

## 포장용수량과 포화 반죽 토양용액의 전기전도도 비교

이예진 · 이종식 · 양재의<sup>1\*</sup>

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과, <sup>1</sup>강원대학교 바이오자원환경학과

### The Comparison of Electrical Conductivity for Soil Solutions Extracted in Field Capacity and Saturation-Paste

Ye-Jin Lee, Jong-Sik Lee, and Jae-E. Yang<sup>1\*</sup>

Soil & Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>1</sup>Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Estimating the electrical conductivity of the saturation-paste (SP) is a common method to assess soil salinity. To assess soil salinity realistically, it is important to extract soil solution under field capacity. However, few studies on salinity assessment have been conducted for soil solution extracted under field capacity (-33 kPa; FC) moisture condition due to difficulty in soil solution extraction. This study was conducted to evaluate whether saturation-paste can represent field condition. Soil solutions were extracted from 22 soils in the plastic film house (PFH) and 18 soils in the reclaimed land (RL) at saturation and field capacity moisture conditions. Those were analyzed for pH, EC, cations ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) and anions ( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ). Both cations and anions of soil solution extracted from FC showed high correlations with ions extracted from SP in the PFH and the RL, except for  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  in the RL. Results of the t-test, the  $EC_e$  and  $EC_{FC}$  were not significant at significance level 0.05. The slopes of the equations between  $EC_{FC}$  and  $EC_e$  at more than sand 50% soils were higher than less than sand 50% soils, and differences of saturation percentage between SP and FC showed larger as increasing sand percentage. EC was related to soil water retention by soil texture. To determine the EC, soil texture and other soil properties which effect the soil moisture should be considered.

**Key words:** Electrical conductivity, Field capacity, Saturation paste, Soil salinity

## 서 언

전기전도도는 토양에 존재하는 수용성 이온의 총 농도를 간접적으로 측정하는 방법으로 토양의 염류도를 평가하는데 기본적으로 이용되는 지표이다. 전기전도도는 포화 반죽이나 물에 토양을 일정 비율로 섞은 혼탁액으로 측정하여 토양의 염류농도를 추측한다. 미국 USDA salinity lab (1954)에서는 포화반죽으로 추출한 토양용액의 전기전도도로 토양의 염류도를 평가하는 것을 기준으로 하고 있으나, 보통 포화반죽 뿐 만 아니라 토양과 물의 비율을 1:1, 1:2, 1:5 등으로 희석하여 전기전도도를 측정한다. 그러나 물의 비율이 클수록 토양 용액의 추출량이 많아 전기전도도를 측정하기는 쉽지만 이는 토양에서 식물의 뿌리가 노출되어 있는 토양용액을 대표하기는 어렵다 (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). 특히 농업분야에서

는 토양의 염류도가 작물 생육과 밀접한 관련이 있으므로 실제 작물이 이용할 수 있는 수분조건에서 평가하는 것이 이상적인 방법이다 (Dyer et al., 2008). 또한 토양 수분함량은 토양 용액을 구성하는 이온의 농도, 이온의 활동도 및 이온조성 등에 영향을 미치므로 포장조건을 대표하는 토양용액을 추출하는 것이 중요하다. 포장 수분조건에서의 토양용액을 추출하고 분석하기 위해 몇몇 연구들이 수행되었는데, Connie and Dudas (1994)는 염류토양에서 포화반죽 추출액과 비혼합용액치환법 (immiscible liquid displacement, ILD)으로 추출한 토양용액을 비교하였고, Dyer et al. (2008)은 토양 종류별로 -5에서 -230 kPa 수분조건의 토양용액을 추출하여 토양용액을 구성하는 이온들의 추출 메커니즘을 분석하였다. 우리나라에서는 포화반죽의 전기전도도를 희석방법으로 측정한 전기전도도와 비교한 연구들은 있으나 (Lee et al., 2000; Lee et al., 2003) 포장용수량과 같이 더 적은 수분함량의 토양용액을 추출하여 전기전도도를 비교한 연구는 전무하다.

수분함량이 적을수록 토양용액을 추출하는 것이 어렵

접수 : 2010. 9. 29 수리 : 2010. 11. 11

\*연락처 : Phone: +82332506446

E-mail: yangjay@kangwon.ac.kr

고, 분석에 충분한 토양용액을 추출하기 위해서는 많은 토양을 필요로 하기 때문에 포장조건의 토양용액을 추출하기 위해서는 복잡한 절차를 거쳐야 한다. 포장용수량의 토양용액을 추출하는 방법으로 특수한 장치나 실험 방법이 이용되는데, 압력을 이용한 추출법 (Reitemeier et al., 1944; Scott et al., 1971)이나 진공 추출 (Hansen et al., 1975; Suarez, 1987), 원심분리 방법 등이 있다. 원심분리 방법은 원심력을 이용하여 추출하는 방법과 비혼합용액 (immiscible liquid)과 원심력을 동시에 이용하여 추출하는 방법 (Dasberg and Nadler, 1988; Rhoades, 1996)으로 나뉘며, 비혼합용액을 이용한 방법이 많은 토양용액을 추출하여 토양용액의 여러 성분을 측정하기 용이하다. 이 방법은 비혼합용액치환법으로 ILD 용액은 CCl<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>F<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub> 등과 같이 밀도가 크고, 용해도가 낮은 용액이 사용된다 (Mubarak and Olsen, 1976; Gillman, 1976; Whelan and Barrow, 1980; Menzies and Bell, 1988).

본 연구는 염 조성이 다른 염류집적 시설재배지와 간척지 토양을 대상으로 포장용수량과 포화 토양용액을 추출하여 이온 구성과 전기전도도를 비교하고, 포화 반죽을 이용한 전기전도도가 포장용수량의 전기전도도를 대표할 수 있는지 평가하고자 수행되었다.

### 재료 및 방법

**시험토양** 염류집적지의 종류별 토양용액을 추출하여 염 조성 특성별 추출 이온 차이와 전기전도도를 비교하기 위하여 시설재배지 토양과 간척지 토양으로 구분하여 채취하였다. 시설재배지 토양은 안산, 평택 일대의 과채류 단지, 간척지 토양은 새만금에서 표토 (0~15 cm)를 채취하였고, 시설재배지 토양 22점, 간척지 토양 12점으로 총 40점의 토양 샘플을 이용하였다. 시험토양의 화학성은 Table 1과 같다. 시설재배지 토양은 대체적으로 유기물이 많고 비료성분이 많이 집적된 상태였고, 간

척지토양은 유기물, 질소, 인산이 적고, 나트륨, 마그네슘 등 해수에서 유래된 염들이 집적된 상태로서 두 토양의 화학적 특성은 다르나 전기전도도가 낮은 토양에서 높은 토양까지 끌고루 채취하여 실험에 사용하였다.

시험토양은 풍건한 후 2 mm 체를 통과시켜 분석에 사용하였다. pH와 EC는 포장용수량의 토양용액으로 측정하였고, 토양의 유기물과 총 질소는 C, N analyzer (Elementar, Germany)로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법 (NIAST, 1988)으로 분석하였다. 토성분석은 비중계법 (NIAST, 1988)으로 수행하였다. CEC는 ammonium acetate (pH 7) 방법으로 Mechanical vacuum extractor (Sampletek, USA)를 이용하여 분석하였다 (Soil Survey Laboratory Staff, 1992). 교환성 양이온은 과잉의 염을 70% ethanol과 10% ethylene glycol로 씻어낸 후 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하고 Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (GBC, Australia)로 분석하였다 (Sumner and Miller, 1996; So et al., 2006). (Table 1)

**포장용수량 수분함량 결정** 작물이 이용할 수 있는 수분조건은 일반적으로 -33 kPa에서의 토양 수분함량이 해당되므로 (Brady and Ray, 1999), 포장용수량의 수분함량은 -33 kPa의 장력에서 구하였다. 2 mm 체로 거른 풍건 토양 25 g을 16시간 이상 충분히 포화시킨 후 Pressure porous plate chamber에 넣고 48시간 이상 -33 kPa에서 수분평형을 이룬 후, 105°C에서 토양의 중량 수분을 측정하였다.

**토양 용액 추출** 포장용수량의 토양용액을 추출하기 위하여 -33 kPa의 중량수분함량에서 풍건토양의 수분함량을 제외한 만큼 증류수를 토양과 섞어 polythene bag에 넣고 항온기에서 24시간동안 25°C를 유지하였다. 토양용액은 비혼합용액치환법을 이용하여 추출하였다. ILD 용액으로는 밀도가 1.57 Mg m<sup>-3</sup>인 Trifluoroethane (TFE, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>F<sub>3</sub>, Sigma)을 사용하였으며, 저독성이라서 선택하였다 (Phillips and Bond, 1989). 원심분리튜브 (50 ml)에 토양 20 g과 TFE 25 ml를 넣은 후 30분간 25°C, 43300

**Table 1. Chemical properties of the plastic film house soils (n = 22) and the reclaimed land soils (n = 18).**

Soils	pH <sup>†</sup>	EC <sup>‡</sup>	OM <sup>§</sup>	Total N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable cations				CEC <sup>¶</sup>
						K	Ca	Mg	Na	
		dS m <sup>-1</sup>	--- g kg <sup>-1</sup> ---		mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
Plastic film house soils	Maximum	7.98	122.61	6.42	3612.70	4.03	19.71	7.00	0.40	25.11
	Minimum	4.73	15.18	1.23	55.11	0.21	6.00	1.00	0.08	4.12
	Average	6.59	43.21	3.59	1236.59	1.48	10.69	2.87	0.21	14.68
Reclaimed land	Maximum	7.84	3.96	0.11	68.30	1.05	1.44	3.96	2.84	10.81
	Minimum	6.08	0.91	0.02	19.04	0.60	0.42	1.53	1.17	5.08
	Average	7.11	2.07	0.06	48.85	0.84	0.91	2.88	1.89	7.17

<sup>†</sup>pH and <sup>‡</sup>EC were measured in soil solution extracted at field capacity.

<sup>§</sup>OM: Organic matter, <sup>¶</sup>CEC: Cation exchange capacity.

g RCF에서 원심분리 (Supra 22k, Hanil)하여 포장용수량의 토양용액을 획득하였다 (Menzies and Bell, 1988).

포화 토양용액은 포화반죽을 이용하여 추출하였다. 풍건토양 250 g을 500 ml 플라스틱 컵에 넣고 증류수를 넣어가며 반죽한 후 항온기에서 24 시간동안 25°C를 유지하였다. 포화반죽에서 토양용액을 추출하기 위해 No.42 Whatman filter paper를 넣은 Buchner funnel에 포화 반죽을 옮긴 후 진공펌프에서 0.8 bar의 압력으로 토양용액을 추출하였다 (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

토양용액의 pH, EC는 추출한 후 즉시 측정하였으며, 4°C에서 보관하였다. 양이온과 음이온의 분석은 토양용액을 0.45 µm filter로 거른 후 양이온은 Inductively Coupled Plasma Spectroscopy, 음이온은 Ion Chromatography (Methrohm, Switzerland)로 분석하였다.

**포장용수량과 포화 용액 전기전도도의 통계적 비교** 포화 전기전도도와 포장용수량의 전기전도도를 대표할 수 있는지 확인하기 위하여 T-Test를 이용하여 통계처리를 하였다. 통계프로그램은 SAS ver.9.2를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

**포장용수량과 포화 추출 토양용액의 이온 관계** 포화 반죽에서 추출한 토양용액의 양이온 ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ )과 음이온 ( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ), 포장용수량에서 추출한 양이온, 음이온의 추출 차이를 비교하기 위해 각 이온별로 기율기를 구하였다 (Table 2). 기율기 값이

1보다 클수록 포장용수량의 이온 추출 농도가 큰 것이다.

시설재배지와 간척지 토양으로 구분하여 기율기를 비교한 결과 시설재배지 토양은 주로 음이온이 포장용수량에서 많이 추출되었고, 간척지 토양은 양이온이 포장용수량에서 많이 추출된 것으로 나타났다. 시설재배지 토양의 특성상 유기물이 많아 CEC가 크기 때문에 상대적으로 음이온의 추출이 수분이 평형상태인 포장용수량 조건에서 많이 추출된 것으로 보인다. 간척지 토양은 이와는 반대로 CEC가 낮고, 주 이온인 NaCl이 이온의 분산에 영향을 미칠 수 있기 때문에 양이온의 추출이 포장용수량에서 많이 추출된 것으로 판단된다. 시설재배지 토양을 대상으로 한 Lee et al. (2000)의 실험결과에서는 물과 토양의 추출비율이 낮을수록 1가 음이온인  $NO_3^-$ 와  $Cl^-$ 의 침출량이 높게 나타났는데,  $NO_3^-$ 와  $Cl^-$ 는  $PO_4^{3-}$ 이나  $SO_4^{2-}$ 에 비하여 정전기적 인력이 약하여 용탈되기 쉽기 때문이라고 하였다. 그리고 간척지 토양과 유사한 Saline soil에서 Na, Mg, K는 ILD 추출방법에서 높게 나타났고, Ca과 P은 포화반죽에서 높게 나타났다 (Connie and Dudas, 1994). 본 연구의 결과와 기존 연구결과들이 유사하게 나타난 것을 보아 수분함량이 평형에 도달한 포장용수량에 가까울수록 이온 종류별 토양교질에 대한 흡착 특성과 이온별 용해도 차이가 토양용액에 반영되는 것을 알 수 있었으며, 총 이온농도와 다량으로 존재하는 이온의 종류에 따라 2가 이온과 1가 이온의 교환이나 수용성 염의 용해도가 달라지므로 (Khasawneh and Adams, 1967; Connie and Dudas, 1994) 이온 추출 경향이 다르게 나타날 수 있다고 판단된다.

Table 2. Correlation comparison between the ions extracted from saturated paste (x) and field capacity (y).

Soils	Ion	Slope (y = ax)	Correlation coefficient
Plastic film house	$K^+$	0.663	0.97 <sup>***</sup>
	$Ca^{2+}$	0.651	0.69 <sup>***</sup>
	$Mg^{2+}$	0.814	0.90 <sup>***</sup>
	$Na^+$	0.732	0.91 <sup>***</sup>
	$Cl^-$	1.287	0.85 <sup>***</sup>
	$NO_3^-$	1.195	0.94 <sup>***</sup>
	$PO_4^{3-}$	1.082	0.93 <sup>***</sup>
	$SO_4^{2-}$	1.317	0.52 <sup>***</sup>
Reclaimed land	$K^+$	1.474	0.77 <sup>***</sup>
	$Ca^{2+}$	1.020	0.76 <sup>**</sup>
	$Mg^{2+}$	1.490	0.84 <sup>***</sup>
	$Na^+$	1.329	0.94 <sup>***</sup>
	$Cl^-$	1.109	0.86 <sup>***</sup>
	$NO_3^-$	0.604	0.38
	$PO_4^{3-}$	0.541	0.21
	$SO_4^{2-}$	0.679	0.70 <sup>***</sup>

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> Significant at 0.01 and 0.001 probability level, respectively.

**포장용수량, 포화 수분조건에서의 전기전도도 비교** 포화 전기전도도가 포장용수량의 전기전도도와 얼마나 차이가 나는지 비교하기 위하여 시설재배지와 간척지 토양으로 나누어 그 기용기를 구하였다. 시설재배지 토양에서는 포장용수량 전기전도도가 포화 전기전도도의 0.923배 ( $r=0.879^{***}$ )로 나타났고, 간척지 토양에서는 1.009배 ( $r=0.929^{***}$ )로 거의 차이가 나지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 1, 2). 통계적으로 포장용수량과 포화 전기전도도가 다른지 평가하기 위하여 T-Test ( $p = 0.05$ )를 수행한 결과, 시설재배지의 경우  $t$  값이  $-0.11$ ,  $Pr > |t|$ 가  $0.9105$  이었고, 간척지 또한  $t$  값이  $-0.18$ ,  $Pr > |t|$ 가  $0.8583$  로서 유의성이 인정되지 않았다.

전기전도도는 토양과 수분함량의 비율에 따라 달라지므로 포화퍼센트가 중요하며, 토양의 포화퍼센트는 수분보유력과 관련된다 (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). 포화 조건은 토양의 입자 사이 간격인 미세 소공극이 천천히 포화되도록 수분을 넣고, 반죽을 하여 만들기 때문에 중력수가 다 빠져나가고 토양과 평형을 이룬 수분조건인 포장용수량의 수분조건과 차이가 크지 않다.

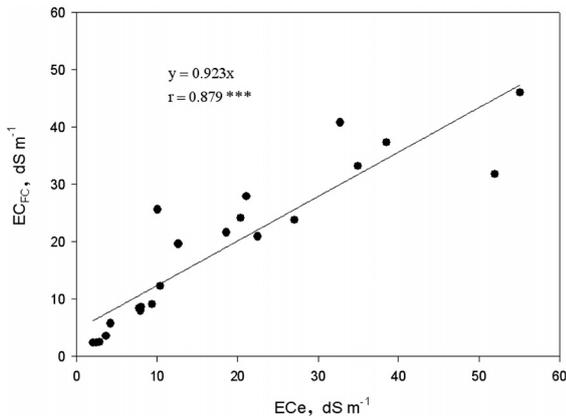


Fig. 1. Relation between  $EC_e$  and  $EC_{FC}$  in plastic film house soils. \*\*\* Significant at the 0.001 probability level ( $n = 22$ ).

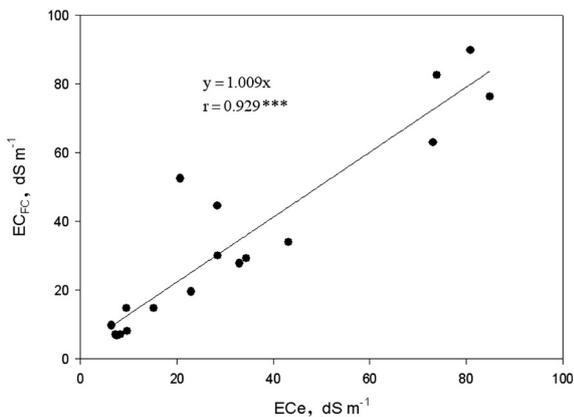
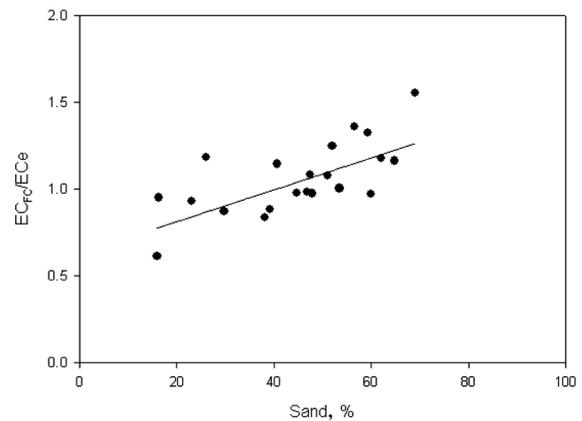


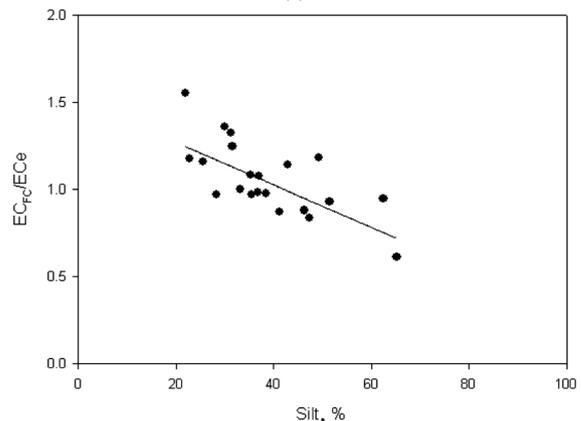
Fig. 2. Relation between  $EC_e$  and  $EC_{FC}$  in reclaimed soils. \*\*\* Significant at the 0.001 probability level ( $n = 18$ ).

이런 이유로 포화 전기전도도와 포장용수량 전기전도도가 거의 같게 나타난 것으로 판단되며, 토성에 따라 포장용수량과 포화 수분퍼센트 차이가 다르게 나타날 수 있기 때문에 토성별로 구분하여 비교할 필요가 있다.

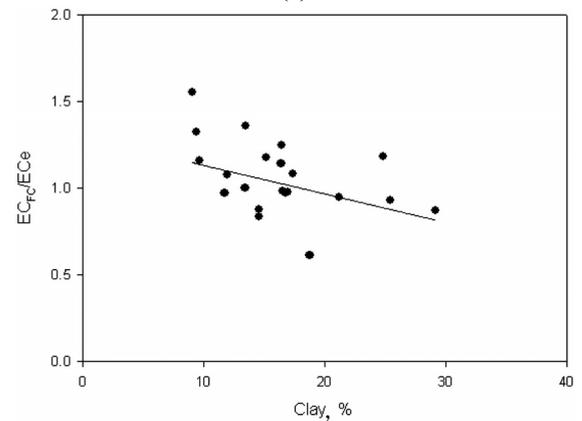
**토성별 전기전도도 비교** 토성별 포장용수량 전기전도도와 포화 전기전도도를 비교하기 위해 sand, silt, clay 각각의 함량과 포화와 포장용수량 전기전도도의 비를 그래프로 나타내었다 (Fig. 3, 4). Sand를 기준으로 할



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Relation between soil texture and  $EC_{FC}/EC_e$  in plastic film house soils ( $n = 22$ ). (a) sand, (b) silt, (c) clay.

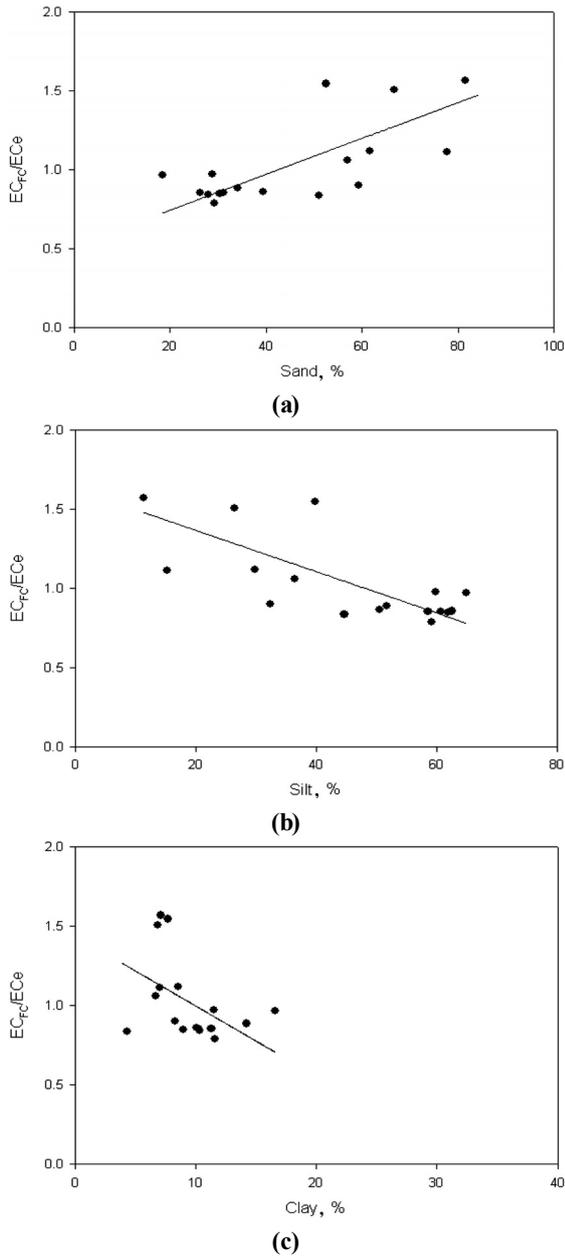


Fig. 4. Relation between soil texture and  $EC_{FC}/EC_e$  in reclaimed soils ( $n = 18$ ). (a) sand, (b) silt, (c) clay.

경우 sand 함량이 많을수록  $EC_{FC}/EC_e$ 가 증가하는 경향을 보였으며, silt와 clay가 많을수록 감소하는 경향을 보였다. 따라서 토성에 따라 전기전도도가 달라진다는 것을 알 수 있었으며, 이중  $EC_{FC}/EC_e$ 와 비례하는 sand 함량을 기준으로 전기전도도를 비교하였다 (Table 3). 시설재배지와 간척지 토양 각각을 양토와 사질토의 경계가 되는 sand 함량 50%를 기준으로 구분하였다. 시설재배지 토양에서 sand 50% 이하에 해당하는 미사질양토, 양토, 식양토는 기울기가 0.811, sand 50% 이상인 사양토, 양질사토에서는 1.179로 나타났다. 간척지 토양에서 sand 50% 이하인 미사질 양토에서는 0.848, sand 50% 이상인 사양토에서는 1.087로서 sand 함량이 많을수록 포장용수량의 전기전도도가 높게 측정된다는 것을 알 수 있었다. sand 함량이 많을수록 포장용수량의 수분함량과 포화 수분함량의 차이가 크게 나타난 것을 보아 토성에 의한 수분 보유력 차이에 의한 것임을 알 수 있었으며, 토양용액의 추출은 토성 이외에도 유기물 등 기타 물리화학적 요인과 관련되므로 전기전도도 측정시 이러한 특성을 고려하여야 할 것이다.

### 요 약

본 실험은 토양의 염류도 평가를 위한 전기전도도 측정시 기준으로 적용되는 포화 전기전도도가 이상적인 측정방법인 포장용수량의 전기전도도를 대표할 수 있는지 평가하기 위하여 수행되었다. 염류집적 시설재배지 22 점과 간척지 토양 18점을 채취하여 포화반죽과 포장용수량의 토양용액을 추출하고, 주요 구성 양이온, 음이온과 전기전도도를 비교하였다. 시설재배지 토양의 양이온, 음이온과 간척지 토양에서  $NO_3^-$ 와  $PO_4^{3-}$ 를 제외한 나머지 양이온, 음이온 모두 높은 상관관계를 나타내었고, 포장용수량과 포화 전기전도도 또한 높은 상관관계를 보였다. 포화 전기전도도와 불포화 조건인 포장용수량 전

Table 3. Slopes between  $x : EC_e$ , and  $y : EC_{FC}$  depending on soil texture in the experimental soils.

Soils	Sand content	Number of sample	OM	CEC	moisture percentage (%)		Slope ( $y = ax$ )	r
					Saturation	Field capacity		
Plastic film house soils	Sand < 50% <sup>‡</sup> (SiL, L, CL)	12	44.69 ± 14.56 <sup>†</sup>	16.13 ± 3.08	37.53 ± 3.71	30.20 ± 3.12	0.811	0.963***
	Sand > 50% (SL, LS)	8	41.43 ± 12.94	12.94 ± 5.52	34.48 ± 8.40	23.76 ± 6.40	1.179	0.911***
Reclaimed land	Sand < 50% (SiL)	9	2.76 ± 0.80	8.27 ± 1.21	32.89 ± 1.71	32.53 ± 1.93	0.848	0.998***
	Sand > 50% (SL)	9	1.32 ± 0.30	5.94 ± 0.54	28.44 ± 1.07	20.00 ± 9.12	1.087	0.936***

<sup>†</sup>Average ± Standard deviation.

<sup>‡</sup>SiL (Silt loam), L (Loam), CL (Clay loam), SL (Sand loam), LS (Loamy sand).

기전도도를 비교하였을 때 시설재배지 토양에서는 기율기가 0.923, 간척지 토양에서는 1.009로 거의 차이가 없었으며, 통계 결과 유의성이 인정되지 않아 포화반죽으로 전기전도도를 평가하는 것이 합리적인 것으로 판단되었다. 시설재배지와 간척지 토양을 sand, silt, clay 각각을 기준으로 비교한 결과 sand 함량과 포장용수량, 포화 전기전도도 비율이 비례하는 것으로 나타났다. 시설재배지 토양에서 sand 50% 이하에서는 0.811, Sand 50% 이상에서는 1.179, 간척지 토양은 sand 50% 이하에서 0.848, Sand 50% 이상에서 1.087배 차이 나는 것으로 나타났으며, sand 함량이 많을수록 포장용수량과 포화 수분퍼센트의 차이가 크게 나타나 토성에 의한 수분 보유력이 관련된 것으로 판단되었다.

## 인 용 문 헌

- Brady, N. and W. Ray. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ. p.204.
- Connie, K.K. and M.J. Dudas. 1994. Comparison of immiscibly displaced soil solutions and saturated paste extracts from saline soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:409-420.
- Dasberg, S. and A. Nadler. 1988. Soil salinity measurements. *Soil Use and Management.* 4:127-132.
- Dyer, C., P. Kopittke, A. Sheldon, and N. Menzies. 2008. Influence of soil moisture content on soil solution composition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:355.
- Gillman, G.P. 1976. A centrifuge method for obtaining soil solution. Div. Rep. No. 16. CSIRO, Div. of Soils, Townsville, Queensland, Australia.
- Hansen, E.A. and A.R. Harris. 1975. Validity of soil water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:528-536.
- Khasawneh, F.E. and F. Adams. 1967. Effect of dilution on calcium and potassium contents of soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31:172-176.
- Lee, I.B., H.M. Ro, J.H. Lim, and M.S. Yiem. 2000. Estimating saturation-paste electrical conductivities of rose-cultivated soils from their diluted soil extracts. *Korea J. of Soil Sci. Fert.* 33:398-404.
- Lee, S.H., B.D. Hong, Y. An, and H.M. Ro. 2003. Estimation of conversion factors for electrical conductivities measured by saturation-paste and 1:5 water extraction. *Korea J. of Soil Sci. Fert.* 36:193-199.
- Menzies, N.W. and L.C. Bell. 1988. Evaluation of the influence of sample preparation and extraction technique on soil solution composition. *Aust. J. Soil Res* 26:451-464.
- Mubarak, A. and R.A. Olsen. 1976. Immiscible displacement of the soil solution by centrifugation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:329-331.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Phillips, I.R. and W.J. Bond. 1989. Extraction procedure for determining solution and exchangeable ions on the same soil sample. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1294-1297.
- Reitemeier, R.F. 1944. Reliability of the pressure membrane method for extraction of soil solution. *Soil Science.* 61:195-215.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* Am. Soil Sci. Soc. and Am. Agron. Soc., SSSA Book Ser. No. 5, Madison, WI.
- Scott, H.D. and J.F. Lutz. 1971. Release of herbicides from clay minerals as a function of water content: I. Kaolinite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:374-379.
- So, H.B., N.W. Menzies, R. Bigwood, and P.M. Kopittke, 2006. Examination into the accuracy of exchangeable cation measurement in saline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37:1819-1832.
- Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. USDA-SCS Soil Survey Investment Report No. 42, Version 2. U.S. Government Printing Office, Washington, DC
- Suarez, D.L. 1987. Prediction of pH errors in soil water extractors due to degassing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:64-68.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. Part 3. *Chemical methods.* Am. Soil Sci. Soc. and Am. Agron. Soc., SSSA Book Ser. No. 5, Madison, WI.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. L.A. Richards (ed.) USDA Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Whelan, B.R. and N.J. Barrow. 1980. A study of a method for displacing soil solution by centrifuging with an immiscible liquid. *J. Environ. Qual.* 9:315-319.