

干拓地土壤의 除鹽過程中 電氣傳導도와 置換性나트륨百分率 및 pH 사이의 關係

Relationship Between Electrical Conductivity, Exchangeable Sodium Percentage and pH During Desalinization of Reclaimed Tidelands

殷 鍾 浩* · 具 滋 雄**
Eun, Chong Ho · Koo, Ja Woong

Summary

This study was performed to obtain the basic data analyzing salt movement and desalinization effects, and two different desalinization experiments through leaching and rinsing were carried out, using samples of silt loam soil and silty clay loam soil collected in reclaimed tidelands. The relationships between the electrical conductivity of saturation extract and the electrical conductivity at various dilutions, and the correlations between electrical conductivity, total salt concentration, exchangeable sodium percentage and pH during the desalinization of reclaimed tidelands, were analyzed by the statistical method.

The results obtained from this study were summarized as follows:

1. The sample soils used in this study were saline-sodic soils in accordance with the USDA classification system of salt affected soils.
2. The electrical conductivity of saturation extract could be estimated conveniently, using the electrical conductivity of extract from various different soil-water suspensions.
3. The total salt concentration could be expressed in the electrical conductivity, but there was a little difference by soil textures.
4. The regression analysis showed that the relationship between the electrical conductivity of saturation extract and the exchangeable sodium percentage during the desalinization of reclaimed lands could be described by a linear regression equation.
5. The value of pH showed a tendency to increase according as the exchangeable sodium percentage decreased during the desalinization of reclaimed tidelands.

I. 緒 論

土壤內의 可溶性鹽類와 置換性나트륨은 각각 土壤粒子的 凝集現象과 分散現象에 밀접한 관계

가 있으며 土壤의 透水性에 큰 영향을 미치고 있다. 또한 可溶性鹽類는 土壤溶液의 滲透壓을 증가시키는 主原因이 되는 한편 置換性나트륨은 土壤溶液의 알칼리성을 증가시키는 主原因이 되어

* 全北大學校 大學院
** 全北大學校 農科大學

塩害土壤에 있어서 作物生育의 가장 큰 阻害要因이 되고 있다. 편의상 可溶性塩類含量 또는 塩分濃度는 飽和抽出液의 電氣傳導度를 사용해서 나타낼 수 있으며 置換性나트륨含量은 陽이온置換容量에 대한 置換性나트륨百分率로 나타낼 수 있고 土壤反應은 pH로 표시할 수 있다. 일반적으로 塩害土壤은 飽和抽出液의 電氣傳導度, 置換性나트륨百分率 및 飽和土壤의 pH를 指標로 하여 塩類土壤, 塩類알칼리土壤 및 非塩類 알칼리土壤으로 分類되며⁶⁾, 우리나라의 干拓地土壤은 대체적으로 塩類알칼리土壤에 속한다고 볼 수 있다.

高塩度 干拓地土壤을 改良하기 위한 合理的인 除塩方法을 模索하기 위해서는 除塩過程中 塩分舉動解析과 除塩效果分析이 先行되어야 할 것이며, 除塩에 영향을 미치는 여러가지 因子들을 比較分析하여 이들의 相關關係를 밝혀두면 塩分舉動解析과 除塩效果分析에 좋은 參考資料로 活用될 수 있을 것이다.

Mubarak 등⁷⁾, Nadler 등^{8,9)}, Rhoades^{10,11)} 등은 土壤의 電氣傳導도와 水分含量이 다른 여러가지 土壤溶液의 電氣傳導도를 比較分析하였으며, Van Hoorn 등^{17,18)} 과 長堀 등⁹⁾ 은 土壤의 塩分濃도를 決定하기 위한 電氣傳導도의 測定方法 및 電氣傳導도와 塩分濃도사이의 關係를 究明하였다. 또한 Bottraud 등³⁾, Frenkel 등⁵⁾, Shainberg 등¹⁴⁾, Russo^{12,13)} 등은 土性이 서로 다른 種類의 土壤에서 電氣傳導도에 미치는 置換性나트륨百分率 또는 나트륨吸着率의 영향을 分析하였으며, Abr-ol 등¹⁾, Fireman 등⁴⁾, Gupta 등⁶⁾, Suarez¹⁵⁾ 등은 置換性나트륨百分率 또는 나트륨吸着率과 pH사이의 關係를 分析해서 發表하였다.

本 研究에서는 塩害土壤의 改良에 영향을 미치는 여러가지 因子들 중에서 특히 塩害土壤의 特性을 구분짓는데 基準이 되는 飽和抽出液의 電

氣傳導度, 置換性나트륨百分率 및 pH사이의 相關關係를 分析하고자, 用水管理方法으로 浸出法과 水洗法을 사용하여 室內模型實驗을 遂行하였다.

II. 材料 및 方法

1. 供試土壤 및 土壤分析

本 研究에서는 具등²⁰⁾의 實驗에서 사용한 12種의 供試土壤을 粘土含量이 14% 이하인 微砂質壤土와 粘土含量이 20% 이상인 微砂質壤土로 大別하여 實驗結果를 分析하였으며, 除塩過程中 土壤分析에도 具등의 實驗에서와 같은 方法을 適用하여 置換性나트륨百分率을 算定하고 土壤의 塩分濃度, 電氣傳導度 및 pH등을 測定하였다.

供試土壤의 特性을 간략하게 살펴 보면 置換性나트륨百分率은 微砂質壤土 34~69%, 微砂質壤土 53~64%이었고, 總塩分濃度는 微砂質壤土 14~34meq/100g, 微砂質壤土 26~31meq/100g, 飽和抽出液의 電氣傳導도는 微砂質壤土 18~44 mmhos/cm, 微砂質壤土 21~32mmhos/cm 이었으며, pH는 微砂質壤土 6.9~7.8, 微砂質壤土 6.9~7.4로서 USDA의 塩害土壤分類法¹⁶⁾에 따르면 塩類알칼리土壤에 속하였다(Table-1 參考).

2. 實驗方法

用水管理方法으로 浸出法과 水洗法을 사용하여 除塩過程中 土壤의 主要陽이온을 測定한 다음 總塩分濃도와 置換性나트륨百分率을 算出하였으며, 飽和抽出液 및 水分含量이 다른 土壤抽出液의 電氣傳導度, pH등을 測定하였다.

가. 浸出法 (Leaching method)

土壤空隙內로 물을 浸出시켜 주로 擴散과 滲

Table-1. Physicochemical characteristics of soil samples used in reclamation experiments.

Soil texture	Exchangeable sodium (meq/100g)	Total salt concentration (meq/100g)	CEC (meq/100g)	ESP (%)	ECe (mmhos/cm)	pH (1:1)	Clay content (%)
Silt loam	2.6~6.5	14.0~33.5	7.6~9.7	34.2~69.2	17.9~44.1	6.9~7.8	1.1~13.5
Silty clay loam	6.9~8.1	26.0~30.7	11.6~13.0	53.1~64.3	21.4~31.6	6.9~7.4	20.0~24.8

CEC: Cation exchange capacity (meq/100g) ESP: Exchangeable sodium percentage (%)

ECe: Electrical conductivity of saturation extract (mmhos/cm at 25°C)

透水에 의하여 鹽分을 溶脫시키는 除鹽方法으로, 室内模型實驗裝置는 具等²⁰⁾의 論文(Fig. 1)에서 보는 바와 같이 設置하였다. 除鹽進行中 透水性이 급격히 減少되어 土壤溶液의 浸出이 中斷되는 것을 防止하기 위하여 石膏를 土壤改良劑로 사용해서 Beyce²¹⁾의 石膏所要量方程式을 適用하여 石膏施用量을 決定하였으며 다음과 같은 順序로 實驗을 遂行하였다.

供試土壤에 石膏를 잘 混合하여 40cm 깊이의 土壤試料를 실린더에 넣고 水深 20cm가 維持되도록 蒸溜水로 灌水시켜 土壤試料를 통해 浸出시킨다. 적당량의 浸出液이 생기면 그때까지의 經過時間과 浸出液의 부피를 測定하고, 每回 30ml 정도의 分析用 浸出液을 採取하여 保管한 다음 나머지는 버린다. 위와 같은 過程을 10회정도 連續해서 3反復 抽出實驗을 遂行하며, 全實驗過程을 통하여 土壤의 主要陽이온, 電氣傳導度, pH 등을 分析하기 위해 5회정도 土壤試料 50~100g씩을 採取해서 風乾시켜 保管한다.

나. 水洗法(Rinsing method)

深耕과 아울러 碎れ질등으로 土壤과 물을 완전히 뒤섞어 換水시킴으로써 주로 稀釋作用에 의하여 鹽分을 溶脫시키는 除鹽方法으로, 本實驗에서는 內徑 6.6cm, 길이 98cm인 下部가 막힌 플라스틱 실린더를 사용하여 室内實驗을 遂行하였다. 水洗法으로 除鹽하는 경우에는 보통 土壤改良劑處理에 별 效果가 없으므로 石膏를 混合하지 않은 土壤을 사용하였으며 實驗順序는 다음과 같다.

실린더에 40cm 깊이의 土壤試料를 넣고 蒸溜水를 부어 濕潤시킨 다음 水深이 20cm가 되도록 다시 蒸溜水를 供給한다. 耕耘 및 碎れ질效果를 分析하기 위하여 완전히 뒤섞은 다음 24~48시간동안 가만히 놓아두었다가 表面浮遊液의 部피를 測定하고, 每回 30ml 정도의 分析用 表面浮遊液을 採取한 다음 나머지는 버린다. 위와 같은 過程을 10회정도 連續해서 3反復 實驗을 遂行하며, 全實驗過程中 土壤의 主要陽이온, 電氣傳導度, pH의 變化등을 分析하기 위해 5회정도 土壤試料 50~100g씩을 採取해서 風乾시켜 保管한다.

3. 綜合分析

實驗結果에서 얻은 資料를 이용하여 飽和抽出

液의 電氣傳導도와 土壤과 물의 重量比가 다른 土壤抽出液의 電氣傳導도를 比較分析하였으며, 土性 및 用水管理方法別로 除鹽過程中 飽和抽出液의 電氣傳導도와 鹽分濃度 및 置換性나트륨百分率, 置換性나트륨百分率과 pH사이의 相關關係를 分析하였다.

III. 結果 및 考察

1. 飽和抽出液 및 水分含量이 다른 土壤抽出液의 電氣傳導도의 比較

鹽害土壤의 鹽分濃度を 나타내는데는 보편적으로 飽和抽出液의 電氣傳導도를 사용하고 있지만, 電氣傳導도를 測定하기 위한 충분한 飽和抽出液을 얻으려면 경우에 따라서 眞空이나 壓力을 이용한 吸入濾過器를 사용해야 하는 불편이 있으며 시간과 노력이 많이 所要되므로 反復處理등 신속한 結果를 얻기 위해서는 土壤과 물의 重量比가 1:1, 1:2 또는 1:5인 懸濁液으로 부터 쉽게 얻을 수 있는 抽出液의 電氣傳導도를 測定하고 飽和抽出液의 電氣傳導도와 比較分析함으로써 飽和抽出液의 電氣傳導도를 좀더 簡便하게 算定할 수 있을 것으로 思料된다.

本實驗의 供試土壤을 포함하여 土性이 비스한 微砂質壤土 및 微砂質埴壤土인 干拓地土壤 50餘點에 대한 飽和抽出液의 電氣傳導度(CEc:X)와 土壤과 물의 重量比가 각각 1:1, 1:2, 1:5인 土壤抽出液의 電氣傳導度(EC_{1:1}, EC_{1:2}, EC_{1:5}:Y) 사이의 相關關係를 統計學的으로 分析한 結果 Table-2에서 보는 바와 같은 回歸

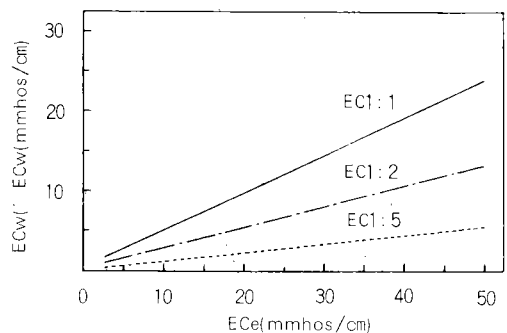


Fig. 1. Relationship between electrical conductivity of saturation extract (ECc:X) and electrical conductivity of extract from various different soil-water suspensions(ECw:Y).

Table-2. Regression analysis pertaining to the relationships between electrical conductivity of saturation extract(CEc:X) and electrical conductivity at various dilutions (ECw:Y).

Comparison	Regression equation	r	F	SE
ECe-EC _{1:1}	Y=0.4978+0.4685X	0.9913	2487.13**	0.5830
ECe-EC _{1:2}	Y=0.3106+0.2572X	0.9862	1565.88**	0.4035
ECe-EC _{1:5}	Y=0.1415+0.1066X	0.9800	1067.78**	0.2024

ECe:Electrical conductivity of saturation extract(mmhos/cm at 25°C)

EC_{1:1}, EC_{1:2}, EC_{1:5} : Electrical conductivity of 1 : 1, 1 : 2, and 1 : 5 soil-water suspension, respectively (mmhos/cm at 25°C)

r :Correlation coefficient

SE:Standard error

F:F-value

** :Significance at 1% level

方程式으로 表示되었으며 이들 관계를 圖示하면 Fig. 1 과 같다. ECe에 대한 EC_{1:1}, EC_{1:2}, EC_{1:5}의 回歸係數는 각각 0.4685, 0.2572, 0.1066으로 土壤과 물의 混合比와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 相關係數는 각각 0.9913, 0.9862, 0.9800으로 어느 경우나 高度의 有意性이 認定되었다.

2. 電氣傳導度와 總鹽分濃度사이의 相關關係

除鹽進行過程中 飽和抽出液의 電氣傳導度 (ECe : X)와 土壤의 總鹽分濃度 (SC : Y)사이의 相關關係를 土性 및 用水管理方法別로 分析한 結果 Table 3 및 Fig. 2 에서 보는 바와 같은 線形回歸方程式으로 表示되었으며 高度의 有意性이 認定되었다. 여기에서 總鹽分濃度라 함은 土壤內에 含有되어 있는 總陽이온을 말하며 암모니움아세테이트 抽出液으로 부터 얻을 수 있는 主要陽이온 (Na, Ca, Mg, K 등)의 합으로 나타낸 것이다.

土性別로 電氣傳導度와 總鹽分濃度의 關係를 살펴 보면, 微砂質壤土와 微砂質植壤土의 경우 回歸係數가 각각 0.65~0.69, 0.84~0.86으로 微砂質壤土에서 보다 粘土含量이 많은 微砂質植

壤土에서 電氣傳導度에 대한 總鹽分濃度의 增加率이 25~30% 정도 크게 나타났다. 用水管理方法別로 電氣傳導度和 總鹽分濃度의 關係를 살펴 보면, 土性이 同一한 경우에는 浸出法이나 水洗法에 關係없이 回歸係數 즉 電氣傳導度에 대한 總鹽分濃度의 增加率이 거의 비슷하였다. 그러나

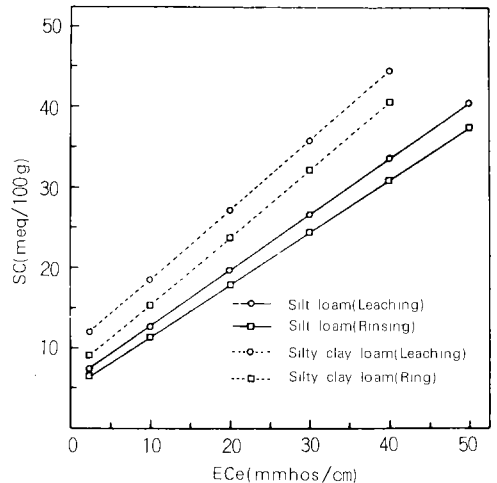


Fig. 2. Relationship between electrical conductivity of saturation extract (ECe:X) and total salt concentration (SC:Y).

Table-3. Regression analysis pertaining to the relationship between electrical conductivity(ECe:X) and total salt concentration (SC:Y).

Soil texture	Water management	Regression equation	r	F	SE
Silt loam	Leaching	Y=5.7047+0.6939X	0.9630	894.26**	1.9165
"	Rinsing	Y=4.9606+0.6479X	0.9692	1082.81**	1.6636
Silty clay loam	Leaching	Y=9.8867+0.8624X	0.9720	581.48**	1.7599
"	Rinsing	Y=6.9387+0.8397X	0.9842	1050.40**	1.3187

r : Correlation coefficient

SE : Standard error

F : F-value

** : Significance at 1% level

同一한 電氣傳導度에 대하여 總鹽分濃도가 水洗法에서보다 浸出法에서 약간 크게 나타난 것은 用水管理方法의 차이 외에도 浸出法에 의하여 實驗하는 경우 透水性의 급격한 減少를 防止하기 위하여 土壤에 石膏를 混合하였기 때문이라고 料된다.

3. 電氣傳導度와 置換性 나트륨 百分率 사이의 相關關係

鹽類알칼리土壤의 特性을 支配하는 可溶性鹽類와 置換性나트륨의 含量을 表示하는 指標로는 보통 飽和抽出液의 電氣傳導度와 置換性나트륨 百分率이 사용되고 있다. 除鹽이 進行되는 過程中 土性 및 用水管理方法別로 飽和抽出液의 電氣傳導度 (ECe : X) 와 置換性나트륨 百分率 (ESP : Y) 사이의 關係를 統計學的으로 分析하여 回歸方程式으로 나타내면 Table-4 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이 高度의 有意性이 認定되는 線形的 函數關係로 表示되었다.

土性別로 電氣傳導度와 置換性나트륨 百分率 사이의 關係를 考察해 보면, 回歸係數 즉 電氣傳導度에 대한 置換性나트륨 百分率의 增加率は 微砂質壤土와 微砂質壤土의 경우 각각 1.50~1.54, 1.81~1.89로서 微砂質壤土에서 보다 粘土含量이 많은 微砂質壤土에서 21~23% 정도 크게 나타났다. 用水管理方法別 電氣傳導度와 置換性나트륨 百分率의 關係는 土性이 同一한 경우 浸出法이나 水洗法에 關係없이 回歸係數 즉 電氣傳導度에 대한 置換性나트륨 百分率의 增加률이 거의 비슷하였다. 同一한 電氣傳導度에 대한 置換性나트륨 百分率이 浸出法과 水洗法에서 차이가 있는 것은 用水管理方法의 차이 외에 浸出法の 石膏處理效果에도 影響이 있는 것으로 보인다.

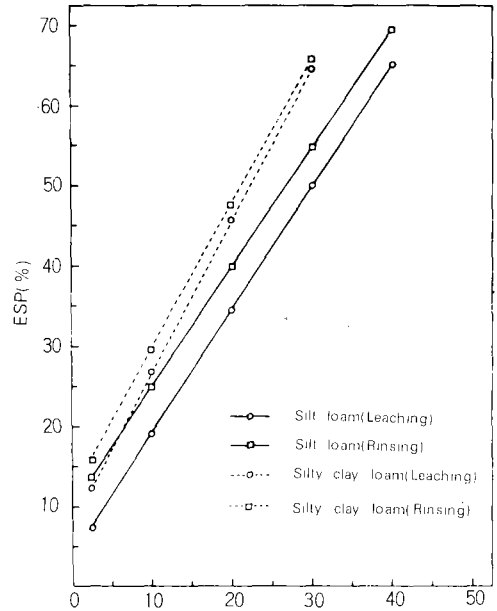


Fig. 3. Relationship between electrical conductivity of saturation extract (ECe:X) and exchangeable sodium percentage (ESP:Y) during the desalination of reclaimed tidelands.

4. 除鹽過程中 置換性 나트륨 百分率과 pH의 變化

除鹽進行過程中 置換性나트륨 百分率과 pH의 變化를 살펴보면, 置換性나트륨 百分率에 따라 pH가 增加하는 傾向이 있었으며, 土性 및 用水管理方法別로 除鹽過程中 置換性 나트륨 百分率 (ESP : X) 과 pH_{1:1} (Y) 사이의 關係를 回歸分析하여 얻은 結果는 Table-5 및 Fig. 4에 表示한 바와 같다.

一般的으로 보아 置換性나트륨 百分率이 20%

Table-4. Regression analysis pertaining to the relationship between electrical conductivity of saturation extract (ECe:X) and exchangeable sodium percentage (ESP:Y).

Soil texture	Water management	Regression equation	r	F	SE
Silt loam	Leaching	$Y = 3.6125 + 1.5402X$	0.9848	2246.62**	2.6839
"	Rinsing	$Y = 9.8248 + 1.4955X$	0.9586	792.85**	4.4877
Silty clay loam	Leaching	$Y = 7.9277 + 1.8861X$	0.9826	952.50**	3.0072
"	Rinsing	$Y = 11.5548 + 1.8097X$	0.9906	1785.00**	2.1801

r : Correlation coefficient

SE : Standard error

F : F-value

** : Significance at 1% level

이상일 때는 pH의 增加傾向이 緩慢하였지만, 置換性나트륨百分率이 20% 이하일 때는 pH의 增加傾向이 비교적 크게 나타났다. 土性別로 置換性나트륨百分率의 減少에 따른 pH의 增加率을 비교해 보면 微砂質壤土에 비하여 微砂質壤土의 경우에 더 크게 나타났다. 土性이 同一한 경우 用水管理方法別로 비교해 보면 用水管理方法의 차이나 石膏處理效果에 의하여 같은 置換性나트륨百分率에 대한 pH값의 차이가 있지만, 置換性나트륨百分率의 減少에 따른 pH의 增加率은 浸出法이나 水洗法에 관계없이 비슷한 傾向을 보였다.

一般的으로 置換性나트륨이 많이 含有되어 있는 土壤일수록 pH가 높지만, 可溶性鹽類 및 置換性나트륨이 모두 過多하게 含有되어 있는 鹽類알칼리土壤의 경우에는 除塩過程中 溶脫에 의하여 可溶性鹽類의 含量이 減少되면 置換性나트륨의 加水分解率이 增加되면서 어느 限界까지는 pH가 增加되는 傾向이 있는 것으로 判斷되며, 마

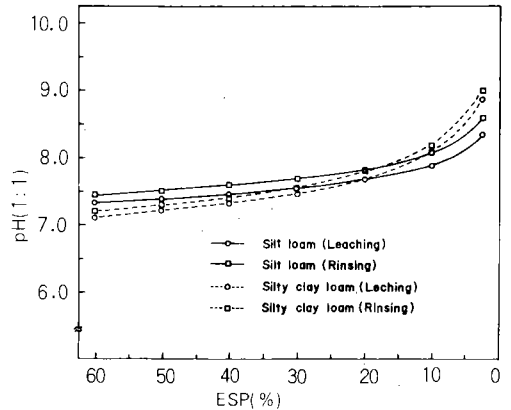


Fig. 4. Relationship between exchangeable sodium percentage (ESP:X) and pH 1:1 (Y) during the desalinization of reclaimed tidelands.

라서 이점을 考慮하여 pH값이 塩害土壤基準値를 넘지 않도록 적절한 方法을 講究해야 할 것이다.

Table-5. Regression analysis pertaining to the relationship between exchangeable sodium percentage(ESP:X) and pH 1:1 (Y).

Soil texture	Water management	Regression equation	r	F	SE
Silt loam	Leaching	$Y = 8.6668X^{-0.0409}$	-0.6281	45.61**	0.2956
"	Rinsing	$Y = 8.9545X^{-0.0456}$	-0.6560	52.88**	0.2648
Silty clay loam	Leaching	$Y = 9.4524X^{-0.0688}$	-0.8407	81.95**	0.2123
"	Rinsing	$Y = 9.6198X^{-0.0707}$	-0.7144	35.44**	0.2956

r : Correlation coefficient

F : F-value

SE : Standard error

** : Significance at 1% level

IV. 摘 要

高塩度 干拓地土壤의 除塩進行過程中 土壤内の 塩分舉動과 除塩效果를 合理的으로 分析하기 위한 基礎資料를 提供하고자 微砂質壤土와 微砂質壤土안 干拓地土壤을 供試土壤으로 하여 浸出法과 水洗法에 의한 除塩實驗을 遂行하였으며, 飽和抽出液 및 水分含量이 다른 土壤抽出液의 電氣傳導度를 比較分析하고 土性 및 用水管理方法別로 除塩進行過程中 電氣傳導度, 塩分濃度, 置換性나트륨百分率 및 pH사이의 相關關係를 統計的으로 分析하여 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. USDA의 塩害土壤分類法에 따르면 供試土壤은 鹽類알칼리土壤에 속하였다.

2. 飽和抽出液의 電氣傳導度는 水分含量이 다른 土壤抽出液의 電氣傳導度를 利用하여 簡便하게 算定할 수 있음을 알 수 있었다.

3. 土壤内の 總塩分濃度를 電氣傳導度로서 表示할 수 있으나 土性別로는 차이가 있는 것으로 나타났다.

4. 除塩進行過程中 電氣傳導度の 變化에 대한 置換性나트륨百分率의 變化는 線形回歸方程式으로 表示되었으며, 그 變化率은 微砂質壤土에서 보다 微砂質壤土에서 약간 크게 나타났다.

5. 除塩進行過程中에는 置換性나트륨百分率의 減少에 따라 pH가 增加하는 傾向이 있었다.

本 研究은 韓國科學財團의 研究費 支援에 의하여 遂行된 것임.

參 考 文 獻

1. Abrol, I.P., R.Chhabra and R.K.Gupta. 1982. A fresh look at the diagnostic criteria for sodic soils. Intl. Symp. on Salt Affected Soils, Karnal, India. Proc. pp.142~147.
2. Beyce, O. 1973. Experiences in the reclamation of saline and alkali soils and irrigation water qualities in Turkey. FAO Irrigation and Drainage Paper 16, Drainage of Salty Soils. pp.63~82.
3. Bottraud, J.C. and J.D.Rhoades. 1985. Effect of exchangeable sodium on soil electrical conductivity- salinity calibrations. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1110~1113.
4. Fireman, M. and C.H.Wadleigh. 1950. A statistical study of the relation between pH and the exchangeable sodium percentage of western soils. U.S. Regional Salinity and Rubidoux Laboratories, Calif. Proc. pp. 273~285.
5. Frenkel, H., C.Amrhein and J.J.Jurinak. 1983. The effect of exchangeable cations on soil mineral weathering. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:649~653.
6. Gupta, R.K., R.Chhabra and I.P.Abrol. 1981. The relationship between pH and exchangeable sodium in a sodic soil. Soil Sci. 131(4):215~219.
7. Mubarak, A. and R.A.Olsen. 1977. A laboratory technique for appraising in situ salinity of soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:1018~1020.
8. Nadler, A. 1982. Estimating the soil water dependence of the electrical conductivity soil solution/electrical conductivity bulk soil ratio. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:722~725.
9. _____ and H. Frenkel. 1980. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four-electrode method. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1216~1221.
10. Rhoades, J.D. 1981a. Predicting bulk soil electrical conductivity versus saturation paste extract electrical conductivity calibrations from soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:42~44.
11. _____. 1981b. Determining leaching fraction from field measurements of soil electrical conductivity. Agr. Water Management 3:205~215.
12. Russo, D. 1983a. Crop yield-irrigation relationships in a gypsiferous sodic soil, U.S.Agronomy Journal 75:427~434.
13. _____. 1983b. Leaching characteristics of a stony desert soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:431~438.
14. Shainberg, I., J.D.Rhoades and R.J.Prather. 1980. Effect of exchangeable sodium percentage, cation exchange capacity, and soil solution concentration on soil electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:469~473.
15. Suarez, D.L. 1981. Relation between pHc and sodium adsorption ratio(SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:469~475.
16. U.S.Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60. 160p.
17. Van Hoorn, J.W. 1982. The calibration of four electrode soil conductivity measurements for determining soil salinity. Intl. Symp. on Salt Affected Soils, Karnal, India. Proc. pp. 148~156.
18. _____ and M.Mann. 1982. Estimation of the ionic composition of soil water extracts and the ESP with simple chemical methods. Intl. Symp. on Salt Affected Soils, Karnal, India. Proc. pp. 163~168.
19. 長堀金造, 天谷孝夫, 高橋強. 1982. 干拓ヘドロの基礎的諸特性と除鹽機構について. 農業土木學會論文集(日本) 101: 15~25.
20. 具滋雄, 殷鍾浩. 1988. 干拓地土壤의 除鹽過程中 水理傳導度의 變化. 韓國農工學會誌. 30(4): 85~93