

## 2006 강원 인제, 양양, 평창지역 토석류발생사례분석

### Case Study on Debris flows during Heavy Rain in Inje, Yangyang and Pyeongchang Areas during 15~17, July, 2006

유병옥<sup>1)</sup>, Byung-Ok, You, 송평현<sup>2)</sup>, Pyung-Hyun Song, 정찬규<sup>3)</sup>, Chan-Gyu Jung

<sup>1)</sup> 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원, 공학박사, Korea Highway Corporation, Direct Researcher, PhD., Highway & Transportation Technology Institute

<sup>2)</sup> (주)세일엔지니어링 이사, 토질 및 기초 기술사, Seil Engineering & Consultants CO.LTD, ASST Manager, Professional Engineer (Soil & Foundations).

<sup>3)</sup> (주)선진엔지니어링 이사, 토질 및 기초 기술사, Sunjin Engineering & Consultants CO. LTD, ASST Manager, Professional Engineer (Soil & Foundations).

**SYNOPSIS** : 2006년 7월 15일~17일 사이의 집중적인 호우는 강원도 지역에 많은 피해를 주었는데, 특히 강원도 인제, 양양, 평창지역에서의 피해로 수십명의 인명피해와 재산피해를 발생시켰다. 최근 들어 발생하는 집중호우로 인한 피해 중 토석류에 의한 피해가 많은 이유 중에는 지구온난화로 인한 100mm에 가까운 시간당 강우량을 보이고 있어 국내 산악지가 형성된 구간에서는 어느 지역이나 토석류가 발생할 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다. 그러므로 본 논문은 2006년 7월에 발생한 강원도 인제, 양양 지역을 중심으로 토석류 피해에 대하여 자료를 수집, 분석하였으며 토석류 발생기구 및 유형에 따른 피해 정도와 저감방안에 대한 고찰을 실시하였다. 앞으로 빈번해지는 토석류에 대한 관리체계의 확립 및 보완대책과 토목공사시에 반영될 수 있는 방안 등을 모색해야 할 것이다.

**Keywords** : debris flow, landslide, disaster, severe rain storm, mass movement

## 1. 서 론

2006년도 7월에 발생한 태풍 에위니아와 중순의 집중호우로 인하여 강원도 인제, 양양, 평창지역을 중심으로 많은 재산 및 인명피해를 가져 왔다.

국토의 70% 이상이 산지로 구성된 국내의 경우, 경사지와 관련된 붕괴와 집중호우에 따른 토석류의 발생으로 인하여 매년 피해를 입고 있으며 특히, 강원지역에 집중적으로 피해가 발생하고 있는 실정이다.

강원도에 산사태가 많이 발생하는 구조적인 원인은 동해안과 나란히 길게 펼쳐져 있는 높은 태백산맥이 서남쪽에서 접근해 오는 장마전선이나 태풍을 가로막아 속도를 느리게 하는 동안 많은 습기가 비를 내리게 하기 때문인 것으로 분석된다.

이에 따라 풍화물질이 집적해 있는 사면 상부의 큰 분지로부터 물로 포화된 토양 및 암석의 흐름이 발생하는 토석류가 하류에 많은 피해를 유발한다.

2006년 7월 15일, 16일, 17일에 강원도 전역에 걸쳐 집중적으로 강우가 내렸으며, 특히 15일 두세 시간 동안 시우량 80mm, 90mm, 100mm 정도가 집중적으로 내려 산사태, 토석류가 발생하였다.

이에 따라 사망, 실종 44명. 이재민 2300세대 이상, 주택침수포함 2000채 이상. 도로와 하천은 셀 수 없을 정도로 피해를 입었으며 그 피해액은 1조 수천 억원에 이르는 것으로 추정되었다.

## 2. 토석류발생기구

사면이 움직인 정도 및 유형에 따라 다음과 같이 산사태와 토석류로 구분되며 산사태와 토석류는 주

로 집중 호우시 대규모로 발생하여 막대한 인명 및 재산피해를 유발한다.

## 2.1 산사태

흙이나 암석이 불안정한 경사면을 따라 아래쪽으로 이동하는 매스 무브먼트(mass movement)를 산사태라 하며 landslide이라고도 한다.

산사태는 암석구조, 구성물질의 응집력, 구배의 정도, 함수량, 사면의 아랫부분이 자연적 또는 인공적으로 깎인 정도, 상대적 이동률, 구성물질의 상대적 양의 차이 등에 의해 일어나며 이러한 변수에 따라 여러 가지 용어가 적용된다.

포행(匍行)·토석류(土石類)·이류(泥流)·솔리플렉션·암설사태라는 학술어도 사용되는데, 이 매스 무브먼트는 유동에 따른 현상들이다.

암석 표면에서 암석이 갈라져 이동하면 이동한 덩어리는 암설류가 된다. 질벽이 하천·빙하 또는 파도에 의해 깎여 가파르게 되면 암석덩어리가 자유 낙하하여 낙석 형태의 산사태를 이루게도 된다.

## 2.2 토석류

오랫동안 풍화작용(風化作用)을 받아 흙과 암석편이 많이 생긴 산사면이 폭우나 장마로 인해 물로 포화되어 그 무게가 마찰력을 지탱하지 못하여 흘러내리는 현상을 토석류라 하며 장년기(壯年期) 지형 산사면에서 때때로 일어나는 산사태의 일종이다.

토석류는 수로형 토석류(channelized debris flow)와 사면형 토석류(open slope debris flow)로 다음과 같이 구분(Evans, 1982)된다.

### 2.2.1 사면형 토석류(open slope debris flow)

사면형 토석류는 수로에서 발생하는 것이 아니고 사면내에서 발생하여 토석유출에 비해 그 이동거리가 비교적 짧으며 수로형에 비해 규모가 작고 이동거리는 주로 사면의 경사도에 좌우된다.

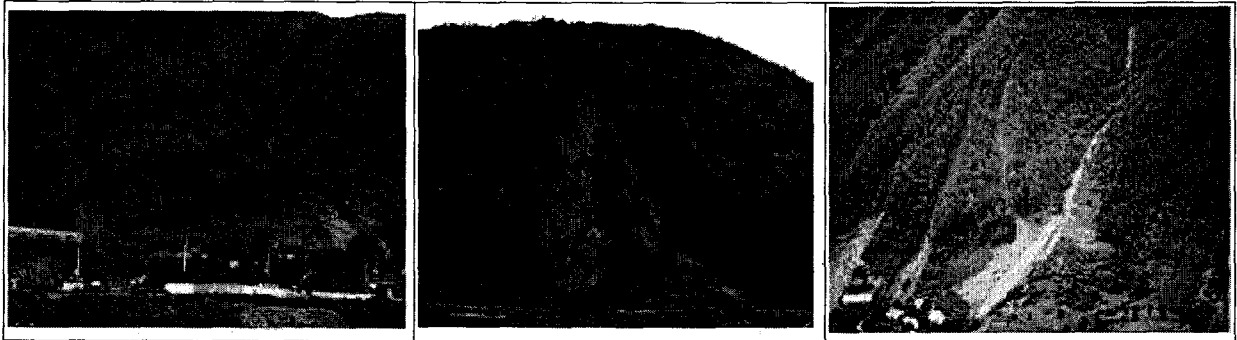


그림 1. 사면형 토석류 사례

### 2.2.2 수로형 토석류(channelized debris flow)

수로형 토석류는 수로를 기반암까지 침식시키고 발생지점에서 수십 내지 수백 킬로미터 정도까지 이동하는 토석류를 가리킨다.

이러한 토석류를 특히, “토석유출(debris torrents)”로 정의(Swantson, 1974) 하였고, 토석유출은 “물에 포화된 굵고 거친 입자의 물질이 빠른 속도로 경사면과 수로, 협곡 등을 따라 내려오는 산사태의 일종”(Van Dine, 1985) 이라 하였다.

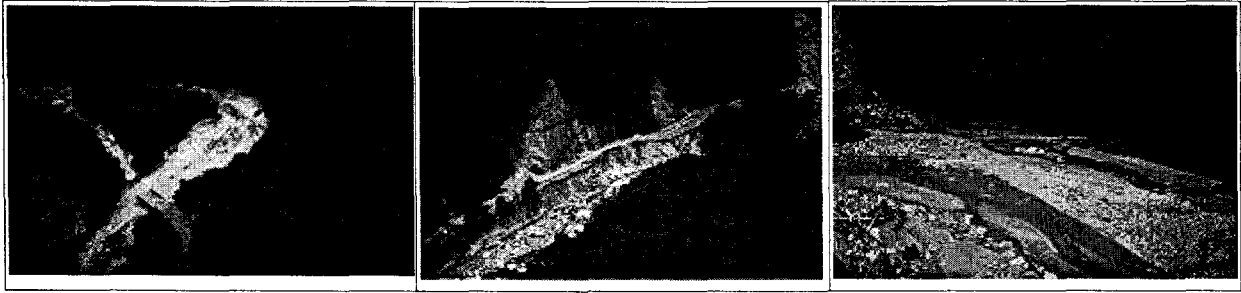


그림 2. 수로형 토석류 사례

### 2.2.3 우수에 따른 지반의 거동특성

강우 침투가 발생하면 사면은 물과 공기의 흐름이 동시에 발생하는 불포화 조건이 형성되며 이때 강우에 의한 모관 흡수력의 감소는 사면 안정성에 절대적인 영향을 미친다. (완전 건조사면이나 포화된 사면과는 다른 거동특성을 보임)

일반적으로 강우로 인한 사면 파괴는 다음과 같은 원인에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

- ① 강우 침투로 침윤전선이 임계깊이에 도달하여 음의 간극수압이 소멸되고 이로 인한 강도의 감소로 인하여 파괴가 발생한다.
- ② 건기시 불포화토는 평형상태에서 간극수압이 음으로 작용하여, 유효응력을 증가시키는 역할을 하고 있어 사면이 안정하지만
- ③ 우기시 우수가 지반내로 침투함에 따라 함수비가 높아지면, 모관 흡수력에 의해 유발되는 부 간극수압이 작아져 전단강도 또한 작아지므로 이에 따라 파괴가 발생한다.
- ④ 또한 강우강도가 큰 경우 계곡으로 물이 집중되어 높은 수위와 빠른 유속으로 흙, 자갈, 바위, 나무 등과 함께 흐르는 토석류(土石流)가 발생하기도 한다.

### 2.2.4 침 식

우수가 한 곳으로 집중하여 흐르는 경우 침식에 의한 사면의 유동 및 토석류가 발생하며 침식의 원인 및 종류는 다음과 같다.

#### 가) 침식일반

침식에너지는 위치에너지와 운동에너지로 분류되며 대부분의 운동에너지는 마찰에 의해 소멸되고 유수의 3~4% 에너지와 떨어지는 빗방울 에너지의 0.2%만이 토양의 침식작용에 쓰이게 된다. 대부분의 빗방울 에너지는 토사입자의 분리현상에 소모되며 세류에서의 유수가 침식을 야기하는 가장 큰 에너지로 작용하게 된다.

#### 나) 세류침식 (Rill Erosion)

일반적으로 세류는 사면정상으로부터 한계거리만큼 떨어진 곳에서 지표면 흐름이 수로화(channelled) 되는 현상을 말한다.

지표면 흐름은 작은 수로나 세류를 형성하면서 분산되기 시작하며 사면 하류부로의 주 흐름이외에도 횡적인 이차수로가 형성되며 이러한 수로들의 합류지점에서는 유량이 커지면서 토립자의 이송능을 증대 시키게 되고 작은 수로나 도랑은 세굴 되기 시작한다.

전단속도가 3.5cm/sec는 비점착성 토질에 적용되는 세류발생의 한계기준이다. 점토질이 높은 토질을 제외하고는 세류발생의 한계전단속도( $u_{cr}$ )와 토양의 전단강도( $\tau_s$ )는 비례한다는 것도 알려져 있다.

$u_{cr} = 0.89 + 0.56 \tau_s$  : Toe vane을 사용한 경우의 상관관계식

$u_{cr} = 0.9 + 0.3 \tau_s$  : Shear vane을 사용한 경우의 상관관계식 (전단강도 단위는 kpa)

위의 식은 침투율을 초과한 지표류에 의하여 세류가 발생한다는 가정하에 이루어진 연구들이다. 세류는 입자의 크기에 관계없이 토사를 이송하여 크기는 직경 9cm의 압편 까지도 이송된다. 연구에 의하면

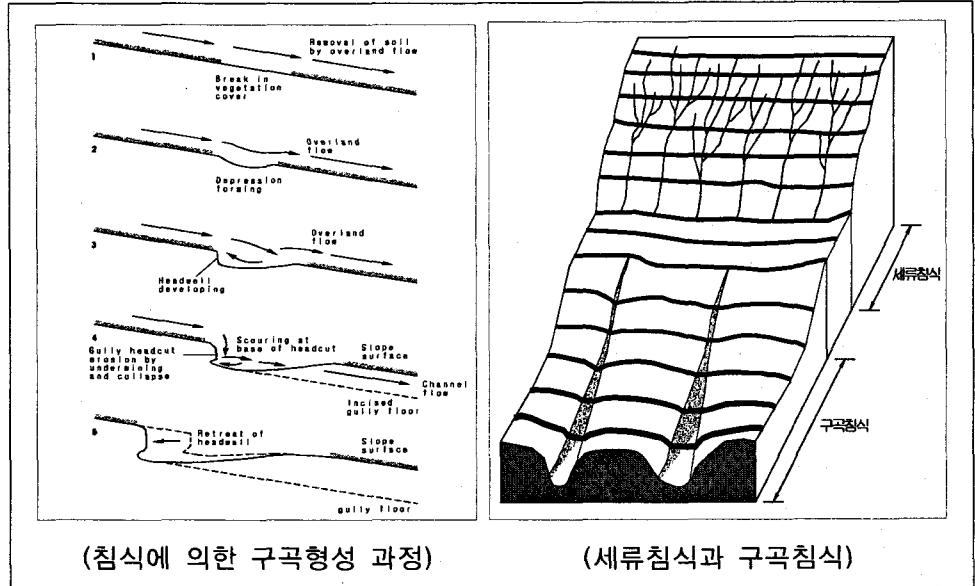
세류에 의한 토사이송은 전체 침식량의 54~78%를 차지한다고 한다.

### 다) 구곡침식(Gully Erosion)

구곡은 비교적 급경사 측면의 수로로 우기에만 물이 흐르는 특성이 있으며 구곡의 주 형성 원인은 기후나 토지사용 용도변경에 따른 유출의 과다에 기인한다.

구곡은 Head cut이 나타나며 수로폭이 좁고 수심이 깊으며 많은 유사량을 보이고 각종 수리적 특성의 편차가 심하며 침식이 빨리 진행되어 주변의 지형이 불안정한 형상을 나타낸다.

구곡형성과정은 복잡한 발전과정으로 이루어져 있는데 국부적인 식생피복의 파괴, 방목, 화재로 인하여 사면에 형성된 약한 부위에서 조그마한 웅덩이가 형성되어 이곳에 물이 고이기 시작하여 결국 수로를 형성하게 된다.



(침식에 의한 구곡형성 과정)

(세류침식과 구곡침식)

그림 3. 구곡형성 과정 및 침식

이렇게 패인 웅덩이의 상류부 쪽에 침식이 집중되어 거의 수직에 가까운 Head wall을 형성하게 되며 이 흐름이 사류상태가 되어 침식을 더욱 촉진하게 된다.

Head wall에서의 침식은 대부분 Head wall하단에서 발생하는 2차류에 의하여 상류방향으로 진행되어 소용돌이치면서 하부의 사면에 수로를 형성하며 얇은파괴 형태의 붕괴를 유발한다.

### 2.2.5 토석류의 특징

일반적으로 토석류는 호우 등으로 인해 높은 간극수압이 형성될 때 발생하며 높은 간극수압을 유발하는 원인으로는

- ① 물이 수직방향으로 침투하여 흙이 포화되는 경우,
- ② 표토층과 상대적으로 불투수성인 기반암의 두께가 얇아 유선망의 집중으로 인한 국부적인 간극수압이 증가되는 경우,
- ③ 파쇄가 심한 기반암의 균열을 통해 물이 침투되는 경우 등을 들 수 있으며 이때 유수는 지표면과 평행하게 이동하게 되며 이것이 토석류를 유발하는 주요인이 된다.

#### 가. 토석류의 구성물질 및 이동

토석류의 구성물질은 주로 지역적인 지질학적 구성과 식생의 상태에 따라 좌우되는 되며(Lister et al., 1984), 발생지역의 지형, 지질학적 특성, 경사도등에 따라 다양한 물질로 구성되어 이동한다.

구성물질은 조립질의 유기 및 무기물질로 구성되며 입자의 크기는 세립질로 부터 암괴크기의 입자까지 다양한 크기를 보인다.

#### 나. 토석류의 속도

대부분 0.5~20m/sec 사이의 속도를 가지고 이동하는 것으로 알려져 있다.

## 2.3 집중호우

보통 하루의 강우량이 100mm를 초과하면 집중호우라고 하며 하루 동안에 연간 강수량의 8% 이상이 내리게 되면 집중호우로 인한 피해가 나타난다.

우리나라의 강우 특색의 하나는 1년 중 우기가 6월에서 9월로 한정되며 이때 년 강수량의 60%가 내린다는 것이다. 특히, 7월 중 강수량은 연강수량의 약 28%를 차지하여 우기 중의 우기가 된다.

이렇게 여름철에 비가 많이 오는 이유는 6월 하순에 시작하여 7월 말경에 끝나는 장마, 7~8월에 내습하는 태풍, 잦은 저기압의 통과와 국지적인 뇌우 때문이다.

또, 우리나라의 여름비는 짧은 시간 내에 좁은 지역에 많은 비가 오는 집중호우가 많다. 집중호우의 원인으로는 강한 기압골의 형성, 난기류를 유입시키는 남서풍, 난기류와 부딪쳐 강우전선을 활성화시키는 한기류의 존재, 지형적인 영향, 기압골의 장시간 정체 등을 꼽는다. 이러한 요인이 겹치면 더욱 엄청난 호우를 가져온다. 2006년 7월에 내린 강원지역의 강우현황은 다음과 같이 일주일동안 년평균 강수량의 거의 50%가 내렸음을 알 수 있다.

표 1. 피해지역 일대의 강우현황

구분 (관측소명)	1시간 최대(mm)		1일 최대(mm)		누적강우(mm)	
	강수량	발생일	강수량	발생일	강수량	발생일
평창군 대화면(대화 관측소)	76	7.15	261	7.16	593	7.14~7.20
횡성군 청일면(춘당 관측소)	60	7.15	286	7.15	636	7.14~7.20
인제군 남면(인제 관측소)	48	7.15	178	7.15	440	7.14~7.20

### 2.3.1 지역별 강우자료분석

피해가 주로 발생한 7월 15일과 16일의 강우량을 일 강우량과 시간당 강우량(시우량)으로 분석한 결과 강우강도는 최대 76mm/hr의 강수량을 보임을 알 수 있다.

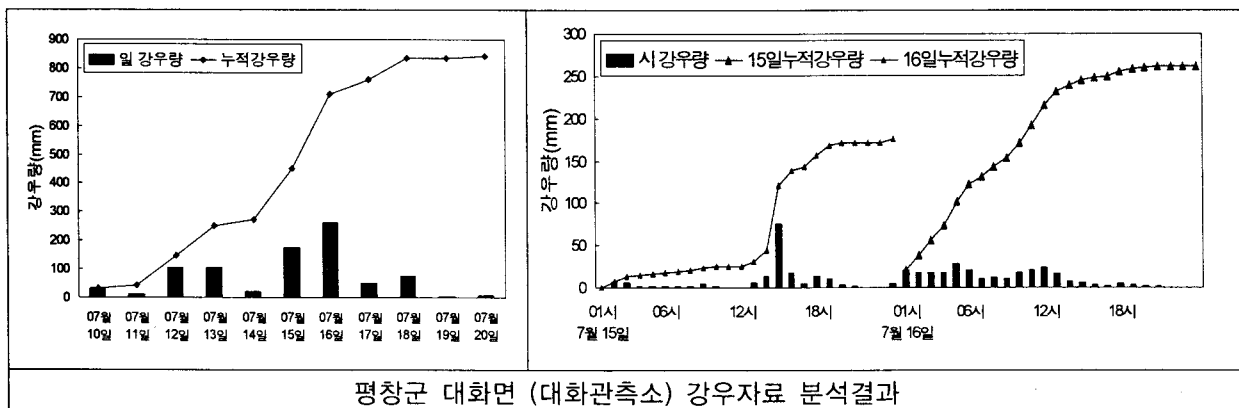


그림 4. 강우자료 분석결과

### 2.3.2 집중호우에 의한 토석류 발생

집중호우가 발생하는 경우 토석류의 발생환경에 쉽게 노출되며 실제로 이번 강원도 수해지역에서 발생한 토석류는 그 규모와 피해정도가 매우 심한 편이었다.

수백톤 규모의 바위들이 장난감 옮겨놓듯 계곡에서 도로 위로 올려놓은 자연의 힘은 실로 대단하다 하지 않을 수 없으며 이는 도로변 산비탈의 경사가 너무 가파르고 지표에 암반이 노출된 산악 지형에서 집중호우가 발생했기 때문에 나타난 현상으로 분석된다.

또 “하루 최대 강우량과 누적강우량, 시우량(시간당 강우량) 가운데 시우량의 영향이 토석류의 발생을 일으키는 주요 원인이므로 향후 이에 대한 자료분석 및 영향을 분석해야 할 것으로 판단된다.



그림 5. 한계령 정상부근에서 발생된 토석류에 의한 암괴크기

### 3. 이상기후와 경사지 붕괴사례

최근 기상이변에 의하여 경사지 붕괴와 관련하여 강우량은 연간 강우량 보다는 국지적인 집중호우가 경사지 붕괴에 더욱 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다.

#### 3.1 강우시 경사지 붕괴에 대한 기존사례분석

우리나라에서 발생했던 우기시 사면 파괴의 특징을 요약하면 다음과 같다.

표 2. 최근의 국내 사면붕괴로 인한 붕괴형태

구 분	개 요	파괴면형태	고 찰
1991년 용인-안성지역 산사태	- 발생개소 : 2600여개 - 단시간의 집중호우시 발생, 당일 우량은 114mm	- 평행활동 : 20% - 유동형태 : 50% - 평행+유동형 : 30%	- 단시간의 집중호우로 인해 발생 - 활동깊이 : 2.0m 이하
태풍루사 (2002년) 태풍매미 (2003년)	- 발생개소 : 196개소(강원도 :65개소, 경남:75개소,경북:56개소) - 집중호우시 발생	- Slide파괴 : 68% - 표층유실 : 12% - 토석류 : 12% - 기 타 : 8%	- 활동깊이 : 2.5m 이하 - 구배완화보다 표면보호시설 및 배수시설 설치추천(계곡부에는 사방시설권장)

#### 3.2 2006년 강원지역 경사지 붕괴현황

2006년 강원도 일부 지역의 경사지 붕괴와 관련된 피해는 다음과 같다.

표 3. 강원도 일대의 경사지 붕괴 현황

구분	횡성군	영월군	평창군	진부면	정선군
붕괴 현장 수	26	13	32	46	32
비율(%)	17	9	22	31	21

붕괴 규모를 분석한 결과, 발생원에서 지표면까지 20m 이내의 높이가 48.3%이며 사태 물질의 이동경로가 40m까지 도달한 현상이 51.7%이다. 붕괴 폭을 분석한 결과 5~13m에 달하는 규모가 전체의 49.7%에 달하고 있는 것으로 조사되었다. 붕괴 심도는 0.6~1.0m의 붕괴 심도를 가지는 것이 전체의 44.8%에 달하고 있는 것으로 나타났다.

붕괴 높이에 비하여 사태물질의 이동거리가 긴 것은 이동물질과 지표수가 혼합되어 Flow 형태로 이동된 것으로 유추할 수 있다.

### 3.3 2006년도 강원지역 토석류 피해발생사례

토석류에 의한 피해의 발생은 주로 산지에서 발생하였으며 발생 토석류가 구조물 및 재산상의 피해를 일으킨 것은 약 40%에 이르는 것으로 분석되었다. 토석류의 발생으로 다음과 같이 도로가 파손되고 인명피해를 유발하였으며 기타 재산상의 막대한 피해를 유발하였다.

표 4. 경사지 붕괴 발생위치별 현황

발생위치	산지	국도	마을도로	국지도/지방도	주택가 경사지
갯수	81	29	16	12	7
비율(%)	56	20	11	8	5



그림 6. 토석류 및 집중호우에 의한 여러 가지 피해사례

## 4. 토석류 대책방안 제안

### 4.1 피해방지사례

지난 2002년 태풍 ‘루사’ 이후 200년 발생 빈도의 홍수를 전제로 하천, 둑 등을 복구하도록 기준을 강

화했으나 최근 산간 계곡에서는 홍수 이외에도 유실된 나무, 바위, 토사 등에 의한 다리붕괴, 하천범람 등의 피해가 크게 늘고 있어 이 부분을 고려한 새로운 기준을 마련해야 할 필요가 있다. 강원도 인제군 인제읍 어두원리와 덕산리는 수해 예방의 중요성을 일깨워 주는 좋은 사례다. 인제군은 지난해 2억600만 원을 들여 어두원리 마을 뒤쪽 계곡에 사방댐의 하나인 ‘버트레스댐’을 건설했다. 너비 38m, 높이 6m의 이 댐은 홍수와 산사태로 떠내려 오는 나무(유목)를 막기 위한 것이다. 이에 따라 지난 7월 집중호우에도 어두원리는 전혀 피해를 보지 않았다. 반면, 덕산리는 마을 뒤 계곡에서 산사태와 토석 유출이 발생해 주민 2명이 숨지고 1명이 실종되는 피해를 입었다. 마을 중앙에는 너비 3m 정도의 개울이 있었으나, 유목과 토석이 개울에 차고 넘쳐 민가들을 덮쳤다. 평소 물이 졸졸 흐르던 조그만 개울이어서 사방댐을 건설하기 위한 계곡폭의 적정치인 30m에 훨씬 못 미쳐 사방댐을 설치하지 않았으나, 이번에 수해를 입게 되었다.



그림 7. 사방댐이 설치된 지역과 설치되지 않은 지역의 피해비교

그림 7. 사방댐이 설치된 지역과 설치되지 않은 지역의 피해비교

#### 4.2 토석류 대책방안

과거의 토석류에 대한 대책은 토석류의 발생자체를 억지하려는 방안이 주를 이루었으나 현대의 토석류 방호대책은 방류량과 토석류의 흐름을 조절하고 제어함으로써 이로 인한 피해를 경감시키거나 능동적 또는 수동적 방법을 사용하여 시설물을 보호하려는 방안으로 발달하고 있다(Fiebiger, 2001).

능동적인 방법으로는 소계곡에 종단상으로 여러 개의 제방을 쌓아 방류나 토석류의 흐름을 유도 제어하거나, 토석류를 퇴적시킬 수 있는 넓은 공간을 확보하거나, 토석류의 전면부를 저지하고 물과 조립질 물질들을 분리할 수 있는 억지책을 설치하는 방법 등이 있다.

수동적인 방법으로는 위험대상지역을 깨끗이 제거하거나, 토석류의 피해가 예상되는 위험지역내 토지사용을 규제하거나, 토석류 발생 경고 시스템을 마련하는 방법 등이 있다. (Schmidt, 2002)

능동적인 방법을 다시 세분화하여 정리해 보면, 크게 2가지로 나눌 수 있다.

첫 번째 방법은 소규모의 체크댐을 여러 개소에 설치하여 방류량을 줄임으로써 침식을 방지하고 하류지역의 피해를 방지하는 방안이다. 이 경우 조림(造林)을 다시 실시함으로써 사면 표층부를 안정화 시키고, 계상면(溪床面)을 거칠게 조성하여 유속을 줄임으로써 유속의 끄는 힘을 임계값 밑으로 낮추는 방법이 병행되는 것이 바람직하다[CADENAS DE LLANO(1993) Deymier et al(1995), 마쯔시타(1998)]



그림 8. 체크댐 설치(例)



두 번째 방법은 비교적 하류지역인 선상지나 퇴적지의 적절한 장소에 토석류를 억제하거나 조절할 수 있는 제어시설, 예를 들면 사방댐을 설치하는 방법이다(VanDine, 1996). 사방댐은 하상구배(河床勾配)가 큰 계곡에서 급류로 인한 종·횡침식으로 계상(溪床)과 계안(溪岸)에서 발생하는 돌, 자갈, 모래, 흙 등과 같은 침식 및 붕괴물질을 억제하여 산사태로 인한 토석류 피해를 저지하기 위하여 계곡을 횡단하여 설치하는 구조물을 말한다. 이때 반드시 고려해야 할 사항은 토석류의 전면부를 저지시키고, 조립질 물질을 강제로 퇴적시키기 위해서 토석류의 경사(gradient)를 급격하게 줄여야 한다는 점이다.

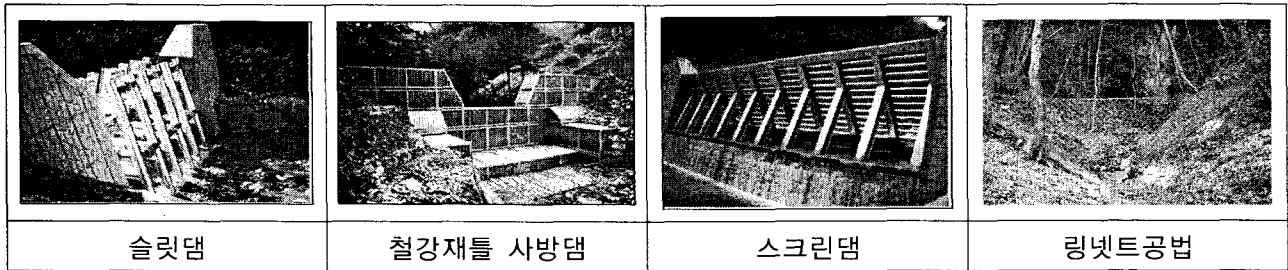


그림 9. 여러 가지 토석류에 대한 대책방안

특히, 산악지 협곡의 수로(水路)에 대해서는 링넛트가 최적인 것으로 판단된다. 링넛트 토석류 방호책은 근래 선진국에서 토석류 방호책으로 활발히 연구·적용되고 있는 공법으로 유지보수가 용이하며 토석이 발생하였을 때 퇴적된 section만 분리하여 토석을 손쉽게 빠르게 제거할 수 있는 장점이 있다. 또한 투과형 구조로 되어 있어 계곡 내 서식하는 생태계 동물들의 이동경로를 확보할 수 있고, 앵커로 고정되는 시스템 구조로 인해 하상굴착을 최소화할 수 있어 생태계 훼손을 방지할 수 있다. 자재의 경량성으로 운반 및 설치비를 감소할 수 있으며 시공여건이 열악한 현장에서도 설치가 용이하고 공정이 단순하여 공기가 짧다. 기존의 방호책이 강성의 원리를 이용하는 반면 링넛트 토석류 방호책은 유연성 원리를 이용하기 때문에 토석류 저지 능력을 최대한 증대시킬 수 있으며 토석과 유수를 분리하여 배수구조물의 막힘을 방지한다.

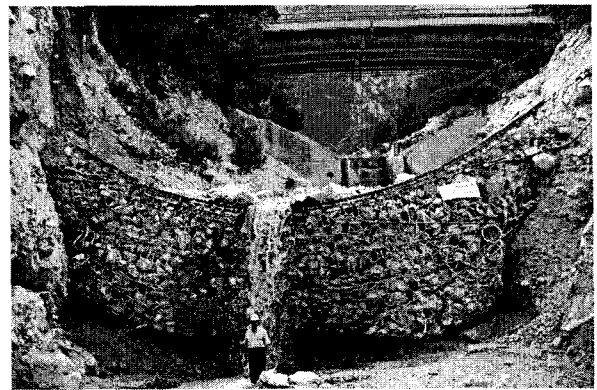


그림 10. 링넛트 토석류 방호책 설치(例)



그림 11. VX-타입 방호책



그림 12. UX-타입 방호책

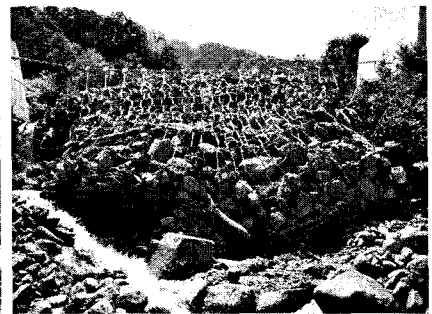


그림 13. Whale-타입 방호책

표 5. 사방시설물 형식별 비교

구 분	콘크리트 사방담	철강재 사방담 (경사형, 버틀레스, 슬릿형)	링네트 토석류 방호책
시공사진			
시공방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하천굴착</li> <li>· 현장콘크리트타설(수중)</li> <li>· 하류측세굴방지시설(별도공)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하천굴착</li> <li>· 현장볼트체결에 의해 조립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하천 굴착없이 와이어로프앵커를 설치하고 링네트 설치</li> </ul>
시 공 성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 물들리기, 물푸기 등 부대공사비 과다하나 하천 폭이 넓은 지역에서는 양호함.</li> <li>· 수중 콘크리트 타설 등 시공이 어려움이 있으며 하천 수량에 따른 공사비 과다요인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철강재 사방담은 원칙적으로 현장볼트 체결에 의해 조립.</li> <li>· 아연도금, 도장등과 같은 방식 처리보호 및 현장에서 인력에 의해 간편하게 조립가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공장제작 기성품을 조립하므로 시공성 매우 양호</li> <li>· 경량의 자재를 사용하므로 시공여건이 열악한 지역에서도 운반 및 설치가 용이</li> </ul>
유지관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하류측 세굴에 의한 하자 우려</li> <li>· 부분적인 보수, 확대, 축소가 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부분적 보수, 확대, 축소가 어려움</li> <li>· 토석류 및 유목에 의한 아연도금 손상으로 부식의 가능성 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토사가 유출된 부분만 분리하여 쉽게 제거가능</li> <li>· 와이어로프앵커 설치로 세굴 등의 하자요인이 없음</li> </ul>
수질환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수중콘크리트 타설로 인한 물고기류의 죽음</li> <li>· 댐 상류측 갈수기때 고인물이 부패되어 수질악화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 갈수기때 철제조립 틈새로 배수기능으로 수질악화 방지</li> <li>· 주변 지하수위의 변동을 초래하지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수질오염 전혀 없음</li> </ul>
생 태 계	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상, 하류 생태계 차단</li> <li>· 어도의 별도시공 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철제조립 틈새로 상, 하류 생태계 차단 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 링네트의 투과성 구조로 상, 하류 생태계 차단 없음</li> </ul>
공사기간	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 약 90일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경사형 : 35일</li> <li>· 버틀레스, 슬릿형 : 15일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 약 6일</li> </ul>

## 5. 결 론

본 논문은 강원도 인제, 양양, 평창을 중심으로 피해사례를 알아보았으며, 이에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 최근에 발생하는 집중호우에 의한 피해의 특징은 자연사면 상부의 활동파괴가 점차 토석류로 발달하면서 피해를 발생시키고 있다는 점이다. 즉, 집중호우로 인한 강우가 계속으로 한꺼번에 유입되면서 나무, 토사, 바위 등이 계곡 및 하천을 따라 갑자기 밀려 내려와 도로로 침범하거나 시설물을 덮침으로써 재해를 유발하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 피해양상은 기상이변으로 여름철에 집중폭우가 잦아지고, 그 피해도 상상을 뛰어넘는다.
- 2) 2006년 집중호우가 쏟아지면서 강원도 평창과 인제, 양양을 중심으로 산사태가 잇따랐고, 술한 인명 피해를 냈다. 지난 7월의 강원도 수해는 노년기에 접어든 우리나라의 토질 특성과 집중호우에 따른 토석류의 발생이 주원인이라 할 수 있다.
- 3) 이러한 피해를 최소화하기 위한 대책으로 계곡을 따라 제방을 쌓아 방류량과 토석류 흐름을 조절

하고 토석류를 퇴적시킬 수 있는 넓은 공간을 확보하거나, 토석류를 저지시켜 물과 토석류를 분리할 수 있는 스크린 댐 또는 링네트 토석류 방호책 등이 필요하고 국내의 토석류 발생 재해위험지도 작성, 저감기술의 개발 등의 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 유병욱외 3인 2006.9.), “2006 고속도로변 토석류 피해발생 및 대책”, 한국지반환경공학회 가을학술발표회. Mitzuyama et al.(1992), “Prediction of debris flow peak discharge” *Interpraevent*, Bern, Bd. 4, pp.99-108.
2. 송평현외 3인 2004, 11.) “강우와 지하수위 영향에 대한 사면안정해석 적용 문제점 고찰(1)” (사)한국토질 및 기초기술사회 가을학술발표회, pp.471-480
3. 백 용외 3인 2006, “강원도 영서지방 집중호우에 의한 경사지 지반붕괴 사례” 한국지반환경공학회 가을학술발표회, pp.109-114.
4. Duffy J.D., Peila A.(1999) “Case studies on debris and mudslide barrier systems in California”.
5. PWRI(1988), “Technical Standard for measures against debris flows (draft)” Ministry of Construction, Japan.
6. Rickenmann D.(2001), “Estimation of debris flow impact on flexible wire rope barriers. Unpublished internal Geobrugg report”.
7. Rimbock, A., Strobl, T.(2002), “Rope Nets for Woody Debris Entrapment in Torrents.” Technical document of the Technische Universitat Muchen.
8. Rorem, E. J.(2005), “Flexible Debris Flow Barriers Performance in Fire Burned Areas, State Route 18, San Bernardino County, Ca, USA”.
9. Salzmann H.(2001), “Debris Flow Mitigation by Means of Flexible Barriers” Proceedings 14th Southeast Asia Geotechnical Conference, Hongkong.
10. Wartmann St., Salzmann H.(2002), “Debris Flow and Floating Tree Impacts on Flexible Barriers”.