

우리나라 지반재해의 발생 특성 및 향후 대책



박 덕 근
방재연구소 시설연구관



오 정 립
방재연구소 시설연구사



박 정 훈
방재연구소 연구원

1. 서론

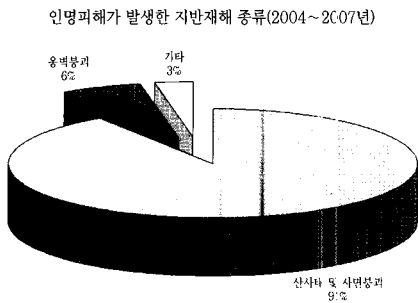
절·성토사면, 산악지의 사면, 주거지역 급경사지등에서 지반의 평형상태가 파괴되어 중력방향으로 내려오는 현상인 사면재해의 원인은 크게 외적인 원인과 내적인 원인으로 구분할 수 있다. 외적인 원인으로서는 강우와 지진 등을 들 수 있으며, 내적인 원인으로서는 지형 및 지질 등을 들 수 있다. 이외에도 산지의 벌목이나 도로공사를 위한 인위적인 절·성토사면의 생성 등 인간의 활동 역시 사면재해를 일으키는 간접적인 원인이 될 수 있다.

그러나 지진과 인위적인 활동을 제외한다면 대부분의 사면재해 원인은 강우에 의해서 발생한다고 할 수 있다. 이는 우리나라의 경우에도 예외는 아니어서 우기철이나 태풍으로 인한 집중호우시 많은 사면재해가 발생하고 있으며 이로 인해 매년 많은 인명피해가 발생하고 있다. 강우는 간극수압의 상승, 표면유수 침투로 인한 표층부의 침

식, 함수량 증가로 인한 흙의 강도저하 및 단위중량 증가, 파이핑 현상에 의한 국부파괴 등을 일으켜 사면내부의 평형상태를 파괴시키게 된다(박덕근, 2007). 이에 본 기고문에서는 지반재해의 발생 현황을 살펴보고 그 중에서 사면재해가 차지하는 비중을 짚어보고 향후 대책을 살펴보았다.

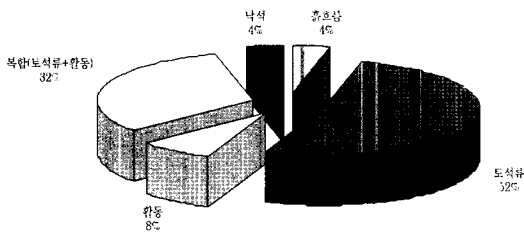
2. 지반재해 특성 및 분석

우리나라에서 발생하는 지반재해의 종류에는 사면붕괴, 옹벽붕괴, 지반진동, 연약지반침하 등이 있다. 그림 1은 2004년부터 2007년까지 인명피해가 발생한 지반재해 종류를 그래프로 나타내었다. 그림 1을 보면 우리나라에서 발생하는 지반재해의 91%가 사면붕괴인 것을 알 수 있으며 그 다음으로 옹벽붕괴가 6%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.



〈그림 1〉 인명피해가 발생한 자연재해 종류(2004년~2007년)

인명피해가 발생한 사면운동의 분류(2004~2007년)



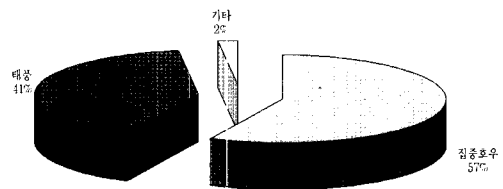
〈그림 2〉 인명피해가 발생한 사면운동의 분류(2004년~2007년)

그림 2는 2004년부터 2007년까지 인명피해가 발생한 사면운동의 종류를 그래프로 나타내었다. 우리나라에서 발생하는 사면운동은 주로 토석류와 활동에 의해서 인명피해가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 우리나라에서 발생하는 사면붕괴의 대부분이 심발성이라기 보다는 천발성 사면붕괴가 많이 발생하고 주요 원인이 집중호우이기 때문에 토석류에 의한 인명피해가 많이 발생 한다. 또한 천발성 사면붕괴가 발생하여 집중호우로 인한 급류와 합쳐져서 토석류와 활동이 동시에 발생하는 경우도 32%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

그림 3에서 보는 바와 같이 사면재해의 주요 원인은 집중호우와 태풍으로 나타났다. 이는 호우에 의해 지반이 포화되어 대부분의 사면재해가 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 4는 시도별로 발생한 사면재해 사망자를 나타내었다. 시도별로 사면재해 사망자를 살펴보면 경기도와 강원

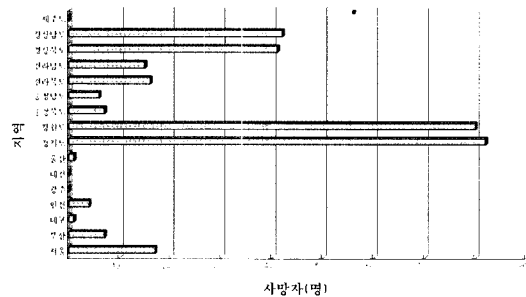
도가 대부분을 차지하고 있고 경상남도과 경상북도도 상당 부분을 차지하고 있다. 경기도는 1998년 집중호우로 인한 사망자가 65명이 발생하여 시도별로 발생한 사면재해 사망자의 많은 부분을 차지한 것으로 보인다. 그 원인은 표 1에서 살펴볼 수 있다.

인명피해가 발생한 사면붕괴의 주요원인(2003~2007년)



〈그림 3〉 인명피해가 발생한 사면재해의 주요원인(2003년~2007년)

시도별 산사태사망자(1998년~2007년)



〈그림 4〉 시도별 사면재해 사망자(1998년~2007년)

강원도 지역은 총 면적에 81.3%가 산지로 이루어져 있을 뿐만 아니라 산림면적 또한 우리나라에서 가장 많다. 또한, 편서풍에 의한 지속적인 수분의 유입과 태백산맥 등의 지형적 요인으로 인해 태풍 중심부보다 더 큰 호우를 기록하고 있어 사면재해에 대한 인명피해가 가장 많이 발생한 것으로 판단된다. 경기도 지역은 산림면적이 52.5% 정도의 보통의 값을 가지고 있으나 거주하고 있는 인구가 많아 사면재해로 인한 인명피해의 많은 부분을 차지한 것으로 판단된다.

경상북도와 경상남도는 산림면적비가 각각 70.8%와

67.4%를 차지하고 있으며 산림면적도 16개시도 중에서 각각 2위와 3위를 차지하고 있어서 사면재해 인명피해의 상당부분을 차지하고 있는 것으로 보인다.

종합적으로 살펴보면 인구가 밀집하고 하천유역이 넓은 경기지역 및 산간계곡과 급경사가 많은 강원지역, 태풍의 진행상에 위치한 경남, 경북, 전남지역에 피해가 발생한 것으로도 볼 수 있다.

[표 1] 시도별 인구나 산림면적비

지역	인구(명)	산림면적비(%)	지역	인구(명)	산림면적비(%)
서울특별시	10,174,265	26.0	강원도	1,527,034	81.3
부산광역시	3,691,445	47.8	충청북도	1,489,635	67.0
대구광역시	2,529,544	55.8	충청남도	1,912,803	51.4
인천광역시	2,570,194	41.2	전라북도	1,954,430	55.8
광주광역시	1,395,762	40.0	전라남도	2,017,730	57.8
대전광역시	1,432,296	56.5	경상북도	2,720,832	70.8
울산광역시	1,072,867	65.7	경상남도	3,139,013	67.4
경기도	10,206,851	52.5	제주도	552,297	49.4

※ 총인구 및 총면적은 지방자치단체의 행정구역 및 인구현황 기준이며 산림면적은 연도별 산림기본통계(2006년) 기준임

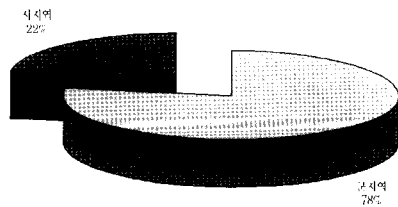
우리나라에서는 옛날부터 배산임수의 지형에 주거지를 많이 건설하였다. 배산임수란 뒤로 산을 등지고 앞으로 물을 접하는 지역을 말한다. 북쪽으로 산을 등지는 것은 겨울철의 차가운 북서풍을 막아주며, 가옥은 남쪽을 향하고 있어 채광에 유리하여 다른 지역에 비해 기온이 높다. 또한 산에서 땀감으로 사용하는 나무를 구할 수 있고, 성을 쌓을 경우 방어에도 유리한 이점을 갖는다. 앞에 흐르는 하천은 비옥한 충적지를 형성하여 농경지를 제공해 주고, 농업에 필요한 용수의 공급처가 되고 교통로 및 방어선의 역할을 하기도 하여 취락의 입지에 매우 중요한 요인으로 작용한다.

이와 같은 이점 때문에 아직도 우리나라의 대부분의 농촌지역의 가옥들이 배산임수 지형에 위치하고 있어 규모가 작은 사면재해에도 인명피해가 많이 발생하고 있는 실정이다. 그림 5는 사면재해로 발생하는 인명피해는 대부분이 인구가 밀집한 시지역보다는 인구가 밀집되지 않은

군지역에서 많이 발생하는 경향을 나타내고 있다.

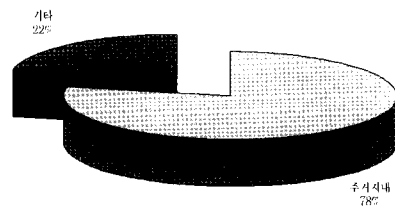
대부분의 인명피해가 발생한 장소는 그림 6에 나타난 것과 같이 주거지내에서 사망한 경우가 대부분을 차지하고 있다. 이는 위에서 언급한 것과 같이 배산임수의 주거지 위치에서 비롯된 것으로 보인다. 주거지의 바로 뒤편에 산이 위치하고 있기 때문에 집중호우로 인한 사면재해가 발생하면 미처 대피할 시간이 부족하고 동일 지역에서 오랜 기간 동안 아무런 사고 없이 거주했기 때문에 사면재해에 대한 경각심 또한 부족한 것으로 보인다.

산사태로 인명피해가 발생한 행정구역(2003~2007년)



<그림 5> 사면재해로 인명피해가 발생한 행정구역(2003년~2007년)

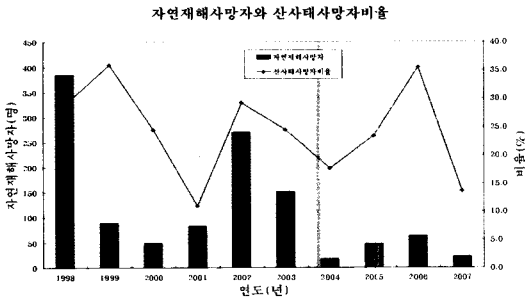
인명피해가 발생한 위치(2003~2007년)



<그림 6> 인명피해가 발생한 위치(2003년~2007년)

사면재해로 발생한 사망자와 자연재해로 인한 사망자의 경향이 비슷한 것을 그림 7을 통해서 알 수 있다(재해연보, 국가재난관리시스템). 1998년은 집중호우가 경기지역에 발생하여 인명피해가 많았으며 2002년은 태풍 '루사'의 영향, 2003년은 태풍 '매미'의 영향으로 인명피해가 많이 발생한 것으로 보인다. 큰 규모의 자연재해가 발

생하면 사면재해로 인한 인명피해 또한 크게 증가할 것이라는 것을 보여준다. 따라서 사면재해로 인한 인명피해저감을 위해 이에 대한 예방대책을 소홀히 해서는 안 될 것으로 판단된다.



〈그림 7〉 자연재해사망자와 사면재해사망자비율

3. 사면재해 발생 사례 (2007년 사례 중심)

3.1 전남 보성군

사망자 발생 거주지 뒤편으로 높이 10m, 70~80°의 급경사지로 이루어진 야산이 존재하며 집중호우시 사고위험성을 내포하고 있었다. 2007년 9월 16일 17~19시 사이에 159mm의 집중호우 발생으로 대피가 불가능하였으며, 깊이 1~2m, 폭 2~3m, 높이 10m의 소규모 급경사지가 붕괴(shallow flow / planar slide)하였으나, 급경사지 직하부에 가옥이 존재하여 인명피해가 발생하였다. 재해상황에 대처할 능력이 없는 여아(8개월)가 사망하였으며, 유사위험주거지역이 밀집해 있으므로 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.



〈그림 8〉 정면에서 본 피해 현장



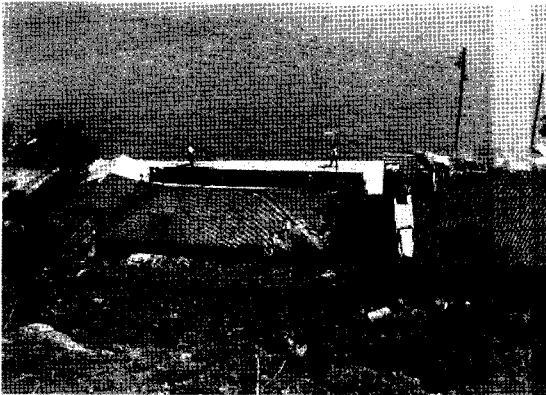
〈그림 9〉 측면에서 본 피해 현장

사망자 발생지점 중심으로 도로변을 따라 50~60가구가 급경사지 직하부에 위치하여 유사한 피해에 노출되어 있는 상황이며, 대부분의 농촌가옥이 자연사면과 근접위치하고 노후된 가옥이 많아 대규모 피해가 유발될 가능성이 농후하다.

별도로, 읍내에서는 배수펌프장이 설치되어 있으나, 소규모로 설치되어 용량이 부족한 실정이며 추후 집중호우 발생시 침수피해가 발생할 가능성이 크다. 최근 집중호우 피해가 많이 발생하고 있는 시점에서 산사태피해에 노출된 50~60가구가 존재하는 이 지역을 재해위험지역으로 지정하여 이주 대책 등 항구 대책 마련이 시급하다. 또한, 농어촌 인가주변의 인명피해유발 우려가 있는 재해위험 사면에 대한 조사 및 점검, 관리대책 수립이 절실한 상황이다.

3.2 전남 고흥군

2007년 9월 15일 일강우량이 179mm였으며 16일 계속되는 집중호우에 대피하기 위해 주택의 하수구를 점검한 후 낮잠을 자다 산사태로 매몰되어 인명피해가 발생하였다. 피해지역의 상부에 위치한 밭이 집중호우로 쓸려내려 오면서 80~85°로 이루어진 급경사지와 함께 붕괴되었으며, 규모는 폭 10m, 높이 10m, 깊이 2~3m 정도의 소규모였으나 주거지가 급경사지 직하부에 존재하여 피해가 발생하였다.



〈그림 10〉 상부에서 본 피해 현장



〈그림 11〉 산사태로 인해 완전 파괴된 주택

사망자가 발생한 주택은 현재 완전히 파괴된 상태이며 인명피해 발생지점 원편으로 동일한 규모의 산사태가 발생하였으나 사람이 거주하지 않아 피해가 발생하지 않았다. 가옥이 급경사지와 인접하여 형성된 20여 가구 역시 집중호우시 산사태의 위험에 노출되어 있는 상황이며, 가옥의 형태가 슬레이트 구조물로 이루어져 외부충격에 쉽게 파괴되어 피해가 가중되었다.

유사한 재해가 발생할 위험이 있는 주변지역을 재해위험지역으로 지정하여 이주 대책을 마련하는 것이 시급하며, 재해위험사면에 대한 조사 및 점검, 관리대책 수립이 필요하다. 또한, 우기전·중·후의 예찰활동 강화 및 인

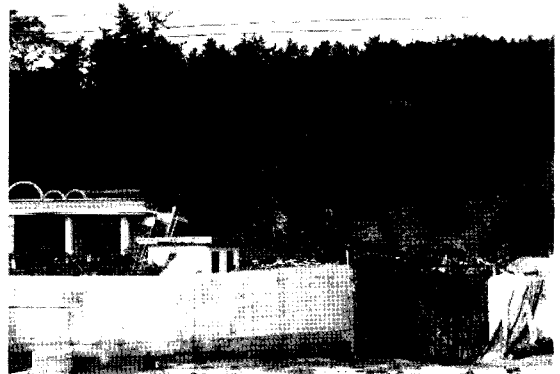
근 주민의 자발적 관심유도 필요성이 대두된다.

3.3 전남 장흥군

태풍 '나리'의 내습으로 2007년 9월 16일 집중호우로 인한 산사태로 가로 10m, 높이 15m, 깊이 3m 정도의 원호활동과괴가 발생하였다. 피해주택 뒤편의 경사지는 60~70°의 급경사로 이루어졌으며, 산사태가 한식 목조 슬레이트 지붕 가옥을 뒷면에서 강타하였다. 이번 산사태로 인해 방에서 휴식을 취하던 할머니가 흙더미에 매몰되었으며, 집 주변 배수로를 점점 중이었던 할아버지는 위기를 모면하였다.

과거에도 집 뒤편에서 소규모의 붕괴가 발생하였으나, 별다른 조치를 취하지 않아 이번에 인명피해가 발생하였고, 주택이 전파되어 다른 주거지 확보가 시급한 실정이다. 농촌 등과 같은 재난 취약지구에는 가옥의 노후화 및 거주민의 노령화 등으로 재난에 대처할 능력이 미흡하며 또한 산사태에 대한 교육 기회가 많지 않아 피해가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다.

산지에 인접하여 주거지가 형성된 지역에서는 우기시 산사태의 위험이 존재하며 급경사지 재해예방 및 대응에 관해 교육하는 등 급경사지 재해에 대한 국민의식 향상 교재개발 및 교육의 필요성이 대두된다.



〈그림 12〉 정면에서 본 피해 현장



〈그림 13〉 토사로 덮인 주택지

3.4 경북 울릉군

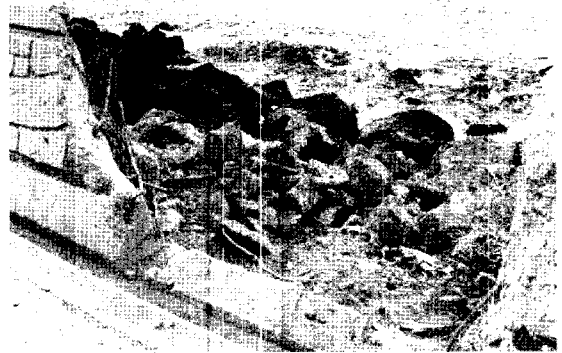
2007년 12월 3일 경북 울릉군 지방도 926호선(일주도로) 급경사지 사면의 상부에서 유발된 낙석으로 인명피해(사망 1명)가 발생하였다. 사고 당일 당시의 기상조건은 바람이 강하게 불고 간헐적으로 강우가 발생하였으며, 풍화가 심한 암석에 지속적인 진동으로 인해 결속력이 약해져 낙석이 발생한 것으로 판단된다.



〈그림 14〉 낙석으로 파손된 경찰 차량

울릉도 해안을 따라 형성되어 있는 일주도로 대부분 구간에서 낙석 및 산사태 징후가 발견되었으며, 기상 악화시 해안 암벽구간의 낙석으로 인해 교통 두절 및 교통사고가 빈번히 발생하고 있는 상황이다. 울릉도는 연간 약 23만

명의 관광객이 방문하는 지역으로 일주도로는 울릉도의 주요 관광 코스이나, 해안 일주도로구간의 월파 및 도로변 낙석피해 위험이 늘 상존하고 있어 이에 대한 대책마련이 시급하다.



〈그림 15〉 낙석으로 인해 파손된 일주도로 월파 방지시설

또한, 울릉도는 해저에서 분출된 중상화산으로 형성된 곳으로 일주도로 주변 사면은 90°에 가까운 급경사로 풍화가 심하므로 원활한 통행 및 재해위험 요인의 근원적 해소 및 예방을 위한 안전시설 설치가 시급하다. 단기적인 개선사항으로는 일주도로 전구간에 대한 안전도 검사를 통한 낙석 등의 산사태 위험성에 대한 정확한 평가가 필요하며, 현재 지방도로 지정된 일주도로를 국도 및 국가지원지방도로 승격하여 유지관리를 위한 국고 지원이 필요하다.

장기적으로는 일주도로의 낙석 및 산사태 위험이 큰 구간에 대해 피암터널을 설치하여 인명 및 재산피해를 저감시켜야 하며, 이를 위해 울릉도 일주도로의 급경사지 재해 저감을 위한 해안 구조물의 보강 및 피암터널 설치를 위해 각 기관의 협조가 필요하다(국립방재연구소, 2007).

4. 예·경보시스템

산림청은 「사면재해 위험지 관리시스템 및 산사태 예·

경보 발령기준)에 의거, 사면재해 위험지역을 지정·관리하고 있으나 사면재해 위험지역의 기준이 산지의 경사도나 임상조건 등 인명피해에 직접적인 영향을 미치지 못하는 일부항목으로 정해지는 경우가 많아, 지정 및 관리에 문제점이 발생하고 있다. 한 예로 2005. 8. 2~3 집중호우시 전북·경남지방의 인명피해를 유발한 사면재해의 경우, 모두 사면재해 위험지역으로 지정되지 않는 곳에서 발생하였다.

사면재해 등 급경사지 붕괴로 발생된 인명피해를 최소화하기 위해서는 사면재해 발생에 대해 단계적인 예·경보를 통한 주민대피가 가장 효과적인 대응방법이 될 수 있다.

현재 고속도로와 국도를 중심으로 상시관측계측시스템이 일부구간에서 운영 중이나, 인명피해 예방보다는 시설물 유지관리에 중점을 두고 있는 실정이므로 대부분 인명피해가 발생하는 산지하부와 도심지 주거밀집 지역에 대해 사면재해 등 급경사지 붕괴에 대한 예·경보시스템 구축이 필요하다.

방재연구소는 '08년 주요사업 「강우자료를 활용한 급경사지 대피 예·경보시스템 구축 연구」등을 통해 강우량을 이용, 사면붕괴 발생 전 예·경보를 발령할 수 있는 기준안을 마련 중에 있으며 향후 지역적 특성을 고려한 표준강우량을 제정하여 전국적인 사면붕괴 예·경보 시스템 구축을 추진할 계획이다.

5. 결론

우리나라에서 발생하는 지반재해의 많은 비중을 사면재해가 차지하고 있으며 사면재해의 유형은 토석류, 활동, 토석류와 활동의 복합적인 유형이 있다. 또한 사면재해를 유발하는 주요 요인으로는 집중호우와 태풍으로 나타나 물과 관련이 있다는 것을 잘 보여주고 있다. 사면재해의 주 발생지역은 강원도와 경기도 지역으로 지형적인 영향이 큰 것으로 판단되며 시지역보다는 군지역에서 사면재해가 많이 발생하는 것으로 나타났으며 사망 장소가 주거지 내인 것으로 나타났다. 우리나라에서 물에 의한 우수, 용수, 동결융해, 풍화 등에 의한 침식 및 표층부 붕괴 등으로 인한 사면재해를 방지하기 위해서는 식생공 등의 사면보호공법을 적용해야 하며 사면재해 위험지역에 살고 있는 주민을 대상으로 한 교육 실시 및 사면붕괴 예·경보 시스템 이 구축되어야 할 것이다. 특히 2008년 8월부터 「급경사지 재해예방에 관한 법률」이 시행되면 사면붕괴 등 지반재해가 어느 정도 저감될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국립방재연구소(2007), 급경사지 인명피해저감을 위한 광역 예·경보시스템 구축 기획연구, NIDP2007-01
- 박덕근(2007), 강우자료를 활용한 강릉 왕산면지역 산사태 예·경보시스템 적용 연구, 한국지반공학회 봄 학술발표회, p1112
- 산림청, 연도별 산림기분통계
- 소방방재청, 국가재난관리시스템(NDMS)
- 중앙안전대책본부, 재해연보 1998년~2005년
- 행정자치부, 지방자치단체의 행정구역 및 인구현황