

인공강우장치를 이용한 산불발생지의 지표유출 특성에 관한 연구

李憲浩* · 朱在德

영남대학교 자연자원대학 산림자원학과

Characteristics of Surface Flow on the Forest Fire 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 산불발생지를 대상으로 산불발생 후 경과년수에 따라 각 지역에 대한 강우강도 및 경사별로 지표유출량을 관측하여 산불발생지의 지표유출 특성을 구명하고, 또한 지표유출량과 강우강도, 경사, 경과년수와의 관계를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 1. 산불발생연도별 지표유출량은 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 2.2~3.2배 증가하였으며, 경사가 10°씩 증가함에 따라서는 1.5~1.9배 증가하였다. 2. 산불발생지에서 지피식생이 80% 이상 회복되더라도 초기강우 때의 지표유출량은 다소 많이 발생하여, 식생에 의한 유출량 감소효과는 높지 않았다. 3. 산불발생 후 경과년수에 따라 강우강도 및 경사별로 구분한 지표유출량은 산불발생 3년 후의 경우 발생당년에 비해 22.3%~41.8%로 감소하였고, 산불발생당년에는 강우강도 및 경사별로 지표유출량에 많은 차이가 있었으나 시간이 경과할수록 그 차이가 작아졌다. 4. 산불발생지사면에서의 지표유출량에 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. 지표유출량에 영향을 미치는 인자의 영향도는 강우강도가 가장 큰 영향을 미치고 다음이 경사, 경과년수의 순이었다.

Abstract: For the purpose of this study, the characteristics of surface flow through the survey of rainfall intensity and degree of slope on fire sites by using rainfall simulator was examined and analysed. And also the relationship between the amount of surface flow and rainfall intensity, degree of slope and elapsed year after forest fire occurrence influencing on the surface flow were analysed. The results obtained were as follows: 1. The amount of surface flow by year of occurrence of forest fire was increased 2.2 to 3.2 times as rainfall intensity was increased by 30 mm/hr, and 1.5 to 1.9 times as degree of slope was increased by 10°. 2. Even though ground vegetation in forest fire sites was recovered more than 80%, the amount of surface flow in initial rainfall was relatively much and it seemed that vegetation didn't play substantial roles in reducing runoff. 3. The amount of surface flow by rainfall intensity and degree of slope in accordance with elapsed years after forest fire was reduced 22.3% to 41.8% in three years after fire as compared to the first year of fire occurrence. The amount of surface flow were significantly differentiated by rainfall intensity and degree of slope in the first year of fire occurrence and the difference were gradually reduced afterwards. 4. In the analysis on influences of each factors on the amount of surface flow on forest fire sites, the amount of surface flow 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 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 surface flow and followed by degree of slope and elapsed year after fire.

Key words : forest fire sites, surface flow, rainfall simulator

*Corresponding author
E-mail: hhlee@yu.ac.kr

서론

우리나라에서 발생하는 산불은 주로 소규모의 산불이 많이 발생하고 있으나 간혹 발생하는 대규모의 산불은 그 피해면적이 수백ha를 넘는 경우도 자주 있다. 과거 황폐한 산림에서는 산불이 발생하더라도 어린 나무와 지피물을 태우는 정도의 소규모였으나, 현재는 치산녹화 및 산지자원화 정책의 결실로 산림축적의 증가와 더불어 산림 내에는 나뭇잎이나 간벌목 등 가연성물질이 증가되어 상대적으로 산불발생위험률은 높아졌고, 그 규모도 1996년 4월에 발생한 고성산불과 2000년 4월에 발생한 동해안산

불과 같이 점점 대형화로 가는 추세에 있다. 산불로 인해 산림이 파괴된 지역은 직접적인 산림피해 외에도 산림의 수원함양기능과 토양의 물침투능력이 급격히 저하되기 때문에 강우시 직접유출량을 크게 증가시키고 있다.

산불발생지에서 토양의 물리적 현상을 이해하고, 토양 침식에 영향을 미치는 인자의 특성을 구명하고자 하는 연구는 실험적인 방법을 통하여 꾸준히 연구되어 오고 있다. 산불이 토양의 물리적 특성에 미치는 영향에 관한 연구를 보면, 오래전에 Bayer(1933)는 침식을 지배하는 인자로 강우, 지형, 식생, 토양 등이라고 밝히고 이 중에서 직접 침식에 영향을 미치는 인자는 강우로 강우의 계절적 분포와

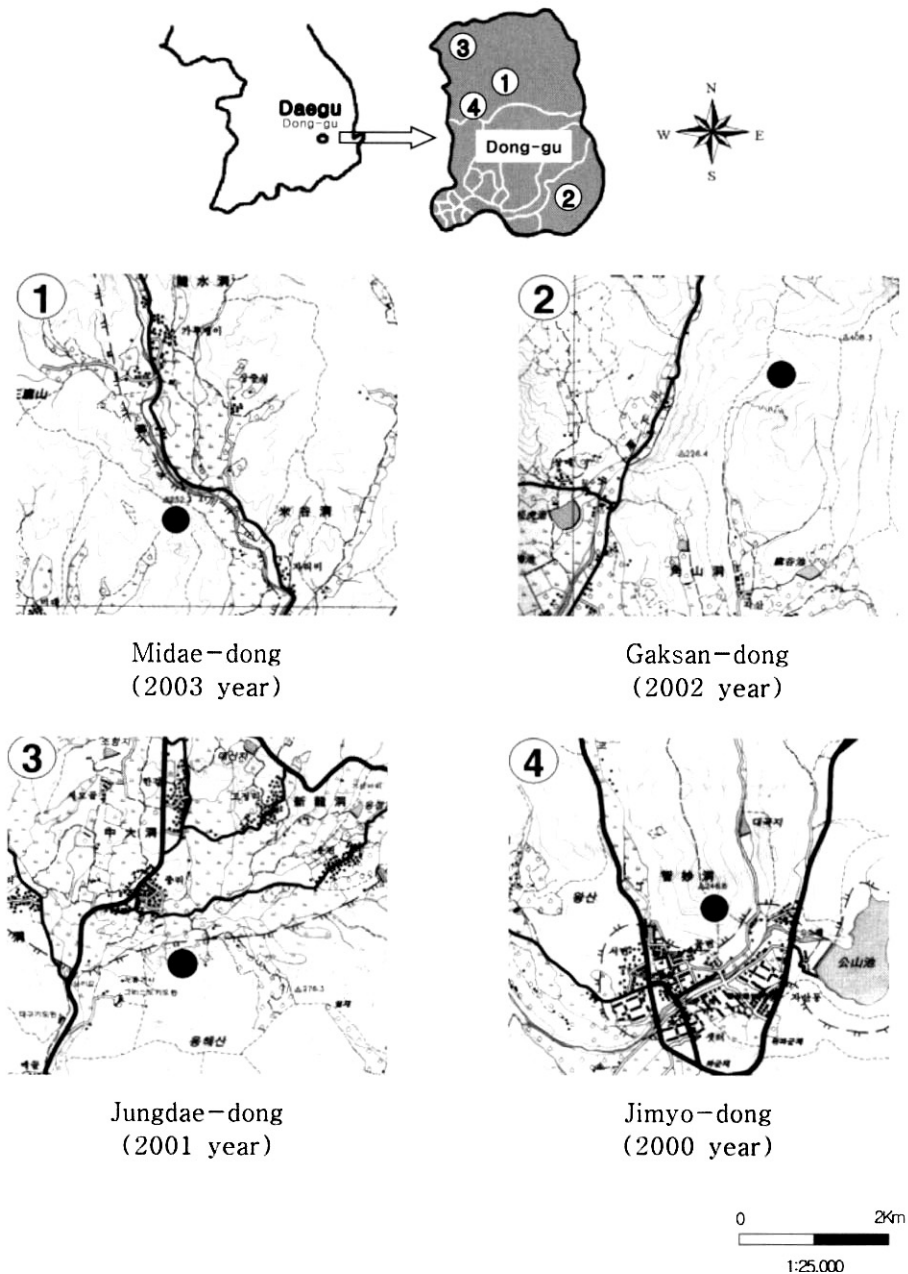


Figure 1. Location map of experimental sites.

강우량 및 강우강도라고 보고하였고, Bissonais(1992)는 토양표면의 크러스트 형성이 물의 침투능을 감소시키고 이로 인한 유출의 증가가 표토의 침식을 유발한다고 하였다. 조병진 등(1983)은 지표유출량은 경사도가 증가할수록 경사장이 짧을수록 증대하는 경향을 보인다고 하였으며, 정원옥(1997)은 첫해의 산화지를 대상으로 산불 발생 후 시간경과에 따른 산림내의 표면유출수량에 대한 변화 및 회복과정을 비산화지와 비교분석하여 산불이 산림환경변화에 미치는 초기 영향을 구명하였고, 광경만(1999)은 강우강도의 변화에 따른 지표유출량의 변화를 연구한 바 있다.

현재 산불발생지에 있어서 식생의 침입 또는 변화, 토양의 이화학적 성질 변화, 계류수질의 변화 등에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으나, 아직 수문학적 환경변화에 대한 국내의 연구자료는 크게 부족한 실태에 있다. 이와 같이 임지를 급격히 악화시킬 수 있는 산불이 산림수분환경의 변화에 미치는 영향 등에 대한 연구가 필수적이다. 그러나 이러한 연구들은 단기간에 그 해답을 얻을 수 있는 것이 아니라 보다 장기간에 걸친 지속적인 연구와 이를 수치적으로 해석하고 예측하는 작업이 선행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 최근 몇 년간 산불이 발생한 지역을 대상으로 인공강우발생장치를 이용하여 각각의 지역에 대해 강우강도와 경사별로 산불발생지사면의 지표유출량의 양적 변화를 분석하여 산불발생 후 경과년수에 따른 지표유출량의 변화 특성을 조사하고, 나아가 지표유출을 일으키는 인자의 영향성과 상호작용효과를 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 산불발생지 개황

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

각 시험지의 개황은 다음과 같다.

1) 미대동

이 지역은 2003년 4월 6일에 산불이 발생하여 약 0.5 ha 정도의 산림이 피해를 입은 곳으로 표고는 190 m~230 m의 범위에 있으며, 사면방향은 S60°W 그리고 사면경사는 25°~30° 정도이다. 산불피해를 입지 않은 주변 지역을 대상으로 식생조사를 한 결과, 소나무, 상수리나무, 신갈

나무 등의 교목이 혼생하고 있으며, 윗나무, 조록싸리, 참싸리, 뽕나무 등 약간의 관목이 그 하부층을 이루고 있고, 초본류는 산겨울, 애기나리, 고사리 등이 분포하고 있다. 산불피해 후 싸리류와 산겨울, 참억새, 쪽제비싸리, 초피나무, 소나무치수, 상수리나무치수, 신갈나무치수가 생육하고 있으며 피도는 10% 이하로 조사되었다.

토양습도는 15%~30%, 토양경도는 4.0 kg/cm²~14.5 kg/cm² 그리고 토심은 25 cm~35 cm의 범위에 각각 있었다.

2) 각산동

이 지역은 2002년 2월 3일에 산불이 발생하여 약 0.1 ha 정도의 산림이 피해를 입은 곳으로 표고는 168 m~210 m의 범위에 있으며, 사면방향은 S40°W 그리고 사면경사는 23°~28° 정도이다. 식생조사 결과, 소나무, 상수리나무, 신갈나무, 아까시나무 등의 교목이 혼생하고 있으며, 조록싸리, 싸리, 생강나무, 당단풍 등 관목이 그 하부층을 이루고 있고, 초본류는 청미래덩굴, 산겨울, 애기나리, 노루오줌 등이 분포하고 있다. 산불피해 후 소나무, 당단풍, 고로쇠나무, 산벚나무가 교목층을 이루고 있고, 산겨울, 그늘사초, 소나무치수, 상수리나무치수, 신갈나무치수가 생육하고 있으며, 피도는 40%~50%로 나타났다.

토양습도는 20%~30%, 토양경도는 2.5 kg/cm²~6.0 kg/cm² 그리고 토심은 15 cm~30 cm의 범위에 있는 것으로 각각 나타났다.

3) 중대동

이 지역은 2001년 3월 20~21일 양일간에 걸쳐 산불이 발생하여 약 3 ha 정도의 산림이 피해를 입은 곳으로 표고는 175 m~221 m의 범위에 있으며, 사면방향은 N15°W 그리고 사면경사는 25°~32° 정도이다. 식생조사 결과, 소나무, 신갈나무, 상수리나무, 떡갈나무 등의 교목이 혼생하고 있으며, 윗나무, 조록싸리, 싸리, 산벚나무 등 관목이 그 하부층을 이루고 있고, 초본류는 청미래덩굴, 산겨울, 애기나리 등이 분포하고 있다. 산불피해 후 고로쇠나무로 조림하였으며, 소나무치수, 상수리나무치수, 신갈나무치수, 청미래덩굴, 산겨울, 참억새 등이 생육하고 있으며, 피도는 60%~70%로 나타났다.

토양습도는 20%~35%, 토양경도는 1.0 kg/cm²~3.0 kg/cm² 그리고 토심은 30 cm~55 cm의 범위로 각각 나타났다.

4) 지묘동

이 지역은 2000년 3월 14일에 산불이 발생하여 약 0.5 ha 정도의 산림이 피해를 입은 곳으로. 표고는 137 m~240 m의 범위에 있으며, 사면방향은 S20°W 그리고 사면경사는 30°~37° 정도이다. 식생조사 결과, 소나무, 상수리나무, 신갈나무 등의 교목이 혼생하고 있고, 윗나무, 조록싸리,

산벚나무 등 약간의 관목이 그 하부층을 이루고 있으며. 초본류는 청미래덩굴, 산겨울, 노루오줌, 개망초, 고사리류 등이 분포하고 있다. 산불피해 후 고로쇠나무, 이팝나무, 모감주나무 등으로 조림하였으며, 소나무치수, 신갈나무치수, 청미래덩굴, 산겨울, 참억새 등이 생육하고 있으며, 피도는 80%이상인 것으로 나타났다.

토양습도는 20%~35%, 토양경도는 1.5 kg/cm²~4.5 kg/cm² 그리고 토심은 20 cm~40 cm의 범위로 각각 조사되었다.

2. 연구방법

1) 인공강우장치 및 강우발생 특성

인공강우에 의한 지표유출 특성을 조사하기 위해 인공강우장치를 조사지에 설치하고 인공적으로 발생된 빗방울을 낙하하였다. 인공강우장치는 50 cm×50 cm×25 cm의 아크릴 상자(acryl box)를 2.5 cm의 간격으로 직경 1 mm의 구멍을 뚫어 0.9 mm 와이어를 고리형으로 삽입하여 빗방울직경 4.5~5.0 mm로 제조한 인공강우를 배열하였으며, 구멍의 총 수는 361개이다(Figure 2). 강우강도는 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr으로 각각 처리하여 실험하였으며, 인공강우량의 조건은 현재까지 조사된 대구지역의 1시간당 최대강수량 80 mm를 최대강우강도로 선택하였으며, 현장실험의 경우 시험지의 토양침식이 강우강도 20 mm/hr이하에서는 잘 일어나지 않아 20 mm/hr을 최소강우강도로 선택하고, 그 중간값으로 50 mm/hr을 선택하여 실험을 실시하였다. 아크릴 상자내의 수위를 달리하

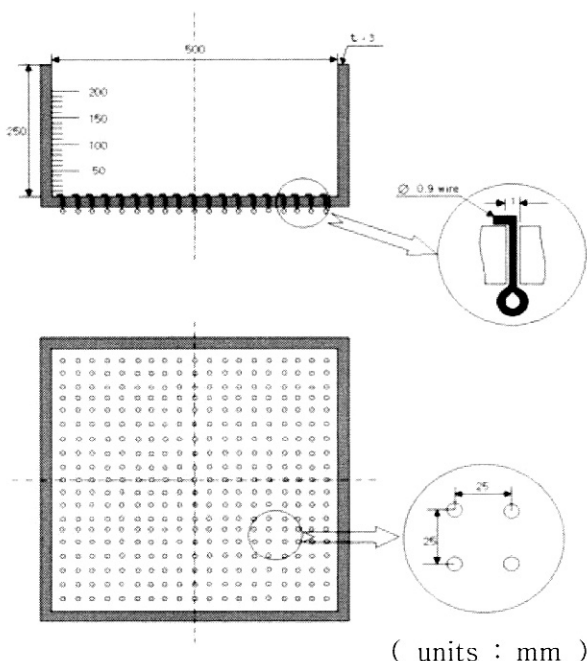


Figure 2. Drop forming mechanism of rainfall simulator.

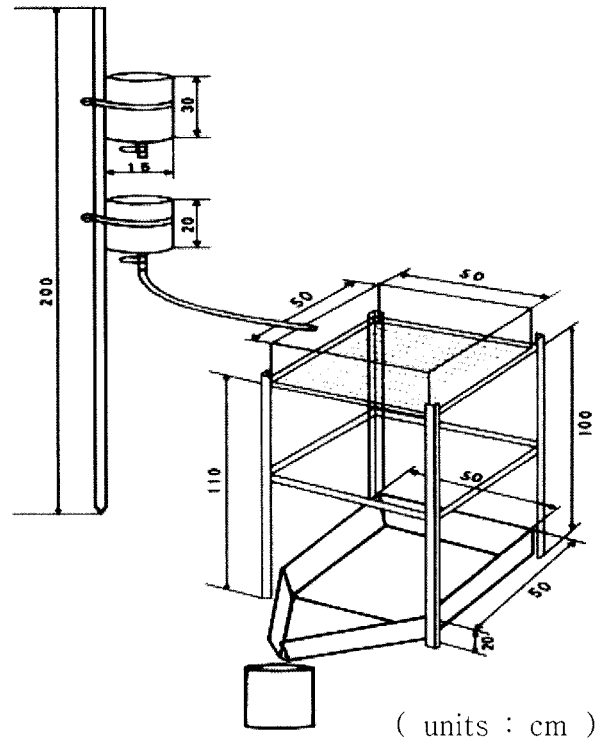


Figure 3. Equipment for measuring the amount of surface flow.

여 강우강도를 조절하였으며, 그 결과 수위 1.5 cm, 4.0cm, 5.5 cm에서 각각 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr인 강우강도가 나타났고, 각각의 수위에 따라 5 l, 12.5 l, 20 l의 물이 소모되었다.

2) 산불발생지의 지표유출

지표유출량을 조사하기 위하여 토양침식 집수장치를 시험지에 설치하여 강우강도와 경사를 달리하여 단위면적 0.25 m²에 대해 인공강우를 1시간 동안 낙하시킨 후 매 10분씩 500 ml 용량의 폴리에틸렌통에 지표유출수를 수집하였다(Figure 3). 지표유출량 측정은 강우강도별, 경사별로 각각 측정하였는데, 각 시험지에 대하여 강우강도를 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr으로 선정하고, 경사를 10°, 20°, 30°로 선정하여 2개소에서 측정된 값을 평균하였다.

플롯 내의 인공강우에 의해 발생한 지표유출수를 위와 같은 조건으로 수집하여 실험실에서 그 양을 측정하여 단위면적당 지표유출량으로 정하였다.

3) 분석방법

인공강우에 의해 얻어진 지표유출량 자료를 수집하여 연도별로 정리하고, 지표유출량에 영향을 미치는 인자들 중에서 강우강도, 경사, 경과년수 등 세 인자가 지표유출량에 미치는 영향을 구명하기 위해 통계프로그램 SPSS 10.0을 이용하여 이들의 영향성을 분석하였다. 지표유출량 분석의 경우는 지표유출량에 대한 강우강도, 경사, 경

과년수의 개별적인 효과를 분석한 후, 강우강도×경사, 강우강도×경과년수, 경사×경과년수, 강우강도×경사×경과년수에 따른 상호작용 효과를 분석하였으며, 또한 각 인자들 중에서 지표유출량에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 산불발생지의 지표유출 특성

1) 강우강도와 지표유출량과의 관계

경사 10°~30° 범위에서의 지표유출량을 강우강도별로 합산하여 강우강도에 따른 지표유출량의 변화를 측정하여 Figure 4에 산불발생 연도별로 나타내었다.

Figure 4에 나타난 것과 같이 각 산불발생 연도별로 강우강도의 증가에 따른 지표유출량의 변화를 살펴보면, 산불발생 초기인 2003년의 경우, 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 2.2~3.2배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 산불이 발생하고 1년 경과한 2002년의 경우, 2.4~2.7배 정도 증가하였으며, 산불이 발생하고 2년 경과한 2001년의 경우, 2.3~2.5배 정도 증가하였고, 산불이 발생하고 3년 경과한 2000년의 경우, 2.5~2.6배 정도 증가하였다.

각 강우강도에 대해서 산불발생 초기인 2003년과 산불발생 후 경과년수별로 지표유출량을 비교해 보면, 강우강도 20 mm/hr일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년에는 지표유출량이 13.2% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년에는 18.3% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년에는 26.6% 정도가 감소하였다. 강우강도 50 mm/hr일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년에는 지표유출량이 27.1% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년에는 35.5% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년에는 40.9% 정도가 감소하였다. 강우강도 80 mm/hr일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년에는 지표유출량이 19.7% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년에는 31.2% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년에는 32.3% 정도가 감소하

였다.

따라서 각 산불발생 연도별로 살펴본 지표유출량은 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 2.2~3.2배 정도 증가하는 것으로 나타났고, 이는 토성과 경사도가 동일한 조건에서 강우강도의 증가에 따라 나지사면에서의 유출량은 증가하였다는 우보명(1976)의 연구결과와 일치하였다. 또한 각 강우강도별로 산불발생 후 시간이 경과할수록 지표유출량의 차이는 산불발생 초기에 비해 산불발생 3년 경과 후에는 지표유출량이 26.6%~40.9% 정도 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 벌채지 및 산화지에서의 지표유출량은 시간이 경과할수록 식생의 성장으로 인해 감소한다는 中野(1971)와 정원옥(1997)의 연구결과와도 같은 경향을 나타내었다.

2) 경사와 지표유출량과의 관계

강우강도 20 mm/hr, 50 mm/hr, 80 mm/hr의 지표유출량을 경사별로 합산하여 경사에 따른 지표유출량의 변화를 Figure 5에 산불발생 연도별로 나타내었다.

Figure 5에 나타난 것과 같이 각 산불발생 연도별로 경사의 증가에 따른 지표유출량의 변화를 살펴보면, 산불발생 초기인 2003년의 경우, 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.5~1.8배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 산불이 발생하고 1년 경과한 2002년의 경우, 1.5~1.8배 정도 증가하였으며, 산불이 발생하고 2년 경과한 2001년의 경우, 1.5~1.9배 정도 증가하였고, 산불이 발생하고 3년 경과한 2000년의 경우, 1.5~1.8배 정도 증가하였다.

각 경사에 대해서 산불발생 초기인 2003년과 산불발생 후 경과년수별로 지표유출량을 비교해 보면, 경사 10°일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년에는 지표유출량이 23.0% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년에는 36.2% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년에는 37.2% 정도가 감소하였다. 경사 20°일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년에는 지표유출량이 21.4% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년에는 31.9% 정도가 감소하였고, 3

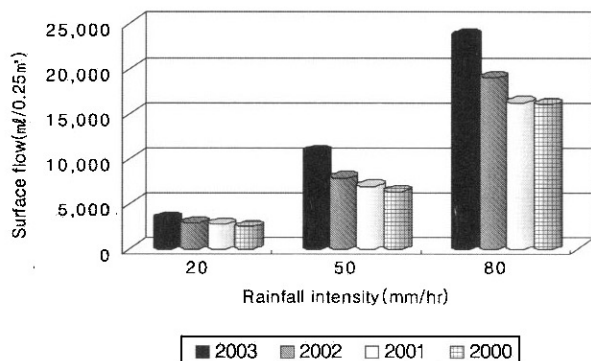


Figure 4. Relationship between rainfall intensity and the amount of surface flow.

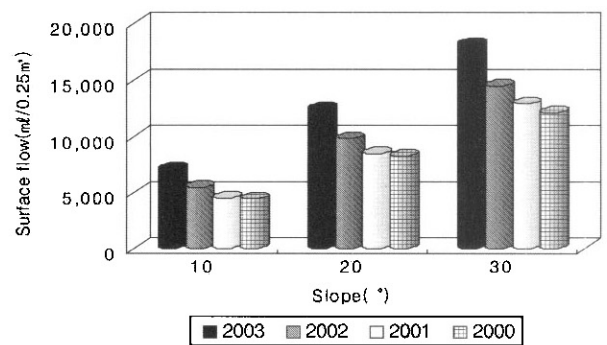


Figure 5. Relationship between degree of slope and the amount of surface flow.

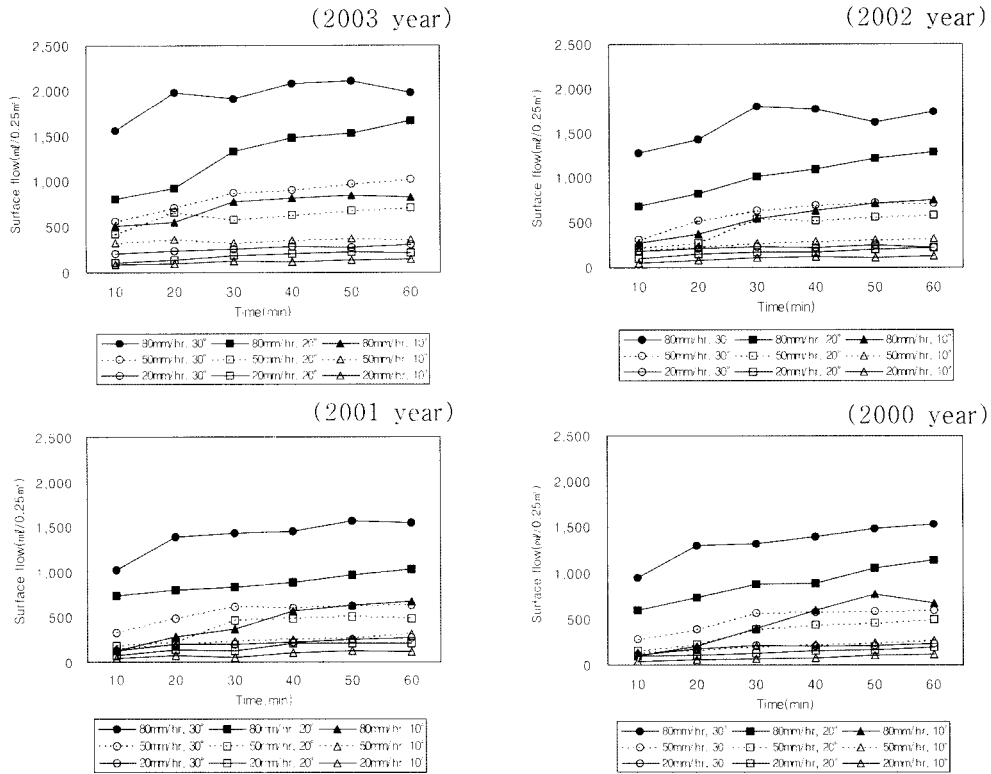


Figure 6. Characteristics of the amount of surface flow by elapsed time of rainfall.

년 경과한 2000년에는 33.7% 정도가 감소하였다. 경사 30° 일 때는 산불발생 후 1년 경과한 2002년에는 지표유출량이 20.3% 정도가 감소하였으며, 2년 경과한 2001년에는 29.0% 정도가 감소하였고, 3년 경과한 2000년에는 33.4% 정도가 감소하였다.

따라서 각 산불발생 연도별로 살펴본 지표유출량은 경사가 10°씩 증가함에 따라서 1.5~1.9배 정도 증가하는 것으로 나타났고, 이는 같은 토성으로부터의 지표유출률은 경사도의 완급에 크게 영향을 받으며(우보명, 1976), 일정량의 유실량을 운반하는 유출량은 경사가 증가할수록, 경사장이 짧을수록 증대한다(조병진 등, 1983)는 연구결과와 같은 경향을 나타내었다. 또한 각 경사별로 산불발생 후 시간이 경과할수록 지표유출량의 차이는 산불발생 초기에 비해 산불발생 3년 경과 후에는 지표유출량이 33.4%~37.2% 정도 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 中野(1971)와 정원옥(1997)의 연구결과와도 같은 경향을 나타내었다.

3) 강우경과시간에 따른 지표유출 특성

각 시험지에 대해 1시간 동안 10분 간격으로 강우강도 및 경사별로 지표유출량의 변화를 측정하여 Figure 6에 나타내었다.

Figure 6에 나타난 것과 같이 각 산불발생연도에 대해 1시간 동안 10분 간격으로 측정한 지표유출량은 강우강도별, 경사별로 다소 증가하는 것으로 나타났지만, 강우강도

와 경사의 값이 낮은 경우에는 그 양적 변화정도가 작은 것으로 나타났다. 또한 산불발생 3년이 지난 후 지피식생이 80% 이상 회복되었음에도 불구하고 초기강우 때 지표유출량이 다소 많이 발생하였는데, 이는 산불발생지에서 지피식생이 다소 발달하더라도 임지에 비해 부식층의 발달이 미약하여 토양내부의 공극량이 상대적으로 적었기 때문으로 판단된다. 어떤 식물은 빗방울의 속도를 촉진시켜 국지적으로 빗방울에 의한 충격을 증가시켜 지표유출을 집중시킨다(Cooke 등, 1990)는 연구결과와 비교하면 토양인자 뿐만이 아니라 식생의 종류에 따라서도 지표유출량에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 물론 각 시험지마다 환경적인 차이가 있어 공극량과 지피식생에 따른 지표유출량과의 관계를 단정지어 말할 수는 없지만 이에 대해 더 많은 검토가 필요한 것으로 판단된다.

산불발생연도에 대한 강우강도별, 경사별로 지표유출량 변화를 관측하여 Figure 7에 표시하였다.

Figure 7에 나타난 것과 같이 각 강우강도별, 경사별로 산불발생초기인 2003년과 산불발생 후 3년 경과한 2000년의 지표유출량을 비교해 보면, 강우강도 80 mm/hr에 대해서 경사 30°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 31.3% 정도 감소하였으며, 경사 20°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 31.5% 정도 감소하였고, 경사 10°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 36.2% 정도 감소하였다. 강우강

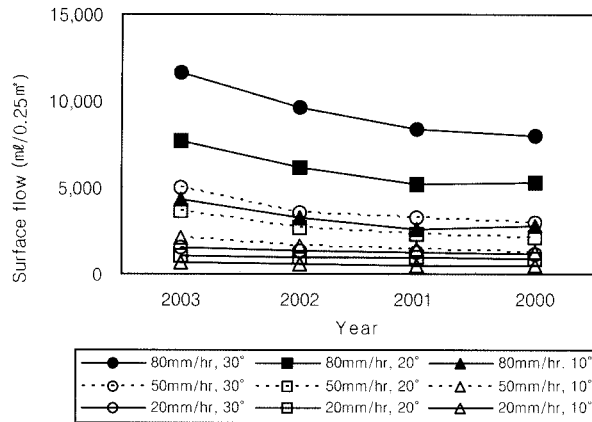


Figure 7. Change of the amount of surface flow by occurrence year after forest fire occurrence.

도 50 mm/hr에 대해서 경사 30°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 40.6% 정도 감소하였으며, 경사 20°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 41.8% 정도 감소하였고, 경사 10°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 40.4% 정도 감소하였다. 강우강도 20 mm/hr에 대해서 경사 30°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 26.4% 정도 감소하였으며, 경사 20°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 22.3% 정도 감소하였고, 경사 10°일 때는 산불발생 후 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 33.6% 정도 감소하였다.

따라서 강우강도 및 경사별로 산불발생 3년 경과한 2000년이 산불발생 초기인 2003년에 비해 22.3%~41.8% 정도 감소하였는데 이는 산불발생 후 지피식생의 파괴 및 소실로 인해 나지화되었던 것이 시간이 지나면서 식생이 성장하고, 인공조림을 하면서 토양이 안정되고, 토양공극형성이 산불초기에 비해 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다. 또한 지피식생의 성장과 토양공극형성으로 인하여 지표면에 도달한 강우가 다량 땅속으로 침투되어 상대적으로 직접유출되는 양이 감소하였기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 中野(1971)의 벌채지에서 표면유출수량은 시간이 경과할수록 하층식생의 성장으로 유출량이 감소한다는 연구결과와, 정원옥(1997)의 산화지와 비산화지를 대상으로 강우의 지표유출수량은 시간이 경과할수록 감소하고, 산화지가 비산화지보다 지표유출수량이 더 많다는 연구결과와도 일치한다. 따라서 산불발생지의 지표유출량은 발생초기에 증가하다가 시간이 경과하면서 점차 안정되는 것으로 판단된다.

4) 지표유출량과 각 인자간의 영향분석
산불발생지를 대상으로 강우강도, 경사 및 경과년수에

Table 1. Analysis of variance for the amount of surface flow.

Source	df	Mean Square	F	Sig.
R.I	2	173630764.625	764.828	0.000**
D.S	2	54407655.542	239.661	0.000**
E.Y	3	7749927.370	34.138	0.000**
R.I × D.S	4	15811740.167	69.649	0.000**
R.I × E.Y	6	1756415.162	7.737	0.000**
D.S × E.Y	6	369326.579	1.627	0.168
R.I × D.S × E.Y	12	99457.454	0.438	0.937

R² = 0.986 (Adjusted R² = 0.971)

**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

따라 지표유출량에 차이가 있는지를 구명하기 위하여 지표유출량과 각 인자들과의 분산분석을 실시하여 그 결과를 Table 1에 표시하였다.

Table 1에서와 같이 지표유출량에 대한 강우강도, 경사, 경과년수의 주효과 및 세 인자들간의 상호작용 효과가 나타나 있다. 우선 강우강도, 경사, 경과년수의 각각의 효과를 보면 F값이 각각 764.828, 239.661, 34.138이고 유의확률이 0.000으로 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나 각 인자들에 따라서 지표유출량에 차이가 있는 것으로 나타나고 있다. 이는 강우강도, 경사, 경과년수에 따라 지표유출량이 변화함을 나타내는 것으로, 岩崎 등(1982), 中野(1971), 우보명(1976) 등의 연구결과와 일치하였다.

강우강도와 경사의 상호작용 효과를 보면 F값이 69.649이고 유의확률이 0.000으로서 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나 상호작용 효과가 지표유출량에 영향을 주는 것으로 나타나고 있고, 강우강도와 경과년수의 상호작용 효과도 F값이 7.737, 유의확률이 0.000으로서 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나 상호작용 효과가 지표유출량에 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 그러나 경사와 경과년수의 상호작용 효과는 F값이 1.627이고 유의확률이 0.168로 5% 수준에서 유의하지 않은 것으로 나타나 상호작용 효과가 지표유출량에 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있다. 또한 강우강도, 경사, 경과년수 세 인자의 상호작용 효과도 F값이 0.438이고 유의확률이 0.937로서 5% 수준에서 유의하지 않은 것으로 나타나 이들의 상호작용 효과가 지표유출량에는 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있다.

지표유출량에 영향을 미치는 인자의 영향도를 조사한 결과, 강우강도가 가장 큰 영향을 미치고 다음이 경사, 경과년수 순으로 나타났으며, 이는 Farmer 등(1971)과 우보명(1976)의 연구결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

결 론

본 연구는 인공강우발생장치를 이용하여 최근 4년 간

대구 동구지역에 발생한 산불발생지를 대상으로 산불발생 후 경과년수에 따라 각 지역에 대한 강우강도별, 경사도별로 지표유출량을 조사, 분석하여 산불발생지의 지표유출 특성을 밝히고, 지표유출량과 강우강도, 경사, 경과년수와 주요 영향인자를 분석하기 위하여 본 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

산불발생연도별로 살펴본 지표유출량은 동일한 경사에 대해서 강우강도가 30 mm/hr씩 증가함에 따라서 2.2~3.2배 증가되는 것으로 나타났고, 동일한 강우강도에 대해서 경사가 10°씩 증가함에 따라서는 1.5~1.9배 증가되는 것으로 나타났다.

산불발생지사면에서 지피식생이 80%이상 피복 되더라도 초기강우 때의 지표유출량은 다소 많이 발생하는 것으로 나타나 식생에 의한 유출량 감소효과는 적은 것으로 판단하였으며, 이는 산불발생지에서 식생이 다소 발달하더라도 임지에 비해 부식층의 발달이 미약하여 토양내부의 공극량이 상대적으로 적었기 때문으로 판단된다.

산불발생 후 경과년수에 따라 강우강도 및 경사별로 구분한 지표유출량은 산불발생 3년 후의 경우 발생당년에 비해 22.3%~41.8%로 감소하였고, 산불발생 초기에는 강우강도별, 경사별로 지표유출량에 많은 차이를 보였으나, 시간이 경과할수록 그 차이가 작은 것으로 나타났다. 이는 산불발생후에 지피식생의 파괴 및 소실로 인해 나지화되었던 것이 시간이 경과하면서 식생이 성장하고, 토양이 안정되면서 토양공극형성이 산불초기에 비해 상대적으로 높아지고 그로 인해 지표면에 도달한 강우가 다량 침투되어 상대적으로 직접유출되는 양이 감소하였기 때문으로 판단된다.

산불발생지사면에서의 지표유출량과 각 인자간의 영향성에 대해서는 강우강도, 경사, 경과년수의 각각의 주효과와 강우강도×경사, 강우강도×경과년수의 상호작용효과에 대해서는 지표유출량에 차이를 보이고 있고, 경사×경과년수, 강우강도×경사×경과년수 세 인자의 상호작용효과에 대해서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 지표유출량에 영향을 미치는 인자의 영향도는 강우강도가 가장 큰 영향을 미치고 다음이 경사, 경과년수 순으로 나타났다.

인용문헌

1. 광경만. 1999. 강우가 지표 유출에 미치는 영향. 지리교육논집 42: 14-23.
2. 대구직할시. 1994. 팔공산 자연공원 생태계 조사 보고서: 37-73.
3. 우보명. 1976. 토양침식에 작용하는 몇가지 요인의 영향에 관한 연구. 한국임학회지 29: 54-101.
4. 이현호. 1996. 산불이 임지의 수지류 특성에 미치는 영향. 한국임학회지 85(1): 66-75.
5. 정원욱. 1997. 산불이 토양침식 및 계류수질과 식생변화에 미치는 영향. 경상대학교 대학원 석사학위논문. 43pp.
6. 조병진, 윤충섭. 1983. 강우에 의한 토양침식량 예측에 관하여. 경상대학교 논문집(이공계열) 22: 133-138.
7. 岩崎勇作, 材井 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區の流出量と土壤水分の比較. 日林構集 93: 431-434.
8. 種田行男. 1960. 人工降雨装置による降雨強度ならびに傾斜と土壤浸蝕との關係. 土壤改良 10(8): 854-861.
9. 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.
10. Baver, L.D. 1933. Some soil factors affecting erosion. Agric. Eng. 14(2): 51-52.
11. Bissonnais, Y.L. and J.S. Michael. 1992. Crust runoff and erosion to soil eater content and successive rainfalls. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1898-1903.
12. Cooke, R.U. and J. C. Doornkamp. 1990. Geomorphology in Environmental Management. Clarendon Press: 96-98.
13. Farmer, E.E. and B.P. Van Haveren. 1971. Soil erosion by overland flow and raindrop splash on three mountain soils. USDA Forest Serv. Res. Pap. INT-100. pp. 14.
14. Izzard, C.F. and M.T. Augustine. 1943. Preliminary report on analysis of runoff resulting from simulated rainfall on a paved plot. Trans. Am. Geo. Union, Part II. 24: 500-509.
15. Neal, J. H. 1938. The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. Agric. Eng. 19: 1-5.
16. Young, R.A. and C.K. Mutchler. 1969. Effect of slope shape on erosion and runoff. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 12(2): 231-233.