

## 산불발생지에 있어서 표면유출수량의 장기적인 변화에 관한 연구

마호섭<sup>1</sup> · 정원옥<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 환경산림과학부(농업생명과학연구원),

<sup>2</sup>국립공원관리공단 국립공원연구원

## Long Term Changes of the Amount of Surface Runoff in Forest Fire Area

Ho-Seop Ma<sup>1</sup> and Won-Ok Jeong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Environment Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea (Insti. of Agri. Llife Science)

<sup>2</sup>National Park Research Institute, Namwon 590-811, Korea

**요약:** 산불 발생 후 시간경과에 따른 표면유출수량의 변화과정 및 환경인자와의 관계를 비피해지와 비교분석한 결과 산불피해지가 비피해지에 비해 산불 발생 당해연도인 1996년도에는 1.72배, 산불발생 후 1년이 경과한 1997년도에는 1.44배, 5년이 경과한 2001년도에는 1.38배, 10년이 경과한 2006년도에는 1.16배 정도 많은 표면유출수량을 보여 산불발생 후 10년이 경과하면 산불피해지의 표면유출수량은 비피해지와 거의 같은 수준으로 회복이 이루어지는 것으로 조사되었다. 산불피해지 및 비피해지의 표면유출수량은 단위강우횟수, 누적강우횟수, 단위강우량 등 강우인자에 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 식생피복도는 표면유출수량의 발생을 감소시키는 것으로 나타났다.

**Abstract:** The purpose of this study was to evaluate the changes of surface runoff by comparisons between burned and unburned area after forest fire. The amount of surface runoff in burned area was more high 1.72 times in the year of fire, 1.44 times in one year later, 1.38 times in five years later and 1.16 times in ten years later than those of unburned area. Therefore, surface runoff in the burned area almost tended to be stabilized like unburned area ten year later after forest fire. The most affecting factors on the amount of surface runoff in burned and unburned area were number of unit rainfall, number of rainfall accumulated and unit rainfall. But coverage was shown to mitigate the amount of surface runoff in burned and unburned area.

**Key words :** forest fire, burned area, unburned area, surface runoff

### 서론

산림은 임관(canopy)에 의한 강우차단 작용을 통해 강우강도를 떨어뜨려 유출을 약화시키며 뿌리, 낙엽, 낙지(落枝) 등도 지면 피복을 통하여 토사유출을 방지하는(Lawson, 1967) 등 식생 피복이 지표유출을 줄이고 토양 침식을 감소시키는 역할을 한다는 사실은 널리 알려져 있다. 그러나 우리나라 산림의 인위적인 피해 중 가장 심각한 피해 요인인 산불은 산림 생태계의 각종 환경요인을 급격하게 변화시켜 산림의 회복기능을 다른 산림피해지보다 훨씬 느리게 만드는 중요한 산림피해의 원인으로 지적되고 있다. 최근 들어 산불은 빈번하고 대형화 추세로

인하여 산림생태계의 중요 교란요인으로 크게 대두되고 있다. 산불은 산림내의 피복물을 소각시킴으로서 나출된 토양으로 말미암아 표토의 수분흡수능을 저하시키고 지표유출을 증대시켜 토양침식을 가속화시킨다(恩田 等, 1997; 정원옥과 마호섭, 2001). 산불 피해 임지는 표토층의 낙엽, 초본, 관목, 임목의 수관 등이 소실됨에 따라 나지화된 산림토양은 직사광선과 바람의 영향을 직접 받기 때문에 표토가 건조하여 단단해 지고 강수의 영향으로 입단 구조가 파괴되어 토양의 물리·화학적 변화를 초래하여 토양의 생산성을 약화시키기도 한다(우보명과 이현호, 1989; Jeong *et al.*, 1992). 또한, 여름철 집중호우에 따른 홍수, 토사유출 및 하류 계곡 범람, 가옥 및 농지 침수 등과 같은 2차적인 재해를 유발하기도 한다(Raison, 1979; Marques and Mora, 1998; Rab, 1996; 임업연구원, 1996;

\*Corresponding author  
E-mail: wonokjung@knps.or.kr

박상덕 등, 2002). 이러한 현상은 산불이 산림내 수목을 고사시켜 사면의 토양에 가해지는 강우에너지와 유수의 토양침식 에너지를 증가시키기 때문으로(Hibbert, 1985; Andreu *et al.*, 2001), 산불피해지는 비피해지에 비해 평균 유출량은 약 2배, 토양침식량은 10~25배 정도 많은 차이를 보이는 등 산불이 산림 토양환경 파괴 및 수자원 함양 기능의 약화 등 산림의 공익적 기능에 큰 피해를 주고 있다(신승숙 등, 2008; Johansen *et al.*, 2001; 정용호 등, 2004).

본 연구는 산불피해지를 대상으로 산불 발생 후 당해연도, 1년, 5년, 10년 시간경과에 따른 표면유출수량의 변화 과정 및 환경인자와의 관계를 비피해지와 비교·분석하여 산불 발생에 따른 산림유역내 표면유출수량의 변화 특성과 유출수량에 영향을 미치는 인자를 구명하여 산불피해지의 복구 및 보전대책 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 조사지 개황

조사대상지는 경남 진주시 명석면 용산리 일대로 1996년도에 지표화 및 수관화가 발생한 표고 20~200 m 이하의 낮은 야산지대로 산불로 인하여 식생이 모두 소실되어 나지화된 상태였으나 10년이 경과한 현재는 초본 및 관목류의 침입으로 식생피복도는 70% 정도이고, 비피해지는 20~25년생의 소나무림과 하층식생에 의해 식생피복도가 90% 이상을 유지하고 있다. 산불피해지와 비피해지는 퇴적암지역으로 A층은 사질양토, B층은 사질식양토로 구성되어 있다(Table 1).

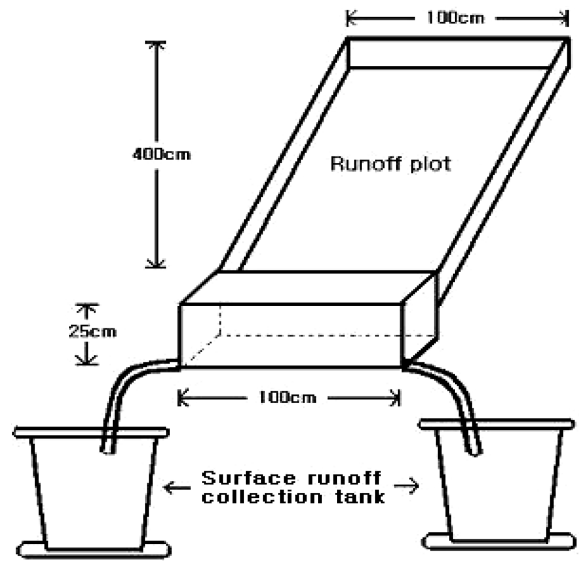
**Table 1. Characteristics of surface runoff plots in the surveyed area.**

Variables	Burned area	Unburned area
Gradient of hillside (°)	25	25
	21~30	22~29
Aspect of hillside (°)	N 6°, 8°, 15°W	N 5°, 19°, 25°E
	N 45°, 65°E	S 40°, 50°E
Soil hardness (kg/cm <sup>2</sup> )	2.3	2.4
	1.50~2.67	2.20~2.70

#### 2. 연구방법

##### 1) 표면유출수량 측정

산불피해지와 산불발생지 주변의 비피해지에 표면유출수 수집장치(가로 1 m×세로 25 cm×높이 25 cm)를 각각 5개소씩 총 10개소를 설치하고 주위의 산지로부터 강우에 의해 사면에서 유입되는 유출수를 방지하는 합판(가로 100 cm×세로 400 cm×두께 2.5 mm)을 산복부의 산지사면



**Figure 1. The equipment collecting the surface runoff.**

에 박아 철재수집통에 표면유출수가 수집되는 고정 실험구(4 m<sup>2</sup>)를 설치하였다(Figure 1).

표면유출량은 산불발생 당해 연도(1996년), 1년(1997년), 5년(2001년), 10년(2006년) 경과 시점을 대상으로 단위강우 후 유출수량 수집 장치 좌측 및 우측 하부에 연결되어 있는 집수통(40 L)에 수집된 유출수량을 측정하였다.

##### 2) 통계분석

산불피해지와 비피해지에서 측정한 표면유출수량에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 상관분석 및 단계별 회귀분석을 실시하였으며 통계분석은 SPSS program을 이용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 표면유출수량의 변화

산불발생 후 당해연도, 1년, 5년 10년 시간경과에 따른 표면유출수량을 조사하여 산불피해지와 비피해지를 비교한 결과는 Table 2와 같다.

산불 발생 당해연도 5월에 월강우량에 대한 표면유출수량은 산불피해지가 12.216 L/m<sup>2</sup>, 비피해지가 5.349 L/m<sup>2</sup>로 산불피해지가 2.28배 정도 많은 유출수량을 보였다. 이는 산불로 인한 하층식생의 소실로 강우가 직접 토양에 도달되고 도달된 강우는 비피해지보다 토양공극을 빠르게 포화시켜 더 이상 내린 강우는 토양표면으로 유출되었기 때문으로 판단되었다. 시간이 경과할수록 조사지역의 표면유출수량은 모두 감소하는 경향을 보였으며 4개월 동안의 표면유출량은 산불피해지가 60.610 L/m<sup>2</sup>, 비피해지가 35.287 L/m<sup>2</sup>로 산불피해지가 비피해지보다 1.72배 정

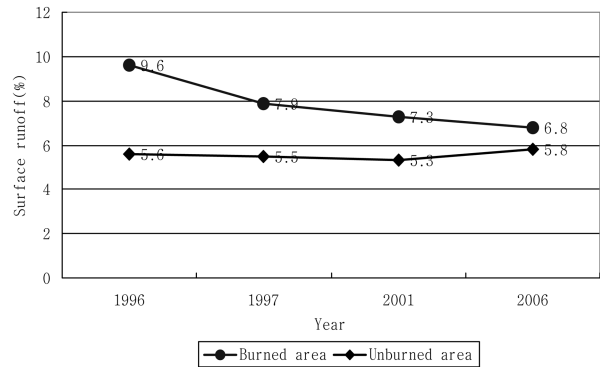
**Table 2. Amount of surface runoff at the burned and unburned area.**

Year	Month	Total rainfall (mm)	Amount of surface runoff (L/m <sup>2</sup> )	
			Burned	Unburned
1996	May	69.9	12.216	5.349
	June	291.4	28.178	18.165
	July	164.6	12.701	6.993
	August	108.1	7.515	4.780
	Total	634.0	60.610	35.287
1997	May	164.9	17.172	11.985
	June	228.1	18.227	14.116
	July	393.2	29.208	19.660
	August	222.3	15.172	9.781
	Total	1008.5	79.779	55.542
2001	May	41.8	3.553	2.508
	June	323.5	25.233	20.381
	July	266.6	19.462	13.863
	August	137.1	8.226	4.250
	Total	769	56.474	41.002
2006	May	284.5	21.338	20.200
	June	268.6	17.728	16.653
	July	630.9	42.270	34.069
	August	106.6	5.863	4.264
	Total	1290.6	87.199	75.186

도 많은 유출수량을 보여 정용호 등(2004)이 산불발생 당해연도 6월부터 9월까지 4개월 동안의 유출수량을 조사한 결과 산불피해지가 비피해지에 비해 기저유출은 1.3배, 직접유출은 2배 정도 많이 발생하며, Jehansen *et al.*(2001)은 임의로 소나무 숲을 완전히 태워 토양 나지화 상태에서 비피해지역과 강우 모의시험을 통하여 유출량 및 토양 침식량을 비교한 결과 유출량의 차이는 2배, 토양침식량은 최대 25배 정도 차이가 있다고 하여 본 조사와 유사한 결과를 보였다.

산불발생 후 1년이 경과한 1997년 5월에 월강우량에 대한 표면유출수량은 산불피해지가 17.172 L/m<sup>2</sup>, 비피해지가 11.985 L/m<sup>2</sup>로 산불피해지가 1.43배 정도 많은 양을 보였으나 두 조사지역 모두 시간경과에 따라 유출수량은 감소하는 경향을 보였다. 4개월 동안의 표면유출수량은 산불피해지 79.779 L/m<sup>2</sup>, 비피해지 55.542 L/m<sup>2</sup>로 산불피해지가 비피해지 보다 1.44배 정도 많은 것으로 조사되었다.

산불발생 후 5년이 경과한 2001년도의 표면유출수량은 산불피해지가 56.474 L/m<sup>2</sup>로 비피해지 41.002 L/m<sup>2</sup>에 비해 1.38배 정도 많은 양이 발생하였다. 산불발생 후 10년이 경과한 2006년도의 표면유출수량은 산불피해지가 87.199 L/m<sup>2</sup>로 비피해지 75.186 L/m<sup>2</sup>에 비해 1.16배 정도 많은 양이 발생하였으나 큰 차이는 보이지 않는 것으로 조사되었다.



**Figure 2. The change of surface runoff rate by sites.**

시간경과에 따른 총강우량에 대한 표면유출율을 비교 분석 한 결과(Figure 2), 비피해지는 조사기간 동안 큰 차이를 보이지 않았으나 산불피해지는 시간이 경과 할수록 표면유출율은 감소하는 경향을 보였다.

산불 당해연도에 산불피해지의 표면유출율은 9.6%로 비피해지 5.6%에 비해 1.72배정도 많은 유출률을 보였고 산불발생 1년이 경과한 1997년도에는 산불피해지가 7.9%, 비피해지가 5.5%로 1.44배 정도, 5년이 경과한 2001년도에는 산불피해지가 7.3%, 비피해지가 5.3%로 1.38배 정도, 산불 발생 후 10년이 경과한 2006년도에는 산불피해지와 비피해지의 강우량에 대한 표면유출율은 각각 6.8%와 5.8%로 1.16배 정도 많은 유출률을 보였다.

산불피해지의 표면유출율은 산불 발생 당해연도에는 9.6%에서 10년이 경과한 2006년도에는 6.8%로 2.8%정도 감소한 것으로 조사되었다. 이는 시간이 경과할수록 식생 피복도의 증가로 차단·저류 및 증발되는 강우의 양이 증가하여 지면에 직접 도달하는 강우가 감소하고 또한 산불 발생 당해연도에 비해 토양공극의 증가로 땅속으로 침투되는 강우의 양이 증가하여 직접 유출되는 양이 감소하였기 때문으로 판단되었고, 특히 유출률에서 비피해지와 약 1.16배 정도 밖에 차이를 보이지 않아 산불발생 후 10년이 경과하면 산불피해지의 표면유출율은 비피해지와 거의 같은 수준으로 회복이 이루어지는 것으로 판단되었다.

이현호와 주재덕(2006) 등은 인공강우 장치를 이용한 산불피해지의 지표유출 특성에 관한 연구에서 산불발생 후 3년이 경과하면 지표유출량은 산불 당해연도에 비해 22.3%~41.8% 정도 감소하고 이는 토양공극 형성이 산불 초기에 비해 상대적으로 높았기 때문이며 또한 지피식생의 성장과 토양공극 형성으로 지표면에 도달하는 강우가 토양층 내로 침투되어 상대적으로 직접 유출되는 양이 감소한 결과라고 하였다. 국립방재연구소(2002)와 김석철(2003) 등은 산불발생지에서 식생의 회복에 따른 생물량의 증가는 호우시 강우의 타격면적을 감소시키고 지표면의 보수수량을 증가시키게 되며 지표면 유속을 낮추어 결

과적으로 표면유출수량을 감소시키고, 中野(1971)와 박재현(1995)은 벌채지에서의 표면유출수량을 조사한 결과 표면유출수량은 시간이 경과할수록 하층식생의 성장 등 주변 환경인자의 변화로 표면유출수량이 감소하였다고 하여 본 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

2. 환경인자와의 관계분석

산불피해지와 비피해지에서 발생한 표면유출수량에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 상관분석 및 단계별회귀분석을 실시한 결과는 Table 3, 4 및 5와 같다.

산불피해지에서 표면유출수량은 토양침식량, 단위강우횟수, 단위강우량과는 1%수준에서 부적강우량과는 5%수준에서 정의 상관관계를 보였고, 식생피복도와는 1% 수준에서 부의 상관을 보였다. 비피해지에서는 토양침식량, 단위강우횟수, 단위강우량과 1%수준에서 정의 상관관계를 보였고, 산불피해지와 동일하게 식생피복도와는 1% 수준에서 부의 상관을 보였다(Table 3).

단계별회귀분석을 실시한 결과(Table 4, 5)에서도 산불피해지와 비피해지의 표면유출수량은 강우 인자인 단위강우량에 많은 영향을 받는 것으로 분석되어 기존의 연구

결과와 유사한 경향을 보였고(村井과 岩崎, 1975; 岩崎 등, 1982; 이현호와 주재덕, 2006), 식생피복도는 유출수량을 감소시키는데 효과가 있는 것으로 분석되었다(국립방재연구소, 2002; 2003; 신승숙 등, 2008).

산불 발생 직후 식생회복 여부는 산지 산림환경 뿐만 아니라 홍수 및 토사재해 측면의 관리방안 수립에 있어서 매우 중요하다. Hartanto(2003)는 지표처리 방법에 따른 조사구의 유출 및 토양 손실량을 분석한 결과, 특히 생태적인 인자인 묘목밀도, 토양밀도, 낙엽층 두께 및 식생피복도 등에 대한 상관관계가 높다고 하였고, Kim et al.(2008)은 산불 발생 이후 부분적으로 식생회복이 느린 지역을 대상으로 지표처리 방법에 따른 분석 결과 유출량 및 토양침식의 저감효과가 있다고 하였다. 따라서 산불피해지에서 표면유출수량의 증가로 인한 하천범람과 토사유출 피해 방지 등 토양보전을 위해서는 식생녹화를 통한 대책마련이 필요할 것으로 판단된다. 또한 산불발생 후 시간경과에 따른 식생회복과 표면유출수량, 토양침식량의 변화과정에 대한 지속적인 모니터링을 통하여 산불피해지의 산림환경 보전에 대한 장기적인 연구도 필요할 것으로 생각된다.

결 론

산불피해지를 대상으로 산불 발생 후 당해연도, 1년, 5년, 10년 경과에 따른 표면유출수량의 변화과정을 비피해지와 비교분석하여 표면유출수량의 변화 특성 및 유출수량에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위해 본 연구를 수행하였으며 결과는 다음과 같다.

시간경과에 따른 표면유출수량의 변화를 분석한 결과 산불 발생 당해연도 5월에 월강우량에 대한 표면유출수량은 산불피해지가 12.216 L/m<sup>2</sup>, 비피해지가 5.349 L/m<sup>2</sup>로 산불피해지가 2.28배 정도 많은 유출수량을 보였으나 시간이 경과할수록 표면유출수량 모두 감소하는 경향을 보였으며 당해년도 표면유출수량은 산불피해지가 60.610 L/

Table 3. Correlation coefficient of variables on surface runoff in burned and unburned area.

Variables	Surface runoff	
	Burned area	Unburned area
Surface runoff	1.0000	1.0000
Bulk density	0.2098	0.2849
Soil hardness	0.1559	0.1601
Coverage	-0.5827**	-0.5703**
Soil erosion	0.5832**	0.6526**
Soil moisture	0.0444	0.1283
Number of unit rainfall	0.6554**	0.6413**
Number of rainfall accumulated	0.2276	0.2077
Unit rainfall	0.9346**	0.9341**
Accumulated rainfall	0.3362*	0.2950
Sand contents	0.0983	0.0708

Table 4. Stepwise regression analysis of surface runoff in burned area.

Variables	Regression coefficient	Partial R <sup>2</sup>	Model R <sup>2</sup>	F	Significance
Constant	88392.1280				
Unit rainfall	1377.5814	0.8735	0.8735	303.87	0.0001
Coverage	-525.6743	0.0533	0.9268	29.95	0.0001
Soil erosion	16.2148	0.0247	0.9515	10.76	0.0335

Table 5. Stepwise regression analysis of surface runoff in unburned area.

Variables	Regression coefficient	Partial R <sup>2</sup>	Model R <sup>2</sup>	F	Significance
Constant	421324.2855				
Unit rainfall	854.8997	0.8725	0.8725	227.52	0.0001
Coverage	-624.5819	0.0529	0.9254	20.08	0.0001
Sand contents	-5068.5528	0.0088	0.9342	7.43	0.0498
Soil erosion	68.6567	0.0097	0.9439	5.18	0.0302

m<sup>2</sup>, 비피해지가 35.287 L/m<sup>2</sup>, 1년 경과 후에는 산불피해지가 79.779 L/m<sup>2</sup>, 비피해지가 55.542 L/m<sup>2</sup>, 5년이 경과 후에는 산불피해지가 56.474 L/m<sup>2</sup>로 비피해지가 41.002 L/m<sup>2</sup>, 10년이 경과한 2006년도에는 산불피해지가 87.199 L/m<sup>2</sup>로 비피해지가 75.186 L/m<sup>2</sup>로 산불피해지가 비피해지보다 표면유출수량이 많이 발생하는 것으로 조사되었는데, 이는 산불로 인한 하층식생의 소실로 강우가 직접 토양에 도달되고 도달된 강우는 비피해지보다 토양공극을 빠르게 포화시켜 더 이상 내린 강우는 토양표면으로 유출되었기 때문으로 판단되었다.

산불 당해년도에 산불피해지의 표면유출율은 9.6%로 비피해지 5.6%에 비해 1.72배 정도 많은 유출률을 보였고 산불발생 1년이 경과한 1997년도에는 산불피해지가 7.9%, 비피해지가 5.5%로 1.44배 정도, 5년이 경과한 2001년도에는 산불피해지가 7.3%, 비피해지가 5.3%로 1.38배 정도, 산불 발생 후 10년이 경과한 2006년도에는 산불피해지와 비피해지의 강우량에 대한 표면유출율은 각각 6.8%와 5.8%로 1.16배 정도 많은 유출률을 보였다.

산불피해지의 표면유출율은 산불 발생 당해년도에는 9.6%에서 10년이 경과한 2006년도에는 6.8%로 2.8%정도 감소한 것으로 조사되어 시간이 경과할수록 식생피복도의 증가로 차단·저류 및 증발되는 강우의 양이 증가하여 지면에 직접 도달하는 강우가 감소하고 또한 산불 발생 당해년도에 비해 토양공극의 증가로 땅속으로 침투되는 강우의 양이 증가하여 토양공극을 포화시키는 속도가 느려 직접 유출되는 양이 감소한 결과로 판단되었고, 특히 유출률에서 비피해지와 약 1.16배 정도 밖에 차이를 보이지 않아 산불발생 후 10년이 경과하면 산불피해지의 표면유출수량은 비피해지와 거의 같은 수준으로 회복이 이루어지는 것으로 판단되었다.

산불피해지 및 비피해지의 표면유출수량에 영향을 미치는 인자는 단위강우횟수, 누적강우횟수, 단위강우량 등으로 나타나 두 지역 모두 강우인자에 직접적인 영향을 받는 것으로 분석되었고 식생피복도는 강우에 의한 표면유출수량의 발생을 감소시키는데 효과가 있는 것으로 조사되었다.

따라서 산불피해지에서 표면유출수량으로 인한 하천범람 및 토사유출로 인한 피해 방지와 토양보전을 위해서는 식생녹화를 통한 대책마련이 필요할 것으로 판단되며, 또한 산불발생 후 시간경과에 따른 식생회복과 표면유출수량, 토양침식량의 변화과정에 대한 지속적인 모니터링을 통하여 산불피해지의 산림환경 보전에 대한 장기적인 연구도 필요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호:

S210809L010120)'의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## 인용문헌

1. 국립방재연구소. 2002. 산불로 가중되는 재해요인 저감 대책. 65-94.
2. 국립방재연구소. 2003. 산지지역 우수 및 토사유출량 관측 및 저감대책 수립. 29-91.
3. 김석철. 2003. 산불피해지역에서 재생된 식생이 토사유출에 미치는 영향. 강릉대학교 이학석사학위논문.
4. 박상덕, 신승숙, 심관섭. 2002. 산불지역 토사유출에 대한 와지의 기능에 관한 연구. 국립방재연구소 4(1): 121-130.
5. 박재현. 1995. 백운산 성숙활엽수림 개벌수확지에서 벌출직후의 환경변화와 운재로 침식에 관한 연구. 서울대학교 대학원 농학박사학위논문.
6. 신승숙, 박상덕, 조재웅, 이규송. 2008. 양양 산불지역 지표유출 및 토양침식에 대한 식생회복의 영향. 대한토목학회논문집 29(4B): 393-403.
7. 이현호, 주재덕. 2006. 인공강우장치를 이용한 산불발생지의 지표유출 특성에 관한 연구. 한국임학회지 95(3): 350-257.
8. 우보명, 이현호. 1989. 황폐산지에서의 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(IV). 한국임학회지 78: 302-313.
9. 임업연구원. 1996. 고성 산불지역 생태조사 결과보고서. 산림청 임업연구원.
10. 정인옥, 마호섭. 2001. 산불발생지의 표면유출수와 토양침식량에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 4(3): 1-9.
11. 정용호, 김경하, 정창기, 전재홍, 류재윤. 2004. 산림소유역에서 산불이 계류수량 및 수질에 미치는 영향. 한국임학회지 93(7): 446-452.
12. 岩崎勇作, 村井 宏, 石井正典. 1982. ライシメタによる地被別の水土流出試験(II) - 林木 牧草および裸地の流出量と土壤水分の比較 - 日林構 93: 431-434.
13. 恩田浴一, D. Berkeley and L. Collins. 1997. 山火事後の表面流発生と土壤侵蝕. 平成9年度砂防學會研究發表會概要集. 168-169.
14. 中野秀章. 1971. 森林伐採および伐採地の植生變化が流出に及ぼす影響. 林試研報 240: 1-251.
15. 村井 宏, 岩崎勇作. 1975. 林地の水および土壤保全機能に關する研究 - 地床かく亂が土 地表流下. 浸透および浸蝕に及ぼす影響と林地の保全策. 林試研報 274: 1-23.
16. Andreu, V., Imeson, A.C. and Rubio, J.L. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. CATENA. Elsevier Science B.V. 80-82.
17. Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S.E. and Asdak, C. 2003. Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. Forest Ecology and Management, Elsevier. 180: 361-374.
18. Hibbert, A.R. 1985. Storm runoff and sediment produc-

- tion after wildfire in Chaparral. In Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, AWRA: Las Vegas, NV. 31-42.
19. Jeong, Y.H., Watahiki, S.K., Kim, H. Nakao and Takeshita, K. 1992. Study of the recovery characteristics of vegetation and the effect of topographical and soil factors in devastated forest land. Journal of Faculty Agriculture, Kyushu University 36: 279-300.
20. Johansen, M.P., Hakonson, T.E. and Breshers, D.D. 2001. Post-fire runoff and erosion from rainfall simulation: contrasting for-ests with shrublands and grasslands. Hydrological Processes. 15: 158-164.
21. Kim, C., Shin, K., Joo, K.Y, Lee, K.S. Shin, S.S. and Choung, Y. 2008. Effects of soil conservation measures in a partially vegetated area after forest fire. Science of the Total Environment. 399: 158-164.
22. Lawson, E.R. 1967. Throughfall and stemflow in a pine-hardwood stand in the Ouachita mountains of Arkansas. Water Resource Research. 3(3): 731-735.
23. Marques, M.A. and Mora, E. 1998. Effects on erosion of two post-fire management practices: clear-cutting versus non-intervention. Soil Tillage Research 45: 433-439.
24. Rab, M.A. 1996. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus regnans* forest of Southeastern Australia. Forest Ecology and Management 84: 159-176.
25. Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fire with particular reference to nitro transformations; A review. Plant and Soil 51: 73-108.
- 

(2009년 7월 3일 접수; 2009년 7월 24일 채택)