

전기동력학 기술을 이용한 시설재배지 토양의 염류제거 효과연구

김이열* · 최정희¹ · 이유진¹ · 홍순달 · 배정호¹ · 백기태²

충북대학교, ¹한국전기연구원, ²전북대학교

A Study on Salt Removal in Controlled Cultivation Soil Using Electrokinetic Technology

Lee Yul Kim*, Jeong Hee Choi¹, You Jin Lee¹, Soon Dal Hong, Jeong Hyo Bae¹, and Ki Tae Baek²

Department of Environmental & Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

¹*Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon 641-120, Korea*

²*Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea*

To verify that the electrokinetic remediation is effective for decreasing salinity of fields of the plastic-film house, field tests for physical property, chemical property, and crop productivity of soils have been conducted. The abridged result of those tests is as follows. In the EK treatment, the electrokinetic remediation has been treated at the constant voltage (about 0.8 V cm^{-1}) for fields of the farm household. At this time, an alternating current (AC) 220 V of the farm household was transformed a direct current. The HSCI (High Silicon Cast Iron) that the length of the stick for a cation is 20cm, and the Fe Plate for an anion have been spread out on the ground. As the PVC pipe that is 10 cm in diameter was laid in the bottom of soils, cations descend on the cathode were discharged together. For soil physical properties according to the EK treatment, the destruction effect of soil aggregate was large, and the infiltration rate of water was increased. However, variations of bulk density and porosity were not considerable. Meanwhile, in chemical properties of soils, principal ions of such as EC, NO_3^- -N, K^+ , and Na^+ were better rapidly reduced in the EK treated control plot than in the untreated control plot. And properties such as pH, P_2O_5 and Ca^{2+} had a small impact on the EK. For cropping season of crop cultivation according to the EK treatment, decreasing rates of chemical properties of soils were as follows; NO_3^- -N 78.3% > K^+ 72.3% > EC 71.6% \geq Na^+ 71.5% > Mg^{2+} 36.8%. As results of comparing the experimental plot that EK was treated before crop cultivation with it that EK was treated during crop cultivation, the decreasing effect of chemical properties was higher in the case that EK was treated during crop cultivation. After the EK treatment, treatment effects were distinct for NO_3^- -N and EC that a decrease of nutrients is clear. However, because the lasting effect of decreasing salinity were not distinct for the single EK treatment, fertilization for soil testing was desirable carrying on testing for chemical properties of soils after EK treatments more than two times. In the growth of cabbages according to the EK treatment, the rate of yield increase was 225.5% for the primary treatment, 181.0% for the secondary treatment, and 124.2% for third treatment compared with the untreated control plot. The yield was increased by a factor of 130.0% for the hot pepper at the primary treatment (Apr. 2011), 248.1% for the lettuce at the secondary treatment (Nov.2011), and 125.4% for the young radish at the third treatment (Jul. 2012). In conclusion, the effect of yield increase was accepted officially for all announced crops.

Key words: Electrokinetic remediation technique, Controlled cultivation system, Salt removal

서 언

염류집적에 의한 생리장애는 작물의 경우 삼투압 증대로 인한 수분흡수 저해 및 특정이온의 과잉에 의한 생육장애 (Gurada, 1971)가 대표적이며 염농도와 가장 관계가 깊은

비료성분은 NO_3^- -N 및 Cl^- (Song et al., 1996)이다. NO_3^- -N의 함량은 심토보다 표토가 높으며 경작년수가 오래 될 수록 집적량이 높아지기 때문에 반드시 제거해 주어야 한다 (Jung et al., 1996; Kang et al., 1997). EC (Electrical conductivity)와 관계가 깊은 NO_3^- -N함량은 시설의 외부가 완전히 차단되는 2월이 가장 높고 (Ha et al., 1997) 이때의 작물흡수율도 30~70%정도로 낮다고 보고 (Mansel et al., 1986)되고 있다. 특히 NO_3^- -N와 같은 음이온은 토양에 흡

접수 : 2012. 11. 27 수리 : 2012. 12. 12

*연락처 : Phone: +82312910229

E-mail: lykim1950@hanmail.net

착되는 양이 적고 이동은 빠르다 (Bergstron, 1987). 토심 20~30 cm에 존재하는 경반층의 방해 (Kim et al., 1997; Kim, 1996)로 양분의 하향이동이 제한 (Jesen et al., 1996) 되므로 표토에 머물러 집적현상이 심해진다.

이러한 시설재배지 토양의 문제점들은 결국 수량감소, 농산물품질악화, EC상승, 토양물리성 악화, 미생물상의 이상, 지하수의 오염 등의 문제점들을 (Kim, 1998; Kim, 2000; Kim et al., 2003; Kwon et al., 1998) 유발한다. 우리나라 시설토양은 현지 조사한 결과 시설재배 면적의 반이상이 EC 4.0 dS m⁻¹ 이상의 염류토양으로 보고 (Kang et al., 1997; Ishigawa, 1985; Jung et al., 1994)되고 있다.

시설재배 토양의 가장 큰 문제점의 하나인 염류집적 문제를 해결하기 위하여 농가에 대하여는 유기물 사용에 의한 무기태 질소의 고정화, 담수에 의한 염류세탈 및 심경, 환토, 배수 등 농경적 제염법 (Kim, 2001; Kim et al., 2001; Kim et al., 2003)을 다양하게 동원하고 있으나 처리기간 동안의 휴경이 불가피하는 등 여러 가지 이유로 그 결과는 신통치 않았다. 따라서 처리기간 동안에 작물재배를 쉬지않는 환경친화적인 염류제거 방법이 필요하다.

동전기 (Electrokinetic, EK)기술은 오염토양 복원기술 중 최근의 것으로서 무기물, 유기물 및 복합오염 물질로 오염된 세립질 토양에 대한 원 위치에서의 정화에 가장 부합할 수 있는 기술로 평가받고 있다. 이 방법은 다른 공법으로 처리할 수 없는 낮은 투수성의 세립질 토양에도 효과적으로 적용되고, 물과 용해된 오염물의 이동방향을 조절할 수 있으며 전력소모량이 적다는 등의 장점을 가지고 있다. EK현상은 1809년 Reuss에 의하여 발견되었다. 1980년대 중반에 이르러서야 오염토양에 적용되었고 최근에는 중금속, 방사

능물질, 유기물, 각종 중금속, 다환 방향족탄화수소에 까지 제거이론과 기술적 논리가 제시되었다. 현재는 기존 EK기술의 단점을 보완하거나 다른 공법과의 조합된 기술을 제시하고 있는 추세이다 (Kim et al., 2003).

따라서 본 연구에서는 EK기술중 토양내의 무기염류를 추출하여 분리제거 하는 방법이 농경지 특히 시설재배 염류토양에서도 적용이 가능할 수 있겠느냐 하는 것을 과학적으로 검증하고자 하였다.

재료 및 방법

시험포장은 경남 창원시 대신면 북부리 시설재배 농가의 비닐하우스 토양으로서 현재 국화 (소국)를 장기간 재배하고 있는 화해혼성평단지로서 토성은 사양토 이었다. 이 지역은 과거 특이산성답의 특성이 있었던 것으로 추정됨으로서 유허함량이 높은 약 알카리성의 염농도가 8.95 dS m⁻¹로 매우 높은 토양이었다.

동전기 (EK)처리방법 상기 포장에 220V농가용 교류를 직류화하여 0.5~1.0 V cm⁻¹ (약 0.8 V cm⁻¹)의 정전압으로 동전기 처리 하였다. 양전극의 길이는 20 cm로서 고규소철 (HSCI; High Silicon Cast Iron), 음전극은 철판 (Fe Plate)을 바닥에 깔았다. 하단부 흙 속에는 직경 10 cm 정도의 유공 PVC파이프를 매설하고 음 (-)극으로 물려온 양 (+)이온들을 모아서 배출시켰다. 유공 PVC파이프 위를 흙으로 덮고 모래 주머니를 만들어 그 위에 앉았다.

토양분석 방법 토양의 용적밀도 측정은 2인치 Core를

Table 1. Physico-chemical properties of soil used in field experiment.

Soil depth	Texture	pH	EC [†]	OM [‡]	P ₂ O ₅	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		1:5	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----		----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Topsoil	SL	7.40	8.95	5.3	786	812.4	20.7	1.8	19.3	6.0	4.2
Subsoil	SL	7.36	7.22	4.1	895	379.0	19.9	1.4	14.9	4.3	2.2

[†]Electrical conductivity, [‡]Organic matter.

Table 2. Vegetable cropping system of four times in two years.

Cropping times	Cultivated crops	Transplant time	Harvest time	EK treatments methods	Fertilization methods
1 st	Chinese cabbage, Green pepper	Feb. 2011	Apr. 2011	Non cultivation time with 21days	Non-fertilizer
2 nd	Chinese cabbage, Lettuce	Sep. 2011	Nov. 2011	During crop cultivation with 50days	NK fertilizer, standard fertilizer
3 rd	Winter-grown cabbage, Young radish	Jun. 2012	Jul. 2012	Non treatment	Non fertilizer, soil testing fertilizer
4 th	Chinese cabbage, Young radish	Jul. 2012	Oct. 2012	Non treatment	Non-fertilizer

이용하였다. 또한 토양통기성은 일본 Daiki사의 DIK-5001 토양 통기성 측정기로, 토양경도 역시 일본 Daiki사의 토양 경도계 DIK-5552로, 그리고 토양입단은 또한 일본 Daiki사의 항온식 토양입단 분석기 DIK-2011을 이용하여 분석하였다.

토양의 화학성분 중 토양 pH는 초자전극법 (Orion 900A) 으로, 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster방법 으로, 질산태질소를 Auto Analyzer (Alpken 501)를 이용하여 분석하였으며, 치환성 양이온은 1N-Ammonium Acetate 로 침출하여 ICP (GBC Integra XMP)로 분석하였다. 또한 토양의 EC측정은 EC측정기 (Orion model 122)를 이용하여 측정하였다 (NIAST, 2000). 토양의 Sampling은 표토를 0~10 cm, 심토를 10~20 cm으로 하였다.

작물재배 작부체계 Table 2는 처리효과를 검증하기 위하여 배추와 계절채소인 고추, 상추, 열무 등을 공시작물로 채택하였다. 작기별 EK처리는 1차작기의 경우 2011년 2월 하순부터 21일간 처리 하였으며 대상토양이 지나친 고염류 토양 이었던 관계로 EK처리 효과 확인을 위하여 1작기는 무비재배 하였다.

1작기의 토양 분석 및 작물생육상태를 통하여 주요 화학성분이 적정범위 이하로 내려가서 오히려 작물생육에 장애가 있는 수준까지 내려갔다는 결론을 얻었다. 따라서 2작기에는 2011년 9월 하순부터 10월 하순까지 작물재배기간 동안 EK처리를 하였다. 또한 2작기 때의 시비방법은 표준시비량구와 NK복비 최소시비량구로 나누어 시비하였다. NK복비를 준 이유는 1작기 때 EK처리에 따른 유효인산의 이동량이 적어 토양속의 유효인산 함량이 충분하였기 때문이었다.

1작기 및 2작기를 통하여 EK처리에 따른 토양 중 양이온

감소 효과가 크게 나타났기 때문에 3작기에서는 시험구를 1, 2작기 효과를 확인하기 위한 무비구와 환경친화적인 농촌진흥청이 추천한 토양검정 시비량 시비구로 구분하여 3작기 작물재배를 실시하였다. 4작기에는 3작기 동안의 잔효를 검증하기 위하여 무비 재배하였다.

결과 및 고찰

토양의 물리성 변화 2012년 7월 3작기 후 EK처리 전 토양과 21일간의 EK처리 후 토양의 물리성을 Table 3에서 비교하여 보았다. 용적밀도를 보면 무처리구의 0~5 cm 토심은 1.22 Mg m⁻³으로 약간 낮아졌으며 토심 5~10 cm의 경우에도 0.02 Mg m⁻³ 정도 줄었으나 유의성은 없었다. 토양경도 및 공극율의 경우에도 특별한 EK처리효과를 보이지는 않았다. 그러나 미농무성 (U.S.D.A, 1998)법에 의한 6인치 링 Soil infiltration test에서는 물 침투속도가 2배정도 증가한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 EK처리에 따라 Table 5에서 보는바와 같이 토양입단이 파괴됨으로써 용적밀도 및 토양경도는 유사하고, 물빠짐 등은 증가한 것으로 생각된다.

3작기에 이르는 작물작부에 이르기까지 2회의 EK처리와 3회의 배추재배가 있었다. 1작기 이전 즉 시험 전 토양의 물리성과 EK처리구의 3작기 후 토양의 물리성을 Table 4에서 비교하였다.

시험전 토양에 비하여 표토의 물리성은 용적밀도 1.30 Mg m⁻³에서 1.18 Mg m⁻³으로 줄어들었고 공극율은 54.8 %에서 55.4 %로 약간 증가되었다. 그러나 심토의 경우에는 오히려 용적밀도가 약간 늘어났고 공극율도 약간 줄어드는

Table 3. The changes of soil physical properties by the EK treatment.

EK treatment	Soil depth	Bulk density	Soil hardness	Porosity	Water infiltration
	cm	Mg m ⁻³	mm	%	mm sec ⁻¹
Non treatment	0~5	1.22	5.77	54.1	13.2
	5~10	1.19	10.3	55.1	
	10~15	1.21	13.3	54.3	
EK treatment	0~5	1.18	3.8	55.7	25.3
	5~10	1.17	10.3	55.7	
	10~15	1.23	9.2	53.6	

Table 4. The changes of soil physical properties by the EK treatment compared with before and two years after.

Treatment	Soil depth	BD	Porosity	Solid	Liquid	Air
		Mg m ⁻³		% -----		
Before experiment	Top soil	1.30	54.8	45.2	40.0	14.8
	Sub soil	1.23	54.3	45.7	40.1	14.2
After experiment with EK	Top soil	1.18	55.4	44.6	39.8	15.6
	Sub soil	1.25	52.8	47.2	42.1	10.7

경향을 보이는 것으로 보아 둔감하거나 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

그러나 토양의 내수성 토양입단을 분석한 결과 0.1 mm 이상의 총입단량이 무처리구가 40.7 %로서 EK처리구의 30.0 %에 비하여 높게 나타났기 때문에 EK처리는 토양의 입단을 파괴하는 것으로 봐도 좋을 것 같다. 특히 1.0 mm 이상의 큰 입단은 무처리구 14.9 %, EK처리구가 11.9 %로서 대입단과 중간크기의 입단 (0.25~1.0 mm)에서의 파괴수준과 비슷하여 동전기의 토양입단파괴 현상은 크기를 가리지 않고 영향을 주는 것으로 생각되었다.

토양의 화학성 변화 Table 6은 EK처리 횟수 즉 토양에 EK를 처리한 횟수와 방법에 따른 토심 0~10 cm 표토와 10~20 cm 심토의 일반 토양화학성의 변화를 나타낸 것이다.

1차 무처리구 토양의 특성을 보면 pH 7.4인 강한 알칼리성 토양으로서 EC가 8.95 dS m⁻¹로 매우 높고 질산태 질소의 함량도 매우 높으며 Ca²⁺과 Na⁺함량도 매우 높은 전형적인 간척지 토양과 유사한 특성을 가지고 있었다.

본 토양의 화학성을 살펴보면 EC의 경우 최초 8.95 dS m⁻¹이었던 것이 21일간 EK처리를 한 후 2.26 dS m⁻¹로 75.3%가 떨어졌다. 2작기 무처리구는 5.70 dS m⁻¹ 3작기에는 이

Table 5. The changes of water stable aggregate accumulation by the EK treatment.

Thickness of aggregate	>2.0 mm	2.0~1.0 mm	1.0~0.5 mm	0.5~0.25 mm	>0.1 mm
.....%.....					
Non-treatment	6.0	8.9	15.8	27.5	40.7
EK treatment	3.9	8.0	15.1	23.4	30.0

Table 6. The changes of soil chemical properties depend on EK treatment and its time.

Cropping order	EK treatment	Soil depth	pH	EC [†]	NO ₃ ⁻ -N	Avail. P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
			1:5	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	
1 st (Dec. 2010)	Non	Topsoil	7.4	8.95	812	786	1.77	19.3	6.0	4.2
		Subsoil	7.4	7.22	379	895	1.43	14.9	4.3	2.2
	EK treatment	Topsoil	7.2	2.26	259	780	0.66	13.4	2.9	0.3
		Subsoil	7.5	2.98	102	815	0.61	14.1	1.7	0.4
2 nd (Dec. 2011)	Non	Topsoil	7.1	5.70	247	628	1.56	11.8	3.5	-
	EK	Topsoil	7.6	1.37	12	595	0.4	16.5	3.1	-
3 rd (Jul. 2012)	Non	Topsoil	6.9	5.52	281	1,378	1.84	15.9	3.8	0.78
		Subsoil	7.5	6.60	155	1,074	1.82	12.0	3.3	0.68
	EK treatment	Topsoil	8.0	1.98	8	969	0.37	12.9	2.6	0.39
		Subsoil	8.1	1.16	7	865	0.41	12.4	2.5	0.43

[†]Electrical conductivity.

Table 7. The decreased rate of soil chemical properties at topsoil by the EK treatment compare with non treatment in a year.

EK treatment order	pH	EC [†]	NO ₃ ⁻ -N	Avail. P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		1:5	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
Before Exp.	7.4	8.95	812	786	1.77	19.3	6.0	4.2
1 st	7.2	2.26	259	780	0.66	13.4	2.9	0.3
	(-2.7) [‡]	(-74.8)	(-68.1)	(-0.8)	(-62.7)	(-30.6)	(-58.3)	(-92.9)
2 nd	7.6	1.37	12	595	0.4	16.5	3.1	-
	(+7.0)	(-76.0)	(-69.6)	(-24.3)	(-74.4)	(+39.8)	(-20.5)	-
3 rd	8.0	1.98	8	969	0.37	12.9	2.6	0.39
	(+15.9)	(-64.1)	(-97.2)	(-29.7)	(-79.9)	(-40.6)	(-31.6)	(-50.0)
Average	7.6	1.87	93	781	0.48	14.3	2.9	0.35
	(+6.7)	(-71.6)	(-78.3)	(-18.3)	(-72.3)	(-10.5)	(-36.8)	(-71.5)

[†]Electrical conductivity, [‡]The decreased rate of soil chemical properties compared with the soil before experimenting.

와 비슷한 5.52 dS m⁻¹이었다. 그러나 EK처리 시험구의 EC는 1차처리로 2.26, 2작기 1.37, 3작기 1.98 dS m⁻¹로 각각 나타나 한번의 EK처리만으로도 벌써 적정수준까지 내려 갔다.

질산태질소의 변화는 분명한 편인데 최초 812 mg kg⁻¹이었던 함량이 2회에 걸친 EK처리로 질소부족상태에 해당되는 12 mg kg⁻¹ (98.5%감소) 수준으로 푹 떨어졌으며 1차에 걸친 EK처리효과만 해도 87.4%가 감소한 102 mg kg⁻¹이었다.

이밖의 일반화학적분종 K⁺, Na⁺, 등은 EK처리에 의한 감소폭이 컸으며, pH, P₂O₅, Ca²⁺ 등은 변화폭이 적거나 일정한 경향을 알 수 없는 성분이었다.

Table 7은 Table 6의 화학성을 화학성분별로 당해연도의 무처리구 대비 EK처리구의 토양화학성분의 감소율 (%)을 나타낸 것이다. 숫자가 큰 것은 이동량 및 이동율이 높은 것이다. 또한 EK처리에 민감하게 반응한다는 뜻이 된다. 나타난 특징을 보면 pH, P₂O₅, Ca²⁺ 등은 EK의 영향을 거의 받지 않는 성분들이었고 NO₃⁻-N, EC, Na⁺, K⁺ 등은 이동이 잘 되는 EK처리에 효과적인 화학성분들이었다. EK의 처리 횟수와 처리방법에 따라서 이동율이 각기 다르기는 하나 이동율의 크기는 NO₃⁻-N 78.3% > K⁺ 72.3% > EC 71.6% ≥ Na⁺ 71.5% > Mg²⁺ 36.8% 순이었다.

Table 8은 1작기 이전에 21일간 EK처리를 할 때 나지상

Table 8. The comparison on decreased rates of soil chemical properties at topsoil by EK treatment method.

EK treatment method	EC [†]	NO ₃ ⁻ -N	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	----- % -----				
Before crop transplanting	74.8	68.1	62.7	30.6	58.3
During crop cultivation	76.0	74.5	74.4	39.8	20.5

[†]Electrical conductivity

Table 9. The comparison of soil chemical properties between non EK treatment soil and sandbag soil that accumulates migrated nutrients after EK treatment.

Observed date	Treatment	Soil depth	pH	EC [†]	OM [‡]	P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		cm	1:5	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹		-----	cmol _c kg ⁻¹ -----	
Dec. 5. 2010	Non treat. (A)	0~10	8.37	3.97	1.05	1,081	2.32	14.0	4.91	2.48
	Sandbag (B)	-	10.58	8.11	1.31	866	3.40	9.11	31.2	9.18
	B/A		1.26	2.04	1.25	-	1.47	-	6.35	3.70
Jul. 23. 2012	Non treat. (A)	5~10	6.9	7.59	0.27	1,378	1.84	15.9	3.8	0.78
	Sandbag (B)	-	10.5	9.55	0.15	763	3.90	7.12	1.0	12.9
	B/A		1.52	1.26	-	-	2.12	-	-	1.65

[†]Electrical conductivity, [‡]Organic matter

Table 10. Crop growth and yields.

Cropping system	Crops	Treatment of EK	Plant height	No. of leaf	Fresh weight	Yield index
			cm		g/plant	
1 st	Chinese cabbage	Non	24.2	21.1	177.6	100
		EK	30.5	25.6	400.5	225.5
	Green pepper	Non	33.7	14.6	24.2	100
		EK	43.9	16.7	31.5	130.0
2 nd	Chinese cabbage	Non	39.9	13.5	647.0	100
		EK	39.3	17.6	1,172.0	181.0
	Lettuce	Non	20.5	-	10.8	100
		EK	25.1	-	26.8	248.1
3 rd	Winter grown cabbage	Non	25.9	8.5	18.6	100
		EK	23.8	9.7	23.1	124.2
	Young radish	Non	33.1	8.3	22.8	100
		EK	31.8	8.2	28.6	125.4

태에서 21일간 EK처리 후 1작기 배추 및 고추재배 후 염류의 감소율이고, 재배기간 중 처리구는 2작기 배추 및 상추재배 중 51일간 EK처리 기간 중의 성분이동율을 표시한 것이다.

그 결과 Mg^{2+} 를 제외한 EC, NO_3^- -N, K^+ , Ca^{2+} 등 4개 성분에서 모두 작물재배 중에 이동율이 더 높았다. 물론, 재배기간 중 EK 처리기간이 51일로서 휴경시 사전처리 21일보다 길었던 이유로 설명할 수 있을 것이다. 한편으로는 현재까지 이용되어 왔던 각종 염류제거 방법들이 작물재배를 일단 중단하고 제염처리를 하여야 하기 때문에 농민들이 결제성을 들어 처리를 꺼리는 원인이 되어왔으나 EK처리는 작물재배 중단 없이 처리가 가능하므로써 매우 유용한 염류제거 방법으로 떠오르게 되었다.

재료 및 방법의 전기 (EK)처리 방법에서도 설명 하였듯이 양쪽에 ⊕스틱을 박고 중간골에 모래자루를 깔았다가 작기가 끝나면 걷어내고 새 모래자루로 바꿔주는 형식이었다. 따라서 모래자루속의 모래를 수거하여 화학성을 분석함으로써 이동성분의 수거능력을 확인하고자 하였다.

Table 9는 2010년 12월 5일 1차 동전기 처리 전 후와 아래 2012년 7월 23일 3작기 재배 직후 모래자루를 수거한 시료이다. 1차 처리 직후는 일반화학 성분들 중 pH, EC, OM, K^+ , Na^+ 등이 1.26배에서 6.3배까지 집적된 것이었으며 P_2O_5 과 Ca^{2+} 는 지금까지 언급했던 바와 같이 집적양상으로 볼 때 매우 둔감한 것이었다. 3작기 후의 화학성분도 1작기 때와 유사하며 pH, EC, OM, K^+ , Na^+ 등이 1.26~2.12배 높아 모래자루를 깔고, 걷어내면 경제적이고 실용적인 것 일 거란 도입 당시의 생각이 맞았음을 알았다.

작물의 생육 및 수량 변화 Table 10은 3개 작기 동안 재배된 작물별 생육 및 수량을 EK 무처리구와 처리구를 비교한 것이다.

배추의 경우를 보면 무처리구에 비하여 1작기 225.5 %, 2작기 181.0 %, 3작기 124.2 %의 증수로 각각 나타나 평균 176.9 % 증수되었다. 기타 작물의 경우에도 1작기 고추 130.0 %, 2작기 상추 248.1 %, 3작기 열무 125.4 %로 각각 증수되어 EK처리에 의한 증수효과는 모든 작물에서 나타났으며 그 정도는 내염 능력이 더 높은 작물일수록 증수폭이 낮았던 것으로 나타났다. 즉 상추 248.1 % > 배추 176.9 % > 고추 130.0 % > 열무 125.4 % 순이었다.

적 요

전기동력학적인 기술 처리가 시설재배 토양의 염류제거에도 효과를 보이는가를 검증하기 위하여 토양의 물리성, 화학성 및 작물생산성을 조사한 포장시험한 결과를 요약하면 다음과 같다. EK처리는 농가포장에 220 V 농가용 교류

를 직류화하여 약 $0.8 V cm^{-1}$ 의 정전압으로 동전기 처리 하였다. 양전극의 길이는 20 cm로서 고규소철 (HSCI; High Silicon Cast Iron), 음전극은 철판 (Fe Plate)을 바닥에 깔았다. 하단부 흙 속에는 직경 10 cm 정도의 유공 PVC파이프를 매설하고 음 (-)극으로 몰려온 양 (+)이온들을 모아서 배출시켰다. EK처리에 따른 토양 물리성은 토양입단의 경우 파괴 효과가 크고 물의 침투 속도는 증가되었으나, 용적 밀도와 공극율의 변화는 적었다. 한편, 토양의 화학성을 보면, 무처리구보다 EK처리구의 EC, NO_3^- -N, K^+ , Na^+ 등의 주요 이온들이 급격히 감소되었고, pH, P_2O_5 , Ca^{2+} 등은 EK의 영향력이 적은 성분이었다. EK처리에 따른 작물재배 작기별로 토양화학성 감소율을 비교한 결과 NO_3^- -N 78.3 % > K^+ 72.3 % > EC 71.6 % \geq Na^+ 71.5 % > Mg^{2+} 36.8 % 순이었다. EK를 작물재배 이전 즉 휴경을 하면서 처리한 시험구와 작물을 재배하면서 EK를 처리한 시험구의 화학성 감소효과를 비교한 결과 작물재배 중 처리효과가 더 높았다. EK처리 후 양분의 감소가 뚜렷한 NO_3^- -N, EC 등은 처리효과가 분명하였으나, 1회의 EK처리만으로는 염류감소 지속효과가 분명하지 않으므로 2회 이상 EK처리 후 토양화학성 검정을 계속하면서 토양검정 시비를 실시하는 것이 바람직하였다. EK처리에 따른 배추생육을 보면 1차 처리 - 2차 처리 - 3차 처리구의 무처리 대비 증수율은 225.5 % - 181.0 % - 124.2 %로 각각 나타났다. 1차 처리 (2011.4)시 고추는 130.0 %, 2차 처리 시 상추는 248.1 %, 3차 처리 시 열무는 125.4 % 각각 증수됨으로서 공시되었던 모든 작물에서 증수효과가 인정되었다.

사 사

본 연구는 과학기술부 기본연구사업에서 지원하고 한국 전기연구원에서 위탁받아 (과제번호 12-12-N0201-06) 수행된 연구결과입니다.

인 용 문 헌

Bergstron L. 1987. Nitrate leaching, and drainage from animal and perennial crops in tile-drained plot and lysimeters. J. Environ. Qual. 16:11-18.
 Gurada. 1971. Environment and soils of horticulture under plastic film house. p. 195-224.
 Ha, H.S., Y.B. Lee, B.K. Sohn, and U.G. Kang. 1997. Characteristics of soil electrical conductivity in plastic film house located in southern part of Korea. J. Soil Sci. Fert. 30:345-350.
 Ishigawa. 1985. Submerged effect for desalt of soils under plastic house cultivation. Agriculture & Horticulture 60:49-52.

- Jesen, L.S., D.J. McQueen, and T.G. Shepherd. 1996. Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. I. Field measurements. *Soil Till. Res.* 38:175-188.
- Jung, G.G., J.S. Lee, and B.Y. Kim. 1996. Survey on ground-water quality under plastic film house cultivation areas in southern part of Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:389-395.
- Jung, G.B., I.S. Ryu, and B.Y. Kim. 1994. Soil texture, electric conductivity and chemical components of soil under the plastic film house cultivation in Northern Central Areas of Korea. *J. Soil Sci. Fert.* 27:33-40.
- Kang, B.K., I.M. Jeong, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soil in Chungbuk area. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 30(1): 265-271.
- Kim, J.G., C.H. Lee, H.S. Lee, J.G. Jo, and Y.H. Lee. 1996. Subsoil inverting depth and fertilizer needs in salt accumulated soils of plastic film house. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(1):370-375.
- Kim L.Y. 1998. Soil scientific analysis of plant productivity in plastic film house. A report of National Academic of Agricultural Science. p.385-391.
- Kim L.Y. 2000. *Practical Soil Science*. Sambu Publication Co. p.313-328.
- Kim L.Y., H.J. Cho, and K.H. Han 2003. Effect of The Tile Drain on Physicochemical Properties and Crop Productivity of Soil Under Newly Constructed Plastic Film House. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(3):154-162.
- Kim, L.Y., H.J. Cho, B.K. Hyun, and W.P. Park. 2001. Effects of physical improvement practices at plastic film house soil. *Korean. J. Soil SCI. Fert.* 34:92-97.
- 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.
- Kim, S.S. and S.J. Han, 2003. *Electrokinetic Ground Remediation Technology*. Goomibook. p. 40-41.
- Kwon, J.S., J.S. Suh, H.W. Weon, and J.S. Shin. 1998. Evaluation of soil microflora in salt accumulated soils of plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(2):204-210.
- Mansel., R.S., J.G.A. Fiskell. D.V. Calvert, and J.S. Rogers. 1986. Distributed nitrogen in the profile of fertilized sandy soil. *Soil. Sci.* 141:120-126.
- NIAS(TNational Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Method of soil and crop plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Song, Y.S., H.K. Kwak, B.L. Huh, and S.E. Lee. 1996. Use efficiency of nitrate nitrogen accumulated in plastic film house soils under continuous vegetable cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:1631-1639.
- U.S.D.A. 1998. *Soil Quality Test Kit Guide*. Soil quality Institute. USA.