

산지지역 토양침식 방지대책과 향후 과제



정 재 학
국립방재연구소 시설연구사
blueboat@nema.go.kr



이 종 설
국립방재연구소 풍수해방재연구팀장
jlee@nema.go.kr

1. 머리말

매년 빈번하게 발생하고 있는 대형 산불, 지역개발에 따른 건설활동, 산림관리를 위한 대규모 벌목 등으로 산지지역 환경이 급변하고 있으며, 이로 인하여 토사재해가 심화되고 있다. 특히, 산지하천의 경우 본류와 합류하기전의 산지출구지역의 주거지와 농경지에서 토사의 퇴적에 따른 범람의 발생으로 토사재해가 극심한 실정이다. 또한, 전국토의 67%가 산지로 구성된 우리나라는 각종 토지이용도의 증가로 인해 산지개발행위가 증가하고 있고, 기후변화 등으로 인한 국지적 집중호우의 발생빈도가 높아 토사로 인한 재해의 위험은 증가 추세에 있다. 아시아의 경우 매년 헥타르당 30톤의 토양침식이 발생하고 있으며, 미국에서는 2002년 기준으로 토양침식에 의한 연간 비용이 300~440억 달러가 소모되는 것으로 알려져 있다.

국내 토양 침식 및 토사유출 방지기술은 사방공학적인 측면에서 일부 시행방법이 확립되어 있으나 산불, 벌목, 건설활동 등과 같은 산지환경 급변지역에

대한 연구 및 대책은 미흡한 실정이다. 특히, 토양침식 및 토사유출의 추정방법은 국내에서는 아직 정착되지 못한 실정이며 외국에서 개발된 모형을 일부 수정·보완하여 적용하고 있다. 외국의 경우 60여년 전부터 토양손실과 관련된 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 결과 미국은 USLE, WEPP, 유럽은 EUROSEM, 호주는 GUEST 등 각기 자국의 자연특성 및 사회·경제적 특성을 고려한 독자적인 모형을 구축하고 과학적인 예측에 기반한 저감기술 및 대책이 적용되고 있다. 이에 본 고에서는 산지지역 토양침식 방지사례와 향후 연구방향에 대하여 살펴보았다.

2. 토양침식 원인별 구분

토양침식은 발생원인에 따라 크게 물에 의한 침식(Water Erosion), 바람에 의한 침식(Wind Erosion), 중력에 의한 침식(Gravity Erosion)으로 나눌 수 있다.

2.1 물에 의한 침식

물에 의한 토양침식은 지표면에 물입자가 떨어지면서 충격에 의해 토양입자가 분리되는 현상에서 시작된다. 토양 침투율이 초과되면서 지표면 흐름이 토양입자를 운송하게 되는데 유출이 발생하면서부터 세류침식과 함께 구곡침식이 발생하게 된다.

2.2 바람에 의한 침식

바람에 의한 토양침식은 쉽게 말하면 모래폭풍과

같은 현상으로 국내에서는 매우 드물지만, 바람에 의하여 silt 또는 clay 크기의 입자들이 쉽게 침식되어진다. 바람과 물은 둘다 유체로서의 거동을 가지게되므로 침식 프로세스는 비슷하다. 다시말하면, 풍력이 토양입자간의 응집력보다 커지면 침식이 발생하게 된다. 바람에 의한 침식은 3가지 형태를 가지게 되는데, 바람에 의하여 토양입자가 튀어오르는 도약의 형태(입경 0.1~0.5mm), 지표면을 모래입자 등 비교적 입경이 큰 토양입자가 굴러가는 형태 마지막으로 실트 등(입경 0.1mm 이하) 토양입자가 공기중에 부유하는 상태로 나날 수 있다.

2.3 중력에 의한 침식

중력에 의한 침식은 산사태와 같이 순간적으로 발생하는 이동형태와 수십년동안 서서히 중력에 의해 이동하는 형태로 나눌 수 있다. 중력에 의한 침식현상은 토양을 아래로 당기는 중력의 힘과 토양사이의 마찰력 사이에서 발생하게 된다. 좋은 입도를 가지는 토양은 높은 수분 흡착력을 가지게 되므로 모래보다 쉽게 슬라이딩이 발생하게 되며 토심이 얇은 토양도 쉽게 슬라이딩이 발생한다.

3. 산지환경 급변지역에 대한 토양침식 방지대책

산불, 벌목 및 개발행위 등의 산지환경의 변화는 토양침식과 퇴적에 영향을 주며, 이는 하천의 흐름특성 및 유로에 악영향을 줄 수 있다. 따라서, 각 산지환경을 변화시키는 요인을 토지이용별로 구분하여 각각의 토양침식 방지대책이 무엇이 있는지 살펴보고자 한다.

3.1 경작지

농경활동은 토양 및 지표면에 물리적인 변화를 초래하고, 덩어리화된 토양의 파괴는 물과 바람에 의한 토양침식을 유발한다. 경작지에서 토양침식은 경사가 너무 급한 경우 또는 경사면 위아래로 경작하는 경우, 동일한 농작물을 쉽게 지속적으로 경작하거나 비료를 부적절하게 사용한 경우, 무거운 농기계에 의해 토지가 심하게 교란된 경우에는 그 위험도가 더 높아지게 된다.

경작지에서 토양침식을 효과적으로 조절하기 위해서는 토양관리를 어떻게 하는가가 중요하다. 따라서, 토양침식 관리는 농경법에 크게 좌우되며, 기계적인 대책은 단지 지원하는 역할을 수행한다.

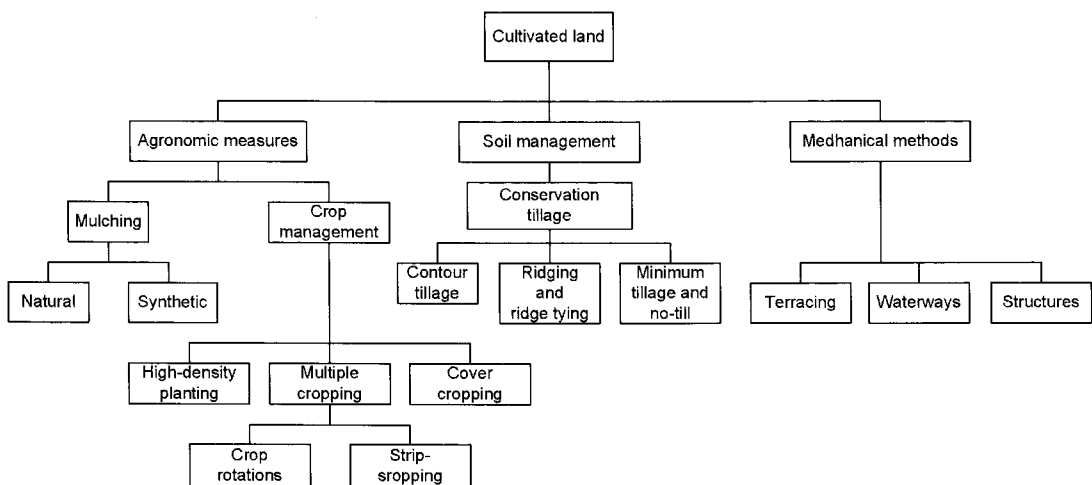


그림 1. 경작지에서의 토양침식 저감방안(EI-Swaify et al, 1982)

3.2 벌목지역

숲은 침식에 대하여 표토를 효과적으로 보호하며, 높은 증발산과 차단 및 침투 등으로 유출이 최소화된다. 숲이 보존된 상태에서는 가장 중요한 침식문제는 댐감을 위한 벌목 및 경작에 의한 나무의 훼손 등이 관련된다.

벌목지역에서의 침식은 나무가 제거된 지역에 한정되기 때문에 제한된 교란을 야기시킨다. 따라서 철저한 관리와 함께 식생이 빠르게 성장한다면 벌목후 1년 내지 2~3년이내에서 침식율을 줄일 수 있다. 교란의 정도는 벌채방법에 따라 다소 다를 수 있다. 예를 들면 휴대용 전기톱보다는 트랙터 등을 이용하는 기계적인 벌채가 더 많은 침식을 발생하게 된다. 가장 침식이 적



그림 2. 벌목중인 현장



(a) 실트 펜스

게 발생하는 경우는 도끼 등을 이용하는 경우가 된다. 이러한 벌목은 벌목후 5년내에 큰 산사태를 야기시킬 수도 있다. 벌목지역에서의 저감대책의 예로써, 빠른 성장을 가지는 수목종을 심는 조림기법이 대책으로 이용된다.

3.3 개발지역

개발에 따른 토사유출은 대부분 건설이 이루어지는 과정에서 발생하며, 건설활동은 자연상태의 토양보다 침식도를 높이며 토양의 안정성을 감소시킨다. 토사유출량은 주택, 학교, 쇼핑센터, 공장 등의 건축물 뿐만 아니라 고속도로, 철도, 교량 등과 같은 교통시설의 건설, 댐, 송수관, 수방 구조물 등의 건설 및 야영장, 주차장 등의 건설 등 각종 도시개발 과정에서 증가될 수 있다. 때때로 도시개발 현장에서의 토사유출량의 증가는 건설현장보다 하류지역에 더 큰 영향을 주기도 한다. 배수로가 토사로 채워져 통수능이 감소되며 이로 인하여 상하수도 시스템이 영향을 받을 수 있다.

공사현장에서 사용하는 가장 일반적인 토사유출 저감기법으로써는 임시 Soil Fences 가 있다. 이 경우 Fences는 물에 포함된 토사를 걸러낼 수 있는 재질을 이용하여야 한다. 또 하나는 침사지이다. 국내에



(b) 침사지

그림 3. 개발지역 토양침식 저감대책

서도 대규모 공사장에 가장 많이 설치 운영하는 시설로써, 토사저감 효율이 매우 높은 시설로써, 유수에 포함된 토사를 차집하여 제거하기 위한 임시 저수지 등의 형태로써, 일반적으로 토사유출이 많이 발생하는 유역의 출구에 설치한다. 단, 점토성분이 많은 유역의 경우 침전시간이 많이 걸리므로 사용에 신중을 기하여야 한다.

3.4 산불지역

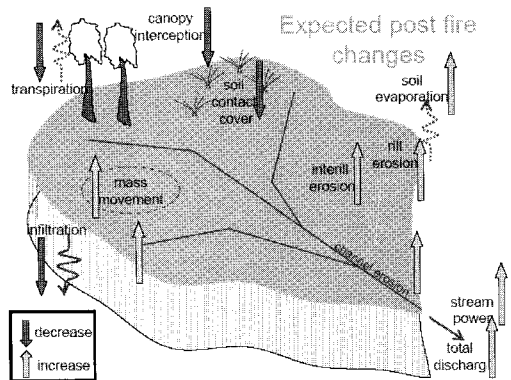
산불발생은 지표에 쌓여있던 낙엽 등의 소실로 인해 표토가 그대로 드러남에 따라 표토에 가해지는 강우의 토양침식에너지 강도가 증가하게 된다. 이로 인

해 토양침식량은 증가하게 되고 하류부에 악영향을 주게 된다. 또한 산불발생후에 실시하는 각종 조림복구에 따라 중장비 등에 의한 토양교란으로 인해 그 피해는 더 가중되게 된다. 그림 4는 산불발생후 변화하는 수리·수문학적 변화양상이다. 증발산, 침투, 차단 등은 감소하게 되고 토사체 이동(Mass movement), 세류침식, 하상침식 등은 증가하게 된다. 산불지역의 저감대책은 조림기법, Mulching, 화재목을 이용한 경사완화공법 등이 다양하게 사용되며, 시기와 장소에 따라 적절하게 적용된다.

국내에서는 국립방재연구소와 강릉대학교가 함께 2000년 강원도 동해안 지역 산불발생이후부터 금년까지 지속적인 토양침식 모니터링을 실시하고 있으며



(a)

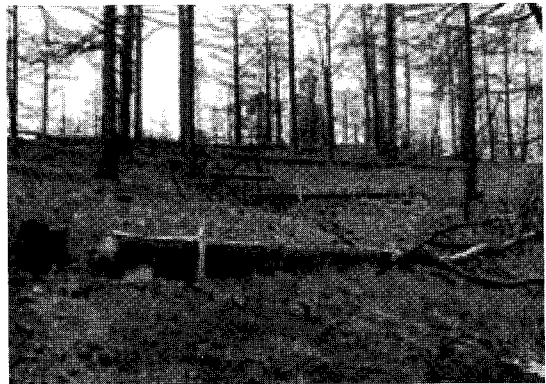


(b)

그림 4. 산불발생(a) 및 산불발생후 수리수문학적 변화 개요도(b)



(a)



(b)

그림 5. 화재목을 이용한 경사완화 공법

이를 바탕으로 국내 산지지역에 적합한 토양침식모형의 개발과 함께 저감기법의 적용성에 대한 연구를 추진중에 있다.

4. 향후 과제

토양침식의 문제는 환경문제와 더불어 산지지역이 많은 국내의 경우 심도깊게 연구되어야 할 분야이지만, 아직까지 이에 대한 연구는 걸음마 단계라 할 수 있다. 국립방재연구소와 함께 일부 몇몇 기관에서 실제 현장에 대한 모니터링과 함께 인공강우장치를 이용한 실험 등을 수행하여 왔지만, 연구기간이 짧고 아직까지는 저감대책에 대한 실험적 효과검증단계까지는 접근하지 못하고 있는 실정이다.

이에 토양침식량 산정 모형개발 및 모니터링을 위해 국립방재연구소에서는 중장기 연구계획을 수립하여 접근하고 있다.

크게 3가지로 나누어 연구를 하고 있는데, 첫째는 모니터링을 통한 토양침식 및 토사유출량 관측을 실시하고 있으며, 현재 강원도 지역만을 모니터링 하였으나 향후 전국으로 확대하여 모니터링을 할 계획이다. 두 번째는 토양침식예측모형의 개발이다. 이는 현재 SEMMA(The Soil Erosion Model in the Mountainous Area)의 초기모형이 개발된 상태이며, 실무에서 쉽게 쓸수 있는 범용모형을 개발할 계획이다. 마지막으로 국내실정에 적합한 저감기법을 개발할 계획으로 실제 산지지역에 저감시설을 설치하여 치수효과를 검증코자 하고 있다.

5. 맺음말

본 고에서는 산지환경경변지역에 대한 토양침식 특성과 저감공법들을 살펴보았다. 일반적으로 토양침식에 따른 각종 저감공법들은 매우 다양하므로, 저감

공법의 설치위치 및 대상지역의 면적과 함께 공법 적용의 신속성 등을 고려하여 적절한 공법을 선택하는 것이 중요하다. 일반적으로 식생을 이용하는 방법은 빠른 시간내에 효과를 보기 힘든 방법이지만, 넓은 지역에 대하여 손쉽게 대책을 마련할 수 있는 장점이 있다. 또한 실트 펜스, 섬유매트 등의 방법은 신속한 설치가 가능하지만 재료가 한정되어 넓은 범위에 적용하는 것은 어려운 실정이다. 특히 실트펜스의 경우 단시간의 호우사상에 의해 토사저감능력이 없어질 수 있다는 단점이 있다.

향후 여러 가지 저감공법들에 대하여 장단점을 분석하고, 국내에 적용가능한 공법들을 매뉴얼화 하여 보급한다면 토양침식대책을 쉽게 적용할 수 있을 것으로 보이며, 더 나아가 이러한 침식대책 수립을 위한 정량적 평가를 위한 한국형 토양침식모형이 개발된다면 공학적이고 경제적인 접근이 가능할 것으로 보인다.

참고문헌

- 국립방재연구소(1998), 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(1).
- 국립방재연구소(2008), 토양침식·토사유출 시험유역 운영 및 GIS를 활용한 매개변수 추정기법 개발.
- El-Swaify, S.A., Dangler, E.W. and Armstrong, C.L. (1982), Soil erosion by water in the tropics, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii.
- Georgia Soil and Water Conservation Commission(2002), Field Manual for Erosion and Sediment Control in Georgia.
- Morgan, R.P.C.(2005), Soil Erosion and Conservation, Blackwell Publishing