

# 지리정보시스템(GIS)을 이용한 사면붕괴지역 예측방법 연구 및 비교

## Comparison of Methods in the Identification of Land Slide Prone Areas using GIS

·장 훈, ·윤완석, ·신동준

### 요약

지리정보시스템을 이용한 사면붕괴 연구는 국내외 많은 연구논문과 보고서를 통하여 보고되어 왔다. 반면, 지리정보시스템을 이용한 연구는 현재 다수의 학자들에 의하여 발표되고 있으나, 그 결과에 대한 비교와 국내 실효성에 대하여 언급한 논문은 다소 미흡하다. 본 논문에서는 국내 자료의 실용가능성을 감안하여 사면붕괴지역 가능성예측 산정 모델 중 두 가지 방법, 이변량 통계분석과 결정론적 분석을 통하여 동일지역에 적용하여 그 결과를 비교하였다. 선정된 대상지역은 2002년 태풍 “루사”로 인하여 피해가 규모가 큰 강원도 강릉시이고, 두 모델을 이 지역에 적용하였다. 결과비교는 동일지역에 동일 자료를 사용하더라도 모델에 따라 발생가능성이 높은 지역이 다소 차이를 보였으며, 모델 또한 자료의 질적, 양적인 성질에 따라 크게 영향을 받는 것이 밝혀졌다.

### 1. 서론

지리정보시스템을 이용한 사면붕괴지역 예측방법은 크게 경험적 분석 (heuristic analysis), 통계적 분석 (statistical analysis), 그리고 결정론적 분석 (deterministic analysis) 등으로 나뉘게 된다. 경험적 분석은 역사적인 사면붕괴자료를 바탕으로 사면붕괴지역을 추정하는 것으로, 수 년 또는 수십 년에 걸친 방대한 자료와 전문가의 지식이 요구되므로 국내의 경우에는 자료의 미비로 인하여 적용하기 매우 어렵다. 특히, 경험적 분석은 우리나라의 사면붕괴 요인 중 크게 작용하는 집중호우에 대한 모델링이 어렵고, 인자간의 민감도를 해석하기가 난해하다.

지리정보시스템을 이용한 사면붕괴지역 연구는 통계적 분석과 결정론적 분석이 주를 이루고 있으며, 이에 대한 연구결과는 차후에 자연재해 정책과 재해대피, 재해피해 복구 등에 사용되고 있다. 하지만, 지리정보시스템을 이용한 연구는 자료의 가용성 (data availability), 자료의 정확도 (data accuracy), 사용된 자료의 축척 (data scale level), 그리고 붕괴예측모델 (land slide model used) 등에 의존한다. 즉, 지리정보시스템은 자료에 크게 의존하기 때문에 자료의 민감도가 상당히 작용하며, 사용된 모델에 따라 결과를 예측하기 어렵다.

따라서 본 논문에서는 지리정보시스템을 이용한 사면붕괴지역 연구에서 사용되는 대표적인 두 모델, 통계적 분석과 결정론적 분석을 통하여 사면붕괴지역을 생성하였으며, 그 결과를 비교하였다.

### 2. 사면붕괴지역 연구방법

지리정보시스템을 이용한 사면붕괴지역 연구방법으로는 경험적 분석, 통계적 분석, 결정

\*성균관대학교 토목환경공학과 전임강사 · 공학박사 · 031-290-7641(hchang@skku.edu)

\*\*성균관대학교 토목환경공학과 석사과정 · 031-290-7524(bettynet@skku.edu)

\*\*\*성균관대학교 토목환경공학과 석사과정 · 02-3274-2204(milidori@skku.edu)

론적 분석이 있는데, 경험적 분석은 항공사진 분석이나 현지조사를 통해서 특정한 지식을 알고 있는 전문가들이 수행하는 방법으로써, 사면붕괴지역 위험도 작성의 바탕이 되는 방법이 공식화되어진 것이 아니라 사면붕괴관련 전문가들의 견해가 위험지역을 분류하는데 이용되는 방법이므로 본 연구에서는 제외하기로 한다. 따라서 본 연구에서는 통계적 분석과 결정론적 분석을 사용하여 사면붕괴지역을 산정하고 그 결과를 비교 및 분석하였다.

## 2.1 통계적 분석

통계적 분석은 과거에 발생한 사면붕괴 현상을 유발했던 주위환경과 동일한 조건에서 사면붕괴가 발생한다는 가정 하에서, 사면붕괴에 영향을 미치는 인자들을 선정하여 과거 사면붕괴 발생지역을 대상으로 통계적으로 분석하는 방법이다. 이 분석은 매개변수지도(parameter map)의 중첩과 사면붕괴의 밀도 계산이 분석의 핵심이며, 통계적 분석에는 이변량 통계분석(bivariate statistical analysis)과 다변량 통계분석(multivariate statistical analysis) 방법이 있다. 본 연구에서는 이변량 통계분석을 사용하였다.

다변량 통계분석이 배제된 이유는 정확한 신뢰도를 위해서, 변수의 통계적인 분포를 위한 많은 양의 데이터가 필요할 뿐만 아니라 다중회귀 또는 판별식들을 이용하여 분석하므로, 통계적 처리를 위한 별도의 통계프로그램을 필요로 한다. 이변량 통계분석에서는 각각의 매개변수들이 사면붕괴 분포도와 조합되고, 사면붕괴 밀도에 기반을 둔 가중치를 각 인자의 클래스(class)에 대하여 계산한다. 즉, 각 인자의 클래스별로 사면붕괴 발생 면적 비율을 각 인자가 전체 면적에서 차지하는 비율로 나눔으로써 결정된다.

계산된 발생예상지역에 대하여 분포도를 작성하게 되며, 계산된 확률의 범위에 따라 초기값(threshold value)을 설정하여, 그 발생예상지역의 구간을 결정하게 된다.

## 2.2 결정론적 분석

결정론적 분석은 필요한 인자의 입력자료에 대한 공간적 분포를 표현하는 지도를 필요로 한다. 결정론적 분석의 이점은 안전율과 같이 안전도에 대한 양적인 값의 계산을 허용하는 사면안정모델에 기반을 두고 있다는 점이다. 사면안정모델에 의하여 GIS는 공간적으로 분포되어있는 자료를 다루며 입력자료를 각각의 격자값으로 지도의 형태로 표현한다.

많은 안전율 모델 중에서 본 연구에서 채택한 모델은 Brunsden과 Prior (1984)에 의하여 발표된 모델로 간단하면서도 활용도가 높다. 이 모델은 그림 1과 같이 사면을 무한사면으로 가정하고 강우로 인한 지하수위와의 비를 이용한 방법으로 식(1)과 같다.

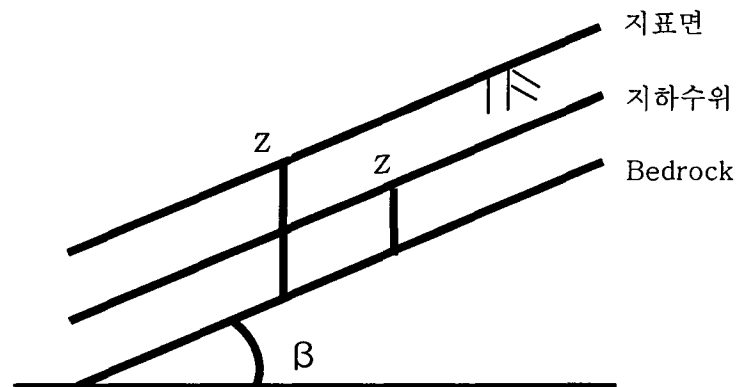


그림 1. 무한사면안정 해석도

$$F = \frac{c' + (\gamma - m\gamma_w)z \cos^2\beta \tan\phi'}{\gamma z \sin\beta \cos\beta} \quad (1)$$

위의 식 (1)에서  $F$ 는 안전율을 의미하며,  $c'$ 는 유효점착력 ( $\text{ton}/\text{m}^2$ ),  $\gamma$ 는 토질의 단위중량 ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ),  $m$ 은 지하수위와 유효토심과의 비 ( $z_w/z$ ),  $\gamma_w$ 는 물의 단위중량 ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ),  $z$ 는 지표면으로부터의 흙의 깊이,  $z_w$ 는 지하수위,  $\beta$ 는 지표면의 경사 ( $^\circ$ ),  $\phi'$ 는 흙의 내부마찰각 ( $^\circ$ )을 뜻한다.

식 (1)에서 계산된 안전율이 1보다 큰 경우는 안정한 상태이며, 1보다 작은 경우는 불안정한 경우이다. 지리정보시스템을 이용하여 안전율을 계산하려면 격자단위로 제작된 인자의 layer에 따라 계산한다. 계산의 단위인 격자는 일반적으로 정방형의 형태를 띠고 있으며, 격자안의 성질은 동질 (homogeneous)한 것으로 가정한다.

### 3. 연구수행

#### 3.1 연구대상지역

지리정보시스템을 이용한 사면붕괴지역 분석을 위해서는 연구에 적합한 지역이 선정되어야 하며, 이는 역사적인 사면붕괴 다발지역, 자료의 존재 여부, 대상지역의 공간적 범위 등이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 먼저 사면붕괴가 빈번히 발생하고 있는 강원도 지역을 중심으로 사면붕괴 횟수와 피해면적을 조사하여, 대상지역의 공간적 범위가 적절한 강릉시로 선정하였다. 강원도청(2003)에서 제공한 사면붕괴관련 자료에 의하면 1998년부터 2002년도에 강릉시는 총 85회의 사면붕괴가 발생했으며, 사면붕괴로 인한 피해면적은 162.20 ha로 전체 피해면적의 32.5%를 차지하고 있다.

강릉시의 사면붕괴 발생횟수 85회 중 81회는 2002년도 8월 31일과 9월 1일 사이에 발생한 것으로 태풍 “루사”에 의한 피해였다. 따라서 강릉시는 역사적으로는 사면붕괴가 비교적 적었으나, 태풍 “루사”에 의한 호우로 피해가 급등하였다.

#### 3.2 통계적 분석 - 이변량 통계분석

##### 3.2.1 해석인자 선정 및 레이어 작성

사면 불안정 현상은 물리적 환경과 인간의 상호작용을 모두 포함한 다양한 인자와 관련이 있다. 따라서 사면붕괴 가능성의 평가에는 토양성질에서부터 토지이용에 이르기까지 여러 인자들에 대한 지식이 요구된다. 본 연구에서는 사면붕괴와 관련이 있는 인자로써 여러 논문에서 발표된 인자를 추출하여 경사, 경사길이, 경사위치, 사면형태, 임상의 종류, 임상의 등급, 임상의 영급, 임상의 밀도, 토질, 모재, 토양의 배수, 유효토심, 토지피복 등을 선정하였다. 통계적 분석을 수행하기 위하여 연구지역에 대한 위의 각 인자들에 대해 국립지리원 1:5,000 수치지형도, 임업연구원 1:25,000 임상도, 농촌진흥청 1:25,000 정밀토양도, Landsat ETM+ 위성영상 등을 이용하여 각 인자들에 대한 레이어를 작성하였다.

##### 3.2.2 해석인자의 가중치 선정

사면붕괴에 영향을 미치는 인자들의 상관관계를 이변량 분석을 통해 결정하기 위해서는 사면붕괴의 역사적인 자료의 수집이 요구된다. 사면붕괴 지역에 객관적인 평가를 위하여 강릉지역내 자료가 가능한 범위내의 일부 지역에 대해 태풍 “루사”가 강릉지역에 영향을 주기 전과 후의 Kompsat-1의 영상을 비교분석함으로써 수집하였다. Kompsat 영상은 국내제작 위성으로부터의 고해상도 영상으로 6.6m 해상도를 가지며, 전처리과정을 거친 후에 변화 전과 변화 후의 영상비교로 사면붕괴지역을 추출하였다.

본 연구에서 선정된 인자들의 클래스에 대하여 사면붕괴지역 면적과의 상관관계를 계산하여 가중치를 결정하였다. 선정된 인자들은 전 절에 언급했듯이 13개의 인자로 구성되었다.

강릉지역을 대상으로 각 인자의 사면붕괴에 대한 상관관계를 사면붕괴에 영향을 미치는 가중치로 중첩시켜 전체 지역에 대해 발생가능지역을 산출하였다. 중첩된 결과는 그림 2와 같이 나타났으며, 발생가능성지수의 범위는 1.24-18.19로 계산되었다. 그림 2에서 어두운 지역일수록 사면붕괴 가능성이 높은 지역을 의미한다.

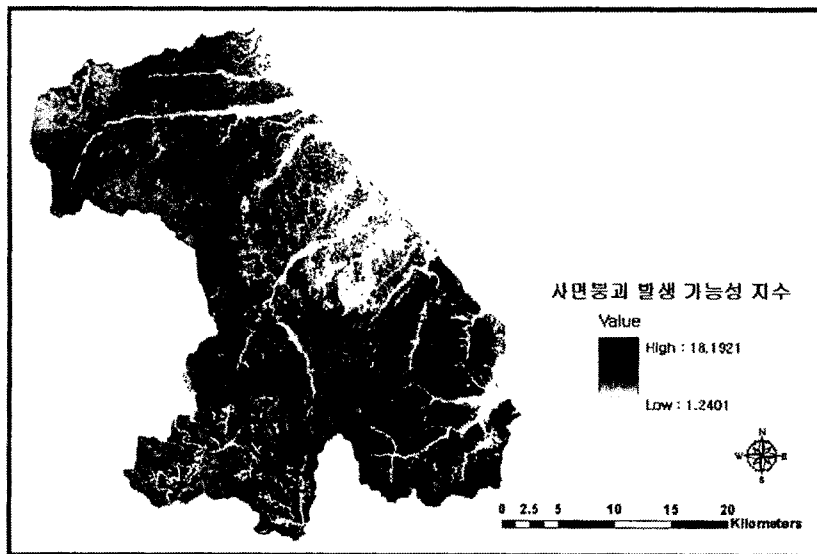


그림 2. 사면붕괴 발생 가능성 지수 - 이변량 통계 분석

### 3.3 결정론적 분석

결정론적 분석에서는 연구대상지역에 대하여 입력자료를 격자구조로 처리한다. 결정론적 방법은 식 (1)에 의하여 수행되며, 지형경사와 토질에 따른 분류자료를 이용하였다. 지형경사는 본 연구에서 이용한 DEM자료로부터 경사를 계산하였고, 격자의 크기는 DEM 자료와 같은 30m로 설정되었다. 경사자료는 각 격자주위의 격자값으로부터 평균경사값이 기록되어 있다.

결정론적 분석에서 토질의 점착력, 내부마찰각, 단위중량의 자료입력은 매우 어려운 문제이다. 토질은 종류에 따라서 각 성질의 범위가 넓은 것이 모델링에 어려운 점도 있으나, 한 토질종류에서도 상황이나 경우에 따라서 값의 범위가 넓은 경우가 있다. 본 연구에서는 한국도로공사 도로설계 실무편람에서 제공한 토질별 특성값 (단위중량, 내부마찰각, 점착력)과 미국 농무성 (USDA: U. S. Department of Agriculture)의 토질분류표에 의거하여 토양의 종류에 따라 포함된 흙의 종류를 바탕으로 결정하였다.

본 연구에서 분석한 결정론적 분석방법에서는 지하수위와 심토와의 비가 중요한 요소로 작용하고 있어, 여러 강우형태에 따른 지하수위비를 모델링을 할 수 있으나, 실제 강우와의 지하수위와비 관계를 규명하는 것은 본 연구의 범위를 벗어나므로 본 연구에는 포함되지 않았다. 지하수위비는 범위가 0-1까지 존재할 수 있으며, 태풍 “루사”가 지나갔을 때의  $m(=1.0)$ 을 고려한 사면안전율을 산출하였고 결과는 그림 3과 같다.

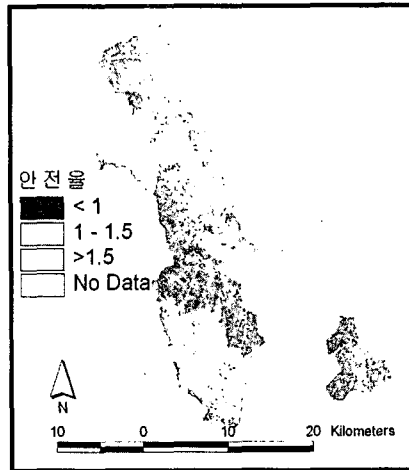


그림 3. 결정론적 분석에 의한 결과 (m=1.0)

### 3.4 두 방법의 비교

이변량 통계분석과 결정론적 분석 방법으로부터 동일 대상지역과 동일자료를 통하여 얻어진 결과를 비교하였다. (그림 4)

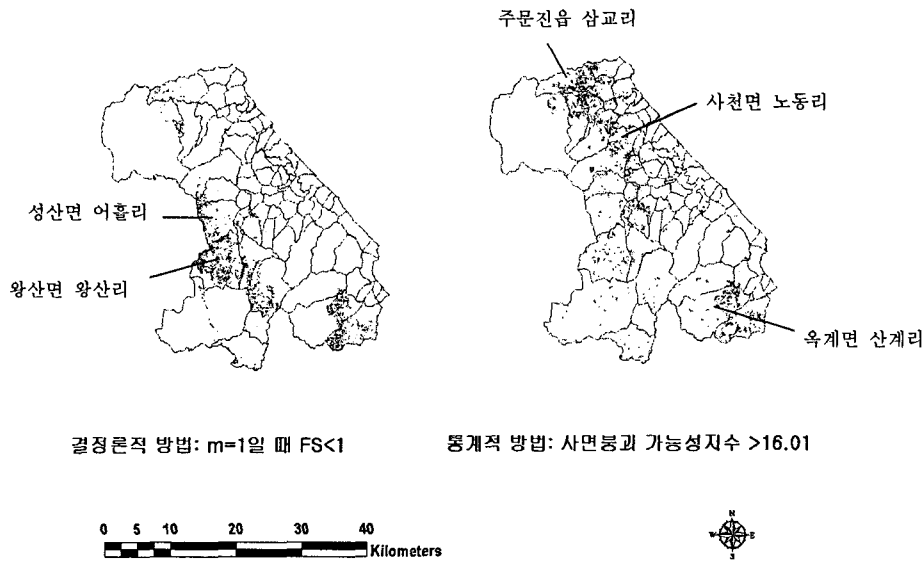


그림 4. 두 방법간의 사면붕괴 발생 가능 지역 비교

그림 4의 왼쪽그림은 지하수위가 포화된 상태에서 안전율이 1 이하인 지역을 표시한 것이고, 오른쪽 그림은 이변량 통계분석으로 얻어진 인자의 합에서 상위 10%인 지역, 즉 16.01보다 큰 지역을 나타낸 것이다.

두 그림에 도식화된 위험지역이 모두 육계면, 왕산면, 성산면, 주문진읍 일대에 분포하고 있으며 위치적으로 공통적인 부분도 존재한다. 하지만, 두 그림에서 보는 바와 같이 사면붕괴 발생지역에 상당부분 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 결정론적 분석에서는 강릉시의 서쪽의 성산면, 왕산면 일대에 주로 분포하고 있으며, 이는 토질 특성이 주 영향을 미치는 모델의 특성에 의하여 결정됨을 알 수 있었다. 이변량 통계분석 방법에서는 북쪽의 주문진읍과 사천면에 위험지역이 주로 분포되어 있으며, 역사적인 사면붕괴자료에 의해서 결

정을 받기 때문에 인자의 상관관계가 큰 클래스에 의해 영향을 받는다. 두 방법간에서 공통적으로 사면붕괴발생 가능지역은 강릉시 남동쪽부분에 육계면지역이었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 두 방법간의 차이가 상당부분에서 발생하였다. 따라서 사면붕괴분석 방법에 따라 위험지역이 다르게 판단될 수도 있으며, 사면붕괴 분석에 효과적인 방법을 구현하기 위해서는 각 지역별로 다년간의 현장조사 및 관측을 통해 많은 양의 자료를 바탕으로 그 지역에 맞는 모델을 개발하여야 한다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 지리정보시스템을 이용하여 동일한 지역을 이변량 통계 분석과 결정론적 분석을 통해 예측하고 결과를 비교하였다. 이변량 통계분석에 의한 결과와 결정론적 분석에 의한 결과는 모델의 특성상 결과에 상당부분에 차이를 보였다. 결과에 의하면 사면붕괴 분석 방법에 따라 위험지역이 다르게 판단될 수 있으며, 적절한 사면붕괴 발생 모델을 위해서는 각 지역별로 다년간의 자료축척과 조사가 필요하다. 뿐만 아니라 사면붕괴 이후 붕괴지역에 대한 즉각적인 자료 수집, 인정선정에 있어서 체계적인 기준의 정립, 토질특성에 관한 정확한 자료, 지하수비와 강우와의 명확한 관계 등에 관한 연구가 필요하다고 생각한다.

#### 참 고 문 헌

1. 강원도청(2003), 시군별 산사태 발생현황(1998~2002)
2. 김윤중, 김원영, 유일현, 1992, 광역 지질재해분석(산사태)을 위한 GIS 활용, 대한지질공학회지, 2(2):131-140.
3. 김원영, 이사로, 김경수, 채병곤, 1998, 지형특성에 따른 산사태의 유형 및 취약성, 대한지질공학회지, 8(2):115-130.
4. 산림청, 2001, 산림재해대책업무편람. pp38-47
5. 이사로, 1992, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사학위 논문.
6. 이사로, 김윤중, 민경덕, 2000, 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용, 한국GIS학회.
7. 최 경, 1986, 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. 강원대 박사논문.
8. 최 경, 2001, 산사태 예보와 위험지 판정기술. 방재연구3(4): 15-27
10. Bernknopf, R.L., R.H. Campbell, D.S. Brookshire, and C.D. Shapiro. 1988. A Probabilistic Approach to Landslide Hazard Mapping in Cincinnati, Ohio, with Applications for Economic Evaluation. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. 25, No. 1, pp. 39-56
11. Brabb, E.E., E.H. Pampeyan, and M.G. Bonilla. 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County, California. Misc. Field Studies Map MF360(scale 1:62,500). U.S. Geological Survey, Reston, Va.
12. Brunsden, D. and Prior, D. B. 1984. Slope Instability, Wiley, New York, USA.
13. Carrara, A. 1983. Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation. Mathematical Geology, Vol. 15, No. 3, pp. 403-427
14. Carrara, A., F. Guzzetti, 1995, Geographic Information Systems in Assessing

- Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, pp57-77, 107-133
15. Chung, C.J., and A.G. Fabbri. 1993. The Representation of Geoscience Information for Data Integration. *Nonrenewable Resources*, Vol. 2, No. 3, pp. 122-139.