

# 강원도 지역의 토석류 피해사례 및 대책공법 연구

## Debris flow case study and remediation in Kangwon Province

유병옥\*      장범수\*\*      최승일\*\*\*      최우경\*\*\*\*      이종훈\*\*\*\*\*  
Yu, Byung Ok   Chang, Buhm Soo   Choi, Seung Il   Choi, Yu Kyung   Lee, Jong Hun

---

### ABSTRACT

In the July of 2006, devastating rainfalls ravaged the terrain in the province of Kangwon. These rainfalls resulted in debris flows, landslide and overflow over the habitat. Following these events, the urgent field study and countermeasures were to be needed and several methods were indicated. At each site, field observations were made and the properties of the channel and debris flow were broadly characterized. Debris flows are a natural hazard which looks like a combination of flood, land and rock slide. The same goes for that case, debris flow has been reported frequently overseas and the extent of damages has been increased. But the hazards "debris flow" is still insufficiently researched and furthermore debris flows are very hard to predict. In this paper, the general overview of the debris flow problem and the mitigation method will be presented

---

### 1. 서론

장마철 집중호우로 인한 도로폐쇄, 사면붕괴, 주거지가 훼손되는 사례가 어김없이 반복되어 금년에도 역시 인명 및 재산상의 피해가 다수 발생하였다. 특히 금년도에 발생한 수해는 예년과 달리 그 발생 원인이 도로변에 인접한 절개지 붕괴에 의한 것뿐만 아니라 도로에서 일정거리 떨어진 상부 자연사면에서 산사태로 발생한 토석류가 계곡을 따라 흘러 내려와 도로의 운행 및 안정성에 큰 피해를 발생시켰다는 점이다.

실제로 한국도로공사 도로교통기술원의 영동선 비탈면 수해 조사 결과에 따르면 금년 집중호우로 절개지 붕괴는 62곳, 토석류 발생은 22곳이 발생하였는데, 붕괴량에 있어서 절개지는 4,365m<sup>3</sup>, 토석류는 84,990m<sup>3</sup>로 나타났다. 즉, 토석류의 경우 붕괴발생 횟수는 절개지에 비해 적었지만 붕괴량에 있어서는 무려 20배나 더 많이 발생하여 금년 피해를 야기시킨 실제적인 원인이 되었던 것으로 나타났다.

소규모 절개지 붕괴와는 달리 토석류의 발생 및 붕괴는 곧바로 도로, 철도는 물론 모든 시설물에 대규모 피해를 입힌다는 점에서 이에 대한 세부적인 연구와 대응공법수립이 절실히 필요하나, 국내에선 아직까지 이에 대한 대책을 거의 찾아보기 어려운 실정이다.

본 논문에서는 금년 집중강우로 인해 발생한 강원지역의 피해현황 및 그 원인에 대해 알아보고 각 붕괴유형에 대한 적절한 해결방안을 소개하고자 한다.

---

\* 책임저자, 회원, 도로교통기술원 수석연구원, E-mail : boyou@freeway.co.kr, tel : (031)371-3343

\*\* 한국시설안전기술공단, 부장

\*\*\* (주)지오브로그코리아, 부장

\*\*\*\* (주)지오브로그코리아, 과장

\*\*\*\*\* (주)지오브로그코리아, 대리

## 2. 토석류 피해 사례

2006년 하절기 집중호우로 인해 강원도의 고속도로, 국도, 지방도 및 민가에 걸쳐 경사지 붕괴를 가져왔으며, 이에 따른 산사태, 토석류 발생으로 인해 시설 파손 및 대규모 재산피해를 야기시켰다.

영동고속도로 98개소와 중앙고속도로 32개소에서 발생한 사면 유실 및 붕괴의 가장 큰 원인은 토석류였으며, 토석류의 경우 전면부에 큰 구성물들이 집적해 있어 그 규모를 예측하기가 어렵고, 발생 규모에 따라 붕괴가 발생한 연장에 있어서 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.



그림 1. 영동고속도로 토석류 피해 사례 1

영동고속도로 평창휴게소 근처 계곡부에서 발생한 토석류를 예로 들면, 발생연장이 거의 수십에서 수백미터 정도로 큰 규모를 형성하고 있었는데, 영동고속도로 둔내에서 강릉까지 수십개소에 걸쳐 계곡을 형성하는 구간의 여러 개소에서 붕괴가 발생되었다. 토석류가 발생한 계곡부의 경사는  $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 의 범위가 많았으며 계곡부의 나무와 큰 규모의 암괴를 쓸고 내려오는 붕괴유형을 보였고, 하부 지반조건은 강한 암반으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.



그림 2. 영동고속도로 토석류 피해 사례 2

집중호우가 발생한 한계령의 경우 토석류의 발생환경에 쉽게 노출되어 있어 그 규모와 피해정도가 매우 심한 편이었다.

수백톤 규모의 바위들이 토석류에 의해 계곡에서 도로 위로 밀려온 사례의 경우 도로변 산비탈의 경사가 너무 가파르고 지표에 암반이 노출된 산악 지형에서 집중호우가 발생했기 때문에 나타난 현상으로 분석된다.



그림 3. 한계령 정상부근 피해 사례

이외에도 산지에 인접해있는 가옥 및 기타 시설물에도 큰 피해가 발생 기타 재산상의 막대한 피해를 유발하였다.



그림 4. 토석류에 의한 피해 사례

### 3. 토석류 대책 공법

#### 3.1. 일반적 대책 공법

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.

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 토지 사용을 규제하거나, 토석류 발생 경보 시스템을 마련하는 방법 등이 있다.

능동적인 방법을 다시 세분화하여 정리해보면 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.

두 번째 방법은 비교적 하류지역인 선상지나 퇴적지의 적절한 장소에 토석류를 억지하거나 조절할 수 있는 제어시설, 예를 들면 사방댐을 설치하는 방법이다. 사방댐은 하상구배(河床勾配)가 큰 계곡에서 급류로 인한 중·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 구조물



을 말한다. 이때 반드시 고려해야 할 사항은 토석류의 전면부를 저지시키고, 조립질 물질을 강제로 퇴적시키기 위해서 토석류의 경사(gradient)를 급격하게 줄여야 한다는 점이다. 협곡의 수로(水路)에 대한 대안으로는 최첨단 공법인 링네트를 적용하는 것이 바람직하다.

첫 번째 방법인 체크댐의 경우, 주변 환경을 보호하고 개선시킬 수 있지만, 공사기간이 길고 비용이 많이 소요된다.

두 번째 방법의 경우 공사비용도 적고 공사기간도 짧은 반면에 유지관리에 더 많은 관심과 비용이 필요하며, 계곡의 상부와 그 인접지역은 주기적으로 황폐화될 수밖에 없다는 단점이 있다.

토석류는 1회 발생으로 끝나지 않고 집중호우시 같은 개소에서 또다시 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 수립되어야 한다. 토석류 방호책 설치 위치는 토석류가 조밀한 흐름을 보여 효과적으로 막을 수 있으며, 유지 관리를 위해 인원 등의 접근이 용이한 곳 등이 유리하다.

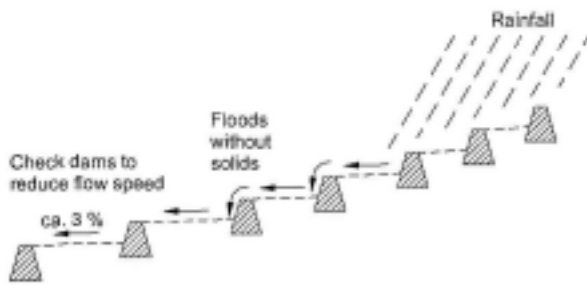


그림 5. 체크댐(Check Dam)

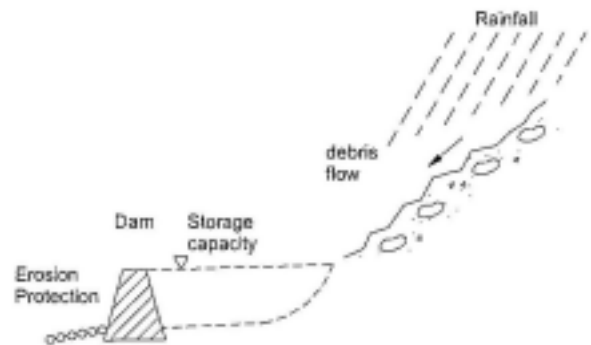


그림 6. 사방댐(Erosion Control Dam)

### 3.2. 링네트 토석류 방호책

링네트 토석류 방호책은 상부유역의 산지가 불안정하여 호우시마다 비탈면 표층붕괴와 산사태 등의 발생으로 토사(土砂), 석력(石礫)이 유하퇴적(流下堆積)함으로써 하부지역에 위치하고 있는 도로나 철도, 주거 및 기타 산업시설 등에 피해가 발생했거나 향후 예상되는 곳에 설치된다.

소계곡에 중단상으로 설치된 링네트 토석류 방호책은 방류량과 토석류의 흐름을 제어하고 조절함으로써 하부지역의 인명 및 재산피해를 방지하는 목적으로 설치된다. 유연성의 원리를 이용하여 토석류의 동적(動的)·정적(靜的) 하중을 효과적으로 흡수할 수 있고, 특히 토석류의 전면부에 위치하는 2m 이상의 거력(巨礫)까지도 안전하게 저지시킬 수 있다. 또한, 물과 부유물을 분리할 수 있는 필터링 구조로 이루어져 있어 협곡의 수로(水路)에 대한 최적의 방호대책이라고 할 수 있다.

한 계곡에 여러 개의 링네트 토석류 방호책을 계단식으로 설치하는 경우, 토석류 발생시 상부유역에 설치된 방호책부터 차례로 채워지게 된다. 이때 각 링네트 토석류 방호책의 유효저수량(VDF=약1,000m<sup>3</sup>)을 초과하는 토석류는 다음 단계에 설치된 2, 3 차 방호책으로 유입된다.



그림 7. 링네트 토석류 방호책 설치(例)

이와 같은 과정이 반복되면서 계곡의 경사를 완화시켜 수세(水勢)를 줄이고, 계곡양안(兩岸)의 사면붕괴와 하부유역으로의 토사유출을 방지할 수 있다.



- 발생예상 전체 토석류량  
: 약 3,000 m<sup>3</sup>
- 링네트 토석류 방호책 1개소의 유효저수량  
: 약 1,000 m<sup>3</sup>
- 링네트 토석류 방호책 필요 개소수  
: 3,000m<sup>3</sup>/1,000m<sup>3</sup>/개소 = 3개소

그림 8. 링네트 토석류 방호책 설치개념 (예)

특히, 산악지 협곡의 수로(水路)에 대해서는 링네트가 최적인 것으로 판단된다. 링네트 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 링네트 토석류 방호책은 유연성 원리를 이용하기 때문에 토석류 저지 능력을 최대한 증대시킬 수 있으며 토석과 유수를 분리하여 배수구조물의 막힘을 방지한다.



그림 9. VX-타입 방호책



그림 10. UX-타입 방호책



그림 11. 사방댐용 방호책

#### 4. 국내의 적용사례

링네트 낙석 방호책은 전 세계적으로 낙석뿐만 아니라 눈사태와 토석류에 의한 충격도 효과적으로 방호한 사례가 다수 보고되고 있는데 이러한 일련의 사례들은 링네트 방호책이 상당한 양의 토석류를 효과적으로 막아내고 저지시킬 수 있음을 입증했다고 할 수 있다. 토석류의 거동 및 특성을 파악하기 위해서 가능하다면 1:1 실험시험을 실시하여야 하는데, 이는 현실적으로 수많은 제약이 있으며, 시험목적에 부합하는 토석류를 실제로 발생시키기 어렵고, 이와 관련하여 비용도 많이 소요된다.

그 대안으로 이미 설치되어 있던 링네트 방호책에 실제 발생하여 퇴적된 토석류를 조사한 후, 충격에너지 및 기타 물성치 등을 역해석을 통해 구하는 방법이 있는데, 이 경우 비용도 적게 들며, 비교적 쉽게 수행할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 사례분석을 통해 충격시의 링네트 토석류 방호책의 변형 및 거동, 그리고 기계적, 물리적 특성에 대한 역해석이 가능한 것으로 판단된다.

##### 4.1. 일본 아오반다니(Aobandani) 적용사례

1998년 8월, 일본 다테야마(Tateyama Sabo)의 아오반다니에 설치된 링네트 낙석방호책에 토석류가 발생한 사건이 있었다. 본 방호책의 목적은 계곡하상 측면에서 발생하는 낙석으로부터 하류에서 작업중인 건설 현장을 보호하기 위한 것으로서, 설치된 링네트 시스템은 최대 1,500kJ의 에너지를 흡수할 수

있는 가설방호책(RX-150,  $H=5.0m$ )이었다.

현장조사결과, 방호책은 세 번의 연속적인 토석류에 의해 충격을 받았다. 저지된 토석류의 총 체적은  $750m^3$ 이었고, 상부사면로프에 장착된 브레이크 링은 50~80% 정도 작동했으며 지주-지면판 조합과 앵커링 시스템은 충격 후에도 손상이 없었다. 링네트는 와이어메쉬와 조합되어 대부분의 토석류를 방호하며 유연하게 변형되었다. 전체 시스템 중 방호책의 변형량은 2.0~3.0m 정도였으며, 충격 후 잔류높이는 3.5m였다.(그림 12(좌))

#### 4.2. 오스트리아 제발켄(Seewalchen) 적용사례

2000년 3월 오스트리아 제발켄에서 최대  $750kJ$ 의 충격에너지를 견딜 수 있도록 설계된 높이 3m의 링네트 낙석방호책에 뿌리째 뽑힌 통나무가 포함된  $200m^3$ 의 토석류가 저지된 사례가 있다. 계곡 하부에 설치된 RX-075 ( $E_{max} = 750kJ$ )타입 링네트 방호책은 각각  $100m^3$ 씩 2차례에 걸친 충격을 받았는데, 브레이크 링의 변형 외에 시스템의 아무런 손상 없이 안전하게 방호하였다. 토석류 충격 후 상부지지로프에 장착된 브레이크 링이 60~80% 정도 작용한 것에 비해 하부지지로프에 장착된 브레이크 링은 최대 10% 정도 작용한 것으로 나타났다. 최종적으로 확인된 변형량은 약 2.0m였으며, 설치높이 3.0m의 링네트 방호책의 잔류높이는 2.7m였다.(그림 12(우))



그림 12. 토석류 방호사례(일본(좌), 오스트리아(우))

#### 4.3. 미국 캘리포니아 도로 적용사례

2003년 가을, 미국 캘리포니아 산버나디노 산지에 대규모 화재가 발생하였다. 이 화재로 대부분 산지의 수목이 유실되어 불모지로 변했으며 이로 인한 비탈면의 침식을 야기하게 되었다. 이에 대한 대책으로 씨앗뿌리기와 사면안정화 공사가 이루어 졌으나, 2003년 12월, 대규모 강우로 인해 크고 작은 규모의 토석류가 발생하여 고속도로를 유실시키고 많은 인명과 재산피해가 발생하였다.



그림 13. 화재 발생후 산버나디노 산지 전경

그림 14. 폭풍 후 도로 피해현황

현장조사결과 이런 피해가 18번 주도(州道)변 10개소의 소협곡(gully)에서 발생한 토석류에 의해 도로 횡단 배수 박스가 막힌 후, 뒤이은 토석류가 도로로 율류하여 발생하는 것으로 확인되었다. 캘리포니



아교통국(CALTRANS)은 토석류를 저지시키기 위해 보다 효과적이고 강력한 방호대책을 검토하던 중 지오브로그 링네트 시스템이 가장 적합하다고 결론을 내렸다.

본 설계를 위해 총 10개소의 소협곡(gully)에 대해서 현장조사를 통해 토석류의 체적과 속도, 구성물질, 경사 등의 자료를 얻을 수 있었으며, 이를 바탕으로 지오브로그사의 기술진은 각각의 개소에 적합한 링네트 토석류 방호시스템인 VX/UX 방호책을 설계하였다.

링네트 VX/UX 방호책은 충격에너지 흡수 용량이 100~3,000kJ, 최대 약 1,000m<sup>3</sup>의 부피와 최대속도 약 5~6m/s의 토석류에 적용되며, 지형조건에 따라 그 타입이 결정된다.

본 지역에서 예상되었던 토석류의 체적은 100~500m<sup>3</sup>였고, 이를 위한 방호책의 에너지 흡수 수준은 200~1,200kJ, 지주높이는 3.0~8.0m, 설치 폭은 9.3~22.0m로 설계되었으며 2004년 5~7월에 시공되었다.



그림 15. 토석류 방호사례(2004년 10월)

2004년 10월, 이 지역에 집중호우가 발생했으며, 링네트 VX/UX 방호책을 설치한 10개소를 포함하여 광범위한 지역에 토석류가 발생하였으나, 링네트 토석류 방호책은 이를 안전하게 방호하였다. 발생한 토석류 중 방호책을 월류한 사례는 없었으며, 매우 적은 양의 토석만이 방호책을 통과하였다. 모든 방호책들은 이 기간 동안 다양한 강도의 충격을 받았으나 부분적인 부재 변형이 있었을 뿐 기대한 대로 토석류를 안전하게 방호하였다.

같은 해 겨울, 10월 폭우로 인해 방호책에 퇴적된 토석을 완전히 제거하기도 전에 호우를 동반한 폭풍이 또다시 발생하였다. 이번에는 캘리포니아교통국의 예측을 뛰어넘는 상당량의 토석류가 발생하여 방호책에 충격을 주었으며, 방호책을 완전히 채우고, 일부 개소에서는 월류한 곳도 확인되었다. 그럼에도 불구하고, 방호책이 설치된 곳의 횡단배수박스가 막힌 곳은 없었으며, 토석류의 월류로 피해가 발생한 도로도 없었다. 하지만 이 사례를 통해 링네트 방호책에 쌓인 토석은 즉시 제거되어야 한다는 점을 재인식하게 되었다.

18번 주도(州道)에 설치된 방호책이 토석류를 효과적으로 방호해낸 성공사례에 힘입어 캘리포니아 남부의 산불 발생지역이자 101번 고속도로가 지나는 “Gaviota Pass”에 추가적으로 VX plus타입의 링네트 방호책이 설치되었다. 본 지역의 경우 이미 지난 15년 동안 기존 낙석방호책이 곳곳에 설치되었으나, 2004년 6월 발생한 화재로 인해 이 지역에 대규모의 토석류 발생이 우려되었고, 이에 따라 더 강력한 방호책의 필요성이 강하게 제기됨에 따라, 2개소에 대하여 링네트 VX plus타입의 토석류 방호책이 2004년 9월과 11월에 각각 설치되었다.

2004년 12월, 예상한대로 대규모 토석류가 폭우로 발생하여 방호책을 가득 채우고 일부는 월류하였으나 방호목적물인 횡단 배수 박스는 전혀 막힘없이 제기능을 발휘하였다. 충격을 받은 방호책은 약간의 부재 파손만 있었을 뿐 토석제거 후 그대로 재사용할 수 있었다. 본 사례를 통해 링네트 후면에 설치된 와이어메쉬가 풀과 작은 나뭇가지 같은 것들을 걸러 주고 결국 이것이 뒤이은 토석류의 세립질 구성물까지 막는 댐 역할을 한다는 것이 재확인되었다.



그림 16. 토석류 방호



그림 17. Whale Net

한편, 링네트 토석류 방호책이 설치되지 않았던 계곡부에서 직경  $0.9\sim 1.5m$ 의 전석이 다량 포함된  $11,000m^3$ 에 이르는 대규모 토석류가 발생하여 101번 고속도로로 침범하는 사고가 발생하였다. 도로 하부에는 대용량 횡단 배수 박스가 설치되어 있었으나 1차로 발생한 토석류로 인해 입구가 막혀 제기능을 발휘하지 못했다.

캘리포니아교통국의 현장조사결과 본 지역에서 발생하는 토석류의 구성물에 큰 전석이 다량 포함되어 있는 것으로 나타나 이를 감안하여 링네트 크기를 키운 Whale Net를 설치하기로 결정하였다. Whale Net는 UX/VX 타입과 비슷한 형태를 갖지만 지지로프와 앵커가 더 큰 하중을 받을 수 있도록 특수설계 되었으며, 특히 링의 직경에서 큰 차이를 보인다. 즉, Whale Net에 사용되는 링은  $4mm$ 와이어가 직경  $1.5m$ 로 33번 감기도록 특수제작 되었고, 높이  $5.0m$  상부폭  $27.0m$  규모로 설치되었다. 이러한 형태의 방호책은 횡단 배수 박스가 큰 전석으로 막혀 제 기능을 발휘할 수 없는 곳에 적용하였다.

본 방호책의 설계를 위해 일본에서 이미 설치되어 그 성능이 검증된 Whale Net 자료를 참고하였다. 일본의 Whale Net과 차이점은 일본공법과는 달리 환경적인 측면을 고려하여 수로와 앵커 기초부에 콘크리트 구조물을 설치하지 않았으며, 네트 하부는 양 측면을 제외하고는 모두 바닥에서 띄워 네트 하단과 지면사이의 공간으로 물이 자연스럽게 흐르도록 하고 동물의 이동도 가능하도록 설치하였다는 것이다.

#### 4.4. 국내 시공 사례

중앙고속도로 131.5k 지점에 설치된 링네트 토석류 방호책은 본 현장과 같은 지역에 대한 좋은 시공 사례이다. 이 지역은 집중호우시 고속도로변 협곡에서 발생한 토석류가 월류하여 도로로 침범하는 피해가 빈번하게 발생하던 곳이다. 당초 콘크리트 개수로를 계곡에 설치하여 계곡의 경사를 완만히 함으로써 유속을 감소시키고, 계곡 바닥면을 콘크리트로 복개하여 집중호우시 발생하는 토석류의 양을 줄이는 방안이 검토되었으나, 유목 및 토석 등 부유물은 거르고 물은 배수시킬 수 있는 필터링(Filtering) 구조의 링네트 토석류 방호책을 설치하는 근본적인 해결책으로 결정하여 VX-타입 링네트 토석류 방호책이 설치되었다.

삼척시 원덕읍 현장 역시 같은 목적으로 UX-타입 링네트가 설치되어, 2004년 7, 8월의 집중호우로 발생한  $30m^3$  정도의 토석류를 아무런 시스템의 손상없이 안전하게 방호하였다.





그림 18. 중앙선 131.5k, 한국도로공사



그림 19. 삼척시 원덕읍, 산림청

## 5. 결론

해마다 발생하는 집중호우는 매년 많은 재산 및 인명피해를 야기시키고 있다. 특히 산지가 집중분포해 있는 강원도의 경우 동해안과 나란히 길게 펼쳐져 있는 높은 태백산맥이 서남쪽에서 접근해 오는 장마전선이나 태풍을 가로막아 속도를 느리게 하는 동안 다량의 습기가 집중적인 강우량의 큰 원인이 되어 산사태, 절개지 붕괴, 토석류 발생 등으로 이어지고 있다.

이에 대한 대책으로 계곡을 따라 제방을 쌓아 방류량과 토석류 흐름을 조절하고 토석류를 퇴적시킬 수 있는 넓은 공간을 확보하거나, 토석류를 저지시켜 물과 토석류를 분리할 수 있는 스크린 댐 또는 링네트 토석류 방호책 등을 설치하고 있다.

링네트 방호시스템은 전 세계적으로 낙석뿐만 아니라 눈사태와 토석류에 의한 충격도 효과적으로 방호한 사례가 다수 보고되고 있는데 이러한 일련의 사례들로부터 링네트 방호책이 상당한 양의 토석류를 효과적으로 막아내고 저지시킬 수 있음을 입증했음을 알 수 있다.

특히 토석류의 충격과 같은 동적하중(dynamic load)을 막아 내는데 링네트는 이상적인 유연성을 가지고 있어, 링네트가 콘크리트 사방댐과 같은 기존의 강성체 구조물에 대한 진정한 대안이 될 수 있을 것으로 예상된다.

이러한 링네트 방호책은 경량의 부재로 구성되어 있어 운반이 용이하며 공사비용 절감의 효과가 있다. 또한 콘크리트나 철골 구조물에 비해 주변 경관 훼손에 대한 우려가 거의 없다. 물은 통과시키고 토석류는 거르는 필터링 구조를 지니고 있으므로 하류지역으로 토석류 인입을 최소화하고 계곡부에 서식하는 물고기, 뱀이나 개구리 등의 이동경로를 확보해 줄 수 있다. 또한 방호책은 주로 앵커링에 의해 고정되므로 기초를 위한 대규모 하상굴착과 콘크리트 작업이 필요한 강체형(Rigid System) 콘크리트 사방댐에 비해 주변환경 및 생태계 파괴가 매우 적다. 주변 지형여건에 구애 받지 않아 설치가 용이하며 공사기간이 짧고 유지·보수가 매우 용이하므로 기존 공법인 콘크리트 사방댐과 비교할 경우 경제성, 환경친화성 및 시공성 등 모든 측면에서 매우 뛰어난 공법이므로 향후 국내 토석류 방호책의 주류를 이루는 공법이 될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. PWRI(1988), "Technical Standard for measures against debris flows (draft)" Ministry of Construction, Japan.
2. Mizuyama et al.(1992), "Prediction of debris flow peak discharge" Interpraevent, Bern, Bd. 4, pp.99-108.
3. DeNatale, J. S., Fiegel, G. L., Iverson, R. M., Major, J. J., LaHusen, R. G., Duffy, J. D. and Fisher, G. D.(1997), "Response of Flexible Wire Rope Barriers to Debris-Flow Loading".
4. Muraishi H., Sano S.(1997), "Full scale rockfall test of ring net barrier and components".
5. Duffy J.D., Peila A.(1999) "Case studies on debris and mudslide barrier systems in California".

6. Rickenmann D.(1999), "Empirical relationships for debris flows" *Natural Hazards*, 19(1), pp. 47-77.
7. Rickenmann D.(2001), "Estimation of debris flow impact on flexible wire rope barriers. Unpublished internal Geobrugg report".
8. Salzmann H.(2001), "Debris Flow Mitigation by Means of Flexible Barriers" *Proceedings 14th Southeast Asia Geotechnical Conference*, Hongkong.
9. Rimbock, A., Strobl, T.(2002), "Rope Nets for Woody Debris Entrapment in Torrents." Technical document of the Technische Universitat Muehen.
10. Wartmann St.,Salzmann H.(2002), "Debris Flow and Floating Tree Impacts on Flexible Barriers".
11. Duffy, J. D.(2004), "Fire Related Debris Flow Mitigation in San Bernardino County, California".
12. Frenez, T., Roth, A., and Kaestli, A.(2004) "Debris flow Mitigation by Means of Flexible Barriers", *Proceedings of the 10th Congress Interprevent 2004*, Trento, Italy.
13. Rorem, E. J.(2004), *Debris Flow Remediation*".
14. Rorem, E. J.(2005), "Flexible Debris Flow Barriers Performance in Fire Burned Areas, State Route 18, San Bernardino County, Ca, USA".