

정책연구보고서 2012-37

# 대기오염과 식물생태에 관한 기초연구

정 환 도

## 연구진

연구책임

- 정환도 / 도시기반연구실 책임연구위원

# - 목 차 -

<b>제1장 연구의 개요</b> .....	<b>3</b>
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	3
제2절 연구의 방향 및 내용 .....	5
<b>제2장 대기오염과 식생분포에 관한 이론적 검토</b> .....	<b>9</b>
제1절 대기오염 관한 이론적 검토 .....	9
1. 대기오염특성 .....	9
2. 대기오염물질의 종류와 영향 .....	19
3. 광역대기오염이 환경에 미치는 영향 .....	30
제2절 식물성장과 대기오염의 프로세스 .....	37
1. 식물성장과 대기오염의 프로세스 .....	37
2. 대기오염 종류에 따른 식물성장 관계 .....	43
3. 발생원의 특징에 따른 대기오염과 식물생태에 미치는 영향 .....	52
4. 수목의 대기오염에 대한 정화능력을 고려한 식재 .....	58
<b>제3장 대전시 대기오염과 식생분포도와의 상관관계</b> .....	<b>63</b>
제1절 대전시 식생현황 .....	63
1. 식생개관 .....	63
2. 산림식생 .....	64
3. 하천식생 .....	68
4. 경작지식생 .....	71
5. 대전광역시의 현존식생 .....	72
제2절 대전시 대기오염 현황에 따른 식재전략 .....	79
1. 대전시 대기오염 현황정도 .....	79
2. 지역 및 구간별 차별화된 식재전략 .....	93

제4장 결론 및 정책건의 .....	103
제1절 결론 .....	103
제2절 정책건의 .....	106
참고문헌 .....	107

## - 표 목 차 -

<표 2-1> 오염되지 않은 대류권 공기의 가스상 조성 .....	11
<표 2-2> 대기오염 배출원 유형 및 특징 .....	14
<표 2-3> 업종별 대기오염물질의 배출원 .....	15
<표 2-4> 지표면의 맑고 건조한 대기의 조성 .....	19
<표 2-5> 입자상 대기오염물질의 정의와 특징 .....	21
<표 2-6> 황화합물의 종류와 배출원 및 배출과정 .....	23
<표 2-7> 광역대기오염의 분류 .....	31
<표 2-8> 주요 오존층 파괴물질 .....	34
<표 2-9> 수목의 아황산가스에 대한 상대적 저항성 .....	45
<표 2-10> 오존에 대한 수목의 상대적 저항성(여름철) .....	47
<표 2-11> SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> 에 의한 소나무의 피해 .....	48
<표 2-12> SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> 에 의한 식물잎의 피해 .....	49
<표 2-13> SO <sub>2</sub> 와 NO <sub>2</sub> 의 혼합가스 접촉(4시간)에 의한 식물잎 표면의 피해 .....	50
<표 3-1> 2009년 행정구역별 배출원소분류별 배출량 (대덕구, 서구, 동구) .....	82
<표 3-2> SO <sub>2</sub> 에 강한 수종 및 약한 수종 .....	94
<표 3-3> 수목의 아황산가스에 대한 상대적 저항성 .....	95
<표 3-4> 배기가스에 강한 수종 및 약한 수종 .....	97
<표 3-5> 수목의 오염물질에 대한 저항성 .....	98

## - 그림 목 차 -

<그림 1-1> 연구과정 .....	6
<그림 2-1> 대기의 구성성분 .....	9
<그림 2-2> 대기오염제어 및 관리체계도 .....	12
<그림 2-3> 지역에 따라 발생하는 연도별 아황산가스 배출량 .....	23
<그림 2-4> 지역에 따라 발생하는 연도별 이산화질소 배출량 .....	25
<그림 2-5> 지역에 따라 발생하는 연도별 일산화탄소 배출량 .....	27
<그림 2-6> 지역에 따라 발생하는 연도별 오존 배출량 .....	29
<그림 2-7> 산성비가 내리는 원인과 과정 .....	32
<그림 2-8> 온난화 현상으로 인한 세계온도 변화 .....	36
<그림 2-9> 식물잎의 구조 .....	37
<그림 2-10> 식물에 미치는 아황산가스의 영향 .....	44
<그림 2-11> 밀감, 비파나뭇잎 중의 불소 .....	46
<그림 2-12> 1982년에서 1991년 사이의 곰솔피해도지수 변화 .....	53
<그림 2-13> 서울시 양재와 종로지역의 총 엽록소량 비교 .....	56
<그림 2-14> 서울시 양재와 종로지역의 APX activity .....	57
<그림 2-15> 녹색식물에 의한 공기정화 효과의 모식도 .....	58
<그림 3-1> Kriging을 이용한 대전지역 SO <sub>2</sub> 공간분포도 .....	79
<그림 3-2> Kriging을 이용한 대전지역 NO <sub>2</sub> 공간분포도 .....	80
<그림 3-3> 대전시 용도별 분류 지도 .....	81

# 제 1 장

## 연구의 개요

제 1절 연구의 배경 및 목적

제 2절 연구의 방향 및 내용

# 제1장 연구의 개요

## 제1절 연구의 배경 및 목적

우리나라는 60년대 경제개발계획에 의한 정부의 중화학공업 육성에 따라 대단위 공업단지가 급속하게 조성되었다. 이로 인해 석탄과 같은 고체연료를 사용하는 화력발전소 등이 다수 건설되게 되었으며, 여기에서 발생하는 분진, 가스 등은 심각한 대기오염을 유발시켜 왔다.

또한 최근까지도 국민의 경제활동 증가에 의한 도시의 인구집중화, 산업화가 진행되고 있다. 이는 인간 문명의 진보, 산업발달, 생활수준 향상으로 인간에게 경제적 풍요와 생활의 편의를 가져다주었으나 인구의 증가, 산업발달에 따른 시설의 대형집단화, 교통량 증가 및 화석연료의 사용량 증가 등으로 인해 각종 환경오염이 심각한 문제로 대두되고 있다.

그 중 대기오염의 주범이 되는 아황산가스와 질소산화물은 인간 뿐 아니라 동·식물, 건축구조물에 이르기까지 광범위하게 피해를 주는 것으로 보고되고 있는데, 특히 이동이 불가능한 식물은 대기오염 피해가 가장 심한 것으로 알려져 있다 (Percy and Ferretti, 2004; Stefan and Herman, 2004).

대기오염물질은 식생에 직접 영향을 주기도 하지만 더 심각한 것은 비에 녹아 토양에 이입되어 토양을 산성화시키는 것이다. 산성화된 토양은 식물의 생식기관이나 잎에 영향을 주어 식물생리 및 대사과정에 이상을 주며, 이는 양분유실, 독성물질증가, 인산흡수 감소, 뿌리활력 저하, 토양미생물 활동을 둔화시켜 결국 고사현상이 발생하는 등 직접 또는 간접적으로 영향을 미친다(Smith, 1980).

대기오염의 피해나 범위는 발생원의 종류, 발생지역의 상태 및 발생의 메카니즘 등에 따라 다르게 나타나며, 전국토의 63% 이상이 산지인 우리나라의 경우 가장 중요한 인자는 발생지역의 상태 즉, 그 지역의 지형적인 특성과 기후조건이다. 이



러한 복합적인 영향으로 산림의 쇠퇴현상이 일어나고, 식물의 종 다양성이 감소 및 식생의 구조와 기능이 단순화되어 결국에는 생태계 전반에 걸쳐서 악역향을 미치게 된다(Nagy and Nagy, 1981; Jakucs, 1991).

따라서 본 연구에서는 우선 수목의 생육에 직·간접적 영향을 끼치는 오염물질의 종류와 오염물질의 식물에 대한 피해를 살펴보고자 한다. 특히 토지이용에 따른 대기오염 발생원의 종류 및 발생지역 상태를 분석해 보고, 주변 식물 분포 및 생육에 대해 이해함으로써 앞으로 지역 및 구간별로 차별화된 식재전략을 구축하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

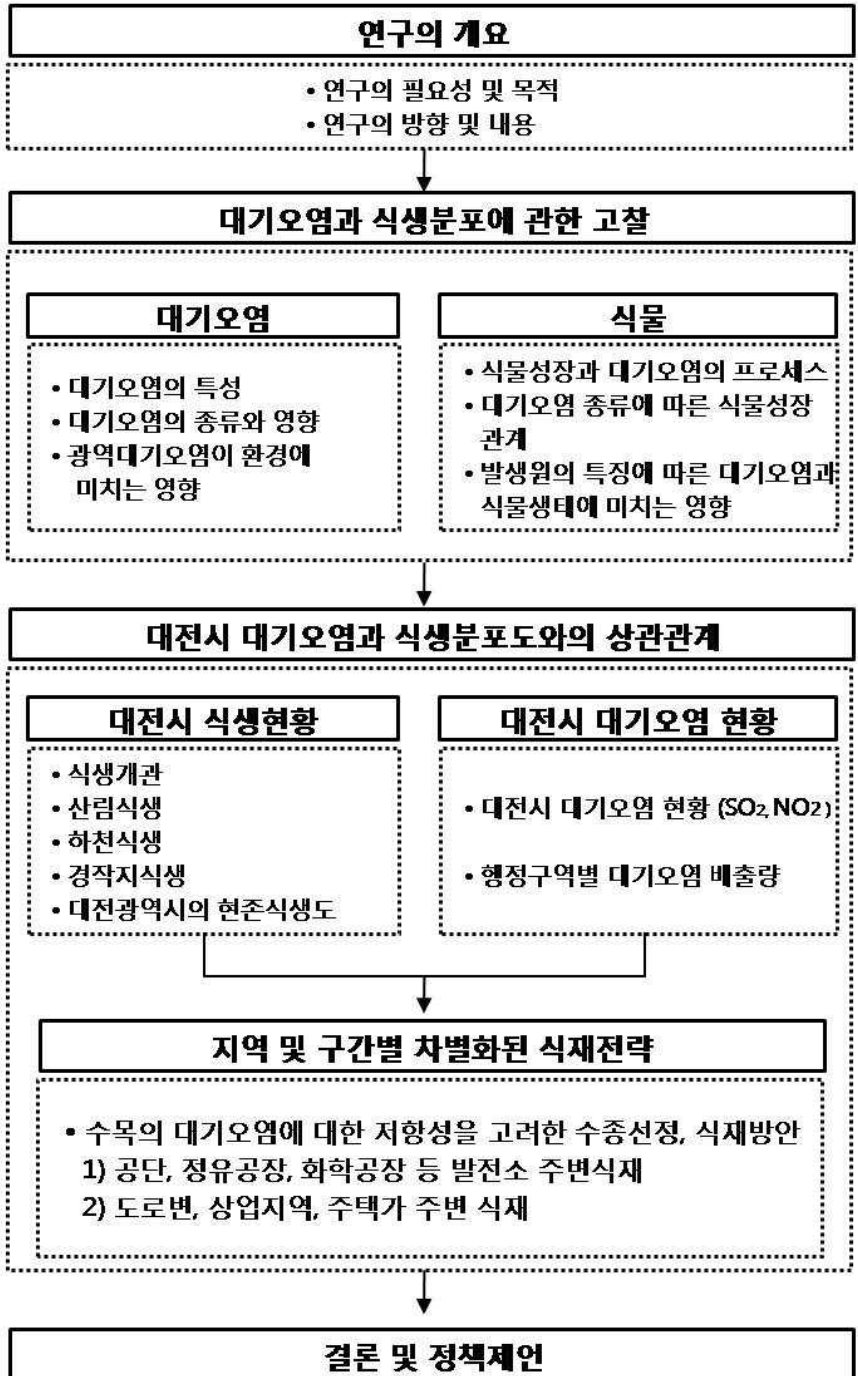
## 제2절 연구의 방향 및 내용

본 연구에서 다루는 주요 내용은 대기오염이 식생의 분포 및 생태에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위한 것으로 대기오염의 특성과 식물생태에 대한 상관관계를 살펴보는데 가장 큰 목적을 두고 있다.

먼저 대기질에 대한 기초분석을 수행하기 위해 대기오염 특성과 관련하여 대기오염의 정의, 대기오염의 분야구분, 대기오염물질의 배출원, 대기오염물질의 측정 및 단위와 대기오염물질의 특성과 영향, 그리고 광역대기오염이 환경에 미치는 영향에 대해 살펴보았다.

다음으로 식물성장과 대기오염의 프로세스를 알아보기 위해 대기오염의 종류와 농도에 따른 식물성장의 관계에 대해 조사하였다. 특히 대기오염이 심한 도로변, 공단 주변과 도심지의 주택가, 아파트 등을 구역별로 조사하여 식물성장과 분포 현황을 분석하였다.

또한 대전시의 대기질의 종류와 식생분포도와의 상관관계를 알아보기 위해 토지이용형태와 대기오염 물질의 분포의 상관성에 대해 알아보고, 대전시의 식생분포 현황을 살펴보았다. 더불어 발생하는 대기오염물질에 대한 저항성을 가진 식물 수종과, 대기환경을 정화시킬 수 있는 식생에 대해 논하였다.



<그림 1-1> 연구과정

## 제 2 장

---

### 대기오염과 식생분포에 관한 이론적 검토

---

제1절 대기오염에 관한 이론적 검토

제2절 식물성장과 대기오염의 프로세스

---

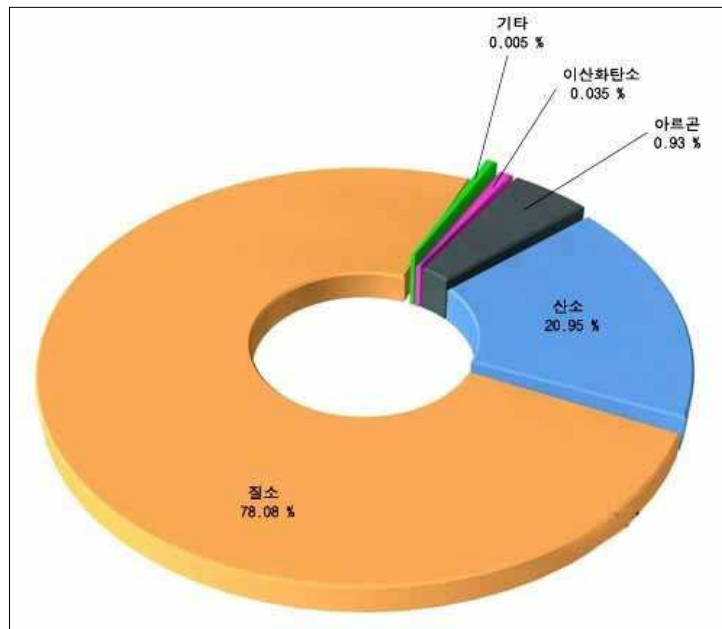
## 제2장 대기오염과 식생분포에 관한 이론적 검토

### 제1절 대기오염 관한 이론적 검토

#### 1. 대기오염특성

##### 1) 대기의 성상

지구는 기체로 둘러싸여 있으며, 이 기체는 거의 같은 높이의 기층으로 되어 있어 대기권(大氣圈) 또는 기권(氣圈)이라고 한다. 대기권을 구성하고 있는 기체를 총괄하여 대기라고도 한다. 대기는 여러 가지 기체의 혼합물이다. 대기의 하층에서는 공기의 운동에 의하여 상하의 공기가 잘 혼합이 되므로 상당한 높이까지 조성비(組成比)가 일정하다.



<그림 2-1> 대기의 구성성분

지표 부근에서 수증기를 제외한 건조공기의 성분은 그 부피백분율로 따져서 약 78%가 질소 N<sub>2</sub>, 약 21%가 산소 O<sub>2</sub>, 0.93%가 아르곤, 0.035%가 이산화탄소, 그 나머지는 미량의 네온·헬륨·크립톤·제논·오존 등으로 되어 있다.

부피백분율은 장소에 따라 변하는 값이다. 예를 들면, 이산화탄소는 식물의 호흡 작용에 의해 소비되나, 동물의 호흡으로 배출되기도 하고, 연소나 화학작용에 의해 생성되기도 하므로 그 양은 장소와 계절에 따라서 변한다. 공업의 발달로 대기 중의 이산화탄소는 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있다.

특히 오존은 지상에서 20~50km 높이에 다량 분포되어 있으며, 공기 전체 부피에 비해 이산화탄소와 오존은 비록 적은 양이지만 기상에 미치는 영향은 크다. 여러 고도에서 공기의 시료(試料)를 채취하여 분석한 결과 이산화탄소와 오존을 제외하고 대략 80km 까지는 조성의 기체가 일정하게 분포되어 있음이 밝혀졌다.

아주 높은 상공에서는 공기의 상하운동이 거의 없어서 혼합작용이 감소되므로 공기 분자 자체의 분자운동으로, 성분기체 중 무거운 기체는 아래쪽으로, 가벼운 기체는 위쪽으로 확산 분리하게 된다. 인공위성 관측에 의하면 대기는 지상 120km 층까지 주로 질소와 산소로 되어 있고, 120~1,000km 층은 산소 원자로, 1,000~2,000km 층은 헬륨으로, 그 이상 1만km까지는 수소로 되어 있어 조성별로 성층(成層)을 이루고 있다.

## 2) 대기오염의 정의<sup>1)</sup>

근본적으로 대기오염이란 공기 중에 외부 물질의 존재를 의미한다. 대기오염문제는 이러한 외부물질의 농도가 인간의 복지를 방해할 때 일어나며, 세계보건기구(WHO)에 따르면 「대기오염이란 인공적으로 배출되어 대기 중에 있는 오염물의 양, 농도, 및 지속시간의 과잉으로 특정지역의 다수에게 불쾌감을 주는 상태, 혹은 공중위생상 인간, 동·식물 및 재산에 유해하고 쾌적한 생활을 방해하는 상태」라 정의하고 있다.<sup>2)</sup> 또한 Engineers Joint Council는 「대기오염이란 먼지, 훈연, 가

1) 신용섭 외(2004) 새로운 환경공학개론.

2) 서광석(2001) 대기오염개론.

스, 연무, 악취, 연기 또는 수증기 등과 같은 오염물질이 한가지 또는 그 이상으로 실외대기에 존재하면서 그 양, 특성 및 지속성이 인간이나 동·식물의 생활과 재산에 해를 끼치거나 생활과 재산의 편안한 향유를 부당하게 방해하는 상태」라고 정의되어 있다.<sup>3)</sup> 따라서 대기오염이란 ‘오염되지 않은 공기에 이물질이 혼입되어, 그 결과로서 인간에게 직·간접적으로 피해를 유발하는 상태’로 정의해 볼 수 있다.

**<표 2-1> 오염되지 않은 대류권 공기의 가스상 조성**

종류	ppm(vol)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
질소	780,000	$8.95 \times 10^8$
산소	209,400	$2.74 \times 10^8$
수분	—	—
아르곤	9,300	$1.52 \times 10^7$
이산화탄소	315	$5.67 \times 10^5$
네온	18	$1.49 \times 10^4$
헬륨	5.2	$8.50 \times 10^2$
메탄	1.0-1.2	$6.56-7.87 \times 10^2$
크립톤	1.0	$3.43 \times 10^3$
질소산화물	0.5	$9.00 \times 10^2$
수소	0.5	$4.13 \times 10^1$
크세논	0.08	$4.29 \times 10^2$
유기성 증기	ca 0.02	—

대기오염을 규정하는 또 다른 방법은 “오염되지 않는” 혹은 “정상적인” 건조 공기의 조성을 먼저 규정하고 이와 같은 조성에서 더 많은 양으로 존재하면서 인간, 동물, 식물, 혹은 물질에 해를 주는 조성 물질 혹은 대기조성과 다른 물질들을 대기오염물질로 분리하는 것이다. <표 2-1>은 오염되지 않은 대류권 공기의 가스상 조성을 보여준다.

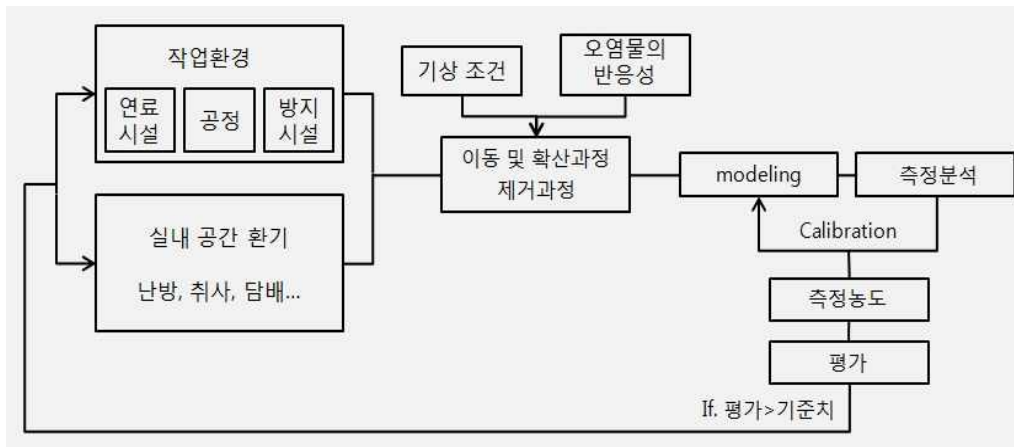
오염되지 않는 공기란 인간이나 그들의 활동이 지구상에 존재하지 않는다고 가정할 때의 공기의 조성을 의미한다. 오염되지 않은 공기의 정확한 조성을 아는 것

3) 김태선(2003) 도시주거지역 완충녹지의 대기오염 저감효과

은 인간이 대기의 조성을 결정할 수 있는 도구와 의지를 가지게 된 시점이 이미 수 천년동안 대기를 오염시켜 온 시점이기 때문에 불가능하다고 할 수 있다. 바다, 극 지역, 사막, 혹은 산과 같은 가장 고립된 지역에서의 공기도 정확하게 표현하면 희석된 오염공기라고 할 수 있다.

### 3) 대기오염의 분야 구분

환경공학분야에서 다루고 있는 대기오염제어 및 관리체계도를 <그림 2-2>에 개략적으로 도시하였다. 환경공학에서 취급하고 있는 대기오염의 영역은 오염된 장소에 따라 크게 실내대기오염과 옥외 대기오염으로 구분될 수 있다.



<그림 2-2> 대기오염제어 및 관리체계도

먼저 실내대기오염은 실내공간의 활용목적에 따라서 생산 공장 내의 작업대기 환경과 지하공간 사무실 등의 생활실내 대기환경으로 세분될 수 있다. 실내공간에서 적절한 수준의 대기질을 유지 관리하거나, 옥외대기로 배출되는 배기가스의 농도를 적정수준이하로 낮추기 위하여 환기시설이나 방지시설 등을 가동하고 있다. 환기시설은 송풍기의 사용유무에 따라 강제환기 및 자연환기 시설로 구분되는데, 전자의 경우 보통 방지시설을 포함하고 있는 것이 일반적이다.



방지시설은 대기오염물질 배출시설로부터 배출되는 오염물질이 배출허용기준 이하로 배출되기 위해 설치되는 시설로 제어대상 오염물질의 물리적 성상에 따라서, 입자상오염물질 및 가스상 오염물질 방지시설로 구분 될 수 있다.

실내공간의 각종 배출원에서 방출되는 대기오염물질은 작업자 보호의 관점에서, 실내공간의 대기질을 규제하는 산업안전보건법(노동부)에 적용받는 동시 배출구(연돌)를 통해 옥외대기로 방출되는 때는 배출허용기준(환경부)에 의해서도 규제를 받게 된다. 배출구를 통해 옥외 공기중 배출된 대기오염물질은 기상조건과 오염물질의 성상(크기, 밀도, 반응성 등)에 따라 대기 중에서의 이동·확산 및 제거과정을 거친 뒤 최종적으로 피해지점에서의 특정농도를 형성하게 된다.

이때 피해지점에서 형성된 농도를 파악하기 위하여 직접 시료를 채취분석하거나, 대기모형을 이용하여 농도를 산정해 내게 된다. 이렇게 산정된 농도자료를 평가한 후, 그 결과가 평가기준치(옥외 대기 환경기준치 등)의 초과여부에 따라 적절한 추후조치를 취하게 된다.

이와 같이 대기오염의 영역은 배출원에서 배출된 오염물질이 최종적으로 피해지점에 도달되어 형성된 농도에 대한 평가과정을 포함하고 있는 것과 같이 범위가 넓다. 대기오염의 각 과정을 정확히 이해되어야만 효과적인 대기질 관리가 용이해질 수 있다.

#### 4) 대기오염물질 배출원

대기오염물질 배출원은 인간의 활동과 관계없이 오염물질을 발생시키는 자연적 배출원(natural sources)과 이에 반하는 인위적 배출원으로 크게 나눌 수 있다. 주요한 자연적 배출원과 인위적 배출원의 예를 들면 <표 2-2>로 분류 할 수 있으며, 업종별 대기오염물질 배출원은 <표 2-3>과 같다.

<표 2-2> 대기오염 배출원 유형 및 특징

유형	배출인자	특징
자연적 배출원	화산폭발	입자상물질, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, 메탄가스 등이 발생. 영향을 광범위하게 미침.
	산불	다량의 연기, 불연소 탄화수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물 및 재 등이 발생. 가시도 및 태양광선의 감쇠현상 초래.
	먼지폭풍	다량의 입자상 물질 발생. 가시도 악화현상 초래.
	해양	해양입자 형태로 입자상물질 배출. 금속과 페인트 부식 유발.
	식물	주요탄화수소 배출원. 숲 상공에 나타나는 푸른색의 박무는 나무에서 배출되는 휘발성 유기화합물이 대기 반응을 통하여 형성되는 것으로 알려져 있다.
인위적 배출원	점 오염원 (point source)	발전소, 도시폐기물 소각로, 대규모공장과 같이 하나의 시설이 다량의 오염물질을 배출하는 것. 높은 굴뚝에서 배출되는 것이기 때문에 그 영향범위가 넓다.
	선 오염원 ((line source)	대표적인 것은 자동차로서 이는 도로를 중심으로 오염물질을 발생시켜 도로주변에 대기오염문제를 일으키게 하는 것. 배출구가 낮아 대기확산이 잘 이루어지지 않기 때문에 지표면에 보다 직접적인 영향을 미치는 특성.
	면 오염원 (area source)	주택과 같이 일정 지역 내에 소규모 발생원이 다수 모여 오염물질을 발생함으로써 해당 지역내에 오염문제를 발생시키는 것. 배출구가 낮아 대기확산이 잘 이루어지지 않기 때문에 지표면에 보다 직접적인 영향을 미치는 특성.



## 5) 대기오염물질의 측정 및 단위

대기오염물질로 오염된 공기에는 순수한 공기성분, 수분 및 다양한 대기오염물질로 혼합되어 있다.

이렇게 오염된 공기 중 특정 오염물질의 농도를 분석하기 위해서는 먼저 대표성과 신뢰성을 가질 수 있는 적절한 시료채취위치와 채취점을 선정할 후, 특정오염물질만을 선택 분리할 수 있는 방법을 통해, 시료를 채취한 후, 적절한 전처리와 분석방법을 통하여 측정해 내어야 한다.

일반적으로 대기오염물질의 측정 및 분석은 크게 연도를 통하여 대기 중으로 배출되는 물질에 대해 농도를 측정하는 배출허용기준시험과 일반 대기환경중의 대기오염물질 농도를 측정하는 환경기준 시험방법으로 구분되어 있다.

### (1) 시료채취위치

이론적으로 될 수 있으면 시료채취지점수를 많이 선정하여 분석된 농도자료는 대표성과 신뢰성을 높게 유지할 수 있을 것이다.

그러나 시간과 경비의 제약으로 인해 시료채취지점수를 무한정 선정할 수 없기 때문에, 가능한 농도자료의 신뢰성과 대표성이 확보될 수 있는 시료채취위치를 적절히 선정함으로써 이와 같은 문제를 완화할 수 있다.

현행 우리나라의 공정공해시험법에서는 위와 같은 문제를 고려하여, 배출허용기준 및 환경기준시험을 위한 시료채취위치 선정 등에 대해 다음과 같이 규정해 놓고 있다.

### ■ 시료 채취 위치 선정

#### ① 배출허용기준 시험을 위한 채취위치 선정

가스상물질의 경우 원칙적으로 가스의 흐름이 안정되어 균일한 농도의 시료를 채취할 수 있다고 판단되는 지점을 선정하도록 규정되어 있다.

입자상물질의 경우, 수직굴뚝 하부 끝단으로부터 위를 향하여 그 곳의 굴뚝

내경이 8배 이상이 되고, 상부 끝단으로부터 아래를 향하여 그 곳의 내경이 2배 이상이 되는 지점에 측정공 위치를 선정하는 것을 원칙으로 한다. 또한 위의 기준에 적합한 측정공 설치가 곤란하거나 측정작업의 불편, 측정자의 안정성 등이 문제될 때에는 하부 내경이 2배 이상과 상부 내경의 1/2배 이상되는 지점에 측정공 위치를 선정할 수 있다.

② 환경기준 시험을 위한 채취위치 선정

시료채취위치는 그 지역의 주위환경 및 기상조건을 고려하여 다음과 같이 선정한다.

- ㉠ 시료채취위치는 원칙적으로 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 없고, 그 지역의 오염도를 대표할 수 있다고 생각되는 곳을 선정한다.
- ㉡ 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 있을 경우에는 채취위치로부터 장애물까지의 거리가 그 장애물 높이의 2배 이상 또는 채취점과 장애물 상단을 연결하는 직선이 수평선과 이루는 각도가 30°이하 되는 곳을 선정한다.
- ㉢ 주위에 건물 등이 밀집되거나 접근되어 있을 경우에는 건물 바깥벽으로부터 적어도 1.5 m 이상 떨어진 곳에 채취점을 선정한다.
- ㉣ 시료채취의 높이는 그 분근의 평균오염도를 나타낼 수 있는 곳으로 가스상 물질은 1.5~10 m, 입자상 물질은 3.0~10 m로 한다.

**(2) 측정 분석**

대기분야의 측정분석은 시료채취위치에서 바로 자동분석기를 이용하여 농도를 분석해 내는 경우와 일단 채취된 시료를 실험실이나 자동분석기가 있는 곳으로 이동시켜 농도를 분석하는 경우로 농도를 분류할 수 있다.

오존농도분석과 같이 시료의 변질이 우려되는 경우 그 오차를 줄이기 위해서 현장에서 바로 측정하는 방식이 권장되지만 일반적으로 자동측정장치의 구입이 고가이기 때문에 현실적으로 적용하기에는 한계가 있다.

화학적 방법에 의해 농도를 산정해내는 경우와 분석기기를 사용하여 농도를 정

량해내는 방법으로 분류할 수 있다. 이렇게 측정된 대기오염물질은 그 물리적 형태에 따라 먼지와 같은 입자상 물질은 공기단위부피( $m^3$ )당의 오염물질의 질량( $\mu g$ )으로 표시하며, 황산화물, 질소산화물과 같은 가스상물질은 공기단위부피당( $m^3$ ) 포함되어 있는 가스상물질의 부피(ml)로 표시하는 것이 일반적이다. 특히 그 단위가  $\frac{ml}{m^3}$  일 경우, ppm단위로 나타내기도 한다.

그러나 먼지농도의 경우 시료채취시의 온도와 압력에 불편을 해소시키기위해 표준상태( $0^\circ C$ , 1atm) 혹은 특정의 온도, 압력( $20^\circ C$ , 1atm)상태로 보정하여 그 농도를 나타내고 있다. 보통 가스상 물질의 경우 특정 가스상 물질만을 선택적으로 흡수하는 흡수액을 통과시켜 오염된 공기 속에 들어있던 특정가스상 물질이 흡수액에 모두 흡수되었다고 가정하여, 그 흡수액 속에 들어있는 특정 가스상물질의 양을 실험적으로 산정한 뒤 이 양을 시료채취를 위해 통과된 총 공기량과 연결시켜 농도를 산정하는 방식을 사용하고 있다.

이에 반해 먼지농도는 오염된 공기중에 포함되어 있는 먼지성분만을 분리 포집하기 위하여 보통 필터방식을 사용하는데, 시료채취 전후의 필터무게차이와 시료채취시 통과된 공기량을 측정하여 먼지농도를 산정하게 된다.

## 2. 대기오염물질의 종류와 영향

대기오염물질이란 자연상태 대기 중에 존재하지 않는 물질이거나, 본래 대기의 구성성분일지라도 농도가 평균농도 이상으로 증가하여 인간과 자연환경에 악영향을 미치는 물질을 말한다.

대기오염물질은 화산활동과 같은 자연현상에 의하여 배출될 수도 있고, 인간의 활동에 의하여 배출될 수도 있다. 여기서는 자연적인 배출원에서 배출되는 대기오염물질들은 제외하고 인위적인 배출원에서 배출되는 대기오염물질들에 대해서 설명하였다.

<표 2-4> 지표면의 맑고 건조한 대기의 조성

성분	농도(ppmv)	농도(v%)
질소(N <sub>2</sub> )	280,000	78.09
산소(O <sub>2</sub> )	209,500	20.95
알곤(Ar)	9,300	0.93
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	320	0.032
네온(Ne)	18	0.0018
헬륨(He)	5.2	0.00052
메탄(CH <sub>4</sub> )	1.5	0.00015
크립톤(Kr)	1.0	0.0001
수소(H <sub>2</sub> )	0.5	0.00005
일산화이질소(N <sub>2</sub> O)	0.2	0.00002
일산화탄소(CO)	0.1	0.00001
크세논(Xe)	0.08	0.000008
오존(O <sub>3</sub> )	0.02	0.000002
암모니아(NH <sub>3</sub> )	0.006	0.0000006
이산화질소(NO <sub>2</sub> )	0.001	0.0000001
일산화질소(NO)	0.0006	0.00000006
이산화황(SO <sub>2</sub> )	0.0002	0.00000002
황화수소(H <sub>2</sub> S)	0.0002	0.00000002

대기오염물질의 생성기구에 따라 배출원으로부터 배출된 형태 그대로인 1차오염물질(primary pollutants)과 1차오염물질이 대기 중에서 1차오염물질간 화학반응 혹은 1차오염물질과 대기 중의 정상성분과 화학반응을 통하여 생성된 2차오염물질(secondary pollutants)로 분류될 수 있다. 그러나 일반적으로 사용되는 대기오염물질의 분류는 대기오염물질의 물리적인 성상에 따른 분류로써, 물리적 상태가 가스인 물질들은 가스상 대기오염물질 그리고 물리적 상태가 고체상인 물질들은 입자상 대기오염물질로 분류된다.

### 1) 입자상 대기오염물질

대기오염물질 중 입자상 대기오염물질이 차지하는 비율은 약 9% 정도이다. 대기 중 입자상물질의 입경 범위는 0.001 $\mu\text{m}$ ~500 $\mu\text{m}$  정도이나, 0.1 $\mu\text{m}$ ~10 $\mu\text{m}$  범위의 입경을 갖는 입자상물질이 대부분이며 입자상 대기오염물질은 적은 양에 비하여 환경에 미치는 피해는 심각하다.

입자상 대기오염물질은 대기 중에서 입자상물질 자신의 무게에 의하여 대체로 침강분리되는 강하분진과 무게가 가벼워서 침강분리가 잘되지 않는 부유분진으로 크게 나눌 수 있으며, 입자상 대기오염물질의 종류는 다음 <표 2-4>와 같다.

입자상 대기오염물질의 고정발생원은 분진의 고정 발생원인 일반가정, 상가, 공장 그리고 발전소이며, 주요 고정 발생원은 화석연료(석탄)를 사용하는 화력 발전소이다. 분진의 발생공정은 여러 가지가 있으나 가장 중요한 발생공정은 화석연료의 연소공정이다. 자동차와 같은 이동배출원에서 발생하는 입자상 대기오염물질은 연료의 불완전연소에 의한 탄소, 탄화수소, 그리고 연료첨가제 중에 포함된 금속에 의한 금속성재 등이 있다.

입자상 대기오염물질은 대류권내의 대기 중에 부유하면서 가시도에 영향을 미치며, 특히 입경 0.1 $\mu\text{m}$ ~1 $\mu\text{m}$ 정도의 입자들이 시야에 방해를 준다. 일반적으로 입자상 대기오염물질은 고도 2km이하의 대기 중에 존재하면서 햇빛을 산란하여 입경에 따라 다양한 광학적 효과를 나타낸다. 그러나 대규모 화산 폭발의 경우와 같이 입



자상 대기오염물질들이 성층권까지 상승하게 되면, 지구로 입사되는 태양빛을 차단하여 지구의 평균기온을 낮출 수도 있다.

이와 같이 입자상 대기오염물질이 대기권 내에 존재하는 위치에 따라, 단순한 광학적 효과를 유발할 뿐만 아니라 지구의 기후에도 영향을 미칠 수 있다. 또한, 입자상 대기오염물질은 입자 표면에 가스상 오염물질 혹은 중금속 등을 부착하고 있는 경우가 대부분이기 때문에 인체와 생물체에 많은 악영향을 미칠 수 있다. 인체에 호흡을 통하여 입자상 대기오염물질이 침투하는 경우 입경이 10 $\mu$ m 보다 큰 입자들은 호흡기에서 효과적으로 제거되나, 약 0.5~10 $\mu$ m 사이의 입자들은 폐에까지 도달하여 침전될 수 있다.

**<표 2-5> 입자상 대기오염물질의 정의와 특징**

명 칭	정 의 및 특 성
분진 (particulate matter)	대기 중 입자상 물질들의 총칭.
재 (fly ash)	연소시 발생한 미세한 회재입자. 불완전 연소한 연료를 포함하기도 함.
검댕 (soot)	타아르에 젖은 탄소입자가 뭉친 것.
에어로졸 (aerosol)	대기 중 고체 혹은 액체 입자가 부유하고 있는 일종의 콜로이드.
먼지 (dust)	파쇄, 연마, 폭발등과 같은 물리적 작용으로 형성된 고체입자. 모체의 성질을 갖고 있으며, 체분리 가능 함.
안개 (fog, mist)	증기가 응축되거나 액체가 분리되어 생성된 액적. 100 $\mu$ m 보다 큰 입자는 빗방울 형성.
훈연 (fume)	연소, 승화 또는 증류와 같은 화학적 반응에 의해 생긴 고체 입자. 1 $\mu$ m 보다 작은 입자로 체분리 불가능 함.
연기, 매연 (smoke)	연소와 같은 일종의 산화과정에서 생긴 입자. 광학적인 밀도가 전제됨.
연무 (haze)	대기 중 약간의 수증기를 가진 입자가 주변의 입자와 합쳐진 것.
스모그 (smog)	연기와 안개가 결합된 형태로서 광화학적 반응 생성물과 수증기가 결합되어 자극성의 에어로졸을 형성함.

특히, 2 ~ 4 $\mu$ m 정도의 입자들이 폐내에 가장 잘 침전되며, 이러한 입자들은 표면에 여러 가지 독성물질들을 부착하여 인체 내로 운반하는 역할을 하게 된다.

따라서 10 $\mu$ m 보다 작은 입자상 대기오염물질들이 인체에 대한 영향이 크며, 우리나라에서는 1995년 1월 1일부터 PM-10 대기기준이 입법화되어 10 $\mu$ m 보다 작은 입자들의 대기 중 농도를 별도로 측정하여 관리하고 있다. 황산화물과 연관되어 입자상 대기오염물질의 대기 중 농도가 증가하게 되면, 윗쪽 호흡기 감염이나, 심장병, 기관지염, 천식과 폐렴 등을 유발하고 독성을 가진 중금속 fume 등은 인체나 동물에 치명적인 피해를 줄 수 있다.

## 2) 가스상 대기오염물질

가스상 대기오염물질에는 황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 탄화수소(HC), 할로겐화합물, 일산화탄소(CO), oxidant, 그리고 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등이 있으며, 우리나라에서는 총 16개 항목으로 분류하여 규정하고 있다. 이들 중 중요한 가스상 대기오염물질은 황산화물과 질소산화물이며, 대부분의 가스상 대기오염물질들은 화석연료의 연소과정에서 주로 발생된다. 여기서는 몇 가지 중요한 가스상 대기오염물질들을 설명하였다.

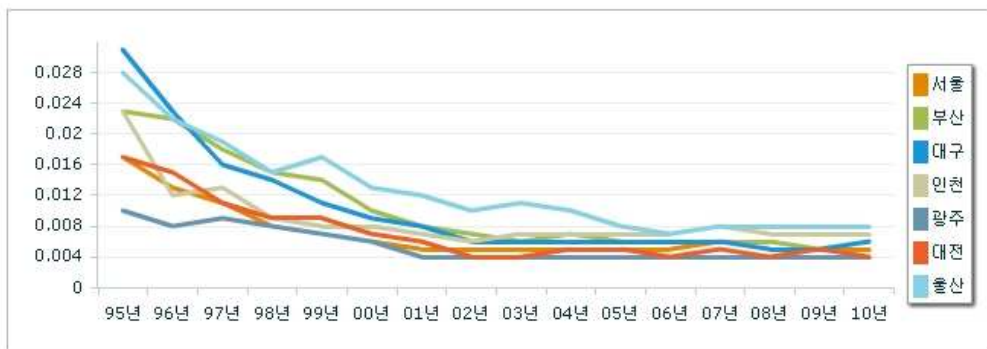
### ● 황산화물(SO<sub>x</sub>)

일반적으로 배출되는 황화합물의 종류는 다음 <표 2-6>와 같다. 여러 가지 황화합물 중 황산화물이 가장 중요한 가스상 대기오염물질이며, 주로 화석연료의 연소과정에서 발생된다. 화석연료의 연소과정에서 발생하는 황산화물은 연료중에 포함된 유기황과 무기황 중의 일부가 연소되어 발생되며, 아황산가스(SO<sub>2</sub>)의 발생량이 거의 대부분을 차지한다.

<표 2-6> 황화합물의 종류와 배출원 및 배출공정

종류	주요 배출원 및 배출공정
황산화물 (SO, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> 등 )	연료의 연소, 황산제조, 비철금속 정련, 용광로, 화산
H <sub>2</sub> S	석유정제, 연료의 연소, 화산
황산염 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , MgSO <sub>4</sub> 등)	연료의 연소, 바다 소금물에 의한 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 의 방출

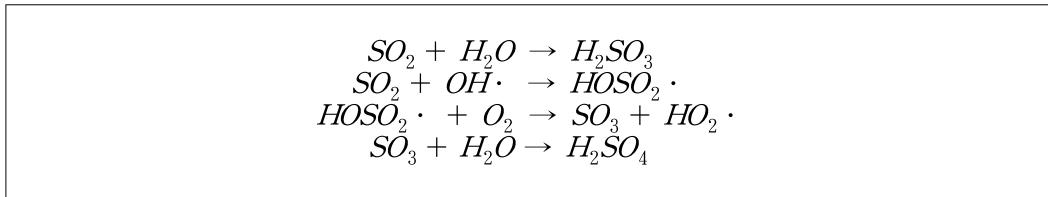
아황산가스는 무색의 자극성 기체로 환원성이 있으며, 수분이 있으면 아황산으로 각종 색소를 표백한다. 물에 잘 녹는 무색의 자극적인 냄새가 나는 불연성 가스이다. 천연으로는 화산, 온천 등에 존재하며 황화수소와 반응하여 황을 생성한다. 황을 함유하는 석탄, 석유 등의 화석연료가 연소될 때 인위적으로 배출되며, 주요 배출원은 발전소, 난방장치, 금속 제련공장, 정유공장 및 기타 산업공정 등에서 발생한다. 고농도의 아황산가스는 옥외 활동이 많고 천식에 걸린 어른과 어린이에게 일시적으로 호흡장애를 일으킬 수 있으며, 고농도에 폭로될 경우 호흡기계 질환을 일으키고 심장혈관 질환을 악화시키는 것으로 알려져 있다.



<그림 2-3> 지역에 따라 발생하는 연도별 아황산가스 배출량

질소산화물과 함께 산성비의 주요원인 물질로 토양 등의 산성화에 영향을 미치고 바람에 의해 장거리 수송되어 다른 지역에 영향을 주며 식물의 잎맥손상 등을 일으키고 시정장애를 일으키며 각종 구조물의 부식을 촉진시킨다.

또한, 대기 중에서 광화학반응이나 촉매반응에 의하여 다른 대기오염물질과 반응하고 2차 오염물질을 형성하는 특징이 있다. 대기 중에서 수분과 반응하여 황산을 생성하고 산성비의 원인이 되기도 한다.



사람이나 동물이 아황산가스에 노출되면 기관지 수축현상이 일어난다. 일반적인 경우 아황산가스 농도가 5 ppm이상이 되면 인체에 반응이 나타나지만 민감한 사람은 1 ~ 2 ppm에서도 가벼운 반응을 보인다. 동일한 아황산가스 농도에서도 습도가 낮은 경우에는 피해가 적지만 미립자 혹은 황산 등 흡입성 물질이 혼합되어 있는 경우에는 피해가 증가한다.

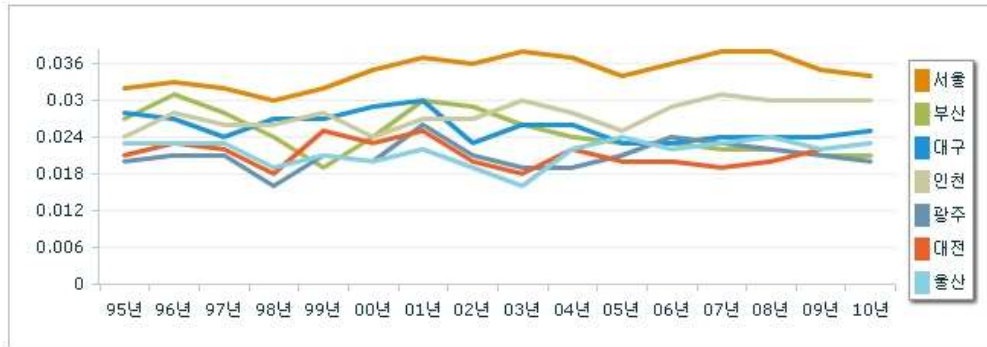
식물의 경우 잎의 하부 기공으로 침투한 아황산가스는 해면조직과 색소조직을 파괴한다. 따라서 광택이 없고 건조한 잎의 주변과 잎맥에 반점이 형성되고 이로 인해 잎의 수분이 상실되고 건조되어 황갈색 혹은 상아색으로 퇴색하여 죽게 된다.

● 질소산화물(NOx)

가스상 대기오염물질 중 질소산화물에는 N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>등이 있다. 이러한 질소산화물 중에서 NO, NO<sub>2</sub>가 가장 중요한 질소산화물이며, 일반적으로 질소산화물(NOx)이라고 하면 이들 두 물질을 말한다.

이산화질소는 적갈색의 반응성이 큰 기체로서, 대기 중에서 일산화질소의 산화에 의해서 발생하며, 대기 중에서 휘발성유기화합물과 반응하여 오존을 생성하는

전구물질(precursor)의 역할을 한다. 주요 배출원은 자동차와 파워 플랜트와 같은 고온 연소공정과 화학물질 제조공정 등이 있다.



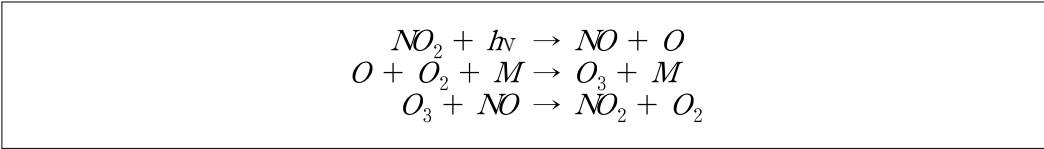
<그림 2-4> 지역에 따라 발생하는 연도별 이산화질소 배출량

자연상태에서 상당량의 질소산화물이 생물학적으로 발생되나, 배출농도가 적고 주변지역으로 거의 확산되지 않으므로 자연적인 발생원에 의한 환경오염은 무시한다. 인위적으로 발생하는 질소산화물은 화석연료의 연소과정에서 주로 발생된다.

질소산화물은 질소원의 종류에 따라 대개 fuel NO<sub>x</sub>와 thermal NO<sub>x</sub>로 분류된다. Fuel NO<sub>x</sub>는 연료 중에 포함된 질소가 산화분위기내에서 질소산화물로 전환된 것을 말한다. 그러나 황산화물과는 달리 fuel NO<sub>x</sub>는 연료 중에 포함된 질소가 모두 질소산화물로 전환되지는 않으며, 경우에 따라 다르지만 연료에 포함된 유기질소의 최대 약 60%정도만이 질소산화물로 전환되는 것으로 알려져 있다. 반면에 thermal NO<sub>x</sub>는 연료를 연소시키기 위하여 공급된 공기 중의 질소가 1000°C이상의 고온산화분위기에서 산소와 결합하여 생성된 것이다. 화석연료의 연소과정에서 배출되는 질소산화물은 대부분이 thermal NO<sub>x</sub>에 해당되며, NO<sub>2</sub>보다 NO의 배출량이 월등히 많다. Thermal NO<sub>x</sub>의 배출원으로는 화력발전소, 산업용 보일러 이외에도 내연기관을 사용하는 자동차와 선박 등 이동오염원도 중요한 배출원이다.

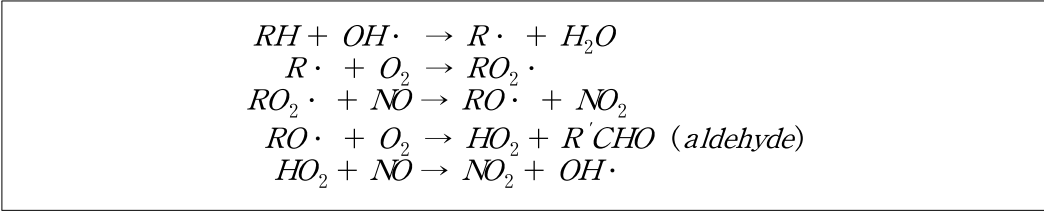
화석연료의 연소과정에서 질소산화물은 대기 중에서 여러 가지 2차오염물질을 형성하는 특징이 있으며, 중요한 2차 오염물질들은 질산, 오존과 광화학 스모그 등

을 들 수 있다. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 대기 중에서 수산화라디칼(OH)과 반응하여 질산(HNO<sub>3</sub>)을 생성하며, 이것은 산성비의 원인이 된다.



위와 같이 이산화질소가 광분해되는 순환과정에서 오존이 생성되게 된다. 성층권 내에 존재하는 오존은 인간에게 유익한 작용을 하지만, 지표면 근방에 존재하는 오존은 강력한 산화제로써 인체와 생태계에 악영향을 미친다.

질소산화물이 대기 중에서 탄화수소화합물과 공존하는 경우에는 다음과 같은 광화학반응에 의하여 광화학 스모그를 형성한다.



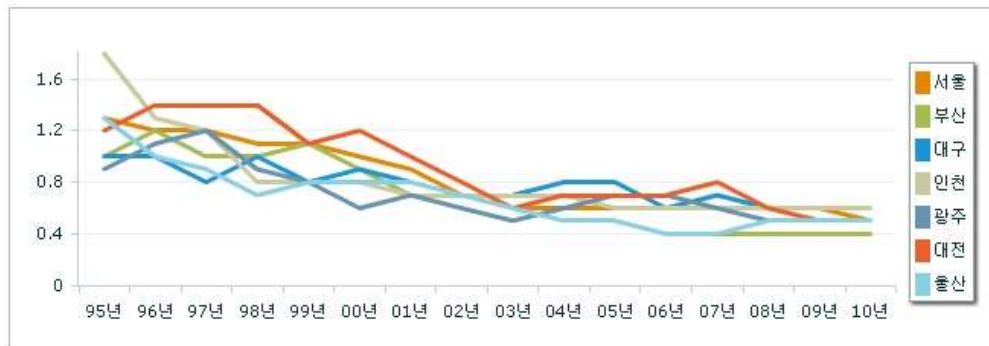
이와 같이 생성된 광화학 스모그는 기도축소, 눈, 코와 목구멍 등을 자극하고 많은 호흡성 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다. 일산화질소(NO)는 무색의 기체로 인체와 생물체에 대한 영향이 그다지 크지 않고 이산화질소는 적갈색 스모그를 유발하며, 0.2~0.6 ppm 정도에서도 면과 나일론 섬유를 탈색시킨다. 식물의 경우에는 이산화질소의 농도가 25 ppm을 초과하면 식물세포를 파괴하여 꽃식물의 잎에 갈색이나 흑갈색의 반점이 생기게 한다.

인체에 대하여 급성 혹은 만성피해를 유발하며 급성의 경우 코를 강하게 자극하고 폐충혈, 폐수종, 기관지염과 폐렴을 유발시켜 결국 사망에 이르게 한다. 1~3 ppm 정도의 농도에서 냄새를 느낄 수 있으며 500 ppm에서는 즉시 폐수종을 유발하고 1일 이내에 사망한다. 만성적인 피해의 경우 10~40 ppm 정도의 농도에 장기간

노출된 사람은 만성 폐섬유화 및 폐수종을 일으킨다고 보고되어 있다.

● 일산화탄소(CO)

일산화탄소는 무색, 무미 그리고 무취의 가스로 화석연료의 연소시 탄소가 산소가 부족한 상태에서 불완전 연소하였을 때 발생된다. 특별한 경우 고온에서 이산화탄소와 탄소와 함께 분해되어 일산화탄소를 생성하는 경우도 있다. 화석연료의 연소 시 연료와 연소장치의 종류, 연소장치의 조업상태 즉, 연소온도, 체류시간, 공기비 등에 따라 일산화탄소의 발생량은 크게 다르다. 화력발전소는 화석연료를 대량 소모하기 때문에 대기오염물질의 중요한 고정발생원이지만, 화력발전소의 연소관리가 매우 철저하기 때문에 일산화탄소의 배출량은 다른 오염원에 비하여 상대적으로 적다. 오히려, 주택난방과 교통기관에서 발생하는 일산화탄소의 배출량이 거의 대부분을 차지한다.



<그림 2-5> 지역에 따라 발생하는 연도별 일산화탄소 배출량

일산화탄소는 공업적으로 매우 용도가 많은 가스로서 일산화탄소의 강한 환원력을 이용하여 금속산화물을 환원시키는데 주로 사용된다. 이외에도 일산화탄소를 원료 물질로 하여 메탄올, 시안화물, 알데히드, 케톤 그리고 금속탄화물의 생산에 이용되기도 한다. 도시 대기 중의 일산화탄소 농도수준에서는 일산화탄소가 물질이나 식물에 뚜렷한 피해를 미치지 않는지만 인체에는 좋지 않은 영향을 미친다. 일산화탄소는 산소보다 헤모글로빈에 대한 친화력이 200배 정도 더 커서 적은 양의 일산화탄소도 헤모글로빈과 결합하여 산소 운반 능력을 저하시킨다.

화탄소로도 인체 내 산소 운반량을 현저히 감소시킨다. 인체가 일산화탄소를 흡입하면 혈류 내 탄화헤모글로빈(CO<sub>2</sub>Hb)을 형성하여 혈류의 산소 운반량이 감소되며, 이로 인하여 뇌의 활동이 영향을 받고 심장박동이 빨라지는 산소결핍현상이 나타난다.

### ● 오존(O<sub>3</sub>)

오존은 성층권의 오존층 내에 존재하여 유해한 자외선을 차단하는 역할을 하지만, 지표면 근방의 대기 중에도 0.04 ~ 0.1 ppm의 낮은 농도로 존재한다. 대기 중에 배출된 NO<sub>x</sub>와 휘발성유기화합물 등이 자외선과 광화학 반응을 일으켜 생성된 PAN, 알데하이드, Acrolein 등의 광화학 옥시단트의 일종으로 2차오염물질로 생성되기도 한다. 오존의 전구물질인 휘발성유기화합물은 자동차, 화학공장, 정유공장과 같은 산업시설과 번개 등에 의한 자연적 생성 등 다양한 배출원에서 발생한다.

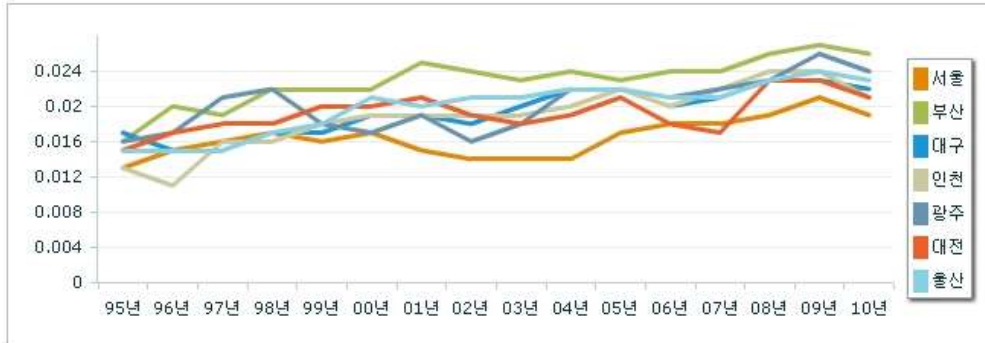
오존은 탄화수소화합물과 함께 광화학 스모그를 형성하여 인체에 피해를 주기도 하지만 자극성이 강하고 산화성이 큰 가스로서 오존 그 자체만으로도 인체와 생물체에 큰 피해를 준다. 특히 오존에 반복 노출 시 폐에 피해를 줄 수 있는데, 가슴의 통증, 기침, 메스꺼움, 목 자극, 소화 등에 영향을 미치며, 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고, 폐활량을 감소시킬 수 있다. 또한 기관지 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미치므로 주의해야 할 필요가 있다. 오존의 농도가 0.02~0.05 ppm정도이면 냄새를 감지할 수 있고 0.1 ppm에서 30분 이상 노출되면 두통을 일으킨다. 0.1~1.0 ppm 농도에서는 눈에 영향을 주어 시각장애를 일으키고 폐포내의 공기확산능력을 떨어뜨린다. 0.8~1.7 ppm정도에서는 폐충혈이 일어나고 9 ppm이 되면, 폐수종을 유발하게 된다. 만성 중독의 경우에는 기관지 천식 이외에 폐, 장 등을 악화시키고 체내 효소계를 교란시켜 DNA, RNA에 작용하여 유전인자에 변이를 초래할 수 있다.

식물의 경우 잎의 율타리세포를 파괴하여 얼룩모양의 반점을 만들고 심하면 해면상조직까지 파괴하여 잎을 백색 혹은 황갈색으로 탈색시킨다. 뿐만 아니라 농작물에 직접적으로 영향을 미쳐 수확량이 감소되기도 한다. 고무의 경우에는 고무표



면에 열화현상을 유발한다.

따라서 오존이 성층권에 존재하는 경우에는 인간과 생태계에 매우 유익하지만 지표면 근방에 존재하는 경우에는 심각한 피해를 줄 수도 있다.



<그림 2-6> 지역에 따라 발생하는 연도별 오존 배출량

### 3. 광역대기오염이 환경에 미치는 영향

#### 1) 광역대기오염의 정의

기체는 항상 그 기체를 담고 있는 용기를 가득 채우려는 성질이 있으며, 서로 다른 종류의 기체들은 특별히 혼합하지 않더라도 자발적으로 균일 농도로 혼합되려는 성질이 있다. 이러한 기체의 성질은 대기오염에 있어서 수질오염과는 구별될 수 있는 독특한 현상을 유발시킨다. 대기오염물질을 담는 그릇인 지표면상의 대기권은 수평적으로나 수직적으로 크기가 매우 크고 물리적인 경계가 없다.

따라서, 지표면상의 한 지점에서 배출된 대기오염물질은 기체의 일반적인 특성으로 인하여 배출된 지점 근방의 한정된 영역의 대기만을 오염시키는 것이 아니고 훨씬 더 넓은 영역, 궁극적으로는 지구 전체의 대기를 오염시킬 수 있다. 또한, 대기권내 여러 가지 기상현상으로 인하여 대기오염물질의 확산속도는 더욱 강화된다. 이와같이 대기권내에는 물리적인 경계가 없는 특성과 기체의 일반적 특성으로 인하여 발생하는 대기오염만의 독특한 현상이 광역대기오염이다.

광역대기오염이란 지표면상의 특정지점에서 배출된 대기오염물질이 해당지점의 대기만을 오염시키는 것이 아니고 장거리이동에 의하여 그 지점의 지역적, 국가적 경계를 벗어나 주변지역, 주변국가 더 나아가서 지구 전체의 대기를 오염시키고 피해를 주는 것을 말한다. 이러한 광역대기오염문제를 해결하기 위해서는 특정국가의 노력만으로는 해결하기 곤란하며, 국가 간의 이해가 상충되는 경우 인접지역 국가 간의 지역환경문제를 야기하고 경우에 따라서는 범지구적인 국제 혹은 지구환경문제를 야기한다.

#### 2) 광역대기오염의 분류와 영향

일반적으로 대기오염물질이 확산되는 동안 희석에 의하여 농도가 크게 저하되고, 일부는 자연적인 정화작용에 의하여 제거되기 때문에 지표면상의 특정지역에서 일차적으로 배출된 대기오염물질이 단기적으로 지구전체의 대기질을 위협하지는 못

한다. 그러나, 거대한 화산폭발이나, 거대한 운석의 충돌 등과 같이 단기간 동안 대량의 대기오염물질이 방출되거나, 이산화탄소의 방출과 같이 장기간 동안 대기오염물질이 방출되어서 지구전체의 물질순환에 영향을 미치는 경우에는 배출된 대기오염물질이 단기적으로 혹은 장기적으로 광역대기오염을 유발할 수 있다.

광역대기오염은 이산화탄소의 방출과 같이 장기간 동안 대기오염물질이 방출되어서 지구전체의 물질순환에 영향을 미치는 경우. 지역환경문제의 경우에는 해당지역의 국가간 공동노력에 의하여 해결될 수 있지만, 지구환경문제의 경우에는 지구상의 모든 국가가 협력하여야만 해결될 수 있다. 현재 일반적으로 논의되고 있는 광역대기오염문제를 분류하면 다음 <표 2-7>과 같다.

**<표 2-7> 광역대기오염의 분류**

광역대기오염문제	원인물질	생태계에 미치는 영향
산성비	황산화물(SO <sub>x</sub> ) 질소산화물(NO <sub>x</sub> )	하천, 호수, 산림, 토양의 산성화, 황폐화 인간과 동식물에 악영향
오존층 파괴	CFC, 할론 등	인간과 생물상 파괴 생태계 파괴
지구온난화	이산화탄소, 메탄 등	지구평균온도의 상승 해수면의 상승

**(1) 산성비<sup>4)</sup>**

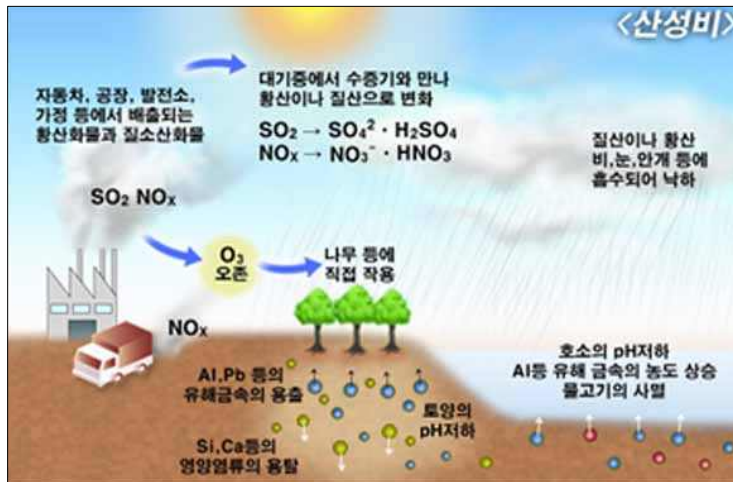
자동차의 질소산화물 및 공장이나 가정에서 사용하는 화석연료의 연소 시 발생하는 질소산화물 및 황산화물이 대기 중에 과도하게 분포하게 되면 비가 내릴 때 이러한 물질들이 섞여 산성이 pH 5.6 이하를 갖는 산성비가 내리게 된다. 산성비 내의 산성 성분에 의하여 금속이나 건축물이 부식되는 현상이 나타나며 이외에 하천이나 호수의 pH를 변화시켜 생태계의 안정성에 악영향을 미치게 된다. 또한 인

4) 두산백과사전(<http://terms.naver.com>)

간을 비롯한 동물의 피부를 자극하고 식물의 고사를 유발한다. 또한 산성비가 장기간 내리게 되면 토양이 산성화되어 식물이 자라지 못하게 된다. 대기오염은 한 국가 내에서만 발생하고 심화되는 것이 아니며 오염물질이 바람을 타고 근처의 다른 국가로 이동할 수 있으므로 주변국가에도 산성비가 내리게 된다.

① 산성비가 내리는 원인과 과정

산성비의 원인 물질로는 자동차에서 배출되는 질소산화물과 공장이나 발전소, 가정에서 사용하는 석탄, 석유 등의 연료가 연소되면서 나오는 황산화물이 있다. 이들이 대기 중에 축적되어 대기의 수증기와 만나면 황산이나 질산으로 바뀐다. 이러한 물질들은 강산성이므로 비의 pH를 낮추게 된다.



<그림 2-7> 산성비가 내리는 원인과 과정

② 산성비로 인한 피해

산성이 된 물은 여러 가지 경로를 통해 많은 생물에게 나쁜 영향을 미치는데 특히 산성에 약한 물고기 종류에서 그 영향이 제일 먼저 나타나 점차 다른 생물로 확산된다. 또한 땅에 산성 물질이 쌓이면 토양이 오염되어 그 땅에서 자라는 식물도 피해를 입는다. 이와 같은 산성우는 하천, 호수 등을 산성화시키며, 토양중의 영양염류를 용출시키고 토양을 산성화시켜 산림을 파괴하고 생태계에 큰 피해를 입

한다. 일반적으로 황산염과 질산염은 대기 저층 2km이내에서 이동하나, 경우에 따라 오염원으로부터 수백 km 떨어진 지점까지도 이동한다.

### ③ 산성비 저감

산성비는 화석연료의 연소에 의하여 발생된 황산화물과 질소산화물에 의하여 주로 생성되기 때문에 산성비를 저감하기 위해서는 황산화물과 질소산화물의 배출량을 줄이는 것이 가장 효과적인 방법이다. 이것을 달성하기 위한 방법으로는 연료의 사용량을 줄이는 방법 이외에 연료를 청정연료로 전환하는 방법, 연소장치와 연소 방법을 개선하는 방법 그리고 배기가스를 탈황시설과 탈질시설을 사용하여 처리하는 방법 등이 있다.

## (2) 오존층 파괴

지구 대기권의 성층권내 지표면으로부터 25~30km 영역에는 오존이 약 10ppm의 농도로 존재하는 오존층이 존재한다. 이러한 오존층은 태양으로부터 도달되는 자외선 중 인간에게 가장 해로운 파장 200~280nm의 자외선을 거의 전량 흡수하고 인간에게 덜 해로운 파장 280~320nm의 자외선을 70~90% 정도 흡수한다. 따라서 오존층은 지표면에 도달하는 해로운 자외선을 여과하고 대기과 지표면의 온도를 조절하는 기능을 하며, 생물체 생존에 결정적인 역할을 한다.

오존층 내에서 오존은 자외선에 영향을 받아 산소로 분해되는 분해반응과 오존의 생성반응이 동시에 진행되며, 오존의 분해반응과 생성반응의 반응평형은 성층권으로 유입되는 자외선의 양에 의하여 결정된다. 그러므로 오존층 내의 오존은 오존의 생성반응과 분해반응에 영향을 미치는 다른 가스가 존재하지 않고 자외선의 유입량이 일정할 때 평형농도로 일정한 값을 유지한다.

그러나 성층권의 오존층에는 여러 가지 종류의 가스가 존재하며, 오존의 분해반응에 촉매의 역할을 하는 가스가 존재하면 그 농도가 극미량일지라도 오존층의 오존농도는 크게 감소하게 된다. 이와 같이 오존층 파괴에 영향을 미치는 가스들을 <표 2-8>에 나타내었다.

이러한 미량가스들은 자신은 화학적으로 매우 안정하여 지표면으로부터 상승하여 파괴되지 않은 상태로 오존층내로 유입될 수 있으며, 오존층 내 오랜기간 잔류하면서 자외선의 영향을 받아 다른 물질들과 화학반응을 한다. 특히, 염화불화탄소(CFCs)는 자외선에 의해 분해되어 염소원자를 방출하며, 이 염소원자는 오존을 연속적으로 급격히 파괴한다.

**<표 2-8> 주요 오존층 파괴물질**

종류	구성성분	오존파괴 지수	용도	연간생산 량(톤)	대기권잔류 기간(연)
CFC-011	CFCl <sub>3</sub>	1.0	냉매, 에어로졸, 발포제	298,000	65-75
CFC-012	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0.9-1.0	냉매, 에어로졸, 발포제, 살균, 식품 냉동, 화장품	438,000	100-140
CFC-113	CCl <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	0.8-0.9	용제, 화장품	138,500	100-134
CFC-114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	0.7-1.0	냉매		300
CFC-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	0.4-0.6	냉매, 거품크림안정제		500
할론1301	CBrF <sub>3</sub>	10.0-13.2	소화제	2,600	110
할론1211	CClBrF <sub>2</sub>	2.2-3.0	소화제	2,600	15
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	0.05	냉매, 에어로졸, 발포제, 소화제	81,200	16-20
메틸클로로 포름	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	0.15	용제	499,500	5.5-10
사염화탄소	CCl <sub>4</sub>	1.2	용제	71,200	50-69

### (3) 지구온난화

온난화현상 자체는 과거에도 있었으나, 여기서는 주로 19세기 후반부터 관측되고 있는 온난화를 가리킨다. 이러한 현대 온난화의 원인은 온실가스의 증가에 있다고 보는 견해가 지배적이다. 산업발달에 따라 석유와 석탄 같은 화석연료를 사용하고 농업 발전을 통해 숲이 파괴되면서 온실효과의 영향이 더욱 커지고 있다. 현재 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)에서 인정한 견해는 19세기 후반 이후 지구의 연평균기온이 0.6℃ 정도 상승했다는 것이며, 20세기 전반까지는 자연 활동이 온난화를 유발했지만 20세기 후반부터는 인류의 활동이 온난화를 유발했다는 것이다.

### ① 온난화 현상의 경과

온난화는 1972년 로마클럽 보고서에서 처음 공식적으로 지적되었다. 이후 1985년 세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)이 이산화탄소가 온난화의 주범임을 공식으로 선언하였다. 1988년에는 IPCC가 구성되어 기후 변화에 관한 조사와 연구를 수행하고 있다. 1988년 미국항공우주국(NASA)에서 미국 의회에 지구온난화에 대한 발언을 한 것을 계기로 일반인에게도 널리 알려지게 되었다.

지구의 연평균 기온은 원래 400년에서 500년 정도를 주기로 약 1.5°C의 범위에서 계속 변화한다. 15세기에서 19세기까지는 비교적 기온이 낮은 시기였으며 20세기에 들어와서는 기온이 오르고 있어서, 어떤 면에서는 기온 상승이 자연스러운 현상일 수도 있다. 하지만 대기 중의 이산화탄소 양은 1800년대에는 280ppm이었으나 1958년에는 315ppm, 2000년에는 367ppm으로 계속 증가하고 있으며 다른 온실기체도 증가하고 있다.

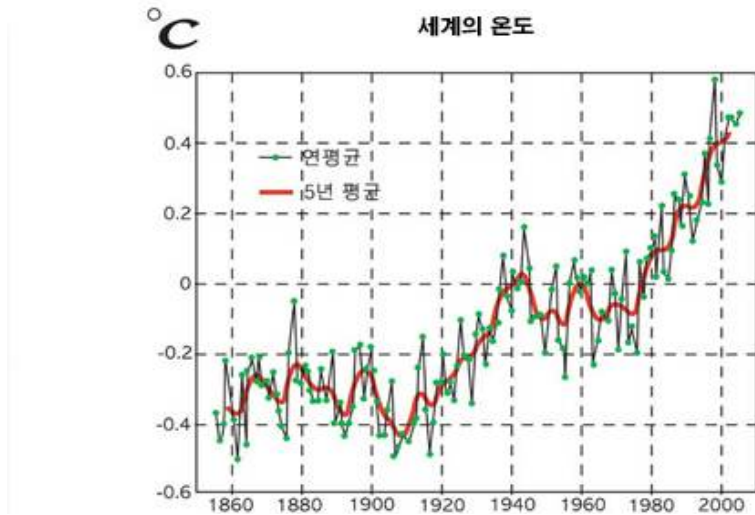
### ② 온난화 현상의 원인

온난화의 원인은 아직까지 명확하게 규명되지 않았으나, 온실효과를 일으키는 온실기체가 유력한 원인으로 꼽힌다. 온실기체로는 이산화탄소가 가장 대표적이며 인류의 산업화와 함께 그 양은 계속 증가하고 있다. 이외에도 메탄, 수증기가 대표적인 온실기체다. 특히 현대에 사용하기 시작한 프레온가스는 한 분자당 온실효과를 가장 크게 일으킨다. 또한 인류가 숲을 파괴하거나 환경오염 때문에 산호초가 줄어들어 드는 것에 의해서 온난화 현상이 심해진다는 가설도 있다. 나무나 산호가 줄어들어서 공기 중에 있는 이산화탄소를 자연계가 흡수하지 못해서 이산화탄소의 양이 계속 증가한다는 것이다. 이러한 가설 이외에도 태양 방사선이 온도 상승에 영향을 준다거나, 오존층이 감소하는 것이 영향을 준다거나 하는 가설이 있지만 온실효과 이외에는 뚜렷한 과학적 합의점이 존재하지 않는 상태이다.

### ③ 온난화 현상의 결과

지구의 연평균기온이 계속 올라감으로써 땅이나 바다에 들어 있는 각종 기체가

대기 중에 더욱 많이 흘러나올 것으로 예측된다. 이러한 피드백 효과는 온난화를 더욱 빠르게 진행시킬 것이다. 온난화에 의해 대기 중의 수증기량이 증가하면서 평균강수량이 증가할 것이고 이는 홍수나 가뭄으로 이어질 수 있다.



<그림 2-8> 온난화 현상으로 인한 세계온도 변화

가장 큰 문제는 해수면이 상승하는 것으로, 기온 상승에 따라 빙하가 녹으면서 이 현상이 일어날 것으로 예측된다. 2000년 7월 NASA는 지구온난화로 그린란드의 빙하가 녹아내려 지난 100년 동안 해수면이 약 23cm 상승하였다고 발표하였다. 그린란드의 빙하 두께는 매년 2m씩 얇아지고 있으며 이 때문에 1년에 500억 톤 이상의 물이 바다로 흘러 해수면이 0.13mm씩 상승하고 있다는 것이다. 이러한 해수면 상승은 섬이나 해안에 사는 사람들의 생활에 영향을 미칠 것이며 특히 해안에 가까운 도시에는 대단히 큰 문제를 일으킬 수 있다. 또한 북극곰이나 펭귄을 비롯한 여러 동물이나 식물들이 멸종위기에 처해있다. 우리나라의 경우 겨울이 사라지고 사막이 생길 수 있으며 태풍과 가뭄 등 자연재해의 강도가 증가할 것으로 예상되고 있다.

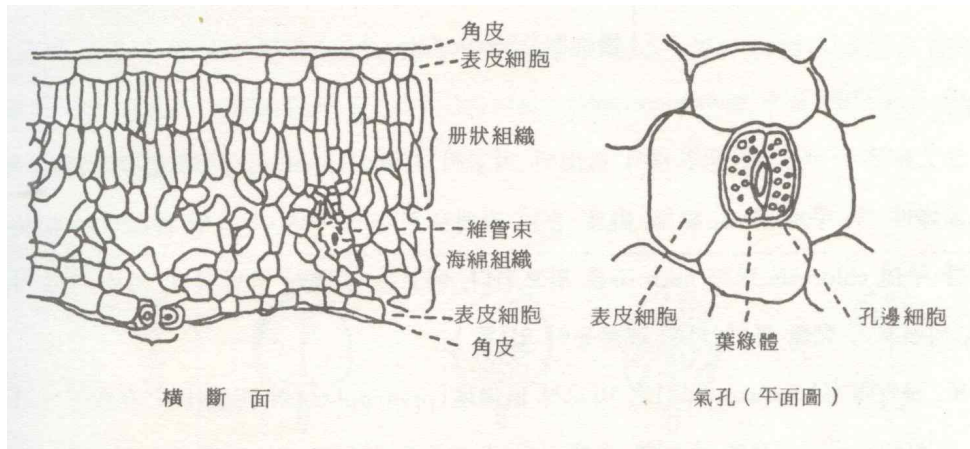


## 제2절 식물성장과 대기오염의 프로세스

### 1. 식물성장과 대기오염의 프로세스<sup>5)</sup>

#### 1) 대기오염물질의 침입 경로

일반적으로 식물의 생육에 필요한 영양소나 유해성분은 식물의 배지인 토양으로부터 뿌리로 흡수되는 것이 많다. 그런데, 영양소의 경우에도 요소나 망간은 엽면 살포의 효과가 나타나는 것과 같이 가스, mist, fume, dust 등의 형태의 오염물질은 엽면부착과 경엽적 흡수가 일어난다. 이렇게 흡수된 오염물질의 독성에 의해 피해가 발생한다. 물론, 대기오염물질이 토양과 물을 오염시켜서 간접적으로 식물에 피해를 일으킬 수도 있으나 일반적으로는 경엽적 흡수로 피해를 일으킨다.



<그림 2-9> 식물잎의 구조

고등식물은 일반적으로 잎을 보호하기 위하여 잎의 표피세포는 각피라는 고형의 물질로 피복 되어 있어서 가스의 교환이나 흡수가 전혀 일어나지 않는다. 표피조직에는 표피세포가 변형된 기공이라는 기관이 촘촘히 분포되어 있으며, 이곳을 통해

5) 과학기술처(1989), 大氣汚染과 植物：解説과 圖鑑.

서 가스의 교환이 일어난다.

기공의 구조는 아래 <그림 2-9>와 같으며, 2개의 공변세포에 의해 작은 간격이 만들어져, 이 공변세포의 팽압의 변화에 의해 개폐의 정도가 달라진다. 기공의 개폐는 빛에 의하여 좌우되며 보통 야간에는 닫혀지고, 낮에는 열리며 또, 체내 수분의 다소와 외부 습도에 따라 조절한다. 기공수는 1mm<sup>2</sup>당 보통 50-300개 정도이며 대개는 옆의 이면에 많고, 양면에 있는 것도 있으나 표면에만 있는 종류도 있다.

고등식물은 옆의 기공으로부터 이산화탄소를 흡수하고 뿌리로부터 흡수한 물과 태양광선을 이용하여 “광합성”을 하여 탄수화물을 만든다. 이때 대기중에 오염물질이 존재하면 이산화탄소와 함께 식물체내로 흡수된다. 낮에 기공이 열려있을 동안 가스는 흡수되고, mist, fume 등이 쉽게 체내로 흡수된다.

대기오염물질의 체내로의 흡수경로는 기공이라는 것이 정설이다. 그러나 그 흡수량은 이산화탄소의 흡수량과 비례적인 관계가 있으며 또 화분과 식물 등에서는 엽록의 수공<sup>6)</sup>으로 흡수되며, 가스이외의 입자가 큰 mist, fume 등은 부착, 투과, 침투 된다.

이렇게 오염물질은 주로 기공을 통하여 식물체내로 흡수되므로 오염물질의 체내가 일정할 경우에는 일반적인 호흡만을 하는 야간에는 영향을 적게 받고, 탄수동화작용이 왕성하게 일어나는 낮에는 기공이 활짝 열려 장해를 쉽게 받는다.

## 2) 대기오염에 의한 장해의 형태

대기오염에 의한 식물장해를 종류별로 분류하면 다음과 같다.

- 가시장해 : 급성형, 혼합형, 만성형

---

6) 수분을 배출하는 작은 구멍이며 배수조직의 일종, 구조는 기공과 비슷하지만 수공은 개폐능력이 없다. 주로 잎새끝 가에 분포.

급성장해는 오염 발생원에서 배출된 고농도의 오염물질이 특수한 기상조건 즉, 주로 기류, 기온, 습도 등의 관계로 비교적 단시간 동안 정체하여 식물에 피해를 주어 chlorosis, necrosis를 일으킨다. 예로는 공장의 돌발사고, 가스 수송차의 고장, 제련소의 매련 등에 의한 피해 등이 있다.

또, 만성장해는 비교적 저농도의 오염물질 존재 하에서 식물이 생육기간 중 수시로 장기간 접촉되어 생육불량 장애로 되고 비교적 만성적인 증상을 나타내며 감수를 초래한다. 최근의 도시 근교의 대기오염에 의한 장애가 여기에 속하는 경우가 많다.

한편, 비가시적 장애는 아주 저농도의 오염물질을 흡수한 식물의 잎 등에 피해증상을 나타내지는 않지만 생리적, 생화학적 장애를 받아 생육부진으로 수량에 어떤 악영향을 미치는 것을 말한다. Invisible injury는 1, 2년생 초본식물에는 인정되고 있지 않지만, 다년생의 목본식물에서는 긍정적인 현상으로 판단하고 있다. 예를 들면 SO<sub>2</sub> 오염지역의 과실수의 열매가 잘 맺지 않는다든지 대도시 교외의 삼림수목의 성장이 불량해지거나 연륜이 점점 작게 자라는 것 등을 들 수 있다.

### 3) 대기오염의 식물 피해증상 및 증후

대기오염물질에 노출된 식물은 어느 한계를 넘는 오염물질의 접촉을 받으면 여러 가지 형태의 피해 증상을 나타낸다. 그 한계농도나 시간을 “역계치(threshold value)”라고 한다. 일반적으로 농도 단위로 역계치를 나타낼 때가 많다. 또 대기오염에 있어서 농도와 노출시간의 곱과 피해가 상관이 있는데, 최근 “dose(접촉량)”로 표현하여 사용한다. 즉, 옥시단트 측정계로 측정한 pphm 단위의 농도와 시간(hr)을 곱한 것으로 피해발생의 한계를 논할 때 사용된다.

피해의 증후와 증상은 일반적으로 앞에서 관찰한다. 오염물질의 접촉이 前記한 역계치를 넘어서면 최초로 가시장애가 생기기 시작하여 2,3일 경과한 후면 피해증상의 특징을 가장 명확하게 확인할 수 있다.

단, 주의를 해야 하는 것은 현지에 출현하는 피해증상은 다음에 기술하는 피해 발생의 제조조건이 달라지면서 전형적인 특징을 나타내지 않을 수도 있다는 점이다. 특히, 급성장해와 만성증상은 서로 다르며 오염물질의 복합에 의한 피해증상의 중복화, 다양화 등이 일어나므로 증상 이외에도 발생원의 조사, 대기중의 오염물질 농도 측정, 풍향 등의 기후요소의 검토, 비해엽의 화학분석 등을 통하여 종합적으로 판정하는 것이 절대적이다.

#### 4) 대기오염에 의한 식물피해의 발생요인

##### (1) 오염물질의 종류와 농도

오염물질의 종류에 따른 식물에 대한 독성은 각각 다르며 또 농도의 고저에 따라 급성장해-만성장해를 나타내는 것으로 전기의 피해 증후 및 증상의 항에서 설명한 “역계치”이하의 농도에서는 비가시 피해를 입거나 또는 피해를 입지 않을 수도 있다. 한편 단일 오염물질에 의한 영향보다는 2종 이상의 오염물질의 복합작용의 영향이 더 큰 경우가 많다.

##### (2) 오염물질의 노출시각, 시간, 횟수

오염물질이 식물에 노출되는 시각은 일사와도 관련된 오염물질의 흡수량에 의하여 피해가 발생한다. 오염물질의 침입경로인 기공의 개폐도와 관계하여 주간과 야간과는 피해발생의 정도가 매우 다르며, 낮에도 아침, 오전, 오후, 저녁 등의 시각에 따라 차이가 난다. 일반적으로 광합성이 많은 시간에 피해가 크나, 때로는 광량과 무관하게 시차적 차이에 의하여 그렇지 않을 경우도 있다.

노출시간에 대해서는 피해증상의 항에서 기술한 바와 같이 오염물질의 농도와 관련하여 일반적으로 고농도에는 단기간의 노출로, 저농도에서는 장기간의 노출로 각각 급성장해 및 만성증상을 유발시킨다. 하루 동안 계속적으로 수회 오염물질을 노출하는 것과 수일동안 수회 노출할 때는 적산시간과 평균농도에 따라서 피해가 발생된다.

### (3) 오염물질 노출시의 식물생육기

식물의 생육기가 달라지면서 대기오염의 영향도 달라진다. 일반적으로 개화기의 오염물질의 노출은 결과에 치명적인 타격을 주며 특히 과수의 경우는 현저하다.

### (4) 식물의 종류, 품종

동일한 오염물질로도 그 독성의 정도는 식물 종간 또는 품종 간에 차이를 보인다.

### (5) 토양의 종류

병충해나 병수해와 같은 자연재해의 경우와 같이 인위적인 재해인 대기오염의 경우도 식물이 자라는 토양의 비옥도, 즉 지력에 의한 천연공급력의 차이에 따라 저항성이 다르다. 또 사토, 양토, 점토 등과 토양의 성질 차이도 장애의 정도에 영향을 준다고 생각된다.

### (6) 시비 내용, 시비량

질소과다로 재배된 작물은 대기오염에 약한 경향이 있다. 한편 규산, 칼륨, 칼슘의 시비는 오염물질의 피해를 경감시킨다는 연구보고가 있다.

### (7) 재배관리 방식

재배관리방식 특히 물관리의 차이가 대기오염에 의한 피해의 정도를 좌우한다. 이는 수분 증산 조절 기능을 갖는 잎 기공의 개폐정도 때문인 것으로 생각한다.

### (8) 기상

대기오염은 정상 대기조성의 변화현상이며, 식물은 토양에 뿌리를 내리고 대기중에 줄기와 잎을 노출시키므로 당연히 기상조건은 피해의 발생을 크게 좌우한다. 특히, 기온, 습도, 풍향, 풍속 등의 요인은 피해 정도에 크게 영향을 미친다.

- ① 일반적으로 대기오염에 의한 식물 피해는 봄에서 여름에 발생되고 가을에서 겨울에는 비교적 발생이 적다. 이것은 기후 온난한 계절에 식물조직, 세포가 비교적 발육이 활발하지만 추울 때는 그렇지 않기 때문인 것으로 판단된다.
- ② 야간보다는 동화작용이 왕성한 낮에 피해를 입기 쉽다. SO<sub>2</sub>의 경우에는 오전 11시, 불화수소의 경우에는 오후 2시에 피해를 가장 심하게 받는다.
- ③ 대개 습도가 높을 때 피해가 조장된다. 기공이 잘 열리는 조건 즉, 습도가 높은 쪽이 피해를 잘 입는다. 그러나 고습도에서는 피해가 오히려 경감된다.
- ④ 바람이 없고 상대습도가 비교적 높아 기온역전층이 형성된 조건에서 피해가 크다.
- ⑤ 강한 비로 식물체가 상처를 입었을 때 오염물질의 노출을 받으면 큰 피해를 입는다.
- ⑥ 바람 방향에 따라 발생원에서 바람 부는 쪽으로 피해를 받는다.

#### (9) 지형

기상조건과 관련하여 습지나 계곡이 피해를 입기 쉬운 장소로서 이러한 지형에서는 기층의 정체가 일어난다.

## 2. 대기오염 종류에 따른 식물성장 관계

### 1) 단일오염에 의한 피해증상

#### (1) 아황산가스

동(Cu) 제련시 대량의 아황산가스가 발생하여, 서구 및 일본에서는 오래전부터 이 가스에 의한 사고가 야기되었으며, 일본의 경우 제련소에서 발생한 가스가 가까이 떨어진 지역의 농경지에 피해를 유발하였고, 우리나라에서도 장항제련소 및 온산동 제련소 주변의 농경지에 피해가 나타났다.

현재는 황화물 처리의 배가스에서 황산을 제조하게 되어 피해는 격감하였으나, 아직도 미회수된 아황산가스가 발생하여 부근 농작물에 피해를 주고 있으며, 저품위의 석탄을 이용한 화력발전시 원료탄 중의 S분에 의하여 아황산가스가 매연과 함께 발생하여 수도 및 소나무에 연해(煙害)가 발생하고 있다.

최근 발생빈도도 많고, 또 피해규모가 큰 것은 석유화학단지에 의한 대기오염현상에 의한 것이다. 이것은 다량의 중유를 연소시키는 화력발전소에서 아황산가스가 주요인이라 할 수 있으나, 이들 지역에는 각종 석유화학공장이 설립되어 있어 발생원의 규명은 용이치가 않다. 우리나라에 수입되는 원유는 중동산이 대부분이기 때문에 S로서 3~4% 함유한 중유를 연소시키는 경우가 많아, 공업단지 주변의 농경지에 피해를 유발시켜 왔으나, 현재는 저유황유와의 혼합사용(S로서 2.6%)으로 아황산가스 배출량을 상당량 감소시킬 수 있게 되었다.

오염방지대책으로서 연돌을 높여 확산효율을 좋게 하거나, 저유황유의 사용 등이 있으나 완벽한 방법일 수는 없으며, 그보다 중유 및 배가스의 탈황을 하는 것이 효율적이나, 촉매 등의 재료 및 열효율면에서 실용화하는 방안은 아직도 불분명하다.

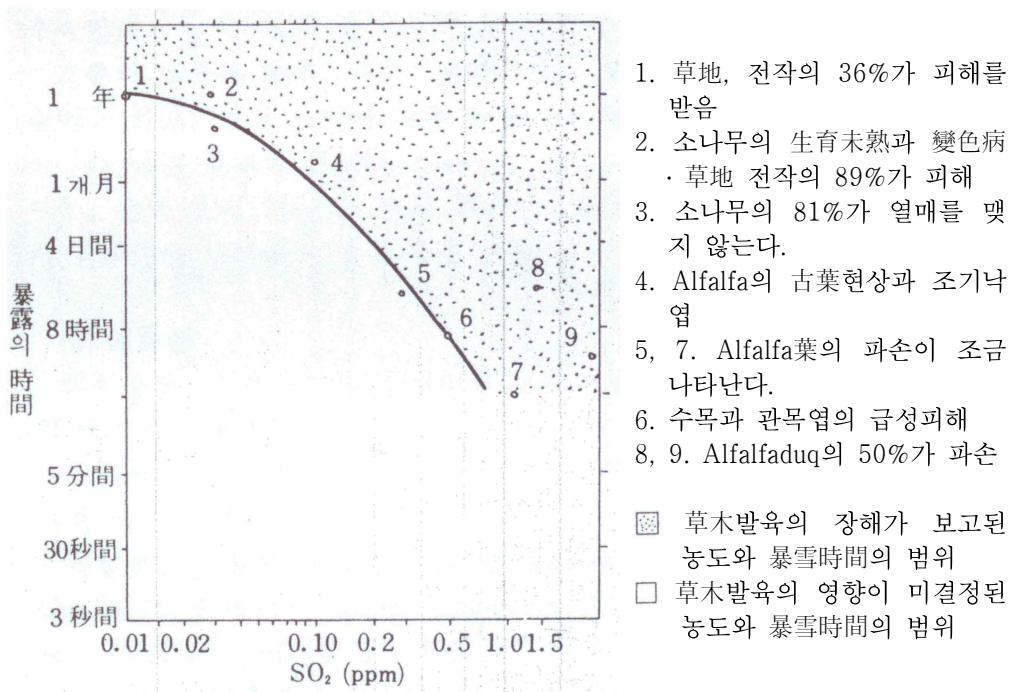
아황산가스는 수목 잎의 기공을 통하여 식물체 내로 흡수된 후 동화작용 및 유기산 분해에 의하여 생성된 알데히드(aldehyde)와 결합하고, 그것이 식물의 세포를 파괴하는 것으로 알려져 있다.

가시피해로는 활엽수의 경우 일반적으로 엽맥 사이에 담회색 또는 담갈색의 반

점이 나타나고, 침엽수에서는 침엽의 끝부분 내지 중간에 운상의 반점이 조기에 나타나며, 기부에서는 이보다 좀 늦게 나타난다.

광선이 강하고 기온이 높으며 식물 잎의 기공이 열려 있어서 물질대사가 활발히 이루어지는 주간일수록 이러한 피해가 발생할 위험도가 높다. 고농도의 아황산가스에 접촉하면 급성해가 발생하고, 저농도의 아황산가스에 접촉할 경우에는 그 피해가 서서히 발현되는 만성해를 입게 된다.

또한, 계절적으로는 봄철 맹아기의 어린잎에서 피해가 클 것으로 생각하기 쉽지만, 오히려 여름철 기온이 높고 일사량이 많으며 기공이 크게 벌어져서 기공을 통한 가스교환이 활발하기 때문에 이러한 시기일수록 피해가 심하다. 더불어 공중습도가 높고 토양수분이 충분한 경우에도 기공으로부터 증산과 호흡이 활발히 진행되기 때문에 오염된 가스를 많이 흡수하여 피해가 크다.



<그림 2-10> 식물에 미치는 아황산가스의 영향



<그림 2-10>은 1967년 4월 미국 공중위생성이 발표한 초목에 미치는 아황산가스의 한계치를 표시한 것으로서 식물에 대한 아황산가스의 환경기준치를 결정해 볼 수 있다. 이 그림에서 가스농도가 높으면 식물은 단시간에 장해를 받으나, 저농도의 가스에서도 장시간 접촉하면 피해증상을 나타냄을 알 수 있다.

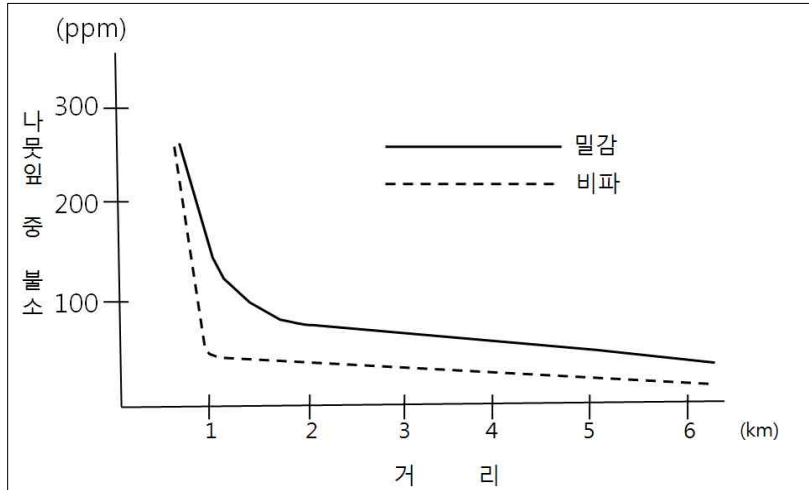
일본임업시험장(1971)에서는 수종 간 상대적인 저항성의 차이를 <표 2-9>와 같이 정리하였다.

<표 2-9> 수목의 아황산가스에 대한 상대적 저항성

구 분	저 항 성					
	매우 강	강	중강	중약	약	매우 약
침엽수	편백	삼나무	일본젯나무, 해송	소나무	히말라야시다	
상록활엽교목	가시나무	종가시나무	참가시나무, 제 주광나무, 사스 레피나무	줄가시나무, 녹나무		
상록활엽저목				왕작살나무, 산철쭉		
낙엽활엽수				은행나무, 메 타세콰이어	일본잎갈나 무	
낙엽활엽교목		종참나무, 물참나무, 목백일홍	포플러, 밤나무, 목련, 매화나무	은백양, 서어 나무, 단풍나 무, 벗나무, 칠 엽수	느티나무, 일 본목련, 단풍 나무, 버즘나 무, 배나무, 울 벗나무	황철나무, 물황철나무
낙엽활엽저목		무궁화		공조팝나무	반입백정화, 가막살나무	키버들, 당 조팝나무, 개나리, 달 퀴망종화

## (2) 불화수소(HF)

이 가스는 주로 불소를 함유하고 있는 빙정석 및 인광석을 사용하는 공장에서 발생한다. 알루미늄 제조시 배출되는 불화수소를 알카리 세정 및 수세로서 제거되지 않는 양이 배출되며, 그 범위는 통상 공장주변 2~3km정도가 대부분이나, 때로는 지형 및 기후조건에 따라 10km 가까이까지도 영향을 줄 수 있다(그림 2-11 참조).



<그림 2-11> 밀감, 비파나뭇잎 중의 불소

인산비료 제조공장에서 주원료로 사용하는 인광석은 불소를 2~3% 함유하기 때문에 제거를 소홀히 할 경우 휘산될 가능성은 충분히 있다. 울산지역의 경우 알루미늄 및 인산비료 제조공장이 있어, 불화수소를 배출하고 있으므로 水稻 및 과수에 대한 피해 보상 문제를 야기하고 있다.

불소계 가스에 약한 식물로는 글라디올라스, 메밀, 자두나무, 옥수수, 포도, 복숭아, 살구 등이 알려져 있으며 잎의 선단(先端), 주연(周緣)에 황화현상(Cholorosis)을 일으키는 것이 특징이다. 특히 불소를 배출하는 공장지대에서 양잠을 할 경우 그 피해는 상당히 크다. 즉 가스를 흡수한 뽕나무 잎을 먹은 누에는 생육불량을 일으키며, 피해정후가 나타나지 않는 정도의 미량의 불소를 함유한 어린잎을 먹을 경우에도 누에고치를 만들지 않으므로 주의해야 한다.

### (3) 에틸렌

에틸렌은 식물에 있어 성장력 감퇴, 잎의 상편생장 저해, 녹지의 신장저해, 조기 낙엽 등의 장애작용이 나타나며, 특히 조기낙엽이 문제가 되고, 수목의 경우 0.2~0.5ppm의 농도에서 그 영향이 단시간에 나타난다.

임업시험장(1974)에 의하면 에틸렌에 대한 수목의 감수성은 느티나무, 포플러, 제주광나무 등은 높고 아까시나무, 능수버드나무, 은행나무 등은 중 정도이며, 협죽도는 낮다고 보고되고 있다.

### (4) Oxidant (Ozone PAN 등)

오존 및 PAN은 유기연료의 불완전연소에서 생긴 탄화수소와 과산화수소에서 광화학적으로 생성된 과산화물로서 Oxidant라 한다.

오존의 경우는 담배, 레몬, 베추니아, 포도 등이 약하고, 잎의 표면에 작은 반점 혹은 얼룩이 나타나는 반면에 PAN은 Celery, 상치, 홍당무, 근대 등이 약하고, 잎의 이면이 은색에서 청동색을 나타내는 것이 특징이다.

<표 2-10> 오존에 대한 수목의 상대적 저항성(여름철)

구 분	← 강 → 약				
	I	II	III	IV	V
침엽수	편백, 해송, 삼나무, 은행나무	소나무			
상록활엽수	녹나무, 종가시나무, 협죽도, 쥐똥나무, 돈나무	감탕나무류	밀감, 왕작살나무	영산홍, 치자나무	
낙엽활엽수	누리장나무, 졸참나무		장미(사계), 배나무, 대나무, 톨립나무, 빛나무	싸리나무, 정향나무, 수국, 거문팔기	목련, 자목련, 포플러, 능수버드나무

## 2) 복합오염에 의한 피해증상<sup>7)</sup>

복합오염이 생물생육에 미치는 작용 정도는 일반적으로 3가지로 분류할 수 있다.

### ㉠ 상가(Additive) 작용

각 오염물질의 작용이 가산되는 정도의 경우를 말한다.

### ㉡ 상승(Synergistic) 작용

2종류 이상의 오염물질의 독성이 상호로 일어나 효과가 조장되는 경우를 말한다.

### ㉢ 상살(Antagonistic) 작용

각 오염물질의 작용이 상쇄되어 독성이 약화된 경우로서, 독성이 강한 오염물질 단독만의 증상보다도 가벼운 장애를 나타낸다.

## (1) 아황산가스와 오존

발생원이 대단히 많은 1차 오염물질인 아황산가스와 질소산화물, 2차 오염물질인 오존과의 조합은 실제로 공존가능성이 높고, 식물의 잠수성이 높은 가스로서 실험 예를 알아보기로 한다.

<표 2-11> SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>에 의한 소나무의 피해

처리가스	접촉농도(pphm)	피해율*(%)
O <sub>3</sub>	9.9	3
SO <sub>2</sub>	9.6	4
O <sub>3</sub> +SO <sub>2</sub>	9.9+8.8	16
대 조	-	0

\* 황화반점의 면적비율

- ① 1996년 Menser 등은 담배(품종 Bel W 3, Bel B)에 0.24~0.28ppm의 SO<sub>2</sub>와 0.027~0.031ppm의 오존을 2~4시간 접촉시킨 경우, 각각 단독에서는 피해징

7) 박이정과 권영배(1982) 대기오염이 식물에 미치는 영향.

후를 나타내지 않았으나 공존시 피해가 나타나 상승적이라 보고하고 있다.

- ② 1970년 Dochinger 등은 소나무(Eastern white pine, Pinus StobusL.)를 이용하여 0.1ppm의 SO<sub>2</sub>와 0.1ppm의 O<sub>3</sub> 혼합가스에 4~8hr/1일로서 주 5일, 4~8 주간의 접촉에서 상승작용을 나타내고 있다.

Jaeger 등도 동일식물에 대하여 0.05ppm의 SO<sub>2</sub>와 0.05ppm O<sub>3</sub>의 혼합가스에 日中 12시간, 10일 이상의 접촉에 의하여 백색~황색, 때로는 들레에 황록색의 적등색 반점을 나타내어 ②와 동일한 결과를 얻었다.

- ③ 1971년 Macdowall 등은 담배 (Nicotiana tabacum)에서 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>와의 혼합가스의 현저한 상승작용을 나타내지만, O<sub>3</sub>의 한계치 (20pphm에서 1시간) 이하에서는 나타나지 않았다(표 2-11 참조).
- ④ 1971년 Tingey 등은 홍당무(Raphanus satiius)를 사용하여 0.05ppm의 SO<sub>2</sub>와 0.05ppm의 O<sub>3</sub>와의 혼합가스에 매주 40시간 5주간 접촉 시험한 결과 생육 및 수량에 상가작용을 나타낸다고 보고하고 있다.

<표 2-12> SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>에 의한 식물잎의 피해

식 물 명	O <sub>3</sub> +SO <sub>2</sub> , ppm			
	5+50	10+10	10+25	10+50
Alfalfa	-	+	+	+
양 배 추	0	0	0	+
홍 당 무	0	+	+	+
토 마 토	0	-	0	0
담 배	+	0	+	+

0 : 상가적 피해, + : 상승적피해, - : 상쇄적피해

- ⑤ 1973년 Tingey 등은 11종의 식물(Alfalfa, 양파, 大豆, 담배, 양배추, Dromegrass, 홍당무, 시금치, 토마토 등)에 대하여 SO<sub>2</sub>(0.1~1ppm)와 O<sub>3</sub>(0.05~0.1ppm)의 각종 농도조합에 의한 혼합가스를 4시간 접촉시켜 피해증

상을 조사한 결과, <표 2-12>와 같이 Alfalfa, 홍나무, 담배에서는 상승적이었으며, 양배추, 토마토는 상가적 혹은 상살적이었다고 보고하고 있다.

- ⑥ 1981년 三宅등도 파종후 1개월이 된 시금치에 0.5ppm의 O<sub>3</sub>와 0.1ppm의 SO<sub>2</sub>와의 혼합가스에 폭설후 30분이 지나자 잎의 표면에서 광택현상이 일어나며, 2시간이 되면서는 괴사(Necrosis)되었다고 보고하고 있다.

## (2) 이산화유황과 이산화질소

이산화질소는 인체에 대하여 호흡기 장애를 일으키나, 식물에 대해서는 독성이 낮아 수 ppm 이상이 아니면 피해징후를 나타내기 어렵다. 그러나 NO<sub>2</sub>가스는 광화학반응에 따라 Oxidant를 생성하는 원인물질이며, 또 다른 가스와의 공존에 의하여 상호효과를 나타내기 쉬운 것으로 중요시하지 않으면 안 될 오염물질이다.

**<표 2-13> SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>의 혼합가스 접촉(4시간)에 의한 식물잎 표면의 피해**

SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	잎 피해율 (%)				
		담배	강낭콩	토마토	홍당무	大豆
0.05	0.05	1	2	0	1	2
0.10	0.05	0	0	0	0	0
0.20	0.05	2	1	0	0	6
0.25	0.05	1	1	1	0	7
0.05	0.10	9	0	0	1	1
0.10	0.10	11	11	1	27	35
0.10	0.15	18	24	17	24	20
0.25	0.15	6	4	0	4	1
0.20	0.20	4	16	0	6	9
0.05	0.25	16	0	0	13	2

- ① 1971년 Tingey 등은 강낭콩, 토마토, 홍당무, 담배, 대두 등을 이용하여 SO<sub>2</sub>

에 단독에서는 0.5ppm이하, NO<sub>2</sub>단독에서는 2ppm 이하 각각 4시간 접촉에서  
앞이 장애를 일으키지 않았으나, 혼합가스의 경우 각 0.05~0.25ppm에서도  
피해가 발생하여 현저한 상승작용을 <표 2-13>에서와 같이 나타내었다.

② 그러나 1974년 Hill 등은 각종의 야생식물에 대하여 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>와의 상호작  
용을 조사하였으나, NO<sub>2</sub>: SO<sub>2</sub>가 0.28인 비율에서는 확실한 상승효과가 나타  
나지 않았다고 보고하고 있다.

③ SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 3종의 가스에 대하여 각 오염물질을 0~0.2ppm의 농도로서  
혼합하고, 완두콩과 시금치에 접촉시킨 결과, 장애발생에 대한 순서는 O<sub>3</sub>  
>SO<sub>2</sub>>NO<sub>2</sub>이었으며 상승효과는 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 혼합일 때 현저히 나타나며,  
SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>의 경우에는 0.2ppm의 SO<sub>2</sub>일 때 약간 나타나며, NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 경  
우에는 나타나지 않았다.

또 3가지 혼합의 경우도 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 혼합일 때와 동일정도의 장애를 나타  
낸다고 하고 있다. 또 기상요인에 대해서는 약한 광선하에서 생육한 식물이  
높은 습도, 강한 광선하에서 가스를 접촉 받으면 장애 發現이 현저히 나타날  
수 있으나 복합오염과 특별한 상호관계는 없다고 고찰하고 있다.

### 3. 발생원의 특징에 따른 대기오염과 식물생태에 미치는 영향

#### 1) 공단주변

울산공단지역 내 인간간섭이 배제된 곰솔 우점인 군집을 대상으로 대기오염이 식물군집구조에 미치는 영향을 파악한 연구에 따르면(이경재 외, 1992), 조사지는 오염원을 중심으로 거리별로 14개의 지역을 선정하였으며, 82년과 87년에 조사한 내용을 비교·검토하였다.

곰솔군집의 목본식물을 대상으로 하여 상대 우점치 산정, 수목피해도조사, 출현 종수와 개체수, 종다양도, 토양산도 및 양료분석, 접촉각측정, wax정량분석, 수목생장률측정 등의 인자를 조사·분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

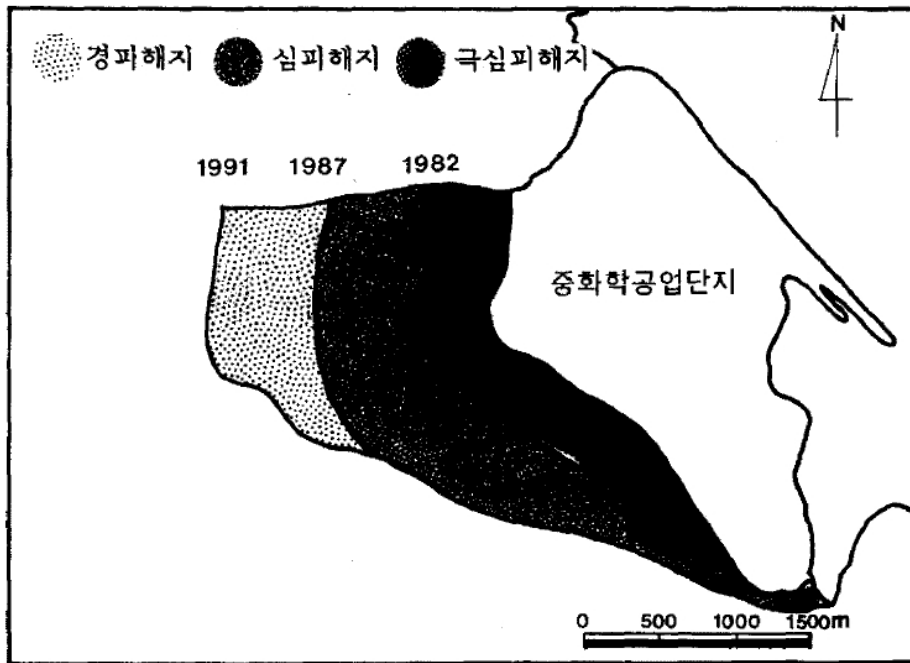
식물군집의 상대 우점치분석에서 교목상층은 곰솔, 교목하층은 곰솔, 산벚나무, 아카시나무, 검노린재, 관목층은 산딸기, 아카시나무, 청미래 덩굴, 짚레, 검노린재, 땃땃이덩굴이 우점을 차지하고 있었으며, 초본인 억새, 미국자리공이 관목층에서 우점을 이룬곳은 8개소이었고, 모두 공단에서 2km이내의 조사구였다. 82년, 87과 상대 우점치를 비교해 보면 82년과 87년 조사에서 관목층에 출현하였던 참나무류, 산철쭉, 싸리류가 1991년에는 나타나지 않는데 이것은 울산공단지역의 대기오염에 의한 종감소와 대기오염에 내성이 강한 식물종으로의 군집변화를 보여주는 것이라 할 수 있다.

출현 종수, 개체수를 82년 3개의 조사구, 87년 6개의 조사구와 비교하면 현저하게 감소하고 있음을 파악할 수 있었다. 특히 87년 6개조사구를 91년 동일조사구와 출현 종수, 개체 수, 흉고단면적을 비교했을 때 매우 큰 감소현상이 나타났다. 또한 오염원과 멀리 떨어질수록 출현 종수, 개체 수, 흉고단면적이 증가되었다.

울산공단지역의 곰솔에 대한 전체 평균 피해도를 계산한 결과, 피해율 61.4%로 87년의 35.5%보다 피해율이 증가하였다. 오염원의 거리별로 나타난 피해율을 보면 반경 1km이내의 조사구에서는 90.85%, 반경 2km이내에 있는 조사구에서는 62.6%, 반경 3.5km 이상 떨어져 있는 조사구에서는 19.3%를 나타냈다. 가시적인 피해정도



를 82년, 87년, 91년의 순으로 나타내면 <그림 2-11>과 같다.



<그림 2-12> 1982년에서 1991년 사이의 곰솔 피해도지수 변화

곰솔 피해도지수의 각 항목간에는 고도의 상관성이 인정되었고, 또한 전체 피해도지수와 각 항목간에도 고도의 상관성이 인정되었다. 회귀분석 결과 곰솔의 피해도지수에 기여하는 항목은 신초생장, 당년생잎의 낙엽율, 3년생잎의 잎변색, 수세의 순이었다. 곰솔 침엽에 대한 접촉각 측정결과 오염원에서 멀어 질수록 접촉각은 증가경향을 보였으며, 접촉각과 전체피해도지수와의 상관관계분석에서는 고도의 부의 상관관계가 인정되었다.

수목의 성장장율은 20-45년생의 곰솔을 대상으로 82년, 87년, 91년의 성장율을 비교하기 위하여 5년을 기준으로 측정하였는데, 전체적으로 1972년 이후 성장율저하경향을 보였다. 87년 곰솔의 피해율에 비해 피해율이 많이 증가된 91년의 조사구에서는 지속적인 성장율의 저하현상이 나타났다. 이러한 결과로 울산공단지역의 식물군집은 전체적으로 대기오염에 의해 가시적인 피해현상이 나타나며, 82년과 87년

보다 91년의 조사에서 그 피해 정도가 심화되었고, 식물을 종수, 개체수, 흉고단면적 그리고 접촉각측정으로서 오염원과 인접할수록 피해현상이 두드러짐이 밝혀졌다.

대산·군산공단지역의 대기오염이 산림식물군집에 미치는 영향(이경재 외, 1995)에 의하면 군산공단산림의 교목층 및 아교목층의 우점종은 곰솔과 소나무였다. 그러나 대산공단과 군산공단의 대기오염에 의한 산림피해현상을 연구한 결과 오염원과 가까운 조사구의 종다양도가 가장 낮게 나타났으며 토양 PH는 4.32~4.76으로 강산성이었다. 특히 군산공단의 오염원 인근산림은 울산공단과 유사한 피해양상으로 심각한 피해를 받고 있었다.

## 2) 주택가, 상업지역, 도로변

도로변 지표생물을 이용한 대기오염이 식물에 미치는 영향에 관한 연구(강희양 외, 1988)에서는 1987년 10월부터 1988년 7월까지 대구시내 도로변의 수목을 대상으로 버즘나무(*Platanus orientalis*), 능수버들(*Salix pseudo-lasiogyne*), 은행나무(*Ginkgo biloba*) 葉等의 수분함량, chlorophyll의 함량, 수분성 유험함량의 측정정도 및 중금속의 함량과 도로변 토양을 대상으로 토양의 PH, 함수율 및 중금속 함량을 조사 분석하여 대기오염에 의한 오염측정정도를 관찰하였다.

그 결과 엽중 수분함량의 범위는 60.4~74.6%를 나타내었고, 조사대상 지점별 엽중 엽록소 함량은 비교적 교통량이 적은 녹지 주거지역은 상업지역에 비하여 다소 높게 나타났다. 수분성 유험함량의 경우 상업지역이 다소 높게 나타났다. 각 지점별 조사대상 수목의 엽중 Pb함량은 녹지 및 주거지역은 2.5~5.1ppm, 상업지역은 12.8~24.5ppm 범위를 나타내었고, 토양의 PH는 오염도가 높은 지역은 대체로 약알칼리를 띠고 있으며 함수율은 1.4~10.3% 범위를 나타내었다.

비교적 교통량이 많은 즉, 대기오염상태가 높게 예상된 지역의 수목엽에서 유험함량과 Pb의 농축현상이 높고 chlorophyll 함량은 낮게 나타나 대기 오염도와 비례적 관계가 있는 것으로 인정되었다.

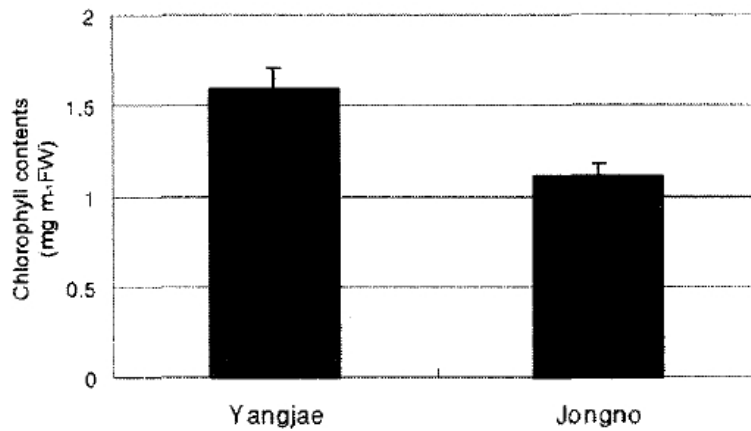
대기오염 피해를 받은 서울시내 가로수의 엽록소 함량과 광합성 특성에 관한 연구에서(우수영 외, 2004), 서울시 가로수에 미치는 대기오염에 대한 영향을 확인할 수 있었다.

상기 연구는 서울시내의 대기오염이 식물에 미치는 영향과 대기오염의 해독 메카니즘을 규명하기 위해서 서울시의 대기오염이 높은 종로지역의 은행나무 가로수와 대기오염 농도가 약간 낮은 양재동의 은행나무를 선정하였다. 그리고 은행나무 각 개체를 대상으로 엽록소 함량, 광합성 능력, 항산화효소의 활성을 분석하였다.

엽록소 함량은 일반적으로 광합성 능력과 비례하는 것으로 알려져 있는데, 식물의 엽록소 함량은 대기오염 같은 스트레스를 받으면 황화나 백화현상으로 붕괴되는 현상을 많이 보여준다. 그러므로 엽록소 함량을 분석해서 광합성 효율을 간접적으로 추정하여 식물이 대기오염에 피해를 받고 있는지 알 수 있었다.

종로지역은 양재동지역보다 오존의 농도가 낮은 것으로 보고되고 있으며, 양재동지역의 은행나무의 엽록소 함량은 종로지역보다 높은 것으로 나타났다. 이것은 양재동에 있는 은행나무 가로수는 대기오염의 피해를 종로의 은행나무 보다 적게 받고 있다는 간접적인 증거가 될 수 있다. 식물의 생리적인 대사 활동이 양재동의 은행나무가 종로지역의 은행나무보다 좋다는 간접적인 증거도 된다.

광합성능력은 광도가 변화하는 것에 상관없이 양재동의 은행나무가 종로의 은행나무 보다 높은 것으로 나타났다. 양재동의 은행나무 가로수가 종로지역의 은행나무 보다 높은 광합성 능력을 보이는 것은 아마도 시내의 대기오염과 밀접한 관련이 있을 것으로 보인다. 일반적으로 종로지역의 대기오염이 높기 때문에 종로지역의 가로수의 광합성 능력이 양재동 은행나무 가로수의 광합성 능력보다 낮아졌을 것이라 짐작되었다. 그렇지만 대기오염에 대해서 광합성 능력이 줄어든다 하더라도 계속 어느 정도의 생장을 유지 할 수 있는 것은 아마도 종로지역의 은행나무 가로수가 대기오염에 오랜 기간 동안 생태적으로 적응을 해서 광합성 능력이 일정 수준 유지되는 것으로 보였다. 일반적으로 대기오염에 적응을 한 식물은 광합성 능력이 대기오염 피해를 받더라도 빨리 회복 된다는 것을 여러 수종에 의해 보고되고 있다.

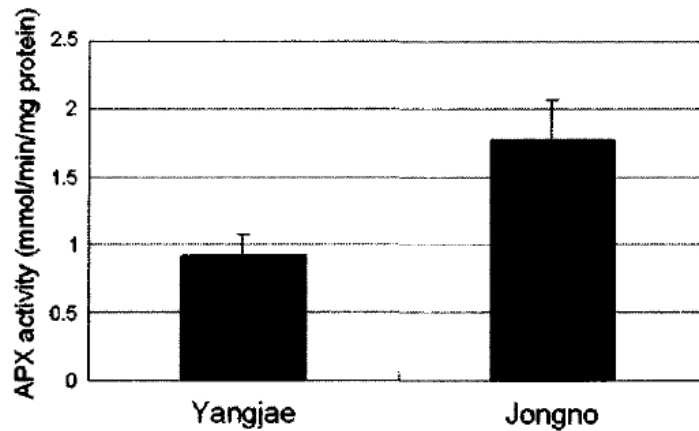


<그림 2-13> 서울시 양재와 종로지역의 총 엽록소량 비교

더불어 은행나무 활성을 분석한 결과, 종로지역 은행나무의 APX 활성이 양재동의 APX 활성보다 높은 것으로 나타났다. 이는 은행나무 가로수가 식물의 compensation strategy 가운데 하나인 보상 전략을 하면서 생존하고 있다는 것을 보여준다. 식물은 대기오염이나 수분부족 등의 stress를 받게 되면 조기낙엽, 낙지, 단풍 등을 통해서 노화를 촉진시키며 불필요한 조직을 떨어뜨리는 전략을 가지게 된다. 종로지역의 은행나무는 대기오염이 양재동 보다 심한 관계로 식물 잎 조직의 APX 활성을 높이는 방향으로 보상전략을 나타낸다고 볼 수 있다. 이는 대기오염 가운데 SO<sub>2</sub>에 노출된 가층나무, 참나무가 광합성 능력을 높이는 것에서도 알 수 있다.

대기오염에 노출된 식물개체가 대기오염에 노출되지 않은 식물개체보다 높은 광합성 능력을 보여주는 것은 APX 효소활성을 높여서 열악한 환경을 극복하기 위한 식물이 가지는 전략이라고 볼 수 있다.

또한 김태선(2003)은 서울시 노원구의 아파트 단지에 인접한 도로와 완충녹지를 대상으로 도시주거지역 완충녹지의 대기오염 저감효과를 연구한 바 있었다. 이 연구에 따르면, 이산화질소 농도는 도로변에서 49.8-60.8ppb, 단지 내부로 20m 떨어진 지점에서 40.9-56.6ppb로 도로변보다 단지쪽의 농도가 낮음을 알 수 있었다.



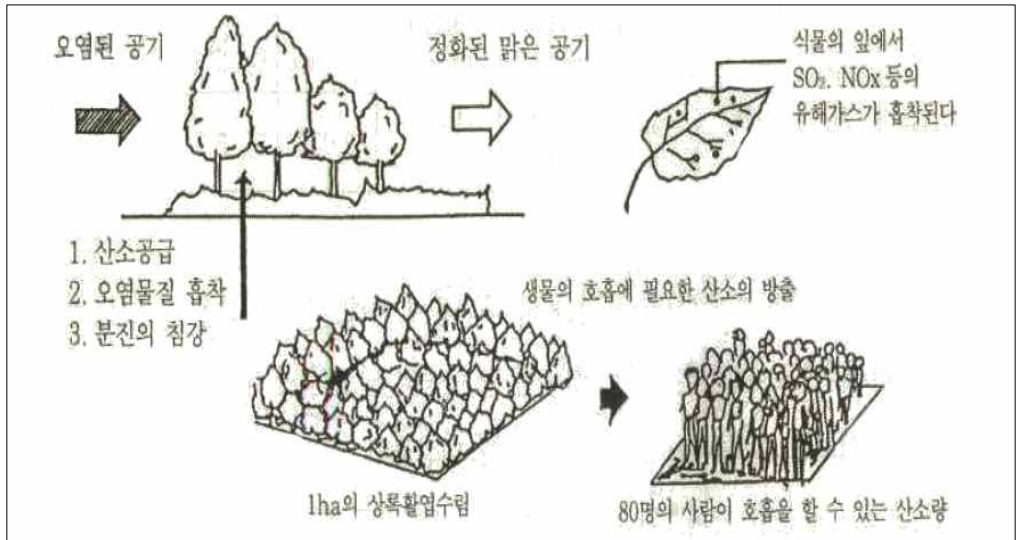
<그림 2-14> 서울시 양재와 종로지역의 APX activity

대기오염의 저감량은 완충녹지가 조성된 유형은 완충녹지가 조성되어 있지 않거나 방음벽만 설치되어 있는 유형보다 높았다. 완충녹지 구조에 의해서도 대기오염 저감효과에 차이가 있는 것으로 판단되어 분산분석을 수행한 결과 완충 녹지의 구조에 따라 대기오염 저감에 차이가 있다는 결과가 도출되었다. 또한 녹지 폭 7m, 성토높이 2m인 완충녹지의 저감량은 4.2ppb인 반면에, 녹지 폭 10m, 성토높이 3m인 완충녹지의 저감량은 13.2ppb, 8.5ppb로 저감효과가 2-3배로 커 녹지 폭과 성토 높이가 클수록 대기오염 저감에 더 효과적임을 알 수 있었다.

녹지 폭과 성토 높이가 같은 경우에는 수고, 흉고직경, 밀도 등이 낮고 대부분 스트로브잣나무가 식재되어 있는 지역보다 낙엽활엽수가 주로 식재되어 있고 수고, 흉고직경, 미로가 높은 지역이 대기오염 저감에 더 효과적임을 알 수 있었다. 대기오염 농도에 영향을 미치는 도로로부터의 거리, 수고, 흉고직경, 밀도, 방음벽 높이, 마운딩 높이, 녹지 폭과의 상관분석 결과 방음벽 높이는 정적 상관관계를 갖고, 방음벽을 제외한 변수들은 대기오염 농도와 부적 상관관계를 갖은 것으로 확인되었다.

#### 4. 수목의 대기오염에 대한 정화능력을 고려한 식재

녹지의 대기정화기능에 대해서는 과거에는 정량적 평가가 이루어지지 않았지만 최근에는 녹지가 아황산가스나 이산화질소 등의 대기오염물질을 흡수하는데 상당한 능력을 가지고 있는 것이 판명되고 있다. 과거에는 식물과 대기오염의 관계에 대해서 주로 오염이 식물에 주는 나쁜 영향에 대한 관점에서 연구가 진행되어 왔는데, 근래에 들어서는 보통의 대기환경 조건하에서 대부분의 식물은 그 본래의 기능을 깨지 않으면서 이산화탄소의 흡수와 동시에 대기오염물질을 흡수한다는 것이 명확히 밝혀졌다. 이러한 녹지의 대기정화효과를 물리적, 화학적 현상으로 해석해 본다면 <그림 2-15>와 같이 나타낼 수 있다. 또한 환경정화용 식물을 정리해 보면 다음과 같다<sup>8)</sup>.



<그림 2-15> 녹색식물에 의한 공기정화 효과의 모식도(안영희, 2002)

#### ● 대기오염 정화 수종

가죽나무, 거제수나무, 양버즘나무, 이태리포플러, 두충나무, 느티나무, 박태기나

8) 이정석(1995) 환경오염과 쾌적한 환경 보존.

무, 광나무 등

● 대기오염에 저항성이 강한 수종

가이즈까향나무, 구실잣밤나무, 벽오동, 사철나무, 은행나무, 유카, 졸참나무, 팔손이, 협죽도, 후피향나무 등

● 대기오염에 저항성이 약간 강한 수종

감탕나무, 팽팽나무, 녹나무, 동백나무, 먼나무, 우묵사스레피나무, 사스레피나무, 서향, 쥐똥나무, 수양버들, 식나무, 참느릅나무, 양버즘나무, 황칠나무 등

## 제 3 장

---

### 대전시 대기오염과 식생분포도와의 상관관계

---

제1절 대전시 식생현황

제2절 대전시 대기오염현황에 따른 식재전략

---



# 제3장 대전시 대기오염과 식생분포도의 상관관계

## 제1절 대전시 식생현황<sup>9)</sup>

### 1. 식생개관

현존식생은 자연교란 및 인간의 간섭에 의해 자연식생과 대상식생(이차림 및 조림지)으로 구별된다. 대전광역시 지역의 산림은 전국의 대도시지역과 마찬가지로 도시발달의 역사와 지형적, 지리적 위치를 고려하였을 때, 자연식생은 거의 존재하고 있지 않으며, 자연식생으로 천이 도중에 있는 대상식생인 이차림과 조림지가 대부분을 차지하고 있다.

기후적, 식물지리학적 조건을 고려할 때, 대전광역시의 산림식생은 신갈나무림이 우점하는 한반도의 냉온대지역과 서어나무와 졸참나무가 우점하는 중간온대지역이 교차되는 지역에 해당하고 있으므로 인하여, 냉온대의 대표적 산림형인 신갈나무군락은 산지대의 능선부에 일부 분포하고 있을 뿐이며, 중간온대림의 식생형인 서어나무-졸참나무림대의 산림식생이 넓게 분포하고 있다.

중간온대림의 대표적인 산림식생은 서어나무, 졸참나무, 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무 등이지만, 대전광역시의 산림에서는 그 동안 행하여 왔던 신탄의 벌채, 조림, 경작 등의 인간의 간섭과, 잔구성 구릉지라는 지형적인 특징들에 의하여 서어나무와 졸참나무의 출현 빈도가 매우 낮으며, 인간의 간섭에 강한 내성을 갖는 상수리나무와 굴참나무가 대부분의 지역에 분포하고 있다.

동일한 기후대에 존재하는 산림식생이라 할지라도 지형적인 차이와 토심의 깊이 등에 따라 산능선부, 사면부, 그리고 계곡부의 식생이 뚜렷이 구분되어야하나 대전

---

9) 대전광역시(2003) 대전광역시 자연환경조사.

광역시외의 경우 경사도가 낮은 지역, 계곡부 등의 지역은 대부분이 농경지, 조림지, 주택지, 산업 활동지 등으로 개발된 결과로 각 입지의 특이한 식생은 찾아보기가 어려운 실정이다.

## 2. 산림식생

### 1) 2차림 식생

#### ● 신갈나무 군락(*Quercus mongolica* community)

신갈나무 군락은 한반도 냉온대림의 대표적인 식생으로 중간온대림지역에 해당하는 대전광역시외에 있어서는 산지 능선부에 대상으로 잔존하여 분포하고 있는 냉온대의 산림식생이다. 대전광역시외는 기후적으로 볼 때에 신갈나무림의 최적범위는 아니지만 기후변화에 따른 식물의 이동과정에서 산 능선부에 잔존하게 되는 산정현상으로 분포하고 있으며, 이 신갈나무림은 산의 사면부의 중간온대림이 교란을 받게 되면 그 지역으로 분포역을 넓히게 되나 시간이 지남에 따라 그 자리를 중간온대지역의 우점종인 다른 참나무류나 서어나무에게 피압을 받게 되어 쇠퇴하는 특징을 갖고 있는 산림군락이다.

#### ● 상수리나무 군락(*Quercus acutissima* community)

상수리나무는 대전광역시외에서 뿐만 아니라 우리나라의 전 지역에 있어서 우리민족과 생활을 같이하여 온 대표적인 참나무 종류로, 참나무 무리중 도토리나무가 가장 크고 또한 종자의 산출량이 많음으로 해서 우리나라 고유의 음식인 도토리묵의 소재가 되어 구황식물로 이용되어 왔음은 물론 다른 참나무류와 마찬가지로 신탄(떡나무), 숯 등의 연료는 물론이며 농기구의 제작이나 버섯재배의 대목으로 활용되어 온 이용성이 높은 나무이다. 이와 같이 사람에게서는 물론 숲에 살고 있는 포유류, 조류, 곤충류 등의 다양한 생물들에게 먹이와 서식 공간을 제공하고 있는 우리나라

의 대표적인 산림식생의 하나이다.

● **굴참나무 군락(*Quercus variabilis* community)**

굴참나무는 참나무의 종류 중에서 수피에 코르크층이 두껍게 발달되어 있는 특징을 가지고 있어 산불에 대한 내성이 클 뿐만이 아니라, 건조에 대한 내성이 큰 수목으로 구봉산 지역과 같은 바위 능선, 혹은 사면부에 토양이 모이는 입지, 잔구성산지와 같이 토심이 얕아서 건조되기 쉬운 산의 남사면에 대규모의 군락을 형성하고 있는 산림군락이다.

● **졸참나무 군락(*Quercus serrata* community)**

졸참나무는 서어나무와 함께 한반도의 중간온대림지역을 특징저 주는 대표적인 수종으로, 중간온대 지역의 토심이 깊고 습한 토양에서 극상림을 이루게 된다. 그러나 대전광역시 내에는 우산봉 일대의 극히 제한된 지역에서만 분포하고 있으며, 기타 지역에서는 다른 참나무류들과 혼생하고는 있지만 우점림을 형성하지 못하고 있다. 이의 이유로는 졸참나무의 최적입지인 산지 사면하부의 비교적 토심이 깊고 경사가 완만한 지역의 대부분이 경작지나 거주지역 등으로 개발되어졌거나, 리기다 소나무, 곰솔 등의 소나무류의 식재를 위하여 벌채되고 식재림의 관리에 따라 입지 자체가 소멸되었음에 기인하는 것으로 해석이 된다.

● **갈참나무 군락(*Quercus aliena* community)**

갈참나무는 참나무의 종류 중에서 산지 사면하부의 평탄지나, 하천변 테라스지역에 대규모의 군락이 발달하는 참나무 종류로 잎이 길이가 15-25cm, 폭이 10-15cm에 달하는 잎이 큰 참나무이지만, 이 군락 역시 졸참나무의 입지와 마찬가지로 인간의 행위에 의하여 입지가 소멸됨에 따라 현재 분포하는 산림을 찾아보기가 어려운 산림군락이다. 대전광역시 인근의 계룡산 갑사입구의 하천변 테라스에 대규모의 군락을 관찰할 수가 있으며, 현재에는 만인산의 추부터널 인근에 소규모의 군락상으로 남아 있는 것을 볼 수가 있는 산림식생이다.

● 소나무 군락(*Pinus densiflora* community)

소나무 이차림은 산지 참나무림이 발달하는 지역에서 능선부와 같이 열악한 수분조건이나 암석이 돌출된 사면부에 자연적으로 발달된 경우와, 산지 참나무림이 과도한 벌채나 산불 등에 의하여 파괴된 후 2차 천이의 과정에서 형성된 경우 및 과거 식재에 의해서 형성되어진 경우가 있으나, 앞의 두 경우에 있어서는 대부분의 입지가 열악한 환경조건으로 인하여 왜생하고 있으며, 식재림의 경우에는 관리부재로 방치됨에 따라서 임상에서 성장한 참나무류들의 맹아의 성장으로 인하여 수관이 축소되었거나, 점차 참나무류의 이차림으로 발달되어가는 특징을 가지고 있다

● 굴피나무군락(*Platycarya strobilacea* community)

굴피나무 군락의 입지는 계곡 돌출부 완경사면에 발달하여 나타나고 낙엽층은 얇다.

2) 인공조림식생

● 리기다소나무식재림(*Pinus rigida* plantation)

인공림 가운데 가장 넓게 분포하고 있는 수종으로 송진이 많이 나오고 용이가 많아 쓰임새는 적으나 척박한 입지에서도 잘 자라며, 해충에 강하여 사방조림용으로 널리 식재되어진 북미지역으로부터 도입된 수종이다. 잎이 3장으로 삼엽송으로도 불리는 리기다소나무는 원줄기에서도 잎이 나오는 특징이 있어 상관적으로 소나무와 구별되어 진다.

● 곰솔식재림(*Pinus thunbergii* plantation)

곰솔은 나무껍질이 검은빛을 띤 갈색으로 해송 또는 흑송이라고 불리며, 육지보다는 주로 해안가 주변에 잘 자라고 소나무에 비해 내음성이 강한 수종으로 방풍을 목적으로 조성되는 경우가 일반적이다.

● **일본잎갈나무식재림(*Larix leptolepis* plantation)**

본 수종은 낙엽송이라고도 불리는 일본 원산의 낙엽침엽수로 성장이 빠른 속성수이다. 일본잎갈나무는 주로 산지 사면의 계곡부에 토심이 깊고 토양습도가 높은 지역에 식재되고 있으며, 목재는 과거에는 건축 공사장이나 갭목(坑木) 등으로 활용하기 위하여 대규모로 식재되었던 수종이나 현재에는 이용가치가 적음으로 해서 거의 식재되지 않고 있는 수종이다.

● **아까시나무군락(*Robinia pseudo-acacia* plantation)**

북아메리카가 원산지인 아까시나무는 일제시대 이후에 사방조림용으로 도입된 수종으로 척박한 입지에서도 매우 잘자라고 번식력이 매우 강한 것으로 알려져 있다. 과거에는 사방용으로 넓게 식재되어졌으나 대경목으로 자라도 쉽게 갈라지고 목질이 약하여 이용가치가 떨어지며, 번식력이 강하여 주변의 기존 식생을 파괴하는 이유 등으로 현재는 거의 식재되고 있지 않고 있다.

● **물오리나무식재림(*Alnus hirsuta* plantation)**

물오리나무는 산오리나무라고도 불리며, 콩과식물과 마찬가지로 뿌리혹박테리아가 있어 척박한 토양에서도 잘자라는 특성으로 인해 과거 사방공사지에 식재된 수종이 현재 잔존해 있는 것으로 나타났다.

● **밤나무식재림(*Castanea crenata* plantation)**

밤나무식재림은 과거 밤을 수확하기 위하여 식재되어졌으나, 현재는 관리를 하지 않음으로 인하여 입지의 잔재 식생인 참나무류가 성장하여 혼생하고 있는 2차림지역으로 나타나고 있다. 조사지역 내에는 공주군에서와 같은 대단위 식재림은 보이지 않고 있으며, 현재 식장산 일부와 목원대 주변, 연구단지 우성산 일대 등지에서 분포하고 있다.

● **잣나무식재림**

잣나무는 우리나라의 냉온대 낙엽수림의 상부지역이나 아고산대지역에 분포하는 수종이지만, 열매(잣 : 송실)나 목재를 이용하기 위하여 널리 식재되고 있으며, 일반적으로 산지 사면 하부의 토심이 깊고 토양이 적습한 지역에 식재되어 지고 있다. 대전광역시 역시 산지 사면 하부나 계곡부의 평탄지에 소규모로 식재되어진 것으로 조사되었다.

종조성적으로는 유령림의 경우 밀식을 함에 따라 임상에는 거의 식물이 자라지 못하고 있으나, 성장에 따라 간벌함으로써 입지의 특성을 나타내는 국수나무, 산딸기, 노루발 등이 낮은 빈도로 출현하고 있다.

### ● 은사시나무식재림

은사시나무는 사시나무속의 속성수로 하천변이나 과거 긴급녹화가 필요한 산지 계곡부에 식재되어졌으나, 현재는 이용가치의 하락과 관리소홀로 인하여 과거에 식재되어진 지역에서 대경목만이 낮은 밀도로 잔존하고 있는 것으로 조사되었다. 종조성적이 면에서는 교목층의 식피율이 낮고, 임상의 토양습도가 높음으로 인하여 관목층에는 국수나무, 찔레꽃, 덩굴딸기 등과 같은 임연성 식물이 우점하는 특징을 보이고 있다.

## 3. 하천식생

### 1) 하변림군락

#### ● 버드나무(*Salix*) 군락(*Salix koreensis* community)

버드나무 군락의 입지는 물에 영향을 직접 받는 하안가 1선에 발달한다.

### 2) 수생식물군락

### ● 추수식물군락

추수식물역은 하안이 직접 수면과 맞닿는 하안선을 중심으로 형성되며, 계절적 수위변동에 따라 간헐적으로 물에 잠기는 지역이다. 이 지역에 출현하는 추수식물(emergent plant; 정수식물이라고도 함)은 대형 수생관속 식물들이 대부분이며, 뿌리와 줄기의 하부는 수중이나 수분이 포화된 토양층에 정착되어 있으나 줄기와 잎의 대부분은 수면 위에 있으며 수역의 수심이 얇은 곳에서부터 토사가 퇴적되는 넓은 지역에 걸쳐 발달하는 군락이다.

### ● 달뿌리풀군락(*Phragmites japonica* community)

달뿌리풀 군락은 일반적으로 초기 형성 단계에서는 다른 식물이 침입하지 못한 모래밭이나 모래와 자갈 등이 많은 척박한 입지에서 포복하는 지상 줄기를 내어 군락을 정착, 확장 시켜 나가지만 달뿌리풀군락이 안정된 군락 내부에서는 포복경을 내지 않는 것이 특징이다.

### ● 갈대군락(*Phragmites communis* community)

갈대군락은 추수식물군락 중에서 수분, 저질토의 종류, 유기물 등의 조건 등에 있어서 가장 적응력이 넓은 군락으로, 강하구의 염습지로부터 산지 계곡부까지 물과 접한 하안 제 1선부터 물살의 영향을 적게 받는 하안 제 3선 및 4선까지 넓은 분포역을 나타내고 있는 군락이다. 갑천의 자연하안 구간 내에서는 갈대 군락이 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며 평균 식생고가 2m 정도 되며 일부 *Salix*류가 침입하는 경우도 있고 인접 군락으로는 갈풀 군락이 출현하며 어느 정도 입지가 건조한 지역에서는 환삼덩굴, 쇠별꽃, 쭉 등이 수반되어 출현하고 있다.

### ● 물억새군락(*Miscanthus sacchariflorus* community)

물억새 군락은 하천에서 일반적으로 가장 배후의 안정된 모래밭이나 높게 형성된 모래언덕에 분포하여 물살의 영향을 비교적 적게 받는 군락으로서 비교적 안정되고 모래질과 진흙이 섞인 사질 토양의 건조한 장소에서 출현하는 군락이다.

● **갈풀군락(Phalaris arundinacea community)**

갈풀군락의 입지는 물살에 영향을 직접 받는 하안가 1선에 발달한다.

● **삿갓사초군락(Carex dispalata community)**

삿갓사초군락의 입지는 항상 물이 고여 있는 지역으로 판단되며 사초류가 풀숲의 형태를 이루고 있다.

● **부엽식물군락**

본 군락은 개방수면에 있을 띄워 생활하는 식물군락으로, 수심 0.5~1m 정도의 하상과 수중에 많은 양의 뿌리를 내리고 생활하는 군락이다. 부엽성식물군락은 갈대, 줄, 부들 등의 추수성식물군락과 마찬가지로 수중과 하상의 저질토에서 수질의 부영양화를 유발시키는 환경오염물질인 유기질소와 인을 다량 흡수하며 성장하므로, 수질정화 작용을 수행하는 중요한 역할을 수행하는 식물군락이지만, 최근 하천 개수공사 및 고수부지공사로 인해 소멸되어 가는 식물군락 중의 하나이다.

● **부유식물군락**

부유성 식물군락은 뿌리를 토양 중에 내리지 않고 식물체가 물위에 떠다니며 생활하는 군락으로 바람이나 물의 흐름에 의해 군락 위치가 변동하는 특징을 가지고 있는 군락으로 가장 우점을 하고 있는 종이 개구리밥과 좁개구리밥이다.

● **침수식물군락**

침수성식물군락은 개방수면의 수중에 발달하고 있는 식물군락으로 입지의 특성 및 유속의 차이에 따라 출현하는 식물군락의 종류도 다르게 나타난다. 침수식물군락은 유속이 빠른 곳에서는 나사말, 대가래 군락 등이 출현하고 있으며 유속이 완만한 곳에서는 물수세미, 검정말 군락, 습지를 형성하고 있는 장소의 물웅덩이에는 말, 물수세미, 붕어마름이 낮은 빈도로 출현하고 있다.



특히, 침수식물군락 중 검정말은 정체된 수역이나 흐르는 물 밑에 단단히 뿌리를 뻗고 물속에서 군생한다.

## 4. 경작지식생

### 1) 논·밭 경작지

대전광역시의 논은 대부분이 충적지에 분포하고 있으며, 식생학적으로 보면 경작 시기인 6-10월 사이와 추수 이후의 휴경시기에 출현하는 식물군락은 전혀 다른 식생이 발달하는 특징을 가지고 있다. 즉, 휴경기인 봄철에는 독새풀이 우점하며, 경작기인 여름철에는 돌피, 보풀 등이 출현하는 벼군락이 발달하게 된다.

#### ● 독새풀군락

독새풀군락은 가을철 추수 이후부터 다음해 모내기 이전까지 발달하는 군락으로, 군락의 구분종은 우점하는 독새풀이며, 5월에는 일제히 개화한 후 종자를 맺게 되며, 매년 모내기를 위한 논갈이시 종자가 토양 중에 묻히게 되며, 가을 추수 후에 밭아를 하여 겨울을 난 후에 이듬해 다시 번성하는 초본 식물군락이다. 군락의 평균 높이는 25cm 정도이며 식피율은 80%이상이고 평균 출현종수는 7종이다.

#### ● 벼군락

벼군락은 벼의 경작이 진행되고 있는 식생형으로 경작식물인 벼가 초본 제 1층에 우점하는 식생형으로 초본제1층에 돌피, 강피가 출현하며, 초본 제 2층에 보풀, 밭뚝외풀, 가래, 개구리밥 등이 출현하고 있다.

한편, 밭경작지의 경우 경작이 시작되기 이전에 생활환을 마치고 종자를 산포하

는 식물들이나, 사람의 발매기라는 인간의 간섭에 의해 개체의 일부가 손상되더라도 살아남을 수 있는 식물들인, 소위 잡초들의 식물군락이 발달하고 있다. 이러한 식물들은 대체적으로 쇠비름, 바랭이, 강아지풀, 명아주 등과 같이 건조에 강한 내성을 가지고 있는 식물들이 빈도 높게 출현한다. 또한 경작이 중지된 묵밭의 경우에는 귀화식물인 개망초와 망초가 우점하게 되며, 계속하여 경작을 하지 않을 경우에는 쭉이 우점하는 쭉대밭이 되었다가, 차츰 산림식생으로 천이가 이루어지는 특징을 가지고 있다.

### ● 개망초-망초군락

경작이 중지된지 2-3년사이에 발달하는 월년생 초본군락으로 높이가 80cm에 달하는 초본 제1층에 개망초와 망초가 우점하고 있으며, 6-7월에 흰색의 꽃을 일제히 피우게 되어 대표적인 묵밭의 경관을 이루고 있는 식물군락이다. 평균출현종은 12종이다.

## 5. 대전광역시의 현존식생

### 1) 참나무 이차림군락

#### ● 신갈나무군락

신갈나무군락은 한반도 냉온대림의 대표적인 식생으로 중간온대림지역에 해당하는 대전광역시에 있어서는 산지 능선부에 대상으로 잔존하여 분포하고 있는 냉온대의 산림식생이다. 대전광역시는 기후적으로 볼 때에 신갈나무림의 최적범위는 아니지만 기후변화에 따른 식물의 이동과정에서 산능선부에 잔존하게되는 산정현상으로 분포하고 있으며, 이 신갈나무림은 산의 사면부의 중간온대림이 교란을 받게 되면 그 지역으로 분포역을 넓히게 되나 시간이 지남에 따라 그 자리를 중간온대 지역의 우점종인 다른 참나무류나 서어나무에게 피압을 받게되어 쇠퇴하는 특징을

갖고 있는 산림군락이다.

### ● 굴참나무군락

굴참나무는 참나무의 종류 중에서 수피에 콜크층이 두껍게 발달되어 있는 특징을 가지고 있어 산불에 대한 내성이 클 뿐만이 아니라, 건조에 대한 내성이 큰 수목으로 구봉산 지역과 같은 바위 능선, 혹은 사면부에 토양이 모이는 입지, 잔구성 산지와 같이 토심이 얇아서 건조되기 쉬운 산의 남사면에 대규모의 군락을 형성하고 있는 산림군락이다.

### ● 상수리나무군락

상수리나무는 대전광역시에서 뿐만이아니라 우리나라의 전지역에 있어서 우리민족과 생활을 같이하여 온 대표적인 참나무 종류로, 참나무 무리중 도토리가 가장 크고 또한 종자의 산출량이 많음으로 해서 우리나라 고유의 음식인 도토리묵의 소재가 되어 구황식물로 이용되어 왔음은 물론 다른 참나무류와 마찬가지로 신탄(떡나무), 숯 등의 연료는 물론이며 농기구의 제작이나 버섯재배의 대목으로 활용되어 온 이용성이 높은 나무이다. 이와 같이 사람에게는 물론 숲에 살고 있는 포유류, 조류, 곤충류 등의 다양한 생물들에게 먹이와 서식 공간을 제공하고 있는 우리나라의 대표적인 산림식생의 하나이다. 대전광역시의 참나무 이차림 중에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 산림식생이지만, 분포하는 지역이 사람의 간섭을 가장 많이 받는 인가 근처에 위치함으로 해서 과거에는 신탄을 위한 하층식생의 제거와 도토리를 수확하기 위한 나무도끼질 등에 의하여 훼손되어져 왔으며 현재에는 무분별한 숲가꾸기 등에 의하여 층위구조의 발달이 이루어지지 않고 있는 실정으로 적절한 관리 대책이 요구되어 지는 산림식생이다.

### ● 졸참나무군락

졸참나무는 서어나무와 함께 한반도의 중간온대림지역을 특징지워 주는 대표적인 수종으로, 중간온대 지역의 토심이 깊고 적습한 토양에서 극상림을 이루게 된

다. 그러나 대전광역시 내에는 우산봉 일대의 극히 제한된 지역에서만 분포하고 있으며, 기타 지역에서는 다른 참나무류들과 혼생하고는 있지만 우점림을 형성하지 못하고 있다. 이의 이유로는 졸참나무의 최적입지인 산지 사면하부의 비교적 토심이 깊고 경사가 완만한 지역의 대부분이 경작지나 거주지역 등으로 개발되어졌거나, 리기다소나무, 곰솔 등의 소나무류의 식재를 위하여 벌채되고 식재림의 관리에 따라 입지 자체가 소멸되었음에 기인하는 것으로 해석이 된다.

### ● 갈참나무군락

갈참나무는 참나무의 종류 중에서 산지 사면하부의 평탄지나, 하천변 테라스지역에 대규모의 군락이 발달하는 참나무 종류로 잎이 길이가 15-25cm, 폭이 10-15cm에 달하는 잎이 큰 참나무이지만, 이 군락 역시 졸참나무의 입지와 마찬가지로 인간의 행위에 의하여 입지가 소멸됨에 따라 현재 분포하는 산림을 찾아보기가 어려운 산림군락이다. 대전광역시 인근의 계룡산 감사입구의 하천변 테라스에 대규모의 군락을 관찰할 수가 있으며, 현재에는 만인산의 추부터널 인근에 소규모의 군락상으로 남아 있는 것을 볼 수가 있는 산림식생이다.

## 2) 소나무 이차림

### ● 소나무군락

소나무 이차림은 산지 참나무림이 발달하는 지역에서 능선부와 같이 열악한 수분조건이나 암석이 돌출된 사면부에 자연적으로 발달된 경우와, 산지 참나무림이 과도한 벌채나 산불 등에 의하여 파괴된 후 2차천이의 과정에서 형성된 경우 및 과거 식재에 의해서 형성되어진 경우가 있으나, 앞의 두 경우에 있어서는 대부분의 입지가 열악한 환경조건으로 인하여 왜생하고 있으며, 식재림의 경우에는 관리부재로 방치됨에 따라서 임장에서 성장한 참나무류들의 맹아의 성장으로 인하여 수관이 축소되었거나, 점차 참나무류의 이차림으로 발달되어가는 특징을 가지고 있다. 대전광역시의 천연보호림으로 지정한 대별동의 소나무림의 경우는 소나무 이외의 수종을 지속적으로 벌채하고 소나무만을 관리하여 형성된 소나무 2차림에 해당된

다. 대전광역시 현존식생도에서는 위의 세 가지 경우에서의 종조성적 특성이 뚜렷이 구별되지 않음으로 해서 상관적으로 동일하게 적용하여 소나무 2차림으로 나타내었다.

### 3) 인공조림식생

인공조림 식생은 인위적인 목적을 위하여 식재한 경우에 한하여 적용되며 대전광역시에는 리기다소나무, 곰솔, 일본잎갈나무, 잣나무, 아까시나무, 밤나무, 은사시나무 등이 널리 식재되고 있다.

#### ● 리기다소나무식재림

인공림 가운데 가장 넓게 분포하고 있는 수종으로 송진이 많이 나오고 옹이가 많아 쓰임새는 적으나 척박한 입지에서도 잘자라며, 해충에 강하여 사방조림용으로 널리 식재되어진 북미지역으로부터 도입된 수종이다. 잎이 3장으로 삼엽송으로도 불리는 리기다소나무는 원줄기에서도 잎이 나오는 특징이 있어 상관적으로 소나무와 구별되어 진다.

#### ● 곰솔식재림

곰솔은 나무껍질이 검은빛을 띤 갈색으로 해송 또는 흑송이라고 불리우며, 육지보다는 주로 해안가 주변에 잘자라고 소나무에 비해 내음성이 강한 수종으로 방풍을 목적으로 조성되는 경우가 일반적이다. 대전광역시 조사권역 내에서는 소나무에 비해 내음성이 강하여 사방용으로 식재된 것으로 보이며, 주로 계룡산국립공원 내 도덕봉 저지대 및 식장산 일대, 대청호 주변 등 넓게 식재되어진 것으로 나타났다.

#### ● 일본잎갈나무식재림

본 수종은 낙엽송이라고도 불리우는 일본 원산의 낙엽침엽수로 성장이 빠른 속성수이다. 일본잎갈나무는 주로 산지 사면의 계곡부에 토심이 깊고 토양습도가 높

은 지역에 식재되고 있으며, 목재는 과거에는 건축 공사장이나 갭목(坑木) 등으로 활용하기 위하여 대규모로 식재되었던 수종이나 현재에는 이용가치가 적음으로써 거의 식재되지 않고 있는 수종이다. 매년 다량의 낙엽이 떨어지나 낙엽의 분해 속도가 늦은 관계로 임상에는 낙엽층이 두껍게 쌓임으로 인하여 임상식물의 빈도와 피도가 낮을 뿐만 아니라, 낙엽의 분해시 산이 다량 침출됨으로 인하여 소나무림과 마찬가지로 토양의 산성화를 야기시키는 수종으로 알려져 있다.

### ● 아까시나무식재림

북아메리카가 원산지인 아까시나무는 일제시대 이후에 사방조림용으로 도입된 수종으로 척박한 입지에서도 매우 잘자라고 번식력이 매우 강한 것으로 알려져 있다. 과거에는 사방용으로 넓게 식재되어졌으나 대경목으로 자라도 쉽게 갈라지고 목질이 약하여 이용가치가 떨어지며, 번식력이 강하여 주변의 기존 식생을 파괴하는 이유 등으로 현재는 거의 식재되고 있지 않고 있다. 본 대전시 일대에서는 제방변이나 임연부, 도심지 내의 야산에서 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다.

### ● 물오리나무식재림

물오리나무는 산오리라고도 불리며, 콩과식물과 마찬가지로 뿌리혹박테리아가 있어 척박한 토양에서도 잘자라는 특성으로 인해 과거 사방공사지에 식재된 수종이 현재 잔존해 있는 것으로 나타났다. 본 지역에서는 식장산 일대의 임도 주변에서 소규모로 식재되어 있는 것을 볼 수 있다.

### ● 잣나무식재림

잣나무는 우리나라의 냉온대 낙엽수림의 상부지역이나 아고산대지역에 분포하는 수종이지만, 열매(잣 : 송실)나 목재를 이용하기 위하여 널리 식재되고 있으며, 일반적으로 산지 사면 하부의 토심이 깊고 토양이 적습한 지역에 식재되어 지고 있다. 대전광역시 역시 산지 사면 하부나 계곡부의 평탄지에 식재되어진 것으로 조사

되었다.

#### ● 밤나무식재림

밤나무식재림은 과거 밤을 수확하기 위하여 식재되어졌으나, 현재는 관리를 하지 않음으로 인하여 입지의 잔재 식생인 참나무류가 성장하여 혼생하고 있는 2차림지역으로 나타나고 있다. 조사지역 내에는 공주군에서와 같은 대단위 식재림은 보여지지 않고 있으며, 현재 식장산 일부와 목원대 주변, 연구단지 우성산 일대 등지에서 분포하고 있다.

#### ● 은사시나무식재림

은사시나무는 사시나무속의 속성수로 하천변이나 과거 긴급녹화가 필요한 산지 계곡부에 식재되어졌으나, 현재는 이용가치의 하락과 관리소홀로 인하여 과거에 식재되어진 지역에서 대경목만이 낮은 밀도로 잔존하고 있는 것으로 조사되었다. 종 조성적이 면에서는 교목층의 식피율이 낮고, 임상의 토양습도가 높음으로 인하여 관목층에는 국수나무, 짚레꽃, 덩굴딸기 등과 같은 임연성 식물이 우점하는 특징을 보이고 있다.

#### 4) 경작지식생

경작지에서는 현재 벼의 경작이 이루어지는 곳에서는 벼, 돌피, 보풀 등이, 휴경지의 경우에는 짝새풀이 논 경작지를 대표하며, 밭의 경우에 있어서는 경작 중에 있어서는 쇠비름, 비름, 명아주 등이 그리고 묵밭의 경우에는 개망초와 망초가 우점하고 있다.

#### 5) 하천변 식생

하천변 습지식물군락은 하천이나 호수 및 저수지와 같은 물의 영향을 받는 습한

환경에서 발달하고 있는 식생으로 입지조건에 따라 하변림군락, 추수식물군락, 부엽식물군락, 부유식물군락, 수중식물군락 등으로 대별할 수가 있다. 대표적인 습지식물군락으로는 달뿌리풀군락, 갈대군락, 물억새군락, 애기부들군락, 줄군락, 갈풀군락 등이 있다. 대전광역시의 식생유형 중에서 가장 좁은 면적을 차지하고 있으나, 수질의 정화, 어류, 양서류, 조류 등의 중요한 서식처의 기능을 수행하고 있는 군락이다.

## 6) 농촌형 취락지구

농촌형 취락지구는 특징적인 식생형을 나타내고 있지는 않으나 가옥이 조밀하지 않으며, 취락지구 내에는 소규모의 경작지와 감나무, 대추나무 등의 과실수와 느티나무, 은행나무, 가중나무 등이 가옥의 주변부에 식재되어 있어 도시지역과 비교하였을 때, 비교적 녹지율이 높았다.



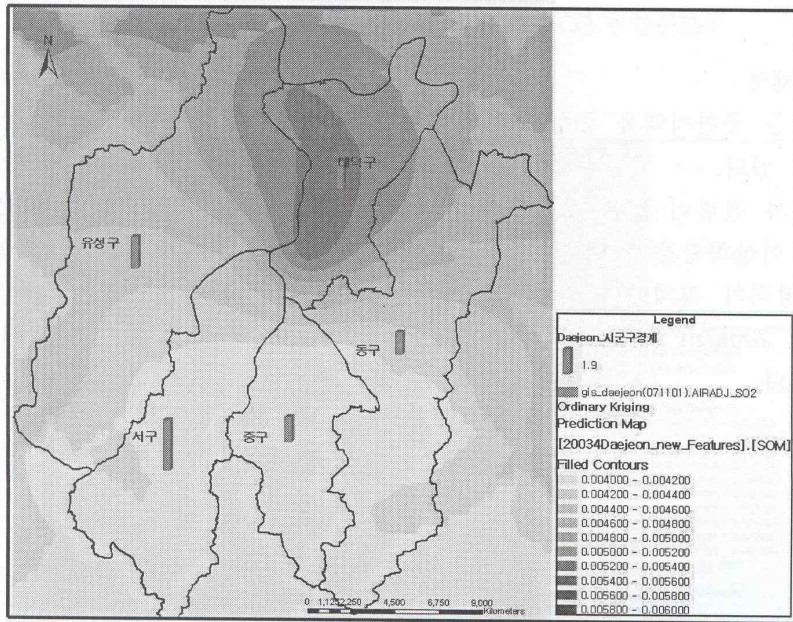
## 제2절 대전시 대기오염 현황에 따른 식재전략

### 1. 대전시 대기오염 현황정도

#### 1) 대전시 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 공간분포도<sup>10)</sup>

아래의 <그림 3-1>, <그림 3-2>는 2004 ~ 2007년에 걸쳐 대기오염관측소에서 측정된 대기오염 농도를 Kriging 방법을 이용하여 분석한 것이다. Kriging 방법은 각 측정소로부터 오염물질의 대기확산을 고려하여 측정되지 않은 장소에서의 오염물질의 대기오염 수준을 평가하거나, 특정지역의 전체 오염 양상을 평가하는 기법이다.

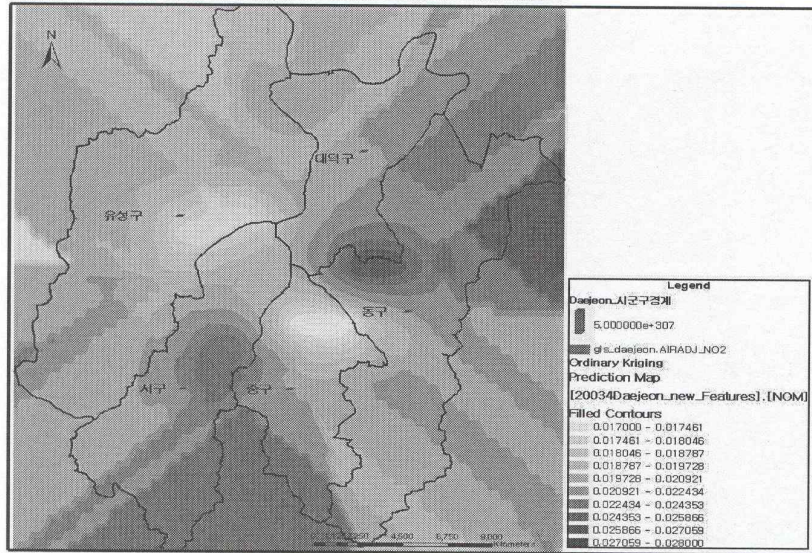
아래 <그림 3-1> Kriging을 이용한 대전지역의 SO<sub>2</sub>공간분포도를 보면 SO<sub>2</sub>는 주로 대덕구를 중심으로 높은 분포도를 보였다.



<그림 3-1> Kriging을 이용한 대전지역 SO<sub>2</sub>공간분포도

10) 환경부(2007) 위해성 평가 관리·요소기술 환경보건감시체계 기반기술 개발 : 대기오염 중심으로.

또한 <그림 3-2>에서 Kriging을 이용한 대전지역의 NO<sub>2</sub>공간분포도를 살펴보면, NO<sub>2</sub>는 주로 서구와 동구를 중심으로 높은 값은 나타내었다.



<그림 3-2> Kriging을 이용한 대전지역 NO<sub>2</sub>공간분포도

## 2) 행정구역별 배출원소분류별 대기오염 배출량

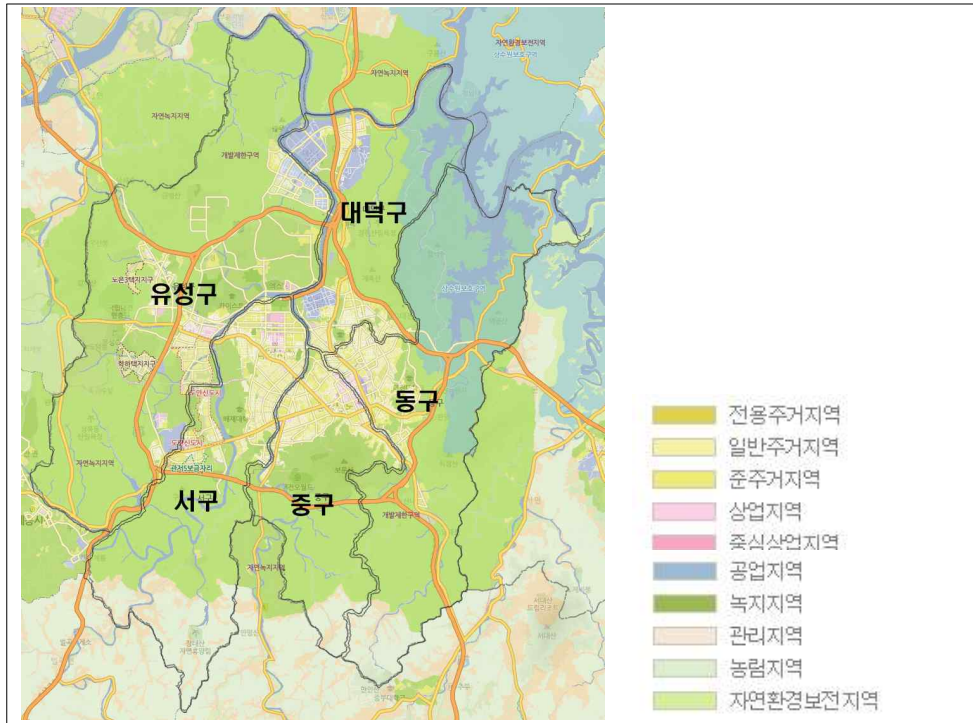
다음 <그림 3-3>는 대전시 용도별 분류 지도<sup>11)</sup>로 대전시를 전용주거지역, 일반주거지역, 준주거지역, 상업지역, 중심상업지역, 공업지역, 녹지지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 분류한 것이다.

SO<sub>2</sub>의 분포도가 높았던 대덕구의 경우 주로 일반공업지역이 밀집되어 있으며 그 종류가 제조업, 생산업, 에너지 수송 및 저장 등으로 SO<sub>2</sub>배출량이 많은 업종으로 이루어져 있다.

NO<sub>2</sub>의 분포도가 높았던 서구와 동구 지역은 일반주거지역, 준주거지역 등이 밀

11) 네이버지도 지적편집도 참고.

집되어 있으며 주로 상업 및 공공기관시설과 주거용시설 등으로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 3-3> 대전시 용도지역별 분류도

다음의 <표 3-1>은 2009년 행정구역별 배출원소분류별 배출량(국립환경과학원, 2009)을 요약한 것으로, 앞서 Kriging을 이용한 대전지역의 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>공간분포도에서 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>의 배출량이 높았던 대덕구, 서구, 동구의 배출원소분류별 대기오염 배출량을 조사하였다.

<표 3-1> 2009년 행정구역별 배출원소분류별 배출량(대덕구, 서구, 동구)

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO(kg)	NOx(kg)	SOx(kg)
대덕구	에너지산업 연소	지역난방시설	74,831	570,657	504,944
대덕구	에너지산업 연소	지역난방시설	9,844	26,712	94
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	143	1,581	759
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	895	3,581	25
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	3,971	36,136	6,301
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	2,930	10,548	83
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	4,476	21,712	98
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	87	421	2
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	18,739	108,336	293
대덕구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	76,687	57,112	
대덕구	비산업 연소	주거용시설	589	6,516	3,129
대덕구	비산업 연소	주거용시설	1,615	6,458	36,598
대덕구	비산업 연소	주거용시설	341	940	3
대덕구	비산업 연소	주거용시설	373,783	67,676	119,564
대덕구	비산업 연소	주거용시설	8	31	
대덕구	비산업 연소	주거용시설	2,236	20,346	3,548
대덕구	비산업 연소	주거용시설	2,903	10,451	82
대덕구	비산업 연소	주거용시설	2,043	9,911	45
대덕구	비산업 연소	주거용시설	56	271	1
대덕구	비산업 연소	주거용시설	45,228	261,472	707
대덕구	비산업 연소	주거용시설	37,840	24,473	6
대덕구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	13	140	67
대덕구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	158	631	4
대덕구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	15	53	
대덕구	제조업 연소	연소시설	290	3,204	720
대덕구	제조업 연소	연소시설	647	7,166	3,441
대덕구	제조업 연소	공정로	702	1,931	5
대덕구	제조업 연소	공정로	7,027	15,851	37,345

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
대덕구	제조업 연소	공정로	28,543	30,143	192
대덕구	제조업 연소	기타	3	31	15
대덕구	제조업 연소	기타	92	369	3
대덕구	제조업 연소	기타		1	1
대덕구	제조업 연소	기타	4	14	
대덕구	제조업 연소	기타	13	52	
대덕구	제조업 연소	기타	30	120	48
대덕구	제조업 연소	기타	50	199	1
대덕구	제조업 연소	기타	41	164	1
대덕구	제조업 연소	기타	26	104	1
대덕구	제조업 연소	기타	121	485	3
대덕구	제조업 연소	기타	11	45	
대덕구	제조업 연소	기타	242	2,678	5,018
대덕구	제조업 연소	기타	76	846	732
대덕구	제조업 연소	기타	65	260	2
대덕구	제조업 연소	기타	106	424	168
대덕구	제조업 연소	기타	1	4	
대덕구	제조업 연소	기타	264	1,056	7
대덕구	제조업 연소	기타	34	137	1
대덕구	제조업 연소	기타	4	16	
대덕구	제조업 연소	기타	2	26	13
대덕구	제조업 연소	기타	126	503	4
대덕구	제조업 연소	기타	26	103	41
대덕구	제조업 연소	기타	249	996	7
대덕구	제조업 연소	기타	6	19	
대덕구	제조업 연소	기타	4	11	
대덕구	제조업 연소	기타	45	180	22
대덕구	제조업 연소	기타	1	4	
대덕구	제조업 연소	기타	24	266	499
대덕구	제조업 연소	기타	132	1,465	703
대덕구	제조업 연소	기타	239	958	7
대덕구	제조업 연소	기타	38	151	60
대덕구	제조업 연소	기타	87	347	2
대덕구	제조업 연소	기타	1,144	3,448	15
대덕구	제조업 연소	기타	19	58	
대덕구	생산공정	무기화학제품 제조업			4,259
대덕구	생산공정	무기화학제품 제조업		68,004	

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO(kg)	NOx(kg)	SOx(kg)
대덕구	생산공정	유기화학제품 제조업			
대덕구	생산공정	목재, 펄프 제조업			
대덕구	생산공정	식음료 가공			
대덕구	생산공정	식음료 가공			
대덕구	생산공정	기타 제조업	320	13,773	8,968
대덕구	에너지수송 및 저장	휘발유 공급			
대덕구	에너지수송 및 저장	휘발유 공급			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	도장시설			
대덕구	유기용제 사용	세정시설			
대덕구	유기용제 사용	세정시설			
대덕구	유기용제 사용	세정시설			
대덕구	유기용제 사용	세탁시설			
대덕구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
대덕구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
대덕구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
대덕구	도로이동오염원	승용차	89,524	14,126	47
대덕구	도로이동오염원	승용차	984	70	10
대덕구	도로이동오염원	승용차	64	365	1
대덕구	도로이동오염원	승용차	239,880	60,143	142
대덕구	도로이동오염원	승용차	2,304	404	18
대덕구	도로이동오염원	승용차	74	362	2
대덕구	도로이동오염원	승용차	415,658	78,558	216
대덕구	도로이동오염원	승용차	82,348	12,632	720
대덕구	도로이동오염원	승용차	46	188	
대덕구	도로이동오염원	승용차	98,957	17,554	81
대덕구	도로이동오염원	승용차	14,799	2,113	172
대덕구	도로이동오염원	택시	264,384	51,073	1,535
대덕구	도로이동오염원	승합차	4,552	1,178	1
대덕구	도로이동오염원	승합차	7,657	853	55
대덕구	도로이동오염원	승합차	9,826	15,923	22
대덕구	도로이동오염원	승합차	127	35	

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO(kg)	NOx(kg)	SOx(kg)
대덕구	도로이동오염원	승합차	1,642	350	18
대덕구	도로이동오염원	승합차	14,005	21,272	9
대덕구	도로이동오염원	승합차	1,905	7,056	5
대덕구	도로이동오염원	승합차	1,865	2,871	1
대덕구	도로이동오염원	버스	6,500	20,899	11
대덕구	도로이동오염원	버스	50,466	58,620	
대덕구	도로이동오염원	버스	4,275	16,139	12
대덕구	도로이동오염원	버스	8,984	33,179	26
대덕구	도로이동오염원	버스	744	2,883	2
대덕구	도로이동오염원	화물차	1,254	440	1
대덕구	도로이동오염원	화물차	10,012	2,310	72
대덕구	도로이동오염원	화물차	78,075	121,282	148
대덕구	도로이동오염원	화물차	514	156	1
대덕구	도로이동오염원	화물차	9,176	2,451	90
대덕구	도로이동오염원	화물차	149,233	264,147	347
대덕구	도로이동오염원	화물차	33,656	4,351	1
대덕구	도로이동오염원	화물차	87,659	505,174	164
대덕구	도로이동오염원	화물차	12,561	21,108	29
대덕구	도로이동오염원	화물차	231	207	
대덕구	도로이동오염원	화물차	12,182	66,025	24
대덕구	도로이동오염원	화물차	5,969	32,358	12
대덕구	도로이동오염원	특수차	1,167	1,890	2
대덕구	도로이동오염원	특수차	6,233	10,022	10
대덕구	도로이동오염원	특수차	2,263	3,666	3
대덕구	도로이동오염원	RV	19,343	50,885	121
대덕구	도로이동오염원	RV	3,598	429	
대덕구	도로이동오염원	RV	54,345	11,364	
대덕구	도로이동오염원	RV	76,122	82,279	107
대덕구	도로이동오염원	RV	1,503	264	
대덕구	도로이동오염원	RV	51,504	10,837	
대덕구	도로이동오염원	이륜차	41,342	300	4
대덕구	도로이동오염원	이륜차	223,119	3,749	19
대덕구	도로이동오염원	이륜차	326,041	5,478	27
대덕구	도로이동오염원	이륜차	23,189	355	2
대덕구	비도로이동오염원	철도	54,158	132,231	3,369
대덕구	비도로이동오염원	철도	11,386	28,523	816
대덕구	비도로이동오염원	농업기계	283	567	

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
대덕구	비도로이동오염원	농업기계	45	84	
대덕구	비도로이동오염원	농업기계	216	683	
대덕구	비도로이동오염원	농업기계	36	71	
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	796	2,024	2
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	2,243	6,622	7
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	14,958	41,117	36
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	32,813	57,310	58
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	939	7,128	8
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	3,361	6,723	5
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	367	1,846	2
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	2,522	5,043	4
대덕구	비도로이동오염원	건설장비	1,029	1,441	1
대덕구	폐기물처리	폐기물소각	53,521	208,975	76,392
대덕구	폐기물처리	폐기물소각	6,634	187,092	14,585
대덕구	폐기물처리	기타 폐기물 처리			
대덕구	기타 면오염원	산불 및 화재	34,498	812	
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	1,846	7,385	52
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	3,022	27,502	4,795
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	2,608	9,390	74
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	1,136	5,509	25
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	25	121	1
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	12,522	72,390	196
서구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	73,585	54,802	
서구	비산업 연소	주거용시설	1,527	16,901	8,117
서구	비산업 연소	주거용시설	9,964	27,432	74
서구	비산업 연소	주거용시설	379,911	68,785	121,524
서구	비산업 연소	주거용시설	1,821	16,570	2,889
서구	비산업 연소	주거용시설	3,776	13,594	107
서구	비산업 연소	주거용시설	793	3,846	17
서구	비산업 연소	주거용시설	24	118	1
서구	비산업 연소	주거용시설	17,164	99,232	268
서구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	963	3,851	27
서구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	1	4	
서구	제조업 연소	연소시설	116	1,282	615
서구	제조업 연소	공정로	5	19	14
서구	제조업 연소	공정로	5	14	
서구	제조업 연소	기타	27	109	43



<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
서구	제조업 연소	기타	13	54	
서구	제조업 연소	기타	59	234	93
서구	제조업 연소	기타	3	13	
서구	제조업 연소	기타	3	13	
서구	제조업 연소	기타	11	35	
서구	제조업 연소	기타	38	150	60
서구	제조업 연소	기타	8	31	
서구	제조업 연소	기타	286	861	4
서구	제조업 연소	기타	12	35	
서구	생산공정	식음료 가공			
서구	생산공정	식음료 가공			
서구	생산공정	식음료 가공			
서구	생산공정	기타 제조업	13	540	352
서구	에너지수송 및 저장	휘발유 공급			
서구	에너지수송 및 저장	휘발유 공급			
서구	유기용제 사용	도장시설			
서구	유기용제 사용	도장시설			
서구	유기용제 사용	도장시설			
서구	유기용제 사용	도장시설			
서구	유기용제 사용	도장시설			
서구	유기용제 사용	세정시설			
서구	유기용제 사용	세정시설			
서구	유기용제 사용	세탁시설			
서구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
서구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
서구	도로이동오염원	승용차	244,569	43,054	129
서구	도로이동오염원	승용차	1,746	200	23
서구	도로이동오염원	승용차	183	767	4
서구	도로이동오염원	승용차	889,796	173,232	288
서구	도로이동오염원	승용차	4,561	658	19
서구	도로이동오염원	승용차	178	693	4
서구	도로이동오염원	승용차	1,358,497	243,608	565
서구	도로이동오염원	승용차	244,951	36,651	1,719
서구	도로이동오염원	승용차	38	127	
서구	도로이동오염원	승용차	383,363	60,881	199
서구	도로이동오염원	승용차	39,158	5,251	308

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
서구	도로이동오염원	택시	471,590	91,594	2,839
서구	도로이동오염원	승합차	1,131	393	
서구	도로이동오염원	승합차	11,502	2,044	105
서구	도로이동오염원	승합차	22,122	32,267	49
서구	도로이동오염원	승합차	29	9	
서구	도로이동오염원	승합차	3,516	686	31
서구	도로이동오염원	승합차	28,189	42,387	17
서구	도로이동오염원	승합차	2,111	7,386	5
서구	도로이동오염원	승합차	2,673	4,336	2
서구	도로이동오염원	버스	9,554	30,405	16
서구	도로이동오염원	버스	94,245	109,495	
서구	도로이동오염원	버스	1,773	6,537	5
서구	도로이동오염원	버스	18,586	64,780	46
서구	도로이동오염원	버스	127	490	
서구	도로이동오염원	화물차	611	289	
서구	도로이동오염원	화물차	10,511	3,438	93
서구	도로이동오염원	화물차	107,540	150,167	207
서구	도로이동오염원	화물차	381	108	
서구	도로이동오염원	화물차	8,792	2,462	58
서구	도로이동오염원	화물차	233,327	391,638	368
서구	도로이동오염원	화물차	7,414	906	
서구	도로이동오염원	화물차	27,910	157,822	50
서구	도로이동오염원	화물차	6,057	10,176	12
서구	도로이동오염원	화물차	87	85	
서구	도로이동오염원	화물차	15,992	86,675	32
서구	도로이동오염원	화물차	7,825	42,419	16
서구	도로이동오염원	특수차	959	1,540	1
서구	도로이동오염원	특수차	5,820	9,208	8
서구	도로이동오염원	특수차	1,769	2,857	2
서구	도로이동오염원	RV	21,032	53,694	115
서구	도로이동오염원	RV	3,780	378	
서구	도로이동오염원	RV	178,805	35,198	
서구	도로이동오염원	RV	197,684	209,235	276
서구	도로이동오염원	RV	1,448	220	
서구	도로이동오염원	RV	162,166	32,455	
서구	도로이동오염원	이륜차	99,150	719	9
서구	도로이동오염원	이륜차	226,461	3,805	19

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
서구	도로이동오염원	이륜차	410,301	6,894	34
서구	도로이동오염원	이륜차	56,432	864	4
서구	비도로이동오염원	철도	35,421	86,484	2,204
서구	비도로이동오염원	철도	2,232	5,591	160
서구	비도로이동오염원	농업기계	569	1,139	
서구	비도로이동오염원	농업기계	37	68	
서구	비도로이동오염원	농업기계	579	1,830	1
서구	비도로이동오염원	농업기계	75	150	
서구	비도로이동오염원	건설장비	3,961	10,068	11
서구	비도로이동오염원	건설장비	11,158	32,950	34
서구	비도로이동오염원	건설장비	74,423	204,578	180
서구	비도로이동오염원	건설장비	163,260	285,147	291
서구	비도로이동오염원	건설장비	4,674	35,463	38
서구	비도로이동오염원	건설장비	16,725	33,450	24
서구	비도로이동오염원	건설장비	1,826	9,184	10
서구	비도로이동오염원	건설장비	12,546	25,092	18
서구	비도로이동오염원	건설장비	5,120	7,169	5
서구	기타 면오염원	산불 및 화재	1,001	28	
서구	기타 면오염원	산불 및 화재	64,387	1,516	
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	528	5,848	2,808
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설		1	3
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	15	161	140
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	793	3,172	22
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	1,314	11,958	2,085
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	3,437	12,372	97
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	2,603	12,626	57
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	21	104	
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	13,394	77,432	209
동구	비산업 연소	상업 및 공공기관시설	60,345	44,942	
동구	비산업 연소	주거용시설	367	4,065	1,952
동구	비산업 연소	주거용시설	4	18	12
동구	비산업 연소	주거용시설	1,187,732	215,046	379,927
동구	비산업 연소	주거용시설	106	1,175	1,018
동구	비산업 연소	주거용시설	310	3,426	1,645
동구	비산업 연소	주거용시설	30	119	1
동구	비산업 연소	주거용시설	2,782	25,318	4,415
동구	비산업 연소	주거용시설	3,734	13,441	106

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
동구	비산업 연소	주거용시설	1,381	6,700	30
동구	비산업 연소	주거용시설	25	120	1
동구	비산업 연소	주거용시설	17,133	99,051	268
동구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	181	724	5
동구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	1	5	1
동구	비산업 연소	농업.축산.수산업시설	3	11	
동구	제조업 연소	기타	20	222	192
동구	제조업 연소	기타	3	33	16
동구	제조업 연소	기타	3	11	
동구	제조업 연소	기타	1	6	
동구	제조업 연소	기타	21	84	33
동구	제조업 연소	기타		2	
동구	제조업 연소	기타	28	310	149
동구	제조업 연소	기타	25	100	40
동구	제조업 연소	기타	695	2,778	20
동구	제조업 연소	기타	50	199	79
동구	제조업 연소	기타	1	2	
동구	제조업 연소	기타	2	6	
동구	제조업 연소	기타	891	3,563	1,413
동구	제조업 연소	기타	34	136	1
동구	제조업 연소	기타	434	1,307	6
동구	제조업 연소	기타	8	25	
동구	생산공정	목재, 펄프 제조업			
동구	생산공정	식음료 가공			
동구	생산공정	식음료 가공			
동구	생산공정	기타 제조업	38	1,620	1,055
동구	에너지수송 및 저장	휘발유 공급			
동구	에너지수송 및 저장	휘발유 공급			
동구	유기용제 사용	도장시설			
동구	유기용제 사용	도장시설			
동구	유기용제 사용	도장시설			
동구	유기용제 사용	도장시설			
동구	유기용제 사용	도장시설			
동구	유기용제 사용	도장시설			
동구	유기용제 사용	세정시설			
동구	유기용제 사용	세정시설			
동구	유기용제 사용	세정시설			

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
동구	유기용제 사용	세탁시설			
동구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
동구	유기용제 사용	기타 유기용제사용			
동구	도로이동오염원	승용차	85,736	14,611	49
동구	도로이동오염원	승용차	855	74	10
동구	도로이동오염원	승용차	68	338	1
동구	도로이동오염원	승용차	279,387	63,147	134
동구	도로이동오염원	승용차	1,999	350	14
동구	도로이동오염원	승용차	73	333	2
동구	도로이동오염원	승용차	444,161	83,285	221
동구	도로이동오염원	승용차	87,515	13,525	716
동구	도로이동오염원	승용차	42	162	
동구	도로이동오염원	승용차	109,623	19,048	81
동구	도로이동오염원	승용차	15,542	2,236	162
동구	도로이동오염원	택시	244,112	46,374	1,340
동구	도로이동오염원	택시			
동구	도로이동오염원	승합차	2,909	982	1
동구	도로이동오염원	승합차	6,784	933	56
동구	도로이동오염원	승합차	10,691	16,495	24
동구	도로이동오염원	승합차	86	25	
동구	도로이동오염원	승합차	1,748	368	17
동구	도로이동오염원	승합차	14,508	21,995	9
동구	도로이동오염원	승합차	1,728	6,252	5
동구	도로이동오염원	승합차	1,726	2,657	1
동구	도로이동오염원	버스	6,041	19,148	10
동구	도로이동오염원	버스	50,927	59,115	
동구	도로이동오염원	버스	5,886	21,445	16
동구	도로이동오염원	버스	9,668	35,003	26
동구	도로이동오염원	버스	408	1,572	1
동구	도로이동오염원	화물차	982	411	1
동구	도로이동오염원	화물차	8,319	2,138	65
동구	도로이동오염원	화물차	73,263	107,468	139
동구	도로이동오염원	화물차	444	132	1
동구	도로이동오염원	화물차	7,755	2,100	69
동구	도로이동오염원	화물차	146,823	253,654	286
동구	도로이동오염원	화물차	22,265	2,586	
동구	도로이동오염원	화물차	84,130	477,570	150

<표 3-1> 계속

시군구	배출원대분류	배출원중분류	CO	NOx	SOx
동구	도로이동오염원	화물차	12,231	20,434	25
동구	도로이동오염원	화물차	226	214	
동구	도로이동오염원	화물차	10,979	59,504	22
동구	도로이동오염원	화물차	5,418	29,367	11
동구	도로이동오염원	특수차	912	1,475	1
동구	도로이동오염원	특수차	5,359	8,579	8
동구	도로이동오염원	특수차	1,673	2,710	2
동구	도로이동오염원	RV	16,116	43,477	98
동구	도로이동오염원	RV	3,181	362	
동구	도로이동오염원	RV	62,142	12,924	
동구	도로이동오염원	RV	77,979	83,580	109
동구	도로이동오염원	RV	1,316	228	
동구	도로이동오염원	RV	56,652	11,959	
동구	도로이동오염원	이륜차	48,881	355	4
동구	도로이동오염원	이륜차	233,065	3,916	19
동구	도로이동오염원	이륜차	533,680	8,967	44
동구	도로이동오염원	이륜차	31,602	484	2
동구	비도로이동오염원	철도	38,947	95,092	2,423
동구	비도로이동오염원	철도	8,279	20,738	593
동구	비도로이동오염원	농업기계	1,055	2,111	1
동구	비도로이동오염원	농업기계	79	146	
동구	비도로이동오염원	농업기계	272	860	1
동구	비도로이동오염원	농업기계	94	189	
동구	비도로이동오염원	건설장비	1,676	4,259	5
동구	비도로이동오염원	건설장비	4,720	13,937	14
동구	비도로이동오염원	건설장비	31,479	86,531	76
동구	비도로이동오염원	건설장비	69,055	120,609	123
동구	비도로이동오염원	건설장비	1,977	15,000	16
동구	비도로이동오염원	건설장비	7,074	14,149	10
동구	비도로이동오염원	건설장비	772	3,885	4
동구	비도로이동오염원	건설장비	5,307	10,613	8
동구	비도로이동오염원	건설장비	2,166	3,032	2
동구	기타 면오염원	산불 및 화재	7,473	212	
동구	기타 면오염원	산불 및 화재	35,539	837	

## 2. 지역 및 구간별 차별화된 식재전략

본래 식물은 호흡으로 방출되는 이산화탄소보다도 더 많은 양의 이산화탄소를 흡수하여 동화하는 성질을 지니고 있다.

일반 산림의 경우 동화작용의 동화량은 1시간에 1g의 잎이 침엽수에서는 2~3mg, 상록활엽수에서는 2~4mg, 낙엽활엽수에서는 6~10mg의 이산화탄소를 흡수하고, 동시에 흡수한 이산화탄소 동화량의 약 70%에 상당하는 산소를 대기중에 방출한다. 실제로 수목의 엽면적으로부터 방출되는 산소의 양에 상당하는 인간의 호흡에 필요한 산소의 양을 시산해 보면 1인당 30~40m<sup>2</sup>의 녹지면적이 필요하다는 이론이 나오기도 한다.

그럼에도 불구하고 도시와 공업지대의 산림이나 녹지 또는 가로수 등은 대기의 정화에 역행하는 대기중의 오염물질로 말미암아 분진에 의한 동화작용의 감소와 더불어 생리장애를 일으키는 범위 내에서 비교적 많은 분량의 가스오염물질을 흡수하게 된다. 그러므로 여러 가지 해독에 대하여 피해지역에 있는 수목은 해마다 저항력이 약화된다고 할 수 있다. 여기에서 동일한 수준의 오염에 대하여 비교적 강한 수종이 있는가 하면, 중간정도의 것도 있고 또 매우 약한 것도 있는 등 여러 가지로 구분된다.

이와 같은 문제를 고려해 볼 때 녹지 조성시 저항성이 강한 수목만을 집중적으로 식재하는 것도 바람직하지 못하며, 그렇다고 오염지대에서 저항력이 약한 것을 많이 혼식하면 대기의 정화와 풍치조성에 지장을 가져오게 된다. 따라서 대기오염 정도에 따른 저항성을 고려하는 식재패턴이 필요하다.

### 1) 공단, 정유공장, 화학공장 등 발전소 주변 식재

앞에서 살펴보았던 대전시의 대기오염 현황을 통해 SO<sub>2</sub>의 분포도가 높았던 지역은 대덕구에 위치한 일반공업지역 주변임을 알 수 있었다. 이러한 일반공업지역에는 그 종류가 제조업, 생산업, 에너지 수송 및 저장 등으로 SO<sub>2</sub>배출량이 많은

업종으로 이루어져 있었다.

따라서 대덕구의 일반공업단지 지역 주변으로는 중부지방에 적합한 수종이면서 SO<sub>2</sub>의 배출에 대한 상대적 저항성이 비교적 높은 수종을 선정해야 한다. 뿐만 아니라 공장 및 발전소 주변은 생산활동에 따라 대기오염 물질을 배출할 가능성이 높기 때문에 가능한 밀도를 높게 하여 식재하는 것이 바람직 할 것이다. 이러한 지역을 녹화하는 것은 주변 환경의 개선, 사고 발생시 재해 확산의 방지, 기업 이미지 제고, 지역사회와 친화 등의 효과도 더불어 기대할 수 있다.

● SO<sub>2</sub>에 대한 내성종 선정

라일락(수수꽃다리), 광나무, 팽나무, 박태기나무 등은 SO<sub>2</sub>에 강한 내성을 가지고 있지만 벽오동, 무궁화, 병꽃나무, 대추나무, 산사나무, 모과나무 등은 내성이 낮다.

<표 3-2> SO<sub>2</sub>에 강한 수종 및 약한 수종

구분		수종
SO <sub>2</sub> 에 강한 수종	상록침엽수	편백, 화백, 가이즈까향나무, 향나무 등
	상록활엽수	가시나무, 굴거리나무, 녹나무, 태산목, 후박나무, 후피나무 등
	낙엽활엽수	가층나무, 벽오동, 버드나무류, 칠엽수, 플라타너스 등
SO <sub>2</sub> 에 약한 수종	상록침엽수	소나무, 잣나무, 전나무, 삼나무, 히말라야시다, 잎갈나무, 독일가문비 등
	낙엽활엽수	느티나무, 툼립나무, 단풍나무, 수양벚나무, 자작나무 등



<표 3-3> 수목의 아황산가스에 대한 상대적 저항성

구 분	저 항 성					
	매우 강	강	중강	중약	약	매우 약
침엽수	편백	삼나무	일본젓나무, 해송	소나무	히말라야시 다	-
상록활엽교목	가시나무	중가시나무	참가시나무, 제 주광나무, 사스 레피나무	줄가시나무, 녹나무	-	-
상록활엽저목	-	-	-	왕작살나무, 산철쭉	-	-
낙엽활엽수	-	-	-	은행나무, 메 타세콰이어	일본잎갈나 무	-
낙엽활엽교목	-	중참나무, 물참나무, 목백일홍	포플러, 밤나무, 목련, 매화나무	은백양, 서어 나무, 단풍나 무, 벚나무, 칠 엽수	느티나무, 일 본목련, 단풍 나무, 버즘나 무, 배나무, 울 벚나무	황철나무, 물황철나무
낙엽활엽저목	-	무궁화	-	공조팝나무	반입백정화, 가막살나무	키버들, 당 조팝나무, 개나리, 달 귀망종화

## ● 공장 주변 식재 방안

공장은 그 생산활동에 따라서 대기오염물질과 소음을 발생할 가능성이 다른 시설보다 더 높기 때문에 대기환경을 개선할 목적이라면 가능한 한 밀도를 높게 하여 식재하는 것이 바람직하다. 부지주변은 차폐효과를 위해서 수목의 건전한 생육에 유의하면서 가능한 한 식재밀도를 높게 한다. 공장 부지내의 수목은 차량의 통행, 주차, 자재를 쌓아 두는 곳 등 생산기능상 지장이 되는 일부 구역을 제외하면 일반적으로 공간적 제약이 적기 때문에 부지 주변을 중심으로 자연상태의 관리를 기본으로 한 복층림 형태의 수림을 조성하는 것이 바람직하다.

공장내의 광장은 종업원의 휴식장소로도 중요하므로 녹음수, 화목, 화단 등으로 구성되는 밝고 쾌적한 녹지공간의 조성 등도 고려가 필요하다. 공장과 창고 등 건물 주변과 벽면도 내부경관의 향상 등의 관점에서 가능한 한 녹화를 유도해야 한다.

## 2) 도로변, 상업지역, 주택가 주변 식재

대전시의 중심부를 포함하고 있는 서구, 동구, 중구 지역은 일반주거지역, 준주거지역 등이 밀집되어 있으며 주로 상업 및 공공기관시설과 주거용 시설 등으로 이루어져 있었다. 특히 자동차 통행량이 많아 배기가스 배출량이 높고, 주거용 시설에 의한 보일러 사용 등 화석연료 사용량이 많은 지역으로 대기오염물질 중 NO<sub>2</sub>의 발생이 높은 지역이었다.

이에 따라 서구, 동구, 중구 지역에는 자동차 통행량이 많은 도로변과 상업 주거용, 공공기관 시설 주변부에는 중부지방에 적합한 수종이면서 NO<sub>2</sub>의 배출에 대한 상대적 저항성이 비교적 높은 수종을 선정하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

또한 상업지역, 주택가의 식재 패턴은 각각의 이용자의 행동패턴과 특성을 함께 고려하여야 한다. 상업지역의 경우 건물의 건폐율이 높아 식재공간이 부족하며, 일조조건이 열악함으로 내음성이 강하며 미적인 요소를 고려한 교목류, 덩굴식물, 플랜트 박스 등을 활용한 식재가 가능하다. 주택가는 지역 주민의 커뮤니티 형성, 사생

활 보호, 대기오염 정화 등의 요소를 고려한 식재 방안이 필요하다.

● 도로변 강한 수종 선정

환경부에서 권장하는 수종으로 도로변과 같이 오염농도가 높은 곳에는 은행나무, 튼린나무, 양버즘나무, 가중나무, 자작나무 등이 있다.

<표 3-4> 배기가스에 강한 수종 및 약한 수종

구분		수종
배기가스에 강한 수종	상록침엽수	비자나무, 편백, 가이즈까향나무, 눈향나무 등
	상록활엽수	굴거리나무, 녹나무, 후피향나무, 구실잣밤나무, 감탕나무, 줄가시나무, 다정큼나무, 식나무 등
	낙엽활엽수	미루나무, 양버들, 왕버들, 능수버들, 벽오동, 가중나무, 은행나무, 플라타너스, 무궁화, 쥐똥나무 등
배기가스에 약한 수종	상록침엽수	히말라야시다, 전나무, 소나무, 측백나무, 반송 등
	상록활엽수	금목서, 은목서 등
	낙엽활엽수	고로쇠나무, 목련, 튼린나무, 팽나무 등

● 도로변 완충녹지의 구조

대기오염을 저감하기 위한 완충녹지의 구조는 오염물질 흡수능력이 우수한 활엽수를 중심으로 다층구조를 이루는 식생이라 할 수 있으며, 잎이 피지 않는 계절을 위해서는 상록침엽수림과 낙엽활엽수림을 함께 이용하는 것이 효과적이다.

● 주택가, 상업지역 주변 수종 선정

대기오염도가 낮은 지역에서는 팽나무, 느릅나무와 꽃이 피는 목련, 벚나무, 배롱나무, 무궁화, 개나리 등의 식재를 고려해 볼 수 있다.

<표 3-5> 수목의 오염물질에 대한 저항성

저항성 침·활별	강 함	다소 강함	다소 약함	약 함	특히 약함
상록침엽수	향나무	-	흑 송 비자나무	히말라야시다 편 백 화 백	소나무 전나무 삼나무
상록활엽수 교 목	광나무 후피향나무 졸가시나무	녹나무 감탕나무 좀감탕나무 사스레피나무 아왜나무	붉가시나무 동백나무	가시나무 구실갓밤나무	-
	유엽도 돈나무 팔손이나무 사철나무 철 쪽	식나무 팽팡나무 서 향 섬취똥나무 호랑가시나무	-	-	-
상록활엽수 교 목	은행나무 벽 오 동	플라타너스 수양버들 참느릅나무	비술나무	느티나무 푸조나무 팽나무 왕벚나무	-
	-	개나리	-	-	-

### ● 상업지역 주변 녹화 방안

일반적으로 상업지역 주변에는 이용객의 편의와 청결감, 쾌적함을 위하여 상점이나 빌딩의 앞뜰 등을 녹화할 수 있다. 환경과 경관의 개선을 꾀하는 것은 고객의 확보와 상점 또는 기업의 이미지 제고에 매우 효과적이고 지구 전체의 이미지를 높이는 데도 크게 기여하게 된다. 그러나 상업·업무지는 일반적으로 건폐율이 높고 부지내 건축면적이 차지하는 비율이 타 지역에 비해 현저하게 높다. 그렇기 때문에 식재 가능 공간의 확보는 일반적으로 어렵고 또 확보했다 하더라도 좁은 공간인 경우가 많으며 건축물의 그늘에 가려 일조량이 부족하기 쉽다는 문제점이 있다.

이러한 점을 고려하여 상업·업무용 빌딩의 앞쪽은 쇼핑객의 통행과 상품전시에 방해되지 않도록 상업·업무지로서 본래의 기능과 조화를 고려하여 식재할 필요가 있다. 일반적으로 수고, 수관폭을 제한하지 않을 수 없기 때문에 강 전정방식의 관리가 전제되어야 한다. 소교목이나 관목류를 기본으로 하고 가능하면 교목류를 열식하며, 업무빌딩의 측면은 일조조건 등이 열악하기 때문에 식재는 일반적으로 어렵지만 가능하면 내음성이 강한 수종을 식재한다.

빌딩의 전정, 테라스, 옥상 등에는 일반적으로 이용하지 않는 공간이 많이 있는데 이러한 공간에는 가능한 한 수목과 화초를 식재한다. 또 식재가능 공간의 확보를 위하여 플랜트 박스를 이용하거나 덩굴식물에 의한 벽면녹화 등도 생각할 수 있다.

### ● 주택가 주변 녹화 방안

주택가 주변은 주민의 생활이 쾌적하도록 깨끗한 공기, 적당한 일조, 조용함 등이 확보된 환경이어야 한다. 주택가 주변을 녹화하는 것은 녹지와 접촉에 의해 녹화에 대한 주민의 의식이 높아지며, 주민들의 커뮤니티 형성도 활발해 질 수 있다. 나아가 아름다운 거리가 형성되고, 지역의 혜택이 증가하며, 주택가 주변 녹지의 증가는 도시 전체의 녹지량에도 큰 영향을 주기 때문에 그 효과가 크다.

주택가 주변, 특히 도로와 접한 부분은 방법, 방재, 경관조성 등 여러 가지 사항을 고려하여 가능한 생울타리 식재방안을 유도해야 한다. 가옥의 남쪽은 중요한 시

설에 접하고 있는 경우가 많기 때문에 적절한 실내 조도의 확보, 쾌적성 등을 충분히 고려하여 고목, 저목, 상록수, 낙엽수를 적당하게 배합하여 식재하는 것이 바람직하다. 주택의 북쪽 등 일조조건이 좋지 않은 장소에서는 식재수종의 선정과 수종 구성에 있어서 수목의 내음성을 충분히 고려해야하며, 공간적 제약과 주택에서 추구하는 모든 기능과의 조화 때문에 수목을 식재할 수 없는 장소에서는 화초나 지피식물(잔디 등)을 식재를 고려할 수 있다.

## 제 4 장

---

### 결론 및 정책건의

---

제1절 결론

제2절 정책건의

---

## 제4장 결론 및 정책건의

### 제1절 결론

본 연구는 대기오염과 식물의 특성에 대해 알아보고, 대기오염과 식생 분포 및 식물 성장의 관계에 대해 고찰하여, 추후 대기오염물질의 종류와 대기오염을 배출하는 배출원의 종류에 따라 차별화된 식재전략을 구축함으로써 대기오염 영향을 완화시키는데 중요한 기초자료를 제공하고자 하였다. 내용을 요약하면 다음과 같다.

대기오염이란 오염되지 않은 공기에 이물질이 혼입되어, 그 결과로 인간에게 직·간접적으로 피해를 유발하는 경우라 할 수 있다. 배출원으로는 크게 자연적 배출원과 인위적 배출원으로 나뉘며, 자연적 배출원은 화산폭발, 산불, 먼지폭풍, 해양, 식물이고, 인위적 배출원은 점오염원, 선오염원, 면오염원이다. 종류에는 입자상 대기오염물질로 분진, 재, 먼지 등 10가지가 있으며, 가스상 대기오염물질에는 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO등이 있다. 다음으로 광역대기오염은 이산화탄소의 방출과 같이 장기간 동안 대기오염물질이 방출되어서 산성비, 오존층 파괴, 지구온난화 등으로 지구 전체의 물질순환에 영향을 미치는 경우로 배출된 대기오염물질이 단기적으로 혹은 장기적으로 오염을 유발할 수 있다.

대기오염물질은 식물의 성장에도 영향을 미친다. 일반적으로 식물의 생육에 필요한 영양소나 유해성분은 식물의 배지인 토양으로부터 뿌리로 흡수되는 것이 많다. 그런데, 영양소의 경우에도 요소나 망간은 엽면살포의 효과가 나타나는 것과 같이 가스, mist, fume, dust 등의 형태의 오염물질은 엽면부착과 경엽적 흡수가 일어난다. 이렇게 흡수된 오염물질의 독성에 의해 피해가 발생한다. 물론, 대기오염물질이 토양과 물을 오염시켜서 간접적으로 식물에 피해를 일으킬 수도 있으나 일반적으로는 경엽적 흡수로 피해를 일으키는 경우가 많다. 고등식물은 일반적으로 잎을 보호하기 위하여 잎의 표피세포는 각피라는 고형의 물질로 피복 되어 있어서 가스의



교환이나 흡수가 전혀 일어나지 않는다. 표피조직에는 표피세포가 변형된 기공이라는 기관이 촘촘히 분포되어 있으며, 이곳을 통해서 가스의 교환이 일어난다. 기공은 2개의 공변세포에 의해 작은 간격이 만들어지며, 이 공변세포의 팽압의 변화에 의해 개폐의 정도가 달라진다. 기공의 개폐는 빛에 의하여 좌우되며 보통 야간에는 닫혀지고, 낮에는 열려지며 또, 체내수분의 다소와 외부 습도에 따라 조절한다. 고등식물은 옆의 기공으로부터 이산화탄소를 흡수하고 뿌리로부터 흡수한 물과 태양광선을 이용하여 “광합성”을 하여 탄수화물을 만든다. 이때 대기중에 오염물질이 존재하면 이산화탄소와 함께 식물체내로 흡수된다. 낮에 기공이 열려있을 동안 가스는 흡수되고, mist, fume 등이 쉽게 체내로 흡수된다. 대기오염물질의 체내로의 흡수경로는 기공이라는 것이 정설이다. 그러나, 그 흡수량은 이산화탄소의 흡수량과 비례적인 관계가 있으며 또 화분과 식물 등에서는 엽록의 수공으로 흡수되며, 가스이외의 입자가 큰 mist, fume 등은 부착, 투과, 침투된다.

이러한 대기오염에 대한 피해는 발생원의 특징에 따른 대기오염의 종류와 농도에 따라 식물 성장에 영향을 미친다. 공단, 정유공장, 석유화학공장 또는 중유를 원료로 하는 발전소 등에서는 아황산가스가 많이 발생한다. 아황산가스는 식물의 기공을 통하여 직접 식물 체내로 침입하여 피해를 줄 뿐만 아니라 토양에 흡수되어 산성화 시키고 뿌리에 피해를 주어 지력을 감퇴시킨다. 주택가, 상업지역, 도로변에는 주로 질소산화물의 발생한다. 질소산화물의 경우 일산화탄소와 광화학반응을 일으켜 Oxidant를 생성하는 원인물질이며, 또 다른 가스와의 공존에 의하여 상호효과를 나타내기 쉬운 것으로 주로 화석연료의 연소과정에서 주로 발생된다. 질소산화물은 식물의 경우 이산화질소의 농도가 25ppm을 초과하면 식물세포를 파괴하여 꽃 식물의 잎에 갈색이나 흑갈색의 반점이 생기게 한다.

반면 식물은 대기오염에 의해 피해를 입기도 하지만, 식생의 종류, 식재 패턴, 식생의 대기오염에 대한 저항성 등에 따라 대기오염물질에 대한 내성을 가지거나 대기오염물질을 정화하는 기능도 가지고 있다. 과거에는 정량적 평가가 이루어지지 않았지만 최근에는 녹지가 아황산가스나 이산화질소 등의 대기오염물질을 흡수하는데 상당한 능력을 가지고 있는 것이 판명되고 있다. 대기오염을 저감하기 위한

완충녹지의 구조는 오염물질 흡수 능력이 우수한 활엽수를 중심으로 다층구조를 이루는 식생이라 할 수 있으며, 잎이 피지 않는 계절을 위해서는 상록침엽수림과 낙엽활엽수림을 함께 이용하는 것이 효과적이다. 대기오염에 저항성이 강한 수종에는 가이즈까향나무, 구실잣밤나무, 벽오동, 사철나무, 은행나무, 유카, 졸참나무, 팔손이, 협죽도, 후피향나무 등이 있다. 환경부에서 권장하는 수종으로 도로변과 같이 오염농도가 높은 곳에는 은행나무, 튼린나무, 양버즘나무, 가중나무, 자작나무 등이 있으며 대기오염도가 낮은 지역에서는 팽나무, 느릅나무와 꽃이 피는 목련, 벚나무, 배롱나무, 무궁화, 개나리 등을 추천하고 있다.

위의 내용을 바탕으로 현재 대전시의 대기오염 현황과 식생현황에 대해 알아보았다. 대전시의 식생은 주로 산림지역은 신갈나무, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무, 소나무 등의 2차림 식생과 리기다소나무식재림을 비롯한 인공조림식생으로 이루어져 있었다. 하천변에는 버드나무 군락과 갈대, 물억새 등의 군락이 분포하였으며 경작지 주변에는 뚝새풀, 개망초 군락이 있었다. 대전시의 경우 경사도가 낮은 지역, 계곡부 등의 지역은 대부분이 농경지, 조림지, 주택지, 산업 활동지 등으로 개발된 결과로 각 입지의 특이한 식생은 찾아보기가 어려운 실정이었다. 대전시의 대기오염 현황분석은 일반공업지역이 밀집되어 있는 대덕구의 경우 SO<sub>2</sub> 분포가 높았으며, 서구와 동구 지역은 일반주거지역, 준주거지역 등이 밀집되어 있어 NO<sub>2</sub>의 분포가 높았다.

이처럼 본 연구에서는 대기오염과 식물에 대한 문헌조사의 자료 검토를 통한 기초정보 제공과 식물의 성장 및 대기오염의 관계를 검토하였다. 뿐만 아니라 대전시의 식생과 대기오염 현황을 알아보았다. 그 결과 대기오염이 식물 생태에 미치는 영향을 고려하였을 때 대기오염을 줄이는 것이 가장 좋은 방법이나, 시간과 비용 등의 소요가 많으므로 차별화된 식재전략을 활용할 필요가 있다. 지역별 토지이용 형태에 따라 발생하는 주요 대기오염 종류가 달라짐으로 해당 대기오염 물질에 저항성이 높거나 오염물질을 감소시키기 위해서는 오염물질에 내성을 가지는 수목을 활용하는 것이 효율적일 것이다.

## 제2절 정책건의

이와 같이 지역 및 구간별 차별화된 식재전략을 활용하기 위해서는 첫째, 대기오염측정소의 증설이 필요하다. 대전지역의 경우 대전지역 내외 대기측정소 개수가 많지 않아 대기오염 현황 분석을 하는데 한계가 있었다. 정확하고 세밀한 대기농도를 추정하기 위해서는 대기측정소의 증설이 불가피할 것으로 생각된다.

둘째, 기존 식물의 생장에 대한 연구이다. 주요 발생하는 대기오염 물질 이외에 오염물질의 복합에 의한 피해증상의 중복화, 다양화 등이 일어나므로 대기중의 오염물질 농도 측정, 풍향 등의 기후요소의 검토, 비해엽의 화학분석 등을 통하여 종합적으로 판정할 수 있는 식물연구가 필요하다.

셋째, 환경의 변화를 감지할 수 있는 종합 모니터링 프로그램 개발에 노력을 가해야 한다. 양질의 연구결과를 위해서는 대기오염에 대한 식물의 저항성과 환경정화능력, 내성에 대한 연구를 위하여 기존 식재되어진 식물의 성장과 분포를 지속적으로 모니터링을 시행하여 주기적인 관찰과 관리 및 연구가 필요할 것으로 사료된다. 나아가 그 결과를 이용하여 환경오염 시스템 구축에 적극 노력하여야 한다.

넷째, 관련연구자들의 연구물들이 축적되고, 검증되어야 하며 이를 기반으로 지역 및 구간에 맞는 식물 수종과 식재패턴의 표준화가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

향후 이러한 대기오염과 식물의 생장에 대한 연구는 토지이용에 따른 체계적이고 효율적인 식재 표준화를 통하여 불필요한 지출을 줄이고, 도시내 건전한 생태계를 형성할 것으로 기대된다. 또한 연차별 지속적인 모니터링을 통해 각종 개발과 환경 변화에 대한 자연 생태계 훼손 및 환경오염에 대한 대비책을 마련하는데 도움을 줄 것으로 판단한다.

## 참고문헌

- 강희양, 차상은, 하청근 (1998) 도로변 지표생물을 이용한 대기오염이 식물에 미치는 영향에 관한 연구. 대한보건연구 14(2): 130.
- 과학기술처(1989) 大氣汚染과 植物 : 解説과 圖鑑.
- 김계훈, 박순남(2000) 중부지역 도시 자연녹지 토양중 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 및 중금속 분포, 한국환경농학회지 19(4): 351-357.
- 김성조, 백승화, 문광현, 장광호, 김수진, 이승현(1999) 익산 제2공단 토양의 중금속 함량 분포 조사, 한국환경농학회지 18(3): 250-258.
- 김태선(2003) 도시주거지역 완충녹지의 대기오염 저감효과. 한양대학교 석사학위논문.
- 대전광역시(2003) 대전광역시 자연환경조사.
- 박이정, 권영배(1982) 대기오염이 식물에 미치는 영향.
- 서광석(2001) 대기오염개론, 대학서림.
- 서동진, 윤석락, 문현식, 이충규, 김종갑(2010) 식물, 산림 ; 울산공단지역과 지리산지역 강우의 화학적 특성, 경상대학교 농업생명과학연구 44권 6호.
- 신용섭 외(2004) 새로운 환경공학개론. 형설출판사.
- 심창섭(2009) 산림생태계가 대기 중 오존농도에 미치는 영향 - 기후변화와 관련하여, 한국환경정책평가연구원 기초연구 제 2009권 15호, Pp. 1~45.
- 우수영, 이성환, 이동섭(2004) 대기오염 피해를 받은 서울시내 가로수의 엽록소함량과 광합성 특성, 한국농림기상학회지 제6권 제1호, Pp. 24-29.
- 유창희, 이경재(1992) 대기오염 및 산성우가 서울지역 식물군집에 미치는 영향, 한국조경학회지 20(1): 80~94.
- 윤국병(1997) 조경배식학, 일조각.
- 이경재, 조우, 한봉호(1995) 대산 군산공단지역의 대기오염이 삼림식물군집에 미치는 영향, 한국환경생태학회, 응용생태연구 9(1): 1-14 .
- 이경재, 김선희, 류창희, 류창희(1992) 울산공단지역의 대기오염이 식물군집구조에 미치는 영향, 한국대기환경학회 학술대회논문집.
- 이승복, 배귀남(2008) 자동차 배출가스에 의한 도로변의 대기오염 특성, 한국자동차공학회 . 학술대회 논문집.
- 이정석(1995) 환경오염과 쾌적한 환경 보존, 시정연구논총 12: 147-162.
- 장관순, 이수욱(1995) GIS를 이용한 산림생태계의 산성우에 대한 민감도 분석, 한국GIS학회지 3(1): 29-38,I
- 환경부(2007) 위해성 평가 관리·요소기술 환경보건감시체계 기반기술 개발 : 대기오염 중심으로.

- Chevone B. I. et al(1986) Direct Effects of Atmospheric Sulfate Deposition on Vegetation, JAPCA 36: 813–815.
- Cox, G. W.(1976) Laboratory manual of general ecology, Wm. C. Brown Co, Pp. 232.
- Curtis, J. T. and R. R. McIntosh(1951) An upland forest continuum in the prairie–forest border region of Wisconsin, Ecology 32: 476–496.
- Percy, K. E. and M. Ferretti(2004) Air pollution and forest health: toward new monitoring concepts, Environmental Pollution 130: 113–126.
- Smith, W. H.(1980) Air pollution a 20th century allogenic influence on forest ecosystems. In proceeding of symposium on Effects of air pollution on Mediterranean and Temperate forest ecosystems USDA Forest service, pp. 79–87.
- Stefan S. and F. Herman(2004) Evaluation of air pollution–related risks for Austrian mountain forests, Environmental Pollution, 130: 99–112.

정책연구보고서 2012-37

---

## 대기오염과 식물생태에 관한 기초연구

---

발행인 이 창 기

발행일 2012년 11월

발행처 대전발전연구원

302-846 대전광역시 서구 월평본1길 39(월평동160-20)

전화: 042-530-3515 팩스: 042-530-3575

홈페이지 : <http://www.djdi.re.kr>

---

인쇄: ○○○○○ TEL 042-○-○ FAX 042-○-○

---

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.  
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.