지하수토양환경 Vol. 17(4), p. 91~97, 2012 http://dx.doi.org/10.7857/JSGE.2012.17.4.091

≪現場報告≫

염류집적 농경지 탈염을 위한 전기역학적 처리공정의 비용산출

김도형[1] · 최정희[2] · 조성웅[1] · 백기태[3]*
[1]금오공과대학교 환경공학과
[2]한국전기연구원
[3]전북대학교 환경공학과

Cost Analysis of Electrokinetic Process for Desalination of Saline Agricultural Land

Do-Hyung Kim[1] · Jeong-Hee Choi[2] · Sung-Ung Jo[1] · Kitae Baek[3]*
[1]Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology
[2]Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)
[3]Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT

In this study, cost analysis of electrokinetic (EK) restoration process for desalination of saline agricultural land was performed for field application based on a pilot scale field application. For reasonable cost analysis, EK process was classified into three major parts: system design, installation and operation. Cost of system installation consists of materials and installation for electrode/electric wire, power supply and data monitoring, drainage system, etc. Operation cost was calculated based on electrical consumption and water charges for EK process. Total cost for EK process was 2,943,013 won for 1000 m^2 in greenhouse area. Cost for system installation was 2,553,786 won, that is, 87% of total cost, while cost for system operation was 389,229 won, that is, 13% of total cost.

Key words : Electrokinetic process, Desalination, Saline agricultural land, Cost analysis

1. 서 론

우리나라는 예로부터 쌀을 주식으로 하고 있기 때문에 농업이 발달하여 현재 국토면적의 약 16.9%를 농경지로 사용하고 있으나 최근 수년간 농경지의 면적은 도로건설, 도시 확장 등에 따른 농지전용으로 인해 매년 점차적으로 감소하는 추세에 있다(통계청, 2001-2011). 반면에 비닐하우스 등을 이용한 시설작물 재배지의 재배면적은 높은 수확량과 고부가가치 작물의 재배를 위해 국·내외적으로 증가하는 추세에 있다(통계청, 2010-2011; Nayak et al., 2009). 시설재배는 노지재배에 비해 농지 집약적이며, 높은 수확량을 올리기 위하여 비닐하우스 등을 설치하고 많은 양의 화학비료를 사용하게 된다. 또한 시설에 의한 외부와의 차단으로 인해 강우에 의한 영향을 받지 않고 내부는 비교적 고온으로 토양 하층부에서 상층부로 물이 이동하여 표토에서 증발하는 경우가 많다(Kim et al., 1997; 김대수 외, 2006; 조정민 외, 2011). 이로 인하여 토양의 표층에는 수분의 이동과 함께 염이 이동하여 집적되는 염류집적현상이 발생하게 된다. 작물이 정상적으로 생장하기 위해서는 일정 양의 염과 수분이 필요하지만 염류가 집적된 경우 작물이 수분 및 양분을 흡수하지 못하고 삼투현상에 의해 수분이 빠져나가 고사하는 등 작물의 생산성을 감소시키게 된다(김이열, 2000). 최근 한-미, 한-칠레 FTA 체결로 인한 대규모 농장에서 생산된 외국농산물과의 경쟁으로 국내 농업 경쟁력이 약화되고 있는 상황에서 시설재배지에서의 염류집적에 의한 작물생산량의 감소로 많은 농가들이 재산상의 손실이 증가하고 있고 염류집적 농경지의 적절한 처리를 통한 농업부분의 경쟁력 제

*Corresponding author : kbaek@jbnu.ac.kr
원고접수일 : 2012. 6. 13 심사일 : 2012. 8. 11 게재승인일 : 2012. 8. 12
질의 및 토의 : 2012. 10. 31 까지

고가 필요한 실정이다.

염류로 집적된 염류토양을 처리하는 기존의 처리방법으로는 관개수 증가, 객토, 복토 및 녹비재배 등이 있으나, 이러한 공법은 처리시간적인 측면에서 비효율적이고 일시적으로만 염류장애를 완화시킬 수 있고 토양의 입자 크기 등에 영향을 받아 적용 가능한 부지가 한정적인 한계가 있다(Qadir et al., 1998; Ok et al., 2005; 오상은 외, 2010). 시설재배지의 염류집적 현상을 일으키는 원인물질은 주로 화학비료에서 기인한 음이온 물질인 NO_3^-, PO_4^{3-}과 양이온 물질인 K^+, Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+} 등이 있는데 이런 염류 물질들은 대부분 토양 중에 전하를 띄는 이온형태로 존재하거나 토양 공극수에 용해된 형태로 존재하여 전기역학적 정화기술에 의한 처리가 효과적이다(Jia et al., 2005; Cho et al., 2009, 2010, 2011; Kim et al., 2011, 2012). 전기역학적 정화기술의 경우 기존 탈염기술과 달리 기술적용과 동시에 작물의 생장, 재배가 가능하고(한국전기연구원, 2011) 기존기술 대비 작물생산성이 높고 휴경없는 지속가능한 농업이 가능하여 최근에 전기역학적 정화기술에 의한 탈염처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 주로 실험실 및 파일럿규모에서 전기역학적 처리에 의한 염류의 제거효율 및 특성을 평가하는 것이 대부분이며, 전기역학적 처리기술을 실제염류집적농경지에 적용하고 실제 사용된 공정의 처리비용의 산출에 대한 연구는 없는 실정이다. 전기역학적 처리기술이 실제 염류집적 농경지의 처리에 실용화되기 위해서는 처리비용의 산출에 대한 연구가 반드시 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 실제 국화시설재배지를 대상으로 전기역학적 처리기술을 적용하여 염류집적농경지를 탈염처리 시 실제 사용한 전기역학적 처리공정의 공정비용을 산출하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 평가대상부지

본 연구의 평가대상부지는 경남 창원시 대산면 북부리 소재의 비닐하우스(국화밭)를 대상으로 하였다. 전기역학적 처리를 현장에 적용한 시험기간은 2010년 11월 1일에서 12월 1일까지 약 1개월, 대상면적은 세로 0.9 m, 가로 3.5 m, 2 두둑이었고, 파일럿규모 전기역학적 시스템을 현장에 적용하고 이를 바탕으로 실제 농가에서 주로 사용하고 있는 시설재배지 면적(1000 m^2)을 기준으로 전체 공정의 처리비용을 산출하였다. Fig. 1에 전기역학적 처리공정의 현장시스템 설치사진을 나타내었다.

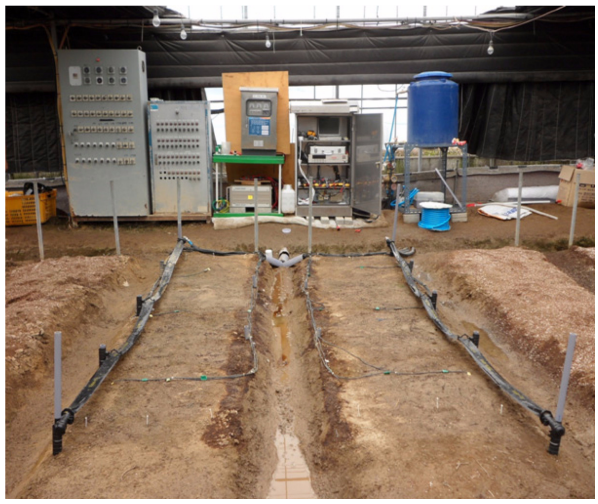

Fig. 1. Photo of the electrokinetic system in real field.

2.2. 공정시스템 개요

본 연구에서 사용한 전기역학적 처리공정은 비닐하우스 내부 염류가 집적된 표토(10 cm)의 현장탈염처리를 위하여 고안하였고, 전체시스템은 전극 및 전선부분, 전력공급장치, 데이터측정부, 배수시스템으로 구성되었다. 전극부분은 양극에는 봉(rod)형태의 high silicon cast iron (HSCI) 재질의 불용성전극을 사용하였고, 양극에는 판(plate) 형태의 철 전극을 사용하여 전극을 토양에 직접 수직으로 설치하였고, 전선의 설치는 동일전극 간 병렬로 연결하여 양극, 음극을 연결하였다. 데이터 측정부는 노트북 및 데이터수집장치(keithley)를 사용하여 토양온도, 시스템의 전류 및 전압변화를 측정하였다. 배수시스템은 하부에 설치하여 토양 내에서 수평, 수직으로 이동하는 공극수를 배관을 통해 폐수탱크로 수집하였다(Fig. 1). Table 1에 공정시스템 구축에 사용한 세부목록을 나타내었다.

2.3. 공정비용 분류

본 연구에서는 전체공정비용의 합리적인 산출을 위해 전기역학적 처리공정의 전체공정을 시스템설계, 설치 및 운영으로 구분하고 각 단계별로 세분하여 소요되는 인건비, 재료비의 비용을 각각 산출하여 전체 공정의 처리비용을 산출하였다. Fig. 2에 전체공정 비용의 구조를 나타내었다.

2.3.1. 시스템 설계

시스템의 설계는 시스템을 구성하는 전력공급장치, 전극 및 전선, 배수시스템 등의 설계를 수행하는 단계로서 전기역학적 처리 시스템의 경우 객토, 복토 등 기존의 탈

Table 1. Classification of the electrokinetic system for cost analysis

공정단계	분류	구분	내역	비고
시스템설치	전선설치	전선	3.5SQ	구매(소매가)
		인건비	2인	전기공 120,056원/인
	배관연결 (유공관 및 배수라인)	급수부	–	기존시설
		배수부	배수통, 수위센서, 배수펌프, 유공관, 전자밸브, 수도계량기 등	구매(소매가)
	전극부	인건비	5인	농업종사자 72,185원/인
		양극	불용성(HSCI)	주문제작
		음극	철판전극	구매
		DC power	2대	자체제작 (10A-100V)
	측정부(모니터링)	데이터 수집	노트북, 데이터수집장치, 온도센서 등	구매(소매가)
	기타	장비대여	1대	포크레인 400,000원/대
		기타소모품	케이블타이, 호스 등	구매(소매가)
시스템운영	전력 및 수도사용	전력(kWh)		농업용(병) (36.4원/kWh)
		수도(m^3)		(276원/m^3)

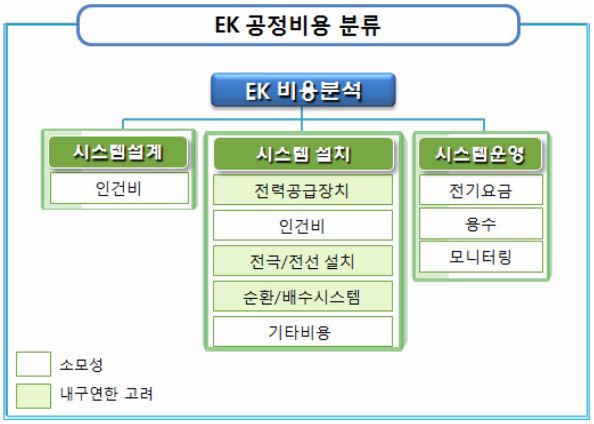

Fig. 2. Classification of the electrokinetic system for cost analysis.

염기술과는 달리 기술집약적인 공정으로서 시스템의 효율적인 적용 및 운영을 위해서는 전체시스템의 설계를 위한 비용이 소요된다.

2.3.2. 시스템 설치

1) 전력공급장치 및 데이터 측정부

전력공급장치와 데이터측정부의 제작 및 설치 시 재료비(전원공급기, 전압전류 제어용 전기판넬, 전원공급 및 전선설비) 및 인건비가 발생한다. 인건비의 산출은 시스템설치 공정이 연속적으로 진행됨으로 각 파트별로 별도로 구분하여 산정하지 않았고, 2009년 통계청자료를 기준으로 전기공과 농업종사자에 대해 적용하였다. 전력공급 장치의 제작에 소요되는 재료비는 실제 장치의 제작비용, 수량, 단가를 기준으로 재사용 유무 및 내구연한(수명)을 고려하여(1회성 소모, 재사용) 산정하였다. 재료비 산정의 예시는 아래와 같다.

재료비산정 예) 전원공급기 1대 가격 3,000,000원, 내구연한 15년
전기역학적 처리공정 1cycle: 1개월
전원공급기 비용산정: 3,000,000원*(1개월/15년) = 16,667원

2) 전극봉 제작 및 설치

전극봉의 제작 및 설치 시 재료비(양극 및 음극 전극) 및 인건비(천공)가 소요된다. 전극봉 제작 및 설치에 소요되는 재료비(음극용 철 전극 및 양극용 불용성 전극)는 실제 전극봉의 제작비용, 수량, 단가를 기준으로 재사용 유무 및 내구연한을 고려하여(1회성 소모, 재사용)산정하였다.

3) 급수/배수시스템 설치

급수시스템의 설치의 경우 기존 시설재배지에 사용하고 있는 급수라인을 이용하여 비용이 발생하지 않는 것으로 하였고, 배수 시스템 설치의 경우 소요되는 재료비(배관부자재, 순환펌프)중 배관부자재는 1회성 사용으로 순환펌프는 재사용으로 하여 실제 자재의 구입비용, 수량, 단가를 기준으로 산정하였다.

2.3.3. 시스템 운영

시스템 운영 시 소요되는 재료비(전기요금, 용수 등)는 시스템에 설치한 계량기에 의해 실제 부과되는 사용요금으로 산정하였다. 시스템 운영 및 모니터링에서 발생하는 인건비의 경우 컴퓨터와 데이타 수집장치를 사용한 온라

인 모니터링 시스템을 구축하여 발생하지 않는 것으로 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공정시스템 운영결과

3.1.1. 토양 내 pH변화

본 연구에서 토양 내 pH의 측정은 대상 부지를 Zone 1, Zone 2의 두 섹션으로 구분하여 측정하였다. 본 연구에 사용한 염류집적 토양의 초기 pH는 7.6이었는데, Zone 1의 경우 양극부근의 pH는 약 4.0, 음극부근은 약 11.0으로 양극-음극간 급격한 차이를 보였다. 반면에 Zone 2의 경우 양극부근의 pH는 약 7.5에서 점차적으로 증가하여 음극부근은 약 10.0으로 분포하였다. 이는 시스템의 전류 값이 Zone 1에서 Zone 2에 비해 상대적으로 높아 전기분해 반응이 더 활발했기 때문인 것으로 사료된다. 일반적으로 전기역학적 시스템에서는 직류전원의 공급에 의해 전기분해 반응이 일어나 양극부근에서는 pH가 산성, 음극부근에서는 pH가 염기성이 되어 토양 내 양극-음극간 pH의 급격한 차이가 발생하게 된다.

3.1.2. 시간에 따른 전류의 변화

전기역학적 시스템에서의 전류의 측정은 Zone 1, Zone 2의 두 섹션으로 구분하여 시간에 따른 변화를 측정하였다. 초기 시스템에 전체 50 V의 전압을 적용 하였고 이때의 초기전류는 Zone 1, Zone 2 각각 약 17 A 수준으로 나타났다. 5일이 지난 시점에 전류는 Zone 1, Zone 2 각각 약 12, 10으로 나타났고 시간이 지남에 따라 전류는 점차적으로 감소하여 28일이 지나는 시점에 전류는 Zone 1, Zone 2 각각 약 7, 6 A 수준으로 낮아져 안정화되는 경향을 보였다. 실험결과 동일시스템의 각 Zone에서 전류의 차이가 발생하였는데, 이는 토양의 불균일성 및 전기전도도의 불규칙적인 분포에 의해 토양 내 전류의 흐름이 달랐기 때문인 것으로 사료된다.

3.1.3. EC 및 염류제거

본 연구에 사용한 염류집적 토양의 초기 전기전도도(electrical conductivity, EC)는 평균 12.9 dS/m로 작물의 정상적인 생장을 위한 EC기준치인 2 ds/m의 약 6배 이상으로 아주 높게 나타났다. 본 연구에서 전압경사 0.8 V/cm로 전기역학적 시스템을 적용한 후 토양 내 EC의 평균제거율은 Zone 1, Zone 2에서 각각 73.8, 83.8%로 나타났다. 토양 내 존재하는 염류의 초기농도는 염소, 질산염, 황산염, 칼슘, 나트륨, 마그네슘각각 1693, 1352, 3400, 3168, 1341, 588 mg/kg이었다.

전기역학적 시스템을 적용한 후 토양 내 나트륨염, 질산염, 염소의 평균제거율은 약 95% 이상이었고, 황산염의 경우 평균제거율은 Zone 1, Zone 2에서 각각 36.5, 59.8%로 나타났다. 반면에 마그네슘, 칼슘의 2가 염들은 효과적으로 제거되지 못했다. 이는 2가 양이온의 경우 음극부근으로 이동하게 되는데 음극부근의 pH가 높아 침전되어 이동성이 저하되었기 때문으로 판단된다. 일반적으로 전기역학적 시스템에서 토양 내 존재하는 염의 경우 정전기적 인력에 의해 칼슘 등 양이온의 경우 반대극인 음극방향으로 질산염 등 음이온의 경우 양극방향으로 이동하게 되는데, 본 연구에서도 황산염을 제외하고는 이와 유사한 경향을 보였다. 황산염의 경우 토양 내 분포는 양극-음극간 중앙부분에 집적되는 경향을 보여 토양 내 전기전도도의 분포와 유사한 경향을 보였다. 본 연구에서 제거율과 토양 내 분포경향을 고려하면 황산염이 토양 내 잔류하는 EC에 기여하는 가장 주요한 염으로 판단된다.

3.1.4. 탈염저해요인

본 연구결과 전기역학적 기술의 적용 시 탈염을 저해하는 요인은 토양의 pH 변화에 의한 음극부근의 알칼리화로 인해 양이온들의 침전 및 이동성 저하, 전원공급에 의해 토양에 가해지는 전류가 토양의 불균일성으로 인하여 EK의 처리영역에 고르게 전해지지 못하여 상대적인 에너지 감소, 토양 내 황산염과 같은 이동성이 낮은 염의 다량 존재인 것으로 판단된다. 따라서 전기역학적 기술의 현장적용 및 실용화를 위해 탈염저해요인을 극복하는 시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

3.2. 공정비용산출

3.2.1. 시스템설계

Table 2에 전기동력학적 공정의 전체 비용산출 결과를 나타내었다. 시스템 설계부분의 공정비용의 경우 시스템의 설계를 위한 인건비가 소요되는 것이 일반적이나 본 연구에서는 시설재배지에 적합하게 개발된 시스템을 실제 현장에 적용하여 시스템설계 부분의 발생비용은 제외시키고 공정비용을 산출하였다.

3.2.2. 시스템설치

시스템 설치 부분의 공정비용은 전극부(양극 및 음극, 파워서플라이)는 1,048,640원, 전선설치는 인건비를 포함하여 418,712원, 시스템 배관설치는 인건비를 포함하여

Table 2. Total cost for the electrokinetic system

공정단계	분류	구분	금액(원)	비고
시스템설계	설계	인건비	-	기존시스템 이용
시스템설치	전선설치	전선	178,600	수명고려(1년)
		인건비	240,112	전기공
	배관연결 (유공관 및 배수라인)	급수부	-	기존시설이용
		배수부	86,692	수명고려
		인건비	360,925	농업종사자
	전극부	양극	312,500	수명고려(24년)
		음극	69,473	수명고려(3년)
		DC power	666,667	수명고려(15년)
	측정부(모니터링)	데이터 수집	108,817	수명고려
	기타	장비대여	400,000	임대
		기타소모품	130,000	1회성
시스템운영	전력 및 수도사용	전력(kwh)	368,200	실사용량기준
		수도(m^3)	21,029	
소 계	인건비		601,037	
	재료비		2,341,706	
합 계			2,943,013	

447,617원, 기타비용(장비대여, 소모성자재)은 인건비를 포함하여 530,000원, 온라인 모니터링 시스템구축은 108,817원 발생하는 것으로 산출되었다(Table 2). 시스템 설치 시 발생하는 인건비는 전극, 전선설치, 배관설치 시 중복될 수 있으므로 각 공정별로 인건비를 별도로 구분하지 않았다. 시스템 설치부분의 전체공정비용은 2,553,786원 이었고, 전체공정비용 중 시스템 설치부분은 약 87%로 가장 높은 비중을 차지하였으나 시스템설치비용 중 인건비 및 기타비용을 제외한 대부분이 내구연한(수명)을 고려한 비용발생 부분이었다. 본 연구에서 적용한 EK시스템은 실제 농가에서 염류집적으로 어려움을 겪고 있는 시설재배지의 현장조건 및 상황에 맞게 개발하여 현장에 국내 최초로 도입, 적용한 사례로서 최초 구성이라 모든 공정이 완전히 최적화 되지 않았다. 또한 시스템 설치에 사용한 재료의 경우 시중 소매가로 구입, 장치는 개별주문제작하여 공정비용 산출 시 단가가 높게 책정 되었는데 재료의 도매가 기준 대량구매 및 장치의 대량주문제작을 통해 설치공정 각 부분의 비용을 낮출 수 있어 전체공정비용 중 약 10~20% 가량 저감될 수 있을 것으로 기대된다.

3.2.3. 시스템운영

시스템 운영부분의 공정비용의 산출은 전기요금의 경우 사용량(kwh) × 사용요금(농업용-병: 36.4원/kwh)에 기본요금을 포함하여 368,200원이었고, 용수요금은 사용량(m^3) × 사용요금(276원/m^3)을 곱하여 21,029원이었다(Table 2). 시스템 운영부분의 전체비용은 389,229원이었고, 전체공정 비용 중 시스템 운영부분은 약 13%로 낮은 수준으로 나타났다. 시스템 모니터링 비용은 수집장치를 통해 온라인으로 수집하여 공정비용 산출 시 제외하였다. 본 연구에서의 전기역학적 시스템은 약 한 달간 운영하였는데, 공정의 최적화를 통한 처리기간의 단축 및 펄스(pulse) 전원의 사용으로 시스템 운영비 중 전기요금의 약 50% 가량 낮출 수 있어 전체공정 비용 중 약 180,000원 정도 저감될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 전기역학적 기술의 현장적용 및 실용화를 위해 전기역학적 처리에 의한 염류집적토양의 탈염공정을 시스템 설계, 설치 및 운영으로 구분하여 염류집적 국화시설재배지에 소요되는 전체 공정비용을 산출하였고 그 결과는 다음과 같다.

1. 전기역학적 기술의 적용 시 탈염을 저해하는 요인은 토양의 pH 변화에 의한 음극부근의 알칼리화로 인해 양이온들의 침전 및 이동성 저하, 전원공급에 의해 토양에 가해지는 전류가 토양의 불균일성으로 인하여 EK의 처리영역에 고르게 전해지지 못하여 상대적인 에너지 감소, 토

양 내 황산염과 같은 이동성이 낮은 염이 다량 존재하는 것으로 판단된다. 따라서 전기역학적 기술의 현장적용 및 실용화를 위해 탈염저해요인을 극복하는 시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

2. 전체 시스템을 시스템 설계, 설치 및 운영으로 구분하여 실제 시설재배지 면적(300평)을 기준으로 소요되는 전체 공정비용을 산출한 결과, 전기역학적 시스템의 전체 공정비용은 약 2,943,000원으로 산출되었다. 그 중 시스템 설치부분의 공정비용은 2,553,786원으로 전체공정비용 중 약 87%로 높은 비중을 차지하였고, 시스템 운영부분의 비용은 389,229원으로 전체공정비용 중 약 13% 수준으로 낮게 나타났다.

3. 본 연구에서 적용한 EK시스템은 실제 농가에서 염류집적으로 어려움을 겪고 있는 시설재배지의 현장조건 및 상황에 맞게 개발하여 실제 시설재배지 현장에 국내 최초로 도입, 적용한 사례로서 최초 구성이라 모든 공정이 완전히 최적화가 되지 않아 추후에 공정의 최적화를 통해서 전체 시스템의 공정비용이 저감될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 본 연구에서 제시한 공정비용은 대상 부지인 시설재배지의 면적(300평)을 기준으로 산출되어 적용되는 시스템의 형태 및 현장조건에 따라 일반적인 전기역학적 공정의 비용과는 차이가 있을 수 있으나, 제시한 전기역학적 공정의 공정비용 산출방법은 추후 시설재배지의 전기역학적 처리 외에 전기역학적 처리에 의한 각종 오염토양 정화부지에 적용 될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 연구결과 전체공정 비용 중 시스템운영부분의 비중이 13%로 낮고 전기역학적 처리시스템의 처리기간이 1달로 비교적 짧아서 태양전지를 사용하여 전기에너지원을 대체하는 경우에 태양전지를 설치하는 초기비용 대비 저감할 수 있는 비용이 적으므로 경제성이 없을 것으로 판단된다.

6. 실제 시설재배지를 대상으로 전기역학적 처리를 이용한 탈염공정의 상용화를 위해서는 본 연구에서 산출된 결과를 바탕으로 기존 시설재배지 염류집적토양의 탈염처리방법인 객토, 복토, 녹비재배 등과의 비교를 통하여 현장적용 가능성 및 경제성에 대한 평가가 필요한 상황이나 기존 탈염공정의 처리비용에 대한 객관적인 자료가 부족하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

한국전기연구원의 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김대수, 양재의, 옥용식, 유경열, 2006, 시설재배지 유공관 암거배수에 의한 염류집적 경감효과, 한국토양비료학회지, **39**(2), 65-72.

김이열, 2000, 실용 토양학, 도서출판 삼부문화, p. 320-321.

오상은, 손정수, 옥용식, 주진호, 2010, 시설재배지에서 토양담수 및 배수에 의한 염류집적 경감 방안, 한국토양비료학회지, **43**(5), 565-571.

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

통계청, 통계자료, 농업조사: 경지면적추이 (2001-2011)

통계청, 통계자료, 농업조사: 시설작물 재배면적 (2010-2011)

한국전기연구원, 2011, 전기이용 염류오염 토양재생 시범사업연구 보고서

Cho, J.-M., Kim, K.-J., Chung, K.-Y., Hyun, S,-H., and Baek, K., 2009, Restoration of saline soil in cultivated land using electrokinetic process, *Sep. Sci. Tec.*, **44**, 2371-2384.

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

Cho, J.-M., Kim, D.-H., Yang, J.-S., and Baek, K., 2011, Electrokinetic restoration of sulfate accumulated saline greenhouse soil, *Clean-Soil, Air, Water*, **39**(12), 1036-1040.

Jia, X., Larson, D., Slack, D., and Walworth, J., 2005, Electrokinetic control of nitrate movement in soil. *Eng. Geol.*, **77**, 273-283.

Kim, D.-H., Cho, J.-M., and Baek, K., 2011, Pilot-scale ex situ electrokinetic restoration of saline greenhouse soil, *J. Soils Sediments.*, **11**, 947-958.

Kim, D.-H., Jo, S.-U., Choi, J.-H., Yang, J.-S., and Baek, K., 2012, Hexagonal 2 Dimensional Electrokinetic Systems for Restoration of Saline Agricultural Lands, *Chem. Eng. Journal.*, (in press).

Kim, D.-H., Jung, J.-M., Jo, S.-U., Kim, W.-S., and Baek, K., 2012, Photovoltaic Powered Electrokinetic Restoration of Saline Soil, *Sep. Sci. Tech.*, (in press).

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

Nayak, S. and Tiwari, G.N., 2009, Theoretical performance assessment of an integrated photovoltaic and earth air heat exchanger greenhouse using energy and exergy analysis methods, *Energy and Buildings*, **41**, 888-896.

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.

Qadir, M., Qureshi, R.H., and Ahamad, N., 1998, Horizontal flushing: a promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. *Soil. Till. Res.*, **45**, 119-131.