

# 간척지 토양의 제염예측 프로그램 개발

구 자 응<sup>\*</sup> · 손 재 권<sup>\*</sup> · 최 진 규<sup>\*</sup> · 이 동 욱<sup>\*\*</sup> · 송 재 도<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소)

<sup>\*</sup>정읍시농업기술센터 · <sup>\*\*</sup>전북대학교대학원

## Development of Prediction Techniques for Desalinization in Reclaimed Tidelands

Koo, Ja-Woong<sup>\*</sup> · Son, Jae-Gwon<sup>\*</sup> · Choi, Jin-Kyu<sup>\*</sup>  
Lee, Dong-Wook<sup>\*\*</sup> · Song, Jae-Do<sup>\*\*\*</sup>

College of Agriculture(Institute of Agri. Science & Tech.) Chonbuk National University

<sup>\*\*</sup>Jungup Agriculture Technology Center

<sup>\*\*\*</sup> Graduate School, Chonbuk National University

### Abstract

The PTDR model as prediction techniques for desalinization in reclaimed tidelands was developed and verified whether it is applicable to reclaimed tidelands at the beginning stage. 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. The 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 can be printed after the form of a typical report.

### I. 서론

1960년대부터 시작된 우리나라의 대규모 간척사업은 현재 추진되고 있는 새만금사업에 이르기까지 방조제의 축조, 배수갑문 등의 시공 측면에서는 괄목할 만한 기술적 발전이 이루어져 왔다고 할 수 있다. 그

러나 새로 조성된 고염도 간척농지를 농업생산이 가능한 수준으로 개량할 수 있는 제염기술의 개발은 상대적으로 부진한 실정이다. 이는 대상지역별 토양의 물리적 특성과 토양내 염분의 화학적 존재양상, 제염 용수량과 제염기간, 경제성, 기타 지하수위 등을 종합적으로 고려하여 비교적 타당하고 합리적인 제염기법을 채택하여야 하는 제염방법선택의 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 지하배수에 의한 염분용탈 방법으로 제염작업을 실시하는 경우 토양의 투수성에 지대한 영향을 끼친다.7) 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 조기 확보를 위한 지름길이 될 것이다.

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

## II. 프로그램의 개요

### 1. PTDRT의 기능

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

자료 입력기능은 토양의 물리적·화학적 특성 및 사

용자가 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, 수리전도도의 변화, 용탈용수량 및 침출시간을 추정할 수 있게 하였다.

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

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

## 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 상태로 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

### 1. 입력자료

가. 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), 초기 전기전도도(ECi), 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.

나. 제염조건

제염대상면적, 제염토양깊이, 제염목표 교환성나트륨백분율(ESPf) 및 전기전도도(ECf)를 제염조건으로 하여 용탈용수량, 침출시간, 석고시용량 등의 산정에 필요한 한계값으로 이용하였으며, 제염조건 프레임에 입력하여 그에 따라서 용탈용수량, 침출시간 및 석고시용량이 예측되도록 하였다. 제염대상면적은 입력시 여러 가지 단위로 입력할 수 있도록 하였으며 제염예측자료에 저장할 경우에는 m<sup>2</sup> 단위로 환산되도록 하였다.

2. 자료의 분석

현장 라이시미터 제염시험자료를 분석하여 도출한 최적의 회귀모형(1,4)을 이용하여 설계자가 목표로 하는 제염조건에 맞는 용탈용수량, 수리전도도, 침출시간 및 석고시용량을 추정할 수 있도록 설계하였다.

용탈용수량은 제염과정중 상대전기전도도와 상대교환성나트륨백분율의 변화를 분석하여 추정하였고, 수리전도도 및 침출시간은 용탈용수량과의 관계를 분석하여 예측하였으며, 석고시용량은 O. Beyce의 석고시용량 산정식을 적용하여 산출하였다. 분석에 필요한 토양 입력자료는 SQL문을 이용하여 발췌하였으며, 분석 결과 예측값을 그래프와 수치로 나타냈다.

가. 상대전기전도도를 기한 용탈용수량 추정

제염과정중 상대전기전도도(ECr)의 변화를 추정할 수 있는 회귀모형을 이용하여 물관리, 토양개량제(석

(표 1) 상대전기전도도(ECr)를 기준으로한 용탈용수량

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

주) ECr : 초기 전기전도도에 대한 제염목표 전기전도도의 비율 (ECr=ECf/ECi) LR : 용탈용수량(m<sup>3</sup>), A : 제염대상면적(m<sup>2</sup>), Ds : 제염토양깊이(m).

고)처리, 암거설치 유무에 따른 제염방법 및 토성별로 용탈용수량을 예측하기 위해 도출한 추정방정식을 정리하면 <표 1>과 같다.

**나. 상대교환성나트륨백분율기준으로 한 용탈용수량 추정**

제염과정중 상대교환성나트륨백분율(ESPr)의 변화를 추정할 수 있는 회귀모형1),3)을 이용하여 제염방법 및 토성별로 용탈용수량을 예측하기 위해 도출한 추정방정식을 정리하면 <표 2>에서 보는 바와 같다.

<표 2> 상대교환성나트륨백분율(ESPr)을 기준으로 한 용탈용수량 추정방정식

제염방법	토성	추정방정식
석고처리 침출법	암거구 투수양호토양 (S1, S2, S3)	$LR = e^{((0.0328 - ESPr)/0.2152)} \times A \times Ds$
	무암거구 투수양호토양 (S1, S2, S3)	$LR = e^{((0.0387 - ESPr)/0.2227)} \times A \times Ds$
석고무처리 침출법	암거구 투수양호토양 (S1, S2, S3)	$LR = e^{((0.0002 + ESPr)/-0.2413)} \times A \times Ds$
	무암거구 투수양호토양 (S1, S2, S3)	$LR = e^{((0.0103 - ESPr)/0.2230)} \times A \times Ds$
석고무처리 수세법	투수양호토양 (S1, S2, S3) 투수불량토양(S4, S5)	$LR = e^{((0.6357 - ESPr)/0.2242)} \times A \times Ds$

[주] ESPr : 초기 교환성나트륨백분율에 대한 제염목표 교환성나트륨백분율의 비율 (ESPr=EC/EC<sub>0</sub>),  
LR : 용탈용수량(m<sup>3</sup>), A : 제염대상면적(m<sup>2</sup>), Ds : 제염토양깊이(m)

**다. 침출시간의 추정**

제염과정중 침출수량의 증가에 따른 침출시간의 변화를 추정할 수 있는 회귀방정식1),6)을 이용하여 물관리방법, 토양개량제(석고)처리, 암거설치 유무에 따라 제염방법 및 토성별로 침출시간을 예측하기 위해 도출한 추정방정식을 정리하면 <표 3>과 같다

<표 3> 침출시간 예측을 위한 추정방정식

제염방법	토성	추정방정식
석고처리 침출법	암거구	(S1) $T = [-35.5 (Dwl/Ds)^2 + 69.396 (Dwl/Ds) + 6.0243]^2 / 24$
		(S2) $T = [-18.674 (Dwl/Ds)^2 + 33.513 (Dwl/Ds) + 3.0065]^2 / 24$
		(S3) $T = [-10.509 (Dwl/Ds)^2 + 18.676 (Dwl/Ds) + 1.7535]^2 / 24$
	무암거구	(S1) $T = [31.193 (Dwl/Ds)^2 + 96.098 (Dwl/Ds) + 11.193]^2 / 24$
		(S2) $T = [13.009 (Dwl/Ds)^2 + 48.323 (Dwl/Ds) + 5.6313]^2 / 24$
		(S3) $T = [-5.0595 (Dwl/Ds)^2 + 29.669 (Dwl/Ds) + 2.8513]^2 / 24$
석고무처리 침출법	암거구	(S1) $T = [32.42 (Dwl/Ds)^2 + 96.269 (Dwl/Ds) + 7.1072]^2 / 24$
		(S2) $T = [-5.4173 (Dwl/Ds)^2 + 78.506 (Dwl/Ds) + 5.3448]^2 / 24$
		(S3) $T = [-1.6974 (Dwl/Ds)^2 + 31.578 (Dwl/Ds) + 2.2107]^2 / 24$
	무암거구	(S1) $T = [64.415 (Dwl/Ds)^2 + 145.83 (Dwl/Ds) + 9.3987]^2 / 24$
		(S2) $T = [75.247 (Dwl/Ds)^2 + 81.731 (Dwl/Ds) + 6.8426]^2 / 24$
		(S3) $T = [3.8217 (Dwl/Ds)^2 + 48.476 (Dwl/Ds) + 2.3501]^2 / 24$

[주] T : 침출시간 추정치 (일)  
Dwl/Ds : 제염토양깊이당 침출수심의 비율

**라. 석고시용량의 산정**

토양의 투수성을 향상시켜 제염효과를 높이고 제

염기간을 단축시키기 위하여 토양개량제(석고)를 사용한 석고처리 침출법의 경우에 석고시용량은 (1) 식과 같은 O. Beyce(1973)의 석고시용량 산정식을 변환하여 kg 단위로 산정할 수 있도록 설계하였으며, 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),  $\rho_b$  : 토양의 용적밀도,  $D_s$  : 제염토양깊이(m),

A : 제염대상면적(m<sup>2</sup>),  $ESP_i$  : 초기 교환성나트륨백분율(%),

$ESP_f$  : 제염목표 교환성나트륨백분율(%),

CEC : 토양의 양이온교환용량(cmol/kg)

**마. 수리전도도의 추정**

제염과정중 침출수량의 증가에 따른 상대수리전도도의 변화를 추정할 수 있는 회귀방정식(1.6)을 이용하여 물관리방법, 토양개량제(석고)처리, 암거설치 유무에 따라 제염방법 및 토성별로 수리전도도를 예측하기 위해 도출한 추정방정식을 정리하면 <표 4>에서 보는 바와 같다.

**바. 용탈용수량, 침출시간 및 수리전도도 추정에 대한 검증**

개발초기 고염도 간척지토양의 제염예측프로그램을 석고무처리 무암거구 침출법에 적용하여 용탈용수량, 침출시간 및 수리전도도를 연계하여 추정하고자 할 경우, 실측지와 추정치에 대한 상관분석 및 회귀분석 결과와 현지의 기상조건, 물관리방법, 회귀모형의 특성 등을 종합해서 프로그램의 적용타당성을 고찰하였다. 그 결과 강우시의 강우량 외에 무강우시에도 인위적인 방법으로 용탈용수량을 연속해서 공급하는 경우에는 본 제염예측프로그램을 고염도 제염예측에 활용할 수 있다는 유의성이 충분히 검증되었다.

<표 4> 수리전도도 예측을 위한 추정방정식

제염방법	토성	추정방정식
석고처리 침출법	암거구	(S1) $HC = [1.0429 e^{-1.0021(Dwl/Ds)}] \times HCi$
		(S2) $HC = [1.0561 e^{-0.8550(Dwl/Ds)}] \times HCi$
		(S3) $HC = [1.0678 e^{-0.6595(Dwl/Ds)}] \times HCi$
	무암거구	(S1) $HC = [1.3500 e^{-3.2253(Dwl/Ds)}] \times HCi$
		(S2) $HC = [1.3338 e^{-3.0288(Dwl/Ds)}] \times HCi$
		(S3) $HC = [1.1777 e^{-2.1866(Dwl/Ds)}] \times HCi$
석고무처리 침출법	암거구	(S1) $HC = [-0.3792 \text{Ln}(Dwl/Ds) - 0.0966] \times HCi$
		(S2) $HC = [-0.3423 \text{Ln}(Dwl/Ds) - 0.0084] \times HCi$
		(S3) $HC = [-0.3410 \text{Ln}(Dwl/Ds) + 0.0246] \times HCi$
	무암거구	(S1) $HC = [-0.3834 \text{Ln}(Dwl/Ds) - 0.1604] \times HCi$
		(S2) $HC = [-0.3990 \text{Ln}(Dwl/Ds) - 0.2112] \times HCi$
		(S3) $HC = [-0.3663 \text{Ln}(Dwl/Ds) - 0.1562] \times HCi$

[주] HC : 수리전도도 추정치 (cm/hr), HCi : 제염전 초기 수리전도도 (cm/hr)

$D_{wl}/D_s$  : 제염토양깊이당 침출수심의 비율

염예측에 활용할 수 있다는 유의성이 충분히 검증되었다.

**3. 예측자료의 출력**

**가. 제염예측 총괄**

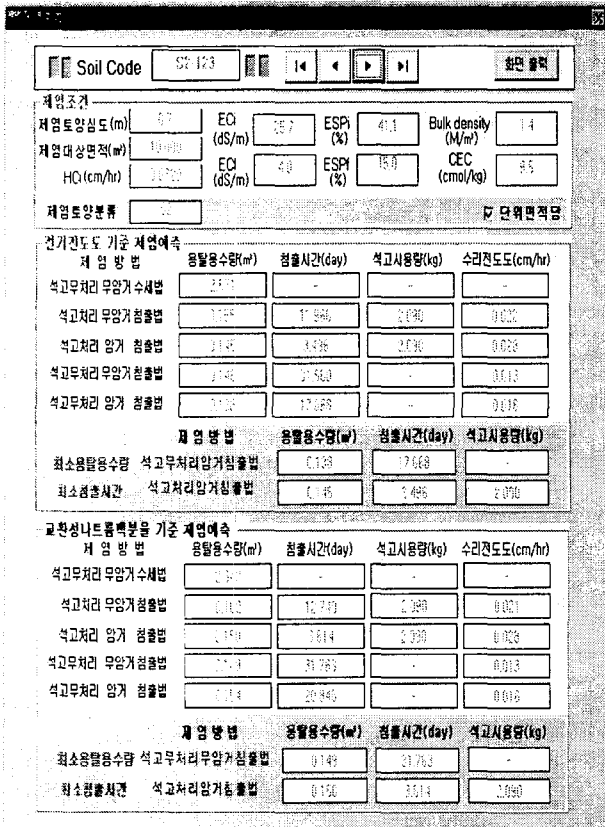
설계자가 목표로 하는 제염조건에 따라 입력자료를 분석하여 얻은 용탈용수량, 침출시간, 석고시용량 및 수리전도도 등의 예측결과를 나타내는 화면의 한 예를 들면 [그림 1]과 같다. 여기에서 설계자의 제염

조건과 입력자료에 따라 용탈용수량을 단위면적 또는 실면적당으로 나타낼 수 있으며, 전기전도도 또는 교환성나트륨백분율을 기준으로 한 제염용수량을 직접 구할 수 있고 석고처리에 의한 침출시간을 비교할 수 있도록 설계하였다.

측기준, 예측항목, 제염방법, 차트형식 프레임이 나타나며, 각 프레임의 옵션버튼을 클릭하여 그에 해당하는 예측결과를 그래프로 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 더블 클릭하여 기존의 입력자료 창을 생성시켜 자동으로 자료수정 모드로 전환되도록 하였다. 자료를 수정한 후 자료관리에서 수정완료 메뉴를 클릭하여 그 값이 변환되도록 하였으며, 이 과정에서 데이터의 충돌을 피하기 위해 자료수정 모드가 되면 자동적으로 그래프 창이 종료되도록 하였다.

[그림 2]는 용탈용수량 예측자료에 대한 그래프 출력화면의 한가지 예를 보인 것이다.



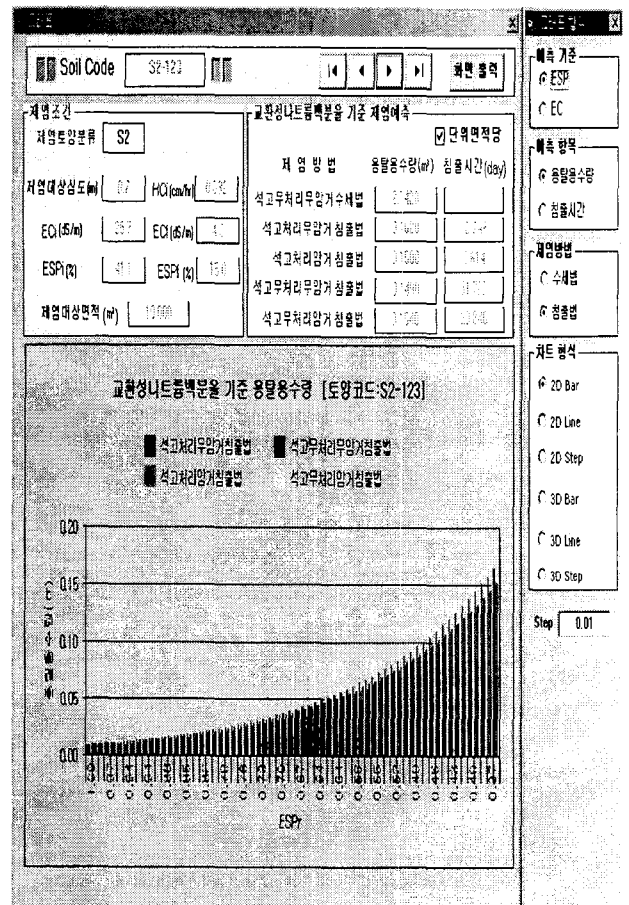
(그림 1) 자료분석 결과의 출력 화면 (예)

**나. 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 데이터베이스를 통해 사용자가 입력하였던 제염조건과 제염 예측모형에서 예측하였던 값을 연계시켜 Soil Code에 해당하는 제염 예측자료를 그래프로 재확인할 수 있게 하였다.

그래프를 더블 클릭하면 옵션창이 생성되면서 예



(그림 2) 그래프 출력 화면 (예)

다. 보고서 출력

본 프로그램에서는 DB화된 입력 및 분석자료와 제염예측 결과를 연계시켜 [그림 3]에서 보는 바와 같이 정형화된 보고서 형식으로 출력할 수 있게 하였다.

입력자료에 대한 보고서는 프로그램의 토양입력자료 폼에서 추가된 토양의 물리적 특성, 화학적 특성, 제염조건, 토양분류 등의 자료로 구성되어 있으며, 이들 입력자료와 용탈용수량, 침출시간, 석고소요량, 수리전도도 등의 자료를 포함시켜 제염예측결과의 출력보고서를 구성하였다.

상단부의 내보내기 기능을 통해 텍스트문서로도 저장할 수 있도록 하였고, 또한 프로그램의 각 폼에서 화면출력 버튼을 클릭하여 입력자료나 예측자료 등의 내용을 즉시 인쇄할 수 있도록 설계하였다.



〈그림 3〉 보고서 출력 화면 (예)

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라 서남해안의 고염도 간척지토양을 토성별로 분류하고, 현장 라이시미터 제염시험 결과를 분석하여 도출한 제염과정중 염분농도의 변화, 용탈용수량, 수리전도도 및 침출시간 추정 회귀모형을 적용하여 개발초기 고염도 간척지 토양을 효율적으로 제염시키는데 활용할 수 있는 제염예측 프로그램(PTDRT)을 개발하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

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

이 논문은 1996년~2001년도 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

參 考 文 獻

1. 구자용, 손재권, 최진규. 2001. 간척지 제염예측기법 개발. 농림부. 362p.
2. 구자용, 최진규, 손재권. 1998. 우리나라 서해안 간척지 및 간척지 토양의 이화학적 특성. 한국토양비료학회지. 31(2). 120~127.
3. 구자용, 최진규, 손재권. 2001. 간척지토양의 제염과정중 교환성나트륨백분율 분석. 한국관개매수. 8(1). 48~60.

4. 구자웅, 최진규, 손재권, 이동욱. 2001. 간척지토양의 제염과정중 전기전도도 분석.  
한국농공학회지. 43(4). 37~49.
5. 구자웅, 한강완, 은종호. 1989. 간척지토양의 제염용수량 산정에 관한 실험연구.  
한국농공학회지. 31(1) : 96~105.
6. 손재권, 구자웅, 최진규. 2001. 석고처리에 의한 간척지토양의 제염효과.  
한국관개배수. 8(1). 70~79.
7. U.S Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.  
USDA Handbook 60.
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.
8. Wilcox, L. V., W. F. Resch. 1963. Salt balance and leaching requirement in irrigated lands.  
USDA, Tech. Bull No 1290.