

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¹

鄭 龍 文²

Effects of Simulated Acid Rain on Growth and Contents of Chemical Substances in Needles of *Pinus koraiensis* Seedlings and on Chemical Properties of the Tested Soil¹

Yong Moon Cheong²

要 約

잣나무(*Pinus koraiensis*) 播種床에 人工酸性雨로 處理하고 生長, 葉內 含有成分 그리고 培地 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響을 酸度水準에 따라 評價하였다. 잣나무 種子를 1985年 봄에 苗圃土壤을 채운 pot 에 播種하고, 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 로 混合하여 地下水로 稀釋한 pH 4.0 및 pH 2.0의 酸性雨와 地下水(pH 6.5)를 5月부터 8月까지 4個月間에 걸쳐 撒布하고, 同年 10月 30日 試料를 採取하여 分析한 結果는 다음과 같았다; 1) 잣나무 播種 苗의 葉內 含有成分의 含量은 酸性雨의 pH 값이 低下됨에 따라 S와 K₂O는 增加를, MgO와 P₂O₅는 減少되었다. 2) 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 土壤酸度는 低下되었고, 置換性 Al 含量은 크게 增加하는 相反된 反應을 보였다. 3) 土壤의 置換性 Ca, Mg 및 K의 含量과 鹽基總量, 鹽基飽和度는 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 顯著하게 減少되었다. 4) 土壤內의 sulfate 含量은 酸性雨의 pH 값이 低下될수록 크게 增加하였다.

ABSTRACT

Simulated acid rain (pH 4.0, pH 2.0) containing sulfuric and nitric acid in the ratio of 60:40 (chemical equivalent basis) diluted with underground water, and underground water (pH 6.5) as control were treated on potted *Pinus koraiensis* seeds during the growing season (May 1 to August 31) in 1985. The regime of artificial acid rain, in terms of spray frequency and amount per plot, was simulated on the basis of climatological data averaged for 30 years of records. The seedling growth, contents of chemical substances in needles and chemical properties of the tested soil were compared among the various pH levels of acid rain on October 31, 1985. Following results were obtained.

1. With decreasing pH levels of acid rain, S and K₂O contents in leaf tissue were increased, but MgO and P₂O₅ contents were decreased.
2. Soil pH was dropped, and exchangeable aluminum content in the tested soil was dramatically increased as the pH levels of acid rain decreased.
3. Exchangeable calcium, magnesium, potassium contents, and base saturation degree of the soil were signi-

¹ 接受 3月 13日 Received on March 13, 1987

² 禮山農業專門大學 Yesan National Agricultural Junior College, Yesan, Korea.

ificantly decreased with decreasing pH levels of acid rain.

4. Sulfate concentrations in the soil were significantly increased as rain pH decreased, but total nitrogen and available phosphate contents were not influenced by acid rain.

Key words: Acid rain; Pinus koraiensis

結 論

都市産業의 發達로 인해 環境에 投入되는 汚染物 質은 增加하여, 美國의 境遇 1977年 總大氣汚染物 質 가운데 黃酸化物은 14% (27.4百萬톤), 窒素酸 化物은 12% (23百萬톤)로 推定되고 있으며, 이밖 에 또 다른 汚染物質이 酸性雨의 前驅物質로 作用 한다 하더라도, 이 두 酸化物이 酸性雨의 主된 成 分으로 指摘되고 있다.²¹⁾ 大氣中에 放出된 黃酸化 物과 窒素酸化物은 水化(hydrolysis)되고 酸化(ox- idation)되면서 大氣中에서 黃酸과 窒酸을 形成하 여 酸性雨が 된다.²³⁾

酸性雨が 陸上 및 水中 生態界에 미치는 影響을 把握하기 위한 努力은 酸性雨에 露出되지 않은 對 照 可能한 生態界의 不足으로 어려움을 겪고 있다. 그러므로 酸性雨에 露出된 生態界를 調査하여 推論 할 수밖에 없고, 그렇지 않으면 人工酸性雨를 投入 하는 實驗에 依存할 수밖에 없다.¹¹⁾

最近 人工酸性雨에 對한 作物과 樹木의 反應에 關하여 많은 研究가 遂行되어 왔다.

Wood와 Bormann³⁸⁾은 yellow brich 苗木의 生長이 酸性雨에 依해 減少되었음을 報告하였으며, Ferenbaugh⁷⁾는 낮은 pH 水準에서 *Phaseolus vulgaris*의 葉內 葉綠素 含量은 減少되었으나 呼 吸 및 光合成率은 增加하였다고 報告하였다. pinto bean과 sugar maple에 있어서는 pH 2.3의 處 理에서 K, Ca, Mg의 含量이 앞에서 容出되었으 며,³⁷⁾ loblolly pine에서 直徑生長이 低下된 報告 가 있다.²⁸⁾ 이밖에도 酸性雨が 土壤에 미치는 一 面으로서, 土壤의 pH가 減少하며,^{14, 18, 22, 26, 30, 34)} 土壤 中の 알루미늄 增加와^{16, 29, 34)} Ca, Mg, K의 溶脫 量 增加가 指摘되고 있다.^{4, 6, 10, 17, 24, 32)} 우리나라에 서도 最近 酸性雨 測定이 試圖되고 있으며,^{2, 27)} 酸 性雨에 依한 樹木의 被害에 關한 研究가 始作되고 있는 實情이다.^{14, 15, 20, 26)}

本 研究은 人工酸性雨が 우리나라 主要 經濟樹種 의 하나인 잣나무 播種苗의 生長과 葉內 含有成分

그리고 培地 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響을 評價하는데 있었다.

材料 및 方法

1. 材料 및 試驗設計

本 研究에 使用된 잣나무(*Pinus koraiensis*) 種 子는 全羅北道 德裕山 海拔高 約 850 m 되는 곳에 小集團을 이루고 있는 天然林으로부터 採種된 것이 다. 播種은 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 土壤으로 化學的 性質은 Table 1의 內容과 같고, 土性은 壤質壤土(silty loam)였다. 床 土調製는 10.0 mm의 그물체로 異物質을 除去하고 plastic pot (上部直徑 13.6 cm, 높이 12.0 cm, 下 部直徑 10.0 cm)에 充塡시킨 후, 露天 埋藏되었던 種 子를 播種하였다.

試驗設計는 亂塊法 3反復으로, 한 plot에 20個 의 pot로 充當하여 總 9 plot × 20 pot = 180 pot 가 所要되었다. 播種 以後의 養苗技術管理는 一般 施業要領에 準하였다.

2. 酸性雨 處理方法

黃酸(H₂SO₄)과 窒酸(HNO₃)을 3 : 2의 比率로 混 合하고 이것을 地下水로 稀釋하여 pH 2.0, pH

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

Texture	Silt loam
PH	6.2
T. N	0.06 %
P ₂ O ₅	60.97 ppm
CEC	7.04 me/100g
K ⁺	0.16 me/100g
Na ⁺	0.28 me/100g
Ca ⁺⁺	3.78 me/100g
Mg ⁺⁺	0.98 me/100g
Total Base	5.20 me/100g
Base Sat.	73.86 %
SO ₄ ⁻⁻	61.44 ppm
Al ⁺⁺	0.56 ppm

4.0 그리고 pH 6.5(對照用으로 地下水 그 自體의 pH 值)의 3 水準으로 調整하였다. 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의 最寄位置에 있는 洪域에서 測定된 30 年間의 降雨樣式에 模擬(simulation) 하였다. 이 內容이 Table 2에 提供되었으며, 表值에 30 年間의 月平均 降雨量, 月平均 降雨回數(1 mm 以下 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되어 降雨 受容面積은 0.374m²로 計算되었으며, 酸性雨 撒布는 지렛대式 噴霧器를 使用하여 5 月 1 日부터 8 月 31 日까지 4 個月間 實施하였다. 天然降水는 그때마다 vinyl tunnel로 遮斷 되었으며, 其他는 露地狀態 그대로 維持하였다.

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

	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/single treatment/plot (mm)	4.38	5.42	8.83	7.37

3. 測定 및 分析方法

苗木이 成熟期에 到達되었다고 看做된 1985年 10 月 31 日, 全 苗木을 掘取하여 蒸溜水로 手차레 洗滌하고 dry oven 에 80℃로 72時間 乾燥시킨 후, mg 單位로 苗木의 地上部 및 地下部 重量을 測定하였으며, 이어서 T-R 率을 計算하였다.

葉內 含有成分의 測定에 있어서는 H₂O₂-H₂SO₄ 濕式分解法으로 製調한 溶液에서 窒素는 Micro kjeldahl 蒸溜 滴定法으로, 磷酸은 Vanadate 法으로, 칼륨은 Flame photometer 測定法으로, 칼슘 및 마그네슘은 E. D. T. A. 滴定法으로, 그리고 硫黃은 Magnesium nitrate 法으로 含量을 各各 定量하였다.

土壤의 化學的 性質을 分析하기 위해서는, 酸度는 pH meter 로, 置換性 Al 은 Aluminon 比色法으로, K와 Na 은 Flame photometer 測定法으로, Ca와 Mg 은 E. D. T. A. 滴定法으로, 全窒素는 Kjeldahl 分解 滴定法으로, 有效磷酸은 Lancas-

ter 法으로, SO₄²⁻ 는 Calcium monophosphate 浸出比濁法으로 그 含量을 各各 定量하였다. 葉內 含有成分과 土壤內 化學的 性質의 分析은 各 處理當(plot 當) 3 試料씩 3 反復이었다.

結果 및 考察

1. 生長量 및 T-R 率

1 年生 잣나무 播種苗의 地上部 및 地下部의 平均 生長量과 T-R 率이 Table 3에 보이고 있다. 平均 生長量은 酸性雨의 pH 값이 減少함에 따라 增加하는 傾向을 나타냈다. 즉 地上部의 平均 生長量에 있어서는 pH 값이 低下됨에 따라 增加하였으며, 地下部 生長量의 境遇에는 pH 4.0에서 크게 增加하였다가 pH 2.0에서는 그보다 減少하였지만 對照區에 비하면 增加한 것으로 나타났다.

T-R 率에 있어서는 pH 4.0에서 減少하다가 pH 2.0에서는 對照區보다 增加하는 傾向을 나타내고 있다. 그러나 地上部 및 地下部의 生長量과 T-R 率에 대한 分散分析의 結果에 있어서는 有意性을 보여주지 않았다. 또한 地上部의 生長量과 地下部의 生長量과는 서로 相關이 없음이 나타났다.

이러한 結果는 11 個 樹種의 播種床을 對象으로 하여 人工酸性雨를 處理한 結果, 酸性雨의 pH 값이 減少됨에 따라 針葉樹인 Douglas-fir 에서는 地上部 및 地下部의 生長量이 增加한 Lee 等¹⁹⁾의 研究와, pH 4.0 以下의 酸性雨에 의해 苗木의 生長이 促進된 Wood와 Bormann³⁰⁾의 研究 結果와 一致하고 있었다. 그러나 은행나무의 播種苗에 있어서는 강한 酸性雨에서 生長量이 減退되며, T-R 率에서는 增加한 Kim¹⁰⁾의 研究 結果와는 相反된 差異를 보이고 있었다. 이와같이 酸性雨에 대한 生長反應은 樹種에 따라 相異하다.¹⁹⁾ 緩衝力이 높은 土壤이나

Table 3. The dry weight of one-year-old *Pinus koraiensis* seedlings by pH levels of acid rain.

pH levels	Dry weight (mg)			T-R ratio
	Total	Top	Root	
Control (pH6.5)	571	285	286	1.00
pH 4.0	636	315	321	0.98
pH 2.0	676	372	304	1.22
Significance level ^a	.61 (NS)	2.71 (NS)	.31 (NS)	3.35 (NS)

^a As determined from F-test

石灰質 土壤에서는 酸性雨が 養料의 구실을 함으로써 生長을 促進시킬 것이지만,^{1,3,13)} 植物 生長에 대한 酸性雨의 影響은 土壤의 化學的 性質과 함께 研究되어야 할 것이다.¹⁰⁾ 本 研究에 있어서 잣나무의 地上部 및 地下部의 生長 促進은 酸性雨が 養料의 作用을 한 結果로 보인다.

2. 葉內 含有成分

健全한 잎의 乾重에 대한 各 元素의 比較量으로 1,000 ppm 以上の 量을 가지고 있는 것에는 窒素, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 磷, 硫黃이 있다.³⁹⁾ 따라서 本 研究에서 酸性雨が 葉內 多量元素의 含量에 미치는 影響을 分析해 보았으며, 그 結果가 Table 4에 보인다.

處理間에 1%의 有意성을 보인 것은 S와 MgO이었으며, 5%의 有意성을 나타낸 것은 P₂O₅와 K₂O이었다.

이들 중 酸性雨의 pH 값이 減少됨에 따라 含量의 增加를 招來한 것은 S와 K₂O로, S는 對照區를 100으로 보았을 때, pH 2.0에서 600%의 增加率을 보여 酸性雨의 主成分인 S가 잎이나 뿌리를 통해 吸收되었음을 알 수 있었고, K₂O는 對照區에 비해 pH 2.0에서 122.2%가 增加하였다. 이는 酸性雨 撒布로 인하여 土壤膠質에 吸着되었던 K⁺이 H⁺과 置換 遊離되어 植物이 쉽게 吸收한 結果로 보여진다. 이러한 結果는 H₂SO₄와 HNO₃를 3:2로 稀釋하여 製調한 人工酸性雨를 은행나무, 잣나무 및 소나무 苗木에 撒布한 結果, 酸性雨의 pH 값이 減少됨에 따라 S와 K₂O의 含量이 增加한 吳²⁶⁾의 觀察과, H₂SO₄와 HNO₃를 3:1로 만든 酸性雨를 은행나무 苗木에 撒布한 結果 pH 값이 減少됨에 따라 K의 含量이 增加한 Kim¹⁴⁾의 研究結果와 一致하고 있었다. 그러나 S의 傾向에 있어서 吳²⁶⁾

의 報告는 本 研究結果보다는 둔한 增加 傾向을 보이고 있었다.

한편, 酸性雨의 pH 값이 低下됨에 따라 含量의 減少가 나타난 것은 MgO와 P₂O₅로, 吳²⁶⁾의 研究 結果 중에서 MgO의 減少 傾向은 本 研究結果와 一致하고 있었으나, Kim¹⁴⁾의 報告는 反對로 增加하고 있었다. 그리고 P₂O₅에서 吳²⁶⁾는 含量의 變化가 거의 없어 本 研究結果와는 一致하지 않았다.

統計的 有意성은 없었으나 N의 含量에 있어서, 本 研究에서는 酸性雨의 pH 값이 減少됨에 따라 微弱한 增加 傾斜가 나타났다. 이러한 結果는 Tveite³³⁾와 Kim¹⁴⁾의 研究結果와 類似한 傾向이었으며, 이는 酸性雨에 의해 窒素가 供給된 데에서 起因된 結果로 보여진다.

CaO 역시 統計的 有意성은 없었으나 酸性雨의 pH 값이 低下됨에 따라 含量이 減少하는 傾向을 보였다. 이러한 結果는 吳²⁶⁾의 研究와는 類似하였으나 Kim¹⁴⁾의 報告와는 相反되고 있었다.

Hutchinson⁹⁾은 酸性雨 處理로서 植物體內的 Ca, Mg, K의 含量이 一時的으로 增加한다고 報告한 바 있다. 以上の 文獻考察과 本 研究의 結果를 考察해 볼 때, 酸性雨에 의한 葉內 含有成分의 變化는 MgO, P₂O₅, CaO에서 약간의 相反된 反應을 보이고 있는데, 이것은 植物種, 酸性雨 調製 및 撒布方法, 試驗期間, 土壤의 差에 起因된 것으로 보인다.

3. 培地 土壤의 化學的 性質

植物體의 生長量 測定과 養料 分析이 끝난 후인 1985年 10月 30日, 土壤을 採取하여 土壤 酸度, 全窒素, 有效磷, 置換性 陽이온, 鹽基總量, 鹽基飽和率, 黃酸鹽 및 置換性 알루미늄에 대한 化學的 成分을 酸度水準別로 測定한 結果가 Table 5에 보이고 있다.

Table 4. Nutrient contents in leaf tissues of *Pinus koraiensis* seedlings expressed in percent dry weight (Oct. 31, 1985)

Nutrient	pH levels			Average(%)	Significance level ^a
	Control (6.5)	4.0	2.0		
N	1.37(100) ^b	1.40 (102.2)	1.42 (103.6)	1.40 (102.2)	NS
P ₂ O ₅	.33 (100)	.37 (112.1)	.24 (72.7)	.31 (93.9)	0.05
K ₂ O	.63 (100)	.70 (111.1)	.77 (122.2)	.70 (111.1)	0.05
CaO	.56 (100)	.47 (83.9)	.44 (78.6)	.49 (87.5)	NS
MgO	.44 (100)	.48 (109.1)	.32 (72.7)	.41 (93.2)	0.01
S	.03 (100)	.10 (333.3)	.18 (600.0)	.10 (333.3)	0.01

^a As determined from F-test.

^b Percentage to control.

Table 5. Mean values of soil chemical properties of *Pinus koraiensis* seedlings measured on October 31, 1985 by pH levels

Chemical properties	pH levels			Average	Significance level ^a
	Control (6.5)	4.0	2.0		
pH (H ₂ O 1:5)	6.25	5.90	4.27	5.48	0.01
K ⁺ (me/100g)	.16	.17	.10	.14	0.01
Na ⁺ (me/100g)	.21	.20	.27	.23	NS
Ca ⁺ (me/100g)	3.10	2.86	.63	2.20	0.01
Mg ⁺⁺ (me/100g)	1.17	1.21	.24	.87	0.01
Total Base (me/100g)	4.65	4.43	1.23	3.44	0.01
Base sat. (%)	64.72	65.72	15.02	48.49	0.01
SO ₄ ⁺⁺ (ppm)	55.46	48.65	105.50	69.87	0.01
T. N (%)	.05	.05	.05	.05	NS
P ₂ O ₅ (ppm)	60.27	61.93	59.32	60.49	NS
Al ⁺⁺ (ppm)	2.92	5.90	151.03	53.29	0.01

^aAs determined from F-test

土壤酸度 및 置換性 알루미늄 含量

本 研究에서 酸性雨의 pH 값이 減少됨에 따라 土壤 pH는 低下되고 있었고, 置換性 Al 含量은 큰 폭으로 增加되는 相反된 傾向을 보이고 있었다. 이들은 分散分析의 結果에 있어서도 高度의 有意성을 보였다. (Fig. 1)

이와같은 酸性雨 處理에 의한 土壤 pH의 低下는 吳²⁶⁾ 와 Kim¹⁴⁾ 그리고 Rippon³⁰⁾의 研究結果와 一致하고 있었으며, 이것은 SO₂ 薰蒸實驗에서도 같

은 現象을 나타내고 있었다.¹⁸⁾ 土壤 pH가 低下되는 原因은 酸性雨에 起因되며,²²⁾ 酸性雨에 대한 土壤의 反應은 주로 土壤의 緩衝能力에 달려 있는 것으로 보고 있다.^{25, 35)} Ulrich 等³⁴⁾은 1966년부터 1979年 사이에 유럽 中部地域의 森林土壤을 調査한 結果, 酸性雨에 의해 土壤 pH가 顯著히 低下되었으며, Al 含量이 植生에 害를 미칠만큼 增加하였다고 報告하였다. 置換性 Al 含量은 土壤 酸度나 土壤 有機物 含量과 密接한 關係가 있는 것으로 보인다.^{29, 40)}

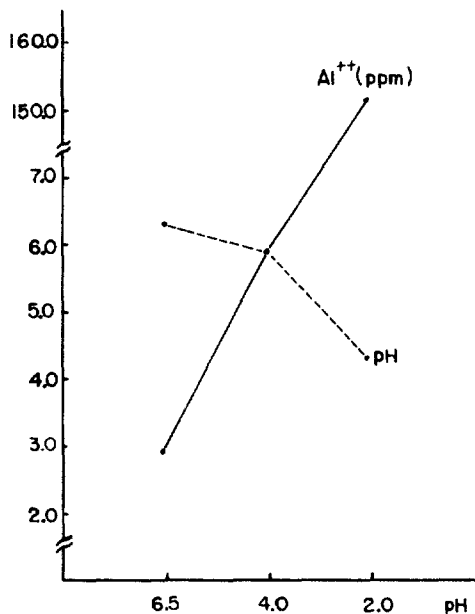


Fig. 1. Soil pH and exchangeable aluminum contents in tested soil between pH levels of acid rain.

置換性 陽이온, 鹽基總量 및 鹽基飽和率

Fig. 2는 酸度水準에 따라 置換性 陽이온, 鹽

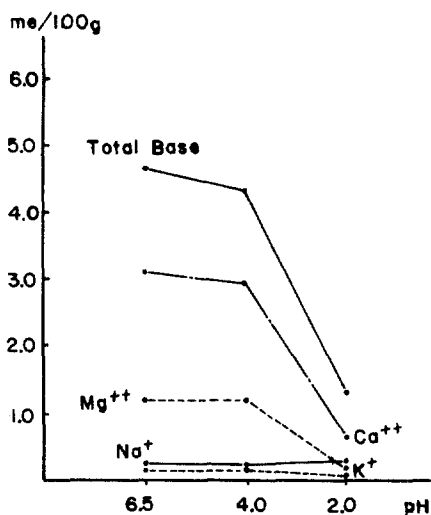


Fig. 2. Exchangeable cations and total base contents in tested soil between pH levels of acid rain.

基總量 그리고 鹽基飽和度の 含量 變化를 나타내고 있다. 酸性雨 處理에 거의 影響을 받지 않은 Na 을 除外한 K, Ca, 그리고 Mg 의 含量은 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 크게 減少하였으며, 分散分析의 結果 高度의 有意性을 보여 주고 있었다. 따라서 鹽基總量과 鹽基飽和率도 크게 減少하여 1%의 有意性을 나타냈다.

이와 같은 結果는 Cronan⁴⁾ 과 Cronan 等⁵⁾ 이 balsam 잣나무林에서 Mg, Ca 및 K 이온이 酸性雨로 인해 溶脫되고 있음을 觀察한 報告와, 吳²⁶⁾ 와 Kim¹⁴⁾ 이 은행나무, 잣나무, 소나무의 pot 苗에서 觀察한 結果와도 一致되고 있었다. 酸性雨에 依한 植物生育의 必須養料인 置換性 鹽基類의 土壤에서의 溶脫과 鹽基飽和度の 減少는 많은 研究家들에 依해 共通的으로 指摘되고 있는 現象이다.^{10, 17, 24, 32)}

黃酸鹽, 全窒素 및 有效磷酸 含量

培地 土壤에서의 sulfate 濃度は 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 크게 增加하는 傾向을 보였으며, Anova의 結果 高度의 有意性을 나타내었다.

이러한 結果는 吳²⁶⁾ 와 Kim¹⁴⁾의 研究와 一致하고 있었으며, Haines⁸⁾ 및 Singh 等³²⁾의 觀察과도 같은 傾向이었다. 土壤에서의 SO_4^{--} 吸着能力은 置換性 陽이온 濃도와 關聯되며,³⁶⁾ 그 能力은 pH 水準이 低下될 때 增加되는 것으로 보여진다.^{12, 31, 41)}

全窒素 및 有效磷酸 含量에 있어서는 吳²⁶⁾ 와 Kim¹⁴⁾의 研究結果와 같이 處理間에 含量의 變化가

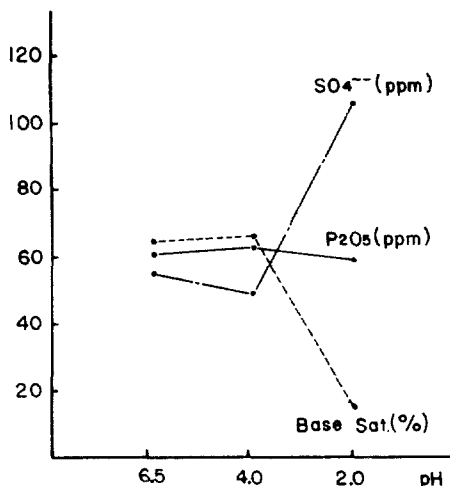


Fig. 3. Sulfate and available concentrations, and base saturation degree in tested soil between pH levels of acid rain.

없었다. 그러나 酸性雨 속에 多量의 窒酸이 含有되었고, 또 葉內 窒素含量에 微弱한 增加 傾斜가 나타났음에도 不拘하고 土壤內의 窒素含量에 變化가 없는 것이 特異하였으며, 有效磷酸의 境遇 葉內에서는 減少 傾向에 有意性이 있었는데 반해, 土壤內에서는 處理別로 差異가 나타나지 않았다. (Fig. 3)

結 論

人工酸性雨が 잣나무(*Pinus koraiensis*) 播種苗의 生長, T-R率, 葉內 含有成分, 그리고 培地 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響을 酸度水準에 따라 評價하고자 試圖되었다. 잣나무 種子를 1985年 3月 31日 苗圃 土壤을 채운 pot에 播種하고, 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 3:2로 混合하여 地下水로 稀釋한 pH 4.0 및 pH 2.0의 酸性雨와 地下水(對照用으로 地下水 그 自體의 pH 值)를 5月 1日부터 8月 31日까지 4個月間에 걸쳐 撒布하고, 同年 10月 31日 試料를 採取하여 分析한 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 葉內 含有成分의 含量은 酸性雨의 pH 값이 低下됨에 따라 S와 K₂O는 增加를, MgO와 P₂O₅는 減少되었으며, 處理間에 各各 有意性이 認定되었다. 그러나 N와 CaO는 酸性雨에 크게 影響받지 않았다.
2. 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 土壤 酸度は 低下되었고, 置換性 Al 含量은 크게 增加하는 相反된 反應을 보였으며, 處理間에 高度의 有意性이 認定되었다.
3. 土壤의 置換性 Ca, Mg 및 K의 含量과 鹽基總量, 鹽基飽和度는 酸性雨의 pH 값이 낮아짐에 따라 顯著하게 減少되었고, 置換性 Na 含量은 處理間에 變化가 없었다.
4. 土壤內의 sulfate 含量은 酸性雨의 pH 값이 低下될수록 크게 增加하였으며, 全窒素 및 有效磷酸의 含量은 酸性雨의 影響을 거의 받지 않았다.

引 用 文 獻

1. Cates, R. L. J., V. A. Haby, E. O. Skogley and H. Ferguson. 1984. Effect of by-product sulfuric acid on phyto-availability of nutrients in irrigated calcareous, saline-sodic soil. J. En-

- viron. Qual. 13: 252-256.
2. 崔德一, 韓義正, 林根相, 金黃洙. 1980. 降水物成分變化에 의한 大氣汚染度の 間接測定 및 評價에 關한 研究. 國立環境研究所報 2: 59-61.
 3. Cole, D. W. and D. W. Jahnson. 1977. Atmospheric sulfate additions and cation leaching in a Douglas fir ecosystem. Water Resource Research 13(2): 313-317.
 4. Cronan, C. S. 1980. Solution chemistry of a New Hampshire subalpine ecosystem: A biogeochemical analysis. Oikos 34: 272-281.
 5. 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.
 6. Deland, M. R. 1980. Acid rain. Environ. Sci. Tech. 14(6): 657.
 7. Ferenbaugh, R. W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). Amer. J. Bot. 63: 283-288.
 8. Haines, B. L. 1983. Forest ecosystem SO_4 -S input-output discrepancies and acid rain: Are they related? Oikos 41: 139-143.
 9. Hutchinson, T. C. 1980. Effects of acid leaching on cation loss from soils. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. Ecology. 481-497.
 10. Irving, P. M. 1983. Acidic precipitation effects on crops: A review and analysis of research. J. Environ. Qual. 12: 442-453.
 11. John, D. W. 1981. The natural acidity of some unpolluted waters in southeastern Alaska and potential impacts of acid rain. Water, Air, and Soil Pollution 16: 243-252.
 12. Johnson, D. W. 1980. Site susceptibility to leaching by H_2SO_4 in acid rainfall. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystem. NATO conference series 1. Ecology. 525-536.
 13. 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.
 14. 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 University. Ph. D. Dissertation.
 15. 金甲泰. 1986. 酸性雨, 乾燥 및 食鹽水 處理에 따른 잣나무와 은행나무 잎의 組織變化. 韓林誌 73: 55-62.
 16. 金泰旭. 1985. 大氣汚染과 農林業. 韓國環境農學會誌 4: 57-64.
 17. 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 hard wood forests. J. Environ. Qual. 11: 57-64.
 18. Lee, E. H., H. E. Heggstad and J. H. Bennett 1982. Effects of sulfur dioxide fumigation in open-top field chambers on soil acidification and exchangeable aluminum. J. Environ. Qual. 11: 99-102.
 19. 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.
 20. 李敦求, 金甲泰, 辛俊煥, 朱沈映. 1984. 人工酸性雨が 소나무와 잣나무 幼苗의 葉綠素含量에 미치는 影響. 서울大 農學研究 9(2-1): 15-19.
 21. 李海金. 1985. 酸性비에 의한 水質汚染. 자연보존 49: 11-14.
 22. Malmer, N. 1976. Acid precipitation: Chemical changes in the soil. Ambio 5: 231-234.
 23. 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.
 24. Morrison, I. K. 1980. Composition of percolate from reconstructed profiles of two Jack pine forest soil as influenced by acid input. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. 195-206.
 25. Mortvedt, J. J. 1983. Impacts of acid deposition on micronutrient cycling in agro-ecosystems. Environ. Exp. Bot. 23: 243-249.

26. 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.
27. 朴奉奎, 李仁淑, 崔炯善. 1983. 서울시에서의 酸性降雨에 관한 研究. 韓國生活科學研究院論叢 32 : 137-142.
28. Phillips, S. O., J. M. Skelly and H. E. Burkhart. 1977. Growth fluctuation of loblolly pine due to periodic air pollution levels: Interaction of rainfall and age. *Phytopathology* 67: 716-720.
29. Pionke, H. B. and R. B. Corey. 1967. Relations between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 749-752.
30. Rippon, J. E. 1980. Studies of acid rain on soils and catchments. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. *Ecology*. 449-524.
31. Singh, B. R. 1984. Sulfate adsorption by acid forest soils: 1. Sulfate adsorption isotherms and comparison of different adsorption equations in describing sulfate adsorption. *Soil Sci.* 138: 189-197.
32. Singh, B. R., G. Abrahamsen and A. Stuanes. 1980. Effect of simulated acid rain on sulfate movement in acid forest soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 75-80.
33. Tveite, B. 1980. Effects of acid precipitation on soil and forest: 8. Foliar nutrient concentrations in field experiment. *Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip.* Norway. 204-205.
34. 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: 193-200.
35. Wiklander, L. 1980. The sensitivity of soils to acid precipitation. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO conference series 1. *Ecology*. 553-568.
36. Wiklander, L. 1975. The role of neutral salts in the ion exchange between acid precipitation and soil. *Geoderma* 14: 93-105.
37. Wood, T. and F. H. Bormann. 1975. Increase in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. *Ambio* 4: 169-171.
38. Wood, T. and F. H. Bormann. 1974. The effects of an artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis* Britt. *Environ. Pollut.* 7: 259-268.
39. 任慶彬. 1985. 新稿造林學原論. 鄉文社. 327 pp.
40. 柳順昊, 宋寬哲. 1984. 濟州道 土壤의 化學的 特性調查研究 Ⅲ. 柑橘園 土壤에서의 알루미늄 特性. 韓土肥誌 17 : 167-172.
41. 尹淳康. 1986. Gibbsite 와 有機物處理 및 pH 變化가 土壤의 SO_4^{2-} 吸着에 미치는 影響. 서울大 碩士學位論文.