

碩士學位論文

火入이 제주도 새별오름의 土壤 化學的
特性和 植生에 미치는 影響



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

環境工學 專攻

金 進

2005 年 12 月

碩士學位論文

火入이 제주도 새별오름의 土壤 化學的
特性과 植生에 미치는 影響

指導教授 吳 潤 根



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

金 進

2005 年 12 月

火入이 제주도 새별오름의 土壤 化學的 特性과 植生에 미치는 影響

指導教授 吳 潤 根

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2005 年 12 月

濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科 環境工學 專攻



JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

金 進

金 進의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2005 年 12 月

委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Summary	v
I. 서론	1
II. 조사 및 방법	4
1. 조사지역	4
2. 연구방법	4
1). 토양의 화학적 특성	4
2). 식생조사	9
III. 결과 및 고찰	10
1. 토양의 화학적 특성변화	10
1). pH	10
2). 유기물 함량	11



3). 총질소(T-N)	13
4). 유효 인산	14
5). 치환성 양이온 농도, 총 염기함량 및 양이온 치환용량(CEC) . .	16
2. 화입에 의한 식생변화	19
IV. 결론	25
VI. 참고문헌	26



List of Tables

Table 1. Characteristics of stands and mineral soils (0~20cm depth, n=6) in Saebyeol-Oreum parasitic cone, Jeju Island.

Table 2. Changes of cation contents (cmol^+/kg) in soil after wild fire in the study site (soil depth=0~20 cm, n=6).

Table 3. Relative important values of vascular plants distributed in quadrat



List of Figures

- Fig. 1. Map of soil sampling area of Saebyeol-Oreum parasitic cone in Jeju island.
- Fig. 2. Changes of soil pH value following wild-fire in Saebyeol -Oreum parasitic cone.
- Fig. 3. Changes of soil organic matter contents (%) following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone.
- Fig. 4. Changes of total nitrogen concentrations (%) following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone.
- Fig. 5. Changes of available phosphorus concentrations (%) following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone.
- Fig. 6. Relative important values of *Imperata cylindrica* var. *koenigii* and *Miscanthus sinensis*.

Effects of Artificial Fire on Soil Chemical Characteristics and Vegetation in Saebyeol-Oreum Parasitic Cone, Jeju Island

Jin Kim

*Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University*

 제주대학교 중앙도서관
Supervised by Professor Youn-Keun Oh

Summary

This study was conducted to determine the effects of artificial fire on the changes of soil chemical properties and vegetation in Saebyeol-Oreum parasitic cone, Jeju Island. The results were as follows:

1. Before the fire the pH of surface soil (0~20cm in depth) decreased with the decrease of altitude, while the pH of surface soil showed no

significant differences among different altitudes after the fire.

2. After the fire, organic matter content of the soil was lowest in the middle elevation. This is because flammable materials such as firewood and dried grass were used for setting fire.
3. Concentrations of total nitrogen and available phosphorus in the surface soil were not significantly different between before and after the fire.
4. After the fire, contents of potassium, calcium and magnesium except those of sodium showed significant differences among different elevations. Potassium and sodium contents decreased after the fire whereas calcium and magnesium contents increased. On the other hand, total base contents, cation exchange capacity, and base saturation did show significant differences among different elevations as well as between pre- and post-fire.
5. *Imperata cylindrica* var. *koenigii* and *Miscanthus sinensis* were dominant in Saebyeol-Oreum parasitic cone. After the fire, some of plants such as *Ligularia taquetii* newly appeared and importance value of most plants including *Imperata cylindrica* var. *koenigii* and *Miscanthus sinensis* changed. For a better understanding of the issue on the fire effects on vegetation change, further studies such as long-term monitoring should be needed.

I. 서 론

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

산불은 산림자원의 손실뿐만 아니라 생태계 교란과 토지 생산성 저하 및 토양침식과 양료유실 등으로 인한 생태계의 변화가 발생하는 2차적인 피해가 더욱 크다고 할 수 있다(이 등, 2000)

산불은 산림식생 및 토양의 이화학적 성질의 변화뿐만 아니라 산림생태계의 전반에 걸쳐 큰 변화를 초래하는 것으로 알려져 있다(Rab, 1996). 특히 토양의 이화학적 성질변화는 토양의 성질, 산불의 강도, 재의 집적 정도에 따라 다르게 나타나며, 또한 산화발생 후 경과시간이나 기상요인 등의 영향을 받기도 한다(DeBano, 1991).

표토층에서의 토양 pH의 변화는 토양내 유효 인산의 양이나 기타 중금속류와 같은 성분들의 유효도 등을 포함하는 토양과 식물체간의 복합적인 관계에 대해 여러 가지 형태로 영향을 미친다. 토양의 pH에 영향을 미치는 여러 가지가 있을 수 있으나 토양의 완충능력과 뿌리의 활력도 역시 토양과 식물의 뿌리에 인접되어 있는 부분에 영향을 미치는 주요 요인이 되기도 한다(Youssef와 Chino 1989). 그러나 산불발생으로 변화되는 산림토양의 화학적 성질변화는 산화 후 2~3년 이내에 산불이전의 상태로 회복되는 것으로 알려져 있다(우와 이, 1989). 산불발생은 낙엽, 낙지 등의 유입량의 감소와 함께 질소, 인산, 칼륨, 황 등과 같은 여러 가지 양료가 기체나 입자상태로 변화되어 입지로부터 손실을 초래하지만(Kauffman et al., 1993), 재의 양이나 토양

pH의 증가와 함께 임지의 양분수지와 양분유효도에 영향을 미치게 되며 궁극적으로는 산화지에 새로 발생한 식물생장에 영향을 미치기 때문에, 외국의 경우 산불의 효과적인 이용은 산림경영적인 관점에서 대단히 중요한 것으로 알려져 있다(이 등, 1997).

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(Peterson and Ryan, 1986; Uhl and Kauffman, 1990; Kauffman et al., 1993; 이 등, 1997).

이들 산화지의 산림생태계에는 인간을 비롯하여 여러 가지 생물들이 함께 살고 있기 때문에 이들 생물들이 살아가는 환경이 파괴되어 미래에 어떤 생물상으로 변화될지는 매우 흥미 있는 문제가 되고 있다.

이와 같은 산불은 특히 식물에 있어서는 우점종, 식물의 생활형, 주변환경, 식물그룹의 상대적 비율에 영향을 준다(Guo, 2001). 산림식생의 경우 산불에 의해 2차적인 초지 식생으로 퇴행천이가 이루어지고 점차 다년생 목본류의 침입과 경쟁에 의한 우점종의 변화 및 군락환경의 형성과정에 따라 2차 천이가 진행하게 된다(Gray and Odum, 1978). 뿐만 아니라 토양에도 변화가 일어나게 되는데 많은 연구자들의 산불지역을 대상으로 산불의 특성과 토양성분 및 생태계에 미치는 영향에 관해서 많은 연구가 수행되었다(Peterson & Ryan, 1986; Uhl & Kauffman, 1990; 김 등. 2002).

특히 초지산불에 대해서는 예로부터 목장에서는 진드기 등의 해충구제를 위하여 인위적인 화입이 이루어진 관계로 화입의 영향에 대한 연구가 다양하게 진행되었다. 이 등(2000)은 화입 후 식생회복과정에서 입지에 따른 식생조성과 생활형을 비교한 결과 이른 봄철에 고엽을 제거하여 신초의 신속한 재생을 돕고, 그루터기나 줄기 밑동부위가 검은색으로 변하여 지온상승을 초래함으로써 생육촉진이 가능하다고 하였으나, 유효양분이 파괴되며 유기물함량

이 저하되고, 건조나 추위에 피해를 입기 쉽다는 부정적인 견해도 있다(허 (1991)). 이처럼 아직까지도 화입의 초지식생에 미치는 영향이 긍정적인지 부정적인지를 명확히 구분하기는 어렵다.

식물군집생태학적 관점에서는 초지 산불의 경우 산화 후 대표적으로 참억새 등이 우점하는 초지를 형성한다(Hong 등, 1968). 이러한 초지식생은 생태계 천이에 있어서 초기단계의 우점군락으로 발달하고 유기 및 무기양분의 집적과 광조건 그리고 수분조건 등 군락환경조건의 변화에 따라 1차 생산성과 경쟁력 및 군락 안정성이 큰 산림의 극상림으로 변천하게 되는 것이다(Whittaker, 1965).

이러한 초지식생에 대한 연구는 목축이나 농경지로의 개발·이용에 목적을 두어 비교적 생산성이 높고 관리가 용이하도록 하기위한 연구로서 각종 초지의 생물자원의 특성과 생산성 및 생산제 과정, 그리고 물질순환에 대한 평가 등 많은 연구가 수행된 바 있다(Song and Park, 1979; Song and An, 1983). 그러나 초지에 대한 인위적인 화입 전과 후를 비교한 연구는 거의 없는 실정이며, 특히 제주도 오름의 토양환경에서의 연구는 전무한 실정이다

따라서 본 연구는 제주도 관광자원의 하나로 자리매김하고 있는 들불축제의 대표적인 지역인 새별오름의 들불농기 전과 후를 비교하여 초지 토양의 화학적 특성과 식생의 변화정도를 밝히고자 수행되었다.

II. 조사 및 방법

1. 조사지역

본 연구는 제주도 북제주군 애월읍 봉성리에 위치한 새별오름(북위 33° 21'47, 동경 126° 21'34, 평균 해발고 519m)에서 수행되었다. 정상부를 중심으로 서쪽과 북쪽은 사면의 경사변화가 다양하고 관목지역이 있으며, 남쪽과 동쪽은 다른 사면에 비해 경사변화가 균일한 초지대를 이루고 있다. 이 초지대는 참억새, 띠 등이 우점하며, 음력 정월보름에 들불축제가 열려 화입이 이루어진다. 들불축제 시 화입은 남쪽사면의 전 지역에 걸쳐 이루어지는데, 경사가 비교적 급하고 구엽(舊葉)이 골고루 있어 불이 빠르게 번지고 지표의 구엽만을 태우게 되어 비교적 약하게 화입이 이루어진다. 그러나 중간부근에는 장작을 쌓아 불을 태우는 지점들이 있다. 화입지역의 외각에는 화입시 불의 확산을 막기 위하여 너비 약 20m 이상의 방화선을 구축하여 구엽까지 완전히 제거하였다.

토양은 변성암을 모재로 하는 농암회갈색(10YR 3/2) 토양형으로 분류되었으며, 토성은 모래 38.4%, 미사 58.8%, 점토 2.8%로 미사질 양토(silt loam)로 분류되었다(Martin, 1993).

기후는 연평균 강우량은 1,095mm, 연평균 기온은 15.5℃였으며 2004년의 연간 강우량과 연평균 기온은 각각 1,269.9 mm와 16.1℃로 나타났다(기상청, 2005).

2. 연구방법

1) 토양의 화학적 특성

조사구내의 토양의 화학적 특성변화를 비교하기 위하여 화입지와 비화입 지역내에서 2004년 12월에 각 조사구별로 2곳씩을 선정하여 0.3×0.3m 크기의 방형구내의 초본층과 토심의 15cm까지 제거한 후 15-20cm의 토양을 채취하였다. 특히 화입지는 화입 이전인 2004년 12월, 그리고 화입 이후인 2005년 3월에 사면 상부, 중부, 하부 각 조사구별로 6곳씩을 선정하여 토양을 채취하였다(Fig. 1).



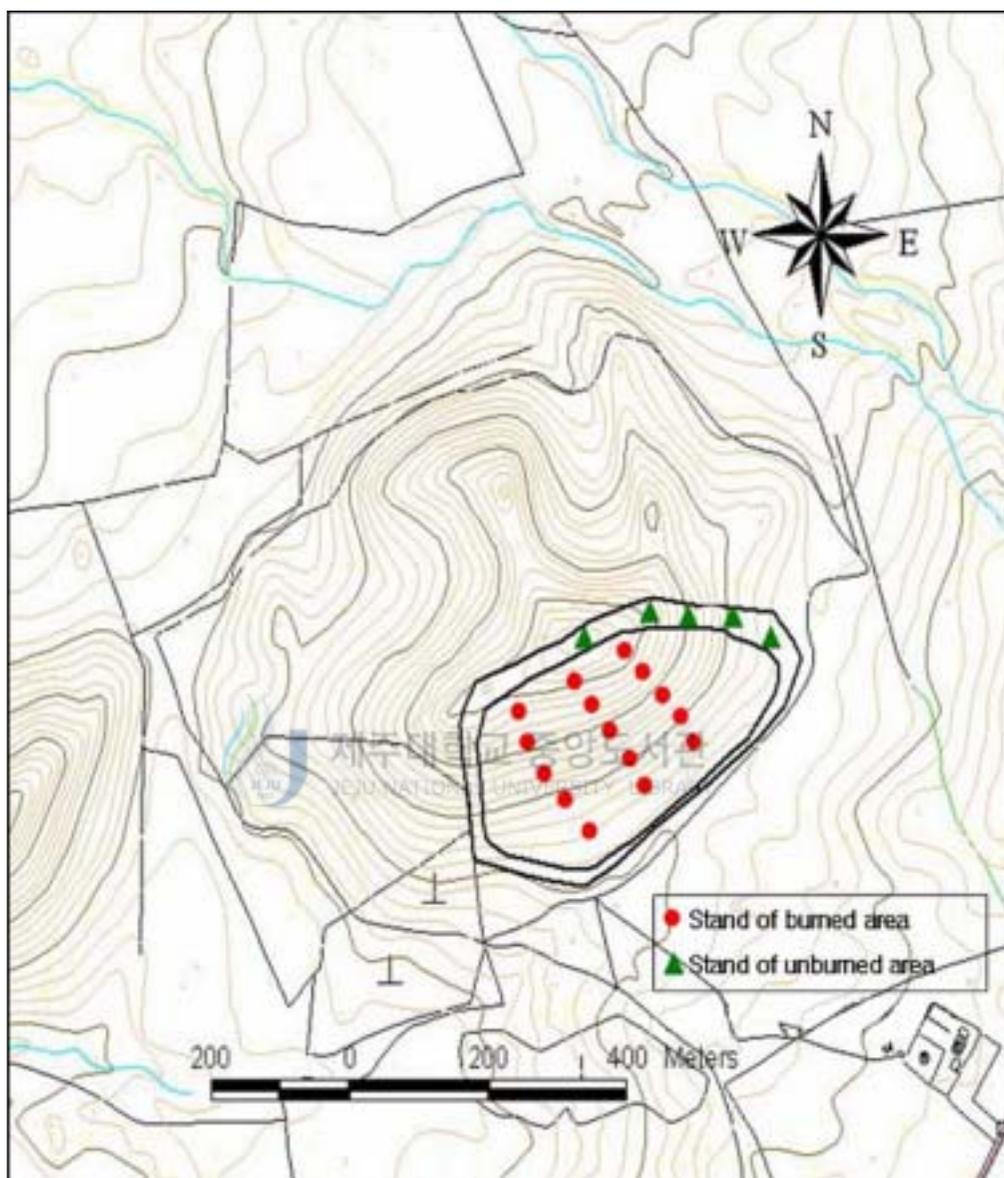


Fig. 1. Map of soil sampling area in Saeyeol-Oreum parasitic cone of Jeju island.

채취된 토양시료는 실험실로 운반하여 음건시킨 후 10 mesh와 40 mesh (전질소 분석용)체를 통과한 것을 분석용 시료로 이용하였다. 토양분석에 사용된 모든 방법은 농업기술연구소 토양화학분석법(1988)에 준하여 실시되었으며, 분석항목 중 토양 pH는 pH meter (Orion 501)를 이용하여 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin법, 총질소(T-N)는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster 법, 양이온치환용량은 Brown법, Ca, Mg는 EDTA 적정법, 그리고 Na, K는 Flame emission법에 의해 Flame photometer (Coleman 51)를 이용하여 각각 측정하였다. 측정된 결과를 분석하기 위하여 split plot design을 이용한 분산 분석(ANOVA)을 실시하였다. 또한 각 사면의 부위간에 그리고 화입 전과 후 간에 차이가 인정될 경우에는 5% 유의수준에서 Duncan's multiple test를 실시하여 평균간의 유의성을 검정하였다. 모든 통계적 분석은 SAS(1988) 프로그램을 이용하였다.

화입지와 비화입지의 토양의 화학적 특성분석결과 두지역의 유의성이 인정되지 않았다(Table 1).

Table 1. Characteristics of stands and mineral soils (0~20cm depth, n=6) in Saebyeol-Oreum parasitic cone in Jeju Island. Values are averages of plots with standard errors of the mean in parentheses.

	Control	Before fire
General stand characteristics		
Latitude (N)	33° 21'47	33° 21'47
Longitude (E)	126° 21'34	126° 21'34
Above sea level (m)	519	519
Soil characteristics		
Texture	Silt loam	Silt loam
Depth of A horizon (cm)	41.4	38.9
pH (1: 5 H ₂ O)	6.00 (0.34)	5.97 (0.30)
Total N (%)	0.60 (0.25)	0.50 (0.15)
Available-P (ppm)	6.40 (2.07)	6.83 (4.44)
Organic matter (%)	13.36 (5.34)	10.21 (2.96)
Exchangeable Cations (cmol ⁺ /kg)		
K	0.53 (0.11)	0.56 (0.36)
Ca	2.47 (0.86)	2.33 (0.93)
Mg	1.87 (1.21)	1.91 (1.32)
Na	0.23 (0.03)	0.23 (0.05)
Total base (cmol ⁺ /kg)	5.10 (1.81)	5.03 (1.98)
Cation Exchangeable Capacity (cmol ⁺ /kg)	25.21 (3.25)	23.72 (2.71)
Base saturation (%)	20.23 (3.84)	21.21 (4.51)

2) 식생조사

식생조사는 2004년 10월과 2005년 4월에 새별오름의 9개 지점에 1×1m의 방형구를 설치하여, 방형구 내에 나타나는 종을 동정·기록 정리하였다. 종의 동정은 이(1980)의 대한식물도감을 이용하였고, 각각의 종에 대하여 개체수와 피도를 조사하였다. 조사된 자료를 바탕으로 종의 중요도를 다음과 같은 공식에 의하여 산출하였고 Curtis & McIntosh(1951), 상대중요도 상위 2개체를 대상으로 2004년 10월과 2005년 4월에 변화를 파악하였다.

빈도(F)= (어떤 종의 출현한 방형구수/ 조사한 총 방형구수) × 100 (%)

상대빈도(R.F)= (어떤 종의 빈도/ 전체종의 빈도의 총합) × 100 (%)

밀도(D)= (어떤 종의 총 개체수/ 조사한 총 방형구수) × 100 (%)

상대밀도(R.D)= (어떤 종의 밀도/ 전체종의 밀도의 총합) × 100 (%)

피도(C)= (어떤 종의 근원경 면적의 합/ 조사한 총 면적) × 100 (%)

상대피도(R.C)= (어떤 종의 피도/ 전체종의 피도의 총합) × 100 (%)

상대중요도(R.I.V)=(상대피도+상대밀도+상대빈도)/3

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양의 화학적 특성 변화

1) pH

화입에 의한 토양 pH의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. 화입 전의 평균 토양 pH는 상부가 6.15, 중부가 5.97, 그리고 하부가 5.78로 상부에서 하부로 내려올수록 토양 pH는 낮아지는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

화입 후의 평균 토양 pH는 상부가 5.87, 중부가 5.92, 그리고 하부가 5.82로 부위간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 각 부위별로 화입 전과 후의 pH를 비교한 결과, 중부는 5.97에서 5.92로 0.05 낮아지고, 하부는 5.78에서 5.82로 0.04 증가하였으나 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 상부에서는 6.15에서 5.87로 0.28 낮아져 화입 전·후의 변화가 뚜렷하였다 ($p < 0.05$).

이와 같은 결과는 산불이 나고 한달이 경과한 후 토양 pH의 화학적 성상이 증가되었다고 보고한 김 등(2002)의 결과와는 일치하지 않았다. 이와 같이 산불지역과 초지 화입지역에 대한 반응이 다르게 나타난 것은 지상부의 환경이 수십 년이 지나면서 구조적 혹은 화학적 조성의 차이가 유발되어 결국 조성되어 있는 지상부 수종들에 의한 토양환경의 변화에 기인되었을 가능성이 있는 것으로 추정된다(손 등, 1995; Son과 Lee, 1997).

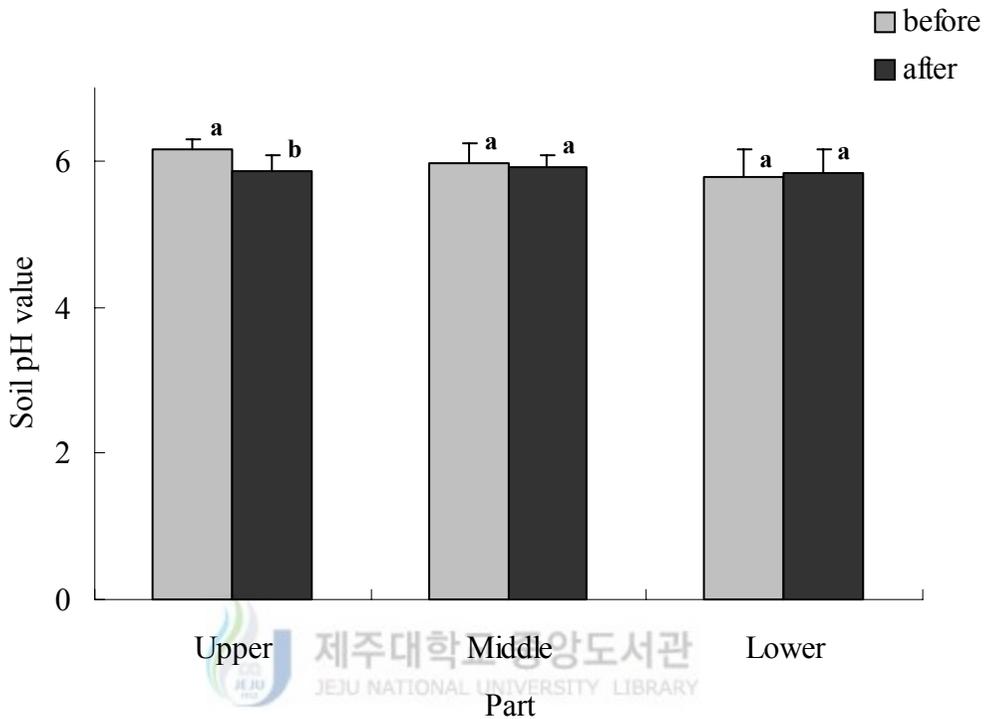


Fig. 2. Changes of soil pH value following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone. Vertical bars are one standard of the means. The same letters between before-fire and post-fire are not significantly different at $p=0.05$.

2) 유기물 함량

토양 유기물질은 토양의 물리적 성질과 식물이 이용할 수 있는 영양염류의 방출에 중요한 역할을 한다. 화입에 의한 토양 유기물함량의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다. 화입 전의 평균 토양 유기물함량은 상부가 8.63%,

중부가 11.0%, 그리고 하부가 10.98%로 상부에 비해 중부와 하부의 토양 유기물 함량이 많은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 화입 후의 평균 토양 유기물함량은 상부가 8.60%, 중부가 8.82%, 그리고 하부가 10.72%로 역시 상부에서 하부로 내려올수록 유기물 함량은 증가하는 경향을 나타내었다($p < 0.05$).

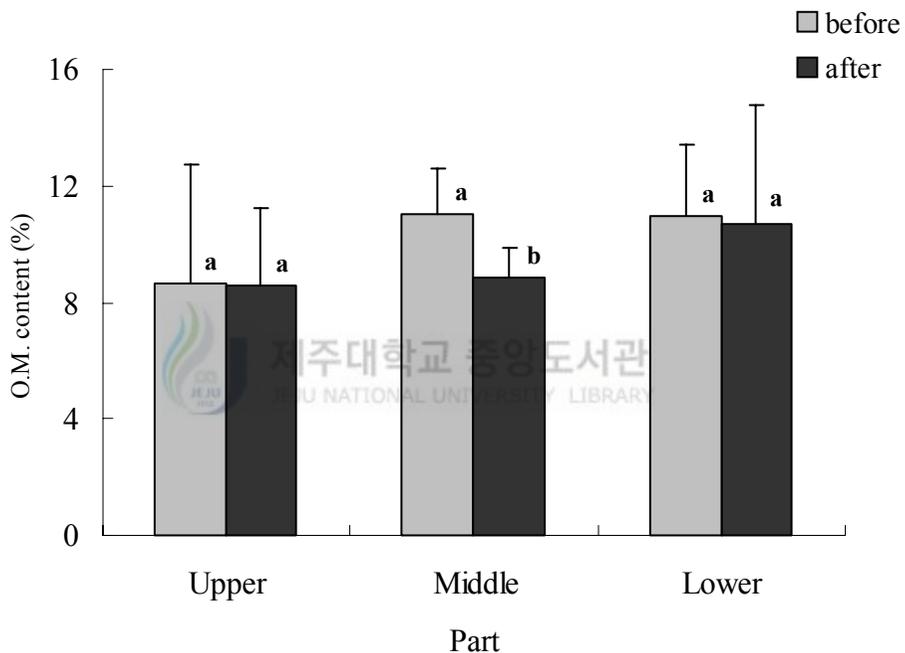


Fig. 3. Changes of soil organic matter contents (%) following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone. Vertical bars are one standard of the means. The same letters between before-fire and post-fire are not significantly different at $p=0.05$.

각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 화입 후 전체적으로 유기물 함량이 감소한 것으로 나타났는데 상부는 8.63%에서 8.60%, 그리고 하부는

10.98%에서 10.72%로 약간 감소된 반면, 중부는 11.0%에서 8.82%로 2.18%나 감소되어 중부가 화입에 의한 영향을 가장 많이 받은 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 이는 중부지역에 다른 부위에 비하여 유기물량이 많이 감소되는 이유는 화입시 중부지역에 집중적으로 장작이나 건초 같은 연소제를 태우기 때문이라 사료된다.

이와 같이 부위별로 화입에 의한 영향이 다른 것은 화입 전의 낙엽 퇴적량 및 유기물량에 따라 화입 후에 유기물 함량이 부위에 따라서 차이가 있음을 의미하는 것이다. 이러한 결과는 산불이 발생하면 지표와 토양의 유기물질이 연소되어서 유기물이 완전 연소되면 그 속에 포함되어있던 유기물이 소실된다고 한 Neal 등(1965)의 결과와는 일치하였다.

3) 총질소(T-N)

화입에 의한 토양 T-N 함량의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. 화입 전의 평균 토양 T-N 함량은 상부가 0.50%, 중부가 0.53%, 그리고 하부가 0.49%로 부위별 토양 T-N 함량의 통계적 차이는 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Kim(1999)이 보고한 화입전 토양 T-N 함량의 결과와 일치하고 있다. 화입 후의 평균 토양 T-N 함량은 상부가 0.43%, 중부가 0.50%, 그리고 하부가 0.48%로 역시 부위간에는 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 상부는 0.50%에서 0.43%, 중부는 0.53%에서 0.50%, 그리고 하부는 0.49%에서 0.48%로 화입 후 전체적으로 토양 T-N 함량이 감소한 것으로 나타났으나 통계적인 차이는 없었다. 이는 강원도 고성 소나무림을 대상으로 산불 전·후 토양 T-N 함량이 유의적인 차이가 없었음을 보고한 문과 정(1996)의 결과와 일치하는 것이다.

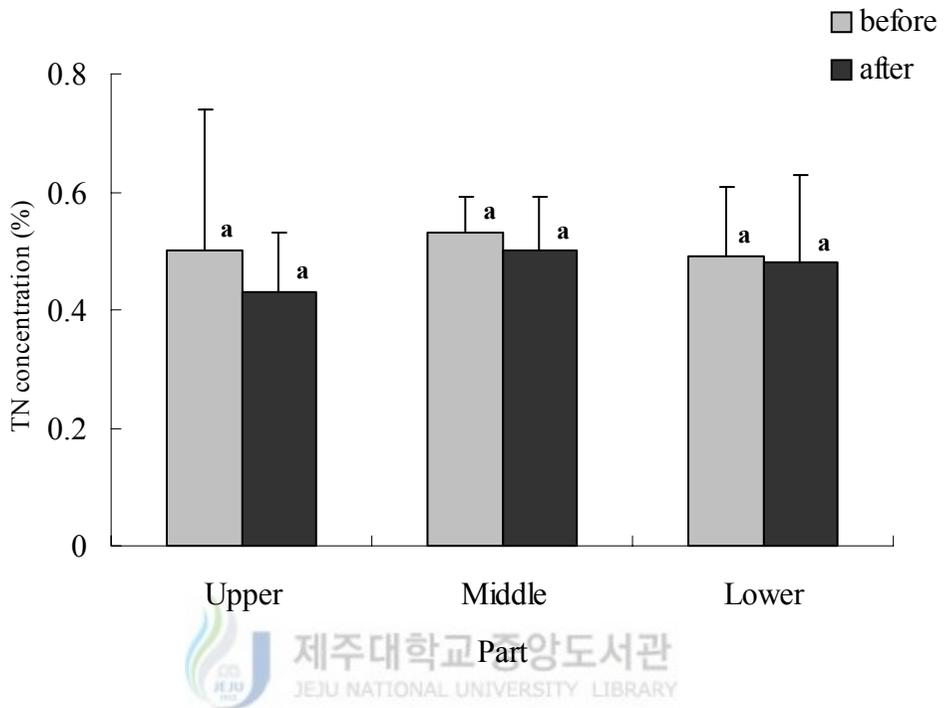


Fig. 4. Changes of total nitrogen concentrations (%) following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone. Vertical bars are one standard of the means. The same letters between before-fire and post-fire are not significantly different at $p=0.05$.

4) 유효 인산

화입에 의한 토양 유효 인산 농도의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다. 화입 전의 평균 토양 유효 인산 농도는 상부가 7.50%, 중부가 6.33%, 그리고 하부가 6.67%로 부위별 토양 유효 인산 농도의 통계적 차이는 없는 것으로 나타났다. 화입 후의 평균 토양 유효 인산 농도는 상부가 5.83%, 중부가 4.33%, 그리고 하부가 4.83%로 역시 부위간에는 통계적인 차이가 나타나지

않았다. 각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 상부는 7.50%에서 5.83%, 중부는 6.33%에서 4.33%, 그리고 하부는 6.67%에서 4.83%로 화입 후 전체적으로 토양 유효 인산 농도가 감소한 것으로 나타났는데 이는 화입의 영향으로 휘발성 인화물(Ph_3)의 생성되어 소실된 것으로 추정된다.

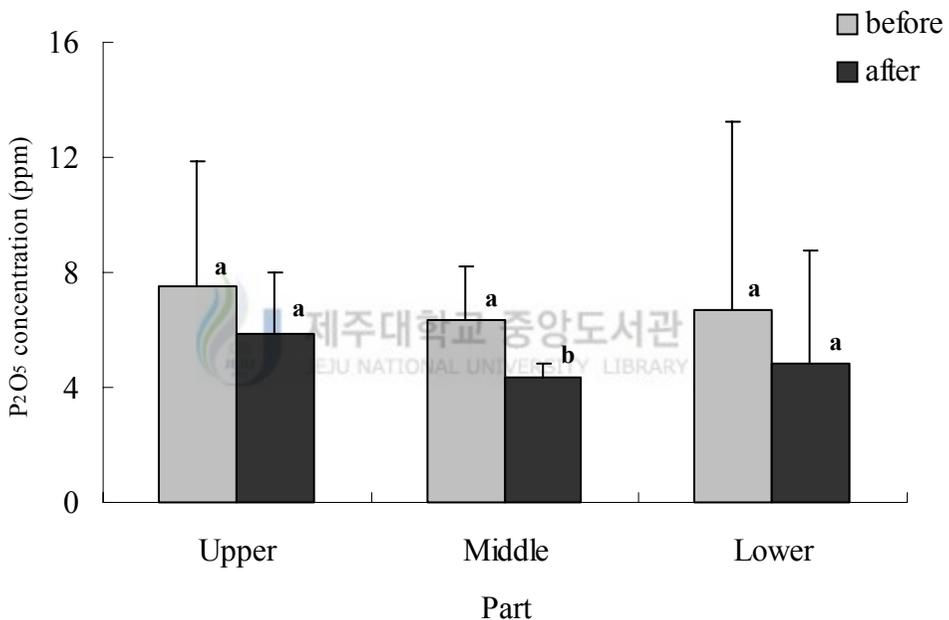


Fig. 5. Changes of available phosphorus concentrations (%) following wild-fire in Saebyeol-Oreum parasitic cone. Vertical bars are one standard of the means. The same letters between before-fire and post-fire are not significantly different at $p=0.05$.

이와 같은 결과는 산불에 의해 낙엽이나 식물체 속에 들어 있던 인이 회분의 형태로 토양에 이입되는 효과가 있기 때문에 토양의 인 함량이 증가된다고 보고한 Wright와 Bailey(1982)의 결과와는 일치하지 않았다. 이러한 차

이는 산불에 따라 온도가 다르기 때문인데, 온도가 높을수록 휘발에 의한 인의 소실이 많고 온도가 낮을수록 인의 이용도가 증가하는 것으로 판단된다.

5) 치환성 양이온 농도, 총 염기함량 및 양이온 치환용량(CEC)

화입에 의한 토양 치환성 양이온 농도, 총 염기함량 그리고 양이온 치환용량의 변화를 나타낸 결과는 Table 2와 같다. 화입 전의 평균 K함량은 상부가 0.36 cmol^+/kg , 중부가 0.46 cmol^+/kg , 그리고 하부가 0.85 cmol^+/kg 로 부위별 K함량은 고도의 통계적인 차이는 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 화입 후의 평균 K함량은 상부가 0.65 cmol^+/kg , 중부가 0.42 cmol^+/kg , 그리고 하부가 0.41 cmol^+/kg 로 역시 부위별 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 상부는 0.36 cmol^+/kg 에서 0.65 cmol^+/kg , 중부는 0.46 cmol^+/kg 에서 0.42 cmol^+/kg 그리고 하부는 0.85 cmol^+/kg 에서 0.41 cmol^+/kg 로 화입 후 중부와 하부에서는 K함량이 감소한 것으로 나타났으나($p < 0.05$), 상부에서는 오히려 증가된 것으로 나타나 일정한 경향을 보이지 않았다($p < 0.01$).

화입 전의 평균 Ca함량은 상부와 중부가 모두 2.56 cmol^+/kg 그리고 하부가 1.87 cmol^+/kg 로 부위별 Ca함량은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 화입 후의 평균 Ca함량은 상부가 2.76 cmol^+/kg 중부가 4.34 cmol^+/kg 그리고 하부가 3.11 cmol^+/kg 로 역시 부위별에는 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 상부는 2.56 cmol^+/kg 에서 2.76 cmol^+/kg 중부는 2.56 cmol^+/kg 에서 4.34 cmol^+/kg 그리고 하부는 1.87 cmol^+/kg 에서 3.11 cmol^+/kg 로 모든 부위에서 화입 후 Ca함량이 증가한 것으로 나타났으며, 중부와 하부에서는 화입 전과후 간에 고도의 유의차가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$).

Table 2. Changes of cation contents (cmol⁺/kg) in soil after wild fire in the study site (soil depth=0~20 cm, n=6).

Time	Part	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Total base	CEC	Base Saturation
		(cmol ⁺ /kg)						
Before fire	Upper	0.36b ±0.15	2.56a ±0.94	2.25a ±1.78	0.24a ±0.05	5.41a ±0.73	21.78b ±1.93	24.84a ±2.11
	Middle	0.46b ±0.09	2.56a ±0.11	2.20a ±1.19	0.22a ±0.03	5.44a ±0.36	23.68ab ±3.32	22.97a ±3.13
	Lower	0.85a ±0.50	1.87b ±1.28	1.29b ±0.80	0.22a ±0.08	4.23b ±0.67	25.70a ±0.99	16.46b ±1.54
After fire	Upper	0.65a ±0.54	2.76b ±1.62	3.44a ±1.39	0.17a ±0.02	7.02b ±0.89	25.23a ±2.22	27.82a ±3.09
	Middle	0.42b ±0.35	4.34a ±2.42	3.51a ±1.31	0.18a ±0.03	8.45a ±1.03	25.56a ±1.73	33.06a ±2.14
	Lower	0.41b ±0.26	3.11b ±2.62	1.91b ±1.25	0.21a ±0.07	5.64c ±1.05	25.92a ±1.90	21.76b ±3.52

화입전의 평균 Mg함량은 상부가 2.25 cmol^+/kg 중부가 2.20 cmol^+/kg 그리고 하부가 1.29 cmol^+/kg 로 부위별 Mg함량은 5% 유의수준에서 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 화입 후의 평균 Ca함량은 상부가 3.44 cmol^+/kg , 중부가 3.51 cmol^+/kg , 그리고 하부가 1.91 cmol^+/kg 로 역시 부위간에는 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 상부는 2.25 cmol^+/kg 에서 3.44 cmol^+/kg 중부는 2.20 cmol^+/kg 에서 3.51 cmol^+/kg 그리고 하부는 1.29 cmol^+/kg 에서 1.91 cmol^+/kg 로 모든 부위에서 화입 후 Mg함량이 증가하였으며, 고도의 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 이와 같은 경향은 K의 경향과는 상반되는 것이지만 Ca의 경향과는 일치되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Mg은 Ca성분과 강한 상관관계를 가지며(Park, 1997), 변화 경향 또한 유사하다(Fyles 등, 1994)는 연구결과와 일치되는 것이다.

화입 전의 평균 Na함량은 상부가 0.24 cmol^+/kg , 중부가 0.22 cmol^+/kg , 그리고 하부가 0.22 cmol^+/kg 로 부위별 Na함량은 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 화입 후의 평균 Na함량은 상부가 0.17 cmol^+/kg , 중부가 0.18 cmol^+/kg , 그리고 하부가 0.21 cmol^+/kg 로 역시 부위간에는 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 각 부위별로 화입 전과 후를 비교한 결과, 상부는 0.24 cmol^+/kg 에서 0.17 cmol^+/kg , 중부는 0.22 cmol^+/kg 에서 0.18 cmol^+/kg 그리고 하부는 0.22 cmol^+/kg 에서 0.21 cmol^+/kg 로 모든 부위에서 화입 후 Na함량이 감소되었으며, 상부에서는 통계적으로 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 이와 같은 경향은 Ca이나 Mg의 경향과는 상반되는 것이지만 K의 경향과는 일치되는 것으로 나타났다.

총 염기함량과 양이온 치환용량, 그리고 염기포화도 등은 화입 전과 후 그리고 부위간에 통계적인 유의성을 나타내었다($p < 0.05$). 총 염기함량은 상부에서 하부로 내려갈수록 점차 감소하는 경향을 나타내었는데, 이와 같은 결과는 총 염기함량 중 약 50%를 차지하고 있는 Ca이 상부에서 하부로 내려갈수

록 점차 감소하는 것과 그 경향이 일치하고 있으므로 Ca함량의 감소에 의한 원인인 것으로 판단된다.

양이온 치환용량(CEC)은 화입 전에는 부위간에 통계적인 유의차가 인정되었으나($p < 0.05$), 화입 후에는 부위간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 *Salix* 인공림에서 시비처리 후 토양 내 CEC는 처리간에 차이가 나타나지 않았음을 보고한 Park(1997)의 결과와 일치하는 것이다.

CEC에 대한 총 염기함량의 비율로 결정되는 염기포화도는 화입 전과 후 모두 부위간에 통계적인 유의차가 인정되었으며($p < 0.05$), 화입 전보다 화입 후가 대체로 높은 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 총 염기함량은 화입 전에 비해 화입 후가 상당히 높게 증가한데 비해, CEC는 비슷한 수준으로 유지되어 결국 총 염기함량의 증가에 의한 영향을 받고 있기 때문인 것으로 추정된다.



2. 화입에 의한 식생변화

새별오름 조사구에서 나타난 종은 Table 3과 같다. 10월에만 조사된 종은 초장이 길거나 꽃이 피는 시기가 여름 또는 가을인 개쭈부쟁이, 팽이싸리, 꽃향유, 땃땃이덩굴, 머느리밑씻개, 바디나물, 비수리, 산부추, 수까치개, 술패랭이꽃, 쯤싸리, 쥐꼬리망초, 참싸리, 참취, 층층이꽃, 큰개여뀌, 털장대 등 이었고, 10월에는 조사되지 않았지만 4월에 조사된 종은 초장이 짧거나 꽃피는 시기가 이른 봄철인 개민들레, 갯취, 꿩의밥, 뉘시제비꽃, 미나리아재비, 민들레, 산자고, 솔나물, 솜방망이, 수영, 씀바귀, 양지꽃, 자주잎제비꽃, 제비꽃 등이었다.

상층에만 나오는 종은 가는잎할미꽃, 땃땃이덩굴, 딱지꽃, 바디나물, 산거울, 산부추, 산자고, 솔나물, 솜방망이, 술패랭이꽃, 자주잎제비꽃, 짙신나물 등

이고, 중간층에만 나오는 종은 개썩부쟁이, 국수나무, 털장대 등이었고, 하층에만 나오는 종은 개민들레, 며느리밑씻개, 미나리아재비, 민들레, 수까치개, 수영, 썸바귀, 층층이꽃, 큰개여뀌 등이 출현하였다. 이러한 차이는 토양화학적 변화가 토양표토층(0 cm)에서의 변화가 급격히 이루어지고, 20cm의 경우는 표토층의 영향을 받으나 변화는 크지 않다(강, 1971)는 결과에서 보듯이 본 실험의 화입전 결과가 토양 pH, 총질소(T-N), 유효인산, Na, 등이 층위별 차이가 나타나지 않았으나 유기물함량, Ca, Mg, K, 양이온치환용량 등은 유의성이 인정되는 것으로 보아 식생의 변화는 표토층의 변화뿐만 아니라 본 실험에서 변화를 보이는 요인들과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

한편 본 조사에서는 산불이후의 식생은 질소고정식물이 중요한 역할을 한다(Guo, 2001)는 보고와 유사하게 콩과 식물인 나비나물, 팽이싸리, 참싸리, 쯤싸리 등이 조사되었으며, 나비나물을 제외한 나머지는 10월조사에서만 출현하였다. 이러한 콩과식물은 주로 *Rhizobium* 이라는 박테리아와 공생하며 질소를 토양 내에 고정하는 역할을 하며 이 고정된 질소를 식물이 이용하게 되는데 Fig 4.에서는 화입 후 질소의 함량이 낮게 나타났으나 홍 등(1968)의 보고에 의하면 질소는 상승하여 화입전의 함량에 가까워진다는 결과를 보면 콩과식물들이 출현이 관여하는 것으로 사료된다.

Table 3. Variation of relative important values of vascular plants distributed in quadrat in Saebyeol-Oreum parasitic cone (Before fire: Oct., 2004, After fire: Apr., 2005)

Scientific Name	Korean Name	Upper		Middle		Lower	
		Before fire	After fire	Before fire	After fire	Before fire	After fire
<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>	띠	30.5	20.9	24.6	20.4	34.2	41.4
<i>Miscanthus sinensis</i>	참억새	16.2	13.1	14.4	28.1	6.1	3.5
<i>Artemisia japonica</i>	제비쭉	10.5	15.8	15.6	6	3.8	-
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	쭉	3.4	-	7.9	6.4	3.5	8.8
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	수크령	2.3	-	5.3	-	13.9	1.1
<i>Agrimonia pilosa</i>	짚신나물	1.8	15.2	-	-	-	-
<i>Hydrocotyle japonica</i>	제주피막이	-	1.6	2.5	4.2	3.5	4.6
<i>Vicia unijuga</i>	나비나물	3.3	-	5	-	4.4	1.3
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>	양지꽃	-	6.7	-	4.8	-	1.8
<i>Tulipa edulis</i>	산자고	-	1.9	-	10.8	-	1.2
<i>Isodon inflexus</i>	산박하	4.7	-	2.7	2	2.7	-
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i>	영경귀	1.5	3	1.3	-	2.9	2.5
<i>Oxalis corniculata</i>	괘이밥	-	-	-	8.1	1.3	1.5
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	고사리	-	-	-	2.9	1.9	4.6
<i>Rosa wichuraiana</i>	돌가시나무	1.5	-	-	-	4.4	3.4
<i>Sanguisorba officinalis</i>	오이풀	-	2.2	-	-	2.1	3.8
<i>Rubus parvifolius</i>	멍석딸기	2.1	-	-	-	3.6	1.5
<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i>	산거울	2.7	4.1	-	-	-	-
<i>Stephanandra incisa</i>	국수나무	-	-	4.8	2	-	-
<i>Lespedeza pilosa</i>	괘이싸리	1.7	-	2.3	-	2.1	-
<i>Ligularia taquetii</i>	갯취	-	1.6	-	2.5	-	1.2
<i>Lespedeza cuneata</i>	비수리	-	-	3.8	-	1.5	-
<i>Viola mandshurica</i>	제비꽃	-	1.5	-	-	-	3.7
<i>Rumex acetosa</i>	수영	-	-	-	-	-	5.1
<i>Elsholtzia splendens</i>	꽃향유	2.7	-	2.3	-	-	-

Table 3. Continued

Scientific Name	Korean Name	Upper		Middle		Lower	
		Before	After	Before	After	Before	After
		fire	fire	fire	fire	fire	fire
<i>Luzula capitata</i>	평의밥	-	1.6	-	-	-	2.9
<i>Lespedeza virgata</i>	좁싸리	1.6	-	2.3	-	-	-
<i>Viola violacea</i>	자주잎제비꽃	-	3.9	-	-	-	-
<i>Aster scaber</i>	참취	2.5	-	1.2	-	-	-
<i>Potentilla chinensis</i>	딱지꽃	1.6	2	-	-	-	-
<i>Dianthus superbus</i> var. <i>longcalycinus</i>	술괘랭이꽃	3.6	-	-	-	-	-
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	참싸리	1.7	-	-	-	1.8	-
<i>Justicia procumbens</i>	취꼬리망초	-	-	1.3	-	1.8	-
<i>Viola grypoceras</i>	낙시제비꽃	-	-	-	1.8	-	1
<i>Senecio integrifolius</i> var. <i>spanthulatus</i>	솜방망이	-	1.9	-	-	-	-
<i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i>	솔나물	-	1.6	-	-	-	-
<i>Cocculus trilobus</i>	맹맹이덩굴	1.5	-	-	-	-	-
<i>Aster ciliokus</i>	개쭈부쟁이	-	-	1.5	-	-	-
<i>Pulsatilla cernua</i>	가는잎할미꽃	-	1.5	-	-	-	-
<i>Taraxacum mongolicum</i>	민들레	-	-	-	-	-	1.5
<i>Allium thunbergii</i>	산부추	1.4	-	-	-	-	-
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i>	층층이꽃	-	-	-	-	1.4	-
<i>Angelica decursiva</i>	바디나물	1.3	-	-	-	-	-
<i>Arabis nipponica</i>	털장대	-	-	1.3	-	-	-
<i>Ranunculus japonicus</i>	미나리아재비	-	-	-	-	-	1.3
<i>Hypochoeris radicata</i>	개민들레	-	-	-	-	-	1.2
<i>Persicaria senticosa</i>	머느리밀싯개	-	-	-	-	1.2	-
<i>Corchoropsis tomentosa</i>	수까치개	-	-	-	-	1.1	-
<i>Persicaria nodosa</i>	큰개여뀌	-	-	-	-	1.1	-
<i>Ixeris dentata</i>	쌈바귀	-	-	-	-	-	1
Total		100.0	100.0	100.0	100	100.0	100.0

출현한 식물의 중요도를 분석한 결과(Table 3) 중요도가 높은 종은 띠, 참억새, 제비쑥, 쑥, 수크령 순 이였으나 띠와 참억새가 타종에 비하여 매우 높았다. 띠의 경우 하층에서는 화입 전 10월의 중요도가 화입 후 4월의 중요도보다 낮은 반면 중간층과 하층은 10월의 중요도가 높았다. 참억새의 경우는 중간층에서 10월이 4월보다 낮았으나 상층과 하층에서는 10월이 높게 나타났다(Fig. 6).

이 외에 중요도는 낮지만 질소고정에 영향을 주는 콩과식물인 경우는 10월에 중요도의 합이 상층에서는 중요도가 8.3 이였고, 중층에서는 12.4, 하층에는 9.8로 나타났다. 그러나 화입 후인 4월의 경우는 하층에서 나비나물 만이 출현하고 중요도가 1.3에 불과하였고 나머지 층에서는 나타나지 않았다. 이러한 중요도의 변화는 계절적인 영향이라고 볼 수 있으나 화입에 의해 초장이 긴 참억새와 같은 식물의 잔해를 없애줌으로서 나비나물, 팽이싸리, 쯤싸리와 같이 다년생이나 초장이 짧은 개체들의 생육환경이 조절되는 것으로 보인다.



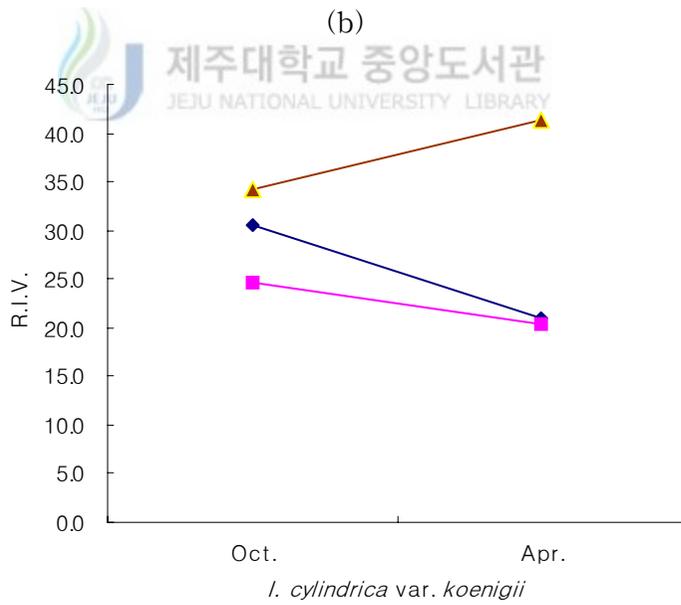
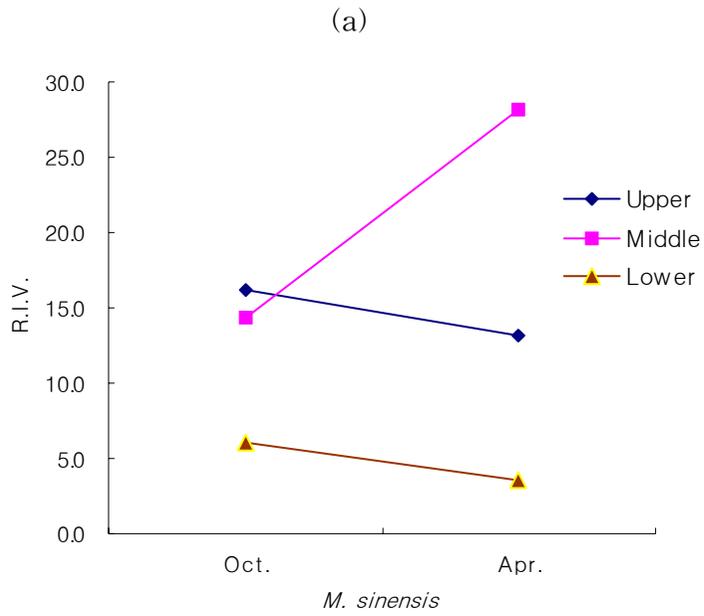


Fig. 6. Variation of relative important values of *Miscanthus sinensis* (a) and *Imperata cylindrica var. koenigii* (b).

IV. 결 론

제주도 새별오름의 남사면에 인위적인 화입이 토양의 화학적 특성 및 식생변화의 조사에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화입 이전의 토양 pH는 고도가 낮아질수록 감소하는 것으로 나타났으나 화입 이후의 토양 pH는 유의적인 차이가 없었다.
2. 화입에 따른 토양유기물함량은 다른 비해 중부지역에 크게 감소하였는데 이는 중부지역에 집중적으로 장작이나 건조와 같은 연소체를 화입시 태우기 때문이라 사료된다.
3. 토양내 총질소와 유효 인산은 화입이전과 이후 간에 통계적인 차이를 나타내지 않았다.
4. 나트륨을 제외한 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 부위별로 차이가 인정되었으며, 화입 후에 칼륨과 나트륨의 함량은 감소한 반면 칼슘과 마그네슘함량은 증가하였다. 또한 총 염기함량과 양이온 치환용량, 그리고 염기포화도 등은 화입 전과 후 그리고 부위간에 통계적인 유의성을 나타내었다
5. 새별오름 화입지의 식생은 띠와 참억새가 우점하는 초지로서 화입전과 후에 나타나는 종이 있으며 띠와 참억새를 포함한 출현종의 중요도가 화입 전과 후에 변화가 있었다. 그러나 이러한 변화는 화입의 영향이라고 볼 수 없었으나 식생의 변화는 장기간의 모니터링이 필요한 요소로서 화입 이후의 식생 변화에 대한 정확한 자료를 얻기 위해서는 오랜 기간에 걸친 보다 많은 연구가 요망된다.

VI . 참고문헌

- Barak, P., B.O. Jobe, A.R. Krueger, L.A. Peterson, and D.A. Laird. 1997. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs. *Plant Soil* 197:61-69.
- Bond, W.J. and B.W. van Wilgen. 1996. *Fire and Plants*. Chapman & Hall, London. 263 pp.
- DeBano, L.F. 1991. The effect of fire on soil properties. Proceedings-management and productivity of western-montane forest soils. USDA Forest Service General Technical Report INT-280pp. 151-156.
- Fyles, J.W., B. Côté., F. Courchesne, and W.H. Hendershot. 1994. Effects of base cation fertilization on soil and foliage nutrient concentrations and litter-fall and throughfall nutrient fluxes in a sugar maple forest. *Can. J. For. Res.* 24:542-549.
- Guo, Q. 2001. Early post-fire succession in California chaparral: Changes in diversity, density, cover and biomass. *Ecological Research* 16: 471-485.
- Hong, S. W., Y. C. Han and Y. K. Chol. 1968. Some effects of fire on vegetation, soil and soil microflora adjacent to DMZ in Korea. *Kor. J. Botany* 11(4): 9~20.
- Kauffman, J.B., R.L. Sanford. Jr., D.L. Cummings, I.H. Salcedo and E.V.S.B. Sampaio. 1993. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forest. *Ecology* 74:140-151.
- Kim, C.S. 1999. Aboveground nutrient distribution in pitch pine (*Pinus rigida*) and Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantations. *J. Kor. For. Soc.* 88(2):266-272.

- Martin, R.C. 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers. 823 pp.
- 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. 32 pp.
- Nye, P.H. 1981. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. Plant Soil 61:7-26.
- Park, G.S. 1997. Soil chemistry changes after N, P, and K fertilization in a Willow (*Salix* spp.) bioenergy plantation. J. Kor. For. Soc. 86(3):311-318.
- Peterson, D.L. and K.C. Ryan. 1986. Modelling postfire conifer mortality for long range planning. Environmental Management 10:797~808.
- Peterson, D.L. and K.C. Ryan. 1986. Modelling postfire conifer mortality for long range planning. Environmental Management 10:797-808
- 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.
- SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide, 6.03 edition, SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Son, Y. and I.K. Lee. 1997. Soil nitrogen mineralization in adjacent stands of larch, pine and oak in central Korea. Ann. Sci. For. 54:1-8.
- Song, S.D. and K.B. Park. 1979. Nitrogen utility during the population development with different clipping treatments in Italian rye grass field. Kor. J. Bot. 22:63~69.
- Song, S.D. and S.H. An. 1983. Studies on the primary productivity and nitrogen cycle of a *Bromus remotiflorus* population. J. Nat. Sci.

- K.N.U. 2:65~78.
- 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.
- Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147:250~260.
- Wright, H.A. and A.W. Bailey. 1982. *Fire ecology : United States and southern Canada*. John Wiley & Sons, New York, 501 pp.
- Youssef, R.A. and M. Chino. 1989. Root-induced changes in the rhizosphere of plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 35:461-468.
- 기상청. 2005. 인터넷 제공자료 <http://jeju.kma.go.kr/new/index.html>.
- 김은정, 오정은, 최성득, 장윤석. 2002. 산불이 토양 중 PCDD/Fs 농도와 분포에 미치는 영향. *대기환경공학회지* 24(1):111~123.
- 김지문, 권기원, 송호경, 김장석. 1981. *Pinus rigida* × *taeda* 침엽내 양료수준의 변이에 관한 몇 가지 요인의 영향. *한국임학회지* 53:27-36.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청 농업기술연구소. 450 pp.
- 문형태, 정연숙. 1996. 강원도 고성지역에서 산불이 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향. *한국생태학회지* 19(5):375~383.
- 손요환, 김정태, 이상은, 이임균. 1995. 경기도 광릉시험림의 구주낙엽송, 스트로브잣나무, 서양측백 조림지 토양내 질소 무기화 비교. *한국생태학회지* 18(3):385-395.
- 오기철, 김종갑, 정원옥, 민재기. 2001. 산불 후 산림식생 및 토양환경의 변화.

- 한국환경복원녹화기술학회지 4(3):19-29.
- 우보명, 이현호. 1989. 황폐산지에서의 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(Ⅱ). 한국임학회지 78:302-313.
- 이시영, 임주훈, 2000. 산불피해지의 연소유형과 수종별 임목피해도 분석. 한국임학회 2000년도 정기총회 및 학술연구발표회 pp. 115-117.
- 이원규, 김춘식, 차순형, 김영걸, 변재경, 구교상, 박재욱. 1997. 산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향. 한국생태학회지 20(3):157-162.
- 이윤원, 양계진, 김기양, 김 영. 2000. 산화적지의 2차 식생조성에 관한 연구. 중부대학교 자연과학연구논문집 9:73-86.
- 이임균, 손요환. 2004. 질소와 인 시비가 경기도 양평지역 리기다소나무와 낙엽송 조림지 토양의 화학성에 미치는 영향. 한국임학회지 93(5):349-359.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사. 990 pp.
- 허 성. 1991. 월동전후 초지관리에 관한 연구 IX. 기존초지에서 이른 봄 화입이 목초의 생육과 수량 및 사료가치에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지. 33(9): 678-682.