

# 태풍 루사에 의해 발생한 사면재해의 특성

장현식<sup>1)</sup> · 박혁진<sup>2)</sup> · 장범수<sup>3)</sup> · 송운섭<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

우리나라의 사면관련 붕괴 사고는 주로 해빙기와 7~9월 사이의 태풍 및 집중호우가 발생하는 시기에 집중된다. 방재연구소의 자료에 의하면 사면과 관련된 재해, 즉 축대, 옹벽, 절토사면의 붕괴 및 자연사면에서의 산사태에 의하여 매년 평균 23명의 사상자가 발생하며 이는 전체 재해로 인한 연 평균 사망자(109명)의 22%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있다. 특히 2002년 8월 4일에서 11일 사이의 경기, 강원, 영남 지역의 집중호우로 인해 실종 1명을 포함하여 16명의 인명피해가 발생하였으며 그 중 사면재해 관련 피해자는 12명이었다. 뿐만 아니라 2002년 8월 30일부터 9월 1일 사이에 우리나라를 휩쓸고 간 태풍 루사에 의한 피해는 총 사망자 194명에 재산피해 약 5조 5천억원에 이르고 있으며 이중 사면재해 관련 피해는 사망 63명으로 전체 인명피해의 32%에 달하고 있어 사면재해의 심각성을 다시 한번 알 수 있다.

이번 수해의 경우 기상 관측사상 최고의 호우가 내릴 정도로 많은 비에 의해 피해가 발생하여 인력으로는 감당할 수 없는 상황으로 치부해 버릴 수도 있으나 이번 재해를 기회로 지금까지 우리가 다루었던 재해관련 정책이나 기술들을 재점검해 볼 필요가 있다. 그러한 의미에서 이번 재해에 의한 사면붕괴의 특성과 앞으로의 발전 방향에 관해 논의하고자 한다.

## 2. 태풍 루사에 의한 사면 재해 현황

태풍 루사는 8월 23일 열대저압부에서 약한 소형태풍으로 괌 동북동 쪽 약 1,800km 부근 해상에서 생성되어, 이후 강한 대형태풍으로 발달하였으며, 8월 31일 12시에는 제주도 서귀포 동쪽 약 58km 부근 해상까지 진출하였다. 같은 날 18시에는 전라남도 순천 부근에서 우리나라에 상륙하여 9월 1일 03시에 충청북도 보은 부근을, 12시에는 강원도 인제 부근을 지나 15시에는 강원도 속초 북동쪽 130km 부근 해상에서 열대성 저기압으로 약화되어 태풍 으로서의 일생을 마쳤다.

태풍 루사로 인해 발생한 집중호우는 전국적으로 많은 강우량을 유발시켰으며 강원도 지방과 영남지방을 중심으로 하천범람, 주택침수, 산사태 등으로 인해 많은 인명 및 재산피해를 발생시켰다. 특히, 강원도 강릉시는 연평균 강수량(1,401.1mm)의 62%에 육박하는 870.5mm의 강우가 하루만에 내렸다. 방재연구소에서 집계한 태풍 루사로 인하여 발생한 인명피해 및 재산피해를 정리하면 표 1과 같다.

---

주요어 : 태풍 루사, 사면재해, 산사태, 절토사면

- 1) 한국시설안전기술공단 기술개발실 기초지반팀 (whitenull@orgio.net)
- 2) 한국시설안전기술공단 기술개발실 기초지반팀 (hjpark@kistec.or.kr)
- 3) 한국시설안전기술공단 기술개발실 기초지반팀 (orpheous@kistec.or.kr)
- 4) 한국시설안전기술공단 기술개발실 기초지반팀 (sys0129@hanmail.net)

표 1. 태풍 루사로 인한 인명 및 재산피해 (방재연구소, 2002. 10)

구분	내용	
인명피해	사망	194 명
	실종	46 명
	부상	91 명
침수	농경지	34,414.85 ha
	도시	233.10 ha
건물	36.948 동	
선박	1,052 척	
농경지	15,611.66 ha	
농작물	180,513.94 ha	
공공시설	4,439,993,711 천원	
사유시설	599,595,841 천원	
총 피해액	5,469,780,763 천원	

표 1을 보면 태풍 루사로 인한 인명피해는 사망 194명, 실종 46명, 부상 91명 등 총 331명으로, 재산피해는 약 5조 4,698억 원으로 집계되었다. 이중 산사태 및 매몰, 용벽붕괴 등의 사면관련 인명피해는 총 63명으로 전체 사망자의 32%에 달하며, 특히 산사태에 의한 사망자가 51명으로서 가장 많은 인명피해를 유발시켰다.

태풍 루사에 의한 사면재해는 인명피해만이 공식적으로 집계되었을 뿐, 발생지역이 매우 많고 광범위해 피해현황을 완벽히 파악한다는 것은 현실적으로 불가능한 상태이다. 다만 국도변 도로 절토사면 중 전문가에 의한 안정화 대책이 요구되는 대규모 붕괴지역이 55개소로 파악되었으며, 이에 따라 한국시설안전기술공단과 한국건설기술연구원에서 붕괴지역에 대한 현장조사를 실시한바 있다.

### 3. 사면붕괴 유형 및 특성

태풍 루사에 의해 발생한 집중호우는 수많은 사면재해를 유발시켰으며, 사면재해의 유형은 붕괴 발생 지역에 따라 절토사면의 붕괴, 자연사면에서의 산사태, 임도에 의한 피해, 훼손임지의 피해 등 크게 4가지로 나눌 수 있다. 각 유형에 따른 붕괴원인 및 특징을 살펴보면 다음과 같다.

#### 3.1 도로 절토사면의 붕괴 특징

절토사면의 붕괴 특성을 파악하기 위해 현황조사를 수행한 지역은 강원도 양양군의 국도 7호선 및 44호선 일대, 강원도 강릉시 왕산면 국도 35호선 일대, 강원도 고성군 국도 46호선 일대의 총 34개소 절취 사면이다. 사면 붕괴가 발생한 현장은 약 90%가 토사사면으로 45도 이하의 평균경사와 약 25m 정도의 평균 높이를 보이고 있으며 평균 붕괴규모는 폭 20m, 길이 28m, 심도 3m를 보이고 있다. 붕괴형태의 경우 대개 원호파괴와 사면의 계곡부에서 발생한 토석류에 의한 파괴 형태를 보이고 있으며 이러한 붕괴양상은 예년의 붕괴현장이 주로 암반사면으로 구성되어 있는 것과 비교해 볼 때 매우 상이한 양상으로 파악된다. 또한 붕괴사면의 경사가 주로 35도에서 50도 사이의 각도에서 발생한 점으로 미루어 보아 언론에서 제기되었던 획일적인 63도(1:0.5) 적용에 의한 붕괴사고라기 보다는 일 강우량 800mm 이상의 기록적인 강우가 주된 원인이었던 것으로 보인다. 특히, 이번 집중호우에 의해 붕괴사

고가 주로 발생한 지역은 다른 지역에 비해 토층심도가 깊은 편으로 집중강우로 인한 지표수의 침투 및 토층 포화에 의한 원호형 및 토석류 형태의 파괴가 발생한 것으로 보인다. 그림 1은 강릉시 왕산면 도마리에서 발생한 절토사면의 붕괴양상이다.

집중 강우에 의한 유수의 침투량 증가는 사면 내의 간극수압의 증가와 지하수면 상승, 지반의 단위중량 증가를 유발시키고, 이는 유효응력과 지반의 전단강도를 감소시키게 된다. 이뿐만 아니라 지하수의 유출(seepage)면적이 증대되고 지반내의 지하수 유동속도의 증가를 초래한다(그림 2). 특히, 전단강도의 감소는 사면의 안정성에 가장 큰 영향을 미치며, 극한의 유수침투는 전단강도를 현저히 감소시킬 뿐만 아니라 지반의 상태를 액상화시키는 것으로 판단된다.

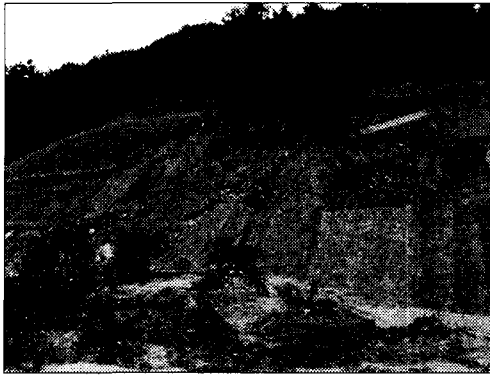


그림 1. 절토사면 붕괴지의 전경

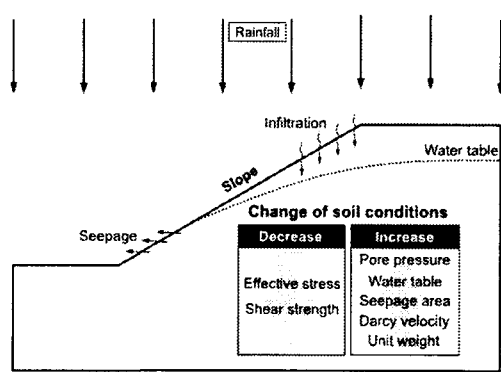


그림 2. 강우에 따른 지반상태의 변화

### 3.2 자연사면의 산사태 발생 현황

자연사면의 산사태 발생은 산 중턱에서 일부 발생하였으며 대다수가 계곡부에서 토석류를 동반하는 형태로 발생했다(그림 3). 산 중턱에서 발생한 산사태의 경우 특히 1998년과 2000년의 산불 발생지역의 경우 다른 지역에 비해 산사태 발생빈도가 매우 높았다. 산불 피해지의 경우 계곡부와 산중턱을 막론하고 전 지역에서 발생하였으며 특히 완경사지에서도 많은 산사태가 발생했다. 이같이 산불 피해지역에서 산사태가 많이 발생한 원인은 산림이 훼손됨에 따라 수목이 제공하는 사면안정 기여 효과(pile 효과, net 효과)가 상실되었기 때문으로 판단된다(그림 4).

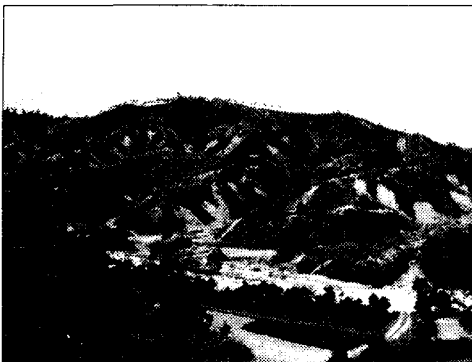


그림 3. 강릉지방의 산사태 상황

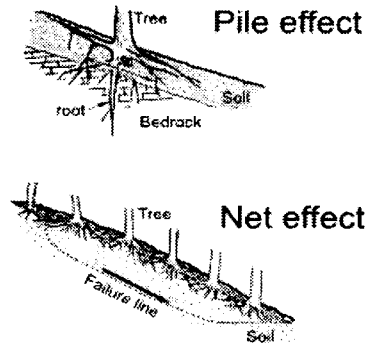


그림 4. 수목의 사면안정 효과

### 3.3 임도로 인한 피해

임도는 산림의 효율적인 관리를 목적으로 개설되는 산림 내 개설되는 도로로 시공단가가 낮고 친환경적인 도로건설을 목적으로 콘크리트 구조물의 설치를 가능한 피하고 있는 실정이다. 이번 수해로 인해 발생한 임도의 피해는 주로 성토사면을 중심으로 발생했다. 이러한 원인에는 임도 시공 기준 내의 성토사면 경사도가 45도 내외로 급한 점도 있으나 현실적으로 임도의 개설 위치가 산의 중턱에 개설되는 지형적인 특성과 낮은 단가로 성토사면을 안정화하기 위한 구조물의 설치가 어려운 점도 크게 작용한 것으로 보인다. 그러나 임도의 위치가 대개 인가로부터 많이 떨어진 산림 내에 존재하므로 임도를 중심으로 산사태가 발생한 현장은 많이 있었으나 직접적으로 재산이나 인명피해에 영향을 미친 현장은 발견하지 못했다.

### 3.4 훼손임지의 피해

훼손임지는 묘지나 고랭지 채소밭과 같이 일정한 목적을 가지고 수목을 제거하고 개발한 지역으로 이번 수해에 의해 강원도 지방에서는 강릉시 사천면의 공원묘지와 삼척시 주변의 고랭지 채소밭 일부가 피해를 입었다. 공원묘지의 경우 최상부 성토사면의 붕괴로 약 700기 이상의 묘소가 유실되었으며 그 원인으로는 급경사지에 석축을 이용하여 무리한 공원을 조성하였고 석축내의 배수시설이 미비했으며 전체적으로 배수시설이 불량했던 것으로 파악되었다. 특히, 공원묘지의 지형형태가 계곡부로 주변의 강우를 집수할 가능성이 높은 특성을 가지고 있었다. 또한 고랭지 재배지의 경우 개간에 의해 산림을 고랭지 재배지로 조성함에 따라 표토 유실이 증가되었고 배수시설의 설치가 미비했다. 이들 지역은 재배지를 늘리려는 목적이고 급경사로 조성한 곳이 많았으며 따라서 급경사지 특히, 사면경사가 20도 이상인 지역이 피해가 컸다.

## 4. 제 언

산사태는 지구가 존재하는 한 끊임없이 계속된다. 이는 수십억년에 걸쳐 화산활동과 조산운동 등을 통해 형성된 지형의 고저에 의한 불균형을 깨고 평형화하려는 자연적인 현상으로 인간의 힘에 의해서는 산사태를 근절시키기 불가능하며 결국 산사태의 발생을 최소화하고 이로 인한 피해를 줄이려는 노력이 지속적으로 수행되어야 함을 의미한다.

우리나라의 경우 자연재해에 의해 발생하는 인명 피해 중 산사태에 의한 피해가 20~30%를 차지하고 있는 실정이며 집중호우의 가능성이 높아지는 기후특성의 변화와 산업화로 인한 지속적인 산지 개발 등을 고려해 볼 때 사면재해로 인한 피해가 한층 가중될 것으로 판단된다. 그러나 우리나라는 사면재해에 대비한 정책적인 뒷받침이나 연구가 아직 미흡한 실정이다. 우리와 유사한 강우 특성을 갖는 일본의 경우 산사태 방지법(1958년), 급경사지 붕괴로 인한 재해 방지법(1969년), 토사재해 방지대책 추진법(2001년)을 통해 사면관련 재해로부터 국민을 보호하기 위한 각종 법령을 시행하고 있다. 이러한 법령을 통해 5년마다 사면에 대한 기초조사를 실시하고 이러한 결과를 토대로 재해위험지역을 지정하며 이러한 지역 내에서의 개발행위 등을 제한하는 등 적극적인 대책을 추진하고 있다. 홍콩의 경우에는 산사태 위험 예경보제를 실시하여 강우량 등이 일정 양을 초과할 경우 산사태 예경보를 발령하고 이를 방송매체를 통해 해당 지역 주민 등에서 통보하며 주민들의 활동을 제한하는 등의 대책을 수행하고 있다. 우리나라의 사면재해 관련법은 사망사업법과 자연재해대책법으로 사면 재해를 포함한 모든 자연재해에 대한 포괄적인 내용을 담고 있어 사면재해와 관련된 구체적인 내용이 미흡한 실정이다. 따라서 금번의 사면재해를 교훈삼아 보다 구체적이고 효율적인 사면재해 방지 시스템 및 법규를 정립할 필요가 있다.