

人工酸性煙霧의 處理가 몇 闊葉樹種의 葉被害와 葉表面의 親水性에 미치는 影響^{1*}

金甲泰² · 嚴泰元²

Effects of Artificial Acid Mist on Leaf Injury and Surface Wettability of Several Broad-Leaved Species^{1*}

Gab Tae Kim² and Tae Won Um²

요 약

대기오염과 산성우 피해를 평가하는 기준을 마련하고자, 인공산성연무(pH 2.5, 3.5 및 4.5)와 지하수(pH 6.5)를 쥐똥나무, 박태기나무, 무궁화 및 회화나무의 유묘에 처리하고 엽록소 함량, 엽피해 특성, 엽표면의 친수성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 6월 12일 측정에서 쥐똥나무와 무궁화는 pH 2.5처리구에서 엽록소 함량이 가장 높았고, 박태기나무와 회화나무는 상대적으로 낮았다. 9월 1일 측정에서 쥐똥나무는 pH 2.5처리구에서 엽록소 함량이 가장 높았고 박태기나무, 무궁화, 회화나무에서는 대조구에서 가장 높았다.
2. 산성연무 처리에 따른 엽록소 함량의 변화는 수중에 따라 상이한 결과를 보였다.
3. 수중별 산성연무 처리가 계속되면서 모든 수중에서 처리산성연무의 pH값이 작아질수록 엽피해-피해엽수, 엽피해율, 피해엽면적 - 가 증가하는 경향이 뚜렷하였다.
4. 산성연무에 의한 활엽수 엽조직의 피해는 표피의 wettability에 의해 결정되는 것으로 판단된다. 표피에 평균 물방울의 직경측정은 털이 없고 평활한 표면을 갖는 박태기나 회화나무 등의 수중에 서는 산성우나 산성연무의 피해를 측정하는 기준으로 이용가능한 것으로 판단된다.

ABSTRACT

To seek effective methods for evaluating air pollution and acid rain injury, artificial acid mist(pH 2.5, 3.5 and 4.5) and ground water(pH 6.5) were treated on the potted seedlings of *Ligustrum obtusifolium*, *Cercis chinensis*, *Hibiscus syriacus* and *Sophora japonica*. Leaf chlorophyll contents, characteristics of leaf-injury, wettability-measurement of diameter of water-droplets on the leaf surface-among treatments were investigated. The results were summarized as follows.

1. Chlorophyll contents of *Ligustrum obtusifolium* and *Hibiscus syriacus* measured on June 3 were highest in pH 2.5 plot, but those of *Cercis chinensis* and *Sophora japonica* were relatively low level. Chlorophyll contents of *Ligustrum obtusifolium* measured on August 24 was highest in pH 2.5 plot, but those of *Cercis chinensis*, *Hibiscus syriacus* and *Sophora japonica* were highest in the control.
2. Changes of chlorophyll contents with acid mist treatments were differed among tree species.
3. For all the tested species, leaf injury(injured leaf number and rate, and injured leaf area) increased with decreasing pH levels of acid mist.
4. Leaf tissue injury seemed to be related with the wettability of the leaf surface. Measurement of

¹ 접수 1996년 5월 23일 Received on May 23, 1996.

² 상지대학교 임학과 Dept. of Forestry, Sang Ji Univ., Won ju, Korea.

* 이 논문은 1994년 과학재단의 연구비 지원에 의하여 수행되었습.

diameter of water-droplets on the leaf surface might be useful criteria for acid rain or acid mist injury for the glabrous leaved species, such as, *Cercis chinensis*, *Sophora japonica*, etc.

Key word: Acid Mist, Wettability, Chlorophyll Content, Leaf Injury, Broad Leaved Species

서 론

산업혁명 이후 화석연료의 대량 소비로 발생한 대기오염물질은 기체상, 입자상 또는 강수나 이슬에 녹아 든 형태로 식물체에 여러 가지 영향을 미치며(Smith, 1990), 최근에는 이들이 강수물에 녹아들거나, 씻겨 내려 pH 5.65미만의 높은 산도를 보이는 산성우(acid precipitation 또는 acid rain)가 광범위한 지역에서 문제화 되었다(Bubenick, 1984). 우리 나라에서도 1960년대 공업화를 시작한 이후 인구 증가, 공단 시설의 대형 집단화 및 교통량의 급격한 증가로 대도시와 공단을 중심으로 산성우 원인 물질인 대기오염물질(SO₂, NO_x, CO, HC, TSP 등)의 배출량이 크게 증가하고 있으며 그 피해는 오염원 인근 지역은 물론 그 주위에 넓은 지역으로 확대되어 가고 있다. 이로 인한 대기오염과 산성우가 현재까지 생태계에 미친 영향 가운데 가장 심각하고 광범위한 피해는 삼림지역에서 나타났다. 넓은 면적의 삼림에서 임목들이 대량으로 고사되어 가면서 삼림이 황폐화되고 동시에 하류의 하천과 호수들이 서서히 산성화되어 갔다. 동시에 산성우는 삼림토양으로부터 Al⁺과 같은 독성 금속 이온들을 용탈시켜 하천과 호수를 오염시키므로 각종 수서곤충과 어류들을 멸종시키고 있다(EPA, 1980). 우리 나라에서도 산성우가 내리고 있었으며(김정옥, 1983; 박봉규 등, 1983), 최근에는 충주, 대전 등의 내륙에서도 산성우가 내린다는 보고(김준호, 1991b)가 있어 산성우에 대한 우려의 목소리가 높아지고 있다. 대기오염 및 산성우가 식물생장이나 삼림생태계에 미치는 영향에 관한 많은 연구 보고들이 있다(Kim, 1987; 정용문, 1987; 이창근, 1988; 이돈구와 김갑태, 1986; 김갑태, 1988, 1989, 1991a).

대기오염 및 산성우가 생태계에 미치는 영향은 토양과 식생에 양료를 공급한다는 유익한 측면도 있으나(Evans, 1984), 토양산도를 높이고(Kim, 1987; 정용문, 1987; 이창근, 1988), 토양양료를 용탈시키며(Kim, 1987; 정용문, 1987; Johnson 등, 1983), 식물체로부터 양료용탈(Cole과 Johnson,

1977; Lee와 Weber, 1982) 및 가지적 엽피해 유발(Kim, 1987; 이창근, 1988), 양료순환체계를 교란시키는 등의 유해한 측면도 보고되었으며, 식물종간 또는 영양계간에 대기오염 및 산성우에 대한 내성차이가 있음이 밝혀졌다(김갑태, 1986; 김재봉 등, 1982; Lee와 Weber, 1979; Scholz와 Reck, 1977). 최근에는 독일을 비롯한 선진 공업국들은 물론 광범위한 지역에서 삼림이 고사하고 있으며 그 원인이 대기오염에 기인한 산성우나 산성연무에 있다고 설명하고 있다(Binns와 Redferr, 1983).

현재까지의 연구 결과로 보아 대기오염 및 산성우가 서울을 비롯한 대도시와 공단 주변의 숲에는 뚜렷이 영향하는 것으로 판단되며, 선진 공업국들처럼 대면적의 삼림취퇴 및 생육감소가 한눈에 알아 볼 수 있을 정도로 심하지는 않으나 보이지 않게 서서히 일어나고 있으리라 사료된다. 우리나라의 대기오염 수준과 심해지는 산성우 영향으로 보아 전체 삼림에 대한 피해는 예비조사지(서울의 남산, 창덕궁 후원-비원-, 북한산 등)에서 가지적으로 피해가 관찰되어 현상태로 계속 방치할 경우 5~10년후에 고사목이 생길 것으로 판단된다(이경재 등, 1993)고 하듯이, 선진 공업국들의 전철을 밟지 않으려면 대기오염 및 산성우에 의한 삼림피해를 조기에 판단하고 적절한 대책을 강구해야만 한다. 대기오염 및 산성우가 삼림생태계에 미치는 영향이 복잡하고 작용하는 요인들이 많으나, 침엽수의 경우 피해도조사표, 물방울과 침엽 표면의 접촉각(contact angle)의 측정, wax의 정량 등의 방법으로 어느 정도 조기 판단이 가능하며 좋은 방법이라고 보고되었다(이경재 등, 1993). 그러나 활엽수의 경우 피해도조사표의 작성이 쉽지 않으며 실행이 간편하고 효과적인 조기 판단의 방법을 찾지 못하고 있는 실정이다.

이 연구는 우리 나라 삼림의 대부분을 차지하고는 있으나, 침엽수종과는 달리 산성우, 산성연무 및 대기오염에 의한 피해도 평가의 기준이 마련되지 못한 활엽수종에 대한 산성우, 산성연무 및 대기오염에 의한 피해도 평가의 적절한 기준

을 마련하고자, 쥐똥나무를 비롯한 몇 활엽수종에 산도를 조절한 인공산성연무를 처리하면서 엽록소 함량을 측정, 엽피해와 엽표면의 친수성을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

식물재료는 우리 나라에서 흔히 자라거나 조경용 수목으로 조림하는 수종인 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*), 박태기나무(*Cercis chinensis*), 무궁화(*Hibiscus syriacus*) 및 회화나무(*Sophora japonica*)를 상지대학교 구내 묘포장에서 양묘하여 정선된 묘목(1-0묘)을, 1994년 4월 초순에 혼합토양(perlite : vermiculite : sand, 1 : 1 : 1)을 채운 플라스틱 포트(상부직경 15cm, 하부직경 11cm, 높이 12cm)에 2~5본씩 이식하고 천연강우를 차단한 산성연무 처리상에 배치하여 시험하였다.

2. 인공산성연무의 처리

1994년 4월 초순에 혼합토양을 채운 플라스틱 포트에 이식된 묘목은 천연강우를 차단한 산성연무처리상에 배열하여 5월 초순까지 활착이 되도록 지하수(pH 6.5)로 관수처리하고 5월 중순부터 9월 중순(4개월간)까지 주 3회(월, 수, 금), 1회 2시간, 420ml/hr씩의 인공산성연무와 대조구로 지하수(pH 6.5)를 분무하였다. 처리상은 천연광이 50% 정도 차광되는 실내에 배치하였으며 특별한 인공광은 조사하지 않았다. 인공산성연무는 황산을 지하수로 묽혀 pH 2.5, 3.5 및 4.5가

되도록 연무처리용액을 제조하여 이용하였다. 처리산성연무의 산도 3 수준과 대조구, 4 수준, 3 반복으로 분무상(Fig. 1)에 플라스틱포트를 배치했으며, 초음파가습기를 이용하여 산성연무를 처리하였다.

3. 엽피해율 및 엽록소함량 측정

엽피해율은 산성연무를 처리하면서 처리별로 선택된 개체들로부터 Gumpertz 등(1982)의 방법에 준하여 피해엽율 및 피해엽면적을 4회(6월 12일, 7월 1일, 8월 1일, 9월 1일)에 걸쳐 측정하였다. 엽조직의 엽록소함량 측정은 잎을 채취하지 않고 간접적으로 측정하는 SPAD-502(Minolta; Japan)를 이용하여 동일개체의 동일 엽조직의 총 엽록소 함량을 4회(6월 12일, 7월 1일, 8월 1일, 9월 1일) 반복적으로 측정하였다. SPAD-502는 적색광(600-700nm)와 청색광(400-500nm)의 흡광도를 측정하여 엽조직에 들어있는 엽록소함량을 상대적인 수치인 SPAD값으로 나타내었다. 엽록소함량의 측정은 수종별, 처리별로 10개 이상의 잎에서 반복 측정하여 통계처리 하였다.

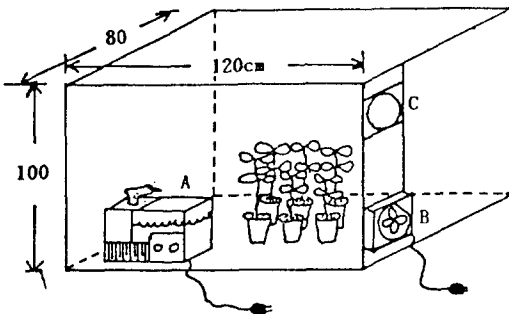
4. 엽조직 표면의 친수성 측정

잎 표면의 친수성 정도를 검토하기 위하여 처리가 종결된 9월 13일에 2차 증류수 1.0μl를 분석용 주사기(analytical syringe; SEG, Australia)로 잎의 표면과 이면에 떨어뜨려 생기는 물방울의 직경을 광학현미경(×40)을 이용하여 Micrometer(0.01mm)로 측정, 처리별로 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 엽록소 함량

각 수종에 대한 인공산성연무 처리에 대한 측정 시기별·처리별 엽록소함량을 비교한 것은 Table 1과 같다. 쥐똥나무에 있어서 측정시기별 엽록소함량의 총평균의 변화는 7월 1일 감소하였다가 다시 증가하여 9월 1일 측정에서 최대치를 보였다. 처리간 엽록소함량은 8월 1일과 9월 1일 측정에서만 유의차가 인정되었으며 pH 2.5처리구에서 가장 높고 pH 4.5처리구에서 가장 낮았다. 또한 처리 초기인 6월 12일 측정에서는 산성연무의 pH가 낮을수록 엽록소함량이 높게 나타난 것으로 보아 산성연무로 처리된 황산염이 양료로



A : Ultrasonic humidifier
 B : Fan for air circulation
 C : Air outlet

Fig. 1. Mist chamber system

작용한 것으로 보여진다. pH 4.5처리구에서 측정시기에 무관하게 가장 낮은 값을 보인 것은 산성연무처리로 인한 양료로서의 작용과 해작용의 상호작용으로 인하여 나타난 결과로 사료되나 정확한 이유는 알 수 없었다.

박태기나무의 측정시기별 엽록소함량의 평균은 7월 1일 측정에서 최대치를 보였으며 처리간 엽록소함량은 8월 1일과 9월 1일 측정에서만 유의차가 인정되었다. 엽록소함량은 대조구, pH 3.5처리구, pH 2.5처리구, pH 4.5처리구 순으로 나타났다. pH 4.5처리구에서 가장 낮게 나타난 것은 쥐똥나무에서와 같은 경향이였다.

무궁화의 측정시기별 엽록소함량의 총평균의 변화는 쥐똥나무에서처럼 7월 1일 측정에서 조금 감소하였다가 다시 증가하며 9월 1일 측정에서 최대치를 보였다. 처리간 엽록소함량은 6월 12일과 9월 1일 측정에서만 통계적 유의차가 인정되

었다. 6월 12일 측정에서는 pH 2.5처리구에서, 9월 1일 측정에서는 대조구에서 가장 높았다.

회화나무의 측정시기별 엽록소함량의 총평균의 변화는 7월 1일 감소하였다가 다시 증가하여 9월 1일 최대치를 보였다. 처리간 엽록소함량은 9월 1일 측정에서만 유의차가 인정되었으며, 대조구, pH 3.5처리구, pH 2.5처리구, pH 4.5처리구의 순으로 낮아졌다.

산성연무 처리초기인 6월 12일 측정에서 쥐똥나무와 무궁화는 pH 2.5처리구에서 엽록소함량이 가장 높았고 콩과식물인 박태기나무와 회화나무는 pH 2.5처리구에서 엽록소함량이 상대적으로 낮아 대조적인 결과를 보였다. 한편 9월 1일 측정에서는 쥐똥나무는 pH 2.5처리구에서 엽록소함량이 가장 높았고, 박태기나무, 무궁화 및 회화나무에서는 대조구에서 가장 높게 나타났다. 산성연무 처리에 의한 엽록소함량의 상이한 반응결

Table 1. Chlorophyll contents(SPAD value) of four species by the levels of pH.

Treatment	Chlorophyll content measured on			
	Jun. 12	Jul. 1	Aug. 1	Sept. 1
<i>L. obtusifolium</i>				
control(pH6.5)	33.3	33.7	40.3 ^c	44.1 ^b
pH 4.5	32.3	29.7	32.9 ^a	34.2 ^a
pH 3.5	33.6	33.4	36.2 ^b	44.1 ^b
pH 2.5	35.9	31.7	42.4 ^c	45.4 ^b
Mean	33.8	32.1	37.9	41.9
F-values	1.24 ^{N.S}	1.84 ^{N.S}	6.27*	12.54**
<i>C. chinensis</i>				
control(pH6.5)	27.7	36.3	30.5 ^b	33.7 ^b
pH 4.5	23.9	34.7	23.4 ^a	27.3 ^a
pH 3.5	27.0	35.6	27.6 ^b	32.4 ^b
pH 2.5	26.5	35.2	29.9 ^b	32.0 ^b
Mean	26.3	35.5	27.9	31.35
F-values	0.78 ^{N.S}	0.16 ^{N.S}	5.17**	5.35**
<i>H. syriacus</i>				
control(pH6.5)	28.5 ^a	26.5	31.39	34.98 ^a
pH 4.5	27.3 ^a	24.6	28.64	28.31 ^b
pH 3.5	29.0 ^a	25.8	27.41	30.12 ^{ab}
pH 2.5	36.0 ^b	23.8	30.18	33.64 ^{ab}
Mean	30.2	25.2	29.4	31.8
F-values	6.33*	1.03 ^{N.S}	0.72 ^{N.S}	2.85*
<i>S. japonica</i>				
control(pH6.5)	44.2	26.6	46.9	51.9 ^a
pH 4.5	43.3	22.9	42.6	45.2 ^b
pH 3.5	44.7	25.5	49.5	49.1 ^{ab}
pH 2.5	43.1	25.4	47.4	46.6 ^b
Mean	43.8	25.1	46.6	48.2
F-values	0.25 ^{N.S}	2.39 ^{N.S}	2.25 ^{N.S}	2.93*

* and ** indicate significances at 5% and 1% level, and NS means not significant at 5% significances level.

Differences in letters in vertical columns indicate significance difference at 5% level for DMRT

과는 산성물질에 대한 엽조직의 완충능 차이(김갑태, 1986b; Scholz와 Reck, 1977)와 산성우 처리에 따른 식물종간의 상이한 반응(Lee와 Weber, 1979; 김재봉 등, 1982; Evans, 1984; 이돈구와 김갑태, 1986)을 밝힌 보고들과 부합되는 결과로 보여진다.

박태기나무는 7월 1일 측정에서 엽록소함량이 최대치를 보였고 쥐똥나무, 무궁화 및 회화나무는 7월 1일 측정에서 감소하였다가 다시 증가하여 9월 1일 측정에서 최대치를 보였다. 수종간 상이한 이러한 결과는 기체상 대기오염(한기학, 1973; Suwannapinunt, 1980) 및 인공산성우(이돈구 등, 1984)에 의한 엽록소함량의 감소를 밝힌 결과와는 상반되는 결과이다.

엽록소 함량은 저온처리(소창호, 1982), 산성물질처리(Kim, 1987; 이돈구 등, 1984), O₃의 처리(김재봉 등, 1982; Kundson 등, 1977) 등에 의하여 엽록소함량의 감소가 보고되었으며 Todd와 Arnold(1962)는 엽기능의 손상정도를 엽록소함량의 감소로 나타낼 수 있음을 밝힌 바 있다.

이처럼 엽록소함량의 변화는 각종 stress에 대한 식물체의 생리적 반응을 나타내는 지표로 설명된다. 그러나 본 실험에서 낮은 pH에서 엽록소 함량의 증가를 나타낸 것은 실험기간이 짧았으며 산성연무처리는 산성우처리보다는 그 처리 강도가 토양이나 식물체의 뿌리에 미치는 영향이 적어 황산염의 양료로 이용이 엽록소 함량의 증가가 나타난 원인으로 추정되며 혼합토양의 양료부족으로 산성연무처리가 식물체의 양료로 이용된 것으로 판단된다.

2. 엽피해율(피해엽율 및 피해엽면적)

수종별 처리별로 산성연무 처리가 계속됨에 따른 엽피해율(피해엽수 및 피해엽율)의 평균과 통계분석 결과를 Table 2에 나타냈다. 모든 수종들에서 산성연무처리의 pH값이 작아질수록 엽피해율(피해엽수 및 피해엽율)이 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 피해엽수는 쥐똥나무와 박태기나무의 경우 7월 1일 측정치보다 8월 1일 측정치가 낮게 나타났으나 이는 그 기간 동안에 피해가 심

Table 2. Means of injured leaf number and rate(%) for each species.

Treatment \ Date	Jun. 12		Jul. 1		Aug. 1		Sept. 1	
	No.	Rate	No.	Rate	No.	Rate	No.	Rate
<i>L. obtusifolium</i>								
control(pH6.5)	0.00 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00	9.75 ^a	11.54
pH 4.5	0.00 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00	6.25 ^a	10.96	4.00 ^a	7.17
pH 3.5	0.50 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00	1.00 ^a	4.44	3.25 ^a	6.70
pH 2.5	26.25 ^b	59.66	58.00 ^b	92.06	53.75 ^b	83.98	74.50 ^b	97.07
F-values	73.34 ^{**}		30.08 ^{**}		22.36 ^{**}		14.12 ^{**}	
<i>C. chinensis</i>								
control(pH6.5)	0.00 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00	3.00 ^a	16.44
pH 4.5	0.00 ^a	0.00	0.25 ^a	12.50	3.00 ^{ab}	25.00	4.75 ^a	33.93
pH 3.5	2.00 ^b	26.67	2.50 ^a	23.26	6.00 ^{bc}	37.5	14.00 ^b	84.85
pH 2.5	3.00 ^b	42.86	11.30 ^b	82.66	11.00 ^c	82.71	11.00 ^{ab}	100.00
F-values	3.63 [*]		10.70 ^{**}		6.36 ^{**}		3.77 [*]	
<i>H. syriacus</i>								
control(pH6.5)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67 ^a	5.63
pH 4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	2.23	4.00 ^a	8.57
pH 3.5	0.00	0.00	9.30	23.66	17.00	32.51	17.00 ^a	32.49
pH 2.5	5.00	28.30	16.00	52.17	24.67	63.26	47.00 ^b	89.82
F-values	2.42 ^{N.S}		3.08 ^{N.S}		3.42 ^{N.S}		12.64 ^{**}	
<i>S. japonica</i>								
control(pH6.5)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00	4.75 ^a	2.27
pH 4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50 ^a	1.20	1.75 ^a	1.59
pH 3.5	2.00	3.05	4.25	0.00	12.50 ^a	6.89	21.75 ^a	11.85
pH 2.5	9.25	13.26	42.50	14.89	77.75 ^b	42.90	174.00 ^b	95.34
F-values	2.17 ^{N.S}		2.77 ^{N.S}		8.89 ^{**}		41.52 ^{**}	

* and ** indicate significances at 5% and 1% level, and NS means not significant at 5% significances level.

Differences in letters in vertical columns indicate significance difference at 5% level for DMRT

했던 잎들이 탈락하였기 때문에 나타난 결과이다. 피해엽율을 수종간 비교하면 박태기나무에서 가장 심하며 다른 수종들에서는 큰 차이는 없으나 pH 2.5처리구에서 비교적 많은 피해를 보였다. 쥐똥나무의 경우 pH 2.5처리구의 피해엽율이 계속적인 증가를 보이다가 8월 1일 측정치에서는 오히려 감소하였고, 또한 pH 3.5의 9월 1일 측정치에서도 감소를 보였다. 이는 피해반점이 출현하여 시드는 피해현상을 보이다가 낙엽됨으로 전체엽수와 피해엽수가 줄어든 것으로 인하여 나타난 결과이다.

최종 측정일인 9월 1일 측정치에서 특히 박태기나무 pH 4.5와 pH 3.5처리구의 피해엽율이 타수종에 비하여 월등히 높은 값을 보였다. 이는 박태기나무가 다른 수종에 비하여 산성연무에 민감하게 반응하는 잎표면의 특성때문이라 사료된다. 수종별 pH 2.5처리구에서는 초기 측정부터 가시적인 피해를 보였으며 최종 측정일인 9월 1일의 측정치에서 모든 수종에서 높은 피해엽율을 보였으나 대조구에서 나타난 피해반점은 연무처

리에 의한 것이라고 판단하기는 곤란하였다. 이처럼 처리산성연무의 pH값이 작아질수록 수종에 관계없이 엽피해율이 증가한 결과들은 Kim(1987)의 은행나무 유묘에 있어 인공산성우를 처리하여 얻은 결과와 엽피해율에 있어서의 이러한 수종간 차이는 SO₂에 의한 엽피해를 57종의 수목을 대상으로 조사하여 수종간 차이를 밝힌 Umbach와 Davis(1984)의 결과에 부합되는 것이었다. 수종별, 처리별 피해엽율의 결과로 보아 pH 2.5처리구의 모든 수종은 비슷한 수준의 피해를 보였고, pH 3.5의 처리구에서는 쥐똥나무, 회화나무, 무궁화, 박태기나무, pH 4.5 처리구에서는 회화나무, 쥐똥나무, 무궁화, 박태기나무의 순으로 피해엽율이 증가하였다.

한편 각 수종의 처리별 피해엽면적(피해반점의 직경과 엽당 피해반점수)을 분석한 결과는 Table 3에 나타나 있다. 피해엽면적(피해반점의 직경과 엽당 피해 반점수) 또한 처리산성연무의 pH값이 작아질수록 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 피해반점의 직경과 엽당 피해반점수는 산성연무의 처리

Table 3. Means of injured spot(diameter in mm, number per leaf)for each species.

Treatment\Date	Jun. 12		Jul. 1		Aug. 1		Sept. 1	
	Injured spot							
	diameter	No/leafs	diameter	No/leafs	diameter	No/leafs	diameter	No/leafs
<i>L. obtusifolium</i>								
control(pH6.5)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	1.25 ^a	5.25 ^a
pH 4.5	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	1.00 ^b	5.25 ^a	1.75 ^a	2.00 ^a
pH 3.5	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.50 ^{ab}	0.33 ^a	1.00 ^a	7.00 ^a
pH 2.5	6.75 ^b	6.67 ^b	5.75 ^b	14.33 ^b	7.00 ^c	25.58 ^b	9.00 ^b	29.00 ^b
F-values	37.07 ^{**}	58.54 ^{**}	52.90 ^{**}	49.75 ^{**}	171.67 ^{**}	262.52 ^{**}	36.41 ^{**}	45.18 ^{**}
<i>C. chinensis</i>								
control(pH6.5)	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00	1.50	3.83 ^a
pH 4.5	0.00	0.00	0.25 ^a	0.50 ^a	2.00 ^b	9.17	2.25	12.58 ^a
pH 3.5	1.00	2.58	1.50 ^a	6.75 ^{ab}	2.00 ^b	10.33	3.00	8.08 ^a
pH 2.5	3.00	1.22	3.00 ^b	16.00 ^b	3.00 ^c	24.78	4.67	32.67 ^b
F-values	2.58 ^{N.S}	2.43 ^{N.S}	5.99 [*]	4.26 [*]	6.36 ^{**}	3.45 ^{N.S}	2.49 ^{N.S}	6.96 ^{**}
<i>H. syriacus</i>								
control(pH6.5)	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00	0.00	0.00	1.00	1.33 ^a
pH 4.5	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00	0.33	0.11	2.30	1.44 ^a
pH 3.5	0.00	0.00	1.33 ^b	8.22	1.67	9.89	1.30	7.22 ^b
pH 2.5	1.00	4.67	1.00 ^b	9.44	4.33	11.78	4.00	24.89 ^c
F-values	3.00 ^{N.S}	3.61 ^{N.S}	4.25 [*]	2.83 ^{N.S}	1.03 ^{N.S}	3.43 ^{N.S}	2.25 ^{N.S}	55.22 ^{**}
<i>S. japonica</i>								
control(pH6.5)	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00	0.00 ^a	0.00 ^a	2.25	2.08
pH 4.5	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00	0.25 ^a	0.17 ^a	1.25	2.92
pH 3.5	0.50	0.83	1.50 ^b	1.58	1.25 ^b	3.00 ^a	1.00	2.42
pH 2.5	0.50	2.00	1.25 ^b	10.08	2.00 ^b	17.00 ^b	0.75	10.25
F-values	2.00 ^{N.S}	2.23 ^{N.S}	5.35 [*]	2.37 ^{N.S}	11.71 ^{**}	7.13 ^{**}	0.86 ^{N.S}	2.99 ^{N.S}

* and ** indicate significances at 5% and 1% level, and NS means not significant at 5% significances level.

Differences in letters in vertical columns indicate significance difference at 5% level for DMRT

가 진행됨에 따라 증가하였으나, 각 수종에 따라서는 감소하는 경우가 있었다. 예를 들면, 회화나무의 pH 2.5 및 3.5처리구에서 피해반점의 직경과 엽당 피해반점수는 8월 1일 측정치보다 9월 1일 측정치가 낮게 나타났다. 이러한 결과는 피해엽율에서와 마찬가지로 피해가 심했던 잎이 조기낙엽되어 측정할 수 없었기 때문에 나타난 결과이다.

3. 엽표면의 친수성

2차중류수 1.0 μ l를 잎의 표면에 떨어뜨려 생기는 물방울의 직경을 광학현미경($\times 40$)을 통해 측정하였다. 수종별 처리별 물방울의 직경을 비교 분석한 결과는 Table 4와 같다. 쥐똥나무, 박태기나무 및 회화나무에서는 표면과 이면에서 물방울의 직경을 측정하였으나, 무궁화는 맥상의 털과 거친 표면특성으로 물방울이 퍼져서 측정할 수 없었다.

쥐똥나무 이면, 박태기나무의 표면, 회화나무의 표면과 이면에서는 처리간 유의차가 인정되었으며, 쥐똥나무의 표면과 박태기나무의 이면에서는 유의차가 인정되지 않았다. 박태기나무와 회화나무의 경우에는 잎의 표면에 왁스층이 발달하고 털이 없어서 물방울 직경의 측정이 비교적 용이하며, 산성연무 처리에 의한 반응으로 처리구에서 물방울의 직경이 대조구에 비하여 크게 나타났다. 이는 산성연무의 처리에 의한 것으로 판단되며, 제한적으로나마 물방울직경을 측정·비교하는 것이 산성연무나 산성우에 의한 활엽수종의 피해를 판단하는 기준으로 이용될 수 있는 가능성을 시사한다.

침엽수에서 접촉각을 측정하여 산성우나 산성연무의 피해를 판단하는 기준(이 등, 1993; 김, 1994)으로 이용하는 것처럼 활엽수종의 잎표면에

물방울을 떨어뜨려 직경을 측정하여 산성우나 산성연무의 피해를 간접적으로 판단하는 것은 매우 힘들다는 것을 알 수 있었다. 이는 회화나무나 박태기나무처럼 표면이 매끈하고 털이 없는 수종에서는 가능하나, 무궁화, 쥐똥나무 등에서는 정확하게 측정할 수가 없는 것으로 판단된다. 활엽수의 잎 표면에 물방울을 떨어뜨려 직경을 측정하는 것은 잎의 표면 특성에 따라 제한적으로 산성우나 산성연무의 피해를 판단하는 기준으로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김갑태. 1994. 人工酸性雨 處理에 따른 針葉의 接觸角 變化. 韓國林學會誌 83(1):32-37.
2. 김갑태. 1991a. 環境汚染에 의한 植生被害 및 復舊對策. 韓國造景學會誌 19(1):136-140.
3. 김갑태. 1989. SO₂에 대한 耐性樹種의 選拔을 위한 基礎研究. II. 人工酸性雨 및 酸性煙霧處理實驗. 韓國林學會誌 78(2):209-217.
4. 김갑태. 1988. SO₂에 대한 耐性樹種의 選拔을 위한 基礎研究. I. 葉組織 實驗. 韓國林學會誌 77(2):223-238.
5. 김갑태. 1987. 人工酸性雨が 處理된 盆植한 은행나무幼苗의 生長과 生理的 特性과의 相關. 韓國大氣保全學會誌 3(1):13-26.
6. 김갑태. 1986. 亞黃酸이 은행나무와 현사시 葉組織에 미치는 影響. 尙志大論文集 7:461-472.
7. 김재봉·김태욱·이경재·박인협·김동한·정연보·오재기·강덕희·박재규·유선현. 1982. 工團地域의 綠地造成 및 回復에 關한 研究. 國立環境研究所. 64 pp.
8. 김정옥. 1983. 대기오염의 지구적인 영향.

Table 4. Mean value of water-drop diameter(mm) measured on September 13 by the levels of pH for each species.

Treatment\Species	L. obtusifolium		C. chinensis		S. japonica	
	abaxial	abaxial	abaxial	abaxial	abaxial	abaxial
control(pH6.5)	44.8	38.9 ^a	33.0 ^a	32.4	33.1 ^a	31.7 ^b
pH 4.5	43.8	42.1 ^{bc}	35.6 ^b	32.4	34.8 ^b	29.2 ^a
pH 3.5	45.0	41.4 ^b	35.4 ^b	32.1	33.6 ^{ab}	32.1 ^{bc}
pH 2.5	44.8	42.9 ^c	36.4 ^b	32.4	34.5 ^b	32.9 ^c
F-values	2.01 ^{N.S}	19.28 ^{**}	14.80 ^{**}	0.52 ^{N.S}	7.47 ^{**}	63.01 ^{**}

* and ** indicate significances at 5% and 1% level, and NS means not significant at 5% significances level.

Differences in letters in vertical columns indicate significance difference at 5% level for DMRT

- 세계환경의 날 세미나 "선진환경을 향한 보전대책"(1983.6.10):49-54. 서울. 국립환경연구소
9. 김준호. 1991b. 環境汚染에 의한 都市林의 衰退徵候. Pages 3-25, 都市, 山林, 環境 심포지움, 1991. 11. 26. 서울시립대학교, 서울.
 10. 박봉규·이인숙·최형선. 1983. 서울시에서의 酸性降雨에 關한 研究. 한국생활과학연구원논문집 32:137-142.
 11. 소창호. 1982. 水稻品種들의 生理技能의 低溫反應特性에 關한 研究. 서울대학교 석사학위논문 60pp.
 12. 이경재·김갑태·이용범. 1993. 酸性雨 및 大氣汚染物質이 森林에 미치는 被害의 早期 判斷에 關한 研究. 과학재단 연구보고서, 205 pp.
 13. 이돈구·김갑태. 1986. 人工酸性雨が 몇 樹種의 種子發芽와 苗木生長에 미치는 影響. 서울대 관악수목원연구보고 7:15-21.
 14. 이돈구·김갑태·신준환·주광영. 1984. 人工酸性雨が 소나무와 잣나무幼苗의 葉綠素含量에 미치는 影響. 서울대 농학연구 9(2):15-19.
 15. 이창근. 1988. 大氣汚染과 酸性雨が 山林生態系에 미치는 影響. 과학기술처 연구보고, 194pp.
 16. 정용문. 1987. 人工酸性雨が 소나무幼苗 및 개나리挿木苗의 生長, 植物體間 含有成分 및 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響. 동국대학교 박사학위논문 70pp.
 17. 한기학. 1973. 亞黃酸가스에 의한 농작물의 피해생리, 감수율 및 피해경감에 관한 연구. 한국농화학회지, 16:146-165.
 18. Binns, W.O. and D.B. Redfern. 1983. Acid rain and forest decline in W. Germany. Forestry Commission Res. Dev. Paper 131, 13pp.
 19. Bubenick, D.V. 1984. Acid Rain Information Book. Niyes Data Corp., N.J., 397pp.
 20. Cole, D.W., and D.W. Johnson. 1977. Atmospheric sulfate additions and cation leaching in a Douglas fir ecosystem. Water Resource Research 13(2):313-317.
 21. EPA. 1980. Acid rain, EPA-600/9-79-036. Washington, D.C. 20460. 34pp.
 22. Evans, L.S. 1984. Botanical aspects of acidic precipitation. Bot. Rev. 50:449-490.
 23. Gumpertz, M.L., D.T. Tingey and W.E. Hogsett. 1982. Precision and accuracy of visual foliar injury assessments. J. Environ. Qual. 11:549-553.
 24. 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.
 25. Kim, G.T. 1987. Effects of Simulated Acid Rain on Growth and Physiological Characteristics of *Ginkgo biloba* L. Seedlings and on Chemical Properties of the Tested Soil. 2. Leaf surface area, visible leaf injury, leaf chlorophyll content and photosynthetic ability of the leaf tissue. J. Korean For. Soc. 76 (3):230-241.
 26. Kudson, L.L., T.W. Tibbitts and G.E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol. 60:606-608.
 27. 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.
 28. 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.
 29. Scholz, F., and S. Reck. 1977. Effect 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.
 30. Smith, W.H. 1990. Air Pollution and Forests. 2nd ed. Springer-Verlag, N.Y., 618pp
 31. Suwannapinunt, W. and T.T. Kozlowski. 1980. Effect of SO₂ on transpiration, chlorophyll content, growth and injury in young seedlings of woody angiosperms. Can. J.

- For. Res. 10:78-83.
32. Todd, G.W. and W.W. Arnold. 1962. An evaluation of methods used to determine injury to plant leaves by air pollutantss. Bot. Gaz. 123:151-154.
33. Umbach, D.M. and D.D. Davis. 1984. Severity and frequency of SO_2 -induced leaf necrosis on seedlings of 57 tree species. Forest Sci. 30:587-596.