

## 산불 후 산림식생 및 토양환경의 변화

오기철<sup>1)</sup> · 김종갑<sup>1)</sup> · 정원옥<sup>1)</sup> · 민재기<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 경상대학교 농과대학 산림과학부 · <sup>2)</sup> 상주대학교 산림자원학과

### The Changes of Forest Vegetation and Soil Environmental after Forest Fire

**Ki-Cheol Oh<sup>1)</sup>, Jong-Kab Kim<sup>1)</sup>, Won-Ok Jung<sup>1)</sup> and Jae-Ki Min<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Faculty of Forest Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University,

<sup>2)</sup> Depart. of Forest Resources Sangju National University

#### ABSTRACT

This study was carried out to examine the recovery of forest ecosystem at the burned areas of coniferous (Mt. Chosdae) and broad leaved forest (Samsinbong in Mt. Chiri) by investigating the changes of forest vegetation. The results obtained are summarized as follows;

1. In the Samsinbong, the total number of species appeared at the burned area were 5 species at tree layer, 11 species at sub-tree layer and 24 species at herb layer, and at the unburned area were 5 species at tree layer, 14 species at sub-tree layer, 18 species at shrub layer and 23 species at herb layer, respectively.

In the Mt. Chosdae, the total number of species appeared at the burned area only showed to 83 species at herb layer, and at the unburned area were 7 species at tree layer, 13 species at sub-tree layer, 21 species at shrub layer and 46 species at herb layer, respectively.

2. In the soil chemical properties of the burned area of Samsinbong, pH was 5.8, and contents of Organic matter, Total nitrogen, Available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Exchangeable K<sup>+</sup>, Exchange Ca<sup>++</sup> and Exchange Mg<sup>++</sup> were 7.42%, 0.73%, 28.5mg/kg, 1.3me/100g, 13.3me/100g and 2.2me/100g, respectively. But they showed a tendency to decrease by passing the time. In the soil chemical properties of the burned area of Mt. Chosdae, pH was 5.3, and contents of Organic matter, Total nitrogen, Available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Exchangeable K<sup>+</sup>, Exchange Ca<sup>++</sup> and Exchange Mg<sup>++</sup> were 6.42%, 0.25%, 24.4mg/kg, 0.7me/100g, 3.7me/100g and 2.1me/100g, respectively, and they also showed a tendency to decrease by passing the time.

3. An the burned and unburned areas of Samsinbong, the total evolved amounts of soil respiration were 4,049.1mg/m<sup>2</sup>/h and 9,950.0mg/m<sup>2</sup>/h, respectively.

An the burned and unburned areas of Mt. Chosdae, the total evolved amounts of soil respiration were 4,392.4 mg/m<sup>2</sup>/h and 8,286.5 mg/m<sup>2</sup>/h, respectively.

Key words : forest fire, CO<sub>2</sub>, forest vegetation, soil chemical

## I. 서 론

산불은 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 산림 생태계의 교란요인 중의 하나로서, 산림면적이 전 국토의 약 65%인 우리나라는 여러 가지 교란요인들로 인해 점차 산림생태계가 파괴되어 가고 있으며, 4~5월 사이에 산불이 자주 발생하는데 그 원인으로는 건조한 기후와 사람에 의한 실화 때문인 것으로 알려지고 있다. 그중 산불에 의한 피해는 연평균(1975~1995) 발생건수는 352건, 연평균 피해면적은 739ha로 발생건수당 평균피해면적은 2.1ha로 90년대에 들어서면서 그 발생빈도와 피해면적이 증가하는 경향이이며, 산림청 임업통계연보(1998)에 의하면, 1998년 우리나라에서는 524건의 산불이 발생하여 2,329ha의 산림이 소실되었다. Chandler *et al.*, (1983)은 산불의 강도와 지속기간, 토양 수분함량, 산불의 발생시기, 산불 후 강우 강도 등에 따라 산림식생과 토양에 미치는 영향이 다르다고 보고하였으며, 일시적으로 토양의 영양염류의 함량을 증가시키는 것으로 보고되어 있다 (Wagle and Kitchen, 1972; Lewis, 1974; Wright and Bailey, 1982). 산림이 산불에 의해서 파괴되면, 산림식생과 산림환경요인에 변화가 일어나므로 나지에서 비롯되는 2차 천이가 진행되며, 산림내의 피복물 연소로 인하여 유기물의 소실과 부식층이나 표토의 유실 등 자연환경보전과 임업적 측면에서도 막대한 소실을 초래하게 된다(김재생, 김종갑 1990). 우리나라의 산불지역에 관한 연구는 Hirao(1941)의 북한지역 산화지에 관한 식생 조사 이후, 홍순우 등(1968)은 산불이 식생, 토양 및 미생물에 미치는 효과에 대한 조사결과에서 소나무는 화재에 대한 내성이 약하고, 싸리나무류는 내성이 강하다고 보고하였으며, 강상준과 이종태(1982), 김원 등(1983, 1989)은 산불이 일어난 후 그 지역의 2차 식생 천이에 관한 연구를 수행하였으며, 부수적으로 토양의 화학적 성질 변화도 조사한 바 있고, 정연숙과 김준호(1987)는 소나무림에 산불이 발생한 후 1년간 토양과 유출수의 pH, 전기전도도 및 영양염류의 변화를 조사하였다. 최근에는 문

형태와 정연숙(1997)은 재생되는 식생의 종구성과 이들에 의한 영양염류흡수량에 관해서 보고하였다.

따라서 본 연구는 지리산 국립공원 삼신봉지역과 하동군 횡천면 촛대산지역의 산불 발생 후 토양환경 변화와 시간의 경과에 따른 식생 회복 상태를 조사하여, 산불발생 후 임상별 산림생태계의 회복과정을 구명하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구 대상지는 산불이 발생한 활엽수림 지역과 침엽수림 지역으로 구분하여 식생 및 토양환경변화에 대하여 조사하였다.

활엽수림의 조사지역은 행정구역상 경남 하동군 청암면, 화개면과 산청군 시천면으로 3개면의 경계지역인 지리산 삼신봉(1,284m) 지역이다(Fig. 1A). 삼신봉지역은 1997년 10월 21일 오후 2시경, 하동군 화개면 대성리 단천마을 해발 1,200m에서 산불이 발생하여 청암면 청학동, 산청군 시천면 내대리 거림마을 등의 세 방향으로 번져 지리산 국립공원내 삼신봉 주변의 임야 약 40ha가 소실되었다. 임상은 지리산의 전형적인 임상으로서 신갈나무림으로 구성되어 있었으며, 쇠물푸레나무, 당단풍나무, 노각나무 등이 약간씩 혼효되어 있었다. 하층은 조릿대가 대부분을 차지하였으며, 상층목의 수령은 30년/25~40년, 수고는 8m/6~11m, 흉고직경은 30cm/25~35cm였다.

침엽수림의 조사지역은 경남 하동군 횡천면 전대리 산 144번지에 위치한 촛대산(450m)으로, 1997년 4월 12일 오후 4시경 해발 250m에서 30ha의 산림이 소실되었다. 임상은 소나무림으로 구성되어 있었으며, 때죽나무, 졸참나무가 약간씩 혼효되어 있었다. 하층은 진달래나무, 조록싸리나무가 대부분을 차지하고 있었고, 상층목의 수령은 26년/20~30년, 수고는 9m/6~11m, 흉고직경은 25cm/20~32cm였다.

이 두지역 모두 지표화에 의해 수간화와 수

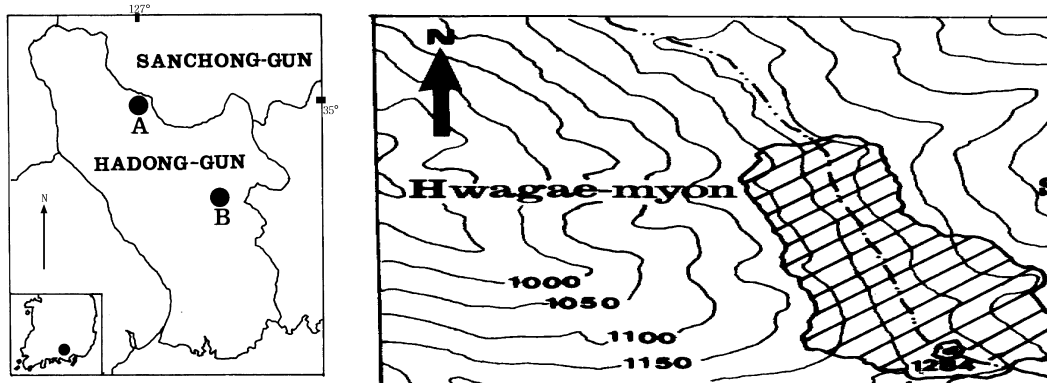


Fig. 1. The location of the investigated sites.  
 A : Samsinbong in Mt. Chiri , B : Mt. Chosdae.

관화가 동시에 발생되어 전지역이 완전 연소되었으며, 경사도는 25°~40° 내외로 비교적 급경사지였다.

2. 연구방법

1) 식생구조

식생조사는 수고 8m 이상을 교목층, 2~8m 아교목층, 2m 이하를 관목층 그리고 초본층으로 구분하였으며, 침엽수림인 촛대산은 1997년 4월 이후 3회, 활엽수림인 삼신봉은 1997년 10월 이후 2회에 걸쳐 조사하였다. 침엽수림 및 활엽수림지역의 산화지와 비산화지에서 각 임상을 대표하는 지점을 선정 후 10×10m 방형구를 각 5개씩 총 20개의 방형구를 선정 후 출현종별 중요치(Importance Value; IV)를 구하였으며, 초본은 방형구 내에 1×1m 소방형구를 5개씩 총 100개를 무작위로 선정하여 출현한 초본의 분수를 조사하여 중요치 (IV)를 구하였다.

2) 토양의 화학적 성질

토양 화학적 성질의 변화상태를 분석하기 위한 토양시료채취는 산불이 발생한 지역 중 각 지역을 대표할 수 있는 지역에 10×10m 방형구를 5지점을 선정 후 각 방형구에서 낙엽층과 부식층을 제거한 후 깊이 10cm에서 강철각통(10×10×5cm)을 사용하여, 총 8회에 걸쳐 pH, 전질소함량, 유기물함량, 유효인산함량, 치환성 양이온을 측정하였다.

pH는 초자전극법 (시료 : 증류수=1 : 5)으로 pH meter (Consort-C831)를 측정하였고, 토양중의 전질소함량은 Kjeldahl법, 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산함량은 Lancaster법, 치환성 양이온 함량은 1N-ammonium · acetic acid를 혼합 · 진탕한 후 여과하여 원자흡광분광광도계 (Sesia-AA-680)로 측정하였다(농업기술연구소 1988).

3) 토양호흡량

토양호흡량은 Kirita(1971)의 방법으로 측정하였는데, 측정방법은 한 방형구에 5개를 설치하였으며, 각 조사 지역에서 5회 반복으로 조사하였다.

식생조사지역의 방형구안에 180×135mm PVC 관을 토양 5cm 깊이에 설치한 후 지면과 닿지 않도록 높이 5cm 위치에 1N-KOH 용액 25ml을 흡수시킨 sponge를 설치하였으며, 대기중의 CO<sub>2</sub>와 접촉이 되지 않게 밀폐시켰다. 24시간 후 회수한 sponge에서 5ml을 추출하였으며, 0.1N-HCl 용액을 사용하여 phenolphthalein과 methylorange 지시약으로 적정하였다.

토양호흡량 측정방법

$$CO_2 \text{ 양} = [(\frac{KOH \text{ 농도}}{A+B}) \times B] \times C \times D$$

A : KOH 용액의 색깔이 무색으로 변화할 때 0.1N-HCl 주입된 양 측정

B : KOH용액의 색깔이 무색으로 변화할 때 0.1N

-HCI 주입된 양 측정

C : HCI의 농도

D : 추출한 KOH 용액량

III. 결과 및 고찰

1. 임상별 식생구조의 변화

1) 활엽수림 지역

활엽수림인 삼신봉지역의 산화지와 비산화지의 식생구조를 파악하기 위한 중요치(IV)는 Table 1과 같다.

**Table 1.** Importance vaule of each layer at the burned and unburned areas in Samsinbong

Layer	Species	Burned areas		Unburned areas
		'97.10	'98.8	'98.8
Tree	<i>Quercus mongolica</i>	65.54	100	74.01
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	11.04		7.56
	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	11.04		6.61
	<i>Prunus sargentii</i>	6.87		4.65
	<i>Stewartia koreana</i>	5.52		3.74
	<i>Betula costata</i>			3.43
	Total	100.00	100.00	100.00
Sub -tree	<i>Quercus mongolica</i>	27.96	100	21.54
	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	23.59		20.43
	<i>Symplocos paniculata</i>	16.07		16.79
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	8.40		13.09
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	5.64		4.30
	<i>Stewartia koreana</i>	4.55		1.44
	<i>Betula costata</i>	2.39		
	<i>Lespedeza bicolor</i>	3.85		1.12
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	4.09		9.43
	<i>Lindera obtusiloba</i>	1.91		2.28
	<i>Weigela subsessilis</i>	1.55		
	<i>Maackia amurensis</i>			1.12
	<i>Ilex macropoda</i>			1.91
	<i>Tripterygium regelii</i>			1.44
	<i>Abies koreana</i>			1.59
<i>Euonymus oxyphyllus</i>			1.28	
Total	100.00	100.00	100.00	
Shrub	<i>Sasa borealis</i>			48.08
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>			10.10
	<i>Lindera obtusiloba</i>			6.92
	<i>Symplocos paniculata</i>			6.01
	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>			5.31
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>			5.14
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>			4.08
	<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>			2.04
	<i>Corylus heterophylla</i>			2.04
	<i>Weigela subsessilis</i>			1.78

**Table 1.** Continued

Layer	Species	Burned areas		Unburned areas
		'97.10	'98.8	'98.8
Shrub	<i>Quercus mongolica</i>			1.65
	<i>Euonymus oxyphyllus</i>			1.65
	<i>Deutzia parviflora</i>			0.96
	<i>Tripterygium regelii</i>			0.96
	<i>Rhus succedanea</i>			0.83
	<i>Abies koreana</i>			0.83
	<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>			0.83
	<i>Callicarpa japonica</i>			0.83
Total			100.00	
Herb	<i>Commelina communis</i>		24.09	
	<i>Lespedeza maximowiczii</i>		20.08	4.17
	<i>Sasa borealis</i>		14.78	
	<i>Rubus crataefolius</i>		6.20	
	<i>Dicentra spectabilis</i>		5.65	
	<i>Tripterygium regelii</i>		4.67	
	<i>Persicaria nepalensis</i>		3.80	
	<i>Aralia elata</i>		3.75	
	<i>Lilium teauifolium</i>		3.52	
	<i>Persicaria viscofera</i>		2.53	
	<i>Stephanandra incisa</i>		2.22	
	<i>Impatiens textori</i>		1.58	
	<i>Philadelphus schrenckii</i>		1.07	
	<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>		0.66	
	<i>Viola acuminata</i>		0.66	
	<i>Quercus mongolica</i>		0.33	
	<i>Weigela subsessilis</i>		0.33	
	<i>Arundinella hirta</i>			13.21
	<i>Caret humilis</i>			9.35
	<i>Ainsliaea acerifolia</i>		0.33	8.74
	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>		0.66	7.37
	<i>Melampyrum roseum</i>			6.54
	<i>Lysimachia barystachys</i>		1.00	6.44
	<i>Sedum polystichoides</i>		0.33	6.29
	<i>Hosta longipes</i>			5.07
	<i>Lespedeza bicolor</i>			4.67
	<i>Lepisorus thunbergianus</i>			3.83
	<i>Saussurea gracilis</i>			3.54
<i>Artemisia keiskeana</i>			2.91	
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>			2.91	
<i>Pedicularis resupinata</i>			2.63	
<i>Thalictrum aquilegifolium</i>			1.46	
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>			1.46	
<i>Clematis heracleifolia</i>			1.46	
<i>Lindera obtusiloba</i>			1.46	
<i>Rhododendron mucronulatum</i>			0.92	
<i>Hydrangea macrophylla</i>			0.92	
<i>Euonymus oxyphyllus</i>			0.92	
<i>Pinus koraiensis</i>			0.92	

Table 1. Continued

Layer	Species	Burned areas		Unburned areas
		'97.10	'98.8	
Herb	<i>Carex siderosticta</i>	0.74		100.00
	<i>Corchoropsis tomentosa</i>	0.33		
	<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	0.66		
	Total			

Table 1에서, 활엽수림인 삼신봉지역에서 산불지역 교목층에 출현한 종은 5종으로 신갈나무, 쇠물푸레나무, 산벚나무 순으로 우점하였으며, 아교목층에 출현한 종은 11종으로 당단풍나무, 신갈나무, 검노린재나무 순으로 우점하고 있었고, 관목층과 초본층은 전소하였다. 1998년 8월 산화지의 교목층과 아교목층에는 신갈나무만 나타내었다. 이는 교목층과 아교목층의 수종이 모두 고사하여 신갈나무만 소생하고 있었고, 신갈나무도 수세가 매우 쇠퇴된 상태였다. 초본층에는 24종이 출현하였으며, 닭의장풀, 조록싸리 유묘가 우점종으로 나타났다. 이는 우보명과 권태호(1983)의 관악산지역 산불지역의 초기 식생조사에서 신갈나무와 싸리류가 우점하고 있었다는 연구보고와 유사한 경향을 나타내었으며, 산불발생 이후 싸리류의 출현이 두드러지는 현상은 산불로 인한 토양온도의 증가로 토양내 휴면종자의 발아가 촉진된다는 보고(Iwata, 1966)와 질소고정을 하는 콩과식물이 증가한다는 보고(Spurr and Barnes, 1980)와 유사한 결과를 나타내었다.

비산화지 교목층에 출현한 종은 6종으로 신갈나무, 쇠물푸레나무, 당단풍나무 순으로 우점하고 있었으며, 아교목층에 출현한 종은 14종으로 신갈나무, 당단풍나무, 검노린재나무 순으로 우점하였다. 관목층에 출현한 종은 18종으로 조릿대, 진달래, 생강나무 순으로 우점하고 있었으며, 초본층에 출현한 종은 23종으로 실새풀, 산겨울, 단풍취 순으로 우점하였다.

2) 촛대산지역

침엽수림인 촛대산지역의 산화지와 비산화지의 식생 구조를 파악하기 위하여 중요치(IV)를 조사한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2와 같이 침엽수림 촛대산의 산화지에 있어서 교목층, 아교목층, 관목층은 모두 전소하였으며, 1997년 4월 초본층에 출현한 종은 31종으로 산겨울, 때죽나무, 고사리 순으로 우점하였고, 1997년 9월 초본층에 출현한 종은 40종으로 조록싸리, 애기나리, 실새풀 순으로 우점하고 있었으며, 1998년 6월 출현한 종은 52종

Table 2. Importance value of each layer at the burned and unburned areas in Mt. Chosdae

Layer	Species	Burned areas			Unburned areas			
		'97.4	'97.9	'98.6	'97.4	'97.9	'98.6	
Tree	<i>Pinus densiflora</i>	75.36	77.81	77.69				
	<i>Albizia julibrissin</i>	5.58	3.28	3.03				
	<i>Quercus variabilis</i>	4.91	4.29	4.42				
	<i>Quercus acutissima</i>	4.58	4.26	4.13				
	<i>Quercus dentata</i>	3.21	3.25	3.78				
	<i>Quercus mongolica</i>	3.21	3.57	3.42				
	<i>Quercus serrata</i>	3.15	3.54	3.53				
	Total	100.00	100.00	100.00				
	Sub-tree	<i>Pinus densiflora</i>	29.13	28.63	22.64			
		<i>Rhododendron mucronulatum</i>	15.89	14.46	15.69			
<i>Styrax japonica</i>		13.90	18.24	21.77				
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>		9.64	9.78	10.32				
<i>Carpinus tschonoskii</i>		5.19	3.15	3.45				
<i>Quercus acutissima</i>		4.79	4.41	4.45				
<i>Rhus trichocarpa</i>		4.79	4.96	5.21				
<i>Quercus variabilis</i>		3.98	3.78	3.54				
<i>Quercus aliena</i>		3.59	3.61	3.58				
<i>Quercus dentata</i>		3.56	3.59	3.54				
<i>Quercus serrata</i>		3.14	3.24	3.57				
<i>Carpinus laxiflora</i>		2.40	2.15	2.24				
Total		100.00	100.00	100.00				
Shrub	<i>Quercus serrata</i>	19.95	15.48	17.27				
	<i>Rhus trichocarpa</i>	10.97	12.41	11.42				
	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	8.68	6.47	7.65				
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	8.35	9.78	10.24				
	<i>Quercus dentata</i>	7.14	6.78	8.43				
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	6.42	7.26	6.84				
	<i>Lindera glauca</i>	4.81	4.21	3.98				
	<i>Lindera erythrocarpa</i>	4.37	3.85	4.35				
	<i>Styrax japonica</i>	3.94	3.87	4.05				
	<i>Quercus acutissima</i>	3.79	3.74	3.50				
	<i>Lespedeza bicolor</i>	3.79	3.99	3.74				
	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	3.21	3.45	2.99				
	<i>Smilax china</i>	3.21	3.11	2.89				
	<i>Lindera obtusiloba</i>	2.77	2.78	2.45				
	<i>Rubus parvifolius</i>	1.60	1.69	2.10				
	<i>Juniperus rigida</i>	1.17	1.04	1.15				
	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	1.17	2.41	1.24				
<i>Prunus sargentii</i>	1.17	1.24	1.21					
<i>Viburnum erosum</i>	1.17	2.65	1.14					
<i>Quercus aliena</i>	1.17	2.45	1.75					
<i>Viburnum dilatatum</i>	1.17	1.34	1.71					
Total	100.00	100.00	100.00					

Table 2. Continued

Layer	Species	Burned areas			Unburned areas		
		'97.4	'97.9	'98.6	'97.4	'97.9	'98.6
Herb	<i>Disporum smilacinum</i>	5.01	10.97	10.25			
	<i>Caret humilis</i>	16.89	3.73	6.63			
	<i>Arundinella hirta</i>	8.17	10.92	2.47	12.31	11.78	12.02
	<i>Smilax china</i>	2.22	6.24	3.97	7.11	5.44	2.97
	<i>Quercus serrata</i>	0.65	7.12	3.36	6.54	2.78	3.59
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>			3.36		2.41	1.64
	<i>Syrax japonica</i>	12.35	2.14	3.13		3.47	5.55
	<i>Pteridium aquilinum</i>	10.67	9.51	3.08	4.15	6.74	2.82
	<i>Pyrola japonica</i>			3.06	3.98	3.16	3.13
	<i>Rhus trichocarpa</i>	0.65	4.51	3.06		8.57	9.23
	<i>Lysimachia barystachys</i>			2.23	0.62	0.67	
	<i>Artemisia leiskeana</i>	2.22		2.23	3.46	3.74	4.88
	<i>Lespedeza maximowiczii</i>		12.17	1.88	2.39		
	<i>Lindera erythrocarpa</i>			1.79		1.24	1.49
	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>		0.91	1.60	10.97	3.24	
	<i>Spodiopogon cotulifer</i>	1.39	1.30	1.49		2.14	3.13
	<i>Lindera glauca</i>			1.33		1.95	2.00
	<i>Aster scaber</i>	2.96	0.94	1.27	3.46		3.95
	<i>Arundinella hirta</i>	4.71	1.33	1.20		3.15	4.72
	<i>Atractylodes japonica</i>		0.49	1.15	3.12	3.78	4.10
	<i>Prunus sargentii</i>		0.49	0.92			1.33
	<i>Cephalanthera longibracteata</i>			0.81	1.25		
	<i>Hypericum erectum</i>	1.30		0.46			1.33
	<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>			0.46	0.62		2.00
	<i>Patrinia villosa</i>			0.41	0.62		
	<i>Pueraria thunbergiana</i>			0.41	1.25		
	<i>Adenopfera triphylla</i>				0.62		
	<i>Cocculus trilobus</i>		0.42		2.21		
	<i>Lindera glauca</i>				2.67		
	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>				2.87		
	<i>Vitis flexuosa</i>				0.63		
	<i>Viola rossii</i>	0.65	0.42		2.39	2.01	
	<i>Celastrus orbiculatus</i>					2.40	2.77
	<i>Peucedanum terebinthaceum</i>				1.25	0.24	
	<i>Quercus aliena</i>					2.12	2.00
	<i>Elaeagnus umbellata</i>						2.15
	<i>Lonicera japonica</i>				1.42	1.49	1.33
	<i>Sanguisorba officinalis</i>		0.87		1.25		
	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>				1.59	3.27	4.21
	<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>				1.93	1.74	
	<i>Viburnum dilatatum</i>		1.33		0.97	0.84	
	<i>Euonymus alatus</i>						1.33
	<i>Chimaphila japonica</i>				5.45	3.24	
	<i>Carpinus tschonoskii</i>					1.87	1.64
	<i>Disporum viridescens</i>					2.47	2.31
	<i>Carex lanceolata</i>		2.87		12.90	14.06	12.38
	<i>Osmunda japonica</i>		5.36				
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>		5.15					
<i>Ainsliaea acerifolia</i>		3.35					

Table 2. Continued

Layer	Species	Burned areas			Unburned areas		
		'97.4	'97.9	'98.6	'97.4	'97.9	'98.6
Herb	<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>	2.75					
	<i>Scutellaria pekinensis</i> var. <i>transita</i>	1.95					
	<i>Indigofera kirilowi</i>	1.57		3.65			
	<i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonicum</i>	1.48	0.42				
	<i>Hosta longipes</i>	1.45	0.55	0.52			
	<i>Hemerocallis fulva</i>	1.18					
	<i>Quercus mongolica</i>	1.18					
	<i>Symplocos paniculata</i>	0.83	1.42				
	<i>Allium thunbergii</i>	0.65					
	<i>Ixeris dentata</i>	0.65	0.42				
	<i>Syneilesis palmata</i>	0.65					
	<i>Cephalanthera erecta</i>	0.65					
	<i>Lilium distichum</i>	0.65					
	<i>Maackia amurensis</i>	0.65					
	<i>Erechtites hieracifolia</i>		4.76				
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>		4.16	0.98			
	<i>Lespedeza bicolor</i>		4.11				
	<i>Miscanthus sinensis</i>		3.86				
	<i>Oplismenus unsulatifolius</i>		2.55				
	<i>Quercus dentata</i>		2.43	0.52			
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		2.31				
	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>		1.04				
	<i>Quercus variabilis</i>		0.97				
	<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i>		0.91				
	<i>Lindera obtusiloba</i>		0.91	0.87			
	<i>Phytolacca esculenta</i>		0.63				
	<i>Albizia julibrissin</i>		0.55	0.52			
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>		0.52				
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>		0.45	0.92			
	<i>Anemopsis brevipedunculata</i> var. <i>heterophylla</i>		0.42				
	<i>Cornus controversa</i>			0.41			
	<i>Youngia denticulata</i>			0.52			
	<i>Erigeron canadensis</i>			1.03			
	<i>Rubus crataefolius</i>			0.98			
	<i>Commelina communis</i>			10.91			
	<i>Persicaria filiforme</i>			0.46			
	<i>Morus bombycis</i>			0.68			
	<i>Rhus chinensis</i>			0.74			
	<i>Polygonatum lasianthum</i>			1.39			
	<i>Viola mandshurica</i>			1.22			
	<i>Viburnum erosum</i>			0.92			
	<i>Luzula capitata</i>			0.81			
	<i>Miscanthus sinensis</i>			0.52			
	<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>			0.46			
	<i>Vitis amurensis</i>			0.46			
	<i>Meliosma oldhamii</i>			0.46			
	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>			0.46			

Table 2. Continued

Layer	Species	Burned areas			Unburned areas		
		'97.4	'97.9	'98.6	'97.4	'97.9	'98.6
Herb	<i>Rosa maximowicziana</i>			0.41			
	<i>Diospyros lotus</i>			0.41			
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

으로 애기나리, 닭의장풀, 산거울 순으로 우점하고 있었다. 이는 산불지역의 초기 식생변화에서는 역새가 우점한다고 보고되었으나(심학보와 김원, 1993; 조영호와 김원, 1991; 김원, 1980), 삼신봉과 촛대산지역에서는 조록싸리와 실새풀 등이 우점하였다. 이와 같은 결과는 산불의 발생으로 낙엽층의 소실과 지역적인 영향으로 조록싸리, 실새풀, 닭의장풀 등이 우점한 것으로 추정된다.

비산화지 교목층에 출현한 종은 7종으로 소나무가 우점하고 있었으며, 아교목층은 12종으로 소나무, 진달래, 때죽나무 순으로 우점하고 있었고, 관목층에서는 21종에 줄참, 진달래, 조록싸리 순으로 우점하였다. 초본층에 출현한 종은 29종으로 그늘사초, 실새풀 등이 중요치를 나타내고 있었다. 산화후 교목층·아교목층에 출현한 종은 침엽수림보다 활엽수림에서 많은 종이 나타났으며, 초본층은 활엽수림보다 침엽수림에서 많은 종이 나타났다. 이는 활엽수림지역은 산불에 강한 참나무류가 우점하고 있었으며, 침엽수림지역은 산불에 약한 소나무가 우점하여 모두 전소하였기 때문으로 추정된다. 김재생과 김종갑 (1990), 이강녕 등(1995)의 산불발생 후 초본 식생변화에 대한 조사에서 산화지

는 산불로 인한 각종 양료의 증가로 비산화지보다 다양한 식생이 출현한다는 보고와 같이 본 연구에서도 유사한 경향으로 나타났다.

2. 임상별 토양의 화학적 성질 변화

1) 활엽수림 지역

활엽수림 삼신봉 지역의 산불지역과 비산불지역에 대한 토양의 계절별 화학적 성질 변화를 살펴보면 Table 3과 같다.

활엽수림 삼신봉의 산불지역과 비산불지역에 대한 토양의 pH를 비교하여 보면, 산불지역의 pH가 높게 나타나 산불이 토양의 pH를 증가시킨다는 Austin과 Baisinger(1955), Douglas와 Ballard(1971), 차순형(1981), 이원규 등(1988)의 보고와 유사한 결과를 보였다. 초지에서의 불은 대부분 토양의 pH를 증가시키는데 이는 식물이 타고난 뒤 재(ash)속에 함유된 염기성 물질인 K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>등이 농축되었기 때문으로, Daubenmire(1968), 박봉규와 김종희(1981)의 보고와 같은 경향을 나타내었다. 유기물 함량은 산불지역 7.42%, 비산불지역 2.92%로 산불지역이 높게 나타났다. 이는 산불로 인한 토양내 유기물함량은 산불발생 전보다 증가 또는 감소한다는 보고를 종합해 불 때 낙엽 및 유기물의 불완전연소 및 유기물의 양과 토양 등의 여러요인에 따라 유기물함량이 다양하게 변화하고 있음을 나타내고 있다. 우보명과 이현호(1989)는 토양의 pH와 토양유기물함량은 산불발생 직후 일반적으로 증가하였다가 시간이 경과함에 따라 차츰 감소한다는 보고와 유사한 경향을 나타내었다.

Table 3. Monthly changes of soil chemical (±S.D.) properties at the burned and unburned areas in Mt. Samsinbong

	Burned areas							Unburned areas						
	pH (1 : 5)	O.M. (%)	T.N. (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex-cation (me/100g)			pH (1 : 5)	O.M. (%)	T.N. (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex-cation (me/100g)		
					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
97.Oct.	5.8±0.1	7.42±0.19	0.37±0.07	28.5±1.2	1.3±0.03	13.3±1.1	2.2±0.1	4.0±0.2	2.92±0.21	0.21±0.03	14.3±1.3	0.4±0.02	3.2±0.4	1.9±0.6
97.Nov.	5.6±0.2	5.16±0.15	0.35±0.05	24.2±1.1	1.2±0.02	12.7±1.0	4.6±0.3	4.0±0.3	2.34±0.19	0.21±0.05	14.2±1.4	0.5±0.01	5.1±0.3	2.3±0.2
98.Apr.	5.2±0.1	3.82±0.18	0.32±0.04	17.3±1.0	1.3±0.06	11.8±1.0	3.8±0.2	4.1±0.1	2.81±0.16	0.22±0.04	12.2±1.1	0.7±0.04	6.8±0.5	3.5±0.5
98.Jun.	5.2±0.3	3.44±0.12	0.31±0.07	9.6±1.1	1.2±0.02	11.0±1.3	8.2±0.1	4.0±0.2	2.52±0.23	0.23±0.06	12.6±1.6	0.7±0.01	11.9±0.2	3.6±0.3
98.Aug.	4.8±0.2	1.85±0.21	0.29±0.04	7.9±1.2	1.2±0.01	10.5±1.2	3.3±0.1	3.9±0.1	2.31±0.23	0.19±0.07	11.2±1.2	0.7±0.03	0.7±0.6	4.6±0.8
98.Oct.	4.7±0.1	1.34±0.31	0.29±0.03	8.1±0.9	0.8±0.03	5.8±0.9	2.0±0.3	4.1±0.1	2.41±0.22	0.21±0.05	11.9±1.1	0.6±0.02	4.4±0.2	2.2±0.2

※ O.M. : Organic Matter, T.N. : Total Nitrogen

산불지역의 전질소 함량은 0.37%, 비산불지역 전질소 함량은 0.23%로 산불지역이 높게 나타났는데, Ahlgren(1960)은 토양내 질소는 산불로 인해 증감되는데, 증가하는 경우는 산불이 토양내에서 질소고정 박테리아작용을 촉진하는데 그 원인이 있다고 보고한 바 있다. 유효인산은 산불지역 28.5mg/kg, 비산불지역 14.3mg/kg으로 산불지역이 높게 나타났다. 치환성양이온인  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ 은 산불지역 1.3me/100g, 13.3me/100g, 2.2me/100g, 비산불지역 0.4me/100g, 3.2me/100g, 1.9me/100g로 산불지역이 각각 높게 나타났으며, 치환성양이온은 산불발생 후 증가하였다가 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 식물체가 산화에 의해 회분화된 양료로 변화하여 토양에 추가되고, 그로 인하여 염기성질이 증가하는 것으로 판단되었다.

## 2) 침엽수림지역

침엽수림인 촛대산 지역의 산불지역과 비산불지역에 대한 토양의 화학적 성질 변화를 계절별 살펴보면 Table 4와 같다.

침엽수림인 촛대산 지역의 산불지역과 비산불지역의 토양 pH는 산불지역이 높게 나타났으며, 유기물 함량은 산불지역이 6.42%, 비산불지역이 2.82%로 산불지역보다 높은 값을 나타내었다. 산불지역의 전질소 함량은 0.25%, 비산불지역 전질소 함량은 0.19%로 산불지역이 높게 나타났으며, 유효인산은 산불지역이 24.4mg/kg, 비산불지역이 16.9mg/kg로 산불지역이 높게 나타났다. 치환성 양이온인  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ 은 산불

지역이 0.7me/100g, 3.7me/100g, 2.1me/100g, 비산불지역이 0.4me/100g, 1.0me/100g, 1.4me/100g로 산불지역이 각각 높게 나타났다. 산불발생 후 표토층의 토양 pH가 높아지는 것은 재의 발생으로 증가되는 치환성 양이온 때문인 것으로 알려지고 있다(이원규 등 1988, Debano 1991, 문형태와 정연숙, 1996). 산불지역에 있어서 토양 pH의 증가는 토양내 여러 가지 미생물의 활동을 활발하게 하여 질소, 황, 인산, 칼륨 등 임목생장에 관계되는 여러 가지 양분의 유효도를 증가시켜(Reich *et al.* 1990), 새로이 침입된 식생 및 재생된 임목의 성장과 활착에 상당한 도움을 주는 것으로 생각된다. 그러나 적은 양의 강우에도 염기성 양료의 용탈이 심하게 일어나기 때문에 산불지역내 토양 pH의 증가는 짧은 기간 동안에 한정될 수밖에 없을 것으로 추정된다.

산불지역에서 유기물은 감소하거나(Covington and Sackett, 1984), 증가하는 것으로(이원규 등, 1988) 알려져 있으며, 감소하는 주 원인은 산불발생 후 지상부의 산림소실로 인한 낙엽, 낙지 등의 유입량이 감소하기 때문이다. 그러나 산불발생은 많은 양의 뿌리를 연소시켜 그 결과로 산림 토양내 유기물 함량이 일시적으로 증가한다는 보고(이원규 등, 1997)와 같이, 본 연구에서는 양지역 모두 산불발생초기에는 토양 유기물함량이 높게 나타났으나, 시간이 경과됨에 따라 줄어드는 경향을 보이고 있다. 본 연구의 삼신봉과 촛대산의 산불지역은 1997년 10월과 98년 10월의 유기물 함량의 차이가 크게 나타난 것은 1998년 8월에 폭우성 강우에 의해 토양

**Table 4.** Monthly changes of soil chemical ( $\pm$ S.D.) properties at the burned and unburned areas in Mt. Chosdae

	Burned areas							Unburned areas						
	pH (1:5)	O.M. (%)	T.N. (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex-cation (me/100g)			pH (1:5)	O.M. (%)	T.N. (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex-cation (me/100g)		
					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
97.Oct	5.3±0.1	6.42±0.14	0.25±0.02	24.4±1.9	0.7±0.01	3.7±1.0	2.1±0.1	4.2±0.1	2.82±0.11	0.19±0.02	16.9±2.0	0.4±0.01	1.0±0.6	1.4±0.1
97.Nov.	5.0±0.1	4.23±0.11	0.23±0.04	20.6±2.1	0.7±0.01	3.8±0.9	2.1±0.2	4.3±0.1	2.64±0.16	0.20±0.01	16.0±1.9	0.4±0.01	1.1±0.4	1.4±0.2
98.Apr.	4.2±0.1	3.21±0.13	0.22±0.01	19.6±2.4	0.7±0.02	2.0±0.7	1.9±0.1	4.0±0.1	2.52±0.13	0.22±0.02	13.8±1.5	0.3±0.01	1.5±0.7	1.5±0.4
98.Jun.	4.4±0.1	3.32±0.14	0.22±0.02	18.4±2.3	0.9±0.01	5.6±0.8	2.2±0.1	4.8±0.1	2.41±0.14	0.23±0.01	17.8±1.7	0.5±0.01	1.9±0.5	1.3±0.1
98.Aug.	4.2±0.1	1.31±0.06	0.17±0.01	14.1±1.8	0.3±0.02	2.2±0.7	1.4±0.1	4.2±0.1	2.11±0.17	0.21±0.02	15.1±1.6	0.4±0.01	0.8±0.4	0.8±0.1
98.Oct.	4.2±0.1	1.81±0.19	0.17±0.05	14.2±2.1	0.3±0.02	1.9±0.4	1.4±0.1	4.8±0.1	2.22±0.13	0.21±0.01	15.4±1.5	0.4±0.01	1.7±0.6	1.1±0.1



유기물이 유실 되었기 때문으로 추정된다. 문형태와 정연숙(1996)의 보고에 의하면, 산불지역에서의 유효인산 함량은 산불발생 후 재로 분해된 식물체의 양료에 의해 인산의 양이 증가한다는 보고와 같이 본 연구에서도 초기에는 유효인산양이 증가하는 경향을 보였으나 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. Raison(1979)은 유기물의 양이 적은 지역에서의 산불은 토양의 치환성 양이온의 양이 뚜렷한 차이를 보이지 않는다고 하였는데, 본 연구의 치환성 양이온은 활엽수림 산불지역에서는 비산불지역에 비하여 높게 나타났으나, 침엽수림은 큰 차이를 보이지 않았다. 그 원인으로는 침엽수림 지역의 유기물 함량이 활엽수림 지역보다 적었기 때문으로 사료된다.

본 조사에서 침엽수림과 활엽수림에서 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온은 산불발생 후 높게 나타났으나 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있었으며, 비산불지역에서는 시간이 경과해도 일정한 경향을 나타내었다.

2. 산화지와 비산화지의 토양호흡량

활엽수림인 삼신봉지역과 침엽수림인 훗대산 지역의 산화지와 비산화지에 발생하는 토양호흡량의 계절별 변화를 나타내면, Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 토양호흡량의 계절별 발생량은 활엽수림인 삼신봉과 침엽수림인 훗대산의 산화지와 비산화지 모두 봄철에 낮게 나타났으며, 여름철에 높게 나타났다. 이는 토양의 온도가 높을 때 CO<sub>2</sub>의 발생량이 높아진다는 보고(손요한, 1992; 문현식, 1998)와 유사한 결과를 나타내었다.

활엽수림인 삼신봉의 산화지에서는 1998년 4월 578.2mg/m<sup>2</sup>/hr이 발생하였으며, 비산화지에서는 1,222.1mg/m<sup>2</sup>/hr이 발생하여, 산화지 보다 비산화지가 2.1배 높게 나타났고, 1998년 6월 산화지와 비산화지에서 발생한 CO<sub>2</sub>량은 934.1mg/m<sup>2</sup>/hr, 28,163mg/m<sup>2</sup>/hr로 산화지 보다 비산화지가 30배 높게 나타났다. 1998년 8월의 산화지 1,515.7mg/m<sup>2</sup>/hr, 비산화지 3,122.2mg/m<sup>2</sup>/hr로 산

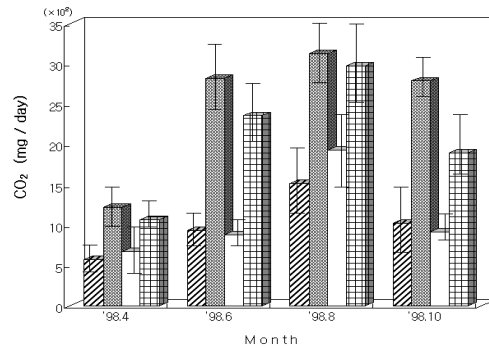


Fig. 2. Monthly changes of soil respiration rate at the burned and unburned areas in Samsinbong and Mt. Chosdae.

- ▨ : Burned areas in Samsinbong,
- ▩ : Unburned areas in Samsinbong,
- : Burned areas in Mt. Chosdae,
- ▤ : Unburned areas in Mt. Chosdae.

화지 보다 비산화지가 2배 높게 나타났으며, 1998년 10월 산화지 1,021.3mg/m<sup>2</sup>/hr, 비산화지 2,189.3mg/m<sup>2</sup>/hr로 비산화지가 산화지 보다 2.7배 높게 나타났다. 침엽수림인 훗대산지역은 산화지가 1998년 4월 669.1mg/m<sup>2</sup>/hr이 발생하였으며, 비산화지에서는 1,066.3mg/m<sup>2</sup>/hr이 발생하여, 산화지 보다 비산화지가 1.6배 높게 나타났고, 1998년 6월 산화지와 비산화지에서 발생한 CO<sub>2</sub>량은 879.4mg/m<sup>2</sup>/hr, 2,235.7mg/m<sup>2</sup>/hr로 산화지 보다 비산화지가 2.6배 높게 나타났다. 1998년 8월의 산화지 1,927.7mg/m<sup>2</sup>/hr, 비산화지 2,968.5mg/m<sup>2</sup>/hr로 산화지 보다 비산화지가 1.5배 높게 나타났으며, 1998년 10월 산화지 916.3mg/m<sup>2</sup>/hr, 비산화지 1,896.8mg/m<sup>2</sup>/hr로 비산화지가 산화지 보다 2배 높게 나타났다. 활엽수림 산화지와 침엽수림 산화지의 토양호흡량은 침엽수림에서 토양호흡량이 높게 나타났으며, 비산화지에서는 침엽수림보다 활엽수림에서 토양호흡량이 높게 나타났다. 이러한 결과는 관목층은 조릿대의 밀식으로 인하여 식물의 뿌리에 의한 토양호흡량이 높게 나타나는 것으로 추정된다.

토양호흡량은 산화지 보다 비산화지에서 높게 나타났으며, 이는 비산화지의 전체 토양호흡량 중 식물뿌리에서의 호흡량이 높았기 때문으

로 추정되며, 앞으로 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

침엽수림과 활엽수림의 산불지역에 있어서 식생회복과 토양환경의 차이를 규명하고, 산림생태계의 회복과정을 살펴보기 위해, 산불발생 후 시간이 경과함에 따른 토양의 화학적 성질과 식생의 변화상태를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 활엽수림인 삼신봉에 있어서 산화지에 출현한 종수는 교목층 5종, 아교목층 11종, 초본층 24종이었으며, 비산화지에 출현한 종수는 교목층 5종, 아교목층 14종, 관목층 18종, 초본층 23종으로 각각 나타났다. 침엽수림인 촛대산에 있어서 산화지에 출현한 종수는 초본층이 83종, 비산화지 출현한 종수는 교목층 7종, 아교목층 13종, 관목층 21종, 초본층 46종으로 각각 나타났다. 산화후 교목층·아교목층에 출현한 종은 침엽수림보다 활엽수림에서 많은 종이 나타났으며, 초본층은 활엽수림보다 침엽수림에서 많은 종이 나타났다.
2. 활엽수림인 삼신봉 지역 산화지에서의 산불 직후 토양의 화학적 성질은 pH 5.8, 유기물량 7.42%, 전질소량 0.37%, 유효인산량 28.5mg/kg, 치환성양이온인  $K^+$ 이 1.3me/100g,  $Ca^{++}$ 이 13.3me/100g,  $Mg^{++}$ 이 2.2me/100g로 나타났으나, 시간이 경과할 수록 감소하는 경향이 있었으며, 비산화지에서는 시간 경과에 따른 변화폭이 적었다.  
침엽수림인 촛대산 산불지역에서 산불직후 토양의 화학적 성질은 pH 5.3, 유기물량 6.42%, 전질소량 0.25%, 유효인산량 24.4mg/kg, 치환성양이온인  $K^+$ 이 0.7me/100g,  $Ca^{++}$ 이 3.7me/100g,  $Mg^{++}$ 이 2.1me/100g로 각각 나타났다.
3. 활엽수림인 삼신봉 산화지에서 토양호흡량의 총 발생량은 4,049.1mg/m<sup>2</sup>/hr, 비산화지는 9,950mg/m<sup>2</sup>/hr로 비산화지가 2.5배정도 높았으며, 침엽수림인 촛대산 산화지의 토양호흡량은 4,392.4mg/m<sup>2</sup>/hr, 비산화지는 8,286.5mg/

m<sup>2</sup>/hr이 발생하여 비산화지가 약 1.9배정도 높게 발생하였다. 활엽수림 산화지와 침엽수림 산화지의 토양호흡량은 침엽수림 지역에서 1.1배 정도 높게 나타났으며, 비산화지의 토양호흡량은 활엽수림보다 침엽수림이 1.2배 정도 높게 나타났다.

#### V. 인 용 문 헌

- 강상준 · 이종태. 1982. 산화지의 식생회복에 관한 생태학적 연구. 한국생태학회지 5 : 54-62.
- 김 원. 1980. 산화적지의 2차식생과 2차천이에 관하여. 경북대학교육대학원논문집 12 : 81-89.
- 김 원 · 서정호 · 이종운. 1983. 당지동의 산화지의 식생회복과 초기 식생천이. 한국생태학회지 6 : 237-242.
- 김 원. 1989. 소나무림의 산화지의 이차식생과 종다양성. 한국생태학회지 12 : 285-295.
- 김재생 · 김종갑. 1990. 지리산지역의 산화적지에 대한 초기식생의 조사. 경상대학교연습림보고서 1 : 1-11.
- 문현식. 1998. Processes of nutrient availability in different soil plant ecosystems established on volcano Mt. Showa-Shinzan. 北海道大學 校 博士學位 論文. 149pp.
- 문형태 · 정연숙. 1996. 강원도 고성지역 산불이 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향. 한국생태학회지 19 : 375-383.
- 문형태 · 정연숙. 1997. 산화당년에 재생되는 식물군집의 종구성과 식물의 영양염류 흡수량. 한국생태학회지 20 : 27-33.
- 박봉규 · 김종희. 1981. 치악산의 식생과 토양에 미친 산불의 영향. 한국식물학회지 24 : 31-45.
- 산림청. 1998. 임업통계연보 28 : 186-187.
- 심학보 · 김 원. 1993. 섭제골지역의 산화지 및 군락구조 비교. 한국생태학회지 16(4) : 429-438.
- 손요한 · Ivan J. Fernandez · 김진숙. 1992. Soil air CO<sub>2</sub> concentrations in a spruce-fir forest,

- maine, USA. 한국생태학회지 81(2) : 177-182.
- 우보명 · 권태호. 1983. 관악산지역에서의 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(L) -관악산 뱀골계곡에서의 초기 영향- 한국임학회지 62 : 43-52
- 우보명 · 이현호. 1989. 황폐산지에서의 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(IV). 한국임학회지 78 : 302-313.
- 이강녕 · 김종갑 · 이정환. 1995. 산화지역의 초본식생변화. - 함천지역을 중심으로 -. 경상대학교 연습림 보고서 5 : 9-17.
- 이원규 · 최경 · 오민영. 1988. 산화에 의한 토양 및 식생의 변화. 임업연구연보 37 : 35-49.
- 이원규 · 김춘식 · 차순형 · 김영걸 · 변재경 · 구교상 · 박재욱. 1997. 산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향. 한국생태학회지. 20(3) : 157-162.
- 정연숙 · 김준호. 1987. 산화가 소나무림의 토양과 유출수의 화학적 성질 및 식물량에 미치는 영향. 한국생태학회지. 10 : 129-138.
- 조영호 · 김 원. 1991. 산화후 도덕산 소나무림의 초기식생회복과 종다양성. 한국생태학회지. 14(1) : 15-23.
- 차순형. 1981. 산화적지의 토양 변화와 관리. 산림 189 : 44-50.
- 홍순우 · 하영철 · 최영길. 1968. 식생, 토양 및 토양미생물에 미치는 불의 효과에 대하여. 식물 학회지 11 : 9-20.
- Ahlgren, I.F. and C.E. Ahlgren. 1960. Ecological effects of forest fires. Bot. Rev. 26 : 483-533.
- Austin, R.C. and D.H. Baisinger. 1955. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. J. Forestry 53 : 275-280.
- 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. p. 450.
- Covington, W.W. and S.S. Sackett. 1984. The effect of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. Forest Sci. 30 : 183-192.
- Daubenmire, R. 1968. Ecology of fire in grasslands. Adv. Ecol. Res. 5 : 209-266.
- 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-280. pp. 151-156.
- Douglas, G.W. and T.M. Ballard. 1971. Effects of fire on alpine plant communities in the North Cascades, Washington. Ecology 52 : 1058-1064.
- Kirita, H. 1971. Re-examination of the absorption method of measuring soil respiration under field conditions. II. Effect of the size of the apparatus on CO<sub>2</sub> absorption rates. III. Combined effect of the covered ground area and the surface area of KOH solution on CO<sub>2</sub> absorption rates. Jap. J. Ecology 27 : 37-47.
- Lewis, W.M. Jr. 1974. Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. Ecology 55 : 1120-1127.
- 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.
- Reich, P. B., M.D. Abrams, D. S. Ellsworth, E. L. Kruger and T. J. Tabone. 1990. Fire affects ecophysiology and community dynamics of central Wisconsin oak forest regeneration. Ecology 71 : 2179-2190.
- Wagle, R.F. and J.H. Kitchen. 1972. Influence of fire on soil nutrients in a ponderosa pine type. Ecology 53 : 119-125.
- Wright, H.A. and A.W. Bailey. 1982. Fire ecology : United State and southern Canada. John Wiley & Sons, New York. p, 501.

接受 2001年 6月 12日