

## 강원도 진부지역 임도변 발생 토석류 특성분석

### Analysis on the Characteristics of Debris Flows Occurred around the Forest Road in Jinbu Area of Gangwon Province

서흥석<sup>1)</sup>, Heung-Seok Seo, 윤찬영<sup>2)</sup>, Chan-Young Yune, 전경재<sup>3)</sup>, Kyoung-Jea Jun

<sup>1)</sup> 강릉영동대학 건설환경관리과 부교수, Associate Professor, Dept. of Construction Engineering, Gangneung Yeongdong College

<sup>2)</sup> 강릉원주대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University

<sup>3)</sup> 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University

**SYNOPSIS** : Because of localized extreme rainfall followed by Typhoon Ewiniar in 2006, a lot of landslides and debris flows were occurred in Jinbu area of Gangwon Province. Field investigation performed in this area found that it can be divided into three categories i.e. large debris flow, small debris flow, and debris flow around forest road. We performed field investigation especially for the sites where debris flow occurred around forest road. And the characteristics of the debris flow around forest road were analyzed and compared with the other site of debris flow.

Keywords : debris flow, landslide, forest road, field investigation

## 1. 서론

우리나라에서는 매년 집중호우와 태풍의 영향으로 많은 산사태와 토석류가 반복적으로 발생되어 커다란 인명, 재산상 피해를 야기시키고 있다. 특히 1991년의 용인, 안성지역, 1996년 연천, 철원지역의 집중호우로 인한 산사태와 토석류, 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미, 그리고 가까이는 2006년 인제, 평창지역에서 발생된 집중호우로 인한 산사태와 토석류로 인하여 많은 피해를 받았다. 이에 우리나라 여러 기관에서는 많은 연구비를 투자하여 이로 인한 피해를 감소시키기 위하여 커다란 노력을 기울이고 있다. 그 일환으로 본 연구에서도 토석류로 인한 피해를 감소, 예방하기 위한 기초적인 작업으로 강원도 일대에서 과거의 토석류 발생 지역에 대한 조사를 수행하고 있으며, 이러한 현장조사 결과를 토대로 강원지역의 토석류 발생 특성을 분석하고 있다.

본 논문에서는 2006년 집중호우로 인하여 많은 산사태와 토석류가 발생한 강원도 평창군 진부면 신기리, 봉산리 일대 지역에 대한 현장 조사결과를 소개하고, 특히 이 지역의 임도변에서 발생한 토석류에 대해 그 특징을 분석하고자 한다.

## 2. 토석류 발생상황

강원도 인제, 양양, 평창지역에서는 2006년 7월 태풍 에위니아에 이어 중부지방에 형성된 장마전선으로 일주일 이상 강우가 지속되었고, 이로 인하여 많은 재산과 인명피해가 발생하였다. 특히 7월 15~17일 사이에 많은 피해가 집중적으로 발생하였는데, 15일에는 시간당 40mm 이상의 매우 강한 강우가 2, 3시간 사이에 집중되었으며, 이로 인하여 강원도 전역에 걸쳐 수 많은 산사태와 토석류가 발생하였다. 이에 따라 사망, 실종 44명, 이재민 2,300세대 이상, 주택침수 포함 2,000채 이상, 도로와 하천은 셀 수 없을 정도로 많은 피해를 입었으며 그 피해액은 1조 수 천억원에 이르는 것으로 추정되었다.

그 당시 강원도 진부지역에서 발생한 일강우량과 누적강우량을 도시하면 그림 1과 같다. 주민들에 의하면 7월 15일 오전 11시 전후에 많은 산사태가 발생하였는데, 이 때의 강우기록을 살펴보면 15일 12시 경에 시간당 80mm이상의 강한 강우강도를 보이는 시점을 확인할 수 있었다. 또한 이 때의 시간강우량, 일강우량, 3일누적강우량은 각각 83mm, 269mm, 436mm로 산림청의 산사태주의보 기준(시간강우량: 20mm, 일강우량: 80mm, 연속강우량: 100mm)을 훨씬 넘어서는 강우에 해당된다는 것을 알 수 있다.

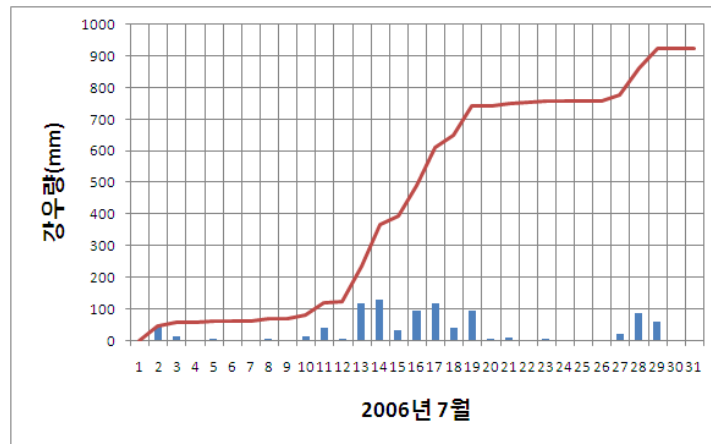


그림 1. 2006년 7월 강원도 진부지역에서 발생한 강우량

## 3. 토석류 발생 현장조사 및 분석

### 3.1 토석류 발생현장 구분

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 일환으로 수행되는 사업으로 2008년부터 시작하여 현재까지 강원도 평창군 진부면 신기리, 봉산리 일대의 토석류 발생현장에 대해 집중적으로 조사를 진행 중이다. 조사대상 구역에서는 그림 2에서와 같이 평창군 진부면에서 정선군 구절리로 연결되는 지방도 410

번 도로를 따라 많은 산사태와 토석류가 발생되었다. 연구 1, 2차년도에 걸쳐 상당수의 토석류 발생현장에 대해 상세조사를 수행하였으며 3차년도인 금년에는 이 지역 중 특히 임도변에서 발생한 토석류 현장에 대해 조사가 상당히 진행되었다.

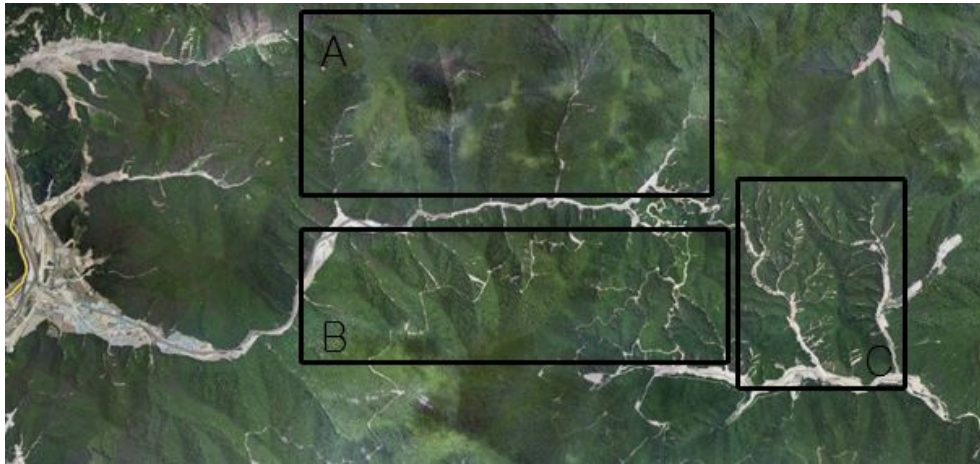


그림 2. 평창군 진부면 봉산리, 신기리 일대

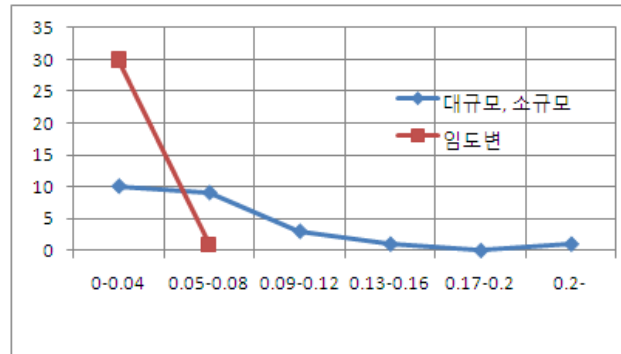
그림 2에서 보는 바와 같이 이 일대에서 발생한 토석류는 3개의 서로 상이한 특징을 갖는 구역으로 구분할 수 있었다. 즉 A영역은 대규모의 토석류가 발생된 구역으로 커다란 규모의 산사태가 도처에서 발생되어 계곡에 합류되어 상당히 긴 유역을 흘러 하부에 퇴적된 경우이다. 즉 이 경우는 파괴사면의 길이가 길며 사면의 경사와 유하부의 경사가 급하고 이에 따라 이동거리도 평균 약 1,400m로 상당히 길었으며 이들 구역의 하부지역에는 주로 도로와 교량이 설치되어 있어 이들 구조물에 많은 피해를 야기시켰다. 그리고 일부 현장에서는 하부지역에 콘크리트사방댐, 슬릿형사방댐이 설치된 경우도 있었다. 이와 같은 대규모의 토석류는 다른 구역에 비해 표토층의 두께가 두꺼운 경우에 일반적으로 많이 발생하는 경향을 보였다.

두 번째로 분류될 수 있는 내용으로는 소규모로 산사태가 발생되어 평균 220m의 비교적 짧은 거리를 이동한 후 퇴적되는 경우로서 그림 2의 C구역에 해당되는 경우이다. 이 경우는 사면파괴 규모도 작고 이동거리도 짧아 대부분 사방시설로서 발생부와 계곡부를 떼붙임과 같은 잔디로 식재하였고 계곡 중간 중간에 돌망태공을 설치하여 흐름의 속도를 완화하고자 하였다. 이 경우 하부에 설치되는 배수구는 사각형 배수로와 강재 원통형이 주를 이루었다.

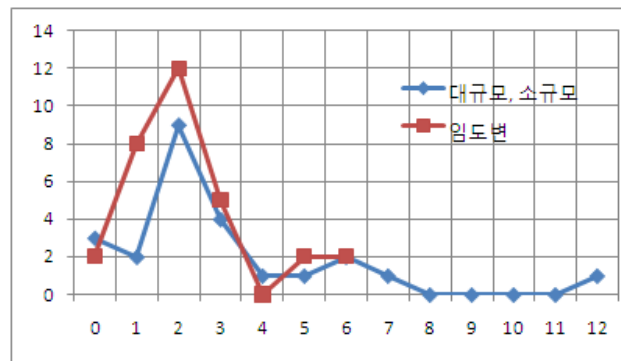
마지막으로 그림 2에서 B구역은 임도를 따라 곳곳에서 산사태가 시작되어 토석류로 전환된 구역으로 수로형의 대규모 토석류가 발생된 A구역과 하천을 마주보고 있는 지역이다. 이들 지역에서 발생부와 퇴적부의 고도차는 대규모의 토석류가 발생한 A구역과 비슷하며 토석류 발생부는 임도와 접한 사면에서 주로 평면파괴 형태로 파괴가 시작되었다. 따라서 발생부의 경사는 타 구역에 비해 상당히 가파른 분포를 보였다. 가파른 경사의 영향으로 인하여 토사이동량도 많았으며 평균 이동거리는 약 900m 정도였다. 하부 퇴적부에는 일부 지역에 콘크리트 사방댐 등이 건설되기도 하였다.

### 3.2 임도변 토석류 특징 분석

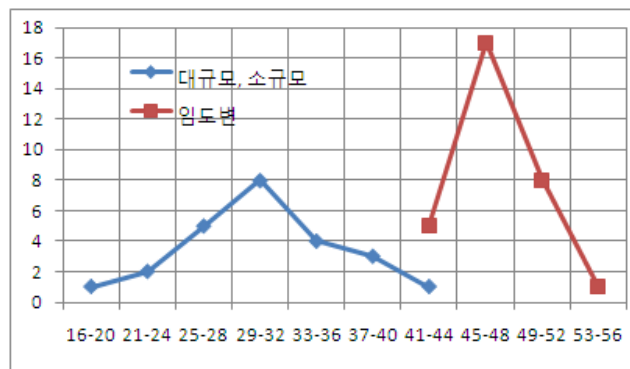
본 연구에서는 임도변을 따라 발생한 토석류 현장에 대해 상세조사를 수행하였다. 조사지역에서 임도변을 따라 사면파괴가 발생한 총 31개소의 파괴사면에 대해 파괴사면의 길이, 폭, 발생심도, 경사, 파괴형태 그리고 그 주위의 식생상태, 복구방법, 배수상태 또한 사면파괴가 발생한 임도 그 바로 위에서 또 다른 사면파괴가 발생되었는지의 여부 등도 조사하였다. 이러한 조사결과를 그림 2의 A구역과 C구역에 해당하는 대규모 및 소규모 토석류 현장 조사결과와 비교하여 그림 3에 도시하였다.



(a) 두께/길이 비



(b) 길이/폭 비



(c) 경사분포

그림 3. 사면파괴 조사자료 분석

그림 3 (a)의 사면파괴 발생부의 파괴사면의 길이에 대한 두께의 비를 살펴보면 대규모나 소규모 토석류 발생부는 0.04에서 0.2에 이르는 넓은 영역에 자료가 고르게 분포하고 있으며, 그 중에서도 0.08 이하 즉 길이에 비해 토층두께가 얇은 경우에 많은 파괴가 발생한 것으로 나타났다. 이에 비하여 임도변에서 발생한 토석류는 0.09이상의 비를 갖는 경우는 전혀 없고, 95% 이상의 대부분 자료가 0.04이하로 나타나 토층두께가 상대적으로 매우 얇은 경우에 대부분의 토석류가 발생하고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

토석류 발생부 파괴사면의 폭에 대한 길이의 비를 그림 3 (b)에 나타내었는데 대규모, 소규모 토석류 구역과 임도변 토석류 발생구역에서 얻어진 자료는 비슷한 경향을 보였다. 즉 작은 길이/폭 비에서는 많은 토석류가 발생하였고, 큰 길이/폭 비에서는 토석류의 발생횟수가 매우 적은 것으로 나타났다. 또한 임도변에서 발생한 토석류가 대규모, 소규모 토석류보다 작은 길이/폭의 비에서 다소 많은 것으로 나타났다.

토석류 발생부의 경사를 조사하여 그림 3 (c)에 도시하였는데 그림에서와 같이 대규모, 소규모 토석류에서는 대부분 44° 이하로 나타났으며 29~32°에서 가장 많이 분포하였다. 그러나 임도변 토석류에서는 이보다는 훨씬 큰 41°로부터 53°까지 분포하였으며 45~48°에서 가장 많은 분포를 보여 자연상태가 아닌 인위적인 도로구조물 주위에서 사면이 파괴되는 경우 경사도 가파르고 이에 따라 이동거리, 이동 속도도 커져 하류부에서 더 많은 피해를 야기시킬 수 있다는 것을 짐작할 수 있었다.

임도변 토석류 발생현장을 조사하면서 임도변 하부에서 사면파괴가 발생되어 토석류로 전환된 31개소의 경우에 그 상부에도 24개소에서 사면파괴가 발생한 것을 확인할 수 있었는데, 이들이 토석류로 전환된 이유는 상부에서 파괴된 토사가 임도를 넘어 흐르면서 임도 하부의 사면파괴를 일으켜 이것이 토석류로 발전된 것으로 보이며 또한 임도와 임도 하부사면의 접촉부의 틈을 따라 침투된 우수도 파괴를 유발시키는 또 하나의 원인이 되었을 것으로 판단된다. 여기에 추가하여 임도가 오목하게 굴곡된 일종의 계곡형 부위에서는 우수의 집수가 용이한 형상으로 인하여 이 또한 파괴를 유발하는 요인으로 작용하였을 것이다.

### 3.3 임도변 발생 토석류 현장 소개

본 연구에서 토석류 발생현장에 대해 조사한 내용 중 임도변에서 사면파괴가 발생되어 토석류로 전환된 대표적인 현장을 소개하고자 한다. 그림 4에서와 같이 이 현장에서는 임도변의 상부에서 사면파괴가 발생되어 임도를 넘어 임도변을 따라 그림에서 ①, ②의 위치에서 다시 사면파괴를 일으켜 계곡을 따라 유하하였으며 그림에서 ③의 위치에서는 임도와 관련없이 사면파괴가 발생되어 결국 세 위치에서 사면파괴가 발생되어 토석류로 전환된 경우이다.



그림 4 임도변 발생 토석류 현장 현황

그림 4의 ①, ② 위치의 임도 상부에서 발생한 사면파괴 모습을 그림 5 (a)에 그리고 임도변 하부에서 발생한 사면파괴 모습을 그림 5 (b)에 나타내었다. 임도변 하부에서는 임도를 따라 사면파괴가 발생되었으며 그 경사는 45, 51°로 자연사면에서 파괴가 발생한 ③에서의 경사 31° 보다 14~20° 정도 상당히 가파랐다. 파괴사면의 길이도 89, 85m로 비교적 긴 편이었다.

유하부 곳곳에서도 사면파괴와 침식이 발생되어 계곡에서 합류하였으며 그 현황을 그림 6에 소개하였다. 계곡의 끝 부분에는 콘크리트 사방댐이 설치되어 있었으며 이 현장은 2006년도에 파괴가 발생한 곳이었지만 그 이후로도 토사유출이 계속 발생되어 사방댐의 내부에는 상당량의 토사가 채워져 있었다. 추후 집중호우시를 대비해서라도 사방댐을 채운 토사를 비워 대비해야 될 것으로 보인다. 또한 사방댐 하류부에는 계곡을 따라 계곡 침식이 일부 일어나는 모습을 볼 수 있었다(그림 7).



(a) 임도 상부 사면파괴 전경



(b) 임도 하부 사면파괴 전경  
 그림 5 토석류 발생부 구역 모습



그림 6 토석류 유하부 구역 모습



(a) 사방댐 상부 계곡모습



(b) 사방댐 상부 퇴적토사



(c) 사방댐 하류부 침식모습

그림 7 토석류 발생 하부지역 모습

#### 4. 결론

본 논문에서는 2006년 집중호우로 인하여 강원도 평창군 진부면 봉산리, 신기리에서 발생한 토석류 현장에 대해 현장조사를 수행하였으며 특히 임도변에서 발생한 토석류 자료를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 토석류 발생현장은 크게 대규모 토석류, 소규모 토석류 그리고 임도변에서 발생한 토석류 구역으로 구분할 수 있었으며 각기 상이한 특징을 보였다.
- 2) 임도변에서 발생한 토석류 현장에서는 파괴사면의 폭에 대한 길이의 비가 대부분 0.04이하로 나타나 다른 토석류 발생현장에 비하여 파괴사면 길이는 긴 반면 토층두께는 이에 비해 상대적으로 상당히 작다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 토석류 발생부의 경사는 대규모, 소규모 토석류에서 대부분  $44^\circ$  이하였으며,  $29\sim 32^\circ$ 에서 가장 많이



분포하였다. 그러나 임도변 토석류에서는 이보다는 훨씬 큰 41°로부터 53°까지 분포하였으며 45~48°에서 가장 많은 분포를 보여 대규모나 소규모 토석류의 경우 보다 상당히 가파른 경사로 사면파괴가 발생된다는 것을 알 수 있었다.

- 4) 임도변 토석류 발생현장에서는 임도변 하부에서 사면파괴가 발생되어 토석류로 전환된 경우에 그 상부에도 31개소 중 24개소에서 파괴가 일어난 것으로 조사되었다. 이들이 토석류로 전환된 이유는 상부에서 파괴된 토사가 임도를 넘어 흘러 임도 하부에서도 사면파괴를 일으켰을 것으로 판단된다. 또한 여기에 추가하여 임도가 오목하게 굴곡된 일종의 계곡형 부위에서는 우수의 집수가 용이한 형상으로 인하여 이 또한 이들 지역에서 파괴를 유발하는 요인으로 작용하였을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원('08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 서홍석 외 2인, 2006년 집중호우로 발생된 강원도 진부지역의 토석류 특징 분석, 2009년 한국지반공학회 가을학술발표회, pp.1041~1050
2. 유병욱 외 2인, 2006년 강원 인제, 양양, 평창지역 토석류 발생사례 분석, 2006년 한국지반공학회 가을학술발표회, pp.615~625.
3. Costa, J. E. (1984), *Physical geomorphology of debris flows, Developments and Applications of Geomorphology*, Eds., Costa, J. E. and Fleisher, P. J., pp. 268-317.
4. Enos, P. (1977), "Flow regimes in debris flow," *Sedimentology*, Vol. 24, pp. 133-142.
5. Fisher, R. V. (1971), "Features of coarse-grained, high concentration fluids and their deposits," *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 41, No. 4, pp. 916-927.
6. Ikeya, H. (1981), "A model for designation for area in danger of debris flow," *International Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*, IAHS-AISH Publication 132, pp. 576-588.
7. Jackson, L. E., Jr. (1979), "A catastrophic glacial Outburst floods(Jokulhlaup) mechanism for debris flow generation at the Spiral Tunnels, Kicking Horse River Basin, B.C.," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 16, pp. 806-813.
8. Mizuyama, T. (1981), "An intermediate phenomenon between debris flow and bedload transport," *In international Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*, IAHS-AISH Publication 132, pp. 212-224.
9. Okuda, S., Suwa, H., Okinishu, K., Yokoyama, K. and Nakano, M. (1980), "Observations on the motions of Debris flow and its geomorphical effects," *Geomorph. N. F., Supp. 1*, Vol. 35, pp.

142-163.

10. Pierson, T. C. (1980), "Erosion and deposition by debris flows at Mt. Thomas," North Canterbury, New Zealand, *Earth Surface Process*, 5, pp. 227-247.
11. Pierson, T. C. (1981), "Dominant particle support mechanism in debris flow at Mt. Thomas, New Zealand, and implications for flow mobility," *Sedimentology*, Vol. 28, pp. 49-60.
12. Pierson, T. C. (1983), "Soil pipes and slope stability," *Quarterly Journal of Engineering Geology*, London, Vol. 16, pp. 1-11.
13. Pierson, T. C. (1985), "Field techniques for measuring debris-flow dynamics," *Proceedings of the International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention*, Tsukuba, Japan, pp. 203-207.
16. Sharpe, R. P. and Nobles, L. H. (1953), "Mudflow of 1941 at Wrightwood, Southern California," *Bulletin of Geological Society of America*, Vol. 64, pp. 547-560.
14. Swanson, F. J. and Lienkaemper, G. W. (1978), "Physical consequences of large organic debris in Pacific Northwest Streams," U.S.D.A. Forest Service, *General Technical Report PNW 69*.