

人工酸性雨が 잣나무 및 쥐똥나무 幼苗의 葉內 葉綠素 含量에 미치는 影響¹

金 昌 浩² · 鄭 龍 文³

Effects of Simulated Acid Rain on the Chlorophyll Contents in the Needles of *Pinus koraiensis* and *Ligustrum obtusifolium* Seedlings¹

Chang Ho Kim² · Yong Moon Cheong³

要 約

잣나무 幼苗와 쥐똥나무 挿木苗를 人工酸性雨로 處理하고 葉內 葉綠素 a와 b의 含量을 分析하여 量의 增減에 따른 酸度 水準의 影響을 論議하였다. 處理된 試驗樹種은 1985年 봄에 pot에 栽培되고 該當地域의 30年 間의 降雨 樣式을 模擬해서 酸性雨(pH 水準 6.5, 4.0 및 2.0)를 5月부터 8月까지 4個月間에 걸쳐 撒布하고, 同年 9月 18日 成熟된 葉을 採取하여 葉中の 葉綠素를 分析하였다. 分析 結果에 依하면, 兩 樹種 共通의 所以로 酸性雨의 酸도가 強해짐에 따라 葉綠素 a와 b의 含量은 減少하는 傾向을 보였고, 葉綠素 a에 있어서 는 減少 傾向이 統計的으로 有意했고, 葉綠素 b의 境遇는 有意하지 않았으나 減少 傾向이 있는 것으로 받아들일 수 있었다. 酸性雨의 pH 水準에 따른 葉綠素 a와 b에 대한 減少 效果 差異에 있어서는 兩 樹種 모두 pH 水準別로 減少 指數가 類似하였으며, 따라서 葉綠素 a 對 b의 含量比는 酸性雨의 pH 水準 如何에 不拘하고 一定한 값을 維持하고 있었다.

ABSTRACT

With the purpose of pursuing the increase and decrease of chlorophyll a and chlorophyll b caused by application of the simulated acid rain treatment on *Pinus koraiensis* seedlings and *Ligustrum obtusifolium* cuttings, the experimental design of randomized block arrangement with three replications was implemented in the experimental field of Yesan National Agricultural Junior College, during the growing season of 1985.

Pinus koraiensis seeds stratified in cool and moist condition were sown on pots, and in case of *Ligustrum obtusifolium*, C1/1 cuttings were potted for experimental use in the early spring. The regime of artificial acid rain, based upon precipitation frequency and density, was simulated from the learning of climatological data averaged from 30 years records. The spray of acid water containing pH values of 4.0 and 2.0 was initiated from the 1st of May and ended on the 31st of August. As control, ground water was also treated at the same time. To analyse the chlorophyll content, those leaves looking representative and unaffected by other harmful agents were sampled on the 18th of September, and UV-visible spectrophotometer was used.

With decrease in pH values of acid rain, the content of chlorophyll a and chlorophyll b decreased in both species. The decrease in chlorophyll a could be confirmed through statistical significance, but not in chlorophyll

¹ 接受 12月 12日. Received on December 12, 1986.

² 東國大學校 農科大學 College of Agriculture, Dongguk Univ., Seoul, Korea.

³ 禮山農業專門大學 Yesan Agricultural Junior College, Yesan, Korea.

b. And when we discussed the chlorophyll decrease index which was explained in detail in the paper, an attention might be given to similarly decreasing values in both chlorophyll a and chlorophyll b, according as pH levels of acid rain decreased. The ratios of chlorophyll a to chlorophyll b in both species were not affected by different pH leaves of acid rain.

Key words : Acid rain; chlorophyll content; Pinus koraiensis; Ligustrum obtusifolium.

緒 論

人口增加 및 産業發達은 지금 全世界의 汚染問題를 惹起시키고 있으며, 例로서 sulfur의 大氣中 放出은 그 중 큰 關心事로서, Sweden에서 調査된 것을 보면 1974년에 國內에 落下한 大氣中의 sulfur의 總量은 590,000톤으로 計算되고 年間 約 20,000톤의 增加趨勢가 指摘되고 있다.²³⁾ 핀란드에 있어서도 大氣汚染과 林木의 生育關係가 報告되고, 그나라의 北部 針葉樹林의 境遇 極端의인 氣象狀況은 大氣汚染物質과 相乘의인 作用을 해서 그 被害를 增加시킨다는 것이며, 潛在的 被害는 이미 冬季中에 實驗的으로 觀察할 수 있고, 春季에 가서는 갑작스럽게 肉眼觀察이 可能해진다고 했다.¹⁰⁾

美國에 있어서 汚染問題는 어려운 課題에 속하고 酸性雨의 影響을 分析해서 그 結果에 따라 燃料使用問題도 再檢討되어야 할 것이라는 報告가 있고, 이러한 問題를 다루기 위해서 美國에서는 重要政策機關 및 研究所가 協同研究을 實施하고 있다.¹³⁾ 우리나라에서도 酸性雨가 測定되고 있으며^{3, 25)}, 酸性雨에 의한 樹木被害에 關한 研究가 始作되고 있는 實情이다.^{17, 19, 24)}

酸性雨는 葉表面 특히 氣孔周邊의 組織을 죽이고 傷痕을 나타내게 하고 또 trichome과 維管束 組織을 害한다. 結局 葉表面의 表皮를 加害하고 이것이 進展되어서 柵狀組織細胞를 상하게 하며 그 뒤 葉裏面의 cuticle 表面까지 傷害를 擴張시키게 된다.⁵⁾ 酸性雨로서 葉綠素의 破壞와 葉組織으로부터의 養料 溶脫도 큰 問題로 된다.^{6, 7, 11, 12)}

또 酸性降雨가 林木의 生育에 미치는 影響의 一面으로서, 土壤中의 Al의 增加를 들고 그 含量의 增加로서 林木은 害를 받게 된다.²⁶⁾ Al의 增加는 具體的으로는 苗木의 細根의 發達을 크게 抑制함이 報告되고, 細根量의 減少는 結局 그 植物의 衰退를 招來하게 된다. 또 酸性降雨로 土壤酸도가 增加되었을 때, Ca, Mg의 溶出量 增加가 指摘되었다.¹⁾

酸性雨에 依한 森林의 生産力 減退는 實際로 發生

하고 있지만, 短期的으로 볼때에는 오히려 成長의 增加 可能性도 있다.⁴⁾ 酸性雨が 森林의 成長에 미치는 影響은 土壤型, 養分狀態, 大氣中의 酸性物質의 添加等 그 立地의 特有한 因子에 依해서 左右된다. 鹽基養분이 充分하고 S 또는 N가 缺乏狀態인 境遇에는 酸性雨의 適當한 附加는 森林의 成長 增加를 가져올 可能性이 크다. 그러나 長期的으로 볼 때에는 土壤中의 鹽基養料 不足과 有毒한 Al의 蓄積에 起因한 成長減退의 可能性이 크다.¹⁴⁾

이처럼 酸性雨が 植物 生態系에 미치는 影響이 重大한데 비추어, 筆者는 우리나라의 重要 造林樹種의 하나인 잣나무 幼苗와 造景樹種의 하나인 쥐똥나무 挿木苗에 미치는 人工 酸性雨의 影響을 分析하고자 試圖해서 얻은 研究結果를 이에 報告하는 것이다.

材料 및 方法

1. 試驗設計 및 材料

本 研究에 있어서 試驗苗 養成에 使用된 잣나무 (*Pinus koraiensis*) 種子는 全羅北道 德裕山 海拔高約 850m 되는 곳에 小集團을 이루고 있는 天然林으로부터 採集된 것이며, 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*)는 忠清南道 禮山郡 所在 禮山農業專門大學 苗圃場에서 養苗한 1/1묘이다. 잣나무 種子 播種 및 쥐똥나무 苗木 植栽는 1985年 3月 31日 禮山農業專門大學 試驗圃地에서 實施하였으며, 使用된 床土는 試驗圃地 그 自體의 成熟 土壤으로 化學的 性質은 Table 1에 보였으며, 土性은 埴質壤土(silty loam)였다. 床土調製는 10.0mm의 그물체로 異物質을 除去하고 plastic pot(上部直徑 13.6cm, 높이 12.0cm, 下部直徑 10.0cm)에 充填시킨 후, 잣나무는 露天埋藏된 種子를 pot當 5粒씩 播種하고, 쥐똥나무는 1株씩 植栽하였다.

試驗設計는 亂塊法 3 反復이었는데, 한 plot에 20個의 pot로 充當하여 總 20pot×9plot×2樹種=360 pot가 所要되었다. 播種 및 植栽 以後의 養苗技術管理는 一般施業要領에 準하였으며, 外部因子에 依한 苗木 生育上의 stress가 없도록 細心한 注意를 하였다.

Table 1. Chemical properties of soil experimental plants cultivated.

Texture	Silty loam
pH	6.2
T.N	0.06%
P ₂ O ₅	60.97 ppm
C.E.C	7.04 me/100g
K ⁺	0.16 me/100g
Na ⁺	0.28 me/100g
Ca ⁺⁺	3.78 Me/100g
Mg ⁺⁺	0.98 me/100g

2. 酸性雨의 調製 및 撒布方法

酸性雨의 調製는 黃酸(H₂SO₄)과 窒酸(HNO₃)을 3 : 2의 比率로 混合하고 이것을 깨끗한 地下水로 稀釋하여 pH 6.5, pH 4.0 그리고 pH 2.0의 3水準으로 調整하였다. 이 때 pH 6.5라는 것은 地下水 그 自體의 pH 值로서 對照用으로 使用된 것이다.

酸性雨의 撒布 回數와 plot當 1回 撒布量의 決定에 있어서는 本 試驗이 實施된 圃地에 最寄位置에 있는 洪城에서 測定된 30年間의 降雨樣式¹⁸⁾을 模擬(simulation)했었다. 이 內容이 Table 2에 提供되었는데, 表值에 月平均 降雨量, 月平均 降雨回數(1mm 以上 時의 回數), 1回當 平均 降雨量, 그리고 plot當 1回 撒布量이 주어지고 있다. plot當 20個의 pot가 配置되었으므로 降雨 受容 面積은 0.374 m²로 計算되었다. 酸性雨의 撒布는 저렛대式의 噴霧器를 使用하여 5月 1日부터 8月 31日까지 4個月間 實施하였다. 自然降水는 그때마다 vinyl tunnel 로서 遮斷되었다.

Table 2. Basic records of precipitation density and frequency averaged from 30 years observation used for simulation.

Item	Month			
	May	Jun.	Jul.	Aug.
Precipitation density(mm)	81.9	130.9	307.2	216.7
Precipitation frequency	7	9	13	11
Average rainfall(mm)	11.7	14.5	23.6	19.7
Spray/a time/plot (mm)	4.38	5.42	8.83	7.37

3. 葉綠素 含量 測定

葉綠素 含量 測定을 위해서 葉이 採取된 것은 同年 9月 18日이고, 이때는 兩 樹種 모두 葉이 거의 成熟期에 到達했다고 看做되었다. 成熟葉 0.2g을 따라서 80% Acetone 溶液에 浸漬하고 7日間 冷暗所에서 保管하여 色素를 抽出한 후, UV-visible spectrophotometer를 利用하여 645nm와 663nm에서의 吸

光度(absorbance)를 測定하였으며, Arnon²¹⁾의 方程式으로 葉綠素 含量을 定量하였다. 各 處理當(plot當) 測定은 3個體씩 3反復이었다.

結果 및 考察

本 研究가 遂行된 目的은 大氣污染의 主役이라고 생각되는 SO₂와 NO_x 등이 물과 作用해서 酸性雨^{8,20)} 즉 稀釋된 H₂SO₄와 HNO₃ 등의 液體가 樹木에 落下하므로서 樹木의 生育에 미칠 影響을 評價해 보고자 하는데 있었다. 그런데 이 評價는 大端히 複雜하고 接近에 여러가지 方便이 있고 또 加害 樣態에도 差異가 있다. 本 試驗은 降雨 形式의 所謂 wet deposition으로서 燻煙(gas fumigation)에 比해서 簡便하고 條件制限이 더 잘 될 수 있는 長點이 있다. Grennfelt 등⁹⁾도 汚染物質은 몇 가지 形態로 沈積되는 것이지만 가장 重要한 뜻을 가지는 것은 降雨中에 包含되는 成分이고 汚染分析의 正確性을 기하기가 더 容易하다고 指摘하였다.

葉綠素는 光 energy를 化學 energy로 轉換시키는 光合性 反應의 中心反應 및 光吸收體로서 主要한 機能을 하는 것으로서, 이것이 破壞되어 生命維持에 必要한 生産機能에 損傷을 입을 때에는 生長의 큰 減退를 가져오게 된다. 本 研究에 있어서 使用된 잣나무와 귀퉁나무는 裸子植物 對 被子植物이란 差異 뿐만 아니라 針葉 對 闊葉, 喬木 對 灌木 그리고 用材 經濟樹種 對 造景樹種이란 生活型(Growth form)에 있어서 여러가지 點으로 差異를 認定할 수 있어, 兩 樹種에 대한 酸性雨 反應의 差異를 論議해 본다는 것은 뜻깊은 일로 생각되었다. 酸性雨의 酸度 水準은 pH 6.5, 4.0 그리고 2.0의 3水準인데, 이 水準이면 무언가 反應이 惹起될 수 있을 것으로 期待하였다. 그리고 葉綠素는 a와 b로 나누어 含量을 分析하였다.

Table 3은 pH 水準別로 본 잣나무와 귀퉁나무 幼苗의 葉綠素 a, b 및 總 葉綠素 含量(mg/g fresh wt.)을 보인 것이다. 귀퉁나무가 잣나무에 비해 모든 pH 水準에서 葉綠素 含量이 높았으며, 兩 樹種 共通의 으로 酸度가 強해짐에 따라 葉綠素 含量은 減少하는 傾向이 있었다.

葉綠素 a의 含量에 있어서, 잣나무는 pH 6.5인 境遇 0.89mg/g인데, pH 4.0에서는 0.83mg/g, pH 2.0에서는 0.77mg/g으로 減少하고 있으며, 귀퉁나무인 境遇에도 pH 6.5의 1.19mg/g에 비해 pH 4.0에서는 1.12mg/g, pH 2.0에서 1.00mg/g으로 減少

Table 3. Leaf chlorophyll a and b contents of *Pinus koraiensis* and *Ligustrum obtusifolium* by pH levels of acid rain (mg/g. fresh wt.).

Species	pH level	Chl. a	Chl. b	Total chl.
<i>Pinus koraiensis</i>	6.5	0.89	0.32	1.21
	4.0	0.83	0.30	1.13
	2.0	0.77	0.28	1.05
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	6.5	1.19	0.44	1.63
	4.0	1.12	0.42	1.54
	2.0	1.00	0.38	1.38

- 0.05 significant level to treatment in both chlorophyll a and total chlorophyll.
- Non-significance to replication in two species.

가 招來되고 있다. 이것은 分散分析의 結果에 있어서도 5%의 有意水準으로서 有意성을 보여 주고 있다. 葉綠素 b에 대한 分析 結果를 檢討해 볼 때에도 葉綠素 a에 대한 그것처럼 酸性雨의 酸도가 強해짐에 따라 兩 樹種 모두 含量이 減少하고 있다. 그러나 葉綠素 b에 대해서는 두 樹種 共通적으로 有意성은 認定되지 않았다. 葉綠素 a와 b를 합친 總 葉綠素 含量을 分析하였을 때에도 酸性雨 處理의 影響은 兩 樹種에 있어서 모두 含量의 減退가 나타났으며, 統計 上으로도 有意하게 나타났다.

이러한 事實은 Jacobson¹³⁾이 指摘한, 酸性雨로서 下等植物(苔類)은 光合作用이 顯著하게 減退되었고 體內 葉綠素의 含量이 減少되었다는 報告와, *Phaseolus vulgaris*에 sulfuric acid로 稀釋하여 만든 酸性雨를 霧가울에서 이른 봄에 걸쳐 撒布한 結果, pH 3.5 以下에서 pH 水準이 낮을수록 葉綠素 含量이 줄어들고 있다는 Ferenbaugh⁷⁾의 報告와 類似한 傾向이었으며, 또한 3年生 소나무와 잣나무에 sulfuric acid로 製調한 人工酸性水(pH 2.0 및 4.0)를 撒布하여 pH가 낮을수록, 處理가 進行될수록 葉綠素 總含量이 減少한다는 李 等¹⁹⁾의 報告와, H₂SO₄와 HN O₃를 3:2로 混合한 酸性雨(pH 2.5, 4.0)를 은행나무, 잣나무 및 소나무 pot 苗에 2年間 撒布한 結果, pH의 酸도가 강할수록 葉綠素가 減少된다는 吳²⁴⁾의 報告와도 一致하고 있었다. 그리고 大氣汚染物質인 Ozone의 가스 接觸에 있어서도 植物의 葉綠素 減少와 葉 被害가 發生하고 있으며^{16,21,22)}, SO₂ 가스 煙煙의 境遇 그것이 急性害를 誘發시킬 수 있을 때에도 역시 葉綠素 a와 b는 破壞되고 있다. 이 境遇 樹種에 따른 反應에 差異가 있는데, 例로서 소나무, 잣나무, 회양목, 향나무 등은 葉綠素 破壞의 感受성이 鈍한 것들이고, 對照의 으로 은행나무, 플라타너스는

感受성이 銳敏한 것으로 나타나고 있다.²⁷⁾

Table 4. Chlorophyll decrease index value affected by pH levels of acid rain (%).

Species	pH level	Chl. a	Chl. b	Total chl.
<i>Pinus koraiensis</i>	6.5	100	100	100
	4.0	93.3	93.8	93.4
	2.0	86.5	87.5	86.8
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	6.5	100	100	100
	4.0	94.1	95.5	94.5
	2.0	84.0	86.4	84.7

Table 4는 pH 6.5인 때의 葉綠素 a와 b의 含量을 100으로 보았을 때 酸性雨의 다른 水準에 있어서의 含量 減少를 指數적으로 나타낸 것이다. 이에 依하면 樹種別, pH 水準別로 葉綠素 a와 b의 減少指數가 큰 差異없이 類似한 값을 보였으며, 두 樹種을 比較해 볼 때 쥐똥나무의 減少率이 잣나무의 그것에 비해 다소 높았다. 葉綠素 總 含量의 境遇, 잣나무 pH 2.0에 있어서의 減少指數는 86.8로 pH 6.5의 含量에 비해 13.2%가 減少하였으며, 쥐똥나무에 있어서의 84.7로 15.3%가 減少하였다.

이것은 吳²⁴⁾가 2年間 觀察한 pH 2.5에서 은행나무 28.6%, 전나무 27.2%, 소나무 19.0%의 減少率에 비해 낮은 數値를 보였으나 減少하는 傾向은 같았으며, 동부에 酸性雨를 處理하여 pH 2.5 處理區에서 葉綠素 含量이 37% 程度 減少한 Ferenbaugh⁷⁾의 觀察에 比하면 낮은 數値를 보였다.

이처럼 酸性雨의 處理로서 葉綠素 含量에 減少를 招來하였다는 事實은 有機物 生成量의 減少 등 二 植物에 害作用을 가져오는 것이나 植物은 汚染物質을 吸收 蓄積하여도 그 毒性을 反映시키지 않는 일이 흔히 있고, 可視的 症狀를 보이지 않으면서도 stress의 狀況에 놓여 있는 潛在的 傷害(latent injury)가 있을 수 있다. 그래서 樹木의 保護라는 見地에서 따질 때에는 植物이 不可視的 被害를 받았는지의 與否에 대한 生理的인 또는 生化學的인 또는 生態學的인 反應을 調査 分析할 必要가 있다.¹⁵⁾

Table 5는 葉綠素 a 對 葉綠素 b의 含量비가 酸性雨 pH 水準에 따라 어떠한 變化를 하느냐의 有無를 分析해본 것이다. 잣나무의 境遇 pH 6.5일 때 2.78, pH 4.0일 때 2.77, pH 2.0일 때 2.75로 나타났으며, 쥐똥나무의 境遇 2.70, 2.67 그리고 2.63으로 나타나 酸도가 낮아짐에 따라 樹種別로 各各 對照區와 類似한 數値를 보였지만 微弱한 傾斜가 나타났다. 그리고 두 樹種을 比較해 볼 때 잣나무보다

Table 5. Changes in the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b affected pH levels of acid rains (mg/g. fresh wt.).

Species	pH level	Chl. a	Chl. b	a/b
<i>Pinus koraiensis</i>	6.5	0.89	0.32	2.78
	4.0	0.83	0.30	2.77
	2.0	0.77	0.28	2.75
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	6.5	1.19	0.44	2.70
	4.0	1.12	0.42	2.67
	2.0	1.00	0.38	2.63

취동나무의 함유비가 낮게 나타났다.

이와 같이 강한 酸性雨로 處理되었을 때에도, 또 葉綠素 a 含量에는 兩 樹種 모두 統計的으로 有意差가 認定되었음에도 不拘하고 葉綠素 a와 b의 含量比의 差異가 거의 一定한 數値를 나타낸 事實은, 酸性雨의 處理가 進行됨에 따라 葉綠素 含量이 減少하는 程度는 葉綠素 a의 含量이 葉綠素 b의 含量에 비해 크게 나타난다는 李 等¹⁹⁾의 報告와는 差異가 나타났다는데, 이것은 酸性雨의 製調 및 處理 方法, 試驗 時期 및 期間의 差에 起因된 것으로 보인다.

本 研究에 있어서는 酸性雨에 의한 잣나무와 취동나무 幼苗의 不可視의 被害 即 潛在的 被害를 究明하는데에서 얻어진 結果인데, pH 水準值의 低下에 따라 兩 樹種 共히 葉綠素 含量이 減少하는 傾向을 보였다. 또한 酸性雨의 pH 水準에 따른 葉綠素 a와 b에 대한 減少 效果 差異에 있어서는 兩 樹種 모두 pH 水準別로 減少 指數가 類似하였으며, 따라서 葉綠素 a 對 b의 含量比는 酸性雨의 pH 水準 如何에 不拘하고 一定한 값을 維持하고 있다는 事實을 指摘할 수 있었다. 그러나 이러한 傾向이 本 研究의 處理 領域을 벗어 날 때 어떻게 되느냐 하는 것은 남게 될 課題로 된다.

引 用 文 獻

1. Abrahamsen, G. 1983. Sulphur pollution: Ca, Mg and Al in soil water and possible effects on forest trees. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystem. Proc. of workshop held at Göttingen, West Germany. Mag. 16(18): 207-218.
2. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
3. 崔德一·韓義正·林根相, 金黃洙. 1980. 降水物

成分變化에 의한 大氣汚染度의 間接測定 및 評價에 관한 研究. 國立環境研究所報. 2: 59-61.

4. Cowling, E. B. and L. S. Dochinger. 1980. Effects of air pollutants on mediterranean and temperate forest ecosystems. U.S. Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-43. 165-173.
5. Evans, L. S. and T. M. Curry. 1979. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. Amer. J. Bot. 66 (8): 953-962.
6. Fairfax, J. A. W. and N. W. Lepp. 1975. Effects of simulated acid rain on cation loss from leaves. Nature 255: 324-325.
7. Ferenbaugh, R. W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus Vulgaris* L. (Fabaceae). Amer. J. Bot. 63(3): 283-288.
8. Fowler, D. 1978. Wet and dry deposition of sulphur and nitrogen compounds from the atmosphere. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. Ecology. 9-27.
9. Grennfelt, P., C. Bengtson and L. Skarby. 1978. An estimation of the atmospheric input of acidifying substances to a forest ecosystem. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. Ecology. 29-40.
10. Havas, P. and S. Huttunen. 1978. Some special features of the ecophysiological effects of air pollution on coniferous forests during the winter. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. Ecology. 123-131.
11. Heagle, A. S., R. B. Philbeck, P. F. Brewer and R. E. Ferrel. 1983. Response of soybeans to simulated acid rain in the field. J. Environ. Qual. 12 (4): 538-543.
12. Irving, P. M. 1983. Acidic precipitation effects on crops. A review and analysis of research. J. Environ. Qual. 12(4): 442-453.
13. Jacobson, J. S. 1978. Experimental studies on the phytotoxicity of acidic precipitation. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO confence series 1. Ecology. 151-160.
14. Johnson, D. W. 1981. Acid rain and forest

- productivity Proc. XVII IUFRO World Congress, Div. 1. 73-89.
15. Keller, T. 1983. Air pollutant deposition and effects on plants. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Pub. Co. 285-294.
 16. 金福榮·金善寬·金福鎮. 1982. 水稻生育에 對한 Ozone 가스의 影響에 關한 研究. 韓國環境農學會誌. 1(2) : 129-133.
 17. 金甲泰. 1986. 酸性雨, 乾燥 및 食鹽水 處理에 따른 잣나무와 은행 나무 잎의 組織變化. 韓林誌. 73 : 55-62.
 18. 金光植 外. 1982. 韓國의 氣候. 一志社. 130, 141.
 19. 李敦求·金甲泰·辛俊煥·朱洸映. 1984. 人工酸性雨が 소나무와 잣나무 幼苗의 葉綠素 含量에 미치는 影響. 서울大學校 農科大學 附屬樹林園. 9(2-1) : 15-19.
 20. Mollitor, A. V. and D. J. Raynal. 1982. Acid precipitation and ionic movements in Adirondack forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 137-141.
 21. 野內勇·大平俊男·澤田正,·小口邦子·古明地哲人. 1973. オゾンによる植物被害症狀. 大氣汚染研究. 8(2) : 113.
 22. 野內勇·大平俊男. 1973. オゾンの植物色素への影響. 大氣汚染研究. 8(2) : 120.
 23. Oden, S. and T. Ahl. 1978. The sulfur budget of Sweden. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. Ecology. 111-122.
 24. 吳宗煥. 1986. 人工酸性雨が 樹木の 生長과 土壤에 미치는 影響. 慶熙大學校 碩士學位論文. 1-28.
 25. 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.
 26. Ulrich, B., R. Mayer and P. K. Khanna. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. Soil Sci. 130(4): 193-199.
 27. 任慶彬·金泰旭·權琦遠·李景宰. 1979. 環境汚染이 都市樹木の 生育에 미치는 影響(Ⅱ). 서울大學校 農科大學 演習林報告. 15 : 103-124.