

## 산림환경인자를 고려한 토석류 발생특성 분석

-2013년 춘천시 대룡산 사례를 중심으로-

### Analysis of Debris Flow Characteristics Considering Forest Environmental Factors

-Focusing on the Case of Mt. Daeryong in 2013-

박 새 암\*      유 광 현\*\*      유 남 재\*\*\*  
Park, Sae-Am    Yu, Gwang-Hyeon    Yoo, Nam-Jae

#### Abstract

This paper is research results of the case study on analyzing the characteristics of debris flow considering forest environmental factors, focusing on occurrence of landslides around Mt. Daeryong in 2013.

Extensive landslide of debris flow, caused by heavy rainfall, occurred around Mt. Daeryong during July in 2013. Field investigation was carried out to construct the data base about forest environmental factor including topography, soil formations and forest type. Thus, contributing factors to cause the landslide of debris flow were investigated so that damages from landslides could be reduced by establishing proper measures.

키워드 : 토석류, 대룡산, 산림환경인자

Keywords : debris flow; Mt. Daeryong, forest environmental factor

#### 1. 서론

국내의 지형은 70% 이상이 산지로 이루어져 있으며, 연평균 강우량이 1,300mm로 여름철 6~9월 장마기간에 연평균 강우량의 2/3 이상이 발생하고 있다. 최근 지구온난화로 인한 기상이변으로 인해 국내에서의 집중호우 및 태풍의 빈도가 증가하는 추세로 여름철 토석류의 발생빈도가 증가하여 피해가 커지고 있다. 토석류는 다양한 입경을 가진 흙과 물이 급경사면을 따라 빠른 속도로 저지대를 향해 이동하여 이동경로 내 산림, 저지대의 생활권에 피해를 주고 있어 사회적 문제로 대두되고 있으며, 이에 따라 토석류 피해를 감소시키기 위한

연구가 진행되고 있는 실정이다.

토석류에 대한 연구는 주로 토석류의 거동 및 발생에 대한 내용으로 토석류의 거동은 발생, 유하, 퇴적으로 구분되어지나 토석류를 직접적으로 관찰하기란 매우 어렵고 위험하여 그 거동에 대한 해석적 연구는 여전히 진행단계에 있는 실정이다.

토석류 및 산사태를 발생시키는 원인에는 크게 내적요인과 외적요인 두 가지로 나눌 수 있다. 내적요인이란 잠재적인 요인으로 토석류 발생지의 지질, 토질 등의 산지특성에 관련된 인자이며 외적요인은 강우, 지진, 절토 등의 직접적 요인을 말한다. 즉, 토석류 및 산사태의 발생은 내적요인에 대한 외적요인의 작용에 의하여 주로 발생한다고 할 수 있으며 동일조건인 강우, 지질 등의 외적요인이 일정할 때 내적으로 취약한 구조를 가지고 있는 사면에서 토석류 및 산사태가 상대적으로 작은 영향에도 쉽게 발생할 수 있다[1].

본 논문에서는 2013년 7월 중 집중호우에 의해

\* 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\*\* 강원대학교 토목공학과 교수, 교신저자

발생한 토석류 사례에 대해 강원도 춘천시 대룡산을 중심으로 각각 발생지에 대한 산지특성에 대해 조사하여 데이터베이스를 구축하였고 이를 토대로 지형, 지질, 토질, 임상의 산림환경인자에 따른 토석류 발생경향을 분석하였다.

## 2. 연구대상지

연구 대상지는 그림 1과 같이 강원도 춘천시 동남쪽에 위치한 대룡산으로 춘천시 동내면, 동면, 홍천군 북방면 북방리에 인접하고 있으며, 2013년 7월중 집중호우로 인해 다수의 토석류가 발생하여 산지하부에 위치한 생활권에 대해 하우스 파손, 지수지 매몰, 농지침수 등의 피해가 있었다.



그림 1 연구 대상지

## 3. 데이터베이스 구축

분석에 필요한 데이터베이스의 구축은 실내조사와 현장조사로 이루어졌다. 먼저 실내 조사로 선행 연구논문을 통하여 토석류 발생에 영향을 주는 산림환경인자에 대해 조사하였으며 조사된 인자에 대해 산림청의 산사태 위험지도[8]와 농촌진흥청의 토양환경 정보시스템[16]의 수치지도를 이용하여 연구대상지인 대룡산 지역의 산림환경인자에 대해 조사하였으며 이를 현장조사시에 확인하였다. 현장 조사는 줄자 및 스타프, 클리노미터, 거리측정기, GPS등을 이용하여 발생사면의 GPS좌표, 경사, 폭, 길이, 방위, 지형형상, 사전 조사를 통한 토석류 발생지의 산림환경인자, 토석류 유하부 각 구간의 침식 및 퇴적 폭, 유하경사, 경사방향, 침식깊이에 대한 정밀 조사를 실시하여 이를 토대로 토석류 발생지 51개소에 대한 데이터베이스를 구축하였다.

## 4. 산림환경인자 특성분석

토석류 발생에 영향을 미치는 산림환경인자는 크게 지형, 지질, 토질, 임상으로 구분 할 수 있으며, 이를 통해 구축한 51개의 데이터베이스를 토대로 위의 인자에 대해 분석하였다.

### 4.1 지형

발생지형은 사면의 요인들과 함께 복합적으로 토석류를 발생시키는 인자로 평탄지(5°미만의 평탄한 지역), 완구릉지(산세가 험하지 않고 산록이 전담에 연결된 파상형의 야산지역으로 경사길이 300m 이하인 지역), 산록(하부가 경작지 및 계곡에 연결된 지역으로 구릉지 및 산악지의 3부 능선 이하의 지역), 산복(구릉지 및 산악지의 4~7부 능선), 산정(구릉지 및 산악지의 8부 능선 이상인 지역)으로 구분된다[9].

지형분석결과 그림 2와 같이 산복에서의 발생이 46개소(90%)를 차지하였으며, 산정에서의 발생이 5개소(10%)가 발생하였으며, 산복이하의 지형에서는 토석류의 발생이 없는 것으로 분석되었다.

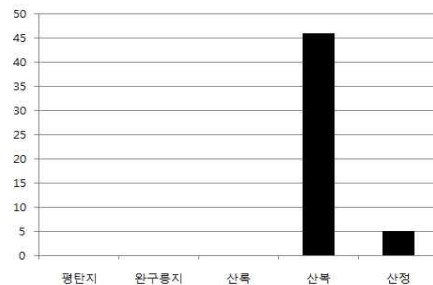


그림 2 지형 분석

지형 구분 기준은 고도에 영향을 받으므로 51개의 토석류 발생지에 대해 고도분석을 수행하였으며, 고도 분석 기준은 발생지의 최고 높이의 몇%의 고도에서 토석류가 발생하는지에 대하여 분석하였다. 분석결과 그림 3과 같이 60~70%의 고도에서 36개소로 가장 많이 발생하였으며 평균값은 67%로의 약 7부 이상의 고도에서의 발생 비율이 높은 것으로 분석되었다.

산복의 정의가 구릉지 및 산악지의 4~7부라는 점에서 위의 고도 분석과 비슷한 결과 값을 보였으며 선행연구에서 박종민 등(2010)은 전라북도 지역의 산사태 발생 특성분석에서 산복 97개소(53%), 산정 64개소(35%), 산록 21개소(11%)의 발생빈도를 보였다고 하였으며, 마호섭(1994)은 토석류의 발생지형은 산복, 산정 및 산록의 순으로 붕괴발생 면적 및 빈도가 높다고 조사한 것과 유사

하며, 김경수 등(2005)은 우리나라에서 발생하는 산사태의 상대고도는 대부분 9~7부 능선에서 많이 발생하고 있으며 이보다 낮은 지역의 경우는 발생빈도가 아주 낮다는 분석결과와 유사하게 나타났다.

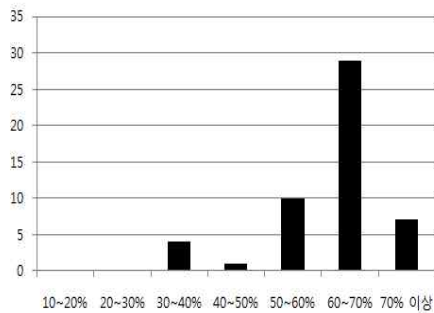


그림 3 발생고도 분석

#### 4.2 지질

국내의 지질은 변성암, 화성암, 퇴적암으로 분류되며 지질특성에 따라 토석류의 발생이 상이하게 나타난다. 본 연구 지점의 토석류 발생지에 대한 지질에 대해 조사한 결과 그림 4와 같이 규암, 편마암, 화강편마암으로 조사되었다. 조사된 자료를 분석해본 결과, 규암 6개소(12%), 편마암 29(57%)개소, 화강편마암 16(31%)개소로 분석되었으며 모두 변성암으로 분석되었다.

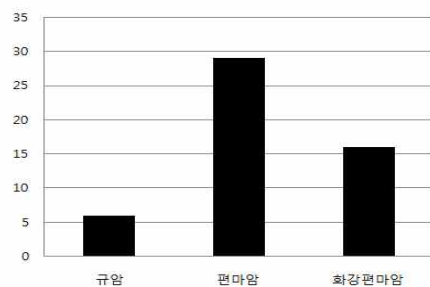


그림 4 지질 분석

선행연구에서 김경수 등(2005)은 용인, 안성지역에서 발생한 약 660개의 산사태 자료를 분석한 결과 편마암지역에서 45%이고, 편암과 화강암지역이 각각 32% 및 23%인 것으로 나타났으며 김원영 등(2009)은 자연사면 산사태 지역의 강우, 지질 및 산사태 기하형상에 대한 고찰을 수행하여 화강암 지역보다 편마암계 지반에서의 산사태 발생 건수가 2배 이상인 것을 확인하였다. 마호섭 등(2010)은 국립공원 고산지역의 모암은 주로 편마암, 화강

편마암 및 화강암 등으로 구성되어 있어 토석류 발생지 125개소 중 변성암지역에서 65개소(52%), 화강암지역에서 60개소(48%)가 발생한 것으로 분석하였다.

이처럼 선행연구와 본 연구지점에서의 토석류 발생이 타 지질에 비해 변성암지역에서 많이 관찰되는 이유에 대하여 조사해 본 결과 변성암질은 물리적 풍화에 약하며 풍화심도가 타 암종에 비해 깊고, 암석표면에 연장성이 짧은 무수히 많은 절리가 5cm정도의 간격으로 불규칙하게 발달되어 있어 침투수로 인해 풍화 및 침식이 진행되어 토석류를 발생시킬 조건을 갖고 있으므로 특별한 주의가 요구된다.

#### 4.3 토질

토질은 토심, 표토토성, 토양형이 있으며 이러한 인자가 토석류발생에 어떠한 영향을 미치는지 대해 조사하고 그 발생 경향에 대해 분석하였다.

토심이란 표층토에서 심층토까지 깊이를 말하며 표층토란 세균과 공극이 많고 부드러워 식생이 필요로 하는 물과 양분이 많은 부위를 뜻하며 심층토란 표층토 아래의 토층으로 밀도가 높아 세균보다는 굵은 뿌리가 주로 많은 부위를 뜻한다. 토심은 천(토심30cm미만), 중(토심30~60cm), 심(토심60cm이상)으로 분류되며[9] 본 토석류 발생지점의 토심과 이를 산림청 산지특성 평가지표의 토심기준에 반영하여 분석한 결과는 아래 그림 5와 같다.

발생지의 51개소에 대하여 30cm미만, 30~60cm미만, 60cm 이상으로 분류하여 분석하였다. 각각 10%, 51%, 39%의 비율로 0.3~0.6cm 미만 구간에서 51%로 가장 많은 발생개소수를 보였으며, 발생지점의 평균 토심은 54cm로 분석되었다.

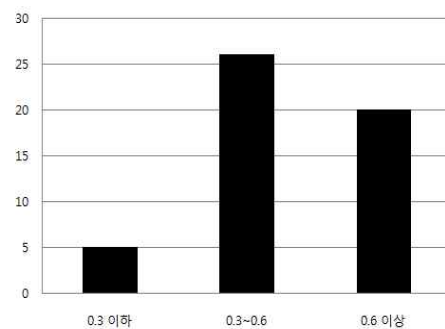


그림 5 발생지의 토심 분석

산림청 산지특성 평가지표의 토심기준에 본 토석류 발생지의 토심을 적용하여 분석한 결과 그림 6과 같으며 마찬가지로 “중” 구간인 30~60cm미만

에서 39%로 가장 높았으나 “심”구간인 60cm구간에서 33%로 차이가 거의 나지 않는 것으로 분석되었다.

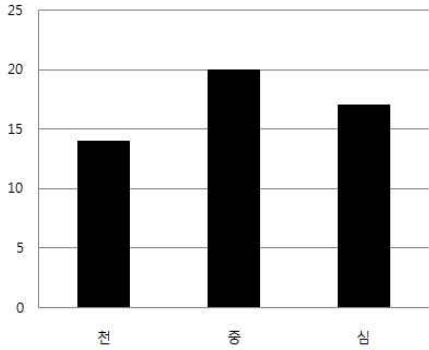


그림 6 수치지도에서 추출한 토심 분석

토석류 발생과 토심의 관계에 대한 선행연구에서 이승우 등(2012)등 423개 지점의 산사태 데이터에 대한 통계학적 분석을 수행한 결과 유효 토심이 20~50cm인 경우 산사태 발생분포는 54%이며, 50~100cm분포에 해당하는 경우 산사태 발생분포는 34%로 토심이 얇아질수록 산사태 발생 가능성이 높아진다고 하였으며, 마호섭 등(2010)은 국립공원에서 발생한 125개소를 대상으로 분석한 결과 토심과 토석류의 발생빈도는 토심 0~15cm에서 86개소(67%) 가장 많이 발생하였으며 토심이 깊어짐에 따라 발생빈도가 적은 것으로 나타났다.

선행연구와 달리 본 연구 대상지에서는 30cm이상의 토심에서 많은 발생이 있었으며 이는 30cm이하의 토심은 너무 얇아 토석류 발생에 대한 에너지가 충분하지 않거나 토층의 유실로 인해 발생이 없었기 때문이라 판단되어 진다. 본 연구 대상지에 대한 분석결과로 얇은 토층보다는 30cm~1m이내의 적당한 토층을 가지는 지역에서 토석류가 발생하는 경향이 있었다.

표토의 토성은 하나의 주어진 토양 내 여러 광물질의 비례적 크기 비율을 말하며, 입경 2mm 이상을 자갈, 2mm 이하를 세토로 구분하고 이중 2mm이하의 광물질에 대해 입경 2~0.05mm를 모래(sand), 0.05~0.002mm를 미사(silt), 입경 0.002mm 이하를 점토(clay)로 분류하며 아래의 표 1과 같다.

표 1 토성구분 표[8]

| 구분                          | 기 준(%) |        |        | 부 호  |
|-----------------------------|--------|--------|--------|------|
|                             | clay   | silt   | sand   |      |
| 사 토(Sand)                   | ~10    | ~15    | 85~100 | S    |
| 미 사(Silt)                   | ~10    | 80~100 | ~20    | Si   |
| 양질사토<br>(Loamy Sand)        | ~15    | ~30    | 70~90  | LS   |
| 사질양토<br>(Sandy Loam)        | ~20    | ~50    | 43~85  | SL   |
| 미사질사토<br>(Silty Loam)       | 12~17  | 50~80  | 20~50  | SiL  |
| 양 토(Loam)                   | 17~27  | 28~50  | 25~53  | L    |
| 사질식양토<br>(Sandy Clay Loam)  | 20~35  | ~28    | 45~80  | SCL  |
| 식양토(Clay Loam)              | 27~40  | 15~53  | 29~45  | CL   |
| 미사질식양토<br>(Silty Clay Loam) | 27~40  | 40~73  | ~20    | SiCL |
| 사질식(SandyClay)              | 35~55  | ~20    | 45~65  | SC   |
| 미사질식토(SandyClay)            | 40~60  | 40~60  | ~20    | SiC  |
| 점 토(Clay)                   | 40~100 | ~40    | ~45    | C    |

본 토석류 발생지의 표토토성은 그림 7과 같이 사양토, 미사질양토, 양토로 조사되었으며, 사양토 38개소(75%), 미사질양토 12개소(24%), 양토 1개소(1%)로 분석되었다.

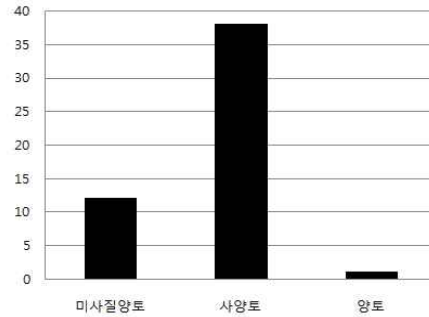


그림 7 표토토성 분석

또한, 그림 8과 그림 9와 같이 대룡산을 둘러싸고 있는 지역별 면적당 토성비율에 대해 분석해 본 결과 세사양토 0.15%, 사양토 76.02%, 양토 23.16%, 미사질양토 0.45%, 미사질식양토 0.11%, 식양토 0.12%로 분석되었으며 지역별 면적당 토성 비율 분석결과 사양토의 비율이 가장 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

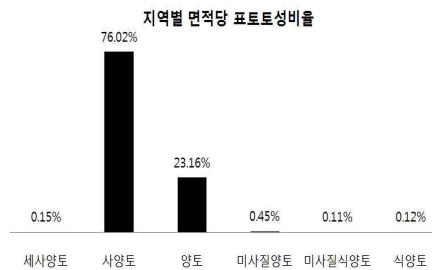


그림 8 지역별 면적당 토성 비율

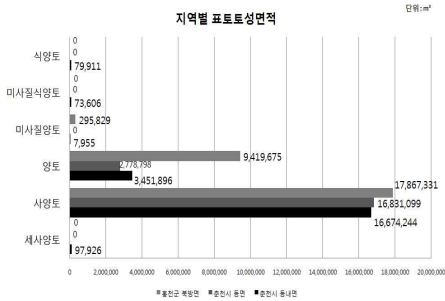


그림 9 지역별 토성 면적

선행연구에 따르면, 표토토성에 의한 토석류 발생 가능성에 대해 이승우 등(2012) 한 423개 지점의 산사태 데이터에 대한 통계학적 분석을 수행한 결과 사양토 64%, 양토 5%, 미사질양토 11%로 양토와 미사질에 비하여 산사태 발생 확률이 높게 분석되었다. 오치영 등(2009)은 인제 지역에서 발생한 산사태발생에 대해 GIS분석을 하였으며, 수치정밀토양도의 표토의 토성에 대해 분석한 결과 사양토 63.35%가 산사태 발생지로 분석되었다.

분석결과에 대해 토양 별 특성을 조사한 결과 미사질양토는 미농무성 SiL에 해당하는 토성으로 일반적으로 투수성이 낮은 점토나 실트를 의미하며, 이는 지반의 투수성이 낮아 동일한 강우에서도 포화가 늦게 일어나는 특징이 있으며 양토는 미농무성 SCL에 해당하는 토성으로 일반적으로 중간 정도의 투수성을 갖는다. 사양토는 미농무성 SL에 해당하는 토성으로 미사질양토와 양토보다 투수성이 크고 점토질 함유량이 적으며 강우에 의하여 쉽게 포화 되는 특징이 있어 강우 시 세굴 등에 의한 붕괴위험이 큰 것으로 판단되어 진다.

또한 대릉산 주변 지질이 모암으로 화강암과 화강편마암을 가지며 이들이 풍화하여 생성된 토양은 대부분 양토 또는 사질양토를 이루고 있기 때문에 많은 경향이 보이는 것으로 판단된다[17].

산림토양형은 지형조건에 따른 수분 환경을 감안하여 유기물층의 발달정도와 토양단면 형태, 층위의 발달정도 및 각 층위구조, 토색 등의 차이로 구분하여 아래의 표 2와 같이 분류한다. 8개의 토양군, 11개 토양아군, 28개 토양형으로 나뉘며, 본 연구대상지 토석류 발생에 영향을 주었다고 판단되어 지는 토양형에 대해 조사하였고 각 산림토양별 특징은 다음과 같다. 갈색건조 산림토양형은 산정의 능선부근 및 산복사면 상부 등 건조한 곳에 주로 분포하는 건조한 토양으로 토립자간의 결합력이 없어 침식을 받기 쉬운 토양으로 표토층은 토심이 얇고 건조하다. 갈색약건산림토양형은 완만한 산정 및 풍층지, 산복에 분포하는 약간 건조한 토양이며 표토층은 얇은 편이며 약간하다. 갈색적윤산림토양형은 사면의 요형지형 및 산록 완사면

에 분포하며 갈색건조산림토양과 갈색약건산림토양형에 비해 토심 얇고 또한 자갈이 적당하게 혼합되어 투수성도 양호하여 식물의 뿌리가 심토층까지 뻗어있다. 암쇄토양형은 산정 및 경사가 급한 산복사면에 주로 분포하며 표토층이 얇거나 결여된 토양이다. 토양입자는 비교적 조립질이며 큰 자갈이 많다.

표 2 산림토양형 분류[9]

| 토양군                            | 기호 | 토양아군   | 토양형       | 기호 |
|--------------------------------|----|--------|-----------|----|
| 갈색산림토양<br>(brown forest soils) | B  | 갈색산림토양 | 갈색건조 산림토양 | B1 |
|                                |    |        | 갈색약건 산림토양 | B2 |
|                                |    |        | 갈색적윤 산림토양 | B3 |
|                                |    |        | 갈색약습 산림토양 | B4 |
| 암쇄토양<br>(lithosols)            | Li | 암쇄토양   | 암쇄토양      | Li |

본 토석류 발생지의 토양형에 대해 분석한 결과 갈색건조산림토양, 갈색약건산림토양, 갈색적윤산림토양, 암쇄토양에서 각각 27%(14개소), 39%(20개소), 31%(16개소), 2%(1개소)로 갈색약건산림토양과 갈색적윤산림토양의 비율이 70%의 경향을 보였으며, 주로 갈색토양군에서 발생이 많은 것으로 분석되었다.

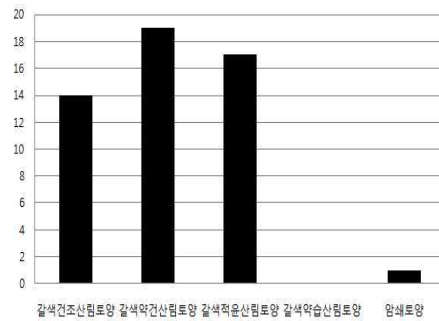


그림 10 산림토양형 분석

각 토양형의 특성과 분석 결과를 통해 분포 위치는 토석류 발생가능성이 내재되어있는 산정 및 경사가 급한 산복, 또는 산록완사면에 분포하고 있으며 표토의 발달은 표토층이 발달하였으나 얇고 건조하여 강우에 의한 포화가 쉽게 일어나는 토양인 것으로 판단되었다. 토양형은 지형 및 지질, 고도에 따라 다른 특성을 보이므로 이에 대한 추후 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 4.4 임상

임상은 수목 및 수종, 경급 및 영급으로 나뉘며 이에 따른 본 연구 대상지의 토석류 발생에 대해

이들이 어떠한 영향을 주었는지에 대해 분석하였다.

본 토석류 발생지의 수목 대하여 분석한 결과 그림 11과 같이 활엽수 32개소(63%), 침엽수 19개소(37%)로 분석되었으며 수종은 그림 12와 같이 기타참나무류 5개소(10%), 기타활엽수 14개소(27%), 낙엽송 7개소(14%), 소나무 2개소(4%), 신갈나무 13개소(25%), 잣나무 3개소(6%), 침활혼효림 7개소(14%)로 나타났으며 신갈나무와 기타활엽수종이 52%로 분석되었다.

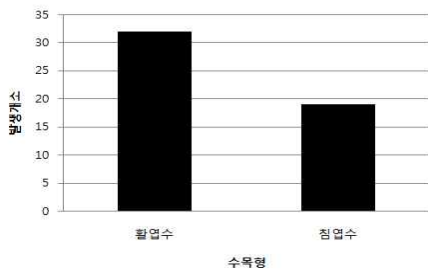


그림 11 수목 별 분석

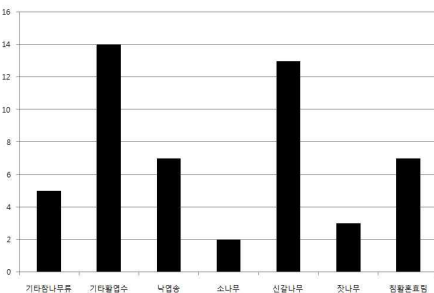


그림 12 수종 별 분석

수목 및 수종에 대한 선행 연구에서 김기홍 등(2011)은 경남지역의 2002, 2003, 2006년 태풍 내습의 피해에 대한 38개의 데이터분석에서 임상은 74% 잣나무, 소나무 및 낙엽송 등의 침엽수림이었으며, 26%가 침엽수와 활엽수의 혼효림이고 활엽수림의 경우 5%로 분석하였다. 박종민 등(2010)은 임상은 대부분 토사역지기능이 다른 임상에 비해 높은 침엽수지점에서 124개소(68%), 혼효림지점에서 38개소 (21%), 활엽수지점은 20개소(11%)순으로 나타난 것으로 분석하였다. 정규원 등(2008)은 일반적으로 산사태는 활엽수림이나 혼효림에 비하여 침엽수림에서 많이 발생하고 있으며, 인공림이 천연림보다 산사태 발생 빈도가 높게 나타난 것으로 분석되었다고 하였으며, 종합해보면 수목형에

대해 분석한 결과 침엽수림이 활엽수림보다 많이 발생한 것을 알 수 있다.

분석의 결과가 선행 연구와 달리 침엽수의 분포보다 활엽수의 분포가 더 많이 나타난 이유에 대해서는 한준수(2008)의 춘천 동북부 지역의 식물상과 식생에서 알 수 있었다. 강원도 춘천시 대룡산의 대표적인 식물군집은 신갈나무로 군집의 형성고도는 소나무(420~677m)와 신갈나무-굴참나무(353~603m)에 비해 신갈나무군집의 고도는 680~956m로 대룡산(899m)의 산복과 산정사이에 넓게 분포하며 영향을 끼치고 있는 것에 기인한 것이라고 판단되어 지며 소나무 군집의 천이로 인해 신갈나무 종수가 증가하고 있기 때문으로 판단되어진다.

특히, 본 연구대상지의 발생지형 분석결과 대부분 산복 이상인 신갈나무 군집의 자생지역에서 토석류가 많이 발생하여 이러한 분석결과가 나왔다고 판단되어 지며, 또한 수집한 데이터의 종류가 치우친 부분에 대해서도 고려해봐야 할 것이다.

수목에 의한 토석류의 영향은 자연사면에 집중호우가 발생할 경우 수목들의 우산 효과로 인해 실제 강우량 보다 더 적은 강우량이 표토에 도달되며 혼효림, 활엽수 지역에 비해 침엽수 지역에서 우산효과가 작아 더 취약하다고 판단된다[12].

경급은 임목의 흉고직경(DBH)에 따라 치수, 소경목, 중경목, 대경목으로 분류되며 영급은 임령을 일정한 폭으로 묶어 같은 급으로 분류한 것으로, 일반적으로 10년을 한 영급으로 묶어 9개의 영급으로 표시하며 아래의 표 3, 표 4와 같다.

표 3 경급분류[9]

| 구 분   | 구 분 기준                               |
|-------|--------------------------------------|
| 치 수   | 흉고직경 6cm 미만의 임목 수관점유 비율이 50% 이상인 일본  |
| 소 경 목 | 흉고직경 6~16cm의 임목 수관점유 비율이 50% 이상인 일본  |
| 중 경 목 | 흉고직경 18~28cm의 임목 수관점유 비율이 50% 이상인 일본 |
| 대 경 목 | 흉고직경 30cm 이상의 임목 수관점유 비율이 50% 이상인 일본 |

표 4 영급분류[9]

| 구 분  | 구분기준                               |
|------|------------------------------------|
| 1 영급 | 수령 1~10년생 임목의 수관점유 비율이 50%이상인 일본   |
| 2 영급 | 수령 11~20년생 임목의 수관점유 비율이 50%이상인 일본  |
| 3 영급 | 수령 21~30년생 임목의 수관점유 비율이 50%이상인 일본  |
| 4 영급 | 수령 31~40년생 임목의 수관점유 비율이 50%이상인 일본  |
| 5 영급 | 수령 41~50년생 임목의 수관점유 비율이 50%이상인 일본  |
| 6 영급 | 수령 51~60년생 임목의 수관점유 비율이 50% 이상인 일본 |
| 7 영급 | 수령 61~70년생 임목의 수관점유 비율이 50% 이상인 일본 |
| 8 영급 | 수령 71~80년생 임목의 수관점유 비율이 50% 이상인 일본 |
| 9 영급 | 수령 81년생 이상 임목의 수관점유 비율이 50% 이상인 일본 |

본 토석류 발생지의 경급별 발생개소 분석결과 그림 13과 같으며 소경목 11개소(22%), 중경목 40개소(78%), 대경목 0개소(0%)로 중경목에서 발생이 많은 것으로 분석되었다.

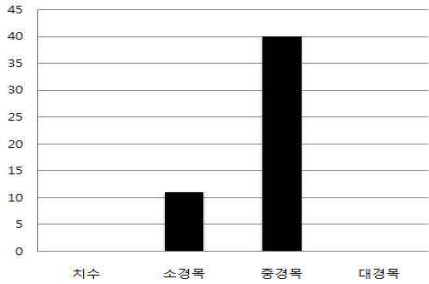


그림 13 경급 분석

영급별 발생개소에 대한 분석 결과 2영급 3개소(6%), 3영급 2개소(4%), 4영급 38개소(75%), 5영급 8개소(16%)로 4영급에서 토석류의 발생이 많은 것으로 그림 14와 같이 분석되었다.

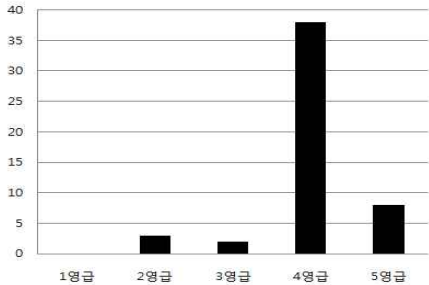


그림 14 영급 분석

경급 및 영급에 대한 선행연구에서 조재규 등(2000)은 경상북도 칠곡군, 경주시에서 발생한 산사태는 3영급에서 대부분 발생한 것으로 분석되었으며, 최은영(2010)은 김제시 금산면 지역의 경급 분석결과 소경목 비율이 높은 곳에서 산사태가 많이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 영급 분석결과 산사태가 발생한 지역에서 3영급 임분의 비율이 가장 높았다. 강원도의 경우 오치영 등(2009)은 인제지역 경급속성과 영급속성 분석결과 경급은 소경목, 영급은 2~3영급으로 발생이 많다고 하였다. 고석민 등(2013)은 강원도는 산지지역의 분석결과 대경목, 6영급에서 발생이 많은 경향을 보였다고 하였다. 종합해보면 토석류 및 산사태의 발생지역의 경급은 소경목이 가장 많았으며 영급은 2~3영급의 11~30년생에서 가장 많은 경향을 보인 것을 알 수 있다.

선행연구와 달리 본 연구 토석류 발생지의 경급 및 영급은 중경목 및 4영급으로 분석되었으며 이에 대해 대상지의 산지별 면적 당 비율로 경급과 영급에 대해 분석을 실시하여 그 결과를 통해 이유를 밝히고자 하였다. 해당 산지 경급 분석결과 그림 15, 그림 16과 같으며 치수, 소경목 9%, 대경목 0%, 중경목 91%로 중경목의 비율이 높았고 동일 방법으로 영급을 분석한 결과 1영급(1%), 2영급(2%), 3영급(5%), 4영급(75%), 5영급(17%)로 4영급의 비율이 높았다.

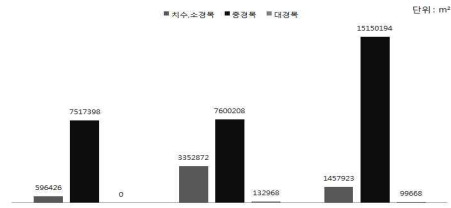


그림 15 산지 별 경급 면적

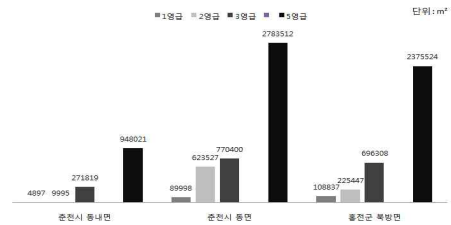


그림 16 산지 별 영급 면적

이를 토대로 본 연구 대상지의 경급 및 영급의 경향은 연구지의 산지특성에 따라 영향을 많이 받는 것으로 판단되어지며, 위 결과로 상대적으로 해당 산지 면적에서 차지하는 경급과 영급의 면적비율이 클수록 토석류 발생에 취약하다고 판단되었다. 경급 및 영급이 토석류 발생에 영향을 미치는 이유는 나무의 뿌리인장강도에 비해 나무의 크기가 과도하게 증가하여 나무의 무게와 길이가 오히려 산사태 발생을 증가시키며 나무의 노화에 의하여 뿌리인장강도가 약해지기 때문인 것으로 판단된다[10].

## 5. 결론

본 연구에서는 2013년 7월 중 발생한 집중호우에 의해 다수의 토석류 피해가 있었던 춘천시 대릉산 일대를 중심으로 총 51개소에 대한 현장조사 D/B를 구축하여 산림환경인자에 따른 토석류 발생 경향에 대해 분석을 실시하였으며 아래와 같다.

1) 지형분석결과 고도 6부, 7부 이상의 산복, 산정지형에서 많은 토석류 발생경향을 보였다.

2) 지질분석결과 변성암지대에서 발생한 것으로 분석되었으며, 일반적으로 변성암은 물리적 풍화에 약해 풍화심도가 타 암종에 비해 깊어 토석류 발생에 충분한 에너지를 갖는 표도형성에 유리한 특성을 가지므로 토석류 발생에 취약한 것으로 판단되었다.

3) 토질분석결과 토심은 주로 30cm이상의 토심에서 발생경향을 보였으며, 30cm이하의 토심은 너무 얇아 토석류 발생에 대한 에너지가 충분하지 않거나 토층 유실로 인해 발생이 없었기 때문이라 판단되어지고 얇은 토층보다는 30cm~1m 이내의 적당한 토층을 가지는 지역에서 토석류가 발생하는 경향을 보였다.

4) 표도토성 분석결과 사양토에서 많은 발생이 있었으며, 토양형분석결과 갈색약간산림토양과 갈색적운산림토양의 비율이 70%로 가장 많이 발생하였고 모두 갈색 산림토양으로 분석되었다.

5) 임상분석결과 수목 및 수종은 활엽수, 신갈나무종에서 발생경향을 보였다. 이는 대룡산 산지의 7~9부 능선 사이에 신갈나무 수목의 자생에 의한 영향과 소나무종에서 신갈나무 종의 천이가 일어나고 있는 점에 기인한 것으로 판단되며 일반적으로 토석류의 발생은 침엽수에서 발생이 많은 것으로 알려져 있다.

6) 토석류 발생지의 경급 및 영급 분석결과 각각 중경급, 4영급에서 발생이 많았으며 산지 별 경급 및 영급 분포 면적 분석 결과를 통해 산지 별 차지 하고 있는 경급 및 영급 비율 중 높은 치수를 가지는 경급 및 영급에서 발생이 많은 것으로 판단되었다.

7) 토석류발생은 내적요인(산림인자)에 대한 외적 요인의 작용에 의해 발생하며, 내적으로 취약구조를 가지고 있는 산지에서 토석류 발생가능성이 크므로 산림인자는 토석류 발생의 주요한 역할을 한다고 판단된다. 그러므로 토석류 발생 예측을 통해 그 피해를 줄이기 위해서는 위와 같은 연구가 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

[1] 고석민, 이승우, 윤찬영, 김기홍, "GIS를 이용한 강원지역 토석류 특성분석", *한국측량학회지*, 제31권, pp.57-67, 2013.

[2] 김경수, 김원영, 채병곤, 송영석, 조용찬, "강우에 의해 발생된 자연사면 산사태의 지질공학 분석: 용인, 안성지역을 대상으로", *지질공학학회지*, Vol.15, No.2, June, pp.105-121, 2005.

[3] 김기홍, 정혜련, 박재현, 마호섭, "경남지역 산

사태 발생지의 강우 및 지형특성분석", *한국환경복원기술학회지*, Vol.14, No.2, pp.33-45, 2011.

[4] 김원영, 채병곤, "우리나라 자연사면 산사태 지역의 강우, 지질 및 산사태 기하형상 고찰", *대한지질공학회*, 제19권, pp.331-344, 2009.

[5] 마호섭, "산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안", *한국임학회지*, 83권, pp.175-191, 1994.

[6] 마호섭, 정원옥, "국립공원 지역에 있어서 토석류제해의 특성 분석", *환경복원논총*, 제13권, pp.52-64, 2010.

[7] 박종민, 마호섭, 강원석, 오경원, 박성학, 이성재, "전라북도 지역의 산사태발생 특성분석", *농업생명과학연구*, 제44권, 제4호, pp.9-20, 2010.

[8] 산림청, <http://www.forest.go.kr>

[9] 산림청, 2011, 2011년보전산지 지정, 변경지정 해제지침.

[10] 이승우, 김기홍, 윤찬영, 유한중, 홍성재, 윤차영, "데이터베이스 구축을 통한 산사태 위험도 예측식 개발", *한국지반공학회논문집*, 제28권, 제4호, pp.23-33, 2012.

[11] 오치영, 김경탁, 최철웅, "SPOT5영상과 GIS 분석을 이용한 인제 지역의 산사태 특성 분석", *대한원격탐사학회지*, Vol.25, No.5, pp.445-454, 2009.

[12] 이문세, 김경수, 송영석, 류제천, "강우 및 식생에 의한 토질특성 변화 분석", *지질공학학회지*, 제19권, 제1호, pp.33-41, 2009.

[13] 정규원, 박상준, 이창우, "산사태 발생위험 예측을 위한 환경기준표의 작성 : 경상북도 지역을 중심으로", *한국임학회지*, 제97권, 제3호, pp.332-339, 2008.

[14] 조재규, 박상준, 손두식, 주성현, "지질과 지형이 산사태 및 땅밀림에 미치는 영향", *한국임학회지*, 제89권, 제3호, pp.323-34, 2000.

[15] 최은영, "GIS를 이용한 한국형 산사태 원인 분석", 공주대학교 대학원, 석사학위논문, 2010.

[16] 토양환경정보시스템, <http://soil.rda.go.kr>

[17] 황유정·양진실, 춘천·홍천의 지형경관, 국립환경연구원, 제2차 전국 자연환경조사 보고서, 2002.