



# 극한강우 산사태 재해 실시간 예측 및 대응 원천기술 개발

2011년 7월 27일, 전날에 이어 쏟아진 시간당 최대 110.5mm라는 기록적인 집중호우는 우면산 일대에 토석류형 산사태를 유발했다. 매우 빠른 속도로 사태물질이 확산되면서 36명(사망 16, 부상 20)의 인명피해와 168억 원의 재산피해를 야기하였다. 이러한 산사태 재해는 비단 우면산만의 문제가 아니다. 우리나라는 산악지형이 많은 특성을 가지고 있고, 배산임수의 풍수지리 영향으로 산이나 구릉을 끼고 있지 않은 도시가 거의 없다. 때문에 주거지와 생활권이 산지 주위에 형성되어 산사태나 토석류 등의 재해에 매우 취약하다. 해마다 반복되는 자연재해, 사후 복구 차원이 아닌 보다 근본적인 대책은 없을까?



글 이승래  
한국과학기술원  
건설및환경공학과 교수  
srlee@kaist.ac.kr

글쓴이는 미국 스탠퍼드대학에서 박사학위를 받았으며, 불포화 사면 및 지열에너지 관련 다수의 연구를 수행하였다. 현재 한국연구재단 공공복지안전기술개발사업의 지원을 받고 있는 극한강우 산사태 재해 원천기술 개발 연구단장을 맡고 있다.

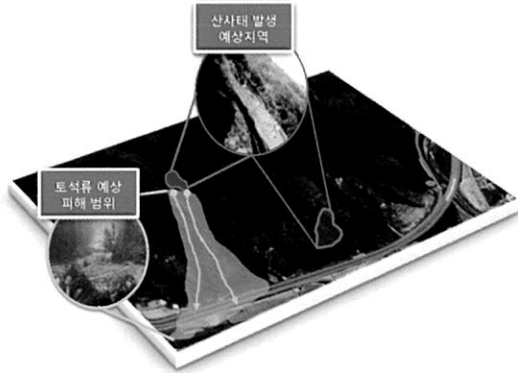
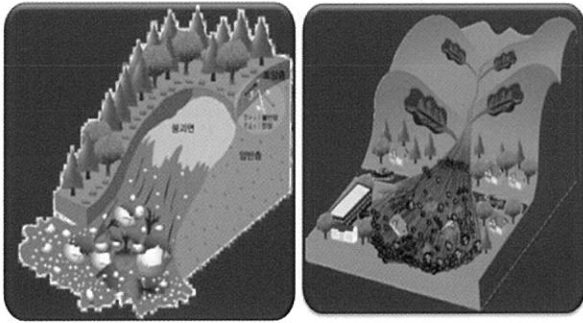
## 산사태와 토석류의 피해

산사태는 강우나 지진 등으로 토양간의 결속이 감소하여 흩이나 암석 등이 균형을 잃고 중력방향으로 일시에 아래로 무너져 내리는 현상이다. 토석류는 산사태로 발생된 토사와 계류 바닥에 쌓인 흙, 돌, 바위가 물에 의해 쇄굴 및 침식되어 퇴적부에 위치한 도로, 민가, 공공시설물 등의 재산피해와 인명피해를 유발하는 현상이다.

산사태와 구별되는 토석류의 특징은 산지 일부분에서 발생하는 산사태와 달리 토석류는 발생부로부터 전체 산을 타고 흘러 내려와 먼 거리를 이동하며, 이동 중에 침식으로 인해 그 규모가 증가한다. 또한 토석류의 이동속도는 0.5m/s

~ 20m/s 이상으로 매우 빠르고 지속적으로 발생하는 경향을 보인다. 그리고 산사태보다 상대적으로 예측이 어려운데다 확산 범위가 넓으므로 큰 피해를 야기한다.

토석류는 산사태로부터 발전되는 경우가 많으며, 2011년 발생한 우면산 및 춘천 산사태는 산사태가 토석류로 전이되어 막대한 인명과 재산의 손실이 발생한 예이다. 필자와 본 연구단은 극한강우에 대비하여 이러한 산사태 및 토석류 재해를 실시간 예측하고 대응할 수 있는 원천기술 개발을 최종 목표로 한다.



▶▶ 산사태 및 토석류 개념도 (출처 : 산사태정보시스템, "http://sansatai.forest.go.kr/")

### 미래 극한강우에 대비

산사태를 일으키는 가장 큰 요인은 기상조건이다. 4계절이 뚜렷한 우리나라는 특히 강우로 인한 산사태가 많다. 산사태 발생의 주요 요인인 강우는 단시간에 집중적으로 쏟아 붓는 집중호우 시 산사태를 가장 많이 유발시키며, 우리나라는 강우량이 집중되는 6~9월에 빈번하게 발생한다.

최근 산사태 발생빈도와 규모가 과거에 비해 크게

증가하는 원인은 전 지구적인 기후변화에 있다고 할 수 있다. 그런데 특이한 점은 강우량은 증가하지만 비가 내리는 일수는 오히려 감소하여 강우강도가 강해지고 있으며, 이로 인한 호우일수도 증가했다는 점이다. 즉, 요즈음 해마다 찾아오는 장마와 태풍, 국지적 집중호우는 이상강우 조건에서 유발될 수 있는 극한 강우의 발생 조짐이 보이고 있다. 최근 대규모의 산사태들을 살펴보아도 과거에는 발견할 수 없었던 기록적인 극한강우 때문에 유발되는 경우가 대부분이므로, 보다 적절하게 극한강우를 정의하고 발생추이를 분석하는 등의 극한강우 관련 연구가 선행되어야 할 것이다.

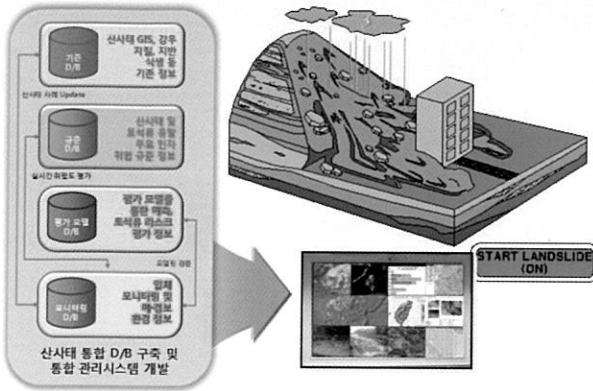
이를 위해 본 연구단에서는 국내외 극한강우에 대한 기존 연구를 바탕으로, 기존의 일반적 기후 조건에 대한 산사태 발생 관점에서 한발 더 나아가 이상강우 조건에서 유발될 수 있는 극한강우 산사태에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있다.

### 산사태 통합관리시스템 개발

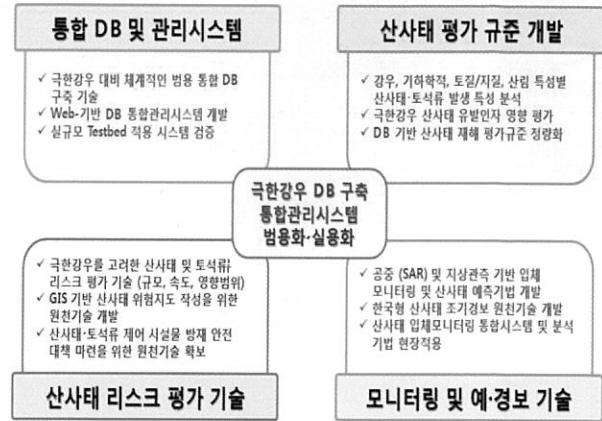
산사태 및 토석류 재해는 강우, 지형, 산림, 토양, 지질 조건 등의 산사태 발생조건에 따라 특성이 다르게 나타나므로 관련 자료수집 및 영향인자 연구가 선행되어야 한다. 이를 바탕으로 산사태 예측 모델이 개발되면, 실시간 모니터링 시스템 구축을 통해 정확한 예·경보가 가능해진다. 산사태 재해 예측을 위한 이러한 일련과정의 통합, 연계 체계를 산사태 통합관리 시스템이라 한다.

국내에서 산사태 재해를 예측하고 대응하기 위한 시스템을 구축하려는 노력은 지금까지 여러 연구기관 및 정부 각 부처에서 해왔다. 하지만 기관마다 고유의 업무영역에 따라 독자적으로 시스템을 구축하고 있어, 분산된 관리 및 시스템 활용성 저하를 초래하였다. 게다가 요즈음 유통되는 정보의 폭증으로 사람이 직접 정보를 일일이 열어보고 내용을 파악하는 것이 불가능하기 때문에 합리적인 산사태 평가 및 예측을 위해서는 대량의 정보에 대한 종합관리가 필요하다.

미국, 캐나다, 일본, 유럽 등 선진국에서는 이와 같은 연구사업을 단일 대학이나 산업체가 수행하기 어



▶▶ (출처 : '극한강우 산사태 재해 실시간 예측 및 대응 원천기술 개발 연구단' 연구개발계획서, 대안 National science and technology Center for Disaster Reduction "www.ncdr.gov.tw")



▶▶ 연구단 기술개발 개념도 (출처 : '극한강우 산사태 재해 실시간 예측 및 대응 원천기술개발 연구단' 연구개발계획서, 2012)

려운 국가적 공공사업으로 보고 국가기관이나 정부 연구소에서 담당하고 있다. 때문에 본 연구단은 기존 산사태, 토석류 관련 연구를 다방면으로 진행해 온 다양한 연구자와 단체들이 참여하고 있으며, 국토해양부, 소방방재청, 산림청 등 각 부처와 책임기관들의 지속적인 관심과 지원 또한 필요하다.

필자는 자연재해 방재활동에 활용할 수 있는 다양한 정보와 기술을 통합적으로 활용하기 위해 산사태 통합관리시스템 개발을 추구하고 있다. 통합관리시스템은 기존 DB를 단계적으로 통합 구축(1세부과제), 지질, 지형 등 산사태 재해 유발 영향인자 평가(2세부과제), 극한강우를 고려한 산사태, 토석류 정량적 위험기준 개발(3세부과제), 산사태 위험도 예측 및 토석류 리스크 평가 기술(4세부과제), 산사태 입체 모니터링을 통한 산사태 실시간 예측 및 예·경보 기술(5세부과제)을 포함한다. 개발된 산사태 통합관리시스템은 조직적·체계적인 정보를 통한 서비스를 제공하여, 산사태 재해 정보의 대국민 신뢰성을 높이고 산사태 예측 능력을 향상시킬 수 있을 것이다.

### 자연을 대하는 겸손함

'극한강우 산사태 재해 실시간 예측 및 대응 원천기술개발 연구단'에서는 과거 우먼산 산사태의 경험을 되새기고, 그 교훈을 미래사회에 적용하기 위한 원천

기술개발을 이루고자 한다. 즉 전 지구적 기후 변화에 따른 기록적 이상기후 조건에서 유발될 수 있는 극한 강우 산사태 재해를 실시간 예측하고 이에 대응할 수 있는 원천기술 개발을 최종 목표로 한다.

연구개발 완료시점인 2017년 이후 산사태 재해 등 국내 자연재해 인증 시장 규모는 약 10조 원을 상회할 것이며, 본 연구단에서 개발된 원천기술로 인한 전체 피해 저감액은 연간 1조 원에 달할 것으로 예상된다. 또한 매년 재해가 발생할 때마다 관련분야에 유행처럼 발생하는 중복투자를 최소화하고, 국가의 일원화된 방재대책 하에 현재 사후복구 위주의 행정에서 사전 방재대책 위주로의 방재 행정 변화가 가속될 것으로 기대된다.

첨단기술이 보편화되고 과학이 발달할수록 우리는 자연재해의 위험에 더 많이 노출되고 있는 것 같다. 자연재해는 매년 반복되지만, 점점 규모가 커지고 예측하기도 어려워졌다. 본연적으로 인간은 자연을 이길 수 없는 존재다. 하지만 인간은 자연 속에서 살아남을 수 있는 지혜와 의지를 갖고 있다. 필자를 비롯한 본 연구단은 거대한 자연을 대하는 겸손함으로 산사태 및 토석류 재해로부터 국민의 생명과 재산피해 저감을 위한 실질적인 해법을 제시하고, 새로운 원천기술을 기반으로 재해관련 세계시장과 학계에 선도적인 역할을 할 수 있을 것이다. 