

지질재해 분석을 위한 GIS 응용연구

김윤종*·김원영*·유일현*

Analysis of Regional Geologic hazards using GIS

Youn-Jong Kim · Won-Young Kim · Il-Hyon Yu

요 약

지질재해(산사태)를 분석하기 위한 광역지질재해도가 GIS를 이용하여 작성되었다. 산사태를 일으키는 주요 요소인 지형경사, 파괴사면형태, 공극수압, 토성, 지질, 강우량등이 GIS 기법을 이용하여 정량적으로 분석되었으며, 컴퓨터 지도모형 연구를 통하여 작성된 최종 지질재해도는 연구지역의 산사태 잠재력과 지면의 안정성을 아주 효과적, 경제적으로 분석할 수 있다. 이러한 GIS MAP들은 대상지역의 지역개발 정책뿐만아니라 자연재해 예방등에 아주 유용하게 이용될 수 있다. 금번 연구를 위하여 사용된 GIS시스템은 ARC/INFO 이며, 영상처리를 위하여는 ERDAS가 활용되었다.

ABSTRACT : GIS was applied for analysis of the potential degree of regional geologic hazard, especially landslide, in the suburb of Seoul city. Potential elements causing a landslide are geology, slope geometry, groundwater, soil property, rainfall and vegetation etc. These factors were incorporated through GIS in order to predict the potential hazards, and to produce a regional geologic hazard map in the study area. For this study, ARC/INFO and ERDAS systems were used in SUN4-390 workstation.

서 론

GIS를 이용하여 서울 근교지역을 대상으

로 광역 지질재해도(Regional geologic hazard map)를 작성하고 연구 지역에 대한 지질재해, 특히 산사태(사면 붕괴)에 관한 분석

* 한국자원연구소 환경지질연구그룹 (Environmental Geology Research Group, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, P.O. BOX. 14 Taeduk Science Town, Taejeon, Korea)

연구를 시도 하였다. 산사태를 유발시키는 요소인 사면형태, 지질, 지하수, 토양의 성질, 강우, 식생등을 GIS를 이용하여 정량적으로 분석하였으며, 지도모형기법에 의하여 최종적으로 광역재해도를 작성하였다. 이러한 지질재해도는 연구 지역내의 산사태 잠재력을 분석하고 지역개발 계획시 전체적인 지면의 안정성을 파악, 개발정책에 활용할 뿐만 아니라 자연재해에 대한 피해 예방에 이용될 수 있다.

산사태는 상부 사면에 균열이 생성됨으로써 시작되며, 균열들은 물이 채워져 상부 토양을 약하게 하고 동시에 그들을 아래쪽으로 이동시키는 응력을 증가시킨다. 결국 산사태는 토양층이나 암반층의 경계를 따라 상부 지층이 아래로 이동하는 전단파괴(Shear failure)의 결과이며, 이러한 산사태를 일으키는 중요한 요소들은 지형경사, 지질, 지하수, 강우량, 토양성질, 식생 등이다. 본 연구에서는 이러한 요소들을 지역적으로 분석하고, 그들에 대하여 등급과 가중치를 설정한 후 GIS시스템을 이용한 지도모형연구를 통하여 새로운 광역지질재해도를 작성하였다. 실제로 산사태 분석을 위하여는 대상 물질들의 물성분석, 시험시추, 지구물리탐사 및 지질공학적 모델 (김윤중, 김원영, 1991)등이 연구되어야 한다. 그러나 급변 연구의 가장 중요한 목적은 GIS를 이용하여 넓은 지역에 대한 전체적인 사면 안정성 평가를 빠른 시간에 경제적으로 분석하는 것으로서, 위의 내용들은 본 연구에 포함시키지 않았다. 또한, 연구 지역은 실제로 약 100km²이나 자료의 한계성으로 인하여 대상 자료층군이 작성된 지역만 추출, 분석되었다.

산사태 발생분포도 작성과 초기 분석

산사태 발생분포도는 항공사진(1987.5)과 야외조사를 통하여 작성되었다. 작성된 산사태 분포도로 부터 단위 면적당(직경 2-2.5 cm인 원) 산사태 분포 면적비(%)를 산출한 후, 이들로 부터 등고선 형태의 Isopleth map을 작성 하였으며(김윤중, 유일현, 1989), 그것은 산사태로 인한 1차 피해의 평가 기준이 된다. 또한 이것은 산사태 발생빈도(Landslide frequency)의 상대적 분석을 가능하게 한다. DeGRAFF(1985)는 Isopleth map에 의한 피해분류 기준을 Negligible(1%미만), Low(5-10%), Moderate(10-30%), High(30-50%), Very high(50-70%), Extreme(70% 이상)등으로 구분하였으나, 그것은 대상지역의 자연 환경의 특성에 따라 변화될 수 있다. 이러한 분석은 넓은 대상 지역의 산사태를 1차 정량적으로 분석하는 아주 효과적인 방법으로써, 본 연구지역의 피해분류 구분은 Table 1과 같이 7개로 재분류되었다.

Fig.1 은 연구 지역의 경사분류도와 Isopleth map을 중첩시켜 지형경사에 따른 산사태 발생빈도를 분석한 것이다. 경사 30° 미만 지역에서 대부분의 산사태가 발생하였으며, 40° 이상의 가파른 지형은 전체 분포면적이 10%미만에 불과하나 산사태 발생 위험이 매우 크다. 이러한 분석은 GIS를 이용한 광역지질재해도 작성시 지질재해 분석 모형연구를 위한 지형경사의 합리적 등급 설정을 가능케 하였다. 본 지역은 선캄브리아기의 흑운모 내지 화강암질 편마암이 주로 분포하고 양토, 사양토(SM, SC)의 토성을 가지는 풍화대가 10-15미터 정도 발달하고 있다. 이러한 지질학적 특성상 이지역에서 발생하는 산사태는 대규모적인 것 보다는 소규모의 산사태가 많은 빈도를 나타내는 것이 특징이며, Slump-Earth flow, Debris

Table 1 Landslide susceptibility categories and assigned rating for landslide frequency.

landslide frequency (%) (percent of isopleth map)	landslide susceptibility categories	rating
0 - 5	Negligible	1
5 - 10	Very low	2
10 - 15	Low	3
15 - 20	Moderate	4
20 - 25	High	5
25 - 30	Very high	6
30 이상	Extreme	7

Table 2 Summary of the Weight and Rating System for Regional Geologic Hazard Model.

Factors	Weight	Rating
1. Topographic slope (Tw,Tr)	5	1 - 6
2. Landslide frequency(Lw,Lr) (correlation between topographic slope and frequency)	4	1 - 7
3. Position of Groundwater head (Gw,Gr) (Proximity to water table or springs)	3	1 - 3
4. Vegetation (Vw,Vr)	2	1 - 4
5. Rainfall (Rw,Rr)	2	1 - 4
6. Soil texture (Sw,Sr)	1	1 - 3
7. Rock quality (hard/soft, jointing) (Qw,Qr)	1	1 - 2
8. Bedding dips in direction potential failure (Bw,Br)	3	1 - 2
9. Condition of bedrock (Cw,Cr)	2	1 - 2

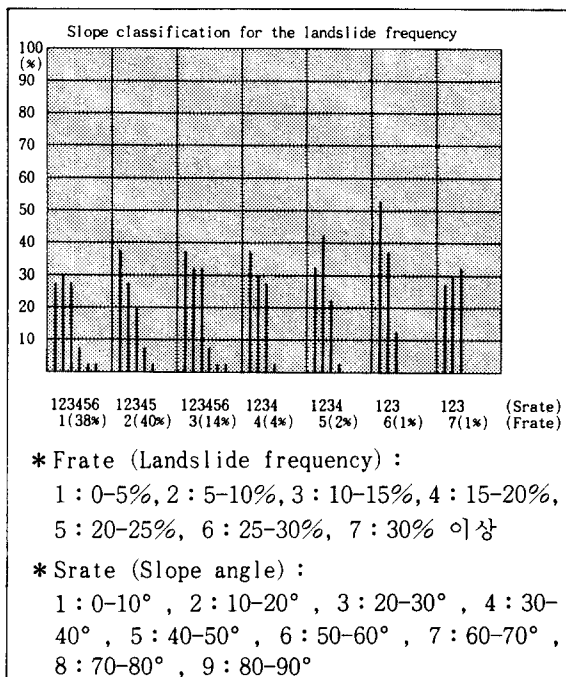


Fig. 1 Relationship between topographic slope and landslide frequency in the study area.

slide 및 복합적 (Complex) 인 형태의 산사태를 보이기도 한다.

GIS를 이용한 지질재해 분석과 광역지질재해도 작성

산사태를 유발하는 일반적 요소중 가장 중요한 것 (Hunt, 1986) 은 지형, 토양과 암석, 공극수압과 강우량, 지진 등이며, 본 연구에서는 이러한 기본 요소들을 중심으로 광

역적 지질재해 분석을 위한 9개의 인자를 설정하였다 (Table 2). 또한 GIS를 이용한 지도모형연구와 지질재해도를 작성하기 위하여 연구지역의 환경지질학적 특성을 분석하고 그들 9개의 인자들에 대하여 등급과 중요도에 따른 가중치가 부여되었다.

지형경사와 산사태 발생빈도

앞장에서 연구된 초기 분석 (경사도와 Iso-pleth map의 중첩) 은 대상지역의 지역적 특성이 고려된 경사 및 산사태 발생빈도의 합리적 구분을 가능케 하였다. 산사태 발생빈도가 35% 이상 지역은 거의 보이지 않았으며, 등급 구분은 1-7로 주어졌다 (Fig. 1의 Frate). 또한, 지형경사 등급은 1-6까지 10° 단위로 설정되었다 (1 ; 0°-10°, 2 ; 10°-20°, 3 ; 20°-30°, 4 ; 30°-40°, 5 ; 40°-50°, 6 ; 50° 이상).

지하수위

지하수위 상승에 따른 공극수압의 증가는 파괴사면의 저항력을 감소시키고 활동력을 증가시킨다. 본 연구를 위하여 지하수면의 위치를 상부 토양층 (3), 풍화대 (2), 기반암 (1) 에 위치한 3가지 형태로 구분하고 상부 토양층에 가까울수록 높은 등급이 주어졌다. 토양두께, 풍화대 심도, 지하수위 등의 자료들은 본 지역에서 시행된 시추조사 (한국토지개발공사, 1990, 철도청, 1989) 에서 발췌되었다.

식 생

식물의 뿌리들은 토양의 전단강도를 증가시킨다. 특히 식생밀도가 산사태 분석에 중요하며 고밀도지역(1), 중밀도지역(2), 저밀도지역(3), 나대지(4)로 구분되었다. 식생 밀도분류를 위한 토지이용현황도는 TM영상(1987.10, 1988.9)들을 PCA(Principal Component Analysis)와 Training-set를 이용한 감독분류기법, Clustering을 이용한 비감독분류기법을 병행하여 작성하였으며, 항공사진(1987.5) 판독자료에 의하여 부분적으로 수정 및 보완을 하였다.

강 우

Guidicini와 Iwasa(1977, 1986)는 40년간의 강우량과 산사태 발생빈도를 통계 분석하여 비교표를 작성하였으며, 산사태 위험도에 따른 연평균 강우량을 2,500mm 이상(4), 2,000-2,500mm(3), 1,200-2,000mm(2), 1,200mm 이하(1)로 4구분하였다. 이표는 연구지역의 강우량에 따른 산사태 위험도 구분을 위하여 본 연구에서 이용되었다. 본 지역의 강우집중은 6-9월 사이에 820-830mm(전체의 68%), 연평균 강우량이 1,200-1,300mm(환경영향평가서, 1989)로 2등급에 해당되었다.

토성, 지질

정밀토양도(농업진흥청, 1977)와 시료분석을 통하여 통일분류법에 맞추어 토양분류도가 작성되었으며, 대부분이 양토-사양토(SM, SC)이고 Silt(29-43%)와 Clay(6-15%)를 포함한 세립-중립질의 사질토양이 우세하다. 토양의 공학적 성질(silt와 clay의 함량, 투수계수, 물성등)이 고려되어 SM(silty sands:1), SC(clayey sands:2), ML(silts and very fine sands:3)에 대한 등급이 1-3으로 결정되었다. 지질요소중 중요한 것은

암질, 절리, 파괴사면 위의 지층경사등이며, 본 지역은 풍화대 발달이 깊은 흑운모 및 화강암질 편마암지역으로써 노두의 발달이 아주 불량하고 상부 암석들은 대부분 풍화암 내지 잔류토양으로 구성되어 있다. 지형경사, 토양, 지하수등의 분석에 이미 본역의 지질학적 특성이 고려되었으므로 암질에 대한 등급(Hard rock-1, Soft rock-2)만 전체적으로 2등급에 분류하였다.

지질재해 구분과 광역지질재해도 작성

각 요소들에 대한 분석요약이 Table 2에 정리되었으며, 가중치는 각 요소들의 산사태 발생에 따른 중요도를 고려하여 부여되었다. 지질재해구분을 위한 최종평가지(SR)는 다음과 같이 계산된다.

$$SR = Tw \times Tr + Lw \times Lr + Gw \times Gr + Vw \times Vr + Rw \times Rr + Sw \times Sr + Qw \times Qr + Bw \times Br + Cw \times Cr$$

(SR ; Stability rating)

(Tw, Tr; Table 2의 각 요소에 대한 가중치(Weight)와 등급(Rating))

본 연구지역의 SR의 범위는 4-46을 보여 주며, 재해등급 구분을 위하여 SR과 그 면적에 대한 누적분포도가 작성되었다. 이 곡선위에서 3개의 변곡점(SR = 15, 20, 25)이

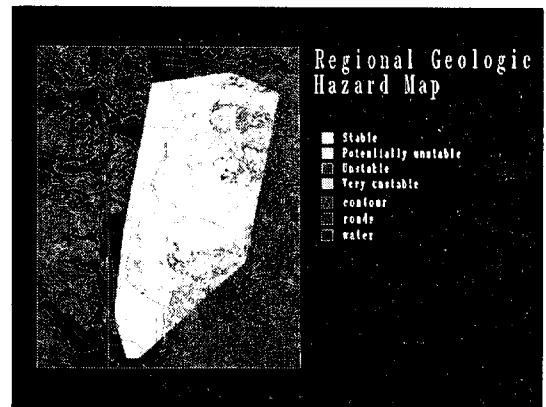


Fig.2 Regional geologic hazard map.

추출되고, Stable(0-15), Potential unstable(15-20), Unstable(20-25), Very unstable(25이상)로 지질재해가 4등급된 후 광역지질재해도가 작성되었다(Fig. 2).

지질재해 모형 평가와 분석

본 연구지역은 Stable(57%) 및 Potential unstable(24%)이 전체의 약 81%의 분포를 보이는 비교적 안정된 지역이며, 불안정 지역 (Unstable: 12%, very unstable: 7%)은 산사태의 높은 빈도율(20-30%)과 지형경사 약 30°)가 주원인으로 항공사진 분석결과 및 야외조사와 대체로 일치하였다. 광역지질재해도에서 추출된 불안정 지역중 대표 사면에 대한 현장 확인조사가 실시되었다(Fig. 4). 본 사면은 이미 큰 붕괴가 일어났으며 앞으로도 붕괴의 위험이 있는 것으로 분석되었다. 이들 사면의 붕괴는 모두 2조의 단층을 수반한 썬기형(wedge)인 것이 특징이다. 폭 7-8m, 길이 20여m 붕괴가 곳곳에서 발생하였는데 이들은 모두 북동향의 단층과 남서향의 단층을 따라 일어난 썬기형 붕괴이다(Fig. 3, 4). 특히 남서향(222/63) 단층은 115cm 두께의 단층점토가 충전되어 있어 물이 스며들 경우 급격한 마찰각의 감소를 야기할 수 있는 조건을 가지고 있다. 이곳의 사면붕괴는 위에서 언급된 두개의 단층과 교차선을 따라 272/53 방향이었으며 사면 상부에는 남북방향(097/65)의 tension crack이 사면 붕괴와 연관하여 발달하고 있다(Fig. 3). 따라서 사면의 안정성을 보장하기 위하여는 사면의 경사를 완만히(50° 내외)하거나 혹은 다른 보강 대책이 마련되어야 할 것이다.

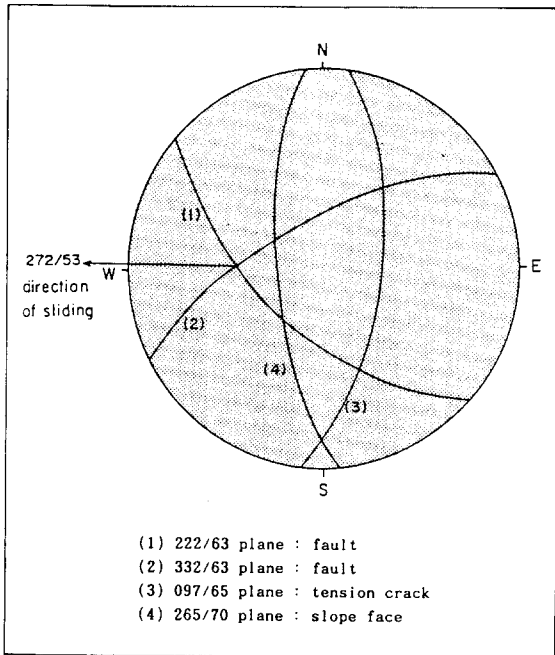


Fig. 3 Wedge failure geometry and direction of the slope C.

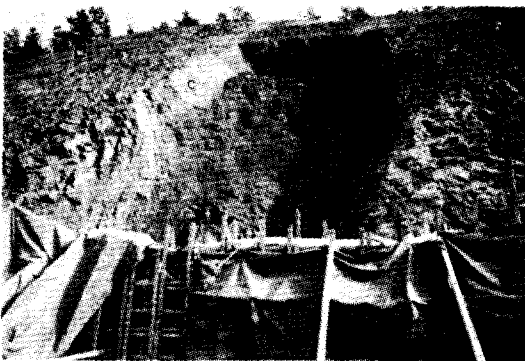


Fig. 4 Wedge failure along intersection between B and C planes of the slope C.

결론

본 연구에서 개발된 GIS의 광역 지질재해 분석모형은 넓은 대상지역의 전체적인 지면 안정성을 아주 경제적으로 빠른 시간내에 분석할 수 있다. 이러한 분석은 지역 개발 정책에 직접 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 자연재해에 대한 피해를 최소화 할 수 있다.

최종 생성된 지질재해도는 본 지역이 전체적으로 산사태에 대한 잠재력이 약하며, 지반이 안정된 지역으로 분석된다. 그러나 3,4 등급 지역(Unstable, Very unstable)에 도로건설 및 정지공사를 시행코져 할 때는 자세한 지하 지반의 특성연구 및 사면 안정성연구가 요구된다. 본 지질재해 분석모형의 요소, 등급 및 가중치 결정은 사면과괴 원인을 분석하여 대상지역의 자연환경 특성에 따라 조절되어야 하며, 특히 광역지질재해도의 생성은 수치지형자료(DEM)와 지하지질분석의 정확도에 많이 좌우된다. 본 연구는 앞으로 환경지질연구 및 국토관리를 위한 정보시스템 개발에 크게 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 김윤중, 김원영, 1991. Sarma 방법을 이용한 암반사면 안전성분석연구, 한국지구과학회 제12권 1호, pp.14-24.
- 김윤중, 유일현, 1989. Isopleth Mapping 기법에 의한 봉계지역의 Landslide 활동성연구, 대한원격탐사학회 제5권 2호, pp.123-131.
- 둔전지역 지질도, 1982. 한국동력자원연구소
- 복선전철 지반조사보고서, 1989. 철도청.
- 새도시개발사업 토질조사주상도, 1990. 한국토지개발공사.
- 정밀토양도(성남시), 1977. 농촌진흥청, 농업기술연구소.
- 환경영향평가서, 1989. 한국토지개발공사
- Brabb, Earl E., 1987. Analyzing and portraying geologic and cartographic information for landuse planning, emergency response, and decisionmaking in San Mateo County, California, Second Annual International Conference, Exhibits and Workshops on GIS, pp.362-374.
- DeGRAFF, J.V., 1985. Using isopleth maps of landslide deposits as a tl in timber sale planning, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No.22, pp.445-453.
- Guidicini, G., and Iwasa, O.Y., 1977. Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid-tropical environment, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No.16, pp.13-20.
- Hunt, Roy E., 1986. Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation, McGraw-Hill Book Company, pp.447-537.
- Kim, Y.J., Kim, W.Y., Yu, I.H., Seo, D.J., and Yang, Y.K., 1992. Analysis of geologic hazards(landslides) using GIS technology, XVII ISPRS Congress, Washington, D.C., U.S.A.
- Walker Bruce, F., 1987. Soil slope instability and stabilisation, A.A. Balkema, pp.2-52.
- Winterkirn, Hans F., and Fang, Hsai-Yang, 1985. Foundation Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, pp.345-401.
- Wright, R.H., Campbell, R.H., and Nilson, T.H., 1974. Preparation and use of isopleth maps of landslide deposits, Geology, Vol.2, pp.483-485.