

석고처리에 의한 간척지토양의 제염효과 분석

Analysis of Desalinization Effects on Gypsum Treatments in Reclaimed Tidelands

구 자 용 · 최 진 규 · 손 재 권 · 이 기 성*(전북대)

Koo, Ja Woong · Choi, Jin Kyu · Son, Jae Gwon · Lee, Ki Sung

Abstract

This study was performed to analyze desalinization effects on gypsum treatments in reclaimed tidelands and to obtain the basic data for developing prediction techniques of desalinization to be applicable in the beginning of tideland reclamation.

In this study, the reclamation experiments with 4 treatments were conducted through the leaching method, using the samples of silt soil and silt loam soil collected in 5 units of tideland reclamation projects. The electrical conductivity, exchangeable sodium percentage and hydraulic conductivity were analyzed in order to investigate the effects of desalinization for reclaiming the tidelands with high salt concentration.

I. 서 론

우리나라 서남해안의 풍부한 간척자원을 효율적으로 활용하기 위한 방법의 일환으로, 개발초기 고염도 간척지를 농경지로 조성하여 과학적인 간척영농기술을 개발하고, 수익성이 높은 간척영농을 조기에 실현하여 간척농지의 농업생산성을 향상시키기 위해서는 작물의 정상생육을 가능하게 할 수 있는 제염대책의 수립이 무엇보다도 중요한 최우선 과제라고 할 수 있다. 이를 위해서는 제염방법에 대한 체계적인 이론을 정립하고, 실내 모형시험과 현장 포장시험을 통한 제염기술 및 제염추정모형을 개발하여 간척지의 제염예측기법을 구축하고, 제염예측기법을 적용하여 개발초기 고염도 간척지의 제염대책을 수립하는 것이 합리적인 방법이라고 생각한다.

전북대학교 농공학과에서는 농림부의 지원으로 1996년 10월부터 1999년 현재까지 “간척지 제염예측기법 개발”에 관한 연구를 수행하고 있다. '97년도에는 서남해안의 간척예정지, 시행중지구, 준공지구 중 그 대표성이 있다고 판단되는 11개 지구 34지역에서 총 306점의 토양시료를 채취하여 토양의 이화학적 성질을 분석하고 간척지토양의 특성을 규명하였으며, 토성별 분포와 기존의 제염자료를 토대로 하여 5가지 토양으로 분류하였다. '98년도에는 실내모형시험을 위한 시험장치를 제작 설치하고 토양특성별로 5종의 공시토양을 선정하여 제염시험을 실시하였으며, 지표배수, 지하배수, 지표·지하배수 병용 물관리방법에 의한 제염효과, 토양개량제(석고)처리에 의한 제염효과, 물관리방법 및 토양개량제 처리별 제염효과 비교분석, 염분농도의 시간적 변화,

토층별 염분농도의 수직분포 및 그 변화, 표토층의 염분집적현상, 토양염분의 용탈과정 분석 등 제염과정중 염분거동해석, 제염방법별 제염용수량(용탈용수량) 산정, 투수성(수리전도도)의 시간적 변화 등에 대하여 분석하였다. 또한 '99년도에는 전북대학교 시험포장에 제염시험을 위한 Lysimeter 시험장치를 설치하고, 새만금지구(2개소), 부창지구, 고흥지구 및 화옹지구 등 5개소에서 토성별로 채취한 토양시료를 시험포장에 운반하여 시험구를 정비한 후 물관리방법에 의한 제염시험과 토양 개량제(석고)를 처리한 제염시험을 실시하였으며, 시험결과를 이용하여 제염과정중 염분거동, 투수성(수리전도도)의 시간적 변화 및 제염기간, 제염방법별 제염효과 및 제염용수량 등에 대하여 분석하고 있으며, 합리적인 “염분거동 해석 및 제염효과 분석” 결과를 도출하기 위하여 '98년도에 실시한 실내모형시험결과와 '99년도의 현장시험결과를 종합적으로 검토하고 있다.

본 학술발표회에서는 '99년도에 실시한 현장 Lysimeter 제염시험결과중에서 석고처리에 의한 간척지토양의 제염효과에 대하여 설명하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 공시토양

가. 제염시험용 공시토양의 선정

“간척지 제염예측기법 개발”에 관한 연구의 '97년도에 조사한 간척사업지구 중에서 토양의 이화학적 특성이 5가지 토양분류³⁾ 범위내에 있는 대표적인 지역으로 전북 새만금지구(S1 및 S2), 전북 부창지구(S3), 경기 화옹지구(S4), 전남 고흥지구(S5) 등 5개소 간척지토양을 현장 Lysimeter 제염시험에 사용할 공시토양으로 선정하였다.

나. 공시토양의 토양특성 분석

입도조성, 가비중, 진비중, 공극율, 포화도 등의 물리적 성질과 전기전도도, pH, 주요 양이온 함량, 양이온치환용량, 치환성나트륨백분율 등의 화학적 성질을 분석하였다.

2. 현장 Lysimeter 제염시험시설 설치 및 배치

가. 현장 Lysimeter 제염시험시설 설치

- 면적 800㎡의 3연동 비닐하우스 설치
- 제염용수 공급용 관정 1공 굴착 및 급·배수시설
- 직경 0.95m, 높이 1.07m 원통형 Lysimeter 총 120조 제작 설치
- Lysimeter의 지표·지하배수구 120조 및 침출수 채취용기 120개 부설
- 압거 45조 및 염분농도와 토양수분함량 측정용 실린더 60조 부설

나. 시험포장 Lysimeter 배치

시험포장에 제염시험을 위한 Lysimeter를 토성, 제염방법, 토양개량제처리, 압거처리별로 [그림 1]과 같이 배치하고, 시험결과 분석 및 DB구축에 편리하게 사용할 수 있도록 각 시험구에 토양분류 Code를 부여하였다.

지면관계상 생략

[그림 1] 시험포장 평면도

3. 제염시험

제염시험구를 토양개량제처리별로 석고처리구와 석고무처리구로 나누고, 각 처리구를 암거설치 유무에 따라 암거구와 무암거구로 구분하여 각 처리별로 침출법에 의한 3반복 제염시험을 실시하였다. 침출법의 경우 제염이 진행되어감에 따라 투수성이 현저하게 감소되는 것을 방지하고 이에 따른 제염효과를 증대시키기 위하여, 석고처리구에서 그 효과가 입증되어 있고 가격이 저렴하며 쉽게 구할 수 있는 석고를 토양개량제로 사용하였으며, 석고의 양은 Beyce⁶⁾의 석고소요량 산출식에 의해 산정하여 표면으로부터 25cm 깊이 간격으로 3개층에 총 63.6kg을 살포하였다.

가. 시험방법

- ① 석고처리 침출법의 경우는 Beyce⁶⁾의 석고소요량 산출식에 의해 산정한 석고를 토양에 혼합하고, 석고무처리 침출법의 경우는 공시토양만을 사용한다.
- ② 한 종류의 토양시료를 6개의 Lysimeter에 각각 토심 90cm가 되도록 넣는다.
암거구 반복시험용 Lysimeter : LGC1, LGC2, LGC3
무암거구 반복시험용 Lysimeter : LGN1, LGN2, LGN3
- ③ Lysimeter에 수심 15cm가 되도록 제염용수를 공급하여 토양을 통해 침출시킨다.
- ④ 적당량의 침출수가 생기면 공급수량(감수심)과 경과시간 및 침출수량을 측정한다.
(매회 침출수량은 제염토양깊이당 침출수심의 비율(Dwl/Ds)이 0.05정도인 약 24.8ℓ)
- ⑤ 매회마다 염분농도분석용 침출수를 채취한다.
- ⑥ 위와 같은 시험과정을 10회 연속하여 실시한다.
- ⑦ 염분농도분석용 토양시료를 채취한다.
 - a. 제염시험전에 모든 Lysimeter에서 토층별(0, 20, 40, 60, 80cm) 토양시료 채취
 - b. 1~4회, 6~9회 제염시험 후에 0, 20, 40cm 토층에서 토양시료 채취
 - c. 5회, 10회 제염시험 후에 0, 20, 40, 60, 80cm 토층에서 토양시료 채취

나. 측정항목

- ① 매회 공급수량(감수심), 경과시간 및 침출수량
- ② 침출수의 전기전도도 및 pH
- ③ 제염과정중 수리전도도 및 상대수리전도도
- ④ 제염과정중 토층별 토양의 전기전도도 및 pH
- ⑤ 제염과정중 토층별 토양의 치환성양이온함량, 양이온치환용량 및 치환성나트륨백분율
- ⑥ 제염시험 전후 토양의 이화학적 특성

III. 결과 및 고찰

1. 공시토양의 특성

공시토양의 가비중, 진비중, 공극율, 포화도, 입도조성 등의 물리적 성질과 전기전도도(ECe), 수소이온농도(pHe), 주요 치환성양이온함량, 양이온치환용량(CEC), 치환성트롬백분율(ESP) 등의 화학적 성질을 분석한 바 그 결과는 [표 1]과 같다.

[표 1] 공시토양의 이화학적 특성

토양분류 Code	가비중	진비중	공극률 (%)	포화도 (%)	입도조성(%)			토성	주요치환성양이온 (cmol/kg)				CEC (cmol/kg)	ESP (%)	ECe (dS/m)	pHe
					Sand	Silt	Clay		Ca	Mg	Na	K				
S1	1.37	2.66	48.5	54.5	6.9	84.0	9.1	Si	1.1	1.6	3.9	0.9	9.2	42.4	24.6	7.7
S2	1.34	2.69	50.2	47.8	24.6	68.5	6.9	SiL	1.0	1.8	4.4	1.1	9.6	45.8	27.3	7.8
S3	1.36	2.67	49.1	40.7	41.8	51.0	7.2	SiL	1.1	1.8	4.1	1.1	9.5	43.2	25.7	7.7
S4	1.35	2.65	49.1	69.7	4.2	83.8	12.0	SiL	1.8	2.4	6.2	1.5	13.1	47.3	27.7	7.9
S5	1.35	2.64	48.9	64.3	16.3	72.1	11.6	SiL	1.6	2.3	5.2	1.5	12.2	42.6	25.1	7.8

본 시험에 사용된 공시토양의 물리적 성질은 [표 1]에서 보는 바와 같이 가비중, 진비중, 공극률 및 포화도는 각각 1.34~1.37, 2.64~2.69, 48.5~50.2%, 40.7~69.7%이었으며, 입도분석결과 S1 토양은 미사질토, S2~S5토양은 미사질양토로 조사되었다.

한편 화학적 성질을 살펴 보면 양이온치환용량(CEC)이 9.2~13.1cmol/kg, 포화추출액의 전기전도도(ECe), 치환성나트륨백분율(ESP) 및 pH는 각각 24.6~27.7dS/m, 42.4~47.3%, 7.7~7.9로서 U. S. Salinity Laboratory의 염해토양분류법⁷⁾에 따르면 어느 경우나 고염도 염류알칼리토양에 속하였다.

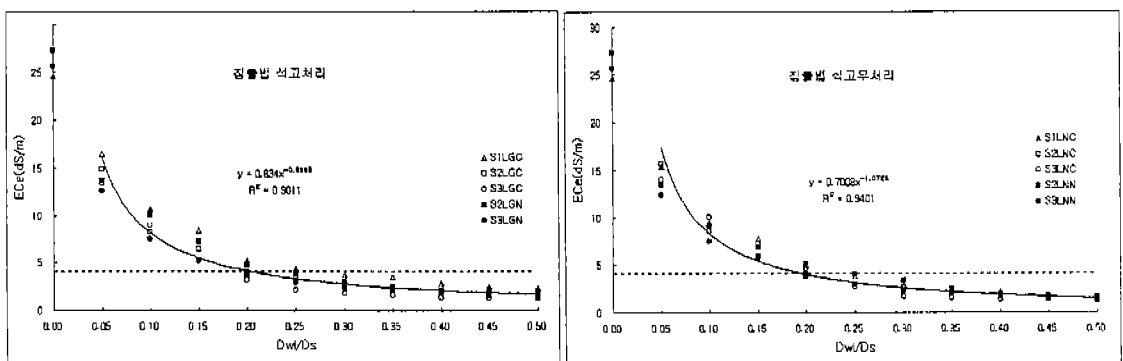
2. 제염과정중 전기전도도 및 치환성나트륨백분율의 변화

토성별로 암거구와 무암거구로 구분한 시험구에서 석고처리 침출법 및 석고무처리 침출법에 의한 제염시험결과를 이용하여 제염진행중 토양의 전기전도도(ECe)와 치환성나트륨백분율(ESP)의 변화를 토성 및 처리구별로 도시하면 [그림 2] 및 [그림 3]과 같다.

그림에서 Dw/Ds는 제염토양깊이당 침출수심의 비율이며, 여기서 제염토양깊이는 표토로부터 하부 지하배수구(침출구)까지의 깊이인 70cm로 보았으며 매회의 침출수심은 Dw/Ds=0.05 정도가 되도록 하였다. 초기치는 제염전 토양 포화추출액의 전기전도도(ECe) 및 치환성나트륨백분율(ESP)이며, 그 외 토양의 ECe와 ESP는 제염진행중 토심 0, 20, 40cm인 근역토양의 평균값이고, 모든 측정자료는 3반복시험 측정치의 평균값이다.

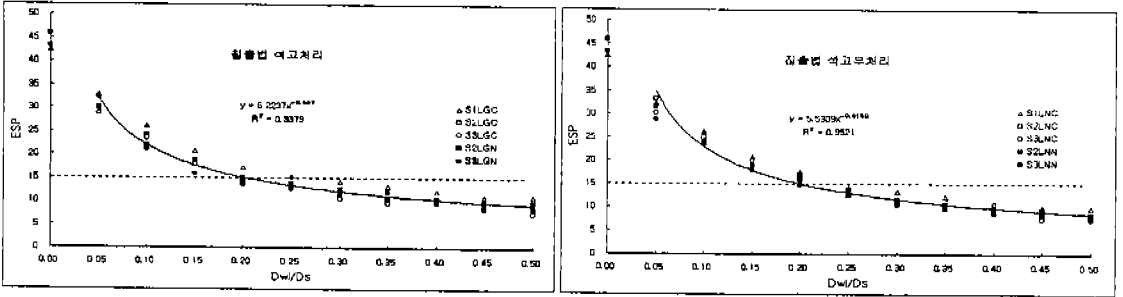
S4 및 S5 토양은 불투수성으로 침출이 불가능하여 시험자료를 얻지 못하였으며, S1 토양의 무암거구에서는 초기에 약간의 침출이 있었으나 시간이 지남에 따라 투수성이 극히 낮아져서 역시 시험자료를 얻지 못하였다.

가. 제염진행중 전기전도도의 변화



[그림 2] 토성 및 처리구별 침출수량의 증가에 따른 전기전도도(ECe)의 변화

나. 제염진행중 치환성나트륨백분율의 변화



[그림 3] 토성 및 처리구별 침출수량의 증가에 따른 치환성나트륨백분율(ESP)의 변화

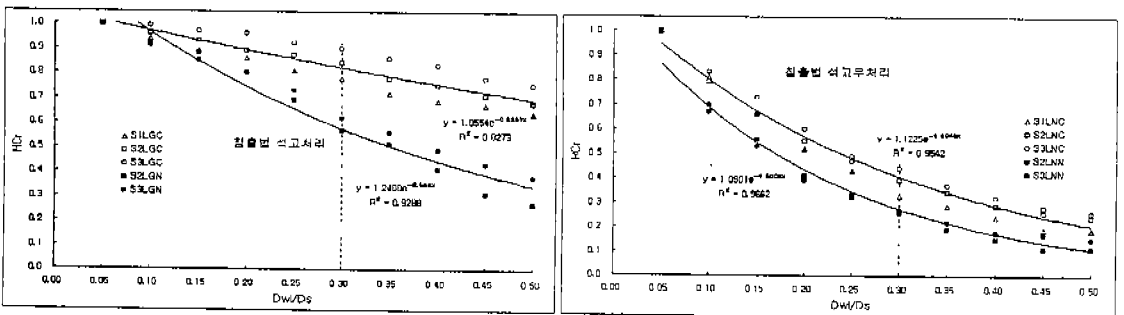
[그림 2] 및 [그림 3]에서 보는 바와 같이 제염진행중 전기전도도(ECe) 및 환성나트륨백분율(ESP)은 토성이나 석고처리 및 암거설치의 유무에 관계없이 침출수량이 증가함에 따라 초기에 Dw/Ds=0.2 정도가 될 때 까지는 상당히 큰 비율로 감소하다가 그 후에는 감소율이 점점 완화되었으며 모든 처리구에서 경향이 비슷하게 나타났다.

ECe와 ESP가 U. S. Salinity Laboratory의 염해토양의 분류기준치⁷⁾ 이하로 감소되어 충분한 제염이 이루어질 때까지 필요한 침출수량은 Dw/Ds=0.3 정도로 추정되었다. 이 경우 토양의 입도조성이나 암거설치의 유무에 따라서는 약간의 차이가 있었지만, 석고처리별로 살펴 보면 전기전도도는 석고처리구에서 ECe=1.8~3.7, 석고무처리구에서 ECe=1.7~3.3dS/m로서 염해 토양분류 기준치인 4dS/m 이하, 치환성나트륨백분율은 석고처리구에서 ESP=10.5~14.1, 석고무처리구에서 ECe=10.5~13.3%로서 염해토양분류 기준치인 15%이하로 조사되었다.

3. 제염과정중 투수성(수리전도도)의 변화

석고처리 침출법 및 석고무처리 침출법에 의한 제염과정중 제염토양깊이, 담수심, 제염경과 시간(침출시간) 및 침출수량 등의 자료를 이용하여 수리전도도를 산정하였으며, 제염진행중 토성 및 처리구별 상대수리전도도의 변화와 침출수량의 증가에 따른 침출시간을 도시하면 [그림 4]와 [그림 5]에서 보는 바와 같다.

가. 제염진행중 상대수리전도도 변화

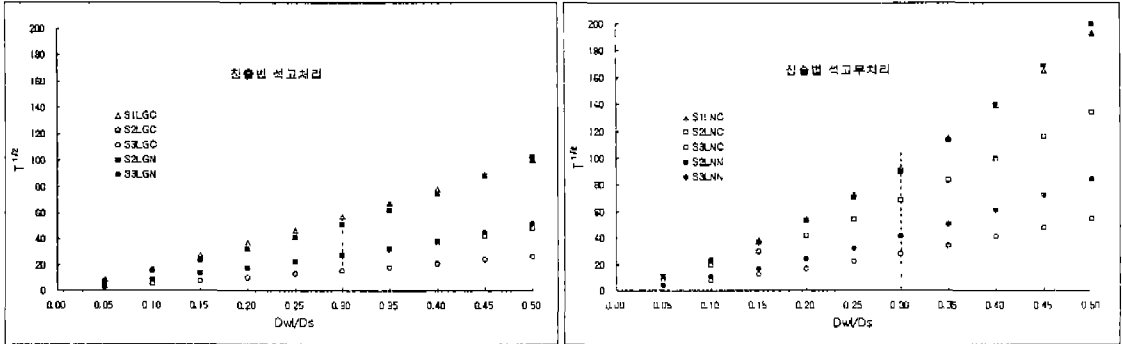


[그림 4] 토성 및 처리구별 침출수량의 증가에 따른 상대수리전도도(HCr)의 변화

[그림 4]에 나타난 바와 같이 제염이 충분히 이루어졌다고 볼 수 있는 Dw/Ds=0.3일 때의 상대수리전도도(HCr)는 석고처리 암거설치구 S1, S2, S3 토양에서 각각 78, 84, 90%, 석고처리 무암거구 S2, S3 토양에서 각각 57, 62%, 석고무처리 암거설치구 S1, S2, S3 토양에서 각각 33, 39, 44%, 석고무처리 무암거구 S2, S3 토양에서 각각 26, 27% 정도로 나타났다.

여기서 상대수리전도도는 초기수리전도도에 대한 제염진행중 수리전도도의 비율이다.

나. 침출수량의 증가에 따른 침출시간



[그림 5] 토성 및 처리구별 침출수량의 증가에 따른 침출시간

[그림 5]에서 보는 바와 같이 제염이 충분히 이루어졌다고 볼 수 있는 $Dwl/Ds=0.3$ 이 될 때까지 소요된 침출시간은 석고처리 암거설치구 S1, S2, S3 토양에서 각각 23.0, 5.3, 1.7일, 석고처리 무암거구 S2, S3 토양에서 각각 18.6, 5.2일, 석고무처리 암거설치구 S1, S2, S3 토양에서 각각 62.7, 33.3, 5.5일, 석고무처리 무암거구 S2, S3 토양에서 각각 58.9, 12.2일 정도이었다.

4. 석고처리에 의한 토성 및 처리구별 제염효과 분석

가. 용탈용수량(침출수량)의 증가에 따른 제염효과

침출수량이 증가함에 따라 전기전도도(ECe) 및 치환성나트륨백분율(ESP)은 고도의 상관성을 가지고 감소하며 뚜렷한 제염효과가 입증되었지만, 용탈용수량(침출수량)의 증가만을 고려하여 ECe 및 ESP 측면에서 제염효과를 분석하면 토성, 석고처리 여부, 암거설치 유무에 관계없이 $Dwl/Ds=0.30$ 정도에서 U. S. Salinity Laboratory의 염해토양의 분류기준치 이하로 감소되어 제염이 완료되었으며 모든 처리구에서 제염효과에 큰 차이가 없이 비슷한 경향을 보였다.

따라서 단순히 침출수량의 증가에 따라서 ECe 및 ESP만을 기준으로 제염효과를 살펴 보면 처리구 석고처리효과를 인정할 만한 유의성이 없는 것으로 판단된다.

나. 투수성(수리전도도)의 증가에 따른 제염효과

처리구별로 토성이 같은 토양(S2 및 S3)의 초기수리전도도를 비교해 보면 석고처리구의 경우 석고무처리구에 비하여 1.2~4.0배, 암거설치구의 경우 무암거구에 비하여 1.4~3.1배 정도 크게 나타났으며, 석고처리 및 암거설치 유무를 동시에 고려하면 석고처리 암거설치구의 경우 석고무처리 무암거구에 비하여 3.2~5.7배 정도 크게 나타났다.

충분한 제염이 이루어졌다고 볼 수 있는 $Dwl/Ds=0.3$ 일 때의 상대수리전도도(HCr)는 석고처리 암거설치구에서 84~90%, 석고처리 무암거구에서 57~62%, 석고무처리 암거설치구에서 39~44%, 석고무처리 무암거구에서 26~27% 정도로 조사되어 석고무처리구에 비하여 석고처리구에서, 또한 무암거구에 비하여 암거처리구에서 투수성이 오래 지속됨을 알 수 있다.

한편 $Dwl/Ds=0.3$ 이 될 때까지 소요된 침출시간은 석고처리 암거설치구에서 1.7~5.3일, 석고처리 무암거구에서 5.2~18.6일, 석고무처리 암거설치구에서 5.5~33.3일, 석고무처리 무암거구에서 12.2~58.9일 정도로 조사되었다. 따라서 간척지에서 제염이 충분히 이루어질 때까지의 침출시간을 기준으로 살펴 보면, 토양개량제를 사용하지 않고 암거를 설치하지 않은 경우에

비하여 ① 석고처리와 아울러 암거를 설치하는 경우 약 9~14%, ② 석고처리를 하지만 암거는 설치하지 않는 경우 약 32~43%, ③ 석고처리를 하지 않고 암거만 설치하는 경우 약 45~57% 정도로 제염기간이 단축되리라고 추정된다.

일반적으로 투수성이 낮은 고염도 간척지토양을 침출법에 의해 제염시킬 때 토양개량제로서 적당량의 석고를 사용하면 초기수리전도도를 증가시키고 또한 오래 지속되게 하여 제염작업이 용이하게 되며 제염기간을 단축시킬 수 있으므로 높은 제염효과를 얻을 수 있다고 판단된다.

IV. 적 요

침출법에 의한 개발초기 고염도간척지의 제염시험을 통하여 석고처리에 의한 제염효과를 분석하고자 전북 새만금지구 및 부창지구, 경기 화옹지구, 전남 고흥지구 등의 간척지토양을 공시토양으로 현장 Lysimeter 제염시험을 수행하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공시토양은 U. S. Salinity Laboratory의 염해토양분류법상 전기전도도와 치환성나트륨백분율이 매우 높은 고염도 염류알칼리토양에 속하였다.
2. 침출수량이 증가함에 따라 전기전도도 및 치환성나트륨백분율은 고도의 상관성을 가지고 감소하며 현저한 제염효과가 나타났지만, 토성, 석고처리 여부, 암거설치 유무에 관계없이 모든 처리구에서 비슷한 경향을 보였으며 처리간 석고처리효과는 인정할 수 없었다.
3. 투수성이 낮은 고염도 간척지토양을 침출법에 의해 제염시키는 경우 석고처리에 의한 주된 제염효과는 초기의 투수성을 증가시키고 오래 지속되게 하여 제염작업을 용이하게 하고 제염기간을 단축시킬 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 구자웅, 은종호. 1988. 간척지토양의 제염과정중 수리전도도의 변화. 한국농공학회지. 30(4) : 85~93.
2. 구자웅, 한강완, 은종호. 1989. 새만금지구 간척지토양의 염분거동해석 및 제염효과분석을 위한 실험적연구. 한국농공학회지. 31(2) : 92~103.
3. 구자웅, 손재권, 최진규. 1997~1998. 간척지 제염예측기법 개발. 1, 2차년도 연차실적·계획서. 농림부.
4. 구자웅, 최진규, 손재권. 1998. 우리나라 서해안 간척지 및 간척지 토양의 이화학적 특성. 한국토양비료학회지. 31(2) : 120~127.
5. Abrol, I.P., I.S.Dahiya, and D.R.Bhumbla. 1975. On the method of determining gypsum requirement of soils. Soil Sci. 120 : 30~36.
6. Beyce, O. 1973. Experience in the reclamation of saline and alkali soils and irrigation water qualities in Turkey. FAO Irrigation and Drainage Paper 16, Drainage of Salty Soils. pp. 63~82.
7. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60. 160p.