

연구논문

# GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가 An Estimation to Landslide Vulnerable Area of Rainfall Condition using GIS

양인태\* · 천기선\*\* · 박재국\*\*\* · 이상윤\*\*\*\*

Yang, In Tae · Chun, Ki Sun · Park, Jae Kook · Lee, Sang Yeun

## 要 旨

강원도 지역은 산지지형이 많고 여름철 장마나 이상기후에 의한 국지적인 집중호우에 의해서 산사태가 발생하기 쉬운 자연조건을 가지고 있는데, 특히 강우는 산사태를 유발하는 직접적인 원인이 되는 요소이다. 산사태 발생면적과 4개월간의 누적강우량과의 관련성을 분석해 보면, 3개월간의 강우량이 1,100mm 이상이 되는 지역에서는 극심한 산사태 피해가 발생하게 되고 누적강우량이 많을수록 산사태의 규모도 커진다. 이러한 분석결과는 산사태 취약지역에서 강우에 의해 산사태가 발생할 가능성이 있다는 것을 의미함과 동시에 일정이상의 강우가 발생하면 취약성이 낮은 지역에서도 산사태가 발생할 가능성이 충분히 존재함을 의미한다. 따라서 이 연구에서는 강원도 남부지역을 대상으로 산사태 유발인자들에 대한 GIS DB를 구축하고 산사태 취약성을 평가한 자료를 이용하여, 강우조건을 달리하면서 산사태 취약지의 분포 변화를 모의 실험하였다. 그 결과 강우량이 200mm이상 발생하였을 때 산사태 발생가능성이 생성되는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 지리정보체계, 산사태취약성평가, 강우영향

## Abstract

Most areas in Kangwon Province are mountainous and vulnerable to landslide due to the rainy season in summer and the localized torrential downpour triggered by abnormal climate. In particular, the rainfall is one of direct reasons for landslide. In accordance with the analysis of the relevance between the landslide areas and the accumulated rainfall for four months, there are severe damages of landslide to the areas having more than 1,100 mm of rainfall during three(3) months. Further, it indicates that the more the accumulated rainfall is the greater the size of landslide. These analyses show that the rainfall causes the possible and potential landslide in the vulnerable areas. And also, it means that there exist strong possibilities of landslide even in the areas of lower vulnerability if the amount of rainfall is above certain standard level. Accordingly, in this study we stored the GIS database on the causes and factors of landslide in the southern parts of Kangwon province and conducted simulations on the change of distribution of vulnerable areas by varying the rainfall conditions and by using the evaluation data of landslide vulnerability. As such a result, we found that the landslide could potentially occur if the amount of rainfall is 200 mm and more.

**Keywords :** GIS, Landslide vulnerability, Rainfall effect

## 1. 서 론

강원도 지역은 매년 여름철 장마나 태풍의 집중호우에 의해 산사태가 자주 발생하는 지리적 특성을 가지고 있다. 최근 들어 강우의 특성이 집중호우의 양상을 보이고 산림자원의 파괴가 증가하면서 인공사면뿐만 아니라 자

연사면에서의 산사태 발생빈도도 많아지고 있으며, 점점 대규모화되고 있는 추세이다. 더욱이 산사태는 토사의 대규모 유출이라는 측면에서 볼 때 인간생활에 직접적인 피해를 주는 것 이외에도 유출된 토사들이 하천으로 유입되어 대규모 홍수를 일으키는 원인이 되기도 한다. 산사태를 유발하는 원인은 크게 내적환경요인과 외적

2007년 1월 8일 접수, 2007년 2월 20일 채택

\* 정희원, 강원대학교 토목공학과 교수 (intae@kangwon.ac.kr)

\*\* 경동대학교 건설환경공학부 겸임교수 (chunkiss@hanmail.net)

\*\*\* 남서울대학교 지리정보공학과 겸임교수 (gisdata@nate.com)

\*\*\*\* 강원대학교 토목공학과 박사과정 (bakyoool@hitel.net)

환경요인으로 구분할 수 있다. 여기서 내적환경요인이라 산사태를 유발하는 원인을 정적인 자료, 즉 지형, 지질, 토양 등 외부환경의 영향이 적은 고정적 특성을 갖는 요소에서 찾을 수 있는 원인이라 할 수 있다. 이러한 정적자료들은 산사태 취약성을 평가하거나 산사태 취약지를 결정하기 위한 자료로 많이 사용하게 된다. 반면에 외적환경요인이라 산사태를 유발하는 원인을 동적자료의 측면에서 접근하는 것으로서 강우나 지진과 같이 외부의 충격에 의한 사면 거동을 발생시키는 요소라 할 수 있다.

우리나라의 경우 지진이 원인이 되어 발생하는 산사태는 드물며 대부분이 강우의 영향으로 산사태가 발생하고 있다(김마리아, 1988). 강우가 발생하게 되면 물입자가 경사면을 구성하는 흙입자 사이로 침투하게 되고 간극수압의 증가로 흙의 유효전단강도가 저하됨과 동시에 지반을 활동시킬 흙의 중량이 증가함으로써 경사면이 붕괴되기 쉬운 환경을 제공한다. 강우에 의한 경사면의 붕괴는 단일의 강우강도는 물론이고 누적된 강우량이 많을수록 발생하기 쉽다. 그러나 강우가 산사태에 미치는 영향이 매우 크다는 것은 잘 알려진 사실이지만 강우강도, 누적강우량, 강우지속시간 등이 산사태에 미치는 영향을 분석하는 것은 매우 어려울 뿐만 아니라 아직 확실히 규명하지 못하고 있는 실정이다. 강우특성은 각 나라마다 지역마다 다르기 때문에 각 지역적 특성에 맞는 산사태 특성을 연구하고 분석할 필요가 있다. 또한 지금까지의 산사태 연구가 대부분 내적환경요인인 정적자료만을 사용하여 평가된 산사태 취약성 평가가 많고 강우의 영향을 고려한 산사태 평가는 미비한 실정이며, 강우의 영향을 고려한 경우도 산사태 발생기록과 이때의 강우기록을 이용하여 강우가 산사태에 미치는 영향을 통계적으로 분석한 것이라 할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 토양의 특성을 고려하여 강우량에 따라 산사태 취약지역이 어떻게 변화하는지를 분석하기 위해 강우량에 따른 산사태 취약지의 변화를 모의 실험하고자 하였으며, 강우강도는 고려하지 않았다.

## 2. 연구동향 및 방법

### 2.1 연구동향

GIS에 의한 산사태 연구는 국내 및 국외에서 많이 시도되고 있는데, Newman(1978)이 컴퓨터를 이용하여 산사태를 예측하고자 연구하였으며, Carrara(1992)는 GIS를 이용하여 사면불안정 연구에 대해 다변량 분석을 수행하였다. 그는 연구초기에 그리드분석에 바탕을 두었으나 이후 Morphometric쪽으로 연구를 하였는데 방법적으로는 큰 변화가 없지만 과거 산사태 일어났던 지역을 ‘연구

시범지역’으로 선정하여 통계적 모델을 적용하여 제시하였다.

Mark(1995)는 GIS를 이용하여 산사태 위험지역을 표시하기 위해 확률 및 로지스틱 회귀공식을 사용하였는데, 이 때 사용된 자료가 사면각, 토양, 식생, 산사태 발생시 총강우량 등이었다.

Baldelli(1996)은 지질도, 지형도, DEM자료 등의 정적 자료를 이용하여 GIS에 의해 산사태 취약지를 도출하였으며, Turrini(1998)은 산사태 취약성 분석을 수행하기 위해 토양침식률, 배수율, 구조, 사면경사, 토지이용 등의 자료를 GIS 중첩에 의해 평가하였다.

Morrissey(2001)은 1995년에 발생한 폭우로 인하여 Virginia의 Madison주에서 발생한 토석류를 GIS에 의해 분석하기 위해 시범사면을 선정하고 무한사면 해석이론에 기초한 한계평형모델인 SINMAP을 이용하여 토석류로 인한 산사태 발생위험도를 분석하였다.

우리나라의 경우도 김종훈(1994)이 청주지역을 대상으로 산사태발생가능성을 분석하기 위해 경사, 경사방향, 지질, 토질, 토지이용 등의 지도정보를 이용하였다. 그러나 대부분의 연구가 정적자료인 내적환경요인을 이용한 산사태 취약성 평가를 수행한 것으로 강우와 같은 외적환경요인을 적용한 사례는 미비한 실정이다.

김마리아(1988)는 우리나라 산사태의 발생지구 규명에 관한 일련의 연구로서 전국적으로 산사태 피해가 극심했던 1987년도 산사태 기록과 그 지역의 강우 기록을 분석하여 강우가 산사태에 미치는 영향을 평가하였다. 이영남(1991)은 1990년 강원도와 경기도에서 발생한 산사태 분포를 조사하여 강우량과의 관계를 분석한 결과 산사태는 24시간 이내에 200mm 이상이 오거나 하루이상 강우가 지속시 시간당 평균 강우량이 10mm 이상일 경우 산사태가 발생한다고 보고하였다.

### 2.2 연구범위 및 방법

그림 1은 본 연구에서 광범위한 지역에서의 산사태 취약성을 평가하기 위하여 선정한 연구대상지역을 나타낸 것으로서 원주, 횡성, 평창, 영월, 정선, 동해, 삼척등 강원도 남부지역을 대상으로 하였다.

그림 2는 연구수행과정을 설명한 것이다. 본 연구에서는 크게 두 개의 연구부분으로 나누어 설명할 수 있는데, 첫째는 정적자료에 의한 산사태 발생취약성을 평가하는 부분으로서 문헌조사를 통하여 산사태 유발인자를 각각의 자료층별로 분류하여 GIS DB를 구축하고 GIS 그리드 중첩연산을 통해 산사태 발생취약성을 평가하는 부분으로 이미 발표한 바 있다(양인태, 2006). 둘째는 수치토양도로부터 토성별 포화수분량을 계산하고 강우상태를 고

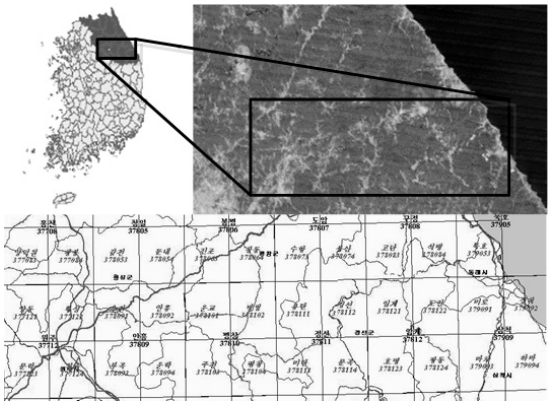


그림 1. 연구대상지역

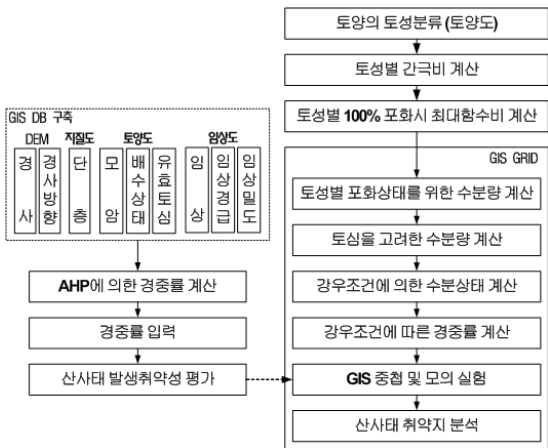


그림 2. 연구수행과정

려하여 산사태 취약지의 분포를 모의 실험하였다. 즉, 토양도의 토성별 포화시 최대함수비를 계산하고 토심에 따른 수분량을 계산한 다음 강우조건에 따른 경중률을 계산하여 앞서 평가한 정적자료의 산사태 발생취약성도와 중첩을 통해 강우조건에 따른 산사태 취약지의 분포 변화를 모의 실험하였다. 이 때 강우조건으로는 연속강우량을 사용하였다.

본 연구를 위해 ArcInfo 8.1, ArcView 3.2 등의 GIS 프로그램을 사용하였으며, 기타 수치지도 제작 및 편집을 위해 AutoCAD 2002를 사용하였다.

### 3. 정적자료에 의한 산사태 발생취약성 평가

본 연구에서는 산사태 유발인자들에 대한 GIS DB를 구축하기 위하여 경사, 경사방향, 경사모양, 단층, 토양모양, 배수, 유효토심, 임상, 임상경급, 임상밀도 등 총 10개

표 1. 연구지역내의 산사태 발생지

위치	좌표(TM)	비고
삼척시 정라 산3-1	216798, 437826	No1
삼척시 남양동 110-1	214956, 437564	No2
삼척시 도계읍 42-1	204370, 416452	No3
삼척시 도계읍 산 53	203500, 414580	No4

표 2. 산사태 발생지에서의 유발인자 분석

산사태 지점	No1	No2	No3	No4	
DEM	경사	2.7°	18.6°	11.9°	28°
	경사방향	남서	북동	남서	북동
지질도	경사모양	평행	불록	불록	불록
	단층	무	무	무	무
토양도	모양	변성암	제4기층	제4기층	퇴적암
	배수	양호	양호	매우양호	양호
임상도	토심(cm)	50~100	50~100	<20	50~100
	임상	미립목지	미립목지	미립목지	미립목지
밀도	경급	치수	치수	치수	치수
	밀도	소	소	소	소

의 지도정보를 문헌조사를 통하여 선정하였다. 이 때 사용한 기초자료는 DEM(1초, 미국 USGS), 지질도(한국지질자원연구원, 1/25,000), 토양도(농촌진흥청, 1/25,000), 임상도(산림청, 1/25,000) 등의 수치지도를 이용하였다.

표 1은 연구지역내에서 과거 2002년 태풍 루사에 의해 산사태가 발생하였던 지역의 위치를 나타낸 것으로서 소방방재청에서 제공한 자료이다.

표 2는 표 1의 산사태 발생지에 대한 산사태 유발인자의 분석결과를 나타낸 것으로서 문헌조사 결과와 비교적 일치하고 있으나 지질정보의 경우 일치하지 않는 것으로 분석되었다. 표 2의 분석결과를 정리하면, 우선 임상인자와 토양인자의 경우 산사태 발생에 취약하다고 보고된 기존의 연구결과들과 일치하였으나, 지질단층 인자의 경우 단층의 영향과는 관련성이 미비한 것으로 분석되어 기존의 연구결과와는 일치하지 않았다. 또한 DEM의 지형자료를 분석한 결과 이미 보고된 기존의 연구결과에서는 경사의 경우 20°~50°, 경사방향은 남향, 남동, 남서 등의 방향, 경사모양의 경우 오목한 지형인 하강사면에서 산사태가 많이 발생하는 것으로 보고되었지만, 이 연구지역에서의 산사태 발생지 분석결과는 일치하지 않는 측면도 많이 있었다. 따라서 본 연구에서는 산사태 유발인자들에 대한 기존의 문헌 연구를 통해 얻어진 결과를 기초로 표 2의 내용을 추가하여 산사태 유발인자를 분류

하여 사용하였다(양인태, 2006).

앞서 선정된 총 10개 항목에 대한 산사태 유발인자들에 대하여 AHP법에 의해 경중률을 계산하고, GIS DB를 구축하여 각각의 자료층(layer)을 형성하였다(양인태, 2005). AHP는 Analytic Hierarchy Process의 머리말로써 ‘계층적 분석과정’이라 해석될 수 있는데(최광식, 1999), Saaty에 의해 1960년대에 처음으로 소개되었다. 각 자료층은 GIS의 그리드 분석기능을 이용하여 격자별 중첩 연산을 수행하기 위해 격자형태의 그리드 자료로 변환하였다. 이 때 그리드 격자 크기는 30m로 하였다.

그림 3은 격자형 자료로 변환된 산사태 유발인자 자료층을 통합하기 위해 GIS 그리드 중첩 연산을 수행하여 작성한 결과이다(양인태, 2006). 그리드 자료의 격자값이 클수록 산사태에 취약한 지역에 해당한다고 볼 수 있다. 그림 4의 No1, No2, No3, No4등은 표 3에서 제시한 과거

산사태 발생지역을 나타낸 것으로서, GIS 그리드 중첩을 통해 도출된 산사태 취약지와 비교한 결과 일치하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 토성별 함수비 계산 및 DB구축

토성은 하나의 주어진 토양내에 여러 가지 광물질 입자의 비례적인 크기의 비율을 말하며 미농무성의 기준에 따르면 입경 2mm 이하의 광물질에 대하여 직경 2mm~0.05mm 까지를 모래, 0.05mm~0.002mm까지를 미사, 0.002mm 이하를 점토로 분류하고 있다. 토양의 비중은 진비중 (particle density)과 가비중(bulk density)으로 나누며, 진비중은 공극을 고려하지 않은 밀도로서 광물질 토양의 진비중은 2.6~2.7g/cm<sup>3</sup>이고 유기질 토양의 경우는 1.3g/cm<sup>3</sup>이다. 가비중은 공기와 수분을 포함한 용적비로서 토양구조나 토성에 의해 영향을 크게 받는다. 토립자 사이의 공간을 토양공극(soil porosity)이라 하는데, 토양공극은 토양내 고체입자를 제외한 부분으로 주로 수분과 공기로 구성되며 각각의 상대적인 비율은 환경에 따라 계속 변한다. 건조토양에서 공극은 대부분이 공기로 이루어져 있으며 습한 토양은 수분으로 채워져 있는 경우이다. 사질 토양은 공극이 큰 것이 대부분이나 총공극량은 세립질 토양보다 적기 때문에 사질토양의 가비중은 식양질 토양보다 높다. 공극률은 토양 가비중을 토양진비중에 의해 나눈 값에 100을 곱하여 계산되며 이 때 진비중은 일반적으로 2.65g/cm<sup>3</sup>을 사용한다.

이 연구에서의 대상지역내 토양 토성은 표 3에서 설명한 바와 같이 미사질양토, 식양토, 양토, 사양토, 세사토, 사토 등으로 분류하여 사용하였다(김진호, 2002).

표 4와 표 5는 각각 토성별 간극비와 이에 따른 토성별 최대함수비를 계산한 표이며, 각각 식 (1)과 식 (3)을 사용하여 계산하였다.

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \cdot \gamma_w \tag{1}$$

$$G_s \cdot w = S \cdot e \tag{2}$$

$$w = \frac{S \cdot e}{G_s} \tag{3}$$

여기서,  $\gamma_d$ 는 건조단위중량,  $\gamma_w$ 는 물의 단위중량,  $G_s$ 는 비중,  $w$ 는 함수비,  $S$ 는 포화도(100%),  $e$ 는 간극비이다.

표 6은 토양이 100% 포화상태가 되기 위해 필요한 토양내 수분의 양을 나타낸 표로서, 표 5로부터 계산할 수 있는데, 단위체적이 아닌 단위면적에 필요한 양(t/m<sup>2</sup>)을 계산한 것이다. 이 때 비중 2.65에 해당하는 토성별 최대

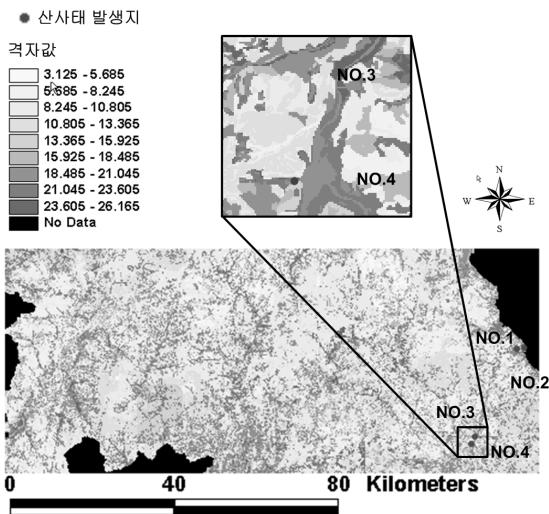


그림 3. 정적자료에 의한 산사태 취약성도(Map)

표 3. 토성의 재분류

토양도의 토성분류	건조단위중량
식양토	1.60
미사질양토	1.50
사양토	1.70
사양토	1.70
식양토	1.60
사토	1.77
세사토	1.75
양토	1.65

표 4. 토성별 간극비 계산

비중 (Gs)	건조단위중량( $t/m^3$ )					
	미사질 양토	식양토	양토	사양토	세사토	사토
	1.50	1.60	1.65	1.70	1.75	1.77
2.60	0.733	0.625	0.576	0.529	0.486	0.469
2.61	0.740	0.631	0.582	0.535	0.491	0.475
2.62	0.747	0.638	0.588	0.541	0.497	0.480
2.63	0.753	0.644	0.594	0.547	0.503	0.486
2.64	0.760	0.650	0.600	0.553	0.509	0.492
2.65	0.767	0.656	0.606	0.559	0.514	0.497
2.66	0.773	0.663	0.612	0.565	0.520	0.503
2.67	0.780	0.669	0.618	0.571	0.526	0.508
2.68	0.787	0.675	0.624	0.576	0.531	0.514
2.69	0.793	0.681	0.630	0.582	0.537	0.520
2.70	0.800	0.688	0.636	0.588	0.543	0.525

표 5. 토성별 최대함수비(100% 포화시)

비중 (Gs)	건조단위중량( $t/m^3$ )					
	미사질 양토	식양토	양토	사양토	세사토	사토
	1.50	1.60	1.65	1.70	1.75	1.77
2.60	28.205	24.038	22.145	20.362	18.681	18.036
2.61	28.352	24.186	22.292	20.509	18.829	18.183
2.62	28.499	24.332	22.438	20.656	18.975	18.329
2.63	28.644	24.477	22.583	20.801	19.120	18.474
2.64	28.788	24.621	22.727	20.945	19.264	18.618
2.65	28.931	24.764	22.870	21.088	19.407	18.761
2.66	29.073	24.906	23.012	21.230	19.549	18.903
2.67	29.213	25.047	23.153	21.370	19.690	19.044
2.68	29.353	25.187	23.293	21.510	19.829	19.184
2.69	29.492	25.325	23.431	21.649	19.968	19.322
2.70	29.630	25.463	23.569	21.786	20.106	19.460

함수비를 사용하였다.

토양도에서의 토심정보는 그 분류가 0~20cm, 20~50cm, 50~100cm, 100cm 이상 등 4개의 항목으로 분류되어 있다. 이 연구에서는 토양의 유효토심에 대한 정보를 표 7에서 보여주는 것처럼 0~20cm 부분은 10cm, 20~50cm는 35cm, 50~100cm는 75cm, 100cm 이상은 150cm로 재분류하고 토양의 포화상태가 되기 위해 필요한 토성별 물의 양(표 6)을 고려하여 토심에 따라 포화상태가 되기

표 6. 100% 포화상태가 되기 위해 필요한 단위면적 당 수분의 양( $t/m^2$ )

토성	미사질 양토	식양토	양토	사양토	세사토	사토
	1.50	1.60	1.65	1.70	1.75	1.77
물	0.434	0.396	0.377	0.358	0.340	0.332

표 7. 토양도 토심정보의 재분류

토양도의 토심 (cm)	0~20	20~50	50~100	100이상
재분류한 토심 (cm)	10	35	75	150

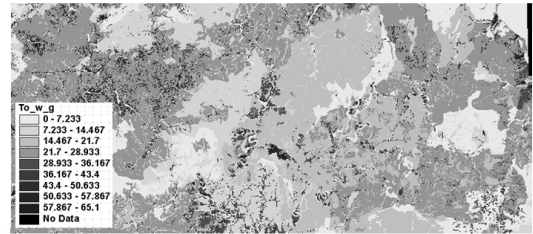


그림 4. 토성별 토심의 포화상태를 위해 필요한 수분량

위해 필요한 강우량을 계산하였다. 그림 4는 토성별로 100% 포화상태가 되기 위해 필요한 물의 양을 나타낸 것이다.

### 5. 강우에 따른 산사태 발생취약성 분석

강우는 산사태에 영향을 주는 직접적인 요인이라 할 수 있다. 산사태가 발생하기 쉬운 지형적 혹은 지질적 조건이 충족되었다 하더라도 강우나 지진과 같은 외적인 영향이 없다면 산사태는 발생하지 않는다. 특히 우리나라의 산사태는 지진이 원인이 된 산사태는 아직 없고 집중적 강우에 의한 산사태가 주를 이루고 있다(신영수, 1998). 산사태 발생이 최대시우량에 의해 지배된다고 하면 산사태는 최대시우량 발생 이후 수시간 내에 발생하게 되지만, 산사태 발생이 최대일강우량에 의해 지배된다고 하면 산사태는 최대시우량 발생 훨씬 이후에 발생하게 되며, 이 때 선행강우량이 있으면 산사태 발생 시기는 이보다 앞당겨진다고 볼 수 있다(신영수, 1998). 산사태를 일으키는 가장 큰 요인은 기상조건이다. 사계절이 뚜렷한 우리나라는 특히 강우로 인한 산사태가 가장 많다. 산사태 발생의 최대 요인인 강우는 단 시간에 집중적으로 쏟아 붓는 계절성 폭우일 때와 수일간 누적된 연속강우일 때 산사

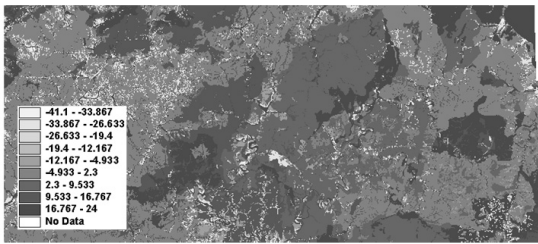


그림 5. 240mm 강우조건에서의 토심내 수분상태

태를 많이 유발시키며, 우리나라 역시 강우량이 집중되는 6월부터 9월에 주로 발생한다(신영수, 1998).

이 연구에서는 강우량 조건을 고려하기 위해 100mm에서부터 800mm까지 20mm씩 강우조건을 증가시켜 나가면서 산사태 취약성의 변화를 분석하였으며, 특히 240mm의 강우조건을 기준으로 산사태 취약지의 분포 변화를 분석하였다. 이 때 선행강우조건은 고려하지 않았다. 강우조건을 고려한 수분상태를 계산하기 위해서 토양의 토심정보를 이용하여 토심에 따라 포화상태를 이루기 위한 수분량을 계산한 후, 강우조건(100, 120, 140, 160, 180, 200, ..., 800mm등)과 비교하였다.

그림 5는 강우조건 240mm일 때의 토양 토성별 토심에 대한 수분상태를 나타낸 것이다. 여기서 양(+)의 값은 토심내 포화상태를 초과하는 수분량을 나타내고 있으며, 음(-)의 값은 토심내 포화상태에 미달되는 수분량을 나타낸다.

그림 6과 그림 7은 강우조건에 따른 산사태 취약지의 분포를 작성한 것이다. 본 연구에서의 강우조건으로는 연속강우량을 사용하였다. 강우조건에 따라서 토양의 토성별 토심에 대한 수분상태가 계산된 후 각각의 강우조건마다 그리드 자료가 형성되는데, 이 때 각각의 그리드 별로 240mm에 대한 상대적 경증률을 계산하고 그림 3의 산사태 취약성도와 중첩 연산하여 강우조건에 따른 산사태 취약성을 평가하였다.

Olivier(1994)는 2일간의 집중강우량과 연강우량의 비율인 집중강우지수(event coefficient)가 0.2 이상일 경우에 산사태가 발생한다고 보고한 바 있다. Oliver가 제시한 집중강우지수를 우리나라에 적용해 보면, 우리나라의 연평균강우량을 대략 1,200mm라 할 때 240mm(1,200×0.2) 이상일 경우 집중강우지수 0.2를 상회하게 된다. 즉 연평균 강우량이 1,200mm인 우리나라의 경우 연속적으로 240mm의 강우가 내릴 경우 산사태가 발생한다는 것이다. 따라서 이 연구에서는 Oliver의 이론을 적용하였다.

표 8은 240mm를 강우에 대한 결과그리드 자료에서 산사태 발생위치에서의 격자값을 조사하여 나타낸 것이다.



그림 6. 180mm 강우조건에 따른 산사태 취약성 분포도

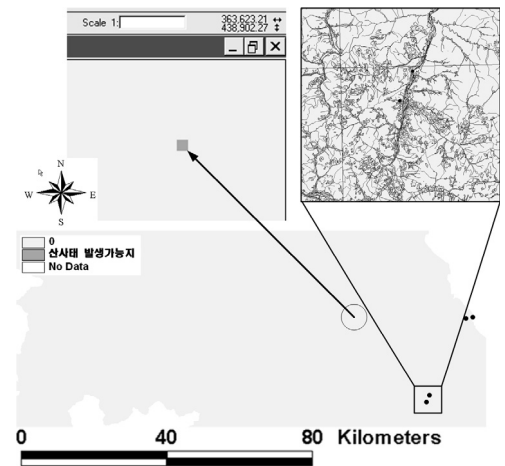


그림 7. 200mm 강우조건에 따른 산사태 취약성 분포도

표 8. 산사태 발생위치에서의 격자값

위치	주소	좌표	격자값
No1	삼척시 정라 산3-1	216798, 437826	21.650
No2	삼척시 남양동 110-1	214956, 437564	-3.937
No3	삼척시 도계읍 42-1	204370, 416452	21.766
No4	삼척시 도계읍 산 53	203500, 414580	-27.159

여기서 음(-)의 값은 강우조건 240mm일 경우 포화되지 않은 상태를 의미한다. 산사태의 발생조건을 토양이 포화되었을 때부터 산사태 발생가능성이 있다고 가정한다면 No1에 해당하는 격자값 이상인 격자들을 산사태 취약지로 재분류할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 격자값으로 21이상의 지역을 산사태 취약지로 재분류하였다.

표 9. 강우조건에 따른 취약지의 변화

그리드명	연속 강우량	취약지 (격자갯수)	취약지 면적(km <sup>2</sup> )	취약지 면적비
con100	100mm	0	0	0.00000
con120	120mm	0	0	0.00000
con140	140mm	0	0	0.00000
con160	160mm	0	0	0.00000
con180	180mm	0	0	0.00000
<b>con200</b>	<b>200mm</b>	<b>1</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.00001</b>
<b>con220</b>	<b>220mm</b>	<b>19</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.00026</b>
con240	240mm	31357	28.2213	0.42958
con260	260mm	79730	71.757	1.09228
con280	280mm	291107	261.9963	3.98810
con300	300mm	332752	299.4768	4.55862
con320	320mm	387730	348.957	5.31181
con340	340mm	410934	369.8406	5.62970
con360	360mm	577176	519.4584	7.90718
con380	380mm	846772	762.0948	11.60058
con400	400mm	984320	885.888	13.48495
con420	420mm	1348021	1213.2189	18.46757
con440	440mm	1428051	1285.2459	19.56396
con460	460mm	1641151	1477.0359	22.48338
con480	480mm	1728150	1555.335	23.67525
con500	500mm	1922933	1730.6397	26.34373
con540	540mm	2349819	2114.8371	32.19197
con580	580mm	2842424	2558.1816	38.94054
con620	620mm	3598791	3238.9119	49.30259
con660	660mm	4109125	3698.2125	56.29405
con700	700mm	4387328	3948.5952	60.10536
con740	740mm	4867907	4381.1163	66.68918
con800	800mm	5185324	4666.7916	71.03772

그림 6을 살펴보면 산사태 취약지에 해당하는 격자는 없고 “0”과 “Nodata”만 존재하고 있다. 이것은 180mm의 강우조건에서는 산사태가 일어날 가능성이 없다는 것을 의미한다. 반면 그림 7에서는 강우조건 200mm일 때 비로소 산사태 취약지에 해당하는 격자가 한 곳 나타나고 있다. 이 때 해당지역의 면적은 격자 한 개에 해당하므로 약 900m<sup>2</sup> 정도이다.

표 9는 연속강우량을 100mm에서 800mm까지 20mm 씩 증가시켜 산사태 취약성 분포를 분석한 결과를 나타낸 것으로서 취약지로서 평가된 지역에 대한 격자들의

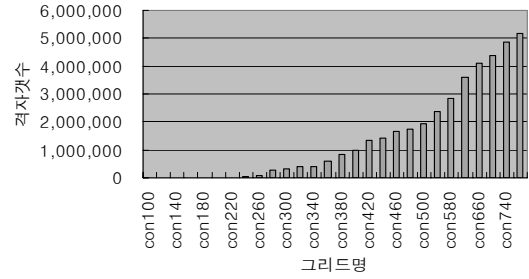


그림 8. 강우조건에 따른 취약지 분포도

개수를 나타낸 것이다. 표 9의 분석결과에 의하면 최대연속강우량이 200mm일 때 산사태 발생가능성이 나타나며 그 이후에 점차 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 이 결과들을 정리하면 연속강우량이 200mm 이상 발생할 때부터 산사태가 발생할 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 그림 9는 표 9의 분석결과를 도표로 나타낸 것이다. 강우의 증가함에 따라 산사태 발생가능성이 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 이영남(1991)이 강우특성과 산사태의 관계를 통계적으로 분석하여 발표한 200mm 이상의 강우량이 발생하면 산사태가 발생한다는 결과와 일치하고 있다.

## 6. 결 론

산사태 유발하는 인자를 분류하고 지형, 지질, 토양, 임상 등의 정적자료를 이용하여 산사태 취약성을 평가하고, 강우자료인 동적자료를 적용하여 강우의 영향에 따른 산사태 취약지의 분포 변화를 모의 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지형, 지질, 토양, 임상 등의 정적자료를 GIS DB로 구축하고 산사태 취약성을 평가한 자료를 기초로 연속강우량의 변화에 따른 산사태 취약지의 분포 변화를 GIS로 구현할 수 있었다.

2. 연속강우량을 100mm부터 800mm까지 20mm 간격으로 가정하고 산사태 취약지의 분포변화를 시뮬레이션한 결과 200mm 이상의 강우사상이 발생하였을 때부터 산사태 발생가능성이 나타나는 것으로 분석되었다.

광역적 지역을 대상으로 한 산사태 연구는 산사태 유발 인자들에 대한 정확한 정보를 가진 수치지도를 필요로 한다. 특히 본 연구에서 사용한 토양도의 유효토심 자료는 본래 농업진흥청에서 농사를 위해 작성한 것으로서 산사태를 연구하기에는 질적인 면에서 부족한 것이 사실이다. 또한 산사태 발생위치에 대한 보다 많은 자료가 확

보되어야 강원도 지역에서의 산사태 특성을 정확하게 적용하는 것이 가능하기 때문에 이에 대한 많은 연구가 계속되어야 하겠다.

### 참고문헌

1. 건설교통기술연구원, 2004, "산사태 발생예측 및 피해저감기술".
2. 김건호, 2002, *GIS기법을 이용한 토석류 발생위험도 분석에 관한 연구*, 석사학위논문, 홍익대학교.
3. 김마리아, 1988, *강우로 기인되는 산사태에 관한 연구*, 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원.
4. 김원영, 2001, "토석류 산사태(debris flow)의 발생원인과 예측", *방재연구*, 제3권 제4호 통권12호, pp. 4-14.
5. 김제천, 2001, *GIS와 AHP법을 이용한 산사태 발생지역 예측*, 석사학위논문, 강원대학교 산업대학원.
6. 김종훈, 1994, *지형자료를 이용한 산사태 분석에 관한 연구*, 석사학위논문, 명지대학교 대학원.
7. 신영수, 1998, *산사태 발생 추정요소에 관한 연구*, 석사학위논문, 단국대학교 산업기술대학원.
8. 양인태, 2005, "AHP법을 이용한 산사태 발생잠재가능성 평가", *한국측량학회 춘계학술발표회 논문집*, pp. 197-202.
9. 양인태, 2006, "GIS와 AHP를 이용한 산사태 취약지 결정 및 유발 인자의 영향", *한국지형공간정보학회지*, 제14권 제1호, pp. 3-12.
10. 이영남, 1991, "산사태", *대한토질공학회지*, 제7권 제1호, p. 105.
11. 천기선, 2005, *GIS를 이용한 산사태 취약지 결정 기법*, 박사학위논문, 강원대학교 대학원.
12. 최광식, 1999, *GIS와 AHP법을 이용한 폐기물 매립지 예측 평가 방법*, 석사학위논문, 강원대학교 대학원.
13. Baldelli, P., Aleotti, P. and Polloni, G., 1996, "Landslide-susceptibility numerical at the messina straits crossing site", *Italy Proceeding of the seventh international symposium on landslides*, pp. 153-158.
14. Morrissey, M. M., 2001, "A comparative analysis of hazard models for predicting debris flow in madison county, virginia", *U.S. Geological Survey editorial standards*.
15. 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.
16. Newman, E. B., A. R. Paradis, and E. E. Brabb., 1978, "Feasibility and Cost of Using a Computer to Prepare Landslide Susceptibility Maps of the San Francisco Bay Region, California", *U.S. geological Survey*, Reston, Vol. 29.
17. Carrara, A., M. Cardinali, and Guzzetti., 1992, "Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk", *ITC journal*, No,2, pp. 172-183.