

人工酸性雨が 몇 針葉樹種의 種子發芽와 苗木生長에 미치는 影響(1)^{1*}

金 甲 泰²

Effects of Artificial Acid Rain on Seed Germination and Seedling Growth of Several Conifers(1)¹

Gab-Tab² Kim

요 약

인공산성우처리가 몇 침엽수종의 발아와 묘목생장에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 혼합토양을 채운 pot에 5 수종의 종자를 파종하고 황산을 지하수로 묽힌 pH 3.0, 4.0 및 5.0의 인공산성우와 지하수를 주 3회, 매 회 5mm씩 1990년 4월 초순부터 10월 초순까지 처리하였으며, 발아율 및 생장을 측정하여 처리간 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1. 낙엽송과 종비나무는 pH 5.0 처리구에서, 잣나무와 삼나무는 대조구에서, 구상나무는 pH 3.0 처리구에서 각각 발아율 및 득묘율이 가장 높았다.
2. 묘고생장에 있어서 낙엽송에서는 처리간 고도의 통계적 유의성이 인정되었으나, 다른 수종들에서는 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 낙엽송, 구상나무 및 종비나무는 pH 4.0 처리구에서, 잣나무와 삼나무는 pH 5.0 처리구에서 각각 묘고가 가장 크게 나타났다.
3. 개체당 건중량에서 낙엽송과 잣나무에서는 고도의 통계적 유의성이 인정되었으나, 구상나무, 종비나무 및 삼나무에서는 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 낙엽송과 구상나무는 pH 4.0 처리구에서, 잣나무와 삼나무는 pH 3.0 처리구에서, 종비나무는 대조구에서 각각 최대건중량을 보였다.
4. 처리산성우의 pH값이 작아질수록 피해가 나타난 침엽의 수 및 개체수가 증가하는 경향이 뚜렷하였다.
5. 토양산도는 모든 수종에서 처리간 고도의 통계적 유의성이 인정되었다.

ABSTRACT

Artificial acid rain (pH 3.0, 4.0 and 5.0) was treated on the seeds of 5 coniferous species to examine its effects on germination and seedling growth. 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 seeded pots three times per week. About 5mm of artificial acid rain was treated each time from early April to early October, 1990. Germination, seedling establishment and seedling growth were measured and compared among the treatments. The results were summarized as follows;

1. Germination, seedling establishment rate of *Larix leptolepis* and *Picea koraiensis* were highest on the pH 5.0 plot whereas those of *Abies holophylla* and *Cryptomeria japonica* were highest on the control plot, and those of *Abies koreana* showed the highest value on the pH 3.0 plot.

¹ 接受 1991년 4월 15일 Received on April 15, 1991.

² 尚志大學校 農科大學 College of Agriculture, Sangji University, Wonju 220-702, Korea.

* 本 研究는 1990年度 韓國科學財團 基礎研究支援에 의하여 수행되었음.

2. The differences in seedling height growth of *Larix leptolepis* was significant at 1% level among the treatment levels of acid rain, whereas those of other species were not significant. Height of *Larix leptolepis*, *Abies koreana* and *Picea koraiensis* were highest on the pH 4.0 plot, and that of *Abies holophylla* and *Cryptomeria japonica* were highest on the pH 5.0 plot.
3. Seedling dry weight of *Larix leptolepis* and *Abies holophylla* differed significantly at 1% level among the treatments, but those of other species did not differ. Highest seedling dry weight of *Larix leptolepis* and *Abies koreana* were observed on the pH 4.0 plot, and that of *Abies holophylla* and *Cryptomeria japonica* did on the pH 3.0 plot, and that of *Picea koraiensis* did on the control plot.
4. With decrease of pH value of artificial acid rain, the number of injured needle and injured individual tended to be increased, obviously.
5. The differences of soil acidity were highly significant among the treatments for all species.

Key words : Artificial acid rain, seed germination, seedling growth, conifer.

서 론

화석연료의 대량소비를 발생시킨 대기오염물질이 상층기류나 굴뚝을 높임으로 하여 광범위한 지역으로 확산되고 이들이 강수물에 녹아들거나 씻겨 내려 pH 5.65 미만의 높은 산도를 보이는 것을 산성우(acid precipitation 또는 acid rain)라 한다. 우리나라에서도 1960년대 공업화를 시작한 이후 대기오염은 점차 심해져 왔으며, 최근에는 산성우가 보고되는 등으로 대도시와 공단지역 주변에서의 대기오염문제는 커다란 난제로 떠올랐다. 이러한 산성우현상은 광범위한 지역에 걸쳐 영향을 미치며, 주로 산성의 대기오염물질들(SO_x , NO_x , Cl_2 ...)이 강수물에 녹아들어 이온화(SO_4^{--} , NO_3^- , Cl^- ...)하기 때문인 것으로 알려졌다(Cowling & Dochinger, 1987; Galloway 등, 1976), 최근 환경문제의 가장 큰 과제로 등장했다.

우리나라에서도 산성우에 대한 보고가 있었으며(김, 1983, 1985, 1990; 박 등, 1983) 이에 대한 대책의 필요성을 역설하고(김, 1985; 김, 1985), 산성우가 식물생장이나 삼림생태계에 미치는 영향에 관한 연구를 수행한 바가 있다(김 등, 1982; 이와 김, 1986; 정, 1987; 이, 1988; 김, 1988, 1989).

산성우가 생태계에 미치는 영향은 토양과 식생에 양료를 공급한다는 유익한 측면도 있으나(Evans, 1984), 토양산도를 높이고(Kim, 1986; 정, 1987; 이, 1988), 토양의 양료를 용탈

시키며(Johnson 등, 1983; Kim, 1986; 정, 1987; 이, 1988), 식물체로부터의 양료용탈(Cole & Johnson, 1977; Lee & Weber, 1982; Johnson 등, 1983) 및 가지적 피해의 유발(Kim, 1986; 이, 1988), 양료순환체계를 교란시키는 등의 유해한 측면도 보고되었으며, 식물종간 또는 영양계간에 산성우, 산성물질 및 대기오염에 대한 내성차가 있음이 밝혀졌다(김 등, 1982; 김, 1986; Lee & Weber, 1979; Scholz, 1988; Scholz & Reck, 1977; Eckert, 1988; Siewecki & Rachwal, 1988; Oleksyn, 1988).

현재까지의 연구결과로는 산성우가 삼림생태계에 미치는 영향이 복잡하고 작용하는 요인들이 많아 유익하다거나 유해함을 쉽게 결론내리기는 힘들다. 그러나 일반적으로 석회시용 및 비배관리를 하지 못하며 생육기간이 긴 임목에 대하여서는 산성우가 유해하게 작용할 것이라는 설명(Binns & Redfern, 1983; Puckett, 1982; Zedaker 등, 1988)과 함께 선진공업국 등에서 임목의 고사현상 및 생육감소의 원인을 산성우에 의한 것으로 설명하고 있는 점 등을 감안할 때 우리나라에서의 삼림생태계에 미칠 영향도 우려되는 바이다.

본 연구는 주요한 경제수종이며 대기오염에 약하다고 알려진 몇 침엽수종을 대상으로 인위적으로 산도를 조절한 인공산성우를 처리하면서 수종별 종자발아율과 유묘의 생장을 조사, 비교하여 처리산성우의 산도별 종자발아율과 유묘생장을 정확하게 파악함으로써 우리나라의 주요 경제림인 침엽수림이 산성우에 의해 영향받는 것을 어

느정도 추정할 수 있으며, 아울러 그 대책을 수립하는 데 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

-meter로 측정하였다. 측정, 조사된 자료를 통계분석하여 수종 및 처리별로 비교, 검토하였다.

材料 및 方法

결과 및 고찰

1. 공시재료

식물재료는 1989년 가을에 채취하여 기건보관(氣乾保管)하던 낙엽송, 구상나무, 종비나무, 삼나무 등의 5수종의 정선된 종자이며, 정선된 종자를 1990년 3월에 노천매장(露天埋藏)하였다가 1990년 4월 초순에 혼합토양(perlite ; vermiculite ; sand, 1 : 1 : 1, V/V)을 채운 plastic pot(상부직경 15, 하부직경 10, 높이 11 cm)에 각각 파종하고 상지대학 구내의 포장에 천연강우를 차단하기 위해 반투명 plastic판을 씌운 파종상에 배치하여 시험하였다. 공시수종의 종자산지는 Table 1에 보였다.

2. 處理 및 測定方法

파종 당일인 1990년 4월 초순부터 10월 초순까지 주 3회, 1회 5mm 썬의 인공산성우와 대조구로 지하수를 spray하였다. 인공산성우는 황산을 지하수로 묽혀 pH 3.0, 4.0 및 5.0 이 되도록 만들었으며, 대조구로 지하수(pH 6.5)를 이용하였다. 처리산도 4 수준, 5 수종, 3 반복의 난괴법(亂塊法)으로 실험설계하였으며, 각 plot 당 3개씩의 plastic pot을 배치하였다. 각 pot 당 30-50립의 종자를 파종하였다.

수종별로 발아한 개체수 및 잔존묘목수를 발아가 시작된 이후부터 격주로 조사하였으며, 선택된 개체들로부터 엽피해율(피해가 나타난 침엽의 수, 피해가 나타난 개체수 및 고사한 개체수)을 Gumpertz 등(1982)의 방법에 준하여 조사하였다. 묘목생장은 처리가 종료된 10월 중순에 묘목을 굴취하여 묘고 및 건중량을 측정하였다. 분토의 산도는 처리가 진행중인 8월 초순과 처리가 끝난 10월 중순에 각각 토양을 채취하여 pH

1. 수종별 시기별 묘목수

Table 2에 수종별 및 시기별 묘목수(발아개체수)의 평균치와 통계분석의 결과를 보였다. 낙엽송과 삼나무는 전 조사기간을 통해 처리간의 통계적 유의성이 인정되었고, 잣나무는 5월 1일 측정치에서만 유의차가 인정되었으나, 구상나무와 종비나무는 전 조사기간을 통하여 처리간에 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 대체로 모든 수종이 5월 29일과 6월 12일 사이에서 최대발아개체수를 보였다가 감소하는 경향이었다. 삼나무에서는 산성우처리에 의한 발아개체수의 감소가 뚜렷하였으며, 대조구에서 발아 및 득묘율이 가장 높았다. 낙엽송에서는 pH 5.0과 4.0 처리구에서의 발아개체수가 대조구와 pH 3.0 처리구에서 보다 높게 나타나 어느 정도의 산성우는 낙엽송 종자의 발아에 유리하게 작용할 것으로 판단된다. 최대발아개체수는 낙엽송과 종비나무에서는 pH 5.0 처리구에서, 잣나무와 삼나무에서는 대조구에서, 구상나무에서는 pH 3.0 처리구에서 각각 관찰되었다.

이상의 결과와 같이 산성우처리에 의한 발아 및 득묘율이 수종간 상이한 경향으로 나타난 것은 수종간 산성우에 대한 내성차가 있음을 보여주는 것으로 판단되며, 이와 김(1986)이 5개 수종, Lee와 Weber(1979)가 11개 수종의 종자를 파종하고 pH 3.0-5.7 의 산성우를 처리하여 발아율을 조사, 보고한 수종간의 반응차와 같은 경향이며, 김(1986), Scholz & Reck(1977), Eckert(1988), Siwecki & Rachwal(1988), Oleksyn(1988), Scholz(1988) 등이 대기오염과 산성물질에 대한 수종간 및 영양계간의 내성차를 밝힌 결과와도 부합된다. 그러나, 김 등(1982)이

Table 1. Tree species and seed sources tested in this study.

Tree species	Seed sources
<i>Larix leptolepis</i>	Jongseon-gun, Kangwon-do
<i>Abies koreana</i>	Mountain Ode, Kangwon-do
<i>Abies holophylla</i>	Mountain Ode, Kangwon-do
<i>Picea koraiensis</i>	Pyeongchang-gun, Kangwon-do
<i>Cryptomeria japonica</i>	Ulrunng island, Kyeongsangbuk-do

Table 2. Mean values of seedling numbers by the levels of pH for each species.

Tree species	pH value of acid rain	Date											
		May 1	May 15	May 29	Jun. 12	Jun. 28	Jul. 9	Jul. 24	Aug. 7	Aug. 21	Sep. 4	Sep. 18	Oct. 2
<i>Larix leptolepis</i> (50) [*]	Control(6.4)	2.0	21.3ab	23.0a	23.0a	22.0ab	22.0ab	21.3ab	21.0a	21.7a	21.7a	21.3a	
	5.0	9.0	27.7c	30.0b	30.0b	26.7b	28.7c	25.7bc	26.0b	26.0b	27.0b	26.7b	
	4.0	6.7	23.7bc	27.7b	27.0ab	24.3b	25.0bc	27.3c	27.0b	26.3b	26.0b	25.7b	
	3.0	6.7	18.0a	20.3a	21.3a	19.7a	19.7a	20.3a	20.0a	19.3a	19.7a	19.7a	
	F-values	2.71	8.61	7.62	5.35	4.22	6.57	4.95	4.00	6.56	11.7	8.07**	10.2**
<i>Abies koreana</i> (30) [*]	Control(6.4)	2.0	9.0	9.3	9.7	13.0	13.3	13.0	11.7	10.0	10.0	10.0	
	5.0	3.7	8.3	7.0	12.3	11.7	12.0	13.0	11.3	11.0	10.3	10.3	
	4.0	4.0	8.7	12.7	13.7	13.0	13.7	14.7	11.3	10.3	10.3	9.7	
	3.0	4.7	9.0	13.7	16.3	16.7	17.3	18.3	18.7	15.0	14.7	14.0	
	F-values	0.95	0.02	1.20	2.13	0.84	1.30	1.21	1.26	1.25	1.14	1.03	0.96
<i>Abies holophylla</i> (30) [*]	Control(6.4)	8.3b	10.3	10.6	11.0	11.7	11.7	11.7	11.0	11.0	11.0	11.0	
	5.0	4.7ab	8.0	8.7	9.0	9.3	9.3	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	
	4.0	2.3a	5.3	6.0	6.7	6.7	7.0	7.0	6.7	6.7	6.7	6.7	
	3.0	7.0b	9.0	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	
	F-values	4.66*	2.96	2.20	1.84	2.73	2.07	2.12	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16
<i>Picea koraiensis</i> (30) [*]	Control(6.4)	21.0	24.0	24.0	23.3	24.0	23.7	23.3	24.0	23.0	21.7	21.7	
	5.0	21.7	25.7	26.0	26.0	24.0	24.7	24.7	24.0	24.0	23.0	23.0	
	4.0	17.3	22.0	22.0	22.0	21.0	21.0	21.7	21.3	20.3	21.3	20.0	
	3.0	22.3	23.7	24.0	25.0	24.0	25.3	24.3	25.3	25.0	25.0	24.3	
	F-values	0.71	0.35	0.57	1.03	0.88	0.36	0.53	0.57	0.32	0.38	0.38	0.40
<i>Cryptomeria japonica</i> (30) [*]	Control(6.4)	1.3	6.7a	7.3a	7.3a	7.3a	7.3a	7.3a	7.3a	7.3a	7.3a	7.3a	
	5.0	1.7	4.0b	4.0b	4.0b	3.7b	3.7b	3.7b	3.7b	3.7b	3.7b	3.7b	
	4.0	1.3	4.0b	4.0b	4.3b	4.3b	4.3b	4.3b	4.3b	4.3b	4.3b	4.3b	
	3.0	1.7	4.0b	4.5b	5.0b	4.5b	4.5b	4.5b	4.5b	4.5b	4.5b	4.5b	
	F-values	0.08	4.92*	6.73**	5.57*	7.46**	7.46**	7.46**	7.46**	7.46**	7.46**	7.46**	7.46**

^{*} is the number of seeds

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

Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test.

사방오리와 아까시나무의 종자에 pH 2.0, 4.0 및 6.0 의 sulfuric acid 와 수도물을 처리하여 처리용액의 pH값이 작을수록 발아율이 감소했다는 보고와는 상이한 경향이다. 이는 대상수종과 실험방법의 차이에 의한 것으로 보여진다.

지금까지 서울을 중심으로 보고된 강우의 평균 산도(김, 1983, 1985; 박 등, 1983)로만 보아서는 대부분의 수종에서 산성우에 의한 발아 및 득묘율의 감소는 일어나지 않을 것으로 보이나, 산성우가 내리는 대부분의 지역에서 대기오염이 함께 영향하며, 산성우가 토양에 미치는 영향은 누적되어 나타나므로 산성우, 대기오염 및 토양의 변화를 함께 조사하는 장기간에 걸친 연구가 필요하다고 판단된다. 한편 New York의 삼림을 조사하여 대기오염과 산성우에 의한 수종간 내성차로 앞으로 종조성의 변화가 있을 것으로 설명한 Puckett(1982)와 Karnosky(1988)의 보고와

이 실험의 결과로 보아 우리나라에서도 조만간 산성우와 대기오염이 대도시와 공단주변의 삼림 생태계에 심각한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

2. 수종별 목목성장

수종별 묘고, 건중량(지상부, 지하부 및 개체당건중량)과 T-R율의 평균과 분산비 등의 통계 분석 결과를 Table 3에 보였다. 낙엽송에서는 묘고와 건중량에서, 잣나무에서는 건중량과 T-R율에서 각각 처리간 통계적 유의성이 인정되었으나, 구상나무, 종비나무 및 삼나무에서는 성장관련 형질에 대한 처리간 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

묘고의 경우, 낙엽송에서만 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었으며, pH 4.0 처리구에서 6.0cm로 가장 크게 나타났다. 잣나무와 삼

Table 3. Mean values of seedling growth(tree height ; total, top and root dry weight ; T-R ratio) by the levels of pH for each species.

Tree species	pH value of acid rain	Tree height (cm)	Dry weight (mg)			T-R ratio
			top	root	total	
<i>Larix leptolepis</i>	Control(6.4)	5.7a	25.1a	10.5a	35.6a	2.52
	5.0	5.6a	28.7a	17.5ab	46.2a	1.89
	4.0	6.0a	35.8b	24.7b	60.5b	1.66
	3.0	4.7b	26.4a	14.2a	40.7a	1.90
	F-values	5.99**	4.04*	5.15**	5.70**	2.06
<i>Abies koreana</i>	Control(6.4)	2.2	3.8	1.2	4.9	3.91
	5.0	2.4	4.5	1.8	6.2	2.63
	4.0	2.6	5.1	1.7	6.8	3.08
	3.0	2.3	4.8	1.9	6.7	2.68
	F-values	1.64	1.56	2.51	1.90	1.54
<i>Abies holophylla</i>	Control(6.4)	4.2	19.2ab	14.9a	34.1a	1.43a
	5.0	4.7	24.7bc	12.4a	37.2a	2.58a
	4.0	4.2	15.8a	4.2b	19.9a	4.22b
	3.0	4.0	27.0c	18.3a	45.3b	1.56a
	F-values	1.03	4.95*	5.63**	6.78**	6.33**
<i>Picea koraiensis</i>	Control(6.4)	3.0	9.3	3.7	13.0	2.58
	5.0	3.0	8.5	3.3	1.8	2.69
	4.0	3.5	8.7	3.0	11.8	3.09
	3.0	3.5	8.9	3.0	11.9	3.32
	F-values	0.17	0.24	0.77	0.36	1.20
<i>Cryptomeria japonica</i>	Control(6.4)	8.8	91.8	35.1	126.9	2.66
	5.0	9.0	116.4	47.1	163.5	2.60
	4.0	8.6	114.0	48.7	162.6	2.31
	3.0	8.9	111.5	55.1	166.5	2.12
	F-values	0.79	0.12	0.50	0.28	1.29

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

Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test.

나무에서는 pH 5.0 처리구에서, 낙엽송, 구상나무 및 종비나무에서는 pH 4.0 처리구에서 각각 묘고가 가장 크게 나타났다. 이러한 결과는 김등(1982), 이와 김(1986) 및 Lee와 Weber(1979)가 종자를 파종하고 산성우를 처리하여 묘고를 조사, 보고한 것과, Evans(1984)의 작물종에 따른 상이한 성장반응을 설명한 것과 같은 경향으로 산성우처리구 묘고생장에 미치는 영향은 수중에 따라 차이가 심한 것으로 판단된다.

개체당 건중량의 경우, 낙엽송과 젓나무에서는 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었으나, 구상나무, 종비나무 및 삼나무에서는 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 낙엽송과 구상나무는 pH 4.0 처리구에서, 젓나무와 삼나무는 pH 3.0 처리구에서, 종비나무는 대조구에서 각각 최대건

중량을 보였다. 수종간의 이러한 차이는 산성물질에 대한 업조직의 완충능 차이를 밝힌 보고들(김, 1986; Scholz & Reck, 1977) 과도 부합되는 결과라 사료된다. 구상나무, 낙엽송, 젓나무 및 삼나무에서는 대체로 산성우 처리구가 대조구보다 높은 개체당 건중량을 보였으며, 종비나무에서만 대조구가 산성우 처리구보다 높은 개체당 건중량을 보였다. 이러한 결과는 이와 김(1986)이 5개 수종, Lee와 Weber(1979)가 11개 수종의 종자를 파종하고 산성우를 처리하여 성장량을 조사, 보고한 수종간의 성장반응차와 같은 경향이며, 김(1986), Scholz & Reck(1977), Eckert(1988), Siwecki & Rachwal(1988), Oleksyn(1988), Scholz (1988) 등의 대기오염과 산성물질에 대한 수종간 및 영양계간의 내성차를 밝힌

보고 들과, 김 등(1982)이 5종의 식물체의 종자에 pH 2.0, 4.0 및 6.0 의 sulfuric acid 와 수 도물을 처리하여 식물종에 따른 상이한 성장반응을 밝힌 보고와도 부합되는 것이라 판단된다.

이와 같이 짧은 기간 동안의 산성우 처리시험에서는 극단적으로 낮은 pH의 산성우가 아니면 Evans(1984)의 설명처럼 산성우 중의 sulfate나 nitrate 등이 양료로서의 효과가 해작용보다 크게 작용하여, 대체로 생장에 좋은 영향을 미칠 것으로 생각한다. 그러나 장기간에 걸쳐 산성우와 대기오염에 노출된 임목의 성장감소에 대한 보고들(김, 1990; Binns & Redfern, 1983; McLaughlin 등, 1983; Puckett, 1982; Zadaker, 1988)을 볼 때, 산성우가 임목생장에 미치는 영향을 쉽게 결론내리기는 매우 어려우며 장기간에 걸친 야외실험이 절실히 필요하다고 판단된다.

3. 엽피해율

엽피해율은 피해가 나타난 침엽의 수와 피해엽이 나타난 개체수로 나타내었으며, 고사한 개체수도 함께 조사하였다. 가시적 엽피해는 9월 하순경부터 나타나기 시작했으며, 그 이전에는 일부 산성우처리구에서 침엽이 꼬부라지거나 뒤틀

리는 등으로 기형의 침엽이 나타났으나, 정량화시킬 수가 없었다. 최대발아개체수를 보인 6월 초순 이후부터 묘목의 근원부가 약해지면서 고사하는 개체가 나타났으나, 그 원인이 산성우처리에 의한 것이라고 보기는 어려웠다. Table 4 에 피해가 나타난 침엽의 수, 피해엽이 나타난 개체수 및 고사한 개체수의 평균을 보였다. 대체로 처리산성우의 pH값이 작아질수록 피해가 나타난 침엽의 수와 피해엽이 나타난 개체수는 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 그러나 고사한 개체수의 경우는 일정한 경향이 없었다. 첫나무에서 엽피해율이 가장 낮았으며, 낙엽송, 삼나무 및 종키나무에서는 엽피해율이 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 Kim(1986)이 pH 2.0-5.0 의 인공산성우를 은행나무에 처리하여 보고한 것보다는 월등히 낮았다. 이는 본 실험의 대상수종들과 은행나무와의 잎의 형태나 표피구조가 다르고 실험조건이 차이가 있기에 나타난 것이라 여겨진다.

4. 토양산도

8월 9일과 10월 20일에 채취된 토양산도의 평균치와 통계분석의 결과를 Table 5에 보였다.

Table 4. Mean values of the number of injured needle, injured individual, and dead individual measured on October 18, 1990.

Tree species	No. of Injured needle (injured individual/dead individual)			
	0.0(0.0/1.7)	0.0(0.0/2.0)	0.0(0.0/5.0)	1.3(1.3/4.7)
<i>Larix leptolepis</i>	0.0(0.0/1.7)	0.0(0.0/3.0)	1.3(1.3/3.0)	2.3(2.3/4.3)
<i>Abies koreana</i>	0.0(0.0/3.3)	0.0(0.0/2.0)	0.0(0.0/5.0)	1.3(1.3/4.7)
<i>Abies holophylla</i>	0.0(0.0/0.7)	0.0(0.0/0.3)	0.0(0.0/0.3)	0.0(0.0/0.3)
<i>Picea koraiensis</i>	0.0 (0.0/2.3)	0.0(0.0/3.3)	2.0(1.3/2.0)	6.0(2.3/2.3)
<i>Cryptomeria japonica</i>	0.0 (0.0/0.0)	1.0(1.0/0.3)	1.0(1.0/0.0)	1.0(1.0/0.5)

Table 5. Mean values of soil pH measured on August 9 and October 20, 1990 by the levels of pH for each species.

pH value of acid rain	Tree species									
	<i>Larix leptolepis</i>		<i>Abies koreana</i>		<i>Abies holophylla</i>		<i>Picea koraiensis</i>		<i>Cryptomeria japonica</i>	
	Aug. 9	Oct. 20	Aug. 9	Oct. 20	Aug. 9	Oct. 20	Aug. 9	Oct. 20	Aug. 9	Oct. 20
Before treatment	7.47		7.47		7.47		7.47		7.47	
After treatment										
Control (6.4)	7.44a	7.49a	7.51a	7.59a	7.47a	7.49a	7.51a	7.53a	7.63a	7.72 a
5.0	7.26b	7.23b	7.38b	7.34b	7.32b	7.25b	7.35b	7.27b	7.40b	7.27 b
4.0	6.95c	6.89c	7.10c	6.98c	7.04c	7.00c	7.06c	6.88c	7.03c	6.92 c
3.0	6.77d	6.69d	6.90d	6.80d	6.98d	6.88d	6.92d	6.79d	6.70d	6.46 d

Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test.

Table 6. Relative resistance of tree species to artificial acid rain.

Tree species	Germination rate	Seedling height	Dry weight	Needle injury	Change of soil pH
<i>Larix leptolepis</i>	I	I	T	T	S
<i>Abies koreana</i>	T	T	T	I	I
<i>Abies holophylla</i>	S	S	T	T	T
<i>Picea koraiensis</i>	T	T	S	S	I
<i>Cryptomeria japonica</i>	S	S	T	S	S

T ; tolerant, I ; intermediate, S ; susceptible.

모든 수종과 측정시기에서 처리산성우의 pH수준 간에 통계적 유의성이 인정되었으며, 그 경향도 뚜렷이 나타났다. 그러나 대체로 산성우처리에 따른 토양 pH의 감소는 Kim(1986)과 정(1987)의 보고들에 비하여 훨씬 작았다. 이러한 결과는 민과 이(1990)의 산성우에 의한 토양pH의 변화는 토양조건에 따라 다르며 염기포화도(鹽基飽和度, C.E.C.)가 클수록 완충능이 크다고 설명한 것처럼 공시토양이 vermiculite, perlite 등으로 상당히 염기포화도(鹽基飽和度, C.E.C.)가 컸기 때문에 토양산도의 변화가 작았던 것으로 판단된다. 수종별로는 삼나무에서는 토양산도의 변화폭이 크고, 잣나무에서는 토양산도의 변화폭이 비교적 작은 것으로 나타났다. 이는 수종별로 묘목의 크기도 다르고 양료이용의 pattern도 다르기 때문이라 여겨진다.

5. 산성우처리에 대한 수종별 내성비교

산성우처리에 대한 반응을 발아율, 묘고생장, 개체당건중량, 침엽의 피해율 및 토양산도의 변화 등의 항목별로, 감수성(S ; susceptible), 중용성(I ; intermediate) 및 내성(T ; tolerant)의 3 수준으로 나누어 수종별로 상대적인 내성의 크기를 종합하여 비교하였다(Table 6). 구상나무는 발아율, 묘고생장 및 개체당건중량 등의 항목에서는 상대적으로 내성이 강한 것으로, 침엽의 피해율 및 토양산도의 변화 등의 항목에서는 내성이 중간인 것으로 나타났으며, 잣나무는 발아율 및 묘고생장에 있어서는 감수성이며, 개체당건중량, 침엽의 피해율 및 토양산도의 변화 등의 항목에서는 내성강한 것으로 나타나 상대적으로 산성우에 대한 내성이 강할 것으로 판단된다. 한

편 삼나무는 개체당건중량을 제외한 모든 항목에서는 감수성인 것으로 나타나 상대적으로 산성우에 대한 내성이 가장 약한 것으로 판단된다. 조사항목에 따라서 수종별로 상이한 반응을 보였으나 종합적으로 판단할 때, 구상나무와 잣나무가 상대적으로 산성우에 대한 내성이 크고, 종비나무, 낙엽송의 순으로 산성우에 대한 내성이 작아지며, 삼나무가 산성우에 대한 내성이 가장 약한 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

1. Binns, W.O. and D.B. Refern, 1983. Acid rain and forest decline in West Germany. Forestry Commission Res. Dev. Papet 131. 13pp.
2. Bubenick, D.V. 1984. Acid Rain Information Book. Noyes Data Corp., N.J., 397pp.
3. 정용문. 1987. 인공산성우가 소나무묘목 및 개나리삼목묘의 생장, 식물체내 함유성 성분 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 동국대 박사학위논문. 70pp.
4. Cole, D.W. and D.W. Johnson. 1977. Atmospheric sulfate additions and cation leaching in a Douglas fir ecosystem. Water Resource Research13(2) : 313-317.
5. 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.
6. 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 on forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.
7. Evans, L.S. 1984. Botanical aspects of acid precipitation. Bot. Rev. 50 : 449-490.
 8. Galloway, J.N., G.E. Likens and E.S. Edger-ton. 1976. Acid precipitation in the United States ; pH and acidity. Science 194 : 722-724.
 9. 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.
 10. 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.
 11. Karnosky, D.F. 1988. Air pollution induced population change in North American forests. Pages 315-318 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.
 12. 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.
 13. 김갑태. 1986. 아황산이 은행나무와 현사시의 엽조직에 미치는 영향. 상지대 논문집 7 : 461-471.
 14. 김갑태. 1988. SO₂에 대한 내성수종의 선발의 기초연구. 1. 엽조직실험. 한국임학회지 77(2) : 223-238.
 15. 김갑태. 1989. SO₂에 대한 내성수종의 선발을 위한 기초연구. 2. 인공산성우 및 산성 연무 처리시험. 한국임학회지 77(2) : 223-238.
 16. 김재봉·김태욱·이경재·박인협·김동한, 정연보. 1982. 공단지역의 녹지조성 및 회복에 관한 연구. 국립환경연구소. 64pp.
 17. 김정옥. 1983. 대기오염의 지구적인 영향. Pages 49-54., "선진환경을 향한 보전대책" 세계환경의 날 기념 세미나, 1983. 6. 4. 국립환경연구소, 서울.
 18. 김준호. 1985. 산성비의 실태와 인간생활에 미치는 영향. 자연보존 49 : 19-23.
 19. 김준호. 1990. 환경오염에 대처하는 자연생태계 보전전략. Pages 93-118., "쾌적한 환경창조를 위한 생태계의 보전" 제 18 회 세계환경의 날 기념 심포지움, 1990. 6. 4. 국립환경연구원, 서울. 189pp.
 20. 김태욱. 1985. 대기오염과 농림업. 한국환경농학회지 4 : 57-64.
 21. 이창근. 1988. 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향. 과학기술처 연구보고서. 194 pp.
 22. 이돈구·김갑태. 1986. 인공산성우가 몇 수종의 종자발아와 묘목생장에 미치는 영향. 서울대 관악수목원연구보고 7 : 15-21.
 23. 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.
 24. 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.
 25. 민일식·이수옥. 1990. 인공산성우가 산림토양의 완충능에 미치는 영향. 한국임학회지 79(4) : 376-387.
 26. 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.
 27. 박봉규·이인숙·최형선. 1983. 서울시에서의 산성우강하에 관한 연구. 한국생물과학 연구원 논총 32 : 137-142.
 28. Puckett, L.J. 1982. Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York. J. Environ. Qual. 11 : 376-381.
 29. 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 Specialists in Air

- Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO. Switzerland.
30. Scholz, F. and S. Reck. 1977. Effects of acids on forest trees as measured by titration in Vitro, inheritance of bufferring capacity in *Picea abies*. *Water, Air and Soil Pollution* 8 : 41-45.
 31. Siwecki, R. and L. Rachwal. 1988. Selection and conservation of 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.
 32. Zedaker, S.M., Nicholas, N.S. and C. Eagar. 1988. Assessment of forest decline in the Southern Appalanchian 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.