

산불이 土壤의 物理·化學的 特性에 미치는 影響\*

朴寬洙\*

\*충남대학교 산림자원학과

**Effects of forest fire on physical and chemical properties of soil\***

**Gwansoo Park\***

*Department of Forest Resources, Chungnam National University\**

**ABSTRACT**

This study was carried out to estimate the effect of forest fire on physical and chemical properties of soil. The forest fire was in April 1995 at Kongju of Chungnam. Soil samples were collected at 0~5cm, 5~10cm, and 10~20cm soil depths in September 1998 from the burned and unburned sites. Soil organic matter concentrations at 0~5cm and 5~10cm soil depths were significantly greater in unburned site than in burned site. Soil N concentrations were greater in unburned site than in burned site at all soil depths. Cation exchange capacity was significantly higher in unburned site than in burned site at 0~5cm soil depth. There were no differences in available soil P, exchangeable soil K, Ca, and Mg, and pH of soil between burned and unburned sites. Soil water content at 0~5cm soil depth was significantly greater in unburned site than in burned site. Bulk density at 0~5cm soil depth was significantly higher in burned site than in unburned site. Forest fire had an adverse effect on physical and chemical properties of soil in this study. Burning of vegetation and forest floor organic matter in burned site may reduce organic

matter supply to soil and increase soil erosion. Consequently, forest fire may have adverse influence on long-term site productivity.

**Key words** : soil organic matter, soil pH, total soil N, soil water content, exchangeable cation

## 요 약 문

본 연구는 산불에 의한 토양의 물리·화학적 특성 변화를 조사하기 위해 실시되었다. 연구대상지는 충청남도 공주시 우성면 소재 임야이며 산불은 1995년 4월에 발생하였다. 토양특성 조사를 위한 토양 시료는 1998년 9월에 산불지와 비산불지에서 각각 0~5cm, 5~10cm, 그리고 10~20cm 토양깊이에서 채취 분석되었다. 토양내 유기물함량은 0~5cm 그리고 5~10cm 토양깊이에서 산불지보다 비산불지에서 유의적으로 많이 나타났다. 토양내 전질소함량은 모든 토양깊이에서 비산불지에서 최소 24% 이상 많이 나타났으며, 양이온치환용량은 0~5cm의 토양깊이에서 비산불지에서 유의적으로 높게 나타났다. 토양내 유효인산, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량 그리고 pH는 모든 토양깊이에서 두 집단간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 토양수분 함량은 0~5cm 토양깊이에서 비산불지에서 유의적으로 많이 나타났으며, 가비중은 0~5cm의 토양깊이에서 비산불지보다 산불지에서 높게 나타났다. 본 연구에서 산불은 표토의 물리·화학적 특성 일부를 악화시킨 것으로 나타났으며, 산불발생지에서 식생과 유기층의 유실로 인해 예상되는 토양침식 증가와 유기물의 공급부족은 임지생산력을 더욱 악화시킬 것으로 사료된다.

**주제어** : 토양유기물, 토양 pH, 전질소, 수분함량, 치환성양이온

## 1. 서 론

산불(forest fire)은 지구 산림의 형성기부터 시작된 오랜 역사를 가지고 있으며, 인류가 불을 사용하기 시작한 이후부터 주로 인간에 의해 발생되어져 왔다. 현대사회에 이르러서는 산림의 다목적 이용도가 높아짐에 따라 산불의 발생 빈도가 더욱 증가하고 있어 세계 모든 산림국가에서 그 대책에 부심하고 있다. 현재 전 세계 산림에서 인간에 의해 또는 자연적 현상에 의해 산불은 매년 발생하고 있으며, 1987년 중국 대흥안령 북부지역, 미국 Yellowstone공원, 그리고 인도네시아등에서 발생

한 대형산불은 산림의 대량손실과 지구환경 파괴의 주요 원인으로 대두되고 있다. 우리나라에서도 레저인구 등의 증가로 인해 해마다 산불발생은 증가하고 있으며, 최근 강원도 고성지역에서 발생한 산불은 많은 인명피해와 산림파괴를 가져왔다.

산불에 의한 피해로는 목재의 손실 뿐만 아니라 종자, 천연갱신지의 치수, 인공조림지의 유령임분 등이 큰 피해를 받으며, 나무들이 고사하지 않더라도 생장력이 쇠퇴하고, 재질이 훼손되며, 피해목은 다시 병충해의 발생을 유발시키고, 야생조수의 보급자리를 파괴시킨다<sup>19)</sup>. 또한, 산불은 유기층(forest floor)의 대부분과 표토를 태워서 임상 노

출에 의한 유기수 증가와 토양침식을 발생시키며<sup>20)</sup>, 토양의 물리·화학적 특성을 변화시킨다.

산불로 인해 토양에서 발생하는 가장 큰 피해는 산불의 연료로 사용되는 유기층의 손실이다. 산림에서 유기물은 토양의 물리적 특성 변화에 지배적 역할을 하며, 질소의 대부분을 공급하고, 유효인산의 5~60%를 공급하며, 양이온 치환용량을 개선시키는 등 토양특성에 큰 영향을 준다<sup>10)</sup>. 산불로 인해 유기층에 존재하는 대부분의 유기물은 유실되며, 식생과 유기층이 제거되므로 토양온도는 증가되고, 토양에서 수분 증발이 증가되므로 토양내 수분함량의 감소를 가져온다<sup>1,13)</sup>. 산불발생 후 토양내 유기물의 변화는 다양한데, 비교적 약한 산불로 인해 큰 변화가 없었거나<sup>1)</sup>, 수목과 유기층(forest floor)의 산화로 인한 재의 유입으로 증가<sup>12)</sup>, 또는 감소한다<sup>15)</sup>.

질소는 약 200℃에서 증발되기 때문에 대부분의 산불에 의해 쉽게 유실된다. Knight(1966)<sup>9)</sup>는 300~700℃의 산불로 유기층에 존재하고 있던 질소 중 25~64%가 유실 되었다고 보고하였다. Viro(1974)<sup>16)</sup>에 따르면 북쪽 산림대에서 산불에 의한 질소의 평균 유실은 320kg/ha이며, 이 유실을 복구하는데 50년이 필요하다고 보고 하였다. 반면, 산불로 인한 토양내 질소는 산불의 강도와 존속시간등에 따라 감소되거나, 큰 변화가 없거나, 또는 유기층의 산화로 인한 재(ash)의 토양내 유입으로 인해 증가하는 것으로 보고된다<sup>18)</sup>.

Pritchett와 Fisher(1987)<sup>13)</sup>는 강도가 높은 산불이 발생할 경우 토양내 부식이 줄어들면서 토양중 양이온치환용량은 감소한다고 하였다. 또한, 산불발생 후 유효인산, 칼륨, 칼슘, 그리고 마그네슘 같은 양분들은 아래의 토양층에서 일시적으로 증가하는 경우가 발생하는데<sup>17,20)</sup>, 이러한 결과는 유기층에 존재하던 양분들이 산화로 인한 분해후 토양층으로 이동하기 때문이다. 산불로 인해 토양에서 양료가 증가할 경우 토양산도를 감소시키거나 또는

영향이 없는 것으로 보고되었다.<sup>5,19)</sup>

산불로 인한 산림피해는 매년 발생하고 있으며, 산불발생지에 대한 빠른 복구는 필수적이다. 산림토양은 산림생태계에서 필수 인자이기 때문에 산불로 인한 토양 특성 변화에 대한 이해는 합리적인 산림경영에 필수적이다. 본 연구는 산불발생지의 토양 특성 변화에 대한 조사를 통하여 산림복구를 위한 기초자료를 얻고자 실시되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2-1 조사지개황

본 연구는 1995년 4월 충청남도 공주시 우성면 안양리에서 발생한 리기다 소나무-참나무류 혼효림 산불지를 대상으로 실시되었다(그림 1). 산불로 인한 피해면적은 약 2ha 이었으며 산불발생 2시간

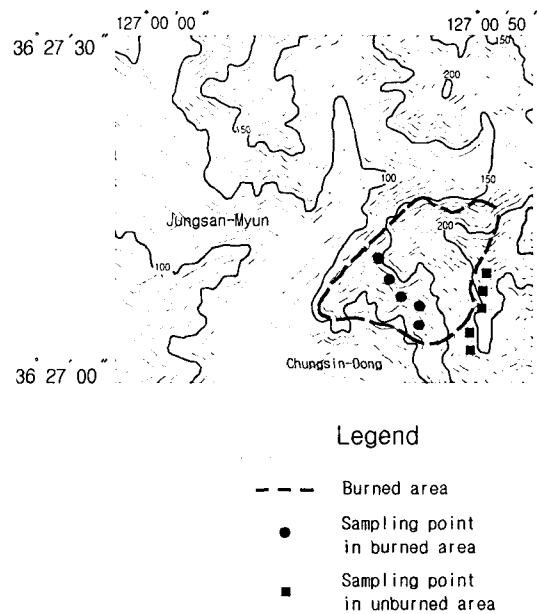


Fig. 1. Sample locations of burned and unburned areas in Kongju of Chungnam

후에 진화되었다. 비산불지의 주요 수종은 리기다 소나무, 소나무, 갈참나무, 굴참나무 등이며 물오리나무, 싸리, 그늘사초, 고사리, 쥐깨풀, 그리고 제비꽃 등이 서식하였다. 산불발생지는 낙엽송이 조림수종으로 식재되어 있었으며, 피해목은 벌채되어 있었고, 맹아에 의한 참나무류나 싸리, 그늘사초, 그리고 진달래 등이 주로 서식하고 있었으며,

낙엽등에 의해 형성되는 유기층이 산불로 인해 유실되어 토양표면은 나지로 존재하였다. 본 조사지의 방위는 서남서였고, 경사는 30~40° 정도였으며, 기상조건은 연 평균기온 12.0℃, 연 평균 강수량은 1,030mm로 연중 6~8월에 집중하고 있다. Table 1은 본 조사지의 토양단면 특성 조사 결과이다.

Table 1. Soil characteristics of unburned area in Kongju of Chungnam.

Soil horizon	Depth (cm)	Soil type	Texture	Structure	Soil color	Plant root
O	3 - 0	—	—	—	—	—
A	0 - 4	B <sub>2</sub>	SCL	Granular	10YR4/4	Medium
B	4 - 32	—	SCL	Blocky	7.5YR4/4	Medium
C	32-	—	—	Structureless	7.5YR5/8	Low

## 2-2 표본채취 및 분석방법

토양의 물리·화학적 특성 분석을 위해 산불지와 비산불지 두 곳에서 각각 대표적인 장소 다섯 곳을 선정 후, 0~5cm, 5~10cm, 그리고 10~20cm 토양깊이에서 토양시료를 채취하여 실험실로 운반한 후 자연 건조하였다. 토양의 가비중은 각 토양 깊이에서 Excavation법<sup>4)</sup>으로 구했으며, 수분함량을 위해 채취된 토양을 비닐에 넣은 뒤 실험실로 운반하여 건조기에서 105℃로 건조시켰다.<sup>10)</sup> 토양의 유기물 함량은 Wakely-Black wet oxidation법으로 분석하였고, 전 질소는 Macro-Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 정량하였으며, 치환성 칼슘, 마그네슘은 원자흡광분석법, 칼륨은 염광분광분석법으로 분석하였다. 토양의 pH는 1:5로 희석하였으며, 양이온치환용량은 Brown법으로 분석하였다. 통계분석을 위해 SAS system을 이용하였으며, 평균값 비교를 위해 Tukey HSD test를 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1 유기물 함량

본 연구에서 토양내 유기물 함량은 두 조사지역 모두 0~5cm 깊이에서 가장 많게 나타났으며 깊이에 따라 감소하는 것으로 나타났다(Table 2, 3, 4). 일반적으로 토양내 유기물함량은 깊이가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하는 것으로 알려져 있으며<sup>6)</sup> 유기물함량이 표토층에서 가장 많게 나타나는 것은 지상부로부터의 litterfall과 이 깊이에 fineroot가 집중적으로 분포되어 유기물의 공급이 많기 때문으로 사료된다.

토양의 깊이별로 두 조사지역을 비교한 결과, 유기물 함량은 모든 토양깊이에서 산불지보다 비산불지에서 많게 나타났으나 10~20cm에서는 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다(Table 2, 3, 4).

**Table 2.** Soil characteristics in burned and unburned sites after three years of forest fire at 0~5cm soil depth.

Soil prop Sites	Organic matter (%)	T-N (%)	Av-P (ppm)	Ex-K (me/100g)	Ex-Ca (me/100g)	Ex-Mg (me/100g)	C.E.C (me/100g)	pH (1 : 5)	Soil water content (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
Burned	2.15 <sup>a</sup> (0.56)	0.066 (0.008)	6.76 (3.16)	0.19 (0.05)	1.52 (0.51)	0.37 (0.15)	6.85 <sup>b</sup> (1.20)	5.08 (0.18)	14.0 <sup>a</sup> (1.39)	1.08 <sup>a</sup> (0.09)
Unburned	3.56 <sup>a</sup> (0.65)	0.088 (0.025)	8.58 (1.73)	0.20 (0.03)	1.63 (0.42)	0.42 (0.15)	8.90 <sup>b</sup> (0.83)	5.05 (0.17)	19.2 <sup>a</sup> (1.56)	0.84 <sup>b</sup> (0.01)

\* Different letters indicate statistical difference between the burned and unburned site at the 5% level.

**Table 3.** Soil characteristics in burned and unburned sites after three years of forest fire at 5~10cm soil depth.

Soil prop Sites	Organic matter (%)	T-N (%)	Av-P (ppm)	Ex-K (me/100g)	Ex-Ca (me/100g)	Ex-Mg (me/100g)	C.E.C (me/100g)	pH (1 : 5)	Soil water content (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
Burned	1.31 <sup>b</sup> (0.15)	0.048 (0.011)	8.52 (3.38)	0.19 (0.03)	1.24 (0.43)	0.39 (0.29)	5.90 (1.39)	5.07 (0.09)	14.4 (2.20)	0.96 (0.09)
Unburned	1.84 <sup>a</sup> (0.27)	0.063 (0.011)	6.51 (0.37)	0.21 (0.04)	1.38 (0.81)	0.37 (0.25)	8.27 (1.04)	5.04 (0.16)	18.9 (1.06)	1.08 (0.15)

\* Different letters indicate statistical difference between the burned and unburned site at the 5% level.

**Table 4.** Soil characteristics in burned and unburned sites after three years of forest fire at 10~20cm soil depth.

Soil prop Sites	Organic matter (%)	T-N (%)	Av-P (ppm)	Ex-K (me/100g)	Ex-Ca (me/100g)	Ex-Mg (me/100g)	C.E.C (me/100g)	pH (1 : 5)	Soil water content (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
Burned	1.24 (0.21)	0.035 (0.009)	6.59 (4.27)	0.17 (0.05)	1.22 (0.51)	0.23 (0.16)	6.29 (1.44)	5.03 (0.13)	16.7 (2.51)	1.12 (0.09)
Unburned	1.57 (0.46)	0.051 (0.022)	0.051 (4.22)	0.19 (0.07)	0.70 (0.53)	0.26 (0.20)	7.88 (0.51)	4.94 (0.20)	20.9 (3.39)	1.18 (0.01)

\* Different letters indicate statistical difference between the burned and unburned site at the 5% level.

선행 연구에 따르면 산불발생 후 토양유기물 함량은 큰 변화가 없거나, 산화로 인한 재의 유입으로 증가하거나, 또는 감소하였다고 보고하였다<sup>1,12,15,20</sup>. 본 연구지의 산불의 형태는 지표화이기 때문에 산불지에서 발생한 재의 대부분은 하층식생과 유기층의 산화 때문이며, 비산불지의 임상을 볼때 하층식생의 발달이 적고 얇은 유기층으로 인해 산화로 발생한 재의 양은 적었으며, 그로 인해 아래 토양으로 재의 유입이 적었다고 판단된다. 그리고 산화 후 바람과 조사지의 경사로 인해 연소 산물 중 많은 양이 산불지에서 유실되었을 것으로 판단된다. 우와 권(1983)<sup>20</sup>의 보고처럼 유기물함량은 일시적으로 증가하였다가 시일의 경과에 따라 차츰 비산불지의 수준과 비슷하게 될수도 있으나, 본 연구 산불지에서 유기물함량의 감소는 산불로 인한 식생과 유기층의 유실로 인해 나지로 변환 표토층에서 산불발생 후 3년동안 표토의 침식과 유기물의 유실<sup>20</sup> 그리고 유기물의 빠른 분해로 인하여 유기물함량은 산불지에서 적게 나타났다고 사료된다.

### 3-2 토양내 저질소, 유효인산, 치환성 양이온, 그리고 양이온 치환용량

산불발생 후 유기층에 존재하는 많은 양의 질소는 유실되는 것으로 보고되었다<sup>9</sup>. 그러나 토양에서 전질소함량은 산불의 강도와 시간, 그리고 재의 유입 등에 따라서 다양한 결과를 나타낸다<sup>18</sup>. 본 연구의 모든 토양 깊이에서 전질소 함량은 산불지와 비산불지 두 집단간에 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 비록 통계적 유의성은 없게 나타났으나, 모든 토양 깊이에서 전질소 함량은 산불지보다 비산불지에서 최소 24% 이상 높게 나타났다. 이러한 결과는 유기물의 결과와 일치하며, 토양내 질소 공급의 대부분을 차지하는 유기물이<sup>10</sup> 산불 발생 후 유실되었기 때문으로 사료된다.

Wells(1971)<sup>17</sup>는 산불발생 후 유기층의 급속한

산화로 인해 인산, 칼륨, 칼슘, 그리고 마그네슘 등이 토양층으로 용탈되어 이러한 양료들은 토양에서 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서 유효인산과 치환성 칼륨, 칼슘, 그리고 마그네슘 함량은 산불지와 비산불지간에 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 2, 3, 4). 또한 깊이별 차이도 없는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 Austin과 Baisinger(1955)<sup>21</sup> 그리고 우와 권(1983)<sup>20</sup>이 보고한 것처럼 산화 직후 가용성 염류는 일시적으로 증가한 후 시일이 경과함에 따라 산화가 발생치 않은 지역의 수준으로 저하 된다는 보고와 일치한다.

Pritchett와 Fisher(1987)<sup>13</sup>는 산불의 강도가 크고 연소 시간이 길때 표토층에 대한 산불의 영향으로 토양내 양이온치환용량은 줄어든다고 하였으며, 산불의 강도가 크지 않을때 양이온치환용량은 큰 변화가 없다고 하였다. 본 연구지의 산불 강도는 얇은 유기층 때문에 산불의 강도가 크지 않았다고 사료된다. 본 연구에서 토양의 양이온치환용량은 0~5cm 깊이에서 비산불지에서 유의적으로 높게 나타났으며, 5~10cm 그리고 10~20cm 토양 깊이에서도 최소 25% 이상 비산불지에서 높게 나타났다. 이는 전술한바와 같이 산불지에서 유기물의 유실 때문으로 사료되며, 그 이유는 유기물이 토양내 양이온치환용량에 크게 기여 하기 때문이다<sup>10</sup>.

### 3-3 토양 pH

Beaton(1959)<sup>3</sup>, Tarrant(1956)<sup>14</sup>는 산불발생 후 토양pH가 낮아졌다고 보고 하였다. 그러나 Burns(1952)<sup>5</sup>는 산불발생 후 표토에서 토양 pH의 변화는 없었다고 보고하였다. 산불발생 후 토양 pH가 높아지는 것은 재의 대부분을 발생시키는 유기층의 산화로 인한 양이온들의 토양내 유입 때문이다. 본 연구에서 토양 pH는 산불지와 비산불지간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 전술한 것처럼

토양의 pH를 높이기 위해서는 다량의 양이온이 필요한데 본 연구에서 두 지역간 양이온들의 함량은 차이가 없는 것으로 나타났다. 토양 깊이간 pH도 차이가 없는 것으로 나타났다(그림 2).

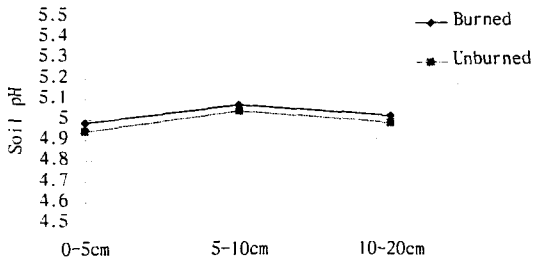


Fig. 2. Soil pH at 0~5, 5~10, 10~20cm soil depths in burned and unburned sites.

### 3-4 토양 수분함량과 가비중

본 연구에서 토양 수분함량은 0~5cm 토양깊이에서 비산불지에서 유의적으로 높게 나타났으며, 다른 토양 깊이에서도 최소 20% 이상 비산불지에서 높게 나타났다. Kimmins(1997)<sup>9)</sup>는 토양 수분 축적 능력은 토양유기물에 의해 크게 지배받으며 산불로 인해 토양유기물이 감소했을 경우 토양은 매우 건조한 상태로 있게 된다고 하였다. 또한 Kimmins(1997)<sup>9)</sup>는 산불로 인해 유기층이 완전 유실되었을 경우 토양내 수분증발은 증가된다고 보고 하였다. 본 연구에서 표토의 유기물함량은 산불로 인해 감소한 것으로 나타났다. 유기물의 감소와 산불로 인한 유기층의 소실은 토양의 수분증발을 증가시켜 수분함량이 적게 나타났다고 판단된다.

Moehring 등(1977)<sup>11)</sup>은 산불발생 후 표토의 대공극은 감소하고 가비중은 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서 가비중은 0~5cm 토양깊이에서 비산불지보다 산불지에서 높게 나타났으며, 이 결과는 표토에서 유기물 함량변화와 식생과 유기층의 유실로 인한 빗방울의 강타<sup>7)</sup> 등에 의한 결과라고 사

료된다.

## 4. 결 론

산불발생으로 인한 토양의 물리·화학적 특성 변화를 조사하기 위하여 1995년 충청남도 공주시 우성면에 위치한 산불발생지에서 1998년 9월에 토양시료를 채취하여 토양내 유기물, 전질소, 유효인산, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 양이온치환용량, pH, 수분함량, 가비중을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 산불로 인해 토양내 유기물, 전질소, 양이온치환용량, 토양수분함량, 그리고 가비중은 0~5cm 또는 5~10cm 토양깊이에서 변화된 것으로 나타났다. 그러나 토양내 치환성 칼륨, 칼슘, 그리고 마그네슘, 그리고 pH는 모든 토양 깊이에서 산불지와 비산불지간에 차이가 없는 것으로 나타났다.
2. 본 연구에서 산불은 표토의 물리·화학적 특성 일부를 악화 시킨 것으로 나타났으며, 산불발생지에서 식생과 토양유기층의 완전 유실로 인해 예상되는 토양침식 증가와 유기물의 공급부족은 장래 임지생산력의 저하를 가져와 자연적 식생복구를 더욱 어렵게 할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

1. Armson, K.A. 1977. Forest soils. University of Toronto Press, Toronto. 390pp.
2. Austin, I.F. and D.H. Baisinger. 1955. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. J. Forestry. 53 : 275-280.
3. Beaton, J.D. 1959. The influence of burning on soil in the timber range area of Lac Le Jeane,

- British Columbia. *Can. J. Soil Sci.* 39 : 1-11.
4. Black, C.A., D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White and F.E. Clark. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part I : Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling.* Am. Soc. Agr., Madison, WI. 770pp.
  5. Burns, P.Y. 1952. Effects of fire on forest soils in the pine barren regions of New Jersey. *Yale Univ. School of Forestry Bull. No. 57.*
  6. Eswaran, H., E. Van den Berg, P. Reich and J. Kimble. 1995. Global soil carbon resources. In *soils and Global Change.* eds. R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart. pp. 27-44.
  7. Fuller, W.H., S. Shannon, and P.S. Burgess. 1955. Effect of burning on certain forest soils of northern Arizona. *For. Sci.* 1 : 44-50.
  8. Kimmins, J.P. 1997. *Forest Ecology.* Prentice Hall, New Jersey. 596pp.
  9. Knight, H. 1966. Loss of nitrogen from the forest floor by burning. *For. Chron.* 42 : 149-152.
  10. Miller, R.H. and R.L. Donahue. 1990. *Soils. An introduction to soils and plant growth.* Prentice-Hall, New Jersey. 768pp.
  11. Moehring, D.M., Grano, C.X., and Bassett, J.R. 1966. Properties of forested loess soils after repeated prescribed burns. *USDA Forest Service Res. Note SO-40,* Southern Forest Expt. Station, New Orleans.
  12. Olsen, J.S. 1981. Carbon balance in relation to fire regimes. p. 327-378. In *Fire regimes and ecosystem properties.* USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-26. Washington, D.C.
  13. Pritchett, W.L. and Fisher, R.F. 1987. *Properties and management of forest soils.* John Wiley & Sons. 494pp.
  14. Tarrant, R.F. 1956. Effects of slash burning on some soils of the Douglas-fir region. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20 : 408-411.
  15. Van Wagner, C.E. 1963. *Prescribed burning experiments : red and white pine.* Canada Dept. Forestry Publ. No. 1020, Ottawa.
  16. Viro, P.J. 1974. Effects of forest fire on soil. p.7-45. In T.T. Kozłowski and C.E. Algren(ed.) *Fire and Ecosystems.* Academic Press, New York.
  17. Wells, C.G. 1971. Effects of prescribed burning on soil chemical properties and nutrient availability. p. 86-99. In *Proc. Prescribed Burning Symp.* USDA For. Serv., SE For. Expt. Sta., Asheville.
  18. Wright, H.A. and A.W. Bailey. 1982. *Fire Ecology : United States and Southern Canada.* John Wiley and Sons, New York.
  19. 강전유 외 12인. 1996. *산림 환경 보존학.* 향문사. 306pp.
  20. 우보명, 권태호. 1983. 황폐산지에서 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구. *한국임학회지.* 62 : 43-52.