한국위기관리논집 제7권 제3호 2011. 6 223~232쪽

토석류 유발 특성인자 분석에 관한 기초연구

- 경사, 하천과의 관계를 중심으로 -

전계원*, 오채연**, 전병희

최근 기후변화에 따른 기상이변으로 인한 집중호우, 태풍 등에 의해 사면이 붕괴되거나 산사태, 토석류에 의해 막대한 경제적 손실과 인명피해가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 강원도지역의 경우 대부분이 급경사의 산악지로 구성되어 있어 산사태나 토석류의 피해가 커지고 횟수 또한 증가하고 있다. 이러한 토사재해의 특성과 요인을 분석하기 위해 최근 GIS 및 원격탐사를 이용한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 토석류 발생유역의 특성을 조사하기 위해 강원도 인제군 가리산지역의 토석류 발생 전후 영상을 분석하여 재해 발생지역을 추출하고 디지타이징 하였고 토석류 발생영역별 수문학적, 지형학적 분석을 실시하기 위해 수치지형도를 이용하여 DEM생성, 대상유역 추출 및 공간자료를 수집 분석하였다. 또한 토석류 발생영역별 경사 및 하천과의 거리등을 고려한 상관관계 분석을 수행하였다. 그 결과 토석류 발생 특성 인자 중 발생부의 평균경사는 29°, 유하부의 평균경사는 23°, 퇴적부의 평균경사는 12°로 분석되었으며 하천유역을 따라 형성된 Buffer Zone 분석결과에서는 토석류와 산사태 발생 포인트 114개중 79개가 하천이 포함된 Buffer Zone에서 발생한 것으로 분석되었다.

주제어: 토석류, 산사태, GIS, DEM, 집중호우

Ⅰ.서론

우리나라는 최근 과거의 강우기록의 최대치를 갱신하는 집중호우가 지속적으로 발생하고 있으며, 강원도의 경우 대부분이 산지로 이루어져 있어, 2002년 '루사'와 2003년 '매미', 그리고 2006년 '에위니아'와 '빌리스'에 의해 대규모 태풍 및 집중호우가 발생하였으며 그로인해 많은 재산피해와 인명피해를 입었다. 특히, 2006년 7월 강원도 전역에 내린 태풍 에위니아에 의해 각종 토사재해가 발생하였으며, 특히 산지지역이 전체의 90%를 차지하는 인제지역의 경우 29명이 사망하거나 실종되었으며, 3,725억원의 재산피해가 발생하였다(강원도, 2006). 토석류는 집중호우로 인한 사면파괴, 산지계류에서의 급류에 의한 하상의 침식등 다양한 유발요인에 기인하여 발생하며, 피해의 저감과 예측을 위해서는 발생지역의 지형, 지질, 강우유출특성 등의 체계적인 연구가 필요하다(전계원 외, 2010). 토석류는 토사

* 제1저자, ** 교신저자.

www.kci.go.kr

와 물의 혼합물이 섞여 이동하는 현상으로 빠른 속도로 산지의 계곡부와 소하천을 따라 여러 입자들이 산 아래로 이동 및 퇴적되는 현상이다. 토석류는 발생(initiation), 유하(transport), 퇴적(deposition)의 이동 특징으로 알려져 있다. 각 단계의 규정과 메커니즘은 여전히 연구단계에 있으며 신뢰성 있는 해석을 실용적으로 적용하는 단계에는 아직 이르지 못하고 있다. 토석류 실태파악 관련연구는 토석류 피해 최소화를 위해 대규모 토석류 피해지를 대상으로 첨단 관측기술을 집중적으로 투입하여 현지조사를 수행하는 등 사례연구가 주류를 이루고 있다. 토석류 관련강우 및 지형해석 연구로는 토석류 발생과 관련된 강우특성 분석 및 토석류 발생시 토사유출량, 범람규모, 유동속도, 지형과의 관계를 파악하는 연구 등이 있다(국립산림과학원, 2009). 하지만 토사재해와 같이 광범위하게 발생하는 재해를 분석하는 것은 현장조사로는 한계가 있으므로 인공위성영상을 이용한 원격탐사 기술과 GIS를 이용한 연구들이 진행되고 있다.

국외의 경우 1990년대부터 GIS를 이용한 많은 연구가 진행되었는데 Baldelli 등(1996)은 지질도, 지형도, 수치지형모델을 이용하여 GIS 중첩분석을 통해 산사태 취약성도를 작성하였고, Turrini 등(1998)은 사면경사, 토지이용도 등을 이용하여 산사태 위험지를 분석하였다.

최근 국내에서는 다양한 산사태 및 토석류 유발 인자와의 관계성에 대해 많은 연구가 진행되고 있으며 양해근 등(2008)에 의해서 2006년 7월 집중호우로 인한 오색천 유역의 토석류 발생과 그 특성에서 토사재해의 유형과 원인을 분석하고 발생메커니즘을 추정하였으며, 박재국 등(2008)은 강우조건을 고려한 산사태 가능성도를 제작하고, 산사태 유발인자와 강우조건을 고려하여 산사태 취약지역중 산사태 위험지역을 추출하였고, 손정우 등(2009)은 항공사진과 GIS를 이용한 인제지역 산사태 분석에서 산사태 지역을 발단부, 유하부, 퇴적부로 구분하고 GIS를 이용하여 산사태 발생지역에 대한 수문학적, 지형학적, 임상학적, 지질학적, 토양학적 현황과 특성을 DB로 구축하는 등, 위성영상과 GIS를 통한 많은 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 피해대상지역 영상자료와 GIS를 이용하여 토석류 발생 요인 중 하나인 유역특성에 따른 토석류 이동 특성에 관한 분석을 하고자 한다.

Ⅱ. 이론분석

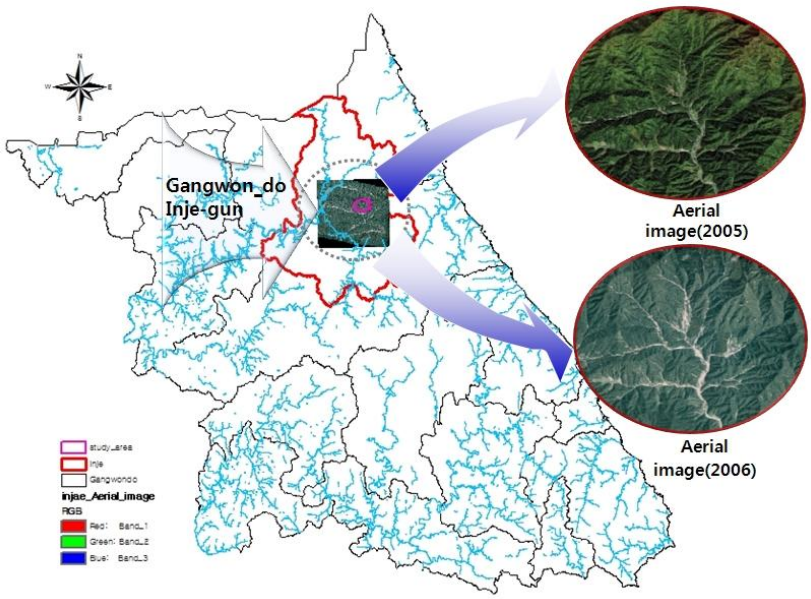
대부분의 산사태와 토석류는 집중호우에 의해 발생하며 또한 경사가 급한 지역일수록 일어날 수 있는 확률이 높으면 지형, 지질학적으로 하천과 밀접한 관계를 가지고 있다. 관계분석을 위하여 먼저 대상유역의 2005년과 2006년 재해발생 전후 항공사진을 이용하여 보정 및 중첩분석을 통하여 토석류 발생영역 추출하고 발생부, 유하부, 퇴적부 각 구간별로 디지타이징 하였다. 토석류 피해영역의 특성 및 토석류 발생 구간별 특성을 조사하기 위하여 GIS 상용프로그램인 ArcGIS 9.3을 사용하여 지형데이터를 구축하였으며 국토지리정보원에서 발행한 1:5000 수치지형도를 이용하여 DEM을 제작하였다. DEM은 분석의 신뢰도를 고려하여 1m × 1m 해상도로 제작하고 DEM으로부터 지형인자를 추출하였

www.kci.go.kr

다. 먼저 경사도(Slope)분석을 실시하였다. 경사는 지형 변화를 계산하는 것으로서, 래스터 데이터 구조에서의 경사는 한 셀과 그 주변 셀들과의 고도변화를 통하여 산출되며, 두 지점간의 고도의 차가 클수록 경사도 커지게 된다. 경사도는 각 셀에서 인접 셀까지의 변하는 값에 대한 최대 비율을 나타내며, 경사도는 백분율이나 도(degree)로 계산된다. 토석류 발생 영역과 구간별 경사도 분석을 통하여 각각의 평균 경사도를 산출하였다. 다음으로 하천과의 상관성 분석을 위해 DEM 데이터로부터 하천망, 유역을 설정하고 토석류와 산사태 발생 지점과 하천유역 거리와의 관계를 나타내고자 하였다.

III. 연구지역 및 방법

강원도 인제군 인제읍 가리산리 지역의 집중호우에 의한 토석류 발생 유역의 특성을 조사하기 위해 <그림 1>과 같이 연구 대상지역을 선정하였다. 이 지역은 2006년 7월 태풍 에위니아와 빌리스에 의한 집중호우로 토사재해가 크게 발생하였으며 피해 당일의 시간 최대 강우는 48mm, 3시간 최대 강우량은 110mm를 기록하였으며 3일 동안 총 395.5mm의 비가 내렸으며 1년 강수량의 약 30%가 3일간 집중되었다.

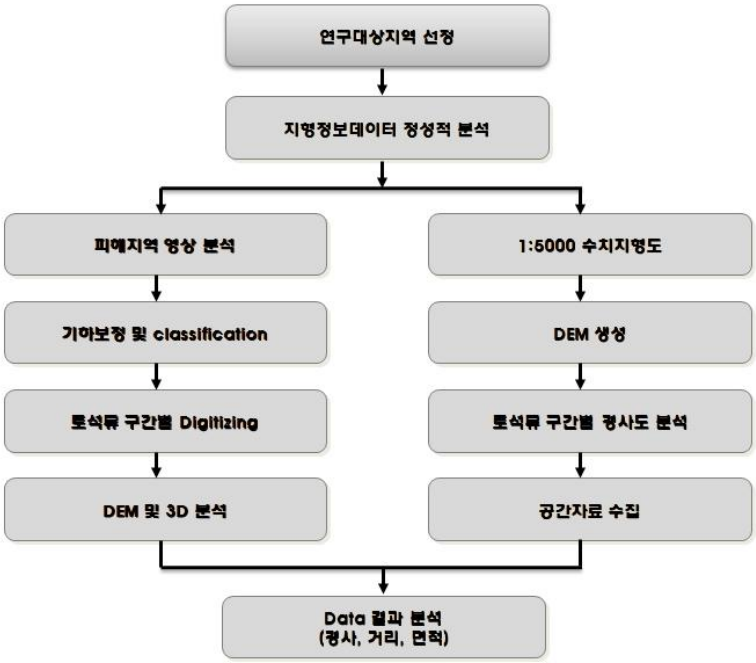


<그림 1> 연구대상지 및 항공영상

<그림 2>는 연구방법을 나타낸 것으로, 2005년과 2006년의 대상유역의 항공영상자료를 이용하여 보정 및 중첩 분석을 통하여 토석류 발생영역을 추출하고 구간별로 디지타이징 하

www.kci.go.kr

였다. 토석류 피해영역 중 퇴적부의 최하부인 128° 19'E, 38° 04'N를 유출부로 정하였으며 토석류 발생 구간별 특성을 조사하기위해 1:5000 수치지형도를 이용하여 DEM을 생성, 토석류 발생 구간별 경사도 분석과 공간자료 분석을 수행하여 토석류 발생 유역의 경사와 면적 거리등을 산출하였다.



<그림 2> 연구 흐름도

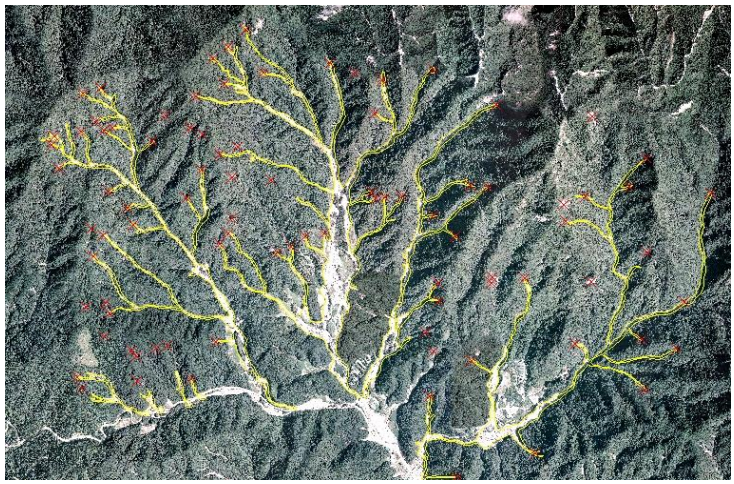
Ⅳ. 분석 및 고찰

1. 토석류 발생 영역분석

대상유역의 토석류 발생 전 2005년 영상과 후 2006년 영상의 항공영상자료를 이용하여 보정 및 중첩 분석을 통하여 토석류 발생영역을 추출하고, 1:5000 수치지형도를 이용하여 수치표고모형(DEM)을 생성하고 <그림 3>과 같이 각 구간별 디지타이징 작업으로 피해영역 및 특성을 파악할 수 있는 기초자료를 생성 하였고 대상지역에서 발생한 토석류 피해 유역과 규모를 파악할 수 있었다. <그림 4>는 대상유역의 발생부, 유하부, 퇴적부의 현장모니터링 자료이며, 영상자료의 중첩분석에 의해 추출된 대상지역의 전체 유역 면적은 13,218,405㎡으로 나타났으며 GIS 기법을 이용하여 산정된 평균 경사도는 <그림 5>와 같이 27°를 나타내었다. 그리고 추출된 토석류 피해 구역을 래스터 형태로 변환된 자료를 이용하여 나타난 토석류 발생영역은 전체유역 면적 중에서 5.5%인 726,498㎡로 분석되었다. 토석류 영

www.kci.go.kr

역의 평균 경사도는 18.25°로 <그림 6>에 나타내었으며, 유역평균경사인 27°보다 낮은 이유는 평균경사도 약 12°인 퇴적부가 전체 토석류 면적의 약 52%인 375,323㎡를 차지하고 있는 것으로 분석되었기 때문이다.

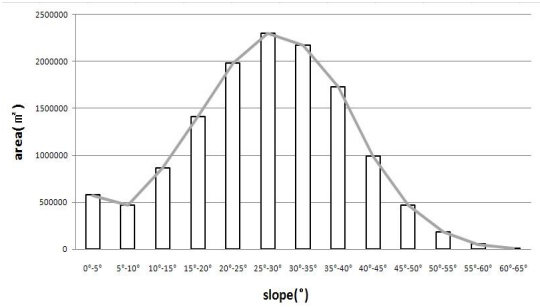


<그림 3> 항공영상 및 토석류 구간 디지타이징

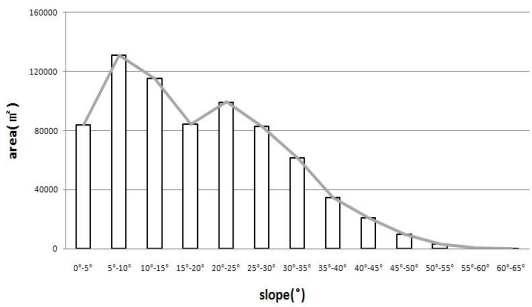
※ 노란색실선: 토석류발생영역, 적색: 발생지점

(a) (b) (c)

<그림 4> 현장 모니터링 (a)발생부, (b)유하부, (c)퇴적부



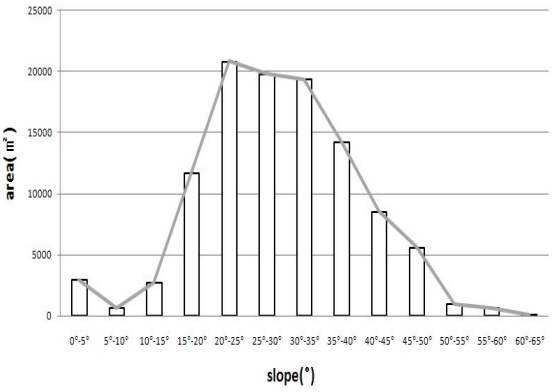
<그림 5> 전체유역 경사분포



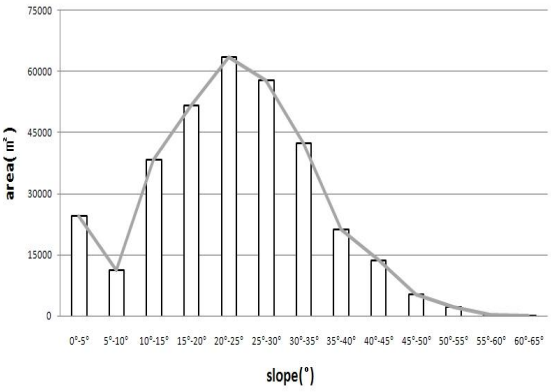
<그림 6> 토석류영역 경사

www.kci.go.kr

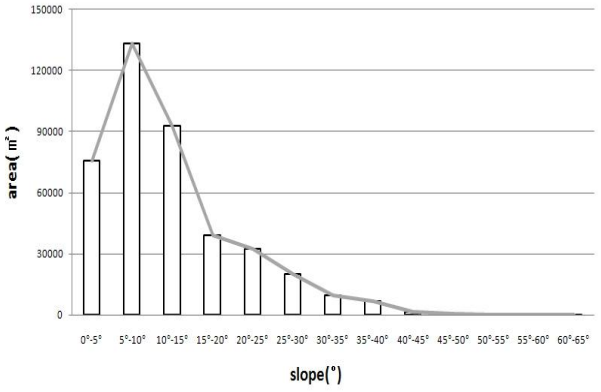
토석류 발생 지역을 발생부, 유하부, 퇴적부로 구분하고 세부구간별 분석결과는 <그림 7~그림9>에 나타내었다. 발생부는 <그림 7>과 같이 평균 경사도는 약 29° 이고 <그림 8>은 유하부로 평균 경사도는 약 23°도 분석되었으며 <그림 9>의 퇴적부 평균 경사도는 약 12°로 분석 되었다. 이 분석결과는 국립 산림과학원에서 토석류 발생특성과 피해규모 예측기법 개발에서 분석한 경사 분포와 유사한 것으로 나타났다.



<그림 7> 토석류영역 발생부 경사



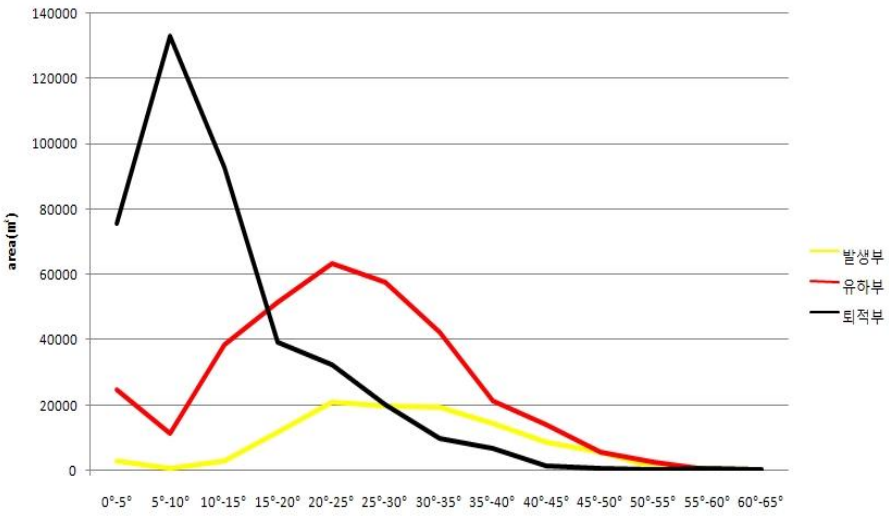
<그림 8> 토석류영역 유하부 경사



<그림 9> 토석류영역 퇴적부 경사

<그림 10>은 토석류 발생 구간별 경사에 따른 면적을 나타내고 있으며, 발생부의 면적은 84,990㎡로 토석류 발생면적의 약 11%를 차지하고, 유하부의 면적은 266,185㎡로 토석류 발생면적의 37%를 차지하며, 퇴적부의 면적은 375,323㎡로 토석류 발생면적의 52%로 나타났다. <표 1>은 구간별 통계치를 표시한 결과이다.

www.kci.go.kr



<그림 10> 토석류 발생 구간별 경사분포

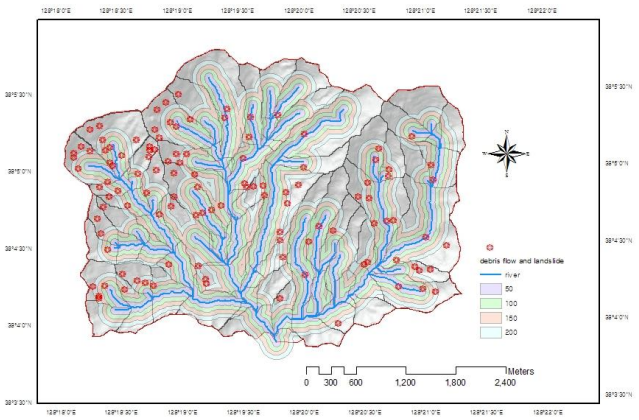
<표 1> 토석류 발생 구간별 통계

	최소경사(°)	최대경사(°)	평균경사(°)	면적(㎡)	표준편차
발생부	0	65	29	84,990	10
유하부	0	63	23	266,185	11
퇴적부	0	53	12	375,323	8.9

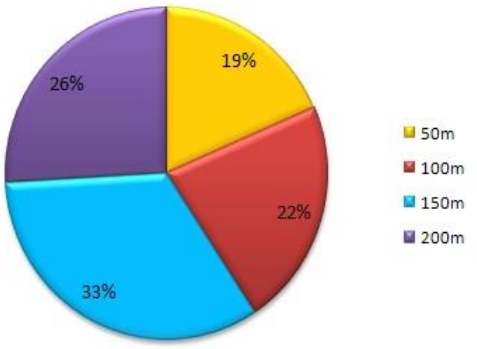
2. 토석류와 하천의 상관관계 분석

영상자료를 통하여 확인한 토사재해의 발생지점 총 114곳 가운데 63개소가 토석류로 발전하였고 51개소가 토석류로 발전되지 못하고 산사태형태로 무너졌다. 본 연구에서는 하천유역과 발생지점별 상관성 분석을 위해 <그림 11>과 같이 하천을 따라 50m 간격으로 4개의 BufferZone을 나누어 분석하여 토석류와 산사태 발생 지점과 하천유역 거리와의 관계를 나타내었다. 200m 거리 안에 총 81개의 산사태 및 토석류가 포함 되었으며, 50m, 15곳, 100m, 18곳 150m, 27곳 200m, 21곳이 각각 포함되었다. <그림 12>는 <그림 11>의 분석결과를 거리별 비율로 나타내었다. 산사태 및 토석류 포함비율은 주로 하천과의 거리가 100m 이상 150m 이내에서 33%로 가장 많이 발생하였으며, 다음으로150m 이상 200m 이내가 26%로 나타났다. 토석류로 발전된 63개의 발생부 지점은 하천과의 거리 200m 이내에 속하는 지점이 49곳으로 약 60%를 차지하였고, 산사태 발생지역은 32곳으로 약 40%를 차지하였다.

www.kci.go.kr



<그림 11> 하천과 발생부간 거리



<그림 12> 산사태 및 토석류 포함비율

V. 결 론

본 연구는 토석류 발생 특성을 알아보기 위해 위성영상과 GIS분석을 실시하였으며, 이로부터 확인할 수 있는 결론은 다음과 같다.

2005, 2006년 토석류 발생 전후 위성영상 중첩분석을 토대로 토석류 발생 지역을 추출하여 디지타이징 하였으며 GIS를 이용하여 토석류 발생지역에 대한 경사도, 경사길이, 경사위치, 사면형태 등의 지형학적 분석을 실시하였으며, DEM을 이용하여 하천과 유역 유출점을 설정하고 공간분석을 수행하였다. 연구대상 유역 면적은 13,218,405㎡이며 전체 유역 평균 경사 분포는 유역면적의 53%, 20~40°가 대부분을 차지하고 추출한 토석류 발생유역면적은 약 726,498㎡이다. 분석에 따르면 토석류가 시작된 발생부는 27~33°의 지형경사를 갖는 사면에서 주로 일어났으며, 유하부는 침식과 퇴적이 동시에 일어나며 흐름이 발달된 부분으로 평균20~25°의 경사분포를 보였으며, 퇴적부는 12°미만의 하천 하류부에서 넓게 확장되며 퇴적이 이루어진 것으로 보인다.

토석류와 산사태 발생지점을 구분하고 하천유역을 따라 50m 간격으로 4개의 BufferZone을 나누어 분석한 결과 200m 거리 안에 총 81곳의 산사태 및 토석류가 포함 되었으며 하천과의 거리가 100m 이상 150m 이내에서 가장 많이 발생하였다. 또한 200m 거리 안에 토석류로 발전된 발생부 지점은 49곳 약 60%, 산사태 발생부 지점은 32곳 약 40%가 BufferZone에 포함되는 양상을 보였다. 좀 더 명확한 토석류와 하천유역과의 상관성분석을 위해서는 향후 지속적인 모니터링과 토석류 발생 D/B 구축이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

www.kci.go.kr

국립산림과학원. 2009. 토석류 발생특성과 피해규모 예측기법 개발.

강원도 재난안전대책본부. 2006. 중앙·도 합동조사 결과보고서.

강준묵·윤희천·민관식·이원영. 2007. 수치지형도와 LiDAR 데이터를 이용한 지형경사도 비교분석. 한국지형공간정보학회지. 15(4): 3-9.

김경태·정성관·박경훈·오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회지. 8(1): 75-87.

김종원·이성형·김창현·심우배. 2006. 현장중심적 접근을 통한 수해특성 분석 및 정책과제. 국토연구원. 안양.

박재국·양인태·김태환·박형근. 2008. GIS를 이용한 산사태 위험지역 추출. 한국측량학회지. 26(1): 27-39.

손정우·김경탁·이창헌·최철웅. 2009. 항공사진과 GIS를 이용한 인제지역 산사태 분석. 한국지형공간정보학회. 2: 625-627.

유남재·전상현·박남선. 2008. 강원도 토석류 산사태의 특성에 관한 연구. 강원대학교 산업기술연구소 논문집. 28(A): 3-10.

양해근·박경. 2008. 2006년 7월 집중호우로 인한 오색천 유역의 토석류 발생과 그 특성. 한국지형공간정보학회지. 15(2): 25-35.

전계원·전병희·안광국·장창덕·김남균 2010. 지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 산정에 관한 기초연구. 한국지반환경공학회. 11(3): 63-18.

Baldelli, P, P. Aleotti, and G. Polloni. 1996. Landslide Susceptibility Numerical at the Messina Straits Crossing Site, Italy. *Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides.* 153-158.

Nilsen, T. H., and E. E. Brabb. 1973. Current Slope-Stability Studies in the Sand Francisco Bay Region. *Journal of Research, USGS.* V. 1(4): 431-437.

Turrini, 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.* 50(3): 255-265.

全桂元: 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2), 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지재해 방재, 자연재해관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다 (kwjun@kangwon.ac.kr).

www.kci.go.kr

吳采妍: 강원대학교에서 공학석사 학위(논문제목 : “GIS기법을 활용한 산악지역 돌발홍수 경보발령 기준 설정에 관한 연구”, 2007년 2월)를 취득하고 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 박사과정을 수료하였다. 산지재해, 토석류재해, 피해예측지도(Hazard map), GIS 분야에 관심을 두고 연구 중이다(cyoh@kangwon.ac.kr).

田炳熙: 동경공업대학에서 공학박사학위(논문제목 : “Study on Porous Carrier and Membrane Hybrid Process for Nitrogen Removal in Wastewater”, 2000년 3월)를 취득하였으며, 현재는 강원대학교 삼척캠퍼스 소방방재학부 조교수로 재직 중이다. 주 연구분야는 패턴분류를 이용한 수처리장치 고장진단과 산지재해 분야이며, 현재 방재학회 회원 등으로 활동 중이다(bhjun@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2011년 03월 11일
수 정 일: 2011년 03월 29일
게재확정일: 2011년 04월 07일

www.kci.go.kr

Study on Analyzing Characteristics Which Causes a Debris Flow

- Focusing on the Relation with Slope and River -

Kye Won Jun, Chae Yeon Oh, Byong Hee Jun

Because of localized torrential downpour, typhoon and other factors by the changes in climate, there have been slope failures, landslides and debris flows, which caused huge economic loss and human victims. Especially, because the most area of Gangwon province is composed of the steep sope mountains, the damages by the debris flow or landsliding are more frequent and frequency has been inreeased. To analyze the cause of such soil disaster, research using GIS and remote sensing is in process recently. In this study, to investigate the characteristic of the region where debris flow occurs, we analyzed the image before and after the occurrence of debris flow in Mt.Gari, Inje-Gun, Gangwon-do. By this analyzing, we extracted disaster zone and digitized it. Using digital map, we also formed DEM, extracted targeted basin, collected and analyzed spatial data to conduct hydrological and geopolitical analysis by debris flow-occurrencing areas. We conducted correlation analysis considering slope and distance from river as well. As a result, the mean slope of initiation was 29°, the mean slope of transport was 23° and the mean slope of deposition was 12°among the characteristics causing debris flow. Analysis about Butter Zone which composed along river valleys showed that 79 of 114 points where debris flow and landslide occur are in the Buffer Zone which includes river.

Key words: debris flow, landslide, GIS, DEM, heavy rainfall

www.kci.go.kr