집중호우에 의한 성토사면 붕괴사례
Case Study on Embankment Slope Failure by Heavy Rainfall

박종호[1], Jong-Ho Park, 장범수[2], Buhm-Soo Chang

[1] 평화지오텍(주) 대표이사, CEO, Pyonghwa Geotec Co.,Ltd.
[2] 한국시설안전기술공단 부장, Researching Manager, Dept. of Management, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation.

SYNOPSIS : 본 연구는 2006년 7월 집중호우에 의해 많은 인적·물적 피해가 발생한 강원도 지역의 피해 현장을 조사하였으며, 그 중 성토사면붕괴를 붕괴유형별로 구분하고 발생원인과 특성을 분석하여 그에 따른 적절한 대책방안을 제시하였다. 집중호우에 의한 성토사면의 붕괴유형 중 토석류에 의한 도로횡단 배수구조물의 기능상실로 유수가 노면으로 침출되고 수압이 발생하여 도로가 유실된 유형과 하천선형 불량으로 만곡수충부(물이 직접 부딪히는 부분)에서 유속이 빨라져 세굴에 의한 붕괴가 전체 성토붕괴사면의 83%를 차지하였다. 이에 대한 대책방안으로는 토석류를 계곡상부에서 부터 예방할 수 있는 방법으로 사방댐 및 그물망 공법 등이 좋은 대책방안이 될 수 있으며, 토석류에 의한 유송잡물을 모두 통과할 수 있도록 충분히 큰 배수시설을 설치하는 방법도 좋은 대책방안이 될 수 있다. 무엇보다 열대성 국지 폭우를 이제 일상의 한반도 기후현상으로 받아들여 주먹구구식의 일회성 대책방안을 지양하고 바뀐 강우특성과 빈도를 고려하여 계획홍수위를 재산정하고 그에 따라 하천정비계획을 재검토해야 할 것이다.

Keywords : 집중호우, 성토사면붕괴, 토석류, 만곡수충부, 사방댐, 그물망 공법, 하천정비계획

1. 서 론

최근 비탈면 붕괴 현상은 기상변화에 따른 집중호우의 영향으로 해마다 도로가 폐쇄되거나 주거지가 훼손되는 등 많은 문제점이 반복되고 있으며 금년에도 예외 없이 장마철 집중호우로 인해 인명피해 및 재산상의 피해가 다수 발생하였다. 이에 본 고는 지난 여름 강원도 인제, 정선, 평창, 영월, 양양 일대의 비탈면 붕괴 지역를 조사하고 그 중 성토사면의 붕괴 사례 분석을 통해 집중호우시 발생하는 국내 성토사면 붕괴 특성 및 주요원인을 분석하여 성토사면 붕괴 대책방안을 제시하고자 한다. 또한 강원도의 지형 특성상 편절·편성토 구간이 많으며 계곡 및 하천에 인접하여 호안 및 제방 역할을 하고 있는 도로성토사면이 많이 존재하여 성토사면 붕괴연구에 작은 도움이 될 수 있을 것이다.

2. 비탈면 붕괴현황 분석

최근 기상변화에 따른 집중호우의 영향으로 발생한 강원도 지방의 성토사면 붕괴 특성을 파악하기 위해 지난 2006년 7월 26일부터 8월 3일까지 9일간 강원도 인제, 정선, 평창 영월일대의 붕괴 현장 총 41곳을 조사하고 자료를 분석하여 기록하였다.

2.1 기상현황

지난 7월 14일부터 19일까지 제4호 태풍 "빌리스"가 중국내륙에서 소멸되면서 남긴 많은 수증기가 장마전선으로 유입되면서 중부지방을 중심으로 집중호우가 발생하였으며 그 당시 주요 도시의 발생 강우량은 표 1과 같고, 피해지역의 시간당 최대 강우량은 표 2와 같다.

표 1. 7월14일~7월19일 동안의 강우량

지역	서울	양평	홍천	제천	밀양	의성	대구	울진	합천
강우량(mm)	384	445	556	457	159	134	197	356	392

표 2. 피해지역의 시간당 최대 강우량 비교표

구분	피해극심지역				피해 소규모 지역	
	양양(서면)	평창(진부)	인제(설악산)	인제(인제읍)	횡성(횡성읍)	양구(양구읍)
강우량(mm)	93	82	97	66	47.5	36
빈도	200년	200년	200년	100년	5년	5년

2.2 붕괴유형별 현황

비탈면 붕괴의 특성을 분석하는데 있어서 붕괴유형(형태)을 분류하는 것은 매우 유용한 방법이다. 비탈면 붕괴는 지반의 특성, 기하학적 형상, 수리적 조건 등 여러 가지 요인이 복합되어 발생되므로 현 단계에서 붕괴발생을 사전에 예측한다는 것은 매우 어렵다. 그러나 붕괴발생 후 그 형태를 통해 붕괴원인을 추정하는 것은 상대적으로 용이하므로, 지속적인 자료의 축적 및 분석을 통해 국내 실정에 맞는 예측 모델을 만드는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 이러한 취지에서 집중강우시 발생되는 성토사면 붕괴 유형을 분석하였다.

성토사면 붕괴를 원인에 따라 다음과 같은 유형으로 분류하였다.

2.2.1 붕괴유형1 : 도로횡단 배수구조물의 기능상실로 인한 붕괴

대규모 홍수시 유송잡물(식물, 토사)에 의해 배수관이 일시에 막힘에 따라 우수가 노면으로 침출되고 수압이 발생하여 도로 유실

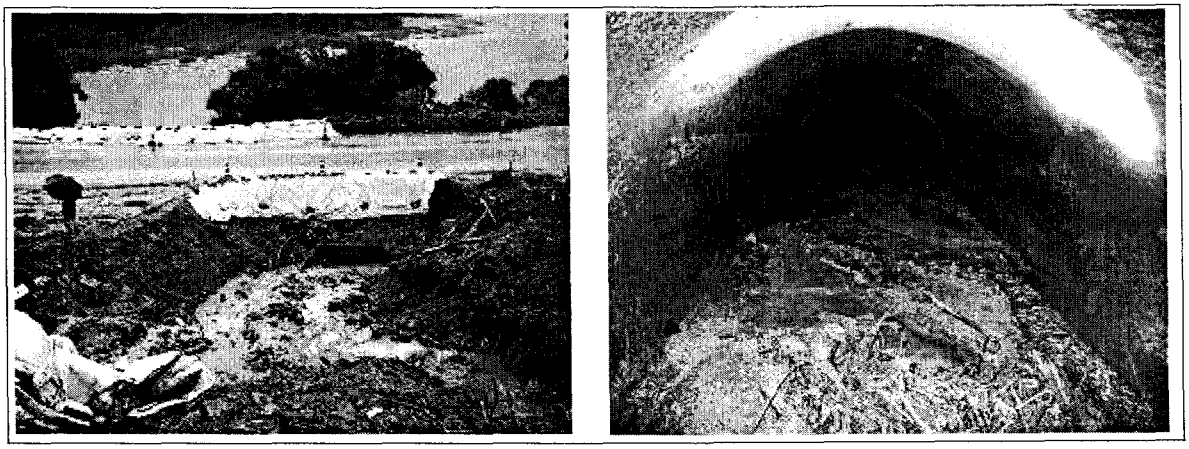


그림 1. 도로횡단 배수구조물의 기능상실

2.2.2 붕괴유형2 : 도로 하천의 선형 불량으로 인한 붕괴

사행 하천과 인접한 도로의 만곡수충부에서 침식에 의해 도로 유실

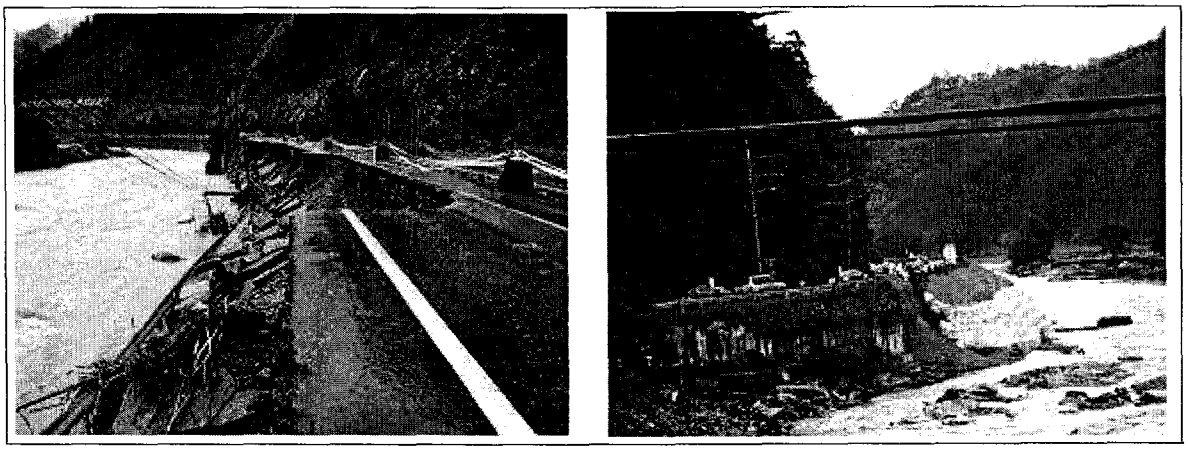


그림 2. 수충부 침식에 의한 도로 유실

2.2.3 붕괴유형3 : 도로 종단 선형불량으로 인한 붕괴

종단계획고가 계획홍수위보다 낮아 도로가 침수 및 유실

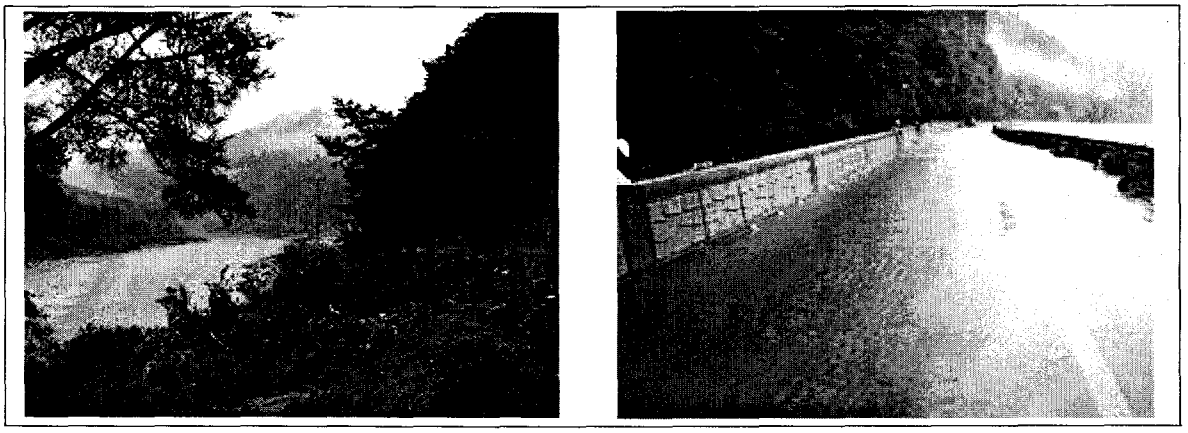


그림 3. 도로 침수

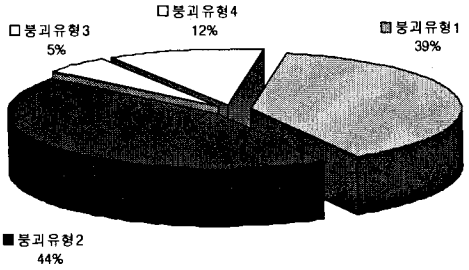
2.2.4 붕괴유형4 : 하천단면 축소로 인한 붕괴

단면수축에 의해 수위 상승 및 유속이 증가되어 와류 및 수류력이 발생하여 도로 유실

그림 4. 하천단면 축소부

2.2.5 붕괴유형 분석결과

지난 7월 강원도 지방에서 발생한 성토사면을 위의 붕괴유형별로 조사한 결과는 그림 5와 같다. 붕괴유형1이 39.0%, 붕괴유형2가 43.9%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며 붕괴유형3은 4.9%, 붕괴유형4는 12.2%를 차지하고 있음을 알 수 있다.



구 분	개수	비율
붕괴유형1	16	39%
붕괴유형2	18	44%
붕괴유형3	2	5%
붕괴유형4	5	12%

그림 5. 성토사면 붕괴 유형 분석결과

3. 붕괴 유형별 대책방안

3.1 붕괴유형1

붕괴유형1에 대한 대책방안으로는 크게 횡단배수 구조물 막힘 현상의 주범인 유송잡물을 내려오지 못하도록 하는 방법과 유송잡물이 모두 통과할 수 있도록 하는 방법이 있다. 유송잡물을 막는 방법은 사방댐 또는 스크린댐, 그물망 공법 등을 설치하는 방법이 있으나 유지관리를 위한 통로 확보의 어려움 등이 있다. 또한 유송잡물이 모두 통과할 수 있도록 충분히 큰 배수시설을 설치하는 방법으로 배수암거를 지간장 10m 이상의 교량으로 대치하는 방법 등이 있으나 이 역시 사업비 증가의 단점이 있다. 따라서, 유송잡물의 수량과 2차 피해(토석류의 발생가능성) 및 복구의 용이성 등을 판단하여 위치별로 적절한 대책방법을 강구해야 될 것이다.

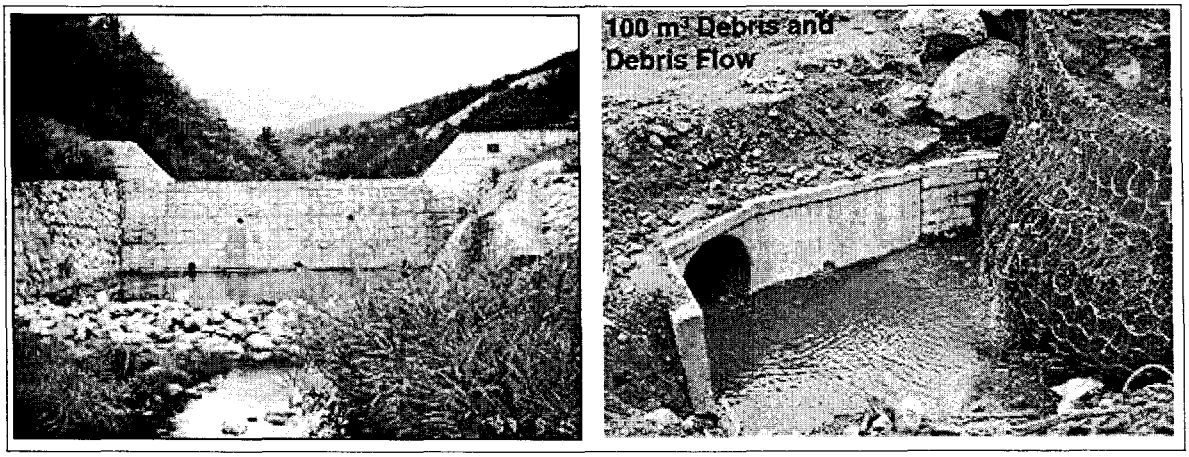


그림 6. 사방댐 및 그물망 공법

3.2 붕괴유형2

붕괴유형2는 도로 하천의 선형 불량으로 만곡수충부(물이 직접 부딪히는 부분)나 협곡에서 빠른 유속에 의한 세굴 등으로 도로나 교량 등의 하부구조물(주로 석축, 돌망태 등) 유실에 의해 발생하는 현상이

다. 따라서, 만곡수충부 등 유속이 빨라지는 구간은 세굴에 취약한 석축을 지양하고 콘크리트 옹벽을 도로계획고 높이로 설치하도록 설계기준의 재검토가 필요하며 하천정비와 연계하여 호안을 강화시킬 필요가 있다.

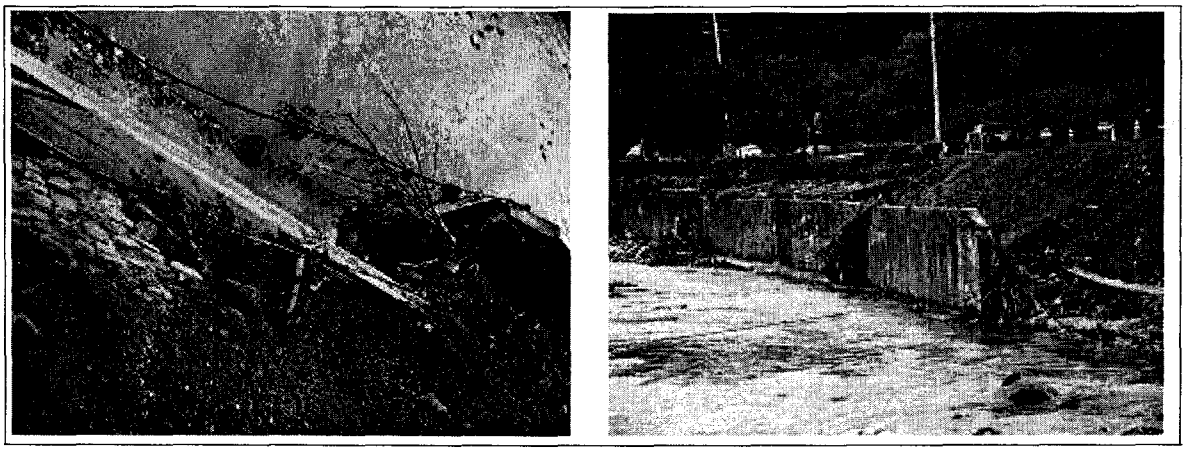


그림 7. 세굴로 인한 석축부 파손 구간과 월류에도 불구하고 잔존한 콘크리트 옹벽구간

3.3 붕괴유형3

붕괴유형3은 종단계획고가 계획홍수위보다 낮아 도로가 침수 및 유실된 상황으로써 변화된 강우특성에 따른 강우량 급증으로 조사대상지역의 계획홍수위를 재산정하는 등 하천정비기본계획을 재검토하고 이에 따른 도로 승상 등의 대책방안을 세워야 할 것이다. 또한 하천정비계획의 일환으로 하상 고수부지 등의 경작 금지 및 하상 준설 등이 필요하다.

3.4 붕괴유형4

붕괴유형4는 하천 단면축소에 의해 수위 상승 및 유속이 증가되어 호안이 붕괴되고 사면이 침식되면서 도로가 유실된 현상으로 국립공원의 자연석들도 이런 현상의 주원인이 되었다. 이에 대한 대책공법으로는 산지부의 강우 특성 및 지역특성에 적합한 홍수량 산정방법 개선, 국립공원지역이라도 홍수 대비시설을 우선적으로 설치할 수 있도록 인허가 협의 등의 주체 및 제도 개선, 하천변 도로는 아래쪽 사면이 호안 역할을 하는 경우가 많으므로 하천정비와 연계하여 호안 강화, 통수능을 증가시키기 위해서 하도 확장 등의 대책이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 지난 7월 집중호우에 의해 많은 인적·물적 피해가 발생한 강원도 지역의 피해현장을 조사하였으며, 그 중 성토사면 붕괴를 붕괴유형별로 나누고 원인과 특성을 분석하여 그에 대한 적절한 대책방안을 제시하였다.

1) 성토사면의 붕괴 유형 중 도로횡단 배수구조물의 기능상실로 인한 붕괴와 도로 하천의 선형 불량으로 인한 붕괴가 전체 붕괴사면의 83%를 차지를 차지하였다. 이는 집중호우에 의한 상부 비탈면의 표면 유실과 붕괴로 인해 식물 및 토사가 많은 우수와 함께 이동하는 토석류에 의한 피해와 역시 집중호우로 인해 많은 양의 우수가 한꺼번에 계곡 및 하천을 따라 움직이면서 호안 및 제방을 파괴하여 생긴 문제이다.

2) 이러한 현상은 한반도 기상조건과 밀접한 관계를 갖는데 10여 년 전부터 한반도의 여름 장마는 열대성 국지 폭우의 개념으로 바뀌었다. 한번 비가 오면 국지적으로 200~300mm의 강우량을 기록한다. 이에 강원도의 지형적 여건 즉 높은 산과 깊은 계곡이 결부되면서 많은 피해를 발생시킨 것이다.

3) 따라서, 정부는 이런 국지성 폭우를 일회성 이변이나 천재지변으로 간주하는 것을 지양하고 한반도의 일상 기후로 받아들여 중·장기적인 대책을 마련해야 할 것이다. 그 일환으로 강우빈도와 계획홍수위를 재산정하여 하천정비계획을 재검토하고 이에 따른 대책방안을 세워야하며 홍수 예방용 댐을 고려해야 할 것이다.

4) 또한 계곡이 많은 지형에는 고비용을 감수하더라도 사방댐 또는 스크린댐, 그물망 공법 등을 적극 활용해야 할 것이며, 하천의 선형 재정비가 불가능한 경우에는 콘크리트 옹벽을 도로계획고 높이로 설치하도록 설계기준의 재검토가 필요하다.

5) 끝으로 일회성 복구방식을 지양하고 홍수로 넓어진 하천을 인정하고 도로를 가로지르는 계곡의 통수단면을 고려하는 등 항구적인 계획을 수립하여 예방할 수 있는 근본적 대책을 마련해야할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 백용 외 3인(2006), "강원도 영서 지방 집중호우에 의한 경사지 지반 붕괴 사례", **2006 지반환경공학회학술대회.**
2. 유병욱 외 3인(2006), "2006 고속도로변 토석류 피해발생 및 대책", **2006 지반환경공학회학술대회.**
3. 장범수 외 2인(2004), "집중호우시 발생하는 국내 건설공사 비탈면(절토사면)의 붕괴 특성 연구", **2004년 사면안정 학술발표회.**
4. 이승호 외 3인(2001), "강원도 동부 산악지형 사면붕괴 형태분석", **2001년 사면안정 학술발표회.**