

최 중
연구 보고서

간척담수호의 염해예보시스템 개발 연구
A Research for the Salt Damage Prediction
System Development of the Fresh Water
Reservoir at the Reclaimed Tideland

연구기관
농업기반공사

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “간척담수호의 염해예보시스템 개발 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 8월 일

주관연구기관명 : 농업기반공사

총괄연구책임자 : 김 경 만

세부연구책임자 : 이 승 현

세부연구책임자 : 이 상 수

연 구 원 : 김 이 부

연 구 원 : 이 복 자

참 여 기 업 : (주)창민테크

연 구 원 : 김 경 진

연 구 원 : 정 하 영

요 약 문

I. 제 목 : 간척 담수호의 염해예보시스템 개발 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1980년대 들어서는 주곡자급이 어느 정도 달성되면서 인위적인 환경변화에 대한 부정적 시각이 대두되고 담수호 수질오염이 발생하는 등 대규모 간척사업 추진이 점차 어려워지고 있지만, 2003년말 기준으로 188개 지구, 76천 ha는 준공되었고 14개 지구, 59천 ha는 시행 중에 있다.

넓은 간척 농경지를 효율적으로 이용하기 위해서는 염농도를 조기에 경제적으로 제염화하는 것이 최우선과제이다. 그러나 숙답된 간척지에서도 간척토양의 이화학적 특성이나 기상조건에 따라 효율적인 물 관리 방법을 통해 농작물에 대한 염해를 사전에 예방할 필요가 있다. 하지만 이제까지 관행적으로 행해지는 수량위주의 물 관리로 인해 최근 전남의 한 간척지에서 염해피해가 발생하였다. 그 원인은 아직 규명되지 않았지만 담수호의 염분농도가 상승한 상태에서 담수호 관개수를 그대로 농경지에 관개했기 때문이다. 뿐만 아니라 농업지도기관에서는 관개수 염도상승에 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 지정하더라도 공급위주로 농업용수를 관리하고 있어 수질 특히 염분을 고려한 물 관리는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 가뭄 또는 배수갑문에 의하여 용수의 농도가 상승되더라도 농민의 요구나 관행적인 용수 공급으로 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, 토양관리방법등과 생육시기에 따른 비의 한계농도 설정 등인데, 이러한 연구들이 실제 간척지의 비 품종선정 등에는 도움을 주고는 있지만, 하구나 간척지

에서 배수갑문의 오동작 또는 조수의 영향을 받아, 해수가 유입된 용수나, 지하 대수층의 염기가 있는 물을 관개하여 염해를 입는 경우, 농민들은 막대한 피해를 입게 된다.

본 연구에서는 간척담수호를 포함한 해안 저지대의 농업용수원을 이용하여 농작물을 재배할 때 발생할 수 있는 염해를 사전에 예방함과 동시에 최소화를 위한 염해예보시스템을 구축하여 간척 담수호의 농업용수에 대한 효율적인 이용을 통하여 염해를 극복하고자 하는데 있다.

Ⅲ. 연구개발의 목표 및 내용

본 연구는 간척 담수호 대상으로 농지내 농작물에 대한 염해를 사전에 예방하기 위하여 간척지 농업환경특성을 분석하고, 환경에 적합한 염해예보시스템을 개발하고자 한다. 염해우려지구 또는 염해발생지구 중 시범 대상지역을 선정하여 간척 농경지 농업환경 특성조사와 염농도 변화 등 제반환경을 분석하고 환수에 따른 용수와 토양의 모니터링을 통한 염해를 예방할 수 있는 물관리 방안과 염해예보시스템 적용을 위한 변수 도출하여 이를 염농도 예측 및 활용할 수 있게 한다. 또한 간척 담수호의 환경변수를 실시간 측정하는 모니터링 시스템을 구축하여 인터넷 망으로 실수요자(농민, 물관리담당자)에게 염농도에 대한 정보를 제공하여 염해에 대한 사전 조치가 가능하도록 구성하고자 한다.

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

본 연구는 염해를 예방하기 위한 방안으로 간척 담수호의 물관리 방법, 토양 특성을 고려한 환수주기 및 방법, 한계 염농도 설정에 관하여 조사를 실시하였다. 또한 염해에 직접적인 영향을 주는 염농도와 제반 환경요소를 실시간 모니터링을 위한 염해예보시스템의 하드웨어와 프로그램을 개발하였다.

- 현재 건설된 담수호는 14개소이며 총 저수량은 약 21억톤에 달하고, 담수호로부터 관개면적 및 계획 면적은 약 183천ha에 이른다. 이는 전체 논면적의 약 14%에 달하며, 현재 관개면적의 약 20%에 이르며 농업용수원으로 중요한 비중을 차지하고 있다.

- 담수호 수질 특징은 염농도의 경우 담수호별로 매우 편차가 크지만 육지부 저수지에 비하여 3배에서 40배정도 높게 나타나고 있고, Ca와 Mg에 대한 상대적인 Na 지표인 SAR 값이 육지부 저수지에 비하여 매우 높게 나타나고 있어 염해의 우려가 상존하고 있다.

- 농업기반공사가 관리하는 서남해안에 간척지구나 해안 저지대중 염해우려가 있는 지구를 선정하여 특별 관리하고 있는데 그 지구별 유형은 크게 중·대규모간척개발지구, 육지부 용수원 이용지구, 담수호 용수원 재이용지구, 해수유입 방지 지구등으로 4가지의 유형으로 구분할 수 있다. 유형마다 각각 염농도 변화 특징을 가지고 있지만 대체적으로 육지부 농업용수원보다 상당히 높은 염농도 값을 나타냈으며, 특히 갈수기가 강우기보다 5배 이상 높았으며, 한계 염농도 0.3% 이상인 시기도 있어 염해 대비책이 마련되어야 한다.

- 간척지 수도재배 생육 단계별 염분농도 한계 설정시험에서 분얼기에 건물중은 4000 mg/L, 분얼수는 2000 mg/L에서 부터 통계적으로 유의하였고, 유수발육기와 등숙기에 건물중은 각각 4000 mg/L과 3000 mg/L에서부터 통계적으로 유의하였다. 전반적으로 지상부의 생육이 지하부의 생육보다 민감한 반응을 보였다.

- 우리나라 간척지 토양의 이화학적 특성을 가진 토양에 대하여 환수주기와 방법을 달리하여 제염효과를 검토한 결과, 벼가 자랄 수 있는 한계 염농도는 0.3%를 기준으로 평가할 때 토양 염류도에 따라 한계농도에 도달하는 기간이 상이하므로 토양 염류도에 따라서 환수주기도 각각 다르게 설정되어야 할 것

이며, 담수 후 지속적인 모니터링을 통해 적정 환수시점을 설정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

- 염농도 센서는 전기전도도 측정원리를 응용하여 개발하였다. 염농도 센서는 온도에 영향을 받기 때문에 염농도 센서에 온도보상회로를 첨가하면서 두 항목을 함께 측정할 수 있도록 하였다. 센서의 측정범위는 정밀도를 높게 하고자 출력전극과 입력전극 외에 2개의 보상전극을 추가한 4전극방식으로 개발하였다. 그리고 센서의 정확도를 높이기 위하여 정형파 발생회로, Isolation회로, 노이즈 제거회로를 추가하였으며, 측정범위는 0~28,000 mg/L이며 정밀도는 $\pm 0.5\%$ 이다. 그리고 온도센서는 Pt100으로 제작하였으며 측정범위는 $-20\sim 50$ °C로 하였다. 정밀도는 $\pm 0.1\%$ 이다. 센서와 현장제어장치의 거리가 100m이상인 경우를 대비하여 센서의 출력신호를 4~20mA로 하였다.

- 수심에 대한 염농도 성층화에 대비하여 수심별 염농도를 측정할 수 있도록 센서 조합이 가능한 다점방식 염농도 장치를 개발하여 한 대의 현장제어장치로 최대 4개 지점 동시 측정이 가능하게 하였다. 이를 이용하여 수심별 염농도 자료를 취득할 수 있었다.

- 현장제어장치는 자료측정, 저장, 전송, 측정시간설정, 센서교정 등을 할 수 있게 MSC1210 CPU를 사용하여 제작하였다. 22비트 8개 센서입력 채널을 확보하였으며, 노트북 통신과 모뎀 통신을 위하여 통신포트를 설치하였다. 전원 절약의 한 방법인 Sleep mode를 적용하였다. 측정시에는 현장제어장치에 자동적으로 전원을 투입되어 측정하고 대기시간은 Sleep mode로 자동 전환되게 하였다.

- 염해예보시스템을 운영하기 위한 프로그램은 현장제어장치, 외장 메모리 장치, 통합관리시스템 3가지로 구성하였다. 현장제어장치와 외장 메모리 장치 운영프로그램은 PC에서 ANSI C 언어로 작성, 컴파일한 후 각 장치의 내부 메

모리에 로딩하여 사용하였으며, 측정시간설정, 측정자료보기, 자료다운받기 등을 할 수 있게 하였다. 또한 원격지에 설치된 염농도 및 온도 등 계측자료를 손실 없이 인터넷을 통하여 자료 검색을 할 수 있도록 통합관리시스템의 운영 프로그램을 PHP와 Lab View 언어로 작성하였다.

2. 활용방안

- 본 연구에서 개발된 염해예보시스템의 실용화를 촉진하기 위하여 염해우려지구인 부사지구(부사호), 서산지구(간월호), 미포지구에 설치하여 현장 시운전 중에 있으며, 앞으로 염농도 추이분석을 통하여 염해를 사전에 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구과제와 관련하여 특허출원을 실시하였으며, 간척 담수호의 염농도 자동측정과 염해예방을 위한 시스템으로 적극 활용토록 한다.

- 특허출원 (2건)

4전극 다점 염농도 측정장치

(출원번호: 10-2004-00538603, 2004. 7)

염해예보 및 물관리 장치와 염해예보 및 물관리 방법

(출원번호 : 10-2005-0062913, 2005. 7.)

Summary

I. Title : A research for the salt damage prediction system development of the fresh water reservoir at the reclaimed tideland

II. Purpose and necessity of research

After 1980's, there can be rice foodstuff self-sufficiency and environment problem is issued socially. So it is very difficult to develop large-scale reclaimed tideland project. But as of the end of 2003, 76,000 ha out of total scheduled area (157,000 ha) were constructed; 5,9000 ha are under construction.

The first work is economical desalinization for effective use of large scale reclaimed tideland, and in addition, after desalinization it is necessary to set up prevention for salt damage through useful water management. Because of conventional water supply management, it happened occasionally salt damage at Jeon-Nam province. The cause, which is uncertain, is salt concentration increasing of the fresh water reservoir at the reclaimed tideland. Nowadays, government makes a selection, a classification and a special management for 58 salt damage concern area. In spite of special management, The management considered water quality, specially salt concentration, is not thoroughgoing enough.

So crop damages happened sometimes because of conventional water supply and demand of farmers despite of increasing salt concentration and then government makes some actions after the problems.

Current studies of prevention and countermeasure for crop salt damage are mainly progressing for development of a better salt tolerant breed of rice, techniques of fertilizer application and soil management, and the experiment of marginal salt concentration establishment at the paddy rice growing stage. However, if high salt water through mis-operating of

drainage sluice gate is irrigated at paddy field, the damage is very severe to farmers.

The purpose of this study is to establish the salt damage prediction system for prevention and minimization of salt damage when paddy rice is cultivated at reclaimed tideland and irrigated from the their reservoir as water source.

III. Objectives and contents of research

In this study, it was intended to analysis the characteristics of agro-environment at reclaimed tideland and to develop the salt damage prediction system for prevention from salt damage at the fresh water reservoir at the reclaimed tideland.

It is conducted to select case study area of salt damage concern areas, to analysis agro-environment facts and to monitor water and soil salt concentration as water ponding condition. By means of those studies, we found water management techniques for prevent from salt damage and derived factors which are necessary to apply to the salt damage prediction system and at the same time the system is composed to set up real time monitoring system of environmental factors from the fresh water reservoir to supply information of salt concentration to the demander(manager and farmer, etc.) for the action in advance.

IV. Results of research and recommendation for application

1. Results of research

For the prevention from salt damage, the field survey and pot experiment were conducted about water management of the fresh water reservoir at the reclaimed tideland, desalinization effect of saline-sodic soils

as water ponding condition, and the experiment of marginal salt concentration establishment at the paddy rice growing stage. Hardware and programs for the salt damage prediction system were developed and the system can do real time monitoring for the salt concentration and related environmental factors.

- As of the end of 2003, the 14 fresh water reservoirs at the reclaimed tideland were developed and their water storage is about 2.1 billion m³ and covered 183,000 ha as irrigation water supply areas. So the fresh water reservoirs which covered 14% of total rice paddy area and 20% of total irrigated rice paddy area respectively, are one of the main agriculture water supply sources.

- Salt concentration of the fresh water reservoirs distributed broadly, but their concentration is higher than that of inner agricultural reservoirs about 3 to 40 times and SAR as ratio of relative Na to Mg and Ca, is very high. So there is always concern of salt damage at the fresh water reservoirs in the reclaimed tideland.

- Karico takes a special management for salt damage concern area which located at southwest coast and reclaimed tideland. The concern areas were classified as 4 types; 1) mid-large scale reclaimed project area, 2) area of water supplied from inland source, 3) area of water reuse of the fresh water reservoirs and, 4) seawater intrusion prevention area. In general, the water salt concentration of salt damage concern area is higher than that of inner agricultural reservoirs. So it is necessary to set up prevention of salt damage.

- At the study which was conducted to investigate the paddy rice growth response of the irrigation water salinity, there are statistical significant from the 4000 mg/L for dry matter and the 2000 mg/L for the number of tillers at the tillering stage, and from the 4000 mg/L and 3000 mg/L for dry matter at the panicle development and ripe stage, respectively. In general, shoot growth is more sensitive than that of root.

- We carried out to obtain the desalinization effect of saline-sodic soils as water ponding condition. The result of drained water analysis was that water salinity increased as increasing refresh periods. In general, Ca and Mg ions of drained water were less soluble than Na ions, so SAR values were decreased. The results of soil analysis after experiment were similar to water analysis. It was concluded that the time reaching the limiting salinity was different as the soil salinity so it is necessary to determine a refresh time as soil conditions.

- Salinity sensor was developed, which made a application of electrical conductivity. Because temperature effects on the sensor, the sensor was installed with temperature compensation circuit. So salinity and temperature were measured at the same time. For increasing precision, 2 compensation probes was added between the input and output probes. And for increasing accuracy, rectified wave generation circuit, isolation circuit and noise elimination circuit were installed. Salinity was ranged from 0 to 28,000 mg/L and its precision was $\pm 0.5\%$. Temperature sensor was made of Pt100 and ranged from -20 to 50 °C and its precision was $\pm 0.1\%$. Out signal range from 4 to 20 mA to meet more than 100m distance.

- Multi-point sensor was developed for correspondence with water

stratification. With this single sensor, data in depth were acquired.

- Field control unit with which it can be done measuring, saving, and transferring data, and setting measuring time, and sensor calibration, made with MSC1210 CPU. 8 sensor input channels of 22 bits and communication port for notebook and modem were equipped. Sleep mode was applied for saving electric power. For measuring time, electric power automatically was supplied and For waiting time, electric power automatically was operated on sleep mode.

- The programs for operating salt damage prediction system consists of three units: field control unit, exterior memory unit, and integrated management unit. Operating programs of field control and exterior memory unit were written in ANSI C language at the PC. After compiling, operating programs, which can do setting time and displaying and downloading measured data, were loaded to interior memory. Operating programs of integrated management unit were written in PHP and Lab View language for the purpose of perfect searching through internet network without losing data, which are measured from sensors setting at the long distance, for example salt concentration and temperature.

2. Plan of Utilization of the results

- This System was installed at Lake Busa, Ganwol and Mipo. We have acquired salinity, temperature and weather conditions. After this system will be improved, its stability, corrections and precision will be complemented. We are now applying for a patent. This system may be widely applied to establish the salt damage prediction of the fresh water reservoir at the reclaimed tideland

- Two patent pending
 - Multipoint salinity measuring sensor with four electrodes.
(No.: 10-2004-00538603, 2004. 7)
 - Equipment and technique for salt damage prediction and water management
(No.: 10-2005-0062913, 2005. 7.)

CONTENT

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Objectives of Research	1
Section 2. Necessity of Research	2
Section 3. Scopes of Research	5
Section 4. Status of Technological development in domestic & abroad	7
Section 5. Period and Researcher	9
Chapter 2. The characteristics of agro-environment at reclaimed tideland ..	9
Section 1. The state of reclaimed tideland and its fresh water reservoir	9
Section 2. The irrigation and drainage facilities and water management of the fresh water reservoir	19
Section 3. the characteristics of reclaimed agricultural land and water management ..	21
Chapter 3. Survey of the characteristics at the salt damage concern area ..	35
Chapter 4. The phyco-chemical properties of reclaimed agricultural land and the experiment of marginal salt concentration establishment at the paddy rice growing stage	40
Section 1. Survey of the characteristics at the reclaimed agricultural land	40
Section 2. the experiment of marginal salt concentration establishment at the paddy rice growing stage	45
Chapter 5. The technique of water management for prevention of salt damage at reclaimed tideland	57
Section 1. Desalinization effect of saline-sodic soils as water ponding condition ..	57

Section 2. The technique of water management for prevention of salt damage	67
Chapter 6. Manufacture of prediction system for the salt damage	73
Section 1. Structure	73
Section 2. Salinity sensor	76
Section 3. Temperature sensor	93
Section 4. Multi channel measuring system	95
Section 5. Field controller	97
Chapter 7. Operating program and using method	110
Section 1. Operating program of field controller	110
Section 2. Sensor correction method	123
Section 3. Manufacture of sever computer	127
Section 4. Prediction technique of salinity	134
Chapter 8. Field test	144
Section 1. Lake Busa	145
Section 2. Lake Ganweol	150
Section 3. Lake Mipo	155
Chapter 9. Conclusion	160
Chapter 10. References	164
Appendix 1. User manual	
Appendix 2. Drawings	
Appendix 3. Circuits	

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발의 목적	1
제 2 절 연구개발의 필요성	2
1. 기술적 측면	2
2. 경제·산업적 측면	4
3. 사회·문화적 측면	5
제 3 절 연구개발의 범위	5
제 4 절 국내외 기술개발 현황 및 문제점	7
제 5 절 연구기간 및 참여연구원	9
1. 연구기간	9
2. 연구책임자	9
3. 분야별 참여연구원	9
제 2 장 간척지 농업환경특성 분석	9
제 1 절 간척 및 간척담수호 현황	9
1. 간척 현황	10
2. 간척담수호 현황 및 용수 특성	17
제 2 절 간척담수호의 수리 시설 및 용수관리	19
1. 시설물의 유지관리	20
2. 수자원 관리	20
3. 수질관리	21
제 3 절 간척지의 특성 및 간척농지의 물관리 특성	21
1. 간척지 토양의 일반적 특성과 문제점	21
2. 간척논의 분류	28
3. 간척지 농업용수 수질의 특성	32

제 3 장 염해우려지구 지역 특성 조사	35
1. 중·대규모간척개발지구	36
2. 육지부 용수원 이용지구	36
3. 담수호 용수원 재이용지구	36
4. 해수유입 방지 지구	36
제 4 장 간척농지 이화학적 특성 및 수도 생육 단계별 한계 염농도 설정	40
제 1 절 간척농지의 이화학적 특성 조사	40
제 2 절 수도 생육 단계별 한계 염농도 설정 시험	45
1. 개요	45
2. 시험방법	45
3. 시험결과	47
4. 수도 생육 단계별 염농도 한계	54
제 5 장 간척지 염해 예방을 위한 물관리 방법	57
제 1 절 담수조건에 따른 염류 토양의 제염 효과	57
1. 개요	57
2. 시험방법	57
3. 시험결과	59
제 2 절 간척지 염해 예방을 위한 물관리 방법	67
1. 일반논에서의 본답 물관리	67
2. 간척논에서의 물관리 방법	71
제 6 장 염해예보시스템 설계 및 구축	73
제 1 절 염해예보시스템 구성	73
제 2 절 염농도 센서	76
1. 측정방식	76
2. 염농도 센서	80

제 3 절 온도센서	93
제 4 절 다채널 측정장치	95
제 5 절 현장제어장치	97
1. 데이터 저장방식	98
2. 센서신호처리	100
3. 아날로그 분해능	102
4. 표시부와 입력부	103
5. 자료송수신 장치	104
6. 외장메모리 장치	106
제 7 장 염해예보시스템 운영방법	110
제 1 절 현장제어장치 운영프로그램	110
1. 운영프로그램 작성방법	110
2. 초기화 프로그램과 주 프로그램	111
3. 입력 키 사용방법	115
4. 측정방법	117
5. 외장메모리 자료저장 및 다운로드	117
6. 원격 무선통신	121
제 2 절 센서교정 및 저장시간 변경	123
1. 염농도센서 교정	125
2. 온도센서 교정	126
3. 저장시간 설정	127
제 3 절 통합관리시스템 설계 및 제작	127
1. 통합관리시스템 기능 및 특징	127
2. 통합관리시스템의 운영프로그램	128
제 4 절 염농도 예측을 위한 모형식 도출	134
1. 염농도의 변화요인	134
2. 직선회귀식 도출방법	137

3. 염분농도 예측 프로그램 활용	142
제 8 장 염해예보시스템 현장 활용	144
제 1 절 부사지구	145
1. 부사지구내 유역 및 수질현황	145
2. 환경조건에 따른 염농도변화	147
3. 현장설치	149
제 2 절 간월호	150
1. 지구내 유역 및 염농도 변화	150
2. 현장설치	152
제 3 절 미포지구	155
제 9 장 요약 및 결론	160
제 10 장 참고문헌	164

표 목 차

(표 1-1) 간척논의 염해 피해 사례지구	3
(표 2-1) 간척사업 추진 현황	11
(표 2-2) 간척사업 준공지구 현황	11
(표 2-3) 간척사업 시행중 지구 현황	13
(표 2-4) 서남해안 간척지와 하해혼성평탄지의 토성별 분포와 논이용 비율	14
(표 2-5) 지형도와 토양도로 추정한 간척면적	15
(표 2-6) 농지조성 목적 이외의 간척지 개발 추정면적	16
(표 2-7) 우리나라 담수호 현황	18
(표 2-8) 담수호 수질 현황	19
(표 2-9) 간척지 토양의 토성별 분포	22
(표 2-10) 간척지 대표 토양의 물리적 성질	26
(표 2-11) 간척지 대표 토양의 화학적 성질	27
(표 2-12) 간척지 토양의 분류	28
(표 2-13) 해안평탄지형에 분포하는 토양통 및 분포면적	31
(표 2-14) 간척지와 일반 농경지 농업용수의 수질	33
(표 3-1) 간척 농경지의 염해우려지구	35
(표 4-1) 지구별 토양의 입도분포	41
(표 4-2) 지구별 토양의 산도, 유기물, 전질소, 유효인산 함량 분포	42
(표 4-3) 지구별 토양의 염농도 및 수용성 양이온 분포	43
(표 4-4) 경작년수에 따른 토양염농도(ECe) 변화	43
(표 4-5) 시험포장 토양의 물리적 특성	46
(표 4-6) 시험포장 토양의 화학적 특성	46
(표 4-7) 생육단계별, 염농도 처리별 통계처리결과	56
(표 5-1) 실험에 사용한 공시토양의 토성	58
(표 5-2) 실험에 사용한 공시토양의 화학성	59
(표 5-3) 시험후 표면수의 화학성	65

(표 5-4) 시험후 토양의 화학성	66
(표 6-1) 셀상수와 측정범위	78
(표 6-2) TDS와 전기전도도의 상관관계	80
(표 6-3) 측정자료를 저장하는데 필요한 바이트수	100
(표 6-4) 22비트 ADC의 분해능	103
(표 7-1) 키 사용방법	116
(표 7-2) 컴퓨터로 수신되는 명령어	120
(표 7-3) 실시간으로 측정된 염농도자료	138
(표 7-4) 실측값과 예측값의 비교	140
(표 7-5) 실시간 계산된 직선회귀식	141
(표 8-1) 부사담수호의 수질조사 결과	147
(표 8-2) 간월호 염농도 변화	153
(표 8-3) 간월호 수심별 염농도(배수갑문 2004. 7. 23))	153

그 립 목 차

<그림 2-1> 간척지 토양의 토양 Catena	23
<그림 2-2> 간척지 토양의 형태적 특성	24
<그림 2-3> 간척지와 일반 농업지 농업용수 중 EC와 SAR의 관계	33
<그림 3-1> 손불지구 저류지	37
<그림 3-2> 손불지구 염농도변화	37
<그림 3-3> 미포지구 저유지와 저수지	38
<그림 3-4> 미포지구 염농도변화	38
<그림 3-5> 군남지구 배수로와 지천	39
<그림 3-6> 군남지구 염농도변화	39
<그림 4-1> 경작년수에 따른 토양 염농도 추정	44
<그림 4-2> 간척년도별 토양염농도의 변화	45
<그림 4-3> 시험포장의 수도재배 전경(분얼기)	47
<그림 4-4> 분얼기 염수처리에 따른 초장 변화	48
<그림 4-5> 분얼기 염수처리에 따른 수도생육 사진	48
<그림 4-6> 분얼기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 길이 및 분얼수	49
<그림 4-7> 분얼기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 및 총 건물중	49
<그림 4-8> 유수발육기 염수처리에 따른 초장 변화	51
<그림 4-9> 유수발육기 염수처리에 따른 수도생육 사진	51
<그림 4-10> 유수발육기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 길이 및 분얼수	52
<그림 4-11> 유수발육기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 및 총 건물중	52
<그림 4-12> 등숙기 염수처리에 따른 초장 변화	53
<그림 4-13> 등숙기 염수처리에 따른 수도생육 사진	53
<그림 4-14> 등숙기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 길이 및 분얼수	55
<그림 4-15> 등숙기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 및 총 건물중	55
<그림 5-1> 저농도 토양에서의 염농도 변화	60

<그림 5-2> 중농도 토양에서의 염농도 변화	60
<그림 5-3> 고농도 토양에서의 염농도 변화	61
<그림 5-4> 저농도 토양에서의 증발량을 고려한 염농도 변화 예측치	62
<그림 5-5> 중농도 토양에서의 증발량을 고려한 염농도 변화 예측치	62
<그림 5-6> 고농도 토양에서의 증발량을 고려한 염농도 변화 예측치	63
<그림 6-1> 염해예보시스템 체계도	74
<그림 6-2> 염해예보시스템 구성도	75
<그림 6-3> 염농도 센서의 전극신호전달체계	82
<그림 6-4> 4전극방식 염농도 센서 구성도	82
<그림 6-5> 4전극방식 염농도 센서 모식도	83
<그림 6-6> 4전극 염농도센서 사진	83
<그림 6-7> 염농도 센서에 사용된 출력신호파형	83
<그림 6-8> 정형파 발생회로도	84
<그림 6-9> 보상전극에 의한 출력전압변화	85
<그림 6-10> 염도센서의 보상회로도	86
<그림 6-11> 온도보상회로도	87
<그림 6-12> 센서출력신호 처리과정	88
<그림 6-13> 센서출력신호 처리회로도	88
<그림 6-14> 센서회로내 노이즈제거 회로	89
<그림 6-15> 4~20mA 전류변환회로도	90
<그림 6-16> 염농도센서의 버퍼회로	91
<그림 6-17> 염농도센서의 Isolation 구성도	92
<그림 6-18> 염농도센서의 Isolation 회로도	92
<그림 6-19> 온도센서 회로도	94
<그림 6-20> 수온측정용 온도센서	94
<그림 6-21> 보상용 온도센서	94
<그림 6-22> 다채널 측정장치	96
<그림 6-23> 다채널 측정장치에 연결한 염농도와 온도센서	96

<그림 6-24> 현장제어장치 구성도	98
<그림 6-25> 현장제어장치 사진	99
<그림 6-26> 측정자료 저장방식	101
<그림 6-27> 자료처리장치내 전류-전압신호 변환회로도	102
<그림 6-28> 현장제어장치내 LCD 회로도	104
<그림 6-29> 현장제어장치내부 키입력 회로도	105
<그림 6-30> 자료처리장치내부 시리얼통신 회로도	107
<그림 6-31> 현장제어장치 통신포트 구성도	107
<그림 6-32> 외장메모리 장치의 구성도	109
<그림 6-33> 외장메모리 장치 사진	109
<그림 7-1> 운영프로그램 Loading과 자료전송기능 전환회로도	112
<그림 7-2> 현장제어장치 운영프로그램 순서도	112
<그림 7-3> Auto Change Mode 순서도	113
<그림 7-4> Manual Change Mode 순서도	114
<그림 7-5> Auxiliary Function Mode 순서도	115
<그림 7-6> 현장제어장치와 외장메모리 장치간의 통신방법	118
<그림 7-7> 외장메모리장치에 전송되는 자료포맷	119
<그림 7-8> 컴퓨터로부터 수신되는 명령어 포맷	121
<그림 7-9> 자료요청시 컴퓨터에 전송되는 자료포맷	121
<그림 7-10> 핸드폰과 통합관리시스템간의 통신연결 순서도	122
<그림 7-11> 핸드폰과 통합관리시스템간의 통신차단 순서도	123
<그림 7-12> 통합관리시스템 기능	128
<그림 7-13> 통합관리시스템 운영프로그램 구성 및 기능	129
<그림 7-14> 자료송수신 및 저장을 위한 통합관리시스템 운영프로그램 순서도	130
<그림 7-15> 자료송수신 및 저장을 위한 통합관리시스템 운영프로그램의 화면	131
<그림 7-16> Web 보기 프로그램의 역할	132
<그림 7-17> Web 환경하에서 실행된 화면	132
<그림 7-19> 데이터베이스 프로그램순서도와 화면	133

<그림 7-20> 년중 염농도의 변화추이	135
<그림 7-21> 간척담수호의 염농도변화	136
<그림 7-22> 간척담수호의 수온온도변화곡선	136
<그림 7-23> 염분농도예측과 경보발생방법	143
<그림 8-1> 염해예보시스템 현장 설치도	144
<그림 8-2> 부사지구내 소항양수장과 취입수문 위치	146
<그림 8-3> 부사담수호의 염농도와 강우량	148
<그림 8-4> 부사담수호의 염농도와 수위	148
<그림 8-5> 부사담수호의 심도별 염농도변화	149
<그림 8-6> 부사담수호 취수문	150
<그림 8-7> 부사담수호의 염농도변화	151
<그림 8-8> 서산A지구(간월호) 위치도	151
<그림 8-9> 기산양수장 염해예보시스템 설치	153
<그림 8-10> 기산양수장 취수문 염농도변화	154
<그림 8-11> 기산양수장 입구 염농도변화	155
<그림 8-12> 간월양수장 염해예보시스템 설치	157
<그림 8-13> 간월양수장 염농도변화	157
<그림 8-14> 미포지구 저유지와 저수지 염농도변화	158
<그림 8-15> 미포지구 염해예보시스템 설치	159
<그림 8-16> 미포지구 염농도변화	159

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

우리나라 서·남해안에 분포된 간척지는 수력에 의하여 운반된 모래가 해안 평탄지에 축적되거나, 조수에 의해 해안이 침식되어 풍화된 모래가 해안을 따라 축적되어 형성되었다. 이들 간척지는 조석 간만의 차이가 큰 리아스식 만, 석호, 해안 사구의 배후지 등으로 해저 경사가 비교적 완만한 해안에 잘 형성되어 있는 퇴적 지형에 위치한다. 이러한 특징 때문에 간척지는 해안선이 매우 복잡하고, 평탄하며, 만입을 이루고 있다. 따라서 이들 간척지는 만입된 지형과 섬을 연결하여 제방을 쌓기 쉬워 간척지로 개발하기 좋은 조건을 갖추고 있다. 농업진흥공사의 조사에 따르면, 서·남해안에 분포되어 있는 간척 가능한 간척지의 면적은 635천ha에 달한다. 이 중 개발 가능한 간척지는 442천ha인 것으로 파악되었다.

최초의 농지조성을 목적으로 한 간척은 고려 고종 35년(1248년) 갈대섬(위도: 葦島)에 제방을 축조하여 농지를 조성한 후 백성들에게 경작케 한 것이다. 조선조 인조 이후에 실시된 강화도의 간척사업실적이 수록되어 있으며, 이로부터 당시에 해면간척이 성행했음을 짐작할 수 있다. 외국의 경우 네덜란드에서 절대 부족한 국토면적을 확장하기 위하여 시작한 것이 최초이다. 1990년대 들어서는 지역별 다목적 광역 농어촌종합개발 거점을 개발한다는 차원에서 간척사업이 추진되고 있다.

현재 시행중인 가장 규모가 큰 간척사업은 새만금 사업으로 유출입 조석량이 약 18억톤이며, 세계에서 가장 긴 약 33km의 방조제를 축조하여 여의도 면적의 약 140배에 해당하는 1억 2천만평의 토지를 조성하는 것으로 계획되어 있다. 한편 1980년대 들어서는 주곡자급이 어느 정도 달성되었으며 인위적인 환경변화에 대한 부정적 시각이 대두되고 담수호의 수질오염이 발생하는 등 대규모 간척사업 추진이 점차 어려워지게 되었다. 이러한 여건 변화하에서 1998년에 다른 국가계획과 중복되는 지구와 사업시행을 반대하는 지구, 사업성이 없다고 판단되는 지구를 간척대상에서 제외함으로써 총 간척농지조성 대상면적을 157천ha로 축소 조정하여 추진하고 있다. 2003년말 기준으로 188개 지구, 76천ha는 준공되었고 14개 지구, 59천ha는 시행 중에 있다.

넓은 간척 농경지를 효율적으로 이용하기 위해서는 염농도를 조기에 경제

적으로 제염화하는 것이 최우선과제이다. 그러나 속담된 간척지에서도 간척토양의 이화학적 특성이나 기상조건에 따라 효율적인 물관리 방법을 통해 농작물에 대한 염해를 사전에 예방할 필요가 있다. 하지만 이제까지 관행적으로 행해지는 수량위주의 물관리로 인해 최근 전남의 한 간척지에서 염해피해가 발생하였다. 그 원인은 아직 규명되지 않았지만 담수호의 염분농도가 상승한 상태에서 담수호 관개수를 그대로 농경지에 관개했기 때문이다. 뿐만 아니라 농업지도기관에서는 관개수 염도상승에 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 지정하더라도 공급위주로 농업용수를 관리하고 있어 수질 특히 염분을 고려한 물관리는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 가뭄 또는 배수갑문에 의하여 용수의 농도가 상승되더라도 농민의 요구나 관행적인 용수 공급으로 염분에 의한 농작물의 피해가 발생되고 있으며, 정부 또는 관련기관에서는 단지 사후조치 일환으로 피해조사와 보상 등을 하고 있을 뿐이다. 따라서 이러한 염해피해를 줄이기 위하여 간척 농경지의 물관리 방법과 염농도 및 관련 환경요소를 자동적으로 측정하는 염해예방시스템 개발을 목적으로 한다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

우리나라 서남해안의 해안 평탄지에 분포하는 논은 주로 간척으로 조성된 담수호나 조차의 영향을 받는 하구언의 수원을 관개용수로 이용하고 있어 기상조건, 물관리 조작에 의하여 염농도 상승이 우려되며, 이로 말미암아 항상 농작물의 피해가 예상된다. 따라서 간척 농경지의 농업용수량 확보뿐만 아니라 염농도에 따른 물관리기술이 요구된다.

현재 염해 방지 또는 대비에 대한 연구경향은 내염성 품종개발과 시비법, 토양관리방법등과 생육시기에 따른 벼의 한계농도 설정 등인데, 이러한 연구

들이 실제 간척지의 벼 품종선정 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.

이미 하천, 저수지의 농업용수 집중화를 위하여 통신, 전기기술 등을 농업용수 관리에 도입하여 관리기술을 획기적으로 높인 다양한 관리시스템이 개발·실용화되고 있다. 그러나 염해는 일반적으로 염수 또는 조풍에 의한 농작물의 피해를 말하는데 우리나라 서남해안은 조수간만의 차이가 크고 넓은 면적의 간척지가 개발되어 있어 이양기 한밭이나 시설물 관리 부주의 등으로 염수를 관개하는 영농사고가 빈번하다. (표 1-1)는 염해피해사례지구이다. 간척 농경지에서 수량관리와 염도를 고려한 물관리에 발달된 전자통신기술을 도입 적용할 경우 염해피해를 사전에 예방할 수 있을 뿐만 아니라 간척지 물관리의 개선효과가 클 것이다.

(표 1-1) 간척논의 염해피해 사례지구

지구명	도양명	재배양식	피해면적(a)	피해부위	논물상태
강산사내	광활통	기계이양	635	잎,줄기	중간수
강진만덕	포승통	"	454	잎	중간수
	광활통	"	363	잎	중간수
진도보전	포두통	담수표면직파	227	뿌리,잎,줄기	천수
	염포통	기계이양	363	뿌리,잎	중간수
완도완도	인위토	"	212	잎,줄기	천수
	포두통	"	21	잎,줄기	중간수
고흥강산	포두통	"	218	잎	천수
	포승통	"	242	잎	중간수
고흥해창	포두통	"	91	잎	중간수
계	5개통	-	2,826		

염분농도에 영향을 미치는 환경요소는 담수호의 시설제원(배수문의 구조 및 위치), 유역면적, 수혜면적, 유입수량, 환수시기 및 환수횟수 등이 있다. 이들 요소들이 간척 담수호의 염농도에 미치는 정도와 이들의 상호관련성을 조사하여 간척담수호의 수량위주의 물관리 뿐만 아니라 염농도를 고려한 물관리 기술 정립이 필요하다. 간척 농경지의 물관리를 위해서 현재의 양수장 부근의 염농도가 가장 중요한 측정대상이다. 또한 도수거리가 긴 경우 양수장에서 경지까지의 수로(콘크리트)에서 증발 농축되는 현상을 무시하면 안된다. 경우에 따라서는 관개수의 염농도는 논에 유입되기 직전에 측정되는 것이 바람직하다. 또한 간척 담수호는 계절적인 차이뿐만 아니라 수심별 농도차이가 발생하므로 수심별 염농도도 고려되어야 한다. 또한 인터넷을 이용하여 실시간 현장 염농도, 기상자료 및 과거 측정자료를 바탕으로 염농도에 대한 예측자료를 물관리 담당자뿐만 아니라 농민, 관련기관에도 접근할 수 있도록 하여 사전에 대비책을 마련할 수 있도록 해야 한다.

2. 경제·산업적 측면

쌀의 품질에 관여하는 여러 요인 중 간척농경지의 경우 생육기 물관리에 의한 요인이 상당한 인자로 작용한다. 또한 우리나라의 기상조건에서 벼가 염에 취약한 어린 시기에 자주 한발이 발생하고 그에 따른 염해가 자주 발생하므로 염해경보시스템 구축으로 안전 수량 확보가 가능할 것이다.

간척지 토양은 해안평탄지에 방조제를 막아 조성된 농지이므로 염이 원천적으로 집적되어 있어 초기 간척지에서는 제염을 위한 많은 노력이 필요하다. 그러나 염수를 관개하거나 해수에 침관수가 일어난 농지에서는 다시 토양제염을 위한 경제적, 시간적인 노력을 감수해야 한다. 염수는 특별한 취기나 색깔이 없어 현장에서 육안으로 판별하기는 상당히 어려우며 맛에 의한 식미판단에 대한 자료의 신뢰성에 거부감을 가지고 있다. 따라서 염해예방을 위한 신뢰성 있는 염농도의 변화는 관련 담당자에게나 농민들에게 현실적으로 필요한 정보를 제공하게 된다.

간척 담수호의 염도관리로 환수시기 및 횡수의 조절을 통해 토양의 재염화를 방지할 수 있는 있고, 가뭄 또는 배수갑문의 오동작으로 염농도가 증가할 경우 관개를 중단하거나 수심별 염농도의 측정자료를 근거로 표면수만을 관개하는 등 간척 농경지에서 물관리를 위한 다양한 자료를 제공하게 된다.

3. 사회·문화적 측면

염해예보시스템을 도입할 경우 간척 농경지에서 매년 발생하고 있는 농작물의 염해지역을 최소화할 수 있을 것이며, 간척 농경지의 염농도 측정자료 확보로 자연적인 또는 인위적인 염해피해에 대한 사전 인식과 그에 대한 대책 마련으로 영농기술의 향상을 가져올 것이다.

지역사회의 민원발생, 피해감소와 농업용 수자원의 이용 극대화와 간척사업으로 조성된 대단위 토지자원의 종합적이고 체계적인 개발로 합리적인 활용을 위한 자료 제공할 수 있다.

본 연구에서는 간척담수호를 포함한 해안 저지대의 농업용수원을 이용하여 농작물을 재배할 때 발생할 수 있는 염해를 사전에 예방함과 동시에 최소화를 위한 염해예보시스템을 구축하여 간척 담수호의 물관리에 필요한 노력을 최소화하고, 간척 담수호의 농업용수에 대한 효율적인 이용을 통하여 염해를 극복하고자 하는데 그 목적이 있다.

제 3 절 연구개발의 범위

- 간척지 농경지의 농업환경 조사 분야
 - 주요 관련 학문의 인터넷 사이트를 통한 자료 검색
 - 국내 주요 염해 우려지구 간척지 현장 조사 실시
 - 간척 담수호의 염농도 변화 추이조사
 - 계절별, 생육시기별 논 표면수의 염농도 변화조사

- 염해사례지구 조사
 - 염해사례지구의 지역 특성 조사
 - 관개수원 및 이용실태 조사
 - 간척 담수호의 수질 및 농경지 토양염도 조사
 - 염농도에 영향을 미치는 제반환경을 지속적으로 측정·분석을 실시하여 논에 공급되는 농업용수의 염도변화 추이 분석

- 간척 농경지 염해예보를 위한 물관리 방법
 - 염해예보시스템을 구축하기 위해서는 생육단계별 염농도의 한계농도를 다르게 설정해야 하며, 때로는 간척 농경지의 기상조건 및 환수주기, 담수심을 고려하여 염해예보 설정농도를 결정하기 위한 실내포트 시험을 실시
 - 사례조사지구를 선정하여 주기적으로 생육상태, 염농도, 환수 등 관련 요소 모니터링을 위하여 현장조사와 공시작물을 실내시험조건에서 재배하여 생육단계별 처리에 따른 수도작에 미치는 영향을 조사

- 염해경보시스템 구축
 - 시범 대상지구에 염해예보시스템 구축
 - 간척 농경지 시범지역을 선정하여 간척 농업환경 특성 조사
 - 염농도에 영향을 미치는 측정항목 선정 및 정도
측정항목 : 염농도, 수온, 담수호수위, 기상자료 등
 - 향후 시스템의 확장성과 현장 여건을 고려하여 유·무선 통신방식을 활용하며, 다채널 자료수집이 가능한 통합관리시스템 개발
 - 현장 관측시스템 구성
 - 현장설치용으로 모듈을 개발하며 측정지점에 따라 특성항목(염도, 수온, 수위, 기상자료)을 지정하여 측정할 수 있도록 개발
 - 현장제어시스템에서 측정자료를 유무선 원격방식으로 전송되도록 함

- 염해예보를 위한 운영프로그램 작성
 - 생육단계별 염도한계농도 적용
 - 인터넷 및 유무선통신을 활용한 경보시스템 구축
 - 염농도 변화 검증 프로그램을 작성하여 염농도가 급속히 진행될 때 농업용수 관리자에서 간척 농경지의 염농도 상태를 알려주는 예보시스템 개발
 - 측정자료를 물 관리 사무실에 있는 데이터베이스 서버로 전송하여 향후 간척 농경지의 염농도 관리자료 활용할 수 있도록 함

제 4 절 국내외 기술개발 현황 및 문제점

○ 저수지 및 하천 농업용수 관리 분야

이미 저수지 및 하천에서는 단위 지역을 설정하여 자동물 관리시스템을 이용하여 기간별 가용수량 파악, 기상정보를 이용한 장단기 용수관리 계획, 대상 지역의 용수수요 및 급수상황을 실시간 측정, 감시, 조절하고 있다. 또한 용수 수급의 적정관리로 용수의 낭비와 손실을 최소화하고 안정적인 공급으로 농민의 신뢰를 얻으며 용수를 절약하고 있다.

○ 내염성 농작물 육종 분야

염농도가 높은 간척지를 대상으로 염농도와 토양의 화학적 조성이 벼의 생육에 미치는 영향과 시비관리 방법에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다. 간척지에서 품종에 따른 적응성은 대체로 조생종 품종이 중생종 또는 만생종에 비하여 대체로 내염성이 약하며, 임실율이 낮고 출수가 지연되는 품종이 많아 내염성이 강한 조생종 품종 개발 육종되고 있으며(정과 김, 1982), 간척답과 엽절단법에 의하여 여러 가지 수도품종에 대한 내염성을 검정하기도 하였다. 간척지 토양에 알맞은 벼품종으로 내염 내만식성 신품종인 기호벼가 정등(1985)에 의하여, 남양벼가 정등(1985)에 의하여 육성되었으며, 간척지 적응양질 중단간 신품종인 서해벼는 조 등(1989)에 의하여, 양질 내병다수성 신품종

인 계화벼가 유등(1990)에 의하여 육성되었다. 현재 농촌진흥청(호남작물시험장)에서 내염성 품종의 선발과 재배 기술에 대하여 활발한 연구가 이루어지고 있다.

○ 초기 간척지의 제염예측에 대한 연구

개발초기 고염도 간척지의 효율적인 활용대책의 수립을 위해서 간척지의 토양에 대한 토양특성 분석 및 토성별 분류, 염분거동 해석 및 제염효과 분석, 효율적인 제염방법의 결정, 제염예측기법의 개발 및 제염대책에 관한 연구가 상당히 진행되고 있으며(간척지 제염예측기법 개발, 농림부), 이미 간척지 개발초기부터 제염기간 및 예측 기술이 상당한 수준에 도달되어 실제 현장에 적용되고 있다.

○ 간척지 물관리 기술의 취약성

염도관리에서는 간척 담수호내 주요지점에서 염농도와 관련된 요소에 대한 정기적인 조사와 모니터링이 필요함에도 불구하고 관련담당자들은 주2회정도 양수장에서 염도만을 측정하고 있는 실정이다.

○ 염해정보를 위한 시스템 구성 기술분야

- 측정기술, 물관리기술 확립, 유무선 통신네트워크를 최대한 활용하여 지역간의 자료 공유로 지구단위의 자동 물관리시스템의 도입으로 농업용수 관리 실용화 단계에 있음
- 국내 보급되어 있는 염도와 같은 수질측정장비는 국산과 외국 수입제품의 공존상태이다. 수질 분석실과 같은 전문기관에서는 주로 고가의 외국제품을 많이 사용하며, 소규모 공장 및 현장용으로 국내 계측기를 많이 사용하고 있어 현장용으로 보다 정밀하고 저렴한 수질측정장비의 개발이 필요함
- 이러한 기술을 현장(농업용수 간척 담수호지, 농업용수 수로)에서, 설치장소도 실내보다는 열악한 조건에서도 직접 적용할 수 있도록 개발되어야 함

제 5 절 연구기간 및 참여연구원

1. 연구기간 : 2003년 7월 ~ 2005년 7월 (총 2년간)

2. 연구책임자

구 분	세부과제명	성 명	소속기관 (부서)	직 위
총괄	염해예보 및 관리 시스템개발	김 경 만*	농업기반공사 농어촌연구원	주 임
세부	염해예방을 위한 물관리방안	이 상 수*	농업기반공사 농어촌연구원	책 임
세부	간척지의 염도변화 조사 및 분석	이 승 현*	농업기반공사 농어촌연구원	주 임

3. 분야별 참여연구원

세부과제명 (담당연구내용)	성 명	소속기관 및 부서	직위	연구참여 직 급
염해예보 및 관리 시스템 개발	김 경진	창민테크	차장	연구원
	정 하영	"	대리	연구원
	김 영수	농업기반공사 농어촌연구원	위촉	연구보조
간척지의 염도 변화조사 및 분석	김 이부	"	주임	연구원
	김 광균	"	위촉	연구보조
염해예방을 위한 물관리방안	이 복자	"	주임	연구원

제 2 장 간척지 농업환경특성 분석

제 1 절 간척 및 간척담수호 현황

1. 간척 현황

가. 간척사업 추진 개요

우리나라 간척의 역사를 살펴보면, 고려조 이후 국방의 필요, 또는 식량생산을 위한 간척사업이 있었음을 알 수 있으나, 간척사업 실적에 관한 문헌 기록이 없어 조선조 말까지의 실적은 알 수 없다. 최초의 해안제방은 고려 고종 22년(1235년) 몽고군의 침입을 피하여 강화로 천도한 후 해상방어를 목적으로 강화도 해안에 축조한 것으로 알려져 있으며, 문헌에 나타난 최초의 농지조성을 목적으로 한 간척은 고려 고종 35년(1248년) 몽고 병란시 식량조달을 위하여 병마판관 김방경(金方慶)이 안북부(平安南道 安州, 청천강 하구)의 갈대섬(위도: 葦島)에 제방을 축조하여 농지를 조성한 후 백성들에게 경작케 한 것이다. 강도지(江都地)에 조선조 인조 이후에 실시된 강화도의 간척사업실적이 수록되어 있으며, 이로부터 당시에 해면간척이 성행했음을 짐작할 수 있다. 외국의 경우 간척입국(干拓立國)을 자랑하는 네덜란드에서 절대 부족한 국토면적을 확장하기 위하여 10세기경에 시작한 것이 최초이며, 일본에서는 우리나라보다 약 50년 늦은 1284년에 처음 시작된 것으로 기록되어 있다.

일제강점기에는 군량미 확보를 위한 미곡 증산을 목적으로 많은 간척사업이 추진되었다. 8.15 해방 이후에는 기근 해결을 위한 식량증산을 목적으로 해방과 함께 중단되었던 소규모 간척사업이 계속 실시되었으며, 1951년에 시행한 강화 간척사업이 해방 후 최초의 신규사업이었다. 1960년대에 이르러 경제개발계획의 일환으로 추진된 동진강 간척사업을 필두로 본격화되어, 1970년대에는 식량의 자급자족을 위한 농업종합개발 목적으로 남양만, 아산만, 삼교천 방조제 공사를 시행하면서 우리나라 여건에 맞는 방조제 구조와 공법을 개발 적용하였다. 1980년대는 간척사업의 전성기로 영산강 하구둑, 대호 방조제, 금강 하구둑, 1990년대 초에는 영암방조제가 건설되었다. 특히 1984년부터 절대농지의 개념이 도입되고 대체농지조성비를 부담시켜 농지기금을 조성하고, 이 기금을 이용하여 신규 농경지 조성을 위한 서남해안 간척사업이 추진되기도 했다. 이때 민간기업이 참여하는 대규모 간척사업이 실시되었으며, 간척지는 물론 배후지까지 포함하는 지역 농업종합개발의 개념이 도입된 것도 이때이다.

1990년대 들어서는 지역별 다목적 광역 농어촌종합개발 거점을 개발한다는 차원에서 간척사업이 추진되고 있으며, 1994년 1월에는 세계 간척사상 유출입 조석량(약 9억톤)이 가장 큰 시화방조제 끝막이 공사를 독자적 기술로 완료한 바 있다. 현재 시행중인 가장 규모가 큰 간척사업은 새만금 사업으로 유출입 조석량이 약 18억톤이며, 세계에서 가장 긴 약 33km의 방조제를 축조하여 여의도 면적의 약 140배에 해당하는 1억 2천만평의 토지를 조성하는 것으로 계획되어 있다. 한편 1980년대 들어서는 주곡자급이 어느 정도 달성되었으며, 인위적인 환경변화에 대한 부정적 시각이 대두되고 담수호 수질오염이 발생하는 등 대규모 간척사업 추진이 점차 어려워지게 되었다. 2003년말 기준으로 188개 지구, 76천ha는 준공되었고 14개 지구, 59천ha는 시행 중에 있다.

(표 2-1) 간척사업 추진 현황

(단위 : ha)

구 분	합계	대단위	서남해안					민간			
			소계	서남해안	소규모	미완공	유휴지	소계	기업	소규모	
준공	지구	188	6	180	7	44	126	3	2	2	-
	면적	76,456	14,907	21,360	2,395	12,677	6,140	148	40,189	12,763	27,426
시행중	지구	14	4	10	9	-	1	-	-	-	-
	면적	59,196	40,800	18,396	18,049	-	347	-	-	-	-

* 농업기반공사, 2004, 기반조성사업 2004 사업현황

(표 2-2) 간척사업 준공지구 현황

구 분	지구명	위 치		착공 년도	준공 년도	매립면적 (ha)	간척지 (ha)	비고
		도	시군					
계	188지구					111,994	76,456	
□정부시행	186지구					62,074	36,267	
○대단위	6지구					33,886	14,907	
	평택 남양 아산	경기	평택, 화성, 아산, 천안	'70	'77	6,374 3,177 3,197	2,682 2,285 397	
	계화도	전북	부안	'74	'79	3,968	2,467	
	금강(I)	충남 전북	서천, 부여 군산, 익산	'83	'90	17	-	
	삽교천	충남	아산, 당진, 예산, 홍성	'75	'94	5,109	989	
	대호	충남	서산, 당진	'80	'96	7,595	3,904	
	영산강Ⅱ	전남	목포, 나주, 무안, 함평	'76	'98	10,823	4,865	
○서남해안	180지구					28,188	21,360	
-서남해안	7지구					(666) 3,204	(666) 2,395	()내서 부분준공 면적
	강산	전남	고흥	'88	'95	203	152	
	약산	"	완도	'87	'96	259	196	
	보전	"	진도	'87	'96	298	213	
	만덕	"	강진	'89	'98	316	258	
	완도	"	완도	'89	'98	392	234	
	사내	"	강진	'89	'02	827	517	
	고금	"	완도	'92	'03	243	159	
	(남포)	충남	보령	'85	'96	666	666	부분준공
-소규모	44지구					15,177	12,677	
-미완공	126지구					9,609	6,140	
-유휴지	3지구					198	148	시, 군시행
□민간시행	2지구					49,920	40,189	
○민간기업	2지구					17,058	12,763	
	김포	인천	서구			1,649	1,649	
	서산AB	충남	서산			15,409	11,114	
○소규모						32,862	27,426	자력개발

(표 2-3) 간척사업 시행중 지구 현황

구분	지구명	위치		착공 년도	준공 년도	매립 면적(ha)	간척지 (ha)	비고
		도	시군					
계	14지구					86,883	59,196	
□정부시행	14지구					86,883	59,196	
○대단위	4지구					61,995	40,800	
	영산강Ⅲ-1	전남	영암,해남, 강진	'85	2003	12,816	7,960	
	영산강Ⅲ-2	전남	해남	'89	2004	7,433	4,540	
	새만금	전북	군산,김제, 부안	'91	2004	40,100	28,300	
	홍보	충남	홍성,보령	'91	2005	1,646	-	
○서남해안	10지구					24,888	18,396	
-서남해안	9지구					24,384	18,049	
	화옹	경기	화성	'90	2012	6,212	4,482	()외서 부분준 공면적
	시화	경기	안산,화성	'98	2012	4,396 (666)	3,636 (666)	
	남포	충남	보령	'85	2005	1,244	837	
	석문	"	당진	'87	2005	3,740	2,831	
	이원	"	태안	'90	2006	1,352	777	
	해남	전남	해남	'85	2004	3,020	2,367	
	고흥	"	고흥	'91	2005	3,100	2,361	
	군내	"	진도	'90	2005	900	464	
	삼산	"	장흥	'97	2007	420	280	
미완공	1지구					504	347	
	진촌	인천	옹진	'91	2005	504	347	

나. 간척지 면적 추정

간척지의 배후지에 대한 토양 특성을 농업기술 연구소의 정밀 토양조사결과인 하해혼성 토양을 중심으로 살펴본 정 등(2002)의 자료에 의하면 미사질 토양인 조립미사질토와 세립미사질토가 전체의 70.4%로 가장 많다. 세립미사질토와 세립 양질토의 분포비율은 간척지의 분포비율과 비슷하다. 이에 비해 조립미사질토의 분포 비율은 간척지에서 적은 반면, 조립양질토와 사질토가 간척지에 많다. 하해혼성 평탄지의 세립질 토양은 80%이상이 논으로 이용되고 있으며 사질 토양의 경우에는 논으로 이용되는 비율이 불과 50%에 불과하다. 이러한 간척지와 배후지의 토성분포차이가 의미하는 것은 앞으로 간척되는 간척지는 조립질 토양의 비율이 높아질 가능성을 내포하고 있다.

(표2-4) 서남해안 간척지와 하해혼성평탄지의 토성별 분포와 논이용 비율

토성	간척지		하해혼성평탄지			
	면적 (ha)	비율 (%)	면적 (ha)	비율 (%)	논면적 (ha)	논이용율 (%)
사질토	90,531	20.5	9,235	3.4	4,688	50.8
조립양질토	66,859	15.1	18,705	6.9	14,912	79.7
조립미사질토	60,287	13.6	100,138	36.7	79,073	79.0
세립 양질토	62,718	14.2	47,269	17.3	42,399	89.7
세립 미사질토	161,605	36.6	91,769	33.7	80,277	87.5
세립 식질토	-	0.0	5,542	2.0	5,277	95.2
계	442,000	100.0	272,658	100.0	226,626	83.1

1/5,000 수치지도와 1/50,000 및 1/25,000 지형도를 이용하여 현재까지 육지이지만 과거에는 방조제 시설 없이 토지이용이 불가능하였다고 판단되는 일정 표고이하의 면적을 구하는 방법과 토양도상의 간척농지로 추정되는 하해혼성층적토 및 해성층적토의 면적을 집계하는 방법으로 수행한 “방조제축조전후의 외측 해저 지형 변화조사 분석 및 서남해안 간척실적 조사연구”의 조사결과에 의하면 지형도를 이용한 경우에는 387,696 ha, 토양도를 이용한 경우에는 385,499 ha로 별 차이가 없었다. 그리고 간척지 개발면적 387,696 ha중 순수한 논 면적을 파악하여야 하므로 총 간척면적 중 농지조성 목적 이외의 간척지로 파악되는 21,910 ha를 제하고 현재까지 기록으로 확인할 수 있는 광복이후 2001년까지 간척사업 준공지구의 매립면적과 간척농지의 평균비율 68.7% (75,770 ha/110,296 ha)을 곱하여 얻어진 251,295 ha를 순수한 논으로 추정할 수 있다. 이는 2002년 기준 우리나라 농경지 면적에 대한 비율로는 전체 농경지 1,862,600 ha의 13.5%에 해당하며 논 면적 1,138,400 ha의 22.1%에 해당되는 면적이다.

(표2-5) 지형도와 토양도로 추정된 간척면적

도별	지형도로 추정된 간척면적		토양도로 추정된 간척면적		비고
	개략적인 경계표고	간척면적 (ha)	간척지 추정 토양	간척면적 (ha)	
계		387,696		385,499	
경기	EL+5.00m	81,005	하해혼성층적토	87,649	인천포함
충남	EL+5.00m	89,301	”	85,135	
전남	EL+4.00m	50,978	”	69,916	
전북	EL+3.00m	136,185	”	112,817	
경남	EL+2.00m	30,227	”	29,982	부산포함

(표 2-6) 농지조성 목적 이외의 간척지 개발 추정면적

(단위 : ha)

도 별	1/50,000 도엽별	EL+5.00m 이하면적	환산율 (%)	간척농지조성 목적 이외의 간척면적	비 고
경 기		14,186	100.00	14,186	
	김 포	497	100.00	497	인천시
	인 천	7,195	100.00	7,195	인천시(인천항, 남동공단, 송도신도시 등) 인천국제공항, 한국화약매립지, 시화공단
	안 양	489	100.00	489	안산시(반월공단, 고잔택지조성지구)
	용 유	5,299	100.00	5,299	인천국제공항
	강 화	351	100.00	351	인천국제공항
	남 양	322	100.00	322	기아자동차 주행시험장
	아 산	33	100.00	33	평택항
충 남		614		614	
	난 지	141	100.00	141	대산공업단지
	서 산	473	100.00	473	대산공업단지
전 북		615		592	
	군 산	615	96.35	592	군산시, 군장공업단지
전 남		3,947		3,544	
	목 포	1,224	91.04	1,114	목포시
	광 양	1,928	91.04	1,755	광양제철소, 여천공단
	남 해	616	83.24	513	광양제철소, 여천공단
	여 수	151	91.04	137	여수시
	돌 산	28	91.04	25	여수시
경 남		3,574		2,974	
	마 산	1,233	83.24	1,026	마산시, 창원시, 진해시
	김 해	1,742	83.24	1,450	부산 사하구 시가지
	부 산	76	83.24	63	부산항
	사 천	124	83.24	103	사천시
	통 영	112	83.24	93	통영시
	거 제	287	83.24	239	거제시 옥포 장승포
합 계		22,936		21,910	

2. 간척담수호 현황 및 용수 특성

가. 간척 담수호 현황

담수호는 원래 염수호에 대응하는 호소로 내륙에 위치한 호수, 즉 내륙호 중 염농도가 충분히 낮은 담수인 호수를 말한다. 그런데 하구나 연안에 댐이나 방조제를 건설하여 조성한 호수를 담수화호라고 하는데 이를 통상적으로 담수호라고 부르고 있다. 따라서 담수호는 엄밀한 의미에서 하구나 연안에 조성된 인공호, 혹은 하구 담수호를 말한다. 우리나라의 하구 담수호의 대표적인 예는 낙동호, 금강호, 영산호 등이 있다.

우리나라의 수자원 개발에서 담수호가 차지하는 비중이 매우 크다. 10대강 가운데, 낙동강, 금강, 영산강 등 7개 유역의 하구에 이미 담수호를 개발하였거나, 현재 건설 중에 있다. 또한, 간척농지에 필요한 농업 용수의 개발을 위해 담수호를 조성해 왔다. 이와 같은 하구 및 간척지 담수호의 총 저수량은 약 27억톤으로, 우리나라 전체 저수량의 약 21%에 해당된다.

우리나라의 담수호 현황은 (표 2-7)과 같으며 현재 건설된 담수호는 14개소이며 총 저수량은 약 21억톤에 달하고 현재 건설 중인 새만금, 우정, 화옹 등이 조성되면 저수용량은 약 27억톤을 초과하게 된다. (표 2-7)에서와 같이 담수호는 낙동강, 금강, 영산강, 안성천, 삼교천, 만경강, 동진강 등 10대강 중 7개 유역 하구의 체절을 통해 조성되고 있다. 이와 같은 하구 체절을 통한 수자원 개발은 우리나라 수자원 이용 면에서 주요 특징 중의 하나이다.

담수호로부터 관개면적 및 계획 면적은 약 183천ha에 이른다. 이는 전체 논면적의 약 14%에 달하며, 현재 관개면적의 약 20%에 이르며 농업용수원으로 중요한 비중을 차지하고 있다. 담수호의 관개면적은 우리나라 최대 농업용수 댐인 예당지의 물리면적 12.8천ha의 약 14.3배로서 담수호를 대신하는 농업용수 댐을 건설할 경우 약 16만 ha의 토지가 수몰해야 하는 것이다. 따라서 간척 담수호의 개발은 바다를 막아 새로운 국토면적을 늘리는 효과와 수자원 개발에서 필요한 수몰면적의 경감이라는 두 가지 효과를 갖고 있으며, 국토이용측면에서 볼 때 보다 효과적인 수단이라고 할 수 있다.

(표 2-7) 우리나라 담수호 현황

담수호	공사기간	수 계 (하천명)	유역면적 (km ²)	몽리면적 (ha)	만수면적 (ha)	내용적 (ha-m)	설계홍수량 (m ³ /s)
남 양	71-76	발안천	209	4,005	800	3,150	100
아 산	71-76	안성천	1,634	14,415	2,800	12,300	2,500
삽 교	76-79	삽교천	1,630	22,300	2,017	8,426	5,300
영 산	78-81	영산강	3,470	20,700	3,460	25,320	5,671
서산A	80-91	-	488	6,891	2,885	14,443	2,400
서산B	80-91	-	157	4,115	1,702	9,703	835
대 호	81-85	-	278	7,700	2,150	12,200	1,280
금 강	83-90	금강	9,828	43,000	3,650	13,850	13,000
부 사	85-93	웅천천	288	1,050	495	837	1,196
해 남	85-94	-	181	2,521	835	1,710	1,144
시 화	87-97	반월천	477	9,186	5,650	34,233	4,159
석 문	87-95	역천	257	2,215	855	1,396	2,659
영 암	88-92	-	355	12,200	4,286	24,460	1,830
새만금	92-현재	만경,동진	3,319	28,300	9,670	53,542	7,700
우 정	92-현재	-	236	4,740	1,452	5,444	2,769
낙 동	83-87	낙동강	23,560	-	1,220	50,000	18,000

나. 간척 담수호 용수 특성

(표 2-8)은 우리나라 담수호 중 농업용수 측정망자료를 통해 전기전도도와 양이온함량이 조사된 7개 담수호의 1997년부터 2000년까지 조사된 평균 수질 특성을 보여준다. 육지부 농업용 저수지와 비교를 위해 몽리구역이 가장 큰 충남의 예당저수지를 참고로 제시하였다.

수질 중 총괄적 염분에 대한 지표인 전기전도도나 염농도는 담수호별로 매우 편차가 크지만 육지부 저수지에 비하여 3배에서 40배정도 높게 나타나고 있어 염해의 우려가 상존하고 있으며 또한 담수호 관리에 따라 어느 정도 완화시킬 수 있음을 알 수 있다.

수질 성분적인 면에 있어서의 특징도 담수호의 경우는 Ca와 Mg에 대한 상대적인 Na의 지표인 SAR 값이 육지부 저수지에 비하여 매우 높게 나타나고 있다. 이는 담수호의 용수를 이용하는데 있어 특별한 제염관리가 필요함을 알 수 있다.

(표 2-8) 담수호 수질 현황

담수호	전기전도도 (uS/cm)	염농도 (mg/L)	Na (me/L)	K (me/L)	Ca (me/L)	Mg (me/L)	SAR (-)
평택	458	293	0.31	1.98	1.36	0.62	1.86
남양	1,101	705	0.78	7.62	1.08	1.91	5.05
삼교	401	257	0.21	2.06	0.89	0.65	2.12
대호	913	584	0.35	5.16	0.94	1.39	4.56
간월 (서산A)	1,699	1,087	0.59	11.96	1.18	2.81	7.23
부남 (서산B)	5,028	3,218	1.36	35.84	2.14	8.28	14.15
영산	574	368	0.24	2.93	0.88	0.85	2.90
평균	1,454	930	0.55	9.65	1.21	2.36	5.41
예당지	123	79	0.09	0.26	0.57	0.32	0.40

* 농림부·농업기반공사, 2000, 농업용수수질측정망조사보고서(연도별수질성적)

제 2 절 간척담수호의 수리 시설 및 용수관리

담수호는 유역의 수문 순환과 물질 순환 과정에서 가장 궁극적이고 최종적인 저류와 싱크(sink) 기능을 담당하며 유역의 이수와 치수기능을 관리하는 수단이 된다. 따라서 담수호는 단순한 수자원으로서만이 아니라 유역의 정상

적인 수문과 물질 순환이 이루어질 수 있도록 고도의 관리가 이루어져야 한다. 하구 담수호의 관리는 시설물의 유지관리, 수자원의 관리, 수질관리로 구분하여 생각해 볼 수 있다.

1. 시설물의 유지관리

담수호의 시설물에 있어서는 안전성에 있어 배수갑문과 방조제, 배수장 등 관련 시설들이 제 기능을 다하도록 하는데 그 목적이 있으며 특히 노후화된 배수갑문과 세굴에 의한 방조제의 누수는 고염분의 해수 유입으로 농업용 담수호의 경우는 수질에 치명적인 문제를 일으킬 수 있을 뿐만 아니라, 시설물의 안전에도 문제가 된다. 또한 저지대에 위치하는 하구와 간척지의 특징으로 인하여 홍수시 계획유량의 안전한 배제가 가능하도록 하여야 한다. 이와 같이 담수호 시설물들의 주기적인 점검과 선량한 시설물의 유지관리를 통해 시설물의 안전에 만전을 기하여야 한다.

현재 우리나라의 방조제나 배수갑문은 이러한 재해 예방차원에서 관리가 이루어지고 있으나, 담수호의 수질 관리차원에서의 시설물 관리는 이루어지고 있지 못하고 있다.

2. 수자원 관리

담수호의 수자원의 이용을 위한 관리는 필요한 시기에 필요한 양의 용수를 취수하는 일과 담수호의 여러 가지 기능과 역할이 가능하도록 적절한 담수호 수위를 유지하는 일로 대별된다.

수자원의 취수는 양수장을 통하여 이루어지며, 염농도나 그 밖의 용수 수질 기준에 적합여부 이외에는 이수관리상의 문제는 없다. 다만 시기별로 용수량의 차이가 크므로 적정수준의 담수호 수위관리가 이루어지도록 하는 일이 필요하다.

담수호 수위는 내한 능력을 극대화하기 위하여 가급적 높게 하는 것이 유리하나 상류유역의 침수방지 등을 위해서는 낮을수록 유리하다. 따라서 이수관리상 적정 관리하는 수위를 관리수위라고 하며, 가급적 관리수위 가까이 유지

하는 수위관리가 이루어지도록 하고 있다.

3. 수질관리

담수호의 수질관리는 주로 염농도의 희석을 통한 담수화와 저니질의 배제 등을 통한 수질 관리로 국한된다. 담수호의 수질은 대부분 농업용수 수질기준 이하이나 유역으로부터의 오염물질 유입과 담수호의 연락수로를 통한 수자원 도입으로 수질오염도가 증가할 가능성이 크다. 이에 대비하여 전체 유역의 지속적인 오염원 변화 추이 및 수질모니터링을 중심으로 한 수질관리방안에 대한 대책이 진행되고 있다. 특히 담수호의 오염원인 생활하수 처리를 위한 하수처리장이 설치로 수질이 개선될 전망은 있지만 담수호의 부영양화를 일으키는 질소와 인은 완전히 제거되지 않는 경우가 많다.

시화호의 교훈으로 현재 진행 중인 간척 사업의 경우는 상류 유입수에 대한 적절한 수질대책과 호내 수질 대책을 병행하여 담수호 수질관리에 만전을 기하고 있으나 소규모간척지구이나 미완공 간척지구의 경우 특별한 수질관리 대책은 이루어지고 있지 못하다.

제 3 절 간척지의 특성 및 간척농지의 물관리 특성

1. 간척지 토양의 일반적 특성과 문제점

가. 지형 및 형태적 특성

간척지는 해안에 위치한 특유의 토양 연속계를 이룬다. 간척 대상인 간척지의 형성 특징을 먼저 살펴보면, 해안 부근의 저지대로 하해 혼성토와 해성 충적토이다. 그러므로 간척지 토양은 간척지 특유의 soil catena를 이룬다<그림 2-1>. 간척지 토양의 일반적 특성을 조사한 농업진흥공사의 보고서(농어촌진흥공사, 1990)를 보면, 우리 나라 간척지 토양의 토성은 사토, 양질사토, 사양토 등 모래가 많은 조립질 토양이 43.2%를 차지하고 있으며, 미사질계 토양은 47.3%, 그리고 점토함량이 많은 식질계 토양은 9.5%이다.

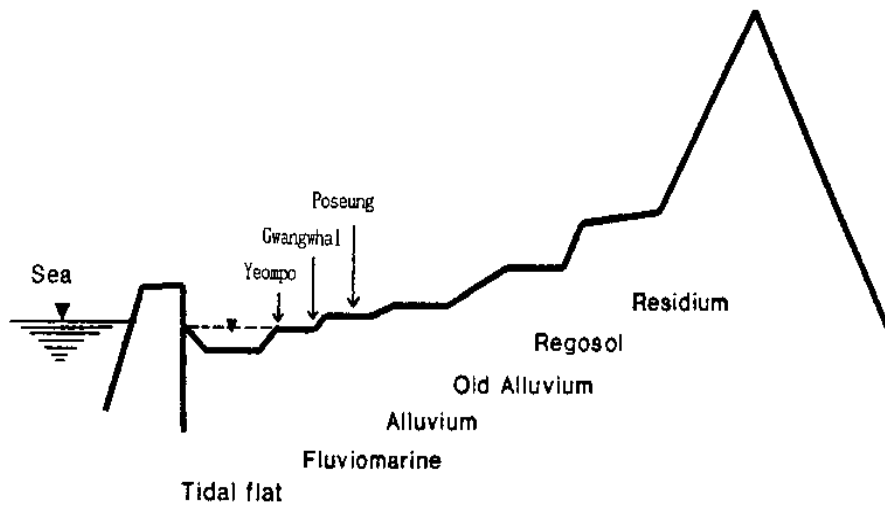
(표 2-9) 간척지 토양의 토성별 분포

토 성	지역별 면적(ha)							비율 (%)
	경기	충남	전북	전남(I)	전남(II)	경남	계	
사토 (S)	1,189	4,845	920	7,005	1,743	692	16,394	6.2
양질사토(LS)	3,038	4,163	45,050	5,094	25	50	57,420	21.7
사양토(SL)	4,730	3,066	29,450	1,751	955	677	40,629	15.3
미사토(Si)	467	-	-	-	-	-	467	0.2
미사질양토(SiL)	23,416	7,786	30,380	11,538	44,535	7,507	124,862	47.1
미사질식양토(SiCL)	-	250	-	2,122	12,415	7,191	21,978	8.3
미사질식토(SiC)	-	-	-	-	3,055	-	3,055	1.2
계	32,840	20,110	105,800	27,510	62,728	16,117	264,805	100.0

※자료 : 서남해안 간척지 자원조사 종합보고서(1990.12): 조사면적 264,805ha

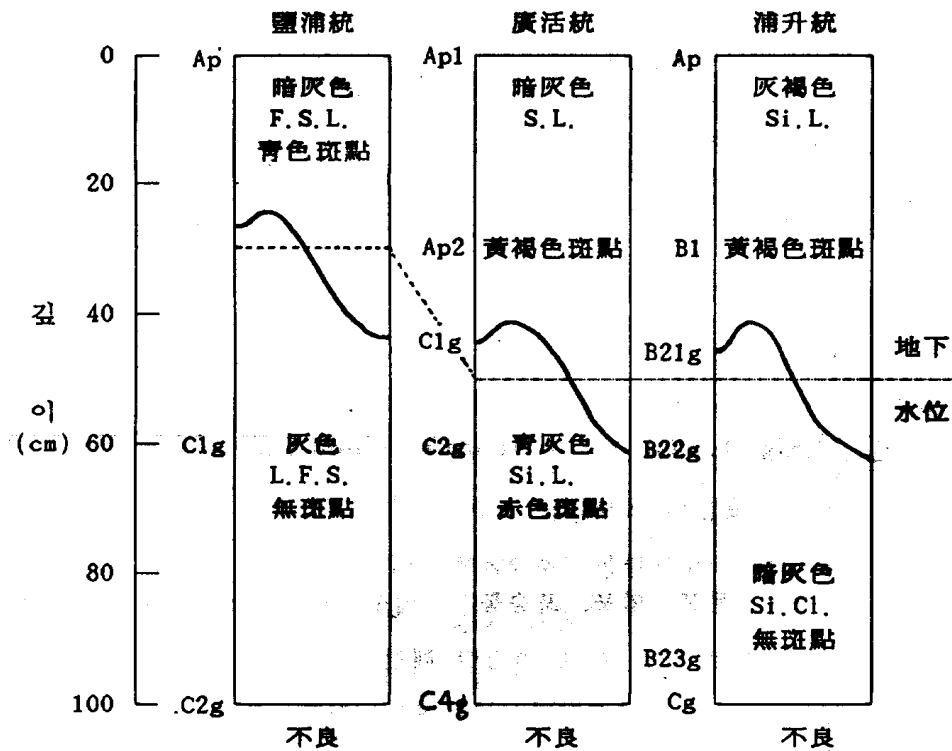
간척지의 배후지에 대한 토양을 농업기술연구소(농업과학기술원 전신)의 정밀토양조사 결과를 통하여 살펴보면, 주로 하해 혼성 또는 해성 충적토인 가포, 광포, 광활, 문포, 염포, 포승통과 일부 해안 사구에 퇴적토인 하사와 해리통 등이 간척지와 이에 연결한 해안지에 분포하여 있다. 간척지 및 이에 연결한 해안지에 분포하고 있는 염포, 광활, 포승통을 예로 보면, 바다와 먼한 간척지로부터 염포-광활-포승이 연결되는 soil catena를 이루고 있다.

농업기술연구소의 정밀토양조사에 의하여 조사된 간척지 및 이에 연결한 해안지에 분포하여 있는 염포, 광활, 포승통을 대표적인 soil catena로 보아 간척지 토양의 형태적 특성을 살펴보면 해안에 가장 가까운 염포통은 신분류법에 의하여 sandy, mixed, mesic family of typic Psamments에 속하는 세사양토



<그림 2-1> 간척지 토양의 토양 Catena

또는 양질세사토이다. 이 토양의 지하수위는 지표로부터 20-40cm깊이로 지표 부근에 있어 배수가 불량하고, 토심이 낮다. 표토는 암회색이다. 심토는 회색이며, 반점이 없고, 구조의 발달이 없다. 토층의 분화가 약하며, A층과 C층만 있다. 광활통은 saline soils, coarse silty, mixed mesic family of typic Haplaquents에 속한다. 표토는 암회색 농암회색 또는 농암갈색의 미사질 양토, 양토 혹은 극세사양토이다. 지하수위는 40-60 cm 깊이로 염포통보다 깊고, 배수는 불량하지만 약간의 배수가 이루어져 황갈색 또는 적색 반점이 있다. 포승통은 saline, fine silty, mixed nonacid mesic family of typic Haplaquents에 속하는 토양으로서, 표토는 암회색, 농암회색 미사질 양토이며, 암황갈색, 올리브색 반문이 있다. 심토는 암회색 미사질 양토이며, 암회갈색 반문이 있고 발달이 약한 각주상의 구조를 가지며, 토층의 분화가 이루어져 B층이 있다.



<그림 2-2> 간척지 토양의 형태적 특성

나. 간척지 토양의 이화학적 특징 및 문제점

1) 일반적인 특성

간척지 토양의 특성은 지역별로 볼 때 경기, 전남지역은 세립질(미사질양토 ~ 미사질 양토), 전북 지역은 조립질토양(세사양토 ~ 사양토) 그리고 충남지역은 조립질과 세립질 토양이 혼재하여 분포하고 있다. 이들 간척지 토양은 모두 지하수위가 높아 토양 배수가 불량하고 건조 시 염분이 작토층으로 상승하는 재염화가 반복되고 있다. 한편 토양 화학성은 토성에 따라 매우 상이하여 조립질 토양은 염농도, pH, 치환성칼리, 고토, 나트륨함량이 높은 반면 유기물 함량, 유효인산과 규산, 석회함량, 양이온치환용량이 매우 낮다. 반면에 세립질

토양은 염농도, pH, 규산, 치환성칼리, 나트륨, 석회, 고토, 양이온치환용량이 높고 유기물, 유효인산, 철함량이 낮다. 또한 세립질 토양에서 토양구조가 발달되지 않은 신간척지는 수직배수가 불량하고 연약지반을 형성하여 담수상태에서 대형 농기계의 사용이 어려운 토양이 있는가 하면(여수, 포리, 포승통등), 조립질 토양은 토층의 경반화로 수년간 이양작업이 곤란하거나 불가능한 경우도 있다(문포, 염포, 광활통 등).

2) 물리적 특성

(표 2-10)은 간척지 토양의 대표적인 염포, 광활, 포승통의 물리적 성질이다. 염포통은 표층인 A층이 10cm에 불과하며, 토성은 세사양토로서 점토의 함량이 매우 낮다. 깊이 10cm이하는 C층으로 양질사토 및 세사토이다. 광활통은 A층이 염포통보다 깊어 22cm이며, 토성은 미사양토로 미사의 함량이 50%이상이고, 점토의 함량은 5-8%이다. C층을 이루는 심토는 점토의 함량이 10-20%로 표토보다 많다. 포승통은 토층의 분화가 이루어져 A층과 B층 및 C층으로 나누어진다. 토성은 미사양토 또는 미사질 식양토로 미사와 점토의 함량이 많다.

3) 화학적 특성

(표 2-11)은 간척지 토양의 대표적인 염포, 광활, 포승통의 화학적성질이다. 이들은 모두 염농도가 높고, Na와 Mg함량이 높아 saline-alkaline토(US Salinity Staff, 1953)의 특징을 나타낸다. 사질토인 염포통은 CEC와 유기물함량이 낮으며, pH는 낮다. 점토함량이 낮은 미사질 토양인 광활통은 pH가 높으며, 점토 함량이 많은 포승통은 C층 이외에 pH가 광활통보다 낮다. 이들 세 토양간의 차이를 비교하면, 유기물 함량과 Ca, K함량은 포승>광활>염포의 순이며, Na의 함량은 염포>광활>포승의 순으로 soil-catena에서의 특징에서 살펴본 바와 같이 포승이 내륙 쪽에 가장 가까워 간척지로서 이용이 가장 오래 되고, 다음이 광활 그리고 염포의 순임을 알 수 있다.

(표 2-10) 간척지 대표 토양의 물리적 성질

토양통	토양층위	깊이(cm)	입경분포(%)			토성 (USDA)
			모래	미사	점토	
염포	Ap	0 - 10	69.7	23.5	5.0	fSL
	C1g	10 - 55	75.9	20.9	3.2	LfS
	C2g	55 -100	91.2	6.7	2.1	fS
광활	Ap1g	0 - 12	26.6	68.1	5.3	SiL
	Ap2g	12 - 22	36.7	54.8	8.5	SiL
	C1g	22 - 35	19.3	60.6	20.1	SiL
	C2g	35 - 56	24.9	64.5	10.6	SiL
	C3g1	56 - 85	25.1	62.5	12.4	SiL
포승	Ap	0 - 10	7.3	69.1	23.6	SiL
	B1	10 - 25	4.6	64.3	31.1	SiCL
	B21g	25 - 35	10.4	58.7	30.9	SiCL
	B22g	35 - 50	5.4	68.2	26.4	SiL
	B23g	50 - 80	3.4	71.7	21.9	SiL
	Cg	80 -140	10.6	61.8	27.6	SiCL

4) 경작지로서 토양특성에 따른 일반적인 문제점

간척지 토양의 가장 큰 문제점은 제염기간이 토성에 따라 상이하고 같은 토양이라 하더라도 간척지구별로 지형특성상 지하수위의 고저에 따라 크게 다르다는데 있다. 또한 토성별로 양분의 불균형 때문에 작물재배시 양분의 보충과 개량대책이 간척지구 및 토성별로 정밀한 조사·분석을 통한 종합개량대책이 요구된다.

간척지는 저지대에 위치하여 있고 지하수위는 20~50 cm로 높아 배수정도

(표 2-11) 간척지 대표 토양의 화학적 성질

토양통	토양 층위	깊이 (cm)	pH (1:1)	유기물 (%)	CEC	교환성양이온				염농도 (%)
						Ca	Mg	Na	K	
						(cmol ⁺ /kg)				
염포	Ap	0 - 10	5.6	0.56	4.0	1.2	1.4	4.0	0.2	1.0
	C1g	10 - 55	5.5	0.47	4.2	1.3	1.3	3.9	0.1	0.6
	C2g	55 - 100	5.9	0.38	3.8	1.0	1.2	4.2	0.1	1.5
광활	Ap1g	0 - 12	7.4	0.81	6.9	3.5	4.4	2.9	0.6	0.7
	Ap2g	12 - 22	8.1	0.35	5.8	2.9	5.3	4.4	1.1	0.9
	C1g	22 - 35	8.0	0.63	8.4	1.9	5.6	2.7	1.2	0.9
	C2g	35 - 56	7.7	1.04	7.2	3.0	3.7	1.9	1.2	1.5
	C3g1	56 - 85	7.6	0.56	6.3	1.9	5.9	5.2	1.1	1.7
포승	Ap	0 - 10	4.6	2.01	12.5	5.3	2.3	2.5	2.5	0.8
	B1	10 - 25	5.8	1.39	11.6	4.4	2.7	1.6	0.2	0.6
	B21g	25 - 35	6.7	0.89	12.6	2.8	3.4	1.9	0.3	0.6
	B22g	35 - 50	6.6	1.22	12.9	5.4	3.0	2.0	1.8	0.7
	B23g	50 - 80	6.5	0.73	13.2	5.1	3.2	2.1	1.1	1.0
	Cg	80 - 140	7.1	0.60	14.7	6.1	3.6	1.3	0.1	2.2

가 불량하며, 토양이 환원상태로 유지되기 쉽다. 또한 지형적인 영향으로 홍수기에 침수될 우려가 있으며, 지역에 따라서는 농업용수가 부족한 곳이 있어 농업용지로서 불리한 점이 많다. 간척지 토양의 토성은 양질사토 내지 미사질 식양토이며, 토양의 구조발달이 없이 토양입자가 분산되어 있어 투수성과 통기성이 나쁘고, 지내력이 약하다. 이러한 여러 가지 토양 조건에 의하여 제염이 어렵고 식물 뿌리의 활착과 신장이 나쁘며 비배관리도 어렵다.

2. 간척논의 분류

가. 간척지 토양의 분류

토양분류는 토양의 특성과 이들의 관계를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 종류별로 정리한 것이며, 이는 세계토양을 통일성을 갖도록 분류하려는 의도에서 토양분류를 시도하고 있다. 따라서 간척지 토양 조사 결과 밝혀진 토양통을 토양의 형태적 분류기준(Soil Taxonomy)에 의하여 분류하면 (표 2-12)와 같다.

(표 2-12) 간척지 토양의 분류

(계속)

목 (Order)	아목 (Suborder)	대군 (Great Group)	아군 (Sub Group)	토양속 (Texture Family)	토양통 (Series)
Entisols	Aquents	Psammaquents	Typic Psammaquents	Sandy	Yeompo
		Fluvaquents	Typic Fluvaquents	Course loamy	Munpo
				loamy skeletal	Gapo Yulpo
				Fine	Yeosu
Inceptisols		Endoaquepts	Typic Endoaquepts	Fine silty	Poseung
Entisoils			Typic Endoaquents	Course silty	Gwanghwal
		Hydraquents	Typic Hydraquents	Fine silty	Podu
				Course loamy	Gupo
	Fluvents	Udifuvents	Typic Udifuvents	Course loamy over sandy	Bugpyeong
	Psamment	Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments	Sandy	Bicheon Haeri
		Udipsamets	Typic Udipsamets	Sandy skeletal	Daebon Ilpyeong
			Aquic Udipsamments	Sandy over loamy	Sadu
		Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments	Sandy	Baegsu Hasa
Inceptisols	Aquents	Endoaquents	Typic Endoaquents	Course loamy over sandy	Dongho

(표 2-12) 간척지 토양의 분류

목 (Order)	아목 (Suborder)	대군 (Great Group)	아군 (Sub Group)	토양속 (Texture Family)	토양통 (Series)
				Course loamy	Geumjin Hagpo
				Fine loamy over Course loamy	Dapyeong
				Fine loamy	Pyeonghae
				Fine loamy over clayey	Seungju
Inceptisols	Aquepts	Endoaquepts	Typic Endoaquepts	Fine silty	Bogchen Hyangho
				Fine	Pori
				Fine silty	Jeonbug
				Course loamy	Gwangpo
				Course silty	Mangyeong
				Fine silty over sandy	Hagseong
				Fine loamy over course silty	Chunpo
			Fluvaqueptic Endoaquepts	Fine silty	Deunggu Deogha Bongrim Gimhae
				Fine silty over sandy Course silty	Daldong Hacheog
				Clayey over fine silty	Gimje
				Fine	Gongdeog Bongnam
Entisols			Lithic Endoaquepts	Course loamy	Taeon
			Vertic Endoaquepts	Fine	Seotan
Alfisols	Aqualfs	Endoaqualfs	Typic Endoaqualfs	Fine	Byong
Mollisols	Udolls	Hapludolls	Fluventic Hapludolls	Sandy	Myeongji
Histosols	Hemists	Haplohemists	Terric Haplohemists	Fine	Yongho

나. 답토양의 유형별 분류

농경지 토양의 유형별 구분은 토양특성이 약간 다르나 토양환경과 토양관리상 비슷한 점이 있어 동일한 토양관리를 해도 작물생육에 큰 영향을 미치지 않는 토양을 한데 묶어서 동일한 유형으로 한다. 우리나라 토양의 종류는 답토양에서 152개 토양과 전토양에서 125개 토양의 종류가 밝혀졌는데 논토양은 보통답, 사질답, 습답, 염해답, 특이산성답, 그리고 밭토양은 보통전, 사질전, 중점전, 미숙전, 고원전, 화산회전으로 분류하고 있다.

다. 염해답의 분류기준

답토양의 유형별 분류기준은 토양생산력, 지형, 토양조건(배수, 토성, 토색, 토심, 경사, 지하수위, 보수일수, 심토의 석력함량 등)으로 구분하여 분류하고 있다. 염해답의 분류기준은 토양생산력에 있어서는 매우 낮고 하해혼성평탄지의 지형으로 토양배수는 불량 내지 약간 불량한 식질을 제외한 토성으로 토색은 회색 내지 청회색, 토심은 20 ~ 80 cm, 경사는 2%이하, 지하수위는 20 ~ 100 cm, 보수일수는 7일 이상 그리고 심토의 석력함량은 없어야 하나 가장 중요한 것은 심토의 염농도가 16 dS/m으로 1.0% 이상되는 토양이 염해답으로 분류하고 그 이하의 토양은 토양의 특성에 따라 다른 유형으로 분류되고 있다.

라. 간척답의 유형별 분류

토양유형구분은 토양특성은 약간씩 다르나 토양환경과 토양관리의 유이성 때문에 동일한 토양관리를 해도 작물 생육에 영향을 미치지 않는 토양을 한데 묶어서 동일한 유형으로 구분한 것으로 간척답에 나타나는 우리나라 해안 평탄지에 분포하는 답토양의 토양통별 종류와 분포면적은 (표 2-13)과 같다.

일반적으로 논토양을 유형별로 분류할 경우에는 보통답, 미숙답, 사질답, 습답, 염해답, 특이산성답 등 6개 유형으로 분류할 수 있지만 있지만 주로 간척답이 위치하는 해안평탄지는 보통답, 사질답, 습답, 염해답, 특이산성답 등 5개 유형에서 관찰되고, (표 2-13)는 우리나라 해안평탄지에 분포하는 38개 토양통의

(표 2-13) 해안평탄지형에 분포하는 토양통 및 분포면적

구 분	토 성	토양통	면적(ha)	비율(%)	소계면적(ha),비율(%)
보통답	식질형	김제	5,542	2.08	106,163 (39.75)
		봉남	2,488	0.93	
		부용	19,771	7.40	
		포리	5,208	1.95	
	식양질형	다평	3,165	1.19	
		달동	1,139	0.43	
		덕하	895	0.34	
		등구	2,824	1.06	
		복천	5,571	2.09	
		승주	115	0.04	
		전북	50,478	18.90	
		춘포	8,039	3.01	
		평해	708	0.27	
		향호	220	0.08	
사질답	사양질형	광포	4,977	1.86	78,821 (29.51)
		만경	69,790	26.13	
		춘포	765	0.29	
		학포	80	0.03	
	사질형	백수	801	0.30	
		사두	2,408	0.90	
습답	식질 및 식양질	공덕	1,782	0.67	10,772 (4.03)
		서탄	137	0.05	
		용호	338	0.13	
		여수	243	0.09	
		학성	972	0.36	
	사양질형	구포	1,475	0.55	
		금진	5,689	2.13	
		동호	136	0.05	
염해답	식양질형	가포	3,548	1.33	68,247 (25.55)
		포두	1,605	0.60	
		포승	25,976	9.73	
	사양질형	광활	30,458	11.40	
		문포	3,494	1.31	
	사질형	낙천	89	0.03	
		염포	3,077	1.15	
특이산성답	식양질형	김해	1,674	0.63	3,060 (1.15)
		봉림	467	0.17	
		해척	919	0.34	
합	계		267,063	100.00	267,063(100)

유형별, 토성별 분포 면적을 정리한 것이다.

간척지에 많이 나타나는 만경통, 전북통은 각각 69,790ha(26.13%), 50,478ha(18.90%)이며 보통답과 사질답으로 분류되어 있고 염해답으로는 광활통 30,458ha(11.40%), 포승통 25,976ha(9.73%)이 넓게 분포되어 있다.

3. 간척지 농업용수 수질의 특성

간척지에서 사용되는 농업 용수는 일반 내륙의 농업 용수와 수질에 있어서 차이가 있다. (표 2-14)는 농업기반공사(2000)에서 조사된 농업용수 수질 측정망 조사 보고서의 수질 자료를 경기, 충남, 전남, 전북을 대상으로 간척지에서 사용되는 농업용수와 일반 농경지의 농업용수로 구분하여 수질의 차이를 비교한 것이다. 이 표에 의하면, pH를 비롯한 대부분의 수질 지표가 일반 농경지에 비해 높으며, 특히 EC와 Na 등 양이온의 함량에서 커다란 차이를 보인다. 일반 농경지 농업용수의 EC는 평균이 131 μ S/cm이며, 27~407 μ S/cm의 범위에 있다. 이에 비해 간척지 농업용수의 EC는 평균 1,337 μ S/cm이며, 최고 11,946 μ S/cm을 보인다. 일반 농경지 농업용수의 Na 함량은 0.40 mmol/L로 낮지만, 간척지 농업용수의 Na함량은 7.77 mmol/L로 높다. 이에 따라서 SAR비도 높다.

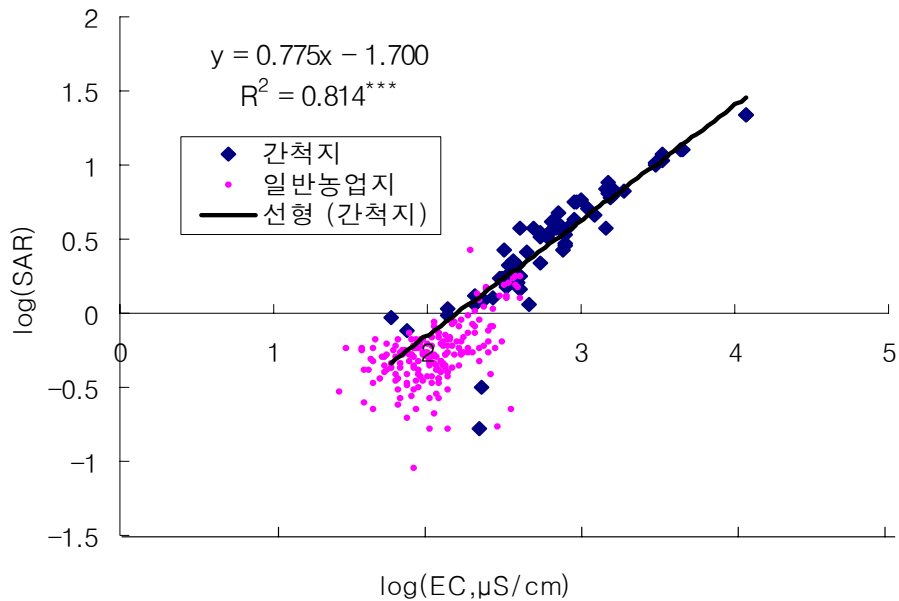
관개수의 SAR 값과 EC의 관계를 <그림 2-3>에서 보면, log-log 함수 상에서 고도의 유의성 있는 직선 상관을 보인다. 이에 따르면, EC가 1,000 μ S/cm이면 SAR 값은 4.2이고, EC가 4,270 μ S/cm일 때 SAR 값은 13이 된다.

간척지에서 영농을 위한 수질문제의 핵심은 염해에 있다. 특히 간척지에서 관개농업은 사용할 수 있는 농업용수 질을 갖춘 적절한 양의 관개수 공급에 성패가 달려 있다. 지금까지 농업용 수질문제는 아직 심각하게 다루어져 오지 않았는데, 그 이유는 양질의 물을 충분히 쉽게 확보할 수 있었기 때문이다. 그러나 양질의 농업용 관개수는 이미 집약적으로 이용되고 있기 때문에 새로운 관개 프로젝트나 기존 관개 프로젝트 모두 새로운 또는 보조 수자원을 찾게 되는데, 이들은 기존의 수자원의 수질조건보다 나쁜 조건에 있을 가능성

(표1-14) 간척지와 일반 농경지 농업용수의 수질

수질 지표	간척지 농업용수		일반 농경지 농업용수	
	평균	범위	평균	범위
pH	8.2	6.5~9.5	7.8	6.0~10.1
EC(μ S/cm)	1,337	58~11,946	131	27~407
BOD(mg/L)	4.6	0.3~43.0	4.0	0.3~16.7
COD(mg/L)	9.8	3.8~35.2	6.6	1.4~19.2
TN(mg/L)	2.9	0.27~17.10	1.9	0.5~9.3
TP(mg/L)	0.14	0.01~1.47	0.08	0.01~1.20
SS(mg/L)	17.2	1.90~17.12	11.4	0.12~11.38
K(mmol/L)	0.41	0.02~2.38	0.11	0.01~0.66
Na(mmol/L)	7.77	0.10~75.86	0.40	0.05~2.22
Ca(mmol/L)	1.21	0.18~4.13	0.57	0.11~2.03
Mg(mmol/L)	2.11	0.10~19.68	0.24	0.05~1.50
SAR	4.69	0.17~22.0	0.62	0.17~1.67

* 농업기반공사(2000) 자료 재정리



<그림 2-3> 간척지와 일반 농경지 농업용수 중 EC와 SAR의 관계

이 높다. 수질이 낮은 관개수를 사용하였을 때 발생하는 문제를 피하기 위하여 가용할 수 있는 수자원의 질을 확보할 수 있는 합당한 방안이 모색되어야 한다.

개념적으로, 수질은 특정한 목적을 위한 적합성에 영향을 줄 수 있는 물 공급 특성, 즉 사용자의 요구에 질이 어떻게 부합되는가 할 수 있다. 질은 어떤 물리적, 화학적, 생물학적 특성으로 정의된다. 맛과 같은 어떤 사람의 기호도 수용될 수 있는 간단한 평가 방법이다. 예를 들어, 질이 좋은 두 가지의 음용수가 있을 때, 사람은 한 공급자의 물을 다른 공급자의 물보다 선호할 수 있다. 좋은 맛을 가진 물이 소비자에게 선호된다. 관개수를 평가함에 있어서, 물의 화학적 물리적 특성을 강조하며, 다른 요인의 비중은 적다.

관개수로 위해 사용된 물은 녹아 있는 염의 형태와 양에 의하여 크게 결정된다. 관개수에 염은 비교적 적게 녹아 있지만, 유의할 필요가 있는 양이 존재한다. 이들은 암석과 토양의 풍화와 용해에서 오며, 석회, 석고에서 오며, 그 밖의 녹기 어려운 토양 광물에서도 온다. 이들 염은 물을 사용하는 곳으로 이동된다. 관개의 경우, 물과 함께 염이 공급되며, 물이 작물에 의해 흡수되거나 증발되면, 염은 남게 된다.

관개를 위한 물의 적합성은 존재하는 염의 양뿐만 아니라, 염의 종류에 의해서도 결정된다. 총 염류의 양이 증가되면서 여러 가지 토양과 작물에 문제를 일으키며, 작물의 수량을 유지하기 위하여 여러 가지 대책이 요구된다. 수질이나 적합성은 오랜 기간 동안 사용하였을 때 발생할 것으로 예상되는 문제의 심각성에 따라서 결정된다.

문제의 결과는 종류와 심도 양쪽에서 다양하며, 물을 사용하는 기술과 지식과 함께 토양, 기후, 작물의 종류에 따라서 달라진다. 결과적으로, 수질 기준 대상에 제한이 없으며, 물의 조성분의 집적과 수량에 영향을 주는 조건에 의하여 물의 적합성이 결정된다. 토양 염농도, 침투속도, 독성, 그리고 관련된 여러 가지 토양 문제가 수질 결정에 중요한 요소로 작용하게 된다.

제 3 장 염해우려지구 지역 특성 조사

숙답된 간척지에서도 간척토양의 이화학적 특성이나 기상조건에 따라 효율적인 물관리 방법을 통해 농작물에 대한 염해를 사전에 예방이 가능하다. 그러나 관행적으로 행해지는 수량 위주의 물관리로 인해 종종 간척지에서 염해 피해가 발생한다.

우리나라의 농업용수의 공급과 관련된 관리기관은 시군 지자체에서 관리하는 경우와 농업기반공사에 관리하는 경우가 있다. 농업기반공사는 관개수 염도상승에 의한 염해우려가 있는 간척지로 (표 3-1)과 같이 전국적으로 58지구를 선정, 분류, 관리하고 있다. 간척 농경지가 많은 전남이 30지구로 가장 많으며, 전국적으로 약 64,957ha이 해당된다.

(표 3-1) 간척 농경지의 염해우려지구

위 치	간 척 지 구 명	수혜면적(ha)
경기(4지구)	공덕, 임진, 인대단위, 영천	8,475
충남(7지구)	옥남, 부사, 미포, 삼교호, 대호, 송산, 인주	23,037
전북(6지구)	유천, 상암, 도천, 석남, 수동, 공산	1,165
전남(30지구)	임천, 강남, 마량, 신학, 회룡, 중도, 관산, 해동, 월송, 청송, 완도, 손불, 주포, 오마, 주교, 보성, 장양, 화원, 호동, 백포, 우근, 해남, 군남, 염산, 신성2, 신성1, 상사, 후평, 하사, 소포,	10,700
경남(10지구)	죽전, 송전, 구량, 금진, 다평, 대포, 신촌, 대송, 갈사, 진교	1,187
기타(1지구)	군산 금강	20,390
전국(58지구)		64,954

1. 중·대규모간척개발지구(충남 보령 부사지구)

이 지구는 일반적인 중·대규모 간척개발지구에 흔히 볼 수 있는 경우로 해면 간척을 통해 고지대는 농경지를 조성하고 저지대는 담수호를 조성하여 담수호 상류부에서 양수하여 농업용수를 공급하는 체계를 가지고 있는 지역으로 가뭄이나 방조제나 갑문을 통한 해수유입이 있는 경우 담수호 전체가 염분이 상승될 수 있는 특징을 가지고 있다.

2. 육지부 용수원 이용지구(전남 함평 손불지구)

이 지구는 육지부 용수원을 농업용수로 공급하기 때문에 담수호가 조성되지 않고 조절지성격의 저류지만을 가지고 있다. <그림 3-2>와 같이 염농도 변화에서도 300ppm이하로 염해에 대하여 우려되지 않지만, 배수문이나 방조제의 일시적인 해수 유입 및 태풍이나 해일 등에 의한 침관수 피해가 우려되는 지구다.

3. 담수호 용수원 재이용지구(충남 태안 미포지구)

이 지구의 특징은 집수 유역이 적어 담수호 물을 강제 양수하여 지구 상단에 별도의 양수용 저수지를 축조하여 물을 재이용하는 지구로 물이용율은 높다. <그림 3-4>에서 2003년 염농도조사에서 갈수기에 해당되는 1월부터 5월까지 저유지의 염농도가 3,000ppm이상 상승한다. 실제 농업용수로 사용하고 저수지의 염농도는 1,500ppm로 변화가 적다. 그러나 가뭄이나 하류 담수호의 염분 상승시 별도의 용수원 확보가 어렵기 때문에 특별한 담수호 관리가 요망되는 지구이다.

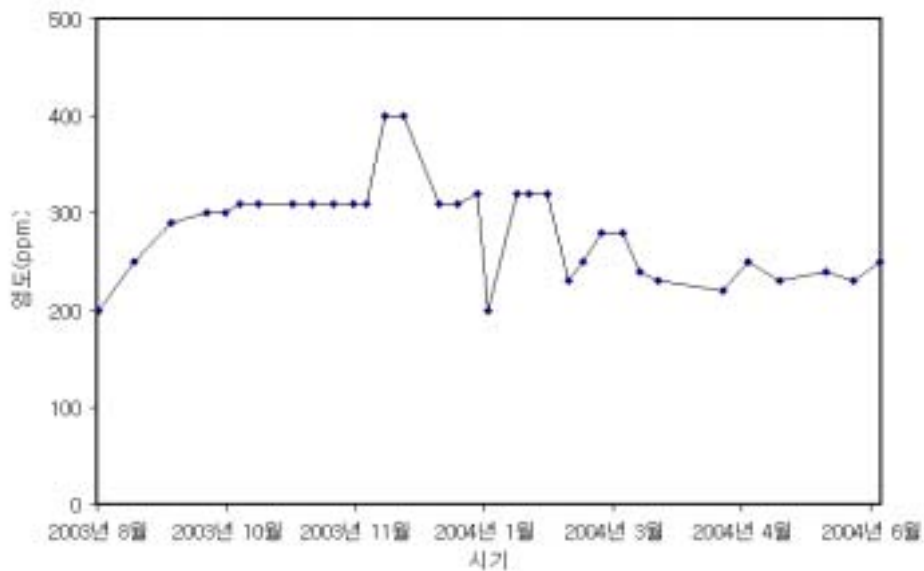
4. 해수유입 방지 지구(전남 영광 군남지구)

이 지구는 간척지구가 아니라 만조시 해수가 하천을 따라 내륙 깊이 상승하는 지구로 각각의 지천에 갑문을 설치하여 해수 유입을 차단하고 있는 지구이다. 강우량 등 기상조건에 따라 염농도의 변화가 심할 뿐만 아니라, 배수로가 배수갑문에 접하여 있기 때문에 염농도변화에 대하여 집중관리가 필요하다. <

그림 3-6>과 같이 염해우려지구 중 염농도가 200ppm 정도로 낮지만 타지구
 에 비하여 염농도의 변화는 심하다. 따라서 용수를 본격적으로 이용하는 시기
 에는 배수로상에 용수를 공급한 후 자가 양수하여 염농을 하고 있기 때문에
 설치된 배수문의 유지관리가 매우 주요한 지구이다.



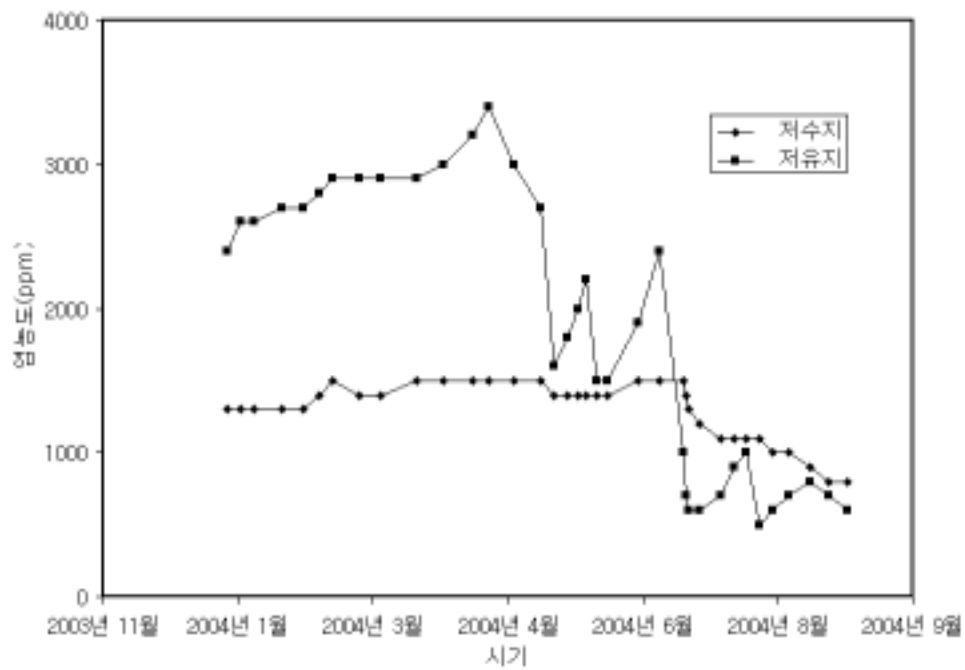
<그림 3-1> 손불지구 저류지



<그림 3-2> 손불지구 염농도변화



<그림 3-3> 미포지구 저유지와 저수지



<그림 3-4> 미포지구 염농도변화

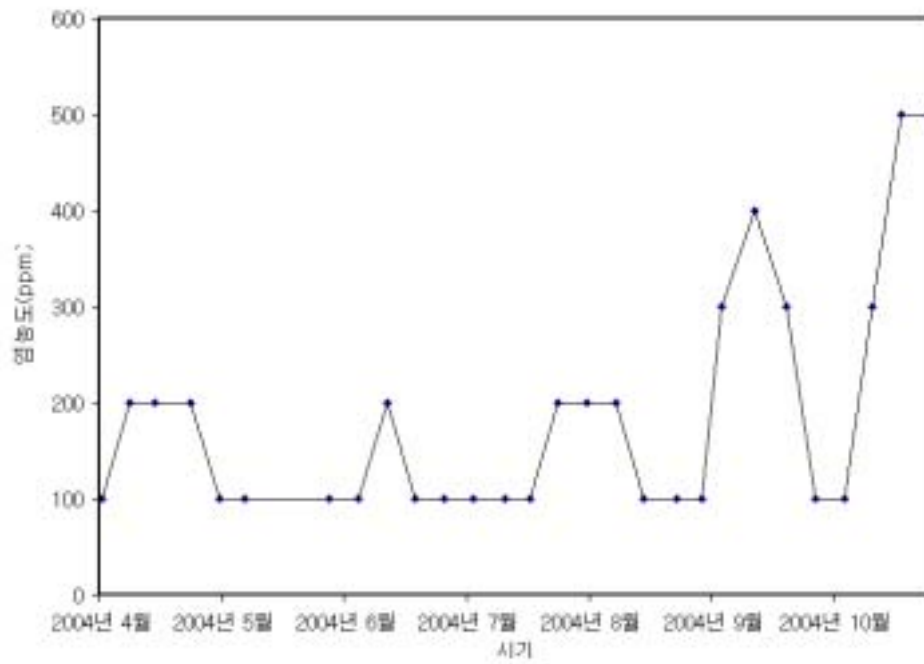


(배수로와 배수갑문)



(불감지천)

<그림 3-5> 군남지구 배수로와 지천



<그림 3-6> 군남지구 염농도변화

제 4 장 간척농지 이화학적 특성 및 수도 생육 단계별 한계 염농도 설정

제 1 절 간척농지의 이화학적 특성 조사

우리나라 간척지의 토양의 이화학성을 파악하기 위하여 서남해안에 분포한 9개 간척지에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다.

조사지구는 남양(NY), 대호(DH), 석문(SM), 서산A(SS), 남포(NP), 부사(PS), 계화(KH), 소포(SP), 보전(PJ)간척지등 총 9개 간척지이다. 각지구당 5지점, 2개심도(0-20, 50-60 cm)에서 지구당 10점씩 총 90개의 시료를 채취하여 분석하였고, 토양분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000) 및 미농무부 토양분석법(1982)에 준하여 토양시료를 음지에서 풍건하여 2mm 체를 통과하도록 분쇄하여 공시한 후 pH(1:5, 초자전극법), 전기전도도(포화추출액법), 유기물(Walkeley-Black법), 전질소(Kjeldahl법)를 분석하였으며, 포화 침출액중 수용성 양이온(유도결합플라스마분광광도법)을 측정하였고, 입경분석(비중계법)을 한 후 토성은 미농무부 기준에 의해 판단하였다.

토양의 가장 대표적인 성질이라 할 수 있는 입도 분포와 토성(Texture)은 크게 두 가지로 나타났는데 남양, 석문, 대호, 소포, 보전 지구는 미사질양토(SiL)계의 토성을 보였고 서산A, 남포, 부사, 계화도 지구에서는 사양질(SL)계의 토성을 보였다. 사양질인 남포, 부사, 계화도 지구에서도 남포와 부사는 모래함량이 매우 높은 경우이었고, 서산A와 계화도 지구에서는 미사의 함량이 높은 사양토의 특성을 보였다.

토양의 화학성중 산도와 유기물, 전질소, 유효인산의 함량을 조사한 결과는 (표 4-2)와 같다. 간척지 토양의 일반적인 특징과 같이 토양반응은 알칼리성을 나타내고 있었다. 낮은 유기물 함량과 유효인산함량은 간척지 토양의 대표적인 화학성을 반영해 주고 있었다. 특히 경작연수가 오래된 남양간척지는 유기물함량이 1%이상이었고 유효인산의 함량도 9개지구중 가장 높은 40.5 mg/kg을 함유하고 있었지만 일반 농지와 비교하여서는 아직 낮은 함량이 이었다. 사질인 남포나 부사지구의 토양은 유기물이나 유효인산 모두 극히 낮았고 일

(표 4-1) 지구별 토양의 입도분포

(단위 : %)

지구명	모 래	미 사	점 토	대표토성
남 양	17 (36-10)	71 (55-80)	12 (8-19)	SiL
석 문	35 (11-56)	57 (37-80)	8 (3-17)	SiL
대 호	40 (10-74)	52 (13-75)	8 (4-15)	SiL
서산A	48 (20-73)	44 (24-69)	8 (3-13)	SL
남 포	78 (59-95)	16 (2-36)	6 (3-13)	SL
부 사	60 (20-94)	29 (4-50)	11 (2-35)	SL
계화도	56 (28-88)	39 (9-66)	5 (3-7)	SL
소 포	12 (8-16)	75 (64-80)	14 (11-20)	SiL
보 전	38 (17-55)	54 (38-71)	8 (6-12)	SiL

부 농지에서는 보비력 향상을 위하여 산흙을 객토한 경우가 있었는데 부사지구에서 산도가 5.7이 나온 지점은 산흙을 객토한 것의 영향으로 생각되어 진다.

토양의 염농도는 간척 농지의 가장 큰 관심사라 할 수 있는데 염류토양의 분류기준이 되며 토양 제염의 정도를 알 수 있는 토양포화침출액의 전기전도도 4 dS/m와 나트륨흡착비(SAR) 13이하로 나타내고 있는 지구는 남포, 부사, 계화도 지구와 같은 사양토계의 토성을 나타내고 있는 지구였으며, 미사질계 열인 남양이나 소포지구의 경우에는 경작년수가 10년이상인 경과하여도 여전히 염류 나트륨성 토양의 특성을 나타내고 있었다.

(표 4-4)에서와 같이 경작 년수에 따른 토양의 염농도는 단순한 경작년수만

의 문제가 아니라 경작 방식과 사용하는 용수의 염분 등 여러 조건을 고려해야 하지만 금회 조사에서 미사질양토의 토성을 보이는 지점의 토양의 염농도만으로 추정된 토양의 경작년수에 따른 토양의 염농도 변화 특성은 (표 4-5)와 <그림4-1>과 같다. 표의 자료로 통계 처리하여 미사질양토계의 년대별 토양의 염농도 변화를 추정하면 염류토양의 경계가 되는 4 dS/m이하의 염농도까지 제염이 되기 위해서는 논상태로 30년이상의 경작이 지속되어야 하는 것으로 추정되며 심토의 경우는 표토의 염농도보다 항상 2배 정도를 유지하고 있는 것으로 추정되었다.

(표 4-2) 지구별 토양의 산도, 유기물, 전질소, 유효인산 함량 분포

지구명	산도, pH (-)	유기물, OM (%)	전질소TN (%)	유효인산Aval-P ₂ O ₅ (mg/kg)
남 양	8.3 (7.9-9.1)	1.07 (0.28-1.92)	0.069 (0.027 - 0.116)	40.5 (10.7-147.7)
석 문	7.8 (7.1-8.4)	0.44 (0.05-0.75)	0.026 (0.007 - 0.039)	21.3 (12.7-33.7)
대 호	8.0 (7.6-8.3)	0.56 (0.18-1.18)	0.039 (0.018 - 0.087)	31.4 (11.6-80.4)
서산A	8.2 (7.7-8.5)	0.57 (0.19-1.06)	0.041 (0.019 - 0.065)	34.7 (24.2-48.7)
남 포	7.7 (7.0-8.1)	0.22 (0.05-0.98)	0.016 (0.000 - 0.064)	9.8 (3.5-21.0)
부 사	7.7 (5.7-8.3)	0.36 (0.08-1.02)	0.023 (0.007 - 0.051)	19.1 (11.7-39.3)
계화도	7.4 (6.8-8.0)	0.54 (0.13-1.40)	0.036 (0.008 - 0.080)	17.9 (5.7-27.9)
소 포	8.3 (8.1-8.5)	1.04 (0.40-1.83)	0.057 (0.021 - 0.101)	29.2 (9.5-63.9)
보 전	7.6 (4.5-8.2)	0.59 (0.37-0.80)	0.030 (0.015 - 0.044)	11.8 (6.2-17.5)

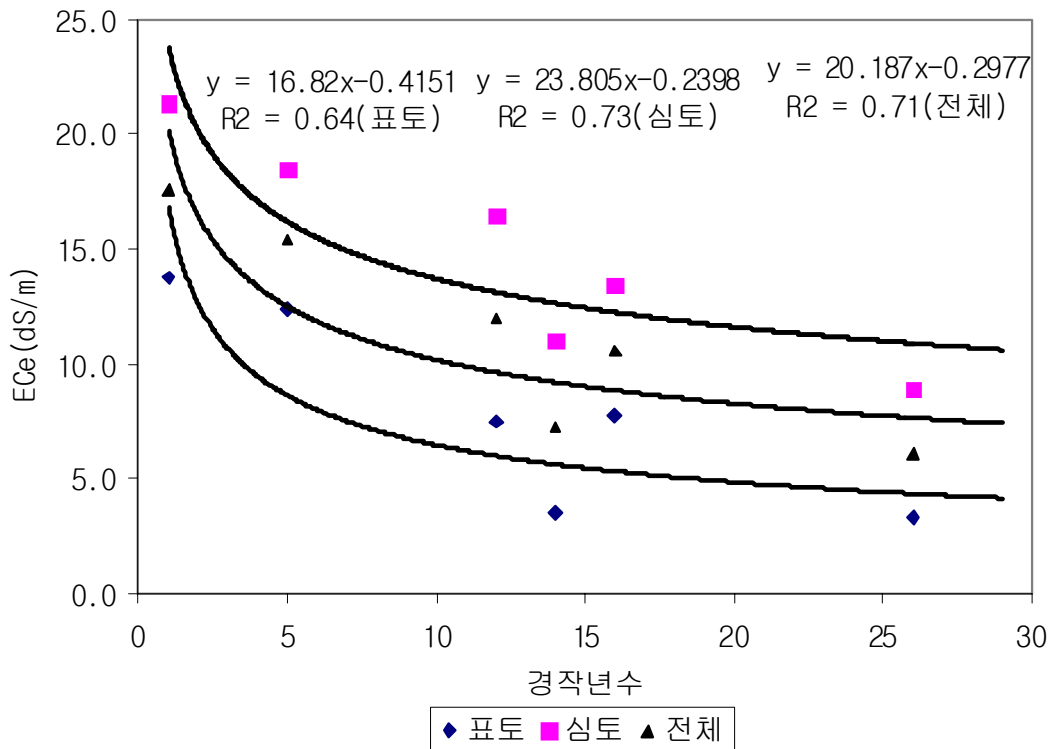
(표 4-3) 지구별 토양의 염농도 및 수용성 양이온 분포

지구명	염농도, E _{Ce} (dS/m)	Na (mmolc/L)	K (mmolc/L)	Ca (mmolc/L)	Mg (mmolc/L)	SAR (-)
남 양	6.1 (2.1-22.1)	54.0 (15.1-217.6)	2.5 (0.7-8.5)	3.3 (1.0-10.0)	10.2 (3.1-44.1)	27.5 (11.9-59.2)
석 문	17.6 (3.8-30.9)	166.1 (29.3-311.1)	8.1 (2.2-15.0)	19.3 (4.9-43.2)	37.4 (6.5-78.9)	43.6 (17.4-64.9)
대 호	12.0 (0.9-23.7)	99.4 (41-222.8)	4.5 (1.1-9.9)	8.5 (0.9-19.2)	20.6 (1.6-48.3)	33.0 (5.2-56.4)
서산A	6.2 (3.4-14.4)	54.6 (25.7-143.6)	2.8 (1.4-5.5)	5.0 (1.7-7.9)	9.7 (5.0-20.8)	27.2 (15.3-55.9)
남 포	1.5 (0.9-2.1)	7.5 (4.9-11.7)	0.5 (0.2-0.8)	3.7 (0.3-9.2)	2.5 (0.4-6.0)	7.4 (4.0-23.2)
부 사	4.1 (0.6-15.6)	29.7 (3.3-106.8)	2.0 (0.3-7.1)	6.0 (0.7-21.5)	11.2 (1.1-65.4)	13.6 (4.2-31.0)
계화도	1.6 (0.6-2.8)	9.5 (1.9-15.9)	0.7 (0.4-1.1)	2.5 (0.8-6.0)	2.7 (1.6-5.4)	8.2 (2.4-12.2)
소 포	10.6 (5.6-20.9)	86.6 (30.5-191.5)	3.8 (1.8-8.2)	10.8 (7.2-19.4)	21.3 (10.0-45.3)	29.5 (14.1-48.5)
보 전	15.4 (8.2-31.6)	127.2 (63.3-292.4)	5.8 (2.3-13.5)	22.9 (10.3-45.3)	34.9 (12.8-88.0)	32.9 (22.6-53.3)

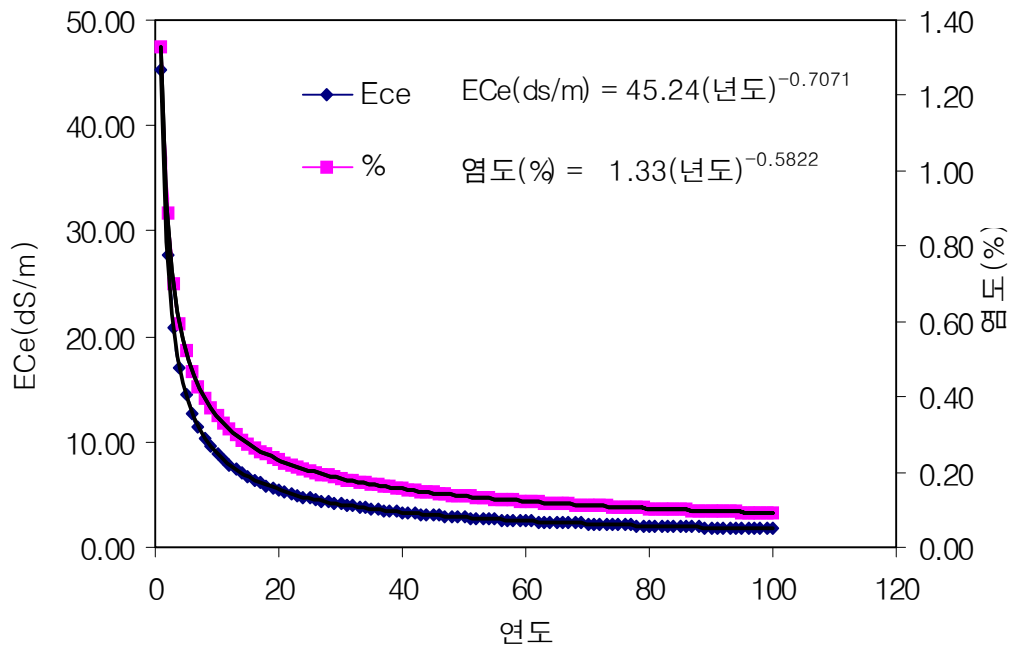
(표 4-4) 경작년수에 따른 토양염농도(E_{Ce}) 변화

지구명	경작년수 (년)	염농도, E _{Ce} (dS/m)		
		표토	심토	전체
석 문	1	13.8	21.4	17.6
보 전	5	12.4	18.5	15.4
대 호	12	7.5	16.4	12.0
서산A	14	3.5	11.0	7.2
소 포	16	7.7	13.4	10.6
남 양	26	3.3	8.9	6.1

<그림 4-2>은 간척 년대별 토양의 염농도 변화를 추정한 결과이다. 상이한 토양분석법간의 환산계수로 가지고 농촌진흥청에서 간척 년대별로 조사하여 발표한 자료와 계산하여 간척 년대별로 토양의 염농도 ECe와 % 농도를 추정한 결과 그림 4-2와 같이 ECe로 염류토의 기준인 4 dS/m 이하로 유지하기 위해서는 20년 이상의 기간이 소요되고, 0.3%이하의 염농도를 유지하기 위해서는 15년 정도의 기간을 요하였다.



<그림 4-1> 경작년수에 따른 토양 염농도 추정.



<그림 4-2> 간척년도별 토양염농도의 변화

제 2 절 수도 생육 단계별 한계 염농도 설정 시험

1. 개요

본 절에서 실시한 시험은 하구담수호를 농업용수로 사용하는 염해우려지구에 대해 염해예보시스템을 구축하기 위하여 관개용수의 염농도에 따른 수도의 생장 단계별 생육 반응을 검토하여 시스템 구축을 위한 기초자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

2. 시험방법

포장시험과 포트시험의 문제점을 동시에 해결하고자 간척농지 현지 포장에서 관행 재배중인 벼(품종:화산벼)를 생육단계(분얼기, 유수발육기, 등숙기)별로 1/5000a 와그너 포트에 1주씩 정식하고, 관개수로 대조구는 수도물을 실험

구는 천일염으로 조제한 1 000, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000 mg/L의 물을 관개수로 이용하였고, 각 단계별로 4주간, 4반복으로 재배하였다. 생육조사는 매 1주당 초장을 조사하고 4주후에는 수확하여 분얼수 및 지상부와 지하부의 초장, 그리고 건물중을 각각 조사하였다.

포장에서의 수도 재배는 농업기반공사 농어촌연구원 대호간척지내 시험포장에서 재배하였고, 시험 전 포장에서 재배포장의 토양의 이화학적 성질을 파악하고자 포장내에서 토양시료를 채취하여 분석하였다. 토양분석법은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(2000) 및 미농무성 토양화학분석법(1986)에 준하여 분석하였다.

시험포장 토양의 이화학적 성질은 (표 4-5)와 (표 4-6)과 같다. 시험포장의 토성은 미사질양토로 우리나라 간척농지에서 흔히 볼 수 있는 토성이었고, 가비중은 1.36 g/cm³정도였다. 포화침출액의 전기전도도는 평균 14.4 dS/m이고 SAR은 평균13.5로 미농무성 염류토양 분류에서 염류나트륨성 토양(salinle-sodic soil)으로 분류되었다.

(표 4-5) 시험포장 토양의 물리적 특성

모래	미사	점토	토성	고상	액상	기상	가비중 (g/cm ³)
----- % -----				----- % -----			
33.0	61.6	5.4	SiL	51.20	29.90	18.90	1.36

(표 4-6) 시험포장 토양의 화학적 특성

pH (H ₂ O)	염농도, E _{Ce} (dS/m)	유기물 (g/kg)	전질소 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	수용성 양이온 (mmolec/L)				SAR (-)
					K	Na	Ca	Mg	
7.7	14.4	12.9	0.91	220	78	780	375	47	135
6.8-8.3	5.7-28.7	9.6-17.4	0.4-1.32	164-339	20-179	33-145	69-837	92-1062	115-159



<그림 4-3> 시험포장의 수도재배 전경(분얼기)

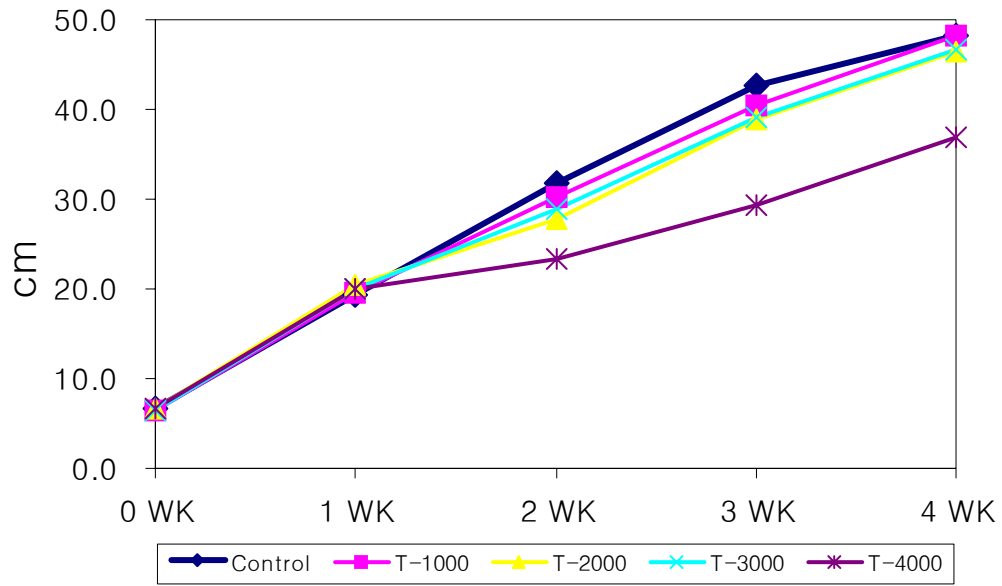
3. 시험결과

가. 분얼기

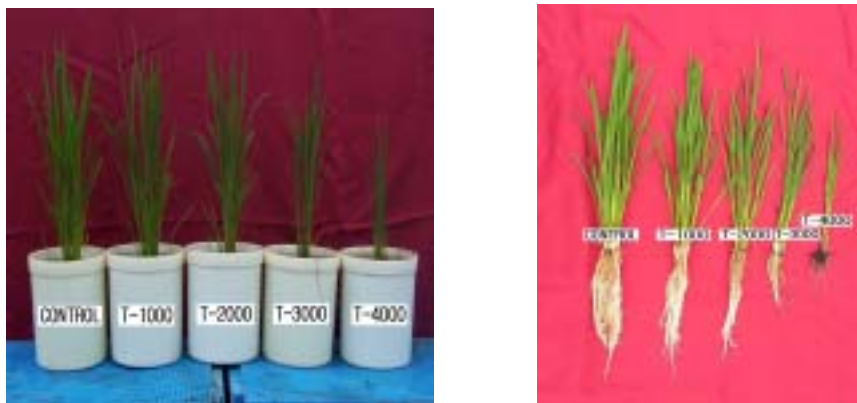
분얼기에 정식하여 4주 재배한 후 수확직전과 세척하여 뿌리부분의 생육상태를 조사한 결과는 <그림 4-4>와 같다. 정식 후 매1주단위로 조사한 수도의 초장의 변화는 <그림 4-5>와 같다. 초기 1주까지는 처리에 따른 별다른 차이를 보이고 있지 않았지만, 2주부터 4000mg/L 처리구에서 생장저해가 나타났고 3주 이후부터 확연한 차이를 보였다.

<그림 4-6>과 <그림 4-7>은 수확한 수도체에 대하여 지상부와 지하부로 구분하고 지상부와 지하부에 대하여 각각의 길이와 건물중 그리고 분얼수를 조사한 결과이다. <그림 4-4>의 결과에서처럼 재배기간 중 외형의 변화인 초장의 변화는 3000 mg/L까지 큰 영향이 없는 것으로 조사되었으나 수확 후 조사에서는 염농도의 증가에 따른 근권부의 생육저해가 확연히 나타났고, 지상부 길이는 4000 mg/L에서 영향을 보였지만 지하부에서는 3000 mg/L에서

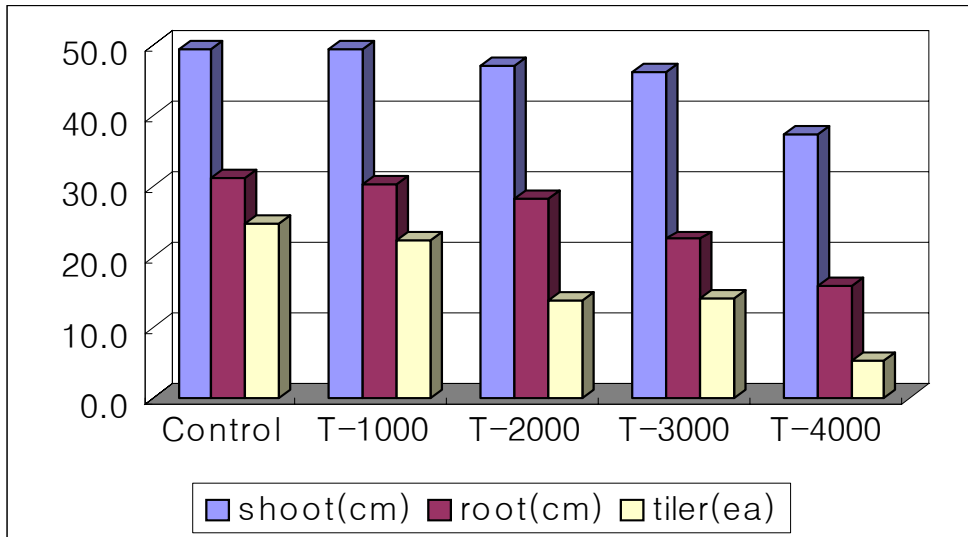
영향을 보였다. 분얼수는 2 000 mg/L에서 영향을 보였다. 이러한 결과 지상부의 생체중보다 지하수의 생체중이 관개수의 염농도에 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.



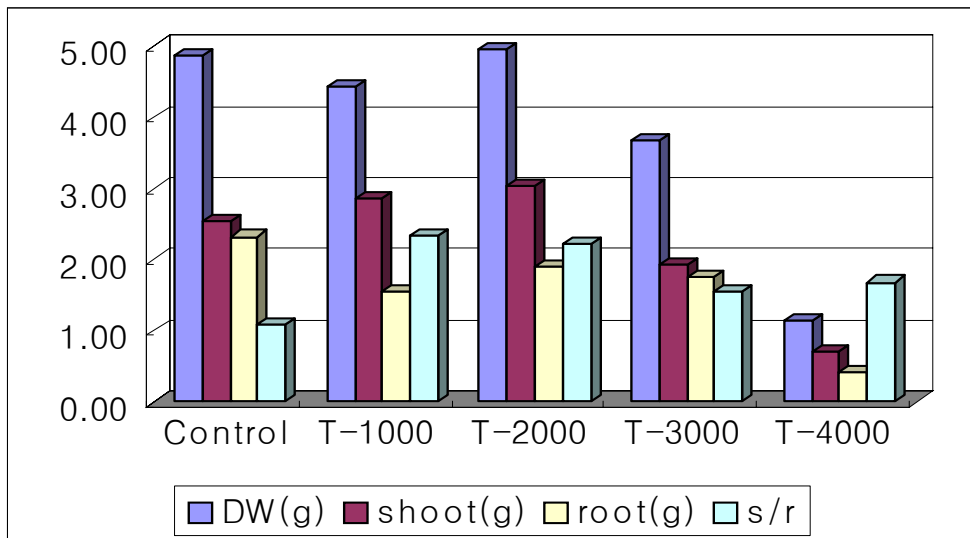
<그림 4-4> 분얼기 염수처리에 따른 초장 변화.



<그림 4-5> 분얼기 염수처리에 따른 수도생육 사진.



<그림 4-6> 분얼기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 길이 및 분얼수



<그림 4-7> 분얼기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 및 총 건물중

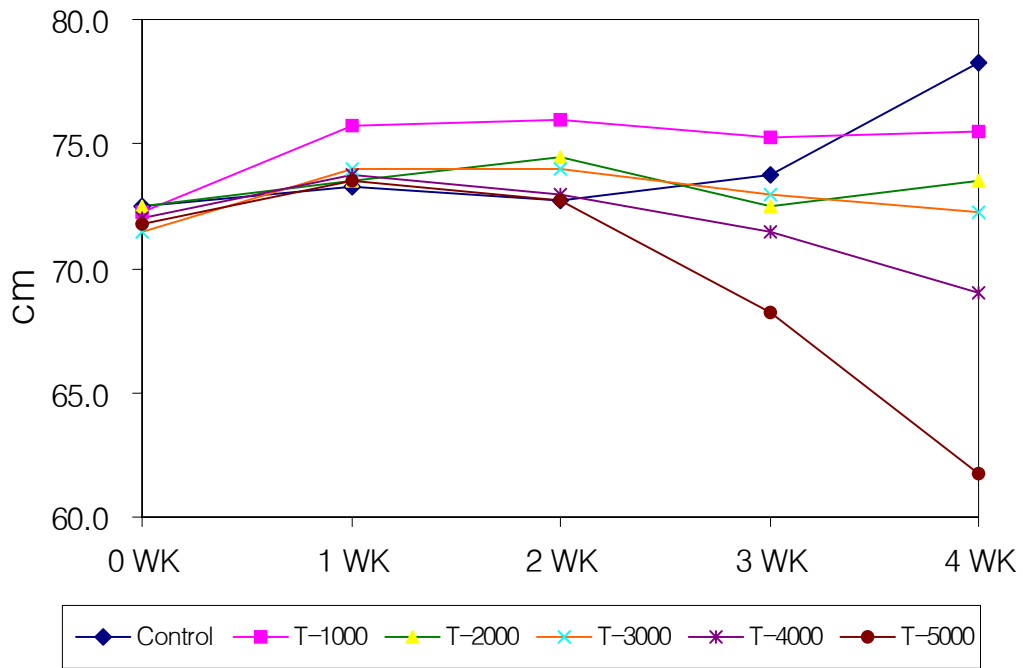
나. 유수발육기

유수발육기에 정식하여 4주 재배한 후 수확직전과 세척하여 뿌리부분의 생육상태를 관찰한 결과는 <그림 4-8>과 같다. 정식 후 매1주단위로 조사한 수도의 초장의 변화는 <그림 4-9>와 같다. 실험기간동안 Control과 1 000 mg/L 처리구에서는 지속적으로 성장하는 모습을 보였으나, 4 000 mg/L과 5 000 mg/L 처리구에서는 1주 이후부터 초장이 줄어드는 생육저해 현상을 보였다. 특히 5 000 mg/L 처리구에서는 2주후부터 급격히 초장이 줄어드는 현상을 확인할 수 있었다.

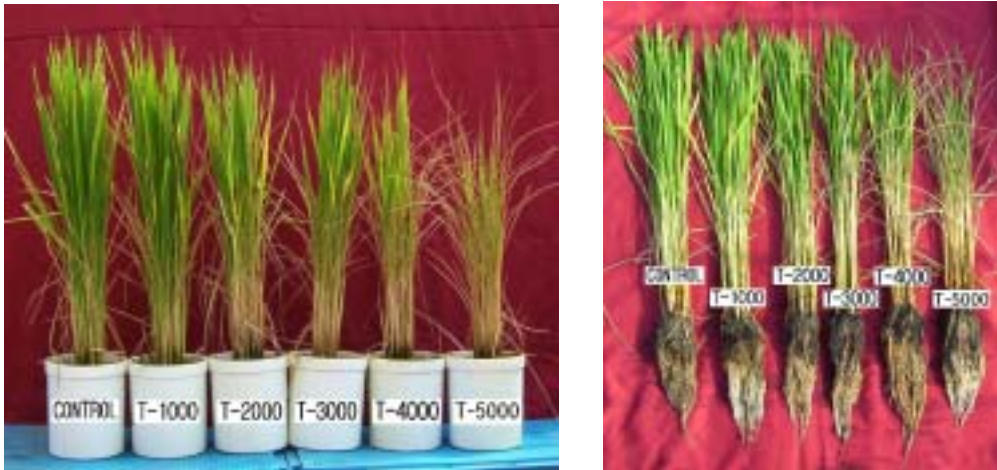
<그림 4-10>과 <그림 4-11>은 수확한 수도체에 대하여 지상부와 지하부로 구분하고 지상부와 지하부에 대하여 각각의 길이와 건물중 그리고 분얼수를 조사한 결과이다. 분얼기와는 달리 처리농도가 증가함에 따라 지상부 지하부 모두 완만한 생육 저해 현상이 나타났다. 그러나 지상부와 지하부 길이 비교에서 지상부의 길이는 줄어드는 경향이 분명하였지만 지하부의 경우 길이의 저해는 확인하지 않았다. 반면에 지상부와 지하부의 건물중은 비교하여 보면 모두 확연히 감소함을 알 수 있다.

다. 등숙기

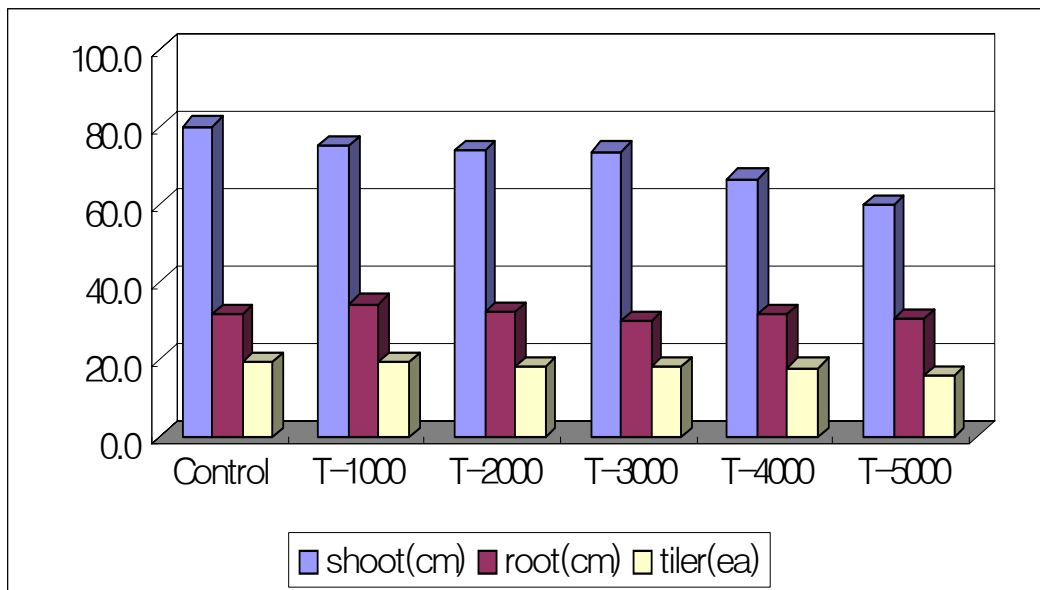
등숙기에 정식하여 4주 재배한 후 수확직전과 세척하여 뿌리부분의 생육상태를 관찰한 결과는 <그림 4-12>와 같다. 정식 후 매1주단위로 조사한 수도의 초장의 변화는 <그림 4-13>와 같다. 등숙기에 들면서 처리농도에 따라 감소 경향의 정도차이는 있지만 모두 생육이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 <그림 4-13>에서 보는 바와 같이 처리농도가 증가함에 따라 수도 생육의 노화속도가 증가하여 5 000 mg/L 처리구에서는 대조구와 달리 대부분의 엽에서 황화현상을 보이고 있음을 알 수 있다.



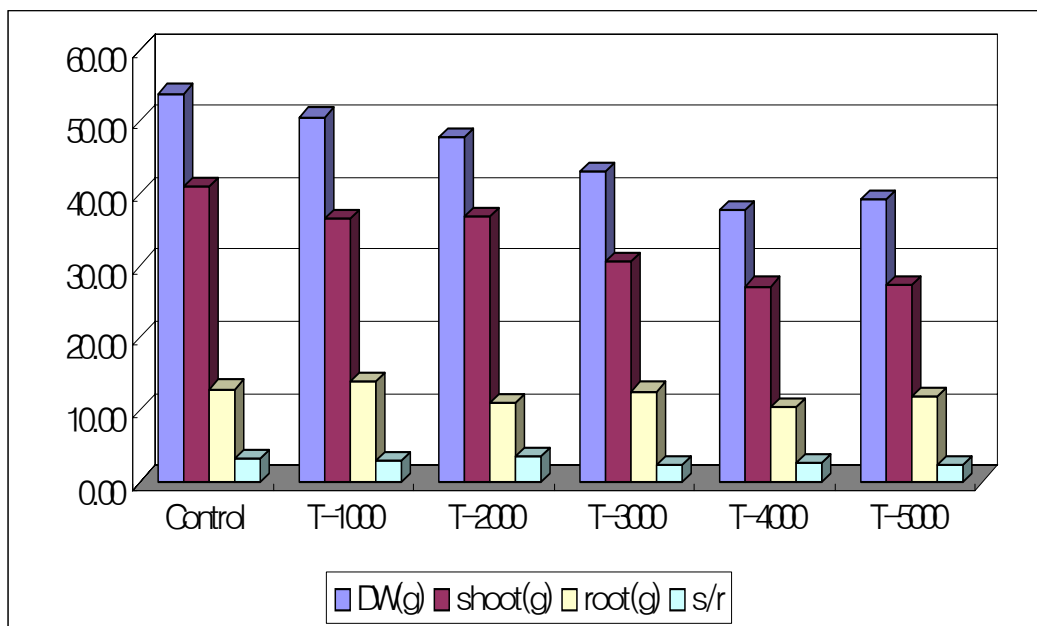
<그림 4-8> 유수발육기 염수처리에 따른 초장 변화.



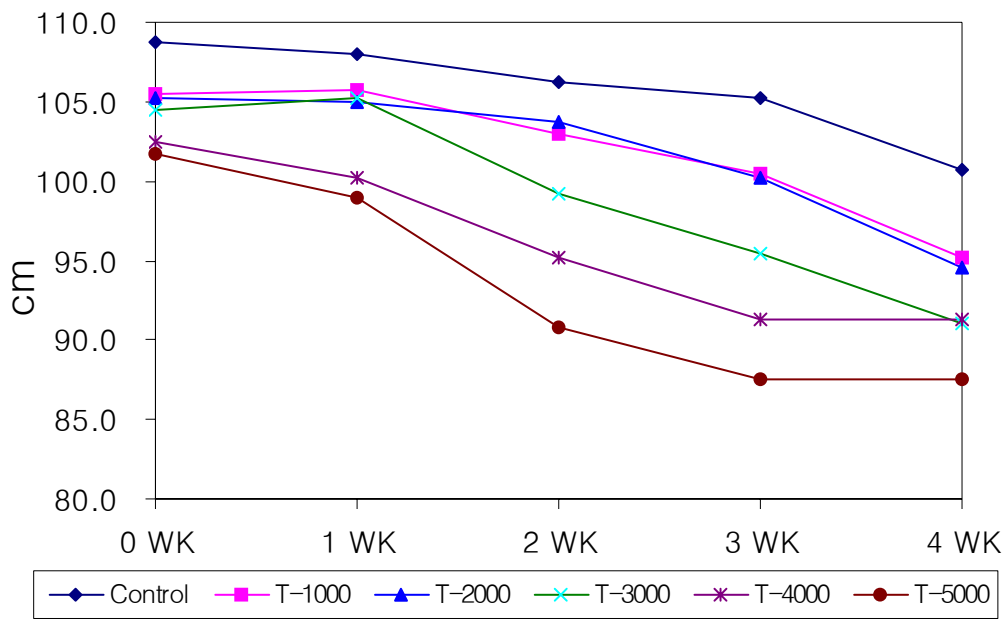
<그림 4-9> 유수발육기 염수처리에 따른 수도생육 사진



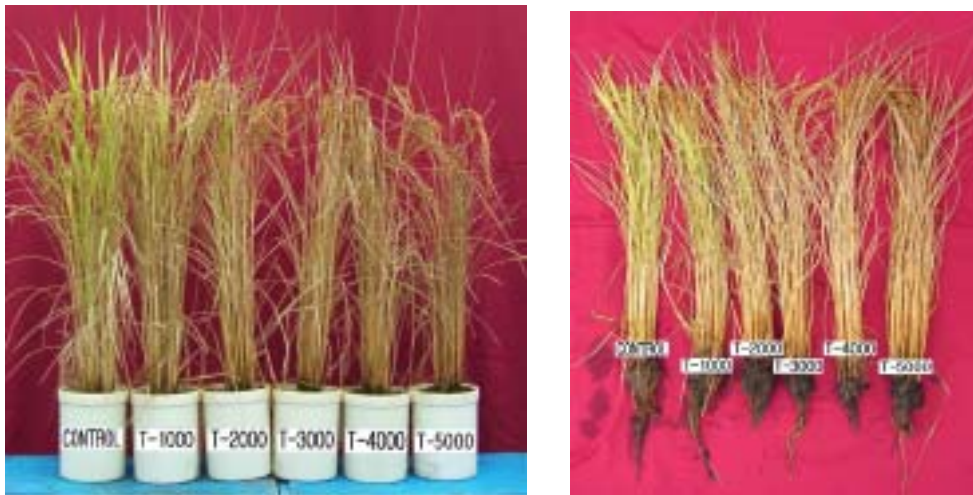
<그림 4-10> 유수발육기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 길이 및 분얼수



<그림 4-11> 유수발육기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 및 총 건물중



<그림 4-12> 등숙기 염수처리에 따른 초장 변화.



<그림 4-13> 등숙기 염수처리에 따른 수도생육 사진

<그림 4-14>과 <그림 4-15>는 수확한 수도체에 대하여 지상부와 지하부로 구분하고 지상부와 지하부에 대하여 각각의 길이와 건물중 그리고 분얼수를 조사한 결과이다.

등숙기는 처리농도가 증가함에 따라 외형적 지표인 지상부, 지하부의 길이 생장 저해는 확연한 생육 저해 현상이 나타나지 않았다. 반면에 지상부와 지하부의 건물중은 비교하여 보면 모두 확연한 감소 경향이 나타났다.

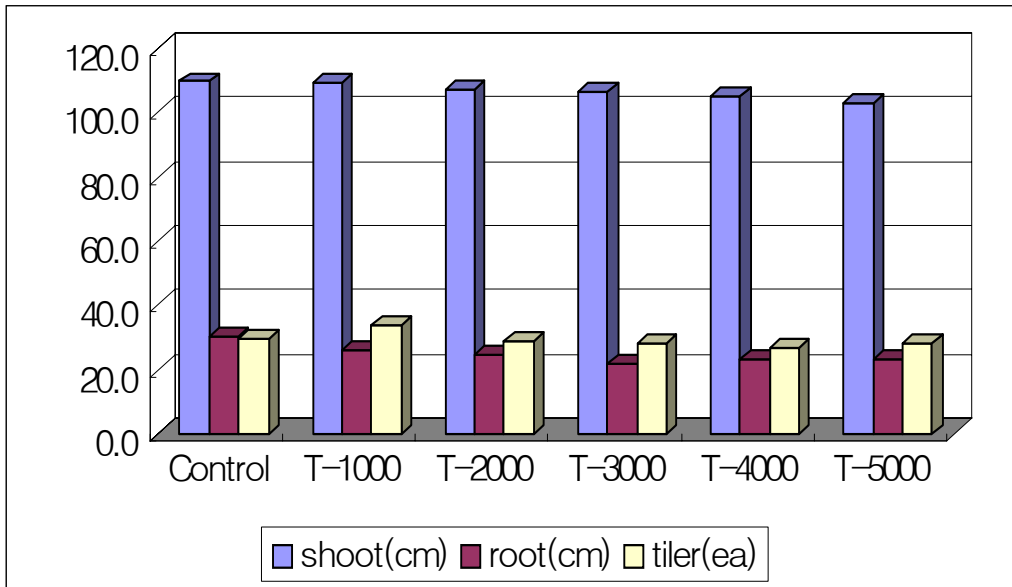
4. 수도 생육 단계별 염농도 한계

수도 생육의 일반적인 한계농도는 0.3% (3 000 mg/L)내외인 것으로 알려져 있으나 생육시기별 염해 반응은 현저한 차이가 있다. 수도의 생육시기별 내염성은 발아기와 수잉기에 강하고 이앙기, 분얼기, 유수형성기에 약하다고 알려져 있다.

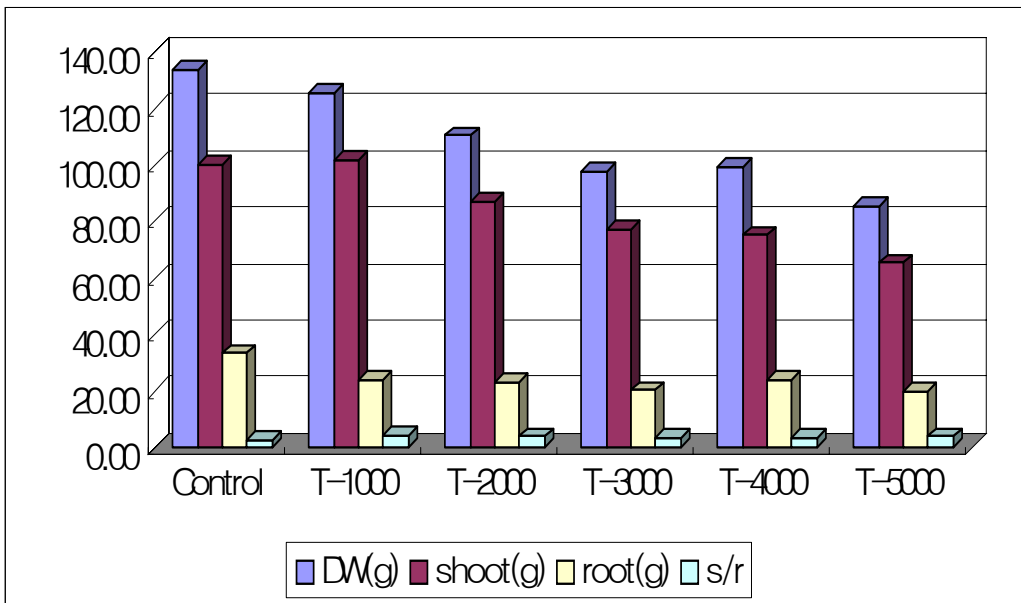
(표 4-7)은 생육단계별로 염처리한 3차의 시험에서 조사된 결과를 SPSS 프로그램(ver. 10.0)으로 통계적 유의성을 검토한 결과이다. 검토결과 분얼기(1차 시험)에서는 2 000 mg/L 처리구에서 분얼수의 저해가 통계적으로 유의하였고, 총 건물중과 지상부 및 지하부 건물중은 4 000 mg/L 처리구에서 통계적으로 유의하였다. 따라서 분얼기에 염해에 대비한 염농도 한계는 안전한 분얼수 확보를 위해서는 염농도 2 000 mg/L에서부터 대비책을 세워야하며, 건물중 확보를 위해서는 염농도가 4 000 mg/L이 되기 전에 대비책을 세워야 할 것으로 판단된다.

유수발육기(2차시험)에서는 총건물중과 지상부 건물중에서 각각 4 000 mg/L 처리구와 3 000 mg/L 처리구에서 통계적으로 유의한 결과를 얻었다. 이러한 결과로부터 유수발육기에는 염처리가 지상부의 생육을 저해할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 유수발육기에는 3 000 mg/L 에서 염해에 대한 대책을 세워야 할 것으로 판단된다.

등숙기(3차시험)에서는 총 건물중과 지상부 및 지하부 건물중 모두 3 000 mg/L 처리구에서 유의한 결과를 얻었다.



<그림 4-14> 등숙기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 길이 및 분얼수



<그림 4-15> 등숙기 염수처리에 따른 재배후 지상부, 지하수 및 총 건물중

이상의 결과는 일반적인 수도 생육 한계농도인 0.3%(3 000 mg/L)과 유사한 결과를 보였지만 생육단계별로, 지표별로 서로 약간씩 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

(표 4-7) 생육단계별, 염농도 처리별 통계처리결과

항 목	건물중			지상부 건물중			지하부 건물중			Shoot/Root 비			분얼수		
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차
T-1000	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
T-2000	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
T-3000	NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	***	NS	NS
T-4000	**	*	**	**	*	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
T-5000	NE	*	***	NE	*	***	NE	NS	*	NE	NS	NS	NE	NS	NS

NS : no significant, NE : no experiment, * :95% **:99%, ***:99.9%

제 5 장 간척지 염해 예방을 위한 물관리 방법

제 1 절 담수조건에 따른 염류 토양의 제염 효과

1. 개요

본 절에서는 우리나라 간척지 토양의 이화학적 특성을 가진 염류-나트륨성 토양에 대하여 가장 간단하고 경제적 방법인 환수를 통한 제염의 효과를 규명하기 위해, 환수주기와 방법을 달리한 담수조건에 따른 제염효과를 검토하였다.

2. 시험방법

시험에 사용한 토양은 충청남도 당진군 소재 대호 간척지내 농업기반공사 간척지 연구시험포장에서 채취하여 이용하였다. 토성은 우리나라 간척지에서 흔히 볼 수 있는 미사질 양토였고, 염농도는 현장 염농도측정기(model PET 2000, USA)로 토양염농도를 측정하여 고농도(H), 중농도(M), 저농도(L)로 구분하여 채취하였으며 각각의 염농도(ECe)는 각각 H = 90.7, M = 44.7, L = 19.4 dS/m이었다.

담수조건은, 일주일 간격으로 증발되고 남은 상태에서 환수없이 관개수만을 추가해준 경우(A)와 일주일 간격으로 환수한 경우(B), 그리고 3~4일 간격으로 환수한 경우(C)로 하였다. 환수에 사용한 관개수는 우리나라 하구 간척 담수호의 평균값인 930 mg/L을 근거로 천일염으로 1,000 mg/L으로 조절하여 조제한 관개수로 환수제염 시험을 실시하였다.

실험 수행은 강우의 영향만을 배제하고 기타의 영향은 동일하게 하기 위하여 옥외 비닐하우스에서 측창을 개방하고 실시하였으며 표면적 200cm², 내측 재원 159×190mm의 1/5000 a포트를 이용하여 토양 2.5 kg을 각각의 포트에 충전하여 준비하였고, 초기 담수심은 7cm로 하였다. 따라서 1회 완전 환수에 의해 관개되는 양은 1,400 cm³이고 배수되는 양은 증발량에 따라 차이가 있

다. 각각의 시험구는 3반복으로 하여 총 27개(=염농도3수준×환수주기3처리×3반복)의 포트를 조제하여 시험하였다. 시험 기간은 2004년 4월 8일부터 5월 6일까지 실시하였고, 관개수만을 추가해주는 경우와 일주일 간격 환수해주는 경우는 매 목요일에, 3~4일 간격 환수하여 주는 경우에는 매 월요일과 목요일에 실시하였으며, 매 환수시점에 담수심을 측정하여, 증발된 양을 산출하였다.

시험에 사용한 토양의 이화학적 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000) 및 미농무부 토양분석법(1982)에 준하여 토양시료를 음지에서 풍건하여 2mm체를 통과하도록 분쇄하여 공시화하여 분석하였다. pH(1:5)는 물과 토양을 1:5로 침출한 후 초자전극법으로, 토양 염농도는 토양 포화추출액을 조제한 후 전기전도도법으로, 유기물 함량은 Walkeley-Black법으로, 전질소는 Kjeldahl법으로 유효인산은 Bray-1법으로, 양이온교환용량은 1N-초산암모늄법으로 분석하였으며, 수용성 양이온(Na, K, Ca, Mg)은 토양포화추출액을 적당량 희석하여 ICP(JY 38S, France)법으로 정량하였다. 입경분석은 비중계법으로 측정하고, 토성은 미농무부 기준에 의해 판단하였다. 환수 시기별로 채수한 물시료는 총량적 염분지표인 전기전도도를 현장에서 측정하였고, 염분 구성 주요성분인 양이온(Na, K, Ca, Mg)은 ICP법으로 정량하였다.

(표 5-1) 시험에 사용한 공시토양의 토성

토양	모래 (%)	실트 (%)	점토 (%)	토성
Soil-L	31.0	65.0	4.0	SiL
Soil-M	30.0	65.0	5.0	SiL
Soil-H	31.0	62.0	7.0	SiL

(표 5-2) 실험에 사용한 공시토양의 화학성

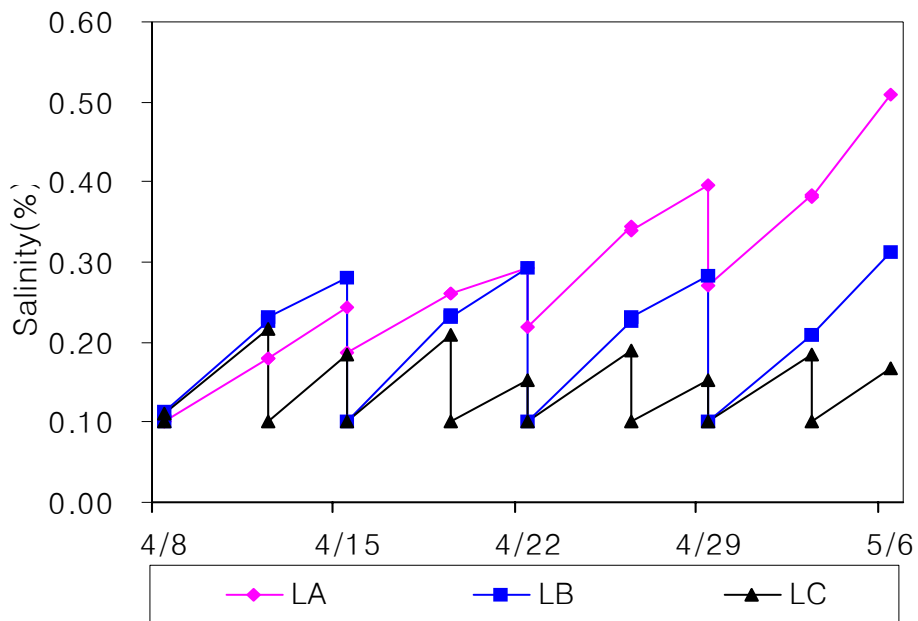
토양	pH (-)	유기물 (%)	전질소 (%)	유효 인산 (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	수용성 양이온(mmol/L)				염농도 ECe (dS/m)	SAR (-)
						K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
Soil-L	7.5	0.90	0.082	203.25	8.95	5.68	95.28	35.73	48.17	19.14	14.71
Soil-M	7.3	0.76	0.056	118.77	8.40	9.05	364.58	46.51	190.01	44.70	33.53
Soil-H	7.2	0.46	0.100	65.27	7.15	23.12	839.43	33.83	557.54	90.70	48.82

3. 시험결과

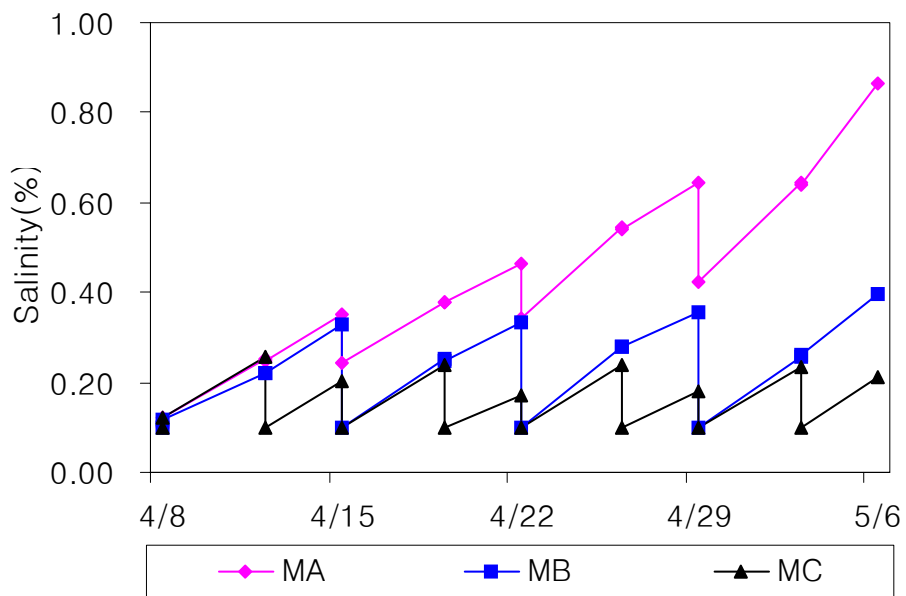
가. 담수조건에 따른 표면수의 염농도 변화

담수조건을 달리하여 시험결과는 <그림 5-1>~<그림 5-3>과 같다. 저농도 토양(L)에서 환수없이 7일 간격으로 관개수만 보충한 경우(A)와 7일 간격으로 환수한 경우(B), 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)를 비교하면 환수없이 관개수만을 보충한 경우는 지속적으로 담수된 물의 염농도가 상승하여 28일 후에는 초기 관개수 농도의 5배인 0.5%이상 상승하였으며, 7일 간격으로 환수한 경우는 약 3배정도의 농도인 0.3%를 반복하였다. 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우는 2배정도인 0.2%정도를 반복함을 알 수 있다<그림 5-1>. 이러한 결과는 중농도 토양<그림 5-2>, 고농도 토양<그림 5-3>에서도 농도차이는 있으나 동일한 양상을 보였다.

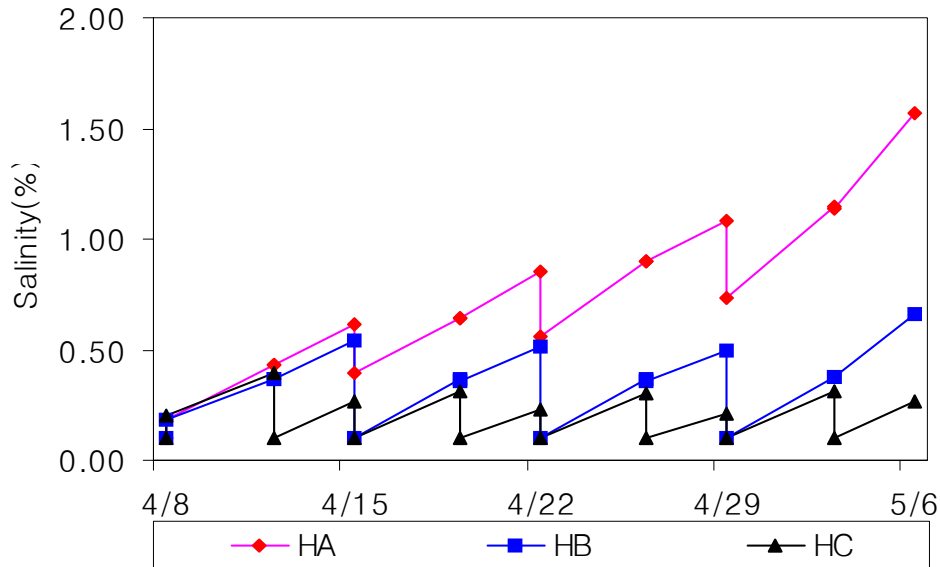
비가 자랄 수 있는 한계 염농도는 0.3%를 기준으로 평가할 때 고농도토양(H)의 경우 환수주기가 3~4일(C)과 같이 짧은 경우에도 관개수 농도 0.1%의 3배인 0.3%에 도달하였고, 저농도 토양(L)의 경우 환수주기가 7일(B)인 경우 관개수 농도의 3배인 0.3%에 도달하였다. 따라서 토양의 염농도에 따라서 환수주기도 각각 다르게 설정되어야 하며 담수 후 지속적인 모니터링을 통해 적정 환수시점을 설정할 필요가 있음을 알 수 있다.



<그림 5-1> 저농도 토양에서의 염농도 변화



<그림 5-2> 중농도 토양에서의 염농도 변화



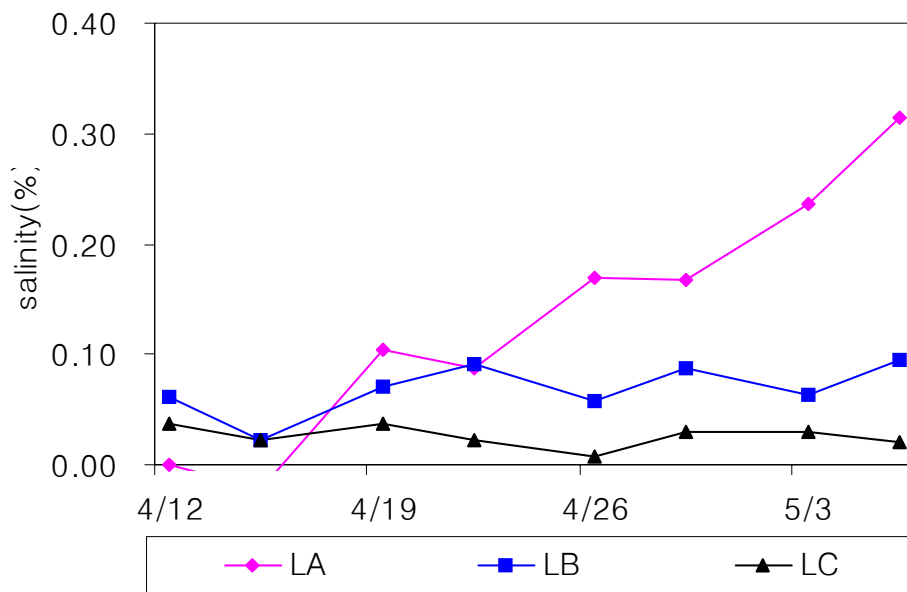
<그림 5-3> 고농도 토양에서의 염농도 변화

하지만 <그림 5-1>에서 <그림 5-3>의 결과는 토양으로부터 용출된 염뿐만 아니라 증발에 의한 단순 농축현상도 포함되어 있기 때문에 정확한 제염정도를 알기 위해서는 증발에 의한 농축정도를 제외한 순수한 제염량을 산출해야 할 필요가 있다.

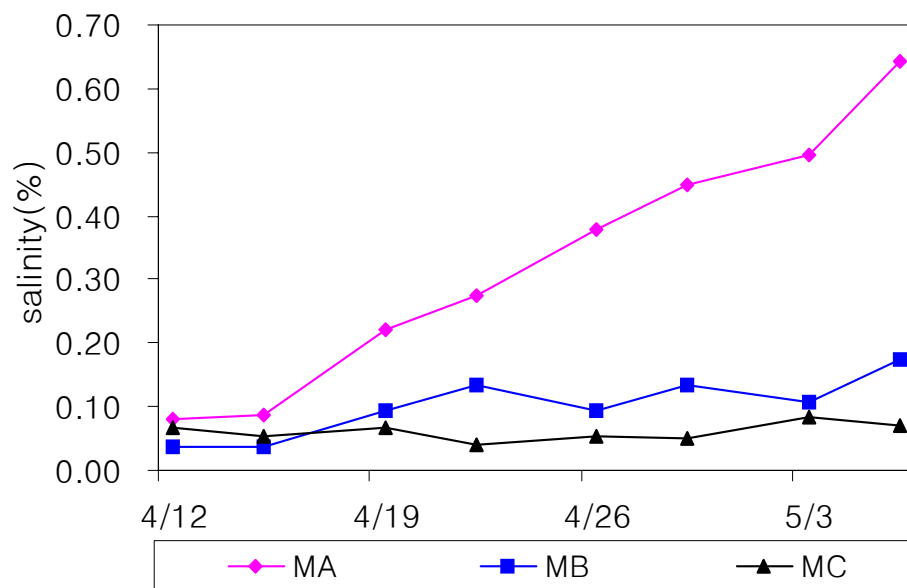
나. 증발량을 고려한 담수조건에 따른 표면수의 염농도 변화

기상조건에 따라 증발된 양은 매번 상이하였으나, 시험기간 평균 7mm/day 였으며, 증발에 의한 농축현상을 배제하고 용수에 의한 제염정도를 파악하고자, 수질측정과 동시에 측정된 개별 포트의 담수심 자료를 근거로 증발에 따른 농축정도를 배제한 경우, 즉 증발이 일어나지 않는 조건에서의 수질의 염농도를 환산한 결과는 <그림 5-4> ~ <그림 5-6>과 같다.

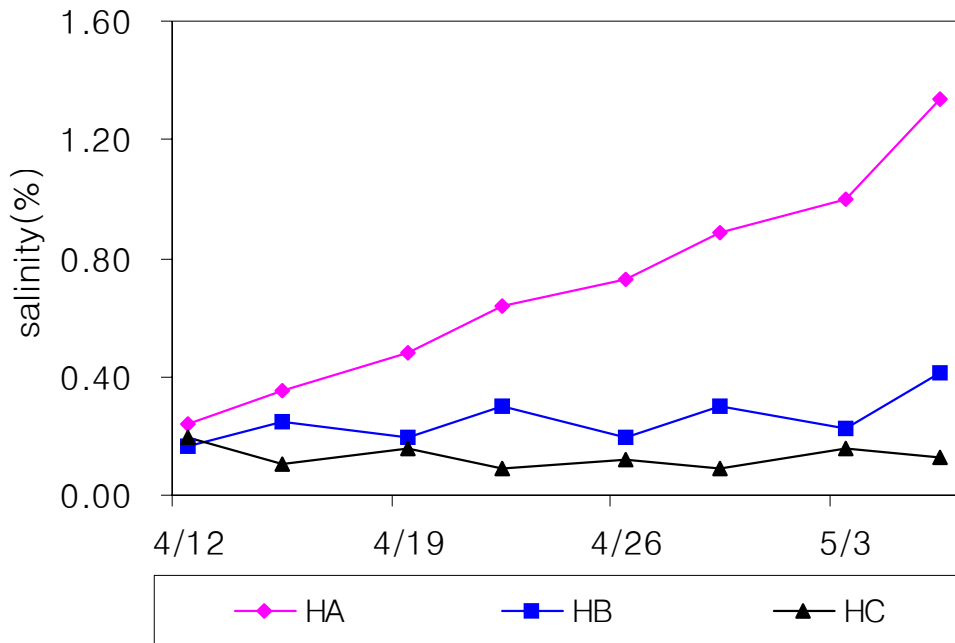
결과에 의하면 저농도토양(L)에서 7일 간격으로 환수한 경우(B)와 3일내지



<그림 5-4> 저농도 토양에서의 증발량을 고려한 염농도 변화 예측치



<그림 5-5> 중농도 토양에서의 증발량을 고려한 염농도 변화 예측치



<그림 5-6> 고농도 토양에서의 증발량을 고려한 염농도 변화 예측치

4일 간격으로 환수한 경우(C)는 실제 제염은 일어나지 않고 관개수의 농축 및 배수 현상만 반복되었음을 알 수 있다. 중농도 토양(M)에서는 7일 간격으로 환수한 경우(B)에서 0.1%이상의 염농도를 보여 제염의 효과가 있음을 알 수 있다. 또한 3일 내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)는 저농도 토양의 경우와 동일한 관개수의 농축 및 배수 현상만 반복되었음을 알 수 있다. 고농도토양(H)에서는 7일 간격으로 환수한 경우(B), 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C) 모두 제염의 효과를 기대할 수 있는 0.1%이상의 농도를 유지하고 있었다.

다. 담수조건에 따른 표면수의 염농도 및 주요 양이온 조성 변화

수질이나 토양의 염농도를 전기전도도나 퍼센트(%)농도로 표시하는 것은 총 염류량을 측정하는 것으로 염을 구성하는 실제 이온의 조성은 변화될 수가 있다. (표 5-3)는 환수시기마다 수집한 표면수의 염농도와 주요 양이온(Na, K,

Ca, Mg)의 농도를 측정된 결과이며 문제가 되는 나트륨성의 비율을 나타내는 지표인 SAR을 식(1)과 같이 산출하였다.

$$SAR = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}} \quad \text{----- (1)}$$

단, []의 단위는 mmol/L 임.

환수없이 7일 간격으로 관개수만 보충한 경우(A)는 시험 종료후 1회 측정된 값이며, 7일 간격으로 환수한 경우(B)는 총 4회 측정된 값의 평균값이며, 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)는 총 8회 측정된 값의 평균값이다.

환수간격에 따라 환수시 배수되는 수질의 염농도는 환수 간격이 길수록 높았고, 특히 SAR값이 점점 더 높아지는 것은 Ca나 Mg와 같은 2가 이온보다 1가인 Na 이온이 더 잘 용출됨을 알 수 있다. 또한 토양의 염농도와 상관없이 모두 동일한 양상을 보이고 있다.

앞서 검토한, 단순히 수질의 농도만을 검토한 <그림 5-1>에서 <그림 5-3>의 결과와 증발에 의한 농축을 배제한 <그림 5-4>에서 <그림 5-6>의 결과를 종합하면 저농도 토양에서의 환수는 환수간격을 7일 정도하여도 총염류의 제염효과는 없으나 염류조성의 변화는 가져오고, 고농도 토양에서는 저농도 토양에서보다 환수에 따라 총 염류의 제염효과와 염류조성의 변화가 동시에 일어남을 알 수 있다.

라. 담수조건에 따른 토양 염농도 및 주요 양이온 조성 변화

담수조건에 따른 토양의 제염효과를 검토하기 위하여 환수 주기를 달리하여 시험한 결과는 표 (5-4)와 같다. 본 시험에서 설정한 방법으로 4주간 시험하였을 경우, 처리방법에 따라 약간의 제염효과는 있지만 토양의 염농도와 SAR값으로 판단하였을 때 모든 토양이 염류-나트륨성 토양의 성질을 그대로 유지하였다. 토양의 염농도와 주요 양이온을 분석한 결과 본 실험에서 실시한 방법

(표 5-3) 시험후 표면수의 화학성

토양	처리	염농도 (%)	수용성 양이온(mmol/L)				SAR (-)
			K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
관개수		0.10	0.10	11.09	0.96	1.50	10.01
Soil-L	A [*]	0.51	2.16	61.41	8.17	10.43	20.14
	B ^{**}	0.29	1.11	31.67	4.47	5.48	14.20
	C ^{***}	0.17	0.55	20.45	2.10	2.58	13.36
Soil-M	A	0.80	3.18	145.13	12.20	30.93	31.25
	B	0.35	0.78	38.97	3.25	7.58	16.73
	C	0.20	0.55	23.61	2.11	3.80	13.69
Soil-H	A	1.40	3.99	165.75	9.33	52.62	29.78
	B	0.54	1.57	81.43	3.61	16.31	19.25
	C	0.27	0.74	30.42	1.85	7.26	14.34

* 환수없이 관개수만 첨가

** 7일 간격 완전 환수

*** 3내지 4일 간격 완전 환수

으로는 저농도 토양의 경우는 토양의 염농도를 저하시킬 수 없었고, 고농도 토양에서 약간의 제염효과가 있었다. 그러나 전기전도도로 표현되는 총 염농도 지표로 나타나는 제염효과보다는, 고농도 토양에서는 양이온조성비율의 지표인 SAR값으로 보아 토양 물리성을 악화시키는 Na의 비율이 줄고 상대적으로 Ca와 Mg의 비율이 증가하는 긍정적 효과가 더 크게 나타났다. 그러나 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 장기적인 모니터링과 투수력 등의 토양 물리성 지표를 동시에 측정여야 할 필요가 있다.

(표 5-4) 시험후 토양의 화학성

토양	처리	염농도 (dS/m)	수용성 양이온(mmol/L)				SAR (-)
			K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
Soil-L	A [*]	25.47	6.17	138.83	41.55	54.45	20.06
	B ^{**}	20.55	6.16	114.11	36.11	47.28	17.67
	C ^{***}	18.27	5.19	98.61	30.88	41.87	16.34
Soil-M	A	45.80	5.84	284.35	44.24	139.77	29.52
	B	43.80	5.49	273.75	47.70	141.60	28.12
	C	42.07	4.76	243.86	43.81	130.56	26.09
Soil-H	A	82.13	14.27	663.68	37.66	397.61	44.99
	B	77.53	13.06	608.24	34.00	364.86	43.08
	C	64.13	9.87	471.74	24.28	290.20	37.68

* 환수없이 관개수만 첨가

** 7일 간격 완전 환수

*** 3내지 4일 간격 완전 환수

이상에서 우리나라 간척지 토양의 이화학적 특성을 가진 염류-나트륨성 토양에 대하여 가장 간단하고 경제적 방법인 환수를 통한 제염의 효과를 규명하기 위해, 환수주기와 방법을 달리하여 그 제염효과를 검토하였다.

환수주기에 따라 환수시 배수되는 수질 조사결과 염농도는 환수간격이 길수록 높았고, Ca나 Mg와 같은 2가 이온보다 1가인 Na 이온이 더 잘 용출되어 결과적으로 SAR 값은 원수보다 더 높아졌다.

처리 후 분석한 토양시험결과, 단순제염효과를 판단할 수 있는 토양 전기전도도는 초기 토양염농도에 따라 상이한 결과를 보였고, 고농도 토양에서는 양이온조성비율의 지표인 SAR값이 감소하였다. 따라서 환수가 토양 물리성을

악화시키는 Na의 비율을 줄이고 상대적으로 Ca와 Mg의 비율을 증가시킬 수 있기 때문에 토양 이화학적 개선에 긍정적인 작용을 할 수 있을 것으로 판단된다.

벼가 자랄 수 있는 한계염농도는 0.3%를 기준으로 평가할 때 토양 염농도에 따라 한계농도에 도달하는 기간이 상이하므로 토양 염농도에 따라서 환수 주기도 각각 다르게 설정되어야 할 것이며, 담수 후 지속적인 모니터링을 통해 적정 환수시점을 설정할 필요가 있다고 판단된다.

제 2 절 간척지 염해 예방을 위한 물관리 방법

1. 일반논에서의 본답 물관리

가. 물관리의 중요성

벼 생육과 물과의 관계에 대한 연구가 진전되면서 벼에 대한 관개(灌溉, irrigation)가 단지 필요한 물을 공급한다는 사고방식에서 벗어나, 벼의 생육을 제어·조정해서 수량을 높이는데 공헌하는 중요한 역할을 갖는다는 의미에서의 물관리를 생각해야 한다.

벼의 성장에는 질소와 영양, 온도와 광, 그리고 물이 관계한다. 그 중에서도 성장의 촉진과 억제에 가장 민감하게 영향하는 것은 질소와 물이다. 질소가 결핍하면 아무리 물이 있어도 정상적인 신장은 못하며, 반대로 물이 없이 질소가 아무리 풍부해도 신장은 불가능하다.

질소의 비효가 지나치게 나타나서 도장의 우려가 있을 때에 물을 빼서 논흙을 말려 신장을 억제하는 일은 물의 조작으로 성장을 제어·조정하는 하나의 방법이다. 하나의 예로써 밭못자리 육묘의 경우 다량의 질소시비에서도 물이 제한인자가 되어 도장함 없이 짙막한 건묘가 육성되는 것은 바로 그와 같은 이유에서이다.

벼의 초장이 신장한다는 것과 분얼이 증가한다는 것을 온도(수온)와의 관계로 보면 매우 흥미롭다. 온도가 낮은 기상조건이나 조기·조식재배의 경우에

는 초장은 짧고 분얼은 많아진다. 반대로 남부평야지대나 고온기에 이양하는 만식재배의 경우에는 초장은 크지만 분얼은 저조하다. 이 같은 현상을 정점우성(頂點優性, apical dominance)이라고 한다.

이상과 같은 원리에 의해서 조기에 하위절로부터 강건한 분얼을 발생토록 하고, 상위절에서 늦게 나오는 빈약한 분얼을 억제하는 조정은 물관리로 가능한 것이다. 뿐만 아니라 저온지대에서 심수로 유수를 보온하여 장해형 냉해를 막고, 고온지대에서 신선한 냉수를 흘려대기를 하여 뿌리의 활력을 높여주는 일도 물관리 기술로 가능한 것이다.

그런데 최근과 같은 벼농사의 조방화가 날로 더해가는 경향 속에서 물관리가 소홀해지고 있는 것은 안타까운 일이다.

나. 생육시기별 물관리

1) 활착기의 물관리

이양 직후의 물관리는 가능한 빨리 활착시키는 일이 최대의 목표이다. 그러기 위해서는 첫째로 잎이 시들지 않도록 수일간은 물을 6~10cm 정도로 깊이 대주어야 한다. 특히 이양 직후 햇빛이 강하고 바람이 센 경우 천수와 심수의 차이는 식상(植傷)과 깊은 관계가 있다. 둘째는 수온의 상승이다. 활착기에는 주·야간 고수온일수록 활착이 좋으며 수량에 미치는 수온의 영향이 극히 명료하다.

2) 분얼기의 물관리

활착이 끝나고 새뿌리가 나와 신장하면서 분얼기에 들어간 벼는 1~2 cm 정도로 얇게 대는 것이 중요하다. 분얼의 증가 및 성장에는 근부의 온도보다 성장점을 포함한 줄기기부의 온도가 영향이 크며, 분얼의 신장에는 31℃ 정도의 고온이 좋으나 분얼수의 증가에는 16℃의 저온이 줄기 기부에 가해져야 하며, 특히 분얼수의 증가를 촉진하는 데에는 줄기기부의 주·야간 온도교차가 클수록 유리하기 때문이다.

이상의 결과로 보아 물관리는 분얼수 증가에 초점을 맞추어서 주간에는 수

온을 가능한 높이고, 야간에는 낮추는 것이 유효함을 이해할 것이다. 그러기 위해서는 낮에는 물을 넣지 말고 밤에 물을 넣는 것이 좋다.

다만 한랭지에서는 분얼초기는 수온보다 기온이 낮을 경우가 많으므로 담수에 의해 보온을 해 주고 동시에 비효의 발현을 도와서 분얼의 촉진을 꾀하는 것이 필요하다. 그리고 분얼기는 제초제의 시용시기이므로 약효가 떨어지지 않도록 주의하여야 한다.

3) 무효분얼기와 중간물떼기

출수 전 40일경이 되면 유효경이 결정되고, 그 후 발생하는 분얼은 무효경이 되고 말기 때문에 과잉분얼을 억제하기 위한 중간물떼기(中間落水, midseason drainage)가 필요하다. 이 시기는 벼 생육기간 중 용수량의 요구도 가장 적은 시기이다. 또한 이 시기는 지온의 상승으로 토양 중 질소의 비효가 나타날 뿐만 아니라, 토양 중 미생물의 활동이 활발해져서 산소부족에 의한 토양환원으로 유화수소나 유기산 등 유해물질이 발생한다.

따라서 중간낙수에 의해 질소의 과잉흡수를 억제하여 무효분얼을 막고 벼의 자세를 조정한다. 또한 유해물질을 배제하고 토양 속에 산소를 공급하여 뿌리의 활력저하를 막고 뿌리를 토층 깊게 신장시켜서 생육후기까지 양분흡수를 좋게 한다. 그리고 논 바닥흙을 균게 하여 벼포기 밑을 단단히 죄여서 도복에 대한 저항력을 높이고, 수확작업을 용이하게 하는 등의 효과도 있다.

중간낙수는 출수 전 40~30일 사이에 논바닥이 거북이 등처럼 갈라질 정도가 좋다. 배수가 좋은 사양토에서는 5~7일간 실시로 가벼운 실금이 갈 정도가 좋으나, 배수가 나쁜 점질토에서는 7~10일 정도로 비교적 강하게 금이 갈 정도로 한다. 다만 지력이 낮은 논에서는 중간낙수에 의해 질소의 유실이나 단근으로 오히려 생육에 마이너스가 되는 경우가 있으며, 누수가 심한 사질답에서는 물침음이 일층 나빠지므로 물걸러대기를 하는 것이 좋다.

4) 유수형성기 - 출수기의 물관리

이 기간에는 엽면적지수(LAI)가 최고에 달하고 기온도 높아 엽면증산량이

가장 많은 시기이다. 또한 영화가 분화 발육하고 출수·개화·수정하는 시기로서 외계환경에 가장 민감할 뿐만 아니라, 수분부족이나 저온이 영화의 분화를 적게 하고 수정장해를 일으키는 등 감수의 위험이 가장 큰 시기이다. 따라서 이 시기에는 물의 부족함이 없도록 주의하지 않으면 안된다. 그러나 수분이 충분히 공급되고 있다면 반드시 상시담수의 필요성은 없다. 오히려 물걸러대기를 해서 뿌리로의 산소공급을 피하여 노화를 방지하는 것이 물관리의 포인트이다.

뿌리의 활력이 동화능력을 좌우하는 최대 원인의 하나는 뿌리에서 앞으로의 수분의 보급이며, 일반적으로 엽신의 수분감소는 바로 동화작용의 감소를 불러일으킨다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다.

한량지에서 저온과 흐린날이 계속될 경우에는 유수발달기간에도 담수를 계속하고, 특히 수잉기에 20℃ 이하의 저기온의 위험이 있을 경우에는 15 cm 이상의 심수관개로 위험기의 유수를 보호하여 불임장해가 없도록 해야 한다.

5) 등숙기의 물관리와 낙수

등숙기간에는 동화작용은 물론이고 잎에서 생성한 동화전분을 이삭으로 전류·축적하는 중요한 시기로서 수분의 매개없이는 불가능하다. 그러나 이 시기에는 엽면증산량이나 수면증발량도 적어져서 많은 물을 필요로 하지 않으며, 뿌리의 기능도 급격히 저하하기 쉬우므로 산소의 공급이 부단히 이루어지도록 얇게 또는 걸러대기의 물관리가 필요하다.

특히 토양환원이 심한 습답에서는 등숙기 상시담수는 뿌리의 기능을 크게 저하시켜서 수량이 감수한다. 이와 같은 논에서는 암거나 명거배수에 의해 정체를 배제하고 새물로 관개하면 등숙비율을 높여 수량이 크게 증가한다. 이 같은 효과는 뿌리의 기능 향상에 의한 것이다.

낙수적기의 결정에는 상반하는 2가지의 요구가 조정되어야만 한다. 하나는 논을 빨리 말리려는 요구이며, 다른 하나는 등숙을 위해서는 낙수시기가 늦은 것이 좋다는 사실이다. 벼베기작업의 동력화로 전자의 요구는 더욱 강해졌으며, 논 뒷그루의 파종 이식작업을 위해서도 바람직하다. 그러나 등숙비율에 대

한 영향은 출수 후 35~40일까지도 영양조건이 관계한다. 이 기간 중에도 등숙과 천립중에 가장 강하게 영향하는 시기는 유숙기(출수 후 14~24일)로서, 일반적으로 낙수적기는 출수 후 30일은 최소한의 일수라고 보아야 한다. 낙수시기가 적기보다 빨라지면 1·2차지경의 벼알이 충실치 못하고 사미·다미·청미 등 불완전미가 증가해서 등숙비율이 낮아지고 수량과 품질이 떨어진다. 또한 목도열병에도 걸리기 쉽다.

2. 간척논에서의 물관리 방법

물은 간척지에서 염분을 제거하는 유일한 매체이다. 수도가 잘자랄수 있는 토양중 한계염농도는 0.3%로 알려져 있다. 그러나 생육단계별 염농도에 대한 반응이 상이하며, 구체적으로 분얼기>활착기>유수형성기>출수기의 순으로 분얼기가 수량감수가 심하고 다음으로 활착기로서 이는 수량 구성요소중 수량에 가장 크게 영향을 주는 수수의 확보가 가장 주요함을 시사하고 있다. 그 다음은 유수형성기로서 영화수 확보기의 염해가 대체적으로 큰 것을 알 수 있다.

따라서 이양직후의 제염은 매우 중요한데 관개수중에 용출 염분을 제거하기 위한 환수 일수는 염농도와 영향관계를 고려하여 결정하여야 할 것이다. 대체적으러 간척초기에는 2-3일에 1회를 환수하는 것이 필요하나 재배년수가 거듭됨에 따라 5-7일에 1회 또는 그이상일수의 를 환수에도 염해를 받지 않을 수 있다.

환수시 또하나의 고려사항은 환수회수가 잦으면 양분의 유실이 많고 반면 양분의 유실을 방지하기 위하여 환수 일수를 줄이면 염농도가 높아져 염해를 입으므로 수시로 관개수중의 염농도를 결정해서 환수일수를 결정해야 한다.

다음은 수도 이양재배에 있어 이양전후의 시기별 물관리방법을 제시한 내용이다.

가. 이양전 물관리 방법

간척지 토양은 비가 적은 가을부터 월동기간을 거쳐 봄철 건조기까지 염분이 표토에 집적되므로 관개수가 충분할 경우 이양전에 1주일 간격으로 담수-

배수를 3-4회 반복하면 제염효과가 매우 커서 이앙이나 직파후 염해가 일어나지 않는다. 그리고 이앙 전에 헛수가 적을 때는 심경하는 것보다 얇게 갈아 환수를 하는 것이 효과적이다.

나. 이앙후 물관리 방법

벼가 자랄 수 있는 한계 염농도는 0.3%인데, 생육 단계별 염농도별 쌀수량 감소 정도를 보면 분얼기>활착기>유수형성기>출수기 순으로 분얼기에 피해가 가장 심하므로 이앙~분얼기에 물관리를 철저히 하여 염해를 경감 시켜야 한다. 그러나 환수가 잦으면 비료의 유실이 많으므로 이를 고려하여 염농도가 높을 때는 자주하여 주고 낮을 때는 드물게 환수하는 것이 합리적인 물관리 방법이다.

제 6 장 염해예보시스템 설계 및 구축

제 1 절 염해예보시스템 구성

본 연구는 간척 담수호를 대상으로 염해예보시스템을 설치하여 각 자료에 대한 상호관련성을 조사하여 농작물의 염해를 대비하기 위한 것으로 대상지구의 현황 및 개요, 각종 시설내역 등을 포함하여 한 관련자들에게 염해에 관한 기본적인 정보를 제공하기 위한 시스템이다. 염해예보시스템을 현장에 구축하기 전 시스템의 운영에 필요한 자료를 수집하여 추후 상호 관련성을 분석하여 효율적으로 이용하는 것이 바람직하다.

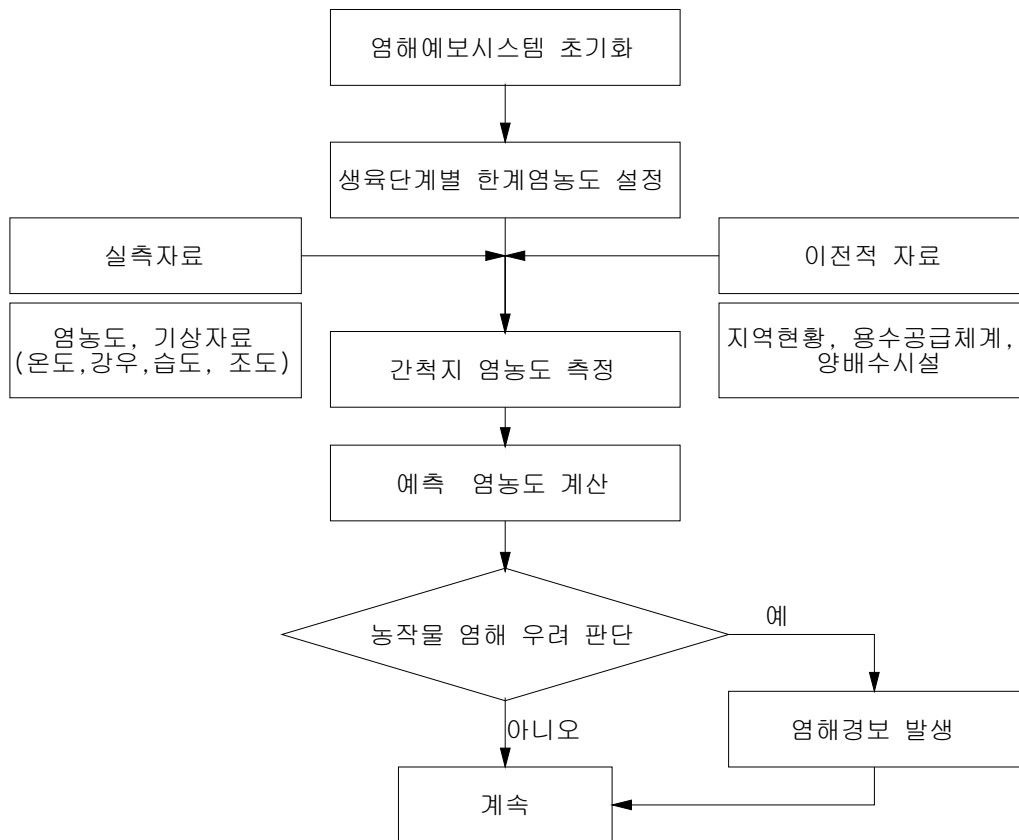
현장에 설치된 시스템으로부터 필요한 정보를 얻기 위해서 자료의 효율적인 관리와 분석이 이루어져 하며, 자료의 특성이 파악되어야 한다. 염해예보시스템이 필요한 자료는 주기성 공개성 등에 대한 사항들이 정리되어야 하며 취득 방법에 따라 실측자료와 이전적 자료로 구분 될 수 있다. 실측자료는 현장에 설치된 시스템으로부터 계측된 자료이며, 이전적 자료는 관련기관 및 통계자료에 의해 이미 조사된 자료로 볼 수 있다.

염해예보시스템에서 실측자료는 대상지구내의 주요지점에 대한 염농도 자료와 간척 담수호의 염농도에 영향을 미칠 수 있는 기상자료와 수위로 시스템의 데이터베이스 공간에 실시간적으로 업로드(up-load)해야 하는 자료이며, 이전적 자료는 농업용수의 염농도와 관련된 지역의 현황, 농업용수 공급체계, 양수장과 같은 시설로 필요한 자료로 염해예보시스템내 저장시켜 프로그램적으로 사용하였다.

간척 농경지는 담수호를 주수원공으로 하여 담수호의 물을 양수하여 용수간선을 통해 관개지역에 보내고 있다. 염해예보시스템을 활용하여 농업용수 관리를 수립하기 위해서는 담수호를 중심으로 양수장, 농경지, 용수로 및 배수로 등 주요 지점의 염농도를 측정할 수 있게 구성되어 통합적으로 운영되어야 한다. 또한 염농도에 영향을 미치는 중요 인자인 기상자료를 실시간적으로 측정되어야 하며 이들 자료들이 상호 연관성 있게 분석되어 현장 관리자에게 의사결정을 할 수 있는 정보를 제공하여야 한다.

이러한 목적을 수행하기 위하여 염해와 관련된 실측자료를 취득하기 위한 시스템들을 현장에 설치하여 간척 농경지 염농도와 제반환경요소를 관련성을 분석할 수 있고, 시스템의 확장성 및 통합적 자료 관리목적으로 유·무선 통신 방식을 활용하여 한 지점에서 집중 관리할 수 있도록 <그림 6-2>와 같이 염해예보시스템을 구성하였다.

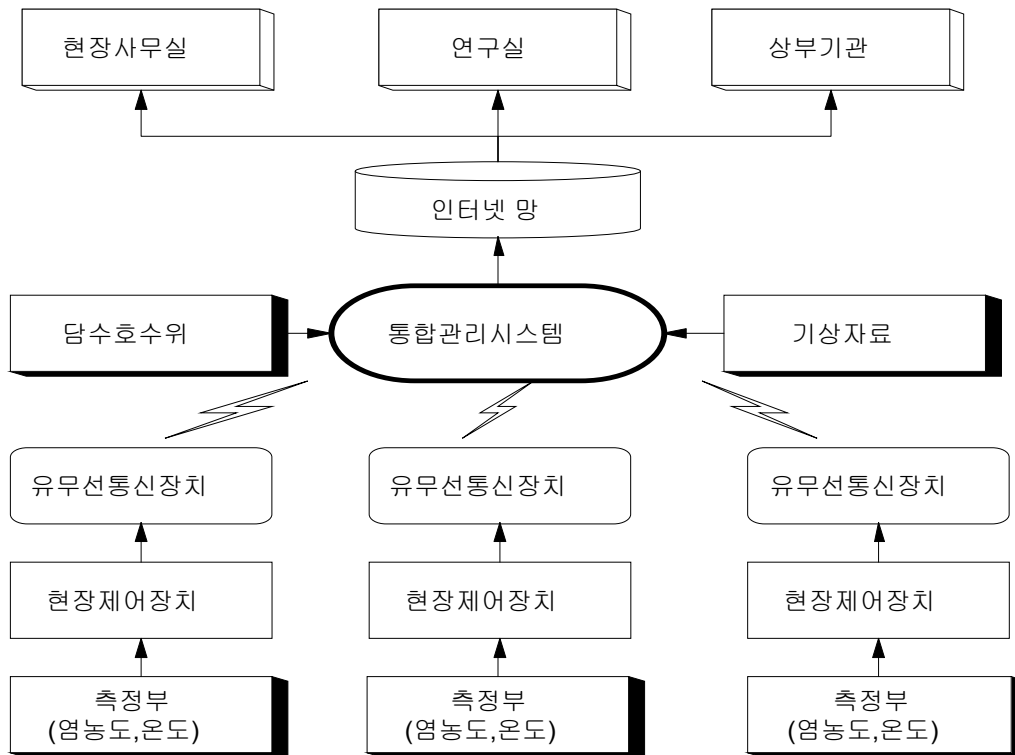
염해예보시스템은 간척 담수호의 염농도, 환경변수 계측, 분석 및 경보발생 기능을 할 수 있다. 그리고 염해예보시스템을 측정부, 현장제어장치, 전원장치, 통합관리시스템으로 구성하였다. 측정부는 측정할 지점에 센서를 설치되어 염농도와 수온을 자동으로 계측한 후 그 값을 현장제어장치에 전송하는 역할을



<그림 6-1> 염해예보시스템 체계도

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



<그림 6-2> 염해예보시스템 구성도

제 2 절 염농도센서

본 연구에서는 전기전도도센서를 염농도 센서 대체용으로 사용하였으며, 계산식에 의하여 TDS로 변환하여 이를 염농도로 사용하였다. 간척 담수호에서 실무담당자들이 사용하는 염농도 센서는 전기전도도센서로서 전기전도도 측정 방식으로 물 속에 녹아 있는 염을 uS/cm 단위로 측정한 후 이를 mg/L 단위로 환산하여 현장에서 염농도로 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서도 별도 염농도 센서를 전기전도도센서를 제작하여 전기전도도를 측정한 후 이를 필요에 따라 염농도로 환산하여 사용하였다.

1. 측정방식

가. 측정원리

물 속에서 한쪽 전극에서 전원을 공급할 때 전해질 물질의 양에 따라 다른 쪽 전극에 도달하는 신호의 세기가 다르게 된다. 전기전도도센서는 이를 측정하는 것으로 물 속의 전해질들에 의한 저항의 크기로 변환한 것이 전기전도도이다. 전기전도도는 온도에 의한 영향이 크므로 반드시 센서 내부에는 온도센서가 있다. 온도센서와는 달리 전기전도도 센서로부터 일차적으로 변화된 전기적 신호는 아주 미약하여 측정환경 또는 수명에 영향을 받으므로 수시로 교정이 필요하다.

측정원리는 용액에 담겨있는 2개의 전극에 일정한 전압을 가해주면 가한 전압이 전류를 흐르게 하며, 이때 흐르는 전류의 크기는 용액의 전도도에 의존한다는 사실을 이용한 것으로 어떤 물속 저항 R은 식(2)으로 표시할 수 있다.

$$R(\Omega) = \frac{\rho \cdot l}{A} \text{ ----- (2)}$$

여기에서 ρ 는 저항도($\Omega \cdot \text{cm}$)이고 l 은 두 전극간의 거리(cm), A는 단면적(cm^2)이므로 전기전도도 L은 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$L = \frac{1}{R} = \frac{A}{\ell} \cdot K \text{ ----- (3)}$$

식(3)에서 $K(= \frac{1}{\rho})$ 는 비전도도(mho/cm)이며, 동일 측정계를 사용할 경우 셀의 규격은 일정하므로 두 전극간의 거리와 단면적은 무시할 수 있다. 전기전도도는 전기저항의 역수로써 σ 또는 mho로 나타내나 현재는 국제단위계인 S(simens) 단위를 사용하고 있다. 따라서 측정결과는 시료의 전기전도도값(mho)에 셀정수(cm^{-1})를 곱하여 시료의 전기전도도값($\mu\text{mhos/cm}$)으로 표시한다. 주로 국제단위계인 mS/m, dS/m 또는 $\mu\text{S/cm}$ 단위로 측정결과를 표기하고 있다. 여기서 1S=1mhos와 같고 1 μ S=1 μ mhos와 같다.

나. 셀상수의 측정 및 보정

셀을 물에 2~3회 씻은 다음 사용하고자 하는 염화칼륨용액(시료의 전도도가 낮을 경우 0.001M, 높을 경우 0.01M)으로 2~3회 씻어주고 염화칼륨용액에 셀을 잠기게 하여 온도를 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 맞춘 상태에서 전기전도도를 측정한다. 계속하여 염화칼륨용액을 교환해가면서 동일 온도에서 측정치 상호간의 편차가 $\pm 3\%$ 이하가 될 때까지 반복측정을 하고 그 평균값을 취하여 식(4)에 의하여 셀상수를 산출한다

$$C = \frac{L_{KCl} + L_{H2O}}{L_x} \text{ ----- (4)}$$

C : 셀상수(cm^{-1})

L_x : 측정한 전기전도도값 (μS)

L_{KCl} : 사용한 염화칼륨 표준액의 전기전도도값 ($\mu\text{S/cm}$)

L_{H2O} : 염화칼륨용액을 조제할 때 사용한 물의 전기전도도값($\mu\text{S/cm}$)

보통셀은 셀상수 1-2의 것을 사용하면 대부분의 시료측정에 적합하나 특정 시료의 경우에는 (표 6-1)을 참조한다.

(표 6-1) 셀상수와 측정범위

셀자수 (cm^{-1})	측정범위 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0.01	20이하
0.10	1~20
1	10~2,000
10	100~20,000
50	1,000~200,000

또한 0.01M과 0.001M-염화칼륨용액을 각각 사용하여 같은 방법으로 셀상수를 산출한결과 그 값이 $\pm 1\%$ 이내로 들지 않을 경우에는 전극을 재도금하여 사용하기도 한다.

다. 온도의 영향

전도율은 수온에 의해 변화하고 수온이 높아질수록 전기가 통하기 쉬워져 값이 커진다. 따라서 어떤 일정한 기준온도를 정해 놓지 않으면 측정치를 상호 비교할 수 없게 된다. 기준온도로는 25°C 가 사용되며, 평균적으로 1°C 증가하면 전기전도도는 약 2% 증가한다.

따라서 기준온도를 정해 놓지 않으면, 전기전도도 측정치를 상호 비교할 수 없는 문제가 발생하기 때문에 25°C 를 기준온도로 하고, 소정의 온도 보정식을 이용하여 다른 온도에서의 전기전도도를 25°C 에서의 전기전도도로 변환한다.

현장의 온도(T)와 25°C 와의 차이를 $\Delta t(T-25)^{\circ}\text{C}$ 라고 하면 보정식은 식(5)과 같이 나타낼 수 있다. 전기전도도 측정계에 전원을 넣고 시료를 사용하여 셀을 2~3회 씻어준 다음 시료중에 셀을 잠기게하여 $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 를 유지한 상태에서 반복측정하고 그 평균값을 취하여 다음식에 따라 시료의 전기전도도 값을 산출한다.

$$L = C \times L_x \text{ -----(5)}$$

L : 25℃에서의 시료의 전기전도도값(μS/cm)

C : 셀상수(cm⁻¹)

L_x: 측정된 전기전도도값(μS)

다만, 전기전도도 측정계에 자체온도 보상회로와 셀상수 자동설정회로가 내장된 경우에는 온도계수(25℃)와 셀상수를 설정해준 다음 시료의 전기전도도 값을 측정하고 측정계의 지시부에 나타난 숫자는 온도보상된 값이다. 현장 측정시 온도보상회로가 내장되어 있지 않은 측정계의 경우에는 일정조건에서의 시료의 전기전도도와 온도를 측정하고 다음 계산식(6)에 의하여 온도보정된 값을 측정결과로 한다. 전기전도도 측정장치는 25℃에서의 자체온도 보상회로가 장치되어 있어 별도로 온도보정을 할 필요가 없다.

$$L = \frac{C \times L_x}{1 + 0.0191(25 - t)} \text{ -----(6)}$$

t : 측정시 시료의 온도(℃)

물의 종류에 따른 전기전도도의 범위는 증류수는 0.5-5 μS/cm, 강수는 5.0-30 μS/cm, 담수·지하수는 3-2,000μS/cm, 해수는 45,000-55,000 μS/cm 그리고 염수는 100,000 μS/cm이상이다. 전기전도도는 실내에서 분석해야 하는 TDS 성분들을 대체하여 물의 특성을 파악하는 데 많이 이용할 수 있다. 전기전도도와 TDS는 오차의 정도는 있으나 상관관계가 성립한다. TDS(Total Dissolved Solid)의 계산식(**)은 다음과 같다.

$$\text{TDS(ppm)} \approx 0.54 \times \text{EC} (\mu\text{S/cm}) \text{ ----- (7)}$$

그러나 고용물질의 함량이 낮을 경우 오차가 크지만 높은 농도에서는 비교적 일치한다. (표 6-2)는 이 관계를 나타낸 것이다.

(표 6-2) TDS(mg/L)와 전기전도도($\mu\text{S/cm}$)의 상관관계

전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/L)	TDS (NaCl mg/L)	전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	TDS (NaCl mg/L)
15,000	10,000	8,400	750	500	365
10,000	6,660	5,500	600	400	285
7,500	5,000	4,000	375	250	175
6,000	4,000	3,200	150	100	71
4,500	3,000	2,350	100	66	47
3,000	2,000	1,550	75	50	35
1,500	1,000	750	60	40	28
1,125	750	560	37.5	25	17.5
1,000	666	490	10	6.6	4.7

2. 염농도 센서

가. 4전극방식

염농도 측정방식 중 2전극은 측정부분(전극)과 전기회로기판 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 나빠지며 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.

따라서 본 연구에서는 <그림 6-3>와 같이 4개 전극단자를 사용하는 4전극

방식으로 염농도 센서를 제작하였다. 첫 번째는 출력전극이며, 넷 번째는 입력전극이다. 두 번째와 세 번째 전극은 전극표면에 오염물질에 대한 감도변화 및 물 속 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.

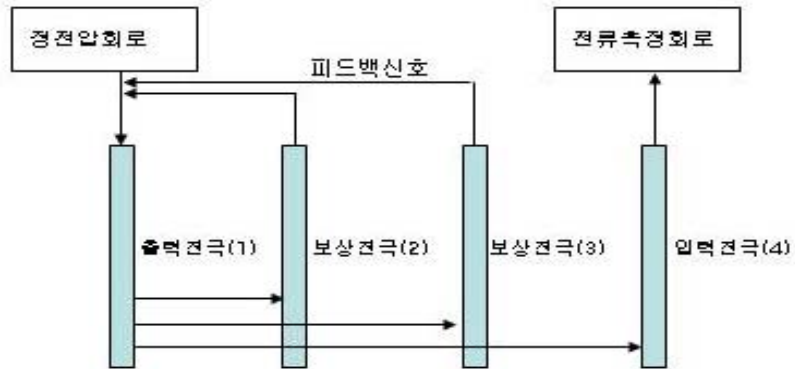
이와 같이 전기적으로 보상하는 방식을 적용함으로써 2전극 방식의 단점을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 회로내부에서 흐르는 전류 및 각종 부품(저항, IC, 코일, 콘덴서)에 의한 전류변화를 보상할 수 있었다. <그림 6-4>는 4전극 방식에 적용된 염농도센서의 구성도이다. 출력단자에서는 정형파 발생회로에서 나오는 출력전압에 보상전극(2전극, 3전극)에서 입력되는 전기신호를 보정하게 되며, 온도변화에 대해서도 온도보상회로에 의하여 전기적으로 보정되어 출력신호를 가공 처리한 후 출력단자에 전압을 출력하게 하였다. <그림 6-5>는 4전극 방식으로 개발된 염농도 센서의 모식도이며, <그림 6-6>은 제작한 염농도 센서의 사진이다.

나. 정형파 전극 출력신호 적용

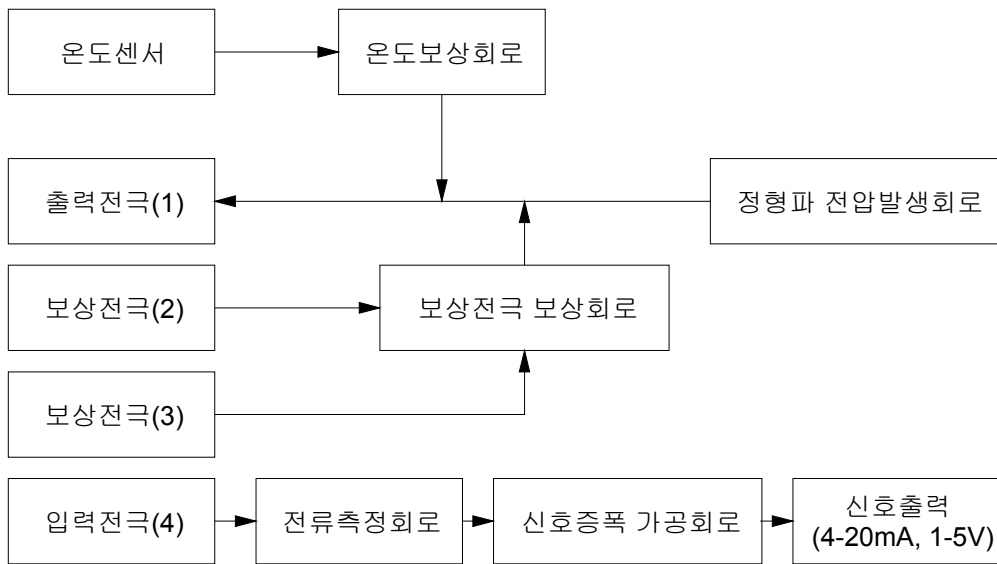
물 속의 염농도를 측정하는 염농도 센서는 출력전극에서 1.2kHz 파형을 가진 정전압으로 출력전압을 보내면 입력전극 또는 보상전극에서 해당되는 파형을 입력하여 출력전압과 입력전압을 비교하여 염농도를 측정하게 된다.

그림 6-7와 같이 기존의 염농도 센서에 사용되는 출력신호의 파형은 사인파이지만, 본 연구의 4전극 염농도 센서는 정확도를 높이기 위해 출력신호의 파형을 정형파로 만들어 출력전극에 보냈다.

출력전극에서 출력되는 정형파를 발생시키는 회로를 그림 6-8과 같이 구성하였다. 우선 저소비 전력형 CD4047BM를 사용하여 1.2kHz 사인파 주파수를 가진 출력전압을 형성한 후 극성 콘덴서 C2, C3을 사용하여 $\pm 100\text{mV}$ 출력범



<그림 6-3> 염농도 센서의 전극신호전달체계



<그림 6-4> 4전극방식 염농도 센서 구성도



<그림 6-5> 4전극방식 염농도 센서 모식도



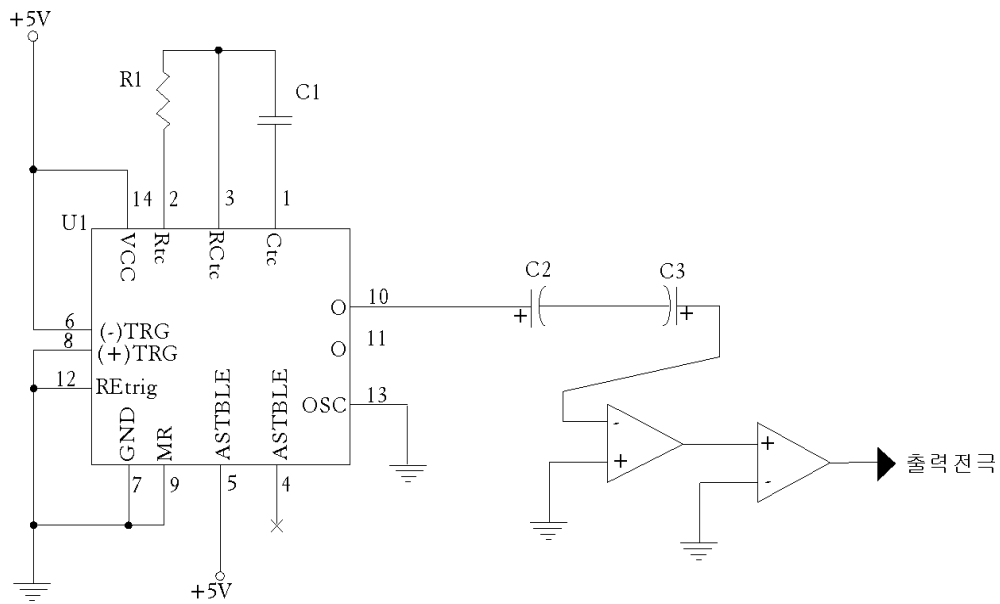
<그림 6-6> 4전극 염농도 센서 사진



(사인파형 출력신호)

(정형파형 출력신호)

<그림 6-7> 염농도 센서에 사용된 출력신호파형



<그림 6-8> 정형파 발생회로도

위를 가진 정형파를 만들어 출력전극에 연결하였다. 이는 입력전극, 보상전극에서 1.2kHz 주파수를 가진 전압만을 선택적으로 입력할 수 있게 하여 외부 전기적 요인에 의한 노이즈에 대한 영향을 어느 정도 감소효과를 가져올 수 있게 하였다.

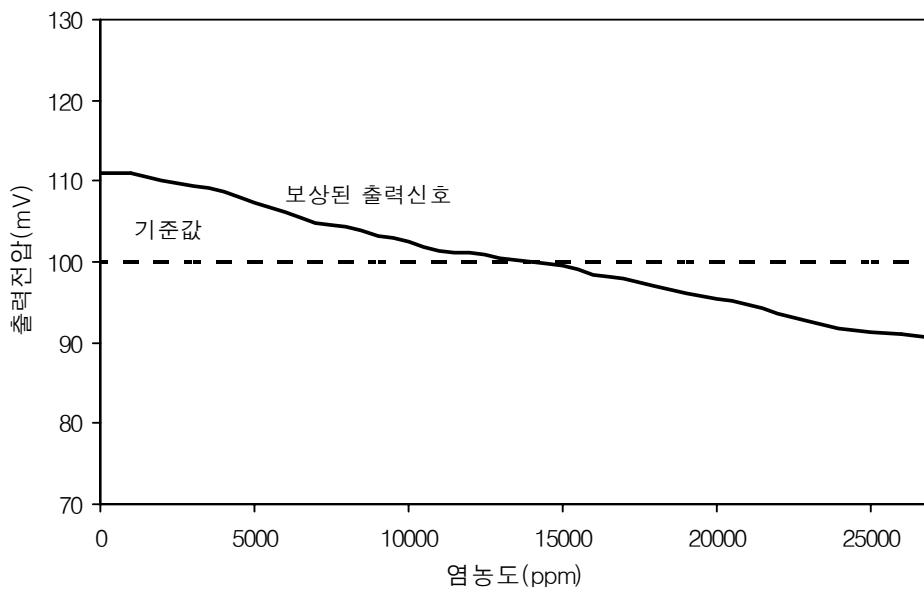
다. 전극보상회로

전술한 바와 같이 염농도 센서가 물속에 장시간 설치되는 경우 출력전극 표면에 오염물질이 부착되며, 이에 따라 출력전극의 출력신호가 약해지는 현상이 일어나서 센서의 정밀도와 정확도가 떨어진다. 이를 방지하기 위하여 출력전극과 입력전극 사이에 두 개의 보상전극을 설치하였다. 출력전극에서 출력되는 신호를 보상전극에서 수신되는 신호의 세기에 따라 출력전극의 출력신호를 보상할 수 있게 하였다. 이는 염농도의 측정범위가 클수록 곡선 형태를 가지는데 낮은 범위에서 기준값 보다 큰 출력신호를 출력하게 하여 입력전극에

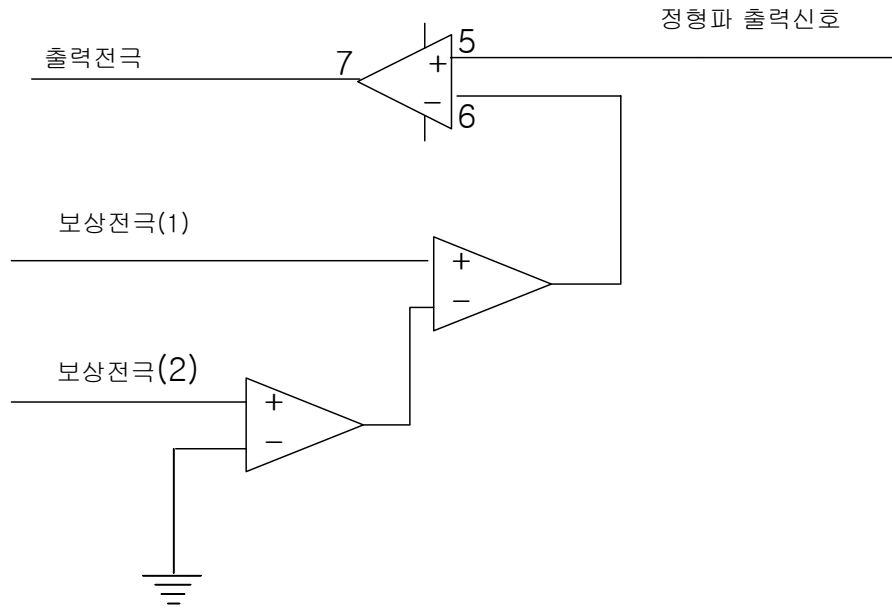
서 수신되는 비선형 신호를 직선화시켜 오차를 감소할 수 있다.

보상전극에 보상되어 나오는 출력전극 전압을 일정하지 않게 <그림 6-9>와 같이 물 속 저항이 클 때 즉 염농도가 낮을 때 출력전극 전압을 기준전압보다 높게 보내고 염농도가 높을 때는 물속의 저항이 적어 전류 흐름이 좋기 때문 기준전압보다 낮게 보내도록 하였다. 출력신호의 보상방법을 <그림 6-10>과 같이 차동증폭회로로 구성하였다. 차동증폭기는 +단자에 인가되는 V^+ 와 -단자에 인가되는 V^- 와의 차이에 따라 V_0 의 전압신호를 출력한다.

이와 같은 방식으로 염농도 값에 따라 출력전극 전압을 변화를 줌으로써 보상이 가능하게 하였다.



<그림 6-9> 보상전극에 의한 출력전압변화

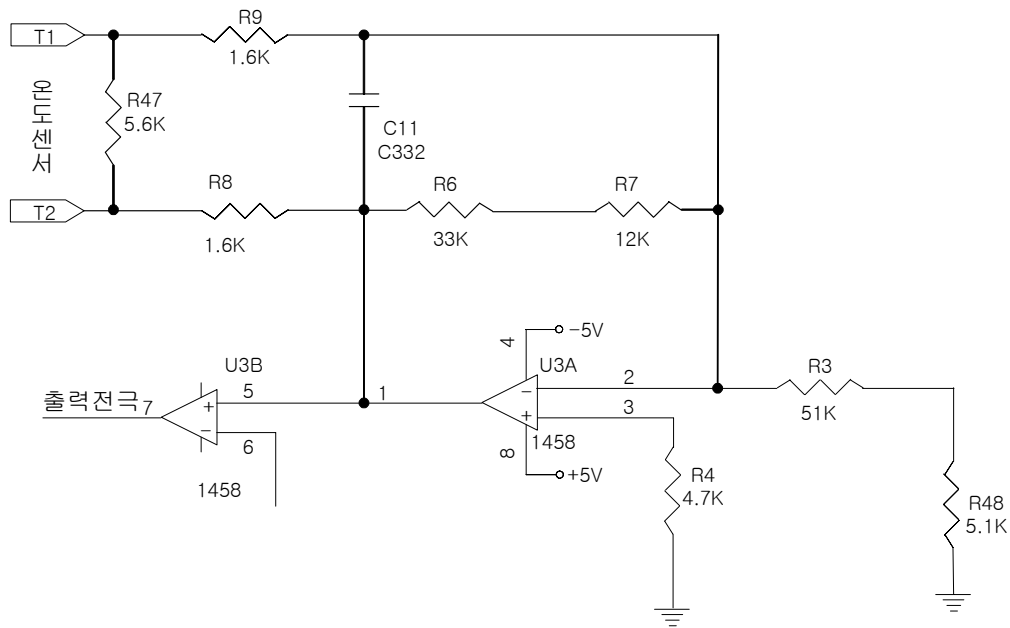


<그림 6-10> 열도센서의 보상회로도

라. 온도보상회로

온도센서에서 감지된 수온에 따라 출력전극에 인가되는 전압신호를 보상하기 위하여 <그림 6-11>과 같이 온도보상회로를 구성하였다. 온도센서는 pt100Ω을 사용하였다. 기준온도 25℃에서 출력전극에 인가되는 전압 100mV 상태에서 온도보상회로는 온도센서에서 검출된 수온이 25℃보다 높으면, 부피환을 걸어 증폭도를 낮게 한다. 이는 전압발생회로로부터 출력전극에 인가되는 전압이 100mV보다 낮아지도록 보상하게 되고 검출된 수온이 25℃보다 낮은 경우, 100mV보다 높아지도록 보상하게 된다. 즉, 온도보상회로는 물속의 온도에 따라 출력전극에서의 출력전압이 적절히 보상되도록 한다.

이와 같이 전압발생회로에서 생성되고, 온도보상회로에 의해 가공된 전압신호가 출력전극에 인가되며, 출력신호가 물속을 통과하여 보상전극 및 입력전극에 입력된다.



<그림 6-11> 온도보상회로도

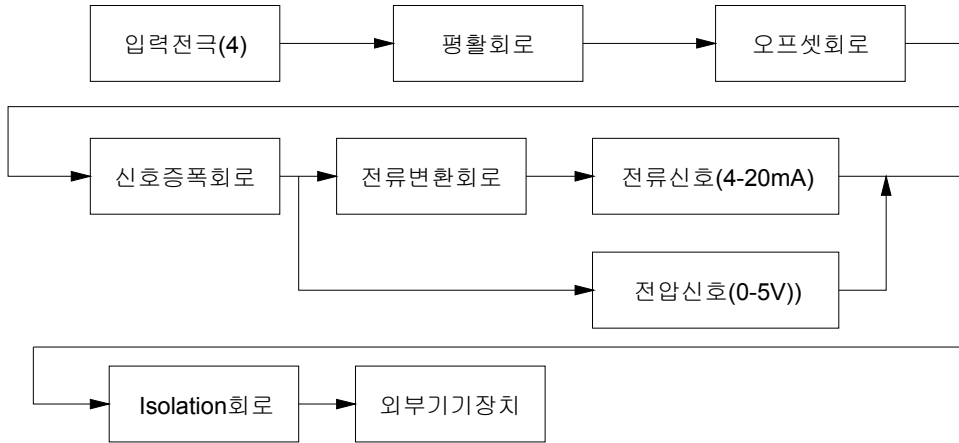
마. 센서신호처리

염농도 센서의 출력전극에서 출력되는 신호는 100mV수준에서 물의 염농도에 따라 입력전극에 입력되는 신호는 미약한 100mV이하의 정형파 신호가 입력된다. 이 신호를 ADC에 접속하기 위해서 정형파를 직류성분으로 변환한 후 ADC 입력단자의 전압조건에 적합하도록 <그림 6-12>와 같이 가공처리 하였다.

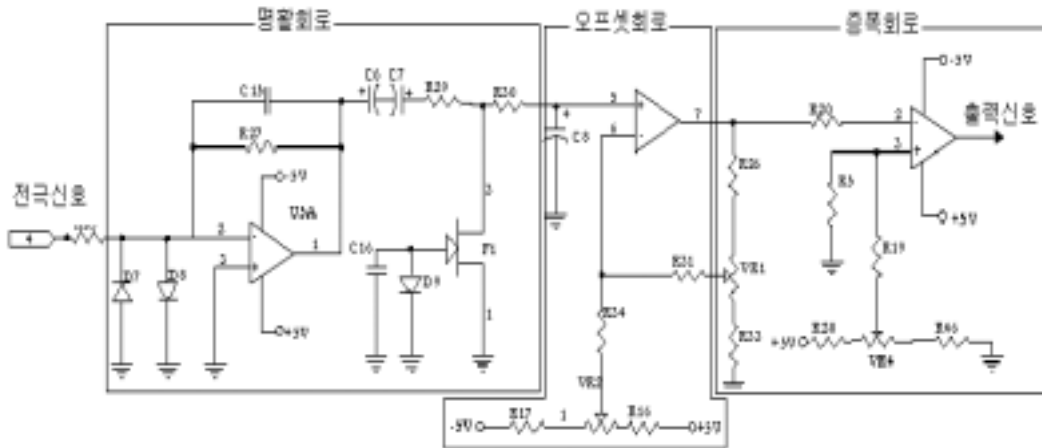
① 센서신호 평활화 및 증폭

<그림 6-13>에서 1차적으로 100mV이하의 미약한 왜곡된 파형을 가진 주파수 신호를 적분회로에 적용하여 콘덴서(C6, C7)에 충전으로 우선 (-)성분을 (+)성분에 반영하여 1차적으로 교류성분을 제거하였다. 트랜지스터(F1)를 사용하여 구형파에서 필요가 없는 (-)성분을 완전히 소멸시킨 후 콘덴서(C8)를 지나면서 주파수 신호를 평활시킨 후 오프셋회로와 증폭회로에 연결하였다. 교류신호인 정형파에서 직류신호로 변화된 센서신호 출력이 공기 중에 노

출되어 있을 때 0.0V 출력되도록 가변저항(VR2)을 이용하여 조절하였다. 그리고 센서 교정을 위하여 활용되는 스펠(Span)값은 가변저항(VR1)을 이용하여 조절하였다. 이와 같이 가변저항으로 증폭율을 조정하여 최종 출력신호를 1.0~5.0V로 하였다.



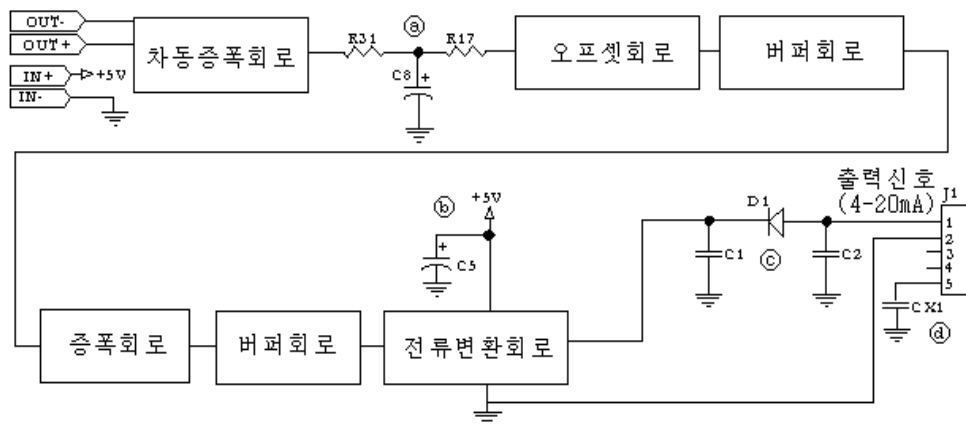
<그림 6-12> 센서출력신호 처리과정



<그림 6-13> 센서출력신호 처리회로도

② 센서 노이즈 제거회로

전극이 물 속에 노출되어 있는 염농도 센서는 외부 전기적 신호(자연전류)에 직접적인 영향을 받는다. 전극에 영향을 주는 외부 신호에 대하여 <그림 6-14>와 같이 출력신호 처리과정에서 노이즈가 발생할 수 있는 지점이나 원인이 될 수 있는 지점에 충방전 콘덴서로 구성된 노이즈 제거회로를 설치하였다. 증폭회로 내·외부에 접속된 저항에 의해 발생된 노이즈는 증폭도가 변하면 함께 증폭된다. ㉑지점은 교류성분을 직류성분으로 변환되는 과정에서 고주파 노이즈 성분을 제거하는 부분이다. ㉒지점은 4~20mA로 출력되는 최종 신호에서 발생될 수 있는 노이즈를 제거하는 부분이다. ㉓지점은 센서케이스로부터 들어오는 노이즈를 사전에 차단하는 부분이다.



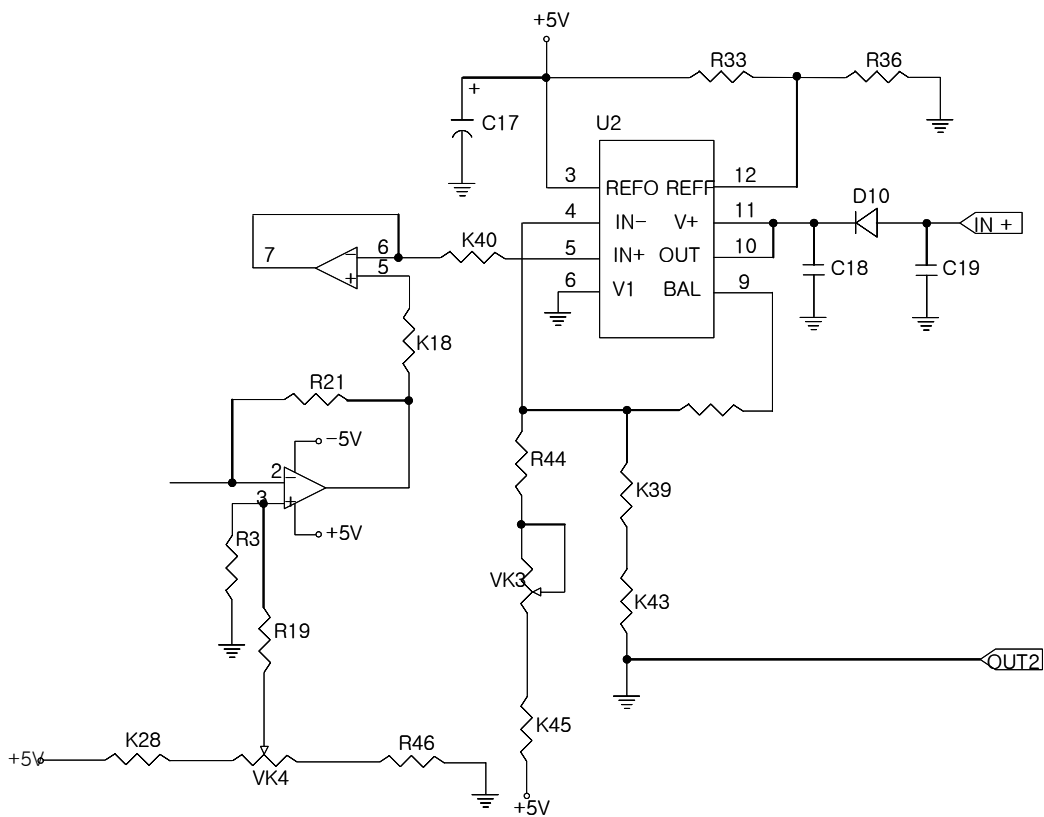
<그림 6-14> 센서회로내 노이즈제거 회로

③ 장거리 전송을 위한 신호처리

센서 출력신호는 일반적으로 4~20mA의 직류전류신호를 적용한다. 이는

4~20mA 출력신호에서 4mA는 무신호 즉 센서의 고장여부를 판단할 수 있는 기준이 되고 센서신호를 장거리 전송 시 전압신호보다 전류신호가 노이즈에 대한 안전성을 가지고 있기 때문이다.

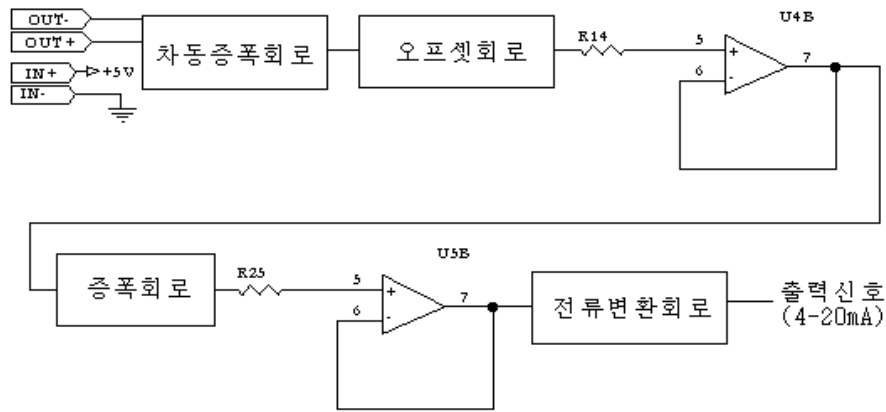
본 연구의 경우 염농도 센서가 설치되는 지점과 ADC까지의 거리가 100m 이상이 될 수 있어 최종 출력신호를 장거리 신호체계인 4~20mA로 변환하였다. 전류변환회로는 <그림 6-15>과 같이 센서 출력신호를 부하저항으로 사용하여 부하저항에서 소비되는 전류 변화를 이용하여 4~20mA로 변환시켰다.



<그림 6-15> 4~20mA 전류변환회로도

④ 버퍼회로

염농도 센서 회로에서 상호 신호간섭이 있을 수 있는 증폭회로와 전류변환 회로 사이에서 전기적으로 Isolation 역할을 할 수 있는 일종의 버퍼회로를 <그림 6-16>과 같이 추가 설치하였다.

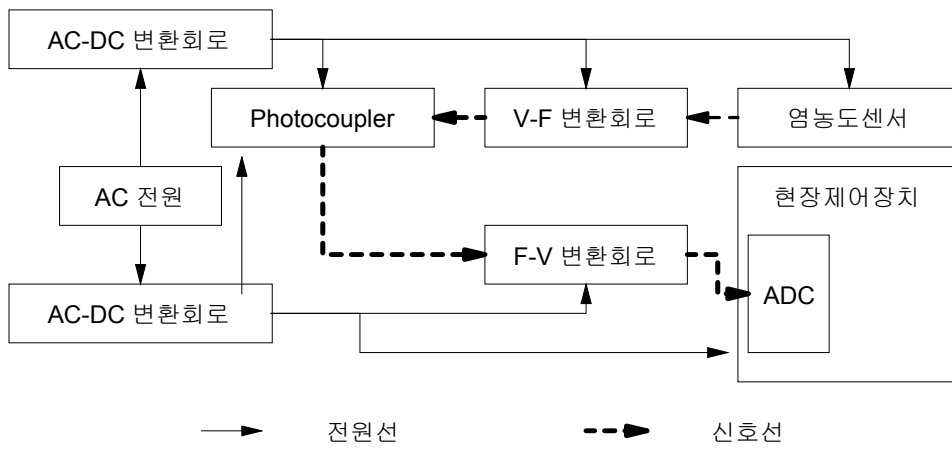


<그림 6-16> 염농도센서의 버퍼회로

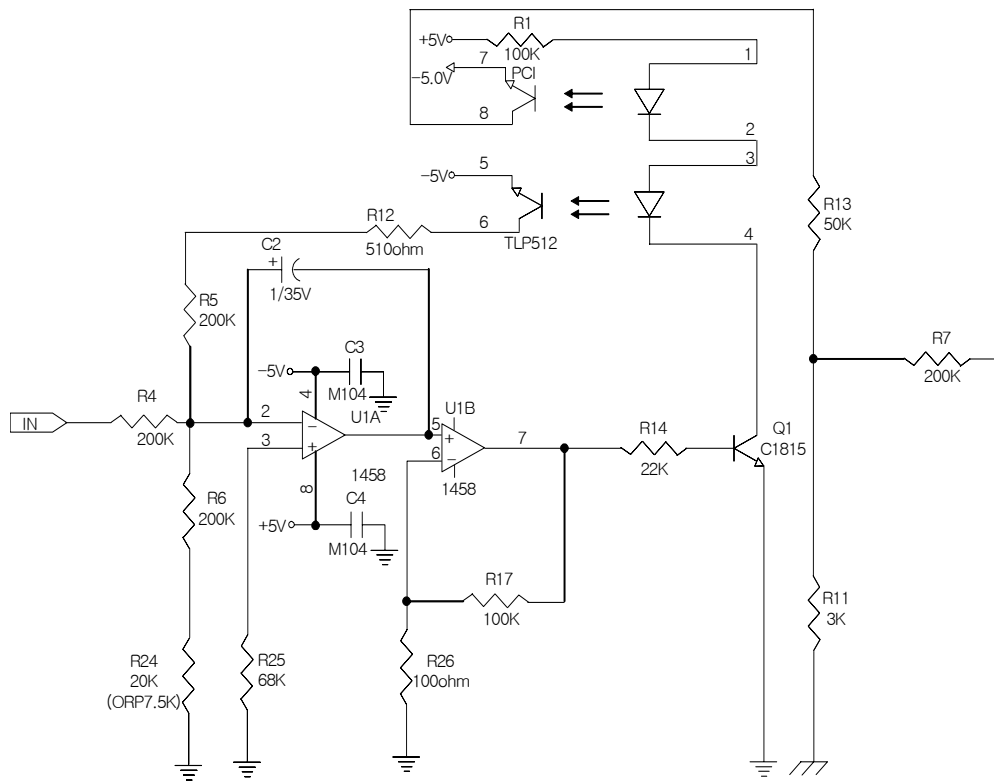
⑤ Isolation 회로

염농도 센서 전극은 물에 노출되어 있어 외부 전기적 신호(노이즈)가 센서의 입력전극에 영향을 주게 된다. 이러한 노이즈에 대한 대책방안으로 센서에 공급되는 전원과 외부장치(현장제어장치)에 공급하는 전원을 전기적으로 단절 역할을 하는 Isolation 회로를 <그림 6-18>과 같이 추가 설치하였다.

전기적으로 센서전원과 현장제어장치의 전원을 단절시키기 위하여 다른 전원을 사용하였으며, 포트커플을 이용하여 센서신호를 전달하게 하였다. 우선 염농도 센서의 출력신호인 직류신호를 주파수로 변환하였으며(V-F Converter), 변환된 주파수 신호를 포토커플(Photocoupler)을 이용하여 현장제어장치에 전달하고, 전달된 주파수 신호는 다시 직류신호로 변환되어(F-V Converter) 현장제어장치의 ADC에 연결하였다.



<그림 6-17> 영농도 센서의 Isolation 구성도



<그림 6-18> 영농도 센서의 Isolation 회로도

제 3 절 온도센서

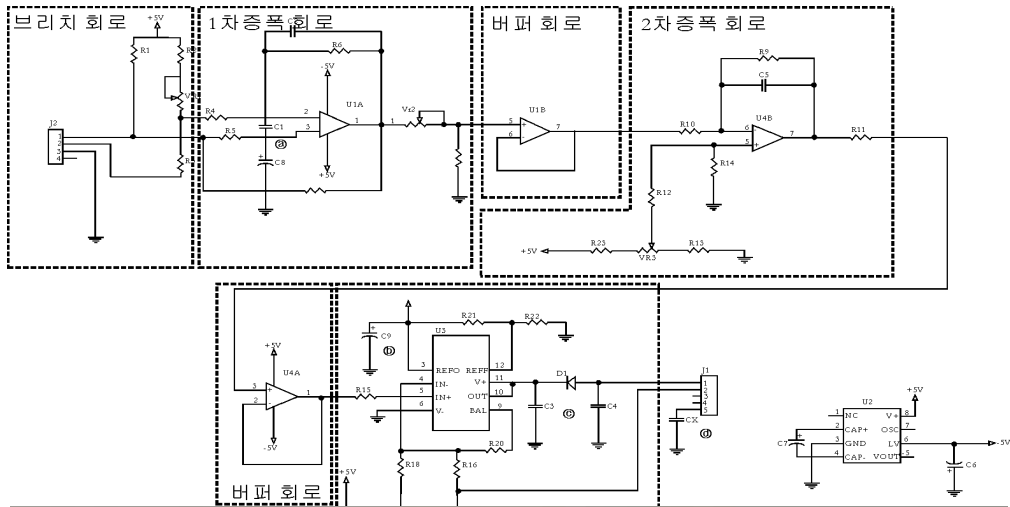
온도변화에 대한 민감한 물리적 성질을 나타내는 측온저항체를 사용하여 온도센서를 제작하였다. 측온저항체는 저항 온도계수가 크며, 온도-저항 특성이 직선적이며, 열적, 화학적, 기계적으로 안정하고, 경시변화가 적다.

온도센서의 역할은 수온 자체의 온도를 측정할 뿐만 아니라, 온도에 따른 염농도를 보상한다. 염농도는 약 1℃ 온도차이가 있을 때 염농도는 2%정도 변화가 있다. 따라서 염농도의 정확도를 확보하기 위해서는 우선 온도를 정확하게 측정해야 한다. 전기적으로 염농도와 온도센서를 연결하는 온도보상 방법은 전기적으로 보상할 수 있다. 이 방법은 하드웨어적으로 처리하므로 사용자 관리가 간단하지만, 염농도는 항상 온도에 종속하게 되므로 유지관리에서 온도의 보상이 항상 필요하다는 단점이 있다.

<그림 6-19>는 Pt100을 사용한 온도센서 회로도를 나타낸 것이다. Pt100의 저항치가 온도에 대하여 비직선식의 관계가 있기 때문에 선형화할 수 있는 계측회로를 구성하였다. 선형화 방법으로 계측온도 범위(-20~50℃)내에서 최저값, 최대값 및 중앙값을 기준으로 브리지 회로를 구성하였다. 온도회로도에서 VR1은 최저값 조절용으로 사용하였으며, VR2는 최대값 조절용으로 사용하였다.

온도신호 처리회로 내부, 또는 외부에 접속한 저항에 의해 노이즈가 발생된다. 증폭도가 변하면 노이즈 전압도 증폭되기 때문에 염농도 회로와 마찬가지로 신호처리과정에 노이즈가 발생될 소지가 있거나, 원인이 될 수 있는 지점에 노이즈 제거회로를 추가하였다. 즉 pt100에서 출력된 신호의 증폭 및 전류로 변환되는 지점, 케이스의 의하여 영향을 받은 지점에 설치하였다. 온도센서 회로는 각 단계별 특성을 가지고 있으므로 전후 신호처리단계에서 영향을 미칠 수 있는 지점에 대하여 1차 증폭회로와 2차 증폭회로, 2차 증폭회로와 전류변환회로 사이에 버퍼회로를 설치하였다.

본 연구에서 염농도 온도보상을 위한 온도센서를 <그림 6-20>과 같이 염농도 센서내 설치하였으며, 수온을 측정하기 위한 온도센서는 염농도 센서와 별도로 제작하였다. 따라서 염농도의 온도보상은 하드웨어적으로 처리하였으며, 온



<그림 6-20> 수온측정용 온도센서



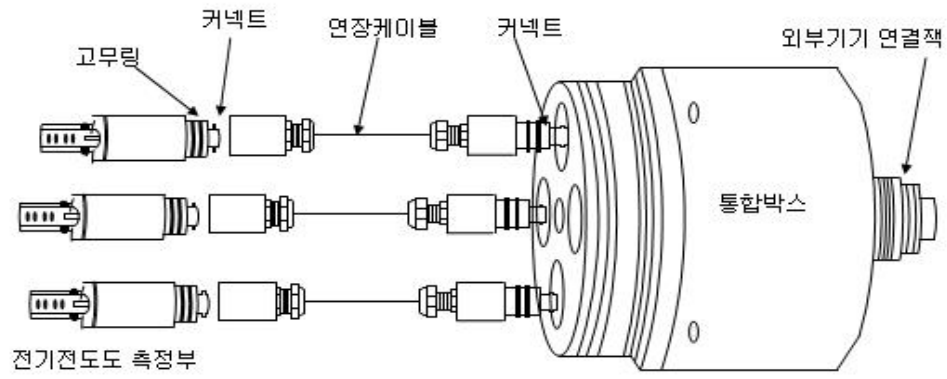
<그림 6-21> 보상용 온도센서

도센서가 별도의 기판을 사용함으로써 염농도 센서와 연결하거나, 단독으로 사용 가능케 제작하였다.

제 4 절 다채널 측정장치

흐르는 하천과는 달리 농업용 저수지 또는 댐형 호소와 같이 정체된 물은 가뭄 등 기상조건에 따라 성층화 현상이 일어난다. 물의 온도에 대한 성층화 뿐만 아니라, 염농도에서도 성층화 현상이 일어난다. 특히 간척지의 담수호에서 염농도에 대한 성층화 현상이 다른 지역보다 자주 일어난다. 담수호를 농업용수 또는 생활용수로 이용할 경우 염농도에 따라 다르게 이용될 수 있다. 일반적으로 물의 상층부분이 낮고 하층부분이 높다. 이는 염분이 섞인 소금기가 높은 물 즉 염농도가 높은 물은 아래 쪽에 있고, 표면 쪽으로 올라올수록 염분농도가 낮아지면서 염농도가 낮아진다. 따라서 이러한 성층화 현상이 자주 일어나는 지역에서는 수심별 염농도 측정이 필요하다.

수심에 대한 염농도 성층화에 대비하여 염농도 센서를 <그림 6-22>와 같이 수심별 염농도를 측정할 수 있도록 센서를 조합한 다점방식 염농도 장치를 제작하였다. 다채널 염농도 장치는 4개 염농도 센서를 구성하여 일정한 범위내에서 수심별, 지점별로 측정할 수 있다. 측정부분에 전항에서 언급한 회로와 4전극 방식을 채택하였으며 출력신호를 4-20mA로 하였다. 통합박스에서 4전극 염농도 센서로부터 전달된 전기신호를 하나의 케이블로 재조합하여 통합 처리하였으며, 또한 외부에서 공급된 전원을 각 센서로 공급하는 분배 역할을 하게 하였다. 또한 수심이 낮거나 수심별 측정할 지점이 4개 이하인 경우를 대비하여 통합박스과 염농도 센서를 분리할 수 있도록 커넥트 방식으로 개발하였다. <그림 6-23>은 본 연구에서 제작된 다채널 측정장치에 염농도 센서 3개와 온도센서 1개를 연결한 것이다.



<그림 6-22> 다채널 측정장치



<그림 6-23> 다채널 측정장치에 연결한 염농도와 온도센서

제 5 절 현장제어장치

현장제어장치는 일종의 데이터로거 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 점을 감안하여 현장제어장치를 기본적인 기능 외에 소비전력 최소화 및 메모리 확보 기능을 추가하였다.

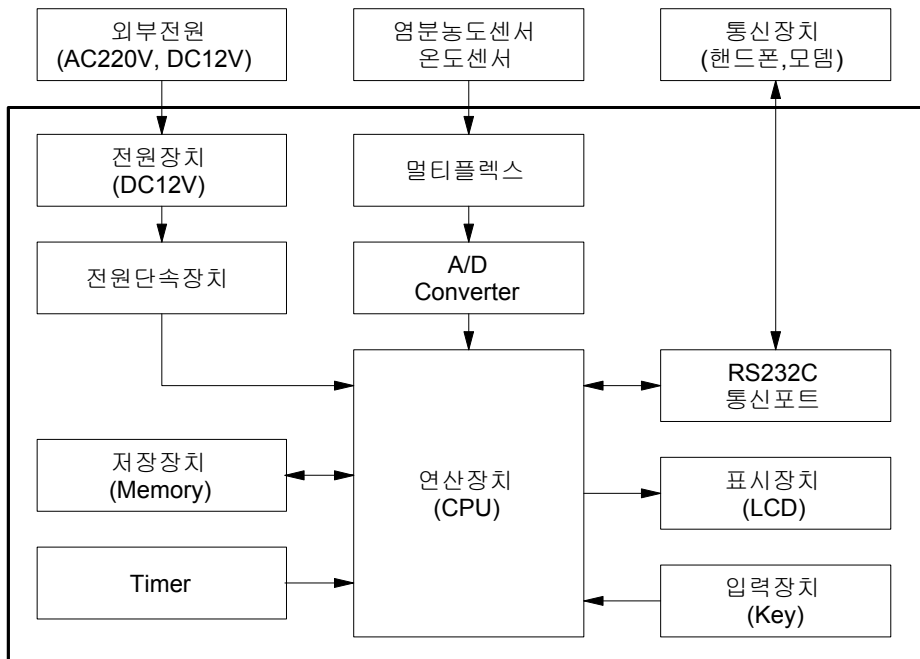
현장제어장치가 <그림 6-24>과 같이 현장 기기를 자동 제어할 수 있는 기능을 갖도록 하기 위하여 ROM, RAM, 마이크로프로세서, I/O, ADC, Timer 등 IC chip 들을 사용하여 제작하였다. 현장제어장치의 내부 모습은 (그림 6-25)와 같다. 현장제어장치의 크기는 450(W)×300(D)×100(H)mm이며 내부에 12V, 1.9Ah 배터리를 내장하였다. 그리고 AC, DC 전원을 사용할 수 있게 전원 회로를 추가하였다. 현장제어장치의 기본 기능은 다음과 같다.

- 사용자 프로그램을 작성하여 기록할 수 있는 64K 메모리 확보
- 연속적으로 측정된 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

1. 데이터 저장방식

본 연구에서는 메모리 공간 절약을 위하여 측정 자료를 숫자보다 16진수 방식으로 저장 하였다. (표 6-3)는 숫자로 저장하는 경우와 16진수로 저장할 경우 필요한 메모리 용량 비교이다. 날짜와 시간은 정수로 저장할 경우 한 숫자에



<그림 6-24> 현장제어장치 구성도



<그림 6-25> 현장제어장치 사진

대하여 2바이트가 소요되어 총 10바이트가 필요하고, 측정 자료를 실수로 저장할 경우 한 값에 대하여 4바이트가 필요하다. 따라서 1회분 측정 자료를 저장하는데 필요한 바이트수는 34이다. 그러나 16진수로 저장할 경우 날짜정보, 시간정보 및 측정 자료를 합하여 17바이트만 필요하다. 따라서 적은 메모리 용량으로 충분한 측정 자료를 저장할 수 있다.

현장제어장치의 전체 메모리 용량은 128K이며, 이중 64K는 프로그램용으로 사용하였으며, 나머지 64K는 자료저장용으로 사용하였다. 자료 저장용 64K 메모리에 이와 같은 방식을 적용함으로써 5,00회 분량이상 저장을 가능하게 하였다. 또한 1M 외장 메모리 카드를 사용하여 충분한 자료를 저장할 수 있게 하였다. 외장 메모리 카드에 대하여 다음 장에 설명하였다. 메모리에 저장되는 포맷은 <그림 6-26>와 같다.

(표 6-3) 측정 자료를 저장하는데 필요한 바이트수

구분	날짜정보		시간정보			수위	염농도 (3개)	온도	예비	총바이트 수
	월	일	시	분	초					
비트수	2	2	2	2	2	4	12	4	4	34

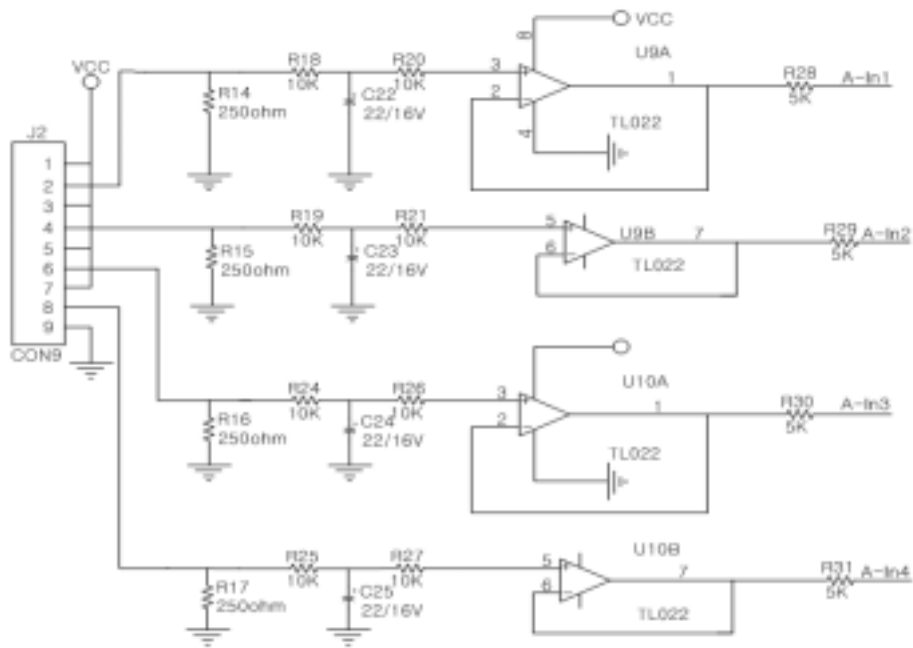
2. 센서신호처리

염해예보시스템이 설치되어 있는 현장은 양수장 부근으로 주변 고압 전류가 흐르고 양수펌프가 설치되어 있는 등 전기적으로 열악한 환경이라 할 수 있다. 염농도 센서 내부에는 미약한 전기적인 신호로 동작되고 있기 때문에 모터에 의한 영향을 받는다. 센서와 현장제어장치의 접속과정에 버퍼회로와 콘덴서를 설치하여 센서에 투입되는 전원선과 신호출력선에 연결하여 전압으로 변환된 후에도 노이즈 영향을 받지 않게 하였다. 이는 염농도 센서 내부회로 뿐만 아니라 현장제어장치에 노이즈 제거회로를 설치하게 됨으로서 센서신호가 케이블로 전달된 후 다른 장치에 의한 전기적인 영향을 받지 않게 한다.

이를 위하여 <그림 6-27>과 같이 ADC에 접속하기 이전에 노이즈 제거회로를 추가하였다. 우선 센서로부터 전송된 4~20mA 전류신호를 저항 250Ω을 사용하여 1.0~5.0V 신호로 변환하였다. 변환된 전압신호를 콘덴서(C22, C23, C24, C25)로 잔류 교류성분을 제거하였으며, TL022를 사용하여 전압을 안정화 시킨 후 ADC 아날로그 채널에 연결시켰다.

STX (0x02)		P	E	S	D	A	T	A	예약어					
02		50	45	53	44	41	54	41	FF	FF				
날짜 및 시간 정보					EC1	EC2	EC3	수위	온도					
6월	28일	23시	52분	12초	1290uS/cm	1291uS/cm	1292uS/cm	8.23m	110.2℃					
06	1C	17	34	0C	05	0A	05	0B	05	0C	05	0B	04	4E
예약어		Check SUM				ETX (0x03)								
FF	FE	00	00	00	00	03								
(ㄱ) 월 : char형 (예 : 0x06 --> 6월) (ㄴ) 일 : char형 (예 : 0x1C --> 28일) (ㄷ) 시 : char형 (예 : 0x17 --> 23시) (ㄹ) 분 : char형 (예 : 0x34 --> 52분) (ㅁ) 초 : char형 (예 : 0x0C --> 12초) (ㅂ) Depth : int형 (예 : 0x0337 --> 8.23m) (ㅅ) EC : int형 (예 : 0x050B --> 1291uS/cm) (ㅇ) Temp(온도) : int형 (예 : 0x044E --> 110.2℃)														

<그림 6-26> 측정자료 저장방식



<그림 6-27> 자료처리장치내 전류-전압신호 변환회로도

3. 아날로그 분해능

센서로부터 전달된 신호는 1.0~5.0V로 변환된 후 저항을 사용하여 전압강하를 시켰다. 또한 4채널 멀티플렉스(4052)로 동시에 4개 채널을 선택적으로 측정하도록 하였다. 이로써 ADC에 입력되는 최종 전압범위는 0.0~1.0V이다.

센서의 전압범위는 0.0~1.0V로 염농도 측정범위(0~28,000 mg/L)에 비하여 다소 미약한 신호에 해당되므로 1mV이하의 변화에 대해서도 계측이 가능해야 한다. 아무리 측정이 정확하더라도 디지털로 변환되는 과정에서 정확하게 분해하지 못할 경우 센서 정밀도가 떨어지게 된다.

현장제어장치는 22bit ADC를 사용하여 아날로그신호를 디지털로 변환하였다. 센서의 출력신호는 0.0~1.0V로 하였으므로 기준전압 V-는 0V로 V+는 1.0V로 하였다. 입력전압이 0V일 때 디지털값 '0'이 되며, 1.0V일 때 2^{21} 이 된

다. 따라서 센서범위의 최소값은 0이며, 최대값은 2^{21} 이 된다. 22Bbit ADC를 사용한 결과 염농도의 경우 디지털값 '1'변화는 염농도 변화폭은 약 0.056 mg/L수준에 해당된다. ADC분해능에서 발생될 수 있는 오차범위는 $\pm 0.05\%$ 로 센서자체에서 발생될 수 있는 오차범위보다 상당히 적은 값이므로 디지털 변환 시 발생될 수 있는 오차는 무시할 수 있다.

(표 6-4) 22비트 ADC의 분해능

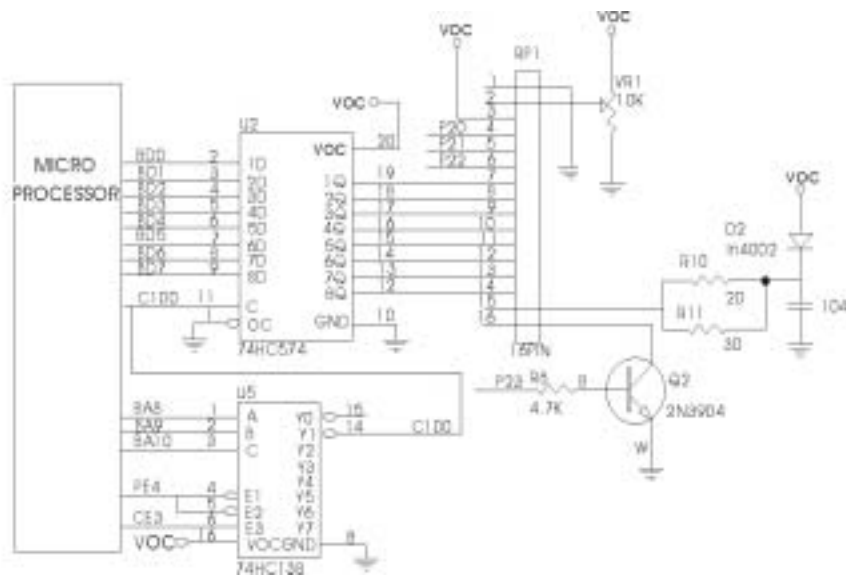
측정 항목	측정 범위(V)	센서신호범위		측정값/디지털값(D)
		아날로그신호(A)	디지털신호(D)	
염농도	0~2,800 mg/L	4~20mA	0~524,000	0.0056 mg/L
	0~28,000 mg/L	4~20mA	0~524,000	0.056 mg/L
온도	-20~50℃	4~20mA	0~524,000	0.0001℃

4. 표시부와 입력부

표시부는 현장제어장치의 동작상태, 측정 자료값 등을 표시하며, 입력부는 동작설정 및 수정 등 필요한 조치를 담당하는 조작 키에 관련된 부분으로 표시부에는 LCD, 입력부에는 버튼 키와 부저를 설치하였다.

<그림 6-28>는 자료처리장치의 표시부와 관련된 회로도이다. 표시창은 20 문자×2 라인 형태로 Text mode로 사용하였다. LCD의 밝기는 사용자 선택에 의하여 사용할 수 있도록 하였다. +5V를 저항 (R10)을 통해서 LCD의 전원 (Vss)에 연결하여 LCD 라이트 제어용 키를 입력하게 되면 마이크로프로세서에서 키입력을 확인하여 출력포트(P2)에 High 신호를 보내게 된다. 이 신호는 다시 TR(2N3994)의 베이스에 전류를 흐르게 하면서 LCD 라이트가 작동하게 된다.

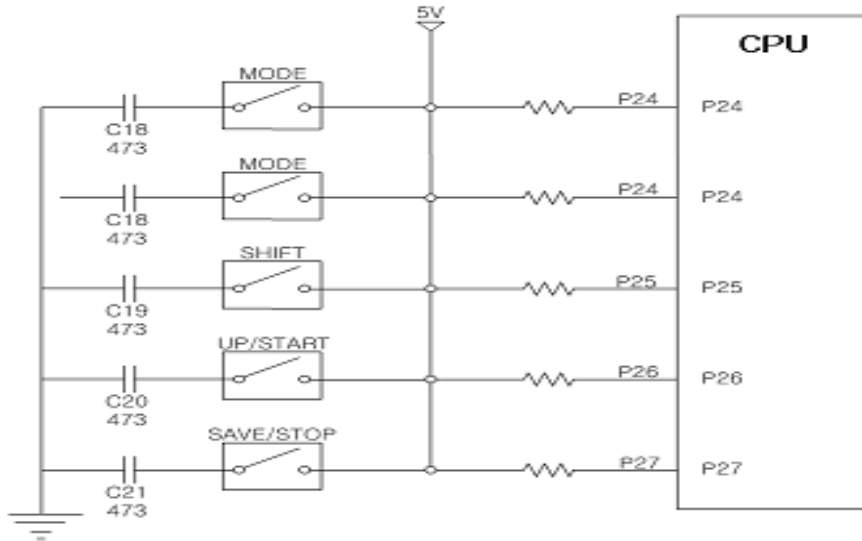
입력부는 push-button switch로 <그림 6-29>와 같이 구성하였으며, 마이크로프로세서 입력포트에 직접 연결하였다. 따라서 마이크로프로세서는 항상 키 입력 대기상태로 된다. 동작 또는 대기시라도 키 입력이 발생하였을 때 언제든지 필요한 기능을 수행할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. 키 입력시 발생하는 chattering에 대하여 Schimit trigger 회로와 같은 별도의 회로를 설치하지 않고 소프트웨어적으로 처리하였다.



<그림 6-28> 현장제어장치내 LCD 회로도

5. 자료송수신 장치

현장에 시스템을 설치할 경우 측정주기를 설정하고 측정주기와 장비별 메모리 용량을 계산하여 저장용량이 초과하기 전에 정기적으로 자료를 취득하여 측정된 자료가 손실되지 않도록 해야 한다. 자료 취득방법은 노트북 PC를 가지고 현장에서 직접 수집하는 방법과 전화선을 설치하여 모뎀으로 연결 송수신하는 방법이 있다. 무선통신 사용기법은 통신위성을 이용하거나 전용선을



<그림 6-29> 현장제어장치내부 키입력 회로도

사용해야 하므로 고가의 장비였지만, 현재는 국내 무선통신망이 발달되어 무선 핸드폰을 이용하여 인터넷, PC통신 및 데이터 전송을 쉽게 응용할 수 있다.

현장제어장치는 장소, 위치 등에 제한성을 두지 않고 사용하여야 하기 때문에 무선통신을 이용하면 유리하다. 본 연구에서는 핸드폰 통신망을 이용하여 현장제어장치에서 측정된 자료를 원격전송이 가능하도록 프로그램 및 하드웨어를 구성하여 무선 송수신할 수 있게 제작되었다. 이 송수신장치는 각 센서로부터 측정된 자료를 통합관리시스템 호출에 의하여 보냄으로써 자료의 온라인화, 저장, 분석 등 중요한 수단이 될 수 있고, 현장제어장치 메모리 절약 및 실시간 감시할 수 있는 장점을 제공해 준다.

본 연구에 사용한 CPU(MSC1210)는 시리얼 통신포트를 내장하고 있지만 RS23C 통신규약에 적합한 전기적인 신호는 아니므로 원거리 전송 및 모뎀을 제어하기 위해서는 $\pm 12.0V$ 신호의 승압이 필요하다. 데이터신호 승압을 위하여 Maxim사의 MAX232 IC를 사용하여 <그림 6-30>과 같이 통신회로도를

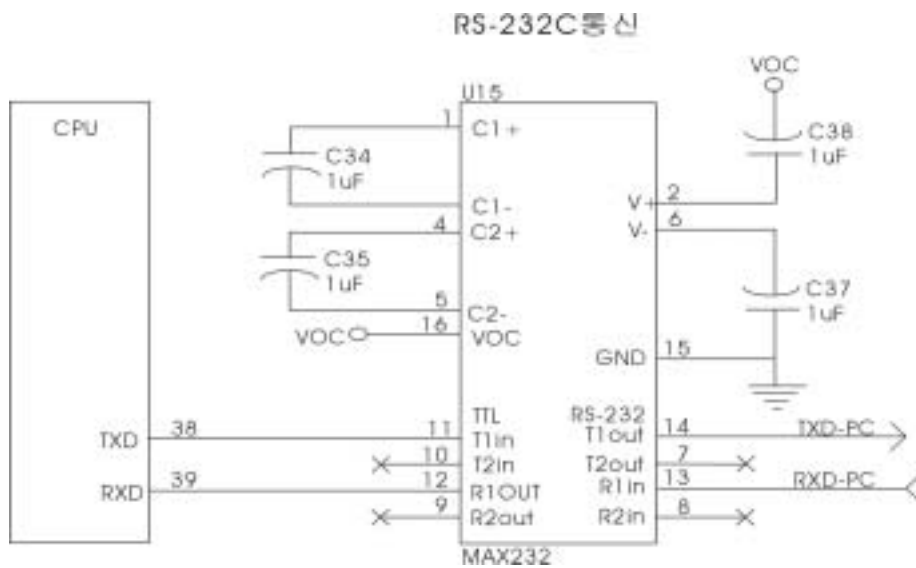
구성하였다. 데이터 전송속도를 9,600bps로 하였으며, 데이터는 8bit, stop bit는 1 bit, parity는 none로 설정하였다.

하드웨어 구성은 <그림 6-31>과 같이 현장제어장치내 내장되어 있는 통신 포트를 이용하여 PC에서 작성한 프로그램을 COM1 포트에 연결하여 전송하도록 하였다. 다른 포트는 핸드폰을 이용하여 사무실에 설치된 통합관리시스템으로 자료를 전송하거나 PC로부터 측정간격 시스템 작동에 필요한 변수를 수신하는데 사용하였다. 통합관리시스템에서 자료호출 명령어를 받으면 현장제어장치에서 이 명령어에 대한 응답으로 메모리에 저장된 자료를 무선으로 전송하게 된다.

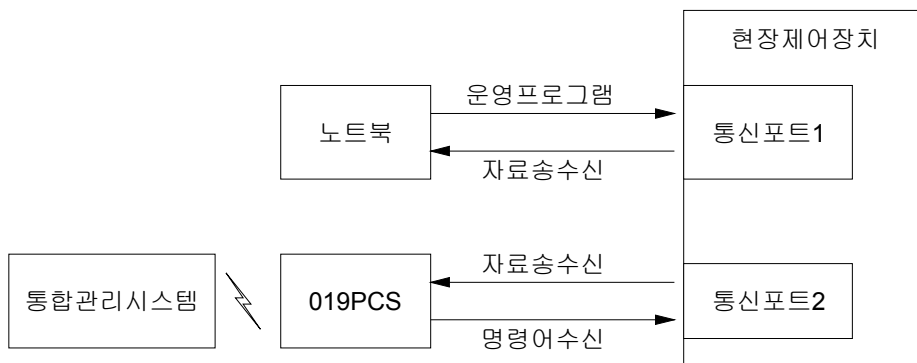
6. 외장메모리 장치

가. 외장메모리 장치의 필요성

현장제어장치는 기억장치의 크기, 자료저장, 프로그램의 오동작 예방 및 시스템의 안전성이 중요하다. 현장제어장치 내부에서는 모든 동작이나 연산을 디지털 값으로 처리하는데 반하여 센서로부터 측정되는 변수는 아날로그 신호인 경우가 대부분이다. 즉 이들 외부기기의 신호는 실제 물리적인 양에 비례하면서 연속적으로 변화하는 전압 또는 전류신호로 나타난다. 따라서 단계가 분명하게 구분되어 있는 디지털 신호와 연속적인 값을 갖는 아날로그 신호간의 인터페이스에 있어서 22bit 이상 분해능을 가지는 ADC를 사용할 경우 아날로그 신호를 0에서 2^{22} 까지 디지털 값으로 분해가 가능하지만 그 만큼 프로그램 사이즈가 커지고 내부 메모리를 많이 차지하게 된다. 그리고 측정된 값들을 자체 내부 메모리에 기억되거나 혹은 같이 설치된 컴퓨터에 기록하거나 원거리에서 자료를 습득하고자 할 경우 통신장치를 통하여 장소 제한 없이 어느 곳이든지 자료를 받아볼 수 있어야 한다. 그러나 컴퓨터 또는 모뎀을 통하여 자료 전송을 하더라도 그동안 측정된 자료는 현장제어장치내 메모리에 저



<그림 6-30> 자료처리장치내부 시리얼통신 회로도



<그림 6-31> 현장제어장치 통신포트 구성도

장되어 있어야 한다. 비휘발성 메모리(volatile memory)와 리튬전지 같은 백업 배터리가 내장되어야 이동하거나 전원이 단절되더라도 자료는 보존할 수

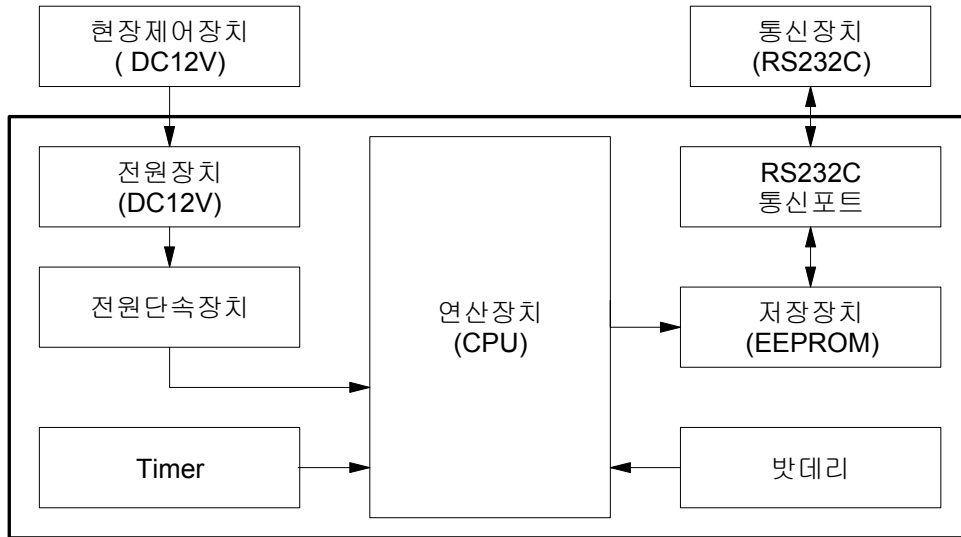
있어야 한다.

현장제어장치에 포함된 기억용량은 자료를 기억할 수 있는 양으로 24회/일 단위로 측정할 경우 6개월 동안 측정하여 저장할 수 있는 기억용량은 4,320개 (24회×30일×6개월)이면 충분하다. 장기간 측정한 자료를 저장하는 방법에 있어 FIFO(first input first output)방식을 채택하여 최근 자료는 저장되고 가장 이전에 저장된 자료는 삭제되어 더 많은 자료를 저장할 수 있다. 메모리 장치를 현장제어장치 보드내에서 설치할 경우 단순히 대용량 기억장치이며 이동성이 없어질 뿐만 아니라 제어장치의 보드가 복잡하거나 커지게 된다. 즉 현장제어장치내 저장된 자료를 PC로 전송받기 위해서 노트북을 현장제어장치에 접속하거나 현장제어장치를 사무실로 옮겨야 하는 불편이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 메모리 장치를 USB 메모리 장치와 같은 기능을 가진 이동형 기억장치를 제작하였다. 현장제어장치에서 통신포트를 이용하여 측정된 자료를 RS232C 통신방식으로 전송하며 외장형 메모리장치에서 이를 수신하여 메모리 장치에 저장하게 된다.

나. 외장메모리 장치 구성

외장메모리 구성은 <그림 6-32>와 같이 현장제어장치와는 별도 중앙처리장치를 사용하여 제작하였다. 메모리는 1M EEPROM를 사용하였으며, MAX232를 사용하여 RS232C 통신포트를 확보하였다. 현장제어장치내에 장착되어 있는 RS232C 통신포트를 이용하여 전송된 자료를 외장 메모리 장치에 저장하고 저장된 자료를 RS-232C 포트를 가진 어느 컴퓨터 및 기기와의 통신이 가능하도록 설계하였다. 외장메모리는 항상 대기 상태로 현장제어장치에서 전송신호를 수신되는 시점에서 Active 상태로 되어 현장제어장치에서 송신된 자료를 수신하게 하였다. 그리고 노트북 또는 PC에서 자료호출 명령어가 있을 때 저장된 자료를 송신할 수 있게 프로그램하였다. 외장메모리 장치와 현장제어장치의 자료송수신방법은 제7장 운영프로그램에서 상세히 설명하였다.



<그림 6-32> 외장메모리 장치의 구성도



<그림 6-23>외장메모리 장치 사진

제 7 장 얀해예보시스템 운영방법

얀해예보시스템을 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.

제 1 절 현장제어장치 운영프로그램

현장에 설치하는 현장제어장치의 운영프로그램을 현장 사용자가 전자 및 전산 분야의 비전문가이므로 간단한 조작으로 전 기능을 사용할 수 있도록 작성하였다. 현재 계측상태를 나타내고 필요에 따라서는 시간과 같은 제어변수를 변경하거나 센서를 교정할 수 있도록 하였다. 그리고 향후 시스템의 개선에 대비하여 프로그램을 변경할 필요가 있을 것을 감안해서 프로그램을 모듈화하였다. 그리고 복잡한 루틴들은 다시 서브루틴으로 작성함으로써 프로그램 수정을 쉽게 하였다. 특히 프로그램이 복잡한 LCD 제어부분은 서브루틴을 미리 개발함으로써 해당 서브루틴을 수행시킴으로써 그 기능을 수행할 수 있도록 하였다. 이 운영 프로그램은 계측, 센서교정, 측정시간제어, 절전기능과 통신기능을 가지며 초기화 프로그램과 주 프로그램 루틴, 인터럽트 서브루틴, 서브루틴들로 구성되어 있다.

1. 운영프로그램 작성방법

현장제어시스템 운영프로그램을 ANSI C 언어로 작성하였다. 이 소스파일을 'KEIL 컴파일러'를 사용하여 인텔방식의 HEX파일로 만든 후 윈도우 환경 하에서 CPU에 loading하였다. Loading은 'KIT.EXE'라는 전용프로그램을 사용하였다. 'KIT.EXE'를 실행하여 명령어 입력대기 상태가 되었을 때 우선 PC의

통신포트를 설정하고, 다음은 통신속도와 필요한 제어변수를 설정한 후 상태 명령어('Status')를 사용하여 정상적으로 설정되었나를 확인 한 후 HEX파일로 변환된 운영프로그램을 loading한다.

현장제어장치의 시리얼통신포트를 운영프로그램 loading과 함께 PC로의 자료송수신용으로 사용될 수 있게 설계하였다. 즉 운영프로그램을 loading 할 경우 마이크로프로세서 PROG(44핀)과 메모리 PSEN(22핀)에 Low신호를 입력하고, PC와 자료송수신할 경우 High신호를 입력하게 한다. 이러한 기능을 가진 스위치 회로를 <그림 7-1>과 같이 구성하여 한 통신포트를 이용하여 운영프로그램 loading과 자료 송수용으로 사용하였다.

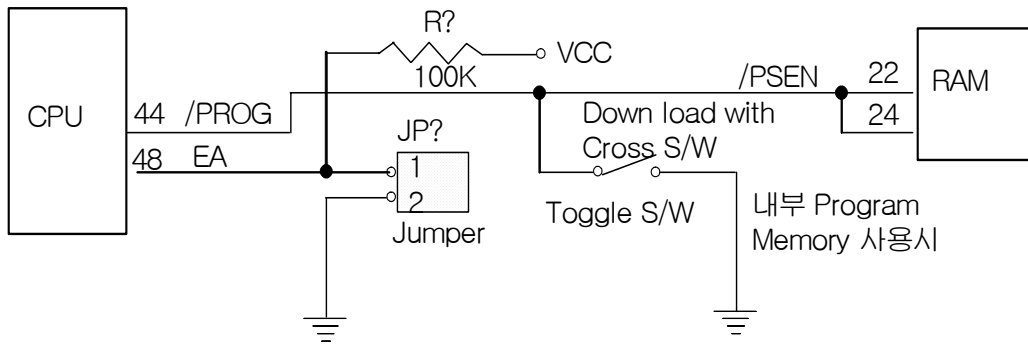
2. 초기화 프로그램과 주 프로그램

현장제어장치의 운영프로그램 구성을 <그림 7-2>와 같이 하였다. 초기화 루틴에서 먼저 마이크로프로세서의 입출력 포트 설정, 인터럽트 우선순위를 결정하고, 각 모듈을 초기화 및 설정하고, LCD를 초기화하였다. 주 프로그램을 수행하기 전에 인터럽트를 가능하게 하고 그 우선 순위를 결정하였다. 주 프로그램은 무한 루프 형식을 취하였는데 프로그램은 다음과 같은 과정을 밟도록 하였다. 즉 전원이 공급되면 system configuration register를 확인하고, 메모리에 저장되어 있는 제어변수(측정간격, 측정 자료를 저장할 메모리 위치, 저장된 자료 수 등), 키 상태, 정전여부를 확인하고, 측정시간에 도달하였을 때 측정하는 일을 반복한다. 이런 작업을 하는 도중 인터럽트가 걸리면 인터럽트 서비스 루틴을 수행하고 주 프로그램으로 되돌아오게 설계하였다.

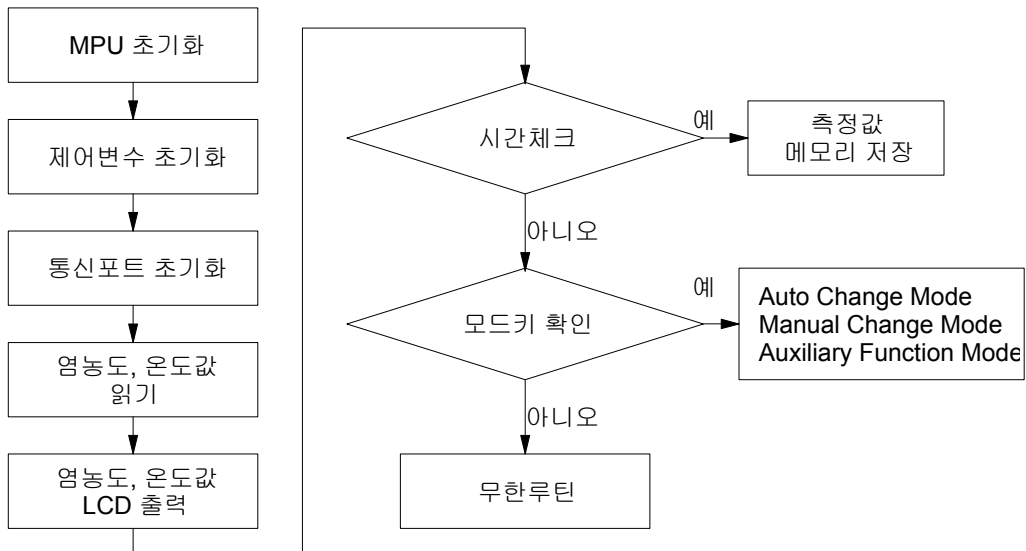
메인 프로그램은 Auto Change Mode, Manual Change Mode 그리고 Auxiliary Fuction Mode 3가지 모드 상태로 동작된다.

가. Auto Change Mode

외부의 키 입력없이 순차적으로 LCD화면에 표시하는 방법으로 그 순서는 <그림 7-3>과 같다. 자동모드 상태로 설정되었을 때 우선 염농도와 수온을



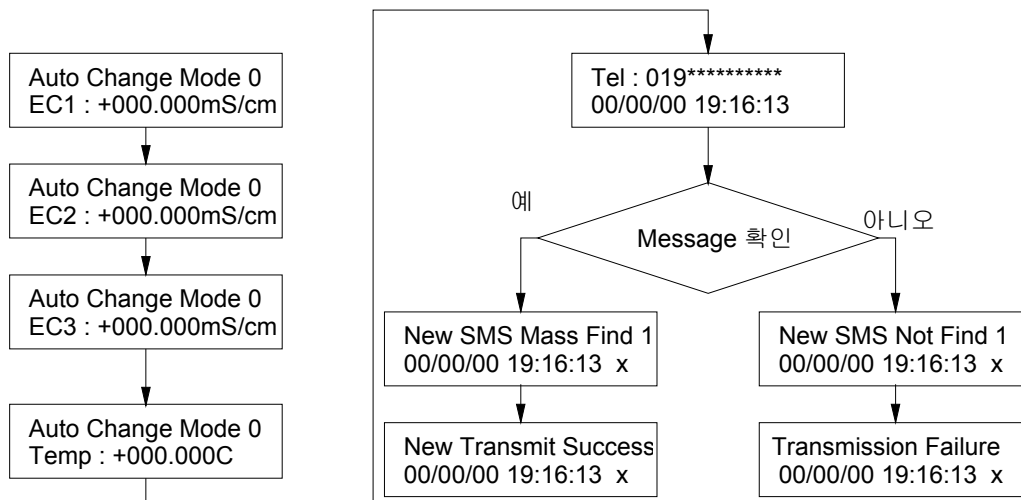
<그림 7-1> 운영프로그램 Loading과 자료전송기능 전환회로도



<그림 7-2> 현장제어장치 운영프로그램 순서도

순차적으로 LCD에 표시하고 측정된 자료를 핸드폰으로 전송할 수 있게 통합 관리시스템으로부터 수신된 명령어를 저장하는 수신버퍼를 체크하게 하였다.

수신버퍼에 호출 명령어가 있을 경우 현재 측정된 값을 통합관리시스템으로 전송하게 된다. 성공적으로 자료를 전송되었을 경우 LCD 화면에 SMS Transmit Success 가 표시되고 실패하였을 경우 Transmission Failure가 화면에 표시된다. 따라서 외부에서 호출되었을 경우에만 동작하게 하였다.

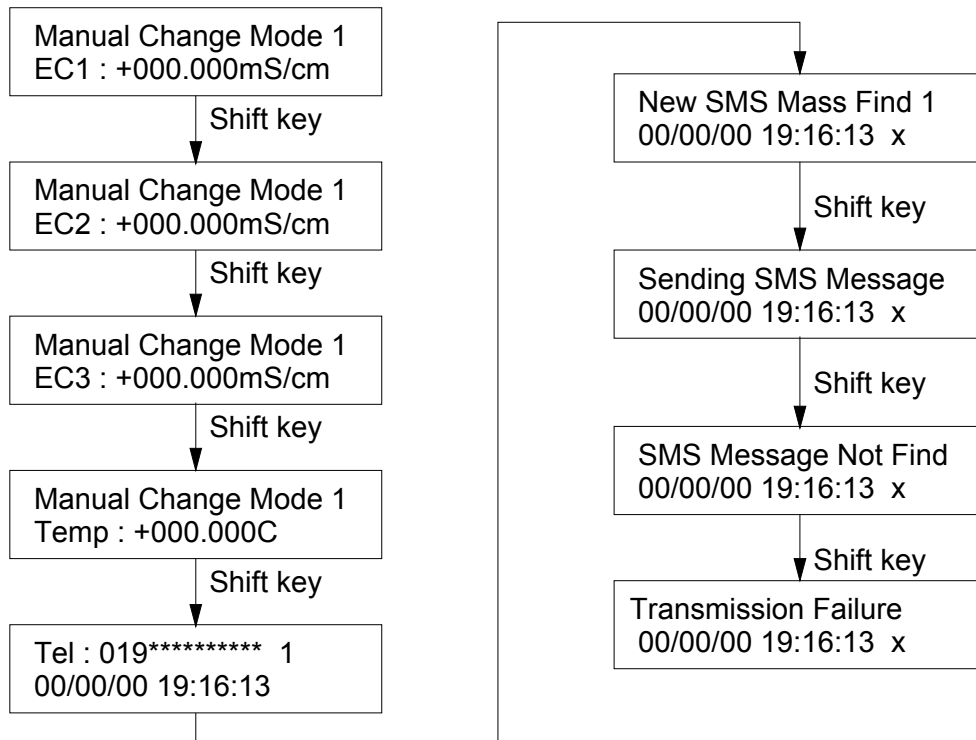


<그림 7-3> Auto Change Mode 순서도

나. Manual Change Mode

Manual Change Mode는 시프트 키 입력이 있을 때 순차적으로 LCD화면에 표시하는 방법으로 그 순서는 <그림 7-4>와 같다. Auto Change Mode와 차이점은 시스템 동작에 필요한 간단한 제어변수를 변경할 때 사용하는 모드이다. LCD 화면에 시간과 날짜가 LCD화면에 표시되었을 때 시프트 키를 4초 이상 누르면 시간, 날짜 그리고 저장간격을 변경할 수 있다. 그리고 핸드폰 번호와 시간이 표시되었을 때 시프트 키를 누르면 다시 처음 시작상태로 진행되고 4초 이상 누르면 수신버퍼내 새로운 메시지(명령어)를 확인하여 그에 따

른 명령어를 수행한다. 따라서 Manual Change Mode는 시스템을 테스트하거나 측정 자료확인용으로 사용할 수 있으며 평소에는 Auto Change Mode로 사용하는 것이 편리하다.



<그림 7-4> Manual Change Mode 순서도

다. Auxiliary Function Mode

Auxiliary Function Mode는 시스템이 정상적으로 작동하기 위하여 필요한 제어변수를 설정하는 모드이다. 현장제어장치에서 설정되어야 하는 변수는 시스템 시간, 측정간격, 염농도센서 교정, 온도센서 교정, 송신핸드폰번호, 수신핸드폰번호이다. Auto Change Mode에서 Cal.key를 4초 이상 누르며 이 모드 상태가 된다. 이 모드의 순서는 <그림 7-5>와 같으며, 다음 화면으로 전환

시 Enter key 또는 Mode key 사용한다. 그리고 시스트 키와 Cal.key를 동시에 누르며 이 모드에서 빠져 나올 수 있다. 다음 장에 센서교정, 시간설정, 저장시간 간격 설정 방법에 대하여 자세히 설명하였다.

	Calibration Mode	↔
Mode Key	↓	↑
	염농도1 Low부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	염농도1 High부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	염농도2 Low부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	염농도2 High부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	염농도3 Low부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	염농도3 High부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	온도 Low부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	온도 High부분 교정값 입력하는 Mode	↑
Mode Key	↓	↑
	날자 및 시간 수정	↑
Mode Key	↓	↑
	Data를 Memory에 입력 하는 시간 수정	↑
Mode Key	↓	↑
	Analog Channel의 값을 확인	↑
Mode Key	⇒	

<그림 7-5> Auxiliary Function Mode 순서도

3. 입력 키 사용방법

현장제어장치 사용방법은 입력키의 기능에 의존한다. 현장제어장치에

MODE, SHIFT, UP, ENTER, CAL, RESET 6개 키를 배치하였다. 키 입력신호는 항상 High 상태로 유지하다가 키가 눌러 졌을 때 Low 상태로 된다. 운영프로그램은 어떤 키가 눌러 졌는지 확인하여 입력키에 따라 해당되는 인터럽트가 걸린 후 해당 서브루틴을 실행하게 된다.

입력 키의 주요기능은 (표 7-1)와 같다. 현장제어장치가 측정대기상태에서 측정자료 확인 및 제어변수 재설정을 위해서는 우선 자료처리장치를 Wake Up해야 한다. SHIFT키와 RESET 키를 동시에 누를 때 이 기능이 실행된다. 다시 대기상태로 하고자 할 때는 UP키를 누르면 된다. 현장제어장치가 Wake up 상태에서 Auto Change Mode, Manual Change Mode, Auxiliary Function Mode가 실행된다.

(표 7-1) 키 사용방법

기능	키 입력	실행 설명
Wake Up	SHIFT+RESET	현장제어장치에 주 전원 공급되며, LCD에 날짜, 시간이 표시됨
LCD 표시전환	MODE	염농도1→염농도2→염농도3→온도→날짜,시간 순으로 LCD에 표시됨
LCD Light, 숫자이동	SHIFT	LCD light를 ON 시킴, 숫자이동
대기상태, 숫자변경	UP	현장제어장치의 주전원을 차단하고 다시 대기상태로 전환, 제어변수 변환
제어변수 저장	SAVE	선택된 센서의 디지털 값을 메모리 저장, 측정시간 간격 저장
모드변환	MODE 4초동안 누름	센서의 교정모드로 전환

4. 측정방법

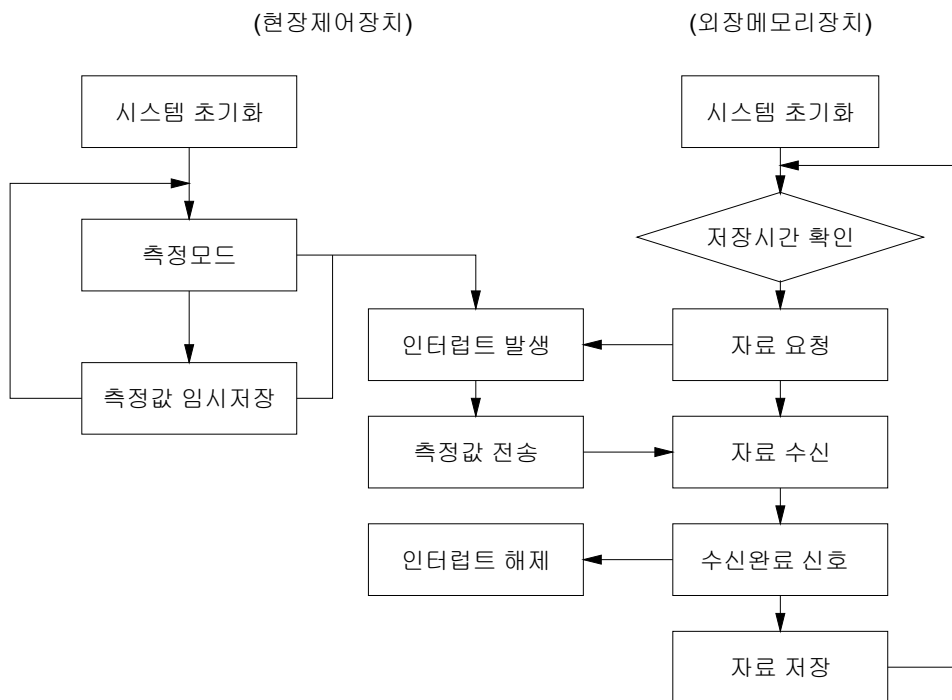
염해예보시스템에 사용된 ADC의 분해능력은 21bit로 아날로그신호(0~+V)를 최소 0에서 최대 524,000까지 디지털 신호로 변환이 가능하다. 아날로그 입력채널에 강제적으로 0mA에서 20mA 까지 증가시키면서 관측기로부터 출력되는 디지털값으로 변환할 때 이론적으로 0mA를 연결했을 때 디지털값은 0이며, 20mA일 때 524,000이 된다. 그러나 12.0mA 아날로그신호에 262,000 디지털값이 출력되어야 하는데 실제 디지털 값은 258,000이 된다. 이 값은 약 300ppm정도의 오차에 해당된다. 따라서 센서신호가 정확하게 직선적으로 출력되더라도 저항과 같은 부품자체의 오차에 의하여 출력신호는 차이가 날 수 있다. 이 오차를 하드웨어적(보상전극, 온도보상)으로 일차적으로 보정하였으며, 프로그램적으로 보정할 수 있도록 하였다. 즉 교정모드에서 센서의 측정범위내에서 실제값을 입력하게 되며 현장제어장치에서 디지털값을 읽어 자동적으로 표정곡선을 구하며 이 식은 메모리에 저장된다. 한 센서를 같은 아날로그 입력채널에 연결할 경우 교정할 필요가 없지만 다른 센서를 연결할 경우 같은 염농도 조건에서 센서마다 약간의 출력신호가 다르기 때문에 새로운 표정곡선을 구해야 한다.

센서신호를 디지털 값으로 변환하는 순서는 다음과 같다. 우선 염해예보시스템 ADC에 연결되는 아날로그 4채널 중 1,2,3 번 채널은 전기전도도, 3번 채널은 온도센서를 연결한다. 초기화 루틴에서 변수들을 초기화하고, CPU의 아날로그 입력채널 AN0에 연결되어 있는 센서 신호를 선택한 후 100회 읽어 평균값을 구하였다. 순차적으로 AN1, AN2, AN3을 차례대로 각각 100번씩 읽어 들어 그 평균값을 저장하였다.

5. 외장메모리 자료저장 및 다운로드

현장제어장치과 외장메모리와의 송수신은 <그림 7-6>과 같이 인터럽트방식으로 처리하였다. 외장메모리 장치의 운영프로그램에 의하여 측정값 저장간격시간을 설정한 후 저장시간에 도달하였을 때 현장제어장치에 자료 요구를

위한 인터럽트를 요청한다. 현장제어장치는 인터럽트 요청이 있을 때 메모리에 저장되어 있는 측정자료를 <그림 7-7>의 포맷 방식으로 외장메모리 장치에 송신하게 된다. 외장메모리는 수신된 자료를 재 분석하여 측정시간, 측정값을 분리하여 지정된 메모리에 저장하게 하였다. 이 저장된 자료는 다시 핸드폰이나 PC에서 요구할 때 송신하게 된다.



<그림 7-6> 현장제어장치와 외장메모리 장치간의 통신방법

시작	예약어				EC1(uS/cm)						EC2(uS/cm)					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
STX(0x02)	D	C	T	P	+	1	0	0	0	0	+	1	0	0	0	0
EC3(uS/cm)						온도(℃)						Check Sum				종료
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	33	34
+	0	0	0	0	0	+	1	2	3	4	5	0	0	0	0	ETX(0x03)

<그림 7-7> 외장메모리장치에 전송되는 자료포맷

외장메모리에 저장된 자료를 PC로 다운로드 할 경우 컴퓨터의 시리얼 포트와 외장메모리장치의 포트를 연결한 후 신호를 보내게 되면 외부에 어떤 동작도 필요없이 두 시스템은 인터럽트가 발생하여 그 해당되는 루틴으로 처리하도록 하였다. 두 시스템의 통신속도는 9,600bps, 데이터는 8비트, 1 stop bit, none parity로 설정하였다.

컴퓨터에서 외장메모리장치에 전달되는 명령어는 (표 7-2)와 같다. 외장메모리장치는 컴퓨터로부터 수신된 자료를 받아 어떤 명령어인지 식별한 후 버퍼에 저장하고 지정된 명령어와 일치하면 해당 서브루틴을 실행한다. 우선 컴퓨터와 자료처리장치가 연결되었을 때 자료처리장치는 16진수0X02(STX)와 0X03(ETX)을 검색한다. 이 두 자리수가 검색되었을 때 중간에 있는 데이터를 명령어와 제어변수를 구분하여 명령어에 따라 메모리에 설정된 제어변수를 변경하거나, 그에 해당되는 자료를 컴퓨터에 전송한다. 컴퓨터로부터 수신되는 명령어포맷은 <그림 7-8>과 같다.

컴퓨터에서 전체자료요청(REQFULL) 및 현재자료요청(PRESENT) 명령어가 있을 때 해당되는 자료를 컴퓨터에 전송한다. 현재자료요청시 <그림 7-9>와 같이 아스키코드로 자료를 전송한다. 컴퓨터에서는 전송된 자료를 해석하여 화면에 표시한다. 그러나 전체자료요청시 제3장에서 언급한 바와 같이 메모리 절약을 위하여 측정자료를 16진수방식으로 저장된 자료를 받아 날짜, 시

간은 정수로, 계측자료는 실수로 변환하고 변환된 자료를 화면에 표시하거나 그래프로 도식화했으며, 하드디스크에 저장할 수 있게 하였다. 외장메모리 장치의 사용방법은 부록2에 실었다.

(표 7-2) 컴퓨터로 수신되는 명령어

명령어	기능
PRESENT	현재 측정된 자료를 PC에 전송
REQFULL	메모리에 저장된 전체 자료를 PC에 전송
MODIFYt	자료처리장치 타이머 시간 수정
DSITIME	측정간격 수정(최소 단위:1분)
CLSDATA	메모리에 저장된 모든 자료 삭제

시작	명령어							Check Sum				종료
STX	P	R	E	S	E	N	T	0	0	0	0	ETX

(현재자료요청)

시작	명령어							Check Sum				종료
STX	R	E	Q	F	U	L	L	0	0	0	0	ETX

(전체자료요청)

시작	명령어				년	월	일	시	분	Check Sum				종료								
STX	M	O	D	I	F	Y	t	0	1	0	7	1	2	2	3	4	5	0	0	0	0	ETX

(자료처리장치 시계수정)

시작	명령어				시	분	Check Sum								종료									
STX	D	S	I	T	I	M	E	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ETX

(측정간격조정)

시작	명령어							Check Sum				종료
STX	C	L	S	D	A	T	A	0	0	0	0	ETX

(저장된 자료삭제)

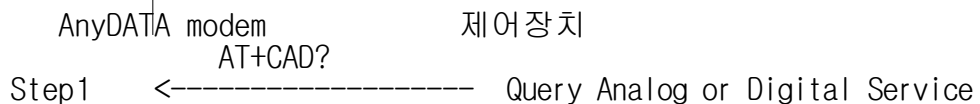
<그림 7-8> 컴퓨터로부터 수신되는 명령어 포맷

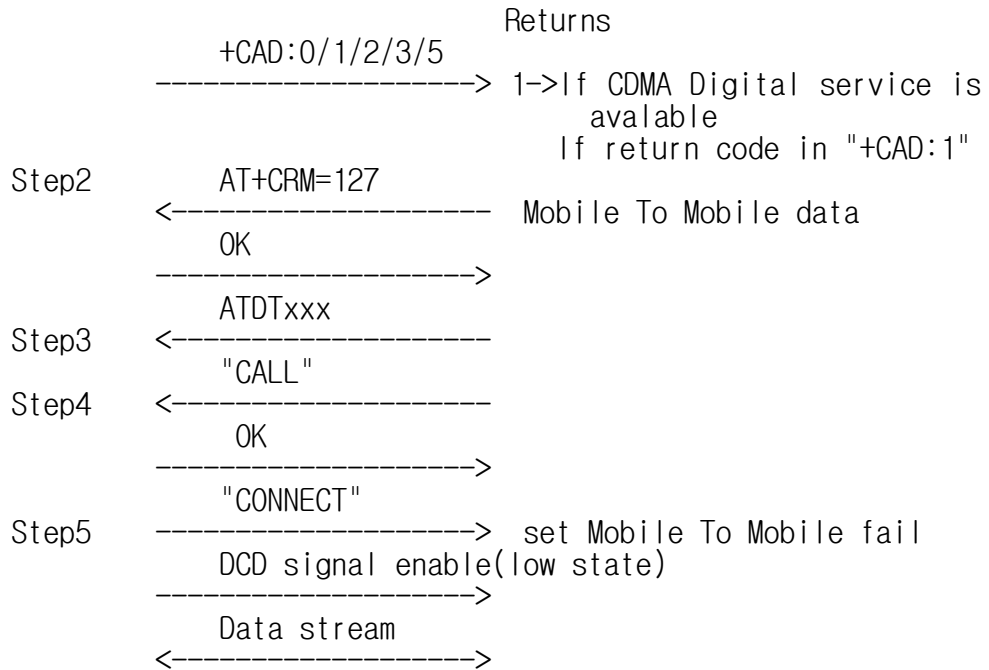
02 50 45 53 44 41 54 41 FF FF	: Start 예약어
06 1C 17 34 0C 03 37 05 0B 04 4E	: 1회분 Data (HEX값으로 표시)
06 1C 17 36 0C 03 37 04 ED 04 4E	: 2회분 Data
06 1C 17 38 0C 03 37 05 0B 04 4E	: 3회분 Data
06 1C 17 3A 0C 03 37 05 0B 04 4E	: 4회분 Data
.	
.	
.	
06 1D 00 00 0C 03 3A 05 0E 04 51	: 5000회분 Data
FF FE 00 00 00 03	: END 예약어

<그림 7-9> 자료요청시 컴퓨터에 전송되는 자료포맷

6. 원격 무선통신

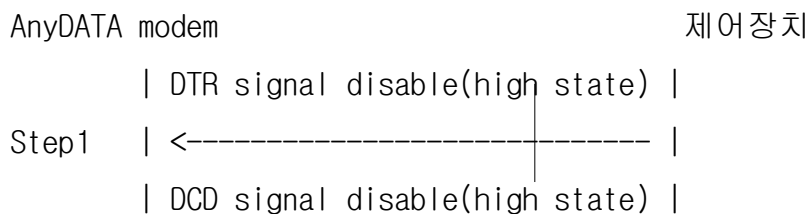
현장제어장치와 통합관리시스템과의 자료 송수신은 무선방식으로 하였다. 통합관리시스템의 프로그램의 주도하에 현장제어장치를 제어하는 방식으로 프로그램을 작성하였다. <그림 7-10>는 통합관리시스템에서 무선통신을 하기 위한 순서도이다. 우선 통합관리시스템에서 'AT+CAD?'와 'AT+CRM=127' 명령어를 핸드폰에 수신하여 핸드폰을 데이터 통신용으로 사용할 수 있게 초기 한 후, 'OK' 신호가 수신될 경우 통신 가능한 모드로 설정이 된다. 이 모드에서 현장제어장치의 핸드폰 호출하여 'CONNECT' 신호가 수신되었을 때 필요한 명령어를 현장제어장치에 보내어 필요한 자료를 호출하게 된다.

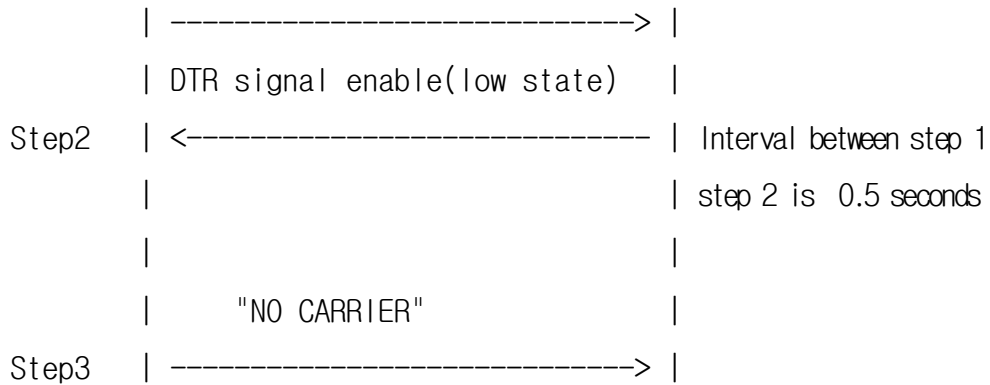




<그림 7-10> 핸드폰과 통합관리시스템간의 통신연결 순서도

단, 현재 CDMA 상태가 No service이거나 시스템 획득과정이라면 2분 동안 시스템 정보를 획득할 때까지 기다렸다가 'CONNECT'로 응답한다. 만일 2분 동안 시스템 정보를 획득하는데 실패할 경우 'NO DIALTONE'으로 응답한다. 무선통신 접속을 차단할 경우 통합관리시스템에서 핸드폰에 'DTR' 신호 Disable(Low) 신호를 보내면 통신이 차단하게 된다. <그림 7-11>는 접속을 종료시키는 순서도이다.



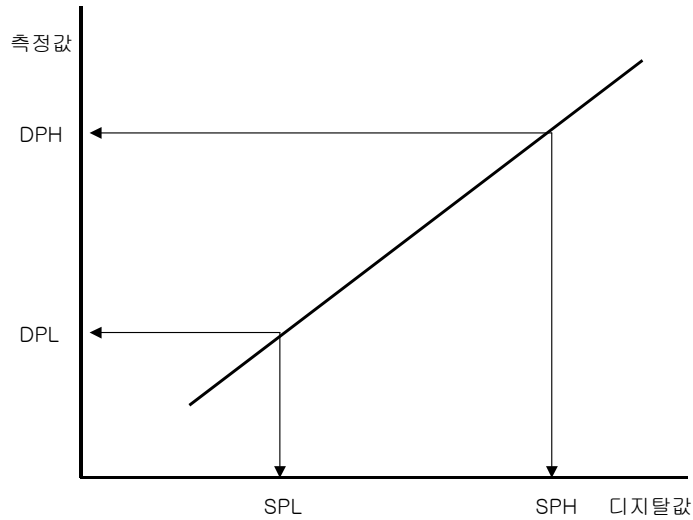


<그림 7-11> 핸드폰과 통합관리시스템간의 통신차단 순서도

제 2 절 센서교정 및 저장시간 변경

염해예보시스템의 정확도를 보장하기 위해서는 센서를 주기적으로 교정하는 것이 바람직하다. 주변 기압이나, 온도 등의 요인들은 염농도 센서 신호에 영향을 미칠 수 있으며 염농도 센서는 전극표면상태에 따라 측정값이 다를 수 있다. 따라서 측정시마다 센서를 교정하는 것이 바람직하지만 제작 시 초기 값을 가지고 있으므로 정확도에 이상이 없으면 계속 사용이 가능하지만 6개월 간격으로 교정하는 것이 바람직하다.

센서의 교정방법은 두 지점을 이용한다. 즉 측정범위의 최소지점과 최대지점의 실측값과 디지털값을 구한 후 센서의 표정곡선을 작성한다. 표정식은 식(6)과 같다. SPH와 SPL는 직접 입력해야 하며, DPH와 DPL는 자동적으로 입력된다.



$$NDPV = \frac{(DPH - DPL)}{(SPH - SPL)} \times (NMV - SPL) + DPL \quad \text{----- (8)}$$

- NDPV : 시료의 측정값
- NMV : 시료의 디지털값
- SPH : 측정범위의 최대일 때 디지털 값
- SPL : 측정범위의 최소일 때 디지털 값
- DPH : 측정범위의 최대일 때 염농도, 온도
- DPL : 측정범위의 최소일 때 염농도, 온도

센서교정을 위한 교정모드로 들어가지 위해서는 현장제어장치의 Auto Change Mode에서 MODE키를 연속 두 번 눌러 Auxiliary Function Mode로 되어 한다. 이 모드에서 Cal.키를 5초이상 누른 후 LCD 화면에 'Calibration Mode --EC--'가 표시되었을 때 MODE 키를 누르면 센서를 교정할 수 있는 조건이 된다. 센서 교정순서는 EC1, EC2, EC3, 온도이며 다시 MODE 키로 순차적으로 변경할 수 있다. 상세한 센서교정방법은 부록 1에 실었다.

1. 염농도센서 교정

교정모드상태에서 염농도 센서의 교정절차는 다음과 같다.

- ① 측정범위를 결정한 후 교정범위 최대지점과 최소지점을 정한다. 대기압 조건에서 염농도 값은 0이므로 최소지점을 대기압으로 하고, 최대지점은 측정범위보다 약간 높게 하는 것이 바람직하다.
- ② 먼저 최소지점부터 교정을 실시한다. 현장제어장치의 LCD에는 다음과 같이 표시된다.

Cal. EC1 : +00006199
Low : 00.034 ppm

LCD 표시창에 Cal. EC1 : +00006199 염농도센서로부터 입력된 아날로그 신호(아날로그 1번 채널값에 해당함)가 디지털 값으로 변환된 값으로 식(6)의 DPL에 해당되는 값이다. Low : 00.034 ppm는 센서로부터 실제 측정된 값을 식(6)의 SPL에 해당되는 값이다. 이것을 SHIFT 키와 UP 키를 사용하여 실제 정확한 값을 입력한다. 대기압일 경우 '0'를 입력한다. 입력이 완료되면 SAVE 키를 누르면 염농도 표정곡선 식의 SPL와 DPL값으로 현장제어장치 메모리에 저장한다.

- ③ 다음은 최대지점에 대한 교정을 실시한다. 측정하고자 하는 범위 이상의 표준용액에 염농도 센서를 넣어 교정을 실시한다.

Cal. EC1 : +0023100
High : 05.000 ppm

Cal. EC1 : +00023100은 아날로그 신호가 디지털값으로 변환된 값을 식(6)

의 DPH에 해당되는 값이다. 그리고 High : 09078 ppm는 센서로부터 실제 측정된 값으로 이는 식(6)의 SPH에 해당된다. 최저값 입력과 마찬가지로 SHIFT 키와 UP 키를 사용하여 실제 정확한 값을 입력한다. 입력이 완료되면 SAVE 키를 누르면 SPH와 DPH값을 자현장제어장치의 메모리에 저장하게 된다. 식(6)에 의하여 변환된 값을 LCD 화면에 출력하고, 메모리에 저장한다.

2. 온도센서 교정

염농도센서 교정이 완료되면 자동적으로 온도 센서 교정모드로 진행된다. 온도 교정절차는 염농도센서와 동일하다.

- ① 측정범위를 결정한 후 교정범위 최대지점과 최소지점을 정한다.
- ② 먼저 최소지점부터 교정을 실시한다. 자료처리장치의 LCD에는 다음과 같이 표시된다.

Cal. Temp : +00002300
Low : 005.0 °C

LCD 표시창에 Cal. Temp : +00002300은 온도센서로부터 출력되는 아날로그 신호(아날로그 4번 채널값에 해당함)가 디지털 값으로 변환된 값이다. Low : 0005.03°C는 측정된 값이다. 이것을 SHIFT 키와 UP 키를 사용하여 실제 정확한 값을 입력한다. 입력이 완료되면 SAVE 키를 누르면 5.0을 온도 표정식의 SPL로, 2300를 DPL값으로 현장제어장치 메모리에 저장된다.

- ③ 다음은 최대지점에 대한 교정을 실시한다.

Cal. Temp : +0006019
High : +030.0 °C

Cal. Temp : +00060191은 아날로그 신호가 디지털값으로 변환된 값이며 High : +030.0 °C는 센서로부터 측정된 값이다. 최저값 입력과 마찬가지로 SHIFT 키와 UP 키를 사용하여 실제 정확한 값을 입력한다. 입력이 완료되면 SAVE 키를 눌러 30.0를 SPH로, 6019를 DPH값으로 현장제어장치 메모리에 저장한다.

3. 저장시간 설정

저장시간 설정은 현장제어장치의 측정값을 외장메모리 장치에 저장하는 시간 간격이다. 이 저장시간 설정방법은 현장제어장치의 키와 LCD를 이용하지만 설정된 시간은 외장메모리 장치내에 저장하게 된다. 외장메모리장치 운영 프로그램에서 설정된 시간 간격으로 현장제어장치를 호출하여 측정된 자료를 수신 받아 그 값을 저장한다. 이 Mode가 실행되기 위해서는 반드시 Memory 카드가 연결이 되어 있어야 한다.

Memory Saving Time을 설정하기 위해서는 Auto Change Mode에서 MODE KEY를 두 번 눌러 준 다음 Cal Key를 5초간 눌러 Calibration Mode로 들어간 후 MODE를 계속 눌러주면 시간설정 모드로 들어갈 수 있다. Memory Saving Time 설정은 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를 Up key로 수정한다. 수정한 후 Save Key를 눌러 그 값을 저장한다. 자세한 설명은 부록 1에 실었다.

제 3 절 통합관리시스템 설계 및 제작

1. 통합관리시스템 기능 및 특징

현장자료를 실시간으로 획득하기 위해서는 시간, 경비, 인적자원 등이 많이 소요되지만 실시간 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. 따

라서 통합관리시스템은 <그림 7-12>와 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.



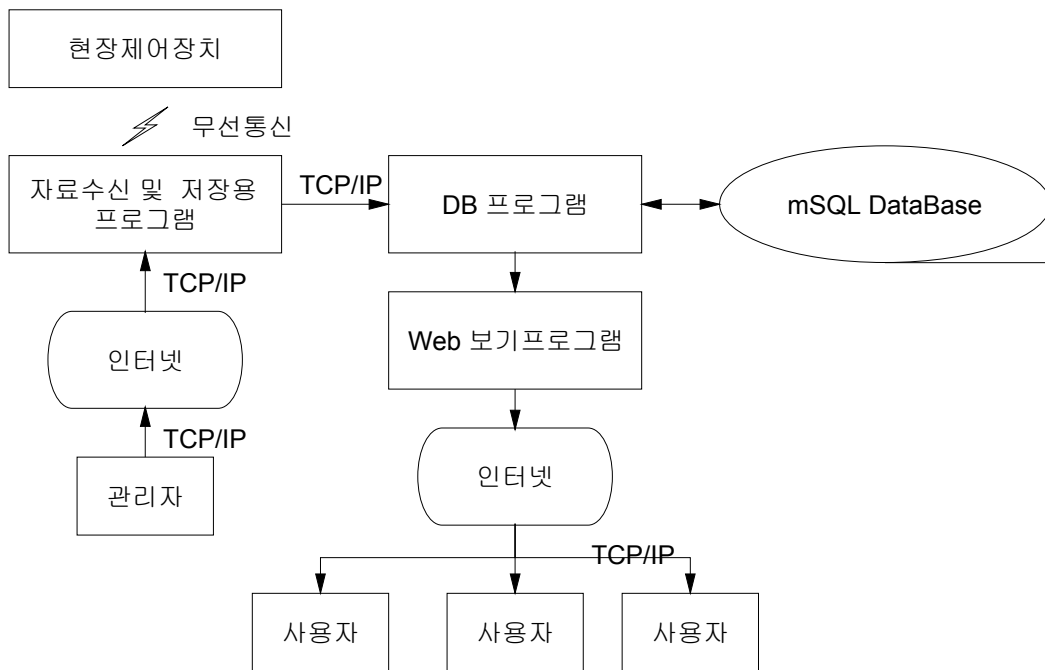
<그림 7-12> 통합관리시스템 기능

2. 통합관리시스템의 운영프로그램

원거리에 설치되어 있는 염해예보시스템의 현장제어장치의 상황을 인터넷망을 통하여 적절히 제어하기 위하여 <그림 7-13>과 같은 방법으로 운영하기 위하여 프로그램을 작성하였다. 원격지에 설치된 염농도 및 온도 등 계측자료를 손실 없이 인터넷을 통해 전송할 수 있도록 TCP/IP 프로토콜을 이용하였

다.

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



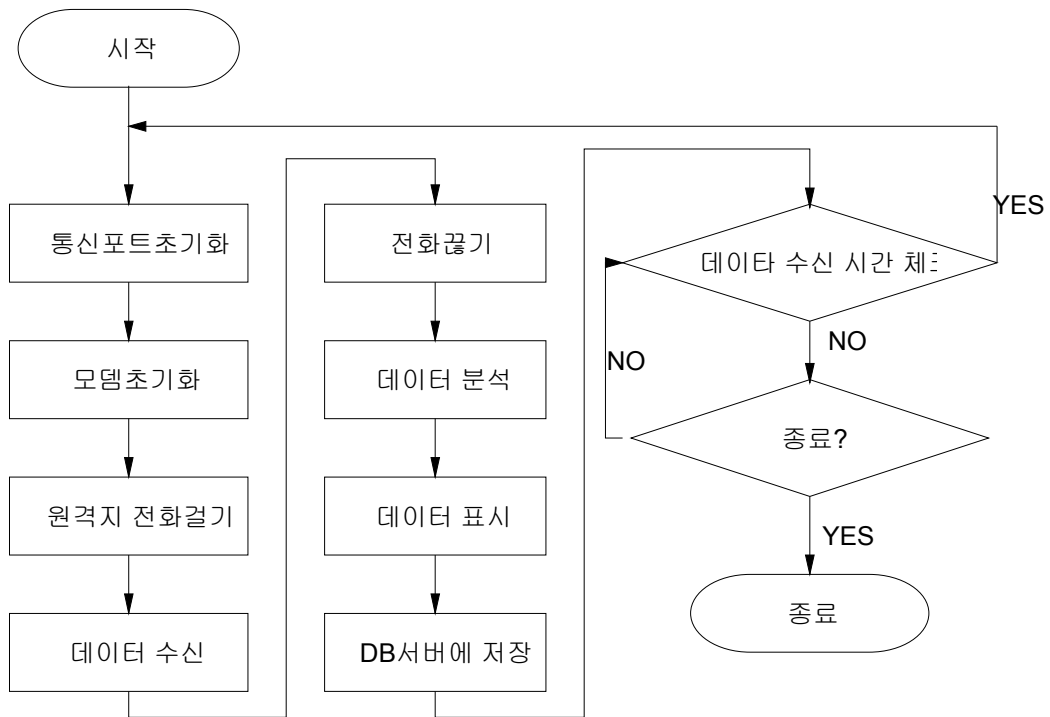
<그림 7-13> 통합관리시스템 운영프로그램 구성 및 기능

가. 자료송수신 및 자료저장용 프로그램

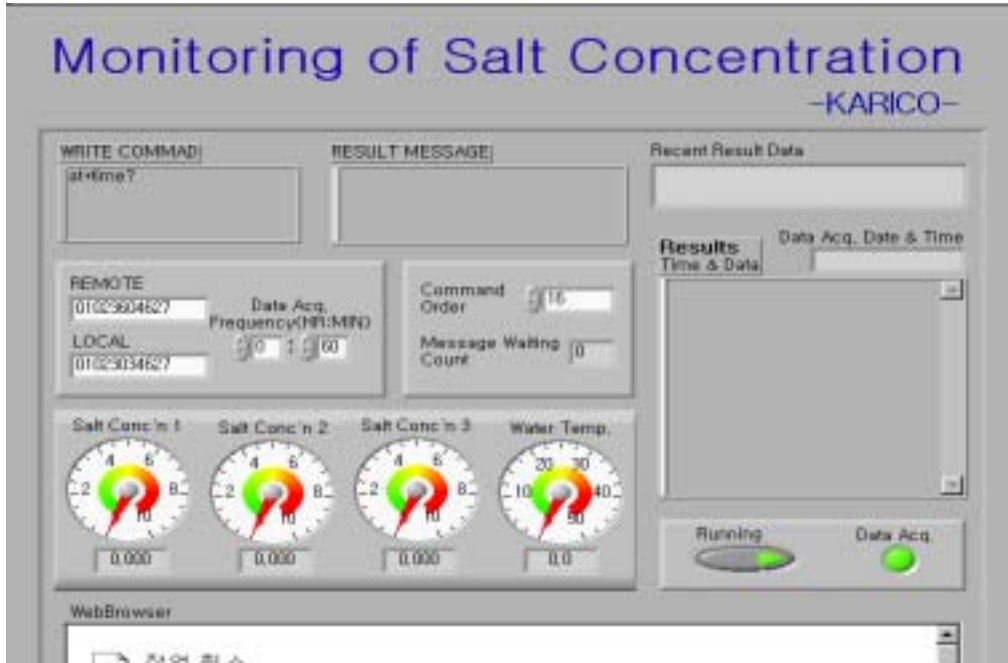
염해예보시스템의 운영프로그램에서 원격지에서는 인터넷을 통하여 모니터링이 가능하도록 Lab View 언어로 인터넷용 프로그램을 작성하였다. 현장에 설치되어 있는 현장제어장치에서 발생하는 계측자료의 송신과 현장에서 들어오는 제어신호를 수신 제어하는 통합관리시스템의 운영프로그램 순서도는 <그

림 7-14>이며 PC에 표시되는 화면은 <그림 7-15>이다. 이 프로그램은 염해 예보시스템에서 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 항시 외부로부터 접속에 대기하고 있는 관리시스템 서버 프로그램으로서 외부에서 원격 관리자의 접속이 있을 시에는 즉각적으로 계속 자료를 전송하도록 하였다.



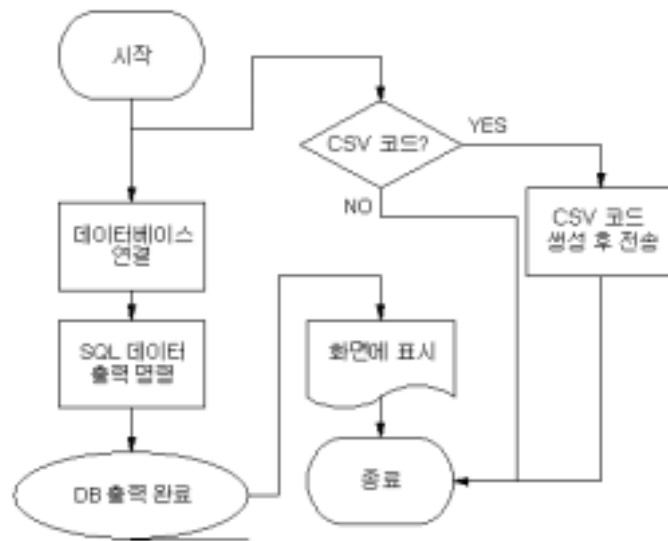
<그림 7-14> 자료송수신 및 저장을 위한 통합관리시스템 운영프로그램 순서도



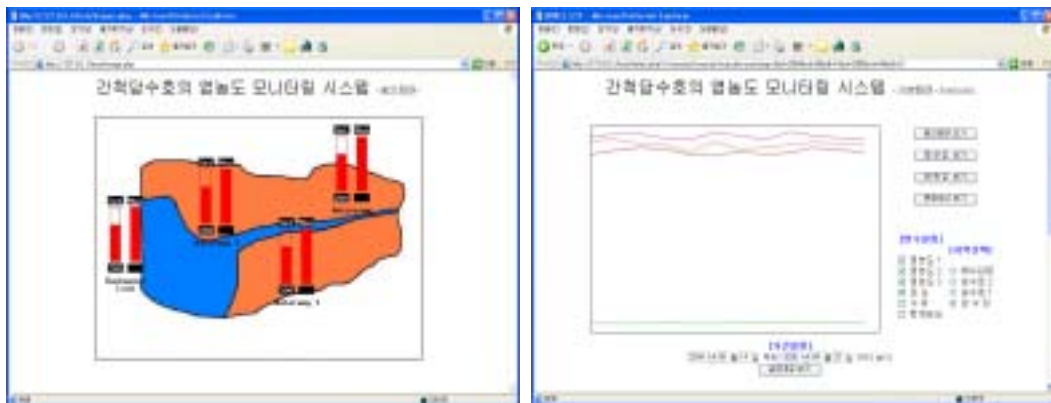
<그림 7-15> 자료송수신 및 저장을 위한 통합관리시스템 운영프로그램의 화면

나. Web 보기 프로그램

원격지에서 실시간으로 통합관리시스템의 서버에서 실시간으로 계측데이터를 받아 수신한 자료를 화면에 디스플레이하는 프로그램을 PHP언어로 작성하였다. 이 프로그램은 <그림 7-16>과 같이 인터넷에 접속하여 실행된 자료저장용 프로그램과 데이터베이스 프로그램과 상호 연결되어 있다. 이 프로그램은 인터넷을 통하여 통합관리시스템에 설치되어 있는 자료 송수신 및 자료저장용과 데이터베이스 프로그램이 실행되는 환경하에서 접속할 수 있다. 접속이 완료되는 시점으로부터 계측 자료를 받아와 Web으로 화면상에 <그림 7-17>와 같이 표시되도록 하였다. 이 프로그램은 실시간 전송/갱신을 위한 프로그램이 아니기 때문에 실시간으로 데이터를 모니터링 하는 것은 불가능하지만 전용 프로그램 없이 10초 사이의 최신 자료를 볼 수 있다는 장점 때문에 원격 모니터링에 적합하다. 이 프로그램은 Windows 98 이상에서 작동하는 프로그램으로 반드시 인터넷에 접속이 되어야 실행된다.



<그림 7-16> Web 보기 프로그램의 역할



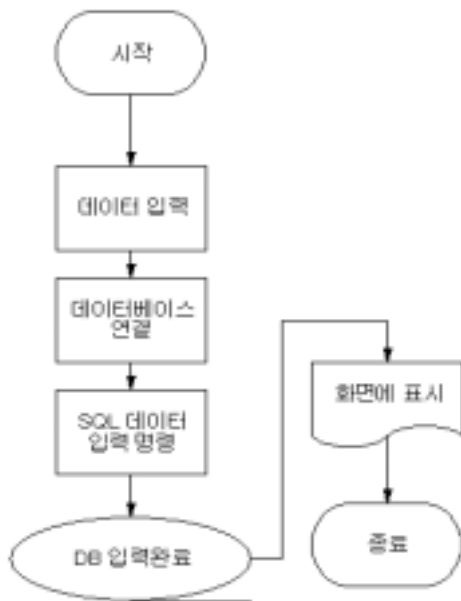
<그림 7-17> Web 환경하에서 실행된 화면

다. 데이터베이스 프로그램

체계적인 데이터 베이스를 구축하기 위하여 <그림 7-17>과 같이 MySQL를 사용하였다. MySQL는 데이터베이스용 질의언어로 SELECT, FROM,

WHERE 라는 3개의 기본 절을 통하여 손쉽게 데이터베이스를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있어 현재 관계 데이터베이스에서 사용되는 질의언어의 표준으로 사용되고 있다. 데이터베이스 서버는 여러 대의 컴퓨터 시스템 들이 통신망으로 연결되어 사용되는 작업환경에서 여러 사용자들에 의하여 공유되는 정보들을 하나의 데이터베이스를 구축하여 관리하면서 통신망을 통하여 다수 컴퓨터 시스템으로부터 작업 요청이 전달될 경우 데이터베이스를 접근하여 작업을 수행하는 일종의 데이터베이스 처리장치이다.

본 연구에서 통합관리시스템 데이터베이스 프로그램은 주기적으로 보내주는 계측 자료를 시간, 염농도1, 염농도2... 의 체계적인 형식으로 저장해 주는 프로그램이다. 데이터베이스에 저장된 자료는 TCP/IP를 통해서 인터넷망으로 자료를 호출하여 관련자에게 자료를 볼 수 있게 한다.



(MySQL DB 순서도)

날짜	시간	염농도1	염농도2	DB연결
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0

(DB화된 자료화면)

<그림 7-19> 데이터베이스 프로그램순서도와 화면

제 4 절 염농도 예측을 위한 모형식 도출

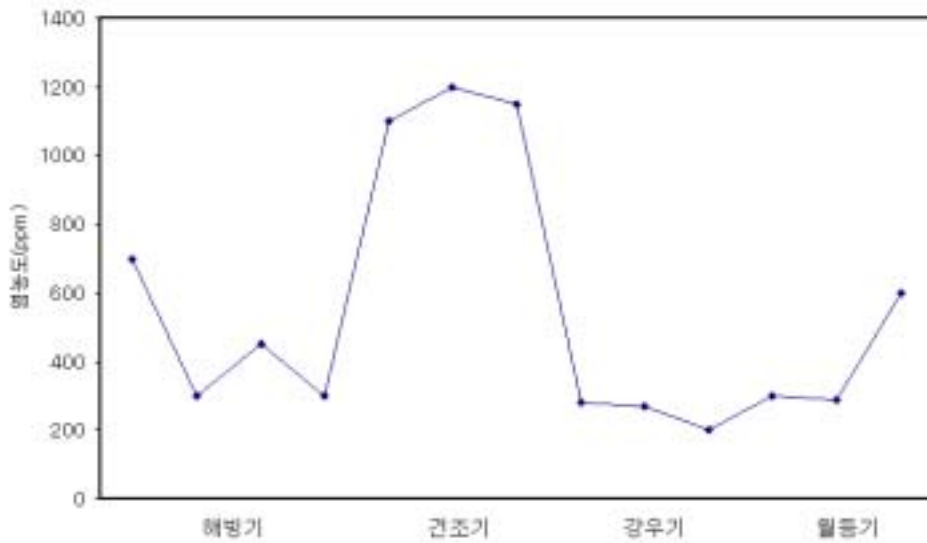
1. 염농도의 변화요인

간척지에 발작물을 재배하기 위하여 가장 먼저 알아야 할 것이 연중 염농도의 변화이다. 염농도는 <그림 7-20>와 같이 간척연대와 숙전화 정도에 따라 다르지만 일반적으로 지하층의 지하수위 변동에 따라 좌우되며, 강우가 적은 이른 봄에 염분이 표층에 집적되기 시작하여 봄 가뭄이 심한 건조기에 최고에 달하고 여름철 장마로 인하여 최하치에 이르며 가을이 되면서 다시 상승하는 것이 일반적인 변화 추이이다. 염분은 표층뿐만 아니라 지하층에 있는 것도 매우 크게 영향을 미치는데 건조한 날씨가 계속되면 토양중 수분의 증발이 일어나고 따라서 하층의 염분을 간직한 수분이 토양 표면으로 상승하게 되는데 이것을 모세관현상이라 하며 이때 수분은 증발되고 염분만 남게 되어 작물에 해를 미치게 된다. 그러나 수도작의 경우 발작물과는 염농도가 높더라도 환수로 통하여 어느 정도 염농도에 대한 대책이 될 수 있다.

일부 간척 담수호 염농도가 증가하는 것은 방조제 외측으로부터의 바닷물 유입보다는 담수호내 기존 갯벌이 정화되는 과정에서 발생하는 현상으로 이는 시간이 진행되면서 점차 완화된다. 그러나 일시경작 과정에서 간척 담수호 염농도가 높아 영농에 막대한 지장이 초래할 경우 그동안 배수갑문 조작에 의한 환수작업 및 지하수 관정을 회석용수로 활용하고 흘러대기 등을 통하여 염해 피해를 최소화 하므로 일시경작을 완료할 수 있다.

그러나 갈수기시 담수호 바닥에서 용출되는 염분을 회석할 수 있는 유입수의 부족으로 담수호 염분농도가 3,000ppm을 상회하는 등 근본적인 문제가 될 수 있다. 따라서 담수호의 염농도 상승은 바닷물 유입 또는 갈수기에 주로 발생한다.

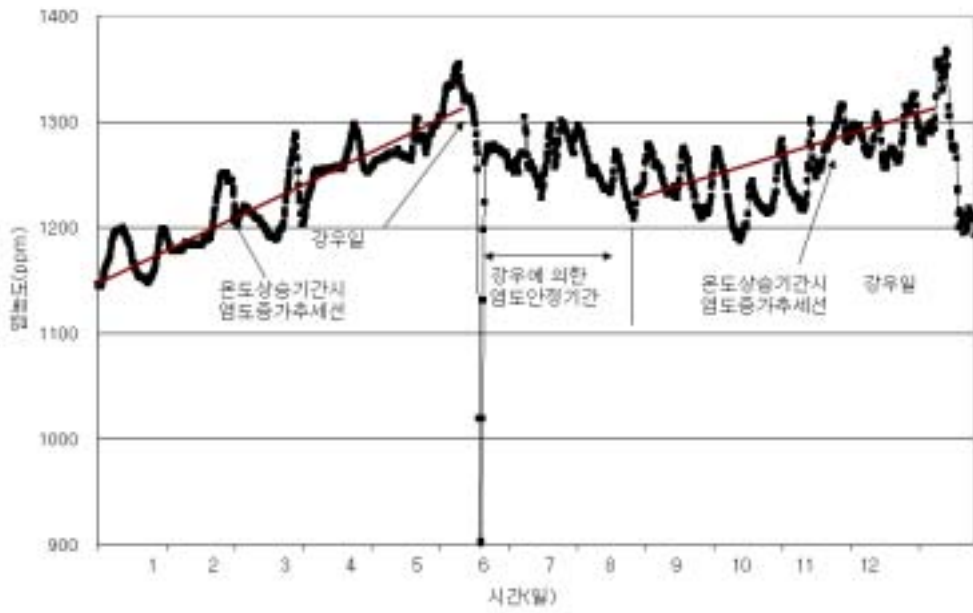
농작물의 생육시기별 한계 염농도가 다르기 때문에 생육시기에 적합한 한계 염농도를 설정하여 염해예보를 실시되어야 할 것이다. 이 때 간척 담수호의 염농도가 염해 예보를 실시하는데 중요한 요소이다. 간척 담수호의 염농도에 영향을 미치는 요인은 기상조건과 영농시기이다.



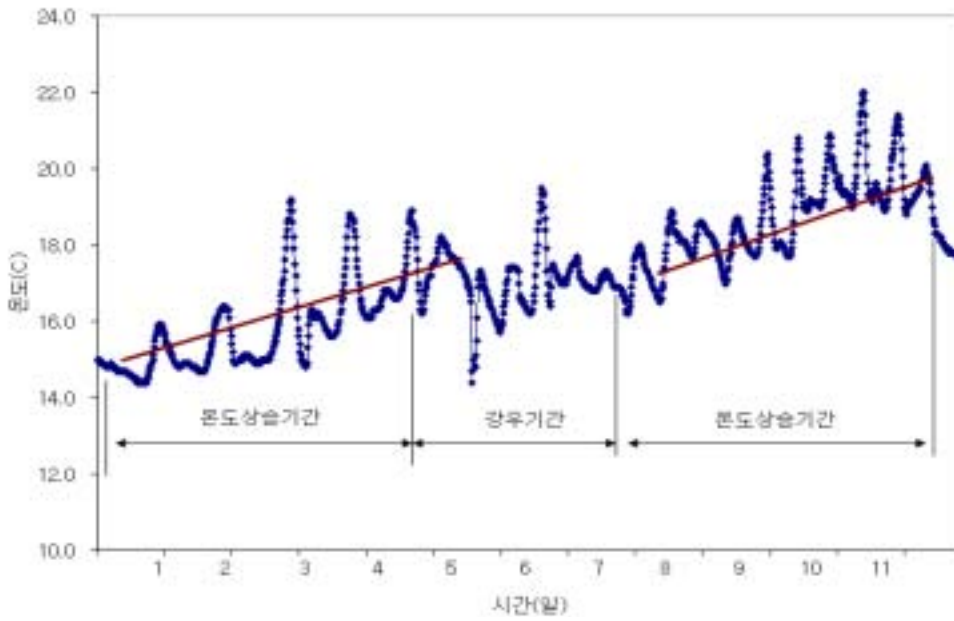
<그림 7-20> 년중 염농도의 변화추이

<그림 7-21>는 실제 간척 담수호에서 측정된 염농도의 변화이며, <그림 7-22>는 염농도를 측정기간 동안 수온변화이다. <그림 7-21>에서 기온이 상승하는 시기에 염농도가 증가하고 있으며, 일시적인 강우로 염농도가 감소되었다가 수온의 증가에 따라 다시 염농도가 증가하는 것을 알 수 있다. 수온과 염농도와의 직선적 상관성은 적지만 다른 조건에 비하여 높은 관련성이 있는 것으로 알 수 있다. 수위변화는 강우에 의한 변화로 강우이후 염농도는 다소 안정된 상태로 되었다.

따라서 기온변화로부터 염농도 추이를 예측 가능할 수 있다. 이는 농작물이 생육에 피해를 줄 수 있는 한계 염분농도를 예측할 수 있으며 그에 따른 사전 염해경보를 할 수 있다. 완만한 기온 상승은 완만한 염분농도 상승이 일어날 것이며, 보다 급격한 기온 상승은 빠른 염분농도의 상승이 있을 것이다. 그리고 기온이 낮아지는 시기는 염농도의 상승정도는 완화될 것으



<그림 7-21> 간척담수호의 염농도변화



<그림 7-22> 간척담수호의 수온온도변화곡선

로 판단된다. 이와 같이 기온은 염농도의 증가요인으로 강우는 감소요인으로 볼 수 있다.

2. 직선회귀식 도출방법

간척 담수호의 염농도에 영향을 미치는 환경요소 중 기온과 강수량은 절대적인 영향을 미친다. 그러나 기온과 강수량이 염농도에 미치는 정도는 간척 농경지의 경작방법, 담수호의 수리형태, 저층수 배제방법 등 여러 가지 요인에 영향을 받기 때문에 절대적인 수치값으로 표현하기는 어렵다. 따라서 본 염해 예보시스템은 염농도를 현장에 설치되어 있는 염도센서로부터 측정된 실측값으로부터 수온과 강수량 자료를 바탕으로 염농도 예측식을 작성하여 향후 염농도를 예측하였다. 예측된 염농도와 한계 염농도를 비교하여 한계 농도 이상이 되는 시점을 담당자에게 알려주어 농작물에 대한 염해 대비책을 마련하도록 한다.

염분농도 예측식을 직선회귀식으로 구하였다. 원인이 되는 변수를 독립변수이라고 하며 X로 표시하고 결과가 되는 변수를 종속변수이라 하며 Y로 표시한 후, 이들 독립변량과 종속변량과의 상관관계가 직선으로 표시된다면 이들 변수의 함수관계는 $Y=a+bX$ 로 나타낼 수 있다. 이 때 b값을 X에 대한 회귀계수라 하며, X가 한 단위 증가함에 따른 Y의 변화정도를 나타내는 것이다. 염해예보시스템에서 시간을 독립변수 X로 염농도를 종속변수 Y로 설정하였다. 이 때 a값과 b값은 다음 식(7)와 식(8)으로 구할 수 있다.

$$b = \frac{\sum(xy)}{\sum x^2} = \frac{\sum(XY) - \sum X \sum Y/n}{\sum X^2 - (\sum X)^2/n} \quad \text{----- (9)}$$

$$a = \text{평균}(Y) - b * \text{평균}(X) \quad \text{----- (10)}$$

예를 들면 염해예보시스템에서 20분 간격으로 8회 측정된 염분농도를 이용하여 예측식은 (표 7-3)으로부터 구할 수 있다.

(표 7-3) 실시간으로 측정된 염농도자료

시간 (시간, X)	횟수	염분농도 (ppm, Y)	X ²	XY
00:00	1	1250	1	1250
00:20	2	1261	4	2522
00:40	3	1265	9	3795
01:00	4	1267	16	5067
01:20	5	1274	25	6369
01:40	6	1277	36	7664
02:00	7	1279	49	8950
02:20	8	1277	64	10219
02:40	9	1276	81	11486
03:00	10	1274	100	12744
03:20	11	1274	121	14012
03:40	12	1271	144	15250
04:00	13	1269	169	16498
04:20	14	1266	196	17726
04:40	15	1261	225	18921
05:00	16	1258	256	20126
05:20	17	1259	289	21404
05:40	18	1257	324	22631
06:00	19	1261	361	23956
06:20	20	1260	400	25193
06:40	21	1258	441	26428
07:00	22	1257	484	27647
합계	253	27851	3795	319857
평균	11.5	1265	172	14538

$$\begin{aligned}
b &= \frac{\sum(xy)}{\sum x^2} = \frac{\sum(XY) - \sum X \sum Y/n}{\sum X^2 - (\sum X)^2/n} \\
&= \{319857 - (253 \cdot 27851/22)\} / \{3795 - (253^2/22)\} \\
&= (319857 - 320286) / (3795 - 2909) \\
&= -429/886 \\
&= -0.4841
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a &= \text{평균}(Y) - b \cdot \text{평균}(X) \\
&= 1265 - (-0.4841) \cdot 11.5 \\
&= 1265 + 5.567 \\
&= 1271
\end{aligned}$$

따라서 염농도 예측식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
Y &= a + bX \\
&= 1271 + (-0.4841) * X \quad \text{----- (11)}
\end{aligned}$$

20시간 측정된 이후 실측값과 식(8)을 적용한 예측값 비교는 (표 7-5)와 같다.

이와 같이 직선회귀식을 응용한 예측식으로 염농도를 예측하였다. 그리고 실측값과 예측값의 오차를 최소화하기 위하여 실시간 측정되어 누적된 염농도로 부터 새로운 예측식을 구한다. 이는 7시간(22회 자료)까지 측정된 시점에서 염농도 예측식 산출방법은 앞에서 설명하였으며, 7:20분에는 누적된 측정자료(22회)와 1회 자료를 추가하여 새로운 예측식을 구하였다. 이는 누적된 자료를 활용하므로써 오차를 최소화할 수 있었다. (표 7-6)는 측정시점에서 누적된 자료를 이용하여 예측식에 적용할 a값과 b값을 계산한 것이다.

(표 7-4) 실측값과 예측값의 비교

시간(X)	염분농도 실측값(ppm, Y)	염분농도 예측값(Y')	오차 (Y-Y')
07:00	1257	1261	-4
07:20	1255	1260	-5
07:40	1256	1260	-4
08:00	1254	1259	-5
08:20	1250	1259	-9
08:40	1246	1258	-12
09:00	1244	1258	-14
09:20	1243	1257	-15
0940	1239	1257	-18
10:00	1238	1257	-18
10:20	1236	1256	-20
10:40	1233	1256	-23
11:00	1233	1255	-23
11:20	1231	1255	-24
11:40	1232	1254	-22
12:00	1234	1254	-20
12:20	1234	1253	-18
12:40	1232	1252	-20
13:00	1235	1252	-16
13:20	1234	1251	-17
13:40	1238	1251	-12
14:00	1233	1250	-17

(표 7-5) 실시간 계산된 직선회귀식

시간(X)	직선회귀식(Y=a+bX)	
	a	b
07:00	-0.48406	1272.6
07:20	-0.54336	1273.1
07:40	-0.57769	1273.8
08:00	-0.60997	1274.4
08:20	-0.67048	1275.0
08:40	-0.74128	1275.7
09:00	-0.80992	1276.2
09:20	-0.86785	1276.8
09:40	-0.93219	1277.4
10:00	-0.98278	1277.8
10:20	-1.03228	1278.3
10:40	-1.08673	1278.5
11:00	-1.12663	1278.6
11:20	-1.16314	1278.6
11:40	-1.18334	1278.5
12:00	-1.18783	1278.4
12:20	-1.18684	1278.2
12:40	-1.17916	1278.0
13:00	-1.1769	1277.5
13:20	-1.15852	1277.3
13:40	-1.14271	1277.1
14:00	-1.11229	1277.1

실시간적으로 염농도가 측정되므로 실시간적으로 염농도 예측식을 프로그램적으로 구하게 되어 보다 정확한 염농도 예측이 가능하였다.

그러나 전술한 바와 같이 강우가 있을 경우 간척 담수호의 염농도는 강우정도에 따라 감소되는 경향이 있다. 강우 후 누적된 실측값으로 작성한 예측식으로 구한 염분농도와 실측값은 상당한 차이가 있다. 따라서 강우 후 염분농도를 예측하기 위해서는 기존의 누적된 염분농도를 무시하고 새로운 데이터베이스를 작성하여 처음부터 새로운 염분농도를 이용하여 예측식을 구하고, 염분농도를 예측하였다.

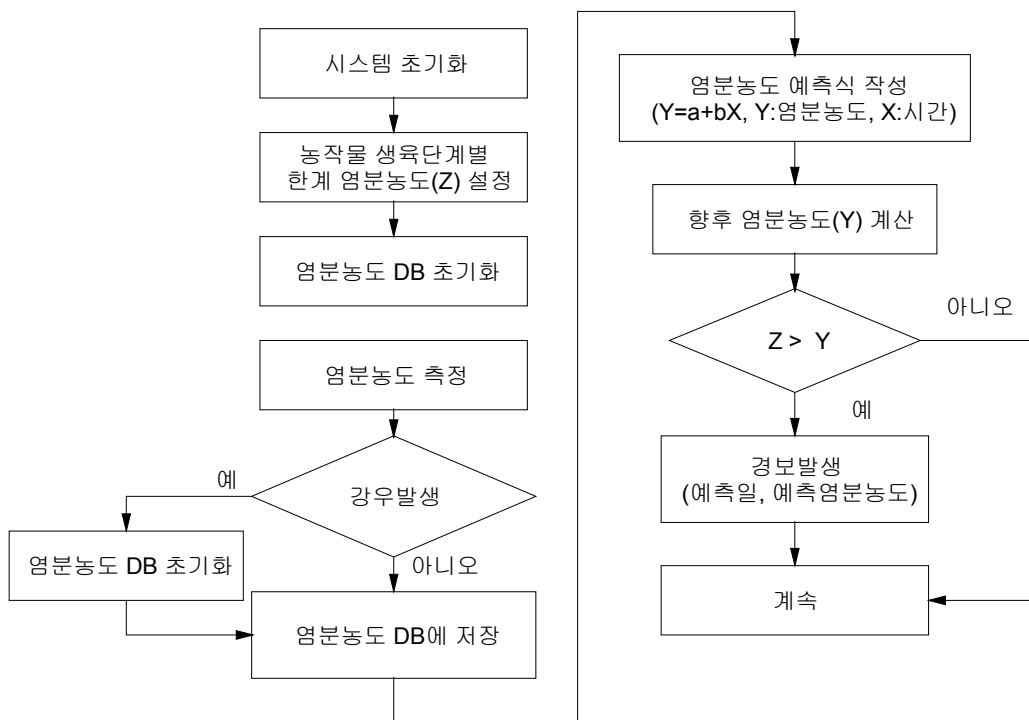
3. 염분농도 예측 프로그램 활용

위와 같은 방법으로 향후 염분농도가 구해지면, 향후 염분농도(Y)와 한계 염분농도(Z)를 비교한 결과 한계 염분농도(Z)가 향후 염분농도(Y)보다 높으면, 경보를 발생하게 한다. 이 때 경보는 농작물의 피해율에 따라 여러 단계로 나누어지도록 할 수도 있는데, 예를 들면 (표 5-3)를 참고로 하여 피해율 정도에 따라 경고정도를 다르게 할 수 있을 것이다.

염해예보시스템은 단순 경보에만 사용되는 것이 아니라, 양수장에 설치되어 한계 염분농도(Z)가 향후 염분농도(Y)보다 높은 경우, 양수 펌프를 가동시켜 환수가 실시되도록 할 수도 있을 것이다. 이 경우, 양수장에서 농업용수를 양수하는 지점에 염분농도와 온도센서를 설치하고 염분농도와 온도값을 현장제어장치에 표시하며, 통합관리시스템에 유무선 방식으로 자료를 전송함으로써, 양수장 관리자가 양수장 가동여부를 결정하게 할 수도 있으며, 자동으로 양수 펌프가 가동되도록 할 수도 있을 것이다.

간척 농경지에서 농업용수 공급은 양수장에서 간척담수호를 양수하여 논에 물을 공급하는 방식이다. 벼의 염해 예방을 위해서는 일차적으로 양수장의 가동여부를 결정해야 한다. 따라서 양수장에서 농업용수를 양수하는 지점에 염분농도와 온도센서를 설치하고 염분농도와 온도값을 현장제어장치에 표시하고 또한 통합관리시스템에 유무선 방식으로 자료를 전송하게 한다. 양수장 관리

자가 통합관리시스템 또는 현장제어장치에 표시된 염농도와 비생육 피해율을 통하여 양수장 가동여부를 결정하게 된다. <그림 7-22>는 염분농도와 피해율의 상관관계식을 활용하여 염해예보장치의 순서도이다. 우선 실시간적으로 양수장의 염분농도를 측정하고 이를 (표 5-3)에 제시한 비 생육시기와 그에 따른 한계농도를 계산하여 피해율을 프로그램적으로 계산하여 염해예보를 경고할 수 있게 하였다.

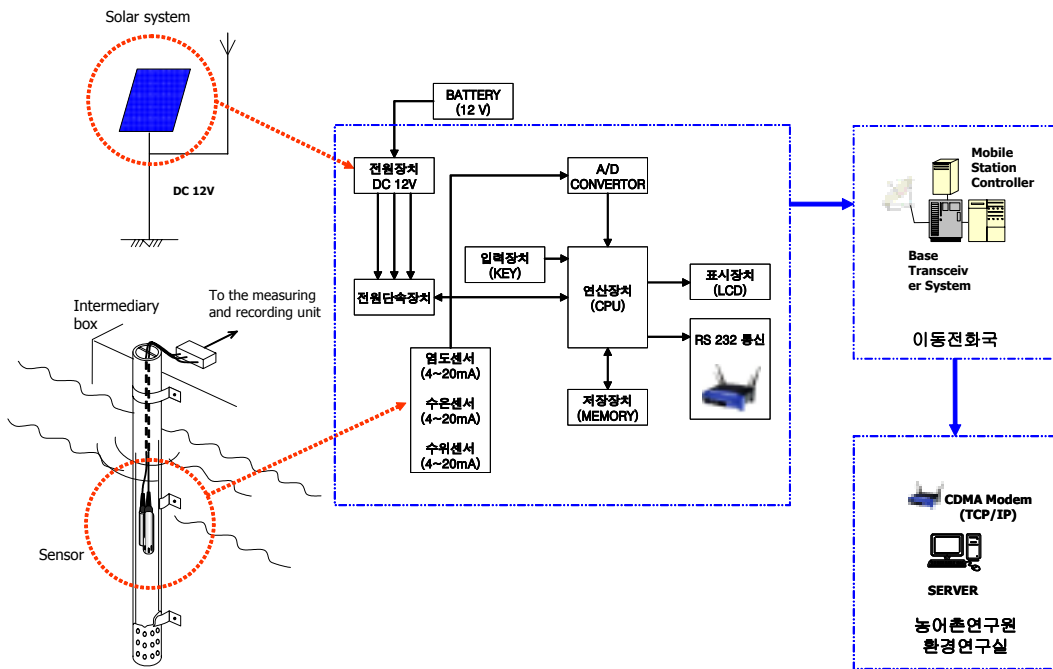


<그림 7-22> 염분농도예측과 경보발생방법

제 8 장 염해예보시스템 현장 활용

본 연구에서 개발된 염해예보시스템의 실용화를 촉진하기 위하여 3지구 5개소에 시스템을 설치하여 적용 시험을 실시하였다. 염해예보시스템을 <그림 8-1>과 같이 구축하였으며, 간척 농경지의 경우 대형 양수장을 통하여 농업용수를 공급하고 있기 때문에 취수부와 양수장 입구에 현장제어장치를 설치하였다.

1차년도 시범지구로 선정된 부사지구를 포함하여 서산 간월호의 취수구와 양수장 2개소, 태안 미포지구를 선정하여 1시간 간격으로 염농도를 측정하고 있다.



<그림 8-1> 염해예보시스템 현장 설치도

이와 같이 현장에 설치된 현장제어장치로부터 측정된 염농도를 CDMA 통신을 통하여 현장관리사무소에 설치된 통합관리시스템으로 자료가 전송하고 있으며, 이 시스템 내에 DB를 구축하여 인터넷을 통하여 자료를 확인할 수 있게 하였다. 각 현장에서 전송된 자료는 통합관리시스템에서 1차 자료 분석을 실시한 후 2003년, 2004년 염농도 자료를 바탕으로 기상자료와 상관성을 고려하여 염농도 예측할 수 있는 예측프로그램을 작성하여 담당자들이 염농도의 예측을 할 수 있게 하였다. 또한 생육단계별 염도 한계농도를 프로그램내에 적용하여 시기별 예보를 적절한 한계치를 설정하여 염해에 대한 예보를 발생할 수 있게 하였다.

제 1 절 부사지구

부사지구는 1972년 방조제 공사를 시작하여, 1989년에 방조제 공사가 완료된 지구로 유역면적 12,440ha 관개면적 488.6ha로 <그림 8-2>와 같이 저류지 상류지에 위치한 소황양수장에서 전체 농경지의 90%에 농업용수를 공급하고 있으며, 증산양수장에서 전체 농경지의 10% 농업용수 공급하고 있다. 따라서 부사지구내 간척 농경지 농작물의 염해 피해를 사전에 예방하기 위해서는 소황양수장 취입수문의 염농도에 대한 지속적인 계측과 분석만으로 가능하기 때문에 본 연구의 현장 적용 대상지구로 선정하였다.

1. 부사지구내 유역 및 수질현황

부사지구는 충남 보령시 웅천읍 일부, 주산면, 성주면, 미산면과 서천군 서면 일부 및 부여군 외상면을 포함한다. 부사담수호로 유입되는 주하천은 웅천천이며 상류부에는 다목적댐인 보령댐이 위치해 있다. 웅천천의 경우 홍수기를 제외하고는 보령댐에서 방류되는 하천 유지수 및 관개용수에 의해 유량이 유지되고 있으며, 부사담수호 유입부에서 간치천과 합류한다. 부사담수호의 유입천 중 간치천은 행정구역상 보령시 주산면에 해당되며, 상류에 신구저수지가 위치하고 있다.



<그림 8-2> 부사지구내 소항양수장과 취입수문 위치

부사 담수호내와 간치천과 웅천천의 유입지점의 염농도 조사 결과는 (표 8-1)과 같다. 간치천의 경우 209~368 mg/L범위를 보여 다소 염농도가 높게 나타났다. 이는 유입 유량의 부족으로 담수호의 영향을 다소 받는 것을 판단된다. 웅천천은 상류에 대규모의 다목적댐인 보령댐의 방류수에 직접적인 영향을 받아 부사담수호의 합류지점에서 염농도가 93~154 mg/L 범위를 보여 간치천보다 낮게 나타났다. 웅천천은 간치천과 달리 부사담수호의 영향을 덜 받고 있음을 알 수 있다. 소항양수장에서 직접 영향을 미치는 부사담수호의 염농도는 257~863 mg/L로 계절적인 차이를 보였다. 강우량이 많은 6월시기에 낮았으며 강우량 적은 11월시기에 가장 높았다. 2003년 자료를 바탕으로 농번기 부사담수호의 염농도가 우려할 수준이 아니지만 지속적인 염농도 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

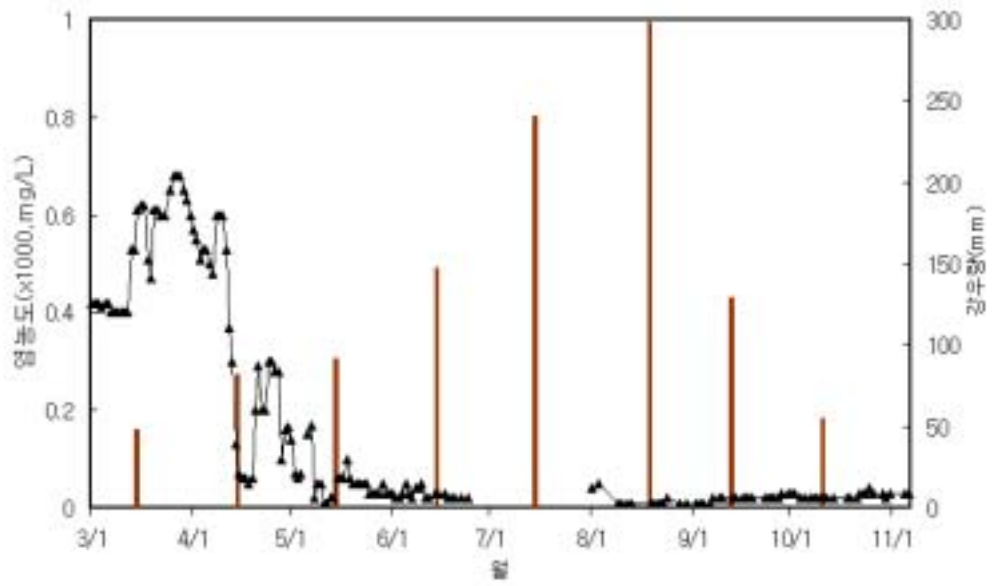
(표 8-1) 부사담수호의 수질조사 결과

조사시점	조사시기	수온(℃)	pH	염도(mg/L)
부사담수호로 간치천 유입지점	6월	21.9	6.8	362
	9월	22.5	7.2	205
	11월	12.7	8.7	334
부사담수호로 웅천천 유입지점	6월	23.1	7.3	137
	9월	22.3	7.1	156
	11월	14.8	6.7	154
부사담수호내 지점	6월	21.7	7.0	258
	9월	22.3	7.5	390
	11월	12.1	7.3	863

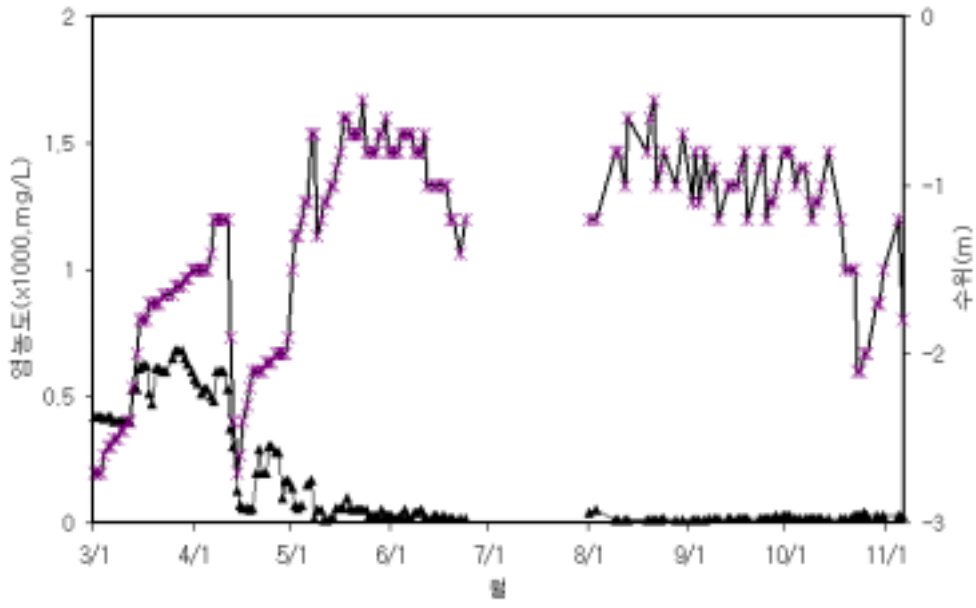
2. 환경조건에 따른 염농도변화

부사지구는 갈수기에 해당되는 3월부터 5월까지 염농도가 <그림 8-3>과 같이 600 mg/L 이상 상승한다. 그러나 7월, 8월 강우기에는 100 mg/L 이하로 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 수위에서도 <그림 8-4>와 같이 갈수기에 약 2.00 m(표층기준) 정도 낮아지며, 반대로 염농도는 증가하고 있다. 따라서 부사지구의 경우 강우량과 수위가 염농도와 높은 상관성을 보이며, 그 변화를 예측할 경우 1차적으로 염농도 예측이 가능할 것으로 판단된다.

또한 <그림 8-5>에서 보는 바와 같이 2004년 3월 소황양수장 취입수문에서 수심별 염농도를 측정한 결과 표층(0.5m)은 84mg/L, 심층(2.0m)은 770 mg/L로 표층보다 상당히 높았다. 이는 수심에 따른 염농도의 성층화로 볼 수 있다. 소황양수장은 취수문 수심 1.5m 지점(측정시점 기준)으로부터 취수되므로

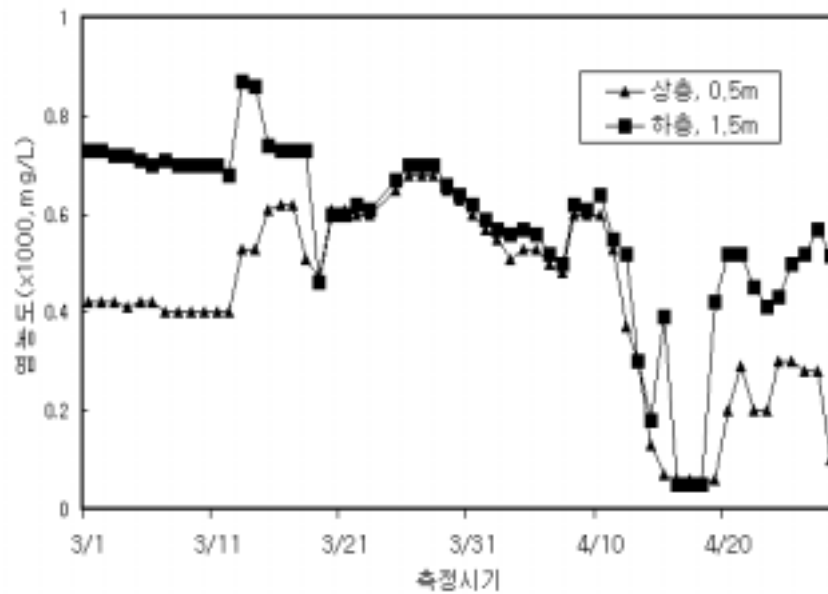


<그림 8-3> 부사담수호의 염농도와 강우량



<그림 8-4> 부사담수호의 염농도와 수위

표층의 수심보다는 1.5m 지점의 염농도가 중요하다. 특히 갈수기 시점인 3월에서 5월 사이 수위가 낮을수록 상층(표층0.5m)과 하층(표층1.5m)의 염도차이가 뚜렷함을 알 수 있다. 따라서 부사지구는 갈수기에 염농도 성층화가 일어나므로 이를 고려한 염농도 관리가 되어야 할 것이다.



<그림 8-5> 부사담수호의 심도별 염농도변화

3. 현장설치

염해예보시스템을 소항양수장 취수문에 설치하였다. 수심별 측정하기 염농도 센서를 표층을 기준으로 수심 50cm, 150cm, 250cm 3지점을 대상을 30분 간격으로 측정하였다. <그림 8-7>은 측정한 결과로 양수장 가동하지 않을 경우 표층의 염농도는 930~1210mg/L 이지만 중간층과 상층은 1270 mg/L 이상을 유지하고 있어 성층화되어 수심별 뚜렷한 차이가 있었다. 그러나 양수장 가동이 시작하여 물 흐름이 있을 때 표층과 심층의 물이 섞여 수심별 염농도

차이는 없었다. 염해경보 초기단계인 염농도 2,000 mg/L 기준으로 할 때 부사담수호의 경우 염농도 상승에 따른 염해 우려는 없지만 갈수기 지속되어 염농도가 상승할 경우 표층수 만을 이용하는 방안도 강구되어야 할 것이다.



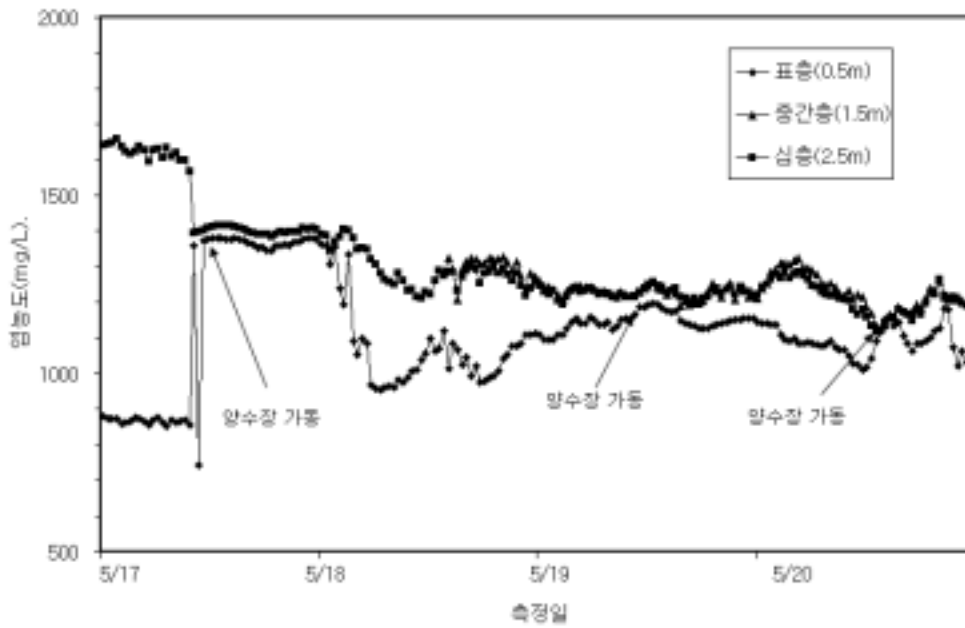
<그림 8-6> 부사담수호 취수문

제 2 절 간월호(서산A 지구)

간월호는 **년 방조제 공사를 시작하여, **년에 방조제 공사가 완료된 지구로 유역면적 48,800ha 관개면적 3,744ha로 <그림 8-8>과 같이 하류부에 공리양수장의 4개 양수장이 전체 농경지에 농업용수를 공급하고 있다. 간월호의 염농도가 겨울철에는 550 mg/L, 갈수기 인 봄철에는 2000 mg/L까지 증가하여 다른 지구에 비하여 염농도가 높은 지구에 해당된다.

1. 지구내 유역 및 염농도 변화

유역은 서산시, 부석면, 예산군으로 형성되어 있다. 유입수계는 청지천을 중심



<그림 8-7> 부사담수호의 염농도변화



<그림 8-8> 서산A지구(간월호) 위치도

수계로 해서 해미천, 와룡천, 대교천, 덕문천과 같은 지천이 합류하여 복잡한 수계를 형성하며, 유역내에는 풍전지, 잠흥지, 성암지, 황락지, 산수지, 고북지, 대사지가 있으며, 하류부에는 농경지가 분포되어 있다.

간월호 중 하류부에서 상류부로 올라갈수록 염농도가 떨어지는 경향이 보이고 있으며, 하류부와 중간지점은 관개 용수 염농도 기준으로 볼 때 높음에 해당하고 유입하천의 영향을 직접 받은 상류부에는 염농도 기준으로 볼 때 약간 높음의 등급을 보이고 있다. 한편 계절별로는 갈수기에 해당되는 봄철의 염농도가 다소 높은 경향을 보인다.

전반적으로 중간지점과 상류부의 경우 비의 수확량 감소에 지장이 없는 염농도 수준을 보이고 있지만, 하류부는 염농도가 높기 때문에 표층수를 이용하는 방안을 강구해야 하는 지구이다.

간월호 갈수기에 해당되는 2월과 4월 염농도가 (표 8-2)와 같이 2,300 mg/L까지 상승하여 수도작의 피해가 우려할 정도이지만, 7월 강우기에는 200 mg/L까지 낮아진다. 그러나 농번기를 포함하여 하류부와 중류부에는 염농도가 높았다. 또한 2004년 7월 간월호 배수갑문에서 수심별 염농도를 측정한 결과 표층(1.0m)은 600 mg/L이지만 심층(5.0m)은 13,800 mg/L로 표층보다 상당히 높게 나타났다. 특히 약 3.0m 부근에서 염분약층이 형성되어 있음을 알 수 있다. 배수갑문 근처에 있는 궁리양수장은 취수문 바닥층으로부터 1.0m 지점으로부터 취수되므로 표층의 수심보다는 1.5m 지점의 염농도가 중요하다. 특히 갈수기 시점인 3월에서 5월 사이 수위가 낮을수록 표층과 하층(1.5m)의 염농도차이가 뚜렷함을 알 수 있다. 따라서 부사 담수호와 마찬가지로 염농도 성층화 현상이 일어나기 때문에 수심별 염농도를 측정하여 염농도가 높을 때 표층수를 이용하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

2. 현장설치

가. 기산양수장

간월호내 염해예보시스템을 기산양수장 그리고 취수문에 설치하였다. 취수문 설치장소는 <그림 8-9>와 같이 취수문 외측, 즉 담수호에 설치하였다.

(표 8-2) 간월호 염농도 변화

(단위:mg/L)

측정일시	하류	중류	상류	비고
2004. 2.26	1,290~1,330	1,270~1,310	1,060	겨울철
2004. 4.29	1,700~2,300	1,680	1,930	봄철
2004. 7.15	1,770~1,930	1,770~1,790	880	여름철
2004. 7.23	600~2,200	200	-	7.22 집중강우

(표 8-3) 간월호 수심별 염농도(배수갑문 2004. 7. 23)

수심(m)	온도(℃)	염농도(mg/L)
1.0	23.5	600
2.0	23.4	2,200
3.0	23.2	11,800
4.0	23.2	13,800
5.0	23.2	13,800



(취수문)

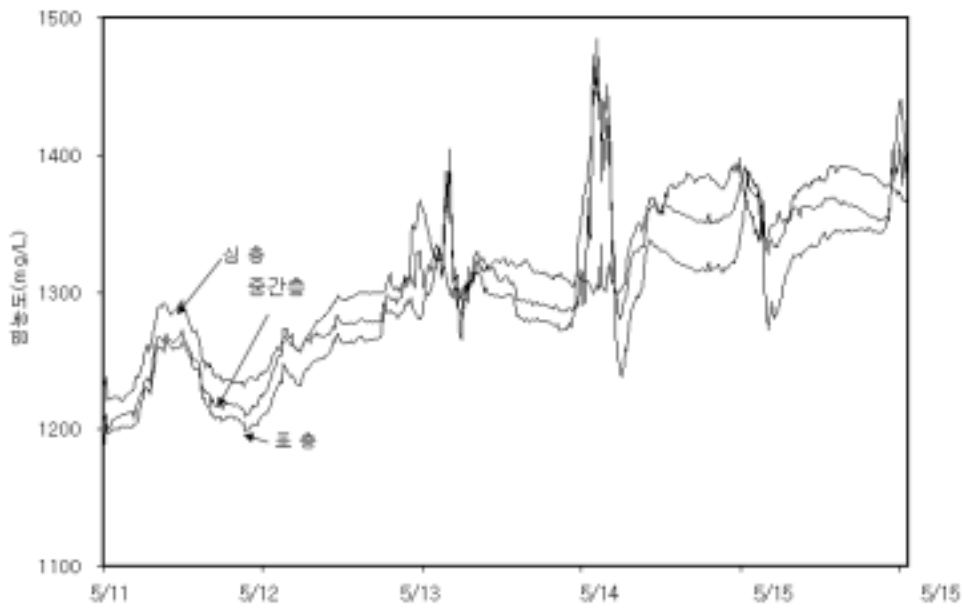


(양수장)

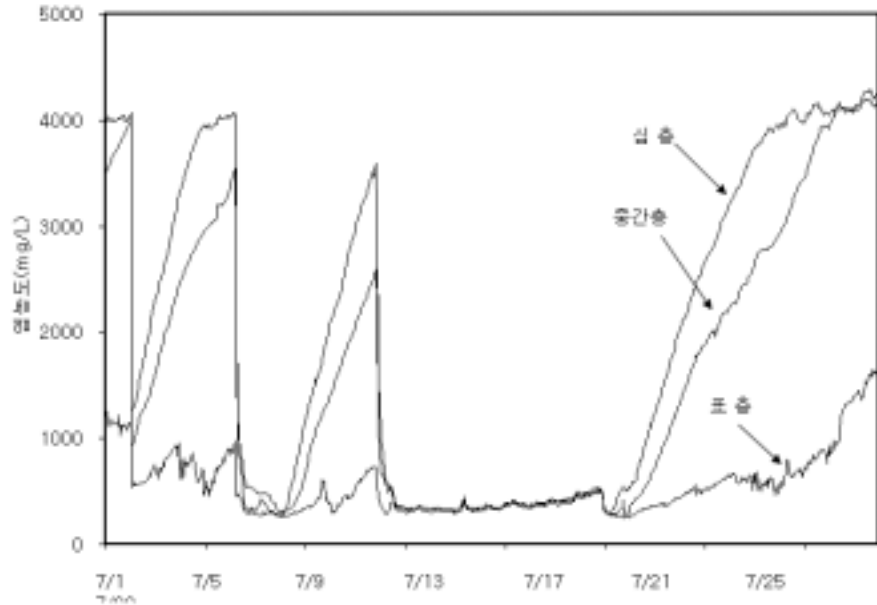
<그림 8-9> 기산양수장 염해예보시스템 설치

<그림 8-10>는 5일 동안 측정한 수심별 측정한 염농도 자료이다. 담수호 파도 때문에 염농도 성층화가 형성되지 않아 수심별 염농도 차이는 없었다. 취수문에서 양수장까지 인수로의 길이는 약3.5km로 증발로 인하여 염농도가 다소 증가하였지만 취수문과 양수장의 염농도 차이는 미미한 것으로 측정되었다.

<그림 8-11>는 기산양수장 입구에 염해예보시스템을 설치하여 표층을 기준으로 수심 50cm, 150cm, 250cm 3지점을 대상을 30분 간격으로 측정한 자료이다. 기산양수장 가동이 24시간 계속되는 관계로 양수장 가동하지 않을 경우와 비교할 수 없지만 가동 중 표층의 염농도는 1,000 mg/L 이하를 유지하지만 중간층과 상층은 4,000 mg/L 이상 높아져 염농도의 뚜렷한 차이는 있었다. 수온이 높아질수록 염농도가 증가하는 추세이다. 강우로 염농도가 급격히 낮아졌지만 곧 염농도가 증가하므로 항상 염해에 대비가 있어야 할 것이다.



<그림 8-10> 기산양수장 취수문 염농도변화



<그림 8-11> 기산양수장 입구 염농도변화

나. 간월양수장

간월양수장은 간월호에서 배수갑문에 가장 가까운 양수장으로 다른 양수장에 비하여 염농도가 높은 지구이다. <그림 8-12>는 간월양수장에 설치된 염해예보시스템이다. 표층을 기준으로 50cm, 150cm, 250cm 3지점을 대상을 30분 간격으로 측정된 결과는 <그림 8-13>과 같다. 아직 간월호내 다른 양수장에 비해 염농도가 높지만 농작물이 피해를 받을 정도는 아니지만 지속적인 측정과 감시가 되어야 하는 장소이다.

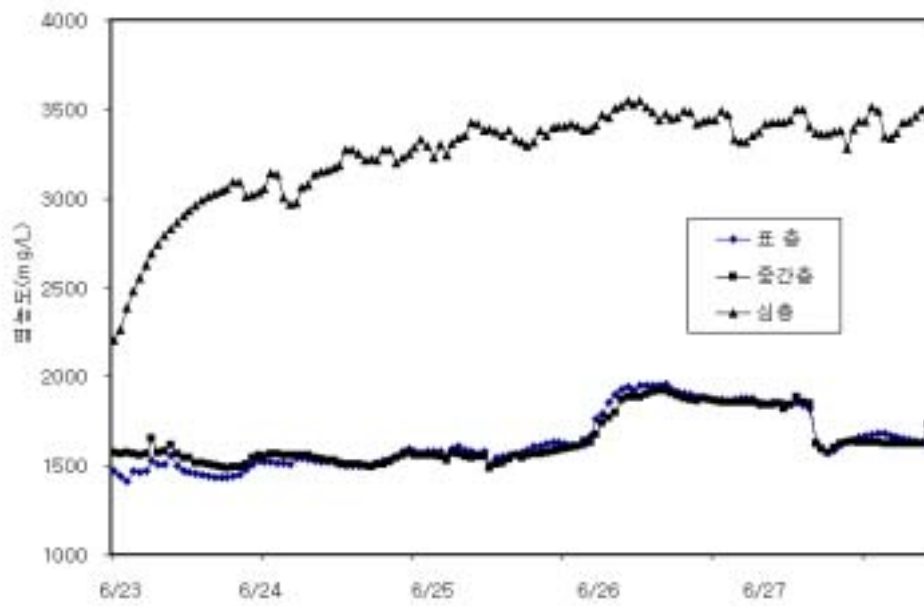
제 3 절 미포지구

미포지구는 집수 유역이 적어 담수호 물을 강제 양수하여 지구 상단에 별도로

양수용 저수지를 축조하여 물을 재이용하는 지구로 물이용율이 높은 지구이다.



<그림 8-12> 간월양수장 염해예보시스템 설치

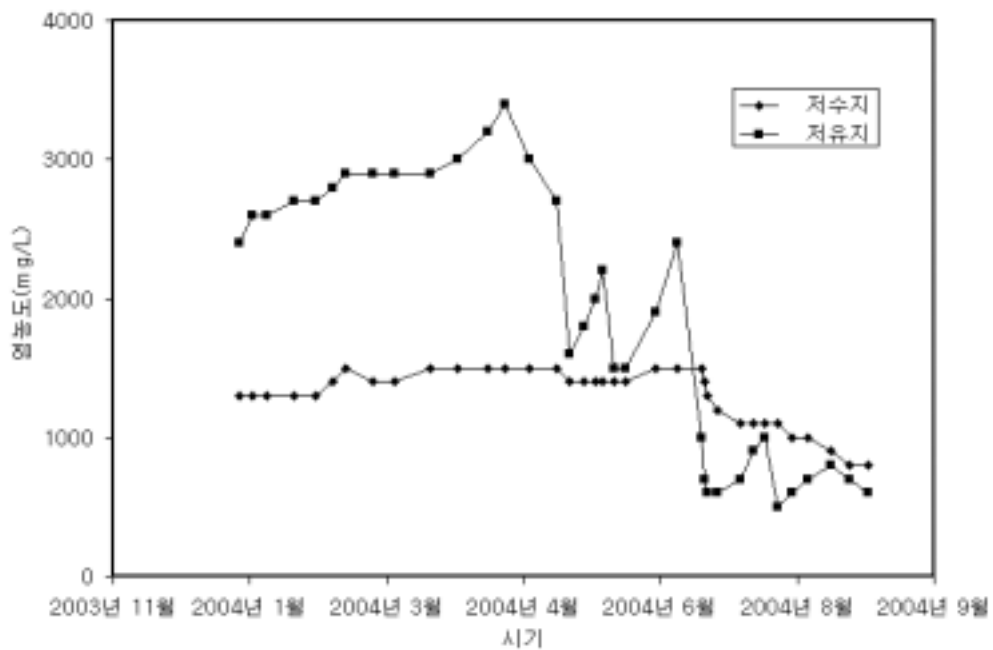


<그림 8-13> 간월양수장 염농도변화

<그림 8-14>와 같이 갈수기에 해당되는 1월부터 5월까지 저유지의 염농도가 3,000 mg/L 이상 상승한다. 그러나 실제 농업용수로 사용하고 양수용 저수지의 염농도는 1,500 mg/L로 변화가 적었다. 이는 양수용 저수지는 강우 및 유역면적으로부터 유입되는 유입수로 채워지고 관개용수가 부족할 경우 양수하여 물을 재이용한다. 그러나 가뭄이나 하류 담수호의 염분 상승시 별도의 용수원 확보가 어렵기 때문에 특별한 담수호 관리가 요망되는 지구이다.

<그림 8-15>는 미포양수장 취수구에 설치한 염해예보시스템이며, <그림 8-16>는 1시간 간격으로 측정된 결과이다. 미포지구는 성층화가 형성된 지구로 수심이 낮을 때 표층(0.5m)과 심층(2.0m)의 염도는 1.4배 정도 차이가 있지만 강우 후 차이는 적었다.

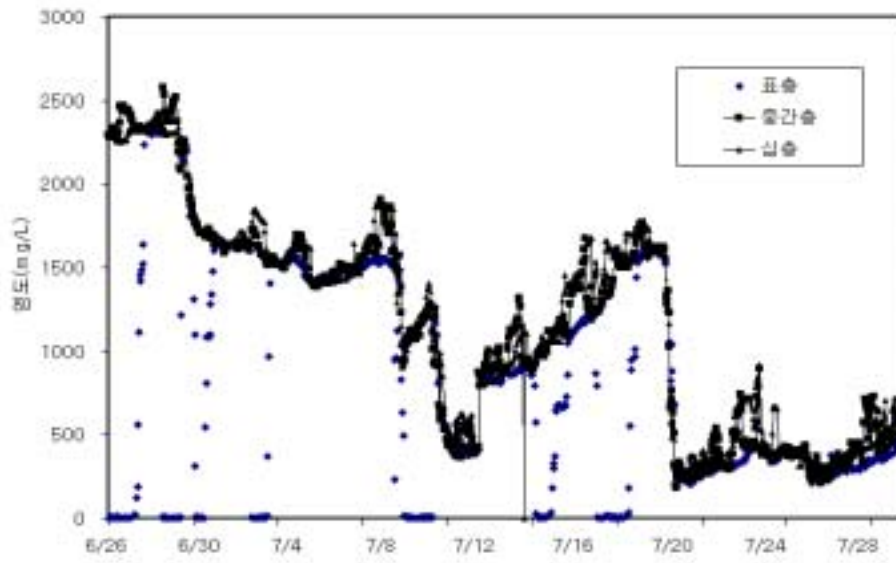
농업용수가 부족할 경우 물이용율이 높은 갈수기시 염농도가 높아지기 때문에 지속적인 측정과 분석이 필요한 지구이며, 표층만을 이용할 수 있는 시설을 갖출 경우 염해 위험을 다소 줄일 수 있을 것이다.



<그림 8-14> 미포지구 저유지와 저수지 염농도변화



<그림 8-15> 미포지구 염해예보시스템 설치



<그림 8-16> 미포지구 염농도변화

제 9 장 요약 및 결론

본 연구는 간척담수호를 포함한 해안 저지대의 농업용수원을 이용하여 농작물을 재배할 때 발생할 수 있는 염해를 사전 예방과 최소화를 위하여 간척 담수호의 물관리 방법, 토양 특성을 고려한 환수주기 및 방법, 한계 염농도 설정에 관하여 조사를 실시하였다. 또한 염해에 직접적인 영향을 주는 염농도와 제반 환경요소를 실시간 모니터링을 위한 염해예보시스템의 하드웨어와 프로그램을 개발하였으며, 이를 현장에 설치하여 시운전 중에 있으며, 이 시스템을 활용하여 간척 담수호의 농업용수에 대한 효율적인 이용을 통하여 염해를 줄일 수 있을 것이다.

- 우리나라 간척역사는 고려조부터 국방과 식량생산을 위해 지속적으로 추진되어 왔으며, 2003년말 기준으로 188개 지구에서 76천ha가 준공되었고 14개 지구에서 59천ha가 시행 중에 있다. 간척지 개발면적 387,696 ha중 농지조성 목적 이외의 간척지로 21,910 ha이며, 251,295 ha를 순수한 논으로 이는 2002년 기준 우리나라 농경지 면적에 대한 비율로는 전체 농경지 1,862,600 ha의 13.5%에 해당하며 논 면적 1,138,400 ha의 22.1%에 해당되는 면적이다.

- 현재 건설된 담수호는 14개소이며 총 저수량은 약 21억톤에 달하고, 담수호로부터 관개면적 및 계획 면적은 약 183천ha에 이른다. 이는 전체 논면적의 약 14%에 달하며, 현재 관개면적의 약 20%에 이르며 농업용수원으로 중요한 비중을 차지하고 있다.

- 담수호 수질 특징은 염농도의 경우 담수호별로 매우 편차가 크지만 육지부 저수지에 비하여 3배에서 40배정도 높게 나타나고 있고, Ca와 Mg에 대한 상대적인 Na 지표인 SAR 값이 육지부 저수지에 비하여 매우 높게 나타나고 있어 염해의 우려가 상존하고 있다.

- 농업기반공사가 관리하는 서남해안에 간척지구나 해안 저지대중 염해우려가

있는 지구를 선정하여 특별 관리하고 있는 데 그 지구별 유형은 크게 중·대 규모간척개발지구, 육지부 용수원 이용지구, 담수호 용수원 재이용지구, 해수 유입 방지 지구 등으로 4가지의 유형으로 구분할 수 있다. 유형마다 각각의 염농도 변화 특징을 가지고 있지만 대체적으로 육지부 저수지보다 상당히 높은 염농도 값을 나타냈으며, 특히 갈수기가 강우기보다 5배 이상 높았으며, 한계염농도 0.3% 이상일 시기도 있어 염해 대책이 마련되어야 한다.

- 간척지 수도재배 생육 단계별 염분농도 한계 설정 시험에서 분얼기에 건물중은 4000 mg/L, 분얼수는 2000 mg/L에서 부터 통계적으로 유의하였고, 유수 발육기와 등숙기에 건물중은 각각 4000 mg/L과 3000 mg/L에서부터 통계적으로 유의하였다. 전반적으로 지상부의 생육이 지하부의 생육보다 민감한 반응을 보였다.

- 우리나라 간척지 토양의 이화학적 특성을 가진 토양에 대하여 환수주기와 방법을 달리하여 제염효과를 검토한 결과, 벼가 자랄 수 있는 한계염분농도는 0.3%를 기준으로 평가할 때 토양 염류도에 따라 한계농도에 도달하는 기간이 상이하므로 토양 염류도에 따라서 환수주기도 각각 다르게 설정되어야 할 것이며, 담수 후 지속적인 모니터링을 통해 적정 환수시점을 설정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

- 전기전도도 측정원리를 응용하여 염농도 센서를 개발하였다. 염농도 센서는 온도에 영향을 받기 때문에 염농도 센서에 온도보상회로를 첨가하면서 두 항목을 함께 측정할 수 있도록 하였다. 센서의 측정범위에서 정밀도를 높게 하고자 출력전극과 입력전극 외에 2개의 보상전극을 추가한 4전극방식으로 개발하였다. 그리고 센서의 정확도를 높이기 위한 방법으로 정형과 발생회로, Isolation회로, 노이즈 제거회로를 추가하였으며, 측정범위는 0~28,000 mg/L이며 정밀도는 $\pm 0.5\%$ 이다. 그리고 염농도 전극이 있는 부분에는 실리콘 수지로 완전 방수 처리하였다. 온도센서는 Pt100으로 제작하였으며 측정범위는 -20~

50℃로 하였다. 정밀도는 $\pm 0.1\%$ 이다. 센서와 현장제어장치의 거리가 100m이상인 경우를 대비하여 센서의 출력신호를 4~20mA로 하였다.

- 수심에 대한 염농도 성층화에 대비하여 수심별 염농도를 측정할 수 있도록 센서 조합이 가능한 다점방식 염농도 장치 개발하여 한 대의 현장제어장치로 최대 4개 지점 동시 측정하였다. 이를 이용하여 수심별 염농도 자료를 취득할 수 있었다.

- 현장제어장치는 자료측정, 저장, 전송, 측정시간설정, 센서교정 등을 할 수 있게 MSC1210 CPU를 사용하여 제작하였다. 22비트 8개 센서입력 채널을 확보하였으며, 노트북 통신과 모뎀 통신을 위하여 통신포트를 설치하였다. 전원 절약의 한 방법인 Sleep mode를 적용하였다. 측정시에는 현장제어장치에 자동적으로 전원을 투입되어 측정하고 대기시간은 Sleep mode로 자동 전환되게 하였다.

- 염해예보시스템을 운영하기 위한 프로그램을 현장제어장치, 외장 메모리 장치, 통합관리시스템 3가지로 구성하여 작성하였다.. 현장제어장치와 외장 메모리 장치 운영프로그램은 PC에서 ANSI C 언어로 작성, 컴파일한 후 각 장치의 내부 메모리에 로딩하여 사용하였으며, 자료저장, 측정시간설정, 측정자료보기, 자료다운받기 등을 할 수 있게 하였다. 통합관리시스템의 운영프로그램을 원격지에 설치된 염농도 및 온도 등 계측자료를 손실 없이 인터넷을 통하여 자료 검색을 할 수 있도록 TCP/IP 프로토콜방식으로 PHP와 Lab View로 작성하였다.

- 본 연구에서 개발된 염해예보시스템의 실용화를 촉진하기 위하여 염해우려지구인 부사지구(부사호), 서산지구(간월호), 미포지구에 설치하여 현장 시운전 중에 있으며, 본 연구과제와 관련하여 특허출원을 실시하였다. 또한 간척 담수호의 염농도 자동측정과 염해예방을 위한 방안으로 시스템으로 활용토록 한다.

- 특허출원 (2건)

4진극 다점 염농도 측정장치

(출원번호 : 10-2004-00538603, 2004. 7)

염해예보 및 물관리 장치와 염해예보 및 물관리 방법

(출원번호 : 10-2005-0062913, 2005. 7.)

- 논문(1건)

이승헌, 김경만 외 1인. 2004. 담수조건에 따른 염류-나트륨성 토양의 제염 효과. 한국관개배수. V12(2):. 64-71.

- 국제학술발표(1건)

이승헌, 김경만 외 4인. 2005. The desalinization of saline-sodic soils from reclaimed land by soil washing.(poster 312) 제7차 동부 및 동남 아시아분과 토양비료학회 컨퍼런스(포스터). 2005. 06. 01-05. 퀘손 필리핀

- 국내학술 발표(2건)

이승헌, 김경만 외 4인 간척지 수도재배 생육 단계별 염분농도 한계 설정 시험, 한국환경농학회 2005학술발표회 2005.07.08. 충남 천안상록리조트

이승헌, 김경만 외 1인. 관개수 염농도에 대한 수도 영양생장기 중 생육 반응, 2004한국농공학회 학술발표회. 2004.11.19. 대전 충남대(구두)

제 10 장 참고문헌

- 강예목 외. 1993. 간척공학. 향문사 pp323-327.
- 구자웅, 최진규, 손재권, 1998, 우리 나라 서해안 간척지 및 간척지 토양의 이화학적 특성, 한국토양비료학회지 31(2), pp120-127.
- 국토문제연구소. 1991. 국토이용과 간척지 개발에 관한 연구.
- 김규진, 오영래, 이주열. 1972. 간척지 안전재배 실증시험. 호남작물시험장 시험연구보고서:330-333.
- 김규진, 오영래. 1973. 간척지 안전재배 실증 실험. 호남작물시험장 시험연구보고서:323-332.
- 김기준, 김광호. 1987. 재배환경이 다른 쌀의 이화학적 특성에 관한 연구. 작물학회지 32(2):234-242
- 김성채, 문용식, 이재휴. 1973. 간척년대별 물리화학적 변화에 관한 조사. 전남농촌진흥원 시험연구보고서:447-462.
- 김성채, 정한수. 1971. 간척년대별 물리화학적 변화에 관한 조사. 전남농촌진흥원 시험연구보고서:133-156
- 노대철, 김동한, 윤관희, 이협성. 1986. 간척년대별 토양 이화학적 연구, 농시연보, 28(1):20-27
- 농림부·농업기반공사, 2000, 2000농업용수수질 측정망조사 보고서(연도별수질 성적)편
- 농림수산부 농어촌진흥공사. 1995. 서남해안간척자원조사 종합보고서.
- 농어촌진흥공사, 1998, 간척지 제염방법 개선에 의한 밭작물 재배기술 개발에 관한 연구, pp26-27.
- 농어촌진흥공사. 1991. 간척지 이용에 관한 연구.
- 농어촌진흥공사. 1994. 신간척지 토양개량과 작부체계에 관한 연구.
- 농어촌진흥공사. 1996. 한국의 간척.
- 농어촌진흥공사. 1997. 물(水)2000년-담수호의 효율적인 관리와 수계환경.
- 농어촌진흥공사. 1998. 간척지 제염방법개선에 의한 밭작물 재배기술 개발에

관한 연구.

- 농업과학기술원. 2001. 토양식물체분석법. 농업과학기술원. 삼미기획.
- 농업기반공사. 2004. 2004 기반조성 사업현황.
- 농업기반공사 농어촌연구원. 2002. 방조제축조전후의 외측 해저지형변화 조사 분석 및 서남해안 간척실적 조사연구(최종).
- 농촌진흥청 영남농업시험장, 2002, 쌀개방화 대응기술
- 농촌진흥청 호남농업시험장, 2002, 한국의 간척지 농업, 과학원예, pp129-228.
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 1991. “우리나라 간척농업의 현황과 발전방향.” 심포지움 자료집.
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 1998. “서남부 간척지 토양특성과 생산성 향상” 심포지움 자료집.
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 1999. 호남지역 벼의 안정증수방안
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 2001. 작물별 기상 재해와 대책.
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 2001. 호남지역벼재배요령
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 2002. 한국의 간척지 농업.
- 농촌진흥청, 2000, 토양 및 식물체 분석법, 삼미기획.
- 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법
- 농촌진흥청. 2000. 농업기상재해 대책.
- 류순호 외. 2000. 전기전도도:토양사전. 서울대출판부. pp302.
- 류순호. 2000. 전기전도도:토양사전. 서울대출판부, pp241.
- 서울대학교 농업개발연구소. 1989. 서산간척지 영농을 중심으로한 농학분야 기술개발에 관한 연구.
- 센서와 주변회로, 도서출판 세원 (1988)
- 신제성, 김이열, 1999, 식량 최대 생산을 위한 토양 자원이용, 한국 육종학회 작물학회 토양비료학회 공동 심포지움 자료-식량위기 우리의 나아갈 길, pp145-167.
- 오영택, 1976. 간척지 토양 제염촉진에 관한 연구1. 확산에 의한 염분 이동에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서:485-500

- 오영택, 류순호, 정영상, 홍종운, 박천서, 1976 담수토양계에서 염분의 1차원 확산. 한토비지9(1):1-8
- 오영택, 홍종운, 이정기. 1976. 간척지 토양 제염 촉진에 관한 연구. 농업기술 연구소 시험연구보고서:485-580
- 오영택, 홍종운, 이정기. 1976. 간척지 토양 토양의 화학적 성질 개량에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서:581-586.
- 오영택. 1976. 신간척지의 논물 교환 시기에 관한 연구. 농업기술연구소 시험 연구보고:572-579.
- 유철현외 4인. 1989. 간척지 토양의 성숙화과정별 이화학성 변화연구. 한국토양비료학회지 22(3):180-190.
- 이상모. 1987. 간척지 제염과정에서 일어나는 토양의 이화학성 변화에 관한 실험적 연구. 서울대학교 대학원. 석사학위논문:pp50
- 이성환, 오재섭, 임정남. 1967. CHP에 의한 간척지 토양의 제염 및 이화학 성질개량에 관한 시험 연구. 농화학회지 8:66-74
- 이승현, 안열, 2003, 우리 나라 간척 현황과 향후 과제, 간척지연구(1), pp.20-31.
- 이승현외 3인. 2003. The estimation of dilution factor between two soil salinity analysis methods. 한국토양비료학회지 36(4):193-199.
- 이은용. 1996. 수도작. 향문사.
- 이종훈. 2001. 도작과학. 선진문화사.
- 이중기. 1978. 간척지 제염에 관한 연구. 한농공지 20(2):67-79
- 일본자동화기술, 센서기술, 도서출판 세화(1990)
- 정두호, 이기명, 한옥동. 1969. 간척지 제염시험. 담수경운에의한 제염효과 시험. 시험연구보고서. 농공이용연구소:26-32
- 정병간, 조국현, 윤을수, 윤정희, 김유학. 1998. 우리 나라 논토양의 화학적 특성 분석. 한국토양비료학회지 31: 246-252.
- 정연태, 엄기태, 신용화. 1976. 우리나라 남해안에 분포된 간척지 토양의 특성에 관한 조사 연구(가포통에 관하여). 한토비지 9(2):101-107

- 정영상 외 2인. 2002. 간척지에서 토양과 관개수의 염농도와 염류토 관리. 강원대 농업과학연구소.
- 조영길, 조인상, 엄기태, 1992, 신간척지에서 근권의 염농도 저하 방법이 토양 특성과 작물생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 25(2), pp127-132.
- 최돈향, 최송열, 류철현, 강승원. 2001. 신간척지 토양환경 조건별 염농도 변화 양상 구명. 호남농업시험장 시험연구보고서:602-609.
- 최송열, 유숙중, 김호중, 양창휴. 1998. 간척지 조기숙답화를 위한 토양특성 연구. 호남작물시험장 시험연구보고서:446-453.
- 최송열, 유숙중, 양창휴. 1997. 간척지 토양 특성에 따른 염농도 및 식생 분포 특성 연구. 호남작물시험장 시험연구보고서:393-399.
- 최해춘. 1997. 쌀을 알자. 신구문화사.
- 최현옥, 김동수, 1964, 수도 염해에 관한 연구, 작물시험장 농시연보 7:131-138.
- 토양화학분석법-토양,식물체,토양미생물-, 농촌진흥청, 농업기술연구소. 146-147.
- 한규홍, 문석범, 김상수, 이선용. 1979. 관배수 및 시비방법개선 시험. 호남작물 시험장 시험연구보고서:587-594.
- 한규홍, 문석범, 이선용. 1979. 개량제 시용 효과 시험. 호남작물시험장 시험연구보고서:609-615
- 한옥동, 정두호, 김현철. 1971. 개거에 의한 제염효과 시험. 농시연보 13(농공. 잠업편):21-26
- 황선웅, 류인수, 박준규, 1989, 간척지 토양에서 벧짚과 석고시용이 토양의 화학적 성질 및 벼 생육에 미치는 영향, 농시논문집(토양비료편) 31(1), pp37-50.
- James J. Brophy, 1991, Basic Electronics for scientists 5th ed., McGraw-Hill
- Mitchell, B. W., 1983, Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences, 2nd ed., American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan.
- OrCad/SDT III, Release 3.02, OrCAD System Co.

- FAO. 1985. Water Quality for Agriculture. I&D paper No 29.
- FAO. 1999. Soil Salinity Assessment. I&D paper No 57.
- Punidades P., Decloux M. Trystram G., 1991, Computer control of a cross flow microfiltration pilot plant, Food-Control, 2(3), 152-161.
- Page A, L, et al, 1982, Method of soil analysis, Part 2:Chemical and microbiological properties, ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
- Pessarakli, M. 1993. Handbook of Plant and crop stress. Marcel Dekker.
- Show, R. L. 1988. Soil salinity and sodicity. In:Fergus, I.F.(Ed.). Understanding Soils and Soil Data. pp.109-134.
- Staples, R.C. 1984. Salinity Tolerance in plants. John Wiley & Sons.
- Sumner. M.E. 1999. Handbook of Soil Science. CRC.
- Sumner. M.E., P. Rengasamy and R. Naidu. 1998. Sodic Soils:A Reappraisal. In: Sumner. M.E. and R. Naidu(Eds.). Sodic Soils. pp3-17. Oxford University Press. New York.
- Tanji KK. 1990. Agricultural salinity assessment and management. chapter 13. Crop salt tolerance.
- USSL Staff, 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA, Agri, Handbook No60

부록 1

염해예보시스템 설명서

1. 현장제어시스템 사양

- 1) CPU : MSC1210
- 2) 4 ~ 20mA의 8 Channel Analog input
22 Bits 상당의 A/D Converter(± 20000 Counts)
- 3) 전원 : +12VDC, 2.5Ah 축전지
 - ① 동작할 때 : 49.6 ~ 55 mA
 - ② Sleep Mode 시 : 40 ~ 50 μ A
- 4) Real Time Clock(DS1305E) 내장
- 5) Memory 사양 :
 - ① Program Memory : 64K Bytes
 - ② Data Memory : 64K Bytes
- 6) Analog Input 사양 :
 - ① 염농도 : 0 ~ 2,700 ppm
 - ② 온도 : -10.0°C ~ $+50.0^{\circ}\text{C}$
- 7) Data 저장 용량(외장메모리 포함) : 5000번 측정치
저장내용 : 날짜, 시간, 염도1, 염도2, 염도3, 온도
- 8) RS-232C 통신 : 9600, N, 8, 1
내용 : ① Data 요청 - 5000회분 전부 호출
- 현재 Data 호출
 - ② 시간 정보 수정
 - ③ Data 저장 시간조정
 - ④ Power시 Data 저장 간격 조정
 - ⑤ 저장된 Data 전부 Clear

- 9) 2 Point Data 조정 방식
- 10) 20 X 2 Line LCD 채택
- 11) Key 사용 시 Buzzer 작동
- 12) 간단한 4 Key 조작 방식

2. 시스템 동작

가. 시스템 전원 ON/OFF

- ① 시스템의 메인 전원을 연결한 후 차단기를 ON하면 기기가 작동한다.
- ② 시스템 작동을 멈출 경우 차단기를 OFF한 후 메인 전원을 차단한다.

나. 시스템의 초기 동작

- ① 전원을 ON하면 시스템이 정상적으로 작동되는지 확인한다.
- ② 시스템이 정상적으로 작동할 경우 화면에 Auto Change Mode가 표시된다.

Auto Change Mode	0
EC 1 :	+ 001.203 mS/cm

- ③ 이 Mode 상태에서 전원을 OFF 한다.

다. 시스템 작동 자동 표시 Mode (Auto Change Mode)

- ① 시스템 동작 상황을 LCD화면에 각 측정 항목별로 5초마다 자동으로 표시 해준다.

Auto Change Mode	0
EC 1 :	+ 001.203 mS/cm

- ② 측정항목 자동적으로 표시

Auto Change Mode	0
EC 1 :	+ 001.203 mS/cm



Auto Change Mode 0
EC 2 : + 001.243 mS/cm



Auto Change Mode 0
EC 3 : + 001.509 mS/cm



Auto Change Mode 0
EC 4 : - 000.001



Auto Change Mode 0
Depth : + 001.01 m



Auto Change Mode 0
Temp. : + 022.3 °C



Auto Change Mode 0
2005/07/14 12:26 57s



Mobile Not Exist



Auto Change Mode 0
EC 1 : + 001.203 mS/cm

라. 시스템 작동 수동 표시 (Manual Change Mode)

- ① Auto Change Mode 에서 MODE KEY를 누른다.
- ② LCD화면에 Manual Change 1 으로 표시된다.

Manual Change 1
EC 1 : + 001.203 mS/cm

- ③ Manual Change Mode 상태에서 Shift KEY를 누르면 각 항목별로 측정되어진 자료를 LCD 화면에 표시한다.

Manual Change 1
EC 1 : + 001.203 mS/cm

SHIFT key

- ④ 측정항목 수동 표시순서

Manual Change 1
EC 1 : + 001.203 mS/cm

SHIFT key



Manual Change 1
EC 2 : + 001.243 mS/cm

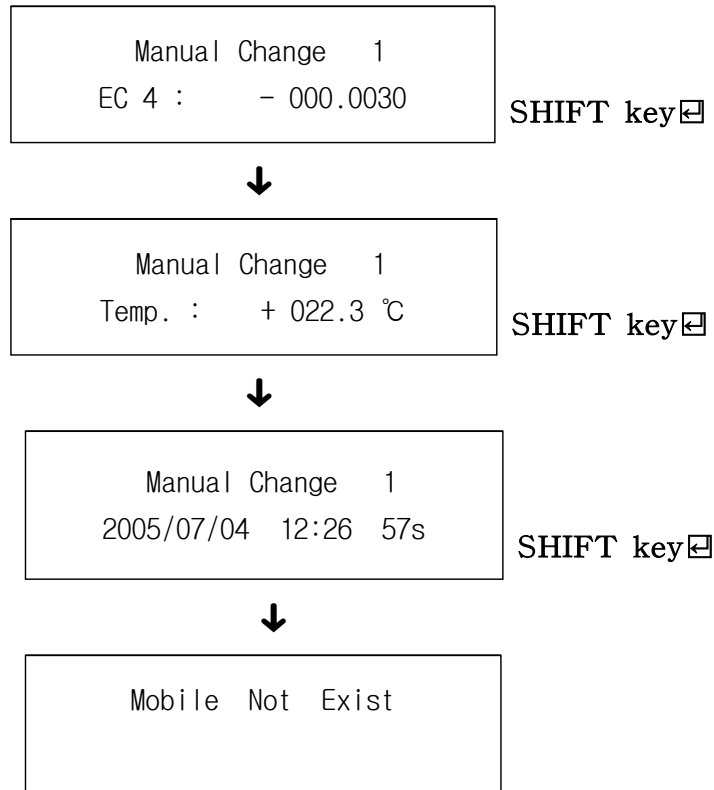
SHIFT key



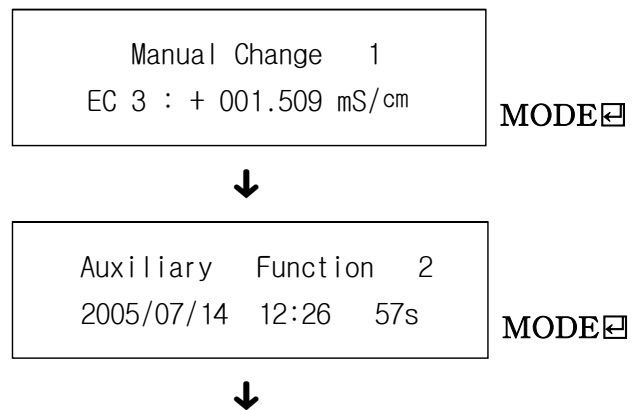
Manual Change 1
EC 3 : + 001.509 mS/cm

SHIFT key





- ⑤ Auto Change Mode로 변경하려면 Manual Change Mode에서 MODE KEY를 두 번 누른다.



Auto Change Mode	0
EC 1 : + 001.203	mS/cm

마. Calibration Mode

- ① Calibration Mode은 Auto Change Mode에서 MODE KEY를 두 번 눌러 Auxiliary Function Mode로 들어간다.

Auxiliary Function	2
2005/07/14 12:26	57s

- ② Auxiliary Function Mode에서 Calibration KEY를 5초간 누른 후 화면에 Calibration Mode --EC--가 표시된 후 MODE KEY를 누른다.

Calibration Mode
--- EC ---

MODE 



Cal. EC1 :	+ 00006199
Low :	02.300 mS/cm

- ③ Calibration Mode에는 EC, Temp, Time/Date, Memory Time(저장 시간 조정)을 변경할 수 있다
- ④ 변경하고자 하는 변수로 이동하려면 MODE KEY를 눌러 주면 된다.

Cal. EC1 :	+ 00006199
Low :	02.300 mS/cm

SAVE  ➔ MODE 



Cal. EC1 : + 00023100
High : 05.000 mS/cm

SAVE   MODE 



Cal. EC2 : + 00006199
Low : 02.300 mS/cm

SAVE   MODE 



Cal. EC2 : + 00023100
High : 05.000 mS/cm

SAVE   MODE 



Cal. EC3 : + 00006199
Low : 02.300 mS/cm

SAVE   MODE 



Cal. EC3 : + 00023100
High : 05.000 mS/cm

SAVE   MODE 



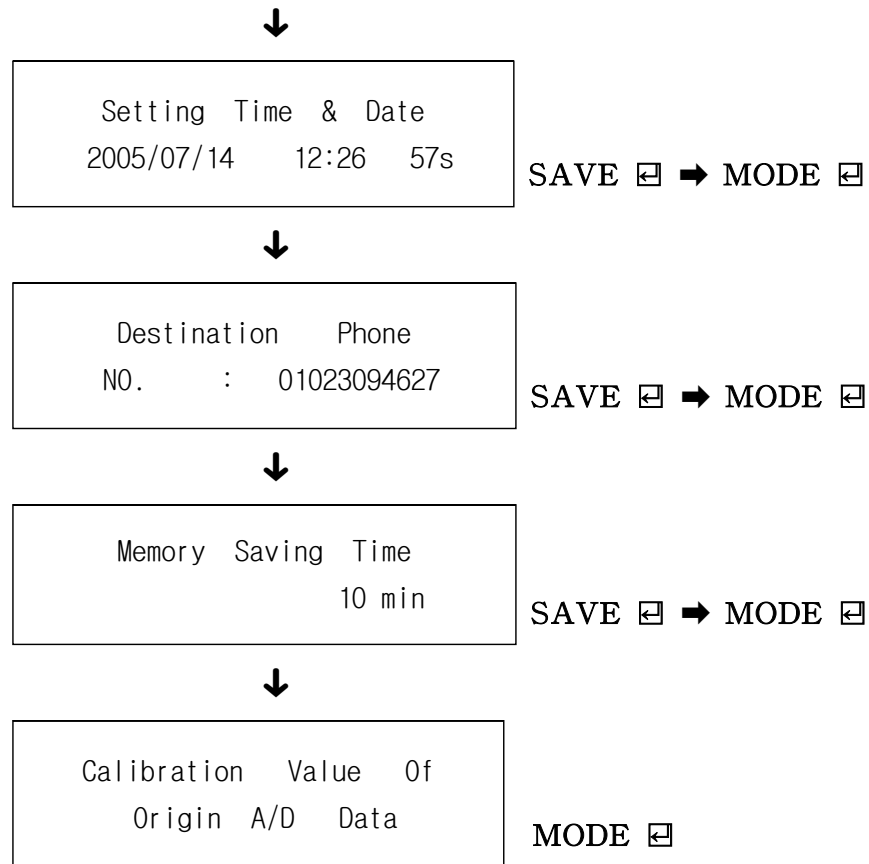
Cal. Temp : + 00002300
Low Value : 005.0 °C

SAVE   MODE 



Cal. Temp : + 0006019
High Value : 030.0 °C

SAVE   MODE 



⑤ Calibration을 실시한 후 MODE KEY를 눌러주면 Auto Change Mode로 들어간다.

⑥ 염도 Calibration (EC 1 ~ EC 3)

- LOW 값 Calibration

Cal. EC1 : + 00006199 Low : 00.000 mS/cm

- 염도 센서를 증류수에 5~10분간 담가 놓는다.
- 원하는 Low 값을 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를 Up key로 수정한다.

- LCD 화면에 표시된 Cal. EC1 : + 00006199은 Analog Channel의 A/D Converter 값으로 변화가 적을 때 Save key를 누르면 Low 값이 저장된다.

- HIGH 값 Calibration

Cal. EC1 : + 00023100
High : 05.000 mS/cm

- 염도 센서를 Span 용액에 5~10분간 담가 놓는다.
- 원하는 High 값을 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를 Up key로 수정한다.
- LCD화면에 표시된 Cal. EC1 :+00023100 은 Analog Channel의 A/D Converter 값으로 변화가 적을 때 Save key를 누르면 High 값이 저장된다.

⑦ 저장 시간 간격 조정 (Memory Saving Time)

- Memory Saving Time Mode는 Memory Cad에 측정 Data가 설정된 시간에 의해 그 간격마다 저장할 수 있도록 설정해주는 Mode이다.

Memory Saving Time
10 min

- 이 Mode가 실행되기 위해서는 반드시 Memory Cad가 연결이 되어야 한다.
- Memory Saving Time을 설정하기 위해서는 Auto Change Mode에서 MODE KEY를 두 번 눌러 준 다음 Calibration Key를 5초간 눌러 Calibration Mode로 들어간 후 MODE를 계속 눌러주면 들어간다.
- Memory Saving Time 설정은 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를 Up key로 수정한다. 수정한 후 Save Key를 눌러 주면 설정이 된다.

⑧ Temp(온도) Calibration

- LOW 값 Calibration

Cal. Temp	:	+ 00002300
Low Value	:	005.0 °C

- 온도 센서를 원하는 Low 온도가 설정되어 있는 물에 넣는다.
- 원하는 Low 값을 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를 Up key로 수정한다.
- LCD 화면에 맨 위에 표시된 Cal. Temp:+00002300은 Analog Channel의 A/D Converter 값으로 이 값이 거의 움직임이 없을 때 Save key를 누르면 Low 값이 저장된다.

- HIGH 값 Calibration

Cal. Temp	:	+ 0006019
High Value	:	030.0 °C

- 온도 센서를 원하는 High 온도가 설정되어 있는 물에 넣는다.
 - 원하는 High 값을 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를 Up key로 수정한다.
- ㄷ) LCD 화면에 맨 위에 표시된 Cal. Temp : + 0006019은 Analog Channel의 A/D Converter 값으로 이 값이 거의 움직임이 없을 때 Save key를 누르면 High 값이 저장된다.

⑨ 날짜 및 시간조정 (Setting Time & Date)

-Setting Time & Date Mode는 기기 자체에 설치된 타이머를 설정해주는 Mode이다.

Setting Time & Date
2005/07/14 12:26 57s

-Setting Time & Date 수정은 Shift key로 자리를 이동한 후 수치를

Up key로 수정한다. 수정한 후 Save Key를 눌러주면 설정이 된다.

- 연도의 2005년 중 앞자리 두 자리는 수정이 되지 않도록 설정되어 있다.
- 설정이 완료되면 Mode Key를 계속 누르면 처음 상태인 Auto Change Mode로 복귀된다.

3. 외장메모리장치 사용법

Memory Cad는 현장에서 센서에 의해 측정된 자료를 저장하기 위한 저장장치이다. Memory Cad가 연결이 되어 있지 않으면 측정된 자료가 저장되지 않기 때문에 반드시 메모리 카드를 연결한다.

가. 외장메모리 장치 연결과 분리

- ① 외장메모리장치를 기기에 연결하려면 통신선을 먼저 연결하고 전원을 연결한다.
- ② 외장메모리장치를 시스템에서 분리하려면 전원을 먼저 분리한 다음 통신선을 분리한다.

나. 측정자료 다운로드 방법

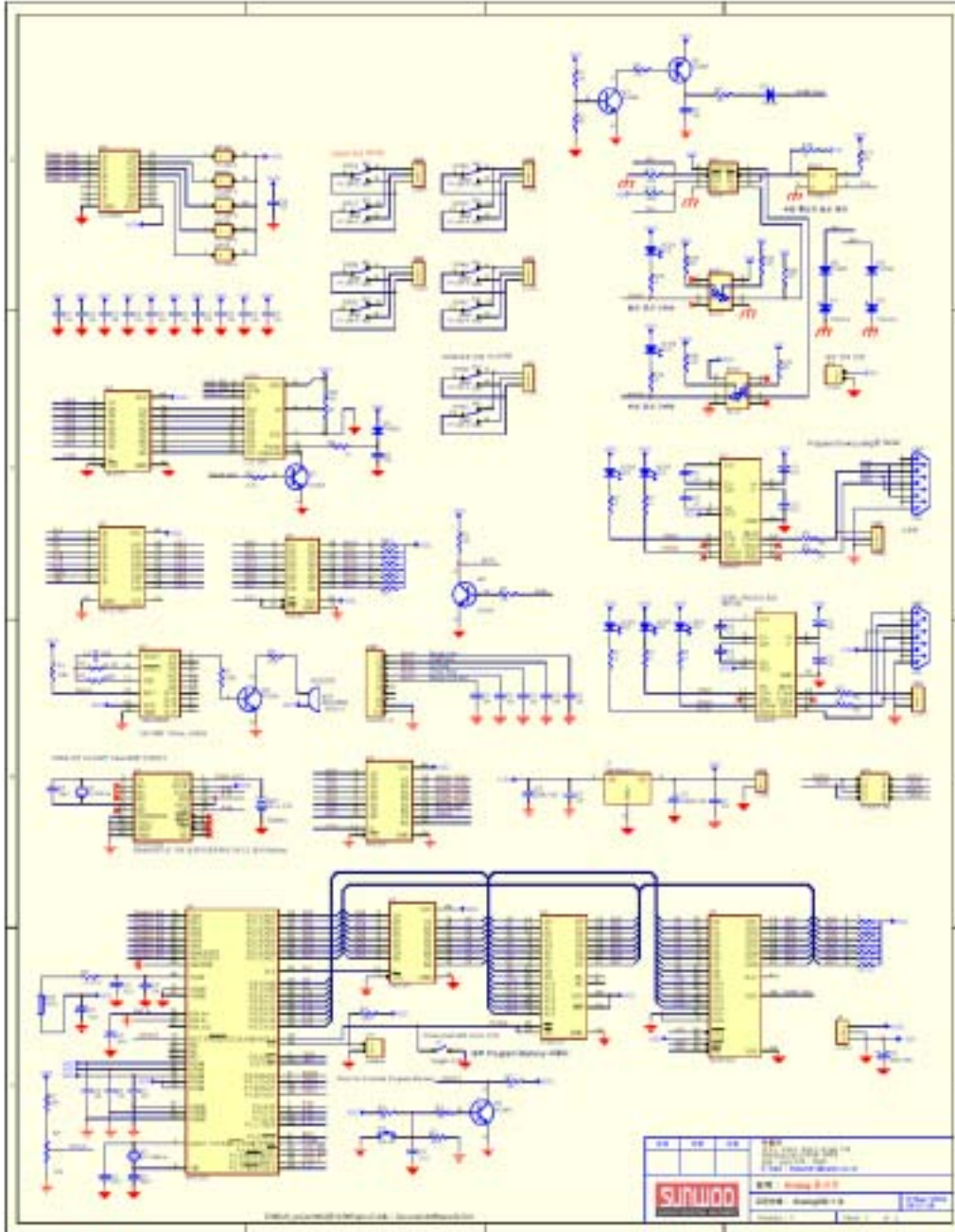
Memory Cad에 저장된 측정자료는 Comwinx 프로그램을 이용하여 다운로드한다.

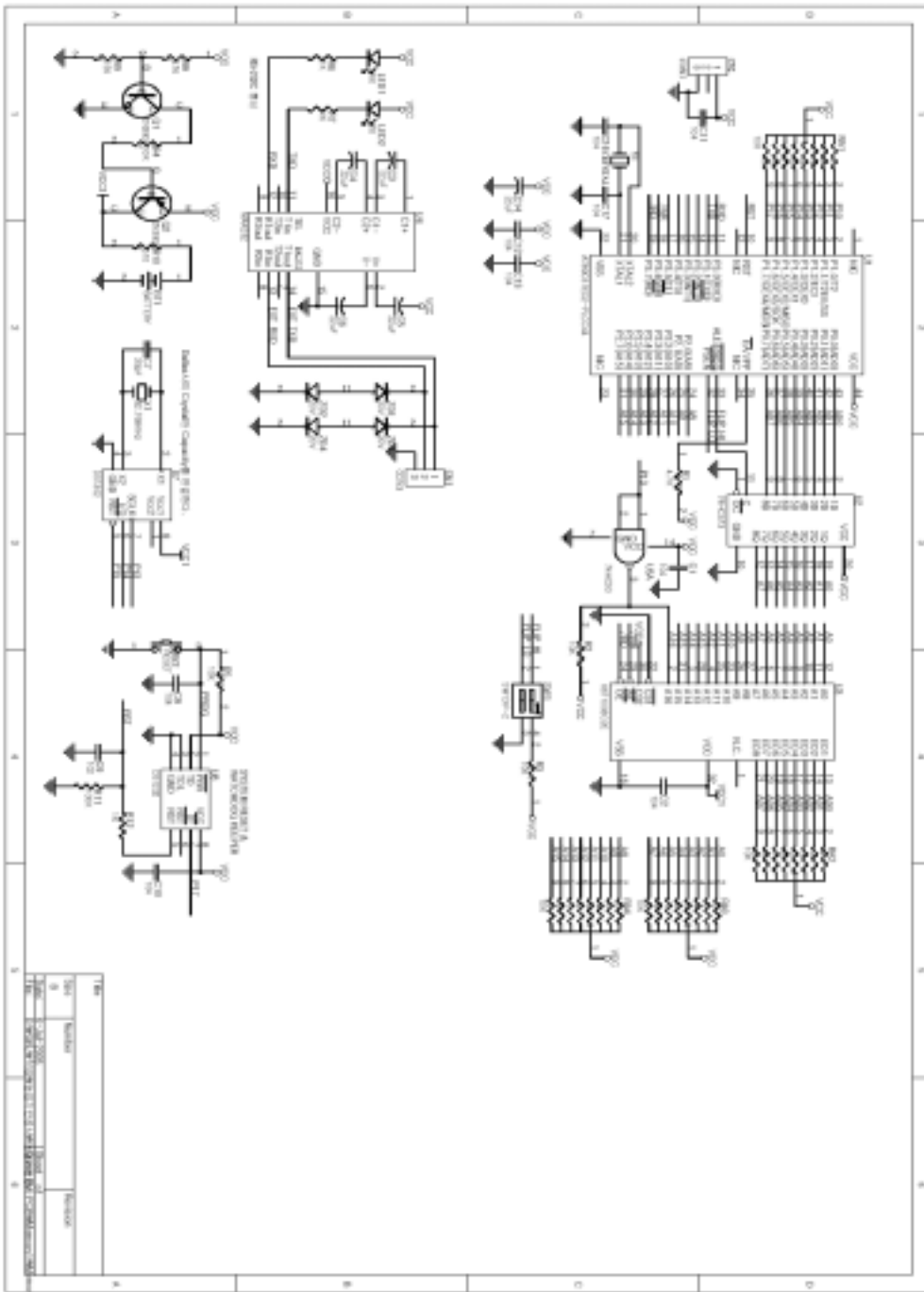
- ① 'Comwinx' 프로그램을 실행한다.
- ② 입력창에 연결된 포트자리(COM)를 선택한다.
- ③ 메모리장치에 저장된 자료 수를 확인한다.
 - 'Comwinx'프로그램 명령어 창에 '↵ PreSaveNo ↵' 명령어를 입력한다.
 - 'Comwinx' 프로그램의 '송신'을 클릭한다.
- ④ 저장된 횟수를 확인하였으면 메모리카드에 저장된 자료를 PC(노트북)에 다운로드 한다.
 - 'Comwinx'프로그램 명령어 창에 '↵ AtTheRequestOfDataS0001E0015 ↵' 명령어를 입력한다.

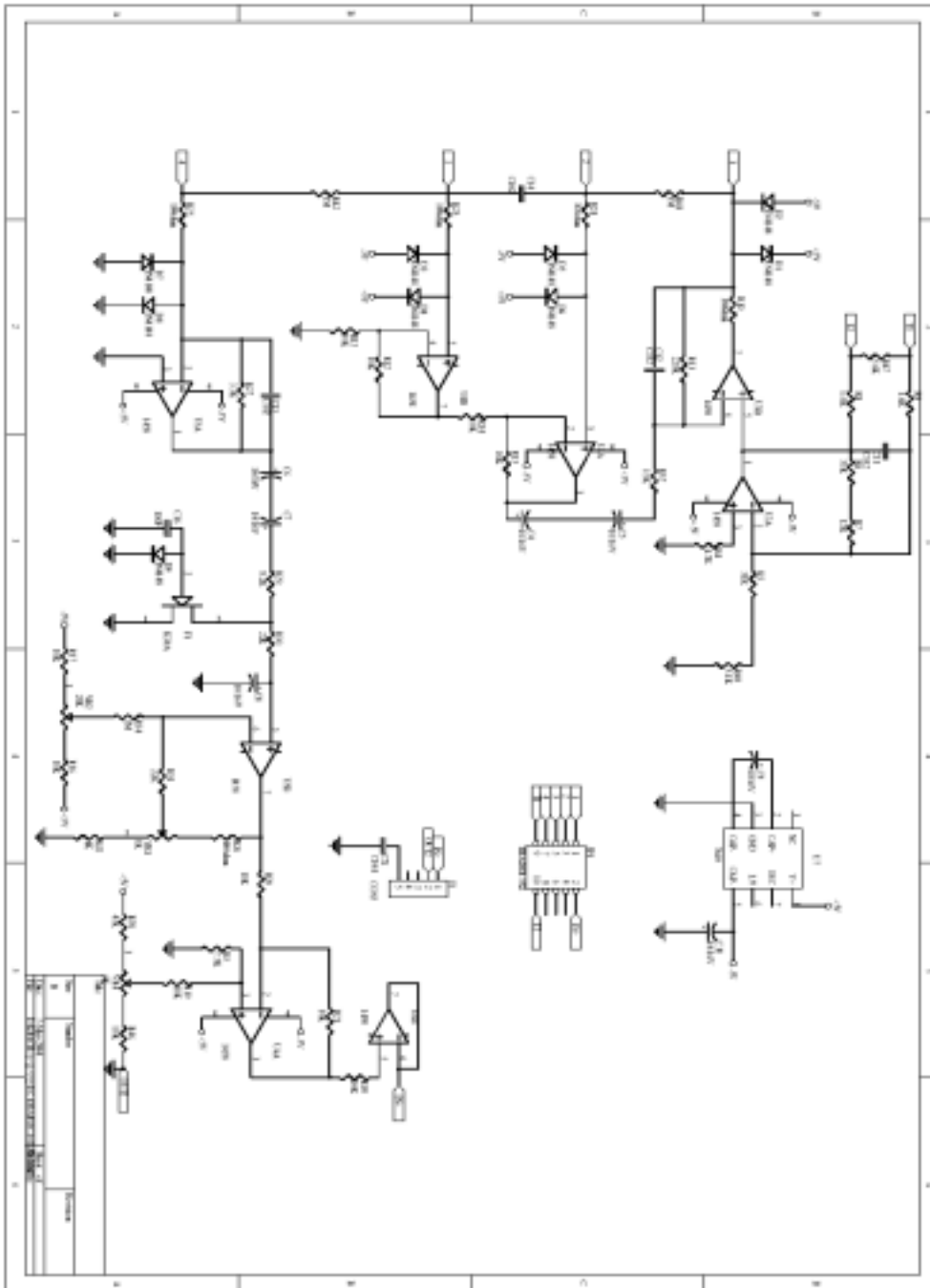
- 'Comwinx' 프로그램의 송신을 클릭한다.
- ⑤ 자료 다운로드를 완료 되었을 때 메모리카드를 포맷 시켜준다.
- 'Comwinx'프로그램 명령어 창에 '↵ CLSDATA ↵' 명령어를 입력한다.

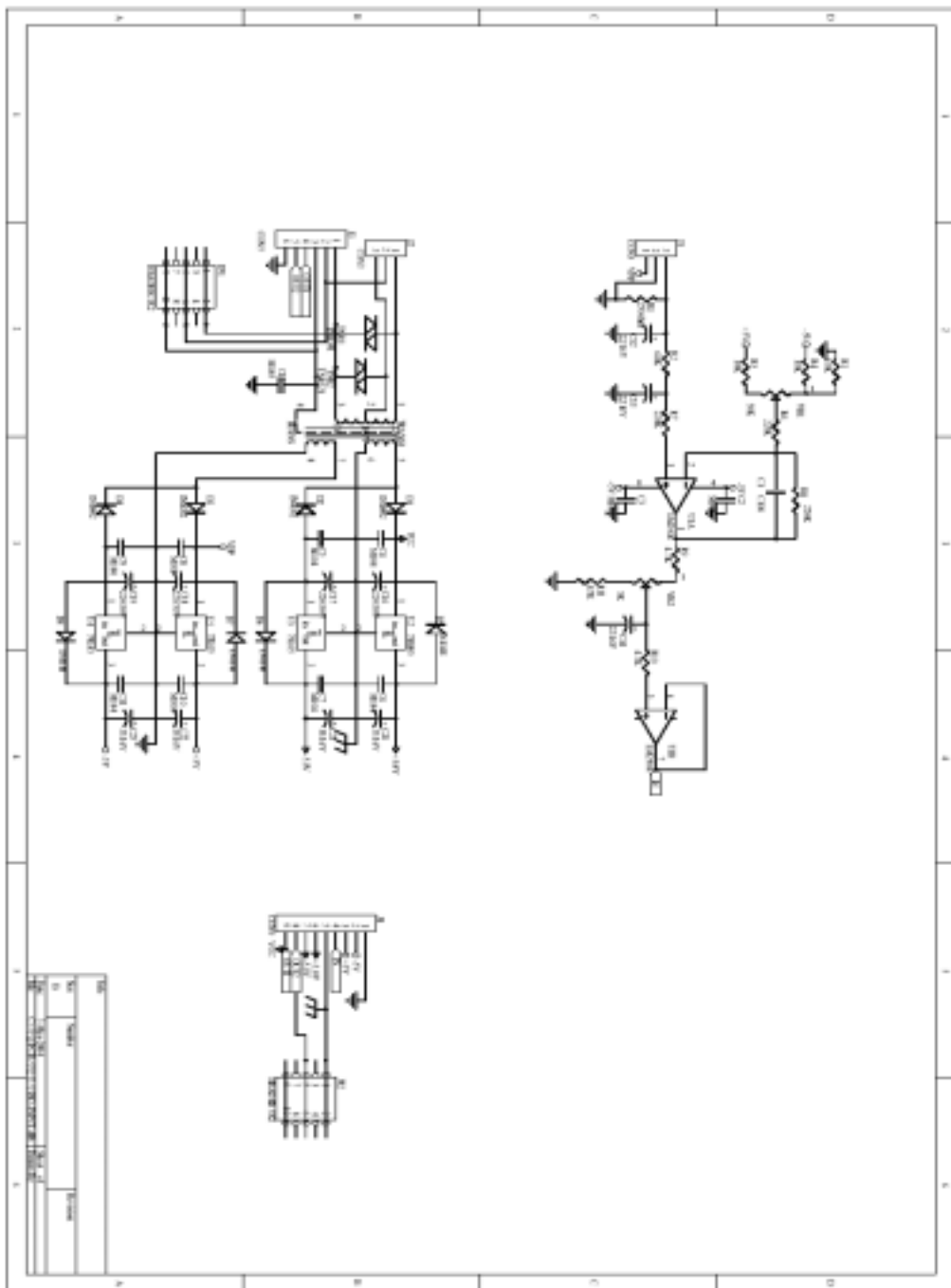
부록 2 도면

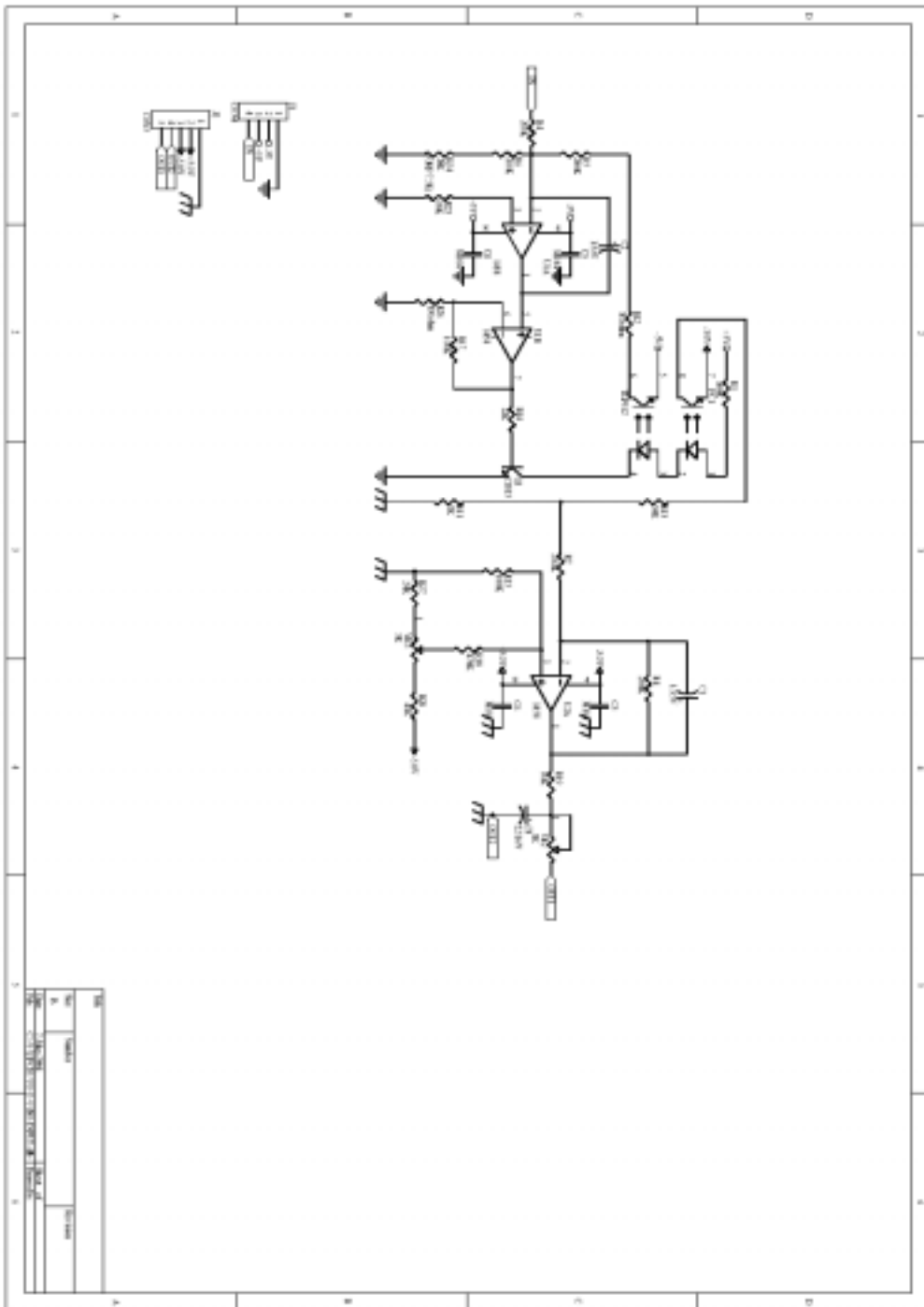
부록 3

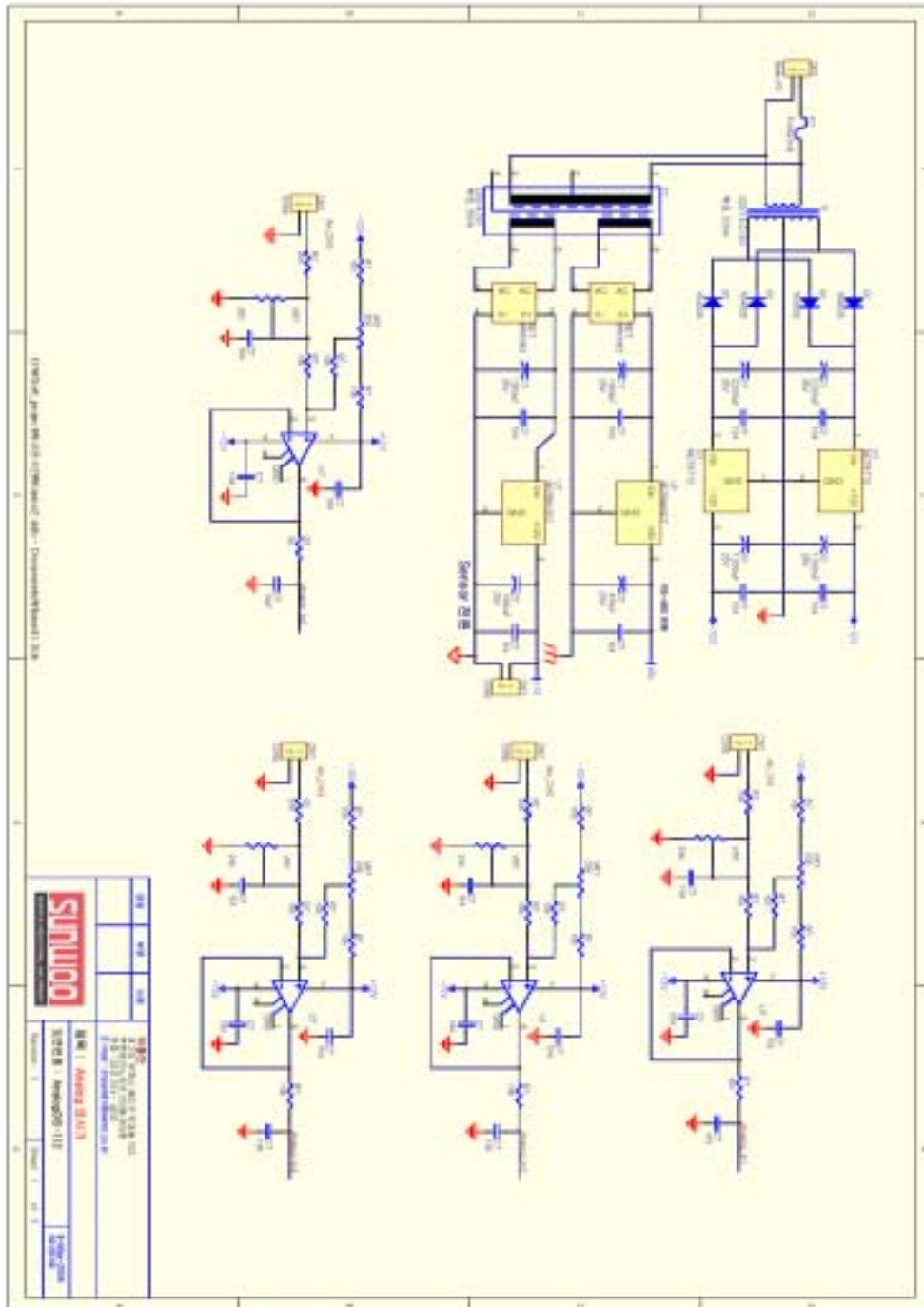












주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니됩니다.