

## 人工酸性雨が 소나무 및 개나리묘의 植物體內 含有成分에 미치는 影響<sup>1</sup>.

鄭 龍 文<sup>2</sup>

### Effects of Simulated Acid Rain on Nutrient Contents of *Pinus densiflora* S. et Z. and *Forsythia koreana* Nak. Seedlings<sup>1</sup>

Yong Moon Cheong<sup>2</sup>

#### 要 約

人工酸性雨が 소나무(*Pinus densiflora*) 幼苗와 개나리(*Forsythia koreana*) 挿木묘의 植物體內 含有成分에 미치는 影響을 調査하였다. 소나무 植栽와 개나리 挿木은 1986年 3月 25日 苗圃土壤과 砂壤質의 山林土壤을 1:1(v/v)로 混合하여 채운 pot에 實施되고, 該當地域의 30年間의 降雨樣式에 模擬(simulation)해서, 黃酸과 窒酸의 比率을 3:2(規定 濃度)로 混合하여 地下水로 稀釋한 pH 2.0, pH 4.0 및 pH 5.5(對照用)의 酸性雨를 亂塊法 3反復 試驗區에 天然降水를 遮斷한 가운데, 同年 5月 1日부터 8月 31日까지 4個月에 걸쳐 撒布하고, 苗木의 生長이 멈춘 時期에 試料를 採取하여 分析한 結果는 다음과 같았다; 1) 植物體內 全窒素 含量은 酸性雨 處理에 두 樹種 모두 增加 傾向이 있었으며, 소나무는 뿌리와 1年生 줄기에서, 개나리는 잎과 뿌리에서 각각 差異가 있었다. 2) 植物體內 磷酸의 含量은 酸性雨 處理에 두 樹種 모두 減少 傾向이 있었으며, 소나무는 뿌리에서, 개나리는 잎과 뿌리에서 큰 差異를 보였다. 3) K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO의 含量은 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 두 樹種 모두 減少하였으며, 개나리가 소나무에 비해, 그리고 잎과 뿌리가 줄기 및 가지에 비해 敏感한 反應을 보였다. 4) 硫黃의 含量은 pH 2.0 處理에서 두 樹種 모두 크게 增加하였으며, 소나무는 잎과 뿌리에서, 개나리는 잎, 줄기, 뿌리의 全部位에서 각각 處理間에 高度의 有意差를 보였다. 5) 人工酸性雨의 酸度水準 및 樹種에 대한 反應을 綜合하면, 酸度水準別로는 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라, 그리고 樹種別로는 개나리가 소나무에 비해 敏感한 反應을 보였다.

#### ABSTRACT

For the purpose of examining the effects of simulated acid rain on nutrient contents of plant tissues in *Pinus densiflora* seedlings and *Forsythia koreana* rooted cuttings, the experimental design of randomized block arrangement with three replications was implemented in the experimental field of Yesan National Agricultural Junior College. One-year-old *Pinus densiflora* seedlings and *Forsythia koreana* cuttings were planted in the pots filled the mixed soils: nursery soil : forest soil of siliceous sandy loam=1:1 v/v in the early spring of 1986. The regime of artificial acid rain, in terms of spray frequency per month and

<sup>1</sup> 接受 4月 22日 Received on April 22, 1988.

<sup>2</sup> 禮山農業專門大學 Yesan National Agricultural Junior College, Yesan 340-800, Korea.

spray amount at single treatment per plot, was simulated on the basis of climatological data averaged from 30 years records. Simulated acid rain (pH 2.0, pH 4.0, and pH 5.5 as control) containing sulfuric and nitric acid in the ratio of 3:2 (chemical equivalent basis) diluted with ground water were treated on the experimental plants under condition of cutting off the natural precipitation with vinyl tunnel, during the growing season (May 1 to August 31) in 1986. The results obtained in this study were as follow: 1) As for the nitrogen contents in plant tissues, *P. densiflora* increased significantly in one-year-old stembranch and root tissues, and *F. koreana* increased significantly in leaf and root tissues, as the pH levels of acid rain decreased. 2) The available phosphate contents in root tissues of *P. densiflora*, and in leaf and root tissues of *F. koreana* were significantly decreased, as the pH levels of acid rain decreased. 3)  $K_2O$ ,  $CaO$  and  $MgO$  contents in plant tissues were significantly decreased in the both species as the pH levels decreased. And the effects of acid rain on *F. koreana* were higher than those of *P. densiflora*. 4) Sulfur contents of plant tissues in the both species were increased at pH 2.0 treatment. There were significant differences among three acid rain treatments in leaf and root tissues of *P. densiflora*, and in all parts of *F. koreana*. 5) In the effects of simulated acid rain on the both species and the tested soils, in general, *F. koreana* revealed higher sensitiveness than *P. densiflora*, and the lower pH levels of simulated acid rain were treated, the more sharp reaction was showed.

*Key words*: acid rain; Pinus densiflora; Forsythia koreana; nutrient contents.

## 緒 論

最近 先進國을 비롯한 開發途上國에 이르기까지 人口의 都市集中化와 産業의 發達은 大氣汚染을 불러 일으켜, 이로 인한 酸度 높은 降水物이 觀測되고 그 被害가 增加되고 있어 이에 대한 關心이 高潮되고 있다. 人間의 産業活動을 통해 大氣중에 放出된 黃酸化物과 窒素酸化物 등으로 惹起된 酸性雨는 大氣汚染이 심한 都市에만 局限되지 않고, 地域間, 國家間, 大陸內 더 나아가 全地球의 規模의 環境問題가 되고 있다.<sup>1,3,44,35)</sup>

酸性雨が 環境에 미치는 影響은 多樣하기 때문에 先進 諸國에서는 酸性雨が 生態系에 미치는 影響에 관한 研究가 많이 進行되고 있으며, 우리나라에서도 1960年代부터 일기 始作한 人口의 都市集中과 産業化로 인한 大氣汚染이 社會問題로 擡頭되어, 이에 따른 降水物 性狀의 測定과 酸性雨が 樹木에 미치는 影響에 관한 研究가 最近들어 이루어지고 있다.<sup>10,25,27,28,30,31,35,36,37,38,39)</sup>

Johnson과 Sundberg<sup>8)</sup>는 Sweden의 *P. sylvestris* 林과 *Picea abies* 林이 戰後의 急激한  $SO_2$ 의 放出로 生長率이 下落되었다고 하였으며, Puckett<sup>18)</sup>은 New York 東南部 地域의 森林이 大氣汚染과 酸性 降水物에 의해 生理的 障害를 받아 生長이 不振하며, 終局에 가서는 耐性이 약한

樹種들은 耐性이 강한 樹種들로 代替되어 森林의 構造가 變更될 것이라고 하였다. 苗木 試驗에 있어서 Malziris와 Nakos<sup>13)</sup>는 *P. halepensis* 1年生 苗木에 강한 人工酸性雨를 撒布한 結果 生長量이 減少하였으며, Wood와 Bormann<sup>23)</sup>은  $H_2SO_4$ 로 만든 pH 3.0 및 그 以下の 酸性雨 處理에 Yellow birch 苗木의 生長이 低下되었으며, *P. strobus* 苗木에서는  $HNO_3$ 를 添加하여 撒布한 結果, 生長이 促進되었는데, 이는  $NO_3^-$ 이 養料로 作用하여 生長을 促進시킨 것으로 보고 있었다.<sup>21)</sup> 또한 人工酸性雨 處理로 Kim<sup>10)</sup>은 은행나무 苗木에서 生長減少를, 鄭<sup>25)</sup>은 잣나무 播種묘에서 生長量의 增加를 觀察하였다. Abrahamsen<sup>11)</sup>과 Ogner<sup>17)</sup>는 酸性雨에 의한 林木生長의 促進은 酸性雨が 養料供給을 한 데에 起因된 것으로 보고 있었으며, Cates 등<sup>9)</sup>, Cole과 Johnson<sup>1)</sup>, Jones 등<sup>9)</sup>도 大氣중의 sulfur가 土壤養料의 有用性を 增進시켜 林木生長에 寄與한다고 하였다. 富谷建三等<sup>41,42)</sup>은 소나무 및 개나리 등 9個 樹種에 黃酸을 稀釋한 酸性雨를 撒布한 結果, 黃酸의 濃도가 높을수록 可視 被害症狀의 發見이 빠르며, 葉內 硫黃含量은 增加하였으며, 葉綠素 含量은 소나무, 제주광나무에서 減少하였으며, 葉組織에서는 澱粉粒이 작아지며, cuticle에 이어 柵狀組織과 海線組織이 破壞되었으며, 酸性雨에 대한 樹種別 抵抗性은 삼나무, 편백, 흑송>적송>*Lithocarpus edulis*, 제주광나무>느티

나무, 개나리, 은백양 順이었다고 하였다.

Mollitor와 Raynal<sup>15)</sup>은 林冠 通過水가 大氣중의 黃酸을 林地에 供給하며, 이들에 의해  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  및  $Mg^{++}$ 이 앞에서 溶出된다고 하였으며, Morrison<sup>16)</sup>은 林冠 通過水의 pH 값은 一般 降水物에 비해 闊葉樹에서는 樹種에 따라 相異하였으나 針葉樹에서는 一律적으로 낮아졌으며,  $SO_4^{2-}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  및  $Mg^{++}$ 의 含量은 樹種에 關係없이 크게 增加되었음을 밝혔다. Wood와 Bormann<sup>22)</sup>은 pinto bean과 sugar maple 앞에서 酸性雨의  $H^+$ 에 의해  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  및  $Mg^{++}$ 의 溶出이 增加되었음을 報告하였고, 이와같은 結果는 다른 研究者들<sup>6,10,11,25,30)</sup>에 의해서도 共通적으로 나타난 現象이었다.

本 研究는 自然條件下에서 人工酸性雨が 樹木에 미치는 影響을 調查하여 計量化된 基礎資料를 提示할 目的으로 試圖하였는데, 供試樹種으로는 우리나라 山林의 主要 樹種인 소나무와 都市에서의 主要 造景樹種인 개나리를 擇하여 植物體內 含有 成分에 미치는 影響을 究明코자 하였다.

材料 및 方法

1. 材料

(1) 供試苗木

本 研究에 使用된 樹種은 소나무(*Pinus densiflora*)와 개나리(*Forsythia koreana*)로서, 소나무 苗木은 京畿道 水原市 所在 林木育種研究所 內 採種園의 同一 桴木 個體로부터 採種되어, 同 研究所 試驗圃地에서 養苗된 1年生 苗木을 供給받은 것이며, 개나리는 忠南 禮山郡 禮山邑 所在 禮山 農業專門大學 構內에서 生育하고 있는 同一 母體(ortet) 가지로부터 插穗를 採取, 이를 插木에 利用하였다. 이와같은 材料를 準備한 것은 可能限한 材料의 遺傳의 分散에서 오는 誤差를 줄이고 試驗 結果의 信賴度를 높이고자 한 것이다. 소나무 苗木의 植栽와 개나리 插木은 두 樹種 모두 苗木 및 插穗의 重量, 直徑 그리고 幹長 等 均一한 材料를 選擇하여 1986年 3月 25日 禮山 農業專門大學 試驗圃地에서 實施하였다.

(2) 土壤

土는 苗圃土壤과 有機質이 없는 山林土壤을

Table 1. The soil properties of the experimental nursery.

Texture	Sandy loam
pH(H <sub>2</sub> O, 1:5)	6.2
Al <sup>3+</sup>	.56 ppm
K <sup>+</sup>	.16 me.100g <sup>-1</sup>
Na <sup>+</sup>	.28 me.100g <sup>-1</sup>
Ca <sup>++</sup>	3.78 me.100g <sup>-1</sup>
Mg <sup>++</sup>	.98 me.100g <sup>-1</sup>
Total Base	5.20 me.100g <sup>-1</sup>
Base sat.	73.86 %
C.E.C	7.04 me.100g <sup>-1</sup>
T.N	.06 %
Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60.97 ppm
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	61.44 ppm
Fe	.712 %

1:1(v/v)로 混合하여 만든 土壤으로, 그 理化學的 性質은 Table 1의 內容과 같았다. 混合土壤은 2.0mm의 그물체로 異物質을 除去하고, plastic pot(소나무 pot: 上部直徑 13.6cm, 높이 12cm, 下部直徑 10cm, 개나리 pot: 上部直徑 23cm, 높이 30cm, 下部直徑 20cm)에 充塡시킨 후, 소나무는 pot 당 1本씩 植栽하였으며, 개나리는 pot 당 2本씩 插木하였다. 소나무와 개나리 pot에 充塡된 土壤의 무게는 각각 1.35kg 및 13.83kg으로 一定하게 維持하였다.

(3) 人工 酸性雨

酸性雨 調製는  $NV = N^1V^1$ 式에 의거, 黃酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 窒酸(HNO<sub>3</sub>)을 3:2의 比率로 混合하고, 이것을 地下水로 稀釋하여 pH 5.5(對照用), pH 4.0 그리고 pH 2.0의 3水準으로 調製한 다음, pH meter로 正確한 酸度를 調整하였다. 調製된 人工酸性雨의 酸度水準別 電氣傳導度(electric conductivity), 主要 陽이온 및 陰이온의 含量은 Table 2의 內容과 같았다.

2. 方法

(1) 試驗區

試驗設計는 亂塊法 3反復이었으며, 總 pot 數는 두 樹種 모두 plot 당 50個의 pot로 充塡되어 3處理×3反復×50pot×2樹種=900 pot가 所要되었다. 各 pot는 土壤溫度의 變化를 考慮하여 圃地에 묻어 圃地面과 pot 表面의 높이를 같게 하였다. 植栽 以後의 苗木의 管理는 一般養苗法에 準하였으

**Table 2.** Conductivity, major anion and cation concentration of simulated acid rain used in this study.

pH values	Conductivity ( $\mu$ mhos)	Major anions(ppm)				Major cations(ppm)				
		SO <sub>4</sub> -S	NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Control(pH 5.5)	.65	30.44	14.93	.41	11.34	1.32	6.16	19.75	2.61	0.45
pH 4.0	2.54	250.17	30.28	.83	15.03	2.45	10.08	35.20	8.93	0.83
pH 2.0	36.27	2036.19	745.81	.63	23.06	3.96	16.27	44.04	14.00	3.24

**Table 3.** Basic records of spray frequency and amount averaged from 30 years climatological data used for simulation in this study.

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 amount at single treatment per plot(mm)				
<i>Pinus densiflora</i>	10.82	13.41	21.83	18.22
<i>Forsythia koreana</i>	30.95	38.35	62.42	52.11

며, 外部因子에 의한 苗木 生育上의 stress가 없도록 細心한 注意를 기울였다.

#### (2) 人工酸性雨 處理

酸性雨의 撒布回數와 plot 당 1회 撒布量의 決定에 있어서는 本 試驗이 實施된 圃地에서 가장 가까운 洪城에서 測定된 30年間의 降雨樣式<sup>34)</sup>에 模擬(simulation)하였다. 이 內容이 Table 3에 提示되었으며, 表值에 30年間의 月平均 降雨量, 月平均 降雨回數(1mm 以上 時의 降雨回數), 1회 平均 降雨量, 그리고 이를 根據로 한 樹種別 plot 당 1회 撒布量이 주어지고 있다. plot 당 降雨 受容面積은 兩 樹種 共히 plot 당 50個의 pot가 配置되어, 소나무의 境遇에는 0.9248cm<sup>2</sup>로, 개나리는 2.6450m<sup>2</sup>로 計算되었다. 酸性雨 撒布는 苗木이 植栽 또는 挿木되어 活着된 1個月 후인 5月 1일부터 8月 31일까지 4個月間, Table 3에 提示된 月別 撒布回數(月平均 降雨回數)와 plot 당 1회 撒布量에 따라, 지렛대식 噴霧器를 使用하여 實施하였다. 天然降雨는 그때마다 Vinyl tunnel로 遮斷되었다.

#### 3. 植物體 分析

1986年 10月 31日 全 苗木을 掘取하여 수도물로 洗滌과 異物質을 除去한 후, 蒸溜水로 수차례 洗滌한 다음, dry oven에 넣어 80℃로 72時間 乾燥시킨 후, 部位別(잎, 줄기, 뿌리)로 粉碎器로 갈았다. 試料 0.5g에 진한 黃酸과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 넣어 濾過

시킨 溶液으로, 窒素는 Micro kjeldahl 蒸溜 滴定法으로, 磷酸은 Vanadate 法으로, 칼륨은 Flame photometer 法으로, 칼슘 및 마그네슘은 E.D.T. A. 滴定法으로 그 含量을 각각 定量하였다. 硫黃 含量은 試料 0.2g에 HClO<sub>4</sub>와 HNO<sub>3</sub> 溶液을 1:3의 比率로 넣고 加熱한 다음, BaCl<sub>2</sub> 溶液을 넣고 회화로(800~900℃)에서 회화시켜 灰分을 秤量하는 Magnesium nitrate 法으로 定量하였다. 植物體의 各 部位別 含有成分 分析은 處理當(plot 당) 1點씩 3反復이었다.

#### 結果 및 考察

健全한 잎의 乾重에 대한 各 元素의 比較量으로 1,000 ppm 以上의 量을 가지고 있는 것에는 窒素(20,000 ppm), 칼륨(15,000 ppm), 칼슘(15,000 ppm), 마그네슘(3,000 ppm), 磷(2,500 ppm) 및 硫黃(2,000 ppm)이 있다.<sup>40)</sup> 따라서 本 研究에서 酸性雨が 植物體의 各 部位(잎, 줄기 및 가지, 뿌리)별로 多量元素의 含量에 미치는 影響을 分析하였으며, 그 結果가 소나무는 Table 4에, 개나리는 Table 5에 보이고 있다.

##### 1. 葉內 含有成分

소나무 苗木에 있어서 葉內 含有成分은 酸性雨 處理에 含量變化가 招來되었으며, 그중에서 CaO 含量은 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 크게 減少하여 1%의 有意性을 보여 주었고, S의 含量은 增加하여 5%의 有意性을 나타내었다. 개나리 苗木에 있어서는 酸性雨 處理로 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO의 含量은 減少하여, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO는 1%의 有意性을, MgO는 5%의 有意性을 나타내었으며, N와 S의 含量은 增加하여 N는 5%의, S는 1%의 有意性을 각각 보여주었다(Fig. 1).

소나무와 개나리의 酸性雨에 대한 反應을 比較할 때, 葉內 含有成分은 두 樹種 모두 成分에 따

**Table 4.** Mean values of nutrient contents in leaf, stem-branch and root of *Pinus densiflora* seedlings by pH levels of acid rain(Oct. 31, 1986).

Division	pH levels	Nutrient contents (%)					
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
Leaf	Control(pH 5.5)	1.44	.36	.83	.75	.37	.11
	pH 4.0	1.56	.33	.77	.70	.38	.12
	pH 2.0	1.59	.32	.74	.56	.34	.15
	F-value	2.76	1.28	4.55	128.00**	2.70	17.72*
1-year-old stem-branch	Control(pH 5.5)	.87	.39	.72	.53	.41	.13
	pH 4.0	1.02	.34	.72	.55	.34	.11
	pH 2.0	.90	.29	.63	.43	.31	.13
	F-value	10.60*	2.96	4.08	4.07	10.09*	6.92
2-year-old stem	Control(pH 5.5)	.66	.18	.43	.44	.20	.075
	pH 4.0	.75	.20	.47	.58	.19	.079
	pH 2.0	.79	.26	.48	.44	.19	.070
	F-value	6.88	52.00**	5.25	40.55**	1.00	4.88
Root	Control(pH 5.5)	.83	.51	.95	.59	.31	.15
	pH 4.0	.97	.52	1.00	.54	.26	.17
	pH 2.0	1.03	6.28	.91	.37	.29	.21
	F-value	13.37*	61.83**	2.06	8.30*	.66	51.00**

\* and \*\* show significances at 5% and 1% levels, respectively.

**Table 5.** Mean values of nutrient contents in leaf, stem and root of *Forsythia koreana* rooted cuttings by pH levels acid rain(Oct. 31, 1986).

Division	pH levels	Nutrient contents (%)					
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
Leaf	Control(pH 5.5)	.74	.68	1.22	1.58	.62	.115
	pH 4.0	.88	.44	1.06	1.40	.56	.120
	pH 2.0	.91	.24	.75	.96	.48	.218
	F-value	11.00*	144.00**	281.17**	52.62**	8.16*	50.50**
Stem	Control(pH 5.5)	.31	.12	.46	.26	.21	.026*
	pH 4.0	.32	.12	.48	.24	.26	.034
	pH 2.0	.35	.10	.45	.24	.23	.048
	F-value	4.16	2.80	2.60	7.00*	1.84	12.54*
Root	Control(pH 5.5)	.46	.33	.87	.40	.32	.087
	pH 4.0	.53	.29	.86	.36	.36	.101
	pH 2.0	.80	.21	.90	.25	.47	.274
	F-value	76.76**	223.00**	.75	83.74**	36.50**	38.33**

\* and \*\* show significances at 5% and 1% levels, respectively.

라 增減傾向이 類似하게 나타났으며, 개나리가 소나무에 비해 敏感한 反應을 보였다.

葉內 窒素 含量에 있어서, 소나무 잎의 含量이 모든 pH 水準에서 개나리보다 크게 나타났으며, 두 樹種 모두 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 增加하였으며, 개나리에서만 5%의 有意性이 나타나 개나리가 소나무에 비해 敏感한 反應을 보였다. 이와같이 酸性雨 處理에 葉內 N 含量이 增加된 結果는 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 葉內

N 含量이 增加된 Kim<sup>10)</sup>, MacDonald<sup>12)</sup>, 鄭<sup>25)</sup> 및 吳<sup>36)</sup>의 研究結果와 一致하고 있었다. 酸性雨에 의한 葉內 N 含量의 增加는 酸性雨에 包含된 多量의 窒素成分이 植物體에 直間接的으로 養料作用을 한 데에서 起因된 것으로 보인다.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量에 있어서는 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 소나무는 미약한 減少反應이 나타났으나, 개나리에서는 크게 減少하여 1%의 有意性을 보여 주었다. 이러한 結果는 鄭<sup>25)</sup>의 잣나무에서의

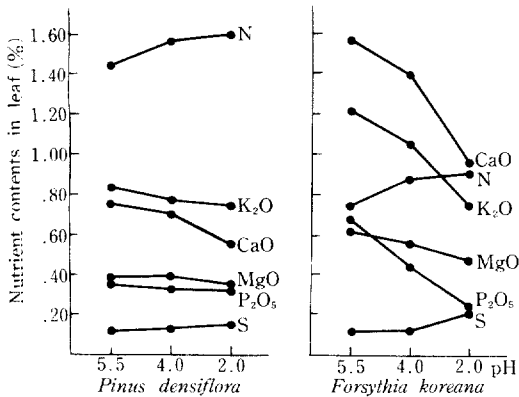


Fig. 1. Concentrations of nutrient contents in leaf tissue affected by pH levels of acid rain.

觀察과 一致하고 있었으며, 은행나무, 전나무 및 소나무에서 一定한 傾向이 나타나지 않은 吳<sup>36)</sup>의 研究結果와는 一致하지 않았다.

K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO의 葉內 含量에 있어서 소나무에서는 酸性雨 處理에 모든 含量이 減少하였으며, CaO에서는 크게 減少하여 1%의 有意성을 보여 주었다. 개나리에서는 모두가 減少하여 K<sub>2</sub>O와 CaO의 含量에서는 1%의, MgO에서는 5%의 有意성을 보여, 소나무보다는 개나리가 酸性雨에 敏感하였다. 이와같이 酸性雨에 의한 含量의 減少는 CaO와 MgO에서 鄭<sup>25)</sup>과 吳<sup>36)</sup>의 研究結果와 一致하고 있었으며, Hutchinson<sup>7)</sup>과 Kim<sup>10)</sup>의 觀察과는 一致하지 않았다. 이들은 酸性雨 處理로 葉內 K, Ca 및 Mg의 含量이 增加됨을 發見하고, 이와같은 增加 原因은 얇은 층의 土壤일 경우, 酸性雨에 溶脫된 土壤의 置換性 陽이온을 뿌리가 쉽게 利用하였기 때문이라고 하였다.

Wood와 Bormann<sup>22)</sup>은 pinto bean과 sugar maple 잎에 酸性雨를 撒布한 結果, 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 잎으로부터의 K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> 및 Mg<sup>++</sup>의 溶出量이 增加하였으며, pH 3.0 및 그 以下에서는 H<sup>+</sup>의 높은 濃도에 의해 葉組織이 損傷되었다고 하였다. 또한 Mollitor와 Raynal<sup>15)</sup>은 林外의 降水物보다 林內 通過水에서 K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> 및 Mg<sup>++</sup>의 含量이 더 많았음을 觀察하고, 이는 빗물 속에 包含된 陰이온인 黃酸鹽과 窒酸鹽이 잎에 부착된 이들 元素들을 溶出시키는데 크게 作用하였기 때문이라고 하였다. 그리고 그밖의 여러 研究者들<sup>2,5,14,19)</sup>도 樹木을 비롯한 여러 植物을 對象으

로 한 試驗에서 잎의 cuticle에 吸着된 陽이온이 酸性雨의 H<sup>+</sup>에 의해 置換되고 있음을 觀察하였다. 本 研究에서 葉內 K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO의 減少는 酸性雨의 H<sup>+</sup>에 의한 葉內 養料 溶出과 土壤內 陽이온의 溶脫<sup>26)</sup>로 인한 것으로 생각된다.

葉內 S의 含量에 있어서는 소나무 및 개나리 모두 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 增加하고 있었으며, 統計的 有意성을 보이고 있었다. 이와 같은 結果는 葉內 S와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S 濃도가 酸性雨에 增加된 Kim<sup>10)</sup>, Tveite<sup>20)</sup> 및 鄭<sup>25)</sup>의 研究結果와 赤松과 개나리를 비롯한 9個 樹種에 黃酸으로 만든 酸性雨를 撒布한 結果, 黃酸 濃도가 높아짐에 따라 葉內 硫黃 含量이 增加되었으며, 개나리에서의 葉內 硫黃 含量이 소나무 보다 높게 나타난 富谷建三等<sup>42)</sup>의 研究結果와 一致하고 있었다. 이러한 現狀은 SO<sub>2</sub> 煙煙試驗에서도 비슷한 結果가 나타나고 있다.<sup>24,29,32,33)</sup> 本 研究에서 葉內 S 含量의 增加는 酸性雨의 主成分인 硫黃이 일어나 뿌리를 통해 吸收된 데에서 起因된 것으로 보인다.

酸性雨が 소나무와 개나리苗木의 葉內 含有成分에 미치는 影響을 綜合的으로 考察하면, 소나무에서는 CaO와 S 以外의 成分에는 별다른 影響을 미치지 못하였으나, 개나리에서는 모든 成分에 影響을 미쳐 개나리가 소나무에 비해 敏感한 反應을 보이고 있음을 알 수 있었다. 그리고 葉 分析 結果는 대개 葉內의 養料 濃도와 生長 程度가 正相關을 보이지만, 本 研究에서는 直線相關이 나타나지 않아, 酸性雨が 養料有用性を 一時的으로 높혀 生長增加<sup>29)</sup>가 發生될지 모르나, 長期間의 酸性雨는 葉內 陽이온의 溶出과 土壤에서의 陽이온의 溶脫을 惹起시켜, 우리나라와 같은 瘠薄한 林地와 都市 綠地에서는 樹木의 生長이 減退될 것으로 思料된다.

## 2. 줄기 및 가지內 含有成分

Fig. 2는 소나무와 개나리苗木의 줄기 및 가지에 含有된 成分을 酸度水準別로 나타낸 것으로, 모든 酸度水準에서 소나무의 成分이 개나리의 그것에 비해 크게 나타났다.

N의 含量에서는 두 樹種 모두 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 增加하는 傾向을 보였으며, 소나무 1年生 줄기에서는 pH 4.0 處理에서 가장 높

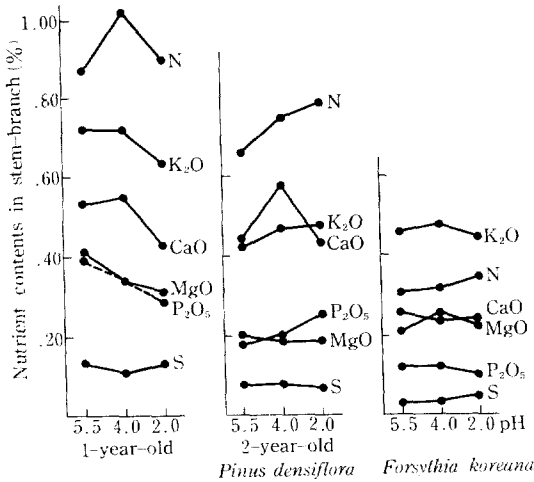


Fig. 2. Concentrations of nutrient contents in stem-branch tissue affected by pH levels of acid rain.

은 함량을 보여, 分散分析의 結果 5%의 有意性을 나타내었다. 이러한 結果는 含量的 差異는 있으나 葉內 N 含量的 變化와 一致하고 있었다. 이는 酸性雨에 包含된 窒素成分이 잎이나 뿌리를 통해 吸收利用된 結果임을 알 수 있었다.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>에 있어서는 소나무 1年生 줄기와 개나리에서 減少傾向이 있었으나 統計的 有意性은 없었으며, 소나무 2年生 줄기에서는 含量이 크게 增加하여 1%의 有意性을 보여 주었다. 이와같은 結果는 葉內 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 含量과는 相反되는 結果이었다.

K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO의 含量에 있어서, 소나무 1年生 줄기는 모두 含量的 減少가 招來되어 葉內 含有成分의 傾向과 一致하고 있었으며, MgO의 含量에서만 統計的 有意性이 있었다. 소나무 2年生 줄기의 含量에 있어서 CaO는 pH 4.0 處理에서 가장 높은 含量을 보여, 葉內 含量 傾向과는 一致하지 않았다. 개나리에 있어서는 CaO 含量만이 5%의 有意性을 보였으며, K<sub>2</sub>O와 MgO에서는 一定한 傾向을 볼 수가 없었다. 本 研究에서 잎과 줄기間에 K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO 含量의 減少傾向이 一致되지 않는 理由는 酸性雨에 잎이 줄기보다 敏感한 反應을 보인 結果라고 생각된다.

줄기와 가지의 S 含量에 있어서, 소나무는 一定한 傾向이 없었으며, 개나리는 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 增加하여 5%의 有意性을 보여 주었다. 이는 개나리가 소나무에 비해 S에 대한

反應이 敏感하였음을 보여주는 것이고, 또한 줄기나 가지가 잎에 비해 둔한 反應을 보인 結果임을 알 수 있었다.

酸性雨가 줄기 및 가지의 含有成分에 미치는 影響을 綜合的으로 考察해 보면, 소나무는 잎에서의 傾向과 一致되지 않았으며, 개나리는 잎에서의 傾向과 비슷하였다. 그러나 잎보다는 둔한 反應을 보여 酸性雨가 잎에서는 直接的인 影響을, 줄기에서는 잎과 뿌리를 통한 間接的인 影響을 미치고 있음을 알 수 있었다.

### 3. 뿌리內 含有成分

소나무 및 개나리 苗의 뿌리에 含有된 成分을 酸性雨의 pH 水準別로 分析한 內容이 Fig. 3에 보인다. 뿌리 組織의 N 含量은 소나무와 개나리 모두 잎과 줄기에서의 傾向과 마찬가지로 增加하는 傾向을 보였으며, 소나무에서는 5%의 有意性을, 개나리에서는 1%의 有意性을 보여, 개나리가 소나무에 비해 敏感하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 含量 變化에 있어서는 두 樹種 모두 크게 減少하고 있었으며, 高度의 有意性을 보이고 있었다. 이와같은 結果는 잎에서의 減少 傾向과 類似하였으나, 잎보다 뿌리가 더 敏感한 反應을 보였다.

K<sub>2</sub>O, CaO 및 MgO의 含量에 있어서 소나무는 CaO에서만 減少하여 1%의 有意性을 보였고, 개나리에서는 K<sub>2</sub>O는 含量 變化가 없었고, CaO는 減少분, MgO는 增加하여 각기 1%의 有意性을

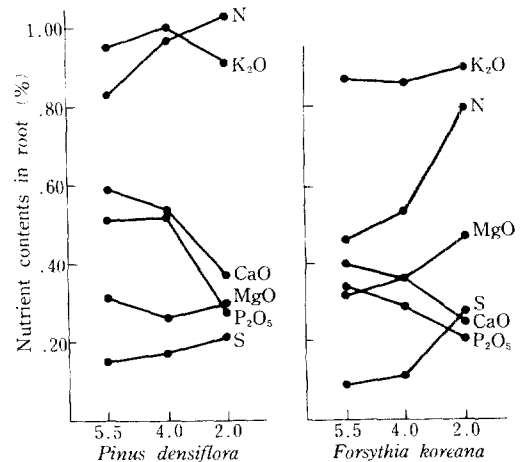


Fig. 3. Concentrations of nutrient contents in root tissue affected by pH levels of acid rain.

보여 주었다. 이러한 結果는 앞에서의 傾向과 一致되지 않았으며, Norway spruce와 은행나무의 뿌리에서 Mg의 含量이 減少한 Kim<sup>10)</sup>과 Tveite<sup>20)</sup>의 研究結果와도 一致하지 않았다. 本 研究에서 Mg의 增加는 酸性雨 處理로 Mg<sup>++</sup>의 有用성이 一時的으로 增加된 現象으로 보이며, 이러한 增加 現象이 葉록소 形成에 크게 影響을 미친<sup>26)</sup> 것으로 생각된다. CaO의 減少現象은 土壤에서의 置換性 陽이온이 溶脫된 대에서 起因된 것으로 보인다.

뿌리組織의 S 含量에 있어서는 두 樹種 모두 酸性雨에 크게 增加하였으며, 分散分析의 結果, 高度의 有意성을 보여 주었다. 이러한 結果는 葉內 S의 含量과 비슷한 傾向을 나타내고 있어, 酸性雨が 줄기나 가지보다는 잎과 뿌리에 直接的인 影響을 미치고 있음을 보여주고 있는 것이다.

酸性雨が 뿌리의 含有成分에 미치는 影響을 綜合적으로 考察해 보면, 소나무에 있어서는 줄기보다는 反應이 敏感하였으며, 잎과는 含有成分別로 類似한 傾向을 보였으나 잎보다는 뿌리가 敏感한 反應을 보였다. 개나리에 있어서는 앞에서의 傾向과 類似하였으나, K<sub>2</sub>O의 境遇 높은 反應을 보인 일에 반해 뿌리에서는 變化가 없었고, MgO에서는 앞에서 減少하였으나 뿌리에서는 增加되는 相反된 反應을 보였다.

### 引用文獻

1. Abrahamsen, G. 1980. Acid precipitation, plant nutrients and forest growth. Pages 58-63 in Droblos, D. and A. Tollan (eds.) Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norway.
2. Attiwill, P.M. 1966. The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature eucalyptus forest. Plant and Soil 24(3) : 390-406.
3. Cates, R.L. Jr., V.A. Haby, E.O. Skogley and H. Ferguson. 1984. Effects of by-product sulfuric acid on phyto availability of nutrients in irrigated calcareous, saline-sodic soils. J. Environ. Qual. 13 : 252-256.
4. 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.
5. Fairfax, J.A.W. and N.W. Lepp. 1975. Effect of simulated acid rain on cation loss from leaves. Nature 255 : 324-325.
6. Heagle, A.S., R.B. Philbeck, P.F. Brewer and R.E. Ferrell. 1983. Responses of soybeans to simulated acid rain in the field. J. Environ. Qual. 12 : 538-543.
7. Hutchinson, T.C. 1980. Effects of acid leaching on cation loss from soils. Pages 481-497 in Hutchinson, T.C. and M. Havas (eds.) Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems. Plenum Press.
8. Johnson, B. and R. Sundberg. 1972. Has the acidification by atmospheric pollution caused a growth reduction in Swedish forests? A comparison of growth between regions with different soil properties. Rapportur och Uppsatser, Institutionen för Skogsproduktion, Skogshögskolan, Sweden. 20 : 46 pp.
9. Jones, U.S., M.G. Hamilton and J.B. Pitner. 1979. Atmospheric sulfur as related to fertility of ultisols and entisols in south Carolina. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43 : 1169-1171.
10. 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. Ph. D. Dissertation. Seoul National Univ.
11. 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.
12. MacDonald, N.W., J.B. Jr. Hart and P.V. Nguyen. 1986. Simulated acid rain effects on jack pine seedling establishment and nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50 : 219-225.
13. Malziris, D.L. and G. Nakos. 1978. Effects of simulated acid rain on juvenile characteristics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill). Forest Ecology and Management 1(3) :



- 267-272.
14. Mecklenburg, R.A., H.B. Tukey and J.V. Morgan. 1966. A mechanism for the leaching of calcium from foliage. *Plant Physiol.* 41(4) : 610-613.
  15. Mollitor, A.V. and D.J. Raynal. 1982. Acid precipitation and ionic movements in Adirondack forest soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46(1) : 137-141.
  16. Morrison, I.K. 1984. Acid rain: A review of literature on acid deposition effects in forest ecosystems. *Forestry Abstracts* 45(8) : 483-506.
  17. Ogner, G. 1980. Effects of acid precipitation on soil and forest: 10. The effect of growth of Norway spruce on soil acidity by acid irrigation. Pages 208-209 in Drablos, D. and A. Tollan(eds.) *Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid precip., Norway.*
  18. Puckett, L.J. 1982. Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York. *J. Environ. Qual.* 11 : 376-381.
  19. Tukey, H.B. 1980. Some effects of rain and mist on plants, with implications for acid precipitation. Pages 140-150 in Hutchinson, T.C. and M.Havast(eds.) *Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems.* Plenum Press.
  20. Tveite, B. 1980. Effects of acid precipitation on soil and forest: 8. Foliar nutrient concentrations in field experiment. Pages 204-205 in Drablos, D. and A. Tollan (eds.) *Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norway.*
  21. Wood, T. and F.H. Bormann. 1976. Short-term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of *Pinus strobus* L., U.S.D.A. For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-23, 815-826.
  22. Wood, T. and F.H. Bormann. 1975. Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. *Ambio* 4 : 169-171.
  23. Wood, T. and F.H. Bormann. 1974. The effects of artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis* Britt. *Environ. Pollut.* 7 : 259-269.
  24. 鄭永鎬, 金福榮, 李重吉, 韓基碩. 1975. 大豆에 對한 低濃度 亞黃酸가스의 影響. *農事試驗 研究報告* 18 : 29-34.
  25. 鄭龍文. 1987. 人工酸性雨が 잣나무 幼苗의 生長, 葉內含有成分 및 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響. *韓國林學會誌* 76 : 25-32.
  26. 鄭龍文. 1986. 人工酸性雨が 소나무幼苗 및 개나리插木苗의 生長, 植物體內 含有成分 및 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響. 東國大學校 博士學位論文.
  27. 조무현, 홍성각, 최명섭. 1986. 산림식생의 생태적 변화에 미치는 영향, 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향. *과학기술처* 133-171.
  28. 崔德一, 韓義正, 林根相, 金黃深. 1980. 降水物 成分變化에 依한 大氣汚染度의 間接測定 및 評價에 關한 研究. *國立環境研究所報* 2 : 59-61.
  29. 金福榮, 韓基碩. 1980. 亞黃酸가스에 依한 作物別 被害率率 및 가스吸收量 調査. *韓土肥誌*. 13 : 39-44.
  30. 金昌浩, 鄭龍文. 1987. 人工酸性雨が 잣나무 및 쥐똥나무 幼苗의 葉內 葉綠素 含量에 미치는 影響. *韓國林學會誌* 76 : 13-18.
  31. 金甲泰. 1986. 酸性雨, 乾燥 및 食鹽水 處理에 따른 잣나무와 은행나무잎의 組織變化. *韓國林學會誌* 73 : 55-62.
  32. 金在鳳 外. 1985. 大氣汚染이 植物에 미치는 影響에 關한 實驗的 研究 (II). *國立環境研究所報* 7 : 353-370.
  33. \_\_\_\_\_. 1984. 大氣汚染이 植物에 미치는 影響에 關한 實驗的 研究: SO<sub>2</sub>를 中心으로. *國立環境研究所報* 6 : 271-288.
  34. 이흥균, 홍성각, 박찬우. 1986. 소나무 생육 감퇴에 미치는 영향, 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향. *과학기술처* 91-132.
  36. 吳宗煥. 1986. 人工酸性雨が 樹木의 生長과 土壤에 미치는 影響. 慶熙大學校 大學院 碩士學位論文.

37. 오중환, 김영걸, 김경희, 채지석, 강인애. 1986. 산림지역 대기오염도의 경시적 변화, 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향. 과학기술처 3-48.
38. 朴奉奎, 李仁淑, 崔炯善. 1983. 서울시에서의 酸性降雨에 關한 研究. 韓國生活科學研究論叢 32:137-142.
39. 孫東憲, 梁聖七. 1985. 서울시의 酸性物質 降下現狀에 關한 研究. 韓國大氣保全學會誌 1(1):33-41.
40. 任慶彬. 1985. 新稿 造林學原論. 鄉文社 327 pp.
41. 富谷建三, 谷田茂子, 青沼和夫, 高橋美代子. 1975. 雨水中の硫酸根が樹木におよぼす影響(1). 千葉縣林試研報 447-448.
42. \_\_\_\_\_, 川名明, 土井雅子. 1975. 雨水中の硫酸根が樹木におよぼす影響(2). 千葉縣林試研究報 449-451.
43. 古明地 哲人. 1980. 酸性雨, その生成と影響. 現代科學 7:61-65.
44. 吉本國春. 1983. 酸性雨の現況について(2). 環技協ニュース 14:13-14.
45. \_\_\_\_\_. 1982. 酸性雨の現況について. 環技協ニュース 11:13-14.