

강원도 고성지역에서 산불이 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향

문 형 태 · 정 연 숙¹

공주대학교 생물학과, 강원대학교 생물학과¹

Effects of Forest Fire on Soil Nutrients in Pine Forests in Kosong, Kangwon Province

Mun, Hyeong-Tae and Yeon-Sook Choung¹

Department of Biology, Kongju National University

Department of Biology, Kangwon National University¹

ABSTRACT

Effects of forest fire on soil nutrients in pine forests were studied in Kosong, Kangwon Province in Korea. Soil samples were collected from burned sites and unburned sites (control) at Kusongri, Sampori and Wunbongri. Soil pH in burned sites was higher than that in unburned sites. Soil organic matter did not differ significantly between the burned and unburned sites. Concentrations of available phosphorus in burned soils were about 3 times higher than those in unburned sites. Also, concentrations of ammonium nitrogen were markedly increased in burned sites contrary to those of nitrate nitrogen. Total nitrogen, however, showed no significant difference between the sites. Concentrations of cations, calcium and magnesium, in burned sites were also significantly increased. Thus, even though forest fire removed the aboveground biomass of pine forests, inorganic nutrients added from ash may play a great role for growth of sprouts and seedlings after forest fire.

Key words: Cations, Forest fire, Nitrogen, Nutrients, Organic matter, Phosphorus

서 론

산불은 전세계적으로 육상생태계에서 가장 흔히 볼 수 있는 교란 요인중의 하나이다. 산불은 그 규모에 따라 삼림 내에 다양한 규모의 공간을 형성하며, 지상부 생물체와 유기물질을 제거시켜 비생물환경요인의 변화를 유발시킨다. 산불이 발생하기 위해서는 발화원과 연료물질이 있어야 하고 연료물질이 불에 탈 수 있도록 충분히 건조된 상태가 되어야 한다(Bond and Wilgen 1996).

산불은 인명과 재산상의 손실을 초래하여 사회적인 문제를 유발시키며, 수십년 또는 수백년

동안 축적된 임목을 일시에 소실시키기 때문에 산불의 특성과 이것이 생태계에 미치는 영향에 관하여 지역적으로 많은 연구가 수행되어 왔다(Wagle and Kitchen 1972, Stark 1977, Wright 1976, Peterson and Ryan 1986, Uhl and Kauffman 1990).

식물의 종에 따라 산불에 의한 영향이 다르다. 수관층이 소실된 후 그루터기에서 맹아를 형성할 수 있는 식물은 산불의 강도와 수피의 두꺼운 정도 그리고 토양층의 조건에 의해 눈(buds)의 생존이 영향을 받는다. 맹아를 형성할 수 없는 식물은 대부분 불에 약한데, 이들은 토양에 형성되어 있는 매토종자에 의해 다시 재생이 가능하다(Peterson and Ryan 1986, Uhl and Kauffman 1990). 산불이 발생한 후의 환경조건은 새로 발아한 실생이나 맹아에게 유리하게 작용하는데, 그것은 새로운 공간이 형성되며, 광, 수분, 영양염류의 이용도가 증가하기 때문이다(Boerner and Forman 1982, Boerner 1983, Stock and Lewis 1986).

우리 나라에서는 보통 4월부터 6월에 걸쳐 건조한 기후와 사람에 의한 실화 때문에 산불이 자주 발생한다. 최근 1975년부터 1995년까지 우리나라에서는 연간 352건의 산불이 발생하여 연평균 739 ha의 삼림면적이 소실되었다(산림청 임업연구원 1996). 또한 농촌에서의 연료체계가 변화되어 임산물에 의한 의존도가 격감함에 따라 연료물질이 다량 축적된 것도 산불의 발생빈도가 증가하는 중요한 원인이 되고있다(정과 김 1987). 우리 나라에서는 홍 등(1968), 강(1971, 1982), 김(1989), 김 등(1983), 김과 조(1984), 심과 김(1993) 등이 산불이 일어난 후 그 지역의 2차천이에 관한 연구를 수행하였으며, 부수적으로 토양의 화학적 성질 변화도 조사한 바 있고, 정과 김(1987)은 소나무림에 산불이 발생한 후 1년간 토양과 유출수의 pH, 전기전도도 및 영양염류의 변화를 조사하였다.

1996년 4월 23일부터 3일동안 강원도 고성군에 대규모의 산불이 발생하여 산림면적 3,762ha가 소실되었다(산림청 임업연구원 1996). 고성지역의 산불은 우리나라 산불 통계 중 최대규모이었고 식생이 소실된 면적도 크기 때문에 이 지역에서의 식생 복원과 토양의 이화학적 성질 변화 과정에 대한 연구는 생태학적으로 매우 흥미있는 일이다. 그리고 이러한 연구를 통해 산불 후 식생의 복원 기법을 모델화 함으로써 점점 빈도가 증가하는 산불에 대하여 효과적으로 대책을 세울 수 있을 것이다.

저자들은 1996년 5월 17-18일 이틀동안 화재가 발생한 지역을 답사하고 산화지와 비산화지에서 토양을 채취하였다. 본 연구는 산불이 토양의 화학적 성질에 미치는 영향을 조사하여, 이후 동일 지역에서 토양성질의 변화를 파악하고 식생복원 과정을 연구하기 위한 기초자료를 얻는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

조사지 개황

본 연구의 조사지는 행정구역상 강원도 고성군 토성면과 죽왕면 지역으로 토양채취는 산불의 피해가 커서 수관화(crown fire)로 분류되는 토성면의 운봉리 그리고 죽왕면의 구성리와 삼포리 지역에서 실시하였다(Fig. 1). 산불은 마좌리에서 발생하여 강한 바람과 함께 토성면과 죽왕면 그리고 간성읍 지역으로 확산되었다. 불이 지나간 자리는 우점군락인 소나무림이 대부분 소실되었지만 계곡부위 등에 소규모로 형성되어 있는 활엽수림(상수리나무와 굴참나무)은 줄기부분만 그을리고 대부분 살아있었다. 관목층의 참나무류와 싸리 등은 맹아가 5~10cm 크기로 자라고 있었고, 그루터기 하나에서 10개 이상의 맹아가 형성된 개체들도 많았다. 산불 후에 발아한 소나

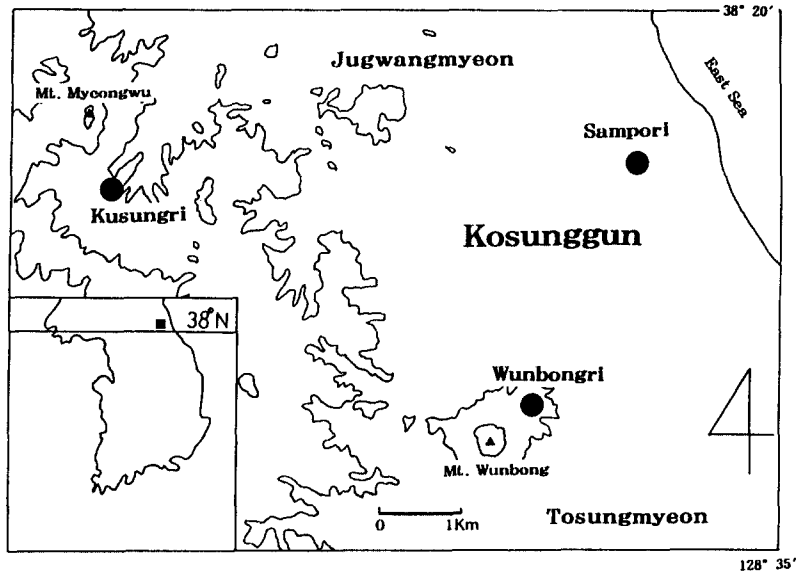


Fig. 1. A map showing the study area. Closed circles indicate soil sampling sites.

무, 아카시나무, 싸리류의 실생들도 관찰되었고, 다년생 초본식물들도 새순이 나오고 있었다. 본 조사지역의 토양은 화강암이 풍화되어 형성된 사양토이었다(산림청 임업연구원 1996).

토양채집 및 분석

토양채취는 완전히 불에 탄 소나무림과 대조구로 비산화지에 있는 소나무림에서 실시하였다. 상층의 재를 조심스럽게 제거하고 깊이 0~5cm 사이의 상층토양을 채취하였다. 운봉리, 구성리, 삼포리의 산화지와 비산화지에서 각각 10반복으로 총 60점의 토양을 채취하였다. 채취한 토양은 비닐백에 밀봉하여 실험실로 옮긴 후 수분함량, 질산태질소 및 암모니아태질소를 분석하고 나머지는 음건시켜 2mm 체로 친 후 분석에 사용하였다.

질산태질소는 phenoldisulfonic acid 법(Wilde *et al.* 1979), 암모니아태질소는 salicylate 법(Nelson 1983)으로 정량하였다. 토양 pH는 토양:중류수를 1:5로하여 1시간동안 진탕시킨 후 상등액의 pH를 pH meter로 측정하였다. 전질소는 microKjeldahl 법으로, 유효인은 ammonium molybdate 법(Allen *et al.* 1974)으로 정량하였다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 1M NH_4OAc 로 추출한 뒤 원자흡수분광광도계(Perkin Elmer 3110)로 측정하였다. 각 지역의 산화지와 비산화지의 토양분석 결과를 통계처리(t-test)하여 두 평균치 차이의 유의성을 판정하였다.

결과 및 논의

토양 산도

산화지와 비산화지 상층토양의 분석 결과는 Table 1과 같다. 본 조사지역이 소나무림 지역이기 때문에 비산화지의 토양 pH는 4.6~4.9의 범위를 보였다. 그러나 산화지의 토양 pH는

Table 1. Comparison of chemical properties between the burned and unburned topsoils in Kosong, Kangwon Province (mean±S.D.)

Soil properties	Site	Burned	Unburned
pH	Kusungri	5.55±0.14**	4.82±0.11
	Sampori	5.41±0.21**	4.79±0.08
	Wunbongri	5.36±0.13**	4.83±0.19
Organic matter (%)	Kusungri	8.70±0.81	8.01±0.32
	Sampori	10.40±0.73*	8.15±0.25
	Wunbongri	8.35±0.36*	10.02±0.13
Available P (μg/g)	Kusungri	39.8 ±0.14**	10.4 ±0.02
	Sampori	38.2 ±0.27**	12.8 ±0.10
	Wunbongri	37.6 ±0.22**	11.1 ±0.05
Nitrate-N (μg/g)	Kusungri	1.55±0.13*	2.48±0.24
	Sampori	1.54±0.09*	2.62±0.10
	Wunbongri	1.81±0.27*	2.79±0.53
Ammonium-N (μg/g)	Kusungri	78.94±7.55***	14.62±2.32
	Sampori	82.06±6.45***	15.10±1.76
	Wunbongri	97.25±9.32***	25.31±3.65
Total-N (mg/g)	Kusungri	2.90±0.18NS	2.80±0.32
	Sampori	3.18±0.21NS	3.43±0.35
	Wunbongri	3.80±0.29NS	2.75±0.21
Calcium (mg/g)	Kusungri	0.41±0.08**	0.17±0.04
	Sampori	0.47±0.06**	0.23±0.07
	Wunbongri	0.51±0.19**	0.19±0.08
Potassium (mg/g)	Kusungri	0.18±0.02NS	0.14±0.03
	Sampori	0.18±0.02*	0.13±0.01
	Wunbongri	0.18±0.03NS	0.14±0.01
Magnesium (mg/g)	Kusungri	0.15±0.01**	0.07±0.02
	Sampori	0.18±0.03**	0.08±0.02
	Wunbongri	0.14±0.02*	0.10±0.03

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, NS: not significant

5.3~5.6의 범위로 비산화지에 비해 평균 0.7정도 높은 것으로 나타났다. 많은 사람들의 조사 결과 산불이 발생한 직후 토양의 pH가 증가하는 것으로 나타나고 있다(Daubenmire 1968, Raison 1979, Chandler *et al.* 1983, 정과 김 1987, 심과 김 1993). 산불에 의한 토양 pH의 변화는 초지에 비해 삼림에서 특히 두드러지는데, Beaton(1959)은 Canada의 침엽수림 지역에서 산불이 발생한 2년 후 상층토양의 pH가 4.6에서 6.4로 증가하였다고 보고한 바 있다. 초지의 경우 산불에 의해 감소된 수소이온의 농도는 1년 혹은 2년 후에는 원상으로 회복되지만 삼림의 경우에는 3년정도까지 지속된다(Wright and Bailey 1982).

산불에 의한 토양산도의 증가는 대부분 식물체가 타고난 후 회분에 함유된 양이온의 증가에서 비롯된다(Daubenmire 1968, Raison 1979, Chandler *et al.* 1983). 본 조사지소에서도 양이온의 증가가 뚜렷한데, 특히 칼슘과 마그네슘이 증가하고 암모니아태 질소가 현저히 증가한 것을 볼 수 있다(Table 1). 산불에 의한 토양산도 변화의 정도는 불이 발생하기 전 토양의 산도, 유기물

함량, 생산된 회분의 양과 그 구성성분에 따라 달라진다(Wells 1971, Grier 1975).

유기물 함량

토양 유기물질은 토양의 물리적 성질과 식물이 이용할 수 있는 영양염류의 방출에 중요한 역할을 한다. Neal 등(1965)은 강한 산불이 발생하면 지표와 토양의 유기물질이 연소되어 상층토의 이화학적 성질의 변화를 초래하는 것으로 보고한 바 있다. 유기물이 완전 연소되면 그 속에 포함되어 있던 질소는 대기중으로 소실된다. 그러나 Wells(1971)는 산불에 의해 지상부 유기물은 감소되지만 토양의 유기물함량은 큰 변화가 없고, 상층토(0~12cm)의 유기물함량이 오히려 증가한 것으로 보고한 바 있다. 본 조사에서도 삼포리의 경우 산화지 상층토의 유기물함량이 비산화지에 비해 높은 것으로 나타났지만 운봉리의 경우 오히려 비산화지에서 그 값이 높았다. 구성리에서는 산화지와 비산화지 사이에 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 산불이 발생하기 전의 낙엽 퇴적량에 따라 산불 후에 유기물함량이 지역에 따라서 차이가 있음을 의미하고 있다. 유기물의 산화 정도는 산불의 강도와 비례하는데(Chandler *et al.* 1983), 본 조사지역의 경우 산불로 소실된 면적은 광대하지만 유기물 함량이 크게 감소하지 않은 것으로 보아 산불의 강도는 높지 않았던 것으로 사료된다.

유효 인산

산불이 발생하면 낙엽과 식물의 수관층에 있던 상당한 양의 인이 미세한 재의 형태로 소실된다. 그러나 실제로는 산불에 의해 낙엽이나 식물체 속에 들어 있던 인이 회분의 형태로 토양에 이입되는 효과가 있기 때문에 토양의 인 함량이 증가한다(Wright and Bailey 1982). 본 연구에서도 토양의 유효인 함량은 산화지역이 비산화지에 비해 높은 것으로 조사되었다(Table 1). 유효인은 비산화지에 비해 산화지에서 구성리 3.8배, 삼포리 3.0배, 그리고 운봉리에서 3.4배 증가한 것으로 나타났다. Wagle과 Kitchen(1972)은 폰데로사소나무림에서 산불 후 유효인산의 함량이 32배나 증가하는 것으로 보고한 바 있다. 그러나 Viro(1974)는 스칸디나비아의 침엽수림에서 산불 후 인의 증가가 많지 않은 것으로 보고하였다. 이러한 차이는 산불에 따라 온도가 다르기 때문인데, 온도가 높을수록 휘발에 의한 인의 소실이 많고 온도가 낮을수록 인의 이용도가 증가하는 것으로 조사되었다(Hoffman 1966, White *et al.* 1973).

질 소

질산태질소와 암모니아태질소는 그 경향이 서로 달랐다. Table 1에서 보는 바와 같이 토양의 질산태질소는 산불에 의해 그 값이 유의하게 감소하였으나 암모니아태질소 함량은 산불에 의해 현저히 증가하였다. 암모니아태질소는 비산화지에 비해 산화지에서 구성리 5.4배, 삼포리 5.4배, 그리고 운봉리에서 3.8배 증가한 것으로 나타났다. 그러나 토양의 전질소함량은 유의한 차이가 없었다. 질소는 열에 의해 쉽게 휘발되기 때문에 500℃ 이상의 온도에서는 식물체와 낙엽에 들어 있던 질소의 거의 100%가 소실된다(White *et al.* 1973). 토양의 전질소 함량도 산불에 의해 소실되지만 그 값은 산불의 온도에 따라 달라진다(DeBano *et al.* 1979).

전질소와는 달리 토양의 무기질소는 보통 산불에 의해 증가되지만(Christensen and Muller 1975, Stark 1977), 연료물질의 화학적인 성질에 따라 그 경향성은 달라질 수 있다(Lewis 1974). 산불에 의해 무기질소가 증가하는 원인은 낙엽의 무기화가 촉진되기 때문이다(Christensen and Muller 1975). 본 조사지소에서도 암모니아태질소의 증가가 현저하였는데,

산불이 발생한 후 20여일 후에 토양을 채취하여 그동안 무기화가 진행되었기 때문인 것으로 판단된다.

치환성 양이온

양이온 중에서 칼슘과 마그네슘은 산불에 의해 그 값이 크게 증가하였다. 많은 사람들이 산불 후 토양의 칼슘과 마그네슘의 증가를 보고한 바 있다(Lewis 1974, Scotter 1963, Chandler *et al.* 1983). 칼슘은 비산화지에 비해 산화지에서 구성리 2.4배, 삼포리 2.0배 그리고 운봉리에서 2.7배 증가하였으며, 마그네슘도 구성리에서 2.1배, 삼포리에서 2.3배, 그리고 운봉리에서 1.4배 증가한 것으로 나타났다. 이것은 낙엽이나 식물체가 연소된 회분을 통해 칼슘과 마그네슘이 토양에 이입되었기 때문이다.

많은 지역에서 산불 후에 치환성 칼륨이 증가하는 것으로 조사되었다(Austin and Basinger 1955, Lewis 1974, Stark 1977). Christensen과 Muller(1975)는 chaparral 관목림에서 산불 후 43kg/ha의 칼륨이 회분을 통해 첨가되는 것으로 보고하였다. 본 조사에서도 산화지의 칼륨함량은 비산화지에 비해 약간 높게 나타났지만 칼슘과 마그네슘에 비해 증가 정도가 현저히 낮은 것으로 조사되었다. 정과 김(1987)은 석회암지대의 소나무림에서 산불 후 치환성 칼륨이 산화지에 비해 비산화지에서 높은 것으로 보고한 바 있다. White 등(1973)은 산불이 발생하였을 때의 온도가 칼륨 함량 변화에 중요한 요인임을 지적하고 500°C 이상일 경우 칼륨이 휘발할 수 있다고 주장한 바 있다.

이상의 결과를 종합하면 산불 후 식물이 필요로하는 무기영양염류가 일시적으로 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 암모니아태질소와 칼슘 그리고 유효인의 증가가 현저한데, 이러한 조건은 산불 후 발아하는 실생이나 맹아의 생장을 크게 촉진할 것으로 판단된다. 그러나 이들 무기영양염류는 쉽게 세탈될 수 있기 때문에 이와같이 양호한 상태가 오래 지속되지 못한다. DeBano와 Conrad(1978)는 chaparral 관목림에서 산불이 발생한 후 회분을 통해 토양에 칼슘과 마그네슘이 각각 45kg/ha, 5.3kg/ha 첨가되었지만 이보다 훨씬 많은 양(칼슘 67kg/ha, 마그네슘 32kg/ha)이 유출수에 의해 소실됨을 밝혔다.

산불에 의해 교목과 임상의 식생 및 낙엽이 소실되면 물을 흡수할 수 있는 잠재력이 감소되어 표면 유출수가 증가하고 따라서 지표면의 회분을 포함하여 표층토의 소실이 증가한다(Likens *et al.* 1970, Hobbie and Likens 1973, Likens and Bormann 1974). 본 조사지역에서도 여름의 우기를 지나면 표층토양의 화학적 성질에 많은 변화가 예상되기 때문에 장마가 끝나면 다시 토양을 채집, 분석하여 그 결과를 비교할 예정이다.

적 요

강원도 고성의 소나무림에서 산불에 의한 토양의 화학적 성질의 변화를 조사하였다. 토양은 죽왕면의 구성리와 삼포리, 토성면의 운봉리에서 산화지와 비산화지로 구분하여 10반복으로 채집하였다. 비산화지에 비해 산화지 토양의 pH가 현저히 높았고, 유효인의 함량도 산화지가 비산화지에 비해 3배 이상 높게 나타났다. 전질소는 산화지와 비산화지 사이에 차이가 없었지만 암모니아태질소는 산화지에서, 질산태질소는 비산화지에서 높았다. 특히 암모니아태질소의 증가가 현저하였다. 산불 후 토양의 칼륨 증가는 뚜렷하지 않았지만 칼슘과 마그네슘은 비산화지에 비해 그 값이 현저히 증가한 것으로 나타났다. 결과적으로 산불에 의해 지상부의 식생이 소실되었

지만 회분을 통해 토양에 무기영양염류가 이입되어 산불 직후의 식생회복, 즉 맹아와 실생의 생장에 유리한 환경이 조성되는 것으로 나타났다.

인용문헌

- 강상준. 1971. 초지의 구조 및 생산성에 미치는 산불의 영향. *한식지* 14:96-102.
- 강상준 · 이종태. 1982. 산화지의 식생회복에 관한 생태학적 연구. *한생태지* 5:54-62.
- 김 원. 1989. 소나무림의 산화지의 이차식생과 종다양성. *한생태지* 12:285-295.
- 김 원 · 서정호 · 이종운. 1983. 당지동의 산화지의 식생회복과 초기 식생천이. *한생태지* 6:237-242.
- 김 원 · 조영호. 1984. 산성산 산화지의 식생회복과 이차천이. *한생태지* 7:203-207.
- 산림청 임업연구원. 1996. 고성산불지역 생태조사 결과 보고서. 169p.
- 심학보 · 김 원. 1993. 섭제골 지역의 산화지 및 비산화지의 군락구조 비교. *한생태지* 16:429-438.
- 정연숙 · 김준호. 1987. 산화가 소나무림의 토양과 유출수의 화학적 성질 및 식물량에 미치는 영향. *한생태지* 10:129-138.
- 홍순우 · 하영철 · 최영길. 1968. 식생, 토양 및 토양미생물에 미치는 불의 효과에 대하여. *한식지* 11:119-130.
- Allen, S.E., J.A. Parkinson, H.M. Grimshaw and C. Quaramby. 1974. *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell Sci. Publishing, Oxford. 565p.
- Austin, R.C. and D.H. Basinger. 1955. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. *J. For.* 53:275-280.
- Beaton, J.D. 1959. The influence of burning on the soil in the timber range area of Lac le Jeune, British Columbia. II. Chemical properties. *Can. J. Soil Sci.* 39:1-11.
- Bond, W.J. and B.W. van Wilgen. 1996. *Fire and plants*. Chapman & Hall, London. 263p.
- Boerner, R.E.J. 1983. Nutrient dynamics of vegetation and detritus following two intensities of fire in the New Jersey Pine Barrens. *Oecologia* 59:129-134.
- Boerner, R.E.J. and R.T.T. Forman. 1982. Hydrologic and mineral budgets of New Jersey Pine Barrens upland forests following two intensities of fire. *Can. J. For. Res.* 12:503-515.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and D. Williams. 1983. *Fire in forestry*. Vol. I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York. 450p.
- Christensen, N.L. and C.H. Muller. 1975. Effects of fire on factors controlling plant growth in *Adenostoma* chaparral. *Ecol. Monogr.* 45:29-55.
- Daubenmire, R.F. 1968. Ecology of fire in grasslands. *Advances in Ecological Research* 5:203-226.
- DeBano, L.F., R.M. Rice and C.E. Conrad. 1979. Soil heating in chaparral fires: effects on soil properties, plant nutrients, erosion, and run-off. USDA Forest Service Research Paper PSW-145, Berkeley, California.

- DeBano, L.F. and C.E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem, *Ecology* 59:489-497.
- Grier, C.C. 1975. Wildfire effects on nutrients distribution and leaching in a conifer ecosystem, *Can. J. For. Res.* 5:599-607.
- Hobbie, J.E. and G.E. Likens. 1973. Output of phosphorus, dissolved organic carbon, and fine particulate carbon from Hubbard Brook watersheds, *Limnol. Oceanogr.* 18:734-742.
- Hoffman, G.R. 1966. Ecological studies of *Funaria hygrometrica* heather in eastern Washington and northern Idaho, *Ecol. Monogr.* 36:157-180.
- Lewis, W.M. Jr. 1974. Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest, *Ecology* 55:1120-1127.
- Likens, G.E. and F.H. Bormann. 1974. Effects of forest clearing on the northern hardwood forest ecosystem and its biochemistry. Proc. First Internat. Cong. Ecol., Sept. 1974, The Hague.
- Likens, G.E., F.H. Bormann, N.M. Johnson, D.W. Fisher and R. S. Pierce. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem, *Ecol. Monogr.* 40:23-47.
- Neal, J.L., E. Wright and W.B. Bollen. 1965. Burning Douglas fir slash: physical, chemical and microbial effects on the soil. Oregon State Univ., For. Res. Lab. Res. Paper 1. 32p.
- Nelson, D.W. 1983. Determination of ammonium in KCl extracts of soils by the salicylate method, *Soil Sci. Plant Anal.* 14:1051-1062.
- Peterson, D.L. and K.C. Ryan. 1986. Modelling postfire conifer mortality for long range planning, *Environmental Management* 10:797-808.
- Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: A review, *Plant and Soil* 51:73-108.
- Scotter, G.W. 1963. Effects of forest fires on soil properties in northern Saskatchewan, *For. Chron.* 39:412-421.
- Stark, N.M. 1977. Fire and nutrient cycling in a Douglas-fir/larch forest, *Ecology* 58:16-30.
- Stock, W.D. and O.A.M. Lewis. 1986. Soil nitrogen and the role of fire as a mineralizing agent in a South African coastal fynbos ecosystem, *J. Ecol.* 74:317-328.
- Uhl, C. and J.B. Kauffman. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon, *Ecology* 71:437-449.
- Viro, P.J. 1974. Effects of forest fire on soil, *In* T.T. Kozlowski and C.E. Ahlgren, (eds.), *Fire and Ecosystems*, Academic Press, New York, pp. 7-45.
- Wagle, R.F. and J.H. Kitchen. 1972. Influence of fire on soil nutrients in a ponderosa pine type, *Ecology* 53:119-125.
- Wells, C.G. 1971. Effects of prescribed burning on soil chemical properties and nutrient availability. Proc. Prescribed Burning Symp. U.S. For. Serv. NE For. Exp. Stn. pp.

86-89.

White, E.M., W.W. Thompson and F.R. Gartner. 1973. Heat effects on nutrient release from soil under ponderosa pine. *J. Range Manage.* 26:22-24.

Wilde, S.A., R.B. Corey, J.G. Iyer and G.K. Voigt. 1979. *Soil and plant analysis for tree culture.* Oxford and IBH Publishing, New Delhi. 224p.

Wright, R.F. 1976. The impact of forest fire on the nutrient influxes to small lakes in northeastern Minnesota. *Ecology* 57:649-663.

Wright, H.A. and A.W. Bailey. 1982. *Fire ecology: United States and southern Canada.* John Wiley & Sons, New York. 501p.

(1996년 8월 7일 접수)