

경남지역 산사태 발생지의 강우 및 지형특성분석*

김기흥¹⁾·정혜련¹⁾·박재현²⁾·마호섭³⁾

¹⁾ 경남과학기술대학교 토목공학과²⁾ 경남과학기술대학교 산림자원학과³⁾ 경상대학교 산림환경과학부

Analysis on Rainfall and Geographical Characteristics of Landslides in Gyeongnam Province*

Kim, Ki Heung¹⁾·Jung, Hea Reyn¹⁾·Park, Jae Hyeon²⁾ and Ma, Ho Seop³⁾

¹⁾ Dept. of Civil Eng, Gyeongnam National University of Science and Technology,

²⁾ Dept. of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology,

³⁾ Dept. of Forest Environmental Resources, Gyeongsang National University

ABSTRACT

The purpose of this study to analyze landslide-triggering factors using the 38 landslide cases occurred by typhoon, Rusa in 2002, Maemi in 2003 and Ewiniar in 2006 and geospatial characteristics in Hamyang and Geochang County. where two day's heavy rainfall was concentrated on. The rainfalls factors to trigger landslides were accumulative rainfall (>230mm) and rainfall intensity(>30-75mm). The highest landslide frequency was concentrated on the areas of 400-900m in height and on the slopes of 25-40° in degree. The frequency of landslide was high exceedingly above 80% of a slope attitude, while the frequency is very low below 70%. Granite was more susceptible as much as 9 times than metamorphic rocks. In areas mixed soil with gravels and rock blocks, the frequency of landslide was 73%.

Key Words : *Landslide-triggering factors, Geospatial characteristics, Accumulative rainfall, Rainfall intensity, Kandslide frequency.*

* 이 연구는 2010년 산림과학기술개발사업 연구비지원에 의해 수행되었음.

Corresponding author : Park, Jae Hyeon, Dept. of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, 150, Chilam-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-758, Korea,
Tel : +82-55-751-3248, E-mail : pjh@jinju.ac.kr

Received : 7 January, 2011. **Revised** : 28 February, 2011. **Accepted** : 18 March, 2011.

I. 서 론

최근 지구온난화로 태풍 및 집중호우가 빈발하고 특히, 국지성 집중호우의 강도가 커지면서 시간강우량, 일강우량 및 연속강우량이 현저하게 증가하고 있다. 우리나라의 기후극값 자료는 시간강우량의 경우 1941년 서울의 118mm가 1998년 순천의 145mm로, 일강우량의 경우 장흥의 547.4mm가 2002년 870.5mm로 급증하는 추세를 보이고 있다. 이러한 태풍 및 집중호우에 의한 강우량의 증가는 홍수 및 산사태 등을 유발하여 막대한 피해를 초래하고 있다. 우리나라는 국토면적의 약 65%가 지형의 기복이 심한 산지로서 국지적인 지형성 집중호우가 발생하면서 산사태를 유발하고, 이로 인해 발생한 토석 및 유목이 계속적으로 유하하면서 토석류로 발달하여 하류에 피해를 입히고 있다.

최근 우리나라는 산지토사재해로 인해 1976년 이후 연평균 피해면적 406ha, 인명피해 40명, 복구비용 191억원의 피해를 입고 있다. 특히, 태풍 및 집중호우로 인해 2002년 2,700ha, 2003년 1,300ha, 2004년 233ha, 2005년 469ha, 2006년 1,597ha로 산지토사재해가 대규모로 발생하는 추세에 있다(산림청, 2006; 이창우, 2005).

산사태는 단시간의 극단적이고 국지적인 자연재해로 예측이 어려워 많은 인명과 재산피해가 발생함에도 불구하고 항구적인 대책수립이 곤란한 실정이다. 산사태 발생유역에서 가장 문제가 되는 것은 산악지의 사면, 절·성토사면 등 급경사지의 평형상태가 붕괴되어 중력방향으로 내려오는 산사태가 주원인으로서 크게 외적인 원인과 내적인 원인으로 구분할 수 있다. 외적인 원인으로서는 강우 등을 들 수 있으며, 내적인 원인으로서는 지형 및 지질 등을 들 수 있다. 이외에도 산지의 벌목이나 도로공사를 위한 인위적인 절·성토사면의 생성 등 인간의 활동 역시 사면붕괴를 일으키는 간접적인 원인이 될 수 있다(김경수 등, 2006; 김원영 등, 1998). 외적 요인으로서 집중호

우로 인하여 얇은 산사태가 발생하며, 충분한 선행강우로 인한 토양에 강우가 침투함으로써 일시적으로 부유대수층(의)이 형성으로 토립자 사이의 간극수압 증가로 유효강도가 감소하여 산사태가 발생한다고 하였다(Campbell, 1975), 최소강우는 산사태를 유발할 수 있는 가장 적은 양의 한계강우이며, 최대강우는 경험적으로 반드시 산사태를 유발하는 강우이므로 최소강우에서 최대강우로 갈수록 산사태 발생가능성은 높아진다(Crozier, 1997; Giannecchini, 2005).

내적요인으로서 산사태 연구에서 지형분석은 가장 중요한 부분을 차지하고 있으며, 최근에는 지형학(Geomor-phology)의 관점에서 접근하고 있다. 산사태는 지형발달의 한 과정이므로 지형의 형태는 산사태 취약성과 밀접하게 연관된다(Griffiths *et al.*, 1990; Johnes *et al.*, 1983).

산사태가 발생하면 대상지의 위치, 원인을 조사하고 대책수립을 위해서는 지형도, 지질도 등의 도면자료와 조사를 위한 측량기 등 관련 장비를 가지고 현장조사를 실시하여야 한다. 특히, 산사태 발생 직후에는 해당지역의 위치를 정확하게 파악하기 힘들 뿐만 아니라 접근이 아주 곤란하다(채병근, 2006; 소방방재청, 2005). 산사태 발생지역의 위치와 규모 등 피해양상을 정확하게 조사하기 위한 방법은 재해 직후에 항공사진이나 위성영상 등을 촬영하고 그 영상을 활용하는 것이 가장 확실한 방법이다(Jacob and Hungr, 2005). 최근 항공기를 이용한 사진촬영은 디지털 카메라를 사용함으로써 짧은 시간에 산사태 발생에 대한 지형정보를 획득할 수 있고 DB화도 가능하다(조남춘 등, 2006; 이천용 등, 2002; 구분호·구재동, 1995). 또한 원격탐사를 활용하면 현장여건이 나쁜 지리적 특성으로 발생하는 현장조사의 어려움을 줄이고 넓은 면적에 대한 지표면의 형태적, 물리적 공간정보의 획득이 용이하다는 장점 때문에 GIS기법에 의한 산사태 연구가 활발하게 전개되고 있다(우충식 등, 2008; 오경두 등, 2006; 이명진 등, 2004; 이천용 등,

2002). 현재 우리나라는 15km×15km의 면적을 1m×1m 해상도로 제공되는 아리랑 2호의 위성사진이 28일 주기로 제공되므로 이를 활용한 연구도 진행되고 있다.

본 연구에서는 집중호우로 산사태가 집중적으로 발생한 경남 함양군, 거창군 및 산청군에 대하여 항공사진, 수치지형도, 지질도(환경지질연구정보센터, 2006), 토양도(농촌진흥청, 1995), 임상도(산림청, 2009) 및 강우자료를 이용하여 산사태 피해상황과 유발인자별 특성에 대한 분석을 시행하였다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구범위

경상남도는 총면적 10,532km²(전국 99,897km²)이며, 이 중 산림면적은 7,074km²으로 약 67%를 차지하고 있다. 본 연구 대상지인 산청군의 산림면적은 794.5km² 중 77.5%인 616.2km², 함양군의 산림면적은 724.9km² 중 76.5%인 554.5km², 거창군의 산림면적은 804.1km² 중 72.8%인 715.6km²이며, 2002년 태풍 「루사」, 2006년 태풍 「에위니아」 내습시에 산사태가 많이 발생했던 지역으로서 산청군 1개소, 거창군 11개소 및 함양군 26개소를 대상으로 하였다. 연구 대상지의 면적은 함양군 마천면 군자가흥지구 1.5km×3.5km, 거창군 가북면 몽리지구 1.5km×1.5km, 산포지구 1.5km×.5km, 산청군 시천면 반천지구 0.5km×0.5km이다. 그림 1은 연구 대상지의 위치를 나타낸 것이며, 그림 2는 태풍 루사 내습시 피해상황을 나타낸 것이다.

2. 연구방법

본 연구에서는 강우(국토해양부 한강홍수통제소, 2002-2006), 항공사진(위성사진), 수치지형도(국토해양부 국토지리정보원, 2010), 지질도, 토양도, 토지이용도 및 임상도 등을 DB를 이용하여 2002년 태풍 루사와 2006년 태풍 에위니아 내



그림 1. 연구 대상지의 위치도.

습시 발생한 경남의 38개 산사태 발생지역에 대한 분석을 수행하고, GIS를 기반으로 산사태 피해상황과 발생인자별 특징에 대하여 분석하였다.

1) 강우

강우가 내리면 유출수에 의하여 지표면이 침식되고, 침투수로 인하여 자체의 단위중량이 증가하여 토층과 암반층 사이에 임시지하수위가 상승하면서 사면의 안정성을 감소시켜 산사태를 촉진시키는 원인이 된다. 본 연구에서는 2002년의 태풍 루사, 2003년의 태풍 매미 및 2006년의 태풍 에위니아 내습시 경남지역에서 많은 피해를 초래한 시천, 마천, 삼장, 지리산-2, 웅양, 웅양-2, 거창-1, 가북, 영산, 김해 및 양산의 11개 우량관 측소의 강우사상에 대한 시간강우량과 연속강우량을 대상으로 조사, 분석하였다. 분석결과를 근거로 산사태 발생시각과 강우강도와 누가강우량의 관계와 산사태 유발 강우량을 평가하고자 하였다.

2) 지형

본 연구에서는 DEM 자료를 1 : 5,000 축적 지형도상의 5m 간격의 등고선 및 고도값으로 입력하고 이를 5m×5m 간격의 격자로 재구성하여 각 격자당 하나의 고도값을 갖는 DEM 자료로 변환된 것이다. DEM 자료를 이용하여 경사도, 경사

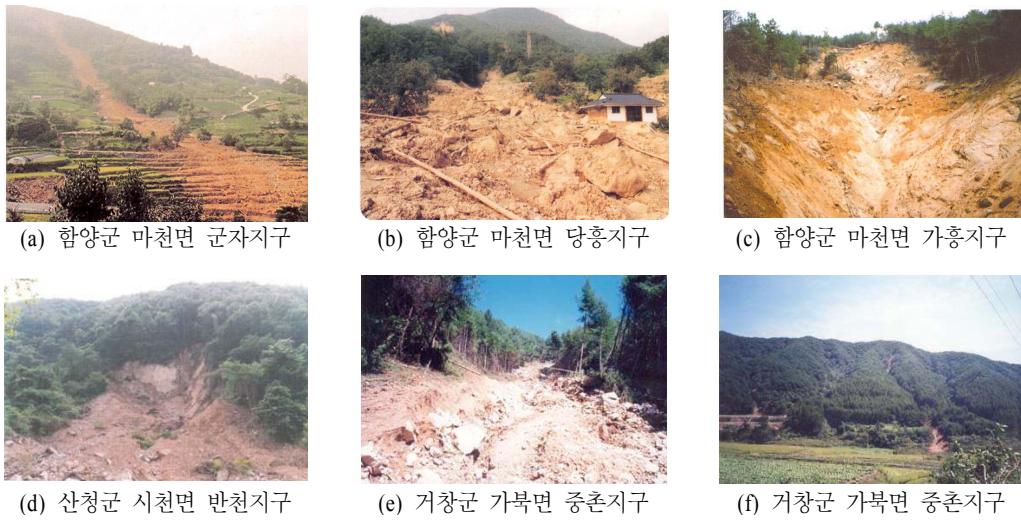


그림 2. 연구 대상지의 태풍 루사 내습시 피해상황.

방향, 고도분포, 음영기복, 경사방향 등 각종 지형분석을 수행하고 빈도수와 산사태 취약성과의 상관관계를 분석하였다.

3) 지질·토양

우리나라의 지질은 시생대로부터 신생대에 이르는 여러 시대의 지층으로 구성된다. 우리나라의 남부는 중생대의 퇴적암은 경상도에 넓게 분포하며, 제3기의 미응결 퇴적암은 영일만일대에 소규모로 분포한다. 우리나라를 구성하는 암의 대부분은 화강암, 화강편마암, 퇴적암이다(정창희, 1986). 산사태의 발생에 대한 지질학적 영향은 지질구조적 관점과 암석학적 관점에서 볼 수 있으므로 지질도 및 토양도를 분석하였다.

4) 임상

임상은 토양피복의 상태를 나타내는 척도로서 사면보호에 큰 역할을 하기도 하지만 흉고직경이 큰 대경목은 집중호우 및 태풍시에 연약한 지반에는 하중으로 작용할 수 있으며, 특히 태풍시의 강풍에 의하여 지반을 교란시켜 우수의 침투를 촉진하므로써 사면붕괴를 유발하는 원인이 되기도 한다. 임상조사는 주임분의 임상과 흉고

부위 경급을 조사하여 침엽수, 활엽수, 혼효림으로 구분하고 임분경급은 흉고직경으로 치수림, 소경목, 중경목, 대경목으로 세분하여 조사, 분석하였다.

5) 산사태 유발인자 분석

현재 구축되어 있는 국가 DB를 이용하여 산사태 발생지역에 대하여 각 지구별 위치, 규모, 지형, 지질, 토양, 임상, 강우 자료 등 산사태 유발인자를 파악, 분석하였다. 그림 3은 GIS기반의 산사태 유발인자 분석 체계도를 나타낸 것이다. 지형인자는 사면경사, 사면길이, 사면위치 및 사면횡단형(굴곡도)을 분석하였으며, 강우량은

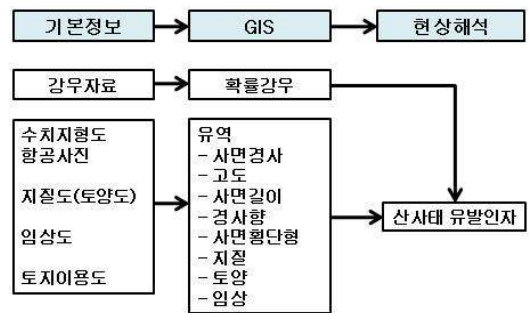


그림 3. 산사태 발생 영향인자 분석체계.



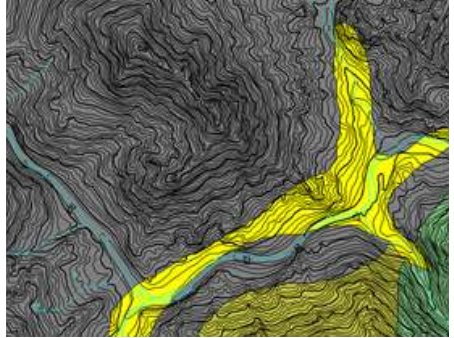



지 구 명	가흥군자 지구
	
<p>항공사진/위성사진(www.daum.net)</p>	<p>수치지형도(국토지리정보원)</p>
	
<p>지질도(한국지질연구정보센터) http : //ysgeo.yonsei.ac.kr/map/map_ieg.html</p>	<p>도양도(한국도양정보) http : //asis.rds.go.kr</p>
	
<p>임상도(산림GIS포털) (http : //fgis.forest.go.kr/fgis/Mail.aspx)</p>	<p>강우관측자료 (http : //www.wamis.go.kr)</p>

그림 4. 산사태 발생 영향인자 분석을 위한 기초 DB 자료 예.

시간강우량과 연속강우량의 크기를 조사, 분석하였다. 또한 산사태 발생지점이나 예상지점에 대한 1 : 5000 수치지형도, 지질도 및 도양도를 이용하여 항공사진을 중첩시켜 얻어진 지질·도양

정보를 분석하였고, 수치지형도와 임상도를 이용하여 항공사진을 중첩시켜 추출한 임상정보를 분석하였다.

그림 4는 산사태 영향인자 분석을 위한 기초

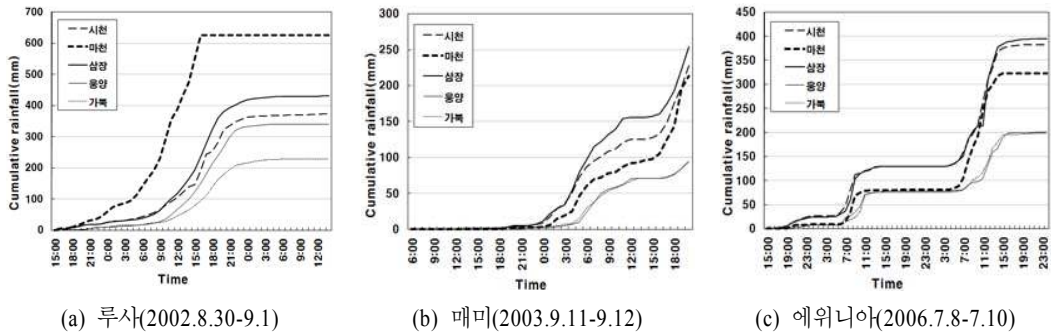


그림 5. 연구 대상지의 태풍 내습시 누가강우량.

DB 자료를 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우

2002년의 태풍 루사(8월 30일 ~ 9월 1일), 2003년 태풍 매미(9월 11일 ~ 9월 12일) 및 2006년의 태풍 에위니아(7월 8일 ~ 7월 10일) 등으로 인하여 최근 경남지역에서 많은 피해를 초래한 산사태의 사례를 조사하여 그림 5와 같이 강우량과 산사태의 상관관계를 분석하였다. 함양군 마천면의 경우 2002년 8월 31일 오전 9시경 누가강우량 230mm가 내렸고, 오후 2시부터 4시 사이에는 시간강우량 75mm, 누가강우량은 각각 475mm와 625mm를 기록하였으며, 산사태는 오후 2시경부터 9시경 사이에 여러 곳에서 동시 다발적으로 발생한 것으로 조사되었다(한겨레신문, 2002; 문

화일보, 2002 ; 함양군, 2002). 이러한 내용은 그림 5의 (a)와 같이 2002년 8월 31일 12시경 누가강우량 387mm를 초과하면서 예견되었던 것이다. 표 1은 산사태 발생지역의 지형, 지질, 강우, 임상 조사자료를 나타낸 것이다.

그림 6은 2002년의 태풍 루사(8월 30일 ~ 9월 1일), 2003년 태풍 매미(9월 11일 ~ 9월 12일) 및 2006년의 태풍 에위니아(7월 8일 ~ 7월 10일) 내습시 경남지역에서 발생했던 11개 지점의 강우량을 조사, 분석하여 작성한 사면붕괴와 강우량 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 경남지역에서 발생한 산사태는 지리산, 덕유산, 가야산 등 고도 500m 이상의 비교적 고도가 높은 산악지역에서 지형성 집중호우에 의하여 발생하는 것으로 판단된다. 강우량과 산사태의 상관분석결과에 의하면 시간강우량 70mm 이상 및 누가강우량 230mm 이상에서 산사태의 발생빈도가 높은 것으로 나타

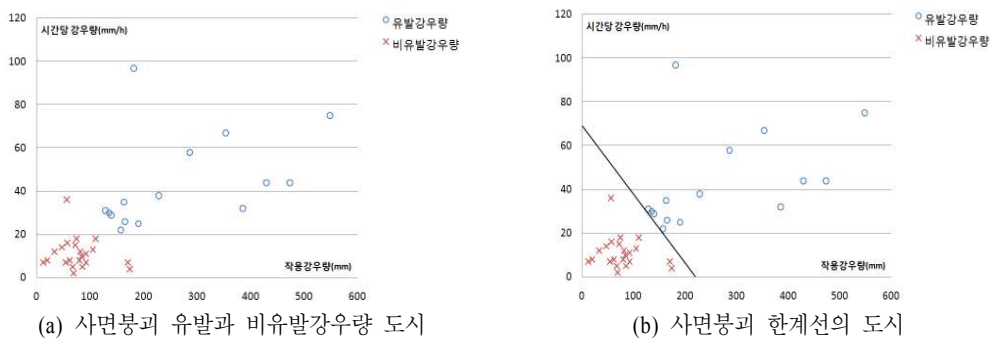


그림 6. 경남지역의 사면붕괴-강우량 상관관계.

표 1. 산사태 발생지역의 지형, 지질, 강우, 임상 조사자료.

연번	지역명	사면 경사 (°)	사면 길이 (m)	흙의 분류	최대 강우량 (mm)		지질 (암종)	위치 (%) (사면 정상)	식생	형단형					
					강우 강도	누가 강우									
1	마천면 가흥	23	94	SNE2	자갈암괴취인토사	75	625	tga	화성암(반려암)	60	리가사소나무,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
2	마천면 가흥	32	49	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	89	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목		
3	마천면 가흥	32	41	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	88	소나무림,4영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
4	마천면 가흥	25	48	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	83	소나무림,5영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목		
5	마천면 가흥	32	69	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	68	침활혼효3영,소경,대밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행		
6	마천면 가흥	42	79	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	82	리가사소나무,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
7	마천면 가흥	28	92	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	92	잣나무림,2영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목		
8	마천면 가흥	39	77	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	90	잣나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
9	마천면 가흥	36	139	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	72	잣나무림,4영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
10	마천면 가흥	29	176	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	79	잣나무림,5영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
11	마천면 가흥	40	106	Mvf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	92	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목		
12	마천면 가흥	37	56	Mvf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	94	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
13	마천면 가흥	30	82	Mvf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	89	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목		
14	마천면 가흥	36	102	Mvf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	96	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목		
15	마천면 가흥	38	62	Mdf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	52	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
16	마천면 가흥	23	83	Mdf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	59	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
17	마천면 가흥	40	38	Mvf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	78	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
18	마천면 가흥	35	35	Mdf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	73	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
19	마천면 가흥	46	55	Mvf2	사질취인 일반토사			tga	화성암(반려암)	90	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
20	마천면 군자	26	174	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	92	잣나무수림,3영,소경,소밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
21	마천면 군자	28	40	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	94	잣나무수림,3영,소경,소밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
22	마천면 군자	32	145	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	94	잣나무수림,3영,소경,소밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행		
23	마천면 군자	29	279	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	94	낙엽송림,3영,소경,소밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행		
24	마천면 군자	45	79	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	82	낙엽송림,3영,소경,소밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행		
25	마천면 군자	57	27	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	72	낙엽송림,3영,소경,소밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행		
26	마천면 군자	38	50	SNE2	자갈암괴취인토사			tga	화성암(반려암)	94	낙엽송림,3영,소경,소밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	오목		
27	시천면 반천	38	280	SNE2	자갈암괴취인토사			53	374	Pejmgm	변성암(편마암)	85	활엽수림,4영,중경,대밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	오목
28	가북면 동석	22	139	SRF2	자갈암괴취인토사			32	228	Pesbgn	변성암(편마암)	83	침활혼효4영,중경,중밀	침엽수림(중,대경)혼효림(치수)	평행
29	가북면 동석	39	91	SRF2	자갈암괴취인토사					Pesbgn	변성암(편마암)	97	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행
30	가북면 동석	25	88	SRF2	자갈암괴취인토사					Pesbgn	변성암(편마암)	96	침활혼효4영,중경,중밀	침엽수림(중,대경)혼효림(치수)	평행
31	웅양면 산포	37	267	SiD	자갈암괴취인토사			32	340	Jgr	화성암(기타)	65	낙엽송림4영,중경,중밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	오목
32	웅양면 산포	27	48	SRF2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	96	침활혼효림3영,소경,대밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행
33	웅양면 산포	30	264	SRF2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	98	활엽수림,3영,소경,대밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행
34	웅양면 산포	24	273	SRF2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	95	활활혼효3영,고경,대밀	활엽수림,혼효림(소,중,대경목)	평행
35	웅양면 산포	20	110	SRF2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	72	소나무림,3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	오목
36	웅양면 산포	35	41	SNE2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	98	침활혼효3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행
37	웅양면 산포	39	75	SNE2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	93	침활혼효3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행
38	웅양면 산포	35	37	SNE2	자갈암괴취인토사					Jgr	화성암(기타)	97	침활혼효3영,소경,대밀	침엽수림(치수,소경)무입목지	평행

났다(김기흥·정혜련, 2009).

2. 지형

산사태 발생지점에서의 고도와 능선의 고도와

의 비를 백분율로 계산하여 빈도를 살펴보면 그림 7~그림 10은 GIS기법으로 지형을 분석한 결과이며, 표 1은 산사태 발생지역의 지형, 지질, 강우, 임상 조사자료를 정리한 것이다. 산사태는 능선의 90% 이상의 고도에서 발생빈도가 53%로 가장 높고, 80~90%는 21%, 70~80%는 16%의 순으로 산사태 발생빈도가 감소하고 있으며, 고도가 더욱 낮아져 산사태 발생지점이 60% 이하

로 내려가면 산사태 발생빈도는 급격히 감소한다. 예를 들어 능선의 고도가 1000m일 경우 900m 이상의 고도(90% 이상)에서 산사태 발생빈도가 가장 높고, 600m 이하의 고도(60% 이하)에서는 발생빈도가 급격히 저하하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 분석한 결과, 산사태는 사면경사 20~25°에서 16%, 25~30°에서 21%, 30~35°

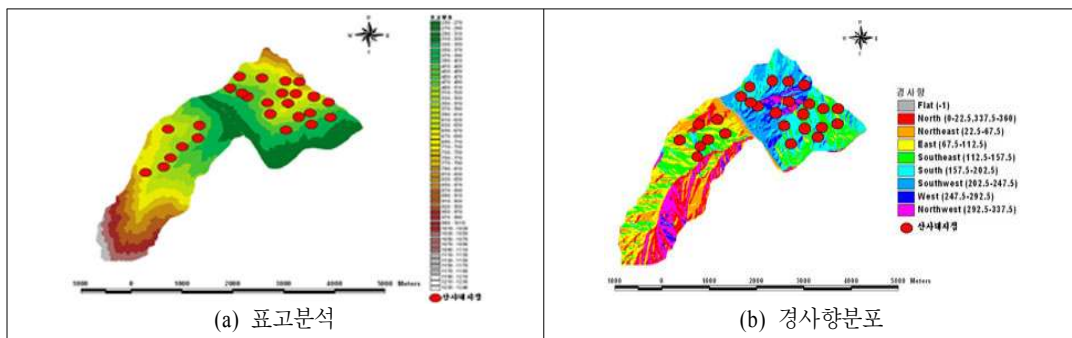


그림 7. 함양군 마천면 군자리, 가흥리의 GIS 지형분석.

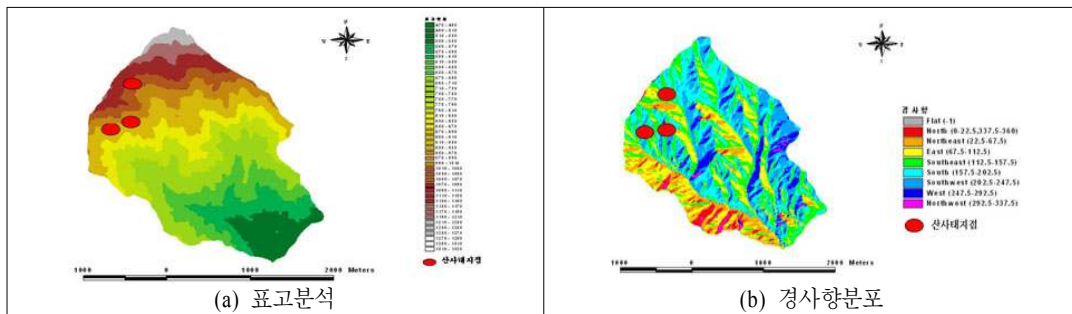


그림 8. 거창군 가북면 몽석리의 GIS 지형분석.

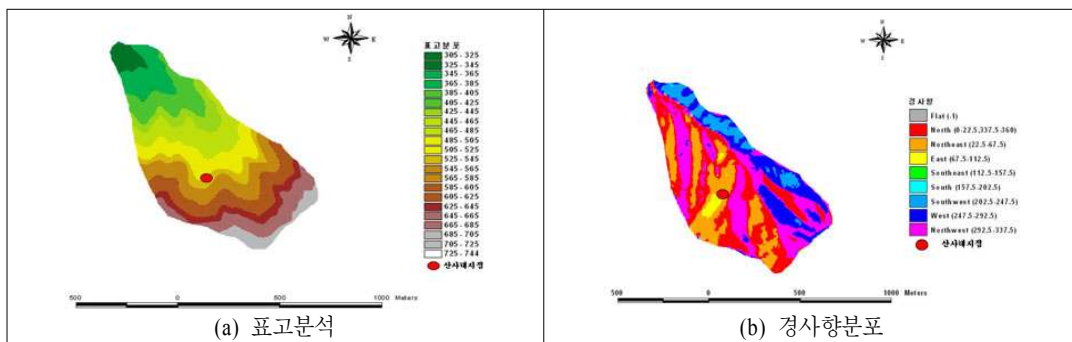


그림 9. 신창군 시천면 반천리의 GIS 지형분석.

에서 18%, 35~40°에서 34%, 40° 이상에서 11%가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 그림 11과 그림 12는 산사태 발생지구의 고도-빈도와 고도-경사의 관계를 도시한 것이다. 산사태 발생지점의 표면 굴곡도에 따른 산사태의 발생빈도는 대부분의 평행사면에서 74%, 약간 오목한 사면에서 26%가 발생하는 것으로 나타났다. 사면경사는 산사태, 특히 토석류(debris flow)인 경우 매우 중요한 의미를 갖는다. 산사태 발생방향과 발생빈도를 서로 비교한 결과 지질구조와의 특징적 상관성은 발견하지 못했으나 ESE-WNW 사이의 방향에서 주로 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 표 2는 산사태 발생지구별 발생위치 및 횡단형을 나타낸 것이고, 표 3은 산사태 발생 사면경사 및 빈도를 나타낸 것이다.

표 3. 산사태 발생 사면경사 및 빈도.

경사(°)	가흥	군자	반천	몽리	산포	합계(%)
20 이하	0	0	0	0	0	0(0)
20-25	3	0	0	2	1	6(16)
25-30	2	3	0	0	3	8(21)
30-35	5	1	0	0	1	7(18)
35-40	7	1	1	1	3	13(34)
40 이상	2	2	0	0	0	4(11)
소계	19	7	1	3	8	38(100)

3. 지질·토양 및 임상

일반적으로 산지 사면의 토질 성분은 복잡적으로 이루어져 있으나 흙의 종류 및 성분에 의하여 사면 안정에 많은 영향을 받는다. 표 4는 각 지구의 지질별 산사태 발생빈도를 나타낸 것이며, 표 5는 각 지구별 토양별 산사태 발생빈도를 나타낸 것으로 각 지구의 지질 및 토양별 산사태 발생빈도는 화성암계열의 지질 및 자갈/암괴 섞인 토사의 토양에서 주로 발생한 것으로 나타났다.

임상은 토양피복의 상태를 나타내는 척도로 사면보호에 큰 역할을 하기도 하지만 흉고직경이 큰 대경목은 집중호우 및 태풍시에 연약한 지반에는 하중으로 작용할 수 있으며, 특히 태풍시의 강풍에 의하여 지반을 교란시켜 우수의 침투를 촉진함으로써 사면붕괴를 유발하는 원인이 되기도 한다. 표 6은 각 지구별 임상 및 임분경급별 산사태 발생빈도를 나타낸 것으로 임상조사는 주임분의 임상과 흉고부위 경급을 조사하여 침엽수, 활엽수, 혼효림으로 구분하고 임분경급은 흉고직경으로 치수림(6cm 이하), 소경목(8~16cm), 중경목(18cm 이상), 대경목(30cm 이상)으로 세분하여 조사, 분석하였다. 분석 결과에 따르면 산사태는 침엽수림에서 주로 발생하는 것으로 나타났으며, 현장조사결과 대경목이 분포하는 지역에서 많이 발생하였다.

표 4. 각 지구의 지질별 산사태 발생빈도.

지질 지구	tga 화성암(반려암)	Pejmgm 변성암(편마암)	Pesbgn 변성암(편마암)	Jgr 화성암(기타)	계
가흥리	19	-	-	-	19
군자리	7	-	-	-	7
반천리	-	1	-	-	1
몽석리	-	-	3	-	3
산포리	-	-	-	8	8
계	26(68%)	1(3%)	3(8%)	8(21%)	38

표 5. 각 지구별 토양별 산사태 발생빈도.

지구 \ 토양	SNE2 (자갈/암괴 섞인 토사)	MvF2 (사질 섞인 일반토사)	MdF2 (사질 섞인 일반토사)	StD (자갈/암괴 섞인 토사)	SRF2 (자갈/암괴 섞인 토사)	계
가흥리	10	6	3	-	-	19
군자리	7	-	-	-	-	7
반천리	1	-	-	-	-	1
몽석리	-	-	-	-	3	3
산포리	3	-	-	1	4	8
합계	21(55%)	6(16%)	3(8%)	1(3%)	7(18%)	38

표 6. 각 지구별 임상 및 임분경급별 산사태 발생빈도.

임상 \ 지구	가흥	군자	반천	몽리	산포	계(%)
잣나무림	4	3	-	-	-	7(19)
침활혼효	1	-	-	2	5	8(21)
소나무림	12	-	-	1	1	14(37)
리기다소나무	2	-	-	-	-	2(5)
낙엽송림	-	4	-	-	1	5(13)
활엽수림	-	-	1	-	1	2(5)
계	19	7	1	3	8	76(100)
치수림	-	-	-	-	-	-
소경목	-	-	1	-	-	1(3)
중경목	1	4	-	2	6	13(34)
대경목	18	3	-	1	2	24(63)
계	19	7	1	3	8	38(100)

IV. 결 론

우리나라의 산사태는 여름철의 집중호우에 기인하는 것으로 기반암 상부의 토층에서 발생되며, 강우조건, 지형조건과 지질, 토질특성 및 임상 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 2002년, 2003년 및 2006년의 태풍시 집중호우로 산사태 피해가 심했던 경남의 함양군, 산청군 및 거창군 일대의 지역의 38개 지점에 대하여 지형, 강우, 지질·토양 및 임상 등의 산사태의 유발 영향인자에 대한 기초자료를 수집, 분석하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

산사태를 유발하는 누가강우량은 약 230mm 이상이며, 시간강우량은 30mm ~ 75mm로 다소 차이가 있었지만, 시간강우량 75mm와 누가강우량 400mm 이상에서는 여러 곳에서 동시 다발적으로 산사태가 발생하여 강우강도 약 70mm와 누가강우량은 약 230mm가 한계강우량인 것으로 보인다.

대부분의 산사태는 집중강우시에 능선을 기준으로 고도가 높은 지점의 평행사면에서 발생빈도가 높았는데 이것은 산지의 지형성 강우량이 고도에 비례한다는 현상과 관계가 있는 것으로 판단된다. 산사태가 발생한 사면의 경사는 25 ~ 40°

사이에서 73%가 발생하였는데, 특히 35 ~ 40°의 사면에서 34%가 발생하였다. 이는 대상지가 고도 400 ~ 1100m의 경사가 급한 산악지역이기 때문인 것으로 판단된다.

산사태가 발생한 지질은 화성암이 89%로서 변성암에 비하여 압도적으로 높아 화성암이 산사태에 취약한 것으로 분석되었다. 이는 화성암의 풍화정도가 높아 투수성이 증가함에 따라 전단응력이 감소함에 따른 것이라 판단된다. 또한 토양의 경우 자갈과 암괴가 섞인 토사지역에서 발생 빈도가 73%로서 사질 토양에 비하여 월등히 높은 것으로 분석되었다.

산사태 발생지점의 임상은 74%가 잣나무, 소나무 및 낙엽송의 침엽수림이었으며, 상대적으로 활엽수와 침엽수와 활엽수의 혼효림에서는 26%로 낮았고 특히 활엽수림의 경우 5%에 불과한 것으로 분석되었다.

산사태는 여러 요인에 의하여 유발되므로 확정론적 및 확률론적 접근을 시도하더라도 정확한 예측이 거의 불가능하므로 기존의 연구결과에서 도출된 강우, 지형·지질특성, 임상 등 유발인자를 지표로 하여 향후 지속적인 모니터링과 DB구축을 통한 지속적인 산사태 예측 연구가 필요하다고 판단된다.

인 용 문 헌

- 구본호·구제동. 1995. 산사태 데이터 베이스 시스템의 GIS 이용. 한국GIS학회지 3(1) : 81-92.
- 국토해양부 국토지리정보원(<http://map.ngii.go.kr>). 2010. 수치지형도.
- 국토해양부 한강홍수통제소(<http://www.wamis.go.kr>). 2002-2006. 강우자료.
- 김 경 수 · 송 영 석 · 조 용 찬 · 김 원 영 · 정 교 철. 2006. 지질조건에 따른 강우와 산사태의 특성분석. 대한지질공학회지 16(2) : 201-214.
- 김기흥·정혜련. 2009. 경남지역의 산사태와 강우량 상관 분석. 2009 대한토목학회 정기학술대회. pp. 3366-3369.
- 김원영·이사로·김경수·채병근. 1998. 지형특성에 따른 산사태 유형 및 취약성-연천·철원지역을 대상으로. 대한지질공학회지 8(2) : 115-130.
- 농촌진흥청 국립농업과학원(홍토람)(<http://asis.rda.go.kr>). 1995. 토양도.
- 산림청(산림GIS포털)(<http://fgis.forest.go.kr/fgis/Main.aspx>). 2009. 식생도.
- 산림청. 2006. 2006년 산지토사재해 특성 파악 및 영향인자 분석. pp.145.
- 소방방재청 국립방재연구소. 2005. 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(Ⅱ). pp.105-207.
- 오 경 두 · 홍 일 표 · 전 병 호 · 안 원 식 · 이 미 영 . 2006. GIS 기반 산사태 예측모형의 적용성 평가. 한국수자원학회논문집 39(1) : 23-33.
- 우충식·윤호중·이창우·정용호. 2008. 항공사진을 이용한 산지토사재해 영향인자 분석-강원도 평창군을 중심으로-. 한국환경복원녹화기술학회지 11(1) : 14-22.
- 이명진·이사로·원중선. 2004. GIS와 원격탐사를 이용한 강릉지역 산사태 연구(Ⅰ)-산사태 발생 위치와 영향인자와의 상관관계 분석. 자원환경지질 37(4) : 425-436.
- 이창우. 2005. 자연재해와 산지토사재해에 의한 희생자 수의 변화경향. 한국임학회지 94(2) : 252-257.
- 이천용·최경·이종학·이창우. 2002. GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성기법 개발. 산림과학논문집 65 : 1-10.
- 조남춘·최철웅·전성우·한경수. 2006. RS와 GIS기법을 활용한 산사태 위험성의 검증. 한국지리정보학회지 9(2) : 54-66.
- 채병근. 2006. 산사태 현장조사 및 예측기법. 한국지질자원연구원. pp.184.
- 함양군. 2002. 태풍루사가 남긴 교훈(safe.hygn.go.kr).

- 환경지질연구정보센터([http : //ysgeo.yonsei.ac.kr/map/map_ieg.html](http://ysgeo.yonsei.ac.kr/map/map_ieg.html)). 2006. 지질도.
- Campbell, R. H. 1975. Soil slips, Debris Flows, and Rainstorm in the Santana Monica Mountains and Vicinity, Southern California, US Geological Survey, Reston, VA, USGS Professional Paper 851, pp. 51.
- Crozier, M. J. 1997. The Climate-landslide Couple : A Southern.
- Giannecchini, R. 2005. Rainfall Triggering Soil Slip in the Southern Apuan Alps, *Advances in Geoscience*(2005), 2 : 21-24.
- Griffiths, J. S., and Heam, G. J. 1990. Engineering Geomorphology. *Bull. of engineering Geology* 42 : 39-44.
- Jacob, M., and O. Hungr. 2005. Debris-flow hazards and related phenomena Springer. pp. 275-290.
- Johnes, D. K., Brunsten, D., and Goudie, A. S. 1983. A preliminary geomorphological assessment of part of the Karakoram highway. *The Q. J. of Engineering Geology* 16(4) : 331-355.