

《原著》

염류집적 농경지 제염기술에 대한 경제성분석 - 작물생산량을 기준으로

김도형¹ · 최정희² · 김이열³ · 남창모⁴ · 백기태^{5*}

¹금오공과대학교 환경공학과

²한국전기연구원

³충북대학교 환경생명화학학과

⁴영남이공대학 보건과학계열

⁵전북대학교 환경공학과

Economic Analysis on Desalination Technology for Saline Agricultural Land on the Basis of Crop Production

Do-Hyung Kim¹, Jeong-Hee Choi², Lee-Yul Kim³, Chang-Mo Nam⁴, Kitae Baek^{5*}

¹Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

³Department of Environmental and biological chemistry, Chungbuk National University

⁴Division of Health and Science, Yeungnam College of Science and Technology

⁵Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT

In this study, economic analysis of five desalination technologies for saline agricultural land was carried out. The analysis was comprehensively evaluated by calculating changes in crop production and benefit/cost (B/C) ratio. The analysis of crop production was in the order of tomato > cucumber > a (musk) melon > watermelon > cabbage, and economical efficiency for desalination technology was in the order of soil exchange > soil addition > electrokinetics > under-drainage > subsoil reversal. In cost benefit analysis, B/C ratio was in the order of under-drainage > soil exchange > electrokinetics > soil addition > subsoil reversal, and all desalination technologies used in this study have the ratio higher than 1, which means economical efficiency was high. Based on the net production considering B/C ratio, the general economic analysis was exactly order from that of crop production analysis. As a result, economical efficiency of soil exchange was highest, and economical efficiency of soil addition and electrokinetic was relatively higher than others.

Key words : Desalination, Saline agricultural land, Economic analysis, Crop production, B/C ratio

1. 서 론

전 세계적인 인구의 증가로 인해 식량의 부족 및 수급 불균형의 문제가 심화됨에 따라 국내외적으로 지속적인 작물생산증대(SCPI: Sustainable Crop Production Intensification)가 농업분야에서 이슈가 되고 있다(Yang et al, 2011). 우리나라도 쌀의 자급률은 높은 편이나 기타 농산물 등의 식량자급률은 OECD(Organization for Economic

Cooperation and Development) 국가 중 낮은 수준이어서 작물의 생산증대가 필요한 상황이다. 그러나 우리나라는 국토면적이 좁고 4계절의 변화가 뚜렷하여 작물의 생산을 위한 지속적인 농경이 어려운 환경인데, 이에 최근 농지의 집약적인 이용 및 작물생산량의 증가를 위해 비닐하우스 등을 이용한 시설작물 재배지의 재배면적이 증가하는 추세에 있다(Kim et al, 2012a).

시설재배지의 경우 많은 양의 화학비료를 사용하고 시

*Corresponding author : kbaek@jbnu.ac.kr

원고접수일 : 2012. 7. 8 심사일 : 2012. 9. 15 게재승인일 : 2012. 9. 24

질의 및 토의 : 2012. 12. 31 까지

설물에 의한 외부와의 차단으로 계절의 영향을 받지 않아 작물의 높은 생산량을 위하여 유리한 환경이지만 내부의 고온 및 강우의 차단으로 인해 염류집적 현상이 빈번하게 발생한다(Kim et al, 1997; Cho et al., 2009, 2010, 2011). 농경지에 염류가 집적되면 농작물이 수분 및 양분을 흡수하지 못해 고사하는 등 작물의 생산성을 감소시키게 되는데(Kim, 2000), 작물 생산량의 감소는 농가수입의 감소로 연결되어 농업경쟁력을 약화시키는 원인이 된다. 이러한 염류집적 현상을 완화하기 위한 제염기술로는 객토, 심토반전, 암거배수, 흡비작물(cleaning crop)재배, 전기역학적 탈염 등의 다양한 방법이 있고 이와 관련된 많은 연구가 시도되고 있는데(Jia et al., 2005; Jo et al, 2012; Kim et al, 2006; Kim et al., 2011, 2012b, 2012c; Oh et al, 2010; Ok et al., 2005; Qadir et al., 1998), 이러한 연구들은 주로 실험실 및 파일럿규모에서 염류의 제거효율 및 특성을 평가하는 것이 대부분이기 때문에 한계가 있다. 실제로 농가에서 염류로 집적된 농경지의 제염을 위해 다양한 제염기술들 중에 가장 적절한 기술을 선택하기 위해서는 기술적인 부분인 제염기술의 효율 및 효과도 중요한 요인이지만 경제적인 부분인 제염기술의 비용 및 경제성 또한 중요한 요인이다. 하지만 현재까지 제염기술에 대한 경제성 분석에 관한 연구는 없는 실정이다. 경제성 분석(economic analysis)이란 일반적으로 해당사업의 비용과 편익을 추정하고 이에 따른 경제적 수익률(economic rate of return)을 산정하여 사업의 타당성 여부를 결정하는 분석기법을 말하는데 주로 국가 및 민간의 모든 분야에서 사업의 타당성평가 등에 활용된다(Lee, 2000). 최근 농업분야에서도 경제성 분석과 관련하여 유채재배 작물에 대한 경제성 분석에 관한 연구가 보고되었고(Kim and Lee, 2006; Jung et al, 2007), 또한 유채재배 작물에 대한 비용편익분석에 관한 연구도 보고된 바 있어 농업분야에서도 경제성 분석의 필요성이 제기되고 있는 상황이다(Choi et al, 2011). 비용편익분석(cost benefit analysis)이란 일반적으로 여러 정책대안 가운데 목표 달성에 가장 효과적인 대안을 찾기 위해 대안선택

시 투입되는 비용과 산출되는 편익을 비교·분석하는 기법을 말하는데 주로 국가의 중요정책 결정 시 활용된다(Lee, 2000). 최근 외국과의 FTA체결로 인한 값싼 농산물의 수입으로 인해 국내 농업의 경쟁력이 약화되고 있어 농업기술에 대한 경제성 분석 등을 통한 농업부분의 경쟁력 제고가 필요한 상황에서 현재까지 염류집적 농경지의 제염기술에 대한 경제성 분석 및 비용편익분석에 관한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실제 시설재배지에서 재배 가능한 평가대상 작물을 선정하여 염류집적농경지의 제염처리를 위해 농가에서 일반적으로 사용하는 제염기술인 객토, 환토, 암거배수, 심토반전 및 새로운 기술인 전기역학적 탈염기술의 경제성 분석을 수행하고자 한다. 본 연구결과는 향후 염류집적 농경지의 제염기술 선정 시 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 평가대상기술

2.1.1. 대상기술선정

본 연구에서 경제성분석을 위해 선정한 평가대상기술은 현재 시설재배지 염류집적도양의 제염을 위해 적용하고 있는 기술 중에서 농가에서 일반적으로 사용하고 있는 객토, 환토, 심토반전, 암거배수의 4종과 새로운 기술인 전기역학적 탈염기술을 대상으로 하였다. Table 1에 각 제염기술의 특징을 비교하였다(KERI, 2011).

1) 증수효과

염류집적 농경지의 경우 염류집적에 의해 작물이 수분, 양분을 원활하게 흡수하지 못해 생산량이 감소하는데, 이를 제염기술로 처리하게 되면 작물생산량이 평상시보다 증가하게 되는데, 이를 증수효과 라고 한다. 일반적으로 증수효과는 토양의 전기전도도(EC)와 작물생산량의 상관관계에 의해 산정하게 되는데, 작물의 생장이 정상적인 전기전도도(2 ds/m) 이하인 토양에서의 작물의 생산량을 100%로 하여 제염처리 전후로 토양의 전기전도도가 증가/

Table 1. Comparison of desalination technology

Contents	Soil addition	Soil exchange	Under drainage	Subsoil reversal	Electro kinetics
Production increase effect for crop (%)	30~50	30	20	10~20	25
Remaining of desalination (years)	3~5	4~5	10	2~3	10
Duration for normal growth of crop after desalination (periods)	2	1	3	1	3
Duration for desalination (days)	14	10	21	14	30
Desalination cost (won/yr/10a)	493,956	347,874	160,748	198,333	294,301

감소함에 따라 작물의 생산량이 비례적으로 감소/증가하게 되는데 이 때 토양의 전기전도도의 감소로 인해 작물의 생산량이 증가하는 비율을 증수효과로 산정하였다.

2) 잔효기간

염류집적 농경지를 제염기술로 처리 후에 그 효과가 지속되는 기간으로서 일반적으로 잔효기간이 지나면 염류가 다시 집적되어 제염기술의 재처리가 필요하다. 일반적으로 잔효기간은 염류의 제거가 일시적인 제염기술인 심토반전 등에서는 그 기간이 짧고, 반대의 경우인 암거배수 등에서는 잔효기간이 길게 지속된다.

3) 정상생육 소요 작기(period)

염류집적 농경지를 제염기술로 처리하게 되면 일반적으로 토양의 이화학적 교란이 일어나게 되어 작물이 정상적으로 생육하기 위한 기간이 필요한데, 이를 정상생육 소요 작기라 한다. 본 연구에서 1작기(period)는 작물의 파종부터 수확까지의 기간인 3개월이고 정상생육 소요 작기 이후에 작물의 생산량에 증수효과가 나타나게 된다.

4) 처리기간

염류집적 농경지 제염기술의 처리가 시작되는 시점부터 완료되기까지의 기간을 의미한다. 일반적인 제염기술의 경우 적용 시 토양에 교란이 발생하므로 처리기간 동안 작물의 재배가 불가능하지만, 전기역학적 기술의 경우 시스템을 설치하는 약 1~2일을 제외하고는 작물의 재배가 가능하여 작물 생산량이 유지되는 것으로 보고되었다.

2.1.2. 대상기술 처리비용

제염기술의 경제성 분석을 위해 제염기술의 처리비용을 산정하였다. 제염기술을 적용하여 염류집적 토양을 처리하는 비용은 크게 조성비와 운영비의 두 가지로 구분되는데, 조성비는 기술의 적용을 위해 제반시설을 조성하는 비용이고, 운영비는 기술의 지속적인 운영을 위해 사용되는

비용(용수사용 등)이다. 선정된 제염기술 중 기존 제염기술 4종의 시설재배지 단위면적(10a; 300평)당 처리비용과 전기역학적 탈염의 처리비용은 선행연구에서 제시한 결과를 사용하였고(KERI, 2011; Kim et al, 2012a), 각 제염기술의 처리비용은 Table 1에 정리하였다. 각 제염기술의 처리비용의 산정은 작물의 정상적인 생장을 위한 EC(Electro Conductivity)값인 2 ds/m 이하로 처리하는 것을 기준으로 하였고, 전기역학적 탈염의 경우 처리비용은 시스템의 유지보수 비용을 포함하였다.

2.2. 평가대상 작물

본 연구의 평가대상작물은 시설재배지에서 재배가 가능한 채소류(16종) 및 화훼류(4종)중 작물의 재배면적, 재배기간, 생산량, 시세 등의 조건을 고려하여 선정하였다. 선정조건을 기준으로 평가대상 작물은 채소류 5종(수박, 참외, 오이, 토마토, 배추)으로 하였고, Table 2에 선정된 작물의 통계자료(재배면적, 생산량 등)를 나타내었다. 작물의 연간 총 생산량 및 재배면적은 농림수산식품부 통계자료의 10년 평균치를 사용하였고 작물의 생산량(kg/10a)은 연간 총생산량을 총 재배면적으로 나누어 산출하였다(RDA, 2011). 채소류의 시세(원/kg)는 가락동시장 평년시세의 평균가를 사용하였다. 작물의 금액(원/10a)은 생산량(kg/10a) × 시세(원/kg)로 계산하였고, 작물의 금액 산정 시 각 작물의 10년 평균 물가변동률을 고려하여 산정하였다.

1) 재배기간

재배기간이 짧을수록 탈염처리 후에 증수효과에 의한 생산량 증가 효과를 볼 수 있으므로 처리기술의 처리기간 및 작물의 생산성을 고려하여 재배기간이 3개월 이내로 짧은 작물을 선정하였다.

2) 작물생산량

시설재배지에서의 작물의 생산량이 많으면 생산액이 증가하여 경제성 확보가 용이하므로 단위면적 당 생산량이 높은 작물을 선정하였다.

Table 2. Statistical data for crop

Contents	Total yield (ton/year)	Total cultivation area (ha)	Yield (kg/10a)	Crop price (won/kg)
Water melon	846,921	20,707	4090.0	1,489
Musk melon	227,832	6,730	3385.3	2,171
Cucumber	352,018	4,932	7137.4	1,528
Tomato	383,768	6,188	6201.8	1,874
Napa cabbage	2,528,968	34,321	7368.6	459

3) 재배면적

시설재배지에서의 재배면적이 크면 제염기술을 적용할 대상 부지가 많아져 경제성 확보가 용이 하 므로 재배면적이 넓은 작물을 선정하였다.

4) 작물시세

작물의 시세가 높으면 경제성 확보에 유리하므로 국내시장 가격을 참고하여 작물의 시세가 높은 것을 선정하였다.

2.3. 경제성 분석

본 연구에서는 제염기술의 경제성을 분석하기 위해 두 가지 분석방법을 사용하여 평가하였다. 첫 번째로, 제염기술의 처리 후 10년간의 작물생산량의 변화를 금액(원)으로 환산하여 각 제염기술의 경제성을 분석하였다. 두 번째로, 각 제염기술의 적용 시 투입되는 비용과 산출되는 편익을 산정하여 비용편익 분석을 수행하였다.

2.3.1. 작물별 생산액 변화

제염기술의 경제성 분석을 위해 작물 생산량(kg)의 변화를 생산액(원)으로 산정하였다. 작물의 생산액(원/10a)은 생산량(kg/10a) × 시세(원/kg)로 계산하였고, 작물의 생산액 산정 시 각 작물의 10년 평균 물가변동률을 고려하여 산정하였다. 작물의 생산량은 제염기술의 처리에 의해 발생하는 작물의 순수 생산량 증감분만을 고려하여 적용하였다. 예를 들면 제염기술의 처리에 의한 영향이 없는 정상적인 상태에서의 작물의 생산량은 100%로 하여 생산량에 반영하지 않고 제염기술의 처리에 의해 증가/감소되는 순수 생산량 증감분을 생산량(kg/10a) × 시세(원/kg)로 계산하여 금액(원)으로 환산하여 생산량의 증감분은 양의 값으로 감소분은 음의 값으로 적용하였다. 각 제염기술의 처리비용(원/10a)은 최초 1년에 투입되는 것으로 하였고 잔효기간 이후 처리비용이 재투입되는 것으로 계산하였다. 제염기술의 처리비용 산정을 위한 할인율은 대부분의 농가에서 제염기술의 처리비용을 장기저리대출에 의해 지출하므로 선행연구에서 적용한 농협의 농업자금 대출의 이자율인 3%를 적용하였다(Choi et al, 2011). 작물의 생산액 산정에는 제염기술의 증수효과, 잔효기간 등의 조건을 반영하였고, 분석기간은 제염기술의 처리기간 및 잔효기간을 반영하여 최초 1달에서부터 최장 10년까지의 기간에 대해 경제성분석을 수행하였다.

1) 처리기간(1달)동안의 생산량 증감분

각 제염기술의 한 달까지의 생산량 증감분을 금액(원)

으로 환산하였다. 각 기술의 처리비용(원/10a)은 투입되는 비용이므로 전체 생산액에서 음의 값으로 적용하여 계산하였다. 기존 제염기술의 경우 처리기간 동안은 작물의 재배가 불가능하여 생산량이 없으므로 생산량 감소분만큼의 금액을 음의 값으로 적용하였다. 처리기간 이후 1달까지는 정상생육 소요 작기가 지나지 않아 생산량이 감소하여 정상기준의 약 80~95% 수준인데, 이 기간 동안의 생산량 감소분인 5~20%만큼을 금액(원)으로 환산하여 전체비용에서 음의 값으로 산정하였다. 반면에 전기역학적 탈염기술(EK)의 경우에는 처리기간 동안에도 작물의 재배가 가능하므로 생산량의 증가분만큼을 금액으로 환산하여 전체비용에 양의 값으로 반영하였다. 이때 EC는 처리기간 동안 선형적으로 감소하고 EC와 작물생산량은 비례관계에 있으므로 생산량이 처리기간에 따라 선형적으로 비례하여 증가한다고 가정하였다.

2) 1작기(약 3개월)까지의 생산량 증감분

각 제염기술의 한 달간 처리 후 1작기까지의 생산량 증감분을 금액으로 환산하였다. 위에 언급한 1)과 동일하게 정상생육 소요 작기가 지나기 전 기간 동안의 생산량 감소분인 5~20%만큼을 금액(원)으로 환산하여 전체비용에서 음의 값으로 산정하였다. 각 제염기술별로 정상생육 소요 작기가 지난 이후부터 1년까지는 증수효과가 나타나게 되는데, 이 기간 동안의 증수효과에 의한 생산량 증가분을 금액으로 환산하여 전체비용에서 양의 값으로 적용하였다.

3) 재배기간 10년까지의 연 단위 생산량 증감분

제염기술 적용 후 정상생육 소요 작기가 지난 이후부터는 작물의 생장이 정상적으로 회복되고 제염처리에 의한 증수효과가 나타나게 되는데, 이 기간 동안의 증수효과에 의한 생산량 증가분을 금액으로 환산하여 전체비용에서 양의 값으로 산정하였다. 그러므로 생산비용은 위의 1), 2)의 경우와 마찬가지로 생산량(kg/10a) × 시세(원/kg)로 계산하여 1년 이후부터 10년까지의 기간에 대해 1년 단위로 작물생산량의 증가분을 금액(원)으로 환산하여 적용하였다.

2.3.2. 각 제염기술에 대한 비용편익분석

각 제염기술의 적용 시 시설재배지내 작물 및 기술의 종류에 따라 경제성이 있는지를 분석하기 위해 비용편익 분석을 수행하였다. 비용편익 분석에서 제염기술 적용에 따른 투입되는 비용은 각 제염기술의 처리비용(원/10a)으

Table 3. Cost benefit analysis of desalination technology

Crop	Contents	Soil addition	Soil exchange	Under drainage	Subsoil reversal	Electro kinetics
Water melon	Benefit (won/10a)	13,018,766	12,318,405	7,366,207	4,682,732	10,027,330
	B/C ratio	3.09	4.15	5.37	2.77	3.99
Musk melon	Benefit (won/10a)	15,711,394	14,866,180	8,889,736	5,651,246	12,101,250
	B/C ratio	3.73	5.01	6.48	3.34	4.82
Cucumber	Benefit (won/10a)	23,312,997	22,058,845	13,190,834	8,385,474	17,956,167
	B/C ratio	5.53	7.43	9.62	4.96	7.15
Tomato	Benefit (won/10a)	24,700,382	23,506,120	14,056,281	8,935,643	19,134,266
	B/C ratio	5.86	7.92	10.25	5.28	7.62
Napa cabbage	Benefit (won/10a)	7,234,963	6,845,749	4,093,647	2,602,351	5,572,522
	B/C ratio	1.72	2.31	2.99	1.54	2.22
Common	Cost (won/10a)	4,213,545	2,967,436	1,371,213	1,691,824	2,510,420

로 산정하였고(Table 3), 산출되는 편익은 앞서 작물생산량의 변화에서 적용한 순수 생산량의 증감분을 생산액(원/10a)으로 환산하여 적용하였다. 일반적으로 제염기술 적용에 따른 편익은 직접편익(작물 생산량 증가에 따른 수입)과 간접편익(토양회복, 오염저감, 정부보조금 등)으로 구분하는데, 본 연구에서는 제염처리에 의한 작물생산량 증가에 따른 생산액의 증가분인 직접편익만을 편익으로 반영하였고, 편익부분에서 각 작물의 생산액(원/10a)은 10년 평균 물가변동율을 고려하였다. 비용편익 분석의 분석기간은 작물의 생산량변화 분석기간과 동일하게 10년으로 가정하였고, 분석 시에 미래가치의 현재가치로의 환산을 위한 할인율은 작물별 생산액 변화에서와 동일하게 농협의 농업자금 대출의 이자율인 3%를 적용하였다(Choi et al, 2011). 또한 전기역학적 탈염의 경우 현재 정부보조금이 없는 상황임을 고려하여, 제염기술에 대한 정부보조금이 없는 것으로 가정하고 경제성 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 작물별 생산액(production)변화

제염기술 적용 후 재배기간에 따른 수박 생산액(production)의 변화를 나타내었다(Fig. 1). 재배기간 초기에는 제염기술 처리비용의 발생에 의해 생산액이 음의 값이나 낮은 양의 값으로 나타났지만 재배기간이 길어짐에 따라 2년을 기점으로 생산액이 급격히 증가하여 10년 후

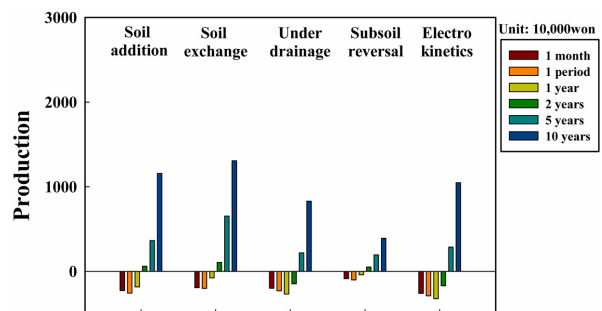


Fig. 1. Change of crop production for watermelon during cultivation.

에는 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술의 적용 시 재배면적(10a)당 약 1,000만원 이상의 생산액 증가가 나타날 것으로 예측되었다. 이는 수박의 경우 재배면적 당 생산량이 4,090(kg/10a), 작물시세가 약 1,489(원/kg)으로 비교적 낮은 편이라 타 작물에 비해 생산액의 증가가 낮았던 것으로 판단된다. 따라서 실제 수박을 재배하는 시설재배지에 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술의 적용 시 경제성이 있을 것으로 분석된다.

제염기술 적용 후 재배기간에 따른 참외 생산액(production)의 변화를 나타내었다(Fig. 2). 재배기간 초기 2년까지는 제염기술 처리비용의 발생에 의해 생산액이 음의 값이나 낮은 양의 값으로 나타나지만 재배기간이 길어짐에 따라 2년을 기점으로 생산액이 급격히 증가하여 10년 후에는 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술의 적용 시 재

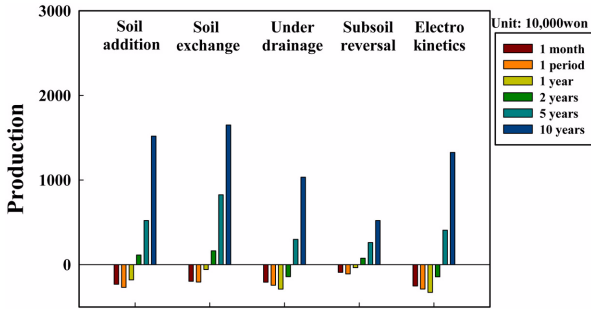


Fig. 2. Change of crop production for musk melon during cultivation.

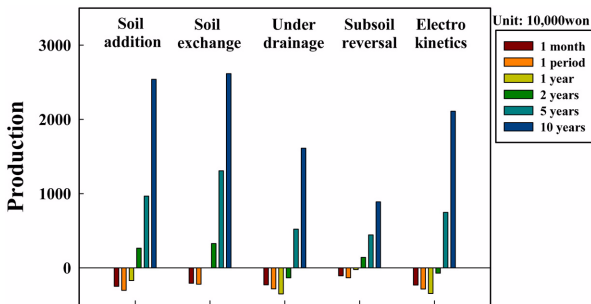


Fig. 3. Change of crop production for cucumber during cultivation.

배면적(10a)당 약 1,500만원 이상의 생산액 증가가 나타날 것으로 예측되었다. 이는 참외의 경우 작물시세는 약 2,171(원/kg)으로 높은 편이지만 재배면적 당 생산량이 약 3,385(kg/10a)이 타 작물에 비해 낮은 수준이었기 때문에 사료된다. 따라서 실제 참외를 재배하는 시설재배지에 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술의 적용 시 경제성이 있을 것으로 분석된다.

제염기술 적용 후 재배기간에 따른 오이 생산액 (production)의 변화를 나타내었다(Fig. 3). 재배기간 초기 2년까지는 제염기술 처리비용의 발생에 의해 생산액이 음의 값이나 낮은 양의 값으로 나타나지만 재배기간이 길어짐에 따라 2년을 기점으로 생산액이 급격히 증가하여 10년 후에는 전체적으로 약 1,000만원 이상의 생산액 증가가 나타났고 객토, 환토의 경우 생산액의 증가가 재배면적(10a)당 약 2500만원 이상으로 예측되었다. 이는 오이의 경우 재배면적 당 생산량이 약 7,137(kg/10a)로 타 작물에 비해 상당히 높았고 작물시세가 약 1,528(원/kg)으로 비교적 높은 편이었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 실제 오이를 재배하는 시설재배지에 선정된 모든 제염기술이 적용 가능하고 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술이 경제성이 있을 것으로 분석된다.

제염기술 적용 후 재배기간에 따른 토마토 생산액

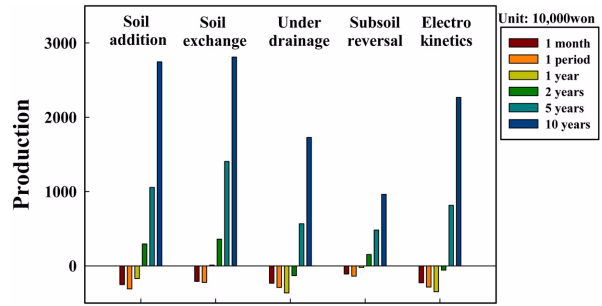


Fig. 4. Change of crop production for tomato during cultivation.

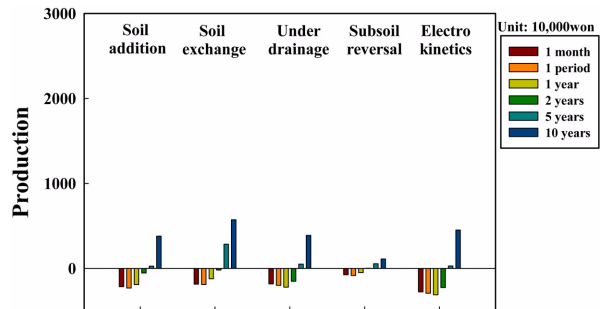


Fig. 5. Change of crop production for napa cabbage during cultivation.

(production)의 변화를 나타내었다(Fig. 4). 재배기간 초기 2년까지는 제염기술 처리비용의 발생에 의해 생산액이 음의 값이나 낮은 양의 값으로 나타나지만 재배기간이 길어짐에 따라 2년을 기점으로 생산액이 급격히 증가하여 10년 후에는 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술의 적용 시 재배면적(10a)당 약 2,000만원 이상의 생산액 증가가 나타날 것으로 예측되었다. 선정된 작물 중 토마토의 생산액의 증가가 가장 높을 것으로 예측되었는데, 이는 토마토의 경우 재배면적 당 생산량이 약 6,201(kg/10a)로 선정된 타 작물에 비해 상당히 높고 작물시세 역시 약 1,874(원/kg)으로 비교적 높은 편이기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 실제 토마토를 재배하는 시설재배지에 선정된 모든 제염기술이 적용 가능하고 객토, 환토, 전기역학적 탈염기술이 경제성이 있을 것으로 분석된다.

제염기술 적용 후 재배기간에 따른 배추 생산액 (production)의 변화를 나타내었다(Fig. 5). 재배기간 초기 2년까지는 제염기술 처리비용의 발생에 의해 생산액이 음의 값으로 나타났지만 재배기간이 길어짐에 따라 5년을 기점으로 서서히 증가하여 10년 후 재배면적(10a)당 약 500만원의 생산액 증가가 나타나는 것으로 예측되었다. 선정된 작물 중 배추의 생산액의 증가가 가장 낮을 것으로 예측되었는데, 이는 배추의 경우 재배면적 당 생산량이 약

7,368(kg/10a)로 선정된 타 작물에 비해 상당히 높지만 작물시세가 약 459(원/kg)로 가장 낮은 수준이었기 때문에 판단된다. 따라서 실제 배추를 재배하는 시설재배지에 제염기술의 적용은 가능하지만 경제성은 높지 않을 것으로 분석된다.

3.2. 비용편익분석 결과

각 제염기술의 적용 시 시설재배지내 작물의 종류에 따라 경제성이 있는지를 분석하기 위해 10년의 기간 동안 할인을 3%로 가정하여 비용편익분석을 수행하였다. 직접적인 작물의 생산량 증가에 따른 생산액의 증가분을 산출되는 편익으로, 각 제염기술의 처리비용을 투입되는 비용으로 적용하여 선정된 비용편익 분석결과를 Table 3에 정리하였다. 계산된 B/C 비율은 객토의 경우 수박, 참외, 오이, 토마토, 배추에서 각각 3.09, 3.73, 5.53, 5.86, 1.72이었고, 환토는 각각 4.15, 5.01, 7.43, 7.92, 2.31이었으며, 암거배수는 5.37, 6.48, 9.62, 10.25, 2.99이었다. 객토, 환토의 경우 편익은 가장 높은 편이었으나 처리비용이 암거배수에 비해 높아 B/C비율이 다소 낮은 것으로 나타났다. 반면에 암거배수의 B/C비율은 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 암거배수의 잔효기간이 길어 분석을 수행한 10년의 기간 동안 추가적인 처리비용의 발생이 없어 편익 대비 비용이 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 전기역학적 탈염기술의 B/C비율은 각각 3.99, 4.82, 7.15, 7.62, 2.22이었고, 심토반전은 각각 2.77, 3.34, 4.96, 5.28, 1.54이었다. 전기역학적 탈염기술의 경우 잔효기간이 암거배수와 동일하게 10년이지만 초기에 투입되는 비용이 더 높아 암거배수에 비해 B/C비율이 다소 낮았고, 심토반전의 경우 투입되는 비용대비 편익이 낮아 대상 기술 중 B/C비율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 본 연구결과, 편익은 객토, 환토가 가장 높았고 B/C비율은 암거배수가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 B/C비율의 계산 시 비용과 편익의 차이인 순 생산액을 고려하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 예를 들면 객토, 환토의 경우 편익이 가장 높았지만 상대적으로 투입되는 비용도 가장 높았기 때문에 전체적인 B/C비율은 낮아지는 반면에 암거배수의 경우 편익이 객토 및 환토에 비해 낮지만 상대적으로 비용이 가장 낮았기 때문에 전체적인 B/C비율이 높게 나타난 것이다. 따라서 제염기술에 대한 합리적인 경제성의 분석을 위해서는 B/C비율, 산출되는 편익과 투입되는 비용의 차이인 순 생산액을 함께 고려한 경제성 분석이 필요할 것으로 판단된다.

3.3. 경제성 분석 결과

본 연구결과 작물생산량의 변화에 의한 경제성은 환토 > 객토 > 전기역학적 탈염기술 > 암거배수 > 심토반전 순이었고, B/C비율에 의한 경제성은 암거배수 > 환토 > 전기역학적 탈염기술 > 객토 > 심토반전 순으로 나타나 작물별 생산액의 변화에 의한 경제성과 B/C비율에 의한 경제성 분석 결과가 일치하지 않았다. 이는 B/C비율의 계산 시 비용과 편익의 차이인 순 생산액을 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 제염기술에 대한 합리적인 경제성 분석을 위해 B/C비율과 작물별 생산액에 따른 편익과 투입되는 비용의 차이인 순 생산액을 함께 고려하여 경제성 분석을 수행하였는데, 그 결과 경제성은 환토 > 객토 > 전기역학적 탈염기술 > 암거배수 > 심토반전 순으로 나타나, 본 연구의 작물별 생산액 변화를 기준으로 한 경제성 분석 결과와 동일하게 나타났다. 본 연구에서 제시한 작물별 생산액의 변화와 B/C비율을 함께 고려한 경제성 분석결과가 B/C비율에 의한 경제성 분석보다 좀 더 타당할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 실제 시설재배지에서 재배가능한 채소류 5종을 대상으로 염류집적 농경지의 제염기술인 객토, 환토, 암거배수, 심토반전 및 전기역학적 탈염기술에 대한 경제성 분석을 수행하였고, 그 결과는 다음과 같이 요약하였다.

4.1. 작물별 생산액 변화

작물생산량을 기준으로 한 생산액(production)의 변화에 기초한 경제성 분석결과, 생산액은 토마토 > 오이 > 참외 > 수박 > 배추, 경제성은 환토 > 객토 > 전기역학적 탈염기술 > 암거배수 > 심토반전 순으로 높게 나타났다. 모든 기술에서 제염기술의 적용 후 재배기간 초기 2년까지는 처리비용의 발생으로 인해 생산액의 증가가 낮았으나 2~5년을 기점으로 배추를 제외한 모든 작물에서 생산액(production)이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 배추를 재배하는 시설재배지를 제외하고 선정된 모든 제염기술이 적용 가능할 것으로 판단되며, 따라서 제염기술 중 작물별 생산액 변화를 기준으로 한 경제성은 환토 및 객토가 가장 높은 것으로 분석되었다.

4.2. 비용편익 분석

비용편익분석 결과, B/C비율은 암거배수 > 환토 > 전기역학적 탈염기술 > 객토 > 심토반전 순으로 높게 나타났다.

제염기술의 적용 시 처리를 위해 투입되는 비용 대비 발생하는 편익이 높아 모든 기술의 B/C비율이 1 이상으로 나와 본 연구에서 선정된 모든 제염기술이 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 선정된 제염기술 중 암거배수의 B/C비율이 2.99~10.25로 가장 높았고 객토, 환토의 경우 편익은 가장 높았으나 B/C비율은 암거배수에 비해 다소 낮은 수준으로 나타났다. 전기역학적 탈염기술의 경우 B/C비율은 환토와 비슷한 수준으로 나타나 경제성이 높은 반면에 심토반전의 경우 B/C비율이 가장 낮아 경제성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

4.3. 경제성 분석

제염기술에 대한 합리적인 경제성 분석을 위해 B/C비율과 작물별 생산액에 따른 편익과 투입되는 비용의 차이인 순 생산액을 함께 고려하여 경제성을 분석한 결과, 경제성은 환토>객토>전기역학적 탈염기술>암거배수>심토반전 순으로 나타나, 본 연구의 작물별 생산액 변화를 기준으로 한 분석 결과와 동일하게 나타났다. 결론적으로 선정된 제염기술 중 환토의 경제성이 가장 높았고 객토 및 전기역학적 탈염도 비교적 경제성이 높은 것으로 나타났다. 본 연구결과는 추후 시설재배지 염류집적 토양의 처리를 위한 제염기술의 선정 시 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대되고, 보다 정확한 경제성 분석을 위해 직접편익 외에 토양회복, 정부보조금 등의 간접편익을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국전기연구원의 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

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., Jo, S.U., Kim, D.H., Yang, J.S., and Baek, K.T., 2011a, Electrokinetic Restoration of Saline Soil Accumulated with Nitrate and Sulfate, *J. Soil & Groundwater Env*, **16**(5), 18-23.

Cho, J.M., Kim, D.H., Yang, J.S., and Baek, K., 2011b, Electro-

kinetic restoration of sulfate accumulated saline greenhouse soil, *Clean-Soil, Air, Water*, **39**(12), 1036-1040.

Choi, E.H., Lee, S.J., and Cho, Y.S., 2011, Economic Evaluation of Rape Cultivation using a Survey for Participants on a Pilot Project, *Korean J. Org. Agric.*, **19**(3), 329-341.

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

Jo, S.U., Kim, D.H., Yang, J.S., Chung, K.Y., and Baek, K.T., 2012, Electrokinetic Restoration of Saline Agricultural Land, *J. Soil & Groundwater Env*, **17**(4), 19-26.

Jung, J.H., Yoon, S.Y., and Hwang, J.H., 2007, Economic Analysis by Types of Income of a Rape Farmer of Biodiesel, *Korean J. Org. Agric.*, **15**(4), 355-376.

KERI (Korea Electrotechnology Research Institute), 2011, A Study on Salt Removal of Electrokinetic Remediation Technique in Plastic-film House Soils, III., p. 26.

Kim, C.S. and Lee, S.H., 2006, Economic Analysis of a Rape Production for Biodiesel, *Korean Journal of Organic Agriculture*, **14**(3), 337-349.

Kim, D.S., Yang, J.E., Ok, Y.S., and Yoo, K.Y., 2006, Effect of Perforated PVC Underdrainage Pipe on Desalting of Plastic Film House Soils, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **39**(2), 65-72.

Kim, L.Y., 2000, Application of Soil Science, Sambumunhwa publisher, p. 320-321.

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., Choi, J.H., Jo, S.U., and Baek, K.T., 2012a, Cost Analysis of Electrokinetic Process for Desalination of Saline Agricultural Land, *J. Soil & Groundwater Env.*, **17**(4), 91-97.

Kim, D.H., Jo, S.U., Choi, J.H., Yang, J.S., and Baek, K., 2012b, Hexagonal 2 Dimensional Electrokinetic Systems for Restoration of Saline Agricultural Lands, *Chem. Eng. J.*, 198-199, 110-121.

Kim, D.H., Jung, J.M., Jo, S.U., Kim, W.S., and Baek, K., 2012c, 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.

Lee, J.S., 2000, Science of Public Administration, Dae-Young Cultural Publisher, p. 23-24, p. 151.

Oh, S.E., Son, J.S., Ok, Y.S., and Joo, J.H., 2010, A Modified Methodology of Salt Removal through Flooding and Drainage in a Plastic Film House Soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **43**(5), 565-571.

Ok, Y.S., Yang, J.E., Yoo, K.Y., Kim, Y.B., Chung, D.Y., and Park, Y.H., 2005, Screening of Adsorbent to Reduce Salt Concentration in the Plastic Film House Soil under Continuous Vegetable Cultivation, *J. Agric. Chem. Environ.*, **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.

RDA (Rural Development Administration), 2011, Standard Sourcebook for Cost Analysis, p. 3-4.

Yang, J.E., Ok, Y.S., and Chung, D.Y., 2011, Future Directions and Perspectives on Soil Environmental Researches, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **44**(6), 1286-1294.