

# 낙산사 산불지역의 유출 및 토양침식 인자

## Parameters of Runoff and Soil Erosion in the Burnt Mountains, Naksansa

박상덕\*, 조재웅\*\*, 신승숙\*\*\*, 이규송\*\*\*\*, 김윤태\*\*\*\*\*

Sang Deog Park, Jae Woong Cho, Seung Sook Shin, Kyu Song Lee, Yun Tae Kim

### 요 지

최근 산불발생이 증가하고, 그에 따른 피해가 증가하고 있다. 또한 산불 발생지역의 토양침식으로 인한 2차적인 재해위험이 예상됨에 따라 산불 지역의 토양침식과 영향인자들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 낙산사 산불지역의 산지사면에 10개의 소규모 조사구를 설치하고 강우에 따른 토사유출량을 조사하였다. 토양침식 매개변수를 강우인자(강우량, 강우강도, 강우에너지), 지형인자(면적, 사면경사, 사면길이, 길이경사인자), 식생인자(전체피복도, 식생지수), 토양인자(투수계수, 유효입경, 유기물함량, 토심)로 구분하여 각각의 토양침식에 대한 관계를 분석하고, 시간경과에 따른 토양침식의 관계도 분석하였다. 강우강도와 강우량이 커짐에 따라 토양침식민감도에 대한 식생피복도의 영향이 더욱 가중되며, 식생 회복이 빠른 지역과 그렇지 않은 지역에서의 시간경과에 따른 누적 토양침식량의 변화는 크게 차이를 보였다. 낙산사 산불지역에서의 강우에 따른 토양침식은 강우에너지와 식생피복도의 관계가 가장 높았다.

**핵심용어** : 토양침식, 강우인자, 지형인자, 식생인자, 토양인자, 시간경과

### 1. 서 론

봄과 가을에 빈번하게 발생하는 산불은 산지환경을 악화시키는 큰 원인이 되고 있다. 산불피해 지역에서 호우가 발생하면 사면의 토양침식이 과도하게 되고 유역의 홍수재해 위험은 더욱 가중될 수 있다. 이는 2000년 대규모 산불지역인 강릉 사천에서 2002년 발생한 태풍 루사로 인해 산불이 발생하지 않은 지역에 비해 약 11.3배나 많은 면적에서 산사태가 발생하였으며, 이에 따른 토사유출로 하상을 상승시키고 선상지를 형성하는 등 홍수피해를 가중시킨 것에서도 확인되었다(박상덕 2002). 산불은 수자원 함양, 홍수방지, 토사유출억제, 산지사면 붕괴방지 등의 국토로서의 기능과 환경보전, 휴양 및 여가활동공간제공 등의 산림생태의 공간으로서의 기능을 황폐화시키는 것이다. 이러한 산불지역의 유출 및 토사유출 증가에 따른 재해를 저감하기 위해서는 산불로 인한 토양과 식생변화에 따른 유출 및 토양침식특성을 파악하여 토양침식 위험지표와 정량적인 토양침식량을 산정하는 모형을 개발하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 산불 당해 지역인 낙산사 일대에

\* 정회원·강릉대학교 토목공학과 교수 E-mail : sdpark@kangnung.ac.kr

\*\* 정회원·강릉대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : kani1005@hotmail.com

\*\*\* 정회원·강릉대학교 토목공학과 박사과정 E-mail : cewsook@hanmail.net

\*\*\*\* 정회원·강릉대학교 생물학과 부교수 E-mail : leeks84@kangnung.ac.kr

\*\*\*\*\* 정회원·국립방재연구소 토목연구관 E-mail : prooni@nema.go.kr

10개의 소규모 조사구를 설치하여 산불 직후의 초기 식생회복에 따른 변화와 각각의 강우인자, 지형인자, 식생인자, 토양인자에 대한 유출 및 토양침식 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 소규모조사구

지표 교란이 심한 산불 당해연도의 산지사면에 표면유출경로와 토양침식에 영향을 미치는 주요 인자를 면밀하게 파악하기 위해 2005년 4월에 산불이 발생한 양양군 강현면 일대 그림 1의 위치에 10개의 소규모 조사구를 설치하였다. 강현 10개의 소규모 조사구 강우사상별 유출 및 토양 침식량을 측정하고, 식생요인과 토양조건, 지형조건 등을 조사하였다. 선정된 소규모 조사구는 표 1과 같이 강현1은 산불이 발생하지 않은 지역이고 강현2는 지표의 초본층만 피해를 입었으며, 나머지 조사구는 식생 모두 피해를 입은 지역이다. 그림 2는 조사기간 동안의 강현 지역 일별 강우량 자료이다. 시일이 경과함에 따라 식생의 회복이 빠른 지역과 그렇지 않은 지역으로 구분되는데 그림 3은 식생회복이 빠른 지역인 강현5 소규모 조사구로서 한달동안 식생이 빠르게 성장하고 있음을 알 수 있다.

Plot location of Kanghyun

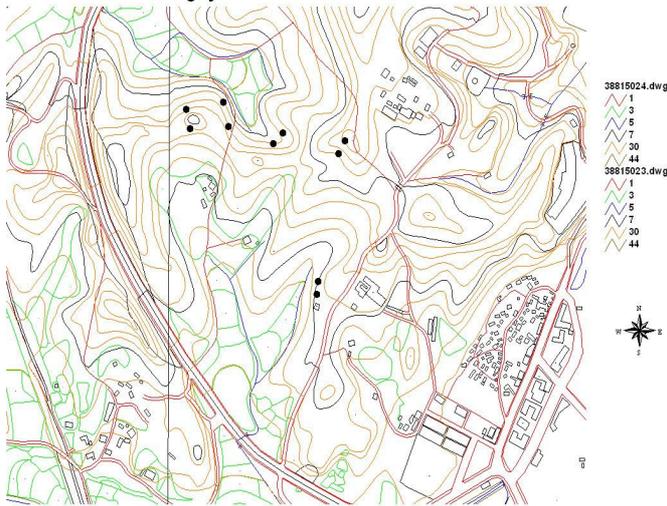


그림 1. 소규모 조사구 위치

표 1. 각 소규모조사구 특성

조사구명	면적(m <sup>2</sup> )	산불피해	지형
강현1	29.7	미발생	사면중
강현2	30.0	지표화	사면중
강현3	31.6	수관화	사면상
강현4	23.6	수관화	사면하
강현5	32.0	수관화	사면중
강현6	35.7	수관화	사면하
강현7	33.4	수관화	사면중
강현8	30.6	수관화	사면하
강현9	28.7	수관화	사면상
강현10	29.3	수관화	사면상

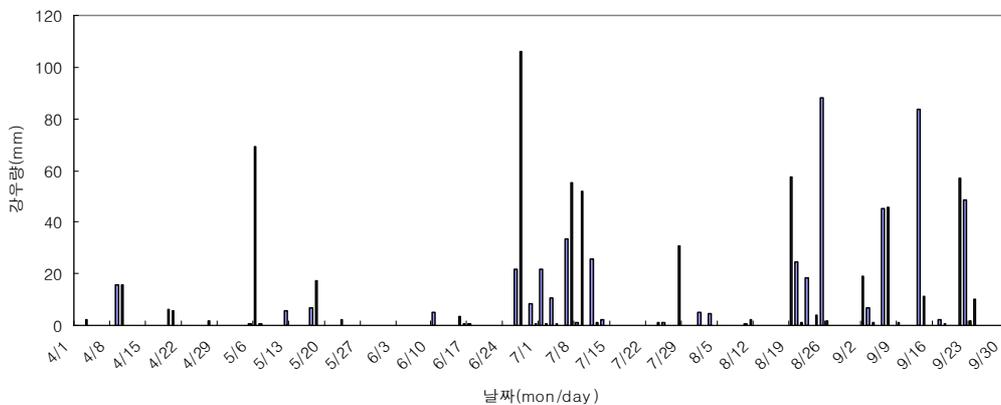


그림 2. 강현 지역 일별 강우량(강릉기상청)



2005년 5월 7일



2005년 6월 18일

그림 3. 산불지역 강현5 소규모 조사구 식생의 변화

### 3. 유출 및 토양침식 인자

유출( $q$ ) 및 토양침식( $qs$ )에 영향을 미치는 인자 중에 강우인자로는 강우량( $R$ ), 강우강도( $D$ ), 강우 에너지( $Re$ )를 고려하고, 지형인자로는 면적( $A$ ), 사면경사( $S$ ), 사면길이( $L$ ), 길이경사인자( $LS$ )를 고려하며, 토양인자로는 투수계수( $K$ ), 유효입경( $De$ ), 유기물함량( $Om$ ), 토심( $Sd$ )을 고려하며, 식생인자로는 전체피복도, 식생지수를 고려한다. 표 2는 유출 및 토양침식 인자들과의 상관관계를 나타내는 결과로서 유출에 있어서 가장 상관관계가 높은 인자는 강우에너지, 식생인자, 토심 순으로 나타났다. 그리고 토양침식에 상관계수가 높은 것은 식생인자, 강우인자, 토심, 유기물함량 순이었다. 유출에 있어서는 지표유출수를 확보하기 위해서는 강우인자가 가장 큰 영향을 미치는 인자이나, 토양침식에 있어서는 토양을 보호하는 역할을 하는 식생인자가 가장 큰 영향을 미치는 인자이다. 그림 4는 강우에 따른 유출량과 토양침식량의 관계를 나타낸 것으로 충분한 유출수의 확보는 토양침식과 토사유출에 크게 기여한다. 그림 5는 토양침식량과의 유효입경과의 관계를 나타낸 것으로 토양의 입경이 크에 따라 침식되는 토양의 한계 값이 현저히 줄어드는 것을 보인다. 그림 6은 식생지수( $Ivcr$ )(국립방재연구소, 2001)와 토양침식민감도( $Sqs$ )(박상덕, 2005)와의 관계에서 식생지수가 증가함에 따른 토양침식량이 크게 감소한다. 그림 7은 시간경과에 따른 각 조사구별 누적토양침식량의 결과로 강현3, 4, 9의 경우는 시간이 경과함에 따라 식생이 회복되고 토양이 안정화 되어짐에도 불구하고 누적되는 토양침식량의 계속해서 증가함을 보인다. 그러나 강현5, 6, 10은 강현1과 같은 산불 미발생지역과 강현2와 같이 지표화지역의 경우처럼 누적토양침식의 증가폭이 현저히 줄어들음을 보인다.

표 2. 유출 및 토양침식 인자들과의 Pearson 상관계수

	$Re$	$L$	$S$	$Sd$	$Om$	$De$	$K$	$Vc$	$Ivcr$
$q$	0.627	-0.359	-0.104	-0.403	-0.361	-0.254	-0.050	-0.424	-0.456
$qs$	0.462	-0.354	-0.065	-0.386	-0.355	-0.249	0.115	-0.539	-0.562

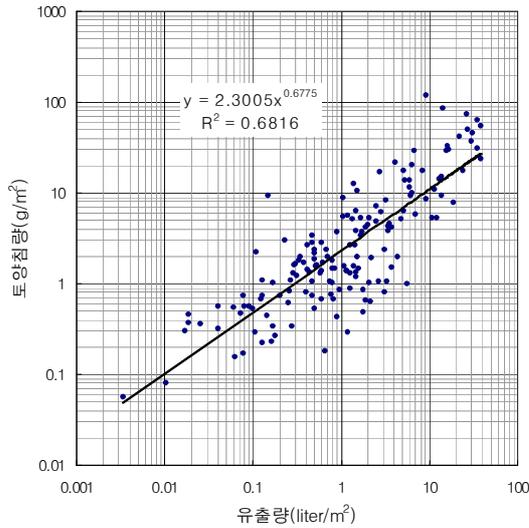


그림 4. 유출량과 토양침식량 관계

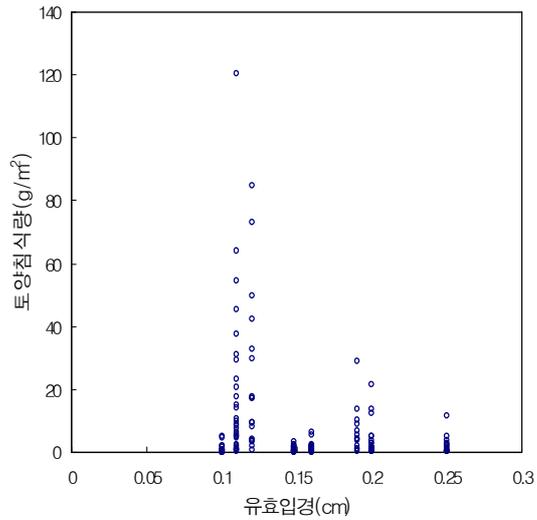


그림 5. 유효입경과 토양침식량과의 관계

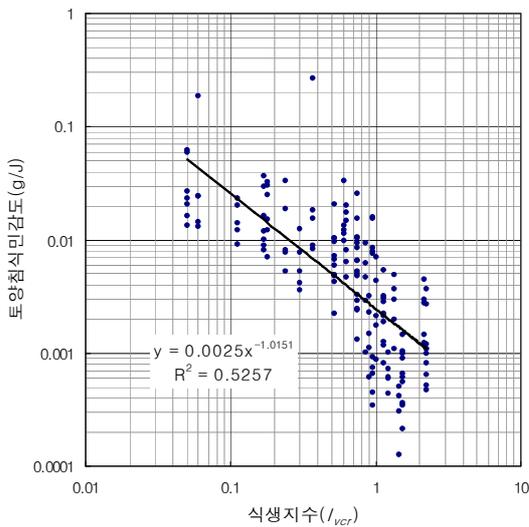


그림 6. 토양침식민감도와 식생지수 관계

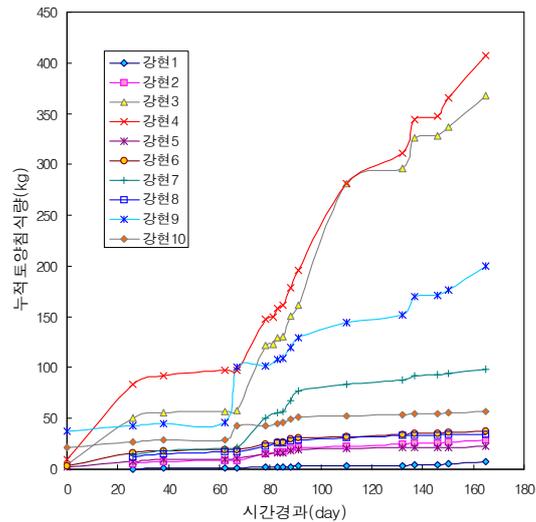


그림 7. 시간경과에 따른 누적토양침식량

#### 4. 결론

강우강도와 강우량이 커짐에 따라 토양침식민감도에 대한 식생피복도의 영향이 더욱 가중되며, 식생 회복이 빠른 지역과 그렇지 않은 지역에서의 시간경과에 따른 누적 토양침식량의 변화는 크게 차이를 보였다. 낙산사 산불지역에서의 강우에 따른 유출 및 토양침식은 강우에너지와 식생피복도의 관계가 가장 높았으며, 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 강우인자인 강우량, 강우강도 및 강우에너지가 증가함에 따라 유출 및 토양침식량은 증가한다.
2. 식생인자인 전체피복도와 식생지수( $I_{vcr}$ )은 유출 및 토양침식에 대한 높은 상관성을 보였으나 특히 식생의 지표보호효과에 의해 토양침식과의 상관관계가 더욱 높았다.
3. 토양인자인 토심, 유효입경, 유기물함량, 투수계수들 중에 토심과 유효입경과의 상관성이 높았으며, 예상외로 투수계수와의 상관성은 낮았다.

4. 지형인자인 사면경사와 사면길이에 대해서는 사면길이가 상관성이 좀더 높았으나, 사면의 길이가 길면 토양의 유출과정에서 퇴적이 용이하고, 사면경사가 크면 토양입자의 전도를 용이하게 하여 토양침식량이 증가하는 관계를 보인다.
5. 시간경과에 따라 산불지역의 지표식생은 고르게 회복되지 않으며, 자연 식생회복이 빠른 지역은 산불초기의 과대 토양침식량이 현저히 줄어들어 산불이 발생하지 않은 지역과 비슷한 양상을 보여주나, 자연 식생회복이 느리거나 불가능한 지역은 지속적으로 토양침식량이 증가한다.

### 참고문헌

1. 국립방재 연구소(1998). 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I).
2. 국립방재 연구소(2001). 강원도 산불지역 재해의 저감대책 수립, pp. 14-18.
3. 국립방재 연구소(2005). 산지의 토양침식모형(SEMMA) 실용화 연구, pp. 69-89.
4. 박상덕, 신승숙, 심관섭(2002). 산불지역 토사유출에 대한 와지의 기능에 관한 연구, 방재연구논문집, 제4권 1호, pp. 121 ~ 130.
5. 박상덕, 신승숙, 이규송(2005). 산불지역의 유출 및 토양침식 민감도, 한국수자원학회, pp. 60-61.