

GIS를 이용한 산사태 위험지역 추출

Extraction of Landslide Risk Area using GIS

박재국¹⁾ · 양인태²⁾ · 김태환³⁾ · 박형근⁴⁾

Park, Jae Kook · Yang, In Tae · Kim, Tai Hwan · Park, Hyeong Geun

Abstract

Landslides cause enormous economic losses and casualties. Korea has mountainous regions and heavy slopes in most parts of the land and has consistently built new roads and large-scale housing complexes according to its industrial and urban growth. As a result, the damage from landslides becomes greater every year. In summer, landslides frequently occur due to local torrential rains and storms. It is critical to predict the potential areas of landslides in advance and to take preventive measures to minimize consequences and to protect property and human life. The previous study on landslides mostly focused on identifying the causes of landslides in the areas where they occurred, and on analyzing landslide vulnerability around the areas without considering rainfall conditions. Thus there were not enough evaluations of the direct risk of landslides to human life. In this study, potentially risky areas for landslides were identified using the GIS data in order to evaluate direct risk on farmlands, roads, and artificial structures that were closely connected to human life. A map of landslide risk was made taking into account rainfall conditions, and a land use map was also drawn with satellite images and digital maps. Both maps were used to identify potentially risky areas for landslides.

Keywords : GIS, Satellite image, Landslide, Susceptibility, Possibility, Risk, Land use, Rainfall effect

초 록

산사태로 인한 피해는 막대한 경제적 손실과 인명피해를 초래한다. 특히 우리나라는 국토의 대부분이 산악지형으로 이루어져 있고 경사가 심하며, 산업 및 도시의 발달로 인해 도로개설 및 대규모 주택단지가 개발되어 산사태로 인한 피해 규모가 날로 증가되고 있다. 또한 여름철 국지성 집중호우 및 태풍으로 인해 산사태가 빈번히 발생하고 있다. 따라서 재산 및 인명을 보호하기 위해서는 사전에 산사태 발생지를 예측하고 피해를 최소화하기 위한 대책이 요구된다. 지금까지의 산사태에 대한 연구는 주로 산사태가 발생한 지역에 대한 원인 규명과 연구지역을 중심으로 강우조건을 고려하지 않은 산사태 취약성 분석이 대부분이었다. 이로 인해 산사태로 인한 인간생활의 직접적인 위험성에 대한 평가는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 인간 생활과 밀접한 농경지, 도로, 인공구조물 등의 직접적인 위험성을 평가하기 위해서 GIS를 이용하여 산사태 위험지역을 추출하고자 하였다. 이를 위해 강우조건을 고려한 산사태 가능성도를 제작하고, 위성영상과 수치지도를 이용하여 토지이용도를 작성하였으며, 두 자료를 이용하여 위험지역을 추출하였다.

핵심어 : 지리정보시스템, 위성영상, 산사태, 취약성, 가능성, 위험성, 토지이용, 강우영향

1. 서 론

우리나라는 전국토의 약 70%가 산지로 이루어져 있고,

연평균 강우량이 1,100~1,400mm 정도로 비교적 많은 편이나 연중 대부분의 강우가 여름철 장마기간에 집중하고 있으며 태풍을 동반한 집중호우에 의해 산사태가 빈번

1) 정희원·남서울대학교 지리정보공학과 겸임교수, 공학박사(E-mail:gisdata@nate.com)

2) 정희원·강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사(E-mail:intac@kangwon.ac.kr)

3) 연결저자·정희원·강원대학교 토목공학과, 공학석사(E-mail:neosarao@nate.com)

4) 정희원·(주)지오맥스 해양사업본부, 기술사(E-mail:webearth@naver.com)

히 발생하고 있다. 강원도 지역은 특히 대부분의 지역이 산지이며 지형 특성상 경사가 급하고 건물 및 도로, 주거지 등이 경사면의 하단에 접해 있는 곳이 많아 산사태 피해에 취약한 구조적 특성을 가지고 있을 뿐 아니라 그 피해가 매우 큰 것이 특징이다.

1970년대부터 시작된 국토개발계획은 우리나라 전역에서 산이 절취되고 저지대가 매립되어 도로가 놓이거나 축대를 쌓아 주택을 짓는 경우가 늘어났다. 이와 같은 자연사면의 훼손은 산사태를 일으키고 이에 따른 인명 및 재산피해를 증가시키고 있다.

산사태와 같이 광범위하게 발생하는 재해를 분석하는 것은 현장조사로는 한계가 있기 때문에 인공위성영상을 이용한 원격탐사 기술과 GIS 기술을 활용하려는 노력이 증대되고 있다.

국내 및 국외에서 수행하는 산사태 연구의 핵심기술은 산사태 조사 기술, 산사태 평가 및 발생예측 기술, 실시간 산사태 모니터링 기술이며, 산사태 평가 및 발생 예측기술에는 광역적인 분석방법을 통해서 산사태 분석단계를 취약성(Susceptibility), 가능성(Possibility), 위험성(Risk) 분석 단계로 나누어 연구가 수행되고 있다.

취약성 단계는 산사태의 정적요인(DEM도, 지질도, 토양도, 임상도 등)을 고려하여 그 지역이 산사태에 얼마나 취약한지를 분석하는 것이며, 가능성은 취약성에 동적 요인(강우, 지진 등)을 고려한 산사태 분석이다. 그리고 위험성은 취약성 또는 가능성에 인명 및 시설물 등의 피해요소를 고려한 것이다(이사로, 1999). 이와 같은 산사태 연구는 국외의 경우 1950년대 말부터 연구가 시작되었고, 국내에서는 1970년대에 들어 본격적인 연구가 시작되었다.

국외의 경우 Baker & Chieruzzi(1959), Evans & Gray(1971), Cleveland(1971), Nisen & Brabb(1971), Tubbs(1974), Klock(1985) 등에 의해 인자 중첩법을 이용한 산사태 발생 위험성 분석에 대한 연구가 진행되었고, 이러한 인자 중첩법은 산사태 발생에 영향을 미치는 인자들의 중요도에 따라 가중치를 부여하여 조합한 후 산사태 발생 가능성을 예측하는 방법으로, 1990년대 들어 GIS의 발전과 함께 그 사용이 더욱 확장되었다(이성근, 2000). Baldelli 등(1996)은 지질도, 지형도, 수치지형모델을 이용하여 GIS 중첩분석을 통해 산사태 취약성도를 작성하였고, Turrini & Visintainer(1998)은 침식율, 배수율, 구조, 사면경사, 토지이용 등을 이용하여 GIS 중첩방법을 통해 산사태 위

험지를 분석하였다.

그러나 이와 같은 연구에서는 강우가 고려되지 않았다. 특히, 산사태 및 사면붕괴가 매년 7~8월 태풍 및 집중호우가 발생되는 시기에 집중됨으로 강우를 고려한 산사태 위험성이 분석되어야 한다(소방방재청, 2005, 천기선, 2005, Chassie, 1978). 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지형인자에 수문학적인 인자들을 적용하여 SMORPH(Shaw and Johnson, 1995), SHALSTAB(Dietrich and Montgomery, 1998), SINMAP(Pack 등, 1998), 등의 모형들이 제안되어 연구되고 있으나, 다양한 산사태 유발 인자와의 연계성에 대해서는 더 많은 연구가 요구되고 있다.

국내의 산사태 연구에 대한 본격적인 연구는 산림보호의 일환으로 임학분야에서 강병무(1970), 우보명(1972), 마상규(1979), 최경(1986) 등에 의해 연구되었으며, GIS를 이용한 광역적인 방법으로 지형도, 지질도, 토양도, 항공사진, 인공위성 영상 등 정적자료를 이용한 산사태 취약성 평가에 대한 많은 연구가 수행되었다(신은선, 1996, 박하나, 1997, 표성일, 2005). 또한 산사태의 원인이 되는 표고, 경사, 경사방향, 토양 등의 지형분석 등의 연구가 수행되었다(용계숙, 1999).

산사태의 취약성 및 위험성에 대한 평가는 이사로(1999)가 지형도, 토양도, 임상도, 지질도를 이용하여 산사태 유발인자(경사, 경사방향, 곡률, 토질, 모재, 배수, 유효토심, 지형, 임상, 경급, 영급, 밀도, 암상)를 추출하고, 확률, 통계, 인공 신경망 기법을 이용하여 취약성을 분석하였고, 피해요소인 철도, 도로, 시설물, 건물 등의 DB를 구축하여 산사태로 인해 피해 받을 수 있는 요소들을 환면에 출력하거나 검색해 볼 수 있는 정보시스템 구축에 대한 연구가 수행되었다.

강우와 관련된 산사태 연구는 심홍근(1997)이 1986년부터 1996년간의 강우강도자료를 기상청의 기상연보 자료와 내무부의 재해연보 자료를 토대로 연강우량, 월강우량, 누적강우량, 일최대강우량 등이 산사태에 미치는 영향을 분석하였으며, 신영수(1999)는 국내에서 실제 산사태가 발생했던 2개 지역, 19개 산사태 현장자료를 이용하여 강우 특성에 따른 산사태 발생 현황과 지반 조건 등의 요인에 의한 산사태 지역의 특성을 비교 분석하였고, 산사태 발생시의 강우강도와 누적강우량의 선형 상관식을 제안하였다. 이성근(2000)은 산사태 발생시 기상자료를 토대로 강우특성을 분석하여 산사태 발생원인을 규명하였다. 이상희(2005)는 산사태에 직접적인 영향을 미치는

사면의 포화대를 찾아내고, 한계 강우강도를 분석하여 강우강도별 산사태 발생 위험지를 구분함으로써, 사면의 불안정에 영향을 미치는 공간적 인자에 대해서 정확히 알지 못하는 경우라도 위험지의 예측이 가능하다고 판단하였다. 양인태 등(2007)은 토성별 토질의 포화에 필요한 수분량을 계산한 후 강우조건에 따른 토성별 토심의 포화상태를 계산하였으며, 그 결과를 산사태 취약성도와 GIS 중첩연산을 수행하여 강우조건에 따른 산사태 가능성도를 제작하였다.

지금까지 국내외에서의 산사태 연구가 주로 산사태가 발생한 지역에 대해 그 원인을 규명하거나 연구지역을 중심으로 한 산사태 취약성 분석에 국한되어 있을 뿐 GIS를 이용한 강우조건이 고려된 연구는 미비한 실정으로, 강우가 지역별로 편차가 심하고 지역에 따라 상이한 특성을 보이고 있어 지역의 강우조건을 고려한 산사태 예측 기법이 요구되고 있다. 특히 인명 및 재산피해를 최소화하기 위한 예방대책의 일환으로 산사태 발생 예측지역에 대한 인간생활의 직접적이 위험성에 대한 분석이 요구되고 있다.

따라서 이 연구에서는 연구지역을 대상으로 산사태 유발인자와 강우조건을 고려하여 산사태 취약지역을 추출하고, 인간생활과 밀접한 인공구조물, 농경지, 도로 등의 토지피복을 중첩하여 산사태 취약지역 중 산사태 위험지역을 추출하고자 하였다. 또한 산사태 피해복구 및 예방은 물론 건설사업이나 토지이용과 같은 지역개발 계획에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

GIS를 이용하여 인공구조물과 농경지, 도로에 대해서 산사태 위험지를 추출하고 위험성을 평가하기 위해 그림 1과 같이 강릉(사기막, 퇴곡, 안인, 구산, 차항, 석병, 고단, 봉산)지역을 연구대상지역으로 선정하였다.

이 연구를 위한 기초자료로는 수치고도모형과 지질도, 토양도, 임상도 등의 지도자료와 위성영상을 이용하였으며, 각각의 지도로부터 이 연구에 필요한 정보들을 추출하였다(표 1). 다음으로 AHP법에 의해 경중률을 부여한 후(표 2), GIS 공간분석에 의해 산사태 취약성도를 제작하였다. 또한 강우를 고려한 산사태 발생 가능성도를 제작하였다. 이후 인공위성영상과 수치지도를 이용하여 인공구조물, 농경지, 도로를 추출한 후 산사태 취약성도와

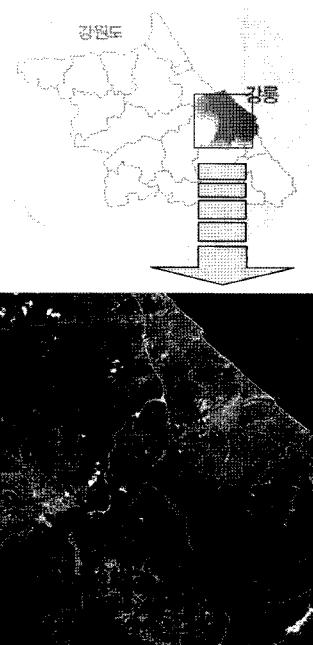


그림 1. 연구대상지역

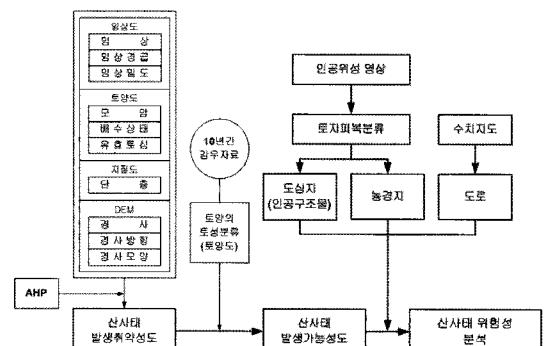


그림 2. 연구 수행 과정

강우를 고려한 산사태 발생 가능성도와 각각 중첩하여 산사태 위험성을 분석하였다. 그림 2는 연구 수행과정을 나타낸 것이다.

3. 자료처리

3.1 GIS DB 구축

표 1은 강릉지역을 대상으로 이 연구를 수행하기 위해 사용된 지도 정보 등의 기초자료를 나열한 것이다. 경사, 경사방향, 경사모양 등의 지형인자들은 DEM(Digital Elevation

표 1. 연구 자료

	자료	내 용	
산 사 태	DEM	1초	경사
			경사방향
			경사모양
유 발 인 자	지질도	1/25,000	단층정보
			모암정보
			배수상태
토 지 피 복	토양도	1/25,000	유효토심
			임상정보
			임상경급
	임상도	1/25,000	임상밀도
			인공구조물
			농경지
	위성영상	Landsat-7/ETM 2001. 08. 31	
	수치지도	1/25,000 1996년	도로망

Model)으로부터 추출하였으며, 단층정보는 지질도에서 추출하였다. 또한 토양의 모암이나 배수상태, 표토의 깊이에 대한 정보는 토양도로부터 추출하였고, 식생의 종류, 경급, 밀도의 정보는 임상도로부터 추출하였다. 또한, Landsat 인공위성영상을 이용하여 토지피복분류를 실시하여 인간생활과 밀접한 관계를 맺고 있는 인공구조물(도로가 배제된 일반구조물)과 농경지를 추출하고, 수치지형도에서 도로를 추출하였다.

3.2 산사태 취약성도 제작

산사태 유발 인자로 선정된 경사, 경사방향, 경사모양, 지질단층, 토양모암, 토양의 배수상태, 토양의 유효토심, 임상, 임상경급, 임상밀도 등 10개의 인자들에 대해서 AHP법에 의해 경중률을 계산하였다. AHP는 Analytic Hierarchy Process의 머리말로서 ‘계층적 분석과정’이라 해석되며 (최광식, 1999), Saaty에 의해 1960년대에 처음으로 소개되었다. AHP는 달성해야 할 목표, 의사결정을 위한 여러 가지 기준 및 선택해야 할 대안들로 구성된 계층적 구조를 통해 복잡한 문제에 대한 최적의 의사결정을 모색할 수 있도록 고안된 의사결정지원시스템(decision support system)으로, AHP법의 의사결정 방법은 인간간의 상대적 중요도인 RIW(Relative Importance Weight)를 계산하고 대안을 선정하여 대안에 대한 최종단계의 경중률을 계산하게 된다.

다음으로 GIS의 그리드 분석기능인 격자별 중첩연산을

표 2. 산사태 좌표로부터의 유발인자분류

유발인자	분 류	코드	경중률	
경사	21~40	1	0.546	
	11~20	2	0.224	
경사모양	블록	1	0.263	
	오목	2	0.108	
경사방향	W, SW, E, NE	1	0.263	
	N, SE	2	0.108	
	S, NW	3	0.044	
토양모암	화성암, 제3기층, 제4기층	1	2.227	
	변성암, 퇴적암	2	0.916	
유효토심	50~100	1	2.227	
	<20, 20~50	2	0.916	
	매우양호, 양호	1	2.227	
배수상태	약간양호	2	0.916	
	O, D, M	1	4.532	
	PD, Ca, Q, PK, PL,	2	1.864	
임상	R, U, W, L,	3	0.760	
	치수, 소경목	1, 2	1	4.532
	중경목	3	2	1.864
경급	대경목	4	3	0.760
	소, 중	1	5.827	
	밀	2	2.397	
임상밀도	기타	3	0.977	
	유	1	0.168	
	무	2	0.056	
단층				

수행하기 위해 각 자료층에 대해 30m 격자크기의 그리드 자료로 변환을 실시한 후, 변환된 산사태 유발인자의 자료층을 통합하였다.

표 2는 산사태 발생 지점의 91점을 조사하여 그중 35점의 좌표에 해당하는 각 인자별 산사태 특성을 조사하여 특성에 따라 분류를 실시한 후, 분류된 산사태 유발인자를 AHP법을 이용하여 각각의 경중률을 계산하고 표로 나타낸 것이다.

AHP법을 이용한 경중률 계산 과정은 기 발표된 양인태 등(2006)의 “GIS와 AHP를 이용한 산사태 취약지 결정 및 유발인자의 영향”을 참조하여 연구지역을 대상으로 재계산하였다.

그림 3은 경중률이 부여된 산사태 유발 인자의 커버리지를 그리드로 변환한 후 중첩 연산을 통해서 산사태 취약성도를 제작한 것이다. 그림에서 산사태 취약성도는 산

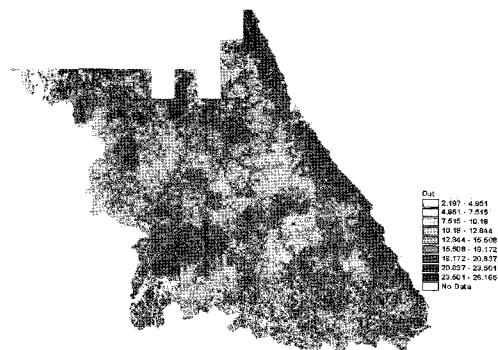


그림 3. 산사태 취약성도

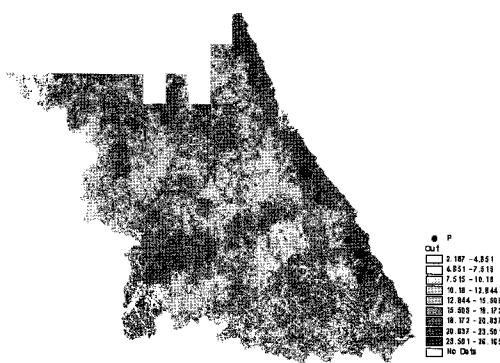


그림 4. 취약성도에서 산사태발생 지점(2002년)

사태를 유발시키는 정적자료만을 이용하여 제작한 것으로써, 동적자료인 강우조건은 배제된 상태이며, 색깔이 짙은 색일수록 산사태에 취약하다는 것을 보여준다.

3.2.1 산사태 취약지의 등급 결정

산사태 취약지의 등급을 결정하기 위하여 2002년 태풍 루사때 발생한 산사태지역들이 취약성도에서 차지하는 격자값을 이용하였다. 그림 3은 산사태 취약성도에 2002년 태풍 루사때 발생한 산사태 발생지점을 중첩하여 그림으로 나타낸 것이다.

표 3은 취약성도에서 산사태 발생지점의 격자값을 나타낸 것으로, 격자값의 평균은 24.20으로 나타났다.

산사태 취약지의 등급결정에 있어서 산사태에 취약한 정도에 따라 분류하여 관리하는 것은 매우 효율적이나, 산사태 발생이 지역적으로 국지적인 영향, 즉 지형, 지질, 기후 등 수많은 요소들의 복잡한 상호작용에 의해 발생하기 때문에 산사태 취약지를 취약정도에 따라 분류하는 것은 매우 어려운 작업이며(양인태 등, 2006), 전문가의 판단에 의해 등급 및 가중치가 결정 될 수 있음으로(이상희,

표 3. 취약성도에서 산사태지역의 격자값

산사태 지점	격자값	산사태 지점	격자값
No. 1	25.92	No. 19	25.92
No. 2	25.66	No. 20	20.48
No. 3	20.31	No. 21	20.48
No. 4	26.00	No. 22	25.83
No. 5	25.88	No. 23	25.80
No. 6	25.75	No. 24	20.31
No. 7	23.25	No. 25	25.92
No. 8	23.24	No. 26	25.58
No. 9	22.99	No. 27	25.67
No. 10	25.92	No. 28	25.67
No. 11	26.00	No. 29	23.85
No. 12	25.75	No. 30	23.85
No. 13	25.88	No. 31	23.93
No. 14	23.33	No. 32	23.93
No. 15	25.88	No. 33	23.80
No. 16	20.23	No. 34	23.93
No. 17	20.48	No. 35	23.93
No. 18	25.67		

표 4. 산사태 취약지 등급 결정

등급	격자값	설명
A등급	24초과	실제 산사태 발생지 포함 실시간 모니터링 필요한 지역
B등급	24-17	일부 산사태 발생지 포함 산사태 발생 확률이 다소 높아 주기적인 모니터링 요망
C등급	16-9	산사태 발생 확률이 낮다 장기적으로 모니터링을 요망
D등급	8이하	외적 환경변화가 없는 한 산사태가 거의 발생하지 않음

2005) 객관성이 떨어질 우려가 높다. 그러므로 본 연구에서는 실제 산사태가 발생한 지역의 격자값의 평균값 이상이 되는 지역을 산사태 취약지 A등급으로 우선순위를 두어 분류하였으며, 그 이하의 등급에 대해서는 등간격으로 분류를 수행하였다. 그러나 여전히 B등급 미만에 대한 분류기준의 논리성에 대한 문제가 남아있어 향후 산사태 발생지에 대한 충분한 DB 구축과 통계학적 방법에 의해서 이를 정량화할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

취약지 등급결정에서 표 4와 같이 격자값이 24이상인 A 등급지를 포함하여 4단계로 취약지의 등급을 결정하였다.

그림 5는 산사태 취약지 등급에 따라 제작된 산사태 취

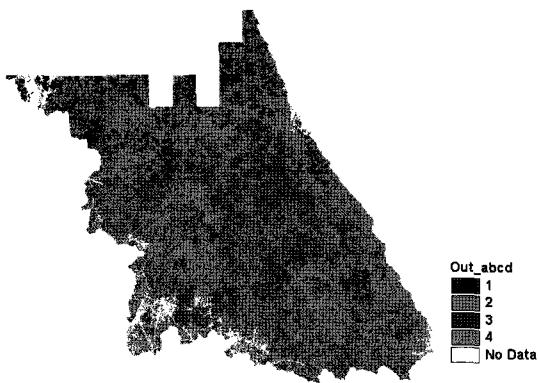


그림 5. 산사태 취약지의 등급분류

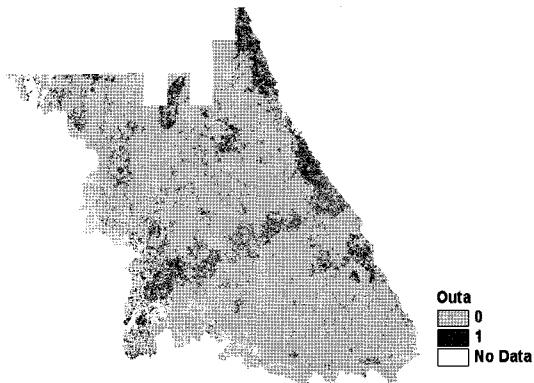


그림 6. 산사태 취약지의 A등급 지역

약성도를 나타낸 것으로, 산사태 취약지 A등급 지역은 전체 면적 1,501,564km² 중에 약 8%를 차지하고 있으며, B등급지는 46%, C등급지는 45%, D등급지의 경우는 1%의 분포를 나타내고 있다. 그림 6은 산사태 취약지 중 A등급 지역만 나타낸 것으로 셀값은 1로 표현하였다.

3.3 산사태 발생 가능성도 제작

산사태 발생 가능성도는 정적데이터만을 사용하여 만든 산사태 취약성도에 동적데이터인 강우를 고려한 것으로, 정적데이터만을 사용하여 만든 취약성도에 토성별 포화에 필요한 수분량 자료를 중첩하고 그리드 연산을 수행하여 산사태 발생 가능성도를 제작하였다. 그림 7은 강우 조건을 고려한 산사태 발생 가능성도를 제작하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

3.3.1 수분량 계산 및 강우특성 분석

이 연구에서는 토양도를 이용하여, 토성을 미사질양토, 식

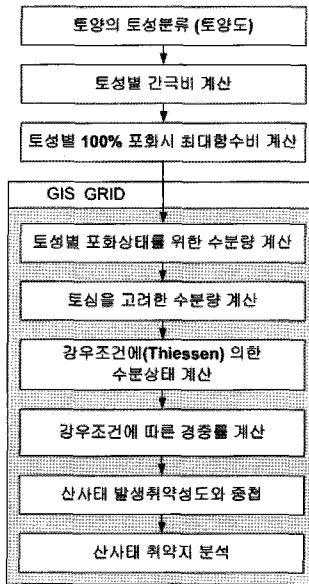
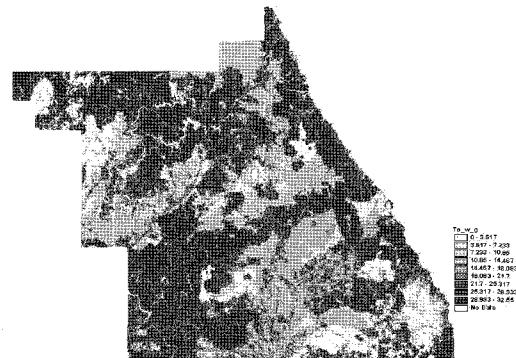


그림 7. 강우조건을 고려한 산사태 가능성도 제작



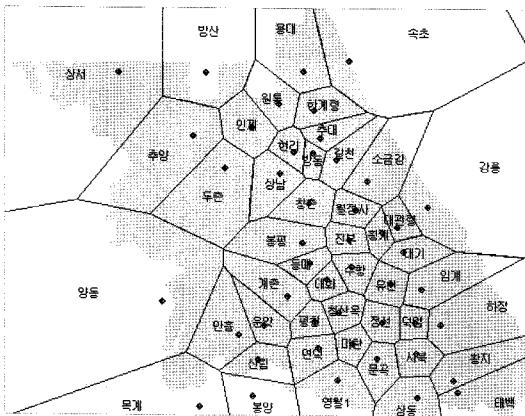


그림 9. 강우관측소와 Thiessen망

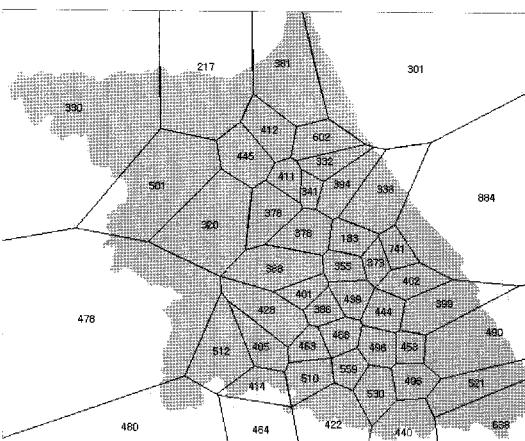


그림 10. 강우량을 입력한 Thiessen망(2002년)

량을 조사하였다. 여기서 조사된 강우량은 최대연속강우량으로써 비가 오기 시작한 시점부터 비가 그친 시점까지의 누적강우량을 의미한다. 다음은 Thiessen망을 구축한 결과로써, 각 강우량관측소별로 최대연속강우량을 조사한 후 지역적인 강우특성 고려하기 위해 강우량관측소를 이용하여 Thiessen망을 작성하였다(그림 9).

그림 10은 강우량관측소를 이용하여 구축한 Thiessen망을 이용하여 최대연속강우량을 해당 지점에 입력하여 그림으로 나타낸 것으로, 이와 같은 방법으로 1994년부터 2003년까지 10개의 Thiessen망을 구축한 후 그리드로 변환하였다.

3.3.2 강우조건 설정

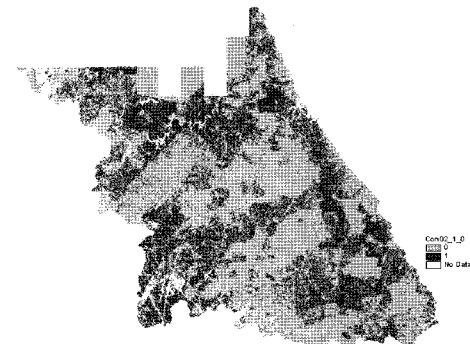
이영남(1991)은 기 발생된 산사태와 강우량과의 관계를 분석하여 ‘산사태는 24시간 이내에 200mm 이상의 강우가 오거나, 하루 이상 강우가 계속될 때는 시간당 평균

강우량이 10mm 이상일 때 발생한다.’고 하였으며, 박용원(1993)은 기존의 연구결과들을 종합적으로 분석하여, 24시간 동안 200mm 이상일 경우 비교적 규모가 큰 산사태가 발생한다고 분석하였다. 천기선(2005)은 강원 남부지역을 대상으로 강우량을 고려한 취약성도를 제작한 결과 200mm 강우시 1개소의 산사태 취약지가 발생하고 20mm 씩 강우가 증가시 산사태의 취약지가 점차 증가한다고 밝혔다. Olivier(1994)는 2일간의 집중강우량과 연강우량의 비율인 집중강우지수가 0.2 이상일 경우에 산사태가 발생한다고 발표하였다. 이를 우리나라에 적용해보면, 연평균강우량을 대략 1,200mm라 할 때 240mm($1,200 \times 0.2$)의 강우가 내릴 경우 산사태가 발생한다.

따라서 본 연구에서는 안전율을 고려하여 240mm의 강우를 적용하였다.

3.3.3 산사태 발생 가능성도 제작

10년 동안의 산사태 가능성도를 제작하기 위해서 강우량 240mm를 적용시킨 산사태 취약성도에 산사태 유발인



(a) 2002년 산사태 발생가능성도(루사 당시)



(b) 2003년 산사태 발생가능성도(매미 당시)

그림 11. 강우조건에 따른 산사태 가능성도

자 조사에 쓰인 35점의 좌표를 투영시켜 각 점들의 값을 조사한 결과, 각 격자값들의 평균값이 20.144로 나타났다. 따라서 격자값이 20이상인 지역을 산사태 발생 가능지로 평가하고, 240mm를 기준으로 1994년부터 2003년까지 10년 동안의 산사태 가능성도를 제작하였다.

3.4 토지피복 추출

본 연구에서의 토지피복은 산사태로 인해 직접적으로 인간생활에 위험을 미칠 인공구조물, 농경지, 도로망에 대한 것으로, 위성영상과 수치지도를 이용하여 추출하였다.

3.4.1 토지피복분류

본 연구에서는 2001년 여름에 관측된 Landsat 영상을 사용하였으며(표 5), 8개의 지상기준점을 이용하여 기하보정

표 5. Landsat 위성영상 제원

관측 년월	위성 센서	보정처리	비 고
2001. 08. 31	Landsat-7/ETM	Bulk 보정	Full scene

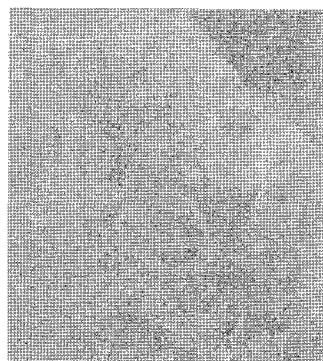


그림 12. 농경지



그림 13. 인공구조물

을 실시하였다. 이때, 재배열 방법으로 최근린 내삽법을 이용하여 화소크기 30m×30m로 재배열하였으며, 기하보정에 사용된 좌표변환식은 Affine 변환 방정식을 이용하였다. 기하보정 결과 RMSE 오차는 0.35화소를 나타냈으며, Landsat 영상의 통상적인 허용오차를 만족하였다(한성만, 2003).

토지피복분류는 산림, 수역, 나대지, 인공구조물(도로제외), 농경지 등 5개의 분류항목으로 분류를 실시한 후, Grid 자료로 변환하였다. 이때 인공구조물과 농경지는 1로 나머지 부분은 0으로 처리하여 인공구조물과 농경지만을 추출하였다. 토지피복분류는 최대우도 분류법을 이용하였으며, 분류정확도는 97.28%로 나타났다. 그림 12와 13은 토지피복분류 항목 중 농경지와 인공구조물의 추출결과를 그리드 자료로 나타낸 것이다.

3.4.2 도로망도 추출

그림 14는 토지피복도의 인공구조물에서 제외되었던 도로를 1996년에 제작된 수치지형도에서 추출하여 나타낸 것이다.

4. 산사태 위험성 평가

산사태 위험성 평가는 산사태 취약성도, 강우를 고려한 산사태 가능성도 등 두 부분으로 나누어 인공구조물, 농경지, 도로에 대한 위험성을 평가하였다.

4.1 산사태 취약지의 위험성 분석

산사태를 유발시키는 정적자료 등을 이용하여 제작한 산사태 취약성도와 토지피복도 중에서 추출된 인공구조

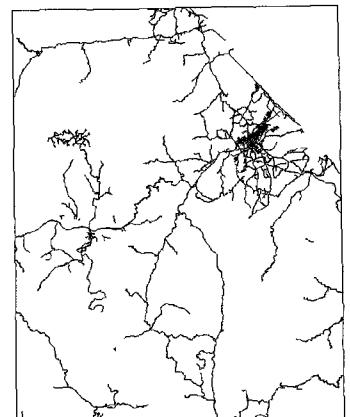


그림 14. 도로

물과 농경지를 중첩하여 인공구조물지역과 농경지에서의 취약성을 평가하였다.

그림 15와 16은 연구지역의 인공구조물과 농경지에서 취약지역 A등급지의 분포를 나타낸 것으로, 취약지역 A등급지의 전체 면적 중 인공구조물은 약 8.9%를 나타냈고, 농경지는 약 48.6%로 나타났다. 이를 표로 나타내면 표 6과 같다.

그림 17은 A등급지역에 포함되는 도로의 분포를 나타

낸 것으로, 연구지역의 도로의 전체길이 약 803.19km중 21.2%인 약 170km가 포함되어 있다. 표 7은 도로가 산사태 취약지역 A등급지에 포함된 길이를 나타낸 것이다.

4.2 강우를 고려한 산사태 위험성 분석

인공구조물과 농경지, 도로를 강우를 고려한 산사태 가능성도와 중첩하여 1994년부터 2003년까지의 산사태 위험성을 평가하였다.

4.2.1 인공구조물의 위험성 분석

그림 18은 1994년부터 2003년 중 대표적으로 1998년, 1999년, 2002년에 대한 인공구조물의 위험성 분포도를 나타낸 것이다.

그림 19는 산사태 가능성도에서 인공구조물의 위험분포를 면적으로 나타낸 것으로, 1998년 이후 인공구조물의 위험면적이 급격히 증가하고 있음을 알 수 있었다. 특히, 그림 20과 같이 인공구조물의 10년간의 위험성 분포도를 중첩하여 그림으로 나타낸 결과 약 863,100m²에 해당되는 동일한 지역이 산사태 위험에 노출되어 있는 것으로 평가되었다.

4.2.2 농경지의 위험성 분석

그림 21은 1994년부터 2003년 중 대표적으로 1998년, 1999년, 2002년에 대한 농경지의 위험성 분포도를 나타낸 것이다.

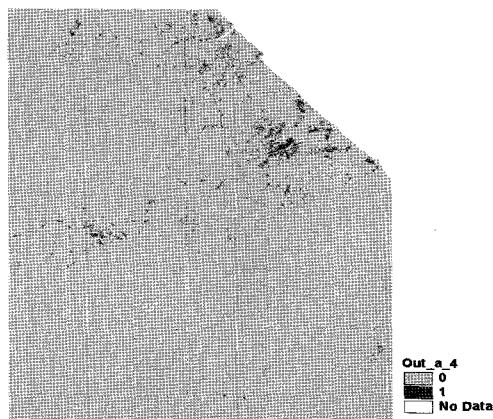


그림 15. A등급지역에서 인공구조물의 분포도

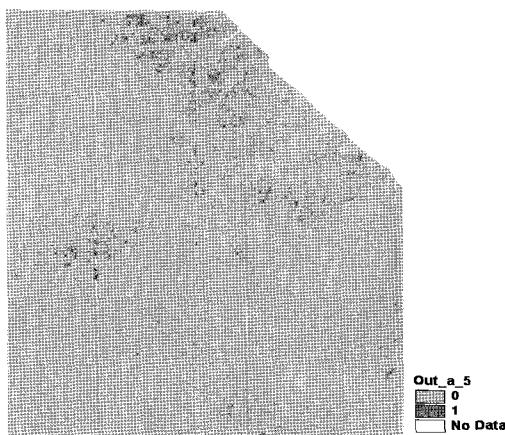


그림 16. A등급지역에서 농경지의 분포도

표 6. 인공구조물, 농경지의 산사태 취약성

	A등급지	인공구조물	농경지
픽셀수(점)	165,907	14,746	80,611
총면적(km ²)	149.32	13.27	72.55
비율(%)	100	8.89	48.59

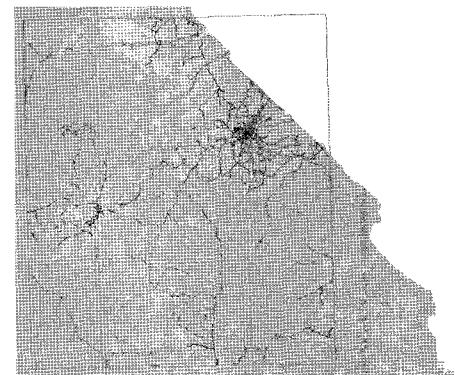
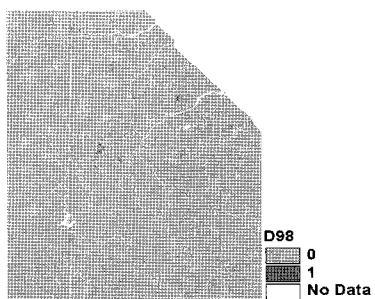


그림 17. A등급지에서 도로의 분포

표 7. 산사태 취약지역 A등급지역에 포함되는 도로 길이

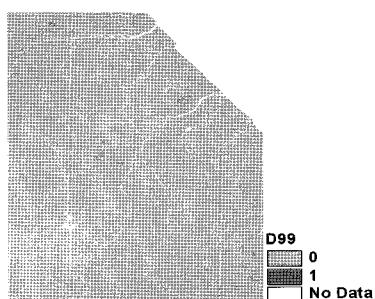
도로 전체 길이(km)	A등급지역 도로(km)
803.19	170.06



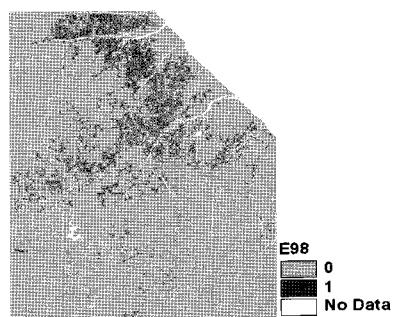
(a) 1998년



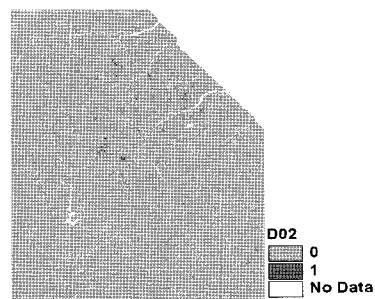
그림 20. 10년간 인공구조물의 위험성 분포도 종합



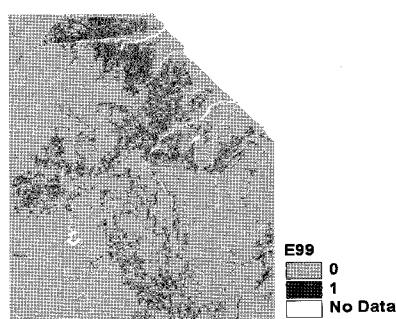
(b) 1999년



(a) 1998년



(c) 2002년



(b) 1999년

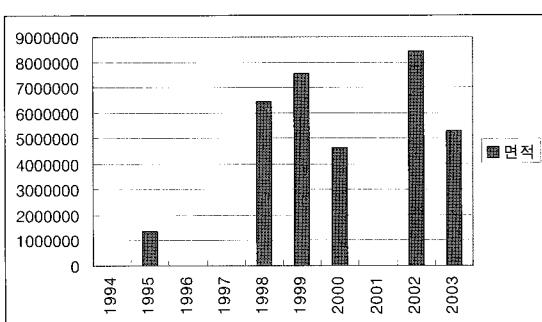
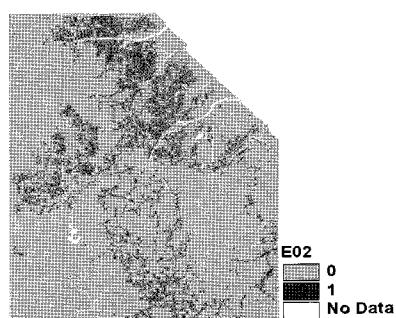


그림 18. 산사태 가능성도에서 인공구조물의 분포도



(c) 2002년

그림 19. 인공구조물의 위험분포

그림 21. 산사태 가능성도에서 농경지의 분포도

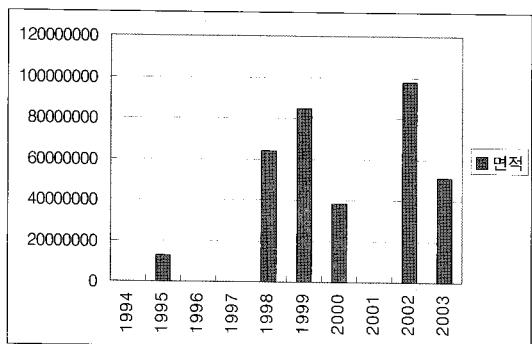
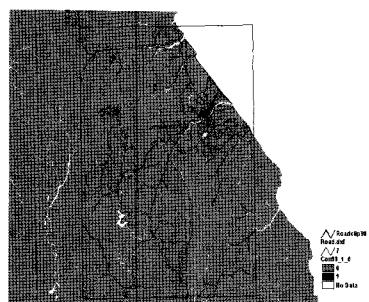
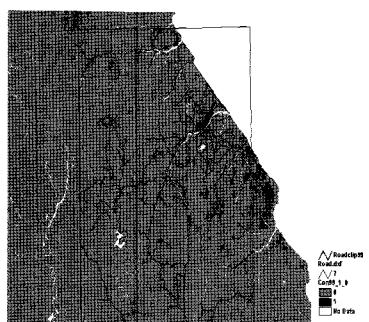


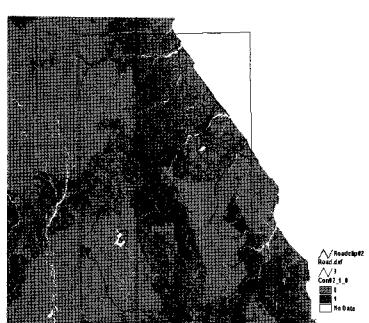
그림 22. 농경지의 위험분포



(a) 1998년



(b) 1999년



(c) 2002년

그림 23. 산사태 가능성도에서 도로의 분포도

그림 22는 산사태 가능성도에서 농경지의 위험분포를 면적으로 나타낸 것으로, 1998년 이후 농경지의 위험면적이 급격히 증가하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 인공 구조물과 같이 10년간의 위험성 분포도를 중첩한 결과 중첩된 부분은 나타나지 않았다.

4.2.3 도로의 위험성 분석

그림 23은 1994년부터 2003년 중 대표적으로 1998년, 1999년, 2002년에 대한 농경지의 위험성 분포도를 나타낸 것이다.

그림 24는 산사태 가능성도에서 도로의 위험분포를 면적으로 나타낸 것으로, 1998년 이후 도로의 위험면적이 급격히 증가하고 있음을 알 수 있었다.

그림 25는 도로의 10년간 산사태 위험성 분포도를 중첩하여 나타낸 것으로 굵게 표시된 도로가 매년 산사태로부터 취약한 도로로 평가되었다.

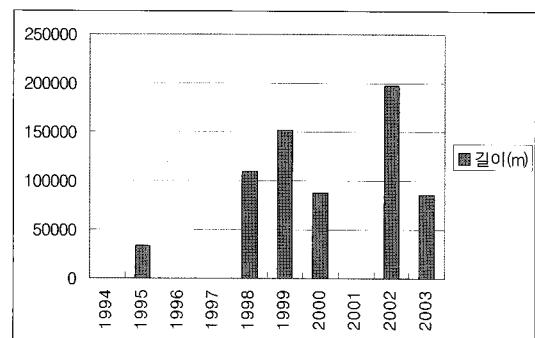


그림 24. 도로의 위험분포

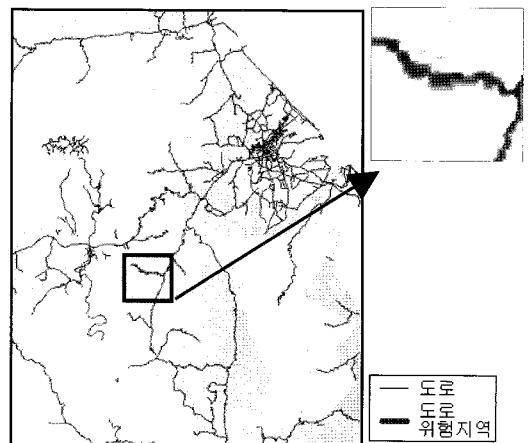


그림 25. 10년간 도로의 위험성 분포도 중첩

5. 결 론

산사태 유발 인자에 대한 데이터베이스를 구축하고, 인공위성영상과 수치지도로부터 추출된 인공구조물, 농경지, 도로에 대해서 GIS를 이용하여 산사태 위험지역을 추출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 위험지역 추출과정에서 정적 데이터만을 사용한 산사태 취약성도에 동적자료인 강우와 기존의 산사태 발생지역을 고려함으로써 산사태 발생 가능성도를 제작할 수 있었다.

둘째, 산사태 발생 취약지 중 위험도가 가장 높은 A등급지에 대해 위험성을 분석한 결과 인공구조물 8.89%, 농경지 48.59%, 도로 21.2%가 A등급지내에 포함된 것으로 나타났다.

또한 1994년부터 2003년까지 10년 동안의 강우를 고려한 산사태 발생 가능지에 대한 위험성을 분석한 결과 인공구조물, 도로, 농경지의 경우 1998년을 기점으로 산사태로 인한 위험면적이 급격히 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 인공구조물과 도로는 해마다 동일한 지역이 위험지역으로 추출되었고, 인공구조물의 경우 863,100m² 면적에 해당하는 동일한 지역이 산사태 위험에 노출되어 있는 것으로 평가되었다.

따라서, 위험지역으로 평가된 지역에 대해서는 현장조사 및 안정성 평가에 대한 대책이 마련되어져야 할 것으로 판단된다.

셋째, 산사태로 인한 인명 및 경제적 손실을 최소화하고 이를 예방하기 위한 차원에서 위험지역 추출 기법의 활용이 기대된다. 특히 신뢰성 있는 산사태 위험성 평가를 위해서는 과거 산사태 발생지에 대한 체계적인 자료구축과 산사태 유발인자의 정확도 개선문제가 국가적으로 시급한 당면과제로 판단되며, 본 연구 성과의 객관성을 유지하기 위해 차후 정확도 검증에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역기술혁신사업(강원권역)의 연구비지원(05지역특성 B02-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강병무 (1971), Landslide 조사연구의 접근방법, 지질광산, 14권, pp. 79-93.
- 마상규 (1979), 산사태 발생지와 피해위험지의 환경학적 해석과 방지대책 - 평창지구를 중심으로 -, 한국임학회지, 한국임학회 45호, pp. 11-25.
- 박용원 (1993), 1991년 용인·안성 지역 산사태 연구, 한국지반공학회지, 한국지반공학회, 제9권, pp. 103-116.
- 박하나 (1997), GIS를 이용한 扶餘 서부지역의 山沙汰 연구, 석사학위논문, 공주대학교.
- 박하나 (1997), GIS를 이용한 扶餘 서부지역의 山沙汰 연구, 석사학위논문, 공주대학교.
- 소방방재청 (2005), 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(II), - 강우량 자료활용 방안을 중심으로 -, pp. 1-6.
- 신영수 (1999), 산사태 발생 추정 요소에 관한 연구, 석사학위논문, 단국대학교.
- 신은선 (1996), 지리정보시스템(GIS)을 이용한 보령·서천지역의 산사태 분석, 석사학위논문, 충남대학교.
- 신은선 (1996), 지리정보시스템(GIS)을 이용한 보령·서천지역의 산사태 분석, 석사학위논문, 충남대학교.
- 심홍근 (1997), 우리나라의 산사태발생 현황과 특성, 석사학위논문, 단국대학교.
- 양인태, 천기선, 박재국, 이상윤 (2007), GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제15권, 제1호, pp. 39-46.
- 양인태, 천기선, 박재훈 (2006), GIS와 AHP를 이용한 산사태 취약지 결정 및 유발인자의 영향, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제14권, 제1호, pp. 3-12.
- 용계숙 (1999), 수치고도모델을 이용한 공주 북부지역의 지형 및 산사태 분석 연구, 석사학위논문, 공주대학교.
- 우보명 (1972), 산지의 Mass Soil Movement 현상의 몇 가지 특성, 한국임학회지, 한국임학회, 15호, pp. 49-60.
- 이사로 (1999), 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 박사학위논문, 연세대학교.
- 이상희 (2005), GIS를 이용한 천층산사태 발생 예측을 위한 수문물리모형의 적용, 박사학위논문, 충북대학교.
- 이성근 (2000), 집중호우시 산사태 원인분석에 관한 사례연구, 석사학위논문, 강원대학교.
- 이영남 (1991), 산사태, 한국지반공학회지, 한국지반공학회, 제7권 제1호, pp. 104-105.
- 천기선 (2005), GIS를 이용한 산사태 취약지 결정 기법, 박사학위논문, 강원대학교.
- 최경 (1986), 한국의산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교.
- 최광식 (1999), GSIS와 AHP법을 이용한 폐기률 매립지 예측 평가 방법, 석사학위논문, 강원대학교.
- 표성일 (2005), 원격탐사 자료와 GIS 기법을 이용한 강원도 삼척시 일대의 산사태 위험 예측도 작성 연구, 석사학위논문, 충남대학교.
- Baker, R. F., and Chieruzzi, R. (1959), "Regional Concept of Landslide Occurrence", Bulletin No. 216, Highway Research

- Board, pp. 1-16.
- Baldelli, P., P. Aleotti, G. Polloni (1996), Landslide susceptibility numerical at the Messina Straits crossing site, Italy, *Proceedings of the 7th international symposium on landslides*, pp. 153-158.
- Cleveland, G. B. (1971), *Regional Landslide Prediction, Open File Release 72-73*, California Division of Mines and Geology, Sacramento, California.
- Dietrich, W. E. and Montgomery, D. R. (1998), *A digital terrain model for mapping shallow landslide potential*, NCASI.
- Evans, J. R., and Gray, C. H. (1971), *Analysis of Mudslide Risk in Southern Ventura Country*, California, Open File Release 72-73, California Division of Mines and Geology.
- Klock, G. O. (1985), An Approach to Modeling the Cumulative Effects of Forest Practices on Downstream Aquatic Ecosystems, *Journal of Soil and Water Conservation*, V. 40(2), pp. 237-241.
- Nilsen, T. H., and Brabb, E. E. (1973), Current Slope-Stability Studies in the San Francisco Bay Region, *Journal of Research*, USGS, V. 1(4), pp. 431-437.
- Olivier, m. Bell, F. G. and Jemy, C. A. (1994), The Effect of rainfall on slope failure, with examples from the Greater Durban area, *Proceedings 7th international Cong. IAEG*, Vol. 3. pp. 1629-1636.
- Pack, R. T., D. G. Tarboton, C. N. Goodwin (1998), The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping, *8th Congress of the International Association of Engineering Geology*, Vancouver, British Columbia, Canada, 8pp.
- Shaw, S. C., D. H. Johnson (1995), Slope morphology model derived from digital elevation data, *1995 Northwest ARC/INFO Users Conference*, Cour d'Alene, Idaho, October 23-25.
- Tubbs, D. W. (1974), *Landslides in Seattle*, State of Washington Department of Natural Resources, Information Circular 52.
- Turri, C. M. and P. Visintainer (1998), Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy, *Engineering Geology*, Vol. 50, No. 3, pp. 255-265.

(접수일 2007. 10. 23, 심사일 2007. 10. 31, 심사완료일 2007. 11. 26)