

인공강우장치를 이용한 산불발생지의 토양침식 특성에 관한 연구

李憲浩* · 朱在德

영남대학교 자연자원대학 산림자원학과

Characteristics of Soil Erosion on the Forest Fired Sites by Using Rainfall Simulator

Heon Ho Lee* and Jae Duk Joo

Dept. of Forest Resources, College of Natural Resources Yeungnam University, Kyeongsan 712-749, Korea

요 약: 인공강우발생장치를 이용하여 4년간 대구 동구지역에 발생한 산불발생지를 대상으로 산불발생지사면의 토양침식량을 계량화하기 위하여 산불발생 후 경과년수에 따라 각 지역에 대한 강우강도 및 경사별로 토양침식량을 관측하여 산불발생지의 토양침식 특성을 구명하고, 또한 토양침식량과 강우강도, 경사, 경과년수와의 관계를 분석한 결과는 다음과 같다. 1. 산불발생연도별 토양침식량은 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 1.9~5.7배 증가하였고, 경사가 10°씩 증가함에 따라서는 1.4~14.2배 증가하였다. 2. 산불발생당년에는 강우강도 80 mm/hr, 경사 30°에 대해 초기 강우 10분 동안 토양침식이 많이 발생하였으며, 시간이 경과할수록 점차 그 양이 감소하는 경향을 보였고, 산불발생 후 2년 뒤부터는 강우강도 및 경사별로 경과시간에 따른 토양침식량은 거의 일정하였다. 3. 산불발생 후 경과년수에 따라 강우강도 및 경사별 토양침식량은 산불발생 3년 후의 경우 발생당년에 비해 28.9%~94.1%로 감소하였고, 산불발생당년에는 강우강도 및 경사별로 토양침식량이 많았으며, 산불발생 후 2년 뒤부터 점차 토양침식량의 감소추세가 둔화되었다. 4. 산불발생지사면에서의 토양침식량에 대해 각 인자간의 영향성을 분석한 결과, 강우강도, 경사, 경과년수의 각각의 주효과와 강우강도×경사, 강우강도×경과년수의 상호작용 효과에 대해서는 차이를 보였고, 경사×경과년수, 강우강도×경사×경과년수의 상호작용 효과에 대해서는 차이가 없었다. 토양침식량에 영향을 미치는 인자의 영향도는 강우강도가 가장 큰 영향을 미치고 다음이 경사, 경과년수의 순이었다. 5. 토양침식량과 이에 영향을 미치는 인자들과의 상관관계에 있어서, 강우강도, 경사간에는 1%수준에서 유의적인 정(+)의 상관관계가 있었고, 경과년수는 1%수준에서 유의적인 부(-)의 상관관계가 나타났다. 6. 토양침식량과 이에 영향을 미치는 인자들과의 회귀분석 결과, 산불발생지사면에서 토양침식량을 설명하는데 유의한 인자는 강우강도, 경사, 경과년수이었다. 7. 강우강도, 경사, 경과년수를 이용하여 다음과 같은 토양침식량 추정식을 산출하였다. $S.E = 0.092R.I + 0.211D.S - 0.942E.Y$ (S.E: 토양침식량, R.I: 강우강도, D.S: 경사, E.Y: 경과년수)

Abstract: The purpose of study is to measure soil erosion quantity for elapsed four years from the fire on forest fired sites of Dong-gu, Daegu. This study was conducted to investigate the characteristics of soil erosion by using rainfall simulator through the survey of rainfall intensity and degree of slope on fired sites. After forest fire occurrence influencing on the soil erosion were. Also analysis result follows that the relations between soil erosion quantity and rainfall intensity, the slope and elapsed year. The results analysed were as follows: 1. Soil erosion by year of occurrence of forest fire was increased 1.9 to 5.7 times as rainfall intensity was increased by 30 mm/hr, and 1.4 to 14.2% as degree of slope was increased by 10°. 2. In the first year of forest fire occurrence, soil erosion was fairly heavy for 10 minutes of initial rainfall of which rainfall intensity was 80 mm/hr and degree of slope was 30°. The amount of soil erosion was gradually reduced as elapsed time. From two years after fire, the amount of soil erosion by rainfall intensity and degree of slope was nearly constant. 3. The amount of soil erosion by rainfall intensity and slope in accordance with elapsed time after fire was reduced 28.9 to 94.1% in three years after occurrence of forest fire as compared to the first year of fire. Soil erosion was fairly heavy by rainfall intensity and slope in the first year of fire, but it was gradually reduced from two years after fire. 4. In the analysis on influences of each factors on the amount of soil erosion on forest fired sites, the amount of soil erosion was significant differences in major impacts of each rainfall intensity, degree of slope and elapsed year after fire and interaction of rainfall intensity×degree of slope and rainfall

*Corresponding author
E-mail: gamjaj2d1@ynu.ac.kr

intensity×elapsed year after fire, but no differences were observed in interaction of degree of slope×elapsed year after fire and rainfall intensity×degree of slope×elapsed year after fire. Rainfall intensity was the most affecting factor on the amount of soil erosion and followed by degree of slope and elapsed year after fire. 5. For correlation between soil erosion and affecting three factors, soil erosion showed significant positive relation with rainfall intensity and degree of slope at 1% level, and significant negative relation with elapsed year after fire at 1% level. 6. As a result of regression of affecting three factors on soil erosion, rainfall intensity was most significant impact factor in explaining the amount of soil erosion on forest fired sites, followed by degree of slope and elapsed year after forest fire. 7. The formula for estimating soil erosion using rainfall intensity, degree of slope and elapsed year after forest fire occurrence was made. $S.E = 0.092R.I + 0.211D.S - 0.942E.Y$ (S.E : Soil erosion, R.I : Rainfall intensity, D.S : Degree of slope, E.Y : Elapsed year after forest fire occurrence)

Key words : forest fired sites, soil erosion, rainfall simulator

서론

산불은 발생 초기에 지표화의 형태로 시작되나 그 규모가 대형화되면 모든 수목과 지피식생, 산림토양을 파괴시킬 뿐만 아니라 강우의 유출에 따른 토양의 침식 및 홍수 발생과 같은 2차 피해를 일으키는데, 특히 산불발생지에 그해 또는 이듬해에 집중호우가 올 경우에는 대량의 표토 유실이나 대규모의 산사태 발생과 같은 재해가 우려되고 있다. 우리나라에서는 주로 6월~9월 사이에 집중호우나 태풍에 의해 토사재해가 많이 발생하고 있으며, 그 피해는 최근에 점점 증가하고 있는 상황이다. 이로 인해 산불이 토양침식에 미치는 영향 등에 대한 연구가 필수적이며, 특히 산림피해와 결부되는 토양침식현상에 관한 보다 과학적이고 정량적인 연구가 시급하다.

산불발생지에서 토양침식에 관한 연구를 보면, Chandler 등(1983)은 산불의 강도와 지속시간, 토양 수분함량, 산불의 발생시기, 산불 후 강우강도 등에 따라 산림식생과 토양에 미치는 영향이 다르다고 보고하였고, 박상덕 등(2000)은 산불에 의한 토사유출량 변화를 파악하기 위하여 산불피해지역을 대상으로 강우량, 유출량, 토사유출량에 대해서 보고한 바 있고, 이창우 등(2002)은 산불피해지의 입지환경조건과 토사유출량과의 관계 구명과 피해지의 경년변화에 따른 토사유출특성을 파악하였다.

이처럼 산불발생지에서 토양침식에 관한 연구는 최근 활발하게 이루어지고 있으며, 산불발생지 뿐만이 아니라 일반산지를 대상으로도 꾸준히 연구되어 오고 있다. 현재는 산불발생지에 대한 복원대책에 대해서도 자연에 의한 복원을 할 것인지 또는 인공조림에 의한 복원을 할 것인지에 대해 많은 논란이 있지만 어느 누구도 현실을 감안한 정답을 제시하지 못하고 있는 상황이다. 그러나 앞으로의 산불피해지 관리 및 복구대책은 생태복원을 최우선으로 고려하여야 할 것이며, 이를 위해서는 지표의 토양침식 특성과 침식량에 대한 예측이 정량적으로 조사되고 평가 방법이 확립되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 인공강우발생장치를 이용하여 최근

몇 년간 산불이 발생한 지역을 대상으로 산불발생지사면의 토양침식량을 계량화하기 위하여 각각의 지역에 대해 강우강도와 경사별로 토양침식량의 양적 변화를 분석하여 산불발생 후 경과년수에 따른 산불발생지사면의 토양침식량의 변화 특성을 조사하고, 나아가 토양침식을 일으키는 인자의 영향성과 상호작용효과를 구명하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 산불발생지 개황

2000년부터 2003년까지 산불이 발생했던 대구시 동구 지역 내에 ①미대동(동경 128° 40' 79", 북위 35° 57' 61", 2003년 산불발생), ②각산동(동경 128° 43' 08", 북위 35° 53' 42", 2002년 산불발생), ③중대동(동경 128° 38' 21", 북위 35° 58' 35", 2001년 산불발생), ④지묘동(동경 128° 38' 41", 북위 35° 56' 64", 2000년 산불발생)의 4 곳을 시험지로 선정하였다(Figure 1).

각 시험지의 지형 및 유역환경인자를 Table 1에 나타내었다.

2. 자료수집

인공강우에 의한 토양침식 특성을 조사하기 위해 2003년 5월부터 2003년 10월까지 토양침식 집수장치를 시험지에 설치하여 강우강도와 경사를 달리하여 단위면적 0.25 m²에 대해 1m 높이에서 인공강우를 1시간 동안 낙하

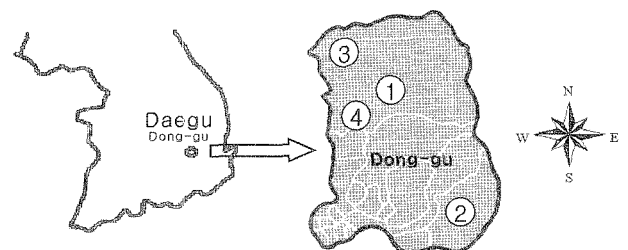


Figure 1. Location map of experimental sites.

Table 1. Topographic features of the experimental sites.

Factors	Site			
	Midae-dong (2003)	Gaksan-dong (2002)	Jungdae-dong (2001)	Jimyo-dong (2000)
Forest fired sites(ha)	0.5	0.1	3	0.5
Altitude(m)	190~230	168~210	175~221	137~240
Degree of slope (°)	25~30	23~28	25~32	30~37
Slope direction	S60° W	S40° W	N15° W	S20° W
Soil hardness(kg/m ²)	4.0~14.5	2.5~6.0	1.0~3.0	1.5~4.5
Soil depth(cm)	25~35	15~30	30~55	20~40
Soil moisture(%)	15~30	20~30	20~35	20~35
Vegetation coverage(%)	less than 10%	40~50%	60~70%	more than 80%
Soil type		sandy loam, loam		
Bed rock		granite		

시킨 후 매 10분씩 500 ml 용량의 폴리에틸렌통에 지표유출수를 수집하였다(Figure 2).

강우강도는 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr으로 각각 처리하여 실험하였으며, 경사는 산불발생지사면에서 10°, 20°, 30° 되는 곳을 찾아 선정하고, 2개소에서 측정된 값을

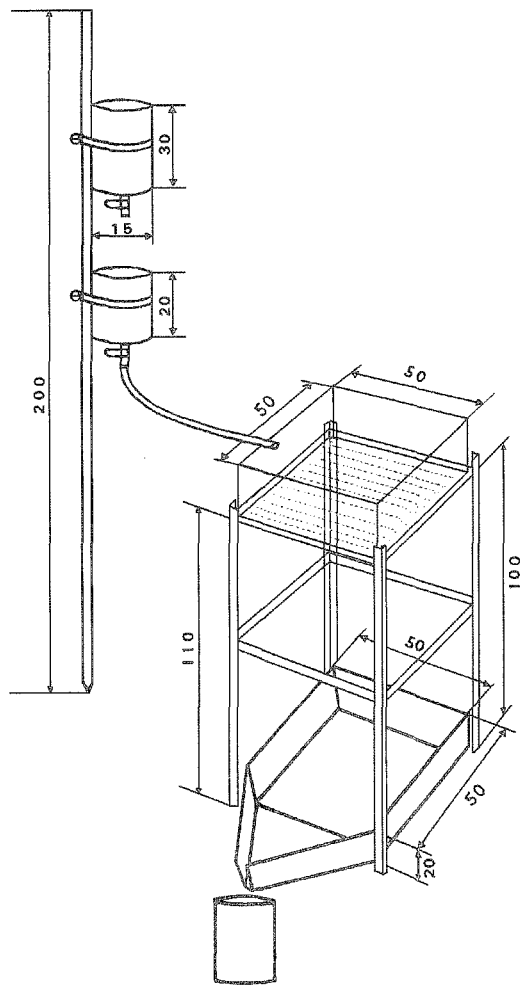


Figure 2. Equipment for measuring the amount of soil erosion.

평균하였다.

토양침식량의 측정은 인공강우 후 수집된 지표유출수를 실험실에서 아스피레이터(aspirator)를 이용하여 유출수와 침식토사를 분리하는 방법으로 실시하였다(Figure 3). 여과 전후의 여과지 무게를 동일하게 해주기 위해 여과지를 데시케이터(desiccator)에 옮겨 실온에 1시간 방치 후 칭량하여 본 실험에 이용하였다. 아스피레이터에 의해 여과지에 걸러진 토사를 103±2°C 항온건조기에 넣어 24 시간동안 건조시킨 다음 항온건조기에서 꺼내어 데시케이터에 옮겨 1시간 방냉한 후 전자저울을 사용하여 무게를 측정하였다. 이때의 무게를 단위면적당 토양침식량으로 정하였다.

3. 자료분석

토양침식량 자료를 수집하여 연도별로 정리하고, 토성이 동일하다는 조건하에서 토양침식량에 영향을 미치는 인자들 중에서 강우강도, 경사, 경과년수 등 세 인자가 토양침식량에 미치는 영향을 구명하기 위해 통계프로그램 SPSS 10.0을 이용하여 이들의 영향성을 분석하였다. 토양

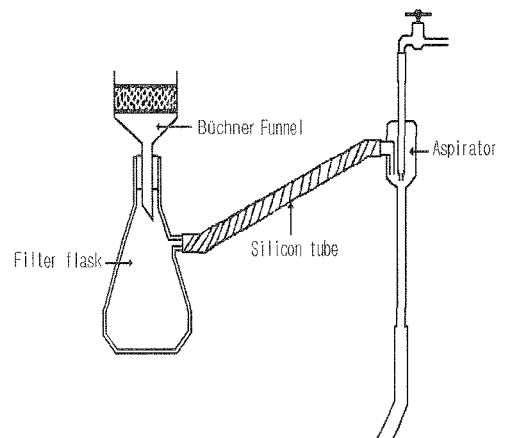


Figure 3. Filtration apparatus by using aspirator.

침식량에 대한 강우강도, 경사, 경과년수의 개별적인 효과를 분석한 후, 상호작용 효과를 분석하였으며, 또한 각 인자들 중에서 토양침식량에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 비교 분석하였다. 이러한 분석이 끝난 후 토양침식량과 강우강도, 경사, 경과년수 등의 인자에 대하여 상관분석을 실시한 뒤, 토양침식량과 상관관계를 보이는 인자와의 단계별 회귀방법(stepwise method)에 의한 다중회귀분석을 실시하여 토양침식량과 유의성이 있는 인자를 결정한 후에 그 인자들과 토양침식량과의 회귀식을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 산불발생지의 토양침식 특성

1) 강우강도와 토양침식량과의 관계

경사 10°~30° 범위에서의 토양침식량을 강우강도별로 합산하여 강우강도에 따른 토양침식량의 변화를 Figure 4에 나타내었다.

Figure 4에 나타난 것과 같이 각 산불발생 연도별로 강우강도의 증가에 따른 토양침식량의 변화를 살펴보면, 산불발생 초기인 2003년 피해지의 경우, 강우강도가 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80mm/hr일 때 각각 3.7 g/0.25 m², 12.0 g/0.25 m², 28.9g/0.25 m²로 나타나 강우강도가 증가할수록 토양침식량이 증가하였으며, 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라 2.4~3.3배 정도 증가하였다.

산불이 발생하고 1년 경과한 2002년 피해지의 경우, 강우강도가 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr일 때 각각 2.4 g/0.25 m², 9.3g/0.25 m², 21.0 g/0.25 m²로 나타났으며, 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라 2.3~3.9배 정도 증가하였다. 산불이 발생하고 2년 경과한 2001년 피해지의 경우, 강우강도가 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/h일 때는 각각 2.1g/0.25 m², 6.4g/0.25 m², 13.8 g/0.25 m²로 나타났으며, 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라 2.2~3배 정도 증가하였다. 산불이 발생하고 3년 경과한 2000년 피해지의 경우, 강우강도가 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr일 때 각각 1.1 g/0.25 m², 6.3 g/0.25 m², 12.2 g/0.25 m²로 나

타났으며, 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라 1.9~5.7배 정도 증가하였다.

각 강우강도에 대해서 산불발생 초기인 2003년 피해지와 산불발생 후 경과년수별로 토양침식량을 비교해 보면, 강우강도 20 mm/hr일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년 피해지의 경우는 토양침식량이 34.3% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년 피해지의 경우는 42.9% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년 피해지의 경우는 70.1% 정도가 감소하였다. 강우강도 50 mm/hr일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년 피해지의 경우는 토양침식량이 22.3% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년 피해지의 경우는 46.8% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년 피해지의 경우는 47.5% 정도가 감소하였다. 강우강도 80 mm/hr일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년 피해지의 경우는 토양침식량이 27.1% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년 피해지의 경우는 52.3% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년의 경우는 57.7% 정도가 감소하였다.

따라서 각 산불발생 연도별로 살펴본 토양침식량은 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 1.9~5.7배 정도 증가하는 것으로 나타났고, 이는 강우강도가 증가함에 따라 토양침식량도 증가한다고 보고한 種田(1946), 황증(1976), 조병진 등(1983)의 연구결과와 같은 경향을 보였다. 또한 각 강우강도별로 산불발생 후 시간이 경과할수록 토양침식량은 감소하는데 산불발생 초기에 비해 산불발생 3년 경과 후에는 토양침식량이 47.5%~70.1% 정도 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 정원옥(1997)과 이창우 등(2002)의 연구결과와 같은 경향을 보였다.

2) 경사와 토양침식량과의 관계

강우강도 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr의 토양침식량을 경사별로 합산하여 경사에 따른 토양침식량의 변화를 관측하여 Figure 5에 산불발생 연도별로 표시하였다.

Figure 5에 나타난 것과 같이 각 산불발생 연도별로 경사의 증가에 따른 토양침식량의 변화를 살펴보면, 산불발생 초기인 2003년 피해지의 경우, 경사가 10°, 20°, 30° 일

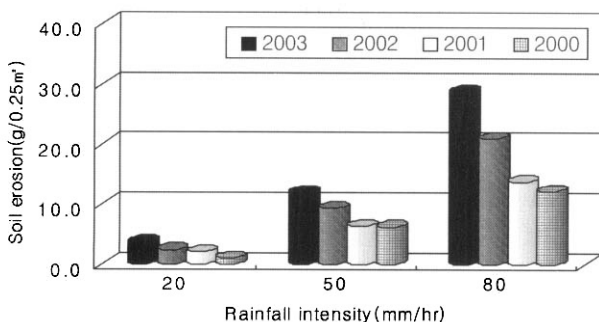


Figure 4. Relationship between rainfall intensity and the amount of soil erosion.

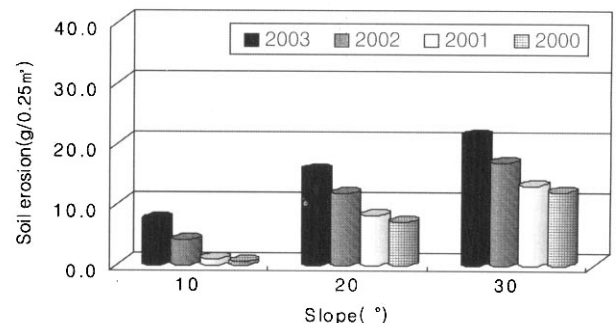


Figure 5. Relationship between degree of slope and the amount of soil erosion.

때 각각 7.4 g/0.25 m², 15.7 g/0.25 m², 21.5 g/0.25 m²로 나타나 경사가 증가할수록 토양침식량이 증가하였으며, 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.4~2.1배 정도 증가하였다.

산불이 발생하고 1년 경과한 2002년 피해지의 경우, 경사가 10°, 20°, 30°일 때 각각 4.1 g/0.25 m², 11.7g/0.25 m², 17.0g/0.25 m²로 나타났으며, 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.4~2.9배 정도 증가하였다. 산불이 발생하고 2년 경과한 2001년 피해지의 경우, 경사가 10°, 20°, 30°일 때 각각 1.0 g/0.25 m², 8.1 g/0.25 m², 13.1 g/0.25 m²로 나타났으며, 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.6~8.1배 정도 증가하였다. 산불이 발생하고 3년 경과한 2000년 피해지의 경우, 경사가 10°, 20°, 30°일 때 각각 0.5 g/0.25 m², 7.1 g/0.25 m², 12.1 g/0.25 m²로 나타났으며, 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.7~14.2배 정도 증가하였다.

각 경사에 대해서 산불발생 초기인 2003년 피해지와 산불발생 후 경과년수별로 토양침식량을 비교해 보면, 경사 10° 일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년 피해지의 경우는 토양침식량이 44.7% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년 피해지의 경우는 86.5% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년 피해지의 경우는 93.3% 정도가 감소하

였다. 경사 20°일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년 피해지의 경우는 토양침식량이 25.2% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년 피해지의 경우는 48.2% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년 피해지의 경우는 55.0% 정도가 감소하였다. 경사 30°일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년 피해지의 경우는 토양침식량이 21.0% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년 피해지의 경우는 38.8% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년 피해지의 경우는 43.8% 정도가 감소하였다.

따라서 각 산불발생 연도별로 살펴본 토양침식량은 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.4~14.2배 정도 증가하였으며, 이는 황중(1976), 조병진 등(1983), 오세진(1988) 등의 연구결과와 같은 경향을 보였다. 또한 각 경사별로 산불발생 후 시간이 경과할수록 토양침식량의 차이는 산불발생 초기에 비해 산불발생 3년 경과 후에는 토양침식량이 43.8%~93.3% 정도 감소하였는데, 이는 정원옥(1997)과 이창우 등(2002)의 연구결과와 같은 경향을 보였다.

3) 강우경과시간에 따른 토양침식 특성

각 시험지에 대해 1시간 동안 10분 간격으로 강우강도

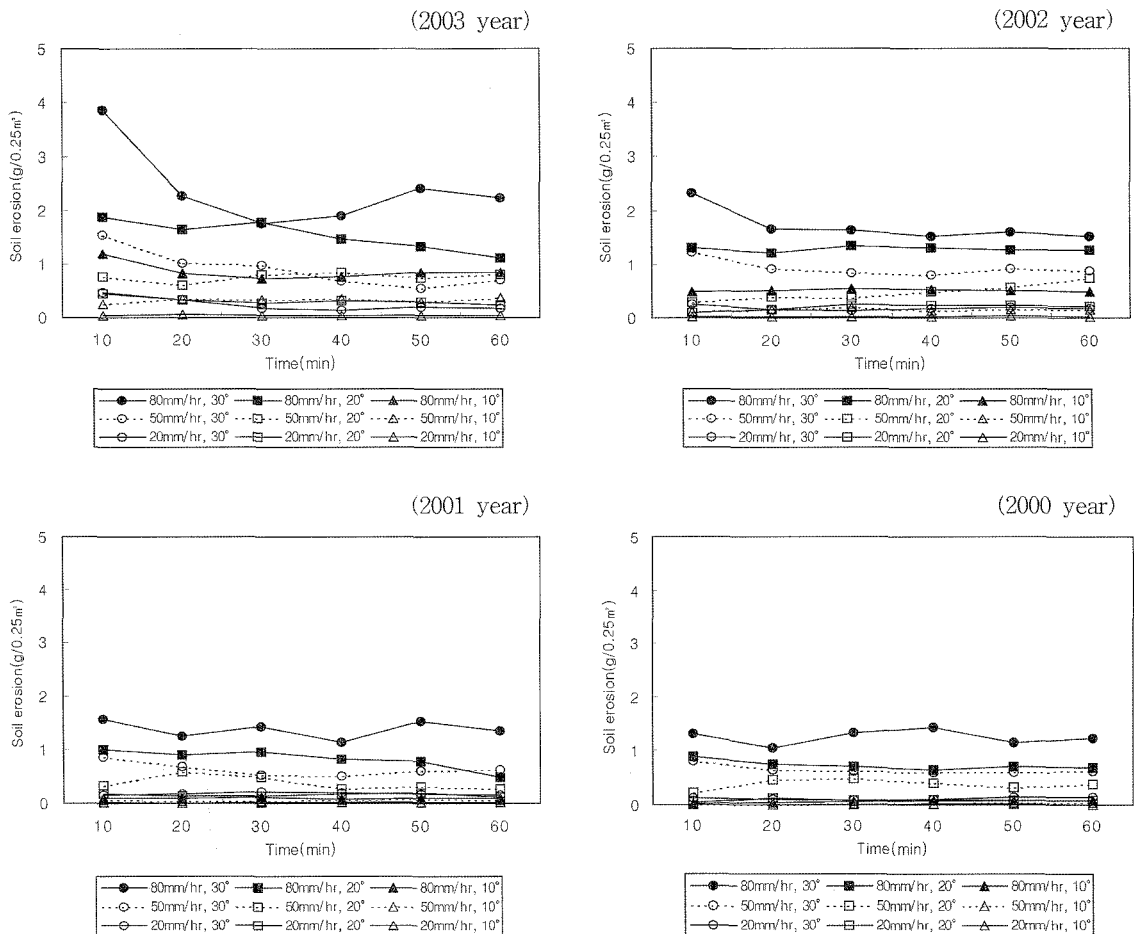


Figure 6. Characteristics of the amount of soil erosion by elapsed time of rainfall.

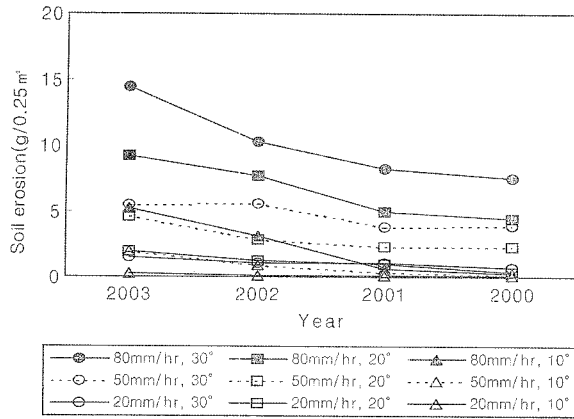


Figure 7. Change of the amount of soil erosion by occurrence year after forest fire occurrence.

별 및 경사별로 토양침식량의 변화를 관측하여 Figure 6에 표시하였다.

Figure 6에 나타난 것과 같이 산불발생 초기지역에서는 강우강도 80 mm/hr, 경사 30°에 대해 초기 강우 10분 동안 토양침식량이 많았으며, 시간이 경과할수록 점차 그 양이 감소하는 경향을 보였다. 이는 산불직후에 지피식생의 파괴 및 소실로 인해 나지화 되었던 건조한 토양이 높은 강우강도에서의 빗방울에 의한 충격력으로 토양입자가 파괴되면서 토양침식이 많이 발생한 것으로 생각된다. 산불발생 후 2년 부터는 강우강도별, 경사별로 경과 시간에 따른 토양침식량은 큰 차이 없이 일정하게 일어나는 것으로 나타났다.

4) 산불발생연도에 따른 토양침식 특성

산불발생 후 경과년수에 대한 강우강도별, 경사별로 토양침식량 변화를 관측하여 Figure 7에 나타내었다.

Figure 7에 나타난 것과 같이 산불발생연도에 따라 강우강도별, 경사도별로 토양침식량은 감소하는 것으로 나타났다.

각 강우강도별, 경사별로 산불발생초기인 2003년 피해지와 산불발생 후 3년 경과한 2000년 피해지의 토양침식량을 비교해 보면, 강우강도 80 mm/hr에 대해서 경사 30° 일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년 피해지가 산불발생 초기인 2003년 피해지에 비해 48.2%정도 감소하였으며, 경사 20°일 때는 52.2%정도 감소하였고, 경사 10°일 때는 94.1%정도 감소하였다. 강우강도 50 mm/hr에 대해서 경사 30° 일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년 피해지가 산불발생 초기인 2003년 피해지에 비해 28.9%정도 감소하였으며, 경사 20°일 때는 50.1%정도 감소하였고, 경사 10°일 때는 93.5%정도 감소하였다. 강우강도 20 mm/hr에 대해서 경사 30°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년 피해지가 산불발생 초기인 2003년 피해지에 비해 55.6% 정도 감소하였으며, 경사 20°일 때는 80.7%정도 감소하였고, 경사 10°일 때는 76.6%정도 감소하였다.

Table 2. Analysis of variance for the amount of soil erosion.

Source	df	Mean Square	F	Sig.
R.I	2	188.366	261.407	0.000**
D.S	2	107.497	149.180	0.000**
E.Y	3	28.430	39.453	0.000**
R.I×D.S	4	23.770	32.986	0.000**
R.I×E.Y	6	7.980	11.074	0.000**
D.S×E.Y	6	0.206	0.285	0.940
R.I×D.S×E.Y	12	0.537	0.745	0.700

R² = 0.970 (Adjusted R² = 0.940)

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

R.I : Rainfall intensity, D.S : Degree of slope,

E.Y : Elapsed year after forest fire occurrence

따라서 강우강도별, 경사별로 산불발생 3년 경과한 2000년 피해지가 산불발생초기인 2003년 피해지에 비해 28.9%~94.1%정도 감소하였는데. 이는 산불발생 후 시간이 경과할수록 하층식생이 성장하여 강우가 지표면에 도달할 때 발생하는 빗방울 침식에 의한 영향이 감소하였기 때문인 것으로 생각되며, 산불피해지의 토사유출량은 산불직후 증가하다가 산불발생 후 식생도입의 영향으로 점차 둔화한다고 보고한 이창우 등(2002)의 연구결과와 같은 경향을 보였다.

5) 토양침식량과 각 인자간의 영향분석

산불발생지사면을 대상으로 강우강도, 경사, 경과년수에 따라 토양침식량에 차이가 있는지를 구명하기 위하여 토양침식량과 각 인자들의 분산분석을 실시하고 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서와 같이 토양침식량에 대한 강우강도, 경사, 경과년수의 각각의 효과를 보면 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나 각 인자들에 따라서 토양침식량에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 Lowdermilk(1930), 三原(1951), 中野(1971), 우보명(1976) 등의 연구결과와도 유사한 결과를 나타냈다.

강우강도와 경사의 상호작용 효과를 보면 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나 상호작용 효과가 토양침식량에 영향을 주는 것으로 나타나고 있고, 강우강도와 경과년수의 상호작용 효과도 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나고 있다. 그러나 경사와 경과년수의 상호작용 효과는 5% 수준에서 유의하지 않은 것으로 나타나 상호작용 효과가 지표유출량에 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있고, 또한 강우강도, 경사, 경과년수 세 인자의 상호작용 효과도 5% 수준에서 유의하지 않은 것으로 나타났다.

토양침식량에 영향을 미치는 인자의 영향도를 조사한 결과, 강우강도가 가장 큰 영향을 미치고 다음이 경사, 경과년수 순으로 나타났는데, 이는 Farmer 등(1971)과 우보명(1976)의 연구결과와 일치하는 경향을 보였으나, 川口

Table 3. Correlation coefficients between the amount of soil erosion and rainfall intensity, degree of slope and elapsed year after forest fire occurrence.

		S.E	R.I	D.S	E.Y
	S.E	1.000			
Pearson Correlation	R.I	0.657**	1.000		
	D.S	0.499**	0.000	1.000	
	E.Y	-0.306**	0.000	0.000	1.000

**Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)
S.E : Soil erosion, R.I : Rainfall intensity, D.S : Degree of slope,
E.Y : Elapsed year after forest fire occurrence

등(1957)은 토양침식량에 대해서는 낙엽피복도의 영향이 가장 크고 다음이 강우강도, 경사 순이라고 보고한 내용과 비교하면 본 연구는 산불발생지사면을 대상으로 하였기 때문에 낙엽에 의한 영향을 배제한다면 강우강도에 의한 영향이 더 클 것으로 판단된다.

2. 산불발생지의 토양침식량 추정

토양침식량에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위하여 토양침식량과 강우강도, 경사, 경과년수 등의 인자에 대하여 상관분석을 실시하여 얻은 결과(Table 3), 강우강도, 경사간에는 1%수준에서 유의적인 정(+)의 상관관계를 나타내고 있고, 각 인자에 대한 상관계수는 각각 0.657, 0.499이었다. 경과년수는 1% 수준에서 유의적인 부(-)의 상관관계를 나타내고 있고, 상관계수는 -0.306이었다. 따라서 산불발생지에서 토양침식량은 강우강도, 경사가 증가할수록 증가하며, 산불발생 후 경과년수에 따라서 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 우보명(1976), 정원옥(1997),

이창우 등(2002)의 연구결과와도 같은 경향을 보였다.

산불발생지사면의 토양침식량과 각 인자와의 단계별 회귀방법에 의해 회귀분석한 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4는 3가지 선형 회귀모형을 보여주고 있으며, 단계선택의 기준에서 입력하는 경우와 제거하는 경우에 유의수준을 각각 0.05와 0.10으로 하였는데, 모형 1에서는 독립변수인 강우강도가 가장 먼저 입력되었으며, 모형 2에서는 강우강도, 경사가, 모형 3에서는 강우강도, 경사, 경과년수가 입력되었다. 자기상관이 있는지를 설명해주는 Durbin-Watson통계량 값은 2.065로 비교적 자기상관이 존재하지 않는 것으로 판단된다.

독립변수 한 개를 가지는 모형 1의 유의확률은 0.000으로 1%수준에서 유의한 것으로 나타났으며, 변수가 하나씩 추가되어 만들어지는 3가지 모형 모두 0.000의 유의확률을 값을 나타내고 있어 종속변수인 토양침식량을 잘 설명해 주고 있다고 판단된다. 따라서 3가지 모형 모두는 토양침식량 추정을 위한 회귀식을 산출하는데 적합한 것으로 판단하였으며, 본 연구에서는 독립변수인 강우강도, 경사, 경과년수와 종속변수인 토양침식량과의 회귀식을 구하여 Table 5에 나타내었다.

다중회귀식은 다음과 같이 산출되었다.

$$S.E = 0.092R.I + 0.211D.S - 0.942E.Y$$

위 식에서 S.E : 토양침식량, R.I : 강우강도, D.S : 경사, E.Y : 경과년수이다

본 연구에서는 결정계수 값과 F값이 다소 높은 회귀모형 3을 선택하여 회귀식을 산출하였는데, 이는 강우강도

Table 4. Regression analysis for the amount of soil erosion.

Model	R ²	Adjusted R ²	Durbin-Watson	df	Mean Square	F	Sig.
1	0.432	0.424		70	368.432	53.159	0.000**
2	0.681	0.672		69	290.615	73.627	0.000**
3	0.775	0.765	2.065	68	220.388	77.884	0.000**

1 : Independent variable is R.I
2 : Independent variable is R.I and D.S
3 : Independent variable is R.I, D.S and E.Y
Dependent variable : S.E

**Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

Table 5. Multiple regression equation for the amount of soil erosion.

Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
R.I	0.092	0.008	0.657		11.411	0.000**
D.S	0.211	0.024	0.499		8.672	0.000**
E.Y	-0.942	0.177	-0.306		-5.315	0.000**
R ² = 0.775						

**Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)
R.I : Rainfall intensity, D.S : Degree of slope
E.Y : Elapsed year after forest fire occurrence

와 경사는 토양침식량에 영향을 많이 미치는 인자로 판단하였으며, 경과년수별로 본 연구가 수행되었기 때문에 이들 세 인자를 회귀식에 포함하여 토양침식량 추정식을 산출하였다. 또한 상수는 상대적 기여도가 0.05 이하로 나타나 토양침식량의 변화를 설명하는데 기여도가 작은 것으로 나타났기 때문에 이를 제외하였다.

결정계수는 0.775로 유의수준 5% 내에서 높은 상관관계를 나타내었는데, 정원옥(1997)은 산화지에서 산지사면 침식량에 유의한 인자로 표면유출수량, 단위강우량 등을 제시한 바 있으며, 박재현(1995)은 토양가밀도, 표면유출수량, 단위강우량 등을, Farmer 등(1971)은 강우강도, 경사도, 2 mm보다 큰 토양입자의 중량비 등을, 川口 등(1957)은 낙엽피복도, 강우강도, 경사 등을 제시하였는데, 본 연구는 토성이 동일하다는 조건하에 실험을 실시하였기 때문에 토양인자에 대한 영향은 파악되지 못하였으며, 이를 제외한 인자에 대해서는 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다.

상기 추정식을 이용하면 산불발생지의 강우강도, 경사, 경과년수를 조사함으로써 실제 산불발생지사면의 토양침식량을 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

인공강우발생장치를 이용하여 4년간 대구 동구지역에 발생한 산불발생지를 대상으로 산불발생지사면의 토양침식량을 계량화하기 위하여 산불발생 후 경과년수에 따라 각 지역에 대한 강우강도 및 경사별로 토양침식량을 관측, 분석한 결과는 다음과 같다.

산불발생연도별 토양침식량은 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 1.9~5.7배 증가하였고, 경사가 10°씩 증가함에 따라서는 1.4~14.2배 증가하였으며, 산불발생당년에는 강우강도 80 mm/hr, 경사 30°에 대해 초기 강우 10분 동안 토양침식이 많이 발생하였으며, 시간이 경과할수록 점차 그 양이 감소하는 경향을 보였고, 산불발생 후 2년 뒤부터는 강우강도 및 경사별로 경과시간에 따른 토양침식량은 거의 일정하였다.

산불발생 후 경과년수에 따라 강우강도 및 경사별 토양침식량은 산불발생 3년 후의 경우 발생당년에 비해 28.9%~94.1%로 감소하였고, 산불발생당년에는 강우강도 및 경사별로 토양침식량이 많았으며, 산불발생 후 2년 뒤부터 점차 토양침식량의 감소추세가 둔화되었다.

산불발생지사면에서의 지표유출량과 토양침식량에 대해 각 인자간의 영향성을 분석한 결과, 강우강도, 경사, 경과년수의 각각의 주효과와 강우강도×경사, 강우강도×경과년수의 상호작용 효과에 대해서만 차이를 보였다. 토양침식량에 영향을 미치는 인자의 영향도는 강우강도가 가

장 큰 영향을 미치고 다음이 경사, 경과년수의 순이었다.

토양침식량과 이에 영향을 미치는 인자들과의 상관관계에 있어서, 강우강도, 경사간에는 1%수준에서 유의적인 정(+)의 상관관계가 있었고, 경과년수는 1%수준에서 유의적인 부(-)의 상관관계가 나타났다.

산불발생지사면에서 토양침식량을 설명하는데 유의한 인자는 강우강도, 경사, 경과년수이었다. 이들 인자를 이용하여 다음과 같은 토양침식량 추정식을 산출하였다.

$$S.E = 0.092R.I + 0.211D.S - 0.942E.Y$$

(S.E : 토양침식량, R.I : 강우강도, D.S : 경사, E.Y : 경과년수)

인용문헌

1. 박상덕, 이종국, 박덕근, 심재현. 2000. 산불피해지역의 토사유출량 조사연구. 대한토목학회 논문집 20(7): 191-194.
2. 박재현. 1995. 백운산 성숙활엽수림 개별수확지에서 벌출직후의 환경변화와 문제로 침식에 관한 연구. 서울대학교 대학원 농학박사학위논문. 137pp.
3. 오세진. 1988. 인공강우하에서 점토함량에 따른 토양침식양상. 건국대학교 대학원 석사학위논문. 34pp.
4. 우보명. 1976. 토양침식에 작용하는 몇가지 요인의 영향에 관한 연구. 한국임학회지 29: 54-101.
5. 이창우, 이천용, 조병훈. 2002. 고성 산불피해임지의 토사유출 특성. 한국임학회. 2002년도 학술연구 발표논문집: 269-271.
6. 정원옥. 1997. 산불이 토양침식 및 계류수질과 식생변화에 미치는 영향. 경상대학교 대학원 석사학위논문. 43pp.
7. 조병진, 윤충섭. 1983. 강우에 의한 토양침식량 예측에 관하여. 경상대학교 논문집(이공계열) 22: 133-138.
8. 황 증. 1976. 강우가 토양침식에 미치는 영향. 경상대학교 논문집 15: 69-73.
9. 三原義秋. 1951. 雨滴と土壤浸蝕. 日本農業技術研究所報告 1: 1-59.
10. 種田行男. 1946. 農地保全. 理工圖書. 東京. pp. 15-16.
11. 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.
12. 川口武, 雄瀧口, 喜代志. 1957. 山地土壤浸蝕の研究(III). 地被物の浸蝕防止機能に關する實驗. 林業試驗場研究報告 95: 95-98.
13. Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P. Traubaud, L., and Williamms, D. 1983. Fire in forestry. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons. New York. 450pp.
14. Farmer, E.E. and Van Haveren, B.P. 1971. Soil erosion by overland flow and raindrop splash on three mountain soils. USDA Forest Serv. Res. Pap. INT-100. 14pp.
15. Lowdermilk, W.C. 1930. Influence of forest litter on runoff percolation and erosion. Jour. For. 28(4): 474-491.