



ORIGINAL PAPER

원저

유기성폐자원을 이용한 산불토양의 생태학적 복원을 위한 토양의 생물학적, 물리화학적 기초특성연구

정영률, 송인근, 김영준  
가톨릭대학교 생명공학부 환경공학과

Basic study on the biological and physicochemical properties of burnt forest soil for the ecological restoration by organic waste

Young-Ryul Jung, In-Geun Song, Young-Jun Kim

Division of Biotechnology, The Catholic University, Bucheon, Korea

ABSTRACT

Forest soils were analyzed on their biological and physicochemical properties for the ecological restoration of burnt forest soil using organic wastes and proper microorganisms. Three kinds of soil samples were collected from undamaged soil (US), naturally restoring soil (NS) and artificially restoring soil (AS). All soil samples were sandy soil and acidic soil, ranged pH 5.34~5.78. Moisture content was higher in the soil of NS region. And the others were similar. Total organic matter and soluble sugar were higher at the surface, generally. Heterotrophic soil microbes were abundant at the surface soil of NS and subsoil of AS. Dehydrogenase, cellulase and phosphatase activities were higher at the NS soil. Especially, Dehydrogenase activity as primary index of soil microbial process showed high correlation with moisture content ( $r=0.90$ ,  $P < 0.05$ ).

Keywords : Forest Soil Restoration, Burnt Soil, Moisture Content

초 록

유기성폐기물 및 토양미생물을 이용하여 산불로 훼손된 산림토양을 생태적으로 복원하기 위한 일환으로 동해안 지역에서 발생한 산불토양의 물리·화학적 환경요인 및 생물학적 특성을 분석하였다. 토양 시료는 산불의 영향을 받지 않은 정상토양(US), 산불 후 자연적으로 복원된 토양(NS)과 산불 후 인위적인 복원이 시도된 토양(AS) 등, 세 지역의 표토와 심토를 이용하였다. 모든 토양 시료는 사질토가 우세한 pH 5.34~5.78의 산성 토양이었으며, 함수량은 정상토양에서 높게 나타났고 자연복원지와 인위복원지에서는 표토의 함수량이 심토보다 낮았다. 총 유기물량과 수용성 당량은 정상토양에서 특히 높았으며, 전체적으로

심토보다 표토에서 높게 나타났다. 토양 중속영양세균의 군집크기는 정상토양의 표토 (UST)와 자연복원지 심토(NSS)에서 크게 나타났으며, 탈수소효소, 섬유소 분해효소, 산성 인산 분해효소의 활성도는 정상토양에서 높게 나타났다. 미생물 작용의 1차지표가 되는 탈수소효소의 활성도는 함수량과 0.902 ( $P<0.05$ )의 높은 상관관계를 보였다.

핵심용어 : 산림토양복원, 산불토양, 함수량

## 1. 서론

90년대 이후, 매립지의 부족, 환경오염 등과 같은 사회적 이슈와 결부하여 폐기물 문제가 사회 문제화 되면서 쓰레기 성상 중에 재활용이 가능한 음식물쓰레기와 슬러지 등 유기성 자원에 대한 관심이 증가하게 되었다. 우리나라에서 발생하는 유기성 폐기물은 전체 폐기물 발생량의 절반 이상을 차지하고 있는 것으로 보고되고 있으며,<sup>1)</sup> 높은 수분 함량과 부패성으로 인하여 매립시 부패, 악취 및 침출수 발생, 지반 침하의 원인으로 작용한다. 2003년도 기준으로 한 해 발생량이 약 1억톤에 달하는 유기성 폐기물은 '생물에 유래한 동식물성의 폐기물로서 유기물 함량이 40% 이상인 폐기물'로 정의 된다.<sup>2)</sup> 유기성 폐기물은 가축분뇨, 인분뇨, 음식쓰레기 및 정원 폐기물, 식품형 부산물, 농업 부산물, 하수 슬러지 등 다양하게 발생하며 재활용 및 처리처분이 어려운 폐기물로서 생활수준의 향상과 더불어 그 발생량이 늘고 있는데 비해 재활용 또는 자원화에 관한 실적이 크게 늘지 않고 있는 실정에 있다.<sup>3)</sup> 또한 2005년도부터 시행되는 직매립 금지로 인해 자원화 정책이 본격적으로 시행되기 시작하였고 이의 한계로 군단위 지역을 제외한 폐기물 처리대상 전 구역이 분리수거에 의한 자원화 체제로 전환되고 있다.<sup>4)</sup>

유기성 폐기물의 처리대안으로 소각 및 퇴비화 등의 방법이 있으나 소각은 고비용 및 대기오염 등의 또 다른 환경문제를 발생시키며, 퇴비화 등은 저비용, 환경친화적이며 자원 순환적으로는 바람직하나 자원화방법 등의 문제로 적절한 수요처를 찾지 못해 활용도가 낮은 상태이다. 이를 극복하기 위해서는 유기성 자원의 재활용을 위한 다각적인

적용방법을 찾아야 한다. 이의 한 적용 방법으로 훼손된 산림 토양의 자연친화적 복원소재를 개발하기 위하여, 퇴비화 등의 방법을 통한 유기물의 재활용 소재 및 기능성 미생물소재를 개발할 필요성이 있으며, 선진국에서는 이미 하수슬러지를 오염된 토양, 산림 등의 토양복원재로 사용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

산불은 산림식생 및 토양의 이화학적 성질의 변화뿐만 아니라 산림생태계 전반에 걸쳐 큰 변화를 초래하며,<sup>5)</sup> 특히 침식작용이 일어나는 표층부에서 크게 나타나 수용성 화합물, 지질 등의 유기물 조성을 변화시킨다.<sup>6)</sup> 그리고, 발생 정도에 따라 최고 1,000°C 이상까지 온도를 상승시켜 미생물을 곧바로 사멸시킬 수 있으며 산불 발생 후 토양의 환경적 변화는 미생물의 분포에 지속적인 영향을 미친다.<sup>7)</sup> 효소의 활성도 또한 산불의 고온에 의해 전체적으로 또는 부분적으로 불활성화 된다.<sup>8)</sup> 산불지역의 산림토양 복원을 위하여 계분, 축분, 하수슬러지 등 세가지 유형의 유기성폐기물을 적용하여 식생과 토양의 비옥도가 증가했음이 보고된 바 있으며,<sup>9)</sup> 또한 스페인의 산불지역에서 퇴비화 슬러지를 투입한 결과 산림토양의 질이 개선되고 식생 발달이 촉진되는 등의 결과가 보고되기도 하였다.<sup>10)</sup>

본 연구는 산불에 의해 훼손된 산림토양의 물리화학적 환경요인과 토양내 미생물군집의 동태와 토양내 효소활성의 변화를 분석하여 산불토양의 생태적 복원을 위한 유기성 자원과 기능성 미생물 소재개발에 대한 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료채집

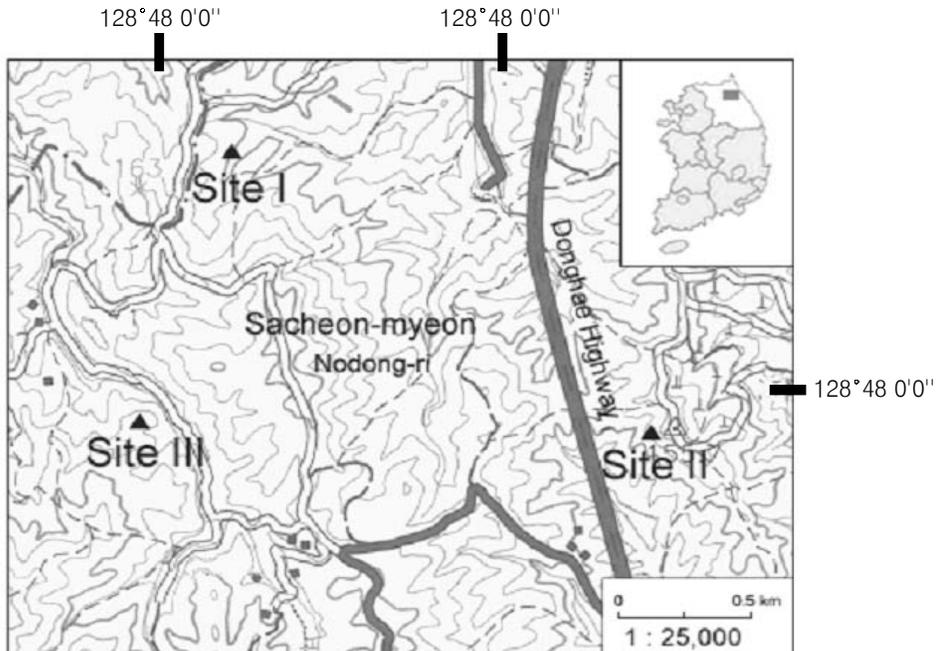
산림 토양 시료는 북위 37°49'15"~37°50'15", 동경 128°47'45"~128° 49'15"에 위치한 강원도 강릉시 사천면 노동리 지역에서 채집되었다(Fig. 1). 이 지역은 2000년도 4월에 강원도 고성군, 강릉시, 삼척시, 동해시 및 경상북도 울진군에 이르는 동해안 지역에서 발생한 산불피해지의 중간지대이다. 당시 발생한 동해안 산불로 인한 피해지역은 23,794 ha로서 여의도 면적의 약 80여배에 달하며 우리나라 역사상 가장 피해가 큰 산불이었다.<sup>11)</sup> 총 3회에 걸친 현지답사를 통하여, 산불의 영향을 받지 않은 정상토양(Site I: US, Unburnt Soil), 산불피해 후 자연적으로 복원된 토양(Site II: NS, Naturally restoring Soil) 그리고 송이재배를 목적으로 소나무 묘목식재를 통해 인공복원을 시도하였으나 복원되지 못하고 있는 토양(Site III: AS, Artificial restoring Soil)이 분포하고 있

는 지역을 시료채집 장소로 결정하였다.

각 시료채취 장소에서 무작위로 10 m 이내의 거리에 있는 3개 지점으로부터 표토층(0~20 cm)의 토양(T, top-soil)과 심토층(<20 cm)의 토양(S, sub-soil)을 동량 채집하여 각각 혼합하였다. 채집된 토양들은 비닐 백에 이중으로 밀봉한 후 냉장 상태로 실험실로 운반하였다. 물리화학적 분석을 위한 토양시료는 음건 후 2 mm 표준체로 체거름하였고, 효소활성도 측정, 미생물 분포조사를 위한 토양시료는 습윤 상태로 냉장 보관하였다.

### 2.2 토양의 물리화학적 특성

토성(soil texture)은 2 mm 표준망체로 친 음건 토양을 USDA(미국농무부) 분류기준에 따라 0.25 mm, 0.05 mm 체로 체거름하여 사토, 고운 사토 및 미사토와 점토로 구분하여 판정하였다. 토양 pH는 토양오염공정시험법에 따라 측정하였다. 함



[Fig. 1] The location of the sampling sites in gang-nung province, gangwon-do, korea. samples were randomly collected at 3 points in each site, and were mixed with equal volumes. Soil samples were named as follows.

- 1) UST and USS, the top- and sub-soil of unburnt site(Site I);
- 2) NST and NSS, the top- and sub-soil of natural restoring site(Site II);
- 3) AST and ASS, the top- and sub-soil of artificial restoring site(Site III).

수량은 시료 10 g을 취하여 105°C로 24시간 건조한 후 방랭하고, 건조 전·후의 무게차를 측정하여 계산하였다. 총 유기물 양의 측정은 Walkley 방법<sup>12)</sup>을 이용하였고 수용성 당의 정량은 anthrone 방법을 이용하였다. 총 유기물량에 대한 수용성 당류의 함량비를 구하여 S/O value로 나타내었다.

### 2.3 토양 미생물 군집 분포

총속영양 미생물은 nutrient agar (NA) 배지와 potato dextrose agar (PDA) 배지를 이용하여 세균(bacteria)과 균류(fungi)를 계수하였다. 섬유소 분해미생물은 carboxymethyl cellulose (CMC)가 포함된 TSA (Trypticase soy agar) 배지 (Tryptone 15 g, Soytone 5 g, NaCl 5 g, CMC 5 g, Agar 18 g, 증류수 1 ℓ)에서 30°C로 3일간 배양 후, 0.1% Congo red 용액을 형성된 집락에 처리하여 주위에 투명대(clear zone)를 나타내는 집락을 계수하였다. 지방 분해미생물은 5% TBN (Tributyrin)을 함유하는 TSA배지에 희석 도말하고 30°C에서 3일간 배양한 후, 주위에 투명대를 형성한 집락을 지방 분해미생물로 판정하여 계수하였다. 단백질 분해미생물은 1% skim milk를 함유하는 TSA배지에서 배양한 후 주위에 투명대를 형성한 집락을 단백질 분해미생물로 계수하였다.

### 2.4 토양효소 활성도

토양의 효소활성도는 탈수소효소(Dehydrogenase), 섬유소 분해효소(Cellulase)와 인산 분해 효소(Phosphatase)를 측정하였다. 탈수소효소의 측정은 Beyer 등의 방법<sup>13)</sup>에 따라 시행하였다. 습윤 토양시료 5 g을 2 mm체로 친 후 50 ml tube에 넣고 TTC(2,3,5-triphenyltetrazolium chloride)-tris buffer(pH 7.4) 5 ml를 첨가한 후 암시야에서 30°C에서 24시간동안 150 rpm으로 진탕하였다. 반응산물인 triphenyl formazan (TPF)은 20 ml의 acetone으로 처리하여 2시간동안 200 rpm으로 혼합하여 추출하였다. 반응산물의 정량은 485 nm에서 나타나는 흡광도로 측정(DR4000, HACH Co., USA)하였고, 효소활성도는 TPF(triphenyl formazan)  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$

로 나타내었다. 섬유소 분해효소의 총 활성도를 구하기 위하여 반응기질로 avicel을 이용하였다.<sup>14)</sup> 습윤 토양 1 g에 0.1 M acetate 완충액(pH 5.5) 5 ml와 avicel 0.5 g을 첨가하여 40°C에서 16시간 50 rpm으로 진탕하였다. 2,500 rpm, 10분간 원심분리한 후 상등액 1.5 ml를 검정시료로 취하였다. 시료에 copper reagent 1 ml를 가하여 10분간 100°C에서 가열하여 냉각시킨 후 arsenate-molybdate 용액 1 ml를 혼합하고, 혼합액 중 1 ml를 취하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 인산 분해효소의 활성도를 측정하기 위하여 습윤 토양 5 g과 활성탄소 1/4스푼을 플라스크에 넣은 후, 25 ml의 Morgan's 용액을 첨가하여 30분간 교반한 후 여과하였다. Ernst 방법<sup>15)</sup>에 따라 효소활성도 반응액 3 ml에 여과액 1 ml를 넣고 37°C에서 20분간 반응시켰다. 이후 TCA 용액을 첨가하여 효소 반응을 정지시킨 후, 1 N NaOH 용액 2.5 ml를 첨가하여 재발색시켰다. 반응산물인 paranitrophenol (PNP)은 410 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소 기본 반응액에는 기질로 이용되는 paranitrophenyl phosphate(p-NPP)를 5 mM로 조성하였다. pH에 따른 인산 분해효소의 활성도를 파악하기 위하여 기본 반응액의 용매로 acetate와 Tris-HCl 완충액을 이용하였다. 0.1 M acetate 완충액(pH 4.5)은 산성 인산 분해효소(Acidic phosphatase, ACPase), 0.1 M Tris-HCl 완충액은 각각 pH 9.0과 11.0으로 적정하여 중성 인산 분해효소(Neutral phosphatase, NEPase)와 알칼리성 인산 분해효소(Alkaline phosphatase, ALPase)의 효소활성도를 파악하기 위하여 사용하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 토양의 물리화학 환경요인

토양시료의 입도의 상대적 비율(%)을 보면 주로 사질토가 대부분인 것을 알 수 있다. 함수량은 정상토양(Site I)에서 표토와 심토 모두 12.0%가 넘게 나타나 층간 차이가 거의 없었으며, 자연복원지(Site II)와 인공복원지(Site III)의 함수량에 비해

[Table 1] The Physico-Chemical Environmental Factors of the Soil Samples

Soils		UST	USS	NST	NSS	AST	ASS
Soil Texture (%)	Sand <sup>a</sup>	68.3*	79.2	70.7	68.8	77.8	81.3
	Fine Sand <sup>b</sup>	27.6	18.2	23.4	20.7	17.6	16.0
	Total Sand†	95.9	79.2	70.7	68.8	77.8	81.3
	Silt & Clay <sup>c</sup>	4.1	2.6	5.9	10.5	4.7	2.7
Water content (%)		12.20	12.21	4.58	7.20	3.23	5.71
pH		5.47	5.67	5.78	5.71	5.34	5.47

Soils are described in Figure 1.

† Total Sand = Sand + Fine Sand

<sup>a</sup> 2.0 mm~0.25 mm, <sup>b</sup> 0.25 mm~0.05 mm, <sup>c</sup> <0.05 mm

\* Values are the average of triplicate.

1.7~3.8배에 달하였다. 자연복원지와 인공복원지 토양은 심토의 함수량이 표토에 비해 약 2% 높게 나타났으며, 자연복원지는 인공복원지 토양에 비해 함수량의 절대적 차이는 크게 나타나지 않았다. 모든 토양시료의 pH는 5.34~5.78로 산성을 나타내었다. 토양내 총 유기물량은 정상산림 표토에서 11.05 mg/g dried soil로 높게 나타났으며, 다른 두 지역의 표토 토양에서는 3.43~4.84 mg/g dried soil의 범주를 보였다. 또한 모든 채집지 토양에서 심토에 비해 표토가 높게 나타났으나 각 실험군 별 심토의 총 유기물량은 유사하게 나타났다. 수용성 당류의 토양 내 함량은 총 유기물량과 유사한 경향을 보였다. 토양 내에서 유기물 분해능의 정도를 파악할 수 있는 생물학적 지표로 이용할 수 있는 S/O value는 총 유기물량에 대한 수용성 당류의 비로,<sup>16)</sup> 자연복원지 표토에서 약간 높았으며 다른 모든 토양시료는 대부분 유사한 값을 보였다 [Fig. 2].

### 3.2 토양미생물 군집 분포

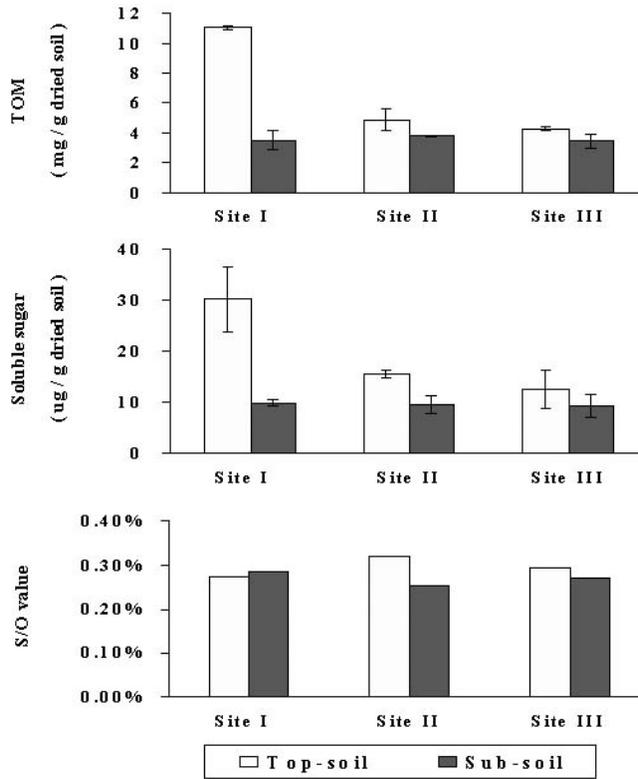
토양내 미생물 분포는 전체적으로 산불의 영향을 받은 지역의 토양보다 정상 지역의 토양에서 높은 양상으로 나타났다. 중속영양 세균의 경우 자연복원지 심토(NSS)의 군집크기( $1.6 \times 10^7$  CFU)가 정상토양 표토(UST)의 미생물 군집크기

( $1.2 \times 10^7$  CFU)만큼 크게 나타나기도 하였다 [Table 2].

기능성 미생물 중 단백질 분해미생물과 지방 분해 미생물의 군집크기는  $7.5 \times 10^5$ ,  $4.1 \times 10^6$  CFU로 정상토양 표토에서 높게 나타났으나, 섬유소 분해 미생물은 정상표토보다 자연복원지에서 1.4~1.7배 높게 나타났다. 균류(fungi)의 경우 인공복원지 심토(ASS)에서 약간 적게 나타났으며, 모든 토양시료에서 고르게 분포하는 것을 알 수 있다.

### 3.3 토양효소 활성도

탈수소효소의 활성도는 토양시료에 따라 8.50~12.67 TPF(Triphenyl formazan)  $\mu\text{g/g}$  dried soil/ day로 나타났대[Fig. 3]. 정상토양 표층에서의 활성도가 가장 높게 나타났으며 전체적인 탈수소효소의 활성은 산불의 영향을 받지 않은 지역의 토양에서 높게 나타났음을 알 수 있다. 섬유소 분해효소의 활성도는 정상토양의 표층을 제외한 나머지 토양에서 0.72~1.65  $\mu\text{g}$  glucose/ g dried soil/ 16 hr의 범위를 보였으며, 특히 산불의 영향을 받지 않은 정상토양의 표층에서 9.83  $\mu\text{g}$  glucose/ g dried soil/ 16 hr로 두드러지게 높게 나타났대[Fig. 3]. 인산 분해효소 활성도의 pH에 따른 3가지 유형의 변화를 [Fig. 4]에 나타내었다. 토양 간 인산분해효소의 활성도에 있어 정상표



[Fig. 2] Total organic matter(TOM), soluble sugar and S/O value of soils of three different sites. Site I is unburnt forest, Site II is natural forest and Site III is artificial restoring forest.

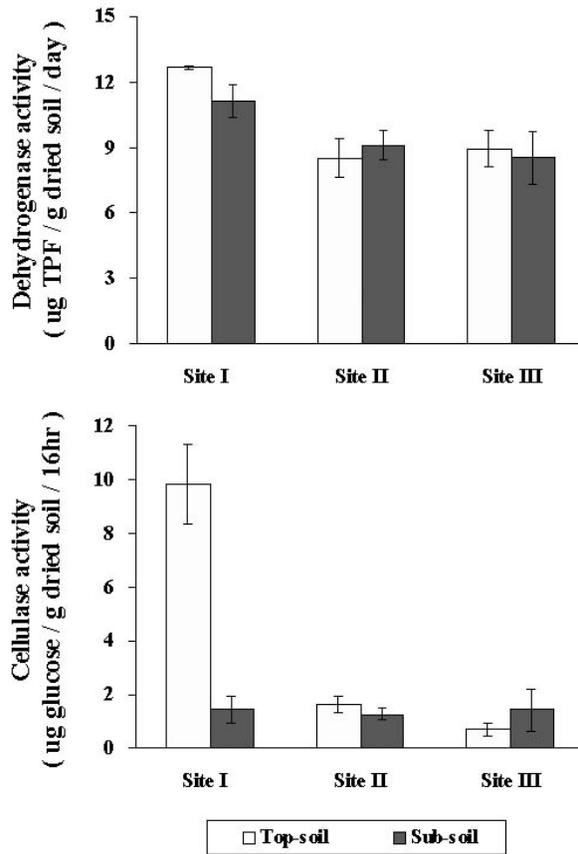
[Table2] Heterotrophic Microbial Population Sizes(CFU) of Forest Soils

Soils	Total Bacteria	Fungi	Functional bacteria		
			Protein decomposers	Lipid decomposers	Cellulose decomposers
UST	$1.2 \times 10^7$	$6.0 \times 10^4$	$7.5 \times 10^5$	$4.1 \times 10^6$	$2.0 \times 10^5$
USS	$1.0 \times 10^6$	$6.3 \times 10^4$	$1.5 \times 10^5$	$7.0 \times 10^4$	$1.0 \times 10^4$
NST	$8.0 \times 10^5$	$8.0 \times 10^4$	$8.5 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$	$3.4 \times 10^5$
NSS	$1.6 \times 10^7$	$5.0 \times 10^4$	$7.8 \times 10^5$	$1.4 \times 10^6$	$2.8 \times 10^5$
AST	$4.3 \times 10^6$	$8.0 \times 10^4$	$5.5 \times 10^4$	$2.2 \times 10^5$	$7.3 \times 10^4$
ASS	$4.0 \times 10^5$	$1.0 \times 10^4$	$3.0 \times 10^5$	$6.5 \times 10^4$	$5.5 \times 10^4$

Soils are described in Figure 1.

토에서는 산성 인산 분해효소(ACPase; Acidic phosphatase)와 중성 인산 분해효소(NEPase;

Neutral phosphatase)의 활성이 높게 나타났고, 인공복원지 표토에서는 중성 인산 분해효소와 알



[Fig. 3] Dehydrogenase and cellulase activities in the forest soils. sites are described in the legend of Figure 1.

칼리성 인산 분해효소(ALPase; Alkaline phosphatase)의 활성도가 높게 나타났다.

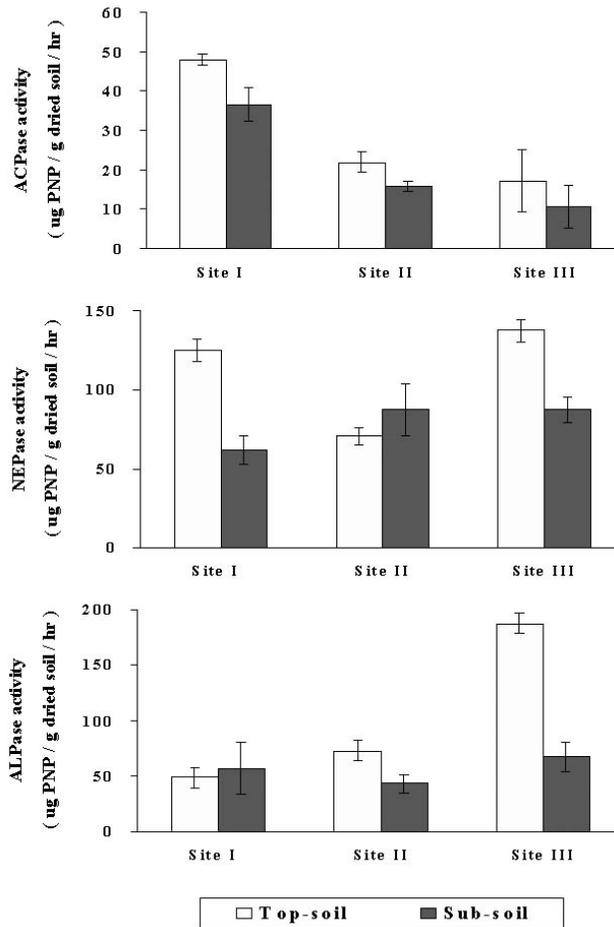
### 3.4 토양 환경 인자간의 상관관계 분석

토양시료의 물리화학적 특성, 미생물 군집 분포 그리고 토양효소 활성도 간의 상관관계를 pearson correlation coefficient를 이용하여 [Table 3]에 나타내었다. 총 유기물량과 수용성 당은 지방 분해 미생물, 단백질 분해미생물의 군집 분포와 상관관계가 높게 나타났으며, 탈수소효소의 경우 함수율과 높은 상관관계( $r=0.902$ )를 나타냈다. 섬유소 분해효소의 활성은 지방, 단백질 분해미생물 군집 분포와 총 유기물량, 수용성 당과 높은 상관관계를

보였으며, 산성 인산 분해효소의 활성은 함수량과 높은 상관관계( $r=0.846$ )를 보였다.

## 4. 고 찰

강릉지역 산림토양은 모두 모래질이 많은 사질토로서, 강우나 바람에 의한 토양 내 유기원과 각종 생물성 자원의 침식 및 유출로 인해 상대적으로 토질이 떨어지는 것으로 판단되었다. 토양의 물리화학적 환경인자의 분석을 통하여 산불로 인해 가장 극명하게 변화를 보인 환경인자는 함수율로 산불의 영향을 받은 지역이 정상토양보다 3~4배정도 낮게 나타났다. 산불의 영향을 받은 자연복원지나



[Fig. 4] Enzyme activities of pH-dependent phosphatase in forest soils. ACPase, acidic phosphatase; NEPase, neutral phosphatase; ALPase, alkaline phosphatase. Sites are described in the legend of Figure 1.

인공복원지 모두 표토에 비해 심토의 함수율이 높은 것은 산불 후 표토의 구조 변화로 수분 보유능이 떨어져 있음을 유추할 수 있고 또한 산불의 영향이 상대적으로 심토에는 적게 미치는 것으로 판단된다. 산불은 낙엽층을 제거하고 토양구조를 파괴하며 표토층의 물리적 경화를 발생시킨다. 또한 유기물연소로 소수성층(Hydrophobic layer)이 증가되어 투수성이 감소하고 지표유출수가 증가하게 됨으로써 결국 토양의 함수량은 떨어지게 된다.<sup>17)</sup>

토양의 총 유기물량과 수용성 당류는 비슷한 양상으로 나타났고 이들의 상대비인 S/O value는 토양 간에 큰 차이가 없었다. 토양 내 수용성 당류는 식물체에서 유래된 다당류가 분해되어 생성되는 것으로 유기물의 총량과 토양생물 유래의 분해효소의 양과 활성도에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다.<sup>18)</sup> 총 유기물량과 수용성 당이 정상토양보다 자연복원지에서 낮게 나타나는 것으로 볼 때 자연복원지 토양의 환경이 정상토양 수준에는 아직 이르지 못한 것으로 판단된다. 일반적으로 토양 유기

[Table 3] Pearson Correlation Coefficients Among Environmental Factors, Microbial Populations and Enzyme Activities Underlined Values are Significant with P<0.05. Blanks are not Significant

Factors	HENA <sup>a</sup>	LM <sup>b</sup>	PM <sup>c</sup>	FUN <sup>d</sup>	MO <sup>e</sup>	TOM <sup>f</sup>	SS <sup>g</sup>	DHA <sup>h</sup>	CEL <sup>i</sup>
LM	0.71	—							
TOM		<u>0.92</u>	<u>0.99</u>			—			
SS		<u>0.87</u>	<u>0.96</u>			<u>0.99</u>	—		
SO <sup>i</sup>				0.63					
DHA		0.76	0.79		<u>0.90</u>	0.76	0.73	—	
CEL		<u>0.93</u>	<u>0.99</u>		0.62	<u>0.98</u>	<u>0.96</u>	<u>0.82</u>	—
ACPase <sup>k</sup>		0.68	0.77		<u>0.84</u>	0.77	0.77	<u>0.96</u>	0.79
ALPase <sup>l</sup>					-0.62				

<sup>a</sup>Heterotrophic bacteria, <sup>b</sup>Lipid decomposers, <sup>c</sup>Protein decomposers, <sup>d</sup>Fungi, <sup>e</sup>Moisture contents, <sup>f</sup>Total organic matter, <sup>g</sup>Soluble sugar/organic matter ratio, <sup>h</sup>Dehydrogenase activity, <sup>i</sup>Cellulose activity, <sup>j</sup>Soluble sugar, <sup>k</sup>Acidic phosphatase activity, <sup>l</sup>Alkaline phosphatase activity

물양은 산불로 인한 연소에 의해 감소되고, 산불의 강도나 발생기간에 영향을 받는다. 그러나 산불이 발생한 참나무 산림에서 채취한 토양에서 유기물 양이 감소하지 않는다는 연구결과도 있다. 이것은 참나무의 특별한 작용 (necromass)에 의해 연소로 인해 손실된 유기물을 충분히 보충하는 것이라고 한다.<sup>19)</sup> 이렇듯 산림 토양의 유기물양은 식생에 따른 영향이 있기 때문에 산불 토양의 유기물량에 대한 연구에는 산불지역의 식생에 대한 조사가 수반되어야 할 것이다.

토양 내에서의 미생물의 생존은 여러 종류의 환경요인에 영향을 받으며 또한 토양인자의 유형과 조성, 원생동물에 의한 포식에 의해서도 영향을 받게 된다.<sup>20)</sup> 아울러 영양원, 온도, pH, 미생물간의 상호작용, 염도, 방사선, 광, 항생제, 독성화합물 등에 의한 영향도 알려진 바 있다. 토양 시료에 따른 미생물의 군집분포에서 중속영양 세균의 경우 정상토양 표토와 자연복원지 심토에서 높게 나타났다. 인공복원지 토양의 미생물 군집크기가 현저하게 작은 것으로 나타나 산불 후 복원되지 못하고 있는 피해지의 복원을 위해서는 미생물 군집크기

가 어느 정도 회복되어야 할 것으로 생각된다.

토양효소는 주로 토양 미생물로부터 유래되며, 토양효소의 분석은 총 미생물 군집의 크기와 기능의 지표가 될 수 있다.<sup>21)</sup> 토양 내에 존재하는 세포 내 탈수소효소는 미생물의 호흡과정에 주로 연관된 효소로서 이 효소의 활성도 측정은 잠재적인 토양미생물의 활성도를 나타내는데 유용하게 이용되며, 전체 미생물 작용을 대표하는 효소활성도로서 미생물 군집의 생태적 기능 정도를 파악하는 1차 지표이다. 본 연구 대상 토양의 탈수소효소의 활성은 정상토양이 산불에 영향을 받은 자연복원지나 인공복원지 토양에 비해 높게 나타났다. 식생이 가장 잘 발달된 것으로 보이는 정상토양에서 미생물 개체군 크기와 탈수소효소의 활성이 높게 나타난 것으로 보아 상관관계가 높을 것으로 생각된다. 섬유소 분해효소는 식물세포벽의 가장 주된 구성원으로 토양 내 섬유소 분해효소에 의한 분해는 식물 잔류물의 분해에 매우 중요한 대사과정이다.<sup>22)</sup> 토양환경요인 중 총 유기물량이 정상토양 표층에서 높게 나타난 것과 같이 섬유소분해효소의 활성도 또한 유사하게 나타남을 알 수 있다( $r=0.980$ ). 또

한 수용성 당 함량과도 높은 상관관계( $r=0.955$ )를 갖는 것으로 보인다. 산불의 영향을 받은 지역의 섬유소 분해효소의 활성이 낮다는 것은 효소의 기질로 사용될 수 있는 물질들이 산불 발생 당시 연소된 이후에 회복되지 못하고 있다는 것을 의미한다. 인산 분해효소는 토양 내에 존재하는 각종 인산원, 즉 유기인산화합물과 무기인산중합체, polyphosphate 등을 가수분해 시키는 효소들을 총칭한 것으로, 다양한 유기성 phosphate esters를 식물이나 미생물이 이용할 수 있는 형태로 전환하여 준다.<sup>23)</sup> 본 연구의 시료채집지의 pH는 대부분 5~6사이로 인산성 무기물 및 유기물은 주로 산성 인산 분해효소의 활성 정도에 의해 영향을 받는다.<sup>24)</sup> 본 연구에서 산성 인산 분해효소의 활성도는 함수율과 높은 상관관계( $r=0.846$ )를 나타냈으며 총 유기물량의 결과와도 유사하게 나타났다. 또한 지질 분해미생물, 단백질 분해미생물 분포와도 상관관계가 있는 것으로 나타나, 인산 분해효소의 활성은 함수량과 유기물량, 그리고 미생물 군집에 의해 영향을 받는 것으로 보인다.

## 5. 감사의 글

본 연구는 2004년도 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행된 일부 연구로 이에 감사드립니다.

## 6. 참고문헌

1. 신항식, 황응주. “유기성 폐기물의 자원화 가능성 및 퇴비 이용 전망 평가”, 유기성자원학회지 6(2), pp 7-30 (1998).
2. 최훈근, 배재근, 황의영, 김성미, 김영구. “유기성폐기물 종합관리를 위한 유기성 폐기물의 물리·화학적 특성분석”. 한국폐기물학회 추계학술연구회발표논문집. pp 197-202 (2004).
3. 정재춘, “유기성폐기물 관리와 지렁이 처리의 역할”, 유기성자원학회지 10(4), pp 7-14 (2002).
4. 배재근, “음식물류폐기물 퇴비화 시설의 운영 현황과 발전방안”, 유기성자원학회지 12(4), pp 31-54 (2004).
5. Rab, M.A. “Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the eucalyptus regnans forest of southeastern Australia.” For. Ecol. Manage., 84, pp 159-176 (1996).
6. Giovannini, G., Lucchese, S. and Giachetti, M. “Effect of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth.”, Soil. Sci., 149, pp 344-350 (1990).
7. Harris, P.A., Schomberg, H.H., Banks, P.A. and Giddens J. “Burning, tillage and herbicide effects on the soil microflora in a wheat-soybean double-crop system.”, Soil Biol. Biochem., 27, pp 153-156 (1995).
8. Carballas, M., Acea, M.J., Cabaneiro, A., Trasar, C., Villar, M.C., Diaz-Raviña, M., Fernández, I., Prieto, A., Saá, A., Vázquez, F.J., Zéher, R. and Carballas, T. “Organic matter, nitrogen, phosphorus and microbial population evolution in forest humiferous acid soils after wildfires. International workshop on the role of fire in Mediterranean ecosystems.”, Banyuls-sur-mer, France., pp 379-385 (1993).
9. Villar, M.C., Gonzalez-Prieto, S.J. and Carballas, T. “Evaluation of three organic wastes for reclaiming burnt soils: Improvement in the recovery of vegetation cover and soil fertility in pot experiments”, Biol. Fertil. Soils, 26, pp122-129(1998).
10. Guerrero, C., Gomez, I., Moral, R., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J.

- and Hernandez, T. "Reclamation of a burned forest soil with municipal waste compost: macronutrient dynamic and improved vegetation cover recovery", *Bioresource Tech.*, 76, pp 221-227 (2001).
11. 정연숙. "동해안 산불지역 생태계 변화 및 복원기법 연구", 환경부, (2002).
  12. Walkley, A. "A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils-effect of soil constituents.", *Soil Sci.*, 63, pp 251-264 (1947).
  13. Beyer, L., Wachendorf, C., Elsner, D.C. and Knabe, R. "Suitability of dehydrogenase activity assay as an index of soil biological activity.", *Biol. Fertil. Soils*, 16, pp 52-56 (1993).
  14. Schinner, F. and von Mersi, W. "Xylanase-, CM-cellulase- and invertase activity in soil: An improved method.", *Soil Biol. Biochem.*, 22, pp 511-515 (1990).
  15. Ernst, S.A. "Transport ATPase cytochemistry; Ultrastructural localization of potassium-dependent and potassium-independent phosphatase activities in rat kidney cortex.", *J. Cell. Biol.*, 66, pp 584-608 (1975).
  16. 최영길, 이영하. "피아골 극상림내 입상의 토양미생물 군집의 동태", 한국자연보존협회 조사보고서, 21, pp 179-1901 (1982).
  17. 한상섭. "산불과 산림생태계 복구", 삼림과학 연구 제16호, pp 175-193 (2000).
  18. Gray, T.R.G. and Willams, S.T. "Soil microorganisms.", Liverpool University Press Review, (1971).
  19. Almendros, G., González-Vila, F.J. and Martín, F. "Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest. An experimental approach to the effects of fire on humic substances.", *Soil Sci.*, 149, pp 158-168 (1990).
  20. England, L.S., Lee, H. and Trevors, J.T. "Bacterial survival in soil: Effect of clays and protozoa.", *Soil Biol. Biochem.*, 25, pp 525-531 (1993).
  21. Bolton, H.Jr., Elliott, L.F., Padendick, R.I. and Bezicek, D.F. "Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: Effect of fertilization and cropping practices.", *Soil Biol. Biochem.*, 17, pp 297-302 (1985).
  22. Sinsabaugh, R.L. "Enzymic analysis of microbial pattern and process.", *Biol. Fertil. Soils*, 17, pp 69-74 (1994).
  23. Andreoni, V., Cavalca, L., Rao, M.A., Nocerino, G., Bernasconi, S., Dell'Amico, E., Colombo, M. and Gianfreda, L. "Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils.", *Chemosphere*, 57, pp 401-412 (2004).
  24. Alef, K. and Nannipier, P. Ed. "Methods in Soil Microbiology and Biochemistry.", Academic Press, New York., (1995). 