

대전광역시 계족산 산화지의 토양 변화와 식생 현황

이항구¹ · 박관수^{1*} · 이상진¹ · 김길남¹ · 박범환¹ · 고영웅¹ · 윤준영¹ · 김현숙¹ · 이상혁¹ · 강길남²

¹충남대학교 산림자원학과, ²충남산림환경연구소

A change of soil properties and forest vegetation present in burned areas in Geyjoksan, Daejeon metropolitan city

Hang-Goo Lee¹, Gwan-Soo Park^{1*}, Sang-Jin Lee¹, Kil-Nam Kim¹, Beom-Hwan Park¹, Young-Woong Ko¹,
Jun-Young Yoon¹, Hyoun-Sook Kim¹, Sang-Hyuk Lee¹, Kil-Nam Kang²

¹Department of Environment Forestry Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Forest Environment Research Institute

Received on 5 February 2011, revised on 22 February 2011, accepted on 9 March 2011

Abstract : This study was conducted to investigate changes on burned areas after a forest fire in Geyjoksan which occurred in April 2000. Both soil physicochemical properties and vegetation present were analyzed in burned and unburned sites of *pinus densiflora* according to two slope aspects (south and north-facing slopes). The results of the analysis are as follows. The appearance species of vegetation were 21, 15 and 18 for burned site, burned site-1 and burned site-2 of *pinus densiflora* community respectively, indicating that the occurrence of forest fire and slope aspects affect vegetation appearance. The pH values at 0~10cm soil depth of unburned and burned sites of *pinus densiflora* community were 5.04 and 5.12 respectively with no significant difference between them. Mean organic matter, total nitrogen and available P also had no significant difference. This results indicate that the forest recover its former pH, total nitrogen, mean organic matter and available P over time after a forest fire. North-facing slope had relatively higher soil water content thus implying that its pH values of soil lower than south-facing slope. On the other hand, south-facing slope had high organic matter and available P content of soil as compared to north-facing slope. With south facing slope having high water contents, humus was accumulated due to slow organic matter decomposition. The pH values also decreased due to organic acids from humus. However, we observed that organic matter and P concentration in soil increased.

Key words : Forest fire, Vegetation, Soil

I. 서론

우리나라에서 발생하는 산불의 대부분은 인간에 의해 발생하고 있다. 인간에 의해 발생하는 산불의 발생 원인을 빈도별로 구분하였을 때 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것은 입산자의 실화와 논·밭두렁 소각에 의한 산불 발생이 연평균 63%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다(Lee 등, 2001).

산불(forest fire)은 산림생태계를 직접적으로 파괴시키며, 산림환경을 크게 변화시킨다. 산불이 발생하면 목재 손

실뿐만 아니라 종자, 천연갱신지의 치수, 인공조림지의 유령임분 등이 큰 피해를 받으며, 나무들이 고사하지 않더라도 생장력이 쇠퇴하고, 재질이 훼손된다. 이러한 피해목은 다시 병충해의 발생을 유발하게 되고, 야생조소의 보급자리를 파괴시킨다(Kang 등, 1996). 또한, 산불은 유기층(forest floor)의 대부분과 표토를 태워서 임상 노출에 의한 유거수 증가와 토양침식을 발생시키며, 토양의 이화학적 특성과 식생 구조를 일순간에 변화시킨다.

산불이 발생한 직후에는 동물들의 서식처, 먹이 환경 등이 파괴되지만, 시간이 지나면서 초본류나 관목 등에 의한 1차 생산이 증가하여 초식동물의 생산력이 산불 발생 전 이상으로 증가하게 된다. 이러한 현상은 산불로 인한 급격

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-7836

E-mail address: gspark@cnu.ac.kr

한 생태계 내 생물지화학적 순환의 변화 때문이다(Park 등, 2007).

산불의 피해는 앞서 언급 하였듯이 임목의 전소 및 고사로 인한 급전적 피해 이외에 산림 내 존재하는 수목, 초본, 동물, 곤충 등의 산림생태계 구성 요소를 일순간에 소멸시켜 생물지화학적 순환 사이클을 파괴하기도 한다. 이러한 생물지화학적 순환의 파괴는 토양 환경과 식물생육 환경에 악영향을 미쳐 건전한 산림으로서의 기능을 상실하게 된다.

산림의 가치는 비단 임목을 목재로 활용하는 것 이외에도 수려한 경관 제공 및 생태계보전 기능, 수원 함양을 통한 홍수 조절 및 임목 뿌리의 토양 고정 효과로 인한 침식 및 산사태 방지와 같은 재난 방지 기능, 레크리에이션 및 인간의 건강 증진을 돕는 보건휴양기능 등 다양한 공익적 가치를 제공하고 있다.

이처럼 다양한 기능을 하고 있는 산림이 산불에 의하여 훼손되었을 경우 효과적인 관리를 통하여 건전한 산림으로 가꿔야한다. 산화지역을 건전한 산림으로 재탄생시키기 위해서는 동식물 생육의 기반이 되는 산림토양의 변화에 대한 연구가 필요하며, 먹이사슬에서 1차 집단에 위치한 생산자, 즉 식물상의 변화에 대한 연구가 동반되어야 한다.

지금까지 산불 발생이 산림토양의 이화학적 성질과 식생에 어떠한 영향을 보이는지에 관하여 많은 연구가 시도되었으나 산화 후 오랜 기간이 경과한 지역의 사면의 방향과 토양 깊이에 따른 토양의 화학적 성질 변화와 식생과의 관계에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 대전광역시 대덕구에 위치한 계족산에서 2000년 4월에 산불이 발생한 후 소나무 조림이 이루어진 지역과 주변에 위치한 비산화 지역(소나무군락)에서 토양의 이화학적 특성 및 식생 현황을 비교·분석하고자 하였다. 또한 산화지역의 남사면과 북사면에 대한 토양 및 식생 환경을 비교·분석한 정보를 바탕으로 향후 산화지역을 효율적으로 관리하는데 있어 필요한 정보를 제공하고자 시행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 조사지인 계족산은 해발 429 m로 대전광역시 대덕구와 동구에 걸쳐 있으며, 봉황산이라고 불리기도 한다. 산줄기가 닭발처럼 퍼져 나갔다 하여 계족산이라고 부

르며, 사방 원형의 산봉우리로 이루어져 금병산, 우산봉, 갑하산으로 산줄기가 이어진다. 연구를 실시한 대전광역시의 1971년부터 2000년까지의 평균기온은 12.3°C이며, 평균 강수량은 1,353.8 mm로 연중 7~8월에 집중된다(Fig. 1). 본 연구의 조사구역의 GPS 좌표, 방위, 경사, 해발고는 Fig. 2와 Table 1과 같다.

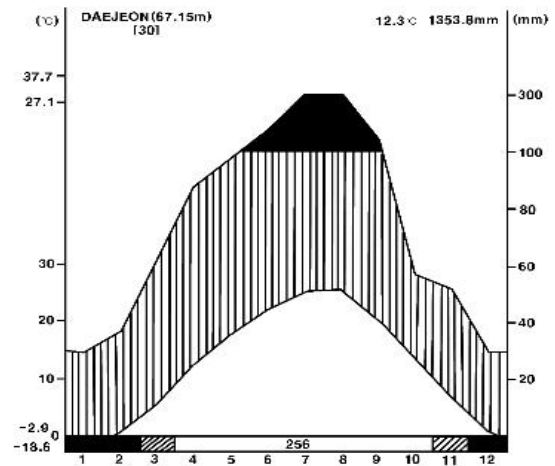


Fig. 1. Climate diagram of Daejeon Metropolitan City (Meteorological an annual report 1971~2000).

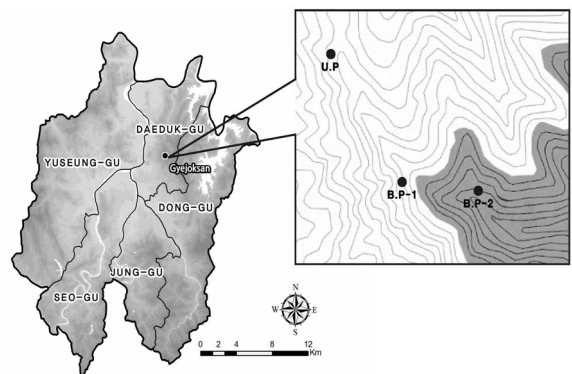


Fig. 2. Sampling area in Gyejoksan.

Table 1. General description of study sites.

Sites*	Altitude (m)	G.P.S point		Slope (°)	Aspect (°)
		latitude	longitude		
U.P	255	36°23' 11.6"	127°25' 58.1"	20	250
B.P-1	280	36°23' 08.6"	127°26' 00.3"	25	220
B.P-2	317	36°23' 05.5"	127°26' 04.5"	32	20

*U.P : Unburned of *Pinus Densiflora*, B.P-1 : Burned of *Pinus Densiflora*-1, B.P-2 : Burned of *Pinus Densiflora*-2,

2. 조사 및 분석방법

2.1. 식생 조사 및 분석

계족산 비산화지와 산화지 식생 현황 파악을 위하여 2010년 8월에 조사를 실시하였다. 소나무림에서 15 m × 15 m 크기의 방형구를 설치하여 비산화지 1개, 산화지 2개, 총 3개의 조사구를 대상으로 식생 조사를 실시하였다. 방형구내 출현종은 Zurich-Montpellier 학파의 식물사회학적 조사방법(Braun-Blanquet, 1964)에 의거하여 계층별로 교목층·아교목층·관목층·초본층 등으로 구분하여 기록하였고, 교목층의 평균 수고와 각 층위별 피도를 기록하였다. 각 계층별 출현종의 우점도는 Braun-Blanquet(1964)의 7단계 구분을 변형한 Dierssen(1990)의 9단계 구분법을 적용하였다(Table 2). 입지환경에 조건 분석을 위하여 방위·지형 특성·경사·해발고도 등을 조사하였다.

2.2 토양 조사 및 분석

① 샘플 채취 방법

토양의 화학적 분석을 위한 토양 샘플은 방형구내에

0~10 cm, 10~20 cm, 그리고 20~30 cm의 토양 깊이로 각 5개씩, 총 90개의 샘플을 채취하였다. 채취 방법은 삽과 스틸자를 이용하여 토양 단면을 조사한 후 휴대용 토양 샘플러를 활용하였다(Fig. 3). 채취한 샘플은 밀폐용 지퍼백에 담아 아이스박스로 실험실까지 운반하였다. 운반한 토양은 넓게 펴서 3~4일 정도 음지에서 자연건조를 시킨 후 체를 이용하여 2 mm 초과와 이하의 토양으로 분리하여 측정하였다.

② 화학적 특성 분석

토양의 화학적 특성 분석을 위하여 채취한 샘플을 음지에서 자연 건조 시킨 후 2 mm 체로 친 후 분석용 시료로 이용하였다. 토양 pH 분석은 1:5 법, 유기물 함량(%) 분석은 Walkely-Black wet oxidation 법, 전질소 함량(%) 분석은 Macro-Kjeldahl 법, 유효인산 함량(ppm)은 Lancaster 법, 치환성 양이온(K, Ca, Mg) 함량(cmol⁺/kg)은 ICP를 이용하였고, CEC는 Ammonium saturate 법으로 분석하였다. 분석된 데이터는 SAS 통계 프로그램을 이용하여 유의성 분석을 실시하였으며, 평균값 비교를 위하여 0.05 수준에서 Duncan multiple range test를 실시하였다.

Table 2. Species dominance grade of Dierssen(1990).

Dominance	Individual	Coverage
r	1~2	1% <
+	2~5	5% <
1	6~50	5% <
2m	> 50	5% <
2a	any number	5~12.5%
2b	any number	12.5~25%
3	any number	25~50%
4	any number	50~75%
5	any number	> 75%



Fig. 3. Soil sampling.

III. 결과 및 고찰

1. 소나무군락의 비산화지와 산화지의 식생 현황

계족산 소나무군락의 비산화지와 산화지 지역의 식생 현황은 다음과 같다. 소나무군락 비산화지는 남서사면(250°)에 위치하고 출현 종수는 총 35 분류군으로 조사되었으며 교목층의 평균 수고는 12 m로 소나무가 우점하고 싸리, 아까시나무, 밤나무, 산철쭉, 주름조개풀, 기름새, 역새, 담쟁이덩굴 등이 높은 피도로 혼재하였다. 산화지-1은 남서사면(250°)에 산화지-2는 북동사면(20°)에 위치하며, 출현 종수는 산화지-1은 20 분류군, 산화지-2는 28분류군으로 조사되었으며 교목층의 평균 수고는 두 지역 모두 8 m로 소나무 이외에 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무의 피도가 높게 나타났다. 이는 산불이 발생 한 후 소나무를 식재하였으나 참나무류 맹아에 의하여 참나무류의 피도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 따라서 향후 소나무의 관리가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다. 산화지-1과 산화지-2에서는 소나무가 우점하고 싸리, 참싸리, 굴참나무, 졸참나무,

신갈나무, 털진달래, 진달래, 국수나무, 산초나무, 그늘사초, 기름새, 억새, 족제비고사리 등이 혼재하였다.

2. 소나무군락 비산화지와 산화지 토양의 화학적 특성

산불이 발생하면 표토층의 pH가 높아진다고 알려져 있으며(Woo와 Lee, 1989; Mun과 Choung, 1996, Austin과 Baisinger, 1955; Douglass와 Ballard, 1971), 그 원인은 재의 발생으로 증가하는 치환성 양이온 때문인 것으로 알려져 있다(Raison 1979; DeBano 1991; Daubemire, 1968; Park과 Kim, 1981). 하지만 본 연구대상지는 산불이 발생한지 10년이 경과한 지역으로 소나무군락의 비산화지와 사면 방향이 동일한 산화지-1의 토양 깊이별 pH는 두 지역간에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 산불 발생 후 pH가 증가하였다가 시간이 경과함에 따라 차츰 감소한다는 Woo와 Lee(1989)의 보고와 일치하는 것으로 나타났다.

Paul과 Clark(1996)는 사면 방향에 따른 토양 pH 차이는 온도나 습도, 유기물, 하층식생과 같은 환경요인이 토양 산성도에 영향을 미친다고 하였다. 사면방향이 서로 반대인 산화지-1(남사면)과 산화지-2(북사면)의 0~10 cm 깊이 토양에서 각각 5.12와 4.83으로 평균값의 차이를 보이며, 유의적인 차이가 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 Noh(2006)이 보고한 서울시 아까시나무림에서 남사면보다 북사면에서 pH가 낮게 나타났다는 결과와 일치하였다. 이는 북동사면에 위치한 산화지-2에서 산화지-1 보다 상대적으로 수분함량이 높고 광량이 낮아 유기물 분해속도가 느려 부식이 집적되면서 발생하는 유기산이 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다.

Table 3. pH(1:5) at 0~10 cm, 10~20 cm and 20~30 cm soil depths in the unburned and burned of *Pinus densiflora* stands.

Sites ¹ Depths	U.P	B.P-1	B.P-2
0-10(cm)	5.04±0.12a*	5.12±0.14a	4.83±0.10b
10-20(cm)	5.02±0.08a	5.04±0.25a	4.82±0.10a
20-30(cm)	4.92±0.07a	4.92±0.23a	4.76±0.11a

¹U.P : Unburned of *Pinus densiflora*, B.P-1 : Burned of *Pinus densiflora*-1, B.P-2 : Burned of *Pinus densiflora*-2

*Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

소나무군락의 비산화지와 산화지-1의 0~10 cm 깊이에서 유기물 함량은 각각 2.25%와 2.84%로 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 4). 이는 일반적으로 산불이 발생한 직후 유기물 함량은 증가하였다가 시간이 경과함에 따라 차츰 감소한다는 보고와 일치하였다(DeBano 1991; Woo와 Lee, 1989; Woo 등, 1985).

사면의 방향이 서로 반대인 산화지-1과 산화지-2의 0~10 cm 깊이 토양에서 유기물 함량은 평균값의 차이를 보이고 있으며, 유의적인 차이도 나타났다. 이는 산화지-2가 북사면에 위치하여 토양 수분함량이 높고 광량이 낮아 낙엽, 낙지 등의 분해속도가 느려지면서 부식이 집적되었기 때문으로 판단된다.

일반적으로 산불이 발생하면 산불의 강도와 존속 시간 등에 따라 토양 내 질소 함량은 감소하거나 큰 변화가 없거나 또는 유기층의 산화로 인한 재(ash)의 토양 내 유입으로 인해 증가하는 것으로 보고되고 있다(Wright과 Bailey, 1982).

본 연구에서는 소나무군락 비산화지와 산화지-1, 2의 0~10cm 깊이 토양에서 전질소 함량을 분석한 결과 비산화지에서 0.07%, 산화지-1에서 0.08%, 그리고 산화지-2에서 0.09%로 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 5).

비산화지와 산화지에서 토심이 깊어짐에 따라 전질소 함량의 평균값은 통계적으로 유의적인 차이를 보였다. 토양 내 전질소 함량은 유기물이 분해되면서 공급된다고 알려져 있으며, 산화지-2의 토심 10~20 cm와 20~30 cm 깊이에서 유기물 함량이 높았기 때문으로 사료된다.

산불이 발생하면 낙엽과 식물의 수관층에 있던 상당한 양의 인이 미세한 재(ash)의 형태로 소실된다. 하지만 실제

Table 4. Organic matter concentrations(%) at 0~10 cm, 10~20 cm and 20~30 cm soil depths in the unburned and burned of *Pinus densiflora* stands.

Sites ¹ Depths	U.P	B.P-1	B.P-2
0-10(cm)	2.25±0.99b*	2.84±0.40b	4.25±0.34a
10-20(cm)	1.06±0.25b	1.56±0.34b	2.82±0.63a
20-30(cm)	0.65±0.19b	1.10±0.55ab	1.78±1.03a

¹U.P : Unburned of *Pinus densiflora*, B.P-1 : Burned of *Pinus densiflora*-1, B.P-2 : Burned of *Pinus densiflora*-2

*Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

Table 5. Total nitrogen concentrations(%) at 0~10 cm, 10~20 cm and 20~30 cm soil depths in the unburned and burned of *Pinus densiflora* stands.

Site ¹ Depths	U.P	B.P-1	B.P-2
0-10(cm)	0.07±0.03a*	0.08±0.01a	0.09±0.03a
10-20(cm)	0.04±0.01b	0.04±0.01b	0.08±0.01a
20-30(cm)	0.03±0.02b	0.03±0.01b	0.07±0.01a

¹U.P : Unburned of *Pinus densiflora*, B.P-1 : Burned of *Pinus densiflora*-1, B.P-2 : Burned of *Pinus densiflora*-2

*Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

Table 6. Available phosphorous concentrations(ppm) at 0~10 cm, 10~20 cm and 20~30 cm soil depths in the unburned and burned of *Pinus densiflora* stands.

Sites ¹ Depths	U.P	B.P-1	B.P-2
0-10(cm)	0.82±0.71a*	0.52±0.49a	0.69±0.39a
10-20(cm)	0.64±0.45a	0.72±0.34a	0.54±0.14a
20-30(cm)	0.53±0.15a	0.39±0.15a	0.53±0.20a

¹U.P : Unburned of *Pinus densiflora*, B.P-1 : Burned of *Pinus densiflora*-1, B.P-2 : Burned of *Pinus densiflora*-2

*Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

로는 산불에 의해 낙엽이나 식물체 속에 들어 있던 인이 회분의 형태로 토양에 이입되는 효과가 있기 때문에 토양의 인 함량이 증가한다고 보고되고 있다(Wright과 Bailey, 1982).

본 연구에서는 0~10 cm 토양깊이에서 비산화지가 산화지-1, 2 보다 상대적으로 높게 나타났지만 유의적인 차이는 발생하지 않았다(Table 9). 또한, 토심 10~20 cm, 20~30 cm 깊이에서는 지역 간에 평균값의 차이는 있었지만 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 이는 산불 경과 후 일정 시간이 지나면 유효인산의 함량은 점차 감소한다고 보고한 Oh 등(2001)의 연구 결과와 일치하였다.

토양 내 인산의 경우 산화지의 경우 북사면에 위치한 산화지-2가 남사면에 위치한 산화지-1에 비하여 평균값이 상대적으로 높은 경향을 보였다. 토양 내 인산은 낙엽, 낙지 등의 유기물이 분해되면서 유효인산의 50~60%를 공급한다고 알려져 있으며(Armson, 1977; Pritchett와 Fisher, 1987), 토양 수분함량이 상대적으로 높고 광량이 낮은 산화지-2에서 낙엽, 낙지 등의 유기물 분해속도가 상대적으로 느려져 부식이 집적되면서 유효인산의 공급원이 축적되

Table 7. Exchangeable K, Ca and Mg concentrations(cmol⁺/kg) at 0~10 cm, 10~20 cm and 20~30 cm soil depths in the unburned and burned of *Pinus densiflora* stands.

Depths (cm)	Sites ¹	K	Ca	Mg
		(cmol ⁺ /kg)		
0-10	U.P	0.31±0.11a*	1.24±0.31a	0.43±0.06a*
	B.P-1	0.20±0.04b	1.13±0.44a	0.28±0.08b
	B.P-2	0.16±0.03b	0.71±0.36a	0.22±0.11b
10-20	U.P	0.27±0.09a	1.07±0.23a	0.35±0.05a
	B.P-1	0.16±0.04b	0.82±0.33a	0.20±0.04b
	B.P-2	0.14±0.03b	0.34±0.11b	0.13±0.03c
20-30	U.P	0.18±0.06a	0.87±0.23a	0.32±0.10a
	B.P-1	0.14±0.02a	0.50±0.10b	0.16±0.04b
	B.P-2	0.16±0.06a	0.34±0.24b	0.12±0.06b

¹U.P : Unburned of *Pinus densiflora*, B.P-1 : Burned of *Pinus densiflora*-1, B.P-2 : Burned of *Pinus densiflora*-2

*Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

었기 때문에 사료된다.

산불이 발생하면 토양 내 Ca와 Mg가 증가한다고 알려져 있으며(Lewis, 1974; Chandler 등, 1983), Mun과 Choung (1996), Woo 등(1985)은 낙엽이나 식물체가 연소된 회분을 통해 Ca와 Mg가 토양에 이입되었기 때문이라고 하였다. 하지만 본 연구에서는 0~10 cm 깊이 토양에서 치환성 양이온(K, Ca, Mg) 함량은 비산화지에서 산화지-1과 산화지-2에서 보다 상대적으로 치환성 양이온(K, Ca, Mg) 함량이 높게 나타나는 경향을 보였다(Table 7). 이는 산화 후 빗물에 의해 치환성 양이온이 용탈되어 소실되었기 때문으로 사료되며, DeBano와 Conrad(1978)의 관목림에서 산불이 발생한 후 회분을 통해 토양에 Ca와 Mg가 증가되었지만, 증가된 양보다 훨씬 많은 양이 유출수에 의해 소실되었다는 연구 결과와 일치하였다.

IV. 결론

대전광역시 계족산 산불지역의 사면 방향에 따른 소나무 군락의 비산화지와 산화지의 식생현황과 토양 이화학적 특성을 조사·분석한 결과는 다음과 같다. 소나무군락 비산화지와 산화지-1의 0~10 cm 깊이 토양의 평균 pH는 각각 5.04와 5.12로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한 평균 유기물, 전질소, 유효인산 함량도 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 산불이 발생하면 재(ash) 등의 유입으로 인하

여 증가하였다가 차츰 감소한다는 보고와 일치하며, 산불이 발생한 후 일정 기간이 경과하면 토양의 pH, 유기물, 전질소, 그리고 유효인산의 함량은 산불 발생 전의 상태까지 복구 되는 것으로 판단된다. 산화지의 사면방향에 따른 토양의 평균 pH, 유기물, 유효인산 함량을 조사한 결과 토양 수분함량이 상대적으로 높은 북사면이 남사면에 비하여 pH가 낮고 유기물과 유효인산의 함량이 높은 것으로 나타났다. 이는 토양 수분함량이 높은 북사면에서 유기물 분해 속도가 느려 부식이 집적되면서 1) 부식에서 발생하는 유기산에 의하여 토양 pH가 낮아지고, 2) 부식이 집적되면서 토양 내 유기물 함량이 높아지며, 3) 이에 따라 유효인산 함량이 높아지는 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Armson KA. 1977. *Forest Soils*. University of Toronto Press, Toronto. 390 pp.
2. Austin RC, Basinger DH. 1955. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. *J. For.* 53: 275-280.
3. Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie*. Grundzge der Vegetation 3. Auf. Springer-Verlag, Wien, New York 865 pp.
4. Chandler C, Cheney P, Thomas P, Trabaud L, Williams D. 1983. *Fire in Forestry Vol. I. Forest Fire Behavior and Effects*. John Willey & Sons, New York. 450 pp.
5. Daubenmire R. 1968. Ecology of fire in grassland. *Adv. Ecol. Res.* 5: 209-266.
6. DeBano LF, Conrad CE. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology* 59: 489-497.
7. DeBano LF. 1991. *The Effect of Fire on Soil Properties. Proceedings- management and Productivity of Western- montane Forest Soils*. USDA Forest Service General Technical Report INT-280. pp. 151-156.
8. Dierssen K. 1990. *Einführung in die Pflanzensoziologie*. 241pp. Akademie-Verlag, Berlin.
9. Douglas CW, Ballard TM. 1971. Effects of fire on alpine plant communities in the North Cascades. *Washington. Ecology* 52: 1058-1064.
10. Kang JY, Kim SW, Kim YC, Kim JK, Kim JS, Park SC, Park YG, Lee SW, Lee SY, Lee CH, Lee HH, Jung SB, Hyun JO. 1996. *Conservation study of Forest Environment*. Hyangmoonsa. 306 pp. [in Korean]
11. Lee SY, Han SY, An SH, Oh JS, Jo MH, Kim MS. 2001. Regional Analysis of Forest Fire Occurrence Factors in Kangwon Province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 3(3): 135-142. [in Korean]
12. Lewis WM Jr. 1974. Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. *Ecology* 55: 1120-1127.
13. Meteorological Administration. 1971-2000. *Meteorological Annual Report*.
14. Mun HT, Choung YS. 1996. Effects of Forest Fire on Soil Nutrients in Pine Forests in Kosong, Kangwon Province. *Korean J. Ecol.* 19(5): 375-383. [in Korean]
15. Noh NJ. 2006. Symbiotic nitrogen fixation of south and north facing Robinia pseudoacacia stands in Seoul. Master thesis, Korea Univ., Seoul, Korea. 63 pp. [in Korea]
16. Oh KC, Kim JK, Jung WO, Min JK. 2001. The Changes of Forest Vegetation and Soil Environmental after Forest Fire. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 4(3): 19-29. [in Korean]
17. Park BK, Kim JH. 1981. Effects of Fire on Vegetation and Soil Nutrients in Mt. Chiak. *Korea Journal of Botany*. 24: 31-45. [in Korean]
18. Park GS, Song HK, Lee SW, Jang KS, Lee SW, Lee SJ. 2007. *Conservation Study of Green Area Environment*. Eecocity Agency. 281 pp. [in Korean]
19. Paul EA, Clark FE. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2nd ed. Academic Press. 216-242.
20. Pritchett WL, Fisher RF. 1987. *Properties and Management of Forest Soils*. 494 pp. John Wiley & Sons.
21. Raison RJ. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations : A review. *Plant and Soil* 51: 73-108.
22. Woo BM, Kwon TH, Ma HS, Lee HH, Lee JH. 1985. Effects of forest fire on the forest vegetation and soil(Ⅱ). *Jour. Korean For. Soc.* 68: 37-45. [in Korean]
23. Woo BM, Lee HH. 1989. Effects of forest fire on the forest vegetation and soil(Ⅱ). *Jour. Korean For. Soc.* 78(3): 302-313. [in Korean]
24. Wright HA, Bailey AW. 1982. *Fire Ecology: United States and Southern Canada*. John Wiley and Sons, New York.