Korean J. Ecol. 16(1) : 17~26, 1993

排氣가스로 만든 人工酸性雨에 의한 植物의 形態的 症狀

장남기 · 이윤상* · 이수진

서울대학교 사범대학 생물교육과, 풍문여자고등학교*

Plant Morphological Symptom Caused by Simulated Acidic Rain Made by Fuel Gases

Chang, Nam-Kee, Yun-Sang Lee* and Soo-Jin Yi

Department of Biology Education, College of Education, Seoul National University and *Poong-Moon Girls' Highschool**

ABSTRACT

We investigated the pH change of water caused by several fuel gases regarded as the main cause of the air pollution, to find out the main cause of increase of the acidity of the rain. We measured it while injecting each fuel gas directly to the distilled water. It was observed that Bunker-C oil gas and anthracite coal gas were the main cause to make the pH of the solution lowest.

We examined the effects of simulated acidic water solutions on several plant species. Simulated acidic rain made by Bunker-C oil gas has significant symptom on the *Saxifraga stolonifera* and *Commelina communis*, while no injury was observed on plants exposed to simulated rainfall made by anthracite coal gas.

緖 論

빗물은 평균농도 330ppm인 대기 중의 CO_2에 의해 일반적으로 pH 5.5~5.6의 산성도를 띤다. 그러나 SO_x, NO_x 와 같은 오염물질들이 대기 중에서 발산, 이동하면서 산화되어 구름입자에 부착, 용해되면 빗물의 pH는 낮아지게 된다. 이러한 현상에 의해 pH 5.5 이하로 내려간 빗물을 산성비라 한다(Chalson and Rodhe, 1984; 大喜多敏一, 1984).

산업화된 지역에서의 강우 중 산성도의 증가현상은 꾸준히 보고되어 왔으며 그에 따라 이러한 산성비가 생태계에 미치는 영향에 관한 관심 역시 고조되어 왔다(Cogbill and Likens, 1974). 근래에는 산성비가 식피에 미치는 영향에 관한 연구들(Evans, 1984)이나 숙주-기생관계에 미치는 영향에 관한 연구들(Shafer *et al.*, 1985) 및 기타 생태계의 여러 수준에 미치는 산성비의 영향에 관한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 산성비가 식물에 미치는 직접적 효과로는 잎에서 여러 영양염류의 세탈증가현상(Fairfax and Lepp, 1975; Proctor, 1983)을 일으키는 것이

나, 기공을 통한 가스교환율의 변화(Tamm and Cowling, 1977; Evans *et al.*, 1982), 종자발아(Lee and Weber, 1979; Baldwin, 1934; Raynal *et al.*, 1982) 및 종묘의 성상에의 영향(Wood and Bormann, 1974; Neufold *et al.*, 1985; Reigh *et al.*, 1987) 등이 알려져 온 바 있다. 이와 같이 산성비는 직접 식물체의 여러 부분에 영향을 미칠 수도 있으나, 한편으로는 일단 토양 생태계로 유입되어 식물의 뿌리를 통해서 심각한 피해를 끼칠 수 있다. 산성비가 토양계를 통해 식생에 미치는 간접적 효과들은 집중적으로 연구되어 오고 있다. 산성비에 의해 토양이나 유기물로부터 Al이 분리되고, 이 유리된 Al에 의해 뿌리의 세포분열이 억제되고, 그로 인한 근단 생장의 저지로 인해 삼림쇠퇴 및 고사가 일어나게 된다(Wood *et al.*, 1984; Matzner *et al.*, 1986; Meyer *et al.*, 1988). Al은 세포수준에서 막의 투과도를 변화시키는 것으로 알려져 있다(Zhao *et al.*, 1987).

우리나라에서도 점차 환경오염에 관한 인식이 사회 전반에 걸쳐 확산됨과 함께 1980년대부터는 대기오염과 산성비에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 실제로 서울지역에서 최근 10년 간 강우의 산성도가 점차 높아지고 있으며, 삼림에서의 수목 생장 저하 등이 나타나고 있고 그 원인을 산성비로 추정하는 연구 결과도 발표되고 있다(김, 1990a; 김, 1990b; 이, 1986).

본 연구에서는, 어떤 종류의 연료가스가 빗물의 산성도에 기여하는 가장 큰 요인인지 조사하고, 산성비가 식물에 미치는 영향을 직접적으로 알아보기 위해서 인공산성비를 제조, 인공강우 조건 하에서 식물에 나타나는 변화를 관찰하였다.

材料 및 方法

각종 연료의 연소가스가 강우의 성분에 미치는 영향 조사

1) 각종 연료의 연소가스 성분 분석

연료의 연소속도를 일정하게 유지하면서 가스검지기를 사용하여 연소가스의 구성물질을 조사하였다. 검지기는 KITAGAWA GAS DETECTOR와 GAS DETECTOR TUBE(日本北澤 Co.)를 사용하여 SO_2, CO_2, NO_2 농도를 측정하였으며 각 측정은 6회 반복되었다.

2) 각종 연료의 연소가스에 의한 증류수의 pH 변화

30 ml cylinder 에 증류수를 채우고, 기포발생기를 개조한 주입장치를 사용하여 아래쪽에서부터 연소가스를 불어 넣으면서 pH meter를 사용하여 pH를 측정하였다. Gasolin engine은 83년산 포니승용차로, Diesel engine은 83년산 DO846HM 형으로 3회, S_2 형으로 3회 검사하였다. 정속 29.4 km/h로 검사하였으며 각 측정은 6회 반복되었다.

산성비가 식물에 미치는 영향조사

연탄 및 벙커시유(B-C유)의 연소가스를 가스주입장치를 사용해서 각각 증류수에 주입하여 인공산성비를 만든 다음, 이를 30종의 조사식물에 살포하였다. 살포강도 및 시간은 중앙기상대의 한국기후표에 나타난 4, 5월의 평균강우량을 고려, 20 mm/h, 4시간을 택하였다. 살포는 자연식물은 야외에서 주간 2회 실시하는 것을 원칙으로 하였으며 원예식물은 화분에 심어 실시하였다.

B-C유 연소가스를 주입하여 만든 인공산성비(pH 2.5)를 바위취와 닭의장풀에 20 mm/h의 강도로 30분부터 4시간까지 살포하여 피해임계시간을 조사하였다.

Table 1. Meterogical data at Seoul from 1951 to 1980(Mean value)

	Month												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Temp. (℃)	−7.37	−4.97	−0.10	6.60	12.13	17.03	21.53	22.03	16.33	9.10	2.37	−4.27	Mean 7.53
Precip. (mm)	20.6	28.2	49.0	95.2	88.3	151.1	383.1	263.0	160.3	48.4	42.9	24.6	Sum 1354.7

Table 2. Treated species

Taxonomic level	Scientific name	Common name
Division Bryophyta	*Polytrichum commune*	솔이끼
	Marchantia polymorpha	우산이끼
Division Pterophyta	*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*	고사리
Division Lycophyta	*Selaginella tamariscina*	부처손
Division Sphenophyta	*Equisetum arvense*	쇠뜨기
Division Ginkgophyta	*Ginkgo biloba*	은행나무
Division Coniferophyta	*Pinus densiflora*	소나무
	Juniperus chinensis	향나무
	Abies koreana	구상나무
Division Cycadophyta	*Cycas revoluta*	소철
Division Anthophyta		
Class Monocotyledoneae	*Beckmannia syzigachne*	개피
	Zoysia japonica	잔디
	Arundinella hirta	새
	Cyperus amuricus	방동사니
	Setaria viridis	강아지풀
	Digitaria sanguinalis	바랭이
	Lilium longiflorum	백합
Class Dicotyledoneae	*Saxifraga stolonifera*	바위취
	Taraxacum platycarpum	민들레
	Chenopodium album var. *centrorubrum*	명아주
	Erigeron canadensis	망초
	Physalis alkekengi var. *francheti*	꽈리
	Petasites japonicus	머위
	Artemisia princeps var. *orientalis*	쑥
	Xanthium strumarium	도꼬마리
	Petunia hybrida	페츄니아
	Platanus orientalis	버즘나무
	Chaenomeles sinensis	모과나무
	Rhododendron mucronulatum	진달래
	Commelina communis	닭의장풀

B-C유 연소가스를 주입하여 만든 pH 2.5인 인공산성비를 증류수로 희석하여 pH 2.5 부터 pH 3.0까지 0.1 간격으로 다른 pH의 산성비를 제조하여 각각 20mm/h의 강도로 4시간 동안 살포하여 피해임계산도를 조사하였다.

結 果

각종 연료가스가 빗물의 pH에 미치는 영향

1) 각 연료 연소가스가 배출하는 오염물질의 구성

가스검지기로 측정한 각 연료당 배출되는 SO_2, NO_2, CO_2 농도는 Table 3과 같다.

Table 3. Pollutant composition of several fuel gases

	Fuel types					
	LNG	Motor Fuel		Petroleum	Bunker-C	Anthracite
		Gasolin	Diesel		Oil	coal
SO_2	–	–	31 ppm	2 ppm	200 ppm	95 ppm
NO_2	–	350 ppm	580 ppm	–	18 ppm	2 ppm
CO_2	5 %	9 %	7.5 %	5 %	6.8 %	5.7 %

2) 각 연료 연소 가스에 의한 증류수의 pH 변화

증류수에 각 연료의 연소가스를 불어넣어 pH 변화를 조사한 결과, 각 연료별로 pH를 하강시키는 정도에 큰 차이가 있었다(Fig. 1). pH를 가장 낮게 낮춘 연료는 B-C유와 연탄 연소가스로, 최저 pH 2.5 까지 감소시켰다. 이 결과로부터 각 연소 가스에 의해 자연강우의 산성도가 증가되는 정도가 다르고, 강우의 산성도를 증가시키는 가장 큰 요인은 연탄가스와 B-C유 연소산물임을 짐작할 수 있다. 또한, 이 실험의 결과에서는 Table 3에서와 같이 수용액의 산성도 증가와 SO_2 농도가 비례하는 것으로 나타났으며, 이것은 강우 중 산성도 증가의 가장 큰 원인이 SO_2라는 장 등(1990)의 보고와 일치하는 바이다.

가스 배출구로부터 거리별로 주입장치를 사용하여 가스를 증류수에 주입하면서 pH를 측정한 결과 , Table 4에서 나타난 바와 같이 자동차 배기가스와 연탄가스의 영향이 서로 다르게 나타났다. 예를 들어 2.5m 의 거리에서 10분 간 주입한 경우 디젤자동차 배기가스에 의해 증류수(pH 5.5) 의 pH가 0.3 낮아지는데 비해 연탄가스에 의해서는 1.4 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 4. pH change by distance from the source when several fuel gases are injected into distilled water

Time	Distance /Fuel gas									
	0m		0.5m		1.0m		1.5m		2.5m	
(min)	Anthra-cite	Emission gas	Anthra-cite	Emission gas	Anthra-cite	Emission gas	Anthra-cite	Emission gas	Anthra-cite	Emission gas
1	3.7	4.4	4.3	5.1	4.5	5.1	4.6	5.3	4.7	5.45
2	3.5	3.9	4.0	4.8	4.3	5.0	4.3	5.2	4.5	5.35
3	3.3	3.7	3.8	4.6	4.1	4.9	4.2	5.2	4.4	5.25
5	3.0	3.5	3.7	4.5	4.0	4.8	4.1	5.1	4.3	5.2
10	2.65	3.5	3.5	4.5	3.9	4.8	4.0	5.1	4.1	5.2

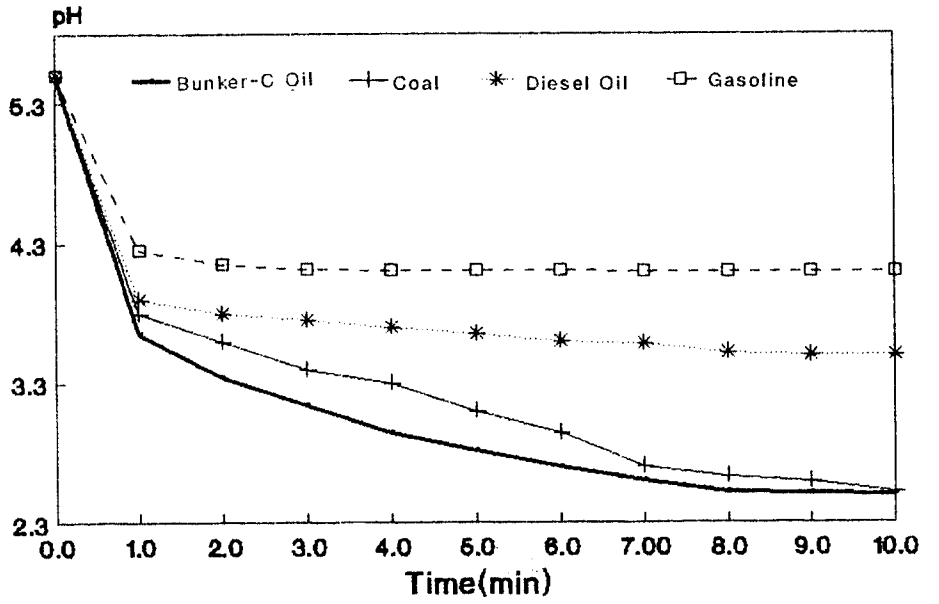

Fig. 1. pH change by time when several fuel gases are injected into distilled water.

인공산성비에 의한 조사식물의 피해

인공산성비 강우 실험의 결과, 연탄가스를 증류수에 불어 넣어 만든 인공산성비에 의해서는 피해 식물이 없었다. 반면, B-C유 연소 가스 인공산성비에 의해서는 닭의장풀(24개체중 1개체)과 바위취(24개체 모두)에서만 가시적 피해가 나타났다.

피해양상은 다양한 형태의 반점들이 잎 부분에 나타났다(Fig. 2, 3). 바위취의 경우, 폭로 9시간 후부터 갈색 반점이 잎과 잎자루 부위에 나타났으며 반점수는 어린잎일수록 적고 오래된 잎일수록 많았다. 닭의장풀에서는 폭로 20시간 후부터 여러가지의 형태의 반점들이 관찰되었으며 그 피해 면적은 어린잎일수록 적었다.

pH 2.5의 B-C유 인공산성비를 바위취와 닭의장풀에 30분에서 4시간까지 살포하여 피해 임계시간을 조사한 결과, 바위취는 3 시간, 닭의장풀은 3시간 30분이 피해한계로 나타났다.(Table 5.)

또한 pH 2.5의 B-C유 연소 가스 인공 산성비를 pH 3.0 까지 희석, 살포하여 피해임계산성도를 조사해 본 결과 바위취는 pH 2.8, 닭의장풀은 pH 2.6이 피해한계로 나타났다.(Table 6)

Table 5. Simulated acid rain(by B-C oil gas) defect on plant with exposure time.

	Time(min)							
	30	60	90	120	150	180	210	240
S. stolonifera	−	−	−	−	−	+(4)	+(4)	+(4)
C. communis	−	−	−	−	−	−	+(3)	+(4)

−: no defect +: defect ( ): # of individuals defected

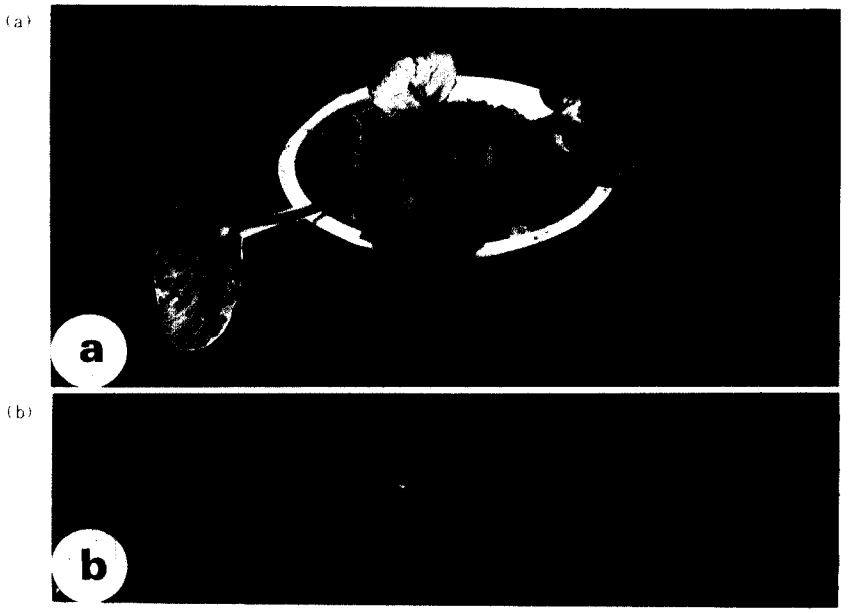

Fig. 2. Phenotypic effects of simulated acidic rain on the *Saxifraga stolonifera*; (a) whole plant : treated at pH 2.5, (b) leaf defect : pH 2.5, pH 2.7, pH 2.8, control from the left end.

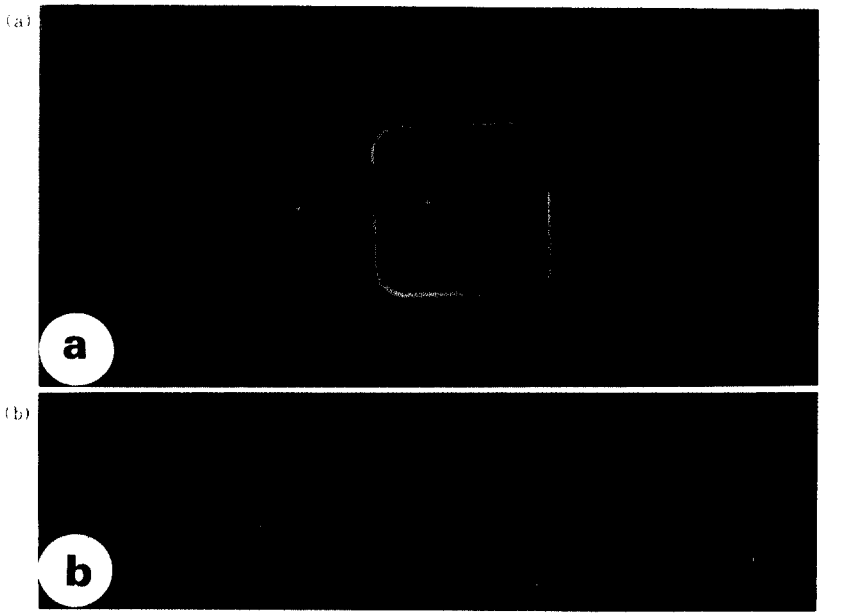

Fig. 3. Phenotypic effects of simulated acidic rain on the *Commelina communis*; (a) whole plant : treated at pH 2.5, (b) leaf defect : treated at pH 2.5, pH 2.6, control from the left end.

Table 6. Simulated acid rain(by B-C oil gas) defect on plant with pH change.

	pH					
	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
S. stolonifera	+(4)	+(4)	+(4)	+(2)	−	−
C. communis	+(3)	+(2)	−	−	−	−

−; no defect +; defect ( ); # of individuals defected

考 察

인공산성비(simulated acid rain)를 이용하여 대기오염 및 그로 인한 산성비가 식물에 미치는 영향에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 연구에 쓰이는 산성비의 제조 방법으로는, 증류수에 H_2SO_4를 첨가하여 pH를 맞추는 방법(Wood and Bormann, 1974)에서부터, 증류수에 HNO_3, HCl과 H_2SO_4를 혼합하여 적절한 pH를 얻어내는 방법(Wood and Bormann, 1977)을 비롯하여 근래에 널리 쓰이는 방법으로는 자연강우의 성분을 분석한 기존의 자료에 의존하여 background ions의 농도를 맞춘 다음 H_2SO_4와 HNO_3를 사용하여 원하는 pH를 얻어내는 방법(Neufold *et al*, 1985)등이 있다. 본 연구에서는 여러가지 연료에 의해 대기로 방출되는 오염원에 의한 영향을 직접적으로 조사하기 위하여, 연소가스들을 직접 증류수에 주입하여 pH를 낮추는 방법을 시도하여, 각 연료가스별로 pH가 낮아지는 현상이 서로 다른 양상으로 나타나는 것을 관찰하였다(Fig. 1).

가스를 직접 증류수에 주입시키는 방법은 위에서 말한 바와 같이 pH 강하현상을 직접적으로 나타내어 주며, 주입시키는 가스의 양에 따라서 다양한 산성도를 얻어낼 수 있고, 또한 실험방법이 수월하고 어떤 종류의 기체상에도 적용할 수 있으므로 앞으로 산성비 또는 대기오염 연구에 널리 이용될 수 있을 것으로 보인다.

증류수의 pH를 낮추는 효과는 연탄가스와 B-C유 가스가 거의 유사함에도 불구하고, 인공산성비를 만들어 식물에 살포하였을 경우에는 B-C유 연소가스 인공산성비의 경우에만 가시적 피해가 나타난다. Table 3의 결과와 비교해 보면, 여기에서 나타난 식물의 가시적 피해의 주 원인은 SO_2로 생각된다. 한편, 이 실험에서 직접적으로 고려되지는 않았으나, 연료가 연소할 때 발생하는 분진의 영향 역시 원인의 일부로 작용할 것으로 보인다. 또한, Table 3 에서의 SO_2 함량들을 비교해 보면, 디젤엔진 사용 자동차 배기가스와 석유의 연소가스의 SO_2 함량은 각각 31 ppm과 2 ppm으로 연탄가스의 SO_2 함량인 95 ppm보다 훨씬 낮다. 이 결과에서, 자동차의 배기가스에서 비롯되는 SO_2는 식물의 가시적 피해를 직접 유발하는 수준은 아닌 것으로 생각된다.

산성비가 식물에 미치는 직접적 또는 간접적인 다양한 효과들이 연구되어 왔다. 그 중 산성비에 의한 식물의 직접적 반응으로 잎의 가시적 손상들(Wood and Bormann, 1974, 1975; Evans *et al.*, 1978, 1982; Anderson *et al.*, 1988)이 보고된 바 있으며, 본 실험의 결과로 나타난 바위취와 닭의장풀에서의 잎의 손상과 여러가지 형태의 반점들은 이러한 산성비에 의한 가시적 피해에 대한 보고들과 일치한다.

본 연구에서 사용한 인공산성비는 pH 2.5 정도로 아주 강한 산성을 띰에도 불구하고 처리된 30종의 식물들 중 직접적 피해가 나타나는 종은 닭의 장풀과 바위취 2종에 지나지 않았다. 산성비에 의한 식물 생태계의 피해는 다양한 방향, 다양한 수준에서의 현상들이 종합되어 나타나는

결과이므로 그로 인한 식물의 가시적 피해는 종에 따라 서로 다른 양상으로 나타나며 본 실험에서의 결과도 그렇게 해석할 수 있다.

본 실험에서와 같은 강한 산성우에 의해서도 많은 식물종들이 금방 가시적 피해증상들을 나타내지는 않았으나, 산성비는 여러가지 수준에서 식물 생태계에 종합적인 영향을 미치며 그 효과가 가시적인 피해로 직접적으로 표현되기까지는 시간이 걸린다는 것을 감안할 때, 그 피해 정도를 미리 파악하고 이에 대한 방안을 강구하는 일이 필요하다. 생물이 보다 심각한 상해를 입기 전에 오염된 정도를 신속하게 파악할 수 있다면 생태계의 보호를 위한 방안 강구에 상당한 기여를 하리라 생각된다. 본 실험에서 특히 바위취는 30 종의 실험대상 식물 중 가장 예민한 반응을 나타내었다. 따라서 바위취를 이용하여 산성비가 식물에 미치는 여러가지 생리적, 생화학적 연구들을 수행할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 연구를 다양한 식물을 대상으로 실시하여 더 높은 pH에서도 가시적 증상들을 나타내는 식물종을 찾아낸다면 앞으로 자연산성비에 의한 대기오염의 지표종으로 사용될 수 있을 것이다.

要 約

대기오염의 주 원인으로 생각되는 각종 연료가스들 중에서 빗물의 산성도 증가에 가장 크게 기여하는 원인을 알아보기 위하여, 각 연료의 연소가스들을 직접 증류수에 불어넣어 산성도 증가를 조사하였다. 그 결과, B-C 유 와 연탄 연소가스가 증류수의 pH를 가장 낮게 감소시키는 것으로 나타났다. 가스 검지기로 각 연소가스당 배출되는 SO_2, NO_2, CO_2 농도를 측정한 결과와 비교하면, 빗물의 산성도 증가와 SO_2 농도의 증가가 같은 양상으로 나타나는 것을 알 수 있다.

인공산성비에 의해 식물에 나타나는 피해현상을 알아보기 위하여, 증류수에 연소가스를 직접 주입시키는 방법을 사용하여 만든 인공산성비를 30종의 식물에 살포하면서 관찰하였다. 연탄가스를 사용해서 만든 인공산성비에 의해서는 피해식물이 없었으며 B-C유를 사용해서 만든 인공산성비에 의해서는 바위취와 닭의 장풀에서 피해가 나타났다. 특히 바위취는 가장 예민한 반응을 나타내었다.

引用文獻

김준호, 1990a. 산성비 – 식물에 미치는 영향, 식물과 환경오염. 한국생태학회, 한국식물학회, 1990 심포지엄 및 워샵. pp. 3-33.

김준호, 1990b. 산성비 – 그 장거리 이동과 식물에 미치는 영향, 한국생물과학협회, 생물과학심포지엄. 11:70-97.

大喜多敏一, 1984. 酸性雨 現狀. 環境情報科學 13(4):13-25.

이경재, 1986. 남산관리공원의 자연환경실태 및 보건대책. 남산공원관리사무소.

장남기, 이윤상, 신은영. 1990. 서울지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향. 1. 지역별 강수의 산성화에 관하여. 한국생태학회지 13:131-142.

Anderson, R.I., H.D. Brown, B.I. Chevone, and T.C. McCcartney. 1988. Occurrence of air pollution symptoms(needle tip necrosis and chlorotic mottling)on certain white pine in the southern Appalachian Mountains. Plant Disease. 72:130-132.

Baldwin, H.I. 1934. Germination of the red spruce. Plant Physiol. 9:491-532.

Chalson, R.J., and H. Rodhe. 1984. Factors controlling the acidity of natural rain water. Nature 295:683-685.

Cogbill, C.V., and G.E. Likens. 1974. Acid precipitation in the northeastern United States. Water Resour. Res. 10:1133-1137.

Evans, L.S. 1984. Acidic precipitation effects on terrestrial vegetation. Ann. Rev. Phytopathol. 22:397-420.

Evans, L.S., N.F. Gmur and F. Dacosta. 1978. Foliar response of six clones of hybrid poplar to stimulated acid rain. Phytopathol. 68:847-856.

Evans, L.S., N.F. Gmur and D. Mancini. 1982. Effects of simulated acidic rain on yields of *Raphanus sativus, Cactuca sativa, Trifolium aestivum* and *Medicago sativa*. Environ. Exp. Bot. 22:445-453.

Fairfax, J.A.W. and N.W. Lepp. 1975. Effect of simulated acid rain on cation loss from leaves. Nature 255:324-325

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

Matzner, E., D. Murach and H. Fortann. 1986. Soil acidity and its relationship to root growth in declining forest stands in Germany. Water, Air, and Soil Pollut. 31:278-282.

Meyer, J., B.U. Schneider, K. Werk, R. Oren and E.D. Schulze. 1988. Performance of two *Picea Abies* Karst. stands at different stages of decline Ⅳ. Xylem sap concentration of magnesium, calcium, potassium, and nitrogen. Oecologia 77:1-6.

Neufeld, H.S., J.A. Jernstedt and B.L. Haines. 1985. Direct foliar effects of simulated acid rain I. damage, growth, and gas exchange. New Phytol. 99:389-405.

Proctor, J.T.A. 1983. Effect of simulated acid sulfuric rain on apple tree foliage, nutrient content, yield, and fruit quality. Envir. Exp. Bot. 23:167-174.

Raynal, D.J., J.R. Roman and W.M. Eichenlaub. 1982. Response of tree seedlings to acid precipitation-Ⅱ. Effect of simulated canopy throufall on sugar maple seedling growth. Envir. Exp. Bot. 22:385-392.

Reich, P.B., A.W. Scholettle, H.F. Stroo, J. Triano and R.G. Amundson. 1987. Effects of ozone and acid rain on white pine(*Pinus strobus*) seedlings grown in five soils I. Net photosynthesis and growth. Can. J. Bot. 65:977-987.

Shafer, S.J., R.I. Bruck and A.S. Heagle. 1985. Influence of simulated acidic rain on *Phytophthora cinnamomi* and Phytophthra root rot of blue lupine. Phytopathal. 75:996-1003.

Tamm, C.O. and E.B. Cowling. 1977. Acidic precipitation and forest vegetation. Water, Air and Soil Pollut. 7:503-511.

Wood, T. and F.H. Bormann. 1974. Effects of an artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis*. Britt. Environ. Pollut.(Ser. A.) 7:259-268.

Wood, M., J.E. Cooper and A.J. Holding. 1984. Aluminum toxicity and nodulation of *Tri-*

folium repens. Plant and Soil 78:381-391.

Wood, T. and F.H. Bormann. 1975. Increases in foliar leaching caused by acidification of artificial mist. Ambio. 4:169-171.

Wood, T. and F.H. Bormann, F.H. 1977. Short-term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations on *Pinus Strobus*, L. Water, Air and Soil Pollt. 7:479-488.

Zhao, X.J., E. Sucoff and J. Stadelman. 1987. Al^{3+} and Ca^{2+} alterration of membrane permeability of *Quercus rubra* root cortex cells. Plant Physiol. 83:159-162.

(1992년 11월 11일 접수)