

人工酸性雨が 몇 樹種의 種子發芽와 苗木生長에 미치는 影響

李 敦 求 · 金 甲 泰

(서울대학교 農科大學 林學科)

Effects of Artificial Acid Rain on Seed Germination and Seedling Growth of Several Woody Species

Don Koo Lee and Gab Tae Kim

(Dept. of Forestry, Coll. of Agri., Seoul Nat'l Univ.)

Summary

Artificial acid rain (pH 2, 3, 4, and 5) was treated on the seeds of six woody species to examine its effects on germination and seedling growth. Artificial acid rain was prepared by diluting sulfuric acid and nitric acid ($H_2SO_4 : HNO_3 = 3 : 1$, v/v) with water and water (pH 6.4) was also used as control. Acid rain was sprayed to seeded pots three times per week. About 5mm of acid rain was treated each time from April 12th to August 19th, 1986. Germination, seedling establishment and seedling growth were measured and compared among the treatments. The results were summarized as follows:

1. No germination was observed from the pots treated with pH 2.0.
2. Germination and seedling establishment rate of *Ilex crenata* were the highest from the pot treated with pH 3.0 whereas those of *Schizandra nigra* the best from the pot treated with pH 4.0. The pH 5.0 treatment showed the highest value in other species.
3. *Ilex crenata*, *Magnolia sieboldii*, *Amorpha fruticosa* and *Diospyros lotus* appeared less sensitive in seed germination and seedling establishment when acid rain (pH 3.0 or higher) was treated, whereas *Magnolia kobus* was more sensitive.
4. The differences in seedling height growth of *Magnolia sieboldii*, *Ilex crenata* and *Diospyros lotus* were significant at the 1% level among the treatment levels of acid rain, whereas those in *Magnolia kobus* and *Amorpha fruticosa* were not significant.
5. Seedling dry weights of *Magnolia sieboldii* differed significantly at the 1% level among the treatment and those of *Magnolia kobus* and *Amorpha fruticosa* at the 5% level. However, those of *Ilex crenata* and *Diospyros lotus* did not at the 5% level.
6. Significant differences in top dry weight of *Magnolia kobus*, in root dry weight of *Magnolia sieboldii*, and in both top and root dry weights of *Amorpha fruticosa* were found among the treatment levels of acid rain.

緒 論

많은 大氣中の CO_2 가 降水物에 溶解될 때 나타나는 pH 5.65 미만의 높은 酸度를 띠는 降雨을 酸性雨(acid precipitation 또는 acid rain)라 하며,²²⁾ 이러한 現象은 주로 酸性의 大氣汚染物質들이 降水物에 녹아들어

SO_4^{--} , NO_3^- , Cl^- 등으로 이온화하기 때문인 것으로 알려졌으며,^{4,7)} 最近 環境問題의 가장 큰 課題로 등장하고 있다. 우리나라에서도 酸性降雨現象에 對한 報告^{12,20)}가 있었으며, 이에 對한 對策의 必要性을 力說하고 있다.^{11,13)}

酸性雨が 生態系에 미치는 影響은 土壤과 植生에 養料을 供給한다는 有益한 側面도 있으나⁸⁾, 土壤酸度를

높이고, ¹⁷⁾ 土壤養料를 溶脫시키며, ^{5,8)} 植物體로부터의 養料溶脫^{3,15)} 및 可視의 被害誘發,¹⁴⁾ 植物體와 土壤사이의 養料循環體系를 攪亂시키는^{2,10)} 有害한 側面도 報告되었으며, 植物種間 또는 營養系間에 酸性雨나 酸性物質에 對한 耐性差가 있음이 밝혀졌다. ^{9,10,16,23)} 現在까지의 研究結果로는 酸性雨が 森林生態에 미치는 影響이 複雜하고 作用하는 要因들이 많아 有益하다거나 또는 有害함을 쉽게 結論내리기는 힘들다. 그러나, 一般의 으로 石灰施用 및 肥培管理를 하지 못하며 生育期間이 긴 林木에 대하여는 酸性雨が 有害하게 作用할 것이라는 說明^{1,21)}과 함께, 先進工業國들에서의 林木의 枯死 現象 및 生育減少의 原因을 酸性雨에 依한 것으로 說明하고 있는 점 등을 감안할 때, 酸性雨が 우리나라의 森林生態系에 미칠 影響도 우려가 된다.

本 研究의 目的은 몇 樹種의 種子를 砂質土壤에 播種하고 黃酸과 窒酸을 수도물로 溶하여서 만든 人工酸性雨(pH 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0)와 수도물(pH 6.4)을 4 월부터 8 월까지 處理하면서 樹種間 및 處理酸性雨間의 發芽狀態와 苗木生長을 調査, 比較하는 것이다.

材料 및 方法

1. 供試材料

本 試驗에 利用한 材料는 1985年 가을에 採取되어 氣 乾保管되었다가 1986年 초봄에 서울大學校 七寶苗圃場에서 濕積處理한 목련, 함박꽃나무, 팽팍나무, 오미자, 죽제비싸리 및 고욤나무 등의 6樹種의 種子 中에서 각각 50, 50, 60, 50, 100 및 50粒의 精選種子이다. 이

들 種子를 1986年 4月 12日 砂質土壤을 채운 plastic pot (上部直徑 23cm, 下部直徑 16cm, 높이 17cm)에 각각 播種하고, 서울大學校 農科大學 林學科 苗圃場의 반투명 plastic板을 씌운 삼목상에 配置하여 試驗하였으며, 供試土壤의 主要 理·化學的 性質은 Table 1에 보인다.

2. 處理 및 測定方法

1) 人工酸性雨處理

播種當日인 1986年 4月 12일부터 1986年 8月 19日까지 週 3回 每回 5mm의 人工酸性雨를 plastic 물뿌리개를 利用하여 3分 정도 處理하였다. 人工酸性雨는 진한 黃酸과 窒酸을 혼합하고(H₂SO₄ : HNO₃=3 : 1, V/V) 수도물로 溶혀 pH 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0이 되도록 만들었으며, 對照區로 수도물(pH 6.4)을 使用하였다. 處理한 酸性雨의 主要成分은 Table 2에 보인다.

2) 發芽率 및 苗木生長 調査

發芽한 個體數 및 殘存苗木數를 5月 27일부터 2週 간격으로 調査했으며, 苗木의 生長은 8月 21日 굴취하여 苗高 및 個體當 乾重量을 測定하였다.

結果 및 考察

1. 發芽 및 得苗率

播種後 45日째인 5月 27일부터 表土 밖으로 자라나는 個體數를 2週마다 調査한 結果가 Table 3에 보인다. 모든 樹種에서 pH 2.0의 酸性雨處理에서는 發芽된 個體가 전혀 없었으며, 다른 處理에서도 個體數가 減少되었다. 이는 酸性雨處理에 依한 種子의 被害와 發芽

Table 1. The physical and chemical properties of the soil used in this study

Soil particle(%)	Texture	pH (H ₂ O 1:1)	Loss on ign- ition (%)	C.E.C (me/ 100g)	Exchangeable cation (me/100g)				Base satur- ation (%)	Exch. Al (me/ 100g)	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	SO ₄ -S (ppm)	NO ₃ -N (ppm)
					Ca ⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺					
sand: silt: clay	SL	5.75	0.94	3.29	1.51	0.26	0.06	0.21	62.01	0.22	8.09	14.61	3.50

Table 2. Major cation and anion concentrations of artificial acid rain treated in this study.

Treatment	Electric conducti- vity (mS/cm)	Major cation (ppm)					Major anion (ppm)			
		Ca	Mg	K	Na	Al	P ₂ O ₅	SO ₄ -S	NO ₃ -N	
Control (pH 6.4)	.19	27.11	5.01	1.61	12.24	3.27	.23	21.15	4.10	
Artificial acid rain pH 5.0	.42	30.06	4.77	2.00	9.40	3.34	.58	33.64	9.22	
Artificial acid rain pH 4.0	.56	30.08	4.76	2.00	10.85	3.37	.64	46.90	11.91	
Artificial acid rain pH 3.0	.85	31.07	5.02	1.97	12.83	3.46	.14	117.53	16.31	
Artificial acid rain pH 2.0	24.50	39.98	5.28	2.15	8.76	4.05	.04	1,135.66	327.00	

Table 3. Number of germinated and established seedlings for each treatment

Tree species	Treatment	Date							Seedling establishment rate (%)
		May 27	Jun. 10	Jun. 26	Jul. 10	Jul. 24	Aug. 9	Aug. 21	
<i>Magnolia kobus</i> (50)*	Control	—	—	6	14	13	13	13	26
	pH 5.0	—	—	9	16	18	17	17	34
	pH 4.0	—	4	9	12	12	13	13	26
	pH 3.0	—	1	3	6	6	6	6	12
	pH 2.0	—	—	—	—	—	—	0	0
<i>Magnolia sieboldii</i> (50)	Control	3	47	47	47	47	46	47	94
	pH 5.0	14	48	48	48	48	47	47	94
	pH 4.0	13	43	42	43	43	45	45	90
	pH 3.0	5	45	44	46	46	44	44	88
	pH 2.0	—	—	—	—	—	—	0	0
<i>Ilex crenata</i> (60)	Control	—	—	3	12	19	21	21	35
	pH 5.0	—	—	7	11	27	31	31	52
	pH 4.0	—	—	5	9	16	20	26	47
	pH 3.0	—	—	12	25	32	32	33	55
	pH 2.0	—	—	—	—	—	—	0	0
<i>Schizandra nigra</i> (50)	Control	—	—	—	—	—	—	0	0
	pH 5.0	—	—	—	—	—	1	1	2
	pH 4.0	—	1	1	1	1	3	3	6
	pH 3.0	—	—	1	1	1	1	1	2
	pH 2.0	—	—	—	—	—	—	0	0
<i>Amorpha fruticosa</i> (100)	Control	41	43	43	43	43	43	43	43
	pH 5.0	41	44	44	44	45	45	44	44
	pH 4.0	35	33	32	32	32	31	31	31
	pH 3.0	39	40	38	37	38	37	37	37
	pH 2.0	—	—	—	—	—	—	0	0
<i>Diospyros lotus</i> (50)	Control	39	45	45	45	45	43	44	88
	pH 5.0	47	48	49	49	49	48	49	98
	pH 4.0	44	46	45	45	45	45	45	90
	pH 3.0	43	43	41	42	36	40	38	86
	pH 2.0	—	—	—	—	—	—	0	0

*Numbers in parenthesis indicate the number of seeds used in the experiment.

된 個體의 枯死에 依한 것이라 생각된다. 함박꽃나무, 죽제비싸리 및 고욤나무 등 세 樹種은 pH 5.0의 酸性雨處理에서 發芽 및 得苗率이 가장 높으며, pH 3.0까지의 酸性雨處理에 의한 發芽 및 得苗率의 減少는 그렇게 크지 않은 것으로 나타났다. 목련의 경우에는 pH 5.0處理에서 發芽 및 得苗率이 가장 높았으며, 處理酸性雨의 酸도가 강해짐에 따라 得苗率이 減少하는 傾向

이었으며, 팽팽나무에서는 대체로 處理酸性雨의 酸도가 강해짐에 따라 오히려 發芽 및 得苗率이 높아지는 傾向으로 나타났다. 한편 오미자는 전체적으로 發芽率이 대단히 낮아 pH 4.0處理에서 가장 높은 發芽率인 6%이었으며, 對照區에서는 發芽한 個體가 없었다.

이상의 結果와 같이 酸性雨處理에 의한 發芽 및 得苗率이 樹種間 相異한 傾向으로 나타난 것은 樹種間

酸性雨에 對한 耐性差가 있음을 보여주는 것으로 판단되며, Lee와 Weber¹⁶⁾가 11개 樹種의 種子를 播種하고 pH3.0~5.7의 酸性雨를 處理하여 發芽率을 調査·報告한 樹種間의 反應差와 같은 傾向이며, 金⁹⁾, Scholz와 Reck²³⁾ 등의 酸性物質에 對한 樹種間 및 營養系間의 耐性差를 밝힌 結果와도 符合되는 結果이다. 그러나 金¹⁰⁾의 사방오리와 아까시나무의 種子에 pH 2, 4 및 6의 sulfuric acid와 수도물을 處理하여 器內發芽試驗한 結果, 處理한 溶液의 pH값이 작을수록 發芽率이 減少했다는 報告와는 다른 傾向이다. 이는 對象樹種과 實驗方法上의 差異에 의한 것으로 보여진다.

지금까지 서울을 중심으로 報告된 降雨의 平均酸度^{12, 20)}로만 보아서는 대부분의 樹種에서 오히려 發芽 및 得 苗率이 높아질 것으로 보이나, 酸性雨가 내리는 地域에서는 大氣汚染이 또한 영향하므로, 酸性雨와 大氣汚染을 함께 處理하는 研究가 必要하다고 판단된다. 한편 New York의 森林을 調査하여 大氣汚染과 酸性雨에 의한 樹種間 耐性差로 앞으로 種組成의 變化가 있을 것으로 說明한 Puckett²¹⁾의 報告와 本 實驗結果로 보아, 우리나라에서도 酸性雨와 大氣汚染이 조만간 大都市周邊과 工團地域의 森林生態에 影響을 미칠 것으로 생각 된다.

2. 苗木生長

各 樹種別 處理間의 苗高, 地上部 및 地下部 乾重量, 및 T-R率의 平均과 分散比 그리고 最少有意差를 Table 4에 보였다. pH 2.0處理에서는 全樹種에서 發芽된 個體가 없었으며, 오미자의 경우 資料가 不足하여 統計處理에서 除外시켰다.

苗高의 경우, 함박꽃나무, 팽팽나무 및 고욤나무에서는 處理間 1% 有意水準에서 統計的 有意성이 認定되었으나, 목련과 족제비싸리에서는 處理間 有意성이 認定되지 않았다. 목련, 함박꽃나무 및 족제비싸리에

서는 pH 3.0處理에서 苗高가 最大였으며, 대체로 處理 酸性雨의 값이 낮을수록 苗高生長이 좋아지는 傾向이 있었으며, 팽팽나무와 고욤나무는 pH 5.0 處理에서 苗高가 最大值를 보였다(Figure 1). 이러한 結果는 金¹⁰⁾이 몇 種의 植物體에서 밝힌 것과, Evans⁶⁾의 作物種에 따른 相異한 反應을 說明한 것과 같은 傾向으로 酸性雨處理가 苗高生長에 미치는 影響은 樹種間의 差異가 있을 것으로 판단된다.

個體當 乾重量의 경우, 목련과 족제비싸리는 處理間 5% 有意水準에서, 함박꽃나무는 處理間 1% 有意水準에서, 각각 統計的 有意성이 認定되었으며, 팽팽나무와 고욤나무에서는 處理間 有意성이 認定되지 않았다. 한편 목련은 地上部 乾重量에서 5% 有意水準에서, 함박꽃나무는 地上部 乾重量에서 1% 有意水準에서, 족제비싸리는 地上部와 地下部 乾重量에서 5% 有意水準에서 각각 統計的 有意성이 認定되는 등, 樹種에 따라 酸性雨處理의 影響이 서로 다른 部位에서 나타났다(Table 3). 목련과 고욤나무는 pH 4.0處理에서, 함박꽃나무는 pH 5.0處理에서, 팽팽나무와 족제비싸리는 pH 3.0處理에서 각각 最大의 個體當 乾重量을 보였으며(Figure 2), 이는 酸性雨處理가 苗木生長에 미치는 影響이 樹種別로 相異하기 때문으로 보인다. 특히 족제비싸리의 경우 處理酸性雨의 pH값이 낮을수록 地上部 및 地下部 乾重量이 增加한 것으로 나타나 酸性雨에 對한 耐性이 가장 큰 것으로 나타났다. 樹種間의 이러한 差異는 酸性物質에 對한 葉組織의 緩衝能 差異를 밝힌 報告들^{9, 23)}과도 符合되는 結果로 보여진다. 對照區와 比較할 때, pH 4.0 이상의 酸性雨處理에서 대체로 生長이 좋아지는 傾向으로 나타났으며, 이러한 傾向은 Lee와 Weber¹⁶⁾가 11개 樹種의 種子에 pH 3.0~5.7의 酸性雨를 處理하여, 대부분의 樹種에서 處理 酸性雨의 pH값이 낮을수록 生長이 증가했으며, 일부 樹種에서만 pH 4.0미만의 酸性雨處理에서 生長이 減少했

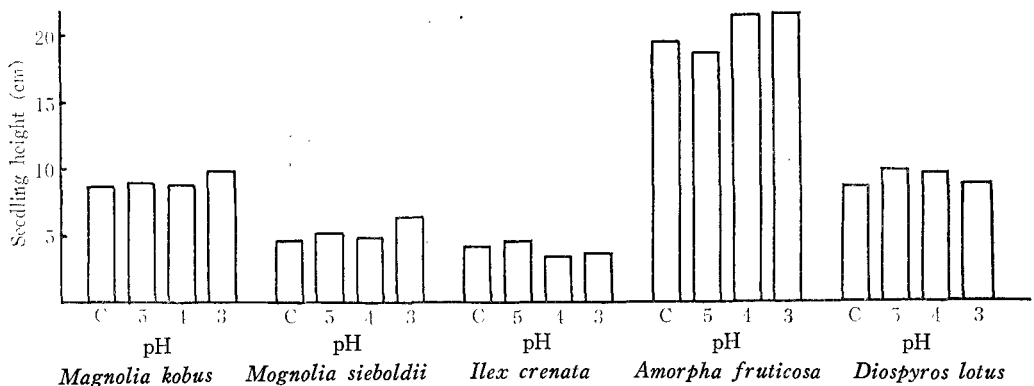


Fig. 1. Seedling height growth between the pH levels of acid rain for each species(c : control)

Table 4. Seedling height and dry weight per tree of 6 tree species for each treatment

Tree species	Growth variables		Treatment				F-value	LSD _{0.05}
			Control	pH 5.0	pH 4.0	pH 3.0		
<i>Magnolia kobus</i> (50) ^a	Seedling	height(cm)	8.56	8.79	8.70	9.83	.28	NS
	Dry weight(mg)	total	401	477	580	512	3.99*	170
		top	278	326	395	345	4.06*	110
		root	123	151	185	167	2.23	NS
	T-R ratio		2.33	2.23	2.18	2.07	.20	NS
<i>Magnolia sieboldii</i> (50)	Seedling	height	4.62	5.22	4.90	6.35	11.43**	.63
	Dry weight(mg)	total	169	216	189	182	7.02**	20
		top	95	117	111	113	3.12	NS
		root	75	100	79	69	7.36**	10
	T-R ratio		1.28	1.17	1.41	1.65	3.58	NS
<i>Ilex crenata</i> (60)	Seedling	height	4.18	4.54	3.50	3.78	9.62**	.41
	Dry weight(mg)	total	28	37	29	40	1.96	NS
		top	21	27	21	30	2.96	NS
		root	7	10	9	10	.53	NS
	T-R ratio		2.92	2.81	3.07	3.06	.60	NS
<i>Schizandra nigra</i> (50)	Seedling	height	—	3.5	6.9	2.5	—	—
	Dry weight(mg)	total	—	85	151	51	—	—
		top	—	60	113	39	—	—
		root	—	25	38	12	—	—
	T-R ratio		—	2.40	2.97	3.25	—	—
<i>Amorpha fruticosa</i> (100)	Seedling	height	19.32	18.51	21.45	21.56	1.58	NS
	Dry weight(mg)	total	262	336	445	491	5.06*	140
		top	186	231	319	356	4.22*	120
		root	77	105	126	135	5.97*	30
	T-R ratio		2.43	2.22	2.54	2.61	.59	NS
<i>Diospyros lotus</i> (50)	Seedling	height	8.67	9.80	9.69	8.70	5.36**	.75
	Dry weight(mg)	total	394	449	482	413	1.10	NS
		top	227	273	263	249	.70	NS
		root	167	176	219	164	2.40	NS
	T-R ratio		1.36	1.58	1.21	1.51	2.30	NS

^a Number in parenthesis indicate the number of seeds used in the experiment

*and **indicate significance at the 5% and 1% level, respectively, and NS does non-significance at the 5% level.

음을 밝힌 것과 金等¹⁰⁾이 pH 2, 4 및 6 그리고 수도물을 5種의 植物體에 處理하여 植物種에 따른 相異한 生長反應을 밝힌 것과 類似한 結果이다. 이와 같이 짧은 期間동안의 酸性雨 處理試驗에서는 극단적으로 낮은 pH의 酸性雨が 아니면 酸性雨中의 sulfate나 nitrate가 養料로서의 效果가 害作用보다 크게 作用하여, 대체로

生長에 좋은 影響을 미칠 것으로 생각된다. 그러나 장기간에 걸쳐 酸性雨와 大氣汚染에 노출된 林木의 生長減少에 대한 報告들^{1,18,21)}을 볼 때, 酸性雨が 林木生長에 미치는 影響을 쉽게 結論내리기는 매우 어려우며 長期間에 걸친 野外實驗 및 研究가 必要하다고 판단된다.

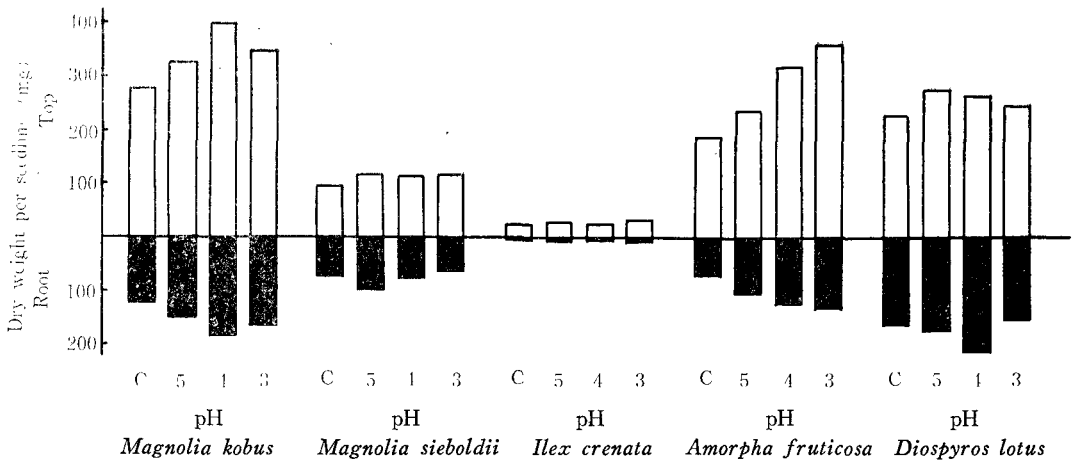


Fig. 2. Seedling dry weight between the pH levels of acid rain for each species(c : control).

摘 要

引 用 文 獻

人工酸性雨處理가 몇 樹種의 發芽와 生長에 미치는 影響을 알아보고자, 사질토양을 채운 pot에 6 樹種의 種子를 播種하고, 黃酸과 空酸을 3:1(v/v)로 混合하여 수도물로 푼 pH 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0의 人工酸性雨와 對照區로 수도물을 週 3회, 每回 5mm씩 1986年 4月 12일부터 8月 19일까지 處理하였으며, 發芽率 및 生長을 測定하여 處理間 比較한 結果는 다음과 같다.

- 모든 樹種에서 pH 2.0 處理에서는 發芽되지 않았다.
- 광광나무는 pH 3.0 處理에서, 오미자는 pH 4.0 處理에서, 목련, 함박꽃나무, 죽제비싸리 및 고욤나무는 pH 5.0 處理에서 發芽率 및 得苗率이 가장 높았다.
- pH 3.0 보다 酸性雨가 發芽에 미치는 影響을 볼 때, 목련에는 보다 크게 影響하나, 광광나무, 죽제비싸리 및 고욤나무에는 크게 影響하지 않는 것으로 나타났다.
- 苗高生長에 있어서 함박꽃나무, 광광나무 및 고욤나무에서는 處理間 高度의 有意性이 認定되었으나, 목련과 죽제비싸리에서는 有意性이 認定되지 않았다.
- 個體當 乾重量에 있어서 함박꽃나무는 1% 有意水準에서, 목련과 죽제비싸리는 5% 有意水準에서 각각 處理間 統計的 有意性이 認定되었으나, 광광나무와 고욤나무에서는 有意性이 認定되지 않았다.
- 목련에서는 地上部 乾重量에서, 함박꽃나무는 地下部 乾重量에서, 죽제비싸리에서는 地上部 및 地下部 乾重量에서 酸性雨處理間 각각 統計的 有意性이 認定되었다.

- Binns, W.O. and D.B. Redfern. 1983. Acid rain and forest decline in W. Germany. Forestry Commission Res. Dev. Paper 131. 13pp.
- Cole, C.V. and J.W.B. Stewart. 1983. Impact of acid deposition on P cycling. Environ. Exp. Bot. 23:235-241.
- Cole, D.W. and D.W. Johnson. 1977. Atmospheric sulfate additions and cation leaching in a Douglas-fir ecosystem. Water Resource Reserch 13: 313-317.
- 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.
- Cronan, C.S., R.C. Reynolds and G.E. Lang. 1978. Forest floor leaching: Contributions from mineral, organic, and carbonic acids in New Hampshire subalpine forests. Science 200:309-311.
- Evans, L.S. 1984. Botanical aspects of acidic precipitation. Bot. Rev. 50:449-490.
- Galloway, J.N., G.E. Likens and E.S. Edgerton. 1976. Acid precipitation in the northeastern United States: pH and acidity. Science 194:722-724.
- Johnson, D.W., D.D. Richter, H.V. Miegroet and D.W. Cole. 1983. Contributions of acid deposition and natural processes at cation leaching from forest soils: A review. J.A.P.C.A 33:1036-1041.

9. 金甲泰. 1986. 亞黃酸이 은행 나무와 현사시의 葉組織에 미치는 影響. 尙志大學論文集 7:461-472.
10. 金在鳳, 金泰旭, 李景宰, 朴仁協, 金東漢, 鄭淵普, 吳在基, 姜德姬, 朴在柱, 徐廷鉉. 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, 64pp.
11. 金俊鎬. 1985. 酸性비의 實態와 人間生活에 미치는 影響. 자연보존 49:19-23.
12. 金俊鎬, 1983. 生態系の 現況과 保存對策. 世界環境의 날 세미나 “先進環境을 向한 保全對策” 1983. 國立環境研究所, 서울, p. 31-48.
13. 金泰旭. 1985. 大氣汚染과 農林業, 韓國環境農學會誌 4(1):57-64.
14. Lee, J.J., G.E. Neely and S.C. Perrigan. 1980. Sulfuric acid rain effects on crop yield and foliar injury. Environ. Res. Lab. EPA-600/3-80-016, 20pp.
15. 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.
16. 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 (3):393-398.
17. Malmer, N. 1976. Acid precipitation: Chemical changes in the soil. Ambio 5:231-234.
18. McLaughlin, S.B., T.J. Blasing, L.K. Mann and D.N. Duvick. 1983. Effects of acid rain and gaseous pollutants on forest productivity: A regional scale approach. J.A.P.C.A. 33:1042-1049.
19. Olson, R.A. 1983. The impacts of acid deposition on N and S cycling. Environ. Exp. Bot. 23:211-223.
20. 朴奉奎, 李仁淑, 崔炯善. 1983. 서울시에서의 酸性降雨에 關한 研究. 韓國生活科學研究院論叢 32: 137-142.
21. Puckett, L.J. 1982. Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York. J. Environ. Qual. 11:376-381.
22. Record, F.A., D.V. Bubenick and R.J. Kindya. 1982. Acid Rain Information Book. Noyes Data Corp., N.J. 228pp.
23. Scholz, F. and S. Reck. 1977. Effects 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.