

간척지 토양의 제염예측 프로그램 개발

Development of Prediction Techniques of Desalinization in Reclaimed Tidelands

구 자 용 · 최 진 규 · 손 재 권 · 이 동 옥*(전북대)

Koo, Ja Woong · Choi, Jin Kyu · Son, Jae Gwon · Lee, Dong Wook

Abstract

The PTDR model as prediction techniques of desalinization in reclaimed tidelands was developed and verified in order to be applicable to reclaimed tidelands at the beginning stage. In this model, the changes of salt concentration during desalinization, the water requirements and period required for desalinization, were simulated according to soil properties and desalinization methods by regression analyses. This program was also designed to systematize input data and analysis data associated with desalinization, and to confirm the results by a graphic form. All input data and the results are able to be printed after the form of a typical report.

I. 서론

1960년대부터 시작된 우리나라의 대규모 간척사업은 현재 추진되고 있는 친환경적으로 새만금지구에 이르기까지 방조제의 축조, 배수갑문 등의 시공 측면에서는 괄목할만한 기술적 발전이 이루어져 왔다고 할 수 있다. 그러나 새로 조성된 고염도 간척농지를 농업생산이 가능한 수준으로 개량할 수 있는 제염기술의 개발은 상대적으로 부진한 실정이다. 이는 대상지역별 토양의 물리적 특성과 토양내 염분의 화학적 존재양상, 제염용수량과 제염기간, 경제성, 기타 지하수위 등을 종합적으로 고려하여 비교적 타당하고 합리적인 제염기법을 채택하여야 하는 제염방법 선택의 복잡성과 더불어 대규모 간척사업이 비교적 짧은 기간에 동시에 이루어짐에 따라 이에 대한 체계적인 연구가 따르지 못한데서 기인한다고 볼 수 있다.

개발초기 간척지 토양의 일반적인 특성은 토양용액의 삼투압과 알칼리성을 증가시키는 가용성염류와 교환성나트륨이 과도하게 함유되어 염분농도가 대단히 높기 때문에 정상적인 작물생육이 불가능하다. 특히 교환성나트륨은 토양입자의 분산 및 팽윤현상과 밀접한 관계가 있어 지하수에 의한 염분용탈 방법으로 제염작업을 실시하는 경우 토양의 투수성에 지대한 영향을 끼친다. 또한 염해토양의 형성과정을 지배하고 그 형태를 결정하는 전해질농도가 지나치게 높아 토양의 생산성에 나쁜 영향을 준다. 그러므로 고염도 간척지 토양에 대한 토양특성을 분석하여 토성별로 분류하고, 제염방법별로 제염과정 중 영향을 끼치는 제반 인자들의 경시적 거동해석 및 제염효과를 분석하여 효율적이고 경제적인 제염방법의 채택과 더불어 토성 및 제염방법별

제염예측기법 개발이 초기 간척지에 대한 농업생산성의 조기확보를 위한 지름길이 될 것이다.

본 연구는 서남해안 11개 지구 34지역의 간척지를 대상으로 토양특성을 분석하여 5가지 토양으로 분류하고, 현장 라이시미터 제염시험에 의하여 얻은 시험자료를 이용하여 실시한 회귀분석 결과를 토대로 개발초기 고염도 간척지 토양의 제염조건에 따른 제염과정중 염분농도의 변화, 제염용수량, 제염기간을 토성 및 제염방법별로 추정할 수 있는 제염예측 프로그램을 개발하기 위해 수행되었다.

II. 프로그램의 개요

2.1 PTDRT의 기능

본 연구에서 개발한 제염예측 프로그램 (PTDRT : Prediction Techniques of Desalinization in Reclaimed Tidelands)은 자료의 입력기능, 분석기능, 출력기능, 관리기능을 가지고 있다.

자료 입력기능은 토양의 물리적·화학적 특성 및 사용자가 원하는 제염조건을 입력할 수 있도록 하였다.

자료 분석기능은 토양의 입도분석에 의해 일반토양과 간척지토양 기준에 따라 제염대상 토양을 분류할 수 있고, 회귀분석 결과 토성 및 제염방법별로 유의성이 높은 최적의 회귀 방정식을 적용하여 제염과정중 염분농도의 변화, 제염용수량 및 제염기간을 추정할 수 있도록 하였다.

자료 출력기능은 입력시 사용된 토양특성 자료와 자료분석을 통해 사용자가 목표로 하는 제염조건에 부합되는 제염방법에 의한 제염용수량, 제염기간 및 석고시용량 등의 자료를 출력할 수 있다. 또한 외부 파일로 전환을 가능케 하여 외부 문서 작업시에도 본 수치를 이용할 수 있게 하였다.

자료 관리기능은 입력자료나 분석자료를 추가 수정할 수 있도록 설계하여 제염예측기능과 제염자료의 저장기능을 겸한 프로그램으로 그 사용한도를 확장시켰다. 또한 본 프로그램에서는 분석결과를 그래프로 표시하여 예측치를 보다 가시적으로 표현될 수 있게 하였다.

2.2 PTDRT의 구성

본 프로그램에는 프로그램을 구성하는 데이터베이스용 소프트웨어가 내장되어 있어 구동을 위한 별도의 데이터베이스용 소프트웨어가 필요하지 않으므로 사용자가 이용하기 쉽게 구성되어 있으며, 프로그램 Setup과 함께 데이터베이스에 필요한 프로그램이 자동으로 설치된다. 마우스와 키보드를 이용하여 자료를 입력할 수 있으며, Printer를 이용하여 문서화된 상태로도 출력이 가능하다. 또한 RAM 용량 16MB 이상 (32MB이상 권장), Hard 메모리 40MB 이상 (100MB이상 권장), 모니터 17인치 이상 (해상도 1024×768 픽셀 권장)에서 최적의 상태로 프로그램이 구현될 수 있다.

III. 프로그램의 개발

3.1 입력자료

1. 토양자료

각 토양에 고유의 이름(Soil Code)을 부여하여 토양분류 및 체계적인 DB구축에 이용하였으며, Soil Code에 대한 검색창을 이용(SQL문)하여 토양자료를 추가 입력하거나 수정할 때 같은 이름이 중복되지 않도록 하였다. 토양의 물리적 특성에는 용적밀도(Bulk Density), 입자밀도(Particle Density), 포화도(Saturation Percentage), 공극률(Porosity), 수리전도도(HC)등을 입력할 수 있도록 하였고, 토양의 화학적 특성에는 주요 교환성양이온(Ca, Na, Mg, K)함량, 양이온교환용량(CEC), 초기 교환성나트륨백분율(ESP_i), 초기 전기전도도(EC_i), 수소이온농도(pH)를 입력할 수 있도록 하였다. 여기서 교환성나트륨백분율은 교환성나트륨(Na)함량과 양이온교환용량(CEC)과의 관계를 통해 자동으로 산출된다.

제염대상 토양을 입도조성에 따라 분류하기 위하여 토양의 입도분석 자료를 입력하였다. 일반토양은 미국 농무성(UADA)의 삼각좌표분류법에 의거 분류하였고, 간척지토양은 서남해안 간척지의 토양특성을 기준으로 하여 분류하였다. 토양설명을 클릭하면 간척지토양의 교환성나트륨백분율(ESP), 전기전도도(EC), 수소이온농도(pH)의 초기값을 이용하여 USDA Salinity Laboratory의 염해토양 분류기준에 의거 제염대상 토양이 분류되고, 토성별로 가능한 제염방법도 제시될 수 있게 하였다.

2. 제염조건

제염대상면적, 제염토양깊이, 제염목표 교환성나트륨백분율(ESP_f) 및 전기전도도(EC_f)를 제염조건으로 하여 제염용수량, 제염기간, 석고시용량 등의 산정에 필요한 한계값으로 이용하였으며, 제염조건 프레임에 입력하여 그에 따라서 제염용수량, 제염기간 및 석고시용량이 예측되도록 하였다.

제염대상면적에 대해 예측하는 경우는 단위면적과 실제면적을 선택하는 선택버튼을 삽입하여 단위면적이거나 실제면적으로도 적용이 가능하다.

3.2 자료의 분석

현장 라이스미터 제염시험자료를 분석하여 도출한 최적의 회귀모형을 이용하여 설계자가 목표로 하는 제염조건에 맞는 제염용수량과 제염기간 및 석고시용량을 추정할 수 있도록 설계하였다. 제염용수량은 제염과정중 상대전기전도도와 상대교환성나트륨백분율의 변화를 분석하여 추정하였고, 제염기간은 수리전도도를 고려하여 예측하였으며, 석고시용량은 O. Beyce의 석고시용량 산정식을 적용하여 산출하였다. 분석에 필요한 토양 입력자료는 SQL문을 이용하여 발췌하였으며, 분석 결과 예측값을 그래프와 수치로 나타냈다.

1. 상대전기전도도를 기준으로 한 제염용수량 추정

제염과정중 상대전기전도도(EC_r)의 변화를 추정할 수 있는 회귀모형을 이용하여 물관리, 토양개량제(석고)처리, 암거설치 유무에 따른 제염방법 및 토성별로 제염용수량을 예측하기 위해 도출한 회귀방정식을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 상대전기전도도(ECr)를 기준으로한 제염용수량 추정 회귀방정식

제염방법		토 성	회귀방정식
석고처리 침출법	암거구	투수양호토양 (S1, S2, S3)	$DWR = \left(\frac{ECr}{0.0326}\right)^{\left(\frac{-1}{0.9944}\right)} \times A \times Ds$
	무암거구	투수양호토양 (S2, S3)	$DWR = \left(\frac{ECr}{0.0369}\right)^{\left(\frac{-1}{0.9535}\right)} \times A \times Ds$
석고무처리 침출법	암거구	투수양호토양 (S1, S2, S3)	$DWR = \left(\frac{ECr}{0.0255}\right)^{\left(\frac{-1}{1.1131}\right)} \times A \times Ds$
	무암거구	투수양호토양 (S2, S3)	$DWR = \left(\frac{ECr}{0.0337}\right)^{\left(\frac{-1}{0.9856}\right)} \times A \times Ds$
석고무처리 수세법	무암거구	투수양호토양 (S1, S2, S3) 투수불량토양(S4, S5)	$DWR = e^{((0.5556 - ECr)/0.3074)} \times A \times Ds$

[주] ECr : 초기 전기전도도에 대한 제염목표 전기전도도의 비율 (ECr=ECi/ECi)
DWR : 제염용수량(m³), A : 제염대상면적(m²), Ds : 제염토양깊이(m)

2. 상대교환성나트륨백분율 기준으로 한 제염용수량 추정

제염과정중 상대교환성나트륨백분율(ESPr)의 변화를 추정할 수 있는 회귀모형을 이용하여 제염방법 및 토성별로 제염용수량을 예측하기 위해 도출한 회귀방정식을 정리하면 <표 2>에서 보는 바와 같다.

<표 2> 상대교환성나트륨백분율(ESPr)을 기준으로 한 제염용수량 추정 회귀방정식

제염방법별		토 성	회귀방정식
석고처리 침출법	암거구	투수양호토양 (S1, S2, S3)	$DWR = e^{((0.0328 - ESPr)/0.2152)} \times A \times Ds$
	무암거구	투수양호토양 (S2, S3)	$DWR = e^{((0.0387 - ESPr)/0.2227)} \times A \times Ds$
석고무처리 침출법	암거구	투수양호토양 (S1, S2, S3)	$DWR = e^{((0.0002 + ESPr)/-0.2413)} \times A \times Ds$
	무암거구	투수양호토양 (S2, S3)	$DWR = e^{((0.0103 - ESPr)/0.2290)} \times A \times Ds$
석고무처리 수세법	무암거구	투수양호토양 (S1, S2, S3) 투수불량토양(S4, S5)	$DWR = e^{((0.6357 - ESPr)/0.2242)} \times A \times Ds$

[주] ESPr : 초기 교환성나트륨백분율에 대한 제염목표 교환성나트륨백분율의 비율 (ESPr=ECi/ECi), DWR : 제염용수량(m³), A : 제염대상면적(m²), Ds : 제염토양깊이(m)

3. 석고시용량의 산정

토양의 투수성을 향상시켜 제염효과를 높이고 제염기간을 단축시키기 위하여 토양개량제(석고)를 사용한 석고처리 침출법의 경우에 석고시용량은 (1)식과 같은 O. Beyce의 석고 시용량 산정식에 의하여 산출하였으며, 필요한 자료는 입력자료에서 발췌하여 프로그램에 적용하였다.

$$GR = (860 \times 10^{-3}) \cdot \rho_b \cdot D_s \cdot A \cdot \left(\frac{ESP_i - ESP_f}{100} \right) \cdot CEC \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 GR : 석고시용량(kg), ρ_b : 토양의 용적밀도, D_s : 제염토양깊이(m),

A : 제염대상면적(m²), ESP_i : 초기 교환성나트륨백분율(%),

ESP_f : 제염목표 교환성나트륨백분율(%), CEC : 토양의 양이온교환용량(cmol/kg)

설계자가 목표로 하는 제염조건에 따라 입력자료를 분석하여 얻은 제염용수량, 제염기간 및 석고시용량의 추정결과를 나타내는 화면의 한 예를 들면 [그림 1]과 같다. 여기에서 설계자의 제염조건과 입력자료에 따라 제염용수량을 단위면적 또는 실면적당으로 나타낼 수 있으며, 상대 전기전도도 또는 상대교환성나트륨백분율을 기준으로 한 제염용수량을 직접 구할 수 있고 석고 처리에 의한 제염기간을 비교할 수 있도록 설계하였다.

Soil Code		S2-123		화면 출력	
제염조건	제염토양심도(m)	ECI (dS/m)	ESP (%)	Bulk density (M/m ³)	7.0
	10.000	24.0	37.5		
HC	0.0	ECI (dS/m)	ESP (%)	CEC (cmol/kg)	24.0
		4.0	15.0		
S2 <input checked="" type="checkbox"/> 단위면적당 <input type="checkbox"/> 전기전도도 기준 제염용수량 <input type="checkbox"/> 교환성나트륨백분율 기준 제염용수량					
전기전도도 기준 제염용수량					
제염 방법	제염용수량(m ³)	제염 기간	석고 시용량(kg)		
석고무처리 무암거침출법	2.4807				
석고처리 무암거침출법	0.1440		0.0228		
석고처리 암거 침출법	0.1357				
석고무처리 무암거침출법	0.1360				
석고무처리 암거 침출법	0.1296				
제염 방법	제염용수량(m ³)	제염 기간	석고 시용량(kg)		
석고무처리암거침출법	0.1296	0			
교환성나트륨백분율 기준 제염처리					
제염 방법	제염용수량(m ³)	제염 기간	석고 시용량(kg)		
석고무처리 무암거수세법	2.0003				
석고처리 무암거침출법	0.1382		0.0228		
석고처리 암거 침출법	0.1271				
석고무처리 무암거침출법	0.1277				
석고무처리 암거 침출법	0.1373				
제염 방법	제염용수량(m ³)	제염 기간	석고 시용량(kg)		
석고처리암거침출법	0.1271	0	0.0228		

[그림 1] 자료분석 결과의 출력 화면 (예)

3.3 예측자료의 출력

1. 그래프 출력

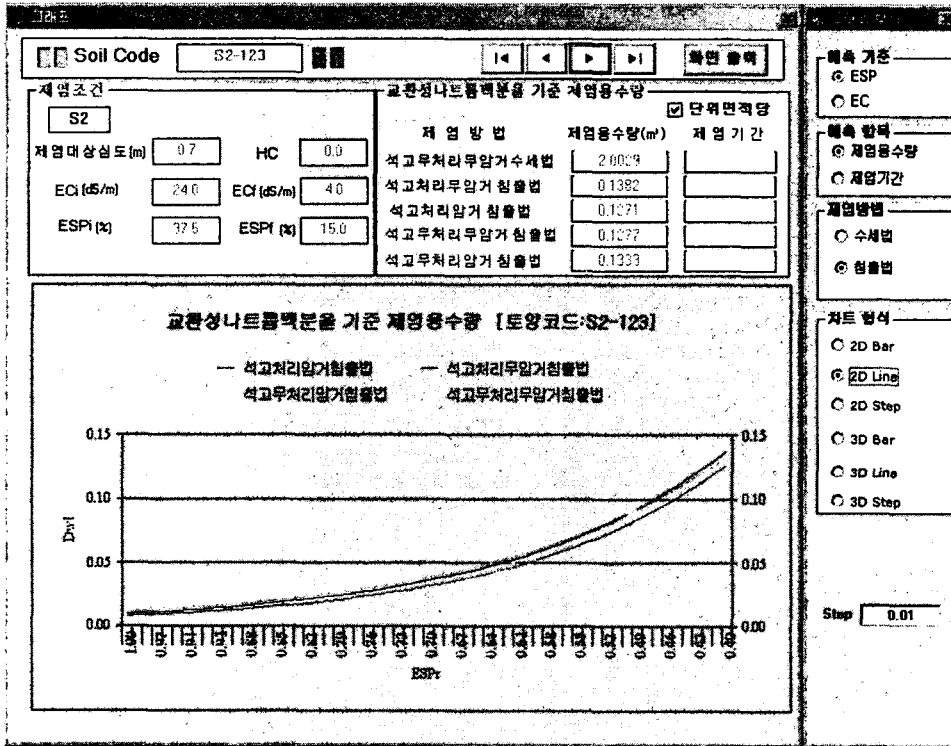
제염예측 프로그램을 통해 생성된 자료의 전반적인 내용을 그래프에 의해 확인할 수 있도록 다음과 같은 내용으로 설계하였다.

그래프 메뉴를 클릭하면 제염예측에 관한 전반적인 내용을 확인할 수 있다. 상단부에는 Soil Code 버튼이 있고, 그래프를 더블클릭하면 옵션창이 생성되면서 예측기준, 예측항목, 제염방법,

차트형식 프레임이 나타나며, 각 프레임의 옵션버튼을 클릭하여 그에 해당하는 예측결과를 그래프 상태로 확인할 수 있다.

차트형식 프레임을 선택하여 설계자가 원하는 형식의 그래프로 출력할 수 있으며, 옵션창 하단부에 있는 step을 이용하여 그래프의 x축 간격을 조정할 수 있다.

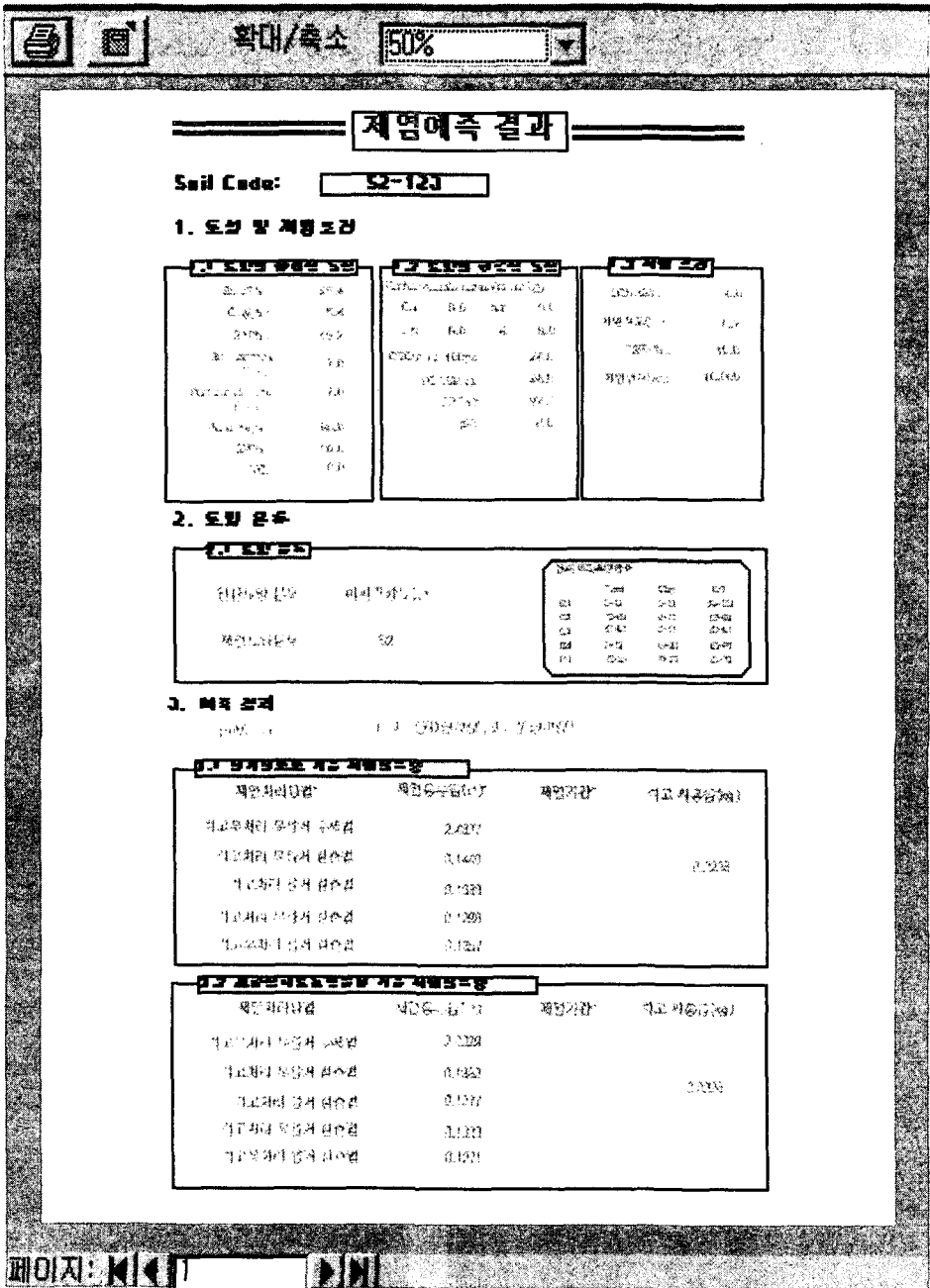
제염조건을 조정할 경우 제염조건 프레임을 더블클릭하여 기존의 자료 입력창을 생성시켜 자동으로 자료수정 모드로 전환되도록 하여 자료를 수정한 후, 자료관리에서 수정완료 메뉴를 클릭하여 그 값이 변환되도록 하였다. 이 과정에서 데이터의 충돌을 피하기 위해 자료수정 모드가 되면 자동적으로 그래프창이 종료되도록 하였다.



[그림 2] 그래프 출력 화면 (예)

2. 보고서 출력

본 프로그램에서는 입력자료, 분석자료 및 제염예측 결과를 정형화된 보고서 형식으로 출력할 수 있고 텍스트문서로도 저장할 수 있도록 하였다. 그 밖에도 화면출력 버튼을 클릭하여 입력자료나 예측자료 등의 내용을 즉시 인쇄할 수 있다.



[그림 3] 보고서 출력 화면 (예)

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 서남해안의 고염도 간척지토양을 토성별로 분류하고, 현장 라이시미터 제염 시험을 통해 도출한 회귀모형을 토대로 간척지토양의 제염과정중 염분농도의 변화를 추정하여, 개발초기 고염도 간척지토양을 효율적으로 제염시킬 수 있는 제염예측 프로그램(PTDRT)을

개발하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 제염예측 프로그램(PTDRT)을 적용하여 개발초기 고염도 간척지토양의 효율적인 제염에 필요한 제염용수량, 제염기간 및 석고시용량을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 제염예측 프로그램은 자료의 입력기능, 분석기능 및 출력기능과 아울러 자료의 관리 기능을 가지고 있다.
3. 입력자료를 체계적으로 분석하여 그 결과를 그래프를 통해 전반적인 내용을 확인할 수 있도록 설계하였다
4. 입력자료, 분석자료 및 제염예측 결과를 정형화된 보고서 형식으로 출력할 수 있도록 설계하였다.

참고문헌

1. 구자웅, 한강완, 은종호. 1989a. 간척지토양의 제염용수량 산정에 관한 실험연구. 한국농공학회지. 31(1) : 96~105.
2. 구자웅, 최진규, 손재권. 1998. 우리나라 서해안 간척지 및 간척지 토양의 이화학적 특성. 한국토양비료학회지. 31(2). 120~127.
3. 구자웅, 손재권, 최진규. 1997~2000. 간척지 제염예측기법 개발. 1, 2, 3, 4차년도 연차실적. 계획서. 농림부
4. 구자웅, 최진규, 손재권. 2001. 간척지토양의 제염과정중 교환성나트륨백분을 분석. 한국관개배수. 8(1). 48~60.
5. 손재권, 구자웅, 최진규. 2001. 석고처리에 의한 간척지토양의 제염효과. 한국관개배수. 8(1). 70~79.
6. 구자웅, 최진규, 손재권, 이동욱. 2001. 간척지토양의 제염과정중 전기전도도 분석. 한국농공학회지. 43(4). 37~49.
7. U.S Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60.
8. Wilcox, L.V, W.F. Resch. 1963. Salt balance and leaching requirement in irrigated lands. USDA, Tech. Bull No 1290.
9. Van der Molen, W.H. 1979. Salt balance and leaching requirement. ILRI pub. 16 Vol 2 Drainage Principles and Applications. 2nd ed., 59~100.