

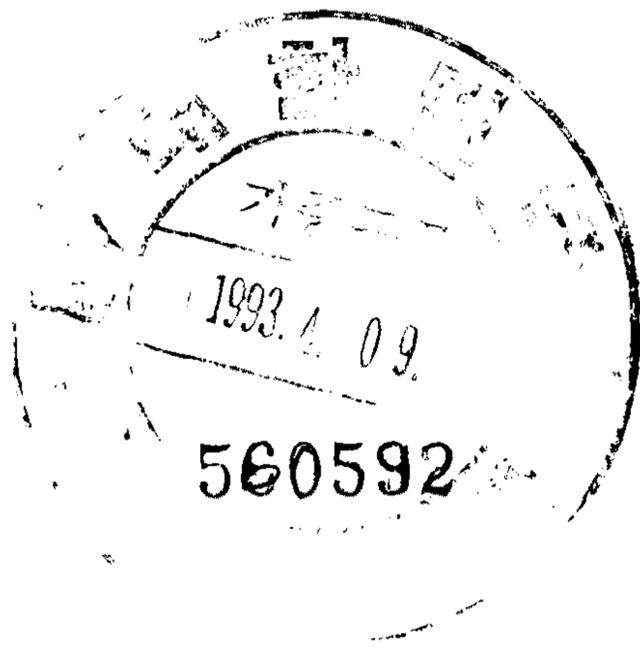
潛在性 特異酸性土壤의
改良에 關한 研究 (II)

IMPROVEMENT AND MANAGEMENT OF
POTENTIAL ACID SULFATE SOIL (II)

1992. 11.

全北大學校附設
農業開發研究所

農 林 水 產 部
農 漁 村 進 興 公 社



提 出 文

農漁村進興公社 社長 貴下

본 報告書를 “潛在性 特異酸性土壤의 개량에 관한 研究” 課題의 第2次 年度 報告書로 提出 합니다.

1992. 11. 30.

研究機關：全北大學校 附設
農業開發研究所

責任研究員：韓 康 完
研究員：全 載 哲

要 約 文

1. 研究課題名

潛在性 特異酸性土壤의 改良에 關한 研究

2. 研究期間

1992年 5月 1日 - 1992年 11月 30日 (總 7個月)

3. 研究의 必要性 및 目的

潛在性 特異酸性土壤은 河海混成沖積土를 母材로 地表下 2 - 4 m의 深層에 分布되어 있다. 이 土壤은 黃化鐵과 같은 二次礦物이 還元 狀態로 多量 集積된 母材層을 가지고 있어서, 賦與되는 環境 條件에 따라서 酸化가 되면 強酸性을 보이게 된다. 이러한 潛在性 特異酸性土壤은 最近의 農地 利用의 效率性 增大, 營農의 機械化, 灌排水 施設의 改善을 위하여 實施되는 排水路 擴張 公社 및 耕地 整理를 위한 工事 過程에서 深層으로 부터 掘鑿되어 表層으로 移行된 후, 既存의 畚土壤 表面에 撒布되는데 이 境遇 水稻 栽培上 큰 被害가 惹起된 事例가 많이 있어 왔다. 潛在性 特異酸性土壤 중에 還元 狀態로 存在하는 黃化鐵이 空氣에 露出되어 酸化를 받게 되면 土壤의 酸度가 急降下 됨으로서 作物 生育에 不適合한 土壤 環境 條件으로 만들어지기 때문이다. 따라서 作物 生育이 可能토록 土壤 環境 條件을 造成하여야 할 改良 方法의 摸索이 必要하다.

潛在性 特異酸性土壤의 改良과 關聯된 一次年度의 研究에서는 現在까지의 潛在性 特異酸性土壤 掘鑿後 熟畚 全面에 撒布하여 水稻 被害가 發生되었던 地域의 土壤 特性을 調査하였고, 現場에서의 潛在性 特異酸性土壤의 判別을 위한 實驗 方法을 開發하고자 여러가지 化學的 即時 判定 方法을 檢討하였다. 또한 基礎的으로 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程의 推移를 調査하고, 物理, 化學的 改良 方法의 適用을 檢討한 바 있다.

以上の 基礎的 實驗 結果를 實際 現場에 適用하여 實用化하기 위하여 圃場 實證 實驗의 遂行과 함께 適用 方法의 規格化 및 標準化 作業이 아울러 要請 된다. 즉 潛在性 特異酸性土壤 分布 地域의 工事前 빠른 時間內 손쉬운 確認 方法의 開發 適用으로 工事時 精密 計劃 樹立 및 進行과 工事後 이 土壤에 의한 被害를 最小限으로 줄일 수 있는 方案 摸索과, 熟畚 表面에 撒布된 潛在性 特異酸性土壤에서의 水稻 栽培를 위한 圃場 狀態에서의 改良法 確立의 必要性이 切實하다. 이러한 必要性에 따라 本 研究은 1) 潛在性 特異酸性土壤 耕作地의 水稻 生育 被害 原因 糾明과 改良에 의한 水稻 收量性 增大 摸索, 2) 潛在性 特異酸性土壤의 土壤化學的 特性 糾明, 3) 潛在性 特異酸性土壤의 最適 利用 方法 講究로 工事費 節減 摸索을 目的으로 하였다.

4. 第2次 年度 研究 範圍

- 1) 潛在性 特異酸性土壤의 因子別 酸化 過程 糾明
- 2) 潛在性 特異酸性土壤의 即時判定法 開發
- 3) 潛在性 特異酸性土壤의 改良 效果

5. 研究 結果 및 實用化 方案

潛在性 特異酸性土壤의 酸化에는 硫黃 含量의 經時的 變化가 가장 特徵的으로 나타나는데, 특히 湛水 還元 條件下에서 sulfide-S의 增加는 sulfate-S의 減少를 同伴하였다. 潛在性 特異酸性土壤의 現場에서의 即時判定에는 高濃度の 過酸化水素水를 利用하여 處理後 加熱과 殘存 酸化劑의 catalase에 의한 除去 方法 適用이 效果的이었다. 過酸化水素水 添加에 의한 酸化로 一般 畚土壤은 약 pH 1의 低下를 가져 왔으나, 潛在性 特異酸性土壤에서는 pH 2.7이 減少되었다. 潛在性 特異酸性土壤 分析에서는 土壤 中 硫黃을 酸化시켜 turbidimetry로 分析하는 方法과 酸化劑로서 nitric/perchloric/phosphoric acid 利用이 效果的이었다. Ammonia水, Ammonia gas 및 石灰 施用과 물 管理를 통한 改良 法을 適用하여 水稻 栽培를 한 結果, 各 處理區 間에 水稻 生育 및 收量에 큰 差異를 나타내지 않았다. 한편 圃場 盛土後 pH는 改良劑 施用 및 물 管理區에서 移秧時의 pH 5.6 - 5.8로 부터 移秧後 15日에 pH 3.7 - 3.9로 低下되었지만, 그 以後에는 매우 緩慢한 減少 傾向을 보였다. 以上の 結果들은 潛在性 特異酸性土壤의 現場 即時判定을 위한 簡便한 키트 製作에 資料로 利用하고, 또한 正確한 潛在性 特異酸性土壤의 判定 基準 設定 定立에 適用코자 한다.

SUMMARY

1. Title

Improvement and management of potential acid sulfate soil

2. Periods of The Study

May 1, 1992 - November 30, 1992 (Total 7 months)

3. Object and Necessity of The Study

Potential acid sulfate soil (PASS) is not a low productivity soil in rice culture as far as the soil is located at deep soil layers or is not completely oxidized. After exposing to soil surface the soil starts to receive an oxidation process, resulting in development of strong soil-acidity. Under the acidic soil condition growth of rice is severely impaired. This situation has occurred in various rice growing areas where PASS was spread over common paddy fields. To investigate problems occurred in PASS and to find ways of improvement and management of the soil, the study was focused on 1) determination of soil characteristics of PASS areas, 2)

development of quick-test method, 3) investigation of oxidation process, and 4) finding the suitable ways of rice cultivation.

4. Contents and Scope of The Study in 1992

- 1) Investigation of oxidation processes in potential acid sulfate soil
- 2) Development of onthespot determination method on the potential acid sulfate soil
- 3) Observation of effects of reclamation treatments

5. Results of The Study and Suggestion for Application

In the oxidation process of potential acid sulfate soil change in sulfur content was very distinctive; under flooded reduced condition increase in content of sulfide sulfur was accompanied with decrease in content of sulfate sulfur. For the onthespot determination on the potential acid sulfate soil use of high concentrate hydrogen peroxide followed by heating and addition of catalase to remove the remained oxidant was the most effective. pH difference after oxidation by the oxidant hydrogen peroxide was 0.9 - 1.0 and 2.7 in common

paddy soils and the potential acid sulfate soil, respectively. For analysis of sulfur present in the potential acid sulfate soil, application of turbidimetry method and use of nitric/perchloric/phosphoric acid as an oxidant was the most effective. There were no great differences in growth and nutrient uptake of rice between reclamation methods such as application of ammonia water, ammonia gas, lime, and water management. However, growth of rice in the untreated plot was inhibited. Soil pH in the plots applied with reclamation treatments decreased from 5.6 - 5.8 at transplanting to 3.7 - 3.9 at 15 days after transplanting, and thereafter the change was not great. On the basis of the results obtained, a convenient kit for determining the potential acid sulfate soil will be made. In addition, a proper and exact analytical method for sulfur will be standardized for determining the potential acid sulfate soil.

目 次

第 1 章 潛在性 特異酸性土壤의 改良에 關한 研究 概要	9
1.1 研究의 背景	9
1.2 研究推進狀況 - 第1次年度 研究 結果	10
1.3 第2次年度 研究 結果	11
1.3.1 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程	11
1.3.2 潛在性 特異酸性土壤의 即時判定法 標準化 研究	12
1.3.3 改良 方法에 따른 效果	13
第 2 章 材料 및 方法	15
2.1 圃場 實驗	15
2.1.1 圃場 造成과 改良劑 處理	15
2.1.2 水稻栽培	17
2.1.3 풋트 및 컬럼 모델 實驗	17
2.2 酸化 要因 糾明 實驗	18
2.3 即時判定法 實驗	18
2.3.1 還元 硫黃의 酸化	18
2.3.2 過酸化 水素水의 分析	18
2.3.3 簡易킷트 開發試驗	19
2.3.4 分析法 標準化 研究	19
2.4 土壤 및 植物體 分析	27
2.4.1 土壤分析	27

2.4.2 植物體 分析.....	32
2.5 特異酸性土壤 分布 調查.....	35
第 3 章 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程.....	36
3.1 圃場에서의 酸化.....	36
3.2 모델 實驗에서의 土壤 酸化.....	43
3.3 모델 實驗 土壤 溶出液의 變化.....	48
第 4 章 即時 判定法의 開發.....	53
4.1 酸化劑 選別.....	53
4.2 酸化促進法.....	54
4.3 簡易키트 開發研究.....	56
4.4 硫黃含量 測定 標準化 研究.....	57
第 5 章 改良法 適用 效果.....	60
5.1 土壤 特性 變化.....	60
5.2 改良에 따른 水稻 生育 및 收量.....	67
5.3 모델 實驗에서의 改良에 따른 土壤 特性 變化.....	72
5.3.1 암모니아水 處理.....	72
5.3.2 石灰 處理.....	79
第 6 章 外國의 特異酸性土壤의 概況.....	87
6.1 泰國.....	87
6.2 말레이시아.....	89
6.3 日本.....	89
參考文獻.....	91

第 1 章 潛在性 特異酸性土壤의 改良에 關한 研究 概要

1.1 研究의 背景

潛在性 特異酸性土壤의 改良에 關한 研究은 1991年 5月 30日에 農漁村 振興公社와 全北大學校 附設 農業開發研究所와의 用役 契約에 의하여 施行 中인 課題로, 1991年 第1次 年度 研究에 이어 1992年에 第2次 年度의 研究을 遂行하여 왔다.

우리나라의 畚土壤을 類型別로 區分하여 보면, 普通畚, 未熟畚, 濕畚, 鹽害畚 및 特異酸性畚으로 區分 할 수 있으며, 이 中 低位生産畚으로 分類된 特異酸性畚은 慶南 金海 地域에 約 3千 ha가 分布되어 있는데, 代表的인 特異酸性土壤으로 알려진 金海統 表土1의 pH는 3.9로서 심한 酸性을 나타내고 있다. 그러나 이러한 特異酸性土壤과는 달리 과거 10여년에 걸쳐 우리나라 여러 地域에서 排水路 擴張 工事나 耕地 整理를 위한 工事 過程에서 地表下 2 - 3 m의 下層土를 掘鑿한 뒤 이들 掘鑿土壤을 既存의 畚土壤에 捨土 處理하고, 이 捨土 處理된 畚土壤에서 水稻를 栽培하여 심한 被害가 發生된 地域에서의 土壤 條件이 또한 典型的인 特異酸性土壤 特性을 보여 주고 있음이 注目되었다.

潛在性 特異酸性土壤은 河海混成沖積土를 母材로 하여 주로 地表下 深層에서 發見되어 왔기 때문에 掘鑿以前에는 營農과 關聯된 現實的인 側面에서 볼 때 크게 重要視 되지 않는다. 그러나 1980年度에 들어서 부터 土木 工事인 耕地 整理, 排水 改善, 掘鑿 및 擴張, 電信柱 埋設, 地下水 開發, 골프장 建設 등의 現場에서 下層의 還元 土層이 表面으로 移行된 후 酸化와 함께 土壤 酸度가 強酸性을 나타내게 되고 이러한 條件下에서 作物 栽培가 事實상 不可能하게 됨에 따라 많은 問題가 惹起케 되었다. 더욱이 우리나라에서의 特異酸性土壤에 대한 研究은

金海 地域의 것을 中心으로 이루어져 왔고, 또한 改良 方法의 研究도 이를 對象으로 이루어져 왔기 때문에 이로 부터 얻어진 結果를 潛在性 特異酸性土壤의 改良에 直接 適用하기에는 어려움이 많다.

潛在性 特異酸性土壤에 의한 問題의 惹起는 이 土壤을 掘鑿한 후 捨土 處理 方案의 一環으로 既存 普通 畚土壤의 表面에 撒布하는데 있다. 撒布 當該 年度에 있어서는 아직 酸化가 이루어지지 않은 狀態이므로 土壤의 酸度가 強酸性을 나타내지 않아 土壤 酸度에 의한 水稻 栽培上 큰 問題가 發生되지 않을 수도 있으나, 時間의 經過와 함께 酸化가 進行되면 이에 따라 土壤은 水稻 生育이 不可能한 水準까지 된다. 이러한 狀況下에서 潛在性 特異酸性土壤을 掘鑿하여 捨土 處理 直前에 土壤 特性을 正確하고 빠르게 判斷하여야 함이 必要함은 물론이려니와, 既存 畚土壤의 全面에 撒布된 條件下에서는 適切한 改良 方法을 適用하여 水稻 栽培를 可能케 하도록 함이 必要하다고 하겠다. 이러한 狀況에 立脚하여 本 研究에서는 1) 潛在性 特異酸性土壤의 土壤化學的 特性 糾明, 2) 潛在性 特異酸性土壤 畚에서의 水稻 生育 被害 原因 糾明과 改良에 의한 收量 增大 摸索, 3) 潛在性 特異酸性土壤의 最適 利用 方法 講究로 工事費 節減 摸索을 目的으로 하였다.

1.2 研究推進狀況 - 第1次年度 研究 結果

第1次 年度의 研究에서는 우리나라의 潛在性 特異酸性土壤 出現 地域으로 全國 西, 南 및 東海岸 20余 地點이 確認 되었으며, 이들 地域의 潛在性 特異酸性土壤은 比較的 微沙와 粘土 含量이 높은 微沙埴壤質系로 土壤 酸度는 還元 狀態의 現場 pH가 6.5 - 7.5 範圍로, 土色은 全體적으로 灰色 내지는 暗灰色으

로 淡黃色의 jarosite 斑紋이 分別되었다.

潛在性 特異酸性土壤의 現場 即時判定法으로 安定劑가 添加된 35% 以上의 H_2O_2 를 가하여 酸化시킨 후 過剩의 H_2O_2 를 觸媒酵素를 써서 分解시킨 후 pH를 測定하는 方法과, 實驗室內로 옮겨 亞鉛 粉末과 HCl을 Kjeldahl에 함께 넣고 空氣 注入과 함께 發生되는 H_2S 를 醋酸亞鉛에 받아 methylene blue로 比色 定量하는 方法을 提示하였다.

地表下 2 m에서 掘鑿된 潛在性 特異酸性土壤은 掘鑿直後에 土壤 pH가 6.5 - 7.5 程度로서 含有 硫黃 成分이 주로 還元 狀態로 存在하여 아직 酸化를 받기 以前으로 土壤 pH는 오히려 中性에 가까우며, H_2O_2 에 의한 強制 酸化로 pH 2.1 - 2.5 水準으로 下降 되었다. 掘鑿후 捨土된 狀態下에서는 大氣 中에 露出된 土壤의 表面으로 부터 서서히 酸化가 進行되어 自然狀態下의 酸化에 最小 限 5個余月 以上이 所要 되었다.

換水, 排水, 他土壤과의 混合, 埋沒 등의 物理的 方法과 改良劑 添加 등 單一의 方法 適用으로는 特異酸性土壤의 改良에 滿足할 만한 效果를 期待하기 어려웠다. Ammonia 處理로 湛水 日數의 增加와 함께 土壤 中 水溶性 酸化 硫黃의 含量이 減少 되었다. 他土壤과의 混合 및 埋沒 效果는 Ammonia 處理로 增進 되었다.

1.3 第2次年度 研究 結果

1.3.1 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程

潛在性 特異酸性土壤을 既存 圃場에 盛土하고 湛水와 無湛水의 條件別로 0 cm와 20 cm 깊이에서의 sulfate-S, sulfide-S, Fe^{2+} , Al^{3+} 의 含量 變化를

調査하였다. 湛水와 함께 sulfate-S는 急激한 減少를 나타내었으나, 無湛水 條件에서는 緩慢한 增加를 보였다. 그러나 sulfide-S의 含量은 湛水 條件에 따라 sulfate-S와는 正反對의 傾向을 나타내었다. Fe^{2+} 와 Al^{3+} 의 含量 變化는 비슷하여 湛水와 함께 緩慢한 增加를 나타내었지만, 無湛水 條件에서는 60日 동안에 큰 差異를 보이지 않았다. 한편 盛土 層位간에는 큰 差異가 없었다.

유리컬럼에 潛在性 特異酸性土壤을 채우고 湛水 條件下에서 下方으로 經時的으로 溶出되는 土壤 溶液의 pH는 湛水후 75日 동안 2.8 - 3.3 附近으로 큰 差異를 보이지 않았다. Sulfate-S의 含量은 漸次 減少하는 傾向이지만, sulfide-S의 含量은 크게 변하지 않았다.

潛在性 特異酸性土壤과 一般土壤과는 一次的으로 酸化에 따른 pH 變化 差異가 있었다. 潛在性 特異酸性土壤의 酸化에 따른 pH 減少는 2.7이었던 反面에, 一般 답토양에서는 pH 0.9 - 1.0의 低下가 強制 酸化에 의하여 나타났다. 한편 공시 3 土壤의 理化學的 特性 差異는 潛在性 特異酸性土壤 中에는 他 土壤에 比하여 總硫黃, Al, Mn의 含量이 顯著하게 많았다.

1.3.2 潛在性 特異酸性土壤의 即時判定法 標準化 研究

潛在性 特異酸性土壤의 還元된 硫黃을 效果的으로 酸化시키는데 利用한 過酸化水素水の 濃度別 酸化力에는 35%의 高濃度에서 빠른 時間內에 酸化되었다. 한편 加熱 處理 有無에 따른 效果를 보면, 10分의 加熱 處理로 土壤의 pH는 5.3에서 2.8로 低下된 반면, 無加熱 處理에서는 120分 後에도 pH가 4.5까지만 低下되었다.

過酸化水素水 處理後 加熱과 함께 反應이 終了되고 남아 있는 過酸化水素水는 pH paper를 利用 할 때 脫色을 誘發하여 H^+ 濃度에 따른 色の 變化와 脫

色이 동시에 進行되어 pH 測定을 어렵게 만들었다. 이것은 catalase (Sigma 260 unit/g) 1 g을 5 ml에 녹여 過酸化水素水の 氣泡가 發生되지 않을 때까지 加하여 除去하였다.

開發되는 判定簡易키트의 概要는 다음과 같다. 즉 實驗 土壤 試料를 採取하여 均質化한 후, 젖은 土壤 約 5g을 25 ml의 cap tube에 넣고 10 ml의 35% 過酸化水素水를 가한 후 마개를 막고 잘 混合한다. 그 후 마개를 약간 열고 알콜램프로 加熱하여 끓을 때 부터 10分間 繼續 加熱한 후 冷却시킨다. 이것을 (1) pH meter로 測定하거나, 또는 (2) catalase를 가하고 過剩의 酸化劑를 分解시킨 후 정치하여 上澄液의 pH를 測定하여 酸化劑 處理 前後의 pH를 比較한다.

潛在性 特異酸性土壤의 分析 方法 標準化를 위한 여러가지 實驗 方法을 檢討하였다. 試料 土壤에 相當量의 硫黃이 包含되어 있으므로 이것을 酸化시켜 sulfate sulfur로 한 후 turbidimetry로 分析하는 것이 가장 效果的이었다. 酸化劑는 nitric/perchloric/phosphoric acid가 가장 效果的이었다. Sulfate sulfur의 分析은 이것을 還元시켜 p-amino- dimethylamine으로 比色한 結果 極微量도 精密하게 分析되었다. 한편 sulfate sulfur가 많은 試料에서는 barium sulfate 沈澱을 分散시켜 turbidimetry로 分析한 結果 위의 比色法보다 짧은 時間內 效果的 分析으로 適合하였다.

1.3.3 改良 方法에 따른 效果

潛在性 特異酸性土壤으로 盛土된 畚圃場에서 Ammonia, 石灰 및 물管理 등의 改良方法을 適用하여 水稻를 栽培하였다. 水稻 草長 및 分蘖數 등 水稻 生育은 移秧 후 10週까지 사이에 큰 差異를 보이지 않았으며, 收量에 있어서도

處理間에 差異가 없었다. 그러나 無處理區에 있어서는 處理區에 比하여 草長과 약간의 收量 減少를 보였다.

改良을 위한 ammonia 및 石灰 處理 後 pH를 비롯한 主要 土壤 特性의 變化를 보면, 移秧 當時의 土壤 pH는 5.4 - 5.6이었으나 移秧後 30日에 4.1 - 5.0 附近으로 減少되었고, 그 以後에는 매우 緩慢한 幅으로 減少었다. 그러나 無處理區에서의 移秧時의 pH 4.4가 移秧後 60日에 pH 3.1로 低下되었다. 또한 sulfide sulfur와는 달리 sulfate sulfur의 含量은 移秧後 60日 동안에 크게 減少되었다.

第 2 章 材料 및 方法

2.1 圃場 實驗

2.1.1 圃場 造成과 改良劑 處理

實驗에 使用한 土壤은 全北 益山郡 咸悅邑의 咸悅川에서 1992年 5月 11日에 掘鑿한 土壤이었다. 掘鑿 土壤은 地表下 2 - 3 m 깊이의 土壤으로 掘鑿 當時에는 咸悅川의 水面下 平均 1 m 깊이로 물에 잠겨 있었다. 本 土壤 掘鑿 地域은 1989년 咸悅川 擴張 工事 以後 掘鑿 土壤을 隣接 畚圃場의 全面에 撒布하여 翌年の 水稻 栽培時 부터 심한 生育 被害가 惹起되었던 地域이었다.

實驗 土壤은 掘鑿 即時 全北 全州市 德津區 德津洞 所在 畚圃場으로 옮겼다. 이 土壤을 一般 畚圃場의 全面에 平均 20 cm 깊이로 撒布하였다. 供試 土壤은 掘鑿 直後에 pH 5.34, 有機物 含量 1.48%를 含有한 微砂質壤土이 있었다. 한편 供試 土壤에는 總硫黃 含量이 約 2800 ppm 以上과 鐵 含量이 普通畚 보다 越等히 높게 含有되어 있었다.

圃場 造成後 區劃을 지어 各 區別로 必要的 處理를 行하였다. 즉 湛水 處理區에는 3 cm 깊이로 물을 채워 常時 湛水 狀態로 維持하였고, 無湛水區는 實驗 期間中에 降雨에 의한 入水를 除外하고는 人爲的인 灌水를 行하지 않았다. 降雨에 의하여 圃場 中에 채워진 물은 곧바로 排水되도록 하였다.

改良 實驗에 適用한 改良劑로는 ammonia water, ammonia gas 및 石灰를 利用하였고, 더불어 물 管理를 適用한 改良法과 比較하였다. 改良劑 處理를 위한 所要量은 Ammonia의 境遇 緩衝曲線法으로 酸化된 土壤의 pH를 6.0으로 矯正하는데 所要되는 量을 算出하였다. 圃場에서의 ammonia 處理는 算出된 ammonia의 量을 진한 NH_4OH 를 灌溉水에 섞어 處理 하였으며,

表 1. 實驗에 使用한 潛在性 特異酸性土壤의 理化學的 特性

Soil texture	SiCL
Sand (%)	8.8
Silt (%)	61.1
Clay (%)	30.1
pH (1:5 H ₂ O)	5.34
Organic matter (%)	1.48
Nitrogen (%)	0.15
Total sulfur (%)	0.2875
Total iron (%)	1.02
Exchangeable ion	
Aluminium (ppm)	420
Manganes	112
Cation exchange capacity	
(me/100g)	11.3

ammonia gas의 處理는 cylinder의 計器에 直接 호스를 連結하여 灌溉時 fertigation 하였다. 處理量은 미리 檢量된 cylinder의 무게와 壓力과의 比率로 부터 施用量을 調節하였다. Ammonia water 및 ammonia gas의 處理는 移秧前 3日에 實施하였다.

改良劑로 處理한 石灰의 경우에는 炭酸石灰를 利用하여 緩衝曲線法에 따라 供試土壤의 pH를 6.0으로 矯正하는데 所要되는 量을 算出하고, 算出된 石灰量을 다시 農用石灰로 換算하여 移秧前 3日에 處理하였다. 한편 물 管理에 의한 改良法 適用은 圃場 造成 後 移秧前까지 5日 間隔으로 3回 에 걸쳐 灌水

와 排水를 反復하였다. 또한 移秧後에는 分蘖肥 施用 一日前과 移秧後 30日 2회에 걸쳐 물 管理하였다.

2.1.2 水稻栽培

改良 方法 適用 圃場에서의 水稻 栽培는 어린모 손 移秧으로 實施 하였다. 供試한 水稻 品種은 東津벼로, 어린모 育苗를 위하여 鹽水選하고 消毒한 種子를 沈種한 후 눈이 約 2 mm 程度 發生되었을 때 箱子當 200g씩을 落種하고 28 °C로 維持되는 生長床에서 3日 동안 置床하면서 育苗하였다. 그 후 다시 溫室로 옮겨 綠化와 硬化를 시키면서 5日 동안 生育을 繼續하였다.

移秧은 慣行 손 移秧으로, 栽植距離 30 x 15 cm, 株當 4本씩을 移秧 하였다. 移秧 當時의 苗齡은 8日苗로 2.5 葉期, 草長 10.3 cm, 根長 9.5 cm 이었다. 施肥는 窒素-磷酸-加里 11-9-10 kg/10a의 水準으로 窒素는 50%를 基肥로 30%는 分蘖肥 그리고 나머지 20%는 穗肥로 處理하였다. 그러나 ammonia 改良劑 處理區에 있어서는 窒素 基肥 處理를 省略 하였다. 雜草 防除를 위한 除草劑 處理는 移秧 5日에 만드리 3kg/10a 水準으로 處理하였으며, 栽培 期間 中の 病蟲害 防除를 위한 殺蟲, 殺菌劑의 撒布는 慣行에 따라 實施 하였다.

栽培 期間 中の 水稻 生育은 一週 間隔으로 草長과 分蘖數를 調查하였으며, 出穗日 및 收量 構成要素와 收量을 調查하였다. 한편 水稻 營養 分析은 窒素, 磷酸, 加里에 대하여 實施하였다.

2.1.3 포트 및 컬럼 모델 實驗

灌水 條件下 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程 糾明을 위한 圃場 實驗과 並行하여 室內 유리컬럼에서의 모델 實驗을 實施 하였다. 卽 直徑 5 cm, 높이

45 cm의 유리컬럼에 供試 土壤을 35 cm 높이로 充填하고, 3 cm의 湛水深을 維持시키면서 經時的으로 컬럼 中の 土壤과 溶出되는 土壤 溶液 中の 成分 變化를 調査하였다.

石灰 및 ammonia 處理時的 主要 土壤 因子들의 經時的 變化를 pots 및 컬럼의 湛水 條件下에서 實施 하였다. 石灰量 및 ammonia water 處理量은 圃場에서의와 같은 水準으로 施用 하였다. pots 實驗의 경우에는 土壤을, 그리고 컬럼 모델 實驗에서는 土壤 溶出液 中の 因子를 調査하는데 利用하였다.

2.2 酸化 要因 糾明 實驗

潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程 糾明을 위하여 一般 畚土壤과의 土壤 特性을 比較하였다. 一般 畚土壤은 供試 潛在性 特異酸性土壤과 隣接되어 있는 附近의 畚 表層部의 土壤과 全北 全州市 德津洞 所在 一般 畚土壤의 土壤을 利用하였다. 이들 3 供試 土壤에 대하여 過酸化水素水에 의한 強制 酸化後 pH의 變化幅을 調査하였으며, 더불어 各 土壤의 理化學的 特性을 아울러 分析하여 그 差異를 檢討하였다.

2.3 即時判定法 實驗

2.3.1 還元 硫黃의 酸化

還元 硫黃의 酸化에는 過酸化水素水を 酸化劑로 選拔하여, 過酸化水素水의 5% - 35% 濃度 水準別 酸化力 差異를 測定하였다. 또한 各 濃度 水準別로 加熱 時間에 따른 土壤 pH의 變化를 測定하여 加熱 效果를 檢討하였다.

2.3.2 過酸化 水素水の 分解

土壤 中の 還元된 硫黃을 強制 酸化시키기 위하여 過酸化 水素水(H_2O_2)를 넣고 加熱 酸化 시킨 後 過剩의 過酸化 水素水는 catalase 溶液 (Sigma 260unit/g 1g을 5 ml에 溶解)으로 分解시켰다.

2.3.3 簡易키트 開發試驗

a) 試藥 및 器具

- (a) 過酸化 水素水 35% 溶液
- (b) Catalase 溶液
- (c) pH paper
- (d) pH meter

b) 實驗 方法

土壤 試料를 現場에서 採取하여 均質化 한 後 젖은 土壤 約 5g을 採取하여 25 ml의 cap tube에 넣고 10 ml의 35% 過酸化 水素水를 가하고 마개를 막고 잘 混合한 후 마개를 약간 열고 알콜 lamp로 加熱하여 끓을 때 부터 10分間 加熱하고 冷却 시킨 후 (1)pH meter로 測定하거나 또는 (2)catalase를 가하고 過剩의 酸化劑를 分解하고 定置한 후 上等液을 pH paper로 pH를 測定하여 酸化劑 處理 前後의 pH를 測定하였다.

2.3.4 分析法 標準化 研究

潛在性 特異酸性土壤은 相當量의 硫黃을 包含하고 있음을 前提로 하고 硫黃 中 total-sulfur, sulfide-sulfur, sulfate-sulfur 分析法의 標準化를 위하여 다음 方法을 試圖하였다.

Total-sulfur는 酸化劑로 가장 效果的인 것으로 알려진 potassium/nitrate/nitric acid와 nitric/perchloric/phosphoric acid를 利用하여 酸

化하여 sulfate sulfur로 한 後 分析하였다.

Sulfate sulfur의 分析은 sulfate를 Barium sulfate의 沈澱을 利用한 重量分析法과 turbidimetry로 分析하는 方法, sulfate sulfur를 sulfide sulfur로 還元시켜 p-aminodimethylamine으로 比色하는 方法 등 3가지 方法을 比較하였다.

Sulfide sulfur는 p-aminodimethylamine를 利用한 比色法과 酸化還元 滴定法을 比較하였다.

가) Total sulfur 分析法

(1) 酸化劑 Potassium nitrate/nitric acid를 利用한 全硫黃 分析法

a) 試藥

- (a) Nitric acid 69 %
- (b) Perchloric acid 60 %
- (c) Phosphoric acid 85 %
- (d) Hydrochloric acid 37 %

b) 實驗方法

2.0g의 土壤 試料을 125ml의 beaker에 넣고 3ml의 69% nitric acid, 3ml의 60% perchloric acid, 7 ml의 85% phosphoric acid를 가하고, watch glass를 덮고 1時間 water bath에서 加熱한 후 watch glass를 열고 190-200 C의 hot plate에서 perchloric acid의 煙기가 심하게 날 때까지 加熱한 후 다시 watch glass를 덮고 30分間 加熱한다. 여기에 3 ml의 hydrochloric acid를 가하고 다시 perchloric acid의 煙기가 보일 때까지 加熱한 후 diluted HCl로서 100ml의 容量을 맞춘다. 以上の 反應에서 硫黃은

sulfate sulfur로 酸化되어 다음의 sulfate sulfur分析法에 따라 定量하였다.

(2) 酸化劑 Nitric/perchloric/phosphoric acid를 이용한 全硫黃 分析

a) 試藥

(a) Nitric acid 25%

(b) Digesting solution (分解液): 100g의 potassium nitrate를 600ml의 蒸溜水에 녹이고 350ml의 conc. nitric acid를 가하고 1L로 한다.

b) 實驗方法

調製된 土壤을 1g 稱量하여 50ml tall beaker에 넣고 分解液 10ml을 넣고 water bath에서 乾固시킨 후 500 C 電氣爐에서 3 時間 加熱한 다음 空冷하고 5 ml의 nitric acid를 가하고 다시 water bath에서 1 時間 加熱한다. 蒸溜水로 녹여서 Toyo 濾紙 No. 5C로 濾過하여 100ml로 容量을 定容하여 다음의 sulfate sulfur 分析法에 따라 定量하였다.

나) Sulfate sulfur 分析法

(1) 重量法을 이용한 sulfate sulfur 定量法

a) 試藥

(a) Hydrochloric acid concentrated

(b) 0.05 M Barium chloride

(c) 0.1 M silver nitrate

(d) Nitric acid concentrated

b) 實驗方法

試料 一定量을 500ml beaker에 取하고 뜨거운 100ml의 0.5 M barium chloride 溶液을 재빨리 가하고 激烈하게 혼든 후 watch glass를 덮고 hot plate에서 끓인다. 이 溶液을 Toyo 여지 No.6으로 沈澱을 濾過한다. 熱水로 씻고 濾液에 진한 窒酸 5방울을 가하고 0.1 M silver nitrate 한 방울을 가하여 沈澱이 生成되지 않을 때까지 씻는다. 여지를 접어서 600 C의 電氣爐에서 恒量이 될 때까지 加熱하여 desicator에 넣어 冷却 후 稱量하여 含水量을 구한다.

(2) Turbidimetry를 利用한 sulfate sulfur 定量法

a) 試藥

(a) 25 % Nitric acid

(b) Acetic-phosphoric acid: 900 ml의 진한 acetic acid 와 300 ml 의 진한 phosphoric acid를 섞는다.

(c) Gum acacia-acetic acid 용액 : 5g의 gum acacia 또는 gum arabic을 매우 뜨거운 물 500ml에 녹인 다음 이 뜨거운 溶液을 定性濾紙로 濾過 후 식힌 다음 진한 acetic acid로 1 liter가 되도록 채운다.

(d) Barium sulfate seed suspension: Barium chloride ($BaCl_2$) 18 g을 뜨거운 44 ml 물에 녹인 후 (e)번 시약 0.5 ml를 가하고 끓인후 재빨리 식힌다. 여기에 (c)번 시약 4 ml를 가한다. 이 溶液은 매일 만들어 써야 한다.

(e) Barium chloride: Barium chloride를 곱게 갈아 쓴다.

(f) 진한 sulfate 標準溶液 (1 mg S /ml=1000ppm S): Drying oven에서 乾燥한 5.454g의 potassium sulfate (K_2SO_4)를 물에 녹여 1

liter로 한다.

(g) Working sulfate 標準溶液(100 g S/ml=100 ppm S): (f)번 試藥 100ml을 취하여 1 liter로 稀釋하고 매일 새로 만들어 사용한다.

b) 實驗方法

試料 一定量 (15 ml를 超過 하지 않고 120 g sulfate sulfur를 超過하지 않는 量)을 25 ml를 표시 해 놓은 試驗管에 넣고 25 % Nitric acid 2.5 ml와 Acetic-phosphoric acid 2ml를 가하고 總量이 22 ml이 되도록 물을 가하고 잘 섞는다. 이 때 blank도 같이 始作한다.

Barium sulfate seed suspension을 잘 혼든 후에 0.5 ml를 가하고 Barium chloride 0.2g을 가한후 3회 試驗管을 反轉한다. 10분 후 다시 試驗管을 10회 反轉한다. 5분 후 試驗管을 5회 反轉한 후 Gum acacia-acetic acid 溶液 1 ml를 가한 후 標線까지 물을 가하고 試驗管을 3회 反轉시킨다. 1時間 30분 放置 후 試驗管을 10회 反轉 후 波長 440um에서 測定한다.

標準 曲線을 그리기 위해 試藥 Working sulfate 標準溶液(100 g S/ml=100 ppm S)를 0, 1, 3, 5, 10, 15ml를 위의 試驗管에 넣고 試料와 같은 操作으로 實驗한다. 이 standard는 實驗 할 때 매번 다시 하였다. 標準 曲線을 graph 用紙에 그려서 그 含量을 計算한다.

(3) 比色法을 利用한 sulfate sulfur 定量法

이 方法은 sulfate sulfur를 강한 還元劑로 sulfide sulfur로 還元시켜 p-aminodimethylamine으로 比色하는 方法으로 위의 酸化劑를 利用하여 酸化된 硫黃 試料 1ml을 취하여 標準溶液과 같은 方法으로 定量한다.

다) Sulfide sulfur 分析法

(1) 比色法을 이용한 sulfide sulfur 定量法

a) 試藥

(a) Pyrogallol-sodium phosphate washing 溶液: 10g의 NaH_2PO_4 와 pyrogallol 10g을 窒素 氣流를 bubbling 시키면서 通過시켜 녹인 후 100 ml로 한다. 이 溶液은 매일 만들어 使用한다.

(b) Zinc acetate-sodium acetate sulfide 吸收溶液: 50g의 $\text{Zn}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 와 12.5g의 $\text{NaOAc} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 녹여서 1 liter로 한다.

(c) Aminodimethylaniline 용액: 2g의 p-aminodimethylaniline sulfate를 1500ml에 녹이고, 400ml의 진한 黃酸을 가하여 1 liter로 한다.

(d) Ferric ammonium sulfate 溶液: 25g의 ferric ammonium sulfate에 5 ml의 진한 黃酸과 물 195를 가한다.

(e) Standard sulfate 용액 (1 mg/1 ml=1000 ppm): 5.453g의 potassium sulfate를 1 liter에 녹인다.

(f) Reducing agent: 300ml의 Hydroiodic acid (比重1.7), 75 ml의 hypophosphorus acid(50%)와 90% formic acid를 混合한 후 10분간 窒素氣流를 通過 시키면서 115 C에서 끓인다.

b) 實驗方法

Pyrogallol-sodium phosphate washing 용액 10 ml을 가스 洗滌 管에 넣고 장치의 각 部分을 組立하고 Zinc acetate-sodium acetate sulfide 吸收 溶液 10 ml를 100 ml 容量 flask에 넣고 70 ml의 蒸溜水를 가한 후, 적은 連結 유리관을 利用 受器에 잠기게 한다. 標準溶液을 分解

round flask에 넣는다. 4 ml의 reducing agent를 채빨리 넣고, 窒素가스를 100--200ml/min의 流速으로 通過 시키면서 20분 동안 加熱한다. 受器인 容量 flask를 分離 후 10 ml의 Aminodimetylaniline 溶液을 신속히 가하고 잘 섞은 後 2 ml의 ferric ammonium sulfate 溶液을 가하고 다시 혼든 후 容量을 채운 후 670 um의 波長에서 吸光度를 測定하였다.

土壤試料 약 20g을 250 ml flask에 취하고 (따로 水分 定量을 하여야함) 끓여서 식힌 蒸溜水 40ml를 가한다. Zinc acetate-sodium acetate sulfide absorbing solution을 裝置의 끝에 連結 후 試料가 담긴 flask에 1.5 - 3 g의 Zinc powder를 넣고 채빨리 10ml의 H_2SO_4 를 가하고 장치에 連結한 후 窒素 gas를 100-200ml/min의 流速으로 35 C water bath에서 20분간 通過 시킨 후 標準溶液과 같은 方法으로 吸光度를 測定하고 標準檢量線을 作成하여 定量하였다.

(2) 酸化還元法(Iodimetry)을 利用한 sulfide sulfur의 定量法

a) 試藥

(1) 0.1N 沃素 溶液: 12.7g의 AR급 碘素(I_2)를 250 ml 비이커에 넣고 碘소가 없는 碘화가리 (KI) 40g과 물 250ml를 가한 다음 잘 저어서 碘소를 全部 녹인다. 蒸溜水로 1L 되게 稀釋해서 마개를 단단히 막고 햇볕이 닿지 않게 서늘하게 保管한다.

(2) 0.1N Sodium thiosulfate 溶液: 끓였다가 식힌 후 蒸溜水 1L에 25g의 $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 를 넣어 녹이고 0.1g의 Na_2CO_3 를 첨가하여 녹인다. 1晝夜를 放置했다가 測定한다.

(3) 澱粉溶液: 2g의 純粹한 澱粉과 10mg의 HgI(防腐劑)를 섞은 다음

끓는물 1L 에 서서히 가해서 녹인 다음 溶液이 맑아질 때까지 끓인 다음 식혀서 마개 있는 試藥병에 옮겨 보관한다.

(4) 黃酸: 容積으로 물 1에 대해 黃酸 1 比率의 溶液을 만든다.

(5) H₂S 置換 및 抱集裝置

b) 實驗方法

(1) Sodium thiosulfate의 標定

0.14 ~ 0.15g(正確한 量을 기록할 것)의 AR급 KIO₃를 25ml의 금방 끓여서 식힌 蒸溜水에 넣고 2g의 KI를 가하여 녹인다. 2N의 H₂SO₄ 2ml을 넣고 이 溶液을 Sodium thiosulfate로 한다. 滴定을 進行하다가 溶液의 색이 옅은 黃色을 띠기 시작하면 蒸溜水 170ml 程度를 가하고 澱粉溶液 2ml을 가한 후 滴定을 계속하여 無色이 될 때를 End point로 한다. 1ml의 0.1N Na₂S₂O₃ = 0.003567g KIO₃의 關係를 利用해서 Na₂S₂O₃의 力價를 計算하였다.

(2) 土壤中 H₂S 및 S²⁻의 置換抱集 및 定量

젖은 土壤 10g을 신속히 秤량 (水分含量 별도 表示)하여 100ml 용량 광구 시약병에 넣고 蒸溜水 20ml을 가한 다음 N₂ gas 誘導管과 排氣管이 달린 고무마개로 막고 內容을 흔들어 섞이게 한다. 受器 (100ml容 삼각 flask)에 10ml의 zine acetate 용액 10ml과 蒸溜水 20ml를 가하여 정위치에 놓고 N₂ gas를 1分間 100~200 ml의 流速으로 20分間 불어낸다. 수기에 잠긴 排氣管을 물로 씻어서 內容을 50ml messflask에 옮기고 P-amminodimethylalanine 溶液 5ml을 넣고 잘 섞고 Ferric ammonium sulfate 1ml를 넣고 다시 잘 섞고 눈금까지 蒸溜水를 채워 670m에서 比色한

다. 이것은 遊離狀態의 H_2S 이다.

金屬이온과 結合되어 있는 S^{2-} 즉 FeS , ZnS , CuS , MnS 등을 分析하기 위해서는 H_2S 定量이 끝난 容器의 內容을 그대로 使用한다. 즉 새로운 수기에 zinc acetate 용액 20ml와 蒸溜水 20ml를 가하여 淸위치에 놓고 排氣管을 導入한 다음 흡이 들어 있는 광구시약병에 $2N-H_2SO_4$ 10ml를 가한 후 마개를 막고 잘 흔들어 준 다음 遊離狀態의 游化수소 定量時와 같이 N_2 gas를 1分間 100~200 ml의 流速으로 20分間 불어낸다. 가끔 병을 조용히 흔들어 內容物이 잘 섞이도록 한다. 抱集이 끝나면 排水管의 끝 부분을 분리시켜 수기에 넣고 Iodimetry에 의해 滴定하였다.

2.4 土壤 및 植物體 分析

2.4.1 土壤分析

1) pH

Hanna portable pH meter에 combination electrode와 溫度自動補正센서를 장착하여 實驗室內에서는 土壤과 물의 比率을 1:5로 測定하였고 圃場 및 pot에서는 湛水狀態에서 바로 測定하였다.

2) Eh

Hanna portable pH meter의 calomel 電極을 基準 電極으로 하여 白金電極으로 測定하였으며 白金電極이 土壤 中 平衡에 이르는 時間을 均一하게 하기 위해 각 pot에 한개씩 꽂아두고 測定하였으며 白金電極의 電位補正은 Hanna redox solution으로 補正하였다. Eh는 pH에 따라 $E = E_0 - 0.0591 \text{ pH}$ 와 같이 變化 됨으로 pH를 6으로 換算한 값 Eh6로 表示하였다.

3) Nitrogen

a) 試藥

(a) 진한 黃酸(H_2SO_4)

(b) 黃酸 + 살리실산: 黃酸 30 ml에 살리실산 ($C_6H_4OHCOOH$) 1g의 比率로 만든다.

(c) Sodium thiosulfate crystal

(d) 鹽 混合物: 90g K_2SO_4 또는 Na_2SO_4 에 10g의 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 10g(9:1)을 混合하며 이것은 分解 促進劑이다.

(e) 4% 硼酸溶液: 40g의 硼酸을 混合指示藥 5 ml가 들어있는 물 1L에 녹이고 dil. HCl 또는 dil. NaOH로 pH를 4.5로 맞춘다.

(f) 混合 指示藥: 90% ethanol 400ml에 bromocresol green 0.3g과 methyl red 0.2g을 溶解한다.

(g) 6 M NaOH(水酸化나트륨) : Fume hood하에서, 蒸溜水 600ml가 들어 있는 비이커에 特級 水酸化나트륨 240g을 溶解한다. 차가운 水槽에서 發生된 熱을 分散시키고 1L로한다.

(h) 0.1N 標準鹽酸 : factor를 아는 標準 鹽酸을 使用한다.

b) 實驗方法

(a) 分解過程

調製한 土壤 試料 5.0g을 稱量하여 Kjeldahl flask에 취하고, 黃酸 + 살리실산 混合酸 30 ml을 가하여 잘 混合하고, 30분 동안 때때로 흔든 후 Fume hood에서 還元劑인 sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 結晶을 몇 알씩 서서히 가하면서 加熱한다. 鹽混合物 5g을 가하고 잘 混合한 후

Kjeldahl flask 加熱 裝置에서 初期에는 서서히 加熱하고, 거품이 다 사라지면 강하게 加熱 無色이나 연록색이 될 때까지 繼續한다. 空氣 중에서 冷却시킨 후 蒸溜水를 가하여 250 ml mess flask 에 옮기고 標線까지 채운다.

(b) 蒸溜過程

먼저 蒸溜裝置(micro Kjeldahl distilling apparatus)를 모두 連結하고 수기(受器)에 蒸溜水를 넣고 水蒸氣를 發生시켜 한번 逆流시켜 試料管을 씻어낸 후, 4 % boric acid 溶液 30 ml를 125ml 삼각플라스크에 넣은 후 킨달증류장치 각 관 밑에 수기를 놓고 冷却管 끝이 수기의 溶液에 잠기도록 한다. 위의 分解過程에서 만든 시료 10 ml를 취하여 蒸溜裝置에 넣고 6M NaOH溶液으로 액성을 알카리로 한 후 蒸溜를 繼續하여 수기에 蒸溜液이 약 100ml이 될 때까지 試料를 蒸溜한다.

(c) 滴定

蒸溜를 끝내고 酸 標準溶液(0.1N HCl)로 滴定하여 最初의 boric acid 溶液 색깔로 되돌아 오는데 所要된 量을 뷰렛에서 읽어서 窒素의 量을 計算하였다.

4) Ferrous iron

a) 試藥

(a) 0.2 % Aluminium chloride 침출액 (pH 4.0) :

(b) Sodium citrate溶液: 250 g을 물에 녹여 1,000 ml로 한다.

(c) O-phenanthroline: Ethanol 100ml에 2.5g을 녹이고 물 900ml를 가하여 갈색병에 보관한다

(d) 鐵 標準溶液(1,000 ppm Fe = 1 mg Fe/ml): 8.6322g의

ferric ammonium sulfate($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)를 $1\text{NH}_2\text{SO}_4$ 20 ml이 들어 있는 약 800 ml의 물에 녹인 후 1000ml로 희釋한다.

(f) Fe working standard solution (100ppm Fe = 0.1 mg Fe/ml) : 위의 標準液을 희釋하여 100 ppm Fe溶液을 만들고, 다시 희釋 1, 5, 10, 15, 20ppm 溶液을 만든다.

b) 實驗方法

酸化層 土壤을 걸어 내고 1.5 cm 直徑의 試驗管으로 酸化되지 않도록 採取하여 약 10g(水分 定量을 하여 最終 乾土 무게로 換算함)을 flask에 취하고 50ml의 0.2% Aluminium chloride 溶液을 가하여 침출후 2, 5, 10, 15, 20 ppm 標準 稀釋液 각각 5 ml과 試料 5 ml를 50 ml 容量 flask에 취하고, 약 10 ml의 물을 가하였다. Sodium citrate 溶液을 가하여 溶液의 pH를 3에서 9사이가 되게한 후 1 ml의 O-phenanthroline 溶液을 가한 후 발색이되면 포션까지 물을 가한 후 Spectronic 20 spectrophotometer로 그 吸光度를 測定한다. 測定된 吸光度는 標準檢量線을 그려서 試料의 濃度를 구하고 그 含量을 計算한다.

5) Exchangerble aluminium

a) 試藥

(a) Potassium chloride 1 N: 74.56g을 稱量하여 1 liter 로한다.

(b) Aluminon reagent: 0.75g의 aluminone, 15 g의 gum acacia와 200g의 ammonium acetate를 稱量하여 각각 따로 물에 녹인 후 190 ml의 진한 鹽酸(HCl)을 가하고 섞어서 1500 ml로 한다.

(c) Aluminium standard: Aluminium nitrate $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

(MW:375.15) 3.7461g을 녹여서 1.0 liter로 하면 250 ppm aluminium
溶液이며 이 溶液을 窒素分析하여 濃度를 確認하는 것이 좋다. 分析할 때 10
ppm 溶液으로 稀釋하여 使用한다.

(d) 0.50 % Ascorbic acid

(e) 1 N Hydrochloric acid

b) 實驗方法

土壤 試料 5g을 稱量하여 100 ml의 遠心分離管이나 또는 적당한 器具
에 넣고 50 ml의 1 N KCl을 가하여 30분간 진탕한 후 여지로 濾過 한다. 침
출 試料 一定量 (Al로서 10 - 60ug)을 50 ml容量 flask에 넣고, 1N HCl 2
내지 4 ml을 가하여 pH가 3.7 - 4.0 사이가 되도록 하는 것이 가장 좋으며
pH가 3.7 이하이면 Aluminon이 沈澱된다. 1 ml의 0.5% ascorbic acid를
가하고 80-90 C water bath에서 30분간 加熱한다. 식힌 후 35 ml의 물을
가하고 10 ml의 aluminon-acetate buffer를 가하고 포션까지 물을 채우
고 흔든 후 2시간 후 530nm의 파장에서 spectrophotometer로 測定한다.
10 ppm aluminum 標準溶液 2, 4, 6, 10, 12ml를 취하여 50 ml 容量
flask에 넣고 1 N HCl 2 ml을 가하여 試料와 같은 方法으로 한 후 檢量線
을 그려 定量한다.

6) Sulfate sulfur

a) 試藥

分析法 標準化研究의 sulfate sulfur 分析法과 같음.

b) 實驗方法

分析法 標準化研究의 sulfate sulfur 分析法과 같음.

7) sulfide sulfur

a) 試藥

分析法 標準化研究의 sulfide sulfur 分析法과 같음.

b) 實驗方法

分析法 標準化研究의 sulfate sulfur 分析法과 같음.

2.4.2 植物體 分析

2.4.2.1 窒素分析

a) 試藥

(a) 진한 黃酸(H_2SO_4)

(b) 黃酸 + 살리실산: 黃酸 30 ml에 살리실산($C_6H_4OHCOOH$) 1g의 比率로 만든다.

(c) Sodium thiosulfate crystal

(d) 鹽 混合物 : 90g K_2SO_4 또는 Na_2SO_4 에 10g의 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 10g(9:1)을 混合하며 이것은 分解 促進劑이다.

(e) 4% 硼酸溶液: 40g의 硼酸을 混合指示藥 5 ml가 들어있는 물 1L에 녹이고 dil. HCl 또는 dil. NaOH 로 pH를 4.5로 맞춘다.

(f) 混合指示藥: 90% ethanol 400ml에 bromocresol green 0.3g과 methyl red 0.2g을 溶解한다.

(g) 6M NaOH(水酸化나트륨): Fume hood하에서, 蒸溜水 600ml가 들어 있는 비이커에 特級 水酸化나트륨 240g을 溶解한다. 차가운 水槽에서 發生된 熱을 分散시키고 1L로한다.

(h) 0.1N 標準鹽酸: factor를 아는 標準 鹽酸을 使用한다.

b) 實驗方法

(a) 分解過程

植物體 試料 1.0 g을 稱量하여 Kjeldahl flask에 취하고, 黃酸 + 살리실산 混合酸 30ml을 가하여 잘 混合하고, 30분 동안 때때로 흔든 후 Fume hood에서 還元劑인 sodium thiosulfate 結晶을 몇알씩 서서히 가하면서 加熱한다. 鹽混合物 5g을 가하고 잘 混合한 후 Kjeldahl flask 加熱裝置에서 初期에는 서서히 加熱하고, 거품이 다 사라지면 강하게 가열 無色이나 연록색이 될 때까지 繼續한다. 空氣 중에서 냉각시킨 후 蒸溜水를 가하여 250 ml mess flask에 옮기고 標線까지 채운다.

(b) 蒸溜過程

먼저 蒸溜裝置(micro Kjeldahl distilling apparatus)를 모두 연결하고 受器에 蒸溜水를 넣고 水蒸氣를 發生시켜 한번 逆流시켜 試料管을 씻어낸 후, 4 % boric acid 溶液 30 ml를 125ml 삼각플라스크에 넣은 후 킬달증류장치 冷却管 밑에 수기를 놓고 冷却管 끝이 수기의 溶液에 잠기도록 한다. 위의 分解 過程에서 만든 試料 10ml를 취하여 증류장치에 넣고 6M NaOH 溶液으로 액성을 알카리로 한 후 蒸溜를 계속하여 수기에 蒸溜液이 약 100ml이 될 때까지 試料를 蒸溜한다.

(c) 滴定

蒸溜를 끝내고 酸 標準溶液(0.1N HCl)으로 滴定하여 最初의 boric acid 溶液 색깔로 되돌아 오는데 所要된 量을 뷰렛에서 읽어서 窒素의 量을 計算하였다.

2.4.2.2 磷酸 分析

a) 試藥

(a) Molybdate-vanadate 溶液: 蒸溜水 500ml에 ammonium molybdate ((NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O) 25g을 溶解한다. 1N-HNO₃ 500ml에 ammonium vanadate(NH₄VO₃) 1.25g을 溶解한 후 두 溶液의 같은 量을 混合한다. 有效期間은 1週日.

(b) 2N-HNO₃ : 蒸溜水 800ml에 HNO₃ 10ml를 가한다.

(c) 標準磷酸溶液: 0.110g의 potassium phosphate monobasic (KH₂PO₄)를 蒸溜水에 녹여 1L로 稀釋한다. 이 溶液은 磷으로써 25ppm 溶液이다. 10ml 試驗管에 25ppm 標準磷酸溶液을 아래와 같이 가하여 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0 ppm의 標準溶液을 調製한다.

b) 實驗 方法

粉碎된 1.00g의 植物體 試料를 100-ml beaker에 넣고, 通氣되는 hood에서 酸 混合液 (750 ml conc. HNO₃ + 150 ml con. H₂SO₄ + 300 ml 60 - 62 % perchloric acid) 20 ml을 넣고 watch glass를 덮는다. 數分間 낮은 溫度의 熱板에서 加熱하고 溫度를 올려서 黃酸의 흰 연기가 나올 때까지 加熱한다. 溶液이 약 3-5 ml 정도 될 때까지 열판에서 容量을 줄인 후 冷却시키고 蒸溜水를 가한다. 酸으로 洗滌된 Toyo No. 5C 여지를 통해 100 ml용량 flask에 濾過 容量을 蒸溜水로 채운다.

10ml 試驗管에 標準磷酸 및 試料 溶液 1ml를 취하고, 2N-HNO₃ 2ml를 가하고, 蒸溜水로 8ml가 되게 稀釋한다. 試料 抽出物 또는 標準溶液이 들어 있는 試驗管에 몰리브덴산-마나뎀산 溶液 1ml를 가하고, 容量이 10ml가 되도록 蒸溜水로 맞춘다. 420 nm에서 吸光度를 測定하고 磷酸標準溶液의 吸光

도를 이용하여 검량선을 그려서 그 함량을 구하였다.

2.3.2.3加里

a) 試藥

(a)加里 1000ppm 標準液: 乾燥한 特級 KCl 1.907g을 1l의 脫鹽水에 溶解하여 調製하였다. 1000ppm의 K 標準液을 稀釋하여 20, 40, 60, 80, 100ppm 溶液으로 稀釋하여 分析에 使用하였다.

b) 實驗方法

磷酸分析에서 分解한 試料를 利用하여 螢光분석에 의하여 가리를 分析하였다. 즉 1.0g의 植物體 試料를 稱量하여 混合酸으로 分解(digestion)시킨 후 100ml로 定容하여 K를 螢光분석하였다. 즉 200ppm의 K 標準溶液으로 기기의 full scale 80%가 되도록 調整 후 10, 20, 50, 100, 200ppm의 working standard를 利用하여 發光의 強度를 測定하여 檢量線을 그래프에 그려서 試料의 濃度를 구하였다.

2.5 特異酸性土壤 分布 調査

潛在性 特異酸性土壤의 分布, 特徵과 그 利用 實態 및 改良 適用 狀況을 아시아 各國의 現場을 訪問하여 調査하였다. 對象 國家로는 태국, 말레이시아, 및 日本으로 各國別 專門家로 부터 現況과 意見을 聽取하고 文獻을 蒐集하였으며, 實際 圃場를 訪問하여 그 問題點 및 特徵을 把握하였다.

第 3 章 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程

3.1 圃場에서의 酸化

潛在性 特異酸性土壤이 掘鑿되어 地表로 露出될 때 土壤의 表層은 바로 空氣와 接觸하게 되며, 이때 부터 土壤은 酸化를 받게 된다. 酸化의 程度는 表層에서 부터 점차 深層部로 進行되어 간다. 그러나 이러한 酸化의 進行은 土壤에게 주어지는 여러가지 環境 條件에 따라 달라지는데, 그 중 특히 畚土壤으로서의 利用을 고려 할 때 水分 條件이 가장 큰 要因으로 생각된다. 따라서 酸化에 미치는 湛水 條件의 影響과, 각 條件下에서의 盛土 層位別 酸化 差異를 調査하였다.

土壤 表層에서의 酸化에 隨伴되는 酸化 狀態의 硫黃 含量은 時日의 경과와 함께 두 水分 條件下에서 正反對의 傾向을 나타내었다 (그림 1). 卽 湛水 狀

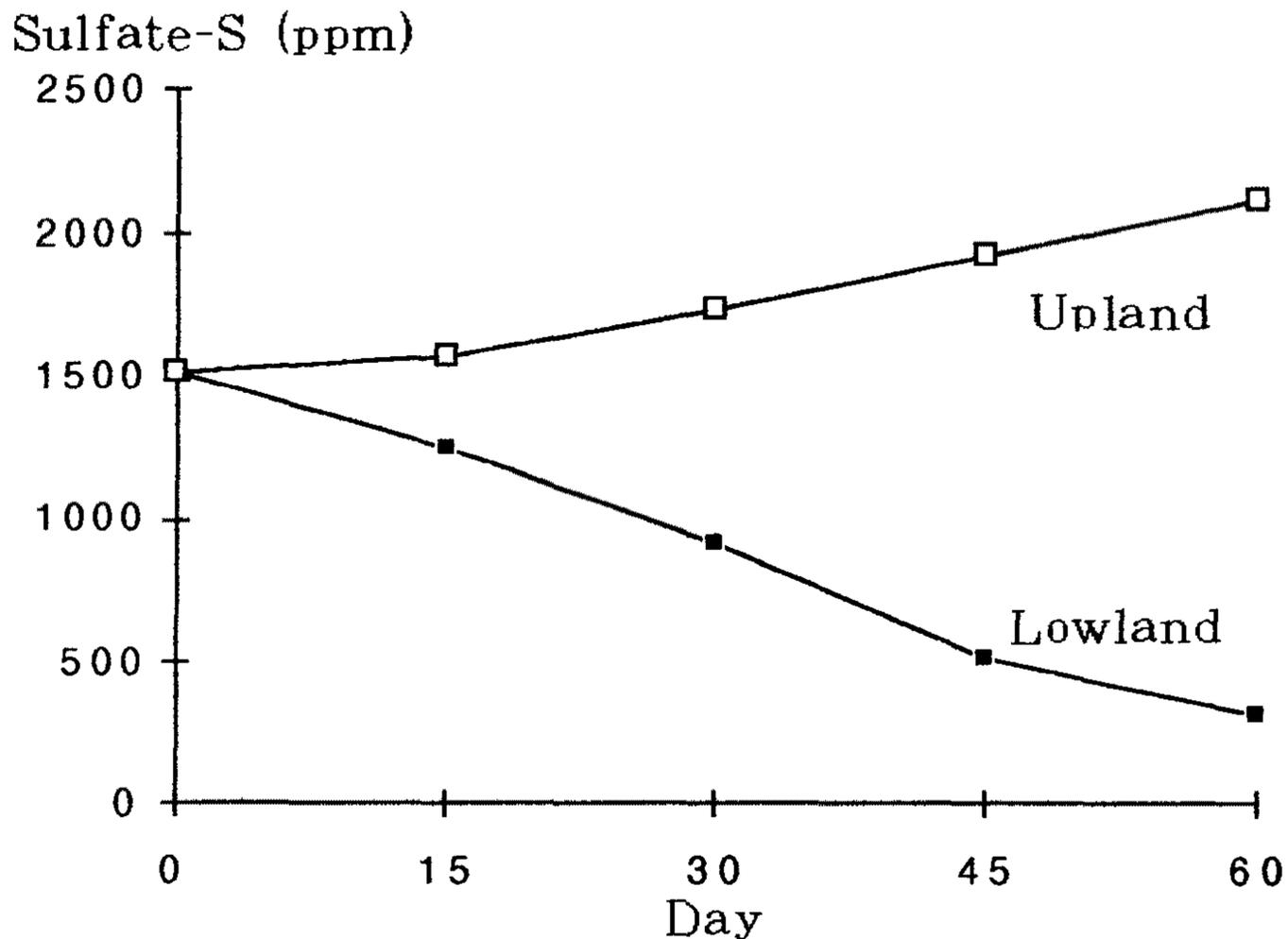


그림 1. 湛水 條件에 따른 盛土 表層에서의 酸化 狀態 硫黃의 變化

態에서는 湛水 後 15日에 約17%의 酸化狀態의 硫黃含量이 減少 되어 約 1250 ppm 水準으로 떨어졌고, 繼續해서 時日의 經過와 함께 急激하게 減少되었다. 이러한 減少의 結果 湛水後 60日에는 約 300 ppm 水準으로 까지 下降되었다. 그러나 無湛水 條件下에서는 오히려 酸化 狀態의 硫黃 含量이 꾸준히 增加되는 傾向을 나타내었다. 따라서 60日 後에는 約 570 ppm의 酸化狀態의 硫黃 含量이 增加 되었다. 이러한 反對되는 傾向은 土壤 中에서의 硫黃의 動態를 나타내어 주는 것으로 酸化狀態의 硫黃과 還元狀態의 硫黃과의 關係를 보여주고 있다.

한편 盛土層의 深層部에서의 酸化狀態 硫黃의 動態를 보면 表層部에서의 變化 傾向과 類似하게 나타났다 (그림 2). 그러나 그 變化의 幅은 두 條件下에

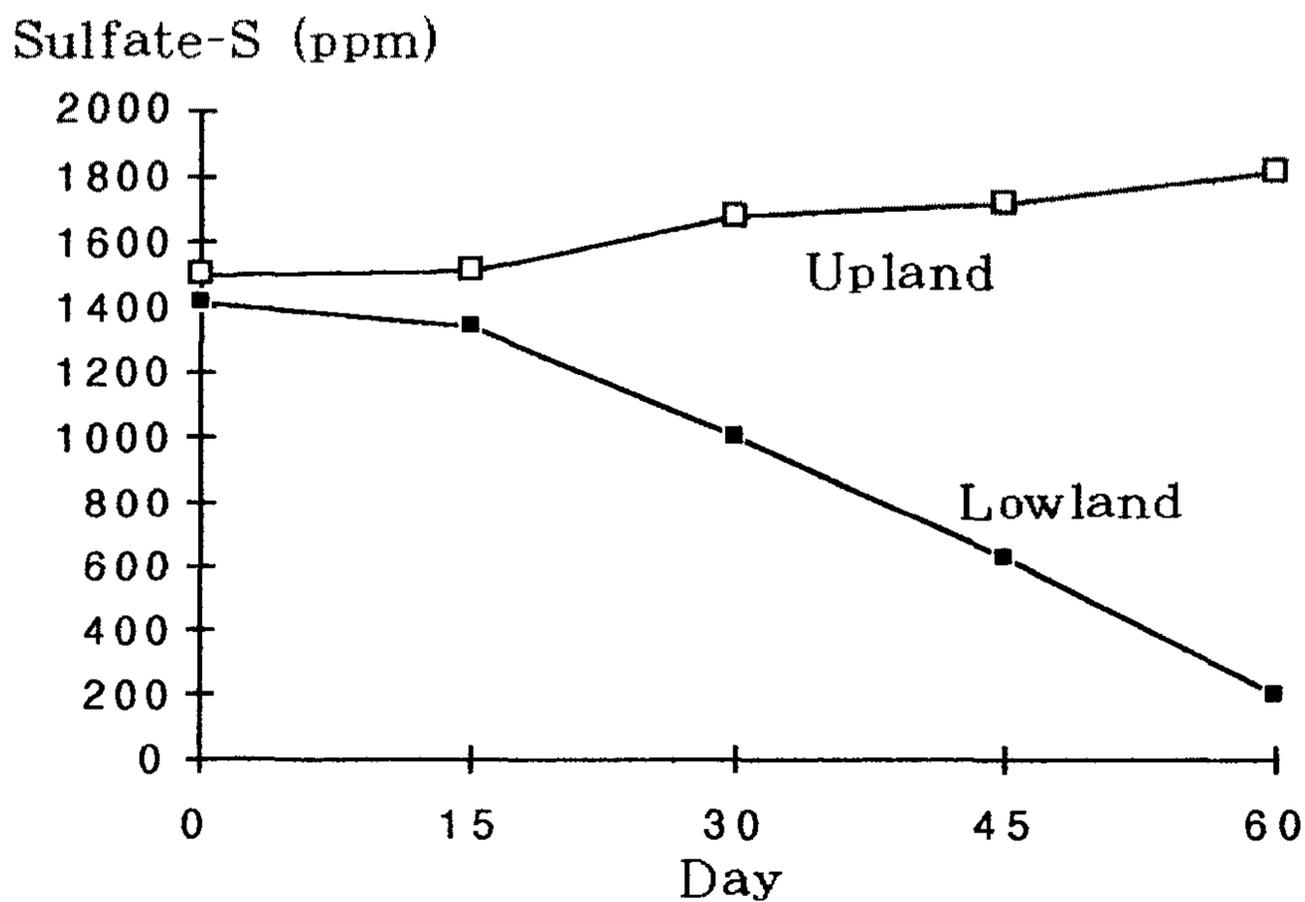


그림 2. 湛水 條件에 따른 盛土 深層에서의 酸化 狀態 硫黃의 變化
서 서로 다르게 나타났는데 湛水 條件下에서의 減少가 湛水後 60日에 約 200

ppm 程度로 表層部에서 보다 더 減少되었으나, 無湛水條件下에서는 表層보다는 緩慢하게 增加되는 傾向을 보였다. 그 結果 60日 後의 酸化狀態 硫黃의 含量은 約 1800 ppm 까지 到達하여 約 300 ppm 精度가 增加되어, 約 570 ppm이 增加된 表層部の 경우보다 緩慢함을 나타내었다. 이와같이 酸化狀態 硫黃의 動態는 盛土 層位에 따라서는 큰 變化가 없지만, 湛水 條件 與否가 크게 影響을 미치는 것으로 부터 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程에 水分의 存在 與否가 重要한 要因임을 보여 주었다.

土壤 중에 存在하는 硫黃은 條件에 따라 그 狀態가 變化되는데, 湛水와 함께 酸化狀態의 硫黃이 減少되었던 것과는 反對로 還元狀態의 硫黃은 湛水 時日의 經過와 함께 急激하게 增加되었다 (그림 3).

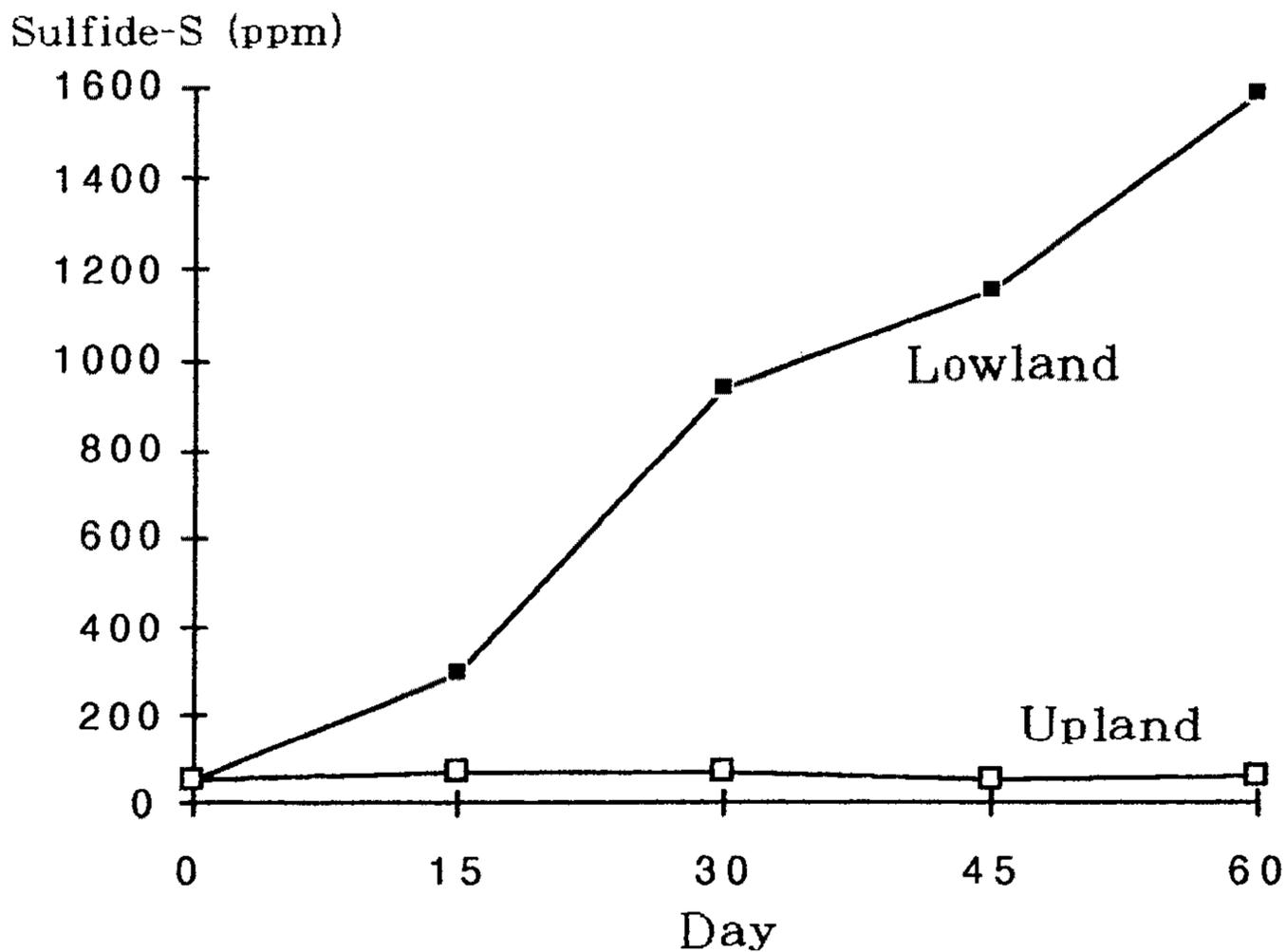


그림 3. 湛水 條件에 따른 盛土 表層에서의 還元 狀態 硫黃의 變化

盛土 表層에서의 還元 硫黃은 湛水 當時의 約 60 ppm에서 湛水後 60日에는 約 1600 ppm으로 까지 增加하였다. 그러나 無湛水 條件下에서는 거의 變化가 없 이 처음의 狀態가 그대로 維持 되었다. 또한 還元 硫黃의 變化는 盛土 深層에 있 어서도 盛土 表層과 큰 差異없이 거의 비슷한 傾向을 나타내었다 (그림 4).

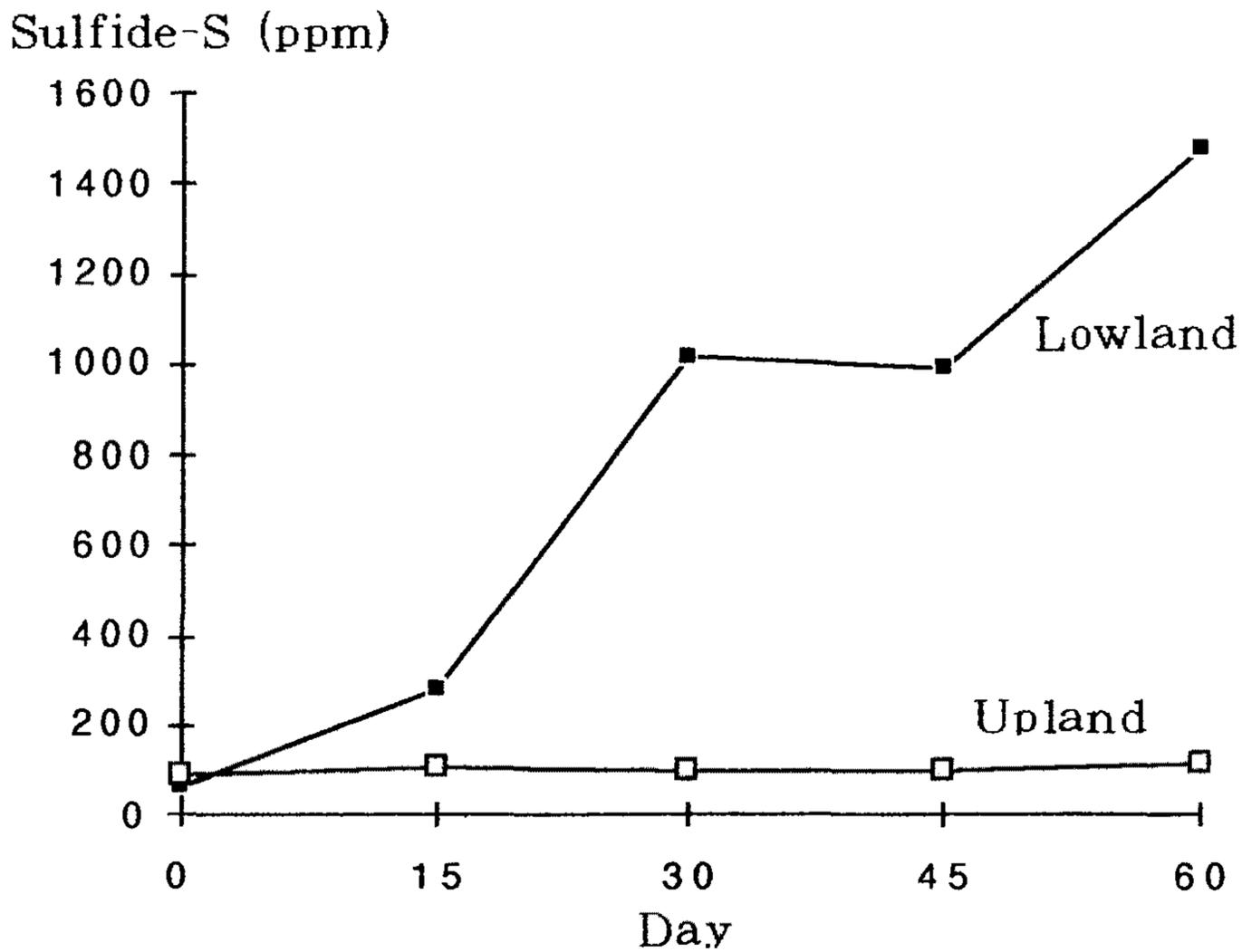


그림 4. 湛水 條件에 따른 盛土 深層에서의 還元 狀態 硫黃의 變化

以上の 結果는 土壤 中에서의 硫黃의 存在 形態가 酸化 狀態와 還元 狀態로 相互 變換됨에 있어 湛水 與否가 크게 影響을 미치고 있음을 나타내 주었다. 그러나 이러한 變換에 있어서는 表層 (0 cm)이나 深層 (20 cm)間에는 큰

差異가 없었음도 보여 주었다.

土壤中 硫黃의 酸化와 密接한 關聯이 있는 無機元素인 鐵 또한 湛水와 함께 增加되는 傾向이었지만, 無湛水 條件下에서는 緩慢한 減少를 나타내었다 (그림 5).

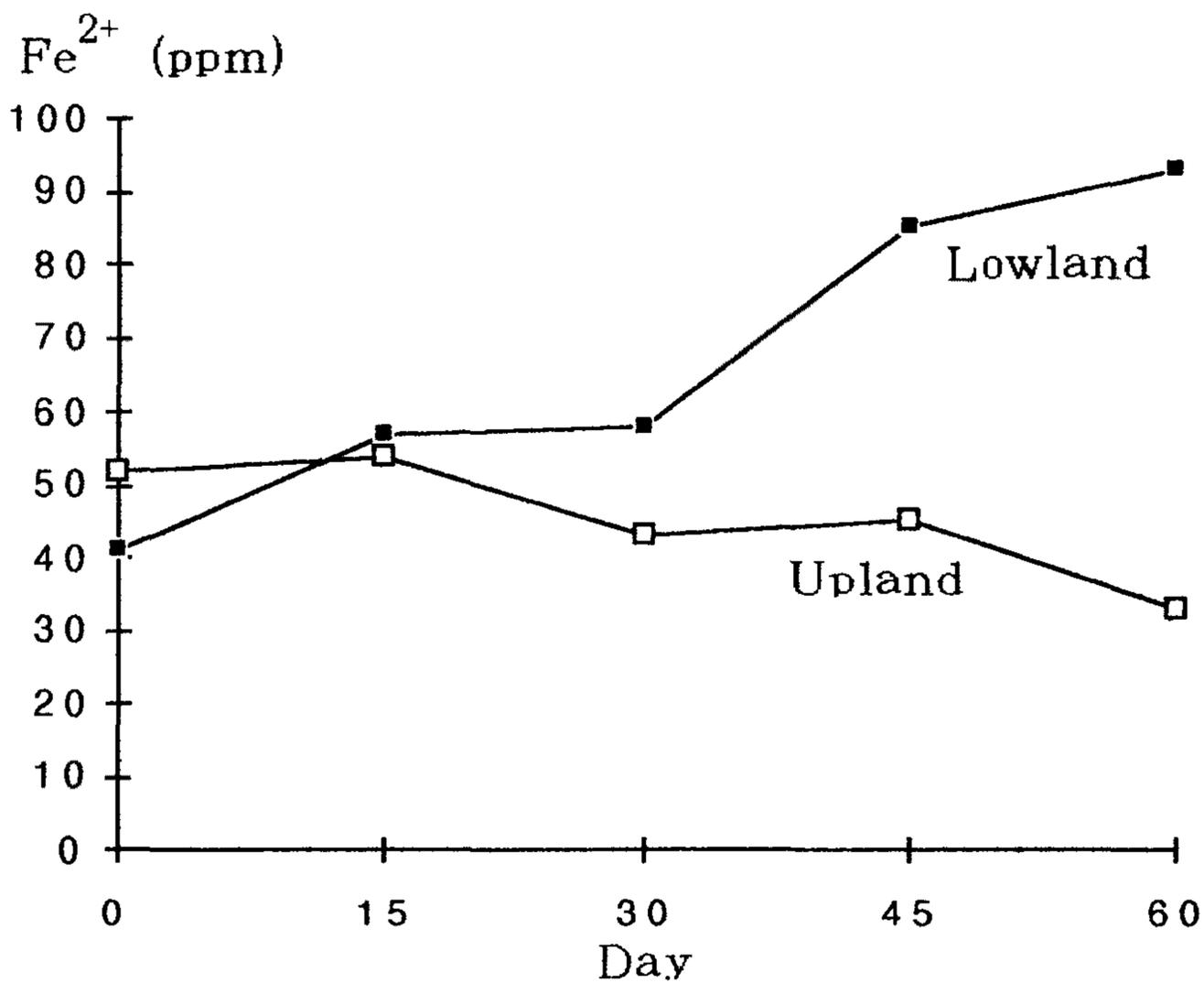


그림 5. 湛水 條件에 따른 盛土 表層에서의 Fe^{2+} 含量의 經時的 變化

土壤中 鐵은 還元 條件下에서는 Fe^{3+} 이 Fe^{2+} 로 還元되기 때문에 湛水 條件下에서는 時日의 經過와 함께 Fe^{2+} 의 繼續的인 增加를 보였으나, 反面에 無湛水 條件에서는 오히려 酸化의 進行과 함께 Fe^{2+} 의 含量이 서서히 減少되었다. 한편 盛土의 深層에서의 鐵의 動態를 보면 表層部에서와 같은 傾向을 나타내었다 (그림

6). 以上の結果를 보면 어느 層位에서든지 嫌氣 狀態인 湛水 條件에서는 還元

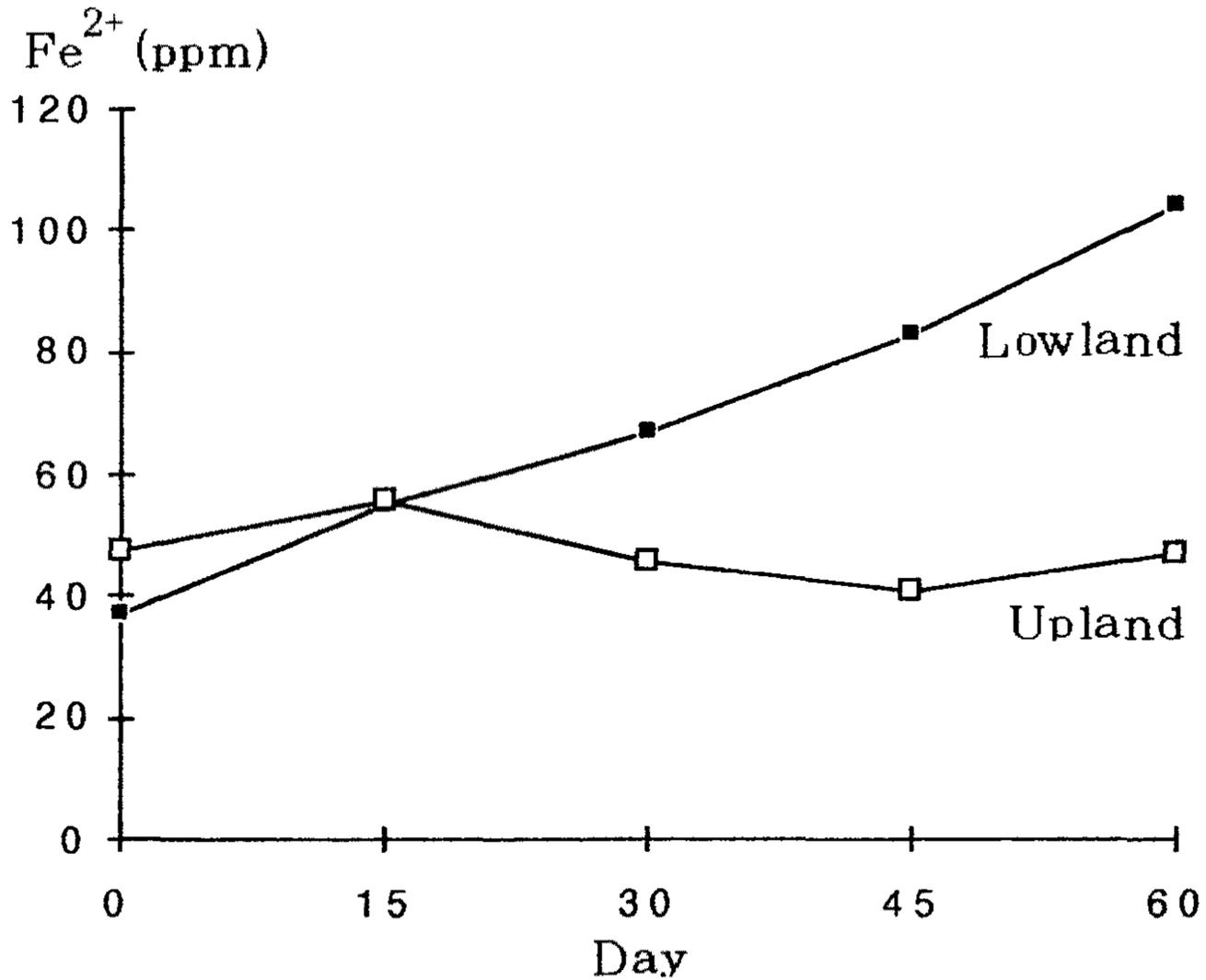


그림 6. 湛水 條件에 따른 盛土 深層에서의 Fe²⁺ 含量의 經時的 變化

에 좋은 條件이 되는데, 이 境遇 $Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+ \rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$ 의 反應으로 Fe²⁺이 生成되면서 H⁺이 消耗됨과 함께 pH는 增加된다. 그러나 反對의 境遇가 되면 Fe²⁺의 酸化와 함께 pH는 떨어지게 된다. 이러한 反應을 本 實驗에서 보면 湛水에 의한 鐵의 還元은 急速하게 이루어지지만, 無湛水 條件下에서의 還元 狀態 鐵의 酸化는 매우 緩慢하게 이루어지고 있음을 나타내었다.

土壤의 酸度 變化에 隨伴되는 無機元素의 溶解성에 密接한 關聯性이 있

는 것이 Al이다. 卽 Al의 含量 水準은 土壤의 酸化 및 還元에 따라 酸도가 變化 되면 이에 따라 크게 달라져서 pH 5.5 以下에서는 溶解도가 急激하게 減少되어 陽이온 置換 位置의 거의 절반이 Al에 의하여 占有된다.

潛在性 特異酸性土壤으로 盛土된 圃場에서의 Al의 含量 變化는 그림 7 에서와 같이 表層에서 湛水와 함께 增加되는 傾向을 보였으나, 無湛水 條件下에

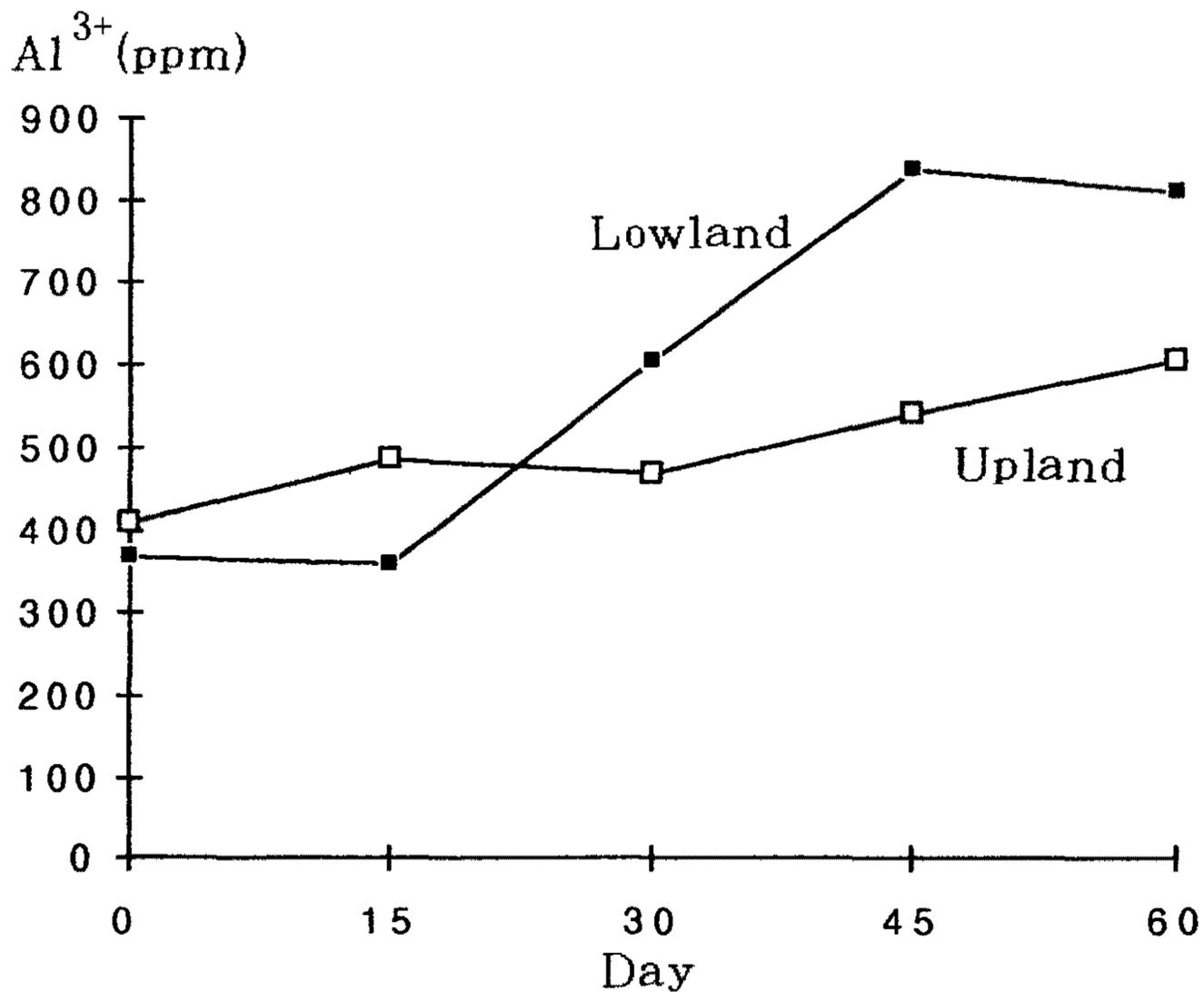


그림 7. 湛水 條件에 따른 盛土 表層에서의 Al³⁺ 含量의 經時的 變化
서는 湛水 條件 보다는 매우 緩慢한 增加를 나타내었다.

한편 盛土의 深層에 있어서도 Al³⁺ 含量 變化의 傾向이 表層에서와 비슷 하였다 (그림 8).

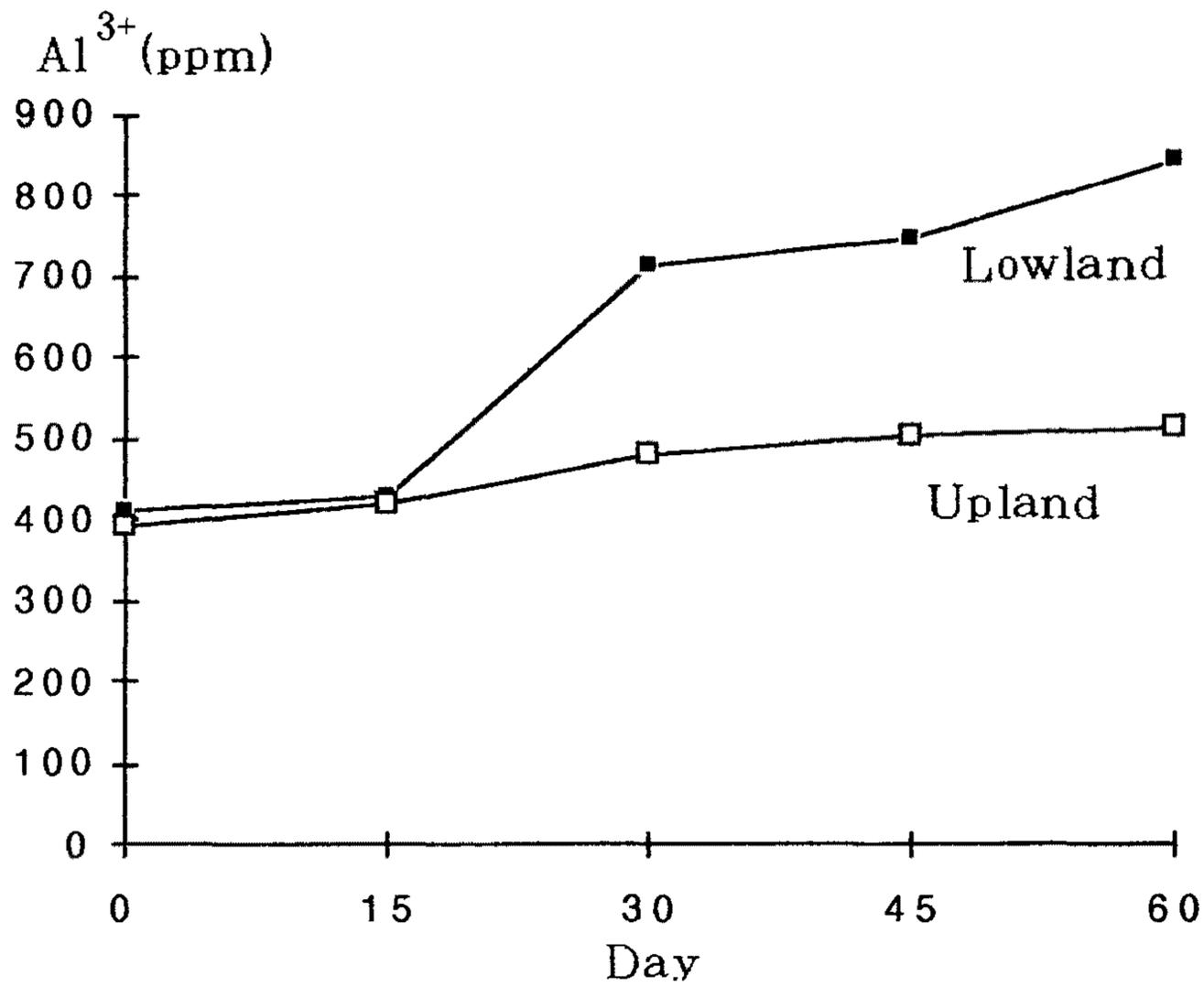


그림 8. 湛水 條件에 따른 盛土 深層에서의 Al^{3+} 含量의 經時的 變化

以上の結果로 부터 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程中 土壤 因子들의 變化에는 湛水 與否에 따른 水分 條件이 크게 影響을 미치지만, 土壤의 層位 間에는 큰 差異를 보이지 않고 있는 것으로 나타났다. 또한 土壤 因子 中에서는 硫黃 含量이 經時的으로 크게 變化되는 것으로 밝혀졌다.

3.2 모델 實驗에서의 土壤 酸化

圃場에서 賦與되는 條件은 環境에 따라 恒常 變化하기 때문에 酸化 過程에 있어 湛水 條件에 따른 土壤 特性의 變化를 正確하게 判斷하기 어렵다. 따라서 유리 컬럼에서의 모델 實驗을 통하여 單一화된 條件下에서 酸化 過程 中の 土壤 特性을 調査하였다.

潛在性 特異酸性土壤은 室內 湛水 期間 中 緩慢한 酸化 速度를 보여 湛水 當時의 pH 3.7에서 湛水後 45日에는 pH 2.7까지로 pH 1이 低下되었다 (그림 9).

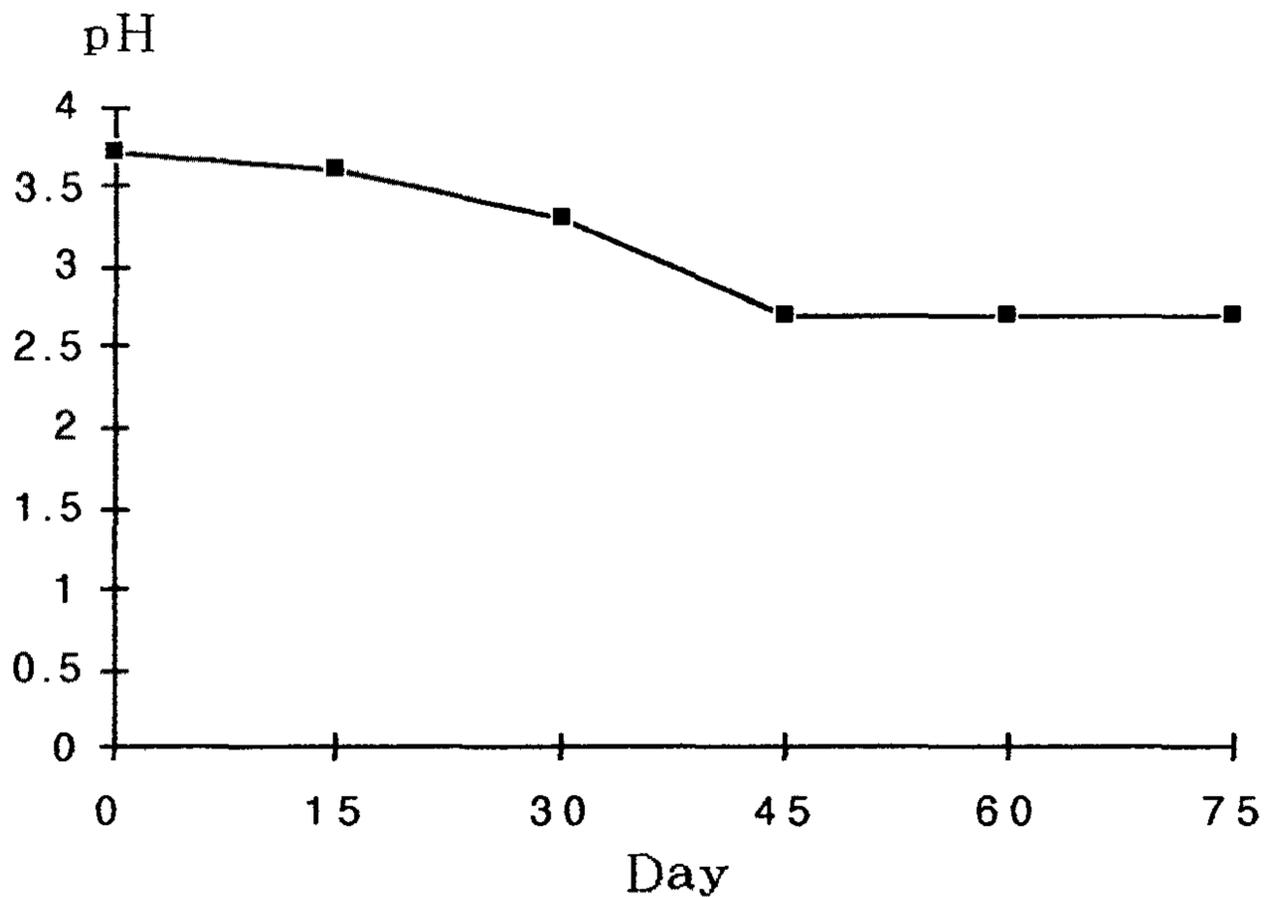


그림 9. 유리 컬럼의 湛水下 土壤 pH의 經時的 變化

그러나 湛水後 45日 以後에는 더 以上の 低下가 없었기 때문에 거의 酸化의 進展이 없는 것으로 생각되었다.

pH의 低下와 함께 酸化還元 電位差인 Eh도 時日의 經過와 함께 減少되는 傾向으로 湛水 當日의 -142 mV로 부터 75日後에는 -214 mV로 下降되었다 (그림 10).

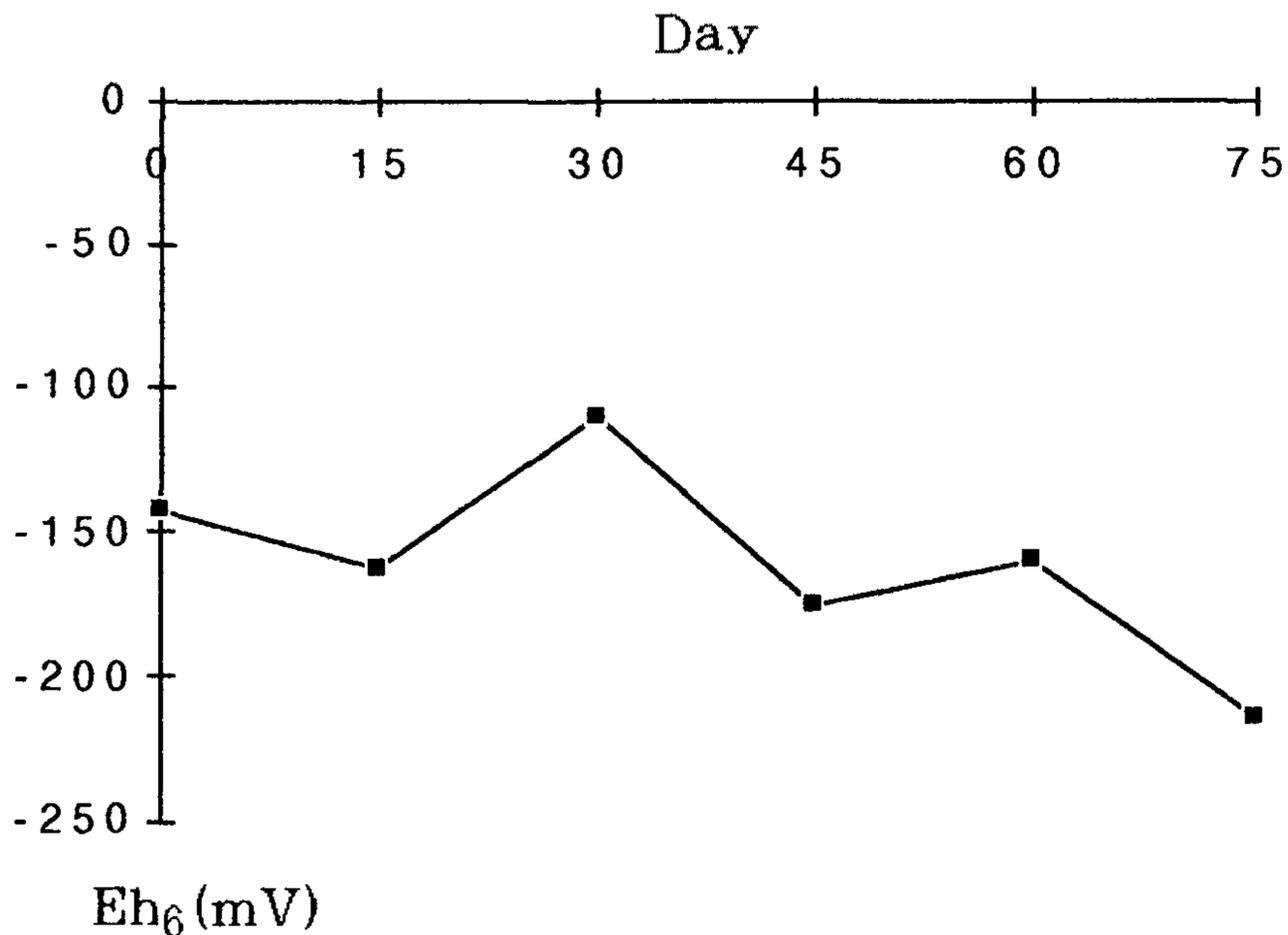


그림 10. 유리 컬럼의 湛水下 土壤 Eh의 經時的 變化

이와같이 土壤의 酸化還元 電位差가 湛水와 함께 減少되고 있는 것은 土壤 中の 酸化 狀態의 이온들이 還元되는 것을 나타내 주는 것을 意味한다고 할 수 있다.

土壤 中 還元 狀態의 鐵含量의 增加나 Al 含量의 增加가 湛水와 함께 增加되는 傾向은 바로 湛水 狀態下에서 酸化되었던 潛在性 特異酸性土壤이 還元되고 있음을 나타내주고 있다 (그림 11).

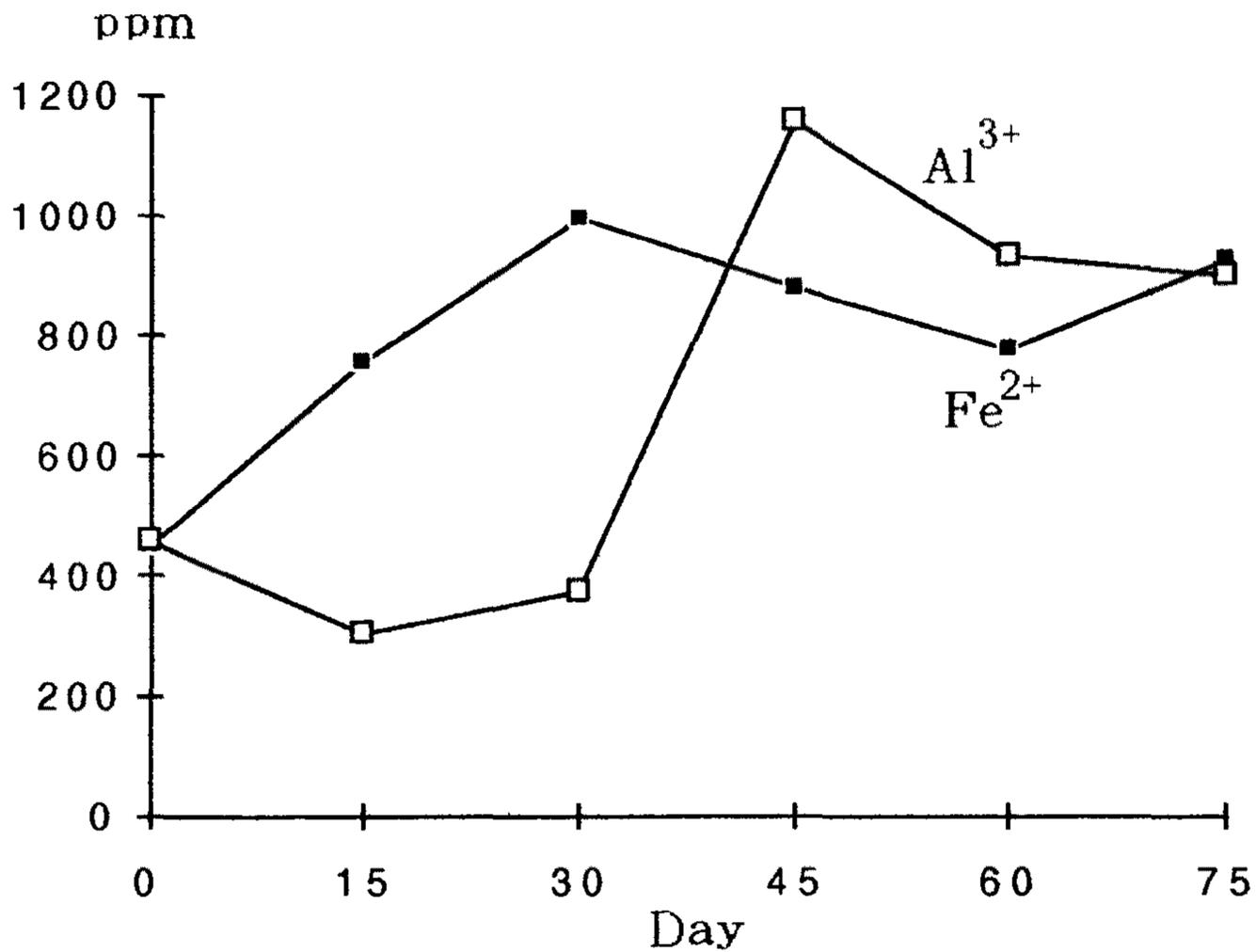


그림 11 . 유리 컬럼의 湛水下 土壤 中 Fe²⁺와 Al³⁺ 含量의 經時的 變化

湛水 期間 中 Fe²⁺의 增加는 酸化 狀態의 Fe³⁺가 還元되고 있음을 나타내었는데, 이러한 還元은 湛水後 처음 30日 동안 急速하게 일어나고 그 後에는 緩慢하게 일어났던 反面에, Al³⁺는 湛水後 처음 30日 동안에는 큰 變化가 없다가 그 後에 急速한 增加를 보였고 다시 緩慢한 減少를 나타내었다.

潛在性 特異酸性土壤의 還元 條件下에서의 가장 뚜렷한 因子 變化의 特徵은 還元 狀態의 硫黃과 酸化 狀態 硫黃 含量의 經時的 差異이다 (그림 12).

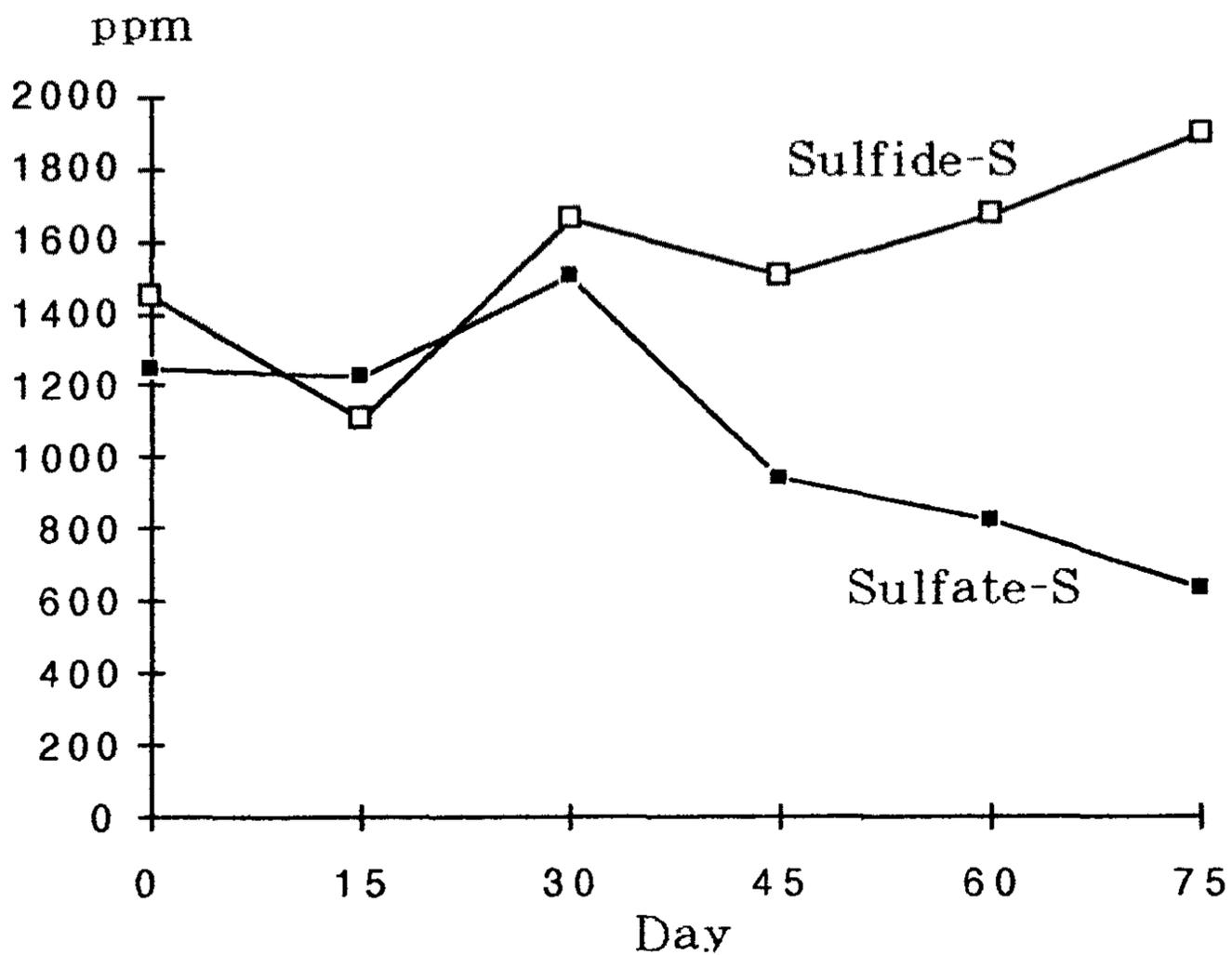


그림 12. 유리컬럼의 湛水下 土壤中 Sulfate-S와 Sulfide-S
 含量的 經時的 變化

即 湛水와 함께 酸化 狀態의 硫黃 含量은 減少되면서 反對로 還元 狀態의 硫黃 含量은 增加되었다. 이러한 變化는 湛水 後 처음 30日 동안에는 큰 差異를 보이지 않다가 湛水 30日 以後 부터 뚜렷한 差異를 나타내기 始作하여 湛水後 75日에는 처음에 비슷하던 두 形態의 硫黃 含量이 約 1200 ppm의 差異를 보였다.

以上の 實驗 結果에서 보면, 湛水와 함께 本 供試 土壤內의 여러가지 이온들의 動態로 부터 還元 狀態로의 變化가 이루어지고 있음을 나타내었지만, 土壤의 酸度는 여전히 減少되고 있었는데 이것은 還元の 程度가 土壤 酸度の 變化

를 가져올 만큼의 變化가 아니었기 때문이 아닌가 생각된다.

3.3 모델 實驗 土壤 溶出液의 變化

유리 컬럼의 湛水 溶液을 溶出시켜 溶液 中の 成分 變化를 調查하여 土壤의 酸化 및 還元 狀態와의 關聯性을 檢討하였다. 湛水 後 溶出液의 pH는 45 日 동안에는 3.1 - 3.3 附近으로 큰 變化가 없었으나 湛水 後 60日 以後부터 低下되어 75日에는 2.9까지 下降되었다 (그림 13).

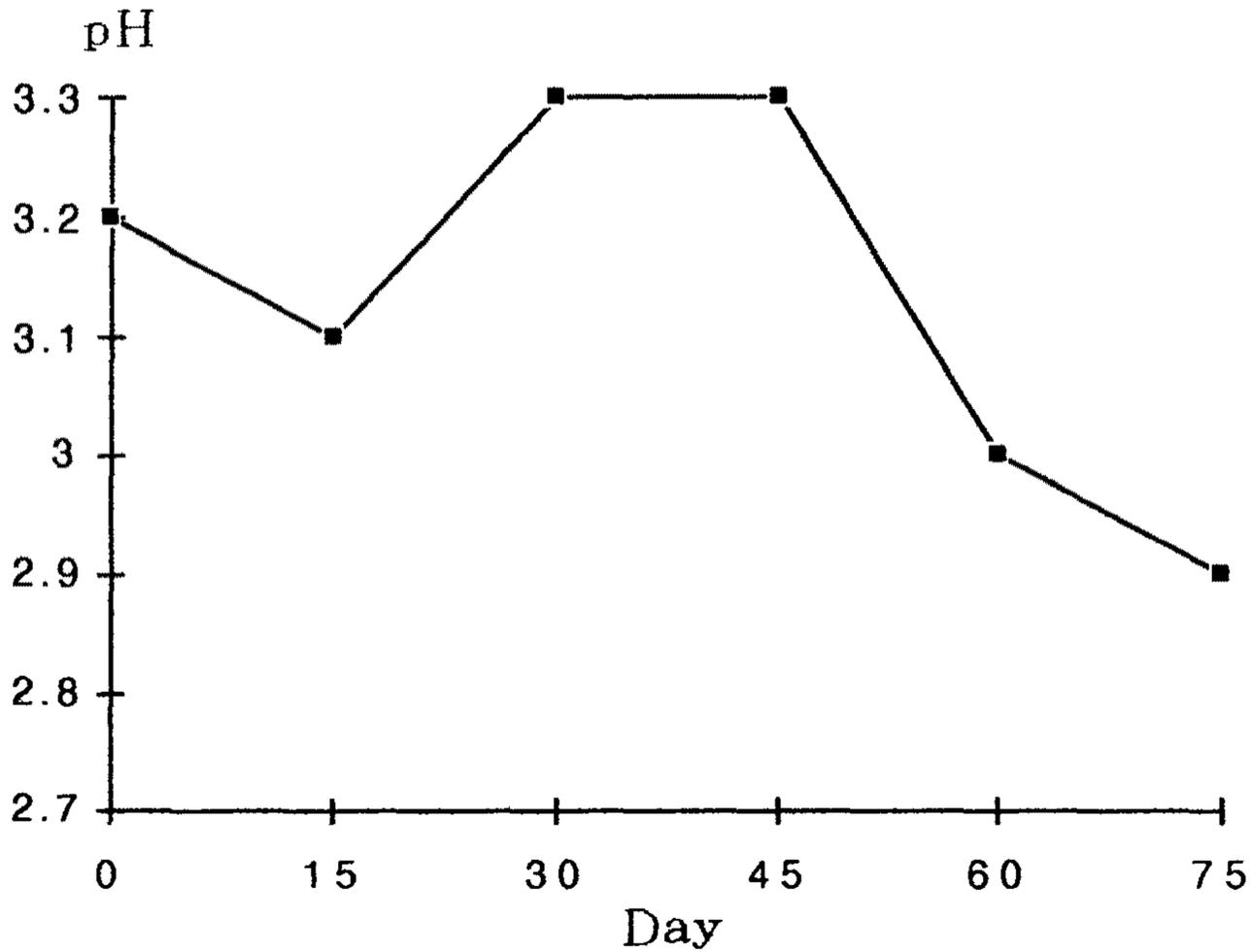


그림 13. 유리 컬럼 土壤 溶出液 酸度의 經時的 變化

이러한 土壤 溶出液의 酸度는 大部分 土壤의 酸度보다는 약간 높았는데 이것은 溶出液에 溶出되어 나온 이온들이 土壤 中の 것 보다는 적었기 때문으로 생각된다.

다.

土壤溶出液의 酸化還元 電位差의 變化는 灌水에 따른 還元 狀態를 뚜렷하게 보여 주었다 (그림 14).

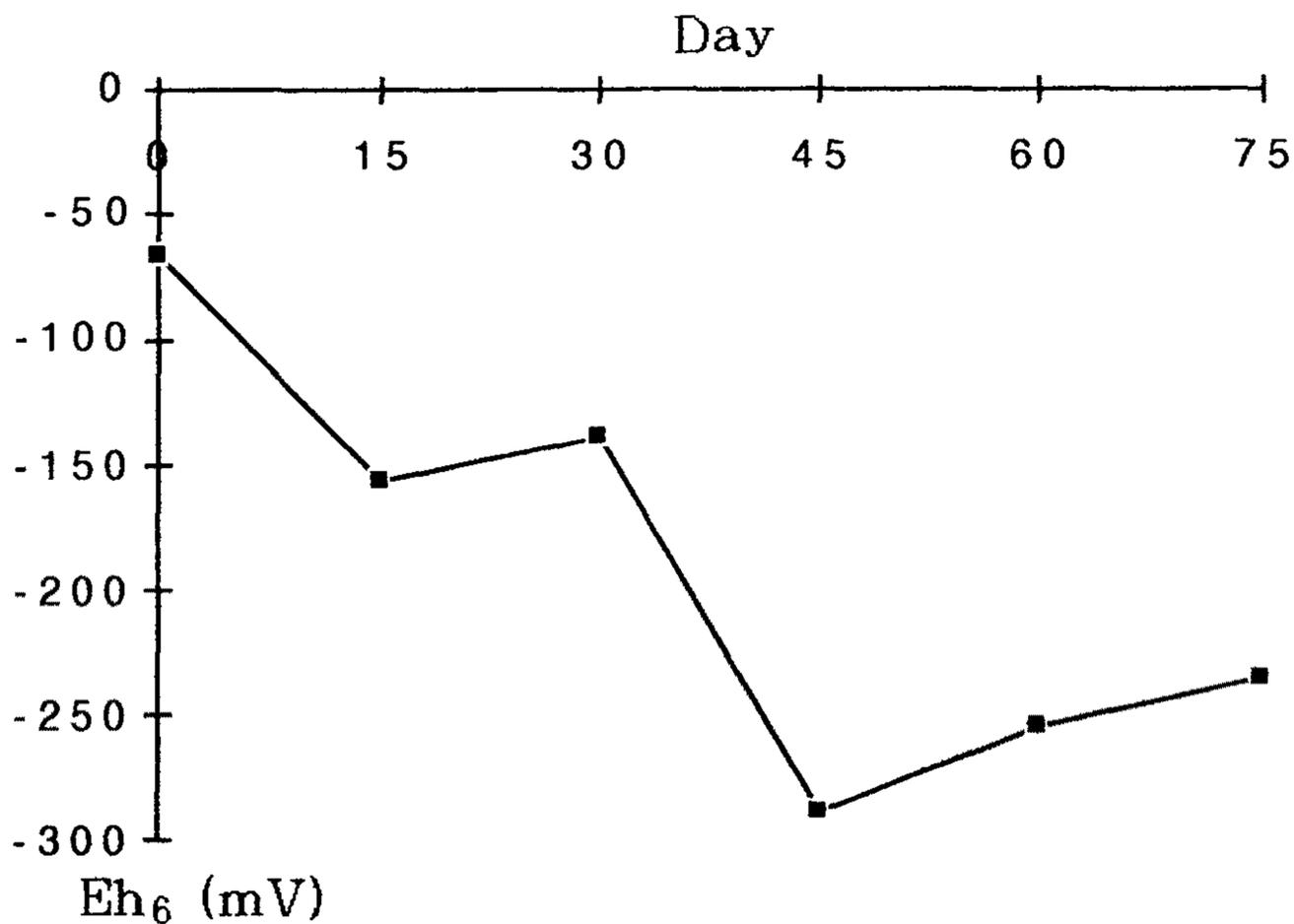


그림 14. 유리 컬럼 土壤溶出液 Eh₆의 經時的 變化

灌水 當時의 Eh는 -67 mV이었으나 灌水 後 45日에는 -288 mV로 낮아졌다가 그 後 약간 上昇하여 灌水 後 75日에는 -235 mV에 이르렀다. 이와같은 Eh의 變化는 土壤에서의 變化 보다 그 幅이 훨씬 크게 나타났는데, 이것은 아마도 土壤中 보다는 溶出液의 이온 狀態가 보다 單純하기 때문인 것으로 생각된다.

土壤溶出液 中の Al³⁺와 Fe²⁺의 含量 變化는 土壤 中の 것과는 약간 다

큰 樣相을 나타내어 두 이온 모두 湛水 日數의 增加와 함께 增加되는 傾向을 나타내었다 (그림 15).

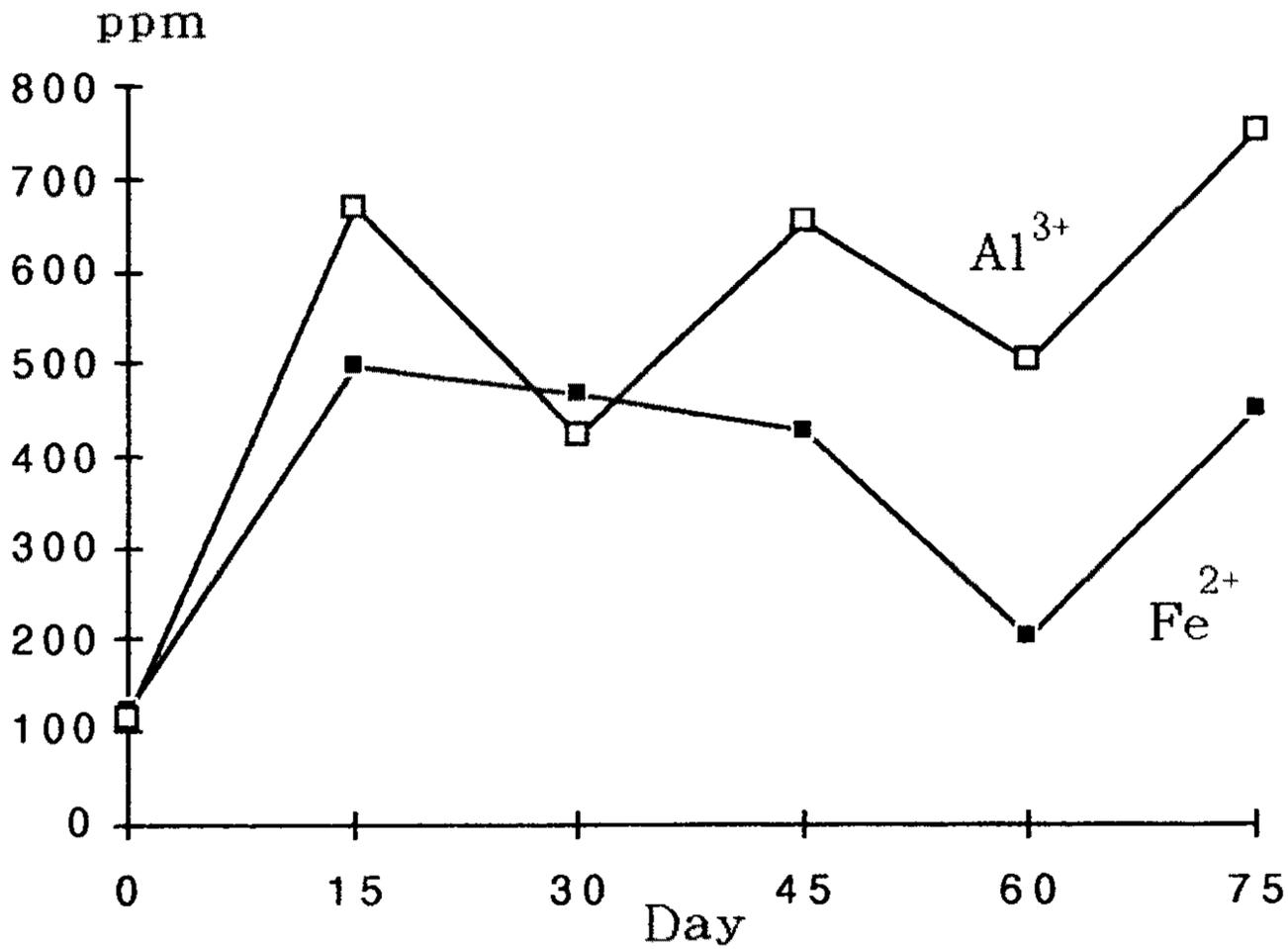


그림 15. 유리 컬럼 土壤 溶出液 中 Al³⁺와 Fe²⁺ 含量의 經時的 變化

이와같은 增加는 土壤 中에서 湛水에 따른 還元과 함께 점차 溶解度가 增加되어 보다 많은 이온이 土壤 溶液 中으로 溶出되어 나온 것으로 생각된다. 따라서 潛在性 特異酸性土壤을 湛水시켜 還元 條件을 賦與하였을 경우에 Al³⁺나 Fe²⁺와 같은 이온들이 쉽게 下層으로 溶脫될 것으로 생각된다.

한편 土壤 溶出液 中の 酸化狀態의 硫黃 含量은 時間의 經過와 함께 점차 減少되는 傾向을 보인 反面에, 還元狀態의 硫黃은 上昇되는 傾向을 보였다 (그림 16). 이러한 傾向은 土壤 中の 이들 硫黃의 含量 變化와 類似 하였으나

그 濃度 水準은 酸化 狀態의 硫黃은 溶出液 中에서 높고, 還元 狀態의 硫黃은 土壤 中에서 높게 나타났다. 溶出液 中의 酸化 狀態의 硫黃 含量의 減少는 바로 土壤 中에서

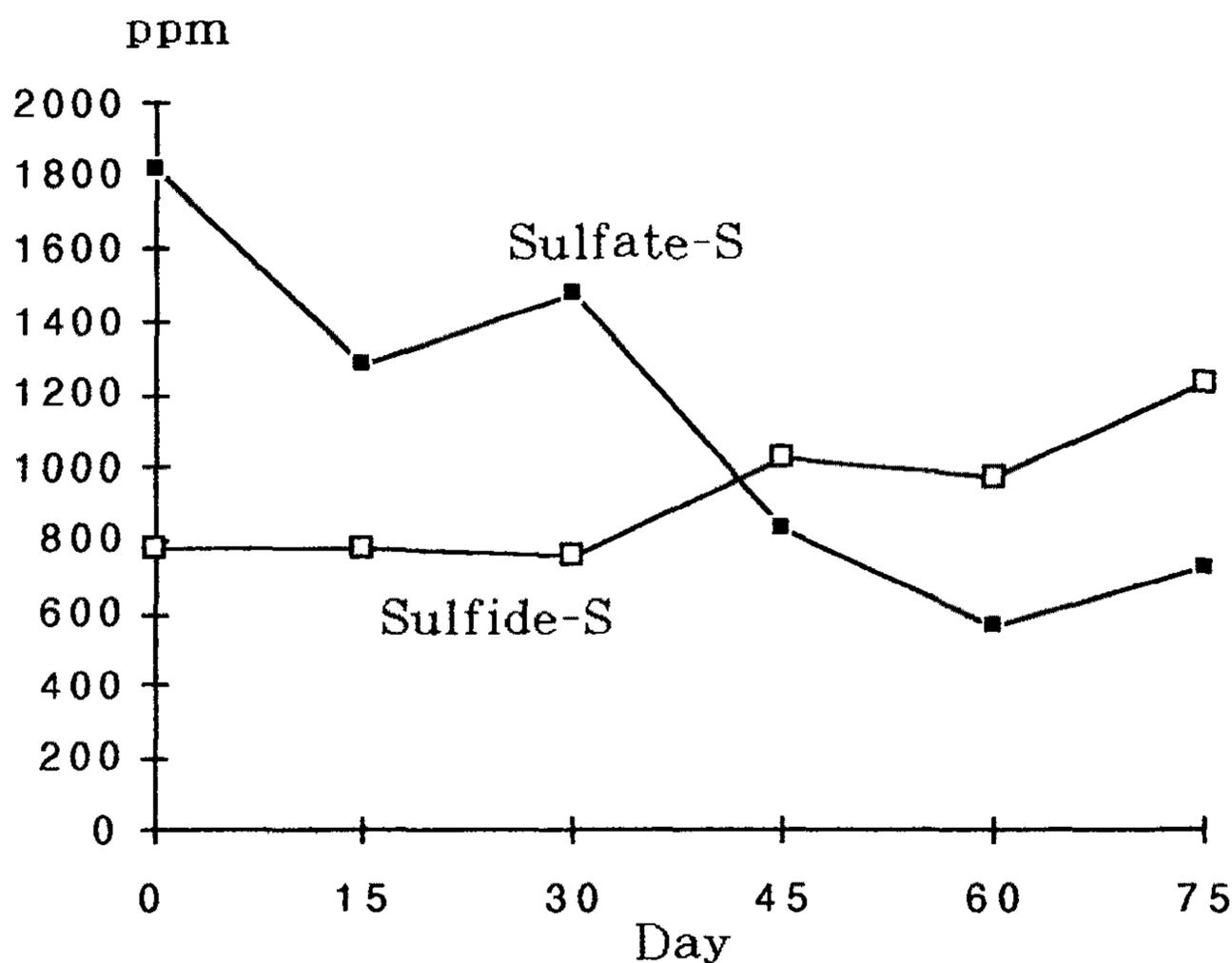


그림 15. 유리 컬럼 土壤 溶出液 中 Sulfate-S와 Sulfide-S 含量의 經時的 變化

壤이 繼續 還元되어 가고 있음을 나타내는 것으로, 이것은 還元 狀態의 硫黃含量이 더불어서 增加되고 있는 사실로 부터도 알 수 있다.

土壤 中 因子들의 動態는 以上과 같은 모델 實驗에 있어서도 圃場에서의 類似하였다. 이러한 圃場 및 모델 實驗으로 부터 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 過程에 따른 土壤 特性 因子의 變化에서는 硫黃의 動態가 가장 顯著한 變化를 나타

내며, 더불어서 알루미늄이나 鐵과 같은 元素들의 變化도 큰 比重을 차지할 水準으로 일어나고 있음을 나타내었다. 이러한 알루미늄이나 鐵의 土壤의 酸化 還元 조건에 따른 含量 變化는 實際 作物 栽培의 現場에 있어서는 作物 生長에 큰 影響을 미치기 때문에 매우 重要하다.

第 4 章 即時 判定法의 開發

4.1 酸化劑 選別

潛在性 特異酸性土壤은 一般的으로 硫黃을 많이 含有하는데 대부분 無機 形態로 存在하며 이들은 空氣 中の 酸素, 土壤內의 sulfur oxidizing micro-organism에 의하여 酸化되어 sulfate 形態의 硫黃으로 存在하거나 또는 還元 된 pyrite (FeS , FeS_2) 등의 形態로 大部分 存在한다. 그러나 土壤의 硫黃 含量을 正確하고 精密하게 定量하는 方法은 매우 어려워서 여러가지 試驗 方法이 紹介되어 왔다. 그러나 硫黃 含有與否를 迅速히 判定하기 위하여는 이들 土壤 中の 硫黃을 酸化劑로 酸化시켜 그 大部分을 sulfate-S의 形態로 變化시켜 pH를 測定하는 方法이 가장 簡便하다. 즉 1) 土壤 硫黃을 sulfate로 酸化시키는데 利用되는 酸化劑는 sodium carbonate 또는 sodium carbonate와 sodium peroxide (The Association of Official Analytical Chemists, 1990 15th)를 利用하는 電氣爐 熔融法, 2) Oxygen bomb에 sucrose를 添加하거나, boric acid, sodium nitrate나 magnesium 을 가하여 酸素 氣流下에서 태워서 sulfate로 하여 重量法으로 分析 하거나, 3) benzoic acid를 가하여 燃燒시켜 metylene blue 法으로 比色法으로 定量하였다. 그 외 4) vanadium pentoxide, 5) magnesium nitrate, 6) potassium chlorate, 7) potassium dichlomite 와 phosphoric acid, 8) sodium bicarbonate 와 silver oxide, 9) sodium hydroxide와 potassium permangate 또는 sodium hypobromite, 10) nitric acid와 ammonium bromide, 11) nitric acid와 potassium nitrate, 12) perchloric acid 와 nitric acid, 13) perchloric acid와 nitric and phosphoric acid 등을 使用하여 sulfate

로 바꾼 후 重量法, turbidimetric 또는 methylene blue colorimetric 法으로 分析하였다. 그러나 위에 列擧한 酸化劑들은 그 自體가 강한 酸性 또는 강한 알카리성이므로 現地 圃場에서 酸化 後 pH paper나 pH meter로 簡單히 測定 할 수 없다. 따라서 本 研究은 아주 正確하지는 않으나 pH 變化를 주지 않는 酸化劑인 過酸化 水素水를 選擇하여 簡易的으로 簡便히 含黃 與否를 判定하는 方法을 檢討하였다.

4.2 酸化促進法

4.2.1 加熱에 의한 效果

酸化劑로 選拔된 30% 過酸化水素水를 利用하여 潛在性 特異酸性土의 酸化를 促進하기 위하여 加熱 處理 有無에 따른 土壤 pH의 變化는 表 2 에서와 같이 加熱處理가 無加熱 處理에 비하여 매우 效果的이었다.

表 2. 加熱 酸化에 의한 土壤 pH의 變化

處理別	加熱 時間(分)					
	0	5	10	20	30	60
無加熱	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1	5.1
加熱處理	5.3	4.2	3.6	3.0	2.6	2.7

4.2.2. 酸化劑의 濃度 및 加熱時間에 따른 土壤 pH의 變化

酸化劑의 濃度 및 加熱 時間에 따른 潛在性 特異酸性土壤의 pH의 變化는 表 3에서와 같이 高濃度の 酸化劑와 加熱이 效果的이었으며 35% 過酸化 水素水 處理 후 10分 加熱處理가 이 土壤의 경우 매우 效果的이었다. 이 研究 結果는 追後 여러 類型的 潛在性 特異酸性土壤에 대한 實驗을 補完해야 될 것으로 思料된다.

表 3. 酸化劑의 濃度 및 加熱時間에 에 따른 土壤 pH의 變化

酸化劑의 濃度 (H ₂ O ₂)	加熱時間(分)					
	0	5	10	20	30	60
5%	5.3	4.9	4.6	4.0	3.4	3.0
10%	5.3	4.7	4.2	3.6	2.9	2.7
20%	5.3	4.4	4.2	3.4	2.7	2.7
30%	5.3	4.2	3.6	3.0	2.6	2.7
35%	5.3	3.8	2.8	2.7	2.6	2.6

위의 研究 結果를 利用하여 供試 3土壤의 酸化 前後의 pH의 變化는 表 4에서와 같이 潛在性 特異酸性土壤의 酸化에 따른 pH의 減少는 2.7이었던 反面 一般 畚土壤에서는 pH 0.9 - 1.0의 低下가 強制 酸化에 의하여 나타났다.

表 4. 供試 土壤 種類別 酸化 前後의 pH의 變化

供試土壤	酸化前 pH	酸化後 pH
潛在性 特異酸性土(咸悅)	5.3	2.6
畚土壤 I (咸悅)	5.7	4.7
畚土壤 II (全州)	5.3	4.5

이들 供試 3 土壤의 土壤 特性 중 가장 뚜렷한 差異를 보였던 것은 硫黃 含量의 差異이었다 (表 5). 또한 置換性알루미늄과 망간의 含量도 一般 畚土壤보다는 潛在性 特異酸性土壤에서 높은 水準을 보였다. 이와같은 土壤의 特性을 比較하여 보면 비록 土壤 pH가 비슷하다 하더라도 強制 酸化에 의하여 酸化된 後의 pH는 크게 다르게 低下되는데 여기에는 硫黃 含量의 差異가 가장 크게 影響을 미쳤던 것으로 생각된다.

4.3 簡易킷트 開發研究

위의 實驗 結果들을 土臺로 하여 實驗室 內에서 다음과 같이 簡易 試驗을 試圖하였다. 즉 均質化한 젖은 土壤 약 5g을 採取하여 25 ml의 cap tube에 넣고 酸化劑로 10 ml의 35% 過酸化 水素水를 가하고 잘 混合한 후 마개를 약간 열고 알콜 lamp로 加熱하여 끓을 때 부터 까지 10分間 加熱하고 冷却 시킨 후

表 5. 潛在性 特異酸性土壤과 熟畚土壤과의 特性 差異

區分	潛在性 特異酸性土壤	畚土壤 I	畚土壤 II
pH (1:5 H ₂ O)	5.34	5.31	5.72
有機物 含量 (%)	1.48	2.63	2.21
全窒素 (%)	0.15	0.16	0.13
總 硫黃 (%)	0.288	0.037	0.022
總 鐵 (%)	1.02	0.83	0.93
置換性알루미늄 (ppm)	420	93	123
置換性망간 (ppm)	112	31	42
陽이온置換容量 (me/100g)	11.3	12.9	10.9
土性	SiCL	SiC	SiL

實驗 方法에서 調製한 catalase 溶液을 가하여 過剩의 酸化劑를 分解하고 定置한 후 上等液을 pH를 pH paper나 pH meter로 쉽게 測定할 수 있었다. 潛在性 特異酸性土의 判定基準을 土壤의 酸化 前後의 pH의 差異로 정하기 위해서는 더 많은 類型的 潛在性 特異酸性土壤을 여러가지 側面에서 分析 檢討해야 될 것이다.

4.4 硫黃含量 測定 標準化 研究

還元된 硫黃의 酸化로 강한 酸性을 나타내는 潛在性 特異酸性土壤의 分析方法을 標準化하기 위한 方法을 檢討하고 實驗한 結果는 다음과 같다.

潛在性 特異酸性土壤은 相當量의 硫黃을 包含하고 있음을 前提로 하고 硫黃 中 total-sulfur, sulfide-sulfur, sulfate-sulfur 分析法의 標準化를 위하여 다음 方法을 試圖하였다.

Total-sulfur는 酸化劑로 酸化하여 sulfate sulfur로 分析하는 方法이 가장 效果的이었으며, 酸化劑로는 potassium nitrate/nitric acid의 混合酸液과 nitric/perchloric/phosphoric acid의 混合 酸液을 比較한 結果 nitric/perchloric/phosphoric acid가 效果的이었다.

Sulfate sulfur의 分析은 sulfate를 Barium sulfate의 沈澱을 利用한 重量分析法과 turbidimetry로 分析하는 方法, sulfate sulfur를 sulfide sulfur로 還元시켜 p-aminodimethylamine으로 比色하는 方法 등 3가지 方法을 比較하였다. 3가지 分析法중 比色法은 Sulfate sulfur를 還元시켜 p-aminodimethylamine으로 發色하는 方法으로 極微量도 매우 精密하게 分析이 可能하였으나 還元을 위한 特殊한 裝置가 必要하고 時間이 많이 所要되었다. 한편 sulfate sulfur가 많은 試料에서는 barium sulfate 沈澱을 濾過, 分離하여 電氣瀝에서 恒量이 되도록 加熱 후 稱量하는 重量法도 效果的이었으나, 많은 時間이 所要되었다. 그러나 sulfate sulfur를 잘 調節된 條件下에서 barium sulfate를 均一한 크기의 沈澱으로 만든 후 分散劑를 利用하여 잘 分散시켜 turbidimetry로 分析한 結果 再現性이 좋은 結果를 얻었다. 위의 3가지 方法을 比較한 結果 sulfate를 Barium sulfate의 沈澱을 이용한 turbidimetry로 分析하는 것이 짧은 時間 內에 效果的으로 分析할 수 있어서 標準分析 方法으로 適 合하였다.

Sulfide sulfur는 p-aminodimethylamine를 利用한 比色法과 酸化 還

元 滴定法을 比較하였다. P-aminodimethylamine를 利用한 比色法은 위에 檢討한대로 時間과 別途의 裝備가 所要되나 매우 精密 正確하였다. 한편 Iodimetry를 利用한 酸化 還元法은 매우 簡便했으며 빠른 時間內에 精密한 分析 容 할 수 있어 效果的이었다.

第 5 章 改良法 適用 效果

5.1 土壤 特性 變化

潛在性 特異酸性土壤을 掘鑿하여 一般 畚土壤에 盛土하고, 物理, 化學的 改良 方法을 適用하고 水稻를 栽培하면서 이 期間 中の 土壤 特性의 變化를 調查 하였다.

潛在性 特異酸性土壤으로 盛土된 畚土壤의 改良劑 施用 및 水 管理 適用 에 따른 土壤 酸度의 變化는 一般的으로 時間의 經過와 함께 減少되는 傾向이 있 다 (그림 16).

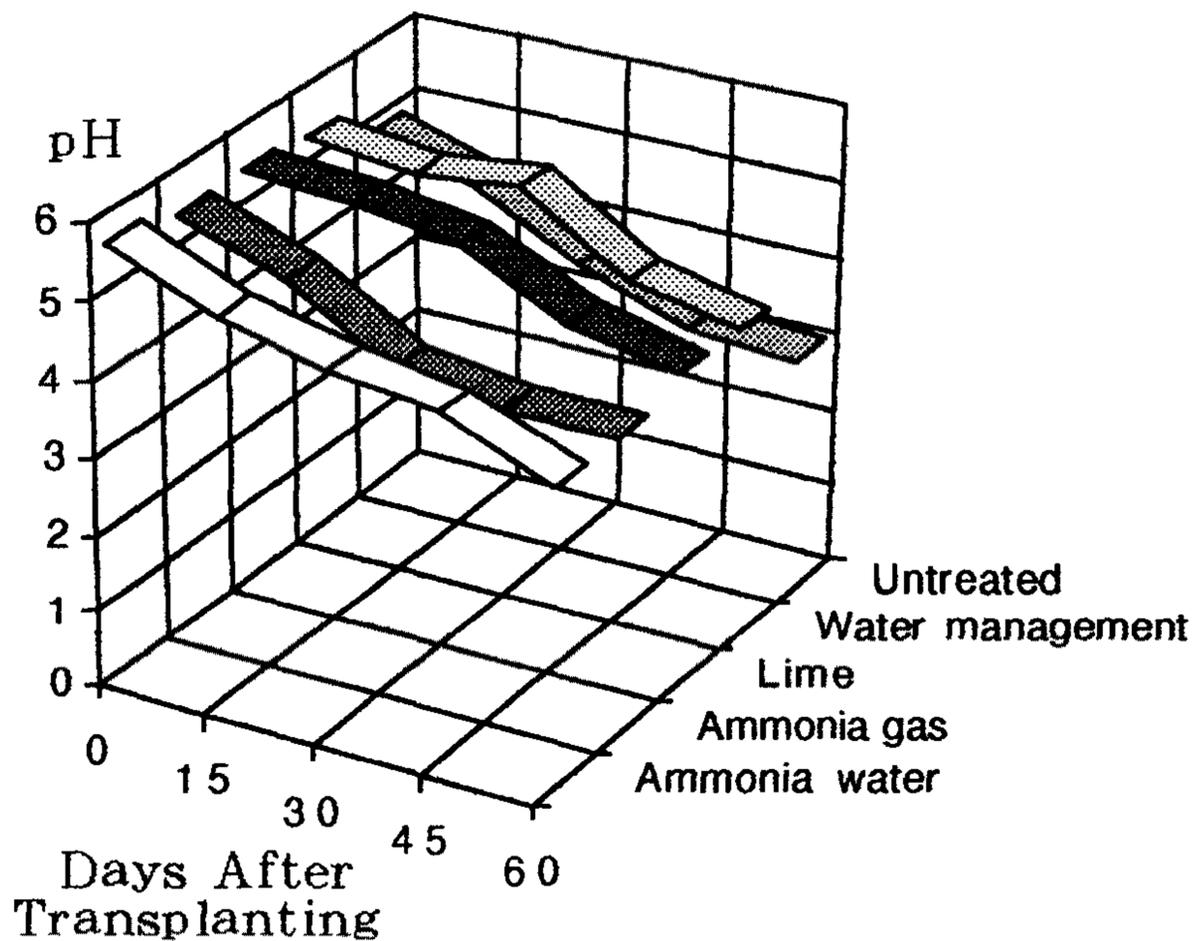


그림 16. 改良 方法 適用에 따른 土壤 酸度의 變化

移秧 當時의 土壤 pH는 各 改良 方法 適用區에 있어서는 5.3 - 5.6 程度이었으나, 無處理區에 있어서는 pH 4.8로 다른 處理區 보다 약간 더 酸性을 나타내었다. 이러한 差異는 移秧에 앞서 適用한 改良 方法의 適用 結果로 부터 나타난 效果로 認定되었는데, 卽 盛土 後 無處理區에서는 繼續해서 酸化가 進行되어 왔지만, 改良法 適用區에서는 어느 程度의 改良 效果를 나타낸 結果로 믿어진다.

한편, 改良法 適用에도 不拘하고 모든 處理區에서는 移秧後 60日 동안에 土壤 pH가 低下되고 있었는데, 이러한 pH 低下는 無處理區와 암모니아水 處理區에서 가장 큰 pH 1.7의 下降을 보인 反面, 石灰 施用區와 물 管理區에서는 pH 1.2 - 1.3이, 그리고 암모니아 가스 施用區에서는 pH 1.5가 下降되었다. 암모니아 施用 效果가 암모니아 形態에 關係 없이 比較的 다른 改良法 適用區에 비하여 改良 效果가 빠르게 消失되었던 것은 암모니아 處理 以後의 암모니아態의 酸化後 溶脫 및 암모니아의 揮散 때문이었던 것으로 생각된다. 따라서 암모니아에 의한 改良 效果를 보다 確實하게 얻고 또 持續시키기 위하여서는 一回의 施用 만으로는 滿足할 만한 結果를 얻기 어려울 것으로 생각된다. 石灰의 施用과 물 管理에 의한 改良法 適用區에서는 土壤 pH의 降下가 比較的 緩慢하게 일어났으며, 또 酸化에 의한 低下 幅도 적었기 때문에 土壤 酸度만을 考慮하면 本 處理 條件下에서는 가장 바람직한 改良 方法으로 認定되지만, 實際 適用 現場의 條件 등 또한 勘案되어야 할 것으로 생각된다.

改良法 適用後의 各 處理區에서의 酸化 狀態의 硫黃 含量은 모두 減少되는 傾向을 나타내었다 (그림 17). 酸化 硫黃의 減少는 無處理區에 비하여 다른 處理區에서 急激하게 나타났으며, 이들 中에서도 암모니아 가스와 石灰 處理區의

移秧後 처음 15日 동안의 減少가 매우 急激하게 이루어졌다. 암모니아水와 암모니아 가스 處理區의 酸化 硫黃 含量 變化의 樣狀은 相異하게 나타났는데, 암모니아 가스 處理區에서는 처음에 急激한 減少에 이어 오히려 增加하다가 다시 減少

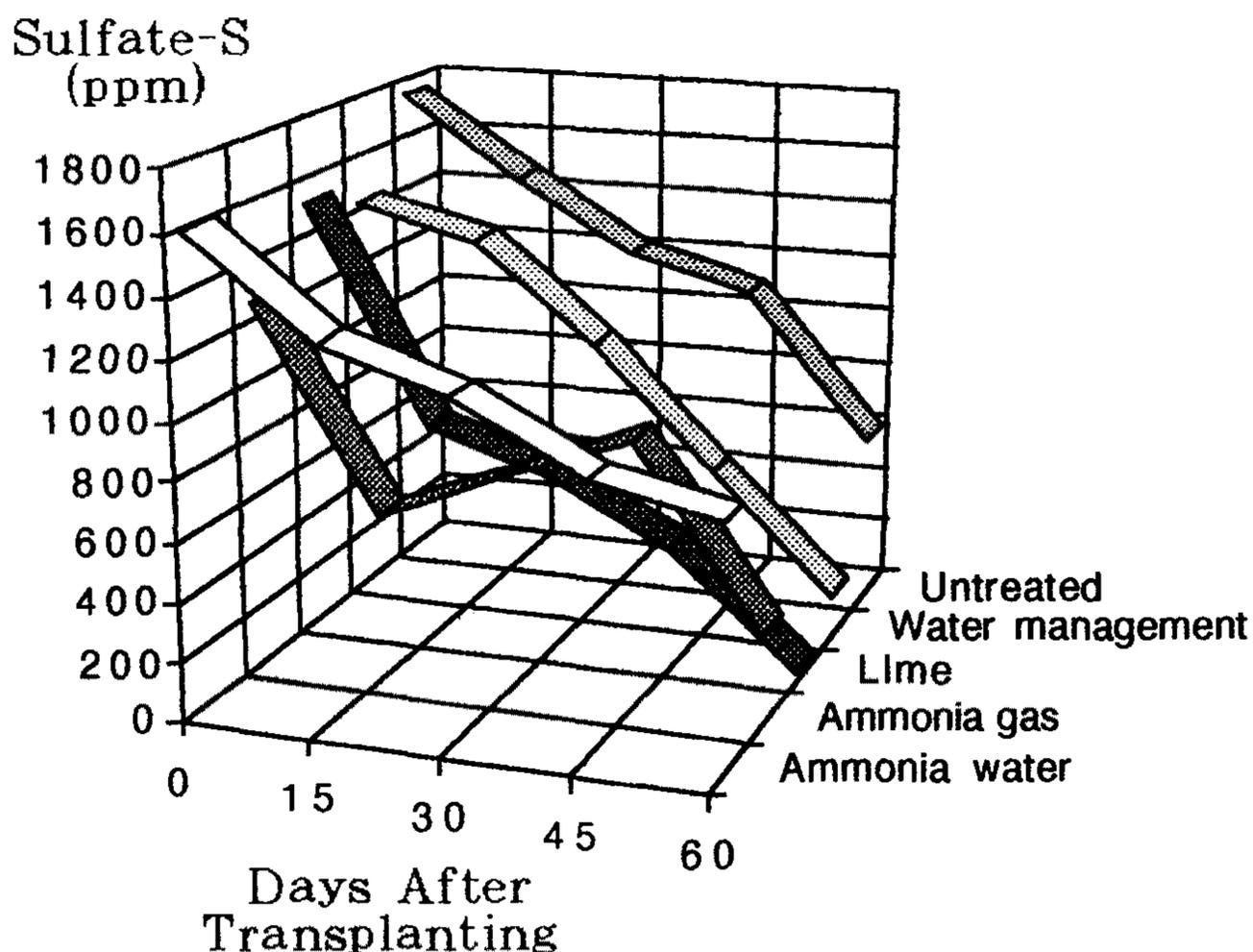


그림 17. 改良 方法 適用에 따른 酸化 硫黃의 含量 變化

되었던 反面에, 암모니아水 處理區에서는 꾸준한 減少를 繼續하였다. 이와같은 差異는 암모니아 가스의 경우 處理 當時의 消失이 암모니아水의 境遇에 비하여 컸던 것 때문이 아닌가 생각된다. 따라서 理論的인 pH 補正에 要하는 量보다 處理 當時의 損失 補正도 勘案하여서 處理하여야 할 것으로 생각된다. 石灰 施用區 및 물 管理區에 있어서의 酸化 硫黃의 減少는 移秧後 時日의 經過와 함께 꾸준하

계 減少되고는 있지만, 減少 樣狀은 石灰 施用區가 물 管理 適用區 보다 急激하게 이루어지고 있었다.

還元 狀態 硫黃의 改良法 適用에 따른 移秧 後 經時的 變化는 그림 18에서 보는 바와 같이, 암모니아水와 물管理 適用 및 無處理區에서는 增加되는 傾向을 보였던 反面에 암모니아 가스와 石灰 處理區에서는 약간 減少되는 傾向을 나타내었다.

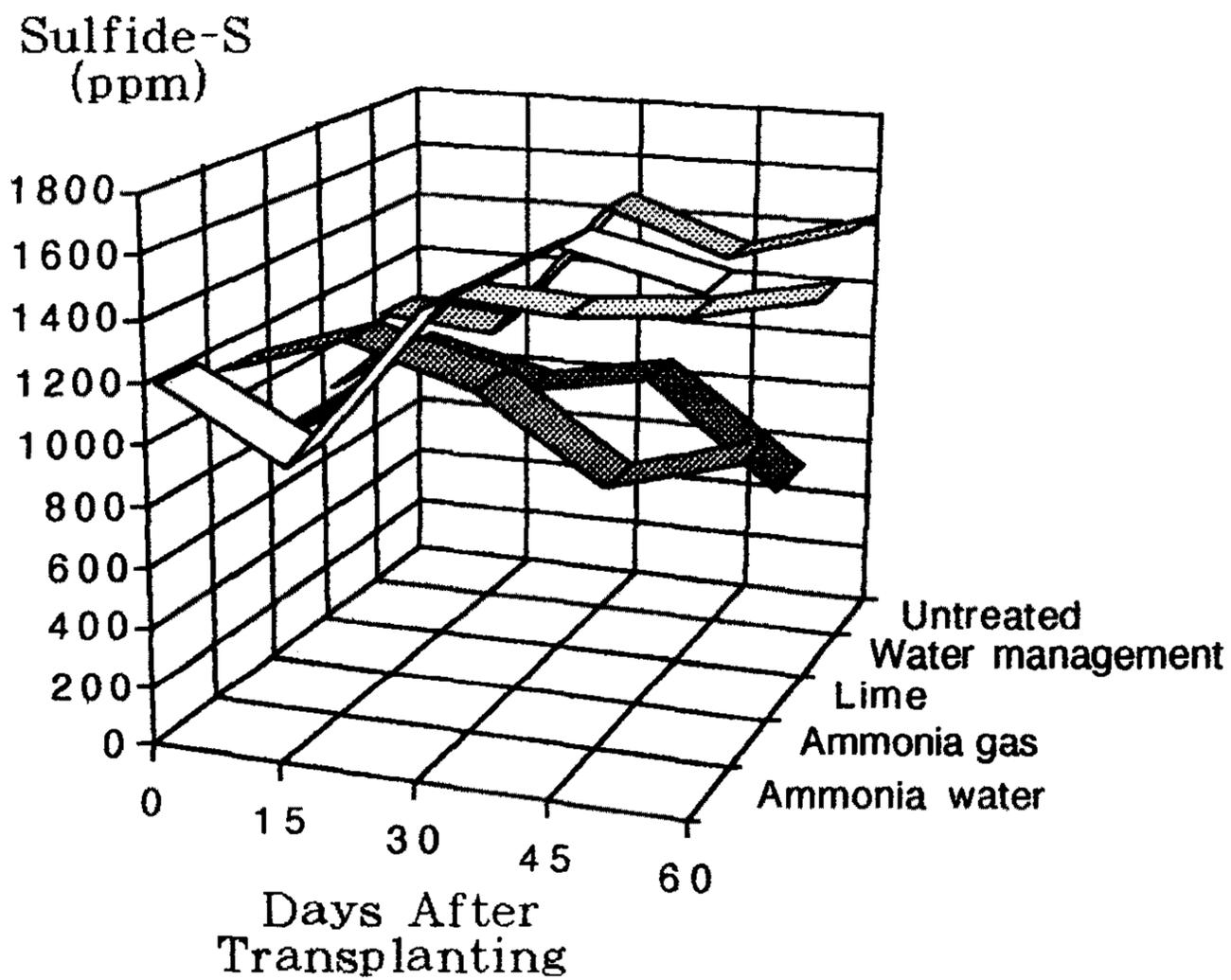


그림 18. 改良 方法 適用에 따른 還元 硫黃의 含量 變化

無處理區 및 물管理 適用區에서의還元 狀態의 硫黃含量 增加는 盛土된 潛在性 特異酸性土壤이 湛水에 의하여 繼續還元 狀態가 維持되고 있음을 나타내주었다. 한편 암모니아水 處理區에서도 이러한還元型 硫黃 含量의 增加가 나타났는데 이것은 改良 效果가 持續되고 있음을 보여 준 結果로 생각한다. 그러나 암모니아 가스 處理區와 石灰 處理區에서는 移秧 後 60日 동안에 一定한 傾向을 나타내지 않고 增減이 이어져서 移秧後 60日에는 처음의 水準과 큰 差異가 없는 傾向을 보였는데, 이것은 이들 處理에 의한 改良의 效果가 그 만큼 遲效的이거나 또는 改良劑의 損失이 컸었기 때문이 아닌가 생각된다.

改良 方法 適用 後의 Al^{3+} 의 含量 變化를 보면 대체적으로 增加되는 傾向을 보였다 (그림 19). 本 實驗에서의 改良 方法別 알루미늄의 濃度는 암모니아 處理區와 無處理區에서 보다 石灰나 물 管理 適用區에서 移秧 後 60日에 높은 水準을 나타내었는데 이러한 結果는 土壤 酸度 變化와 깊은 關係 때문으로 생각한다. 즉 改良 方法 適用에 따른 土壤 酸度の 變化는 앞에서 본 바와 같이 암모니아 處理區 및 無處理區가 石灰나 물 管理 適用區에서 보다 낮아었는데 이러한 土壤 酸度の 差異가 알루미늄의 濃度에도 影響을 미치지 않나 생각된다.

알루미늄은 土壤 酸도에 따라 溶解性이 크게 影響을 받으며, 이러한 溶解度에 따른 濃度는 水稻 生育과 密接한 關係를 갖는다. 水稻는 酸性에 대하여 큰 耐性を 보여 養液 栽培上에서 酸도가 4 以下가 될 때 비로소 水稻 生育이 抑制를 받기 시작하는데 土壤에서는 酸도 5 以下가 되면 酸도에 의한 影響을 받게된다. 이와같은 土壤 中에서의 酸도 低下에 따른 被害는 실제로 酸도에 따른 生育 不均衡이라기 보다는 오히려 土壤 酸도가 5 以下로 되면서 알루미늄과 같은 元素의

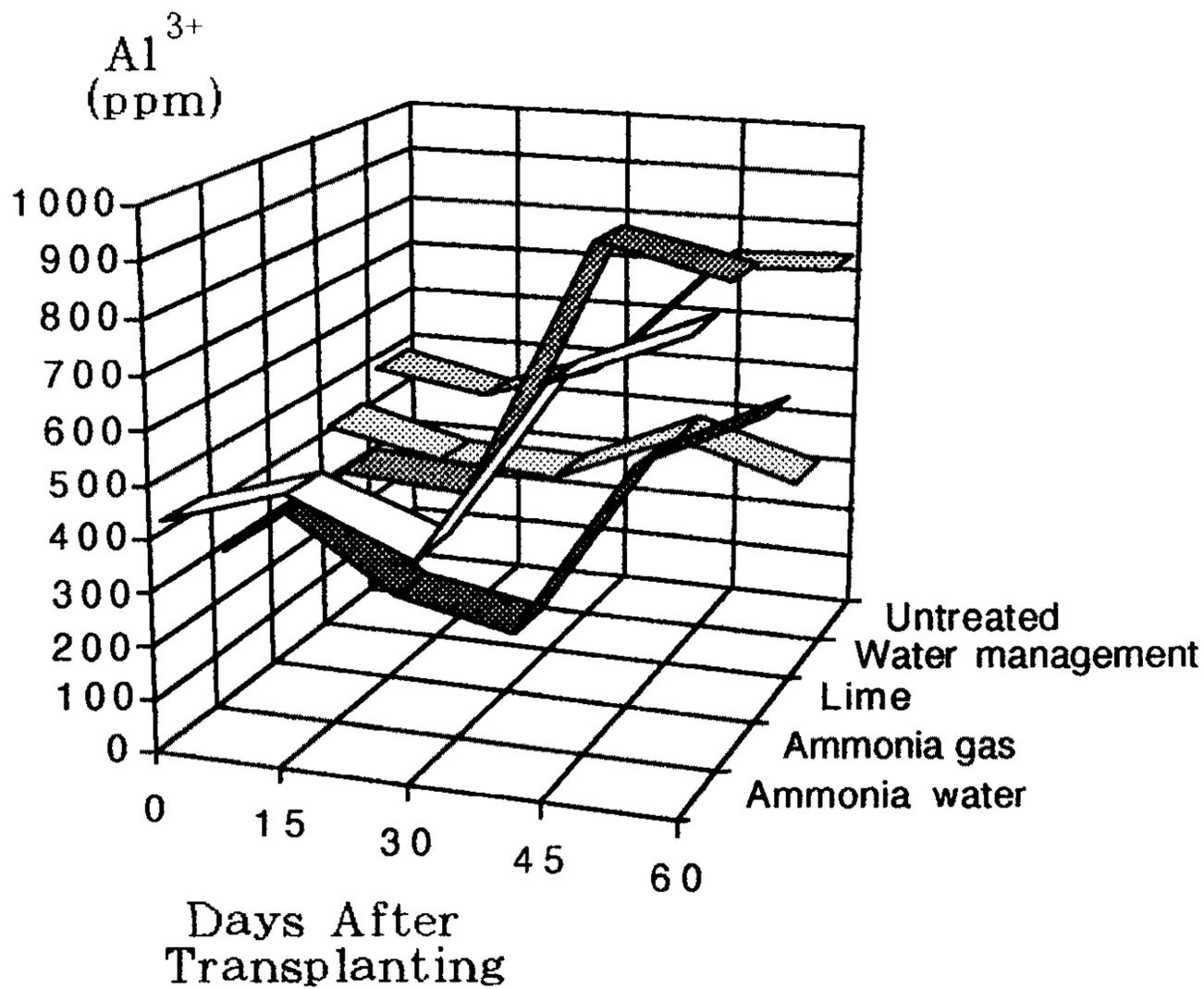


그림 19. 改良方法 適用에 따른 Al^{3+} 의 含量 變化

可溶化에 따른 毒性害에 의한 것이 더 큰 重要性을 갖는다고 할 수 있다.

潛在性 特異酸性土壤에서의 Fe^{2+} 의 濃度는 一般的으로 높아서 때로는 數千 ppm에 달하기도 한다. 畚土壤이 湛水되면 土壤 중에 存在하는 鐵化合物은 還元되어서 Fe^{2+} 을 土壤 溶液 中으로 供給한다. 따라서 改良方法 適用 後의 潛在性 特異酸性土壤 內의 還元 鐵의 含量은 土壤의 酸化와 還元 狀態와 關聯지어 重要的 要素라 할 수 있다. 그림 20에서와 같이 改良劑 適用 및 水 管理에 의한

改良方法適用結果 2價鐵의 含量은 移秧後 처음에는 減少되는 傾向을 보이다가 다시 上昇되는 傾向이었다. 無處理區에서는 移秧當時의 還元鐵의 含量이 他處理區에 비하여 매우 낮았는데 이것은 土壤 酸度가 他處理區 보다 낮았던 때문으로 생각된다. 各 處理區의 還元鐵의 濃度는 時日의 經過와 함께 점차 낮아졌는데 이것은 改良方法 適用에 따른 效果의 結果로 볼 수 있다. 즉 鐵의 溶

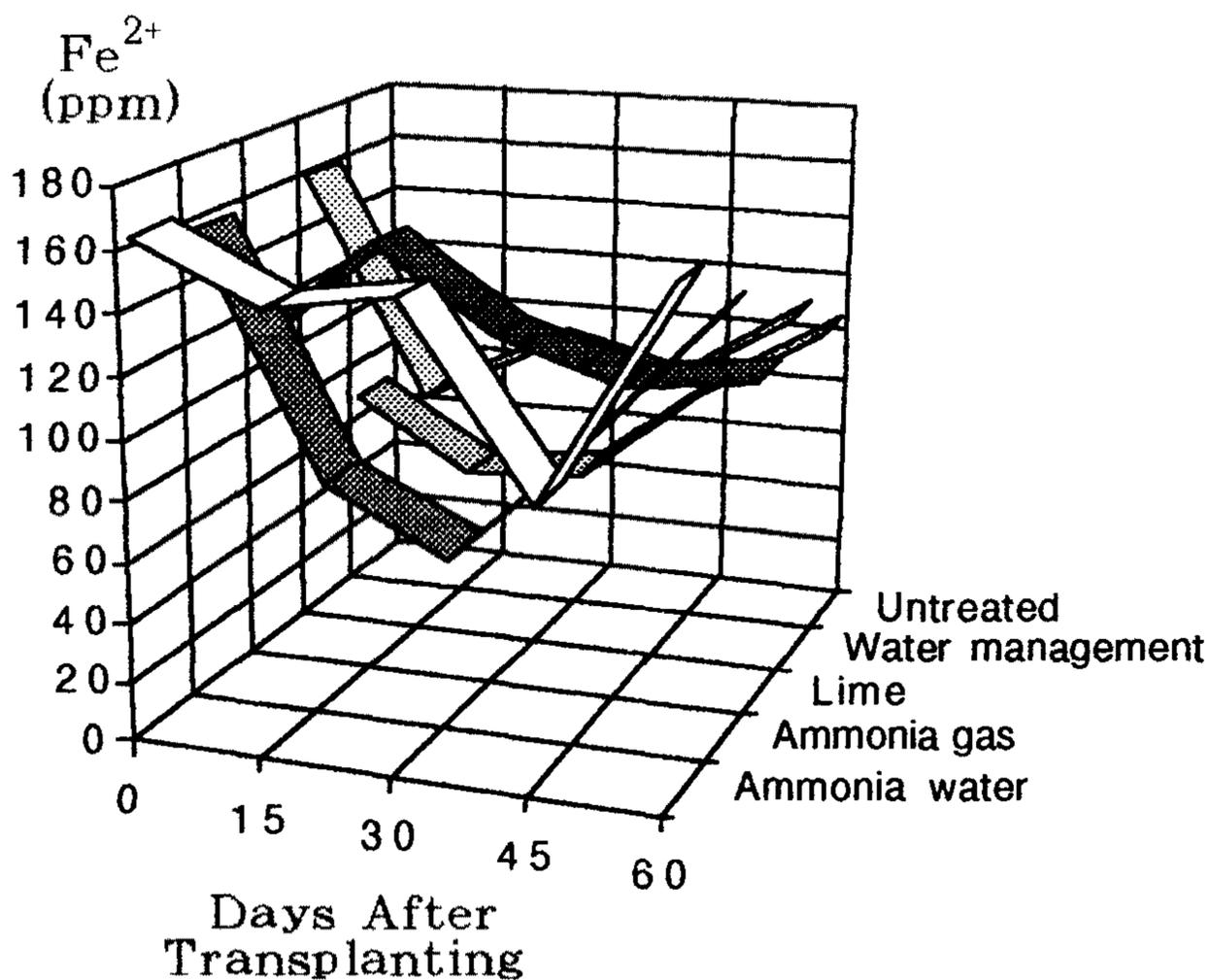


그림 20. 改良方法 適用에 따른 Fe²⁺의 含量 變化

解度는 pH의 增加와 함께 減少되는데, 移秧後 처음에 還元鐵이 減少하였던 것은 移秧前에 適用한 改良方法의 效果 때문으로 어느 程度 改良에 의한 pH 上昇에 의한 效果를 보이다가, 時日의 經過와 함께 점차 改良의 效果가 低減됨과 아

올려 土壤 pH는 漸進的으로 低下되고 이에 따라 還元鐵의 溶解度가 높아져 濃度 水準이 增加되는 結果를 가져왔던 것으로 생각된다.

以上の 結果로 부터 암모니아水나 암모니아 가스, 石灰등의 改良劑 施用 이나 물 管理에 의한 改良 方法 適用 모두 無處理區에 비하여 어느 程度 潛在性 特異酸性土壤의 改良 效果를 볼 수 있었으나, 處理區 間에는 뚜렷한 差異를 나타 내지 않았다. 더우기 掘鑿後 時日이 많이 經過되지 않았던 本 實驗 土壤의 條件 을 勘案하면 年次的인 改良 方法의 適用과 效果의 判定이 繼續的으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

5.2 改良에 따른 水稻 生育 및 收量

潛在性 特異酸性土壤에서의 水稻 栽培는 土壤이 어느 程度 酸化가 進行되 었느냐에 따라 水稻 生育에 큰 差異를 나타낸다. 今年의 當該年度에 掘鑿하여 既 存의 畚土壤 表面에 盛土하고, 移秧前에 改良 方法을 適用하고 水稻를 栽培한 圃 場에서의 水稻 生育은 無處理區에 있어서만 약간의 生育抑制를 나타내었을 뿐 改 良 方法 適用區에서는 큰 被害를 보이지 않았다.

移秧前 改良劑 施用과 물 管理 適用 後 水稻를 移秧하고 一週 間隔으로 測定한 草長은 無處理區를 除外하고는 處理區 間에는 差異를 보이지 않았다 (그 립 21). 無處理區에서는 移秧後 3週 부터 處理區에 비하여 草長 抑制가 認定되었 으며, 이러한 生育 抑制는 移秧 後 10週까지 持續되었다. 이와같은 草長 抑制는 潛在性 特異酸性土壤이 圃場 狀態에서 繼續적으로 酸化되어간 結果에서 나타난 것이지만, 그럼에도 불구하고 完全한 枯死에 이르지 않았는데 이것은 水稻 生育

에 심한 被害를 줄 程度까지 完全히 酸化되지 않았었기 때문에 생각된다. 掘鑿 直後와 盛土 前後의 供試 土壤의 土壤 酸도가 4.8 程度이었으며 또 栽培 期間 中 에도 湛水에 의한 還元 條件의 維持가 이와같은 生育을 可能케 하였을 것으로 생각된다. 그러나 改良 方法 適用區에 있어서는 移秧 當時의 土壤 酸도가 5.3 - 5.6 附近이었고 또 栽培 期間 中에도 酸化에 따른 土壤 酸도의 低下도 그리 크지 않았었기 때문에 水稻의 生育抑制도 거의 없었던 것으로 생각된다. 한편 生育 期 間 中의 分蘖數에 있어서는 草長에서와는 달리 無處理區에 있어거나 改良 方法 適用區에 있어거나 差異를 나타내지 않고, 移秧後 2週에 株當 1個, 3週에 3個,

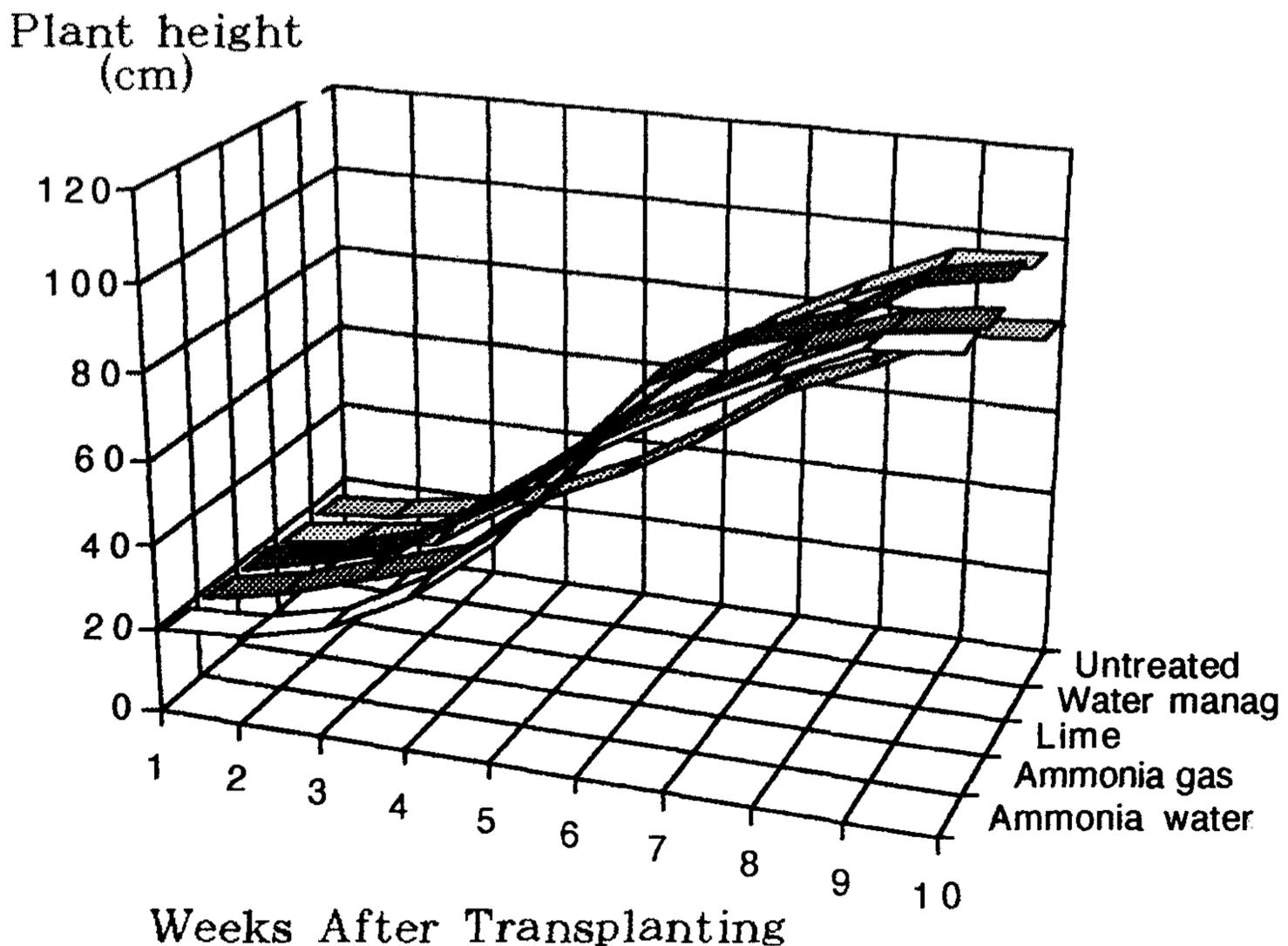


그림 21. 改良 方法 適用 圃場에서의 水稻 草長의 經時的 變化

5週에 4個로 增加되었다. 分蘗數에 있어서 이와같이 差異를 보이지 않았던 것은 生育 反應에 있어 分蘗數는 草長 보다 훨씬 덜 敏感하였기 때문에 믿어진다.

改良 方法 適用에 따른 水稻의 收量構成要素의 差異를 보면 改良 方法 適用區와 無處理區 間에는 差異를 보였던 反面에, 改良 方法 間에는 差異를 나타내지 않았다 (表 6).

表 6. 改良 方法 適用別 水稻 收量構成要素 差異

處理	稈長 (cm)	穗長 (cm)	株當穗數 (個/株)	一穗粒數 (個/穗)	登熟率 (%)	千粒重 (g)
암모니아水	78.2	16.5	17	118	83.2	22.1
암모니아가스	72.2	15.8	15	121	86.5	21.8
石灰	81.1	15.4	16	109	84.3	22.7
물 管理	75.8	16.7	15	113	82.1	23.0
無處理	62.3	14.8	13	102	83.7	21.7

無處理區에 있어서는 收量構成要素 中 登熟率과 千粒重을 除外한 稈長, 穗長, 株當穗數 및 一穗粒數에서 改良 方法 適用區에 비하여 떨어졌는데, 이러한 差異는 栽培 期間 中의 生育 抑制의 結果로 부터 나타난 것으로 믿어진다.

水稻 生育 期間 中의 養分 吸收에 미치는 改良 方法 適用의 影響을 보면 改良 方法 間에는 窒素, 磷酸, 加里의 吸收에 差異를 나타내지 않았다 (表 7). 그러나 無處理區에 있어서는 三要素 모두 약간의 吸收 抑制를 보였다. 이러한 吸

表 7. 改良 方法 適用에 따른 水稻 養分 吸收

處 理 內 容	移秧後 5週			移秧後 9週		
	窒素	磷酸	加里	窒素	磷酸	加里
	%					
암모니아水	2.95	0.99	4.71	2.37	0.72	4.67
암모니아가스	2.82	0.82	4.68	2.14	0.62	4.41
石灰	2.58	1.13	4.61	2.11	0.69	4.31
물 管理	2.98	1.19	4.53	2.29	0.81	4.75
無處理	2.77	0.72	4.62	2.15	0.59	4.43

收 抑制는 移秧後 5週 뿐 만 아니라, 移秧後 9週에도 持續적으로 나타나고 있었다.

潛在性 特異酸性土壤에는 酸度에 따라 많은 含量의 알루미늄, 鐵, 硫黃等 이 溶解되어 있고 따라서 알루미늄을 비롯한 많은 量의 元素들이 植物體에 吸收되어 水稻 生育 代謝에 심한 影響을 미칠 뿐 만 아니라, 他 養分들과의 濃度 不均衡은 吸收 그 自體에도 影響을 미쳐 本 實驗에서와 마찬가지로 窒素, 磷酸 및 加里的 吸收量이 減少되었지 않나 생각된다.

植物體內的 높은 알루미늄 含量은 특히 體內 磷 代謝에 큰 影響을 미치는 것으로 알려져 있고, 硫黃의 毒性은 光磷酸化 反應을 沮害함으로서 生育을 抑制시킨다고 알려져 있다. 한편 鐵의 높은 含量에 따른 被害로는 水稻에 있어서 'bronzing' 이라 불리는 症狀을 보이는데 특히 加里가 缺乏되는 條件에서 많이

나타나는 것으로 알려져 있다. 그러나 本 實驗에 있어서는 以上과 같은 鐵의 毒性 徵候를 찾을 수 없었는데 이것은 加里가 심각할 程度의 缺乏을 보이지 않았던 結果가 아닌가 생각된다.

收量構成要素에서의 差異는 結局 收量에도 影響을 미쳐 無處理區의 收量은 改良 方法 適用區에 비하여 낮게 나타났다 (그림 22). 한편 改良 方法 適用區間에는 石灰 施用區의 收量이 他 適用區에서 보다 약간 낮게 나타났는데, 이것은 여러 要素들의 複合的인 影響의 結果였지 않았나 생각된다.

Yield (kg/10a)

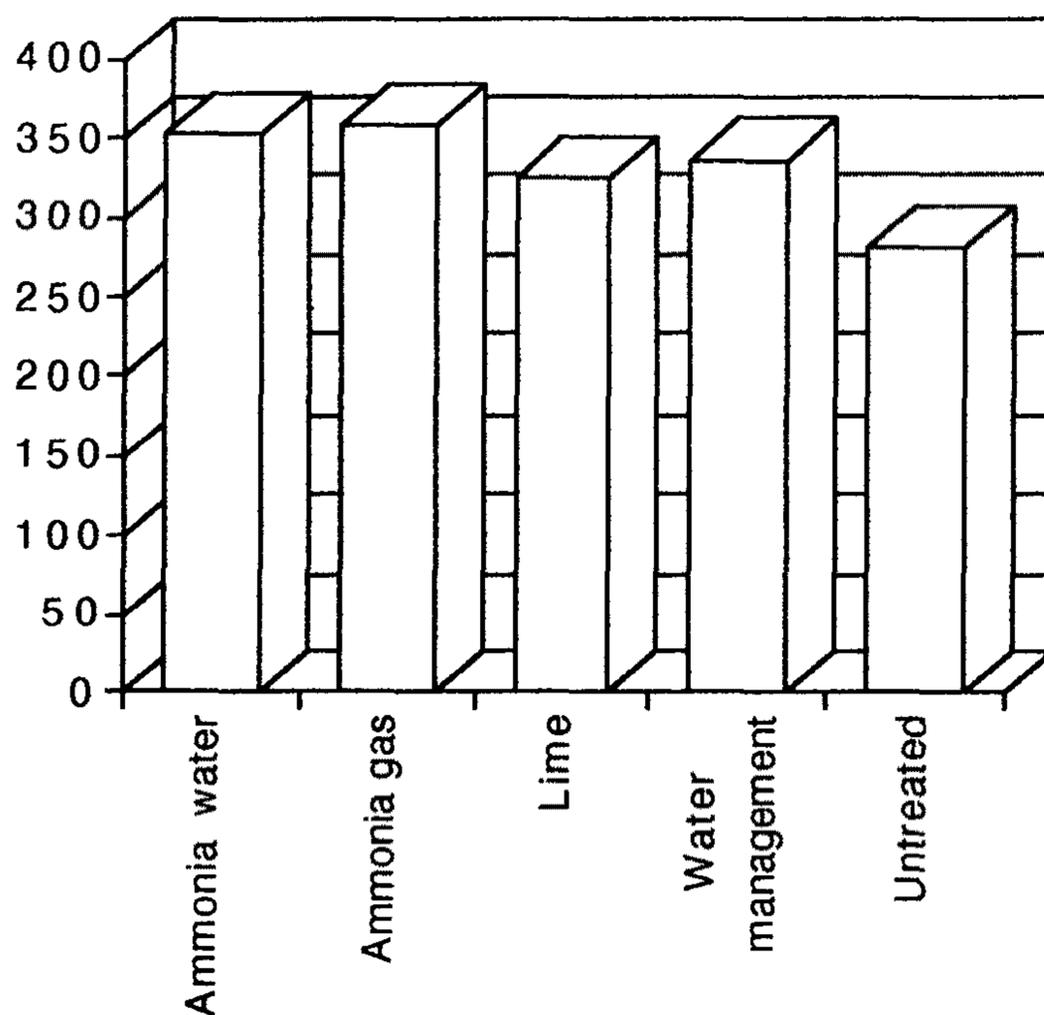


그림 22. 改良 方法 適用에 따른 水稻 收量

以上の結果를 綜合하여 보면, 改良 方法의 適用은 어느 程度 改良의 效果를 認定할 수 있었으나, 改良 方法 間에는 뚜렷한 差異를 찾을 수 없었다. 이러한 結果는 本 供試 潛在性 特異酸性土壤이 掘鑿後 酸化가 많이 進行되지 않았던 土壤으로 아직 改良 效果를 全적으로 受容할 程度가 아니었었기 때문에 생각된다. 한편 無處理區에 있어서도 實際로 以前에 나타났던 潛在性 特異酸性土壤의 水稻 栽培上 被害 보다 훨씬 輕微한 被害만이 나타났는데 이러한 差異도 아마 앞서에서와 같이 潛在性 特異酸性土壤의 酸化 程度와 密接한 關係를 갖기 때문에 로 생각된다.

5.3 모델 實驗에서의 改良에 따른 土壤 特性 變化

5.3.1 암모니아水 處理

改良劑로서 암모니아를 處理한 境遇의 潛在性 特異酸性土壤에서의 土壤 特性 變化를 모델 實驗을 통하여 正確히 判定하는 것은 주어지는 여러가지 因子를 單純化시켜 암모니아만의 效果를 抽出하는데 寄與할 것으로 생각되었다.

供試 潛在性 特異酸性土壤을 pH 6으로 矯正하기 위한 緩衝曲線法에 따른 所要量을 添加한 直後의 土壤 및 溶出液의 pH는 모두 5.8이었으나, 이 pH는 時日의 經過와 함께 低下되기 始作하였다 (그림 23). 土壤 中の pH 變化는 溶出液에 비하여 緩慢하게 변하여서 處理 後 15日에 pH는 5.4로 0.4만이 低下되었지만, 溶出液에서는 0.9가 低下되어 pH 3.9를 나타내었다. 그러나 溶出液에서는 處理 後 60日까지 더 以上の 큰 變化를 보이지 않고 거의 비슷한 水準을 維持

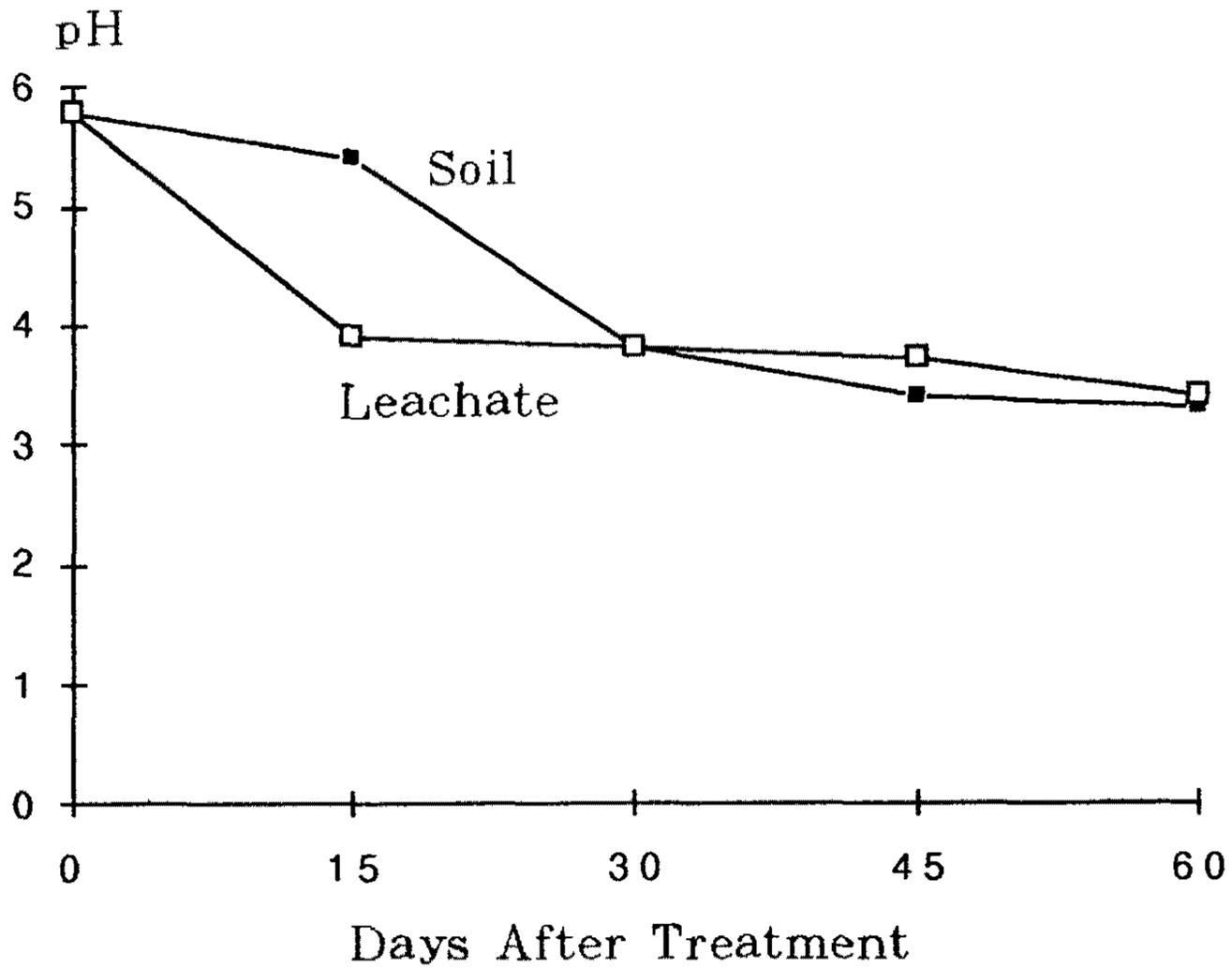


그림 23. 암모니아 處理後 土壤 및 溶出液의 pH 變化

하였다. 反面에 土壤에 있어서는 처음의 낮은 pH 低下가 處理 後 15日 以後에 急激하게 이루어지고 그 後에는 緩慢한 低下 樣狀을 보였다. 溶出液의 pH가 처음에 빨리 나타난 것은 土壤中 酸化 狀態의 物質들이 還元 狀態로 되면서 溶解 度의 增加와 함께 土壤 溶液 中으로 溶出되어 나왔기 때문이 아닌가 생각된다.

암모니아 改良劑 施用 後의 酸化還元電位는 土壤이나 溶出液 모두에서 全般的으로 處理後 時日의 經過와 함께 減少되는 傾向을 보였다 (그림 24). 改良劑 인 암모니아의 施用은 土壤 및 土壤 溶液內의 還元物의 量이 增加되고 있음을 나타내 주어 還元 條件이 維持되고 있었다.

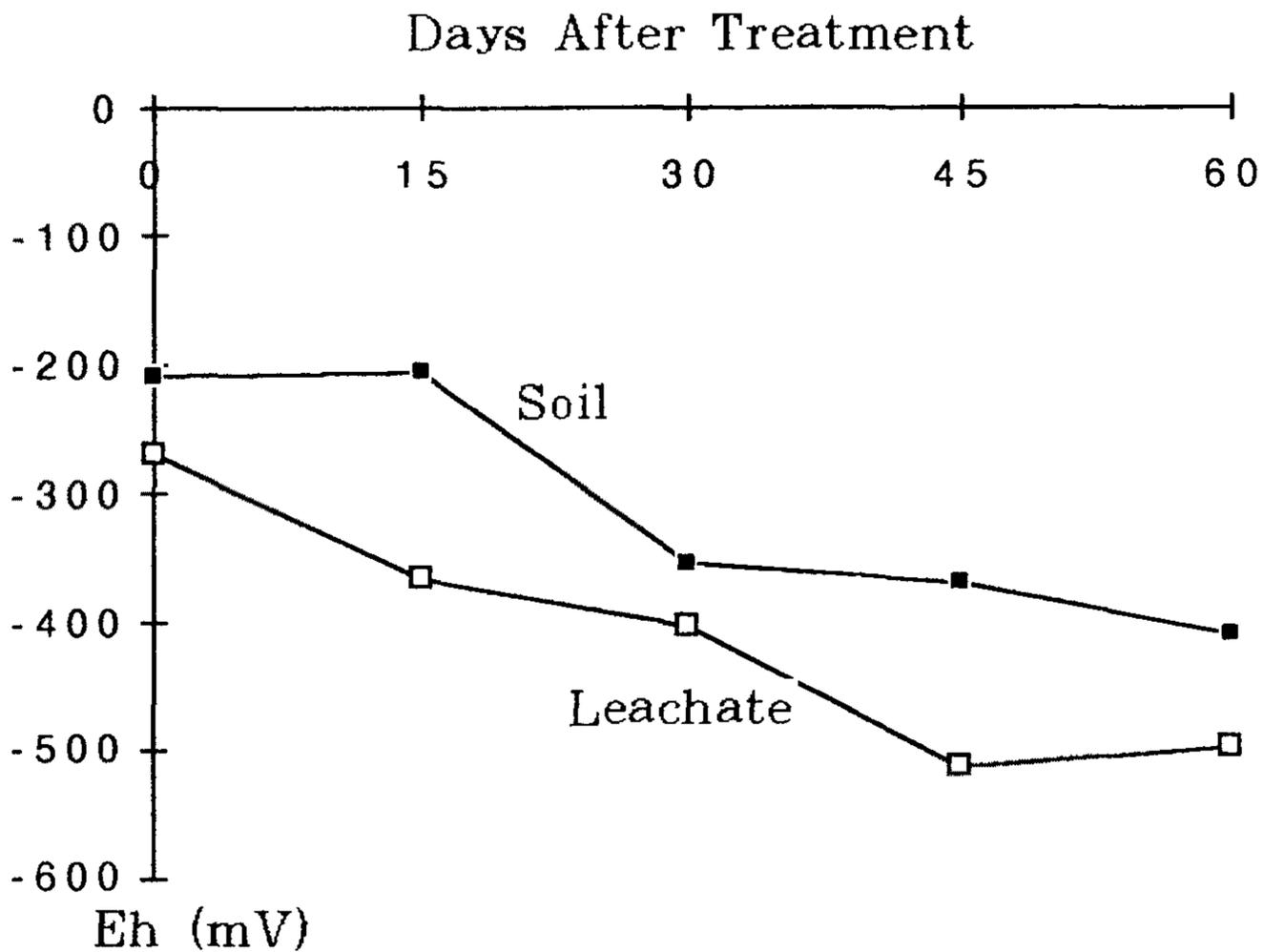


그림 24. 암모니아 處理後 土壤 및 溶出液의 Eh 變化

土壤이 還元되면 三價의 酸化鐵이 二價의 亞酸化鐵로 變化되는데, 암모니아 施用에 따른 還元 狀態의 鐵의 含量은 土壤이나 溶出液 모두 處理後 처음에는 增加하다가 減少되는 傾向을 보였다 (그림 25). 土壤 中에서의 Fe^{2+} 含量은 處理後 처음 30日 동안에는 急速하게 增加하다가 서서히 減少가 되었던 反面에, 溶出液 中에서는 處理後 처음 15日 동안만 含量이 增加하고 그 後로는 계속 緩慢하게 減少하였다. 따라서 이러한 傾向은 암모니아 處理에 따른 潛在性 特異酸性土壤의 改良 效果가 比較的 處理後 빠른 時間內에 일어나고 있음을 示唆하여 준 結果로 생각한다. 대체로 酸化 狀態의 Fe^{3+} 은 難溶性이지만, 還元되어 이들

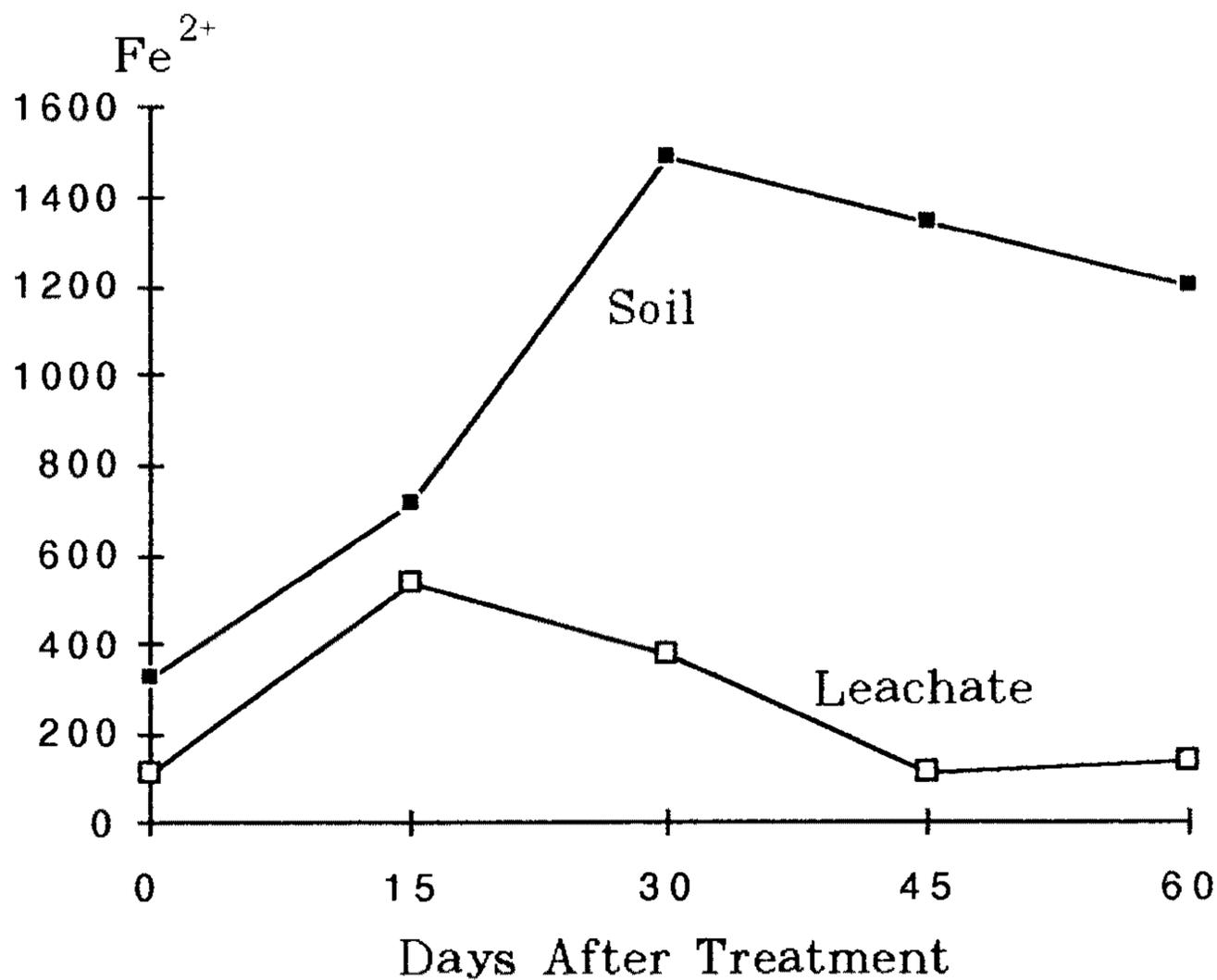


그림 25. 암모니아 處理後 土壤 및 溶出液 中の Fe²⁺ 含量 變化

이 Fe²⁺로 되면 溶解度가 增加한다. 따라서 암모니아 處理와 함께 처음에 還元 狀態의 鐵이 一時的으로 많이 溶出되었고, 그 後 점차 還元될 量이 減少됨에 따 라 溶出量도 減少된 것으로 생각된다.

암모니아 施用 後의 알루미늄의 動態는 土壤 中에서는 處理 後 30日 동안 에는 거의 變化가 없다가 그 後로 부터 增加가 되었던 反面에, 溶出液 中에는 처 음 15日 동안에 크게 增加되고 그 後에는 緩慢한 增加를 나타내었다 (그림 26). 潛在性 特異酸性土壤과 같은 酸性 土壤에서는 알루미늄의 一部分 또는 遊離알루 미늄 化合物의 一部分이 溶解되어 알루미늄 이온으로 나타나는데, 이러한 溶解

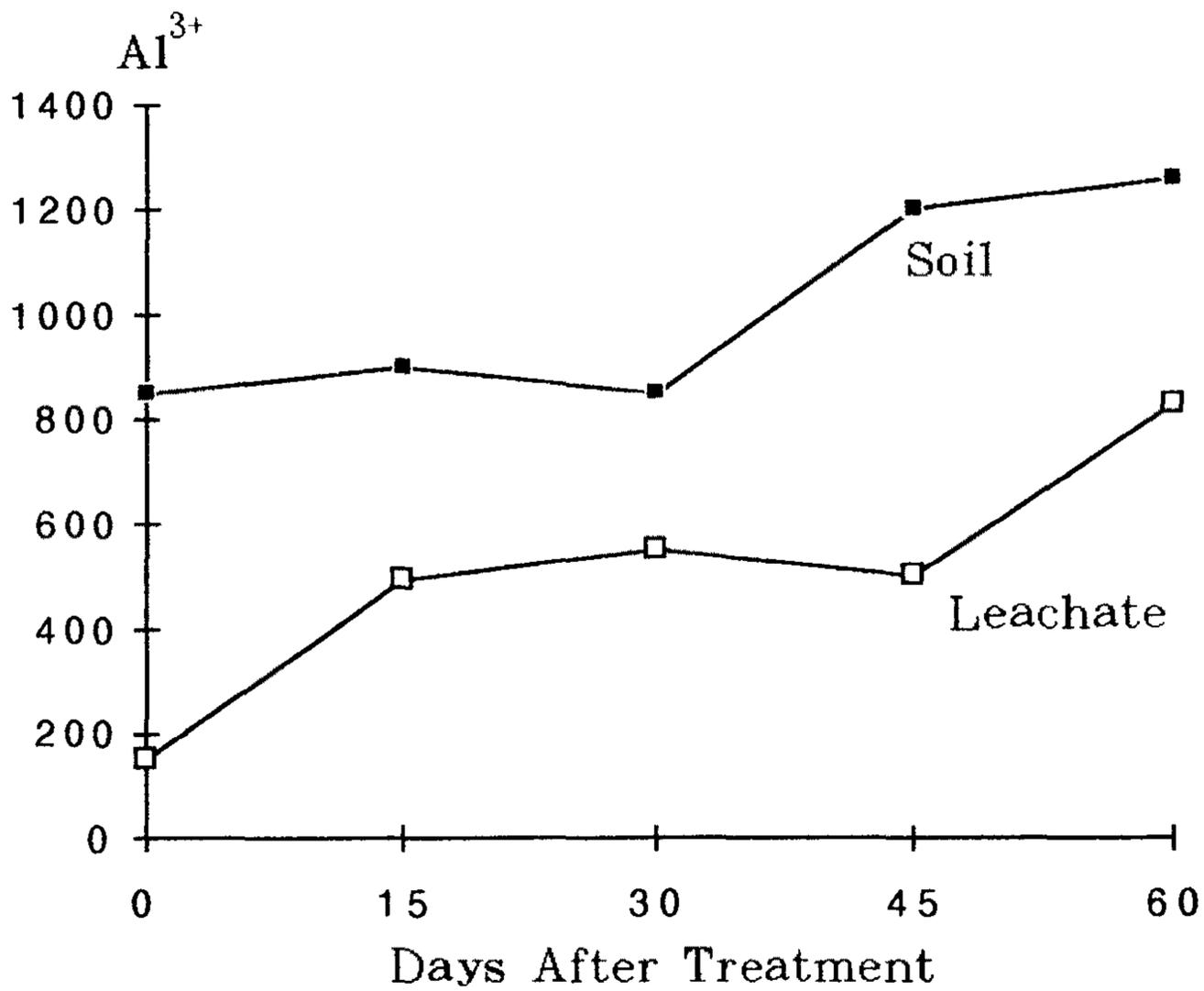


그림 26. 암모니아 處理後 土壤 및 溶出液 中の Al³⁺ 含量 變化

程度는 土壤 酸度와 密接한 關係가 있어, 암모니아와 같은 改良劑에 의한 pH의 調整으로 알루미늄 溶出이 크게 左右될 것으로 믿어진다.

酸化狀態 硫黃의 含量은 암모니아 施用 後에 土壤에서나, 溶出液에서나 모두 減少되는 傾向을 보였다 (그림 27). 그러나 溶出液 中の 濃度 水準이 土壤 中の 濃度 보다 훨씬 높은 水準을 나타내주어, 암모니아 施用에 따라 土壤 中 硫黃이 酸化되고 이것이 溶解되어 土壤 溶出液 中으로 나온 것으로 믿어진다. 一般的으로 酸化狀態의 硫黃이 土壤 中에서 移動性이 커서 쉽게 溶脫되는 現象을

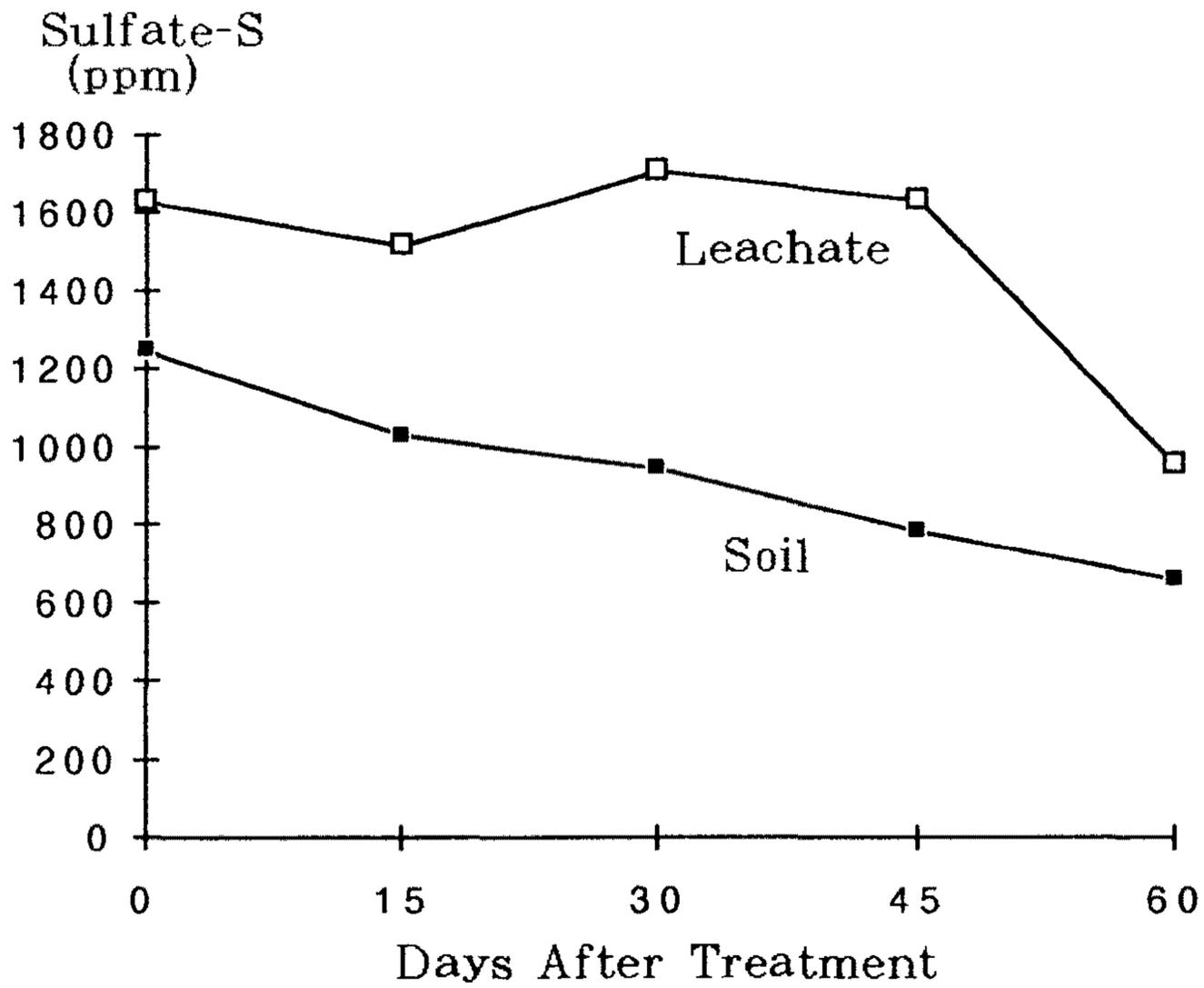


그림 27. 암모니아 處理後 土壤 및 溶出液 中の Sulfate-S 含量 變化

생각하면, 溶出液 中の 높은 酸化狀態 硫黃의 含量도 이러한 移動性에서 緣由된 것이 아닌가 생각된다.

酸化狀態의 硫黃과는 달리 還元狀態의 硫黃의 動態는 암모니아 施用과 함께 나타나는 變化가 다르게 나타났는데, 土壤 中에서의 還元狀態 硫黃 含量은 처음에는 큰 差異를 보이지 않다가 處理後 30日 以後 부터 약간씩 增加되었던 反面에, 溶出液 中에서는 거의 變化를 보이지 않았다 (그림 28). 溶出液으로의 還元 硫黃이 적게 溶出된 것은 溶解度와 關係가 있을 것으로 생각되며, 土壤 中の

還元 硫黃의 含量이 後에 增加된 것은 酸化 硫黃으로 부터의 還元에 의한 影

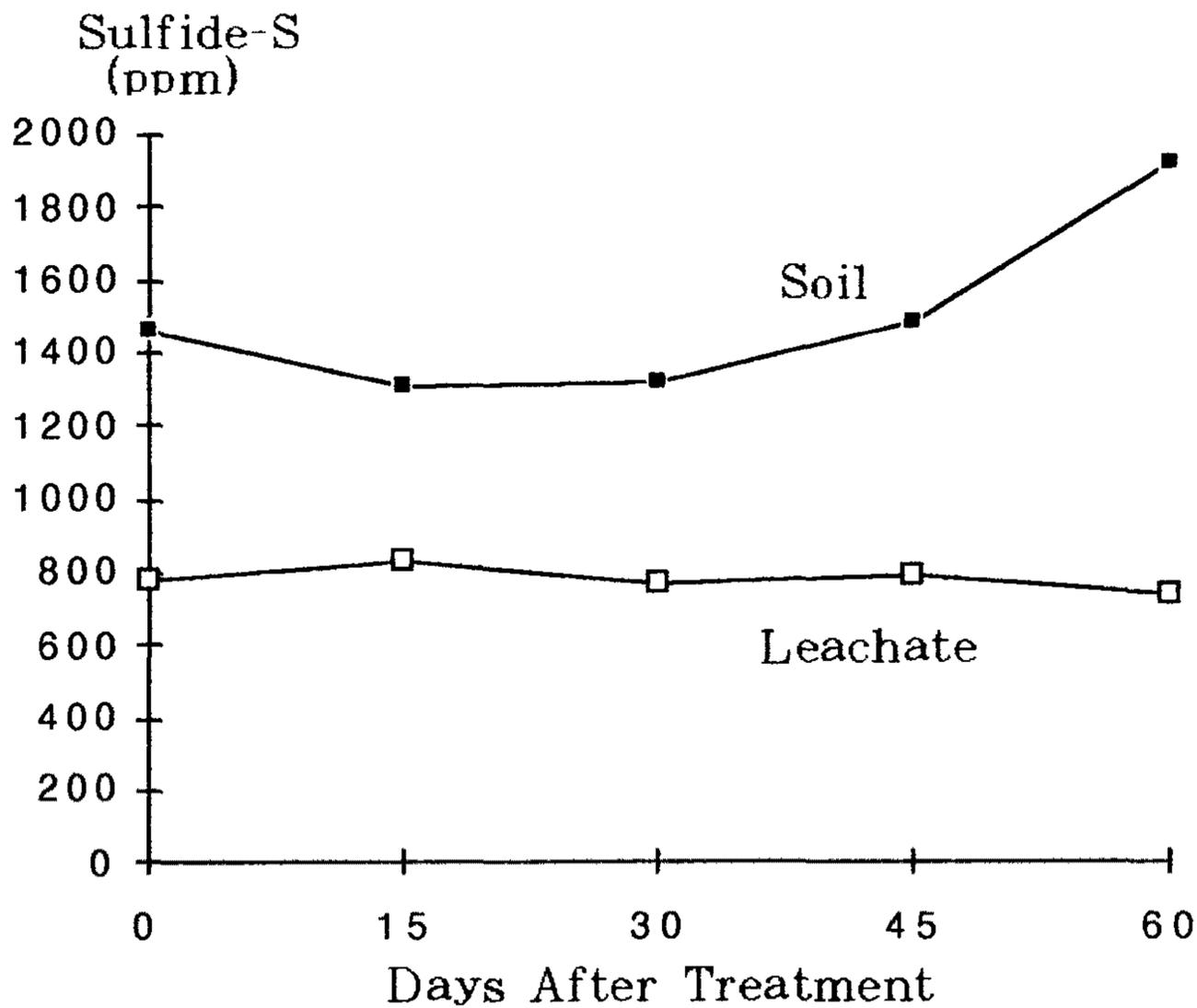


그림 28. 암모니아 處理後 土壤 및 溶出液 中の Sulfide-S 含量 變化

響이 아닌가 생각된다.

以上の 암모니아 處理에 의한 改良 모델 實驗으로 부터 改良 效果 結果는 土壤 및 溶出液 中에서 여러가지 特性 變化가 일어나고 있음을 나타내 주었다. 이러한 變化 가운데서 酸度는 가장 손 쉬운 測定 方法 中の 하나이지만 그 變動 幅이 크게 나타나서 改良 效果에 대한 精密한 測定이 될 수 없을 것으로 思料된 다. 또한 Eh의 測定도 測定 方法上 白金電極을 土壤에 꽂고 平衡에 까지 到達되 도록 기다려야 하는 등의 操作이 實用的인 면에서 어려움이 뒤따른다고 생각된

다. 한편 알루미늄 함량의 변화는 매우緩慢하지만, 鐵이나 酸化狀態의 硫黃은 그 增加와 減少幅이 크고 빠르기 때문에 改良劑 施用 後의 그 效果를 보다 可視的으로 또 빠르게 判定할 수 있는 指標로 쓸 수 있을 것으로 생각한다. 특히 本實驗에서 適用한 效果的인 硫黃 分析法을 利用하여 보다 正確한 硫黃의 動態로부터 改良 效果를 判定할 수 있을 것으로 생각한다.

5.3.2 石灰 處理

潛在性 特異酸性土壤의 改良을 위하여 가장 代表的으로 使用되고 있는 改良劑 中の 하나가 石灰이다. 石灰 處理에 따른 改良 效果는 두가지 面에서 나타나는데, 하나는 Ca^{2+} 의 供給이고, 다른 하나는 土壤 pH의 增加이다. 土壤 pH의 增加는 곧 施用되는 石灰들의 알카리 反應에 따라 나타난다.

石灰 處理 後의 pH는 處理 直後에 土壤에서 5.9, 溶出液에서 5.4이었으나 處理 後 15日에는 3.7 - 3.8를 低下되었고, 그 以後는 큰 變化없이 같은 水準을 維持하였다 (그림 29). 以上の 結果를 보면 石灰 處理에 따른 土壤 pH 矯正 效果는 比較的 短時間內에 나타나지만 오래 持續되지 않음을 나타내었다. 이와같은 效果의 持續을 암모니아의 境遇와 比較해보면 溶出液에서의 pH 低下는 서로 비슷하였으나, 土壤에서는 암모니아의 경우가 보다 오래 持續되는 傾向을 나타내었다.

土壤 中에 處理된 CaO 는 물과 쉽게 反應하여 $Ca(OH)_2$ 를 形成하고, 이것은 土壤 溶液 中の 遊離 H^+ 과 直接 反應 함으로서 中和시킨다. CaO 나 $Ca(OH)_2$ 는 比較的 水溶解度가 높아 土壤 中에서 $CaCO_3$ 와 같은 餘他の 石灰源 보

다 反應이 쉽게 일어난다. 따라서 本 實驗에서도 CaO의 處理時에 빠른 反應을

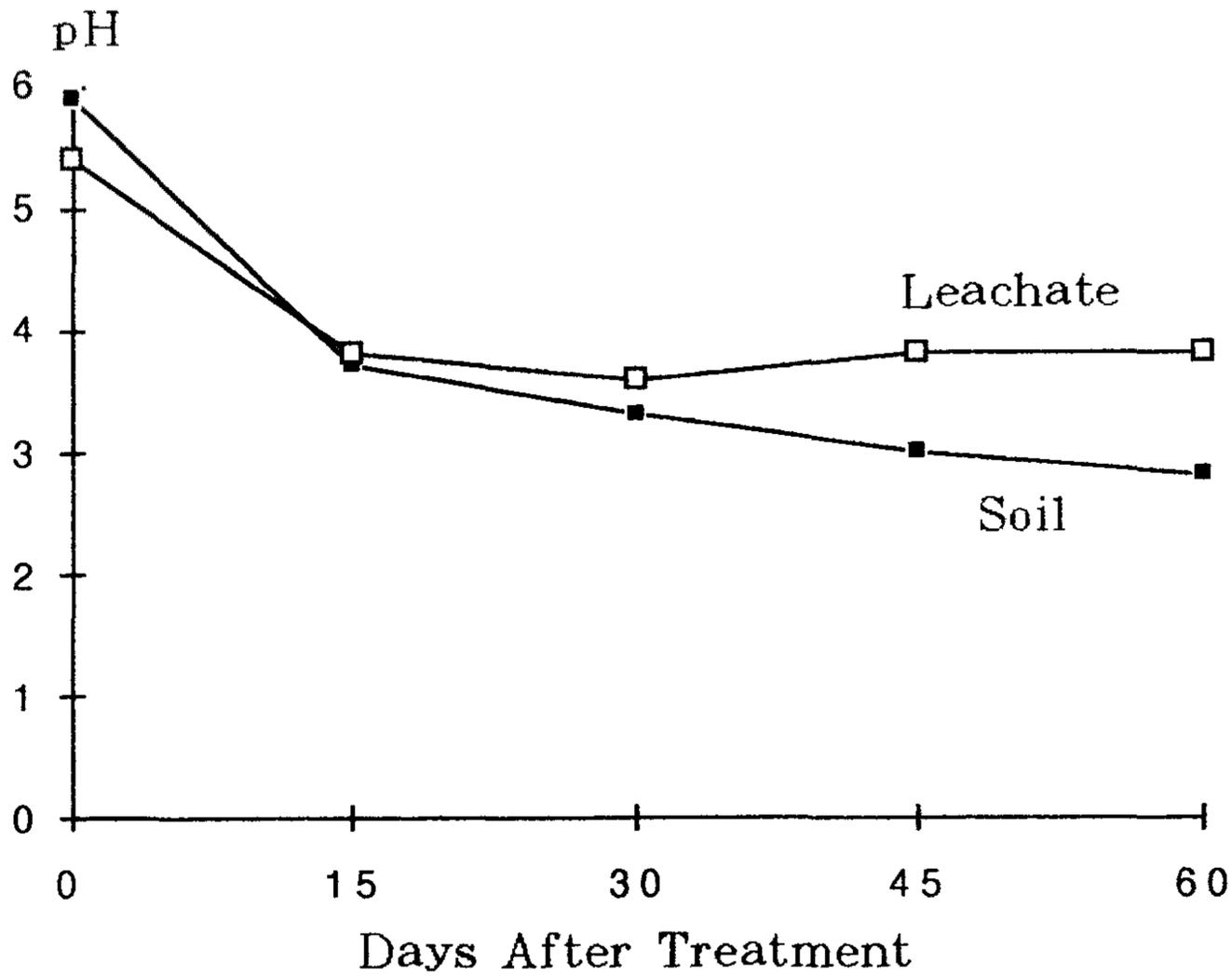


그림 29. 石灰 處理後 土壤 및 溶出液의 pH 變化

보였던 것으로 믿어지며, 또한 供試 土壤 自體가 潛在性 特異酸性土壤으로서 아직 酸化가 많이 일어나지 않았었기 때문에 石灰 處理에 의한 反應이 크지 않았었던 것으로 생각된다.

湛水 土壤의 還元 條件은 酸化還元電位차를 測定함으로서 알 수 있다. 이것은 土壤 中에 酸化 物質과 還元 物質間의 濃度에 의하여 決定된다. 石灰 施用 後의 酸化還元電位차는 處理 後 45日까지 土壤 및 溶出液 모두 매우 緩慢하게 減少되었고, 그 以後에 조금 큰 程度로 低下되었다 (그림 30).

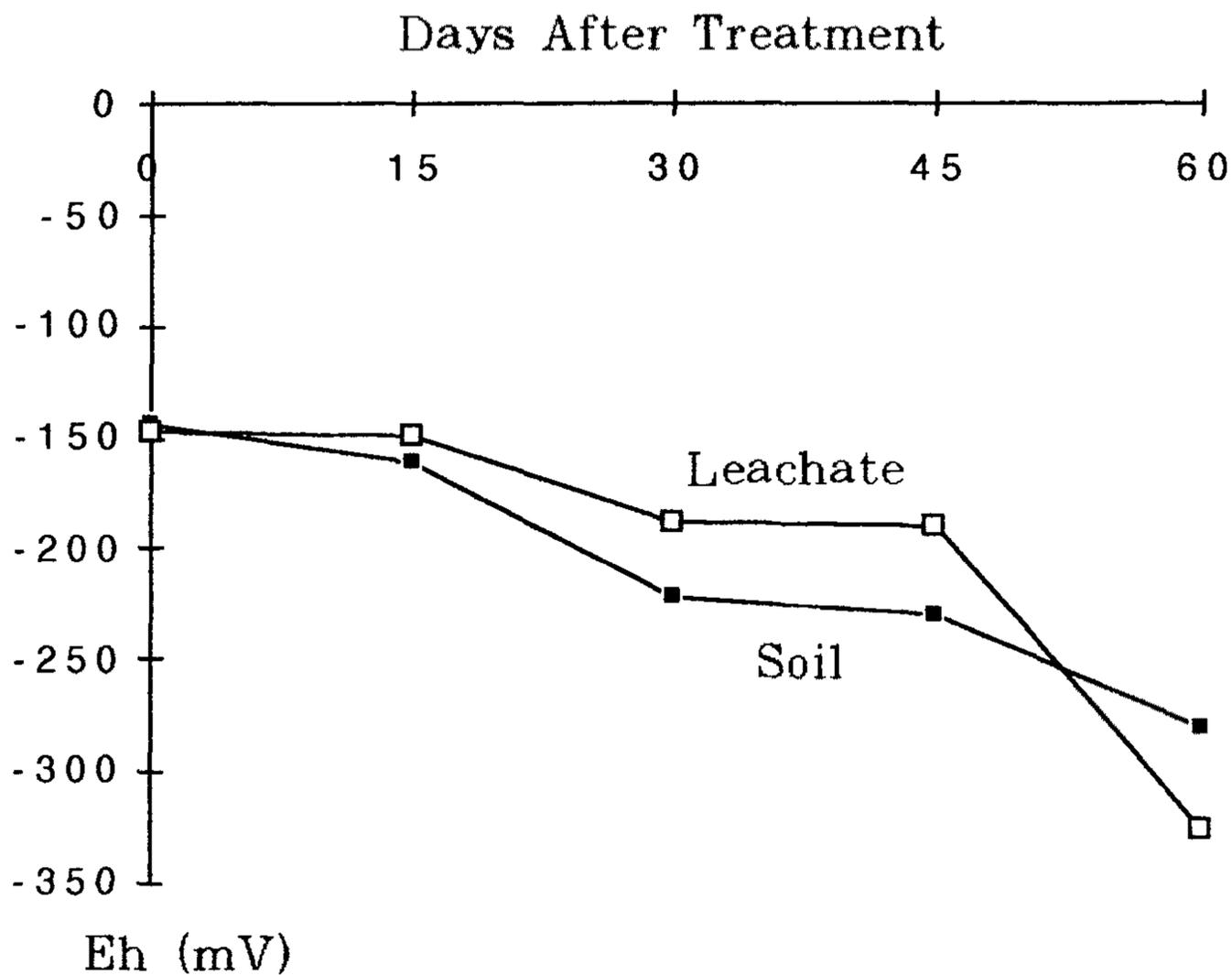


그림 30. 石灰 處理後 土壤 및 溶出液의 Eh 變化

酸化還元電位差가 減少하는 것은 酸化物質의 濃度에 비하여 還元物質의 濃度가 增加함을 나타내는 것으로, 酸化還元電位差 낮을 수록 높은 還元力 即 過剩의 e^- 가 많음을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 本 實驗에서와 같이 石灰 處理以後에 緩慢한 酸化還元電位差의 減少는 石灰에 의한 還元力の 增加가 매우 더디게 일어남을 示唆한 것이라 할 수 있다. 이러한 結果는 앞서의 土壤 pH의 變化幅과는 조금 다른 樣狀으로 이것은 아마도 土壤 pH에 影響을 미칠만한 酸化還元電位差의 水準이 아니었던 것이 아닌가 생각된다.

石灰가 施用된 潛在性 特異酸性土壤에서의 土壤 및 溶出液의 鐵 含量은 處理 後 60日 동안에 全體的으로 增加된 傾向으로, 土壤 中の 濃度는 溶出液의 濃度에 比하여 높았다 (그림 31). 土壤에서의 Fe^{2+} 는 처음 15日 동안 크게 增加 하였다가 그 水準에서 維持되었던 反面에, 溶出液에서는 緩慢하지만 꾸준하게 增加되고 있었다.

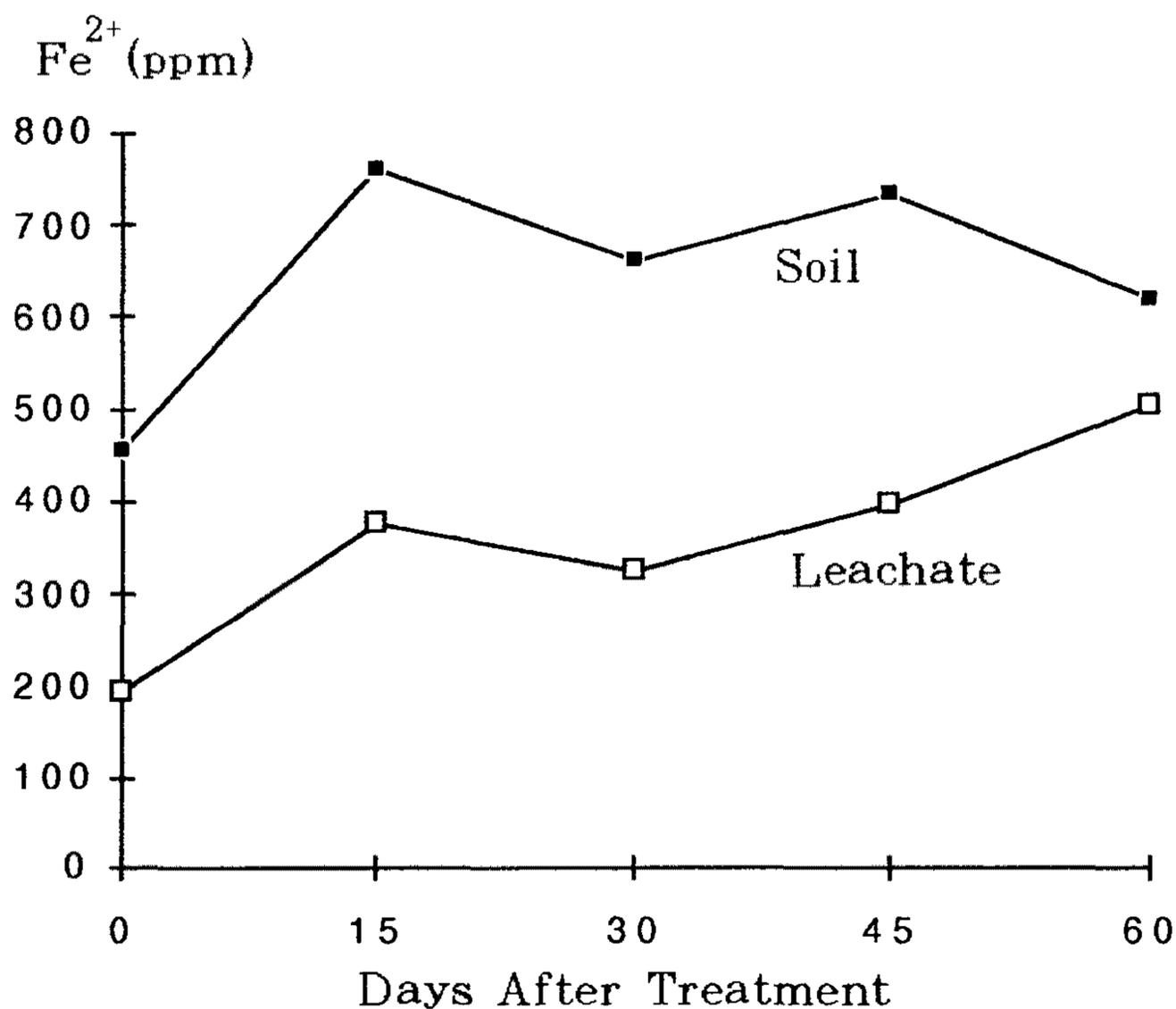


그림 31. 石灰 處理後 土壤 및 溶出液의 Fe^{2+} 變化

土壤이 湛水되고, 또 石灰의 施用에 의하여 土壤이 還元 狀態에 놓이면, 酸化物들은 還元되는데, 이와같은 還元은 H^+ 의 消費를 가져온다. 卽 $Fe(OH)_3$ 은

水素 이온과의 結合으로 물과 Fe^{2+} 을 生成하며, 따라서 土壤 酸度는 增加하게 된다. 그러나 本 實驗에서와 같이 石灰 處理에 따라 土壤 中 Fe^{2+} 의 變化가 크지 않았던 것은 石灰에 의한 改良 效果가 뚜렷치 않아서 土壤 pH의 增加를 가져 올 만큼의 變化가 아니었었기 때문으로 따라서 Fe^{2+} 의 變化도 적었었지 않았나 생각 된다.

알루미늄의 濃度 또한 土壤과 溶出液에서 增加되는 傾向을 보였으나, 溶出液에서의 濃度가 土壤에서 보다 높은 傾向을 보였다 (그림 32). 土壤 中에서 보다 溶出液에서의 濃度가 높았던 것은 그만큼 Al^{3+} 의 溶解度가 높아져 土壤 溶

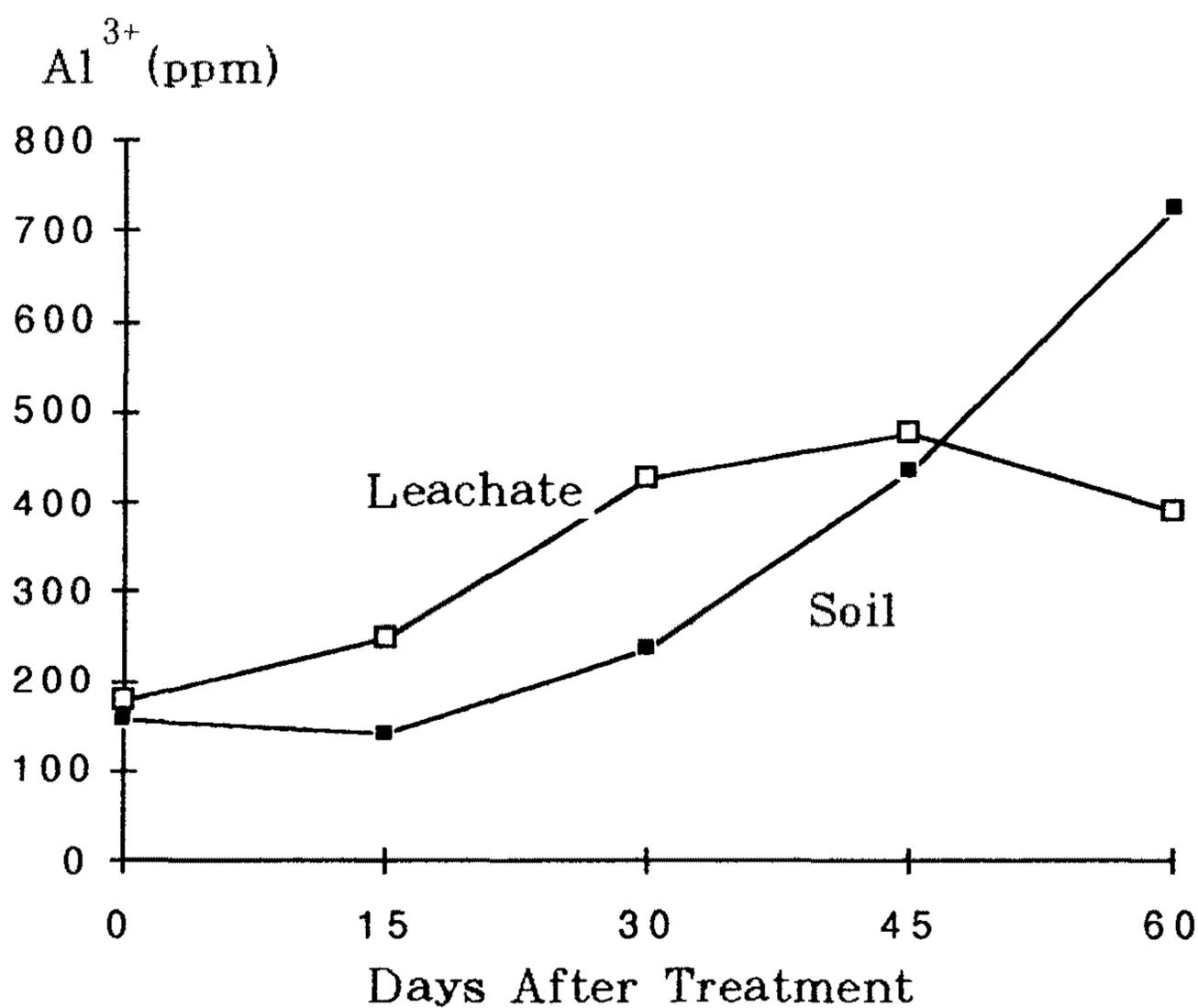


그림 32. 石灰 處理後 土壤 및 溶出液의 Al^{3+} 變化

液中으로 溶出되어 나왔기 때문에 믿어진다.

酸化 狀態의 硫黃의 濃度은 土壤 및 溶出液에서 全般的으로 減少되는 傾向을 보였는데 (그림 33), 이러한 結果는 암모니아 施用의 結果와 비슷하였다.

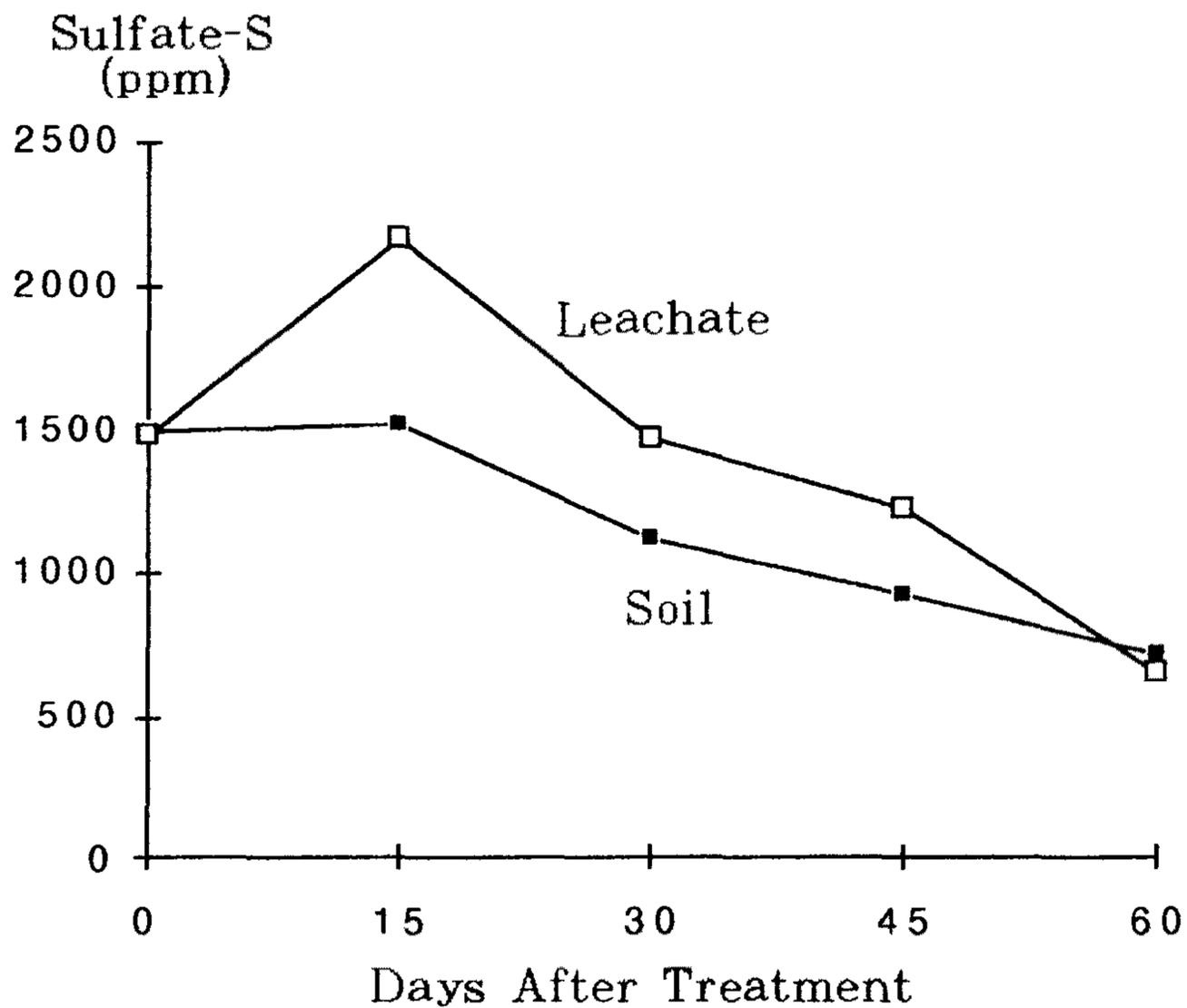


그림 33. 石灰 處理後 土壤 및 溶出液 中の Sulfate-S 含量 變化

한편 還元 狀態의 硫黃 含量은 石灰의 施用과 함께 土壤에서의 濃度는 處理 後 30일 以後 부터 약간 增加되었지만, 溶出液에서는 거의 差異를 나타내지 않았으며 (그림 34), 그 水準 또한 암모니아 施用에서의 結果와 類似하였다.

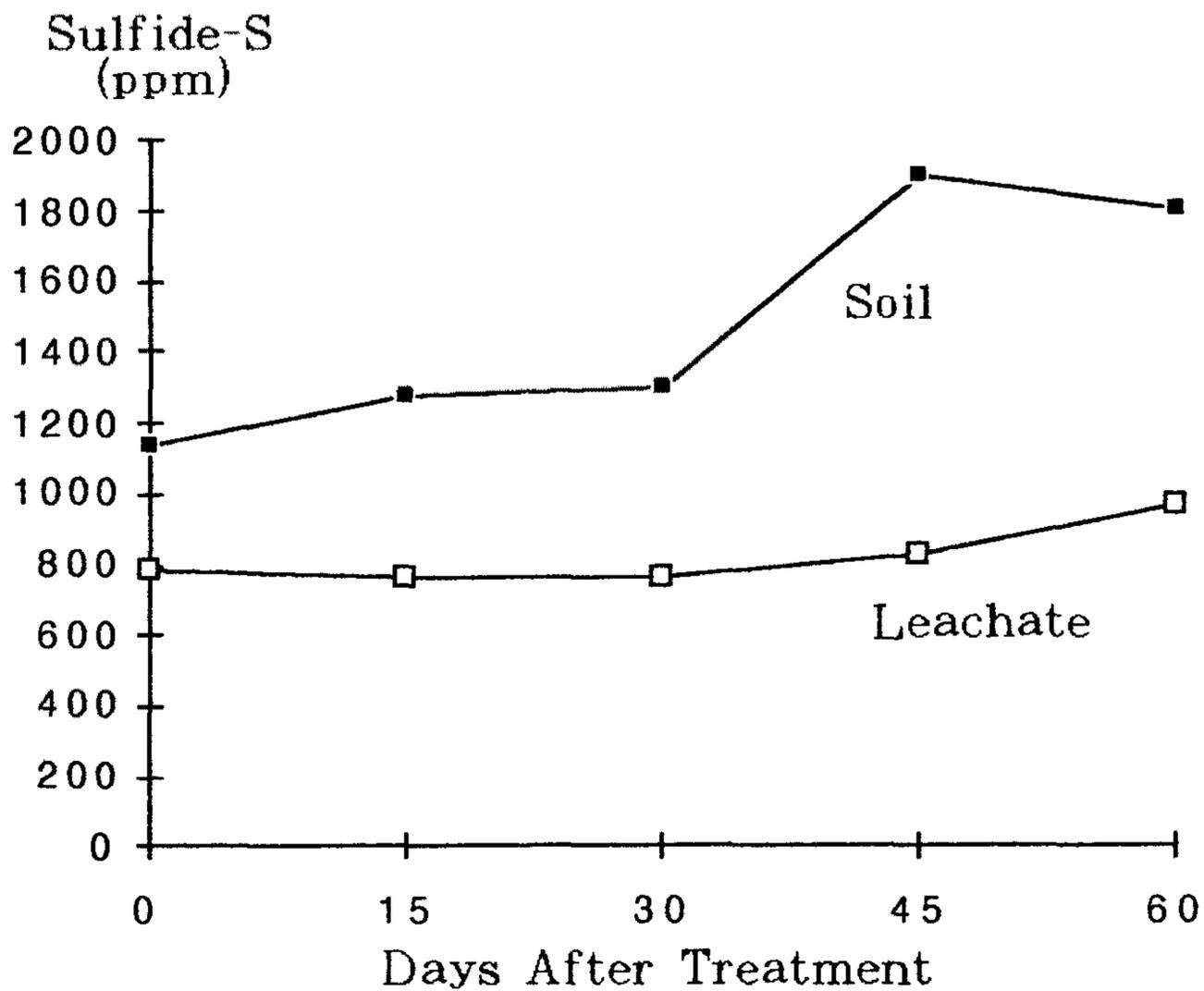


그림 34. 石灰處理後土壤 및 溶出液 中の Sulfide-S 含量 變化

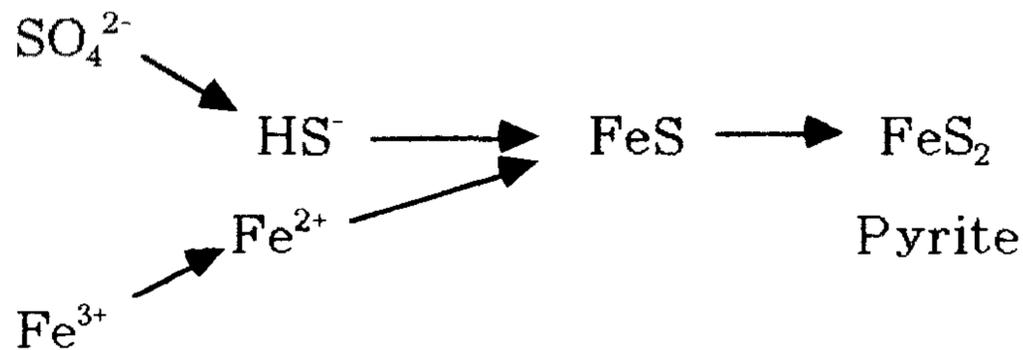
암모니아 施用 및 石灰 施用에 따른 모델 實驗에서의 큰 差異는 土壤 및 溶出液에서의 알루미늄의 經時的 濃度이었다. 卽 암모니아 施用에서는 土壤 및 溶出液에서의 알루미늄 濃度가 時日의 經過와 함께 점차 減少되는 傾向을 보였으나, 石灰 施用에서는 오히려 增加되는 傾向을 보였다. 이러한 差異는 Al^{3+} 의 溶解度에 미치는 암모니아나 石灰의 影響의 差異에서 基因된 것으로 생각되는데, 이러한 結果를 作物의 生育과 關聯지어 생각하면 알루미늄의 被害를 勘案하면 암모니아의 施用에 의한 改良效果의 期待가 클 것으로 생각된다. 그러나 改良에 따

은 土壤 特性의 變化 및 因子들 間의 相互作用과 또한 各各 因子들의 作物 生育에 미치는 效果 등이 相異하고 複雜하므로 追後 보다 자세한 研究가 遂行되어야 할 것으로 생각한다.

第 6 章 外國의 特異酸性土壤의 概況

全世界 總陸地 面積의 約 45% 程度가 低地 面積이고, 이 中 約 17% 程度가 아시아에 分布되어 있는 것으로 알려져 있다. 이들 低地는 아시아 中에서 도 특히 東南아시아에 많이 分布되어 있는데, 말레이 半島의 東西 海岸, 보루네 오섬의 周邊 一帶, 수마트라섬의 東岸 등이 代表的인 海岸 低地帶이다. 특히 이 地域에는 mangrove라고 부르는 濕地에서 生育되는 特異한 森林의 群落이 形成 되어 있다.

Mangrove林이 成立되어 있는 海岸의 진흙 中에는 海水의 頻繁한 出入 에 따라 有機物의 供給이 많게 되고 또 강한 還元 狀態의 條件이 賦與된다. 따라서 海水 中에 多量으로 存在하는 SO_4^{2-} 의 還元이 일어나게 되고, 또한 還元 條件 下에서 生成된 Fe^{2+} 와 反應하여 酸化鐵 (FeS)이 形成되어 沈澱된다. 이 FeS 는 S^0 와 反應해서 FeS_2 (pyrite)를 生成하게 된다.



Mangrove 森林下에서 pyrite를 蓄積한 堆積物이 陸化해서 脫水 및 熟成 過程에 들어가면 酸素 存在下에서 酸化 反應이 일어나면서 이른바 特異酸性土壤으로 되어간다.

以下 各國別로 最近의 特異酸性土壤의 實態와 利用에 대하여 記述한다.

6.1 泰國

泰國의 問題 土壤은 約 330萬 ha로 이 中 25.6%에 該當하는 約 150萬

ha이 特異酸性土壤으로 알려져 있다. 이 土壤 中 約 60%는 南中部에 分布되어 있고, 나머지가 동쪽 海岸에 位置하고 있다. 中部 平野地帶에 分布하는 이들 土壤은 首都 방쪽에 가깝게 位置하고 있는데 이 중 約 200万 ha 程度는 灌溉 施設 등이 잘 되어 있음에도 불구하고 水稻의 收量性은 매우 낮다. 대부분 이 地域의 土壤 pH는 논인 경우 4.0 附近으로 水稻 栽培에 주로 利用하고 있고, 밭에서는 pH 3.5 程度로 귀리 등을 栽培하고 있다. 이 밖에 最近에는 酸性 耐性 作物인 망고, 귤 등을 비롯하여 고구마, 도마도, 파인에플 등 經濟 作物 栽培로의 轉換이 이루어지고 있다.

泰國에서의 特異酸性土壤의 判定은 pH, sulfate 含量, Al 含量, Jarosite 出現에 의하고 있다. 대체로 pH 4.0 以下の 土壤을 活性 (Active) 特異酸性土壤으로 看做한다. Jarosite 出現은 表面에 가까운 30 - 40 cm 길이 일지라도 水稻 生育에 被害를 惹起하기 때문에 出現 深度는 重要視하지 않으며, 達觀에 의한 外形을 判定에 適用하고 있다.

水稻 栽培에 있어서의 가장 큰 障礙는 강한 酸性에 뒤따르는 Al과 Fe의 毒性 被害와 磷과 마그네슘과 같은 元素의 缺乏이다. 改良 方法으로 自然 降雨에 의한 湛水와 排水의 反復으로 土壤 酸度 降下의 效果를 기대하거나, 隣近 泥灰土 (marl)를 政府에서 無償으로 供給하고 運搬費를 耕作者가 負擔케하여 土壤에 撒布토록 誘導하고 있다. Marl은 Ca 含量으로 換算하여 심한 特異酸性土壤에는 12.5 t/ha, 中 程度의 土壤에는 6.25 t/ha, 그리고 약한 特異酸性土壤에는 3.25 - 6.25 t/ha을 撒布토록 勸獎한다. 處理는 水稻를 栽培하기 2 - 3週前에 全面에 撒布하고 곧 바로 耕耘하고 栽培한다. 또 다른 改良劑로서는 사탕수수 工場의 設糖 精製에 利用되는 산화칼슘을 使用 후 處理하는 경우도 있지만 普遍

化되어 있지는 않다.

6.2 말레이시아

대략 200万 ha의 特異酸性土壤이 있는 것으로 推定하고 있는데, 주로 말레이 半島의 海岸에서 發見되고 있다. 土壤의 判定은 주로 培養 方法을 利用하고 있는데, polyethylene bag에 土壤을 담고 濕潤 狀態로 維持시키면서 bacteria에 의한 酸化를 시켜 約 8週 後에 酸度를 測定한다.

改良은 주로 물 管理에 거의 全적으로 依存하고 있는데, 利用되는 물은 降雨이다. 特異酸性土壤에의 作物 栽培에는 망고, กล้วย, oil palm 등이 栽培되지만, 벼는 거의 栽培하지 않는다. 그 밖에 papaya, coconut 등의 栽培 可能性에 대한 研究가 主流를 이루고 있다.

6.3 日本

日本에서의 特異酸性土壤은 酸性硫酸鹽土壤이라 부르며, 北海道, 九州, 오키나와, 八郎, 筑後川, 阿蘇, 佐賀平野 등 여러 곳에서 發見되어 왔음이 報告되어 있다. 그러나 이들 地域의 土壤은 크게 두 갈래로 區分되는데, 그 起源이 海水인 경우와 火山作用에 의한 것으로 나누어진다. 海水에서 由來된 酸性硫酸鹽土壤은 干拓地나 海岸의 濕地에 分布하는 洪積層이나 第3紀層으로 부터 出現하고 있는데서 그 例를 찾을 수 있고, 火山作用에서 由來된 것으로는 熱水變成安山岩 風化物이 있다.

日本에서의 酸性硫酸鹽土壤에 의한 問題의 發生 또한 논외의 圃場 整理, 河川의 水路 工事時에 나타났다. 이들 土壤에 의한 水稻 生育 被害가 確認된 以後로 作土에의 이들 土壤이 混入되지 않도록 하거나, 물 管理 및 石灰 施用의 改良 方法을 適用하여 왔다. 그러나 最近에 벼 栽培에 의한 收益性이 낮다는 理由로

며 栽培 대신에 附加價値가 높은 作目으로의 轉換과 아울러 이들 作目の 酸性硫酸鹽土壤에의 耐性 및 栽培 方案 등이 研究되고 있다. 卽 北海道 地域에서는 사탕무우나 고구마의 栽培 地域이 늘어나고, 東北地域에서는 밀, 무우, 배추, 상추나 그밖에 사과나 포도와 같은 果樹의 栽培 面積이 擴大되고 있다. 더욱이 一部 地域에서는 花卉 栽培가 점차 크게 普及되고 있다.

參 考 文 獻

姜渭金, 河浩成. 1985. 特異酸性土壤에서 湛水時 石灰處理 및 溫度調節이 土壤의 有效成分 變化에 미치는 影響, 韓土肥誌 18:282-288

朴來正, 朴英善. 1969. A study on the physico-chemical characteristics of acid sulfate soil in Kimhae plane, 韓土肥誌 2:15-26

朴來正, 朴英善, 金泳燮. 1971. Effect of lime on growth of rice and changes in pH, Eh, Fe^{2+} , Al in a acid sulfate soil, 韓土肥誌 4:167-175

朴來正, 朴英善, 이규하, 金泳燮. 1972. 特異酸性土에 대한 石灰 및 硅灰石 效果, 韓土肥誌 5:25-32

朴永大, 金泳燮. 1969. 特異酸性畝에 生育한 水稻에 대한 硅灰石 및 Mn의 效果, 韓土肥誌 3: 23-28

朴英善. 1974. 特異 酸性畝 土壤의 改良을 위한 石灰 施用效果에 관한 研究, 韓國農化學會誌 17:193-218

양민석. 1974. 酸性黃酸鹽土壤에 대한 石灰 施用이 水稻苗의 素質에 미치

는 影響, 慶尙大 農業研究所報 8:33-43

尹乙洙, 鄭鍊泰, 金正坤, 南汶熙, 孫一銖. 1991. 農試論文集 (土壤肥料篇) 32(2):48-52

이규하. 1970. 特異 酸性土 改良試驗 (Pot 시험), 植物環境研究報告 3: 254-278

이규하. 1970. 金海 特異酸性土壤의 벼 增收 確認 試驗, 植物環境研究報告3:447-466

李相圭, 俞益東, James F. Parr. 1975. Decomposition of rice straw and compost in an acid sulfate under aerobic and anaerobic condition, 韓土肥誌 8:171-176

鄭鍊泰, 盧永八, 白疇晤. 1989. 河海混成 潛在性 特異酸性土의 分布와 分類, 韓土肥誌 22:173-179

鄭鍊泰, 金正坤, 孫一銖, 尹乙洙. 1990. 嶺南地域 潛在特異酸性土層 含有 隆起海成土의 分布와 特性, 農試論文集 (土壤肥料篇) 32(3):1-8

河浩成. 1970. 酸性 硫酸鹽 土壤에 관한 研究 - 透水에 의한 石灰 施用量이

水稻 生育에 미치는 影響 - 韓土肥誌 3:29-34

河浩成, 강규여, 윤한대. 1979. 酸性黃酸鹽 土壤에 관한 研究 (石灰 및 尿處理에 의한 土壤 微生物의 變化). 慶尙大 農業研究報告 13: 1-5

河浩成, 강대호. 1972. 酸性黃酸鹽 土壤에 관한 研究, 慶尙大 農業研究所報 6:25-29

河浩成, 김정교, 김응환, 윤태규. 1978. 特異 酸性土壤에 관한 研究(제6보) 振動彈丸 暗渠 穿孔機에 의한 벼 增收에 관하여. 慶尙大 論文輯 (自然科學 卷) 17:169-176

河浩成. 1976. 酸性黃酸鹽 土壤에 관한 研究(제 4보) - 湛水河에서 石灰 施用에 따라 水溶性 제1鐵과 置換性 第1鐵의 生成量에 대하여. 慶尙大 論文輯 15:147-150

河浩成. 1980. 金海 酸性黃酸鹽 土壤에 관한 研究 - 특히 排水 및 土壤의 理化學的 性質이 水稻生育에 미치는 影響을 중심으로-. 慶尙大 論文輯(自然科學) 19:1-42

黃南悅, 채계석, 朴建鎬. 1979. 強酸性 土壤改良試驗 全北道院 試驗研究報告書 :345-354

黃南悅, 朴建鎬, 金鎮淇. 1983. 特異酸性畚에서 水稻에 대한 石灰 및 磷酸의 效果. 韓土肥誌 16:64-71

Bakar, M., T. Chaang, and B. Gopinathan. 1982. effects of field drainage on some chemical properties of acid sulfate soils under coconut small holdings in west johore agriculture development scheme in Malaysia. Trop. Agri. Res. 15:209-218.

Chanchareonsook, J., S. Panichsakpatana, P. Prebudduharn. 1984. Nitrogen transformation and nitrogen management in two important problem soils of Thailand. FFTC Book Series 27.

Cheroen Charoencharmratheep, Boonthong Tantisira, Phairoj Chitnusun, Vachara Sin-Aiem. The effect of liming and fertilizer applications to acid sulfate soils for improvement of rice production in Thailand. Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils, IIRL publication 31, Edited by H. Dost & N. van Breemen. 157

Dost H. 1972. Acid sulfate soils. Vol. I. Proceedings of the International Symposium on acid sulfate soils. 13-20 August 1972. Wageningen. The Netherlands.

Dost H. 1972. Acid sulfate soils. Vol. II. Proceedings of the International Symposium on acid sulfate soils. 13-20 August 1972. Wageningen, The Netherlands.

Hidenori Wada. Water, soil and rice in an acid sulfate soil of Thailand. Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils. IIRL publication 31. Edited by H.Dost & N.van Breemem. 302

James D. Beaton. George R. Burn. Jan Platou. 1968. Determination of sulfur in soil and plant material. The Sulfur Institute. 1725 K Street. N. W., Washington D.C. U.S. A.

Lowe. L. E. 1964. An approach to the study of the sulfur status of soils and its application to the selected Quebec soils. Can. J. Soil Sci. 44:176-179

Methee Maneeewon. Nakorn Thawornwong. Boonthong Tantisira. Study on rates of rice production on acid sulfate soils in Thailand. Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils. IIRL publication 31. Edited by H.Dost & N.van Breemem. 172

Methods of Soil Analysis. 1982. Edited by A. L. Page Part 2
Chemical and microbiological properties. 2nd ed. American Society of
Agronomy, Inc and Soil Science Society of America, Madison,
Wisconsin U. S. A.

Olson, G. A. 1957. The estimation of sulfur in plant material
and soil. State College of Washington, Agr. Exp. Sta. Bull 145 pp 1-12

Powlson, D. S. 1976. The identification of potential acid
sulfate soils. MARDI Res. Bull. 4:34-43

Tasnee Attanandana, Sorasith Vacharotayan. Chemical
characteristics and fertility status of acid sulfate soils of Thailand.
Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils, IIRL
publication 31, Edited by H. Dost & N. van Breemen, 137

Vacharotayan, S. and T. Attanandana. 1985. Potential
productivity of acid sulfate soils for crop production in Thailand.
Proc. Int. Seminar Envir. Factors Agri. Prod. :389-406

Yoshida, T. 1991. Dynamics and its control of soils in tropical
monsoon regions. Ministry of Education, Science and Culture,

Japan.

石渡輝夫. 1991. 北海島の農地造成と深層土壌とのかかわり. ベドロジスト
35:145-160

川崎弘. 古閑孝彦. 1976. 阿蘇カルデラ内の酸性硫酸鹽土壌. 九州農試報
18:271-192.

川崎弘. 1988. 筑後川下流域水田地帯のクリークの低質土. 九州農試報 25
(1):77-90

川崎弘. 1989. わか國の酸性硫酸鹽土壌の分布と對策. 農業技術 44:409-
414

佐藤敦. 高橋正. 1985. 八郎瀉低濕重粘土の土壌構造發達過程と化學的性質
の變化. 日土肥誌 56:409-420

村上英行. 1968. 可酸化性イオウ酸化についての二三の問題 - 酸性硫酸鹽土
壤の特性と改良法-(第3報). 日土肥誌 39:116-120

村上英行. 1968. 可酸化性イオウ酸化に伴う土壌無機成分の變化 - 酸性硫酸
鹽土壌の特性と改良法-(第4報). 日土肥誌 39:194-198