

## 석고 혼합량에 따른 간척지토양의 양이온 용탈 및 분포

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

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

## Patterns of Leaching and Distribution of Cations in Reclaimed Soil according to Gypsum Incorporation Rate

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

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

Serious problems in reclaimed land for agriculture are high soil salinity and very poor vertical drainage. However, desalinization in these soils is very difficult. To identify the change of soil permeability by the gypsum incorporation in soils we observed elution patterns and salt distribution of the soil using soil columns packed with reclaimed saline soil with various rates of gypsum amendment. Saturated hydraulic conductivity ( $K_{sat}$ ) of the top soil of reclaimed saline soils without gypsum incorporation was close  $0 \text{ cm hr}^{-1}$  while  $K_{sat}$  increased up to  $0.3 \text{ cm hr}^{-1}$  with increasing amount of gypsum for 0.4% or more gypsum. Also  $K_{sat}$  of the reclaimed saline soils for top soil was drastically increased to  $1.0 \text{ cm hr}^{-1}$  or slightly greater after 141 hour's elution experiment. The cumulative amount of cation recovered in the effluent also increased in the order of gypsum incorporation rate  $0.8\% > 0.6\% > 0.4\% > 0.2\%$ . Soil EC in soil columns decreased from initial  $33.9 \text{ dS m}^{-1}$  to less than  $0.4 \text{ dS m}^{-1}$  and exchangeable  $\text{Ca}^{2+}$  increased by 32 ~ 140% according to gypsum incorporation rate.

**Key words:** Reclaimed land, Gypsum, Saturated hydraulic conductivity

### 서 언

간척지 토양은 일반적으로 염농도가 매우 높다. 토양 중 높은 염분 함량은 식물에 염 스트레스 (salt stress) 를 주는데, 염스트레스는 3가지 형태로 식물체에 손상을 준다. 첫째는 고농도의 염 특히, 높은  $\text{Na}^+$  농도는 점토의 분산을 일으키고 토양의 공극을 감소시켜 토양의 공기와 수분의 유통을 악화시키는 점이고, 둘째는 고농도의 염은 생리적 가뭄 (physiological drought)의 한 가지 형태인 낮은 수분퍼텐셜을 발생시켜서 수분과 양분의 흡수를 어렵게 하는 점이며, 세째는 특정한 이온 특히  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 의 독성 효과이다 (Hopkins and H ner, 2004). 따라서 간척지를 효율적으로 활용하기 위해서는 간척지 토양에 대한 제염이 선행되어야 한다.

Oster and Frenkel (1980)는  $\text{Ca}^{2+}$ 와 치환성  $\text{Na}^+$ 와의 치환반응으로 인해 석고의 용해도는 sodic soil과 혼

합되어 있을 때 증가하고 용해된 석고의 양은 치환된 치환성  $\text{Na}^+$  양과 직선적 비례관계에 있으며, 석고의 혼합은 토양의 개량을 촉진하고 토양의 수리전도도를 유지 또는 증진시키는데 필요한 토양의 높은 염농도를 제공한다 하였다.

가용성염류와 치환성나트륨이 과도하게 함유되어 있는 간척지 토양의 제염을 위해 담수처리를 하면 치환성나트륨의 가수분해가 증가되면서 pH가 상승하고, 토양입자의 분산과 팽윤현상으로 인하여 토양공극의 크기가 감소되거나 폐쇄되어 투수성이 현저하게 낮아진다. 담수에 의한 수직배수로 간척지토양의 염농도를 낮추기 위해서는 제염과정 중에 충분한 수리전도도를 유지시켜 주는 것이 중요하며, 이를 위해 석고 등과 같은 토양개량제를 공급하여 토양내 치환성나트륨 함량을 감소시키고 동시에 석회포화도를 증진시켜 제염진행 중에 투수성이 감소하는 것을 방지해야 한다 (Koo et al, 1988).

Saline soil과 saline-sodic soil의 개량을 위해서는 우선 치환성  $\text{Na}^+$ 이온과 가용성 염류의 수준을 낮추어야 한다. 치환성복합체 (exchangeable complex)에서  $\text{Na}^+$ 이온의 제거는  $\text{Ca}^{2+}$ 이온 또는  $\text{H}^+$ 이온에 의한 치환으로

접수 : 2010. 9. 29 수리 : 2010. 10. 19

\*연락처 : Phone: +82428216739

E-mail: dychung@cnu.ac.kr

효과적으로 이루어질 수 있다. 이러한 치환을 일으키는데 있어, 석고 (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)의 형태로 Ca<sup>2+</sup>를 공급하는 것이 가장 실질적인 방법이다 (Brady and Weil, 2002).



석고의 용해도는 0.207 g 100 g<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O로 높아 토양과 작물에 대한 칼슘공급 능력이 탁월하고 NaCl 수용액 (5.24 mole L<sup>-1</sup>)에서는 용해도가 더욱 높아져 0.647g 100g<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O의 용해도를 나타내는 것으로 보고되었다 (Bock, 1961).

본 연구는 석고의 사용이 사질 간척지 토양의 투수성과 제염에 미치는 영향을 구명하고자, 아직 작물재배가 이루어지지 않은 간척지 토양의 표토와 심토를 기본재료로 활용하여 석고의 혼합비율별 토주를 제작하고 토양의 이화학적 특성을 조사분석하였다.

### 재료 및 방법

**토양시료 채취 및 분석** 시험토양은 간척 후 작물재배가 이루어지지 않은 전북 김제시 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 토양의 물리·화학적 분석과 토주 (Soil column) 실험에 사용하였다. 토양분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법 (1988)에 준하여 분석하였다. 토성 (Soil texture)은 토양을 5% Sodium hexametaphosphate

용액에 의해 분산시킨 후 ASTM #152 Hydrometer 법으로 분석하였고, 양이온치환용량 (cation exchange capacity, CEC)은 1N-Ammonium acetate법으로 분석하였으며 유기물함량 (organic matter, OM)은 Tyurin법으로 분석하였다. 토양의 치환성양이온분석은 토양시료에 80% 에탄올을 1:10의 비율로 가하고 30분간 진탕한 뒤 원심분리하여 상등액을 제거하는 방식으로 3회 세척하여 가용성 양이온을 제거한 후 토양을 1N NH<sub>4</sub>OAc 용액 (pH 7.0)으로 침출하여 침출액의 양이온을 ICP (Varian Vista-MPX)를 사용하여 분석하였다. Table 1에 시험토양의 물리·화학적 특성을 나타내었다. 시험토양은 점토함량이 적고, 미사의 함량이 많은 미사질양토 (Silt loam)로 토양의 pH는 표토 7.7, 심토 7.8이었고, 전기전도도 (Electric conductivity; EC)는 표토 33.9 dS m<sup>-1</sup>, 심토 14.7 dS m<sup>-1</sup>로 높았으며, 치환성나트륨백분률 (Exchangeable sodium percentage; ESP)은 표토 45.1%, 심토 56.2%를 나타내었다.

### 석고 혼합비율별 수리전도도 및 이온용출 특성

시험토양의 석고 혼합비율에 따른 토양의 투수성 및 용질이동 양상을 구명하고자 석고의 혼합비율별로 토주를 만들어 토양의 K<sub>sat</sub> 값 및 양이온 용출 특성을 조사하였다. 토주는 2 mm체를 통과시킨 표토에 분말상태의 시약용 석고 (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)를 건조 중량 기준으로 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% 비율로 완전히 혼합한 후 50 cm의 Acryl column (I.D 4.9 cm)에 토주의 높이를 30 cm로 충전하여 만들었다. 이때 토주내 용적밀도는 1.30 g cm<sup>-3</sup>로 하였다. K<sub>sat</sub>의 측정에는 토주를 증류수로 하향 포화시킨 후 토주의 상단부에 10 cm깊이로 일정수두 (Constant head method)를 두고 토주의 바닥면에서 용출수를 수

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

Soil	pH (1:5)	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
		dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%	-----				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				-----			
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

Particle size distribution				Soil texture
Clay	Silt		Sand	
	---- % ----			
6.1	56.1		37.8	SiL
5.4	57.1		37.5	SiL

<sup>1</sup> : Electric conductivity                      <sup>2</sup> : Organic Matter                      <sup>3</sup> : Cation exchange capacity  
<sup>4</sup> : Exchangeable sodium percentage (ESP) =  $\frac{\text{Exchangeable Na}^+ (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})}{\text{CEC} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})} \times 100$

집하여 시간 경과에 따른  $K_{sat}$ 의 변화와 용출수의 EC 변화 및 양이온의 용출특성을 조사하였다. 또한 토주의 용출시험을 종료한 후 토주의 토양을 5 cm단위로 절단하여 토양의 화학성을 분석하였다. 이 때  $K_{sat}$ 은 Darcy's Law에 따라 계산하였다 (Hillel, 1998).

$$K_{sat} = \frac{q}{\left(\frac{\Delta H}{L}\right)}$$

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

$q$ (flux) : 단위시간당 단위 단면적을 통과하는 물의 양

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

### 결과 및 고찰

**석고 혼합비율별 수리전도도** 석고 ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )의 혼합비율별  $K_{sat}$ 값의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 석고를 혼합하지 않은 토주의 초기  $K_{sat}$ 값은  $0.25 \text{ cm hr}^{-1}$ 을 나타내었으나 시간 경과에 따라 감소하여 240시간 후 투수가 정지하여 최종적으로  $K_{sat}$ 값은  $0 \text{ cm hr}^{-1}$ 을 나타내었다. 석고 0.2%를 혼합한 토주의 초기  $K_{sat}$ 값은  $0.57 \text{ cm hr}^{-1}$ 을 나타냈고 이 후 계속 감소하여 241시간 경과 후  $0.01 \text{ cm hr}^{-1}$ 을 나타냈다. 석고 0.4% 혼합 토주의 초기  $K_{sat}$ 값은  $0.89 \text{ cm hr}^{-1}$ 이었고, 이후 투수성은 계속 감소하여 222시간 경과 후  $0.30 \text{ cm hr}^{-1}$ 의 투수속도를 보였다. 석고 0.6% 혼합토주의 초기  $K_{sat}$ 값은  $1.06 \text{ cm hr}^{-1}$ 이었고, 194시간 경과 후  $0.32 \text{ cm hr}^{-1}$ 을 나타내었다. 석고 0.8% 혼합토주의 초기  $K_{sat}$ 값은  $1.09 \text{ cm hr}^{-1}$ 이었고, 241시간 경과 후  $0.54 \text{ cm hr}^{-1}$

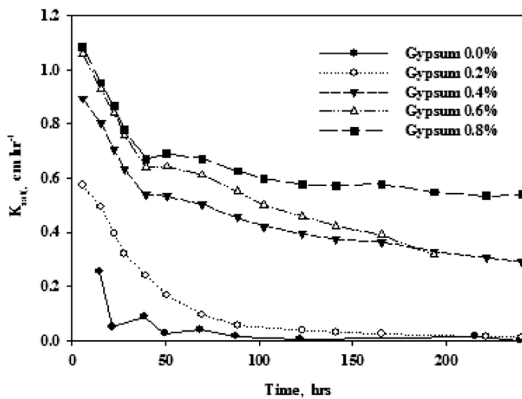


Fig. 1. Changes of saturated hydraulic conductivities ( $K_{sat}$ ) of soil columns packed with top soil as affected by incorporation rate of gypsum.

을 나타내었다. 석고의 혼합비율이 증가할수록  $K_{sat}$ 는 증가하였는데, 이는 두 가지 요인 때문으로 판단된다. 즉, 첫째는 토양 중  $Ca^{2+}$  이온이 증가할수록 양이온치환반응에 의한 점토입자의 치환성  $Ca^{2+}$ 의 함량은 증가되고 이에 따라 점토입자가 안정화되고 분산이 감소하여  $K_{sat}$ 가 증가하는 것이고, 둘째는 석고의 혼합비율이 증가할수록 점토의 표면에서  $Ca^{2+}$ 와의 치환 반응으로 토양용액으로 유리되어 나오는  $Na^+$  등 양이온의 양이 증가하게 되고 따라서 침출수의 전해질 농도가 증가하게 되어 토양의 투수성이 증대되는 것으로 해석되었다 (Quirk and Schofield, 1955; Rao et al, 1995; Shainberg et al., 1988; Yoo and Lee, 1988).

**석고 혼합량별 용출액의 EC 변화** 토양용액중의 EC는 용액 중 존재하는 염류이온의 농도에 비례하기 때문에 EC는 토양용액중의 염분농도의 지표가 된다 (NIAST, 1988). Figure 2에 석고혼합 토주의 하단에서 수집된 용출수의 EC를 시간경과에 대하여 나타내었다. 석고 0.2% 혼합처리 토주의 용출액 EC는 초기 매우 높은 수치인  $164.8 \text{ dS m}^{-1}$ 을 나타내었으나, 이후 빠르게 감소되어 28시간 경과 후  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ 으로 감소하였고 141시간 경과 후에는  $0.6 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 감소하였다. 석고 0.4% 혼합처리 토주의 용출액 EC는 초기  $123.5 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 28시간 경과 후  $0.4 \text{ dS m}^{-1}$ 로 감소하였고 141시간 경과 후에는  $0.1 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 감소하였다. 석고 0.6% 혼합토주의 용출액 EC는 초기  $106.0 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 28시간 경과 후  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$ 로 감소하였고, 141시간 경과 후에는  $0.1 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 감소하였다. 석고 0.8% 혼합토주의 용출액 EC는 초기  $104.2 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 28시간 경과 후  $3.1 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 감소하였고 141시간이 경과한 후  $0.1 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 감소하였다.

용출수의 EC는 모든 석고 혼합처리에서 용출시작

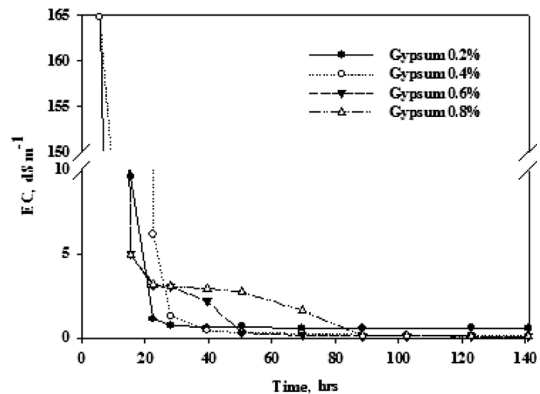


Fig. 2. Changes of EC of effluent collected at the bottom of the soil columns packed with top soil as affected by incorporation rate of gypsum.

141시간 내에 크게 감소하여 석고 혼합비율에 따라 0.1 ~ 0.6 dS m<sup>-1</sup>을 나타내었다. 따라서 투수성이 증대되면 시험토양의 제염은 비교적 용이하다는 결과를 나타냈다. 이는 투수성 불량률의 주된 원인이 점토의 분산과 분산된 점토에 의한 공극의 막힘 현상이므로 석고의 혼합으로 토양중 점토의 분산이 경감되면 토양의 투수성이 증대되고 이에 따라 토양의 제염이 용이해지기 때문으로 추정된다 (Quirk and Schofield, 1955; Frenkel et al., 1978; Rao et al., 1995; Bolan et al., 1996).

**석고 혼합량별 양이온의 용출 특성** 토주 하단에서 수집된 용출수 양이온의 누적량을 시간 경과에 대하여 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다. 모든 석고 혼합비율에서 용출된 누적양이온은 Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> 순으로 많았고 각 양이온의 누적량은 석고 혼합비율이 증가됨에 따라 증가하였다. 양이온이 용출되는 속도는 Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> 순으로 빨랐는데, 용출 시작 22.5시간 경과 후 모든 석고혼합 토주에서 Na<sup>+</sup> 이온은 76.8% 이상, Mg<sup>2+</sup> 이온은 68.1% 이상, K<sup>+</sup> 이온은 31.4% 이상, Ca<sup>2+</sup> 이온은 13.7% 이상 용출되었다.

용출시작 141시간 경과 후, 석고 혼합량별 토주내 각 양이온 함량에 대한 용출양이온의 비율을 Fig. 4에 나타내었다. 토양내 이온별 양이온 함량에 대한 용출양이온의 비율은 석고 혼합비율이 증가에 따라 모든 이온에서 증가하여 석고 혼합량 0.8% > 0.6% > 0.4% > 0.2% 순을 나타내었다. Na<sup>+</sup> 이온은 석고 혼합비 0.2% 토주에서 77.7%, 0.4% 토주에서 80.8%, 0.6% 토주에서 83.8%, 0.8% 토주에서 87.3%가 용출되었다. Mg<sup>2+</sup> 이온은 석고 혼합비 0.2% 토주에서 68.5%, 0.4% 토주에서 73.8%, 0.6% 토주에서 78.3%, 0.8% 토주에서 84.0%가 용출되었다. K<sup>+</sup> 이온은 석고 0.2% 토주에서 33.4%, 0.4% 토주에서 43.4%, 0.6% 토주에서 47.4%, 0.8% 토주에서 54.1%가 용출되었다. Ca<sup>2+</sup> 이온은 석고 혼합비 0.2% 토주에서 13.7%, 0.4% 토주에서 22.5%, 0.6% 토주에서 29.1%, 0.8% 토주에서 34.4%가 용출되었다. 또한 모든 석고 혼합비율에서 토양내 각 양이온 함량에 대한 용출 양이온의 비율은 Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> 순으로 높았다.

**용출 토주 토양의 깊이별 EC** 이온 용출시험 후 토주내 토양 EC를 Table 2에 나타내었다. 토양의 EC는 모든 토주에서 초기 토양 대비 98.8% 이상 감소되었다. 석고혼합량이 가장 적은 석고 0.2% 혼합 토주에서는 EC값이 토양깊이에 따라 0.26~0.42 dS m<sup>-1</sup>의 범위에 있었고, 석고가 0.4% 이상 혼합된 토주에서는 0.30 dS m<sup>-1</sup>이하의 수치를 나타내었다. 토주의 깊이가

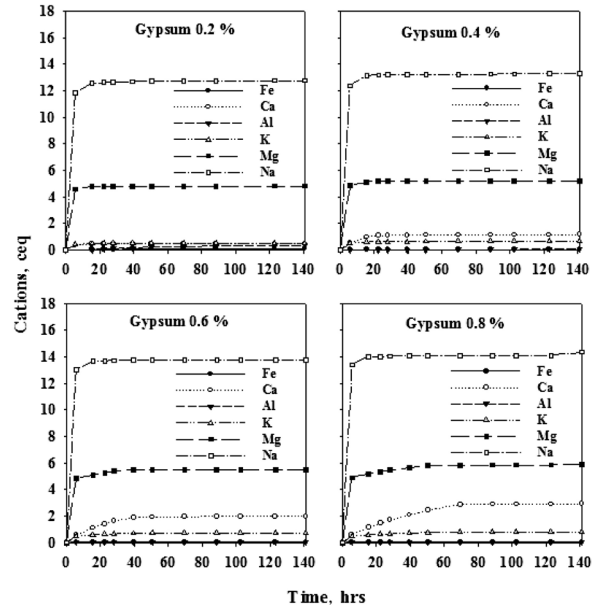


Fig. 3. Cumulative elution patterns of cations from soil columns as affected by incorporation rate of gypsum.

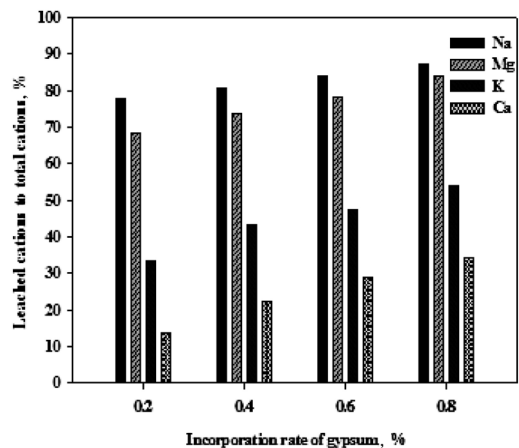


Fig. 4. Rate of each cumulative leached cation to each total cation in soil columns as affected by gypsum incorporation rate after elution experiment.

깊어질수록 EC는 다소 증가하였는데 이는 토양내 침출액의 하향 이동으로 토주의 하부에 염류의 농도가 상대적으로 높아짐에 따라 EC가 토주의 상부에 비해 상대적으로 약간 증가한 것으로 추정된다. 그러나 그 차이는 석고 0.4% 이상 혼합된 토주에서는 크지 않았는데 이는 석고 혼합량의 증가에 따른 투수성의 증대로 토주의 제염이 충분히 된 때문으로 판단된다.

**용출 토주 토양의 치환성양이온 분포** Figure 5에 용출시험 후 토주내 토양의 치환성양이온 분포를 깊이별로 나타내었다. 토주 토양의 치환성 Ca<sup>2+</sup>는 크게 증가하여 석고 혼합비에 따라 1.7~3.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>의 함량을 나타낸 반면, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> 이온은 각각 1.1,

Table 2. Soil EC through the soil columns after elution experiment as affected by incorporation rate of gypsum.

Soil depth (cm)	Gypsum content (%)			
	0.2	0.4	0.6	0.8
	----- dS m <sup>-1</sup> -----			
0~5	0.26	0.22	0.21	0.21
5~10	0.33	0.23	0.22	0.22
10~15	0.34	0.24	0.23	0.23
15~20	0.34	0.25	0.25	0.25
20~25	0.37	0.25	0.25	0.26
25~30	0.42	0.27	0.26	0.25

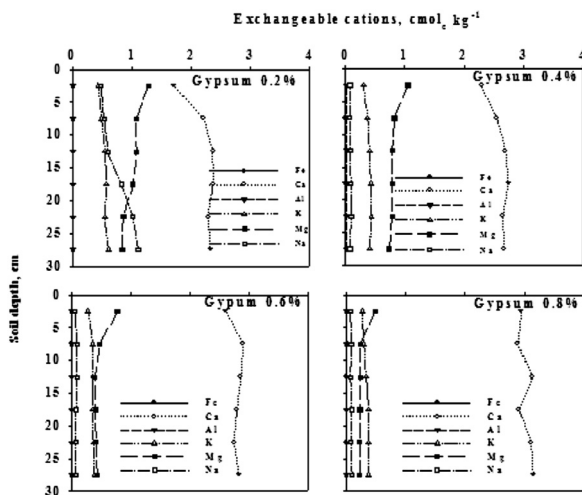


Fig. 5. Soil exchangeable cations in soil columns through the soil depth after elution experiment as affected by incorporation rate of gypsum.

1.3, 0.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 이하의 함량을 가지면서 석고 혼합량에 따라 깊이별 분포를 달리하였다.

석고 0.2% 혼합토주는 토양표면에서 20 cm까지는 Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> 순이었으나 그 이하의 깊이에서는 Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> 순을 나타냈는데 이는 석고 혼합량의 상대적 부족으로 토주 하층부의 Na<sup>+</sup> 이온을 완전히 치환제거할 수 있는 가용성 Ca<sup>2+</sup> 양이 상대적으로 부족했기 때문으로 생각된다. 석고 0.4% 및 0.6% 혼합토주의 치환성양이온은 Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> 순을 나타내었다. 그러나 석고 0.6% 혼합토주의 경우는 석고 혼합량의 증가에 따른 Mg<sup>2+</sup> 이온의 치환제거가 증가하여 토양 표면 5 cm이하의 깊이에서는 Mg<sup>2+</sup>와 K<sup>+</sup>의 함량 차이가 매우 적었다. 석고 0.8% 혼합토주는 토양표면 5cm 깊이까지의 토양은 Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> 순이었으나 5 cm 깊이 이하에서는 Ca<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> 순으로 순위가 바뀌었다. 석고 혼합량의 증가에 따른 가용성 Ca<sup>2+</sup>에 의한 Mg<sup>2+</sup> 이온의 치환제거가 증가한 때문으로 판단된다. 석고 혼합

량의 증가에 따라 토양의 치환성 Na<sup>+</sup>와 치환성 Mg<sup>2+</sup>는 크게 감소한 반면 치환성 K<sup>+</sup>는 상대적으로 감소의 정도가 크지 않았는데 이와 같은 현상은 가용성 Ca<sup>2+</sup>의 농도증가에 따른 양이온 치환반응에 있어 Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>-Mg<sup>2+</sup>의 치환반응이 Ca<sup>2+</sup>-K<sup>+</sup>의 치환반응에 비해 크게 일어나기 때문으로 추정된다.

## 적 요

고염도 간척지 토양에서 석고사용에 따른 토양의 제염특성을 알아보려고 석고의 혼합비율별 토주를 제작하여 이온의 용출과 토양 중 이온 분포 특성을 조사하였다. 석고의 혼합비율별로 토주의 K<sub>sat</sub> 값을 측정된 결과, 석고 혼합 0%에서는 최종적으로 투수가 정지하여 K<sub>sat</sub> 0 cm hr<sup>-1</sup>을 나타내었고, 석고 0.2% 혼합에서는 0.01 cm hr<sup>-1</sup>를 나타내었으며, 석고 0.4% 이상의 혼합에서는 투수성이 크게 증가하여 0.3 cm hr<sup>-1</sup> 이상의 K<sub>sat</sub> 값을 나타내었다. 석고의 혼합비율별 용출액의 EC는 초기 104.2~164.8 dS m<sup>-1</sup>에서부터 141시간 용출 후 크게 감소하여 석고 혼합비율에 따라 0.1~0.6 dS m<sup>-1</sup>을 나타내었다. 석고 혼합비율별 토주 토양내 양이온 함량에 대한 용출된 각 양이온의 비율은 석고 혼합비율이 증가됨에 따라 모든 이온에서 증가하여 석고 혼합비 0.8% > 0.6% > 0.4% > 0.2% 순을 나타내었다. 또한 모든 석고 혼합비율에서 토양내 양이온 함량에 대한 용출 양이온의 비율은 Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> 순으로 높았다. 석고혼합 토주의 용출 시험 후 토주내 토양의 EC는 시험 전 33.9 dS m<sup>-1</sup>에 비해 98.8% 이상 저하되었다. 토양의 치환성 Ca<sup>2+</sup>는 크게 증가하여 석고 혼합비에 따라 1.7~3.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>의 함량을 나타낸 반면, 치환성 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>이온은 각각 1.1, 1.3, 0.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 이하의 함량을 나타내었다.

## 사 사

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

## 인 용 문 헌

- Bock, E. 1961. On the solution of anhydrous calcium sulphate and of gypsum in concentrated solutions of sodium chloride at 25°C, 30°C, 40°C, and 50°C. *Can. J. Chem.* 39:1746-1751.
- 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.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. *The Nature and properties of soils.* Prentice Hall.
- 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.
- Hopkins, W.G. and N.P.A. Hüner. 2004. *Introduction to plant physiology.* 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Koo, J.W. and C.H. Eun. 1988. Changes of hydraulic conductivity during desalinization of reclaimed tidelands. *J. Kor. Soc. Agri. Engineers* 30:85-93.
- NIAST. 1988. *Methods of soil chemical analysis.* National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Oster, J.D. and H. Frenkel. 1980. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:41-45.
- Quirk, J.P. and P.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.
- Yoo, S.H. and S.M. Lee. 1988. Laboratory study on changes in hydraulic conductivity and chemical properties of effluent of soil during desalinization. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 21:3-10.