

산불이 林地의 水貯留 特性에 미치는 影響*

이 현 호¹

Effects of Forest Fire on the Water Storage Characteristics of Forest Land*

Heon Ho Lee¹

要 約

본 연구는 산불 발생이 임지의 수저류 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시했다. 비산불 지역과 산화적지를 대상으로 산림토양의 수저류능을 토양공극, 최대수분량, 이용가능수량, 그리고 투수율을 측정하여 비교 분석하였다. 주요 인자들의 측정에 의해서 얻어진 결과는 다음과 같다. 산화적지와 대조구에서 토심이 깊어질수록 全孔隙, 粗孔隙, 이용가능 수량, 투수율은 모두 감소하는 경향을 나타내고, 細孔隙은 약간 증가하는 경향이 있었다. 대조구에 비해 산화적지에서는 투수율, 조공극량 및 이용가능수량이 낮게 나타나는 반면, 세공극량은 높게 나타났다. 그리고 산불이 발생한 직후에는 산림토양의 공극량 분포에 큰 변화가 일어나지 않지만, 시간이 경과함에 따라 산화적지의 표토 공극분포에 변화를 일으키면서 서서히 토심 20-40cm까지 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 토심변화에 따른 이용가능수량의 변화는 대조구에 비해 산화적지에서 상대적으로 큰 폭으로 감소하는 경향이 있었다. 이 결과로 산림의 수저류능은 산불에 의해 크게 영향을 받는 것을 알수 있었다.

ABSTRACT

This study was carried out to examine the forest fire effect on water storage characteristics in the forests. Water storage capacity of the burned area was analyzed by several major factors, such as soil pore, maximum water content, effective water storage, and percolation rate. The results obtained from the analysis of major factors are as follows; The deeper soil depth, the less total pore, coarse pore, effective water storage, and percolation rate. However, fine pore increased slightly in both burned area and control plot. As compared with control plot, burned area showed lower percolation rate, coarse pore, and effective water storage, but higher values of fine pore. Directly after forest fire, the soil pore is little affected. But as the time passes, top soil structure changes and soil pore also is affected even in a deep soil. Estimated effective water storage was lower at top soil of Namcheon and at deep soil of Namha in all the burned areas, but slowly decreased in deep soil compared to control plots. Therefore it was concluded that forest water storage capacity was greatly affected by the forest fire.

key words : forest fire, water storage characteristics, percolation rate, pore distribution, effective water storage

¹ 접수 1995년 8월 31일 Received on August 31, 1995.

* 이 논문은 1994년 10월 일본 동경에서 개최된 'International Symposium on Forest Hydrology' 국제심포지움에 발표된 내용의 일부임

이 논문은 영남대학교 일반연구비 지원의 일환으로 수행되었음

序 論

우리나라의 경우 산지녹화사업으로 전 국토가 거의 녹화되었으나 매년 다발하는 산불은 목재자원의 손실뿐만 아니라, 토양 및 식생구조의 변화, 산지침식의 가속화 또는 경관의 훼손 등 산림생태계 전반에 걸쳐 다양한 영향을 미치게 되어 막대한 물질 피해뿐만 아니라 산림환경파괴의 중요한 원인이 되고 있다. 일반적인 산불의 영향에 대한 연구로서, Ahlgren 등(1960)은 산불이 산림에 미친 영향을 습도, 토성, 토양온도, 토양 pH, 유기물함량, 무기염류함량, 미량원소에 관하여 조사연구하였으며, Daubenmire(1968)는 산불이 초지 식생에 미친 영향으로 토양의 유기물함량과 함수량, 화학적 성분의 변화 등에 관하여 보고 하였으며, Swan(1970)은 산불이 발생한 후의 種組成의 변화를 5가지로 분류하여 보고한 바 있다.

국내에서金玉兪(1970)은 산불 발생 후 잔여 종자의 발아율, 康祥俊(1971)은 산불에 의한 초지의 구조와 생산성에 대하여, 朴奉奎과 金鍾熙(1981)가 식생과 토양에 대하여, 차순형(1981)은 산불적지의 토양변화와 관리에 관하여, 禹保命과 李憲浩(1989)는 토양조건이 불안정한 암석나출지에서 산불 발생 후 시간의 경과에 따른 산림식생 및 토양의 회복과정을 파악하므로써 산불이 산림 환경에 미치는 영향 및 산림의 재생능력을 보고하였다.

이와같은 현재까지의 연구동향을 종합해 보면, 산불의 영향에 관해 산림토양내의 물리적인 변화인 토양공극분포 혹은 토양의 수저류량 등의 변화에 대한 연구는 드물고 화학적인 조성변화인 토양유기물함양, 무기물함양 및 산림식생천이 변화 등의 연구가 많음을 알 수 있다.

인간이 살아가는데 있어서 가장 중요한 자원중의 하나인 물은 산업화와 생활수준의 향상 등으로 그 수요가 급증하고 있으나 이용수자원의 부족과 상수도원 수원지인 산림유역이 수질오염 등으로 인해 공급에 차질을 가져옴으로써 최근 산림유역이 가진 수자원함양기능의 보전과 확대방안에 대한 관심이 커지고 있다. 그래서 본 논문에서는 산불로 인한 산림환경파괴의 여러가지 현상 중에서 산림의 수자원함양기능의 변화와 수저류 특성을 파악하는데 초점을 맞추었다. 이와 관

련된 연구로는 최근 산림토양 공극량 조사에 의해 토양중에 포함되는 조공극량과 저수량과의 관계 또는 산지 표층에 대한 침투능 분석 연구(李憲浩와 李昶雨, 1994)에 의한 산지유역에서 불순환에 관한 연구성과(李憲浩, 1992; 李憲浩, 1991)의 하나로 산림토양의 수저류 특성(李憲浩, 1994; Takehiko, 1988)에 대한 지식이 단편적으로 해명되고 있다.

산화적지와 비산불 지역을 대상으로 산림 토양의 물리적 성질 및 공극량 조사를 실시해서 산화적지의 각 공극량의 분포 변화 및 경시적인 변화상태를 비교측정하여 산불이 산림토양의 수저류 기능에 미치는 영향을 밝히는 것은 시급한 연구과제로 생각된다. 따라서 본 연구는 산화적지와 비산불지역을 대상으로 산림토양의 이학적 성질 및 공극량 조사를 실시해서, 공극량의 분포변화를 비교분석하고 시간의 경과에 따른 변화상태를 추정하여 산불의 발생에 의한 산림토양의 수저류 기능의 변화를 파악하는데 목적이 있다. 산림 토양의 수저류 특성에 대한 지식과 수자원 보전기능의 정량화의 결과는 장래의 토지 이용 계획과 함께 산림토양의 유지 관리 및 장기적인 산림사업의 방법과 방향의 설정, 그리고 수자원의 확대 방안 및 관리대책을 수립하는데 귀중한 근거자료를 제공할 것으로 기대된다.

材料 및 方法

1. 試驗地 選定과 概況

시험지는 1993년 4월에 산불이 발생한 경북 경산군 남천면(북위 35° 47' 30", 동경 128° 43' 30")에 위치한 장령의 소나무 임지와 1989년도 산불이 발생한 후 현재 초본과 아카시아의 유령림이 생육하고 있는 경북 경산군 하양읍 남하면(북위 35° 53' 30", 동경 128° 46' 00")의 두 지역을 선정했다. 그리고 각 시험지와 동일한 입지조건을 갖는 인근의 산지사면에 각각의 대조구를 선정하여 총 시험구를 4개소로 하였다. 시험지의 야외 위치는 그림 1에 나타낸 것과 같이 남천면 및 남하면의 시험지는 해발 약 200m의 완사면에 위치하고 있다. 강우가 각 시험지에 내린 경우, 그 지점의 침투능 이하의 수량은 침투해서 일부는 세공극에 보수되지만, 대부분은 조공극에 저류되어 극히 느린 속도로 아래쪽으로 이동하는

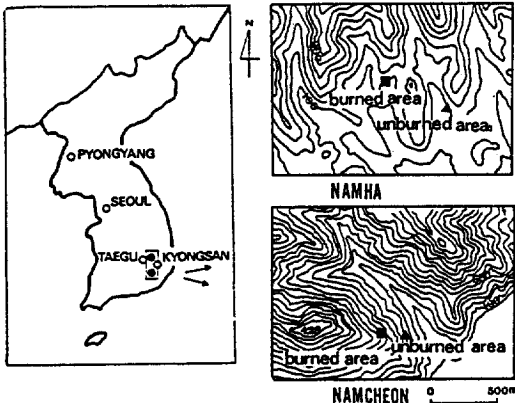


Fig. 1. Location map of experimental site.

것으로 볼 수 있다. 토양심부에 침투하는 수량일 수록 서서히 장기에 걸쳐서 유출하는 성분으로 될 가능성이 높아서 수자원함양상 바람직한 수량으로 평가 되어진다.

시험기간은 1994년 1월 부터 4월까지 4개월간 이며, 이 기간중 실외에서 원통시료 채토작업과 실내에서 토양이학적 및 수저류능을 측정하였다. 토양공극분포, 최대수분량, 그리고 투수율 등의 측정값의 통계적 처리와 실험오차를 줄이기 위해, 각 시험구내에 다시 소시험구를 각각 남천면에 9개, 남하면에 8개씩 추가 설치하였으며, 원통채토시료는 소시험구마다 토심 0~20cm의 표토와 토심 20~40cm의 두개 토심별로 채토했다. 실내실험에 사용된 원통채토시료의 개수는 총 68개로 이 샘플시료를 이용해서 분석을 실시했다.

2. 研究方法

본 연구는 산화적지와 비산불지역에서 선정한 소시험구를 대상으로 하여, 각각의 산림토양의 이학적성, 그리고 토심별 공극량의 분포 분석에 의한 이용가능수량의 추정으로 각 임지의 수저류능을 비교하는 방법을 택했다.

토양의 투수율 측정방법은 용량 400ml의 채토 원통으로 토양시료를 채토하여, 실내에서 眞下式 투수속도 측정장치(眞下育久, 1961)를 이용해서 5분 및 15분후 1분간의 투수율의 평균 값을 ml/min단위로 구했다. 이어서 원통채토시료에 대해 pF값의 검정을 완료한 특수 석고판(有光一登, 1987; 眞下育久, 1960)을 사용해서 실험 방법서(Yamamori and Baba, 1990)에 준하여 공극

량의 분포 및 토양의 최대수분량을 연속적으로 측정했다.

산림토양의 최대 수분량, 전공극, 세공극, 그리고 조공극은 순수포수시료, 순수건조시료 및 채토원통의 체적을 이용해서 구하였으며, 특히 임지로 부터 실제로 이용 가능한 수저류량은 최대수분량에서 세공극을 뺀 값을 구해서 분석에 이용했는데, 이를 이용가능수량으로 정의했다. 각각의 토양이학적성의 산출과정 및 산출식은 Yamamori와 Baba(1990) 또는 有光一登(1987)에 상세히 나타나 있다.

시험구별로 산출된 투수율과 토양의 최대수분량, 공극량 분포 및 이용가능수량을 이용해서 산화적지와 비산불지역 임지의 수저류 특성을 분석하고, 산화적지와 비산불지역인 대조구와의 수저류능력의 차이를 구했다. 나아가 산화적지에서 시간의 경과에 따른 수저류 특성의 변화 양상을 회귀분석에 의해 추정하고, 또한 동일 토심에서의 시험구별 그리고 한 시험구내에서 토심변화에 따른 토양공극의 분포 상태를 비교하였다.

結果 및 考察

1. 투수율

남천면과 남하면 두곳의 시험지에서 각각 산화적지와 대조구의 표토 및 토심 20~40cm에서의 투수율 측정결과를 그림 2 및 그림 3에 그 평균치를 나타냈다. 투수율은 남하면의 경우, 산화적지와 대조구 모두 심토보다 표토에서 높은 값을 나타냈으며 산화적지에 비해 대조구에서 보다 높은 값을 나타내고 있다. 산화적지의 표토와 대조구의 표토사이에는 통계적으로 유의차가 없으나 토심 20~40cm에서는 유의차를 나타내고 있다. 또한 남천면에서는 두 시험구에서 모두 표토에서 높은 값을 나타내며 대조구와 산화적지 사이에 유의차는 없는 것으로 나타났다. 토심 20~40cm에서 투수율이 산화적지보다 대조구에서 높은 값을 나타내는 것은 산화적지의 경우 산불의 영향으로 산림토양의 공극형성 기회가 상대적으로 줄어들어는 것에 기인하는 것으로 생각된다. 그리고, 대조구와 산화적지의 표토에서 유의차가 나타나지 않는 것으로 보아, 산림토양의 공극분포는 남천면 산화적지의 경우처럼 산불 발생후 1년 정도 경과 하여도 산림토양의 표토 공극량의 변화에는

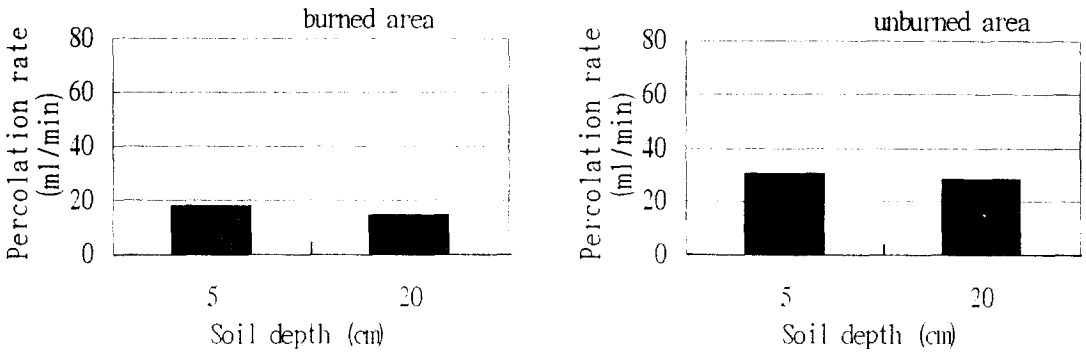


Fig. 2. Percolation rate of burned and unburned areas in Namha.

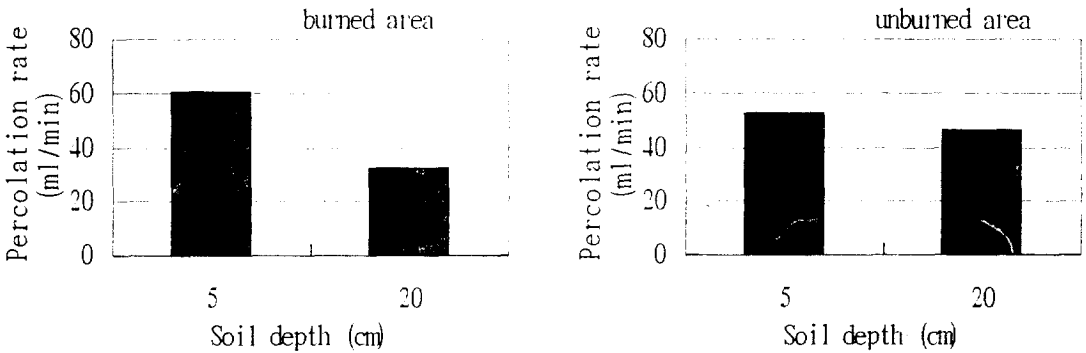


Fig. 3. Percolation rate of burned and unburned areas in Namcheon.

크게 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다. 투수율이 높은 지역은 산림토양의 침투능이 높은 것으로 추정 가능성이 가능하며, 또한 강우에 의한 지표유출이 감소된다는 것을 의미하므로 궁극적으로 산림토양의 수지유출을 높이는 입지조건이 되는 것으로 생각된다.

투수율이 토심이 깊을수록 작은 값을 나타내는 것은, 입지 표토가 토양심부 보다 풍부한 부식층이 발달하는 것에 기인하는 것으로 판단되고, 이 결과는 李憲浩(1994)의 연구결과와 일치하였는데, 이는 산림토양의 공극발달과정과 직접 관련이 있는 것으로 생각된다. 초지나 임간나지 등에 비해 A₀층이 발달한 입상이 좋은 입지에서 비교적 강도가 높은 경우가 내려도 지표유출이 일어나지 않는 것은 이 결과에 의한 것으로 판단된다.

2. 공극량의 분포

남천면, 남하면 두 시험지 각각의 대조구와 산화적지에서 전공극의 분포는 그림 4 및 그림 5, 세공극의 분포는 그림 6 및 그림 7, 그리고 조공

극의 분포는 그림 8 및 그림 9에 각각 그 평균치를 나타냈다. 각 시험지마다의 토심에 따른 공극 분포의 변화양상을 보면 남천면에서는 산화적지, 대조구 모두 전공극, 조공극이 토심이 깊어짐에 따라 감소하는 경향이 나타났고, 세공극은 토심이 깊어질수록 증가하는 경향이 있었다. 남하면에도 동일한 경향을 나타내고 있지만 산화적지에서만 유의성이 인정되었다. 산불이 발생한 후 1년이 경과한 남천면에서는 대조구와 산화적지 모두 전공극과 조공극이 토심의 변화에 따라 동일한 경향을 나타내고 있으나, 산불이 발생한 후 5년이 경과한 남하면의 경우 대조구에서는 큰 유의차를 보이지 않고 산화적지에서만 상기의 인자와 토심사이에 뚜렷한 유의차를 보이고 있는데, 이는 산불이 산림토양 공극분포 및 형성에 직접적으로 영향을 미치고 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

산화적지와 대조구의 공극분포 특성은 각 시험지마다 동일 토심에 있어서 남천면의 경우 대체로 전공극, 조공극이 산화적지에 비해 대조구가

약간 높은 값을 나타내고 있어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면 남하면의 경우 표토는 물론 특히 토심 20-40cm에서 대조구가 산화적지에 비해 전공극과 조공극이 상당히 높은 값을 나타내고 있으며, 그 값이 전공극의 경우 5-10%, 조공극의 경우 2-5% 정도의 차이를 보이고 있다. 또한 세공극의 경우도 남천면은 대조구와 산화적지 사이에 큰 차이가 없으나, 남하면의 경우 표토에서 산화적지의 경우 오히려 대조구보다 2%

정도 낮게 나타났으며, 토심 20-40cm에서는 대조구보다 조금 높게 나타났다. 이는 산불의 영향으로 산화적지의 토심 20-40cm에서 토양의 물리적 구조에 변화가 생긴 것인지 아니면 토성의 차이에 의한 것인지 본 연구에서는 명확하게 구명할 수가 없었다.

이상의 결과를 보면 산불이 발생한지 1년이 경과한 남천면의 경우, 대조구와 산화적지의 공극 분포에서는 큰 차이를 보이지 않으나, 산불이 발

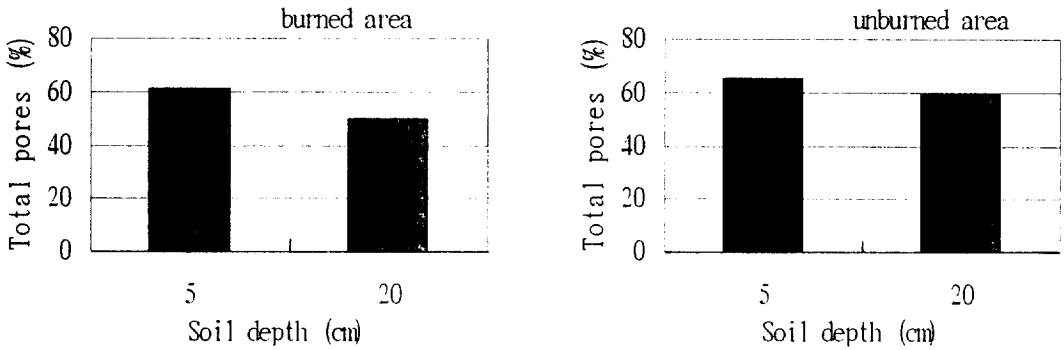


Fig. 4. Total pores of burned and unburned areas in Namha.

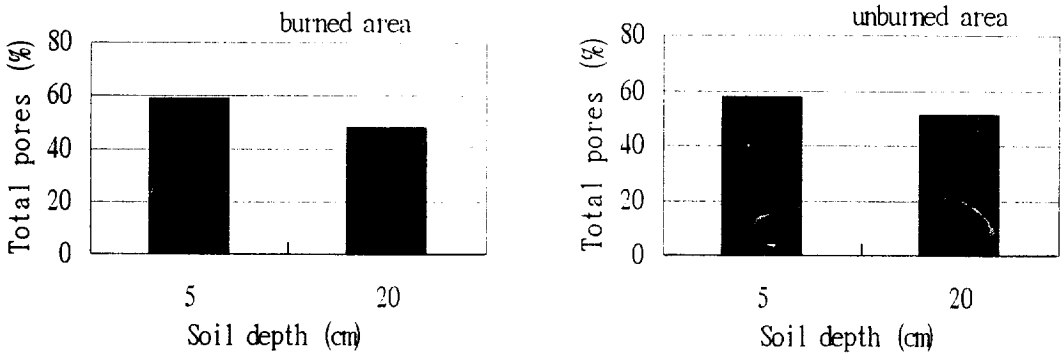


Fig. 5. Total pores of burned and unburned areas in Namcheon.

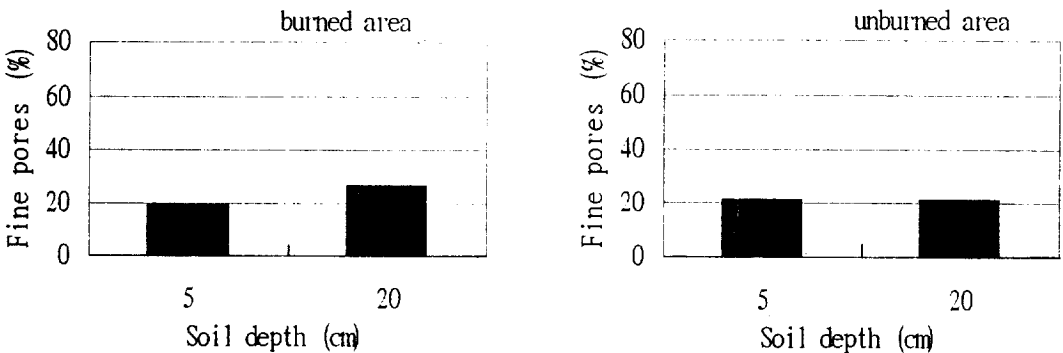


Fig. 6. Fine pores of burned and unburned areas in Namha.

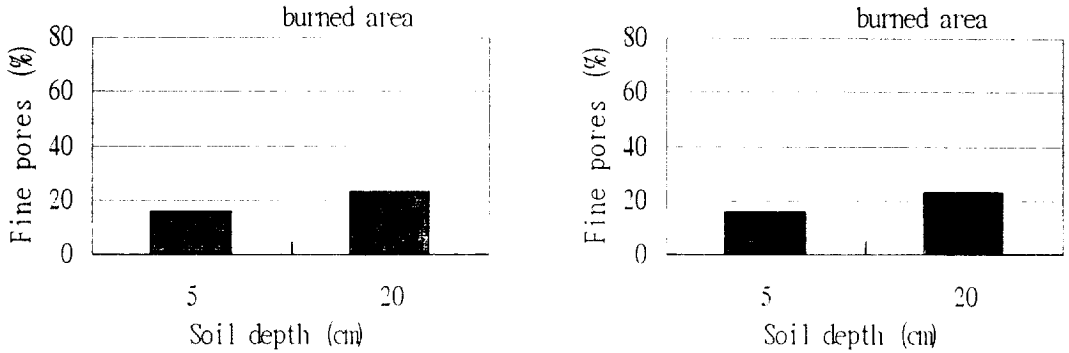


Fig. 7. Fine pores of burned and unburned areas in Namcheon.

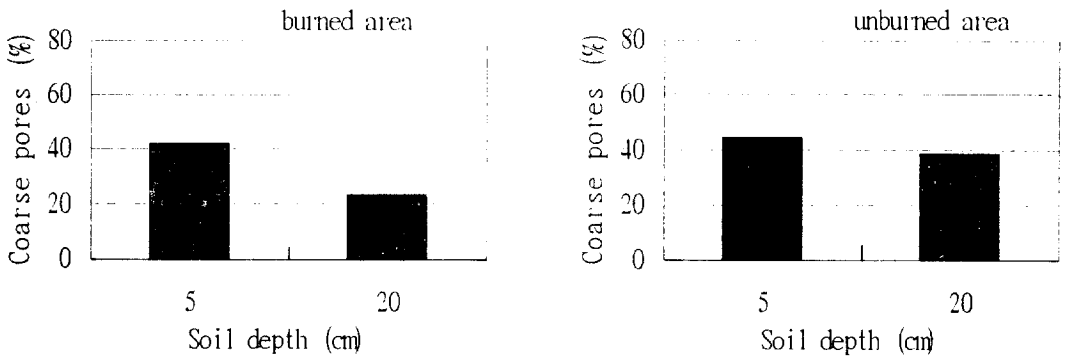


Fig. 8. Coarse pores of burned and unburned areas in Namha.

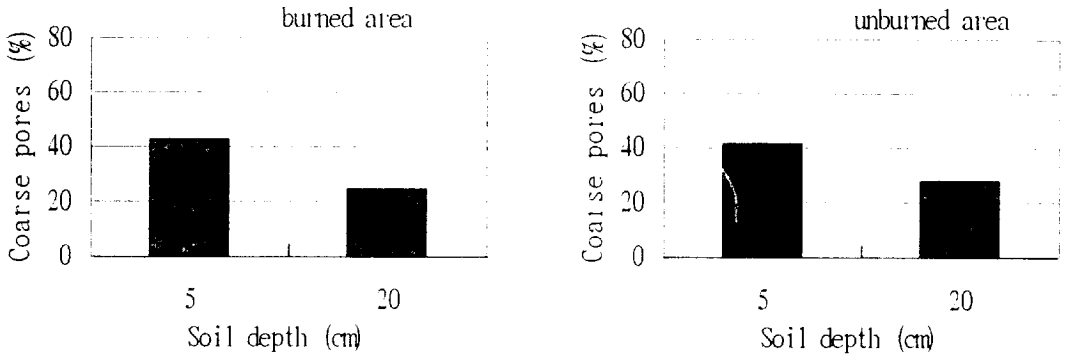


Fig. 9. Coarse pores of burned and unburned areas in Namcheon.

생한 후 5년이 경과한 남하면의 경우 특히 토심 20~40cm에서 상이한 공극분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 남천면에 비해 남하면에서 이러한 변화를 보여주고 있는 것은 남하면의 산화적지에서 산불 발생후 시간이 경과함에 따라 표토에서부터 토심 20~40cm에 이르기까지 서서히 토양의 물리적 구조에 변화가 일어나는 것으로 판단할 수 있다. 즉 산화적지에서는 표층 토양의 기본 공극량은 유지하고 있으나 산불의 영향으로

볼 수 있는 낙엽 낙지의 공급부족으로 부식층 형성의 기간이 상대적으로 길어지고, 그리고 토양 동물 등의 밀도가 낮아짐으로써 토양공극의 발달 기회가 줄어드는 것으로 판단된다. 산불 발생 후 시간의 경과에 따라 산림토양 표토의 조공극이 점차 감소하고, 이것이 점차 심부에까지 영향을 미쳐 토심 20~40cm에서도 조공극이 줄어들어 오히려 세공극의 상대적 비율이 높아지므로 인해 심부에서 토양조직이 더욱 치밀해지는 것으로 판

단할 수 있다.

3. 이용가능수량

산화적지와 대조구에 대한 수저류량의 산출과 비교, 그리고 수저류량의 변화 양상을 파악하기 위해 산림토양의 최대수분량과 이용가능수량을 산출하였으며 그 평균치의 결과를 그림 10~그림 13에 나타냈다. 남천면에서 산화적지의 최대수분량은 토심 20~40cm에서 표토보다 높은 값을 나타내는 것이 특징적이었으며 유의차를 나타냈고, 반면 이용가능수량은 유의차는 없었지만 약간 높은 값을 나타냈다. 전공극량은 많으나 이용가능수량과 최대수분량이 적게 나타난 표토에서 산불의 영향으로 수저류량의 지표인 조공극의 발달이 다소 줄어든 것으로 판단되며, 대조구와 비교하면 산화적지에서는 토심별로 유의차는 없으나 조금 낮은 값을 나타내는 경향이 있어 산불의 영향을 서서히 받기 시작하는 것으로 볼 수 있다.

남하면의 경우에는 이용가능수량이 대조구와 산화적지에서 모두 표토에서 토심 20~40cm보다

높게 나타났으며, 산화적지와 대조구 사이에서는 표토에서 이용가능수량이 산화적지에서 큰 차이가 없었으나 심부에서는 대조구가 높게 나타났다. 남하면에서는 표토에서 토양이화성과 이용가능수량을 대조구와 비교한 결과 산불의 영향이 심부에까지 영향을 미친 것으로 판단되며 앞의 공극분포에서도 나타난 것처럼 표토에서는 산화적지에 새로운 식생이 도입되면서 서서히 산불 발생전 원래의 산지상태로 회복되는 것으로 판단되며, 토심 20~40cm에서는 아직 산불의 영향을 받고 있어 블랙박스 상태의 어떤 기작에 의해 수저류능의 변화가 일정치 않은 경향을 보이는 것으로 판단된다.

산화적지와 대조구에서 수저류량의 변화를 추정하기 위해 그림 14에 토심에 따른 이용가능수량의 변화양상을 직선회귀관계로 나타냈다. 산화적지의 경우 남하면에서는 토심이 깊어질수록 이용가능수량이 다소 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타내고 있고, 반면 남천면에서는 토심의 변화에 따른 이용가능수량의 변화가 거의 인정되지

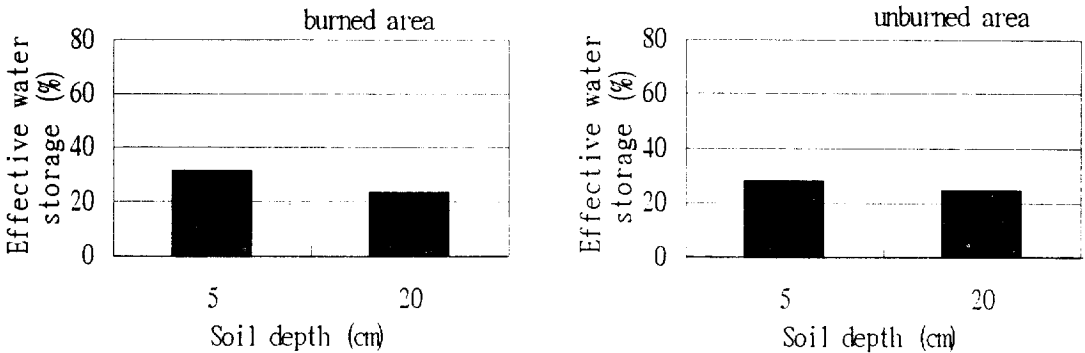


Fig. 10. Effective water storage of burned and unburned areas in Namha.

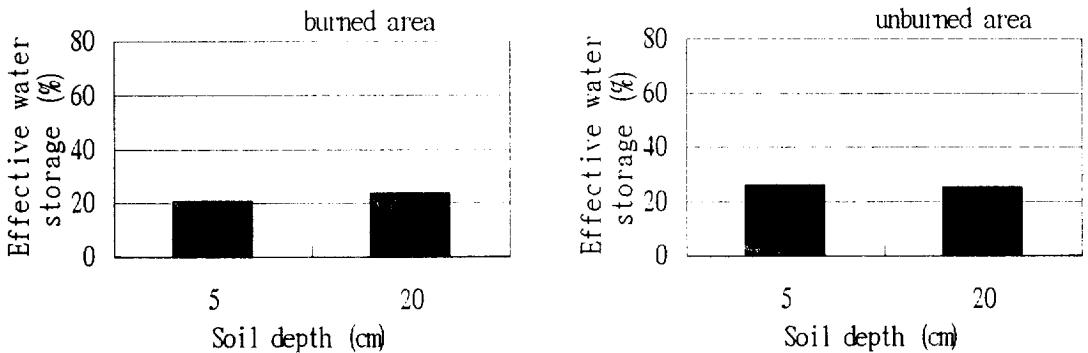


Fig. 11. Effective water storage of burned and unburned areas in Namcheon.

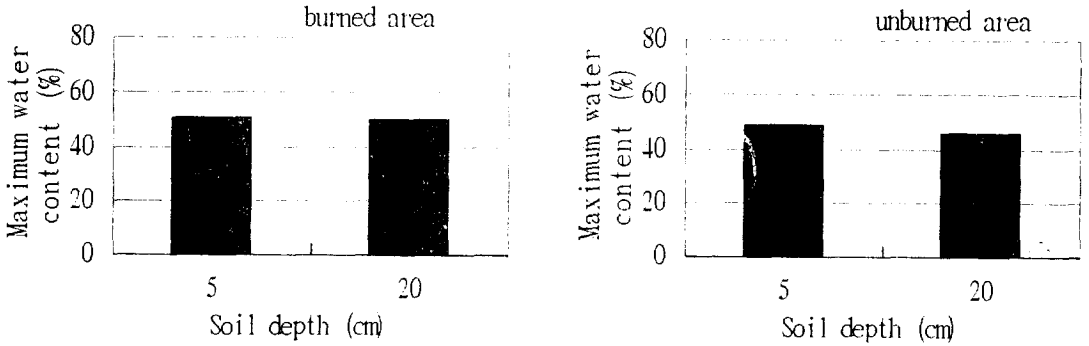


Fig. 12. Maximum water content of burned and unburned areas in Namha.

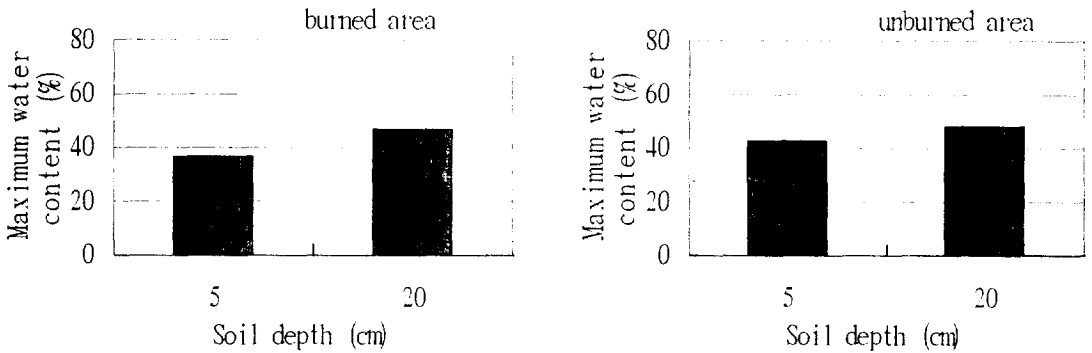


Fig. 13. Maximum water content of burned and unburned areas in Namcheon.

않았다. 대조구의 경우 남하면에서는 토심이 깊어질수록 이용가능수량이 산화적지에 비해 상대적으로 작은 폭으로 감소하는 경향을 나타내고 있고, 반면 남천면에서는 산화적지의 경우처럼 토심의 변화에 따른 이용가능수량의 변화를 거의 인정할 수가 없었다. 이 결과로 산불이 발생한 산화적지에 있어서는 비산불지의 대조구에 비해 이용가능수량이 큰 폭으로 감소하는 것으로 판단

되어, 산불이 수저류량에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 남천면의 경우 산화적지에서 토심 변화에 따른 이용가능수량의 변화가 거의 나타나지 않는 것은, 전술한 것처럼 산불 발생 후 1년 밖에 경과하지 않은 지역이어서 아직 산불의 영향에 의한 수저류량의 변화가 나타나지 않는 것으로 생각된다.

결론적으로, 산지에 산불이 발생하면 초기에

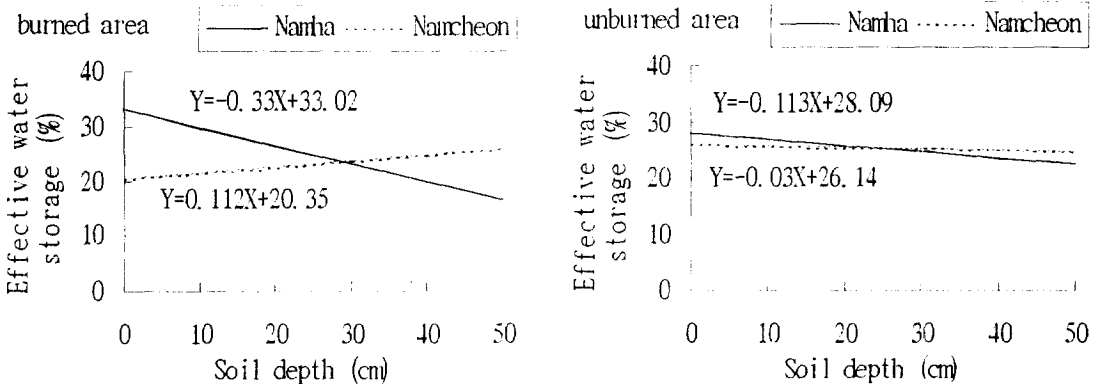


Fig. 14. Relation between effective water storage and soil depth in burned and unburned areas.

지피식생이 사라지고 토양공극구조에 변화를 초래함으로써 수저류능력의 감퇴는 물론 지표유출량의 증가로 사면붕괴나 산사태를 유발할 가능성이 높아진다. 토양수의 움직임에 대한 메카니즘이 아직 명확히 밝혀지지 않은 상태에서 토양공극해석에 의해 수저류특성을 구명하기에는 많은 문제점이 남아 있다. 앞으로의 산불지의 수저류특성에 대한 연구에서는 하나의 임지를 대상으로 자연강우에 의한 산지의 유출량 변동을 정량 분석하고, 해마다 산림토양의 공극분포변화를 단계적으로 분석할 필요가 있고, 이 결과에 의해 산지의 수저류특성을 명확히 하여 산화적지의 수저류 특성 및 수자원 증진 기법을 수립하는 것이 요망된다.

結 論

산불이 임지의 수저류특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 산불이 발생한 후 1년과 5년이 경과한 임지, 그리고 각각의 비산불지의 대조구를 대상으로 토양의 이학적성질 및 수저류 특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 산불 발생과 공극분포와의 관계는 산불이 발생한 직후에는 산림토양의 공극량에 큰 변화가 일어나지 않지만, 시간이 경과함에 따라 산화적지의 표토 공극분포에 변화를 일으키면서 서서히 토양심부까지 영향을 받는 것을 알 수 있었다.
- 2) 산불발생으로 부터 수년이 경과한 후 새로운 식생이 산화적지에 도입됨으로써 산림토양은 표토에서는 서서히 원래의 공극구조를 회복하는 것으로 판단했다.
- 3) 토심과 공극분포와의 관계는 토심이 깊어질수록 조공극, 이용가능수량이 감소하는 경향이 있었고, 세공극은 약간 증가하는 경향이 있었다.
- 4) 토심과 투수율과의 관계는 토심이 깊어질수록 투수율은 감소하는 경향을 나타냈고, 또한 산화적지에 비해 대조구에서 높은 값을 나타냈다. 이는 산림토양의 부식층의 발달과정과 직접적으로 관련이 있는 것으로 판단했다.
- 5) 비산불지역에 비해 산화적지에서는 투수율, 조공극량이 낮게 나타나서 이용가능수량이 감소하는 것으로 나타났고, 또한 토심변화에 따른

이용가능수량의 변화가 대조구에 비해 산화적지에서 상대적으로 큰 폭으로 감소하는 경향이 있었다. 이 결과로 산지의 수저류능이 산불에 의한 영향으로 크게 작아지는 것을 알 수 있었다.

引 用 文 獻

1. 康祥俊. 1971. 草地의 構造 및 生産性에 미치는 山火의 影響. 植物學會誌 14(3):36-42.
2. 金玉昞. 1970. 山火跡地의 生態學的 研究 - 山火後의 殘餘種子 發芽率에 대하여 - 韓林誌10:29-39.
3. 朴奉奎·金鍾熙. 1981. 江原道 桂芳山 및 柯七峰에서의 山火이 植生群集과 土壤成分에 미친 影響에 關하여. 한국생활과학연구원 論叢 28:99-107.
4. 禹保命·李憲浩. 1989. 황폐산지에서 山火이 침림식생 및 토양에 미치는 影響에 關한 研究(IV). 韓林誌 78(3):302-313.
5. 李憲浩·李昶雨. 1994. 지피상태에 따른 임지의 수저류 특성(I). 韓林誌 83(3):391-400.
6. 李憲浩·李昶雨. 1994. 지피상태에 따른 임지의 수저류 특성(II). 韓林誌 83(4):473-479.
7. 李憲浩. 1994. 산림토양의 공극분포 분석에 의한 수저류량의 추정. 영남대학교 자원문제 연구소논문집 13(1):141-149.
8. 李憲浩. 1992. 森林理水機能의 定量的 評價 方法에 關한 研究 - 粗度係數의 應用을 中心으로 -. 韓林誌 81(4):337-345.
9. 차순형. 1981. 산화적지의 토양변화와 관리. 산림 189:44-50.
10. 有光一登. 1987. 森林からのメセ-ジ- 森林土壤の保水のしくみ. 創文.: 78-79.
11. 眞下育久. 1960. 森林土壤の理學的性質とスギ, ヒノキの成長に關する研究. 林野土調報(11): 91-182.
12. 眞下育久. 1961. 吸收板による簡単なpF價の測定とこれによる土壤水および孔隙區分. 森林立地 3(1): 32-34.
13. 李憲浩. 1991. 林相の經年變化が水流出特性に及ぼす影響. 東京大學演習林研究報告. 86: 77-178.
14. Ahlgren, C.E. 1960. Some effects of fire on

- reproduction and growth of vegetation in northeastern Minnesota. *Ecology* 41:431-445.
15. Ahlgren, I.F. and C.E. Ahlgren. 1960. Ecological effects of forest fires. *Bot. Rev.* 26: 483-533.
 16. Daubenmire, R. 1968. Ecology of fire in grasslands. *Adv. Ecol. Res.* 5:209-266.
 17. Keith, B. and Peter, G. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18(5): 1311-1325.
 18. Swan, F.R., Jr. 1970. Post-fire response of four plant communities in south-central New York State. *Ecology* 51:1074-1082.
 19. Takehiko, O. and Makato, K. 1988. Measurement of saturated hydraulic conductivity of forest soil with a Lagen-scale sample(I). *J. Jpn. For. Soc.* 70(8): 367-370.
 20. Yamamori, N. and Baba, S. 1990. Manual for forest soil survey and laboratory experiment. Ryukyu Univ.