

樹木着生地衣類를 이용한 蔚山地域의 大氣環境評價¹

秋恩榮² · 金鍾甲²

Estimation of Air Pollution Using Epiphytic Lichens on Forest Trees around Ulsan Industrial Complex¹

Eun-Young Chu² and Jong-Kab Kim²

요 약

대기오염이 심한 것으로 판단되는 울산지역의 석유화학공단과 온산공단을 중심으로 수목착생지의류를 이용한 대기환경의 오염정도를 평가하기 위하여 공단 주변의 산림에서 지의류의 출현종수와 피도, 생육한계분포농도에 따른 분포특성과 대기청정도지수(IAP)를 조사한 결과, 조사지점에서 출현한 지의류는 총 16종류였으며, 그중 *Lepraria* sp.(30.85%)과 *Lecanora strobilina*(26.18%), *Parmelia austrosinensis*(13.42%) 등이 우점하고 있었다. 석유화학공단과 온산공단 주변 조사지점에서는 地衣砂漠帶의 형성과 더불어 공단으로부터 멀어질수록 출현종수가 증가했다. 조사지점별 평균피도는 I - V계급으로 오염물질이 공단이 위치하는 해안가로부터 내륙으로 유입됨을 추측할 수 있으며, 공단으로부터 멀어질수록 평균피도계급도 증가하였다. SO₂ 농도에 대한 지의류의 종별 생육한계분포농도에 따른 분포특성을 *Cladonia* sp.과 *Dirinaria applanata*, *Parmelia austrosinensis*, *Lepraria* sp., *Lecanora strobilina*를 대상으로 살펴 본 결과, 오염에 대한 민감정도에 따라 분포형태가 다르게 나타났다. 특히, 대기오염에 내성 종인 *Lepraria* sp.과 *Lecanora strobilina*는 I 부터 V의 피도계급으로 가장 폭넓게 분포하였으며, 분포형태가 비슷한 *Lecanora strobilina*도 대기오염에 강한 종임을 추측할 수 있었다. 대기청정도지수(IAP)는 0 - 64.3으로 6계급으로 구분하여 조사한 결과, 조사지점별 IAP 등치선도는 피도 등치선도와 비슷한 형태로 공단으로부터 멀어질수록 IAP가 높아졌다. IAP와 지의류 출현종의 분포는 IAP가 5 - 10으로 낮은 부분에서는 대기에 저항성 종으로 알려진 *Lepraria* sp.과 *Lecanora strobilina*가 출현하고 있었으며, IAP 5 - 10 사이부터는 *Parmelia austrosinensis*와 *Dirinaria applanata*가 IAP 10이상부터 오염에 비교적 약한 종으로 알려진 *Cladonia* sp.를 비롯하여 *Candelaria concolor*와 *Parmelia borrieri* 등이 출현하였고, 조사지점의 IAP와 지의류의 출현종수는 정의 상관관계($r=0.9308$)를 나타내었다.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the influence of air pollution using epiphytic lichens on forest trees around Ulsan and Onsan industrial complex from April to June, 1997. The distribution of lichens was investigated at 58 sampled sites. In this study, 16 kinds of epiphytic lichens were recorded, of them, *Lepraria* sp. having a tolerance to air pollution showed the highest frequency as 30.85%, and in order of *Lecanora strobilina*(26.18%) and *Parmelia austrosinensis*(13.42%) unknown to tolerance of air pollution. The number of lichens was gradually decreased around industrial complex, where so-called "lichen desert" was detected. As being distant from the industrial complex, the mean degrees of cover were increased. The degrees of cover in the investigated sites ranged

¹ 接受 1998年 4月 20日 Received on April 20, 1998.

² 慶尙大學校 農科大學 山林科學部, 경상대학교 부속 농어촌개발연구소 Faculty of Forest Science and The Institute of Agriculture and Fishery Development, Gyeong Sang National University, Chinju 660-701, Korea.

from I to V. According to SO₂ concentration limiting lichen's growth, the pattern of distribution of *Cladonia* sp., *Dirinaria applanata*, *Parmelia austrosinensis*, *Lepraia* sp. and *Lecanora strobilina* were dissimilar by sensitivity to air pollution. Especially *Lepraia* sp. and *Lecanora strobilina* were widely distributed to degree of cover from I to V, and as the both had a similar distribution pattern, it could be inferred that *Lecanora strobilina* had also a tolerance to air pollution. The IAP values ranging from 0 to 64.3 were arranged into six groups and the investigated area was delineated into six IAP zones to represent degree of air environment. It was a high IAP value as being distant from industrial complex. The more IAP increased, the more number of kinds of lichens increased.

It was confirmed that the number of species, coverage and IAP value of epiphytic lichens showed a tendency to decrease of urban area and industrial complex.

Key word: Epiphytic lichens, Air pollution, Mean degree of cover, Pattern of distribution, IAP(Index of Atmospheric Purity)

서 론

地衣類(Lichen)라는 용어는 BC 300년경 고대 그리스의 Theophrastus에 의해 그 당시 올리브 나무의 수피로부터 돌출되어 자라는 것을 표현하기 위해 처음으로 사용되었으며(Hawksworth 와 Hill, 1984), 천이 초기 개척자로 세계도처에 분포하면서 토양의 생물학적 풍화와 공기중의 질소 고정, 동물의 먹이, 향료, 염료, 의약품, 장식용 소품 등으로 사용되고 있다(Richardson, 1988). 또한 지의류는 고등식물과는 달리 생육기반을 대기와 강우에 의존하며 쿠틀층이 없어 세포가 외부환경에 노출되어 오염물질에 직접적인 영향을 받고, 오염물질을 배출할 수 있는 조절 mechanism이 없기 때문에 노폐물이 체내에 축적되는 동시에, 오랜 기간 생존하며 피해는 항상 축적된 형태이기 때문에 고사에 걸리는 시간은 보다 짧아 피해확인도 용이하다는(Peterson 등, 1992; Wilson, 1991) 이유로 도시나 공단지역의 「汚染度 指標」로 사용하기에 적합한 생물체이며 그 다양성이나 출현빈도가 오염도에 대한 판단자료로 널리 활용되고 있다(Hale, 1983; Wilson, 1991).

지의류와 환경오염의 연구는 유럽을 비롯한 선진국을 중심으로 19세기 이후로 시작되어 1956년부터 본격적인 연구가 진행되고 있으며, 가까운 일본에서도 樹木着生地衣植物의 종조성 차이를 植生圖로 나타내는 방법, *Parmelia tintorum*을 指標種으로 하여 分布圖로 나타내는 방법과 대기 청정도지수(IAP)로서 환경오염의 지표로 이용하는 것 등이 보고되고 있다(中川吉弘과 小林禮樹, 1989). 1956년 이후 유럽을 비롯한 선진국에서

본격적인 연구가 이루어진 초기에는 착생식물의 衰退要因으로 도시의 乾燥化가 원인으로 고려되었지만, 이후 대기오염이 주원인으로 밝혀지고 있다(中川吉弘과 小林禮樹, 1989).

지의류 생육상황에 관한 연구방법은 지의류의 출현종과 피도, 빈도 등으로 대기오염을 평가하는 방법으로써 Gilbert(1973)는 오염원으로부터의 거리와 지의류 개체의 피해 또는 지의류 집단의 소멸간에는 부의 상관관계가 있다고 보고하였으며, Hawksworth와 Rose(1970)는 영국에서 착생 지의류의 종수와 다양도를 기초로 겨울철 평균 SO₂ 방출에 대한 10개의 지대를 설정하여 大氣 汚染度를 평가하였다. Rao과 LeBlanc(1967) 및 Hawksworth와 Rose(1970)는 SO₂분포와 관련하여, 지의식생을 지의사막대(Lichen desert), 이행지대(Transitional zone), 무영향지대(Normal zone)로 나누어 도시와 공업지대에서 지의류의 식생조사를 보고한 적이 있다.

대기중의 아황산가스(SO₂) 영향에 관한 연구자료를 살펴보면 대기오염의 주요한 오염물질인 SO₂에 대해 지의류는 특히 민감하게 반응하며, SO₂의 일반적인 毒性은 곰팡이와 光合成共生體의 酵素 不活性, 電子傳達系에서 電子흐름 방해, 物質代謝 전구물질과 産物의 변형, 염록체의 손상, 세포막 기능 손실 등으로 결국 지의류는 고사한다고 알려져 있다(Galun과 Ronen, 1988). Gilbert(1965)는 지의류의 지리적 분포가 공기중의 SO₂ 농도에 의하여 결정된다고 보고하였으며, Wetmore(1988)는 지의류의 SO₂에 대한 敏感度를 敏感性(<20ppb), 中間性(20 - 40ppb), 抵抗性(>40ppb), Peterson 등(1992)은 敏感性(<5 - 15ppb), 中間性(10 - 35ppb), 抵抗性(>30ppb) 등

으로 구분하여 대기오염의 지표종을 제시하였다.

大氣淸淨度指數(IAP)에 관한 연구는 착생식물의 피도와 조성으로부터 大氣淸淨度指數(IAP: Index of Atmospheric Purity)를 산출하고 이것을 地圖化하는 것으로 LeBlanc와 De Sloover (1970) 및 LeBlanc 등(1972)은 대기질을 평가하는 지수로 IAP를 提唱하여 지역의 오염상황을 파악하는 것에 성공하였으며, IAP가 주변 대기의 질과 직접적인 관련성이 있음을 보고하였다. 中川吉弘 등(1977)은 加古川市에서 착생식물의 생육분포상황으로 환경오염의 평가를 실시한 결과 IAP를 구하고 等值線圖를 작성한 후 IAP等值線圖가 大氣汚染地圖와 거의 일치했으며, IAP와 출현종수와의 관계에서도 IAP가 낮은 지점에서는 *Lepraria* sp.과 *Dirinaria applanata* 등의 내성 종이 출현함을, IAP가 높은 지점에서는 대기에 민감한 종이 출현하였다고 하였다.

따라서 본 연구는 지의류와 대기오염에 관한 기초연구로써 대기오염이 심할 것으로 판단되는 울산지역 주변 산림에서 대기환경을 평가하기 위하여 수목착생지의류의 출현종수와 피도의 생육분포상황을 기초로 지의류의 내성에 따른 지리적 분포를 평가하고 대기淸淨도지수(IAP)를 산출함으로써 초기 오염도 지표로써의 활용가치를 높이며 生物學的 環境評價技法으로서 유용성과 가능성을 검토하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

우리나라 최대의 石油化學工業團地이며 대기오염이 심한 蔚山·溫山工團은 蔚山市의 해안을 중심으로 동쪽으로는 바다와 접하며(Fig. 1), 그 외의 방향으로는 50-150m의 낮은 산줄기의 함월산, 거남산, 은곡산 등으로 둘러싸여 있는 臨海工業團地로, 주변의 산림은 상층에서는 주로 소나무와 해송이 우점하고 있었고, 중층은 아까시나무, 상수리나무, 굴참나무 등이 나타났으며, 주름조개풀, 역새풀, 산거울, 실새풀, 기름새 등이 초본층에서 많이 출현하고 있었다.

조사지역의 10년간(1987-1996)의 기후는 주변의 산지가 겨울 北西風을 막아주고 동해에 난류가 흘러들어 온화한 편이다. 연평균기온은 13.9℃, 연평균최저기온은 9.6℃, 연평균최고기온은 19.2℃이다. 연평균강수량은 1240.5mm로서 6-8

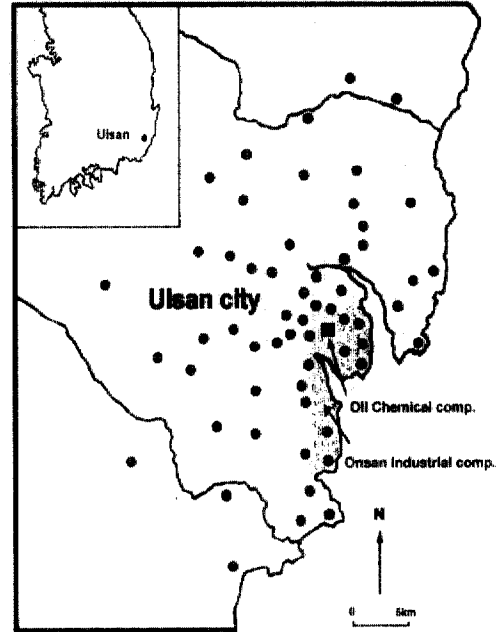


Fig. 1. Map of showing lichen sampling sites.

월에 집중적으로 내리고 있으며, 연평균상대습도는 65.1%, 연평균풍속은 3.91m/sec.이고, 겨울의 풍향은 주로 北風과 北北西風, 그 외의 계절은 北東風이 불고 있는 지역이다(기상청, 1987-1996). 조사대상 기주목은 소나무(*Pinus densiflora*)와 해송(*P. thunbergii*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 밤나무(*Castanea crenata*) 등 12수종, 244본으로 기주목들의 수고분포는 4-20m였으며, 흉고직경은 15-60cm, 연령은 20-80년의 범위로서 지의류의 착생이 용이한 수피가 거칠은 소나무와 해송이 기주목의 대부분을 차지하고 있었다.

본 조사는 대기오염이 심한 공단주변의 산림에 있어 석유화학공단을 중심으로 거리별(2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 23km)로 생육환경조건을 가능한 균일하게 하기 위해서 조사지점내의 사찰이나 묘지 주위의 57개 지점에서 1997년 4월 22일부터 6월 16일에 걸쳐 기주목 244본을 조사하였다(Fig. 1).

2. 조사지의 대기오염도 현황

울산시의 자동 대기망 측정기 7곳(성남동, 부곡동, 여천동, 야음동, 상남리, 화산리, 원산리)의 자료(환경부, 1997)를 이용하여 울산시가 SO₂

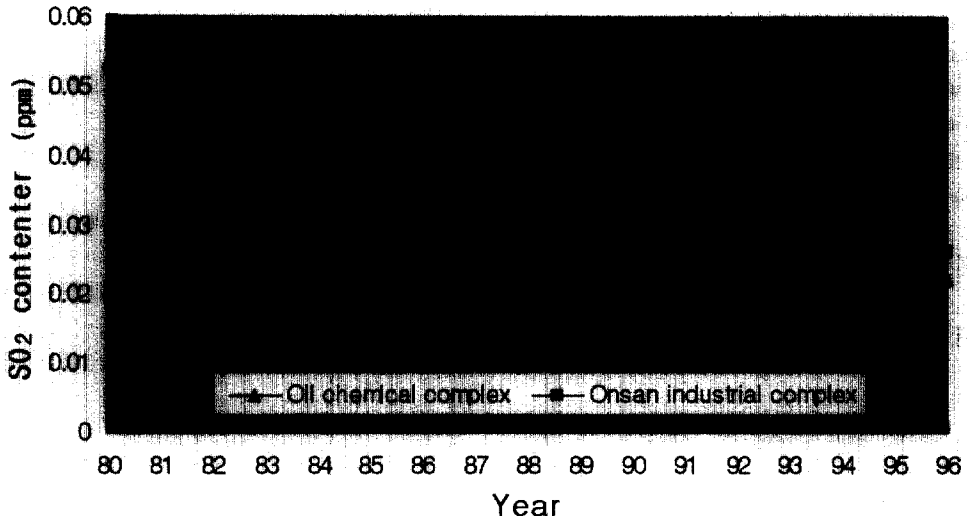


Fig. 2. Variation of annual mean concentrations of SO₂ at Ulsan.

농도를 측정 한 해부터 온산공단과 석유화학지역의 연평균치를 두 부분으로 나누어 살펴 본 결과 Fig. 2와 같다. 울산시의 SO₂ 농도의 측정은 1980년부터 석유화학공단에서, 온산공단은 1982년부터 측정되었으며, 온산공단지역의 SO₂ 농도가 석유화학공단지역보다 대체로 높으나, 1994년을 기점으로 석유화학공단과 온산공단 모두 SO₂ 농도가 감소하고 있는 추세이며, 1996년부터는 환경기준치 0.03ppm 이하로 떨어지고 있음을 알 수 있었다.

3. 방형구를 제작

생육환경조건을 가능한 균일하게 하기 위해서 조사지점내의 사찰이나 묘지 주위의 수목에 착생하는 지의류를 이용하여 지의류가 가장 많이 출현하는 수목의 한 부분에 직경별로 소방형구들을 설치하여 피도를 산출하였다.

지의류의 생육상황을 파악하기 위한 휴대용 소방형구들은 Muhle과 LeBlanc(1975)의 방법에 준하여 조사대상 수목의 직경이 100 - 50cm는 20×20cm, 50 - 30cm는 10×40cm, 15 - 30cm는 5×80cm로 제작하였다.

4. 종동정 및 피도산출

출현종에 대한 種同定은 原色日本地衣植物圖鑑 (Yoshimura, 1987)과 How to know the lichens (Hale, 1979)에 준해서, 10% KOH, para-Phenylendiamine과 Ca(OCl)₂용액을 지의류 피

층과 medulla(중층)에 떨어뜨려 발색반응에 따라 동정하였다(Yoshimura, 1987). 그리고 동정이 어려운 지의류에 대해서는 임업연구원 산림미생물학연구실에 의뢰하여 동정하였다.

조사지점별 피도와 각 종에 따른 피도산출은 Muhle과 LeBlanc(1975)의 방법에 따라 소방형구틀내에서 피도를 5계급(I : 1 - 5%, II : 5 - 25%, III : 25 - 50%, IV : 50 - 75%, V : 75 - 100%)으로 나누어 조사기록했으며, 조사지점별 전체 평균피도를 구하고, 被度階級화를 시켜 지도위에 等值線圖로써 지점별 지의류의 평균피도를 조사하였다.

5. 종별 분포특성 조사

SO₂ 농도와 관련한 生育分布限界濃度에 따른 착생지의류 분포변화를 구명하기 위해 유황산화물과 관련시켜 본 기존의 生育分布限界濃度 (Hawksworth와 Rose, 1970 ; Gilbert, 1973)를 참조하여 SO₂ 농도 10ppb가 생육한계농도인 敏感 種으로 알려진 *Cladonia* sp., 생육분포한계 농도가 20ppb인 *Parmelia austrosinensis*와 *Dirinaria applanata*를 비롯하여, SO₂에 대한 생육 분포한계농도는 명확하지 않지만, 일반적으로 오염에 강한 耐性 種으로 알려진 *Lepraria* sp.과 본 연구에 있어서 우점하고 있는 *Lecanora strobilina*에 대해서도 분포지점과 평균피도계급의 조사로써 종별 분포특성을 통하여 대기오염 평가를 실시하였다.

6. 대기청정도지수(IAP) 산출

이상의 조사로부터 착생지의류의 피도를 이용하여 각 조사지점의 IAP를 산출하고 현재의 대기오염에 대한 착생지의류에 의한 IAP의 지표성을 검토하였다. IAP의 산출은 LeBlanc와 De Sloover(1970)에 의해 제창된 것으로 지점별 출현 전 종에 대해 종마다의 生態指數와 被度로써 이루어지며 아래의 공식에 의해서 산출하였다.

$$IAP = \sum_{i=1}^n Q \times f$$

단) n : 출현종수

Q : 특정 종과 共存하는 지의류의 종 수를 특정 종이 나타난 전 조사 지점으로 나눈 평균치(生態指數)

f : 종의 피도계급치 (I - V의 5계급)

결과 및 고찰

1. 지의류의 출현종

본 연구에서 조사된 지의류는 총 16종으로써 대기오염에 강한 내성을 지닌 종으로 알려진 *Lepraria* sp.(30.85%)이 가장 우점하고 있었으며, 다음으로 *Lecanora strobilina*(26.18%)와 *Parmelia austrosinensis*(13.42%) 등이 비교적 높은 빈도로 출현하고 있었다(Table 1). 지역별 지의류의 출현종수는 지의류가 출현하지 않는 지의사막대를 비롯하여 최대 7종까지 출현하고 있었으며, 석유화학공단 4개의 조사지점과 온산공단 1개 조사지점(Table 2)에서는 지의류가 출현하지 않는 地衣砂漠帶를 형성하였다. 평균적으로 공단지역의 조사지점에서는 1-2종이 출현하고 있어 울산의 도시중심부와 공단이 위치하는 곳으로부터 멀어질수록 지의류의 출현종수가 많아져

지의류의 생리적 특징을 고려해 볼 때, 도시중심부와 공단주변에서 생성되는 대기오염에 영향을 받으므로 출현종수에 있어서 차이를 보이는 것으로 추측되었다.

2. 지점별 평균피도

조사지점별 지의류의 평균피도 계급은 I - V로써, 공단이 위치하는 해안가는 피도계급 I과 II로써 낮게 분포하고 있으며, 피도계급 II와 III 사이에 나타난 피도계급 V는 오염에 대한 耐性種인 *Lepraria* sp.이 우점을 하고 있어 피도계급 V로 나타났다. 대체로 오염이 심할 것으로 생각되는 공단주변과 도시중심부에서 멀어질수록 높은 피도계급을 형성하고 있으며, 공단이 위치하는 해안부로부터 내륙부로 갈수록 피도계급이 높아지고 있어 내륙으로 오염형태가 유입되는 것으로 추측할 수 있었다(Fig. 3). 中川吉弘과 小林禮樹(1995)는 兵庫縣을 대상으로 지의류 종마다의 생육상황을 조사하여 피도비를 10년 전과 비교해 본 결과 지역에 따라 변화가 없었던 종과 쇠퇴가 뚜렷한 종이 나타나 대기환경의 쇠퇴와 회복상황의 지표로써 사용하였다.

3. 종별 분포특성

기존 SO₂ 농도를 기준으로 한 생육분포한계농도(Hawksworth와 Rose, 1970; Gilbert, 1973)에 따른 지의류 종별 분포특성을 살펴 본 결과 Fig. 4와 같았다.

Fig. 4의 A는 일반적으로 대기오염에 민감성 종으로 알려진 *Cladonia* sp.의 분포를 나타낸 것으로서, 총 58개 조사지점 중에서 8개 조사지점에서만 출현하고 있으며, 평균피도계급은 II와 III으로 공단으로부터 멀리 떨어진 곳에서는 공단 가까운 곳 보다 평균피도계급이 높게 나타나고

Table 1. Species and frequency of epiphytic lichens in Ulsan

| Species | Frequency(%) | Species | Frequency(%) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| <i>Lepraria</i> sp. | 30.85 | <i>Flavoparmelia caperata</i> | 2.30 |
| <i>Lecanora strobilina</i> | 26.18 | <i>Parmelia borrieri</i> | 0.89 |
| <i>Parmelia austrosinensis</i> | 13.42 | <i>Parmelia orbicularis</i> | 1.33 |
| <i>Dirinaria applanata</i> | 13.13 | <i>Parmelia clavulifera</i> | 0.39 |
| <i>Canoparmelia aptata</i> | 1.33 | <i>Parmelia tintorum</i> | 0.46 |
| <i>Candelara concolor</i> | 0.94 | <i>Parmostrema</i> sp. | 5.78 |
| <i>Cladonia</i> sp. | 2.28 | <i>Caloplaca</i> sp. | 0.06 |
| <i>Myelochrea</i> sp. | 0.44 | <i>Phyoxine soriddiata</i> | 0.22 |

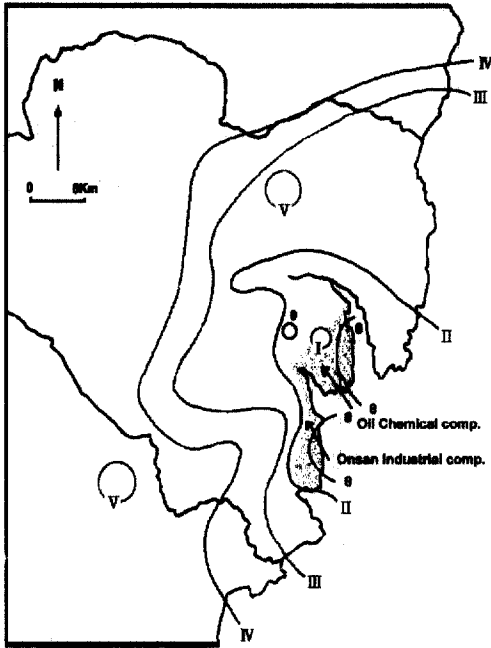


Fig. 3. Isopleth map of cover group of epiphytic lichens.

있어 대기오염에 민감하게 반응하는 종임을 추측할 수 있었다.

Fig. 4의 B와 C는 생육분포한계농도가 20ppb (Hawksworth와 Rose, 1970 ; Gilbert, 1973)인 *Parmelia austrosinensis*와 *Dirinaria applanata*의 분포를 나타낸 것으로, 총 58개 조사지점 중에서 26개와 19개 지점에서 II - IV의 평균피도계급으로 분포하고 있었다. 그러나, *Parmelia austrosinensis*는 공단주변의 몇 개 조사지점에서 낮은 평균피도계급으로도 분포하고 있었으나, *Dirinaria applanata*는 공단주변 조사지점에서는 출현되지 않았으며, 출현 조사지점수도 *Parmelia austrosinensis*에 비해 적게 나타나, 같은 생육분포한계농도를 가지고 있으나, *Parmelia austrosinensis*가 *Dirinaria applanata*에 비하여 좀 더 내성이 있음을 추측할 수 있었다.

Fig. 4에서 D는 SO₂에 대한 생육분포한계농도는 명확하지 않지만 고농도 오염원에 대한 내성을 가진 *Lepraria* sp.의 분포지점에 따른 평균피도계급을 구한 것으로 총 58개 조사지점에서 38개의 지점에서 평균피도계급 I - V로 넓게 분포하고 있어 대기오염에 강한 내성 종임을 확

인할 수 있었다. 大橋 毅와 菅 邦子(1995)는 東京都 内를 중심으로 지의류의 생육상황을 조사한 결과 *Lepraria* sp.이 가장 넓게 균일하게 분포하고 있으며 도시화된 전조지역에서도 생육하고 있음을 확인하였다.

Fig. 4에서 E는 본 연구에서 우점하는 *Lecanora strobilina*로 대기오염에 대한 민감성에 관하여 알려진 바는 없지만, 총 58개 조사지점 중에서 36개의 지점에서 I - V의 평균피도계급으로 분포하고 있으며, *Lepraria* sp.과 비슷한 경향을 띠고 있는 점을 고려한다면 *Lepraria* sp.과 같이 대기오염에 대한 내성 종임을 추측할 수 있었다.

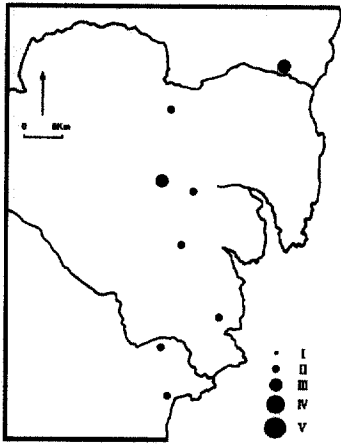
Hamada 등(1995)은 Osaka에 위치하고 있는 도시공원내의 *Phaeophyscia limbata*와 *Lecanora pulverulenta*의 지리적 분포가 SO₂와 NO₂농도가 높은 중심지로부터 멀어질수록 피도가 높아짐을 확인하였다. Sugiyama(1973)은 Shizuoka현의 Shimizu시에서 *Parmelia tinctorum*의 분포지점에 따라 Air quality지도를 만들어 도시지역의 대기질을 평가하는 지표로서 활용할 수 있음을 밝혔다.

4. 대기청정도지수(IAP)에 의한 평가

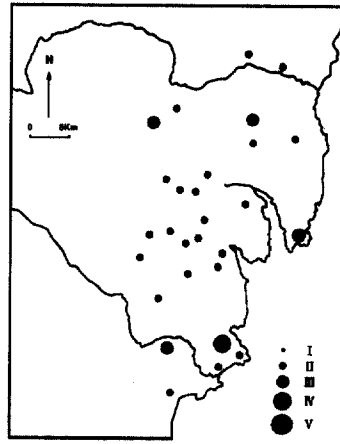
IAP 산출식에 따라 각 조사지점에서 IAP를 산출한 결과(Table 2), 0 - 64.3으로 Fig. 5에서 보는 바와 같이 IAP 0의 着生地衣砂漠帶와 IAP 1 - 5, 5 - 10, 10 - 20, 20 - 30, 30이상의 6개地帶로 나누어 IAP 等值線圖로써 나타낼 수 있었다.

Fig. 5에서는, 석유화학공단과 온산공단이 위치하는 조사지점에서는 着生地衣砂漠帶가 나타났으며, IAP 1 - 5의 IAP가 낮은 지대는 공단이 위치하는 해안부에서부터 시내부로 넓게 퍼져있고, 울산시내지역으로는 IAP 5 - 10의 지대가 존재하였다. 공단이 위치하는 조사지점들로부터 멀어질수록 IAP가 높아져 대기환경이 공단주위보다는 양호함을 알 수 있었다.

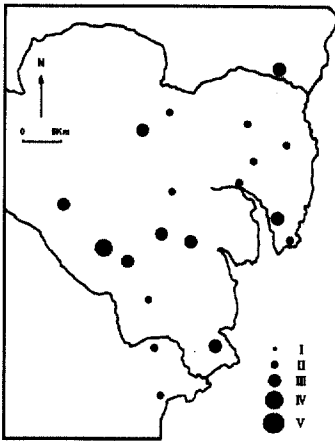
조사지역의 공단위치와 고려하여 본다면, 공단이 위치하는 해안부에서 내륙부로 오염물질이 유입되고 있음을 알 수 있으며, 중공업단지가 들어서 있는 북쪽으로도 오염물질에 의한 영향이 미치고 있음을 예상할 수 있었다. IAP 等值線圖를 앞의 地點別 被度 等值線圖와 비교하여 보면 매우 일치함을 알 수 있었으며, 지의류의 평균피도



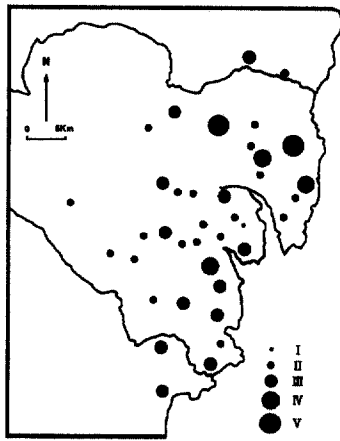
A : *Cladonia* sp.



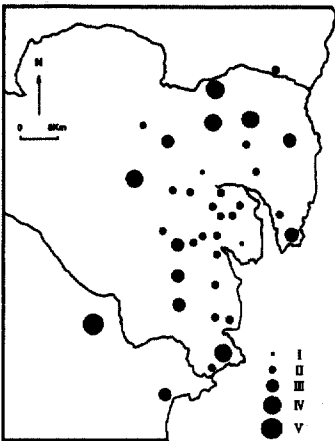
B : *Parmelia austrosinensis*



C : *Dirinaria appplanata*



D : *Lepraria* sp.



E : *Lecanora strobilina*

Fig. 4. Distribution map of cover group of major epiphytic lichens.

를 지표로 하여 대기환경 오염정도를 파악할 수 있음을 시사하고 있었다.

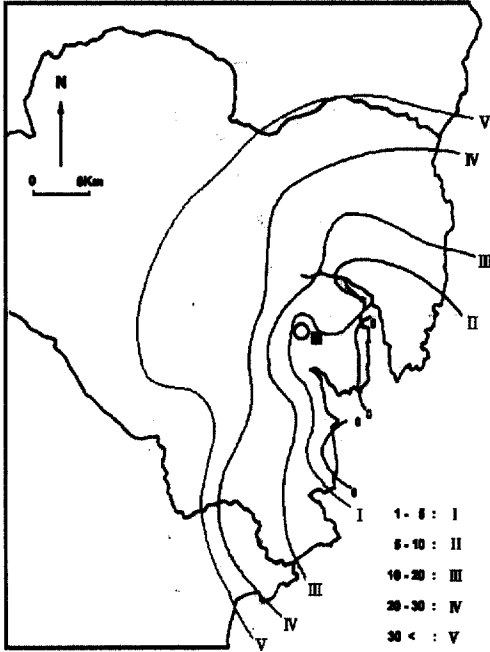


Fig. 5. Isopleth map of IAP value.

또한, 中川吉弘와 光木偉勝(1990) 및 中川吉弘(1996)은 IAP로써 대기오염을 평가한 결과 臨海部の 工業지대에서의 오염물질이 지형을 따라서 내륙부로 유입되었다고 보고하였는데, 본 연구에서도 비슷한 결과를 나타내었다.

IAP에 따라서 출현종의 변화관계를 알기 위해 IAP 범위에 속하는 종을 나타낸 결과는 Table 3과 같았다.

지의류의 출현범위는 IAP 5이하의 범위에서부터는 오염에 대한 耐性 種으로 알려진 *Lepraria* sp.과 *Lecanora strobilina*이 대부분의 조사지점에서 출현하고 있었으며, IAP 5-10사이는 *Parmelia austrosinensis*와 *Dirinaria applanata*가 IAP 10이상부터 오염에 비교적 약한 종으로 알려진 *Cladonia* sp.을 비롯하여 *Candelaria concolor*와 *Parmelia borrieri* 등이 나타나고 있어 大氣淸淨度에 따른 지의류의 분포상황을 파악할 수 있었다. 또한 조사지점의 IAP와 지의류의 출현종수는 정의 상관관계($r=0.9308$)를 나타내고 있어 대기환경이 좋을수록 지의류의 출현종수가 많아짐을 예측할 수 있었다(Table 4).

中川吉弘와 光木偉勝(1990)은 兵庫縣을 대상으로 IAP와 출현종의 관계를 살펴보았는데, 그 결과 IAP가 0.5-3.0으로 낮은 지대에서는 *Lep-*

Table 3. Spectrum of IAP value in the zone of epiphytic lichens occurred

| Species | IAP value | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|----|----|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| <i>Lepraria</i> sp. | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Lecanora strobilina</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Dirinaria applanata</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Parmelia austrosinensis</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Flavoparmelia caperata</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Cladonia</i> sp. | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Parmostrema</i> sp. | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Caloplaca</i> sp. | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Candelaria concolor</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Canoparmelia aptata</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Phyxine soriddiata</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Myelochrea</i> sp. | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Parmelia borrieri</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Parmelia orbicularis</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Parmelia tintorum</i> | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Parmelia clavulifera</i> | — | — | — | — | — | — | — |

Table 4. Correlation coefficients of IAP and the number of epiphytic lichens

| Variables | X1 | X2 |
|------------------------------------|--------|--------|
| X1 The number of epiphytic lichens | 1.0000 | 0.9308 |
| X2 IAP | - | 1.0000 |

Note : Variables are significantly correlated at $P < .001$ level.

varia sp.과 *Dirinaria applanata*의 도시지형의 오염에 대한 耐性을 가진 종의 출현과 IAP가 높아질수록 도시환경에 민감하게 반응하는 *Cladonia* sp.과 *Parmelia clavulifera*, *Parmelia caperata*종을 비롯하여 산지성의 *Menegazzia tebrata*와 *Cetrelia* sp.의 출현을 확인하였다. 본 연구에서도 IAP가 낮은 지대에서는 오염에 대한 내성을 가진 *Lepraria* sp.과 *Dirinaria applanata*, *Parmelia austrosinensis*가 출현하고 있었으며, IAP가 높은 지대에서는 *Cladonia* sp.과 *Parmelia clavulifera*, *Parmelia caperata*의 민감성 종이 출현하고 있었다.

결 론

수목착생지의류에 의한 대기환경을 평가하기 위하여, 대기오염이 심한 것으로 판단되는 울산 지역의 석유화학공단과 온산공단을 중심으로 지의류의 출현종수, 피도와 생육환경에 따른 분포특성과 대기청정도지수(IAP)를 살펴본 결과, 본 연구에서 출현한 종은 총 16종으로 조사지점별 출현종수, 평균피도와 대기청정도지수(IAP)가 석유화학공단과 온산공단을 벗어나갈수록 증가하고 있었다. 또한 SO₂ 농도에 대한 종별 생육분포 한계농도에 따른 분포특성에 있어서도 민감성 종인 *Cladonia* sp.은 공단에서 멀리 떨어진 곳에서 출현했으며, 대기오염에 내성 종인 *Lepraria* sp.과 *Lecanora strobilina*는 38개와 36개 지점에서 높은 피도로써 폭넓게 분포하였으며, 분포 형태가 비슷한 *Lecanora strobilina*도 대기오염에 강한 종임을 추측할 수 있었다. 그리고 이들을 기초자료로 하여 산출한 대기청정도지수(IAP)는 대기환경이 불량하다고 생각되는 울산 시내와 온산공단, 석유화학공단에서는 낮은 값을 울산의 외곽지역에서는 높은 값을 나타내어 지역별 대기환경을 파악할 수 있었다. 본 연구에서 구한 피

도의 등치선도와 IAP의 등치선도의 형태가 비슷함과 IAP와 출현종간의 높은 상관관계($r=0.9308$)는 대기청정도지수(IAP)가 대기환경을 파악하는 종합적이며 유용한 방법임을 시사하고 있으며, 또한 지의류 조사의 기초자료인 피도와 출현종수로 계산된 생태지수로 이루어져 객관적이며 동시에 정량화된 방법으로 판단되었다. 울산지역을 대상으로 지의류의 생물학적 환경기법을 시도해 본 결과, 대기환경에 따라 출현종수, 평균피도, 지의류의 분포특성과 대기청정도지수(IAP)가 다르게 나타나고 있음을 판단할 수 있었으며, 온산공단과 석유화학 공단에서는 지의사막대와 낮은 평균피도의 결과에 따라 초기오염도 지표인 지의류 서식지의 파괴와 더불어 고등식물에게도 많은 변화를 예상할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. 기상청. 1987-1996. 기상연보.
2. 환경부. 1997. 환경통계연감.
3. 中川吉弘·光木偉勝·高田亘啓. 1977. 着生植物の生育分布狀況から見た環境汚染の評價. 兵庫縣立公害研究所研究報告. 9 : 28-34.
4. 中川吉弘·小林禧樹. 1989. 着生地衣植物と大氣汚染. 兵庫縣立公害研究所研究報告. 21 : 1-14.
5. 中川吉弘·光木偉勝. 1990. 着生植物による複合大氣汚染環境の評價法に關する研究. 環境研究 79 : 31-41.
6. 中川吉弘·小林禧樹. 1995. 着生地衣植物による大氣環境評價 - 10年前との比較にみられる變化 -. 兵庫縣立公害研究所研究報告 27 : 1-7.
7. 中川吉弘. 1996. 環境指標としての地衣類. Lichen. 10 : 17-21.
8. 大橋 毅·菅 邦子. 1995. 都内におけるウメノキゴ等 地衣類の生育狀況について. 大氣環境學會年會講演要旨集 36 : 1104.
9. Galun, M. and Ronen R. 1988. Interaction of lichens and pollutants, pp.55-74. In M. Galun(ed.) CRC Handbook of Lichenology, Vol. III. CRC Press, Inc., Boca Raton.
10. Gilbert, O.L. 1965. Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley. Ecol. and Industrial soc. Oxford. 35-47.

11. Gilbert, O.L. 1973. The effect of airborne fluorides In: B.W. Ferry, M.S. Baddeley and D.L. Hawksworth(eds.), Air Pollution and Lichens. The Athlone Press, Univ. London.
12. Hale, M.E., Jr. 1979. How to know the lichens. 2nd. The Pictured Key Nature Series. 246pp.
13. Hale, M.E., Jr. 1983. The biology of lichens. 3th Edward Arnold London. 190pp.
14. Hamada, N., Miyawaki, H. and Yamada, A. 1995. Distribution pattern of air pollution and epiphytic lichens in the Osaka plain (Japan). J. Plant Res. 108 : 483-491.
15. Hawksworth, D.L. and F. Rose. 1970. Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. Nature 227 : 145-148.
16. Hawksworth, D.L. and D.J. Hill. 1984. The lichen-forming fungi. Chapman and Hall, New York. 158pp
17. LeBlanc, F. and De Sloover. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. J. Bot. 48 : 1485-1496.
18. LeBlanc, F., Rao, D.N. and G. Comeau. 1972. The epiphytic vegetation of populus balsamifera and its significance as an air pollution indicator in Sudbury, Ontario. Can. J. Bot. 50 : 519-528.
19. Muhle, H. and LeBlanc, F. 1975. Bryophyte and lichen succession on decaying logs. I. analysis along an evaporational gradient in eastern Canada. Journ. Hattori Bot. Lab. 39 : 1-33.
20. Peterson, J. Eilers, R. Fisher, and R. Bachman. 1992. Guidelines for evaluating air pollution impacts on class I wilderness areas in the Pacific Northwest. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-299. Portland, OR : USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 83pp.
21. Rao, D.N. and LeBlanc, F. 1967. Influence of an iron sintering plant on corticolous epiphytes in Wawa, Ontario. Bryologist 70 : 141-157.
22. Richardson, D.H.S. 1988. Medical and other economical aspects of lichens. pp.98-108. In M. Galun(ed.) CRC Handbook of Lichenology, Vol. III. CRC Press, Inc., Boca Raton. 17.
23. Wetmore, C.M. 1988. Lichens and air quality in Apostle Islands National Lakeshore. Final Report. 39pp.
24. Sugiyama, K. 1973. Distribution of *Parmelia tinctorum* in urban area in Japan. Miscellanea Bryologica et Lichenologica. 6 : 93-95.
25. Wetmore, C.M. 1988. Lichens and air quality in Apostle Islands National Lakeshore. Final Report. 39pp.
26. 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.
26. Yoshimura, I. 1987. Lichen flora of Japan in color. Hoikusha publishing Co., Ltd. Osaka.