

人工酸性雨が 森林土壤의 化學的 性質에 미치는 影響¹

朱榮特² · 金英彩²

Effects of Artificial Acid Rain on Chemical Properties of Korean Forest Soils¹

Joo, Yeong Teuk² and Young Chai Kim²

要 約

人工酸性雨(pH2.0, 3.0, 4.0, 5.6)의 透水(100ml×12回)實驗에 依한 우리나라 主要 森林土壤(褐色 森林土壤(B), 暗赤色森林土壤(D·R), 灰褐色森林土壤(GrB), 赤黃色森林土壤(R·Y), 火山灰森林土壤(Va))別 置換性 鹽基의 溶脫變化와 그에 따른 影響을 分析 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 土壤 浸出液中的 溶出 Ca 濃度は 各 供試土壤 共히 pH2.0處理에서 가장 높았으며 處理 pH값이 낮아질수록 溶脫濃度は 急激히 增加하였다. 또 暗赤色 森林土壤에서는 pH2.0 處理를 除外하고는 큰 變化가 없었다.

2. Mg의 溶脫 樣相은 pH 處理間에 緩慢한 減少 傾向을 보였다. K 溶脫變化는 處理 初期부터 處理 回數가 增加할수록 漸次 減少하는 傾向을 보였으며 人工酸性雨의 pH가 낮을수록 K의 溶脫은 漸次 增加하였고, 供試土壤間의 差異는 甚히 나타났다. Na의 溶脫은 Mg과 비슷한 傾向을 보였는데, pH 處理間에는 큰 差異가 없었으며, 暗赤色 森林土壤에서 가장 큰 溶脫量을 나타냈다. 그리고, 赤黃色 山林土壤에서는 置換性 鹽基中 Na의 溶脫이 가장 많았다.

3. 土壤 浸出液의 各種 置換性 鹽基 濃度は 供試土壤間에 多少의 差異를 나타냈으나 이들 共히 pH2 處理에서 가장 높았고 pH가 높아짐에 따라 漸次 減少하여 pH5.6의 境遇에 있어서 가장 낮게 나타났다. 그리고, 各 供試土壤 中 置換性 鹽基에 依한 수소이온 消費能力이 가장 큰 森林土壤은 暗赤色 森林土壤이었고, 그 다음이 火山灰 森林土壤, 赤黃色 森林土壤, 灰褐色 森林土壤, 褐色 森林土壤의 順이었다.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of acid deposition on forest soil, major five Korean forest soils(Brown, Dark red, Gray brown, Red and Yellow, and Volcanic ash forest soils) The samples were subjected to receive 1200mm(100mm×12 times) of artificial acid rain adjusted to pH5.6, 4.0, 3.0 and 2.0.

The results obtained of major importance are summarized as follow ;

1. Ca appeared mostly affected at pH treatment of 2.0, while less affected by other pH treatments. Leaching of Ca rapidly increased with increasing of artificial acid rain acidity and application times in Dark red forest soil.

¹ 接受 1994年 1月 19日 Received on Jan. 19, 1994.

² 慶熙大學校 産業大學 林學科 Dept. of Forestry, Kyung Hee University

2. In the cases of Mg, K and Na, they showed gradual increase with the addition of artificial acid rain. Mg and Na losses showed similar leaching patterns, but they didn't show difference among the five forest soils.

3. Exchangeable cation concentrations in the soil leachates, which looked slightly different among the five forest soils, were the highest in pH2.0 treatment. Hydrogen ion consumption capability by exchangeable cation was the highest in Dark red forest soil followed by Volcanic ash, Red and Yellow, Gray brown and Brown forest soils when artificial acid rain were treated.

Key words : artificial acid rain, consumption capability

緒 論

酸性雨란 大氣中에 放出되는 物質이 降水에 溶解되어 地表로 落下하는 것을 말하며 모든 酸性을 띤 物質이 地表面으로 떨어지는 것을 보다 넓은 意味로 酸性降水物이라고 한다. 酸性降水物들은 大氣中の 酸性微粒자가 重力에 의해 降下하거나, 物體와의 相互衝突, 吸着 등에 의해 地上에 떨어지는 乾性降水物과 gas 狀態의 物質이나 微粒자가 구름, 비, 안개 등에 溶解되어 떨어지는 濕性降水物 등의 酸性雨 形態로 區分할 수 있다.

酸性雨에 의한 土壤의 반응은 酸性降水物이 土壤에 流入되면 酸性雨의 수소이온은 土壤 colloid에 吸着된 양이온과의 置換反應이 일어나게 되며, 이와 같은 置換性反應이 높게 일어나면 양이온의 放出이 進行되면서 土壤의 pH값을 낮게한다. 따라서 酸性雨의 流入은 植物에 必要한 養分을 溶脫시키며 土壤의 酸性化를 促進시켜 置換性 Al을 生成시키고 수소이온에 의한 粘土 破壞가 일어나 Al³⁺과의 置換作用이 일어나게된다. 酸性雨의 集積에 의한 置換性 Al 含量的 증가에 대해 吳⁶⁾는 우리나라에서 江原道の 森林地域보다 大都市와 工團周邊이 1.8~2.5배가 많다고 報告하였다.

土壤에 對한 酸性雨의 流入 過程中에서 土壤中の 有機物이나 기타 土壤內 여러가지 環境要因은 土壤의 pH變化를 抑制하게 되는데 이와 같은 土壤의 反應을 土壤의 緩衝能이라 한다. 石塚⁹⁾는 土壤의 緩衝能을 陰이온 置換能(鹽基吸着), 陽이온 置換能 및 Al에 의한 反應의 3段階로 나누어 說明했으며, 活性 Al의 緩衝作用은 pH4.0 前後에서 일어난다고 하였다. 그리고 川畑, 吉田¹¹⁾는 緩衝能을 ①炭酸鹽·重炭酸鹽에 의한 中和, ②置換性 鹽基에 의한 中和, ③二次 鑛物에 의한 中

和, ④岩石 및 造岩鑛物의 風化에서 放出된 鹽基에 의한 中和等, 4段階로 나누어 說明하였는데, 이와 마찬가지로 酸性雨가 土壤生態系에 流入되어도 酸을 中和하는 鹽基가 包含되어 있는 한 pH값은 낮아지지 않는다. 또한 pH값이 높은 酸性雨가 流入된 土壤은 일반적으로 酸性雨에 의한 pH 變化는 적게 나타난다. 그러나 土壤이 酸性化되면 各種 毒性의 金屬 이온들이 溶脫되어 生態系에 被害影響을 나타내게 되는데, Mn, B, Cu, Zn, Fe 등의 微量元素은 土壤이 酸性化됨에 따라 不可給態化한다. 이中 Mn은 土壤 酸度 5.5 以下에서 식물체에 障害를 誘發하게 되며, 그 症狀은 Al과는 달리 葉이 점차 壞死하게 된다. 그리고 土壤酸性化는 土壤內에 棲息하는 生物卷에 많은 影響을 미치기 때문에 微生物의 pH 變化에 대한 敏感한 反應을 誘發시킨다.^{13,14)} 變化에 대한 敏感한 反應을 誘發시킨다.^{13,14)}

지금까지 酸性雨가 土壤 生態系에 미치는 影響에 關한 研究가 多角的으로 進行되어 왔으나 아직 우리나라에서는 工團 地域 및 大都市의 土壤을 對象으로 하는 몇몇 研究^{5,6,7)} 外에 森林土壤을 對象으로 한 研究結果가 比較的 적은 편이다.

따라서 本 研究은 우리나라의 森林土壤群을 對象으로 하여, 人工酸性雨 處理에 따른 透水實驗을 통한 森林土壤의 置換性鹽基의 溶脫變化를 分析하고 그 結果를 比較, 檢討하여 酸性雨가 森林土壤의 酸性化에 미치는 影響을 밝히기 위한 基礎 資料를 提供하기 위하여 遂行되었다.

材料 및 方法

1. 試驗地 概況

(1) 試料 採取地 選定 및 概況

우리 나라의 森林土壤은 褐色 森林土壤(B), 赤黃色 森林土壤(R·Y), 暗赤色 森林土壤(D·

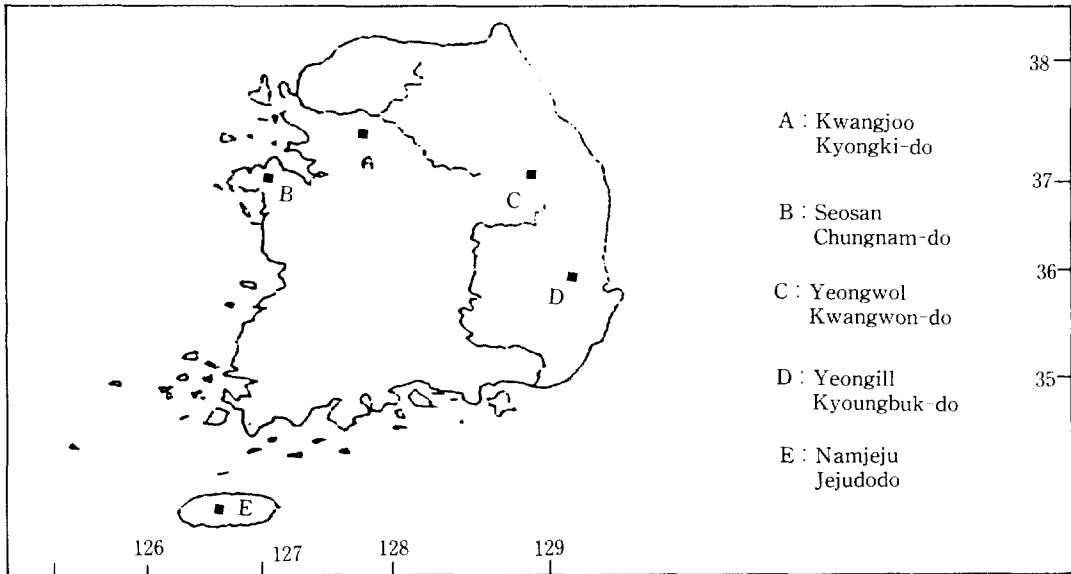


Fig. 1. The place for the collection of sample soil.

Table 1. General information of collected sample soils.

Soil group	Location	Vegetation
B	Kwangjoo, Kyongki-do, Experimental forest of Kyung-Hee Univ.	<i>Pinus rigida</i>
R·Y	Seosan, Chungnam-do	<i>P. thunbergii</i>
D·R	Yeongwol, Kwangwon-do	<i>P. densiflora</i>
GrB	Yeongill, Kyoungbuk-do	<i>P. densiflora</i>
Va	Namjeju, Jeju-do	<i>Cryptomeria japonica</i>

R), 灰褐色 森林土壤(GrB), 火山灰 森林土壤(Va), 浸蝕土壤(Er), 未熟土壤(Im), 岩碎土壤(Li)의 8個 土壤群으로 크게 區分²⁾ 되는데, 本研究에서는 分布 面積이 넓지 않은 浸蝕土壤, 未熟土壤, 岩碎土壤을 除外한 5個 主要 森林土壤群을 對象으로 1991年 4月 試料 土壤을 採取 試驗에 利用하였다. 試料의 採取에 있어 褐色 森林土壤은 京畿道 廣州郡 所在 慶熙大學校 演習林에서 採取하였으며 나머지 4個의 試料는 '山林土壤斷面圖集¹⁾'을 參考하여 各 土壤別 分布地域을 採取 對象地로 하였다. 試料採取 場所 및 概況은 Fig. 1, Table 1과 같다.

(2) 供試土壤의 採取

供試土壤은 Table 1과 같이 森林土壤의 A층을 各各 山麓, 山腹, 山頂의 3地點에서 各 地點當 3點씩 45個의 試料를 採取 供試 材料로 하였다.

2. 供試土壤의 化學的 性質 分析

採取한 供試土壤의 化學的 性質을 分析에 있어서 pH(H₂O)와 pH(KCl)은 glass 電極法으로, 置換酸度(y₁)는 pH 大工原法으로, 置換性鹽基(Ca, Mg, K, Na)는 Atomic absorption spectrophotometer로 測定하였으며, 鹽基置換容量(C.E.C.)은 Peech法을 따랐다. 鹽基飽和度(%)는 置換性鹽基/鹽基置換容量×100으로 計算하였다.

3. 人工酸性雨 透水實驗

(1) 透水 方法

① 透水 裝置

透水 裝置는 유리column(內徑 30mm, 높이 20 cm)을 製作하여 使用하였으며 column의 아래쪽에는 glass wool과 cotton을 넣어 濾過 役割을 하도록 하였고, column 上部에는 glass wool을

넣어 人工 酸性雨 點滴時 土壤面과의 衝擊을 緩化시켰다. 人工酸性雨 供給裝置는 水液注射瓶과 그 調節 裝置를 利用하였다.

② 人工酸性雨的 調製

本 研究에서 人工酸性雨的 調製는 吳 等⁵⁾의 工團 地域 및 都市 地域의 降雨 成分을 測定한 資料를 參考로 閔과 李³⁾가 調製한 方法에 依해 人工酸性雨的 成分을 $H_2SO_4 : HNO_3 = 4 : 1$ 의 比率로 하여 調製하였다. 人工酸性雨的 pH水準은 pH2.0 pH3.0 pH4.0 等 3個 水準으로 하였으며 正常 降雨의 水準은 pH5.6으로 하였다.

③ 透水量

各 處理別 人工酸性雨的 處理量은 韓國의 年平均 降雨量을 1,200mm로 假定하여 直徑 30mm의 column에 이에 該當하는 一年間의 降水量의 體積 848ml의 人工酸性雨를 降雨量 100mm에 該當하는 人工酸性雨 70ml씩을 약 42時間 間隔으로 12회에 걸쳐 약 3週日間 透水시켰다.

④ 溶脫水 採取方法

2mm 체를 通過한 細土를 土柱 높이 10cm로 column에 채우고 調製된 人工酸性雨를 土壤에 點滴시킨 後 column을 通過한 土壤溶脫溶液을 下部에 설치된 삼각플라스크(1,000ml)에 收集하였다.

⑤ 溶脫水 分析方法

삼각플라스크(1,000ml)에 收集된 土壤溶脫溶液은 緩衝能力의 水準을 分析하기 위하여 pH를 測定하였고 수소이온에 의해 置換되는 各種 이온들의 量을 調査하기 위해 置換性 陽이온(Ca, Mg, K, Na)을 原子吸光法으로 分析하였다.

結果 및 考察

1. 供試 土壤의 化學的 性質

Table 2에서 보는 바와 같이 供試土壤의 化學的 性質을 보면 暗赤色 森林土壤을 除外한 나머지

供試土壤의 pH範圍는 4.92~5.56으로 酸性을 나타냈으며, 이때 暗赤色 森林土壤은 pH7.74로 알칼리성을 나타내었다. 金 等²⁾은 우리나라 森林土壤 調査에서 森林土壤의 pH는5.0~6.7의 範圍를 보인다고 하였는데 本 研究에서는 pH의 범위가 그 보다 낮게 나타났으나, 暗赤色 土壤의 경우는 pH가 가장 높다고 한 것과 그 傾向이 같았다. 그리고, 林地 肥沃度 判定基準으로 쓰이는 陽이온 置換容量(C.E.C)과 鹽基飽和度를 調査한 結果에 있어서 C.E.C는 灰褐色 森林土壤의 경우가 33.42me/100g으로 가장 높았으며, 鹽基飽和度는 赤黃色 森林土壤에 있어서 58%로 가장 높게 나타났다. 置換性 鹽基量은 母岩의 影響으로 Ca의 含量이 많은 暗赤色 森林土壤이 9.90me/100g으로 가장 많았으며, 火山灰 森林土壤이 4.46me/100g으로 가장 적었다.

2. 各種 置換性 鹽基의 溶脫 變化

酸性雨는 森林의 樹冠層으로부터도 鹽基를 容脫시키지만 土壤中의 各種 養料들도 容脫시키며, 植物體에 養料缺乏症을 일으켜 林木의 生育을 沮害하게 된다. 그러나 대기중의 汚染物質들은 黃과 窒素를 供給하여 植物生長을 促進시키기도 한다.^{12,15,16)} 이와 같은 樣相은 緩衝力이 큰 土壤에서 酸性雨 流入 初期에 一時的으로 일어나는 結果라 생각된다.

① 土壤浸出液의 Ca 溶脫의 變化

各 處理區 共히 pH2.0에서는 높은 Ca 溶脫을 보였고, pH3 以上の 處理에서는 赤黃色 森林土壤을 除外하고는 pH 處理間에 큰 差異가 없었으나 人工酸性雨의 pH가 낮을수록 높은 Ca 溶脫 傾向을 나타내었다.

人工酸性雨 處理에 따른 Ca 溶脫의 變化樣狀은 대체로 處理 初期부터 서서히 增加하다가 점차 減少하는 傾向을 보였다. 各 處理別에 있어서는 pH2.0 處理경우 暗赤色 森林土壤과 灰褐色

Table 2. Chemical properties of sample forest soil.

Soil group	pH			CEC (me/100g)	Ex-Cation(me/100g)				Base Sat. (%)	
	H ₂ O	KCl	y _i		Ca	Mg	K	Na		Total
B	4.92	3.89	8.21	13.86	2.50	1.62	0.88	0.27	5.27	38.0
GrB	5.56	4.05	10.47	33.42	3.90	3.28	0.64	0.27	8.09	24.2
D·R	7.74	6.58	0.78	21.56	5.75	3.48	0.38	0.29	9.90	45.9
R·Y	5.14	4.37	7.12	8.16	2.81	1.51	0.20	0.22	4.74	58.1
Va	5.26	4.37	6.20	29.26	2.47	0.98	0.54	0.47	4.46	15.2

森林土壤의 Ca 溶脫現狀이 漸次 增加하는 傾向을 나타냈다. 그리고, 褐色 森林土壤과 赤黃色 森林土壤에 있어서는 pH2.0 處理의 경우가 Ca 溶脫이 急激히 減少하는 傾向을 나타냈으며, 赤黃色 森林土壤에서는 약간의 差異는 있었으나 pH2.0과 pH3.0 處理에서 Ca 溶脫量은 비슷한 樣相을 나타냈다. 이와 같은 結果는 pH2.0의 人工酸性雨 處理에서는 높은 Ca 溶出을 보였으나 pH값이 높을수록 Ca 溶脫은 急激히 減少한다고 한 大羽⁴⁾의 研究 結果와도 全體的인 傾向이 一致했다. Table 3에서 보는 바와 같이 森林土壤別 各 pH處理에 따른 Ca 溶脫量은 人工酸性雨의 pH값이 낮을수록 各 供試土壤은 共히 높은 Ca 溶脫을 나타냈는데, 그 中에서 暗赤色 森林土壤(46.842ppm)의 Ca 溶脫이 가장 많았고, 그 다음은 火山灰 森林土壤(18.785ppm), 그리고 灰褐色 森林土壤(18.174ppm), 赤黃色 森林土壤(16.858 ppm)의 順이었으며, 褐色 森林土壤(13.124ppm)이 가장 적게 나타났다. 또한 各 供試土壤 共히 置換性 鹽基中에서 Ca에 依한 수소 이온의 消費作用이 크게 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Contents of Ca in soil leachate in sample forest soils by artificial acid rain. (unit : ppm)

Soil group	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5.6
B	6.100	1.550	2.245	3.229
D·R	21.486	10.025	7.771	7.560
GrB	13.682	1.894	1.575	1.023
R·Y	9.336	6.367	0.590	0.565
Va	9.660	3.330	3.255	2.540

② 土壤浸出液中的 Mg 溶脫의 變化

各 處理區 共히 人工酸性雨 處理에 따른 Mg 溶脫의 全體的인 變化는 대체적으로 緩慢한 減少 傾向을 보였는데 火山灰 森林土壤은 處理 初期에 增加하다 處理 回數가 增加함에 따라 서서히 減少하였다. 그리고 赤黃色 森林土壤에서는 pH2.0과 pH3.0 處理에서 pH4.0과 pH5.6 處理區 보다 높은 Mg 溶脫을 보였을 뿐 나머지 供試土壤에서는 비교적 그 差異가 적었다. 그리고 土壤 浸出液이 Mg 溶脫에 對한 供試土壤別 Mg 溶脫의 變化 傾向을 보면 Table 4에서 보는 바와 같다.

土壤 浸出液의 Mg 溶脫이 가장 큰 것은 暗赤色 森林土壤(40.575ppm)이었고 그 다음은 赤黃

色 森林土壤(22.628ppm), 火山灰 森林土壤(25.848 ppm), 灰褐色 森林土壤(16.232ppm), 褐色 森林土壤(3.672ppm)의 順이었는데, 이와 같은 樣相은 Ca의 溶脫現狀과 비슷한 傾向을 보이고 있었다. 그러나 이와 같은 경향은 pH 處理間에 큰 差異가 없었고 溶脫量도 Ca 보다는 훨씬 적었던 日本의 山林土壤의 경우⁴⁾와는 다른 結果를 나타내었다.

Table 4. Contents of Mg in soil leachate in sample forest soils by artificial acid rain. (unit : ppm)

Soil group	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5.6
B	1.023	1.199	0.767	0.683
D·R	12.829	9.579	9.117	9.05
GrB	5.413	4.124	3.978	2.717
R·Y	8.897	8.597	2.448	2.686
Va	7.941	5.61	5.008	7.289

③ 土壤 浸出液 中の K 溶脫의 變化

人工酸性雨의 pH別 K 溶脫 樣相에 대한 供試土壤間의 差를 Table 5에서 보는 바와 같이 灰褐色 森林土壤(29.744ppm)의 경우가 가장 많은 K의 溶脫現狀을 보였으며 그 다음은 暗赤色 森林土壤(24.459ppm), 그리고 火山灰 森林土壤(23.021ppm), 赤黃色 森林土壤(22.481ppm), 褐

Table 5. Contents of K in soil leachate in sample forest soils by artificial acid rain. (unit : ppm)

Soil group	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5.6
B	8.299	5.451	3.995	4.161
D·R	10.256	4.746	4.828	4.629
GrB	12.526	7.973	6.299	2.946
R·Y	8.871	5.613	3.983	4.014
Va	7.656	5.229	5.078	5.058

色 森林土壤(21.906ppm)의 順이었다. 또한 人工酸性雨의 pH가 낮을 수록 많은 量의 K가 溶脫되었는데 pH가 높아 질수록 그 溶脫量은 減少하였다. 이때 供試土壤間에 있어서는 21.906~24.459 ppm의 範圍로 그 差異는 比較的 적게 나타났다.

④ 土壤 浸出液中的 置換性 Na 溶脫의 變化

供試土壤間에 있어서 人工酸性雨의 處理別 Na 溶脫狀況은 Table 6에서 보는 바와 같이 pH 處理間에 差異가 비교적 적었으며, 그 變化樣相은 Mg의 境遇와 거의 비슷하였으나 그 傾向은 일정치 않았다. 그리고 土壤別 Na 溶脫量의 順位는 暗

赤色 森林土壤(34.071ppm), 赤黃色 森林土壤(27.345ppm), 火山灰 森林土壤(22.677ppm), 灰褐色 森林土壤(7.687ppm), 褐色 森林土壤(3.548ppm)으로 나타났다.

日本土壤肥料學會^{9,10)}의 報告에 의하면 土壤에 대한 酸性의 耐性を 置換性 Ca, Mg 含量의 습으로 區分하였는데, 5(me/100g 건조) 以上이면 A(耐性·高), 2.5-5(me/100g)의 범위를 B(耐性·中), 2.5(me/100g) 以下를 C(耐性·低)로 하는 3段階로 나누어 說明하였다. 本 實驗의 供試土壤을 上記의 方法으로 耐性 順位를 정하면 暗赤色 森林土壤, 灰褐色 森林土壤이 A, 나머지는 B에 包含된다고 할 수 있다. 그러나 前述한 바와 같이 酸性雨에 對한 土壤의 耐性에는 여러 因子가 關與하므로 이 方法은 未洽한 점이 많다. 吉田과 川畑¹¹⁾은 日本의 森林土壤의 酸性雨에 의한 酸의 負荷量을 計算했는데, pH4.0의 酸性雨의 境遇 表層上 10cm 깊이의 土壤 100g 當 1年間의 酸 負荷量을 0.2me/100g으로 算出하였다. 이 方法에 따른 溶出 Al의 濃도가 5ppm 超過하는 時間은 pH4.0의 酸性雨에서 10年-30年이 걸린다고 하였다. 本 研究에서는 供試土壤에 對한 酸性雨의 長期的 影響을 檢討하지는 않았지만,

Table 6. Contents of Na in soil leachate in sample forest soils by artificial acid rain.

Soil group	(unit : ppm)			
	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5.6
B	0.899	0.875	0.938	0.836
D·R	9.668	7.755	8.890	7.758
GrB	2.193	2.146	1.921	1.427
R·Y	7.478	6.485	6.021	7.361
Va	5.346	5.479	5.766	6.086

앞으로 이와 關聯한 研究가 遂行될 경우 酸性雨가 土壤에 미치는 長期的 影響의 豫測이 可能할 것으로 생각된다.

引用 文 獻

1. 川畑洋自·吉田 念. 1988. 酸性雨의 土壤에 의한 中和機構. 日土肥誌. 59 : 413-415.
 2. 金泰勳·鄭鎮炫·具敦常·金圭憲·車淳馨·金

俊燮·李忠和·具昌德. 1988. 山林土壤 分類에 關한 研究. 林研年報. 37 : 19-34.
 3. 閔一植·李壽煜. 1990. 酸性雨가 森林土壤의 緩衝能에 미치는 影響. 韓林誌. 79(4) : 376-387.
 4. 大羽 裕. 1990. 大氣污染과 酸性雨에 의한 土壤污染. 林業土壤의 酸中和能의 評價. 人間環境系研究報告集. 文部省. 113-131.
 5. 吳宗煥·金映燐·蔡智錫. 1988. 大氣污染과 酸性雨가 山林生態系에 미치는 影響-山林地域 大氣污染度의 經詩的 變化-. 科學技術處 研究報告. 25-69.
 6. 吳宗煥. 1990. 大氣污染과 酸性雨에 의한 土壤污染. 林業研究情報. 33 : 2-4.
 7. 李壽煜·閔一植. 1989. 大氣污染 및 酸性雨가 森林生態系의 土壤酸度 및 養分分布에 미치는 影響. 韓林誌. 78(1) : 11-25.
 8. 石塚和裕. 1988. 土壤カラム를 人工酸性雨試驗による 스키林土壤 pH의 變化와 溶出成分. 99回 日本論. 179-182.
 9. 日本土壤肥料學會. 1984. 土壤의 酸性雨による 影響評價調査. 1-91.
 10. 日本土壤肥料學會. 1988. 酸性雨による 土壤 影響調査. 1-105.
 11. 林業研究院. 1989. 山林土壤斷面圖集. 林業研究院. 山林廳. 55pp.
 12. 鄭龍文. 1987. 人工酸性雨가 잣나무 苗木의 生長, 葉內 含有成分 및 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響. 韓林誌. 76(1) : 33-40.16.
 13. Alexander, M. 1980. Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecology. T.C. Hutchinson and M. Havaseds. 363-370.
 14. Bryand, R.D. 1979. Water, Air and Soil Pollution. 11 : 437-447.
 15. Ulrich, B.. 1980. Production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere. 255-282. T. C. Hutchinson and M. Havas, eds. Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems. Plenum Press. N.Y.
 16. Ulrich, B. 1983. A concept of forest ecosystems stability and of acid deposition as driving force for destabilization. 1-20.