

# 산불지역 유실토양의 이화학적 특성

## Physical and Chemical Characteristics of Soil Loss from Burnt Mountain

신승숙\*, 박상덕\*\*, 김선정\*\*\*, 신은주\*\*\*\*, 이규송\*\*\*\*\*

Seung Sook Shin · Sang Deog Park · Seon Jeong Kim · Eun Ju Shin · Kyu Song Lee

### 요 지

식생이 소실된 산불 피해 지역에서 유실되는 토양의 식생회복에 따른 정량적인 변화를 파악하고, 사면토양과 유실토양의 성분분석을 수행하여 이화학적 특성을 파악하고자 한다. 산불 이후 10개의 조사구에서 강우에 의해 유실토양의 양을 측정 후 토양을 건조시켜 보관하였다. 토양의 입도분석, 유기물함량, 건조밀도 등을 조사하였다. 그리고 전처리한 토양수는 ICP를 이용하여 Fe, Mn, P, Al, Zn, Na, Mg, K, Ca의 성분분석을 수행하였다. 산불 이후 시간경과에 따른 조사구별 식생 회복은 빠른 지역과 느린 지역으로 크게 구분한다. 재생이 불량한 지역은 재생이 왕성한 지역에 비해 상대적으로 많은 양의 토양이 유실되었다. 사면토양의 성분분석 결과 재생불량 지역의 성분함량이 가장 작았으며, 재생왕성 지역은 비피해지에 비해 성분함량이 대체로 높았다. 유실토양의 성분분석 결과 식생회복이 느린 조사구에서 영양염류 함량이 대체로 낮았다. 그러나 식생회복이 느린 조사구에서 많은 양의 토양이 유실되기 때문에 정량적인 영양염류의 소실량은 가장 많았다. 따라서 지표식생이 없는 지역은 다량의 토양유실로 인해 다량의 영양염류가 소실되어 식생 재생을 더디게 만드는 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 유실토양, 사면토양, 영양염류, 식생회복, 산불지역**

### 1. 서 론

산림은 목재나 송이와 같은 임산물의 공급원일 뿐 아니라 수자원 함양, 휴양 및 여가 활동공간 제공, 수려한 경관창출, 산림생태의 서식처 제공과 같은 기능을 지니고 있다. 이와 같은 산림이 전체면적의 약 83%를 차지하는 강원도는 대규모 산불에 따른 산림파괴가 빈번하게 발생하고 우리나라의 다른 지역에 비해 산불위험이 매우 높은 지역으로 분류되고 있다. 산불은 산불강도와 지속기간에 따라서 정도의 차이는 있으나 토양의 물리적인 특성과 화학적인 성질을 변화 시킨다. 또한 산림의 원초적인 기능을 마비시키는 피해로써 단시간에 넓은 범위를 연소시키고 생태계를 이루는 생물, 미생물, 토양, 경관, 입지환경, 식물의 생리과정과 수목생장 등의 모든 환경전반에 걸쳐 영향을 미친다.

산불발생 구역에서 토사침식으로 인한 토사유출이 발생하면, 인간사회에 매우 큰 영향을 미친다. 토양이 유실된 지역의 급격한 양분손실에 의하여 생태계가 파괴되고, 산불피해지역 지표에 쌓여 있던 낙엽등의 소실로 표토가 드러나기 때문에 산림수자원 함양상태가 나빠지며 표토에 가해

\* 정회원 · 강릉원주대학교 방재연구소 전임연구원, 공학박사 · E-mail : cewsook@hanmail.net  
\*\* 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · E-mail : sdpark@gwnu.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : mk0637@naver.com  
\*\*\*\* 정회원 · 강릉원주대학교 생물학과 석사과정 · E-mail : phoe5194@naver.com  
\*\*\*\*\* 정회원 · 강릉원주대학교 생물학과 교수 · E-mail : leeks84@gwnu.ac.kr

지는 강우의 토양침식에너지 강도가 증가하게 된다. 또한 유출토사의 경로인 하천에서 토사의 퇴적에 의한 하상상승을 일으켜 홍수위 증가에 따른 홍수피해가 가중될 수 있다.

국내에서는 2000년 동해안 대형 산불 이후에 벌어진 산불피해지역의 복구 방법에 대한 다양한 논쟁은 산불피해지의 사회·경제적 요소, 자연복원력, 임지생산력 등 다양한 요인을 고려한 산림복구 계획의 수립과 사회적 합의를 끌어내었다. (동해안 산불피해지 공동조사단, 2000;). 그러나 아직까지 각각의 복구 방법에 대한 경제성을 비교하고, 생태계 발달과 안정성의 회복 효과에 대한 평가를 위한 과학적인 근거와 현장자료는 매우 부족한 실정이다.(이규송, 등 2004;) 이에 환경부가 생태환경모니터링이라는 측면에서 산지생태의 전 분야에 대하여 조사하고 있으며, 국립방재연구소에서는 SEMMA를 개발하는 등 산불피해지의 토사유출재해 저감기술 개발에 관한 연구를 수행하고 있다. 국외에서는 토양침식과 관련된 연구는 60여년 이상 지속되어 왔으며, 현재까지도 토양보전대책을 위해 일반적으로 공학적인 접근방법이 시도되고 있다. 미국에서는 1993년에 토양보전국(Soil Conservation Service) 연방정부차원에서 이루어진 이후 활발하게 토양유실에 대하여 조사와 연구를 수행하였다. 따라서 본 연구는, 산불피해지역에서 사면토양 및 유실토양에 대한 성분분석을 통한, 토양의 이화학적 특성을 분석을 수행하였다.

## 2. 연구방법

2005년 4월 5일 양양군 일대의 소나무 이루어진 산림에 대형 산불이 발생하여, 산림이 훼손되었다. 산지사면에 표면유출경로와 토양침식에 영향을 미치는 주요 인자를 면밀하게 파악하기 위해 그림1 처럼 소규모 조사구를 설치 운영하였다.. 산불이 발생하지 않은 KH-1과, 지표의 초본층만 피해를 입은 지표화 지역인 KH-2, 그리고 모든 식생이 피해를 입은 수관화 지역에 설치된 KH-3~KH-10으로 전체 10개소이다. 이들 조사구에서 유출에 영향을 미치는 주요인자인 지형 및 토양 특성은 표 1과 같다. 조사구 크기는 3m×10m로 사면에서 발생한 지표유출수는 1톤의 플라스틱 물통에 저류한다. 경사가 가장 급한 지소는 KH-7로 66.1 %이며, 평균경사는 47.3 %이다. 조사구 인근 주변의 흙을 채취하여, 평균토양입경, 유기물함량, 건조밀도 등을 조사하고, 토심은 1m 철심을 이용하여 측정하였으며, 식생은 피복변화를 고려하여 주기별로 측정하였다. 유출수는 강우 발생 이후 현장조사하여 계측한다. 유출수의 샘플을 취하여 냉동 보관한다. 모든 유출수를 상온에서 해동하고, pH 7.0으로 조절한 CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 수용액으로 전처리한 후 토양수를 ICP(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, OPTIMA 7300 DV, Perkinelmer,)를 이용하여 Fe, Mn, P, Al, Zn, Na, Mg, K, Ca의 성분분석을 수행하였다.

표 1. 조사구의 지형 및 토양 특성

조사구명	면적 (m <sup>3</sup> )	사면길이 (m)	경사 (%)	평균입경 (mm)	토심 (cm)	유기물 함량(%)	건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	사면 위치	산불 강도
KH-1	29.70	9.83	38.7	1.00	31.17	6.34	0.995	중	미발생
KH-2	30.00	9.83	36.1	2.42	24.00	7.12	0.927	중	지표화
KH-3	31.60	10.63	35.1	2.19	26.50	5.90	1.008	상	수관화
KH-4	23.60	7.99	50.8	1.10	21.33	4.61	1.264	하	수관화
KH-5	32.00	10.34	54.2	1.56	51.83	6.64	1.002	중	수관화
KH-6	35.70	10.64	51.4	1.04	44.17	4.63	1.095	하	수관화
KH-7	33.40	10.43	66.1	1.94	38.17	6.89	0.972	중	수관화
KH-8	30.60	10.12	53.0	1.06	49.33	7.03	1.044	하	수관화
KH-9	28.70	8.04	38.9	1.56	15.00	4.14	1.098	상	수관화
KH-10	29.30	10.15	48.4	1.90	24.33	7.38	0.968	상	수관화
Ave.	30.46	9.80	47.3	1.58	32.58	6.07	1.037	-	-
S.D.	3.20	0.98	9.9	0.52	12.62	1.19	0.096	-	-

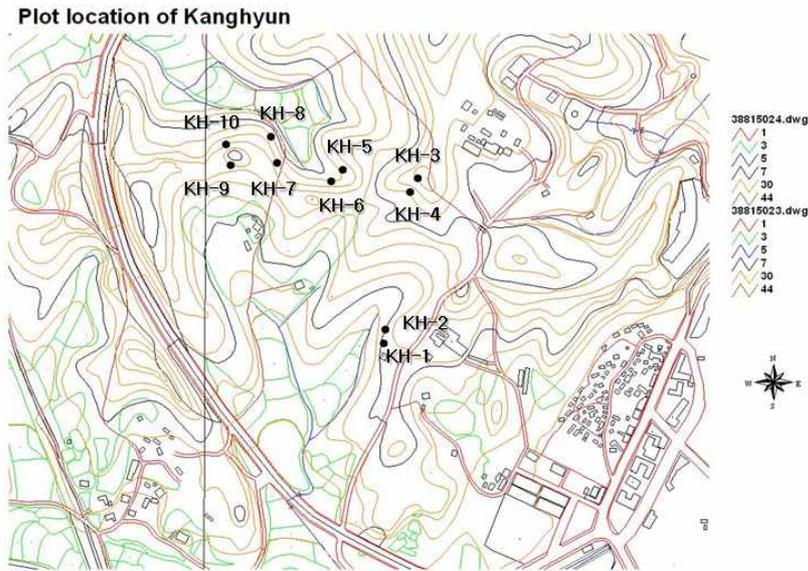


그림 1. 소규모 조사구 위치도

### 3. 실험결과

#### 3.1 토양침식

산불이후 식생회복에 따른 토양침식량의 변화를 파악하기 위해 산불피해가 발생하지 않은 KH-1과 경미한 피해를 입은 KH-2를 대조구(KH-Con)로 선정하였고, 식생회복 정도에 따라 식생회복이 빠른 KH-5, KH-6, KH-7, KH-8, KH-,10과(KH-Rapid) 식생회복이 시간이 흘러도 지표의 60% 이상이 나지 상태로 계속 지속되는 KH-3, KH-4, KH-9로(KH-Slow) 구분하여 비교하였다. 그림 2에서 대조구인 KH-1, KH-2와 식생회복이 좋은 KH-5, KH-6, KH-7, KH-8, KH-,10에서의 토양침식량을 비교하였을 때 약 2.1배 정도, 식생회복이 좋지 않은 KH-3, KH-4, KH-9에서는 약 9배의 토사가 더 많이 유실되는 것을 알 수 있다.

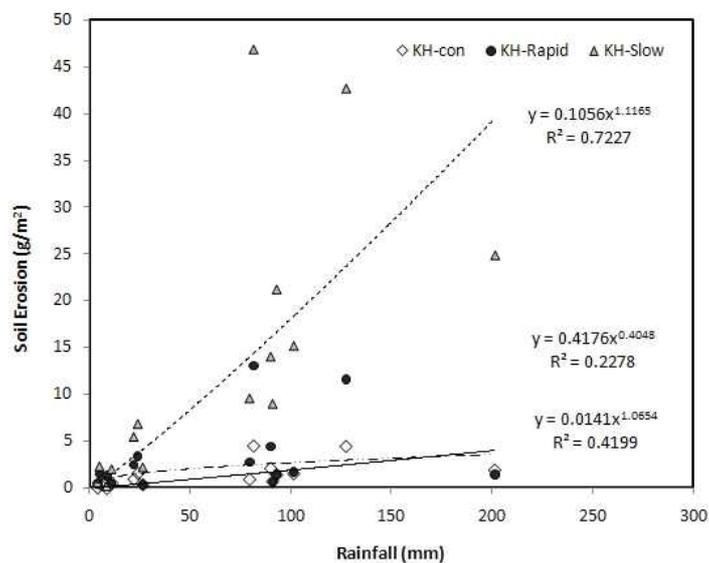


그림 2. 식생회복 조사구에 대한 강우량과 토양침식량의 관계

### 3.2 영양염류

식생회복에 따라 강우발생시 유출되는 영양염류의 차이를 파악하기 위해, 각 지표유출수를 ICP(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer)로 수질분석을 수행하였다. 그림 3과 같이 유출이 일어난 후 각 조사구의 사면토양에 잔류하는 영양염류의 농도를 나타낸 것이다. 각 영양염류 항목별 다소 차이는 있으나, 대조구(KH-Con)에서 대체로 높은 것으로 나타났으며, 식생회복이 느린지역(KH-Slow)에서는 영양염류가 다소 많이 소실된 것을 확인 할 수 있었다. 그림4에서는 유실된 토양을 채취하여 수질분석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. KH-Con 및 KH-Rapid의 영양염류는 적게 유실되나, KH-Slow는 강우 유출시 유실되는 토양에 영양염류가 많이 포함되어 손실되는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 식생회복이 느린 지역일수록 강우시 토양이 포화되는 시간이 짧고, 유속의 증가와 토사이동 능력이 증가하면서 다량의 토사가 침식되고, 그 속에 포함된 다량의 영양염류도 함께 유실되기 때문이다.

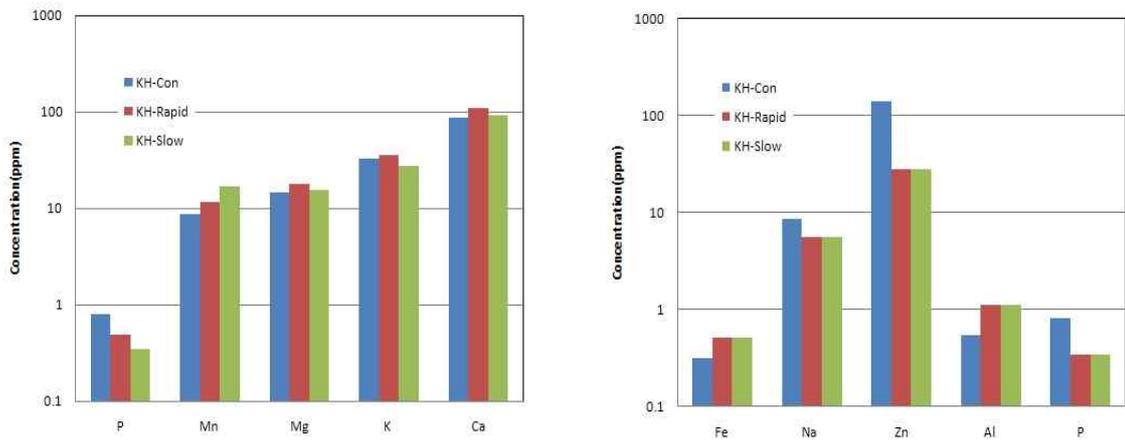


그림 3. 사면토양의 잔류 영양염류

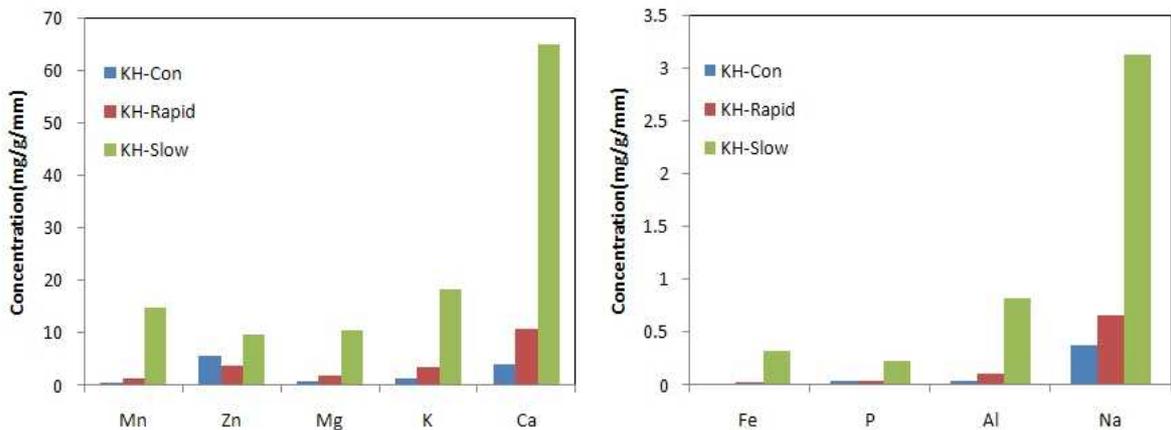


그림 4. 유실토양의 영양염류

### 4. 결론

산불피해지역의 토양침식 및 영양염류의 유출에 영향을 미치는 주요 인자는 강우와 식생분포이

다. 식생회복 조사구에서 강우와 토양침식량과의 관계를 볼 때 대조구 및 식생회복이 빠른 지역인 KH-Con과 KH-Rapid는 토사 침식 및 운반량이 적는데 비해 식생회복이 느린 KH-Slow에서의 침식량은 상대적으로 상당히 높는데, 이는 식생이 강우가 지표면을 타격하는 운동에너지를 감소시켜주는 역할을 하며, 강우가 지표면에 머무는 시간을 증가시켜 침투를 유발 시키고 지표유출시 조도의 증가를 가져와 토양이 침식되는 것을 저감시켜주는 것으로 판단된다. 또한, 유출 후 토양에 남은 영양염류 및 유출된 토양에서 영양염류를 비교하여 볼 때 KH-Slow에서 많은 영양염류의 손실이 있음을 확인하였다. 산불 후 식생의 회복이 빠른 지역은 산불이 일어나지 않은 지역과 비교 하여 볼 때 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 식생회복이 느리거나 어려운 지역은 지속적인 토양침식으로 인한 유출 및 영양염류의 손실로 인하여 자연적인 복구가 더욱더 힘든 것으로 판단된다. 이는 강우에 의한 토양침식 뿐 아니라 극심한 호우에 의한 홍수 및 토사재해 위험에 노출되기 쉽다. 그러므로 산불피해지역의 초기 식생 복원을 위한 대책방안을 수립하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 녹색기술 산학협력중심사업단 기술개발과제(2009년)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 아낌없는 지원에 진심으로 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 동해안 산불피해지 공동조사단(2000). 산불피해지 건전한 자연생태계 복원 및 구적인 산림 복구 계획 수립을 위한 동해안 산불지역 정밀 조사 보고서
2. 이규송, 정연숙, 김석척(2004). 동해안 산불 피해지에서 산불 후 경과 년 수에 따른 식생 구조의 발달, 한국생태학회지, v.27 no.2, pp. 99-106
3. 신승숙, 박상덕, 조재웅, 이규송(2008). 양양 산불지역 지표유출 및 토양침식에 대한 식생회복의 영향, 대한토목학회논문집, 제28권, 제4B호, pp.393-403
4. 신승숙, 박상덕, 이규송, 신은주(2010). 산불지역 식생회복에 따른 지표유출수의 수질 변화. 2010 한국방재학회 정기총회 및 학술발표대회.
5. C. Guerrero, I. Gómez, R. Moral,(2001). Reclamation of a burned forest soil with municipal waste compost; macrinutrient dynamic and improved vegetation cover recovery. Bioresource technology : biomass, bioenergy, biowastes, conversion technologies, biotransformations, production technologies ,v.76 no.3 ,2001 ,pp.221-227