

# 산성우 및 대기오염물질이 몇 침엽수종 앞에 미치는 영향<sup>1\*</sup>

- 피해도지수와 접촉각 중심으로 -

송근준<sup>2</sup> · 최영철<sup>3</sup> · 이경재<sup>4</sup>

## Acid Rain and Airborne Pollutants Effects on the Needle of Some Conifer Species<sup>1\*</sup>

- A Case Study of Injured Index and Contact Angle -

Keun-Joon Song<sup>2</sup>, Young-Cheol Choi<sup>3</sup>, Kyong-Jae Lee<sup>4</sup>

### 요 약

우리나라 중부지역에서 만성적인 환경오염 피해를 받고 있는 수목의 피해 정도와 지역별 범위를 알아보기 위해 독일가문비나무, 전나무, 소나무를 대상으로 본 연구를 실시하였다. 수목피해를 조기에 진단하기 위하여 피해도지수조사와 접촉각 측정을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 서울과 인천 등의 대도시권을 중심으로 접촉각감소, 피해도지수의 증가와 같은 가시적인 피해와 생리적인 피해가 동시에 나타났다. 둘째, 전체 14개 지역에서 다소의 차이는 있으나 모두 환경오염에 의한 수목의 피해를 모두 받고 있는 것으로 나타났다. 특히 인천을 비롯한 서해안 지역의 피해가 가중되고 있어 보다 광범위한 지역을 대상으로 체계적이고 지속적인 연구가 수행되어 이에 대한 대책이 이루어져야 할 것이다.

주요어 : 환경오염원, 피해도지수, 접촉각

### ABSTRACT

We studied the degree of damage of trees which have been chronically damaged by environmental pollutants and the area of damaged stands in each region of the middle part of Korea with three tree species - *Picea abies*, *Abies holophylla* and *Pinus densiflora*. So as to diagnose the degree of tree damage in an early stage, We investigated injury index and measured contact angle and finally got the following results: 1) Visible and physiological damage such as the increase of injury index and the decrease of contact angle was serious centering around metropolitan cities like Seoul and Incheon; 2) The trees of all of 14 sites surveyed were damaged by environmental pollutants although there was

\* 본 연구는 연암축산원예전문대학 교내 연구비로 수행하였음.

1 접수 6월 30일 Received on June 30, 1996

2 연암축산원예전문대학 관상원예학과 Dept. of Ornamental Horticulture, Yonam Junior College of Livestock and Horticulture, Sŏngwhan, 333-800, Korea

3 서울시립대학교 대학원 Graduate School, Seoul City Univ., Seoul, 130-743, Korea

4 서울시립대학교 문리과대학 College of Liberal Arts and Science, Seoul City Univ., Seoul, 130-743, Korea

difference to some extent among sites. Especially, the degree of damage appeared to be increased gradually in the western parts along including Incheon, the seacoasts. In fact, more systematic studies for this issue should be continued in other regions and countermeasures should be devised.

**KEY WORDS : ENVIRONMENTAL POLLUTANT, INJURY INDEX, CONTACT ANGLE**

## 서론

인구증가와 산업의 발달로 최근 환경오염은 날로 심화되고 있다. 일반적으로 환경오염은 크게 대기오염, 수질오염, 토양오염 등의 유형으로 구분하는데 국내·외적으로 가장 관심의 대상이 되는 것은 산성강화물에 의한 피해이다. 산성강화물에 의한 피해는 국지적 피해도 예상되지만 광범위한 지역에 직·간접적으로 영향을 미쳐 국가적·국제적 차원의 환경오염 문제로 대두되기도 하고, 국제분쟁을 야기시키기도 한다. 산성강화물은 식물에 직·간접적으로 영향을 주는데 주요 대기오염물질은 오염물질 자체(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, TSP 등)와 그에 의한 2차오염물질(O<sub>3</sub>, acid precipitation 등)을 들 수 있다(Däsler & Börttitz, 1988; Magil *et al.*, 1956).

2차 오염물질인 산성우에 의한 수목피해의 조기판단 방법 중 학자들이 관심을 가져온 분야는 생리적인 측면이다. 특히 가시적인 피해가 발생하기 이전에 미세하게 변화되는 생리적인 내용에 대한 연구에 집중되어 침엽수에 있어 침엽을 보호하고 있는 wax가 산성우 및 대기오염물질의 영향에 의해 부식되는 속도가 오염에 의한 피해가 없는 잎보다 빠르다는 학설이 Fogg(1974)에 의해 제기되었다. 그러므로 부식되는 wax의 양을 측정하면 피해를 주는 오염의 정도가 밝혀질 수 있겠으나 1개의 잎표면에 부착된 wax양은 미량이어서 간접적으로 측정하는 방법론이 제기되었다. Scotland의 Cape 박사가 1981년에 독일가문비 잎표면의 wax량을 간접적으로 측정하는 방법론을 발표한 이후 간접 측정방법이 계속적으로 시도되었다. 본 방법은 잎표면에 0.2ul의 이온수를 주사기로 떨어뜨리면 wax의 불친수성에 의해 물방울을 형성하는 각도를 측정하는 것으로 wax의 부식이 적을 수록 둔각을, 많을 수록 예각을 나타낸다고 보고되었다(Cape, 1983; 1988). 한편 Freer-Smith *et al.*(1986)은 위의 방법에 의하여 둔각으로 측정된 침엽을 전자현미경으로 검경하여 wax의 입자가 거의 침식되지 않았음을 발표하였다. 그리하여 침엽수 잎표면과 물방울이 이루는 접촉각(contact angle)은 침엽수에서 산성우 및 대기오염에 의한 피해의 조기판단에 중요한 역할을 하게 되었으나, 수많은 시료를 광학현미경으로 연구자가 직접 측정해야 하는 결점으로 전자현미경검경보다는 많이 이용되지 못하고

있다. 이경재 등(1993)은 contact angle 측정치와 전자현미경에 의한 wax의 검경에서 contact angle이 낮을 수록 wax 조직의 부식이 심하다고 발표하여 생리적 방법론이 수목피해의 조기판단에 좋은 방법임을 입증하였다.

대기오염과 산성우에 의한 삼림의 쇠퇴는 1960년대 초 독일의 전나무 숲에서 처음으로 기록된 이후 최근 유럽, 미국, 일본 등 선진국에서는 대기오염 물질 및 산성우 영향을 최소화하기 위해 조사 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 1980년 이후에 공업단지 주변의 일부지역과 대도시에서 수목의 생육저하와 식생구조의 변화가 일어나고 있으며(김준선, 1992) 이러한 징후는 점차 확대될 것으로 예상하고 있다(이경재 등, 1993).

현재 환경오염에 대한 수목피해 판단에 관한 연구들은 단기간의 급성피해(김재봉 등, 1986; 1987; 1988; 김태욱 등, 1982; 1985; 박완철, 1991; 배정오와 고강석, 1990)가 주류이었고 서울도심 및 우리나라 수도권 녹지대의 수목에서 볼 수 있는 만성피해판단에 대한 연구와 공단주변지역에서의 수목 및 식물군집 구조 변화 연구도 지속적으로 연구되고 있다. 날로 심각해져가는 오염된 환경 속에서 이동성이 없는 식물은 식재목에서부터 자연식생에 이르기까지 오염의 영향을 가장 크게 받는데, 예상되는 환경오염에 의한 수목 및 삼림의 피해를 판단하고 예방하기 위해서는 현재의 오염상황에 의한 전체적인 피해의 정도 파악이 시급하고 이는 정량화된 방법에 의한 수목개체의 피해와 식물군집의 쇠퇴현상 등을 구명함으로써 가능하리라고 본다. 또한 환경오염에 대한 많은 연구에도 불구하고 아직까지 전체적인 오염의 범위와 피해의 정도가 현상학적으로 구명되지 못하고 있다. 이러한 것은 식물개체에 대한 연구와 더불어 삼림생태계의 식물군집 쇠퇴현상에 대한 파악이 함께 이루어져야 한다.

이에 본 연구는 우리나라 중부지역에서 환경오염에 대한 만성적인 피해를 받고 있는 수목의 피해도지수조사, 접촉각 등 항목을 이경재 등(1993)의 연구 결과와 비교 분석하여 시간의 경과에 따른 수목피해의 정도와 범위 추정에 적용하여 환경오염에 대한 수목 피해를 조기에 판단하여 계량화할 수 있는 판단방법의 타당성 구명을 목적으로 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지역

Figure 1은 환경오염에 의한 수목피해를 조사하기 위하여 조사지역을 나타낸 것으로 서울을 중심으로 위도방향으로 인천 자유공원(1), 부평경찰학교(2), 보라매공원(3), 남산(4), 서울시립대학교(5), 남한산성(6), 양평(7), 홍천(8), 용평(9)의 9곳과 경도방향으로 광릉수목원(10), 금곡릉(11), 안양의 서울대수목원(12), 오산(13), 성환(14)의 5장소 등 14장소를 대상 지역으로 95년 2월에 조사를 수행하였다.

### 2. 조사목선정 및 시료채취

대상수종은 기 조사된 연구보고(이경재 등, 1993)와 비교를 용이하게 하기 위하여 독일가문비나무(*Picea abies*), 전나무(*Abies holophylla*), 소나무(*Pinus*

*densiflora*)의 3수종을 선발하였으며, 인위적인 간섭이 적은 지역을 선택하여 흉고직경, 수고가 비슷한 것을 위주로 조사지별, 수종별 각 수종당 5주의 공시목을 선정하여 조사하였다.

시료채취는 EC(European Community)에서 확정된 방법(Cape, 1981)에 따라 수행하였다. 시료채취시기는 수목의 휴면기면서 환경오염이 심화되어 수목의 잎에 영향을 주는 시기인 12~2월에 실시하였다.

### 3. 측정 및 분석방법

#### (1) 피해도지수산정

가시적인 피해가 나타나는 수목을 대상으로 하여 피해도지수를 산정하는 이경재 등(1990)의 방법을 이용하여 조사하였다. 측정항목은 잎(당년, 작년, 3년)의 변색 정도, 잎의 위축정도, 낙엽율(당년, 작년, 3년), 신초생장, 소지상태, 지수현황, 정아우세, 수관감소, 전체수세의 13개 항목이며 이들을 점수화하여 총평점을 산정하고, 조사목의 피해도지수와 접촉각과의 상관관계

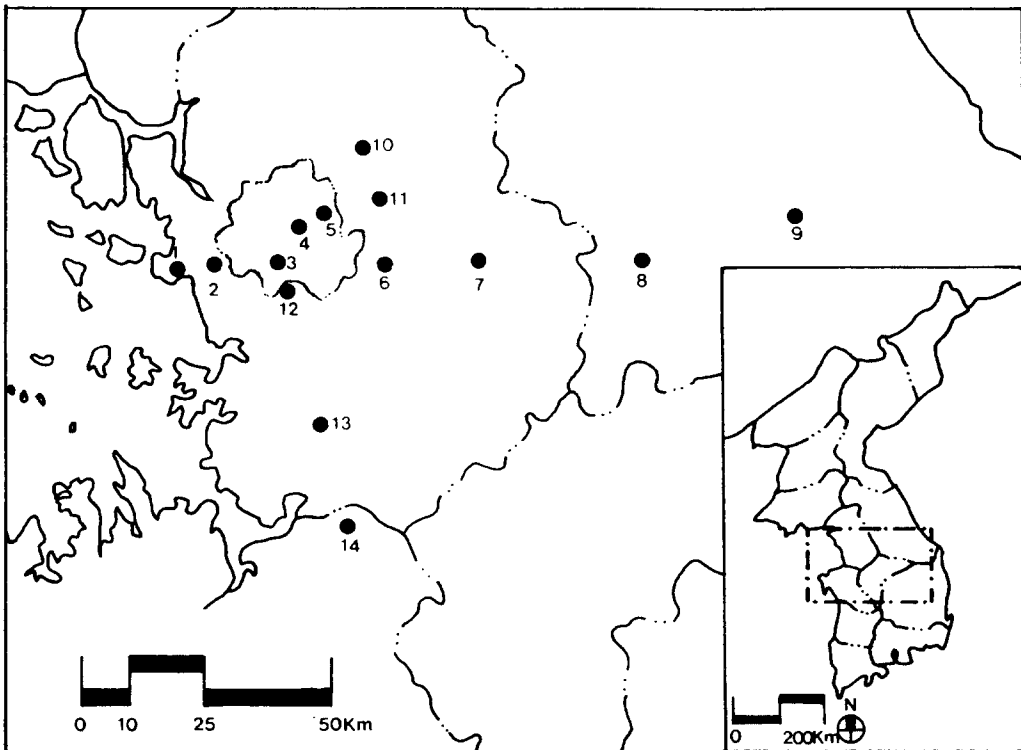


Figure 1. The location map of sites in the middle area, Korea

(1: Inchön, 2: Pupyōng, 3: Poramae Park, 4: Namsan, 5: Seoul City Univ., 6: Namhansansōng, 7: Yangpyōng, 8: Hongchon, 9: Yongpyōng, 10: Kwangnung, 11: Kumgoknung, 12: Anyang, 13: Osan, 14: Sōnghwan)

를 계산하였다.

각 항목에 대한 산정기준은 다음과 같다.

① 잎의 변색 정도: 엽록소에 의한 황색 또는 갈색변화의 정도를 당년생잎, 작년생잎, 3년생잎으로 구분하여 극심(4), 심(3), 경(2), 무(0)의 점수를 주었다. 변색의 정도는 전체수관의 잎 중 변색비율이 0~25%를 무, 26~50%를 경, 51~75%를 심, 76~100%를 극심으로 판정하였다.

② 잎의 위축정도는 전체수관의 잎중 활력이 약하여 밑으로 처진 비율에 따라 심한 위축(76~100%), 중간(51~75%), 경미(26~50%), 정상(0~25%)으로 나누어 각각 4, 3, 2, 0의 점수로 산정하였다.

③ 잎의 낙엽율은

$$\text{낙엽율}(\%) = \frac{\text{미착엽 가지부위의 길이}(cm)}{\text{전체 가지길이}(cm)} \times 100(\%)$$

으로 계산하여 낙엽율에 따라 81~100%(4), 61~80%(3), 41~60%(2), 21~40(1), 0~20%(0)로 평점을 하였다.

④ 신초생장의 평점은 전체수관의 신초 중 생장에 지장을 받고 있는 신초의 비율에 따라 극심 지장(76~100%), 심한 지장(51~75%), 경미한 지장(26~50%), 정상(0~25%)으로 나누어 각각 4, 3, 2, 0으로 평점을 하였다.

⑤ 소지상태는 전체수관의 소지중 고사비율에 따라 3/4고사, 1/2고사, 1/4고사, 정상으로 구분하여 각각 4, 3, 2, 0의 점수로 산정하였다.

⑥ 지수현황은 대기오염에 의해가 약해진 가지의 처짐유무에 따라 유(1), 무(0)로 구분하였다.

⑦ 정아우세는 당년생의 정아가 없는 것을 1점, 정아가 자라고 있는 것은 0점으로 평점하였다.

⑧ 수관감소는 수관의 용적이 감소된 것을 1점, 감소되지 않은 것을 0점으로 하였다.

⑨ 수세는 외형적으로 보아 매우 불량한 것, 양호한 것, 건강한 것으로 구분하여 각각 2, 1, 0점으로 평점하였다.

(2) 소나무, 전나무, 독일가문비나무의 접촉각(contact angle) 측정

각 조사지역 독일가문비, 전나무, 소나무 3수종에 대하여 각각 5주의 공시목에서 EC(European Community)에서 시행하는 방법(Cape, 1981)에 따라 채취하여 0~5℃의 냉장고에 냉장 보관한 후, 각 연령 별로 10개씩의 침엽을 채취하여 0.2μl의 이온수를 주사기(microsyringe)를 이용, 침엽의 복면(adaxial side)에 떨어뜨려 침엽표면의 wax와 물방울이 이루는 각도를 ×100배의 광학현미경내에 설치한 각도기(graticule)로 측정하였다(Figure 2).

결과 및 고찰

1. 조사지개황

Table 1는 중부권 조사대상지에 대한 일반적인 개황을 나타낸 것이다. 소나무 조사지는 모두 천연식생으로 대부분 임야에 위치한 반면에 전나무와 독일가문비 조사지역은 인공식생으로 평지에 식재된 것이다.

2. 수목피해도지수 분석

각 조사지역의 피해도지수 값을 총점(41점)으로 나눈 후 피해율을 구하여 피해율이 0%(피해도지수 0)인 지역을 무피해지역, 1~24%(피해도지수 1~9)인 지역을 경피해지역, 24% 이상(피해도지수 10 이상)인 지역을 심피해지역으로 나누었다(이경재 등, 1990). 중부권 14개지역에 있어서 피해도지수 10(24%)이상인 심피해지역은 독일가문비나무의 경우 91년 12월에는 인천, 보라매공원, 금곡릉, 안양의 4개지역인 반면 92년 12월에는 서울시립대가 심피해지역으로 나타나 5개지역으로 확대하였고, 95년 2월에는 서울시립대가 경피해지역으로 남산과 용평이 심피해지역으로 나타나 수도권 지역에서의 산성우 및 대기오염물질에 의한 독일가문비나무의 피해범위가 확산되고 있음을 확인할 수 있었으며, 3년간의 시간경과에 따른 그 피해의 심한 정도가 증되고 있음을 알 수 있었다. 서울시립대에 식재된 독일가문비가 경피해로 측정된 것은 최근 3년간 시비를 통한 집중적인 관리가 그 원인이다. 95년 2월 용평의 경우 피해도지수가 15인 37.20%로 나타났는데 이는 겨울철 용평스키장을 이용하는 사람들의 차량증가와도 관계가 있을 것이다(Table 2).

전나무의 겨울철 피해도지수는 1991년 12월에는 인천, 부평, 보라매공원, 남산, 남한산성이 심피해지역으로 나타났으며, 1992년 12월과 95년 2월에는 서울시립대가 심피해지역으로 추가되었다(Table 3). 소나무

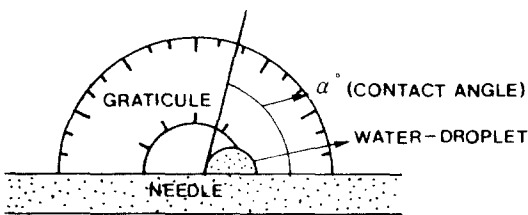


Figure 2. Measurement of contact angle of the water-droplet on the needle

Table 1. Description of studied sites in the Middle area, Korea.

Site No.	Topography			Soil		Density
	Slope(°)	Aspect	Soil Character	Moisture	Depth	
<i>Picea abies</i>						
01	10	N	Clay	Wet	Moderate	Density
03	00	W	"	"	"	"
04	00	S	"	"	Shallow	Alone
05	00	-	Loam	"	Moderate	"
07	00	-	Clay	"	Deep	Density
09	00	-	"	"	"	"
10	10	E	"	"	"	"
11	00	-	"	"	Moderate	Alone
12	00	NE	Loam	"	"	"
13	00	-	"	"	Deep	Density
14	00	NW	"	"	Moderate	"
<i>Abies holophylla</i>						
01	15	N	Loam	Wet	Moderate	Density
02	00	-	"	"	"	"
03	00	W	"	"	"	"
04	00	S	"	"	Shallow	Alone
05	00	-	"	"	Moderate	"
06	00	N	"	"	"	Density
07	00	-	"	"	Deep	"
08	00	-	"	"	"	"
09	10	SE	"	"	"	"
10	10	W	"	"	Moderate	"
11	00	-	"	"	"	"
12	00	NW	"	"	"	"
13	00	-	"	"	"	"
14	00	-	"	"	"	"
<i>Pinus densiflora</i>						
01	10	N	Loam	Wet	Moderate	Density
02	10	NE	"	"	"	"
03	20	S	"	Dry	"	"
04	20	S	"	Wet	"	"
05	10	S	"	"	"	"
06	10	NE	"	"	"	"
07	20	SE	"	Dry	"	"
08	00	-	Clay	Wet	"	"
09	20	NE	"	"	"	"
10	30	W	"	"	Deep	Sparsity
11	10	SW	"	"	Moderate	Density
12	05	E	"	Dry	Shallow	Sparsity
13	10	-	"	"	"	"
14	10	-	"	"	"	"

\* 1: Inchön, 2: Pupyöng, 3: Poramae Park, 4: Namsan, 5: Seoul City Univ., 6: Namhansansöng, 7: Yangpyöng, 8: Hongchön, 9: Yongpyöng, 10: Kwangnung, 11: Kumgoknung, 12: Anyang, 13: Osan, 14: Sönghwan

Table 2. Injured index ratio of *Picea abies* for each site in the middle area, Korea

( Unit: % )

Site No.	1	3	4	5	7	9	10	11	12	13	14
'91.12	66.58	26.82	10.24	22.29	2.68	22.29	8.05	30.97	29.61	1.74	-
'92.12	44.88	36.82	21.85	36.24	0.00	17.03	0.00	43.17	27.88	8.29	-
'95. 2	63.90	28.29	50.73	12.20	1.95	37.20	0.49	25.85	41.46	7.81	0.98

\* 1: Inchön, 2: Pupyöng, 3: Poramae Park, 4: Namsan, 5: Seoul City Univ., 6: Namhansansöng, 7: Yangpyöng, 8: Hongchon, 9: Yongpyöng, 10: Kwangnung, 11: Kumgoknung, 12: Anyang, 13: Osan, 14: Sönghwan.

Table 3. Injured index ratio of *Abies holophylla* for each site in the middle area, Korea

( Unit: % )

Site No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
'91.12	35.97	43.90	48.24	24.88	18.46	41.46	5.36	0.00	17.07	5.85	10.97	-	0.00	0.00
'92.12	35.85	27.07	38.78	26.12	25.09	29.27	0.00	0.00	17.07	0.00	21.95	23.68	0.48	0.00
'95. 2	54.63	26.83	43.90	47.32	22.93	31.22	0.00	0.00	12.67	1.46	6.83	20.00	0.49	1.46

\* The sites numbers are the same as table 2

Table 4. Injured index ratio of *Pinus densiflora* for each site in the middle area, Korea

( Unit: % )

Site No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14
'91.12	33.41	35.12	53.65	-	31.56	31.70	26.09	-	26.83	50.48	33.41	20.48	36.05
'92.12	29.51	42.43	51.22	44.17	39.83	42.92	14.15	43.90	17.80	21.00	28.53	13.65	15.70
'95. 2	65.85	42.93	63.41	42.93	40.00	32.20	25.37	40.00	56.10	36.10	44.39	19.51	32.68

\* The sites numbers are the same as table 2.

의 피해도지수 산정결과(Table 4) 양평과 광릉을 경계로 수도권에 인접한 모든 지역에서는 3년생의 잎을 달고 있지 않아 산성우 및 대기오염물질에 의한 소나무 잎의 탈락현상이 심하게 일어남을 알 수 있는데 이러한 낙엽률의 증가는 대기오염에 의한 조기낙엽 때문이라 사료된다. 독일가문비, 전나무, 소나무의 피해도지수 산정에서 공통적으로 나타난 것은 인천지역과 서울도심 지역의 피해도지수가 연차적 증가로 인한 심피해지역의 확산현상이었다. 최근 서해안지역 산성우의 주요인으로 작용하는 아황산가스가 급속히 늘어나고 있다는 보도가 여러차례 발표(한겨레신문 95.4.26, 4.18, 5.3, 환경타임즈 94.8.3)되고 있는데 이것은 서해안지역 수목이 대기오염 및 산성우로 인해 만성적 피해를 받고 있음을 시사해 주고 있다.

### 3. 피해도지수 각 인자간의 상관관계

독일가문비나무 피해도지수 각 인자간의 상관관계를 살펴보면 대부분의 항목이 각 인자간 고도의 유의적인 상관관계가 인정되었으나(Table 5), 1, 2년생 낙엽률과 피해도지수 각 인자간의 상관성은 인정되지 않았다. 이것은 조사지의 독일가문비나무에서는 1, 2년생 침엽의 탈락 현상이 거의 일어나지 않아 피해도지수에 영향을 주지 않는 것으로 생각된다. 독일가문비나무의 지역별 전체 피해도지수를 분산분석한 결과 유의성이 인정되었다(Table 6).

전나무 피해도지수 각 인자간의 상관관계에 있어서도 독일가문비나무와 비슷한 양상을 보였으며, 1995년 2월의 경우는 정아우세 항목만이 각 인자와의 상관성이 인정되지 않고 다른 모든인자에서 고도의 상관성이 인정되었다(Table 7). 전나무 지역별 전체 피해도지수에

Table 5. Correlation between each injured index for *Picea abies* in Feb., 1995

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X2	++												
X3	++	++											
X4	++	++	++										
X5	.	.	.	.									
X6	.	.	.	.	++								
X7	.	++	++	++	.	++							
X8	++	++	++	++	.	.	.						
X9	++	++	++	++	.	.	.	++					
X10	++	++	++	++	.	.	++	++	++				
X11	++	++	++	++	.	.	.	++	++	++			
X12	++	++	++	++	.	.	.	++	++	++	++		
X13	++	++	++	++	.	.	++	++	++	++	+	++	
X14	++	++	++	++	.	.	++	++	++	++	++	++	++

1. 1-tailed signi. ++: 0.01, +: 0.05 level

2. X1: one-year-needle fading, X2: two-year-needle fading, X3: three-year-needle fading, X4: Degree of depauperation, X5: one-year-needle defoliation ratio, X6: two-year-needle defoliation ratio, X7: three-year-needle defoliation ratio, X8: Branch drooping condition, X9: Shoot growth condition, X10: Twig condition, X11: Terminal bud condition, X12: Crown decline condition, X13: Tree strength, X14: Total

Table 6. ANOVA table of *Picea abies* among sites

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	10	23709.1621	2370.9162	83.8851	.0000
Within Groups	43	1215.3451	28.2638		
Total	53	24924.5072			

Table 7. Correlation between each injured index for *Abies holophylla* in Feb., 1995

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X2	++												
X3	++	++											
X4	++	++	++										
X5	.	.	.	.									
X6	.	.	.	.	.								
X7	++	++	++	++	.	++							
X8	++	++	++	++	.	.	++						
X9	++	++	++	++	.	+	++	++					
X10	++	++	++	++	.	.	++	++	++				
X11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
X12	++	++	++	++	.	.	++	++	++	++	.		
X13	++	++	++	++	.	.	++	++	++	++	.	++	
X14	++	++	++	++	.	+	++	++	++	++	.	++	++

1. 1-tailed signi. ++: 0.01, +: 0.05 level

2. The injured index labels are the same as table 5

Table 8. ANOVA of *Abies holophylla* among sites

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	13	23927.5664	1840.5820	29.6679	.0000
Within Groups	56	3474.2094	62.0395		
Total	69	27401.7758			

Table 9. Correlation between each injured index for *Pinus densiflora* in Feb., 1995

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X2	++												
X3	+	++											
X4	++	.	.										
X5	+	.	.	++									
X6	.	.	+	.	.								
X7	.	.	.	.	.	.							
X8	++	++	.	+	.	++	.						
X9	++	+	.	++	++	.	++	+					
X10	++	++	.	++	+	++	.	++	++				
X11	.	.	.	++	.	.	.	.	.	.			
X12	++	++	.	+	+	++	.	++	++	++	.		
X13	++	++	.	+	.	++	.	++	++	++	.	++	
X14	++	++	++	++	++	++	.	++	++	++	+	++	++

- 1-tailed signi. ++: 0.01, +: 0.05 level
- The injured index labels are the same as table 5

Table 10. ANOVA of *Pinus densiflora* among sites

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	12	10770.6859	897.5572	22.6177	.0000
Within Groups	50	1984.1893	39.6838		
Total	62	12754.8752			

대한 분산분석에서 유의성이 인정되었다(Table 8).

소나무 피해도지수 각 인자간의 상관관계에 있어서 1년생 침엽의 변색, 2년생 침엽의 변색, 1년생 침엽의 낙엽율 및 수세와 고도의 정의 상관성이 인정되었고 2년생낙엽율, 지수현황, 신초성장, 소지상태, 정아우세에서도 유의적인 상관성이 인정되었다.

3년생 변색과 3년생 낙엽율 정아우세 등은 상관성이 인정되지 않았다 이것은 소나무의 3년생 침엽이 조기낙엽하였기 때문이라고 판단한다(Table 9). 소나무 지역별 전체 피해도지수 분산분석에서도 유의성이 인정되었다(Table 10).

#### 4. Contact Angle 측정

접촉각측정결과 조사지 전체 14개지역 독일가문비나무, 전나무, 소나무 3수종 모두에서 정도의 차이는 있으나 1년생에서 2년, 3년생으로 갈수록 그 값이 낮아졌으며, 특히 1년생과 2년생 사이의 접촉각 값의 변화가 2년생과 3년생 사이 측정값의 차이보다 크게 나타났다.(Table 11,12,13)

인천지역에서는 1년생 독일가문비나무(48.3°), 전나무(49.0°), 소나무(49.3°)의 접촉각이 다른 지역보다 매우 낮게 나타났다. 독일가문비나무, 전나무, 소나무 접촉각측정결과 공통적으로 91년, 92년보다 접촉각



Table 11. The measurement of contact angle on the needle of *Picea abies* in the middle area, Korea  
(Unit: °)

Year	Age	Site *											
		1	3	4	5	7	9	10	11	12	13	14	
1991.12	1	93.1	81.8	83.6	83.8	83.0	86.6	81.9	76.1	82.9	81.9		
	2	84.4	73.3	73.6	74.3	69.7	66.6	71.3	62.8	72.8	73.2		
	3	80.8	66.0	69.2	71.1	67.3	61.0	63.8	59.5	67.6	68.3		
1992.12	1	84.4	93.1	88.6	93.7	83.1	89.9	80.5	83.0	83.9	83.6		
	2	76.5	85.8	77.6	82.5	65.3	71.1	70.5	71.8	75.5	74.2		
	3	71.9	76.2	69.8	76.1	61.6	66.2	61.3	65.2	67.8	66.3		
1995. 2	1	48.3	67.5	70.1	58.5	62.2	48.1	67.7	70.5	67.5	75.5	72.6	
	2	45.1	47.3	56.9	50.6	51.3	37.6	55.8	57.5	57.5	63.0	59.9	
	3	40.6	44.7	52.8	42.4	41.6	32.1	51.6	48.0	48.1	54.1		

\* 1: Inchön, 2: Pupyöng, 3: Poramae Park, 4: Namsan, 5: Seoul City Univ., 6: Namhansansöng,  
7: Yangpyöng, 8: Hongchön, 9: Yongpyöng, 10: Kwangnung, 11: Kumgoknung, 12: Anyang,  
13: Osan, 14: Sönghwan

Table 12. The measurement of contact angle on the needle of *Abies holophylla* in the middle area, Korea  
(Unit: °)

Year	Age	Site *													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1991.12	1	86.7	86.0	73.4	81.4	82.8	72.8	83.1	80.5	83.1	75.9	79.5	79.2	81.9	74.9
	2	73.8	72.6	69.1	70.6	72.7	69.0	64.6	66.5	62.7	60.3	68.1	71.5	73.2	59.0
	3	68.5	60.9	64.2	59.6	65.1	63.8	59.2	59.5	56.1	57.7	57.7	63.9	68.3	53.0
1992.12	1	77.6	85.2	84.3	89.4	75.5	85.4	82.5	83.8	89.3	83.9	86.3	85.9	86.1	67.2
	2	69.2	65.8	69.8	65.5	62.7	70.8	59.8	65.9	66.2	67.9	76.1	77.3	70.8	50.6
	3	65.1	62.0	66.2	58.9	59.5	64.0	56.6	58.2	57.1	60.5	65.9	62.7	62.4	49.5
1995. 2	1	49.0	53.0	59.3	50.0	52.5	47.6	60.0	57.6	47.2	61.7	61.3	56.0	65.0	49.6
	2	37.5	40.9	45.6	36.0	43.0	39.1	45.8	49.0	38.0	51.7	53.4	42.3	53.7	38.7
	3	35.1	36.8	45.0	35.4	34.1	33.1	39.3	42.6	37.6	45.6	48.9	35.3	45.5	26.3

\* Site numbers are the same as table 11

Table 13. The measurement of contact angle on the needle of *Pinus densiflora* in the middle area, Korea  
(Unit: °)

Year	Age	Site *													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	
1991.12	1	85.2	86.0	80.6	86.8	83.6	75.5	82.3	72.1	82.0	80.8	80.8	88.2	84.5	
	2	78.5	72.6	75.6	78.6	74.2	78.6	73.6	69.1	73.5		70.7	79.6	79.0	
1992.12	1	77.8	83.3	90.8	80.4	87.6	83.2	83.1	81.7	86.1	81.1	86.1	82.5	81.8	
	2	73.3	75.8	84.8	72.6	77.6	73.6	75.4	74.2	78.4	71.4	76.4	74.2	74.6	
1995. 2	1	49.3	51.5	71.7	69.3	71.2	68.2	72.8	77.6	68.3	69.4	63.5	66.2	74.4	
	2	40.4	43.5	62.4	62.5	65.7	56.7	59.2	70.9	56.1	60.2	53.4	59.1	60.3	

\* Site numbers are the same as table 11

Table 14. Correlation between contact angle and injured index for each species

Contact Angle	<i>Picea abies</i>			<i>Abies holophylla</i>			<i>Pinus densiflora</i>	
	1yr	2yr	3yr	1yr	2yr	3yr	1yr	2yr
Injured Index								
Total	--	--	+	--	--	--	--	--

1. 1-tailed signi.: -; 0.01, -: 0.05 level

2. 1yr: this year's twig, 2yr: last year's twig, 3yr: the third year's twig, Total: Injured Index

이 매우 낮아졌으며, 특히 인천지역에서 접촉각 값의 변화 정도가 심했다.

### 5. Contact Angle 측정과 피해도지수간의 상관관계분석

Table 14는 접촉각과 피해도지수간의 상관관계를 나타낸 것으로 독일가문비나무, 전나무, 소나무 등은 contact angle 과 피해도지수간 고도의 부의 상관관계가 인정되었다.

이것은 침엽의 접촉각이 낮아질 수록 전체 피해도지수는 높아진다는 사실을 말해주는 것이다. 따라서 환경오염에 의한 수목의 피해 판단에서는 전체피해도지수의 산정과 침엽의 접촉각 측정이 좋은 방법이라 할 수 있다.

독일가문비나무, 전나무, 소나무에 대한 피해도지수와 접촉각 측정값간의 상관관계를 분석한 결과 이 두가지 적용방법이 고도의 상관성이 인정되었으며, 이러한 결과는 Cape(1983), 이경재(1993), 김갑태(1994)의 결과와도 부합되어 피해도지수와 접촉각측정, 두 가지 적용방법을 이용하여 수목의 대기오염 및 산성우피해를 판단하는데 중요한 자료가 될 것이라 생각된다.

## 결 론

우리나라 서울을 중심으로한 중부권 14개 지역(인천 자유공원, 부평경찰종합학교, 보라매공원, 남산, 서울 시립대, 남한산성, 양평, 홍천, 용평, 광릉, 금곡릉, 안양, 오산, 성환)에 있어서 환경오염의 만성적인 피해를 받고 있는 수종 중 환경오염에 내성이 약한 독일가문비, 전나무, 소나무의 3수종을 대상으로 생리적인 피해 정도를 판단할 목적으로 이경재 등(1993)의 연구 결과와 비교 분석하여 시간의 경과에 따른 수목피해 범위를 추정하기 위해 1995년 2월에 피해도지수산정, 접촉각 측정을 실시하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 독일가문비나무, 전나무, 소나무의 피해도지수를 산출한 결과 심피해지역의 범위와 그 수치가 년차적으로 계속 증가하고 있으며, 이로 인한 수목피해가 가중되고 있음을 알 수 있다. 또한 가시적인 피해의 수치가

인천지역에 있어서 증가되는 현상을 보여 인천지역이 중국과 인접한 우리나라 서해안에 위치 한다는 점에서 국내의 오염뿐 아니라 중국의 환경오염증가에 따른 영향도 무관하지 않으리라 판단되어 이에 대한 지속적인 관심과 연구가 이루어져야 될 것으로 본다

2. 접촉각측정 결과 산성우 및 대기오염에 의한 침엽의 피해는 1년생 잎의 피해가 매우 심각한 것으로 파악되며, 또한 년차적으로 그 피해의 정도가 심화되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 정도의 차이는 있으나 2년생과 3년생의 침엽에서도 같은 경향을 나타냈다. 이것은 대상수목으로 선정한 3수종이 상록침엽수로서 사계절 잎을 계속 달고 있는 관계로 겨울철에 피해를 심하게 받고 있는 것으로 보여진다.

3. 독일가문비나무, 전나무, 소나무에 대한 피해도지수와 접촉각 측정값간의 상관관계를 분석한 결과 이 두가지 적용방법이 고도의 상관성이 인정되었으며, 침엽 3수종의 수목피해 판단에서는 전체피해도와 잎의 접촉각 측정이 유효한 것으로 나타났다.

## 인 용 문 헌

김갑태(1994) 인공 산성우 처리에 따른 침엽의 접촉각 변화. 한국임학회지 83(1): 32-37.  
 김재봉, 배정오, 김정규, 이경재(1986) 도시녹화수의 내연성에 관한 연구. 국립환경연구소보 7: 337-352.  
 김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등(1987) 환경오염생물지표법의 개발연구(I). 국립환경연구원, 159-176쪽.  
 김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등(1988) 환경오염생물지표법의 개발연구(II). 국립환경연구원, 111-153쪽.  
 김준선(1992) 대기오염물질이 여천공단주변 해송의 양묘동태와 군집구조에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사논문, 101쪽.  
 김태욱, 이경재, 김준선(1985) 여천공업단지의 대기오염이 곰솔에 미치는 영향. 한국대기보전학회지 1: 25-32.  
 김태욱, 이경재, 박인협(1982) 환경오염에 의한 울산

- 지역의 삼림생태학적 변화에 관한 연구. 한국임학회지 58: 60-69.
- 박완철(1991) 대기오염지역 적응 수종 선발에 관한 연구. 한국대기보전학회지 7(1): 55-66.
- 배정오, 고강석(1990) SO<sub>2</sub>가 식물에 미치는 영향. 식물과 환경오염. 국립환경연구원, 55-86쪽.
- 이경재, 배정오, 고강석, 우종서(1990) 울산공단지역에서의 대기오염이 삼림에 미치는 영향-대기오염에 의한 곰솔의 피해-. 대기보전학회지 6(1): 103-110.
- 이경재(1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기 판단에 관한 연구. 과학재단, 205쪽.
- 한겨레신문(1995.4.16) "서해안 대기오염 비상".
- 한겨레신문(1995.4.18) "전국을 위협하는 서해안 대기오염".
- 한겨레신문(1995.5.3) "인천지역 대기오염 비상".
- 환경타임즈(1994.8.3) "전국 주요도시 대기오염 심화".
- Cape, J.N. and D. Fowler(1981) Changes in epicuticular wax of *Pinus sylvestris* exposed to polluted air. *Silva Fennica* 15(4): 457-458.
- Cape, J.N.(1983) Contact angles of water droplets on needles of Scots pine(*Pinus sylvestris*) growing in polluted atmospheres. *New Phytol.* 93: 263-299.
- Cape, J.N.(1988) Developements in diagnosis and quantification of forest decline. *Air Pollution and Ecosystems*. ed. by P. Mathy, D. Reidel. Dordrecht. 295-305.
- Dassler, H.G. and S. Borttitz(1988) *Air Pollution and its Influence on Vegetation*. A Member of the Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht, Boston, Lancaster. 62-74.
- Fogg, G.E.(1974) Quantitative studies on the wetting of leaves by water. *Proceedings of the Royal Society* 175: 1239-1240.
- Freer-Smith, P.H. and P.W. Lucas(1986) Application of a polymeric coating can protect coniferous trees from acute pollution injury. *Forest Ecology and Management* 17: 289-301.
- Magil, L.P., F.R. Holden and C. Ackley(1956) *Air pollution Handbook*. Mcgraw-Hill Book Company.