

산성비 및 대기오염물질이 침엽수 잎에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구¹

이경재² · 송근준³ · 김선희⁴ · 이윤원⁵

The Study on the Early Diagnosis of Injuries for Needles of Conifer by Acid Rain and Air Pollutants¹

Kyong -Jae Lee², Keun-Joon Song³, Sun-Hee Kim⁴, Yoon-Won Lee⁵

요 약

본 연구는 산성비 및 대기오염물질이 수도권지역의 침엽수 잎에 미치는 피해의 조기판단을 위해 피해도지수, 침엽접촉각, 엽내영양물질, 침엽내 wax, 토양의 화학적 성질 등의 항목을 조사·분석하였다. 조사기간은 1990년 6월부터 1년동안 하였고, 재료는 대기오염에 민감한 수종으로 알려진 독일가문비나무와 전나무를 이용하였으며 연구결과는 다음과 같다.

피해도지수는 1990년 6월에는 무피해지(광릉, 양평), 경피해지(인천, 보라매 공원, 서울여대, 안양, 양수리, 과천), 심피해지(남산, 서울시립대, 어린이대공원, 금곡릉)으로 나누어졌다. 그러나, 1990년 12월에는 인천, 과천이 심피해지로 포함되는 등 시간이 경과할수록 피해가 확산되는 경향을 보였다. 침엽의 접촉각에서도 1990년 6월보다 1990년 12월의 값이 감소하였으며, 두수종 모두 1년생잎에서 2, 3년생잎으로 갈수록 접촉각이 낮게 측정되었다. 그리고, 어린묘목일수록 피해가 심하게 나타났다. 피해도지수와 접촉각간에는 고도의 상관관계가 인정되었다. 엽내영양물질분석에서 Ca, Mg, K의 값은 대체로 시간경과에 따라 감소하였으며, 엽령이 높을수록 낮은 값을 보였다. Wax정량분석은 심피해지역에서는 엽령이 높을수록 wax함량이 적었고, 무피해지역에서는 엽령이 높을수록 많았다.

본 연구결과에 의하면 위 항목의 분석방법들이 상호보완적으로 적용되고, 장기간 지속적으로 수행될 경우 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단되었다.

주요어 : 대기오염, 접촉각, 피해도지수

ABSTRACT

This study was conducted to the early diagnosis of injuries on needles of conifer by acid rain and air

* 본 연구는 서울시립대학교에서 지원하는 1990 연구비로 수행하였음.

1 접수 1월 15일 Recieved on Jan. 15, 1994

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

3 연암축산원예전문대학 Yonam Junior College of Livestork and Horticulture, Songwhan 333-800, Korea

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

5 중부대학교 산림자원학과 Dept. of Forestry, Jungbu Univ., Kumsan 312-940, Korea

pollutants in metropolitan area, Korea. It was executed to calculate of injured index, contact angle measurement, nutrient content analysis in needles, analysis of soil chemical properties from June 1990 to June 1991. The sensitive species(*Picea abies*, *Abies holophylla*) for acid rain and air pollutants were used as the study materials. And the results from this study were as follows:

Degree of injured index was divided into three groups in June 1990. The first group (not injured sites) was Kwangnung and Yangpyung. The Second group (slight injured sites) was Inchön, Boramae Park, Kwachun, Seoul Women's Univ., Anyang, and Yangsuri. The third group (serious injured sites) was Namsan, Seoul City Univ., Children's Park, and Kungok Royal Tomb. But, Inchön, Kwachön area were changed from slight injured areas to serious injured areas in December 1990. As time goes on, the degree of injured gets worse. In contact angle analysis, value of December 1990 was lower than that of June 1990, especially, that of two-year-needle were lower than of one-year-needle. The correlation between injured index and contact angle was significantly negative. In the result of needle nutrients analysis of *Picea abies*, *Abies holophylla*, Ca, Mg, K contents was higher in December 1990 than that in June 1991 and that of one-year-needle were prominently higher than that of two-year-needle. In case of wax quantity analysis in injured area, the older the leaf age is, the smaller the contented wax quantity is. In uninjured area, the higher a leaf age is, the much that of index is. As a result, the method of analysis referred in the former, is applied by a complementary cooperation. That of method is done sustainably in the future, the correct results will be expected.

KEY WORDS : AIR POLLUTION, CONTACT ANGLE, INJURED INDEX

서 론

급증하는 인구와 점증하는 생활의 편익성추구, 아울러 첨단산업을 지향한 결과, 우리사회는 각종산업의 부산물로 인해 환경오염이 가중되었고, 그 부작용이 1970년대를 거쳐 1980년대에 이르면서 심각한 사회문제로 부각되었다. 環境汚染은 大氣汚染, 水質汚染, 土壤汚染, 農藥에 의한 汚染, 騒音, 惡臭 등으로 나타나며 이들 중 생명체에 직접, 간접으로 가장 광범위한 피해를 주는 것이 대기오염이다.

우리나라에서 문제가 되는 대기오염물질은 공장가정, 그리고 각종차량에서 방출되는 아황산가스(SO_2)와 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO)가 대표적이며, 이들 대기오염물질이 대기중의 수분과 결합하여 황산이나 질산과 같은 산성을 띤 수용액으로 변하여 지상으로 떨어지는 산성비도 광범위한 피해를 주는 오염물질로 주목되고 있다. 식물은 이동성이 없기에 환경오염의 영향을 가장 크게 받는데 대기오염물질에 의한 식물의 피해는 可視的인 피해와 非可視的인 피해로 구분할 수 있으며 가시적인 피해는 다시 急性的인 피해와 慢性的인 피해로 나누어진다. 현재까지 우리나라에서 진행된 연구는 급성피해를 입고 있는 공단지역을 중심으로 한 것(김 등, 1987; 김 등, 1988; 김 등, 1982; 김 등, 1983; 김 등, 1985; 박, 1991;

배와 고, 1990; 이 등, 1990)이 주류를 이루었다. 따라서 대도시와 같이 저농도의 대기오염물질이 식물체에 장시간 접촉되어 발생된 만성피해에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 식물피해의 판단방법에는 形態學的인 방법, 오염의 영향을 초기에 진단하는 組織學的인 피해진단방법, open-top chamber에서의 실험, 오염의 敏感度에 따른 指標植物에 의한 방법, 植物生長解析방법, 植物群集構造분석 등(김 등, 1987)이 있는데 환경오염물질들은 복잡하게 상호작용하고, 오염의 영향도 매우 다양하므로 이 방법들이 상호보완적으로 적용되어야 할 것이다.

본 연구는 서울도심과 수도권지역을 중심으로 하여 산성비 및 대기오염물질에 만성적 피해를 받고 있는 침엽수를 대상으로 잎표면의 wax침식과정에 의한 수목피해의 관련성과 침엽내 영양물질의 변화를 구명함으로써 조기피해판단의 기초자료를 얻는 것을 목적으로 하고 있다.

재료 및 연구방법

1. 조사지 설정

산성비 및 대기오염물질에 의한 수목피해는 서울을 중심으로 수도권지역을 십자축으로 나누어 위도방향

으로 인천직할시 자유공원(1), 보라매공원(2), 남산(3), 서울시립대(4), 어린이대공원(5), 경기도 양수리(6), 양평 청운고등학교(7)의 7개지역과 경도방향으로 경기도 광릉 수목원(8), 금곡릉(9), 서울여대(10), 과천아파트단지(11), 경기도 안양수목원(12)의 5개지역 등 12개지역을 대상지역으로 설정하였는데 이들지역에서의 조사대상수종은 인위적으로 식재된 것이다(Figure 1). 조사시간은 1990년 6월부터 1991년 6월까지로 하였다.

2. 조사목 선정과 시료채취

대기오염의 피해에 민감한 수종으로 알려진 독일가문비나무(*Picea abies*), 전나무(*Abies holophylla*)를 대상수종으로하여 인위적인 간섭이 적은 지역을 선택하여 흉고직경, 수고가 비슷한 것을 위주로 조사지별, 수종별로 각각 10주의 공시목을 선정하였다.

시료는 EC(European Community)에서 확정된 방법(Cape, 1981)에 따라 가능한한 조사목의 정단부에서 7번째 가지를 선정하고, 그 가지중 끝에서 5번째

가지를 채취하되 1, 2, 3년생 침엽이 달려있는 4개의 가지를 채취하였다. 시료채취의 시기는 침엽표면과 물방울이 이루는 접촉각(contact angle)의 각도가 가장 큰 6~8월(Hutten & Laine, 1983)과 수목의 휴면기면서 대기오염의 영향을 가장 많이 받는 시기인 12~2월에 실시하였다.

3. 측정 및 분석방법

가. 피해도지수산정

2수종을 대상으로 이 등(1990)의 방법으로 피해도지수를 산정하였으며 측정항목은 다음과 같다.

①잎의 변색정도: 엽록소의 파괴에 의한 황색 또는 갈색변화의 정도를 1년생잎, 2년생잎, 3년생잎으로 구분하여 극심(4), 심(3), 경(2), 무(0)의 점수를 부과하였다. 변색의 정도는 전체수관의 잎중 변색비율이 0~25%를 무, 26~50%를 경, 51~75%를 심, 76~100%를 극심으로 판정하였다.

②잎의 위축정도는 전체수관의 잎중 활력이 약하여 밀으로 처진 비율에 따라 심한 위축(76~100%), 중

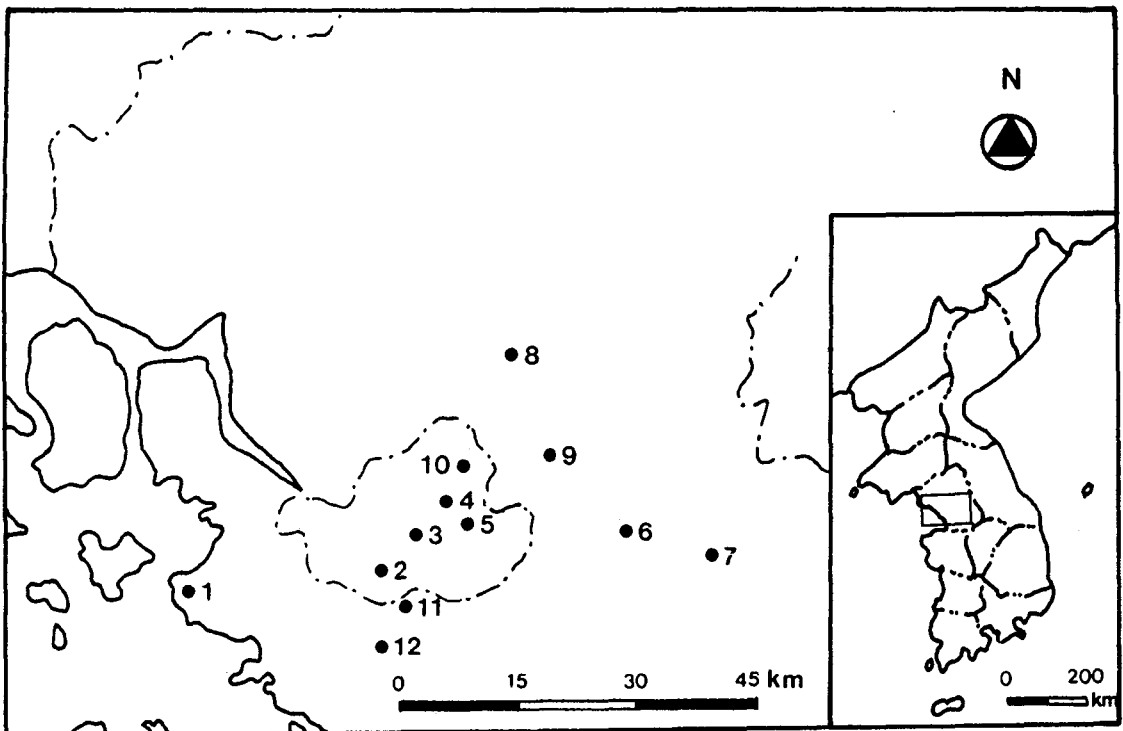


Figure 1. Location of sites in the Metropolitan area, Korea.

Site : 1: Incheon, 2: Boramae Park, 3: Namsan, 4: Seoul City Univ., 5: Children's Park, 6: Yangsuri, 7: Yangpyung, 8: Kwangnung, 9: Kumgok Royal Tomb, 10: Seoul Women's Univ., 11: Kwachon, 12: Anyang

간(51~75%), 경미(26~50%), 정상(0~25%)으로 나누어 각각 4, 3, 2, 0의 점수로 산정하였다.

③잎의 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.

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

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

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

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

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

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

피해도지수는 전체 13개항목이며 총점은 41점으로 하여 피해점수를 구하였으며 조사목의 피해도지수와 접촉각과의 상관계도 분석하였다.

나. 접촉각(contact angle) 측정

각 조사지역 독일가문비나무(*Picea abies*), 전나무(*Abies holophylla*) 두수종에 대하여 각각 10주의 공시목에서 Cape(1981; 1983)의 방법에 따라 침엽을 채취하여 0~5°C의 냉장고에 보관한 후, 각 연령별로 10개씩의 침엽에 0.2μl의 이온수를 주사기(microsyringe)를 이용, 침엽의 복면(adaxial side)에 떨어뜨

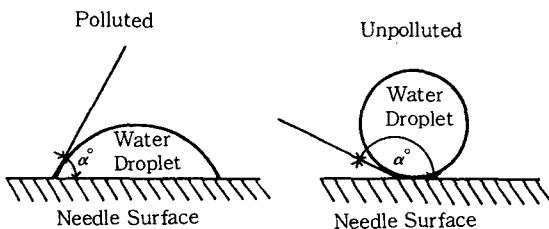


Figure 2. Contact angle (α°) of a water droplet on surface of a needle.

려 침엽표면의 wax와 물방울이 이루는 각도를 100배의 광학현미경내에 설치한 각도기(graticule)로 측정하였다(Figure 2).

다. 토양 및 침엽내 영양물질분석

조사지별, 수종별(2수종)로 무작위로 3개 지점을 선정하여 유기물층을 제거한뒤 표토 0~15cm의 깊이에서 토양을 채취, 혼합하여 약 1kg 정도의 시료를 실험실로 운반, 그늘에서 풍건시킨후 2mm체를 통과한 것을 공시 토양시료로 하였다. 토양분석항목은 토양산도, 토양수분, K, Ca, Mg, P₂O₅로 하였다.

엽내 영양물질분석은 각 조사 지역에서 수종별 3주씩의 엽분석 공시목을 지정한 후 라벨을 부착하여 6월과 12월 동일수목에서 수종당 20g의 침엽을 채취, 실험실로 운반하여 각 년생별로 분류를 하고 건조기에서 60~80°C로 건조시킨후 분쇄하여 0.5g씩 분류하여 공시 엽분석시료로 하였다. 엽내 영양물질분석은 N, P, K, Ca, Mg, S의 항목을 서울시립대학교 환경원예학과 생리생태실험실에서 농업기술연구소(1988)의 표준방법에 따라 실시하였다.

라. Wax의 정량분석

시료는 엽내 영양물질분석과 동일한 공시목에서 채취하여 생중량 5g씩의 잎을 평량하여 비이커에 넣은 후 chloroform(CHCl₃)용액 50ml를 적정하여 10초간 흔든후 침엽표면에 있는 wax를 chloroform용액에 용해시켰다. wax가 용해된 chloroform용액을 membrane filter가 부착된 Bucher funnel(직경 10cm)에 부은후 funnel을 통과하여 걸러진 용액을 무게가 측정된 알루미늄호일에 받아 hood에서 건조시켰다. Chloroform용액이 다 건조된 후 알루미늄호일을 전자저울에 평량하여 알루미늄호일무게를 제하여 wax량을 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 수도권 지역의 대기오염상황

서울環境現況(1990), 韓國環境年鑑(1990)에서 서울을 중심으로 대기오염상황을 살펴보면 서울시의 대기오염원은 난방연료와 자동차 배기가스가 주를 이루고 있고, 1989년도 대기오염배출량은 일산화탄소(CO)와 아황산가스(SO₂)가 주를 이루었으며, 오염원의 주를 이루는 연료는 난방과 취사용으로 사용하는 연탄이었다. 서울지역의 아황산가스 배출량은 89년 현재 151,209톤으로 경북, 경남에 이어 세번째였고,

일산화탄소(CO: 482,449톤), 탄화수소(HC: 38,714톤), 이산화질소(NO₂: 219,331톤), TSP(44,587톤)는 전국에서 제일 높았다. 경기지방에서도 CO, NO₂, TSP의 배출량이 서울 다음 순위를 차지하여 서울, 경기지방의 대기오염상태는 심각한 것으로 나타났다

Table 1. The description of pollutant quantity by the region(1989).

(Unit: ton/year)					
Region	SO ₂	TSP	NO ₂	HC	CO
Seoul	151,209	44,587	219,331	38,714	482,449
Inchon	63,170	9,880	56,199	6,516	67,150
Kyongkido	129,122	18,834	162,762	19,762	19,094

Source: Ministry of Environment

(Table 1).

서울의 월별 대기오염상황(Figure 3)을 살펴보면 SO₂, TSP, CO, HC, NO₂는 10월부터 증가하여 12월과 1, 2월에 최고치를 이루고 5월부터 9월까지의 겨울철에 낮게 나타나 고온에서 O₃의 생성율이 높음을 알 수 있다. 겨울철 대기오염의 증가는 난방연료 사용 및 자동차 배기가스 등의 오염물질 다량 배출과 적은 양의 강우, 대기의 정체와 수목들의 生長休眠期로 대기오염정화능력저하 등에 기인한 것으로 생각되며 이로인해 침엽수는 큰 피해를 받게 된다. 이러한 대기오염상황은 정도의 차이는 있으나 인천, 안양에서도 같은 경향을 보였다(Figure 4, 5).

Table 2. Injured index of *Picea abies* and *Abies holophylla* for each site in the Metropolitan area(1990. 6).

Site No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	Rate
<i>Picea abies</i>															
1	0.00	0.00	1.80	0.60	0.00	0.00	0.20	0.00	0.60	0.20	0.10	0.00	0.40	3.90	9.5
2	0.00	0.60	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	2.40	5.8
3	2.00	2.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	10.00	24.3
4	2.14	2.29	3.00	2.43	0.00	0.00	0.71	2.14	0.00	0.57	1.00	0.29	1.29	15.86	38.6
5	2.30	2.60	3.10	2.60	0.00	0.10	0.80	0.56	1.60	0.00	0.60	0.50	1.20	15.96	38.9
6	0.00	0.20	1.10	0.60	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	4.3
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
9	0.00	2.10	2.80	2.40	0.00	0.20	1.50	1.90	2.30	1.00	0.20	1.00	1.30	16.70	40.7
10	2.00	2.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	4.90	11.9
11	0.80	2.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	12.4
12	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.9
<i>Abies holophylla</i>															
1	0.00	1.00	1.40	0.40	0.00	0.00	0.20	0.00	0.60	0.10	0.00	0.00	0.30	4.00	9.7
2	0.00	0.40	1.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.70	2.70	6.5
3	1.71	2.00	2.00	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.86	9.05	22.0
4	2.00	2.00	2.00	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	10.04	24.7
5	2.00	2.00	2.10	1.10	0.00	0.20	0.30	0.40	0.00	0.10	1.00	0.10	1.00	9.20	22.4
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
8	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.4
9	0.00	0.40	2.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	6.3
10	2.00	2.00	2.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	9.10	22.1
11	0.00	1.60	2.50	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	4.50	10.9
12	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	4.8

- 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
- Site: 1:Inchon, 2:Boramae Park, 3:Namsan, 4:Seoul City Univ., 5:Children's Park, 6:Yangsuri, 7:Yangpyung, 8:Kwangnung, 9:Kumgok Royal Tomb, 10:Seoul Women's Univ., 11:Kwachon, 12:Anyang

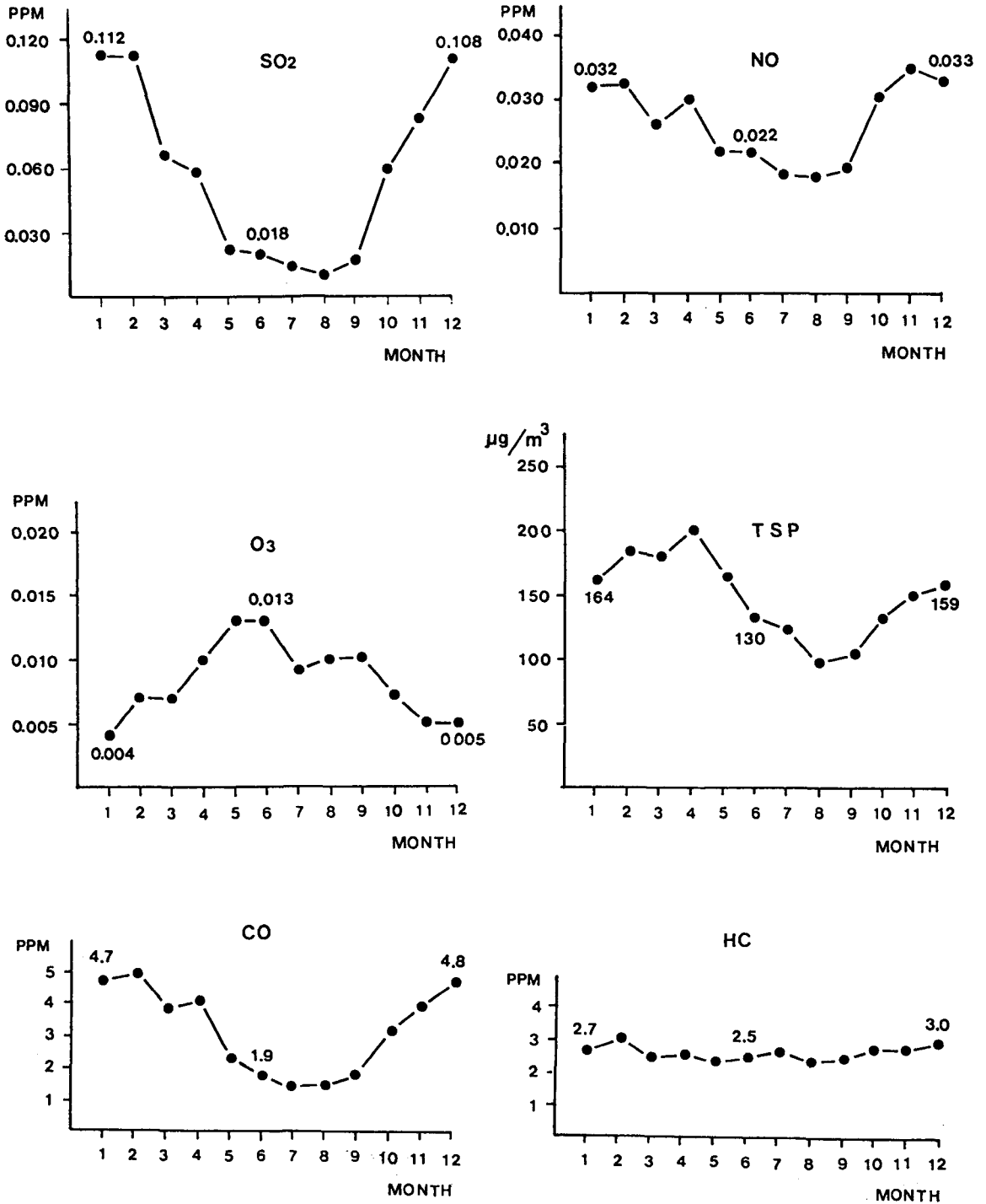


Figure 3. The condition of air pollution in Seoul, 1989(Source: Ministry of Environment, 2.Environmental standard: SO₂ : 0.05ppm/year, NO₂:0.05ppm/year, O₃: 0.02ppm/month, TSP: 150 g/m³/ year, CO: 8ppm/year, HC: 3ppm/year).

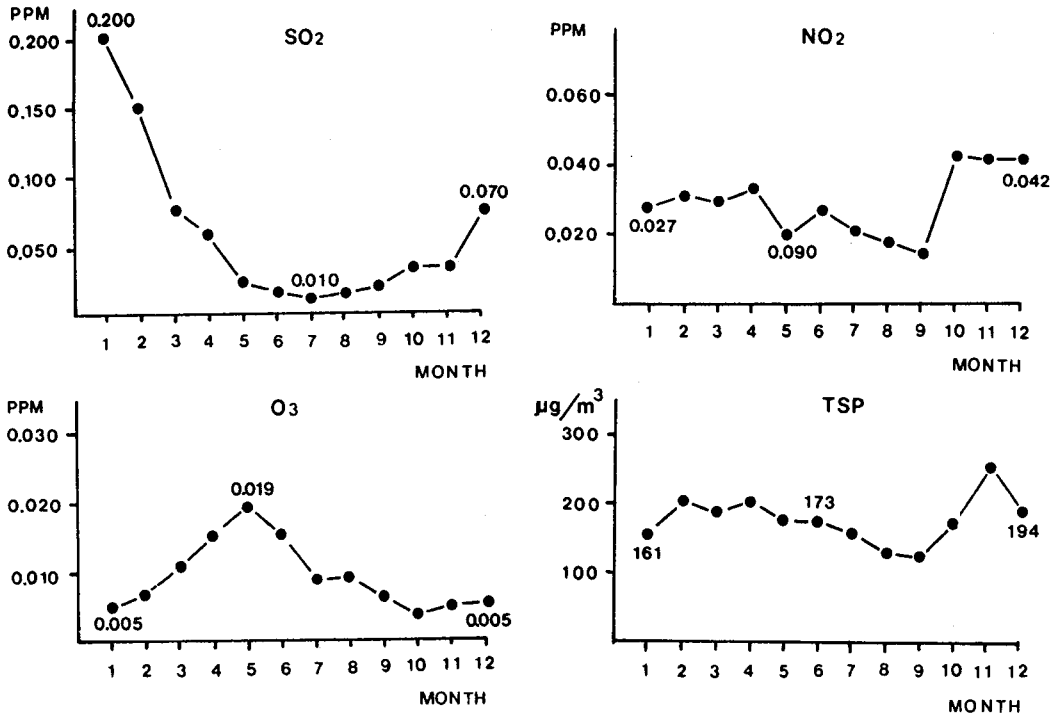


Figure 4. The condition of air pollution in Inchon, 1989(Source: Ministry of Environment)

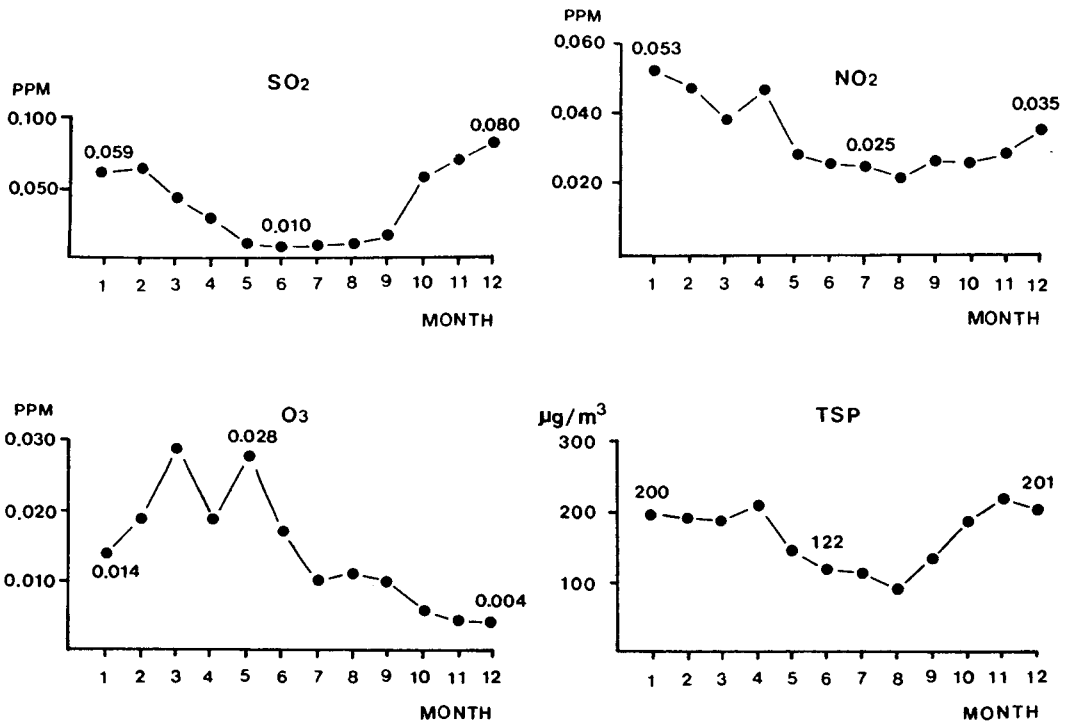


Figure 5. The condition of air pollution in Anyang, 1989(Source: Ministry of Environment)

Table 3. Injured index of *Picea abies* and *Abies holophylla* for each site in the Metropolitan area(1990. 12).

Site No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	Rate
<i>Picea abies</i>															
1	1.31	2.40	2.80	1.13	0.00	0.00	1.00	0.44	0.00	1.13	0.06	0.13	0.75	11.15	27.2
2	0.00	1.60	2.30	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	4.70	11.5
3	0.40	0.40	0.60	0.50	0.00	0.10	0.30	0.10	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20	3.00	7.3
4	2.14	2.29	3.07	2.43	0.07	0.07	1.21	0.46	1.60	0.00	0.60	0.50	1.20	15.93	38.9
5	2.30	2.60	3.10	2.60	0.00	0.10	0.90	0.43	1.60	0.00	0.60	0.50	1.20	15.93	38.9
6	1.43	1.71	2.14	0.00	0.00	0.14	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.86	16.7
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
9	0.00	2.10	2.80	2.33	0.00	0.20	1.67	1.00	1.90	2.30	0.20	0.90	1.30	16.70	40.7
10	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	6.50	15.9
11	1.60	2.40	2.90	0.80	0.00	0.50	1.50	0.00	0.40	0.00	0.90	0.10	0.70	11.80	28.8
12	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.5
<i>Abies holophylla</i>															
1	1.80	2.60	2.89	1.00	0.00	0.00	0.90	0.30	0.60	0.90	0.00	0.10	0.50	11.59	28.3
2	0.20	2.00	2.10	0.50	0.00	0.10	2.20	0.10	0.20	0.20	0.10	0.00	1.20	8.90	21.7
3	1.20	2.00	2.10	1.20	0.00	0.10	0.90	0.10	0.40	0.60	0.00	1.00	0.60	10.20	24.9
4	2.00	2.00	2.38	2.17	0.00	0.08	0.77	0.00	1.69	0.31	1.00	0.00	1.08	13.47	32.9
5	2.00	2.00	2.10	1.10	0.00	0.20	0.30	0.33	0.40	0.00	1.00	0.11	1.00	10.54	25.7
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
9	0.00	0.40	2.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	6.3
10	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	11.00	26.8
11	2.50	2.90	3.70	3.40	0.90	1.00	3.00	1.00	2.50	1.50	0.20	1.00	2.006	25.60	62.4
12	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	4.9

1. 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
2. Site: 1:Inchön, 2:Boramae Park, 3:Namsan, 4:Seoul City Univ., 5:Children's Park, 6:Yangsuri, 7:Yangpyung, 8:Kwangnung, 9:Kumgok Royal Tomb, 10:Seoul Women's Univ., 11:Kwachön, 12:Anyang

Figure 6은 환경처(1990), 서울시(1990), 김 등(1990)에 의하여 발표된 서울시 酸性降雨에 대한 수소이온농도(pH)의 값을 나타낸 것이다. 전체적으로 86년, 87년에 pH값이 떨어졌다가 88년에 일시적으로 높은 값을 보였으며, 89년부터는 다시 pH값이 서서히 떨어지고 있었다. 측정값은 환경청의 측정치가 가장 높았으며 그 다음이 서울시이고, 김 등(1990)의 측정치가 가장 낮은 수치를 나타내어 큰 차이를 보이고 있으므로 본 연구에서는 세가지 자료를 모두 참고하였다.

2. 수목피해도지수 분석

각 조사지역의 樹木被害度分析 13개항목에 대한 被害指數를 측정된 결과, 총 41점중 6월 독일가문비나무와 전나무의 전체값이 각각 0.0~16.70, 0.0~10.04이

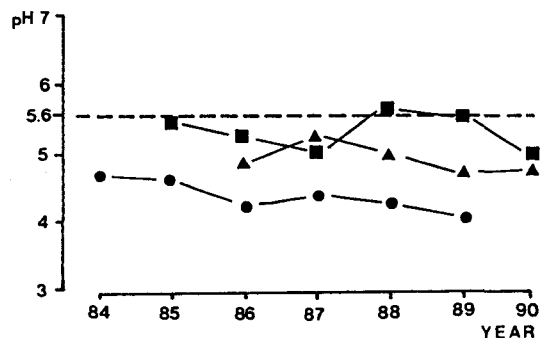


Figure 6. The condition of acid rain in Seoul(■: Ministry of Environment, ▲: Seoul City, ●: Kim Joon Ho).

있고(Table 2), 12월의 그 값은 0.0~6.70과 0.0~25.

60이었다(Table 3).

각 조사지역 피해도지수의 값을 백분율로 환산한 피해율을 구하였는데 피해율이 0%(피해지수 0)인 지역을 無被害地域, 1~24%(피해지수 1~9)인 지역을 輕被害地域, 24%이상(피해지수 10이상)인 지역을 甚被害地域으로 나누었을때 6월 독일가문비 等被害度曲線에서 무피해지역은 광릉, 양평, 경피해지역은 인천자유공원, 보라매공원, 양수리, 서울여대, 과천, 안양, 심피해지역은 남산, 서울시립대, 어린이대공원, 금곡릉으로 분리가 되었으나, 12월에는 광릉과 양평지역을 제외한 모든 지역의 피해도가 증가하였으며, 특히 인천과 과천의 피해도가 6월의 3.9와 5.1에서 12월에는 모두 피해도지수 11점대로 증가하여 경피해지역에서 심피해지역으로 변화하였다(Figure 7).

전나무의 등피해도 곡선에서는 6월에 무피해지역은 광릉, 양평, 경피해지역은 인천자유공원, 보라매공원, 남산, 서울여대, 금곡릉, 과천, 안양, 심피해지역은 서울시립대, 어린이대공원으로 분류되었으나 12월에는 인천, 남산, 서울여대, 과천의 피해도지수가 11.6, 10.2, 11.0, 25.6으로 증가하여 6월에 비하여 12월에 심피해지역의 범위가 확대되었다(Figure 8).

독일가문비나무와 전나무의 등피해도곡선에서 수도권지역의 대기오염에 의한 수목피해 범위는 광릉과 양평을 경계로 피해의 영향권을 추정할 수 있고, 그 피해의 정도는 서울시내의 남산, 서울시립대, 어린이대공원, 금곡릉이 가장 크게 받고 있는 것으로 나타났다. 조사지역중에서 특히 인천, 보라매공원, 과천의 12월 피해도지수가 6월에 비하여 큰 폭으로 增加되는 것은 가을철 이후 증가된 대기오염물질이 수목에 영향을 미침으로써 피해를 加重시키는 것으로 추정된다(김 등 1988). 피해도지수에서는 대기오염에 의한 독일가문비, 전나무의 가시적인 피해가 빠른속도로 확산되고 있음이 확인되었다.

3. 접촉각(Contact Angle)측정

가. 1990년 6월과 12월의 접촉각 측정

독일가문비나무, 전나무의 침엽접촉각 측정결과(Table 4)를 살펴보면 전체 12개 조사지역의 두수종 모두 1년생에서 2, 3년생으로 갈수록 접촉각의 값이 감소하였다. 6월과 12월의 독일가문비나무, 전나무의 접촉각비교에서 2, 3년생잎보다는 1년생잎에서의 접촉각감소가 두드러졌는데, 이것은 2, 3년생잎보다는 1년생잎이 대기오염물질에 더욱 민감하다는 것을 보여주는 것이다.

Table 4. The measurement of contact angle for *Picea abies* and *Abies holophylla* needles in the Metropolitan area(1990. 6, 1990. 12).

Site No.	Years	Mean		Mean	
		'90. 6	'90. 12	'90. 6	'90. 12
<i>Picea abies</i>					
1	1	77.5	90.78	77.8	76.87
	2	51.6	88.15	63.9	64.30
	3	43.1	84.23	51.8	63.09
2	1	90.2	89.03	--	84.14
	2	70.1	82.96	--	81.10
	3	60.6	80.64	--	77.47
3	1	90.3	77.68	89.7	77.79
	2	74.8	72.86	70.9	71.30
	3	61.7	65.04	55.3	66.52
4	1	92.8	79.56	81.2	74.20
	2	72.8	75.74	65.3	70.38
	3	59.2	70.53	54.4	63.75
	4	55.4	69.22	51.0	57.82
5	1	76.4	86.87	80.1	68.98
	2	63.7	79.43	65.3	66.49
	3	54.8	72.75	80.1	62.48
6	1	86.8	80.67	--	--
	2	59.9	78.80	--	--
	3	49.5	76.95	--	--
7	1	84.1	80.41	71.1	72.51
	2	60.1	69.12	54.7	67.68
	3	52.8	63.64	46.0	66.46
8	1	87.4	71.99	59.5	74.88
	2	60.7	65.86	50.6	74.05
	3	56.0	61.29	45.5	70.78
9	1	82.6	74.84	69.9	66.68
	2	63.3	66.31	57.5	63.70
	3	53.1	59.14	47.8	59.73
10	1	--	--	--	70.42
	2	--	--	--	62.92
	3	--	--	--	55.01
11	1	84.7	89.53	80.8	73.59
	2	52.3	82.29	45.5	72.95
	3	38.6	78.91	41.4	68.14
12	1	75.3	80.49	--	81.03
	2	55.0	70.42	--	71.76
	3	56.0	63.31	--	66.37

나. 광릉과 서울시립대의 월별 접촉각측정

1990년 6월부터 10월까지 월별 광릉과 서울시립대

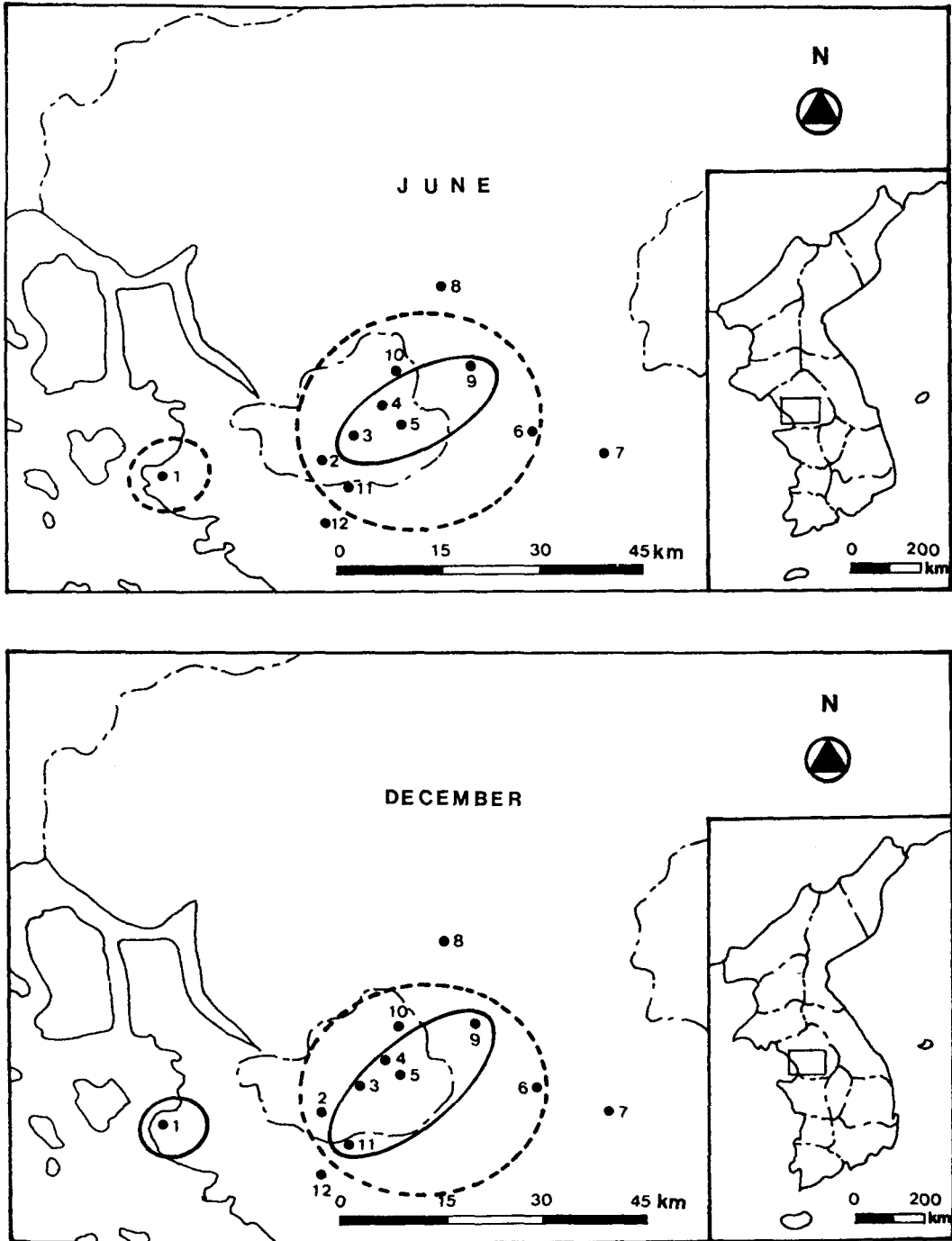


Figure 7. Iso-injured index for *Picea abies* in the Metropolitan area.

1. - : Injured index > 10, --- : Injured index 1-9

2.Site: 1: Inchon, 2: Boramae Park, 3: Namsan, 4: Seoul City Univ., 5: Children's Park, 6: Yangsuri, 7: Yangpyung, 8: Kwangnung, 9: Kungok Royal Tomb, 10: Seoul Women's Univ., 11:Kwachon, 12:Anyang

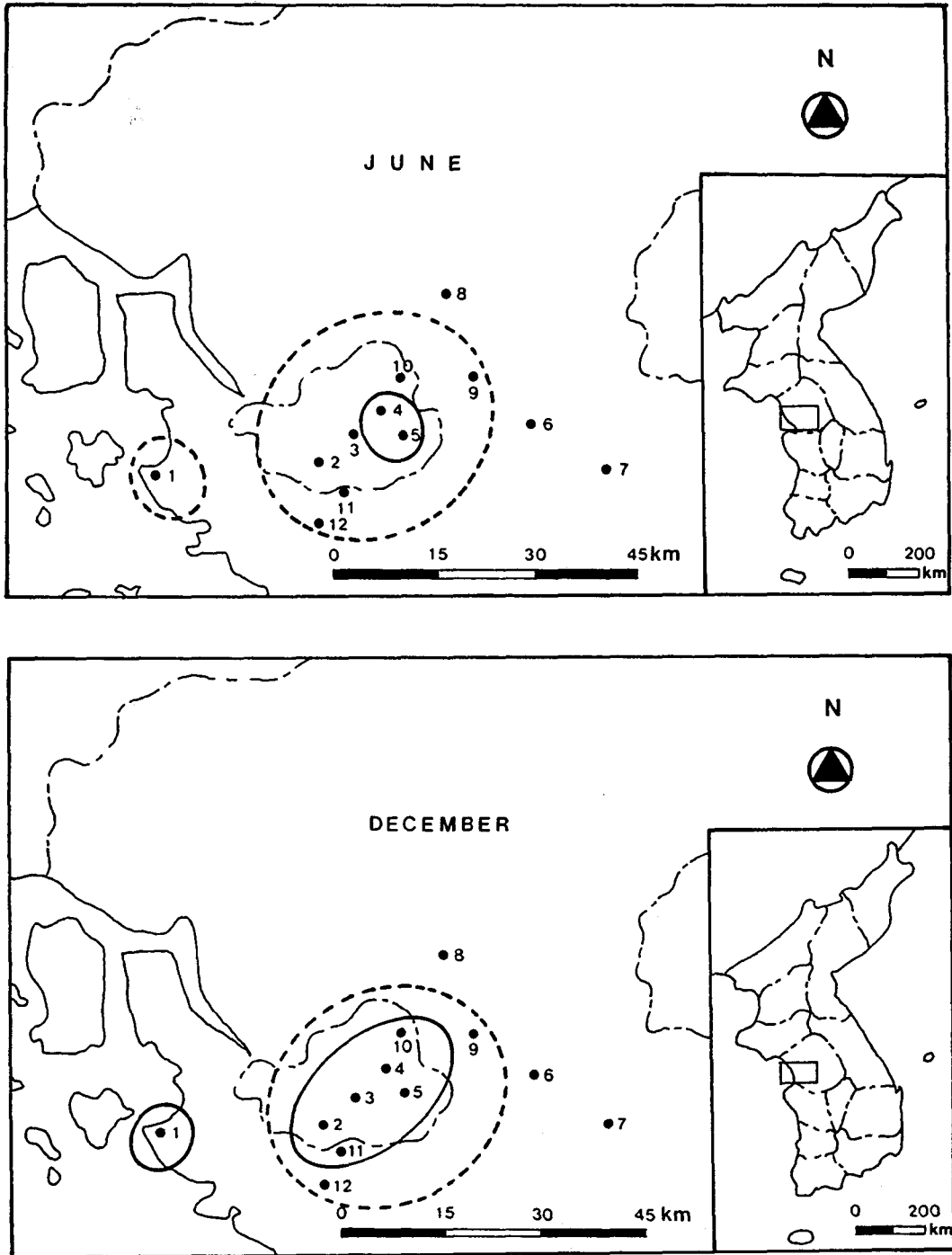


Figure 8. Iso-injured index for *Abies holophylla* in the Metropolitan area.

1. — : Injured index > 10, --- : Injured index 1-9

2.Site: 1: Inchon, 2: Boramae Park, 3: Namsan, 4: Seoul City Univ., 5: Children's Park, 6: Yangsuri, 7: Yangpyung, 8: Kwangnung, 9: Kungok Royal Tomb, 10: Seoul Women's Univ., 11:Kwachon, 12: Anyang

학교의 독일가문비나무와 전나무의 접촉각측정결과 (Figure 9)에 의하면 독일가문비나무에서 접촉각의 감소현상이 시간이 경과할수록 뚜렷하였는데, 특히 당년생 침엽에서 급격한 감소를 보였다. 전나무의 경우는 서울시립대학교에서는 감소현상이 뚜렷하였으나, 광릉은 6월부터 서서히 접촉각이 증가되는 것으로 나타났다. 이것은 대기오염에 의한 수목의 피해판단에 있어서 수종에 따라, 생육환경에 따라 다른 요인이 복합적으로 영향을 미친다는 것을 나타내는 것으로 단일한 연구방법만으로는 수목의 피해판단이 어렵다

는 사실을 보여주는 것이다.

다. 수도권 4개지역 묘목의 접촉각측정

인천, 서울시립대, 양수리, 성환(연암축산대)에 화분에 묘목을 심어 배치한뒤 90년 6월과 12월에 접촉각을 측정하였다(Table 5).

6월에 배치하였을 당시의 접촉각 측정치는 4개 조사 지역에서 모두 100°이상의 높은 값을 보이는 반면 12월에는 인천 78.19, 서울시립대 83.42, 양수리 42.78, 성환 65.80으로 상당히 낮은 값을 보이고 있다. 이것

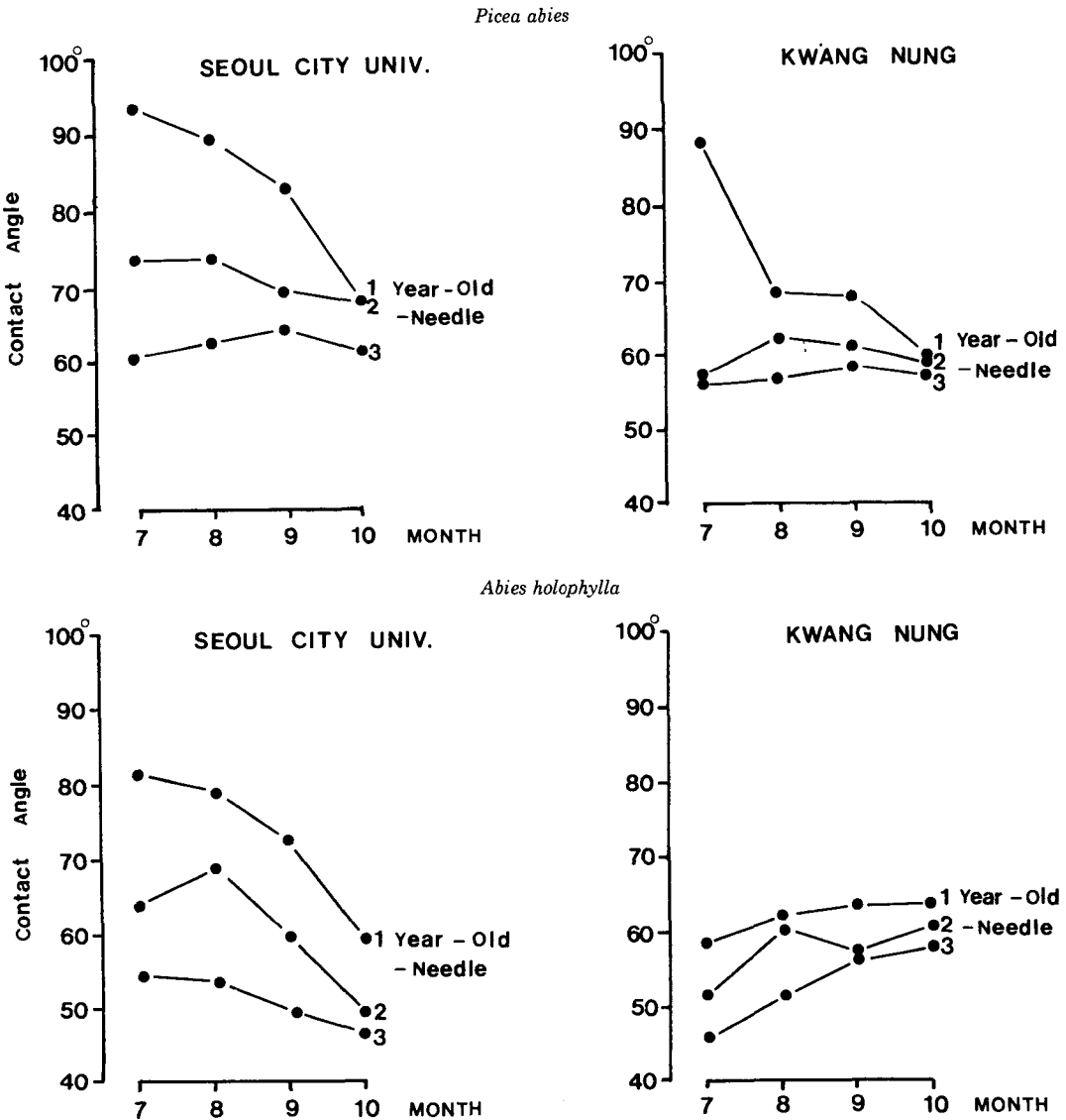


Figure 9. Changes of contact angle for each site of *Picea abies* and *Abies holophylla* at Seoul City University and Kwangnung (1990. 6. ~1990. 10).

은 앞서 밝혔듯이 2, 3년생 잎보다 1년생 잎이 피해에 민감한 것과 동일한 결과로 묘목은 대기오염에 의한 영향을 조기에 판단하기 위한 좋은 재료라 생각되지만, 성환을 포함한 우리나라 중부지방은 강우산도가 너무 낮아 독일가문비 침엽왕스랑의 침식에 의한 산성 비피해를 계량화시킬 수가 없음을 알 수있다(Cape

Table 5. Changes of contact angle for *Picea abies* seedling in four sites(Inchön, Seoul City Univ., Yangsuri, Songwhan).

Site	Mean of Contact angle		
	1990. 6	1990. 12	1991. 6
Inchön	109.42	78.19	85.91
Seoul City Univ.	109.97	83.42	82.07
Yangsuri	108.28	42.78	83.62
Songwhan	106.58	65.80	88.15

Table 7. Correlation between each injured index for *Picea abies* in June and December, 1990.

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

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

2. 1: one-year-needle fading, 2: two-year-needle fading, 3: three-year-needle fading, 4: Degree of depauperation, 5: one-year-needle defoliation ratio, 6: two-year-needle defoliation ratio, 7: three-year-needle defoliation ratio, 8: Branch drooping condition, 9: Shoot growth condition, 10: Twig condition, 11: Terminal bud condition, 12: Crown decline condition, 13: Tree strength, 14: Total

Table 6. Correlation between contact angle and injured index for each species(1990).

Injured Index		Contact Angle					
		<i>Picea asies</i>			<i>Abies holophylla</i>		
		1yr	2yr	3yr	1yr	2yr	3yr
June	1yrf	.	--	.	--	--	.
	2yrf	.	.	.	--	.	.
	3yrf	.	.	.	--	--	.
	Total	.	--	.	--	--	.
Dece.	1yrf	--	--	.	.	--	.
	2yrf	.	.	.	.	.	.
	3yrf	.	.	.	.	.	.
	Total	.	--	.	.	--	.

1. 1yr:one-year-needle, 2yr:two-year-needle 3yr:three-year-needle 1yrf:one-year-needle fading, 2yrf:two-year-needle fading, 3yrf: three-year-needle fading
 2. 1-tailed signi. : --:0.01, -:0.05 level

et al, 1988). 그러므로 현재 중부지역에 내리는 산성비는 이미 그 정도가 심하여 식물에 나타나는 피해에 의한 조기판단이 용이하지 않음을 암시하는 것이다.

4. 상관관계분석

가. 접촉각(contact angle)과 피해도지수간의 상관관계분석

Table 6은 접촉각과 피해도지수간의 相關關係를 나타낸 것으로 독일가문비나무는 12월에 1, 2년생의 접촉각과 피해도지수 엽변색항목간의 高度의 부의 상관관계가 認定되었으며, 전나무에서는 6월의 1년생잎 접촉각과 피해도지수 엽변색항목간의 고도의 부의 상관성이 인정되었다. 전체적으로는 독일가문비나무, 전나무 모두 2년생 침엽의 접촉각과 전체 피해도지수와의 고도의 부의 상관성이 인정되었다. 따라서 상관관계

분석을 통하여 대기오염에 의한 수목의 피해 판단에 있어서는 전체피해도지수 산정과 2년생 침엽의 접촉각측정을 병행하는 것이 보다 적절한 방법으로 밝혀졌다.

나. 피해도지수 각 인자간의 상관관계분석

6월에 측정된 독일가문비나무 피해도지수 인자간의 상관관계를 살펴보면 각 항목간의 高度의 有意의인 상관관계가 인정되었고, 1년생 침엽의 낙엽율과 다른 인자간에서만 상관성이 없는 것으로 나타났다(Table 7). 이것은 독일가문비나무의 당년생 침엽의 탈락현상은 거의 일어나지 않는 것을 보여주는 것이다.

12월 독일가문비나무 피해도지수 인자간의 상관관계에서는 6월의 경우와 마찬가지로 1년생침엽의 경우만 상관성이 인정되지 않았으며 다른 인자들간에 대한 영향은 고도의 유의적인 상관성이 인정되었다 (Table 7).

Table 8. Correlation between each injured index for *Abies holophylla* in June and December, 1990.

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

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

2. 1: one-year-needle fading, 2: two-year-needle fading, 3: three-year-needle fading, 4: Degree of depauperation, 5: one-year-needle defoliation ratio, 6: two-year-needle defoliation ratio, 7: three-year-needle defoliation ratio, 8: Branch drooping condition, 9: Shoot growth condition, 10: Twig condition, 11: Terminal bud condition, 12: Crown decline condition, 13: Tree strength, 14: Total

Table 9. Analysis of nutrient content in the needle of *Picea abies* in the Metropolitan area(1991. 12, 1990. 6).

Site	Year of Needle	P(%)		Ca(%)		Mg(ppm)		K(%)		S(%)
		'90. 12	'91. 6	'90. 12	'91. 6	'90. 12	'91. 6	'90. 12	'91. 6	'91. 6
1	1		0.250		0.198		808		0.639	1.60
	2	0.130	0.336	0.445	0.320	1100	836	0.676	0.509	1.52
	3	0.137		0.704		1219		0.611		
2	1	0.149	0.182	0.626	0.301	975	910	0.496	0.382	1.12
	2	0.140	0.354	1.191	0.507	1284	1001	0.473	0.355	1.04
	3	0.109		1.291		1380		0.234		
3	1	0.119	0.246	0.161	0.528	902	486	0.644	0.446	1.54
	2	0.116	0.228	0.288	0.538	1006	638	0.571	0.375	1.26
	3	0.103		0.277		1022		0.539		
4	1	0.152	0.207	0.427	0.912	917	758	0.404	0.538	1.19
	2	0.123	0.362	0.614	1.176	888	886	0.546	0.365	1.10
	3	0.108		1.271		1134		0.404		
	4	0.079		1.493		1051		0.358		
5	1	0.062	0.224	0.371	0.489	834	548	0.468	0.566	1.31
	2	0.091	0.210	0.797	0.557	841	615	0.482	0.494	1.13
	3	0.102		0.908		871		0.465		
6	1	0.136	0.335	1.514	0.865	631	598	0.330	0.355	1.22
	2	0.149	0.335	0.573	0.599	1144	537	0.424	0.202	1.09
	3	0.128		1.084		1231		0.357		
7	1	0.242	0.208	0.212	1.050	862	575	0.658	0.485	1.35
	2	0.249	0.225	0.632	1.377	894	575	0.658	0.374	1.26
	3	0.182		1.315		1148		0.462		
8	1	0.095	0.185	0.788	0.670	963	698	0.439	0.329	1.46
	2	0.167	0.275	0.512	0.731	822	640	0.712	0.244	1.33
	3	0.109		0.640		734		0.405		
	4	0.071		0.538		529		0.282		
9	1	0.108	0.180	1.363	0.571	1090	447	0.287	0.395	1.00
	2	0.139		0.478		951		0.459		0.90
	3	0.107		0.798		1040		0.303		
10	1	0.088	0.208	0.806	0.482	715	827	0.371	0.428	0.84
11	1	0.179	0.219	0.666	0.886	915	766	0.755	0.781	1.11
	2	0.169	0.277	1.333	1.060	1124	942	0.779	0.489	1.03
	3	0.164		1.795		1320		0.591		
12	1	0.199	0.359	0.446	0.210	1003	1041	0.346	0.401	1.23
	2	0.144	0.241	1.122	0.724	995	976	0.312	0.330	1.22
	3	0.101		1.088		955		0.554		

Site:1:Inchön, 2:Boramæ Park, 3:Namsan, 4:Seoul City Univ., 5:Children's Park, 6:Yangsuri, 7:Yangpyung,
8:Kwangnung, 9:Kumgok Royal Tomb, 10:Seoul Women's Univ., 11:Kwachön, 12:Anyang

6월 전나무 전체피해도지수 인자간의 상관관계에서 전체피해도지수와 각 인자간에는 1년생 낙엽율과 소지상태의 인자를 제외하고는 高度의 有意의인 正의 相關性이 인정되어 전나무에 있어서도 독일가문비나무에서와 같이 1년생 침엽의 낙엽율은 거의 없는 것을 알 수 있다 (Table 8).

12월 전나무 전체 피해도와 인자간의 상관관계에서는 13개 모든 항목에서 고도의 正의 相關性이 인정되었는데 이것은 연구를 지속적으로 수행할 경우 독일가문비나무보다는 전나무가 본 연구에 있어서는 더 적합한 수종으로서 가능성이 있다는 것을 보여주는 것이다.

Table 10. Analysis of nutrient content in the needle of *Abies hollophylla* in the Metropolitan area(1991. 12, 1990. 6).

Site	Year of needle	P(%)		Ca(%)		Mg(ppm)		K(%)		S(%)
		'90. 12	'91. 6	'90. 12	'91. 6	'90. 12	'91. 6	'90. 12	'91. 6	'91. 6
1	1	0.161	0.156	0.377	0.593	885	612	1.038	0.408	1.15
	2	0.115	0.056	1.270	1.220	986	767	0.589	0.271	1.12
	3	0.115	--	1.278	--	997	--	0.549	--	--
2	1	0.160	0.021	0.440	0.855	1029	1100	0.901	0.440	1.02
	2	0.149	0.126	1.212	1.266	1432	1363	0.574	0.290	1.03
	3	0.097	--	1.222	--	1278	--	0.479	--	--
3	1	0.145	0.019	0.508	0.844	896	533	0.861	0.591	1.06
	2	0.118	0.294	1.255	1.792	961	1099	0.477	0.540	1.10
	3	0.108	--	1.074	--	820	--	0.433	--	--
4	1	0.204	0.078	0.650	0.284	962	292	0.896	0.664	0.87
	2	0.146	0.093	1.225	0.997	1243	606	0.373	0.390	--
	3	0.117	--	1.284	--	1098	--	0.489	--	--
5	1	0.202	0.088	0.260	0.711	978	610	0.607	0.334	1.24
	2	0.138	0.326	1.155	0.526	1023	718	0.348	0.526	1.50
	3	0.122	--	1.238	--	708	--	0.345	--	--
7	1	0.178	0.071	0.758	0.515	928	722	0.633	0.382	1.41
	2	0.101	0.087	1.416	0.991	828	713	0.502	0.298	1.16
	3	0.084	--	1.343	--	582	--	0.403	--	--
8	1	0.139	0.096	0.844	0.447	775	218	0.667	0.281	1.10
	2	0.144	0.091	1.111	0.873	751	176	0.635	0.287	1.02
	3	0.106	--	1.040	--	671	--	0.653	--	--
	4	0.101	--	1.159	--	639	--	0.672	--	--
9	1	0.130	0.030	1.532	0.904	1091	640	0.407	0.188	0.92
	2	0.114	0.339	1.139	1.342	1019	802	0.379	0.193	0.94
	3	0.115	--	1.513	--	1071	--	0.422	--	--
10	1	0.114	0.026	0.793	1.064	859	916	0.485	0.237	0.92
	2	0.110	0.172	1.366	1.282	987	789	0.388	0.236	1.04
	3	0.087	--	1.311	--	929	--	0.364	--	--
11	1	0.155	0.056	0.563	0.437	912	517	0.868	0.460	0.89
	2	0.101	0.086	1.484	1.307	1252	778	0.429	0.289	0.82
	3	0.087	--	1.978	--	1452	--	0.324	--	--
12	1	0.129	0.268	0.473	0.632	1024	699	0.622	0.291	1.00
	2	0.128	--	0.825	--	1115	--	0.574	--	--
	3	0.137	--	0.840	--	984	--	0.486	--	--

Site:1:Inchön, 2: Boramae Park, 3: Namsan, 4: Seoul City Univ., 5: Children's Park, 6: Yangsuri, 7: Yangpyung, 8: Kwangnung, 9: Kungok Royal Tomb, 10: Seoul Women's Univ., 11: Kwachön, 12: Anyang

5. 엽내영양물질 분석

Table 9, 10은 1990년 12월과 1991년 6월에 채취한 독일가문비나무, 전나무의 엽내영양물질의 분석결과를 나타낸 것이다. 독일가문비나무, 전나무의 엽내영양물질분석에 있어서 1990년 12월의 1년생잎은 1991년 6월에 2년생잎이 되는데 Ca, Mg, K의 함량을 살펴보면 두수종 모두 90년 12월에 비하여 91년 6월의 값이 현저한 감소현상을 나타내었다. 특히, P와 K의 값은 두수종에서 1년생잎의 경우보다 2년생, 3년생잎으로 갈수록 심한 감소현상을 보이고 있었다. 이러한 경향은 수도권 12개 조사지역 모두에서 나타났으며 특히, 서울지역에서 두드러졌다. 일찌기 Cape *et al* (1988)은 접촉각과 침엽수내의 영양물질함량과는 상관관계가 있음을 발표하였는데, 본 연구에서도 그와 같은 결과를 얻었다. 이러한 시간경과에 따른 피해도지수증가와 접촉각감소, 엽내영양물질의 감소경향으로 산성비 및 대기오염물질에 의한 수도권지역의 수목피해가 연차적으로 가중되고 있음을 판단할 수 있다.

6. 토양분석

조사지역의 토양산도는 독일가문비나무 조사지역이 pH 4.7-6.2, 전나무 조사지역이 pH 4.4-7.4의 범위였으며 인공식재하였지만, 숲의 형태를 유지하고 있는 인천 자유공원, 남산, 안양수목원의 토양산도가 보다 낮게 측정되었다. 토양양료에 있어서도 이들 지역은 낮은 값을 보이는데, 이것은 인공식재되어 관리를 받고 있는 지역에 위치한 조사구들이 비료공급과 같은 인위적인 간섭을 받고 있기 때문에 이 지역의 토양산도 및 토양양료의 측정치가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 생각된다. 토양분석결과 각 조사지역간의 통계적인 유의성은 인정되지 않았다(Table 11).

7. Wax 정량분석

각 지역의 wax정량분석에 있어서는 통계적인 유의차는 인정되지 않았다. 피해도지수에서 심피해지로 분석된 인천과 피해도지수에서 무피해지로 분석된 양평을 대상으로 정밀분석을 한 결과, 1990년의 경우 독일가문비나무, 전나무의 1, 2년생 잎의 wax함량이 인천 지역에서는 두수종 모두에서 1년생에서 2년생으로 갈수록 그 값이 떨어졌으나, 양평지역에 있어서는 두수종 모두에서 1년생에서 2년생으로 갈수록 그 값이 증가하였다(Table 12).

이것은 피해도지수분석, 접촉각측정에서 밝혀진

Table 11. Mean value of soil chemical properties for each site in the Metropolitan area(1990, 12).

Site No.	pH (H ₂ O:1:5)	Exch.Cation(me/100g)			Ava. P ₂ O ₅ (ppm)	Moisture
		K	Ca	Mg		
<i>Picea abies</i>						
1	4.71	0.24	2.29	0.35	42	11.68
2	6.45	0.13	6.50	0.88	25	7.43
3	5.43	0.22	3.55	0.38	7	8.21
4	5.06	0.37	4.10	0.58	193	3.40
7	6.21	0.27	3.57	0.52	68	9.36
8	5.09	0.26	2.88	0.47	233	6.93
10	5.06	0.15	3.72	0.72	90	10.14
12	5.37	0.14	1.86	0.30	96	7.31
<i>Abies holophylla</i>						
1	-	0.32	8.50	0.53	36	11.95
2	5.33	0.14	5.25	1.33	184	5.86
3	4.99	0.22	4.55	0.64	20	8.16
4	6.40	0.17	5.92	0.65	70	3.64
7	5.98	0.31	7.08	0.50	114	8.94
8	5.36	0.20	1.61	0.35	8	6.80
9	5.08	0.20	3.76	0.52	47	7.90
12	5.02	0.18	1.94	0.29	78	8.09

- : missing value

Table 12. Wax content in needles of Inchon and Yangpyung in 1990

Site	Year	<i>Picea abies</i>	<i>Abies holophylla</i>
Inchon	1	0.9607	0.6600
	2	0.3244	0.4421
Yangpyung	1	0.1193	0.3976
	8	0.4942	0.4509

바, 대기오염의 피해를 받지 않은 무피해지역은 접촉각의 값과 wax의 값이 1년생잎에서 2년생잎으로 갈수록 그 값이 증가하는 경향을 보여 이들 방법들이 서로 상관성이 있음을 보여주었다.

인용문헌

김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등 (1987) 환경오염생물지표법의 연구개발(1). 국립환경연구원. 29-41, 159-176.
 김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등 (1988) 환경오염생물지표법의 연구개발(2). 국립환경연구원. 111-153.
 김재봉, 배정오, 이용범, 한상욱 등 (1989) 환경오염생물지표법의 연구개발(3). 국립환경연구원. 119-144.

- 김준호 (1990) 산성비-식물에 미치는 영향. '90한국생태학회 및 한국식물학회 심포지움 - 식물과 환경오염 - . 국립환경연구원. 3-33.
- 김태욱, 이경재, 박인협 (1982) 환경오염에 의한 울산 지역의 삼림생태학적 변화에 관한 연구. 한국임학회지 58:60-69.
- 김태욱, 이경재, 김준선 (1983) 환경오염이 식물군집에 미치는 영향에 관한 연구. 한국환경농학회지 2(1) 35-44.
- 김태욱, 이경재, 김준선 (1985) 여천공업단지의 대기오염이 곰솔에 미치는 영향. 한국대기보전학회지 1:25-32.
- 농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법. 농촌진흥청. 450쪽.
- 박완철 (1991) 대기오염지역 적응 수종 선발에 관한연구. 한국대기보전학회지 7(1): 55-66.
- 배정오, 고강석 (1990) SO₂가 식물에 미치는 영향. 식물과 환경오염. 국립환경연구원. 55-86.
- 서울시 (1990) 서울환경현황. 27-90.
- 이경재, 배정오, 고강석, 우종서 (1990) 울산공단지역에서의 대기오염이 삼림에 미치는 영향-대기오염에 의한 곰솔의 피해- 대기보전학회지 6(1):103-110.
- 환경처 (1990) 한국환경연감. 환경처, 17-344.
- 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. , I. S. Paterson, A. R. Wellburn, J. Wolfenden, H. Mekhorn, P. H. Freer-Smith and S. Fink (1988) Early Diagnosis of Forest Decline. *Institutes of Terrestrial Ecology*. 68pp.
- Hutten, S. and K. Laine (1983) Effects of airborne air pollutants on the surface of *Pinus sylvestris* needles. *Fennici* 20:78-86.