

## 오염지역과 비오염지역의 토양의 특성과 토양 미생물의 분포

심재욱 · 이민순\* · 이상선\*\* · 이태수\*\*\* · 이민웅

동국대학교 응용생물학과

\*중부대학교 산림자연학과

\*\*한국교원대학교 생물학과

\*\*\*인천대학교 생물학과

## The Soil Properties and Microbial Numbers of Soil Samples Collected from Polluted and Unpolluted Areas in Korea

Jae-Ouk Shim · Min-Soon Lee\* · Sang-Sun Lee\*\* · Tad-Soo Lee\*\*\* · Min-woong Lee

*Dept. of Applied biology, Dongguk University, Seoul*

*\*Dept. of Forestry Resources, Joong-Bu University, Kumsan*

*\*\*Dept. of Biology, Korean National University of Education, Chungwon*

*\*\*\*Dept. of Biology, University of Incheon, Incheon*

## ABSTRACT

A total of 112 soil samples collected from polluted and unpolluted areas in Korea were investigated for physical properties (such as soil moisture, organic matter, and soil pH) and biological properties (such as microbial numbers). The results of organic matter and soil pH showed a great variation( $p=0.01$ ) in the four areas, whereas soil moisture and organic matter were similar among three plant vegetations. There was a significant relationship( $p=0.01$  or  $0.05$ ) between soil pH and microbial number. These results imply some variations in soil environment and may lead to unfavorable changes of plant vegetation in soil. Presumably, the above results appear to be resulted from soil acidification caused by an acidic rain.

**Key words** : Physical properties, Microbial number, Acidic rain

## 요 약 문

오염지역과 비오염지역으로부터 채집한 토양에서 토양의 습도, 유기물의 함량, 토양산도 등 물리적인 특징과 토양미생물의 분포와 같은 생물학적인 특징이 조사되었다. 지역에 따른 유기물의 함량과 토양산도는 큰 차이를 나타내었으나, 식물군락에 의한 토양수분과 유기물 함량의 차이점은 발견할 수 없었다. 토양의 산도는 미생물의 분포수와 상관관계를 나타내었다. 이러한 것은 식물이 자라는 토양에 변이를 주는 것으로 산성비와 관련이 있는 것으로 추정된다.

**주제어** : 물리적 특성, 미생물 분포수, 산성비

## 1. 서 론

최근 우리사회는 인구의 증가 및 고도의 산업화와 도시화의 진행과정 속에 있으며, 광범위한 대기오염 물질이 배출되고 있다. 그러한 오염물질은 대기중에서 복잡한 화학적인 반응을 거친 후 건성퇴적과 습성퇴적의 형태로 지상부에 도달하여 토양에 누적된다<sup>1)</sup>. 건성퇴적의 경우는 산성비의 구성요소인  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  및  $\text{O}_3$  등이 기체상태로 지상부에 도달하지만, 습성퇴적의 경우는 그러한 대기오염 물질들이 산성비의 형태로 지상부에 도달하는 것을 말한다. 기체상태나 산성비에 의해 이루어진 산성물질의 토양유입은 토양의 산도를 저하시켜 토양수에 축적된 치환성 양이온 ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  및  $\text{K}^+$ )의 용탈을 촉진시키게 된다. 특히, 이러한 현상은 토양용액으로  $\text{Al}^{3+}$ 와 같은 독성 금속의 용출량을 증가시켜 토양 미생물의 분포수를 변화시키고, 토양의 완충작용을 저하시켜 식물의 성장을 저해하는 결과를 유발하게 된다<sup>2)</sup>. 그러므로 산성비에 의해 유발된 토양의 화학적인 변화는 토양미생물의 flora 및 식물의 생태계에 큰 피해를 초래하고 있는 것이다.

한국의 대도시와 주요 공업지역 주변에는 pH 4.5 이하의 강산성 농도를 지닌 산성비가 이미 관찰되고 있을 뿐 아니라, 그 범위도 점차 중소도시

로 확산되고 있음이 보고되었다<sup>4,5,6)</sup>. 한국의 대표적인 공업지역인 울산의 온산지역은 1970년을 전후하여 석유화학 공업과 철강산업이 집중육성 되었으며, 최근들어 공업단지 규모의 확대에 따른 오염물질의 배출로 인하여 대기 및 토양환경의 오염이 심각한 문제로 대두되었다. 이와 관련하여 강(1986)<sup>7)</sup>은 울산 온산지역의 대기 및 토양오염에 따른 식생의 변화를 조사한바 있고, 이와 이(1995)<sup>8)</sup>는 토양오염으로 유발된 토양 산성화가 산림 생태계에 미치는 영향력을 조사하였다. 또한, 곰팡이의 일종인 지의류(Lichens)나 균근균(Arbuscular Mycorrhizal Fungi)의 분포수에 의거하여 한국의 공업지역 및 도시지역에서 대기오염이나 토양오염의 정도를 측정하려는 시도가 있었다<sup>9,10)</sup>. 토양 속에서 몇몇 중금속은 미생물의 성장에 도움을 준다고 하지만, 토양과 식물 속에 과도히 축적된 Cd과 Pb를 비롯한 여러 중금속은 식물을 치사케하고 토양 미생물의 분포수를 축소하여 토양 미생물의 활동을 둔화시키는 것으로 알려졌다<sup>11,12,13)</sup>. 미생물은 토양 속에서 식물체 유기영양분을 이동시키며, 식물 영양원인 금속이온의 순환을 촉진시킴으로서 식물의 성장에 큰 도움을 준다. 특히, 토양의 근권부위에 서식하는 토양미생물에 의해 생산된 인돌초산 및 지베렐린과 시토키닌을 포함한 각종 호르몬은 식물의 뿌리를 자극하여 식물의 성장에 도움을 준다고 한

다<sup>14)</sup>.

Tate(1995)<sup>15)</sup>는 토양속에서 균근균(AM Fungi)이 토양세균과 공생하거나 혹은 균근균이 방선균 및 진균과 공생관계를 지속하는 것은 토양속에서 고정된 질소원을 증가시켜 식물의 생장을 촉진함으로써 식물군락의 안정을 이룰 수 있다고 주장하였다. 그러므로 오염된 토양에 서식하는 토양미생물에 관한 여러가지 연구는 중요한 의미가 있을 것이다. 식물의 순조로운 생장이 토양속에 있는 여러 가지 인자들의 유기적인 관계를 통해 이루어 진다는 점을 고려해 보면, 산성비와 중금속의 토양오염에 의해 유발된 토양의 생물적 혹은 미생물적인 특징의 변화는 시급히 연구할 필요성이 있다. 그러나 지금까지의 연구는 한국의 공업지역 및 대도시 지역에서 대기오염에 따른 식물 분포수의 조사와 식물 생태계의 피해에만 국한되었을 뿐, 토양의 오염이 진행됨에 따라 발생하는 토양내 토양미생물의 분포수의 변화 및 토양의 구조적인 특징을 조사하여, 토양에서 생물적인 인자(토양미생물)와 비생물적 인자(토양의 구조적 특징)간에 발생하는 상호 유기적인 관계를 살펴보는 연구는 거의 없었다.

본 연구는 한국의 4개 지역의 식물의 식생환경을 근거로 하여 그 지역의 토양미생물의 분포수와 토양의 특성을 조사하여 지역간에 토양의 생물학적 특징(토양미생물의 분포)과 비생물학적 특징(토양산도, 토양습도 및 토양유기물)을 상호 비교하고, 토양속에서 토양미생물의 유기적인 상호관계, 토양미생물과 토양의 산도, 습도 및 유기물과의 상호관계를 규명하기 위해 시행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 토양 시료의 채취

한국의 주요 공업지역의 하나인 경상남도 온산

과 한국의 수도인 서울의 관악산 지역을 오염지역으로, 경상남도 충무, 강원도 정선에 위치한 중앙산 지역을 비오염지역으로 각각 지정하여 1994년 6월부터 10월까지 4개 지역의 토양으로부터 총 112개의 토양을 채집하였다. 채집을 위해 토양의 표면을 깨끗히 치운후 식물의 식생상태, 토양색의 차이 등을 고려하여 지름 2m정도 안에서 5개의 채집 지점을 임의로 선정하였다. 채취된 토양은 토양 표면으로부터 30cm의 깊이로 채집하여 골고루 혼합하였다. 혼합된 토양은 사용을 위해 2mm 메쉬의 체로 친 다음, 5℃의 온도에서 보관하였다<sup>16)</sup>.

### 2.2 토양의 분석

토양의 수분함량을 측정기 위해 2mm 메쉬의 체를 통과한 20g의 토양이 105℃ 온도의 토양 건조기 속에서 12시간 건조된 후 건조된 토양의 무게를 측정된 다음 건조하기 전의 토양의 무게와 비교하였다. 유기물 함량의 측정은 일정량의 토양을 400℃의 온도에서 4시간을 연소시킨 다음, 토양의 무게를 측정하여 연소하기 전의 토양무게와 비교하였다. 토양 산도의 측정은 토양과 증류수를 1:5(w/v)의 비율로 희석한 후, 토양산도 측정기(Fisher Model 325)를 사용하였다<sup>9)</sup>.

### 2.3 토양내 미생물 분포수의 측정

토양내 미생물에 대한 분포수의 측정을 위해 총세균, 총진균, 섬유소분해 세균, 섬유소분해 진균에 대한 분포수 조사가 시행되었다. 실험을 위해 토양시료 10g을 살균된 삼각플라스크에 넣고 살균 증류수를 90ml을 넣은후, 총세균은  $10^6$ 배로, 총진균, 섬유소 분해세균 및 섬유소 분해진균은 각각  $10^4$ 배로 희석조절 하였고<sup>9)</sup>, 방선균은 토양 1g을 500ml의 살균된 삼각플라스크에 넣은 다음, 살균된 0.5M 인산완충액(pH 7.2) 100ml와 살균된 유리구슬 20~25개를 함께 넣어 20분정도 진탕배양

(100-110/min.)으로 처리한 후, 10<sup>6</sup>배로 희석조절 하였다<sup>17)</sup>. 희석된 토양은 미생물의 분포수를 조사하기 위해 각각의 선택 배지 위에 접종되었다. 배양기간은 총세균은 4일, 혐유소분해 세균과 혐유소분해 진균은 6일, 총진균은 5일, 방선균은 8일 동안 25℃의 온도로 배양되었으며, 宮路(1958)<sup>18)</sup>의 방법에 따라서 건조 토양 1g당 미생물의 분포수를 계산하였다. 선택배지는 총세균의 분포수를 측정하기 위해 영양 한천배지(Difco, Detroit, MI)를 사용하였고 총진균, 방선균, 혐유소분해 세균 그리고 혐유소분해 진균의 분포수를 측정하기 위해 각각 Rose bengal agar<sup>19)</sup>, Chitin agar<sup>20)</sup>, Modified Knops agar<sup>9)</sup> 및 Modified czapeck,s agar<sup>9)</sup>를 사용 하였다. 균근균(AM fungi)의 분포수를 조사하기 위해, 원심 분리관(28×10cm)에 50%의 설탕용액 (w/v)과 토양 20g을 혼합한 다음, 50ml가 되도록 조정하여 20℃의 온도로 10분간 원심분리

(705g/min)하였다. 그후 상등액은 38um크기의 토양체로 여과하여 눈금(5×5mm)이 표시된 페트리 접시에 모은 다음 해부현미경(40x)을 사용하여 토양 20g당 포자의 수와 포자의 형태를 관찰하였다<sup>21)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1 조사지역의 일반적 특성

조사지역의 토양 산도와 기상자료 및 식생상태를 Table 1로 나타내었다.

조사한 4개 지역의 총 112개의 토양시료를 대상으로 조사한 토양산도의 범위는 오염지역인 온산지역과 관악산 지역의 토양에서 각각 pH 3.50-6.40과 pH 3.95-4.56였고, 비오염지역인 충무지역과 중왕산지역의 토양에서 각각 pH 4.33-6.12와 pH 5.00-7.63을 나타내었다. 식생은 비오염지역

**Table 1. The locations of soil samples collected and their descriptions for plant vegetations**

Regions	Number of sites	Latitude	Altitude (m)	Meteorological informations(Ranged for a year) <sup>a</sup>					Plant Vegetations found <sup>b</sup>	
				pH	Temperature (℃)	Precipitation(mm)	Relative humidity(%)	SO <sub>2</sub> precipitation(ppm)	Families	Species
Onsan	33	35° 33'	31	3.50~6.40	9.2~18.9	1383	61	0.028	67	95
Mt. Kwanak	34	37° 27'	629	3.95~4.56	5.7~13.8	1591	71	0.012	46	124
Chungmu	30	34° 50'	32	4.33~6.12	10.7~18.6	1445	67	0.011	74	212
Mt. Chungwang	15	37° 41'	842	5.00~7.63	1.7~10.9	2003	74	0.009	72	295

<sup>a</sup> Meteorological informations (Ranged for a year) supplied by Department of Environment and also made during 1993-1994.

<sup>b</sup> The plant vegetations were investigated by plant taxonomists in Korea (see report on restoration of degraded ecosystems, Department of Environment in 1994)

<sup>c</sup> Approximate values near the regions selected, and originated from the data made in Department of Environment.

인 충무지역과 중왕산 지역이 각각 74과 212과 72종 295종으로 나타나 오염지역보다 식물상이 다양한 종으로 구성된 것을 알 수 있다.

### 3-2 각 토양의 특성 (산도, 습도, 유기물 및 미생물수)

토양수분의 함량, 토양유기물의 함량, 토양의 pH가 비오염지역인 충무, 중왕산 지역의 토양에서 높은 수치를 나타내었으며, 토양미생물의 분포수도 비오염지역의 토양에서 약간 높은 경향이었다 (Table 2). 오염지역으로 공시된 온산 지역과 관악산 지역에서는 토양 pH가 평균 pH 4.5이하의 강산성을 나타내어, 온산 지역과 관악산 지역의 토양은 이미  $Al^{3+}$ 의 용출이 진행되고 있는 것으로 추

정된다. 토양에서 산성비에 의해 유발된  $Al^{3+}$ 의 용출은 토양산도가 pH 4.7 이하에서 시작되고, 토양 pH가 낮아짐에 따라  $Al^{3+}$ 의 용출량은 증가함으로써, 그  $Al^{3+}$ 는 식물 뿌리의 호흡을 방해하고 뿌리의 세포분열을 억제한다는 보고가 있다<sup>1)</sup>.

토양의 pH가 낮아지거나 혹은 토양속에 독성 중금속이 축적되는 환경은 토양미생물을 자극하여 토양미생물로 하여금 식물의 생장에 도움을 줄 수 있는 적절한 미생물의 분포수를 유지할 수 없도록 하거나, 축적된 독성 중금속이 미생물의 세포벽 위에 결합이 될 경우, 미생물 세포벽 표면의 형태가 변화되어 미생물이 정상적인 기능을 발휘할 수 없도록 한다고 하였다<sup>23,24)</sup>.

**Table 2.** Average moisture content (%), organic matter (%), numbers of bacteria, fungi, and the spores of arbuscular mycorrhizal fungi collected from the four different areas

Regions	Moisture (%) content	Organic matter (%)	pH	Number of microorganisms <sup>1)</sup>					
				TB	CB	ATM	TF	CF	AMFS
Onsan	13.19 <sup>a</sup>	6.55 <sup>ab</sup>	4.41 <sup>a</sup>	6.66 <sup>a</sup>	6.41 <sup>a</sup>	6.25 <sup>b</sup>	5.08 <sup>a,2)</sup>	5.26 <sup>a</sup>	24.4 <sup>c</sup>
Mt. Kwanak	13.35 <sup>a</sup>	4.82 <sup>b</sup>	4.21 <sup>a</sup>	6.50 <sup>a</sup>	6.50 <sup>a</sup>	5.73 <sup>a</sup>	5.38 <sup>b</sup>	5.43 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>
Chungmu	13.87 <sup>a</sup>	7.62 <sup>bc</sup>	5.12 <sup>a</sup>	6.90 <sup>b</sup>	6.61 <sup>b</sup>	6.33 <sup>b</sup>	5.28 <sup>a</sup>	5.28 <sup>a</sup>	24.7 <sup>d</sup>
Mt. Chungwang	19.22 <sup>a</sup>	8.95 <sup>c</sup>	6.13 <sup>a</sup>	6.95 <sup>b</sup>	6.68 <sup>b</sup>	6.79 <sup>c</sup>	5.36 <sup>b</sup>	5.81 <sup>b</sup>	15.6 <sup>b</sup>
Average	14.90	6.48	4.96	6.80	6.53	6.28	5.28	5.34	17.5

<sup>1)</sup> Arbuscular mycorrhizal fungi (AMFS) were counted by the sucrose gradient centrifuge method per 20g of soil sample, whereas the rest (TB, CB, ATM, TF and CF) were counted by the total cells (counted as common logarithms) per 1g of soil samples.

<sup>2)</sup> The different letters are significantly different at p=0.05 according to Duncan's new multiple range test.

Legend : TB, Total bacteria; CB, Cellulolytic bacteria; ATM, Actinomycetes; TF, Total fungi; CF, Cellulolytic fungi

### 3-3 식생에 따른 각 토양의 특성

서로 다른 식물군락의 토양의 특성을 조사한 결과 토양수분은 활엽수림 토양이 15.11%로 높았

고, 초본식물 토양이 13.72%로 낮았으며, 토양유기물 함량은 침엽수림이 높게 나타났다 (Table 3).

침엽수림 토양에서 조사된 토양의 산도는 활엽수림 토양의 것보다 낮은 반면, 침엽수림 토양에서

**Table 3.** Average moisture content (%), organic matter (%), numbers of bacteria, fungi, and the spores of arbuscular mycorrhizal fungi collected from the three different vegetations

Plant Vegetations	Number of sites	Moisture content(%)	Organic matter(%)	pH	Number of microorganisms <sup>1)</sup>					
					TB	CB	ATM	TF	CF	AMFS
Coniferous forest	36	14.25	7.81	4.61 <sup>a2)</sup>	6.65	6.52	6.15	5.15	5.43	28.7 <sup>b</sup>
Broad leaved forest	39	15.11	6.70	4.96 <sup>b</sup>	6.78	6.50	6.31	5.28	5.47	14.5 <sup>a</sup>
Grass plants	37	13.72	6.51	5.09 <sup>b</sup>	6.87	6.59	6.28	5.28	5.40	17.6 <sup>a</sup>
Average	14.40	7.01	4.89	6.80	6.53	6.25	5.24	5.43	20.3	

<sup>1)</sup> Arbuscular mycorrhizal fungi (AMFS) were counted by the sucrose gradient centrifuge method per 20g of soil sample, whereas the rest (TB, CB, ATM, TF and CF) were counted by the total cells (counted as common logarithms) per 1g of soil samples.

<sup>2)</sup> The different letters are significantly different at  $p=0.05$  according to Duncan's new multiple range test.

Legend : TB, Total bacteria; CB, Cellulolytic bacteria; ATM, Actinomycetes; TF, Total fungi; CF, Cellulolytic fungi

조사된 균근균의 분포수는 활엽수림의 것 보다 높았으며, 모두 상호 통계적인 유의성( $P=0.05$ )을 나타내었으나, 토양수분 및 유기물의 함량과 균근균을 제외한 다른 토양미생물의 분포수는 서로다른 식물군락속에서 차이점을 나타내지 않았다. 토양수분은 토양미생물의 세포속에 영양분을 공급하여 토양미생물의 대사활동을 촉진하는것으로 알려졌다<sup>15)</sup>.

### 3-4 각 토양 특성들간의 상관관계

토양 산도와 토양미생물의 분포수와의 상관관계를 조사했을 때, 토양의 산도는 총 세균과의 관계( $r^2=0.24$ )\*, 방선균과의 관계( $r^2=0.42$ )\*\*, 총진균과의 관계( $r^2=0.19$ )\*, 섬유소 분해 세균과의 관계( $r^2=0.20$ )\* 및 섬유소분해 진균과의 관계( $r^2=0.33$ )\*에서 유의성을 나타내므로서 토양pH가 높아지면 이들 미생물의 분포수도 높아지고 있으나, 토양pH가 낮아지면 이들의 분포수도 낮아졌다

(Table 4). 따라서 낮은 토양pH를 지닌 온산 지역과 관악산 지역의 토양에서는 토양pH가 낮아짐에 따라 미생물의 분포수도 축소되어 식물의 생장에 좋지않은 영향을 줄 것으로 생각된다. 토양생태계는 식생층과 토양층 사이에 끊임없이 지속되는 물질순환 과정을 통해서 내부에서 생성되거나, 혹은 외부에서 유입되는 각종 독성물질을 완충시키는 작용을 하고 있는데, 산성비가 토양에 유입되는 경우 식생상태에 따라 토양생태계의 완충작용의 효과는 달라질 수 있는 것이다.

토양수분의 함량은 토양유기물의 함량과 유의성이 있는 상관성( $r^2=0.41$ )\*\*을 나타냈으나, 토양미생물과는 유의성 있는 상관성을 나타내지 않았다. 이러한 결과는 토양수분이 과다한 상태일 경우, 토양속에 미생물의 생육에 필요한 산소가 고갈됨으로써 미생물의 활동, 특히 호기성 토양미생물의 활동에 지장을 주기 때문인 것으로 사료된다.

토양유기물 중에서 식물성 섬유가 차지하는 비

**Table 4. Correlations between two parameters measured or counted from 112 different soil Sample**

Parameters	OM	pH	AMFS	LTB	LCB	LACTM	LTFC	LCF
Moisture content (%)	.410**	.063	-.027	.047	-.044	.060	-.134	-.042
Organic matter (%)		.095	.250**	.158	.090	.208*	-.038	.086
pH			.017	.247*	.200*	.421**	.198*	.332*
Arbuscular Mycorrhizal fungi spores (AMFS)				.072	.058	.214*	-.083	.002
Log LTB (Total bacterial cells)					.560**	.320	.242*	.307*
Log LCB (Cellulolytic bacterial cells)						.418**	.183*	.284*
Log LACTM (Actinomycetes)							.054	.461**
Log LTFC (Total fungal cells)								.411**

R-square values indicated the correlations at the confidence levels of 99.0 % (\*\*\*) and 95 % (\*).

율은 매우 큰 것으로 알려지고 있다. Anderson과 Domsch(1989)<sup>24)</sup>는 토양유기물의 증가는 미생물의 분포수를 증가시킨다고 하였고, 최등(1994)<sup>25)</sup>은 섬유소 분해 미생물은 토양속에서 식물성 섬유를 포도당으로 분해하여 식물에 영양분을 공급하므로서 다른 토양미생물 처럼 물질의 순환에 기여하고 있다고 하였다. Table 4를 보면, 토양속에서 유기물의 함량과 방선균과의 관계( $r^2=0.20$ )\*, 유기물의 함량과 균근균과의 관계( $r^2=0.25$ )\*에서만 유기물의 증가에 따라 토양미생물의 분포수가 비례하여 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다.

Nietko와 Frankenberg(1989)<sup>14)</sup>는 식물의 근권부위에서 토양미생물에 의해 생산된 인돌초산과 지베렐린 및 시토키닌과 같은 호르몬은 식물의 뿌리 조직에 자극을 주어 뿌리로 하여금 생장에 필요한 영양분과 수분을 흡수할 능력을 증가시킨다고 보고 하였다. Tate(1995)는 토양에서 균근균과 토양세균이 공생을 하거나, 균근균이 방선균 또는 진균과 공생을 한다면, 그러한 공생관계는 토양에서 질소

원의 증가를 유발하여 식물체속으로 영양분의 이동을 촉진함으로써 식물의 생장에 기여할 수 있다고 하였고, 본 조사에서도 균근균의 분포수와 방선균의 분포수 사이에 정의 상관관계( $r^2=0.214$ )\*를 나타냄으로서, Tate(1995)의 주장을 뒷받침하고 있다. 또한, 총세균도 토양속에서 방선균, 총진균 그리고 섬유소분해 세균과 각각 공생관계를 나타내고 있으며, 방선균과 총진균도 섬유소분해 진균과 각각 공생관계를 갖고 있었다.

토양pH가 증가함에 비례하여 토양속에서 총세균, 섬유소분해 세균, 방선균, 총진균과 섬유소분해 진균의 분포수도 증가하고 있음을 나타내고 있다. 이것은 산성비에 의해 토양의 산성화가 진행된다면, 낮은 토양pH가 토양속의 미생물 분포수를 감소시킴으로서 토양미생물간의 공생관계를 파괴하여 식물의 순조로운 생장에 억제요인이 될 수 있다는 점을 나타내는 것으로 생각된다. 따라서 환경오염과 관련된 산성비는 토양미생물의 분포수에 변화를 주는 것으로 사료되며, 그러한 토양미생물의

분포수의 변화는 식물의 생장에 영향을 줄 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

토양pH의 범위는 공업지역인 온산지역에서는 pH 4.41과 서울지역인 관악산 지역에서는 pH 4.21로 나타났으며, 비오염지역인 충무지역과 중왕산지역의 토양에서는 각각 pH 5.12, 6.13으로 나타났다. 또한 오염지역보다는 비오염지역의 토양에서 토양수분의 함량, 토양유기물의 함량 및 토양의 pH가 높은 수치를 나타냈으며, 토양미생물의 분포수도 비오염지역의 토양에서 약간 높은 경향이 었다.

식물군락의 차이에 따른 토양 pH와 균근균의 분포수를 보면 침엽수림 토양이 활엽수림 토양보다 토양의 pH는 낮았으나 균근균의 분포수는 높았으며 유의성( $P=0.05$ )이 나타났다. 오염지역으로서 온산 지역과 관악산 지역의 식물의 종 다양도가 비오염지역인 충무지역과 중왕산지역의 종 다양도 보 다도 낮다는 것을 알 수 있으며, 토양 pH와 토양 미생물의 분포수와의 상관관계는 토양 pH가 높아 지면 미생물의 분포수도 높아지고 있으나, 토양 pH가 낮아지면 미생물의 분포수도 낮아졌다.

토양수분과 토양 유기물의 함량과는 유의성 있는 상관성으로 나타났으나 토양수분과 토양미생물 과는 상관성이 나타나지 않았는데 그 이유는 호기 성 미생물의 활동과 관련이 있는 것으로 사료된다.

토양 유기물의 함량과 토양미생물의 분포수는 방선균과의 관계, 균근균과의 관계내에서만 유기물 의 증가에 따라 토양미생물의 분포수가 증가하는 경향이 있다. 산성비는 토양의 산성화를 촉진시켜 토양 속의 미생물 분포수를 감소시킴으로써(토양미 생물간의 공생관계를 파괴하여) 식물의 생장에 역 제요인이 될 수 있다고 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. Chang, K.S., and Lee, S.W., "Sensitivity and self-purification function of forest ecosystem to acid precipitation (II)", *Jour. Korean For. Soc.*, 84(1) : 103-113(1995).
2. Ulrich, B., "Forest decline in ecosystem perspectives, *Proceedings International Congress On Forest Decline Research.*, 21-41(1989)".
3. Brookes, P.C., Heijnen, C.E., MacGrath, S.P., and Vance, E.D., "Soil microbial biomass estimates in soils contaminated with metals", *Soil Biol. Biochem.*, 18 : 383-388(1986).
4. Lee, C.K., Ku, C.D., and Ka, G.H., "Development of techniques for air pollution monitoring using lichens (I)", Research report of Institute of Forestry Research, Korea, 73-117(1993).
5. Lee, S.W., and Chang, K.S., "Sensitivity and self-purification function of forest ecosystem to acid precipitation (I)", *Jour. Korean For. Soc.*, 83 : 460-472(1994).
6. Lee, J.S., Kim, B.J., and Jung, G.B., "Histological perfurbatations of crop leaves after exposure to simulated acid rain", *Korean J. Environ. Agric.*, 15 : 19-24(1994).
7. Kang, I.K., "Studies on the changes of environment and vegetation by industrial urbanization in Ulsan Onsan area", Ph D. Thesis at Dongguk University, Korea, 101(1986).
8. Lee, S.W., and Lee, S.W., "The effect of soil acidification on the distribution of nutrients and heavy metals in forest ecosystem near Ulsan industrial estate", *Jour. Korean For. Soc.*, 84 : 286-298(1995).
9. Lee, M.W., Studies on environmental impact



- assessment methods for ecosystem(III).-Especially referred to terrestrial plant and insect, soil microorganisms, benthos, and aquatic microorganisms- Annual reports of Ministry of Environmental Administration, Korea, 261-330(1994).
10. Shim, J.O., Lee, S.S., and Chang, Y.S., "The spore densities of Arbuscular mycorrhizal fungi related to the soils collected from polluted and unpolluted areas", *Kor.J. Mycol.*, 24 : 56-66(1996).
  11. Diekert, G., Konheiser, U., Piechulla, K., and Thauer, R.K., "Nickel requirement and factor F 430 content of methanogenic bacteria", *Jour. Bacteriology.*, 148 : 459-464(1981).
  12. Babich, H., and Stotzky, G., "Sensitivity of various bacteria, including actinomycetes, and fungi to cadmium and the influence of pH on sensitivity", *Appl. Environ. Microbiol.*, 33 : 681-695(1977).
  13. Czuba, M., and Ormrod, D.P., "Cadmium concentrations in cress shoots in relation to cadmium enhanced ozone phytotoxicity", *Environ. Pollut.*, 25 : 67-76(1981).
  14. Nietko, K.F., and Frankenberg, W.T., "Biosynthesis of cytokinins in soil", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 735-740(1989).
  15. Tate, R.L., *Soil microbiology*, John Wiley and Sons, Inc., (1995).
  16. Kao, C.W., and Ko, W.H., "Suppression of *Pythium splendens* in a Hawaiian soil by calcium and microorganisms", *Phytopathology*, 76 : 215-220(1986).
  17. Hsu, S.C., and Lockwood, J.L., "Chlamydospore formation in sterile salt", *Phytopathology*, 63 : 597-602(1973).
  18. 宮路憲二. 應用菌學. 岩波書店, 東京, 474-476(1958).
  19. Martin, J., "Use of acid, rose bengal, and streptomycin in the plant method for estimating soil fungi", *Soil Sci.*, 69 : 215-232(1950).
  20. Hsu, S.C., and Lockwood, J.L., "Powdered chitin agar as selective medium for enumeration of Actinomycetes in water and soil", *Applied Microbiology*, 29 : 422-426(1975).
  21. Gerdemann, J.W., and Nicolson, T.H., "Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting", *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 46 : 235-244(1963).
  22. Collins, V.E., and Stotzky, G., Factors affecting the toxicity of heavy metals to microbes. *In metal ions bacteria*( T.J. Beveridge and R.J. Doyle,Eds), Wiley, New York, 31-90(1989).
  23. Obbard, J.P., Sauerbeck, D.R., and Jones, K.C., *Rhizobium leguminosarum bv trifolii* in soils amended with heavy metal contaminated sewage sludges, *Soil Biol. Biochem.*, 25 : 227-231(1993).
  24. Anderson, T.H., and Domsch, K.H., Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils, *Soil Biol. Biochem.*, 21 : 471-479(1989).
  25. Choi, Y.K., Song, I.K., and Han, K.D., Distribution of microorganisms around the Mt. Gyebang, Korea, Annual reports of Ministry of Environmental Administration, Korea, 187-206(1994).