

GOVP1199904444

628.16846
L 293 ml

최 종
연구보고서

농수산용 Multi-Biosensor의 국산화를 통한
축산폐수 및 연안양식장의 Real Time 수질
Monitoring 기술개발

Development of Agromarine Multi-Biosensor for
Real Time Monitoring of Water Quality of
Livestock Wastewater and Coastal Fishery

연구기관
수원대학교

농림부

최 종 보 고 서

1995 년도 농림특정연구사업에 의하여 완료한 농수산용 Multi-Biosensor의 국산화를 통한 축산폐수 및 연안양식장의 Real Time 수질 Monitoring 기술개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 8부

2. 최종보고서 디스켓 1매

1998 . 12 . .

주관연구기관 : 수 원 대 학 교

총괄연구책임자 : 김 태 진

주관연구기관장 : 총 장

농 립 부 장 관 귀 하



직 인

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농수산물 Multi-Biosensor의 국산화를 통한 축산폐수 및 연
안양식장의 Real Time 수질 Monitoring 기술개발에 관한 연구” 과제의 최
종보고서로 제출합니다.

1998 . 12 .

주관연구기관명 : 수원대학교
총괄연구책임자 : 김 태 진
연 구 원 : 이 상 훈
연 구 원 : 이 상 수
연 구 원 : 이 규 환
연 구 원 : 김 영 호
연 구 원 : 김 진 을

요 약 문

I. 제 목

Multi-Biosensor의 국산화를 통한 축산폐수 및 연안양식장의
Real Time 수질 Monitoring 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

근래에 들어와서 축산 폐수가 오염 물질로 크게 인식되는 이유는 화학비료의 개발·사용으로 축분이 대부분 농경지 등에 재사용되기 어렵게 되었을 뿐만 아니라 국민의 쾌적한 환경에 대한 욕구가 과거보다는 크게 높아졌기 때문이다. 특히 축산 폐수는 동일한 양의 생활하수에 비하여 수질오염 부하량이 15배 정도 크므로 이를 처리하지 않고 방류할 경우 하천의 수질 악화 및 호소의 부영양화를 초래한다. 따라서 본 연구를 통하여 국산화가 예상되는 multi-biosensor를 활용하여 각 축산농가에 설치되어 있는 축산 폐수 정화시설에서 방류되는 방류수를 주기적으로 안정되게 측정함으로써, 축산업이 우리 농촌의 고부가가치 산업으로서 올바르게 정착되고 나아가 수질 오염의 주요인으로서 축산 폐수에 대한 사회의 부정적 시각이 개선되리라 예상되므로 본 연구의 중요성은 크다.

수산 양식에서 현재까지의 수질관리는 화학적 적정법을 이용한 측정이나 휴대용 측정기를 이용하여 현장에서 측정 자료를 구득하여 수질을 관리하는 단계이다. 그러나 이 방법은 소규모의 양식에서 인력이 풍부한 경우에는 가능하나 면적이 크거나 양식지가 먼 거리에 있는 경우는 막대한 인력과 전력의 낭비를 초래하므로 양식지의 수질을 자동적으로 구득하고 필요한

조치를 자동적으로 작동하게 할 필요성이 크다. 따라서 본 연구개발의 목적은, 값싸고 사용이 간편한 축산 폐수의 수질 측정용 휴대형 multi-biosensor를 국산화하고, 제작한 센서를 실험실적으로 검증하여 축산 폐수의 수질환경을 monitoring하며, 첨단 정보 통신체제를 활용하여 담수 호 및 연안 어장의 real time 수질 관리 시스템을 개발함에 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발에서 수행한 연차별 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

구 분	연 구 개 발 내 용	연 구 개 발 범 위
1차 년도 (1996)	축산 폐수용 proto type BOD센서 시스템 개발 및 활어 수송용 DO센서 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 축산 폐수용 BOD센서 시스템 · 해양용 DO센서 제작 · 활어 수송용 DO센서 시스템 개발 · 데이터 전산처리 프로그램 개발
2차 년도 (1997)	활어 수송용 DO센서 시스템의 국산화 및 통신 무선 전달 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 축산폐수용 BOD센서 시스템의 국산화 · 가두리 양식장 DO 측정시스템 개발 · 활어 수송용 DO센서 시스템 현장 평가 · 교환형 pH 센서 제작 및 평가 · 다채널 데이터 전산처리 프로그램 개발 · 모뎀 통신 전달 시스템 개발
3차 년도 (1998)	이중 복합센서 시스템의 제작 및 적조 경보 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 축산 폐수용 BOD 측정 시스템의 Package화 개발 · Pilot Plant 설치 및 현장 평가 · 축제식 양식장 복합센서 관리 시스템 개발 · 연안 양식장 적조 경보 시스템 개발 · 염도 센서 개발 및 평가 · 수질 데이터 무선 전송 시스템 개발

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 축산폐수의 수질환경 Monitoring 및 현장 테스트 분야

축산폐수의 수질환경 monitoring을 위해 익산시 왕궁면의 돈사지역, 정읍군 및 전북대 우사에서 시료들을 채취하여 분석한 결과, 축산폐수의 pH는 6.5~8.5 이었으며 total solids와 volatile solids의 농도는 상호 비례하였고 total solids의 농도는 BOD 농도에 개략적으로 비례하였다. 돈사의 폐수가 우사의 것에 비하여 높은 BOD를 나타내었으며 축산폐수의 BOD를 낮추기 위하여 우선적으로 total solids의 양을 떨어뜨리는 공정의 개발이 요구되었다.

자체 제작한 DO Meter의 성능을 수입품과 상호 비교한 결과 실험적 오차 범위 내에서 유사하였다.

2. 연안 양식의 자동 수질 관리 시스템 개발

보리새우와 대하 양식의 경우 육상수조 사육은 설정된 DO 농도에서 전기적 신호를 발생시켜 aeration device를 작동시키는 제어 실험은 성공적이었다. DO 센서의 소재가 되는 전극 몸체의 동식물 부착을 실험하기 위해서 도색을 하지 않은 상태의 소재, 선박의 방청페인트를 도색한 소재, Norway의 Aanderaa 회사에서 해양장비에 사용하는 방청용 도료 Tectyl을 도색한 아크릴 소재를 각각 1.5 개월과 3개월이 경과한 후의 생물부착상태를 관찰하였다. 부착상태가 가장 양호한 것은 선박용 방청페인트이며, 그 다음으로 Tectyl을 도포한 것은 1.5개월까지는 부착상태가 양호하였으나 3개월이 지나면서 많은 생물이 부착하였고, 도색을 하지 않은 소재는 1.5개

월에서부터 생물의 부착이 심하여 상태가 아주 나쁘게 되었다.

3. 농수산용 Multi-Biosensor의 개발

pH 센서를 축산폐수에 활용하기 위하여 휴대용, 실험실용, 현장용을 각각 검정하였다. 실험실적으로 제작한 다양한 pH 범위의 0.1M 용액 (CH_3COONa , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_4$, $\text{KOH} + \text{KHCO}_3$, $\text{KOH} + \text{HCl}$)을 이용하여 출력되는 pH 값 또는 전류값(mA)을 검정하였다. 축산폐수의 pH control을 실험실적으로 small scale에서 관련인자를 연구하기 위하여 NOVA pH meter 및 2.5 l 발효조(한국발효기)를 활용하여 축산폐수의 pH 공정제어 모델을 제시하였다. 방출 축산폐수의 pH 기준 수질(6.5~8.5)에는 문제가 없었으나 축산폐수의 세부 처리공정에서 최적 pH의 control은 효율적 축산폐수의 처리를 위하여 중요할 것으로 추정되었다.

해수의 염도를 측정하기 위하여 전도도의 원리를 이용한 염도센서 시스템을 개발하였다. 개발한 염도센서는 수입품 DKK 에 대비하여 유사한 선형성을 나타내었으며 PC와 연계하여 연속적으로 측정 가능하도록 새로운 형태의 염도센서를 개발하였다.

축산폐수 시료의 BOD 측정을 위하여 시스템을 개발하였다. 제작한 시스템은 안정한 것으로 판단되어, 축산폐수 발생현장의 BOD 측정에 활용하였다.

양성지의 수질관리를 위한 자동계측제어기기의 센서를 장기간 수중에 설치하는 경우에는 각종의 해산 동식물이 센서에 부착하여 센서의 기능을 저하시키거나 무력화시키는 결과를 초래하게 됨으로 해양용 DO 센서의 몸체 외부를 선박용 방청 페인트로써 처리할 필요가 절대적이었다.

4. DO-AQUA 시스템의 응용평가

운반할 어종 별로 일정하게 설정한 최저 DO level에 이르면, 자동적으로 air 또는 순수 산소 탱크에 부착한 solenoid valve가 열림으로써, 불필요한 기체의 소모를 방지할 수 있는 DO-AQUA 시스템을 구축하였다.

운반하는 어종 별로 구분 분리된 활어 수송용 개별수조에 6개 이내의 센서를 수조별로 각각 설치하여 출력되는 개별 전류를 한 개의 DO meter로 구득할 수 있는 multiple monitoring 시스템을 세계 최초로 개발하였다. 이때 수조별로 고유의 DO-AQUA 조절기를 부착함으로써 수조별로 원하는 DO 수치를 유지하도록 개발하였다.

DO-AQUA system의 현장 응용 평가를 위해서 조피볼락의 치어를 양성하는 축제식 양식장에서 3회에 실험한 결과, 수중의 용존산소량이 미리 설정된 한계치에 이르는 때에 자동제어기가 수차를 작동하여 수동적인 수차의 작동이 해소될 수 있었다.

5. Real Time 다성분 Monitoring 시스템 개발

다성분의 농도를 일정하게 유지함에 따른 제어동작을 자동 혹은 수동 조작을 통해 수행하기 위하여 real time 다성분 monitoring 시스템을 prototype으로 개발하였다. 전송된 데이터는 계측기의 LCD 표시판에서 수치로 읽을 수 있으며, 필요시 컴퓨터를 이용한 data logging 또한 가능하도록 설계하였다.

양어장 관리 프로그램을 개발하여 어종의 생육환경을 연속으로 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

6. 축산 폐수용 BOD 연속측정 시스템 개발

축산폐수 자체에 함유된 미생물을 이용하여 미생물이 소모하는 산소의 거동을 DO meter로 연속 측정하여 미생물 고유의 산소소모 거동을 확인하였고 BOD 농도에 따른 산소소모 거동과의 상관관계를 구함으로써 실시간 BOD on-line monitoring 시스템을 실험실적 수준으로 개발하였다. 축산폐수의 원수는 1,000배, 방류수는 10배 이내로 희석함으로써 DO Meter를 이용한 BOD 연속측정의 가능성을 제시하였다. DO 변화 기울기는 BOD와 선형성이 크므로 정확한 on-line BOD 측정을 위하여 최적의 희석비를 가진 BOD 시료의 제조가 중요함을 알 수 있었다. 미생물에 의한 산소소비속도, 즉 Oxygen Uptake Rate(OUR)을 구하였으며 $0.00074 \text{ mg O}_2/\ell \cdot \text{sec}$ 이었다. 따라서 축산폐수가 함유한 미생물만의 산소소모량을 측정함으로써 축산폐수의 BOD를 1시간 이내에 측정 가능한 시스템의 개발 가능성을 제시하였다.

축산폐수 중의 미생물 농도가 1시간 안에 변화하는 지를 측정하기 위하여 미생물의 흡수파장을 실험한 결과 560nm와 630nm에서 나타났으며 630nm를 최적흡수파장으로 선정하였다. 축산폐수의 농도에 따라 흡광도가 증가하였고 20℃와 37℃에서 모두 5~6시간 이후부터 미생물이 성장하기 시작하였다. 이러한 현상은 현장조건(37℃) 하에서도 1시간 이내의 일정한 미생물 양이란 가정이 성립된다는 것을 입증하였다.

축산폐수 세포농도에 따른 표준곡선 및 건조무게와의 상관관계를 실험하여 축산폐수 내에는 평균 $0.375 \text{ g}/\ell$ 의 건조 미생물이 존재함을 알 수 있었다. 기존의 BOD 측정 실험은 300ml BOD병에 magnetic bar를 삽입하고 교반기를 이용한 혼합법을 개선하여 DO 센서 자체에 구동형 모터를 부착하여 BOD병 상층부에 위치시킴으로써 일정한 교반속도를 얻을 수가 있었다.

BOD 시스템을 package화 하기 위하여 여섯 개의 모터 구동형 DO 센서를 갖는 hexagonal DO 시스템을 제작하여 hexagonal 계측 시스템에 연결하여 측정한 결과, 6개의 각 센서는 고유한 값을 무산소 조건에서도 나타내었는데 이는 전극 자체의 전기화학적 반응에 의한 요인으로 추정된다.

기존의 모니터링 시스템은 1개 DO센서와 DO meter를 이용하여 측정하였다. 본 측정방법은 hexagonal system을 이용하고, DO센서 6개를 사용하여 컴퓨터로 data를 저장하였다. 축산폐수 미생물의 최대 산소소비율의 평균 값은 $0.21 \text{ mg O}_2/\text{s} \cdot \text{g cell}$ 이었다. OUR_{max} 와 BOD_5 값의 상관관계는 높은 ($R=99.86\%$) 선형성을 나타내었다. 따라서 축산폐수의 BOD를 세계 최초로 불과 수십초 이내에 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다. 그러나 최종 결론에 이르기 위하여 수차에 걸친 재현성 실험이 요구된다. 또한 시스템의 소형화 및 최적 회석비의 선정을 위한 계속적 연구와 축산폐수 현장 적용에 따른 시스템의 단순화 등 상당 부분의 후속적 연구가 추가적으로 요구되었다.

SUMMARY

I. Title

Development of Agromarine Multi-Biosensor for Real Time Monitoring of Water Quality of Livestock Wastewater and Coastal Fishery

II. Objective and Importance of Research

Livestock wastewater has recently been recognized as environmental contaminants due to non-recycling of livestock dung and national desire of clean environment. If livestock wastewater is discarded without treatment, water quality in river and lake can be worsen. The present study was thus aimed to develop multi-biosensor not only for control of treatment facility but also for continuous measurement, which may enable livestock business to be stable and improve the negative image toward livestock wastewater. Fishery business has so far used portable meters to measure chemical components in water. Such methods, however, are not applicable when sites are huge and far from office. It is thus necessary to measure either automatically or remotely. The purpose of the present research was targeted to develop portable multi-biosensor with reasonable price and convenient handling. The sensor was experimentally evaluated for monitoring of livestock wastewater. The system was eventually examined to see its performance of real time measurements of water quality in fishery pond by means of sophisticated telecommunication system.

III. Contents and Scope of Research

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

Year	Contents	Scope
First (1996)	Development of prototype BOD sensor system for livestock wastewater and DO sensor system for transportation of live fish	<ul style="list-style-type: none"> • BOD sensor system for livestock wastewater • Fabrication of marine DO sensor • Development of DO sensor system for transportation of live fish • Program development of data processing
Second (1997)	Commercialization of DO sensor system for transportation of live fish and development of telecommunication of wireless data transfer	<ul style="list-style-type: none"> • BOD sensor system for bench scale • DO sensor system for off-shore fishery • Field test of sensor system for transportation of live fish • Fabrication of replaceable pH sensor and its evaluation • Program development of multi channel data processing • Development of telecommunication system via modem
Third (1998)	Fabrication of multi-biosensor and development of warning system for red tide	<ul style="list-style-type: none"> • Package development of BOD measurement system for livestock wastewater • Installation of pilot plant and field test • Development of multi-biosensor system for off-shore fishery • Red tide warning system in coastal fishery • Development of salt sensor and its evaluation • Development of wireless telecommunication system for processing of water quality data

IV. Results of Research and Recommendation for Their Applications

1. Monitoring of quality of livestock wastewater and field test

Samples of livestock wastewater from Icksan City, Chungup County and Chunbuk National University were analysed to reach some conclusions as follows. pH of wastewater was 6.5~8.5. The concentration of total solids was proportional not only to that of volatile solids but also to that of BOD. Wastewater from pig had higher concentration of BOD than from cow. It was prerequisite to firstly develop a process lowering total solids in wastewater so that BOD of livestock wastewater could be lowered. Comparison of DO meter performances between lab-made and imported ones showed no significant difference within experimental error.

2. Development of automatic management system for water quality in coastal fishery

Aeration device for crustacean fishery was successfully controlled by electrical signal at a set point of DO level. External body of DO sensor was examined to see its contamination by marine biologicals for three months. It was thus concluded that external body should be painted by anti-fouling agent for long term stability of sensor performance.

3. Development of multi-biosensor for agromarine applications

pH sensors applicable to areas such as portable, laboratory and field were experimentally examined by 0.1M solution of different components such as CH_3COONa , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_4$, $\text{KOH} + \text{KHCO}_3$, $\text{KOH} + \text{HCl}$. A protocol for pH control was suggested as determined by system consisted of NOVA pH meter and 2.5 ℓ fermenter for optional pH control of livestock wastewater. Conductivity principle was adapted to develop salt sensor system for measurement of salt concentration of sea water. Performance of developed salt sensor was similiar to that of imported DKK sensor and thus interconnected to personal computer for continuous measurement of salt level. BOD measurement system was developed to detect BOD level at source of livestock wastewater. External body of sensor should be painted by anti-fouling agent for long term stability of sensors so that no marine biologicals were attached to the surface of sensor system while dipping into sea water.

4. Site evaluation of DO-AQUA system

DO-AQUA system was developed to automatically control air stream via solenoid valve so that consumption of air could be properly controlled. Besides, six sensors with single DO meter was developed firstly in the world for simultaneous multiple monitoring with less cost of equipment purchase whose DO levels were individually controlled by each DO-AQUA system. Its performance was examined by triple

experiments at fishery site.

5. Development of real time monitoring of multi components

Prototype of real time monitoring of multi components was developed so that multi levels could be maintained either automatically or manually. Collected data were displayed on LCD screen while data logging was designed to be stored at personal computer, if necessary. Management program of fishery pond was thus developed for continuous measurement of environments of various fishes.

6. Development of continuous measurement of BOD of livestock wastewater

Laboratory scale of BOD on-line monitoring system was proposed by schemes using microorganism in livestock wastewater and its own consumption of dissolved oxygen with various level of BOD. Livestock wastewater was optimally diluted to 1,000 folds while treated water to 10 folds for continuous measurement of BOD by DO meter. It was very important to prepare samples with optimal BOD for accurate measurement. Oxygen uptake rate (OUR) by microorganism in livestock wastewater was $0.00074 \text{ mgO}_2/\ell \cdot \text{sec}$. It was thus possible to measure BOD of livestock wastewater within one hour, the latter being thoroughly examined by scanning of optimal microorganism absorbance at either 560 nm or 630 nm. As measured at 630 nm, no microorganism

of livestock wastewater was grown until 5 to 6 hours after inoculation to LB culture media at both of 20°C and 37°C. It was thus concluded that no microorganism of livestock wastewater could be grown within one hour of culture, which revealed that OUR was constant once BOD measurement was completed within one hour. Concentration of microorganism in livestock wastewater was 0.375 g/l as turned out from relationship between standard samples and their corresponding dry cell weights. A self motor-driven BOD sensor was fabricated so that no magnetic stirrer was necessary during measurement of BOD. Package of BOD sensor was made by six self motor-driven DO sensors with single DO measurement device whose data were logged at personal computer. Maximum consumption rate of microorganism in livestock wastewater was 0.21 mgO₂/s · g cell. There was an excellent linearity (R=99.86%) between OUR_{max} and BOD₅, which proposed firstly in the world a BOD measurement device within tens of seconds. Further studies for miniaturization and simplification of such a system was, however, required for its eventual field application.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	21
Section 1. Objective and scope of research	21
Chapter 2. Water Quality Monitoring of Livestock Wastewater and Its Field Test	25
Section 1. Background	25
Section 2. Sampling	26
Section 3. Experimental methods	27
Section 4. Analytical results of livestock wastewater	29
Section 5. Conclusion	32
Chapter 3. Automatic Management of Water Quality in Coastal Fishery	33
Section 1. Background	33
Section 2. Network management of water quality measurement	34
Section 3. Characteristics of ecological pattern of major fishery	37
Section 4. Experiment of land fishery pond	41
Section 5. Experiment of anti-fouling agent	42
Chapter 4. Development of Agromarine Multi-Biosensor	51
Section 1. Background	51
Section 2. Evaluation of pH sensor system	52
Section 3. Development and evaluation of salt sensor	56

Section 4. Development of lab scale BOD sensor system	58
Section 5. Evaluation and fabrication of marine DO sensor	60
Section 6. Development of DO sensor system for live fish	64
Chapter 5. Field Evaluation of DO-AQUA System	67
Section 1. Field evaluation of transportation vehicle for live fish	67
Section 2. Field evaluation of land fishery pond	70
Section 3. Field evaluation of off-shore fishery	73
Section 4. Field evaluation of red tide warning system in coastal fishery	77
Chapter 6. Real Time Monitoring of Multi Components	82
Section 1. Development of multi DO sensor system	82
Section 2. Development of data transfer system	84
Section 3. Program development for fishery pond management	86
Chapter 7. Continuous Measurement of BOD of Livestock Wastewater	90
Section 1. Background	90
Section 2. Automatic measurement system of single BOD	92
Section 3. Determination of oxygen uptake rate in livestock wastewater	109
Section 4. Determination of microorganism concentration in livestock wastewater	116

Section 5. Fabrication of motor-driven DO sensor for measurement of BOD	126
Section 6. Simultaneous measurement system of multi BOD in livestock wastewater	127
Section 7. Continuous measurement of BOD of livestock wastewater by hexagonal system	133

목 차

제 1 장	서 론	21
제1절	연구개발의 목적과 범위	21
제 2 장	축산폐수의 수질환경 Monitoring 및 현장 테스트분야	25
제1절	서설	25
제2절	시료채취	26
제3절	실험방법	27
제4절	축산폐수 분석결과	29
제5절	결론	32
제 3 장	연안 양식의 자동 수질 관리	33
제1절	서설	33
제2절	수질측정망 운영	34
제3절	중요 양식생물의 생태학적 특성 및 양성관리	37
제4절	육상 수조 실험	41
제5절	방양지의 anti-fouling agent 실험	42
제 4 장	농수산용 Multi-Biosensor의 개발	51
제1절	서설	51
제2절	pH 센서 시스템 평가	52
제3절	염도센서 개발 및 평가	56
제4절	실험실용 BOD 센서 시스템 개발	58

제5절	해양용 DO 센서 평가 및 제작	60
제6절	활어 수송용 DO 센서 시스템 개발	64
제 5 장	DO-AQUA 시스템의 응용평가	67
제1절	활어차량 응용평가	67
제2절	육상수조 응용평가	70
제3절	축제식 양식장 응용평가	73
제4절	연안 양식장 적조 경보 시스템 응용 평가	77
제 6 장	Real Time 다성분 Monitoring	82
제1절	Multi DO 센서 시스템 개발	82
제2절	데이터 전송 시스템 개발	84
제3절	양어장 관리 프로그램 개발	86
제 7 장	축산 폐수용 BOD 연속측정	90
제1절	서설	90
제2절	단일성분 BOD 자동측정 시스템 개발	92
제3절	축산폐수의 Oxygen Uptake Rate 계산	109
제4절	축산폐수의 미생물 농도 계산	116
제5절	BOD 측정용 구동모타 부착형 DO 센서 제작	126
제6절	축산폐수용 BOD 다성분 동시측정 시스템 개발	127
제7절	Hexagonal system을 이용한 축산폐수 BOD 연속 Monitoring 기술개발	133

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

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. 가축에서 발생하는 축산 폐수는 인간의 분뇨와 함께 가장 오랜 역사를 가진 배설물이다. 근래에 들어와서 축산 폐수가 오염 물질로 크게 인식되는 이유는 화학비료의 개발·사용으로 축분이 대부분 농경지 등에 재사용되기 어렵게 되었을 뿐만 아니라 국민의 쾌적한 환경에 대한 욕구가 과거보다는 크게 높아졌기 때문이다. 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. 울러 상수원 및 농업용수를 오염시켜 악취 및 해충 피해 등으로 쾌적한 생활 환경을 해치는 요인이 되고 있다. 게다가 최근의 환경 관련 각종 사건 이후 환경에 대한 국민의 관심이 높아지고 있어 축산 분야도 예외일 수는 없다. 환경오염을 줄이기 위한 정화 시설설치 비용 등이 생산 외적인 수단이 아니라는 인식에 대한 전환이 필요하다. 그러나 축산 폐수는 다른 오염원과는 달리 조금만 관심을 가져도 환경을 개선이 가능하다.

따라서 본 연구를 통하여 국산화가 예상되는 multi-biosensor를 활용하여 각 축산농가에 설치되어 있는 축산 폐수 정화시설에서 방류되는 방류수를 주기적으로 안정되게 측정함으로써, 축산업이 우리 농촌의 고부가가치 산업으로서 올바르게 정착 되는 것이며 나아가 수질 오염의 주요인으로서 축산 폐수에 대한 사회의 부정적 시각이 개선되리라 예상된다.

환경처가 1996년 7월 1일 부터 적용하는 환경규제안에 따르면 축산 폐수 배출시설 설치시 허가 또는 신고를 하지 않아 사용금지·폐쇄명령을 받고도 이를 어기면 전기·수도의 설치나 공급을 중단할 수 있도록 하고, 소규모 축산시설에서 나오는 폐수로 인한 오염을 막기위해 허가 또는 신고 대상 미만 업체라도 일정 규모 이상일 때는 간이 축산 폐수 정화조를 반드시 설치토록 했다. 방류수질기준도 신고대상의 경우에 BOD농도 350-500ppm이며, 부업규모에서도 1,500ppm 이하이고 정화를 하여 내보내야한다. 이에 반하여 국내 양돈 농가의 평균 사육 두수가 증가하여 그 폐수 처리가 시급한 실정이지만, 일부 대규모 사육장을 제외하고는 그 처리 자체가 극히 미약한 실정이다. 양돈 농가의 90% 이상이 적절한 폐수 처리시설의 설치가 난이한 100두 이하를 사육하고 있는 현실이다. 이경우 오염물은 거의가 비점오염원(Non-point source)형태로 배출되어 수자원에 대한 집중적 오염이 우려된다.

1995년 여름 남해안 연안 양식장에 대규모 피해를 유발한 적조 현상은 이러한 오염원의 일부가 바다로 흘러들어 발생한 것으로 알려지고 있다. 특히 내수면 및 연안 양식업이 농가의 새로운 소득원으로 부각되는 상황에서 주변환경의 악화는 큰 위협이라 하겠다.

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 단계이

다 . 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 노지 재배-비닐하우스 재배-유리 온실 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. 그러므로 양식지의 수질을 자동적으로 구득하고 필요한 조치를 자동적으로 작동하게 함으로써 무인 양식이 가능하게 되고 나아가 경쟁력도 제고된다.

본 연구개발의 목적은,

첫째, 값싸고 사용이 간편한 측산 폐수의 수질 측정용 휴대형 multi-biosensor를 국산화하고,

둘째, 제작한 센서를 실험실적으로 검정하고, 그를 이용하여 측산 폐수의 수질환경을 monitoring하며,

셋째, 첨단 정보 통신체제를 활용하여 담수호 및 연안 어장의 real time 수질 관리 시스템을 개발하여, 연례적인 적조 현상 등에 따른 어패류의 피해를 사전에 방지하고자 함에 있다.

2. 연구개발의 범위

본 연구개발에서 수행한 연차별 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

구분	연구개발내용	연구개발범위
1차 년도 (1996)	축산 폐수용 proto type BOD센서 시스템 개발 및 활어 수송용 DO센서 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 축산 폐수용 BOD센서 시스템 · 해양용 DO센서 제작 · 활어 수송용 DO센서 시스템 개발 · 데이터 전산처리 프로그램 개발
2차 년도 (1997)	활어 수송용 DO센서 시스템의 국산화 및 통신 무선 전달 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 축산폐수용 BOD센서 시스템의 국산화 · 가두리 양식장 DO 측정시스템 개발 · 활어 수송용 DO센서 시스템 현장 평가 · 교환형 pH 센서 제작 및 평가 · 다채널 데이터 전산처리 프로그램 개발 · 모뎀 통신 전달 시스템 개발
3차 년도 (1998)	이중 복합센서 시스템의 제작 및 적조 경보 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 축산 폐수용 BOD 측정 시스템의 Package화 개발 · Pilot Plant 설치 및 현장 평가 · 축제식 양식장 복합센서 관리 시스템 개발 · 연안 양식장 적조 경보 시스템 개발 · 염도 센서 개발 및 평가 · 수질 데이터 무선 전송 시스템 개발

제 2 장 축산폐수의 수질환경 Monitoring 및 현장 테스트분야

제1절 서 설

1995년부터 계속된 가축분뇨 자원화 사업으로 개별 농가시설로서 간이 정화시설, 정화시설 비료화 시설, 퇴비처리장비 등의 지원 사업이 진행 중에 있다. 단체 공동사업으로는 축분 발효시설, 분뇨 저장탱크, 분뇨 운반장비 등을 통해 축분을 자원화하고자 하는 시설을 설치했거나 진행 중이다. 축산폐수의 원인은 주요 가축사육(돼지, 소, 닭)에 기인한다고 볼 수 있으며, 그 중 돼지는 도살 직전까지의 생육기간이 거의 돈사에서 생활하므로 돈사 폐수가 큰 비중을 차지하고 있다. 오염의 원인이 되는 것은, 먹다 남은 찌꺼기와 배설물에서 발생하는 유기물(BOD, COD, SS), 영양염류(질소, 인), 대장균, 악취, 병원성 미생물 등이다. 그중 BOD, 부유물 및 영양염류인 질소, 인이 가장 문제시 되고 있다. 우분의 경우에는 한우 사육시 야외에서 배출하는 양이 상당 부분이기때문에 일일 배출량은 돼지에 비해 많지만 처리해야할 양은 적은 편이다. 또한 젖소의 경우도 톱밥을 이용하여 축사의 우분과 뇨를 건조 발효처리하기 때문에 정화조에서 처리해야할 양이 돼지 사육에 비해 상당히 적은 것을 알 수 있었다. 계분의 경우는 건조하여 비료로 사용하는 방법이 통용되고 있으며, 상기 두 경우보다는 수분 함량이 적어 토지에 사용이 용이한 편이나, 인 함량이 많아 좁은 토지에 장시간 사용할 때는 문제점으로 지적되고 있다.

제2절 시료채취

축산폐수의 수질환경 monitoring을 위해 익산시 왕궁면의 돈사지역, 정읍군 및 전북대 우사에서 다음의 시료들을 채취하였다.

- 시료 1. 익산시 왕궁면 왕궁은천앞 천(폭 5-10m)에서 흐르는 물을 채취했는데, 왕궁면은 대단위 돈사지역이 밀집되어 있었다. 돼지 1,000두 이상 규모의 돈분은 진공차(vacuum car)에 의하여 수거되어 왕궁영농조합 기질비료 공장에서 돈분과 계분을 섞어 발효처리되었다. 10두 이하의 소규모 돼지 돈분은 자체적으로 건조하여 비료로 사용하였다.
- 시료 2. 익산시 왕궁면 학호 새마을 앞 개천(폭 2-3m)에서 채취하였다.
- 시료 3. 익산시 왕궁면에 위치한 대규모 돈사(1,000두 정도)에서 물과 돈분이 섞인 채로 저장되어 있는 진공차로 수거전의 윗 부분을 시료로 채취하였다.
- 시료 4. 정읍군에 위치한 돈사(현재 25두 사육중)에서 고형분을 침강시킨 후 유출수만 내보내는 폐수를 처리하였다.
- 시료 5. 정읍시 태인면에 위치한 돈사(현재 25두 사육중)에서 물과 돈분이 섞인 채로 저장되어 있는 진공차로 수거전의 시료를 윗부분 채취하였다.
- 시료 6. 정읍군 산정목장 밑에 위치한 톱밥을 이용하는 우사(약 70두)에서 채취하였는데, 고형분이 침강되어 일차 처리된 시료이다.
- 시료 7. 정읍시 소성면에 위치한 약 50마리를 사육하는 산정목장으로 흙위에 우분을 축적하여 발효 처리하였다. 빗을 투과하는 지분을 설치하여 우천시에도 침출수가 밖으로 흘러갈 위험이 없었으며, 대형

선풍기를 설치하여 건조에도 좋을 것으로 사료되었다. 시료는 고형분이 제거된 유출물이다.

시료 8. 정읍군 태인면에 위치한 초입 관동교 밑 하천(폭 10m)정도에서 채취하였다. 물의 흐름이 매우 약했으며, 잡초가 무성하였다. 생활하수와 주위 우사에 있는 소량의 유출수가 같이 존재할 것으로 추정되었다.

시료 9. 전북대 우사에서 채취하였으며, 침전되지 않은 유출물 이었다.

시료 10. 전북대 우사에서 침전된 윗 부분의 폐수를 시료로 채취하였다.

제3절 실험방법

1. pH

Orion Model 720A pH meter를 이용하여 측정하였다.

2. 총고형물(Total Solids)

회화로에 증발접시를 넣어 작열시킨 후, 데시케이터에 넣어 방냉시켰다. 그후 빈 증발접시의 무게를 칭량하였다. 시료를 잘 혼합한 후에 메스실린더로 50ml를 정량하여 증발접시에 담은 후, 실린더를 소량의 증류수로 헹구어 증발접시에 넣었다. 105°C의 건조기에서 완전히 증발시킨 후 무게를 칭량하였다. 증발시킨 무게에서 빈 증발접시의 무게를 뺀 총잔유물의 실중량을 계산하였다.

3. 휘발성 고형물(Volatile Solids)

중발잔유물을 이용하여 회화로에 증발잔유물 접시를 넣고 600°C에서 30분간 작열한 후 데시케이타에서 30분간 냉각한 다음에 칭량하였다. 그후에 다시 30분간 더 회화한 후에 30분간 방랭한 후 다음의 계산식으로 최종 칭량값을 구하였다.

$$\text{휘발성 고화물} = \frac{\text{작열 감량}}{\text{중발잔유물 실중량}} \times 100$$

4. 용존산소(DO)

주관연구기관에서 자체 제작된 DO Meter를 이용하여 현장에서 시료채취 후 측정하였다.

5. 생화학적 산소요구량(BOD)

먼저 DO를 측정하기 위해, 시료를 적당히 희석해서 각각의 희석한 시료당 3개씩 300ml의 산소병에 시료를 가득 채웠다. 여기에 2.0ml의 황산망간용액을 액속에 첨가하였다. 다음에 2.0ml의 알칼리요드화물-아치드화나트륨용액을 액속에 첨가하였다. 다시 마개를 하고 잘 흔든 후 메스실린더에 203ml의 시료를 취하여 삼각플라스크에 부었다. 갈색의 시료를 0.025N 치오황산나트륨 표준액으로 용액이 담황색이 될 때까지 적정하였다. 적정 소비량을 기록하여 다음 식에 적용하여 DO를 구한다.

$$\text{용존산소}(O_2 \text{ mg/l}) = A \times F \times 100 / (V-R) \times 0.2$$

이때, A : 적정에 사용한 0.025N 치오황산나트륨 용액(ml)

F : 0.025N 치오황산나트륨의 역가

V : 산소병의 용량

R : 첨가한 시약의 총 ml수(단, 황산 2.0ml의 양은 가산하지 않는다)

나머지 두 개의 산소병은 잘 밀봉하여 항온기($20 \pm 1^\circ\text{C}$)에 5일간 방치하였다. 5일후 다시 꺼내 0.025N 치오황산나트륨으로 적정하여 그 소요량(ml)을 구하였다. 이때의 DO를 구하여 다음 식에 의해 BOD를 구하였다.

$$\text{BOD}(\text{ppm}) = (D_1 - D_2) \times \text{희석배수}$$

이때, D_1 = 초기 DO

D_2 = 5일 후의 DO

제4절 축산폐수 분석결과

축산폐수 시료들에 대한 pH, 총고형물, 휘발성 고형물, 용존산소, 생화학적 산소요구량 등을 측정하여 Table 1에 나타냈다. pH가 가장 낮은 시료는 전북대 우사에서 채취한 침전되지 않은 유출물이었다. 이는 익산시 왕궁면의 대단위 돈사에서 처리를 위해 모아둔 미처리된 돈분의 pH와 비슷한 수치를 보여주었다. 고형분을 침강조에서 침전시킨 후 유출되는 유출수의 경우 돈사(시료 4) 및 우사(시료 7) 공히 미처리 축산폐수 보다 pH가 높게 나타났다. 생활하수가 대부분인 하천(시료 1, 2, 5, 8)의 경우는 7.2-7.8

범위였다. 총고형물의 경우는 예상한 바와 같이 미처리된 돈사의 폐수(시료 3)이 116 g/L로 최고치이었으며, 우사의 미처리된 폐수 역시 돈사에 비해 상당히 작았다(25.2 g/L). 돈분의 경우 상당히 큰 수치인 것은, 두 동물의 사육방법의 차이에 기인한다고 볼 수 있겠다. 돈사의 경우 모든 고형물은 물로 세척되어 한 장소에 모여지나, 우사의 경우는 우분이 톱밥과 함께 우사에 잔류하므로 최종 폐수에서의 고형물이 적은 이유가 되겠다. 휘발성 고형물은 역시 미처리된 폐액의 경우가 상당히 높았으며, 돈분의 경우가 우분보다 높은 수치를 보여주었다. 침강조를 거친 축산 유출수의 경우(시료 4, 7) 총고형물 및 휘발성 고형물이 하천수 시료보다 높음을 알 수 있었다. 이 결과로부터 침강조 만으로는 완벽한 축산폐수 처리에 한계가 있음을 인지할 수 있었다.

일부 시료에 대하여 DO를 측정한 결과 침강조를 거친 축산 유출수의 경우(시료 4, 7)가 하천수(시료 1)보다 상당히 낮은 수치를 보여주었다. 수도물의 DO는 5.27 ppm으로 측정되었다(Table 2 참조). 하천수(시료 8)의 경우는 DO가 수도물 보다 높게 측정되었으며, 실험 오차나 고형분이 거의 없는(0.2 g/L) 것으로 보아 DO가 높을 가능성을 배제할 수 없었다. 생화학적 산소요구량(20 ppm)으로 판단할 때 다른 하천수와 비교하여 DO가 높을 가능성이 있다고 판단되었다. 육안으로 판단하여 맑은 물로 생각되었던 하천수의(시료 5, 8) 경우 BOD가 상당히 낮은 수치를 보여주었으며, 미처리 축산 폐수의 경우 19,500 ppm(시료 1)과 3,410 ppm(시료 9)을 보여주었다. 돈분의 경우가 역시 높은 BOD를 보여주었다. 침강조를 거친 유출수의 경우도 돈사(시료 4)가 우사(시료 6, 7)보다 BOD가 상당히 높았다.

Table 1. 축산폐수 분석 결과

시료채취 지역	시료 번호	pH	Total Solids (g/L)	Volatile Solids (g/L)	DO(ppm)	BOD(ppm)	
익산시 왕궁면	돈사	1	7.721	0.80	0.60	0.4	294
		2	7.488	4.00	2.20	-	2,364
		3	6.679	116.00	84.20	-	19,500
		4	8.441	8.20	3.00	0.09	3,631
정읍시	우사	5	7.816	-	-	-	33
		6	7.508	3.80	2.20	0.11	1,474
		7	8.141	4.80	2.00	0.16	551
		8	7.254	0.20	0.20	3.40	20
전북대	우사	9	6.547	25.20	15.80	-	3,410
		10	7.016	1.20	0.60	-	101

주관연구기관에서 제작한 DO Meter와 수입품인 YSI Model 57과의 24℃ 수돗물을 이용하여 DO 값을 비교하였다. 동일한 시료로 2회 실시하여 Table 2에 나타내었다. 두 기기는 각각 재현성이 있었으나, 측정값에는 미세한 차이를 보여주었다.

Table 2. 자체 제작한 DO Meter 와 상업용 YSI Model 57을 이용한 음용수의 DO 측정값 비교

측정회수	자체 제작 DO meter(ppm)	YSI DO meter (ppm)
1	5.28	5.2
2	5.26	5.2
평균값	5.27	5.2

제5절 결론

축산폐수의 수질환경을 monitoring한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 축산폐수의 pH는 6.5~8.5 이었다.
2. Total Solids와 Volatile Solids의 농도는 상호 비례하였다.
3. Total Solids의 농도는 BOD 농도에 개략적으로 비례하였다.
4. 돈사의 폐수가 우사의 것에 비하여 높은 BOD를 나타내었다.
5. 축산폐수의 BOD를 낮추기 위하여 우선적으로 Total Solids의 양을 떨어뜨리는 공정의 개발이 요구되었다.
6. 자체 제작 및 수입품 DO Meter의 성능을 상호 비교한 결과 실험적 오차 범위 내에서 유사하였다.

제 3 장 연안 양식의 자동 수질 관리 시스템 개발

제1절 서 설

우리나라의 서남해안은 수심이 얇고 해안의 굴곡이 심하며 수많은 도서를 가진 리아해안(ria coast) 으로서 조석 간만의 차가 매우 큰 특징을 가지고 있다. 남해에서는 대마도와의 사이에 있는 대한해협(Korea Strait) 인근에서 수심이 가장 깊고 (최대 227 m, 평균 96 m) 서측으로 향할수록 수심은 얕아지며 조석은 크게 된다. 서해는 남북간 거리 약 1,000 km, 동서간 거리 약 700 km 로서 평균수심은 44 m 이며 최대수심은 홍도 서남해역에서 103 m 이다.

육지에 인접하여 위치한 연안해역이나 하구만은 하천유출수에 의해서 육지로부터 운반되는 물질의 수송, 퇴적 분산에 중요한 역할을 담당한다. 따라서 수중에는 뜬짐(suspended solids)의 농도가 크고 바닥에서는 밑짐(bed loads)의 이동과 퇴적에 의해서 해저지형의 변화가 크다. 특히 하구역과 하구역에 인접한 간석지는 육지에서 운반된 물질 즉 쇄설퇴적물(clastic sediment), 유기물(organic matter), 기타 인간활동에 의해서 생성된 물질이 해역으로 운반되기 전에 혼합, 침강, 생물에의 이용 등을 거치는 완충지의 역할을 수행하는 중요한 공간(hot spot)이다.

연안해역은 해양생물 및 철새(오리, 도요 등 섭금류)들의 중요한 서식공간일 뿐만 아니라 인간활동에도 가장 중요하고 빈번하게 이용되는 공간이다. 연안해역은 항만, 해상운송, 발전설비의 기지, 매립 및 간척, 수자원개발,

위락공간(amenity), 수산식물 및 동물의 양식 등에 집중적으로 이용됨으로써 기물(organic matter), 유류(hydrocarbons), 중금속(heavy metals), 열오염(thermal pollution) 등 대형의 해양오염 사건들이 뒤따르게 되었다. 따라서 현재 인류에게 주어진 과제는 이들 연안해역을 개발하여 이용하는 개발의 혜택을 향유하는 반면 건전한 생태계가 파괴되지 않도록 유지관리를 해야한다. 그러나 우리나라나 세계의 도처에서 개발로 인한 연안해역의 오염과 황폐화는 일상생활화 되어버린 것이 현실이다. 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(environmentally safe and sustainable development)은 환경현황의 정확한 이해에서만 가능하므로 연안해역의 수질 측정 시스템의 개발 및 운영은 우리의 삶의 질을 높이기 위한 첫걸음으로 이해되어야 한다.

제2절 수질측정망 운영

우리나라의 서남해역에서 이루지는 수산양식은 크게는 수산식물과 수산동물의 양식으로 구분되며, 수산식물의 양식은 로프 등을 사용하여 인공적으로 해양공간에 부착기질(substrates)을 만들어서 김, 미역, 다시마, 툇 등을 양성하는 것이며 수산동물의 양식은 갯벌을 이용하는 바지락, 꼬막, 백합 등의 패류양식, 해수중에 부착기질을 만들어서 정착성 생물을 양성하는 굴, 가리비, 우렁쟁이 등의 양식, 그리고 해수중에 그물망을 설치하여 유영동물(조피볼락, 넙치, 방어 전복 등)을 가두어서 사료를 주어 양성하는 가두리 양식, 해안에 제방을 축조하여 해수의 유입과 유출을 통제하며 내부의 수면에 대해, 보리새우 등의 갑각류(crustacean)를 양성하는 축제식 양식, 그리고 해수를 육상으로 도수하여 육상에 설치된 수조에서 넙치, 전

복, 해삼 등을 양성하는 육상수조 양식 등으로 구분된다.

위의 여러 가지 양식방법 중에서 육상수조 양식과 축제식 양식은 해수의 유입을 인위적으로 통제하는 것이 가능하며, 사료의 투입 및 생물의 포획 등 수산생물의 관리가 용이하므로 고부가 가치의 수산생물이 주로 양성되며, 기타의 수산동물과 수산식물의 양식은 가장 중요한 환경인자인 수질의 인위적 관리가 어려운 것으로, 사료의 투입 등을 제외하면 자연의 여건에 양성관리가 의존되는 방법이다.

본 연구에서 수질관리 시스템을 적용하려는 축제식 양식은 비교적 넓은 공간대가 분포하여 제방의 축조시 넓은 공간을 확보할 수 있고 조차가 커서 해수의 유입과 유출을 펌프를 이용하지 않아도 되는 서해의 내만을 중심으로 하여 분포하고 있다. 양식장이 주로 분포하는 지역은 경기 충남의 해당도서지역과 전북 곰소만으로서 경제적 가치가 감소한 기존의 염전을 이용하거나 작은 만을 제방으로 막아서 양식장으로 활용하고 있다.

양식장의 적지조건은 내수면의 수심을 1~2 m 로 통제가 가능하고 1 사리간(15일)에 10일 전후의 배수가 가능해야 한다. 양식생물은 보리새우와 대하가 주된 생물이므로 여름 집중호우시 담수피해를 방지하기 위해서 인근 유역에서 유입하는 하천유입수(river run-off)는 별도의 배수시설이 있어야 한다. 내수면의 바닥은 수질의 유지를 위해서 사질이나 사니질이 되어야 한다. 해수교환을 위해서는 유입수와 유출수의 수문을 별도로 설치하는 것이 양성지의 물순환을 원활하게 할 수가 있으며, 양성지는 양식장의 지형적 여건에 적합하게 조성하되, 면적은 2만평 내외로 구분하는 것이 양성 관리에 편리하다.

대하의 생존 최적염분은 25~30‰, 보리새우의 생존 최적염분은 28~34‰ 이므로 양성지의 염분은 최하 20‰에서 5일 이상 지속되지 말아야 한다. pH는 7.8~8.2 의 범위를 유지해야 하고 최저 7.0 을 초과하는 경우는 성

장저해 및 폐사가 수반된다. 수온은 20℃ 이상이 연간 120 일 이상 유지되어야 한다. 따라서 양성지의 선정은 최소한 위의 조건을 구비해야 하며 양성지 내의 수질을 유지하기 위해서는 해수의 순환과 수차의 이용을 적시에 적절하게 이용하여야 한다.

해수의 순환은 양성지의 저류수와 외측 해수의 수온 염분 등을 비교검토하여 40~70 % 이내에서 이루어져야 하며 해수의 순환은 산소의 공급과 함께 생물에서 배출되는 분(feces)과 잔여사료 등이 배출되어야 한다. 양식장 관리에서 가장 어려운 문제는 수온이 20℃ 이상으로 상승하는 8~9 월의 용존산소량을 유지하는 것이다. 대하나 보리새우는 양성지 면적 1 평당 50~100 마리가 방류되어 양성되며 수온이 극치에 도달하는 8~9 월까지는 약 80% 이상이 생존하고 개체의 체중은 5~10g 에 이른다. 따라서 수심을 1 m 로 가정하면 양성지의 새우의 현존량(standing crop)은 200~800 g/m³ 에 이르며 이들의 신진대사(metabolism)에 충분한 산소가 공급되는 것이 필수적이다. 새우가 소모하는 산소량 외에도 잔여사료와 새우의 분(feces)의 부패시 소모되는 산소량과 양성지에서 서식하는 기타생물의 소모량을 충분히 공급하여야 양성지 내에서의 호기성 분해(aerobic decomposition) 상태가 유지되며, 산소부족의 경우에는 혐기성 분해(anaerobic decomposition)가 시작되고 황화수소(H₂S) 등이 생성되어 수중에 용해되므로 새우의 생존이 위협받게 된다.

산소의 인위적인 공급을 위해서는 해수의 순환과 수차(aeration devices)의 이용이 있으며, 해수의 순환은 조차를 이용하여 비용의 발생이 없이 가능하다 순환시의 수온 염분 등이 제한적 요소로 작용하며, 수차의 이용은 막대한 전력비용을 수반한다. 따라서 적시에 적절한 양의 산소공급은 양성 관리에서 가장 중요한 사항으로서 이를 위해서는 양성지의 용존산소량이 항상 정확하고 편리하게 측정되어야 한다.

제3절 중요 양식생물의 생태학적 특성 및 양성 관리

1. 생태학적 특성

축제식 양식장에서 양성되는 갑각류의 대표적인 종은 보리새우(*Penaeus japonicus*, Bate)와 대하(*Penaeus orientalis*, Kishinouye)이다. 보리새우와 대하는 보리새우과(Penaedae)에 속하는 대형새우 종류로서 서식생태는 약간 다르다. 자연산의 보리새우는 우리나라의 서남해 전역에서 서식하며 수명은 1년이지만 늦은 산란군은 2년까지 생존한다. 보리새우는 월동기에는 외해(황해 중심수역)이며 산란기에는 기수역(brackish water)으로 이동한다. 활동은 주로 야간에 이루어지므로 산소소비량은 주간에는 135 O₂ ml/kg.hr (3~18 g 의 개체군) 이나 야간에는 이것의 약 3 배가 된다. 최대 체장은 암컷 27 cm, 수컷 24 cm 이며 12~15 cm 의 체장에서 성숙하여 산란을 시작한다. 부화후의 유생은 짧은 부유생활(planktonic life) 기간을 거친 후 저서생활(demersal life)로 들어 간다. 치하(juvenile)는 수심 2~3 m 의 모래바닥, 체장 10 cm 내외의 개체군은 수심 3~4 m, 체장 20 cm 이상의 성하(adult)는 수심 5 m 이상의 모래바닥에서 생활한다. 모래 속으로 파고드는 깊이는 1.0~2.5 cm 이며 수온에 따라 파고드는 깊이가 변한다. 대하는 황해 전역에 분포하며 암컷은 체장 17~18 cm, 수컷은 체장 12~13 cm에 이르고, 수명은 보리새우와 같이 1년이나 늦은 산란군은 2년까지 생존한다. 대하는 보리새우와 달리 주간에 활동을 하고 야간에는 모래속으로 파고 든다. 산란은 밤에 이루어지며 성하는 유영각을 움직여서 알을 수중에 분산시킨다. 산란수는 대하 900,000 개(23 cm 체장), 보리새

우 700,000개(20 cm 체장)의 범위이나 개체의 크기에 따라 다르며 클수록 증가한다. 산란후는 수번의 탈피(metamorphosis)를 하면서 nauplius(6기)→zoea(3기)→mysis(3기)→post-larva(2기)→치하(juvenile)의 과정을 거쳐서 성체로 된다. 각 단계별 경과일수는 부화후 nauplius 4 일, zoea 12 일, mysis 18 일, post-larva 23 일이다. 유생이 먹이를 섭취하는 것은 zoea 기에서 시작하며 처음에는 diatom 이나 굴(oyster)과 홍합(mussel)의 유생을 포식하며, mysis 기에 이르면 다른 새우류와 요각류(copepoda)의 유생을 섭취한다. post-larva 기에는 barnacle, copepoda, shrimp의 유생이나 소동물들을 포식하며 기타 동물의 육질을 먹게 된다.

2. 양성관리

보리새우나 대하를 양성하는 경우에는 모하(spawning adult)를 수조에서 양성하여서 인위적으로 산란을 시키고 부화를 하여야 한다. 우리나라의 서남해에서 포획되는 산란기에 이른 자연산의 모하를 사용하는 경우에는 산란의 시기가 늦어서(7~8 월) 양식장에서 양성하여 겨울이 오기 전에 상품 가치를 가지는 20 g 정도의 체중을 가진 새우를 수확하는 것이 불가능하기 때문이다. 알의 부화율은 약 50~60%이며 산란후 약 13~14 시간에 부화를 하며 nauplius 가 되나 nauplius 는 yolk sac 에 가지고 있는 영양소를 이용하며 먹이를 먹지 않는다. nauplius에서 6회의 탈피를 마치면 zoea 가 되며 이때의 체장은 약 0.9 mm 가 되며 수영력을 가지게 되고 약 5~10 μ m 크기의 *Skeletonema costatum*을 포식하며 제 3 기에 이르면 체장이 약 2.2 mm에 이른다. *Skeletonema costatum* 은 5,000 cell/ml 의 농도로 해서 사육수조에 투입하며, 이외에도 *Nitzschia*, *Navicula*, *Veliger larvae* 등을 이용하기도 한다. 탈피를 거듭하며 성장하여 mysis 기에 이르면 동물성 사

료를 먹기 시작하며, copepoda, decapoda 의 유생, brine shrimp 등을 사료로 사용한다. post-larva 기가 되면 체장은 약 4.9 mm에 이르며, 이후에는 탈피는 계속하나 형태의 변화는 없다. post-larva 기에서 약 7일의 유영생활을 한 후에 저서생활로 서식행태를 바꾸게 되며, 더 큰 동물성 사료를 이용한다.

방란후 약 35 일이 경과하고 양성지의 수온이 상승하면 사육수조에서 양성지로 방양한다. 방양밀도는 성장을, 산소의 공급, 저질(sediment)의 상태 등을 고려하여 군집성장의 최대가 양성의 목표가 된다. 즉 밀도를 낮추면 개체성장은 극대화하나 단위면적당 생산량은 감소하며, 밀도를 높이면 개체의 성장은 감소하나 군집의 성장 즉 생산량은 증대한다. 방양기간은 4~11 월 사이가 되며 수온이 10℃ 이하가 되면 섭취를 중지하여 성장이 멈추게 됨으로 10~11 월에 수확을 한다. 방양의 밀도는 수온 28℃, 용존산소량 80%, 해수교환을 1/3의 경우, 45 마리/m² 이며, 교환율이 1/10 인 경우는 11 마리/m² 의 범위이다. 방양지에서의 용존산소의 한계값은 4 ppm 이다.

부화 및 사육수조의 모델은 다양하며 생산량에 따라서 여러 가지를 선택적으로 이용할 수가 있다. 프랑스령 Tahiti 의 Centre Oceanologique du Pacifique (COP)에서 개발한 모델은 다음과 같은 형태가 있으며 실험조건은 다음과 같다.

- 수조의 재료는 fiber glass 나 polyester resin 이다.
- 여과유입수는 0.5~5.0 μm 의 그물로 여과하였다.
- Airstone 은 600 m³/hr 의 용량을 사용하여 0.2 bar 의 압력을 유지하였다.
- 조류(algae)는 영키는 것을 방지하기 위해서 25 μm 의 망목을 가진 그물을 통하여 투입하였다.

- Brine shrimp(*Artemia* sp.) 는 150 l 규모의 탱크에서 배양하여 투입하였다.
- Fungus 의 감염방지를 위해서 해수를 Treflan 5 ppm 으로 희석하여 투입하였으며 2~6 ppm 의 Chloroamphenicol 을 이들에 한 번씩 유입시켰다.
- Larvae 의 농도는 100 ~ 200 larvae/ l 를 유지하였다.
- 해수교환율은 일일 50%를 mysis-post larva 기까지 유지하였다.
- post-larva 까지의 생산율은 65~80%가 되었다.

3. 이료 배양

새우의 먹이는 초기에는 식물성 부유생물인 *Skeletonema costatum*을 사용하며, 후기에는 동물성인 brine shrimp를 이용한다. 따라서 이들의 배양은 수조에서 사육시 필수적인 기술이다. *Skeletonema costatum* 과 *Artemia* sp. 의 배양방법은 다음과 같다.

o *Skeletonema costatum* 배양

- Plankton net을 사용하여 자연산을 채취한 후 *Skeletonema costatum* 이 많은 것을 취한다.
- 해수 1 l 에 KNO_3 100 g, Na_2HPO_4 10 g, K_2SiO_3 혹은 Na_2SiO_3 10 g, $\text{Fe}_2\text{Cl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 5 g을 첨가한 다음 플라스크에 200 ml를 채우고 종자를 1 ml 투입한다.
- 주간에는 직사광선을 피한 양지에 두고 야간에는 1000 lux 의 조명을 한다.
- 17~20℃ 의 수온을 유지하면서 2~3일 배양하여 종자로 사용한다.
- 이런 절차를 수번 반복하면 순수 *Skeletonema costatum*의 종자를 분

리하게 되고 그후에 1,000 ℓ 의 수조에서 aeration을 시키면서 대량 생산을 한다.

○ Brine shrimp의 배양

- *Artemia cyst*를 구입한다
- 수조에서 수온 25℃, 염분 35‰를 유지하면서 aeration을 시키면 24 시간 후에 알이 부화한다.
- 알의 투입은 10 g/ℓ의 밀도를 유지한다.
- 사육 수조에는 1~5 individual/ml 의 농도를 유지하여 투입한다.

제4절 육상 수조 실험

보리새우와 대하 양식의 경우 육상수조는 모하(spawning adult)의 사육, 산란, 유생의 사육 등에 사용되며, 본 연구의 현장실험에 이용된 태안 양식장의 수조(그림 1) 규모는 가로x세로x높이가 각각 7x7x1.2 m 이며 콘크리트의 두께는 22 cm 이다. 수조의 각변에 3 개씩 합계 12 개의 airstone 을 장치하여 공기를 공급하고 있었으며 해수는 여과하여 유입시켰고 수온은 보일러를 이용하여 적정수온으로 유지하고 있었다. 수조는 0.5 m 의 수심을 유지하고 있었으며 해수교환은 채란에서 post-larva 기까지는 하지 않고, 그 후에는 일일 20%의 범위에서 해수교환을 하였다. 이론상의 치하 생산량은 부화수조 (가로x세로x높이 각각 2x1x1 m) 하나에 평균 채란수를 450,000개로 가정하면 post-larva 의 수는,

$$450,000 \times (0.5 \times 0.5 \times 0.4 \times 0.5 \times 0.5) = 11,000$$

이 되며 치하의 수는,

$$11,000 \times 0.7 = 8,000$$

이다. 이러한 사육조건은 본 연구의 실험지인 태안 양식장에서는 3~5 월 사이에만 이루어지며, 설정된 DO 농도에서 전기적 신호를 발생시켜 aeration device를 작동시키는 제어 실험은 성공적이었다.

제5절 방양지의 anti-fouling agent 실험

태안 양식장의 제1호 방양지(그림 2)는 면적이 약 70,000 평으로 비교적 큰 규모에 속한다. 이곳에는 약 450~500만 마리의 보리새우가 양성되고 있으며, 생산량은 약 15~30 톤에 이른다. 방양지에서 양성시 가장 중요한 것은 8~9 월에 수온이 20℃를 초과하는 경우의 용존산소량의 통제이다. 용존산소의 보충을 위해서 10 대 내외의 수차(aeration device)를 양성지에 설치하여, 매일 측정되는 산소량의 변화에 따라 작동하는 시간과 가동 수차의 수를 조절하고 있다. 양식장의 수질관리 시스템은, 현장에 휴대용 DO Meter로 측정하는 방법이 아니며, 양성지에서 1 km 내외의 거리에 있는 관리실(그림 3)에서 양성지의 용존산소량을 취득하는 방법으로 센서는 장기간 양성지의 해수 중에 노출하게 된다. 그러나 양성지에 저류하는 해수는 주기적으로 외측의 해수로 교환되기 때문에 해수중에는 다양한 종류의 식물과 동물의 종자가 부유하고 있으며, 부착기질이 제공되는 경우에는 부착하여 성장을 하게 된다. 여름에는 주로 동물이 산란을 하게 됨으로 동물성 종자가 우점종이 되며, 가을과 겨울에는 주로 해조류가 포자를 방출함으로써 식물성 종자가 우점종을 이룬다. 동물성 종자의 대표적인 것은 따개비(barnacles), 굴(oyster) 이며, 식물성은 파래(*Monostroma* sp.)를 비롯한 수많은 종류가 있다.

DO 센서의 소재가 되는 전극 몸체의 동식물 부착을 실험하기 위해서 방양지의 해수유입 수문 그물(그림 4)에 1) 도색을 하지 않은 상태의 소재, 2) 선박의 방청페인트를 도색한 소재, 3) Norway의 Aanderaa 회사에서 해양장비에 사용하는 방청용 도료 Tectyl을 도색한 아크릴 소재를 1996년 5월 25일에 장치하여 각각 1.5 개월과 3개월이 경과한 후의 생물부착상태를 관찰하였다(그림 5). 부착상태가 가장 양호한 것은 선박용 방청페인트(그림 6)이며, 그 다음으로 Tectyl을 도포한 것은 1.5개월까지는 부착상태가 양호하였으나 3개월이 지나면서 많은 생물이 부착하였고(그림 7), 도색을 하지 않은 소재는 1.5개월에서부터 생물의 부착이 심하여 상태가 아주 나쁘게 되었다(그림 8).

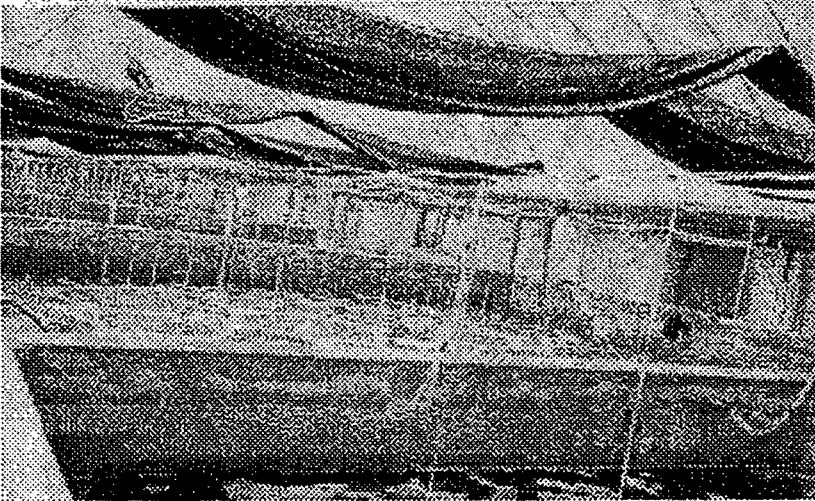
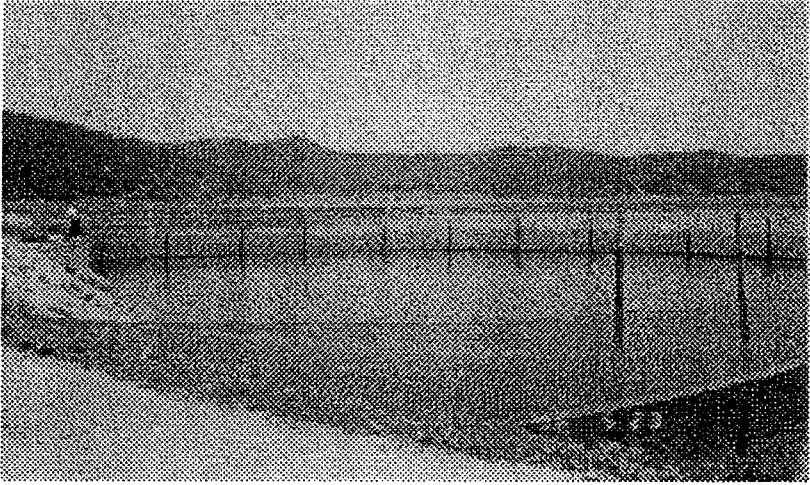


그림 1. 보리새우 축제식(상부) 및 치어 수조 양식장(하부)

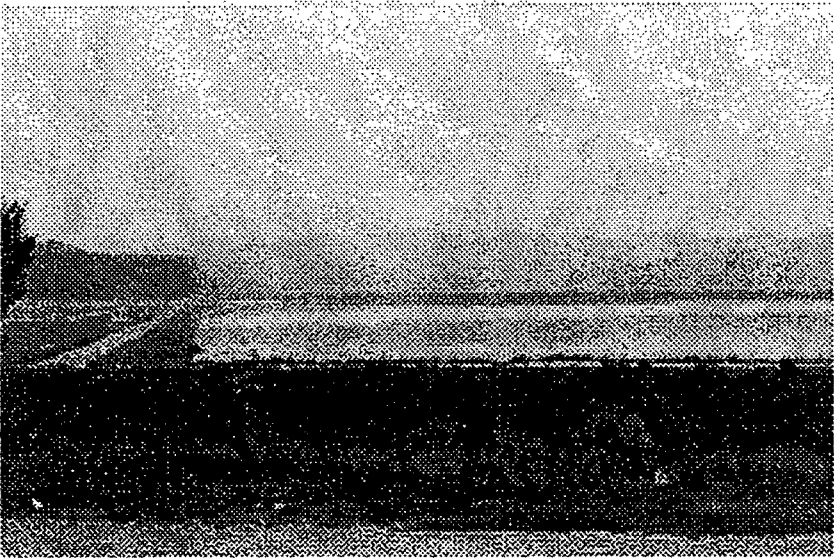
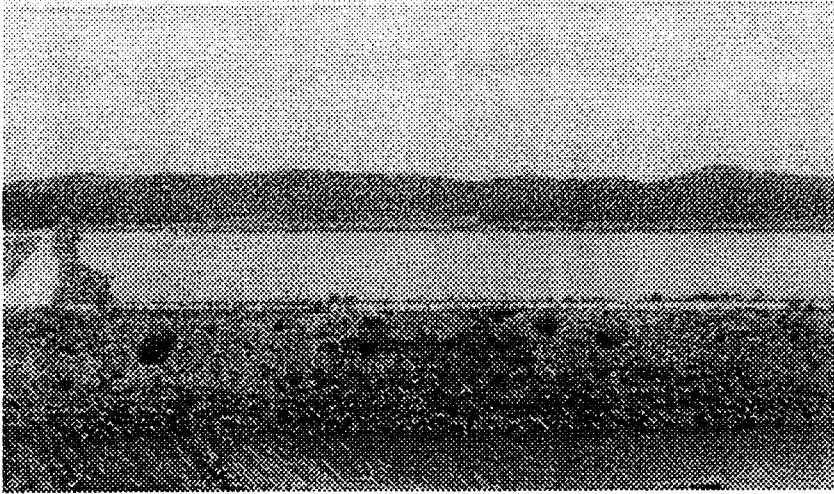


그림 2. 태안 양식장 방양지(윗그림 : 수차 사용전,
아랫그림 : 수차 사용후)

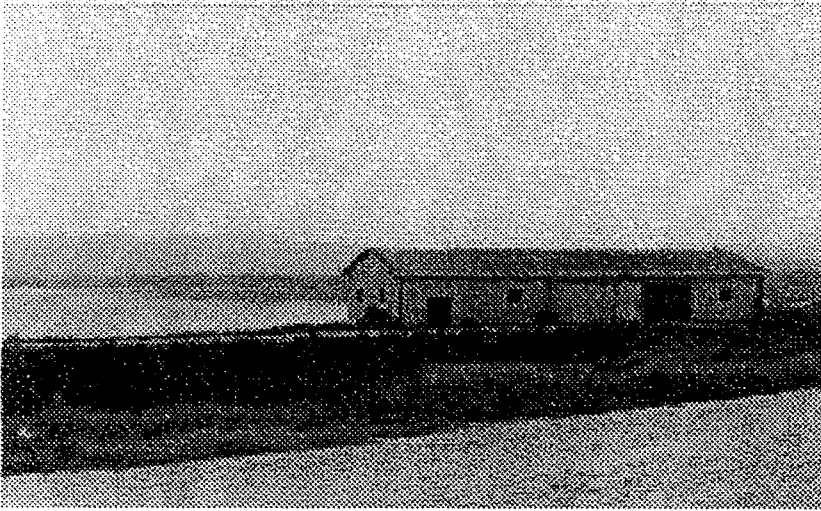


그림 3. 태안 양식장 작업 창고

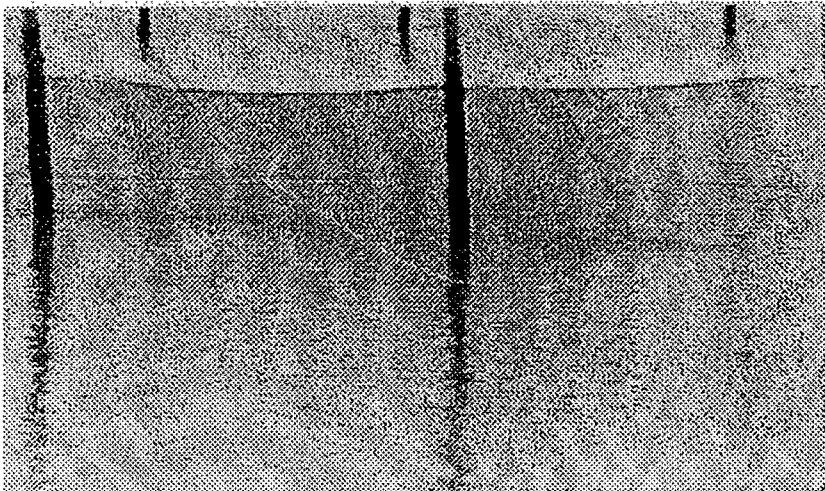


그림 4. 생물 부착 실험(태안 양식장 수문앞)

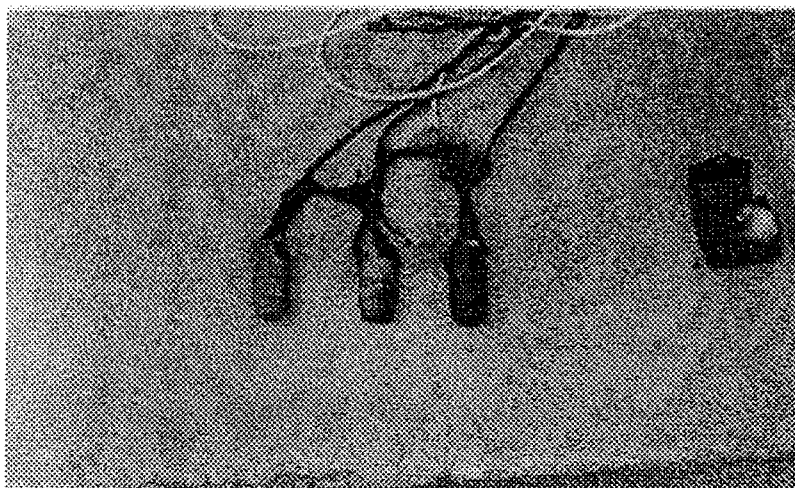


그림 5. 해양용 센서의 생물 부착 경과상태(상부 1.5개월,
하부 3.0개월)

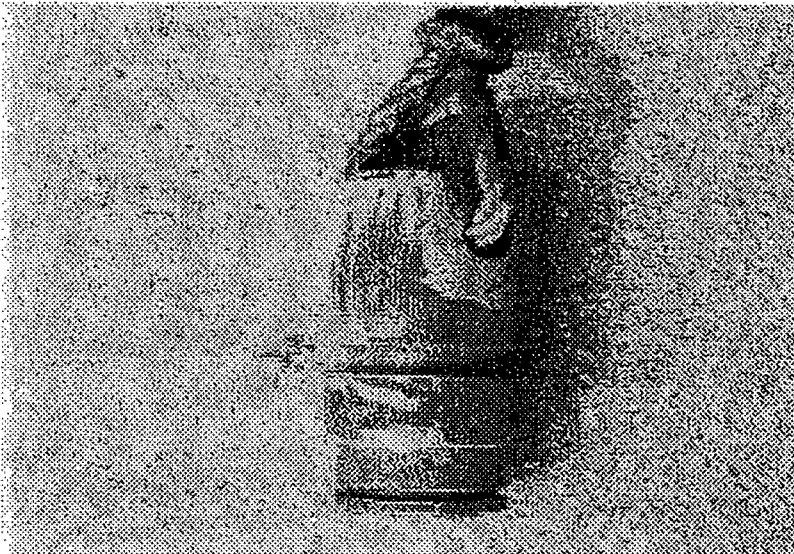
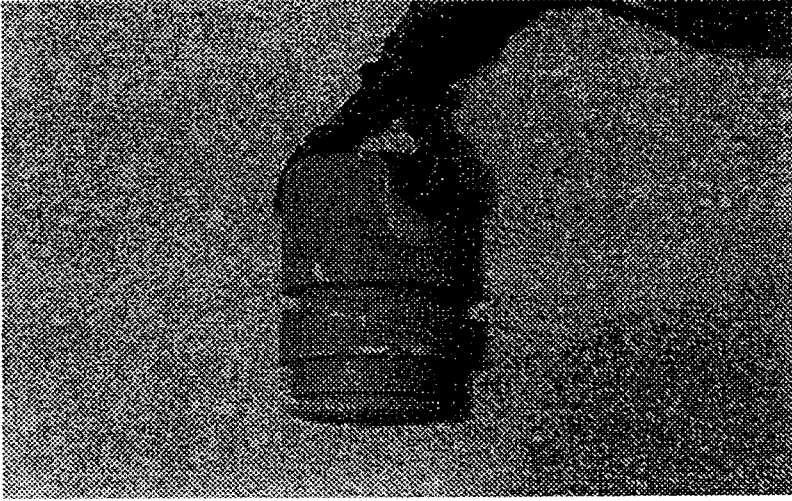


그림 6. 선박 방청 페인트처리 해양센서 경과상태(상부 1.5개월, 하부 3.0개월)

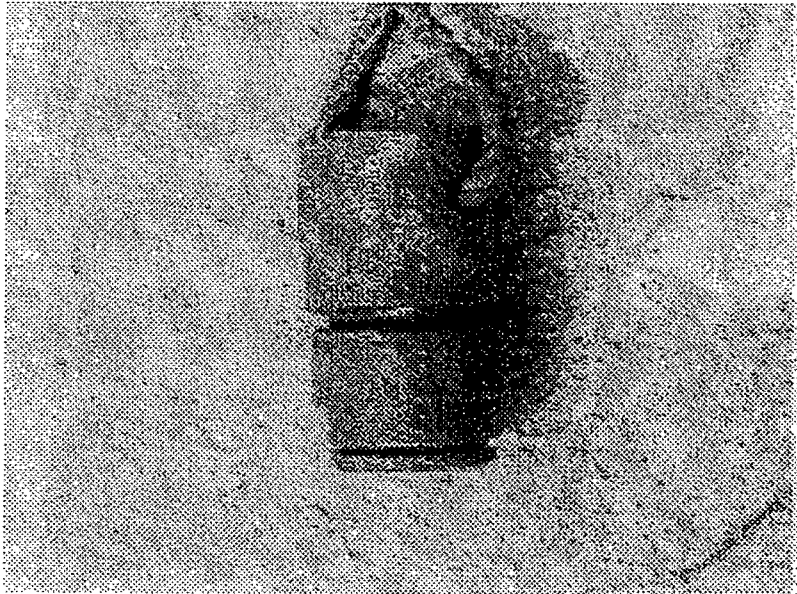
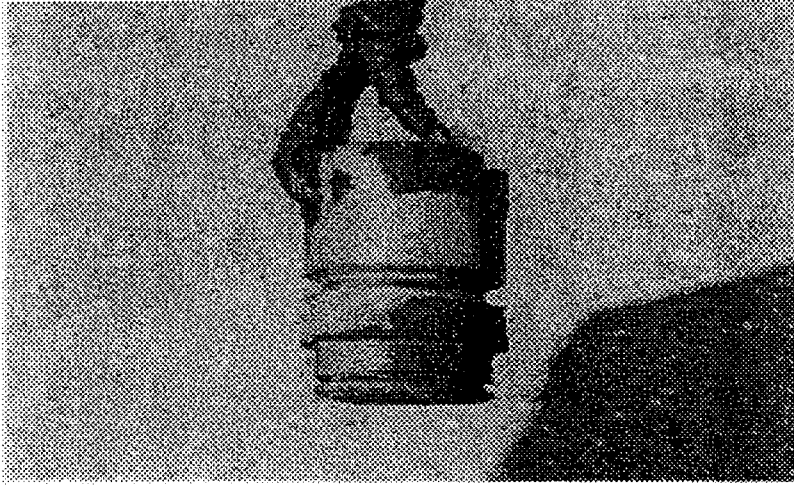


그림 7. 해양장비용 페인트처리 해양센서 경과상태(상부 1.5개월,
하부 3.0개월)

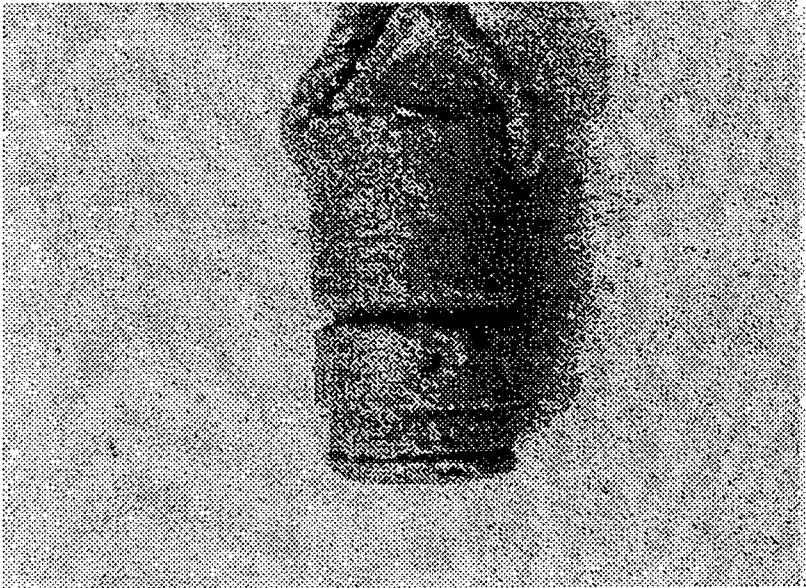
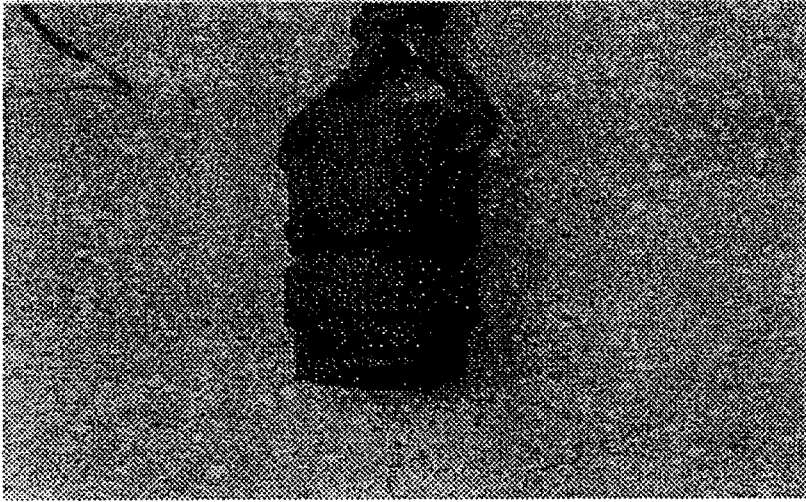


그림 8. 페인트 처리하지 않은 해양센서 경과상태 (상부 1.5개월,
하부 3.0개월)

제 4 장 농수산물 Multi-Biosensor의 개발

제1절 서 설

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 정보시스템, 컴퓨터, 데이터 통신을 이용한 24시간 감시체제를 유지하며 오염이 발생할 초기에 모니터링하여 초기에 오염원을 제거함으로써 더이상 확산을 막을 수 있다. 이같은 통신 감시/측정 체제를 유지하려면 무엇보다도 측정 또는 감시코져 하는 대상에 대하여 일정한 반응을 나타내는 센서와 그를 수치화하는 계측기 시스템이 필요하다. 일반적으로 바이오센서는 실험 변수들을 on-line으로 측정하고, 정한 수치를 초과하면 경보음을 울리고, 모든 측정 변수들을 컴퓨터에 자동 입력시켜서, 실험이 끝난 후 실험 결과를 재분석할 수 있게 하며, 원료나 생성물을 적절히 유지 및 관리하게 하며, 전 생산 공정을 제어하고, 공정 중에 발생하는 문제점을 처방하여서, 생산 공정의 최적화를 이룩하게 한다. 모든 바이오센서가 이같은 기능들을 동시에 갖고 있지는 않으며, 각 바이오센서마다 고유의 측정 변수만을 구할 수 있는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서 처럼 다성분을 동시에 측정할 연구의 개발이 필수적이다. 특히, 선진국에서는 상업적 경쟁력을 갖춘 센서 제조의 기술, 막제조 기술 및 정보통신 기술을 국내에 이전하기를 회피하고 있는 현실을 감안할 때 본 연구의 중요성은 더더욱 크다고 하겠다.

제2절 pH 센서 시스템 평가

우리나라 중·대규모 축산폐수 처리장에서 흔히 적용되고 있는 활성슬러지법의 경우 축산 원폐수를 저장하는 폐수저장소와 축산폐수에 다량 함유되어있는 부유물질과 분 찌꺼기, 사료 찌꺼기 및 깔짚 등의 협잡물을 제거하기 위한 스크린시설, 시멘트 및 방사식 축사에서 나오는 모래를 침전제거하기 위한 침사조, 침사조에서 침전되지 않은 실트 및 침전가능 부유물질을 침전하여 제거시키는 1차 침전조, 1차 침전조를 거친 폐수가 고농도이기 때문에 활성슬러지의 적정 유기물질 부하율에 맞게 희석수를 사용하여 희석하고 폭기조에 유입한다. 생물학적처리를 거친 폐수는 최종 침전조에서 침전하여 침전 슬러지의 일부는 미생물 확보를 위해 폭기조로 반송되고 나머지는 폐기 처리하고 상등수는 방류하며, 침사조 및 1차 침전조의 침전 슬러지 및 최종 침전지의 폐슬러지를 모아서 탈수하여 고형폐기물로 처리하는 시스템이다. 단순 물리적 처리시스템의 경우 응집처리후 활성슬러지법으로 처리한다. 그러나 원폐수를 저류하는 저류조와 스크린, 침사조를 거쳐 적정 pH와 접촉시간을 갖춘 응결조를 거쳐 형성된 Floc을 분리하는 침전조를 거쳐 상등액은 희석수없이 폭기조로 유입처리되고 응집 침전된 슬러지는 최종 침전지의 폐슬러지와 함께 탈수처리되는 시스템이다. 축산폐수는 유기물질 농도가 높아서 활성슬러지법으로 운전할 때에는 전처리단계로 희석을 해야하기 때문에 비경제적인 것으로 판단된다. 또한 운전시에 전문기술자가 꼭 필요하며 활성슬러지 운전시 거품 문제가 자주 발생하고 슬러지의 침전성이 불량한 것으로 알려져 있다. 또한 물리적 처리법도 약품처리에 의한 비경제성과 응집으로 생성된 다량의 슬러지 처리문제, 약품투입으로 인한 2차 오염 등의 문제점이 지적되고 있다. 따라서 활성슬러지 공정 및 물리적처리에도 운전상의 문제점이 많고 유지관리비가 상대적으로

높아 대규모의 처리장에서나 운전이 가능하며, 중규모 또는 그 이하 규모에서는 처리장치의 운전이 기술적, 경제적 난점이 많은 것으로 판단된다. 폐수처리에서 중화는 필수적으로 거쳐야 하는 과정중의 하나이며, 또한 pH는 폐수처리 공정중 응집침전, 생물학적처리 등의 효율에 큰 영향을 미친다. 따라서 효과적인 폐수처리를 위해서는 기존의 처리 기술의 개선도 중요하지만, pH 제어기술에 대한 연구도 필요하다.

그러나 pH공정은 공정특성이 비선형이며 또 시변성이기 때문에 연속제어가 매우 어려운 것으로 인식되어 왔고, PID(Proportional-Intergal-Derivative)와 같은 기존의 선형제어방법으로는 만족할 만한 제어효과를 얻기가 어려웠다. 따라서 pH를 제어하는 방법으로는 직렬로 연결된 수개의 반응기를 이용하거나, 큰 저장조에서 회분식으로 처리하는 비경제적인 방법이 사용되어 왔다. 그러므로 경제성 제고와 생산성 향상, 제품의 고급화를 도모하기 위해서는 pH를 연속적으로 제어할 수 있으며 우수한 제어성능을 갖는 제어기의 개발이 필요하다.

pH 제어는 일반적인 화학공정의 제어(중류탑제어, 반응기제어)와는 달리 복잡한 공정응답을 보이지 않는다. 즉, 산을 넣으면 pH가 낮아지고 염기를 넣으면 pH가 증가하는 단순한 응답을 보인다. 또 pH 제어시스템은 SISO(Sigle Input-Single Output) system 이므로 제어 loop의 구성이 매우 간단하다. 그러나 이와 같은 외견상의 단순함에도 불구하고 기존의 PID 제어기 또는 선형제어이론에 근거한 제어기들은 pH 공정의 제어에 활용하기가 곤란하다.

본 연구의 목적은 축산폐수 처리 공정에서 공정간 최적 pH를 제어하기 위하여 pH 제어에 관한 실험을 수행함에 있다. pH 센서를 축산폐수에 활용하기 위하여 휴대용(Eutech pHScan WP2), 실험실용(ORION 920A), 현장용(NOVA PC310)을 각각 검정하였다. 실험실적으로 제작한 다양한 pH 범위의

0.1M 용액(CH_3COONa , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_4$, $\text{KOH} + \text{KHCO}_3$, $\text{KOH} + \text{HCl}$)을 이용하여 출력되는 pH 값 또는 전류값(mA)을 검정하였다.

세가지 pH meter를 비교 실험한 결과 ORION pH meter는 유효숫자 4자리, NOVA pH meter는 유효숫자 3자리, pHScan은 유효숫자 2자리까지 측정이 가능하였고, ORION pH meter가 가장 안정된 값을 보여 주었다. pHScan의 경우 휴대용이고 소수 첫째자리까지 나오기 때문에 정확한 값은 얻을 수 없었다. 국내에서 제조한 NOVA pH meter도 비교적 안정된 값을 보여주었다.

NOVA의 출력전류값은 pH의 변화에 따라 4.0~20mA의 값을 출력하였으며 그의 pH에 대한 선형성은 우수하였다($R=0.99995$). 따라서 이의 출력전류를 이용하여 컴퓨터에 의한 pH 제어공정의 가능성을 제시하였다. 축산폐수의 pH control을 실험실적으로 small scale에서 관련인자를 연구하기 위하여 NOVA pH meter 및 2.5ℓ 발효조(한국발효기)를 활용하였다. 발효기 시스템에는 pH control을 위한 transmitter가 장착되어 있으나 축산폐수의 현장 조건에서의 pH 측정과 control을 위해서 NOVA pH meter로 그 기능을 교체하였다.

발효기와 NOVA pH meter를 이용하여 그림 10과 같은 축산폐수의 pH 공정제어 모델을 제시하였다.

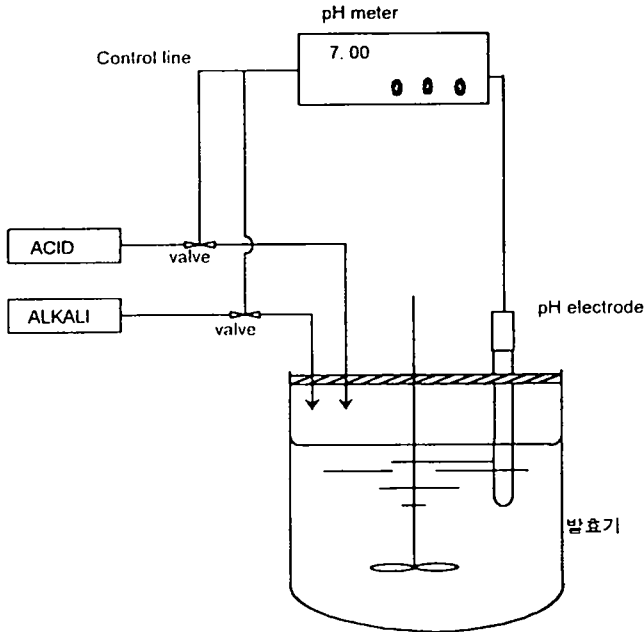


그림 10. 발효기와 NOVA pH meter를 이용한 축산폐수의 pH 공정제어 모델

NOVA pH meter의 High limit값과 Low limit값을 정해주면 set point pH에 따라 지정한 값보다 pH가 낮아지면 ALKALI가 반응조에 공급이 되고 pH가 높아지면 ACID가 공급되었다.

축산폐수 원액의 pH값을 현장조건에서 측정한 결과, 소의 경우는 7.5~8.0 이었고 돈분의 경우는 8.0~8.5이었다. pH가 6.5~8.5 사이이면 생활환경 폐수의 배출기준을 충족시키므로 축산폐수 현장 측정에서 구한 폐수의 pH 값은 이 요구기준을 만족시켰다. 따라서 방출 축산폐수의 pH 기준 수질에는 문제가 없으나 축산폐수의 세부 처리공정에서 최적 pH, 특히 생물학적 처리공정에서 미생물의 원활한 성장을 위한 최적 pH의 control은 효율적 축산폐수의 처리를 위하여 중요할 것으로 추정된다. 본 연구에서 제시한

pH control 모델을 발전시켜 현장에 적용시킨다면 축산폐수를 효율적으로 pH control 할 수 있을 것으로 기대된다.

제3절 염도센서 개발 및 평가

일반적으로 전해질의 전도도는 물질의 성질을 규명하는 중요한 물리적 변수로서 본 연구에서는 해수의 염도를 측정하기 위하여 전도도의 원리를 이용한 염도센서 시스템을 개발하였다. 해수의 NaCl 함량에 따른 전도도를 측정하여 전도도와 NaCl 함량과의 상관관계를 구한 결과, 그림 11(저농도) 및 그림 12(고농도)과 같았다. 그러므로 개발한 염도센서는 수입품 DKK 에 대비하여 유사한 선형성을 나타내었다. 측정 시스템으로서 HANNA HI9032 Model을 이용한 RS232 port로 PC와 연계하여 연속적으로 측정 가능하도록 새로운 형태의 염도센서를 개발하였다.

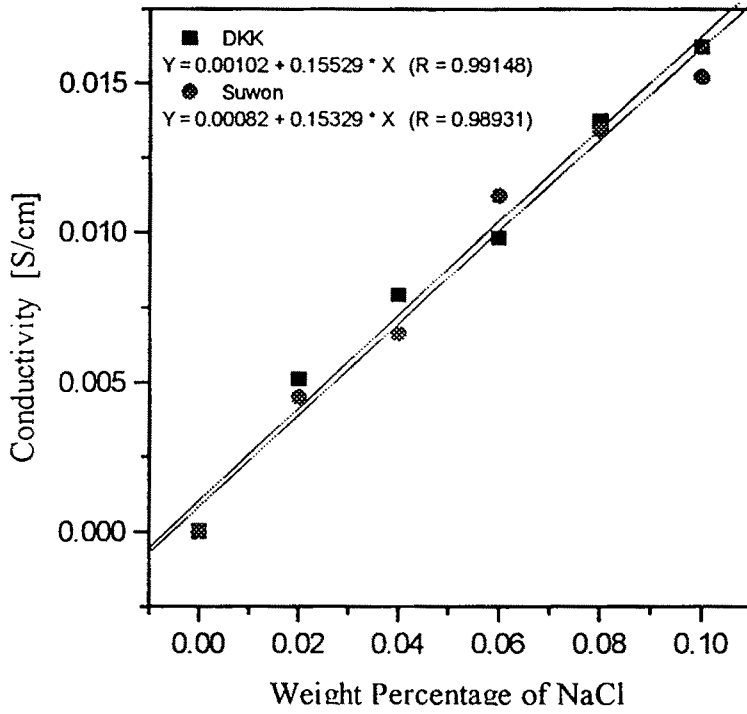


그림 11. 저농도 (0 - 0.1%) NaCl 용액의 전도도.

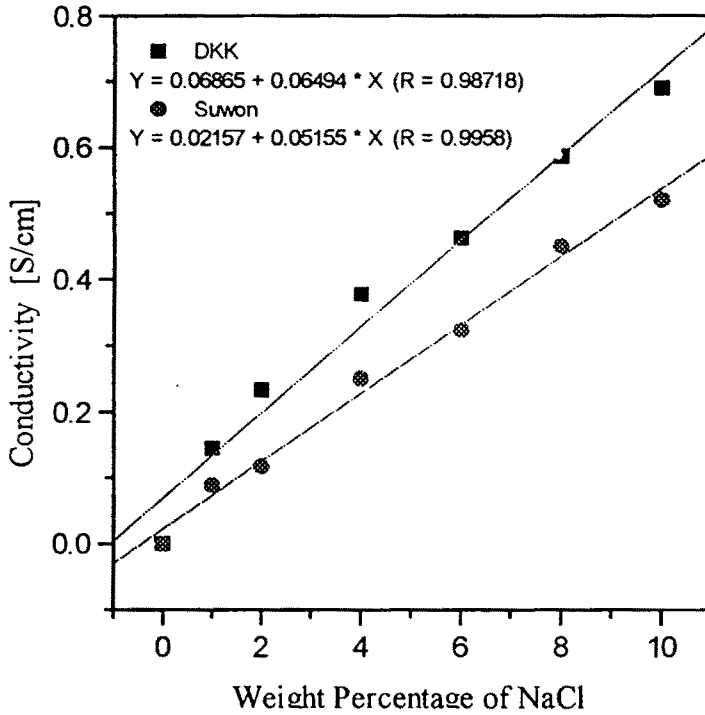


그림 12. 고농도 (1 - 10%) NaCl 용액의 전도도.

제4절 실험실용 BOD 센서 시스템 개발

축산폐수 시료의 BOD 측정을 위하여 그림 13과 같은 시스템을 개발하였다. 수원대의 연못물을 이용하여 구한 BOD 의 시간에 따른 변화는 그림 14와 같았다. 따라서 제작한 시스템은 안정한 것으로 판단되어, 이를 전북 전주 인근의 실제적인 축산폐수 발생현장의 BOD 측정에 활용하였다. 축산폐수의 BOD 측정에 관련한 세부 연구는 별도의 7장에 상술하였다.

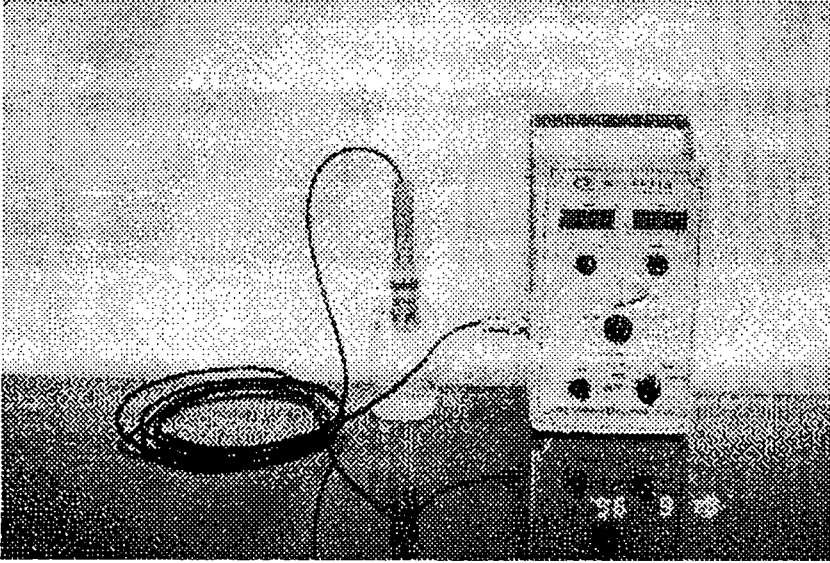


그림 13. 개발한 BOD 센서 시스템

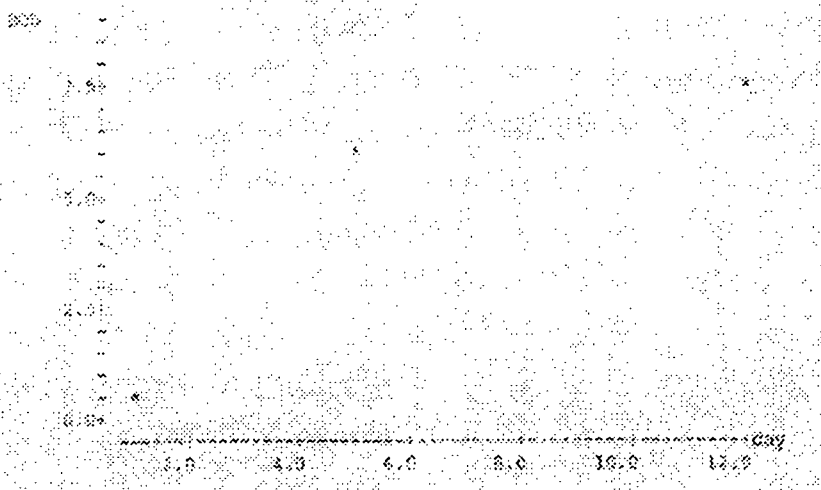


그림 14. 수원대 연못물의 BOD 시간 변화도

제5절 해양용 DO 센서 평가 및 제작

우리나라의 서남해역에서는 11월부터 다음해 5월에 걸쳐서 김(*Porphyra* sp.) 미역(*Undaria pinnatifida*) 다시마(*Laminaria japonica*) 파래(*Monostroma* and *Enteromorpha* sp.) 툇(*Hijikia fusiforme*) 등 각종 해조류가 다수 양식되고 있으며, 양식산 해조류 외에도 다양한 해조류가 자연 상태의 수중 암초나 해안 암벽에 부착하여 성장을 하고 있기 때문에 이들의 식물에서 발생한 포자가 수중에서 부유를 하다가 적절한 부착기질(substrates)이 있는 경우에는 부착하여 엽상체를 성장시키는 무성생식(asexual reproduction)을 계속하게 된다. 그리고 5월부터 12월까지의 굴(oyster) 따개비(barnacles) 담치(*Mytilus* sp.) 미더덕 우렁쟁이 등 각종 해양동물의 유생이 대량으로 발생하여 기질에 부착하여 부착생활(sessile stage)을 시작하는 시기이다.

우리나라의 서남해안에는 염전을 활용하거나, 경사가 완만한 간석지에 방조제를 만들고 수문을 건설해서 해수의 출입을 통제하는 축제식 양식장이 다수 분포하며, 이들 축제식 양식장은 보리새우 대하 등 갑각류와 송어 등의 어류생산에 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 축제식 양식어업은 자연적인 해수의 유동을 보존하는 상태에서 이루어지는 조간대의 패류양식, 어류의 해상가두리 양식, 굴 우렁쟁이 홍합 등의 부착생물 양식, 그리고 김 미역 다시마 등을 생산하는 해조양식에 비교하면, 방조제를 건설하여 해수의 출입을 인위적으로 통제하고 해일(tsunami) 인위적인 유류오염(oil spill)등의 재난으로부터 생물을 보호할 수가 있으므로 수산생물의 양성관리에 편리한 점도 있으나, 재해로부터 생물을 보호하고 인위적인 통제를 가능하게 하는 방조제와 수문은 자연적인 해수의 유동을 차단하므로 양성지의 수질악화 혹은 수질오염이라는 새로운 문제를 발생시킨다. 따라

서 축제식 양식장의 방양장 운영관리에서는 해수의 수질관리가 양성관리에
서 가장 중요한 문제이며 이것을 자동화 하는 것은 양식어업의 성패를 좌
우한다.

양성지는 비교적 규모가 크고 다량의 해수가 수문을 통해서 출입하기 때
문에 출입구에 스크린(screen)을 설치하고 있으므로 대형생물의 출입은 통
제되나 해조류의 유주자(zospore)나 동물의 유생(larvae)은 스크린을 통
해서 양성지를 자유롭게 출입하며, 발생의 적절한 단계에 이르면 기질에
부착하여 부착생활을 시작하게 된다. 따라서 양성지의 수질관리를 위한 자
동계측제어기기의 센서를 장기간 수중에 설치하는 경우에는 각종의 해산
동식물이 센서에 부착하여 센서의 기능을 저하시키거나 무력화시키는 결과
를 초래하게 됨으로 이들의 부착생물에 저항하는 재질을 가진 센서를 제작
하거나 효과적인 도포제를 사용하는 것은 해양용 센서의 필수적인 일이다.
부착생물(fouling organism)에 대한 실험은 도포제의 처리가 없는 경우,
선박외장용 페인트를 도포한 경우, Tectyl (Norway의 해양장비 제작사인
Aanderaa사에서 제작한 anti-fouling agent)을 도포한 경우 등 3종의 센서
를 장기간 해수중에 노출시켰을 경우에 센서에 부착하는 생물의 종을 규명
하기 위해서 1996년 12월부터 1997년 9월까지 10개월간 충남 태안군에 위
치한 보리새우 및 대하를 양성하는 축제식 양식장의 해수 취입수문의 스크
린 안쪽에서 실험을 하였다

표 3에 요약한 바와 같이, 부착생물에 대한 저항은 선박외장용 페인트를
도포한 경우는 2종의 해조류만이 부착하였으며 부착밀도가 가장 낮아서 깨끗한
표면을 유지하였고, Tectyl을 도포한 경우는 도포제 처리를 하지 않
은 상태보다는 부착생물의 종류가 적고 밀도가 낮으며 표면의 50~80%에
서 식물이 주로 부착하여 성장을 하였다. 도포제 처리를 하지 않은 경우는
파래, 김 기타 다수의 해조류 및 소수의 연체동물이 부착하여 부착생물의

개체수가 가장 많고 부착밀도도 높으며 표면의 90% 이상에서 식물이 성장하였다.

이같은 실험 결과로 미뤄볼 때, 해양용 DO 센서의 몸체 외부를 선박용 방청 페인트로써 처리할 필요가 절대적이었다. 따라서 선박용 방청 페인트를 사용하여 제작한 해양용 DO 센서는 그림 15와 같았다.

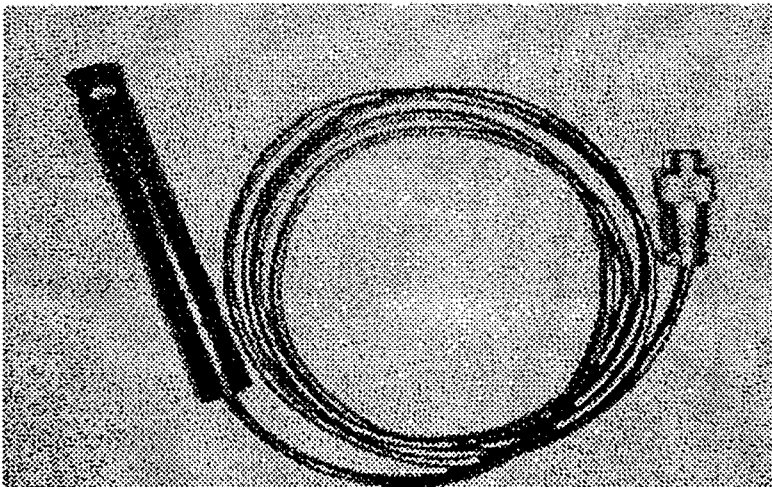


그림 15. 해양용 DO 센서

표 3. 센서의 도표제에 따른 부착실험 결과

도표제의 구분	부착생물의 종류	비 고
선박외장용 도료의 도포	Plants <i>Enteromorpha prolifera</i> <i>Ulothrix flacca</i>	-생물종 소수, 부착밀도 낮음 -3종의 소재중 가장 우수
Tectyl 도포	Plants <i>Enteromorpha prolifera</i> <i>E. compressa</i> <i>E. linza</i> <i>Gloiosiphonia capillaris</i> <i>Polysiphonia</i> sp. <i>Porphyra tenera</i> <i>Ulva pertusa</i> Animals <i>Crassostrea gigas</i>	-생물종 다수, 부착밀도 낮음 -식물이 주로 부착 -3종의 소재중 중간
표면처리 없음	Plants <i>Capsosiphon fulvescens</i> <i>Chaetomorpha spiralis</i> <i>Enteromorpha prolifera</i> <i>E. compressa</i> <i>E. linza</i> <i>Gloiosiphonia capillaris</i> <i>Polysiphonia</i> sp. <i>Porphyra tenera</i> <i>Ulothrix flacca</i> <i>Ulva pertusa</i> Animals <i>Balanus amphitrites hawaiiensis</i> <i>B. amphitrites albicostatus</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Crassostrea gigas</i> <i>Sporobis foraminosus</i>	-생물종 다수, 부착밀도 높음 -동물부착 -3종의 소재중 가장 나쁨

제6절 활어 수송용 DO 센서 시스템 개발

본 연구에서 국산화를 추진하는 품목은 활어 수송 설비로서 이에 적절한 Biosensor(예를 들어 DO, pH, 온도)를 부착하여 장거리 운송에도 불구하고 싱싱한 채로 활어 운송이 가능하게 하여 수산 양식 관련 업자 또는 어민들의 고기 제값 받기를 가능하게 할 수 있다. 전국적으로 영세규모 (1톤 또는 5톤 이내)의 활어 수송차가 전국에 개략 3,000여대 있으므로 여기에 그 같은 이동형 활어 보존 시스템을 설치함으로써 운전자가 안심하고 활어 수송을 할 수 있으리라 기대된다. 만일 잠깐 쉬고 있을 때 일정한 수치가 설정한 값 이하로 떨어지면 자동적으로 경보가 울리거나 또는 휴대용 전화기 또는 호출기로 신호가 오도록 하는 등의 첨단 정보통신화가 본 연구를 통하여 초기적으로 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 일차적으로 실험실에서 제작한 DO Meter에 연결하여 휴대용으로 사용할 수 있는 센서 시스템을 구성하였다. 활어수송용 DO 센서 시스템으로서, 운반할 어종 별로 일정하게 설정한 최저 DO level에 이르면, 자동적으로 air 또는 순수 산소 탱크에 부착한 solenoid valve가 열림으로써, 불필요한 기체의 소모를 방지할 수 있는 DO-AQUA 시스템을 구축하였다. 개발한 활어 수송용 DO 센서는 그림 16과 같다. 이를 활어 수송용 차에 부착하여 사용 가능하도록 DO-AQUA 시스템(그림 17)을 제작하였으며 이의 개괄적 내부 전기적 회로는 그림 18에서 도시하였으며 전체적 형태는 그림 19와 같았다.

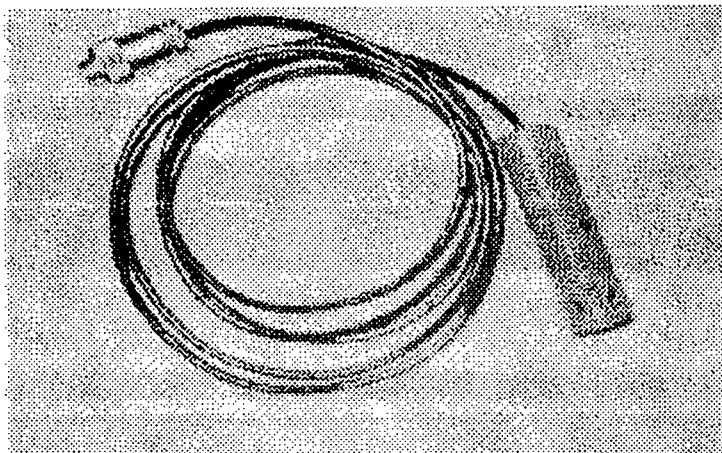


그림 16. 활어 수송용 DO 센서

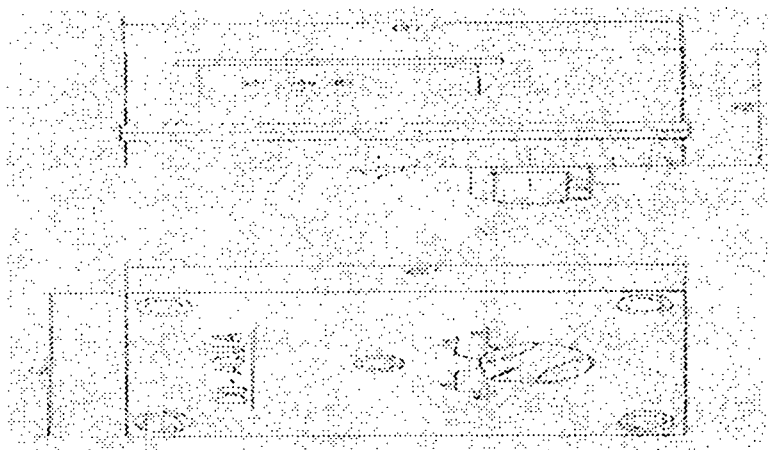


그림 17. DO-AQUA 시스템 개괄도

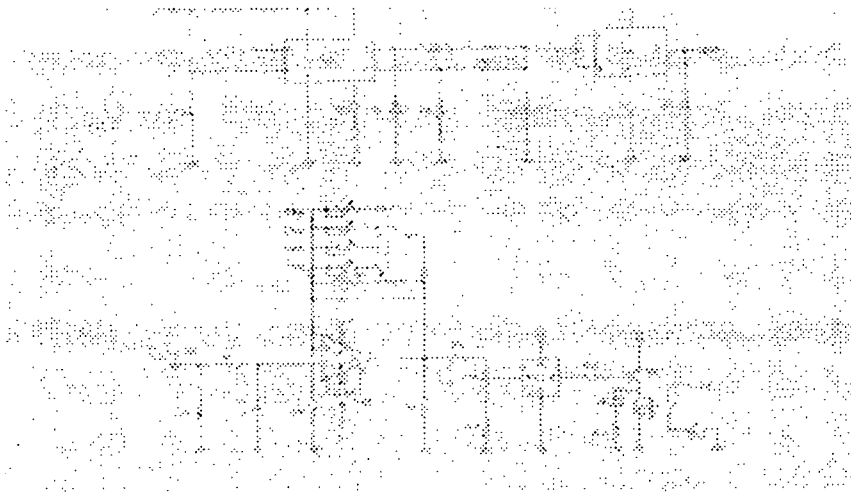


그림 18. DO-AQUA 시스템 전기 회로도

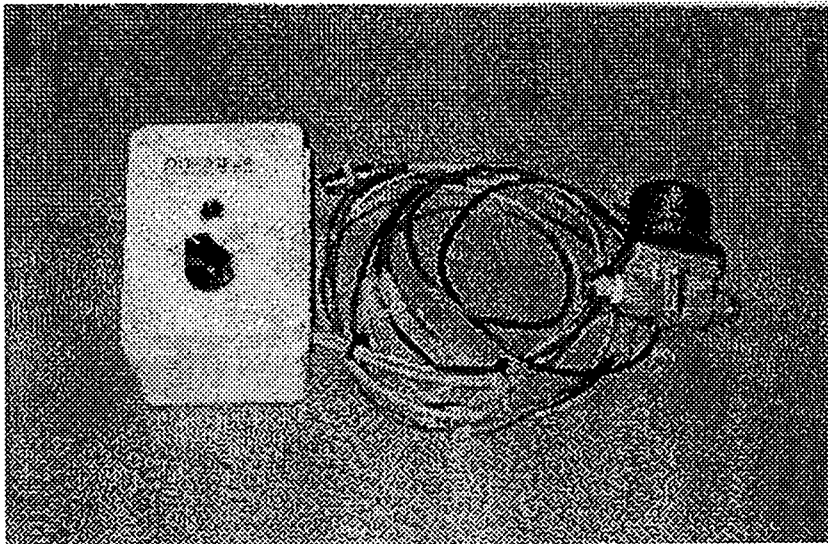


그림 19. DO-AQUA 시스템 전면도

제 5 장 DO-AQUA 시스템의 응용평가

제1절 활어차량 응용평가

담수어나 해산어의 활어수송을 위하여 주로 이용되는 차량은 1톤, 2.5톤 그리고 5톤 규모의 차량이다. 시내의 수송은 주로 소형인 1톤 차량이 이용되며, 장거리의 수송은 주로 5톤 차량이 이용되고 있다. 1톤 차량의 수조는 1.80m x 1.60m x 0.60m 의 규격으로서 보통 분리된 4개의 수조로 이루어져 있다. 5톤 차량의 수조는 6.00m x 2.70m x 0.80m 의 규격으로서 6개의 수조로 분리되어 있다. 이러한 수조를 이용해서 활어를 장시간 동안 수송하기 위해서는 수온의 관리와 용존산소량의 유지가 필수적이다. 현재 사용되고 있는 방법은 수송어종에 관계없이 어류를 적재할 시의 초기 수온을 약 5~7℃ 로 낮게 유지하고 산소를 계속해서 공급하는 방법이다. 그러나 겨울이 아닌 시기에는 대기의 기온영향으로 시간의 경과에 따라서 수조의 수온이 증가하게 되어 수송을 끝내는 말기에는 수온이 거의 대기의 기온과 같은 수준으로 증가하게 된다. 용존산소량은 수온에 반비례하나 어류의 산소소모량은 수온에 비례하므로 수온이 증가하면 어류는 산소부족으로 폐사할 사고가 발생할 수가 있다. 그러나 현재 시중에 사용되고 있는 산소공급기는 이러한 수온의 변화나 용존산소량과는 무관하게 수동으로 조작되는 밸브를 통해서 일정한 산소량이 공급되기 때문에 산소의 낭비나 어류의 산소부족이 수반되는 것이 현실이다. 산소의 부족은 활어의 폐사를 초래하게 되며, 산소의 낭비는 경제적인 손실과 어류의 산소중독을 수반하여 활어의 상품가치를 저하시킨다. 이러한 문제를 해소하기 위해서 활어차량의 수조에 적재된 어류의 최적산소량을 자동으로 공급하는 장치를 하는 경우에는

센서가 기설정된 용존산소량을 지속적으로 측정하여 수조의 용존산소량이 한계치 이하로 낮아지면 밸브가 개방되어 산소가 공급되며, 한계치에 다다르면 자동적으로 밸브가 폐쇄되어 과다한 산소의 공급을 중단하게 되어 경제적인 손실의 방지와 활어의 상품가치를 유지할 수 있게 된다. 활어수송 차량에의 실험은 1톤 차량으로 해산어인 넙치, 담수어인 송어와 뱀장어의 수송에 대해서 실시하였다. 산소의 소모량은 어류의 종류 및 수량, 수온의 변화 수송시간 등에 의존하여 변화하므로 정량적인 산소의 소모량 계산은 수행하지 않았으나, 본 실험에서는 proto-type DO-AQUA를 이용하여 용존산소량의 한계치를 송어 9 ppm, 뱀장어 7 ppm, 넙치 8 ppm으로 각각 설정한 후 자동제어 상태를 실험하였으며, 동시에 자체 제작한 SUWON 100 DO meter를 이용하여 수조의 산소량을 검증하였다.

DO-AQUA 시스템을 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 ppm에 임의로 고정한 후 공기와 질소를 이용하여 DO 변화를 주었을 때 DO meter로 측정한 값을 그림 20에 도시하였다. 따라서 DO-AQUA는 설정치 이하로 DO 값이 떨어질 때 airstone이 작동하도록 설정되었음을 확인하였다.

활어수송 차량에의 시험은 1톤 차량(그림 21)으로 해산어인 넙치와 담수어인 송어와 뱀장어의 수송에 대해서 실시하였다. 산소의 소모량은 어류의 종류 및 수량, 수온의 변화 소요시간 등에 의존하므로 수온 15 ℃에서 용존산소량의 한계치를 송어의 경우 7 ppm, 뱀장어의 경우 6 ppm, 넙치의 경우 6.5 ppm 으로 각각 설정하였을 때 자동제어기는 원활히 작동하였다(표 4). 운반하는 어종 별로 구분 분리된 활어 수송용 개별수조에 6개 이내의 센서를 수조별로 각각 설치하여 출력되는 개별 전류를 한 개의 DO meter로 구득할 수 있는 multiple monitoring 시스템을 세계 최초로 개발하였다. 이때 수조별로 고유의 DO-AQUA 조절기를 부착함으로써 수조별로 원하는 DO 수치를 유지하도록 개발하였다.

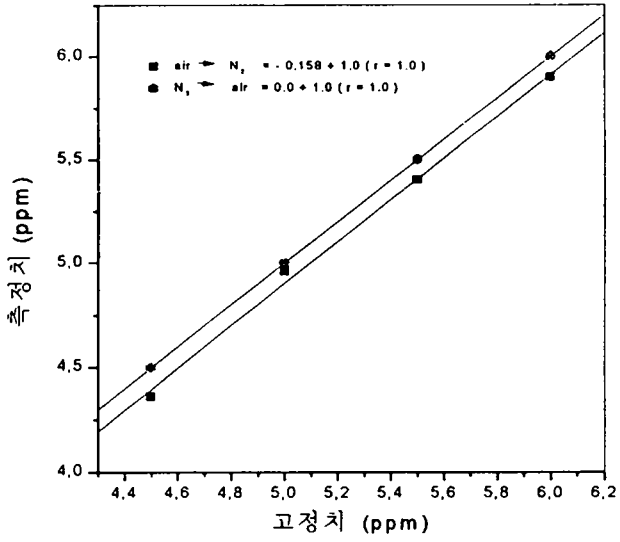


그림 20. DO-AQUA 반응성 평가

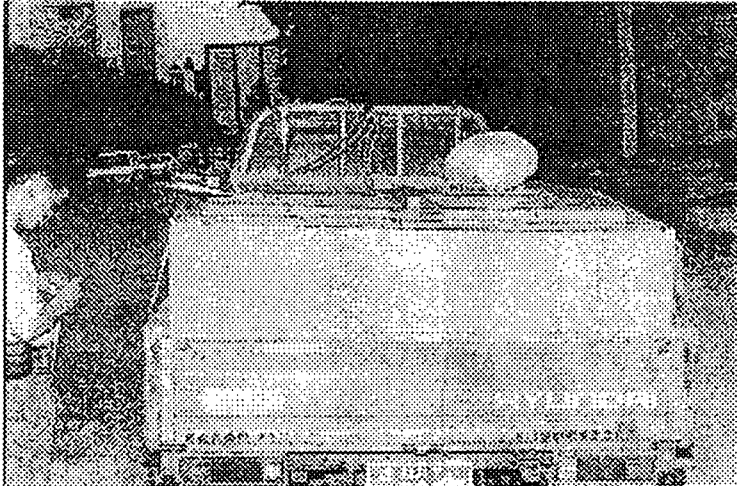


그림 21. 활어차량 수조 외형도

표 4. 활어차량 수조의 실험

수 온 (℃)	DO-AQUA 설정 한계값 (ppm)	SUWON 100 DO meter 측정값 (ppm)	비 고
5	6.5	6.5	넙치
3	6.5	6.4	"
7	7.0	7.0	송어
12	7.0	7.1	"
17	6.5	6.5	넙치
23	6.5	6.4	"
17	6.0	6.0	뱀장어
27	6.0	6.0	"

제2절 육상수조 응용평가

해수를 육상으로 도수하여 사용하는 해산어의 육상 수조 양식은 해상가두리 양식과 서로 관련되어 있기 때문에 우리나라 서남해안의 거의 모든 곳에서 활용되는 중요한 양식방법이다. 육상수조의 양식은 해수의 수온이 강하하여 변온동물(poikilotherms)인 어류가 섭이와 성장을 정지하게 되는 시기에 수온을 인위적으로 관리함으로써 어류의 성장을 지속할 수 있게 하거나, 어류 종묘의 배양과 먹이생물의 배양 등 생물의 양성을 위한 특별한 관리가 필요한 경우에 필수적인 방법이다. 그러나 양수기를 이용해서 해수를 수조로 공급하고 순환시켜야 하므로 수질의 유지관리가 아주 중요하며,

비용이 많이 발생하므로 어류를 가두리 시설로 옮기기 전에 한시적으로 사 용하는 경우가 많다. 해수를 도수하여 수조에서 어류를 양식하는 경우에는 100~200m 이내의 해안 가까이에서 해수를 도수하기 때문에 수중의 부유물 질 및 용존산소량의 관리가 가장 중요하다. 수온의 관리는 어류의 성장을 위한 신진대사를 유지하기 위해서 주로 수온을 높이는 과정이며, 종묘생 산, 먹이생물의 배양시에 주로 필요하며, 성어의 생육시에는 겨울에 필요 하게 된다. 종묘의 배양은 대체로 높은 수온을 요구하기 때문에 수온의 관 리가 불가피하다. 수온을 높이는 경우는 부수적으로 수중에 용해되는 산소 량이 감소하기 때문에 충분한 산소의 공급을 위해서 24시간 동안 산소를 공급하거나 airstone을 통하여 공기를 순환시켜 주어야 한다. 이렇게 하는 경우에 산소의 과다공급이나 에너지의 낭비가 발생하므로 자동측정기기를 이용하여 용존산소량이 한계치 이하로 낮아지는 경우에만 자동제어기를 통 하여 산소공급장치나 airstone의 작동을 통해서 산소를 공급시켜 경제적 효율을 증대시킬 수 있다.

해수 수조의 실험은 DO-AQUA를 이용하여 용존산소량의 한계값을 미리 설정 하고 airstone 자동제어기의 작동을 실험실 조건(그림 22)에서 수행하였으 며, 동일 시스템을 상업용 해산물 수조의 벽면(그림 23)에 설치하였다. 현 장 조건에서 용존산소량의 검정은 자체 제작한 SUWON 100 DO meter를 이용 하였으며, 실험결과는 다음의 표 5와 같았다.

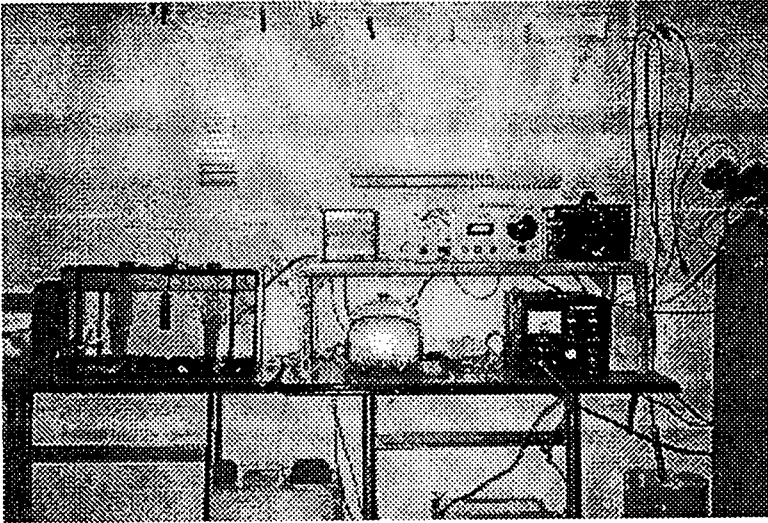


그림 22. 실험실적 DO-AQUA 자동제어 시스템

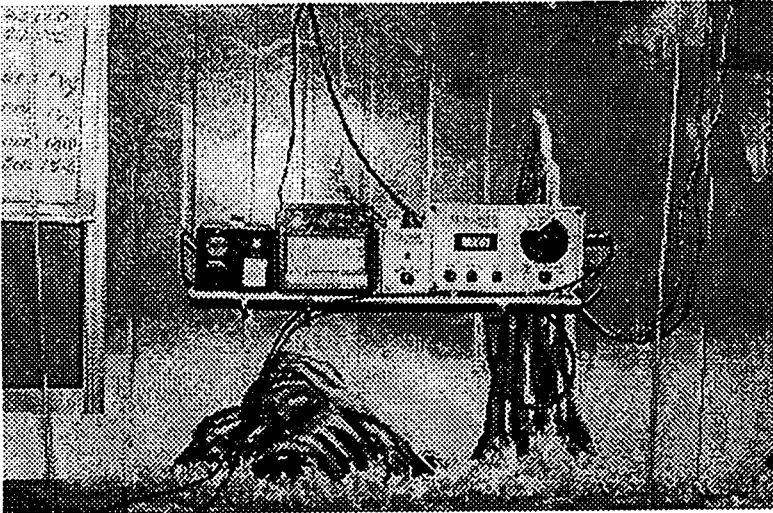


그림 23. DO-AQUA 자동제어 시스템의 상업용 해산물 수조 설치도

표 5. DO-AQUA 의 육상수조 현장 실험 결과

수 온 (℃)	염 분 (%)	DO-AQUA 설정 한계값 (ppm)	SUWON 100 DO meter 측정값 (ppm)	자동제어기 작동 여부
6.3	30.5	8	8.01	작동
2.5	30.1	10	10.01	작동
3.9	29.8	9	9.02	작동
4.5	31.5	9	9.01	작동
9.8	31.5	7	7.01	작동
15.1	30.2	7	7.01	작동
17.5	28.8	7	7.02	작동
24.2	28.9	6	6.02	작동
26.7	29.6	6	6.01	작동
21.5	30.7	6	6.02	작동

제3절 축제식 양식장 응용평가

1. 양식장 환경

우리나라의 서남해안에는 염전을 활용하거나, 경사가 완만한 간석지에 방조제를 축조하고 수문을 건설해서 해수의 출입을 통제하는 축제식 양식장이 다수 분포하며, 이들 축제식 양식장은 보리새우 대하 등 갑각류와 조피볼락, 승어 등의 어류생산에 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 축제식 양식어업은 자연적인 해수의 유동을 보존하는 상태에서 이루어지는 조건대

의 패류양식, 어류의 해상가두리 양식, 굴 우렁쉥이 혼합 등의 부착생물 양식, 그리고 김 미역 다시마 등을 생산하는 해조양식 등과는 다른 관리상의 편리와 문제를 가지고 있다.

방조제를 축조하여 만든 양식장에 해수의 출입을 인위적으로 통제하는 경우는 해일(storm surge), 유류오염(oil spill) 등의 재난으로부터 자원생물을 보호할 수 있고, 자원생물에 대한 통제수단이 강화되므로 자원생물의 양성관리에 편리한 점도 있으나, 방조제와 수문은 조류와 해류에 의한 자연적인 해수의 유동을 차단하므로 양식장의 수질악화 혹은 수질오염이라는 새로운 문제를 발생시키며, 이러한 수질의 문제는 양식생물 전부를 폐사시키거나 상품의 질을 저하시켜서 양성관리에서 가장 중요한 문제로 제기되고 있다. 따라서 보리새우(*Penaeus japonicus*), 대하(*Penaeus orientalis*), 조피볼락(*Sebastes schlegeli*), 승어(*Mugil cephalus*) 등을 양성하는 축제식 양식장에서는 해수의 수질관리가 양성관리에서 중요한 문제이며, 수질관리를 자동화하여 재난을 사전에 방지하는 것은 양식어업의 성패를 좌우한다.

2. 시스템의 실험

본 연구에서 개발된 DO-AQUA system의 현장 응용 평가를 위해서 조피볼락의 치어를 양성하는 축제식 양식장에서 응용실험을 하였다. 축제식 양식장에서의 실험은 충남 태안군 원북면에 위치한 약 7 ha 규모의 조피볼락 치어의 양성을 위한 양식장에서 실시하였다. 이 양식장은 약 25년 전에 보리새우와 대하를 양성하기 위해서 건설되어, 그간에 보리새우와 대하를 양성하는 데 이용되었으며, 2~3년 전부터 양식하는 갑각류를 폐사시키는 virus의 확산으로 새우를 양식할 수가 없게 되어서 양식 어종을 조피볼락

으로 바꾸어서 양식을 하고 있는 곳이다. 보리새우와 대하의 방양지에서의 양식은 6월~10월 사이에 이루어지며, 수온이 가장 높은 8월~9월에 용존산소의 부족, virus의 감염 등으로 인해서 자원생물 전부가 폐사하는 경우가 수년간 발생하였다.

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 바다의 암초사이에서 주로 서식하는 어류(rockfish)의 한 종으로서, 난태생의 어류로서 보통의 어류처럼 알을 낳아서 부화하는 어류가 아니고 자어를 낳는데, 양성관리가 비교적 쉽고 어가가 높기 때문에 서해안의 천수만 등에서 가장 많이 양성되는 양식 어종으로서 통상 “우럭”으로 불리기도 한다. 본 양식장에서의 조피볼락의 양성관리는 3월~4월에 성어(adult)를 양성지에 투입하여 짝짓기를 거쳐서 자어를 낳게 한 후 3~4개월간 자.치어를 양성하여 5월말~6월 경에 치어의 체장이 5cm에 이르면 포획하여 해상 가두리양식장으로 이송하여 양성을 계속하는 어종이다. 따라서 수온이 가장 높고 용존산소량의 유지가 어려운 8월~9월을 피할 수가 있으며, 보리새우나 대하에 비교하면 수익성은 떨어지나 양성관리의 편리함과 생물의 폐사에 따른 경제적 위험을 피하기 위해서 기존의 보리새우나 대하의 양식장을 이용하여 양식되는 어종이다.

방양지에서의 실험은 DO-AQUA system을 방양지에 설치한 후, 방양지에서 자원생물의 생존을 위해서 유지되어야 할 용존산소량의 한계값을 system에 설정하고, 시스템에 연결된 센서가 방양지 저류수의 용존산소, 수온, 산도(pH)를 자동측정하도록 하여, 용존산소량이 설정된 한계치 이하로 되는 경우, 시스템의 제어장치가 자동적으로 폭기시설을 작동시키게 함으로써, 수동적으로 용존산소량을 측정하거나, 24시간 폭기시설을 작동시키는 데 따른 인력과 전력소비를 줄이는 데 기여하도록 하였다. 시스템에 입력된 한계값은 현장의 온도에 따른 해수중 용존산소량의 포화도에 근접한 값으로 하였으며, 용존산소량은 YSI Model 58 DO meter, 수온은 봉상온도계, 산도

는 Myron model DC4 pH meter를 각각 이용하여 시스템의 accuracy를 검정하였다.

3. 실험 결과

3회의 현장실험 평가 결과는 표 6과 같으며, 수중의 용존산소량이 미리 설정된 한계치에 이르는 때에 자동제어기가 수차를 작동하여 수동적인 수차의 작동이 해소될 수 있었다.

표 6. DO-AQUA 의 축제식 양식장 현장실험 결과

수 온 ($^{\circ}\text{C}$)	염 분 (%)	DO-AQUA 설정 한계값 (mg/ℓ)	YSI model 58 DO meter 측정값 (mg/ℓ)	자동제어기 작동 여부
6.5	30.0	9	9.1	작동
10.0	30.0	7	7.1	작동
18.0	29.0	7	7.1	작동

제4절 연안 양식장 적조 경보 시스템 응용평가

1. 연안 양식장의 환경

우리나라 남해안의 내만과 서해의 천수만 등 내해(inshore waters)에는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)와 조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 등을 양식하기 위한 해상 가두리 시설이 다수 설치되어 관리되고 있다. 해상 가두리 시설은 바다에 양식어류를 가두어 두는 그물망을 만들고 바닥에 닻을 내려서 그물을 고정시키며, 조류나 해류에 의한 해수 유동이 보존되어서 축제식 양식장보다는 해수의 수질이 비교적 양호하게 유지되며, 양성관리에서 수질관리보다는 사료의 투입이나 생물의 이탈방지가 더욱 중요하게 되는 해산어 양식방법의 하나이다.

자원생물은 가두어 두는 그물(가두리 그물)에 의해서 이탈이 방지되고 통제가 가능해지기 때문에, 해일이나 파랑 등으로부터 시설과 자원생물을 보호하기 위해서 대부분 내만에 설치되고 있다. 이들 시설은 비교적 파랑에 의한 해수 유동이 약한 곳에 설치되어야 해일 등으로부터 시설물의 파손과 자원생물의 유실을 방지할 수 있다. 조류에 의한 해수 유동이 활발한 곳에는 시설을 닻으로 고정하는 것에 어려움이 있어서, 대체로 해수 유동이 활발하지 못한 내만에 설치되기 때문에 주위 환경의 악화에 따른 수질문제가 발생한다. 그러나 해수 유동 자체를 통제할 수 없기 때문에, 적극적인 개념에서의 수질관리는 불가능하며, 수질환경이 악화되는 것을 미리 발견하여 시설이나 생물을 이동시키는 등의 소극적 개념의 양성관리가 유일한 통제수단이다.

해상 가두리 시설이 설치되는 곳은 대체로 육지로부터의 영양염 유입량이 많아서 봄부터 초가을 사이에 적조가 빈번하게 발생하는 지역이다. 적조의 발생은 수중에 영양염이 풍부하고, 일조량이 많고, 수온이 상승하여 식물 플랑크톤이 번성하는 데서 시작하여, 이들의 폐사에 따른 수중의 용존산소 소모, 독성물질 방출, 자원생물의 아가미에 흡착 등의 기작을 통해서 양식 생물에 피해를 주게 된다. 적조경보 시스템의 활용은 적조생물의 발생 (bloom)이나 종구성(species composition)을 감시하는 것이 아니며, 가두리 인근 해역에서 대량 번성한 적조생물의 작용에 따라서 해수중의 용존산소가 지나치게 소모됨으로써 가두리내에서 양성되는 넙치와 조피볼락 등 어류가 폐사되는 것을 사전에 방지하여, 양성되는 자원생물을 옮기거나 가두리 시설을 외측 해역으로 옮기는 것을 사전에 판단하여 준비할 수 있도록 하는데 기여하도록 하였다.

2. 적조의 발생

적조(red tide)의 발생은 해안의 굴곡이 심하거나 조석운동이 약하여 해수의 유동이 적은 비교적로 폐쇄된 해역이 강우가 있는 후의 하천수 유입으로 부영양화(eutrophication)된 상태에서 수온과 일조량이 식물성 부유생물(phytoplankton)의 번성에 적합하여 식물성 부유생물이 일시적으로 지나치게 번성하여(blooming) 폐사함으로써 해수를 붉게 물들이고 수중에서 분해되면서 용존산소를 소진해서 해수를 무산소 상태로 만들거나 독성물질(biotoxin)을 방출하여 수산생물을 폐사시키는 현상으로서 우리나라에서는 비교적로 조석운동이 약하고 육지로부터 유입하는 오염물질의 양이 큰 마산만에서 8~9 월에 발생하기 시작하였다. 그러나 이제는 서남해역과 동해에 이르기까지 전해역에서 하천수 유입의 유무에 관계없이 발생구역이

확대되었으며 발생의 시기도 이른 여름에서 늦가을에 이르기까지 길어지고 남해의 적조 발생은 이제 연례행사가 되었다.

적조의 발생은 수산피해를 수반하므로 연안해역의 수산자원 보호를 위해서는 적조피해의 방지대책이 필수적이다. 특히 우리나라의 서남해역은 집약적인 양식이 이루어지는 어장으로서 적조의 발생은 어민의 생계에 치명적 피해를 가져온다. 피해 방지대책으로는 발생 자체를 방지하는 부영양화 방지대책과 이미 발생한 경우 이를 적절하게 대처하여 적조의 피해를 최소화시키는 피해 방지대책이 있을 수 있다. 부영양화 방지대책은 발생을 방지하는 근본적인 대책으로서 장기간에 걸쳐 지속적으로 많은 비용을 들여서 해역 뿐만 아니라 해역으로 유입하는 유역(catchment)관리의 개념에서 이루어져야 하며, 피해 방지대책은 적조생물의 구제, 화학약품의 사용, 양식 시설의 이전 등으로서 단기적이고 국지적인 방법이 있으나 아직까지는 어느 방법도 보편적인 효과는 거두지 못하고 있다.

적조에 관한 문헌은 1839년 Charles Darwin의 Beagle호 항해시 남미 칠레(Chile) 해안에서 번성한 *Trichodemium* sp. 의 기록이 있으며, 수산피해는 1957년 일본의 세토나이카이, 1971년, 1973-1974년 미국의 Florida 만 등의 기록이 있었으며, 우리나라에서는 조선 태종 때부터 기록되다가, 1978년, 1981년 등의 마산만의 기록이 있었다. 1995년에는 발생 해역이 동해에 까지 확대되고 시기가 크게 연장되어서 연안의 가두리 양식과 육상의 지중 탱크 양식을 황폐화시켜서 심각한 사회문제로 대두되었다. 적조의 원인생물은 와편모조류(Dynophyceae), 녹색편모조류(Raphidophyceae), 남조류(Cyanophyceae) 등으로 알려지고 있으며, 가장 중요한 원인생물은 *Gymnodinium* 이며, 다음으로는 *Gonyaulax*, *Glenodinium*, *Ceratium*, *Peridinium*, *Prorocentrum*, *Noctiluca*, *Trichodesmium*, *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Fragilaria*

등이다. 어패류에 미치는 직접피해는 용존산소의 소모에 의한 질식사, 독성물질에 의한 중독사 등이 있고 간접피해는 생산성 감소, 2차적 피해인 가치 하락, 이용량 감소, 인간의 식중독 등이 있다. 어패류의 피해가 아닌 기타의 피해는 악취발생 등 해역의 위락가치(amenity) 저하, 생태계의 파괴 등이 뒤따르게 된다.

적조의 발생피해를 저감시키기 위해서는 해역의 물리적 화학적 현상을 신속하고 정확하게 파악해야 하며 측정된 자료는 즉시 피해저감 대책에 활용되어야 한다. 현재의 수질환경기준(해역)에 의하면 용존산소량(Dissolved Oxygen)은 I등급 포화율 95% 이상, II등급 포화율 85% 이상, III등급 포화율 80% 이상으로 규정하고 있다. I등급과 II등급은 포화율 외에 농도기준으로 각각 6 mg/l, 5 mg/l 이상이어야 한다. I등급 수질은 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 수질로 규정하고 있다. 해수중의 포화 산소량은 수온과 염분의 함수이며 현장의 용존산소량은 포화산소량의 상대치로 나타내거나(percentage), 산소의 중량(mg/l, ppm)의 단위로 나타낸다. 현장의 측정치(in situ measurement)는 중량 그 자체의 의미보다는 포화산소량에 대한 상대값으로서 해석되어야 한다.

3. 시스템의 평가

적조경보 시스템으로서의 응용실험은 육상에서 약 1.5km 떨어진 해상에 설치된 가두리 양식장에 설치하였다. 실험에 이용된 해상 가두리 양식장은 전남 완도군 약산면 약산방조제 앞 바다에 설치된 것으로서, 넙치와 조피볼락의 성어(adult)를 양성하는 시설이다. 대부분의 해상 가두리 시설에는 110/220V의 산업용 전기가 공급되지 않으므로 적조경보 시스템은 축전지로부터 전원을 공급받도록 하였다.

가두리내에서 자원생물의 생존을 위해서 유지되어야 할 용존산소량의 한계값을 설정하고, 시스템에 연결된 수중센서가 용존산소, 수온, 산도(pH)를 자동측정하도록 하여, 용존산소량이 설정된 한계치 이하로 되는 경우, 시스템의 제어장치가 자동적으로 관리자의 호출기에 접속되게 함으로써, 육상에서 가두리 시설의 상황을 감시하고, 필요한 경우에는 응급조치를 할 수 있게 하였다. 시스템에 입력된 한계값은 현장의 온도에 따른 해수중 용존산소량의 포화도에 근접한 값으로 하였으며, 용존산소량은 YSI Model 58 DO meter, 수온은 봉상온도계, 산도는 Myron model DC4 pH meter를 각각 이용하여 시스템의 accuracy를 검정하였다. 2회의 현장실험 결과는 표 7과 같으며, 수중의 용존산소량이 미리 설정된 한계치에 이르는 때에 시스템의 제어장치가 자동적으로 관리자의 호출기에 접속되게 함으로써, 육상에서 가두리 시설의 상황을 감시하고, 필요한 경우에는 응급조치를 할 수 있게 하였다.

표 7. DO-AQUA 의 연안 양식장 현장실험 결과

수 온 ($^{\circ}\text{C}$)	염 분 (%)	DO-AQUA 설정 한계값 (mg/ℓ)	YSI model 58 DO meter 측정값 (mg/ℓ)	자동제어기 작동 여부
16	30.0	6	8.1	한계값 이내
19	27.0	6	8.0	한계값 이내

제 6 장 Real Time 다성분 Monitoring 시스템 개발

제1절 Multi DO 센서 시스템 개발

다성분 측정 시스템에서는 하나 이상의 센서를 설치하고 각 센서로 부터의 측정 데이터를 수집하여 분석한 후 이에 따라 다성분의 농도를 일정하게 유지함에 따른 제어동작을 자동 혹은 수동 조작을 통해 수행한다. 기존 아날로그 방식의 처리 시스템은 우선 사용에 매우 번거러울 뿐만 아니라 수집된 측정 데이터를 효율적으로 관리할 수 없기 때문에 수집된 데이터를 사용자가 알기 쉽도록 표시해 주고 또 효율적으로 관리해 줄 수 있는 디지털 방식의 멀티채널 측정 장치가 필요하다. 본 연구에서는 마이크로프로세서를 이용하여 디지털 방식으로 제어하는 멀티 채널 DO 측정기와 수집된 데이터 전산처리프로그램의 프로토타입을 개발하였다. 기존 아날로그 방식의 측정기로는 불가능한 데이터 수집, 분석 및 적절한 제어 동작을 디지털 방식의 시스템에서는 가능하다. 따라서 아날로그 방식의 DO 측정기의 원리를 이해한 후 이를 마이크로프로세서로 제어하는 디지털 방식의 DO 측정기로 재설계하였다.

용존산소(DO)의 농도는 polarographic 산소 센서에 분극전압을 인가할 때 양극과 음극 사이에서 일어나는 화학반응에 따라 흐르는 수 μA 정도의 미소 전류를 측정함으로써 알게된다. 이를 위해서 산소센서에 분극전압을 인가하기 위한 분극 전압 발생회로가 필요하고, 또 분극전압이 인가되었을 때 전극사이를 흐르는 미소전류를 측정하기 위해서 고정밀도의 전류-전압

변환회로가 필요하다. 그리고 polarographic 산소센서의 온도변화에 따라 센서 감도가 크게 변화하므로, 정확한 DO 측정을 위해서는 온도의 변화에 의해 생기는 산소센서 자체의 출력 전류 변화를 보상할 수 있어야 할 뿐만 아니라, 측정회로 자체의 온도에 대한 안정성이 뛰어나야 한다. 본 연구에서는 멀티 DO 센서를 갖는 시스템에 대하여 분극 전압 발생회로, 미소 전류-전압 변환회로, 산소센서 온도보상을 위한 회로, 그리고 온도측정 회로를 설계 제작하였다. 분극발생회로에서 0.8V의 기준전압을 산소센서에 인가하면 각 센서로부터의 발생하는 미소전류 값은 전류-전압 변환회로에 의해 전압값으로 변환되고, 이 전압 신호는 온도보상회로를 통과한 후 온도의존성이 없는 센서 출력 전압신호가 된다. 이렇게 아나로그 전단부를 거친 전압신호는 다채널의 A/D 변환기에 의해 디지털 신호로 변환되어 마이크로프로세서 보드의 메모리에 저장된다. 마이크로프로세서는 각 채널 별로 수집한 디지털 신호를 알맞게 처리하여 그 결과를 RS-232C 형식의 직렬 신호 전송 방식에 따라 개인용 컴퓨터(PC)로 전송하고, PC는 수집된 디지털 전압신호를 처리하여 각 채널 별로 시간에 따른 측정값의 변화를 표 혹은 그래프 형식으로 출력하게 하거나 통계를 내는 등의 데이터 전산처리를 수행한다. 마이크로프로세서에 의한 제어를 통하여 기존 아나로그 회로 방식의 DO Meter가 갖는 사용상의 불편을 해소하고 측정의 정밀도를 개선할 수 있다.

산소센서의 온도보상은 써미스터와 OP AMP 등을 사용하는 아나로그적인 방법으로 이루어져 있는데, 측정 전압을 먼저 A/D 변환한 후 디지털적인 방법으로 수행할 수도 있다. 이 경우 멀티 산소센서의 사용에 따라 각 채널 별로 특성이 조금씩 다른 산소센서가 사용되는 경우라 하더라도 더 정확하게 온도에 따른 센서 출력값 보상이 가능하다. 이를 위하여 실험실에서 제작한 산소센서의 산소농도대 전류변화 특성, 온도에 따른 감도변화 특성

등에 대한 실험을 수행하였다. 이와 함께 실험을 통해 얻은 데이터량은 한정되어 있으므로 측정되지 않은 수표 상의 중간값을, 이미 알고 있는 측정 데이터로부터 유추 계산해 내는 interpolation 방법을 개발하였다.

제2절 데이터 전송 시스템 개발

설치한 센서에서 수집된 데이터들은 계측기로 안정되게 전송되어야 하며, 농수산용으로 장기간 작동할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 real time 다 성분 monitoring 시스템을 기본 모델로 prototype을 개발하였다. 이 전송 시스템에서는 타이머를 이용하여 각 채널에서 수집되는 데이터를 시간별로 계측기로 전송할 수 있었다. 전송된 데이터는 계측기의 LCD 표시판에서 수치로 읽을 수 있으며, 필요시 컴퓨터를 이용한 data logging 또한 가능하도록 설계되었다. 다음의 그림 24 및 25에 그 기본 회로도 및 실제 제작 모형을 각각 표시하였다.

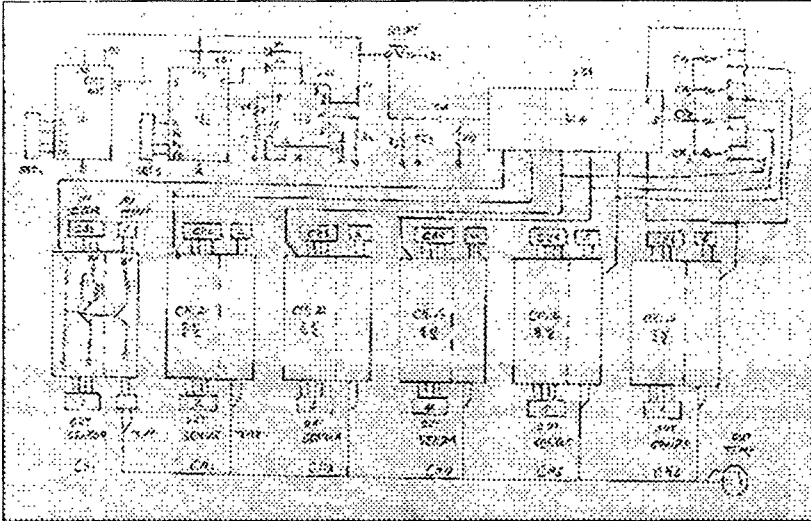


그림 24. Real Time 다성분 Monitoring 시스템 개괄적 회로도.

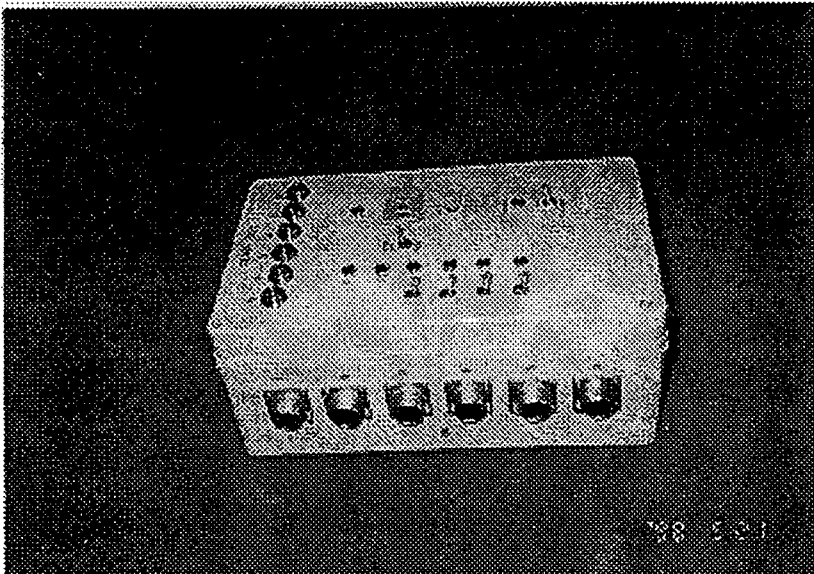
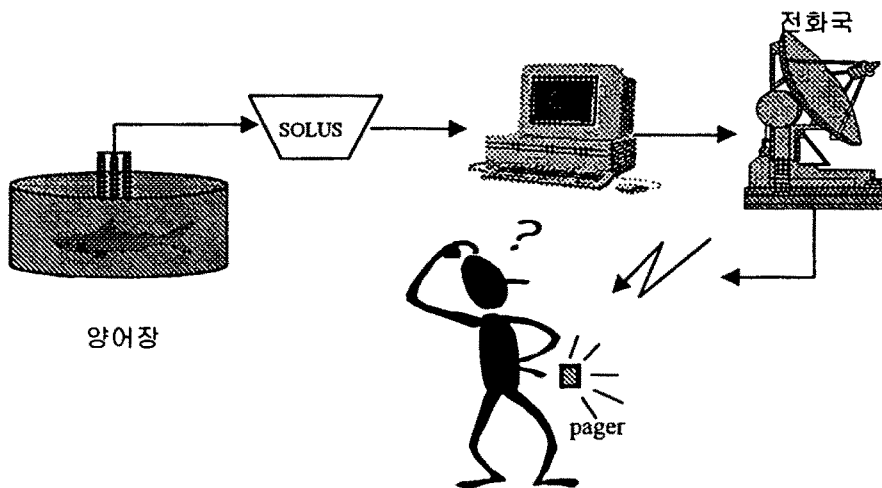


그림 25. Real Time 다성분 Monitoring 시스템 제작 모형.

제3절 양어장 관리 프로그램 개발

본 연구에서는 양어장 관리 프로그램을 아래의 그림과 같은 개념으로 개발되었다. 즉 양식장의 물고기가 가장 적합한 생육조건을 알고 그에 따라 양식장의 관리인이 양식장을 쉽게 제어할 수 있게 만든 양어관리 시스템이다. 예를 들면 DO, pH, 온도, 염분 등의 총 10가지의 센서 수치를 SOLUS hardware를 통하여 on-line으로 입력시킬 수 있는 데 이들 각각의 한계 데이터를 먼저 컴퓨터에 입력을 시킨 후, 들어오는 센서의 수치를 컴퓨터가 파악하여 양어장 관리인이 안전하고 쉽게 양식장을 관리할 수 있도록 한 것이 본 관리 시스템의 방법이다.



본 시스템은 윈도우즈 95 운영체제가 들어있는 PC, serial 포트에 장착되어 있는 SOLUS 및 측정항목에 대한 센서 및 계측기를 구비하면 실행되도록 구축하였다.

양어장 관리 프로그램은 측정된 데이터를 이용하여 어종의 생육환경을 온

라인으로 측정하고 자동제어할 목적으로 개발되었다. 이 프로그램은 윈도우 95 운영체제의 개인용 컴퓨터와 data logging system을 하드웨어 환경으로 이용한다(그림 26). 각종 센서에서 수집된 data는 Solus가 측정한 후 serial port를 통하여 호스트 프로그램으로 보내진다. DO, pH, 온도, 염분 등의 총 10가지의 센서 수치를 on-line으로 입력시킬 수 있으며, 이를 이용한 각종 자동제어가 가능하다. 특히 모뎀을 통하여 작동되는 원격 경보 시스템(그림 27)은 관리자의 무선 호출기에 각종의 정보를 표시하도록 설계되어, 별도의 무선 시스템을 설치할 필요없이 원하는 관리가 가능하다. 예로서, 3개의 가상적 DO 센서로 연결된 port에 전원 공급기로 최대 및 최소치(표 8)에 대한 출력 결과는 그림 28과 같이 높은 선형성을 나타내었다.

표 8. sensor. sys 입·출력 파일 내용

센서	출력(ppm)		입력(Volt)		gain
	최대치	최소치	최소치	최소치	
#1	13.5	0	10	0	1
#2	13.5	0	5	0	2
#3	13.5	0	7.3	0	1

호스트 프로그램은 Win 95 환경에서 완벽한 GUI(graphical user interface)를 제공하며 기록된 data를 그래프로 보여주는 기능, 기초적인 기상 환경인 일몰과 일출시간 등의 부가적인 기능도 보유하고 있다.

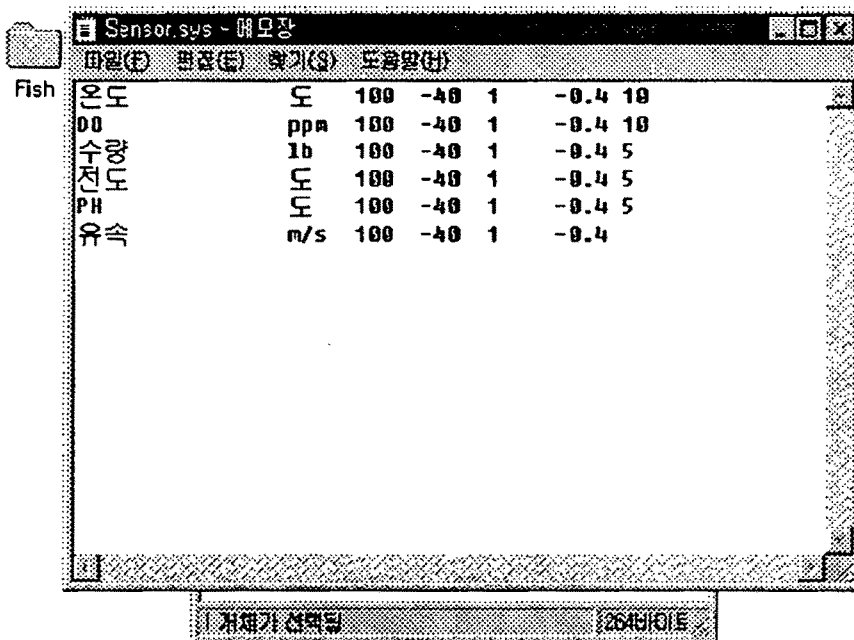


그림 26. sensor.sys 편집 화면

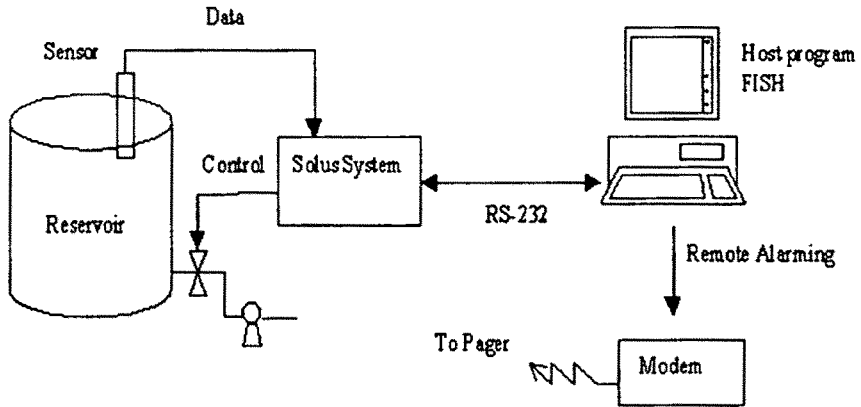


그림 27. Conceptual description of system and working environment

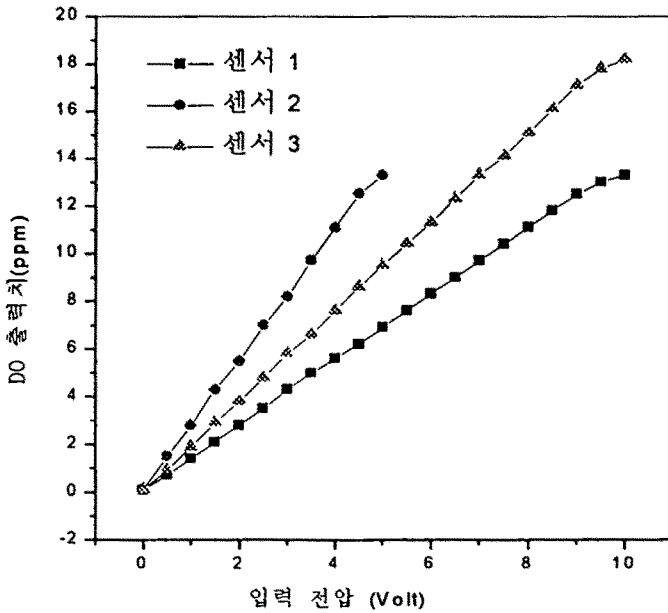


그림 28. 가상입력 전압에 따른 센서별 출력 DO의 상관관계

제 7 장 축산 폐수용 BOD 연속측정 시스템 개발

제1절 서 설

수질오염 정도를 측정하는 방법은 여러 가지가 있으며 그중 폐수중의 유기물 오염의 척도로써 가장 널리 쓰이는 방법 중의 하나는 생물화학적 산소 요구량(Biochemical Oxygen Demand: BOD)이다. BOD는 폐수 중에 유기화합물이 미생물에 의해 분해되어 안정화되는 과정에서 소모되는 산소량이다.

BOD의 초기개념은 1884년 Dupre에 의해서 제안되었으며, 배양된 시료에 의한 용존산소(Dissolved Oxygen: DO)량의 감소는 시료중에 존재하는 미생물의 대사활성도(metabolic activity)에 의하여 일어난다는 것이다. BOD의 현대적 개념은 1936년 American Public Health Association Standard Methods Committee의 "Standard Methods 8th"에 제안되었으며, 일반적으로 사용되는 BOD는 Japan Industrial Standard Committee의 "Testing Methods for Industrial Wastewater"에 기재된 Winkler azide 화 변법에 의해서 측정된다. 그 내용에 의하면 시료를 20℃에서 5일간 배양하였을 때, 소비된 산소의 양을 배양 전의 초기 산소의 양과 비교하여서 BOD를 결정하는 것이다. 그러나, 공정법상 BOD₅ 측정방법은 5일이라는 시간이 경과한 후에 측정값을 알 수 있으므로 폐수처리장의 실시간 운전에는 용이하지 못하고 실험자의 숙련도에 따라 재현성이 낮다는 문제점을 가지고 있다. 이와같은 문제점을 보완하여 신속하고 재현성 있는

방법들이 요구되었다.

공정법상 BOD₅의 문제점을 개선하기 위하여 발표된 많은 논문들은 5-day BOD법 보다 빠른 시간 내에 측정이 가능함을 보여주고 있으며 많은 연구가 진행되어 왔다. 이런 빠른 BOD 측정 방법들은 측정원리에 따라 분류하면 다음과 같다.

1. 시간-온도법(time-temperature method) : 20℃에서나 또는 더 높은 온도에서 5일보다 짧은 배양 기간을 임의로 결정하는 방법
2. 상관법(correlation method) : 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand: COD), 전체 유기화합물 중의 유기탄소(Total Organic Carbon: TOC), 전체 산소 요구량 (Total Oxygen Demand: TOC), 산적정법(acid-titration) 또는 색깔(Color)로부터 유추하여 결정하는 방법
3. 압력법(manometric method) : 압력계(manometer)를 사용하는 방법
4. 특수 균주 접종법(special inoculation method) : 혼합 또는 순수 배양된 다량의 균주를 접종하는 방법
5. 미생물 고정화법(microorganism immobilization method) : 용존산소 센서에 미생물이 고정화된 막을 식위 측정하는 방법

그러나 이러한 방법도 비교적 오랜 시간이 소요되며 공정시험법과 비교할 때 정확한 값을 얻을 수 없으며 재현성 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 특수 균주 접종법과 미생물 고정화법은 다량의 미생물이 함유된 축산폐수와 같은 생물폐수에서는 투여 및 고정화된 미생물 보다 자체 미생물이 소모하는 산소량이 크기 때문에 제 역할을 할 수 없다. 또한 미생물의 활성이 시간에 따라 달라지는 문제점과 미생물을 별도 배양의 문제

점이 있어 생물폐수의 적용에 부적절하였다.

본 연구에서는 위와 같이 미생물이 가지는 문제점을 제거하기 위하여 축산폐수 자체에 함유된 미생물을 이용하여 주어진 시간내에 미생물이 호흡을 하면서 소모하는 산소의 거동을 DO meter로 연속 측정하여 미생물군 고유의 산소소모 거동을 확인하고 BOD농도에 따른 산소소모 거동과의 상관관계를 찾아내어 이를 토대로 실시간 BOD on-line monitoring 시스템을 개발하기 위한 실험실적 연구이다.

제2절 단일성분 BOD 자동측정 시스템 개발

축산폐수중 돈사의 폐수가 오염의 주원인으로 판단되어 일차적으로 돈사의 폐수를 채취하여, 용량분석법과 DO Meter를 이용하여 분석한 BOD 값의 유의성을 조사하였다. 아울러 본 연구를 위해 자체 제작된 DO Meter와 DKK사의 용존산소전극(model 7651L)과의 차이를 조사하여 자체 제작한 DO meter의 정확성을 검증하였다. 이때 전북대 축사(돈분)의 폐수를 본 연구의 시료로서 사용했으며, 시료를 300~800배로 희석하여 용존산소(DO)와 생화학적 산소요구량(BOD)를 측정하였다. 측정은 용량분석방법인 Winkler azide화 나트륨 변법 및 용존산소전극을 이용하였다.

자동측정 시스템의 제작을 위한 검정 시료는 경기도 화성군에 위치한 축산기술연구소의 축산폐수 처리장에서 채취하였다. 돼지의 분비물은 일차적으로 스크린 처리하였으므로 부유물이 거의 없는 원수 및 맑은 방류수를 사용하였다. 시료 채취장이 본 연구실로부터 10분 정도의 비교적 가까운 위치에 있으므로 운반도중의 폐수 변질은 없다고 할 수 있으며, 채취후 2시간 안에 사용하지 않을 때는 4℃로 냉장 보관하였다. 채취한 폐수의 유효

시간은 24시간으로 제한하였다. 희석수 제조를 위하여 실험 하루전에 폭기시킨 증류수 1ℓ에 인산염완충용액, 황산마그네슘용액, 무수염화칼슘용액, 염화제2철용액 등을 각각 1㎖씩 넣었다.

다량의 유기물이 함유된 축산폐수의 BOD 측정에 있어 DO Meter를 이용하여, 신속하고 정확한 BOD를 측정할 수 있는 on-line monitoring system 개발을 위하여 다양한 BOD 농도의 축산폐수를 DO Meter로 연속 측정하여 DO의 거동을 살펴보았다. 각각의 BOD에 따른 DO의 거동으로부터 검량곡선을 찾아내어 신속하고 정밀한 BOD를 측정하는 초기적 기법을 제시하였다. 다양한 BOD 시료 제조에 필요한 희석수는 증류수를 N₂ 가스를 24시간동안 폭기하여 제조하였다. 이때 일정비율 희석용으로 사용하는 용액은 증류수를 공기로 24시간 폭기시켜 제조하였다. 채수된 축산폐수 원액과 제조된 희석수를 각각 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 10:90의 부피비로 혼합하여 다양한 BOD 시료 원액을 제조하였다. 제조된 다양한 원액과 실험용 희석수를 일정한 비율(원액 70 : 희석수 30)로 혼합·희석하여 BOD병(300ml)에 넣은 후 DO 센서를 삽입하였다. BOD incubator에 시료를 넣고 교반하면서 DO meter로 측정하고 computer로 data를 연속으로 수집하였다. 축산폐수의 원수를 1 : 500 및 1 : 1000으로 희석하여 DO Meter로 5일 간에 걸쳐 구한 결과는 각각 그림 29 및 30과 같았다. 한편 방류수를 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20으로 각각 희석하여 구한 5일 간의 DO 변화는 각각 그림 31, 32, 33과 같았다. 방류수의 각 희석비별로 DO Meter의 DO값과 Winkler azide방법의 DO값을 각각 상관지을 때 표 9와 같았다. 따라서 축산폐수의 원수는 1,000배, 방류수는 10배 이내로 희석함으로써 DO Meter를 이용한 BOD 연속측정의 가능성을 제시하였다.

표 9. DO Meter 및 Winkler azide DO값 상호비교

희석비	Meter DO값 = A + B × Winkler DO값		
	A	B	R
1 : 5	-0.22	1.21	0.97
1 : 10	1.72	0.93	0.93
1 : 20	3.31	0.68	0.94

BOD 자동측정 시스템을 그림 34와 같이 구축하였다. 다양한 BOD 농도(378~3,373 ppm)의 시료를 동일 원액의 10, 20, 40, 60, 80, 100% 부피를 사용하는 요령으로 희석 제조하여 각각의 BOD 농도를 Winkler 방법으로 구하고 그의 DO 분포도를 on-line으로 매초 1 point씩 1시간 동안 측정하였다(그림 35). 시료별로 최대치에 도달하는 데 소요되는 시간인 rise time은 희석비와 선형관계(Rise Time = 4.6 + 1.1×희석비 ; R=94.7%)를 나타내었다(그림 36). 이는 원액 시료의 미생물 농도에 따른 시간으로 추정된다. 즉 희석비가 클수록 미생물이 소비하는 시간이 길어짐을 뜻한다. 따라서 BOD 측정용 data 분석에 사용가능한 rise time data는 다양한 정보를 내포하고 있으나 이에 대한 연구는 다음 절에서 산소소모율로 상술하였다. 한편, 다양한 BOD 시료가 최대의 DO값을 나타내는 시료별 최대 DO값(V_i) 이전의 data를 임의로 삭제한 후, 매초마다의 DO값(V_t)에 대한 비율(Ratio, V_t/V_i)을 각 시간대별 (0~3분, 0~15분, 0~60분)로 시간분포를 살펴 보았다.

초기 0~3분 구간은 BOD 희석비와의 선형성이 불명확하였으므로 3분 이내의 BOD 측정법은 부정확할 것으로 예상되었다(그림 37). 중기(0~15분) 및

말기(0~60분) 범위대의 시간분포도(그림 38 및 39)는 Winkler 방법으로 구한 BOD와 대체적으로 선형성을 보였다. 시간에 따른 선형관계를 보이는 임의의 구간(30~60분)을 설정하여(그림 40), %원액 부피의 변화에 대하여 선형식의 기울기 및 Winkler BOD의 결과를 %원액 부피에 대하여 각각 98.32%(그림 41) 및 97.72%(그림 42)의 선형성을 나타내었다. 따라서 DO 변화 기울기는 BOD와 선형성이 크므로 정확한 on-line BOD 측정을 위하여 최적의 희석비를 가진 BOD 시료의 제조가 중요함을 알 수 있었다.

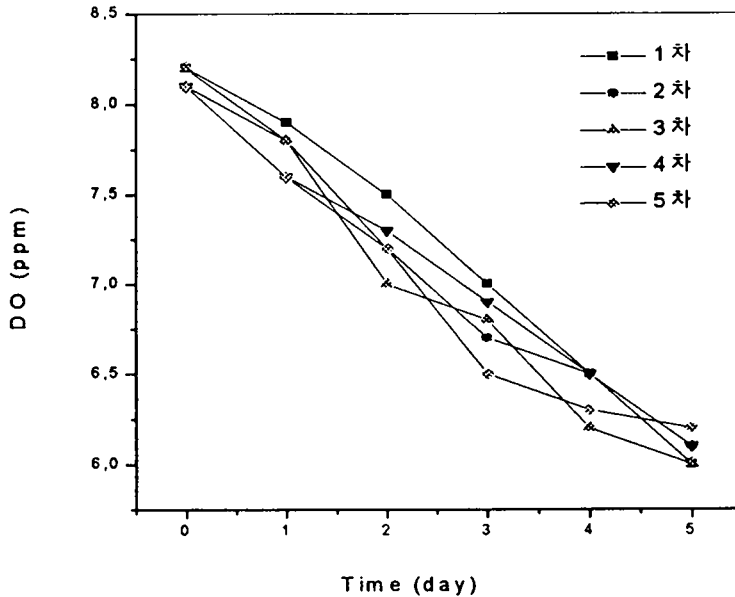


그림 29. 축산폐수 원수의 희석비 (1:500) 조건에서 DO 변화

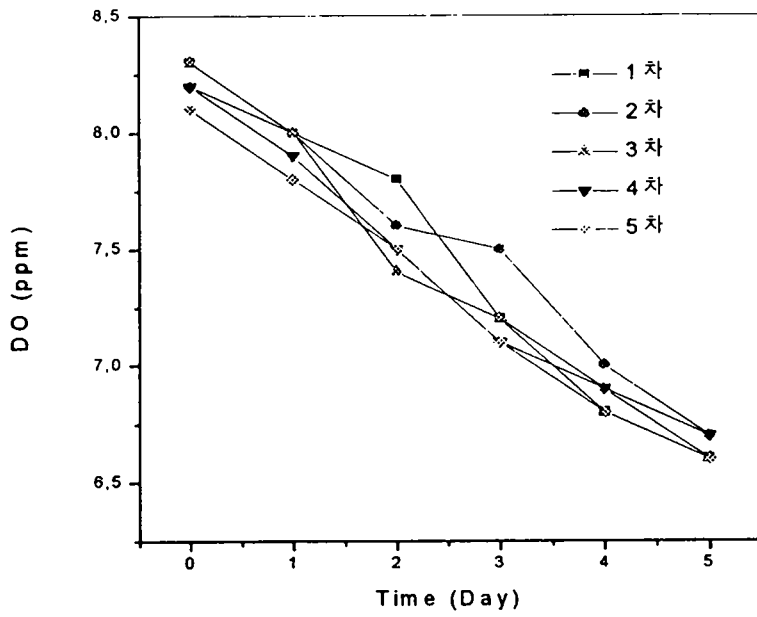


그림 30. 축산폐수 원수의 희석비 (1:1000) 조건에서 DO 변화

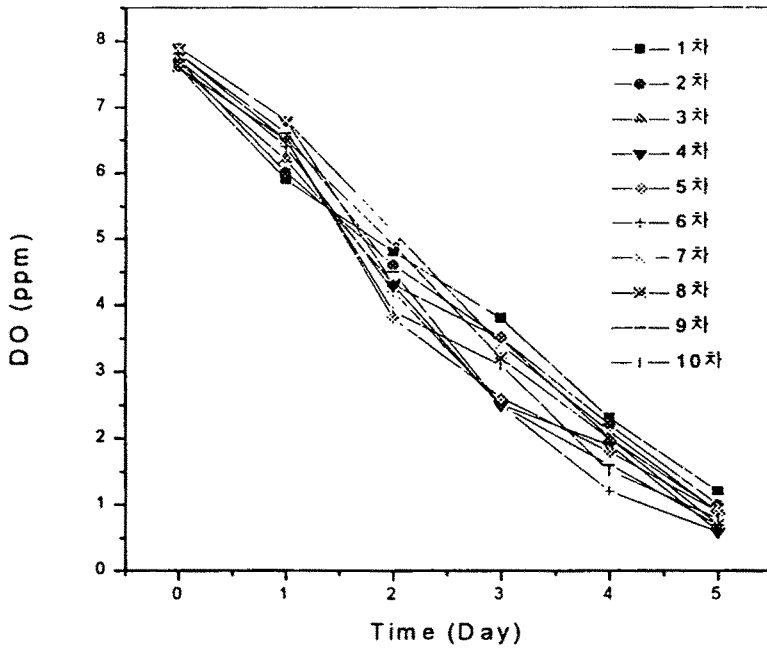


그림 31. 축산폐수 방류수의 희석비 (1:5) 조건에서 10차 DO 변화

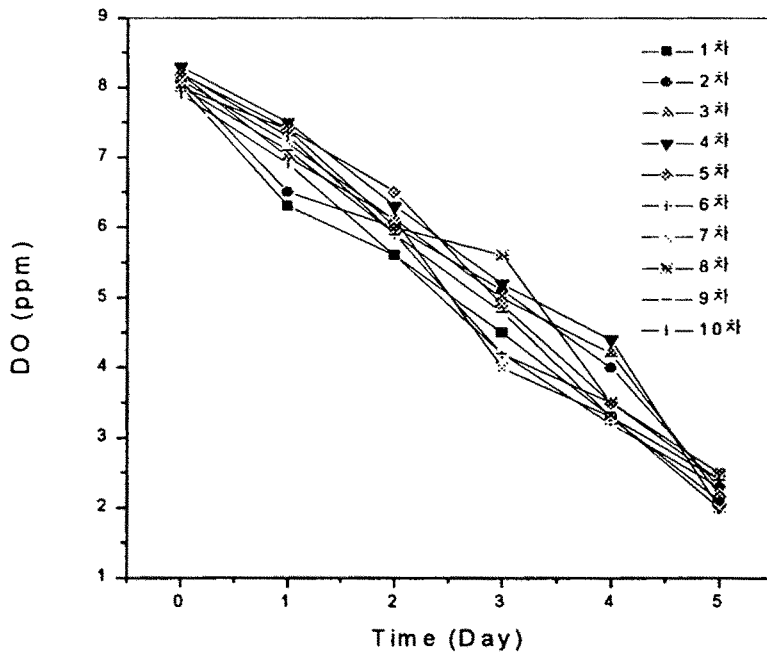


그림 32. 축산폐수 방류수의 희석비 (1:10) 조건에서 10차 DO변화

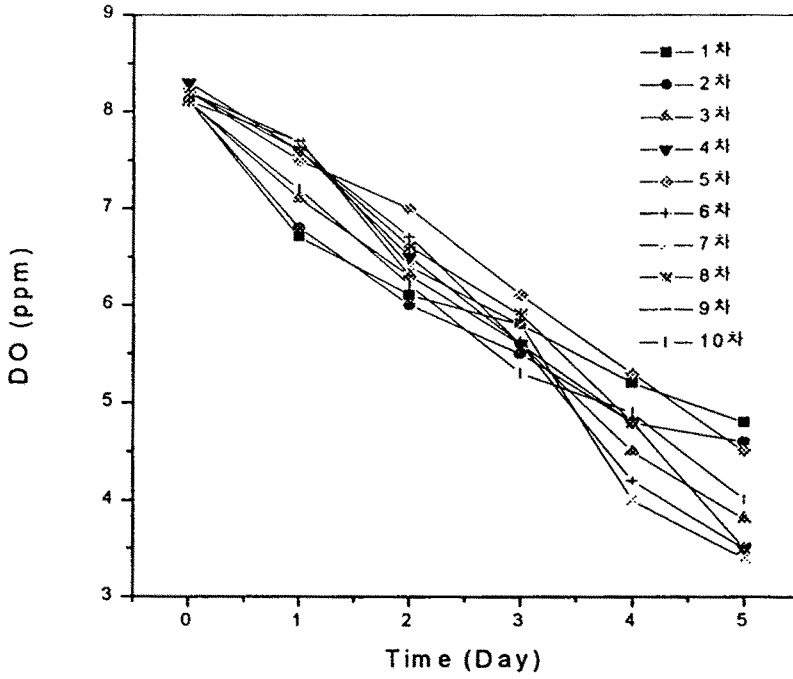


그림 33. 축산폐수 방류수의 희석비 (1:20) 조건에서 10차 DO 변화

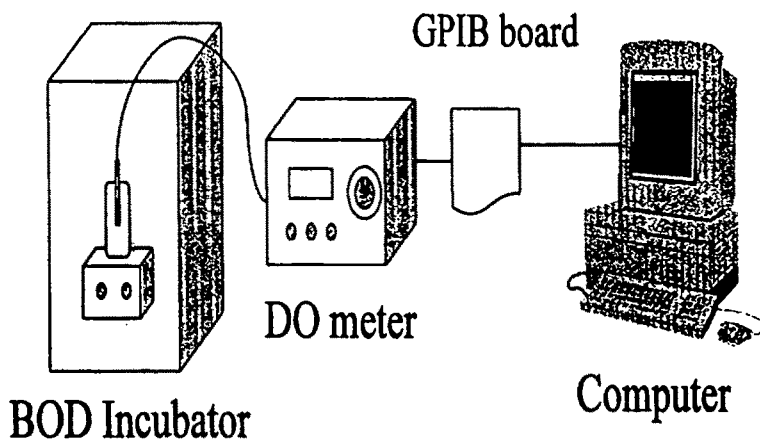


그림 34. BOD 자동측정 시스템의 개괄도

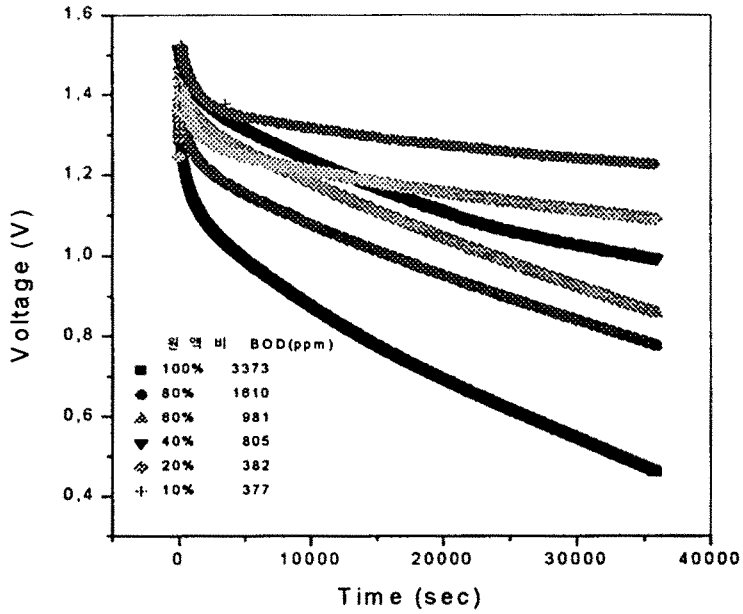


그림 35. 다양한 원액비로 제조한 BOD시료의 시간별 연속 측정 분포도

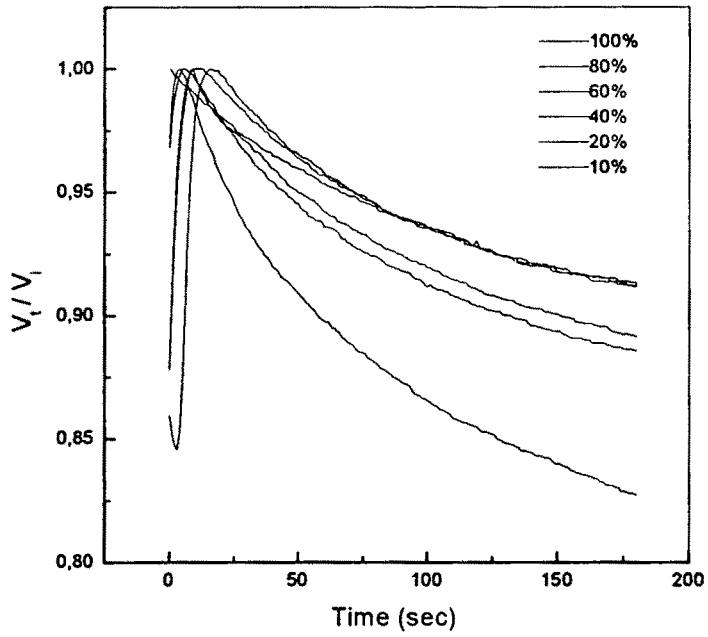


그림 36. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의
최대치 도달시간(rise time) 분포도

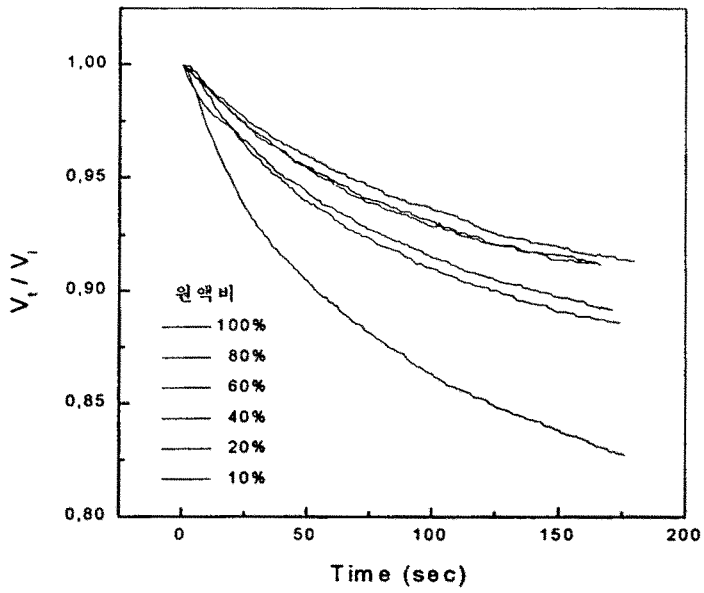


그림 37. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의
3분 이내의 DO 변화 분포도

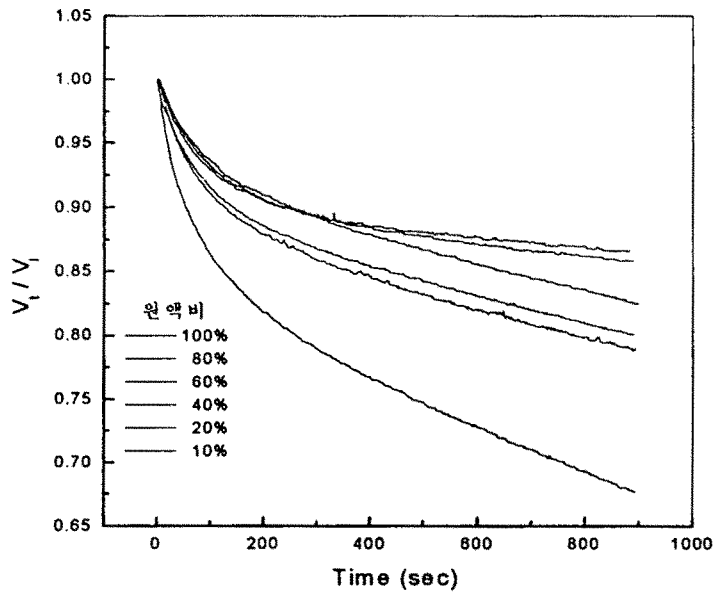


그림 38. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의
15분 이내의 DO 변화 시간 분포도

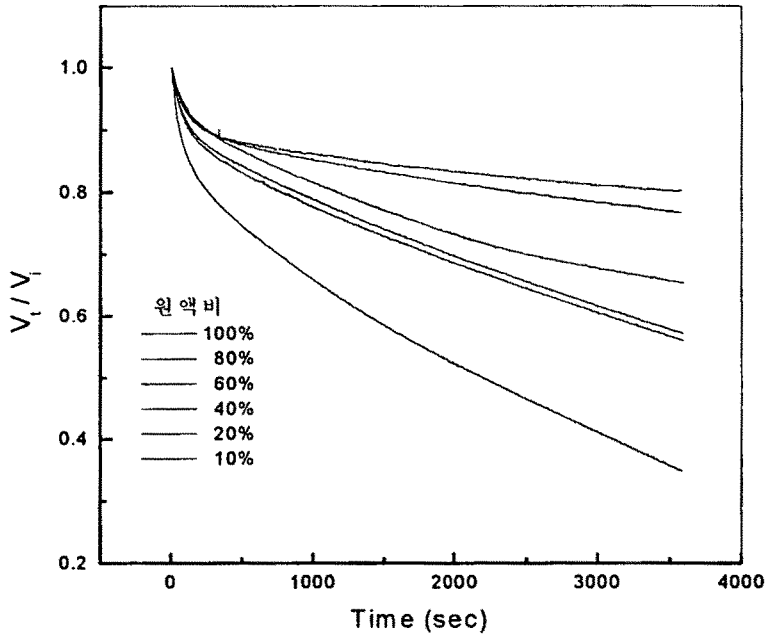


그림 39. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의
60분 이내의 DO 변화시간 분포도

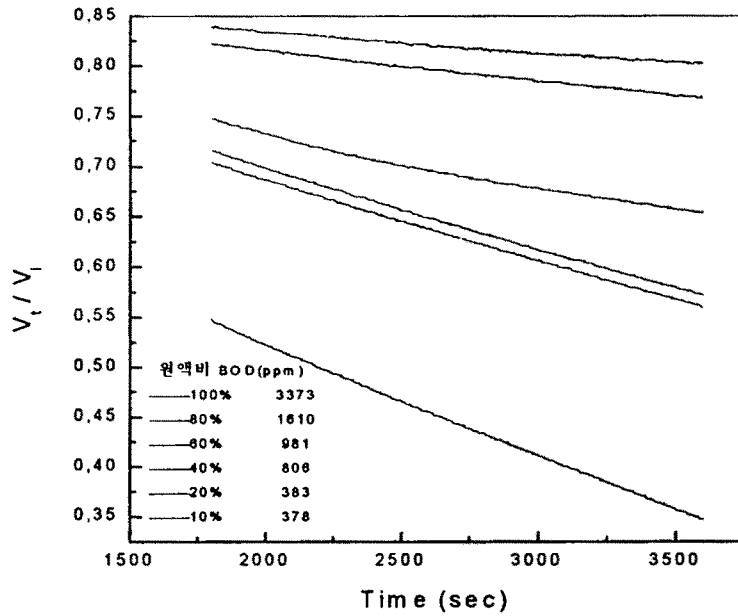


그림 40. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의 선형구간
(30~60분)내의 DO 변화시간 분포도

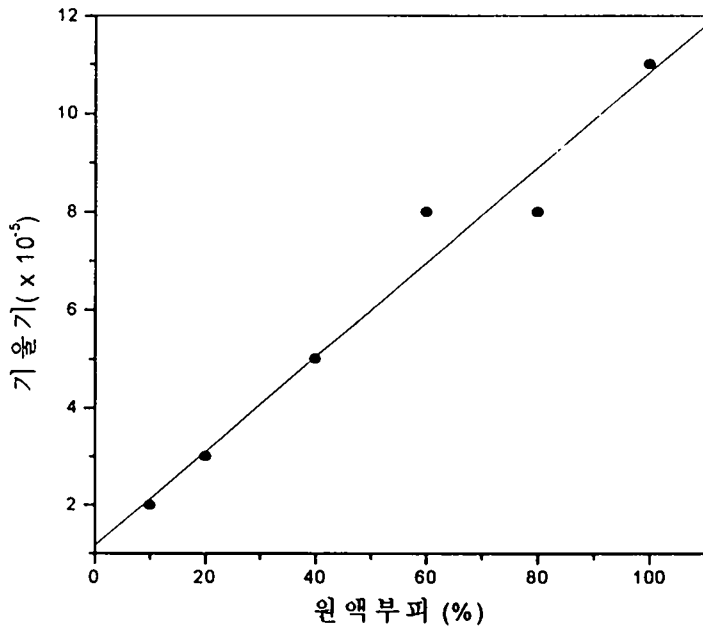


그림 41. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의 선형구간에서 DO 변화 기울기 및 원액 부피의 상관관계

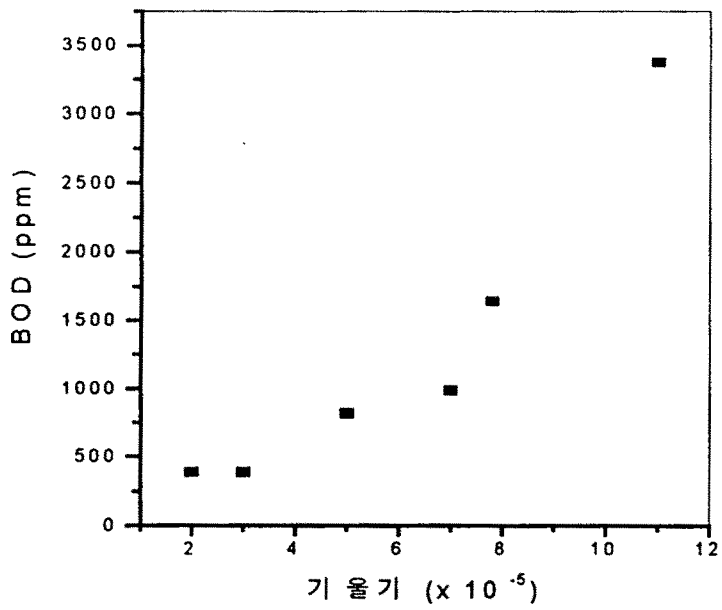


그림 42. 다양한 원액비로 제조한 BOD 시료의 선형구간에서 BOD 및 DO변화 기울기의 상관관계

제3절 축산폐수의 Oxygen Uptake Rate 계산

BOD는 BOD₅로서 DO 초기값과 DO 5일 값의 차이로 5일간 미생물에 의한 산소소비량을 측정하여 구한다. BOD₅값은 일반적으로 Winkler azide 변법과 전기화학적인 DO Meter를 이용하여 계측한다. DO Meter를 이용할 경우 센서에 의한 산소소모량도 BOD값에 영향을 주게되므로 실질적인 미생물만의 산소소모량을 측정하기 위해 다음과 같이 일정부피의 시료와 희석수를 혼합한 4가지 시료를 제조하였다.

시료 1. 멸균처리한 축산폐수(30) + 질소포화된 증류수(70)

시료 2. 멸균처리한 축산폐수(30) + 폭기된 증류수(70)

시료 3. 멸균처리 하지 않은 축산폐수 원액(30) + 폭기된 증류수(70)

시료 4. 폭기된 증류수(100)

사용된 축산폐수는 경기도 화성군 안녕리에 위치한 축산 농가의 돈사에서 채취하였으며 실험실과 거리는 20분 정도 소요되므로 이동 중의 미생물량의 변화는 없다고 가정하였다. 각 시료를 300 ml BOD병에 넣고 on-line 계측시스템에서 매초마다 한시간 동안 데이터를 수집한 결과를 그림 43에 나타내었다. 각 시료들은 고유의 시간에 따라 DO변화량을 나타내었으며 시료 1과 시료 4를 통하여 두시료의 DO 거동차(ΔDO)를 DO meter 자체의 전기화학적 영향에 의한 ΔDO 거동으로 확인하였다. 멸균처리한 시료 2와 멸균처리하지 않은 시료 3의 거동차 (ΔDO)는 DO센서 자체의 전기화학적 영향과 무관하게 생물폐수 중에 존재하는 미생물에 의한 순수한 DO 거동임을 확인하였다. 즉, 시료중에 존재하는 미생물에 의하여 소비된 산소농도임을 확

인하였다. 멸균처리한 시료 2와 멸균처리하지 않은 시료 3의 DO 차이인 ΔDO 거동의 재현성을 보기 위해 동일한 축산농가의 돈사 폐수처리조에서 일주일 간격으로 폐수를 채취하여 3회에 걸쳐 동일한 방법으로 실험하여, 그의 멸균처리하지 않은 시료의 DO 거동을 그림 44에 표시하였다. 멸균처리한 시료의 DO 거동은 그림 45과 같이 나타났으며, 이들의 DO 차이인 ΔDO 값을 그림 46에 나타내었다.

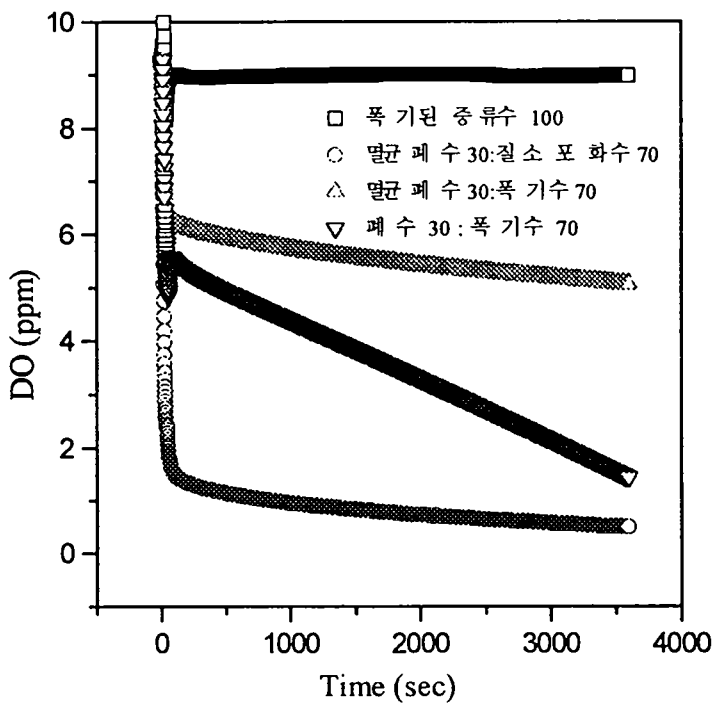


그림 43. 축산폐수 시료별 시간에 따른 DO 거동.

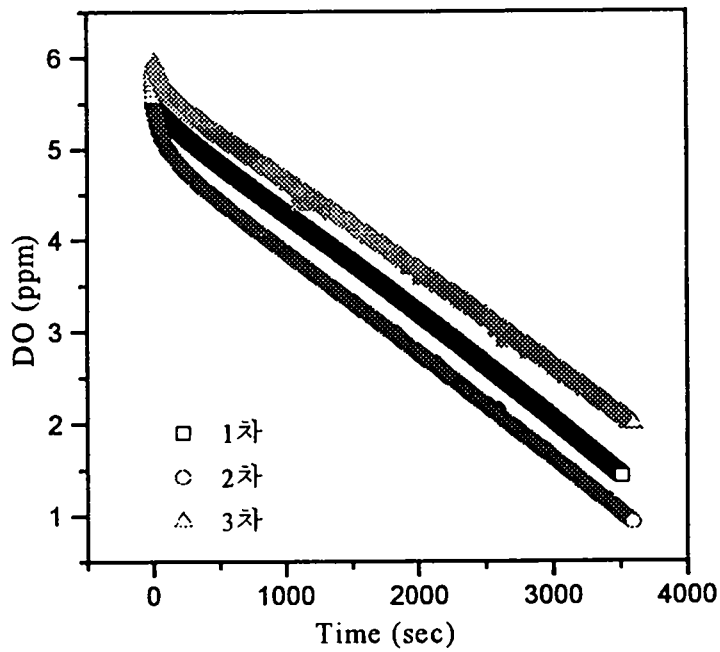


그림 44. 3차에 걸쳐 동일지점에서 일주일 간격으로 채취하여 평균처리하지않은 축산폐수 시료(축산폐수30 : 희석수70)의 시간에 따른 DO 거동.

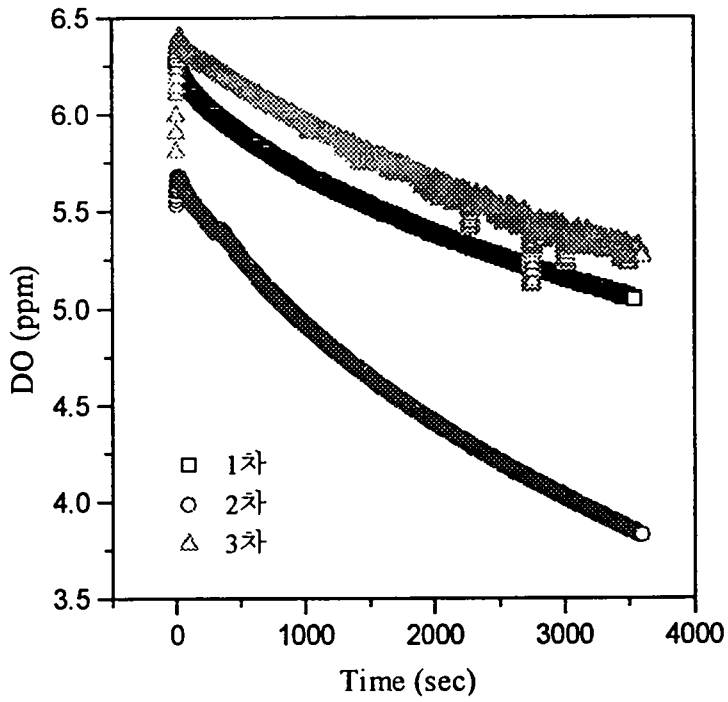


그림 45. 3차에 걸쳐 동일지점에서 일주일 간격으로 채취하여 평균처리한 축산폐수 시료(축산폐수30 : 희석수70)의 시간에 따른 DO 거동.

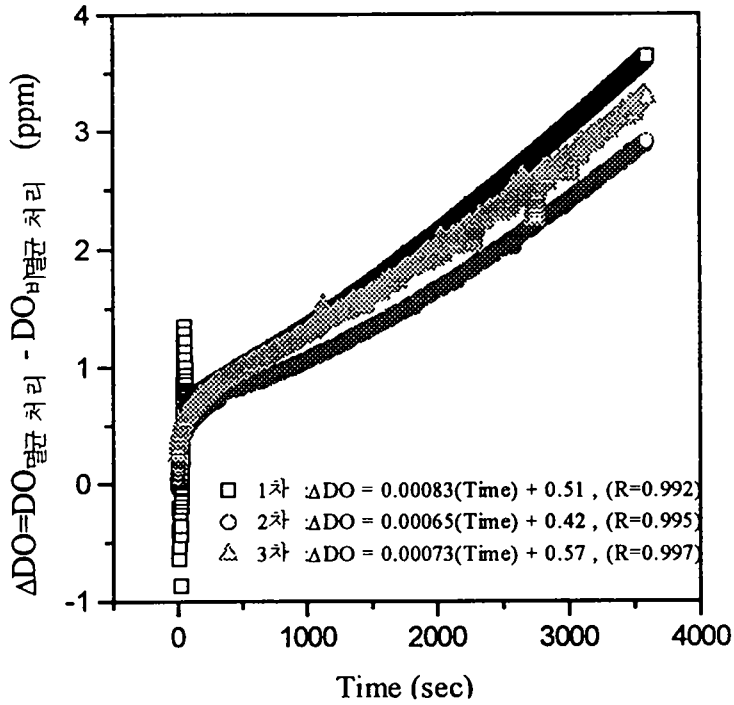


그림 46. 3차에 걸쳐 동일지점에서 일주일 간격으로 채취한 축산폐수 시료(축산폐수30 : 희석수70)의 평균처리 전후에 따른 DO거동 차이의 분포도.

이러한 결과를 미생물에 의한 산소소비속도, 즉 Oxygen Uptake Rate(OUR)로 나타내면,

$$OUR = \frac{d(\Delta DO)}{dt}$$

$$= Q_{O_2} \cdot X$$

이때,

ΔDO : 평균폐수와 비평균폐수의 DO 차이

Q_{O_2} : 단위시간당 미생물이 소모하는 산소량 (mg O_2 / g cell · sec)

X : 축산폐수에 들어 있는 미생물 농도 (g cell / ℓ)

t : 시간 (sec)

Q_{O_2} 및 X 가 1시간 이내의 측정기간 동안에 일정하다고 우선 가정한다면 OUR은 일정하다. 그러므로

$$OUR = -\frac{d(\Delta DO)}{dt} = Q_{O_2} \cdot X = Constant$$

그림 46에서 일정한 상수 OUR을 구하였으며 이는 동일한 지점의 돈사에서 배출되는 값으로서 평균할 때 OUR은 0.00074 mg O_2 / ℓ · sec 이었다. 이와 같이 미생물 만에 의한 산소소모량을 측정하여 DO계측시 영향을 주는 전기

화학적 산소소모 요인을 제거함으로써 정확한 BOD 측정 시스템에 접근할 수 있었다. 이러한 방법을 이용하여 축산폐수가 함유한 미생물만의 산소소모량을 측정함으로써 축산폐수의 BOD를 1시간 이내에 측정 가능한 시스템의 개발 가능성을 제시하였다. 본 연구결과는 한국특허 98-12589 “생물폐수의 생화학적 산소요구량 측정방법 및 이에 사용되는 장치”로 1998. 4. 9에 특허출원하였다.

제4절 축산폐수의 미생물 농도 계산

본 장 제3절의 식에서 Q_{O_2} 와 X 값이 한시간동안 일정하다고 가정하였다. Q_{O_2} 값은 X 값이 일정하면 일정한 관계로 축산폐수 중의 미생물 농도가 1시간 안에 변화하는 지를 측정함으로써 가정을 검정할 필요가 있다. 따라서 축산폐수가 함유한 미생물의 고유한 의 최적 흡수파장을 선정하였고 축산폐수 접종량별 배양액의 full range의 성장곡선을 측정하였으며, 온도별 성장곡선을 측정하여 온도에 따른 미생물의 생장을 검정하였다. 본 실험에 사용된 축산폐수와 동일한 축산폐수 내의 미생물을 LB broth media에 배양하였다. 최적 흡수파장을 선정하기 위해 UV-VIS Spectrophotometer(UV- 2401, Shimazu, Japan)를 이용하여 그림 47과 같은 방법으로 선정하였고 그림 48과 같이 미생물의 건조무게를 측정하였다. 그 결과 그림 49와 같이 미생물의 흡수파장은 560nm와 630nm에서 나타났으며 630nm를 최적흡수파장으로 선정하였다. 이를 이용하여 축산폐수 접종량별 배양액의 full range 성장곡선(0~144hr)의 전체 pattern(그림 50)을 확인하고 이를 토대로 축산폐수 배양액의 접종량과 온도보상을 위해 축산폐수 농도(5, 10, 20, 30, 40, 50%) 및 온도별(20, 37℃)성장곡선을 측정한 결과 그림 51 및 52와 같이 나타났다. 결과에서 보는 것과 같이 축산폐수의 농도에 따라 흡광도가 증가하였고 20℃와 37℃에서 모두 5~6시간 이후부터 미생물이 성장하기 시작하였다. 이러한 현상은 기존의 가정, 즉 1시간 이내의 일정한 X 값이란 가정을 증명할 뿐만 아니라 현장조건(37℃) 하에서도 위와 같은 가정이 성립된다는 것을 입증하였다.

위의 실험을 근거로 축산폐수 내에 존재하는 미생물 만을 순수하게 분리여과한 후 축산폐수 세포농도에 따른 표준곡선 및 건조무게와의 상관관계를 그림 48과 같은 방법으로 실험하여 그림 53 및 54에 각각의 결과를 도

시하였다. 따라서 축산폐수 내에는 평균 0.375 g/ℓ의 건조 미생물이 존재함을 알 수 있었다. 축산폐수의 종류, 채취장소, 기후조건 등에 따라 이같은 미생물의 농도가 다소 변동할 것으로 예상되지만, 본 기법을 도입한다면 그같은 변수 조건에 해당하는 건조 미생물의 농도를 산출할 수 있을 것으로 추정된다.

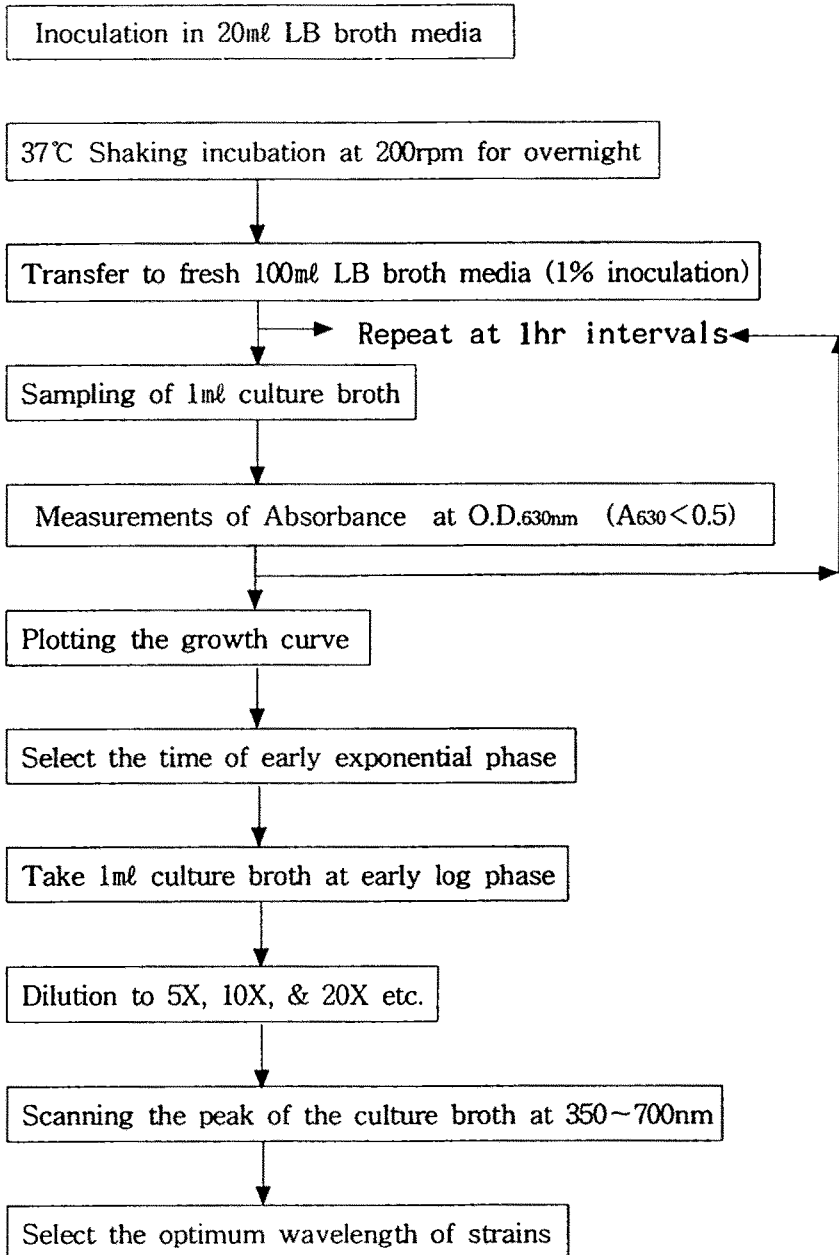


그림 47. Schematic diagram for determination of optimum wavelength in livestock wastewater.

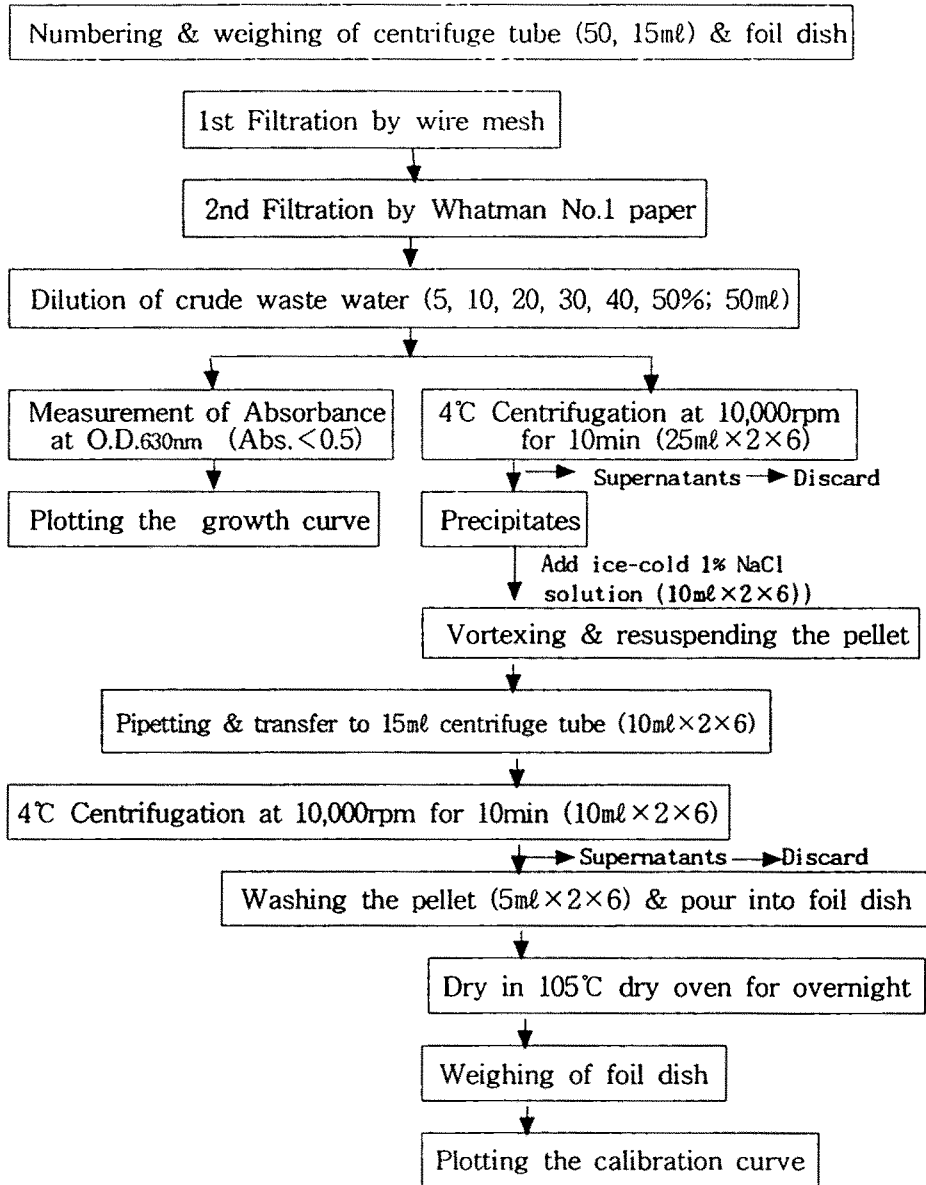


그림 48. Schematic diagram for determination of dry cell weights in livestock wastewater.

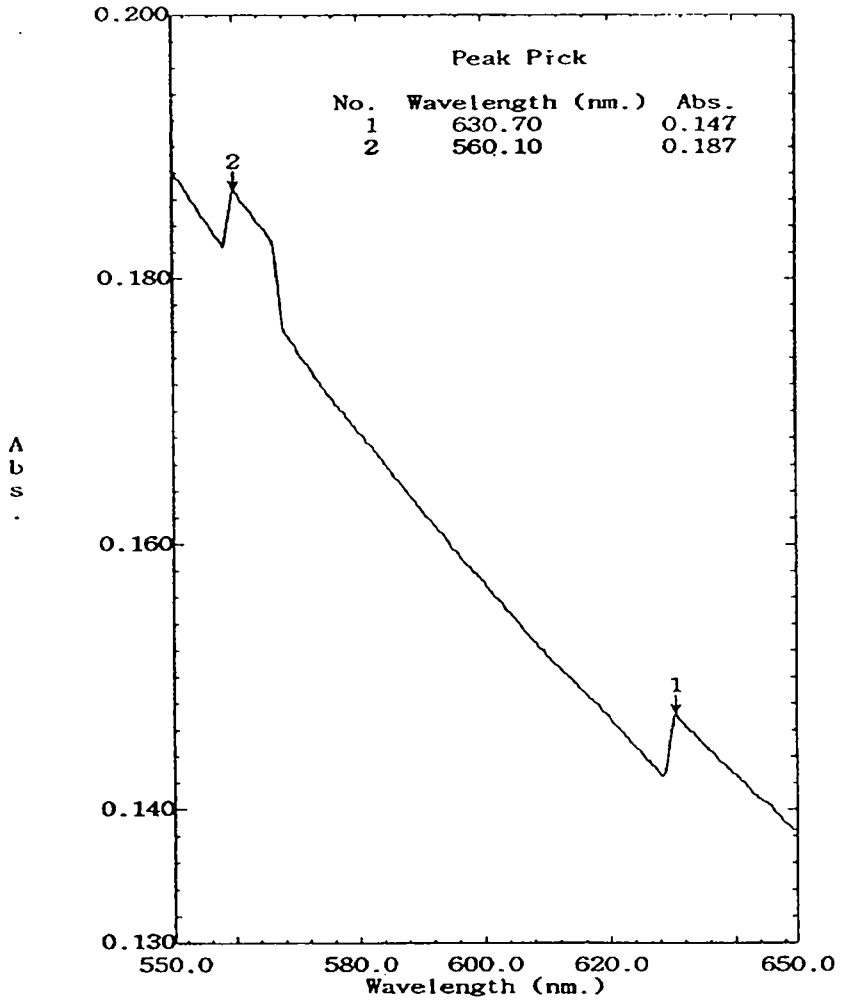


그림 49. The optimum wavelength of microorganism in livestock wastewater.

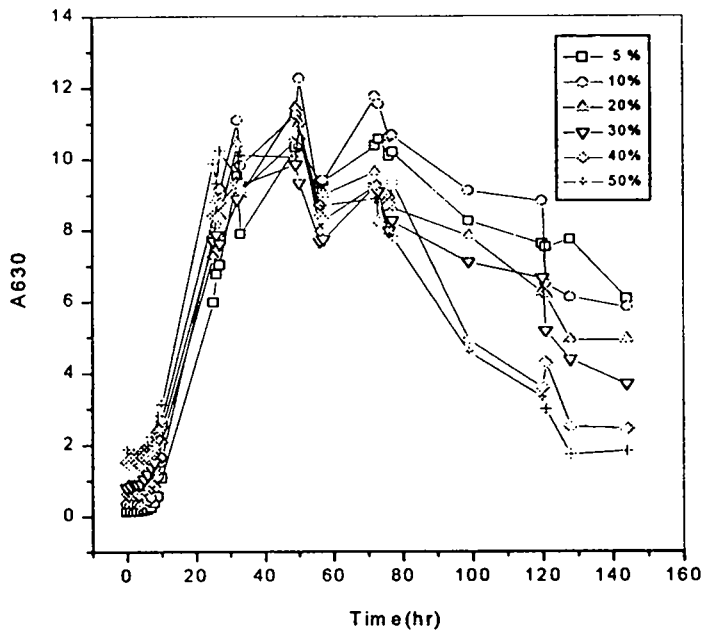


그림 50. The full range growth curve of microorganism in livestock wastewater for 144 hours at 20°C.

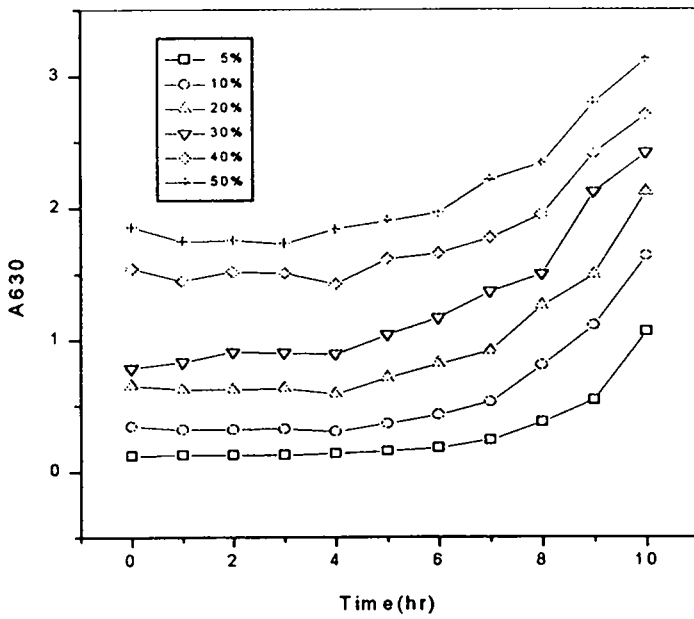


그림 51. The growth curve of microorganism in livestock wastewater for 10 hours at 20°C

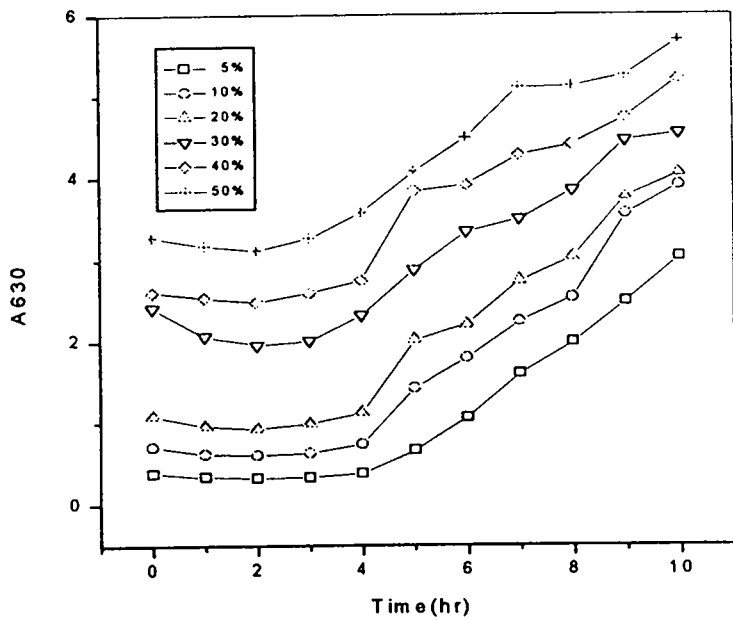


그림 52. The growth curve of microorganism in livestock wastewater at 37°C.

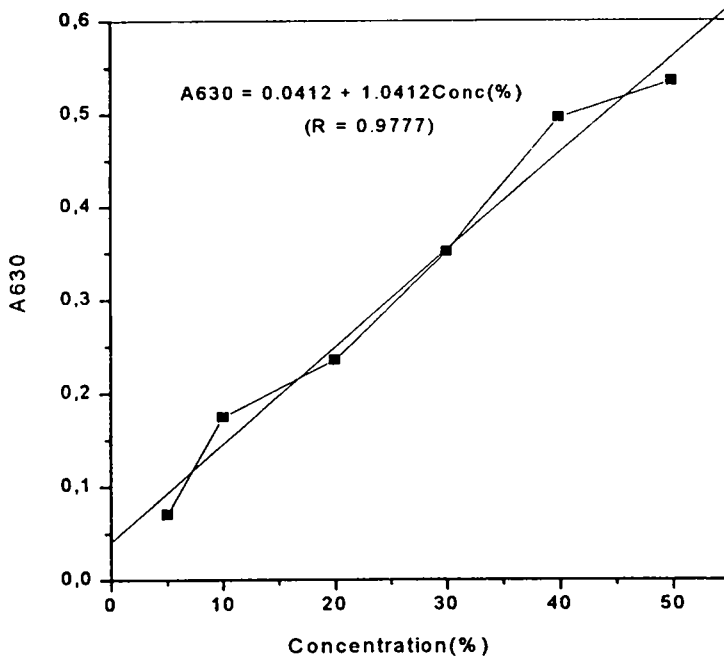


그림 53. The standard curve of microorganism in livestock wastewater.

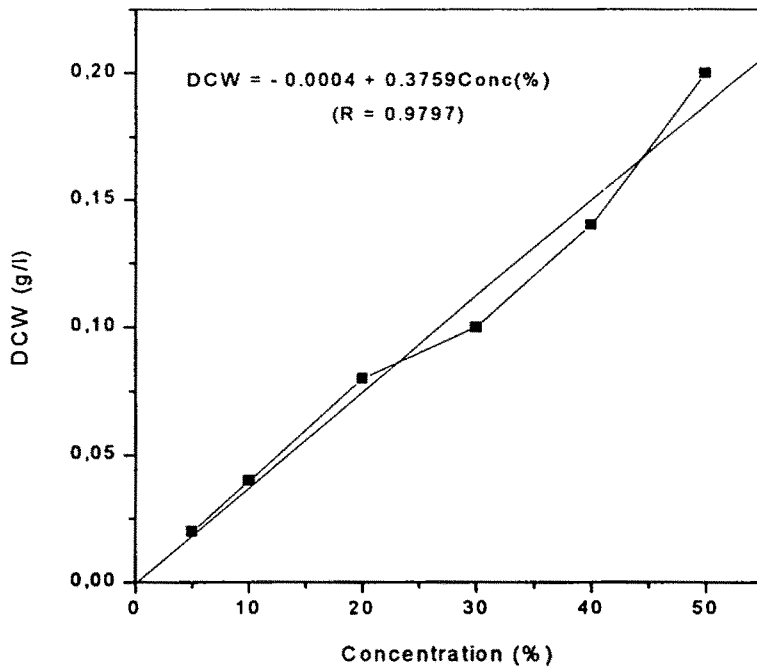


그림 54. The dry cell weights of microorganism in livestock wastewater.

제5절 BOD 측정용 구동모타 부착형 DO 센서 제작

기존의 BOD 측정 실험은 300ml BOD병에 magnetic bar를 삽입하고 교반기를 이용하여 혼합한다. 이러한 시스템은 magnetic bar에 의한 BOD병 바닥과의 마찰로 인하여 일정한 교반속도를 얻을 수가 없었다. 그림 55와 같이 세부 설계도면에 의거하여 제작한 그림 56에서 보는 것과 같이 새로이 고안된 시스템은 DO 센서 자체에 구동형 모터를 부착하여 BOD병 상층부에 위치시킴으로써 일정한 교반속도를 얻을 수가 있었다.

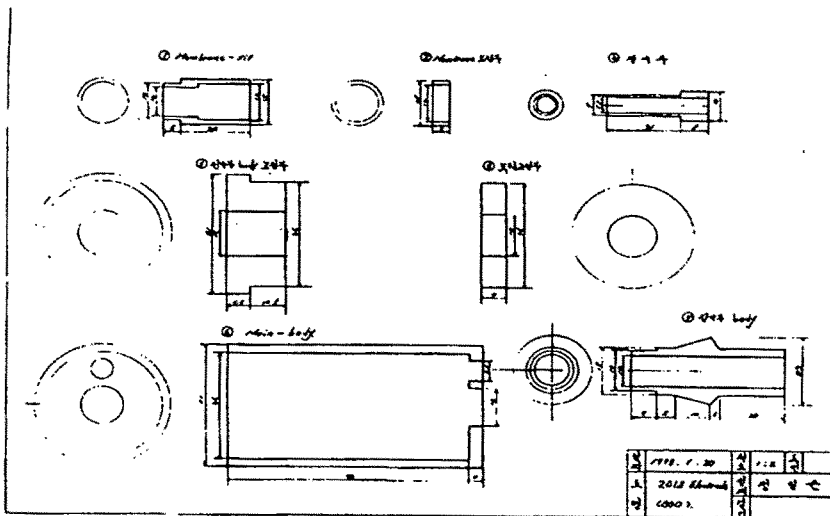


그림 55. BOD 측정용 센서의 세부 설계도면.

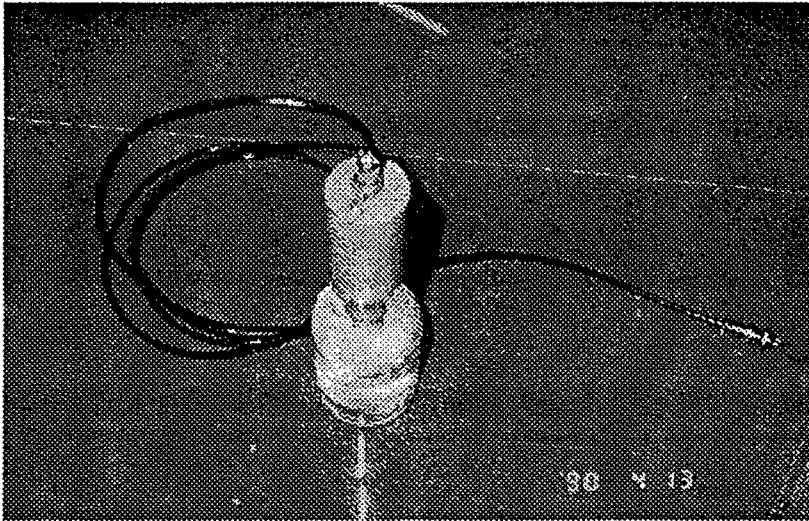


그림 56. 자체 개발한 BOD 측정용 구동모타 부착형 DO 센서.

제6절 축산폐수용 BOD 다성분 동시측정 시스템 개발

BOD 시스템을 package화 하기 위하여 여섯 개의 모터 구동형 DO 센서를 갖는 그림 57의 hexagonal DO 시스템을 제작하여 그림 58의 hexagonal 계측 시스템에 연결하여 측정하였다.

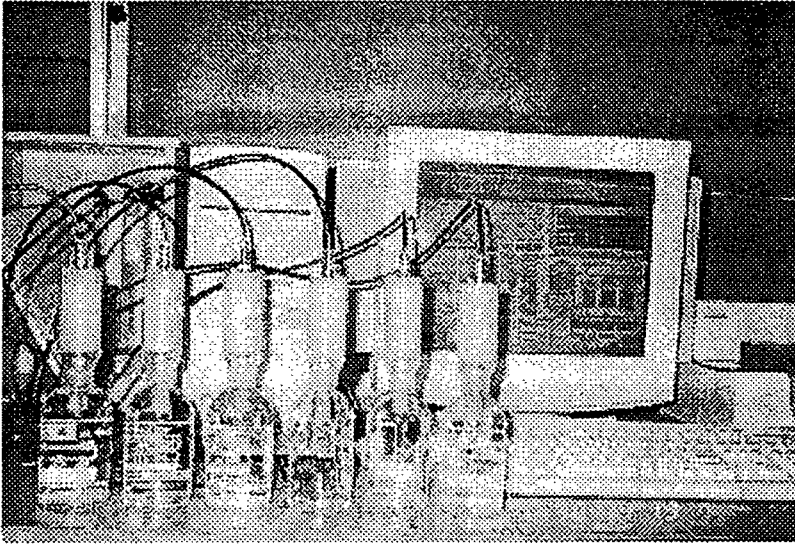


그림 57. 자체 구동형 센서를 6개 시료의 BOD병에 위치한 DO센서 시스템

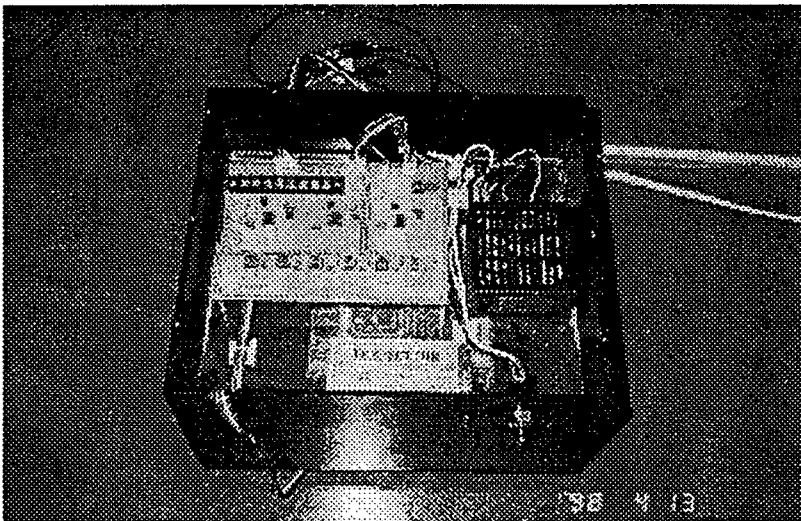


그림 58. 축산폐수 BOD 동시측정용 hexagonal 계측 시스템.

우선 센서의 안정성을 테스트하기 위해 같은 장소 및 온도 조건에서 6,000 초 이상으로 연속측정하였다. 그림 59, 60, 61은 순수질소, 순수공기, 질소50 및 공기50 혼합기체를 각각 폭기한 hexagonal 센서 시스템의 DO 거동을 나타내었다. 그림 59에서 보듯이 6개의 센서는 고유한 값을 무산소 조건에서도 나타내었는데 이는 전극 자체의 전기화학적 반응에 의한 요인으로 추정된다. 그림 60은 공기 조건에서의 각 전극별 DO 분포이다. 그림 61은 50%의 공기를 포화시킨 중류수의 DO 거동을 나타낸다. 따라서 hexagonal 시스템은 6개의 축산폐수 시료를 동시에 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

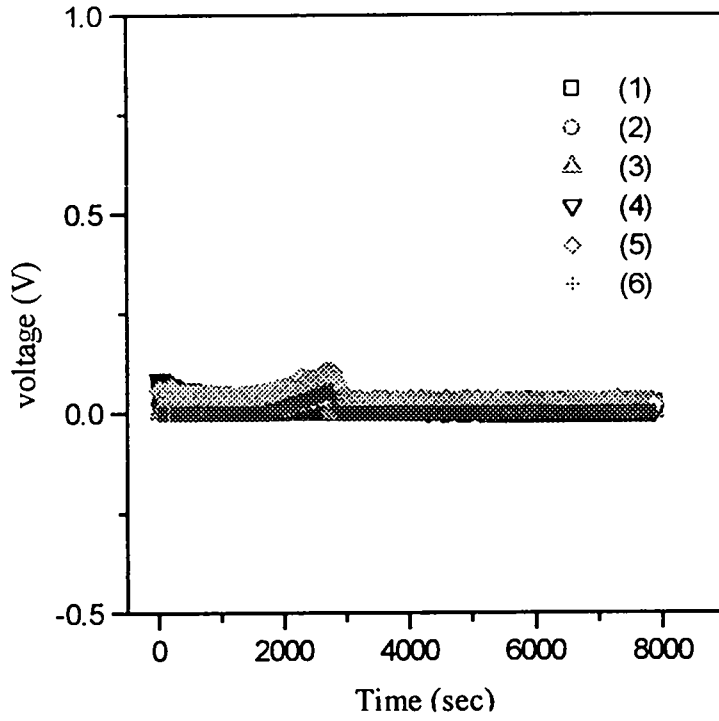


그림 59. 순수질소를 폭기한 중류수의 hexagonal 시스템 D0 거동

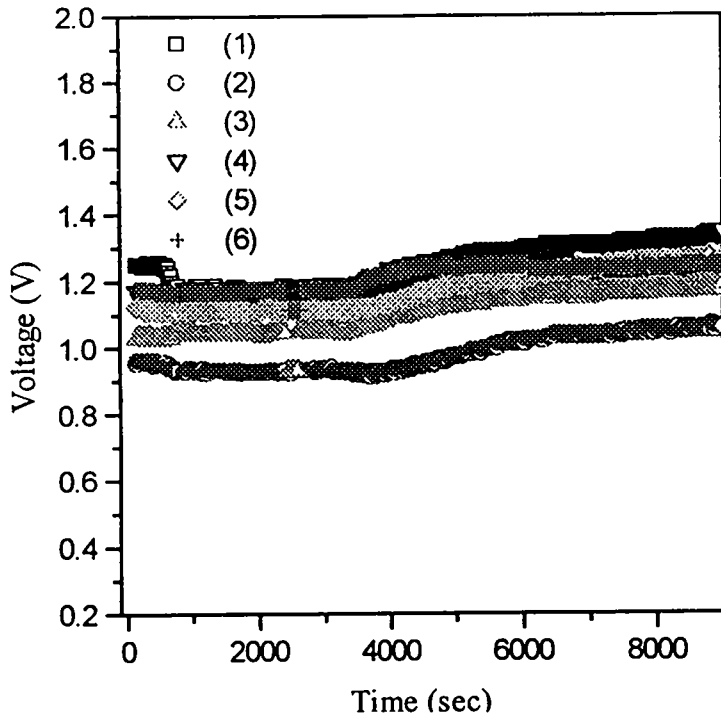


그림 60. 순수 공기로 폭기한 중류수의 hexagonal 시스템 D0거동

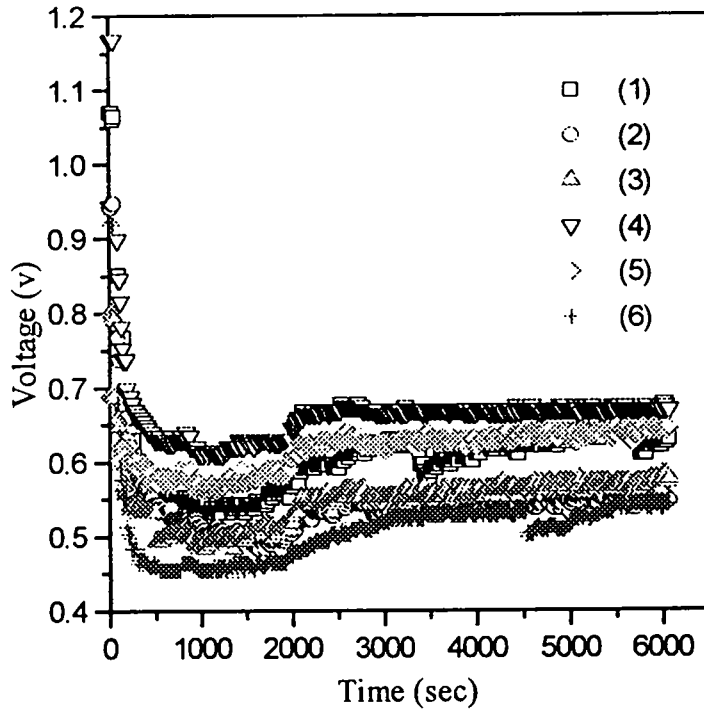


그림 61. 질소50 및 산소50으로 폭기한 증류수의 hexagonal 시스템 D0거동.

제7절 Hexagonal system을 이용한 축산폐수 BOD 연속 Monitoring 기술개발

기존의 모니터링 시스템은 1개 DO센서와 DO meter를 이용하여 측정하였다. 본 측정방법은 hexagonal system을 이용하고, DO센서 6개를 사용하여 컴퓨터로 data를 저장하였다. 축산폐수 전처리 공정은 다양한 BOD 농도의 시료를 제조하기 위하여 폐수원액을 질소기체로 포화시킨 증류수로 폐수원액 기준하여 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 제조하였다. 희석한 시료를 다시 공기로 폭기한 증류수로 50 : 50 희석함으로써 일정 시간동안 DO의 동정을 관찰 가능하게 하였다. 전처리 공정이 완료된 축산폐수 시료를 hexagonal system에 6개의 DO센서를 삽입하여 1시간동안 DO 거동을 측정하였다(그림 62). 희석비에 따라 각 시료를 121℃에서 30분간 멸균처리한 다음 동일 실험을 수행하였다(그림 63). 앞서 연구에서 언급되었듯이 멸균처리 전후에 나타난 DO 거동의 차이인 ΔDO 를 확인하면 순수한 미생물만이 소모하는 산소소모량을 산출할 수 있다. 비멸균 폐수의 DO 거동에서 멸균 폐수 DO거동과의 차이는 그림 64와 같았다. 가장 농도가 진한 경우인, 폐수원액을 폭기수와 50 : 50으로 희석한 시료가 140초 부근에서 0으로 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 그러므로 0에서 140초까지의 데이터를 그림 65에 상세표시하여 ΔDO 를 시간에 대해 미분($-d(\Delta DO/dt)$)한 후 최대값을 취하였다. 이는 곧 미생물에 의한 최대 산소소비속도 즉, Maximum Oxygen Uptake Rate (OUR)_{max} 이므로 상응하는 시료를 공정시험법인 Winkler azide 화 방법으로 BOD를 측정하여 각각 표 10에 나타내었다.

표 10. 축산폐수의 희석비에 따른 OUR_{max} 와 BOD_5 값.

희석비(%)	OUR_{max} ($mg\ O_2/s \cdot \ell$)	maximum Q_{O_2} ($mg\ O_2 /s \cdot g\ cell$)	BOD_5 (ppm) (Winkler법)
10	0.008 (82 sec)	0.213	423
20	0.020 (37 sec)	0.267	916
40	0.030 (41 sec)	0.200	1408
60	0.073 (8 sec)	0.324	2390
80	0.017 (14 sec)	0.057	-
100	0.077 (9 sec)	0.205	-
평균		0.210	-

그림 54에서 구한 평균 미생물 농도(X)는 $0.375\ g\ cell/\ell$ 이었으므로 $(-d(\Delta DO)/dt)_{max}/X$ 에서 계산한 결과 maximum Q_{O_2} 평균값은 $0.21\ mg\ O_2/s \cdot g\ cell$ 이었다.

표 10에서 얻은 데이터를 이용하여 $(-d(\Delta DO)/dt)_{max}$ 즉 OUR_{max} 와 BOD_5 값의 상관관계를 그림 66에 도시하면 높은($R=99.86\%$) 선형성을 나타내었다. 이를 calibration curve로 사용하면 주어진 조건에서 미지 농도 축산폐수의 OUR_{max} 를 측정하여 intrapolation 함으로써 그의 BOD 를 구할 수 있다. 따라서 축산폐수의 BOD 를 세계 최초로 불과 수십초 이내에 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

본 연구결과는 금명간 미국 및 일본 등에 세계특허로 출원할 예정이다. 그러나 최종 결론에 이르기 위하여 수차에 걸친 재현성 실험이 요구된다. 또한 시스템의 소형화에 따른 300ml 시료 규모의 축소 및 최적 희석비의 선정을 위한 계속적 연구와 축산폐수 현장 적용에 따른 시스템의 단순화 등 상당 부분의 후속적 연구가 추가적으로 요구된다.

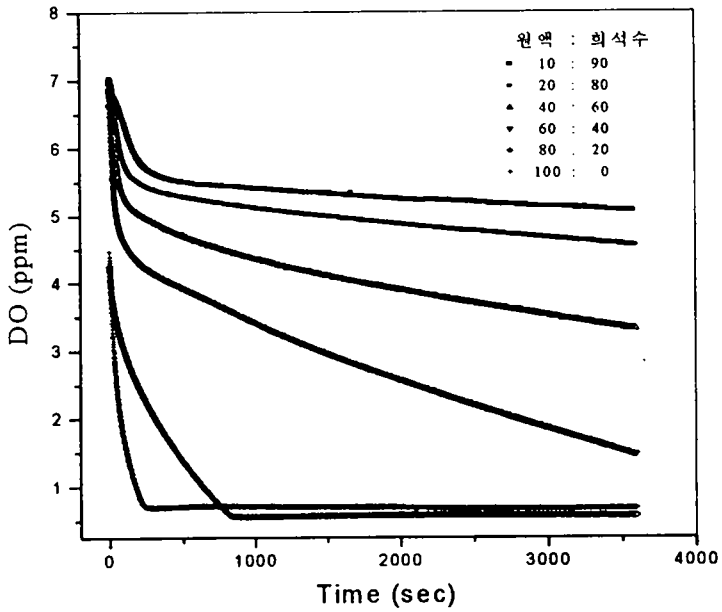


그림 62. 멸균처리하지 않은 축산폐수의 시간에 따른 DO 거동 분포도. (축산폐수 50 : 폭기수 50)

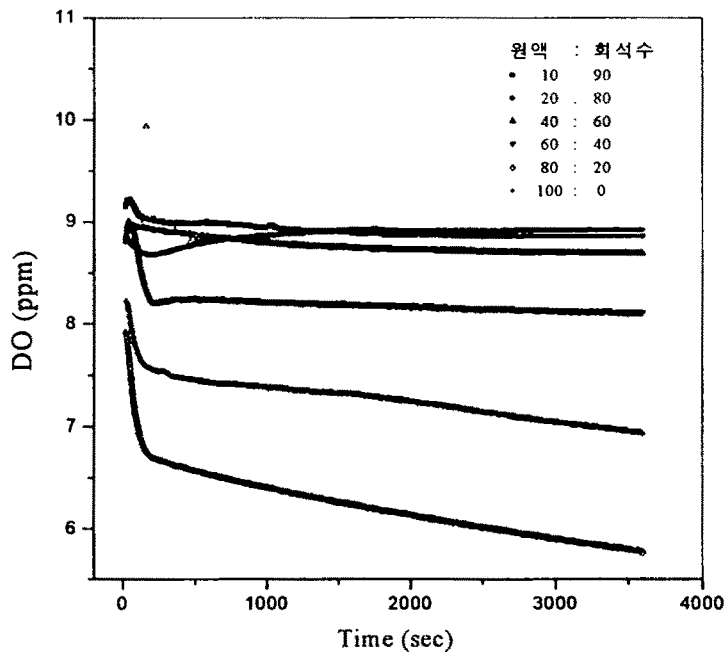


그림 63. 멸균처리한 축산폐수의 시간에 따른 DO거동 분포도. (축산폐수 50 : 포기수 50)

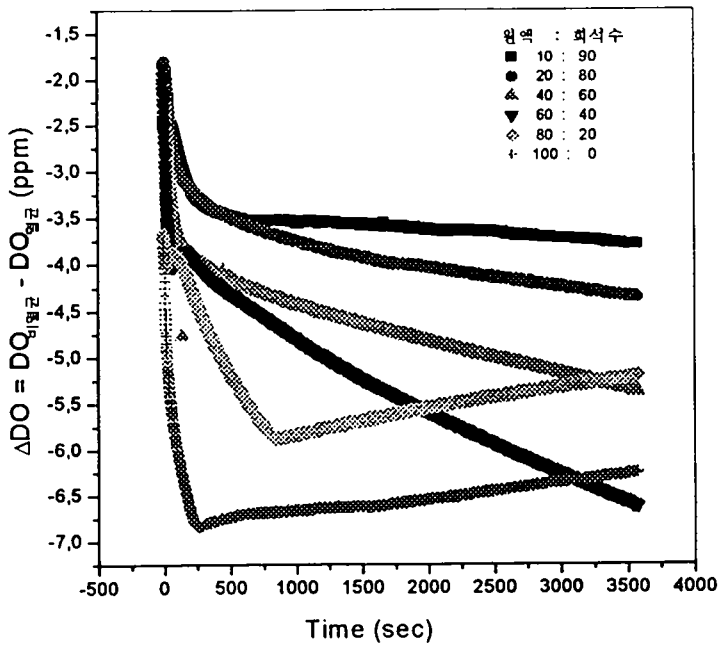


그림 64. 멸균처리 전후에 나타난 DO거동 차이의 분포도. (축산폐수 50 : 폭기수 50)

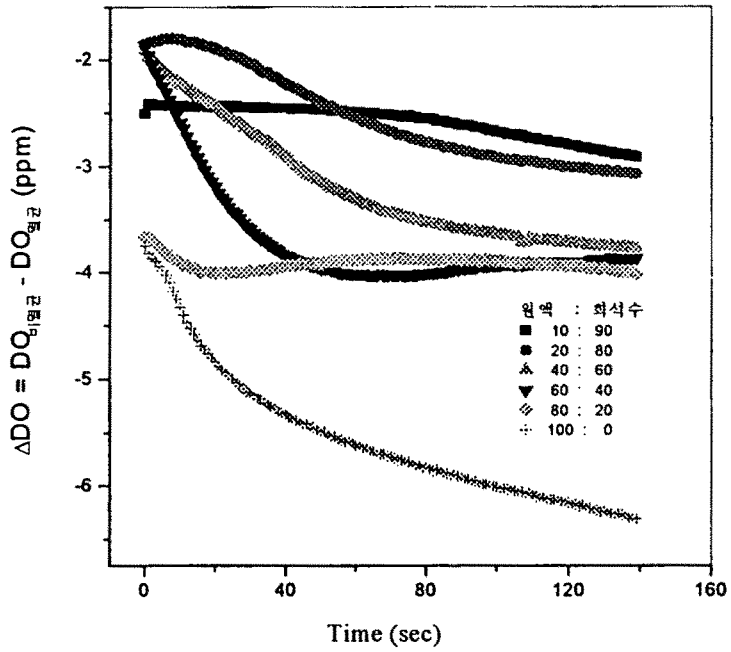


그림 65. 멸균처리 전후에 나타난 DO거동(0~140sec) 차이의 분포도. (축산폐수 50 : 폭기수 50)

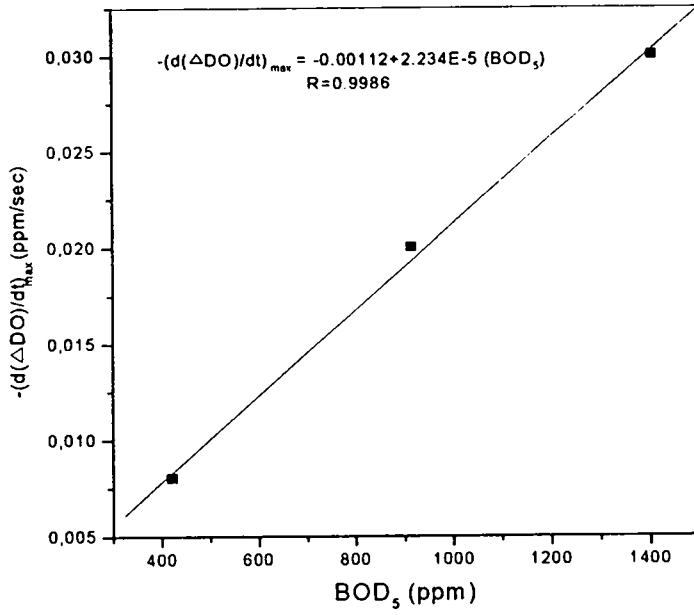


그림 66. $-(d(\Delta DO)/dt)_{\max}$ 와 BOD₅ 값의 상관관계