

인공산성우 처리에 따른 침엽의 접촉각 변화<sup>1\*</sup>  
김 갑 태<sup>2</sup>

**Change of Needle Contact Angles due to Artificial  
Acid Rain Treatment<sup>1\*</sup>**

Kim Gab Tae<sup>2</sup>

요 약

리기다소나무와 잣나무 유묘에 인위적으로 산도를 조절한 인공산성우(pH 3.0, 4.0 및 5.0)와 지하수(pH 6.5)를 1992년 4월부터 1993년 8월까지, 생육기간 중에는 주 2회, 겨울철은 주 1회 1회 5mm의 강도로 처리하였다. 인공산성우를 처리하면서 수종별 침엽의 접촉각(contact angle)을 조사·비교하여 얻은 결과는 다음과 같다.

침엽의 표면과 물방울이 이루는 접촉각을 측정된 결과, 처리산성우의 산도수준이 높을수록 엽령이 높을수록 접촉각의 크기는 낮아졌다. 침엽의 접촉각을 측정 비교하는 방법은 야외에서 침엽수류에 대한 산성우 피해의 조기판단을 위한 매우 효과적인 기준이라 판단된다.

ABSTRACT

Artificial acid rain (pH 3.0, 4.0 and 5.0) and ground water (pH 6.5) were treated on the potted seedlings of *Pinus rigida* and *Pinus koraiensis* to examine its effects on the contact angles on needle surface. Artificial acid rain was prepared by diluting sulfuric acid with ground water and ground water (pH 6.5) was used as control. Artificial acid rain was sprayed to the pots two times per week for growing season, one time per week for winter seasons. About 5mm of artificial acid rain was treated each time from late April, 1992 to early October, 1993. Contact angles on the needle surface were measured and compared among the treatments. The results were summarized as follows.

Contact angles between needle surface and water droplet decreased with decrease of pH values of artificial acid rain. Measuring and comparing contact angles might be very effective criteria for early diagnosis of acid rain injury in the field.

Key words : Artificial acid rain, contact angle on the needle surface.

서 론

화석연료의 대량소비로 발생한 대기오염물질이

상승기류나 굴퓍을 높임으로 하여 광범위한 지역으로 확산되고 이들이 강수에 녹아들거나 씻겨 내려 pH 5.65 미만의 높은 산도를 보이는 것을 산성우(acid precipitation 또는 acid rain)라 한다

<sup>1</sup> 接受 1993年 11月 10日 Received on November 10, 1993.

<sup>2</sup> 삼지대학교 농과대학 College of Agri., Sangji-Univ., Wonju 220-702, Korea.

\* 이 연구는 1990년도 한국과학재단의 목적기초연구비의 지원으로 수행되었음

(Bubenick, 1984). 우리나라에서도 1960년대 공업화를 시작한 이후 대기오염은 점차 심해져 왔으며, 최근에는 대도시와 공단지역 주변에서부터 내륙으로 확산되어 광범위한 지역에서 산성우가 측정되는 등으로 대기오염문제는 커다란 난제로 떠올랐다(김, 1983, 1985a, 1985b; 박 등, 1983 김 등, 1982). 이러한 산성우현상은 광범위한 지역에 걸쳐 영향을 미치며, 주로 산성의 대기오염 물질들(SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Cl<sub>2</sub> ...)이 강수에 녹아들어 이온화(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> ...)하기 때문인 것으로 알려졌다며(Cowling & Dochinger, 1978; Bubenick, 1984; Galloway 등, 1976), 최근 환경문제의 가장 큰 과제로 등장했다.

산성우가 생태계에 미치는 영향은 토양과 식생에 양료를 공급한다는 유익한 측면도 보고되기는 했으나(Evans, 1984), 토양산도를 높이고(이, 1993a, b; 김, 1990; Kim, 1986; 민과 이, 1990; 정, 1987; 이, 1988), 토양의 양료를 용탈시키며(Johnson 등, 1983; Kim, 1986; 정, 1987; 이, 1988), 식물체로부터의 양료용탈(Cole & Johnson, 1977; Lee & Weber, 1982; Johnson 등, 1983) 및 가시적 피해의 유발(정, 1991; Kim, 1986; 이, 1988), 양료순환체계를 교란시키는 등의 유해한 측면도 보고 되었으며, 식물종간 또는 영양계간에 산성우, 산성물질 및 대기오염에 대한 내성차가 있음이 밝혀졌다(김 등, 1982; 이와 김, 1986; Lee & Weber, 1979; Scholz, 1988; Scholz & Reck, 1977; Eckert, 1988; Siewecki & Rachwal, 1988; Oleksyn, 1988). 최근에는 독일을 비롯한 선진공업국들은 물론 광범위한 지역에서 삼림이 고사하고 있으며, 그 원인이 대기오염에 기인한 산성우나 산성연구에 있다고 설명하고 있음을(Puckett, 1982; Binns와 Redfern, 1983) 감안할 때, 산성우가 우리나라의 삼림생태계에 미칠 영향도 우려되는 바이다. 최근 우리나라에서도 서울을 비롯한 대도시 주변에서 리기다소나무를 비롯한 잣나무, 소나무 등에서 쇠퇴징후가 관찰되며, 리기다소나무의 쇠퇴징후는 1) 침엽의 황화(잎 끝으로부터 황화가 시작됨), 2) 조기 또는 부정기 낙엽(나무의 정단이 하부보다 일찍 낙엽되는 경향) 3) 침엽의 수명 단축(2년생 잎이 없고 1년생 잎만 남음), 4) 뿌리의 비정상적 생장(뿌리가 산호상으로 굴곡함), 5) 년륜과 신초의 성장저하(년륜폭이 좁

아지고 신초가 짧아짐으로 순생산량이 감소됨), 6) 고사의 순으로 나타난다고 밝혔으며(김, 1990), 서울시를 중심으로 외곽으로 갈수록 토양산도가 높아지고 토양중의 Ca함량은 낮아지고 Al함량은 상대적으로 높아짐도 밝혀졌다(이, 1993a; 김, 1991b, 1990).

야외에서 생장하는 수목에 대한 산성우에 의한 피해현상만을 구명하는 것은 여러가지의 환경요인이 복합적으로 작용하기에 매우 곤란하다. 또한 강우마다 산도가 다르며 강우량, 강우강도, 강우지속시간 및 강우특성 또한 일정하지 않아 산성우에 의한 피해현상만을 구별하기가 매우 힘들다. 그러므로 인공강우를 산도별로 조제하여 일정한 조건하에서 처리한 후 발생하는 피해상태를 관찰하게 된다. 이러한 연구는 일찍이 구미 등지에서 수행되어 생장조절실 내에 수목의 묘목을 키워 일정농도의 산성우를 처리하여 침엽의 조직변화(Rinalls 등, 1986), wax의 구조변화(Riding과 Perdy, 1985), 묘목의 생장에 대한 영향(Lee와 Weber, 1979), 기공에 대한 영향 등에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 국내에서도 김(1992, 1991b, 1989, 1988), 김과 추(1992), 이와 김(1986), 정(1991, 1987) 등이 인공산성우가 수목의 종자발아, 엽록소함량, 식물체 구성성분 및 생장에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하여 왔으며, 이(1993b)는 산성우와 대기오염물질로 산성화된 토양을 개량하는 시험을 행하였다. 본 연구에서는 국내에서 연구되기 시작하는 산성우에 의한 침엽의 생리적 변화에 대한 연구를 수행하려 한다.

본 연구는 흔히 조림되는 리기다소나무와 잣나무를 대상으로 인위적으로 산도를 조절한 인공산성우를 1992년 4월 부터 1993년 8월까지 처리하면서 수종별 접촉각(contact angle)을 조사·비교함으로써, 접촉각을 측정하는 것의 타당성을 검토하여 그 대책을 수립하는 데 기초자료를 얻고자 시도하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 식물재료

식물재료는 우리나라에서 흔히 자라거나 조림하는 리기다소나무(*Pinus rigida*)와 잣나무(*Pinus koraiensis*)의 1-0묘이며, 1992년 3월 중

순에 혼합토양(perlite : vermiculite : sand, 1 : 1 : 1, V/V)을 채운 plastic pot(상부직경 15, 하부직경 11, 높이 12cm)에 이식하여 천연강우를 차단시킨 상에 배열하여 4월 중순까지 활착이 되도록 관수처리를 하고 4월 하순부터 산도를 조절 한 인공산성우와 대조구로 지하수를 처리하였다.

2. 처리 및 측정방법

(1) 인공산성우 처리

인공산성우와 지하수의 처리는 1992년 4월 하순부터 1993년 8월 초순까지 처리하였다. 1992년 4월 하순부터 10월 초순까지는 주 2회, 1회 5 mm의 강우강도로, 1992년 10월 중순부터 1993년 3월 하순까지는 주 1회, 1회 5mm의 강도로 처리하였으며, 1993년 4월 초순부터 8월 초순까지는 주 2회, 1회 5mm의 강우강도로 처리하였다. 인공산성우는 황산을 지하수(pH 6.5)로 묽혀 pH 5.0, 4.0 및 3.0이 되도록 제조하였다. 처리산성우의 산도 4수준, 2수종, 3반복의 난괴법으로 실험 설계하였으며, 각 plot당 3개씩의 plastic pot을 배치시켰으며, pot당 4-10개씩의 묘목을 이식하였다. 1년생 묘목은 상지대학 구내에서 육묘 중이던 묘목들에서 건전한 것들을 선택하였다.

(2) 접촉각(contact angle)의 측정

이(1993a)와 Cape(1981, 1983)의 방법에 준하여, 수종별, 연령별 및 처리별로 1993년 8월 중순에 30-50개의 침엽을 채취한 뒤, 1.0 $\mu$ l의 이차 증류수를 주사기(micro syringe)로 침엽의 adaxial면(복면)에 떨어뜨려 침엽표면의 wax층과 물방울이 이루는 각도를 광학현미경( $\times 40$ )을 이용하여 graticules로 측정하였다(Fig. 1). 채취된 침엽시료는 밀봉하여 냉장고에 보관하였다가 접촉각 측정전에 물기를 없애기 위해 잠시 풍건시

킨 후 시료로 이용하였다. 실리콘 고무에 침엽을 끼우고 주사기를 이용하여 침엽의 복면에 물방울을 떨어뜨린 후에 슬라이드 글라스 위에 고무를 얹어놓고 접촉각을 측정하였다. graticules은 현미경의 접안렌즈 경통 속에 넣어서 접촉각을 측정하였다.

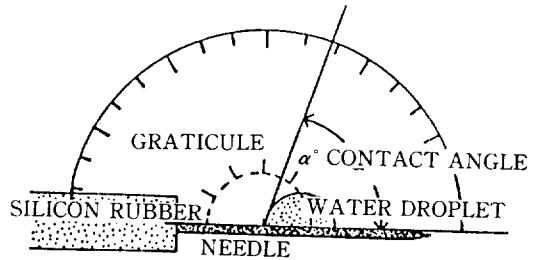


Fig. 1. Measurement of contact angle.

결과 및 고찰

1993년 8월 중순에 채취한 리기다소나무와 잣나무의 엽시료를 대상으로 측정한 처리별, 연령별 접촉각의 평균과 통계처리 결과를 Table 1에 보였다.

처리산성우의 pH값이 낮아질수록 접촉각의 크기는 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 또한 연령이 증가할수록 뚜렷하게 접촉각이 감소하였다. 시료의 조건이나 측정조건 등에 따라 조금씩 차이는 있을지 모르나, 처리산성우의 산도수준간에는 고도의 통계적 유의성이 인정되었다. 이는 접촉각의 측정이 야외에서 침엽수류에 대한 산성우 피해를 조기 판단하는 데 필요한 훌륭한 기준이 된다고 사료된다. 접촉각 측정의 수종별 비교에서는 리기다소나무가 잣나무보다는 산성우 처리효과가 더욱 뚜렷이 나타나 야외에서의 산성우 피

Table 1. Mean values of contact angles by the levels of pH for each species.

Tree species Treatment \ needle age	<i>Pinus rigida</i>		<i>Pinus koraiensis</i>	
	1-year-old	2-year-old	1-year-old	2-year-old
Control(6.5)	88.9 a	84.7 a	86.0 a	72.1 a
pH 5.0	82.2 b	79.2 b	83.0 a	67.8 b
pH 4.0	74.3 c	71.8 c	78.8 b	60.5 c
pH 3.0	73.4 c	68.4 d	77.1 b	59.5 c
F-values	33.38**	58.93**	13.28**	21.46**

\* and \*\* indicate significances at 5% and 1% levels, respectively. Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test

해평가에서 잣나무보다는 2년생의 리기다소나무 침엽을 대상으로 접촉각을 측정하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Cape (1983)와 국내에서 대도시와 공단지역의 소나무, 독일가문비 및 잣나무를 대상으로 조사하여 염령이 증가할수록 오염원에 가까울수록 접촉각이 감소하며, 피해도지수와 접촉각의 높은 상관성을 밝힌 이(1993a)와 산성우처리에 의한 독일가문비, 소나무, 잣나무, 곰솔 등의 수종에서 처리산성우의 산도가 높을수록 접촉각이 작아진 김(1993)의 결과와도 부합되어, 국내의 산성우 피해의 조기판단 기준으로 적합하다는 증거가 될 것이다. 한편 이(1993b)는 남산과 광릉의 소나무림을 대상으로 칼슘, 마그네슘 및 복합비료를 시비한 결과 접촉각이 증가했음을 밝혔다. 이는 산성우나 대기오염물질이 직접적으로 침엽의 wax 층을 손상시키는 것 뿐만 아니라 토양양료의 수준에 따라 회복하는 생리적 기작이 포함되어 있음을 보여주는 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

1. 김갑태. 1993. 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아, 생장 및 침엽에 미치는 영향 Pages 49-150, "산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단 관한 연구" 과학재단 연구보고서 KOSEF 90-0701-01. 205pp.
2. 김갑태. 1992. 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아, 생장 및 침엽에 미치는 영향(1) 응용생태연구 6(1) : 1-8.
3. 김갑태. 1991. 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아와 묘목생장에 미치는 영향(1) 한국임학회지 80(2) : 237-245.
4. 김갑태. 1989. SO<sub>2</sub>에 대한 내성수종의 선발을 위한 기초연구. 2. 인공산성우 및 산연무 처리시험. 한국임학회지 78(2) : 209-217.
5. 김갑태. 1988. SO<sub>2</sub>에 대한 내성수종의 선발을 위한 기초연구. 1. 엽조직실험. 한국임학회지 77(2) : 223-238.
6. 김갑태, 추갑철. 1992. 인공산성우가 몇 침엽수종의 종자발아와 묘목생장에 미치는 영향(2). 상지대 논문집 13 : 317-330.
7. 김재봉·김태욱·이경재·박인협·김동한·정연보. 1982. 공단지역의 녹지조성 및 회지에 관한 연구. 국립환경연구소. 64pp.
8. 김준호. 1991b. 환경오염에 의한 산림의 쇠퇴징후. Pages 3-25., 도시·산림·환경심포지움. 1991. 11. 26. 한국조경학회, 서울. 143pp.
9. 김준호. 1990. 환경오염에 대처하는 자연생태계 보존전략. Pages 93-118., "쾌적 환경창조를 위한 생태계의 보존" 제18회 세계환경의 날 기념 심포지움 1990. 6. 4. 국립환경연구원, 서울. 189pp.
10. 김준호. 1985. 산성비의 실태와 인간생활에 미치는 영향. 자연보존 49 : 19-23.
11. 김정옥. 1983. 대기오염의 지구적인 영향. Page 49-54., "선진환경을 향한 보전대책" 세계환경의 날 기념 세미나, 1983. 6. 4. 국립환경연구소, 서울.
12. 김태욱. 1985. 대기오염과 농림업. 한국환경농학회지 4 : 57-64.
13. 민일식·이수욱. 1990. 인공산성우가 산림토양의 완충능에 미치는 영향. 한국임학회지 79(4) : 376-387.
14. 박봉규·이인숙·최형선. 1983. 서울시에서의 산성우강하에 관한 연구. 한국생활과 연구원논총 32 : 137-142.
15. 이경재. 1993a. 산성우 및 대기오염물질에 의한 수목의 생리적인 변화. Pages 49-150 "산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구" 과학재단 연구보고서 KOSEF 90-0701-01. 205pp.
16. 이용범. 1993b. 산성화된 삼림토양의 비료처리에 의한 복구실험. Pages 173-205. "산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구" 과학재단 연구보고서 KOSEF 90-0701-01. 205pp.
17. 이돈구·김갑태. 1986. 인공산성우가 몇 수종의 종자발아와 묘목생장에 미치는 영향. 서울대 관악수목원연구보고 7 : 15-21.
18. 이창근. 1988. 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향. 과학기술처 연구 보고서. 194pp.
19. 정용문. 1987. 인공산성우가 소나무유묘 및 개나리삼목묘의 생장, 식물체내 함유성 성분 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 동국

- 대 박사학위논문. 70pp.
20. 정용문. 1991. 인공산성우에 대한 조정수목의 내성 비교. 한국대기보전학회지 7(3) : 208-228.
  21. Binns, W.O. and D.B. Refern. 1983. Acid rain and forest decline in West Germany Forestry Commission Res. Dev. Paper 131. 13pp.
  22. Bubenick, D.V. 1984. Acid Rain Information Book. Noyes Data Corp., N.J., 397 pp.
  23. Cape, J.N. and D. Fowler. 1981. Changes of epicuticular wax of *Pinus sylvestri* exposed to polluted air. *Silva Fennica* 5(4) : 457-458.
  24. Cape, J.N. 1983. Contact angles of water droplets on the needles of Scots pin(*Pinus sylvestris*) growing in polluted atmospheres. *New Phytol.* 93 : 263-299.
  25. Cole, D.W. and D.W. Johnson. 1977. Atmospheric sulfate additions and cation leaching in a Douglas fir ecosystem. *Water Resource Research* 13(2) : 313-31.
  26. Cowling, E.B. and L.S. Dochinger. 1978. The changing chemistry of precipitation and its effects on vegetation and materials. *Amer. Inst. Chem. Eng.* 74(175) : 134-142.
  27. Eckert, R.T. 1988. Genetic variation in red spruce and its relation to forest decline in the North eastern 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.
  28. Evans, L.S. 1984. Botanical aspects of acid precipitation. *Bot. Rev.* 50 : 449-490.
  29. Galloway, J.N., G.E. Likens and E.S. Edgerton. 1976. Acid precipitation in the United States : pH and acidity. *Science* 194 : 722-724.
  30. Johnson, D.W., D.D. Richter, H.V. Miegroet and D.W. Cole. 1983. Contribution of acid deposition and natural processes at cation leaching from forest soils : A review. *J. A.P.C.A.* 33 : 1036-1041.
  31. 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. Seoul National Univ. ph. D. Paper. 46pp.
  32. Lee, J.J. and D.W. 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.
  33. Lee, J.J. and D.W. Weber. 1979. The effects of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species. *Forest Sci.* 25 : 393-398.
  34. 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.
  35. Puckett, L.J. 1982. Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York. *J. Environ. Qual.* 11 : 376-381.
  36. Riding, R.T. and K.E. Percy. 1985. Effects of SO<sub>2</sub> and other air pollutants on the morphology of epicuticular waxes on the needles of *Pinus strobus* and *Pinus banksiana*. *New Phytol.* 99 : 555-563.
  37. Rinalls, C., Raddi, P. and V. de Lonards. 1986. Effects of simulated acid deposition on the surface structure of Norway spruce and silver fir needles. *Europ J. For. Path.* 16 : 440-446.
  38. Scholz, F. 1988. Genetic research in forest decline implications for non-genetic investigations. Pages 325-328 in "Air Pollution and Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I. Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Specialist in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.
  39. Scholz, F. and S. Reck. 1977. Effects of

- acids on forest trees as measured btitration  
*in Vitro*, inheritance of buffering capacity  
in *Picea abies* Water, Air and Soil Pollution  
8: 41-45.
40. Siwecki. R. and L. Rachwal. 1988. Selec-  
tion and conservation of forest tree  
genotypes more tolerant to industrial pollu-  
tion. Pages 329-333 in "Air Pollution and  
Forest Decline" edited by Bucher, J.B. & I.  
Bucher-Wallin. Proc. Int. Meet. for Spe-  
cialists in Air Pollution Effects on Forest  
Eco system. IUFRO. Switzzland.