

여천공단의 대기오염이 토양의 화학적 특성, 지의류, 탈질균 및 황산환원균에 미치는 영향^{1*}

유정환² · 가강철³ · 박 현⁴

Air Pollution Effects on Soil Chemical Properties, Lichens, Denitrifying and Sulfur - Reducing Bacteria

Around the Yeochun Industrial Estate^{1*}

Jung - Hwan Yu², Kang - Hyun Ka³ and Hyun Park⁴

요 약

여천공단의 대기오염이 산림생태계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 공단의 남단에 위치한 남해화학주변과 그 지역에서 2km, 4km, 6km, 8km 및 10km 떨어진 지점을 선정하여 산림토양의 화학적 특성, 탈질균 및 황산환원균 동태와 지의류 출현도를 비교하였다. 여천공단 주변지역의 토양은 적황색 산림토양군(R·Y)에 속하는 토양이었으나 같은 산림토양군에 속하는 토양에 비해 pH가 매우 낮았다. 산림토양의 pH가 낮음으로 인해 C/N비가 15~25의 범주에 있음에도 불구하고 유기물의 분해 등 무기화에 관여하는 미생물의 활력이 낮아서 유기물함량이나 전질소함량은 상대적으로 높았다. 공단 인접지역에서 4km 지점에 이르는 곳까지의 토양 화학특성이 6km 이후 지역에 비해 대기오염 피해도가 심하게 나타났으나 탈질균 및 황산환원균의 분포량 차이에 따른 피해도 구분은 어려웠다. 한편, 지의류는 산림토양에 반영된 대기오염도의 차이에 비해 확연한 결과를 나타냈으며, 특히 염상지의류는 바위에 붙어 사는 지의류에 비해서 더 민감한 반응을 나타냄을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Air pollution effects on soil chemical properties, denitrifying and sulfur-reducing bacteria and lichens were examined around the Yeochun industrial estate. Soil samples were collected from mountain and/or mountain edges around the Namhae Chemical Corp., which is located at the southern edge of the estate, and sampled plots which were selected at 2km, 4km, 6km, 8km, and 10km apart from the industrial estate. The forest soils around the industrial estate could be classified into the Reddish yellow forest soil group, but soil pH was quite lower than the soils of the group. Because of the extremely low soil pH, microbial activity related to mineralization of organic matter was expected to be very low even though C/N ratio ranged from 15 to 20. As a result, soil organic matter and total nitrogen in soil were relatively high compared to the soils of the group. In general, soil chemical properties around the industrial estate up to 4km apart from the estate were significantly different from the rest (more than 6km apart from the estate) possibly due to air pollution. However, denitrifying bacteria and sulfur-reducing bacteria did not show significant differences in colony

¹ 接受 1994年 12月 13日 Received on December 13, 1994

² 임업연구원 입지환경과 대기오염연구실 Forestry Research Institute, Dongdaemun, Seoul 130-012, Korea

³ 임업연구원 산림미생물과 토양미생물연구실(지의류연구) Forestry Research Institute, Dongdaemun, Seoul 130-012, Korea

⁴ 임업연구원 산림미생물과 토양미생물연구실(본 논문 관련 연락처) Forestry Research Institute, Dongdaemun, Seoul 130-012, Korea

* 본 연구의 일부는 과학기술처지원 특정연구로 수행되었습니다.

forming units by the distances from the industrial estate. By the way, lichens showed distinct differences in frequencies and coverages by the distances from the industrial estate possibly due to air pollution. The corticolous lichens showed more sensitive response to the air pollution compared to the saxicolous lichens.

Key words : air pollution, soil chemical properties, lichens, denitrification, sulfur reduction, bacteria

서 론

대기오염이 산림생태계에 미치는 영향은 수목의 연륜연대학적 기법을 이용한 방법, 산림토양 양료 및 독성물질의 동태 구명, 지의류에 의한 대기오염도 평가 등을 통해 분석할 수 있다(김태훈, 1993). 일반적으로 대기오염이 오랫동안 지속되면 (1) 산림토양의 산성화와 더불어 양분이 유실되고, (2) 알루미늄과 중금속 등 독성물질의 가용화가 촉진되며, (3) 각종 물질의 무기화에 관여하는 미생물의 활동이 변화하고, (4) 대기오염에 민감한 지의류 사멸 등의 결과가 초래되어 산림생태계의 전반적인 쇠퇴현상이 나타나게 된다(이창근, 1988; Binkley 등, 1994). 정부의 환경오염 억제를 위한 각종 규제 및 대기오염에 대한 국민의식의 변화와 더불어 각 공단의 오염원 배출이 점차 감소하고 공단 주변의 환경관리에 대한 투자가 늘어 식생을 통한 오염도 축정은 곤란한 경우가 많으며, 오염이 심한 지역은 식생의 사멸 또는 대체 등으로 인해 수목의 연륜연대학적 기법을 통한 분석이 어렵다. 하지만, 주변의 산림토양에 축적되어 있는 각종 오염물질의 분포, 식물영양분의 가용성 변화, 양분의 무기화에 관여하는 미생물상의 동태 및 환경오염의 지표로 활용되는 지의류의 종다양성은 대기오염에 의한 산림생태계 변화의 자료를 제공한다.

지의류는 곰팡이와 광합성 생물간의 공생체이다(Hawksworth와 Hill, 1984). 지의류중 일부는 공중질소를 고정하기도 하는데, 일반적으로 지의류는 대기오염(아황산가스, 오존, 질소산화물 등)에 민감하여 오염의 지표종으로 주목되어 왔다. 지의류는 고등식물처럼 세포를 보호하는 외피층이 없어서 세포가 외부환경에 직접 노출되므로 오염물질에 민감한 반응을 나타낸다. 또한, 지의류는 물의 흡수 또는 손실에 관여하는 조절 기작이 없어서 물에 녹아 있는 오염물질을 그대로 받아 들이고, 고등식물처럼 낙엽·낙지 등의

형태로 체내의 노폐물을 배출하는 기능이 없으므로 오염물질을 체내에 축적한다(Peterson 등, 1992; Wilson, 1991). 그러므로, 지의류는 도시나 공단지역의 『오염도 지표』로 사용하기에 적합한 생물체이며 그 다양성이나 출현빈도가 오염도에 대한 판단자료로 널리 활용되고 있다(Hale, 1983; Wilson, 1991). 우리나라에서 지의류와 환경오염과의 관계를 구명한 자료로서, 1970년대에는 광화문을 중심으로 한 서울시 반경 15km 이내의 나무에서 8종의 지의류를 관찰할 수 있었으나(김준민과 이희선, 1975), 최근 동일 지역의 수피에 나타나는 지의류 조사에서는 지의류 사멸화 현상이 나타난다(김준민, 1991). 이 연구는 지의류가 대기중 아황산가스 농도와 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 보고하였는데, 지의류의 아황산가스에 대한 민감도는 대체로 3가지로 구분된다. Peterson 등(1992)은 아황산가스에 대한 민감성 지의류는 15ppb 미만에서만 생존하고, 중간성 지의류는 10~35ppb의 범주에서 생존하며, 저항성 지의류는 30ppb 이상에서도 생존하는 지의류로 구분하여 대기오염의 지표종을 제시하였다. 이러한 대기오염 물질과 지의류 종의 구분은 오염의 지표종을 선정하는데 매우 중요하리라 생각된다.

대기오염, 특히 산성강하물에 의한 토양의 산성화는 양료의 유실을 촉진하며 토양내 알루미늄이나 중금속 이온의 가용성 증가, 식물뿌리의 활력 저하, 토양미생물의 활동 둔화 등을 유발하여 산림생태계의 전반적인 생산성 저하를 초래한다(Ulrich, 1980). 특히, 오염원의 토양내 축적과 더불어 각종 양분의 무기화에 관여하는 미생물상의 변화도 나타나게 되는데 산성강하물의 주종을 이루는 질소산화물과 황산화물의 무기화에 관여하는 미생물상의 변화도 일어날 것으로 추측된다.

대기오염이 산림생태계에 미치는 영향을 조사, 평가하기 위해서는 오염원의 파악이 중요한데 오

염원은 주요염원(point source pollution)과 외부 오염원(distant source pollution)으로 나눌 수 있다. 대체로 두 종류의 오염원이 복합적인 영향을 미치게 되지만 임해공단의 오염은 주요염원의 영향을 많이 받게 되므로 오염원의 시발점이 되는 공단에서 거리가 멀수록 오염원의 확산에 의한 희석효과가 나타날 것으로 추측된다. 본 연구는 여천공단 주변의 오염도 및 회복도에 대하여 고찰하고자 오염원에서의 거리별로 산림토양의 화학적 특성, 지의류 출현도, 질소 및 황의 무기화에 관여하는 미생물 분포차이에 대한 검토를 시도한 결과이다.

재료 및 방법

연구지 개황

여천공단은 정부의 중화학공업 육성계획의 일환으로 1967년 2월에 기공하여 1979년부터 본격 가동된 석유화학단지로서 비료, 정유, 석유화학 계열 업종이 주요 입주업체이다. 1994년 현재 총 입주업체는 72개사에 달하며, 규모로는 우리나라 전 제조업의 생산액중 석유화학 관련산업의 35%에 달하는 절대적인 비중을 차지한다(여천시, 1994).

공단에서 호명동으로 향하는 259번 지방도로는 공단주변의 표고 300m 내외 산악사이에 형성된 계곡부위를 통과하는 도로로서, 공단에 인접한 바다에서 공단을 통해 불어오는 바람이 통과하는 지역이다(그림 1). 일반적인 임해공단의 대기오염물질 대부분이 바다로 향하는 것과는 다르게 이 지역의 풍향은 바다에서 도로를 통해 육지로 향하는 경우가 많으며, 이른 아침에는 대기오염물질로 인한 스모그현상이 심하게 나타나기도 한다. 특히, 여천공단은 석유화학계통의 공장이 주종을 이루고 있으므로 각 공정중에 발생하는 불소, 질소 및 황으로 인한 대기오염은 관심의 대상인데, 주로 SO₂ 가스의 영향을 심하게 받는 것으로 알려져 있다(김준선, 1992).

입지환경 조사 및 토양시료 채취

여천공단 남단에서 호명동으로 향하는 길목에 위치한 남해화학 주변(0km)과 남해화학에서 2km 간격으로 10km 떨어진 지역까지의 도로 양쪽 산에 대표적인 임상을 지닌 곳 중에서 10m×10m

의 방형구를 선정하였다(그림 1). 공단내에 해안선을 따라 다른 여러 공장이 산재하고 있는 것과는 달리, 남해화학에서 259번 지방도로를 따라서는 다른 공장이 없으므로 오염원에서의 거리별 차이가 충분히 나타날 수 있을 것으로 추측하여, 공단에서 호명동으로 향하는 259번 지방도로의 시발점이라 할 수 있는 남해화학에서 그 도로를 따라 양측 산에 조사구를 선정하였다. 도면상의 2km 거리를 기준으로 하여 읍동(2km), 호명동(4km), 자내리(6km), 용수동(8km)에 각각 표본지를 선정하였고, 10km 떨어진 지역은 17번 국도 주변에서 선정하였다. 선정된 조사구에서 일반적인 입지환경(임형, 방위, 경사도, 지표식생 등)을 기록하고 각 조사지역의 표토를 10곳 이상에서 채취하여 잘 섞은 후 비닐 시료봉투에 넣어 실험실로 운반하였다.

토양의 화학적 특성, 탈질균 및 황산환원균 조사

실험실로 운반된 토양시료는 2mm 체로 걸러 풍건시킨 후 각종 화학적 특성을 조사하였다. 토양산도는 증류수 5배액에 희석한 후 pH-meter를 사용하여 측정하였으며, 유기물함량, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성염기(K, Ca, Mg), 황, 활성알루미늄 등을 일반적인 방법에 의거하여 분석하였다(김동수, 1988).

탈질균 및 황산환원균에 대한 조사를 수행하기 위해서는 토양을 풍건시키기 전에 2mm의 체로 걸러 10g의 시료를 95ml의 0.85% saline solution(세균완충용액 : NaCl 8.5gr/1ℓ 증류수)에 넣고 희석과정을 거쳐 10⁻⁷까지의 희석액을 조제한 후 준비한 액체배지에 접종하여 MPN 방법에 의해 양을 추정하였다(Alexander, 1982). 동시에 10g의 토양시료를 건조기에서 105°C로 48시간동안 건조후 중량을 측정하여 건조량 1g당 bacterial colony forming unit의 추정에 활용하였다. 탈질균의 조사를 위해서는 1ℓ의 증류수에 KNO₃ 0.5gr, nutrient broth 8.0gr을 넣은 액체배지를(Tiedje, 1982), 황산환원균의 배양을 위해서는 1ℓ의 증류수에 KH₂PO₄ 0.5gr, NH₄Cl 1.0gr, CaSO₄ 1.0gr, MgSO₄·7H₂O 2.0gr, Sodium lactate 3.5gr, Yeast extract 1.0gr, Ascorbic acid 0.1gr, Thioglycollic acid 0.1gr, FeSO₄·7H₂O 0.5gr을 첨가하여 1.5기압에서 20분간 멸

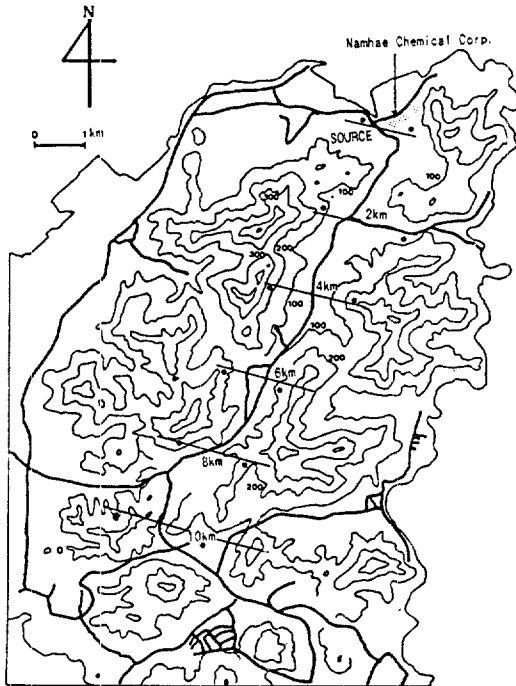


Fig. 1. Locations of the sampled plots around the Yeochun industrial estate.
● : Sampled plot

균거리한 cap tube내의 배지를 사용하였다(Neal, 1985).

지의류 조사

토양시료를 채취한 조사구에서 Braun Blanquet 법에 의해 지의류 피도조사를 실시하였는데, 바위 위에 있는 지의류는 4개 소조사구(20cm × 20cm)를 재 설정하여 조사하였고, 수피에 자라는 지의류는 5~10본의 표본목 수간의 지상 40cm~60cm 사이에 출현한 지의류 피도를 조사하였다. 아울러, 조사구 주변에서 출현하는 종을 기록하여 전반적인 지의류 다양성에 대해 고찰하였다. 지의류의 종 분류를 위해 시료를 채집하였고, 채집된 시료는 염색시약(10% KOH, NaClO₂ 포화용액, *p*-phenylene-diamine 용액)과 TLC 방법을 사용하여 분류하였다(Culberson, 1972; Park, 1990; Yoshimura, 1987).

통계분석

조사된 자료의 통계분석을 위해서는 SAS system을 사용하여 우선 거리별로 각 조사치의

차이를 검정하기 위하여 ANOVA를 실시하고, 유의차가 인정될 경우 각 조사치 평균값의 차이를 $\alpha=0.05$ 의 범주에서 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다(SAS, 1985).

결과 및 고찰

입지환경 및 산림토양의 화학특성

공단에서 시내로 향하는 도로 주변에는 원래 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.) 천연림이 형성되어 있었으나 공단근처는 곰솔림이 사라진 후(김태욱과 김준선, 1986; 김태욱 등, 1985) 각종 식생을 도입하여 녹화에 힘쓰고 있는데, 공해에 비교적 강한 수종으로 여겨지는 매죽나무(*Styrax japonica* S. et Z.)가 우점종으로 나타나고 다른 수종의 출현도나 피도는 낮은 편이다. 공단에서 2km 및 그보다 더 멀리 떨어진 지역은 곰솔, 산벚나무(2km 지점 이후), 소나무, 삼나무, 사스래피나무(4km 지점 이후), 상수리, 비목 등(6km 지점 이후)이 상층목 및 중층목으로 나타나고 있으며, 미국자리공, 억새, 청미래덩굴, 마삭줄, 싸리 등이 공단주변의 하층식생으로 우점을 나타내는 반면, 공단에서 멀어질수록 산초나무, 진달래, 철쭉, 졸참나무, 개울나무, 국수나무, 닭의장풀, 애기나리, 산겨울 등의 출현도 및 피도가 높아지고 있었다.

공단주변의 토양은 대체로 양질사토(공단주변) 또는 미사질양토(4km 지점 및 그 이후)로서 적황색 산림토양군(R·Y)에 속하는 토양이었다(조재명, 1989). 그러나 8~10km 지점을 제외한 공단주변의 산림토양은 일반적인 R·Y군의 토양에 비해 pH가 낮아서 강산성을 나타내고 있었으며, 표토의 유기물함량이나 전질소함량은 상대적으로 높은 편이었다. 이수욱과 민일식(1989)의 보고처럼 공단에서 거리가 멀어질수록 pH가 높아지는 경향을 나타내었는데, 특히 공단에서 6km 떨어진 지점까지의 토양은 그 이후의 토양에 비해 pH가 훨씬 더 낮게 나타났다(표 1). 이로 인해 C/N비가 15~25의 범주에 있음에도 불구하고 유기물의 분해가 느리게 진행되어 유기물함량이나 전질소 함량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 이수욱과 민일식(1989)이 보고한 바와 같이 시간이 경과할수록 토양 pH가 계속 낮아짐을 알 수 있었는데, 특히, 공단주변의 토양을 1991년에 조사한 김준

Table 1. Soil chemical properties around the Yeochun industrial estate(mean \pm standard error)

	Distance from the Namhae Chemical Corp. (km)*					
	0	2	4	6	8	10
pH	3.97 ^c	4.19 ^{bc}	4.04 ^{bc}	4.22 ^{bc}	4.48 ^{ab}	4.87 ^a
	\pm 0.09	\pm 0.06	\pm 0.07	\pm 0.03	\pm 0.13	\pm 0.10
OM	6.82 ^{bc}	11.73 ^{ab}	14.63 ^a	7.82 ^{abc}	5.45 ^{bc}	3.65 ^c
(%)	\pm 1.49	\pm 0.04	\pm 2.07	\pm 2.31	\pm 0.30	\pm 0.21
N	0.23 ^{bc}	0.40 ^{ab}	0.53 ^a	0.30 ^{bc}	0.18 ^{bc}	0.13 ^c
(%)	\pm 0.03	\pm 0.01	\pm 0.08	\pm 0.06	\pm 0.00	\pm 0.01
P	153.2 ^a	82.3 ^b	61.0 ^{bc}	44.9 ^c	44.1 ^c	27.52 ^c
(ppm)	\pm 5.7	\pm 11.0	\pm 3.4	\pm 10.4	\pm 0.7	\pm 0.60
K	0.10 ^b	0.05 ^b	0.08 ^b	0.10 ^b	0.07 ^b	0.22 ^a
(meq/100g)	\pm 0.01	\pm 0.00	\pm 0.01	\pm 0.00	\pm 0.01	\pm 0.02
S ^{NS†}	105.3	133.2	98.5	137.1	125.9	138.9
(ppm)	\pm 24.2	\pm 60.0	\pm 5.6	\pm 31.5	\pm 6.5	\pm 38.9
Ca ^{NS}	1.01	0.83	0.77	1.14	0.98	0.88
(meq/100g)	\pm 0.05	\pm 0.00	\pm 0.05	\pm 0.06	\pm 0.07	\pm 0.04
Mg ^{NS}	0.22	0.34	0.44	0.12	0.10	0.36
(meq/100g)	\pm 0.01	\pm 0.01	\pm 0.24	\pm 0.02	\pm 0.00	\pm 0.13
CEC ^{NS}	11.44	11.88	14.30	14.19	10.67	10.34
(meq/100g)	\pm 1.71	\pm 0.31	\pm 0.46	\pm 1.01	\pm 0.54	\pm 0.62
Al ^{NS}	286.5	419.1	637.8	466.0	409.5	296.3
(ppm)	\pm 35.5	\pm 16.2	\pm 94.8	\pm 102.7	\pm 102.5	\pm 73.7
Mn ^{NS}	35.59	44.55	52.52	48.56	29.37	33.82
(ppm)	\pm 6.00	\pm 2.84	\pm 1.37	\pm 1.32	\pm 3.14	\pm 7.17

† NS indicates that the property was not significantly different by distance at the 5% level.

* Means within each row with the same letter are not significantly different at the 5% level.

선(1992)의 보고자료에 비해 공단에서 6km 떨어진 지점까지의 토양 pH는 더 낮은 값을 나타내었고(4.55 \rightarrow 3.97~4.22), 유기물함량이나 전질소함량은 더 높게 나타났다(유기물: 6.7 \rightarrow 6.8~14.6, 전질소: 0.2~0.2~0.5). 이는 여천공단지역의 토양이 지속적으로 산성화되고 있음을 나타내며, 유기물의 분해가 거의 이루어지지 않고 축적되고 있음을 말해준다. 한편, 유효인산 함량은 pH가 낮은 지역에서 오히려 높게 나타나고 있는데, 이는 일반적으로 pH 6~7의 범주에서 가용태를 가장 많이 나타내는 HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4^+ 등에 의한 수치가 아니라 PO_4^{2-} 에 의한 결과로서 조사지의 모든 토양이 pH 4.5미만의 강산성을 나타내므로(10km 지점 제외) 상대적으로 pH가 낮은 공단인접 지역에서 오히려 유효인산의 측정치가 높게 나타난 것으로 생각된다.

유기물과 더불어 산림토양의 pH 완충능 지표로 사용되는 각종 양이온 및 CEC는 대조구로 여겨질 수 있는 10km 지점과 비교할 때 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 유기물의 집적으로 인해 극히 낮은 pH를 나타내는 산림토양이

만 각종 양이온에 의한 pH 완충, 용탈이 아직은 심각하지 않음을 알 수 있었다. 한편, 5% 수준에서의 유의차는 인정되지 않았지만, pH 4.5 미만에서 높은 활성을 나타내는 활성 Al^{3+} 함량이 공단 인접지역(0km)을 제외한 모든 지역에서 400ppm 이상의 높은 값을 나타내고 있었음은 특기할 만하다. 이는 공단인접지역의 객토 및 기타 인공적인 환경정화 작업이 최근에 이루어졌으리라는 추측과 더불어 기타 공단주변 모든 산림토양이 식물생육에 악영향을 미치는 활성 알루미늄에 의한 피해가 조만간 나타날 수 있음을 시사한다. 따라서, 본 지역의 pH가 낮아지는 원인 분석과 아울러 산림토양의 pH를 높이기 위한 조치가 요구된다.

산림토양중 탈질·탈황균의 분포

탈질에 관여하는 세균의 콜로니 형성단위(colony forming unit)는 거리에 따른 차이가 인정되지 않았는데(그림 2), 이는 대상지역 산림토양의 pH가 세균의 적정 생육조건에 비해 너무 낮아서 거리별로 차이를 나타낸 전질소함량에도

No. of colony forming unit of Bacteria*

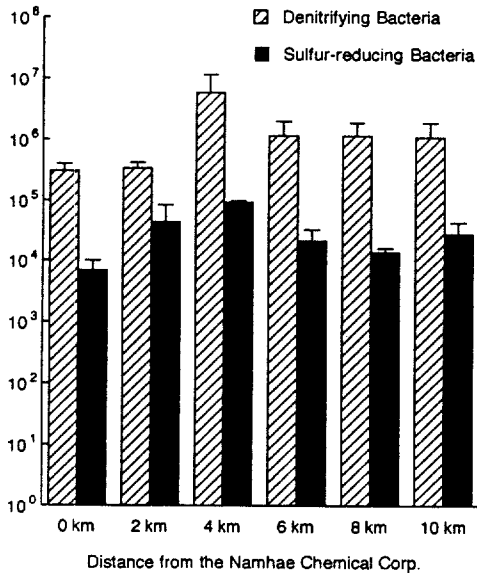


Fig. 2. Denitrifying and sulfur-reducing bacteria around the Yeochun industrial estate
* Small bars above each column indicate standard error.

불구하고 큰 차이가 형성되지 않은 것으로 생각된다. 황산화원균은 공단주변 토양의 황 함량에도 큰 차이가 없었고, 탈질균의 경우와 마찬가지로 전반적인 산림토양의 pH가 너무 낮음으로 인해 분포량에서 거리별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 대기오염 등 공해에 의한 피해가

오랫동안 지속되어 토양의 pH가 너무 낮아진 경우에는 세균의 활력이나 분포량을 통한 피해도 비교가 어려울 것으로 생각된다.

지의류 분포

지의류는 각 조사구당 0~6종으로 공단에서 멀어질수록 높아지는 경향을 보였다(표 2). 공단 인접지역(0km 지점)에서는 지의류를 관찰할 수 없었고, 8km 이후부터는 출현도가 높아져서 조사구내에서도 5~6종의 지의류를 관찰할 수 있었다(표 2). 지의류 중 *Porpidia albocaerulescens*는 대부분의 조사구에서 관찰할 수 있었는데, 이 종은 바위에 붙어 사는 지의류로서 공해에 비교적 강한 종이며, 4km 지점까지는 오염 피해를 입었음을 확인할 수 있었으나 그 이후 지점에서는 정상적인 생장을 하고 있었다. 즉, 4km 지점까지는 대기오염에 의한 지의류 피해가 매우 심하지만, 6km 이후는 비교적 피해가 적은 것으로 볼 수 있었다.

수피에 붙어 살며 잎 모양을 띄는 지의류들은 다른 종들에 비해 오염에 민감하다(Galun과 Ronen, 1988). 葉狀地衣類의 하나인 *Parmotrema tinctorum*을 6km 지점의 조사구 주변에 자라고 있는 곰솔 수피에서 관찰할 수 있었으나 그 양은 매우 적었다. 한편, 어린 *Parmotrema tinctorum*을 6km 지점에서 관찰할 수 있었는데 이는 과거에 오염이 심해서 사멸하였으나 1980년대 후반 이후 공단내 입주업체들이 환경오염 방지시설에 대

Table 2. Lichens found around the Yeochun industrial estate.

Lichen species	Distance from the Namhae Chemical Corp.(km)					
	0	2	4	6	8	10
<i>Cladonia bacillaris</i>		+	+	+	*	*
<i>Cladonia chlorophaea</i>		+	+	+	+	+
<i>Dirinaria applanata</i>		+				
<i>Lecanora</i> sp.			*	*	*	*
<i>Lecidea</i> sp.(a)		*				
<i>Lecidea</i> sp.(b)						*
<i>Lecidea</i> sp.(c)					+	
<i>Lepraria</i> sp.			*		*	
<i>Parmotrema tinctorum</i>				+	+	*
<i>Porpidia albocaerulescens</i>	*	*	*	*	*	
<i>Stereocaulon</i> sp.		+	+	+	*	*
<i>Xanthoparmelia</i> sp.		+	+			

* indicates that the species were found within the investigated plot.
+ indicates that the species were found around the investigated plot.

Table 3. Coverage(%) of the saxicolous and corticolous lichens around the Yeochun industrial estate.

Substrate type	Distance from the Namhae Chemical Corp.(km)					
	0	2	4	6	8	10
Saxicolous (Rock) [†]	—	1	1	2	7	8
Corticolous (Tree) [‡]	—	—	—	—	1	1

† average coverage of the saxicolous lichens for 4 replicates a plot

‡ average coverage of the corticolous lichens for 5~10 replicates a plot

한 투자가 늘게 됨에 따라 재출현 또는 회복되는 것으로 추측할 수 있었다. 김준선과 이희선(1975)에 따르면, 여수시내에서 3km 및 5km 떨어진 지역의 가로수에 엽상지의류 3속 4종이 61% (3km), 82%(5km)의 높은 빈도를 가진다고 하였으나, 본 조사결과(1994년 8월) 공단 인접지역에서는 수피에 자라는 지의류를 거의 볼 수 없었다. 이는 1979년 이후 본격가동된 공단의 오염물질 배출에 의해 대기오염에 민감한 엽상지의류의 대부분이 공단 인접지역에서 사라지게 되었음을 추론케 한다.

특히, 지의류 종류에 상관없이 피도를 측정된 결과를 살펴보면, 공단에서 8km 이상 떨어진 곳에서는 바위에 서식하는 지의류가 7~8%의 피도를 나타낸 반면, 엽상지의류의 경우는 8km 이상 떨어진 지점에서도 1% 내외의 매우 낮은 피도를 나타내었다(표 3). 즉, 엽상지의류(주로 *Parmotrema tinctorum*)는 10km 떨어진 곳에서도 낮은 피도를 나타내고 있으나, 바위에 붙어 사는 지의류(주로 *Porpidia albocaerulescens*)는 6km 지점에서부터 엽상지의류에 비해 비교적 높은 피도를 나타내기 시작하고 있어서 바위에 붙어 사는 지의류에 비해 엽상지의류가 상대적으로 출현도나 피도가 모두 작음을 알 수 있었다.

총 합 고 찰

여천공단의 오염도 및 회복도에 대한 고찰방법으로서 오염원에서 거리별로 산림토양의 화학적 특성, 지의류 출현도, 질소 및 황의 무기화에 관여하는 미생물 분포차이를 검증한 결과, 다른 지역의 같은 토양군에 속하는 산림토양(일반적인 R·Y군 토양)과 비교할 때 대기오염으로 인해 산림토양의 pH가 매우 낮아졌음을 알 수 있었다. 산림토양의 pH가 낮음으로 인해 유기물의 분해 등 무기화에 관여하는 미생물의 활력이 낮아서

유기물함량이나 전질소함량은 오히려 매우 높은 현상을 나타내었다. 대체로 공단 인접지역에서 6km 지점에 이르는 곳까지 토양의 화학적 특성이 8km 이후 지역에 비해 피해도가 심함을 알 수 있었으나, 탈질균이나 황산환원균의 분포량 차이에 따른 피해도 구분은 어려웠다. 한편, 지의류는 산림토양에 반영된 대기오염도의 차이에 비해 확연한 결과를 나타냈으며, 특히 수피의 엽상지의류는 바위에 붙어 사는 지의류에 비해서 대기오염에 더 민감한 반응을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한, 산림토양의 화학적 특성이 8km 이후의 지역과 대별하여 차이를 나타낸 것과는 달리 지의류는 4~6km 지점에서부터 차이를 구분할 수 있어서 대기오염의 지표로 사용하기에 지의류가 유리함을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

1. 김동수, 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청, 농업기술연구소, 450pp.
2. 김준민, 1991. 도시와 공업지대의 대기의 SO₂와 지의류의 분포에 관하여. 대한민국 학술원 논문집(자연과학편) 30 : 47-71.
3. 김준민·이희선, 1975. 한국의 지의류 분포에 관한 정량적 연구. 한국식물학회지 18(1) : 38-44.
4. 김준선, 1992. 대기오염물질이 여천공단 주변 해송의 양묘동태와 균락구조에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문, 101pp.
5. 김준선·김태욱, 1986. 대기오염에 의한 여천지역의 삼림군집변화에 관한 연구. 한국대기보존학회지 2(3) : 1-10.
6. 김태욱·이경재·김준선, 1985. 대기오염이 여천공업단지주변의 곰솔림에 미치는 영향. 한국대기보존학회지 1 : 25-32.
7. 김태훈, 1993. 환경오염이 산림생태계에 미

- 치는 영향(I), 과학기술처, 117pp.
8. 여천시. 1994. 여천공업단지, 여천공업단지 관리공단, 57pp.
 9. 이수욱·민일식. 1989. 대기오염 및 산성우가 삼림생태계의 토양산도 및 양료분포에 미치는 영향. 한국임학회지 78(1) : 11-25.
 10. 이창근. 1988. 대기오염과 산성우가 삼림생태계에 미치는 영향. 과학기술처, 191pp.
 11. 조재명. 1989. 산림토양단면도집. 임업연구원, 55pp.
 12. Alexander, M. 1982. Most probable number method for microbial populations. Pages 815-820. *In* A. L. Page, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties.*(2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
 13. Culberson, C.F. 1972. Improved conditions and new data for the identification of lichen products by a standardized thin layer chromatographic method. *J. Chromatography* 72 : 113-125.
 14. Binkley, D., Y. Son, and Z.S. Kim. 1994. Impacts of air pollution on forests : a summary of current situations. *Jour. Korean For. Soc.* 83(2) : 229-238.
 15. Galun, M. and R. Ronen. 1988. Interaction of lichens and pollutants. Pages 55-74. *In* M. Galun, ed. *CRC Handbook of Lichenology, Vol. I.* CRC Press, Inc. Boca Raton. 297pp.
 16. Hale, M.E., Jr. 1983. *The Biology of Lichens.* 3rd ed. London, Edward Arnold. 190pp.
 17. Hawksworth, D.L. and D.J. Hill. 1984. *The lichen forming fungi.* Chapman and Hall, New York. 158pp.
 18. Neal, J.L. 1985. *Experiments in Soil Microbiology - a Laboratory Manual.* Virginia Polytech, Blackburg, Virginia. 171pp.
 19. Park, Y.S. 1990. The macrolichen flora of South Korea. *The Bryologist* 93(2) : 105-160.
 20. Peterson, J.E., R. Fisher, and R. Bachman. 1992. *Guidelines for evaluating air pollution impacts on class I wilderness areas in the Pacific Northwest.* USDA For Serv. PNW-GTR-299. 83pp.
 21. SAS Institute Inc. 1985. *SAS/STAT Guide for Personal Computers, Ver. 6 edit.* Cary NC, USA. 378pp.
 22. Tiedje, J.M. 1982. Denitrification. Pages 1011-1026. *In* A.L. Page, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties.*(2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
 23. Ulrich, R. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess derived soil in central Europe. *Soil Sci.* 130(4) : 193-199.
 24. Wilson, M.J. 1991. *Lichens as indicators of air pollution impacts at superfund sites.* Prepared for Exposure Assessment Group under EPA Contracts Number 68-DO-0100. 76pp.
 25. Yoshimura, I. 1987. *Lichen Flora of Japan in Colour.* 5th ed. Osaka. 349pp.