

지형정보시스템을 이용한 산사태 예측 Forecasting of Landslides Using Geographic Information System

강인준* · 장용구** · 객재하***

In-Joon Kang · Yong-ku Chang · Jae-Ha Kwak

요 지

산사태는 발생빈도는 적으나 자연적 요인이나 인위적인 요인에 의한 사면의 안정과괴시 많은 인명 및 재산상의 손실을 유발시킨다. 최근 산사태 발생지역 예측을 위한 통계적 방법과 현장관측 방법 등의 연구가 지속적으로 진행되고 있으나 발생체계의 복잡성으로 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 산사태 위험지역 예측을 하기 위해 산사태가 발생한 서동지역을 모델지역으로 선정하였다. 모델지역의 지형을 축척 1 : 25,000, 1 : 10,000, 1 : 1,200별 비교를 하기 위해 표고를 데이터베이스화 하여 표고 및 경사도의 경중률에 의한 예측을 하였고, 산사태 발생 전의 항공사진을 판독한 결과 산사태 예측이 가능함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Landslides, failure of slope stability by natural or artificial factors, occur loss of life and properties. Recently, landslides harzard area predict statistical methods and field measurements, but there are so many difficulties to find the occurence system because of its complexity.

To predict the landslide harzard region, model area is the Seodong in Pusan where occured landslides. Database of ground height made the each topography in map scale of 1 : 25,000, 1 : 10,000, 1 : 5,000 and 1 : 1,200. Authors knew to landslide harzard area by the weight of ground height data and slope angle data. Finally, aerial photo analysis is possible find landslide harzard area.

1. 서 론

인구의 증가와 이에 따른 토지의 부족, 환경의 파괴는 예산의 효율적인 활용을 통해서 시간과 인건비의 절약이 절실히 요구되고 있다. 산지가 많은 우리나라는 토지이용의 극대화를 위하여 경사지를 활용하여 건물을 지어야 하는 현실에 직면하고 있으며, 7월에서 10월 사이의 우기에 많은 산사태가 발생하여 이에 따른 피해의 규모가 증가하는 추세이다. 1980년에 들어 빠르게 보급되고 있는 지형정보시스템은 지형 정보 관리에 있어서 상황판단을 적절히 할 수 있게 되었다. 특히 매년 우리나라에서 발생하는 재해는

점점 피해가 커지는 경향이 있으므로 지금까지의 사면안정 해석에 의한 방법으로는 발생된 재해의 안전 진단을 위주로 하여 사전예측을 소홀히 다루고 있다고 생각된다. 따라서 재해 예측에서 지형정보시스템을 이용함으로써 재해지역을 사전에 발견하여 인명 및 재산을 보호하여야 하는 필요성을 느끼게 되었다. 사면의 평형상태가 깨어지면서 흩덩이가 앞 또는 옆으로 이동하는 현상을 붕괴라 하며, 이런 현상은 태풍이나 호우 또는 집중호우 등으로 자연적으로 발생하는 경우와 도로, 택지조성, 골프장건설 등으로 사면의 일부에 절토, 성토를 하여 인위적으로 일어난다. 이 운동은 천천히 계속되는 것이 많으며, 이것을 붕괴(fall)와 구별하여 산사태(land slide)라고 한다. 산사태는 운동형태가 천천히 일어나고 속도가 비교적 완만하다. 또 1회 활동 후 다시 생기는 경향이 크다.

*부산대학교 토목공학과 부교수
**부산대학교 토목공학과 석사과정
***부산대학교 토목공학과 석사과정

그러나 붕괴는 이동속도가 급하고 속도도 빠르며, 한번 이동하면 안정된다. 산사태는 제한된 일부지역 특히 공동된 지질상황을 갖는 밀집지역에서 일어나며, 원형을 유지하여 활동하고, 붕괴는 교환이 되며 활동한다. 그러나 1차 산사태가 일어나 2차 붕괴가 오는 경우 산사태와 붕괴를 구별하기는 곤란하므로 본 연구에서는 산사태로 부르기도 한다. 도시개발과 인구의 증가로 인하여 토지이용이 평지에서 경사지도 이동되면서 사면에 인접하여 많은 건축물이 시공되고 있어 주택지와 인접한 사면에서의 산사태 발생시 많은 인명 및 재산상의 손실을 초래하고 있다. 항공사진은 촬영시간대에 따른 모든 정보를 가지고 있어 이것을 데이터베이스화 하므로써 시간경과에 따른 지형변화 및 토지이용의 변화를 쉽게 알 수 있다.¹⁾ 산사태는 비록 발생빈도는 적으나 발생시 그 피해규모는 대단히 큰 특징을 가지고 있다.

산사태 위험도는 통계적 방법과 현장관측 등으로 예측할 수 있으나 현장관측의 경우 많은 인력과 경비를 필요로 하고 그 진행상태가 아주 빠른 산사태인 경우에 더욱 관측이 어려우며 광범위한 지역에는 적용하기 어렵다. 한편, 원력탐사 방법이나 사진측정학적 방법을 이용하면 현장측량의 어려움을 규명할 수 있고 광범위한 지역에서도 효과적이다.^{2,6)}

1.1 연구동향

산사태 위험도 예측을 위한 최근까지의 연구동향을 보면 외국의 경우, 산사태가 자주 발생하는 지역을 모델지역으로 선정하여 산사태 발생 전의 토질역학적 현장관측 데이터와 DTM 데이터와 원격탐사 데이터를 이용하여 사면안정해석방법으로 산사태 지도를 작성하므로써 실제 산사태가 발생한 지역과 비교한 연구⁷⁾가 있었으며, 사진판독에 의한 살림분석에 관한 연구 및 해안자원관리를 위한 GPS, 원격탐사, GIS 기법의 조사에 관한 연구, 지하비탈면의 기하학적 현상을 추정하여 지하비탈면에서의 대규모 슬라이딩의 특성을 나타낸 연구⁸⁾가 있었다. 또한, 산사태 지역의 분포에 관한 정보구축을 위해 ARC/INFO GIS를 이용한 사면의 경사각 데이터와 지형 데이터 그리고 사면활동 데이터의 상관관계 및 빈도 해석으로 산사태 지도의 제작⁹⁾이 있었다. 그리고 국내의 경우 인공위성 측량에 의한 해양오염물질의 확산 점검 기법과 인공위성영상을 이용한 토지정보시스템의 자료처리기법

개발 그리고 산사태가 발생한 지역에서 강우-산사태의 관계를 통계적으로 계산하여 산사태 지역의 특성을 해석한 연구¹⁰⁾가 있었다.

1.3 연구목적

자연재해 중 산사태에 대한 부분적인 많은 연구가 진행되고 있으나, 일반적으로 산사태가 발생하는 지반은 균일하거나 단순하지 않기 때문에 발생체계의 명확한 파악이 어렵다.¹²⁾ 대부분의 산사태는 토질특성, 경사도, 우수조건, 식생 등 많은 요인에 의해 발생되고 있으며 이러한 제반요소의 조사는 많은 시간이 소요된다. 부산직할시의 경우 1991년 태풍 글래디스호의 영향으로 인한 피해의 복구비용이 약 300억원 소요되었으며 세계적으로 산지가 많은 지역은 이와 유사한 피해가 있어 그 재해예측에 따른 사전의 방재 필요성이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 항공사진이 가지고 있는 지형정보를 데이터베이스화 하여 자연재해 특히 산사태 예측에 활용하여 지금까지의 재해 위험 예측과는 달리 보다 합리적이고 과학적인 재해 위험지 예측 및 선정하고자 한다.

2. 지형정보시스템

2.1 항공사진정보

2.1.1 항공사진의 판독요소

사진판독은 사진영상에 있는 도로, 철도, 하천, 가옥, 지질, 삼림판독 등의 정량적 판독이 가능하며, 자원 및 환경 등의 정보조사에 이용되는 사진영상의 크기 및 형상, 음영, 색조 및 색채, 질감, 모양 그리고 사진 상호간의 관계와 상호위치관계, 촬영기선과 촬영고도의 비율인 과고감 등의 정성적 판독요소의 조합에 의한 판독이 있다. 이 요소 중 형상, 색조, 음영을 판독의 3요소라 한다. 사진상의 크기와 형상(size/shape)은 판독에서 중요한 요소로서 크기는 어느 단 일형태 또는 단일색조가 갖는 입체적 평면적인 넓이나 길이를 말하며 형상은 개체나 목표물의 윤곽 구성 배치 및 일반적인 형태 등을 뜻한다. 사진판독에서 음영(shadow)은 높은 탐과 같은 지물의 판독, 주의 색조와의 대조가 어려운 지형의 판독에는 음영이 중요한 요소가 된다. 사진을 판독할 때 광선의 방향과 촬영시의 태양광선의 방향을 일치시키면 음영의 관계로부터 입체감이 얻어지고 반대로 하면 반대의 느

깊이 얻어지므로 우리나라의 경우 남쪽을 위로 보는 방법이 좋다. 사진의 색조는 주로 태양광선의 반사율에 의한 것으로 식생의 밀집 등의 대상물 판별에 이용된다. 색조 및 색채(tone, color)는 명도, 색상, 채도의 3가지 성질로 나타낼 수 있으며, 사진농도 관측기(photo densitometer)를 이용하면 색조를 정량적으로 나타낼 수 있어 판독이 가능하다. 사진의 질감(texture)은 크기, 음영, 형상, 색조 등의 여러요소가 모여 표현되는 영상면의 세밀하고 거치른 정도를 나타내는 것으로 대개의 상태로는 식별하기가 어려운 작은 대상물의 집합이 사진상에는 나타나는 미세한 색조변화이다. 그리고 항공사진에 나타난 식생, 지형 또는 지표면 색조의 공간적인 배열형태를 모양(pattern)이라 한다. 인공 또는 자연적인 여러 물체는 기본적인 형상의 반복 혹은 관련성을 갖고 있어 판독에 도움이 된다. 콘크리트 도로와 일반 비포장 도로는 밝은 흰색으로 되어 있으나 전자는 뚜렷하지만 후자는 그렇지 않게 된다. 그리고 항공사진에 나타난 地物간의 상호위치관계(location, situation)는 사진의 축적이 작을 수록 판독에 중요하며, 종합적인 판독의 확인에 필요한 판독요소이다.¹³⁾

2.1.2 항공사진 공간정보의 데이터베이스

지형정보는 분류, 값, 명칭 등과 같은 실제의 현상과 공간위치 그리고 시간의 특성을 갖고 있다. 따라서 효과적인 지형공간데이터 관리는 위치데이터와 비위치데이터가 서로 독립적이어야 한다. 지형자료의 형태를 나타내는 공간위치는 점, 선, 그리고 다각형이며 공간표현을 위한 지형자료기법은 형상자료, 면적 단위의 자료, 기하학적 망 자료, 표본자료, 지표면 자료, 그래픽 기호자료로 나누며 일반적으로 점, 선, 다각형은 경위도, XY좌표로 지도를 정의하는데 사용하며 지도에서 대부분 경/위도와 같은 x, y 직각좌표를 이용하여 정의한다. 이 직각좌표계는 일반적으로 측량 등을 포함해서 공간적 위치의 다양한 성질을 해석하고 공간적 위치를 측정하는 도구로 사용된다. 이 정보들은 x, y좌표 형태에서 실제로 측정값을 이용하는 방법과 점과 선의 관계, 네트워크, 다각형 조정과 요소근접 등으로 지형적 형상을 공간적으로 정의한다. 지형데이터를 공간적으로 정의하기 위해 각 셀에 대한 지형자료를 코드화하는 방법, 연결점, 선분, 다각형을 지형 코드화하는 방법, 측량자료를 입력하는 방법, 디지털이저를 사용하여 점, 선, 다각형의 수도입력하

는 방법, 데이터 관측시 자동입력(인공위성 자료의 영상처리)하는 방법, 선분의 자동추적방법 그리고 광학스캐닝방법 등이 있다. 작동기법의 데이터 검색에는 부로우, 윈도우, 쿼리 윈도우 생성기능이 있고 지도 생성에는 선좌표 터닝, 드롭라인, 에지매칭, 다각형 터닝의 4가지 기능이 있으며 지도추출은 중심점 계산, 부정규적 데이터에 의한 자동 등고선 작성, 프록시말 매핑, 다각형의 재분류, 정규격자에 대한 평면좌표 위치데이터의 변환의 5가지 기법이 있다. 주어진 지도에서 평면좌표를 조작하는 기법에는 축척변경, 왜곡제거, 도법변경, 좌표변환 및 전이 등이 있으며 버퍼생성은 데이터뱅크의 점, 선, 다각형으로부터 새로운 다각형을 생성시킨 것이다. 또한, 다각형 중첩과 분해기법은 새로운 데이터 세트를 생성시키기 위하여 하나 또는 여러장의 지도를 조합 또는 추출하는 것이다. 일반적으로 점, 선, 다각형, 체적의 4가지를 측정하며 격자셀 분석은 격자셀 데이터를 이용하여 최적 노선 선택, 거리계산, 반경 내의 집단, 면적 계산 중첩, 부린(boolean) 지도 모델중첩과 같은 5가지의 해석적 방법이 있다. 수치지형 해석은 수치지형모델에서 여러가지의 계산이 가능하며 계산결과로 답사 가능성 결정, 일사조건 결정, 격자 보간법 결정, 종단도 작성, 유역면적 산정, 경사도/경사방향 결정, 자동 등고선 제작, 3차원 재현을 할 수 있으며, 지도, 통계표, CRT 디스플레이, 계산된 데이터 화일로 출력할 수 있다.

공간데이터베이스 관리에 사용되는 소프트웨어 기법은 초기데이터의 자동화와 데이터베이스의 해석적 작용과 같은 동일한 기법을 사용한다. 목적에 따라 각각 조금씩 다르지만 기초화일 생성 및 수정, 화일 관리 등 여러가지가 있다.

3. 적용 예

3.1 모델지역

모델지역은 행정구역으로 부산직할시 금정구 서 4동이며 1991년 8월 23일 폭풍 그레디스호가 동반한 최대강우 강도 44 mm/hr인 집중호우에 의한 사면의 안정파괴로 원호활동이 발생한 지역으로 그 규모는 폭 80미터, 길이 500미터이다. 비록 재해가 발생한 지점은 소규모였으나 토석류가 하류로 내려오면서 가옥 등을 파괴하여 많은 피해가 발생된 지역이다.¹⁴⁾ 그리고, 이 연구에서 사용한 DTM데이터는 축척 1:

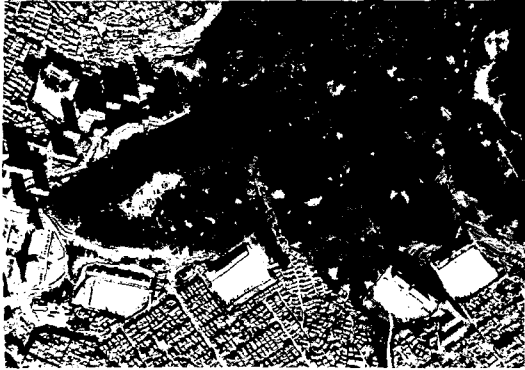


사진 1. 모델지역의 산사태 이전 전경(1993. 1월)

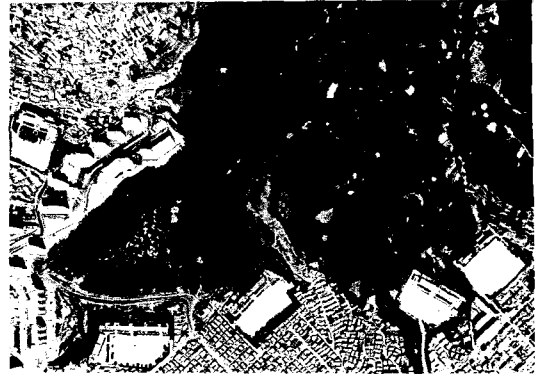


사진 2. 모델지역의 산사태 이후 전경(1993. 9월)

25,000, 1:10,000, 1:5,000 그리고 1:1,200(도엽번호 8685)의 지형도에서 추출하였다.

1991년 1월 26일에 촬영한 항공사진(사진 1)에서 계곡의 상단과 우측은 소나무가 울창한 상태이며 좌측은 활엽수지역이다. 또한 계곡의 하류에는 독립가옥과 단독주택지임을 알 수 있다. 산사태가 발생한 지역의 동쪽과 동남쪽 방향에 일정한 패턴의 인공조림 상태를 볼 수 있으며 묘를 중심으로 산림이 발달해 있음을 알 수 있다.

1991년 9월 3일에 촬영한 항공사진(사진 2)에서는 하절기에 활엽수가 울창함을 보여 주고 있고 묘를 중심으로 植栽된 향나무의 성장이 뚜렷하다. 수종에 따른 성장 및 식재시기의 차이로 산림형태가 나누어짐을 알 수 있으며, 하절기의 동절기의 항공사진으로 침엽수와 활엽수의 구별이 뚜렷이 나타났다.

3.2 지형 조사

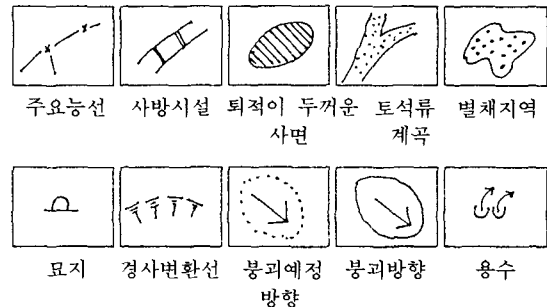
불안정한 지형사면에서 비가 많이 오거나 지진에 의해 붕괴, 산사태 및 토사와 물이 섞여 계곡을 일시에 흐르는 토석류 등, 급격한 지형의 변화가 생기는 재해를 사면재해라 한다.¹⁵⁾ 급격한 지형과 연약하고 불안정한 지질이 많은 경우 발생하기 쉬우며, 규모는 작지만 개발에 따른 건설로 대규모 재해가 생길 수 있다. 붕괴는 산붕, 애붕이라 부르며, 비나 지진으로 급경사지가 무너져 떨어지는 현상으로 급한사면에서 많으므로 산사태와 구분하기도 한다.

항공사진에서는 어떤 상태를 확실히 알 수 있고 균열의 유무나 붕괴깊이, 붕괴토사량, 퇴적 토사량을 재해발생 전의 항공사진과 비교하여 산정할 수

있다.¹⁶⁾ 실제조사에는 현지조사 및 현황측량이 진행되며, 항공사진의 판독과 함께 자료수집과 정밀측량으로 측정된 결과를 확인한다.

붕괴지 조사의 순서는 시기별 항공사진, 재해자료, 지형도를 기본자료로 하여 실시하며 검정을 하기 위하여 분포, 면적, 길이, 균열 등을 조사하여야 한다. 또한 현지 조사에 따라 붕괴 현황도를 작성하고 지형정보 시스템을 활용하여 재해위험 지구를 위험도에 따라 구분할 수 있도록 한다.

붕괴현황도는 다음과 같은 기호로 나타낼 수 있다.



3.3 산사태 예측

3.3.1 표고 데이터베이스에 의한 산사태 위험평가 재해지역을 모델지역으로 하여 표고 데이터베이스에 의해 지형을 비교한 결과 재해가 발생하지 않은 지형과 다른 위험등급을 발견할 수 있었다. 재해지역의 등고선 특성을 중심으로 축척별 표고 데이터의 경사도를 분석한 결과 재해지역을 중심으로 위험성이 높은 것을 알 수 있었다.¹⁷⁾

산사태 위험도를 평가한 결과 위험정도가 높은 것을

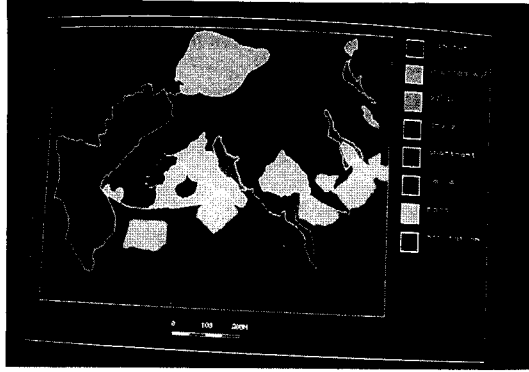


사진 3. 항공사진판독에 의한 지형정보시스템구성

상으로 할 때 1:1,200, 1:5,000에서는 上, 1:10,000에서는 下 그리고 1:25,000에서는 中으로 분류되었다. 그러나 1:25,000과 1:10,000의 경우 그 정확도는 신뢰할 수 없으며 축척 1:5,000에서 개략적인 추정이 가능함을 알 수 있으나 1:1,200에서 보다 판정이 정확함을 알 수 있었다.

3.3.2 경사도에 따른 위험지도

1991년 8월 태풍 글래디스호가 동반한 집중호우의 영향으로 부산직할시에서 총 40여 곳에 산사태가 발생하였으며 그중 금정구에서는 10곳이 발생되었다. 금정구에서 발생한 10곳의 경사도를 기준으로 경사도에 따른 위험지도를 작성하였다. 그리고 모델지역의 재해발생 지점과 발생되지 않은 지역의 경사도를 비교분석한 결과 재해지역은 약 27°의 일정한 경사도가 길게 유지되는 지역이었으며 재해 미발생지는 약 20°로 경사도가 상대적으로 낮고 기복이 많았다.

3.3.3 항공사진 판독

항공사진을 판독할 지형정보를 재해예측에 활용하기 위하여 자료기반화한 것을 사진 3에 나타내었다. 사진 3에서 초록색은 침엽수, 보라색은 활엽수, 연두색은 학교, 검정색은 묘, 회색은 아파트단지, 푸른색은 계곡, 노랑색은 논, 빨강색은 주거지를 나타낸다. 사진 3은 1991년 1월 29일에 촬영한 항공사진으로 동절기의 모습이다. 침엽수와 활엽수의 구분이 동절기에는 뚜렷하게 구별되었다. 산사태발생 지역은 표고 데이터와 경사도, 주거지역 등의 경중물을 고려해 볼 때 규모나 경사방향, 주거지인접의 처리에 의해 사전예측이 가능하였다.

4. 결 론

항공사진 판독결과와 지형도 분석으로 지형정보시스템에 의한 산사태예측기법에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 산사태 지역의 위험지도를 제작할 때 등고선 간격 5m를 기준으로 격자간격 25m 이하에서 부분적인 재해예측이 가능하였으며, 축척별 고려에서 축척 1:1,200의 지형도를 격자간격 10m로 해석한 것이 보다 재해지역의 예측에 유리하였다.

둘째, 산사태 발생 후의 사면안정해석을 위한 기존 지도에서의 단면산정에 따른 사면의 안정해석이 아닌 표고의 데이터베이스에 의한 경사도 및 경사방향 분석으로 사면의 단면을 산정할 수 있었다.

셋째, 동절기와 하절기의 항공사진 비교판독으로 침엽수와 활엽수의 구분이 양호하였으며 재해예측에 효과적이었다.

그리고, 주택지의 부족으로 경사지 사공이 불가피한 도시지역에서 산사태가 발생한 후 많은 복구공사 비용과 인명손실을 비교할 때 적은 비용으로 재해예측이 가능하므로 이에 대한 지속적 관측, 프로그램 개발 및 조사의 활성화가 필요함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 지방대학육성과제 학술연구조성비에 의해 수행된 것으로 한국학술진흥재단에 감사드립니다.

參考文獻

1. 강인준, "항공사진측량에 의한 산사태 분석에 관한 연구", 한국측지학회, 제 9권, 제 2호, 1991, pp. 119-125.
2. 斜面災害 アシアセミナホ-熊本 1991의 報告, 土の基礎, 제 2호, pp. 101-104.
3. 강인준, "항공사진 측량에 의한 산사태 분석에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 9권, 제 2호, 1991, pp. 119-125.
4. 강인준, 이홍우, 광재하, 정재형, "등고선 특성에 의한 자연재해 예측", 한국측지학회 학술발표, 1993, pp. 1-7.
5. J. Mackean, S. Buechel, L. Gaydos, "Remote Sen-

- sing and Landslide Hazard Assessment”, PE & RS, Vol. 57, No. 9, 1991, pp. 1185-1193.
6. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991, pp. 101-105.
 7. Masataka TAKAGI, Shunji MURAI, Takashi AKIYAMA, “Generation of Land Disaster Risk Map from LANDSAT TM and DTM data”, ISPRS, 1992, pp. 754-759.
 8. Norikazu YOSHIZAWA, “Landsliding Monitoring for Presumption of Underground Slide Surface”, ISPRS, 1992, pp. 478-485.
 9. Peter A. Kingsbury, Wayne J. Hastie & Andrew J. Harrington, “Regional Landship Hazard Assessment Using a Geographic Information System”, 1991, pp. 995.
 10. 김영수, “사면안정의 확률론적 해석”, 대한토목학회 논문집, 제 8권, 제 3호, 1988, pp. 85-89.
 11. 홍원표, 산사태 및 지반침하, 대한토목학회지, 제 35권, 제 5호, 1987, pp. 48-50.
 12. 강인준, 광재하, 정재형, “등고선 특성을 고려한 재해위험지 예측”, 한국측지학회 발표개요집, 1993, pp. 65-66.
 13. 부산직할시, 서 4동 산사태지역 안전진단 및 피해 복구 실시설계 종합보고서, 1991, pp. 62.
 14. 斜面災害 アシアセミナホ-熊本 1991の 報告, 土の基礎, 제 40호, pp. 101-104.
 15. 日本測量調査技術協會, 空中寫眞による 地すべり 調査の 實際, 鹿島出版會, 1984, pp. 140-148.
 16. 강인준, 광재하, 이홍우, “지형정보시스템에 있어서 위험사면의 자동결정 기법”, 대한토목학회 학술발표개요집, pp. 449-452.