

## 空間分析모델링에 의한 山地의 土砂崩壞防災機能 適合度 評價<sup>1</sup>

鄭主相<sup>2\*</sup> · 金亨昊<sup>2</sup> · 車在敏<sup>2</sup>

## Application of Spatial Analysis Modeling to Evaluating Functional Suitability of Forest Lands against Land Slide Hazards<sup>1</sup>

Joosang Chung<sup>2\*</sup>, Hyungho Kim<sup>2</sup> and Jaemin Cha<sup>2</sup>

### 要　　約

이 연구의 목적은 토사붕괴산지재해에 대한 산지의 기능적합도 평가를 위한 공간분석모델링기법을 개발하기 위해 수행되었다. 기능적합도는 산지의 토사붕괴 가능성에 따라 상, 중, 하의 3단계로 구분되었다. 토사붕괴의 가능성은 경사, 모암, 토심, 경사형태, 임상 및 임목의 직경급과 같은 7개의 입지인자들에 대한 측정치를 이용하여 추정되었고, 이 과정에 토사붕괴 발생 요인으로서 각 인자들의 상대적 가중치는 AHP기법에 의해 결정되었다. 공간분석모델링은 7개 입지인자들에 대한 25m×25m grid 분석 혹은 TIN 분석을 통해 기초 layer 작성에서 시작된다. 이를 토대로 재분류 및 점수화 과정을 거쳐 토사붕괴 가능성 추정에 필요한 인자들의 속성 값을 지니는 새로운 layer를 형성한다. 이러한 속성 값에 가중치를 적용하고 지도대수분석을 통해 25m×25m cell 단위의 기능평가도를 작성하고, 마지막으로 cell-grouping을 통해 보다 실무적인 기능도를 작성하게 된다. 이 논문은 이러한 일련의 공간분석모델링 과정을 방법론적 관점에서 제시한다.

### ABSTRACT

The objective of this study is to develop a spatial analysis modeling technique to evaluate the functional suitability of forest lands for land slide prevention. The functional suitability is classified into 3 categories of high, medium and low according to the potential of land slide on forest lands. The potential of land slide hazards is estimated using the measurements of 7 major site factors : slope, bed rock, soil depth, shape of slope, forest type and D.B.H. class of trees. The analytic hierarchical process is applied to determining the relative weight of site factors in estimating the potential of land slides. The spatial analysis modeling starts building base layers for the 7 major site factors by 25m×25m grid analysis or TIN analysis, reclassifies them and produces new layers containing standardized attribute values, needed in estimating land slide potential. To these attributes, applied is the weight for the corresponding site factor to build the suitability classification map by map algebra analysis. Then, finally, cell-grouping operations convert the suitability classification map to the land unit function map. The whole procedures of the spatial analysis modeling are presented in this paper.

*Key words : spatial analysis modeling, forest land slide hazard, functional suitability, AHP, suitability classification map*

<sup>1</sup> 接受 2001年 6月 14日 Received on June 14, 2001.

審查完了 2001年 8月 20日 Accepted on August 20, 2001.

<sup>2</sup> 서울대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

\* 연락처자 E-mail : jschung@snu.ac.kr

## 서 론

산지재해방지기능은 자연현상 등에 의한 토사붕괴, 토사유출 등의 산지재해 발생과 기타 표면침식 등 산지환경화를 방지하고, 토지를 보전하는 기능을 의미한다. 이 중 특히 토사붕괴에 의한 산사태는 산지재해의 주요 원인으로 간주되고 있어 산림의 효율적 이용과 산림의 종합적 기능성 제고라는 측면에서 매우 중요한 산자원 관리 문제로 인식되고 있다. 따라서 산림관리에 있어서 산사태를 야기할 수 있는 주요 환경인자들을 규명하고 산사태 발생지에 대한 예지는 오래 전부터 산지재해와 관련하여 매우 중요한 연구분야로 중시되어 왔다.

그 예로, 우리 나라에서는 최경 등(1982, 1983)이 다변량해석을 통해 산사태 면적과 관계가 깊은 인자로써 횡단면형(局所地形), 경사길이, 모암, 경사위치, 경사도, 임분경급, 지형, 산사태의 깊이 등을 제시했고, 마호섭(1994)은 산지붕괴발생 면적에 영향을 주는 인자로서 강우, 임령, 토성, 경사, 경사위치, 곡차수, 임상 등을 제시하였다. 특히 최경 등(1983)은 경사길이, 모암, 경사위치, 임상, 사면형, 토심, 경사도의 7개 인자로서 전국 단위의 산사태위험예상지역을 판정하기 위한 평가표를 개발하여 실무적 판단기준으로 제시하였다.

그 외에 산지재해방지에 많은 관심을 가진 일본의 경우도 우리나라와 유사한 방법을 채택하고 있다. 즉, 일본의 산림기능별 조사실시요령(1991)을 보면 표층지질, 지질구조, 경사, 사면형상 등의 해석을 통해 산사태 발생을 예측하는 하는 것이다.

그러나 이와 같이 산지의 입지해석에 의한 산사태 발생의 잠재적 가능성을 예측하기 위한 평가체계는 국지적인 현장조사에 의존할 수밖에 없으므로 필연적으로 방대한 인력과 비용을 수반할 수밖에 없고, 현실적으로 매우 제한된 지역을 대상으로 수행될 수밖에 없는 한계가 있다. 이러한 점에서 산림공간 분석을 위한 GIS의 응용은 산지의 입지해석에 의한 산사태 발생의 잠재적 가능성을 예측하는데 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 이것은 급속한 컴퓨터 과학의 발전과 방대한 산림관련 기초자료의 지리정보시스템 및 데이터베이스 구축으로 인해 산림기능 구분을 보다 쉽게 접근하는 것이 가능해지고 있기 때문이다. 특히 GIS 및 컴퓨터 매핑체계는 개인용 수준의 컴퓨터

를 활용하여 다양한 산림 정보자료의 분석은 물론 복합적인 산림공간분석을 가능하게 함으로써 보다 강력한 분석 도구로 자리를 잡아가고 있다.

따라서 향후의 산림관리에서는 이러한 GIS 응용체계를 어떤 문제에 어떻게 활용할 수 있는가가 매우 중요한 사안이 될 수 있을 것이다. 이러한 관점에서 본 연구는 GIS의 공간분석 기능을 산지방지기능과 관련된 입지해석 및 기능성 분석에 응용하기 위한 기본 틀을 제시하고자 수행되었다. 다만, 본 연구에서는 토사붕괴로 인한 재해문제를 목재생산, 환경생태, 보건휴양 등과 같은 여러 가지 산림 기능 유형의 하나로 보고 재해방재기능의 관점에서 다루고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 공간분석모델링을 통해 NGIS 및 FGIS 사업의 일환으로 이미 구축되었거나 현재 구축중인 산림관련 수치도면을 해석함으로써 토사붕괴 잠재력을 개괄적으로 진단하고, 사례연구를 통해 토사붕괴방지방법의 기능성을 평가하기 위한 기초체계를 마련하는데 중점을 두었다.

## 재료 및 방법

### 1. 사례연구 대상지 및 수치도면 자료

본 연구의 사례연구지역은 전라남도 진안군으로 1/25,000 축척의 평장(도엽번호 : 357062)도엽을 사용하였다. 진안군 평장지역은 북위  $35^{\circ} 37' 30'' \sim 35^{\circ} 45' 00''$ , 동경  $127^{\circ} 22' 30'' \sim 127^{\circ} 30' 00''$  사이에 위치하고 있다. 산림기능평가를 위해 산림입지조사자료가 필수적이므로, 산림입지도 및 산림입지조사자료를 입수할 수 있는 평장지역을 사례연구지역으로 선정하였다.

Table 1. Sources of forest information.

Data type	Theme	Scale
Digital map	Topography map	1 : 25,000
	Vegetation map	
	Land use map	
	Subcompartment map	
Map	Site characteristics map	1 : 25,000

사용된 공간자료와 속성자료는 Table 1과 같다. 지형도는 국립지리원에서 구축한 수치지도를 사용하였고, 임상도, 산지이용기본도 및 임소반도는 산림청에서 구축한 FGIS 수치도면을 사용하였다.

그 외에 수치입지도는 현재 산림청 산하 임업연구원에서 구축 중이므로 본 연구에서는 대상지역의 수치입지도면을 직접 구축하여 사용하였다.

## 2. 토사봉과 잠재력 평가인자 및 기준의 설정

본 연구에서는 토사봉과 인자로 기존의 산사태 판정표(임업연구원, 1998)를 참고하여 도면자료로 계측이 가능하거나, GIS분석을 통해 추출할 수 있는 관련인자를 평가인자로 확정하여 사용하였다. 즉, 지형·지질적 안정성을 평가하는 인자로서 모암, 경사, 토심, 사면형을, 그리고 식생에 의한 안정성을 평가하는 인자로서 임상과 경급을 평가인자로 선택하였다. 그 외에 각 인자별 측정치에 대한 카테고리 점수부여는 [0~1]의 범위에서 5개 등급을 구분하여 적용하였고, 각 인자별 상대적 중요도는 해당 분야 전문가의 의견을 참고하였다.

즉, 토사봉과 예측에 요구되는 각 인자별 상대적 중요도 혹은 가중치는 AHP(Analytic Hierarchical Process)기법의 쌍체비교에 의해 결정하였다. 이 기법은 다수의 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 나누어 파악하여 대안들의 중요도를 선정하는 기법으로써 복잡한 문제에 내재되어 있는 각 요소들을 계층적으로 구성하여 공통의 목적 혹은 기준에 따라 대상들을 짝을 지어 비교하여 우선 순위를 결정하는 기법이다(Satty, 1980; Satty and Vargas, 1982).

한편 각 평가인자별 Category 점수부여에 있어서 경사도나 토심 등과 같은 연속형 평가인자는 Category 구분이 현실적으로 어려우므로 fuzzy set 함수를 적용하여 정량화 하였다. 이 함수를 사용하면 Figure 1(a)에서와 같이 연속 값은 갖는 공

간 값에 대하여 0과 1사이의 점진적인 값을 부여함으로써, Figure 1(b)에서와 같이 연속함수의 [a, b] 구간에 대해 무리하게 category 구분을 하지 않아도 된다. Fuzzy set 함수에는 S형태와 J형, 선형 등이 있으나 공간정보 분석과 관련해서는 공간의 점진성에 따른 특성을 고려해서 대개 S형의 함수를 사용하는 것이 일반적이다(김대중, 1995). S형 함수는 단조증가함수일 경우,  $\mu = \cos^2((X-a)/(b-a) \times (\pi/2))$ 로 정의되며,  $X > b$ 일 때,  $\mu = 1$ 로 표현된다.

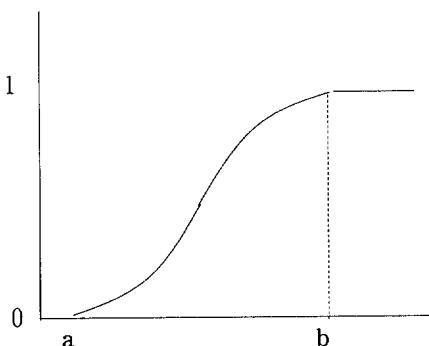
## 3. GIS 응용에 의한 공간분석모델링

본 연구에서는 정밀한 산악지형 분석 및 제반 산림입지특성 분석을 위해 Arcview 3.1, Spatial Analyst 및 3D Analyst 제품군과 Idrisi 2.0을 사용하여 공간분석모델링을 하였다. 이를 위해 산림의 토사봉과 방재기능의 적합도분석에 요구되는 여러 가지 공간자료 및 속성자료들에 대해 전술한 평가기준을 적용하여 각 인자별 산림입지평가레이어를 작성하였다. 각각의 평가레이어는 raster분석을 통해 생성되며, 본 연구에서는  $25 \times 25m$ 의 cell을 기본 단위로 산지재해방지기능에 대한 산림입지의 적합도를 평가할 수 있도록 설계하였다. 따라서 공간분석모델링을 통해 각 인자별로 생성되는 산림입지평가레이어는  $25 \times 25m$ 의 cell을 기본단위로 토사봉과 산지재해방지기능에 대한 정보를 보유한 일종의 주제도 성격을 지닌다.

## 4. 산지재해방지기능도면의 작성

$25m \times 25m$ 의 cell 단위의 인자별 산림입지평가레이어들을 취합하여 실제 산지관리에 요구되는 면적단위의 기능도면을 작성할 필요가 있다. 이를

(a) Fuzzy set function



(b) Categorized value function

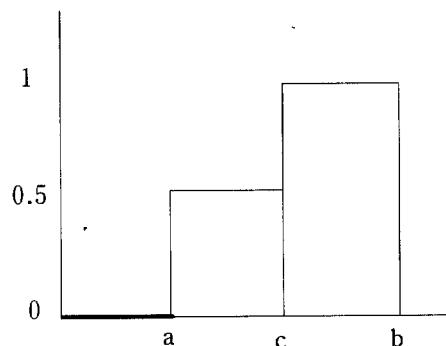
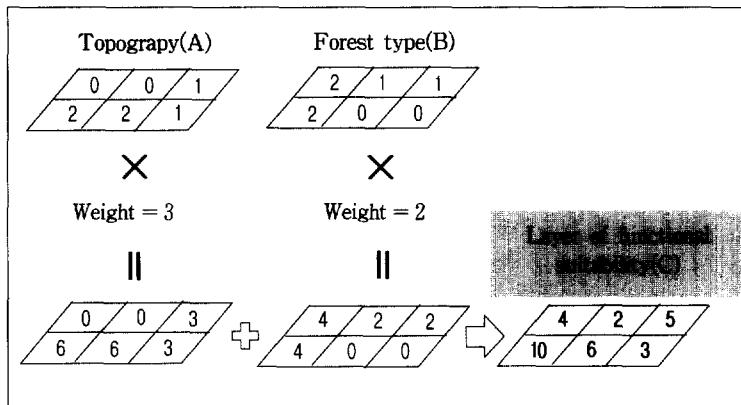


Figure 1. Functions for Continuous and discontinuous categorization.



**Figure 2.** Map algebra analysis to produce a  $25 \times 25\text{m}$  cell-unit thematic map for forest functional suitability.

위해 각 인자별 산림입지평가레이어를 종합하여 분석하고, 그 결과를 취합함으로써 해당 산지에 대한 재해방지 기능을 평가하여 새로운 도면을 작성하게 된다. 즉, 각 인자별 적합도 판정에 의해 작성된  $25\text{m} \times 25\text{m}$  cell 단위의 산림입지평가레이어에 가중치를 적용하고, 지도대수분석(map algebra analysis)을 통해 여러 가지 인자들을 종합적으로 고려한 주제도를 작성하게 된다.

Figure 2는 해당 기능관련 인자를 A(지형) 및 B(임상)로, 그리고 해당 인자들의 가중치를 각각 3과 2로 설정을 하고, 각각의 layer에 가중치를 적용하여 두 layer의 cell 단위 점수를 합산하여 새로운 기능적합도 layer C를 작성하는 지도대수 분석 과정을 보여준다. 이 그림에서 사각형 격자는  $25\text{m} \times 25\text{m}$  cell을 의미한다.

이상에서 작성된 산림입지평가 주제도는  $25\text{m} \times 25\text{m}$  Cell을 기본단위로 해당 기능의 적합도 평가 분포를 보여준다. 반면 광대한 면적에 대한 조방적 관리가 불가피한 산림관리의 속성상 이와 같은  $25 \times 25\text{m}$  Cell 단위의 정밀한 분포도면은 지나치게 상세하여 실무적 관점에서 볼 때 오히려 적합하지 못하고, 다소의 오차를 수반한다 해도 오히려 대면적 단위의 적합도평가도면이 현실적으로 바람직 하다. 이를 위해  $25\text{m} \times 25\text{m}$  cell 단위로 작성된 산림입지평가 주제도를 cell grouping 등에 의해 보다 실무적인 도면으로 조정할 필요가 있다.

## 결과 및 고찰

### 1. 산지재해방지기능 평가 기준

산지재해방지기능을 평가하기 위한 인자는 임

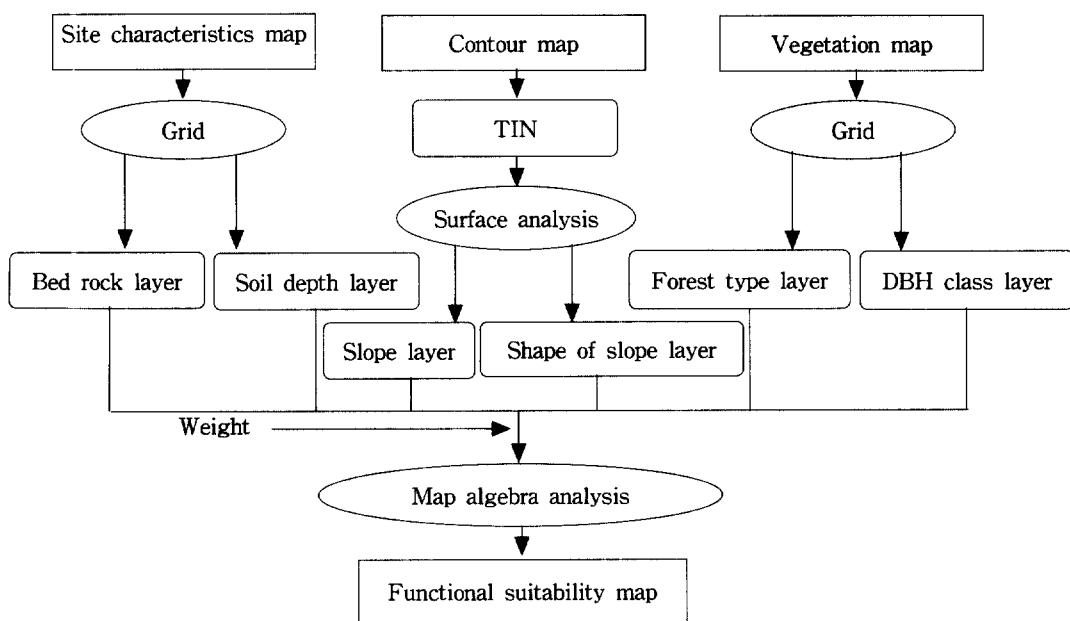
업연구원에서 전국단위로 사용하는 산사태판정표를 기초로 하여 Table 2에서와 같이 공간분석이 가능한 인자들을 선정하였다. 즉, 지형·지질적 안정성을 평가하기 위해 모암, 경사, 토심, 사면형을, 그리고 식생에 의한 안정성을 평가하기 위해 임상과 경급을 평가인자로 선택하였다. 각 평가인자에 대해서는 산사태판정표(최경 등, 1983)를 참고하여 [0~1]사이의 5단계 값으로 평가하였으며, 연속형 자료인 경사도와 토심에 대해서는 S형 fuzzy set 함수를 이용하여 정규화 하였다. 일례로, 각 인자들이 토사붕괴에 미칠 수 있는 영향력이 경사도  $40^\circ$  이상, 모암이 화성암(반암류와 안산암류), 토심 100cm이상, 불록한 사면형, 미입목지일 때 가장 높은 것으로 되어 있어 토사붕괴의 위험성이 높다는 것이지 100% 확률의 토지붕괴 예정지라는 것을 뜻하는 것은 아니다. 그 외에 이 표의 오른쪽 끝 열에는 AHP기법의 적용에 의해 결정된 가중치가 해당 인자의 상대적 중요도로 나타나 있다. 이 가중치들은 정합도(Consistency Index) 0.03에서 산출되었으며, 토사붕괴 주요 원인으로서 인자별 상대적 중요도가 경사도 > 모암 > 토심 > 사면형 > 경급 > 임상의 차례임을 알 수 있다.

### 2. 공간분석모델링 및 기능평가 도면의 작성

전술한 평가기준을 토대로 각 인자에 대한  $25\text{m} \times 25\text{m}$  Cell 단위의 공간분석모델링 및 최종 주제도 작성과정이 Figure 3에 나타나 있다. 평가에 사용되는 공간자료는 입지도, 지형도, 임상도, 산지이용기본도이며, 속성자료로서 입지조사자료가 이용되었다.

**Table 2.** The weight and categorized values of the major site factors.

Evaluation factor	Catagory value					Weight
	0	0.25	0.5	0.75	1	
Slope	0 °		$\mu = \sin^2(\frac{x}{40} \times \frac{\pi}{2})$		>40 °	0.401
Bed rock	sedimentary	igneous (granite, etc)	metamorphic (phyllite, clayslate, etc)	metamorphic (gneiss, schist)	igneous (porphyry, andesite)	0.256
Soil depth	< 20cm		$\mu = \sin^2(\frac{x-20}{80} \times \frac{\pi}{2})$		>100cm	0.145
Shape of slope	concave	-	plane	-	convex	0.099
Forest type	mixed, broad leaf	-	coniferous	-	bare land	0.042
DBH class	large	medium	small	seedling	bard land	0.057

**Figure 3.** The procedure for spatial analysis modeling.

입지도에서는 모암과 토심의 속성정보를 Raster 자료로 변환한 후, 모암레이어와 토심레이어를 작성하였다. 수치지형도에서는 등고선레이어를 추출한 후, 입체분석을 위한 TIN(Triangular Irregular Network)을 생성하고, Surface분석을 통해 경사레이어와 사면형레이어를 생성하였다. 그 외에 임상레이어는 임상도의 임상 정보를 추출하여, Raster 자료로 변환시킨 후 생성하였다. 이와 같이 생성된 평가레이어들은 평가모델에 의해 재분류되고 가중치를 적용하는 단계를 거친 다음 지도대수 분

석을 통해 최종 기능평가도면이 생성된다.

이 과정에서 사면형에 대한 판단은 분석 cell의 경사 방향에서 인접한 두 cell과의 비교분석을 통해 결정하였다. 또한 경사레이어는 수치지형도에서 등고선도를 추출하고, 등고선도를 이용하여 DEM을 생성한 후, 표면분석(surface analysis)을 통해 경사를 추출하여 재분류 과정을 거쳐서 생성된다.

표면분석을 통해 경사를 추출하는 개념적 원리가 Figure 4에 제시되어 있다. 즉, 3×3 cell 단위로 Window를 구성하고 중심 cell의 고도 값과

주변의 고도 값을 이용하여 경사를 추출한 후, *Moving Window* 기법에 의해 모든 cell의 경사 값을 결정하였다.

a	b	c
$\frac{dz}{dx} = \frac{(a+2d+g)-(c+2f+i)}{(8 * x \text{ mesh spacing})}$		
$\frac{dz}{dy} = \frac{(a+2b+c)-(g+2h+i)}{(8 * y \text{ mesh spacing})}$		
$\text{riserun} = \sqrt{\frac{dz}{dx}^2 + \frac{dz}{dy}^2}$		
$\text{degree slope} = \text{ATAN}(\text{riserun})$		

Figure 4. An algorithm to determine slopes(After Burrough, P. A., 1986).

이러한 분석과정을 거쳐서 작성된 각 인자별 평가레이어가 Figure 5에 제시되었다. 즉, Figure 5에서 임상(a) 및 경급(b) 인자에 대한 평가는 산림청 임업연구원에서 구축한 1 : 25,000 축척의 수치임상도로부터 임상속성 값들을 추출하여 Raster 자료로 변환하고, 앞의 절에서 설명한 산림입지평가기준에서 제시한 [0~1] 척도로 재분류한 결과이다. 동일한 방법으로 현재 산림청 임업연구원에서 구축중인 입지 자료를 분석하여 토심 및 모암의 기능 적합도를 평가한 주제도가 Figure 5의 (c) 및 (d)에, 그리고 경사 및 사면형의 기능 적합도를 평가한 주제도가 Figure 5의 (e) 및 (f)에 각각 나타나 있다.

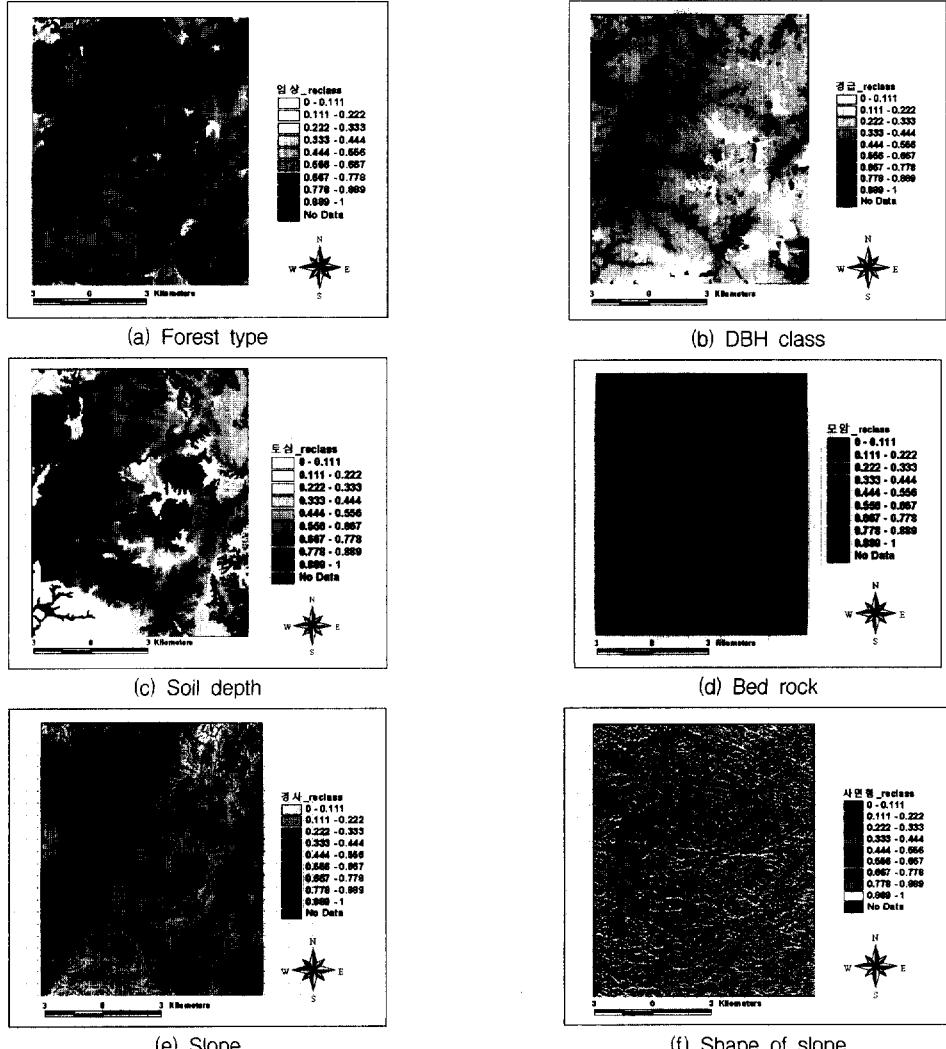


Figure 5. Functional suitability distribution layers for major site factors of the study sites.

이상의 과정을 통해  $25m \times 25m$ 의 cell을 기본 단위로 하는 각 인자들에 대한 기능적 합도 평가레이어들이 완성되면 최종 토사붕괴에 대한 잠재적 위험도를 평가한 도면을 작성해야 한다. 이를 위해  $25m \times 25m$ 의 cell 단위로 수행된 기능적 합도 평가레이어를 토대로 각 cell들을 상, 중, 하의 3등급으로 재분류한다. 그리고는 Figure 6에서와 같이 동일한 등급의 연속된 cell들이 일정 면적 이상의 면적이 되면 그 cell들을 grouping하고 vector로 변환하여 독립된 하나의 polygon으로 기능등급을 구분함으로써 최종 도면이 생성된다.

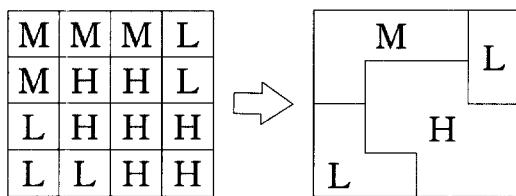


Figure 6. An example of generating a forest function map by grouping  $25m \times 25m$  cell units of the suitability map.

이러한 방법에 의해 작성된 토사붕괴에 대한 재해방지기능 평가도면이 상, 중, 하의 3 단계로 분류되어 Figure 7에 나타나 있다. 이 연구에서는 편의상 최저 기능구분단위를 2ha로 함으로써 cell grouping에 의해 형성되는 polygon의 면적이 2ha 이상이 되는 경우 독립된 등급의 구획으로 인정을 하고, 최소 구분단위 면적, 2ha에 미치지 못하는 경우에는 인접한 등급의 구획에 편입시켰다.

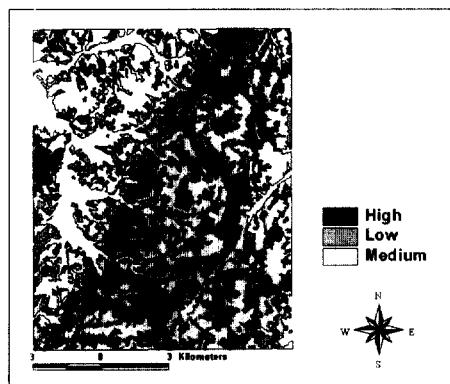


Figure 7. Functional suitability distribution map for forest land slides.

그 결과 연구대상지의 산림중 토사붕괴 위험에 노출된 정도가 높아 재해방지기능에 대한 수요가 상대적으로 높은 지역의 면적이 전체 면적의 약 34%로 평가되었으며, 그 외에 중간정도가 약 57%, 그리고 토사붕괴 위험이 비교적 낮아 안정된 지역이 약 9%로 분류되었다.

## 결 롬

이 연구는 토사붕괴로 인한 산지재해의 위험도를 예측함으로써 산림의 재해방지기능을 평가하기 위한 공간분석모델링체계를 개발하는데 초점을 두고 수행되었다. 이를 위해 우선 토사붕괴 위험도를 추정할 수 있는 산림환경인자들을 선별하고, 인자별 상대적 중요도를 평가하기 위한 방안으로 AHP기법을 적용하고자 하였으며, 이를 토대로  $25m \times 25m$  cell 단위의 공간분석모델링을 실연함으로써 산지재해방지기능 평가를 위한 일련의 분석과정을 도출하였다.

일반적으로 산림의 재해방지기능은 목재생산, 산림환경이나 생태 등 다양한 산림기능들 중 우선 순위가 매우 높은 기능이다. 본 연구는 이러한 기능적 측면에 대한 공간분석모델링체계를 제시함으로써 재해방지기능 외의 제반 산림기능평가를 위한 GIS 응용체계의 가능성을 보여주고 있다. 따라서 이러한 방법을 다른 기능평가에 응용하기 위한 다각적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

그 외에 본 연구에서 다루고자 했던 토사붕괴 위험도 판정의 경우 이미 산사태 판정표와 같은 실용화 단계의 기술과 축적된 자료가 있다. 이러한 자료와 기술의 활용도를 높이기 위한 방안의 하나로 전산정보화기법의 접목이 필요할 것이며, 특히 이를 위해 전산 응용기술에 적합한 전문화된 평가분석 기준의 설정과 소프트웨어 기술 개발 등을 통한 다각적 노력이 필요한 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

1. 김태종. 1995. 퍼지집합(Fuzzy sets)을 이용한 적지분석 의사결정에 관한 연구. 서울대학교논문. 22-42.
2. 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안. 한국임학회지 83(2) : 175-190.
3. 임업연구원. 1998. 산사태 판정표.

4. 정영관·손영보·이광수·강진택·정수영. 1996. GIS기법을 이용한 산림의 다목적 기능개발. 산림경제연구 4(2) : 15-28.
5. 최경·김태훈. 1982. 산사태 발생 원인에 관한 연구. 임업시험장연구보고 29 : 1-37.
6. 최경·박승걸. 1983. 산사태 발생 예지에 관한 연구(-다변량 해석법에 의한-). 임업시험장연구보고 30 : 109-127.
7. 林野廳. 1991. 森林の機能別調査実施要領の制定について(林野廳長官 52林野計第532号).
8. Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, 50-55.
9. Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierachy Process. McGraw-hill, New York. 21-30.
10. Saaty, T.L., Vargas, L.G. 1982. The Logic of Priorities London, Kluwer-Nijhoff Publishing. 16-17.