

## 인공산성우에 대한 조경수목의 내성 비교

### A Study on Resistant Comparisons of Landscape Trees by Simulated Acid Rain

정 용 문

예산농업전문대학  
(원고접수 : 1991. 11. 4)

**Yong Moon Cheong**

Yesan National Agri-Tech College  
(Received 4, November 1991)

#### Abstract

To compare the resistance of landscape trees by acid rain, simulated acid rain was treated on the seeds of 6 coniferous species (*Pinus densiflora*, *Pinus thunbergii*, *Pinus koraiensis*, *Taxus cuspidata*, *Cedrus deodara*, *Thuja occidentalis*) and 6 broad-leafed species (*Ligustrum obtusifolium*, *Acer Buergerianum*, *Acer Ginnala*, *Styrax obassia*, *Cornus Kousa*, *Magnolia obovata*). The experimental design of randomized block arrangement with three replications was implemented in the experimental field of Yesan National Agri-Tech Junior College.

The seeds of 12 tree species were planted on the nursery soil in the early spring of 1991. The regime of artificial acid rain, in terms of spray frequency per monthly and spray amount at single treatment per plot, was simulated on the basis of climatological date averaged from 30 year records. Simulated acid rain (pH 2.0, pH 4.0, pH 5.6 as control) containing sulfuric and nitric acid in the ratio of 3:2 (chemical equivalent basis) diluted ground water, were treated on the experimental plants under condition of cutting off the natural precipitation with vinyl tunnel, during the growing season (April 8 to August 31) in 1991.

Seedling establishment, seedling growth and nutrient contents in needles and leaves were measured and compared among the treatment. The results were summerized as follows;

1. In general, coniferous species were more resistant than broad-leafed species in the resistant comparisons of landscape trees by simulated acid rain. But there were resistant tree species to acid rain among the broad-leafed species.

2. Among 6 coniferous species used in this experiment, *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Taxus cuspidata*, *Cedrus deodara* and *Pinus thunbergii* revealed the resistant tree species to acid rain. But *Thuja occidentalis* was very susceptible to acid rain, because of no germination in pH 2.0 treatment plot of acid rain.

3. Among 6 broad-leafed species used in this study, *Magnolia obovata*, *Styrax obassia* and *Ligustrum obtusifolium* showed relative resistant tree species to acid rain. But *Acer Buergerianum*, *Acer Ginnala* and *Cornus Kousa* were very susceptible to acid rain, because of no germination in pH 2.0 plot of acid rain treatment.

## 1. 서 론

20세기 후반에 들어서 선진국은 물론 개발도상국에 이르기까지 인구의 도시 집중화와 공업화로부터 야기된 대기오염과 그로 인한 酸度 높은 降水物은 생물권의 생존환경을 위협하므로 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 인간의 산업활동을 통해 대기 중에 방출된 黃酸化物(SO<sub>x</sub>)과 窒素酸化物(NO<sub>x</sub>) 등으로 야기된 酸性雨(acid rain 또는 acid precipitation)는 대기오염이 심한 지역에만 국한되지 않고 지역간, 국가간, 대륙간, 더 나아가 全地球的 規模(global-scale)의 환경문제가 되고 있다(古明地 哲人, 1980; 吉本國春, 1982, 1983).

산성우가 식물 생태계에 미치는 영향은 기존 토양의 양료상태와 강하한 산성물질 沈着의 지속시간에 따라 상이하며, 농작물과 삼림의 생산성에 있어서도 증가 또는 감소한다는 엇갈리는 연구결과 등으로 아직 확실한 결론을 내리지 못하고 있으나(Johnson, 1981; Morrison, 1984), 장기적으로 볼 때에는 토양의 생산성이 감퇴되고 식물생장 감퇴의 가능성이 큰 것으로 집약되고 있다(Johnson *et al.*, 1982).

산성우가 수목에 미치는 영향의 파악은 생태계 구성의 다양성으로 인해 이를 구체적으로 계량화 하기에 어려움이 많아 연구자들은 인공산성우를 살포하여 식물 생태계에 미치는 영향을 조사한 후, 이것을 근거로 해서 다른 상태를 추론하거나, 그렇지 않으면 인공산성우의 살포시험의 결과를 제시하고 있다.

환경에 대한 산의 沈積은 대기오염이 발생하는 대도시나 공단지역에 있어서는 더욱 심하게 나타나며(이수옥과 민일식, 1989), 이러한 地域에서의 수목 식재는 대기오염 및 산성우에 내성이 강한 수종을 식재할 필요가 있으며, 정기적인 토양조사를 통해 石炭施肥 및 肥培管理가 요구된다. 산성우에 대한 수종간의 내성차 시험으로는 富谷健三 등(1975)의 소나무를 비롯한 9개의 조경수종 시험, 정용문(1989)의 소나무와 개나리묘의 비교시험, Lee와 Weber(1979)의 11개 수종의 파종상 시험 및 김갑태(1991)의 침엽수 5개 수종의 파종시험 등이 있다. 그러나 이와같은 연구는 아직 pot 시험이나 chamber 시험과 같이 극히 기초적이고 단기간의 시험에 불과하며 자연상태에서 천연강수와 같은 조건 하에서의 연구 시험은 아직 없는 실정이다.

본 연구는 산성우에 대한 耐性差를 수종간 비교함으로써 대도시나 공단지역 주변의 녹지조성에 적합한 수종을 선별하는데 필요한 기초자료로 활용하고

자, 조경공간에 흔히 식재되고 있는 침엽수 6개 수종과 활엽수 6개 수종에 대하여 인공 산성우를 살포하여, 발아 개체수, 성장량 및 엽내 함유성분을 조사하여 수종간 내성차를 비교하고, 이를 토대로 내성수종의 選拔 및 選拔基準를 마련하고자 시도되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료 및 인공 산성우 조제

본 연구에 사용된 수목 종자는 1990년 가을에 동일 clone 개체로부터 채종 또는 수집하여 종자 특성별로 발아 촉진 처리를 하고, 1991년 4월 초에 각 종자별 파종방법에 의거 70×70 cm 파종상에 파종하였다. 파종상 설계는 난괴법 3반복이었으며, 12수종×3처리×3반복=180 plot가 마련되었다. 공시 수종의 종자 산지는 表 1에 나타나 있다.

**Table 1.** Tree species and seed sources used in the study.

Division	Tree species	Seed sources
Coniferous tree	<i>Pinus densiflora</i>	Suwon-shi, Kyeonggi-do
	<i>Pinus thunbergii</i>	Taeon-gun, Chungnam-do
	<i>Pinus koraiensis</i>	Mountain Ode, Kangwon-do
	<i>Taxus cuspidata</i>	Mountain Ode, Kangwon-do
	<i>Cedrus deodara</i>	Kwangju-shi
Broad-leafed tree	<i>Thuja occidentalis</i>	Kwangnung arboretum
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	Yesan-gun, Chungnam-do
	<i>Acer Buergerianum</i>	Yesan-gun, Chungnam-do
	<i>Acer Ginnala</i>	Kwangnung arboretum
	<i>Styrax obassia</i>	Kwangnung arboretum
	<i>Cornus Kousa</i>	Kwangnung arboretum
	<i>Magnolia oborata</i>	Yesan-gun, Chungnam-do

상토는 묘포장 토양을 그대로 사용하였으며, 그 이화학적 성질은 표 2와 같고, 토성(soil texture)은 사질양토(sandy loam)였다. 산성우 조제는 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 질산(HNO<sub>3</sub>)을 3:2의 비율(N농도)로 혼

**Table 3.** Conductivity, major cation and anion concentration of the simulated acid rain used in this study.

pH	Conductivity ( $\mu$ mhos)	Major cations (ppm)					Major anions (ppm)			
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> -S	NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl <sup>-</sup>
pH 5.6 (control)	0.65	1.12	5.15	20.17	2.54	0.39	28.23	15.63	.45	9.64
pH 4.0	3.57	2.45	9.89	38.18	7.88	0.95	430.48	45.72	.91	14.28
pH 2.0	41.32	4.14	15.24	49.37	15.45	3.21	1976.24	865.28	.49	24.27

**Table 2.** The soil properties of the experimental nursery.

Soil texture	Sandy loam	Ca <sup>2+</sup> (me·100 g <sup>-1</sup> )	2.93
pH (H <sub>2</sub> O, 1:5)	6.7	Mg <sup>2+</sup> (me·100 g <sup>-1</sup> )	0.59
Al <sup>3+</sup> (ppm)	26.25	Base saturation (%)	132.20
K <sup>+</sup> (me·100 g <sup>-1</sup> )	0.11	C.E.C (me·100 g <sup>-1</sup> )	4.84
Na <sup>+</sup> (me·100 g <sup>-1</sup> )	0.03	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	60.57

합하고, 이것을 지하수로 희석하여 pH 5.6, pH 4.0 및 pH 2.0의 3수준으로 조제한 다음, pH meter로 정확한 산도를 조정하였다. 이때 pH 5.6은 대조용으로 사용된 것이다. 조제된 인공 산성우의 산도수준별 전기 전도도(electric conductivity), 주요 양이온(cations) 및 음이온(anions)의 함량은 표 3의 내용과 같았다.

## 2.2 방법

인공 산성우의 살포회수와 plot당 1회 살포량의 결정에 있어서는 시험이 실시된 충남 예산 지역의 30년간의 강우양식(김광식 등, 1982)에 模擬(simulation)하였다. 이 내용이 표 4에 제시되었으며, 표에 월평균 강우량, 월평균 강우회수(1mm 이상시의 강우회수), 1회 평균 강우량, 그리고 이를 근거로 한 plot 당 살포량이 주어지고 있다.

산성우 살포는 파종된 직후인 4월 초순부터 8월 31일까지 5개월간, 표 4에 제시된 월별 살포회수(월평균 강우회수)와 plot 당 1회 살포량에 따라, 물줄기가 가는 물뿌리개를 사용하여 실시하였다. 천연강수는 그때마다 vinyl tunnel로 차단되었으며, 파종 이후의 묘목의 관리는 일반 양묘법에 준하였으며, 외부인자에 의한 묘목 생육상의 stress가 없도록 세심한 주의를 기울였다.

## 2.3 측정방법

수종별로 발아한 개체수 및 잔존 묘목수는 발아가 시작된 이후부터 30일 간격으로 조사하였다. 묘목의 측정은 묘목의 신장 생장이 정지된 9월말에 묘목을

**Table 4.** Spray frequency and amount averaged from 30 years climatological data used for simulation in this study.

Division	April	May	June	July	August
Precipitation density (mm)	78.0	81.9	130.9	307.2	216.7
Precipitation frequency <sup>+</sup>	6	7	9	13	11
Average rainfall (mm)	13.0	11.7	14.5	23.6	19.7
Spray amount per plot (ml)	6,370	5,733	7,105	11,564	9,653

+ is number of days with precipitation  $\geq 1.0$  mm.

굴취하여 깨끗이 세척한 다음, dry oven에 넣어 70°C로 72시간 건조시킨 후 묘고와 묘목의 지상부 및 지하부의 건조량을 측정하였으며, 이어서 T-R울을 계산하였다. 엽내 함유성분은 다량원소인 질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 유황의 5개 항목을 분석하였는 바, 질소는 Micro kjeldahl 증류 적정법으로, 인산은 Vanadate법으로, 칼륨은 Flame photometer법으로, 칼슘 및 마그네슘은 E.D.T.A. 적정법으로, 유황은 Magnesium nitrate법으로 그 함량을 각각 정량하였다. 엽내 함유성분 분석은 plot 당(처리당) 1점씩 3반복이었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수종별 발아 개체수 및 잔존 묘목수

산성우 처리에 따라 수종별 발아 개체수와 잔존 묘목수의 평균치와 통계분석의 결과가 표 5에 주어지고 있다. 표치에서 침엽수와 활엽수 별로 발아 개체수를 비교해 보면, 침엽수의 경우 소나무와 잣나무는 산성우 처리에 발아가 촉진되어 각각 5%의 유의수준을 보였다. 산성우 처리에 영향을 받지 않은 수종은 해송과 주목이었으며, 미국측백은 pH 2.0의 강한 산성우 처리에 전혀 발아하지 않아 침엽수 6수종 가운데 가장 민감한 반응을 보였다. 잣나무는 6

**Table 5.** Mean values of seedling numbers of each species by the levels of acid rain.

Tree species	pH levels of acid rain	Date				
		May 1	Jun. 1	Jul. 1	Aug. 1	Sep. 1
<i>Pinus densiflora</i> (500) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	31.7	380.7	398.7	395.7	393.7
	pH 4.0	30.3	375.3	387.7	385.7	382.7
	pH 2.0	35.3	385.0	403.3	396.3	395.7
	F-value	6.70*	0.21	0.60	0.16	0.15
<i>Pinus thunbergii</i> (500) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	17.7	325.3	342.3	341.3	339.3
	pH 4.0	16.3	318.3	332.3	330.3	328.3
	pH 2.0	18.3	332.3	354.7	352.3	349.7
	F-value	0.16	1.98	2.21	2.44	0.68
<i>Pinus koraiensis</i> (200) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	43.3	69.3	64.3	62.3
	pH 4.0	.	54.3	55.7	53.3	51.3
	pH 2.0	.	68.3	46.3	40.3	39.3
	F-value	.	10.47*	11.47**	13.12**	9.68*
<i>Taxus cuspidata</i> (300) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	53.3	123.7	131.3	129.3
	pH 4.0	.	58.3	143.3	148.7	147.7
	pH 2.0	.	54.3	136.3	142.3	139.3
	F-value	.	0.56	2.22	0.87	1.31
<i>Cedrus deodara</i> (100) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	8.7	33.3	36.3	34.3	31.7
	pH 4.0	12.3	47.3	48.7	46.3	42.7
	pH 2.0	9.3	37.3	41.0	39.3	36.7
	F-value	1.23	4.37	1.60	3.85	18.20**
<i>Thuja occidentalis</i> (200) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	.	19.3	23.7	23.7
	pH 4.0	.	.	15.0	19.3	19.3
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Ligustrum obtusifolium</i> (100) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	11.3	43.3	65.3	74.7	69.3
	pH 4.0	8.0	21.3	57.3	63.3	59.3
	pH 2.0	4.7	16.7	24.0	40.7	36.7
	F-value	5.71*	39.11**	77.26**	144.34**	91.44**
<i>Acer Buergianum</i> (100) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	28.3	32.0	35.3	35.3
	pH 4.0	.	16.3	20.1	20.7	20.7
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Acer Ginnala</i> (100) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	12.3	13.7	15.7	15.7
	pH 4.0	.	4.7	5.3	6.3	6.3
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Styrax obassia</i> (50) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	9.3	12.7	12.3	12.7
	pH 4.0	.	8.7	9.7	9.3	8.3
	pH 2.0	.	6.3	6.3	6.7	5.7
	F-value	.	0.97*	1.88	3.14	3.40
<i>Cornus Kousa</i> (100) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	18.3	21.3	30.7	30.7
	pH 4.0	.	6.7	9.0	9.3	9.3
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Magnolia obovata</i> (50) <sup>+</sup>	Control (pH 5.6)	.	17.3	30.3	24.7	24.3
	pH 4.0	.	20.7	24.7	24.7	22.7
	pH 2.0	.	18.7	21.3	20.3	20.3
	F-value	.	0.35	0.39	0.65	0.83

+ is the number of seeds.

\* and \*\* indicate significances at 5% and 1%, respectively.

월에 발아 개체수가 산성우의 영향으로 증가하여 5%의 유의차를 보였다가 7월부터는 산성우의 pH값이 감소함에 따라 잔존 묘목수도 감소하여 1%의 유의수준을 나타낸 것은 산성우에 따른 입고병의 영향을 받은 것으로 보여진다. 히말라야시다의 발아 초기에는 산성우의 영향을 받지 않았으나 9월에 pH 4.0에서 가장 높은 잔존 묘목수를 보여 1%의 유의수준을 나타내었다. 활엽수의 경우 중국단풍, 신나무, 산딸나무는 pH 2.0의 강한 산성우 처리에 전혀 발아하지 않았으며, pH 4.0의 처리에서도 대조구인 pH 5.6에 비하여 발아율이 극히 저조하였다. 쥐똥나무에 있어서는 산성우의 3 처리에 모두 발아는 하였으나 강한 산성 처리에 발아 개체수 및 잔존 묘목수가 감소하여 5월에는 5%의 유의수준을, 그리고 6월부터는 1%의 유의수준을 보였다. 쪽동백은 산성우에 감소 경향을 보였으나 유의차는 보이지 않았으며, 일본 목련만이 유일하게 산성우의 영향을 전혀 받지 않았다.

이상의 결과로 보아 침엽수가 활엽수에 비해 산성우에 대한 내성이 비교적 강한 것으로 나타났으며, 침엽수종 중에도 소나무, 해송, 잣나무, 주목, 히말라야시다 등이 내성이 크고, 미국측백만이 산성우에 가장 약한 것으로 나타났다. 활엽수에서는 일본목련과 쪽동백나무가 비교적 내성이 강한 것으로 나타났으며, 쥐똥나무는 내성이 약한 편이고 중국단풍, 신나무, 산딸나무는 산성우에 매우 민감한 것으로 요약할 수 있다.

이상에서와 같이 산성우 처리에 의한 침엽수와 활엽수간에 그리고 수종간에 상이한 경향을 보인 것은 산성우에 대한 수종간의 내성차가 있음을 보여주고 있는 것으로 판단된다. Lee와 Weber(1979)는 Douglas-fir, Eastern white pine, Tastern redceder, Flowering dogwood, Staghorn sumac, Red alder, Shagbark hickory, Yellow birch, Sugar maple, American beech, Tulip-poplar 등 11개 수종의 파종상에 인공 산성우를 살포한 결과, 발아가 촉진된 것은 Douglas-fir를 비롯한 4개 수종, 억제된 것은 Staghorn sumac의 1개 수종으로, 발아촉진의 원인은 산이 종피를 약하게 한 결과라고 한 보고와, 김갑태(1991)가 낙엽송, 구상나무, 잣나무, 증비나무, 삼나무 등 침엽수 5개 수종에 산성우를 살포한 결과 수종간의 내성차를 규명한 연구결과와 본 연구 내용과 유사한 경향을 보였다. 또한, Scholz와 Reck(1977), Eckert(1988), Oleksyn(1988), Scholz(1988) 및 Siwecki와 Rachwal(1988) 등의 대기오염과 산성물질에 대한 수종간 및 영양계간의

내성차를 규명한 결과와도 부합되고 있다. 그러나, 같은 수종간에서 약간의 차이를 보인 것은 시험방법의 차이에서 기인된 것으로 보여진다. 미국 New York 동남부 지역의 삼림이 대기오염과 산성 강수물에 의해 생리적 장애를 받아 내성이 약한 수종은 내성이 강한 수종들로 대체되어 삼림의 구조가 변경되리라 보고한 Puckett(1982)의 연구 결과와, 산성우가 삼림의 재생산에 대한 실패의 원인이 된다고 제시하면서, *Picea abies*는 pH 3.8 이하의 토양에서는 정상적인 생장이 되지 않는다는 Morrison(1984)의 연구결과와 같이, 우리나라에서도 머지 않아 산성우가 대도시와 공단주변의 녹지공간의 식물 생태계에 심각한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

### 3.2 수종별 묘목 성장량

표 6에 수종별 묘고, 묘목의 지상부, 지하부 및 전체 건중량과 T-R율의 평균치와 통계분석의 결과가 나타나 있다.

표에 의하면 산성우의 산도가 낮아짐에 따라 침엽수와 활엽수 공히 묘고가 증가하는 현상을 보이고 있었다. 침엽수의 경우 산성우의 pH값이 낮아짐에 따라 苗高가 증가하며 소나무, 해송, 주목, 히말라야시다에서는 1%의 유의수준을, 잣나무에서는 5%의 유의수준을 보였으며, 미국측백에서는 pH 2.0 처리구에서 발아가 되지 않아 통계분석의 결과는 불수 없지만 pH 5.6인 대조구에 비해 pH 4.0에서 묘고의 증가현상을 보여, 침엽수 6개 수종 모두가 강한 산성우 처리에 묘목의 크기가 증가하였다. 활엽수의 경우에는 모든 수종이 침엽수와 같이 뚜렷한 증가현상은 없었지만 일반적으로 산성우 처리에 묘고의 증가현상을 보였다. 쥐똥나무는 pH 2.0에서, 일본목련은 pH 4.0에서 가장 높은 성장량을 보여 1%의 유의수준을 보였으며, 쪽동백은 pH 4.0에서 최고치를, pH 2.0에서 최하치를 보여 1%의 유의수준을 보였다. pH 2.0에서 발아가 안된 중국단풍, 신나무, 산딸나무 중에서 중국단풍, 신나무는 pH 4.0에서 대조구인 pH 5.6보다 증가현상을, 산딸나무는 감소하는 경향을 나타내었다.

한편, 수종별 개체 건중량에 있어서도 침엽수와 활엽수 공히 성장량의 증가를 보였다. 침엽수의 경우 소나무, 해송, 잣나무, 주목, 히말라야시다의 산성우의 pH값이 낮아짐에 따라 개체 건중량이 증가하여 각각 고도의 유의차를 보였고, pH 2.0 처리구에서 발아가 되지 않은 미국측백에서도 대조구에 비해 pH 4.0에서 증가현상을 보였다. 활엽수에서는 쥐똥나무와 일본목련이 산성우의 산도가 낮아짐에

**Table 6.** Mean values of seedling growth (tree height; total, top and root dry weight; T-R ratio) of each species by the levels of acid rain (Sep. 30, 1991).

Tree species	pH levels of acid rain	Tree height (cm)	Dry weight (mg)			T-R ratio
			top	root	total	
<i>Pinus densiflora</i>	Control (pH 5.6)	6.41	3.38	0.66	3.04	3.59
	pH 4.0	8.71	3.14	0.68	4.04	3.60
	pH 2.0	8.90	3.65	0.94	4.59	3.92
	F-value	436.65**	19.89**	15.36**	138.47**	3.47
<i>Pinus thunbergii</i>	Control (pH 5.6)	5.59	4.01	0.91	4.91	4.40
	pH 4.0	9.31	4.83	0.93	5.75	5.25
	pH 2.0	9.63	6.00	1.13	7.12	5.38
	F-value	1384.47**	180.45**	4.27	484.85**	34.00**
<i>Pinus koraiensis</i>	Control (pH 5.6)	3.70	3.27	1.88	5.16	1.74
	pH 4.0	3.68	3.25	2.11	5.36	1.54
	pH 2.0	3.98	4.44	2.41	6.84	1.85
	F-value	5.73*	70.07**	11.55**	185.95**	4.31
<i>Taxus cuspidata</i>	Control (pH 5.6)	5.31	0.76	0.39	1.14	1.97
	pH 4.0	6.43	0.87	0.53	1.40	1.68
	pH 2.0	6.74	0.99	0.69	1.69	1.44
	F-value	93.90**	7.68*	13.86**	53.19**	37.38**
<i>Cedrus deodara</i>	Control (pH 5.6)	10.20	6.68	1.96	8.64	3.44
	pH 4.0	12.00	11.75	3.28	15.01	5.59
	pH 2.0	12.61	13.40	3.95	17.36	3.40
	F-value	398.59**	5543.22**	208.08**	1423.04**	293.96**
<i>Thuja occidentalis</i>	Control (pH 5.6)	2.65	0.35	0.10	0.45	3.50
	pH 4.0	3.71	0.51	0.10	0.61	5.10
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	Control (pH 5.6)	23.47	499.67	250.33	699.3	1.80
	pH 4.0	28.53	562.67	323.33	885.7	1.75
	pH 2.0	42.97	737.33	361.67	1101.7	2.06
	F-value	141.97**	134.16**	36.40**	428.76**	6.99**
<i>Acer Buergerianum</i>	Control (pH 5.6)	6.28	377.51	329.62	706.41	1.15
	pH 4.0	8.24	495.74	386.20	881.16	1.28
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Acer Ginnala</i>	Control (pH 5.6)	63.51	557.02	300.26	857.90	1.86
	pH 4.0	71.94	624.56	324.77	948.35	1.93
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Styrax obassia</i>	Control (pH 5.6)	27.63	144.67	72.67	216.67	2.00
	pH 4.0	45.07	165.33	102.67	267.67	1.63
	pH 2.0	22.30	62.33	36.33	98.67	1.73
	F-value	165.79**	157.19**	27.97**	230.03**	16.88**
<i>Cormus Kousa</i>	Control (pH 5.6)	46.25	223.31	93.25	316.33	3.16
	pH 4.0	37.60	494.56	176.49	670.47	2.81
	pH 2.0	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.
<i>Magnolia obovata</i>	Control (pH 5.6)	13.33	429.67	201.33	630.33	2.14
	pH 4.0	26.67	658.67	264.67	922.33	2.50
	pH 2.0	20.77	884.67	338.67	1222.67	2.63
	F-value	170.79**	2857.75**	210.50**	2789.70**	50.87**

\* and \*\* indicate significances at 5% and 1% levels, respectively.

따라 개체 건중량이 증가하여 각각 1%의 유의수준을 보였고, 쪽동백은 pH 4.0에서 최대치를, pH 2.0에서 최소치를 보여 1%의 유의수준을 나타내었다. pH 2.0 처리구에서 발아가 안된 중국단풍, 신나무, 산딸나무도 대조구보다 pH 4.0 처리구에서 높은 생장량을 보여, 침엽수와 활엽수 모두 산성우에 높은 생장량을 보였다.

이와같은 결과는 잣나무 파종상과 소나무 1년생 묘목에  $H_2SO_4$ 와  $HNO_3$ 를 3:2로 희석하여 조제한 산성우를 살포한 결과, 산성우의 pH 값이 낮아짐에 따라 묘목의 생장량이 증가한 정용문(1987, 1988)의 결과와, 역시 3:1로 희석한 산성우를 은행나무 묘목과 5개의 침엽수 파종상에 각각 살포한 결과 묘목의 생장이 촉진된 김갑태(1986, 1991)의 연구결과 및 스트로브잣나무에 산성우를 살포한 결과 묘목의 생장이 촉진된 Wood와 Bormann(1976)의 연구결과와 일치하고 있었다.

본 연구에서 인공 산성우에 침엽수 및 활엽수 12개 수종 모두의 묘고 및 생장량 증가현상은 인공산성우의 주성분인 유황과 질소가 일시적으로 시비효과 작용을 한 데에서 기인된 것으로 판단되며, 2년생, 3년생 등 나이가 들어도 이러한 경향이 나타나지는 지속적인 시험연구가 요구된다.

T-R울에 있어서는 침엽수와 활엽수간에 수종별로 서로 상이한 반응을 보였다. 침엽수의 경우 해송이 pH 2.0에서 가장 높은 수치를 보여 고도의 유의차를 보였고, 주목과 히말라야시다는 pH 4.0에서 가장 높은 수치를 보여 고도의 유의차를 보였다. 소나무와 잣나무는 유의차를 보이지 않았다. 활엽수의 경우에는 쥐똥나무와 일본목련에서 pH 2.0의 처리구에서 가장 높은 값을 보여 1%의 유의차를, 쪽동백은 대조구인 pH 5.6에서 가장 높은 값을 보여 고도의 유의차를 보였다. pH 2.0 처리구에서 발아가 안된 중국단풍, 신나무, 산딸나무는 서로 엇갈리는 반응을 보였다. 이와같이 산성우의 산도에 따라 서로 상이한 값을 보인 것은 산성우에 대한 내성차가 있음을 보여주고 있는 것으로, 건물 생장량은 증가하였음에 비해 T-R울은 서로 상반된 반응을 보여 장기간의 산 축적은 식물의 생장에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다. 장기간에 걸친 산성우와 대기오염에 노출된 수목의 생장감소에 대한 여러 보고들(Binns와 Redfern, 1983; McLaughlin *et al.*, 1983; Zedaker *et al.*, 1988)을 볼 때, 산성우가 수목생장에 미치는 영향을 단기간의 시험으로 쉽게 결론 내리기는 어려우며, 장기간의 체계적인 야외실험을 해야 할 것으로 판단된다.

### 3.3 수종별 엽내 함유성분

건전한 잎의 乾重에 대한 각 원소의 비교량으로 상대적으로 많은 양을 가지고 있는 것에는 질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 황 등이 있다. 따라서 본 연구에서 산성우 처리에 따른 각 수종의 엽내 다량 원소의 함량을 분석해 보았으며, 그 결과가 표 7에 보인다. 표치에 의하면 침엽수와 활엽수간에는 수종별로 각기 다른 반응을 보이고 있다. 전질소의 경우 침엽수의 소나무, 해송, 잣나무, 주목, 히말라야시다 등은 pH 2.0의 산성우 처리구에서 대조구인 pH 5.6보다 감소하여 고도의 유의차를 보였으며, 활엽수인 쥐똥나무와 쪽동백은 오히려 증가하여 1%의 유의수준을 보였고, 중국단풍과 신나무는 pH 4.0에서 증가경향을, 산딸나무와 일본목련은 감소경향을 보였다.  $P_2O_5$ 의 경우 침엽수에서는 해송, 잣나무, 주목이 pH 2.0에서 감소현상을 보여 1%의 유의수준을 보였고, 소나무, 히말라야시다, 미국측백은 감소경향을 보였다. 활엽수에서는 쥐똥나무와 일본목련의 경우 낮은 산도에서 감소되어 1%의 유의수준을 보였고, 쪽동백나무는 5%의 유의수준을 나타내었다.  $K_2O$ 에 있어서는 수종별로 서로 다른 반응을 보여 일정한 경향을 볼 수 없었다. CaO에 있어서는 침엽수의 잣나무, 주목, 히말라야시다에서 산성우의 pH 값이 낮을수록 함량이 감소하며 1% 및 5%의 유의수준을 보였으며, 활엽수의 쥐똥나무와 일본목련도 감소하여 1%의 유의수준을, 쪽동백나무는 pH 4.0에서 가장 낮은 수치를 보여 1%의 유의수준을 나타내었다. MgO에 있어서는 침엽수의 경우 처리간에 유의차가 없었으나, 활엽수에서는 쥐똥나무, 일본목련이 pH 2.0에서 가장 많이 감소되어 1%의 유의수준을 보였고, 쪽동백은 pH 4.0에서 5%의 유의차를 보였다. S에 있어서는 침엽수의 경우 잣나무와 주목은 pH 2.0 처리에서 가장 많이 증가하여 1%의 유의수준을 보였고, 해송과 히말라야시다는 5%의 유의수준을 나타내었다. 활엽수의 경우에는 쥐똥나무, 쪽동백 및 일본목련은 pH 2.0에서 가장 많이 증가하며 1%의 유의수준을 보였고 중국단풍, 신나무, 산딸나무도 pH 4.0 처리구에서 증가현상을 보였다.

이와같은 결과는 잣나무 파종상 및 소나무, 개나리묘에 본 시험과 동일한 방법으로 시험한 정용문(1987, 1988)의 연구결과와 그밖의 연구결과(Kim, 1986; MacDonald *et al.*, 1986; 오종환, 1986)와 일치하고 있었다. 본 연구에서  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CaO 및 MgO의 함량은 수종간에 약간의 차이는 있으나 대체적으로 산성우의 pH값이 낮아짐에 따라 감소하였

**Table 7.** Mean values of nutrient contents in needles and leaves of each species by the levels of acid rain (Sep. 30, 1991).

Tree species	pH levels of acid rain	Nutrient contents (%)					
		T.N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
<i>Pinus densiflora</i>	Control (pH 5.6)	2.11	0.46	0.88	0.67	0.11	0.11
	pH 4.0	2.25	0.48	0.97	0.57	0.15	0.12
	pH 2.0	1.96	0.36	0.78	0.48	0.21	0.16
	F-value	14.70**	2.05	10.42*	4.04	3.74	4.75
<i>Pinus thunbergii</i>	Control (pH 5.6)	1.97	0.47	1.18	0.45	0.09	0.12
	pH 4.0	1.89	0.49	1.26	0.41	0.12	0.14
	pH 2.0	1.57	0.37	1.09	0.41	0.10	0.17
	F-value	18.42**	17.92**	7.79*	0.96	2.95	6.33*
<i>Pinus koraiensis</i>	Control (pH 5.6)	1.99	0.91	0.60	0.63	0.28	0.03
	pH 4.0	2.17	0.46	0.60	0.68	0.24	0.10
	pH 2.0	1.77	0.30	0.72	0.50	0.24	0.18
	F-value	23.72**	509.98**	9.60*	27.27**	2.16	36.21**
<i>Taxus cuspidata</i>	Control (pH 5.6)	0.34	0.50	0.72	0.75	0.34	0.06
	pH 4.0	0.59	0.63	0.80	0.83	0.28	0.12
	pH 2.0	0.25	0.37	0.71	0.62	0.27	0.19
	F-value	62.07**	42.25**	3.71	41.77**	3.39	34.64**
<i>Cedrus deodara</i>	Control (pH 5.6)	1.38	0.35	0.69	0.77	0.13	0.13
	pH 4.0	1.64	0.40	0.81	0.63	0.17	0.15
	pH 2.0	1.34	0.29	0.77	0.64	0.15	0.23
	F-value	17.90**	4.29	4.54	10.42*	4.95	8.11*
<i>Thuja occidentalis</i>	Control (pH 5.6)	2.01	0.60	1.45	1.69	0.31	0.07
	pH 4.0	2.39	0.51	0.84	1.57	0.19	0.14
	pH 2.0	.	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.	.
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	Control (pH 5.6)	2.24	1.30	1.30	1.77	0.32	0.15
	pH 4.0	2.24	1.32	1.45	1.99	0.31	0.20
	pH 2.0	2.69	0.71	1.65	1.37	0.22	0.28
	F-value	54.09**	59.10**	26.43**	66.64**	14.52**	16.12**
<i>Acer Buergianum</i>	Control (pH 5.6)	1.77	0.52	1.08	1.63	0.42	0.11
	pH 4.0	1.94	0.43	1.01	1.54	0.39	0.15
	pH 2.0	.	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.	.
<i>Acer Ginnala</i>	Control (pH 5.6)	1.77	0.52	1.08	1.63	0.42	0.11
	pH 4.0	1.94	0.43	1.01	1.54	0.39	0.15
	pH 2.0	.	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.	.
<i>Styrax obassia</i>	Control (pH 5.6)	1.88	0.70	1.16	1.53	0.36	0.08
	pH 4.0	1.65	0.57	1.45	1.30	0.26	0.09
	pH 2.0	2.07	0.46	1.33	1.50	0.39	0.19
	F-value	22.97**	9.92*	17.86**	11.65**	7.16*	19.59**
<i>Cornus Kousa</i>	Control (pH 5.6)	2.07	1.30	0.87	3.99	0.31	0.10
	pH 4.0	2.05	1.11	1.08	3.91	0.24	0.17
	pH 2.0	.	.	.	.	.	.
	F-value	.	.	.	.	.	.
<i>Magnolia obovata</i>	Control (pH 5.6)	2.01	0.45	2.02	2.45	0.34	0.13
	pH 4.0	1.85	0.60	2.59	1.96	0.44	0.15
	pH 2.0	1.87	0.30	1.72	1.62	0.25	0.27
	F-value	1.76	54.50**	224.67**	174.75**	10.94**	93.81**

\* and \*\* indicate significances at 5% and 1% levels, respectively.



음에 반해 전질소와 유효황의 함량 증가는 산성우 성분인 질소와 유효황때문인 것으로 판단된다.  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ 의 함량 감소는 pinto bean과 sugar maple 잎에서 산성우의  $H^+$ 에 의해  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  및  $Mg^{2+}$ 의 용출이 증가된 Wood와 Bormann(1975)의 연구결과와 일치하였으며, 이와같은 결과는 다른 연구자들(Heagle *et al.*, 1983; Lee & Weber, 1982)에 의해서도 공통적으로 나타난 현상이다.

이번 연구에서 조사항목에는 포함되지 않았지만, 산성우의 pH값이 낮아짐에 따라 많은 수종에서 가시적 엽피해가 나타나는 것으로 보아 장기적인 산성우의 강하는 엽내 함유성분은 물론 식물 생장 및 토양의 화학적 성질 등의 변화를 초래하여 식물 생태계를 교란하고 파괴할 것으로 사려된다.

### 3.4 산성우 처리에 대한 수종별 내성 비교

인공산성우 처리에 대한 반응을 발아율(발아 개체수), 묘목의 크기(묘고), 개체당 건중량, T-R을 및 엽내 함유성분 등의 6개의 항목별로 점수화하되, 산성우 처리에 발아가 안되는 등 매우 감수성인 것을 0점, 비교적 감수성인 것을 1점, 중간 성질의 것을 2점, 비교적 내성인 것을 3점 등 4수준으로 나누어 수종별로 상대적인 내성의 크기를 종합하여 비교한 결과가 표 8에 제공되었다. pH 2.0 처리구에서 발아가 안된 미국측백, 중국단풍, 신나무, 산딸나무는 산성우에 매우 민감한 수종으로 간주하여 발아율 이외의 항목에서 일률적으로 1점씩을 부과하였다. 일반적으로 수종에 따라 약간의 차이는 있으나 침엽수

가 활엽수에 비해 산성우에 대한 내성이 큰 것으로 나타났다. 수종별로 고찰해 보면 침엽수의 경우 소나무가 전항목에서 내성 또는 중간 성질을 보여 산성우에 대한 내성이 가장 큰 것으로 나타났으며, 잣나무, 주목, 히말라야시다 및 해송도 비교적 강한 수종으로 나타났다. 반면에 미국측백은 pH 2.0의 산성우에 발아가 되지 않아 산성우에 가장 민감한 반응을 보였다. 활엽수의 경우에는 일본목련, 쪽동백, 쥐똥나무가 산성우에 대한 내성이 비교적 강한 것으로 나타났고 중국단풍, 신나무, 산딸나무는 pH 2.0의 산성우에 발아가 안되는 등 산성우에 대한 내성이 약한 것으로 나타났다. 이상의 결과로 보아 대도시나 공단주변의 녹지조성에 적합한 수종으로는 본 시험의 공시재료 12수종 중에서 침엽수에서는 소나무, 잣나무, 주목, 히말라야시다, 해송을, 활엽수에서는 일본목련, 쪽동백, 쥐똥나무를 추천할 수 있다.

그러나 본 시험은 파종상에서 한 계절의 생육상태를 비교 시험한 것으로 보다 장기적인 시험의 결과가 요구되는 바이다.

## 4. 결 론

산성우에 대한 내성차를 수종간 비교함으로써 대도시나 공단지역 주변의 녹지 조성에 적합한 수종을 선별하고자, 녹지공간에 흔히 식재되고 있는 소나무, 해송, 잣나무, 주목, 히말라야시다, 서양측백 등의 침엽수 6개 수종과 쥐똥나무, 중국단풍, 신나

**Table 8.** Relative resistance of tree species to the simulated acid rain (Sep. 30, 1991).

Division	Tree species	Germination rate	Seedling height	Dry weight	T-R ratio	Leaf nutrient	Total
Coniferous tree	<i>Pinus densiflora</i>	3	3	3	2	2	13
	<i>Pinus koraiensis</i>	3	3	3	2	1	12
	<i>Taxus cuspidata</i>	2	3	3	3	1	12
	<i>Cedrus deodara</i>	2	3	3	2	2	12
	<i>Pinus thunbergii</i>	2	3	3	1	1	10
	<i>Thuja occidentalis</i>	0	1	1	1	1	4
Broad-leaved tree	<i>Styrax obassia</i>	2	2	1	3	2	10
	<i>Magnolia obovata</i>	2	3	3	1	1	10
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	1	3	3	1	1	9
	<i>Acer Buergerianum</i>	0	1	1	1	1	4
	<i>Acer Ginnala</i>	0	1	1	1	1	4
	<i>Cornus Kousa</i>	0	1	1	1	1	4

0; very susceptible, 1; susceptible, 2; intermediate, 3; tolerant

무, 쪽동백나무, 산딸나무, 일본목련 등의 활엽수 6개 수종을 공시재료로 하고, 이들 종자를 파종한 상태에서 인공산성우를 생장기간 동안 살포하여 발아 개체수(잔존 모목수), 생장량 및 엽내 함유성분을 조사하여 수종간 내성차를 비교하였다. 종자는 수종별로 적기에 준비된 파종상에 파종되고, 해당지역의 30년간의 강우양식에 모의(simulation)해서, 황산과 질산의 비율을 3:2(N농도)로 혼합하여 지하수로 희석한 pH 5.6(대조용), pH 4.0 및 pH 2.0의 인공 산성우를 난괴법 3반복으로 설계된 시험구에 천연강수를 차단한 가운데 종자를 파종한 1991년 4월부터 8월까지 5개월간에 걸쳐 살포하고, 모목의 신장생장이 멈춘 9월말에 시료를 채취하여 분석 비교한 결과는 다음과 같았다.

1. 일반적으로 침엽수가 활엽수보다 산성우에 대한 내성이 강한 것으로 나타났으며, 활엽수 중에서도 내성이 비교적 강한 수종이 있었다.
2. 침엽수 6개 수종 가운데 소나무, 잣나무, 주목, 히말라야시다 및 해송은 산성우에 대한 내성이 강한 것으로 나타났으며, 미국측백은 pH 2.0의 강한 산성우 처리에 발아하지 않아 산성우에 민감한 반응을 보였다.
3. 활엽수 6개 수종중에서 일본목련, 쪽동백, 귀퉁나무는 산성우에 대한 내성이 비교적 강한 것으로 나타났으며, 중국단풍, 신나무, 산딸나무는 pH 2.0의 강한 산성우 처리에 발아하지 않아 산성우에 대한 내성이 약한 것으로 나타났다.

## 사 사

이 논문은 1990년도 한국학술진흥재단 지방대 중점 연구비에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

김갑태(1991) 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아와 모목생장에 미치는 영향(1). 한국임학회지, 80(2), 237 - 245.

김광식 등(1982) 한국의 기후. 일지사, 330, 341 pp.

오종환(1986) 인공산성우가 수목의 생장과 토양에 미치는 영향. 경희대학교 대학원 석사학위논문.

이수욱, 민일식(1989) 대기오염 및 산성우가 삼림 생태계의 토양 산도 및 양료 분포에 미치는 영향. 한국임학회지, 78(1), 11 - 25.

정용문(1987) 인공산성우가 잣나무 유묘의 생장, 엽내함유 성분 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 한

국임학회지, 76, 25 - 32.

정용문(1988) 인공산성우가 소나무 및 개나리묘의 식물체내 함유성분에 미치는 영향. 한국임학회지, 77(3), 259 - 268.

정용문(1988) 인공산성우가 소나무 및 개나리 분식묘 토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 한국대기보전학회지, 5(1), 33 - 44.

富谷建三, 谷田茂子, 青沼和夫, 高橋美代子(1975) 雨水中の硫酸根が樹木におよぼす影響(1). 千葉縣林試研報, 449 - 451.

古明地 哲人(1980) 酸性雨, その生成と影響. 現代科學, 7, 61 - 65.

吉本國春(1983) 酸性雨の現況について(2). 環技協ニュース, 14, 13 - 14.

吉本國春(1983) 酸性雨の現況について. 環技協ニュース, 11, 13 - 14.

Binns, W.O. and D.B. Redfern (1983) Acid rain and forest decline in W. Germany. Forestry Commission Res. Dev. Paper, 131, 13 pp.

Eckert, R.T. (1988) Genetic variation in red spruce and its relation to forest decline in the Northeastern United States. Pages 319-324 in "Air Pollution and Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I. Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.

Heagle, A.S., R.B. Philbeck, P.F. Brewer and R.E. Ferrell (1983) Responses of soybeans to simulated acid rain in the field. J. Environ. Qual., 12, 538 - 543.

Johnson, D.W. (1981) Acid rain and forest productivity. Proc. XVII IUFRO World Congress. Div., 1, 73 - 89.

Johnson, D.W., J. Turner and T.M. Kelly (1982) The effects of acid rain on forest nutrient status. Water Resources Research, 18, 449 - 461.

Kim, G.T. (1986) Effects of simulated acid rain on growth and physiological characteristics of *Ginkgo biloba* L. seedlings and on chemical properties of the tested soil. Ph.D. Dissertation. Seoul National Univ.

Lee, J.J. and D.E. Weber (1982) Effects of sulfuric acid rain on major cation and sulfate concentrations of water percolating through two model hardwood forests. J. Environ. Qual., 11, 57 - 64.

Lee, J.J. and D.E. Weber (1979) The Effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species. Forest Sci., 25, 393 - 398.

- MacDonald, N.W., J.B. Jr. Hart and P.V. Nguyen (1986) Simulated acid rain effects on jack pine seedling establishment and nutrition. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50, 219 — 225.
- McLaughlin, S.B., T.J. Blasing, L.K. Mann and D.N. Duvick (1983) Effects of acid rain and gaseous pollutants on forest productivity: A regional scale approach. *J.A.P.C.A.*, 33, 1042 — 1049.
- Morrison, I.K. (1984) Acid rain: A review of literature on acid deposition effects in forest ecosystems. *Forestry Abstracts*, 45(8), 483 — 506.
- Oleksyn, J. (1988) Provenance differentiation as a factor in susceptibility of Scots pine to air pollution. Pages 329 — 335 in "Air Pollution and Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I. Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.
- Puckett, L.J. (1982) Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York, *J. Environ. Qual.*, 11, 376 — 381.
- Scholz, F. and S. Reck (1977) Effects of acids on forest trees as measured by titration in Vitro, inheritance of buffering capacity in *Picea abies*. *Water, Air and Soil Pollution*, 8, 41 — 45.
- Scholz, F. (1988) Genetic research in forest decline implications for nongenetic investigations. Pages 325 — 328 in "Air Pollution and Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I. Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.
- Siwecki, R. and L. Rachwal (1988) Selection and conservation for forest tree Genotypes more tolerant to industrial pollution. Pages 329 — 333 in "Air Pollution and Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I. Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.
- Wood, T. and F.H. Bormann (1975) Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. *Ambio*, 4, 169 — 171.
- Wood, T. and F.H. Bormann (1976) Short-term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of *Pinus strobus L.*, U.S.D.A. For. Serv. Gen. Tech. Rep. Ne-23, 815 — 826.
- Zedaker, S.M., Nicholas, N.S. and C. Eagar (1988) Assessment of forest decline in the Southern Appalachian spruce-fir forest. USA. Pages 334 — 338 in "Air Pollution and Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I. Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.