

최 중
연구보고서

농어촌지역 수질 환경 개선을 위한 복합자동
연속측정 시스템 및 그의 응용기술 개발

Development of Multiple On-Line Measurement System
and Its Application to Water Quality Improvement in
Agromarine Region

연구기관
수원대학교

농림부



최 종 보 고 서

1999 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 농어촌지역 수질환경 개선을 위한 복합 자동 연속측정 시스템 및 그의 응용기술 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2000 . 10 . 31 .

주관연구기관 : 수원대학교

총괄연구책임자 : 김 태 진 (인)

주관연구기관장 : 이 중 욱

직 인

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농어촌지역 수질환경 개선을 위한 복합 자동 연속측정 시스템 및 그의 응용기술 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 . 10 . 31 .

주관연구기관명 : 수원대학교

총괄연구책임자 : 김 태 진

연 구 원 : 안 원 식

연 구 원 : 이 상 훈

연 구 원 : 홍 창 선

위탁연구기관명 : 부산대환경문제연구소

위탁연구책임자 : 오 광 중

위탁연구기관명 : 해양환경산업기술(주)

위탁연구책임자 : 나 기 환

요 약 문

I. 제 목

농어촌지역 수질환경 개선을 위한 복합 자동 연속측정 시스템 및 그의 응용기술 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

수질관리를 효율적으로 수행하기 위해서는 정보를 제공하는 수질측정 체계의 확립이 필요하다. 하천과 호수 등의 수질은 자연환경과 생활 환경에 따라 연속적으로 변화되고 있어 수질 상태 또는 그 특성을 보다 정확히 파악하기 위해서는 연속적으로 측정하는 자동수질측정기기의 설치가 필요하다.

우리나라에서는 모두 25개 지점의 취수장 또는 정수장에서 수질자동 측정망을 운영하고 있다. 그러나 농어촌지역의 수질을 자동 측정하는 곳은 전혀 없으며, 분기에 한 번 또는 월 1회 시료를 떠다가 실험실에서 분석하고 있는 실정이다. 농어촌지역의 수질에 대한 정확한 정보가 수질관리를 위해 얻어지는 기간은 최대 3개월 후가 되므로 현재의 체제에서는 실시간 데이터를 얻지 못하여 모든 수질관리대책의 시의성(timeliness)이 지연되고 있다.

폐수처리장의 설계를 위해서는 먼저 폐수의 특성에 대한 정확한 파악이 선행되어야 하며, 생물학적 처리를 효율적으로 수행하려면 미생물 성장에 관련된 온도, pH, 영양분, 질소, 인, 유기물, 산소원 등을 적절히 주입하고 수시로 monitoring 하면서 최적 미생물 성장 조건을 유지해 주어야 한다. 일반적으로 축산 폐수의 오염 정도는

BOD, COD, 총인, 총질소 등으로 표시되나, 양식장은 환경 안전법의 배출시설로 규제가 되어 있지 않아 특정 항목이 없다.

따라서 본 연구개발 과제와 같이 다성분을 동시에 측정하여 이를 제어 시스템에 연결함으로써 무인 자동화 조건에서의 운전 가능한 응용 시스템 기술의 개발이 필요하다. 이 같은 통신 감시/측정 체제를 유지하려면 무엇보다도 측정 또는 감시코져 하는 대상에 대하여 일정한 반응을 나타내는 센서와 그를 수치화하는 계측기 시스템의 개발이 필요하다. 특히, 선진국에서는 상업적 경쟁력을 갖춘 센서 제조의 기술, 막 제조 기술 및 정보통신 기술을 국내에 이전하기를 기피하고 있는 현실을 감안할 때 본 연구의 필요성은 더더욱 크다고 하겠다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발에서 수행한 연차별 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1996)	단거리용 고정형 단일 자동연속 측정 시스템의 개선 및 응용기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 온도, DO 및 pH 연속측정 시스템 개발 • 수분석 결과와의 비교 검증 • 농촌지역 수질오염 예측 모델링 • 연안해역의 굴양식장 수질환경 변화측정
2차년도 (1997)	단거리용 교환형 이중 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 전도도 자동측정 시스템 개발 • 축산폐수 처리시설 모델의 현장평가 • 농촌지역 생활하천 모델의 신뢰성 평가 • 데이터 무선전송 시스템 개발
3차년도 (1998)	중거리용 교환형 사중 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 축산 폐수용 COD 자동측정 시스템 개발 및 성능 평가 • 중거리용 사중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가 • 축산폐수 처리시설 수질 예측 모델의 범용성 평가 • 농촌지역 소하천 수질오염도 측정 및 희석유량 예측 모델 개발
4차년도 (1999)	농어촌지역 수질환경 개선용 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • COD 자동측정 시스템 및 BOD 상관관계 분석 • 염도측정 센서 시스템 개발 • 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가 • Package형 수질 데이터전송 시스템 개발 (센서의 장시간 사용시 감도의 지속성 검토)

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 단거리용 고정형 단일 자동연속 측정 시스템의 개선 및 응용기법 개발

온도, DO 및 pH를 연속적으로 측정하기 위한 시스템을 구성하여 10개의 성분을 동시에 입력 및 출력이 가능하도록 hardware 및 software를 개발하였다. 축산폐수 처리 공정에서 공정간 최적 pH를 제어하기 위한 실험실적 pH 제어 모델을 개발하였다. 축산폐수의 효과적 관리 예측 평가를 위하여 분헌고찰을 통한 가축분뇨의 제 특성을 조사한 후 축산폐수가 수질오염에 미치는 기존의 간단한 통계학적 모델 보다 예측정도가 높은 수질모델을 개발하였다. 대상 농촌 하천을 선정하고 그의 유역 현황을 조사한 후 대상하천의 수환경을 분석하였다. 농촌지역 수질오염 예측모델의 적정 개발 여부를 평가하여 오염물질 희석유량의 예측 등에 적용가능성을 제시하였다. 연안해역의 굴양식장 수질환경 변화를 측정하기 위해서 경남 거제시 사동면 창호리 인근의 굴양식장이 밀집한 해역을 연구해역으로 선정한 후 수온, 염분, 용존산소량, pH 등 수질조사항목을 포함한 해황조사를 4회 실시하였다. 조사내용을 연속측정 시스템의 연안 양식 현장 응용성 평가를 위한 기초자료로 활용하였다.

2. 단거리용 교환형 이중 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발

축산폐수의 수질측정을 위하여 실험실에서 자체적으로 전도도 센서 및 측정 시스템을 개발하였다. 개발한 전도도 측정 시스템은 수입품에 유사한 높은 선형성을 나타내었다.

전처리 공정을 거쳐서 나온 축산폐수의 탁도/SS/TDS의 상관관계를 수분석으로 비교하여 sample의 TDS 만을 on-line으로 측정함으로써 SS 및 탁도를 연속적으로 측정할

수 있음을 확인하였다.

축산폐수 처리의 관리와 경보를 위하여 데이터 무선 전송 시스템을 hardware 및 software 중심으로 개발하였다.

확장된 Street-Phelps 식으로써 단계적으로 상이한 모형을 구성하고, 축산폐수 처리시설을 통과한 농어촌 가정오수가 하천유입시 오염현황에 적용하여 이들 모형중 최적 형태를 도출 및 개발하였다. 모형의 대상 수질항목은 클로로필 a , 침전성 COD, 총질소(유기질소+무기질소), 총인(유기인+무기인), 용존산소, CBOD 등 8개이다. 이전의 모형에 침전물산소요구량(SOD)과 NBOD를 고려하여 용존산소를 해석하였고, 새로운 수질항목 CBOD를 첨가하여 확장하였다. 각 수질 항목은 이류, 확산, 내부 생산 및 손실량(source and sink)을 고려하여 농도를 모의하였다.

농어촌지역 하천 수질오염도 측정을 위하여 대상 하천으로 선정한 오산천 유역의 상류(신갈 저수지) 및 하류(오산교) 구간의(8.3km) 유량과 수질오염도를 각각 실측하여, 전년도에 제시된 수질모델의 적용 및 검증에 필요한 실측 자료의 정리 및 분석을 실시하였다. 개발된 Qual2e 모형의 검증을 1997년 4월의 수질측정 자료를 이용해서 실시하였는데, 계산치와 실측치가 잘 일치하는 결과를 나타내었고 이를 통해 적절한 예측모형이 구성되었음을 알 수 있었다.

농어촌지역의 수질환경 개선을 위한 응용기술 개발의 일환으로서 수온, 염분, pH, DO 등의 측정을 양식장 환경 관리에 적용시켜 측정 시스템의 현장평가 및 데이터의 전송시스템을 평가하였다. 수질환경 인자는 경남 통영시 사랑면 수우도 인근해역의 1정점과 대조구로 서하동군 신노량리 어류양식장에서의 1정점을 선정하여 현장과 실험실에서 측정하였다.

3. 중거리용 교환형 사중 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발

축산폐수의 COD 측정을 위한 전기화학적 접근방법을 연구하였다. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였다. COD는 크롬법으로 측정하여 BOD₅와의 상관관계를 검정함으로써 축산폐수 COD의 전기화학적 측정 가능성을 제시하였다.

중거리용 사중 복합연속측정 시스템 개발을 위하여 기존에 연구된 4가지 요소를 개별적으로 모니터링해오던 방식을 보완하여 복합적으로 4가지 요소를 동시에 측정 가능한 사중 복합자동 연속측정 시스템의 제작을 완료하여 시스템의 안정성을 평가하였다.

PC를 이용하여 연속측정에 필요한 프로그램을 개발하였다. 화면에서 데이터는 실시간으로 표시되도록 프로그램하였으며, 그래프는 지난 시간의 자료를 일목 요연하게 표시하여 현장의 상황을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 화면에는 현재의 시간 및 시스템이 작동한 후 흐른 시간도 함께 표시되도록 하였으며, 화면 상단의 tool bar로 프로그램 및 시스템의 동작을 조절할 수 있다.

축산폐수 처리시설 예측 모델 범용성 평가를 위하여 수리학적 특성을 고려하여 대상유역을 전체 22개의 구간으로 나누고 각 구간마다 제어 체적의 크기와 유량을 실측데이터를 적용하여 모의를 수행하였다. 모형은 동역학적인 변화를 볼 수 있으므로 1분 간격으로 모의를 수행하고, 모니터링을 약 2시간 간격으로 실시하였으므로 2시간 간격으로 모의 결과를 볼 수 있도록 하였다.

QUAL2E의 반응계수 범위를 참고하여 몬테카를로 시뮬레이션으로 수질반응 계수들을 무작위 발생시켜 모의를 수행하고, 보정된 반응계수로 실측자료를 검증한 결과 대체로 보정결과보다 모의 관측 농도가 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 대상유역인 용덕천의 경우 지류의 유입이 10여 곳이며, 감지되지 않거나 지도상에 나타나지 않은 농업용수로의 취수와 비점오염원의 유입이 있어 모의의 불확실성이 증가하기 때문인

것으로 판단된다. 연구에서 제시된 모델의 농촌하천 적용으로 농촌지역으로부터의 각종 비점 오염물의 발생량을 예측가능하며, 오염물질 희석유량의 산정은 돌발적으로 발생할 수 있는 하천의 수질악화에 대비할 수 있는 대책 수립의 근거를 제시할 수 있었다. 개발 모델은 농촌지역의 자동연속측정 시스템의 설치시 실시간 수질예경보 시스템의 구축에 이용될 수 있을 것으로 기대되었다.

4. 농어촌지역 수질환경 개선용 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가

다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였으며, COD는 크롬법으로 측정하여 상관관계를 분석하였다. 염도측정 센서 시스템은 전극물질로 Mn(III)TPPCI을, 지지체로 polyvinylchloride를, 가스제로 DOA를 이용하여 이온선택성막을 이용하여 구축하여 감응도와 방해이온에 대한 간섭효과를 평가한 결과 시료에 대한 우수한 감응성을 보였다.

실험실 규모에서의 장치를 구성하여 DO, 온도, pH, 전도도 및 탁도를 연속 측정하였으며, BOD는 반 연속적으로 측정하였으며, SS와 COD는 각각 탁도와 BOD와의 상관관계식을 이용하여 구하여 연속측정 및 제어할 수 있는 가능성을 평가하였다.

수질의 관리와 경보를 위하여 데이터 Package형 무선 전송 시스템을 hardware 및 software 중심으로 개발하였다. 수질의 작업 변수들은 센서와 계측기를 통하여 측정 한 후, Solus를 통하여 데이터 전송하도록 하였다. 수집된 수질 관리 정보는 PC의 화면에 그래프로 출력됨과 동시에 경보값을 상용의 PCS 및 무선표출시스템을 이용하여 관리자의 호출기에 text로 출력되도록 하였다.

SUMMARY

I. Title

Development of Multiple On-Line Measurement System and Its Application to Water Quality Improvement in Agromarine Region

II. Objective and Importance of Research

The water quality shows continuous variations along with ecological changes or human activities. Thus, a management system based on information transfer is necessary to control water quality effectively. Recently, 25 public sites were equipped with an automatic water quality measurement system. However, such a system has never been used at agricultural or fishery region while water quality was measured at an interval of 1~ 4 months. Time lags in such measurement system are the main problems for effective water quality control.

To design a water treatment unit, characteristics of waste water has to be understood correctly. A biological water treatment is possible under accurate control and monitoring of various parameters such as oxygen concentration, organic or inorganic substrate, pH and temperature.

Development of a multiple on-line measurement system is required for an automatic water quality control unit. To maintain such control system, sensors and meters with prompt response and digitalization are necessary.

Thus, the present research has a significant meaning for enhancement of

domestic environmental industry.

III. Contents and Scope of Research

The contents and scope of the present research were summarized as below :

Division	objectives	scope and contents
1st (1996)	Development of fixed type automatic on-line measurement system for short range	<ul style="list-style-type: none"> • Development of on-line measurement system for temperature, DO, pH • Comparison with laboratorical measurement • Agricultural region water quality estimation and modeling • Measurement of water quality variations at coastal oyster farm
2nd (1997)	Development of exchangeable type two-fold automatic on-line measurement system and application technology for short-term range	<ul style="list-style-type: none"> • Development of automatic conductivity measurement system • Field test at live-stock waste water treatment unit • Feasibility evaluation of model for river that located at agricultural region • Development of wireless data transfer system
3rd (1998)	Development of exchangeable type fourfold automatic on-line measurement system and application technology for midterm range	<ul style="list-style-type: none"> • Development of live-stock COD automatic measurement system and performance estimation • Development of four-fold automatic on-line measurement system and feasibility estimation for midterm range • Feasibility evaluation of water quality prediction model • Water quality measurement of small river at agricultural region and development of model for dilution flow rate prediction
4th (1999)	Development of eight-fold automatic on-line measurement system and evaluation of feasibility	<ul style="list-style-type: none"> • Development of automatic COD measurement system and relevance test to BOD • Development of salinity measurement sensor system • Development of eight-fold automatic on-line measurement system and fidelity evaluation • Package type data transmission system (Sensitivity test for long term use)

IV. Results of Research and Recommendation for Their Applications

1. Improvement of fixed type mono-fold automatic on-line measurement system and development of application technique.

Hardware and software with 10 kinds of parameters were developed for successful application to continuous measurement of temperature, DO, and pH. A model for optimal pH control was developed at laboratory scale live-stock waste water treatment. This new water quality model developed through literature survey are more useful than one based on simple statistics. After prior exploration of basin, a river located at agricultural region was selected for water quality analysis. From this result, a water quality prediction model was proposed and applied to prediction of flow rate that needed to dilute polluter.

To estimate water quality variations of coastal oyster farm, field measurement was performed four times at coast located near Kyungnam province. Basic data such as temperature, salinity, DO, pH were collected in this area for evaluation of on-line measurement system.

2. Development of exchangeable type dual-fold automatic measurement system and application technology

To analysis live-stock waste water quality, a conductivity sensor and

measurement system were developed, which showed better linearity than foreign-made. For pre-treated live-stock waste water, relationship between turbidity, SS and TDS showed that on-line measurements of SS and turbidity were possible from relationship with TDS value. A wireless data transmission system and its software were developed to manage and alarm live-stock waste water.

The model based on Street-Phelps equation was developed step by step and applied to a river pollution induced from waste water influx. The model were composed of various 8 parameters such as chlorophyll a, sedimental COD, total nitrogen, total phosphorous, dissolved oxygen, CBOD. Dissolved oxygen was analyzed by SOD and NBOD. And new parameter CBOD was employed additionally. Theoretical data from developed model were compared with actual measurement from Ohsan creek, which showed good agreement.

For development of application technology, field evaluation of on-line measurement system was performed at fish farm while data transmission system was tested.

3. Development of exchangeable four-fold automatic on-line measurement system for midterm range and application technology

An electrochemical technique was introduced for COD measurement of live-stock waste water. The variations of dissolved oxygen concentration with dilution ratio was measured by electrochemical oxygen sensor. BOD was measured with Winkler azide method. COD was measured with chrome method. The possibility of

electrochemical measurement of COD was proposed from relationships between these values.

Four-fold automatic measurement system was constructed from previously developed monitoring system which measure four parameters individually. Personal computer based software was programmed for on-line measurement and efficient data management.

To evaluate model for live-stock waste water treatment unit, the subject basin was divided into 22 parts. For a simulation, actual data was allocated to each part as a form of control volume size and flow rate. Simulated data were calculated from dynamic analysis of model for every two hours, which showed good agreement. As a theoretical background, this results can be used for management of accidental pollution or real time on-line measurement system.

4. Development of eight-fold automatic on-line measurement system and evaluation of feasibility

Salinity sensor developed from ion selective membrane composed of support material, ionophore and plasticizer showed excellent sensitivity and specificity to test samples.

The parameters such as DO, temperature, pH, conductivity, SS, turbidity, BOD, COD were measured by computer based system. Measured parameters were compared and used to control tank optimal condition. This system was constructed and evaluated as a laboratory scale, but the possibility to measure eight

parameters was also evaluated.

Hardware and software that have capability of wireless data transmission were developed. At this system, water quality data was measured by sensor system while collected data was transmitted by Solus. The data were stored in hard drive of personal computer and managed or displayed by graphical user interface.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	21
Section 1. Objective and scope	21
Section 2. Significance of research	23
Section 3. Status of related technology	33
Section 4. Vision	42
Section 5. Analysis of technology	45
Chapter 2. Development of fixed type mono-fold automatic on-line measurement system for short range	46
Section 1. Method	46
Section 2. Development of on-line monitoring system for temperature, DO, pH	46
Section 3. Comparison with laboratorial analysis	48
Section 4. Modeling of water pollution at agricultural region ...	51
Section 5. Measurement of water quality variation at coastal oyster farm	60
Section 6. Conclusion	63
Chapter 3. Development of fixed type dual-fold automatic on-line measure- -ment system and application technology for short range ..	64

Section 1. Development of conductivity sensor and evaluation	64
Section 2. Comparative research of turbidity/SS and relational analysis	70
Section 3. Development of wireless data transmission system	75
Section 4. Field evaluation of model at live-stock waste water treatment unit	78
Section 5. Feasibility evaluation of water quality prediction model	105
Section 6. Field evaluation of measurement system at coastal	111
Section 7. Conclusion	126
Chapter 4. Development of exchangeable type four-fold automatic on-line measurement system and application technology for midterm range	128
Section 1. Automatic COD measurement system for live-stock waste water	128
Section 2. Evaluation of COD system	133
Section 3. Development of four-fold automatic on-line measurement system for midterm range	135
Section 4. Development application software	140
Section 5. Measurement of river water pollution and model for dilution flow rate	142
Section 6. Evaluation of model	147
Section 7. Conclusion	169

Chapter 5. Development of eight-fold automatic on-line measurement system and feasibility evaluation for agricultural region	171
Section 1. Relationship between COD and BOD systems	171
Section 2. Development of salinity system	179
Section 3. Development of eight-fold automatic on-line measurement system and feasibility evaluation	186
Section 4. Development of package type water quality data transmission system	196
Section 5. Conclusion	198
Chapter 6. Reference	199

목 차

제 1 장 서 론	21
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	21
제 2 절 연구개발의 중요성	23
제 3 절 국내외 관련기술의 현황과 문제점	33
제 4 절 앞으로 전망	42
제 5 절 기술도입의 타당성	45
제 2 장 단거리용 고정형 단일 자동 연속 측정 시스템의 개선 및 응용기법 개발	46
제 1 절 연구수행 방법	46
제 2 절 온도, DO 및 pH 연속 측정시스템 개발	46
제 3 절 수분석 결과와의 비교 검증	48
제 4 절 농촌지역 수질오염 예측 모델링	51
제 5 절 연안해역의 굴양식장 수질환경 변화 측정	60
제 6 절 결론	63
제 3 장 단거리용 교환형 이중 연속 측정 시스템의 개선 및 응용기술 개발	64
제 1 절 전도도 센서 제작 및 성능평가	64
제 2 절 탁도/SS 수분석 비교 및 상관관계 개발	70
제 3 절 데이터 무선전송 시스템 개발	75
제 4 절 축산폐수 처리시설 모델의 현장평가	78

제 5 절	농촌지역 하천 수질오염 예측모델의 신뢰성 평가	105
제 6 절	축산폐수 처리시설 모델의 현장평가	111
제 7 절	결론	126
제 4 장	증거리용 교환형 사중 연속 측정 시스템의 개선 및 응용기술	
	개발	128
제 1 절	축산폐수용 COD 자동 측정 시스템 개발	128
제 2 절	COD 계측시스템의 성능 평가	133
제 3 절	증거리용 사중 복합 연속 측정시스템 개발	135
제 4 절	연속측정 시스템 프로그램 개발	140
제 5 절	농촌지역 하천수질오염도 측정 및 희석유량 예측모델 개발	142
제 6 절	축산폐수 처리시설 수질 예측 모델의 범용성 평가	147
제 7 절	결론	169
제 5 장	농어촌 지역 수질환경 개선용 팔중 복합자동 연속 측정 시스템	
	개발 및 안정성 평가	171
제 1 절	COD 자동 측정 시스템 및 BOD 상관관계분석	171
제 2 절	염도 측정 센서시스템 개발	179
제 3 절	팔중 복합자동 연속 측정 시스템 개발 및 안정성 평가	186
제 4 절	Package형 수질 데이터 전송 시스템 개발	196
제 5 절	결론	198
제 6 장	참고문헌	199

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

제 1 항 연구개발의 목적

본 연구의 최종 목표는,

첫째, 농어촌지역의 수질환경을 개선하기 위하여, 값싸고 사용이 편리한 복합자동, 연속측정(온도, DO, pH, 전도도, COD, 염도, Na, 요소질소) 시스템을 세계 최초로 개발하고,

둘째, 개발한 시스템을 기존의 수분석 방법과 실험적으로 비교 평가한 후, 그를 이용하여 농촌지역의 하천 수질오염도를 연속적으로 측정하고, 나아가 농촌지역의 생활하수 및 축산폐수 처리시설에 대한 수질환경의 예측 모델링에 응용함으로써, 농촌지역 수질환경의 개선을 통한 농업의 경쟁력을 증대시키고,

셋째, 첨단 정보 통신체제를 활용한 원격모니터링용 마이크로 프로세스 시스템을 개발하여, 하구 담수호 및 연안해역의 수질환경을 자동 연속적으로 측정함으로써, 해역오염 방지를 통한 수산양식업의 생산성을 향상시킴에 있다.

제 2 항 연구개발의 범위

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1996)	단거리용 고정형 단일 자동 연속 측정 시스템의 개선 및 응용기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 온도, DO 및 pH 연속측정 시스템 개발 • 수분석 결과와의 비교 검정 • 농촌지역 수질오염 예측 모델링 • 연안해역의 굴양식장 수질환경 변화측정
2차년도 (1997)	단거리용 교환형 이중 복합 자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 전도도 자동측정 시스템 개발 • 축산폐수 처리시설 모델의 현장평가 • 농촌지역 생활하천 모델의 신뢰성 평가 • 데이터 무선전송 시스템 개발
3차년도 (1998)	중거리용 교환형 사중 복합 자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 축산 폐수용 COD 자동측정 시스템 개발 및 성능 평가 • 중거리용 사중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가 • 축산폐수 처리시설 수질 예측 모델의 범용성 평가 • 농촌지역 소하천 수질오염도 측정 및 희석유량 예측 모델 개발
4차년도 (1999)	농어촌지역 수질환경 개선용 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • COD 자동측정 시스템 및 BOD 상관관계 분석 • 염도측정 센서 시스템 개발 • 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가 • Package형 수질 데이터전송 시스템 개발(센서의 장시간 사용시 감도의 지속성 검토)

제 2 절 연구개발의 중요성

제 1 항 기술적 측면

수자원의 보전은 적절한 수질관리로서 이룩될 수 있으며 수질관리를 효율적으로 수행하기 위해서는 결정적인 정보를 제공하는 수질측정 체계의 확립이 필요하다. 수질 측정 방법 중 자동 수질측정 방법은 일관성 있고 신속하며 연속적인 측정이 가능하여 수자원의 수질관리 효과를 높일 수 있기 때문이다. 하천과 호수 등의 수질은 자연환경과 생활 환경에 따라 연속적으로 변화되고 있어 수질 상태 또는 그 특성을 보다 정확히 파악하기 위해서는 가능한 한 연속적으로 측정하는 것이 바람직하다. 그러므로 수질측정결과의 일관성을 가지기 위해서는 고정된 위치에 인위적 측정오차를 줄일 수 있는 자동수질측정기기의 설치가 필요하다.

우리나라에서 최초로 자동수질측정기를 설치한 곳은 1974년에 노량진과 뚝도 수원지이며 그 후 전국의 중요 상수 수원지에 자동측정기가 보급되었다. 기본적인 측정 항목으로는 pH, 수온, 탁도, 전도율, TOC 등으로 연속적인 측정이 이루어졌다. 그러나 자동측정기기의 여러 가지 운영관리의 문제점으로 인하여 측정자료의 신뢰성이 떨어져, 한때 수질자동측정기의 설치를 동한시하는 경향도 있었다. 그러나 간헐적으로 나타나는 돌발적인 수역의 수질오염사건은 정확하고 신속하며 연속하여 수질을 판단할 수 있는 자동측정의 필요성을 새롭게 인식하는 계기를 주었다. 최근에는 24시간 상시 감시 기능 및 무인화 운영이 가능한 수질자동측정기가 공업 및 산업 선진국에서 점차 실용화되어 국내에도 전량 수입되어 많이 활용되고 있는 실정이다.

우리나라에서는 모두 25개 지점의 취수장 또는 정수장에서 수질자동측정망을 운영하고 있다. 그러나 농어촌지역의 수질을 자동측정하는 곳은 전혀 없으며, 분기에 한번 또는 월 1회 시료를 떠다가 실험실에서 분석하고 있는 실정이다. 농어촌지역의 수질에 대한 정확한 정보가 수질관리를 위해 얻어지는 기간은 최대 3개월 후가 되므로 현재의 체제에서는 실시간데이터를 얻지 못하여 모든 수질관리대책의 시의성

(timeliness)이 지연되고 있다.

수산 양식에서 현재까지의 수질관리(특히 용존산소)는 화학적 측정법을 이용한 측정이나 휴대용 용존산소 측정기를 이용하여 현장에서 측정 자료를 구득하고 이를 바탕으로 한 경험적 방법에 따른 수질 관리를 하는 단계이다. 그러나 이 방법은 소규모의 양식에서 인력이 풍부한 경우에는 가능하나 대규모의 축제식 양식장이나 해상의 가두리 양식장의 경우와 같이 면적이 크거나 양식지가 먼거리에 있는 경우는 막대한 인력과 전력의 낭비를 초래하게 된다. 농업에서 노지재배-비닐하우스재배-유리온실 재배 등으로 기술집약화 자동화가 생존을 위한 전제 조건인 경우와 마찬가지로 수산 양식에서도 양식 환경의 자동화는 WTO에 따른 시장 개방을 극복하는 경쟁력 강화를 위한 전제 조건이 이미 되어 있다. 따라서 양식지의 수질을 자동적으로 구득하고 필요한 조치를 자동적으로 작동하게 함으로써 무인 양식이 가능하게 되고 따라서 경쟁력도 제고된다.

우리가 바라는 “돌아오는 농어촌 건설”은 농어가의 소득 증대를 통해서만이 가능하며 이를 위해서는 고소득의 농수산물 생산과 이의 생산을 위한 자본 및 기술 집약적 구조가 선결 조건이다. 농어촌의 인구는 고령화가 급속하게 진행되고 있으며 인력의 부족은 심각한 수준이다.

한편 폐수처리의 설계를 위해서는 먼저 폐수의 특성에 대한 정확한 파악이 선행되어야 하며, 이를 위해서는 수질 지표항목의 정확한 이해와 폐수 배출원에 대한 문헌조사, 현장조사를 실시하여야 한다. 현장 조사는 생산시설에 대한 원료 및 부원료의 사용량과 생산 과정 등에서 발생하는 폐수량 추정, 발생하는 폐수에 대한 수질 분석이 이루어져야 하나, 이와 같은 각종 조사를 단시간 내에 모두 실시하는 데는 많은 어려움이 있다. 소규모 축산 폐수처리 시설은 고액분리, 액비화, 퇴비화, 토양처리, 생물학적 처리기술 등으로 구분된다. 본 연구과제와 관련하여 생물학적 처리를 효율적으로 수행하려면 미생물 성장에 관련된 온도, pH, 영양분, 질소, 인, 유기물, 산소원 등을 적절히 주입하고 수시로 monitoring 하면서 최적 미생물 성장 조건

을 유지해 주어야 한다. 일반적으로 축산 폐수의 오염 정도는 BOD, COD, 총인, 총질소 등으로 표시되나, 양식장은 환경 안전법의 배출시설로 규제가 되어있지 않아 특정 항목이 없다. 그러나 보편적으로 축산 폐수나 양식장의 수질 분석에 사용되는 항목들을 모두 열거하면 표 1-1 과 같다.

그러나 이같은 항목들의 올바른 측정은 전문적 지식과 기계적 숙련을 요구하므로 일반 농어민이 수질오염의 정도를 쉽게 판별할 수 있는 측정 시스템의 개발이 요구된다. 또한 표 1-1 의 방법들은 실시간으로 측정할 수 없고 일정한 기간 (수 분에서 수 일)이 지나야 그 결과를 알게 되어 비효율적인 농수산 생산성을 야기하게 된다. 따라서 본 연구개발 과제와 같이 다성분을 동시에 측정하여 이를 제어 시스템에 연결함으로써 무인 자동화 조건에서의 운전 가능한 응용 시스템 기술의 개발이 필요하다.

표 1-1. 수질분석 항목 및 분석방법

분 석 항 목	분 석 방 법
온도 (°C)	Thermister 또는 DO Meter
pH	pH Meter
DO	Azide Modification Method 또는 DO Meter
BOD	Azide Modification Method 또는 DO Meter
Conductivity	Conductivity Meter
COD _{Cr}	Closed Reflux, Colorimetric Method
SS	Total Suspended Solid Dried at 103-105°C
NH ₃ -N	Nesslerization Method
Cl ⁻	Ion Meter

수질 종합관리분야에서 개발하여야 할 핵심과제는 복잡 다양한 환경관련 자료로부터 수질 보전에 유용한 환경정보를 추출하는 것이다. 그러나 이들 기술들은 유지관리 인건비 및 전력비를 절감시키기 위하여 처리시설의 자동화와 expert system을 구축하여야 한다. 따라서 오염 발생가능 지역에 오염측정 장치를 설치하고 음성 정보 시스템, 컴퓨터, 데이터 통신을 이용한 24시간 감시체제를 유지하며 오염이 발생할 초기에 모니터링하여 초기에 오염원을 제거함으로써 더이상 확산을 막을 수 있다. 본 과제는 초기 5년 간은 사용자 위주로 개발을 시도하다가, 연구 후기 3년 간은 관리자 위주로 개발 예정이다. 즉 야간이나 감시자의 눈을 피하여 초기에 오염원을 방출하면 즉시 적발된다는 인식을 주지시켜 오염원의 원천적으로 봉쇄하는 효과를 거두어 수질관리 시스템의 선진화도 이룩 가능하다. 한편, 이같은 통신 감시/측정 체제를 유지하려면 무엇보다도 측정 또는 감시코져 하는 대상에 대하여 일정한 반응을 나타내는 센서와 그를 수치화하는 계측기 시스템의 개발이 필요하다. 특히, 선진국에서는 상업적 경쟁력을 갖춘 센서 제조의 기술, 막제조 기술 및 정보통신 기술을 국내에 이전하기를 기피하고 있는 현실을 감안할 때 본 연구의 필요성은 더더욱 크다고 하겠다.

제 2 항 경제·산업적 측면

최근의 마이크로 일렉트로닉스, 신소재, 생물공학 등의 첨단기술 진보에 따라 센서가 여러방면으로 응용되고 있다. 그러나 농업 분야에서 아직은 이렇다할 만큼의 고도 센서는 사용되지 않고 있다. 그 이유는 다음과 같다.

① 농업은 종래 천연 자연 조건에 크게 좌우된 생산 방식으로 정밀한 환경 제어의 필요가 없었다. ② 계측해야 할 대상으로서의 농업 환경이나 작물의 성장 상태는 시간적으로 천천히 변화하는 것이고 또 공간적으로 거대한 양이므로 비교적 쉽게 측정

된다. ③ 농업 환경이나 작물의 성장 상태 지표는 종래 비교적 평범한 물리량이 사용되어 기존 공업용 센서나 물리 계측 장치가 그대로 적용된다. 이러한 이유에서 지금까지 특별한 농업용 센서가 개발된 예는 적었고, 만약 있다고 해도 특수한 농업환경 측정용이 없었다. 그러나 최근에는 다소 양상이 달라지고 있다. 농어촌 지역의 수질환경을 개선하기 위하여 환경 조건을 적절하게 제어에 따른 환경 요인의 센서가 필요해진다. 종합 측정시스템을 사용하면 환경조건의 계측 조절은 물론이고 복합환경 조절 또는 환경 최적화가 가능하다. 이에는 환경을 적절하게 제어하기 위한 정보 시스템이 불가결하다.

한편, 축산 분뇨의 관리현황을 조사한 자료에 의하면 대부분의 축산 농가가 간이 정화조를 설치하고 있으나 그 처리 효율이 저조하고 정기적인 청소를 실시하지 않아서 고농도의 축산 폐수가 그대로 방류되고 있으며, 10 두 이하 규모의 농가에서는 발생하는 분뇨량이 소량인 관계로 간이 정화조를 사용하지 않고 그대로 방류하거나 액비로 사용하는 경우가 많았다. 또한 대부분의 축산 농가에서 분의 처리는 축사 근처의 일정 지역에 손수레를 이용하여 야적 해놓아 우천시 그대로 유출되고 있었으며 오줌 및 청소수는 저류조를 거쳐 처리되지 않은 상태로 직접 하천에 방류하여 수질 오염에 심각한 영향을 주고 있었다. 이에 무방비 상태로 배출되고 있는 축산 폐수를 효율적으로 처리할 수 있는 처리 시스템개발이 절실한 상황이다. 그러나 방류를 규제하기 전에 앞서서 축산 폐수처리 시설을 구비하는데 1억 6천만원, 정수장이나 수원지에 쓰이는 자동측정 장치는 2억 5천만원, 심지어 BOD Meter 구입에 기천만원 하는 판에, 무작정 환경규제 차원 보다도 축산 농가의 부득이한 어려움을 본 농수산 특정 연구과제를 통하여 점진적으로 해결해야 할 것이다. 심지어는 환경 당국에서 실사가 나올 때 기존의 축산 폐수에 물을 타서 희석하여 규정치 이내에 들어가도록 하는 편법을 축산 농가의 일부가 행하고 있는 형편이다. 따라서 일차적으로 자신의 축사에서 나온 폐수가 최소한 어느 정도로 오염되었는지를 축산 농가가 쉽고 값싼 방법으로 측정할 필요가 있다. 본 과제는 그같은 문제점을 다양한 방법으로 현장 중

심으로 해결할 예정이다.

본 연구에서는 단순히 monitoring에 그치지 않고 궁극적으로는 무인 자동화가 가능토록 할 것이다. 즉, 농어촌지역의 폐수처리 공정이나 연안양식 시설에서의 연구를 통하여 개발할 복합자동 연속측정 시스템을 이용함으로써 칩적형 일회용 pH, 탁도, BOD, COD, 온도, 전도도, 유량, 염도, Na, 요소질소 등이 연속적으로 측정되게 함으로써 관련 공정이 최적화될 것이다. 따라서 작동자의 숙련이나 현장 대기 등이 필요없고, 본 연구를 통하여 개발할 그림 1-1과 같은 통신 시스템을 이용하여 원격 조정 또는 응급처치가 가능하게 될 것이다. 따라서 본 연구 수행의 경제·산업적 필요성은 크다고 하겠다.

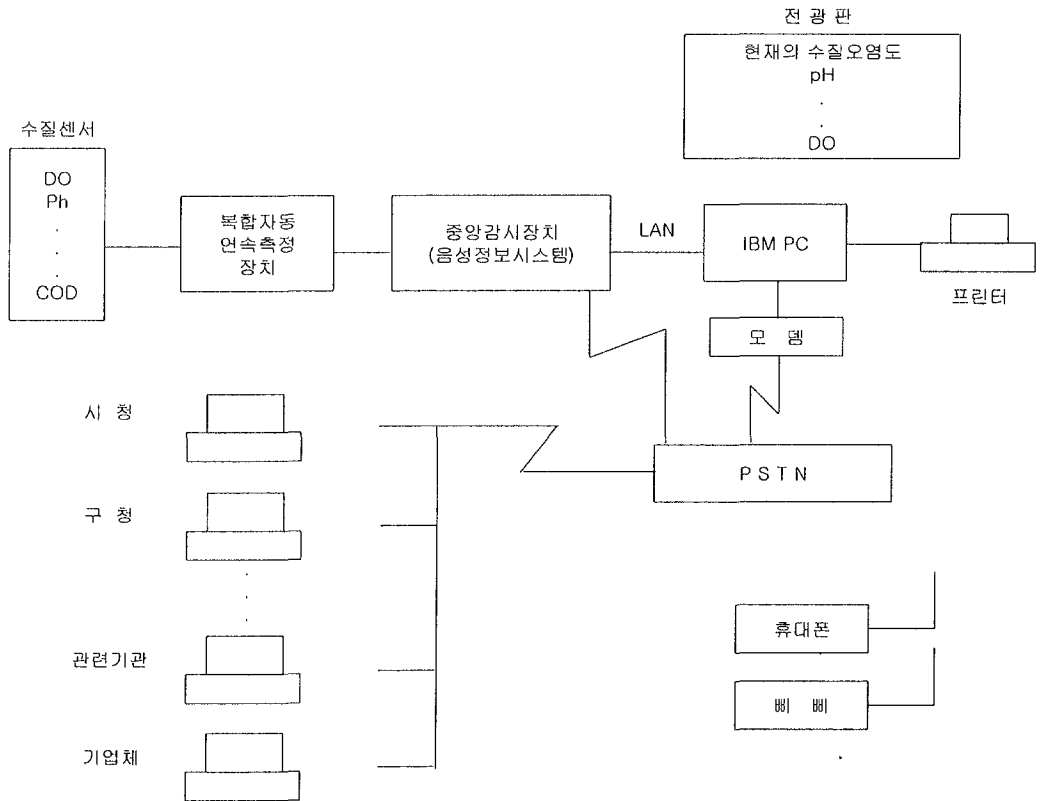


그림 1-1. 개발 예정 통신 시스템의 구성도

제 3 항 사회·문화적 측면

하천의 수질은 자연환경과 생활환경에 따라 연속적으로 변화되고 있다. 따라서 하천 수질의 특성을 정확히 파악하기 위해서는 가능한 한 연속적으로 측정하는 것이 바람직하다. 그러나 하천 수질의 측정은 여러 가지 여건상 연속 측정하는 경우가 적고 시간적으로 단편적이고 불규칙한 불연속측정이 대부분이다. 따라서 불연속측정에 의해서는 하천의 수질특성과 그 경향을 정확히 판단하기 어렵다.

수질환경보전법 제3조(상시측정)에서는 수질오염도를 파악하기 위하여 측정망을 설치하고, 수질오염도를 측정할 수 있도록 규정되어 있다. 이때의 상시측정은 수동측정(수분석에 의한 방법)과 자동측정을 포함하고 있다. 이에 따라 현재 한강의 수질은 환경부의 수질측정망 운영계획에 의해 측정기관, 측정항목, 측정횟수를 정하여 측정하여지며 수질정책의 공식자료로 활용하고 있다. 그러나 상류의 상수원 수질감시와 하류수역의 생태계보호를 위한 수질관리를 위해서는 수질의 연속적인 자동측정이 필요하다. 또한 연속적으로 자동측정되어 얻어진 수질데이터는 수질관리정책 및 수질감시에 필요한 기초자료로 이용된다.

근래 불과 20여년 사이에 우리의 축산업은 급진적으로 발전하여 전업화, 집약화로 그 규모가 대형화하고 보니 가축 배설물은 오히려 환경 오염원이 되어, 축산업 자체가 환경 파괴의 주범으로 낙인 찍혀 우리 축산업의 미래가 오히려 불안하게 되었다. 특히, 축산 폐수는 동일한 양의 생활하수와 비교할 경우 수질오염 부하량이 15배 정도 크므로 이를 처리하지 않고 방류할 경우 하천의 수질 악화 및 호소의 부영양화를 초래한다. 아울러 상수원 및 농업용수를 오염시켜 악취 및 해충 피해 등으로 쾌적한 생활 환경을 해치는 요인이 되고 있다. 그러나 축산 폐수는 다른 오염원과는 달리 조금만 관심을 가져도 환경의 개선이 가능하다.

따라서 본 연구를 통하여 국산화가 예상되는 복합자동 연속측정 시스템을 활용하여 각 축산농가에 설치되어 있는 축산 폐수 정화시설에서 방류되는 방류수를 연속적으로 안정되게 측정함으로써, 축산업이 우리 농촌의 고부가가치 산업으로서 올바르게

되는 것이며, 나아가 수질 오염의 주요인으로서 축산 폐수에 대한 사회의 부정적 시각이 개선되리라 예상된다.

한편, 미국, 유럽, 일본 등지에서는 산·학·연을 중심으로 국가적 지원하에 활발한 해양자원에 대한 연구개발이 진행되고 있으며, 이미 세계 각국에서는 생물공학적인 기법을 이용한 해양자원의 개발에 의한 성과가 매년 수십억에서 수백억 달러에 이를 만큼의 시장규모를 지니고 세계 경제에 기여하고 있다. 그러나 국내에서는 생물공학 기법을 이용한 해양생물자원의 개발이 일부 진행은 되고 있으나 아직까지는 연구실적이 초보적인 단계에 있으며, 산업적 생산까지는 미치지 못하는 실정이며, 해양생물자원의 개발과 이용이 지니는 사회·문화적 또는 학문적 파급효과를 고려해 볼 때 앞으로의 해양생물자원의 개발은 국가적으로 중요한 과제이다.

따라서 본 연구는 수질 측정 및 자동화 기법을 개발할 뿐만 아니라, 삼면이 바다로 둘러 쌓인 우리나라의 무궁한 해양자원의 개척에 일조할 것으로 예상된다. 이는 곧 WTO체제 속에서도 “ 돌아오는 농어촌 건설 ”에 장기적으로 기여케 될 것이므로 본 과제의 사회적 중요성은 크다. 특히 수년간 연례 행사처럼 되고 있는 적조나 오염 취약해역 (마산만, 속초 청초호, 주문진항, 포항 영일만)과 최근의 남해안 일대에 대한 수자원 보호 차원에서 본 연구의 중요성은 상당히 크다고 하겠다. 본 연구과제에서 수행하게 될 “개발 시스템을 이용한 하구호 및 하구만의 연안해역 환경”에 대한 연구배경을 상술하면 다음과 같다.

○ 아산만의 특성과 유역의 개발 현황

경기도와 충청남도의 경계에 위치한 아산만은 인천과 더불어 우리나라에서 가장 큰 조석운동을 가지며 좁은 입구를 가진 반 폐쇄성 해역으로서 넓은 간석지를 가진 전형적인 하구만(estuary)의 특성을 가지고 있었다. 하구만은 대체로 “하천의 유입이 있는 바다의 만으로서 하곡(river valley)의 조석이 미치는 구역”으로 정의되며, 이 지역의 특성은 담수와 해수의 혼합으로 염분과 수온의 변화가 크며 연안해역중에

서 기초생산력(primary productivity)이 가장 높고 수산자원의 측면에서 중요한 역할을 하고 있다는 것이다. 그러나 간척농지 개발사업으로 인하여 간척지는 농지(논)으로 변하였고, 유입하천은 방조제의 건설로 해양과 단절되어 하구담수호를 형성하여, 아산만은 원래 가지고 있던 하구만의 특성을 상실하게 되었다. 아산만에 건설된 하구담수호는 유역면적이 넓고 저수량이 막대하여 (남양호 : 유역 20,900ha 저수량 3,100ha.m, 아산호 : 유역 163,400 ha, 저수량 12,300 ha.m, 삽교호 : 유역 163,950 ha, 저수량 8,426 ha.m) 아산만의 특성을 근본적으로 변화시켰다.

이에 더하여 아산만이 공업의 중심지로 개발되면서 평택항, 평택화력발전소, 액화천연가스(L.N.G)인수기지 등이 건설되었고, 아산국가공업단지개발사업 (포송지구: 6.9km², 고대지구: 2.2km², 부곡지구: 3.4km²) 과 화옹지구 간척농지개발사업(6,610 ha)이 진행되고 있으므로, 아산만이 원래 가지고 있던 천연 해안선은 소멸되고 인위적이 방조제, 배수갑문, 항만시설 등이 만을 둘러싸는 환경으로 변하게 되었으며, 농업목적으로 개발된 하구담수호에서 부터는 유기물질 및 농약의 잔류성분이 만으로 유입되며, 항만시설 및 공업단지에서부터는 공업폐수, 기름유출(oil spill), 열오염(thermal pollution) 기타 각종의 오염물질이 만 내부로 유입되므로 아산만에 가해지는 환경오염의 부하량은 크게 증대할 것으로 예측된다.

한편 세계적인 추세인 배타적 경제수역(EEZ)의 확보 경쟁은 이제까지 경제적 환경적 가치를 인정받지 못하던 해양이 육지를 능가하는 경제적 가치를 지닌 수산자원학적 공간으로 그리고 여가선용을 위한 공간으로 인식되게 하였다. 따라서 청정한 해역의 보존은 국민의 삶의 질을 향상시키고 수산자원의 확보의 선결조건이 되었으며 하구담수호의 저류수를 해역으로 방류하는 것은 장래에는 불가능한 일이다.

○ 마산만의 교훈 및 최근의 시화담수호의 오염 문제

우리나라의 공업화를 한때 선도하였던 마산수출자유지역의 건설에서부터 시작된 마산만 유역의 개발에 이어 진행된 창원공업단지의 개발은 마산만을 죽음의 만으로 바

꾸었으며 우리나라의 오염된 해역의 대명사로 만들어 버렸다. 마산만의 적조는 이제 연중행사가 되었으며, 여기에서 시작되는 적조오염은 지난 해 남동해안의 수산자원에 큰 피해를 주면서 강원도 해역에 까지 확대되어 국가적인 재난이 되었다. 마산만의 오염방지는 이제는 오염원에서 부터의 유입차단으로는 충분하지 못하며, 막대한 장비와 인력과 비용을 수반하는 퇴적물의 준설공사를 해야하는 단계에 이르렀다. 이러한 연안해역 환경오염의 문제는 만으로 유입하여 수질을 악화시키고 해저에 퇴적하여 용출되는 오염물질을 초기단계에서 인식하여 차단하지 못한 결과이다.

최근에는 시화만에 건설된 시화담수호의 수질관리 및 오염문제를 오염된 저류수를 해역으로 방류하는 것으로 해결하려는 “환경오염 불감증”이 마침내는 담수호 배수갑문을 잠정적 폐쇄하는 사회문제를 야기하고 말았다. 이제는 수질오염을 하류에 위치한 다음 단계로 이전하는 것으로 해결할 것이 아니라 각각의 단계에서 처리하고 다음의 단계에는 깨끗한 물을 넘겨야 한다는 인식을 가져야 생존이 가능한 시대가 되었다.

이와같은 제반 사회·문화적 문제점들은, 본 연구를 통하여 개발할 복합연속 자동 측정 시스템을 특정 지역에 상설하여 연속적으로 수질상태를 측정함으로써, 사전 또는 적시에 적절한 대비나 수질관리 정책을 입안할 수 있으므로, 본 연구는 사회·문화적 측면에서 그의 필요성이 지대하다.

제 3 절 국내외 관련기술의 현황과 문제점

본 연구과제에서는 産(한국정밀기기/이데아시스템), 學(수원대, 부산대, 공주대), 官(과학기술처, 농어촌공사), 研(어장환경연구소/농공기술연구소)의 공동연구개발팀을 구성하여 핵심기술(복합측정 시스템 제작), 응용기술(농촌 생활하수, 하천, 축산 폐수 및 연안 양식의 수질 monitoring) 및 주변기술(원격모니터링용 software)을 연

제한 Package 시스템을 다단계 동시개발 방법으로 추진코져 한다. 한편, 본 연구과제의 성격은 환경 및 자원 보전형 농림수산물기술개발 분야로서 농어촌의 생업 용수에 들어 있는 각종 유해 또는 유익 성분을 효율적으로 빠르고 간편하면서 저렴하게 측정하여 이를 현장에 접목함으로써 국내 농수산업의 국제 경쟁력 확보를 이룩함에 본 연구의 목적이 있다. 따라서 상기의 핵심, 응용 및 주변 기술의 순으로 다음과 같이 개괄적으로 살펴본다.

우리나라보다 일찍 산업 선진화가 이루어지고 이로 인하여 환경오염의 재해를 먼지 경험한바 있는 미주, 동부 EUROPE 및 일본등 선진국에서는 공해물질의 배출, 측정 및 오염물질의 처리 등 환경 관리면에서 매우 철저하게 대처하고 있으며 국민의 참여의식 또한 매우 높아 관련업체 스스로 배출물의 처리 및 측정 등을 수행하는 민간 주도형태의 관리체계를 구성 운영하고 있으며 일본 등 동양에서는 아직도 정부기관에서 규제, 측정 및 처리 등을 주도하는 운영체계를 유지하고 있는 실정이다. 수질 오염 물질의 측정기기 면에서도 다양하고 점차 고도화 하는 산업발전에 따라 측정 대상 물질도 증가하고 있으며, 측정 요구감도, 정밀도 및 신속성 등에서 계속적으로 발전 시켜 나가고 있다. 오염물질 측정면에서 현재 세계적인 추세는 일반적으로 상시 감시체계를 위한 자동측정 및 Monitoring System을 적용하여 그림 1-2 또는 그림 1-3 처럼 측정 대상 항목에 대한 24시간 연속측정 및 인력/시간 등을 절감하는 방향으로 추진되고 있다.

한편, 국내에서 환경 관련 측정기기의 개발은 80년대 초반 대기 측정분야에서부터 점차 국산화되기 시작하였으며 수질 분석기기, 특히 자동측정기기는 90년대 초반부터 주로 일본으로부터 기술제휴 형태로 시작하여 현재는 일부 측정기기를 독자적으로 설계, 생산할 수 있는 체계에 까지 도달하였다. 그러나 아직도 고정밀을 요하는 분석항목의 기기는 국내조립 또는 일부 부품 수입조립 등 기술적 자립도가 비교적 낮은 편이며 이는 관련 업체의 지속적인 연구노력과 국가적인 지원 등으로 점차 발전 하리라 예견된다. 아울러 자동측정기 등에 소요되는 핵심 부품의 국산화율이 낮아

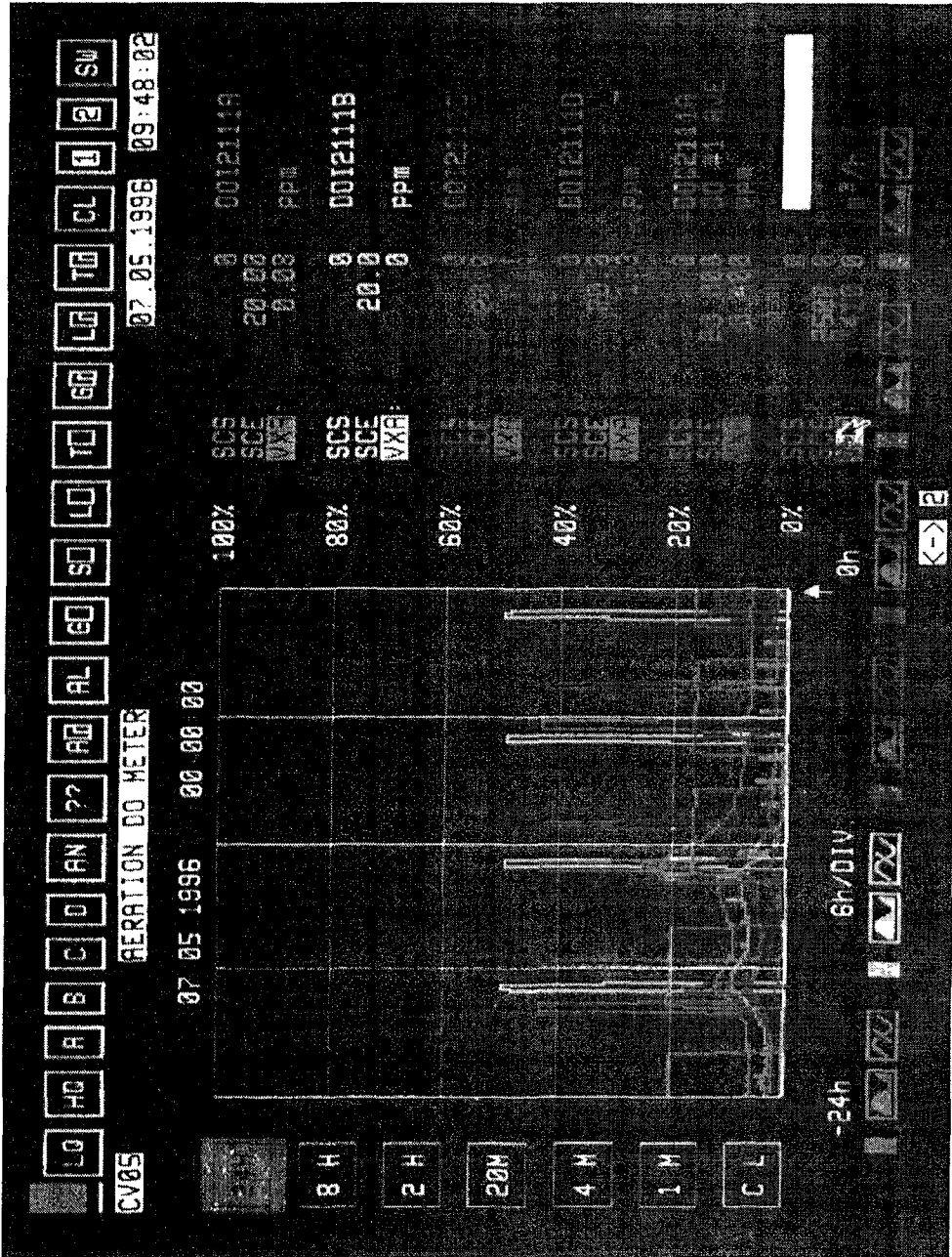


그림 1-2. Time Distribution of Dissolved Oxygen Level.

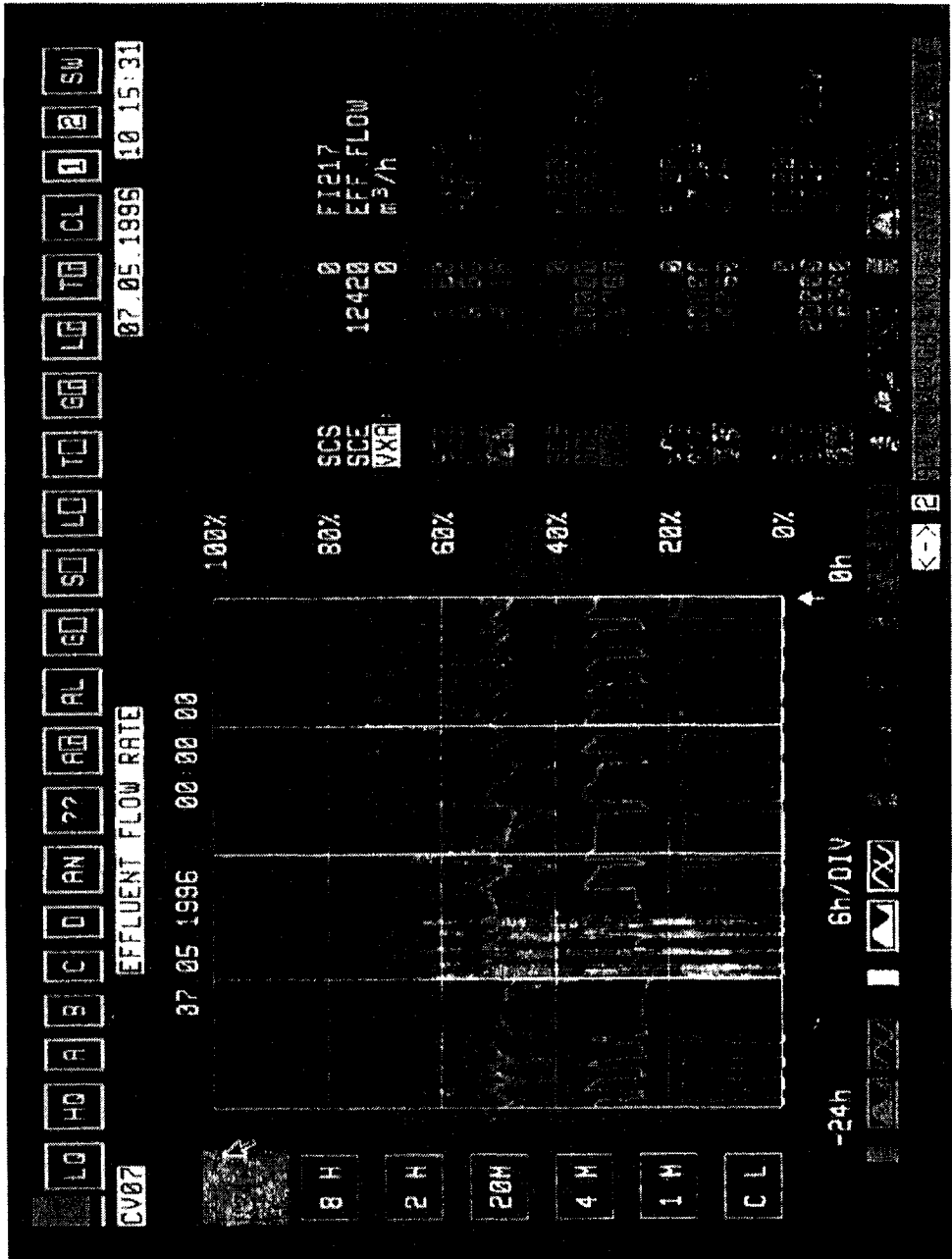


그림 1-3. Time Distribution of Effluent Flow Rate.

공급에 제한을 받으며 일부 생산되는 품목들도 내구성, 성능면에서 외제보다 떨어져 실용화시키기에는 많은 문제점을 갖고 있다. 앞으로의 측정기 분야의 개발 방향은 정부의 환경 관리 정책에 따라 많은 영향을 받게 될 것이나 현재 국내의 기술 축적도, 부품 등 원자재 공급력 및 수요량 등을 철저히 파악 분석하여 외국과의 경쟁력 확보면에서 가능성 있는 제품을 선정하여 집중 육성함으로써 국내 수요는 물론 외국으로의 수출까지도 도모할 수 있을 것으로 예상된다.

선진국의 경우 바다의 환경보전이 우리 생활 지구권의 건강을 지켜준다는 취지 아래 지난 수 십여년 동안 막대한 연구투자비를 지원하여 주요 해역에서의 해양생태계의 건강평가를 지속적으로 수행하고 있다. 예로써, 황해 규모인 미국의 체사피크만, 오대호, 샌프란시스코만, 뉴욕연안해, 보스톤 항만 등에서는 매우 광범위하고도 집중적인 연구가 지원되었으며, 최근에는 몬트레이 해양보호구역, 플로리다 Key West 해양보호구역 등을 지정하여 해양의 보전과 다른 해역과의 해양오염진행을 비교하고 있다. 유럽의 경우 지난 10여 년 동안 북해를 공동실험장으로 하여 인접연안 국가들의 해양 오염 방지와 해양환경 감시 기술을 개발하여왔으며, 일본의 경우 산업 및 연안도시의 영향이 큰 주요 내만(동경만, 이세만, 오사카만 등)에 대한 각종 오염방지규제(최근에는 COD, P, N의 총량규제)를 실시하고, 오염된 반폐쇄성 해역에 대해서는 각종 수리 공학적 수질개선 공법등을 시험 평가하여 부분적 활용을 계획하고 있다. 따라서 선진국에서는 본 과제의 목적과 유사하게 폐수 및 근해의 해양 모니터링 기술을 적극 개발하고 있으며, 이를 바탕으로 감시 및 관리 등으로 이어지는 각종 기술들의 개발에 온갖 힘을 쏟고 있다.

한편, 국내의 내수면 어류양식은 지주양식, 유수식 양식, 순환여과식 양식, 가두리 양식의 4가지로 대변되는데 강원도에 대부분 위치한 내수면 어류 양식은 유수식이었다. 아울러 대부분 높은 용존 산소(DO 6ppm)을 요구하는 송어가 주된 양식어종이었다. 따라서 적시에 최적의 DO값을 유지하는 것이 내수면 양식에서 필수적인 사항이다. 한편 어촌 전유역내에서는 발생하는 개략적 총부하량중 양식장에서는 BOD

30%, SS 17%, 가축으로 부터는 BOD는 36%, SS 70%로 나타나 가축으로 인한 부하량이 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다. 1993년 현재 일일 오염 부하량은 BOD로 5,299톤이며, 생활하수가 전체의 48.3%, 산업폐수가 42.8%, 축산 폐수가 8.9%로 이들의 처리율은 각각 39%, 15.1% 및 1.6%에 불과하다. 따라서, 대부분의 축산 폐수가 처리되지 않고 하천에 방류되어 수질 오염 및 호소의 부영양화에 많은 부분을 차지하고 있으며 축산 폐수는 처리시설의 미비와 축산 농가의 영세화로 인하여 무방비 상태로 배출되고 있는 실정이다.

대부분의 국내 하수처리장은 활성슬러지공정을 채택하고 있으며 설계기준도 국내 하수의 수질보다 미국 등 선진국의 기준을 이용하고 있다. 국내 하수처리장에 유입되는 수질이 설계치보다 낮아 처리에 어려움이 많은 실정이다. 이는 처리 시설의 설계와 건설이 처리경험과 전문지식을 겸비한 전문인에 의해 이루어 지지 않고 있음에 기인하며 각종 처리 공정에 대한 집중적인 사전 연구가 안되었기 때문이다. 따라서 본 연구와 같은 복합측정 시스템을 이용한 공정개선 및 최적화 작업이 절실히 요구된다. 일반적으로 축산 폐수를 최적 조건에서 처리하기 위해서는 각 공정마다의 변수인 온도, pH, DO, N, P, BOD 등등을 실시간으로 측정하여 그에 상응하는 미생물의 최적 성장 조건에서 적시에 제공하여야 한다. 따라서 본 연구에서 시도하는 복합자동 연속측정 시스템을 이용한 관련 공정의 최적화 또는 무인 자동화와 같은 기술이 요구된다. 농촌의 급등하는 인건비와 고령화를 감안하고 아울러 고부가 가치 산업인 축산업을 보다 활성화하여 WTO 체제하에서도 축산 농민이 생존하기 위해서도 효율적인 축산 폐수처리공정이 필수적이다. 그러나 불행히도 국내 대부분의 축산 폐수 처리기술은 처리 방법이나 공정개선에 주안점을 둘 뿐 공정개선의 핵심이 되는 연속적이고 정확한 측정 또는 분석방법은 전무한 형편이다.

한편 우리나라 연안 해역은 각종 산업폐수 및 도시하수의 유입과 산업쓰레기, 위탁쓰레기, 어판장 쓰레기, 어구의 방치 등으로 수질 및 저질 환경이 악화되고 있다. 이러한 환경 문제는 반폐쇄성 해역에 뚜렷이 나타나 저질에서는 매우 심한 악

취까지 나타나는 경우도 있다. 또한 연안 양식어장 주변의 수질환경도 곳에 따라서는 우려되는 곳이 있으며 그 결과 최근에는 적조 발생 원인 생물도 다양해지고 있다. 이처럼 오염물질은 대부분 연안 해역에 남아 부영양화 및 적조를 발생시키며 이로 인하여 생물 생산성이 낮아진다. 그간 국내의 해양 목장화 기술은 주로 주어진 상황에서 어떻게 하면 어패류를 잘 키우거나 잡아서 많은 어획고를 얻어 어민의 소득 증대를 이룩할 것인가만을 고민하여 그에 대한 관련 기술만을 중심으로 연구하여 왔다. 그러나 그같은 기술들의 기반이 되는 해양 또는 연안 시료의 분석 표준화 작업이나 모니터링 또는 예측 모델링 기술은 등한시하여 왔었다. 이젠 선진도약을 앞두고서 WTO 체제에서 어촌도 살아 남기 위해서는 좀더 적극적이고 공격적인 자세로써 국가적으로 연안 해역의 오염 생태계에 대한 모니터링 기술의 활용이 요구된다. 어촌은 특히 넓은 지역에 걸쳐 양어/양식을 할 경우 본 과제에서 추진하려는 성격의 원격 자동 측정기술의 필요성이 절실하다. 본 연구과제와 관련한 주요 기술의 수준 비교는 표 1-2에 요약한 바와 같다.

표 1-2. 국내외의 핵심기술 수준 비교

국 내 수 준		국 제 수 준
(선진국 = 100)		
축산 폐수처리	10	성장기
생활 하수처리	20	성장기
해양생산성 회복제어	10	성장기
복합자동 측정시스템 제작	0	개발기
연안어장 목장화	20	성숙기
원격 무인 자동화	10	도입기
데이터 전산관리	30	성장기

한편 담수어 및 해산어 양식을 위한 자동 수질 측정 및 용존 산소 공급시스템은 현재까지는 전무한 상태이며 이것이 양식업의 경쟁력 제고에 발목을 잡는 병목현상이 되어 있는 현실이다. 따라서 추진코져 하는 본 연구과제를 통하여 가까이는 농어촌 지역의 수질환경 문제를 개선하고 멀리는 국내 생물산업의 수출 전략 산업화에 일조할 것으로 기대된다.

특히, 우리나라의 서남해안은 해안선의 굴곡이 심한 리아스(ria)식 해안으로서 연안 해역은 수심이 얇고, 조석에 의한 해면의 승강이 크며, 지질시대를 통하여 광활한 간석지(tideland)가 형성되어 있어서 수산자원의 공간 및 해양환경 보전을 위한 완충지의 역할을 하여왔다. 반면에 육지는 산과 구릉이 많아서 경작가능한 농경지의 면적이 좁고, 나라의 인구밀도는 높아서 식량자급의 문제는 우리나라의 중요한 근대화 과제중의 하나였다. 따라서 1960년대를 시작으로 토목기술과 장비의 개발에 힘입어서 대대적인 간척농지 개발사업이 수행되었으며 광활한 간석지는 주로 수도작을 위한 논으로 개발되었고, 해안으로 유입하여 하구만(estuary)으로서의 중요한 생태계의 역할을 수행하던 서남해안의 중요 하천은 방조제라는 인위적 구조물에 의해서 바다로부터 단절되어 하구담수호로 변했다(남양호, 아산호, 삼교호, 석문호 등).

하구담수호에 저류된 물은 양수시설을 통하여 더 높은 곳에 위치한 농경지에 공급되어 주로 수도작을 위한 농업용수로 이용되며, 농약성분과 유기물을 함유한 농업배수는 나중에 다시 하구담수호로 되돌아 오는 순환을 거듭하고 있다. 더구나 하구담수호는 유역의 상류부에 위치한 인구 밀집지역의 생활하수와 공업지역의 공장폐수가 최종적으로 유입하는 곳으로써 급속하게 진행된 공업화와 도시화의 영향으로 오염이 가속되고 있는 것이 현실이다. 따라서 하구담수호는 하천의 상류부에 건설되는 댐(dam) 건설로 이루어지는 호수와는 다른 여러 가지의 특성을 가지며, 담수 이용의 마지막 단계에서 발생하는 반복이용으로 인하여 복잡한 수질오염의 문제를 원천적으로 가지고 있다.

최근에는 경제성장에 따른 생활용수 사용량의 급격한 증대를 충족하기 위하여 하천

의 상류부에도 다수의 댐을 건설하게 되었으나 이것은 하천의 자연스런 유출량을 변화시켜서 하구담수호의 수질을 더욱 악화시키는 요인으로 작용했다. 경제성장에 따른 주거환경의 변화는 생활용수량을 지속적으로 증대시켰으며 하구담수호로 유입하는 수질을 변화시키는 중요 요인으로 자리를 차지했다.

한편 연안의 해역은 무한한 수용능력을 가진 것으로 간주되어 왔으며, 하구담수로의 수질관리는 오염된 물을 배수갑문(sluiice)이나 제염암거(culvert)를 통해서 인접한 해역으로 방류하기만 하면 되는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 농업의 확대, 도시화 및 공업화에 따라서 하천수의 오염은 심화되었고, 오염된 유출수는 인접한 해양의 자정능력을 초과하여, 적조(red tide)가 매년 발생하고 그 범위가 확대되어 수산업에 치명적 피해를 가져왔다. 더구나 WTO 체제의 시작과 각국의 배타적 경제수역(EEZ: Exclusive Economic Zone)의 확보는 해양자원의 인식을 새롭게 하였으며 오염된 하구담수호의 저류수를 해양으로 유출시키는 것을 불가능하게 되어, 하구담수호의 수질관리는 당면한 국가적 중요사업의 하나가 되었다.

따라서 하구담수호의 수자원 및 수질의 종합적 관리는 농업용수의 확보 및 연안 해역의 오염방지를 위한 전제조건이며, 이를 위한 고도의 기술 개발은 중앙과 지방정부의 가장 중요한 과제가 되었다. 그러나 이러한 기술의 개발은 이를 위한 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술의 개발을 통해서만 가능한 것이다. 이제까지의 하구담수호 수질관리는 정기적 혹은 부정기적인 현장조사(spot survey)를 통한 수질자료의 구득과 이를 바탕으로 한 수치실험이 주가 되었으나, 앞으로는 인력사용을 최소화하고 자료의 구득이 항시 가능한 자동측정 시스템이 개발되어야 하며, 구득한 자료는 수자원 이용계획에 즉시 이용될 수 있는 응용기술이 개발되어야 한다. 중요 수질관리 항목을 포함하는 복합자동연속측정 시스템 및 응용기술의 개발은 값비싼 인력의 낭비를 줄이고 하구담수호의 중앙통제소(양수장 혹은 배수갑문 통제소)에서 전천후의 원격 측정과 통제를 가능케하여 농업의 경쟁력을 높이는 데 기인하고, 국가적으로 중요한 수산자원 및 여가활용의 공간으로 등장한 연안해역의 환경보존에도

크게 기여하게 될 것이다.

제 4 절 앞으로 전망

환경시설이 혐오시설로 간주되어 오면서 최근 들어서는 인건비의 상승율이 커졌고 이를 극복하기 위한 방안으로서 처리장의 자동화에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 환경에 관한 투자는 산업화와 더불어 기하급수적으로 증가하고 있는 실정이다. 장래 예측되는 높은 수질 기준을 만족하고 보다 경제적인 폐수처리를 하려면 기존의 시설과 같은 처리시설을 보다 기술 집약적으로 개선하여야 하고 운영비가 저렴한 생물공학을 이용하는 신공정기술로 설치해야 할 것이다. 또한 이와 함께 처리경비를 절감키 위한 처리공정의 최적화와 자동제어기술 등이 개발되어질 경우 처리경비의 20 - 50 %를 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

93년 7월 일본 국회에 보고된 바와 같이 2000년대에는 바이오센서가 생물공학의 최대 시장으로 변모할 것이 예상되어 선진국에서는 2000년대를 대비하여 각종 바이오센서의 연구개발에 주력하고 있다. 본 연구에서 추구하는 전기화학적 측정법을 이용한 바이오센서를 분류하면, 생체물질을 전극표면에 막형태로 고정화시켜 단일 효소나 다단계 효소반응 결과 생성되는 전극 활성물질 H_2O_2 전극이나 산소전극, 암모늄이온 선택성 전극 등의 소자를 이용하여 측정하는 제 1 세대 바이오센서, 선택성과 감도를 개선하기 위하여 ferrocene, TCNQ, TTF 등의 전자전달체(mediator)와 조효소 반응을 이용하는 제 2 세대 바이오센서, 그리고 전극표면에서 생체물질의 직접적인 생화학 반응을 이용하는 제 3 세대 바이오센서 기술이다. 현재, 세계적으로 제 1 세대 바이오센서는 성숙기에 있고, 제 2 세대 및 3 세대 바이오센서 기술이 가장 활발히 개발되고 있으며, 새로운 측정원리의 도입 및 효소고정화와 관련된 분자 interface 분야가 크게 발전되고 있다. 따라서, 본 연구에서 개발하려는

센서와 같은 전기화학적 바이오센서가 금세기 말까지 계속 세계적 바이오센서 연구의 주류를 이룰 것으로 예측된다. ISFET, optical, thermometric, piezoelectric transducer 등의 개발이 차세대 바이오센서로서 세계적 각광을 받고 있다. 본 연구에서 수행하려는 바와 유사한 특히, “일회용”이며 “다기능성”을 갖는 값싼 바이오센서의 개발이 향후 바이오센서의 개발 전망이다. 일반적으로 바이오센서에 있어서 중요한 것은 기능면에서는 선택적이면서도 고감도의 화학성분 인식기능이고, 구조면에서는 소형, 경량화 및 복합화이다. 실용면에서는 안정성, 내환경 등이 중요한 인자이다. 이와같은 요인들을 보다 개선하기 위하여 새로운 소재나 설계기술의 개발에 집중이 예상된다.

한편 WTO체제에 따른 시장 개방에 살아남는 농어촌의 건설은 농어가의 소득 증대에 있으며 소득의 증대는 양식업의 기술 개발을 통하여 인력화 설비의 자동화 만이 유일한 길이다. 따라서 양식장의 자동 수질관리 시스템 개발은 복지 농어촌 건설의 선결 조건이 될 것이다.

일반적으로 자국의 경쟁력이 있는 핵심 기술은 타국에 이전하지 않고 다만 경쟁력이 미비하거나 불확실한 기술만을 통상적으로 이전한다. 본 연구과제와 유사하거나 관련이 있는 “수질환경 측정용 Biosensor 연구”가 일본의 무역성, 공업성, 건설성 주관으로 행한 최근의 Biofocus Project(1985 -1990)에 포함되어 있다. 따라서 선진국들도 본 과제에서 개발하고자 하는 핵심 기술이 이제 “개발기” 단계의 수준에 불과하므로 관련 해외 특허나 기술 도입을 언급함은 별 의미가 없다. 그러나 Multi-Sensor가 아닌 단일한 기능성을 가진 온도, DO, BOD, pH, 요소, 염소, 나트륨, 칼륨 이온센서 등에 관하여는 선진국에서 ORION, YSI, INGOLD, DKK, HORIBA 등의 미국 및 일본 소재의 회사들에 의하여 각각 70년대와 80년대에 부터 상품화되어 왔거나 일부는 개발 중에 있다. 따라서 본 과제에서 개발하려는 농수산용 복합자동 연속측정 시스템은 아직 세계적으로 미개발된 분야이므로 관련한 타외국 기술과의 차별성이 크다.

그러므로 본 과제의 성공적 연구 결과는 우리나라 농림수산 분야의 첨단 생물공학 기술을 이용한 생산성 제고를 이룩하여 국제 경쟁력 향상에 크게 기여할 것으로 예상될 뿐만 아니라, 나아가 개발된 기술의 세계시장 진출을 도모할 수도 있다.

축산 폐수처리 관련한 2/3 장비 및 시설이 외국에서 수입되고 있으며 관련 기술에 대한 기술료도 3 - 8%에 이른다. 시장 규모는 환경 규제의 강화로 급진적 성장이 예상되어 수천억 원대 이르는 것으로 추정된다. 한편, 연안 양어장 관련한 기술은 세계적 수준에 비하여 중급 이하를 국내에서 유지하고 있으며 이에 대한 혁신적인 기술 정책이 수반되지 않으면 WTO 체제에서의 국제 경쟁력은 크게 떨어질 것이다. 게다가 인접한 중국의 싼 노동비에 근거한 어류의 수입은 급증될 것으로 예상되어 양어장 또는 어민들의 수익성은 크게 떨어져서 급기야 국가적·사회적 문제가 유발될 수도 있는 소지를 갖고 있다. 중국산 옥돔 또는 굴비 등이 좋은 일례가 될 수 있다. 한편, 본 연구개발에서 시도하는 측정기술을 활용한다면 사전에 적조 예상 지역을 경보하여 필요한 조치를 취함으로써 금번 남해안의 적조로 인한 연안 어민의 심각한 경제적 타격과 국가적 위기감을 사전에 방지할 수 있다. 본 연구의 복합연속 자동측정에 따른 관련한 센서 기술은 국제적으로 개발기에 있다. 일반적 센서 기술의 국내 수준은 중급 이하이다. 그러므로 발전 가능성은 높으나 다품종 소량 생산 체제의 특성상 국내 대기업의 관심을 끌기는 부족하나 중소기업에서는 고유기술로서 알차게 운영할 수 있는 품목이기도 하다. 따라서 선진국에 대한 센서 기술의 의존도가 전자 산업의 국내 발전에 편승하여 급성장할 것으로 예상되므로 센서 분야에 대한 중소기업의 국가적 육성차원에서 본 기술개발의 필요성이 절실하다. 한편 무인 자동화기술은 우리나라의 세계 수준급인 전자산업의 발전에 따라 중급이상의 기술 수준을 유지하고 있다. 본 과제에서는 원격 무인 자동 측정기술을 확보하려 하므로 본 과제가 성공한다면 단순히 주어진 분야에 국한되지 않고 그의 기술적·경제적 파급효과를 급등하는 인건비와 농어민의 고령화 추세를 감안할 때 지대할 것으로 예상된다.

제 5 절 기술도입의 타당성

일반적으로 자국의 경쟁력이 있는 첨단 핵심 기술은 타국에 이전하지 않고 다만 경쟁력이 미비하거나 불확실한 기술만을 통상적으로 이전한다. 게다가 본 과제에서 수행하려는 농어촌지역 수질개선용 package 형 수질 측정 및 무인 자동화 시스템은 일본에서 biosensor를 이용하여 신속히 수질을 측정하는데 활용하려고 Biofocus Project (1985-1990)로서 일본 건설성, 무역성 및 공업성 주관으로 수행된 바 있다. 따라서 선진국들도 본 과제에서 개발하고자 하는 핵심기술이 “개발기” 단계의 수준에 불과하므로 관련 해외 특허나 기술 도입을 언급함은 별 의미가 없다. 그러나 복합자동 연속측정이 아닌 단일한 기능성을 가진 온도, DO, BOD, pH, 요소, 염소, 나트륨, 칼륨 이온센서 등에 관하여는 선진국에서 ORION, YSI, INGOLD, HORIBA 등의 미국 및 일본 소재의 회사들에게 의하여 각각 70년대와 80년대로부터 상품화되어 왔거나 일부는 개발 중에 있다. 따라서 본 과제에서 개발하려는 농어촌지역 수질환경 개선을 위한 복합자동 연속측정 시스템은 아직 세계적으로 미개발된 분야이므로 관련한 타외국 기술과의 차별성이 크다. 그러므로 관련 기술은 아직도 외국에서 조차 개발 과정에 있는 만큼 쓸만한 상태로의 실용화된 기술도입은 당분간 어려울 것으로 예측된다. 따라서 기술료는 평균 이상인 10% 정도로 예상된다. 경제성을 비취볼 때 아직 외국에서도 개발 또는 도입단계에 실용화 도입단계에 있는 만큼 현장 적용에 따른 시험오차와 위험성을 부담하여야 하므로 기술도입의 타당성은 낮다고 할 수 있다.

제 2 장 단거리용 고정형 단일 자동 연속 측정 시스템의 개선 및 응용기법 개발

제 1 절 연구수행방법

온도, DO, pH의 연속 측정을 위하여 변수별 변화에 따른 출력치를 구한 후 Software에 입력시켜 변수별 선형성을 검정하였다. 농촌지역의 축산폐수처리에 관한 국내외 문헌 및 기술자료를 수집한 후 기존자료의 통계학적 Model의 문제점을 분석하였다. 본 System에 맞는 수질예측모델을 개발한 후 그의 구축인자를 분석하였다. 대상하천유역의 수질현황 조사를 위하여 기 조사된 수질 보고서 및 현장답사를 실시하여 수질을 검정하였다. 수질모델의 적용을 위한 하천 단면자료는 기존의 측량자료를, 수질자료는 대하천의 수질자료로 대체하여 Test Run을 실시하여 모델의 적용 가능성을 타진하였다. 경남 거제시 사동면 창호리 지선의 굴양식장이 분포하는 해역에서 1996년 11월부터 1997년 8월까지의 해황조사를 Minisonde Multiprobes, YSI Model 58 DO meter를 이용하여 조사하였다.

제 2 절 온도, DO 및 pH 연속측정시스템 개발

온도 보상 회로를 구성하여 출력되는 전압이 온도 변화에 무관하도록 구성하였다. 아울러 독립적인 DO 및 온도 측정 시스템을 구축하기 위하여 별도 회로의 parameter 측정 및 센서를 제작 구성하였다(그림 2-1). 이들의 연속측정을 위하여 Solus

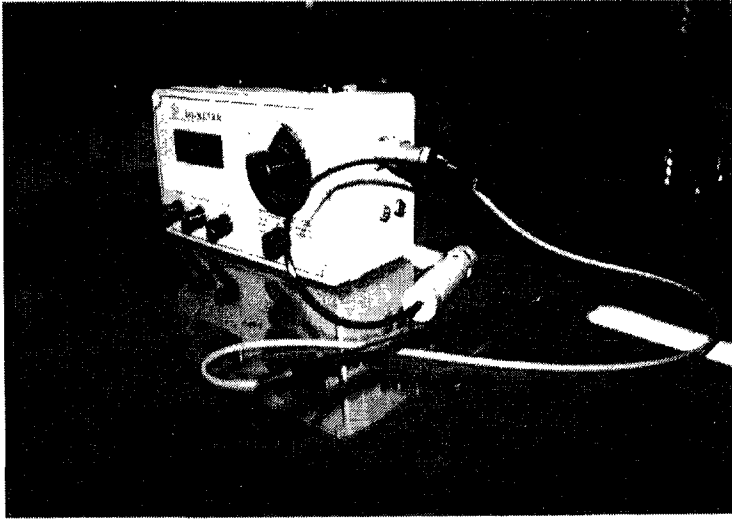


그림 2-1. DO 및 온도 복합센서 시스템의 구성도.

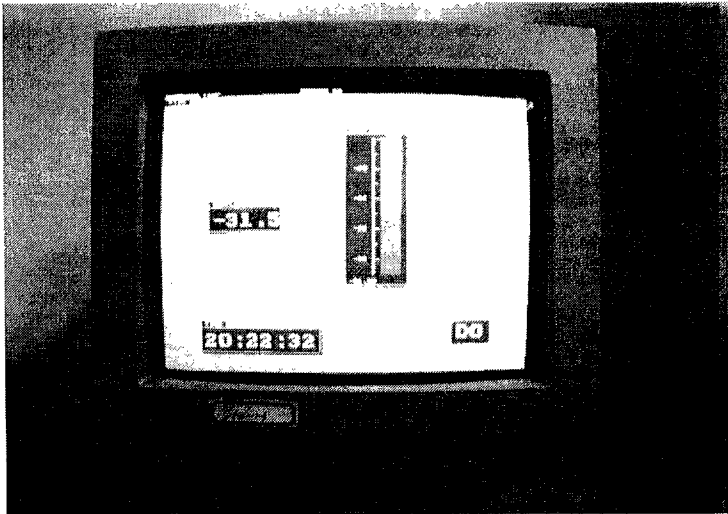


그림 2-2. DO 및 온도 복합센서 시스템의 출력화면.

Program을 개선하여 그림 2-2와 같이 DO 및 온도가 동시에 화면 상에 보이면서 data가 저장되도록 개발하였으며 이의 개선을 추진 하였다.

연속 측정 시스템의 개발을 위하여 monitoring, controlling, pager system을 구성 하였다. 현 단계에서는 그림 2-3과 같이 10개의 성분을 동시에 입·출력이 가능한 software 및 hardware를 초기적으로 완성하였다. 향후 추진될 내용은 입력 개수에 따른 다양한 경우와, 그들이 입력 수치를 평균하여 설정된 controller의 기준치와 대비한 controlling system을 개발할 예정이다. 이어서 최근에 현장에서 보편적으로 착용하고 있는 호출기에 지정된 위치별 parameter를 입력시킬 수 있는 software를 개발함으로써 원격 무인 측정이 가능하도록 추진할 계획이다.

제 3 절 수분석 결과와의 비교 검토

온도, DO, pH의 변수별 구한 출력치는 표 2-1과 같이 탁월한 선형성을 나타내었다. 이를 연속측정용 software에 입력하여 측정 데이터의 정확성을 검토 중이다.

표 2-1. 온도, DO, pH의 출력 선형성

변 수		Y = A + B*X		
X	Y	A	B	상관계수(%)
온 도 (℃)	mV	0.3980	0.01295	99.73
DO (ppm)	mV	0.06747	5.3987	100
pH	mA	4.0001	1.1199	100

개발한 시스템을 이용하여 on-line으로 pH를 조절할 수 있는 모델을 그림 2-4와 같이 구성하여 실험실적으로 평가하였다.

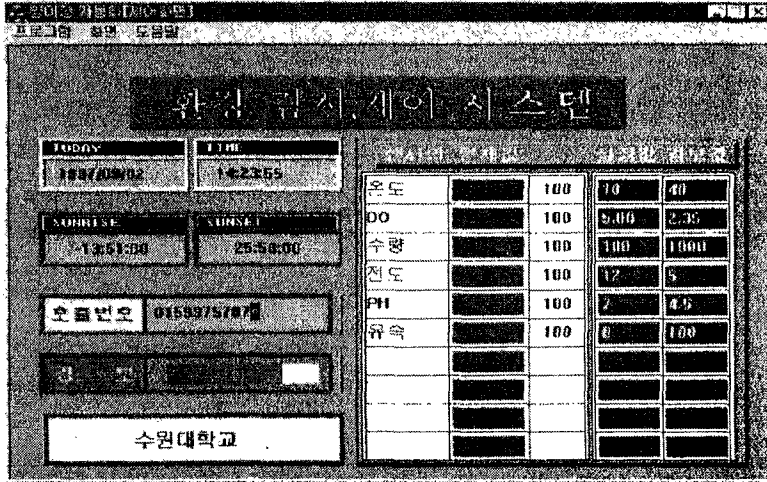


그림 2-3. FISH 주화면.

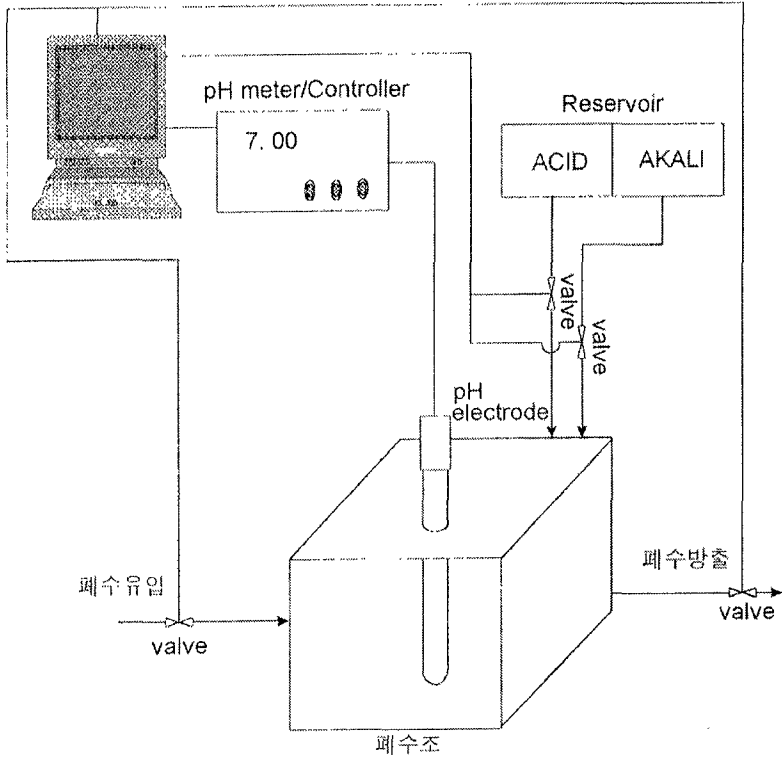


그림 2-4. 축산폐수 자동 pH 제어 시스템 pilot plant 도면

제 4 절 농촌지역 수질오염 예측 모델링

현재 축산폐수에 의한 수질오염 모델에 관한 연구는 많이 되어 있지 않고, 간단한 통계학적 모델에 의존하고 있다. 따라서 환경보전의 측면에서 축산 폐수를 효과적으로 관리하고 예측하기 위해 축산폐수가 수계에 방류되었을 때 수질에 미치는 영향과 확산과정을 보다 정도 높게 예측할 수 있는 수질예측 모델의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 가축 분뇨에서 다량 발생하고, 하천 및 호소의 수질에 많은 영향을 미치는 COD, DO, 질소, 인 성분이 수질에 미치는 영향을 예측할 수 있는 모델을 개발하였다.

수치해석방법으로서 대상영역을 BOX로 분할하고, 각 BOX내에서는 수질계산 대상 물질이 완전 혼합되어있다고 가정하여 계산을 실시하였다. 각 형태별 수질계산을 실시하고, 마지막으로 그림 2-5와 같이 각 형태별 농도를 전 COD, 전 질소, 전 인의 농도로 환산하였다.

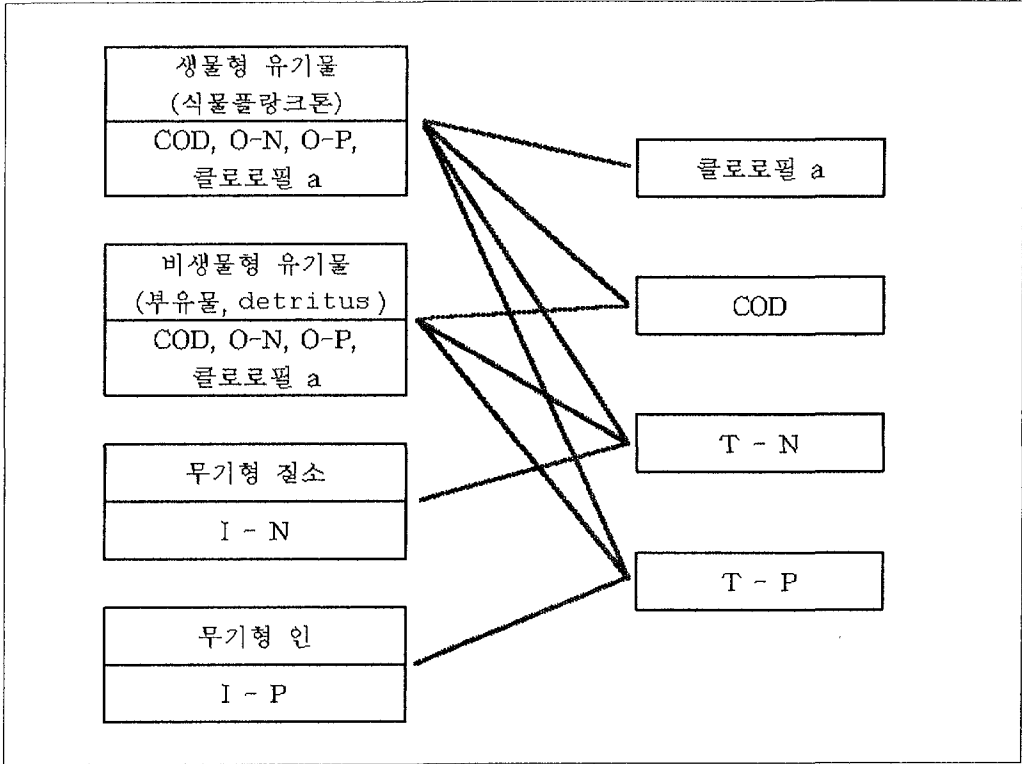


그림 2-5. 각 수질형태별 수질로부터 총수질로의 변환

본 연구에서 개발된 수질모델의 적용성을 검토하기 위하여 일반적인 농촌의 수로를 가정하여 COD, T-N, T-P, DO 계산을 실시하였다. 수심 2m, 폭 2m, 그리고 길이 약 2km정도의 수로를 가정하고, box하나의 크기를 100m로하여 20개의 box로 그림 2-6과 같이 나타내었다.

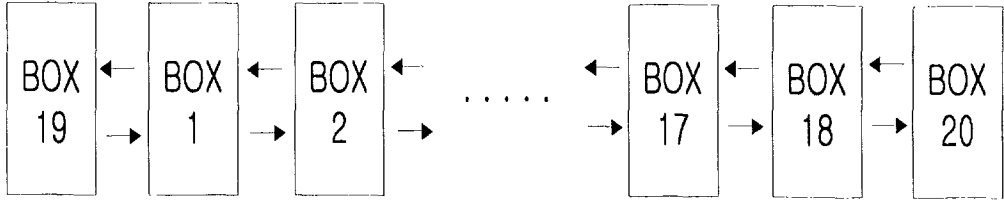


그림 2-6. 계산 Box

유입부하량은 표 2-2 및 2-3을 이용하여 원폐수를 그대로 방류시켰을 경우와 축산 폐수 정화시설을 거친 폐수에 대한 부하량을 산정하였다. 폐수량은 가축 100마리 규모의 낙농시설에서 방출되는 양으로 했다.

표 2-2. 축산시설의 원폐수 특성

구분 업종	폐수량(1/두·일)		BOD (mg/l)		COD(mg/l)		SS(mg/l)	
	평균	범위	평균	범위	평균	범위	평균	범위
낙농시설	40	17~60	2,790	2,500~3,200	2,340	2,000~3,000	1,270	1,000~1,700
육우시설	33	30~40	2,900	2,700~3,000	2,430	2,000~3,000	1,230	1,000~1,700
양돈시설	12.4	6~33	2,510	1,290~5,000	1,680	760~3,000	1,660	440~4,000

표 2-3. 축산폐수 정화시설의 방류수 수질기준

구 분 항 목	축산폐수 배출시설의 설치허가를 받은 자가 설치한 축산폐수 정화시설	축산폐수 배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수 정화시설
생물화학적 산소요구량(mg/l)	150이하	1,500이하
부유물질량 (mg/l)	150이하	-

계산에 사용되는 계수값들은 실험적으로 알려진 값들을 사용하였고, 또 이 계수값들은 온도에 따른 변화를 고려하여 계산을 실시하였으며, 본 연구에서는 모델지형에 대하여 우리나라의 일평균 기온, 일조량, 수온 등을 사용하여 계산을 실시하였다.

개발된 모델을 모델지형에 적용하여 타당성을 검토하였으며, 그 결과 실제 지형에도 적용 가능한 것으로 나타났다. 계산에 사용된 계수값들이 모델내의 각 수질항목에 미치는 영향을 파악한 후 각 중요인자들에 대한 검토와 모델 지형에 대한 계산을 실시한 결과 재폭기계수, 침강속도 및 각 물질의 분해속도가 인자 값에 따라서 크게 영향을 미침을 알았다. 모델지형에 대한 계산에서 DO의 농도는 COD의 농도가 떨어지기 시작하면서 다시 증가하기 시작하며 플랑크톤의 농도에도 관계되었다. 유기 질소와 인은 감소되어지며 차츰 무기 질소와 인의 농도가 증가되어지는 것을 알 수 있었다. COD는 오염원으로부터 멀어질수록 감소하지만 원폐수를 그대로 방류했을 경우에는 22ppm까지, 처리를 했을 경우는 14ppm까지 농도가 감소하였다.

모델개발은 자료를 통해서 이루어 졌으므로 모델을 실제 현장과 검증·확인하기 위해서는 앞으로 현장의 축산폐수분석을 병행되어야 할 것으로 판단된다. 대상하천인 오산천 유역에 대한 유역개황(표 2-4) 및 기상 현황(표 2-5)을 조사하였다. 수문 및 수질 관측소 현황(그림 2-7)을 파악하기 위하여 관측소별 유출 및 유황을 조사하고

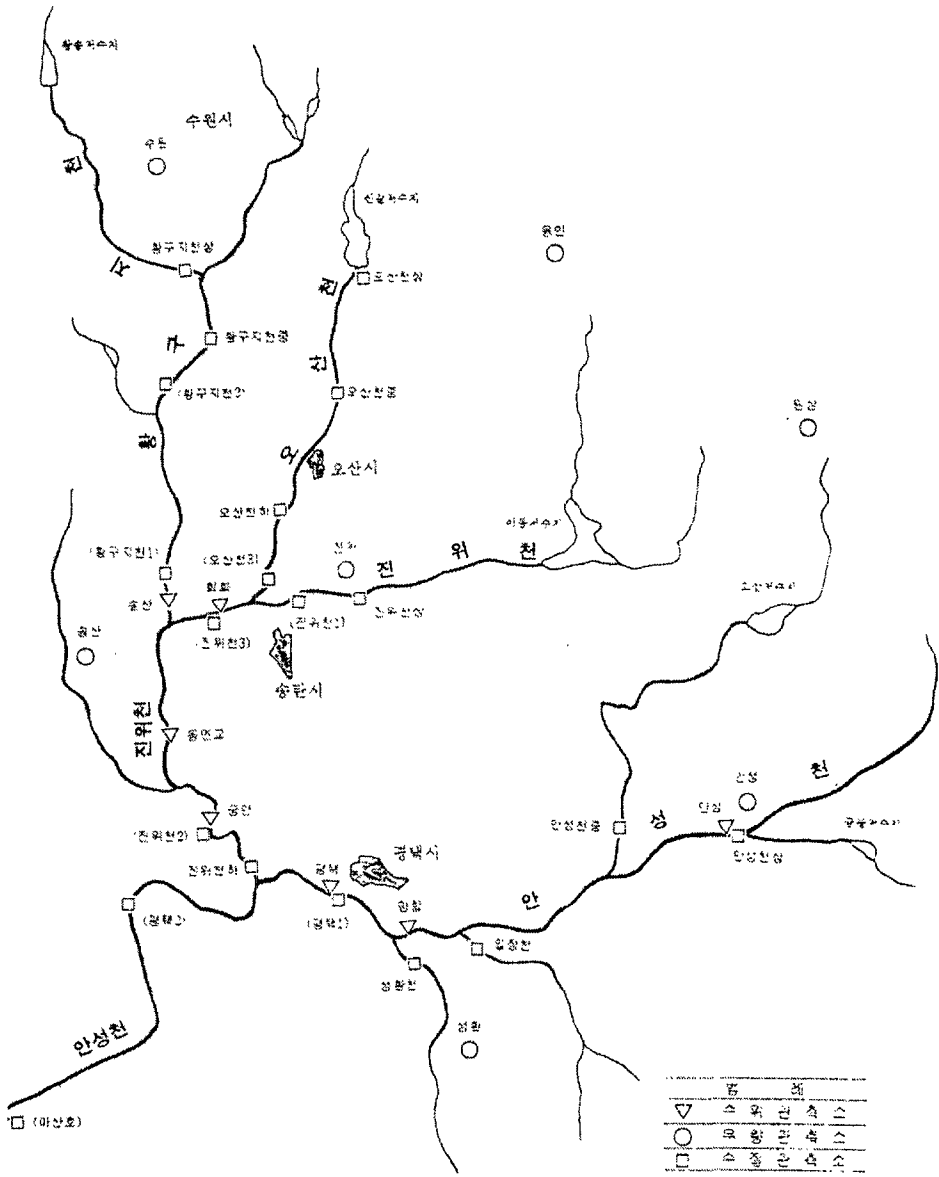


그림 2-7. 대상하천내 수문 및 수질관측소 현황.

오산천 하구를 중심으로 갈수량 및 수질현황을 조사하였다. 하도구간(오산교~기흥저수지 8.3 km)의 하도 단면 자료를 오산천 하천 정비 기본계획상의 측량단면으로 확보하였다.

1차원 이송·확산 물질이동방정식을 이용하여 표 2-6과 같은 3가지의 모델을 개발하였다.

표 2-4. 대상하천 유역개황

유역명	주요지점	유역면적(km ²)	유로연장(km)	평균폭(km)	형상계수
오산천유역	기흥저수지지점	52.93	14.20	3.181	0.263
	오산교지점	123.40	23.10	5.342	0.231
	오산천하구	152.83	29.50	5.181	0.176

표 2-5. 대상하천 기상현황

기상항목	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균
평균기온(℃)	-3.8	-1.6	3.9	11.0	16.5	21.0	24.4	25.1	19.8	13.0	5.7	-1.3	11.1
증발량(mm)	36.7	45.1	78.4	109.9	143.7	144.7	121.8	128.3	104.4	83.2	49.5	37.9	1,083.6
상대습도(%)	70	69	69	70	75	76	83	82	78	76	74	72	75
강우량(mm)	24.5	27.6	47.8	88.5	84.1	119.9	335.2	260.5	150.1	59.0	54.2	23.6	1,275.1

표 2-6. 농촌지역 하천 모델

모 델		QUAL2E	WASP	HEC-2
항 목				
수 리	입력 단면자료의 정확도	수리학적 특성이 유사한 단면들을 reach 단위로 묶어 입력 50개 reach 입력 가능	유사한 단면들을 channel 단위로 하여 각 channel을 구형 단면으로 봄. 100개 channel 입력 가능	단면의 거리별 표고를 좌표형식으로 입력 800개 횡단면 입력 가능
	해석 차원	1차원	1차원	1차원
	수리 계산 방법	정상류	정상류 또는 부정류	정상류
	계산된 수위	평균수심이 계산됨	평균수심이 계산됨	정확한 실제 수심 산정
수 질	대상 수질 항목	DO, BOD, NH ₃ -N, NO ₃ -N, NO ₂ -N, Organic-N, Organic-P, Dissolved-P, Coliform, Temperature, Chla-Algae, 3개의 보존성물질, 1개의 비보존성물질 등 15개 항목	DO, BOD, NH ₃ -N, NO ₃ -N, Organic-N, Organic-P, PO ₄ -P, Phytoplankton 등 8개 항목, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn 등 8개의 중금속	
	반응 계수	모의 수질항목에 따라 선별하여 구간별로 변화시켜 적용 가능	모의 수질항목에 따라 선별하여 전구간에 동일하게 적용	
	모의된 수질	보다 양질의 자료로 부터의 평가가 필요함	보다 양질의 자료로 부터의 평가가 필요함	
적용 성	적용의 편의성	자료의 입력과정이 편리함	수리·수질에 대한 각각의 자료 입력 과정이 필요	단면별로 좌표양식의 많은 입력자료가 필요
	계산 소요 시간	작은 시간이 소요	매우 오랜 시간이 소요됨	작은 시간이 소요

대상하천(오산교~기흥 저수지 구간)에서 두 가지 경우(표 2-7)에 대하여 모델을 평가하였다.

표 2-7. 모델 Case

CASE	기흥저수지 지점		측방유입		오산교 지점	
	유 럳	수 질	유 럳	수 질	유 럳	수 질
CASE-1	기흥지점의 평균갈수량	2급수상한치	중간유역으로부터의 유량 균일분포	오산천 하구의 수질	오산교지점의 평균갈수량	오산천 하구의 수질
CASE-2	오산교지점의 평균갈수량	오산천 하구의 수질	무 시		오산교지점의 평균갈수량	오산천 하구의 수질

각 Case 별로 BOD 및 DO에 대한 수질 모의 결과는 각각 그림 2-8 및 2-9와 같았다. 따라서 농촌하천에 적용가능한 수질모델을 제시하고 오산천을 대상으로하여 모델의 TEST RUN을 실시함으로써, 제시된 모델의 농촌유역에의 적용성을 검증하였다. 대상하천인 오산천의 하천수질 및 유량을 측정된 후 1차년도에서 제시된 수질모델에 실제 유량 및 수질을 적용하여 하천 내에서의 오염물질 희석유량을 예측할 필요가 있다. 추후 자동연속측정 시스템이 농촌하천에 설치될 경우, 본 모델과 측정치를 연계함으로써 농촌하천의 수질환경 개선에 기여하며 특히 수질예경보 시스템의 구축시 근간이 되는 모델로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

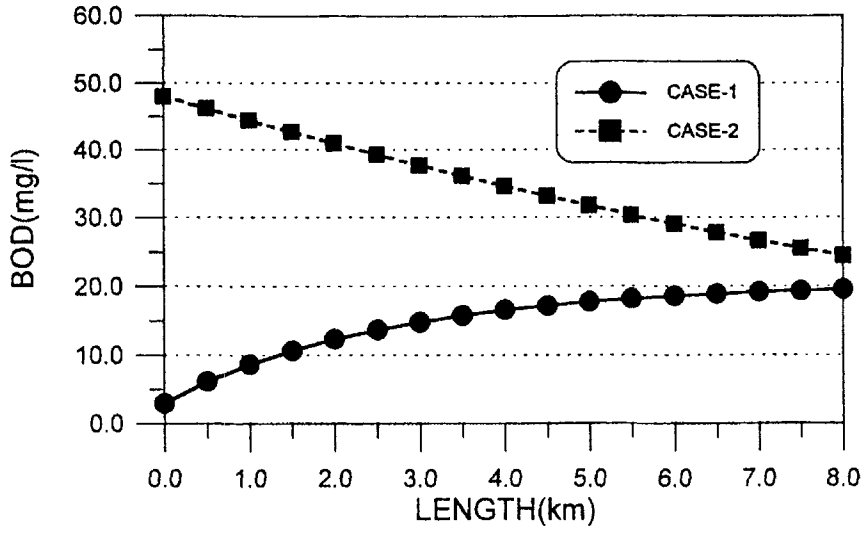


그림 2-8. 대상하천구간에 대한 수질모의 결과(BOD).

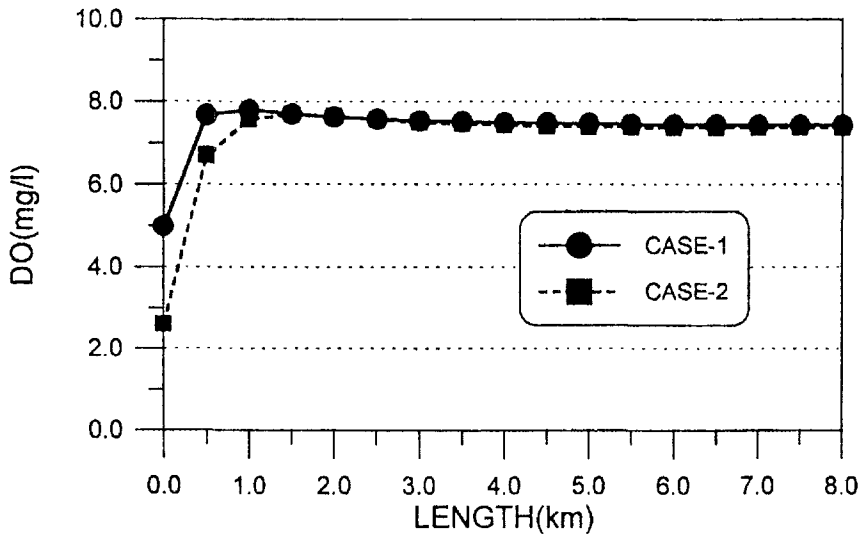


그림 2-9. 대상하천구간에 대한 수질모의 결과(DO).

제 5 절 연안해역의 굴양식장 수질환경 변화측정

제작된 온도/용존산소 pH 측정 센서의 연안 해역 응용 및 검정을 위해서 우리나라 최대의 굴양식장이 밀집해 있는 경남 통영의 거제 해역을 선정하여 해황조사를 실시하였다. 연구 해역은 경남 거제시 사동면 창호리 2775 번지의 지선으로서 좌표상으로는 34° 56' 20" N, 128° 31' 00" E 에 위치하고 있다. 해역의 평균수심은 10~15 m 이고 해저의 표층퇴적물은 니질(silt)로서 평균입도는 10 μ m 이다. 본 해역은 패류(shellfish)인 굴의 양식시설과 어류의 해상 가두리 양식시설이 밀집해 있으며, 동시에 마산, 창원, 통영, 거제 등의 도시가 인근에 위치하고 있어서 양식시설의 밀집으로 인한 해수 유동의 장애와 인구에 의한 유기물질의 유입으로 적조가 매년 발생하고 있으며, 이로 인한 피해가 반복되는 해역이다. 우리나라에서의 굴 양식은 구한말부터 시작되어 그 역사가 오래되었으며, 처음에는 내만의 해저에 돌이나 나무가지 등을 설치하여 바다양식으로 시작하였으나 기술이 발전되면서 현재와 같이 표층에서 수중으로 부착기질인 줄을 내려서 하는 수하식 양식을 시작하게 되었고, 이로 인해서 양식시설량은 크게 증대되었고 설치공간도 수심이 더 깊은 곳으로 확장되었으며 1990년부터는 양식량이 20~30 만톤에 이르게 되었다. 우리나라 연해에 분포하는 굴은 Crassostrea속으로 *C. gigas*, *C. rivularis*, *C. nippona*, *C. echinata*, *C. denseramellosa* 등의 5종이 있으며, 양식과 수산업에서 가장 중요한 종은 참굴 (Pacific oyster, *C. gigas*) 이다. 본 연구 해역의 굴양식시설은 모두 수하식 시설로서 400 kg 내외의 부력을 가진 뜰통 약 30 개를 이용하여 9 x 18 m 크기의 뜰통을 만들고 여기에 10 m 길이의 줄을 m^2 당 3~4 개의 양성용 줄을 매달아서 굴을 양성한다 (그림 2-10 참조).

양성의 적지는 수심이 10~30 m 의 범위이고, 조류속이 1 노트에 달하며, 해수의 비중은 1.015~1.020 의 범위이며, 투명도는 4~8 m 가 되는 연안 해역이다. 최근에 굴양식에서 문제가 되고 있는 사항은 양식산업 자체에서 발생하는 시설의 과밀과 연

안해역의 오염으로부터 기인하는 적조 현상으로서 이에 따른 용존산소의 결핍과 독성물질의 방출이다. 수중의 용존산소량은 수온에 반비례하므로 여름철에 용존량이 적은 데다 시설의 밀집(그림 2-11 참조)으로 인한 해수 유동량의 감소 및 적조의 발생은 용존 산소량을 악화시킴으로써 양식에 피해를 주게 된다.

연구해역의 1996. 11월 ~ 1997. 8월 사이의 해황(oceanographic phenomena) 측정 결과는 표 2-8과 같이 수온 28.7~10.3℃, 염분 32.26~33.24‰, 용존산소량 4.47~7.49 ml/l, 부유물질(suspended solids) 7.0~2.8 mg/l 등 이었다.

표 2-8. 연구해역의 해황조사 결과(1996. 11월 ~ 1997. 8월)

조사시기	1996. 11월	1997. 2월	1997. 4월	1997. 8월
수온(℃)	17.8	5.5	10.3	28.7
염분(‰)	33.15	32.86	33.24	32.26
pH	8.04	8.12	8.27	8.28
DO(ml/l)	5.48	7.49	6.93	4.47
COD(mg/l)	1.76	1.33	1.95	1.55
PO ⁴ -P(μg-at/l)	0.39	0.72	0.32	0.31
NH ⁴ -N(μg-at/l)	1.70	2.80	2.18	1.05
NO ² -N(μg-at/l)	0.33	0.10	0.04	0.07
NO ³ -N(μg-at/l)	2.50	0.61	1.16	0.15
SS(mg/l)	7.0	2.8	3.2	5.8

* phytoplankton 개체수 : 80~9500 cells/ml

* zooplankton : 총 25종이 출현하였으며, 그 중에서 야광충(*Noctiluca* sp.)이 우점하여 73.1~82.4%를 차지함.

* 수질측정기기 : Minisonde[®] Multiprobes(Hydrolab Corp. 제작), YSI Model 58 DO Meter

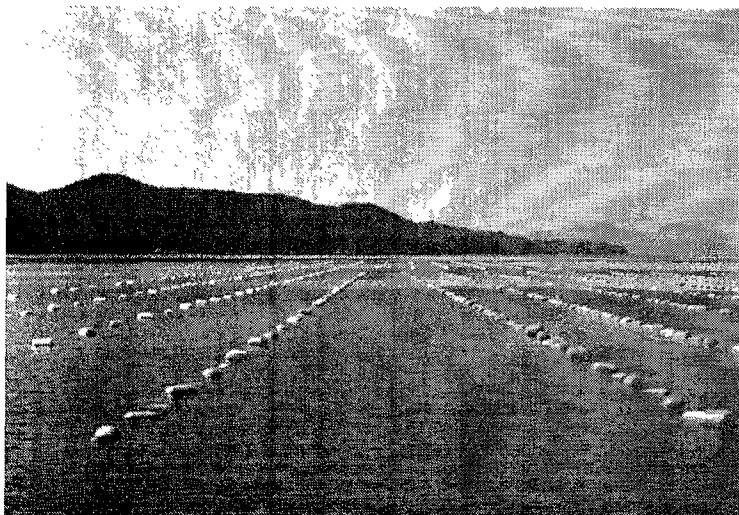


그림 2-10. 해양조사 해역의 굴 양식장 전경.

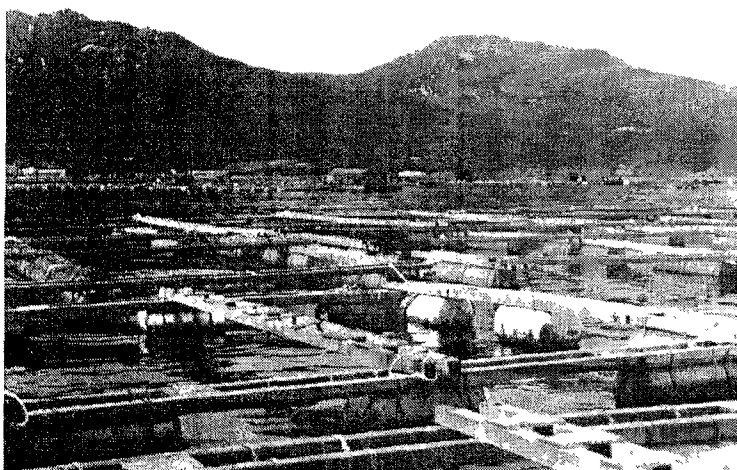


그림 2-11. 어류양식 가두리 현장(1ha당 20조, 1조크기 10m X 10m)

제 6 절 결론

본 연구과제의 세부과제인 단거리용 고정형 단일 자동연속 측정 시스템의 개선 및 응용기법 개발을 위하여 온도, DO 및 pH를 연속적으로 측정하기 위한 시스템을 구성하여 10개의 성분을 동시에 입력 및 출력이 가능하도록 hardware 및 software를 개발하였다. 축산폐수 처리 공정에서 공정간 최적 pH를 제어하기 위한 실험실적 pH 제어 모델을 개발하였다.

축산폐수의 효과적 관리 예측 평가를 위하여 문헌고찰을 통한 가축분뇨의 제 특성을 조사한 후 축산폐수가 수질오염에 미치는 기존의 간단한 통계학적 모델 보다 예측도가 높은 수질모델을 개발하였다. 대상 농촌 하천을 선정하고 그의 유역 현황을 조사한 후 대상하천의 수환경을 분석하였다. 농촌지역 수질오염 예측모델의 적정 개발 여부를 평가하여 오염물질 희석유량의 예측 등에 적용가능성을 제시하였다. 연안해역의 굴양식장 수질환경 변화를 측정하기 위해서 경남 거제시 사동면 창호리 인근의 굴양식장이 밀집한 해역을 연구해역으로 선정한 후 수온, 염분, 용존산소량, pH 등 수질조사항목을 포함한 해황조사를 4회 실시하였다. 조사내용을 연속측정 시스템의 연안 양식 현장 응용성 평가를 위한 기초자료로 활용하였다.

제 3 장 단거리형 교환형 이중 복합 자동 연속 측정시스템 및 응용기술 개발

제 1 절 전도도 센서 제작 및 성능평가

제 1 항 센서 제작 및 성능평가 방법

최근 연안 양식업에서는 적조 및 수질 오염으로 인한 피해가 확산되고 있다. 이는 주변 해역에 유입되는 생활하수 및 산업체의 폐수에 의한 것으로, 해수 양어장에 중요한 위협으로 간주된다. 이러한 피해를 예방하기 위해서는 상시적인 수질의 측정이 필요하다. 특히 해수의 전도도는 치어의 생장에서 중요한 역할을 하는 지표이므로 일상적으로 측정되지만, 전도도 센서의 국내 연구개발은 초보적인 상태에 머물러 있다. 본 연구에서는 연안 양식장 수질관리용 전도도 센서를 실험실에서 개발하여 기존의 상업용 전도도 센서(YSI 및 DKK사 제품)와 성능을 비교하였다.

이온성 용액에서 두 전극 사이에 전위차를 걸어주면 이온들의 이동으로 전류가 흐르게 된다. 이때 흐를 수 있는 전류의 양은 용액의 이온 농도에 비례하므로 이를 전도도로 표시한다. 전도도는 (1)식과 같은 저항과의 관계로 계산된다.

$$R = (1/\kappa) \ell / A \tag{3-1}$$

이때, R은 용액의 저항, ℓ 은 전도도 센서 단위전극사이의 간격, A는 단위전극의 표면적, κ 는 전도도이다. 저항의 단위가 Ω 이므로 전도도의 단위는 저항의 역수인 Simen(S)를 사용하여 $S \cdot \text{cm}^{-1}$ 를 사용한다. 그러나, 실제 측정시 전극사이 전기장의 분포와 전류 밀도가 균일하지 않으므로 용액의 저항과 전도도 센서 단위전극의 외형상 면적으로 전도도를 계산하면 많은 실험적 오차를 수반하게 된다. 따라서 일반적

으로 전도도가 잘 알려져 있는 KCl 용액의 저항을 측정하여 (2)식과 같은 센서 자체의 셀상수 C를 결정한 후 용액의 저항값(R)에서 전도도를 계산한다.

$$K_{KCl} = C/R_{KCl} \quad (3-2)$$

실험에 사용한 전해질은 NaCl(덕산약품), KCl(덕산약품), CH₃COONa(Jin Chemical)을 별도의 정제없이 사용하였다. 이들 전해질과 초순수를 이용하여 0~5%(w/w)농도 범위의 전해액을 제조하였다. 전도도 센서는 아크릴 관을 선반으로 정밀 가공하여 제작하였다. 본체는 stainless steel을 외경이 10mm가 되도록 가공하여 3개의 소전극으로 제작하였고, No. 5000 사포를 사용하여 표면을 매끈하게 처리하였다. Stainless steel 부분을 제외한 부분들을 PVC로 정밀가공하여 제작한 다음에 steel을 결합시켰다. 본체 중앙에 10k Ω thermistor를 전선케이블로 연결하여 본체의 맨 바닥까지 집어넣은 다음에 내부를 밀봉하였다.

제 2 항 축산폐수용 전도도 센서 제작 및 성능평가

그림 3-1과 같이 제작된 전도도 센서는 YSI 34 전도도계에 연결하여 다양한 농도의 전해용액이 나타내는 전도도를 측정하였다.

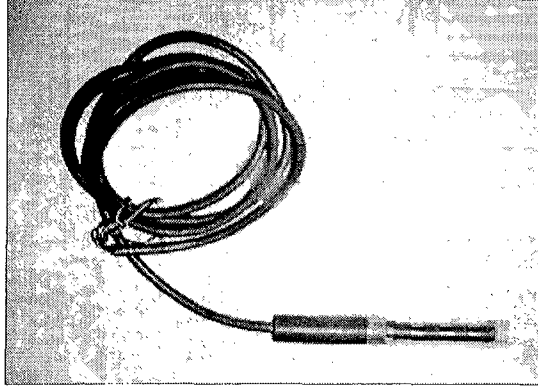
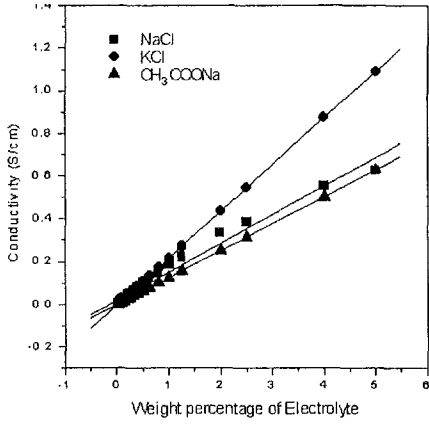


그림 3-1. 실험실 제작 전도도 센서(모델 M01)

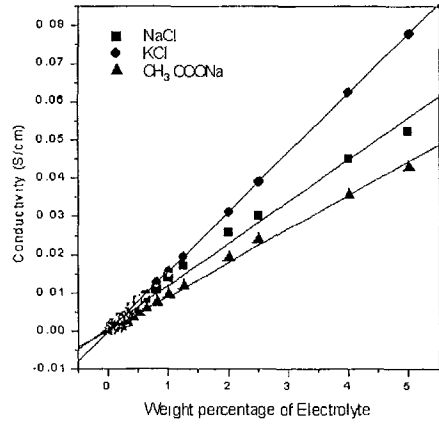
국내에서 전도도 센서를 수입하여 범용적으로 쓰이는 YSI 전극(그림 3-2a) 및 DKK 전극(그림 3-2b)의 전도도를 다양한 전해질 조건에서 측정하였다. NaCl 용액에서는 YSI 전극이 DKK 전극에 비하여 민감도를 선형성의 기울기로 판단할 때 12.30배, KCl 용액에서는 13.14배, CH_3COONa 용액에서는 13.12배를 각각 나타내었으며, 두 전극 모두 주어진 농도 범위에서 우수한 선형성을 보였다.

그림 3-3과 그림 3-4는 자체 제작한 전도도 센서를 DKK 센서와 비교하기 위하여 다양한 농도의 NaCl 용액 조건에서 전도도(그림 3-3) 및 출력전압(그림 3-4)를 도시한 것이다. 이때 두 센서들은 거의 같은 선형성 및 기울기를 보였다.

본 연구에서 제작한 전도도 센서는 축산폐수의 일반적 염도 범위 내에서 평가한 결과 높은 선형성($R= 99.9\%$)을 나타내었으므로 축산폐수 수질관리 목적으로의 사용 가능성을 제시하였다. 계측기는 참여기업에서 실험용으로 제작하였다.



(a) YSI



(b) DKK

그림 3-2. 다양한 전해질에서의 YSI와 DKK 전도도 센서의 응답특성.

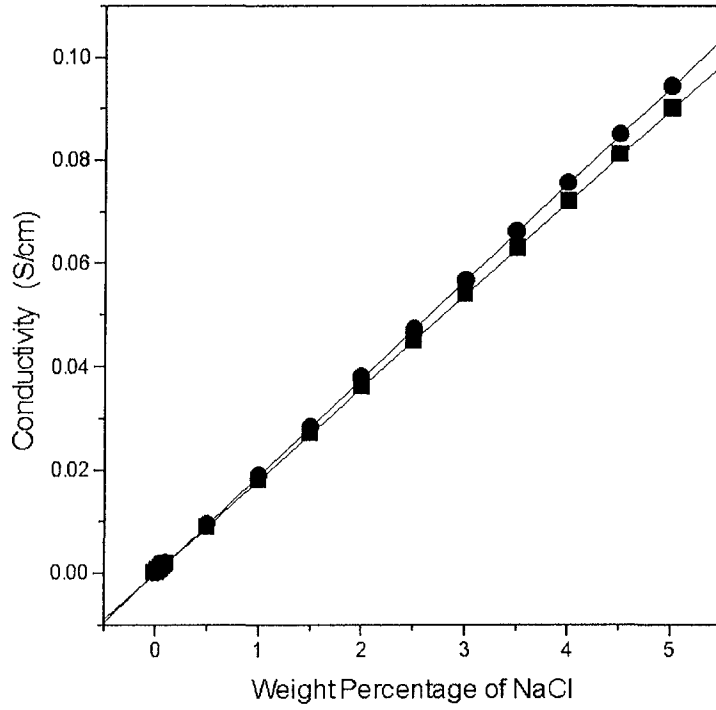


그림 3-3. DKK 센서(■)와 개발된 센서(●)와의 전도도 응답 특성 비교

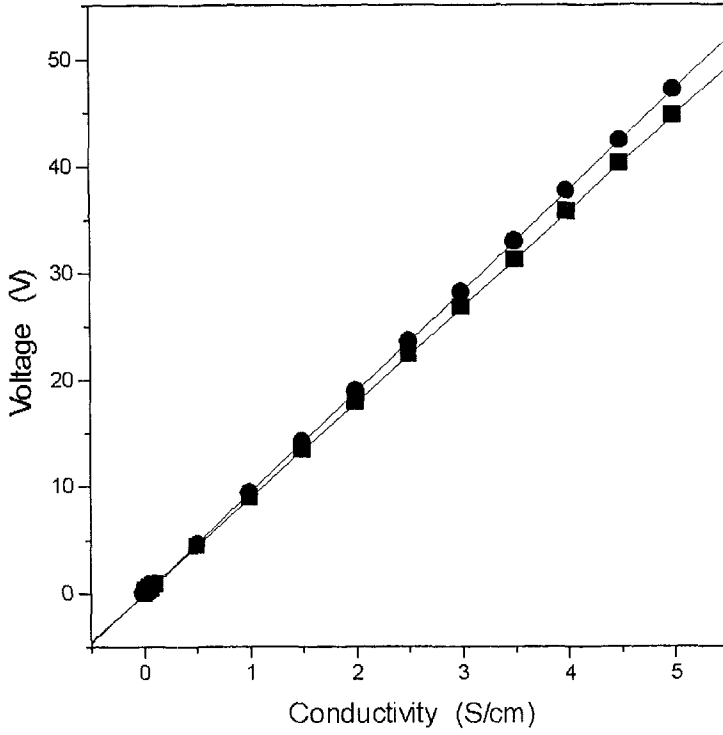


그림 3-4. DKK 센서(■)와 개발된 센서(●)와의 다양한 전도 조건에서 계측기 Voltage 출력값 비교.

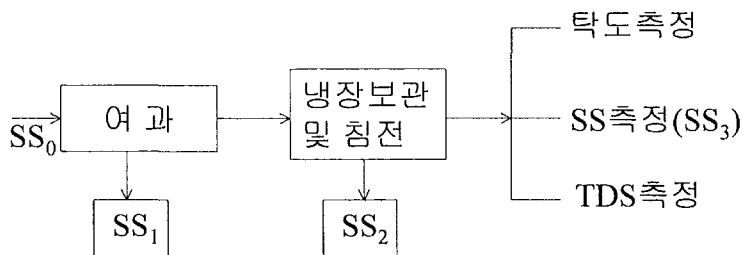
제 2 절 탁도/SS 수분석 비교 및 상관관계 개발

제 1 항 탁도/SS/TDS 수분석 비교 및 상관관계 실험방법

일반적으로 탁도와 TDS는 계측기를 통하여 간편하게 측정할 수 있는 반면 SS는 시료를 채취하여 유리섬유 여과지를 이용하여 여과하여 건조기에서 항량이 될 때 까지 건조한후 건조전과 건조후의 차이를 계산하여 부피당 질량수로 나타내야 하기 때문에 측정하는데 많은 불편함이 있다. 이러한 번거로움을 줄이기 위해 탁도/SS/TDS의 상관관계를 수분석으로 비교하여 sample의 TDS 만을 on-line으로 측정함으로써 SS 및 탁도를 연속적으로 측정할 수 있는지의 가능성을 평가하고자 하였다.

탁도는 수중의 현탁 물질들에 의해서 빛이 흡수되거나 산란되는 정도를 측정하는 것이다. 따라서 현탁물질(SS, Suspended Solids)의 양이 증가할수록 탁도가 증가한다는 점에 착안하여 탁도와 SS/TDS의 상관관계를 구하였다. 탁도는 Orbeco-Hellige사의 모델명 965-10A 계측기를 이용하여 sample의 탁도를 on-line으로 직접 측정하였고, TDS는 HANNA Instrument사의 모델명 HI9032를 사용하여 측정하였다.

시료는 경기도 화성군 안성리에 위치한 일반 농가의 둔사에서 발생하는 폐수를 채수하여 수분석실험을 실시하였다. 축산폐수에는 다량의 현탁물질이 존재하므로 이를 전처리하여야만 안정된 용존값을 결정할 수 있다. 따라서 축산폐수 원액을 그림 3-5와 같이 전처리한 후에 sample의 parameter(TDS, 탁도, SS)를 구하였다. 실험 목적상 축산폐수에 증류수를 희석하는 방법으로 축산폐수의 volume %를 증가시키면서 탁도/SS/TDS의 선형성을 검증하고 이를 이용하여 탁도/SS/TDS의 상관관계를 검증하였다.



$$SS_0 = SS_1 + SS_2 + SS_3$$

그림 3-5. 축산폐수 전처리 공정도

제 2 항 탁도/SS/TDS 수분석비교 및 상관관계

전처리 실험공정에 의해 실험을 수행한 결과 여과공정(5 mesh 면섬유)에서 제거된 SS양인 SS_1 은 126,000mg/l, 냉장보관(4°C, 1일간)에 따른 침전으로 제거된 SS양인 SS_2 6.1mg/l로 나타났다. 그리고 공정의 마지막 단계에서 제거되지 않은채로 TDS 및 탁도 sample과 같은 조건에서 구한 SS인 SS_3 는 2,394mg/l로 확인되었다. 그러므로 축산폐수 초기 시료에 포함된 SS_0 는 세 값의 합인 128,400mg/l로 확인되었다. 따라서 여과 및 냉장보관 침전에 의해서 축산폐수 원액의 SS 값의 98%가 그림 3-5의 전처리 공정에 의하여 제거됨을 확인하였다. 탁도/SS/TDS 상관관계는 데이터의 정확성을 위하여 그림 3-5의 전처리 공정을 거친 시료를 이용하여 상관 관계를 구하였다. 탁도/SS/TDS의 축산폐수의 부피비 증가에 따른 선형도를 그림 3-6, 3-7 및 3-8에 각각 나타내었다. 따라서 축산폐수를 전처리할 경우에 SS, 탁도, TDS는 축산폐수의 농도에 대하여 각각 높은 선형성(99.8% 이상)을 나타내었다. 또한 이 데이터를 바탕으로 한 각 parameter별 상관관계를 그림 3-9, 3-10 및 3-11에 각각 나타내었다.

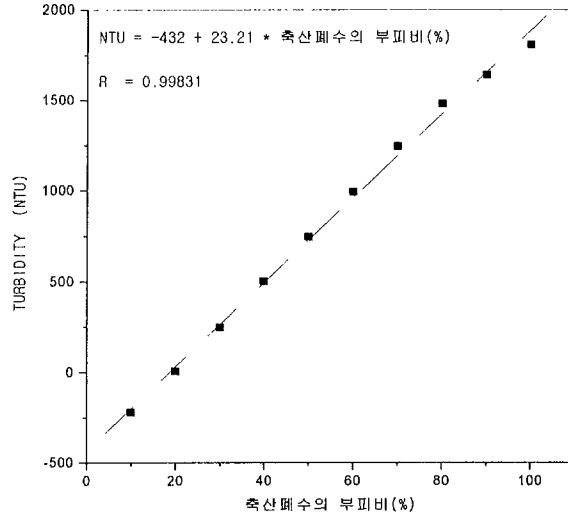


그림 3-6. 축산폐수의 부피비 증가에 따른 탁도의 변화

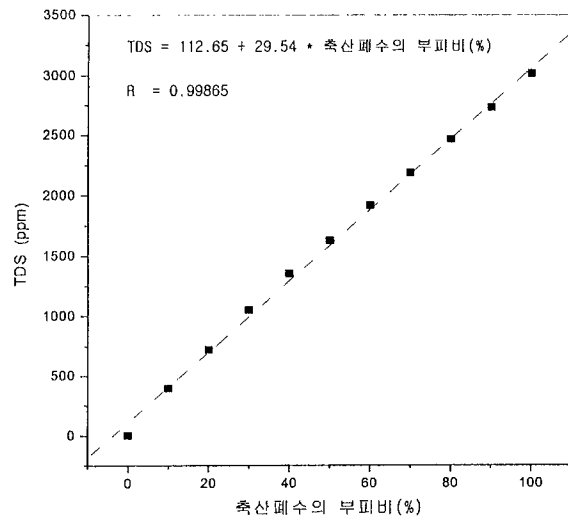


그림 3-7. 축산폐수의 부피비 증가에 따른 TDS의 변화

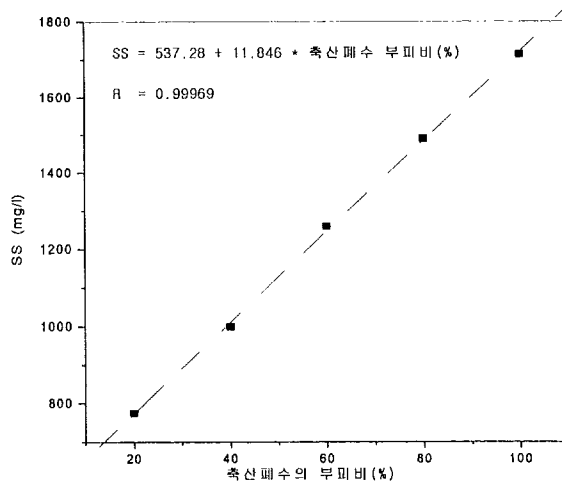


그림 3-8. 축산폐수의 부피비 증가에 따른 SS의 변화

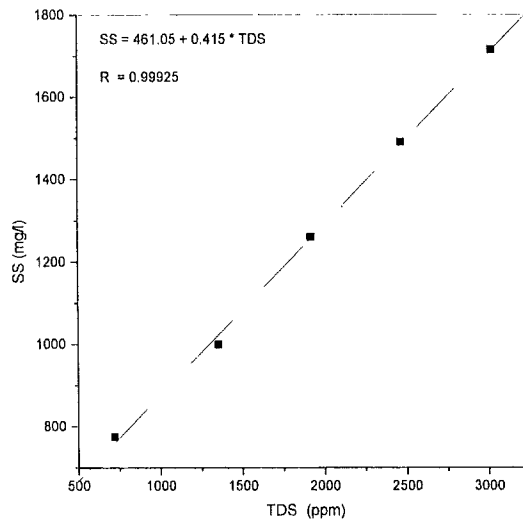


그림 3-9. TDS/탁도 상관관계

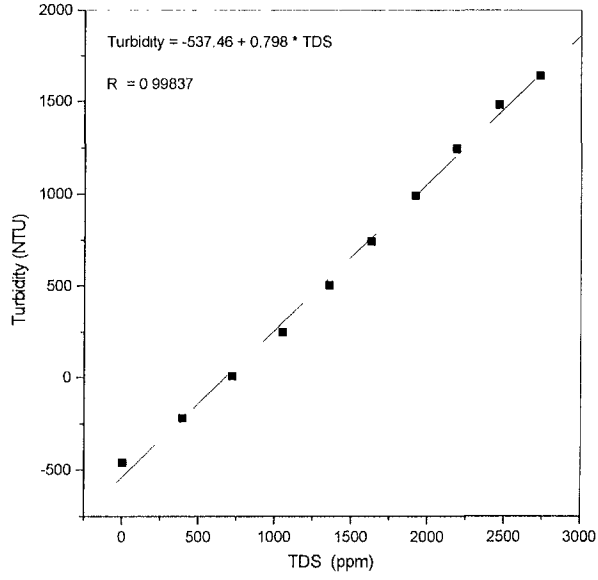


그림 3-10. TDS/SS 상관관계

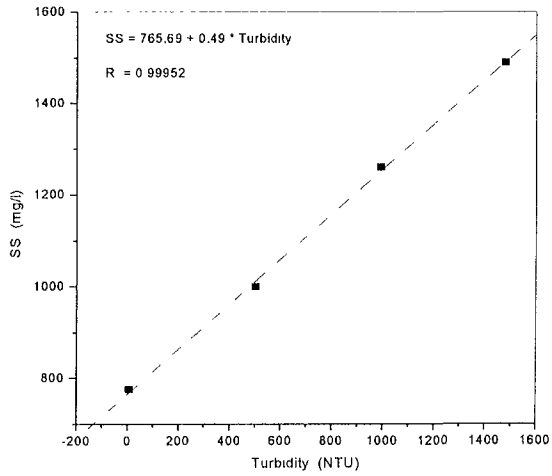


그림 3-11. SS/탁도 상관관계

그러므로 각 parameter들 상호간의 상관관계 역시 높은 선형성(99.8% 이상)을 나타내었다.

따라서 전처리 공정을 거쳐서 나온 축산폐수의 TDS를 측정함으로써 SS 또는 탁도를 간편하게 on-line으로 결정할 수 있음을 확인하였다. 한편, TDS로써 역으로 축산폐수 원액에 함유된 SS₀의 값을 유추할 수 있을 것으로 예상되나, 이는 전처리 공정에 따른 추가적 반복 실험 후 결정할 예정이다.

제 3 절 데이터 무선전송 시스템 개발

제 1 항 데이터 무선전송 시스템 개발 방법

사회의 근대화 및 산업화에 의한 급진적인 발전으로 인구증가와 생활수준의 향상 및 산업발달의 초래로 인해 생활오수, 공장폐수등이 증가일로에 있어 일부 상수원을 포함한 전국의 주요하천이 오염되고 있다. 특히 오염물질중에서 가장 많이 배출되는 고농도의 유기물질과 질소와 같은 부영양화의 주원인인 영양염을 함유한 폐수의 생산량도 증가하게 되었다. 이로인한 수질오염의 상당한 부분이 각 가정 및 축산농가에서 발생하는 생활오수, 분뇨 및 축산폐수임은 잘 알려진 사실이다. 농촌의 오염물질 배출원으로서 중요한 것은 농약, 비료 등의 영농 화학물질에 의한 비점원오염, 대규모 축산 폐기물에 의한 점오염, 산재된 소규모 축산농가에 의한 비점원 오염, 농촌의 마을 오폐수에 의한 점오염 등이 있다. 환경부 주관하에 전국의 150개 농업용수 수질측정망에서 조사된 자료에 의하면 수질기준값을 초과한 곳이 pH 62개소, SS 46개소, 유기물(BOD+COD) 71개소, TN 80개소, TP 53개소로 나타나, 전체 오염이 유기물오염과 영양물질에 의해 이루어졌음을 알 수 있다. 따라서, 이러한 오염물로부터 하천수의 적합수질 확보를 위한 과학적인 수질관리법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

축산폐수 처리의 관리와 경보를 위하여 데이터 무선 전송 시스템을 hardware 및 software 중심으로 개발하였다. 축산폐수의 작업 변수들은 센서와 계측기를 통하여 측정된 후, Solus를 통하여 데이터 전송하도록 하였다. 수집된 축산폐수 관리 정보는 PC의 화면에 그래프로 출력됨과 동시에 경보값을 상용의 무선폭출시스템을 이용하여 관리자의 호출기에 text로 출력되도록 하였다.

본 연구에서 개발한 데이터 무선전송용 소프트웨어 PAGER는 그림 3-12과 같은 개념으로 개발되었다.

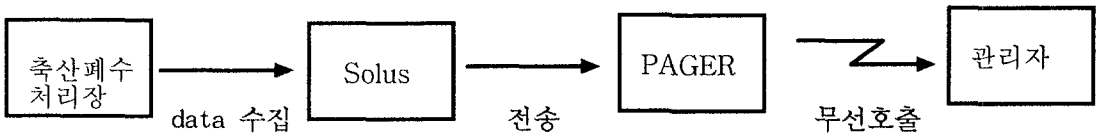


그림 3-12. 데이터 무선전송 시스템의 개념도

즉, 축산폐수의 수질 조건과 경보상황을 센서와 계측기로 측정된 후 Solus를 통해 PC로 전송하면 화면 출력과 동시에 해당 상황을 모뎀을 통하여 관리자의 무선 호출기를 통하여 출력하는 방법이다. 이러한 방법의 잇점은 별도의 전송 시스템을 사용하지 않고, 상용 통신망을 이용함으로써 저렴한 무선 통신망을 구축할 수 있다는 점이다. 이는 현재 증권시세나 일기 예보와 같은 대량의 정보가 무선폭출 시스템을 통하여 제공되고 있는 점을 고려하면 앞으로 다양한 개발의 여지가 있음을 알 수 있다.

제 2 항 데이터 무선전송 시스템 개발

본 과제에서는 데이터 무선 전송 시스템의 개발을 위하여 일단 DO, pH, 온도, 염분 등의 총 10가지의 센서 수치를 Solus system을 통하여 계측한 후, 이들 컴퓨터로 전송하도록 프로그램 하였다. 이어 이들 센서의 측정값을 컴퓨터 알고리즘을 통하여 가공 한 후 경보치에 이르면 자동적으로 모뎀을 구동하여 무선호출 하도록 프로그램 하였다. 그림 3-13은 이렇게 작성된 PAGER의 무선 호출 루틴의 하나로서 관리자의 호출 번호를 기록하는 화면이다. 화면에 호출 번호를 기입하면 모뎀을 통하여 호출 시 사용하게 된다. 무선호출 번호는 화면을 통하여 언제든지 수정 가능하다. 그림 3-14는 무선 호출을 통한 경보에 사용되는 각 센서의 측정치의 하한값과 상한값을 기록한 화면이다. 설정한 값의 범위를 벗어나면, PAGER는 해당 상황을 지정된 인식 번호로 호출기를 통하여 무선으로 전송하게 된다.

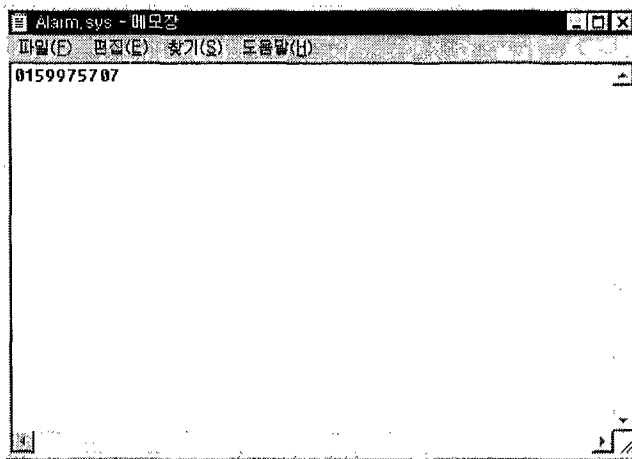


그림 3-13. 무선 호출번호 설정 화면

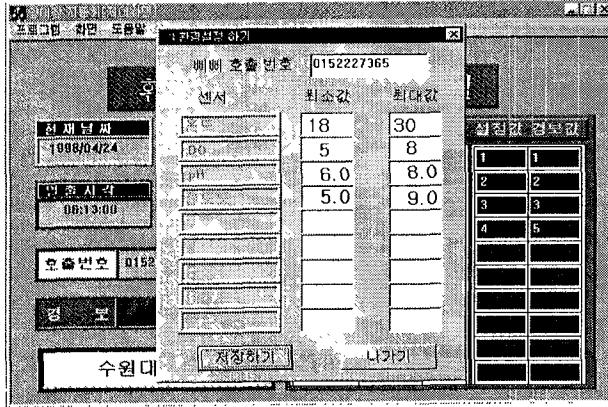


그림 3-14. 무선 호출시 사용되는 경보의 하한값 및 상한값 설정화면

제 4 절 축산폐수 처리시설 모델의 현장평가

제 1 항 축산폐수 처리시설 모델의 현장평가 방법

하천에서의 용존산소해석 모형은 수체내의 용존산소의 물리, 화학 및 생물학적 반응을 수식으로 표시한 것이다. 물리적인 과정은 유체의 이동, 혼합 및 확산 등이 포함되며, 화학 및 생물학적 과정은 생물학적 산화나 탄소 및 질소계통의 물질 산화과정이다. 하상 퇴적물에 의한 산화나 탄소나 질소계통 물질의 광합성활동, 호흡 등도 용존산소에 영향을 미치는 인자이다. 본 연구에서는 이들 여러 가지 지배인자들을 단계적으로 증가시킴에 따라 확장된 Street-Phelps 식으로써 단계적으로 상이한 모형을 구성하고, 축산폐수 처리시설을 통과한 농어촌 가정오수가 하천유입시 오염현황에 적용하여 이들 모형중 최적 형태를 도출 및 개발하는 데 목적을 두고 있다.

1) 하천 수질해석을 위한 이론적 접근

하천의 수질해석을 위한 수리학적 모형은 Streeter-Phelps가 최초로 하수 및 폐수 처리작용으로부터 방류되는 오염물질에 대한 자정능력을 평가하기 위해 유도되었다. 정상상태의 해석적인 모형의 전산화는 하천시스템의 수질 시뮬레이션을 가능하게 하는데, 미국 지질조사국의 Streeter-Phelps모형과 미국 육군 공병단의 STEADY 모형은 하천 수계에 대한 정상상태의 해를 계산하는 해석적 모형의 예이다. 수치해석적인 수질해석 모형은 정상상태의 모형과 동력학적인 모형이 존재하는데 각각 미국환경청의 QUAL2E와 미국공병단의 CE-QUAL-RIV이 그 대표적 모형이다. 그러나 국내의 경우 수계오염원의 하나인 농촌 생활하수가 소하천으로 유입되는 지형에서의 수질모델링이 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 소하천으로 유입되는 농촌 생활하수의 수질영향을 분석하기 위해서 먼저 농촌 생활하수의 특성을 조사하였다. 그리고 일반적으로 하천에서 일어나는 오염물질들의 이류, 확산, 그 외 상호작용에 대한 이전의 연구와 이론들을 고찰을 통해 본 연구에 적용될 수 있는 절적인 수질항목과 수체내에서의 반응 메카니즘을 선택하였다.

2) 실험적 접근 방법

(가) 수치해석적 수질해석 방법

수질해석모형은 하천에서 발생하는 수질항목들의 물리, 화학, 생물학적 반응을 수학적으로 체계화시켜 나타낸 것인데, 이러한 수학식을 푸는 방법은 산술적으로 확정적인 해를 구하는 것과 수치해석적인 방법이 있다. 문제를 푸는데 필요한 가정이 불충분하거나 관련식의 복잡성으로 인해 산술해를 구할 수 없는 경우 컴퓨터를 이용한 수치해석을 실시하게 된다.

(나) 모형의 확장

용존산소량의 수정을 통해서 수질모형의 정확성을 꾀하였다. BOD, 산화가능한 질소화합물, 식물성 플랑크톤과 수중식물의 성장을 유도하는 영양분등이 하천의 용존산소에 영향을 미친다. 수중생태계의 특성은 재폭기나 광합성 또는 침전물의 산소요구량과 같은 과정을 통하여 결정되는 용존산소농도에 의해 결정되므로 용존산소는 하천수질에서 상당히 중요한 위치를 점하고 있다. 따라서 이전모형에서 고려하고있지 않은 침전물 산소요구량(SOD)과 산화가능한 질소화합물(NBOD)량을 고려하여 용존산소 농도를 해석하였다.

그리고 수질항목으로 CBOD 항을 첨가하였다. 현행 국내 수질법규는 BOD 농도를 기준으로 규제를 하고있는데, 새모형은 CBOD 항의 추가를 통해서 수질기준과의 비교를 용이하게 할 것이다.

(다) 모형 검증 및 현장성 평가

모형검증과 현장성 평가를 위해서 먼저 농촌 하천의 오염부하량이나 축산폐수 처리방법 등에 대한 조사를 수행하였다. 그리하여 여러 가지 현장에서 발생가능한 특수한 경우에 대한 모형의 적용성을 알아보기 위해 모형의 반응계수와 입력치를 조절하거나 프로그램의 부분적인 수정을 통해 모의를 수행하였다. 각 반응계수의 민감도 분석과 유입 부하량의 변화, 충격부하, 지류의 유입시 수계의 반응을 조사하였다.

제 2 항 축산폐수 처리시설 모델의 현장평가

1) 농촌 생활하수의 특성과 관련연구 현황수집

농촌지역은 가옥이 넓은 지역에 분포되어있고 집수관이 제대로 설치되어 있지 않아, 폐수배출이 간헐적으로 이루어지고 오염원이 산재되어 있어 규제가 어렵다. 더욱이 읍면 단위 이하 자연부락단위 마을에서는 하수체계의 미비로 오폐수 배출이 무

방비 상태로 있다. 생활 오폐수 처리시설이 거의 없고 일부지역에서는 소규모 간이 생활하수처리시설이 시범적으로 설치 운영되고 있으나 처리기술 및 유지관리 측면에서 개선될 부분이 많다. 산재된 농촌 마을로부터 배출되는 오폐수는 최근 농촌의 물 사용량이 급증하여 생활하수 발생량이 대폭 증가되었을 뿐 아니라 수세식 화장실의 보급이 보편화됨에 따라 분뇨조차도 도시형 오염물질 배출형태로 변모해가고 있다.

2) 확장된 수질모형의 개요

모형의 대상 수질항목은 클로로필 a (대표적인 식물성 플랑크톤), 침전성 COD, 총 질소(유기질소+무기질소), 총인(유기인+무기인), 용존산소, CBOD 등 8개이다. 이전의 모형에 침전물산소요구량(SOD)과 NBOD를 고려하여 용존산소를 해석하였고 새로운 수질항목 CBOD를 첨가하여 확장한 것이다. 각 수질 항목은 이류, 확산, 내부 생산 및 손실량(source and sink)을 고려하여 농도를 모의하고 있다.

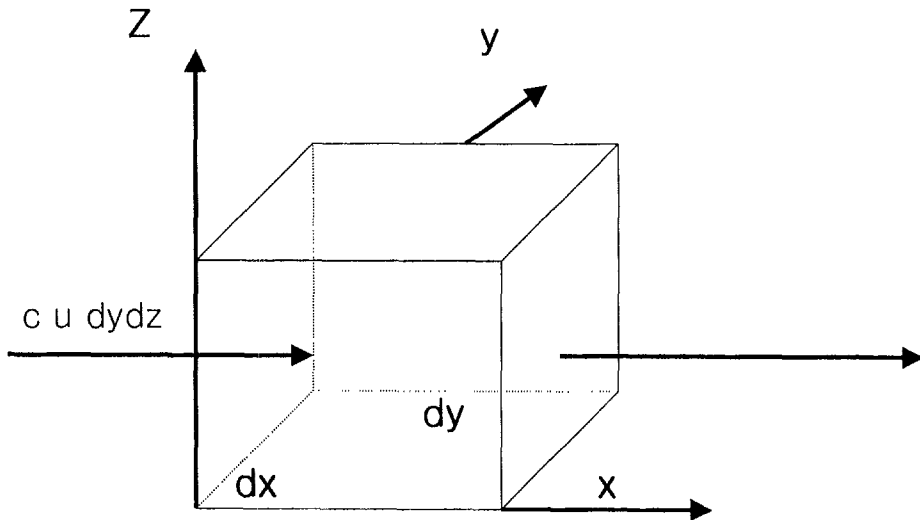


그림 3-15. 기준체적

(가) 이류

유체의 미소체적을 고려하면, 질량보존공식에서 x 축 방향으로의 수평이동에 해당하는 항목들은 다음과 같다.

$$\text{기준체적에서의 질량의 증가율} = \frac{\partial C}{\partial t} dx dy dz$$

$$\text{기준체적으로의 질량의 유입율} = CU dy dz$$

$$\text{기준체적으로부터의 질량의 유출률} = (C + \frac{\partial C}{\partial x} dx)(U + \frac{\partial U}{\partial x} dx) dy dz$$

$$C = \text{농도} [M/L^3]$$

$$U = X \text{ 방향 유속} [L/T]$$

$$dx, dy, dz = \text{기준체적의 } X, Y, Z \text{ 방향 길이} [L]$$

$$t = \text{시간} [T]$$

기준 체적내 질량의 증가 = 유입량 - 유출량

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} - C \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial C}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial x} dx$$

우변의 마지막항은 다른 항에 비하여 무시할 수 있고, y 와 z 방향의 흐름을 고려한 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} - C \frac{\partial U}{\partial x} - V \frac{\partial C}{\partial y} - C \frac{\partial V}{\partial y} - W \frac{\partial C}{\partial z} - C \frac{\partial W}{\partial z}$$

V, W : 물의 y, z 방향 속도

유체역학의 연속방정식($\partial U/\partial x + \partial V/\partial y + \partial W/\partial z = 0$)을 적용하면 이류에 의한 시

간에 따른 농도변화식이 구해진다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} - V \frac{\partial C}{\partial y} - W \frac{\partial C}{\partial z}$$

(나) 확산(Diffusion)

농도경사와 난류에 의한 유속의 변동은 물질이동현상을 초래하는데, 이를 확산이라고 한다. 확산은 소용돌이치는 난류에 의한 부분적인 혼합이라고 할 수 있다. 물질의 이동속도는 농도경사에 비례하므로, 앞의 질량보존공식에서 x 방향으로의 확산과 관련된 항목들은 다음과 같다

$$\text{기준체적에서의 질량의 증가율} = \frac{\partial C}{\partial t} dx dy dz$$

$$\text{기준체적으로의 질량의 유입율} = -E_x \frac{\partial C}{\partial t} dy dz$$

$$\text{기준체적으로부터의 질량의 유출률} = [E_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (E_x \frac{\partial C}{\partial x}) dx] dy dz$$

$$E_x = x \text{ 방향에서의 확산계수 } [L^2/T]$$

x 방향의 확산으로 인한 기준체적에서의 농도의 변화율은 다음과 같다

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (E_x \frac{\partial C}{\partial x})$$

y 와 z 방향 확산 성분을 첨가하면 다음과 같다

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (E_z \frac{\partial C}{\partial z})$$

3) 기본 방정식

각 수질항목의 지배방정식은 아래와 같다.

(식물플랑크톤)

$$V_i \frac{dP_i}{dt} = \sum_{k=1}^n Q_{ki} P_k - P_i \sum_{k=1}^n Q_{ik} + \sum_{k=1}^n [K_k \cdot D_{ki} (P_k - P_i) / L_{ki}]$$

(box k로부터 i로의 이류) (box i로부터 k로의 이류)

$$+ \mu_p \cdot P_i \cdot V_i - D_p \cdot P_i \cdot V_i - E_p \cdot P_i \cdot V_i - U_p \cdot P_i \cdot V_i / h$$

(생산) (고사) (배설) (침강)

(Detritus형 COD)

$$V_i \frac{dDCOD_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항})$$

$$+ DCOD_{(IN)i} \cdot Q_{(IN)} + D_p \cdot P_i \cdot F_{PC} \cdot V_i + E_p \cdot P_i \cdot \frac{F_{PC}}{F_{PDO}} \cdot V_i - K_{DT} \cdot DCOD_i \cdot V_i$$

(유입) (식물플랑크톤 고사) (식물플랑크톤 배설) (분해)

$$- V_i \cdot DCOD_i \cdot U_{DT,i} / h$$

(침강)

(Detritus형 질소)

$$V_i \frac{dDON_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항})$$

$$+ DON_{(IN),i} \cdot Q_{(IN),i} + D_b \cdot P_i \cdot F_{PN} \cdot V_i + E_b \cdot P_i \cdot \frac{F_{PN}}{F_{PDO}} \cdot V_i - K_{DT} \cdot DON_i \cdot V_i$$

(유입) (식물플랑크톤 고사) (식물플랑크톤 배설) (분해)

$$- V_i \cdot DON_i \cdot U_{DT,i} / h$$

(침강)

(Detritus형 인)

$$V_i \frac{dDOP_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항})$$

$$+ DOP_{(IN),i} \cdot Q_{(IN),i} + D_b \cdot P_i \cdot F_{PP} \cdot V_i + E_b \cdot P_i \cdot \frac{F_{PP}}{F_{PDO}} \cdot V_i - K_{DT} \cdot DOP_i \cdot V_i$$

(유입) (식물플랑크톤 고사) (식물플랑크톤 배설) (분해)

$$- V_i \cdot DOP_i \cdot U_{DT,i} / h$$

(침강)

(무기형 질소)

$$V_i \frac{dIN_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항}) +$$

$$IN_{(IN),i} \cdot Q_{(IN),i} - \mu_b \cdot P_i \cdot F_{PN} \cdot V_i + K_{DT} \cdot Dt_i \cdot F_{ZN} \cdot V_i$$

(유입) (식물플랑크톤생산) (Detritus분해)

(무기형 인)

$$V_i \frac{dIP_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항}) +$$

$$IP_{(IN),i} Q_{(IN),i} - \mu_p P_i F_{PP} V_i + K_{DT} Dt_i F_{ZP} V$$

(유입) (식물플랑크톤생산) (Detritus분해)

(용존 산소)

$$V_i \frac{dDO_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항}) +$$

$$DO_{(IN),i} Q_{(IN),i} + \mu_P P_i F_{PDO} V_i - R_P P_i V_i - K_{DT} Dt_i F_{ZDO} V_1$$

(유입) (생산) (호흡) (Detritus분해)

$$+ R_{AR} (DOF - DO_i) S_{s,i} - \frac{V_{SOD}}{D_i} V_i - DO_{AM} C_{AM} C_{NDN} - DO_N C_N C_N$$

(대기와의 교환) (SOD) (NBOD) (CBOD)

$$V_i \frac{dCBOD_i}{dt} = (\text{수평이류항}) + (\text{수평확산항})$$

$$+ CBOD_{IN,i} Q_{IN,i} - K_{CB} CBOD_i V_i - V_i CBOD_i U_{CB} / h$$

(유입) (분해) (침강)

P_i : BOX i의 식물플랑크톤의 농도 (mg 클로로필 a/m^3)

D_i : BOX i의 Detritus와 용존유기형 농도 (mg/m^3)

COD_i : BOX i의 Detritus와 용존 COD 농도 (mg/m^3)

DON_i : BOX i의 Detritus와 용존유기질소 농도 (mg/m^3)

IN_i : BOX i의 무기형 질소 농도 (mg/m^3)

IP_i : BOX i의 무기형 인 농도 (mg/m^3)

DO_i : BOX i의 용존 산소 농도 (mg/m^3)

V_i : BOX i의 부피 (m^3)

Q_{ij} : BOX i로부터 j로의 유량 (m^3/day)

K_h : 수평확산 계수

h : 수심 (m)

D_{ij} : BOX i와 j사이의 단면적 (m^2)

L_{ij} : BOX i와 j사이의 중심거리 (m)

$Q_{(IN),i}$: BOX i의 유입수량 (m^3/day)

$Dt_{(IN),i}$: 유입수중의 Detritus형 농도 (mg/m^3)

- $IN_{(IN)}$: 유입수중의 무기형 질소 농도 (mg/m^3)
- $IP_{(IN)}$: 유입수중의 무기형 인 농도 (mg/m^3)
- $DO_{(IN)}$: 유입수중의 용존산소 농도 (mg/m^3)
- F_{PC} : 식물프랑크톤중의 클로로필 a에 대한 COD의 비율 ($mg-COD/mg-chl$)
- F_{PN} : 식물프랑크톤중의 클로로필 a에 대한 질소의 비율 ($mg-N/mg-chl$)
- F_{PP} : 식물프랑크톤중의 클로로필 a에 대한 인의 비율 ($mg-P/mg-chl$)
- F_{PW} : 클로로필 a에서 건조중량(detritus)의 환산계수 ($mg/mg-chl$)
- F_{ZC} : detritus중의 COD의 비율 ($mg-COD/mg$)
- F_{ZN} : detritus중의 질소의 비율 ($mg-N/mg$)
- F_{ZP} : detritus중의 인의 비율 ($mg-P/mg$)
- F_{PDO} : 식물프랑크톤중의 클로로필 a에 대한 DO의 비율 ($mg-DO/mg-chl$)
- F_{ZDO} : detritus중의 DO의 비율 ($mg-DO/mg-chl$)
- μ_p : 식물프랑크톤의 비증식속도 ($1/日$)
- D_p : 식물프랑크톤의 고사속도 ($1/日$)
- E_p : 식물프랑크톤의 배설속도 ($1/日$)
- U_{pl} : 식물프랑크톤의 침강속도 ($m/日$)
- U_{DT} : detritus의 침강속도 ($m/日$)
- K_{DT} : detritus의 분해속도 ($m/日$)
- F : detritus의 저니에서의 舞上속도 ($mg/m^2/日$)
- R_{IN} : 무기 질소의 용출속도 ($mg/m^2/日$)

R_{IP} : 무기 인의 용출속도 ($mg/m^2/日$)
 R_{AR} : 재폭기 계수 ($1/日$)
 DOF : 포화용존산소 농도 (mg/m^3)
 DOX : 저니에 의한 산소소모 속도 ($mg/m^2/日$)
 V_{SOD} : 침전물 산소 요구율
 D_i : BOX i 의 깊이(m)
 DO_{AM} : 암모니아성 질소의 산소소모율
 DO_N : 아질산성 질소의 산소소모율
 C_{AM} : 암모니아성 질소의 산화율 계수
 C_N : 아질산성 질소의 산화율 계수
 $CBOD_i$: BOX i의 CBOD 농도 (mg/m^3)
 $CBOD_{IN_i}$: BOX i로의 CBOD 유입농도 (mg/m^3)
 Q_{IN_i} : BOX i로의 유입유량 (m^3/day)
 K_{CB} : CBOD 분해속도 ($1/day$)
 U_{CB} : CBOD 침강속도 (m/day)

4) 모형적용

(가) 수치해석방법

대상영역을 여러개의 박스로 분할하고, 각 BOX 내에서는 수질계산 대상물질이 완전 혼합되어있다고 가정하여 계산을 실시한다. 각 형태별 수질계산을 실시하고 마지막으로 각 형태별 농도를 총 COD, 총질소, 총인, CBOD의 농도로 환산하여 나타낸다.

① 계산조건

수심 2m, 폭2m, 길이 2km 수로를 가정하고, 이 수로를 하나의 길이가 100m인 20개의 박스 20개로 나누고 이들 박스가 연결된 것으로 하여 모형을 적용하였다.

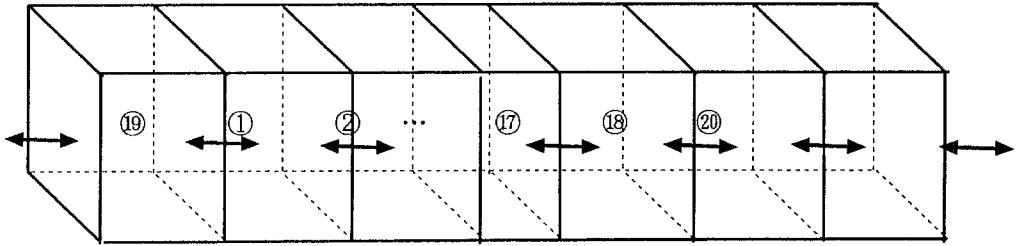


그림 3-16. Box 모형

② 계수값 설정

계산에 사용되는 계수값들은 경험적으로 알려진 값들을 사용하였고, 이 계수들은 온도에 따른 변화를 고려하였다.

③ 온도, 일조량의 설정

플랑크톤의 성장은 수온과 일조량에 밀접한 관계를 가지고 있으며 계산에 사용되는 여러 계수 값들도 온도에 따라 변하게 된다. 그리고 D0의 경우는 수온뿐만 아니라 주위 대기의 온도에 의해서도 영향을 받기 때문에 이러한 조건들을 모두 고려하였다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 일평균 기온, 일조량, 수온 등을 사용하여 계산을 실시하였다.

(나) 현장적용을 위한 모의

① 지류

지류는 박스중간에서 유입되는 것으로 하여, 지류가 있을 경우 박스중간에서 부하량의 증가와 감소를 조절할 수 있도록 하였다.

② 충격부하

유입부하는 일상적으로는 일정하게 유지되나, 특정사건으로 충격부하가 발생하거나 오염물의 처리시설등이 설치될 경우 오염부하가 줄어드는 것을 고려하도록 하였다.

③ 민감도 분석

도출된 모형에서, 각 수질반응계수들이 농도에 미치는 영향을 알아보기위해 계수들의 값을 변화시키면서 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석에 사용된 계수값은 경험적으로 알려진 값들의 범위에서 선택하여 적용하였다.

(다) 결과

① 확장된 모형에 의한 수질모의 결과

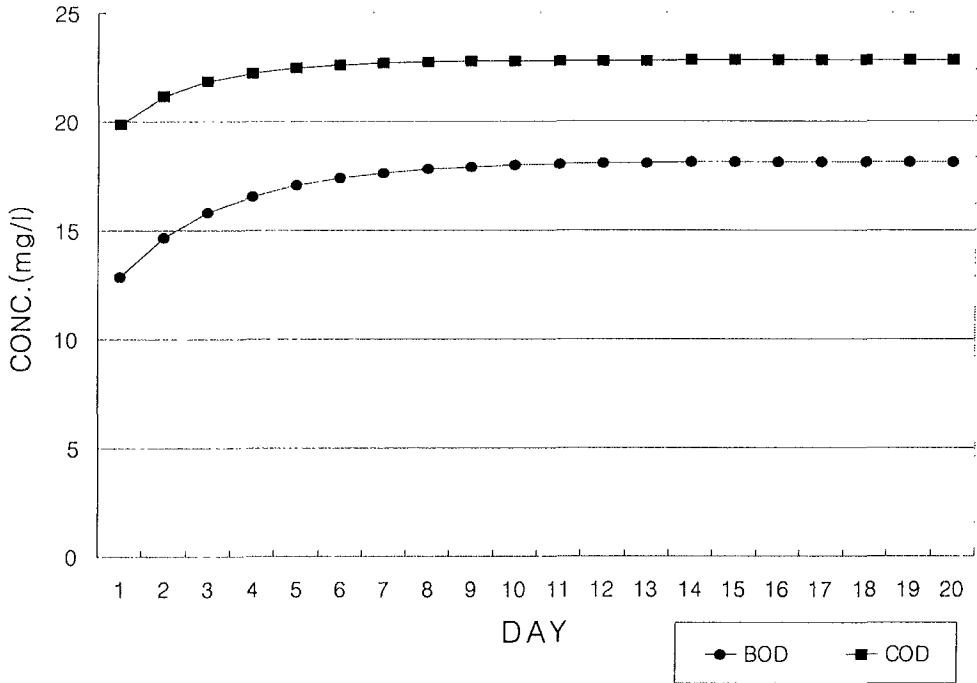


그림 3-17. 확장된 모형에 의한 CBOD, DCOD 모의 결과

새로 만들어진 CBOD 항은 이류, 확산현상으로 이동하고, 침강 및 분해에 의해 감소한다. 그림에서 CBOD(BOD_5)는 그림 3-17에서 COD 와 BOD의 차는 COD 에 포함된 NBOD(BOD_U)와 생물학적으로 분해가 어려운 유기물에 의한 것이다. 우리나라 하천수 질기준이 BOD 농도로 규제되므로 유용할 것으로 생각된다.

② 이전 모형과의 비교

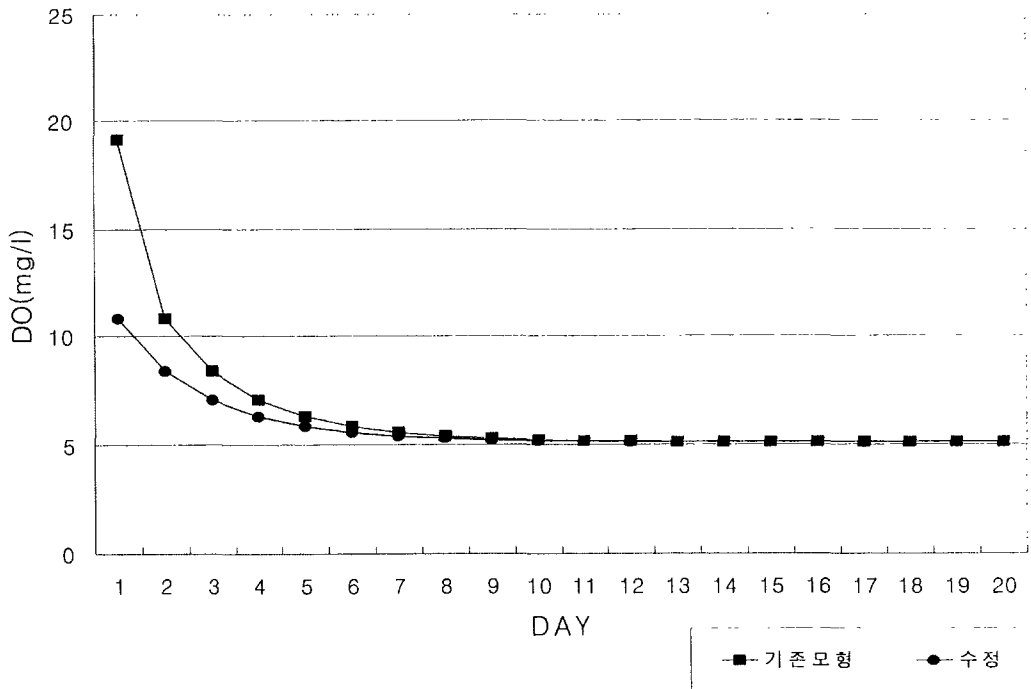


그림 3-18. 기존모형과 확장된 모형에 의한 용존산소 모의 결과

침전물산소요구량(SOD)과 NBOD 항을 첨가한 모형과 이전모형의 결과, 확장된 모형이 초기 용존산소 농도가 더 낮게 나타났으며 시간이 경과할수록 감소한다. 20일경에 두 모형에 의한 결과는 완전히 일치하지는 않고 가까이 접근하고 있다.

③ 지류 고려

실제 하천에는 지류들이 많이 분포되어있는데, 소하천에서 지류가 유입될 경우에

대해서 연결된 박스의 중간에서 유량을 증가시켜 모의를 수행했다. 중간 유입이 없을 경우와 10번 박스와 17번 박스에서 유량을 증가시킨후 10일, 20일 후 결과를 그림 3-19와 그림 3-20에 나타내었다. 지류의 유입시 하천은 희석작용을 일으켜 오염물의 농도가 감소함을 보이고 있다. 지류가 유입된 지점을 기준으로 양쪽방향으로 이류, 확산에 의한 농도의 변화가 있다.

따라서 농도는 정확한 지류유입 지점부터 변하는 것이 아니라 더 앞에서부터 서서히 낮아지고 있음을 알 수 있다.

④ 충격부하

실제 하천에서는 매일 똑같은 양의 오염부하가 배출되는 것은 아니다. 어떤 사건으로 인해 충격부하가 발생하기도 하고, 강우로 인해 농도가 감소하기도 한다. 충격부하가 있을 경우 농도의 변화를 모의하였는데, 1~10일 동안, 10~20 일 사이에 충격부하가 발생한 것에 대한 농도변화가 그림 3-21, 그림 3-22에 나타나 있다. 충격부하가 발생한 시점에서 농도는 급격히 증가하다가 시간이 경과함에 따라 다시 정상상태가 됨을 알 수 있다.

⑤ 민감도 분석

㉑ 재포기계수에 따른 농도변화

재포기 계수가 0.1/day, 0.15/day, 0.2/day 일 때 다른 항목에서의 변화는 거의 없었고, D0의 농도에만 영향을 미쳤다. 그림 3-23은 재포기 계수에 따른 D0 의 농도변화이다. 재포기계수가 높을수록, 박스번호가 증가할수록 D0 농도는 높아진다.

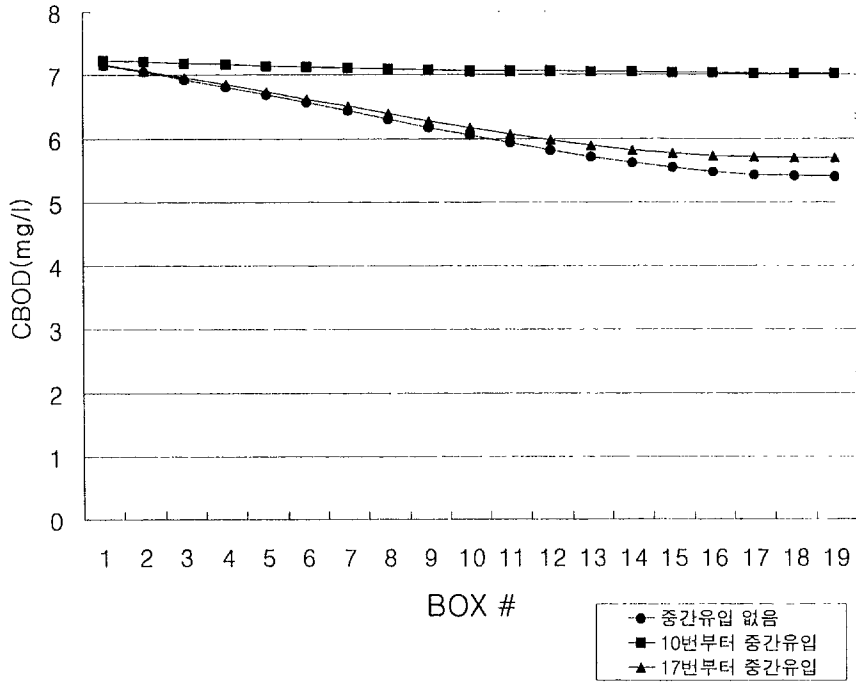


그림 3-19. 박스중간에서 유입이 없을때와 10번, 17번 박스에서 일정 유량이 유입된 10일 경과후의 BOD 농도

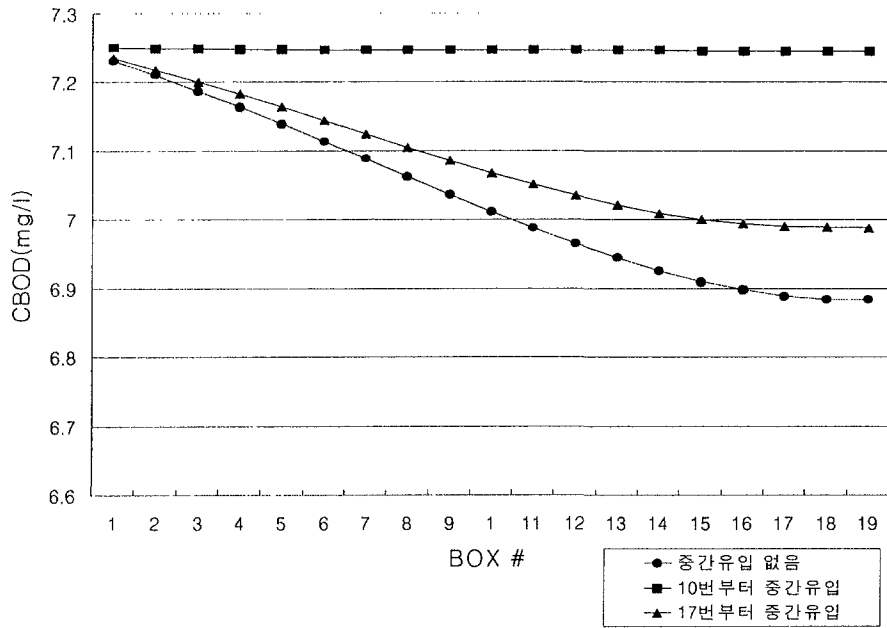


그림 3-20. 박스중간에서 유입이 없을때와 10번, 17번 박스에서 일정 유량이 유입된 20일 경과후의 BOD 농도

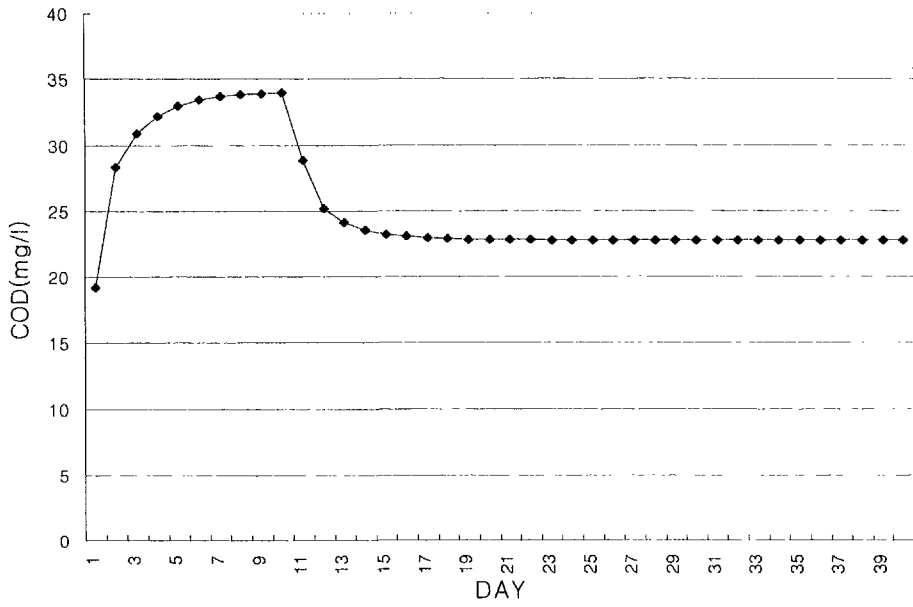


그림 3-21. 1~10일 사이 충격부하가 유입된 후 시간이 경과함에 따른 COD 농도변화

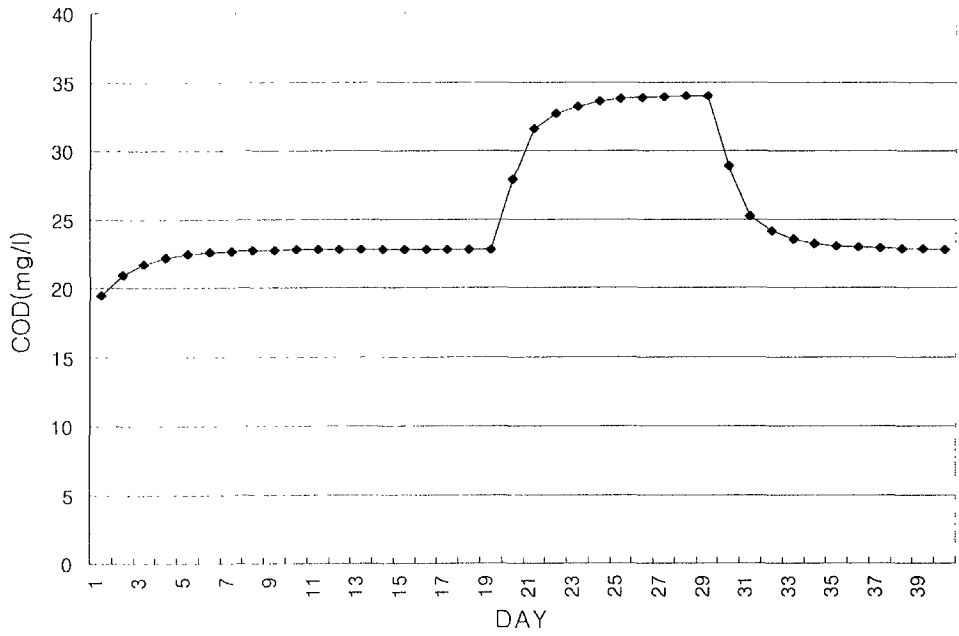


그림 3-22. 20~30일 사이 충격부하가 유입된 후 시간이 경과함에 따른 COD 농도변화

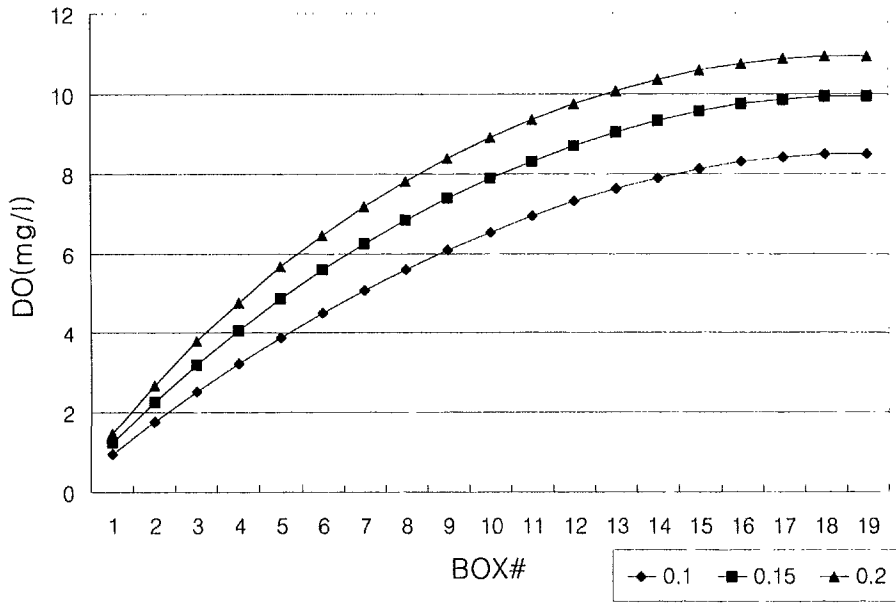


그림 3-23. 재포기계수에 따른 DO 농도 변화

㉔ 침전물 침강속도에 따른 농도변화

침강속도가 0.1m/day, 0.2m/day, 0.36m/day 로 변할 때, COD, TP, TN 의 농도에 변화가 있었다. 다른 항목들에도 농도변화가 발견되었으나 이들에 비해서는 미미한 수준이었다. 그러나 다른 반응계수들과 비교하여 침강속도는 여러 수질항목에 걸쳐 영향을 미치는 것으로 보인다.

그림 3-24, 그림 3-25, 그림 3-26은 침강속도에 따른 COD, TP, TN 의 농도변화이다. 침강에 따른 농도변화에 가장 민감한 항목은 COD이며, 침강속도가 증가할수록 각 수질항목의 농도는 낮아진다.

㉕ 인분해속도에 따른 농도변화

인의 분해속도가 0.02/day, 0.08/day, 0.2/day 일 때 총인의 농도변화가 관찰되었고, 다른 항목에서는 농도변화가 거의 없었다. <그림3-27>는 인의 분해속도에 따른 총인의 농도변화를 나타낸다. 인의 분해에 따른 농도변화의 범위는 작고 분해속도를 달리하여도 농도는 민감하게 변하지 않는다.

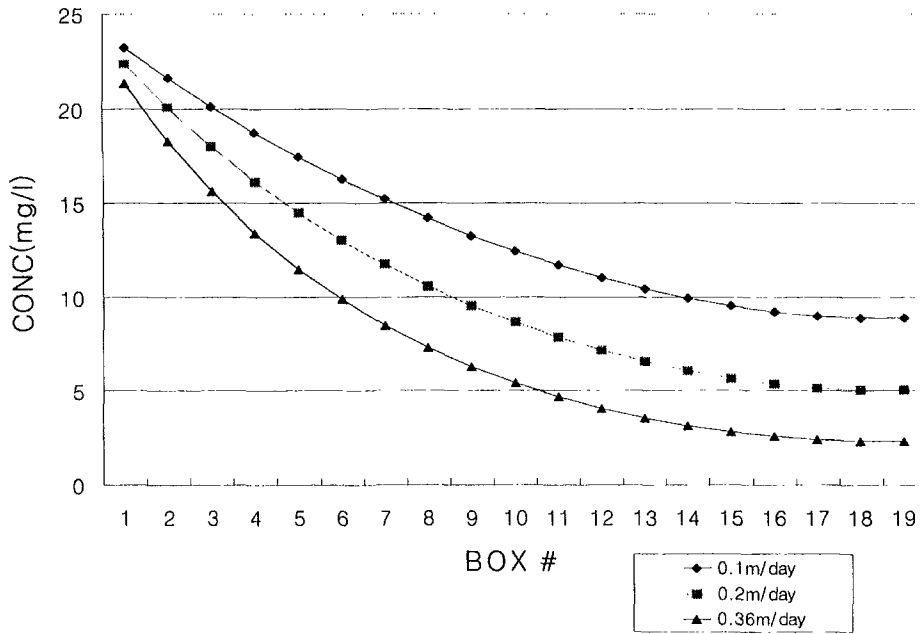


그림 3-24. 침전물 침강속도에 따른 COD 농도변화

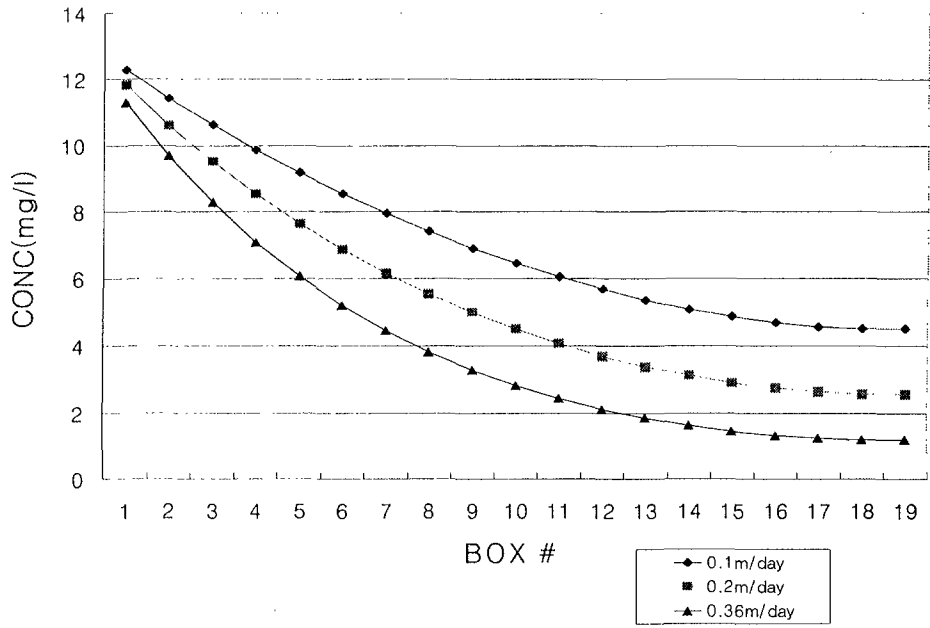


그림 3-25. 침전물 침강속도에 따른 인 농도변화

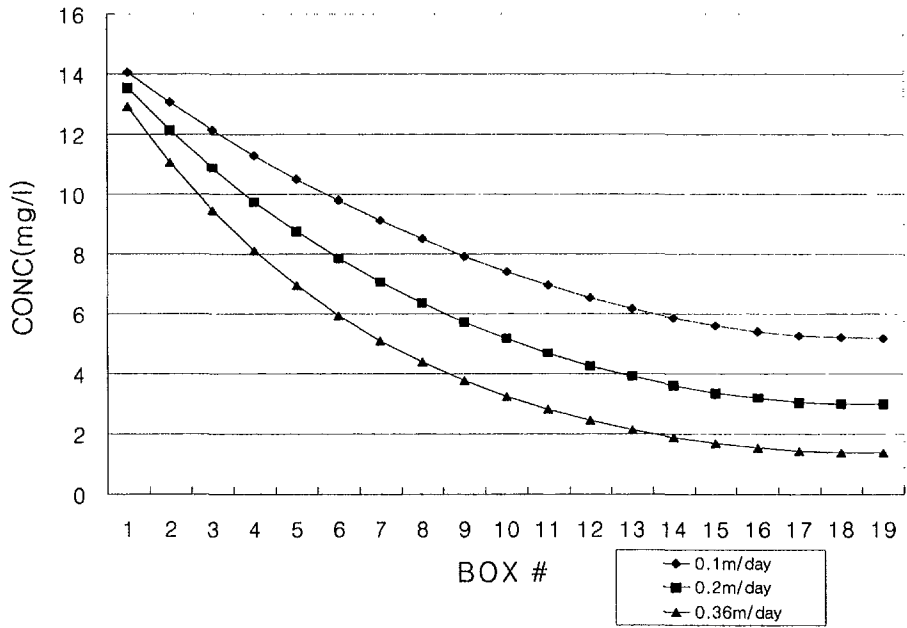


그림 3-26. 침전물 침강속도에 따른 질소 농도변화

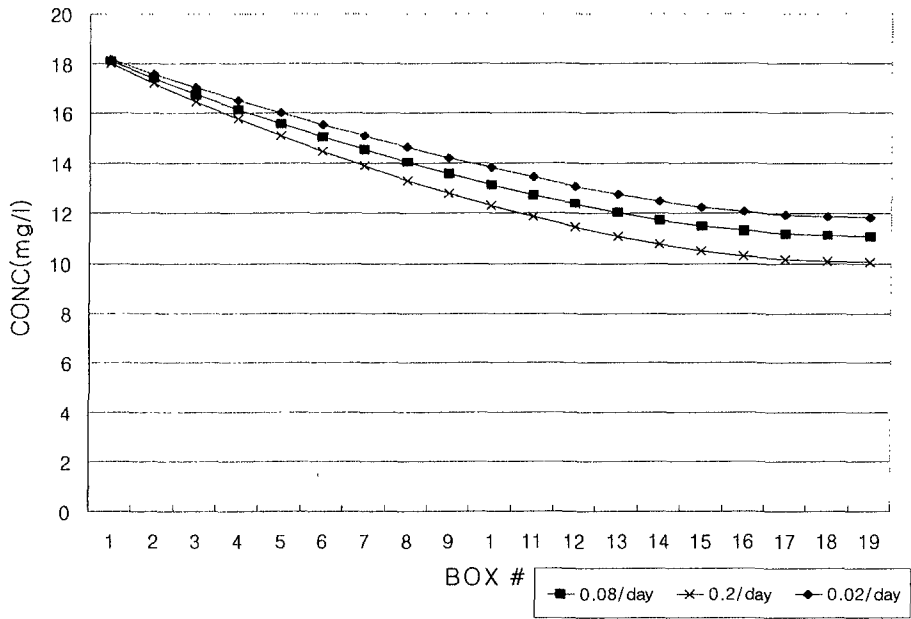


그림 3-27. 인분해속도에 따른 인의 농도

제 5 절 농촌지역 하천 수질오염 예측모델의 신뢰성 평가

제 1 항 농촌지역 하천 수질오염 예측모델의 신뢰성 평가방법

본 세부과제에는 1차년도에서 제시된 수질모델을 대상하천에 적용하여 하천 구간별로 유입되는 농촌지역 오염물질을 예측·산정할 수 있는 모델을 개발하고, 이를 적용하여 오염물질 희석유량을 예측함으로써, 추후 자동측정 시스템이 농촌지역에 설치될 경우 돌발할 수 있는 하천수질의 급격한 악화시 이에 대한 대책수립 등에 기여하고자 한다.

대상하천의 유황 조사 및 수질자료를 위하여 기 조사된 기존의 보고서 및 현장 답사를 실시하였으며, 수질모델의 매개변수 결정에는 1차 측정자료를 사용하였고, 결정된 매개변수의 검증에는 2차 측정된 자료를 사용하여 모델의 결과와 실측자료를 비교 검토하였다.

1) 기본 방정식

Qual2e 모형을 구성하는 기본 방정식은 1차원 이송·확산 물질이동방정식 (1-dimensional advection-dispersion mass transport equation)으로 다음 식과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_x \bar{U} C)}{\partial x} dx + A_x dx \frac{dC}{dt} \pm S \quad (3-3)$$

여기서, $M[M]$ 은 물질의 질량, $x[L]$ 은 종방향 거리, $t[T]$ 는 시간, $C[M/L^3]$ 는 농도, $A_x[L^2]$ 는 동수단면적, $D_L[L^2/T]$ 는 종방향 확산계수, $\bar{U}[L/T]$ 는 평균유속이고, $S[M/T]$ 는 외부로부터의 부하량 유입·유출률을 나타낸다.

한편, $M = V \cdot C$ 이므로(여기서, $V = A_x dx$ 는 수체의 체적), 식(3-3)의 좌변은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(V \cdot C)}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3-4)$$

흐름을 정상류 상태라고 가정하면, $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$, 즉, $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$ 이 된다. 이때, 식(3-4)를 식(3-3)에 대입하여 정리하면,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x \bar{U} C)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} \pm \frac{S}{V} \quad (3-5)$$

식(3-5)에서, 우변의 첫 번째 항은 유체의 난류와 농도차에 의한 dispersion을, 두 번째 항은 물질이 이동하는 advection을, 세 번째 항은 수체 내부에서 일어나는 농도변화를, 그리고 마지막 항은 수체 외부로부터의 오염물질 유출차에 의한 농도변화를 각각 나타낸다.

2) 수리학적 특성의 결정

물질수지를 계산하기 위해 통수 단면적과 평균유속이 필요하며 수체의 체적과 재포기계수 등의 산정에 수심이 필요한데, 이들 값의 결정에는 유량계수법과 Manning식에 의한 방법이 있다.

(가) 유량계수법의 의한 결정

실측자료를 이용하여 각 지점별로 유속과 유량을 산정하고 동일 구간(reach)내에서

유량과 유속, 수심과의 관계를 회귀분석법에 의해 구하여 구간별로 구해진 회귀분석 계수를 입력함으로써 식(3-6)~(3-8)에 의해 수리학적 특성이 결정된다.

$$\bar{U} = aQ^b \quad (3-6)$$

$$A_x = \frac{Q}{U} \quad (3-7)$$

$$d = \alpha Q^\beta \quad (3-8)$$

여기서, Q 는 유량, d 는 수심, a, b, α, β 는 회귀분석법에 의해서 구해진 유량계수이다.

(나) Manning식에 의한 결정

하도단면을 제형단면의 형태로 보아 모형내에서 Manning식을 이용하여 수리학적 특성을 산정한다.

$$Q = \frac{1}{n} A_x R_x^{\frac{2}{3}} S_e^{\frac{1}{2}} \quad (3-9)$$

여기서, n 은 Manning의 조도계수, R_x 는 평균 동수반경, S_e 는 에너지선의 경사이다.

3) 종방향 확산계수(DL)의 결정

$$D_L = 3.82Kn \bar{U} d^{\frac{5}{6}} \quad (3-10)$$

여기서, D_L 은 종방향 확산계수이고, K 는 확산상수로서 하도의 수리학적 특성에 따라 8.6~7500 정도의 값을 갖는다. 위의 식에서 D_L 의 단위는 ft^2/sec , \bar{U} 의 단위는 ft/sec , d 의 단위는 ft 이며, K 와 n 은 무차원이다.

제 2 항 농촌지역 하천 수질오염 예측모델의 신뢰성 평가

오염도 측정을 위하여 대상 하천으로 선정된 오산천 유역(그림 3-28)의 상류(신갈저수지) 및 하류(오산교) 구간(8.3km) 유량과 수질오염도를 각각 표 3-1 및 표 3-2와 같이 실측하여, 1차 년도에 제시된 수질모델의 적용 및 검증에 필요한 실측 자료의 정리 및 분석을 실시하였다.

표 3-1. 대상하천 하구의 갈수량

지 점	유역면적(km^2)	평균갈수량(m^3/sec)	기준갈수량(m^3/sec)
오산천 하구	152.83	0.35	0.17

표 3-2. 대상하천 하구의 연평균 수질자료

년도	온도	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	E. Coli ($MPN/100ml$)
1997	9.0	7.0	4.7	22.4	19.0	20.0	1.6×10^5
1998	9.2	7.0	5.5	26.5	16.5	16.0	2.1×10^4

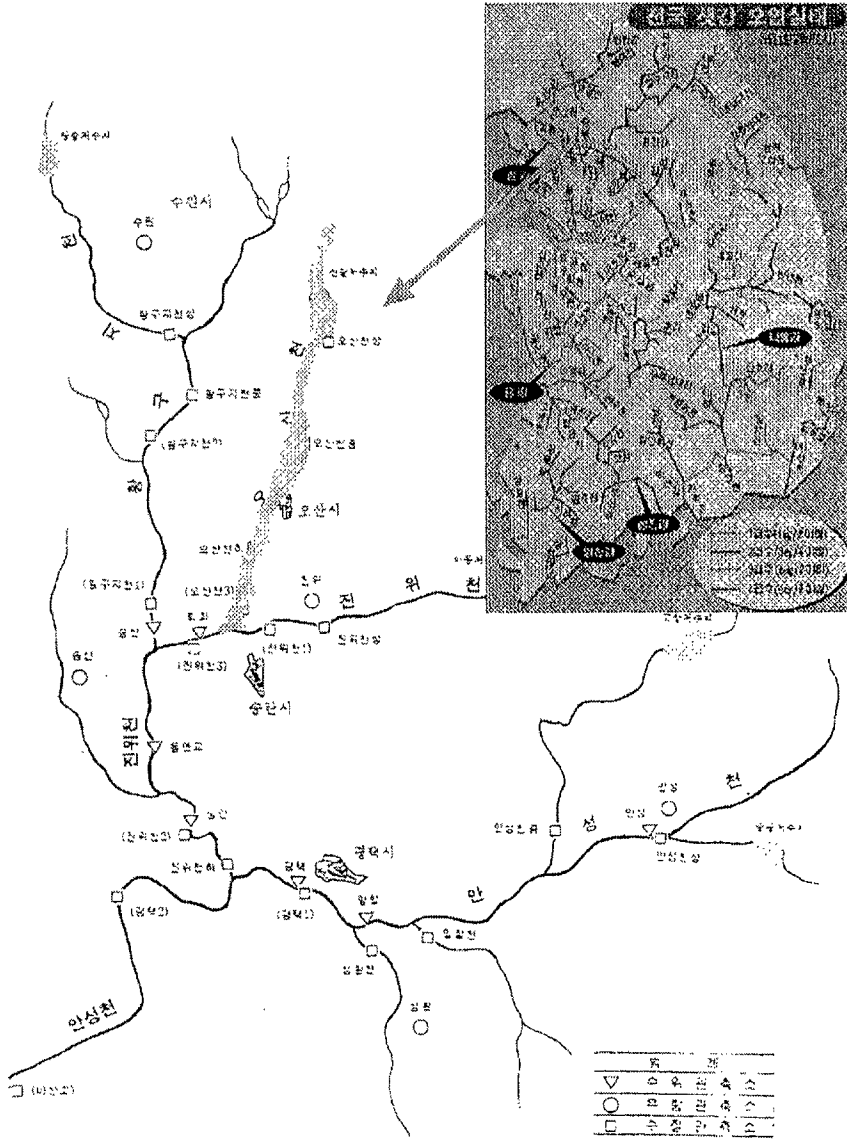


그림 3-28. 대상하천(오산천) 수문 및 수질관측소 현황

본 연구에서는 그 적용성이 인정된 기존의 Qual2e 모형을 오산천에 적용하여 효율적인 수질해석을 실시하였고 수질관리를 위한 기초자료를 제공하였으며, 적절한 예측모형을 구성하였다. 이렇게 개발된 모형을 이용하여 추후에 완성될 하천지점별 수질오염도 연속측정장치로부터 하천구간별 하수발생량을 측정하여 수질을 예측한다면 안정된 양질의 하천수질 확보에 기여할 수 있을 것이다.

개발된 Qual2e 모형의 검증(Verification)을 1997년 4월의 수질측정 자료를 이용해서 실시하였는데, 계산치와 실측치가 잘 일치하는 결과를 나타내었고 이를 통해 적절한 예측모형이 구성되었음을 알 수 있었다. 따라서 개발된 모형을 이용하여 오산천의 수질변화를 모의할 수 있을 것이며, 이를 통해 하천구간별로 유입하는 농촌지역의 오염물질을 예측·산정하고 오염물질 희석유량을 예측함으로써, 추후 자동측정시스템이 농촌지역에 설치될 경우 돌발할 수 있는 하천수질의 변화에 대한 대책 수립 등에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

제 6 절 측정시스템의 연안해역 응용평가

제 1 항 측정시스템의 연안해역 응용 평가방법

농·어촌지역의 수질환경 개선을 위한 응용기술 개발의 일환으로서 본 한국어장환경 연구소가 위치한 인근의 양식장을 선정하여 수질환경 변화를 측정하였다. 특히 수질환경 변화를 측정시스템으로 수온, 염분, pH, DO 등의 측정을 양식장 환경 관리에 적용시켜 측정 시스템의 현장평가 및 데이터의 전송시스템을 평가할 목적으로 본 연구를 수행하였다. 수질환경 인자는 경남 통영시 사랑면 수우도 인근해역의 1정점과 대조구로 서하동군 신노랑리 어류양식장에서의 1정점을 선정하여 현장과 실험실에서 측정하였다. 수질환경인자 조사는 일주일에 1회 현장조사를 실시하고 실내에서 분석하였다. 인자로는 수온, 염분, 투명도, pH, 용존산소, 영양염, Chlorophyll a 등을 조사하였다.

수질조사중 수온은 간이채수기의 봉상온도계로 현장에서 측정하였고 염분은 채수후 실험실에서 자동염분계로, 투명도는 투명도판으로 현장에서 측정하였으며 pH는 실험실에서 용존산소는 Winkler변법으로 현장에서 고정후 실험실에서 자동뷰렛으로 측정하였다. 영양염은 각 조사어장의 상, 중, 하층에서 채수한 시수 500ml를 proesize 0.45 μ m인 유리섬유 여과지(GF/C 여과지)를 이용하여 여과시킨 후 여액으로 NH_4^+ -N은 인도페놀법, NO_2 -N은 NED법, NO_3 -N은 Cu-Cd칼럼환원법, 인산염은 아스코르빅산법, 규산염은 몰리브덴 청법에 준하여 분석하였으며 표 3-3에 대한 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

표 3-3. 수질분석항목별 사용기기 및 분석방법

분석항목	분석기기	분석방법
수온	봉상온도계	현장측정
염분	Salinometer	실내측정
투명도	Secchi disc	현장측정
pH	pH Meter	실내측정
DO	자동부렛	Winkler법
영양염류	Spectrophotometer	비색법
Chlorophyll a	Spectrophotometer	유기용매 추출법

1) 아질산성 질소(Nitrite-nitrogen; $\text{NO}_2\text{-N}$) - NED법

이 원리는 산성 용액중(pH 2.0 내지 2.5)에서 방향족 제 1아민(Sulfanilamide)과 반응해서 생성되는 diazo화합물에 방향족 아민류(N-(1-naphtyl)-ethylene diamine dihydrochloride)를 가해 형성된 핑크색의 azo 화합물의 흡과도를 543nm 파장에서서 측정하였다.

2) 질산성 질소(Nitrite-nitrogen; $\text{NO}_3\text{-N}$) - Cu-Cd 칼럼 환원방법

이 원리는 질산성 질소를 황산구리 용액으로 처리한 카드뮴 입자가 채워진 환원용 유리관을 통과시키면 정량적으로 아질산질소로 환원된다. 이렇게 환원된 아질산성 질소를 NED법으로 측정한다. 시수중에 최초로 들어있는 아질산성 질소를 뺀 값으로 질산성 질소 농도를 구하였다.

3) 암모니아성 질소(Ammonia-Nitrogen; $\text{NH}_4^+\text{-N}$) - 인도페놀법

이 원리는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 알카리성에서 페놀과 치아연소산의 존재하에서 니트로프로시드의 촉매작용으로 페놀과 반응하여 청색의 Indophenol이 생성되는데 이의 흡광도를

640nm 파장에서 측정하여 암모니아 질소를 정향하였다.

4) 용존무기인(Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP) - 아스코르빅산법

용존 무기인 형태의 인은 아스코르빅산법에 의하여 분석하였다. 이 원리는 몰리브덴산염의 황산용액을 가용성의 인산염 용액에 가하면, 인 몰리브덴 착체를 생성하며 이 착체를 환원하면 청색물질로 되어 이의 흡광도를 약 1시간 후에 파장 690nm에서 측정하였다.

5) 용존 무기규소(Silicate-Silicon; $\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$) - 몰리브덴 청법

몰리브덴산 나트륨을 이용하는 청색비색법에 의하였다. 이 원리는 pH 1.2 부근의 산성에서 규소는 몰리브덴산 암모늄과 반응하여 황색의 규소 몰리브덴산 착체를 형성한다. 이를 Aminonaphtholsulfonic acid로 환원시켜 청색의 Heteropoly blue를 형성시켜 이를 810nm 파장에서 비색 측정하였다.

6) Chlorophyll a - 유기용매 추출법

현장에서 채취한 해수 1 ℓ를 GF/C filter로 여과하며 90 % Acetone 10 ml가 들어 있는 시험관에 넣은 후 유리병으로 여과지를 마쇄하여 밀바닥에 정치시킨 다음 약 5 ℃의 냉 암장실에서 20~24시간 방치하였다. Acetone에 용해된 Chlorophyll만을 원심분리하여 상등액만을 위한 후 Spectrophotometer와 1 cm cell을 이용하여 750, 663, 645, 630 nm의 파장에서 흡광도를 측정한 후 측정된 흡광도 값을 이용하여 Chlorophyll a를 계산하였다.

$$\text{Chlorophyll } a \text{ } (\mu\text{g}/\ell) = (11.64 \text{ } e663 - 2.16 \text{ } e645 + 0.10 \text{ } e630) \times \frac{\text{Acetone양}(ml)}{\text{여과된시료의양}(\ell)}$$

$$\ast e663 = \frac{E663 - E750}{\text{측정용 셀의 빛 투과길이}}$$

$$e645 = \frac{E645 - E750}{\text{측정용 셀의 빛 투과길이}}$$

$$e630 = \frac{E663 - E750}{\text{측정용 셀의 빛 투과길이}}$$

제 2 항 측정시스템의 연안해역 응용평가

각 요인별로 채수한 시료별 분석결과는 다음과 같았다.

1) 수온

일사량, 강우, 계절풍, 육지와의 거리 등에 따라 변화가 심한 대표적 연안역인 조사정점의 수온 변화를 조사한 결과는 표 3-4과 같았다. 1997년 11월 17일 부터 1998년 4월 6일 까지 15회에 걸쳐 조사한 수온은 11월 17일 15.3℃에서 점차 감소하여 1998년 2월 2일 7.0℃로 최저치를 나타내었다. 대조구인 하동에서도 1998년 2월 2일에 6.0℃로 최저치를 나타내었으며 양 해역간 수온차이는 1.0℃로 하동 해역이 수우도 해역보다 낮았다.

표 3-4. 수우도, 하동 대조구 해역 수온(℃) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	-	-	-	-
97. 11. 17	15.3	15.1	-	-
97. 11. 28	14.0	13.4	-	-
97. 12. 04	12.5	13.0	-	-
97. 12. 16	11.0	10.5	10.0	10.0
97. 12. 23	11.6	11.0	10.5	10.2
98. 01. 06	9.4	9.4	8.9	8.9
98. 01. 20	8.0	8.2	7.0	7.2
98. 02. 02	8.3	7.5	6.0	6.0
98. 02. 11	7.0	6.9	6.5	6.6
98. 02. 23	8.0	8.1	7.4	7.5
98. 03. 04	9.6	9.7	9.0	9.2
98. 03. 11	9.7	9.0	9.7	9.5
98. 03. 20	9.7	10.0	10.0	10.0
98. 03. 26	10.5	10.4	10.2	10.1
98. 04. 06	12.0	11.7	13.0	12.8

2) pH

해수중의 수소이온 농도인 pH 변화는 식물성플랑크톤의 번무에 따라 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일 까지 13회 측정한 결과는 표 3-5과 같았다. 수우도 해역에서는 1997년 12월 4일 7.99로 가장 낮은 pH를 나타내었으나 점차 증가하여 1998년 2월 11일에 8.47로 가장 높은 값을 나타내었으며, 하동 대조구에서도 8.41로 가장 높은 값을 나타내어 두 해역 동일한 경향을 나타내었다.

표 3-5. 수우도, 하동 대조구 해역 pH 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	8.16	8.17	-	-
97. 11. 17	8.17	8.17	-	-
97. 11. 28	8.11	8.13	-	-
97. 12. 04	7.99	7.98	-	-
97. 01. 20	8.25	8.25	8.20	8.16
98. 02. 02	8.40	8.39	8.31	8.31
98. 02. 11	8.47	8.47	8.41	8.41
98. 02. 23	8.26	8.25	8.27	8.26
98. 03. 04	8.11	8.11	8.07	8.08
98. 03. 11	8.21	8.21	8.18	8.17
98. 03. 20	8.23	8.24	8.24	8.23
98. 03. 26	8.10	8.10	8.13	8.12
98. 04 .06	8.20	8.19	8.16	8.17

3) 염분도

강우와 증발, 강의 하구로 부터 유입되는 담수에 따라 좌우되는 염분도의 변화를 조사한 결과는 표 3-6과 같았다. 1997년 10월 30일 부터 1998년 3월 26일 까지 15회에 걸쳐 조사한 결과중 수우도 해역은 1997년 12월 23일 32.37‰로 가장 낮았고 1997년 11월 17일 33.64‰로 가장 높은 염분도를 나타내었다. 한편 대조구에서는 대부분 33 ‰ 이하의 낮은 염분도를 나타내었다.

표 3-6. 수우도, 하동 대조구 해역 염분도(‰) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1m	10m	1m	10m
97. 10. 30	33.24	33.25	-	-
97. 11. 17	33.64	33.40	-	-
97. 11. 28	33.11	33.73	-	-
97. 12. 04	33.06	33.17	-	-
97. 12. 16	32.67	32.62	32.06	31.97
97. 12. 23	32.37	32.35	32.81	32.88
98. 01. 06	32.80	32.82	32.54	32.48
98. 01. 20	32.95	32.92	32.31	32.59
98. 02. 02	33.20	32.78	32.79	32.77
98. 02. 11	33.38	33.29	33.01	32.95
98. 02. 23	33.22	33.27	33.30	32.96
98. 03. 04	33.40	33.41	32.85	32.80
98. 03. 11	33.42	33.40	33.44	33.42
98. 03. 20	33.57	33.58	32.83	33.06
98. 03. 26	33.55	33.27	32.91	32.77

4) 용존산소

대기 중에서 해수 중으로 확산과 유기물의 분해, 광합성 작용에 의해 좌우되는 해수 중 용존산소의 변화를 조사한 결과는 표 3-7과 같았다. 수우도 해역에서 용존산소의 변화는 1997년 11월 17일 부터 1998년 4월6일 까지 15회에 걸쳐 조사한 결과 수온이 점차 하강하면서 용존산소는 5.29 ml/ℓ에서 점차 증가하여 수온이 가장 낮았던 1998년 2월 11일에 최고값인 7.66ml/ℓ로 가장 높은 값을 나타내었다. 그후 수온이 점차 증가하면서 용존산소는 점차 감소하고 있다.

표 3-7. 수우도, 하동 대조구 해역 용존산소(ml/ℓ) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	-	-	-	-
97. 11. 17	5.29	5.36	-	-
97. 11. 28	5.55	5.48	-	-
97. 12. 04	5.75	5.71	-	-
97. 12. 16	6.44	6.44	6.50	6.58
97. 12. 23	6.66	6.52	6.61	6.85
98. 01. 06	7.56	7.46	7.62	7.57
98. 01. 20	6.67	6.65	6.65	6.73
98. 02. 02	7.51	7.59	7.45	7.44
98. 02. 11	7.66	7.55	7.20	7.35
98. 02. 23	6.97	7.00	7.40	7.37
98. 03. 04	7.23	7.06	7.21	7.22
98. 03. 11	6.42	6.40	6.51	6.44
98. 03. 20	6.30	6.32	6.33	6.37
98. 03. 26	6.25	6.20	6.44	6.43
98. 04. 06	6.12	6.09	6.17	6.09

5) 투명도

해수중에 현탁된 입자나 동, 식물 plankton 등에 의해 크게 좌우되는 투명도를 조사 해역에서 투명도판을 이용하여 1997년 11월 17일 부터 1998년 4월 16일 까지 총 16 회 조사한 결과는 표 3-8과 같았다. 수우도 해역의 경우 1997년 11월 17일 폭풍으로 인하여 상, 하층의 교란이 심하여 1.8m로 가장 낮은 투명도를 나타내었다. 일반 연안역에서 일반적으로 나타나는 5.0m 이하가 대부분이었으나, 1998년 3월 12일에 가장 높은 6.0m를 나타내었다. 한편, 하동 대조구에서는 1998년 2월 2일에 1.2m로 가장 낮았으나 1998년 3월 11일에 6.0m로 가장 높은 투명도를 나타내었다.

표 3-8. 수우도, 하동 대조구 해역 투명도(m) 조사 결과

Date	수우도 해역	하동 대조구
97. 10. 30	-	-
97. 11. 17	1.8	-
97. 11. 28	1.8	-
97. 12. 04	2.5	-
97. 12. 16	2.0	2.0
97. 12. 23	4.0	4.0
98. 01. 06	3.0	3.5
98. 01. 20	3.5	4.0
98. 02. 02	2.5	1.2
98. 02. 11	2.5	1.2
98. 02. 23	5.0	4.0
98. 03. 04	3.5	3.0
98. 03. 11	6.0	6.0
98. 03. 20	0.7	3.0
98. 03. 26	2.0	2.0
98. 04. 06	2.0	2.0

6) 영양염

유기물이 분해되면서 방출되는 암모니아는 아질산, 질산으로의 과정을 거쳐 다시 해양식물에 이용되는 가장 중요한 영양염이다. 조사해역에서 이들의 변화를 조사한 결과는 표 3-9, 3-10, 3-11과 같았다. 조사해역에서 암모니아의 변화는 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일까지 총 16회 조사한 결과 수우도 해역에서 1997년 2월 2일 $0.19\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었고 1997년 12월 4일 $0.73\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타내었다. 하동 대조구에서도 1998년 2월 2일 $0.17\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었고, 1997년 12월 16일 $0.80\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타내었다.

표 3-9. 수우도, 하동 대조구 해역의 암모니아($\mu\text{g-at/l}$) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	0.30	0.33	-	-
97. 11. 17	0.23	0.33	-	-
97. 11. 28	0.72	0.57	-	-
97. 12. 04	0.73	0.72	-	-
97. 12. 16	0.45	0.45	0.80	0.63
97. 12. 23	0.39	0.27	0.42	0.29
98. 01. 06	0.25	0.21	0.25	0.21
98. 01. 20	0.26	0.23	0.42	0.52
98. 02. 02	0.20	0.19	0.30	0.17
98. 02. 11	0.23	0.21	0.26	0.26
98. 02. 23	0.45	0.47	0.52	0.60
98. 03. 04	0.30	0.25	0.46	0.42
98. 03. 11	0.22	0.29	0.36	0.33
98. 03. 20	0.45	0.35	0.58	0.45
98. 03. 26	0.31	0.23	0.41	0.31
98. 04 .06	0.48	0.45	0.79	0.60

암모니아와 질산의 중간 산화과정중에 해수 중에 분포하는 아질산의 변화는 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일 까지 총 16회 조사한 결과, 수우도 해역에서 1998년 3월 4일 $0.27\mu\text{g-at/l}$ 에서 가장 낮은 농도를 나타내었고 1997년 12월 23일 $2.56\mu\text{g-at/l}$ 로 가장 높은 농도를 나타내었다. 한편 하동 대조구에서는 1997년 12월 23일 $2.85\mu\text{g-at/l}$ 로 가장 높은 농도를 나타내었고 1998년 3월 4일 $0.38\mu\text{g-at/l}$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

표 3-10. 수우도, 하동 대조구 해역의 아질산($\mu\text{g-at}/\ell$) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	0.72	0.76	-	-
97. 11. 17	0.47	0.49	-	-
97. 11. 28	0.74	0.85	-	-
97. 12. 04	1.61	1.69	-	-
97. 12. 16	2.31	1.78	2.31	2.14
97. 12. 23	2.01	2.56	2.85	2.62
98. 01. 06	1.38	1.42	1.84	1.86
98. 01. 20	0.87	0.95	1.52	1.40
98. 02. 02	0.82	0.80	1.29	1.33
98. 02. 11	0.83	0.78	1.42	1.08
98. 02. 23	1.76	1.56	1.82	1.44
98. 03. 04	0.27	0.15	0.61	0.38
98. 03. 11	0.36	0.19	0.59	0.42
98. 03. 20	0.44	0.32	0.72	0.46
98. 03. 26	0.89	0.66	1.29	0.80
98. 04. 06	0.38	0.23	0.78	0.53

연안해역에서 질소영양염 중 가장 중요한 질산은 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일 까지 총 16회 조사한 결과는 표 3-11과 같이 조사되었다. 1997년 10월 부터 일사량의 감소와 함께 수우도 해역에서 점차 증가하기 시작하여, 1997년 12월 16일 $38.56\mu\text{g-at}/\ell$ 에서 가장 높은 값을 나타내었고, 그 후 점차 감소하여 1997년 3월 4일에 $1.42\mu\text{g-at}/\ell$ 로 거의 고갈되었다. 한편 하동 대조구에서도 1997년 12월 13일 $43.54\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 이후 감소하여 1998년 3월 4일 $7.19\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

표 3-11. 수우도, 하동 대조구 해역의 질산($\mu\text{g-at}/\ell$) 조사 결과

Date	수우도해역		하동대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	15.79	16.86	-	-
97. 11. 17	12.09	14.30	-	-
97. 11. 28	22.91	18.07	-	-
97. 12. 04	29.45	24.12	-	-
97. 12. 16	38.56	36.35	43.40	40.41
97. 12. 23	34.01	25.97	43.54	41.05
98. 01. 06	18.50	18.07	28.38	24.33
98. 01. 20	18.64	16.29	36.28	31.37
98. 02. 02	5.05	5.19	20.06	17.22
98. 02. 11	8.25	5.76	22.05	21.41
98. 02. 23	6.26	5.83	15.86	12.16
98. 03. 04	1.42	1.35	10.24	7.19
98. 03. 11	3.06	3.70	9.18	7.61
98. 03. 20	4.48	3.41	12.73	10.53
98. 03. 26	10.03	6.33	10.88	10.67
98. 04. 06	6.97	4.34	42.33	15.51

질산과 같이 변화하면서 부영양화에 크게 기여하는 인산은 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일 까지 총 16회 조사한 결과는 표 3-12와 같았다. 수우도 해역에서 1997년 12월 4일 $1.39\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타내었고 1998년 3월 4일 $0.14\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 한편 하동 대조구에서는 1997년 12월 16일 $2.30\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타내었고 1998년 4월 6일 $0.63\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

표 3-12. 수우도, 하동 대조구 해역의 인산($\mu\text{g-at}/\ell$) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	1.11	1.18	-	-
97. 11. 17	1.25	1.46	-	-
97. 11. 28	1.25	1.11	-	-
97. 12. 04	1.39	1.32	-	-
97. 12. 16	0.97	0.97	2.16	2.30
97. 12. 23	1.32	1.39	1.81	1.95
98. 01. 06	0.84	0.77	1.46	1.32
98. 01. 20	0.84	0.90	1.81	1.67
98. 02. 02	0.35	0.42	1.25	1.25
98. 02. 11	0.56	0.28	1.25	1.11
98. 02. 23	0.43	0.42	0.84	0.84
98. 03. 04	0.14	0.14	1.32	0.84
98. 03. 11	0.35	0.42	1.32	1.32
98. 03. 20	0.49	0.49	1.32	1.32
98. 03. 26	0.42	0.21	0.90	0.77
98. 04. 06	0.28	0.77	0.63	1.11

수심이 낮고 연안 저질이 폭풍, 조류로 현탁물질이 강으로 부터 유입되어 식물플랑크톤중 규조류 등에 기본 영양염으로 이용되는 규산염을 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일 까지 총 16회 조사한 결과는 표 3-13과 같았다. 수우도 해역에서 1997년 12월 4일 $17.95\mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타낸 후 점차 증가하는 추세에 있다. 한편 하동 대조구에서는 1998년 2월 23일 $0.26\mu\text{g-at}/\ell$ 로 거의 고갈되었으나 이후 다시 증가하는 추세를 보이고 있다.

표 3-13. 수우도, 하동 대조구 해역의 규산($\mu\text{g-at}/\ell$) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	14.80	15.99	-	-
97. 11. 17	12.33	12.93	-	-
97. 11. 28	14.03	13.52	-	-
97. 12. 04	17.95	9.70	-	-
97. 12. 16	15.99	17.61	21.86	20.16
97. 12. 23	13.78	14.54	13.78	13.69
98. 01. 06	6.46	6.72	7.06	6.97
98. 01. 20	4.85	5.78	9.02	7.91
98. 02. 02	0.17	0.60	2.13	2.30
98. 02. 11	0.09	0.00	1.87	1.96
98. 02. 23	0.00	0.43	0.85	0.26
98. 03. 04	0.43	0.43	0.43	0.26
98. 03. 11	0.34	0.43	1.02	1.11
98. 03. 20	1.36	1.28	1.28	0.85
98. 03. 26	1.62	6.04	1.19	4.25
98. 04. 06	1.87	2.72	10.21	3.57

7) 클로로필 a

식물플랑크톤 양에 의해 결정되는 클로로필 a를 1997년 10월 30일 부터 1998년 4월 6일 까지 총 16회 조사한 결과는 표 3-14와 같았다. 수우도 해역의 경우 겨울이 되면서 증가하기 시작하여 1998년 2월 2일 에 $6.51 \mu\text{g-at}/\ell$, 1998년 3월 4일에 $7.09 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타내었다. 한 편 하동 대조구에서는 1998년 2월 2일 $10.80 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 나타낸 후 증감을 되풀이 하고 있으며 투명도가 가장 높았던 1998년 3월 4일 $0.49 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

표 3-14. 수우도, 하동 대조구 해역의 Chl.-a($\mu\text{g-at}/\ell$) 조사 결과

Date	수우도 해역		하동 대조구	
	1 m	10 m	1 m	10 m
97. 10. 30	1.35	1.74	-	-
97. 11. 17	0.19	0.43	-	-
97. 11. 28	1.78	1.74	-	-
97. 12. 04	0.66	0.89	-	-
97. 12. 16	2.01	3.24	3.24	1.59
97. 12. 23	1.55	2.40	2.40	1.12
98. 01. 06	4.41	5.07	5.07	1.97
98. 01. 20	1.31	2.68	1.27	0.38
98. 02. 02	3.67	6.51	10.80	10.80
98. 02. 11	1.31	3.45	6.11	5.64
98. 02. 23	1.31	3.45	5.83	6.76
98. 03. 04	2.05	7.09	0.49	4.96
98. 03. 11	2.71	2.25	5.15	3.79
98. 03. 20	3.79	3.56	4.57	5.06
98. 03. 26	2.48	4.18	8.28	9.56
98. 04 .06	2.51	6.31	4.13	1.85

이상의 조사결과를 요약하면 수우도 해역이나 하동 대조구 해역에서는 수온이 내려가면서 질산, 규산이 증가되고 이때 겨울인데도 식물플랑크톤의 번무가 일어났다. 이때 가장 뚜렷한 변화는 질산염과 규산염의 소모가 가장 많았으며 그 결과 DO와 pH의 뚜렷한 증가가 있었다.

제 5 절 결론

단거리용 교환형 이중 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발하기 위하여 먼저 축산폐수의 수질측정을 위하여 실험실에서 자체적으로 전도도 센서 및 측정 시스템을 개발하였다. 개발한 전도도 측정 시스템은 수입품에 유사한 높은 선형성을 나타내었다.

전처리 공정을 거쳐서 나온 축산폐수의 탁도/SS/TDS의 상관관계를 수분석으로 비교하여 sample의 TDS 만을 on-line으로 측정함으로써 SS 및 탁도를 연속적으로 측정할 수 있음을 확인하였다. 축산폐수 처리의 관리와 경보를 위하여 데이터 무선 전송 시스템을 hardware 및 software 중심으로 개발하였다.

확장된 Street-Phelps 식으로써 단계적으로 상이한 모형을 구성하고, 축산폐수 처리시설을 통과한 농어촌 가정오수가 하천유입시 오염현황에 적용하여 이들 모형중 최적 형태를 도출 및 개발하였다. 모형의 대상 수질항목은 클로로필 a , 침전성 COD, 총질소(유기질소+무기질소), 총인(유기인+무기인), 용존산소, CBOD 등 8개이다. 이전의 모형에 침전물산소요구량(SOD)과 NBOD를 고려하여 용존산소를 해석하였고, 새로운 수질항목 CBOD를 첨가하여 확장하였다. 각 수질 항목은 이류, 확산, 내부 생산 및 손실량(source and sink)을 고려하여 농도를 모의하였다.

농촌지역 하천 수질오염도 측정을 위하여 대상 하천으로 선정한 오산천 유역의 상류(신갈 저수지) 및 하류 (오산교) 구간의(8. 3km) 유량과 수질오염도를 각각 실측하여, 전년도에 제시된 수질모델의 적용 및 검증에 필요한 실측 자료의 정리 및 분석을 실시하였다. 개발된 Qual2e 모형의 검증을 1997년 4월의 수질측정 자료를 이용해서 실시하였는데, 계산치와 실측치가 잘 일치하는 결과를 나타내었고 이를 통해 적절한 예측모형이 구성되었음을 알 수 있었다.

농·어촌지역의 수질환경 개선을 위한 응용기술 개발의 일환으로서 수온, 염분, pH, DO 등의 측정을 양식장 환경 관리에 적용시켜 측정 시스템의 현장평가 및 데이터의

전송시스템을 평가하였다. 수질환경 인자는 경남 통영시 사량면 수우도 인근해역의 1정점과 대조구로 서하동군 신노량리 어류양식장에서의 1정점을 선정하여 현장과 실험실에서 측정하였다.

제 4 장 중거리형 교환형 사중 복합 자동 연속 측정시스템 및 응용기술 개발

제 1 절 축산폐수용 COD 계측 시스템 개발

제 1 항 개요

수질분석에서 수중에 존재하는 유기물질의 양을 정량하는 측정법에는 BOD와 COD를 측정하는 방법이 널리 이용되고 있다. 이중 COD는 BOD에 비하여 수질분석 및 폐수분석 등 적용범위가 넓고 시간이 짧게 걸리며 측정장비가 저가이고, 측정방법이 간단하다는 장점을 갖는다. 그러나 이와같은 COD측정법으로 널리 사용되고 있는 중크롬산법 이나 산성·염기성 과망간산법 등은 측정 후 잔존물질들이 강한 독성을 가지므로 그자체가 환경오염 물질이 되고, 시료를 높은 온도로 가열하여야 하므로 측정기의 자동화 등이 용이하지 않다는 문제점이 있다. 이에 본 연구를 통하여 이러한 문제들을 해결하고 보다 간편하게 측정할 수 있는 자동 측정 시스템을 개발하기 위한 초기연구 및 측정법의 타당성을 검토하였다.

제 2 항 측정방법의 자동화를 위한 타당성 검토

현재 실험실 및 현장에서 사용되고 있는 COD자동 측정장치는 일반적으로 중크롬산법 이나 산성·염기성 과망간산법 등을 기본으로한 자동 측정법을 이용하고 있거나, 장비에 맞게 시료를 일차 처리하여 해당 계측기에 투입하여 분광학적 방법을 이용하여 COD를 구하는 형태의 기기를 사용하고 있다. 이러한 장비들은 완전한 의미의 자동화라고 할 수 없으며, 이 역시 2차 환경오염을 유발하며, 측정시간이 길다. 분광학적 방법의 경우 폐수내의 화학적 성분과 혼탁도에 따른 흡광도의 측정오차가 크며

시료 채취부에 희석 및 전처리 장치가 필요하고, 유기물의 종류에 따라 측정오차가 크다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 전기화학적 방식을 이용한 COD측정기를 개발하기 위한 초기연구를 수행하였다.

제 3 항 축산폐수용 COD 계측 시스템 개발

축산폐수의 COD 측정을 위한 전기화학적 접근방법을 연구하였다. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였으며 COD는 크롬법으로 측정하여 상관관계를 검정함으로써 COD의 전기화학적 측정 가능성을 연구하였다. 실험에 사용한 축산폐수는 경기도 화성군에 위치한 일반 농가의 돈사에서 채취하였으며 질소폭기수와 일정비로 희석(10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)하여 준비된 각 시료를 다시 공기폭기수와 희석(시료 30 : 공기폭기수 70)하여 시료를 동시에 측정하였다. 그림 4-1에 개괄적인 축산폐수용 COD 계측시스템을 나타내었다.

그림 4-2는 시간에 따른 DO값의 변화를 연속 측정한 그래프이며, 그림 4-3은 시간이 지남에 따라 일정한 선형성을 보이는 200~300sec 구간에서의 DO 거동이다.

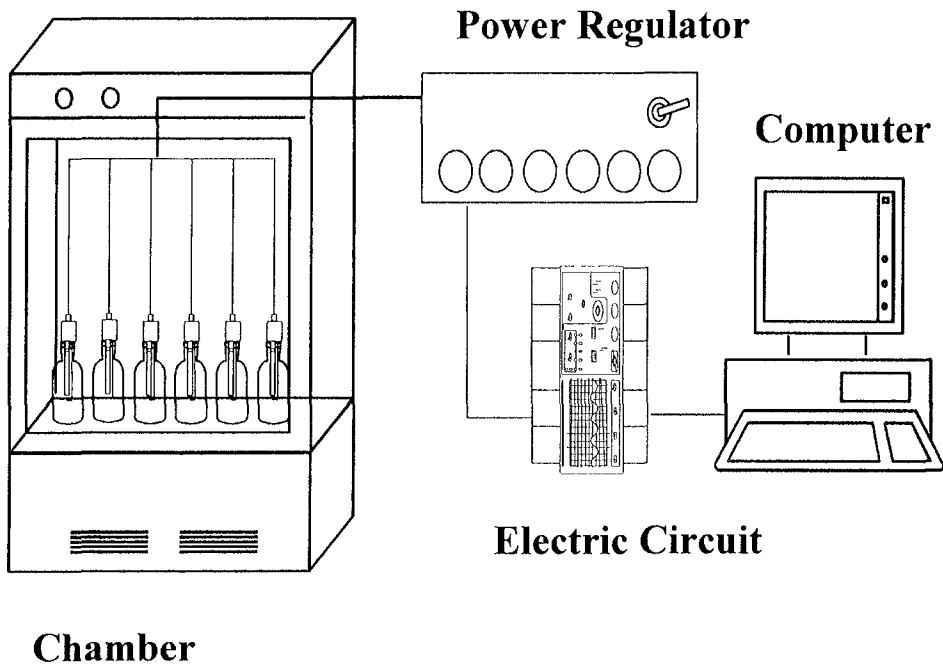


그림 4-1. 축산폐수용 COD 계측시스템의 개괄도.

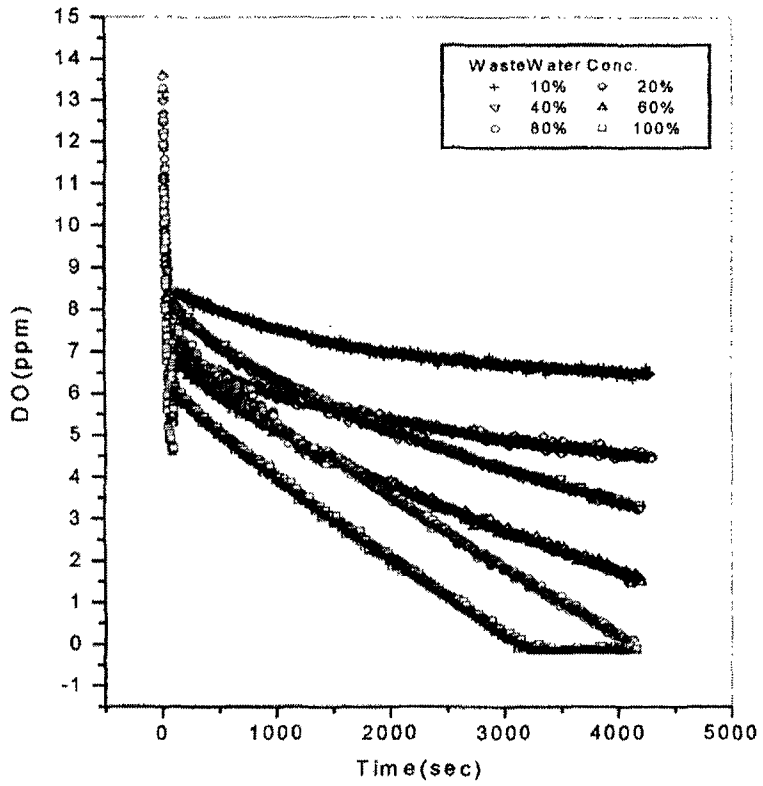


그림 4-2. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수 시료의 시간에 따른 DO값의 변화

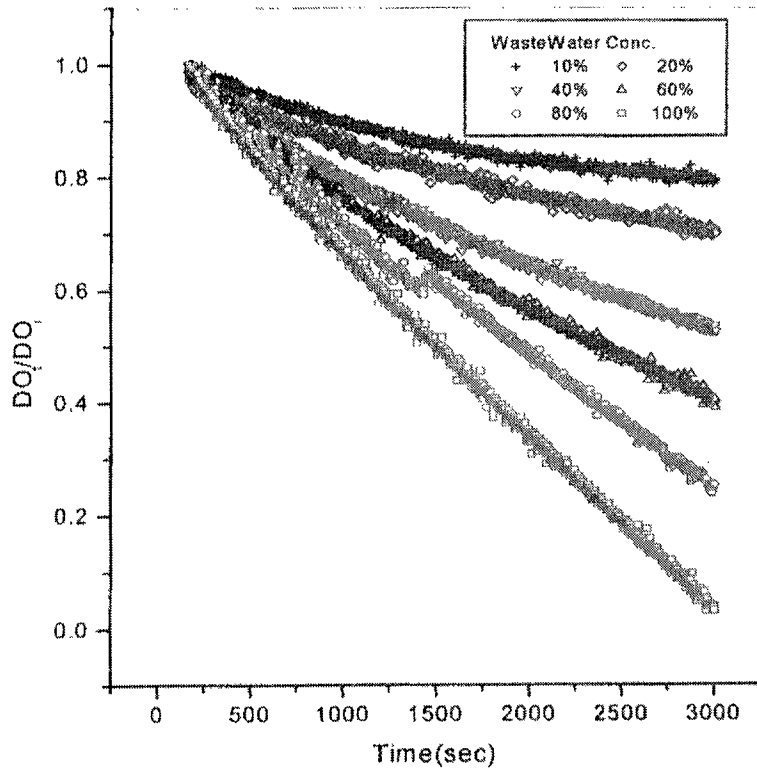


그림 4-3. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수 시료의 선형구간에서의 시간에 따른 DO값의 변화

제 2 절 COD 계측 시스템 성능평가

제 1 항 개요

COD 계측시스템의 성능평가를 위하여 다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였다. 이때 COD는 크롬법으로 측정하여 상관관계를 검정함으로써 COD의 전기화학적 측정 가능성을 연구하였다. 실험에 사용한 축산폐수는 경기도 화성군에 위치한 일반 농가의 돈사에서 채취하였으며 질소폭기수와 일정비로 희석(10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)하여 준비된 각 시료를 다시 공기폭기수와 희석(시료 30 : 공기폭기수 70)하여 6개 시료를 동시에 측정하였다.

제 2 항 COD 계측 시스템 성능평가

축산폐수의 함량이 높을수록 DO거동의 기울기는 증가한다. 이에 착안하여 축산폐수의 함량과 기울기와의 선형성을 그림 4-4에서 검정한 결과 선형성이 99.7%이었다. 축산폐수의 BOD₅를 Winkler azide화 변법으로 측정하여 COD와의 상관관계를 그림 4-5에 나타내었으며 선형성은 95.90%이었다. 크롬법으로 측정한 COD와 BOD₅를 표 4-1와 같이 상관관계를 요약하였다.

표 4-1. 축산폐수의 COD 및 BOD₅

축산폐수의 부피비(%)	기울기(mg/ℓ·sec)	BOD ₅ (mg/ℓ)	CODCr(mg/ℓ)
10	-0.672×10^{-4}	426	392
20	-0.930×10^{-4}	770	901
40	-1.55×10^{-4}	928	2077
60	-2.01×10^{-4}	1090	2861
80	-2.51×10^{-4}	1616	3920
100	-3.28×10^{-4}	2080	4361

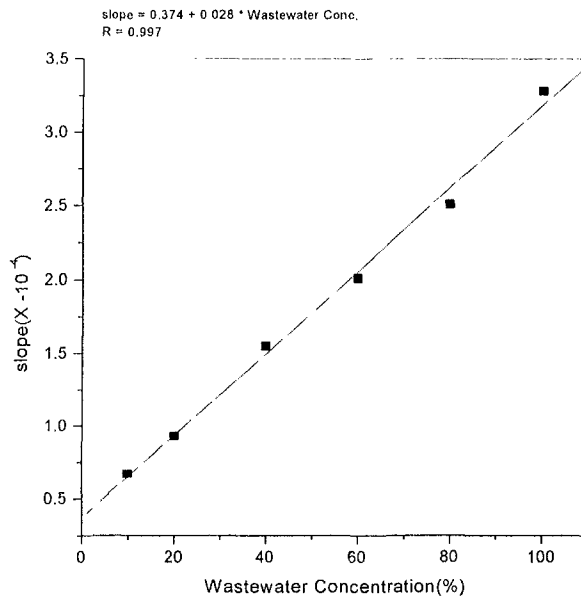


그림 4-4. 선형구간에서의 축산폐수 부피비와 기울기의 상관관계

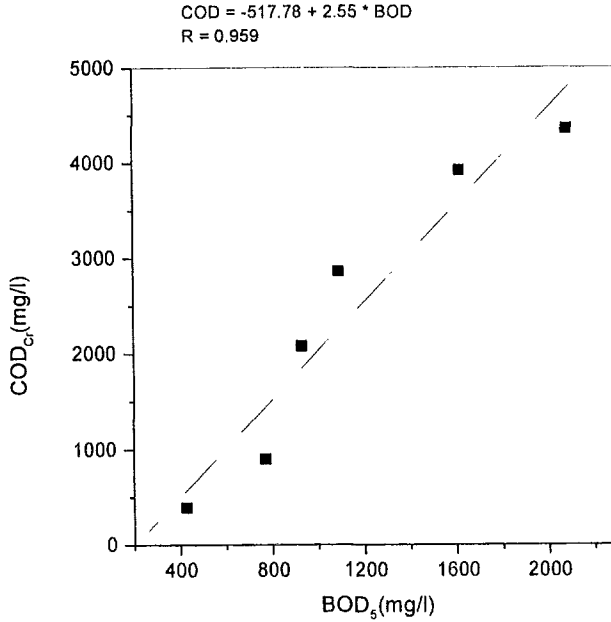


그림 4-5. 선형구간에서의 BOD와 기율기의 상관관계.

제 3 절 중거리용 사중 복합연속측정 시스템 개발

제 1 항 개요

축산폐수로 인한 수질오염을 조기에 예방하기 위하여 축산폐수 처리장에서 방류되기 전에 혹은 적당한 곳에 사중 복합자동 연속측정 시스템을 설치하여 DO, 온도, pH, 전도도 등을 모니터링하여 수질의 최적 조건을 찾아 하천의 오염을 대처하고자

하는데 연구의 목적이 있다. 본 연구는 기존에 연구된 4가지 요소를 개별적으로 모니터링 해오던 방식을 보완하여 복합적으로 4가지 요소를 동시에 제어하고자 한다.

제 2 항 중거리용 사중 복합자동 연속측정 시스템의 개괄도

중거리용 사중 복합자동 연속측정 시스템의 개괄도는 그림 4-6과 같다. DO, 온도, pH, 전도도센서들로부터 각각의 데이터를 받아 들어 컴퓨터에 설정된 값과 비교하여 가운데의 혼합조의 상태를 최적조건으로 제어한 후 실험조의 수질값과 같아지도록 제어를 한다. 좌측 밸브(V1 및 V2)는 실험조를 직접 제어할 수 있게 해주며, 우측 밸브(V3 및 V4)는 혼합조를 최적조건에 도달할 수 있도록 보조한다.

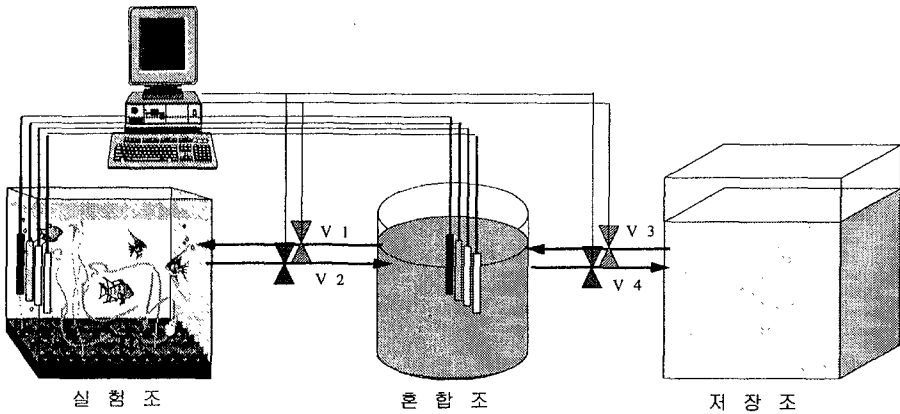


그림 4-6. 중거리용 사중 복합자동 연속측정 시스템 개괄도

실험실 규모에서의 장치를 구성하여 DO 및 온도의 연속측정 및 제어 가능성을 평가하였다. pH 및 전도도의 연속측정 및 제어를 평가한 후 4개의 변수를 동시 연속측정 및 제어할 수 있는 가능성을 평가하였다.

제 3 항 중거리용 사중 복합연속측정 시스템 개발

축산폐수로 인한 수질오염을 조기에 예방하기 위하여 축산폐수 처리장에서 방류되기 전에 혹은 적당한 곳에 사중 복합자동 연속측정 시스템을 설치하여 DO, 온도, pH, 전도도 등을 모니터링하여 수질의 최적 조건을 찾아 하천의 오염을 대처하고자 하는데 연구의 목적이 있다. 본 연구는 기존에 연구된 4가지 요소를 개별적으로 모니터링해오던 방식을 보완하여 복합적으로 4가지 요소를 동시에 제어하고자 한다. 초기모델에서 보였던 것과는 다소 변화가 생겼지만, 본래의 목적에 맞는 사중 복합 자동 연속측정 및 제어시스템이 실험실적 규모로 제작이 완료되어 시스템의 안정성을 평가하고 있는 단계에 왔다. 실험실용 시스템에서 현장용 시스템으로 스케일업하는 과정에서 생기는 오차를 다소 보강하면 축산폐수의 수질오염을 연속측정 및 제어할 수 있을 것으로 예상된다.

중거리용 사중 복합자동 연속측정 시스템의 개괄도는 그림 4-7과 같이 도시하였다. DO, 온도, pH, 전도도 센서들로부터 각각의 데이터를 받아들여 컴퓨터에 설정된 값과 비교하여 각각의 최적조건이 되도록 DO-AQUA, Heat 혹은 Compressor, Acid Tank 혹은 Alkali Tank에 연결된 Pump, Dilute Water Tank 혹은 KCl 용액을 담은 Tank의 Pump가 작동하여 컴퓨터에 설정된 최적조건에 도달하도록 작동하며, 최적조건에 도달하게 되면 각각의 시스템은 대기상태가 된다.

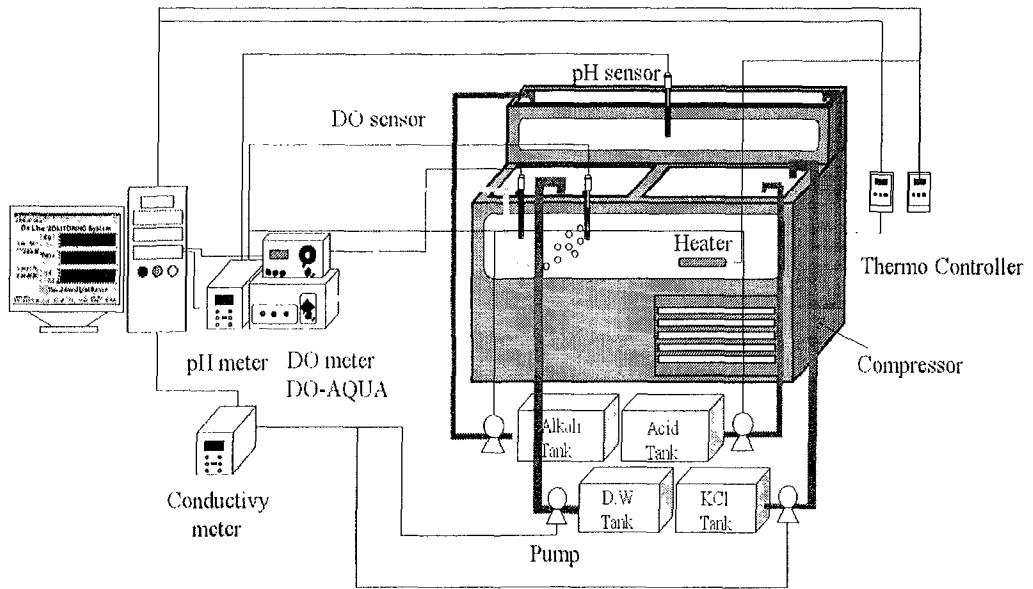


그림 4-7. 중거리용 사중(온도, DO, pH, 전도도) 복합 측정 및 제어 시스템

실험실 규모에서의 장치를 구성하여 사중 복합자동 연속측정 시스템 중 그림 4-8과 같이 DO, 온도, pH의 연속측정을 6일간 평가한 결과 우수한 안정성을 보였다. 전도도의 연속측정 및 제어를 평가한 후 4개의 변수를 동시연속측정 및 제어할 수 있는 가능성을 평가할 예정이다.

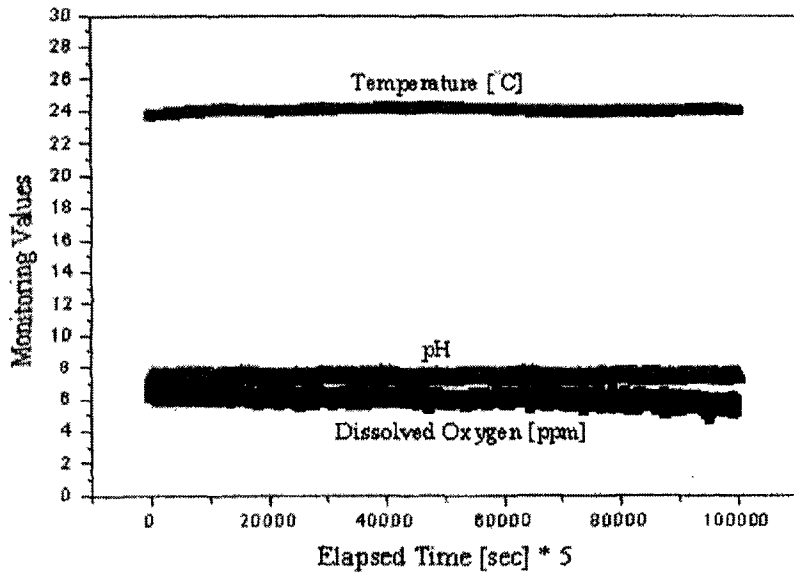


그림 4-8. 온도, DO, pH 연속측정도

제 4 절 연속측정 시스템 프로그램 개발

제 1 항 개요

본 연구에서 개발한 사중 복합 자동 연속 측정용 소프트웨어는 DO, 온도, pH, 전도도의 네가지 데이터를 센서로부터 수집하여 일정 시간마다 PC의 하드 디스크에 저장 및 디스플레이 하는 방식으로 개발하였다. 이를 위해서는 최소 4채널 이상의 AD변환 장치가 하드웨어로 필요하였으며, 본 연구에서는 Advantec사의 16bit AD변환 카드를 기본으로 측정 시스템을 구성하였다. 기본적인 하드웨어 구성은 그림 4-9와 같다.

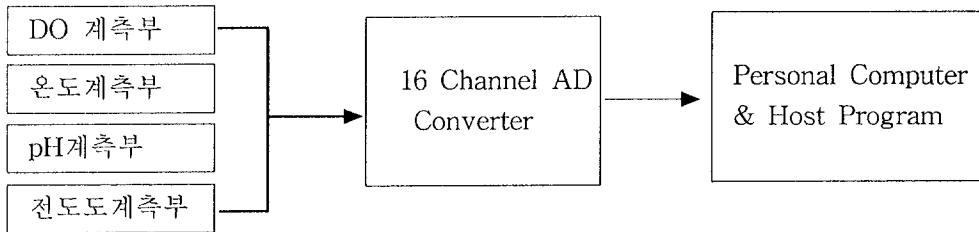


그림 4-9. 복합 연속 측정 시스템의 데이터 수집 개념도

본 연구에서는 센서로부터 수집된 데이터를 전압 신호로 AD converter에 보내고 여 기에서 디지털 신호로 전환되어 컴퓨터 내부 메모리에 기록되고 화면에 표시되는 알고리즘으로 프로그램을 개발하고자 하였다. 이는 흔히 사용되는 RS-232를 비롯한 직 렬 통신에 의한 데이터의 전송보다, 비교적 단순한 장치와 프로그램으로 모니터링 시스템을 구성하는 장점이 있다. 즉, RS-232에 의한 데이터 전송 방법은 일단 계측 기 부분에 통신을 지원하는 하드웨어적 요소가 필요하나, AD converter에 의한 방법

은 아날로그 신호만 있으면 직접 컴퓨터와 연결할 수 있는 장점이 있기 때문이다.

제 2 항 연속측정 시스템 프로그램 개발

그림 4-10은 개발된 연속측정 시스템 프로그램의 주 화면이다. 화면에서 데이터는 실시간으로 표시되도록 프로그램하였으며, 그래프는 지나간 결과를 일목 요연하게 표시하여 현장의 상황을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

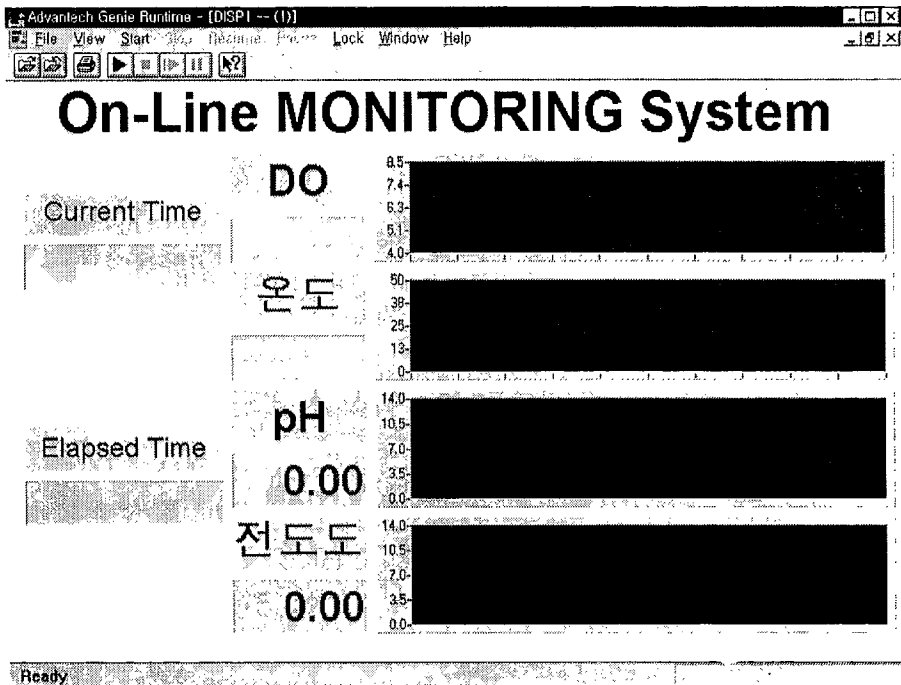


그림 4-10. 연속 측정 시스템의 호스트 프로그램 주화면.

화면에는 현재의 시간 및 시스템이 작동한 후 흐른 시간도 함께 표시되도록 하였으며, 화면 상단의 tool bar로 프로그램 및 시스템의 동작을 조절할 수 있었다. 이 프로그램을 이용한 데이터 수집을 실험실적 규모로 수행한 결과 최소 1주일 이상 안정적인 동작을 보여주었으며, 수집된 데이터는 다시 재가공 하여 통계처리 등에 이용할 수 있었다.

제 5 절 농촌 하천 수질오염도 측정 및 희석유량 예측모델 개발

제 1 항 대상구역 및 하천현황조사

대상 하천으로 선정된 오산천 구역의 하류 지점의 유량과 수질오염도를 각각 조사하여 수질모델의 적용 및 검증에 필요한 수질 자료의 정리 및 분석을 실시하였다.

제 2 항 개발된 모델의 자료 입력

수질모델을 적용하여 각종 항목에 대한 결과와 수질자료의 비교 분석을 통하여 수질모델을 검증하여 미개변수를 Calibration하였다. 이를 최종적으로 적용하여 하천으로 유입하는 농촌지역의 비점 오염물질을 산정하였다. 유량에 따른 수질의 변화양상을 파악한 후 목표 수질을 유지하기 위한 최소유량의 범위를 결정하였다.

제 3 항 농촌 하천 수질오염도 측정 및 희석유량 예측모델 개발

(1) Qual2e 모형의 반응계수

모의된 항목들 중에서 가장 대표적인 BOD와 DO 항목에 관련된 반응계수들인 K1(탈

산소율), K2(재포기계수), K3(침전에 의한 BOD 감소율), K4(하상퇴적물에 의한 산소 소비율) 등 4개의 반응계수들을 추정하였다.

표 4-2. 추정된 Qual2e 모형의 반응계수

반응계수	단 위	추 정 결 과					문헌상의 범위	
		Reach 1	Reach 2	Reach 3	Reach 4	Reach 5	Default	건설기술연구원
K ₁	1/day	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.02~3.4	0.004~4.24
K ₂	1/day	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0~100	-
K ₃	1/day	2.0	2.0	2.0	0.1	0.1	-0.36~0.36	0.0~5.0
K ₄	mg/m ² -day	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Variable	-

(2) 대상 하천의 구간별 농도변화 추정

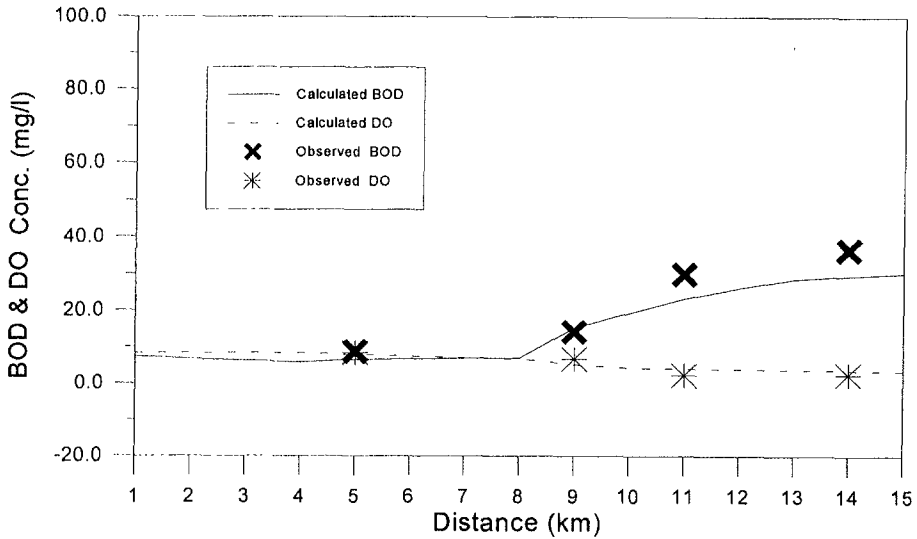


그림 4-11. 대상하천의 거리별 BOD 및 DO의 변화

앞에서 선정되어 결정된 수질모형인 Qual2e 모형을 대상 하천에 적용하여 오염물질 희석유량의 예측을 실시하였다. 즉, 오산천 상류에 위치한 기흥저수지의 방류량에 따라 하류에서의 수질이 어떻게 변화하는가를 살펴보고 하류의 수질악화시에 적절한 수질기준대로 수질을 유지하기 위해서 필요한 방류량을 분석하였다. 표 4-3에서 보는 바와 같은 수질기준을 토대로 하여 하류의 진위천 합류부에서의 수질이 II등급 안에 들어올 수 있는 방류량을 목표 방류량으로 결정하여 분석을 실시하였다.

표 4-3. 하천에서의 등급별 수질기준

등급	이용목적별 적용대상	기 준			
		pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)
I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5~8.5	1 이하	25 이하	7.5 이상
II	상수원수 2급 수산용수 1급 수영용수	6.5~8.5	3 이하	25 이하	5 이상
III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5~8.5	6 이하	25 이하	5 이상
IV	공업용수 2급 농업용수	6.0~8.5	8 이하	100 이하	2 이상
V	공업용수 3급 생활환경보전	6.0~8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠있지 않을것	2 이상

오산천 하류에서의 수질을 II등급 이상으로 유지하려면 기흥저수지에서 최소한 2.2 cms 이상의 유량을 방류해야 함을 알 수 있었다. 표 4-4에서는 이와같은 분석을 위해 0.2 cms 간격으로 유량을 증가시키며 방류하였을 때 1 km 간격으로 수질의 변화량을 나타내었다.

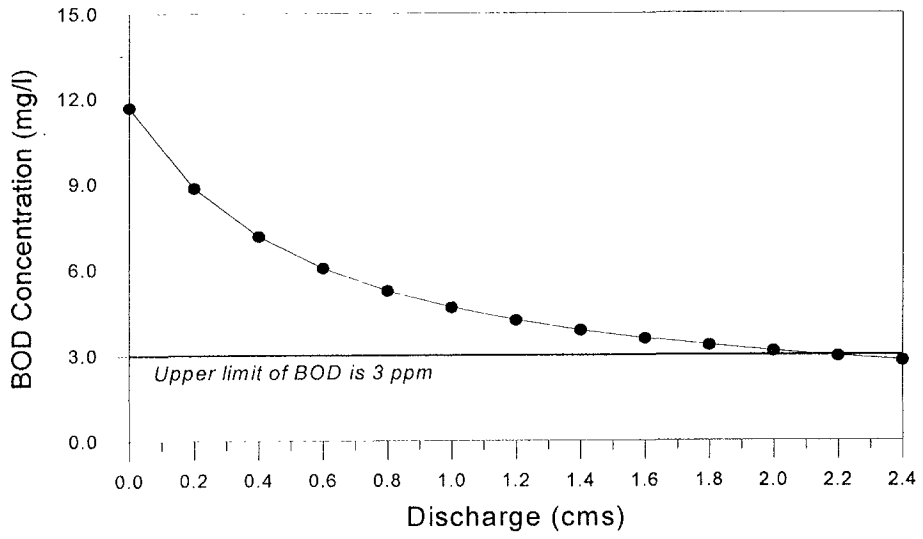


그림 4-12. 기흥저수지 방류량에 따른 하류에서의 수질변화

표 4-4. 기흥 저수지 방류유량 및 거리에 따른 BOD 값의 변화

적용 항목	거리 (km)	기흥저수지 방류유량 (cms)										
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
BOD (mg/l)	1	1.00	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97
	2	0.98	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93
	3	0.95	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89
	4	0.93	0.86	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.85	0.86
	5	1.23	1.03	0.95	0.91	0.89	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	6	1.45	1.16	1.03	0.97	0.93	0.91	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87
	7	1.60	1.26	1.10	1.02	0.96	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.87
	8	1.72	1.34	1.16	1.05	0.99	0.95	0.92	0.90	0.89	0.87	0.87
	9	4.12	3.03	2.46	2.12	1.88	1.72	1.60	1.50	1.43	1.37	1.32
	10	5.56	4.19	3.42	2.93	2.59	2.34	2.15	2.00	1.88	1.78	1.70
	11	6.88	5.30	4.35	3.73	3.29	2.96	2.71	2.51	2.35	2.21	2.10
	12	7.90	6.20	5.15	4.43	3.92	3.53	3.22	2.98	2.78	2.61	2.47
	13	8.69	6.96	5.84	5.06	4.48	4.04	3.69	3.41	3.18	2.99	2.82
	14	8.77	7.06	5.94	5.16	4.58	4.13	3.78	3.49	3.26	3.06	2.89
	15	8.84	7.15	6.04	5.25	4.67	4.22	3.86	3.57	3.33	3.13	2.95

제 6 절 축산폐수 처리시설 예측 모델 범용성 평가

제 1 항 대상구역의 설정

경상남도 김해시 한림면에 소재한 축산폐수 처리장의 방류수가 나가는 용덕천의 대상구간의 길이는 4km 이며 농촌 소하천의 특성을 전형적으로 나타내고 있다(그림 4-13 및 4-14 참조). 중간에 지류가 10개 유입되고 하천의 형상 변화가 매우 심하여 수심과 단면의 변화가 심하고 지류로부터 오염물의 계속적인 유입으로 농도변화 역시 심한 곳이다. 축산폐수 처리장의 일일 처리 용량은 1ton 이며 배출농도는 BOD 20ppm 이하, 총질소 40~70ppm, 총인 0.23ppm 이하로 유지된다. 처리장이 위치한 곳을 중심으로 용덕천의 상

류부터 하류까지 7개 지점에서 수질과 유량을 측정하였다(표 4-5 참조). 오염농도의 시간적인 변화를 보기 위해서 2시간 간격으로 수질과 유량을 측정하였으며 온도, 용존산소, BOD, 유기질소, 암모니아, 아질산, 질산, 인산염, 조류(클로로필 a) 등 9개 항목에 대해서 수질 오염도를 조사하였다.

표 4-5. 하천의 수리학적인 특성과 관련한 모형의 입력자료

	구간 길이(m)	지류 합류후 유량(m^3/sec)	단면적(m^2)
최상류 (경계지점)	-	0.00125	0.025
지류1	537.5	0.01824	0.096
지류2	737.5	0.02462	0.1065
지류3	962.5	0.01925	0.0367
지류4	1167.5	0.00964	0.1927
지류5	1392.5	0.02262	0.1840
지류6	1597.5	-	-
지류7	2192.5	0.04880	0.1632
지류8	2730	-	-
지류9	3342	0.39775	0.9823
지류10	4005	0.09941	0.4244
본류합류지점	4805	-	-

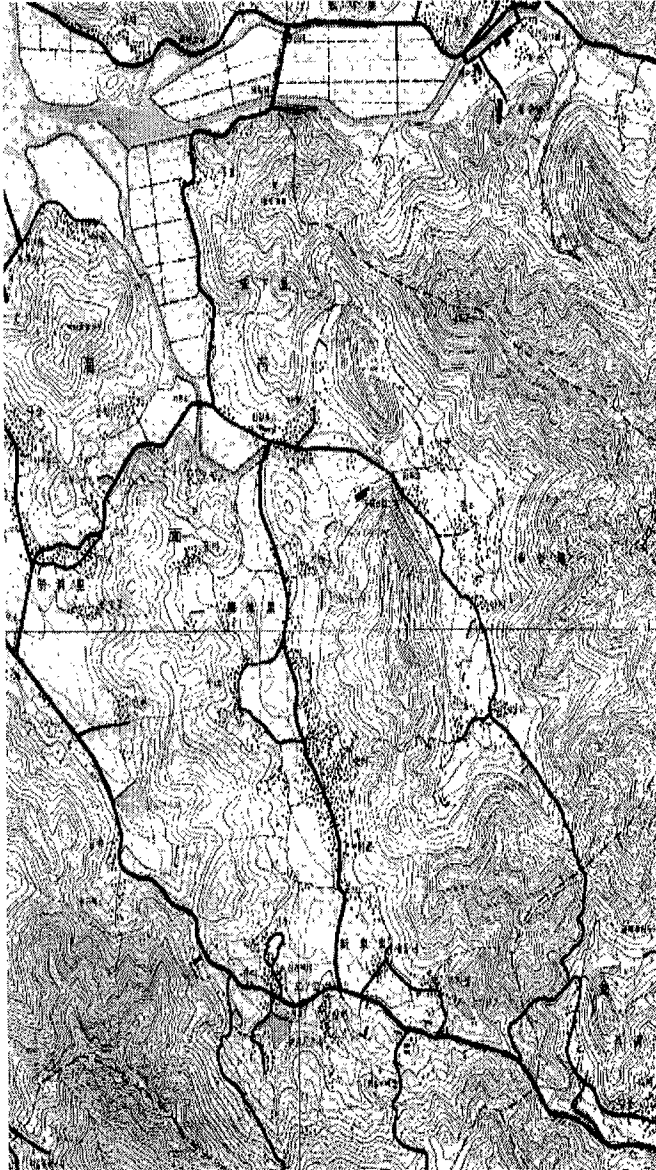


그림 4-13 대상하천 지형도

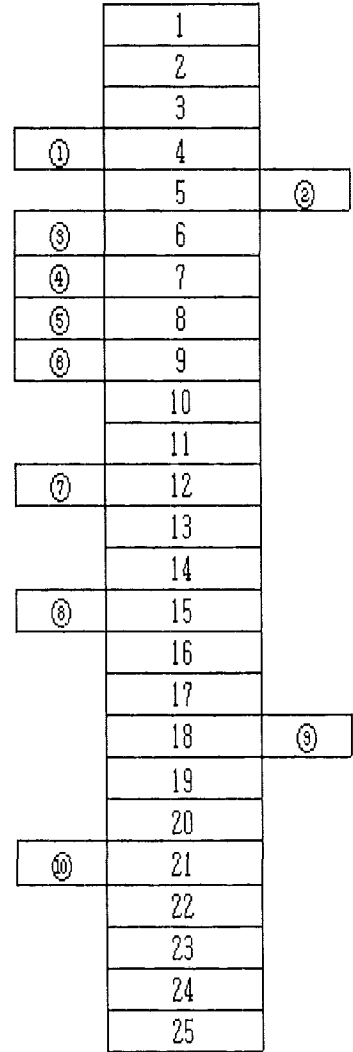


그림 4-14. 대상하천의 모식도
(①~⑩ 은 지류)

제 2 항 수질측정법

① 용존산소

공정시험법 상의 윙클러-아지드화 나트륨 변법을 사용하였다.

② BOD

채취당일의 용존산소와 5일간 배양한 후 시료의 용존산소의 차이를 윙클러-아지드화 나트륨 변법을 사용하여 측정하였다.

③ 질소

암모니아, 아질산성 질소, 질산성 질소 등은 Auto Analyzer III (BRAN+LUEBBE AACE 5.23 Continuous Water Quality Analyzer, 이하 AAIII 로 표시)로 분석하였다.

④ 인산염(PO_4)

AAIII로 분석하였다.

⑤ 클로로필 a

공정시험법 상의 흡광광도법으로 측정하였다.

제 3 항 수질모의 개요

확정론적 수질해석 모형은 최대 오염 부하량, 비점오염원 제어, 적정 수질확보 수단으로 이용되는데 수질관련 인자들을 기술하는데 평균값 해석을 실시하고 있다. 그러나 모형자체가 수질변동기작을 기술하는데 있어서의 한계점과 각 매개변수들은 자연상태에서 많은 불확실성 내포하고 있어 해석결과에 대한 신뢰도 검증이 필요하다.

한편, 하천수질 변화의 무작위성을 표현하기 위하여 확률론적 모델이 개발되었다. USEPA는 QUAL2E 모델에 몬테카를로 기법(Monte Carlo Method)과 일차오차분석기법(First Order Error Analysis Technique)을 도입하여 확률모델 QUAL2E-UNCAS를 개발하였다.

몬테카를로 기법은 특정 확률분포를 가지는 난수를 반복적으로 발생시켜서 모형에 포함된 변수값을 일정한 범위내에서 변화를 주는 기법이다. 발생된 난수에 의해 각기 다른

변수 값으로 수질모의를 반복적으로 수행하면 난수 값의 다양한 집합과 연관되어 결과들이 얻어진다. 모형결과의 불확실성은 반복계산과정에서 미리 규정된 분포형으로부터 임의로 선정된 불확실한 모형입력을 사용하여 확정론적 모형의 시뮬레이션을 반복적으로 수행함으로써 결정된다. 충분한 반복계산이 수행되었다면 임의의 지점 및 시간에 대한 모형결과의 빈도분포가 제시되는데 이것으로 통계적인 추정과 추론을 수행한다. 모형의 형태와 매개변수의 확률분포가 일치하면 계산된 표본들은 실측치의 표본과 통계적으로 유사하다.

제 4 항 모형 보정 기준

실제 자연을 모의하기 위한 모형들은 보정과정을 통해 보정되어야하는 수많은 인자들을 포함하고 있고 이들은 관측과 모의간의 차이가 최소화 될 때까지 값이 변동된다. 모형의 보정은 실측자료를 적용하여 모형에 포함된 각종 반응계수를 추정하는 작업을 의미하며, 모형의 검증은 보정된 반응계수를 다른 조건하에서 적용성을 검증하는 것이다. 모형의 보정과 검증을 위하여 99년 3월의 4회, 5월 1회, 7월 1회의 실측자료를 활용하였고, 그림 4-13의 21, 23, 25번 지점에서의 모의결과를 관측치와 비교하였다.

모형이 실제의 대상물을 얼마나 잘 모사하고 있는지의 정도를 판단하는 수단으로 가장 많이 쓰이는 결정계수(R^2)가 있다. 결정계수는 모형에 의해 설명될 수 있는 관측자료의 총 분산의 비율을 나타낸다. 이것은 0.0에서 1.0의 범위의 값으로 1에 근접할수록 모의가 실측치를 잘 기술하고 있음을 의미한다.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\left[\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \right]^{0.5}} \right]^2 \quad (4-1)$$

여기서, N 은 관측 회수, O_i 는 i 번째 관측치, \bar{O} 는 관측평균, P_i 는 i 번째 예측치, \bar{P} 는 예측평균이다.

관측과 모의의 상관성에 기반을 둔 이 수단은 널리 쓰이고 있음에도 불구하고 극치값에는 과도하게 민감하고 모형예측과 관측간의 비례적인 차이에는 둔감하다. 이러한 한계로 인해 모형이 현상을 왜곡되게 기술할 수 있다는 점이 지적되었다. 이를 극복하기 위해 제시된 대안적인 적합도 평가 수단에는 상대오차를 이용하는 효율계수 E 와 동의지표 d 가 있다. Nash 와 Sutcliffe가 제안한 효율계수 E 는 수리모형의 수행력을 평가하기 위해 사용되어오고 있다. E 는 음의 무한대에서 1까지 값을 가지며 1에 가까울수록 근사한 모의임을 의미한다.

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (4-2)$$

실질적으로, E 는 $1 - \frac{MSE}{\text{관측치의 분산}}$ 이다. 모형 평가의 목적에서, 효율계수는 결정계수보다 관측치와 예측치의 평균과 분산의 차이에 민감하다는 점에서 향상된 수단이다. Willmott는 상관성에 기초한 수단이 관측과 예측치의 평균과 분산의 차이에 덜 민감한 점을 극복하기 위해 동의지표 d 를 제안하였다.

$$d = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} = 1.0 - N \frac{MSE}{PE} \quad (4-3)$$

$$PE = \sum_{i=0}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2 \quad (4-4)$$

$$MSE = N^{-1} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \quad (4-5)$$

여기서, MSE 는 평균제곱 오차, PE (potential error)는 잠재적인 오차로 각 관측과 모의값의 쌍들에서 $(O_i - P_i)^2$ 의 최고값이다. 동의지표는 0.0에서 1.0까지 변하고 높은 값은 관측과 모의간에 더 나은 동의를 있음을 나타낸다. 효율계수와 동의지표가 결정계수에 비해서 향상되긴 하였지만 제곱차 때문에 극치에 대해서는 과도하게 민감하다.

제 5 항 최적반응계수

난수를 발생시켜 반복적으로 모의된 결과들에 대해서 효율계수와 동의지표를 계산하여 적정 반응계수를 추정하였다.

제 6 항 수질 측정 결과

(1) BOD(ppm)

회 지점	3월(1)	3월(2)	3월(3)	3월(4)	5월	7월
1	2.05	1.2	1.8	2.2	0.453	0.252
2	2.7	1.35	1.1	1.4	3.020	1.359
3	2.3	2.2	1.9	1.6	3.070	1.910
4	1.65	1.35	2.3	1.45	5.638	3.171
5	4.95	1.95	2.6	1.95	7.450	2.466
6	3.55	3.5	3.4	3.65	4.430	5.940
7	3.2	4.1	3.4	3.15	7.450	5.688

(2) 암모니아성 질소(ppm)

회 지점	3월(1)	3월(2)	3월(3)	3월(4)	5월	7월
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.136
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.121
5	0.012	0.021	0.024	0.017	0.198	0.112
6	0.059	0.088	0.110	0.134	0.000	0.890
7	0.515	0.518	0.672	0.761	0.354	0.272

(3) 아질산성 질소(ppm)

회 지점	3월(1)	3월(2)	3월(3)	3월(4)	5월	7월
1	0.116	0.424	0.130	0.000	0.077	0.239
2	0.000	0.232	0.408	0.000	0.074	0.235
3	6.702	0.000	0.378	0.000	0.638	0.288
4	2.396	0.130	0.301	0.000	1.759	2.301
5	0.826	0.000	0.142	0.284	1.308	0.246
6	3.081	2.814	1.623	2.104	0.070	2.272
7	2.631	2.885	2.834	2.471	7.921	1.926

(4) 질산성 질소

회 지점	3월(1)	3월(2)	3월(3)	3월(4)	5월	7월
1	1.408	1.427	1.354	1.358	1.349	1.648
2	1.765	1.506	1.583	1.656	2.038	1.166
3	2.438	2.498	2.371	2.360	1.202	3.294
4	2.539	2.756	2.579	3.626	0.977	0.822
5	2.997	2.996	2.975	2.715	2.292	1.763
6	2.880	2.836	2.807	2.698	0.360	3.602
7	3.204	3.026	3.173	3.115	2.022	2.641

(5) 클로로필 a(ppm)

회 지점	3월(1)	3월(2)	3월(3)	3월(4)	5월	7월
1	0.001164	0.003286	0.00137	0.000	0.1411	0.0125
2	0.006036	0.000	0.000	0.000	0.1681	0.0119
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1680	0.0108
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1565	0.0113
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.2723	0.0125
6	0.001154	0.000958	0.000	0.000	0.1188	0.0119
7	0.001854	0.000	0.00308	0.000	0.3215	0.0109

제 2 항 수질 모의

대상유역을 수리학적 특성을 고려하여 전체 22개의 구간으로 나누고 각 구간마다 제어 체적의 크기와 유량을 실측데이터를 적용하여 모의를 수행하였다. 모형은 동역학적인 변화를 볼 수 있으므로 $\Delta t = 60\text{sec}$ 로 하여 모의를 수행하고, 모니터링을 약 2시간 간격으로 실시하였으므로 2시간 간격으로 모의 결과를 볼 수 있도록 하였으며, 전년도 민감도 분석동의 결과를 참고로 수질 반응 계수들에 대한 보정과 검정을 거쳤다.

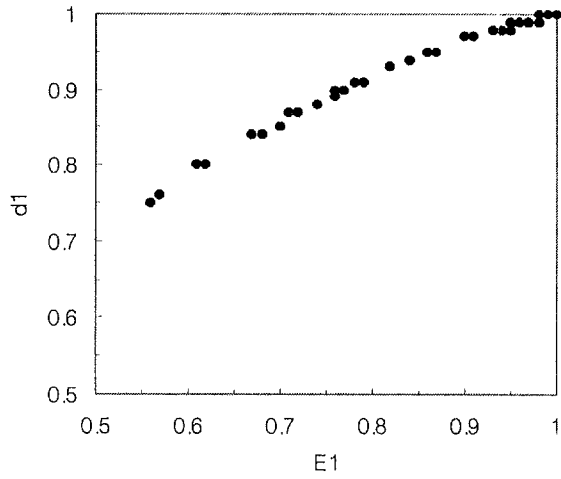
표 4-6. 모형의 보정을 위한 입력자료

	조류 (mg/l)	BOD (mg/l)	유기인 (mg/l)	무기인 (mg/l)	유기질소 (mg/l)	NH4 (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	DO (mg/l)	온도 (°C)
최상류 (경계)	0.0125	0.252	0.650	0.000	4.217	0.239	0.084	1.648	7.40	18.9
지류1	0.0119	0.554	0.552	0.000	4.320	0.235	0.082	1.166	11.0	19.2
지류2	0.0108	1.359	0.997	0.000	3.731	0.288	0.236	3.294	6.5	20.1
지류3	0.0113	1.910	0.368	0.871	5.240	2.301	0.136	0.822	6.6	20.0
지류4	0.0125	3.171	0.746	0.000	4.435	0.246	0.121	1.763	6.0	21.5
지류5	0.0119	2.466	1.062	0.000	3.833	0.257	0.112	3.602	6.6	19.6
지류6	0.0109	0.755	0.981	0.000	4.101	0.452	0.292	2.641	6.7	19.3
지류7	0.0146	5.940	2.453	0.080	0.427	9.171	0.890	3.087	6.0	21.1
지류8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
지류9	0.0157	5.688	1.680	0.085	3.323	2.272	1.347	3.620	6.3	21.2
지류10	0.0157	5.738	1.566	0.021	3.614	1.926	0.941	3.383	7.2	20.8

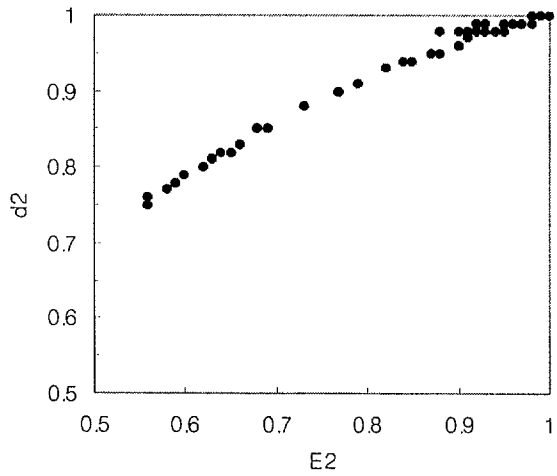
* 8번 지류는 지도상에는 표시되어있으나 실측시는 지류가 없었음.

민감도 분석을 통해 반응계수들이 수질항목에 영향을 분석한 결과 각 수질항목은 대체로 그들의 분해계수에 영향을 받는 것으로 나타났다. 각각의 수질항목으로 보면 조류의 경우는 성장속도, BOD는 분해속도, 유기인은 분해속도, PO₄는 유기인의 분해속도와 하상으로부터 인의 용출속도, 유기질소는 분해속도, 암모니아성 질소는 아질산으로의 산화속도와 하상으로부터의 용출속도, 아질산성 질소는 암모니아성 질소의 산화속도, 질산성 질소는 식물에 의한 질산성 질소의 소모속도, 용존산소는 BOD 분해속도, 재포기 계수, 하상산소요구율, 암모니아성 질소의 산화에 소모되는 산소율에 민감하다. 이들 중 전체 수질에 미치는 영향이 큰 계수는 BOD 분해계수, 하상산소 요구율 계수, 질소 인 분해계수이다.

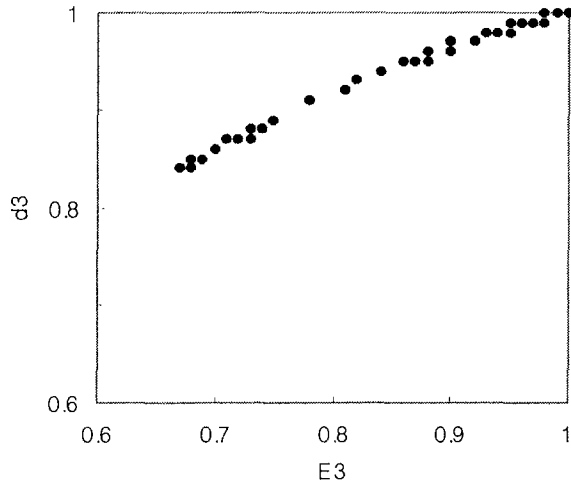
QUAL2E 의 반응 계수 범위를 참고하여 몬테카를로 시뮬레이션으로 수질반응 계수들을 무작위 발생시켜 모의를 수행하고, 각 모의 결과에 대해 효율계수 E 와 동의 지표 d 가 모두 70% 이상인 경우에 대해서 반응계수의 범위를 결정하였다. 최적 반응계수는 E 와 d 가 가장 높은 경우의 값으로 정하였다.



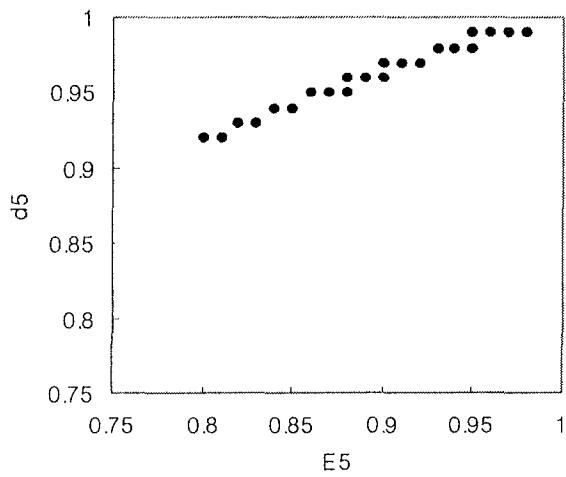
(a) 3월 첫 번째 모의



b) 3월 두 번째 모의



(c) 3월 세번째 모의



(d) 7월 모의

그림 4-15. BOD 에 대한 효율계수와 동의지표의 상관관계(E: 효율계수, d: 동의지표)

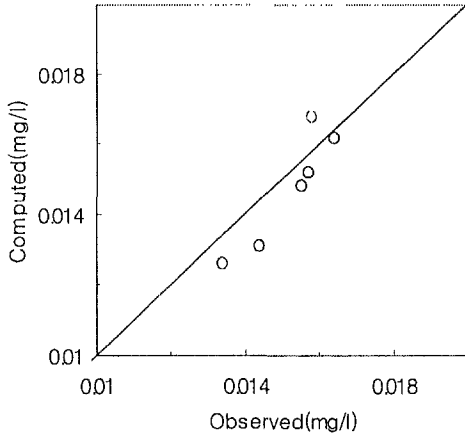
그림 4-15는 23번 지점에서 BOD에 대해서 모의한 결과의 효율계수 E 와 동의지표 d 를 도시한 것이다. 이 둘은 선형상관은 아니나 일정한 상관을 가지면서 증가하는 경향을 보인다. 효율계수는 음의 값부터 1까지, 동의지표는 0부터 1까지의 범위내에서 움직이는데 낮은 값을 갖는 반응계수들은 적정 반응계수 추정에서 제외시켰다.

표 4-7의 (c)는 E 와 d 가 70%이상인 경우의 반응계수의 범위이고, (d)는 E 와 d가 가장 높을 때의 반응계수 값이다. 반응계수의 전체적인 범위는 QUAL2E 의 범위에서 크게 벗어나지는 않는 것으로 나타났다.

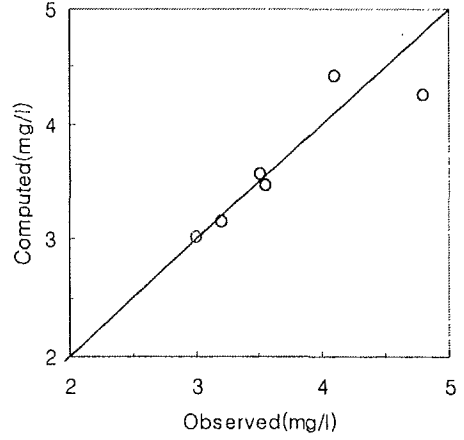
표 4-7. 반응계수의 범위

반응계수(a)	QUAL2E(b)	SSWQ(c)	최적반응계수(d)
조류의 침강속도	0.15~1.83	0.13~1.5	1.0
조류의 성장속도	1.0~3.0	0.8~2.4	1.5
조류의 사멸속도	0.05~0.5	0.7~1.3	1.0
BOD 분해속도	0.02~0.34	0.02~2.22	1.5
침강에 의한 BOD 감소속도	-0.36~0.36	-0.29~0.29	0.05
유기인 분해속도	0.01~0.7	0.01~0.5	0.3
유기인 침강속도	0.001~0.1	0.001~0.08	0.04
유기질소 분해속도	0.02~0.4	0.02~0.4	0.2
유기질소 침강속도	0.001~0.1	0.001~0.08	0.04
NH ₄ 의 분해속도	0.1~1.0	0.01~0.27	0.15
NO ₂ 의 분해속도	0.2~2.0	0.05~1.8	1.2
조류의 광합성에 의한 산소의 생산율	1.4~1.8	1.4~1.8	1.6
조류의 호흡에 의한 산소의 감소율	1.6~2.3	1.6~2.3	2.0
NH ₄ 의 산화에 의한 산소의 소모율	3.0~4	3~4	3.5
NO ₂ 의 산화에 의한 산소의 소모율	1.0~1.14	1.0~1.14	1.1
하상 산소 요구율(VSOD)	0.07~7.0	0.05~4.14	2.0
하상에서 인의 용출속도	-	0.01~0.1	0.05
하상에서 질소의 용출속도	-	0.01~0.1	0.05

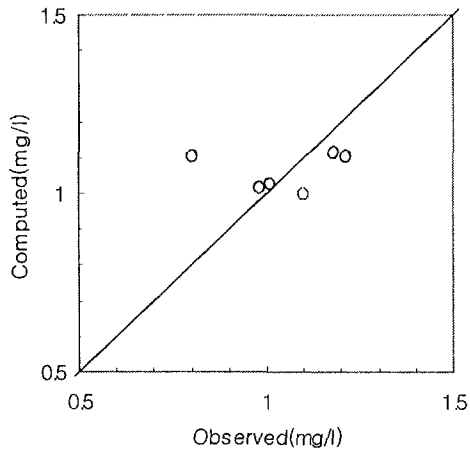
결정된 반응계수로 '99년 3월에 세 차례에 걸쳐 측정한 수질 자료를 이용하여 모형을 보정한 결과를 그림 4-16에 도시한 바와 같이 모의와 관측결과는 대체로 일치하였다.



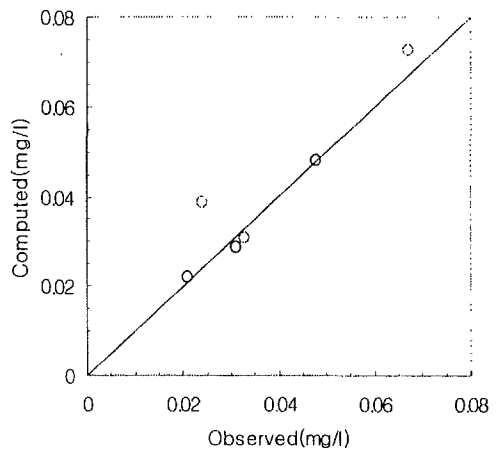
(a) Algae



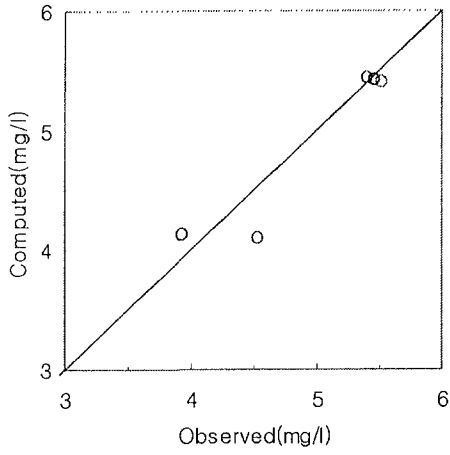
(b) BOD



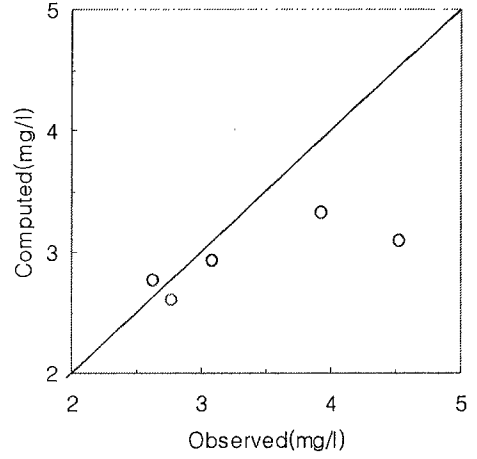
(c) 유기인



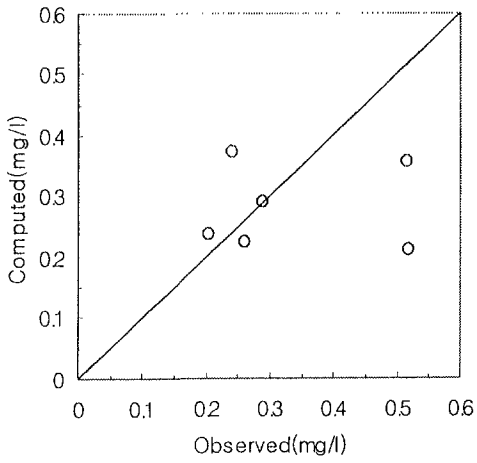
(d) 무기인



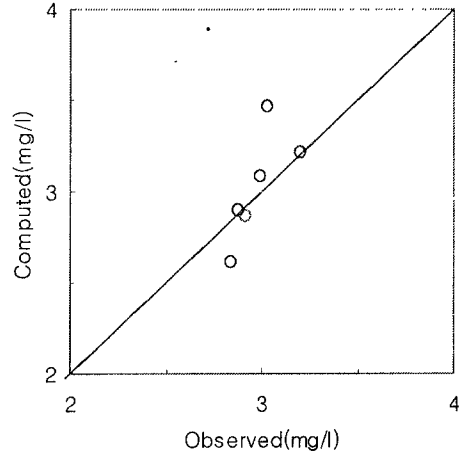
(e) 유기질소



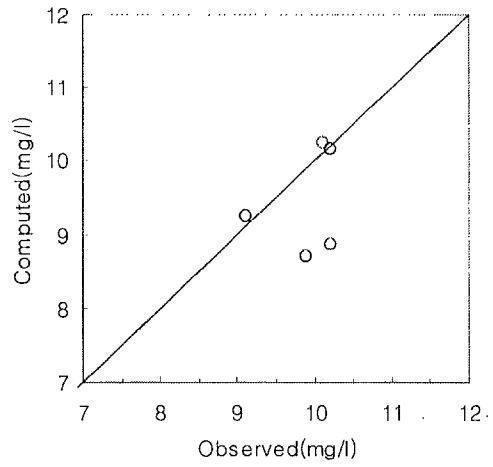
(f) NH₄



(g) NO₂

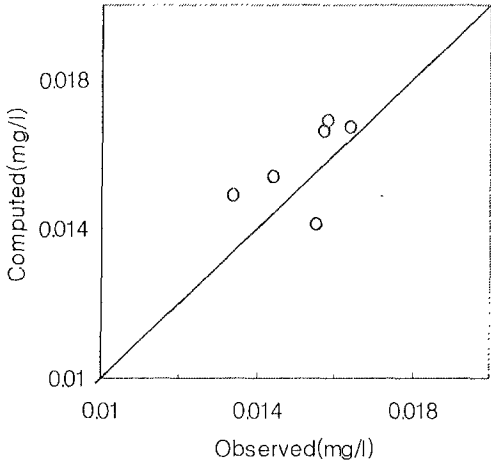


(h) NO₃

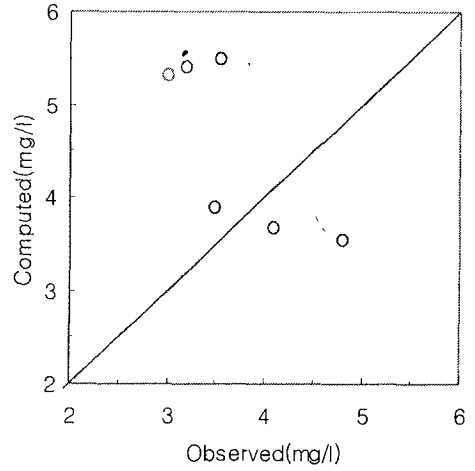


(i) D0

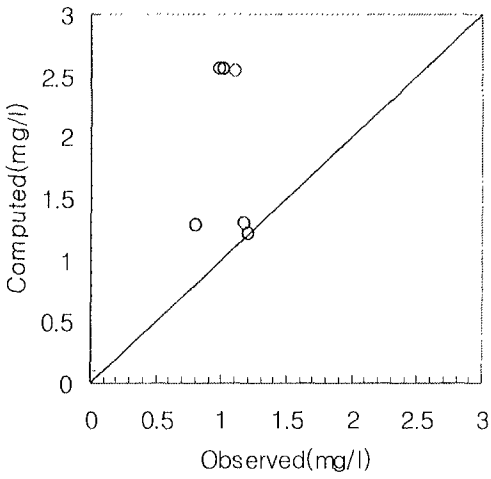
그림 4-16. 모형의 보정결과 ('99년 3월(1~3))



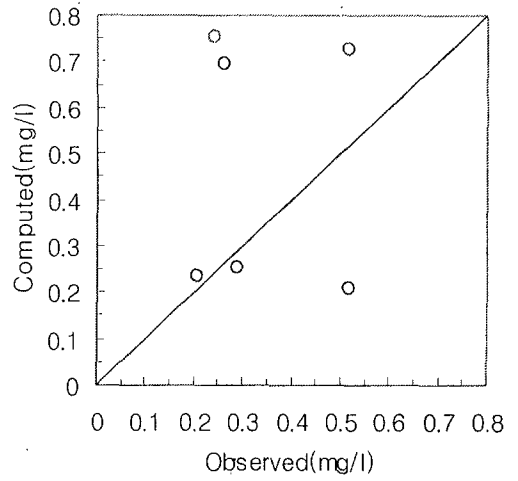
(a) Algae



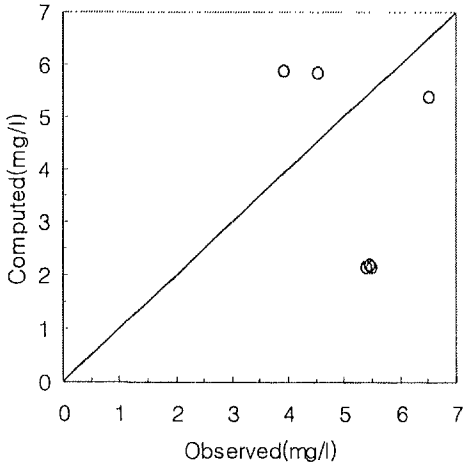
(b) BOD



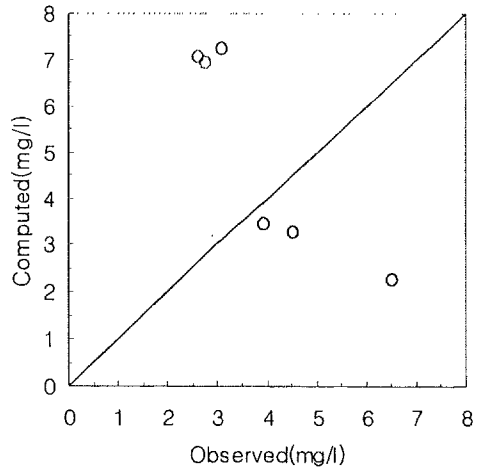
(c) 유기인



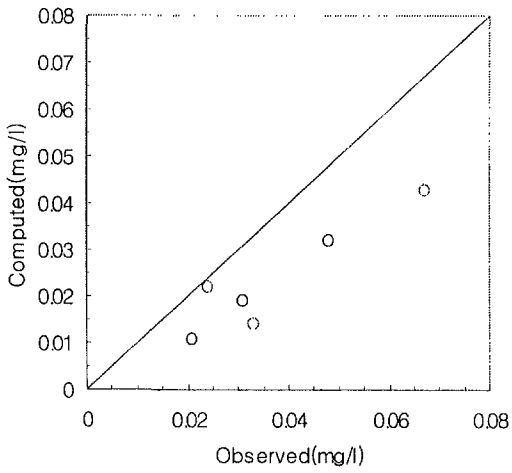
(d) PO₄



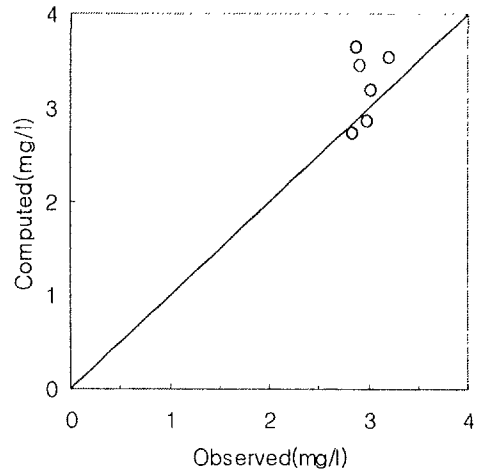
(e) 유기질소



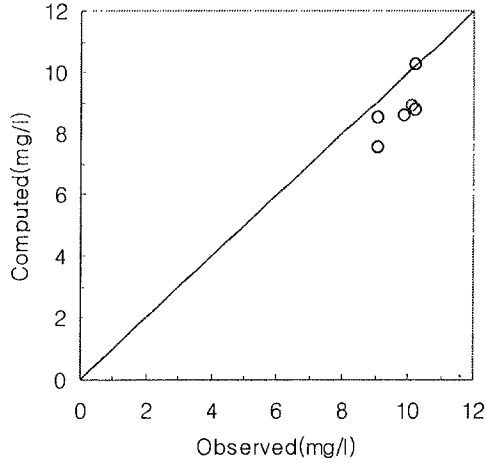
(f) NH4



(g) NO₂



(h) NO₃



(i) DO

그림 4-17. 모형의 검증결과 ('99년 3월(4), 7월)

보정된 반응계수로 3월 네 번째 실측자료와 7월의 자료에 대해 검증을 수행한 결과가 그림 4-17에 도시하였다. 그림 4-16과 4-17을 비교하여 보면 검증결과는 대체로 보정결과보다 모의 관측 농도의 일치정도가 떨어짐을 알 수 있다. 이는 대상유역인 용덕천의 경우 지류의 유입이 10여 곳이며 감지되지 않거나 지도상에 나타나지 않은 농업용수로의 취수와 비점오염원의 유입이 있어 모의의 불확실성이 증가하기 때문인 것으로 판단되었다.

제 7 절 결론

중거리용 교환형 사중 복합자동 연속측정 시스템 및 응용기술 개발하기 위하여 먼저 축산폐수의 COD 측정을 위한 전기화학적 접근방법을 연구하였다. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였다. COD는 크롬법으로 측정하여 BOD₅와의 상관관계를 검정함으로써 축산폐수 COD의 전기화학적 측정 가능성을 제시하였다.

중거리용 사중 복합연속측정 시스템 개발을 위하여 기존에 연구된 4가지 요소를 개별적으로 모니터링해오던 방식을 보완하여 복합적으로 4가지 요소를 동시에 측정 가능한 사중 복합자동 연속측정 시스템의 제작을 완료하여 시스템의 안정성을 평가하였다. PC를 이용하여 연속측정에 필요한 프로그램을 개발하였다. 화면에서 데이터는 실시간으로 표시되도록 프로그램하였으며, 그래프는 지난 시간의 자료를 일목 요연하게 표시하여 현장의 상황을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 화면에는 현재의 시간 및 시스템이 작동한 후 흐른 시간도 함께 표시되도록 하였으며, 화면 상단의 toolbar로 프로그램 및 시스템의 동작을 조절할 수 있다.

축산폐수 처리시설 예측 모델 범용성 평가를 위하여 수리학적 특성을 고려하여 대상유역을 전체 22개의 구간으로 나누고 각 구간마다 제어 체적의 크기와 유량을 실측데이터를 적용하여 모의를 수행하였다. 모형은 동역학적인 변화를 볼 수 있으므로 1분 간격으로 모의를 수행하고, 모니터링을 약 2시간 간격으로 실시하였으므로 2시간 간격으로 모의 결과를 볼 수 있도록 하였다.

QUAL2E 의 반응계수 범위를 참고하여 몬테카를로 시뮬레이션으로 수질반응 계수들을 무작위 발생시켜 모의를 수행하고, 보정된 반응계수로 실측자료를 검증한 결과 대체로 보정결과보다 모의 관측 농도가 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 대상유역인 용덕천의 경우 지류의 유입이 10여 곳이며, 감지되지 않거나 지도상에 나타나지 않은 농업용수로의 취수와 비점오염원의 유입이 있어 모의의 불확실성이 증가하기 때문인

것으로 판단된다. 연구에서 제시된 모델의 농촌하천 적용으로 농촌지역으로부터의 각종 비점 오염물의 발생량을 예측가능하며, 오염물질 회석유량의 산정은 돌발적으로 발생할 수 있는 하천의 수질악화에 대비할 수 있는 대책 수립의 근거를 제시할 수 있었다. 개발 모델은 농촌지역의 자동연속측정 시스템의 설치시 실시간 수질예경보 시스템의 구축에 이용될 수 있을 것으로 기대되었다.

제 5 장 농어촌 지역 수질환경 개선용 팔중 복합 자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가

제 1 절 COD 자동측정 시스템 및 BOD 상관관계 분석

제 1 항 개요

수질분석에 있어서 가장 기본적인 측정요소 중의 하나인 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD)는 생화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD) 측정법에 비하여 측정시간이 짧고 유지관리가 다소 용이하여 현재 오염원 측정에 많이 이용되고 있다.

COD의 측정법에는 습식산화 적정법, UV법, 전기화학적 방법 등이 있다.

중크롬산칼륨, 과망간산칼륨 등과 같은 강력한 산화제가 유기물(오염물질)을 이산화탄소와 물로 산화시키는데 필요한 산소량을 적정법으로 찾아내는 습식산화 적정법은 측정시간이 1~2시간이 소요되며, 강력한 산화제에 의한 2차 오염물질이 배출된다는 단점이 있으며, 산화제, 촉매, 적정액의 주기적 보충과 같은 기기의 유지관리가 용이하지 못하다.

UV법은 대부분의 유기물이 자외선을 흡수할 수 있다는 성질을 이용하여 시료에 일정한 파장의 자외선을 투과시켜 투과된 양을 이용하여 COD를 추산하는 방법으로 전처리 장치가 필요하며, 시료중에 포함된 용존고형분과 측정용 cell에 부유물질의 부착과 작동환경의 변화에 따라 오차가 크게 발생하여 현재는 COD 자동측정에 많이 사용되지 않고 있다.

전기화학적 방법은 2차오염원의 배출이 없고, 고농도 범위의 측정이 가능하고, 산화제 및 적정용액의 주기적 보충이 필요없는 장점이 있다.

특정지점의 BOD는 COD에 항상 일정한 비례관계를 가진다. 가정하수의 경우 생물학적으로 분해가 가능한 유기물이 다량 함유되어 BOD는 COD에 0.7~1.0이라는 비례상수를 가지고, 공장폐수는 공정에 따라 크게 차이가 나지만 평균 0.4~0.6을 유지한다. 본 연구과제에서 사용되는 축산폐수는 가정하수와 유사한 비례상수를 가진다. 따라서 특정지역의 폐수의 경우 항상 일정한 BOD와 COD의 상관계수를 가지므로 이를 적용할 경우 설치된 BOD 계측시스템을 통하여 COD를 추산할 수 있다.

제 2 항 계측시스템의 개발

초기 COD 계측시스템을 OH^- 라디칼을 발생시키는 전기화학적 방법을 적용시킬 예정이었으나 이산화납의 피복이 용이치 않고, 측정데이터의 재현성이 없어, BOD와 COD의 경우 수질분석에 있어서 동일시되는 경향이 있고, 특정지역의 BOD와 COD는 일정한 비례관계를 가지므로 BOD 계측시스템을 이용하여 COD 계측시스템을 구축하였다. 이를 위하여 축산폐수에 대한 반복적인 BOD와 COD 측정 실험을 통하여 이에 대한 상관계수를 구하여 이를 계측시스템에 적용시켰다.

제 3 항 COD 자동측정 시스템 및 BOD 상관관계 검증

축산폐수의 COD 측정을 위한 접근방법을 연구하였다. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였으며 COD는 크롬법으로 측정하여 상관관계를 검정함으로써 COD의 BOD 계측시스템을 이용한 측정 가능성을 연구하였다. 실험에 사용한 축산폐수는 경기도 화성군에 위치한 일반 농가의 돈사에서 채취하였으며 질소 폭기수와 일정비로 희석(10%, 20%,

40%, 60%, 80%, 100%)하여 준비된 각 시료를 다시 공기폭기수와 희석(시료 30 : 공기폭기수 70)하여 시료를 동시에 측정하였다.

DO 센서를 이용하여 6개의 농도별 시료의 DO거동을 1시간 동안 모니터링한 결과, 그림 5-1에 보는 바와 같이 각각의 시료는 시간에 따라 일정하게 용존산소가 감소하는 경향을 보였으며 1시간이 지나도 모든 시료의 DO값이 0으로 떨어지지 않았으며 일정한 선형성을 보이는 구간(150~3600초)를 선택하여 각 시료별 최대 DO값(DO_i)과 매초마다의 DO값(DO_t)의 비율로 나타낸 결과를 그림 5-2에 나타내었다. 10%, 20% 시료의 경우 DO값이 거의 감소하지 않았는데 이는 채수한 시기가 12월이기 때문에 미생물의 활성이 떨어져 있기 때문이라고 생각된다. 따라서 기울기와 BOD_5 의 상관관계 분석에서는 40%이상 시료의 데이터를 이용하였다. DO 감소의 기울기와 BOD_5 의 상관관계를 검정한 결과 그림 5-3에 보이듯이 상관계수가 99.85이었다.

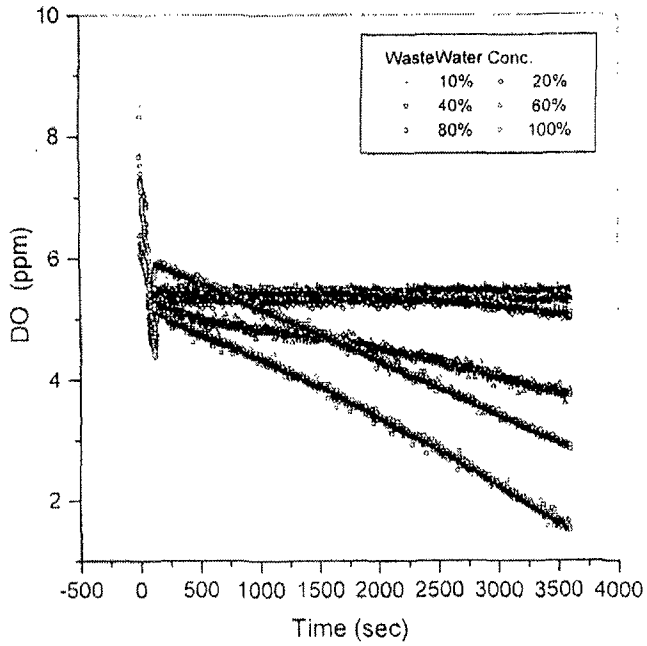


그림 5-1. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수시료의 시간에 따른 DO값의 변화

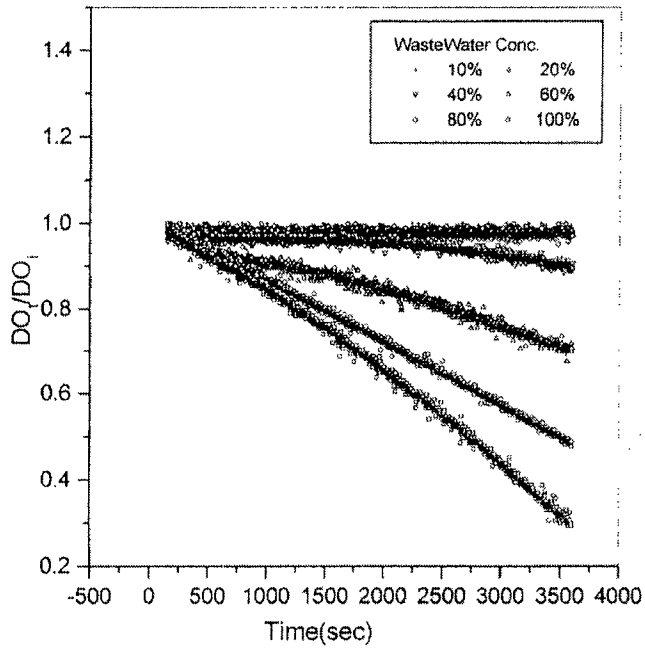


그림 5-2. 다양한 희석비로 제조한 축산폐수 시료의 선형구간에서의 시간에 따른 DO값의 변화

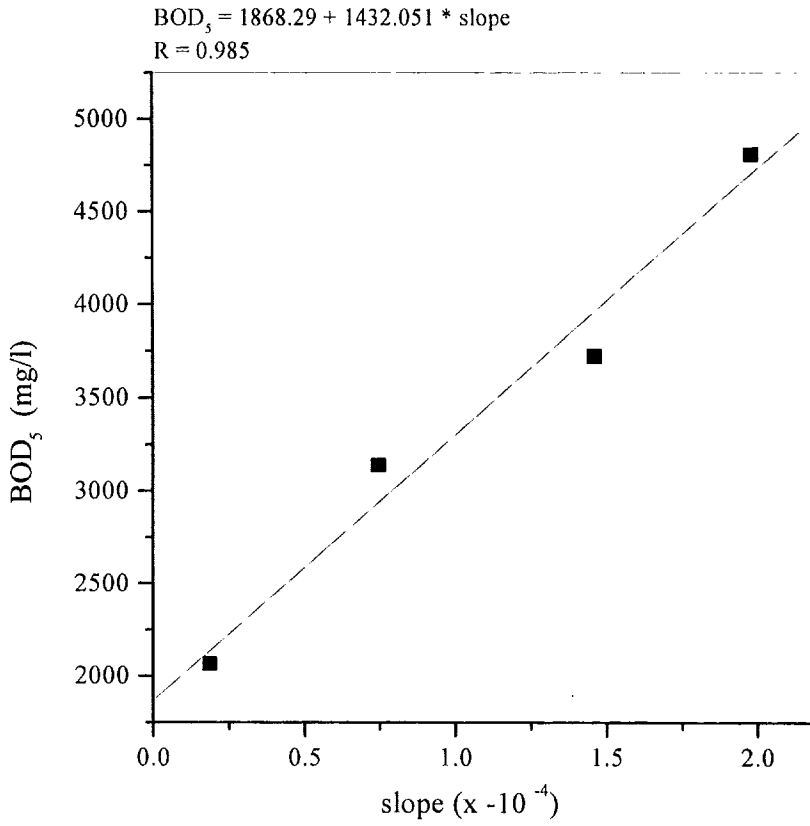


그림. 5-3. 선형구간에서의 기울기와 BOD_5 의 상관관계

COD는 크롬법으로 측정하였으며 그 결과를 이용하여 BOD와의 상관관계를 구하여 그림 5-4에 나타내었으며 상관계수는 0.990 이었다. 표 5-1에 실험결과를 요약하였다. COD_{cr}와 BOD₅의 상관관계를 검증해 본 결과 위의 결과에서 알 수 있듯이 매우 우수한 선형성을 나타내었으며, 상관계수는 0.8로 이론적인 상관계수인 0.7 이상이라는 유사한 결과를 나타내었다.

표 5-1. Experimental results of BOD₅ by Winkler Azide method and COD by K₂Cr₂O₇ method.

Wastewater Concentration (%)	10	20	40	60	80	100
DO _i (mg/ℓ)	7.50	8.21	7.90	7.70	7.40	7.60
DO _r (mg/ℓ)	2.48	2.94	2.74	1.42	2.75	2.79
희석배율(P)	100	200	400	500	800	1000
BOD ₅ (mg/ℓ)	502	1054	2064	3140	3720	4810
COD(mg/ℓ)	989	2214	3220	4315	5580	6272
기울기[S ⁻¹]	0	0	-0.186×10 ⁻⁴	-0.746×10 ⁻⁴	-1.460×10 ⁻⁴	-1.980×10 ⁻⁴

$$\text{COD}_{cr} = 670.63 + 1.21427 * \text{BOD}_5$$
$$R = 0.990$$

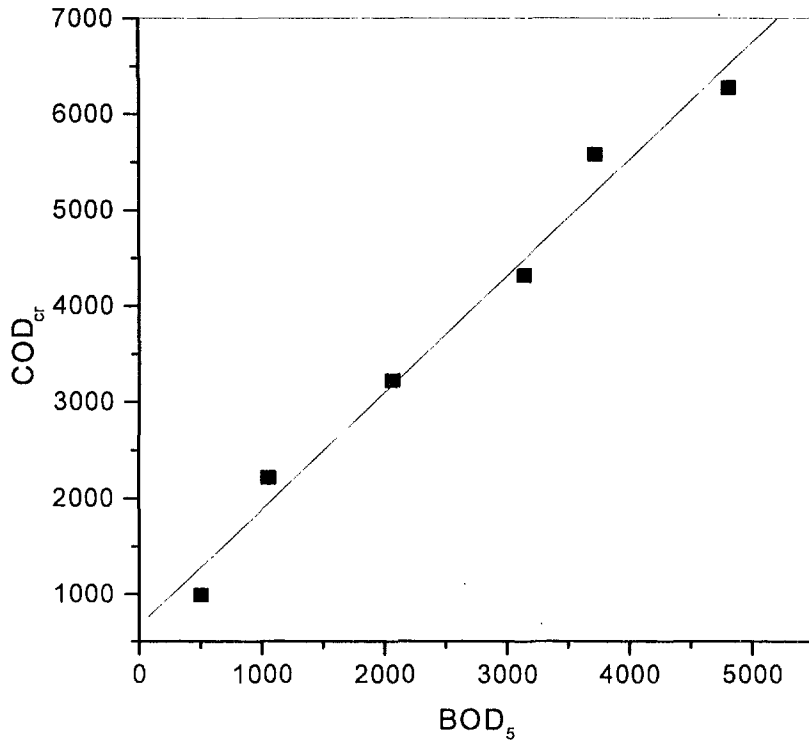


그림. 5-4. 선형구간에서의 BOD₅와 COD_{cr}의 상관관계

제 2 절 염도 측정 센서시스템 개발

제 1 항 이온 센서의 개발 및 기본특성 평가

계측기에 의한 염분의 분석방법은 이온전극법, 전극전류법, 은염적정법 등이 있지만 이온 전극법이 현장 적용의 편이성과 정밀성을 고려하면 우수한 측정법으로 알려져 있다. 이러한 방법에 있어서 중요한 요소는 염소이온(Cl^-)에 대하여 우수한 선택성을 가지는 전극물질(ionophore)를 선택하여 적절한 지지체와 가소제를 이용하여 제작한 이온 선택성 멤브레인을 제작하는 것이다.

구체적인 염화 이온 센서 제작법은 전극막 조성물질은 총량이 200 mg 일 때를 기준으로 용매 Tetrahydrofuran (THF) 1 mL에 녹인 용액을 유리판 위에 고정시킨 직경 22 mm의 유리관에 부어 하루정도 건조시켰다. 이같은 방법으로 제작된 전극막은 재래식 Philips 전극체 (IS-561; Glasblaserei Moller, Zurich, Switzerland)에 장착되어 그 전기화학적 특성을 연구하였다.

여기에서 이용한 전극물질은 Mn(III)TPPCl , 지지체로 polyvinyl, 가소제로 DOA를 이용하였다. 염도측정을 위한 계측시스템은 염도센서와 비교전극간에 발생하는전위차를 mV 단위까지 읽을 수 있는 고압력저항($10^{12}\Omega$ 이상)의 다채널의 전위차를 동시에 측정하여 PC로 전송 가능한 전위차계를 이용하여 시스템을 구성하였다.

제작된 염화이온에 대한 감응성 및 방해이온에 대한 영향을 조사하였다.

제 2 항 염화 이온 선택성 전극의 성능 평가

시료(해수조건)에는 500 mM 이상의 염화 이온이 존재하므로 염화 이온 600 mM 까지의 감응성을 조사하였다. 염화 이온선택성 막전극은 브롬 이온에 대한 감응성이 크므로 해수에 저 농도로 존재하는 브롬이온에도 심각한 방해작용을 받을 수 있다. 따라서 이와 같은 방해작용을 극복할 수 있는 전극 시스템을 찾기 위해 해수에 함께 존재하는 방해 음이온종들에 대한 감응성도 함께 조사하였다. 0.05 M Tris-H₂SO₄, pH 8.1 바탕전해질 용액에서 해수에 존재하는 여러 가지 음이온들에 대한 감응성을 조사한 결과 염화 이온에 대해 감응 기울기는 각 전극이 차이가 있으나 600 mM의 고농도까지 우수한 감응성을 보임을 알 수 있다. 5,10,15,20-tetraphenyl-21H, 23H-porphin manganese (III) chloride (Mn(III)TPPCl) 을 사용한 전극은 우수한 염화 이온 감응 기울기와 안정적인 감응성을 보이며 브롬이온에 비해 가장 우수한 염화이온 선택성을 나타냄을 알 수 있다. 그림 5-5와 표 5-2에 전극들의 염화 이온 선택성을 나타내었다.

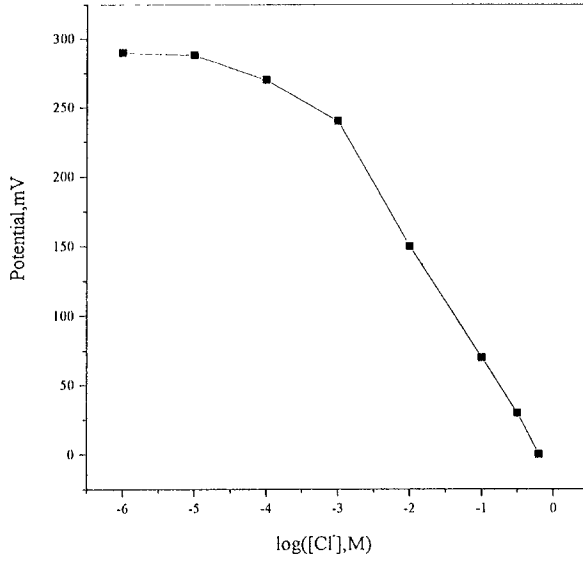


그림 5-5. 염화 이온선택성 전극의 검정곡선.

표 5-2. 염화 이온선택성 전극의 이온선택계수^a

전극물질	Selectivity Coefficient, $\log K_{Cl, j}^{pot}$		
	$j = HCO_3^-$	$j = F^-$	$j = Br^-$
(Mn(III)TPPCl)	-1.99	-2.19	0.34

a: Separate solution matched potential method.

분석 대상이 해수인 점을 감안하여 해수에 포함되어있는 음이온종인 HCO_3^- , F^- , Br^- 이온들을 포함하고 있는 인공해수와, 완충물질로 pH가 고정되면서 방해 이온종 들을 포함하고 있는 바탕용액에서의 염화 이온에 대한 감응성을 조사하였다.

그림 5-6에서와 같이 비교적 방해작용을 적게 받아 염화 이온 농도 100 mM 이상에서는 완충용액에서와 거의 같은 감응 절대전위값을 나타냄을 알 수 있다. 또한 인공 해수와 방해 이온종들이 포함된 완충용액에서 거의 같은 감응성을 보이는 것으로 나타났다. 염화이온 선택성 막전극은 염화 이온보다 브롬 이온에 대해 2 - 60 배 정도 많은 감응을 보이기 때문에 적은 농도로 존재하는 브롬이온이 심각한 오차를 유발할 수 있으므로 브롬 이온의 방해작용 정도를 실험하였다.

염화 이온 550 mM과 브롬 이온이 각각 0, 0.8, 0.9, 1.0 mM씩 존재하는 시료를 비이커 교환법으로 실험하였다. 실험결과 사용한 막전극은 염화 이온만 존재하는 시료와 브롬 이온이 함께 존재하는 시료들이 같은 전위값을 나타내는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 브롬 이온 농도에 관계없이 염화 이온 농도에 의해서만 전극의 전위값이 결정되는 것으로, 해수 중 브롬이온이 정상 농도에서 크게 벗어나지 않는 한 브롬 이온의 방해작용 없이 정확한 염화 이온 측정이 가능함을 알 수 있다.

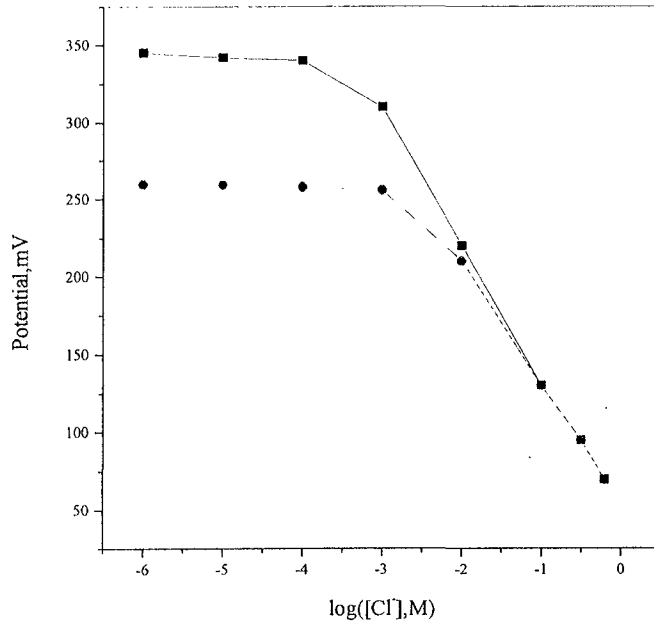


그림 5-6. 완충용액과 방해이온종을 포함한 완충용액, 그리고 인공해수에서의 염화 이온에 대한 염화이온 선택성 전극의 감응 특성.

그림 5-7은 시간에 따른 감응 기울기의 변화를 나타내었다. 바탕 용액으로 염화 이온이 포함되지 않은 인공 해수에서 수행되었고 10 mM - 600 mM 까지의 감응기울기를 표시하였다. 전극을 사용하지 않을 때는 실온에서 인공 해수에 보관하였다. 막전극은 사용기간이 늘어날수록 감응 기울기가 조금씩 증가하는 경향을 보였으며 30일 이상 사용 가능함을 알 수 있다.

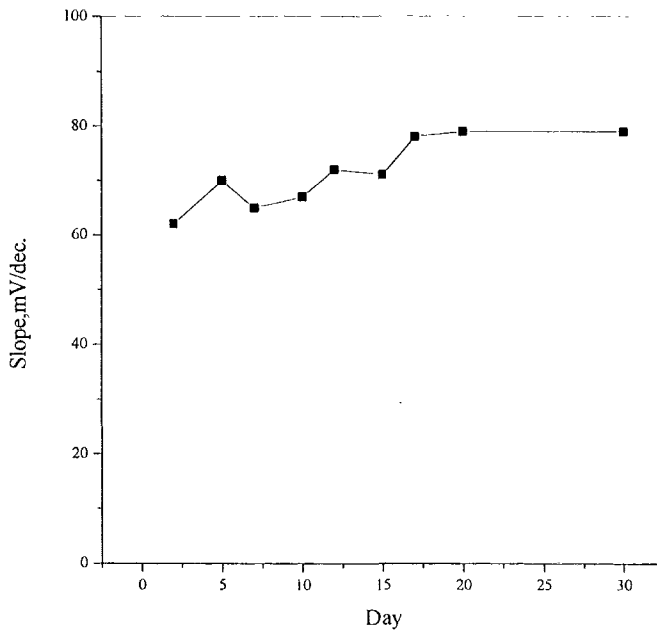


그림 5-7. 시간에 따른 염화이온 선택성 막전극의 감응 기울기의 변화

표 5-3. 검정용액 및 인공해수에 포함된 기지시료의 조성

Ion	시료
Cl ⁻	500
Br ⁻	0.8
F ⁻	0.07
HCO ₃ ⁻	2.3
SO ₄ ²⁻	28.2
H ₃ BO ₃	0.42
Na ⁺	320.7
K ⁺	9.9
Mg ²⁺	53.3
Ca ²⁺	10.3
Sr ²⁺	0.9

단위: mM, calibrant에는 염화이온 외에 인공해수 구성 물질들이 포함되지 않음.

표 5-4. 인공 해수 시료의 염화 이온 측정 농도 및 오차

전극물질	실제 시료 농도 (mM)	측정 전위 (mV)	측정 농도 (mM)	오차 (%)
(Mn(III)TPPCl)	500	61.1	515.1	3.00

제 3 절 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가

제 1 항 개요

축산폐수로 인한 수질오염을 조기에 예방하기 위하여 축산폐수 처리장에서 방류되기 전에 혹은 적당한 곳에 팔중 복합자동 연속측정 시스템을 설치하여 DO, 온도, pH, SS, COD, BOD, 탁도, 전도도 등을 모니터링하여 수질의 최적 조건을 찾아 하천의 오염을 대처하고자 하는데 연구의 목적이 있다. 본 연구는 기존에 연구된 복합시스템에 4가지 요소를 보완하여 수질의 최적 조건을 결정하는데 효율적인 방법을 제시할 수 있다. 아직까지 초기모델 수준이지만 소규모의 실험장치를 스케일업하여 효율적으로 축산폐수의 수질오염을 연속측정 및 제어할 수 있을 것으로 예상된다.

제 2 항 팔중 복합자동 연속측정 시스템의 개괄도

중거리용 팔중 복합자동 연속측정 시스템의 개괄도는 그림 5-8과 같다.

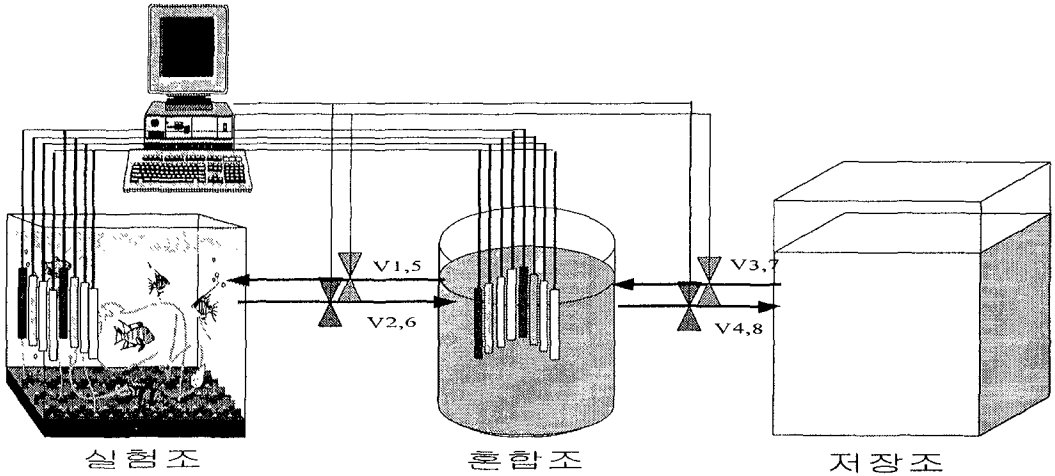


그림 5-8. 중거리용 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개괄도

DO, 온도, pH, 전도도, SS, 탁도, BOD, COD들로부터 각각의 데이터를 받아들여 컴퓨터에 설정된 값과 비교하여 가운데의 혼합조의 상태를 최적조건으로 제어한 후 실험조의 수질값과 같아지도록 제어를 한다. 좌측 밸브(V1, 5 및 V2, 6)는 실험조를 직접 제어할 수 있게 해주며, 우측 밸브(V3, 7 및 V4, 8)는 혼합조를 최적조건에 도달할 수 있도록 보조한다.

제 3 항 팔중 연속측정 시스템 프로그램의 개발

본 연구에서 개발한 팔중 복합 자동 연속 측정용 소프트웨어는 DO, 온도, pH, 전도도, SS, BOD, COD, 탁도의 여덟개의 데이터를 센서로부터 수집하여 일정 시간마다 PC의 하드 디스크에 저장 및 디스플레이 하는 방식으로 개발하였다. 이를 위해서는 최소 8채널 이상의 AD변환 장치가 하드웨어로 필요하였으며, 본 연구에서는

Advantec사의 16bit AD변환 카드를 기본으로 측정 시스템을 구성하였다. 기본적인 하드웨어 구성은 그림 5-9와 같다.

측정 항목에 대한 개별센서로부터 수집된 데이터를 전압 신호로 AD converter에 보내고 여기에서 디지털 신호로 전환되어 컴퓨터 내부 메모리에 기록되고 화면에 표시되는 알고리즘으로 프로그램을 개발하고자 하였다. 이는 흔히 많이 사용되는 RS-232를 비롯한 직렬 통신에 의한 데이터의 전송보다, 비교적 단순한 장치와 프로그램으로 모니터링 시스템을 구성하였다.

그림 5-10는 개발된 연속측정 시스템 프로그램의 주 화면이다. 화면에서 데이터는 실시간으로 표시되도록 프로그램하였으며, 그래프는 지나간 결과를 일목 요연하게 표시하여 현장의 상황을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 개발한 찰증 복합 자동 연속 측정용 소프트웨어는 DO, 온도, pH, 전도 화면에는 현재의 시간 및 시스템이 작동한 후 흐른 시간도 함께 표시되도록 하였으며, 화면 상단의 tool bar로 프로그램 및 시스템의 동작을 조절할 수 있었다. 이 프로그램을 이용한 데이터 수집을 실험실적 규모로 수행한 결과 최소 1주일 이상 안정적인 동작을 보여주었으며, 수집된 데이터는 다시 재가공 하여 통계처리 등에 이용할 수 있다.

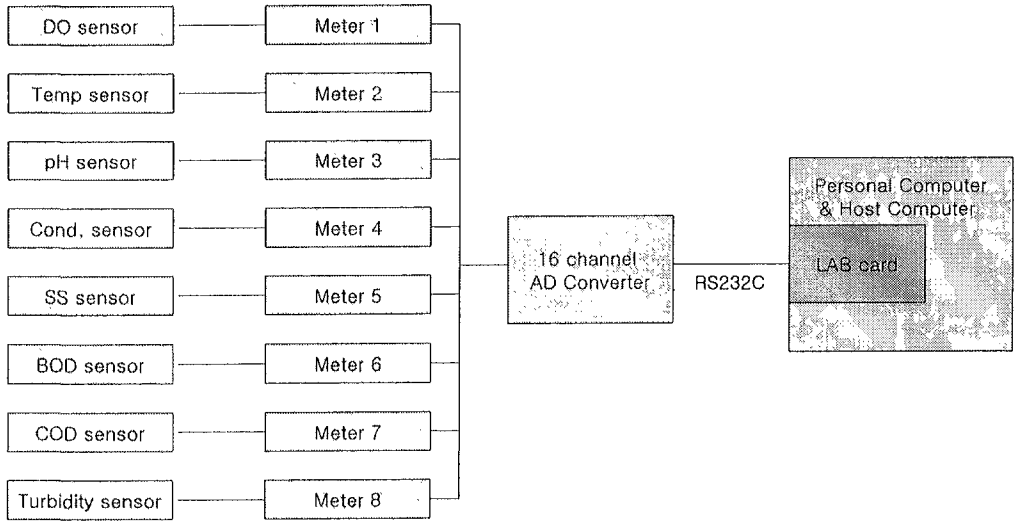


그림 5-9. 복합 연속 측정 시스템의 데이터 수집 개념도

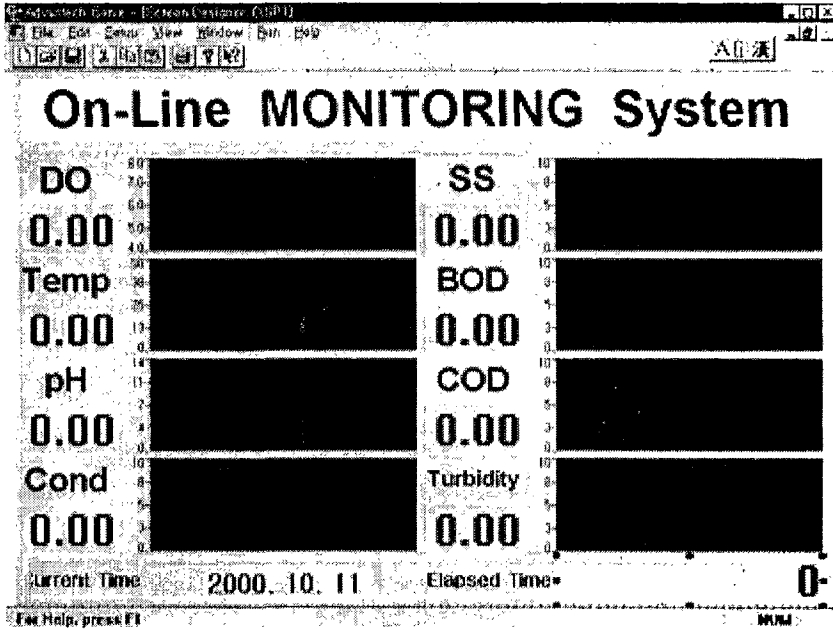


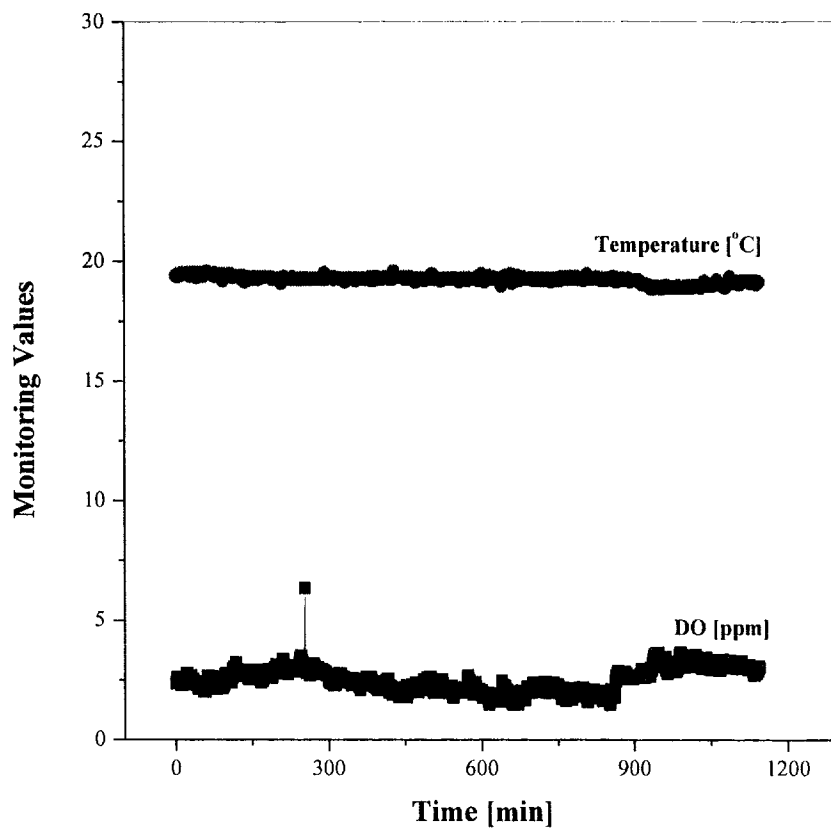
그림 5-10. 연속 측정 시스템의 호스트 프로그램 주화면.

제 4 항 팔중 연속측정 시스템 의 실험실적 안정성 평가

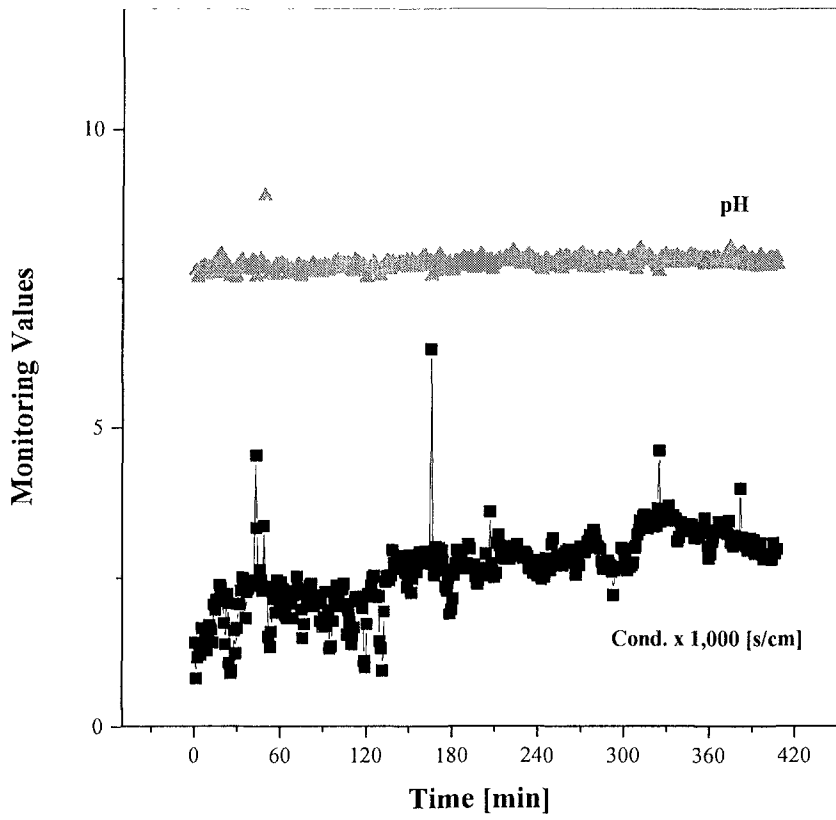
실험실 규모에서의 장치를 구성하여 팔중 복합자동 연속측정 시스템 중 그림 5-11의 a와 b에서와 같이 DO, 온도, pH, 전도도는 실시간으로 측정이 가능하고 일주일간의 측정기간 동안 안정적인 출력치를 보였다.

탁도의 경우 그림 5-11c에서와 같이 측정시간 동안 실시간으로 안정적인 측정이 가능하였다. SS의 경우는 특정 지점의 탁도와 SS는 일정한 상관관계를 가지므로 측정된 탁도에 대하여 탁도와 SS의 상관관계식에서 구한 상관계수를 곱하여 표시하였다. 이는 지금의 탁도 계측시스템에 추가적인 회로를 설계하므로 탁도와 SS 나아가 TDS를 측정할 수 있는 계측시스템을 제작 가능하다. 본 연구에서 구한 측산패수의 부피비에 따른 탁도와 SS의 상관계수는 $SS = 765 + 0.49 \times \text{Turbidity}$ 이었다.

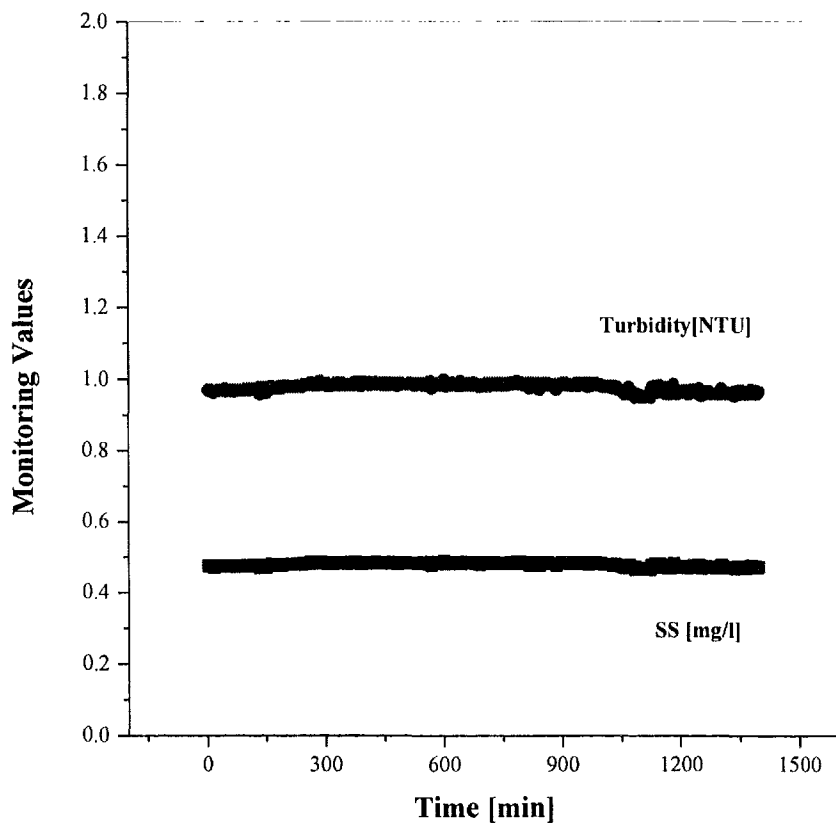
BOD의 측정은 OUR_{max} 를 이용한 측정기법을 적용하여 반연속적으로 측정하였으며, COD는 BOD와 COD의 상관관계계수를 곱하여 연산하였다.



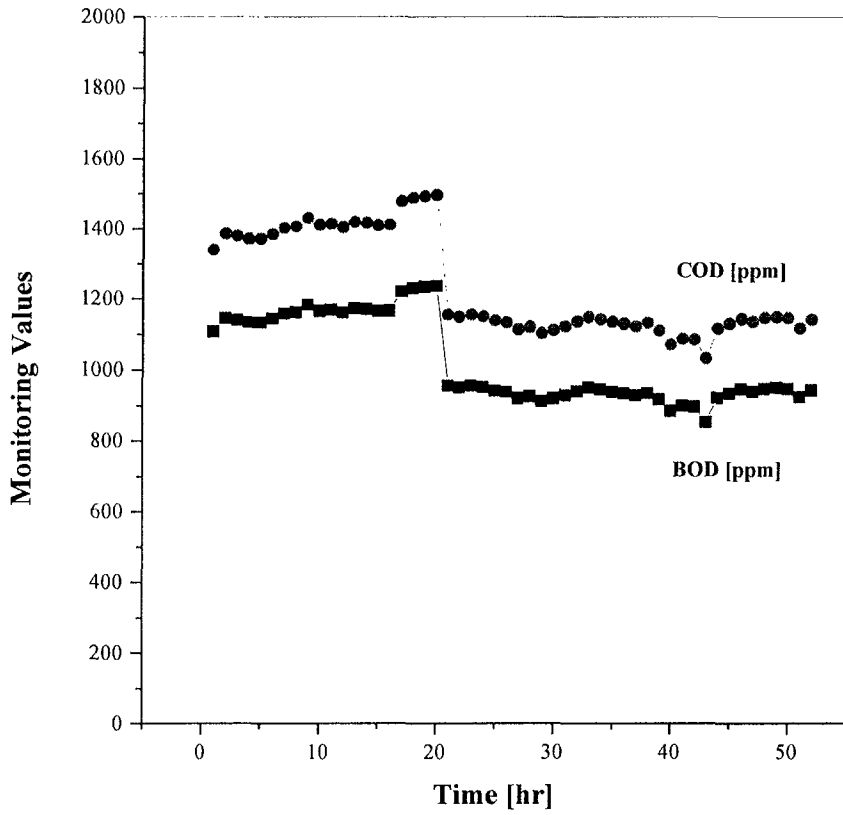
(a) DO and Temperature



(b) pH and Conductivity



(c) SS and Turbidity



(d) BOD and COD

그림 5-13. 팔중 연속측정시스템의 측정도

제 4 절 Package형 수질 데이터전송 시스템 개발

수질의 관리와 경보를 위하여 Package형 데이터 무선 전송시스템을 hardware 및 software 중심으로 개발하였다. 수질의 작업 변수들은 센서와 계측기를 통하여 측정 한 후, Solus를 통하여 데이터 전송하도록 하였다. 수집된 수질 관리 정보는 PC의 화면에 그래프로 출력됨과 동시에 경보값을 상용의 PCS 및 무선폭출시스템을 이용하여 관리자의 호출기에 text로 출력되도록 하였다.

측정지의 수질 조건과 경보상황을 센서와 계측기로 측정한 후 Solus를 통해 PC로 전송하면 화면 출력과 동시에 해당 상황을 유무선 모뎀을 통하여 관리자의 PCS 및 무선 호출기를 통하여 출력하는 방법이다. 이러한 방법의 잇점은 별도의 전송 시스템을 사용하지 않고, 상용 통신망을 이용함으로써 저렴한 무선 통신망을 구축할 수 있다는 점이다. 이는 현재 도난 차량의 추적, 화물추적, 기상감시(조류, 풍속, 강설), 산업시설관리(천연가스, 유정, 파이프라인), 증권시세나 일기 예보와 같은 대량의 정보가 무선폭출 시스템을 통하여 제공되고 있는 점을 고려하면 앞으로 다양한 개발의 여지가 있음을 알 수 있다.

본 과제에서는 DO, pH, 온도 전도도, SS, BOD, COD 및 탁도를 각각의 센서 수치를 Solus system을 통하여 컴퓨터로 전송하도록 프로그램 하였다. 이어 이들 센서의 측정값을 컴퓨터 알고리즘을 통하여 가공한 후 경보치에 이르면 자동적으로 모뎀을 구동하여 무선 호출하도록 프로그램하였다.

프로그램에 호출 번호와 PCS번호를 기입하면 모뎀을 통하여 호출시 사용하게 된다. 무선폭출 번호는 화면을 통하여 언제든지 수정 가능하다. 그림 5-14은 무선 호출을 통한 경보에 사용되는 각 센서의 측정치의 하한값과 상한값을 기록한 화면이다. 설정한 값의 범위를 벗어나면, PAGER는 해당 상황을 지정된 인식번호로 호출기를 통하여 무선으로 전송하게 된다. 본 시스템의 현장 적용 가능성은 큰 것으로 나타났다.

제 5 절 결론

농어촌지역 수질환경 개선용 팔중 복합자동 연속측정 시스템 개발 및 안정성 평가를 위하여 먼저 다양한 희석비로 제조한 축산폐수의 DO거동을 DO 센서로 모니터링하고 Winkler azide화 변법으로 BOD를 측정하였으며, COD는 크롬법으로 측정하여 상관관계를 분석하였다. 염도측정 센서 시스템은 전극물질로 Mn(III)TPPCl을, 지지체로 polyvinyle- chloride를, 가소제로 DOA를 이용하여 이온선택성막을 이용하여 구축하여 감응도와 방해이온에 대한 간섭효과를 평가한 결과 시료에 대한 우수한 감응성을 보였다.

들로부터 각각의 데이터를 받아들여 컴퓨터에 설정된 값과 비교하여 가운데의 혼합조의 상태를 최적조건으로 제어한 후 실험조의 수질값과 같아지도록 제어하였다.

실험실 규모에서의 장치를 구성하여 DO, 온도, pH, 전도도 및 탁도를 연속 측정하였으며, BOD는 반 연속적으로 측정하였으며, SS와 COD는 각각 탁도와 BOD와의 상관관계식을 이용하여 구하여 연속측정 및 제어할 수 있는 가능성을 평가하였다.

수질의 관리와 경보를 위하여 데이터 Package형 무선 전송 시스템을 hardware 및 software 중심으로 개발하였다. 수질의 작업 변수들은 센서와 계측기를 통하여 측정 한 후, Solus를 통하여 데이터 전송하도록 하였다. 수집된 수질 관리 정보는 PC의 화면에 그래프로 출력됨과 동시에 경보값을 상용의 PCS 및 무선폭출시스템을 이용하여 관리자의 호출기에 text로 출력되도록 하였다.

제 6 장 참 고 문 헌

- (1) 농림수산부, 농어촌진흥공사, 농어촌용수 환경관리에 관한연구(I) (1992)
- (2) 농림수산부, 농어촌진흥공사, 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립 (II) (1988)
- (3) 충북대학교 수자원연구실, 수질정보 종합관리 시스템 개발을 위한 호소 및 하천의 수질자동측정 (1992)
- (4) 안원식, 양우석, 안성천의 유량변화에 따른 수질오염도, 수원대 산업기술연구소논문집 10, 227-239 (1995)
- (5) 한국건설기술연구원, PC용 수질예측모델의 개량 및 응용 (1988)
- (6) 이홍근, 수질자동측정망의 효과적 계획과 운영방안, 수질환경정책 세미나, 환경처 (1994)
- (7) 이원규, 수질자동측정기기의 기술개발 동향, 수질환경 정책 세미나, 환경처 (1994)
- (8) 이승호, 담수호의 수질변화 예측모형 연구(I), 농촌연구원, 농어촌진흥공사 (1994)
- (9) 홍기훈, 한반도 주변 해역의 화학물질 수지 및 순환연구(서남해역), 한국해양연구소, 과학기술처 (1991)
- (10) 석문식, 해양환경 관리기술 : 오염물질 이동·확산 예측기술 개발, 한국해양연구소, 환경처/과학기술처 (1993)
- (11) 이재학, 황해의 해양환경 보전을 위한 해양 확산의 실시간 예측시스템연구, 한국해양연구소, 과학기술처 (1994)
- (12) 정성웅, 해양오염 감시망 구축 및 오염실태 변화에 관한 연구(II), 국립환경연구원, 환경처/과학기술처 (1994)

- (13) 이태원, 아산만 저어류, 한수지, 26(5), 438-445 (1993)
- (14) 김종화, 장선덕, 김삼곤, 마산만의 해수유동에 관하여, 한국수산학회지, 19(3) 274-280 (1986)
- (15) 서울시정개발 연구원, 수질오염 측정망 구성을 위한 조사연구 : 한강의 자동측정망을 중심으로 (1995)
- (16) 김인오, 고도 정수처리 기술개발 : 수중에 용해된 잔류농약, 세제 및 암모니아성 질소성분 등의 제거를 위한 연구, 환경처/과학기술처 (1993)
- (17) 축산신문, 가축분뇨 처리 가이드 (1995)
- (18) 농어촌진흥공사, 한국 물 관련 도서 총람 (1996)
- (19) 호소수질연구소, 종합수질 자동측정시설 시범운영 결과보고 (1994)
- (20) Douglas M. Bloem et als, "Automated Monitoring of Water Quality from Source Stream", AWWA, Technology Conference, pp 1341-1347 (1990)
- (21) Gerald van Belle, Hughes, J. P., "Monitoring for water quality : fixed stations versus intensive surveys", JWPCF, Vol. 55(4), 400-404 (1983)
- (22) Lottis, J. C. et als, "An Evealuation of Trend Detrcction Techniques For Use in Water Quality Monitoring Programs", U. S. EPA No. EPA/600/3-89/037 (1989a)
- (23) 전국 축산분뇨 적정관리 대책 연구, 한국환경과학연구협의회 (1990)
- (24) 忠海湖水質豫測モデル検討報告書, 日本建設技術研究所 (1992)
- (25) 농축산 폐기물의 퇴비화, 한국유기성폐기물자원화협의회 (1995)
- (26) Bauer, D.P, Jenning, N.E. and Miller, J.E., "One-Dimmsional Steady State Stream Water Quality Model", US Geological Survey Water Resources Investigation 79-45 (1979)
- (27) Matin, J,L., "Simplified Steady State Temperature and Dissolved Oxygen Model, User's Guide", Instruction report E-86-4, US Army Engineer

- Waterways Experiments station. (1986)
- (28) Brown, L.C and Barnwell, T.O., "Computer Program Documetation for the Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS" EPA/600/3-87/007 USEPA (1987)
- (29) Bedford, K.W and Sykes R.M and Libicki, C, "A dynamic One Dimensional Riverine water Quality Model" DACW39-82-M-3548, US Army Engineer Waterways Experiment Station (1985)
- (30) Streeter, H.W. and Phelps, E.B., " A Study on the Pollution and natural Purification of the Ohio River," III, U.S Public Health Service, Public Health Bulletin (1925)