

# 地衣類에 의한 淸州市 大氣汚染度 評價

김재한\* · 강숙경\*\*

## Estimation of Air Pollution by Lichens in Chongju

Jai-Han Kim\* · Sook-Kyeong Kang\*\*

**요약** : 지의류는 대기오염도를 측정하는 대표적인 생물지표종이다. 본 연구는 청주시 내에 식생하고 있는 지의류를 대기오염 지표종으로 활용하여 청주시 대기오염을 진단해 보고, 오염원과의 거리와 풍향에 따라 지역별 오염도가 어떻게 달라지는지 살펴보았다. 그 결과 청주시 공단지역과 도심지역은 지의사막화 현상이 나타났고 SO<sub>2</sub> 농도가 0.03ppm 이상으로 추정되었다. 또한 청주공단과의 거리가 멀어짐에 따라 대기오염이 낮아져 지의류의 종수와 피도가 증가하는 경향이 나타났다.

**주요어** : 지의류, 생물지표, 대기오염, 지의사막

**Abstract** : The lichen is generally used as a bio-indicator for the estimation of air pollution. The purpose of this research is to diagnose the level of air pollution by means of lichen in Chongju region, relative to the direction of the dominant Wind(WNW) and the distance from the air pollution source. As a result, it reveals that the industrial estate, its surroundings and inner city are confronting lichen desert phenomenon. According to the I.A.P index, the average SO<sub>2</sub> density in Chongju city is estimated above 0.03ppm. However, the number of lichen species and its coverage are increased as the distance becomes further from the pollution source.

**Key Words** : lichen, bio-indicator, air pollution, lichen desert

### 1. 연구목적 및 연구동향

#### 1) 지의류 연구의 의미와 연구목적

지의류(lichen)는 균류(fungi)와 조류(algae)가 공생하고 있는 복합체이다. 균류는 무기양분과 수분을 흡수하여 조류에게 공급하고, 조류를 구조적으로 보호하는 생활장소를 제공하며, 암석, 땅위, 나무등처 등의 기물(基物)에 착생하여 안정성을 확보한다. 또한 조류는 광합성을 통하여 양분을 생산하고 균류에게 그것을 공급한다. 이처럼 두 유기체는 공생관계가 아주 전문화되어 있다. 그러나 공생을 통해 상호이익을 도모하는 유기체간의 균형이 조금이라도 깨지면 그 생육상태는 급격히

떨어져 생각하지 못하고 결국 감소, 소멸하는 현상을 초래한다.

지의류의 생장형은 크게 고착 지의류(固着地衣類, crustose lichens: Krustenflechten), 엽상 지의류(葉狀地衣類, foliose lichens: Blattflechten), 수지상 지의류(樹枝狀地衣類, fruticose lichens: Strauchflechten)로 나눌 수 있다. 이는 형태적인 분류방법으로 계통학적인 분류는 아니지만 지의류를 동정(同定, identification)<sup>1)</sup>하는데 있어서 실질적인 효용이 크다. 고착 지의류는 지의체(地衣體: thallus)가 복면(腹面) 전체로 기물에 밀착해 있으며, 배면(背面)에 피층(皮層, cortex)<sup>2)</sup>조류층(藻類層, algal layer)<sup>3)</sup> 수층(髓層, medulla)<sup>4)</sup>이 있고, 복면은 피층을 결여하여 수층을 형성하는 균계의

\* 청주대학교 지리교육과 교수(Professor, Dept. of Geography Education, Chongju University)

\*\* 청주대학교 교육문제연구소 연구원(Research Fellow, Institute for Educational Affairs, Chongju University)

일부로 직접 기물에 밀착해 있다. 기물에 접촉해 살고 있기 때문에 기물로부터 채취하는 것이 어려우며, 극단적인 생활환경에서도 서식이 가능한 형태이다. 엽상 지의류는 지의체가 고등식물의 잎처럼 편평하고 기물에 수평으로 퍼져있으며, 배면의 색조와 표면의 모양으로 구별된다. 수지상 지의류는 그 크기와 형태가 여러 가지이다. 분지(分枝)의 중심부에 수층이 있고, 그 주변에 얇은 조류층이 있으며, 제일 외측에 피층이 있는 것이 일반적이다(원색일본지의식물도감, 1994). 오랫동안 고착 지의류에서 엽상 지의류, 수지상 지의류의 순으로 생활형태가 진화한다고 여겨졌으나, Schöller(1997: 21)은 지의류의 생활형태는 기능적인 형태로 적응하기 위한 것이지 진화과정은 아니라고 주장한다.

지의류는 열대지방에서 한대지방 심지어 사막과 극지방에 이르기까지 널리 분포하고 있고, 영양물질이 없어 다른 식물들이 자라기 힘든 척박한 곳에 주로 서식한다. 이는 지의류가 경쟁력으로 보았을 때 다른 고등식물에 비해 수명이 길고 성장이 아주 느리며, 비가 오지 않더라도 약간의 습기만 존재하면 생장이 가능할 정도로 습도 변화에 높은 적응력을 가지고 있기 때문이다(Schöller, 1997). 사막지역 같은 경우는 밤에 응결된 수분을 섭취하여 생장하는 것이 가능하며, 건조할 경우 동면상태에 들어갔다가 건조상태가 해소되면 다시 생장을 시작한다. 고등식물의 성장한계인 한대지방과  $-17^{\circ}\text{C}$  이하로 떨어지는 남극지방에 있어서도 지의류의 서식은 문제되지 않는다.

이처럼 생명력이 강하고 뛰어난 적응력을 지닌 지의류도 대기오염에는 극도로 민감하다. 기후, 다른 식물간의 경쟁관계, 고착물질 등 자연환경적인 요인이 지의류의 분포와 성장상태에 많은 영향을 주지만, 이러한 자연환경적 요인보다 큰 위협으로 작용하는 것은 화석연료의 연소시 배출되는 대기오염물질과 산성비라고 할 수 있다(Gilbert, 1968; Le Blanc et al, 1973). 이들은 지의류의 지의체를 부분적으로 고사시키거나, 지의류의 물질대사를 방해하고, 포자형성의 방해, 생장방해 등 여러가지 형태로 영향을 주고, 결국에는 지의류의 소멸, 감소를 초래하게 한다. 또한 지의류는 연중 물질대사가 거의 100%에 가까운 상태로 교환되

고, 세포를 보호하는 외피층이 없기 때문에 외부의 대기오염물질에 지속적으로 노출되면, 오염물질을 체내에 지속적으로 축적하고, 축적된 오염물질이 임계치를 넘으면 지의체가 영향을 받거나 괴사하게 된다(Gries, 1996). 대기오염에 대한 내성정도를 살펴보면 수지상 지의류, 엽상 지의류, 고착 지의류 순으로 내성이 높게 나타난다(Kreeb, 1990).

생물지표란 생물현상을 관찰하여 직접적으로 인지할 수 없는 자연환경의 지생태(geoecology) 변화를 유추해 내는 것을 기본 원칙으로 한다. 따라서 생물지표로 삼기 위해서는 현상에 반응하는 폭이 좁아야 한다(Schöller, 1997: 196-7). 이에 지의류는 도시나 공단 지역의 「오염도 지표」로 사용하기 적합한 생물체이며, 그 다양성과 출현빈도가 오염도에 대한 판단 자료로 활용되고 있다(Hale, 1983; Wilson, 1991). 특히 고착 지의류들은 60년대 이후 유럽 전지역, 북미의 여러 지역에서 중급속, 대기오염물질을 조사하는데 사용되어 왔으며, 지의류를 지표종으로 사용할 경우 대부분 야외관찰(passive monitoring)에 의존하나 실내용형(active monitoring)을 병행하고자 하였다. 지의류를 대기오염물질에 대한 내성을 실험해본 결과 아황산가스에 가장 민감하게 반응하고 이외의 다른 산성물질에도 어느 정도 반응하는 것으로 나타났다. 그러나 광화학 옥시탄트에는 반응도가 낮은 것으로 알려지고 있다(Kreeb, 1990: 280).

본 연구의 목적은 청주지역에 서식하고 있는 지의류를 지표로 하여 주 오염원인 청주공단과의 거리와 풍향에 따라 지역별 대기오염도가 어떻게 달라지는지 살펴보고, 과연 지의류 연구가 대기오염(특히 아황산가스)의 공간적 변이 분석에 타당성을 가지는지 검토하는 것이다. 또한 청주시 지역의 서식현황을 타 지역과 비교해 봄으로써 지의류의 분포가 대기오염도 뿐 아니라 각 지역의 중기후적 여건에 좌우될 수 있음을 밝히고자 하였다.

## 2) 연구동향

대기오염에 의한 지의류의 소멸현상을 Nylander(1866)가 최초로 보고한 후, Bernander

(1926)는 오염정도에 따른 지대 설정과 오염 증가에 따른 지의류 소멸현상을 지도화를 통해 설명하였다. 그는 지의류가 거의 없는 도시의 중앙부분을 "lichen desert", 지의류가 기층에 드문드문 착생한 도시의 바깥부분을 "struggle zone", 지의류 군집이 잘 이루어진 곳을 "normal zone"이라고 분류하였다. 이러한 구분은 오염의 정도와 도시의 크기, 박월풍의 요인에 의해 주로 영향을 받는다고 주장하였다. Gilbert(1965)는 지의류의 지리적 분포가 공기 중의 SO<sub>2</sub> 농도에 의해 결정된다고 보고하였다. 그러나 기후변화, 온도상승, 도시 건조화 등 지의류 감소 원인의 다른 해석들이 오염론에 도전하기도 하였는데, 中川吉弘(1989) 등은 대기오염이 지의류 감소의 주원인으로 밝혀지고는 있지만 대기오염 한자기 이유로 지의류 생장의 변화를 모두 설명하는 데는 무리가 있다고 주장하고 있다.

이에서 한걸음 더 나아가 De Sloover와 Le Blanc(1968, 1970)은 지의류의 생태적 지수(Ecological Index)와 피도(被度)를 이용하여 그곳의 대기오염도를 나타내는 대기청정도 지수(IAP : Index of Atmospheric Purity)를 제안하였고, 이 방법을 캐나다 Montreal지방의 지의류 분포에 이용해 SO<sub>2</sub>에 의한 대기오염도를 작성하였다. Howksworth와 Rose(1970)는 England지방과 Wales지방의 착생지의류를 통하여 대기오염도를 평가하였다. Peterson(1982)은 SO<sub>2</sub>에 대한 지의류의 민감도를 민감성 지의류 15ppb 미만, 중간성 지의류는 10~30ppb 범위, 저항성 지의류는 30ppb 이상에서도 생존하는 지의류로 구분하여 대기오염 지표종을 제시하여 방법론상의 진일보를 이루었다. 최근 이태리에서 대기오염이 폐암을 유발할 수 있다는 것을 보여주기 위해 지의류를 이용하였고, 지의류의 개체수와 종을 폐암사망율과 비교해 본 결과 매우 높은 상관성이 나타났으며, 지의류가 소멸한 지역에서는 폐암의 발생률 역시 높았다<sup>1)</sup>고 보고되는 등 지의류를 활용한 연구가 다양화되고 있는 실정이다.

우리나라의 지의류 연구는 주로 식물학과 임학분야에서 이루어지고 있다. 김준민과 이희선(1975)이 광화문을 중심으로 서울시 반경 15km 이내의 수목상에서 착생 지의류를 관찰 조사한

것이 그 최초이며, 김준민(1991)은 동일 지역에서 대기중 SO<sub>2</sub>에 의한 지의사막(lichen desert)의 초래를 보고하였다.

서정혜(1995)는 대구지역 착생지의류에 의한 IAP 분석을 통해 대기오염도를 조사하였고, 유정환 등(1996)은 여천공단의 대기오염이 산림생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 지의류를 이용하여 연구하였는데, 연구 결과 대기오염에 민감한 엽상 지의류 대부분이 공단 인접지역에서 사라졌으며, 수피(樹皮)의 엽상 지의류는 바위를 기물토하는 지의류에 비해 대기오염에 더 민감하다고 보고하였다. 또한 추은영(1998)은 울산, 온산공단을 중심으로 지의류를 이용한 IAP 분석, 엽록소 파괴정도, 유황함량 분석 등을 통하여 지의류가 SO<sub>2</sub>를 비롯한 대기오염 지표종으로서 우리나라에서도 활용될 수 있음을 밝혔다.

이처럼 우리 나라의 경우는 지의류와 대기오염에 관한 몇 건의 연구가 있으나 아직 그 연구가 미흡하고, 우리 나라 실정에 맞는 기초자료와 선행된 연구결과가 부족하다. 따라서 아직도 중기후적 여건이 다른 외국 문헌과 연구결과에 의존해 지의류에 관한 연구조사가 이루어지고 있는 실정이다. 지리학에서 지의류의 생물학적 특성을 심도있게 연구하는 데는 일정한 한계가 있겠지만, 지의류의 생활환경인 지생태(地生態)는 엄연히 지리학과 관계가 깊은 경관생태학의 연구영역이며, 지의류의 공간적 분포와 대기오염과의 관계에 대해 지리학이 학제적으로 기여할 부분이 분명히 있다고 사료된다.

## 2. 연구지역 선정과 연구방법

### 1) 연구지역 선정

청주시 지역의 대기오염(SO<sub>2</sub>)은 수도권이나 중국 등의 원격지 오염원에 의한 영향도 상당히 받고 있다. 그러나 이는 광범위하게 청주 지역 전체에 영향을 미친다고 보고, 청주시의 국지적인 지역별 SO<sub>2</sub> 농도를 추정하기 위해서 청주시 SO<sub>2</sub> 연간배출량의 가장 많은 부분을 차지하는 산업체<sup>2)</sup>를 중심으로 하여 청주공단을 주 오염원으로 선정하였다.

청주공단지역에서 배출하는 오염물질이 청주시 각 지역으로 어떻게 확산되는지 알기 위해서는 우선 오염원을 중심으로 바람동도가 어떻게 형성되어 있는지를 아는 것이 중요하다. 청주시의 경우 과거 11년간 최대풍향을 살펴보았을 때 바람은 서북서(WNW)풍과 서(W)풍, 남서(SW)풍 순으로 탁월하였다(기상청, 기상연보 1988~1998). 그 중 지의류의 생장분포에 직접적인 영향을 미치는 아황산가스(SO<sub>2</sub>)의 최고치 발생률(표10 참고)의 탁월풍인 서북서(WNW)풍을 중심으로 살펴보면, 오염원에서 대기오염물질이 바람에 의해 주로 청주시의 동남동(ESE)쪽으로 이동됨을 유추해 볼 수 있었다.

오염물질의 이동은 지형적인 영향으로 어느 정도 제한받을 수 있으며, 그로 인해 청주시 각 지역마다 오염농도가 다르게 나타날 수 있을 것이다. 또한 대기오염물질의 농도에 의해 영향을 받는 대기오염 지표종인 지의류의 생장·서식·분포 상황에도 여러 가지 영향을 미칠 것으로 예상되었다.

청주시의 자연녹지공간은 공단유치, 주거지역의 증가 등으로 인하여 그 면적이 계속적으로 감소하고 있으며, 도심 내 구릉성 산지가 공원화되어 드문드문 섬(島)모양으로 산재해 있다. 따라서 청주시 서쪽의 부모산(232m)과 동쪽의 상당산(491m)을 양축으로 하여 서남서-동북동(WSW-ENE) 방향의 기본 축을 설정한 뒤, 녹지지역을 중심으로 7개의 조사지역을 선정하였다. 또한 청주시 중심부의 대기오염도를 진단해 보기 위해 기본 축에서는 벗어나지만 청주시내 중심부에 위치한 상당공원, 중앙공원도 조사대상지역에 포함시켰다.

연구지역 중 도심내 공원인 숲반공원, 백봉공원, 장기봉의 경우는 소나무 군락이 우점하는 단산림 경관을 이루고 있고, 부모산, 우암산, 상당산의 경우도 자연식생은 상수리나무, 소나무, 아카시아 등 몇 종의 수종만으로 이루어져 매우 낮은 종 다양성을 나타내고 있다.<sup>8)</sup>

7개의 각 조사지역마다 평균적인 지의류의 생육상태와 분포를 진단할 수 있도록 한 지역에서 5개 지점씩 지의류의 분포조사 및 오염도 측정이 이루어졌다. 원칙대로라면 대기오염에 의한 지의

류 서식분포 변화를 알기 위해서 기물, 기록과 경사, 방위, 일광, 도로에의 근접 등의 서식환경이 일치되도록 지점선택이 이루어져야 할 것이다. 그러나 이러한 환경을 일치시킬 수 있는 경우는 지의류가 많이 서식하는 중기후적 환경에서나 가능하다. 지의류의 출현빈도가 낮은 청주시의 경우는 위 원칙을 적용하는 것이 불가능하기 때문에 위의 환경조건을 완화할 수밖에 없었다. 즉, 지의류가 서식하는 모든 기물(토양, 암석, 수목, 인공구조물 등)을 대상으로 하였으며, 서식환경 조사는 수행하였지만 분석에 직접 활용하지는 못하고 차후 연구의 기초자료로 삼고자 하였다.

## 2) 연구방법

청주시의 7개 지역의 지의류 분포 상황은 1999년 6월부터 1999년 8월에 걸쳐 조사되었다.

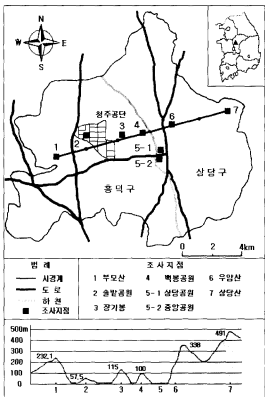


그림 1. 조사지점의 수평적·수직적 위치

각 조사지역에서 지의류가 가장 많이 착생하고 있는 지점 다섯 군데를 찾아 방형틀을 이용해 지의류 생육상태와 피도를 조사하였다. 방형틀의 크기는 20cm×50cm로 하고, 10cm 간격으로 구획하여 총 10개의 셀로 나누었다. 우리나라에는 아직 지의류 식물도감이 없어 출현종에 대한 동정(同定)은 原色日本地衣植物圖鑑(吉村 庸, 1987)과 The Macrolichen Flora of South Korea(YUN SIL PARK, 1990)의 분류문헌을 통해 기초적인 동정을 하였고, 이에 경험이 많은 순천대학교 환경교육과의 도움을 얻어 종명을 확인하였다.

(1) 피도와 빈도<sup>9)</sup>

조사지점별 전체 피도와 특정종의 피도는 5계급으로 구분하였다. 또 빈도 측정은 방형틀의 10개 셀 내에서 출현종이 나타나는 셀의 수를 조사 지역 전체 셀 수로 나누어 상대적 출현빈도를 계산하고 5등급으로 나누었다.

표 1. 피도와 빈도에 의한 계급구분

계급	피도(%)	빈도(%)
1	1~5	0~5
2	5~10	5~10
3	10~25	10~25
4	25~50	25~50
5	50이상	50이상

(2) 생태적 지수(Ecological Index)

생태적 지수(Q)의 산출은 Le Blanc와 De Sloover(1970)가 제안한 다음과 같은 공식에 의하여 계산하였다.

$$Q = \frac{\sum Sni}{Sn}$$

Sn : 특정종의 출현지점에서의 공존 종수

Sn : 특정종의 출현 지점수

생태적 지수 Q치는 각 조사지점에서 공존하는 종수의 평균값을 의미하며, 대기오염에 대한 내성 정도를 나타낸다. 따라서 생태적 지수는 오염에 약한 종일수록 그 Q치가 높고, 공존 종수가 많아 대기환경의 질이 좋은 곳임을 나타낸다.

(3) 대기청정도 지수(IAP: Index of Atmospheric Purity)

또한 특정 지역의 지의류의 분포와 그 지역 대기 질과의 상관관계를 알아보기 위하여 Le Blanc와 De Sloover의 방법에 따라 지점별 출현 전 종에 대한 종마타의 생태적 지수와 피도를 곱하여 다음과 같이 대기청정도 지수를 산출하였다.

$$I.A.P = \frac{\sum(Q \times f)}{I0}$$

Q : 생태적 지수 (Ecological Index)

f : 종의 피도 계급치 (Coverage Scale)

본 연구에 있어서 IAP치에 의한 대기오염 정도의 파악은 Le Blanc(1970, 1974)에 의해 구분된 지역구분을 따랐다.<sup>10)</sup>

표 2. IAP에 의한 SO<sub>2</sub> 농도추정

IAP	연평균 SO <sub>2</sub> 농도(ppm)
74<	< 0.01
50~74	0.010~0.013
25~49	0.013~0.020
1~24	0.020~0.030
0	>0.03

또한 청주시에는 대기오염 측정소가 두군데 밖에 없어 각 조사지역마다 대기의 질을 측정하여 비교하지 못하기 때문에 Le Blanc 등(1974)이 제안한 IAP에 의한 연평균 SO<sub>2</sub> 농도 추정을 청주시에 적용하여 각 지역별 SO<sub>2</sub>의 농도를 추정해 보았다(표 2). 여기에서 다른 국내 지의류 연구논문에서와 같이 일단 외국의 기준을 그대로 따랐지만 향후 이 추정치가 우리나라 지의류 서식상태와 대기오염 여건에 합당한지 심도있게 검토할 필요가 있다고 본다.

즉, 우리나라에 서식하는 지의류의 종수와 밀도가 증가후 여건이 다른 외국과는 달리 나타날 것이기 때문에 IAP 지수가 다를 것이고, 또한 각 지역의 SO<sub>2</sub> 농도와 대비되어야만 합당한 IAP 계급구분이 가능할 것이다. 이를 위해서는 우선 보다 많은 지역의 지의류 서식현황이 밝혀져야 하고,

SO<sub>2</sub> 측정망도 늘어나야 할 것이다.

### 3. 청주지역의 지의류 분포현황과 대기오염

#### 1) 지의류 분포현황

7개의 조사지점에서 출현한 지의류는 총 13종이고 조사지점 중 두 곳에서 지의사막이 나타났다. 청주시 전체로 보았을 때 지의류 출현 종수는 매우 적었기 때문에, 바람에 의한 대기오염물질의 이동으로 특별한 영향을 받는 지역을 제외하고는 조사 방위를 한 방향으로 고정시키지 않고 지의류가 출현한 모든 지역을 대상으로 조사하였다. 또한 일광에 있어서 지의류는 햇빛이 잘 비치는 곳에서 종 다양성이 높게 나타나므로 양지(陽地)를 중심으로 지의류의 분포를 조사하였다. 각 조사지역별 자연적 특성과 출현 지의류의 분포 및 성장상태를 살펴보면 다음과 같다.

#### (1) 부모산

부모산에서 출현한 지의류는 총 5종으로 수지상 지의류 *Cladonia floerkeana* 와 엽상 지의류인 *Parmotrema cf. Eciliatum*, *Rarmotrema sp.*, *Ramalina yasudae* 가 수목과 암석 위에서 나타났으며, 고착 지의류인 *Lepraria sp.* 도 출현하였다.

부모산은 청주시로 불어오는 최다풍향인 서북서풍의 바람받이(windward)에 해당하지만, 청주

청주공단과의 거리가 비교적 가까움에도 불구하고 부모산에서는 수목과 암석 위에서 지의류가 출현하였고, 암석의 경우 부모산 정상을 중심으로 쌓아 높은 성벽에 주로 분포하고 있었다. 이는 청주시 동편에 위치한 상당산성의 성벽에 착생하고 있는 지의류 분포상황과 비교 대상이 될 수 있으며, 이를 통해 청주시의 서쪽과 동쪽의 대기질을 간략하게나마 비교, 유추해 볼 수 있을 것이다.

바람에 의해 공단의 영향을 비교적 적게 받을 것이라고 예상한 부모산의 경우, 다른 공단지역에 비해서는 많은 종이 출현하였지만 이 곳에서도 대기오염에 강한 종으로 알려진 *Lepraria sp.* 가 우점하고 있었고, 상당산성과 비교해 볼 때 그 피도와 출현 빈도, 생육상태가 미약하게 나타났다.

#### (2) 솔밭공원

공단지역에 있는 솔밭공원의 경우 총 3종의 지의류가 출현하였으나, 솔밭공원 전체 조사지점 중 묘비 주변의 한 지점에서만 예외적으로 생강·분포하고 있었던 출현종이었다. 묘비 주변 외 다른 지점은 지의류의 출현을 발견할 수 없는 지의사막을 이루고 있었고, 소나무 군락에는 마치 녹색 페인트칠을 한 듯한 대기녹조류(*coccaler Luftalgen*)<sup>11)</sup> 만이 전체 조사지역 가운데 가장 심하게 나타나고 있었다.

솔밭공원에서는 엽상 지의류인 *Cetrariastrum sipman* 와 공단지역에서는 서식하기 어려운 수지상 지의류 *Cladonia floerkeana* 가 암석 위에서 출현하였다.

표 3. 부모산 지역에서의 출현종의 분포 및 조사환경

출현종	착생기물	피도	방위	경사	일광	도로이용	차량통행유무
<i>Cladonia floerkeana</i>	암석	6 %	W	90°	보통	적음	무
<i>Lepraria sp.</i>	수목, 암석	7 %	E/W	90°	양지	적음	유
<i>Parmotrema cf. Eciliatum</i>	수목	16 %	E	90°	양지	적음	유
<i>Rarmotrema sp.</i>	수목	6 %	W	75°	보통	적음	무
<i>Ramalina yasudae</i>	암석	1 %	W	90°	보통	적음	무

공단을 대기오염의 주 오염원으로 보았을 때 오염원을 뒤로 하고 있어 그 영향을 비교적 적게 받을 것으로 예상한 지역이다.

단 한 지점에서의 지의류 출현이지만 공단지역 내에서 지의류가 나타날 수 있었던 것은 공단 내 솔밭공원의 위치가 전체 공단지역의 북서쪽에 위

처하고 있어, 공단지역 내에서도 대기오염물질의 영향을 비교적 적게 받는 지역이기 때문에 생각되어진다.

좀 더 남동쪽에 위치하여 풍향에 의해 오염농도가 가중되었을 것으로 예상되는 청주기능대학의 경우는 조사 결과 전체 조사지역 중 어느 한 곳에서도 지의류가 발견되지 않았고, 소나무 등 수목에 피복된 대기녹조류만이 나타났다.

(5) 도심 중심부 공원(상당공원, 중앙공원)

청주시 도심 중앙부에 위치하는 상당공원과 중앙공원은 먼지와 대기오염물질로 인하여 고착 지의류조차 존재하지 않는 또 하나의 지의사막을 형성하고 있었다. 공원 내에는 지의류가 생장·서식할 수 있는 수목, 암석, 돌무지, 묘석 등 대상 기물이 비교적 많이 있었으나, 대기오염에 내성종인 *Lepraria sp.* 도 발견되지 않았다. 중앙공원의 경

표 4. 슬밭공원 지역에서의 출현종의 분포 및 조사환경

출현종	착생기물	피도	방위	경사	일광	도로 이용	차량통행 유 무
<i>Cetrariastrum sipman</i>	암석(표비)	3%	S	90°	양지	많음	유
<i>Cladonia floerkeana</i>	암석(표비)	11%	S	91°	양지	많음	유
<i>Lepraria sp.</i>	암석(표비)	5%	S	90°	양지	많음	유

3) 백봉공원

백봉공원은 공단지역에 근접한 조사지역으로 청주시 풍향에 의해 청주공단에서 불어오는 대기오염물질의 영향을 직접 받는 지역이다. 이곳에서는 전체 수목 중 어느 곳에서도 지의류를 발견할 수 없었고, 토양, 암석, 인공 구조물 등의 기타 기물에서도 고착 지의류조차 발견되지 않는 지의사막을 이루고 있었다.

(4) 장기봉

장기봉도 공단지역의 영향을 받아 지의류의 출현이 거의 없었으며, 대기오염에 강한 종으로 알려진 *Lepraria. sp.* 만이 드물게 출현하고 있었다. 엽상 지의류인 *Cetrariastrum sipman* 의 경우 전체 조사지점 중 단 하나의 암석 위에서 발견되었는데 거의 소멸단계에 있었다.

우, 고려시대 은행나무인 '압각수'<sup>12)</sup>와 효종 2년(1651)에 현재의 자리로 옮겨진 충청도병마절도사 영문(忠淸道兵馬節度使營門)같이 오래된 건물에서도 지의류는 나타나지 않았고, '압각수'에서는 단지 공단지역에서 발견할 수 있었던 대기녹조류만이 나타났다.

(6)우암산

우암산의 서사면은 청주시로 불어오는 바람의 바람받이(windward)에 해당한다. 따라서 공단에서 불어오는 대기오염물질들이 우암산에 부딪혀 지의류의 분포와 생장에 많은 영향을 미칠 것이라고 예상하고, 우암산에서의 조사지점은 대기오염물질의 영향을 가장 많이 받는 우암산 서사면 원주로 조사하였다.

우암산의 경우도 내성이 강한 *Lepraria. sp.* 가 가장 많이 발견되었으며, 출현한 종은 총 5종으로

표 5. 장기봉 지역에서의 출현종의 분포 및 조사환경

출현종	착생기물	피도	방위	경사	일광	도로 이용	차량통행 유 무
<i>Cetrariastrum sipman</i>	암석	0.8%	W	160°	보통	적음	무
<i>Lepraria sp.</i>	암석	6%	E	91°	양지	적음	무

수지상 지의류 *Cladonia coniocraea* Auct., *Cladonia romulosa* (with) *Laundon*, *Cladonia sp.*, *Stereocavlon verrucvigerum* Hum 과 고착 지의류인 *Lepraria. sp.* 가 출현하였다. 수지상 지의류인 *Cladonia* 종이 기존 조사지역에 비해 비교적 많이 출현하여, 공단에서의 거리가 멀어짐에 따라 점차 나아지는 청주시 대기질을 반영하고 있었다. 그러나 거리에 따라 희석되어 양호해진 대기질 외에도 산림생태계의 높은 식물 종 다양성으로 좀 더 많은 지의류 종이 출현하였다는 점을 배제할 수 없다.

로 개수된 후 증축, 보수를 통해 현재의 모습을 유지하고 있는 상당산성에는 비교적 많은 종의 지의류들이 분포하고 있었다.

상당산에서는 조사지역 가운데 유일하게 토양에서 서식하는 지의류<sup>[14]</sup>가 발견되었으며, 오래된 성벽을 기물로 하여 비교적 많은 엽상 지의류가 분포하고 있었다. 같은 기물을 기반으로 하고 있는 서쪽의 부모산의 성벽과 비교해 볼 때, 상당산성에서의 지의류는 피도 및 빈도, 생육상황 면에서 양호하여 좀 더 나은 대기질을 반영하고 있었다.

표 6. 우암산 지역에서의 출현종의 분포 및 조사환경

출현종	착생기물	피도	방위	경사	일광	도로이용	차량통행유무
<i>Cladonia coniocraea</i> Auct	암석	10 %	W	90°	양지	보통	유
<i>Cladonia romulosa</i> (with) <i>Laundon</i>	암석	6 %	W	15°	양지	보통	유
<i>Cladonia sp.</i>	암석	5.6 %	W	90°/90°/15°	양지	보통	유
<i>Lepraria sp.</i>	암석	12.4 %	W	90°	양지	보통	유
<i>Stereocavlon verrucvigerum</i> Hum	암석	9 %	W	15°	양지	보통	유

### (7) 상당산

청주공단과 도심, 대단위 주택단지 등으로부터 불어오는 대기오염물질이 일차적으로 우암산에 부딪힌 후 지형과 풍향에 의해 분산됨으로써 상당산은 청주시 전체 7개 조사지역 가운데 그 영향을 가장 적게 받을 것으로 예상한 지역이다.

상당산에서 출현한 종은 총 6종으로 조사지역 가운데 가장 많은 종이 출현하였다. 삼국시대에 처음 축조되고 조선 숙종 42년(1716)에 화강암으

### (8) 조사지역 전체의 출현종과 빈도

전체 350개 셀(7개지역 x 5개지점 x 10셀) 중 51.5%에 해당하는 180개 셀에서는 지의류가 전혀 나타나지 않았고, 출현한 지의류 13종 가운데 대기오염에 강한 내성을 가진 것으로 알려진 *Lepraria sp.*가 전체 조사지역의 14.6%로 조사지역 내에서 가장 많이 분포하고 있었다(표8). 또한 출현 지의류 전체를 100.0으로 보고 각 종의 빈도를 살펴보면, 내성을 가진 *Lepraria* 와 *Cladonia* 종의

표 7. 상당산 지역에서의 출현종의 분포 및 조사환경

출현종	착생기물	피도	방위	경사	일광	도로이용	차량통행유무
<i>Cetrariastrum sipman</i>	암석	4 %	NW	90°	보통	적음	무
<i>Cladonia chlorophaea</i>	토양	4 %	NW	30°	보통	적음	무
<i>Cladonia gracilis</i>	암석/토양	9 %	NW	90°/30°	보통	적음	무
<i>Lepraria sp.</i>	암석	2 %	NW	90°	양지	적음	무
<i>Punctelia Borreri(sm) Krog</i>	암석	2 %	NW	90°	양지	적음	무
<i>Kamalinia yasudae</i>	암석	9 %	NW	90°	양지	적음	무



합이 전체 출현 지의류의 65.4%를 차지하고 있었다.

지역별로 보았을 때 공단과의 거리가 멀어질수록 출현 종 수가 증가하였다. 가장 많은 종이 나타난 조사지역은 상당산으로 총 6종이 출현하였고 그 다음이 우암산과 부토산으로 두 지역에서 각 각 5종씩 출현하였다. 또한 장기봉과 도심 중심부 공원(상당공원, 중앙공원)은 지의사막으로 나타났다.

대기오염 이외에 고도 등과 같은 지리적 환경이 지의류 서식에 영향을 줄 수 있다. 그러나 독일의 연구(Schöller, 1997: 86-7)를 참고한다면, 청주지역과 같이 좁은 지역에서 고도 등의 여건이 지의류 종별로 서식밀도의 차이를 유발할 수 있겠지만, 서식 종 자체가 크게 다르지는 않을 것이라 생각되어진다. 이에 대해 보다 확실한 결론을 내리기 위해서는 우리나라 각 지역의 지의류 식생조사가 선행되어야 한다고 말할 수 있다.

표 8. 지의류의 전체 출현종과 빈도

출현종	빈도(%)
<i>Cetrariastrum sipman</i>	2.9%
<i>Cladonia chlorophaea</i>	1.1%
<i>Cladonia coniocraea</i> Auct	2.6%
<i>Cladonia floerkeana</i>	5.4%
<i>Cladonia gracilis</i>	4.3%
<i>Cladonia romulosa</i> (with) <i>Laundon</i>	2.3%
<i>Cladonia sp.</i>	1.4%
<i>Lepraria sp.</i>	14.8%
<i>Parmotrema cf. Eciliatum</i>	2.9%
<i>Punctelia Borreri</i> (sm) <i>Krog</i>	0.6%
<i>Rarmotrema sp.</i>	2.6%
<i>Ramalina yasudae</i>	4.9%
<i>Stereocavlon verrucvligerum</i> Hum	2.9%

## 2) 출현 지의류의 생태적 지수 및 대기청정도 지수

조사지점에서 채집된 종의 피도 계급치, 생태적 지수, 대기청정도 지수는 표9와 같다. 생태적 지수 Q치는 대기오염에 대한 내성정도로서 Q치가 낮을수록 오염에 강한 종을 의미한다.

청주시 7개 지역에서 나타난 출현지의류의 생태적 지수를 살펴보면, *Lepraria sp.*의 생태적 지수 Q치가 가장 낮고 그 다음이 *Cetrariastrum*

*sipman*, *Cladonia floerkeana*, *Cladonia coniocraea* Auct, *Cladonia romulosa*(with) *Laundon*, *Cladonia sp.*, *Rarmotrema sp.*, *Stereocavlon verrucvligerum* Hum, *Rarmotrema sp.*, *Cladonia chlorophaea*, *Cladonia gracilis*, *Punctelia Borreri*(sm) *Krog* 순으로 나타나고 있다. 그러나 각 종마다 생태적 지수의 차이는 크게 나지 않으며, 각 지역별로 생태적 지수와 피도에 의한 IAP 수치를 살펴보면, 산림, 자연 생태계와는 달리 그 수치의 각 지역의 차이가 매우 적게 나타남을 알 수 있다.

지의류의 분포에 따른 지대(zone)설정에 있어서 김준민(1991)은 오염이 가장 심한 지역은 지의사막, 두 번째가 *Lepraria*의 분포로서 *Cladonia*의 출현까지이며, 세 번째 지대는 *Cladonia*의 분포에서 *Dirinaria*의 출현까지, 네 번째 지대는 *Parmelia*와 *Dirinaria*가 분포하는 지대로 나눌 수 있다고 보았다.<sup>13)</sup>

청주시의 경우 전체 출현종의 65.4%가 *Lepraria*와 *Cladonia* 종이었으므로, 김준민(1991)에 의해 설정된 지의류 지대에 적용한다면 오염이 두 번째로 심한 지대에 해당한다. 또한 IAP수치에 따라 공기의 오염정도를 결정한 Le Blanc(1970, 1974)의 지역구분에 의하면, 청주시 전체 조사지역은 모두 IAP 5.5 이하 지역으로 심한 오염지역에 해당한다. 좀 더 세분된 지역구분을 통해 청주시 대기의 질을 진단해 보고자 표2에 의한 각 조사지점에서의 IAP지수로 연평균 SO<sub>2</sub> 농도를 추정해 보았다(그림 2).

부토산은 IAP가 3.37로 연평균 SO<sub>2</sub>농도가 0.020 ~ 0.030ppm으로 추정되며, 우암산과 상당산 또한 IAP가 각각 4.78, 4.13으로 연평균 SO<sub>2</sub>농도를 0.020 ~ 0.030ppm으로 추정할 수 있다. 솔밭공원은 IAP 1.83으로 연평균 SO<sub>2</sub>농도가 0.020 ~ 0.030ppm으로 추정된다. 그러나 솔밭공원의 경우 공원의 위치가 전체 공단의 북서쪽에 위치하여 공단 내 배출오염물질의 영향을 비교적 덜 받는 곳이기 때문에 그 수치가 공단 내의 IAP수치를 대표한다고 보기는 힘들다.

공단 내 배출대기오염물질의 영향을 비교적 많이 반영할 수 있다고 생각되어진 청주기능대학의 경우 지의사막 지역으로 IAP가 0이었으며 SO<sub>2</sub>의

표 9. 출현지의류의 생태적 지수 및 대기청정도 지수

출현종	조사지역	부모산	솔공원	백공원	장기봉	도심내공원	우암산	상당산	생태지수(Q)
<i>Cetrariastrum sipman</i>			1		1			1	3.7
<i>Cladonia chlorophaea</i>								1	6
<i>Cladonia coniocraea</i> Auct							2		5
<i>Cladonia floerkeana</i>	2	3							4
<i>Cladonia gracilis</i>							2		6
<i>Cladonia romulosa</i> (with) <i>Laundon</i>							2		5
<i>Cladonia</i> sp.							2		5
<i>Lepraria</i> sp.	2	1			2		3	1	2.6
<i>Parmotrema</i> cf. <i>Eciliatum</i>	1								5
<i>Punctelia Borreri</i> (sm) Krog								1	6
<i>Rarmotrema</i> sp.	2								5
<i>Ramalina yasudae</i>	1							2	5.5
<i>Stereocaulon verticilligerum</i> <i>Hum</i>							2		5
출현종수	5	3	0	2	0	5	6		
대기청정도 지수 $I.A.P = \frac{\sum(Q \times f)}{10}$	3.37	1.83	0	0.89	0	4.78	4.13		

연평균 농도도 0.03ppm 이상으로 추정되었다.

백공원은 공단에서 불어오는 대기오염물질의 직접적인 영향을 받아 IAP가 0을 나타내어 SO<sub>2</sub>

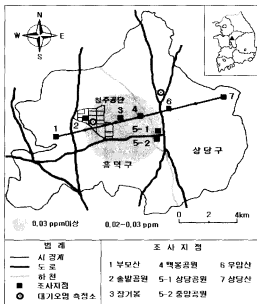


그림 IAP에 의한 조사지점별 연평균 SO<sub>2</sub>농도 추정

의 연평균 농도가 0.03ppm 이상으로 추정되었고, 장기봉의 경우도 IAP 0.89로 연평균 SO<sub>2</sub>농도 0.03ppm 이상으로 추정된다. 도심 내 공원인 상당공원, 중앙공원 또한 SO<sub>2</sub>농도가 0.03ppm 이상으로 추정되었다.

최근 7년간(1992~1998) 청주시 대기오염 자동 측정망에 의한 SO<sub>2</sub> 연평균 측정치를 살펴 본 결과 청주시 연평균 SO<sub>2</sub> 농도는 대기환경 기준치인 0.03ppm 이하였고, 최고치의 농도 역시 계속적으로 감소하고 있어 비교적 양호한 대기질로 나타나고 있었다. 그러나 청주시 대기오염을 측정하는 측정망은 청주시 전체에 두 곳<sup>10)</sup> 뿐으로 이곳에서 측정한 평균치만으로 청주시 대기질을 평가하기에는 부족함이 있다. 대기오염의 주 발생원을 청주공단으로 보고 탁월풍을 서북시(WNW)풍으로 보았을 때<sup>11)</sup>, 청주공단이 청주시 지역별 대기질에 어떠한 영향을 미치는지 구체적으로 살펴보기에는 측정소 위치가 적당하지 않다고 판단된다.

대기오염 자동측정망에 의한 SO<sub>2</sub>의 연평균 측정치와 본 연구에서 대기오염 지표종으로 선택한 지의류 분포를 통해 청주시 대기오염도를 지역별

표 10. 청주시 SO<sub>2</sub> 농도 (1992-98)

(단위 : ppm)

구분	연별	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	평균
		평균치	0.019	0.020	0.030	0.018	0.012	0.009	
최고치		0.065	0.066	0.083	0.082	0.050	0.026	0.017	0.082
발생월		1월	11월	11-12월	3월	1월	1월	4-5월	-

출처 : 환경부, 환경통계연감, 한국환경연감, 각 년도  
금강환경관리청 인터넷 자료(<http://www.kumriver.moenv.go.kr>)

로 평가해 본 결과, 환경 기준치 0.03ppm을 초과한 지역이 청주시 여러 지역에서 나타났다.

자동측정망에 의해 측정된 연평균 SO<sub>2</sub> 농도는 1997년부터 그 최고치가 환경기준치 이하로 측정되었으나, 1992년부터 1998년까지의 최고치 농도 평균은 0.062ppm로 나타났다. 따라서 IAP에 의한 대기오염 추정이 누락된 대기오염물질에 의한 대기질 진단<sup>19)</sup> 임을 감안한다면 IAP지수에 의해 추정된 연평균 SO<sub>2</sub> 농도는 지역별로 누락된 SO<sub>2</sub> 농도를 비교적 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다.

지역적으로 볼 때, IAP에 의한 대기오염 추정 결과 풍향에 의해 공단의 영향을 덜 받는 지역을 제외하고는 공단과의 거리가 멀어질수록 지의류의 종 다양성이 높게 나타났고, 연평균 SO<sub>2</sub>의 농도 또한 거리가 멀어짐에 따라 양호하게 추정되었다. 공단지역과 더불어 청주시내 중심부도 0.03ppm 이상의 대기오염이 심한 지역으로 추정되었는데, 이로써 인구가 조밀하고 중앙열 관리가 이루어지는 상업 중심지에서도 대기오염이 심하게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다.<sup>20)</sup> 이와 같이 지의류 분포에 의한 청주시 대기질을 진단해 보면 도시 기초통계 자료와 대기오염 자동측정망에 의해 측정된 측정치와는 달리 대기질이 악화된 것으로 나타났다.

대기오염에 민감하게 반응하는 지의류는 대기 환경이 개선되면 새로운 종이 출현하게 되고, 서식하고 있던 기존 종의 경우도 피도와 빈도 등이 높게 나타나기 때문에 생태적 지수와 IAP지수에 의해 개선된 대기질 상황을 살펴볼 수 있다. 따라서 대기오염 자동측정망이 부족하고 도시 내에 공단이 입지해 있어 지역별 대기질 진단이 꼭 필

요한 청주시의 경우, 지의류의 연구 조사가 시기를 달리하여 지속적으로 이루어진다면 출현종의 목록과 그 분포상황의 비교에 의해 대기오염 변동상황을 지역별, 연도별로 용이하게 진단해 볼 수 있을 것이다.

## 2) 청주시와 타도시의 지의류 분포 비교

지의류의 분포와 생육에 영향을 미치는 것은 대기오염 외에도 기후, 대륙도, 고차 대상물질, 경쟁 등 여러 가지 요인이 있으며, 그 중에서도 기후 후적 요인은 지의류 서식에 많은 영향을 미친다. 지의류는 대륙성 기후 보다 해양성 기후에서 더 양한 종의 분포와 확실한 군락의 형성이 이루어진다고 알려져 있다. 독일의 경우 비가 적은 지역에서는 대기오염이 적은 곳이라라도 나무 지역에 비해 미약한 지의류 분포가 나타난다고 한다.<sup>21)</sup>

우리나라에서도 이와 같은 현상은 살펴볼 수 있었는데, 내륙 지역의 도시에 비해 해안에 위치한 도시에서 보다 많은 지의류의 분포가 나타났다.<sup>22)</sup> 여수 오동도의 경우, 청주시에서 보기 힘들었던 수목상의 엽상 지의류가 많이 출현하였고, 암석과 보도 위에서도 다양한 지의류가 출현하고 있다. 이는 바다에 의한 대기습도 충족이 지의류의 서식환경에 유리한 조건으로 작용한 것으로 볼 수 있다.

따라서 지의류의 분포에 의해 타 지역과의 대기오염을 비교 조사할 때에는 중기후적 여건이 동일한 지역에서의 비교가 이루어져야 하고, 강수량과 상대습도, 대기습도, 대륙도 등의 기후적 여건과 생태계 환경을 고려한 연구가 선행되어야

한다.

또한 도시생태계의 경우는 자연생태계와는 다른 대기의 순환과 인공열 등의 발생으로 독특한 도시기후가 형성된다. 자연생태계에서는 식물이나 수면 등이 지표를 덮고 있는데 반하여, 도시에서는 도로의 포장이나 하수 시설 등이 지표를 이루고 있기 때문에 지표면이 자연생태계에 비해 건조하고 고온화되는 현상이 나타난다. 따라서 도시 내부는 교외지역과 수증기의 절대량이 같더라도 상대습도는 더 낮게 나타나며, 도시에서의 절대습도 자체 또한 교외지역보다 낮게 나타나기 때문에 도시에서의 상대습도는 더욱 낮아질 수밖에 없다.<sup>22)</sup> 이렇게 고온화와 건조화 현상이 나타나는 도시 생태계에서 지의류의 서식은 자연 생태계와는 다른 분포양상을 보인다. 따라서 자연생태계에서 나타나는 종의 분포와 피도, 빈도 등을 도시에 그대로 적용하여 비교한다면, 자연생태계에 비해 도시생태계는 오염되어 있다는 지극히 당연한 결론 밖에 얻을 수 없을 것이다.

물론 도시생태계는 자연생태계에 비해 오염된 대기질 상황을 보이고 있지만, 대기오염 외에도 고온 건조한 도시기후적 성격, 인위적 도시경관, 서식 기층의 부족, 단일화된 수목 식재 등이 지의류 분포에 많은 위협요소로 작용한다. 따라서 자연생태계와의 지의류 서식분포 비교와 같은 예정되어 있는 결론으로 대기오염을 판단하기보다는 도시생태계 내에서의 출현종에 대한 기초 조사와 시기적으로 변화하는 지의류 분포에 의한 대기오염 진단, 자연·인문적으로 유사한 성격을 지닌 도시와의 지의류 서식 비교 등 자연생태계와는 차별되는 지의류 연구조사가 이루어져야 할 것이다.

우리나라에서의 지의류 분포와 대기오염간의 연구는 김준민(1991)의 연구를 제외하면 대부분 산림이나 자연생태계를 대상으로 하고 있다. 대부분의 지의류 연구에서 도시생태계는 산림생태계에 비해 대기오염이 심하므로 지의류의 종 다양성이 떨어진다고 언급하고 있지만, 도시생태계에서의 지의류 종에 관한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

도시생태계를 연구대상으로 한 김준민(1991)의 연구를 통해 지의류 분포에 의한 서울시와 청주

시의 대기오염도를 비교해 보면, 서울은 1991년에 서울시 15km 동심원 내부 지대가 모두 지의사막 지역으로 나타났고, 도심 내 녹지지역인 북한산의 인수봉, 도봉산의 만장봉까지 지의류의 출현이 나타나지 않았다. 이처럼 대부분의 지역에서 지의사막이 나타난 서울시와 앞에서 이제까지 살펴본 바와 같이 아직은 부분적으로 지의사막이 나타나고 있는 청주시를 비교해 본다면 1991년 서울의 대기오염이 현재의 청주 대기오염 현황보다 심각했음을 알 수 있다.

도시가 발달하고 경제활동이 활발히 이루어짐에 따라 도시생태계 뿐만 아니라 자연생태계에서도 지의류의 서식은 위협받고 있다. 독일에서의 연구결과에 의하면 독일에서 조사된 지의류는 총 1,691종인데, 그 중 10.8%(182종)는 이미 소멸되었고, 50.5%(854종)가 소멸위기에 처해 있으며, 단지 27%(454종)가 현재 서식하고 있는 종이고, 12%(201종)는 자료가 충분하지 않아 판단하기 힘든 종이라고 한다.<sup>23)</sup> 이러한 비관적 현실은 대기오염을 비롯하여 경제적 토지이용에 따른 Biotop 손실, 서식기층의 제거, 단일화된 수목 식재, 건조해진 미기후 등으로부터 기인한다고 볼 수 있다. 1970년대 후반부터 SO<sub>2</sub>의 배출농도가 많이 감소하였고, 환경보존 차원에서의 산림조성, 지의류 서식장소를 제공하기 위한 가로수 조성 등 지의류를 보호하기 위한 의도적 노력이 이루어지고 있는 독일에서 지의류의 종 수가 급감하고 있는 현실에 비추어 볼 때, 아직까지 환경보다는 경제를 중시하고 있는 우리나라의 경우 더 악화되어 있지 않을가 우려된다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 대기오염에 민감하게 반응하는 지의류를 대상으로 지의류의 출현도, 생태적 지수, 대기청정도 지수(IAP) 등을 비교해 봄으로써 청주시 지역별 대기오염 현황을 평가해 보았다.

청주공단을 주요원인으로 보고 탁월봉으로 나타난 서목서(WNW)풍을 감안하여 7개 연구지역을 선정하고 지의류의 분포를 조사해 본 결과, 청주시 전체 조사지역에 출현한 지의류는 총 13종으

## 註

로 대기오염에 강한 내성을 가진 *Lepraria* sp. 가 가장 많이 나타났으며, *Lepraria* 와 *Cladonia* 종 이 전체 출현 지의류의 65.4%를 차지하였다. 풍향 과 청주공단과의 거리에 따른 지의류 분포상황을 살펴본 결과, 풍향에 의해 청주공단의 영향을 적 게 받는 것으로 나타난 부묘산과 슬밭공원을 제 외하고는 전반적으로 청주공단과의 거리가 멀어 짐에 따라 지의류의 종수와 피도가 증가하는 경 향이 나타났다.

청주공단의 남서쪽에 위치하여 청주공단의 영 향을 비교적 덜 받는 부묘산의 경우는 총 5종의 지의류가 출현하였으며, IAP지수는 3.37로 나타났 다. 또한 암석에 착생하는 고차 지의류보다 대기 오염에 민감하다고 알려진 수지상, 엽상 지의류도 나타났다. 이는 오염원의 거리는 비교적 가깝지 만 풍향에 의해 대기오염물질의 영향을 덜 받고 있기 때문에 생각할 수 있다. 그러나 청주공단 과의 거리가 멀고 청주시 동쪽에 위치한 상당산 에서 출현한 지의류와 생육상태를 비교해 본 결 과, 상당산보다는 지의류의 미약한 종 분포와 낮 은 IAP지수가 나타나 청주공단에서 배출되는 오 염물질의 영향을 간과할 수는 없었다.

공단지역과 그 주변지역, 청주시 도심지역은 지의사막 현상이 초래되어 IAP지수를 통한 연평 균  $SO_2$  추정 농도가 0.03ppm 이상으로 나타났고, 청주시 전체 조사지역의 IAP지수는 모두 5.5이하 의 오염된 대기질을 나타냈다. 도시 기초통계 자 료에 의하면 청주시 대기질은 많이 개선되어 가 고 있으며  $SO_2$  측정치도 많이 감소해졌다고 하나, 생물지표인 지의류에 의한 청주시 대기오염을 살 펴본 결과 청주시 대기질은 크게 나아지지 않았 음을 알 수 있었다. 그러나 어떤 특정한 지의류의 공간적 분포로 대기오염 물질의 공간분포를 나타 내는데 신뢰할 만한 기준이 된다고 생각하는 IAP 모델도 지의류 자체의 생태, 생리학, 그 지역의 역 사적 발전을 고려하지 않으면 문제가 발생할 수 있다.<sup>21)</sup> 본 연구에서도 이러한 문제점을 본격적으 로 다루지 못한 아쉬움이 있다. 우리나라 실정에 맞게 IAP와  $SO_2$ 와의 상관관계를 추정하기 위한 후속연구가 이루어져야 비로소 생물지표의 관점에서 보는 지의류 연구가 활성화될 수 있을 것이다.

- 1) 일반적으로 생물개체를 기지(既知)의 분류체계 중에서 위치를 밝히는 것.
- 2) 지의체의 가장 외측에 있어 지의체를 보호해 주 는 역할을 하며, 고등식물의 표피조직에 해당하지 만 큐티클층과 기공은 없다.
- 3) gonidia중(解)이라고도 한다. 지의체를 구성하고 있는 조류를 공생조(共生藻) 또는 gonidia라고 하는데 이 조류는 지의체 양의 균체조직에 의해 둘러싸여 있으며, 상부 피층 바로 아래에서 수증 위까지 10~30 $\mu$ m의 다소 연속적인 층으로 배열되 어 있다.
- 4) 균체가 느슨하게 엉겨져서 섬유상 또는 솜모양의 층을 이룬다. 이 수층은 다량의 물을 함유할 수 있는 능력을 가지며, 일반적으로 백색이지만 색소 가 존재하는 것도 있다.
- 5) 지의류를 이용하여 대기오염물질의 지표로 사용 하는 방법은 2가지로 나눌 수 있다. 첫째가 가장 중점적으로 사용되는 'passive monitoring' 방법 으로 특수한 방법에 의해 지도화하는 방법이다. 예를 들면 IAP방법에 의한 지도화도 그 분포와 출현 빈도로 대기중 오염물질의 분포를 양적으로 측정할 수 있다. 두 번째는 'active monitoring' 으로 어떤 특정 지의류 종을 채취하여 대기가 오염 된 곳에 이식하고 그 지의류가 어떻게 반응하 는지 살펴보는 것이다 (Herbert Scholler(Hrsg.), 1997: 198). 본 연구에서는 첫번째 passive monitoring을 이용하였다.
- 6) 서울특별시 녹색서울시민위원회 인터넷 자료 (<http://econews.peacenet.or.kr>), CNN Daily News, 1997. 5. 28.
- 7) 청주시[푸른청주 21] 추진협의회, [푸른청주 21] 의 실현을 위한 보고서, 1998.
- 8) 환경처, 현존식생도 1:50,000, 충청북도엽, 1982. 녹화사업을 하는 과정에서 침엽수 위주의 인공림 이 많아졌으며, 수종도 다양하지 않다. 수종의 단 순화는 지의류의 종 다양성에 부정적 영향을 미 치는 요인으로 작용한다.
- 9) 피도와 빈도 측정은 Rabe(Kreeb, 1990: 282-4) 의 방법을 이용하였다.
- 10) 1. IAP=5.5이하 (심한 오염지역), 2. IAP=5.6

- ~15.5 (준 오염 지역), 3. IAP=15.6~35.5 (준 자연지역), 4. IAP=35.6~75.5 (자연지역), 5. IAP=75.6이상 (심산지역)
- 11) 대기중 산성물질에 아주 강한 조류의 일종으로 오히려 대기 오염이 진전된 곳의 수목 등치에 흔히 나타난다. 그러나 도심의 내부에서 대기오염이 일정한계를 넘게 되면 이런 대기녹조류조차 나타나지 않을 수 있다.  
(Heribert Schöller(Hrsg.), 1997: 159)
- 12) 청주목의 객사문(客舍門) 앞에 있던 수십 그루의 은행나무 가운데 유일하게 남은 고려시대의 은행나무로 '압각수'는 은행일이 오리발 모양에 가깝기 때문에 붙여진 별칭이다.
- 13) 상당산성에서 낙엽층을 제거하고 표층 0~10 cm의 토양을 채취하여 토양산도를 측정해본 결과 pH가 표층은 6.3, 하층은 5.3의 농도로 측정되었다. 토양세척은 대기오염에 의한 산성비의 영향으로 토양 내 오염물의 직접적 각 조사지역별로 어떻게 나타나는지 토양의 pH와 질산염(NO3) 농도를 조사하였다. 토양 내 오염물 농도와 대기오염, 지의류 분포와의 상관성을 검증하기 위해 지의류 조사지역과 동일한 지역에서 시료를 채취하여 조사하였으나 그 결과가 대기오염에 보다는 토양오염에 영향을 미치는 다른 요인에 의한 농도분포로 나타났다. 따라서 청주시의 경우 대기오염에 의한 직접적인 토양오염의 경향성은 나타나지 않는다고 보고 지의류 분포에 의한 대기오염만을 추정하였다.
- 14) 다른 지의류와는 달리 땅위에서 자라는 수지상 지의류 *Cladonia* 종은 토양의 산성도에 영향을 별로 받지 않으며, 이러한 지의류는 산성화된 토양이나 영양물질이 적은 사질토양에서 주로 서식한다 (Heribert Schöller, 1997: 113).
- 15) 김준민, 전개 논문, 1991, P.61
- 16) 홍덕구 송정동 보건환경연구원, 상당구 내덕동 청주농업고등학교
- 17) 청주시의 연평균 풍속(1988-1996)은 1.9m/s이며, 연간 최대 풍향은 서북서(WNW)풍, 서(W)풍, 남서(SW)풍, 북서(NW)풍의 순으로 나타나고 있다. 계절별로 살펴보면 봄, 여름에는 남서(SW) 가을, 겨울에는 서북서(WNW)풍이 우세하게 나타난다. 기상청 자료 및 청주기상대 자료

(1988-1996)

- 18) Mathis, P. M. and G. Tomlinson, 1972: 67~73
- 19) 아황산가스(SO<sub>2</sub>)의 경우 청주시 전체 발생량의 76.7%가 산업체에서 발생하고 있으며, 난방이 17.8%, 자동차가 5.5% 순으로 나타난다.
- 20) Heribert Schöller(Hrsg.), 전개서, 1997: 94
- 21) 여수, 순천, 마산 등 남해안 지역의 담사결과 도시생태계에서도 내륙지역인 청주시보다 다양하고 빈도 높은 지의류의 분포를 살펴볼 수 있었다.
- 22) 金蓮玉, 기후학 개론, 正益社, 1967: 386~387
- 23) Wirth, V., et al, 1996: 307~368.
- 24) Schöller, H., 1993: 92~314

## 文獻

- 고화석, 1988, 대기오염이 선대식물에 미치는 영향, 전남대학교 대학원 석사학위 논문.
- 기상청, 기상연보, 1988~1998.
- 김광렬 · 권수한 · 황태오, 1991, "청주시 지역 환경오염에 관한 기초조사 -대기오염을 중심으로", 충북대학교 건설기술연구소 논문집, 제9권 2호, 137~148.
- 김연옥, 1987, 기후학개론, 正益社.
- 김유근 · 이화운, 1990, 대기오염개론, 시그마프레스.
- 김준민, 1991, "도시와 공업지대의 대기의 SO<sub>2</sub>와 지의류 분포에 관하여", 대한민국 학술원 논문집(자연과학 편), 제 30호, 47~71.
- 김준민 · 이희선, 1975, "한국의 지의류분포에 관한 정량적 연구", 한국식물학회지, 18(1), 38~44.
- 남기창, 1992, 청주시 부유분진농도의 공간적 분포에 관한 연구, 건국대학교 대학원 지리학과 석사학위논문.
- 박선영, 1994, 서울시 교외지역의 도로변 토양오염에 관한 연구, 서울대학교 대학원 지리학과 석사학위논문.
- 서정혜, 1995, 지의식물을 이용한 대구지역의 대기오염도 조사, 영남대학교 환경대학원 환경과학과 석사학위 논문.
- 석대광, 1990, 청주시 수계지역의 대기중 부유분진의

- 농도와 증감속 함량에 관한 연구, 濟州대학교 산업경영대학원 환경공학과 석사학위논문.
- 양수인 · 하윤 · 임합선 · 박찬욱 · 홍석순 · 정병석, 1965, "선대식물을 이용한 전남지역 대기오염도 평가", 한국대기보전학회지, 제11권 2호, 137 ~ 144.
- 유정환 · 가강현 · 박원, 1965, "여천공단의 대기오염이 토양의 화학적 특성, 지의류, 탈질균 및 황산화원균에 미치는 영향", 한국화학회지, 84(2), 178 ~ 185.
- 추은영, 1968, 수목착생지의류에 의한 대기오염 평가 -울산- 온산공단을 중심으로, 경상대학교 대학원 임학과 석사학위논문.
- 한국일보사 · 환경운동연합 녹색생명운동, 1965, 녹색바람을 꿈꾸며, 시민에 의한 전국 대기오염결과 보고서.
- 환경부, 환경동계연감, 1965 ~ 1968.
- 환경처, 1962, 원전식생도 1:500,000, 충청북도.
- 환경청, 한국환경연감, 1962 ~ 1964.
- 황재석, 1961, 濟주시의 지역별 대기중 부유분진 농도와 증감속 함량에 관한 연구, 濟州대학교 산업경영대학원 환경학과 환경공학전공 석사학위논문.
- 황태모, 1962, 濟주시 지역 대기오염에 관한 연구, 충북대학교 산업대학원 공정공학과 환경공학 전공 석사학위논문.
- 황태모 · 신동인 · 홍성호 · 유재경 · 석태광 · 김용호 · 이진원 · 김창영, 1993, 濟주시 공단지역의 강우중 pH와 이온 성분에 관한 연구, 충청북도 보건환경연구원보, 제3권.
- 吉村藤, 1994, 原色日本地衣植物圖鑑, 保育社.
- 中川吉弘 · 光木偉勝 · 高田以啓, 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, 第9號, 28 ~ 34.
- 中川吉弘 · 小林禎樹, 1968, 着生地衣植物と大氣汚染, 兵庫縣立 公害研究所研究報告, 第21號.
- 中川吉弘 · 光木偉勝, 1960, 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, 7(3), 31 ~ 41.
- 中川吉弘, 1966, 環境指標としての地衣類, Lichen, 10(2), 17 ~ 21.
- De Sloover, J. and Le Blanc, F., 1968, Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity, *Proc. Symp. Recent Advances Tropical Ecol.*, 42 ~ 56.
- Gilbert, O. L., 1965, Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley, *Ecol. and Industrial soc.*, Oxford.
- Gries, C., 1996, "Lichens as indicators of air pollution", in: *Lichen biology*, Cambridge University Press, 240 ~ 254.
- Hale, M. E., 1983, *The biology of lichens* (third ed.), Edward Arnold, London.
- Hawksworth, D. L., 1970, Qualitative scale for estimating SO<sub>2</sub> air pollution in England and Wales using epiphytic lichens, *Nature*, 227, 145 ~ 148.
- Jacobsen, P., 1992, Flechten in Schleswig-Holstein : Bestand, Gefährdung und Bedeutung, *Mitt. Bioindikatoren -Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein*, 42, 1 ~ 234.
- Kreeb, K. H., 1990, *Methoden zur Pflanzenökologie und Bioindikation*, Gustav Fischer Verlag.
- Le Blanc, F. and De Sloover, J., 1970, Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal, *Can. J. Bot.*, 48, 1485 ~ 1496.
- Le Blanc, F. and Rao, D. N., 1973, Effects of SO<sub>2</sub> on lichen and moss transplants, *Ecology*, 54, 612 ~ 617.
- Le Blanc, F., Robitaille, F. G. and Rao, D. N., 1974, Biological response of Lichens and Bryophytes to environmental pollution in the Murdochville copper mine area, Quebec, *Jour. Hottori Bot. Lab.*, No. 38, 405 ~ 433.
- Mathis, P. M. and Tomlison, G., 1972, Lichens: Bioassay for air pollution in a metropolitan area(Nashville, Tennessee), *Jour. The Tennessee Academy of Science*, 47(2), 67 ~ 73.
- Nylander, W., 1866, Les lichen du Jardin du Luxembourg, *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 13, 364 ~ 372.

- Peterson, J. E., Fisher, R. and Bachman R., 1992, *Guidelines for evaluating air pollution impacts on class I wilderness areas in the Pacific Northwest*, USDA For Serv. PNW-GTR-299.
- Schöller, H., 1993, Zur Problematik von Bioindikator-Modellen am Beispiel der Flechten, *Natur & Mus.*, 123(10), 92~314.
- Schöller, H.(Hrsg.), 1997, *Flechten: Geschichte, Biologie, Systematik, Ökologie, Naturschutz und Kulturelle Bedeutung; Begleitheft zur Ausstellung Flechten - Kunstwerke der Natur*, Kleine Senckenberg-Reihe, Nr. 27.
- Sernander, R., 1926, *Uppsala: Almqvist and Wiksells, Natur*, Stockholm.
- 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.
- Wirth, V., Schöller, H., Scholz, P., Ernst, G., Feuerer, T., Gnuchtel, A., Hauck, M., Jacobsen, P., John, V. and B. Litterski, 1996, Rote List der Flechten der Bundesrepublik Deutschland, *R. f. Vegetationskde.*, 28, 307~368.

(2001년 7월 18일 접수)