

산사태 활동성분석을 위한 GIS 응용연구

김윤종*.유일현*.김원영*.이사로*.신은선**.송무영***

A GIS Technique to Evaluate Landslide Activity

Youn-Jong Kim·Il-Hyon Yu·Won-Young Kim·Sa-Ro Lee
Eun-Sun Shin·Moo-Young Song

요 약

자연재해중 인간에게 엄청난 피해를 입히는 산사태의 활동성분석을 위해서는 일차적으로 항공사진으로부터 추출되는 산사태 발생지역과 규모(Landslide deposits)들에 대한 정량적인 분석접근이 필요하다. GIS를 이용하여 서천 및 보령지역을 대상으로 실시된 산사태 발생지역들의 등치선 작도기법(Isopleth mapping)은 도시 및 주변 지역들에 대하여 산사태 활동성분석을 아주 효과적으로 수행할 수 있게 하였다. 연구지역의 축척 1:15,000 항공사진을 이용하여 작성된 13년 간격(1978년, 1991년)의 산사태발생 분포도는 대상지역에 대한 산사태 활동성분석은 물론 산사태에 의한 위험 평가(Hazard assessment)를 가능하게 하였다. 또한 GIS는 산사태 발생에 영향을 미치는 환경지질학적 요소(지형, 지질, 토양 등)들을 통일된 시스템하에서 정량적으로 분석할 수 있게 하였으며, 다양한 지도모형연구에 의한 자료처리를 수행할 수 있게 하였다. 이러한 연구는 앞으로 국가 방재사업과 효과적인 도시계획 등을 위해서 점차 전국토로 확대할 필요가 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT : The inventory maps of landslide deposits show where landsliding has occurred in the past, and serve as a general guide to slope stability. Isopleth maps derived from those inventory maps, provide an economical means for the recognition of landslide activity and assessing the degree of landslide hazard in a large area, especially rural areas. GIS could generalize the methods of hazard assessment by means of isopleth mapping of landslide deposits. Isopleth maps of Secheon and Boreong areas, where the degree of landslide hazard is very high, show the mitigation of landslide activities remarkably by the remedial efforts during the period of 1978~1991.

* 한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 30 Kajung-dong, Yusung-ku, Taejon, Korea, 305-350), Tel : (042)868-3057.

** 한진지리정보(HANJIN GIS, 29-1, Sinsu-dong, Mapo-ku, Seoul, Korea), Tel : (02)3272-6446.

*** 충남대학교 자연과학대학 지질학과(Chung-Nam National University, 220 Gung-dong, Ysung-ku, 305-764), Tel : (042) 821-6423.

서 론

인간에게 때때로 막대한 피해를 입히는 산사태(Fig.1)를 분석하기 위해서는 대상지역에서의 산사태활동성 분석이 우선적으로 수행되어야한다. 연구지역에서(서천 및 보령) 산사태활동이 주로 심한 지역은 일부 화강암과 변성 퇴적암류(Gneiss and schist)지역 및 고지대의 대동계 퇴적암지역들이다. 특히 도시주변의 변성 퇴적암지역(Fig.2)들은 침식과 깊은 풍화대에 의하여 산사태 활동성이 아주 심하며, 산간지방의 퇴적암류들은 가파른 지형경사에 기인된 것이 주를 이루고 있다. 금번연구의 GIS를 이용한 등치선 작도기법(Isopleth mapping, Fig.3)에 의한 산사태 활동성분석은 국가 방재사업에 대한 대책제시, 산업입지 및 도로노선 선정 등 토지의 효과적 활용성 판단에 주목적을 두고 수행되었으며, 활용된 GIS 시스템은 ARC/INFO, ERDAS이다. 이러한 GIS시스템내의 일괄적인 자료처리 과정들은 지금까지 수작업으로 진행되어진 산사태의 활동성 분석과정들을 아주 효율적으로 수행할 수 있게 하였으며, 등치선 작도에 의하여 생성되어지는 산사태 빈도도(Landslide frequency map, Fig.4)들의 정확도를 높이는 결과를 가져왔다.

등치선 작도기법(Fig.3)은 넓은 대상지역에서 산사태 피해정도(Landslide hazard assessment)와 활동성 평가를 위한 경제적인 수단인 산사태 발생빈도도 작성방법이며(Campbell, 1973; 김윤중, 1989), 필요한 자료는 지형도와 산사태 발생지역(Landslide deposits)들의 분포도(Inventory maps)이다. 이 분포도는 과거에 산사태가 일어났던 장소를 보여주며, 이들로부터 만들어진 등치선도(Isopleth map)들은 산사태 발생지역들과 규모들의 공간적인 분포를 양적으로 일반화하기 위하여 등고선의 형태로 그려지며, 산사태 발생형태와 시간적 차이에 따라서도 작성이 가능하다. 항공사진으로부터 추출된 과거 산사태 발생지역들을 분석하여 작성되는 산사태 빈

도도는 주로 산사태에 의한 피해평가(Hazard assessment)의 기초적 수단으로써 사용되고 있다.

다음은 본연구의 산사태 빈도도작성을 위하여 적용된 등치선도 작성방법 요약 설명이다. 즉 등치선도 작성(Wright, Campbell and Nilsen, 1974)의 첫번째 단계는, 현재 존재하는 산사태 발생지역에 대한 분포도의 작성이며, 이 과정은 주로 항공사진 판독을 거쳐 한정된 야외조사의 확인으로써 이루어진다(Fig.3-A). 20×20의 수를 가진 격자들로된 지역에 직경 2~2.5cm 내접원이(Fig.3-B) 작성된 분포도 위에 놓여진 후, 격자의 교차점에 원의 중심이 놓여지게 한다(Fig.3-C). 이 원(counting circle) 내부의 산사태 발생지역들이 차지하는 격자의 수를, 원 내부의 전체 격자수로 나눈 후 100을 곱하여(percentage values) 그 값을 원의 중심이 위치한 격자의 교차점 위에 적어 놓는다(Fig.3-D). 모든 교차점위 값이 계산될 때까지 이 과정이 반복되고, 등고선(Isopleths)이 정해진 간격의 값에 따라 그려지며(Fig.3-E), 그 간격은 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90(%)으로 주어진다. 이렇게 작성된 등치선도는 산사태에 의하여 차지된 면적의 비율을 나타내는 것이다. 산사태 발생 분포도는 대상물이 정량화되지 않았기 때문에 다른 목적으로 만들어진 여러 형태의 지도(도로의 사면 안정분석도)들의 자료와 쉽게 조합을 이룰 수 없으나, 등치선도는 산사태 분포를 일반화시킨 것으로써, 그들의 분포도 작성시 무시되었거나 생략된 부분들의 재확인을 등고선의 smoothing에 의하여 가능케 한다. 또한 사면 안정성과 관계되는 여러 요소가 비효용성을 보일 때(실험자료 및 기하학적 요소의 부정확성), 이러한 등치선도는 산사태 활동성 인지에 대한 일반적인 지침으로써 이용되어질 수 있다(Degraff and Canuti, 1988; 김윤중, 1989).

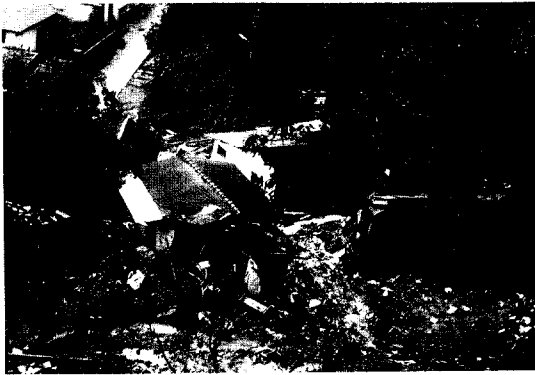


Fig. 1 Landslide disaster in Buyeu area(1995)

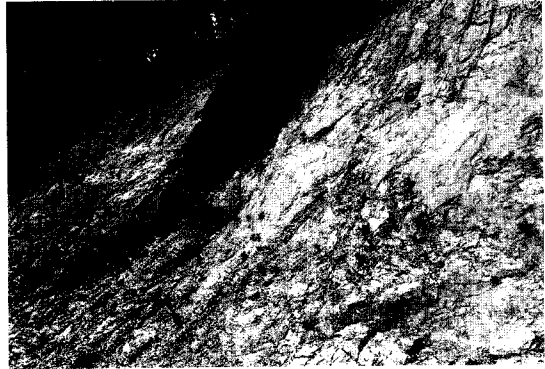


Fig. 2 Landslide in Secheon area(geniss, 1995)

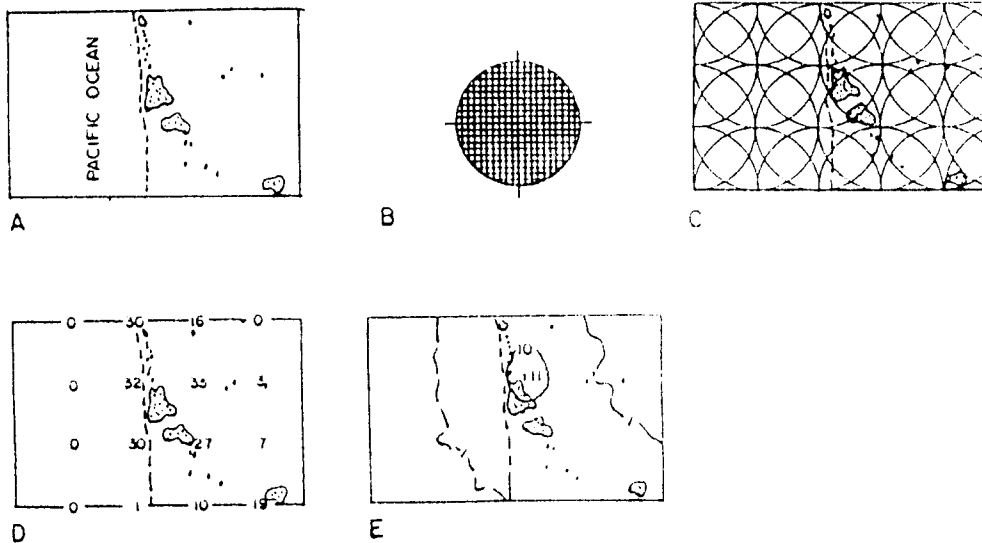


Fig. 3 Steps in preparation of isopleth map(Wright, Campbell, and Nilsen, 1974)

- A : Inventory map of landslide deposits
- B : Counting circle(diameter 2~2.5cm)
- C : Counting circles positioned with their centers on the intersections of grids overlain on the inventory map(grid omitted)
- D : Percentages of the areas covered by landslide deposits within the counting circle
- E : Isopleth map

산사태 활동성 분석과 산사태발생 위험평가

연구지역의 산사태 활동성을 분석하기 위하여 1차적으로 축척 1:15,000 항공사진을 이용하여 1978년과 1991년(13년 간격)의 산사태 발생지역들을 추출한 후 앞장에서 설명된 등치선 작성기법에 의하여 산사태 빈도도(Landslide frequency map, Fig.4-A, B)들이 작성되었다. 즉 산사태 발생빈도는 단위면적당 산사태에 의하여 차지된 면적의 비율(%)로 표시된다. Table 1은 등치선 작도기법에 의하여 작성된 1978년과 1991년의 산사태발생 빈도구분에 의한 산사태 발생 가능성(Landslide susceptibility categories) 분석표이며, Degraff(1985)의 연구(Table 2)를 기초로 연구지역에서 재구분된 것이다. 결국 산사태 활동성 분석은 그 발생빈도에 좌우되며, 발생빈도가 2%미만은 negligible, 2~6%는 low, 6~10%는 moderate, 10~16%는 high, 16%이상은 very high로 구분되어졌고, 각각에 등급(1~5)

구분이 이루어졌다. 연구지역내에서 0~2%지역(negligible)은 일부 증가한 반면에 전체적으로 높은 빈도(low-very high)들의 산사태 발생지역(보령, 서천)들이 줄어든 결과를 보여주고 있다. 이러한 현상은 산림자원의 보호와 국가에서 시행한 일부 방재사업 결과로 평가될 수 있다.

최종적으로 연구지역의 산사태발생에 대한 위험도 평가(Hazard assessment)를 하기 위하여 1978년와 1991년도의 산사태 빈도도들이 GIS 시스템내에서 중첩되었다(Fig.5-A). 13년 간격의 산사태 발생빈도도 중첩은 연구지역내에서 산사태발생의 아주 위험지역들과 산사태의 주활동방향 분석 및 산사태발생에 대한 위험구분(Hazard level)을 가능하게 하였다(Fig.5-B, Table 3). Fig.5-A에서 높은 발생빈도율(Landslide frequency)들이 중첩되어지는 지역들에 대하여는 많은 주의를 할 필요가 있으며, 이것은 13년 간격에도 불구하고 동일지역에서 계속적인 산사태발생을 예고하는 것으로 위험의 정도가 아주 높은 지역들임을 알 수 있다. 또한 산사태의

Table 1. Area covered by landslide deposits in 1978 and 1991

range-code	area covered by landslide deposits (in percent : %)*	1978(km ²) (A)	1991(km ²) (B)	(B)-(A) (km ²)	landslide susceptibility categories (rating;FQR)
1	less than 2	441.85	472.71	30.86	negligible (1)
2	2~ 4	86.13	65.52	-20.61	low (2)
3	4~ 6	30.21	21.69	- 8.52	
4	6~ 8	8.93	5.48	- 3.45	moderate (3)
5	8~10	2.26	1.09	- 1.17	
6	10~12	0.28		- 0.28	high (4)
7	12~16				
8	16~20				very high(5)
9	more than 20				
	total	569.66	566.49	- 3.17	

*landslide frequency : area covered by landslide deposits in percent

Table 2. Guideline for geological evaluation of planned timber sales based on landslide-susceptibility categories identified on isopleth maps(Degraff, 1985)

Landslide – susceptibility categories	Area covered by landslide deposits(in percent)	Evaluation guidelines
Negligible	1	No geologic evaluation necessary due to lack of potential landslide problems.
Low	1–10	Geologic evaluation may be required to identify design modifications which ensure maintenance of stability.
Moderate	10–30	Geologic study is needed to determine landslide mitigation alternative and to develop design requirements for roads and harvest units.
High	30–50	Geologic investigation is required to establish the degree of hazard posed by timber sale activity and the feasibility of mitigating it.
Very high	50–70	Detailed geologic study only when it is necessary to compute the specific risk from landslides to major roads crossing these areas.
Extreme	70	Extensive geologic investigation only to compute the specific risk of landslides for future land use planning.

Table 3. Hazard level evaluated from area covered by landslide deposits in 1978 and 1991

hazard level (FFR)	landslide frequency (%)	area(km ²)
1	fr78=2 and fr91=2	28.98
2	fr78=3 and fr91=2	3.18
3	fr78=4 and fr91=2	0.28
4	fr78=2 and fr91=3	1.42
total		33.86

*fr78 : landslide frequency in 1978, fr91 : landslide frequency in 1991.

주요 활동방향을 낮은 숫자(발생빈도)에서 높은 숫자쪽으로 진행되었으며, 본 분석은 연구지역의 방재 설계에 아주 중요한 자료로써 활용될 것이다. 이러한 분석을 토대로 최종적인 산사태발생 위험도 구분은 다음의 4가지 형태로 분류되었다(Fig5-B); very low(2 and 2), low(3 and 2), dangerous(4 and 2), very dangerous(2 and 3) (앞숫자는 1978년 빈도수이며, 뒷숫자는 1991년 빈도수임). 또한 이들 위험지역들이 연구지역내에서 차지하는 전체 면적은 약 33km²이다.

Landslide Frequency Map

(A) Isopleth map of landslide deposits in 1978

(B) Isopleth map of landslide deposits in 1991

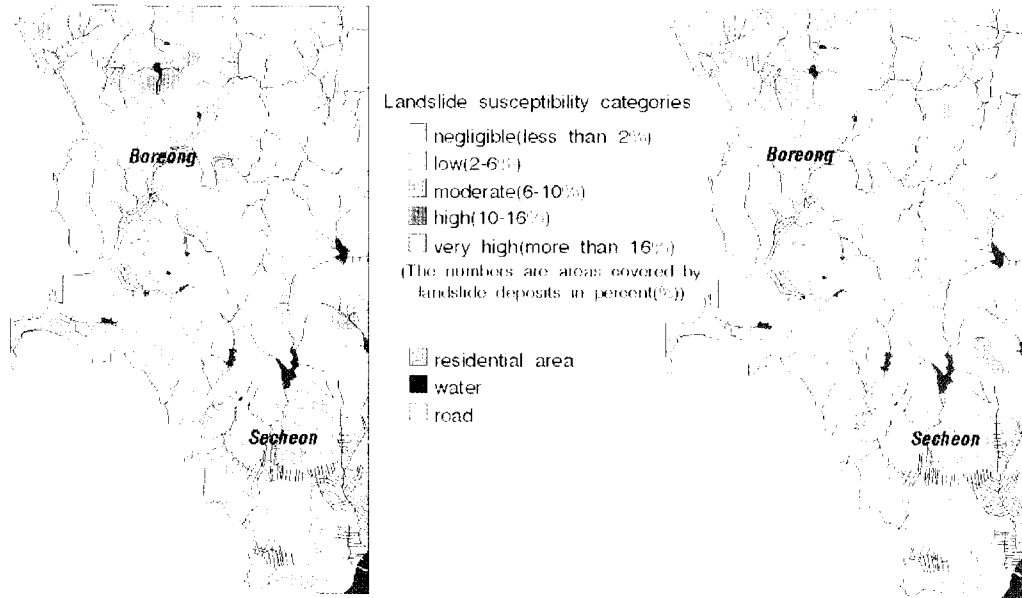


Fig. 4 Landslide frequency maps in 1978 and 1991

환경요소별 산사태발생 위험지역분석

앞장에서 추출된 산사태발생 위험지역(Fig.5-B) 들은 실제로 자연 환경적인 조건(지형, 지질, 토양 등)들에 아주 많이 지배되며, 이러한 환경요소별 산사태발생 위험지역 분석은 산사태예방을 위한 필수적 정보이다. Table 4는 암석분포별(지질) 산사태발생 위험지역 구분표이며, 깊은 풍화대 및 운모질을 포함한 변성 퇴적암류(Gneiss and schist)지역에서 산사태의 활동성이 아주 심한것을 알 수 있다(Fig. 6-A). 또한 대동계 퇴적암지역은 지형적으로 고지대에 많이 분포하며, 이러한 사실은 본 암석들이 지형경사에 많이 지배되고 있다는 것을 의미한다. 토양별로는(Fig.6-B, Table 5) 변성퇴적암 및 화강

암류들의 잔류토양인 SC(clayey sands)와 ML(silts and very fine sands)에 산사태 위험지역들이 많은 분포를 보이고 있다. 산사태 위험지역에 따른 지형경사(Fig.6-C, Table 6)는 20~30%가 가장 지배적이며, 이것은 Kim, S.K.(1991) 등에 의하여 분석된 한국의 일반적인 산사태 발생현황과 잘 일치하고 있다.

Table 4. Hazard areas in lithologic types(geology)

geology	area(km ²)		GG (item name)
	hazard level	area (km ²)	
Daedong sedimentary rocks	1	16.13	1
	2	1.78	
	3	0.31	
	4	0.69	
	total	18.91	
	hazard level	area (km ²)	
granite	1	1.38	2
	2	0.02	
	3		
	4	0.29	
	total	1.69	
	hazard level	area (km ²)	
gneiss and schist	1	10.38	4
	2	0.98	
	3	0.01	
	4	0.39	
	total	11.76	
	hazard level	area (km ²)	
alluvium	1	1.01	6
	2	0.38	
	3	0.07	
	4	0.04	
	total	1.50	
	hazard level	area (km ²)	
Total	33.86		

Table 5. Hazard areas in different soils

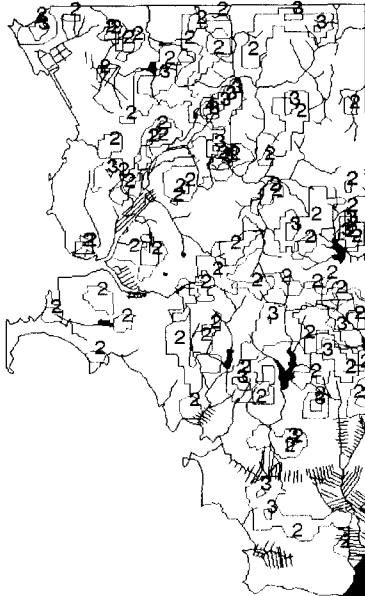
soil	area(km ²)		SG (item name)
	hazard level	area (km ²)	
SM (silty sands)	1	3.49	1
	2	0.43	
	3	0.02	
	4	0.09	
	total	4.03	
	hazard level	area (km ²)	
ML (silts and very fine sands)	1	4.82	3
	2	0.45	
	3		
	4	0.49	
	total	5.76	
	hazard level	area (km ²)	
GP (poorly graded gravels)	1	1.60	4
	2	0.37	
	3	0.17	
	4	0.04	
	total	2.18	
	hazard level	area (km ²)	
SC (clayey sands)	1	16.19	5
	2	1.83	
	3	0.10	
	4	0.56	
	total	18.70	
	hazard level	area (km ²)	
Rock exposures	1	2.88	6
	2	0.09	
	3		
	4	0.22	
	total	3.19	
	hazard level	area (km ²)	
Total	33.86		

Table 6. Hazard areas in variation of topographic slope(%)

slope (%)	area(km ²)		SLP (item name)	slope (%)	area(km ²)		SLP (item name)	
	hazard level	area (km ²)			hazard level	area (km ²)		
less than 2	1	3.47	1	16~20	1	2.32	8	
	2	0.58			2	0.36		
	3				3	0.02		
	4	0.02			4	0.25		
	total	4.07			total	2.95		
2~4	hazard level	area (km ²)	2	20~30	hazard level	area (km ²)	9	
	1	0.03			1	6.76		
total	0.03	2	0.64					
4~6	hazard level	area (km ²)	3		3	0.12		10
	1	0.07			4	0.37		
	total	0.07		total	7.89			
6~8	hazard level	area (km ²)	4	30~40	hazard level	area (km ²)	11	
	1	0.80			1	5.65		
	2	0.01			2	0.27		
	3				3	0.01		
	4	0.06			4	0.28		
total	0.87	total	6.21					
8~10	hazard level	area (km ²)	5	40~50	hazard level	area (km ²)	12	
	1	1.24			1	2.98		
	2	0.15			2	0.38		
	3	0.03			3			
	4	0.22			4	0.02		
total	1.64	total	3.38					
10~12	hazard level	area (km ²)	6	50~60	hazard level	area (km ²)	13	
	1	1.30			1	1.05		
	2	0.13			2	0.27		
	3	0.04			3	0.01		
	4	0.06			4			
total	1.53	total	1.33					
12~16	hazard level	area (km ²)	7	more than 60	hazard level	area (km ²)	13	
	1	3.09			1	0.20		
	2	0.41			2	0.01		
	3	0.05			3			
	4	0.13			4			
total	3.68	total	0.21					
Total				33.86				

Landslide Hazard Assessment

(A) Isoleth maps of earthflow activity in 1978 and 1991



(B) Hazard areas evaluated from isopleth maps

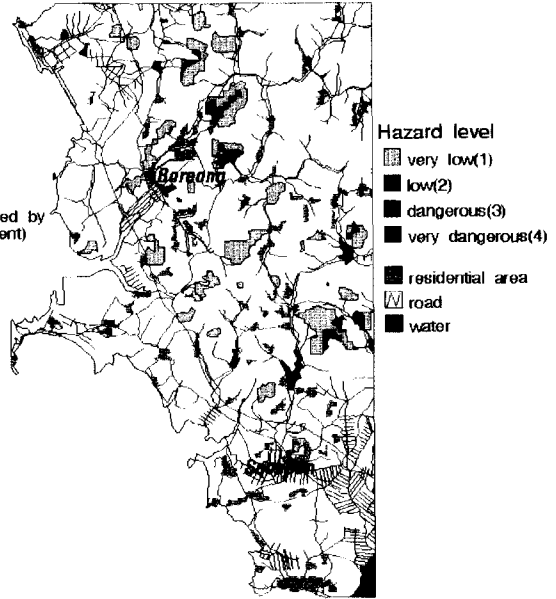


Fig. 5 Landslide hazard assessment

Distribution of Hazard Areas

(A) Hazard areas in different lithologic types



- Granite
- Daedong sed. rocks
- Gneiss
- Schist
- ▨ Qtz-porphry & dyke
- Alluvium
- Water
- ▨ road

(B) Hazard areas in different soils



- GP(poorly graded gravels)
- SP(poorly graded sands)
- ▨ SM(silty sands)
- SC(clayey sands)
- ML(silts & very fine sands)
- Rock exposures

(C) Hazard areas in different slopes



- ▨ 0 - 2%
- ▨ 2 - 4%
- ▨ 4 - 6%
- ▨ 6 - 8%
- ▨ 8 - 10%
- ▨ 10 - 12%
- ▨ 12 - 16%
- ▨ 16 - 20%
- ▨ 20 - 30%
- ▨ 30 - 40%
- ▨ 40 - 50%
- ▨ 50 - 60%
- ▨ more than 60%

Fig. 6 Distribution of hazard areas

결 론

GIS와 등치선 작도기법을 이용한 산사태의 활동 성분분석은 도시 및 주변지역에서 아주 효과적으로 신속하게 산사태 발생의 위험평가를 할 수 있으며, 국토 개발 계획 및 산업입지 선정 등에 아주 실용적으로 활용될 수 있다. 특히 13년의 시간차에 따른 산사태발생 빈도분석과 그들의 중첩에 의하여 추출되는 산사태발생 위험지역들과 활동성에 대한 평가 기술은 앞으로 국가의 방재기술 개발에 널리 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 환경요소별 산사태 발생 위험지역의 정량적 분석은 추후 산사태 예방대책 연구를 위하여 필수적인 자료들을 제공할 것이다. 금번연구를 통하여 GIS는 산사태 발생 위험지역들의 예측 및 평가 기술들을 일부 자동화시켰으며, 추후 통일된 GIS 시스템내에서 항공사진 입체분석에 의한 산사태 발생지역의 자동구분과 실시간 산사태 발생 감시기술 개발 및 국가 방재정보 시스템 구축 등이 이루어져야할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 김윤중, 유일현, 김원영, 1994, 환경지질도 작성을 위한 GIS 응용연구, 지질공학회지, 제4권 제3호, pp.321-331.
- 김윤중, 유일현, 1989, Isopleth mapping 기법에 의한 봉계지역의 landslide 활동 성연구, 대한원격탐사학회지, 제5권, 2호, pp.-131.
- Bruce F.Walker and Robin Fell, 1978, Soil Slope Instability and Stabilisation. Rotterdam:A.A. Balkema, pp.6-28.
- Campbell R.H., 1973, Isopleth map of landslide deposits, Point Dune quadrangle, Los Angeles Country, California:An experiment in generalizing and quantifying areal distribution of landslides, U.S. Geol. Surv. Misc. Field Investigation Map MF-535.
- Degraff J.V., 1985, Using isopleth map of landslide as a tool in timber sale planning. Bull. Assoc. Eng. Geol., No.22, pp.445-453.
- Degraff J.V. and Canuti P., 1988, Using isopleth mapping to evaluate landslide activity in relation to agricultural practices. Bull. Int. Asso. Eng. Geol., No.38, pp.61-71.
- Hendrix, W.G. and Price, J.E., 1986, Application of GIS for assessment of site index and forest management constraints, GIS workshops, pp.263-272.
- Kim, S.K., Hong, W.P., and Kim, Y.M., 1991, Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea, Landslide, Bell, pp.989-994.
- Mahrt T. and Malgot J., 1985, Devastation of environment by landslides activated by construction. Bull. Assoc. Eng. Geol., No.22, pp.81-88.
- Wright R.H., Campbell R.H, and Nilsen T.H., 1974, Preparation and use of Isopleth Maps of Landslide Deposits. Geology, Vol.2, pp.483-485.