

## 대공극층위 형성 간척지 다층토주의 양이온 용탈 및 분포

유진희 · 정덕영<sup>1\*</sup> · 황선웅 · 강종국 · 이상복 · 최원영 · 하상건<sup>2</sup> · 김시주

국립식량과학원, <sup>1</sup>충남대학교 농업생명과학대학, <sup>2</sup>국립농업과학원

## Leaching and Distribution of Cation in Multi-layered Reclaimed Soil Column with Intermediate Macroporous Layer

Jin-Hee Ryu, Doug-Young Chung<sup>1\*</sup>, Seon-Woong Hwang, Jong-Guk Kang, Sang-Bok Lee, Weon-Young Choi, Sang-Keun Ha<sup>2</sup>, and Si-Ju Kim

National Institute of Crop Science, <sup>1</sup>Chungnam National University, <sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA

To investigate desalinization patterns of surface reclaimed saline-sodic soil (RSSS) with subsurface layer of macroporous medium, multi-layered soil columns were constructed. For the multi-layered soil columns, gypsum was treated at the rate of 5 cmolc kg<sup>-1</sup> in surface (top) while coal bottom ash (CBA) was placed into intermediate layer below the gypsum-treated surface soils followed by the reclaimed saline-sodic soil as bottom layer (BL). The lengths of top soil was 30 cm long while the lengths of the CBA were 20 and 30 cm long. The saturated hydraulic conductivities (K<sub>sat</sub>) were 0.39x10<sup>-4</sup> and 0.31x10<sup>-4</sup> cm sec<sup>-1</sup> for RSSS(30 cm)-CBA(20 cm)-BL(20 cm) and RSSS(30 cm)-CBA(20 cm)-RSSS(20 cm), respectively while the lowest K<sub>sat</sub> was 0.064x10<sup>-4</sup> cm sec<sup>-1</sup> for RSSS(30 cm)-CBA(20 cm)+BL(20 cm). The time required to reach the lowest EC in eluent, 0.3 dS m<sup>-1</sup> from 33.9 dS m<sup>-1</sup> was shorter in multi-layered soil columns with GR-CBA than that of RS-SRS, representing that rate of desalinization was greater than 99%. Exchangeable Na decreased by 94.8-96.2 %, while exchangeable Ca increased by 98-129 %.

**Key words:** Multi-layered soil, Reclaimed land, Coal bottom ash, Saturated hydraulic conductivity

### 서 언

새로이 조성된 간척지 토양은 일반적으로 지하수위가 높고 수직배수가 불량하며, 높은 염농도로 인하여 토양 용액내 삼투압이 높아 작물의 정상적인 생육이 불가능하다. 따라서 일정 수준까지 제염이 이루어져야 작물의 재배가 가능하다 (Yoo et al., 1993). 염농도가 높은 간척지 토양에서 작물재배를 위해 토양을 개량하는데 있어서 가장 중요한 요소는 토양의 수리전도도 (Hydraulic conductivity)를 증가시켜 지하배수에 의해 염분을 용탈시키는 방법이다 (Koo et al., 1986). Kim et al. (1997)은 계획도 간척지에서 1979년부터 1983년까지 5년간 암거배수 시공 후 암거간격 및 년차에 따른 제염 효과 및 쌀수량을 검토하였다. 그 결과, 토양의 염농도가 벼 재배 한계인 0.3‰에 달하는 연차는 5 m 간격 암거 1년, 8 m 간격 2년인데 반해 무암거는 3년이었고, 암거위치에

서 멀어질수록 제염효과가 경감되어 암거시공 중간부위에서 제염효과가 가장 낮았으며, 암거에 의한 수직적인 배수효과는 30 cm까지는 토심이 깊을수록 컸으나 그 이하에서는 경감되었다고 보고하였다. Koo et al. (2001)은 제염방법별 제염과정 중 제염용수량의 증가에 따른 전기전도도의 변화를 분석하였다. 그 결과, 침출법에 의해 제염을 하는 경우 투수성이 양호한 토양에서는 제염작업이 용이하였으나 투수성이 불량한 토양에서는 제염이 거의 불가능하였고, 반면 수세법에 의한 제염은 표토층의 제염은 가능하나 심토층의 제염이 어렵고 제염용수량이 침출법에 비하여 10배 이상 많이 소요된다고 보고 하였다. Son et al. (2002)은 Lysimeter 시험을 통해 간척지에서 제염용수량, 재염화방지용수량 등을 결정하여 관개용수량 산정시험을 한 결과, 투수불량 토양의 경우 관개용수량은 암거 처리구의 경우 3,360 mm, 암거 무처리구에서는 3,580 mm로 산출되었으며 이는 각각 일반답의 2.5배, 2.8배에 해당한다고 보고하였다. 본 연구에서는 석탄바닥재를 소재로 활용하여 작토층의 하부에 대공극 층위 (Macroporous layer)를 형성한 간척지 다층토양 (Multi-layered soil) 구조에서 대공극 층

접수 : 2010. 9. 29 수리 : 2010. 10. 19

\*연락처 : Phone: +82428216739

E-mail: dychung@cnu.ac.kr

위가 가지는 제염 촉진 효과를 구명하기 위하여 석탄바닥 재층을 소재로 한 대공극층을 가지는 다층토양 토주 (soil column)를 만들고 실내 실험을 통하여 토주내 토양에서의 수분과 용질의 이동 및 토양중 이온 분포를 조사분석하였다.

### 재료 및 방법

**시험토양 (Single-layered soil)의 수리전도도** 시험 토양은 간척 후 작물재배가 이루어지지 않은 전복 김제 시 광활면 인근 새만금 간척지의 문포동 토양을 선택하였다. 토양시료는 이 토양의 대표지점에서 지표면에서 30 cm 깊이까지의 표토와 30~60 cm 깊이의 심토를 채취하여 음건 후 2 mm 체를 통과시킨 것을 토주 (Soil column) 실험에 사용하였다.  $K_{sat}$ 의 측정을 위한 토주는 2mm 체를 통과시킨 Table 1의 시험토양을 Acryl column (I.D. 4.9 cm)에 토주의 높이를 표토는 30 cm, 심토는 20 cm, 토주내 용적밀도를 표토는  $1.30 \text{ g cm}^{-3}$ , 심토는  $1.45 \text{ g cm}^{-3}$ 로 충전하여 만들었다.  $K_{sat}$  측정은 각각의 다층토주 (土柱)를 종류수로 하향 포화시키고 수두 (water head)의 높이를 10 cm로 일정하게 유지하면서 토주의 바닥면에서 용출액을 수집하여 시간 경과에 따른 용출액의 부피를 측정하여 Darcy's Law (Eq. 1)에 따라  $K_{sat}$ 을 계산하였고 (Hillel, 1998) 또한 용출액의 화학성을 분석하였다.

$K_{sat}$  측정 후 다층토주를 5cm 단위로 절단하여 건조 후 토양의 화학성을 분석하였다. 이때 토양의 분석방법

은 1.1에서 제시한 방법과 같다.

$$K_{sat} = \frac{q}{\left(\frac{\Delta H}{L}\right)} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서,  $K_{sat}$  : 포화수리전도도 (saturated hydraulic conductivity)

$q$  : 단위시간당 단위 단면적을 통과하는 물의 양 (flux)

$\frac{\Delta H}{L}$  : 단위 토양길이 당 수두편차 (Hydraulic gradient)

**다층토양 (Multi-layered soil)의 수리전도도 및 이온용출 특성** 대공극층위 (macroporous layer)를 형성한 간척지 다층토양에서 수분과 이온의 이동특성을 구명하기 위하여 표토 하부에 석탄바닥재를 충전한 다층토주를 제작하여  $K_{sat}$ 을 측정하였다.

표토층 토주는 2 mm 체를 통과한 표토 (Table 1)에  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>을 완전 혼합하여 Acryl Column (ID 4.9 cm×L 50 cm)에 용적밀도를  $1.30 \text{ g cm}^{-3}$ 로 하여 30 cm 깊이로 충전하였다. 심토층 토주는 Table 1의 심토를 내경 (ID 4.9 cm)의 Acryl Column에 20, 30 cm 깊이로 충전하였다. 이때 용적밀도 (Bulk density)는  $1.45 \text{ g cm}^{-3}$ 으로 조정하였다. 한편 석탄바닥재층 토주는 Table 2, Table 3의 석탄바닥재를 Acryl Column (ID 4.9cm)에 10, 20, 30 cm 깊이로 충전하였다. 이때 용적밀도 (Bulk density)는  $0.96 \text{ g cm}^{-3}$ 로 조정하였다. 그리고 다층 토주의 경우 표토층+석탄바닥재층 토주는

**Table 1. Physico-chemical properties of the soil collected from the Saemangeum reclaimed land.**

Soil	pH	EC <sup>1</sup>	OM <sup>2</sup>	CEC <sup>3</sup>	ESP <sup>4</sup>	Cations											
						Exchangeable				Soluble				Total			
						K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na
Surface	7.7	33.9	1.5	7.1	45.1	0.82	1.3	2.8	3.5	1.40	1.1	7.4	24.7	2.22	2.4	10.2	28.2
Subsurface	7.8	14.7	1.5	7.2	56.2	0.50	0.9	1.7	2.2	1.17	1.0	4.2	13.4	1.67	1.9	5.9	15.6

<sup>1</sup> : Electric conductivity, <sup>2</sup> : Organic Matter, <sup>3</sup> : Cation exchange capacity,

<sup>4</sup> : Exchangeable sodium percentage(ESP) =  $\frac{\text{Exchangeable Na}^+ (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})}{\text{CEC} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})} \times 100$

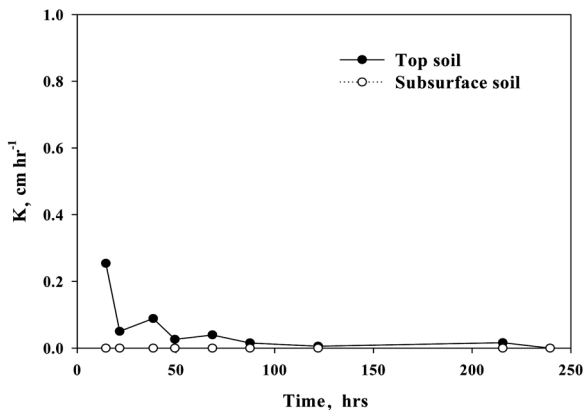
**Table 2. Chemical properties of coal bottom ash.**

pH (1:5)	EC	CEC	Cations <sup>1</sup>			
			K	Ca	Mg	Na
9.2	2.8	0.64	0.09	0.4	0.5	1.3

<sup>1</sup>1N NH<sub>4</sub>OAc extraction

**Table 3. Particle composition of coal bottom ash.**

Particle diameter (mm)	Percentage of particles (%)
4.0 <	15.5
2.0 ~ 4.0	30.0
1.0 ~ 2.0	32.0
0.5 ~ 1.0	11.3
< 0.5	11.2
Total	100.0



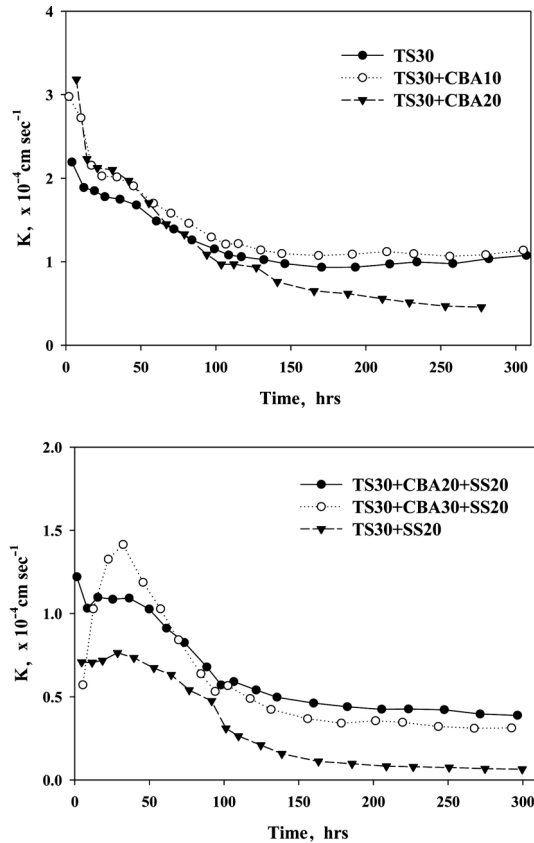
**Fig. 1. Changes of saturated hydraulic conductivities ( $K_{sat}$ ) in top soil and subsurface soil.**

표토층 토주 (30 cm)에 석탄바닥재층 토주 (10, 20 cm)를 연결하여 다층토주 (40, 50 cm)를 제작하였다. 다층의 표토층+석탄바닥재층+심토층 토주는 표토층 토주에 석탄바닥재층 토주 (20, 30 cm)를 연결하고 그 하부에 심층 토주 (20 cm)를 연결하여 다층 토주 (70, 80 cm)를 제작하였다. 그리고 표토+심토 토주는 표토층 토주 (30 cm)에 ②의 심토층 토주 (30 cm)를 연결하여 다층 토주 (60 cm)를 제작하였다.

**결과 및 고찰**

**시험토양의 수리전도도** 다층토양의 투수성 조사에 앞서 그 구성단위가 되는 단일층 토양의 투수성을 조사하였다. Figure 1에 표토층의  $K_{sat}$  값의 변화를 시간 경과에 따라 나타내었다. 표토층의 초기  $K_{sat}$ 는  $0.25 \text{ cm hr}^{-1}$ 이었으나 시간 경과에 따라 감소하여 240시간 (0.5 pv) 후 투수가 정지하여 최종적으로  $K_{sat}$ 값 0을 나타내었다. 또한 심토의 경우는 초기부터 용출수가 나오지 않아  $K_{sat}$  값은 0을 나타내었다.

이와 같이 표토와 심토의 최종적인  $K_{sat}$ 가 0을 나타낸 것은 점토입자 표면의 치환성  $\text{Na}^+$ 에 기인한 것으로 증류수 담수시 점토의 해고 (deflocculation)와 분산이 일어나게 되고 분산된 점토는 토양수와 함께 하향 이동



**Fig. 2. Hydraulic conductivities of single- and multi-layered soil columns.**

하다가 토양의 공극을 막아 투수가 정지된 것으로 해석되었다 (Shainberg et al., 1988; Quirk and Schofield, 1955; Frenkel et al., 1978; Rao et al., 1995).

**다층토양 (Multi-Layered Soil)의 수리전도도** 표토에 석고 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )를  $\text{Ca}^{2+}$  기준  $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 혼합한 다층토양 (Multi-layered soil) 토주의 수리전도도를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 다층토양의 안정화된 수리전도도는 표토 30 cm (TS30), 표토 30+CBA 10 cm (TS30+CBA10) 토주에서  $1.1 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ 을 나타내었고, 표토 30+CBA 20 cm (TS30+CBA20) 토주는 석탄바닥재층의 길이가 커짐에 따라 다소 저하되어  $0.64 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ 을 나타내었다. 표토 30+CBA 20+심토 20 cm 토주 (TS30+CBA20+SS20)는  $0.39 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ 의  $K_{sat}$  값을 나타내었고, 표토 30+CBA 30+심토 20 cm (TS30+CBA30+SS20) 토주는  $0.31 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ 의  $K_{sat}$  값을 나타내었다. 그러나 표토 30+심토 20 cm 토주 (TS30+SS20)는 석탄바닥재층을 가진 다층토양에 비해 투수성이 급격히 저하되어  $0.064 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ 의  $K_{sat}$  값을 나타내었다. 한편, 표토에 석고를 혼합하지 않은 TS30+CBA20/30+ TS30+SS20 토주는 침출수가 토주의 바닥면으로 용출되지 않아  $K_{sat}$ 값 0을 나타내었다.

대공극층을 가진 다층토양 (TS30+CBA20/30+SS20)은 대조토양 (TS30+SS20)에 비해  $K_{sat}$ 값이 큰 쪽으로 증가한 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 지금까지의 연구결과들을 종합하여 볼 때, 크게 3가지 원인에 기인한 것으로 추정된다. 첫째로, 표토층에서 용출되어 나온  $Ca^{2+}$  이온이 석탄바닥재층에 모여져 심토의 치환성  $Na^+$  이온을 치환하여 심토의 점토 분산을 막고 투수성을 증대시킨 점을 먼저 들 수 있고, 둘째로는 표토층에서 용출된 높은 전해질 농도를 가진 침출수 자체가 석탄바닥재층에 모여져 심토층의 투수성을 증대시킨 점을 들 수 있으며, 세 번째로는 석탄바닥재층이 표토층에서 침출수와 함께 용출된 점토를 포집하여 심토층에는 침출수만을 공급하여 심토층의 투수에 있어 점토에 의한 공극의 막힘이 경감된 점을 들 수 있었다 (Quirk and Schofield, 1955; Frenkel et al., 1978; Pupisky et al., 1979; Alperovitch et al., 1985; Keren et al., 1988; Rao et al., 1995; Bolan et al., 1996).

이상의 결과로부터 석탄바닥재층을 보유한 다층토양은 대조 토양에 비해 더 큰  $K_{sat}$ 값을 가진다고 판단할 수 있었다.

**다층토주의 전기전도도 (EC)의 변화** Fig. 3에 다층토주 (multi-layered soil column)의 하단에서 수집

된 용출수의 EC를 시간경과에 대하여 나타내었다. TS30 토주의 용출액 EC는 초기  $164.6 \text{ dS m}^{-1}$ 로부터 빠르게 감소하여 36시간 후  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$ 로 저하되었고, TS30+CBA10 토주는 초기  $183.9 \text{ dS m}^{-1}$ 로부터 34시간 후  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ 로 감소되었으며 TS30+CBA20 토주의 EC는 초기  $98.1 \text{ dS m}^{-1}$ 로부터 감소하여 42시간 후  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$ 을 나타내었다. 용출액의 EC는 TS30+CBA20 > TS30 + CBA10 > TS30 순으로 높은 값을 유지하면서 감소하였는데 이는 석탄바닥재층의 길이가 길어질수록 토주의 수리전도도가 감소하여 염류의 용출이 지연된 때문으로 판단된다.

TS30+CBA20+SS20 토주의 EC는 초기  $193.5 \text{ dS m}^{-1}$ 로부터 감소되어 88.5시간 후  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ 을 나타내었고 TS30+CBA30+SS20 토주의 EC는 초기  $196.9 \text{ dS m}^{-1}$ 로부터 84.5시간 후  $0.8 \text{ dS m}^{-1}$ 을 나타낸 반면 석탄바닥재층을 없는 TS30+SS20 토주의 EC는 초기  $197.2 \text{ dS m}^{-1}$ 로부터  $0.9 \text{ dS m}^{-1}$ 로 감소하는데 124.7시간이 소요되어 석탄바닥재층을 가진 토주와 같은 수준의 EC로 저하되는데 1.4배 정도 시간이 더 소요되었다. 용출액의 EC가  $1 \text{ dS m}^{-1}$ 이하로 감소한 시간은 대공극층을 가진 다층토양 (TS30+CBA20/30+SS20)이 대공극층이 없는 다층토양 (TS30+SS20)에 비해 크게 짧았는데, 이는 석탄바닥재층을 가진 다층토양이 대조토양에 비해 투수성이 더 높았기 때문으로 판단된다.

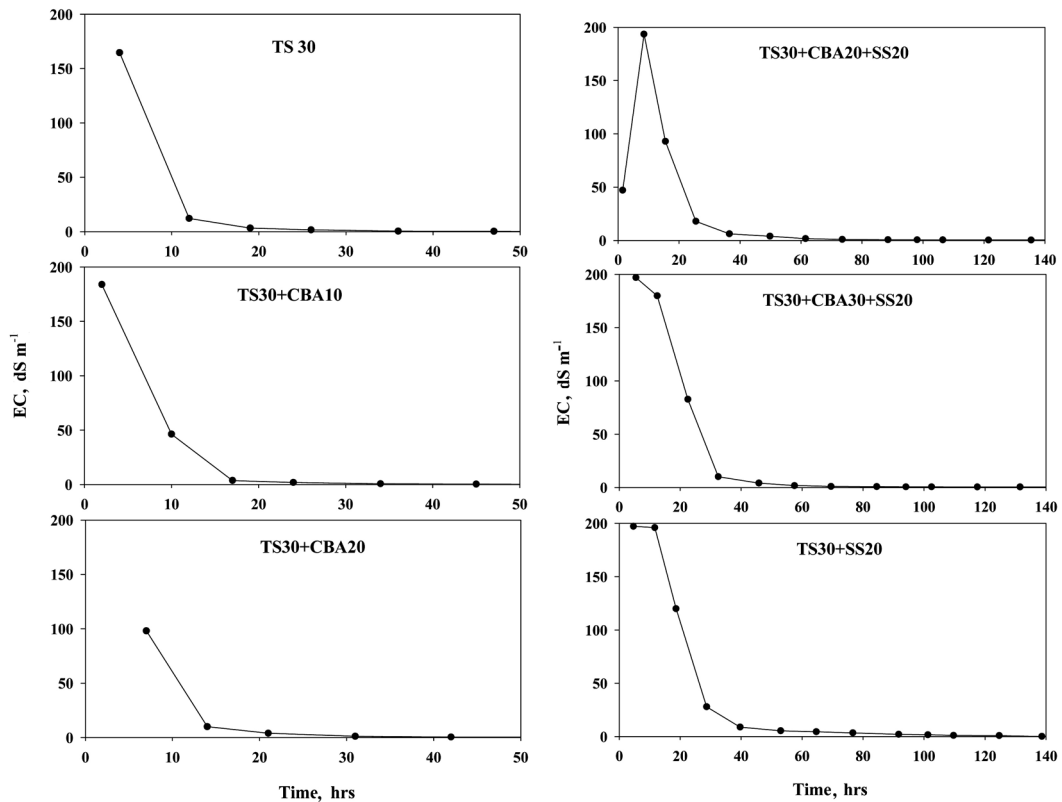


Fig. 3. Changes of EC of effluent collected at the bottom of the multi-layered soil column packed with top soil, coal bottom ash and subsurface soil.

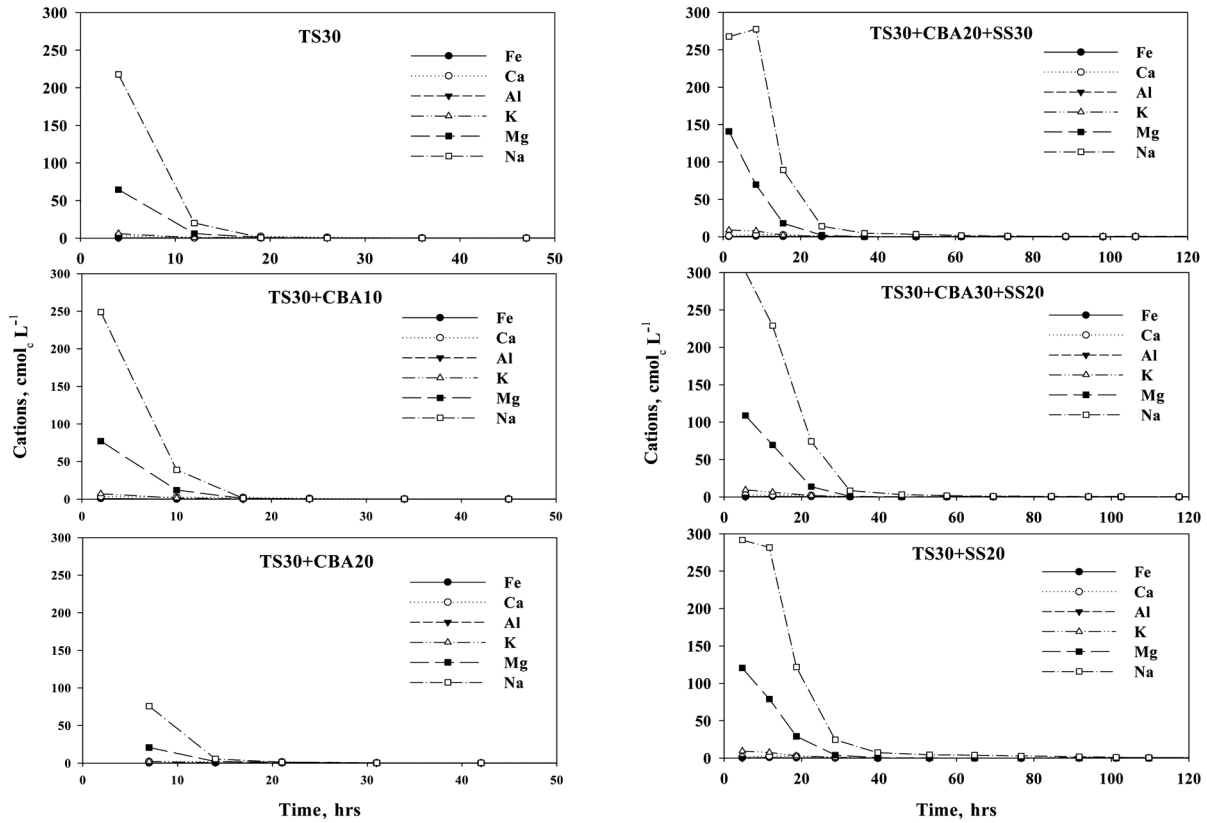


Fig. 4. Elution patterns of cations from single and multi-layered soil columns.

**다층토주의 양이온 용출특성** Figure 4에 다층토주 용출액의 시간경과에 따른 양이온 농도변화를 나타내었다. 다층토주 용출액의 양이온 농도는 시간경과에 따라 Na<sup>+</sup>이온이 가장 높았고 Mg<sup>2+</sup>이온이 두 번째로 높았다. 세 번째로 농도가 높은 양이온은 토주별로 차이가 있었는데, 심토층을 가진 다층토주 (표토층+대공극층+심토층)는 K<sup>+</sup>이온이 세 번째로 높았고, 심토층이 없는 표토 토주의 경우는 Ca<sup>2+</sup>이온이 세 번째로 농도가 높았다. 이와 같은 이유는 심토층을 가진 다층토주의 경우는 표토층에서 유래된 Ca<sup>2+</sup> 이온이 심토층 토양에 흡착되어서 용출수중 Ca<sup>2+</sup>이온의 농도가 가장 낮은 것으로 해석되었다.

대공극 층위를 내재한 다층토양 (표토층+대공극층+심토층)은 대조토양 (표토층+심토층) 보다 용출액중 양이온 농도가 더 빨리 감소되는 경향을 보였는데, 이는 다층토양의 투수성이 대조토양에 비해 큰 때문으로, Na<sup>+</sup> 이온이 1 cmolc kg<sup>-1</sup> 이하로 감소하는데 소요된 시간은 TS30+CBA20/30+SS30 다층토양에서 74시간 이내인 반면 대조토양 (TS30+SS30)에서는 109.7시간이 소요되었고, Mg<sup>2+</sup>이온의 경우에서도 같은 경향이었다.

**다층 토주토양의 깊이별 EC** Table 4에 다층토주의 용출 시험후 토양의 깊이별 토양 EC를 5 cm단위로

나타내었다. 토양의 EC는 모든 다층토주에서 표토층은 0.31 dS m<sup>-1</sup> 이하로, 심토층은 0.34 dS m<sup>-1</sup> 이하로 저하되어 초기 시험토양의 EC값에 비해 표토는 99.1% 이상, 심토는 97.8% 이상 저하되었다.

**토주 토양의 양이온** Figure 5에 다층토주의 용출 시험 후 토양의 깊이별 치환성양이온을 5 cm 깊이 단위로 분석하여 나타내었다. 토양중 치환성양이온은 Ca<sup>2+</sup>이온이 가장 높은 함량을 나타내었고 다음으로 Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 순으로 높았다.

용출시험 후 표토층 (0~30 cm)의 치환성 Na<sup>+</sup>는 다층토주별로 0.13~0.16 cmolc kg<sup>-1</sup> 범위로 용출시험전과 비교할 때 94.8~96.2% 감소되었고, 치환성 Mg<sup>2+</sup>는 0.64~0.78 cmolc kg<sup>-1</sup> 범위로 당초 시험토양의 함량대비 61.0~68.0% 감소되었으며, K<sup>+</sup>는 평균 0.35~0.40 cmolc kg<sup>-1</sup> 범위로 시험전에 비해 46.9~49.1% 감소된 반면, Ca<sup>2+</sup>는 다층토주별로 2.56~2.96 cmolc kg<sup>-1</sup> 범위로 용출시험전에 비해 98~129% 증가되었다.

토주내 토양의 치환성양이온은 석고의 혼합에 따라 토양중 치환성 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>이온은 감소한 반면 치환성 Ca<sup>2+</sup>이온은 크게 증가한 결과를 얻을 수 있었다. Ca<sup>2+</sup>이온은 수화도가 작아 토양의 입단화작용을 증진시킨다 (Cho et al., 2003). 따라서 간척지토양의 경우 제염을

Table. 4 Soil EC through the single- and multi-layered soil columns after elution experiment.

Soil column	Soil layer	Soil depth cm	EC dS m <sup>-1</sup>	Soil column	Soil layer	Soil depth cm	EC dS m <sup>-1</sup>
I	TS	0 ~ 5	0.20		SS	40 ~ 45	0.20
		5 ~ 10	0.22			45 ~ 50	0.20
		10 ~ 15	0.24			50 ~ 55	0.29
		15 ~ 20	0.25			55 ~ 60	0.30
		20 ~ 25	0.25			60 ~ 65	0.30
		25 ~ 30	0.27			65 ~ 70	0.32
II	TS	0 ~ 5	0.19	V	CBA	0 ~ 5	0.19
		5 ~ 10	0.23			5 ~ 10	0.23
		10 ~ 15	0.26			10 ~ 15	0.25
		15 ~ 20	0.27			15 ~ 20	0.26
		20 ~ 25	0.26			20 ~ 25	0.30
	25 ~ 30	0.26	25 ~ 30			0.29	
	CBA	30 ~ 35	0.19	30 ~ 35	0.16		
		35 ~ 40	0.19	35 ~ 40	0.17		
III	TS	0 ~ 5	0.21	VI	TS	0 ~ 5	0.23
		5 ~ 10	0.24			5 ~ 10	0.27
		10 ~ 15	0.25			10 ~ 15	0.28
		15 ~ 20	0.26			15 ~ 20	0.28
		20 ~ 25	0.28			20 ~ 25	0.29
	25 ~ 30	0.29	25 ~ 30			0.31	
	CBA	30 ~ 35	0.17	30 ~ 35	0.31		
		35 ~ 40	0.20	35 ~ 40	0.30		
		40 ~ 45	0.14	40 ~ 45	0.32		
		45 ~ 50	0.20	45 ~ 50	0.32		
IV	TS	0 ~ 5	0.21	SS	SS	35 ~ 40	0.30
		5 ~ 10	0.25			40 ~ 45	0.32
		10 ~ 15	0.26			45 ~ 50	0.34
		15 ~ 20	0.26				
		20 ~ 25	0.27				
	25 ~ 30	0.28					
	CBA	30 ~ 35	0.20				
		35 ~ 40	0.18				

위해 석고를 사용하면 토양의 투수성개선, 제염촉진과 함께 토양 입단화 증진의 토양개량 효과도 동시에 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

다층토주에 있어 대공극층위 (석탄바닥재층)의 치환성 양이온은 표토층에 비해 낮은 함량을 나타내었는데 이는 석탄바닥재의 낮은 CEC 때문으로 판단된다. 심토층 상부의 치환성양이온은 표토층과 같이 Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> 순으로 농도가 높았던 반면 심토의 하부에서는 Ca<sup>2+</sup>와 Mg<sup>2+</sup> 이온의 농도는 낮아지고, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, 이온의 함량은 높아지는 경향을 보였는데 이는 심토층의 하부로 침출되는 Ca<sup>2+</sup>이온이 심토층의 상부에 흡착되어 점차 침출액내 Ca<sup>2+</sup>이온의 농도가 낮아지게 되고 또한 심토의 하단부에서 침출액내 Na<sup>+</sup> 와 K<sup>+</sup> 이온의 상대적 증가에 따른 양이온치환반응으로 토양중 치환성 Mg<sup>2+</sup>이온의 함량이 적어진 것으로 해석된다.

## 적 요

간척지 토양에서 대공극 중간층위의 형성이 가지는 제염 촉진 효과를 구명하기 위하여 석탄바닥재를 대공극 층으로 가지는 다층토주 (multi-layered soil column)를 만들어 실내 실험을 수행하였다. 시험토양의 투수성을 조사한 결과, 표토층은 초기 K<sub>sat</sub> 0.25 cm hr<sup>-1</sup>에서부터 240시간 후 투수가 정지하여 K<sub>sat</sub> 0 cm hr<sup>-1</sup>을 나타내었고 심토층은 초기부터 투수가 되지 않아 K<sub>sat</sub> 0 cm hr<sup>-1</sup>을 나타내었다. 표토에 5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>의 석고를 혼합한 다층토주의 K<sub>sat</sub> 값은 표토 30cm+CBA 20 cm+심토 20 cm 토주에서 0.39×10<sup>-4</sup> cm sec<sup>-1</sup>를 나타내었고, 표토 30cm+CBA 30 cm+심토 20 cm 토주에서 0.31×10<sup>-4</sup> cm sec<sup>-1</sup>을 나타내었다. 반면 대공극층을 가지지 않은 표토 30cm+

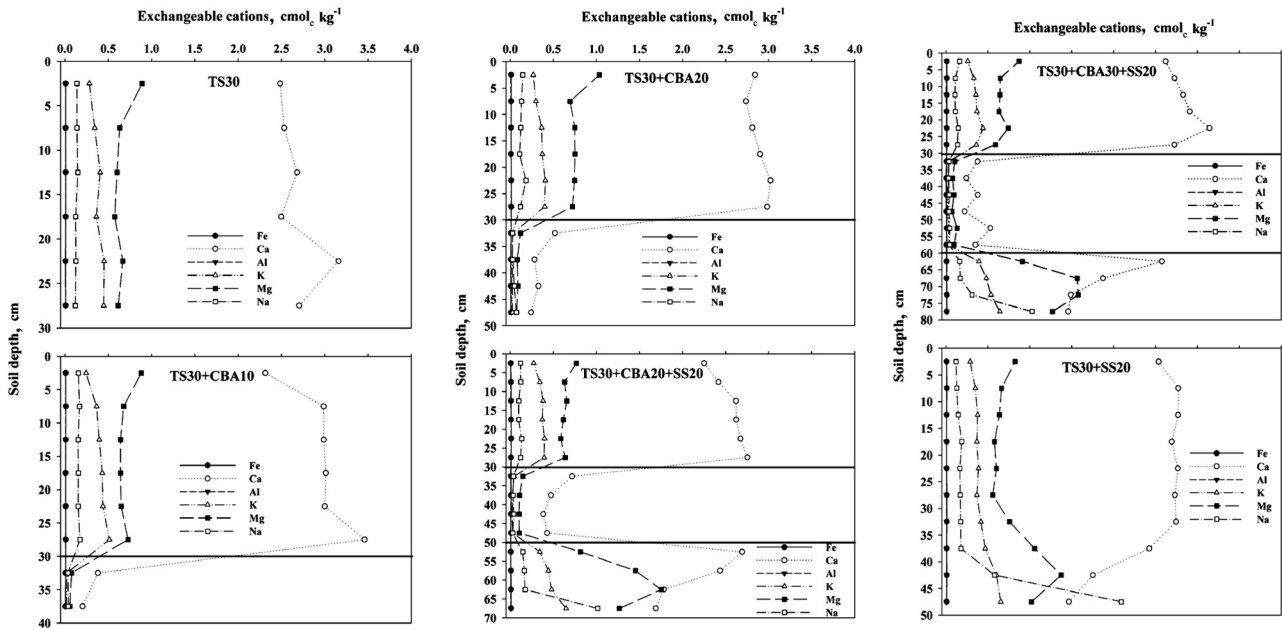


Fig. 5. Soil cations in single- and multi-layered soil columns through the soil depth after elution experiment.

심토 20 cm 토주는  $K_{sat}$   $0.064 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ 로 매우 낮은 값을 나타내었다. 다층토주 용출액의 EC가  $1 \text{ dS m}^{-1}$  이하로 감소한 시간은 대공극 중간층을 가진 토주가 대공극층이 없는 토주 (표토 30 cm+심토 20 cm)에 비해 크게 짧았다. 다층토주 용출액의 양이온 농도는 심토층을 가진 다층토주는  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$  순으로 높았고, 심토층이 없는 다층토주는  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$  순으로 높았다. 다층토주의 이온용출 후 표토의 화학성은 모든 토주에서 EC가  $0.31 \text{ dS m}^{-1}$  이하로 감소하여 시험전의  $33.9 \text{ dS m}^{-1}$ 에 비해 99% 이상 저하되었다. 토양의 치환성 Na는  $0.1 \sim 0.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  범위로 시험전에 비해 95~96% 감소하였고, 반면 치환성 Ca는  $2.56 \sim 2.96 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  범위로 시험 전 대비 98~129% 증가하였다.

## 사 사

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원 (ITEP)이 지원한 연구과제 (109185-03-2-CG000)에 수행되었습니다.

## 인 용 문 헌

Alperovitch, N., I. Shainberg, R. Keren, and M.J. Singer. 1985. Effect of clay mineralogy and aluminum and iron oxides on the hydraulic conductivity of clay-sand mixtures. *Clay and Clay minerals*. 33:443-450.

Bolan, N.S., J.K. Syers, M.A. Adey, and M.E. Sumner. 1996. Origin of the effect of pH on the saturated hydraulic

conductivity of non-sodic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27:2265-2278.

Frenkel, H., J.O. Goertzen, and J.D. Roades. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:32-39.

Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. p 181-183.

Keren, R. and M.J. Singer. 1988. Effect of low electrolyte concentration on hydraulic conductivity of sodium/calcium-montmorillonite-sand system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 368-373.

Kim, S.S., S.Y. Lee, G.H. Han, and I.S. Eo. 1997. Underdrainage effects on soil salinity and growth of rice in Gyeonha reclaimed land. *Korean J. Crop Sci.* 42:61-67.

Koo, J.W., J.G. Choi, J.G. Son, G.S. Yoon, D.W. Lee, and K.H. Cho. 2001. Analysis of electrical conductivity during desalinization of reclaimed tidal lands. *J. Kor. Soc. agricultural engineers.* 43:37-49.

NIAST. 1988. *Methods of soil chemical analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

Pupisky, H. and J. Shainberg. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:429-433.

Quirk, J.P. and R.K. Schofield. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6:163-178.

Rao, S.N. and P.K. Mathew. 1995. Effects of exchangeable cations on hydraulic conductivity of a marine clay. *Clay and Clay Minerals.* 43:433-437.

Shainberg, I., N. Alperovitch, and R. Keren. 1988. Effect of magnesium on the hydraulic conductivity of Na-smectite-sand mixtures. *Clay and Clay Minerals*. 36:432-438.

Son, J.G., J.W. Koo, and J.K. Choi. 2002. Irrigation water requirements of unripened reclaimed paddy fields. *J. Kor. Soc. Rural Planning*. 8:26-40.

Yoo, C.H., J.G. Kim, S.Y. Choi, G.H. Cho, S.J. Yoo, J.D. So, and G.S. Rhee. 1993. Studies on amelioration of soil physico-chemical properties and rice yield in sandy tidal saline paddy soil. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 26:241-248.