

남산 주요 식생의 토양 미생물의 분포 및 생리적 특성

성치남 · 백근식 · 전영문* · 김정근** · 김종홍
순천대학교 생물학과, 건국대학교 생물학과*, 농촌진흥청**

Distribution and Properties of Microorganisms in Soil of Representative Vegetation of Mt. Nam

Seong, Chi Nam, Keun Sik Baik, Young-Moon Chun*,
Joung-Keun Kim** and Jong Hong Kim

Department of Biology, Sunchon National University, Department of Biology,
Konkuk University*, and Chonnam Provincial Rural Development Administration**

ABSTRACT

Physicochemical factors, microbial population size and the properties of the bacterial isolates were estimated to find out the nature of soil ecosystem of Mt. Nam. Samples were obtained from the surface layer of soils on which specific plant community is developed. Average content of moisture and organic matter of the soils were 21.6% and 17.3%, respectively. These values were similar to those of developing forest soils, but were slightly lower than those of climax ecosystem such as Piagol in Mt. Chiri. Content of phosphate was higher than those of other forest soils. The population size of soil bacteria ranged from 27.4 to 195.8×10^5 CFU/g. dry soil, and the size is somewhat dependent on the moisture and organic matter content of soils. A large number of bacteria were able to decompose macromolecules such as starch, elastin and gelatin. Bacterial species composition of each soil was comparatively simple. *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Flavobacterium* and *Xanthomonas* which are Gram-negative short rods were widely distributed in the forest soils. The endospore forming *Bacillus* species were also the main constituents of the soil microflora. Actinomycetes were widely distributed in the forest soils, but the distribution pattern varied in each site. Most of the actinomycetes were also able to decompose organic macromolecules. The rate of resistant actinomycete strains to antibiotics and heavy metals were lower than those from cultivated soils, but higher than those from well-preserved forest soils. Antibiosis pattern of the actinomycete isolates was similar to the resistance pattern. This means the forest soils of Mt. Nam was somewhat interfered by artificial behaviour.

Key words: Soil ecosystem, Identification, *Pseudomonas*, Actinomycetes, Resistance pattern, Antibiosis.

서론

토양 환경에서 미생물은 생물지구화학적 순환에 있어

서 중요한 기능을 수행한다. 생물 사체의 분해 및 광물화를 촉진시켜 물질의 재순환에 이바지하며, 토양 부식질을 형성시켜 토양 수분함량을 조절하고, 식물생장에 필요한 무기영양분을 공급하는 등 토양의 비옥화에 기

여한다 (Dommergues *et al.* 1978). 또한 토양 미생물들은 토양내의 다양한 종류의 생물들과의 상호 작용을 통하여 안정된 생태계를 유지하려는 기능을 갖고 있다 (Atlas and Barth 1980). 즉, 식물 뿌리와와의 공생관계, 뿌리 분비물에 의한 미생물의 생장의 조절, 식물의 병원체로서의 작용과 미생물 개체군 간의 경쟁 등이 그 예라 할 수 있다.

한편 토양 환경은 미생물의 분포 및 그들의 대사 활성에 영향을 준다. 즉, 함수량, 유기물 함량이나 저해물질의 농도가 미생물의 활성과 밀접한 연관이 있다. 예로, 유기물의 함량과 함수율이 높을수록 미생물 개체군의 크기가 커지며 탈수소효소와 같은 효소 활성도가 높았다 (Lee and Kim 1995, Song *et al.* 1995). 또한 토양내 함유된 중금속이 토양 미생물의 군집 크기 및 효소 활성도를 낮추는 현상을 밝힌 바 있다 (Kim and Birch 1992, Lee and Kim 1995).

토양내 미생물의 개체군이 크고 다양할수록 식물의 생산력이 높아지고, 토양 생태계가 안정되며, 미생물의 수적인 크기가 토양의 비옥도 및 생물학적 활성의 지표가 될 수 있다. 따라서 토양 생태계의 안정도, 비옥도 및 향후 토양 생태계의 진행과정을 추정하기 위해서는 토양의 물리화학적 특성과 토양 미생물의 다양성, 개체군의 크기 및 그들의 활성을 우선 파악해야 한다 (Anderson and Domsch 1978, Paul and Clark 1989).

본 연구는 남산의 대표적인 식물 군락지 11개 지점의 토양을 실험 대상으로 삼았다. 각 식물 군락에 따른 토양의 물리화학적 특성을 측정하였으며, 세균의 분포와 분리군들의 특성을 파악하였다. 또한 자연 서식처인 토양에 대한 인위적인 간섭정도를 파악하기 위해 방선균의 항생물질 생산성, 중금속과 항생물질에 대한 내성 및 유기물 분해능을 측정하였다.

재료 및 방법

조사지역

서울특별시 소재한 남산 일대를 탐사하여 식생이 잘 발달된 지역 11개 지점에서 10 cm미만의 표토층 토양을 채집하여 시료로 사용하였다 (Fig. 1, Table 1).

토양의 물리화학적 특성

토양의 물리화학적 특성은 공정시험법에 따라 pH, 함

습량, 총 유기물 함량, 유효 인산, 암모니아성 질소, 질산성 질소 및 양이온 치환용량에 대해 조사하였다.

토양 미생물 군집의 크기

탄소원으로 glucose (15 g/l)를 첨가한 Knops 무기배지를 일반 세균의 분리 배지로 사용하였다. 토양 현탁액을 pour plate 법으로 접종한 후 25°C에서 5일간 배양하여 나타난 세균 집락의 수를 계수하였다. 특정효소 분비 세균의 비율을 파악하기 위해서는 배양된 세균 집락에 Methylumbelliferyl (MUF)- α -D-glucoside, MUF- β -D-glucoside, MUF-cellobioside와 MUF-phosphate를 기질로 주어 5분후에 364nm에서 형광을 발하는 세균 집락의 수를 계수하여 출현빈도를 측정하였다 (Hoppe 1983). 분리배지에 형성된 대표적인 세균 집락을 plate count 한천 (PCA) 배지에 도말하여 순수분리가 될 때까지 계대배양한 후 균체를 glycerol 용액 (20%, w/v)에 현탁하여 -30°C로 보관하였다. 방선균의 분리에는 항진균제인 cycloheximide와 nystatin을 각각 50 mg/l의 농도로 첨가한 starch casein agar (SCA; Küster and Williams 1964)를 사용하였다. 토양 현탁액을 50°C 수조에서 15분간 전처리한 후 접종, 도말하여 25°C에서 14일간 배양하여 나타난 집락을 현미경으로 관찰하여 계수하였다. 분리된 방선균은 변형된 Bennett's agar (MBA; Jones 1949) 배지를 사용하여 순수 분리될 때까지 계대배양한 후 포자 및 군사체를 glycerol 용액 (20%, w/v)에 현탁하여 -30°C로 보관하였다.

일반세균의 특성 및 동정

분리균을 PCA 배지에 배양하면서 집락의 형태, 색소 생성 및 운동성을 조사하였으며, 그람염색과 내생포자 염색을 실시하여 형태적 특성을 관찰하였다. 분리균의 생리적 특성은 성장온도 범위와 NaCl, adenine, crystal violet, sodium selenite 및 sodium azide의 존재하에서의 성장 여부 등을 측정하였다. 또한 분리균이 gelatin, 요소, 전분 등을 분해할 수 있는지 조사하였다. 젤라틴 액화는 nutrient gelatin agar (Difco Co.)를, 그리고 요소 분해는 urea broth를 사용하여 시험관에서 실시하였다. Casein, tyrosine, hypoxanthine, 그리고 elastin과 같은 고분자 물질을 분해할 수 있는지는 PCA 배지에 이들 고분자 물질을 첨가하여 30°C에서 3일간 배양한 후 세균 집락 주위에 투명한이 생기는지 관찰하였다. 항생

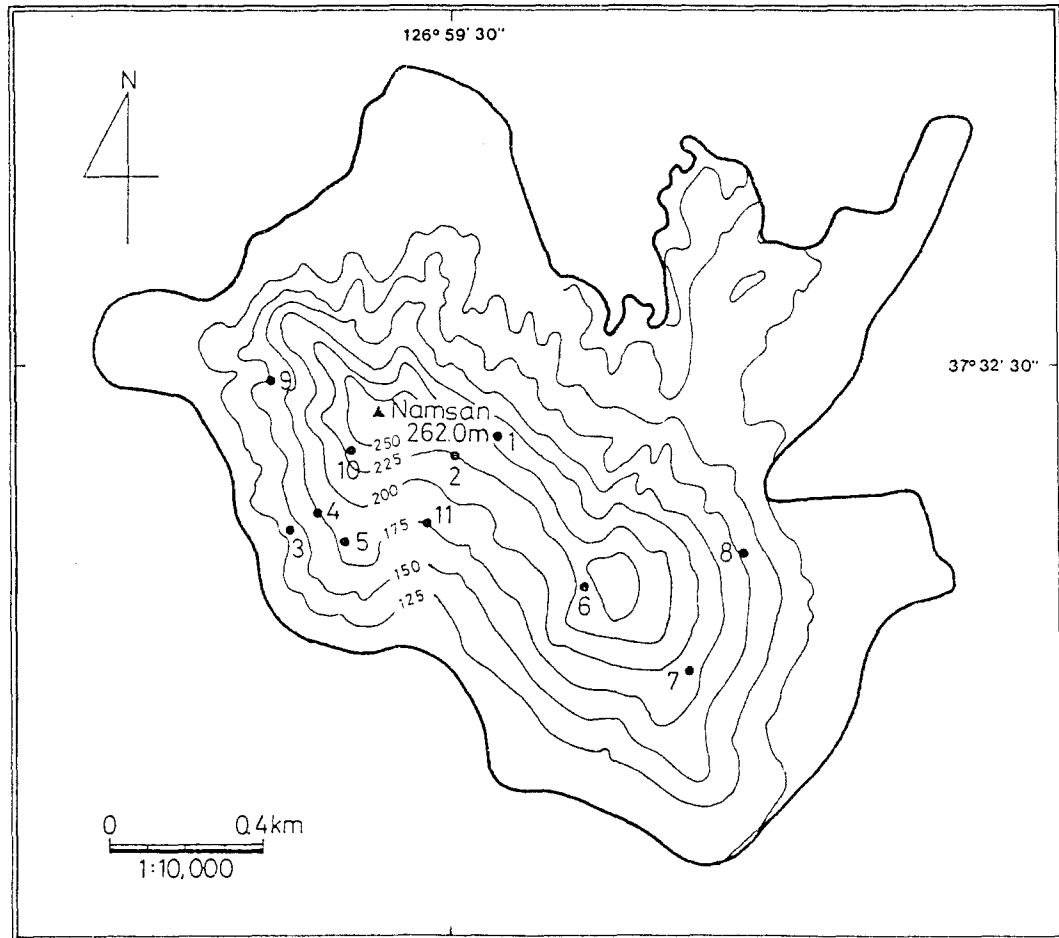


Fig. 1. Map showing the sampling sites. Description of the sites are shown in Table 1.

물질에 대한 내성은 PCA 배지에 면봉으로 세균을 도달한 다음 항생물질 disc를 얹어놓아 3일간 배양한 후 disc 주위의 투명환의 직경을 계산하여 내성 정도를 파악하였다. 분리균의 동정은 분리세균의 생리적 특성 시험 결과와 BIOLOG 동정용 kit (Biolog, USA)를 사용한 자료를 이용하여 Bergey's manual (Holt *et al.* 1984)과 The Prokaryote (Balows *et al.* 1991)에 따라 동정하였다.

방선균의 분해능 및 특성

방선균의 분해능은 gelatin, 요소, 전분, casein, RNA를 분해할 수 있는지 조사하였다. 전분과 casein 분해능은 MBA 배지에 1.0%의 soluble starch와 skim milk를 각각 첨가한 후 25℃에서 7, 14, 21일간 배양한 후 관찰하였다. RNA 분해능은 0.3%의 RNA가 함유된

tryptone agar (Goodfellow *et al.* 1979) 배지를 이용하여 25℃에서 14일간 배양한 후 1 M HCl을 떨어뜨려 투명환이 생기는지 관찰하였다. 방선균의 항생물질 생성능을 조사하기 위해 순수 분리된 방선균을 nutrient agar 배지에 접종한 후 30℃에서 3일간 배양하였다. Chloroform으로 방선균 균사체를 죽인후 지표 균주를 pour plate 방법으로 접종하여 30℃에서 2일간 배양한 후 투명환이 생기는지 여부를 관찰하였다. 분리된 방선균의 증금속에 대한 내성 여부를 측정하기 위해 10종의 증금속 화합물을 각각 1, 10, 100 µg/ml 되게 첨가한 MBA 배지에서 균들을 14, 21일간 배양하여 성장 여부를 측정하였다. 방선균의 항생물질에 대한 내성은 9종의 항생물질을 MBA에 첨가하여 방선균의 성장 여부를 14, 21일후 관찰하였다.

Table 1. Vegetation type and properties of the sampling sites in Mt. Nam

Site	Plant community	Altitude (m)	Slope aspect	Slope degree	DBH ^a (cm)
1	<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	220	NE42	28	30
2	<i>Pinus rigida</i> 리기다소나무	230	SW25	17	16
3	<i>Robinia pseudoacacia</i> 아까시나무	135	NW86	22	40
4	<i>P. koraiensis</i> 잣나무	170	SW37	21	15
5	<i>P. densiflora</i> 소나무	185	SW64	19	19
6	<i>Q. mongolica</i> 신갈나무	240	NW48	19	24
7	<i>R. pseudoacacia</i> 아까시나무	185	SE70	5	21
8	<i>Q. mongolica</i> 신갈나무	160	E	12	25
9	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> 메타세쿼이아	150	SW72	22	
10	<i>Sorbus alnifolia</i> 팔배나무	235	NW58	20	
11	<i>Prunus sargentii</i> 산벚나무	180	SW11	17	

^a : diameter at breast height

결 과

토양의 물리화학적 특성

조사된 남산의 토양 채집 지점의 식생과 지리적 특성은 Table 1과 같다. 지점 2, 4 및 5번의 식물 군락은 흉고직경이 20 cm 미만으로 대략 30년 정도 되었으며, 동일한 신갈나무 군락지인 지점 1, 6, 8번의 식생은 흉고직경에 의한 식재기간이 대략 50, 40, 30년 정도 된 것을 알 수 있었다. 지점 4의 관목층에는 식물이 거의 없었으며, 정점 5의 경우 아교목층에 분포하는 식물은 거의 없었다. 정점 6의 경우에는 교목층에 소나무와 리기다소나무가 각각 10% 정도 혼재되어 있는 혼효림에 가까운 식생이었다. 조사지역 토양의 pH는 4.1~6.4의 범위에 속했으며 평균 4.94로서 산성에 가까운 토양이었다 (Table 2). 식물군락에 따른 일정한 양상은 나타나지 않았으며 동일한 식생간에도 차이가 있었다. 조사지역 토양의 함수율은 12.5~40.2% 로서 평균 21.55% 였다. 타 지역에 비해 지점간 큰 차이는 나지 않았으며, 7번 지점이 8.0%로 가장 낮았으며 6번 지점이 40.2%로 가장 높았다. 토양내 존재하는 총 유기물의 함량은 6.9

~31.3%의 범위로 지역 및 식생간에 큰 차이가 있었으며 평균 9.15%였다. 1번과 11번 지점이 7% 정도로 낮았으며 함수율이 높았던 5번 지점의 유기물 함량이 가장 높았다. 가용성 인의 함량은 11~120 mg/kg 으로 평균 36.54 mg/kg이었다. 8번 지점은 특이하게 120 mg/kg으로 매우 높았다.

토양미생물 개체군의 크기

조사대상 11개 지점에서 세균을 분리한 바 각 지점별로 우점하는 세균이 다름을 알 수 있었고, 형태적으로 단순한 세균 집락을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2). 분리한 토양미생물의 개체군의 분포는 Table 3과 같다. 건조토양 1 g에 분포하는 일반 세균 개체군의 크기는 $27.4 \sim 195.8 \times 10^5$ CFU로서 지점 및 식생간에 큰 차이가 있었으며 평균 84.96×10^5 였다. 방선균의 분포는 개체수 뿐 아니라 일반 세균수에 대한 비율에서 지점간에 큰 차이를 보여주었다. 5번 지점의 경우 1.2×10^5 (일반세균의 0.7%) 로 매우 낮은 반면, 지점 6의 경우 178.2×10^5 CFU (일반세균의 91.0%)에 달했다. 방선균 개체군의 크기는 $1.2 \times 10^5 \sim 178.2 \times 10^5$ CFU (평균 33.1×10^5)로 일반세균의 39.0%에 달했다.

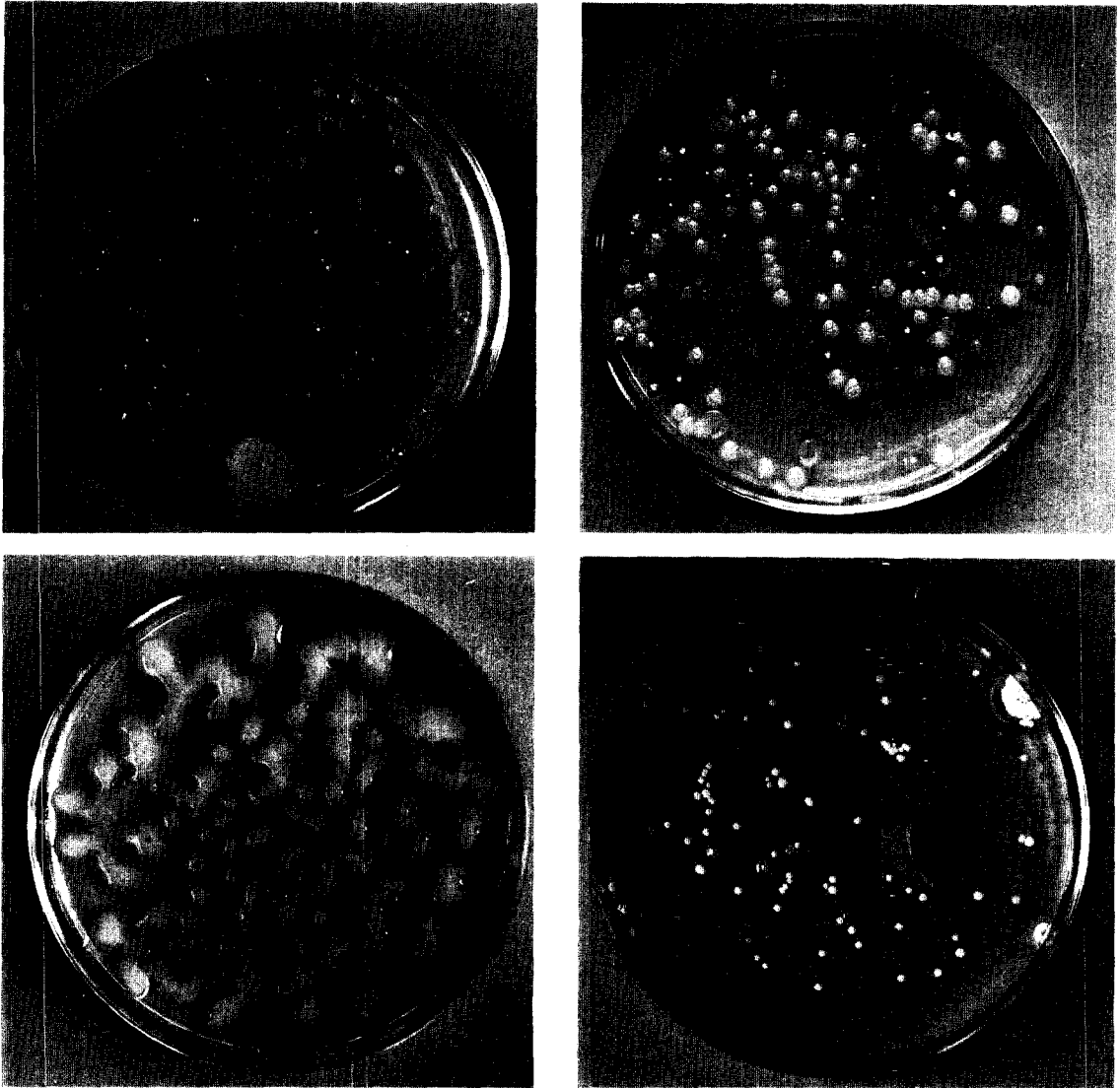


Fig. 2. Photographs showing the isolation plates. (A; site 3): About 10% of the colonies are *Flavobacterium* sp. which produce yellow pigment. (B; site 4): Two kinds of tight colonies dominate. (C; site 5): Exo-polysaccharide producing bacteria dominate. (D; site 6): Most of the colonies are actinomycetes.

체의효소 분비 세균의 비율을 파악하기 위해서 배양된 세균 집락에 합성된 비형광 물질을 기질로 이용하여 출현빈도를 측정된 결과는 Table 3에 나타나 있다. Phosphatase를 분비하는 세균은 일반세균의 7.3~44.4%에 달했으며, α -glucosidase를 분비하는 세균은 ND~46.5%, β -glucosidase를 분비하는 세균은 1.6~46.2%, 그리고 cellobisidase를 분비하는 세균은 ND~16.7%에 달했다.

분리 세균의 특성

순수 분리된 46개의 일반세균의 특성은 Table 4에 나타나 있다. 분리 세균은 모두 간균이거나 단간균의 형태를 지니고 있었으며, 그람양성 세균이 34.8% 이며 그람양성 세균이 65.2%를 차지하고 있었다. 10°와 37°에서 생장이 가능한 세균의 비율은 각각 8.7%와 63.0%였으며, 45°에서도 성장할 수 있는 세균이 45.7%에 달했다. 7%의 NaCl이나 0.005% sodium azide에 내성을 지

Table 2. Comparison of physicochemical properties of forest soils

Site	pH	Moisture content (%)	Organic matter (%)	Available phosphate (mg /Kg)	Reference
Mt. Nam (11 ^a)	4.1~6.3	12.9~40.2	6.9 ~31.3	11~120	this study
Mt. Nam (3)	4.8~5.6	10.8~31.3	2.80~22.60	—	Park (1987)
Piagol (5)	7.2~7.5	15.4~64.0	12.2 ~39.2	5~100.3	Choi and Lee (1983)
Mt. Songni (7)	4.3~5.6	11.6~31.5	9.9 ~70.6	—	Lee and Shim (1990)
Mt. Chuwang (5)	6.4~6.7	10.4~49.4	9.3 ~49.3	2.6 ~ 4.7	Hong and Jang (1984)
Is. Paengyong (3)	5.0~5.4	—	2.41~ 7.77	5.0~ 10.0	Hong <i>et al.</i> (1987)
Is. Komun (7)	6.4~6.9	6.8~59.8	6.5 ~39.4	2.2~ 129.3	Hong and Jang (1984)

^a : Number of sampling sites

Table 3. Population size of the soil bacteria of Mt. Nam

Site	No. of general bacteria ^a	No. of Actinomycetes ^a	Rate(%) of exo-enzyme secreting bacteria			
			Phosphatase	α -Glucosidase	β -Glucosidase	Cellobiosidase
1	27.4	21.4	15.5	10.1	7.0	4.2
2	82.3	43.2	44.4	1.6	1.6	0.8
3	74.0	25.4	9.1	2.1	20.9	3.5
4	34.2	3.4	7.4	2.6	4.3	3.3
5	176.4	1.2	7.3	ND	4.0	ND
6	195.8	178.2	13.4	11.1	21.1	4.8
7	96.4	29.5	15.0	7.7	6.2	2.9
8	40.9	34.4	16.3	14.5	21.8	16.7
9	67.4	3.6	9.1	25.0	46.2	7.7
10	60.8	19.8	18.8	33.3	36.3	5.9
11	79.0	4.2	12.5	46.5	21.4	15.1
Mean	85.0	33.1	15.3	15.5	17.3	6.5

^a : ($\times 10^5$ CFUs/g. dry soil)

닌 균주는 각각 2균주에 불과했다. Crystal violet 에 내성을 지닌 세균은 32.6%, sodium selenite에 내성을 지닌 세균은 84.8% 였다. Amikacin, kanamycin, penicillin, tobramycin 그리고 vancomycin의 항생물질에 내성을 지닌 세균의 비율은 각각 32.6, 45.7, 71.7, 36.9, 그리고 56.5%에 이르렀다. Adenine, casein, elastin, hypoxanthine, 전분과 요소를 분해할 수 있는 세균은 각각 10.9, 32.6, 63.0, 34.8, 80.4 그리고 63.0%에 달했으며, gelatin은 거의 모든 분리균에 의해 액화될 수 있었다.

분리 세균의 동정

46개의 분리균의 형태적, 생리적 특성과 동정용 kit를 이용한 동정 실험결과는 Table 5에 나타나 있다. *Pseudomonas* 와 *Bacillus* 속이 각각 12균주와 11균주로 전체의 50.0%를 차지하였다. 다음으로 *Flavobacterium* 속이 4개, *Agrobacterium* 속과 *Xanthomonas* 속으로 동

정된 세균이 각각 3개 균주였다. 이외에 *Aeromonas* 속, *Enterobacter* 속, *Cellulomonas* 속, *Corynebacterium* 속과 *Cytophaga* 속이 각각 1균주 씩 동정되었으며, 8균주는 동정이 불완전하였다. *Pseudomonas aeruginosa*가 단일 종으로서 4개 균주가 동정되었으며, 식물 병원균의 가능성이 있으며 점액질을 분비하는 *Xanthomonas maltophilia*가 3균주로 상당히 많은 부분을 차지하고 있었다. 또한 노란색 색소를 형성하는 *Flavobacterium*도 산림토양에 상당히 분포하고 있음을 알 수 있었다. *Bacillus* 속은 8 종이 동정되어, 비교적 다양한 종으로 구성되어 있음을 알 수 있었으며 내생포자의 형태도 다양하였다.

임의로 분리된 60개의 방선균의 유기물질 분해능과 중금속 및 항생물질에 대한 내성, 그리고 항생물질 생성능은 Table 6과 같다. 거의 모든 분리균들이 casein과 전분을 분해할 수 있었으며 요소와 RNA는 각각 45.9%와 67.7%의 균들이 분해할 수 있었다. 또한 대부분의 균들이 젤라틴을 액화시킬 수 있었다. 분해능은 타 지역으로부터 분리된 균들과 유사하였다. 항생물질에

Table 4. Properties of bacterial isolates of Mt. Nam

Unit characters	Percent positive	Unit characters	Percent positive
Gram positive	34.8	Rod form	95.6
Endospore formation	21.7	Catalase	93.4
Growth at:			
10°C	8.7	37°C	63.0
45°C	45.7	7% NaCl	4.3
Degradation of:			
Adenin	10.9	Casein	32.6
Elastine	63.0	Gelatin	87.0
Hypoxanthine	34.8	Starch	80.4
Urea	63.0		
Growth on:			
Crystal violet (0.005%)	32.6	Sodium selenite (0.01%)	80.4
Sodium azide (0.005%)	4.3		
Resistant to antibiotics:			
Amikacin (30mcg)	32.6	Kanamycin (30mcg)	45.7
Penicillin(10U)	71.7	Tobramycin (10mcg)	36.9
Vancomycin (30mcg)	56.5		

대한 내성은 경작지 토양으로부터 분리된 방선균에 비해서는 낮았으나 두륜산이나 백운산의 산림토양으로부터 분리된 방선균에 비해 높았다. 방선균들의 중금속에 대한 내성에 있어서도 경작지 토양으로부터 분리된 균들은 내성이 강한 반면, 두륜산과 백운산 잣나무림의 토양으로부터 분리한 균들의 경우 내성이 약했다. 남산으로부터 분리한 방선균들의 중금속에 대한 내성은 두 곳의 산림토양으로부터 분리한 균들보다는 경작지로부터 분리한 균들의 수준과 비슷하였다. 본 조사지에서 분리한 방선균들 중 20~25% 만이 *B. subtilis*와 *S. cerevisiae*의 생장을 억제할 수 있었으며 다른 지표균들에 대한 항생물질 생성능은 거의 없었다. 반면 인삼포로부터 분리된 방선균들의 경우 지표균들에 따라 17% (*C. albicans*)에서 68% (*B. subtilis*) 까지 지표균들의 성장을 억제할 수 있었다. 그러나 백운산 잣나무림 토양이나 두륜산 토양으로부터 분리한 방선균들의 항생물질 생성능보다는 약간 높은 값을 보였다 (Seong 1994, Seong *et al.* 1994).

Table 5. Identification of bacterial isolates from Mt. Nam

Identification	No. of strains	Identification	No. of strains
<i>Aeromonas</i> sp.	1		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	4	<i>P. putida</i>	1
<i>P. fluorescens</i>	2	<i>P. mucidolens</i>	1
<i>P. corrugata</i>	1	<i>P. stutzeri</i>	1
<i>Pseudomonas</i> sp.	2		
<i>Flavobacterium campestri</i>	1	<i>F. gleum</i>	1
<i>F. multivorum</i>	2		
<i>Xanthomonas maltophila</i>	3		
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	3		
<i>Enterobacter cloacae</i>	1		
<i>Bacillus sphaericus</i>	2	<i>B. mycoides</i>	2
<i>B. thuringiensis</i>	1	<i>B. thermoglucosidacus</i>	1
<i>B. brevis</i>	1	<i>B. cereus</i>	1
<i>B. amyloliquefaciens</i>	2	<i>B. subtilis</i>	1
<i>Cytophaga</i> sp.	1		
<i>Cellulomonas turbata</i>	1		
<i>Corynebacterium</i> sp.	1		
Unidentified	8		

고 찰

남산의 주요 식물 군락지의 토양환경과 토양미생물의 분포 및 분리균의 특성에 대해 조사하였다. 조사지역 산림토양의 pH는 4.1~6.4의 범위에 속했으며, 중화시비를 실시한 지역을 제외하면 모두 산성토양에 가까웠다. 이 값은 속리산의 pH와 유사하나 두륜산, 백령도, 완도, 주왕산, 덕적군도, 거문도 및 지리산 피아골의 pH 값인 5.2~7.2에 비해 낮았다 (Hong and Chang 1982, Choi and Lee 1983, Seong *et al.* 1994). 함수율과 유기물 함량은 평균 각각 21.6%와 9.15%로서 기존 조사된 천이 과정중의 산림 토양과 비슷하였으나, 지리산 피아골과 같은 극상림의 토양에 비해 다소 낮았다 (Table 2). 유효인산, 암모니아성 질소와 질산성 질소의 농도는 각각 36.54 mg/kg, 0.91%과 3.81%로서 타 지역의 산림 토양에 비해 높았다.

토양의 총 세균은 건조토양 1 g에 27.4~195.8 × 10⁵ CFU 분포하고 있으며, 합습량과 유기물의 양이 높은 지역의 토양에 그 분포가 높았다. 타 지역의 산림

Table 6. Degradative and antibiotic resistant properties of actinomycetes isolated from various soils

Unit characters	Soil source			
	Mt. Nam	Mt. Turyun	Mt. Paekunb	Cultivated soil
Degradation of macromolecules:				
Casein	76.9	77.5	80.7	71.7
Starch	84.6	90.5	86.7	89.4
Gelatin	89.7	45.0	40.0	57.5
Urea	43.6	57.5	60.0	46.8
RNA	67.7	70.0	73.3	61.7
Resistant to antibiotics:				
Rifampicin (4 ^a)	46.2	45.0	42.9	55.8
Nalidixic acid (32)	89.7	72.5	69.0	86.0
Oleandomycin (32)	59.0	52.5	50.0	83.7
Neomycin (4)	48.7	35.0	42.9	55.8
Chloranphenicol (4)	84.6	90.0	83.3	100.0
Gentamicin (32)	2.6	0.0	0.0	14.0
Polymyxin B (32)	25.6	20.0	21.4	37.2
Penicillin G (10U)	51.3	42.5	40.5	90.7
Tetracycline (16)	7.7	5.0	4.8	16.3
Resistant to heavy metals:				
CuSO ₄ (100 ^a)	54.1	22.5	20.0	60.0
Cd (NO ₃) ₂ (10)	56.2	2.5	0.0	55.0
MnCl ₂ (1000)	84.1	15.0	20.0	80.0
FeCl ₂ (100)	86.4	67.5	80.0	100.0
ZnSO ₄ (1000)	70.4	22.5	20.0	70.0
HgCl ₂ (1)	9.2	2.5	0.0	20.0
SeO ₂ (10)	63.6	35.0	40.0	80.0
CoCl ₂ (100)	42.5	5.0	0.0	30.0
Antimicrobial activity against:				
<i>Aspergillus niger</i>	15.0	NT	NT	NT
<i>Candida albicans</i>	5.0	2.5	<1.0	17.0
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	25.0	5.0	6.7	34.0
<i>Phytophthora capsizi</i>	10.0	2.5	<1.0	31.9
<i>Bacillus subtilis</i>	22.0	25.0	20.0	68.1
<i>Escherichia coli</i>	17.4	7.5	6.7	48.9
<i>Micrococcus luteus</i>	5.0	NT	NT	NT
<i>Staphylococcus aureus</i>	NT	0.0	<1.0	31.9
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	5.1	NT	NT	NT
<i>Streptomyces murinus</i>	38.5	35.0	32.5	46.8

^a : $\mu\text{g/ml}$, ^b : *Pinus koraiensis* forest soil

토양과 거의 유사하였으나 극상림 토양에 비해 낮았다. 인산염 및 당 분해효소를 분비하는 세균들의 비율은 백두산 산림토양과 거의 유사한 보여주고 있었으나, 호소와 같은 수생태계에서의 효소 분비 세균의 분포보다는 낮았다 (Ahn 1990). 특히 섬유소 분해와 밀접한 연관이 있는 cellobisidase를 분비하는 세균의 비율이 낮다는 것은 섬유소의 분해는 진균이 큰 역할을 하고 있다는 것을 시사해 준다. 많은 일반세균들이 전분, elastin이나 gelatin과 같은 고분자 물질을 분해할 수 있었다. 일반세균 중 유해물질에 대한 내성균의 분포는 높지 않은 반면

항생물질에 대한 내성균의 비율은 비교적 높았다. 그러나 각 지점의 토양세균은 비교적 단순한 종으로 구성되어 있었다. 산림토양에서 식물 뿌리에 의한 영양원의 분비가 뿌리 주위의 미생물의 밀도를 높여 이들 사이의 경쟁이 유발되고, 결국 성장 속도가 빠르며 다양한 대사적 특성을 지닌 세균이 우점하게 된다는 연구와 일치한다 (Bowen 1980). 즉, 식물 사체의 분해과정에 참여하거나 뿌리 분비물에 의해 생장이 촉진될 수 있는 세균들이 산림 토양 내 우점하게 된다. 결과적으로 식물 뿌리 주변에는 그람양성 세균이나 포자 형성균보다는

그람음성이며 단간균인 *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, 등이 우점하게 된다 (Richards 1987). 본 실험에서도 *Pseudomonas* 속의 세균이 가장 많이 동정되었으며 *Agrobacterium* 이 특정 시료에서는 거의 대부분을 차지하였다. 또한 *Flavobacterium*과 *Xanthomonas*는 *Pseudomonas* 속의 세균과 매우 유사하므로 동정된 세균의 50% 이상이 *Pseudomonas* 속에 속한다고 할 수 있다. 그람양성균으로는 포자를 형성하는 *Bacillus* 가 대부분을 차지하였으며 섬유소 분해에 관여하는 *Corynebacterium*과 *Cellulomonas* 속의 세균도 동정되었다. 한편 토양내에 많이 분포하는 활주 세균은 분리과정에서 확인할 수 있었다. 그러나 산림토양에 상당히 많이 분포한다고 알려진 *Azospirillum* 같은 나선형 세균이나 *Micrococcus*와 같은 구균은 동정되지 않았다.

방선균은 토양 생태계의 주요 구성인자로서 유기물의 분해능과 2차 대사산물의 생성능이 탁월하다고 알려져 있다 (Goodfellow and Cross 1984, Williams *et al.* 1984). 특히 항생물질 생성과 중금속동에 대한 내성은 서식처 내의 각 생물 개체군과의 상호 관계를 측정하고 오염을 간접적으로 추정할 수 있는 방법이다 (Atlas and Bartha 1980). 방선균의 분포는 총세균의 39%에 달하였으며 지점간에 큰 차이를 보였다. 대부분의 방선균들도 고분자 물질을 분해할 수 있었다. 중금속과 항생물질에 대한 내성과 항생물질 생성능은 경작지로부터 분리한 균들보다 낮은 반면 식생이 잘 보존된 지역인 두륜산이나 백운산으로부터 분리한 균에 비해 높았다.

남산의 토양환경은 일반적으로 산성에 가깝고 함습량이나 유기물의 함량은 타 지역의 산림토양과 유사한 수준을 보였으며 무기 영양염인 인산과 질소의 함량은 상대적으로 높았다. 토양세균의 분포 수준은 극산림에는 미치지 못하나 타 지역과 유사한 수준이었다. 그러나 식생별 토양마다 종 구성이 비교적 단순했다. 토양세균들은 유기물의 분해에 기여를 하고 있었으며 *Pseudomonas* 속과 *Bacillus*속의 세균이 가장 많이 분포하고 있었다. 또한 방선균의 중금속과 항생물질에 대한 내성과 항생물질 생성능은 경작지로부터 분리한 균들보다 낮은 반면 식생이 잘 보존된 지역인 두륜산이나 백운산으로부터 분리한 균에 비해 높았다. 토양내의 미생물들 간의 경쟁이 상대적으로 심하다는 것을 보여 주고 있다. 즉, 이 지역의 토양 생태계는 식생이 잘 보존된 산림생태계에 비해 인간의 간섭이 가해졌다는 것을 확인할 수 있었다.

적 요

남산의 주요 식물 군락지의 토양환경과 토양미생물의 분포 및 분리균의 특성에 대해 조사하였다. 조사지역 산림토양의 pH, 함수율과 유기물 함량의 평균값은 각각 4.94, 21.6%와 9.15%로서 기존 조사된 천이 과정중의 산림 토양과 비슷하였으나, 지리산 피아골과 같은 극산림의 토양에 비해 다소 낮았다. 유효인산과 질소는 타 지역에 비해 높았다. 토양의 총 세균은 건조토양 1 g에 27.4~195.8 × 10⁵ CFU 분포하고 있으며, 함습량과 유기물의 양이 높은 지역의 토양에 그 분포도가 높았다. 많은 일반세균들이 전분, elastin이나 gelatin과 같은 고분자 물질을 분해할 수 있었다. 각 지점의 토양세균은 비교적 단순한 종으로 구성되어 있었다. 조사지로부터 분리된 세균중 그람음성 간균인 *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Flavobacterium*과 *Xanthomonas* 등이 주된 구성원이었으며, 그람양성균으로는 포자를 형성하는 *Bacillus*가 대부분을 차지하였다. 방선균의 분포는 총세균의 39%에 달하였으며 정점간에 큰 차이를 보였다. 대부분의 방선균들도 고분자 물질을 분해할 수 있었다. 중금속과 항생물질에 대한 내성과 항생물질 생성능은 경작지로부터 분리한 균들보다 낮은 반면 식생이 잘 보존된 두륜산이나 백운산으로부터 분리한 균에 비해 높았다. 남산의 토양 생태계는 식생이 양호한 산림생태계에 비해 인간의 간섭이 어느 정도 가해지고 있음을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

- Ahn, T.S. 1990. The microbial degradation in the sediment of red tide area of lake Soyang. Kor. J. Limnol. 23: 15-22.
- Anderson, J.P.E. and K.H. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement for microbial biomass in soil. Soil Biol. Biochem. 10: 210-221.
- Atlas, R.M. and R. Bartha. 1987. Microbial Ecology. 2nd ed. Benjamin/Cummings Publishing Co., Menlo Park.
- Balows, A., H.G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder and K.H. Schleifer(eds.). 1991. The Prokaryotes, 2nd ed. Springer-Verlag, N.Y.

- Bowen, G.D. 1980. Misconceptions, concepts and approaches in rhizosphere biology, pp. 283-303, In D.C. Ellwood, J.N. Hedger, M.J. Latham, J.M. Lynch and J.H. Slater(eds), Contemporary Microbial Ecology. Academic Press, London.
- Choi, Y.K. and Y.H. Lee. 1983. The soil microorganism of the forest flora and soil of the climax forest of Piagol vally in Mt. Chiri. Kor. Assoc. Conserv. Nature 21: 179-191.
- Dommergues, Y.R., L.W. Belser and E.L. Schmidt. 1978. Limiting factors for microbial growth and activity in soil. p.49-104. In Alexander, M.(ed.), Advances in microbial ecology. Plenum Press, N. Y.
- Goodfellow, M. and T. Cross. 1984. Classification, p. 7-64. In Goodfellow, M., M. Mordarski and S.T. Williams (ed.), Biology of the Actinomycetes. Academic Press, London.
- Holt, J.G.(editor-in-chief). 1984. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Williams and Wilkins, Baltimore.
- Hong, S.W. and Y.S. Jang. 1982. Soil environmental factors and microflora of Chuwangsan National Park. KACN 23: 141-150.
- Hong, S.W. and Y.S. Jang. 1984. Soil microflora and fleshy fungi in islands of Komun-do country, Chollanamdo, Korea. Kor. Cent. Counc. Nature Preserv. 4: 35-54.
- Hong, S.W., Y.S. Jang and K.S. Shin. 1987. Soil microflora and fleshy fungi in the Paengyongdo islands. Kor. Cent. Counc. Nature Preserv. 7: 49-71.
- Hoppe, H.G. 1983. Significance of exoenzymatic activities in the ecology of blackish water: measurements by means of methylumberriferyl-substrates. Mar. Ecol. 11: 299-308.
- Jones, K.L. 1949. Fresh isolates of actinomycetes in which the presence of sporogeneous aerial mycelia is a fluctuating characteristic. J. Bacteriol. 57: 141-146.
- Kim, O.K. and P. Birch. 1992. The effects of heavy metals and microbial biomass and activity in contaminated urban park soils. Kor. J. Ecol. 15: 267-280.
- Küster, E. and S.T. Williams. 1964. Selection of media for the isolation of actinomycetes. Nature 202: 928-929.
- Lee, I.S. and O.K. Kim. 1995. Influences of environmental pollutants on soil ecosystem. Kor. J. Ecol. 18: 285-294.
- Lee, T.W. and J.K. Shim. 1991. Microbial and enzymological studies on the forest soil of Mt. Songni. KACN 29: 247-259.
- Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, San Diego.
- Richards, B.N. 1987. Microbiology of terrestrial ecosystem. John Wiley and Sons, N.Y.
- Seong, C.N. 1994. Distribution and the activities of soil microflora of Kumo Archipelago. KACN., 32: 247-255.
- Seong, C.N., M.S. Park and Y.M. Chun. 1994. Distribution and the activities of the soil microflora of Mt. Turyun. Ministry Environ. p. 271-282.
- Song, I.G., B.R. Min and Y.K. Choi. 1995. Enzyme activities in the soil of *Quercus mongolica* forests. Kor. J. Ecol. 18: 503-512.

(1998년 7월 4일 접수)