

《原著》

염류집적 농경지의 전기동력학적 정화

조성웅¹ · 김도형¹ · 양중석² · 정근욱³ · 백기태^{4*}

¹금오공과대학교 환경공학과

²한국과학기술연구원 강릉분원

³충북대학교 농화학과

⁴전북대학교 환경공학과

Electrokinetic Restoration of Saline Agricultural Land

Sung-Ung Jo¹ · Do-Hyung Kim¹ · Jung-Seok Yang² · Keun-Yook Chung³ · Kitae Baek^{4*}

¹Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²Korea Institute of Science and Technolgy (KIST) - Gangneung Institute

³Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University

⁴Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT

The influence of operation time on electrokinetic restoration was investigated to remove salts from sulfate-accumulated greenhouse soil. Operation time is directly related to the process cost, therefore, we determined the relationship between operation time and removal of salts. Nitrate and sodium were removed almost completely within 2 weeks, chloride and calcium was removed in proportion to the operation time. Sulfate was accumulated at the center of anode and cathode. The soil electrical conductivity (EC), an indicator for soil salinity, showed similar shape with the residual sulfate after electrokinetic treatment. The soil EC was not changed after 2 weeks, however, the energy consumption increased with operation time. Based on the experimental results, most salts except sulfate were removed within 2 weeks, but sulfate was not removed during same time period. For the further removal of sulfate, longer operation time is in need.

Key words : Electrokinetic, Saline, Sulfate, Nitrate

1. 서 론

최근 고부가가치 농산물 수요의 증가로 인하여 시설재배 농가가 증가하고 있으나, 대규모화, 자동화, 고정화된 농지집약적인 시설재배로 인하여 염류집적 현상이 빈번하게 발생하고 있다(통계청, 2005-2008). 시설에서 작물을 계속해서 재배하면 토양에 염류가 집적되고 병충해 발생이 많아서 생산되는 농산물의 상품성과 수량이 줄어드는 연작피해가 발생한다. 일반적으로 연작장애는 토양의 이화학적 특성 변화로 인해 발생한다(윤석명 외, 2010). 시설재배지 비닐하우스의 폐쇄적인 환경에서 휴작기 없이 1년에 2작 이상 연속적인 재배를 하고 있고 시설물 설치에 의하여 강우에 의한 염류 등의 유실 및 용탈이 적고, 고

농도의 비료와 가축분 퇴비를 과도하게 시비한다. 작물을 재배하는 비닐하우스의 구조/환경적인 특성상 내부에서 높은 온도로 인해 토층의 하부에서 상부로 수분이 이동하게 되고, 공극수의 이동과 함께 하층부에 있던 염이 상층부로 이동하면서 염류집적현상이 발생하게 된다(Kim et al., 1997a; Kim et al., 1997b). 이러한 염류집적 토양에서는 작물뿌리 부근의 토양 삼투압이 작물보다 높아져서 작물의 수분 및 양분의 흡수력이 저하되어 생육장애 및 작물이 고사하는 현상이 발생한다(윤석명 외, 2010).

농가에서는 농지의 염류집적 문제를 해결하기 위해 심토반전, 심토파쇄, 관수제염, 표토제거, 객토, 흡비 작물(cleaning crop)재배, 유공 암거 배수관 설치, 미생물제제 처리방법을 사용하고 있지만, 이런 방법들은 비효율적이

*Corresponding author : kbaek@jbun.ac.kr

원고접수일 : 2012. 4. 17 심사일 : 2012. 7. 23 게재승인일 : 2012. 7. 23

질의 및 토의 : 2012. 10. 31 까지

고 현장특성을 고려하여 적용하기 어려우며, 염류의 농도를 일시적으로 낮출 수는 있지만 염을 완전히 제거하지는 못하는 단점이 있다(오상은 외, 2010; 박양호, 2000-2004; Ok et al., 2005). 따라서 시설재배지 토양의 염류 집적 현상으로 인해 농가에서는 작물의 생산성 및 품질이 저하되어 이를 방지하기 위한 기술개발이 필요한 실정이다.

최근에 전기동역학적 정화 공법(electrokinetic remediation, EK)이 토양 중 염류를 제거하는데 효과적이라고 보고되고 있고 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전기역학적 정화를 이용한 염류토양 정화의 선행 연구에서는 전극 간격, 전압경사에 따른 염의 제거율 및 제거경향에 관한 다양한 영향에 대한 평가를 수행하였다(Cho et al., 2010). 전기동역학적 정화 공법을 이용한 염류 토양의 정화시, 공정비용의 대부분이 전기사용에 의한 것이다. 처리기간이 길어지면 염류 제거는 증가하나 이와 함께 전력소모량 또한 증가하게 된다. 선행연구에서는 짧은 처리기간으로 인하여 염류집적 토양에서 염의 제거율이 높지 않았다(조정민 외, 2011). 제거율을 높이기 위하여 처리기간을 길게 할 수 있으나, 처리기간과 제거효율 사이의 상관관계를 평가하여 적절한 처리기간을 산정하는 것이 전체적인 공정비용을 최소화하는데 반드시 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 전기동역학적 정화공법을 이용한 염류집적 토양의 정화에서 처리기간에 따른 염류의 제거율 및 전력소비량의 관계에 대해서 평가하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 염류 집적 토양

본 연구에서 사용한 토양은 경북 구미 지역의 염류 장애가 발생하고 있는 시설재배지 표토층(0-20 cm)을 채취하여 이용하였으며, 토양의 물리화학적 특성을 분석한 결과를 Table 1에 정리하였다. 토양은 염류집적의 지표인 전기전도도(Electric conductivity, EC)가 약 19.8 dS/m 정도로 아주 높아 작물생육이 불가능 한 상태였으며, 특히 음이온과 양이온의 초기 농도가 매우 높은 전형적인 염류 집적토양으로 미사가 65% 이상 분포하는 미사질 양토로 분류되었다.

2.2. 전기동역학적 처리 장치 및 실험

Fig. 1에 실험에 사용한 전기동역학 반응기의 모식도를 나타내었다. 실험에 사용한 반응기의 크기는 W 4 × H 4 × L 20 cm였으며, 반응기 토양실에 함수율을 증류수로 약 25%로 조절된 염류토양을 채웠고 전극은 토양 양 끝에

Table 1. Physico-chemical properties of soil

Property	Value
pH	6.1
EC (dS/m)	19.8
Organic content (%)	6.8
Particle size distribution (%)	
Sand	23.0
Silt	65.2
Clay	11.8
Initial concentration (mg/kg)	
Cl ⁻	976
NO ₃ ⁻	4131
SO ₄ ²⁻	3635
Ca ²⁺	3088
K ⁺	683
Mg ²⁺	769
Na ⁺	448
Cl ⁻ in tap water (mg/L)	21.5

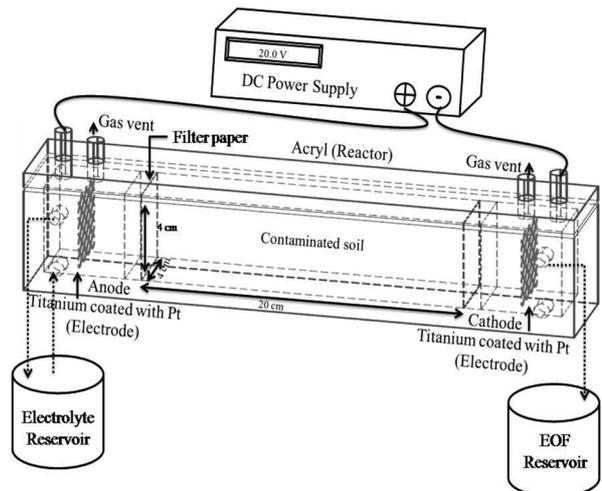


Fig. 1. The schematic diagram of electrokinetic experiment system.

위치한 전극실에 설치하였다. 토양실과 전극실의 경계에는 거름종이(5B, Advantec, japan)를 사용하여 토양의 유실 및 침투를 방지하였다. 양극실에 순환펌프를 이용하여 수돗물 1 L를 일정한 속도로 순환시켜 주었고, 전기삼투 흐름(electro-osmotic flow, EOF)이 발생하면 음극실의 위쪽에서 월류 할 수 있도록 설계하였고, 초기에 약 65 mL의 수돗물을 음극실에 채웠다. 수위 차에 의한 영향을 최소화하기 위하여 반응기의 수평을 맞춘 후 이리듐(IrO₂)이 코팅된 티타늄 전극을 양극 및 음극에 설치하고 전극을 직류전원공급기(0-60 V, 0-1.5 A.)에 연결하여 전기동역학

적 정화 실험을 수행하였다.

각 실험은 1 V/cm의 직류 정전압 조건에서 실시하였고, 전해질로서 수돗물을 사용하였다. 실험이 진행되는 동안 전류변화를 데이터 로거(LOGGER GL220, GRAPTEC Corporation, German)를 이용하여 10분 간격으로 측정하였고, 양극순환수와 EOF를 측정하였다. 실험 종료 후, 토양질의 토양을 균등하게 10등분하여 수분함량, pH, EC, 양이온과 음이온의 농도를 측정하였다. 본 연구에서는 처리기간에 따른 염류의 제거율 및 경향을 평가하기 위하여 14일(EXP1), 21일(EXP2), 28일(EXP3) 동안 수행하였다.

2.3. 분석방법

실험이 종료된 후에 균일하게 10등분한 토양을 105°C에서 4시간 이상 건조 시킨 후 수분함량을 측정하였다. 토양오염공정시험기준에 따라 토양 5 g(건조중량)에 25 mL의 증류수를 가하여 (고액비 1:5) 실온에서 1시간 동안 진탕한 후 거름종이(5B)로 여과하여 그 여과액의 pH 및 EC를 측정하였다. pH와 EC는 pH/ISE meter (Istek 735K, Korea)와 conductivity meter (Istek, 455C, Korea)를 이용하여 분석에 사용하였다. 수용성 음이온을 측정하기 위하여 고액비를 1:5로 하여 1시간 동안 진탕한 후 거름종이(5B)로 여과하여 그 상등액을 IC(Ion chromatography, Futecs, Korea)를 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온의 추출은 1 N NH₄OAc(CH₃COONH₄)용액의 pH를 7로 조절하여 사용하였고, 토양 5 g(건조중량)과 NH₄OAc 50 mL을 섞어 1시간 동안 진탕한 후 5B거름종이로 여과하여 여과액을 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, 730-ES, Varian, USA)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전류변화

실험이 진행되는 동안 시간에 따른 전류변화를 Fig. 2에 나타내었다. 전류값은 초기부터 30시간까지 급격하게 증가하여 8~11 mA의 높은 값을 유지하다가 48시간 이후부터는 감소하여 2주 뒤부터는 2 mA 이하로 떨어져 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 또한 전기역학적 정화에서 전류-전압의 관계는 Ohm의 법칙으로 설명할 수 있다. 정전압 조건하에서 초기 전류의 증가는 저항의 감소를 의미한다. 토양 표면에 흡착되어 있던 이온들이 전기장 하에서 탈착되어 토양공극수로 이동하기 때문에 공극수 내의 이온농도가 높아지고 전기전도도가 증가하여 전류가

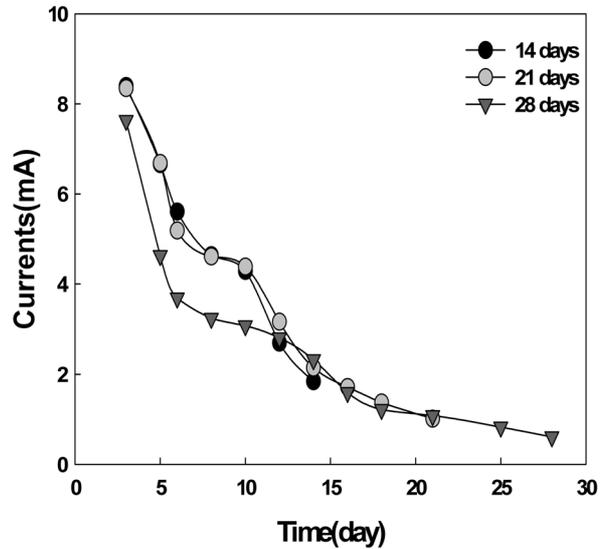


Fig. 2. Change of electric current during electrokinetic experiment.

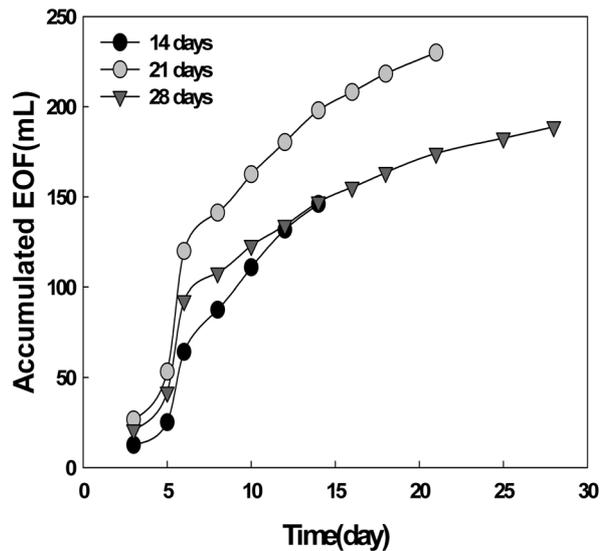


Fig. 3. Trend of accumulated volume of electro-osmotic flow.

증가하였다. 시간이 지날수록 토양 중 이온의 탈착과 함께 이온의 이동과 전기 삼투에 의해 토양에서 이온성 물질이 제거되면서 저항이 증가하게 되고 이로 인해 전류는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 결과적으로, 정전압 하에서 전류의 감소는 토양공극수에서 이온성 물질의 농도 감소에 대한 간접적인 증거가 되며, 염류집적 토양에서 염류의 지속적인 제거를 의미한다.

3.2. 전기삼투흐름의 변화

Fig. 3은 전기삼투흐름(EOF)의 변화량을 나타낸다. 초

기에 전기삼투흐름이 급격히 증가하다가 점차 안정되는 경향을 보였으며, 전류의 변화와 유사한 경향을 보였다. 전기삼투유속은 Helmholtz-Smoluchowski 이론식에 의해 설명할 수 있다(Cho et al., 2009).

$$V_{eo} = -\frac{D\varepsilon_0\zeta}{\eta}E_x$$

여기에서 D 는 유전상수, ε_0 는 진공유전율, ζ 는 토양의 제타전위, η 는 토양공극수의 점도, E_x 는 전압경사를 나타낸다. 이 식에 의하면 EOF는 전압경사에 비례한다.

이론적으로 EOF는 동일한 전압경사와 동일한 시료에 대해서는 동일하나, 실제 실험에서는 토양의 불균질성에 의하여 토양 공극 사이에 공극수가 전기삼투에 의하여 흐르는 경로가 다르다. 이러한 토양의 특성을 고려하여 Hamed et al.(Hamed et al., 1991)은 다음과 같은 식에 의하여 전기삼투량(q_e)은 토양의 특성을 반영하는 전기삼투계수(k_{eo})와 전류(I)에 비례하고 공극률(σ)에 반비례한다고 보고하였다.

$$q_e = \frac{k_{eo}I}{\sigma}$$

본 연구에서 전류변화와 전기삼투흐름 결과를 비교해보면, 초기에 160시간까지의 전류변화가 급격하게 증가하는 경향을 보였는데, 마찬가지로 전기삼투흐름도 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 초기 160시간까지의 급격한 전기삼투흐름의 증가는 전류의 증가에 의한 영향으로 판단된다. 이후의 전기삼투흐름의 감소 또한 전류의 감소와 유사한 경향을 보이고 있다. 이로 판단해볼 때 본 연구에서 전기삼투흐름은 다른 토양인자보다 전류에 의하여 가장 영향을 많이 받는 것으로 보인다.

3.3. 토양 pH 변화

전기역학적 처리종료 후 토양을 10등분하여 각 토양구간의 pH의 분포를 Fig. 4에 나타내었다. 양극부근에서는 토양 pH가 약 3까지 감소하였고, 음극부근에서는 토양 pH가 약 10까지 증가하였다. 실험이 진행되는 일정한 전류를 공급하면 전기분해반응에 의해 양극에서는 H^+ 의 이온이 생성되어 음극방향으로 이동하며 음극에서는 OH^- 이 생성되어 양극방향으로 이동하게 된다. 이때 H^+ 의 이온의 이동속도가 OH^- 이온의 이동속도보다 약 1.8배 빠르므로(이현호 외, 2003) 반응기내에서 양극에서 음극으로 약 2/3 지점에서 pH의 분포가 급격하게 변화되는 현상을 볼 수 있었다. 실험 종료 후, 반응기의 양극에서 음

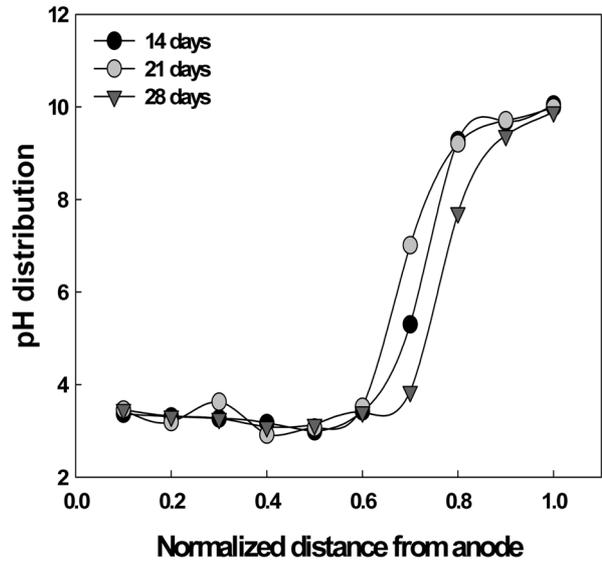


Fig. 4. The pH distribution of soil after electrokinetic experiment.

극까지 거리를 1이라할 때 반응기의 양극으로부터 0.7-0.8 구간에서 토양의 수분이 거의 없고 딱딱해지는 현상을 볼 수 있었다. 이는 앞서 설명한바와 같이 전기삼투흐름이 전해질의 제타전위에 비례하는데, 제타전위는 전해질의 pH에 따라서 낮은 pH에는 +값을 가지고 높은 pH에서는 -값을 가진다. 즉, 양극에서 약 0.7까지는 토양의 pH가 약 3-4 범위에 있기 때문에 토양의 제타전위가 +값 또는 0 근처의 값을 가지고 0.8-1.0 구간에서는 -값을 가지게 된다. 제타전위가 +값을 가지면 전기삼투흐름이 음극에서 양극으로 흐르거나 0 근처의 값을 가지면 거의 흐르지 않으며, -값을 가지면 양극에서 음극으로 흐르기 때문에 양극에서 0.7구간까지의 토양에서는 전기삼투흐름이 양극으로 또는 거의 없으며, 0.8-1.0 구간에서는 음극으로 흐르게 된다. 전반적인 전기삼투흐름은 양극에서 음극으로 흐르기 때문에(Fig. 3) 양극 쪽의 제타전위는 0에 가까운 값을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 결국 0.7-0.8 구간에서는 토양공극수가 한쪽은 흐름이 거의 없고 한쪽은 음극으로 흐르기 때문에 중간에 토양의 수분이 없어지며, 이러한 이유로 양극에서 0.7-0.8구간의 토양이 마르는 현상이 발생한 것으로 판단된다(Fig. 5).

pH 변화를 처리기간에 따라 분석해 보면 pH의 변화경향에는 큰 차이가 없었으나 토양 구간별 pH의 급격한 변화가 공통적으로 발생하였다. 일반적으로 작물재배에 가장 적절한 최적의 pH 범위는 6.5~8.0으로 알려져 있는데, 전기역학적 정화를 이용한 염류집적 토양에서의 염의 제거 시에 발생하는 이러한 pH의 변화는 작물의 생육 및

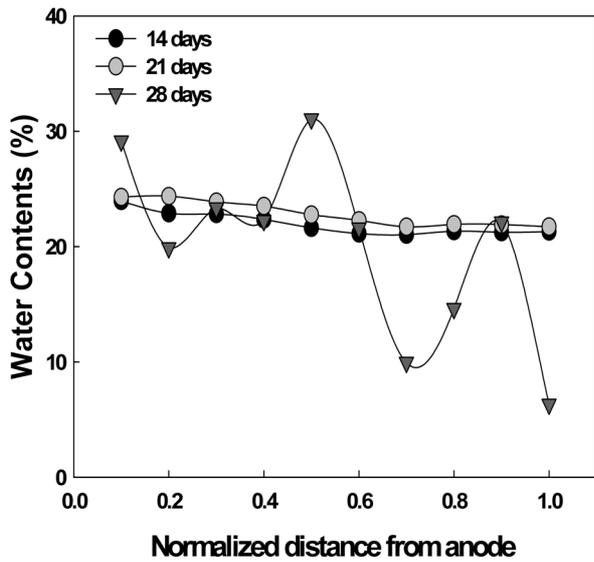


Fig. 5. Water contents of soil after electrokinetic experiment.

생장에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 pH 변화를 완화시키거나 해결할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

3.4. 염 제거율

전기역학적 처리 후에 토양에 잔류하는 염류중 수용성(soluble) 및 치환성(exchangeable) 음이온과 양이온을 초기농도 대비 실험 후 토양의 잔류 농도를 구하여 Fig. 6 와 7에 각각 도시하였으며, Table 2에 각 이온의 평균 제거율을 표시하였다. 평균제거율은 실험 후 10등분한 이온의 농도를 초기농도 대비 제거율을 구하여 전체적인 평균값으로 평균제거율을 구하였다. 결과에서 나타난 바와 같이 실험 기간에 따른 염류의 제거율 및 제거 경향의 차이는 뚜렷이 관찰되지 않았다. 따라서 제거될 수 있는 염류의 대부분은 2주 내에 제거되는 것으로 판단된다.

Cl⁻의 경우 3주간 실험을 실시하였을 때 가장 높은 제거율을 보였는데, 전반적으로 전기이동에 의해 음극에서 양극으로 이동하는 경향을 보였다(Acar et al., 1995). 토양의 pH가 급격히 변하는 구간에서 처리기간이 길어질수록 수분이 낮아짐에 따라 염류의 이동성이 떨어져 축적되는 것을 볼 수 있었고, 기간이 짧은 2주는 그 영향을 적

게 받아서 음극근처에서 적게 집적되고, 양극근처에서 많이 집적되는 것을 볼 수 있었다. 본 연구에서 사용한 수돗물 중 염소이온의 분석 결과 농도가 21.5 mg/l이었는데, 전해질 순환에 의하여 처리기간이 길어질수록 수돗물에 함유된 Cl⁻가 토양에 잔류하여 Cl⁻의 제거에 영향을 미친 것으로 판단된다. NO₃⁻의 경우, 기간에 상관없이 모든 실험에서 95% 이상의 제거율을 보였다. 이는 질산성 질소는 다른 음이온보다 이동성이 좋아 제거가 잘된 것으로 판단된다. SO₄²⁻는 선행 연구결과에서는 처리 기간이 짧아 이온의 제거율이 상대적으로 약 19% 정도로 낮았다. 본 연구에서는 처리기간을 2배 증가하였을 때 약 68% 정도 높아졌다. 실험에 사용한 토양에 황산염의 상대적 농도와 존재형태로 인한 차이점으로 판단된다. SO₄²⁻는 이동성 또한 낮아 중앙으로 집적되는 현상을 보였다. 또한 처리 기간이 길어질수록 제거율이 낮아지는 경향을 나타냈다. 실험에 사용한 토양은 참외 시설 재배지에서 채취하였는데, 참외 재배시에는 질소 성분의 비료를 주로 사용한다. 따라서 토양에 포함된 황산염은 화학비료와 같은 인위적인 원인보다는 자연유래인 것으로 판단된다. 결국 황산염의 경우 토양에 오랫동안 존재하며 토양과 더 강하게 결합하고 있기 때문에 제거가 용이하지 않은 것으로 사료된다. 더욱이 황산염은 토양에 존재하는 칼슘과 불용성 염을 형성하기 때문에 다른 음이온보다 낮은 제거율을 보인 것으로 판단된다. 음이온의 제거 경향을 기초로 판단할 때, Cl⁻와 NO₃⁻는 전기이동이 주된 제거 기작이나, SO₄²⁻는 전기이동과 전기삼투의 영향을 함께 받아 가운데 부분에 농축되는 현상을 나타낸 것으로 보인다. 또한, SO₄²⁻는 이동하면서 Ca²⁺과 결합하여 이동성에 느리고 중앙에 집적되는 결과로 판단된다.

Ca²⁺은 처리기간이 길어지면서 제거율이 높아졌다. Ca²⁺는 전기삼투흐름과 전기이동의 방향이 동일하기 때문에 토양에서 탈착된 후 전기이동과 전기삼투에 의해 이동하는 것으로 보인다. 양극부근에서 낮은 pH로 인하여 토양에서 공극수로의 탈착이 증가하고 이후 전기이동과 전기삼투 현상에 의해 음극으로 이동하는 경향이 뚜렷이 관찰되었다. 그러나 양극에서 이동한 Ca²⁺은 음극에서 음극전

Table 2. Removal efficiencies of salts in soil by electrokinetic process

	Removal efficiency (%)						
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
EXP.1	49.5	96.4	67.7	33.6	37.9	78.3	92.5
EXP.2	60.3	96.6	53.4	32.5	36.1	75.2	90.1
EXP.3	43.7	95.2	45.3	39.1	36.6	78.4	91.6

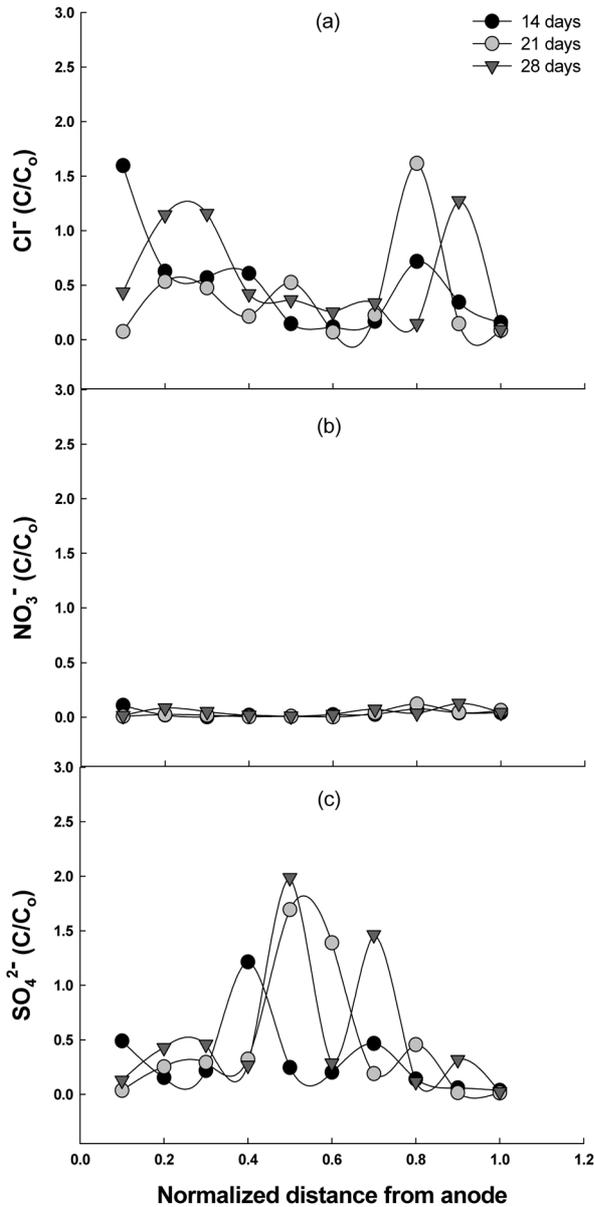


Fig. 6. Residual (a) Cl^- , (b) NO_3^- , and (c) SO_4^{2-} concentration in soil after electrokinetic treatment.

해질로 제거되지 않고 음극부근에 축적되었다. 토양의 미세입자는 토양 콜로이드의 마이너스 전기를 띄고 있다. 칼슘과 같은 플러스 전기를 가진 이온들을 받아들여 잘 흡착되어 있다. 토양용액 중에 질산이 질산화가 이루어지면 질산성 질소와 H^+ 가 생성된다. 이때 생성된 H^+ 는 토양 콜로이드권에 치환성 칼슘이 많으면 칼슘은 나오고 그 자리에 H^+ 가 들어간다. 콜로이드 권에서 H^+ 이온이 많아지므로 토양은 산성화가 되고 칼슘은 용출된다. 토양은 산성화가 되지만 토양용액은 중성에 가깝게 되므로 산성의

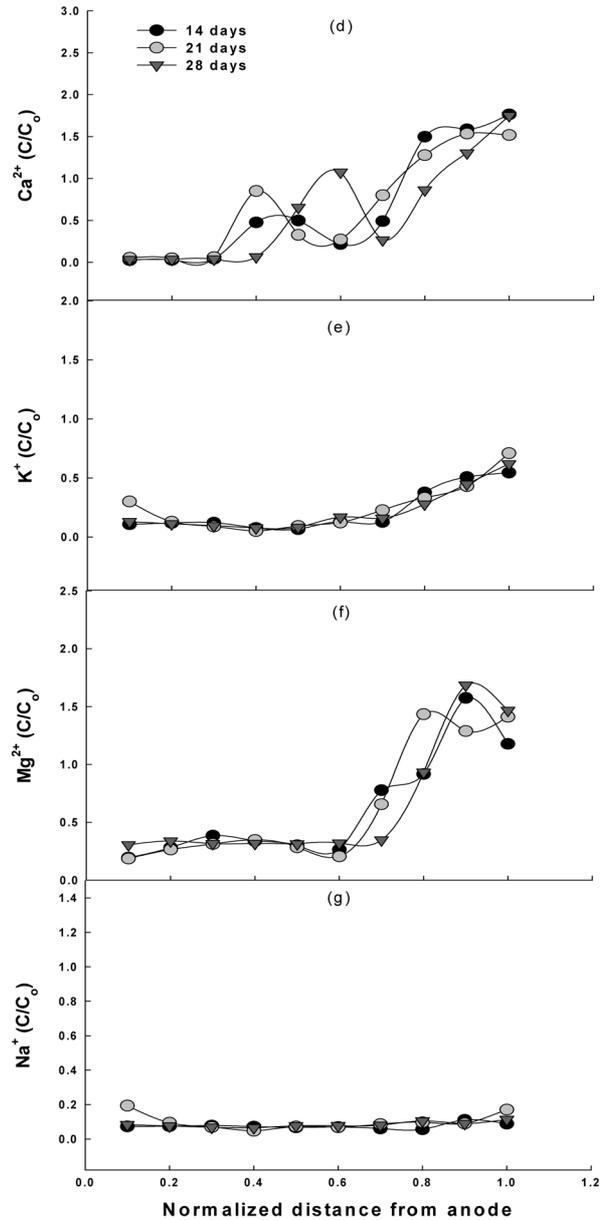


Fig. 7. Residual (a) Ca^{2+} , (b) K^+ , (c) Mg^{2+} , and (d) Na^+ concentration in soil after electrokinetic treatment.

영향은 받지 않는다. 그래서 식물뿌리가 접촉하는 부위는 토양 용액이므로 장애를 받지 않는다. 또한 음극에서 생성된 수산화 이온으로 인해 pH가 높아져, Ca^{2+} 이 이동성이 낮아져 불용성 염으로 침전되며, 이러한 현상으로 전체적인 Ca^{2+} 의 제거율은 낮았다. Ca^{2+} 은 작물의 성장에 필요한 유용양분이기 때문에 낮은 Ca^{2+} 제거율은 전기역학적 염류 제거의 장점이 될 수 있다. Mg^{2+} 도 Ca^{2+} 와 비슷한 제거율을 보였으나, 상대적인 이동성이 크기 때문에 전체적으로 Ca^{2+} 에 비해 많이 제거된 것으로 판단된다.

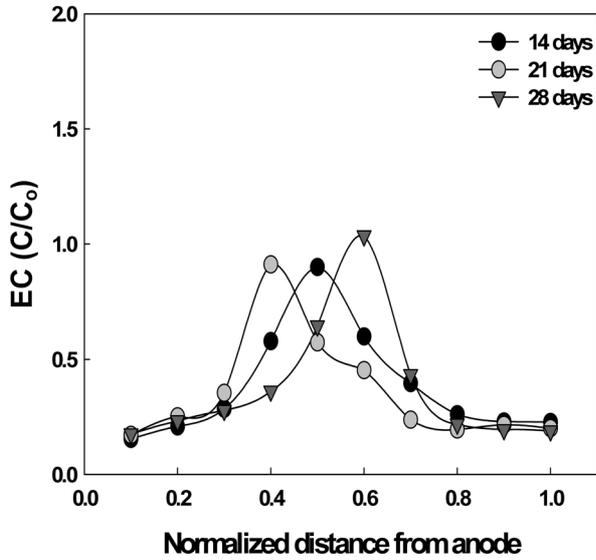


Fig. 8. Electric conductivity of soil after electrokinetic treatment.

Na⁺와 K⁺는 2가 양이온에 비해 용해도가 높고, 반응성이 상대적으로 낮아 전기역학적 방법에 의해 대부분 제거되었다.

3.5. 전기전도도의 변화

시설 제배지 토양에서 전기전도도는 토양에 존재하는 이온들의 양을 측정하는 기준이 되며, 염류집적을 판단하는 주요인자로 사용된다. Fig. 8은 전기역학적 정화 후 토양의 각 구간별 전기전도도를 측정하여 나타낸 것이다. EXP.1, EXP.2, EXP.3의 처리기간에 따른 전기전도도의 감소는 각각 61.6%, 64.4%, 62.4%로 큰 차이가 없었다. 잔류토양의 전기전도도와 SO₄²⁻의 분포가 유사하기 때문에 잔류토양에서의 전기전도도는 황산염에 의한 영향이 가장 큰 것으로 판단된다. 결국 토양의 전기전도도를 원하는 수준으로 낮추려면 황산염 제거가 관건이며, 이는 처리기간의 단순한 연장을 통해서서는 달성하기 어려운 것으로 보인다.

3.6. 전력소비량

정전압(*V*)하에서 처리기간(*t*)에 따른 사용된 전력소비량 (*E*)을 아래의 식에 의해 구하였다.

$$E = \int V I dt$$

처리기간 2, 3, 4주 실험별로 각각 약 55.0, 78.3, 98.3 (Kwh/m³)의 전력소비를 보였고, 동일한 전압경사를 적용하였기 때문에 처리기간이 증가하면 전력소비량도 비례하여 증가하였다. 선행연구 결과에서 8일간 실험한 결과 전

력 소비량이 632.2 Kwh/m³로 측정되었다(조정민 외, 2011). 본 연구결과와 다른 것은 토성과 토양의 이화학적 성질로부터 측정되는 전류값의 차이로 판단된다. 토양의 특성에 따라 정전압하에서의 실험은 전류값이 다르게 측정되며, 동일한 토양이라 하더라도 토양의 압밀정도에 따라 그 차이가 크다. 본 연구에서 2주와 4주 실험결과를 비교해보면, 전력소비량은 약 2배정도 차이를 보였지만 처리기간이 증가해도 전체적인 전기전도도 감소는 비슷하기 때문에 2주 이상 처리를 하는 것은 효과적이지 않은 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 실제 시설 제배지에서 염류집적으로 연 작장애를 일으키고 있는 토양에 대한 전기동역학적 정화 공정에서의 전기전도도 감소를 위한 적절한 처리기간을 알아보기 위하여 실험실 규모의 연구를 실시하여 처리기간별 염류의 제거율과 전력소비량을 비교 평가하였다. 실험결과 기간에 따른 염류 전기전도도 감소에는 크게 차이가 없었으며, 처리기간이 증가하면 CI는 3주차에는 감소한 것은 전해질의 재유입된 것으로 보인다. 처리기간이 길어질수록 Ca²⁺는 제거율이 증가하였고 상대적으로 이동성이 좋은 NO₃⁻와 Na⁺는 처리기간의 증가에 관계없이 2주 안에 높은 제거율을 얻을 수 있었다. SO₄²⁻의 경우에는 실험이 종료된 후에 반응기 중앙으로 집적되는 결과를 보였으며, 결과적으로 SO₄²⁻와 Ca²⁺의 영향으로 인해 전기전도도의 평균 감소는 크게 높지 않은 것으로 판단된다. 전력 소비량을 비교해 보면 처리기간이 길어질수록 전력 소비량이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 전기역학적 정화 공법의 적용 시 전력소비량은 공정비용 중 가장 큰 비중을 차지하기 때문에 본 연구결과 전력소비량과 전기전도도 감소 효율 측면을 고려하면 2주간의 실험이 가장 효율적인 것으로 판단된다. 본 연구결과를 바탕으로 토양의 염의 제거율 향상과 전기전도도 기준의 충족을 위한 추가적인 연구의 수행이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

한국전기연구원의 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

박양호, 2000-2004, 농경지의 작물양분 종합관리(INM) 기술체

계 확립.

오상은, 손정수, 옥용식, 주진호, 2010, 시설재배지에서 토양담수 및 배수에 의한 염류집적 경감 방안, *Korean J. Soil. Sci. Fert.*, **43**(5), 565-571.

윤석명, 한상재, 안동욱, 김수삼, 2010, 동전기를 이용한 시설재배지 토양 염류제거, 대한토목학회 정기학술대회, 인천송도, p. 1708-1711.

이현호, 백기태, 양지원, 2003, 새로운 순환방식을 적용한 동전기 정화기술에 의한 오염토양내의 납제거, *지하수토양환경*, **8**(1), 9-16.

조정민, 조성웅, 김도형, 양중석, 백기태, 2011, 질산염 및 황산염 집적 염류 토양의 전기역학적 개량, *지하수토양환경*, **16**(5), 18-23.

통계청, 통계자료, 농업조사:시설면적 규모별 농가수(2005-2008).

Acar, Y.B., Gale, R.J., Alshwabkeh, A.N., Marks, R.E., Puppala, S., Bricka, M., and Parker, R., 1995, Electrokinetic remediation : Basics and technology status, *J. Hazard. Mater.*, **40**, 117-137.

Cho, J.M., Kim, K.J., Chung, K.Y., Hyun, S.H., Baek, Kitae.,

2009, Restoration of saline soil in cultivated land using electrokinetic process, *Sep. Sci. Tec.*, **44**, 2371-2384.

Cho, J.M., Park, S.Y., Baek, Kitae., 2010, Electrokinetic restoration of saline agricultural lands, *J. Appl. Electrochem.*, **40**(6), 1085-1093.

Hamed, J., Acar, Y.B., and Gale R.J., 1991, Pb(II) removal from kailinite by electrokinetics, *J. Geotech. Eng.*, **117**(2), 241-271.

Kim, P.J., Chung, D.Y., and Lee D.K., 1997a, Effects of soil bulk density on saturated hydraulic conductivity and solute elution pattern, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **30**(3), 234-241.

Kim, P.J., Lee D.K., and Chung, D.Y., 1997b, Vertical distribution of bulk density and salts in a plastic film house soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **30**(3), 226-233.

Ok, Y.S., Yang, J.E., Yoo, K.Y., Kim, Y.B., Chung, D.Y., and Park, Y.H., 2005, Screening of adsorbents to reduce salt concentration in the plastic film house soil under continuous vegetable cultivation, *Korean J. Environ. Agric.*, **24**(3), 253-260.