

강원도 고성 산화지역의 토양 이화학성 변화¹

남 이² · 민일식³ · 장인수⁴

Soil Physical and Chemical Properties of Forest-Fired Area in Koseong, Kangwon¹

Yi Nam², Ell-Sik Min³, In-Soo Jang⁴

요 약

강원도 고성군 죽왕면과 토성면 일대의 소나무군락을 대상으로 1996년 4월에 발생한 산화에 따른 산림환경 변화가 토양의 이화학성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 비산화지역(NF), 산화후 비벌채지역(FNC), 산화후 벌채지역(FC) 및 산화후 조림지역(FCP)으로 분류하여 토양의 특성을 분석하였다. 전조사지역의 토성은 사질 식양토이었고, 토양의 입경조성을 비교하면 비산화지역은 표토의 모래함량이 심토보다 낮았고, 점토함량은 높았지만, 산화지역은 모두 표토의 모래함량이 점토에 비해 높았다. 토양공극 분포 중 전공극량은 지역별로 큰 차이가 없었으나, 조공극량과 투수성은 비산화지역 < 산화후 비벌채지역 > 산화후 조림지역 < 산화후 벌채지역 순이었고, 세공극량과 가비중은 반대의 경향을 나타내었다. 이는 산화에 따른 산림환경변화로 지피식생이 제거되어 토양침식이 가속화되면서 토양 내 수분함유능력의 지표인 토양공극과 투수성에 큰 영향을 주면서 토양물리성을 악화시키고 있는 것으로 판단된다. 토양 pH는 비산화지역과 산화후 비벌채지역이 산화후 벌채지역과 조림지역보다 표토 및 심토 모두 높게 나타났다. 유기물함량 및 전질소함량 변화는 표토와 심토 모두 비산화지역 < 산화후 비벌채지역 > 산화후 조림지역 < 산화후 벌채지역 순이었다. 양이온치환용량 및 치환성 양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})함량 변화는 모두 표토가 심토보다 높았으며, 지역별로는 비산화지역 < 산화후 비벌채지역 > 산화후 조림지역 < 산화후 벌채지역 순으로, 이는 산화후 표토층의 침식으로 지력이 악화된 결과로 사료된다.

주요어 : 산화, 토양침식, 소나무군락, 고성지역

ABSTRACT

This research has been done to investigate influence of soil physical and chemical properties on forest environmental change by fired pine forest in Koseong, Kangwondo. The sample sites were divided by not-fired sites(NF), not-cutting site after fired(FNC), cutting and planting sites after fired(FCP) and cutting and not-planting sites after fired(FC). Soil texture of whole sites was sandy clay loam. Sand content of NF top soil were lower than those of sub soil and

1 접수 12월 13일 Received on Dec. 13, 1999

2 농협중앙회 영농자재부 Department of Federation Farm Input, N.A.C.F., Seoul, 100-707, Korea

3 중부대학교 생명자원학부 산림자원학 전공 Major of Forest Resource, Division of Life Resource Science, Joongbu University, Keumsan, 312-940, Korea(esmin@joongbu.ac.kr)

4 대전대학교 생물학과 Department of Biology, Taejon University, Taejon, 300-716, Korea

clay content were higher, while FNC, FCP and FC sand content of top soil were higher than those of sub soil. Total porosity didn't differ between the sites. Coarse porosity and permeability had the increasing order as NF> FNC> FCP> FC, but fine porosity and bulk density had the opposite trends. Because forest fire removed the vegetation and then soil erosion was accelerated, forest environmental changes by forest fire greatly degraded soil porosity and permeability which were indices for forest water retention, so that soil physical properties were deteriorated. Both top and sub soil pHs of NF and FNC were higher than those of FCP and FC. Organic matter content and total nitrogen content of top and sub soils were high in order as NF> FNC> FCP> FC. Cation exchange capacities and exchangeable cation(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) content in top soils were higher than those in sub soils, and in order as NF> FNC> FCP> FC, to be compared by the sites. These mean that forest fire result from the erosion of top soil layers.

KEY WORDS : FOREST FIRE, SOIL EROSION, PINE TREE, KOSEONG REGION

서론

대도시의 공해를 피해 국민들의 정서 함양에 도움을 주는 산림은 전국 면적의 약 65%를 차지하고 있으며 이 중 소나무림이 약 50%를 점유하고 있다(환경부, 1997). 산림은 기능별로 볼 때 탄산가스 흡수 및 산소 생산을 하는 환경개선 기능, 산림의 수자원 저류 및 정화를 하는 수자원 함양 기능, 토사유출 방지 및 토사붕괴 방지를 하는 국토보전 기능 등의 중요한 역할을 해 주고 있다(산림청 임업연구원, 1992).

그러나 오늘날 이러한 산림이 무분별한 국토개발, 병충해 및 산화로 인한 벌채 등으로 많은 시련을 겪고 있으며, 그중 산불은 우리 주변에서 흔히 접하는 산림에 대한 교란요인 중의 하나로 1989년부터 1998년까지 약 334건의 산불이 발생하였다. 산화로 인한 피해면적은 약 1,515ha에 달하며, 발생 시기는 특히 11월 말에서 다음해 4월 말까지 집중되어 있으며 피해 규모가 매년 증가하는 추세에 있다. 또한 산화발생 후 산림의 복구 및 보존을 위해서 벌채 후 재조림을 해야 하는 문제 등을 안고 있다. 건국 이래 최대 규모로 발생한 강원도 고성지역은 1996년 4월에 산화가 발생한 지역으로 70%가 침엽수림이었으며 피해면적은 총 3,762ha로 산림뿐만 아니라 주택이나 가축 등에도 많은 피해를 주었다(산림청 임업연구원, 1996).

산화에 의한 피해로는 토양과 식생구조의 변화를 비롯하여 산지침식의 가속화 및 산림생태계 등의 파괴로 이어지고 있다. 산불에 대한 연구는 Ahlgren(1960)에 의해 정립되어 산불이 산림에 미

친 영향을 습도, 토성, 토양, 온도, 토양 pH, 유기물 함량, 무기염류함량, 미량원소 등에 대해 조사 연구 하였으며, 산불이 토양유기물함량과 함수량, 화학적 성분의 변화를 주어 초치식생의 생장에 미치는 영향에 대한 Daubenmire(1968)의 연구가 있다. 또한 산화지의 질소함량 감소는 산불의 강도에 의해 영향을 받게 되는데 산불강도는 지표에 쌓인 낙엽층의 두께, 지형, 기후 등의 요인에 의존한다고 밝힌 바 있다. Pritchett(1987)는 강도가 높은 산불이 발생한 경우 토양 내 부식이 줄어들면서 토양중 양이온 치환 용량은 감소하였으며, 산불발생 후 유효인산, 칼륨, 칼슘, 그리고 마그네슘 같은 양분들은 심토층에서 일시적으로 증가하는 경우가 발생하는데, 이러한 결과는 유기층에 함유되어 있던 양료들이 산화로 인하여 분해 후 심토층으로 이동하기 때문이다. 산화는 산림식생과 토양에 미치는 1차교란뿐만 아니라(Vogl, 1968; Anderson and Bailey, 1980) 집중강우에 의한 침식 등에 의한 토양유실과 같은 2차적인 교란으로 산림생태계에 큰 변화를 일으키며(Raison, 1979; Rab, 1996), 이로 인해 수자원 함량 지능 약화나 토양환경 파괴 등의 공익적 기능에 피해를 주게 된다.

산불발생의 원인은 자연적인 것과 인위적인 것으로 나눌 수 있으며, 우리 나라는 인위적인 원인이 대부분으로 산불에 대한 국민적 경각심도 중요하다. 산림의 벌채에 따른 토양의 변화를 조사한 사계를 보면 小林(1982)이 벌채 전후의 54개 지점에서의 토양표층의 형태와 이화학성을 비교한 결과에서는 퇴적유기물층이나 A층의 깊이가 감소하며, 그것에 따라서 이화학성의 변화가 사면의 각 부위에서 나타났는데, 특

히 토양의 물리적 변화는 모든 사면에서 벌채 전후의 전공극량은 크게 변하지 않았지만, 조공극량이 감소하고 세공극량이 증가함을 밝힌 바 있으며, 竹下(1981)는 삼림토양을 대상으로 그 값을 측정한 결과 조공극이 A1층) B층) C층 순으로 많았으며, 요형 사면이 철형 사면보다 대공극이 풍부하고 배수성이 높았으나 수저유능은 불리한 것으로 보고했다. 有光(1987)은 토양공극 해석도를 이용하여 공극분포가 토양모재와 토양형의 차이에 따라 크게 변화하는 것으로 보고하였으며 조공극량이 많을수록 투수율이 높아진다고 하였다.

본 연구는 강원도 고성군 죽왕면 일대의 비산화지역, 산화후 비벌채지역, 산화후 조림지역, 산화후 벌채지역을 대상으로 산림환경변화에 따른 토양물리성(가비중, 투수성, 공극률) 및 토양화학성(유기물함량, 치환성 양이온함량, 양이온치환용량)을 비교 분석하여 산화지의 산림사업 방향과 관리 방법 등의 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구대상지역은 강원도 고성군 죽왕면 일대로 동경 128°30' 및 북위 38°20'에 위치하고 있으며, 1996년 4월 23일에 발생한 산불은 약 3,762ha의 광대한 면적을 연소시켰다(Figure 1). 본 지역을 식물구계로 보면 한반도 중부아구에 속하며(이우철과 임양재, 1978), Yim과 Kira(1975)에 따른 식물군계로 보면 냉대중부에 속하므로 조사지역의 산림대는 신갈나무(*Quercus mongolica*)대에 해당하지만 실제로는 소나무(*Pinus densiflora*)군락이 대부분을 점유하고 있는 것으로 보아서 인간간섭을 많이 받은 지역임을 알 수 있다. 또한 산불발생 전의 임상도에 따르면 침엽수림이 약 70% 정도로(산림청 임업연구원, 1996) 과거에 거의 소나무림이 지배적인 임상을 이루고 있었던 것으로 판단된다. 속초지역의 연평균 기온(1989~1998)은 12.6℃이고, 연평균 최고기온과 연평균 최저기온이 각각 33.8℃와 11.6℃이며, 연평균 강수량은 1,421.9mm로서 우리나라 연평균 강수량 1,274mm보다는 다소 높았다(기상청, 1998). 모암은 화강암으로 기암에서 모래로 풍화되어 불연속성 풍화과정을 거친 풍화암이며, 토양 또한 동일한 과정으로 형성된 사양토였다(산림청 임업연구원, 1996).

조사지역은 산불의 피해정도가 큰 수관화로 연소된 소나무림지역이고, 산불발생 후의 식생은 주로 영양기관의 재생과 산포종자의 유입으로 회복되었다. 산불발생 4년째의 지상부식생을 이루는 주요 구성종 및 상대우점치(Important value)는 신갈나무(100.9), 졸참나무(*Q. serrata*, 43.1), 참싸리(*Lespedeza crytorea*, 41.3), 진 달래(*Rhododendron mucronulatum*, 14.7), 철쭉꽃(*R. schlippenbachii*, 10.3), 큰 기름새(*Spodiopogon sibiricus*, 10.1), 산거울(*Carex humilis*, 7.1), 미역취(*Solidago virga-aurea* var. *asiatica*, 6.2), 청미래덩굴(*Smilax china*, 5.5), 아까시나무(*Robinia pseudo-acacia*, 5.2), 마타래(*Patrinia scabiosaefolia*, 4.8), 고사리(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*, 4.6), 불나무(*Rhus chinensis*, 4.4), 넓은잎의잎쭈(*Artemisia stolonifera*, 4.0), 뱀딸기(*Duchesnea chrysantha*, 2.2), 삼주(*Artactylodes japonica*, 2.1), 칩(*Pueraria thunbergiana*, 2.0) 등으로 나타났다(장인수, 1999). 또한 대조구는 오음산의 맞은편으로 산불의 영향이 전혀 미치지 않은 소나무림을 선정하였다.

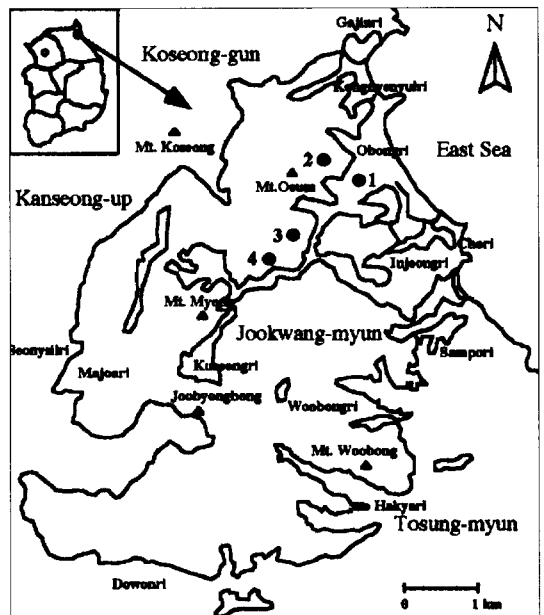


Figure 1. A map showing the study area and sample sites at Koseong, Kangwon

2. 토양시료 채취 및 분석

산화에 의한 산림환경의 변화정도를 측정하기 위하여 산림식생이 조성되어 있는 비산화지(NF)와 산림이 연소한 산화지로 분류하였다. 산화지는 산화가 발생한 후 조사시까지 방치해 놓은 상태인 지역(FNC) 및 복구작업을 위하여 개벌을 실시하고 방치해 둔 지역(FC)과 개벌 후 조림을 실시한 지역(FCP)으로 분류하여 시험조사구를 설정하였다. 각 시험조사구별로 지형, 모암, 표고, 방위, 배수상태, 침식상태 등의 입지환경에 관한 사항들과 식생의 분포 및 구성상태를 고려하여 상층임상, 하층식생 및 지피식생 등의 피복상태에 관한 사항들을 조사 및 분류하여 동질적인 요소들로 구성된 대표적인 입지 내에서 토양시료를 채취 분석하기 위하여 전체를 대표할 수 있는 지점에 1.0m 깊이의 시항을 파고 토양단면 조사를 실시하였다. 토양단면 조사는 각 층위별로 토심, 토색, 토양구조, 수습상태, 침식정도, 풍화정도 등을 현지에서 조사하고, 이화학적 특성을 분석하기 위하여 표토(0~10cm) 및 심토(20~30cm)로 나누어 각각 토양을 채취하였다.

토양의 물리적 특성은 석력함량, 입경분석(Pippett법, 조성진 등, 1998), 토성, 가비중 및 투수성을 측정하였다. 가비중은 현지에서 체적 100cm³의 금속제 시료채취원통(진현오 등, 1998)을 사용하

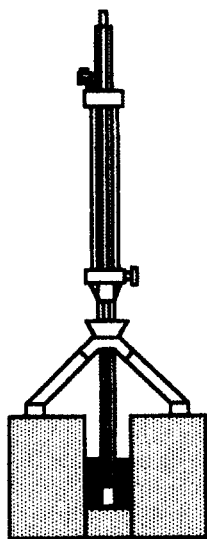


Figure 2. Diagram of Guelph permeameter apparatus in field

여 3회 반복하였다. 공극량은 조공극과 세공극으로 나누어 측정하였는데, 세공극은 토양이 중력에 견디어 저장할 수 있는 최대의 수분함량으로 24시간 자연 배수 후 측정하였고, 조공극은 전공극량에서 세공극량을 차감하였다(조성진 등, 1998). 토양투수성은 Guelph Soil Permeameter(Soil Moisture Ltd. Model 2800K1)를 사용하여 표토와 심토에서 각각 3회 반복하여 측정하였고, Field Saturated Hydraulic Conductivity 값을 계산하였다(Figure 2). 토양의 화학적 특성은 토양 pH(유리전극법), 유기물함량(Tyurin법), 전질소함량(Kjeldahl법), 양이온치환용량, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺(원자흡광분석기)를 측정하였다.

본 실험에서 측정된 결과는 통계프로그램 SPSS PC+를 이용하여 유의수준 5%에서 Duncun 다중 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 토양의 물리성 변화

(1) 입경조성 및 토성 변화

산화에 의한 산림환경 변화는 매우 크게 작용하게 되는데, 이 중 산림토양의 물리적 조건에 영향을 주어 토양층 내부의 입자들의 이동 및 공극함량에 큰 변화를 일으킨다. 산화 발생 후 4년이 경과하는 동안에 조사지역의 경사가 15~23%인 상태에서 피해목의 제거를 실시한 지역의 표토는 이미 전체적으로 심하게 침식현상이 진행되고 있었다.

Table 1은 각 조사지역의 입경분석 및 토성을 토심별로 나타내었다. 전조사지역의 토성은 모두 사질 식양토로 구성되어 있으나, 산화 및 벌채에 의한 영향으로 입경조성이 달라지고 있음을 알 수 있다. 즉, 비산화지역은 표토의 모래함량이 심토보다 낮았고, 점토함량은 높았지만, 산화지역은 모두 표토의 모래함량이 심토에 비해 낮았다. 이는 산화 후 지피식생의 제거로 강우시 우적침식이 유발되어 미세입자인 점토질이 표토부분에서 면상침식에 의해 토층 하부로 이동되었기 때문으로 사료된다.

(2) 토양가비중 및 토양투수성 변화

토양가비중은 공극을 포함한 토양밀도로서 토양구조를 나타내는 중요한 요소이다. Figure 3에서 보면 전조사지역에서 가비중은 표토가 심토에 비해 모두 낮았으며, 비산화지에서 표토(1.51g/cm³) 및 심토

Table 1. Soil separate and soil texture of top soil layer and sub soil layer at Koseong, Kangwon

Sample	Top soil layer (0~10cm)				Sub soil layer (20~30cm)			
	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil texture	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil texture
NF	69.76	1.18	29.06	Sandy clay loam	64.86	2.51	32.68	Sandy clay loam
FNC	59.79	1.91	36.30	Sandy clay loam	70.32	1.81	27.87	Sandy clay loam
FCP	69.87	1.63	28.50	Sandy clay loam	74.16	0.51	25.33	Sandy clay loam
FC	60.73	2.89	36.38	Sandy clay loam	64.86	2.51	32.68	Sandy clay loam

*Abbreviations: NF(no fire), FNC(fire and no cutting), FCP(fire, cutting and planting) and FC(fire and cutting)

(1.76g/cm³)가 다른 산화지역(표토: 1.67~1.76g/cm³, 심토: 1.79~1.93g/cm³)에 비해 가장 낮게 나타나고 있었다. 또한 지역간에는 비산화지>산화후 비벌채지>산화후 조림지>산화후 벌채지 순으로 나타나 산화후 가비중의 변화가 나타나고 있었다. 일반적으로 가비중은 사토에서는 높고, 유기물함량이나 입단구조가 잘된 토양에서는 낮으며, 토양의

가비중이 증가하면 공극율과 투수성이 감소한다.

토양투수성은 가비중과 역의 관계를 가지고 있어 가비중이 증가하면 투수성은 불량해진다. Figure 3에서 보면 비산화지에서 표토(0.678cm/min) 및 심토(0.325cm/min) 모두 가장 높았으며, 산화지는 표토가 0.524~0.346cm/min, 심토가 0.114~0.054cm/min로 지역간에는 토양가비중의 순과 일치하였다.

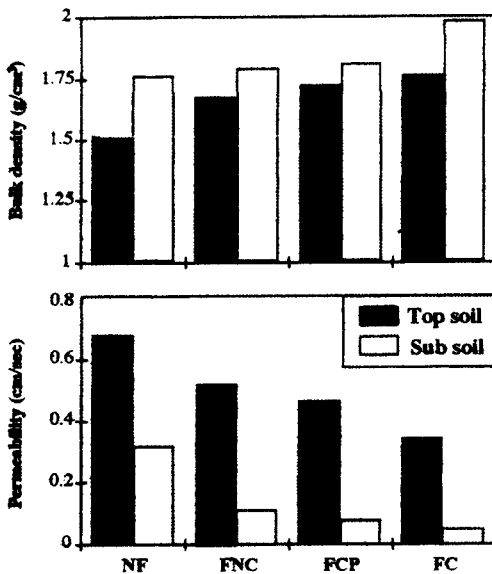


Figure 3. Bulk density and permeability of top soil layer and sub soil layer at Koseong, Kangwon. Abbreviations: NF(no fire), FNC(fire and no cutting), FCP(fire, cutting and planting) and FC(fire and cutting)

(3) 토양공극량 변화

토양공극을 전공극(공극률), 조공극(비모세관공극) 및 세공극(모세관공극)으로 분류하여 측정한 결과는 Figure 4와 같다. 전공극량은 비산화지에서 표토 및 심토가 각각 37.2%, 37.1%, 산화후 비벌채지가 35.2%, 35.8%, 산화후 조림지가 38.5%, 33.2%, 산화후 벌채지가 39.0%, 35.2%으로 나타났다. 그러나 조공극량은 비산화지의 표토(30.0%) 및 심토(37.1%)에서 모두 산화지(표토: 25.4~21.8%, 심토: 25.5~22.1%)에 비해 가장 높았으며, 세공극량은 산화지역(표토: 9.8~17.2%, 심토: 10.3~13.1%)이 비산화지역(표토: 7.2%, 심토: 7.6%)에 비해 높게 나타났다. 이것은 산화로 소실된 피복식생의 제거 때문에 표토부분에서 미세입자의 이동의 영향을 받은 것으로 사료된다. 특히 산화후의 비벌채로 인하여 다소의 식생피복이 조성되어 있어 강우강도에 대한 우적침식의 차단효과에 따른 침식의 감소가 효과가 있는 것으로 나타났다.

이러한 산화에 의한 토양물리성의 영향은 산화지에서 표토의 공극분포가 변화한다고 보고(이현호와 이영우, 1996)와 남이 등(1998)의 산화지에 대한 지형적인 특징에 따른 변화 결과와 일치하고 있다.

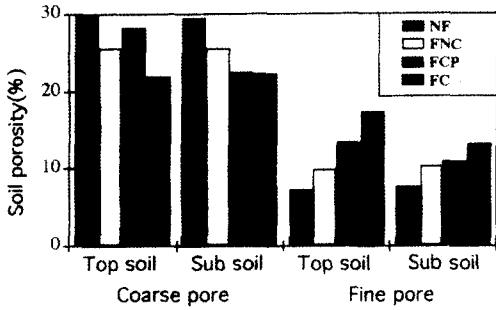


Figure 4. Soil porosity of coarse and fine pore of top soil layer and sub soil layer at Koseong, Kangwon. Abbreviations: NF(no fire), FNC(fire and no cutting), FCP(fire, cutting and planting) and FC(fire and cutting)

2. 토양의 화학성 변화

(1) 토양 pH, 유기물함량, 전질소함량 변화

토양 pH, 유기물함량 및 전질소함량의 변화를 측정 한 결과는 Figure 5와 같다. 토양 pH는 비산화지역과 산화후 비벌채지역이 산화후 벌채지역과 조림지역보다 표토 및 심토 모두 높게 나타났다. 이러한 현상은 치환성 양이온 중 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} 등이 산화후 벌채와 같은 산림환경 변화로 인한 토양 침식이 주된 원인으로 분석되며, Beaton(1959)과 Tarran(1956)의 산불발생 후 토양 pH가 낮아졌다는 보고와 일치하고 있다. 또한 유기물함량과 전질소함량 변화도 표토와 심토 모두 비산화지역 < 산화후 비벌채지역 > 산화후 조림지역 < 산화후 벌채지역의 순이었으며, 이는 우보명과 권태호(1983)의 보고와 같이 유기물함량의 변화는 산화후 일시적으로 증가하다가 토양침식 등의 지형적 및 기후적인 영향으로 인해 감소되었다는 보고와 일치하고 있다.

전질소함량은 산화강도와 시간에 따라 다양한 결과를 나타내지만 본 조사지역에서는 토양 내 대부분의 주요 질소공급원인 유기물함량의 변화와 같은 경향을 나타내고 있다. 또한 Mann 등(1988)은 산림벌채는 단기간 내 유기물 손실을 유도하고 토양 내 전질소와 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} 등의 양이온 유실을 초래하며 장기적으로 산림생산성에 영향을 미친다는 보고와 일치하고 있다.

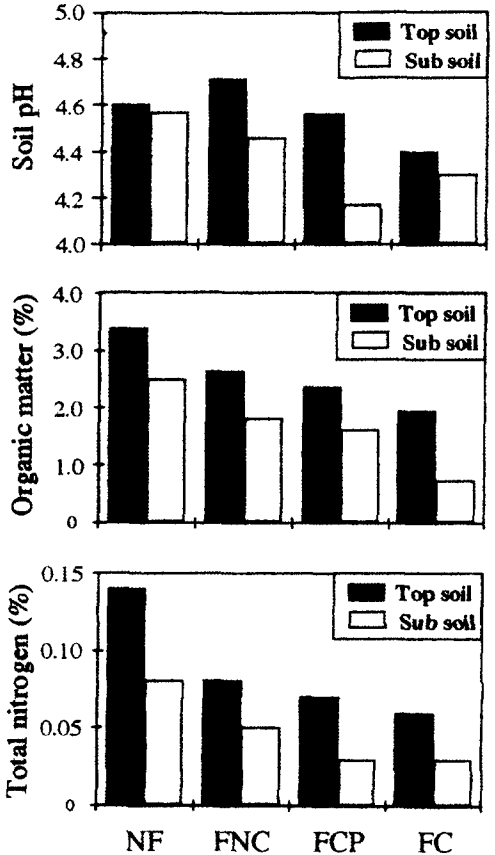


Figure 5. Soil pH, organic matter and total nitrogen content of top soil layer and sub soil layer at Koseong, Kangwon. Abbreviations: NF(no fire), FNC(fire and no cutting), FCP(fire, cutting and planting) and FC(fire and cutting)

(2) 양이온치환용량 및 치환성 양이온함량 변화

양이온치환용량과 치환성 양이온 중 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 등은 모두 표토가 심토보다 높게 나타났으며, 지역별로는 비산화지역 < 산화후 비벌채지역 > 산화후 조림지역 < 산화후 벌채지역 순이었다(Table 2). 이는 Pritchett(1987)의 보고와 일치하는 것으로 산화강도가 크고 연소시간이 길었던 것이 양이온 변화에 크게 영향을 준 것으로 사료된다. 이와 같이 토양산성화를 완충시켜 주는 치환성 양이온인 Ca, K, Mg, Na 등은 벌채지역이 비벌채지역보다 낮게 나타난 것은 박재현(1995)의 결과와도 일치하며, 이는 토양완충력의 감소로 평가된다.

Table 2. Cation exchange capacity, Ca, K, Mg, Na concentrations of top soil layer and sub soil layer at Koseong, Kangwon (Unit: me/100g)

Sites	Soil depth	CEC	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
No fire	Top Soil	15.18	1.49	0.14	0.41	0.38
	Sub Soil	13.20	0.48	0.17	0.18	0.34
	AVG	14.19a	0.98a	0.16b	0.29a	0.36a
Fire and no cutting	Top Soil	12.98	0.59	0.23	0.33	0.32
	Sub Soil	11.66	0.44	0.20	0.15	0.25
	AVG	12.32bc	0.52b	0.22a	0.24a	0.28b
Fire, cutting and planting	Top Soil	10.96	0.56	0.18	0.14	0.49
	Sub Soil	9.02	0.45	0.21	0.11	0.26
	AVG	9.99c	0.51b	0.20a	0.13b	0.38a
Fire and cutting	Top Soil	10.56	0.48	0.12	0.15	0.41
	Sub Soil	8.35	0.20	0.13	0.01	0.20
	AVG	9.46c	0.34c	0.13b	0.08b	0.30b

* Value followed by the different letters within a column for CEC and exchangeable cations are significantly different according to the Duncun's new multiple range test(p<0.05).

이상의 결과를 종합하면 산화 등의 자연재해적 양향에 대한 생육조건에 알맞은 산림토양의 유지면에서 불 때 미관상의 이유로 벌채 등 산림환경 변화를 시도할 경우 토양환경에 치명적인 영향을 초래할 것으로 사료된다.

인용문헌

- 기상청(1998) 한국의 기후표(I). 일별 및 순별 평균값(1989~1998).
- 남이, 민일식, 장관순, 박관수, 이운원(1998) 산화에 의한 산림환경변화가 토양의 특성에 미치는 영향. 한국환경토양학회지 3(2): 61-70.
- 박재현(1995) 백운산 성숙활엽수림 벌채수확지에서 벌출 직후의 환경변화. 한국임학회지 84(2): 465-478.
- 산림청 임업연구원(1992) 산림의 공익적 기능의 계량화 연구(II). 162쪽.
- 산림청 임업연구원(1996) 고성 산불지역 생태조사 결과보고서. 169쪽.
- 우보명, 권태호(1983) 황폐산지에서 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구. 한국임학회지 62: 43-52.
- 이우철, 임양재(1978) 한반도 관속식물의 분포에 관한 연구. 한국식물학회지 8(부록): 1-33.
- 이창복(1979) 대한식물도감. 향문사, 서울. 990쪽.
- 이현호, 이영우(1994) 지피상태에 따른 임지와 수지유 특성(I). 한국임학회지 83(3): 391-399.
- 장인수(1999) 고성 산화적지의 초기 식생 변화과정에 미치는 매토종자집단의 영향. 대전대학교 대학원 박사학위논문 158쪽.
- 조성진, 박천서, 엄대익(1999) 토양학. 향문사, 서울. 396쪽.
- 진현오, 이명중, 신영오, 김연재, 권상근(1999) 삼림토양학. 향문사, 서울. 324쪽.
- 환경부(1997) 금강소나무 분포 정밀조사 결과보고서. 삼진인쇄 91쪽.
- 小林敏男(1982) 森林の伐採と土壤孔隙組成の變化. 農林水産廳林試年報. 東京. pp. 55-62.
- 有光一登(1987) 森林土壤の保水のしくみ. 創文株式會社. 東京. 199pp.
- 竹下敬司(1981) 森林土壤の水源保全機能に關する解析と評價. IUFRO 論文集 17: 53-57.
- Ahlgren, I. F. and C. E. Ahlgren(1960) Ecological effects of forest fires. Botanical Review 26: 483-533.
- Anderson, H. C. and A. W. Bailey(1980) Effects of annual burning on vegetation in the aspen parkland of east central Alberta. Can. J. Bot. 58: 958-996.
- 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.
- Daubeunmire, R.(1968) Ecology of fire in grasslands.

- Adv. Ecol. Res. 5: 209-266.
- Mann, L. K., D. W. Johnson and D. C. West(1998) Effects of whole-tree and stem-only clearcutting of post-harvest hydrologic losses, nutrient capital and regrowth. *Forest Science* 34(2): 412-428.
- Prichett, W. L.(1987) Properties and management of forest soil. John Wiley & Sons. New York. 494pp.
- Rab, M. A.(1996) Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus regnans* forest of Southeastern Australia. *For. Ecol. Manage.* 84: 159-176.
- Raison, R. J.(1979) Modification of the soil environment by vegetation fires with particular reference to nitro transformations; A review. *Plant and Soil* 51: 73-108.
- Tarrant, R. F. (1956) Effects of slash burning on some soils of the Douglas-fir region. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20: 408-411.
- Vogl, P. A.(1974) Effects of forest fires on soil. In Kozlowski, T. T. and C. E. Ahlgren. (Eds.) *Fire and ecosystem*. Academic Press, New York, pp. 8-44.
- Yim, Y. J. and T. Kira(1975) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula III. Distribution of tree along the thermal gradient. *Jap. J. Ecol.* 25: 77-88.