

## 토석류 산사태의 예측 및 특성연구

### The study on the predict and characteristics of debris landslides

이수곤<sup>1)</sup>, Su-Gon Lee, 신현우<sup>2)</sup>, Hyun-woo Shin, 이경수<sup>3)</sup>, Kyoung-Su Lee, 정상훈<sup>4)</sup>, Sang-Hun Jung

<sup>1)</sup> 서울시립대 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

<sup>2)</sup> 서울시립대 공과대학 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

<sup>3)</sup> 서울시립대 공과대학 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

<sup>4)</sup> 서울시립대 공과대학 토목공학과 석사과정, M.Sc. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

**SYNOPSIS** : There were lots of landslide due to the strong rainfall in In-Je province from 11th ~ 17th July, 2007. In general the landslides have the very close relation with rainfall, the study area also have the strong relation to the rainfall, and there were some place in study area where no failure occurred at same rainfall. So in this study, to analyze the factor of failure, we used GIS program, aero phot of before and after the failure and made thematic map.

**Key words** : landslide, failure, rainfall, thematic map.

## 1. 서 론

산사태를 유발하는 원인 분석에 관한 사례 연구는 주로 강우강도와 지형적인 특성을 고려한 수치 지형도를 참조하여 그의 상관관계에 대한 연구가 대부분이다. 본 연구에서는 2006년 7월 집중 호우 시 산사태가 많이 발생한 강원도 인제지역 100km<sup>2</sup>를 대상으로 선정하고 200곳의 산사태 지역을 조사 분석하여 산사태를 초래하는 여러 가지 영향 인자들의 특성 규명과 인자들 간의 상호관계를 분석하는 결정론적 방법을 사용하고자 한다. 그러나 지형도만을 이용한 산사태 발생에 간여하는 인자 해석에는 한계가 있어 정확한 지형 특성을 분석하기 위해 수해가 발생하기 전 항공사진과 수해가 발생한 이후의 인공 영상 사진을 합성하고 수치지형도와 항공사진을 일치시켜 산사태가 발생한 정확한 위치와 산사태 길이, 넓이, 면적, 방향, 경사도 등을 분석함으로써 각 인자 상호간 상관관계를 규명 하고자 하였으며, 산사태와 지질과의 관계 규명을 위해 한국 지질 자원 연구원에서 발행한 1:250,000 강릉-속초 지질도폭을 활용 산사태 지역의 지반 상태를 확인하여 지질과 산사태의 상관관계를 분석하려고 하며, 또한 임상 상태가 산사태에 미치는 영향을 분석하기 위해서 강원도 산림 개발 연구원에서 작성한 인제 지역 식생도와 2006년도에 발생한 산사태를 도시한 수치 지형도를 활용 하여 임상이 산사태에 미치는 영향을 분석 하고자하며, 산사태와 토양과의 밀접한 연관성을 검토하기위해 한국 농업 과학 기술원에서 작성한 정밀 토양도를 기초로 토양의 토성, 토심, 자갈함량, 경사도, 배수상태를 분석하여 산사태와 토양과의 상관관계를 규명 하고자 한다(이수곤 1988).

## 2. 본 론

### 2.1 연구 지역 산사태 현황 및 특성 분석

#### 2.1.1. 산사태 발생 현황

강원도 인제 지역에서는 2006년 7월 11일부터 7월 18일 사이에 내린 집중 호우 시 많은 산사태가 발생 하였다. 산사태로 인한 피해 현황은 인제군의 1개 면을 제외한 5개 읍,면에서 776개소, 135.35ha (국유림을 포함하면 6개 읍면 417.12ha)의 산사태가 발생하여 그 피해 규모가 39,081.6 백 만 원의 경제적 손실과 29명의 인명 피해가 발생 하였다. 그림 1 은 인제 지역에 2006년 7월 호우로 산사태가 많이 발생한 지역 중 피해 규모가 큰 인제읍, 북면, 기린면을 대상으로 100Km<sup>2</sup>의 지역을 연구 대상 지역으로 확정하여 작성한 주제도이다.



그림 1. 산사태 발생 전후 항공사진을 합성한 연구 대상 지역 사진

#### 2.1.2 산사태 발생 특성

인제군 일대에서 발생한 산사태는 크게 세 가지 형태로 대별 할 수 있다. 급경사지 사면 내 토사 및 토석류의 붕괴 형태와 토사와 암반 경계면에서의 붕괴, 계곡 내 가득 찬 토석류의 간극 수압 증가로 인한 흐름 현상 등이다(이수곤 1999)(이수곤 et al 2004). 급경사지 자연 사면 내 토사 및 토석류의 붕괴는 사면의 경사 정도, 초생 식물의 피복 상태, 강우 및 강우의 지속 시간에 의해 좌우된다. 또한 토석류 산사태의 아래쪽 부분은 빈번하게 토사 흐름으로도 발전 한다(Lumb 1975). 그림 2 는 한국의 산사태를 나타내는 모식도이다.

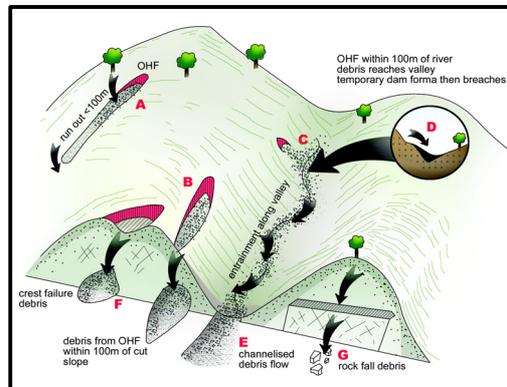


그림 2. 한국의 산사태 모식도(Hencher 2007)

## 2.2 GIS 기법을 이용한 산사태 발생 인자 및 관계 분석

### 2.2.1 주제도 작성

산사태의 발생 원인을 분석하기 위해 인제 지역에서 발생한 산사태의 유형별 특징을 분석하고 산사태와 지형, 산사태와 강우, 산사태와 지질 및 토양, 임상과의 상호관계를 분석하기 위해 수집된 수치지형도, 산사태 발생 전후에 연구 지역을 촬영한 항공사진, 산림개발 연구원에서 작성한 산사태 도시지도, 지적도, 식생도, 지질도, 토양도를 GIS tool을 이용하여 주제도를 작성하고 각각의 인자별 특성과 인자들이 갖는 공간적 분석을 통하여 인제군에서 발생한 산사태의 발생 원인을 분석하였다(그림 3).

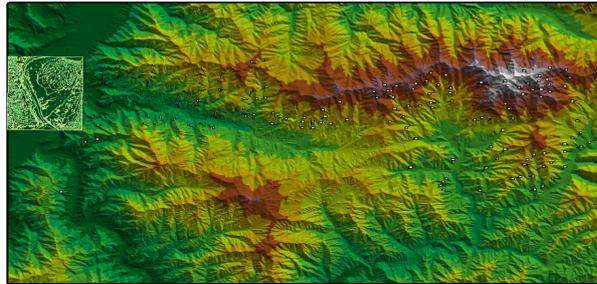


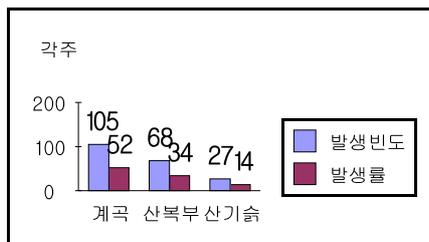
그림 3. 조사 대상 지역의 표고를 도시한 주제도

### 2.2.2 주제도 분석

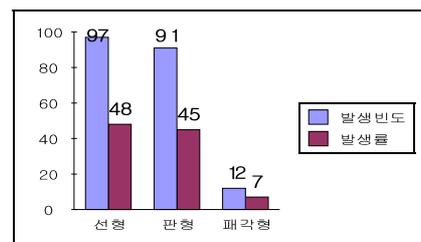
#### 1) 지형과의 관계

지형은 산사태를 유발하는 원인을 제공하는 등 산사태와 밀접한 관계가 있다. 산사태가 발생한 지역의 지형에 대해 기하학적인 분석을 통해 지형이 갖고 있는 개별적 특성과 각 특성들과의 관계가 산사태에 어떠한 작용을 하는지 분석할 수 있을 것이다.

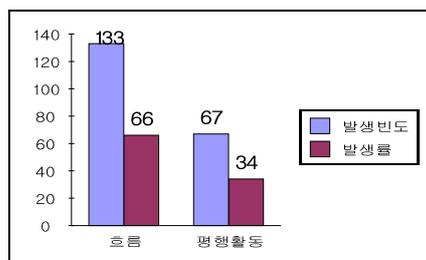
#### (1) 유형별 산사태 발생 빈도



a) 발생 위치별



b) 발생 외형별

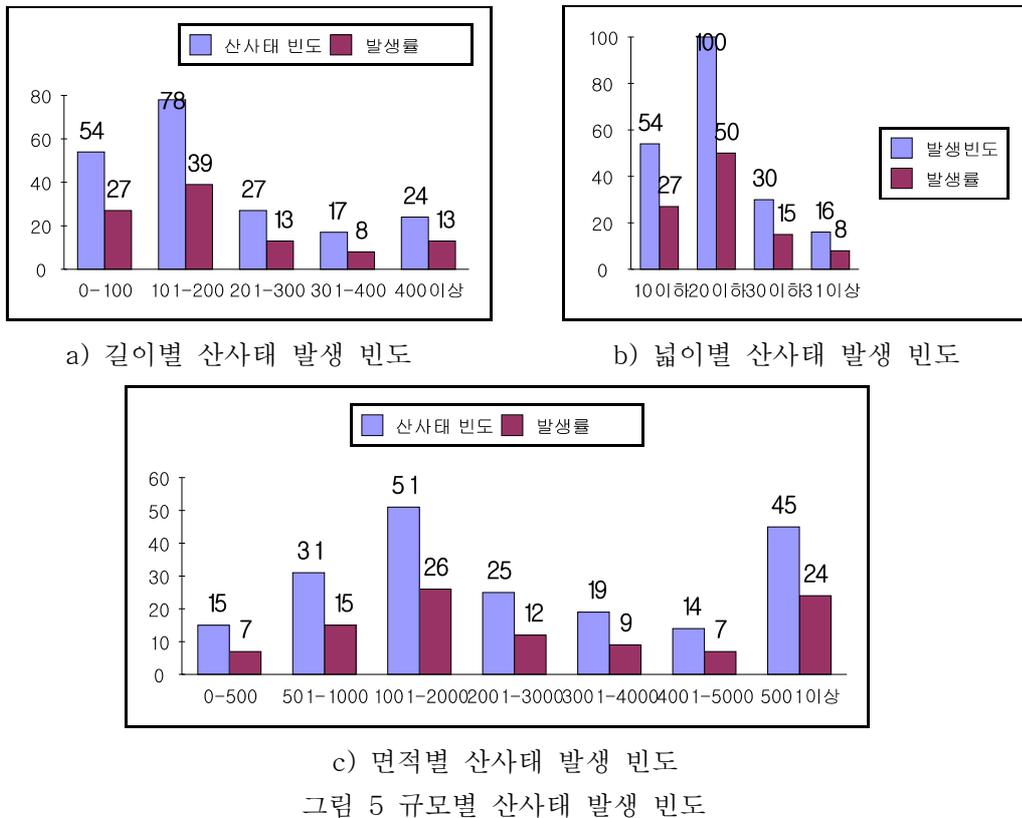


c) 발생 형태별

그림 4. 유형별 산사태 발생 빈도

그림 4 a)는 인제 지역에 발생한 산사태의 발생 위치별 발생빈도를 도시한 그림이다. 위치별 발생 빈도가 가장 높은 곳은 계곡부로 200개의 산사태중 52%인 105개가 발생 하였는데 계곡부가 발생률이 높은 것은 집중 호우 시 계곡으로 빗물이 집중되어 흐름 형태의 토석류 흐름이 많았기 때문이며 산복부에서의 발생이 높은 것은 산정으로부터 사면의 경사가 변하는 경사 변환점으로 작용하여 다른 지역에 비해 강우의 유출보다는 침투가 많이 이루어져 발생한 것으로 추정된다. 그림 4 b)는 산사태의 외형별 발생 빈도이다. 외형별 발생률은 선형이 48%, 높은데. 이것은 인제 지역의 산사태 발생 지역이 계곡부와 토사 사면에서 주로 발생하여 토석류의 흐름과 토사사면의 평행 활동에 기인한 것으로 판단된다. 그림 4 c)는 산사태의 발생 형태별 분석 결과이다. 인제군의 산사태의 특성중 하나인 계곡부에서 발생한 산사태는 66%가 토석류의 흐름 형태로 나타났으며 산복부에서 발생한 토사사면의 붕괴 형태는 주로 평행 활동에 의한 붕괴로 이어지나 토사 속에 자갈이 많이 포함되어있어 구성 물질은 토석류의 흐름과 비슷한 양상을 보이고 있다.

(2). 규모별 산사태 발생 빈도



한편 연구 지역에서 발생한 산사태의 규모별 발생 빈도는 다음과 같다. 그림 5 a)는 길이별 산사태 발생 빈도이다. 200개의 산사태 발생 지역의 길이를 분석한 결과 연장 100m 이하가 27% 54개소, 200m 이하가 39% 78개소, 300m 이하가 13% 27개소, 400m이하가 8% 17개소, 400m 이상이 13% 24개소로 200m 이하의 길이 분포를 보이고 있으며 400m이상도 13% 24개소로 계곡에서 발생한 토석류의 흐름이 빠른 속도로 하류로 흘러갔음을 보여준다. 그림 5 b)는 산사태가 일어난 지역의 산사태 넓이를 도시한 것이다. 인제 지역의 산사태의 넓이는 주로 20m이하에서 77% 154개소의 발생률을 보이고 있으며 30m 이하가 15% 30개소, 30m 이상도 8% 16개소의 발생률을 보이고 있다. 면적에 의한 산사태 발생 빈도는 그림 5 c)에서처럼 2,000m<sup>2</sup> 이하가 49%의 발생률을 보이며 5,000m<sup>2</sup> 이상도 24%의 분포를 보이나 이는 대형 산사태이기 보다는 계곡을 따라 길고 빠른 흐름이 발생한 것으로 보인다.

(3). 지형학적 산사태 발생 빈도

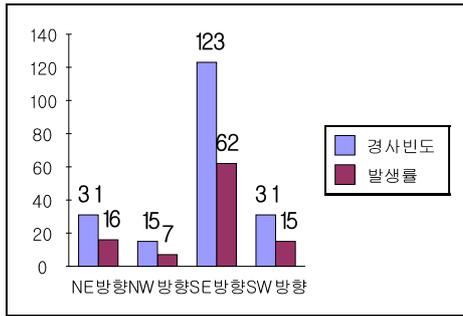


그림 6. 조사 지역 경사방향 분석표

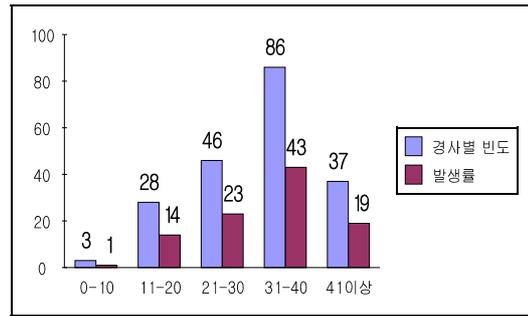


그림 7. 조사 대상 지역 경사각 분석표

그림 6의 조사 지역의 경사 방향 분석은 NE 방향이 16% 31개소, NW 방향이 7% 15개소, SE 방향이 62% 123개소, SW 방향이 15% 31개소인 것으로 분석 되었다. 이것은 산사태가 일어난 지역의 경사가 북에서 동쪽방향과 북에서 서쪽으로 경사를 이루고 있으며 동결 융해에 의한 건습의 반복이 다른 지역에 비해 커 풍화 심도가 상대적으로 깊어 산사태가 많이 발생 한 것으로 판단된다.

그림 7은 조사 대상 지역의 경사각을 분석한 표이다. 조사 지역의 경사각 분포는 10° 이하가 1% 3개소, 20° 이하가 14% 28개소, 30°이하가 23% 46개소, 40° 이하가 43% 86개소, 41° 이상이 19% 37 개소로 분석 되었다. 이는 조사 대상 지역의 경사는 40° 이하가 조사 대상 지역 200개소 중 181개소 81%이며 조사대상 사면은 하강형 사면으로 올라 갈수록 경사가 급해짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 상승 사면보다 하강 사면에서 산사태가 많이 일어난다는 기존의 연구 결과와 일치 하는 것으로 나타났다.

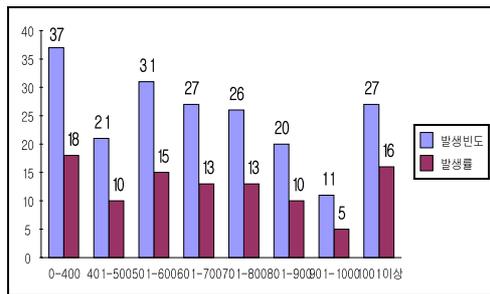


그림 8. 조사 대상 지역의 표고 분석표

그림 8은 조사 대상 지역의 표고를 분석한 표이다. 조사 대상 지역의 표고 분포는 400m 이하가 18% 37개소, 500m 이하가 10% 21개소, 600m 이하가 15% 31개소, 700m 이하가 13% 27개소, 800m 이하가 13% 26개소, 900m 이하가 10% 20개소, 1000m 이하가 5% 11개소, 1000m 이상이 16% 27개소로 분석 되었다. 이는 800m 이하가 69% 142 개소로 산 정상부위 보다는 산 북부 이하에서 산사태가 많이 발생 하였으며 산 정상에서 산하부로 하강하는 사면의 변각점에서 강우의 집수에 의거 하부 쪽으로의 피해가 발생한 것으로 볼 수 있다. 산사태와 지형과는 유기적으로 밀접한 관련이 있다. 한편 산사태가 발생한 표고별 발생 빈도는 해발고도 700m 이하가 51% 102개소로 나타났으며 800m~1,000m의 고도에서도 34% 67개소의 분포를 보이고 있으며 1,000m 이상의 표고에서도 15% 31개소가 발생된 것으로 분석 되었다.

2) 지질과의 관계

연구 지역의 지질분포현황은 서측에는 선캠브리아기의 경기변성복합체로 퇴적기원의 호상편마암과 화성암 기원의 함석류 화강 편마암, 화강편마암, 반상 변정질 편마암이 분포하고, 동측은 쥐라기의 대보화강암이 북동-남서방향으로 분포한다.

소양강 서측의 경기변성복합체가 분포하는 지역의 지형은 북북서-남남동방향(N30~40W)의 능선이 발달하고, 주연구지역인 인제읍 동측인 화강암이 분포하는 지역의 지형은 동-서방향의 주능과 남-북의 지능선이 발달하고 있다.

인제읍에 위치하는 소양강은 북동-남서방향으로 사행천으로 발달하고 있으며, 소양강을 경계로 서측은 경기변성복합체, 동측은 화강암이 분포하고 경계부에 N40E의 주향과 수직의 경사를 갖는 단층이 발달하고 있다. 그리고 경기변성복합체내에 서측은 남-북방향, 동측의 속초지역은 동-서방향의 주향이동단층이 발달하고 있으며, 이들 단층은 선캠브리아기에 형성된 단층으로 단층활동 이후 변형작용동안 재활성 되거나 단층작용의 증거가 미비하여 현장에서 인지하기가 매우 어렵다. 편마암내의 단층지대는 연성전단대가 존재하고 서로 상이한 변성도를 갖는 암석들이 인접하여 분포하는 특성을 관찰할 수 있으므로 이를 근거로 단층의 존재를 추정할 수 있다. 인제 지역의 기반암의 분포는 주로 화강암과 화강 편마암으로 분포하고 있어 화강암이 분포하는 지역 모암의 풍화 양상은 풍화심도가 빈약하다. 지형적으로 급경사 지역은 암체가 지표면에 노출되어 있으며 수목의 성장도 약하며, 환경사지인 계곡과 산록부는 암반의 노출이 상대적으로 적고 수목의 밀도가 높으므로 풍화에 의한 토층의 깊이가 수m에 이른다. 반면 호상 편마암이 분포한 지역의 암 구성 물질은 운모가 주를 이루고 있으며, 지형이 험준한 장년기에 해당되므로 계곡부와 하상 인접부는 풍화에 의한 토사 층이 깊게 분포하나 산능부는 토사 층의 발달이 미약하다. 이러한 기반암의 특성은 지형의 공간적 분석 결과인 800m 이하의 산록부에서 산사태가 많이 발생하는 것과 일치하며 계곡부에서 발생한 산사태가 연장이 길고 발생 빈도가 높은 것과 일치한다.

### 3) 토양과의 관계

연구 대상 지역의 유효 토심은 산사태가 발생한 지역은 1m 미만의 매우 낮거나 보통의 토심이 분포하고 있으며 하천변과 계곡의 일부분만이 2~3m의 비교적 깊은 토심을 유지하고 있다. 이러한 현상은 계곡과 하천변이 상류 지역으로부터 토사의 유실로 인한 퇴적작용으로 형성된 것으로 판단된다. 토양 속의 자갈은 하천변에는 35%의 자갈이 분포하고 있으며 산기슭으로 갈수록 자갈 함량은 감소하며 산지와 산정상 부위에는 자갈이 거의 분포하지 않는 것으로 분석되었다. 이 또한 토석류의 흐름 현상에 의해 하천변에 자갈이 흘러들어 온 것으로 보이며 산록부 위의 지역은 기반암이 주로 화강암으로 이루어져 풍화 정도가 덜 한 것으로 판단된다. 인제군 일대의 산사태 형상이 Debris Flow의 형태를 띄고 있는 것은 이러한 토양의 자갈 함량과 무관치 않음을 알 수 있다. 또한 인제군 일대 토양의 심토 특성은 하천 내에는 모래질, 하천변 일부에서는 자갈질의 토성을 보이나 산사태가 발생한 대부분의 토양은 사양 질로 구성되어 있고 배수등급이 양호 또는 매우 양호하여 강우 시 토양의 표토 유실이 우려되며, 기반암 위에 피복되어 있는 토양의 심도가 매우 낮아 집중 호우나 강우가 지속되면 항상 산사태의 피해가 발생 할 확률이 높은 것으로 판단된다.

### 4) 임상과의 관계

식생입목을 기준으로 밀도를 분석하면 교목의 종류인 소나무, 전나무, 낙엽송이 연구 대상 지역의 절반 이상을 차지하고 있으며 침엽수와 활엽수가 섞여있는 지역이 45%이상이며 기타 입목이 5%미만으로 분포 하는 것으로 나타났다.

이상과 같이 식생도를 기준으로 인제군 일대 산사태 발생 지역의 식생 상태는 주로 참활 혼효림인 활엽수, 소나무, 전나무 수종이 주를 이루고 있으며 흉고 직경이 30cm 이상과 흉고 직경 18-28cm의 수목이 자라고 있었으며 수령은 주로 30-50년생의 비교적 오래된 나무들이 대부분 식생 하고 있다. 이러한 임상의 상태를 기준으로 식생상태가 산사태에 미치는 영향을 분석한 결과 연구 대상 지역의 절반 이상이 줄기가 곧고 나무의 직경이 굵고 높이 자라며 나무의 줄기 윗부분이 많은 가지와 잎이 달려 있는 소나무, 전나무, 낙엽송이 밀집되어 자라고 있어 토양을 피복 할 수 있는 풀들이 자라지 못해 집중 호우 시 빗물이 토양에로의 침투가 용이하며 표면 유실이 잘 될 수 있을 뿐만 아니라 집중 호우 시 식생 되어있는 나무 자체에 하중이 증가되어 뿌리 쪽으로 침투하는 빗물이 간극 수압으로 작용하여 토양 유실을 가증시켜 산사태를 유발하는 원인을 제공하고 있을 뿐만 아니라 토석류와 함께 하부로 떠내려와 하천의

통수 단면을 줄여 하천의 범람을 일으키며 하천의 침식에 의한 산사태를 발생 시키는 등 산사태 발생 요인으로서 식생의 상태는 중요하므로 토양 심도와 지역 실정에 맞는 수종으로 갱신하여 산사태 발생 빈도를 줄여 나가는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

2006년 7월 11일부터 7월 18일까지 강원도 인제지역에 내린 집중 호우로 많은 산사태가 발생하여 29명의 인명 피해와 막대한 재산상 손실이 발생 되었다. 본 연구는 인제 지역에 발생한 산사태의 특성을 분석하기 위하여 인제 지역의 산사태가 발생하기 전후의 항공사진과 수치 지형도, 지적도, 수치 지형도에 산사태가 발생한 위치 정보를 도시한 지형 자료를 이용하여 산사태 발생 지역의 기하학적인 공간 특성을 분석하고 지질도, 정밀 토양도, 식생도를 활용 산사태에 영향을 미치는 내적 요인을 분석하였으며 또한 분석된 인자들 상호간의 상관관계를 검토하여 산사태가 발생하는 직접적 원인을 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

1. 인제 지역에 발생한 산사태의 붕괴 유형은 크게 토사사면의 붕괴, 토사 암반 경계면에서의 붕괴, 하천과 접한 계곡에서의 붕괴로 크게 대별 할 수 있다.

2. 산사태의 발생 빈도가 가장 높은 곳은 계곡부로 200개의 산사태중 52%인 105개가 발생 하였으며 산복부가 34%의 발생률을 보이고 있으며 산기슭에서도 14%의 산사태가 발생 하였다.

외형별 발생률은 선형이 48%, 판형이 45%, 쾌각형 7%의 발생률을 보이고 있다.

산사태의 발생 형태별 분석 결과는 인제 지역 산사태의 특성중 하나인 계곡부에서 66%가 토석류의 흐름 형태로 나타났으며 산복부에서 발생한 토사사면의 붕괴 형태는 주로 평행활동에 의한 붕괴로 이어지거나 토사 속에 자갈을 많이 포함하고 있어 구성 물질은 토석류의 흐름과 비슷한 양상을 보이고 있다.

규모별 발생 빈도는 다음과 같다. 200개의 산사태 발생 지역의 길이를 분석한 결과 연장 100m 이하가 27% 54개소, 200m 이하가 39% 78개소, 300m 이하가 13% 27개소, 400m이하가 8% 17개소, 400m 이상이 13% 24개소로 200m 이하의 길이로 발생하는 특성을 보이고 있으며 400m이상도 13% 24개소로 계곡에서 발생한 토석류의 흐름이 빠른 속도로 하류로 흘러갔음을 보여준다.

또한 인제 지역의 산사태의 넓이는 주로 20m이하에서 77% 154개소의 발생률을 보이고 있으며 30m 이하가 15% 30개소, 30m 이상도 8% 16개소의 발생률을 보이고 있다. 면적에 의한 산사태 발생 빈도는 2,000㎡ 이하가 49%의 발생률을 보이며 5,000㎡ 이상도 24%의 분포를 보이나 이는 대형 산사태이기 보다는 계곡을 따라 길고 빠른 흐름이 발생한 것으로 보인다. 한편 지형의 기하학적 분석 결과 조사 지역의 경사 방향 분석은 NE 방향이 16% 31개소, NW 방향이 7% 15개소, SE 방향이 62% 123개소, SW 방향이 15% 31개소인 것으로 분석 되었다. 조사 대상 지역의 경사 분포는 대부분 40° 이하로서 조사 대상 지역 200개소 중 181개소 81% 을 나타내고 있으며 조사대상 사면은 하강형 사면으로 올라 갈수록 경사가 급해짐을 알 수 있다.

조사 대상 지역의 표고 분포는 400m 이하가 18% 37개소, 500m 이하가 10% 21개소, 600m 이하가 15% 31개소, 700m 이하가 13% 27개소, 800m 이하가 13% 26개소, 900m 이하가 10% 20개소, 1000m 이하가 5% 11개소, 1000m 이상이 16% 27개소로 분석 되었다. 이는 800m 이하가 69% 142개소로 산 정상부위 보다는 산복부 이하에서 산사태가 많이 발생 하였으며 산 정상에서 산하부로 하강하는 사면의 변각점에서 강우의 집수에 의거 하부 쪽으로의 붕괴가 발생한 것으로 볼 수 있다. 한편 산사태가 발생한 표고별 발생 빈도는 해발고도 700m 이하가 51% 102개소로 나타났으며 800m~1,000m의 고도에서도 34% 67개소의 분포를 보이고 있으며 1,000m 이상의 표고에서도 15% 31개소가 발생된 것으로 분석 되었다.

3. 산사태와 지질, 토양과의 관계분석 결과는 다음과 같다. 인제 지역의 기반암의 분포는 주로 화강암과 화강 편마암으로 분포하고 있어 화강암이 분포하는 지역 모암의 풍화 양상은 풍화심도가 빈약하다. 한편 토양과 산사태 발생과의 분석 결과는 다음과 같다. 연구 대상 지역의 유효 토심의 경우 산사태가 발생한 지역은 1m 미만의 매우 낮거나 보통의 토심이 분포하고 있으며 하천변과 계곡의 일부분만이 2~3m의 비교적 깊은 토심을 유지하고 있다. 토양 속의 자갈은 하천변에는 35%의 자갈이 분포하고 있으며 산기슭으로 갈수록 자갈 함량은 감소하며 산지와 산 정상 부위에는 자갈이 거의 분포 하지 않는 것으로 분석 되었다. 인제지역 일대의 산사태 형상이 Debris Flow의 형태를 띄고 있는 것은 이러한 토양의 자갈 함량과 무관치 않음을 알 수 있다. 또한 인제군 일대 토양의 심토 특성은 하천 내에는 모래질, 하천변 일부에서는 자갈질의 토성을 보이거나 산사태가 발생한 대부분의 토양은 사양 질로 구성되어 있고 배수등급이 양호하여 강우 시 토양의 표토 유실이 우려되며, 기반암 위에 피복 되어 있는 토양의 심도가 매우 낮아 집중 호우나 강우가 지속되면 항상 산사태의 피해가 발생 할 확률이 높은 것으로 판단된다.

4. 산사태와 임상과의 분석 결과 임상의 상태는 교목의 종류인 소나무, 전나무, 낙엽송 등이 연구 대상 지역의 절반 이상을 차지하고 있으며 소나무, 전나무, 낙엽송이 혼합 식생하는 지역도 45%이상이며 기타 임목이 5% 미만인 것으로 나타났다. 또한 식생도를 기준으로 한 인제군 일대 산사태 발생 지역의 식생 상태는 흉고 직경이 30cm 이상과 흉고 직경 18-28cm의 수목이 주로 식생하고 있으며 수령은 주로 30-50년생의 비교적 오래된 나무들이 자라고 있어 집중 호우시 빗물의 침투가 용이하고 바람의 흔들림에 약해 뿌리부분으로 전달력이 작용하여 산사태에 취약 한 것으로 나타났다.

## 사사

이 연구는 소방방재청 자연재해 저감기술 개발사업(사면붕괴예측 및 대응기술개발) 연구비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## \*참고문헌

1. 강원도 산림 개발 연구원(2006), 임상도.
2. 이수곤(1988), "한국의 산사태 조사 연구", 한국 동력 자원 연구소, pp.165.
3. 이수곤(1999), "부산 지역의 산사태 위험 연구", 한국 환경 복원 녹화 기술 학회지 ,제2권 제2호, pp. 9~23.
4. 이수곤, 선건규, 김민성(2004), "암과 흙 경계면 산사태의 수위 특성 연구", KGS National Conference, Committee of Slope Stability, 23 Jun, Seoul Korea.
5. 이수곤, 박대철(2005), "암종에 따른 산사태 특성 연구", 대한 지질 공학회 2005년 학술 발표회 논문집, pp.65~70.
6. Hencher, S. R.(2007), "Report on Shallow Landslide Mechanisms, 1<sup>st</sup> report to the Technological Development in Estimation & Countermeasure of Slope Collapses", National Emergency Management Agency.
7. Lumb, P.(1975), "Slope Failure in Hong Kong", Proc, of 4th ISL, Toronto, pp.31~65.