

## 塩害土壤의 除塩에 관한 基礎理論 (Ⅲ)

具 滋 雄\*

### 5. 塩分 및 置換性나트륨이 土壤構造에 미치는 影響

#### 가. 土壤粒子的 分散

乾燥한 土壤이 水分을 吸收하게 되면 土壤鑛物과 置換性陽이온은 化合水 혹은 結晶水의 形態로 물과 結合하는 水和作用(Hydration)을 받음으로서 부피가 增加하고 부드럽게 되어 점차 부스러지기 쉬운 狀態로 된다. 水分含量이 비교적 적은 경우 土壤粒子的 初期 水和作用에 의한 土壤의 膨脹을 結晶性膨潤(Crystalline Swelling)이라고 한다. 水分含量이 많아지면 膨潤現象이 促進되어 土壤水의 移動에 큰 影響을 미치게 된다. 粘土粒子는 本質적으로 膠質性的 陰이온이며 表面에는 이에 對應하는 陽이온이 吸着되어 있는 擴散二重層으로 存在하고 있으므로 置換性陽이온은 이러한 粘土粒子的 電氣的인 影響을 받는다. 이로 因하여 滲透壓이 생기며 荷電表面 근처의 이온 濃度를 낮게 하기 위하여 물을 吸水하게 된다. 이러한 狀態에서 물의 吸收에 의한 膨潤現象을 滲透性膨潤(Osmotic Swelling)이라고 한다. 나트륨飽和土壤에서 各 粘土粒子 사이의 膨潤은 粒子相互間의 結合에 의해서 制限을 받으며 보통 200-400meq/l 이상의 塩分濃度에서는 膨潤이 일어나지 않는다.

擴散二重層이 膨脹하여 二重層 사이의 境界面에서 생기는 滲透壓이 部分的으로 輕減

된다 할지라도 粒子相互間의 結合은 膨潤作用에 의해서 약해진다. 膨潤作用이 계속됨에 따라 滲透力과 機械的 攪亂에 의해 粒子相互間의 結合이 破壞되고 隣接해 있는 土壤粒子들은 더이상 相對的인 位置를 維持할 수 없게 되어 必然的으로 獨立的인 實體가 되는데 이러한 現象을 分散(Dispersion)이라 한다. 土壤粒子的 分散은 土壤構造 즉 土壤粒子的 排列狀態를 破壞하여 膨潤된 土壤에서는 透水性을 減少시키는 등 土壤의 物理的 性質을 惡化시키며 膨潤되지 않은 土壤에서도 이러한 作用의 주된 原因이 될 수 있다.

여러 學者들에 의하여 立證된 바에 따르면 塩分濃度가 낮고 置換性나트륨百分率(ESP)이 높은 경우에 土壤의 膨潤과 分散現象이 쉽게 일어나며 이 過程을 분리해서 考察하기는 어려운 일이라고 한다. 石膏 또는 다른 칼슘 鹽을 土壤이나 灌溉用水에 供給함으로서 塩分濃도와 置換性나트륨百分率을 調節하여 土壤의 膨潤과 分散을 抑制시킬 수 있으며, 보통 알칼리性土壤에서는 土壤表面에 石膏를 供給하여 빗물이나 灌溉用水에 의해 石膏를 溶解시켜 土壤속으로 浸透시킴으로서 土壤内の 칼슘成分과 나트륨成分의 均衡을 維持토록 하여 土壤의 膨潤과 分散을 調節하기도 한다.

#### 나. 土壤有機物의 分散

置換性나트륨을 많이 含有하고 있고 塩分濃度가 낮으며 pH값이 비교적 높은 알칼리

\*全北大學校 農科大學

性土壤에 많은 有機物이 含有되어 있으면 土壤粒子的 分散뿐만 아니라 有機物이 分散하는 現象이 나타난다. 이와 같은 알칼리性土壤에서 水分이 上昇하면 鹽分과 分散된 有機物이 土壤表面에 集積되어 검정색 또는 갈색 地殼이 形成되는 경우가 많다.

알칼리性土壤에 있어서 有機物의 分散이 土壤粒子的 分散이나 透水性에 미치는 影響에 대해서는 뚜렷한 結論이 나와 있지 않지만, 人爲의인 條件下에서는 合成有機物이 粘土分散을 抑制하며 土壤構造의 破壞를 防止할 수 있다고 한다. 이에 대한 有機物의 役割은 粘土와 有機物 사이의 關係가 더욱더 確證的으로 研究되어야만 明白해지리라고 본다.

#### 다. 土壤粒團의 安定性

土壤의 一次粒子가 서로 강하게 結合하여 生成된 粒團이 水中에서 잘 分散되지 않으면 이 粒團은 安定性이 있다고 볼 수 있으며, 一般的으로 濕潤地帶나 準濕潤地帶에서는 水中에서의 土壤粒團의 安定性이 土壤構造의 安定性에 대한 指標로 되어 왔다. 그러나 土壤의 構造가 약한 乾燥地帶나 準乾燥地帶에서는 水中에서의 土壤粒團의 安定성과 土壤構造의 安定性 사이에 密接한 關係가 있다고 말할 수는 없다.

많은 學者들의 實驗研究에서 밝혀진 바에 의하면 土壤粒團의 生成은 粘土粒子的 置換性陽이온과 分散間의 相互作用에 의하여 큰 影響을 받는다고 하며, 특히 鹽害土壤의 研究結果에 따르면 置換性나트륨含量과 土壤粒團의 安定性 사이에는 逆比例關係가 있는 것으로 나타났지만 可溶性鹽分含量과 土壤粒團의 安定性 사이의 關係에 대해서는 明確히 究明되어 있지 않다. 또한 有機物은 粘土의 粒團化를 促進할 뿐만 아니라 大型粒團의 生成에도 顯著한 作用을 하는 것은 分明한 事實이지만 安定性이 있는 粒團을 生成하는 有機質의 結合作用機構에 대해서는 確실히 立證되어 있지 않다.

#### 라. 地殼의 形成

土壤의 表面은 비, 바람, 氣溫, 生物 등의 作用과 其他 機械的인 攪亂作用을 받아 주위 環境條件에 따라서 크기와 모양뿐만 아니라 粗成分 및 性質까지도 변화하는 여러가지 風化作用을 받기 쉽다.

土壤構造의 安定性이 낮은 경우에는 빗물이나 灌溉用水에 의하여 濕潤될 때 土壤粒子가 分散되고 엉기게 되며, 乾燥해지면 土壤表面에 단단한 外皮(Crust, 地殼)가 形成되어 作物生育에 커다란 被害를 입히게 된다. 有機物이 적고 置換性나트륨이 많이 含有되어 있는 鹽害土壤은 이러한 점에 特別한 問題點을 가지고 있다. 비교적 有機物含量이 적은 鹽害土壤의 表面에서 많은 量의 水分이 蒸發하면 그 結果로 土壤의 鹽分濃도가 上昇하며 置換性나트륨含量이 增加한다. 이 경우 降雨나 灌溉用水를 供給함으로써 土壤表面의 鹽分은 쉽게 溶脫되지만 置換性나트륨含量은 鹽分濃도가 低下되는 것처럼 쉽게 減少되지 않는다. 따라서 土壤表面은 鹽分濃도가 낮고 置換性나트륨含量이 높은 條件을 갖게 되어 土壤粒子的 分散을 일으킨다. 이렇게 하여 생기는 分散現象과 土壤表面의 機械的 攪亂作用이 乾燥해짐에 따라 土壤表面에 단단한 地殼을 形成하게 하는 原因이 된다. 그러므로 土壤表面에 外皮가 생기지 않게 하려면 有機物을 供給해주고 置換性나트륨을 除去하여 土壤粒子的 分散을 抑制시킴으로서 耕耘作業 등을 할 때에 土壤이 엉기는 것을 防止해줄 필요성이 있다. 土壤表面에 形成되는 地殼이 얼마나 단단한가를 알아보기 위하여 그것을 破壞하는데 필요한 힘을 測定하는 技法으로 破壞係數(Modulus of Rupture)의 決定方法이 있는데 이것은 土壤表面에서 地殼이 形成되는 것을 減少시키기 위하여 土壤을 處理하고 또한 이와 관련된 土壤試驗을 위한 必須的인 方法이다.

## 6. 塩分 및 置換性나트륨이 土壤의 透水性에 미치는 影響

塩分濃度 및 置換性나트륨百分率(ESP)이 土壤構造에 미치는 逆效果를 分析하기 위한 여러가지 方法이 있지만, 灌溉排水의 觀點에서 보면 土壤水の 移動에 대한 塩分濃度 및 置換性나트륨含量的 影響을 考察하는 것이 가장 直接的인 方法이라고 볼 수 있다.

塩分濃度 및 置換性나트륨含量이 土壤의 透水性에 미치는 影響을 分析하기 위한 適切한 資料를 圃場試驗에서 얻을 수 있으며 또한 透水性을 測定하기 위한 몇가지 方法이 開發되었으나 이러한 試驗에서는 아주 重要한 變數인 水成分이 거의 考慮될 수 없다. 따라서 土壤의 透水性에 대한 塩分濃도와 置換性나트륨百分率의 影響을 考察하기 위한 正確한 資料는 보통 室內實驗으로부터 구하고 있다. 一般적으로 室內實驗에서는 粉碎된 土壤試料를 使用하며 그 結果를 直接 圃場에 適用할 수는 없다. 室內實驗에서 구한 水理傳導度の 값으로부터 圃場의 實際水理傳導度を 正確하게 算定할 수는 없다 할지라도, 實驗室에서 土壤의 化學的 條件을 變化시키면서 얻은 透水性의 相對的인 값을 비슷한 條件下의 圃場에서의 對相運動으로 記述해야 한다.

大部分의 경우 塩分濃度の 變化에 따른 水理傳導度の 變化는 圃場에서보다 實驗室에서 더욱더 크게 나므로 實驗室에서 구한 값을 現場에서 適用할 때는 安全率을 考慮하는 것이 좋다. 경우에 따라서 이러한 安全率은 部分的으로 耕耘作業中 土壤粒子의 分散이 높아지는 趨勢와 相殺될 수 있다.

### 가. 室內實驗

前述한 바와 같이 土壤의 透水性에 대한 塩分濃度 및 置換性나트륨含量的 影響을 分析하기 위해서는 보통 室內에서 相對水理傳導度を 測定한다. 土壤의 濕潤過程에서 土壤表面의 水和作用과 土壤構造의 破壞로 因하여 생기는 透水性의 減少는 이미 初期 水理傳導

度에 包含되어 나타나므로 土壤의 分散效果는 별개로 取扱할 수 있다. 室內實驗은 一般적으로 土壤을 乾燥시켜 粉碎한 다음 標準체를 통과시켜서 一定한 形態로 만든 土壤試料를 使用하여 遂行되며, 또한 土壤試料를 보통 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)로 處理하거나 水分을 吸入시키는 등 其他 다른 方法으로 時間에 따른 水理傳導度の 變化에 대한 土壤內의 空氣와 微生物의 活動이 미치는 影響을 大部分 없애도록 한다.

塩分과 置換性나트륨이 土壤의 透水性에 미치는 影響을 考察하기 위한 最初의 定量分析研究는 Quirk & Schofield(1955)에 의해서 비교적 正確하게 遂行되었다. 이 實驗에서는 여러가지 化學的 條件아래 相對水理傳導度값을 測定하기 위하여 한 種類의 粉碎된 土壤試料가 使用되었던 바, 그 結果 置換性 칼슘이나 마그네슘 및 칼륨 등이 塩分으로 因한 土壤構造의 變化에 대해 土壤을 安定시키려는 傾向이 있으나 塩分濃도가 어느 限界值 이하이면 膨潤과 分散現象이 나타나 置換性나트륨百分率이 增加함에 따라 水理傳導도가 減少된다는 事實이 밝혀졌다. 이 事實은 Emerson(1967)이 0.5-2meq/liter이하의 塩分濃度에서 二價陽이온으로 飽和된 土壤의 分散現象을 考察함으로써 立證되었으나 Bower등(1968)과 Rhoades등(1968)에 의하면 大部分의 乾燥地帶土壤에서 可溶性鹽類와 一次土壤鑛物이 溶解되면 塩分濃도가 2-3meq/liter 이하로 減少되지 않는다고 한다. El Swaify & Henderson(1967)은 土性이나 置換性나트륨百分率 및 塩分濃度の 範圍에 달려 있지만 大部分의 土壤에서 水理傳導도에 대한 置換性나트륨百分率의 影響이 塩分濃度の 影響보다 더 크게 미친다고 主張하였으며, Blackmore(1968)는 粘土粒子의 膨潤現象이 일어나는 塩分濃度の 範圍는 大體적으로 1-100 meq/liter 사이에 있다고 發表하였다. 其他 Martin등(1964), McNeal & Coleman(1966), McNeal등(1968), Rhoades & Ingvalson(1969), Shainberg & Caiserman(1971) 등

에 의하여 여러 種類의 土壤을 對象으로 하여 Quirk & Schofield의 基本方法이 擴大研究되었으며, 그 後에도 Felhendler등(1974), Frenkel등(1978), Shainberg등(1981)에 의하여 粘土分散과 水理傳導度와의 關係, 塩分濃度 및 置換性나트륨百分率이 粘土分散이나 水理傳導度에 미치는 影響에 관한 實驗研究가 활발하게 進行되었다.

나. 塩分濃度の 變化에 따른 透水性變化의 豫測

塩分濃도가 다른 여러가지 土壤狀態에서 水理傳導度の 變化를 豫測하기 위한 研究는 大體의 所以, 다음과 같은 두가지 方向에서 遂行되어 왔다.

Lagerwerff등(1969)은 化學的 條件이 다른 土壤에서 水理傳導度の 變化를 豫測하기 위하여 荷電礦物表面에 생기는 擴散二重層의 理論을 適用하였고, DeHaan(1965)은 微分方程式을 利用하여 粘土粒子 周圍의 擴散二重層을 記述하였으며 이와 비슷한 方程式을 適用하여 廣範圍한 土壤의 化學的 條件에 따른 粘土粒子의 膨潤現象을 豫測하였다. 또한 Lagerwerff등은 粘土粒子의 膨潤과 多孔性物質을 통한 粘性流動에 관한 方程式을 結付시켜 土壤이 膨脹함에 따라 水理傳導도가 減少하는 傾向을 分析하였는데 이 方法이 現在까지는 알칼리성土壤에서 水理傳導度の 減少傾向을 推定할 수 있는 適切한 理論的인 處理方法이라고 알려져 있다.

水理傳導度の 變化를 豫測하기 위한 또 다른 理論的인 方法은 Marshall(1958) 및 Millington & Quirk(1961)에 의해서 提示된 바와 같이 土壤의 孔隙度分布에 根據를 둔 透水方程式을 適用하는 것이다. 만약 膨潤作用이 土壤孔隙의 分布를 變化시키는 過程에 대하여 適當한 假定을 세울 수 있다면 多樣한 化學的 條件을 갖고 있는 土壤의 相對透水性을 相當히 正確하게 豫測할 수 있다. 그러나 지금까지 導出된 透水方程式은 相對水理傳導도를 正確하게 推定할 수 있다는 確證이 없다. 따

라서 이 方法은 化學的 條件의 變化가 작은 土壤에서 水理傳導度の 微少한 變化를 豫測하기에는 부적당한 方法이라고 判斷된다.

化學的 土壤條件의 變化에 따른 相對水理傳導도를 推定하기 위한 經驗的인 方法이 McNeal & Coleman(1966) 및 McNeal(1968)에 의하여 開發되어 널리 使用되고 있다. 이것은 단순한 粘土膨潤模型에 基礎를 두고 있는 바 粘土粒子의 膨潤은 水理傳導度の 減少와 깊은 關係가 있으며 이러한 粘土膨潤模型을 利用하여 어떠한 化學的인 條件下에서도 粘土의 膨潤係數(Swelling Factor)를 算定할 수 있다. 粘土의 膨潤係數는 土壤溶液의 塩分濃度, 土壤의 置換性나트륨含量 및 粘土의 膨潤容量의 函數이다. McNeal(1968)에 의해서 提示된 膨潤係數의 計算圖表는 Fig.6-1과 같

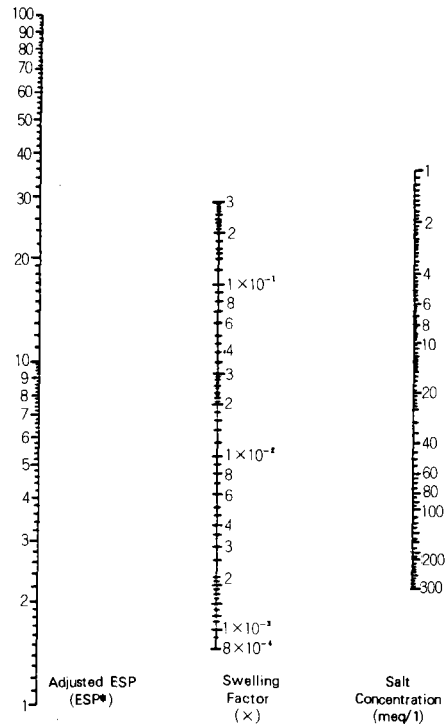


Fig. 6-1. Nomogram relating clay swelling factors to salt concentration( $C_0$ ) and adjusted exchangeable sodium percentage(ESP\*)

으며 이 計算圖表를 利用하여 膨潤係數를 구 하려면 먼저 土壤溶液의 總鹽分濃度( $C_0$ ) 와 (6-1)式으로 定義되는 補正置換성나트륨百分率(ESP\*)을 算定해야 한다.

$$ESP^* = \text{Soil ESP} - (1.24 + 11.63 \log C_0) \dots\dots\dots (6-1)$$

計算圖表에서 구한 膨潤係數(X)와 相對水理傳導度(Y) 사이에는 (6-2)式과 같은 經驗的인 관계가 성립한다.

$$(1-Y) = CX^n / (1+CX^n) \dots\dots\dots (6-2)$$

여기에서 C는 주어진 土壤의 特性을 나타내는 實驗常數이고, n은 土壤의 置換性 나트륨百分率(ESP)에 따른 常數이며 一般的으로 다음과 같은 값을 갖는다.

$$\begin{aligned} ESP < 25 \text{인 경우} & : n = 1 \\ 25 < ESP < 50 \text{인 경우} & : n = 2 \dots\dots\dots (6-3) \\ ESP > 50 \text{인 경우} & : n = 3 \end{aligned}$$

標準狀態에서 (6-2)式을 適用하여 한 土壤에 대한 C값을 정해 놓으면, 어떠한 化學的인 條件下에서도 그 土壤의 相對水理傳導度를 구할 수 있다. 단 이 方法은 지금까지 飽和水理傳導度를 推定하는 경우에만 使用되어 왔다.

**다. 土壤의 透水性에 影響을 미치는 鹽分濃度の 調節**

過多한 可溶性鹽類와 置換성나트륨을 含有하고 있는 鹽類알카리성土壤을 改良하기 위해서는 우선 土壤表面에 適當한 土壤改良劑

를 供給한 다음 除鹽作業을 實施하는 것이 보통이다. 여러가지 土壤改良劑中 普遍的으로 널리 使用되는 것은 石膏로서 이는 충분한 可溶性칼슘을 含有하고 있어 可溶性鹽類를 溶脫시키거나 나트륨을 칼슘으로 置換시키는 동안에 土壤의 透水性이 현저하게 減少하는 것을 防止하여 주는 役割을 한다. 그러나 鹽類알카리성土壤이 膨潤性粘土質을 많이 含有하고 있을 경우에는 土壤改良劑를 供給하여도 除鹽過程中 實際的으로 透水性이 크게 減少하는 傾向이 있다.

Reeve & Bower(1960)은 排水가 良好한 鹽類알카리성土壤을 改良하기 위한 한가지 方法으로 鹽分濃도가 높은 물을 使用하는 革新的인 技法을 提案하였다. 이와 같은 鹽分濃도가 높은 물을 使用하는 除鹽方法은 不合理한 것처럼 보이지만 事實은 明白한 科學的인 根據가 있다. 만약 鹽分濃도가 높은 물에 의하여 土壤이 平衡狀態로 되면 置換성나트륨百分率은 결국 供給水의 特性을 나타내게 된다. 이러한 置換성나트륨百分率 狀態에서 供給水의 鹽分濃도가 最低有效濃度 이상이면, 물이 浸透되는 동안 土壤은 粒團狀態로서 透水性을 維持할 수 있다. 鹽分濃도가 낮은 물이 混合되어 供給水가 稀釋되면 土壤의 置換성나트륨百分率 역시 減少되지만, 各段階에서 稀釋되는 程度가 어느 限界를 넘지 않으면 全體의 稀釋過程을 통하여 鹽分濃도가 最低有效濃度 이상으로 維持되어 土壤의 透水性을 持續시킬 수 있다. 이 方法은 Reeve & Doering(1966) 및 Muhammed등(1969)에 의하여 더욱더 詳細하게 說明되었다.

(다음호 계속)