산사태 발생 현황 및 관리 방안

임 상 준
서울대학교 산림과학부 / 부교수
junie@snu.ac.kr

김 민 식
사방협회 / 실장
watangka@sabang.or.kr

1. 머리말

최근 기후변화의 영향으로 국지성 집중호우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인한 침수, 범람 및 산사태 등의 자연재해가 증가하고 있다. 지형적으로 우리나라는 국토의 60% 이상이 경사 15° 이상의 급경사지에 위치하고 있기 때문에 집중호우에 의한 산사태 발생가능성이 매우 높다. 2006년에 강원도 인제와 평창지역, 2008년에 경상북도 봉화지역에 대규모의 산사태가 발생하였으며, 2010년과 2011년에는 서울 도심을 중심으로 산림지역 뿐만 아니라 도시지역에서도 산사태 등의 산지토사재해가 많이 발생하였다.

사방사업법에서는 산사태를 자연적 혹은 인위적인 원인으로 인하여 산지가 일시에 붕괴되는 것으로 정의하고 있다. 즉, 강우에 의해 산정 가까운 산복부의 토양층이 일시적으로 팽창되어 산지사면을 따라 연속적으로 붕괴되는 침식현상을 말하며, 비교적 산지의 경사가 급하고, 비탈면의 토층 바닥에 암반이 발달되어 있는 곳에서 자주 발생한다. 이러한 산사태는 산지하천으로 흘러들어 토석류를 유발하고, 하류지역의 인명 및 재산피해를 가져오며, 장기적으로 산지를 황폐화시키는 원인이 된다.

산림청에서는 산사태위험지관리시스템(http://sansatai.forest.go.kr/)을 통하여 산사태 발생 위험지를 예보하고, 산사태 관련 정보를 관리하고 있다. 그러나 산사태 발생 가능지를 사전에 정확하게 예측하는 것은 매우 어렵다. 우리나라의 산사태는 대부분 집중강우에 의해 발생하고 있기 때문에 특정지역에 발생하는 국지성 강우를 미리 예측하는 것은 불가능하다. 또한, 동일한 강우 조건에서도 산지사면의 지질, 지형, 토양 및 식생 등에 따라 산사태의 발생 유무가 달라진다.

이 논문에서는 우리나라 산사태의 발생 현황과 원인에 대해 살펴보고자 한다. 또한, 2010년 서울지역에 발생한 산사태 발생지의 조사 결과를 통해 효율적인 산사태 위험지 관리방안을 모색하고자 한다.

2. 산사태 발생 현황

2.1 우리나라 산사태 발생 현황

최근의 산사태 발생면적 및 인명 피해는 〈그림 1〉과 같다. 〈그림 1〉은 1976부터 2006년까지의 산사태 발생 현황을 정리한 것으로, 연간 평균 산사태 발생면적은 440 ha이며, 인명 피해는 연간 36명으로 나타났다. 연도별 산사태 발생현황을 살펴보면, 산사태 발생면적은 점차적으로 증가하고 있으나, 인명 피해 정도는 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 최근의 기후변화로 집중호우의 발생빈도가 많아져 이로 인한 산사태 발생이 증가하기 때문이다. 그러나 재해관리 및 사방댐 설치 등을 통한 산사태 관리 및 재해 예방 기능의 강화로 인명 피해는 상대적으로 줄어들고 있다.

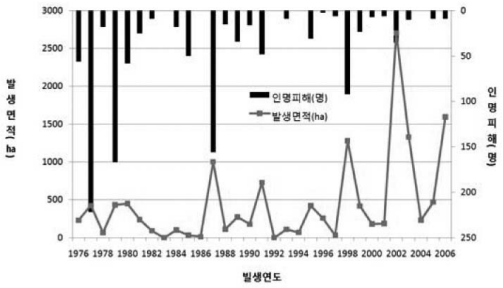

그림 1. 우리나라의 산사태 발생현황 (산림청, 2006)

2.2 서울지역 산사태 발생 현황

2010년 태풍 곤파스와 집중호우로 인하여 서울지역에서는 많은 산사태가 발생하였다. 2010년 9월 21일 서울지역의 강우량을 살펴보면, 강서구의 최대 293 mm부터 도봉구의 최소 95.5 mm까지 지역에 따라 많은 차

표 1. 2010년 서울지역의 산사태 발생현황 (산림청, 2010)

시설구분	시설명	위치	피해면적(ha)
국유림	안산도시자연공원(안천약수터)	서울 서대문구 홍제1동	0.1
국유림	안산도시자연공원(홍제약수터)	서울 서대문구 홍제1동	0.1
국유림	인왕산도시자연공원(인왕중학교 뒤)	서울 서대문구 홍제3동	0.2
국유림	구룡산	서울 서초구 내곡동	0.5
사유림	서리풀공원	서울 서초구 반포4동	2.0
사유림	방배근린공원	서울 서초구 방배3동	0.5
사유림	우면산도시자연공원(유점사약수터 계곡부)	서울 서초구 방배3동	3.2
사유림	말죽거리공원	서울 서초구 양재1동	1.0
사유림	우면산도시자연공원(태극약수터, 생태공원 등)	서울 서초구 양재1동	2.0
사유림	청계산	서울 서초구 양재2동	0.2
사유림	대모산	서울 서초구 내곡동	1.0
사유림	인능산공원	서울 서초구 내곡동	1.0
지자체소유림	안산도시자연공원(연자사 뒤)	서울 서대문구 연희1동	0.2
지자체소유림	궁동근린공원	서울 서대문구 연희2동	0.3
지자체소유림	둔촌동 산140 임야	서울 강동구 둔촌2동	0.3

그림 2. 서울지역의 산사태 피해 사진 (좌: 서대문구 연희동 지역, 우: 서초구 방배동 우면산 도시자연공원)

이를 보였으나, 평균 강우량은 259.5 mm이었다. 산림청의의 도심지역 산사태 실태조사·분석(2010)에 의하면, 서울지역의 산사태 발생지는 〈표 1〉과 같이 전체 15개소이며, 국유림, 사유림과 지자체 소유림이 각각 4개소, 8개소와 3개소 등이었으며, 전체 피해면적은 12.6 ha이었다.

산사태가 발생한 지역은 대부분 주택개발을 목적으로 산지비탈면을 과다하게 절취하여, 비탈면의 경사가 30o 이상이 되는 급경사지를 형성하고 있기 때문에 여름철 집중호우 시에는 산지붕괴가 우려되는 지역이었다. 특히, 마을이나 건물과 인접한 산지비탈면의 일부를 경작지로 활용하는 등 타용도로 이용하는 경우가 많아, 강우 시에는 이 구간에 유출수가 순간적으로 집수되고 많은 양의 강우가 토양 중으로 침투되어 결국에는 지층의 지반력 약화를 가져온 것으로 보인다. 이러한 산지비탈면에은 과거 사방용 수종인 아까시나무 등 초기 생육이 좋은 사방수종이 식재 또는 침입되어 생육하였으나, 현재에는 약 30년생 이상의 노령목이 됨에 따라 집중호우로 인해 쉽게 풍도되거나 붕괴될 가능성이 높았다.

3. 산사태 발생 원인

강우는 산사태를 유발하는 직접적인 요인이다. 산림청에서는 연속강우량이 100mm 이상이거나 1일 강우량 80mm 이상, 1시간 강우량 20mm 이상인 지역에는 산사태 위험주의보를 발령하고, 연속강우량이 200mm 이상이거나 1일 강우량 150mm 이상, 1시간 강우량 30mm 이상인 지역에 대해서는 산사태 경보를 사전에 발령하여 산사태 피해를 최소화하기 위한 노력을 하고 있다. 〈그림 3〉은 최근의 산사태 발생지를 대상으로 강우 특성을 분석한 결과이다. 〈그림 3〉과 같이 산사태는 연속강우량 200mm 이상, 최대시우량 32mm 이상인 경우에서 대부분 발생하고 있다. 그러나 강우량만을 기준으로 산사태 발생을 정확하게 예측하기는 어렵다. 산사태 발생은 강우량뿐만 아니라 강우강도, 강우 지속시간, 산행강우조건에 따라 영향을 받으며, 지질이나 지형과 식생 등과도 상호 연관되어 있다(산림청, 2006). 특히, 강우 강도와 시간별 강우분포는 산사태 발생에 가장 큰 영향을 미치는 강우인자로 알려져 있다 (유철상과 김

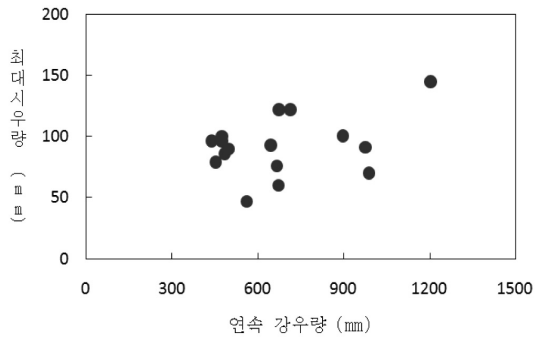

그림 3. 우리나라의 산사태 발생현황 (산림청, 2006)

기욱, 2010).

지형은 강우시에 지표수의 유출 및 침투에 많은 영향을 미친다. 특히, 사면의 경사도 및 경사방향은 산사태 해석에 매우 중요하다. 지금까지의 조사 결과에 의하면, 산사태는 경사 30°~35°에서 가장 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 경사도 30° 미만에서는 대규모 산사태가 주로 발생하였으며, 급경사 지역에서는 토심이 상대적으로 얕아 천층 산사태가 많이 발생하였다. 사면의 기하형상에 있어서는 평행사면과 하강사면에서 산사태가 주로 발생하였다 (정규원 등, 2008).

산사태가 잘 발생하는 지역을 살펴보면 편마암 지역에서 산사태 발생빈도가 가장 높으며, 다음으로 편암과 화강암 순으로 나타났다. 따라서, 편마암이나 편암 분포 지역이 화강암 지역에 비하여 산사태에 더 취약한 것으로 보고되었다 (김원영 등, 2000). 토양 중에 자갈이나 모래 함량이 많아지면 점착력이 작아지고 안식각이 커지게 되고, 반대로 점토함량이 많은 토양은 상대적으로 점착력이 커지며 안식각은 작아진다. 일반적으로 점토보다는 모래 함량이 많은 토양에서 산사태가 많이 발생한다.

식생은 산사태의 발생을 억제하는 한편, 산사태 유발을 촉진하는 효과를 가지고 있다. 수목은 뿌리의 인장저항에 의해 토양의 전단력을 증가시키는 사면보강 효과를 가지고 있으나, 자체 하중에 의해 토양층의 활동력을 증가시키기도 한다 (Kim 등, 2010). 일반적으로 산사태는 활엽수림이나 혼효림에 비하여 침엽수림에서 많이 발생하고 있으며, 인공림이 천연림보다 산사태 발생 빈도가 높게 나타났다 (정규원 등, 2008; 박종민 등, 2010). 또한, 임분밀도가 높을수록 산사태 발생빈도가 적고, 경급별로는 경급이 커짐에 산사태 발생이 줄어드는 경향을 보인다.

4. 산사태의 예방 및 복구대책

사방사업법 (2011.7.14 개정)에서는 산사태 예방사업과 산사태 복구사업으로 구분하여 사방사업을 시행하도록 하고 있다. 산사태 예방사업은 산사태의 발생을 사전에 방지하기 위하여 시행하는 사방사업을 말하며, 산사태가 발생한 피해지역을 복구하기 위해 시행하는 사방사업을 산사태 복구사업으로 분류하고 있다. 즉, 산사태 예방사업은 산사태 발생위험이 크거나 우려되는 지역에 대하여 산사태, 땅밀림 및 붕괴 등으로부터 주택, 산업시설 및 농경지 등을 보호하기 위해 시행하는 사방공사이다. 산사태 발생을 사전에 예방하기 위한 방법으로는 산사태 발생위험 지점으로부터 하류의 산지하천에 이르기까지 집배수로 (속도랑 및 겉도랑)를 계통적으로 설치하여, 유출수를 신속하게 배제하는 것이 중요하다. 또한, 산사태 발생위험지역에는 옹벽과 말뚝박기공사와 같은 붕괴방지용 흙막이 공작물을 설치해야 한다. 산사태 복구사업은 산사태가 발생한 지역에서 2차적인 산사

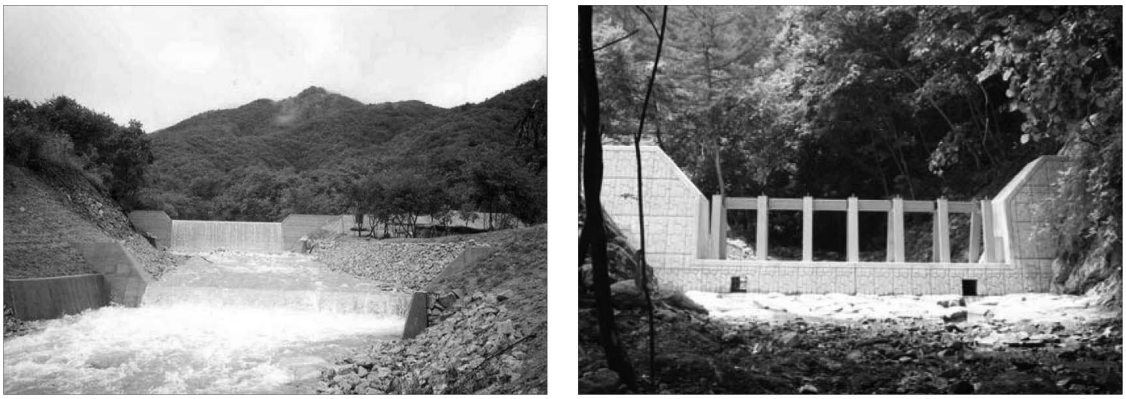

그림 4. 사방댐 (좌: 콘크리크사방댐, 우: 투과형사방댐(슬릿트댐)

태나 붕괴를 방지하고, 신속히 식생을 정착시켜 생태적 안정을 도모하기 위해 실시하는 사방사업이다.

최근에는 산사태 및 토석류 피해 예방을 위한 사방댐 설치가 증가되고 있다. 사방댐은 산지하천의 석력이나 유목의 저류 및 이동 방지를 목적으로 1986년 처음으로 도입되었으며, 산사태 피해 저감에 대한 효과로 인해 사방댐 설치는 지속적으로 증가하고 있다. 최근에는 어류의 이동 등 생태적 기능 및 환경적인 측면에서 하천의 소통에 대한 인식 증가로 슬릿트사방댐과 같은 투과형 사방댐에 대한 관심이 증가하고 있다.

5. 마치면서

산사태는 주로 집중강우에 의해 유발되며, 이 외에도 지질, 지형, 토양 및 식생 등에 따라 피해규모 및 발생원인이 다르게 나타난다. 최근 산사태는 점차 대형화되고 발생횟수도 매년 증가하고 있으며, 이로 인한 재산피해도 늘어나고 있다. 이러한 산사태로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 붕괴의 우려가 있는 지역을 사전에 파악하여 구조적 방지대책과 산사태 발생경보 등의 산사태 위험지 관리대책을 수립하여 운영하여야 한다.

도심지역내 산사태 우려 지역에 대해서는 아까시나무와 잣나무 등 천근성 수종을 벌채 또는 정리하여 근계발달이 좋은 수종으로 갱신하는 것이 산사태 예방에 효과적이라 판단된다. 한편, 산복사면에서 발생한 유출수를 빠르게 배제하고 지하수위를 조절하기 위한 배수시설 등의 설치 및 보완이 요구된다. 특히, 산림지역내 물이 유출되는 약수터 등에 대한 집중적인 관리가 필요하다.

지금까지 조사결과에 의하면, 산사태 발생지역 주변에는 사방구조물이 거의 없거나 노후되어 제기능을 발휘하지 못하는 경우가 많으므로, 기존 사방시설 및 사면안정공법을 전면 보강하여 사면을 안정적으로 관리하기 위한 구조적 대책이 요구된다. 다만 구조적 대책만으로 산사태로 인한 피해를 전적으로 예방하기 어렵기 때문에 산사태나 붕괴가 우려되는 지역에 대해 실태조사 및 지속적인 모니터링이 필요하며, 이들 지역에 대한 재해관리적 측면의 적절한 관리 대책을 수립하여야 한다. 산사태 등과 같은 자연재해는 사회경제적으로 엄청난 피

해를 가져오며, 앞으로 이러한 재해의 발생빈도 및 피해 규모는 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 따라서, 자연재해로 인한 피해를 최소화하기 위한 구조적, 비구조적 대책의 수립 및 시행에 대한 지속적인 관심과 지원이 필요하다.

참고문헌

1. 김원영 등, 2000, 산사태 예측 및 방지기술연구, 한국자원연구소, KR-00(T)-09.
2. 박종민, 마호섭, 강원석, 오경원, 박성학, 이성재, 2010, 전라북도 지역의 산사태발생 특성분석, 농업생명과학연구, 44(4):9-22.
3. 산림청, 2006, 한국사방100년사. pp 838.
4. 산림청, 2010, 도심지역 산사태 실태조사 · 분석. pp 209.
5. 유철상, 김기욱, 2010, 유역내에서의 산사태에 의한 토사발생특성 분석: 2. 강우사상별 분, 한국방재학회논문집, 10(3):147-154.
6. 정규원, 박상준, 이창우, 2008, 산사태 발생위험 예측을 위한 판정기준표의 작성-경상북도 지역을 중심으로, 한국임학회지, 97(3):332-339.
7. Kim, D, Lee, S.H., Combalicer, E.A., Hong, Y. and S. Im, 2010, Estimating soil reinforcement by tree roots using the perpendicular root reinforcement model, International Journal of Erosion Control Engineering 3(1): 80-84.

기획: 손영환 syh86@snu.ac.kr