

## 간척담수호의 염해예보시스템 개발

### Development of Salt Damage Forecasting System for Fresh Water Reservoir in the Reclaimed Tideland

이 승 현\*, 김 경 만\*\*

Lee, Seung Heon · Kim, Kyung Man

#### 1. 머리말

우리나라는 안정적인 농경지 확보와 주곡생산을 위해 지속적으로 서남해안에 간척사업을 추진하여 왔으며 2003년말 기준으로 188개 지구, 76,000 ha는 준공되었고 14개 지구, 59,000 ha는 시행 중에 있다. 또한 간척농지에 필요한 농업 용수의 개발을 위해 담수호를 조성해 왔다. 이와 같은 하구 및 간척지 담수호의 총 저수량은 약 27 억톤으로, 우리나라 전체 저수량의 약 21%에 해당된다. 담수호로부터 관개면적 및 계획 면적은 약 183,000 ha에 이른다. 이는 전체 논면적의 약 14%에 달하며, 현재 관개면적의 약 20%에 이르며 농업용수원으로 중요한 비중을 차지하고 있다.

넓은 간척 농경지를 효율적으로 이용하기 위해서는 염을 조기에 경제적으로 제염화하는 것이 최우선과제이다. 그러나 숙답된 간척지에서도 간척토양양의 이화학적 특성이나 기상조건에 따라 효율적인 물 관리 방법을 통해 농작물에 대한 염해를 사전에 예방할 필요가 있다.

농업지도기관에서는 관개수 염농도 상승에 의한 염해우려가 있는 간척지 58지구를 선정, 분류, 관리하고 있다. 간척 농경지가 많은 전남이 30지구로 가장 많으며, 전국적으로 약 64,957 ha이 해당된다. 또한 소규모 간척지에서도 조수의 영향을 받아 염분이 섞인 물이나, 지하 대수층의 염기가 있는 용수를 관개하여 수도작이나 밭작물이 염해를 입는 경우가 종종 발생하고 있다.

염해피해 우려지구로 지정되더라도 공급위주로 농업용수를 관리하고 있어 수질 특히 염분을 고려한 물 관리는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 가뭄 또는 배수갑문에 의하여 용수의 농도가 상승되어도 농민의 요구나 관행적인 용수공급으로 염분에 의한 농작물의 피해가 발생되고 있으며, 정부 또는 관련기관에서는 단지 사후조치 일환으로 피해조사와 보상 등을 하고 있을 뿐이다.

현재 염해예방 또는 대비에 대한 연구경향은 내염성 품종개발과 시비법, 토양관리방법 등과 생육시기에 따른 비의 한계농도 설정 등

\* 한국농촌공사 농어촌연구원 주임연구원 (shyi@ekr.or.kr)

인데, 이러한 연구들이 실제 간척지의 벼 품종 선정 등에는 도움을 주고는 있지만, 하구나 간척지에서 배수갑문의 오동작 또는 조수의 영향을 받아, 해수가 유입된 용수나, 지하 대수층의 염기가 있는 물을 관개하여 염해를 입는 경우, 농민들은 막대한 피해를 입게 된다.

본고에서는 간척담수호를 포함한 해안 저지대의 농업용수원을 이용하여 농작물을 재배할 때 발생할 수 있는 염해를 예방하고 피해를 최소화하기 위한 염해예보시스템을 개발하고자 수행한 연구 결과를 소개하고자 한다.

## 2. 염해 예보시스템 구성

간척 농경지는 담수호를 주수원공으로 하여 담수호의 물을 양수하여 용수간선을 통해 관개지역에 보내고 있다. 염해예보시스템을 활용하여 농업용수 관리를 수립하기 위해서는

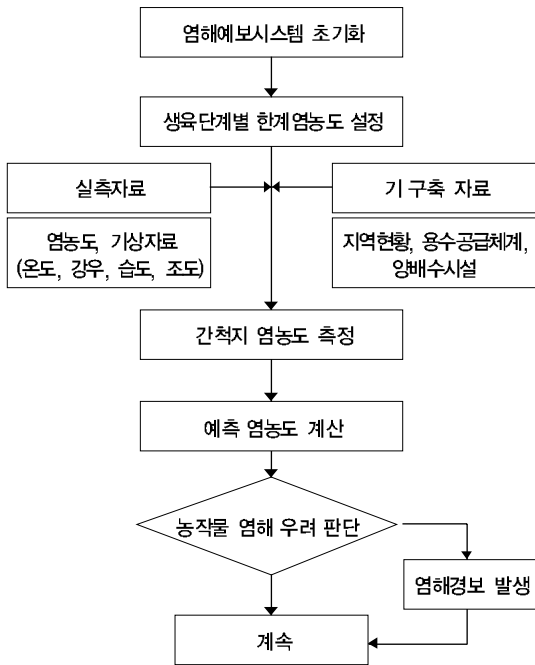


그림 1. 염해 판단 체계

담수호를 중심으로 양수장, 농경지, 용수로 및 배수로 등 주요 지점의 염농도를 측정할 수 있게 구성되어 통합적으로 운영되어야 한다. 또한 염농도에 영향을 미치는 중요 인자인 기상 자료를 실시간적으로 측정되어야 하며 이들 자료들이 상호 연관성 있게 분석되어 현장 관리자에게 의사결정을 할 수 있는 정보를 제공하여야 한다<그림 1>.

이러한 목적을 수행하기 위하여 염해와 관련된 실측자료를 취득하기 위한 시스템들을 현장에 설치하여 간척 농경지 염농도와 제반 환경요소를 관련성을 분석할 수 있고, 시스템의 확장성 및 통합적 자료 관리목적으로 유·무선 통신방식을 활용하여 한 지점에서 집중 관리할 수 있도록 그림 2와 같이 염해예보시스템을 구성하였다.

염해예보시스템은 간척 담수호의 염농도, 환경변수 측정, 분석 및 정보발생 기능을 할 수 있다. 그리고 염해예보시스템을 측정부, 현장제어장치, 전원장치, 통합관리시스템으로 구성하였다. 측정부는 측정할 지점에 센서를 설치되어 염농도와 수온을 자동으로 측정 후 그 값을 현장제어장치에 전송하는 역할을 한다. 현장제어장치는 측정부가 설치된 장소의 지상부에 설치되어 측정된 자료를 자체 기억장치에 저장하거나 원격으로 통합관리시스템에 전송하는 역할을 한다.

전원장치로 태양전지를 이용하거나 주변 전원을 사용할 수 있으며 측정부 및 현장제어장치에 공급하게 된다. 사무실에 설치된 통합관리시스템은 중앙감시 및 분석용 운용프로그램으로 구성되어 현장에 설치된 현장제어장치를 통합·관리하며, 각 기기 상태를 감시하고 측정된 자료를 수집, 저장 관리하는 역할을 한다. 또한 통합관리시스템은 전송된 자료를 저장한 후 통계 처리하여 그 결과를 데이터베이스

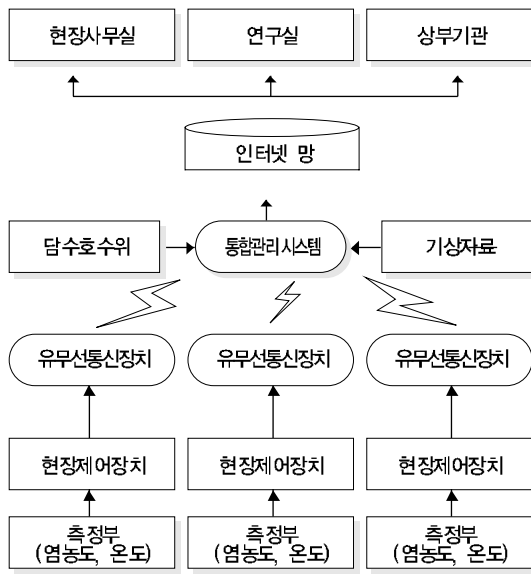


그림 2. 염해 예보시스템 구성도

스화 하며, 이를 인터넷으로 연결된 컴퓨터에 전송해 주고, 그 결과에 따라 담당자가 필요한 조치를 취할 수 있게 한다.

### 3. 염농도 센서 개발

일반적으로 염농도는 매질의 전기전도도를 측정하여 염농도의 지표로 사용한다. 간척 담수호에서 실무담당자들이 염농도를 측정하는 방식도 전기전도도 센서로서 물속에 녹아 있는 염을 uS/cm 단위로 측정한 후 이를 mg/L 단위로 환산하여 염농도로 사용하는 방식을 취하고 있다.

본 연구에서는 전기전도도 센서를 염농도 센서 대체용으로 사용하였으며, 계산식에 의하여 TDS로 변환하여 이를 염농도로 사용하였다. 하지만 염분이 많은 간척담수호의 전기전도도를 고정 설치하여 지속적으로 정밀한 획득을 하기 위해서는 화학적 부식에 안정하며 특별한 전극배열을 가지는 센서의 개발이 필요하였다. 그래서 내부 식성 재질의 합금을

코팅하여 부식에 대한 전극의 내부식성을 향상 시켰고 측정 방식을 4전극방식을 채택하여 측정 자료의 오차를 최소화하였다.

염농도 측정방식 중 2전극은 측정부분(전극)과 전기회로기관 사이의 거리가 단거리일 경우 또는 휴대용으로 현장계측기로 사용할 경우 문제되지 않지만, 같은 장소에서 장기간 사용하거나, 오염이 심한 지역에서 사용할 경우 측정된 전기신호가 신호전달과정에서 또는 전극자체내의 저항변화 등에 의하여 오차가 발생된다. 염해예보시스템이 설치될 장소는 간척 담수호로 하천 및 저수지에 대비하여 수질이 나쁘며 부유물질 농도가 높아 전극표면에 피막이 형성이 쉬워 단시간내 정확도가 떨어지는 장소이다. 또한 염농도가 높기 때문에 염에 의한 전극자체에 손상이 일어난다. 따라서 염해예보시스템은 한 장소에 장기간 측정하는 목적으로 개발되었기 때문에 2전극방식보다 외부 요인에 의한 오차를 최소화할 수 있는 4전극방식이 유리하다.

본 연구에서는 그림 3과 같이 4개 전극단자를 사용하는 4전극방식으로 염농도 센서를 제작하였다. 첫 번째는 출력전극이며, 넷 번째는 입력전극이다. 두 번째와 세 번째 전극은 전극표면에 오염물질에 대한 감도변화 및 물속 부유물질에 의한 오차를 감쇄하기 위한 전기적으로 보상하기 위한 전극이다. 출력전극에 나오는 신호를 두 번째, 세 번째 보상전극에서 입력한 후 다시 출력전극으로 피트백시켜 오차를 줄이도록 한다. 이와 같이 전기적으로 보상하는 방식을 적용함으로써 2전극 방식의 단점을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 회로내부에서 흐르는 전류 및 각종 부품(저항, IC, 코일, 콘덴서)에 의한 전류변화를 보상할 수 있었다. 그림 4는 4전극 방식에 적용된 염농도센서의 구성도이다. 그림 5는 4전극 방식의

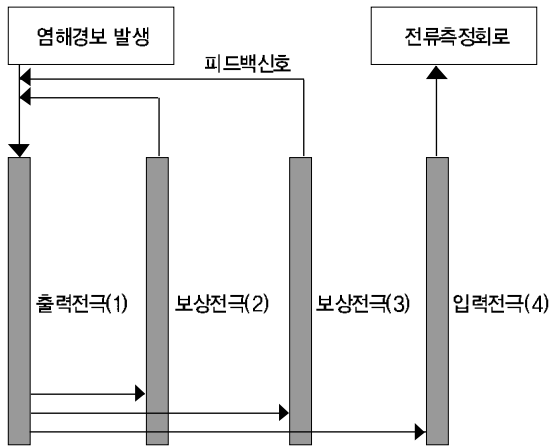


그림 3. 염농도 센서의 전극신호 전달체계

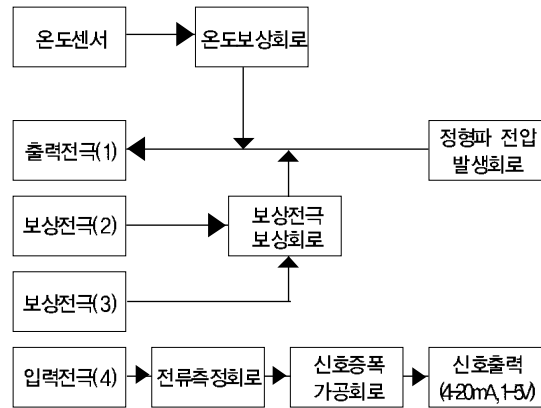


그림 4. 4전극방식 염농도 센서 구성도

로 개발된 염농도 센서의 모식도이며, 그림 6은 제작한 염농도 센서의 사진이다.

#### 4. 현장제어장치

현장제어장치는 일종의 데이터 로거 역할을 하는 것으로 현장에 설치되어 간척 담수호의 염농도, 수위, 온도를 측정하거나 통신을 위한 송수장치제어, 자료저장 및 표시 등 염해예보시스템에서 가장 중요한 부분이다. 따라서 기온이나 습도 변화에 안정적으로 운영되어야 할 뿐만 아니라 사용자 측면에서 쉽게 다룰 수 있도록 제작되어야 한다.

현장제어장치의 기본적인 기능은 측정 자료의 입력, 저장, 통신, 시스템의 전반적인 제어,

센서보정 및 이상여부 판단 등이 있다. 특히 염해예보시스템은 농번기 기간 동안 현장에 설치되어 계속 측정되어야 한다. 이 측정된 자료는 원격전송방식으로 통합관리시스템에 전송되므로 현장제어장치내에 저장할 필요는 없지만 통신장애 등으로 인하여 전송할 수 없는 경우를 대비하여 장치내 메모리에 저장되도록 충분한 메모리가 확보되어야 한다.

또한 염해예보시스템은 현장에 설치되어 있는 관계로 소비전력이 중요한 한 요소이다. 소비전력이 클 경우 고용량의 배터리를 설치해야 할 뿐만 아니라 자주 교체되어야 하는 불편이 있다. 만약 현장 여건상 교류전원을 사용할 수 없을 경우 솔라셀을 설치해야 하는데 소비전력이 클 경우 설치비용이 상당하다. 이러한

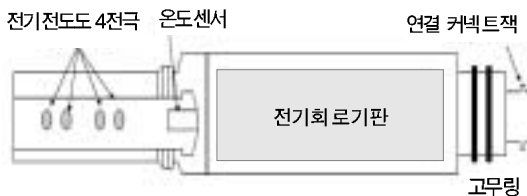


그림 5. 4전극방식 염농도 센서 모식도



그림 6. 4전극 염농도 센서 사진

점을 감안하여 현장제어장치를 기본적인 기능 외에 소비전력 최소화화 및 메모리 확보 기능을 추가하였다.

현장제어장치가 그림 7과 같이 현장 기기를 자동 제어할 수 있는 기능을 갖도록 하기 위하여 ROM, RAM, 마이크로프로세서, I/O, ADC, Timer 등 IC chip 들을 사용하여 제작하였다. 현장제어장치의 내부 모습은 그림 8과 같다.

현장 제어장치의 크기는 450(W)×300(D)×100(H)mm이며 내부에 12V, 1.9Ah 배터리를 내장하였다. 그리고 AC, DC 전원을 사용할 수 있게 전원회로를 추가하였다. 현장 제어 장치의 기본 기능은 다음과 같다.

- 사용자 프로그램을 작성하여 기록할 수 있는 64K 메모리 확보
- 연속 계측자료를 저장 및 분석할 수 있는 64K 내부 메모리와 1M 외부메모리 확보
- 22 bit ADC 4 채널 확보

- 통신포트(시리얼 포트) 2채널 확보
- RTC (real time controller) 내장
- 2 × 20 LCD 보드 제어 기능
- 버튼 스위치로 제어변수 설정기능
- 전원 : DC 9~12V

### 5. 염해 예보시스템 운영 프로그램

염해예보시스템을 운영하기 위한 프로그램은 현장제어장치, 외장 메모리 장치, 통합관리시스템 3가지로 구성되어 있다. 현장제어장치와 외장 메모리 장치 운영프로그램은 PC에서 ANSI C 언어로 작성, 컴파일한 후 각 장치의 내부 메모리에 로딩하여 사용하였으며, 통합관리시스템 운영프로그램은 MySQL, PHP와 Lab\_View 언어를 사용하여 작성하였다.

현장자료를 실시간으로 획득하기 위해서는 시간, 경비, 인적자원 등이 많이 소요되지만 실

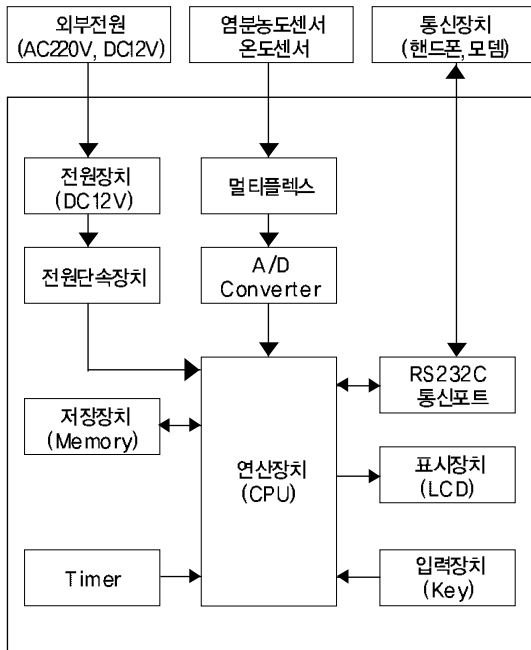


그림 7. 현장 제어장치 구성도



그림 8. 현장 제어장치 사진

시간 자료는 간척 담수호의 물관리 담당자에게 소중한 정보이다. 본 연구의 염해예보시스템은 염농도와 온도를 실시간 감시해야 할 뿐만 아니라 경우에 따라서는 다수의 관련자들이 자료들을 확인할 필요가 있다. 따라서 통합관리시스템은 그림 9와 같이 현장에 설치된 현장제어장치에서 측정된 자료를 실시간 관리용 서버에 해당되는 통합관리시스템에 전송하여 인터넷을 통하여 확인할 수 있는 PC용 운영프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 인터넷 접속으로 장소와 상관없이 자료 확인이 가능하며, 필요시 원격으로 시스템을 제어할 수 있게 하였다. 인터넷 창에서 통합관리시스템 서버 주소를 입력하여 메인프로그램이 실행되면 자료 확인 및 제어하고자 하는 시스템이 선택되어 담당자가 필요한 정보를 얻을 수 있다.

원거리에 설치되어 있는 염해예보시스템의 현장제어장치의 상황을 인터넷망을 통하여 적절히 제어하기 위하여 그림 10과 같은 방법으로 운영하기 위하여 프로그램을 작성하였다. 원격지에 설치된 염농도 및 온도 등 계측자료를 손실 없이 인터넷을 통해 전송할 수 있도록

TCP/IP 프로토콜을 이용하였다.

통합관리시스템에서 현장제어장치를 관리 운영하기 위한 프로그램은 인터넷을 통한 원격제어 및 원격모니터링의 목적으로 3개의 프로그램으로 구성하여 작성하였다.

염해예보시스템의 운영프로그램에서 원격지에서는 인터넷을 통하여 모니터링이 가능하도록 Lab View 언어로 인터넷용 프로그램을 작성하였다. 현장에 설치되어 있는 현장제어장치에서 발생하는 계측자료의 송신과 현장에서 들어오는 제어신호를 수신 제어하는 통합관리시스템의 운영프로그램 순서도는 그림 11이다. 이 프로그램은 염해예보시스템에서 핵심이 되는 프로그램으로 관리자가 관장하게 된다.

일정한 시간마다 자료를 전송 받아 PC상에 저장하고 동시에 Web을 이용한 송출이 가능하도록 데이터베이스 서버에 전송하고 자료 정보를 갱신하도록 하였다. 이는 항상 외부로부터 접속에 대기하고 있는 관리시스템 서버 프로그램으로서 외부에서 원격 관리자의 접속이 있을 시에는 즉각적으로 계측 자료를 전송하도록 하였다.

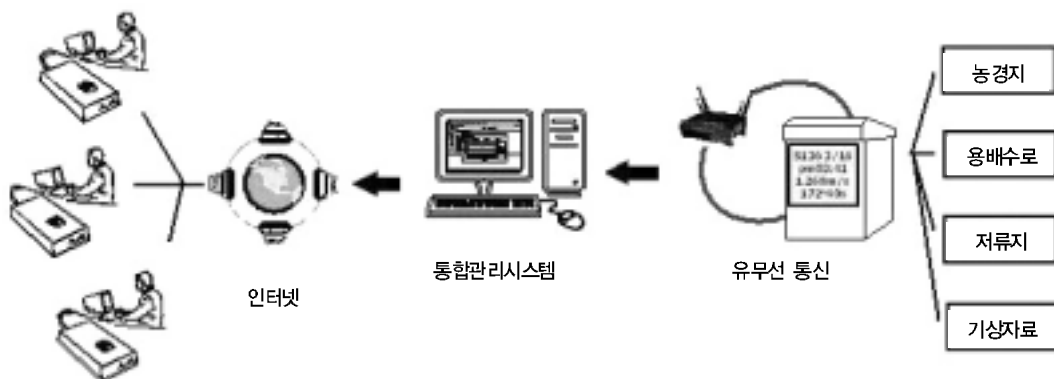


그림 9. 통합관리시스템 기능

## 6. 염농도 예측 프로그램 활용 및 예보 방법

본 시스템에서는 실시간적으로 염농도가 측정되므로 실시간적으로 염농도 예측식을 프로그램적으로 구하게 되어 보다 정확한 염농도 예측이 가능하다. 그러나 간척 담수호의 염농도는 강우정도에 따라 변동되는 경향이 있기 때문에 강우 후 염농도를 예측하기 위해서는 예측용 데이터베이스를 작성하여 구축한 염농도를 이용하여 예측식을 구하고, 염농도를 예측하였다.

위와 같은 방법으로 향후 염농도가 구해지면, 향후 염농도와 한계 염농도를 비교한 결과 한계 염농도가 향후 염농도보다 높으면, 경보를 발생하게 한다. 이 때 경보는 농작물의 피해율에 따라 여러 단계로 나누어지도록 할 수도 있다.

간척 농경지에서 농업용수 공급은 양수장에서 간척담수호를 양수하여 논에 물을 공급하는 방식이다. 비의 염해 예방을 위해서는 일차적

으로 양수장의 가동여부를 결정해야 한다. 따라서 양수장에서 농업용수를 양수하는 지점에 염농도와 온도센서를 설치하고 염농도와 온도값을 현장제어장치에 표시하고 또한 통합관리시스템에 유무선 방식으로 자료를 전송하게 한다. 양수장 관리자가 통합관리시스템 또는 현장제어장치에 표시된 염농도와 비생육 피해율을 통하여 양수장 가동여부를 결정하게 된다. 그림 12은 염농도와 피해율의 상관관계식을 활용하여 염해예보장치의 순서도이다. 우선 실시간적으로 양수장의 염농도를 측정하고 비 생육 시기와 그에 따른 한계농도를 계산하여 피해율을 프로그램적으로 계산하여 염해예보를 경고할 수 있게 하였다.

## 7. 맺는말

봄가뭄이 심한 해나 잘못된 물관리로 인하여 간헐적으로 염해 사례가 발생되고 있으며 이들 지역에서는 농민과 관리 주체들간의 분쟁의 소지가 되고 있다. 앞으로 한밭이나 수문(배수갑

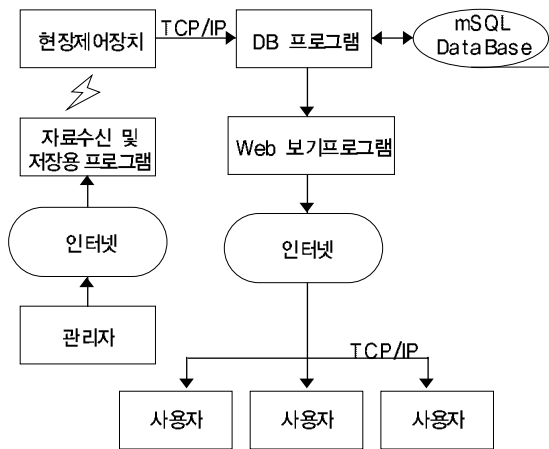


그림 10. 통합관리시스템 운영프로그램 구성 및 기능

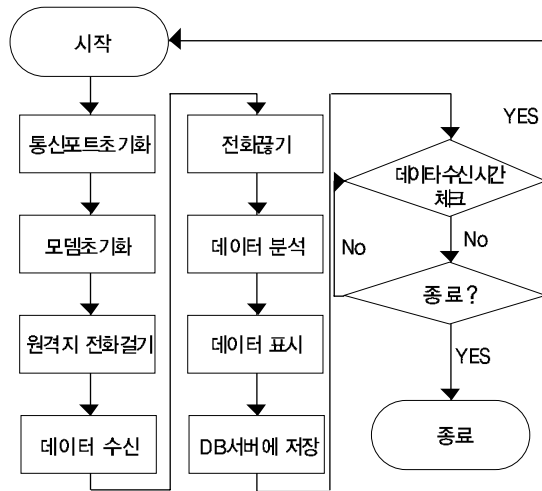


그림 11. 자료송수신 및 저장을 위한 통합관리시스템 운영프로그램 순서도

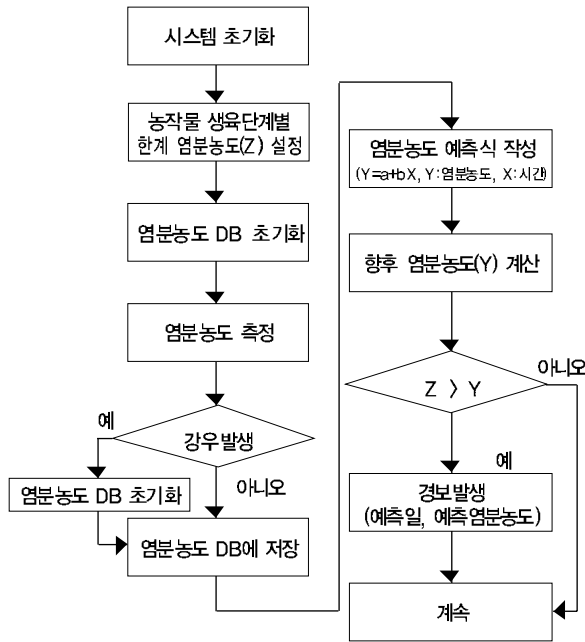


그림 12. 염농도 예측과 경보발생방법

문)조작의 불량이나 시설물 노후로 인해 발생되는 염분에 의한 농작물피해의 사전 예방을 위해서는 과학적인 물관리 프로그램과 관리시스템이 필요하다.

본 연구에서 개발된 시스템이 염해우려지구 또는 발생된 지구에 시범적으로 설치, 운영되어 가능성이 검증되고 이후 확대 보급 된다면 우리나라 간척 농지의 안정적 영농에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**참고문헌**

1. 농림부·농업기반공사, 2000, 2000농업용수수질 측정망조사 보고서(연도별수질성적)편.
2. 농림수산부 농어촌진흥공사, 1995, 서남해안간척사원조사 종합보고서.
3. 농어촌진흥공사, 1997, 물(水)2000년-담수호의 효율적인 관리와 수계환경.
4. 농어촌진흥공사, 1998, 간척지 제염방법개선에 의한 발작물 재배기술 개발에 관한연구.
5. 농업기반공사, 2004, 2004 기반조성 사업현황.
6. 농촌진흥청 호남농업시험장, 2001, 작물별 기상 재해와 대책.
7. 농촌진흥청 호남농업시험장, 2001, 호남지역 벼재배요령.
8. 농촌진흥청 호남농업시험장, 2002, 한국의 간척지농업.
9. 농촌진흥청, 2000, 농업기상재해 대책.
10. 류순호 외, 2000, 전기전도도:토양사전, 서울개출판부, p.302.
11. James J. Brophy, 1991, Basic Electronics for scientists 5th ed.
12. McGraw-HillMitchell, B. W., 1983, Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences, 2nd ed., Americal Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan.
13. OrCad/SDT III, Release 3.02, OrCAD System Co.
14. Punidadas P., Decloux M, Trystram G., 1991, Computer control of a cross flow microfiltration pilot plant, Food-Control, 2(3), pp.152-161.
15. Sumer, M.E. 1999, Handbook of Soil Science, CRC.

본 연구는 2004년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.