

염류집적 농경지에서 전기비저항 탐사기법의 활용성

윤성원 · 박삼규^{1*} · 전현정 · 한경화 · 강성수 · 김명숙 · 김유학*

농촌진흥청 국립농업과학원, ¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부

Application of Electrical Resistivity Measurement to an Evaluation of Saline Soil in Cropping Field

Sung Won Yoon, Samgyu Park^{1*}, Hyen Jung Chun, Keung Hwa Han, Seong Soo Kang, Myung Suk Kim, and Yoo Hak Kim*

Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon

¹Mineral Resources Research Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Salinity of soil under the plastic film houses in Korea is known as a significant factor to lower the crop production and to hamper the sustainable agricultural land management. In this study we propose a field monitoring technique to examine the methods applied to minimize the adverse effect of salts in soil based on the relationship between soil electrical characteristics and soil properties. Field experiments for 4 different treatments (water only, fertilizer only, DTPA only, and DTPA and fertilizer together) were conducted on soils at the plastic film house built for cultivating a cucumber plant located at Chunan-si, Chungchungnam-do in Korea. The electrical resistivity was measured by both a dipole-dipole and Wenner multi-electrodes array method. After the electrical resistivity measurement we also measured the soil water content, temperature, and electrical conductivity on surface soil. The resulted image of the interpreted resistivity by the inversion technique presented a unique spatial distribution depending on the treatment, implying the effect of the different chemical components. It was also highly suspected that resistivity response changed with the nutrients level, suggesting that our proposed technique could be the effective tool for the monitoring soil water as well as nutrient during the cropping period. Especially, subsoils under DTPA treatment at 40 to 60 cm depth typically presented lower soil water accumulation comparing to subsoils under non-DTPA treatment. It is considered that DTPA resulted in increase of a root water uptake. However, our demonstrated results were mainly based on qualitative comparison. Further experiments need to be conducted to monitor temporal changes of electrical resistivity using time lapse analysis, providing that a plant root activity difference based on changes of soil water and nutrients level in time.

Key words: Saline soil, Chelate agent, Plastic film house, Electrical resistivity, Spatial distribution

서 언

우리나라의 경우 많은 농가에서 농산품의 경제성을 고려한 시설 하우스 경작이 크게 증가하고 있다 (Cho et al., 2006; Kim, 2004). 하지만 부적절한 시비와 토양 관리로 인하여 토양 내 염류의 과도한 집적 현상이 빈번히 보고되고 있으며 이로 인해 농업 생산성 유지 및 환경 오염상 문제가 우려되고 있다 (Jeon et al., 2005; Park, 2004). 일반적으로 알려진 염류 집적의 원인으로 일차적으로는 과도한 비료의 투

입이 되겠지만, 토양 수문학적 관점에서 강수에 의한 토양 내 수분 공급의 제한과 하우스 내 높은 온도로 인한 증발산량의 증가가 표토근처에서 염 농도 증가의 중요 메커니즘으로 알려져 있다 (Choi, 1997; Kim et al., 1997; Kwak et al., 2003). 이러한 염 농도 증가는 토양 내 삼투압을 증가시켜 작물 뿌리에서 양분 및 수분 흡수를 방해하고 결과적으로 작물의 생육이상을 초래하여 작물 생산성을 저해한다 (Bernstein, 1975; Chang and Dregne, 1955; Oh et al., 2010). 특히 부적절한 토양 관리에 의한 토양구조변화는 앞서 언급된 수문학적 특성에 의한 염류집적 현상을 발생시키는 선행적 원인이 될 수 있다. 지하수위층이 낮을 경우 심토에서 공극이 수분에 의하여 포화되며, 입단의 stability를 약화시켜 상부 토양에 의한 압력에 의하여 심토에 다짐현상이 발생할

접수 : 2011. 11. 14 수리 : 2011. 12. 14

*연락처 : Phone: +82428683096, +82312900328

E-mail: samgye@kigam.re.kr,
yoohak@korea.kr

수 있고 공급된 농업 용수의 배수를 방해할 수 있다. 다진현상과 같은 구조적 변화에 기인한 염류 축적을 관찰한 사례로 Kim et al. (1997)이 있다. 염류에 의한 토양의 염 농도를 낮추는 방법으로 시비량을 줄이거나 심토 파쇄 등의 방법으로 토양 구조를 개선하고 원활한 배수를 유도하는 물리적 방법 등을 고려할 수 있다 (Kang et al., 1996). 하지만 작물 생육기간 중 적용성이 제한되기 때문에 화학적 접근법으로 킬레이트 제제 등을 이용하여 불용성 염을 줄이고 미량 원소의 흡수율을 높여 작물의 수분 및 양분 흡수율을 개선하는 방법도 대안으로 연구되고 있다.

여러 원인들이 이야기하는 국내 시설 하우스 토양내 염류 집적도의 변화를 시공간적으로 모니터링하는 기법의 확립은 문제의 원인 규명 및 제안된 여러 방법의 효과를 검증하기 위하여 선행 되어야 한다. 농경지에서 토양의 구조는 토양의 물리적 질과 관련되어 수분이나 양분과 같은 토양내 물질의 이동 특성을 결정짓는 중요한 요소이다. 하지만 이러한 토양의 구조는 시공간적으로 변이가 심하여 정량적 평가를 수행하기가 어렵다. 필드에서 토양 구조 상태의 평가는 일반적으로 물리 및 수문학적 특성 (예: 공극률, 밀도, 관입경도, 수분침투도, 수분보습특성곡선 등)을 측정하여 유추하거나 토양단면을 노출시켜 직접 시각적으로 관찰 및 측정한다. 요즘은 엑스레이 기법 등 다양한 토양 구조 평가방법이 쓰이고 있으나 공통적인 문제점은 시료 채취 시 자연상태의 구조를 교란시키거나 토양구조의 스케일에 따른 특성을 모두 함유하는 충분한 크기의 토양을 한번에 평가하기가 어렵고 특히 시공간적으로 연속적인 모니터링이 불가능하다. 전기비저항 탐사법 (Electrical Resistivity Tomography: ERT)과 같은 비파괴적 지구물리탐사 기법은 토양검정이나 토양 유형 지도작성시 2D나 3D에서 유추된 토양 내부의 비저항치를 토양의 여러 특성과 연계하며 정량적 평가를 유용하게 하는 기법으로 그 유용성이 폭넓게 검증이 되어왔다. 예로서 토양수분 분포나 solute transport 과정의 모니터링, 토양특성 또는 공극 발생과 변화를 묘사하는데 사용되었다. Bottraud et al. (1984)는 사질토의 수분 분포를 2달 반 동안 추적 관찰하여 토양의 수문학적 특성을 포도나무 성장과 관련지어 보였다. Dabas et al. (1989)는 전기비저항값에서 추정된 토양 깊이를 작물생산량과 연관을 지었다. 하지만 이러한 토양내 전기비저항의 특성을 시설재배지에서 토양의 화학성과 연관지어 특성화하는데 사용된 사례는 국내의를 막론하고 없다. 본 연구에서 지구물리 탐사기법 중 대표적인 전기비저항기법을 추후 농업 토양환경 분야에 활용을 위해 전기비저항기법을 소개하고 예비실험을 통해 얻은 염류집적지 토양에 대하여 킬레이트제제와 비료와 같은 다양한 관개수의 특성에 따른 전기비저항의 공간적 특성을 비교하고 추후 연구방향과 활용성을 고찰하고자 한다.

전기비저항측정 원리

토양 전기비저항탐사는 땅속에 전극을 꽂아 인위적으로 전류를 흘려 보내고 전극의 위치 별 전위차를 측정하여 토양내부의 전기비저항 분포를 파악 함으로서 토양의 상태를 평가하고자 하는 방법이다. 전기비저항 탐사는 토양 속으로 전류를 흘려 보내기 위한 한 쌍의 전류 전극과 토양 속에서 발생한 전위차를 측정하기 위한 한 쌍의 전위 전극 등 총 4 개의 전극을 이용하여 측정한다. 여기에서 이들 전극의 공간적 배치 특성에 따라 전극 배열이 결정 지어진다. 다양한 전극의 배열방식이 있으며 대표적으로 웨너 배열 (Wenner array), 슬럼버저 배열 (Schlumberger array), 단극 배열 (Pole-Pole array), 단극 - 쌍극자 배열 (Pole-Dipole array), 쌍극자 배열 (Dipole-Dipole array) 등을 들 수 있다. 각 배열 방식의 장단점은 다양하게 평가되고 있는데 측정하고자 하는 토양 및 지층의 구조적 특성에 따라 적절한 배열을 선택하여야 한다. 각 배열방식의 특징 비교에 관한 자세한 내용은 Kim et al. (2007)에 잘 정리되어 있다. 전극배열에 연구 동향을 살펴보면 국내의 경우 자원탐사와 같은 지질 분야에서는 주로 쌍극자 배열이 쓰였으나 토양에 적용할 시 외국 연구 사례를 검토한 결과 웨너 배열이 전형적으로 쓰이고 있음을 확인하였다. 하지만 본 연구에서는 시설하우스에 대한 국내 토양에 적용 시 비저항 영상의 차이점을 파악하기 위하여 쌍극자 배열과 웨너 배열을 동시에 적용하여 비교하여 보았다. 전극 배열 별로 전류 I와 측정 전위차 ΔV 로 부터 겉보기 비저항 ρ_a 는 전극배열 방식에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$\rho_a = G_f \frac{\Delta V}{I}$$

위 식에서 G_f 는 거리 계수 (geometric factor)를 나타내며, 전극 배열방식에 따라 정의가 달라진다. 전류 I를 2개의 전극을 통해 보내고 나머지 두 개의 전극에서 전위차 ΔV 를 측정 하는데 웨너 방식의 경우 거리계수가 $2\pi a$ 로 정의되며, 여기서 a는 모든 전극의 등 간격 a이고 측정 지점의 깊이와 같다. 웨너의 경우 전위차 전극들이 가운데 위치되는데 반해 쌍극자 방식의 경우 전류를 보내는 전극과 전위차 전극이 순서대로 배열되고 거리계수가 $n(n+1)(n+2)2\pi a$ 로 정의된다. 쌍극자 배열상 전극간 거리는 등 간격이 아니어서 가운데 위치한 전류전극과 전위전극간의 거리는 na로 정의되고 측정 깊이는 $a(n+1)/2$ 가 된다. 두 방법 모두 실제 측정 시 전극간의 거리를 조정하여 다른 측정 깊이에서 겉보기 비저항을 반복 측정하게 된다. 계획된 겉보기 비저항 측정값을 모두 얻은 후 측선하부의 전기비저항 영상을 얻기 위해 비선형 최소제곱법을 이용한 역산법에 의해 전극 거리와 총 길이의 분율로 정의된 토양 부피의 진비저항 (True resistivity) 영상을 얻게 된다.

재료 및 방법

연구대상지역 연구대상 지역으로 염류 집적지로 진단되어 이미 다년간 연구가 진행되고 있는 충청남도 천안 동면에 위치한 오이재배 시설하우스에서 포장실험을 실시하였다. 포장지역은 관개수의 화학적 특성에 따라 4개의 처리구 (물, 비료, 킬레이트, 킬레이트 및 비료)로 구성되어 있다. 처리구별 자세한 관개수의 화학성분은 Table 1에 정리하였다. 다양한 킬레이트 제제 중 본 연구에서는 비교적 광범위한 pH에서 가장 안정적인 효율성을 보이는 것으로 알려진 DTPA (Diethylene Triamine Pentaacetic Acid)제제를 사용하였다. 비료 처리구의 경우 지하수 500 L 당 NPK 전량에 질산칼륨 80 g, 인산가리 65 g, 질산칼슘 90 g, 그리고 요소 83 g을 혼합하여 관개수를 준비 하였다. DTPA 처리구의 경우 DTPA 161 g을 지하수 500 L에 혼합하여 0.19 mM의 농도로 준비하였고 DTPA와 비료의 혼합처리구의 경우 기존 처리구 투입량의 절반에 해당하는 양을 혼합하여 준비하였다. 관개수 공급빈도는 9월 초 파종 후 주 1회 실시하였고 10월 이후에는 주 2회에서 3회에 걸쳐 실시하였다. 비저항 측정은 파종 한달 후인 2011년 10월 18일에 실시하였으며 측정 24시간 전에 포화상태까지 처리 구간별 관개용수를 이용한 관개를 실시하였다.

실험 구간 및 측정 2011년 10월 18일 실시된 전기비저항탐사는 네 종류의 다른 관개수에 의하여 사전 처리된

지역에 각각 150 cm 길이의 탐사측선을 이랑을 따라 설정했다 (Fig. 1a). 각 측선상의 전극간격은 10 cm 미터로 하였으며, 전극배열은 쌍극자 배열 (dipole-dipole array) 과 웨너 배열 (Wenner array)을 사용하여 동일한 위치에서 두 가지 종류의 전극배열로 탐사의 결과를 비교하기 위하여 획득하였다. 처리 구간의 특징은 비료처리 구간과 순수 관개수로만 처리한 구간과 인접하여 연속적으로 이어져 있고 DTPA와 DTPA 및 비료가 혼합된 구간 역시 마찬가지로 두 개의 처리구간에 10 cm 간격으로 장착된 30개의 전극이 비저항 측정 시스템에 연결되어 동시에 측정되도록 설계하였다. 측정방법은 전극들을 측선 상에 설치하여 이들 전극을 접촉케이블로 연결하여 탐사 기본체 (Super sting R8/IP, AGI Co.)에 접속하고, 전기비저항을 측정하기 전에 접지저항을 체크하여 모든 전극의 접지저항이 일정한 범위 (3 K Ω 이내)의 값을 가지도록 한 다음 탐사기 본체에 입력된 전극배열 파일에 따라 전류전극과 전위전극을 자동적으로 이동하면서 전위차를 측정했다. 측정할 때 신호대 잡음비 (S/N)를 최대한 높이기 위해서 전류를 50 mA로 설정하였으며, 자료의 신뢰성을 위해 자료는 3회 연속 측정 후 평균값으로 하였다. 각 측선별로 두 종류의 전극배열로부터 얻은 자료를 전위감쇄 곡선을 그려 불량 자료를 수정 및 삭제하고 이들 자료를 병합 (merging)하여 역해석 (inversion) 과정을 거친 후 토양 내 2차원 수직단면의 전기비저항 영상으로 구현했다. 2차원 수직단면의 전기비저항 값을 바탕으로 비저항치가 구별되는 지역의 토양 특성의 차이점과 연관성을 검출 비교하기

Table 1. Chemical compositions in irrigated water for the treatment type.

Treatment	Chemical compositions in 500 L of water
1. No treatment	Water
2. Fertilizer	KNO ₃ 80 g, K ₂ H ₂ PO ₄ 65 g, Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O 90 g, (NH ₂) ₂ CO 83 g
3. Chelate	DTPA 161 g (0.19 mM)
4. Chelate + fertilizer	DTPA 80 g, KNO ₃ 40g, K ₂ H ₂ PO ₄ 33 g, Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O 45 g, (NH ₂) ₂ CO 42 g

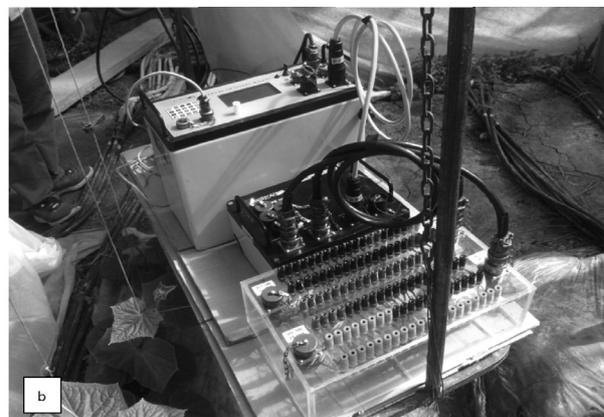


Fig. 1. a) Experimental site (one week after planting a cucumber), b) electrical resistivity measurement system installed on the site. Red arrow marks refer the direction of electrode array.

위하여 토양수분도, 지온, 그리고 EC를 동시에 측정하는 5TE 센서 (Decagon Inc, USA)를 사용하여 비저항 측정 전극이 설치된 같은 위치에서 비저항 측정이 끝난 직후 측선을 따라 10 cm 간격으로 표토에서 현장 측정 및 기록을 하였다. 측정 센서는 길이가 10 cm로 표토에서 수직적으로 삽입 시 주변 3 L 정도의 부피에 대한 평균 수분도와 지온, 그리고 EC 값을 제시한다. 그밖에 표준 분석 방법을 이용하여 연구 대상 지역 토양의 구간별 처리가 들어가기 전 기본적인 물리적, 화학적 특징들을 조사하였다 (Table 2).

결 과

대상지역 토양의 물리 화학적 특성 대상지역 토양의 일반적 물리 화학적 특성은 Table 2에 정리하였다. 토성은 점토가 17.2%에서 20% 정도 함유된 미사질양토로 분류되며 염류의 집적도를 가늠할 수 있는 전기전도도 (EC)는 이랑의 표토에 가장 크게 나타나 염류의 집적정도가 표토에 집중되고 있음을 알 수 있었다. 그 밖에 유기물과 칼슘, 그리고 유효인산의 경우 역시 이랑의 표토에서 가장 높게 나타나고 있었다. 이랑의 표토에서 측정한 투수속도와 비교하여 볼 때 20-40 cm 깊이의 심토에서 측정한 투수속도는 급격히 낮아

지고 있다. 점토함량이 약간 증가하나 심토의 토성이 이랑과 같기 때문에 다짐과 같은 구조적 특징에 기인한 불투수층이 존재함을 알 수 있었다. 표준방법 (1:5)으로 측정된 전기전도도 (EC)의 경우 이랑 표토와 고랑의 표토에서 염류집적 장애를 발생시키기에 충분히 높게 나타나고 있었다. 염류집적 장애의 원인이 되는 유기물 및 유효인산 함량, 그리고 Ca 이온 농도도 높게 나타나고 있다.

전기비저항 영상, 전기전도도 및 토양 수분도 Figure 2는 각각 30개의 전극으로 측정된 2개의 처리구로서 a)는 물과 비료 구간, b)는 DTPA와 DTPA + 비료 구간에서 측정된 겉보기 비저항을 역산하여 얻은 진비저항 영상을 비교한 것이다. 이랑의 표토에서 10 cm 간격으로 측정된 토양수분도 (WC)와 전기전도도 (EC)를 같은 위치에서 비교할 수 있도록 비저항 영상결과의 상부에 위치 시켰다. 각각 2개의 처리구가 포함된 Fig. 2의 비저항 영상들을 비교해 볼 때 상부에서 DTPA 처리구의 비저항값이 전 영역에 걸쳐 가장 크고 고르게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 물만 투입된 구간 경우 역시 상부에서 비교적 고르게 비저항치가 높은 결과를 나타내고 있으나 인접한 비료처리구간으로 접근할 수록 비저항치가 내려감을 확인할 수 있었다 (Fig. 2). 비료구간의

Table 2. Summary of soil physical and chemical properties in the study area.

Soil depth	K _{sat} [†]	Particle size distribution			Textural classification	pH	EC [†]	OM [†]	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation		
		Sand	Silt	Clay						Ca	Mg	Na
cm	cm hr ⁻¹	----- % -----					dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	---- cmol _c kg ⁻¹ ----		
Ridge (30)	6.44	31.7	51.1	17.2	Silt loam	6.0	6.0	30	1088	12.7	5.3	1.0
0 - 20	N/A [†]	31.2	50.2	18.6	Silt loam	6.2	4.6	33	1234	12.4	5.4	1.0
20 - 40	0.06	28.4	51.6	20.0	Silt loam	6.2	1.6	10	153	6.3	2.9	0.3

[†]K_{sat} means the saturated hydraulic conductivity, N/A refers not available, EC is electrical conductivity, and OM is organic matter content.

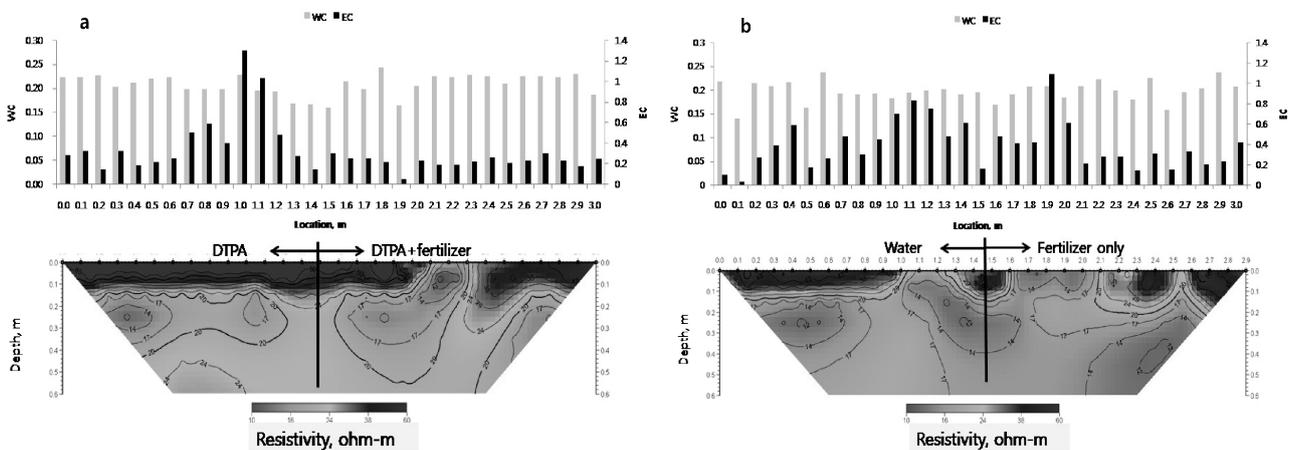


Fig. 2. The interpreted resistivity image derived from Wenner array method and its corresponding soil water content (WC) and EC between a) DTPA treatment and DTPA + fertilizer treatment, and b) water treatment and fertilizer only treatment.

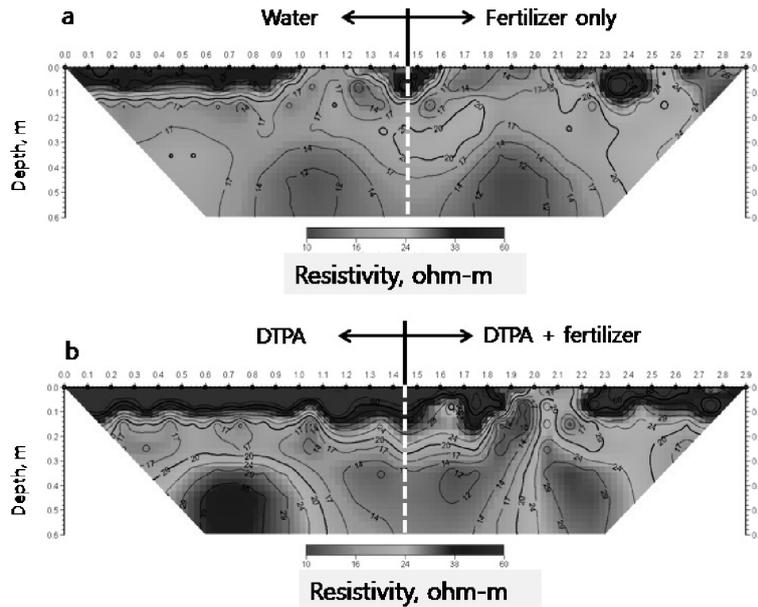


Fig. 3. Image results from dipole-dipole array for a) Water and Fertilizer treatment and b) DTPA and DTPA + fertilizer treatment.

경우 높은 비저항치의 구간이 간헐적으로 나타나고 있으며 이는 비료와 DTPA를 함께 처리한 구간에도 비슷한 양상으로 나타나 비료의 화학적 성분이 비저항값을 낮추고 공간적 이산성 역시 야기하는 것으로 보인다. 특히 모든 처리구에서 토양수분도의 전체 평균값 0.2에서 그리고 표준편차 0.02이고 처리구간별로 유의성이 0.05 수준에서 통계적으로 의미 있는 큰 변동은 발견되지 않아 토성의 변동이 크지 않다면 비저항치의 공간적 특성은 토양용액의 이온농도나 성분때 따른 차이일 확률이 높다.

고 찰

토양내 전기 비저항값은 토양 수분의 포화도, 토양 공극률, 토양용액의 전기전도도, 점토함유량 등에 따라 좌우되며, 이들 물성의 복합체로 표현되고 있다 (Park, 2004). 따라서 이들 요인들이 어떠한 관련성을 가지고 전기비저항치의 결과로 나타나고 있는지를 이해하는 것이 전기비저항탐사기법이 농업지대의 토양질을 평가토록 이용하는데 가장 중요한 요인이 될 것이다. Besson et al. (2004)은 농경지 토양의 구조적 특징을 파악하는데 있어 전기비저항탐사의 가능성을 연구하였고 비저항치가 토양밀도와 토양 구조의 영향을 받는다고 확인하였다. 이번 조사에서는 일차적으로 오이 재배를 위한 시설하우스내 토양의 서로 다른 화학적 처리방법상 대비되는 구간에 전기비저항을 측정된 결과 처리구간간 공간적 분포의 특성이 뚜렷하게 구분 됨을 보이고 있었다. 이는 처리구간별 비교시 염류집적을 야기한 토양의 구조적 특성보다 처리구별 화학적 특성이 비저항치의 공간적 차이점에 대한 중요한 요인임을 유추해 볼 수 있다.

본 연구에서는 물 처리 구간이나 비료 처리구간의 경우 20-50 cm 깊이의 심토에서 낮은 비저항치를 보이는 지역이 산발적으로 발견되고 있는데 (Fig. 2) 이는 투수속도비교에서 확인한 바와 같이 이랑에서부터 50-70 cm 깊이의 불투수층 (고랑에서부터 20-40 cm) 때문에 바로 상부에서 수분이나 혹은 비저항치를 낮추는 화학성분이 상대적으로 많기 때문으로 추측된다. (Table 2). 이에 반해 높은 비저항값을 보이고 있었던 킬레이트 처리구인 DTPA 처리구간과 DTPA + 비료처리구간의 경우 심토에서 비교적 고른 전기비저항의 공간분포를 보이고 있는데 뿌리의 활력의 증가에 따른 양분이나 수분흡수 능력에 차이에 기인한 것으로 사료된다. 킬레이트 제제의 투입은 관주 시 필요 영양분과 함께 투입이 가능하고 수많은 과거 연구에서 양분의 집적 시 발생하는 양이온 성분의 침전현상을 방지하고 식물이 수월하게 수분과 영양분을 섭취할 수 있도록 도와 준다는 결과를 찾을 수 있다 (e.g., Sinha and Prasad, 1977). 하지만 킬레이트제로 인하여 뿌리의 수분 흡수율이 높아진 결과가 전기비저항의 공간분포 특성으로 나타난 것이라는 가설을 확인하기 위해서는 시간차를 두고 측정된 비저항치의 차이가 대조군과 비교하여 의미 있는 차이를 보여야 할 것이며 추가 실험이 요구되는 부분이다.

시설 재배지의 부적절한 토양관리로 인한 공극량의 감소 (다짐층 형성)는 수분의 수문학적 순환 경로를 방해하고 염류 집적도를 진행시킬 수 있다. 그러므로 수분 및 양분의 공간적 분포를 작물 생장에 영향을 주지 않는 비파괴적 방법으로 모니터링 할 수 있는 접근법으로서 염류도의 집적 정도와 작물뿌리의 수분의 이용의 결과를 공간적 수분 분포도로 제시할 수 있는 전기비저항탐사법은 유효한 방법이 될

수 있다. 본 연구를 통해 생각해 볼 수 있는 추후 연구방향으로 식물의 생장기간 중 비파괴적으로 토양내부의 수분도와 양분 정도에 따른 비저항값의 공간적 분포를 구분하여야 한다.

국외 연구의 사례를 살펴보면 토양에 대한 ERT 측정의 경우 Wenner array 방식이 선호되는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 알려진 차이점으로는 웨너의 경우 수평 분해능이 우수하여 층위로 구성된 지하구조를 영상화하는데 유리하고 이에 반하여 쌍극자 배열은 우수한 수직 분해능으로 수직적 구조를 함유한 지층의 영상화에 유리하다 (Kim et al. 2001). Figure 3에서 보이는 바와 같이 쌍극자 배열을 통한 진비저항의 영상결과는 웨너 배열법과 비교하여 표토에서는 전반적으로 비슷한 양상을 보이지만 고랑 밑에 위치한 심토의 경우 웨너 배열법을 통한 결과와 상이한 공간분포를 보이고 있다. 쌍극자의 경우 심토에서 비저항치의 분포가 수직적으로 구분이 되는 경향이 있다. 본 연구에서는 문헌 고찰을 통해 확인해 보았을 때 대부분의 연구에서 선택되고 있는 주 전극배열법으로 웨너방식을 따랐으나, 추후 이것이 쌍극자 배열법과 비교하여 실제 구조적 차이나 심토에서 수분이나 염류집적의 결과로 나타나는지는 추후 연구를 통하여 확인해볼 필요가 있다. 이와 같은 결과와 관련된 추후 실험은 시설재배지의 관리 특성상 전형적으로 발생하는 토양 구조나 내부 수분 및 양분 분포의 특성이 어느 전극배열방식에 적합한지를 결정하는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서 전국적으로 폭넓게 분포해 있는 염류집적 농경지에서 작물생육기간 중에도 염류와 수분의 공간적 분포 특성을 파악하기 위한 현장 모니터링 방법의 일환으로 전기비저항탐사법의 활용 가능성을 평가하는 일환으로 수행되었다. 결과로서 전기 비저항값의 공간적 분포의 처리 구간별 차이점이 영상으로 구현되고 본 연구에서 대상지역에 장착된 된 실험 장치가 추후 계속적 모니터링의 토대로 사용될 것으로 기대된다. 하지만 본 연구에서 실시된 실험은 반복성이 결여되어 있고 시간차에 따른 측정이 이루어지지 않아 다양한 혼란변수가 비저항 결과 해석에 충분히 고려되지 못하고 있다. 특히 처리구간별 다양한 화학, 물리, 광물, 그리고 수문학적 특성의 비교가 수행되지 못해 비저항자료를 해석하고 기여변수를 찾는 데 있어 제한점으로 나타나고 있다. 그러므로 본 선행 연구 결과를 통하여 추후 연구로서 킬레이트제에 의한 화학적 처리시 수분도나 염류도 특성과 전기 비저항치와의 연관성을 정량적으로 이해하기 위하여 처리구의 특성을 내포한 통제된 실내 실험과 시간차에 따른 반복 측정이 선행되어야 함을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: NO. 200902OFT102865016)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann. Rev. Phytopathology*. B. p.149-151. 172-181. 223-225. 284-286.
- Besson, A., I. Cousin, A. Samouelian, H. Boizard, and G. Richard. 2004. Structure heterogeneity of the soil tilled layer as characterized by 2D electrical resistivity surveying. *Soil Till. Res.* 79:239-249.
- Bottraud, J.C., M. Bornand, and E. Servat. 1984. Mesures de re'sistivite' et e'tude du comportement agronomique d'un sol. *Bulletin de l'Association Francaise pour l'Etude du Sol* 4, 295-308. Dabas et al. (1989)
- Chang, C.W. and H.E. Dregne. 1955. The effect of exchangeable sodium on soil properties on growth and cation content of alfalfa and cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:29-35.
- Chio, W.Y. 1997. Development of absorbent-microbe mixture for desalination of green house soils, MOA. Gwacheon, Korea. p.1-105.
- Cho, K.R., C.S. Kang, T.J. Won, and K.Y. Park. 2006. Effects of compressed expansion rice hull application and drip irrigation on the alleviation of salt accumulation in the plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39: 372-379.
- Jeon, W.T., H.M. Park, J.B. Chung, K.D. Park, C.Y. Park, and W.H. Yang. 2005. Effect of reduced fertilization considering residual soil nutrients on rice yield and salt removal in greenhouse vegetables and rice cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:85-91.
- Kim, D.S. 2004. Effects of the perforated underdrainage pipe installment on the salt removal in the plastic film house soil. MS Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea. p.1-28.
- Kim, J.H., M.J. Yi, Y. Song, and S.H. Chung. 2001. A Comparison of electrode arrays in two-dimensional resistivity survey. *Journal of the Korea Society for Geosystem Engineering*. 38(2):116-128.
- Kim, P.J., D.K. Lee, and D.Y. Chung. 1997. Vertical Distribution of Bulk Density and Salts in a Plastic Film House Soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:226-233.
- Kwak, H.K., K.S. Seong, N.J. Lee, S.B. Lee, M.S. Han, and K.A. Roh. 2003. Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36: 304-310.

- Oh, S.E., J.S. Son, Y.S. Ok, and J.H. Joo. 2000. A modified methodology of salt removal through flooding and drainage in a plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43: 565-571.
- Park, C.Y. 2004. Solution and reason of salt accumulation in green house soil. p.108-109. *The society of green house soil and environment*. National Yeongnam Agricultural Institute. Milyang, Korea.
- Park, S.K., J.H. Kim, M.J. Yi, J.S. Son, and J.G. Kim. 2006. Application of geophysical environmental site assessments in the abandoned mine. *Journal of the Korea Society for Geosystem Engineering* 43(5):395-403.
- Sinha, M.K. and B. Prada. 1977. Effect of chelating agents on the kinetics of diffusion of zinc to a simulated root system and its uptake by wheat. *Plant Soil.* 48:599-612.