

## 인공산성우와 토양시비가 소나무잎의 광합성속도, 왁스 함량 및 접촉각에 미치는 영향

### Effects of Simulated Acid Rain and Soil Fertilizers on Photosynthetic Rate, Wax Content, and Contact Angle of Japanese Red Pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) Leaves

최 기 영 · 이 용 범 · 채 의 석 · 이 경 재<sup>1)</sup>

서울시립대학교 환경원예학과

<sup>1)</sup>서울시립대학교 조경학과

(1995년 3월 7일, 1996년 7월 24일)

Ki-Young Choi, Yong-Beom Lee, Eui-Suk Chae, Kyong-Jae Lee<sup>1)</sup>

*Department of Environmental Horticulture, Seoul City University*

<sup>1)</sup>*Department of Landscape Architecture, Seoul City University*

(Received 7 March 1995; accepted 24 July 1996)

#### Abstract

This study was conducted for the assessment of the effects of acid rain and soil fertilizers on photosynthetic rate, wax content, and contact angle on 5-year seedlings of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) leaves. The seedlings were exposed to pH 3.0 (simulated acid rain), pH 6.5 (ground water) and rain (pH around 4.6). The seedlings were also treated with Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, and Ca(OH)<sub>2</sub> + Mg(OH)<sub>2</sub> + C.F. (compound fertilizer). Photosynthetic rate, stomatal conductance, wax content, contact angle value, and mineral nutrient content of the leaves were measured and the results were as follows:

1. Photosynthetic rate and stomatal conductance of the leaves increased with the increase of pH. Photosynthetic rate and stomatal conductance increased with application of soil fertilizer in the pH 3.0 treatment, but showed no changes in the rain and the pH 6.5.
2. Contact angle value and wax content of the leaves did not change with the pH treatments, but increased with the fertilizer treatments.
3. Mineral nutrient contents of the leaves were lowest in the rain treatment and highest in the pH 6.5 treatment. The increase of mineral nutrient contents was observed with the soil fertilizer treatments.

**Key words** : simulated acid rain, soil fertilizer, photosynthetic rate, Japanese red pine

#### 1. 서 론

인간의 산업활동으로 대기 중에 방출된 황산화물과 질

소산화물 등이 대기를 오염시키고 빗물에 녹아내려 pH 5.6 미만의 산도를 나타내는 산성우는 대기오염이 심한 지역 뿐만 아니라 국가간, 대륙간 더 나아가서는 전지구적 규모의 환경문제로 대두되고 있다.

산성우가 식물생태계에 미치는 영향은 기존 토양의 양분상태와 강하한 산성물질의 침착 지속 시간에 따라 상이하 며 농작물과 삼림의 생산성에 있어서도 증가 또는 감소한다는 엇갈리는 연구결과 등으로 아직 확실한 결론을 내리지 못하고 있다 (Johnson, 1981). 그러나 장기적으로 볼 때는 토양의 산성화로 토양의 생산성이 감소되고 식물 생장을 저해할 가능성이 큰 것으로 집약되고 있다 (Johnson *et al.*, 1982).

Binns와 Redfern (1983)은 독일을 비롯한 선진공업국 광범위한 지역에서의 삼림쇠퇴현상은 산성우와 산성연무에 의한 것으로 보고하였다. 우리나라에서도 이용범 (1993)과 김준호 (1985)는 산성우 및 대기오염에 의한 삼림쇠퇴현상의 심각성을 보고하였다.

그러나, Garner 등 (1990)은 북미지역에서 산성우 영향에 의한 삼림피해를 조사한 결과 삼림쇠퇴의 정확한 원인을 밝힐 수 없다고 보고했다. 국내에서도 Kim (1994)은 삼림쇠퇴의 원인이 대기오염 및 산성우에 의한 피해라기보다는 생물학적 요인이 주원인이라는 보고를 하였다. 그러므로 육상생태계의 현황을 파악하고 피해가 발생한 지역의 원인을 밝혀내어 조기 발견할 수 있는 방법의 개발이 시급한 과제라 하겠다.

한편, 산성우가 수목에 미치는 영향을 구체적으로 파악, 정량화하기 위해 인공산성우를 살수하여 식물에 미치는 영향을 조사한 후 이것을 근거로 자연상태의 피해 상황을 추론 (국립환경연구원, 1993)하고 있다. 또한, Cape (1988)는 산성우에 대한 피해 판단의 방법으로 식물 잎표면의 왁스 구조변화를 정량화하는 방법을 제기하였고, Stuanes 등 (1992)은 산성화된 토양 및 수목의 피해 회복실험에 대한 연구결과를 보고하였다.

이와 같이 다양하고 복잡한 여러 요인에 의해 발생된 삼림쇠퇴의 영향에 대한 확인과 1991년부터 1993년까지 3년동안 남산과 광릉지역 소나무림에 토양비료를 처리한 후 시비효과를 연구해온 야외자료에 대한 검증작업으로 인공산성우와 토양시비 처리가 소나무의 광합성 속도와 접촉각, 왁스함량 및 무기 양이온 함량 등에 미치는 영향을 알아보고자 본 연구를 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

실험에 사용된 소나무 5년생묘는 중부 임업시험장에서 분양받은 것으로 1992년 3월 7일에 서울시립대 묘포장에 가식한 후 3월 23일 1/2000의 플라스틱포트에 15kg의 토양을 충전시킨 후에 이식하였다. 사용된 토양은 서울시립대학교내에 위치한 배봉산의 삼림토양이다. 처리

는 pH 수준에 따라 서울시 자연강우 (pH 약 4.6), pH 3.0, pH 6.5인 인공강우와 각 pH 수준별 토양개량제 시비구는 대조구, Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>+Mg(OH)<sub>2</sub>+복합비료 (N-P-K=18-18-18)의 4처리로, 난괴법 3반복으로 실험을 수행하였다. 석회와 마그네슘 비료의 시비량은 토양 산도에 따라 토양을 pH 5.0으로 교정할 수 있도록 산정하여 토양표면에 사용하였으며 복합비료 사용량은 7 kg/10a으로 사용하였다. 4월 27일에 비가림시설을 설치하여 강우를 차단하였다.

pH 3.0인 인공산성우는 황산 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) : 질산 (HNO<sub>3</sub>)=3:1(v/v)로 혼합한 후 하루 방치된 수도물로 물혀 pH 3.0으로 조정하였으며, pH 6.5인 강우는 지하수이며 인공산성우를 9월 1일부터 10월 18일까지 매 회 10 ml씩 (1 ml/min) 총량 200 ml를 살수하였다. 인공산성우 살수가 끝난 후 10월 20일에 소나무의 광합성속도 (Li-Cor 6200)를 측정하였다.

왁스의 정량분석은 소나무 1년생 잎 생중량 5g을 미리 무게를 측정하여 둔 비이커에 넣은 후, 기화성인 CHCl<sub>3</sub> 50ml를 넣어서 10초간 진탕하여, PTEE membrane (0.45 μm pore size, 25 mm diameter)으로 여과된 용액을 hood에서 건조시켜 왁스량을 정량하였다. 접촉각 (contact angle) 측정은 구분된 1년생 잎을 10개씩 선정하여 2차 중류수 0.2 μl의 주사기로 잎 표면 (adaxial side)에 떨어뜨려 잎표면의 왁스와 물방울이 이루는 각도를 광학현미경내의 graticule로 측정하였다.

식물체내 무기양이온 함량을 분석하기 위하여 채취한 시료를 80°C에서 48시간 건조시킨 후 건조량 0.5g을 정확히 평량한 후 ternary solution (HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : HClO<sub>4</sub>=10:1:4) 10 ml를 넣고 습식분해시켜 원자흡광분광광도계 (Perkin Elmer 3100)로 측정하였다.

공시토양의 화학적 성질을 분석하기 위해 토양 pH는 pH 전극으로, 치환성 염기 (K, Ca, Mg)는 0.1 N NH<sub>4</sub>OAc로 침출하여 원자흡광분광광도계 (Perkin Elmer 3100)로 측정하였다. 실험에 사용된 자연강우와 인공강우의 pH와 주요 양이온 함량은 표 1과 같다.

자연강우의 측정자료는 비가림 처리가 실시된 5월부터 10월까지의 기상연구소에서 측정된 자료의 평균치이다. 자연강우의 평균 pH는 4.60으로 pH 3.0과 pH 6.5의 중간수준이었으며, 인공강우에 비해 K 함량은 41~51 배, Ca 함량은 23~25배, Mg 함량은 48~52배나 낮았다. 한편, 환경부 (1993)에서 측정된 서울시 자연강우의 평균 pH는 5.31로 측정되어 기상연구소의 평균 pH 보다는 높았다.

Table 1. pH and cation content in rain, pH 3.0 and pH 6.5 treatment.

Treatment	pH	K	Ca	Mg
		μeq/ l		
rain	4.60 <sup>z)</sup>	1.62	6.41	2.36
	5.31 <sup>y)</sup>			
pH 3.0	3.02	83.38	163.42	123.43
pH 6.5	6.58	65.73	150.20	113.15

Source: <sup>z)</sup> Meteorological Research Institute, 1992  
<sup>y)</sup> Ministry of Environment, 1993

3. 결과 및 고찰

3.1 공시토양의 화학적 성질

표 2는 실험에 사용된 공시토양의 pH와 치환성 양이온 함량이다. 토양산도는 4.48~4.58로 산성이었으며, 치환성 K, Ca, Mg 함량은 각각 0.372~0.423, 0.685~0.824, 0.229~0.268 me/100g 이었다. 이수욱 (1981)은 우리나라 삼림토양조사에서 평균토양의 pH는 5.5, 평균 치환성 K, Ca, Mg 함량은 각각 0.21, 3.51, 1.56 me/100g이라고 보고하여 본 공시토양은 치환성 K 함량을 제외하고는 모두 이보다 낮았다.

표 3은 토양개량제 및 인공강우를 처리한 후의 토양산도와 치환성 양이온 함량이다. 인공강우 처리 후 공시토양의 토양산도는 4.47~4.57로 처리전과 차이가 없었으나 치환성 양이온 함량은 감소하였다. 한편, 토양개량제를 처리함에 따라 토양 산도 및 치환성 양이온 함량은

Table 2. Chemical properties of experimental soil.

Treatment	pH (1:5)	K	Ca	Mg
		me/100g		
rain	4.58	0.423	0.764	0.268
pH 3.0	4.48	0.372	0.685	0.267
pH 6.5	4.48	0.388	0.824	0.229

증가하였으나 인공강우 처리전과 비교하면 K 함량은 감소한 반면, Ca 함량은 증가하였다. 또한, 산성우 처리에 따른 토양 pH의 변화가 없었던 것은 단기간의 강우 처리에 의한 것으로 토양의 완충력과 토양의 양분 상태에 따라 토양 산도 변화는 다소 상이하리라 생각된다.

3.2 광합성속도

토양개량제 및 인공강우를 처리한 후 소나무 1년생 잎의 광합성속도를 측정된 결과는 표 4와 같다. 처리구 pH 수준이 높아짐에 따라 광합성 속도는 증가하여 pH 6.5 처리구에서 가장 높았으며, pH 3.0 인공산성우 처리구에서 가장 낮았다. 각 pH 수준별 토양개량제 시비 결과는 자연강우와 pH 6.5 처리구에서는 시비처리의 효과를 볼 수 없었으나, pH 3.0 인공산성우 처리구에서는 칼슘, 마그네슘 및 칼슘+마그네슘+복합비료 시비의 광합성속도가 각각 2.7, 6.4, 22.9% 증가하였다.

그러나 pH 변화에 따른 광합성속도에 관한 연구를 보면, Porter와 Sheriden (1981)은 알팔파 잎에 pH

Table 3. Soil chemical properties after pH and soil fertilizers.

pH	Treatment	pH (1:5)	K	Ca	Mg
	Fertilizer		me/100g		
rain	Control	4.57	0.229	0.738	0.118
	Ca(OH) <sub>2</sub>	4.64	0.211	1.210	0.105
	Mg(OH) <sub>2</sub>	4.62	0.231	0.974	0.145
	Ca+Mg+C.F. <sup>z</sup>	4.68	0.257	0.832	0.486
	LSD <sup>y)</sup>		0.04	0.003	0.006
pH 3.0	Control	4.47	0.190	0.675	0.107
	Ca(OH) <sub>2</sub>	4.54	0.263	1.112	0.126
	Mg(OH) <sub>2</sub>	4.60	0.210	0.808	0.376
	Ca+Mg+C.F.	4.66	0.178	0.938	0.640
	LSD		0.07	0.006	0.009
pH 6.5	Control	4.49	0.219	0.711	0.118
	Ca(OH) <sub>2</sub>	4.55	0.235	0.969	0.141
	Mg(OH) <sub>2</sub>	4.47	0.246	0.959	0.528
	Ca+Mg+C.F.	4.67	0.216	0.987	0.436
	LSD		0.05	0.005	0.008

<sup>z</sup> : Ca(OH)<sub>2</sub>+Mg(OH)<sub>2</sub>+Compound Fertilizer

<sup>y</sup> : Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.

2.0과 pH 3.0인 인공산성우를 처리했을 때, pH 3.0 처리에서는 광합성속도, 호흡속도, 클로로필 함량에 변화가 없었으나, pH 2.0 처리에서 광합성속도와 호흡속도가 저하되었음을 보고하였다. Trites와 Bidwell (1987)은 pH 2.7의 산성우를 살수한 강낭콩 잎에서 가시피해는 컸으나, 광합성속도는 감소하지 않았다고 보고하여 본 실험결과와 일치하지는 않았다. 이처럼 광합성속도는 여러 환경요인(고온, 수분, 온도, 광, 대기오염 등)과 생리, 생화학적 인자에 영향을 받는데, Tayler 등 (1992)은 가문비나무에 4개월간 산성비(pH 4.1)와 산성 연무(pH 3.6)를 처리한 결과 동화율과 증산율에 아무런 변화가 없다고 밝혔다. Dunkl 등 (1990)은 3년생 독일가문비의 4 clone에 오존(0.08 ppm 이하)과 산성 mist(pH 3.0)를 14개월간 접촉시켰을 때 2년생 clone에서만 광합성속도가 유의하게 감소하였으며, 당년생 잎이나 그 외의 clone에서는 차이가 없었는데 이는 엽령과 유전형질 및 토양인자에 따라 반응이 다르기 때문이라고 해석하였다. 한편, Reich 등 (1987)은 pH가 낮을수록 스트로보스 잣나무의 광합성율이 증가한다고 했는데 이는 낮은 pH의 산성비와 함께 질소가 공급되어 클로로필 함량이 증가했기 때문이라고 보고하였다. 이와 같이 산성우에 의한 광합성 영향은 단순 요인에 의하기 보다는 엽령, 유전형질, 토양 조건 및 산성우에 함유된 이온 함량 등 복합요인에 의해 영향을 받는다고 생각된다.

Table 4. Net photosynthesis (Pn) and Stomatal conductance (Cs) of 1-year Japanese red pine measured after pH and soil fertilizers(Photon flux density was 1206~1381  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , leaf temperature was 25~27°C).

Treatment		Pn	Cs
pH	Fertilizer	( $\mu\text{mol}/\text{g}\cdot\text{Fr}\cdot\text{wt.}/\text{s}$ )	( $\text{cm}/\text{s}$ )
rain	Control	167.2	2.88
	Ca(OH) <sub>2</sub>	163.2	2.52
	Mg(OH) <sub>2</sub>	187.2	3.16
	Ca+Mg+C.F. <sup>2</sup>	140.4	2.62
pH 3.0	Control	134.0	1.48
	Ca(OH) <sub>2</sub>	137.6	2.54
	Mg(OH) <sub>2</sub>	142.6	3.04
	Ca+Mg+C.F.	164.6	5.29
pH 6.5	Control	223.4	3.57
	Ca(OH) <sub>2</sub>	244.8	1.85
	Mg(OH) <sub>2</sub>	190.8	4.50
	Ca+Mg+C.F.	241.0	8.01

<sup>2</sup> : Ca(OH)<sub>2</sub>+Mg(OH)<sub>2</sub>+Compound Fertilizer

인공강우 및 토양 개량제 처리 후 측정된 기공확산속도(표 4)는 광합성의 결과와 일치하여 pH 3.0 인공강우 처리구의 기공확산속도가 가장 낮았으며, pH 6.5 처리구에서 가장 높았다. pH 수준별 토양개량제 시비처리효과를 살펴보면 강산성인 pH 3.0 인공산성우처리구는 토양개량제를 처리함에 따라 기공확산속도가 증가하여 시비처리의 효과가 나타났다. pH 6.5 처리구에서는 칼슘과 칼슘+마그네슘+복합비료 처리구에서 기공확산속도가 증가되어 시비효과를 보였지만 자연강우처리에서는 차이가 없었다.

기공확산속도는 기공개도를 나타내는 물리량으로서 기공확산속도는 환경스트레스에 의해 크게 변화하는 데 산성우 및 대기오염 물질에 의한 식물 피해발현과 기공확산속도와의 밀접한 관계가 있는 것으로 보고(環境處國立環境研究所, 1992)되고 있다.

### 3.3 소나무잎의 접촉각, 왁스함량

토양개량제와 인공강우 처리 후 소나무 1년생 잎의 접촉각 및 왁스함량 결과는 표 5와 같다. 접촉각값과 왁스함량은 pH 처리구에 따른 차이를 보이지 않았으나, 토양개량제를 처리함에 따라 pH 수준별 공히 접촉각값, 왁스함량이 증가하여 5% 유의수준에서 유의성이 인정되었다.

이 결과는 이용범 (1993)이 남산과 광릉지역 소나무림에 토양비료를 처리한 후 접촉각과 왁스함량을 측정된 결과와 일치하였다. 김갑태 (1994)는 리기다소나무와 잣나무를 대상으로 접촉각값을 측정된 결과 산도수준과 엽령이 높을수록 접촉각 크기가 낮아진다고 했다. 한편 이우석 등 (1993)은 소나무와 리기다소나무 1년생 잎의 접촉각값은 인공산성우 pH 수준별로 일정한 경향을 보이지 않는다고 보고하였고, Ulrich 등 (1990)도 수목의 유전형질에 따라 왁스함량은 차이를 보인다고 보고하였다. 이와 같이 식물잎의 접촉각 및 왁스함량의 측정은 수종에 따른 변이와 잎의 부위별, 위치별 차이가 크기 때문에 측정표본은 수고와 방향, 엽령을 고려하여 식물질의 접촉없이 채취하여 잎 표면 일정부위를 측정대상으로 삼아야 하리라 본다.

한편, 소나무잎의 광합성 속도와 기공확산속도 측정 결과 강산성인 pH 3.0 처리구에서 광합성 속도와 기공확산 속도가 낮았음에 비해 접촉각값과 왁스함량에서는 pH 처리구에 따른 차이를 보이지 않았다. 이는 산성우와 여러 환경요인에 의한 생리, 생화학적 변화에 의한 것으로 보이나 더 많은 연구와 검토가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

Table 5. Contact angle value and wax content of 1-year Japanese red pine after pH and soil fertilizers.

Treatment		Contact angle(°)	Wax content (mg/g Fr.wt.)
pH	Fertilizer		
rain	Control	71.5	4.7
	Ca(OH) <sub>2</sub>	73.3	5.1
	Mg(OH) <sub>2</sub>	73.5	4.9
	Ca+Mg+C.F. <sup>z</sup>	73.5	5.3
	LSD <sup>y</sup>	1.2	0.4
pH 3.0	Control	72.0	5.0
	Ca(OH) <sub>2</sub>	78.3	6.0
	Mg(OH) <sub>2</sub>	77.2	5.7
	Ca+Mg+C.F.	75.5	5.7
	LSD	2.4	0.2
pH 6.5	Control	72.5	4.8
	Ca(OH) <sub>2</sub>	74.3	5.7
	Mg(OH) <sub>2</sub>	75.9	6.0
	Ca+Mg+C.F.	80.0	5.5
	LSD	1.1	1.1
Interaction pH * Fer.		**	

<sup>z</sup> : Ca(OH)<sub>2</sub>+Mg(OH)<sub>2</sub>+Compound Fertilizer  
<sup>y</sup> : Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.  
<sup>\*</sup>,<sup>\*\*</sup> : Significance at p≤0.05 or 0.01 respectively

### 3.4 소나무잎의 무기양이온 함량

표 6은 인공강우 및 토양개량제 처리후 소나무 1년생 잎의 무기양이온 함량 결과이다. pH 수준별 무기양이온 함량은 자연강우에서 가장 낮았으며, pH 6.5 처리구에서 가장 높았다. 토양개량제를 처리함에 따라 pH 수준별 각 공허 무기양이온 함량은 증가하여 pH와 시비처리간 1% 유의수준에서 유의성이 인정되었다.

일반적으로 pH가 낮아짐에 따라 엽내 무기 양이온 함량의 용탈과 함께 생육 및 수량의 감소를 가져오지만, 단기간에 인공산성우를 살수한 경우는 인공산성우에 조성된 이온과 질산화합물이 비료로 작용하여 엽내 양이온의 함량을 증가시켜 생육의 증가를 보이기도 하는 데 본 실험에서도 pH 3.0 인공산성우 처리구의 엽내 무기양이온함량은 서울시 자연강우를 받은 처리구에 비해 높은 것으로 보아 엽내 무기양이온의 함량을 증가시킨 것이라 생각된다.

한편, pH 수준별 무기양이온 함량 결과가 앞의 결과들과 일치하지 않는 것은 자연강우의 양이온 함량이 인공강우에 비해 상대적으로 낮았기 때문으로 보인다. 또한, 광합성 속도의 감소가 엽내 양이온 함량의 용탈을 수반한 것이라기보다는 산성우와 대기오염물질로 인한

Table 6. Mineral nutrient content of 1-year Japanese red pine after pH and soil fertilizers.

Treatment		K (%)	Ca (%)	Mg (ppm)
pH	Fertilizer			
rain	Control	0.398	0.186	1404.2
	Ca(OH) <sub>2</sub>	0.638	0.223	1803.5
	Mg(OH) <sub>2</sub>	0.576	0.248	1984.1
	Ca+Mg+C.F. <sup>z</sup>	0.649	0.210	2046.0
	LSD <sup>y</sup>	0.042	0.011	61.8
pH 3.0	Control	0.524	0.197	1727.5
	Ca(OH) <sub>2</sub>	0.552	0.233	2558.2
	Mg(OH) <sub>2</sub>	0.522	0.258	2493.7
	Ca+Mg+C.F.	0.650	0.275	2273.6
	LSD	0.012	0.012	31.5
pH 6.5	Control	0.678	0.178	1472.1
	Ca(OH) <sub>2</sub>	0.651	0.272	1681.7
	Mg(OH) <sub>2</sub>	0.594	0.211	2288.0
	Ca+Mg+C.F.	0.633	0.234	1726.7
	LSD	0.010	0.064	9.9
Significance pH		**	**	**
Interaction pH * Fer.		**	**	**

<sup>z</sup> : Ca(OH)<sub>2</sub>+Mg(OH)<sub>2</sub>+Compound Fertilizer  
<sup>y</sup> : Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.  
<sup>\*</sup>,<sup>\*\*</sup> : Significance at p≤0.05 or 0.01 respectively

기공확산저항이나 엽육조직내 세포의 변화로 엽육저항 증가가 광합성 속도의 변화를 가져온 것이라 생각되는 데 앞으로 더 많은 연구, 검토가 이루어져야 하리라 본다.

## 4. 결 론

다양하고 복잡한 여러 요인에 의해 발생된 삼림쇠퇴의 영향에 대한 확인과 1991년부터 1993년까지 3년동안 남산과 광릉지역 소나무림에 토양비료를 처리한 후 시비 효과를 연구해 온 야외자료에 대한 검증작업으로 인공산성우와 석회, 마그네슘과 복합비료를 사용한 포트묘 실험을 통해 소나무의 광합성 속도와 접촉각, 왁스함량 및 무기 양이온 함량을 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 소나무의 광합성 및 기공확산 속도는 pH가 높아짐에 따라 증가했다. pH 3.0 처리구에서는 토양개량제를 처리함에 따라 광합성속도와 기공확산속도가 증가하였으나, 자연강우와 pH 6.5 처리구에서는 시비의 변화가 없었다.
2. 소나무 잎의 접촉각값과 왁스함량은 pH 처리구에 따른 차이를 보이지 않았으나, 토양개량제를 처리

함에 따라 증가하였다.

3. 소나무 잎의 무기양이온 함량은 자연강우 처리구에서 가장 낮았고, pH 6.5 처리구에서 가장 높았다. 토양개량제를 처리함에 따라 무기양이온 함량은 증가하였다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(90-0701-01) 지원에 의하여 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김준호(1985) 산성비의 실태와 인간생활에 미치는 영향, 자연보존, 49, 19-23.
- 김우석 등(1993) 대기오염과 산성비에 의한 피해 조사 및 평가에 관한 연구(Ⅲ-3): SO<sub>2</sub>와 인공산성비 접촉실험을 중심으로, 국립환경연구원보, 15, 53-62.
- 김갑태(1994) 인공산성우 처리에 따른 침엽의 접촉각 변화, 한국임학회지, 83(1), 32-37.
- 이용범(1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구: 산성화된 삼림 토양의 비료처리에 의한 복구실험, 한국과학재단, 179-187pp.
- 이수욱(1981) 한국 삼림토양에 관한 연구 II, 한국임학회지, 54, 25-35.
- 환경부(1993) 한국환경연감, 33pp.
- 環境處國立環境研究所(1992) 大氣汚染物質 感受性 植物の選抜, in 바이오テクノロジーによる大氣環境指標植物の開發に關する研究, SR-8-'92, 9-12pp.
- Binns, W.O. and D.B. Refern(1983) Acid rain and forest decline in West Germany. Forestry Commission Res. Dev. Paper, 131, 13pp.
- Cape, J.N. (1988) Developments in diagnosis and quantification of forest decline, in *Air Pollution and Ecosystems*, Edited by P. Mathy, and D.R. Dordrecht, 295-305pp.
- Dunkl, M., G.F. Hrер, D. Knoppik, H. Selinger, L.W. Blank, H.D. Payer and O.L. Lange (1990) Effects of low-level long-term ozone fumigation and acid mist on photosynthesis and stomata of clonal norway spruce, J. Environ. Pollut., 64, 279-293.
- Garner, J.H., B.P. Terry and E.B. Cowling (1990) An evaluation of the role of ozone, acid deposition and other airborne pollutants on the forests of Eastern North America, in *USDA For. Serv., Washington USDA Gen. Tech. Rep., SE-59*.
- Johnson, D.W.(1981) Acid rain and forest productivity, Proc. XVII IUFRO World Congress. Div., 1, 73-89.
- Johnson, D.W., J. Turner and J.M. Kelly (1982) The effects of acid rain on forest nutrient status, J. Water Resources Res., 18, 449-461.
- Kim, E.S.(1994) Ecological examinations of the radial growth of pine trees on Mt. Namsan and potential effects of current level of air pollutants to the growth of the trees in Central Seoul, Korea, J. KAPRA, 10(E), 371-386.
- Porter, J.R. and R.P. Sheridan (1981) Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate, heavy metals, fluoride, and simulated acid rain, J. Plant Physiol., 68, 143-148.
- Reich, P.B., A.W. Schoettle, H.F. Stroo, J. Trioano and R.G. Amunson (1987) Effects of ozone and acid rain on white pine seedlings grown in five soils: I. Net photosynthesis and growth, J. Can. Bot., 65, 977-987.
- Stanes, A.O., H.W. Miegroet, D.W. Cole and G. Abramsen (1992) Recovery from acidification, in *Atmospheric deposition and forest nutrient cycling*, IFS Case Study, 467-494.
- Tayler, G.E., R.J. Norby, S.B. Mclaughilin, A.H. Johanson and R.S. Turner (1986) CO<sub>2</sub> assimilation and growth of red spruce seedlings in responses to ozone and precipitation, chemistry and soil type, Oecologia, 70, 163-171.
- Trites, L.F. and R.G.S. Bidwell (1987) Effects of acidic precipitation on bean plants, J. Can. Bot., 65, 1121-1126.
- Ulrich, B. and C. Lutz (1990) Surface structures and epicuticular wax composition of spruce needles after long-term treatment with ozone and acid mist, J. Environ. Pollut., 64, 312-322.