산평가 매트릭스분석은 중첩분석과 달리 각각의 인자별로 결합한 매트릭스 속성값을 바탕으로 산사태 취약성을 분석하는 방법이다(나정화 등, 2003; 김경태, 2005; Marks, 1989). 본 연구에서는 Table 3에서 보는 바와 같이, 최초

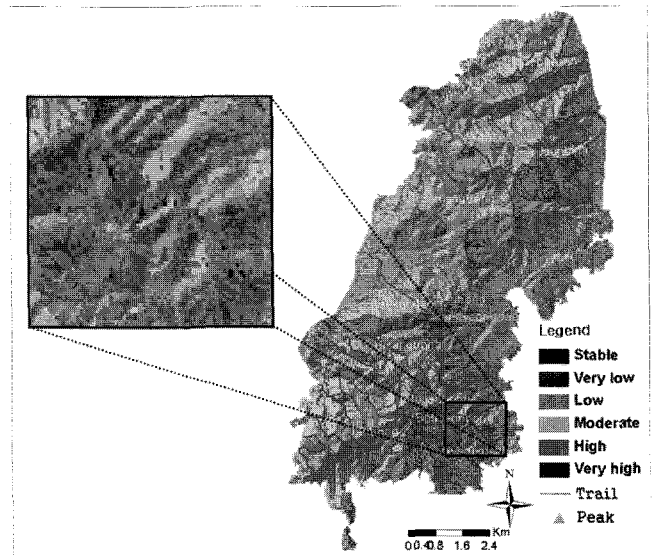


Figure 4. Map of landslide susceptibility by overlay analysis

사면경사와 사면방향 주제도를 결합한 매트릭스(M1)를 작성하여 6개 등급으로 구분한 후, 단계적으로 M1과 경사길이를 결합한 매트릭스(M2), M2와 토양배수를 결합한 매트릭스(M3), 그리고 M3와 NDVI를 결합한 매트릭스(M4), 마지막으로 M4와 토지이용도를 결합한 매트릭스 M5를 작성하였다. 합산평가 매트릭스 분석에 의한 최종적인 산사태 취약성 평가결과(M5)도 중첩분석과 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 et al., 2004; Liu et al., 2004) 인자 점수에 관계없이 가장 낮은 I 등급을 부여하였으며, 이들 지역은 다른 인자와의 합산평가 과정에도 I 등급이 유지되도록 평가하였다.

합산평가 매트릭스 분석결과, 산사태 발생에 있어 가장 안정적인 I, II등급의 지역은 전체면적의 약 13%(10.24 km²)를 점하고 있었으며, 원당리 밀집마을 지구를 비롯한 송추골 집단시설지구, 밤나무골 집단시설지구 등 주로 마을지구나 시설지구로 지정된 곳에 위치하는 것으로 분석되었다. 북한산 국립공원 전역에 걸쳐 고르게 분포하고 있는 III, IV등급지역은 63.85km²로써 전체면적의 약 79.90%를 차지하는 것으로 나타났다.

한편, 산사태 발생위험이 상대적으로 높은 V, VI등급 지역은 전체면적의 7.28%(5.83km²)를 점하고 있으며, 북한산 국립공원의 동쪽 사면에 주로 분포하는 것으로 나타났다.

Table 3. Classification of landslide susceptibility for the adding up estimation matrix analysis of each individual map layers

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

(a)Combination of slope angle and slope aspect layers

M2	Slope length	M1					
		I	II	III	IV	V	VI
	< 50	I	II	II	III	III	IV
	50-100	I	II	II	III	IV	V
	100-200	I	III	III	IV	V	VI
	200≤	I	III	IV	V	VI	VI

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

M3	Drainage	M2					
		I	II	III	IV	V	VI
	Rock	I	II	II	III	III	IV
	Poorly	I	II	II	III	IV	V
	Well, Moderately, Somewhat poorly	I	III	III	IV	V	VI
	Excessively	I	III	IV	V	VI	VI

(c)Combination of slope angle, slope aspect, slope length, and drainage layers

M4	NDVI	M3					
		I	II	III	IV	V	VI
	< 0	I	II	II	III	III	IV
	0-0.1	I	II	II	III	IV	V
	0.1-0.4	I	III	III	IV	V	VI
	0.4≤	I	III	IV	V	VI	VI

(d)Combination of slope angle, slope aspect, slope length, drainage and NDVI layers

M5	Landuse	M3					
		I	II	III	IV	V	VI
	Urban, Water	I	I	I	I	I	I
	Agricultural, Barren	I	II	II	III	IV	V
	Forest, Grass	I	II	III	IV	V	VI

(e)Combination of slope angle, slope aspect, slope length, drainage, NDVI and landuse layers

Table 4. Classification of landslide susceptibility by adding up estimation analysis

Grade	Area(km ²)	Rate(%)
I Stable	9.01	11.27
II Very low	1.23	1.55
III Low	42.19	52.79
IV Moderate	21.66	27.11
V High	4.83	6.03
VI Very high	1.00	1.25
Total	79.92	100.00

구체적으로 살펴보면, 구천계곡 상류지역과 대동문 남동쪽 사면을 비롯하여 우이동계곡의 북동쪽 사면과 도봉산구역의 용어천계곡 및 도봉계곡에 집중적으로 분포하는 것으로 분석되었다.

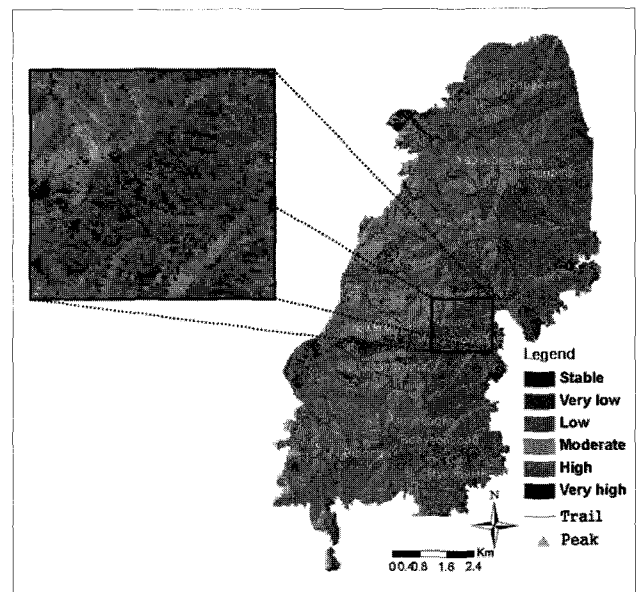


Figure 5. Map of landslide susceptibility by adding up estimation matrix

3. 산사태 취약성 분석기법의 비교

본 연구에서는 산사태 취약성 지역의 추출을 위해 중첩분석 및 합산평가 매트릭스분석 기법을 적용하였으며, 분석 기법간의 변화 양상은 Table 5와 같다.

중첩분석에서 I, II등급으로 평가된 지역은 전체면적의 약 2%인 1.67km²로 나타났으나, 매트릭스분석에서는 이들 지역을 비롯한 시설지구들이 더 많이 포함되는 것으로 분석되었다. 면적비를 비교해 보았을 때도 전체면적의 약 13%(10.24km²)로서 중첩분석에 비해 약 6배가량 넓은 면적비를 차지하는 것으로 나타났다. 또 III, IV등급에 해당하는 지역은 전체면적의 약 79%정도로서 중첩분석이나 매트릭스 분석 결과 모두에서 유사한 면적비율을 보이지만 각 등급별 면적 비율을 살펴보면(Table 5), 중첩분석에서는 IV등급의 면적이 III등급보다 넓게 분포하는 것에 반해, 매트릭스 분석에서는 중첩결과 IV등급 지역의 약 70%에 해당하는 면적이 III등급 지역으로 변화하는 양상을 보이고 있다. 이러한 결과는 중첩분석의 경우, 경사도가 매우 낮고 평탄한 지역이라 할지라도 경사길이나 토지이용에서 높은 평가등급을 받으면 산사태 취약성 등급도 높게 나타난 반면, 합산평가 매트릭스분석의 경우에는 경사도가 매우 낮거나 평탄한 지역 그리고 도시지역이나 수역 등은 경사길이나 토양배수, 토지이용에 관계없이 산사태 발생에 있어 매우 안정적인 지역으로 판단하여 가장 낮은 등급인 I 등급을 유지하도록 평가하였기 때문이다(김경태 등, 2005).

V, VI등급 지역의 경우 중첩분석 결과 V등급이었던 지역의 9.41km²(62%)가 IV등급으로 하락하는 등 일부 면적이 감소하였으나, VI등급 지역은 오히려 증가하는 양상을 보였다.

4. 생태적 위험지역 추출

북한산 국립공원은 도심 속에 위치하여 주변 도시민으로

부터의 이용압력이 상당히 높은 지역이다. 한 예로 약 160 km에 달하는 등산로가 생성되어 있으며, 이들 등산로의 훼손이 횡적으로 확산됨에 따라 하층식생의 쇠퇴 및 나지화를 초래하고 있다(산림청, 2004). 또한 인위적 간섭에 의해 귀화식물이 집중적으로 생육하고 있어 생태적 교란이 심각한 지역이라 할 수 있다(유주한 등, 2004). 이들 지역의 산사태 발생에 의한 식생파괴 및 생태적 교란은 향후의 복구조차 어렵게 만들어 생태적 위험도를 증가시킬 뿐만 아니라 사태 물질이 등산로를 횡단할 경우 인명피해를 유발할 가능성도 있다. 이러한 산사태는 생태계의 자연식생 훼손, 지형변경과 그에 따른 생물 서식처 소멸로 연관되는 메카니즘을 가지고 있으므로 산림생태계 보전을 위해서는 이에 대한 적극적인 고려가 필요하다.

따라서 본 연구는 중첩분석과 합산평가 매트릭스 분석에서 공통으로 V, VI등급에 속하는 지역만을 추출하여 등산로와의 버퍼링 분석을 실시하였다. 우리나라에서 발생하는 산사태의 토사류는 평균 30-40m내외로 흘러내리는 것으로 밝혀져 있는데(과학기술부, 2006), 본 연구에서는 버퍼링 분석을 통해 등산로 양쪽으로 각각 25m이내인 지역만을 선택하여 생태적 위험도가 높은 지역을 추출하였다.

분석결과를 살펴보면, 생태적 위험도가 높은 지역은 북한산 국립공원 전체면적의 1.2%에 해당하는 0.95km²로 분석되었다. 공간적 분포패턴을 살펴보면, 도봉산구역의 도봉서원을 기점으로 도봉계곡을 따라 거북골 및 용어천계곡으로 이어지는 등산로 주변지역 및 산장능선 남서쪽에 위치한 효자리계곡 등산로의 생태적 위험도가 높은 것으로 분석되었다. 또한 수유동에서 출발하여 대동문으로 향하는 3개의 등산로 및 정릉계곡, 평창계곡 주변의 등산로 모두에서 생태적 위험도가 높은 것으로 분석되었다. 특히 북한산 국립공원과 같이 지형 및 지세가 험준하고 경사가 급한 지역에서 발생된 산사태가 계곡으로 까지 확대되어 토석류로 발전하면 대규모의 산사태로 이어지는 경우가 많으므로 산지

Table 5. Variation patterns of grade by overlay analysis and adding up estimation matrix analysis

(Unit: km²)

Grade	Adding up estimation matrix analysis						Total (%)	
	I	II	III	IV	V	VI		
Overlay analysis	I	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13 (0.16)
	II	1.52	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	1.54 (1.93)
	III	5.19	0.62	7.81	0.10	0.00	0.00	13.72 (17.17)
	IV	2.17	0.60	34.33	12.16	0.00	0.00	49.26 (61.64)
	V	0.00	0.00	0.04	9.41	4.79	0.87	15.11 (18.90)
	VI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.13	0.16 (0.20)
Total	9.01	1.23	42.19	21.66	4.82	1.00	79.92(100.00)	
(%)	(11.27)	(1.55)	(52.79)	(27.10)	(6.03)	(1.25)		

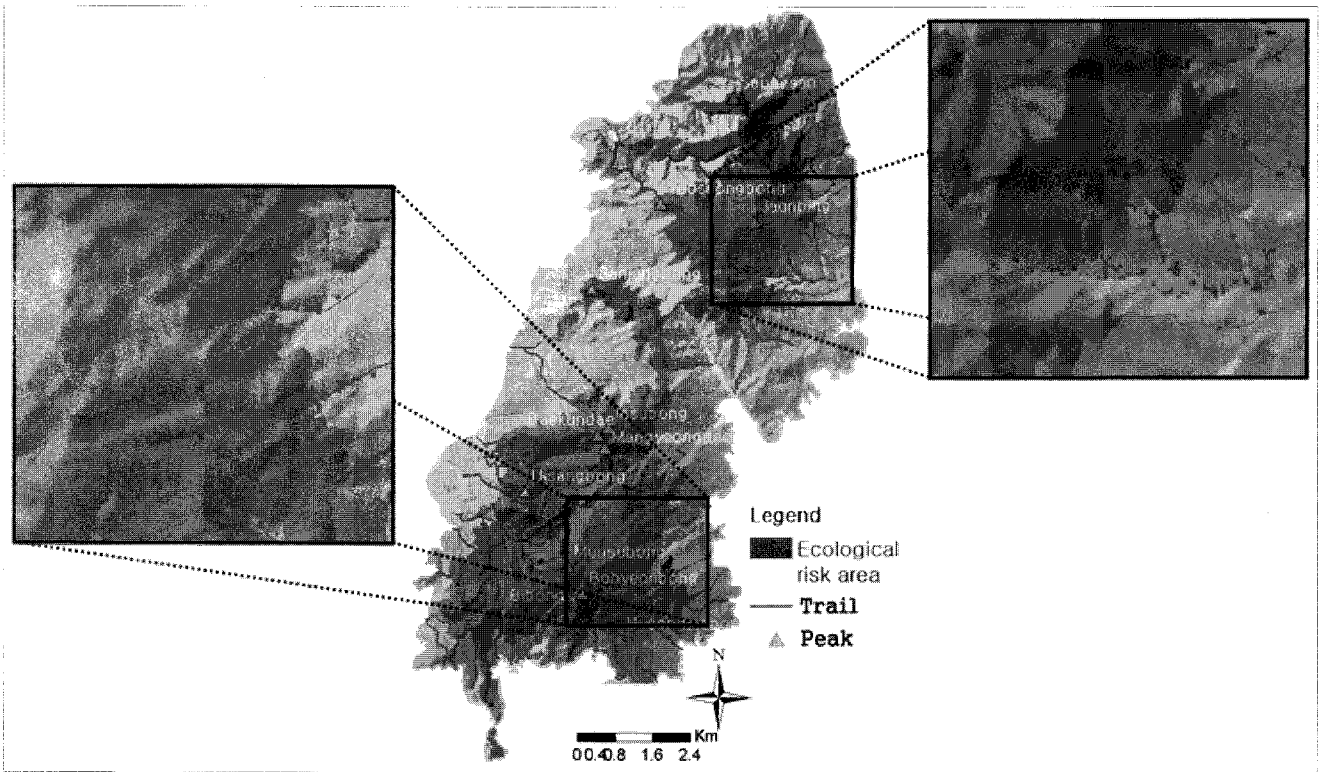


Figure 6. The ecological risk area

상류유역의 구간은 토석류재해에 대한 피해방지 시설이 필요할 것으로 생각된다(마호섭과 정원옥, 2007). 뿐만 아니라 향후 이들 지역의 지속적인 모니터링을 통한 관리방안이 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 북한산 국립공원을 대상으로 산사태 발생인자들에 대한 공간정보를 구축하였으며, 중첩분석 및 합산평가 매트릭스분석을 이용한 산사태 취약성 지도 및 생태적 위험 지도 작성을 통해 향후 산사태 재해 예방을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

산사태 평가 인자 추출결과, 북한산 구역의 만경대, 백운대를 비롯한 도봉산 구역의 자운봉 지역의 경사도가 60% 이상인 반면, 시설지구 및 취락지구를 중심으로 평탄지가 전체면적의 약 8.6% 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 경사 길이의 경우 50m이하인 지역이 전체면적의 53.5%인 42.6 km²를 차지하고 있었으며, 토양배수 분석결과에서는 북한산 국립공원의 59.2%가 암반노출지로 나타났다. 평균 식생활력도는 0.55, 최대 식생활력도는 0.79이며, 북한산 국립공원 전체면적의 94%인 74.7km²가 산림 및 초지지역으로 분석되었다.

산사태 취약 지역의 도출을 위한 중첩분석 결과, 지난 1998년 8월 산사태로 인한 인명피해 및 재산피해가 발생한 바 있는 우이동 계곡을 비롯한 도봉 계곡 일대, 정릉계곡 및 내원사 북부지역이 산사태 발생 잠재력이 높은 VI등급 지역으로 분석되었으며, 합산평가 매트릭스 분석결과에서는 구천계곡 상류지역과 대동문 남동쪽 사면을 비롯하여 우이동계곡의 북동쪽 사면과 도봉산구역의 용어천계곡 및 도봉계곡에 V, VI등급 지역이 집중적으로 분포하는 것으로 분석되어 향후 이들 지역의 관리계획 수립 시 산사태 위험에 대한 영향도 고려되어야 할 것으로 판단된다.

한편 등산로와의 버퍼링 분석을 통한 생태적 위험지역 추출결과에서는 도봉산구역의 도봉계곡 및 용어천계곡 주변지역과 수유동에서 출발하여 대동문으로 향하는 3개의 등산로 및 정릉계곡, 평창계곡 주변의 등산로 모두에서 생태적 위험도가 높은 것으로 분석되어 향후 이들 지역의 토석류재해 방지시설 및 지속적인 모니터링을 통한 관리방안이 필요할 것으로 판단된다.

향후 좀 더 정밀한 분석을 위해서는 산사태 발생지역에 대한 구체적이고 체계적인 데이터베이스를 구축하여야 할 것이며, 평가인자 및 등급설정을 위한 전문가 설문조사 및 현장조사를 바탕으로 한 적절한 보정작업이 필요할 것으로 판단된다.

인용문헌

- 강인준, 장용구, 광재하(1993) 지형정보시스템을 이용한 산사태 예측. 한국측지학회지 11(2): 53-58.
- 과학기술부(2006) 산사태 위험도 판정시스템 및 피해감지기술 개발.
- 국립방재연구소(1998) 사면안정성 조사와 피해경감을 위한 기초연구.
- 김경태, 정성관, 박경훈, 오정학(2005) GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회지 8(1): 75-87.
- 김종원, 남화경(1996) 한국 국립공원의 생태학적 특성분석과 보전 전략. 한국생태학회지 19(1): 93-104.
- 나정화, 채인홍, 사공정희, 류연수(2003) 도시계획지역 내 농경지의 잔여경관요소에 대한 경관생태학적 평가 및 보존 방안. 한국조경학회지 31(5): 31-42.
- 마호섭(1990) 지리산지역의 산지붕괴와 토사유출에 관한 연구. 경상대 연습논문 1: 13-25.
- 마호섭(1994) 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안. 한국임학회지 83(2): 175-190.
- 마호섭, 정원옥(2007) 우리나라 국립공원지역의 산사태 발생특성 분석. 한국임학회지 96(6): 611-619.
- 산림청(2004) 등산로 훼손 유형별 생태적 정비요령 -숲길 정비 매뉴얼-.
- 수자원관리정보시스템(2008) <http://www.wamis.go.kr>.
- 양인태, 천기선, 박재국, 이상윤(2007) GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가. 한국지형공간정보학회지 15(1): 39-46.
- 우경덕, 심규원, 한상열, 이주희(2003) 북한산국립공원 탐방객의 시·공간 이용분포 분석. 한국산림휴양학회지 7(4): 53-59.
- 우보명, 임경빈, 이수옥(1978) 안양지역에 있어서 강우에 의한 산사태 발생에 관한 실태조사와 예방대책에 관한 연구. 한국임학회지 39: 1-34.
- 유주한, 조홍원, 정성관, 이철희(2004) 미선나무 자생지의 생육특성과 환경특성간의 상관분석. 한국환경생태학회지 18(2): 210-220.
- 이사로, 김윤중, 민정덕(2000) 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용. 한국GIS학회지 8(1): 141-153.
- 이용준, 박근애, 김성준(2006) 로지스틱 회귀분석 및 AHP 기법을 이용한 산사태 위험지역 분석. 대한토목학회지 26(5): 861-867.
- 이진덕, 연상호, 김성길, 이호찬(2002) 산사태의 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.
- 조남춘, 최철웅, 전성우, 한경수(2006) RS와 GIS 기법을 활용한 산사태 위험성 검증. 한국지리정보학회지 9(2): 54-66.
- 천기선, 박재국(2007) 산사태 취약지에서의 토지피복상태 변화 추적. 한국지형공간정보학회지 15(3): 69-76.
- 최경(2001) 산사태 예보와 위험지 판정기술. 방재연구 3(4): 15-27.
- 한국자원연구소(2000) 산사태 예측 및 방지기술 연구.
- Chau, K.T., Y.L. Sze, M.K. Fung, W.Y. Wong, E.L. Fong, L.C.P. Chan(2004) Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. Computers and Geosciences 30(4): 429-443.
- Dai, F.C. and C.F. Lee(2002) Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology 42: 213-228.
- Liu, J.G., P.J. Mason, N. Clerici, S. Chen, A. Davis, F. Miao, H.L. Deng, Liang(2004) Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui-Badong. Geomorphology 61: 171-187.
- Marks. R.(1989) Methoden Oekologischer Planung im Kommunalen Umweltschutz am Beispiel der Stdt Dortmund. VGFO Band 18. Goeltingen, pp. 589-592.
- Perotto-Baldviezo, H.L., T.L. Thurow, C.T. Smith, R.F. Fisher, 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.