

최 종  
연구보고서

GOVP1199712637

담수양어시설의 설계 및 종합관리  
시스템의 개발

Fresh Water Aquaculture System Design and Intergrated  
Management System Development

연구기관  
부 경 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “담수양어시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발”과제 (세부과제 “수처리시스템 개발, 시설물 종합설계시스템 개발, 종합관리시스템 개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 11. 20



주관연구기관명 : 부경대학교  
총괄연구책임자 : 이 병 헌  
세부과제책임자 : 이 종 섭  
세부과제책임자 : 김 상 봉  
연구원 : 조 규 대, 정 병 용  
김 용 직, 김 종 화  
이 병 결, 홍 철 훈  
박 일 흙, 김 성 근  
신 민 생

# 요 약 문

## I. 제목

담수양어 시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

### 1. 제1세부과제 : 수처리시스템 개발

양식결과 생성되는 어류의 노폐물이나 미섭취되고 남은 사료분은 고농도의 영양분을 함유하고 있으나 미처리된 상태로 처분하고 있어 또다른 환경오염원으로 부각됨에 따라 그에 따른 처리방안이 요구된다. 또한 기존의 순환여과식 양식시스템에서 여과조가 차지하는 비율이 매우 커서 사육량을 한정시키는 문제점이 있었으며 시스템 운전조건등이 아직 최적화 되지 않은 상태여서 경험에 의한 운전이 이루어지고 있다. 따라서, 양어장 내부의 순환수 처리시스템을 최적화하여 양어장으로부터 발생하는 폐수와 슬러지를 농업에 이용할 수 있는 수처리 시스템의 개발이 절실히 요구된다.

### 2. 제2세부과제 : 시설물 종합설계시스템 개발

순환여과식 사육수조에서 발생하는 각종 노폐물의 효과적인 제거를 위하여 사육수조와 침전수조의 최적설계를 위한 수리학적 연구를 통하여 설계지침을 마련하고 에너지 절약을 위한 양수펌프의 양정고를 낮추기 위한 설계방안을 제시한다. 본 연구에서는 사육수조의 설계와 침전수조의 설계를 위한 기본적인 설계지침, 시스템의 구성방법, 설계에 대한 구체적인 방법 등을 다룬다. 따라서 본 연구의 결과는 순환여과식의 양어시설의 수처리 시스템을 제외한 종합설계시스템을 구성하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 3. 제3세부과제 : 종합관리시스템 개발

첨단 모니터링 기술을 1차산업적인 양식산업에 적용하여 2차산업화할 수 있는 방안을 제시함과 동시에 경영적인 측면에서는 무인화와 성력화를 실현하여 고부가 가치성이 있는 산업으로 육성하는 데 연구의 목적이 있다. 일본이나 노르웨이와 같은 양식 분야의 선진국에서는 양식장 자동화를 위한 많은 첨단 기자재가 개발되어 활용되고 있다. 이에 반해 우리나라에서는 노동집약적으로 행해지고 있는 실정이며, 자동화에 대한 인식도 낮은 편이라 할 수 있다.

우리나라 양식업은 1960년대 후반부터 천해 양식업에 대한 본격적인 투자를 시작으로 해면, 내수면 양식 모두 눈부신 발전을 거듭, 점차 2차 산업화 형식으로 전환되고 있으며, 이에 따라 첨단 양식 기자재가 폭넓게 활용되고 있다. 그러나 국내에서 사용되고 있는 양식 기자재는 일본 등 양식 선진국에서 개발, 변용된 것을 이용함으로써 사후 관리는 물론 독창적인 첨단 기술개발에 저해요인이 되고 있다. 따라서 양식 선진국의 첨단 기자재를 그대로 사용하기 보다는 우리나라의 양식 실정에 알맞게 개량한 후 생산업자에게 공급하는 것도 대단히 중요한 일이며, 우리의 독자적인 기술로 첨단기자재를 개발하여 현장에도 이용 가능케 하고, 후발 양식국가의 수출에 대한 기대를 모으는 것도 중요하다고 하지 않을 수 없다.

최근 들어 해면, 내수면을 막론하고 생활 하수의 유입, 사료나 노폐물의 축적등 각종 요인들에 의해 양식장에서의 수질오염과 환경조건이 날로 악화되고 있다. 이와 함께 적조, 청조, 전염성 어병의 발생, 냉수유입 등이 빈번해짐에 따라 양식 환경조절에 이용되는 기기류의 사용이 불가피하게 되었다.

양식장의 사육조는 자연환경에 비해 고밀도의 어류가 사육되고 있음으로 인하여 좋지 못한 환경 요인을 가지고 있을 가능성이 많다. 특히 온도와 수질등은 양식장의 생산성 향상에 커다란 영향을 미친다. 뿐만 아니라 산소량, pH 등도 어류의 성장과정에 지대한 영향을 미치며, 특히 사육관리시 조그마한 실수로 인해 어류의 대량 폐사를 유발하는 경우가 허다하다. 이에 따라 양식장의 자동화는 인건비 절감뿐 아니라 변화

하는 양식장의 환경을 적정한 수준으로 관리하는 데 매우 효과적이며, 실시간으로 양식장의 물리적 환경변화를 감시 가능케 하는데 기여하게 된다. 그러므로 양식장에 있어 적절한 온도와 양질의 수질로 유지 관리되는 적정수준의 환경을 제공하기 위해 양어장 자동화 시스템과 자동 모니터링 시스템의 개발이 요구되고 있다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

#### 1. 수처리 시스템의 개발

순환여과식 양식시스템에서 어류의 대사작용 및 미섭취된 사료로부터 생산되는 암모니아, 아질산, 질산등은 사육조의 어류에게 독성을 준다. 본 연구는 생물막공법과 유동층공법을 이용하여 질산화와 탈질산화를 실험하였으며 양어장에서 배출되는 슬러지의 재활용방안으로 비료효과를 검토·실험하여 순환식 양어장 시스템을 보다 효율적이고 경제적이며 안전하게 운영하고자 연구를 수행하였다.

순환수처리 실험은 실험실규모의 실험, Pilot Plant 실험을 통하여 질산화 및 유기물제거 실험과 실험실규모의 탈질실험을 수행하였다. 적용된 생물막공법은 고정생물막 공법과 유동층생물막 공법을 적용하였다. 고정생물막 공법은 직접포기방식과 간접포기방식으로 구분하였고, 사용된 미디어는 Saran 미디어, Bio-Ceramic 미디어, Ring 미디어, Plat 미디어, Saran + Yugrot 미디어 등을 사용하였다. 유동층 생물막 공법에 적용된 미디어는 활성탄미디어와 페타이어 미디어를 이용하였다. 실험실 규모의 탈질 실험은 활성탄을 미디어로 한 2상 유동층 공법을 적용하였다. 수처리 장치에 대한 연구는 수리학적 부하변동과 오염부하량 변화에 따른 각 반응조의 수처리특성을 고찰하였다. 양어장 슬러지의 비료효과를 확인하기 위해 고추, 토마토 및 페튜니아 공정묘의 생장반응 및 화분용 배지에서의 페튜니아 식물의 생장반응을 조사하였다.

## 2. 제2세부과제 : 시설물 종합설계시스템 개발

순환여과식 양식시설의 중요한 구성요소인 사육수조와 노폐물배출장치 및 침전수조의 수리학적 최적설계와 공정관리의 단순함과 용이함 그리고 경제성 있는 설계를 위하여 기존 연구결과를 검토하고 문제점을 파악한 후 사육수조 및 침전수조의 설계에 영향을 미치는 설계인자를 검토하였다. 검토방법으로서는 수리모형실험, 수치모형실험 및 이론적인 검토를 통하여 새로운 사육수조와 침전수조 모델을 제시하였다. 그리고, 본 연구에서 제안하는 시스템의 공정관리방안을 제시하고, 본 시설의 초기 건설비와 유지관리비를 산정하여 경제성여부를 검토한다.

## 3. 제3세부과제 : 종합관리시스템 개발

본 연구에서는 양식장 감시 및 자동화를 위한 시스템을 마이크로프로세서와 퍼스날 컴퓨터를 이용하여 개발하였으며, 실험을 통해 그 유효성을 검증한 후, 실제 양어장 시설 2곳(대천수고와 부경대 양어장)에 설치하여 현재 사용중에 있다. 본 시스템에서는 수위, 온도, pH, 산소량 등이 각 수조에 설치된 원칩 마이크로프로세서를 통해 신호 처리되어 PC 모니터링 컴퓨터에서 실시간으로 감시되도록 하였으며, 갑작스런 환경변화나 각종 비상사태에 대비하고 수조의 물리적 환경이 적정 수준으로 조절 제어 되도록 개발하였다. 특히 주어지는 제어 조건에 따라 사료공급 시스템이 제어 관리되도록 하였으며, 또한 영상 처리 시스템의 개념을 도입하여 양식장 주변환경이 CCD 카메라를 통해 감시되는 기능과 함께 어떤 특정한 대상물의 동작을 해석할 수 있는 시스템을 개발한 결과를 보이고 있다. 주된 연구내용으로는, 1차년도의 실험수조, 2차년도의 파이롯 플랜트 및 3차년도의 현장 실시시스템의 설치에 의해 연구 개발된 통합 관리 시스템을 운용하면서 발생하는 문제점의 개선 및 보완 연구를 수행함에 있다. 구체적인 연구내용으로서는, 첫째 근거리 또는 원거리에서 수조환경과 관련된 물리적 데이터를 송수신할 수 있는 하드웨어 인터페이스 및 단일칩 마이크로프로세서의 개

발, 둘째 다점 데이터 송수신용 RS-232C 및 RS-422 소프트웨어의 개발, 셋째 Window용 실시간 프로그램 패키지 개발, 넷째 전화선을 이용한 원거리 데이터 통신용 하드웨어 및 소프트웨어의 개발, 다섯째 비상 시스템의 실험적 연구, 여섯째 비전 시스템과 모니터링 시스템과의 결합이 있다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 제1세부과제 : 수처리시스템 개발

순환수처리 기술로 침지식 생물막 공법과 유동층 생물막 공법을 적용한 결과 기존의 생물막 공법보다 개선된 결과를 얻었고 기존의 수처리 시스템에서 문제점으로 남아있던 질산성 질소의 제거를 위한 유동층 탈질소화법도 제시 하였다. 양어장 슬러지의 작물비료효과도 연구하여 재활용방안이 제기되었다.

### 2. 제2세부과제 : 시설물 종합설계시스템 개발

순환여과식 양어시설의 종합설계시스템과 관련하여 사육수조의 설계인자를 도출하고 수조의 평면현상과 단면현상 및 수조내의 물 순환장치에 따른 수조내의 유동구조를 정량적으로 파악하기 위한 수리모형 실험결과와 수치모델의 적용결과를 제시하였다. 본 연구결과로부터 사육수조의 설계시에 시행착오를 거치지 않고 안전하고 효과적으로 설계할 수 있는 기초자료를 얻을 수 있다. 사육수조로부터 발생하는 노폐물의 체류시간을 최소화할 수 있는 노폐물배출장치를 제시하고 수리모형 실험결과로부터 그 적용성을 확인하였다. 침전수조의 설계에 있어서 공정관리가 단순하고 경제적이고 효율적인 plate형의 침전수조모델을 제시하고, 이러한 침전수조에 의하여 노폐물의 입경이 100  $\mu m$  정도까지의 노폐물까지 침전시켜 제거할 수 있음을 보였다.

본 연구개발결과 시설물 종합설계의 최적시스템을 제시하여 실제 현지에서 안전하고 경제적인 설계에 활용될 수 있을 것으로 본다.

### 3. 제3세부과제 : 종합관리시스템 개발

퍼스널 컴퓨터와 8096 마이크로프로세서를 이용하여 양어장 수조의 환경을 제어, 감시하는 자동화 시스템을 개발하여, 파이롯 플랜트와 실시스템을 대상으로하여 실험을 통해, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ▶ 고비용, 고임용 시대를 맞아 양어장의 경영합리화를 구축할 수 있다.
- ▶ 본 연구에서 개발한 시스템은 기존의 PLC 자동화 장치에 비해 안정성과 유연성면에서 우수하다.
- ▶ Dual개념을 사용하여 타 시스템의 감시도 병행함으로써 시스템의 이상 상태 발생에 대한 대처 능력을 부여하였다.



## SUMMARY

### Fresh Water Aquaculture System Design and Integrated Management System Development

#### I. Water Treatment System Development

The accumulation of the nitrate and nitrite, which were produced by the fish's metabolism and unconsumed food, have very injurious affects to livers in the rearing tank of the recycling aquaculture system. This study was researched about process for nitrification and denitrofication by using biofilter and fludized bed reactor , and we tried to become more effective, economical, safe system than conveniently operating method by testing character about manor effectiveness for reusing of sludge put out from aquaculture. The study about recycling water treatment was performed on both the nitrification and organic removal by operating the lab scale and pilot plant and the denitrification by lab scale. At this time, the biofilter reactor was a fixed bad and a fludized bed process. The fixed biological reactor was divided with two processes of directed and indirected aeration, of which media was bio-ceramic, ring, plat and saran plus yogurt. The media of fludized bed reactor was activated carbon and an crushed waste tire. The study about equipment of water treatment was put on character

of each reactor according to variable loading rates of hydraulic and pollutant material. And conducted to investigate the affect of pepper, tomato and petunia growth by aquaculture waste sludge contents. And it proved the effective results about pepper, tomato and petunia growth by aquaculture waste sludge contents. The study about Ozonation of aquaculture water was performed with Tilapia rearing water and Eel rearing water. The experment of microfiltration to the aquaculture water was performed.

## II. Comprehensive Design System Development for the Closed Aquaculture System

A hydraulic optimum designs of the rearing basins and the settling tank in the closed aquaculture system, which is important for the effective removals of the sludge caused in the system, was studied. A comprehensive design system which is favorable in the process control and the economic viewpoints was discussed. To determine the optimum designs of the system, a series of the hydraulic model experiments, the numerical model experiments and the theoretical analysis were used. Then some important design factors of the rearing basins were suggested and the effects of the design factors which exerts an important influence upon to the flow structure of the basins, were analyzed quantitatively. A simple sludge discharge tank which can minimize the residence time of the sludge caused in the rearing basins is proposed, then the field applicability was verified through the hydraulic experiments. A plate

type settling tank model which can settle the fine grained sludge of  $100\mu\text{m}$  order was proposed. Finally, the optimum design model of the comprehensive design for the closed aquaculture system was proposed, and the process control and the commercial applicability were discussed.

### III. Total Management System Development for the Closed Aquaculture System

This research applies the advanced monitoring technology to fresh water aquaculture industry so that the aquaculture will be changed to the secondary industry from the primary industry and can produce high added-value products.

The advanced countries in aquaculture such as Japan and Norway have developed and used many kinds of high technology equipments for aquacage automation, while Korean aquaculture is still depending on high labor intensity and acknowledge for automation is not widespread.

In Korea, aquaculture industry in shallow sea began in the late 1960s. Seawater and inland water aquaculture industries are remarkably expanded and those are changing from the primary industry to the secondary industry. According to the industrialization the advanced aquaculture equipments are going to applying to wide fields. However, the independent technology development of the automation devices has been delayed by using as it is or modified equipments made in advanced countries such as Japan, Norway, etc., and also this makes hard to get the service in order to repair the broken system. In stead of using the imported instruments as it is, after improving of

the equipments which are fitted to our circumstance suppling them to domestic aquaculture industries is very interesting thing. Furthermore, also the following facts are very important : we develop the advanced instruments based on ourself technology, make use them to the practical plant and in near future we expect to export them to the undeveloped countries.

Nowdays, the water quality is getting worse because of an inflow of living sewage, accumulation of feed and waste matter etc. as well as a red tide, inflex of cool water, and an infectious disease are bruing up more frequently. According to these problems, an environment control and monitoring system becomes essential one to get the high productivity aquacages.

Aquarium is apt to have bad envirionmental conditions because so many fishes are fed in very small space relatively. Especially DO and temperature values have an importatnt effect not only aquaculture prodcutivity but also growth condition of fishes. So an insignificant mistake often lead to kill numerous fishes. Aquaculture automation accordingly make to reduce labor cost and be able to observe changes of physical and chemical circumstance of aquacages as well as efficiently to maintain proper envirionmental condition for fisheries resources. Therefore it is necessary to develop the aquaculture automation system and the remote monitoring system. In the study, an aquaculture monitoring and automation system was developed. The effectiveness was proven through the experimental results for the pilot plant and practical plants. The developed system was installed at two real aquacages(Dae-cheon Fisheries High-school and Pukyong National University. In this system, all the aquariums with the sensors such as water level, temperature, pH, DO etc. have individually a control panel including one-chip microprocessor. A monitoring PC

gathers the data in real time which are digitalized in the control panel and transferred through serial communication line. The management software supervises all signals to regulate proper condition and to make alarm at the emergency state accidents. According to the control strategy, also, the system can manage the feeding subsystem. By adopting an image processing concept based on the CCD camera a monitoring system was developed to monitor the aquacage circumstance and to analyze the motion for a targeted subject.

As the primary research subjects we develop a total management system applying for the aquaculture system through its experimental test and improvement of the problem during three years by implementing the system to a bench water tank, a pilot plant, and a field plant progressively. The detail contents to be developed are as the following ;

- One-chip microprocessor board and hardware interfaces which can communicate the environmental data of aquariums at the near or far distance.

Software modules for multi-processor communication by RS-232C or RS-422/485 protocols.

- Real-time monitoring program package for MS-Windows 95.

- Hardware and software for long-distance data communication on the public telephone line.

- Construction of emergency service system.

- Unification of vision system and monitoring system.

## CONTENTS

Part 1 Introduction .....	39
Part 2. Water Treatment System Development .....	40
Chapter 1. Introduction .....	40
chapter 2. Literature review .....	43
Chapter 3. Removal of the ammonia nitrogen and organic matter in synthetic aquaculture water .....	66
Section 1. Introduction .....	66
Section 2. Materials and methods .....	67
Section 3. Result and discussion .....	76
Section 4. Conclusions .....	94
Chapter 4. Lab Scal treatment of aquaculture recirculation water .....	96
Section 1. Introduction .....	96
Section 2. Materials and methods .....	97
Section 3. Result and discussion .....	105
Section 4. Conclusions .....	112

Chapter 5. Removal of Nitrate nitrogen by 2 phase fludized bed of activated carbon at lab scal .....	114
Section 1. Introduction .....	114
Section 2. Materials and methods .....	115
Section 3. Result and discussion .....	118
Section 4. Conclusions .....	125
Chapter 6. Production of plug seedling and plants using aquafarm waste sludge .....	126
Section 1. Introduction .....	126
Section 2. Materials and methods .....	127
Section 3. Result and discussion .....	130
Section 4. Conclusions .....	144
Chapter 7. Pilot plant .....	147
Section 1. Introduction .....	147
Section 2. Materials and methods .....	148
Section 3. Result and discussion .....	154
Section 4. Conclusions .....	167

Chapter 8. Treatment of Aquaculture rearing water by using microfilter .....	168
Section 1. Introduction .....	168
Section 2. Materials and methods .....	169
Section 3. Result and discussion .....	171
Section 4. Conclusions .....	183
Chapter 9. The Effect of Water Treatment on the Aquaculture Rearing Water by Ozone Oxidation .....	184
Section 1. Introduction .....	184
Section 2. Materials and methods .....	185
Section 3. Result and discussion .....	188
Section 4. Conclusions .....	197
Chapter 10. Process Management Plan of Water Treatment System .....	198
Section 1. Characteristic of aquaculture recirculation water .....	198
Section 2. Method of process operating and type of water treatment equipment .....	200
Section 3. Checking plant and method of deal with decres function .....	208



Chapter 11. Economic Estimation .....	211
Chapter 12. Conclusions .....	213
Part 3. Comprehensive Design System Development for the Closed Aquaculture System .....	157
Chapter 1. Introduction .....	157
Chapter 2. State of the arts of the design system .....	159
Chapter 3. Design of the rearing basins .....	166
Section 1. Hydraulic experiments on the flow structure in the rearing basins .....	166
Section 2. Numerical model experiment on the analysis of the flow structure in the rearing basins .....	181
Section 3. Design of the rearing basins .....	206
Chapter 4. Design of the settling basins .....	212
Section 1. State of the arts of the settling basins .....	212
Section 2. A field experiment on the utility of the various settling basins .....	217
Section 3. Design factors of the settling basins .....	221

Chapter 5. Development of the rearing basins and the settling basins .....	227
Section 1. Composition and design of the rearing basins .....	227
Section 2. Composition and design of the settling basins .....	252
Section 3. Hydraulic model experiment on the applicability of the rearing basins and the settling basins .....	259
 Chapter 6. Fundamental guide lines for the design of the rearing basins and the settling basins .....	260
Section 1. Design guide lines of the rearing basins .....	260
Section 2. Design guide lines of the settling basins .....	262
 Chapter 7. Process Management Plan of Water Treatment System ....	267
 Chapter 8. Discussions on the economical efficiency .....	269
 Chapter 9. Conclusions and Summary .....	271

Part 4. Development of Computer Integrated Aquaculture System .....	334
Chapter 1. Introduction .....	334
Chapter 2. Hardware Composition of CIA System .....	335
Section 1. Parts Measuring of Physical Environmental Parameters in Aquarium .....	335
Section 2. Overall Configuration of CIA System .....	337
Section 3. MCL-DTU System .....	341
Section 4. MCL-DLU System .....	347
Section 5. Signal Process Modules .....	350
Section 6. Design of Circuits Developed CIA System .....	350
Section 7. CCD Camera Based Monitoring System .....	359
Section 8. Automatic Feeding System .....	360
Chapter 3. Development of Software .....	375
Section 1. Software of 8097BH MPU .....	375
Section 2. Software of PC .....	381
Chapter 4. Examples of Research Result .....	393
Section 1. Dei-Chean Fisheries High School .....	393
Section 2. Aquarium in Pukyong National University .....	395
Section 3. The Papers and Journal Research Results .....	398

Chapter 5. Process Management Plan of Automation and Monitoring	
<b>System</b> .....	399
Section 1. Management Structure and Division Method of Works .....	399
Section 2. Characteristics of Aquarium Facilities and Remarks to be cared to Operation .....	399
Section 3. Operation According to Specification .....	399
Section 4. Treatment Method in Case of Trouble Sensor and Repair Time .....	399
Section 5. Operation and Management .....	400
 Chapter 6. Economic Estimation .....	 402
Chapter 7. Conclusion .....	404
 Part 5. Conclusion .....	 405

## 목 차

요약문 .....	2
Summary .....	8
Contents .....	13
목차 .....	20
표목차 .....	26
그림목차 .....	30
사진목차 .....	38
제1장 서론 .....	39
제2장 수처리시스템의 개발 .....	40
제1절 서론 .....	40
제2절 문헌 연구 .....	43
1. 어류양식과 수질환경 .....	43
2. 순환여과식 양식 시스템의 수처리 원리 및 장치 .....	50
제3절 인공양식수를 이용한 유기물 및 암모니아설 질소의 제거 .....	66
1. 개요 .....	66
2. 재료 및 방법 .....	67
3. 결과 및 고찰 .....	76
4. 결론 .....	94

제4절 실험실 규모의 양어장 순환수처리 .....	96
1. 개요 .....	96
2. 재료 및 방법 .....	97
3. 결과 및 고찰 .....	105
4. 결론 .....	112
제5절 활성탄 이상유동층 반응조를 이용한 실험실 규모의 질산성 질소 제거 .....	114
1. 개요 .....	114
2. 재료 및 방법 .....	115
3. 결과 및 고찰 .....	118
4. 결론 .....	125
제6절 양어장 슬러지를 이용한 원예작물 공정묘와 분식물의 생산 .....	126
1. 개요 .....	126
2. 재료 및 방법 .....	127
3. 결과 및 고찰 .....	130
4. 결론 .....	144
제7절 Pilot Plant .....	147
1. 개요 .....	147
2. 재료 및 방법 .....	148
3. 결과 및 고찰 .....	154
4. 결론 .....	167

제8절 미세스크린을 이용한 양식수 처리 .....	168
1. 개요 .....	168
2. 재료 및 방법 .....	169
3. 결과 및 고찰 .....	171
4. 결  론 .....	183
제9절 양식수의 오존처리 .....	184
1. 개요 .....	184
2. 재료 및 방법 .....	185
3. 결과 및 고찰 .....	188
4. 결  론 .....	197
제10절 공정관리 방안 .....	198
1. 순환수특성 .....	198
2. 수처리장치의 종류 및 운전방법 .....	200
3. 주요공정의 공정관리 .....	208
제11절 경제성 검토 .....	211
제12절 결론 .....	212
1. 인공양식수를 이용한 실험실 규모의 순환수 처리실험 .....	212
2. 실험실 규모의 양어장 순환수처리 .....	213
3. 활성탄 이상유동층 반응조를 이용한 실험실 규모의 질산성 질소 제거 .....	214
4. 양어장 슬러지를 이용한 원예작물 공정묘와 분식물의 생산 .....	214
5. Pilot Plant .....	214
6. 미세스크린을 이용한 양식수처리 .....	215

7. 양식수의 오존처리 .....	216
8. 공정관리 방안 .....	216
9. 경제성 검토 .....	217
<b>제 3장 순환여과식 양어시설의 종합설계시스템 개발 .....</b>	<b>218</b>
제 1절 서론 .....	218
제 2절 기존 연구결과의 소개 .....	220
1. 순환여과식 양식의 발전방향 .....	220
2. 각종 순환여과식 양식 시스템 .....	221
3. 순환여과식 양식의 문제점과 전망 .....	225
제 3절 사육수조의 설계 .....	227
1. 사육수조내의 유동구조에 관한 수리실험 .....	227
2. 사육수조내의 유동해석을 위한 수치모델의 개발 및 적용 .....	242
3. 사육수조의 설계 .....	267
제 4절 침전수조의 설계 .....	273
1. 침전수조의 현황과 문제점 .....	273
2. 침전수조의 성능 및 효율에 관한 현장실험 .....	278
3. 침전수조의 주요 설계요소 .....	282
제 5절 새로운 사육수조와 침전수조의 개발 .....	288
1. 사육수조의 구성과 설계 .....	288
2. 침전수조의 구성과 설계 .....	313
3. 새로운 사육수조와 침전수조의 수리모형 실험결과 .....	320



제 6절 사육수조와 침전수조의 설계를 위한 기본지침 .....	321
1. 사육수조의 설계지침 .....	321
2. 침전수조의 설계지침 .....	323
제 7절 공정관리 방안 .....	328
제 8절 경제성 검토 .....	330
1. 초기 건설비 및 연간 유지관리비의 산정 .....	330
2. 연간 투자비용과 총 생산금액의 산정 .....	331
제 9절 결론 및 요약 .....	332
참고문헌 .....	333
<b>제4장 종합관리 시스템 개발 .....</b>	<b>334</b>
제1절 서론 .....	334
제2절 양어장 종합관리 시스템의 하드웨어 구성 .....	335
1. 수조의 물리적 환경 측정부 .....	335
2. 양어장 종합관리 시스템 개발의 전체적 구성 .....	337
3. MCL-DTU 시스템 .....	341
4. MCL-DLU 시스템 .....	347
5. 각종 신호 처리 장치 .....	350
6. 종합관리 시스템을 위해 개발된 회로 설계 .....	350
7. CCD 카메라 감시 시스템 .....	359
8. 자동 급이 시스템 .....	360

제3절 소프트웨어 개발 .....	375
1. 8097BH MPU측 소프트웨어 .....	375
2. PC측 프로그램 .....	381
제4절 연구 실적 사례 .....	393
1. 대천 수산 고등학교 실습실 설치 (1996년 12월 설치) .....	393
2. 부경대학교 교내 양어장 설치(1997년 5월 설치) .....	395
3. 논문 및 특허 실적 .....	398
제5절 자동화 및 모니터링 시스템의 공정 관리 방안 .....	399
1. 운영관리체계와 작업의 분담 방법 .....	399
2. 양어장 시설의 특성과 운전 조작 상의 유의 사항 .....	399
3. 운전사양서에 의한 조작 .....	399
4. 센서기능 저하시의 대응 방법 및 보수 시기 .....	399
5. 운전 및 유지 관리 .....	400
제6절. 경제성 평가 .....	402
제7절. 결론 .....	404
제5장 결론 .....	406
참고문헌 .....	413

## 표차례

<표 2-2-1> 양식시스템의 구분 및 특성 .....	44
<표 2-2-2> 탈질소화에 필요한 유기탄소원의 비탈질을 .....	59
<표 2-3-1> 간접포기식 생물막 반응조에 사용된 메디아의 특징 .....	67
<표 2-3-2> 간접포기식 고정생물막 반응조에 사용된 인공양식수의 성상 .....	69
<표 2-3-3> 활성탄 삼상 유동층 반응기에 적용된 이공 양식수 조성 .....	71
<표 2-3-4> 활성탄 삼상 유동층에 이용된 활성탄의 특성 .....	72
<표 2-3-5> 수처리 시스템의 운전조건 .....	74
<표 2-3-6> 간접포기식 고정생물막 반응조의 운전결과 요약 .....	78
<표 2-3-7> 사란을 이용한 직접포기식 생물막 반응조의 COD제거효율 .....	85
<표 2-3-8> 직접포기식 생물막 반응조의 운전조건 .....	85
<표 2-3-9> 활성탄 삼상유동층반응기를 이용한 유기물질 제거실험에 따른 운전조건 및 결과 .....	90
<표 2-4-1> 실험에 사용된 메디의 특성 및 충전조건 .....	97
<표 2-4-2> Air-Left식 생물막 반응조에 충전된 메디아 특성 및 충진율 .....	99
<표 2-4-3> 페타이어 메디아의 물성치 .....	101
<표 2-4-4> 운전조건에 따른 암모니아 처리특성 .....	110
<표 2-5-1> 코코넛 재질의 활성탄소 특성 .....	115
<표 2-5-2> 인공양식수의 조성 .....	116
<표 2-5-3> 분석항목 및 방법 .....	117
<표 2-5-4> 이상유동층 반응조의 운전조건에 따른 유기물제거 특성 .....	118
<표 2-5-5> 이상유동층 반응조의 운전조건에 따른 탈질 특성 .....	120
<표 2-5-6> 이상 유동층 반응조에서 유입수의 COD/NO <sup>3-</sup> -N비에 따른 탈질효율. ....	124
<표 2-6-1> 배지내 첨가된 슬러지 농도 .....	128

<표 2-6-2> 페튜니아 분화제배를 위한 배지에 첨가된 슬러지 농도 .....	129
<표 2-6-3> 배지내 첨가된 슬러지 농도가 고추공정묘의 발아율에 미치는 영향 .....	130
<표 2-6-4> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후의 고추 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향 ..	131
<표 2-6-5> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후 고추 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향 .....	132
<표 2-6-6> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 고추 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향 ..	133
<표 2-6-7> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 고추 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향 .....	134
<표 2-6-8> 배지내 첨가된 슬러지 농도가 토마토 공정묘의 발아율에 미치는 영향 .....	134
<표 2-6-9> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후의 토마토 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향 ..	135
<표 2-6-10> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후 토마토 공정묘 배지의 pH와 EC에 미치는 영향 .....	137
<표 2-6-11> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후의 토마토 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 엽록소 농도에 미치는 영향. ..	138
<표 2-6-12> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 토마토 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향 .....	138
<표 2-6-13> 배지내 슬러지 농도가 페튜니아 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향 .....	139
<표 2-6-14> 배지내 슬러지 농도가 페튜니아 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향 .....	140
<표 2-6-15> 직경 7cm 비닐 포트 재배시 슬러지 농도가 페튜니아의 초장, 근장, 엽면	

적, 염수, 총염류소 농도, 생체중 및 건물중에 미치는 영향 .....	141
<표 2-6-16> 직경 7cm 비닐 포트 재배시 슬러지 농도가 페튜니아 배지의 pH, EC 및 화학적 조성에 미치는 영향 .....	142
<표 2-7-1> Pilot Plant의 구성제원 및 운전조건표. ....	150
<표 2-7-2> 시판 부상사료의 구성성분표 .....	151
<표 2-7-3> 실험기간동안 Pilot Plant에서 사육한 틸라피아의 성장 특성 .....	155
<표 2-7-4> Pilot Plant 운전결과 .....	163
<표 2-8-1> 수질분석 항목 및 방법 .....	170
<표 2-8-2> SS농도별 미세스크린의 SS제거율 및 유출수 농도 .....	171
<표 2-8-3> 각 양식장의 수질특성 .....	174
<표 2-9-1> 양식수의 수질특성 .....	187
<표 2-9-2> 분석 방법 및 기기 .....	187
<표 2-9-3> 오존접촉시간에 따른 수질변화 .....	190
<표 2-10-1> 어류 양식에 필요한 수질인자별 권고농도 .....	199
<표 2-10-2> 알칼리도 유발 물질 및 특성 .....	202
<표 2-11-1> 현장 수처리시스템의 설계조건 .....	212
<표 2-11-2> 현장설치 비용 .....	211
<표 3-3-1> 수조내의 3차원 유동구조에 관한 실험조건 .....	228
<표 3-3-2> 유동모델의 계산조건과 물리적 파라미터 .....	249
<표 3-5-1> 사육수조내의 유동구조에 관한 수리실험조건 .....	290
<표 3-5-2> CASE R1-a 의 유속측정결과 .....	293
<표 3-5-3> CASE R1-b 의 유속측정결과 .....	294
<표 3-5-4> CASE R1-c 의 유속측정결과 .....	295
<표 3-5-5> CASE R2-a 의 유속측정결과 .....	296
<표 3-5-6> CASE R2-b 의 유속측정결과 .....	297

<표 3-5-7> CASE R2-c 의 유속측정결과 .....	298
<표 3-5-8> CASE R3-a 의 유속측정결과 .....	299
<표 3-5-9> CASE R3-b 의 유속측정결과 .....	300
<표 3-5-10> CASE R3-c 의 유속측정결과 .....	301
<표 3-5-11> 침전수조내의 단면유속분포에 관한 수리실험조건 .....	313
<표 3-6-1> 사육수조의 설계에 관한 기본사항 .....	321
<표 3-8-1> 사육수조와 침전수조 및 주변 부속장치의 초기 건설비 .....	330
<표 3-8-2> 연간 유지관리비 .....	331
<표 4-2-1> 각 센서의 사양 .....	337
<표 4-2-2> 8097BH의 하드웨어 내부구성 및 기능 .....	343
<표 4-2-3> 8051H의 하드웨어적인 내부구성 및 기능 .....	345
<표 4-2-4> MCL-DTU의 사양 .....	348
<표 4-2-5> 건식 및 습식 사료의 상대적 이점과 단점에 대한 요약 .....	362
<표 4-2-6> 사료 형태에 따른 저장 기간 .....	363
<표 4-2-7> 급이 테이블의 예 .....	367
<표 4-2-8> 자동 급이를 위한 관리 데이터의 예 .....	368
<표 4-2-9> 먹이 공급 방법에 따른 장·단점 .....	369
<표 4-4-1> 대천수고 실습장용 시스템과 실험용 시스템과의 차이 .....	393

## 그림차례

〈그림 2-2-1〉 드럼필터와 사여과장치의 운전모식도 .....	52
〈그림 2-2-2〉 침지식 생물막 여과조의 운전모식도 .....	61
〈그림 2-2-3〉 살수여상 공법의 운전모식도 .....	61
〈그림 2-2-4〉 바이오 드럼의 운전모식도 .....	63
〈그림 2-2-5〉 회전원판법의 운전모식도 .....	63
〈그림 2-2-6〉 2상 유동층 반응조의 운전 모식도 .....	65
〈그림 2-2-7〉 Bead반응조의 운전모식도 .....	65
〈그림 2-3-1〉 간접포기식 고정생물막 반응조의 모식도 .....	68
〈그림 2-3-2〉 직접폭기식 고정생물막반응조의 모식도. ....	70
〈그림 2-3-3〉 활성탄 삼상 유동층반응조의 모식도 .....	72
〈그림 2-3-4〉 운전조건의 모식도 .....	74
〈그림 2-3-5〉 수리학적 체류시간에 따른 SCOD제거율 .....	77
〈그림 2-3-6〉 수량부하에 따른 유출수 암모니아성 질소농도 .....	77
〈그림 2-3-7〉 암모니아 생성율대 유출수암모니아 농도 .....	79
〈그림 2-3-8〉 COD/NH <sup>4+</sup> -N비에 따른 암모니아 제거효율 .....	79
〈그림 2-3-9〉 Saran메디아를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조의 알칼리도 변화 .....	82
〈그림 2-3-10〉 Bio-Ceramic메디아를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조의 알칼리도 변화 .....	82
〈그림 2-3-11〉 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조의 COD변화 .....	84
〈그림 2-3-12〉 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조의 COD변화 .....	84
〈그림 2-3-13〉 암모니아 생산율에 대한 유출수 암모니아 농도 .....	88
〈그림 2-3-14〉 COD/NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N비에 따른 암모니아제거효율 .....	88

<그림 2-3-15> 삼상유동층 반응조에서 운전기간동안 COD농도변화 .....	91
<그림 2-3-16> 삼상유동층 반응조에서 운전기간동안 SCOD제거효율 .....	91
<그림 2-3-17> 삼상유동층 반응조에서 암모니아성 질소의 제거효율 .....	93
<그림 2-3-18> 삼상유동층 반응조에서 운전기간동안 암모니아성 질소의 제거효율 ..	93
<그림 2-4-1> 직접포기 생물막 반응조를 이용한 양어장 순환수처리 공정도. ....	98
<그림 2-4-2> Air Lift식 생물막 반응조를 이용한 양어장 순환수 처리공정도. ....	100
<그림 2-4-3> Lab Scale 삼상 유동층 반응조 .....	102
<그림 2-4-4> 직접포기식 생물막 반응조에서 운전일수에 따른 운전조건과 유출수 암모니아변화 .....	106
<그림 2-4-5> 암모니아부하에 따른 직접포기식 반응조의 제거율. ....	107
<그림 2-4-6> Air - Lift식 생물막 반응조의 수질변화특성 .....	109
<그림 2-4-7> Air - Lift식 생물막 반응조의 유입부하에 따른 제거율 .....	109
<그림 2-4-8> 전 운전 기간동안의 암모니아성 질소 농도 변화 .....	111
<그림 2-4-9> 암모니아성 질소 부하율에 따른 제거율 .....	111
<그림 2-5-1> 이상유동층공법의 모식도 .....	116
<그림 2-5-2> 전체 운전일수에 따른 이상유동층 반응기 COD농도변화 .....	119
<그림 2-5-3> 수리학적 체류시간에 따른 SCOD제거율 .....	119
<그림 2-5-4> 이상유동층 반응조의 전체운전일수에 따른 질산성질소의 농도변화 ..	121
<그림 2-5-5> 수리학적 체류시간에 따른 질산성 질소 및 TIN의 제거율 .....	121
<그림 2-5-6> 질산성 질소 부하에 따른 유출수의 $\text{NO}^{2-}\text{-N}$ , $\text{NO}^{3-}\text{-N}$ 농도 변화 및 제거율 .....	122
<그림 2-5-7> $\text{COD}/\text{NO}^{3-}\text{-N}$ 비에 따른 유출수내 질산성 질소와 아질산성질소의 농도변화 .....	124
<그림 2-6-1> 배지내의 슬러지 농도가 파종 40일후의 고추 공정묘의 생장에 미치는 영향 .....	131



<그림 2-6-2> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 토마토 공정묘배지의 생장에 미치는 영향. ....	136
<그림 2-6-3> 배지내 슬러지 농도가 페튜니아 공정묘의 생장에 미치는 영향 .....	140
<그림 2-6-4> 직경 7cm 비닐 포트 재배시 배지내 슬러지 농도가 페튜니아의 성장에 영향 .....	143
<그림 2-7-1> Pilot Plant 순환여과식 양식시스템의 공정도. ....	149
<그림 2-7-2> 연속일수에 따른 각 시스템의 사육조내 .....	157
<그림 2-7-3> 실험기간동안 pH, 탁도, 질산성 질소 등 기타 수질인자의 변화 .....	159
<그림 2-7-4> 사육조내 암모니아성 질소농도와 어류의 일간성장율의 관계 .....	160
<그림 2-7-5> Pilot Plant의 각 충전미디어별 암모니아 부하에 따른 제거특성 .....	162
<그림 2-7-6> 전 운전기간 동안의 암모니아성 질소 농도변화 .....	165
<그림 2-7-7> 암모니아 부하에 따른 제거효율 .....	165
<그림 2-7-8> 암모니아성 질소 부하에 따른 제거율 .....	166
<그림 2-8-1> 여과실험장치의 모식도 .....	169
<그림 2-8-2> 20 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성. ....	172
<그림 2-8-3> 30 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성 .....	172
<그림 2-8-4> 50 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성 .....	173
<그림 2-8-5> 70 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성 .....	173
<그림 2-8-6> 틸라피아 양식수의 여과특성 .....	175
<그림 2-8-7> 뱀장어 양식수의 여과특성(T-양식장) .....	175
<그림 2-8-8> 뱀장어 양식수의 여과특성(T-양식장) .....	176
<그림 2-8-9> SS=18mg/L 일 때 의 시간에 따른 Flux변화 .....	177
<그림 2-8-10> SS=32mg/L일 때 여과시간에 따른 Flux변화 .....	178
<그림 2-8-11> SS=106mg/L일 때 여과시간에 따른 Flux변화 .....	179
<그림 2-8-12> 틸라피아 양식수의 여과시간에 따른 Flux변화 .....	180

<그림 2-8-13> T뱀장어 양식장의 Flux변화 .....	181
<그림 2-8-14> J뱀장어 양식수의 Flux변화 .....	182
<그림 2-9-1> 오존실험 장치의 모식도 .....	185
<그림 2-9-2> 오존접촉시간에 따른 $LV_{254}$ ( $I/I_0$ )의 변화 .....	191
<그림 2-9-3> 오존접촉시간에 따른 COD변화 .....	191
<그림 2-9-4> 오존반응시간에 따른 MPN의 변화 .....	192
<그림 2-9-5> 오존처리에 따른 탁도의 변화 .....	192
<그림 2-9-6> 오존처리에 따른 아질산성 질소의 변화 .....	193
<그림 2-9-7> 오존처리에 따른 암모니아의 변화 .....	193
<그림 2-9-8> 오존처리에 따른 pH의 변화 .....	194
<그림 2-9-9> 오존처리에 따른 알칼리도의 변화 .....	194
<그림 2-9-10> 오존접촉시간에 따른 $\ln(N_t/N_0)$ 의 변화 .....	195
<그림 2-10-1> 침지식 생물막 반응조의 식종 방법 .....	205
<그림 3-2-1> IBK식 순환여과 사육시설의 부분평면도 .....	223
<그림 3-2-2> 사육조와 침전조의 단면모식도 .....	223
<그림 3-2-3> 침전조의 구조와 스탠드 파이프의 단면 .....	224
<그림 3-2-4> 펌프장의 구조와 역할 .....	224
<그림 3-2-5> 여과조의 구조와 여과재료의 설치도 .....	225
<그림 3-3-1> 사육조내의 3차원 유동구조 측정을 위한 실험장치의 개념도 .....	228
<그림 3-3-2> 수조내 측정점의 위치 .....	229
<그림 3-3-3> 시간별 유속과 유향의 측정결과 .....	230
<그림 3-3-4> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 .....	231
<그림 3-3-5> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 .....	232
<그림 3-3-6> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 .....	233
<그림 3-3-7> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 .....	234

<그림 3-3-8> 팔각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의	.... 235
<그림 3-3-9> 팔각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의	.... 236
<그림 3-3-10> 사각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의	.. 237
<그림 3-3-11> 사각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의	.. 238
<그림 3-3-12> 반폐쇄식 순환여과 양어시스템(상부파이프 배수식)	..... 241
<그림 3-3-13> 수조의 유체역학적 특성을 위하여 선택된 모델	..... 245
<그림 3-3-14> 모형수조의 유속분포 및 유량함수의 분포	..... 246
<그림 3-3-15> 모형수조의 유속분포 및 유량함수의 분포	..... 247
<그림 3-3-16> 수치실험에 적용한 수조의 형태와 수심분포	..... 249
<그림 3-3-17> 수조내 층별 유속분포의 계산결과와 실측결과의 비교	..... 250
<그림 3-3-18> 가로축좌표(Y=16) 단면에서의 속도분포	..... 251
<그림 3-3-19> 세로축좌표(X=16) 단면에서의 속도분포	..... 251
<그림 3-3-20> 모델에 이용된 사각형 수조의 제원	..... 262
<그림 3-3-21> 모델에 이용된 팔각형 수조의 제원	..... 262
<그림 3-3-22> 1100초 때의 2, 3, 4층에서의 사각형과 팔각형에서의 유속벡터 성분	..... 264
<그림 3-3-23> 1100초 때의 5, 6, 7층에서의 사각형과 팔각형에서의 유속벡터 성분	..... 265
<그림 3-3-24> 1100초 때의 8, 9, 10층에서의 사각형과 팔각형에서의 유속벡터성분	..... 266
<그림 3-3-25> 하부배수식 원형수조의 단면내에서 수위, 속도 및 와도분포	..... 269
<그림 3-3-26> 상부파이프 배수식 원형수조의 단면내에서 수위, 속도 및 와도분포	..... 270
<그림 3-3-27> 순환수 유입 및 기포공급장치	..... 271
<그림 3-3-28> 노폐물 배출장치의 설계도	..... 272

<그림 3-4-1> Hopper형 4각형 침전수조의 단면도 .....	274
<그림 3-4-2> Lamellar settling trap의 원리와 배치도 .....	275
<그림 3-4-3> Tube settler의 모식도 .....	276
<그림 3-4-4> Hydroclone의 작동원리 .....	277
<그림 3-4-5> 실험장치의 전경 .....	278
<그림 3-4-6> 사육수조 .....	279
<그림 3-4-7> Vortex tub형 노폐물 배출장치 .....	279
<그림 3-4-8> Hydroclone 형 노폐물 배출장치 .....	280
<그림 3-4-9> Lamellar 형 침전수조 .....	280
<그림 3-4-10> 침강탱크의 단면도 .....	283
<그림 3-4-11> 기본적인 침전수조의 형상(Lawson, 1995)10) .....	284
<그림 3-4-12> 침전수조 안에 얇은 판 또는 tube다발을 채운 침전수조 .....	286
<그림 3-5-1> 사육수조와 침전수조의 평면도와 단면도 .....	288
<그림 3-5-2> 모형수조의 형상 .....	289
<그림 3-5-3> 노폐물 배출장치의 원형침강수조 .....	289
<그림 3-5-4> 모형수조의 측정점의 위치 .....	291
<그림 3-5-5> CASE R1-a의 유속분포 측정결과 .....	302
<그림 3-5-6> CASE R1-b의 유속분포 측정결과 .....	303
<그림 3-5-7> CASE R1-c의 유속분포 측정결과 .....	304
<그림 3-5-8> CASE R2-a의 유속분포 측정결과 .....	305
<그림 3-5-9> CASE R2-b의 유속분포 측정결과 .....	306
<그림 3-5-10> CASE R2-c의 유속분포 측정결과 .....	307
<그림 3-5-11> CASE R3-a의 유속분포 측정결과 .....	308
<그림 3-5-12> CASE R3-b의 유속분포 측정결과 .....	309
<그림 3-5-13> CASE R3-c의 유속분포 측정결과 .....	310

<그림 3-5-14> 수조 중앙부에서 유동구조 .....	311
<그림 3-5-15> 수조내에 투입한 사료의 찌꺼기의 운동상황 .....	311
<그림 3-5-16> 수조중앙부에 모인 노폐물의 침전 .....	312
<그림 3-5-17> 침전수조내로 유입된 미세한 노폐물의 침전 .....	312
<그림 3-5-18> CASE S1-a의 유속분포의 측정결과 .....	314
<그림 3-5-19> CASE S1-b의 유속분포의 측정결과 .....	314
<그림 3-5-20> CASE S1-c의 유속분포의 측정결과 .....	315
<그림 3-5-21> CASE S1-d의 유속분포의 측정결과 .....	315
<그림 3-5-22> CASE S2-a의 유속분포의 측정결과 .....	316
<그림 3-5-23> CASE S2-b의 유속분포의 측정결과 .....	316
<그림 3-5-24> CASE S2-c의 유속분포의 측정결과 .....	317
<그림 3-5-25> CASE S2-d의 유속분포의 측정결과 .....	317
<그림 3-5-26> CASE S3-a의 유속분포의 측정결과 .....	318
<그림 3-5-27> CASE S3-b의 유속분포의 측정결과 .....	318
<그림 3-5-28> CASE S3-c의 유속분포의 측정결과 .....	319
<그림 3-5-29> CASE S3-d의 유속분포의 측정결과 .....	319
<그림 3-7-1> 순환여과식 양어시설의 종합설계시스템 .....	328
<그림 4-2-1> 연산 증폭기 .....	338
<그림 4-2-2> 수위 센서의 선형성 측정결과 그래프 .....	338
<그림 4-2-3> MCL 시스템의 전체적 구성 .....	339
<그림 4-2-4> MCL-DTU의 구성 .....	343
<그림 4-2-5> 비상 시스템의 개념도 .....	349
<그림 4-2-6> 접지부하 전류-전압 변환기 .....	351
<그림 4-2-7> 플로팅 전류-전압 변환기 .....	352
<그림 4-2-8> 전류-전압 변환기의 특성곡선 .....	353

<그림 4-2-9> 실제 플로팅 전압-전류 변환 계산식 .....	355
<그림 4-2-10> 트랜지스터에 의한 릴레이 구동 방법의 종류 .....	356
<그림 4-2-11> 릴레이 구동 회로의 원리 .....	357
<그림 4-2-12> 실제 릴레이 구동 회로 .....	358
<그림 4-2-13> 화상처리 시스템의 개념도 .....	359
<그림 4-2-13a> 컴퓨터 제어형 자동 급이 장치 .....	364
<그림 4-2-14> 컴퓨터 제어에 의한 수조 내의 먹이 공급 장치의 개념도 .....	371
<그림 4-2-15> 레일을 설치한 1대의 먹이 공급기로 여러 수조를 대상으로 했을 경우 의 먹이 공급 개념도 .....	373
<그림 4-2-16> 컴퓨터 제어형 먹이 공급 장치 .....	374
<그림 4-3-1> 링버퍼의 구조 .....	376
<그림 4-3-2> 링버퍼 알고리즘 .....	377
<그림 4-3-3> 직렬 포트 제어 및 상태 레지스터 .....	379
<그림 4-3-4> 주 프로그램의 흐름도라. 마이크로 프로세서 프로그램의 흐름도 .....	381
<그림 4-3-5> 시스템의 초기화 화면 .....	381
<그림 4-3-6> 수조 환경 설정 화면 .....	382
<그림 4-3-7> 파일 저장하기 .....	383
<그림 4-3-8> 파일 저장을 위한 화면 .....	384
<그림 4-3-9> 수조 선택 화면6) 메인 모니터링 화면 .....	384
<그림 4-3-10> 메인 모니터링 화면 .....	385
<그림 4-3-11> 데이터 검색 .....	385
<그림 4-3-12> 그래프 출력 화면 .....	386
<그림 4-3-13> 소프트웨어의 개략도 .....	387
<그림 4-3-14> 직렬 통신 알고리즘 흐름도 .....	392
<그림 4-4-1> 패널 구성도 .....	394

## 사진차례

<사진 4-2-1> 컴퓨터 먹이 공급기 .....	371
<사진 4-2-2> 뱀장어용 요구식 사료 공급기 .....	372
<사진 4-2-3> 연어용 자동 먹이 공급기 .....	372
<사진 4-2-4> 먹이 저장 사일로 .....	373
<사진 4-4-1> 대천 수고 실습장 수조 .....	394
<사진 4-4-2> 대천 수고 실습장 관리실 .....	395
<사진 4-4-3> 제어 패널 .....	395
<사진 4-4-4> 마이크로 프로세서 제어부 .....	396
<사진 4-4-5> 부경대학교 양어장 관리실 .....	396
<사진 4-4-6> 양어장 센서 .....	397

## 제1장 서론

어류 양식업의 발달은 양식기술의 발달, 배합사료의 개발 및 어병기술등의 발전에 힘입어 빠른 성장을 이루고 있다. 우리나라에 있어서도 양식생산량은 1982년에 약 852 M/T 에 머무르던 것이 1992년에는 약 935,000 M/T 로서(농림수산부 1992) 10여년 사이에 급격한 증가를 나타내고 있다. 반면에 양식업은 어류를 사육하는데 요구되어지는 다량의 양식수와 고 수질을 유지하기 위해 필요로 하는 자가 오염물질의 제어문제 등으로 인하여 많은 제약을 받고있는 실정이다(Speece, 1973 ; Liao와 May, 1974 ; Poxton과 Allouse, 1982 ; Chiang과 Lee, 1986 ; Muir, 1982).

본 연구에서는 담수양어시설의 종합시스템 개발이란 연구과제를 통하여 수처리시스템개발(제1세부과제), 시설물 종합설계 시스템 개발, 종합관리 시스템 개발 등의 총 세가지 세부과제로 구분하여 연구를 수행하였다. 수산업과 농업의 상호 보완을 통한 고부가가치 생산시스템의 창출 및 자동화와 환경문제의 해결을 통한 산업경쟁력 확보란 연구목표를 설정하고 각 세부과제별로 양어장 수처리공정의 설계인자 도출 및 수처리시스템 개발, 양어장의 수처리비용절감 및 농작물 수확증대, 사육수조의 형태별 유동구조와 노폐물의 퇴적 위치를 파악할 수 있도록 비교제시, 침전수조의 형태별 노폐물의 침전을 조사, 설계지침서 작성, 종합관리 시스템의 개발, 통합된 자동화 시스템개발등을 연구세부목표로 설정하여 연구를 수행하였다.



## 제2장 수처리시스템의 개발

### 제1절 서론

양식업의 발달은 수천년전 중국에서 부터 시작되어 오늘날에 이르고 있으며, 최근에 들어와서는 어류양식 기술의 발달과 함께 인공배합사료의 개발 및 질병예방 등의 활발한 연구를 토대로 전 세계에 걸쳐 빠른 성장을 보이고 있는 추세이다(Wheaton, 1977). 우리나라에 있어서도 양식생산량은 1982년에 약 852 M/T 에 머무르던 것이 1992년에는 약 935,000 M/T 로서(농림수산부 1992) 10여년 사이에 급격한 증가를 나타내고 있다. 반면에 양식업은 어류를 사육하는데 요구되어지는 다량의 양식수와 고 수질을 유지하기 위해 필요로 하는 자가 오염물질의 제어문제 등으로 인하여 많은 제약을 받고있는 실정이다(Speece, 1973 ; Liao와 May, 1974 ; Poxton과 Allouse, 1982 ; Chiang과 Lee, 1986 ; Muir, 1982). 우리 나라의 경우 겨울동안 저 수온기가 길기 때문에 양식어류의 생산력에 크게 제한을 받게되는데, 온수성 어류일 경우에는 여기에 맞는 온도를 유지하기 위한 보온장치가 추가로 필요로할 뿐만 아니라 지리적 여건상 양식에 필요한 내수면적의 확보가 어려운 실정이다. 따라서 이와 같은 난관을 극복하여 장래 양식업의 발전을 꾀할 수 있는 방안으로서 순환여과식 사육시스템이 제시되고 있다(김, 1980).

어류를 고밀도로 사육하는 순환여과식 양식은 어류의 소비가 날로 늘어가고 있는 오늘날의 식생활 문화와 잘 부합될 수 있도록 그 생산력을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 수질오염 문제로 인하여 야기되는 양식장에서의 각종 규제를 해결할 수 있는 장점을 지니고 있는 사육시스템이다. 반면에 어류의 대사

작용과 소비되지 않고 남아있는 사료 등에 의해서 발생하는 암모니아 및 아질산 등은 사육중인 어류에 나쁜 영향을 끼칠수가 있는데(Miller와 Libey, 1984), 어체의 아가미 손상(Burrows, 1964) 및 혈중  $\text{Na}^+$  농도저하(Tomasso 등, 1980) 같은 현상으로 어류가 폐사하는 경우를 초래할 수가 있다. 따라서 고밀도로 어류를 사육하는 순환여과식 양식장에서의 암모니아 및 아질산 등의 처리는 양식어류의 생산력에 큰 영향을 끼칠 수가 있다.

순환여과식 양식 시스템에서 수처리는 어류의 생산력 증대를 위해 반드시 필요한 과정으로 어류의 미섭취된 잔류 먹이분과 계속되는 배설물에 의해 발생하는 암모니아 제거를 주요 처리 대상으로 한다. 순환수의 수질관리를 위한 수처리공법으로 사용되는 것으로 회전원판법(Antonie 등, 1974 ; 임, 1993), 살수여상법(Rogers와 Klemetson, 1985), 침지여상 생물막법(Nijhof와 Bovendeur, 1990 ; Carmignani와 Bennelt, 1977), 수경법(Lewis 등, 1978) 및 활성슬러지법(Meske, 1976)이 많이 이용되고 있으며, 최근에는 처리공법의 효율증대를 위하여 유동층공법에 의한 양어장 순환수 처리에 대한 연구가 진행중에 있다(Jewell 와 Cummings, 1990). 생물학적 처리이외에도 물질적 처리기법으로 부상분리 기술, 압력식 사여과기술, 드럼필터, 오존 또는 UV장치를 이용한 살균 기술등의 방법등이 순환수처리에 응용되고 있다.

본 연구에서는 고밀도 순환여과식 양식을 위한 최적의 수처리 시스템개발을 위해 수처리 시스템이 차지하는 면적비를 축소시키고 수처리 효율을 증대하기 위한 일련의 실험을 수행하였다. 생물막 여과조의 효율증대와 암모니아 제거 특성을 연구하기 위해 침지식 고정생물막 공법과 유동층생물막 공법에 대하여 실험실 규모, Pilot 규모에 대하여 인공순환수와 실제 순환수를 대상으로 실험을 수행하였다. 고정생물막 공법의 설계인자와 운전인자를 도출하기 위해 충전매디아별 특성을 연구하였다. 침지식 생물막 공법에 사용한 충전매디아의 종류는 Saran매디아, Bio- Ceramic 매디아, Ring 매디아, Plate 매디아,

Saran + Yougurt 미디어 등을 이용하였다. 유동층 생물막 공법에 이용한 미디어는 활성탄과 펄타이어를 재가공한 것을 이용하였다. 암모니아와 유기물의 부하증가에 따른 각 침지식 생물막 반응조 및 유동층 반응조의 암모니아 처리 특성 연구는 인공양식수를 이용하여 실험을 수행하였고, 수리학적 부하변동에 따른 각 반응조의 처리특성 연구는 실제 어류를 양식하는 순환수를 이용하여 실험을 수행하였다. 김(1995)에 의해 제시된바 있는 순환여과식 양식장의 현장자료에 의하면 틸라피아를 기르는 사육조에서의 질산성 질소의 농도가 15 - 25 mg/L 정도를 유지하였으며, 부산 수산대학교 양어장에서의 1년간 조사한 자료에 따르면 질산성 질소의 농도가 25 - 50mg/L의 범위를 유지한 것에 착안하여 질산성 질소의 축적을 방지하기 위한 탈질소화 공정의 일환으로서 이상 유동층 반응기를 설치하여 실험을 행하였다. 이상 유동층 반응조에 적용한 미디어는 활성탄을 이용하였다. 탈질소화실험은 현장 양어장 순환수의 수질특성을 조사한 결과를 토대로 유입수의 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비 및 수리학적 체류시간에 따른 반응조의 탈질효율 및 질산염 제거특성을 연구하였다.

순환여과식 양식시스템에서 배출되는 배출수내 어류의 배설물 및 사료잔여물의 처리 및 활용방안을 모색하기 위하여 공정육묘용 상토에 담수 양어장의 슬러지를 첨가하여 육묘용 상토에서의 고추, 토마토 및 페튜니아 공정묘의 생장반응, 그리고 화분용 배지에서 페튜니아 식물의 생장반응을 조사하였다.

본 연구에서 얻어진 결과들은 순환여과식 양식시스템에서 생물막공법을 이용한 암모니아성 질소의 제거와 축적된 질산성 질소의 탈질소화에 필요한 인자들을 제시함으로써, 순환여과식 양식장의 사육조 내에 축적될 수 있는 암모니아성 질소와 질산성 질소의 농도를 최적의 조건으로 유지할 수 있도록 하고 양어장의 슬러지를 효율적으로 재활용하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

## 제2절 문헌 연구

### 1. 어류양식과 수질환경

#### 가. 어류양식

양식이란 육상의 농업과 같이 자체소유의 유용수산생물을 길러 수확하는 것으로 정의할 수 있다. 양식현황과 전망을 살펴보면 1970년 고비로 전세계 어업생산량이 6,000만톤에 이르다가 1980년 이후로 어선의 대형화, 기술향상 등으로 어획량을 증가시키려 했으나, 크게 증가되지 않아 자연의 자원량이 한계점에 도달했음을 알 수 있다. 반면에 양식의 생산량은 세계적으로 1973년 500만톤에서 1988년에는 1,450만톤에 이르고 있다. 이는 인구의 증가와 생활수준의 향상 등으로 신선하고 건강에 보다 유익한 고급단백질 식품의 생산과 소비량이 크게 증가하고, 또 이 수요량은 자연자원의 어획에 의한 공급만으로는 도저히 충족시킬수 없으므로, 양식업의 발전이 필연적으로 요구되어 양식에 의한 식량증산의 중요성이 점차 증가하고 있음을 알 수 있는 것으로, 우리나라에서도 1970년대에 들어서면서 개인면허로 인한 양식장의 확대가 증가하여 1992년에는 935,000톤에 이르렀지만 그 대부분이 해초류 및 패류로 구성되어 있어 (농림수산통계연보, 1989) 균형잡힌 양식생산이라고는 할 수 없었다. 이를 개선하기 위해 최근에는 고가품종인 어류의 양식이 급속히 보급되고 있다.

생물의 생태에 따른 양식방법을 유영동물양식 측면에서 구분하면 정수식 못양식, 유수식양식, 가두리양식, 순환여과식양식으로 나눌 수 있다. 각 양식의 특성은 <표 2-2-1>과 같다. 우리나라는 좁은 국토면적 때문에 광대한 면적이 필요한 정수식 못양식은 제한을 받고 있으므로 이 방법에 의해서는 생체량이 적은 종묘생산에는 적합할 것이지만 대량생산을 전제로 하는 식용어 생산은 생각할 수가 없다. 유수식양식과 가

두리양식은 대량 생산에 적합한 방법이지만 고밀도양식일 경우는 사료공급으로 생성되는 폐기물을 처리해야 한다. 우수식양식, 가두리양식이 물공급이 유리한 지역에 위치하여 양식되었으나, 지방시장과 수요자들이 신선한 어종을 원하고 지역적으로 인기 있는 어종을 공급하기 위해 새로운 어종의 생산에 기술적인 관심을 갖게 되었다. 따라서 물공급이 유리한 지역에서 벗어난 순환여과양식이 많이 개발되었는데 순환여과식양식의 장점으로서는 위치선정에 유리하며, 시장 가까운 곳에 설치가능하며, 재배환경을 정확히 제어할 수 있으며 물사용량이 줄어들고 폐수처리에 유용하다. 물은 재사용함으로써 물사용량을 줄일 수 있다. 이러한 시스템은 물고기 성장률을 촉진시키고, 겨울이 긴 우리나라에서 보온에 유리한 특성이 있다.

<표 2-2-1> 양식시스템의 구분 및 특성

양식의 종류	특성
정수식못양식	사료는 못속에서 발생하는 천연먹이를 주로 하며 배설물 등의 찌꺼기는 흙속에 사는 질산화세균이 분해한다. 용존산소는 공기중 산소가 녹아 들어가서 충족된다. 수량에 비해 생산량이 가장 적고, 양식어종은 틸라피아, 잉어, 금붕어, 메기 등이다.
유수식양식	사육지에 물을 연속적으로 통과하게 하여 어류를 양식하는 방법으로 인공사료를 사용한다. 배설물 등의 찌꺼기는 흐르는 물을 따라 밖으로 버려진다. 보통 콘크리트재질의 사육조를 이용하며, 사육어종은 공급되는 물이 수온이 낮은 용천수나 하천수등이므로 냉수성 어종인 무지개 송어등을 양식한다.
가두리양식	과거에는 내만 등에서 독을 만들어서 해야 했으므로 경비가 많이 들었다. 최근에는 그물 등으로 구획을 지어 가두리를 만들어 어류를 수용하여 경비를 감소 시키고 있다. 장점은 많은 양의 어류를 수용하여 도 가두리속의 수질이 나빠지지 않아 작은 시설에 많은 양의 어류를 기를 수 있어 시설면에서 매우 경제적이다. 양식어종은 저수지에서 잉어, 금붕어 양식과 바다에서는 방어, 돔류 등의 치어와 연어, 송어등이다.
순환여과식양식	어류의 배설물과 미섭취 사료가 녹아 있는 사육조의 물을 여과조를 이용하여 처리하고 다시 사용하는 방식이다.

## 나. 양식의 수질환경인자

수질이 저하할 경우에 어류에 스트레스를 주고 어류의 성장을 저하와 사망의 원인이 되므로 순환여과식 양식시스템에서 수질을 충분히 고려하여야 한다. Meada(1989a)는 수질감소는 어류의 스트레스로 연결되고, 스트레스가 어류의 생리적 변화를 일으켜 어류에 질병이나 폐사의 위험을 증가시킨다고 보고하였다.

순환여과양식에 관련하는 주요 수질인자는 암모니아, 아질산염과 같은 용존질소화합물등과 부유물질, 용존산소, pH, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, 알칼리도 등이다. 이들 인자에 대하여 서술하면 다음과 같다.

### 1) 알칼리도와 pH

어류양식에 있어서 수중의 pH는 중요한 인자이다. 이로 인하여 수중에 존재하는 암모니아성 질소, 질산성 질소, 아질산성 질소, 이산화탄소등의 물질이 어류의 생육에 영향을 주는 독성물질의 분율을 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 어류성장에 적합한 pH범위를 유지하기 위해 알칼리도의 유지가 필요하다. 알칼리도는 OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등에 의해 기인된다. 순환여과식 양식시스템에서는 이들 알칼리도 유발물질의 주입이 필요하다.

암모니아성 질소 1mg이 질산성 질소로 산화하는데 약 7mg의 알칼리도가 소비되므로, 수중의 pH와 알칼리도는 감소하고, CO<sub>2</sub>농도는 증가한다. Gujer와 Boller(1984)는 50 mg as CaCO<sub>3</sub>/L이하의 알칼리도에서는 질산화를 제한하고 pH7이하에서는 질산화 효율이 저하한다고 보고하였다. 암모니아는 자연수계에서 정상적인 온도와 압력하에서 기체이다. 이 기체는 수중에서 암모니아(NH<sub>3</sub> : 비이온성 암모니아)와 암모늄(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 이온성 암모니아)으로 평형을 이루고 있다.



$$\frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{(\text{pH} - \text{pKa})} \quad (2-2-2)$$

$$\text{pKa} = 0.09018 + 2729.92/\text{T}, \quad ^\circ\text{K} \quad (2-2-3)$$

식(2-2-1)은 pH와 온도의 함수로서(25℃, pKa = 9.25)pH와 온도의 증가는 반응을 왼쪽으로 진행시켜 비이온화 암모니아를 증가시킨다. 위 평형이 가지는 중요한 의미는 비이온화 암모니아가 암모늄보다 수생동물에게 유독하기 때문이다.

## 2) 암모니아

암모니아는 수중의 pH, 온도 등에 따라 이온성 암모니아와 비이온성 암모니아로 구분되는데 비이온성 암모니아가 어류에 독성이 강하다고 알려져 있다. 수생동물이 암모니아에 의해 사망하는 경로는 일반적으로 다음과 같이 알려져 있다. 수생동물이 암모니아농도가 높은 곳에 노출되면, 성장률의 감소, 스테미나의 감소, 아가미 이상현상 (gill abnormality) 등을 일으켜 종국에는 폐사하는 것으로 알려져 있다.

암모니아는 어류에 의해 배출되는 대사산물로서 사료 1g 소비당 30mg의 암모니아를 생산하며 유기화합물의 생물학적 탈라민작용, 내생호흡과 세포분해등의 생물학적 처리과정에서도 생성이 된다. 일반적으로 암모니아라 함은 총암모니아로서  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ 를 말한다. 양식에 있어 총암모니아는 중요한 수질인자이다. 비이온성 암모니아가 고농도일 경우 어류에게 독성을 미친다. 무지개 송어에서는  $\text{LD}_{50} = 0.32 \text{mg/L}$ 이고, 메기일 경우  $\text{LD}_{50} = 3.10 \text{mg/L}$ 이다. 0.05 - 0.2 mg/L의 저농도일 경우에도 어류성장을 저해한다.

### 3)이산화탄소

고밀도 양식시스템에서 산소의 고갈과 함께 나타나는 가장 심각한 문제중의 하나는 혈액의 산소전달 능력 등을 감소시키는 이산화탄소의 독성이다. 이산화탄소는 호흡에 의한 중간생성물이 배설물에 포함되어 있으며 생물막의 미생물에 의해서도 생성된다. 연어와 송어는 사료 1mg섭취당 0.3 - 0.4mg의 이산화탄소를 생산한다. 이산화탄소는 질산화박테리아의 합성과 질산화 과정에서도 발생하는데 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 소비량 약 6g의 이산화탄소를 생산한다. 이산화탄소의 조절은 pH, 탄산계와 대기의 이산화탄소 평형에 의존한다. 이산화탄소 평형과 air stripping 또는 화학적 첨가를 이용한 이산화탄소 처리를 행할 수있다.

### 4)용존성 질소가스

질소가스는 생물막적으로 불활성이며 화학적으로 반응하지 않는다. 그렇지만 질소가스가 110%이상으로 과포화시 대부분의 어류에게 영향을 미친다. Colt와 Orwicez는 가스에 의한 영향은 ΔP, 어종, 어류의 성장단계, 수질과 수중깊이에 따라 다른데 가스 과포화에 의한 영향을 피하기 위해 10mmHg이하의 ΔP를 유지하는 것이 바람직하다고 발표하였다.

### 5)용존유기물

용존유기물은 타가영양성 미생물의 성장을 촉진시킨다. 타가영양성 미생물은 산소 요구량을 증가시키고 질산화작용을 억제한다. 몇몇의 타가영양성 미생물은 어류에게 유행병을 유발시키기도 한다.



## 6) 용존산소

수중의 용존산소는 양식에 있어 수용량과 생산량을 결정하는 주요인자로서 용존산소 부족시에는 어류가 질식사하는 반면, 과잉의 용존산소에서는 오히려 성장이나 먹이섭취량이 저하한다. 산소요구량은 사료 g 섭취당 220mg에서 547mg이다. 수중의 용존산소는 질산화에도 이용되는데 암모니아 g당 약 4.25g의 산소가 요구된다.

## 7) 아질산염

아질산염은 암모니아가 질산염으로 되는 생물학적 산화의 중간산물로서 저농도에도 독성이 있다. 무지개송어의 경우 96hr LC<sub>50</sub>은 0.20 - 0.40 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L인데 이독성은 칼슘과 염소이온 농도에 의존한다. 어류의 건강과 생산력 증대를 위해 Westin은 아질산염의 농도를 0.012mg./L이하로 유지할 것을 제안했으며 Meade는 최고 0.1mg/L를 제안하였다. 수중에서 아질산염은 아질산염보다 독성이 강한 아질산과 평형을 이루고 있다.



아질산염과 아질산의 평형( $K_a = 4.5 \times 10^{-4}$ , 25°C)은 pH에 따른다. 낮은 pH에서 평형은 아질산 쪽으로 이동하며 독성이 증가한다. 그러나 양식의 일반적인 pH에서는 주로 아질산염 상태이다.

## 8) 질산염

암모니아의 생물학적 산화의 최종산물인 질산염은 고농도의 경우에만 독성을 미친다. Westin은 순환여과양식시스템에서 질산염농도가 25 - 35 mg/L라도 어류에 영향을 미치지 않는다고 주장하였다. Colt와 Tchobanoglous은 어류의 96hr LC<sub>50</sub>이 1,000 - 2,000 mg/L라고 보고하였으며 Braun(1972)은 무지개송어의 저항한계농도를 800mg/L라고 발표하였다. 수중의 질산염은 질산과 평형상태에 있다.



질산염과 질산의 평형( $K_a = 100$ ,  $25^\circ\text{C}$ )은 pH에 의존하는데 낮은 pH에서는 평형은 질산쪽으로 이동하며 중성의 pH영역에서 이평형반응은 질산염상태에 있다.

## 9) 인

인은 고밀도 시스템에서 어류성장에 제한이 되지 않는다. 인은 유출수 내에 포함되어 양식장 주변의 수질을 오염시키는 문제로만 다루어진다.

## 10) 부유물질

부유물질에 의한 영향은 어종, 성장정도에 따라 다른데 Wallen은 69,000mg/L의 부유물질농도에서도 열대어의 성장에 영향을 주지 않는다고 발표했으며, Herbert와 Merkens은 규모토로서 207mg/L의 부유물질농도에서 무지개송어의 지느러미가 찢고 사망에 이른다고 발표하였다.

## 2. 순환여과식 양식 시스템의 수처리 원리 및 장치

순환여과식 양식시스템은 한번 사육조에 공급한 물을 수처리장치를 이용하여 처리한 뒤 재사용하는 시스템으로 일정한 수처리 시스템이 필요하며, 개방형 양식기법에 비해 기술과 장비가 필요한 양식기법이다. 순환여과식 양어시설을 적용한 연구는 1960년대 일본에서의 순환 여과식 잉어양식과 미국 Memphis 주립대학의 송어양식 연구등을 들수 있다. 그이후 1968년에 시작한 미국 Delaware 대학교의 순환여과식 해산 패류양식 연구와 1970년대 미국의 연어부화장에서 여과장치의 사용례들이 있다. 그러나 이들 시도는 그후 계속해서 산업발전으로 연결되지 못하고 있는 실정이다. 1980년대에 들어와서 순환여과식 양어가 꾸준히 개발되기 시작하고 이들 수준은 유아기에 불과했지만 빠른 속도로 산업적 경제 규모를 갖출 수 있게 되어갔다. 그래서 순환 여과식 양어장에서 나오는 생산량이 수천 톤에 이른다고 한다. 그 주되는 것이 덴마크를 포함한 서북 유럽이며, 중국에서도 상업적 순환 여과식 양식 기술 개발을 서두르고 있고 대만, 일본, 미국 등에서도 일련의 시도가 진행되고 있다.

덴마크와 네덜란드에서는 순환 여과식 뱀장어 양식기술이 개발되어가고 있으며, 이 두나라의 순환여과식 뱀장어 생산량은 유럽에서 양식되는 전 생산량의 약 절반을 넘는 것으로 알려지고 있다. 독일의 상업적 순환 여과식 양어 기술의 개발 판매, 노르웨이의 해산어 육상 순환 여과식 양식 기술 개발 등이 있다.

현재 순환 여과식 양식 기술 개발이 늦어진 한 가지 이유는 기술정보의 보급이 늦다는 데 있다. 전세계의 다른 집단들이 같은 과오를 수없이 되풀이하면서 같은 바퀴를 연구하고 있는 셈이다. 어쩌다 기술 개발에 진전이 있을 때는 그 기술을 비밀에 붙이는 경향이 있다.

한국에서 순환여과식의 역사는 1970년대에 김등이 간이 순환 여과 장치로 각종의 어류 성장 시험을 한 것이 시작이며 1979년에 Pilot규모의 양식 시설을 하여 어류의 각종 사육 시험을 하는데 유용하게 이용되어 왔다. 이 과정에서 사용된 여과조는 침

지식 여과장치였다. 충전미디어는 자갈, 요철 플라스틱 판, 플라스틱 골판 및 첨모직물 등을 이용하였으나 미디어별 처리효율상의 차이점은 없었다.

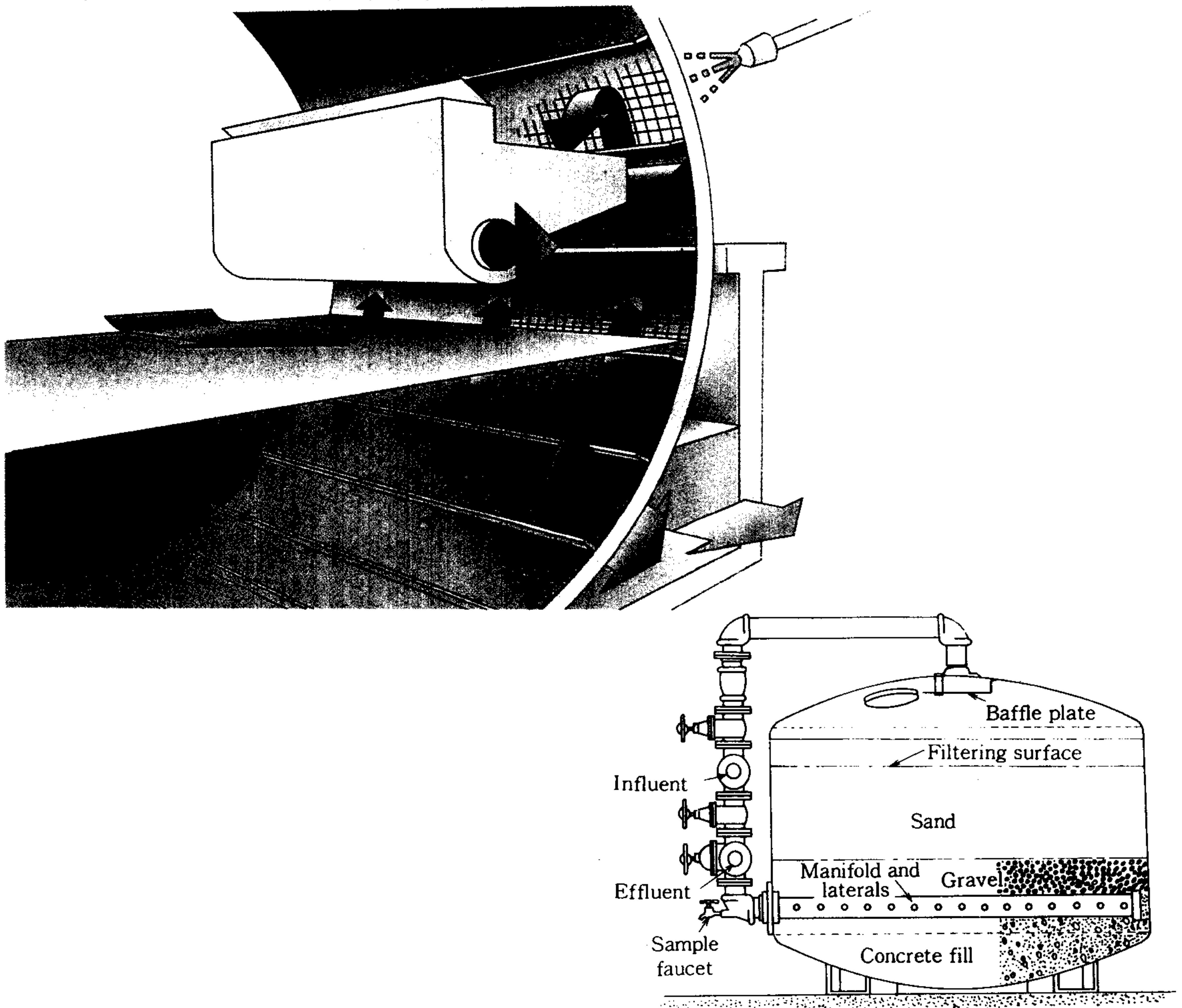
생물막 여과장치의 개선을 위해 폐수처리에 적용되는 미디어를 순환수처리에 응용한 연구결과도 많이 보고 되고 있다. 미국의 경우에는 양어장 순환수처리를 위한 미디어를 별도로 판매하고 있다. 순환여과식 양어시스템은 어류 양식에 필요한 사육조와 순환수처리를 위한 수처리 장치로 구성된다. 수처리장치는 고형물 처리장치와 용존성 물질처리장치로 구분하여 서술하면 다음과 같다.

#### 가. 고형물처리장치

순환수내 고형물의 발생요인은 사료공급에 따른 양식 어류의 배설물과 미섭취 사료 등에 의해 기인된다. 증력식 침전조 형태와 마이크로 필터나 모래를 이용한 여과(Filtration : solid and liquid separation)방식으로 처리가 가능하다. 이들은 설치와 운전상의 각기 장단점이 있다. 증력식 침전조를 이용한 고형물 제거는 일정한 입자의 밀도와 침강속도를 측정하여 이를 근거로 침전조를 설계할 수 있다. 단순 콘크리트구조물로 고형분을 처리할 수 있으므로 설치면에서 유리하나, 운전시 침전조에 고인 고형물질을 일정주기로 제거하고 침전조를 청소해야 하는 번거로움이 있다. 침전조에서 아질산염이 생성되기도 하며 침전된 고형물이 탈질화 현상으로 재부상하는 경우도 있어 세밀한 유지관리가 필요하며, 발생하는 폐슬러지의 함수율이 높아 이에 대한 별도의 처리가 요구된다.

모래여과장치를 이용한 고형물제거는 충전한 모래크기에 따라 처리효율이 달라지며, 일반적으로 20 $\mu$ m 크기의 입자까지 제거 가능하다. 압력식 모래여과기는 일정주기별로 역세척을 통하여 여과층을 세척하여야만 안정적인 처리효율을 유지할 수 있다. 역세방법은 수동식과 자동식으로 구분되는데 수동식은 작업자가 압력게이지를 읽고 밸브를 작동하여야 하며, 자동식은 여과기내의 압력이 일정수준이상 상승하면, 솔로

노이드 밸브와 시간조절기가 자동으로 작동하여 역세작업이 진행된다. 마이크로 스크린을 이용한 여과방식은 드럼필터형식을 많이 이용한다. 마이크로 스크린의 눈금크기에 따라 처리효율이 달라질수 있다. 일반적으로 사용하는 눈금크기는 50 $\mu$ m 정도의 것을 이용한다. 드럼스크린은 드럼의 표면을 스크린으로 장치하고 회전한다. 순환수는 드럼의 내부로 유입되어 외부로 유출된다. 이때의 드럼내부와 외부의 수두차는 약 10cm 정도로 유지된다. 회전드럼에 장치된 스크린은 드럼상부에 장치된 세척장치를 통하여 연속적으로 세척되므로 운전자의 작업이 필요없다. 드럼장치와 사여과장치의 운전과정은 <그림 2-2-1>에 나타내었다.



<그림 2-2-1> 드럼필터와 사여과장치의 운전모식도

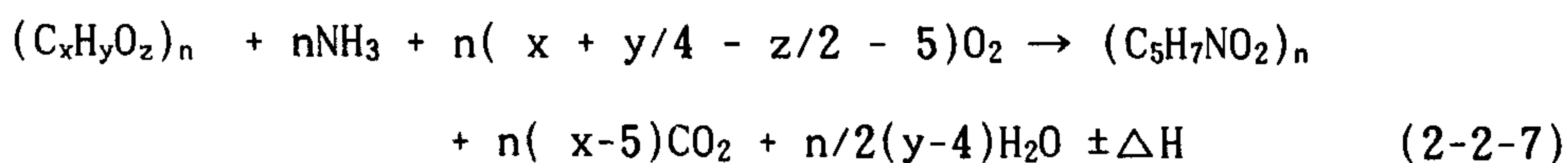
## 나. 용존성물질의 생물학적 처리

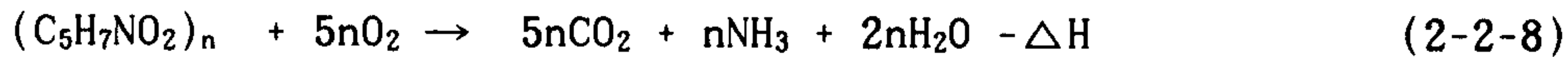
### 1)기본원리

순환수내 처리해야 될 용존성물질은 질소화합물 및 유기물 등이다. 질소화합물질은 암모니아, 질산, 아질산등으로 구분할 수 있다. 유기물 및 암모니아 및 아질산의 처리는 생물학적 처리방법이 가장 손쉽고 유효한 방법이다. 생물학적 처리에 의한 이들 물질의 제거원리는 다음과 같다.

#### 가)유기물 제거

일반적으로 생물학적 처리라고 하는 것은 폐수중에 들어있는 유기물 등의 오염물질들을 세균이나 미소동물 등의 대사작용을 이용하여 분해하는 처리법이라고 할 수 있다. 미생물의 대사에는 크게 혐기성과 호기성으로 구분할 수가 있으며, 호기성 미생물 같은 경우에 탄소화합물은 이산화탄소와 물로 산화시키고, 질소 화합물은 암모니아 또는 질산염으로 바꾸어 준다. 호기성 박테리아의 신진대사(metabolism)는 산소가 있는 상태에서 유기물의 산화 및 분해를 통해서 에너지를 얻고 이 에너지의 일부를 이용하여 새로운 세포를 합성하고 그리고 동시에 내 호흡을 통하여 세포를 분해하는 과정을 거친다. 이상과 같은 각각의 반응 형태는 다음과 같이 표현된다.





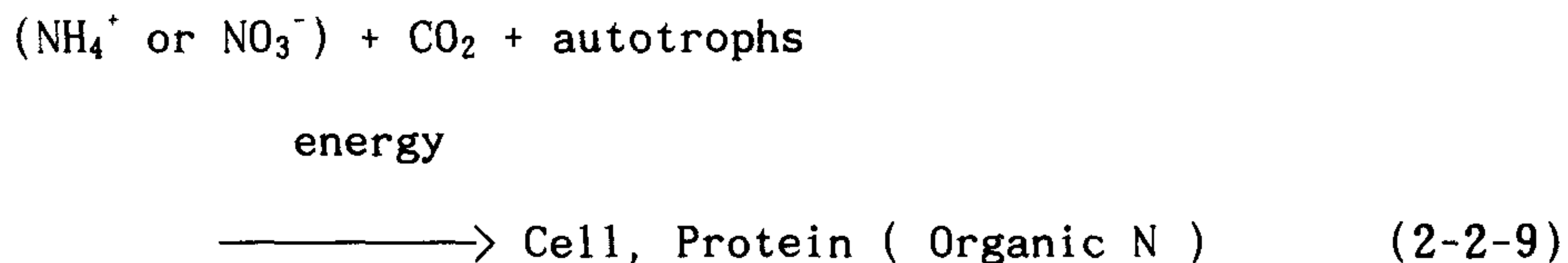
여기서,  $\pm \Delta H$ 는 반응에 이용되는 에너지이다.

Burkhead 등(1968)에 의하면 호기성 박테리아의 신진대사는 외부로부터 먹이가 공급되었을 경우에 위의 3가지 반응형태가 동시에 일어난다고 보고하였다. 유기물은 호기성 미생물의 대사작용에 의해 새로운 세포로 합성이 된다. 반응을 통하여 발생된 에너지의 1/3은 세포를 합성할 때 필요로 하는 에너지원으로 사용되고 2/3는 새로운 세포로 전환되는데 이용된다. 합성된 세포 g VSS 당 사용되는 에너지는 2.3 k cal/g VSS 이며 세포로 전환되는 에너지는 4.7 k cal/gVSS로서 전체 에너지는 7.0 k cal/g VSS가 된다(Mckinney, 1984). 반면에 합성된 미생물 등은 내호흡에 의해 세포량이 줄어드는 것으로서 최종적으로 80% g VSS가 감소되며 남은 20%의 g VSS는 세포의 주위를 둘러싸고 있는 Lipoprotein- polysaccharid 복합물로 분해 불가능한 부분으로 남아있게 된다. 내호흡은 20℃에서 2.0 %/hr 이다.

#### 나) 질산화

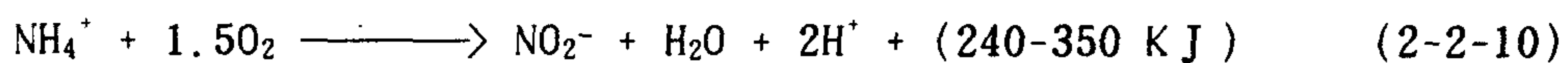
질소는 종속영양 미생물(heterotrophic organisms)이든 독립영양 미생물(autotrophic organisms)이든 모든 형태의 미생물 성장에 필요한 영양소로서 이용된다. 미생물량에 따라 실제 요구량이 다르며, 종속영양 미생물은 독립영양 미생물에 비해 그 양도 많으며 상당량의 질소를 동화(Assimilation)하므로 유기물 분해시 상당한 양의 에너지를 얻는다. 그에 비해 독립영양 미생물은 복잡한 유기물을 세포합성에 이용할 수 있는 적당한 형태인 이산화탄소로 전환하는데 많은 양의 에너지를 필요로 한다. 그 결과 이용된 에너지 기질당(Energy Substrate) 적은 미생물 증식을 보이며 질소 요구량도 적다. 무기질

소를 산화하여 에너지를 얻는 질산화 박테리아(Chemoautotrophs)는 독립영양 미생물이다. 대부분의 미생물은 합성에  $\text{NH}_4^+$  형태의 질소를 이용한다. 독립영양 미생물의 반응은 다음과 같다.



질산화는 호기성 생물학적 공정에서 낮은 유기물 부하 조건과 적당한 환경이 공급되었을 때 일어난다. 질산화 박테리아는 고정상 생물막(fixed film)과 부유 성장 시스템(suspended growth systems)에서 많은 비율을 차지하는 종속 영양박테리아에 비해 천천히 성장한다. 따라서, 미생물학적 측면에서 최대 질산화를 이루기 위해서는 적당한 환경요인의 공급으로 질산화 미생물의 성장이 유기물질을 산화하는 종속영양 박테리아의 성장을 보다 크게 유지하는 것이 가장 중요하다.

자연 시스템에서의 질산화는 다음 반응에 의해 암모니아를 연속적으로 산화시키는 화학 합성 독립영양 박테리아(Chemoautotrophic bacteria)에 의한 것이다.



이러한 반응에서 방출되는 에너지는  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ 와 같은 무기탄소원으로 부터 필요한 유기물량을 합성하는 질산화 미생물에 의해 이용된다.

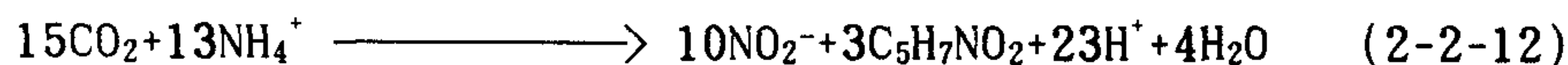
*Nitrosomonas*와 *Nitrobacter*는 편성 호기성으로서 오랫동안 산소가 없어도



사멸하지 않는다. 그리고, 기질이 없을 때 호기성 조건에서 보다는 혐기성 조건하에서 호흡율의 감소가 상대적으로 천천히 일어난다. 산소가 없을 때 *Nitrobacter*는 질산염을 아질산염으로 환원시킬 수 있다.

질산화 박테리아는 종속영양 미생물과 비교해서 매우 느린 성장을 하며 산화된 에너지 기질당 세포 생산량도 적다. 이는 에너지 기질과는 별개로 질소와 산소는 독립영양 미생물인 질산화 박테리아가 유기세포물질의 합성에 무기탄소를 요구하기 때문이다. 사실 무기질소의 산화에서 얻은 에너지는 CO<sub>2</sub>를 유기형태로 환원시키는데 주로 이용된다. *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter*의 구성이 C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>로 나타내어질 수 있다는 가정하에 세포성장의 화학양론식은 다음과 같다.

*Nitrosomonas*



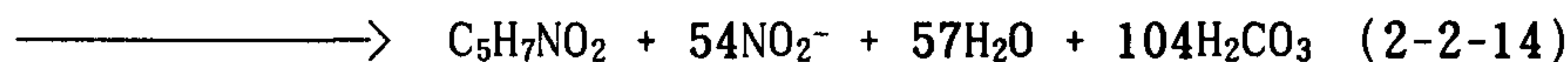
*Nitrobacter*



*Nitrosomonas*의 세포성장은 0.15 gVSS/gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이고 *Nitrobacter*의 세포성장은 0.02 gVSS/gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N으로 가정하면, 세포성장의 화학양론식은 다음과 같다.

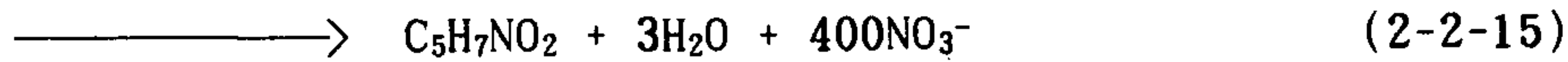


*Nitrosomonas*

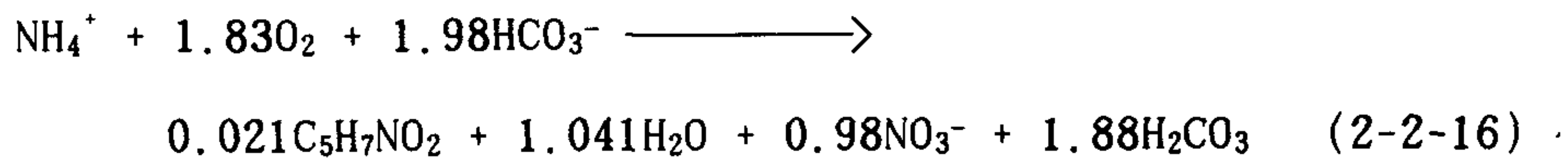




*Nitrobacter*



두 식의 결합에 의해 질산화 박테리아에 의한 합성과 산화의 전체 반응은 다음과 같다.



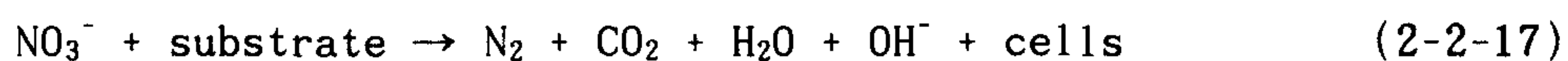
순환수 처리시 질산화반응에 미치는 중요한 인자는 산화된 암모니아성 질소 당 매우 낮은 세포생산, 질산화의 산소요구량은 제거된  $\text{gNH}_4^+\text{-N}$  당 약 4.2 g 산소가 필요하며, 질산화 과정 동안 생성된 수소 이온에 대해  $\text{g NH}_4^+\text{-N}$  당 약 7 g의 알칼리도가 요구된다.

암모니아 제거를 위해 가장 경제적이고 광범위하게 이용되고 있는 방법은 생물학적 처리이며 그 중에서도 짧은 수리학적 체류시간에도 높은 미생물 체류시간을 유지하여 기질의 부하변동에 강하고 슬러지의 부가적인 반송이 불필요한 잇점을 가지고 있는 고정 생물막 공법이 널리 사용되고 있다. 또한 생물막을 이용한 질산화실험은 양어장시스템에서 독성이 큰 암모니아를 비교적 독성이 낮은 질산으로 바꾸기 위해 널리 쓰이는 방법이기도 하다. (Michael et. al., 1994) 한편, 여러가지 문제점을 내포하고 있는 상·하수 처리공법에 대한 처리기능의 보완을 위하여 하수처리의 경우 2차처리 시설로서 활성슬러지의 각종 변법과 상수처리의 경우 전처리 공정으로서 생물막공법의 적용여부에 관한 연구개발(박, 1991)도 최근에 들어 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 생물막공법은 주로 영양소등을 제거하기 위한 고도처리로서 많이 이용되고 있다. 임(1993)은 회전원판법을 이용하여 암모니아의 질산화에 관한 연구

결과를 보고한 바 있으며 안(1993)과 홍(1987)은 생물막 유동층 반응기를 이용한 폐수처리에 관하여 이(1992)와 김(1995)은 생물막 유동층 공법을 이용하여 양식장 순환수처리에 적용한 예도 있다. 府中은 안스라사이트를 여재로 상용한 생물막 여과법의 하수 고도처리 실험에서 BOD가 1차식으로 먼저 제거되고 그 다음 NH<sub>4</sub>-N이 0차식으로 질화되며 그 반응속도 정수는 각각 0.22/min, 0.92mg/L을 보고한 바 있으며 勝田 등은 포기여과지를 이용하여 수중의 암모니아성 질소를 대상으로 생물처리를 통하여 조내에서의 질산화과정을 해석하였다. Iida와 Terandish는 침적생물막 반응조의 단일공정으로 도시하수의 유기탄소와 질소제거실험 결과 7시간의 체류시간 및 간헐적인 폭기와 2.0의 재순환 비율로 보조 탄소성분을 첨가하지 않고 질소의 80%를 제거가능하다고 보고하였다.

#### 다) 탈질소화

탈질소화 반응은 무산소상태에서 유기에너지원이 존재할 때 수소 수용체 (Hydrogen acceptor)로서 질산염을 이용하는 종속영양 미생물(Heterotrophic microorganisms)에 의해서 일어나는 반응이다. 탈질소화의 반응식은 다음과 같은 형태로 일어난다.



가장 일반적인 탈질소화 박테리아로는 *Bacillus denitrificans*, *Micrococcus denitrificans*, *Pseudomonas stutzeri*, *Achromobacter* 등이 있으며, 탈질에 관여하는 세균 중에서도 특히 *Pseudomonas denitrificans*의 탈질소화 활성이 높은 것으로 나와 있다(稻森悠平 등, 1982). 탈질소화에 대한 생화학적 반응식은 다음과 같다(McCarty 등, 1969).



탈질반응에 있어서의 용존산소량이 0 mg/L 에서 부터 1.0 mg/L 까지 증가하면 탈질소화율도 이것에 따라 선형적인 감소를 보인다고 알려져있다. 무산소조에서 1 mg NO<sub>3</sub>-N의 탈질소화에 대해서 3.57 mg Alkalinity(as CaCO<sub>3</sub>)가 생성된다고 알려지고 있으며, 1 mg NO<sub>3</sub>-N가 탈질소화 반응을 거치기 위해서는 대략 3 mg/L BOD가 소비되어진다. <표 2-2-2>에는 탈질소화에 필요한 유기탄소원의 비탈질율(Specific denitrification rate)을 나타내었다.(W. Wesley Eckenfelde, Jr. 1989).

생물학적 탈질소화법은 에너지원을 획득하는 방법에 따라서 크게 Wuhrmann 방식과 Bringmann방식의 두종류로 구분된다(松本利通, 堺好雄, 1978).

Wuhrmann 방식은 탈질중에 별도의 유기탄소원을 첨가하지 않고 질산화과정을 거친 처리수 중에 남아있는 BOD와 내생호흡에 의해 세포질을 이용하여 탈질을 유도하는 방식이고, Bringmann 방식은 이와는 별도의 유기탄소원을 첨가하여 탈질을 유도하는 방법이다.

<표 2-2-2> 탈질소화에 필요한 유기탄소원의 비탈질율

Carbon source	kg NO <sub>3</sub> -N/(kg VSS. day)	Temperature, °C
Brewery wast	0.22 - 0.25	20
Methanol	0.18	19-24
Volatile acids	0.36	20
Molasses	0.10	10
	0.036	16

## 2) 생물막 공법

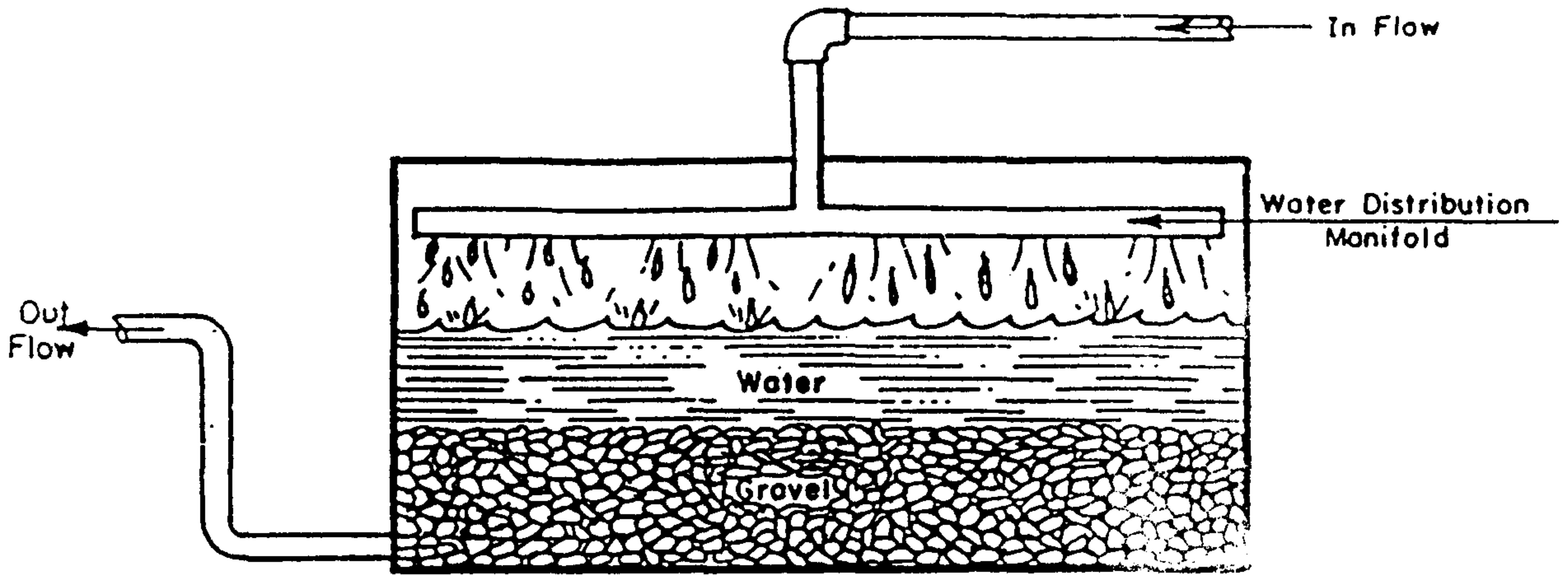
생물학적 수처리 방법은 미생물의 성장 특성에 따라 부착성장 미생물법과 부유성장 미생물법으로 구분할 수 있다. 부착성장 미생물은 미생물이 고체의 표면에 부착하여 생물막(Biofilm)을 형성하여 물속의 오염물질을 정화한다. 부유성장 미생물법은 미생물간에 일정한 군집을 이루어 미생물 덩어리(Floc)를 형성하여 물속의 오염물질을 정화하는 각각의 성장특성을 가지고 있다. 부착성장 미생물의 특성을 이용한 수처리 기법을 생물막 공법이라 하며, 오래전부터 이용한 방식은 RBC법, 살수여상법등이 있고, 침지식 생물막법, 유동층법도 최근 많은 연구사례가 보고되고 있다. 이러한 생물막 공법은 특성은 다음과 같다.

### 가) 침지식 생물막 공법

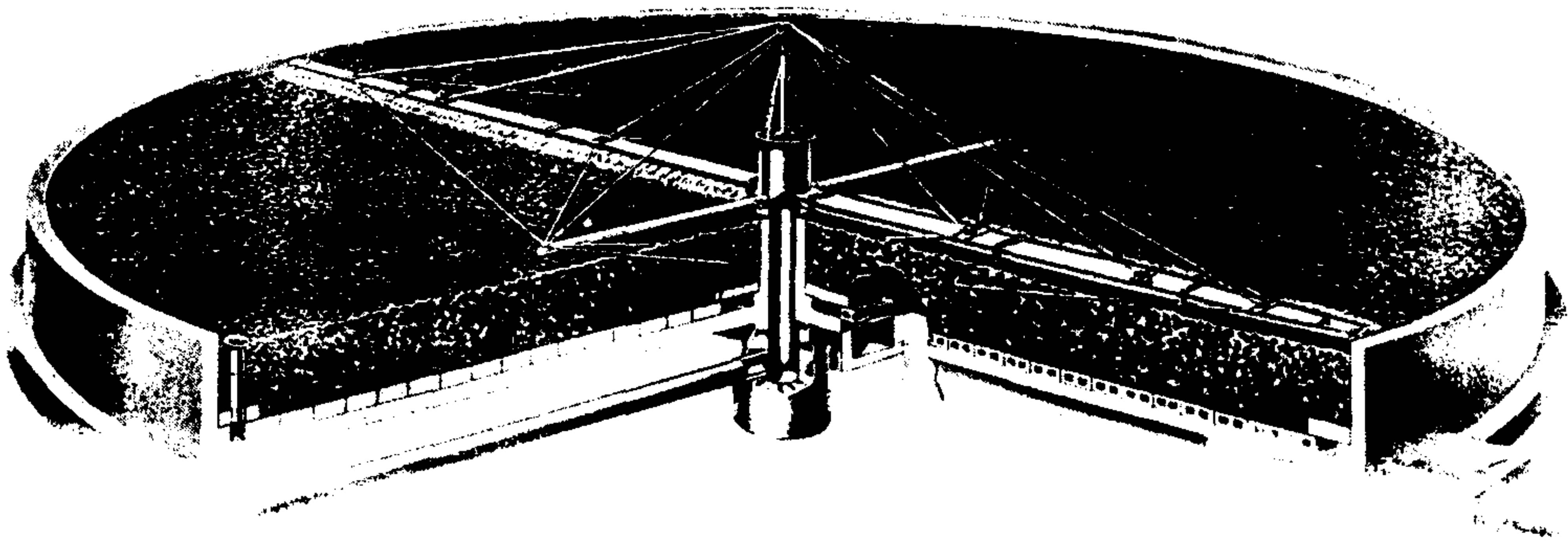
양어장 순환수내 암모니아제거를 위한 침지식 생물막 여과조를 <그림 2-2-2>에 나타내었다. 반응조는 자갈, 플라스틱 등의 여과재가 충전되어 있고, 이 고정층 사이로 물이 지나간다. 질산화 박테리아가 수중의 여재에 부착되어 있기 때문에 산소가 물에 의해 여과기로 전달되어야 한다. 이것은 침지식 생물막 여과기가 가장 제한을 받는 요인중에 하나가 된다. 에너지소비는 여과기로 양수해야 되는 수두차에 좌우된다.

### 나) 살수여상공법

<그림 2-2-3>에 살수여상법의 운전모식도를 나타내었다. 이 방법은 여과재가 젖어 있지만 침지되지 않는다. 여과기가 물로 채워져 있지 않기 때문에 공기는 여과기를 통과하여 미디어에 부착한 박테리아에 자연적으로 산소를 공급할 수 있다. 이 여과기에서 에너지는 물을 양수하는데 사용된다. 살수여상에서 반응조의 깊이는 0.15 - 5m로 다양하다. 필요한 양수높이는 직접적으로 여과기 자체의 깊이에 비례한다. 역세에 약간의 에너지가 소비된다.



<그림 2-2-2> 침지식 생물막 여과조의 운전모식도



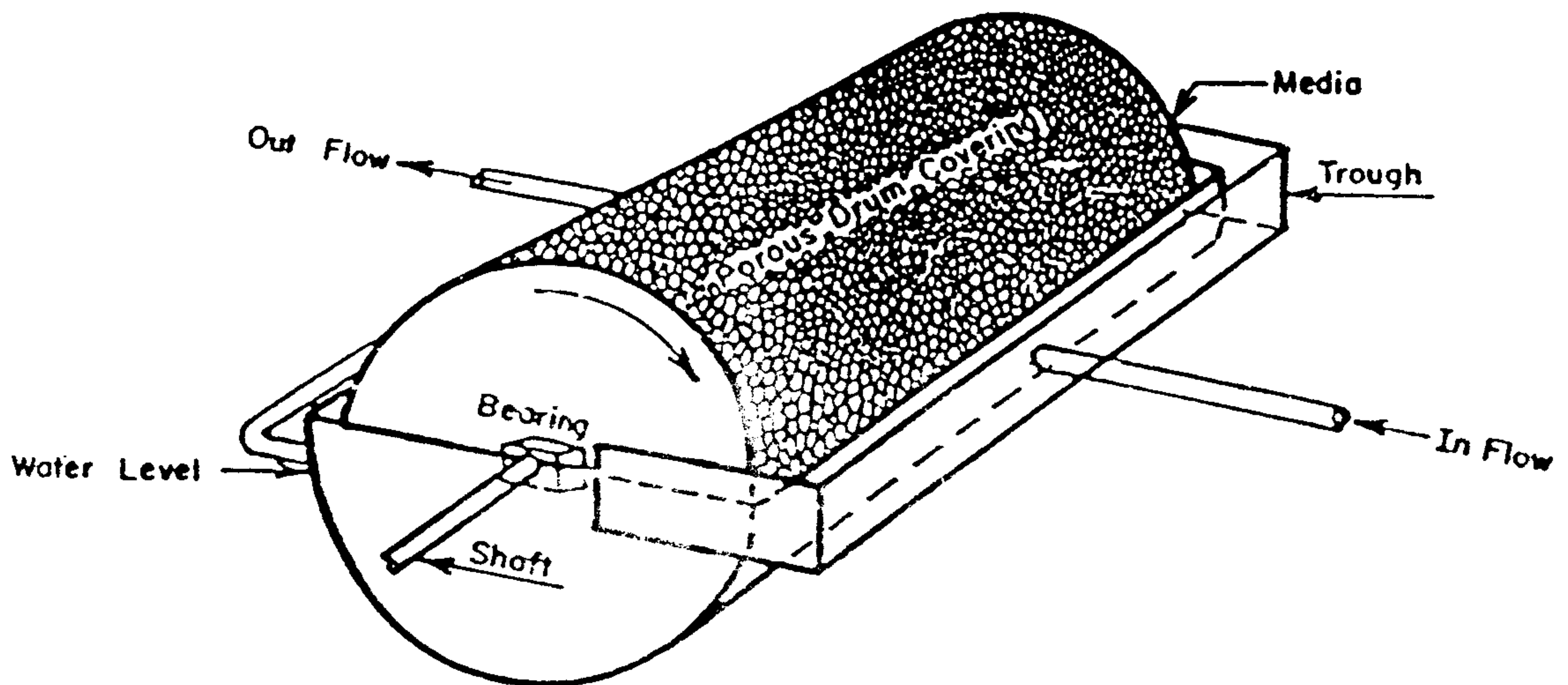
<그림 2-2-3> 살수여상 공법의 운전모식도

#### 다) 바이오드럼(Biodrums)

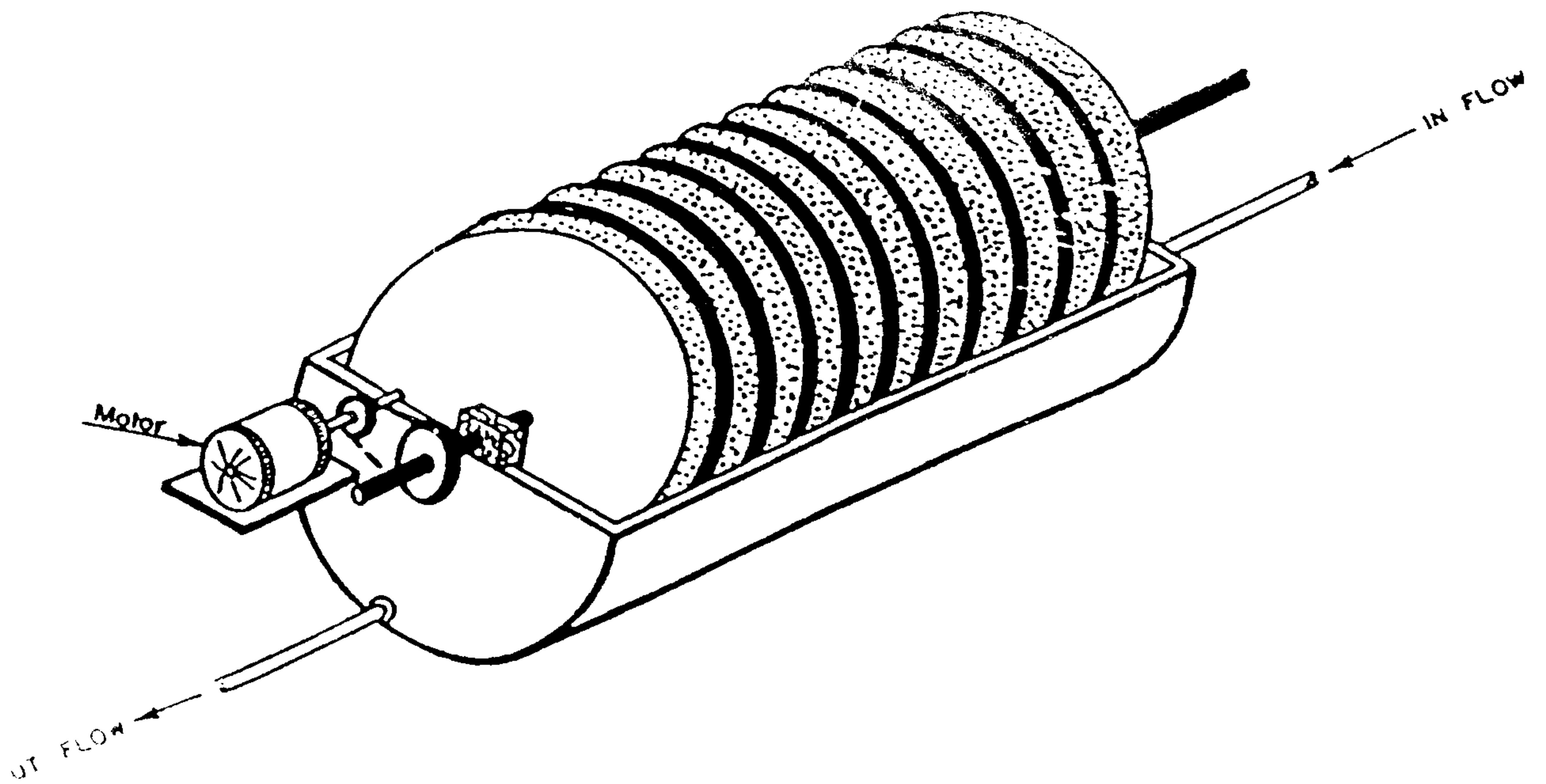
바이오드럼은 표면적이 넓은 여재로 충전되어있는 원주상의 컨테이너로 이루어져있다. <그림 2-2-4>에 바이오드럼의 모식도를 나타내었다. 그림에서 수평축을 갖는 탱크는 수위를 일정하게 유지하고 원주상의 컨테이너는 수조의 1/2이 물속에 잠겨있다. 동력은 통과 연결되어 있다. 통의 회전에 의해 미디어에 부착한 박테리아가 수중에 일시잠기고 공기중에 노출되는 과정을 통해 수중의 오염물을 제거하면서 여과재에서 박테리아가 성장한다. 통의 회전속도는 박테리아가 산소가 고갈되기 전에 공기중에 노출되고 건조되기 전에 물로 들어감으로써 조절이 된다. 바이오드럼의 회전 동작에 의해 수조내가 혼합된다. 내부 외부로의 유체의 흐름 때문에 회전중의 바이오드럼은 막히는 것이 드물다. 바이오드럼에서 사용되는 에너지는 일차적으로 통을 회전하는 것이다. 에너지소요량은 회전원판법보다 바이오드럼이 더 크다.

#### 라) 회전원판공법

회전원판법의 운전기작은 바이오드럼과 유사한 형태를 가진다. 회전축에 미생물이 부착할수 있는 비표면적이 넓은 원판또는 다각형의 판이 설치되어 수조에 회전하면서 물을 처리한다. 회전원판법의 개략도는 <그림 2-2-5>와 같다. 판의 공간은 표면적을 최대화하기 위하여 인접하게 놓여 있는데, 단위 면적당(여과기의 용적당 매개체의 표면적) 20-30 mm로 박테리아층이 각각의 판의 양면에 생기고 박테리아가 덮힌 판사이에 물이 순환하게 한다. 회전속도는 바이오드럼과 마찬가지로 제한되어 있다. 비록 바이오디스크가 약간의 파동을 수조안에서 일으키지만 바이오드럼보다는 적게 일으킨다. 바이오디스크를 회전하기위해서 드는 에너지는 바이오드럼보다는 훨씬 적다.



<그림 2-2-4> 바이오 드럼의 운전모식도



<그림 2-2-5> 회전원판법의 운전모식도

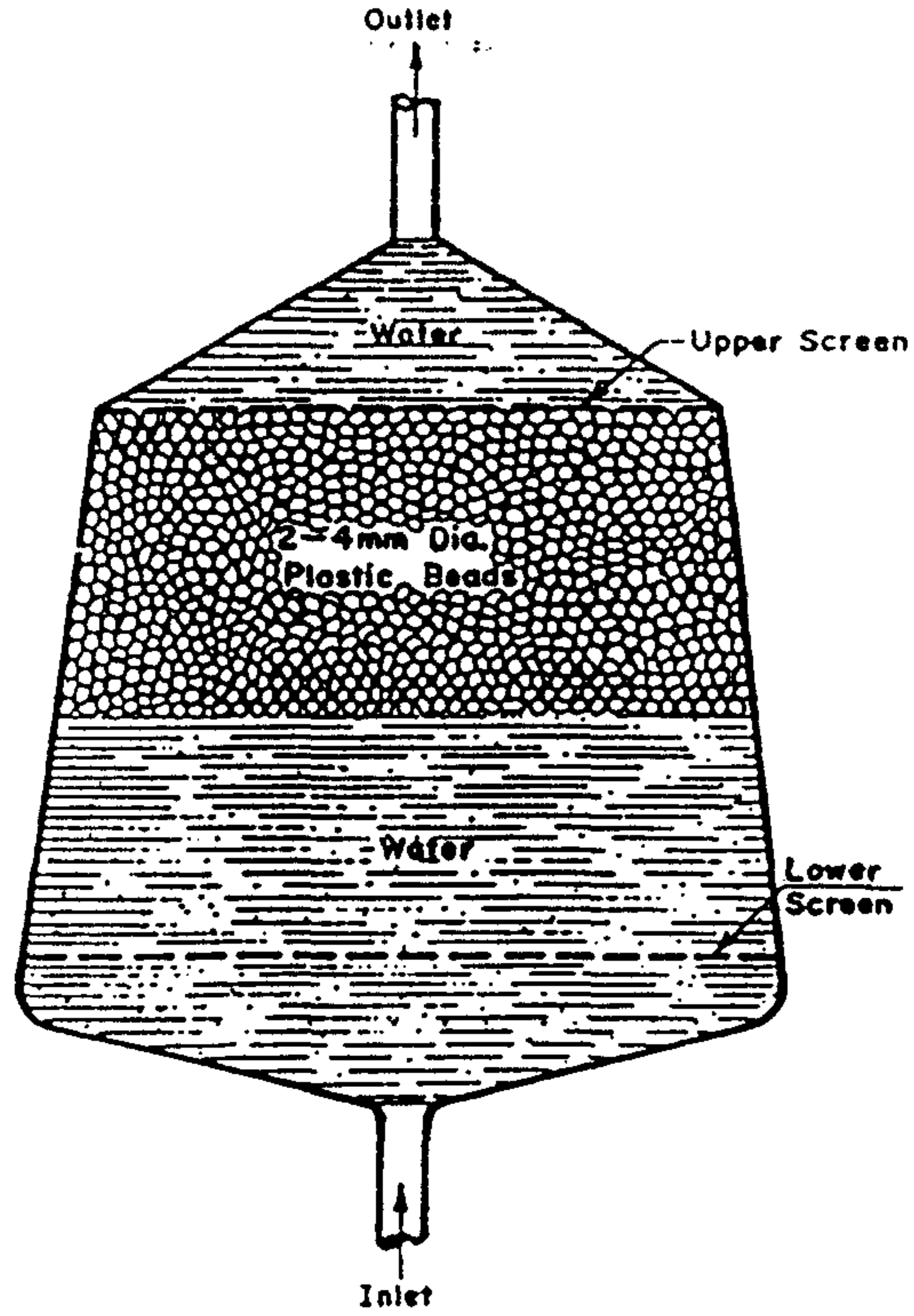


마) 유동층공법

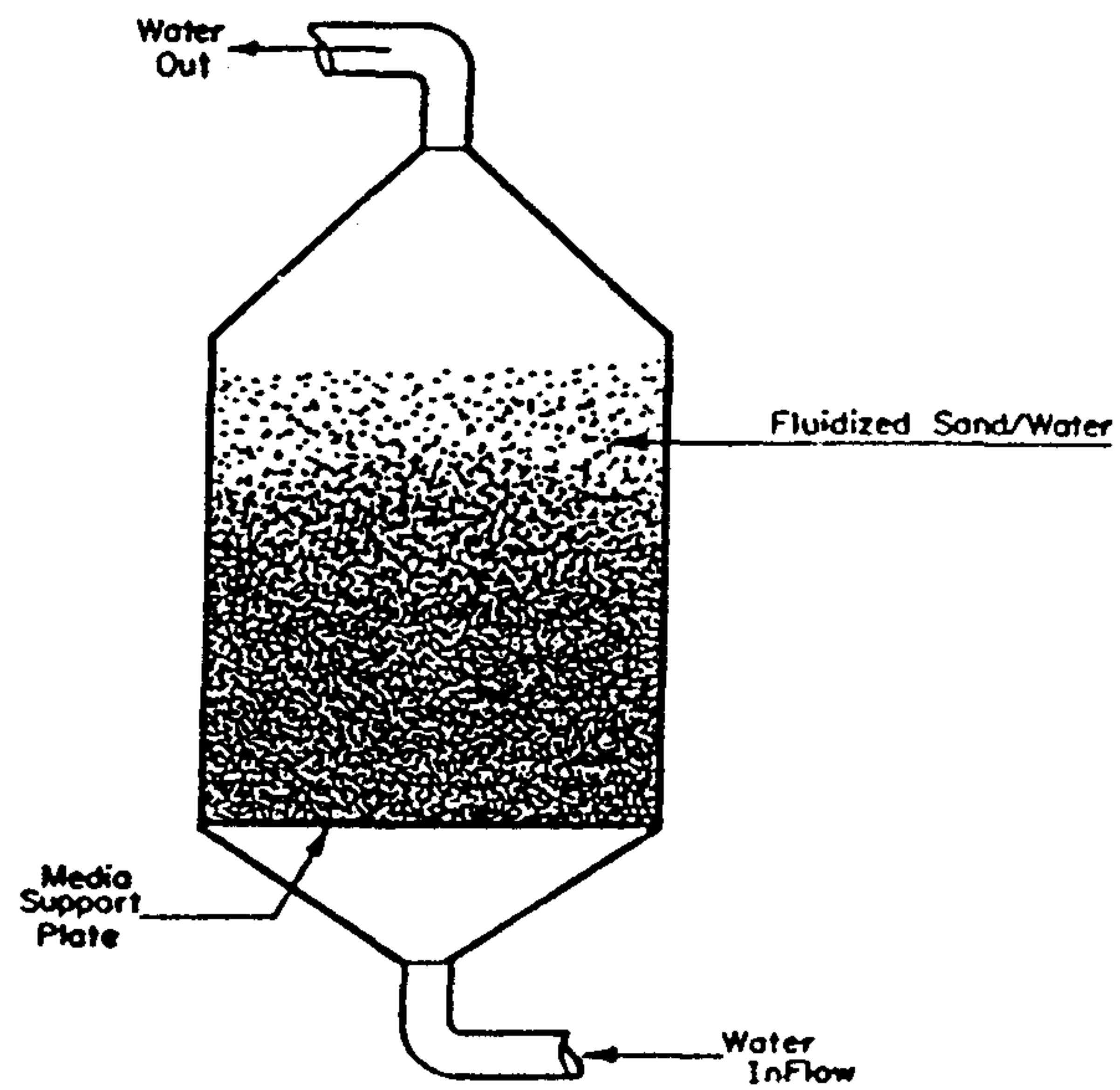
유동층 공법은 반응조내에 유동화현상을 유지하기 2상 유동층과 3상 유동층으로 구분한다. 2상 유동층법에 적용되는 반응조는 실린더형의 관으로 구성되어 있다. 반응조내에는 무겁고 입자크기가 작은 미디어로 충전되어 있다. 미디어는 대부분 모래를 이용한다. 2상 유동층 반응조의 운전모식도를 <그림 2-2-6>에 나타내었다. 유입수의 유속에 의해 반응조내에는 상향류가 형성되며 이 움직임에 의해 충전된 미디어가 유동하게 된다. 유동화되는 미디어에 미생물이 부착하여 물을 정화시키며 성장하게 된다. 미생물의 산소소비에 필요한 산소공급은 반응조외부에서 이루어진다. 2상 유동층 반응조는 단위면적당 높은 유수율이 필요하나 비교적 표면적당 작은 크기가 사용이 된다. 충전된 미디어가 쉽게 막히지 않고 조립된 후에도 재사용이 가능하다. 주 에너지는 양수를 위해서 사용이 된다.

바) Bead여과기

<그림 2-2-7>에 Bead 여과기를 나타내었다. Bead 여과기와 유동층 반응조의 근본적인 차이는 여과재가 플라스틱 베드보다 더 가볍다는 점이다. Bead(구슬) 크기가 다양하나 직경이 몇 밀리미터 이하이다. 여과재의 크기가 작으면 단위용적당 더 큰 표면적을 제공한다. 그래서 이 여과기는 표면적을 넓히기 위해 크기가 작다. 유입수는 하부에서 Bead여과기를 통과하여 상향류로 흐른다. 역류를 방지하는 판은 여과기의 위와 밑에 있어야 한다. 윗판은 여과기가 가동중에 여과기의 밑에서 물이 통과될 때 Bead가 유출되지 않도록 하며 유입수공급이 중단 되었을 경우 밑판이 베드를 지탱한다. 베드 여과기를 역세하는 방법이 여러 가지가 있으나 그중 2가지 방법이 가장 일반적으로 사용된다. 첫번째 방법은 주기적으로 작동을 중단하고 배수하는 방법이다. 이것은 베드를 떨어뜨리고 분산시킨다. 유수가 시작되면 처음의 고품질의 농도가 큰 여과수는 버려지게 된다. 두번째의 방법은 기계적으로 교반시켜서 Bead를 섞는 것이다.



<그림 2-2-6> 2상 유동층 반응조의 운전 모식도



<그림 2-2-7> Bead반응조의 운전모식도

### 제3절 인공양식수를 이용한 유기물 및 암모니아설 질소의 제거

#### 1. 개요

순환여과식 양식에 있어서 순환수중 처리하여야 될 가장 중요한 수질인자들은 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 유기물등이다. 순환여과식 수처리시스템에서 이들 용존성 물질을 처리하기 위해서 생물학적 처리기법으로 생물막 여과조가 이용된다. 본 연구에서는 이들 수질오염 인자들의 최적 처리 조건을 연구하기 위해 양어장 순환수와 유사한 성분을 가진 인공양식수를 조제하여 실험실 규모의 생물막 여과조 실험을 수행하였다. 실험조건은 유입수의 암모니아부하, 유기물부하조건의 변화와 반응조의 수리학적 부하조건의 변화등 이었다.

본 실험에서는 고정생물막 공법과 유동층 생물막 공법을 생물막 여과조로 적용하였다. 고정생물막 공법은 반응조의 설계인자를 직접포기방식과 간접포기방식으로 구분하였다. 직접포기방식은 반응조내 고정생물막에 직접 공기방울이 접촉하는 방식이며, 간접포기방식은 반응조외부에서 유입될 인공양식수가 미리 포기시키고 난 뒤 고정생물막 여과조에 공급되도록 설계한 방식이다. 고정생물막 공법에 적용된 생물막 미디어는 Saran미디어, Bio-Ceramic미디어, Ring미디어등을 이용하였다. 삼상 유동층 반응조에는 활성탄을 미디어로 적용하였다.

순환여과식 수처리 시스템에서 최적 생물막 여과조를 선정하기 위해서 생물막 여과조의 형태를 직접포기식, 간접포기식, 삼상유동층의 형태로 구분하여 암모니아 부하 실험과 수리학적 부하실험을 수행하였다. 이들 실험을 통하여 각 생물막 반응조의 수처리특성을 고찰하고 처리효율을 평가하고 최적 생물막 여과조 설계인자, 운전인자등을 도출하였다.

## 2. 재료 및 방법

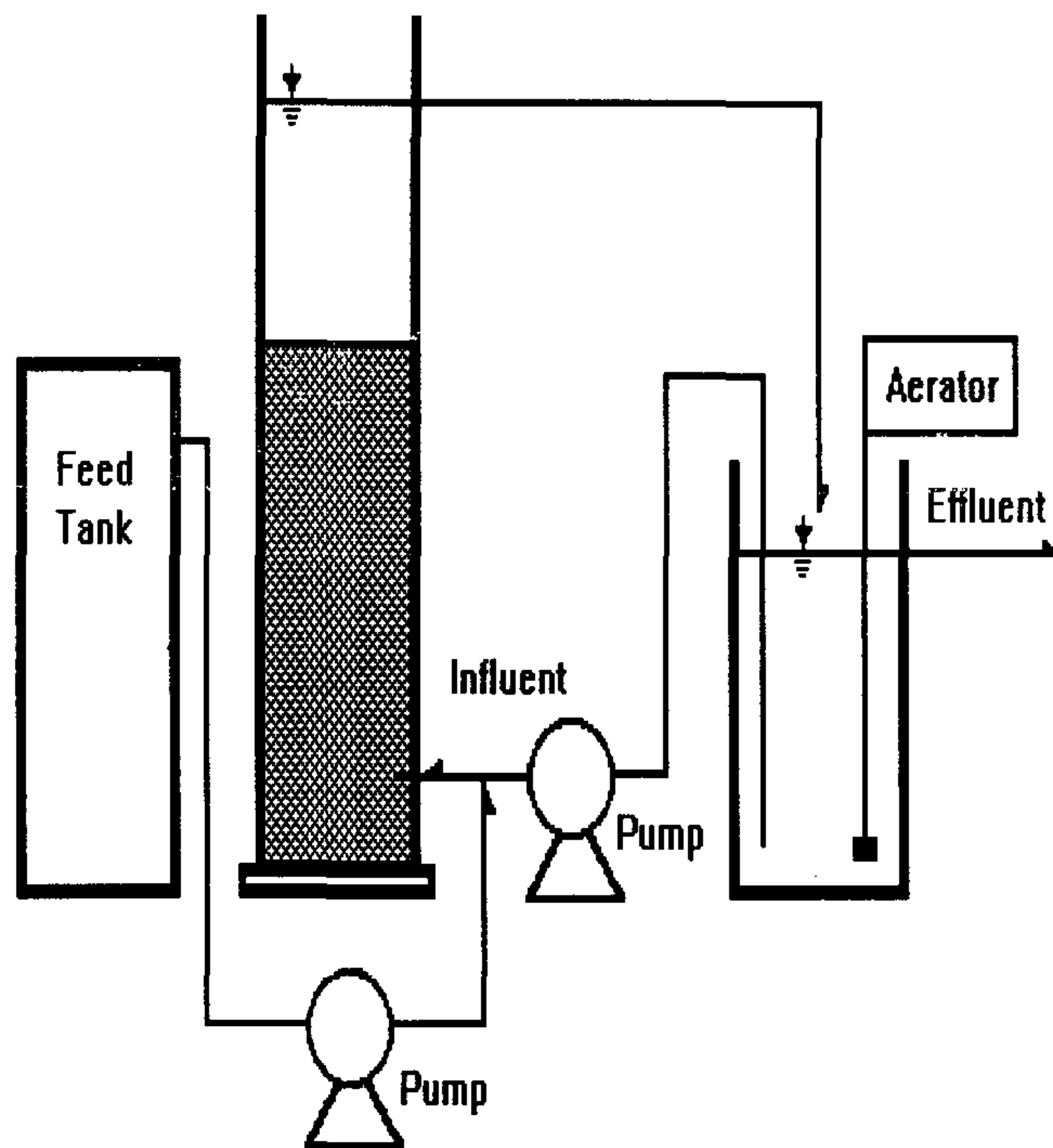
### 가. 재료

#### 1) 간접포기식 고정생물막 반응조

본 연구에 이용된 간접포기식 고정생물막 반응조는 내경 80mm, 두께 5mm의 원형아크릴을 이용하여 높이 450mm, 유효 용적 2L의 반응조를 2개를 준비하여 각각 Saran 미디어와 Bio-Ceramic 미디어를 이용하여 350mm 높이까지 채웠다. 본 연구에 이용된 간접포기식 고정생물막 반응조의 모식도는 <그림 2-3-1>와 같으며, 각 반응조에 이용된 각 미디어의 물성치는 <표 2-3-1>과 같다. 실험에 사용된 시료는 순환여과식 양어시스템의 순환수와 유사한 인공양식수를 조제하여 사용하였다. 유기원과 암모니아원으로 각각 포도당(glucose)과 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)을 사용하였고 질산화시 소모되는 알칼리도의 보충을 위하여 중탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)을 필요량 주입하였다. 기질 조제에 필요한 희석수는 미량원소의 공급을 위하여 수돗물을 사용하였으며 사용된 인공양식수의 조성은 <표 2-3-2>와 같다.

<표 2-3-1> 간접포기식 생물막 반응조에 사용된 미디어의 특징

	SARAN	Bio-Ceramic	Ring
단위중량(kg/ m <sup>3</sup> )	58	440	120
평균직경(mm)	-	5	16
충진율(kg/ m <sup>3</sup> )	110	380	99
비표면적(m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup> )	400	2540	346



<그림 2-3-1> 간접포기식 고정생물막 반응조의 모식도

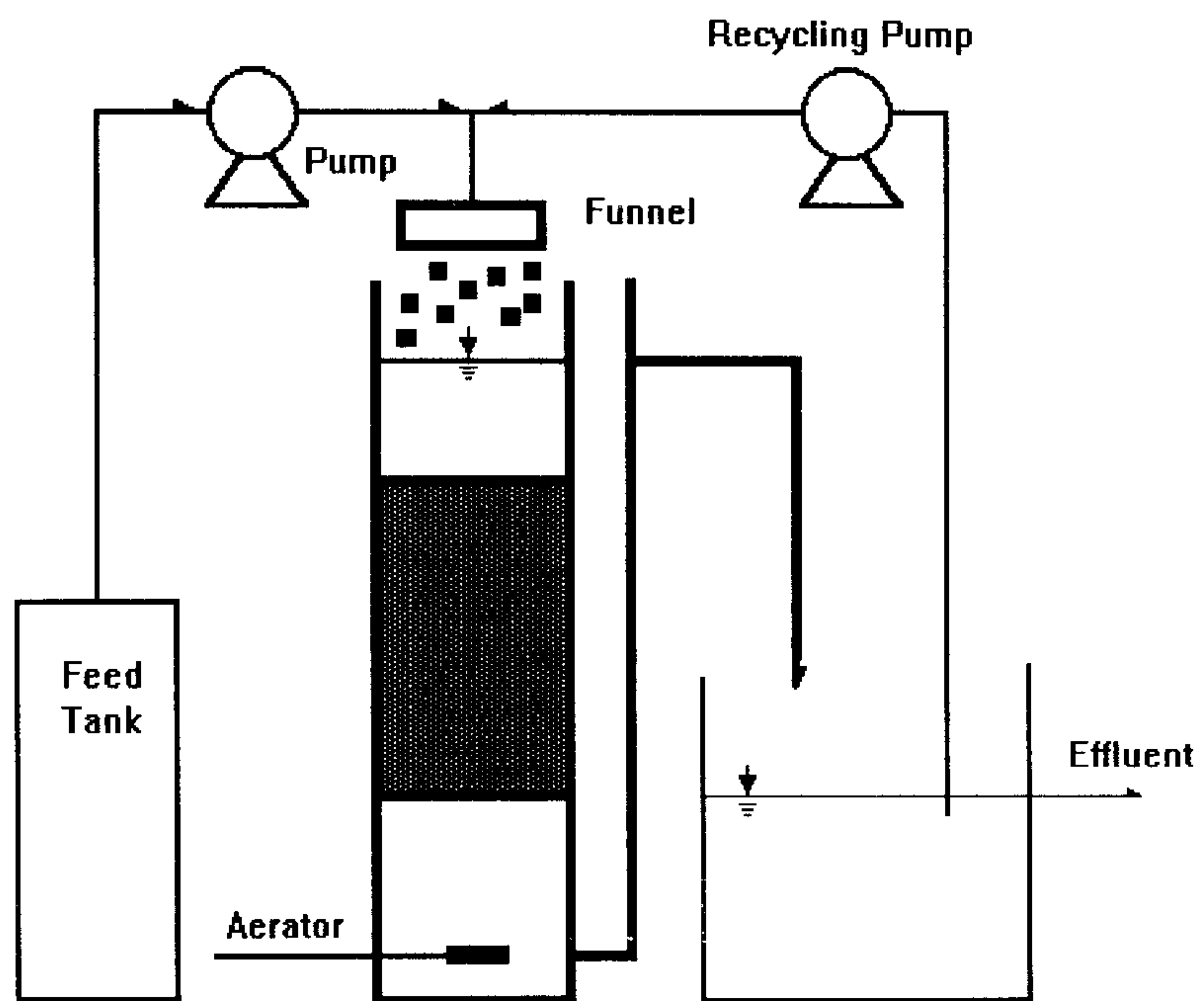
## 2) 직접포기식 고정 생물막 반응조

본연구에 사용된 실험장치는 <그림 2-3-2>와 같다. 직접포기식 고정생물막 반응조는 내경 80mm, 두께 5mm, 높이 450mm의 아크릴을 사용하여 제작하였고, 반응조의 총 용적은 2L이다. 반응조는 2조를 운전하였으며, 각각 Saran메디아와 Ring메디아를 350mm높이 까지 충전하였다.

메디아의 특성은 <표 2-3-1>와 같다. 각 반응조에 일정량의 시료유입을 위해 유입수의 저류조와 반응조 사이에 정량펌프(천세 FEEDER, Model CX-500)을 이용하여 인공양식수를 공급하였다. 실험에 이용한 인공양식수의 성상은 간접포기식 고정 생물막 공법의 것과 동일하였다.

<표 2-3-2> 간접포기식 고정생물막 반응조에 사용된 인공양식수의 성상

구성성분	농도(mg/L)
포도당(Glucose)	100
NH <sub>4</sub> Cl	as need
NaHCO <sub>3</sub>	as need
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	as need
MnSO <sub>4</sub>	2



<그림 2-3-2> 직접폭기식 고정생물막반응조의 모식도.

### 3)활성탄 삼상유동층 반응조

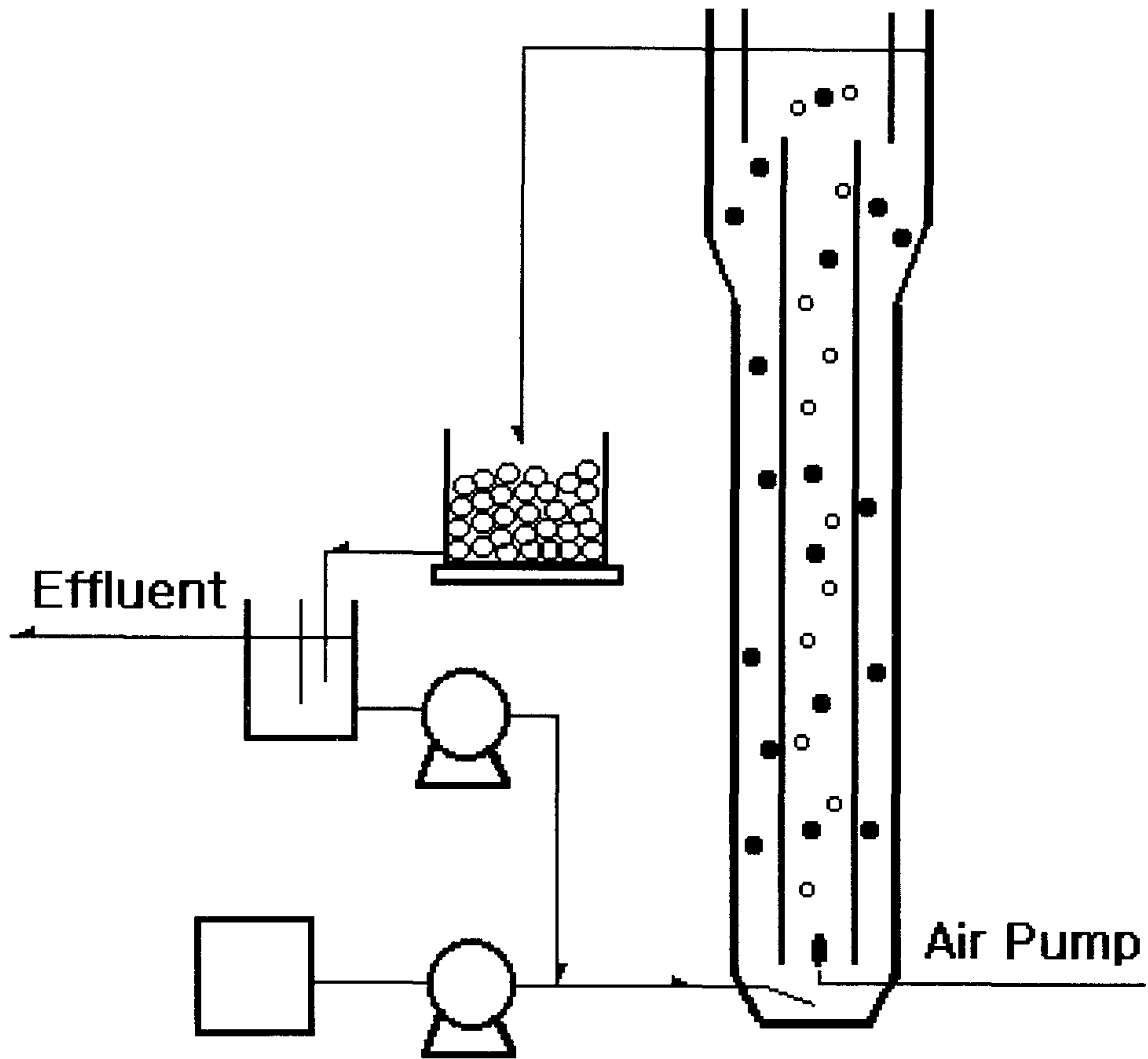
활성탄 삼상 유동층 반응조의 모식도는 <그림 2-3-3>와 같다. 생물학적 유동층 반응조는 3mm 두께의 원통아크릴을 사용하여 제작하였고 총용적은 1.76L이다. 내부에 내경 3.6cm의 draft tube를 통해 공기를 공급하였다. 생물학적 유동층 반응기의 반응조 직경과 draft tube 직경비는 1.88 : 1.00이며, 상향로와 하향로의 면적비가 1.00 : 2.16, 반응조 직경은 6.4cm이고 Height/Diameter는 10.9 이다. 기질 주입은 ISM 021-0030 (Cole - Parmer Instrument Company)과 호스를 사용하였으며 반응조의 내부에는 잘 발달된 무수한 미세공으로 이루어진 무정형 탄소의 집합체인 0.71 - 0.84 mm 정도의 입상활성탄을 사용하였다. 활성탄의 물성치는 <표 2-3-4>와 같다.

인공양식수의 조성은 <표 2-3-4>와 같다. 유기물질원으로는 포도당(Glucose)를 사용하였으며 암모니아원으로는 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)을 사용하였고 질산화시 소모되는 알칼리도의 보충을 위하여 중탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)을 필요량 주입하였다. 기질조제에 필요한 희석수는 미량원소의 공급을 위하여 수돗물을 사용하였다.

<표 2-3-3> 활성탄 삼상 유동층 반응기에 적용된 인공 양식수 조성

구성성분	농도(mg/L)
포도당(Glucose)	20
NH <sub>4</sub> Cl	as need
NaHCO <sub>3</sub>	125
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	40
MnSO <sub>4</sub>	2





<그림 2-3-3> 활성탄 삼상 유동층반응조의 모식도

<표 2-3-4> 활성탄 삼상 유동층에 이용된 활성탄의 특성

특성	값
비중(g/mL)	0.44
강도	97.4
Iodine Value(mg/g)	1140
비표면적(m <sup>2</sup> /g)	1180

## 나. 방법

### 1) 간접포기식 고정생물막 반응조

본 연구는 순환여과식 양어시스템의 사육조에서 발생하는 암모니아를 제거하기 위한 생물학적 여과조로 간접포기식 고정생물막 반응조를 적용하였다. 간접포기식 생물막 반응조의 수처리 특성을 고찰하기 위해, 순환여과식 양어시스템에서 발생하는 암모니아 생성량을 가정한 인공양식수를 조제하여 실험을 수행하였다. 사육조에서 생성되는 암모니아성 질소는 사육어종과 사료주입량, 어체크기, 사육방법 등에 따라 차이가 많은데 본 연구에서는  $0.07\text{g NH}_4^+\text{-N/kg fish/day}$ 의 어체당 암모니아 발생율과  $7.75\text{g NH}_4^+\text{-N/kg food/day}$ 의 사료주입량당 암모니아 발생율을 근거로 각 실험단계에서 암모니아성 질소 농도를 산정하여 발생하는 암모니아를 가정하여 반응조에 주입하였다. 기존의 순환여과식 양어시스템은 사육조 : 여과조의 비를 동일한 크기로 운전하고 있으나 본 실험에서는 사육조 : 여과조의 비를 5 : 1로 축소하여 전체 시스템에서 여과조가 차지하는 비율을 감소시켰다. 그리고 1일 전체 순환되는 유량의 10%에 해당하는 양이 환수되도록 운전하였다. <표 2-3-5>는 본 실험에 적용된 순환비와 그에 따른 체류시간을 나타낸 것이다. <그림 2-3-4>는 <그림2-3-1>를 모식화하여 본 실험에 적용된 유량과 회전수의 관계를 나타내었다.

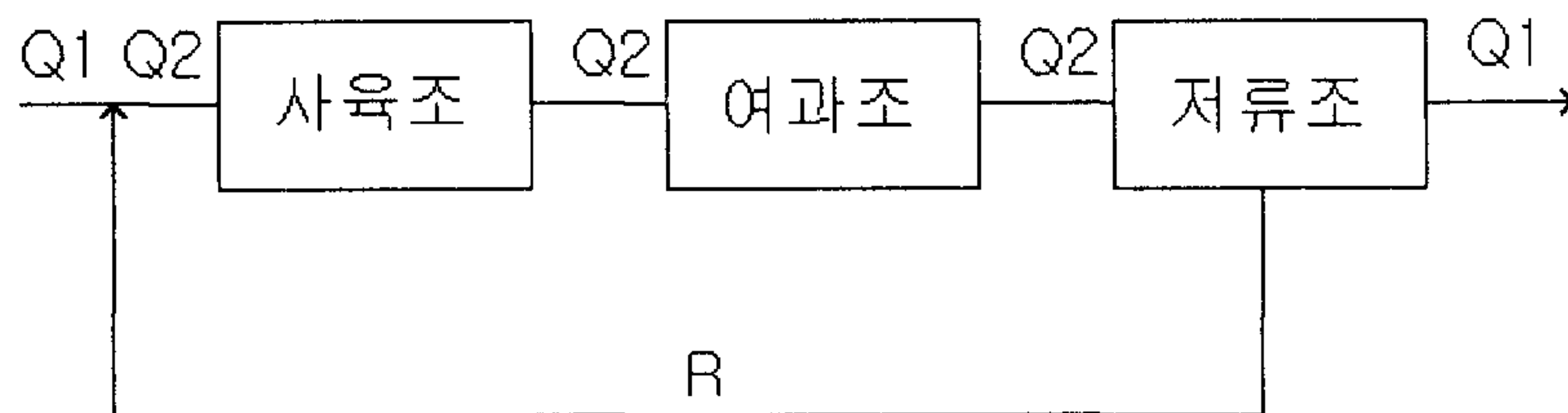
미생물 부착은 연속적으로 시료를 주입하면서 자연적으로 형성, 부착되도록 하였으며 매일 유출수의 암모니아 농도를 측정하여 정상상태를 추정하였다. 각 운전조건의 변경시 정상상태를 추정하였다. 각 운전조건의 변경시 평균 5일의 적응시간을 가졌으며, 정상상태(암모니아 농도 기준)에 이른 후 더 이상의 암모니아 제거효율 변화가 없는 시점을 1개의 운전범위로 삼았다.

Saran메디아와 Bio-Ceramic메디아에 대해 1단계로 유기물질 제거능력을 평가하기 위해 암모니아 농도를  $4\text{mg N/L}$  로 고정시키고 1일 10회전과 20회전의 회전수에서 유

기물질부하를 38-808 g COD/m<sup>3</sup>/day로 변화시켜 실험을 수행하였으며 2단계로 10회전의 회전수에서 암모니아 제거특성을 살펴보기위해 유입수의 COD를 약 20mg/L로 유지하면서 각각에 대해 16.0 - 53.0 g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day와 12.5-26.0g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 암모니아 부하범위에서 실험을 수행하였다.

<표 2-3-5>수처리 시스템의 운전조건

공정	회전수(회전)	수리학적 체류시간(HRT, 분)
간접포기식	10	28.8
	20	14.4



$$Q1 = 0.1Q2$$

$$Q2 = V2 \times R (V1=V2 \times 5)$$

$$R = Q2/V1$$

여기서, Q1, Q2 = Flowrate of feed, recirculating influent

V1, V2 = Volume of rearing unit, Biofilm reactor

R = Recycle rate (Recycle/dy)

<그림 2-3-4>운전조건도의 모식도

## 2) 직접포기식 고정생물막 반응조

직접포기식 고정생물막 반응조를 순환여과식 양어시스템의 생물막 여과조로 적용하기 위해 인공양식수를 이용한 실험을 수행하였다. 인공양식수는 선행된 연구자료를 토대로 조절하였으며 Saran메디아와 Ring메디아에 대하여 0.111 - 0.649 kg COD/m<sup>3</sup>/day의 유기물질 부하 범위에서 0.098 - 0.170 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 암모니아 부하범위에서 운전하였다. Saran메디아가 충전된 생물막 반응조는 1일 20회전(HRT 14.4분)과 1일 40회전(HRT 5.7분)의 재순환비에서, Ring메디아를 이용한 생물막 반응기에 대해서는 1일 20회전(HRT 14.4분)의 재순환비에 대하여 각각 운전하였다.

## 3) 활성탄 삼상유동층 반응조

미생물의 식종을 위하여 부산광역시 수영하수 처리장의 포기조 미생물을 채취하여 64mesh (φ 0.21mm)로 찌꺼기를 제거한후 반응기에 8L를 채우고 나머지는 수돗물로 반응조 전체 용량에 맞추었다. 주입된 미생물의 농도는 2,853 mg/L였다. 반응조내의 DO농도는 6 ~ 7mg/L정도를 유지 시켰다. 반응기에 주입되는 기질의 양은 순환여과식 양어장에서 하루에 환수하는 양을 사육조용량의 10%로 간주하고, 여기에 해당하는 양으로 주입하였다. 인공양식수의 암모니아성 질소농도는 삼상 유동층 유출수 중의 순환수와 농축액 및 희석수가 합쳐진 상태에서 1 mg N/L정도로 운전하였다. 실험조건은 유입수의 COD부하범위를 0.749 ~ 1.007 kg COD/m<sup>3</sup>/day, 암모니아성 질소부하를 0.023 ~ 0.094 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 조건에서 운전하였다.

### 3. 결과 및 고찰

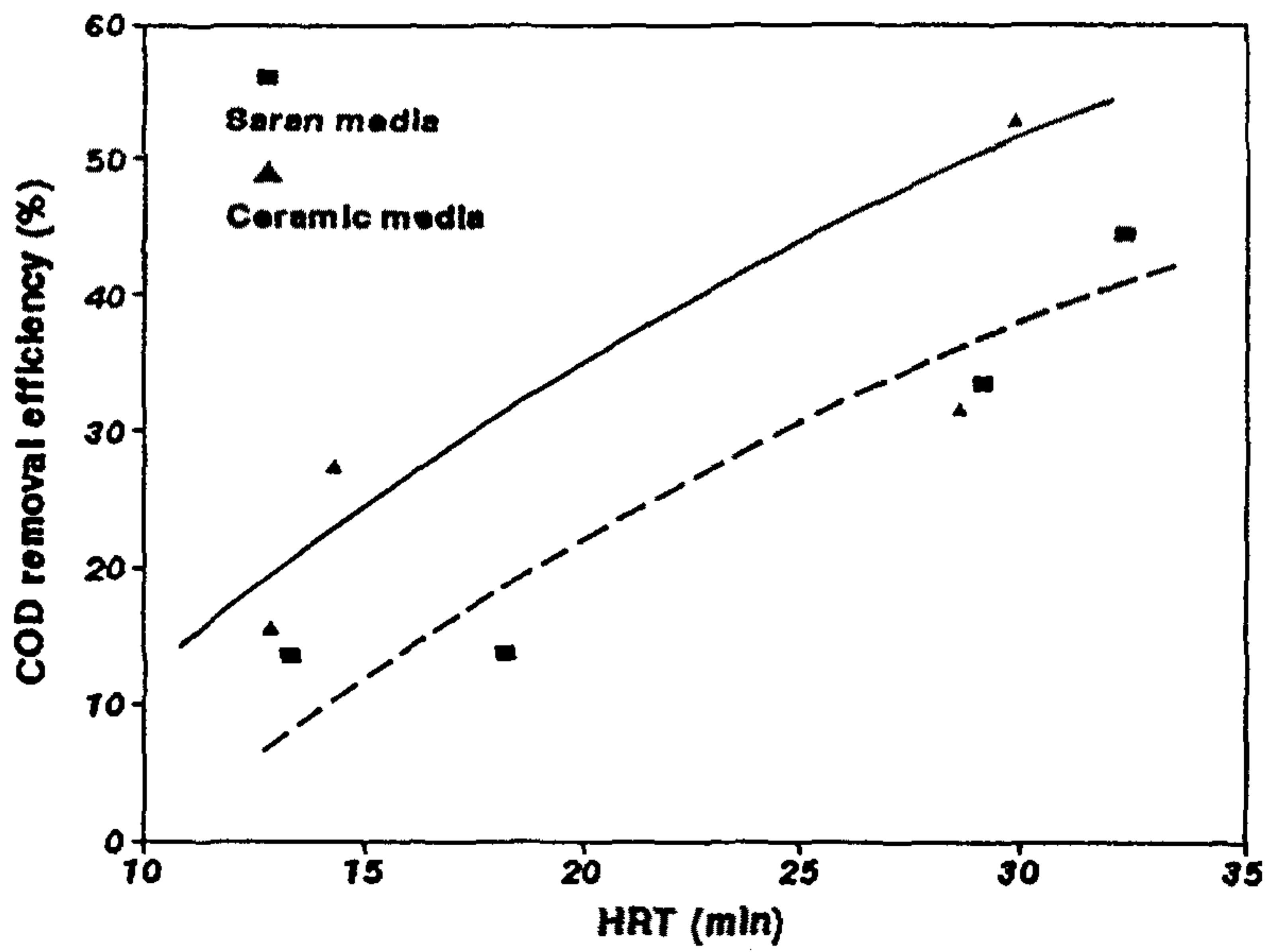
#### 가. 간접포기식 고정생물막 반응조

##### 1) 유기물질 제거

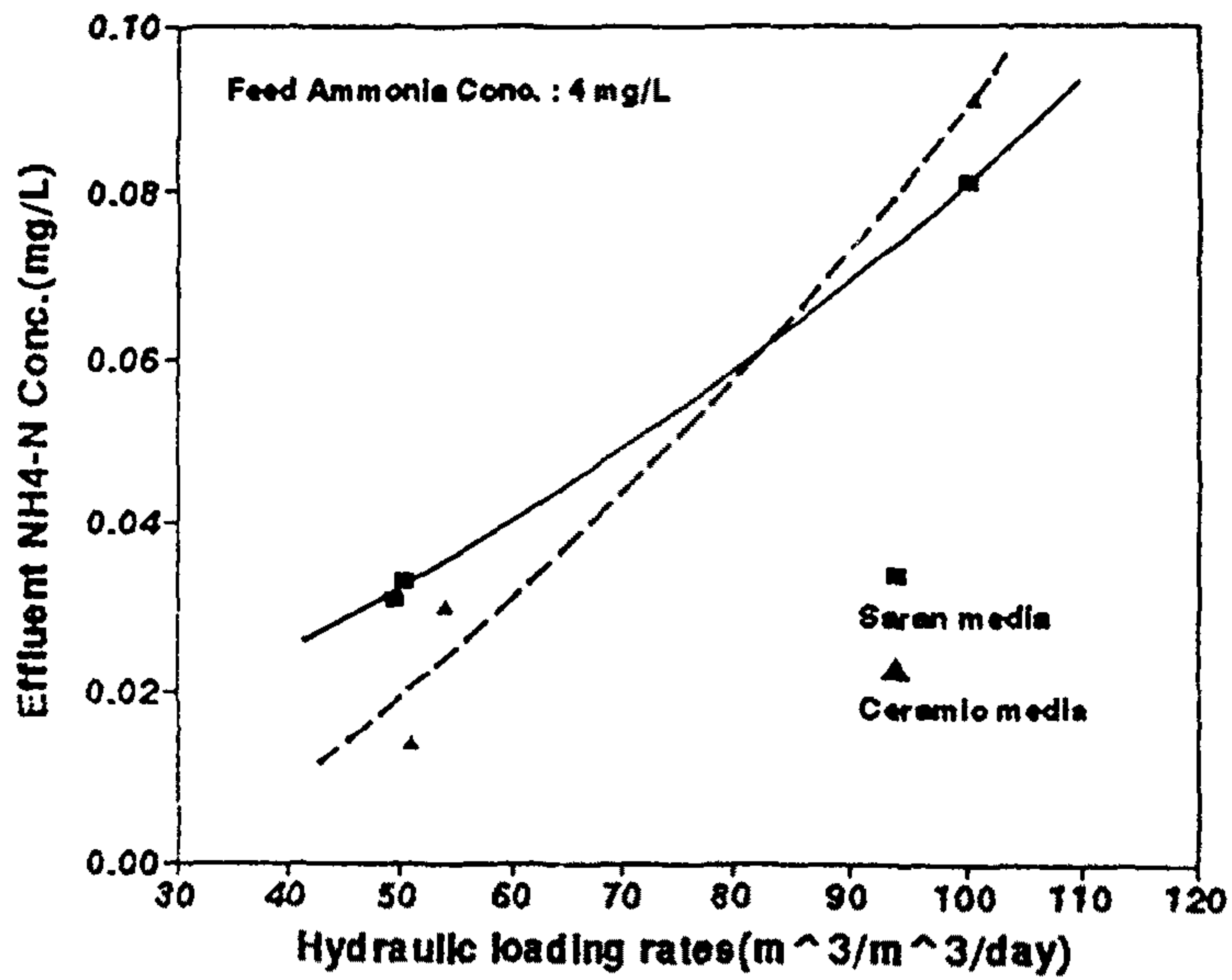
<그림 2-3-5>은 Saran메디아와 Bio-Ceramic을 이용한 간접포기식 고정생물막 반응기에서 수리학적 체류시간(HRT)에 따른 SCOD 제거효율을 나타낸 것으로 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조는 13.3 - 32.3분의 HRT에서 13.5 - 44.6%의 SCOD제거효율을 보였으며 Bio-Ceramic메디아를 이용한 생물막 반응조에서는 12.9 - 29.9분의 HRT에서 15.5 - 52.8% SCOD제거효율을 나타내었다. HRT변화에 따라 SCOD제거효율이 다소 영향을 받음을 알 수 있다. 일반적인 생물막 반응기에 비해 SCOD효율이 낮게 나타난 것은 낮은 COD부하와 짧은 수리학적 체류시간의 결과로 보이나 실제 유출수 농도는 2 - 8 mg/L의 범위를 보이므로 순환수의 재이용에는 큰 영향을 받지 않을 것으로 사료된다.

##### 2) 암모니아 제거

Saran메디아를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조는 약 50  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{day}$  (HRT 28.8 분)와 101.7  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{day}$ (HRT 14.4분)의 수리학적 부하에서 각각 평균 92.9%와 90.6%의 암모니아 제거효율을 보였으며 Bio-Ceramic 메디아를 이용한 생물막 반응기에서는 약 49.9  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{day}$ 와 105.4  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{day}$ 의 수리학적 부하에서 각각 평균 90.7%와 89.5%의 암모니아 제거효율을 보였다.



<그림 2-3-5> 수리학적 체류시간에 따른 SCOD제거율

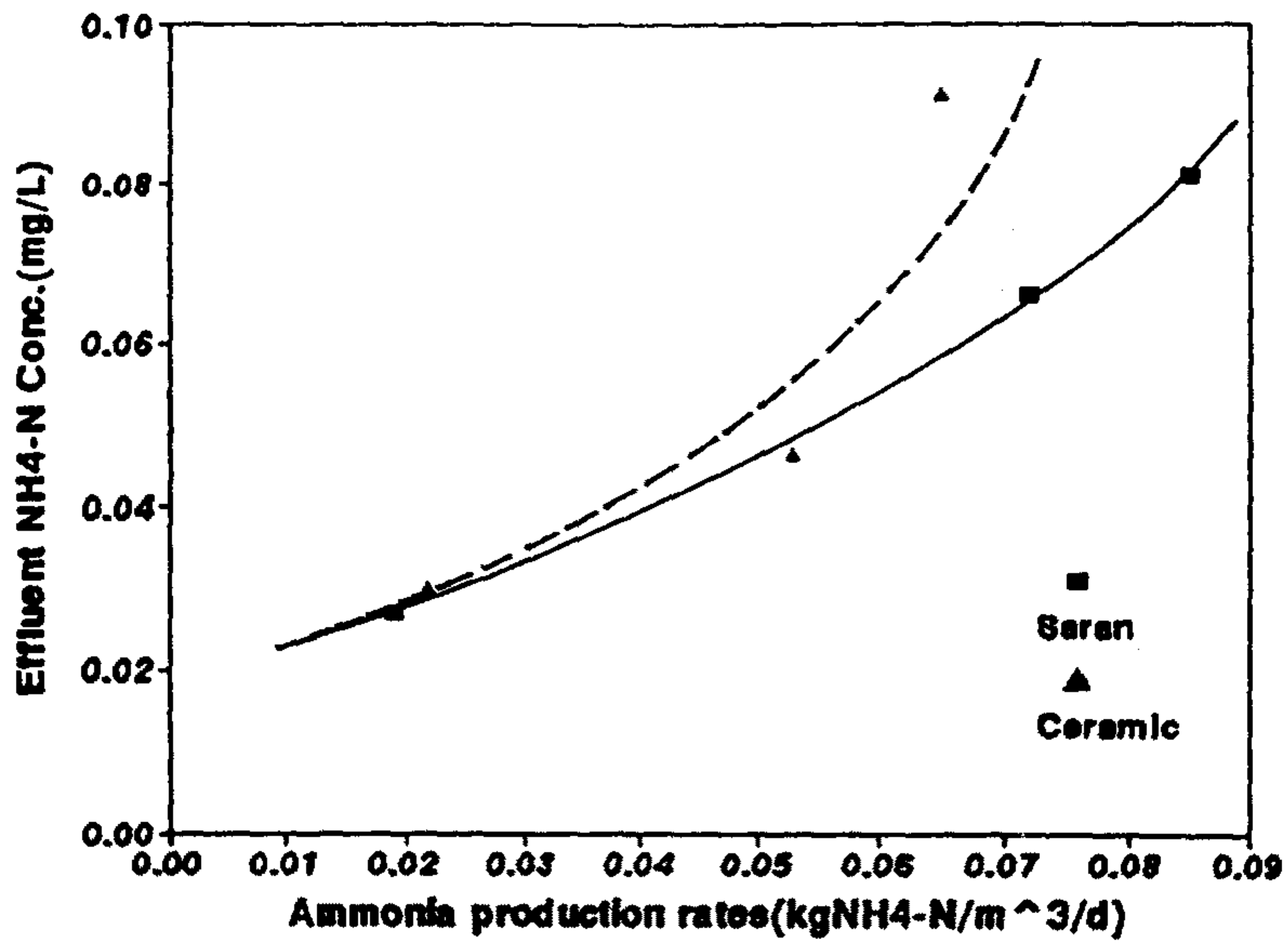


<그림 2-3-6> 수량부하에 따른 유출수 암모니아성 질소농도

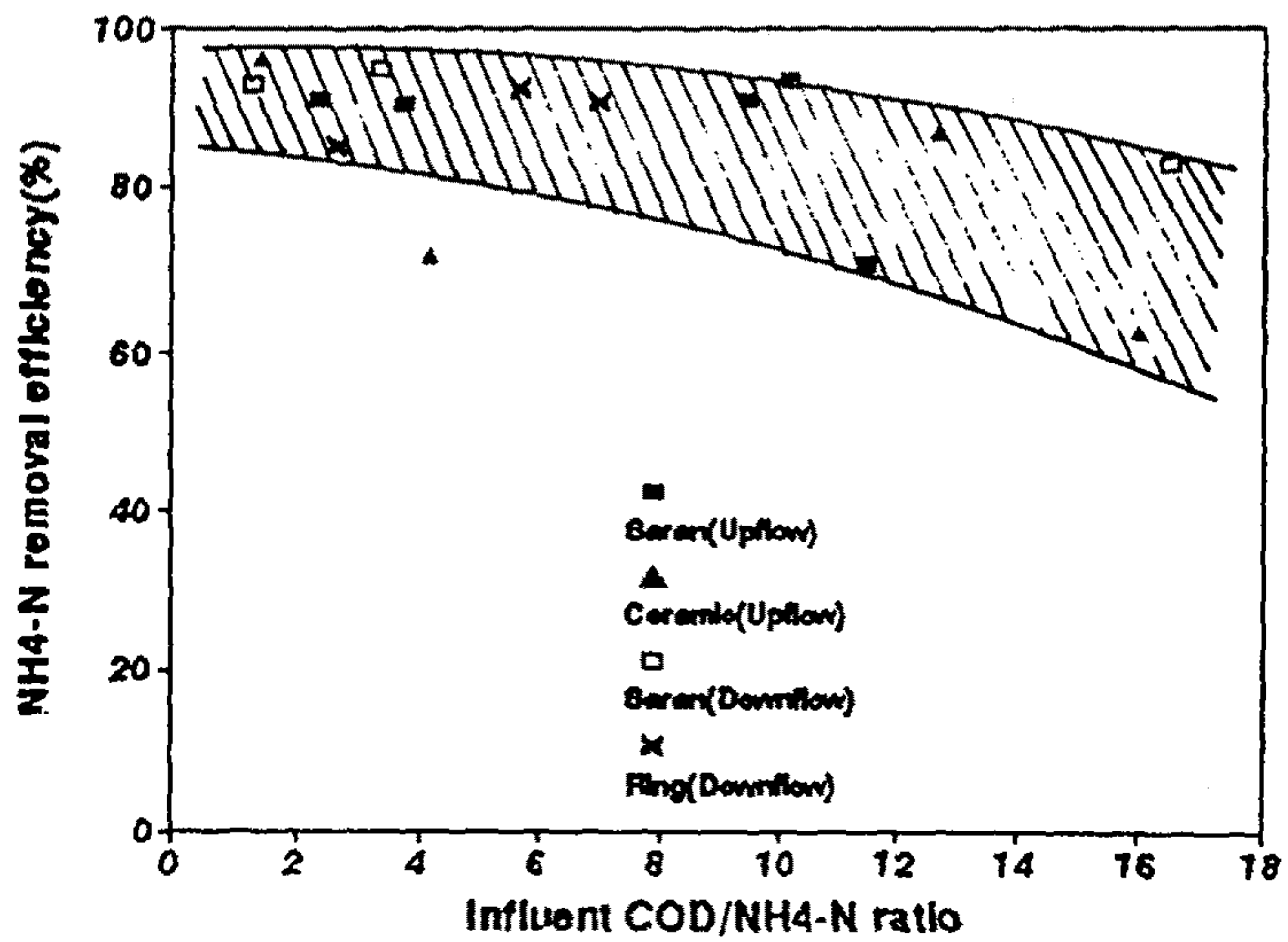
두 미디어를 이용한 생물막 반응조 모두 수리학적 부하에 강한 경향을 보였다. 또한 두 생물막 반응조에서 수리학적 부하를 두배 증가시켰을 때 Saran미디어를 충전한 생물막 반응조에서는 약 5일, Bio-Ceramic미디어를 이용한 생물막 반응조에서는 약 4일 정도 후에 유출수의 암모니아 수질이 안정되는 것을 관찰할 수 있었다. <그림 2-3-6>에 각 생물막 반응기에서 수리학적 부하에 따른 유출수 암모니아농도를 나타내었다. Saran미디어를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응기는 1일 10회전의 순환비(HRT 28.8분)에서 0.015 - 0.024 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 암모니아 부하범위에서 운전하였으며 1일 20회전의 순환비(HRT 14.4분)에서는 0.038 - 0.067 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 암모니아 부하범위에서 운전하였다. Bio-Ceramic미디어를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조는 1일 10회전의 순환비로 운전한 경우 0.015 - 0.026 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 암모니아 부하범위에서 1일 20회전의 순환비로 운전한 경우는 0.039 - 0.065 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 암모니아 부하범위에서 운전하였다. <표 2-3-6>는 정상상태에서 암모니아 부하에 따른 운전 결과를 나타내었다. 암모니아 부하율은 여과조에 가해지는 부하를 의미하며 암모니아 생성율은 사육조에서 발생하는 값을 의미한다.

<표 2-3-6> 간접포기식 고정생물막 반응조의 운전결과 요약

Ammonia Loading Rate(gNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/m <sup>3</sup> /d)	HRT (min)	Ammonia production rate(gNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/m <sup>3</sup> /d)	Influent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)	Effluent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)	Recycle rate
Saran media					
160	28.8	169.2	0.320	0.030	10
530	13.6	421.6	0.250	0.045	20
810	14.4	665.4	0.405	0.081	20
Bio-Ceramic media					
260	28.6	199.8	0.516	0.045	10
450	12.9	433.9	0.202	0.041	20
1250	14.3	621.7	0.621	0.091	20



<그림 2-3-7> 암모니아 생성율대 유출수암모니아 농도



<그림 2-3-8> COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비에 따른 암모니아 제거효율



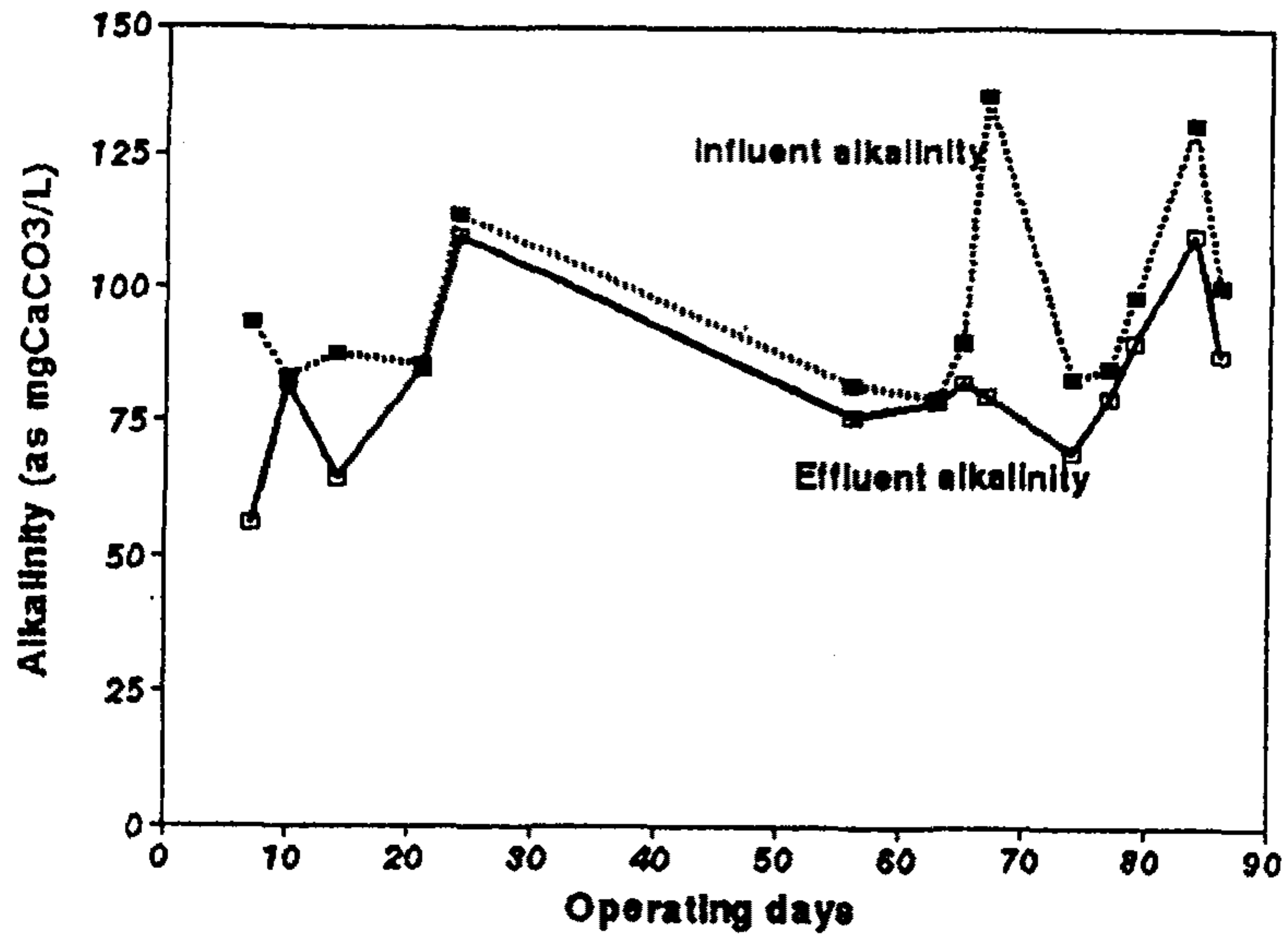
〈표 2-3-6〉에서 알 수 있듯이 Saran과 Bio-Ceramic메디아를 이용한 두 생물막 반응기 모두 우수한 암모니아 제거효율을 보였다. 암모니아 부하가 증가함에도 불구하고 HRT를 반으로 줄인 경우에 대해서도 두 반응조 모두 유출수 수질에 영향을 받지 않았으나 동일한 HRT에서 암모니아 부하증가에 따라 유출수 농도가 2배로 증가한 것을 볼 때 수리학적 부하보다 농도부하에 더 민감함을 예측할 수 있다. 이상의 내용을 사육조에서 발생하는 암모니아 농도(본 실험의 경우 Feed의 농도에 해당)로 환산하면 최대 약 7 mg/L의 농도에서 약 14분의 HRT에서 약 0.1mg/L이하의 양호한 수질을 얻을 수 있을 것으로 본다. 〈그림 2-3-8〉은 COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비에 따른 암모니아 제거정도를 파악하고자 한 것으로 두 메디아 모두 운전범위의 COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비에서 높은 암모니아 제거효율을 보였으며 Saran메디아의 경우 COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비가 9이상일 때 제거효율이 급격히 줄어드는 것을 관찰할 수 있었다.

### 3) pH와 알칼리도변화

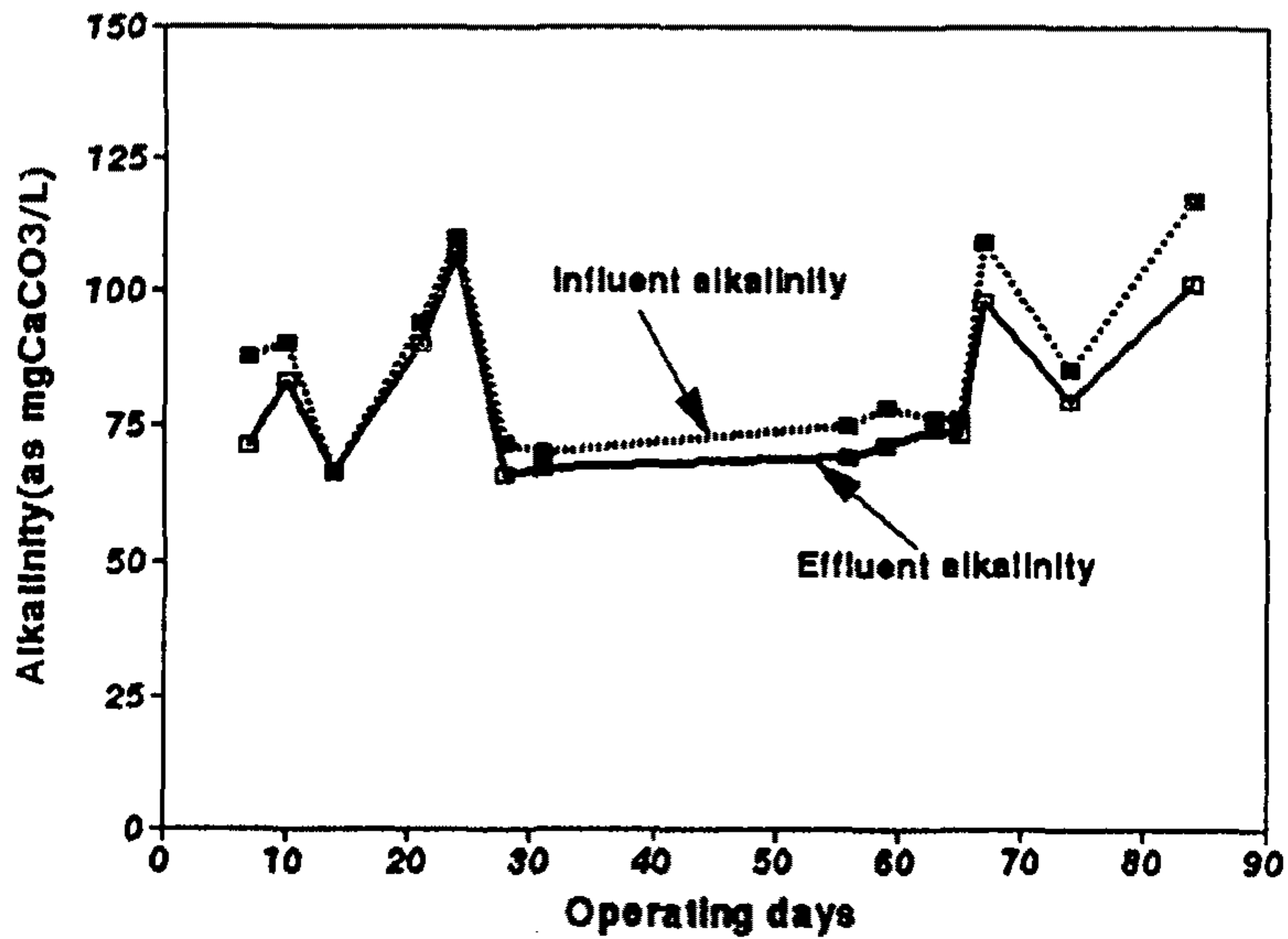
간접포기식 고정생물막 반응조의 운전기간동안 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조의 경우는 pH가 7.40 - 7.83으로 유입되어 7.35 - 7.90으로 유출되었으며 Bio-Ceramic 메디아를 이용한 생물막 반응조의 경우는 7.15 - 8.03으로 유입되어 7.15 - 7.90으로 유출되어 적정 pH를 유지하였다. EPA(1976)에서 권고하는 양어장 수질기준 중 pH의 범위는 6.5 - 9.0을 유지하도록 권장하고 있다. 따라서 본 실험결과는 어류성장을 위한 pH유지가 적당히 이루어졌음을 알 수 있다. 이론적으로 질산화 과정을 통해 제거된 알칼리도의 양은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 1g 당 7.14g의 알칼리도가 소모되며 본 실험에서는 이 계산에 의한 초기 알칼리도 주입이 이루어졌다. 전체 실험기간 동안 Saran메디아와 Bio-Ceramic메디아를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조에서 알칼리도의 변화를 〈그림 2-3-9〉와 〈그림2-3-10〉에 각각 나타내었다. 계속되는 질산화에도 불구하고 전체적인 알칼리도 변화가 적었던 것은 연속적인 알칼리도 주입과 재순환 시스템에 의한 알칼리도의 재유입에 의한 결과로 판단된다.

#### 4) 미생물 증식율

간접포기식 고정생물막 반응조의 운전 기간동안 Saran메디아와 Bio-Ceramic메디아를 이용한 각 생물막 반응조에서 미생물 농도는 각각 6730mg MLVSS /L와 5820mg MLVSS/L를 보였다. 실제 각 반응조내 수용적이 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조는 1.94L, Bio-Ceramic메디아를 이용한 생물막 반응조는 1.02L인 것을 고려할 때 각각 0.159 g VSS/day와 0.072 g VSS/day 로 비교적 낮은 미생물 증식율로 보였다. 이는 낮은 유기물 부하와 간접포기로 인한 산소공급으로 직접포기의 경우에 비해 낮은 산소공급이 이루어진 것에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 운전기간동안 두 반응조 모두 일반적인 생물막 반응조에서 찾아 볼 수 있는 다량의 미생물 증식에 의한 clogging현상은 일어나지 않았다.



<그림 2-3-9> Saran메디아를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조의 알칼리도 변화



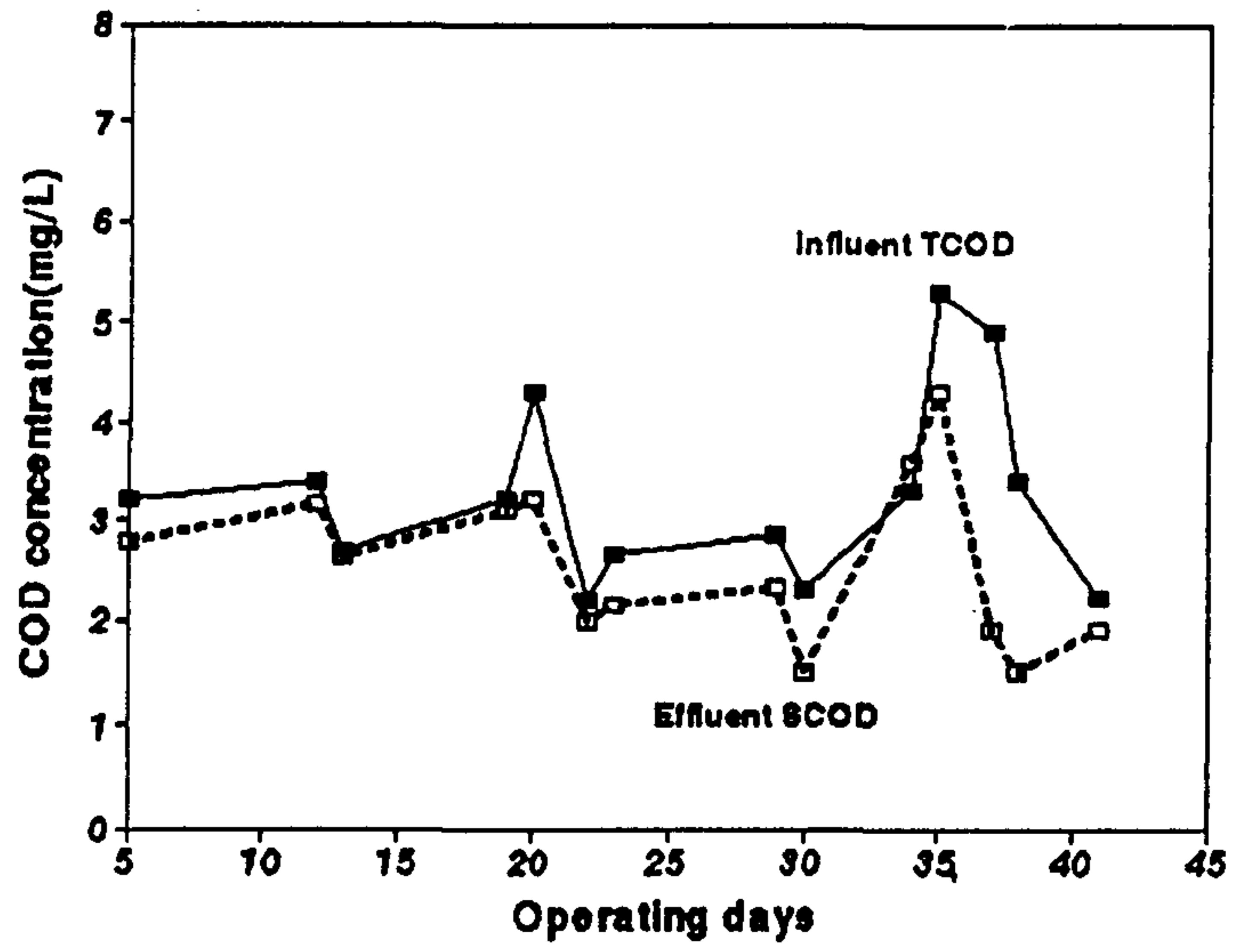
<그림 2-3-10> Bio-Ceramic메디아를 이용한 간접포기식 고정생물막 반응조의 알칼리도 변화

## 나. 직접포기식 고정생물막 반응조

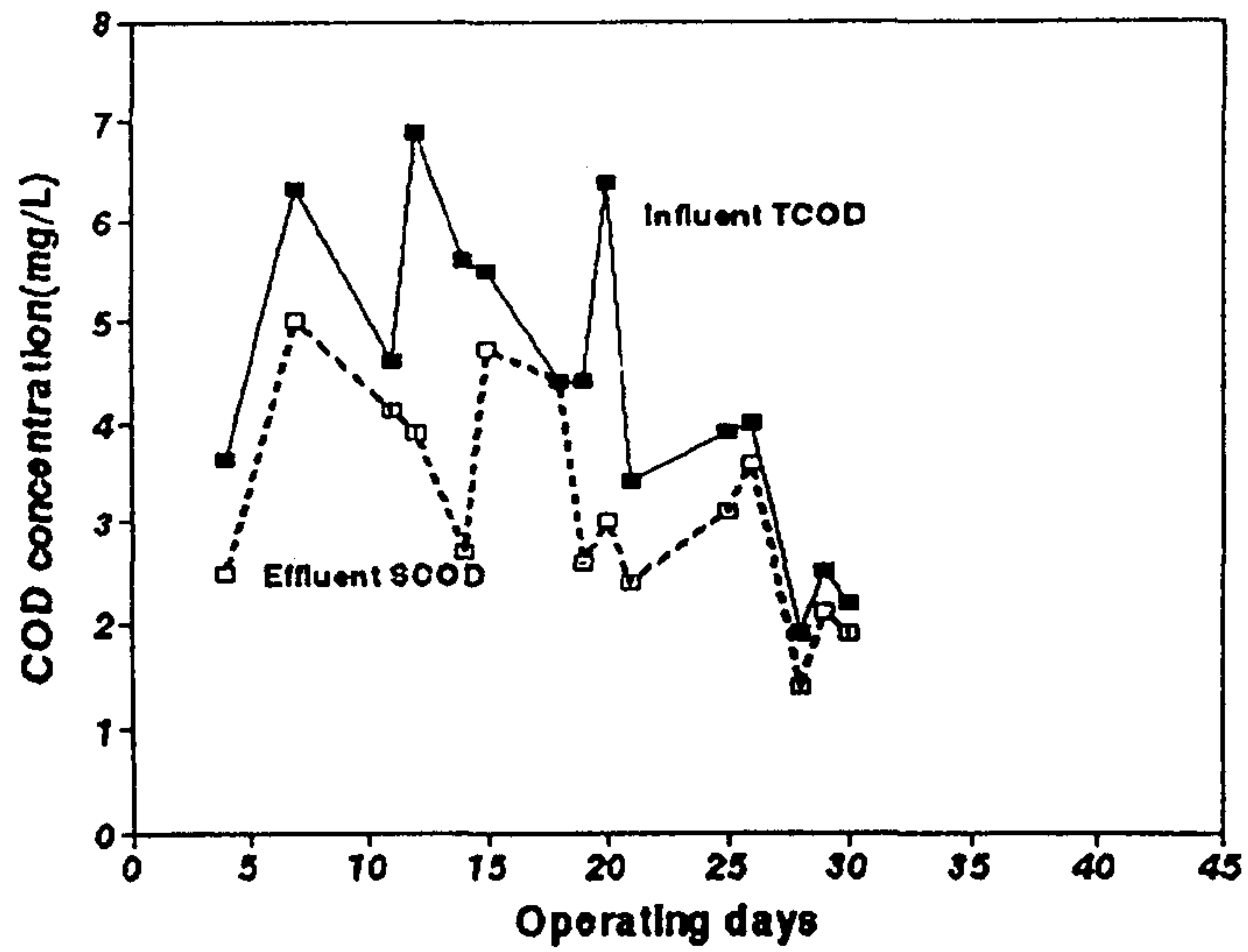
### 1) 유기물 제거

Saran메디아와 Ring메디아를 이용한 두 생물막 반응조에서 각각 17일과 20일 정도의 초기 적응기간을 가졌다. Saran메디아를 이용한 생물막 반응조에서는 100.1 ~ 230.0  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 의 수리학적 부하와 0.202 ~ 1.229  $\text{kg COD}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 유기물 부하에서 운전기간 동안 1.5 ~ 4.4  $\text{mg}/\text{L}$ 의 유출수 SCOD농도를 보였다. Ring 메디아를 이용한 생물막 반응조에서는 99.7 ~ 132.5  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 의 유기물질 부하에서 운전하여 1.4 ~ 5.1  $\text{mg}/\text{L}$ 의 유출수 SCOD농도를 보였으며 각 반응조에서의 COD변화를 <그림 2-3-11>와 <그림 2-3-12>에 나타내었다. 두 생물막 반응조 모두 시료의 TCOD값은 23.7 ~ 26.3  $\text{mg}/\text{L}$ 로 거의 일정한 농도를 유지하였으며 0.647 ~ 0.111  $\text{kg COD}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 부하범위와 약 14분의 HRT에서 두 생물막 반응조의 SCOD 제거효율은 각각 평균 40%와 20.5%를 나타내었다.

제거효율이 더 좋았던 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조에 대하여 약 6분의 HRT에서 같은 조건으로 운전한 결과 약 18.9%의 SCOD제거효율을 보였다. <표 2-3-7>는 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조의 HRT에 따른 COD제거효율을 나타낸 것이다. 운전범위에서 수리학적 부하와 유기물질 부하범위에서 각각 Saran 메디아, Ring 메디아를 이용한 두 생물막 반응조는 각각 1.5 - 4.4  $\text{mg}/\text{L}$ 와 1.4 - 5.1  $\text{mg}/\text{L}$ 의 유출수 SCOD 농도를 보여 두 메디아간의 부하변동에 따른 큰 차이는 없었다. 약 13분의 HRT에서 Saran 메디아와 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조에서 각각 약 40%와 21%의 SCOD제거효율을 보였고 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조에 대해 약 6분의 HRT에 대한 추가실험에서도 약 20%의 SCOD제거효율을 보여 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조의 유기물질 제거능력이 더우수함을 알 수 있었다.



<그림 2-3-11>Saran메디아를 이용한 생물막 반응조의 COD변화



<그림 2-3-12>Ring메디아를 이용한 생물막 반응조의 COD변화

## 2) 암모니아 제거

1일 20회전의 재순환비에서 Saran메디아와 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조의 암모니아 제거특성을 알아보기 위하여 86.4 ~ 123.8  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{day}$ 의 수리학적 부하범위에서 운전하여 암모니아 부하에 따른 생물막 반응조의 운전결과를 <표 2-3-8>에 나타내었다. Saran메디아를 이용한 생물막 반응조에 대해 1일 40회전의 재순환비에서 추가적인 실험을 행하였다.

<표 2-3-7> 사란을 이용한 직접포기식 생물막 반응조의 COD제거효율

HRT(min)	5.7	11.5	14.7
Feed TCOD(mg/L)	24.2	23.7	25.9
Influent TCOD(mg/L)	7.5	4.6	2.7
Effluent TCOD(mg/L)	4.2	3.2	2.2
Efficiency(%)	44.0	26.0	18.0

<표 2-3-8> 직접포기식 생물막 반응조의 운전조건

Ammonia loading rate ( $\text{kg NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$ )	Feed $\text{NH}_4^+-\text{N}$ (mg/L)	Influent $\text{NH}_4^+-\text{N}$ (mg/L)	Effluent $\text{NH}_4^+-\text{N}$ (mg/L)	Used media type	Recycle rate (time/day)
0.152	12.1	1.510	0.064	Saran	20
0.305	15.7	1.321	0.046	Saran	43
0.115	10.5	1.138	0.088	Saran	22
0.113	10.1	1.120	0.337	Ring	20
0.144	11.3	1.432	0.215	Ring	20

1일 20회전의 순환비에서는  $0.110 \sim 0.296 \text{ kg NH}_4^+\text{-N/m}^3\text{/day}$ 의 암모니아 부하에서 운전한 결과 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조에서는 정상상태에서  $0.1 \text{ mg/L}$ 이하의 유출수 농도를 보였으며 1일 40회전의 재순환비에서는 암모니아 부하  $0.325 \sim 0.385 \text{ kg NH}_4^+\text{-N/m}^3\text{/day}$ 에서  $0.113 \sim 0.221 \text{ mg/L}$ 의 유출수 암모니아 농도를 나타내었으며 동일조건에서 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조에서는 1일 20회전의 순환비에서  $0.084 \sim 0.172 \text{ mg/L}$ 의 유출수 암모니아 농도를 나타내었다. <그림 2-3-13>는 Saran메디아와 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조에서 암모니아 제거능력을 비교한 것으로 각각  $91.0 \sim 97.2\%$ 와  $83.2 \sim 96.2\%$ 의 제거율을 보였다. Saran메디아를 이용한 경우 1일 20회전의 순환비에서 암모니아 부하를 0.33 까지 증가시킨 경우 약  $92.9\%$ 의 암모니아 제거효율을 보였다.

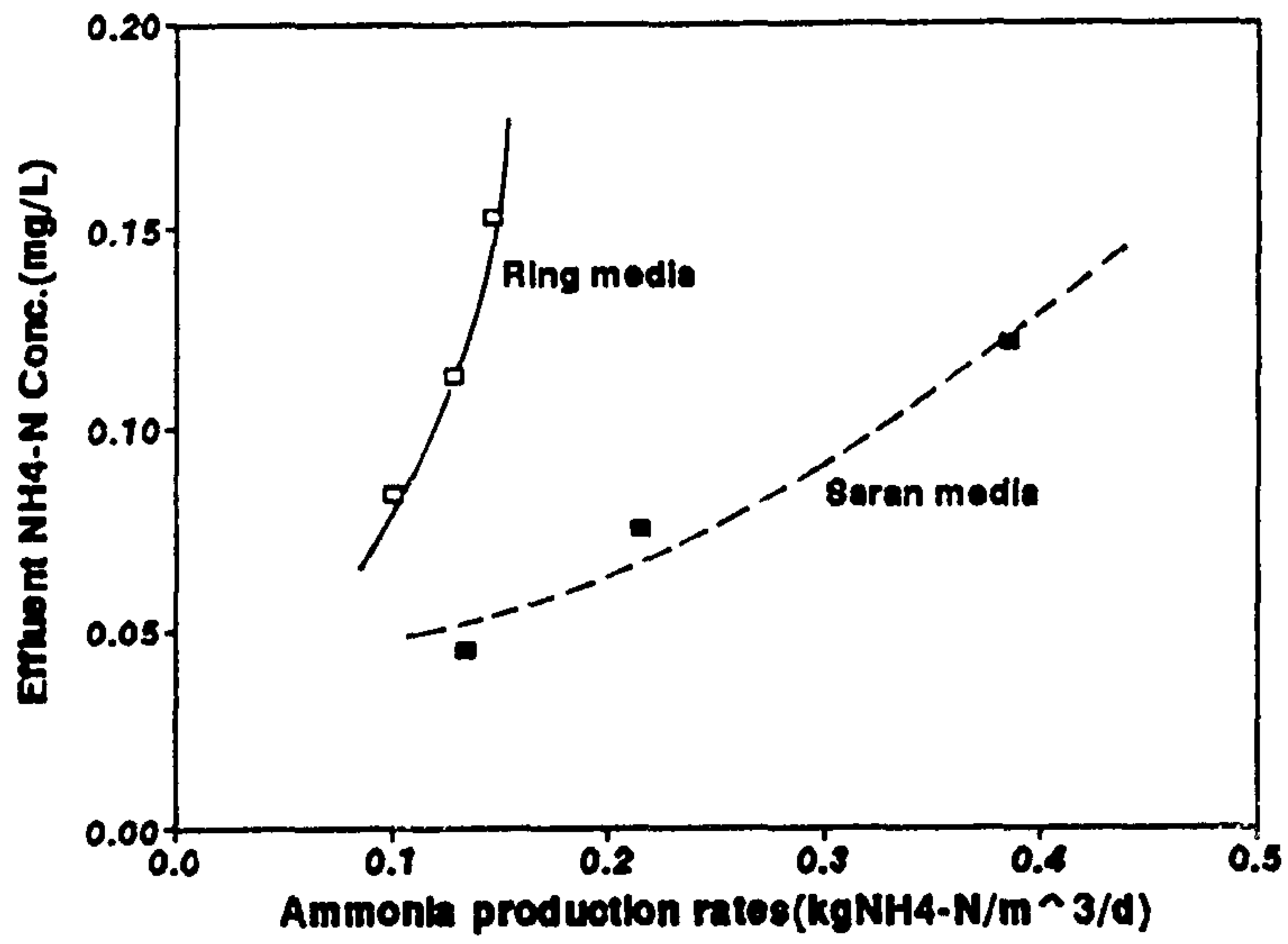
운전기간동안 어류에 독성을 미치는  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 의 축적현상(Colt와 Armstrong, 1981)은 보이지 않았으며 Saran메디아를 이용한 경우 운전기간이 약 30일을 넘어서면서  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 축적현상을 볼수 있었다. 또한 운전기간동안 두 반응조 모두 pH 7.44 - 7.88의 유출수 pH를 나타내었다. 또한  $0.110 - 0.296 \text{ kg NH}_4^+\text{-N/m}^3\text{/day}$ 의 암모니아 부하에서 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조는 정상상태에서  $0.1 \text{ mg/L}$  이하의 유출수 암모니아 농도를 보였으며 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조 또한  $0.084 - 0.172 \text{ mg/L}$ 의 유출수 암모니아 농도를 보였다. 한편 양어장 순환수의 수처리에서 암모니아 제거와 관련지어 수중 pH와 알칼리도의 변화를 평가할 필요가 있으며 총암모니아중 비이온성 암모니아의 존재는 pH에 따라 변하는데 본 연구기간 동안의 pH범위는 pH 7.44 - 7.88로, 비이온성 암모니아의 존재분율은 0.01이하이다. 전체 연구 기간중 유출수 암모니아 농도는 EPA가 제안하는 비이온화 암모니아 농도  $0.02$ 를 충분히 만족시킨다. 그리고 <그림 2-3-14>에서와 같이 3배 정도의 높은 암모니아 부하에서도 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조의 유출수 수질이 보다 안정되어 있어 Ring메디아를 이용한 생물막 반응조 보다 Saran메디아를 이용한 생물막 반응조가 부하변동에 강함을 예상할 수 있었다. 일반적으로 대부분의 어류가 pH 6 - 8에서 생존가능한 것으로 알려져

있으며 암모니아 제거를 위한 생물막여과조 시스템에서 질산화 진행에 따라 pH의 감소에 따른 어류의 영향을 막기 위해 알칼리도의 첨가가 요구된다. 두 반응조에서는 운전기간동안 유입수와 유출수의 pH가 각각 7.22 - 7.94, 7.44 - 7.88의 범위를 보였으며 이는 초기 알칼리도의 주입과 잔류 알칼리도의 재순환에 의한 것으로 사료된다.

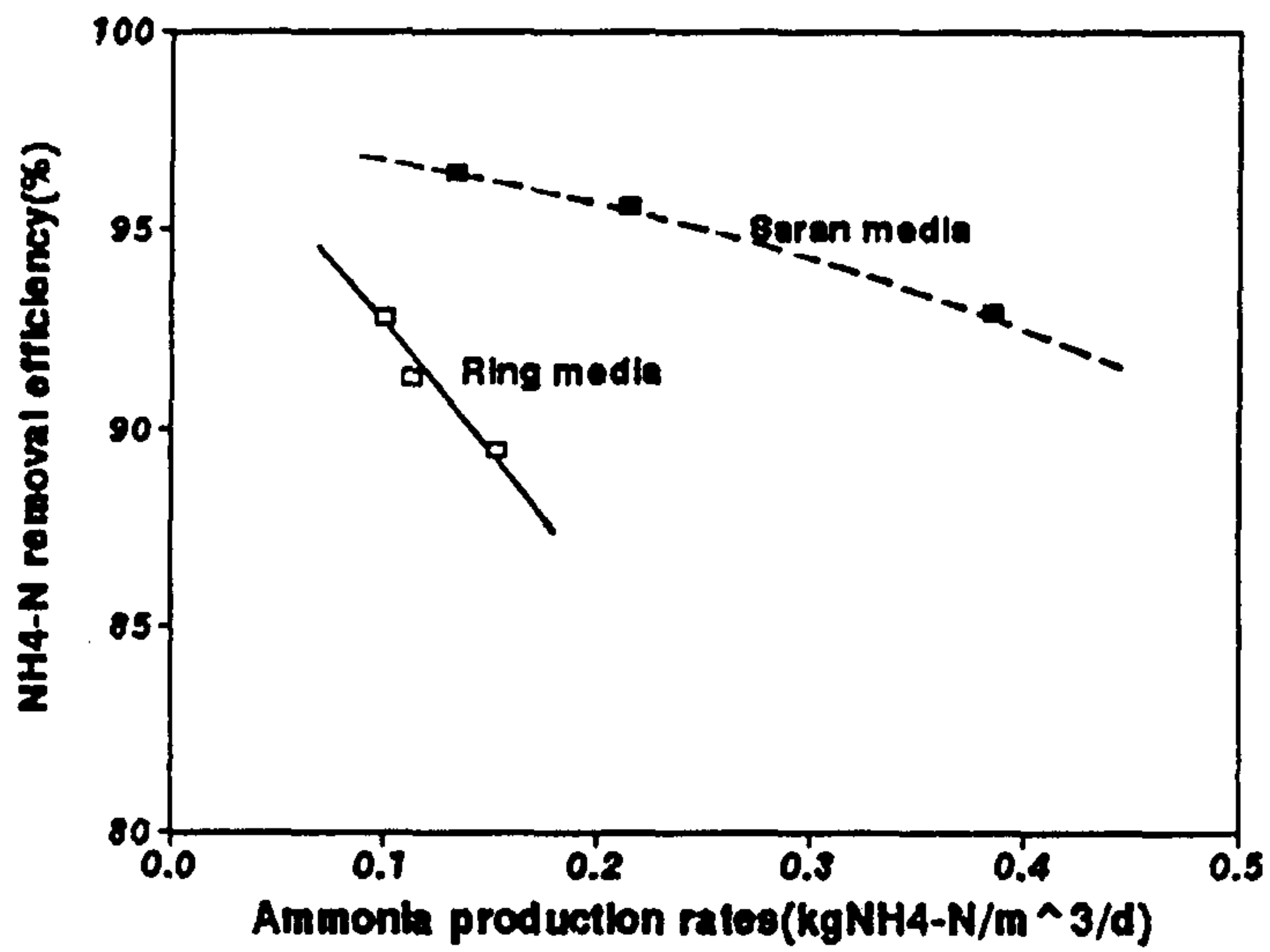
전체 실험기간 중 두 생물막 반응조의 유출수 분석결과 아질산염의 축적을 관찰할 수 없었다. Saran메디아를 이용한 생물막 반응조에서는 운전기간이 길어지면서 점차적인 질산염의 축적을 관찰할 수 있었다. Colt와 Tchobanoglous(1978)는 어류에 대한 질산염의 96 hr LC<sub>50</sub>이 1000 - 2000 mg/L라고 발표 하였고, Braun(1972)이 무지개 송어의 저항 한계농도를 800mg/L라고 보고한 것에 비추어 볼 때 본 연구기간동안 질산염의 축적이 어류에 악영향을 미치지 않는 것으로 보나 완전한 질소제거 시스템을 갖추기 위해서는 탈질과정이 요구된다.

유입수의 COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비에 따른 암모니아 효율을 평가한 결과 <그림 2-3-14>과 같은 경향을 보였는데 90% 이상의 암모니아 제거효율을 얻기 위해서는 두 반응기 모두 2 - 6의 COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비가 요구됨을 알 수 있으므로 생물막여과조를 거치기 전에 유기물질의 제거가 선행되어야 할 것으로 본다.





<그림 2-3-13> 암모니아 생산율에 대한 유출수 암모니아 농도



<그림 2-3-14> COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비에 따른 암모니아 제거 효율

## 다. 활성탄 삼상유동층 반응조

### 1) 유기물질 제거

활성탄 삼상유동층 반응기를 순환여과식 생물막 여과조로 적용하기 위해 인공 양어장 순환수를 조절하여 운전하였다. <표 2-3-9>에 삼상 유동층 반응기를 이용한 유기물질 제거 실험에 따른 운전조건 및 결과들을 나타내었다. 반응조의 유입수중 SCOD 농도 범위는 15.6 - 40.0 mg/L였고, 이때 유기물 부하는 0.749 - 1.007 kg SCOD/m<sup>3</sup>/day의 범위에서 운전을 하였다.

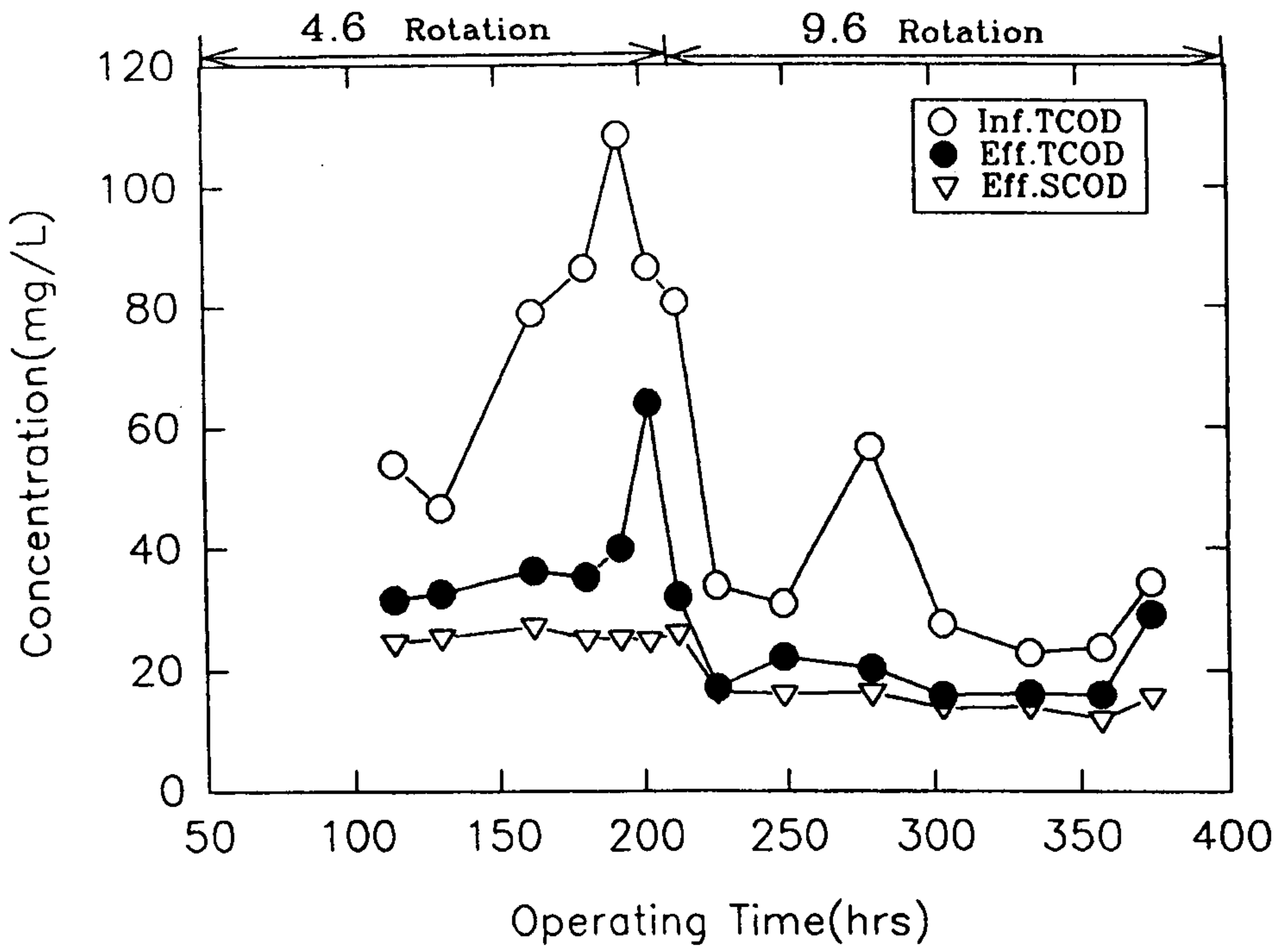
<그림 2-3-15>은 운전기간 동안의 유입수에 따른 HRT별 유출수의 COD농도 변화를 나타낸 것이다. 반응조의 회전수별 반응조 유출수의 SCOD농도는 평균 25.6, 14.8mg/L이다. <그림 2-3-16>는 운전중의 유기물 제거효율을 나타낸 것이다. 제거효율은 13.3 - 37% 정도의 비교적 낮은 제거효율을 얻었다. 이결과는 활성탄 삼상유동층 반응조를 완전순환여과 시스템에 적용할 경우 사육조내의 유기물 농도를 37.3, 18.5 mg/L에 대하여 각각 25.6, 14.8 mg/L정도의 수준을 유지 할 수 있게 된다. 김(1995)의 순환여과식 양어장 현장자료에 따르면 사육조내 COD<sub>MN</sub>값이 12.9, 17.4 mg/L 정도이므로 삼상 유동층 반응조를 이용할 경우 14.8 mg/L이하의 수질을 유지할 수 있으므로 양어장 순환수 처리에는 유효할 것으로 예상된다.

<표 2-3-9> 활성탄 삼상유동층반응기를 이용한 유기물질 제거실험에 따른 운전조건 및 결과

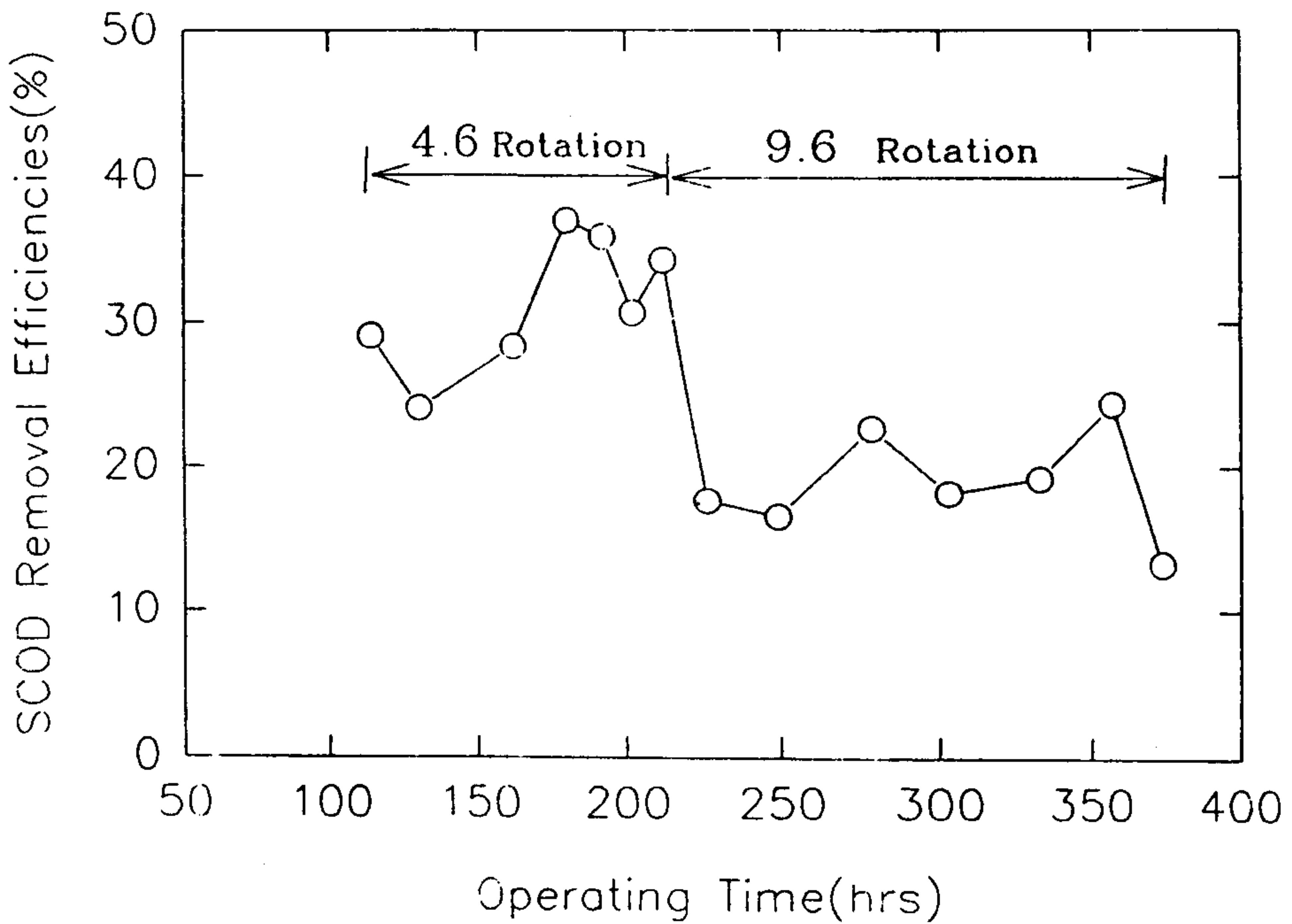
1)COD loading rate (kg COD/m <sup>2</sup> /d)	Rotation number (Time/day)	Influent (mg/L)		Effluent(mg/L)		4)Efficiency (%)
		TCOD	2)SCOD	TCOD	3)SCOD	
0.805	4.6	54.0	34.6	31.6	25.5	26.4
0.768	4.5	46.8	33.6	32.6	25.5	24.1
0.883	4.6	78.9	38.0	36.2	27.2	28.4
0.930	4.6	86.5	40.0	35.2	25.2	37.0
0.908	4.6	108.6	39.3	39.9	25.2	35.9
0.822	4.6	86.5	36.0	64.0	24.9	30.7
0.921	4.6	80.8	39.6	32.1	26.0	34.3
avg. 0.862	4.6	77.4	37.3	38.8	25.6	31.0
0.953	9.4	33.8	20.0	17.1	16.4	17.6
0.922	9.6	30.8	19.2	22.1	16.0	16.5
1.007	9.6	56.7	23.0	20.2	16.2	22.7
0.798	9.4	27.6	16.8	15.8	13.7	18.2
0.839	9.6	22.9	17.2	16.1	13.9	19.2
0.749	9.6	23.7	15.6	15.9	11.8	24.4
0.905	10.0	34.4	18.0	29.2	15.6	13.3
avg. 0.882	9.6	32.8	18.5	19.5	14.8	18.8

Note. 1)은 SCOD에 대한 유기물 부하

$$4) = [ 2) - 3) ] / 2) \times 100$$



<그림 2-3-15> 삼상유동층 반응조에서 운전기간동안 COD농도변화

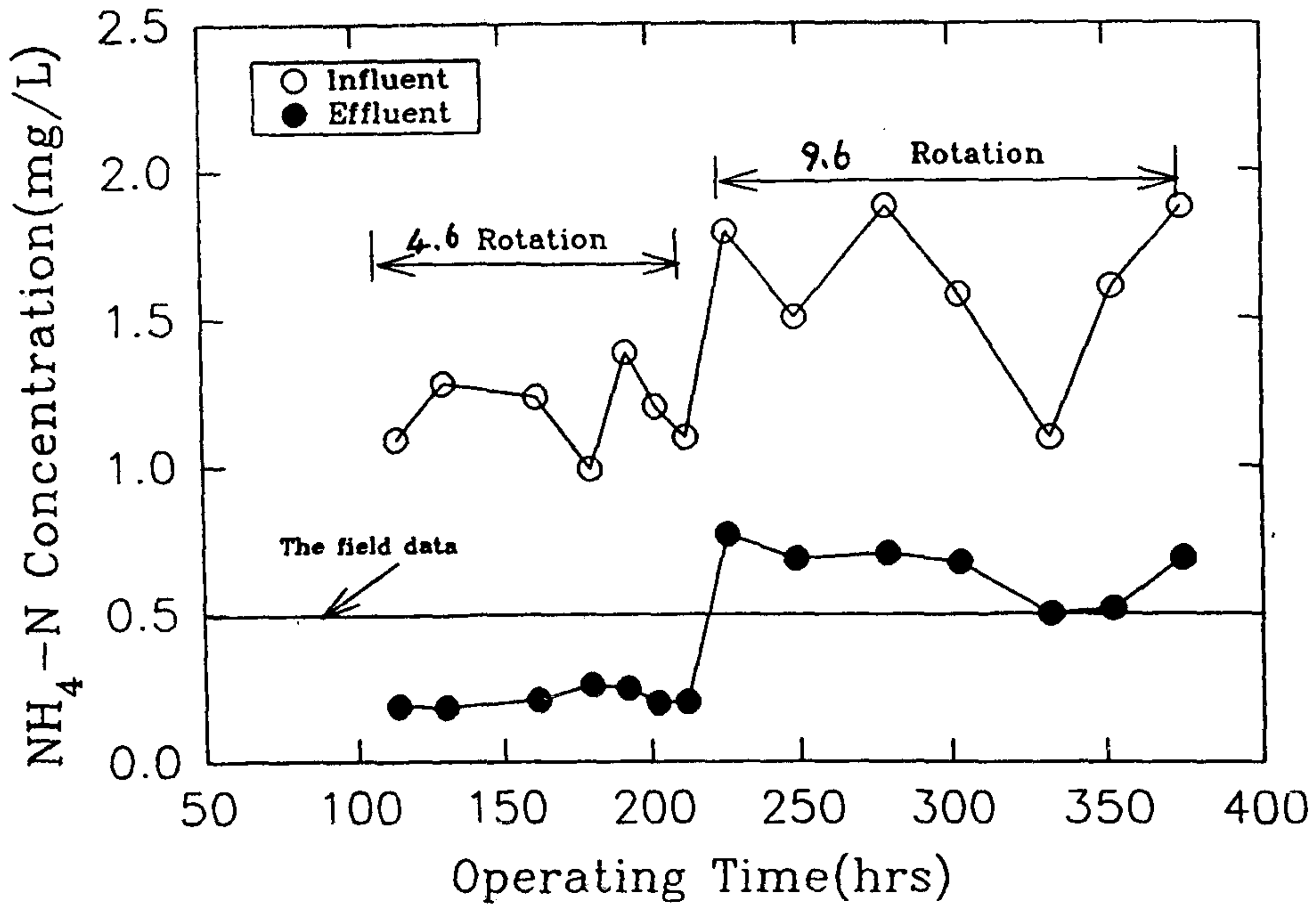


<그림 2-3-16> 삼상유동층 반응조에서 운전기간동안 SCOD제거효율

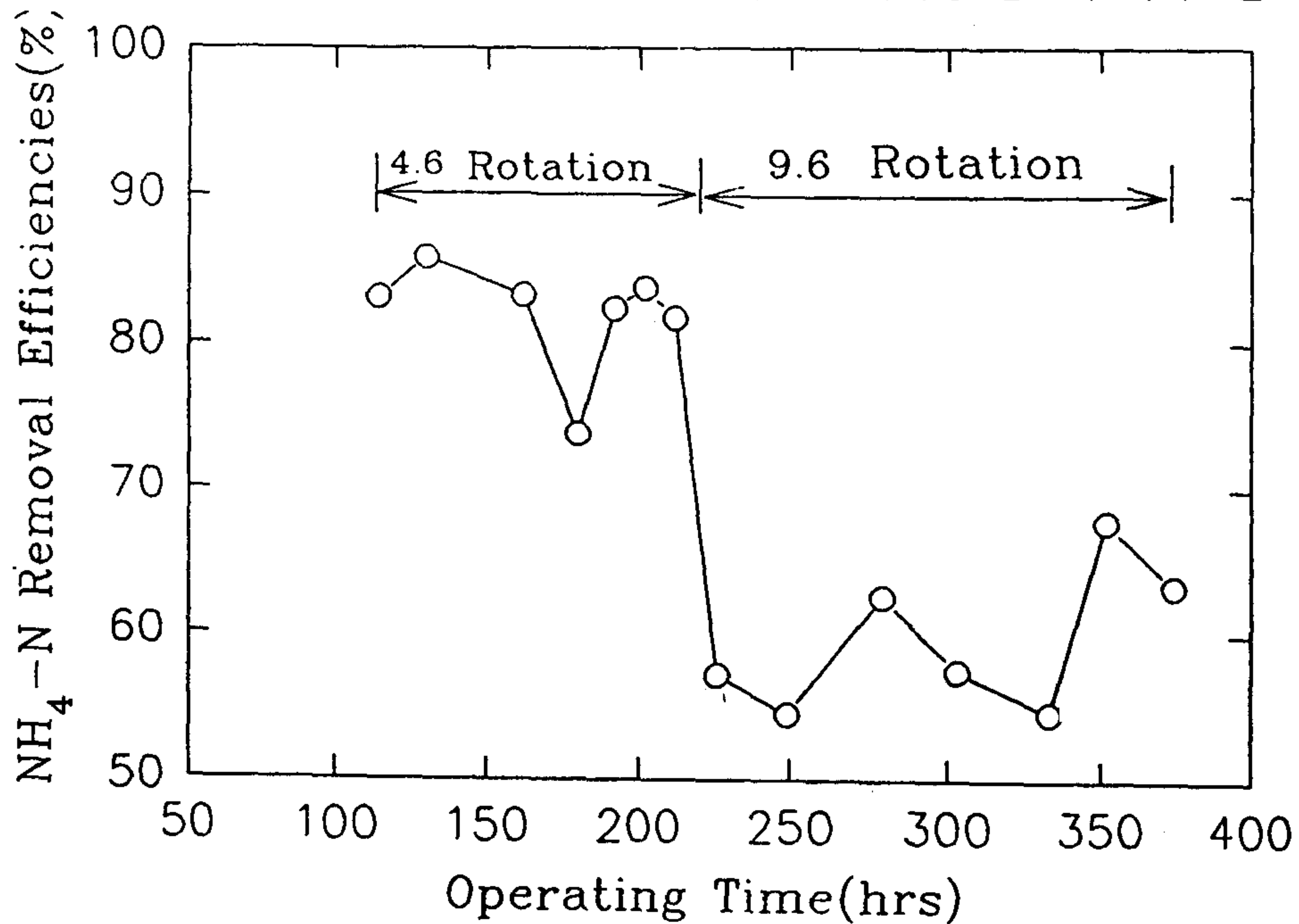
## 2) 암모니아 제거

삼상 유동층 반응조를 이용한 암모니아성 질소의 제거에 관한 실험결과를 <그림 2-3-17>에 나타내었다. <그림 2-3-17>은 운전기간동안 유입, 유출수 중의 암모니아성 질소의 농도에 대한 관계를 나타낸 것이다. 유입수 중의 암모니아성 질소의 농도가 0.989 - 1.878 mg/L(0.023 - 0.094 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)의 범위내에서 연속적으로 주입되어졌다.

<그림 2-3-17>에는 운전중의 암모니아성 질소의 농도와 부경대학교내 부속 양어장에서 틸라피아를 사육할 때 사육조내의 암모니아성 질소농도를 함께 나타낸 것으로서, 이때 현장자료는 1일 순환되는 회전수가 8회전이고 희석수는 사육조 체적에 대하여 10%에 해당되는 양을 매일 갈아주었다. 사육중인 어류의 양은 대략 45kg fish / ton에 해당한다. 본 반응조는 대략 1일 9.5회전에서 사육조로부터 유출되는 암모니아성 질소의 농도가 1mg/L 정도로 계산하여, 반응조내로 유입시켜 운전하였으며, 처리수의 암모니아성 질소의 농도를 평균 0.647mg/L로 유지할 수 있었다. 따라서 현장자료를 비교해볼 때 틸라피아를 사육하는 완전순환여과식 양어장에서 삼상 유동층 반응조의 적용이 가능하다고 생각된다. <그림 2-3-18>는 운전중의 암모니아성 질소의 제거효율을 나타내었다. 1일 4.6회전시의 암모니아성 질소의 평균제거율은 81.9%였고 9.6회전시에는 59.6%로 나타나 SCOD제거율과는 다른경향을 나타냈다.



<그림 2-3-17> 삼상유동층 반응조에서 암모니아성 질소의 제거효율



<그림 2-3-18> 삼상유동층 반응조에서 운전기간동안 암모니아성 질소의 제거효율

#### 4. 결론

이상과 같은 인공양식수를 이용한 실험실 규모의 순환수처리 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

##### 1) 간접포기식 고정생물막 반응조

- ▶ Saran 미디어를 이용한 간접포기식 생물막 공법에서는 유기물질 제거측면에서 약 13.5분의 수리학적 체류시간에서 평균 40%의 유기물 제거효율을 보였으며 Ring미디어를 이용한 생물막 반응조에서는 평균 21%의 유기물 제거효율을 보여 Saran미디어가 2배정도의 높은 유기물 제거효율을 나타내었다.
- ▶ 암모니아 제거측면에서 두 미디어를 이용한 생물막 반응기를 비교하였을 때 Saran 미디어를 이용한 경우 정상상태 이후 본 실험의 운전조건에서 거의 0.1mg/L의 유출수 암모니아 농도를 나타내어 두 생물막 반응기 모두 암모니아 제거능력이 우수함을 할 수 있었다.

##### 2) 직접포기식 고정생물막 반응조

- ▶ 유기물 제거측면에서 약 13.5분의 HRT에서 평균 40% 유기물질 제거효율을 보였으며 Ring 미디어를 이용한 생물막 반응조에서는 평균 21.0%의 제거효율을 보여 Saran미디어가 약 2배정도의 높은 유기물질 제거효율을 나타내었다.
- ▶ 암모니아 제거측면에서 두 미디어를 이용한 생물막 반응기를 비교하였을 때 Saran 미디어를 이용한 경우 정상상태 이후 본 실험의 운전조건에서 거의 0.1mg/L의 유출수 암모니아 농도를 나타내었으며 Ring미디어를 이용한 경우는 0.172mg/L이하의 유출수 암모니아 농도를 나타내어 두 생물막 반응기 모두 암모니아 제거능력이 우수함을 알 수 있었다.

### 3) 활성탄 삼상 유동층 반응조

- ▶ 삼상 유동층 반응기에서의 유입수 유량은 사육조와 반응조간의 비가 5:1이라고 가정했을 때 완전순환식 양식장에서 1일 갈아주는 물의 양을 사육조 용적에 대하여 10%로 두고, 여기에 순환수가 합쳐진 상태에 해당되는 양만큼 반응조 내로 주입하였다. 1일 회전수를 4.6과 9.6으로 두고 운전한 결과 유기물 제거는 각각 81.9%와 59.6%로 나타났고, 암모니아성 질소의 제거효율은 31.0%와 18.8%로 나타났다.
- ▶ 삼상유동층 반응조를 이용한 순환수처리결과 1일 회전수를 9.6회전으로 했을 때 처리수중의 유기물 농도와 암모니아성 질소의 농도가 현장에서도 적용이 가능한 정도의 범위내에서 운전이 가능한 것을 파악할 수 있었다.



## 제4절 실험실 규모의 양어장 순환수처리

### 1. 개요

순환여과식 양식 시스템은 순환수를 재 사용함으로써, 물 요구량이 감소되고, 적절한 온도가 유지되며 외부 환경의 영향을 적게 받는 시스템으로 고밀도 양식이 가능하며, 환경친화적인 양식시스템이다. 순환여과식 양식 시스템에서 순환수의 적절한 처리는 아주 중요한 요소이다. 양식어류의 배설물과 미섭취사료등에 의해 발생하는 암모니아는 어류의 성장을 저해하며 치사의 위험성이 있으므로 반드시 처리하여야 한다. 암모니아는 수중에서 pH에 따라 분자상 암모니아( $\text{NH}_3$ )와 암모늄 이온( $\text{NH}_4^+$ )으로 존재한다. 암모늄 이온에 비하여 분자상 암모니아는 미량으로도 어류에 독성을 미치므로, 순환수는 적정농도 이하로 유지하여야 한다. 미국환경보호청(US. EPA)에서는 분자상 암모니아 농도를 0.02 mgN/L이하로 유지하도록 권고하고 있다(US EPA, 1976).

순환여과식 양식 시스템에서 순환수의 특징은 많은 수량과 낮은 오염도가 그 특징이다(Phillips et al, 1991). 따라서 양어장 순환수처리에 적합한 수처리 기술이 요구된다. 일반적인 양어장 순환수처리 방식은 부유성 미생물을 이용한 활성슬러지공법 등과 부착성 미생물을 이용한 생물막공법등이 이용되고 있다. 이러한 생물막공법들은 침지식 생물막법, 살수여상법, 회전원판법, 그리고 유동층법등이며, 최근 특성미생물을 고정화한 세포고정화 방식(bead filter)등도 있다.

본 연구에서는 고정생물막 공법에서 실제 순환수를 적용하여 수리학적 체류시간 변화에 따른 각 실험군의 처리특성을 연구하였다. 고정생물막 공법은 직접포기식, Air Lift식, 페타이어 삼상유동층 공법을 적용하여 실험조건에 대한 각 생물막 반응조의 운전특성 및 수처리 특성을 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

#### 1) 직접포기식 고정생물막 반응조

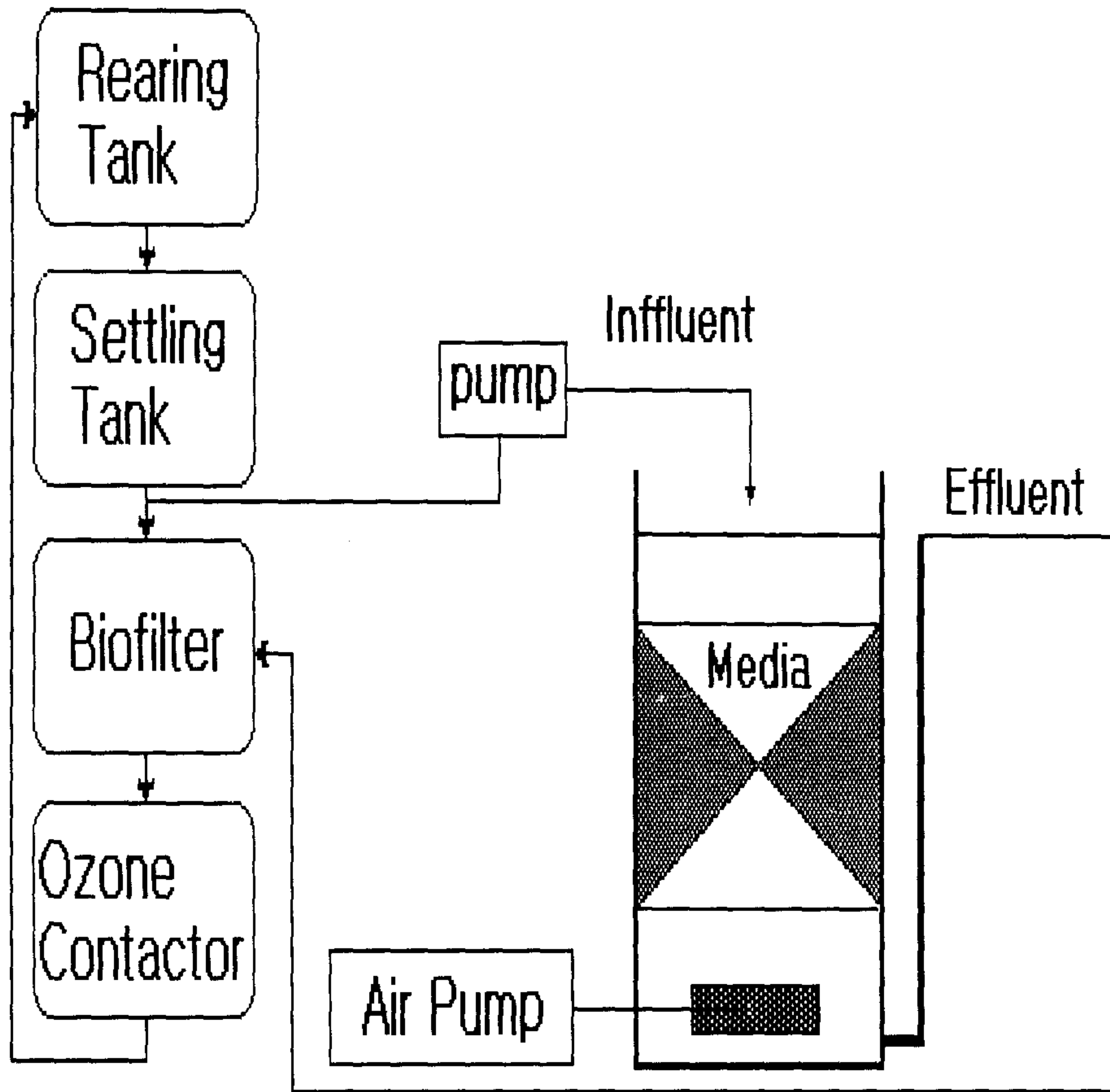
실제 양식수를 이용한 체류시간변동실험에 적용한 순환수는 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant의 순환수를 대상으로 하였다. 이 순환여과식 Pilot Plant에서는 사육 밀도 20kg/m<sup>3</sup>으로 틸라피아를 사육하였으며, 시스템은 사육조, 침전조, 생물막여과조, 오존접촉조로 구성되어 있었다. 본 실험장치는 침전조에서 유출된 순환수를 이용하였다. 직접포기식 고정 생물막 반응조는 산소공급을 위한 산기석을 반응조 하부에 설치하여 주입 공기방울이 직접 미디어와 접촉할 수 있도록 설계하였다. 반응조는 아크릴로 제작하였고, 규격은 200 × 140 × 400(mm)이고 유효용량은 8L로 하였다. 시료의 주입은 Cole-parmer사의 ISM 7553-20 펌프와 호스를 이용하였다. 각 반응조의 모식도는 <그림 2-4-1>과 같다.

충진 미디어별 처리특성을 조사하기 위해 Saran미디어를 충전하 것과 폐요구르트병을 반으로 자르고 바닥을 제거한 후 Saran미디어를 끼운 평균 35mm 높이의 요구르트병(Y미디어)을 충전한 것을 적용하였다. 각 충전 미디어별 특성을 <표2-4-1>에 나타내었다.

<표 2-4-1> 실험에 사용된 미디어의 특성 및 충전조건

특성	Saran	Saran + Yogurt
단위중량(kg/m <sup>3</sup> )	58	82
충진율(kg/m <sup>3</sup> )	33	35
비표면적(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	100	200
공극율(%)	97	93

# Pilot Plant



<그림 2-4-1> 직접포기 생물막 반응조를 이용한 양어장 순환수처리 공정도.

2) Air - Lift식 생물막 반응조

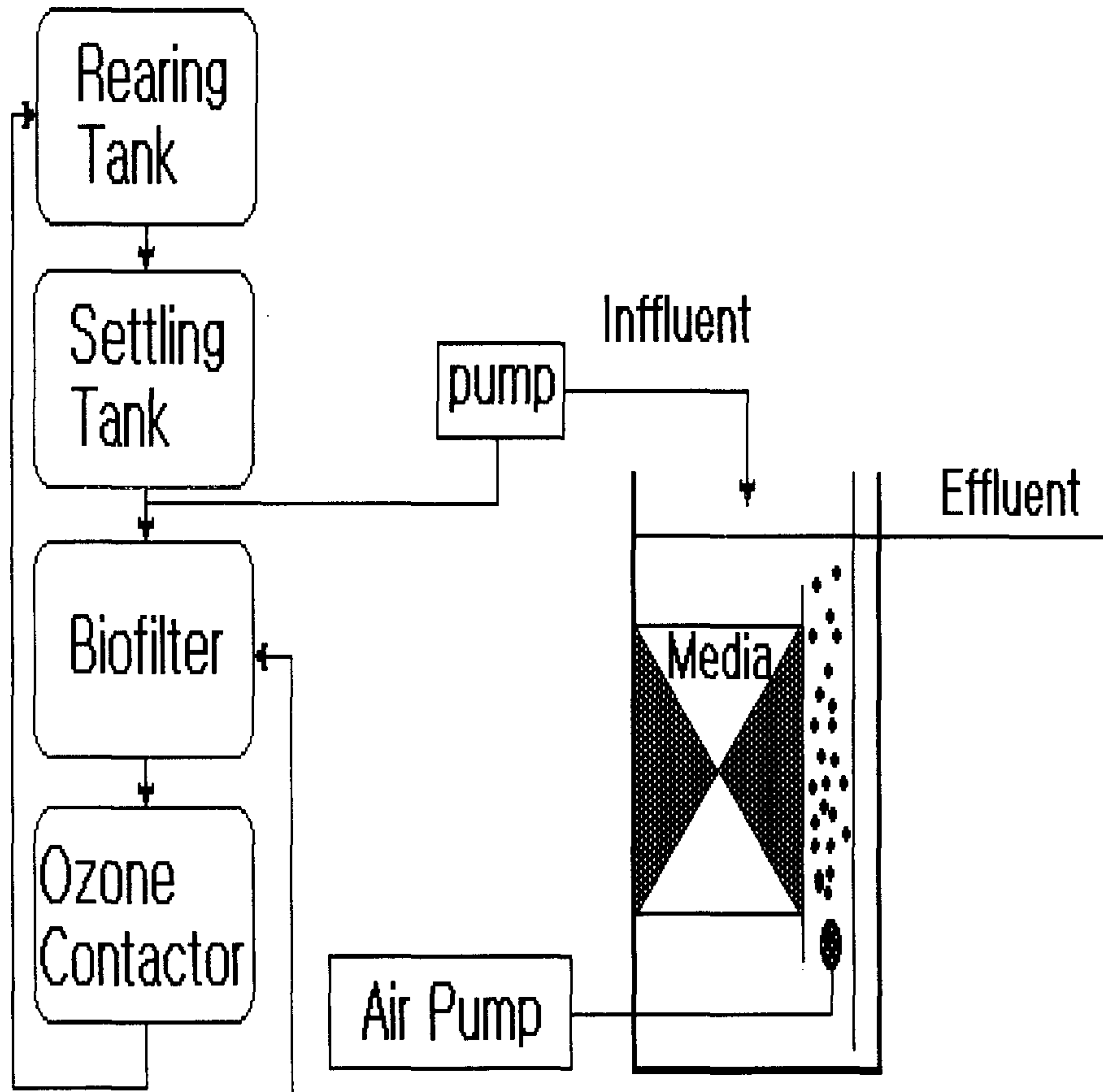
실재 양식수를 이용한 체류시간변동실험에 적용한 순환수는 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant의 순환수를 대상으로 하였다. 이 순환여과식 Pilot Plant에서는 사육 밀도 20kg/m<sup>2</sup>으로 Tilapia를 사육하였으며, 시스템은 사육조, 침전조, 생물막여과조, 오존접촉조로 구성되어 있었다. 본 실험장치는 침전조에서 유출된 순환수를 이용하였다. 실험기간중 유입된 유기물농도(COD, mg/L)는 4.2~10.4 이였고, 부유물질농도(SS, mg/L)는 4.0~11.0 이였고, 암모니아 농도(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, mg/L)는 0.21~0.65로 조사되었다. Air - Lift식 생물막 반응조는 반응조내부에 칸막이를 설치하여 포기된 물이 고정생물막과 계속 반응할 수 있도록 하였다. 반응조는 아크릴로 제작하였고, 규격은 140×130×420(mm)이고 유효용적은 8L로 하였다. 시료의 주입은 Cole-parmer사의 ISM 7553-20 펌프와 호스를 이용하였다. 각 반응조의 모식도는 <그림 2-4-2>과 같다.

Air - Lift식 생물막 반응조에는 Saran메디아를 충전한 것과, 폴리에틸렌 재질의 Plate메디아를 충전한 것을 비교하였다. 각 메디아의 물성 및 각 반응조의 충전조건은 <표 2-4-2>와 같다.

<표 2-4-2>Air-Lift식 생물막 반응조에 충전된 메디아 특성 및 충전율

	Saran	Plate
단위중량(kg/m <sup>2</sup> )	58	72
충진율(kg/m <sup>2</sup> )	33	35
비표면적(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	400	110
공극율(%)	97	85

# Pilot Plant



<그림 2-4-2> Air Lift식 생물막 반응조를 이용한 양어장 순환수 처리공정도

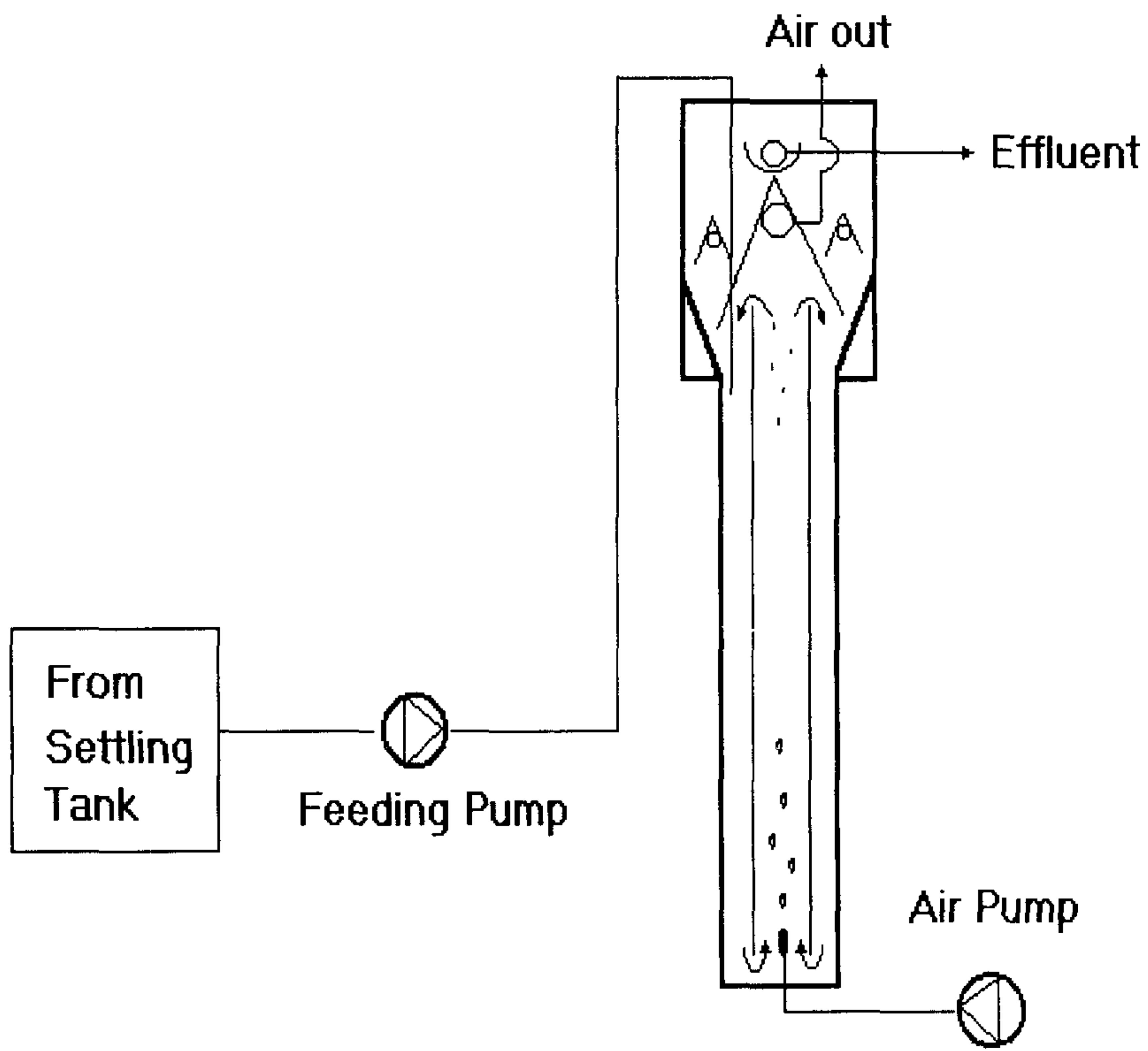
본 연구에 이용된 삼상 유동층 생물막 반응조는 <그림 2-4-3>에 나타내었다. 실험에 사용된 반응조는 두께 5mm의 아크릴 판을 이용하여 110×110×800 (mm) 규격으로 상부 침전조 부분을 제외한 유효 용량이 10ℓ가 되게 하였으며 내부에는 직경 80mm의 Draft Tube를 침전조 부분까지 올라오게 설치하였다. 상부 침전조는 미디어의 유실을 막고 탈리되어 나오는 잉여 슬러지의 효과적인 침전을 위해 UASB의 침전조를 응용하여 기체 유출부와 액체 유출부를 분리하여 설치하였다. 산소는 Draft Tube를 통하여 주입되며 부정형의 페타이어 미디어를 부피비로 30% 되도록 주입하였다. 페타이어 미디어의 특성은 <표 2-4-3>에 나타내었다.

<표 2-4-3> 페타이어 미디어의 물성치

---

비중	1.06~1.13
침강 속도 (cm/sec)	6.5~6.6
평균 입경 (mm)	7.1
겉보기 비중	0.43~0.52
비표면적 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	1700<

---



<그림 2-4-3> Lab Scale 삼상 유동층 반응조

실제양식수를 이용한 체류시간변동실험에 적용한 순환수는 부경대학교내 순환과식 Pilot Plant의 순환수를 대상으로 하였다. 이 순환여과식 Pilot Plant에서는 사육밀도 20kg/m<sup>3</sup>으로 Tilapia를 사육하였으며, 시스템은 사육조, 침전조, 생물막여과조, 오존접촉조로 구성되어 있었다. 본 실험장치는 침전조에서 유출된 순환수를 이용하였다. 실험기간중 유입된 유기물농도(COD, mg/L)는 4.2~10.4 이었고, 부유물질농도(SS, mg/L)는 4.0~11.0 이었고, 암모니아 농도(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, mg/L)는 0.21~0.65로 조사되었다. Saran메디아와 Saran + Y메디아가 충전된 각각의 직접포기식 생물막 반응조는 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant의 순환수라인에 각 충전메디아별 반응조를 부착시켜 수리학적 체류시간(HRT)을 30min에서 시작하여 단계적으로 반응시간을 줄여나갔다.

## 2) Air Lift식 생물막 반응조

순환여과식 양어시스템의 순환수처리에 실험실 규모의 Air - Lift 생물막반응조의 처리특성을 고찰하기 위해 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant의 순환수를 대상으로 수리학적 변동에 대한 실험을 수행하였다. 실험에 이용된 순환여과식 Pilot Plant에서는 사육밀도 20kg/m<sup>3</sup>으로 Tilapia를 사육하였으며, 시스템은 사육조, 침전조, 생물막여과조, 오존접촉조로 구성되어 있었다. 본 실험장치는 침전조에서 유출된 순환수를 이용하였다. 실험기간중 유입된 유기물농도(COD, mg/L)는 4.2~10.4 이었고, 부유물질농도(SS, mg/L)는 4.0~11.0 이었고, 암모니아 농도(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, mg/L)는 0.21~0.65로 조사되었다. Saran메디아와 Saran + Y메디아가 충전된 각각의 직접포기식 생물막 반응조는 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant의 순환수라인에 각 충전메디아별 반응조를 부착시켜 수리학적 체류시간(HRT)을 20min, 10min의 두단계에 대하여 실험을 수행하였다.



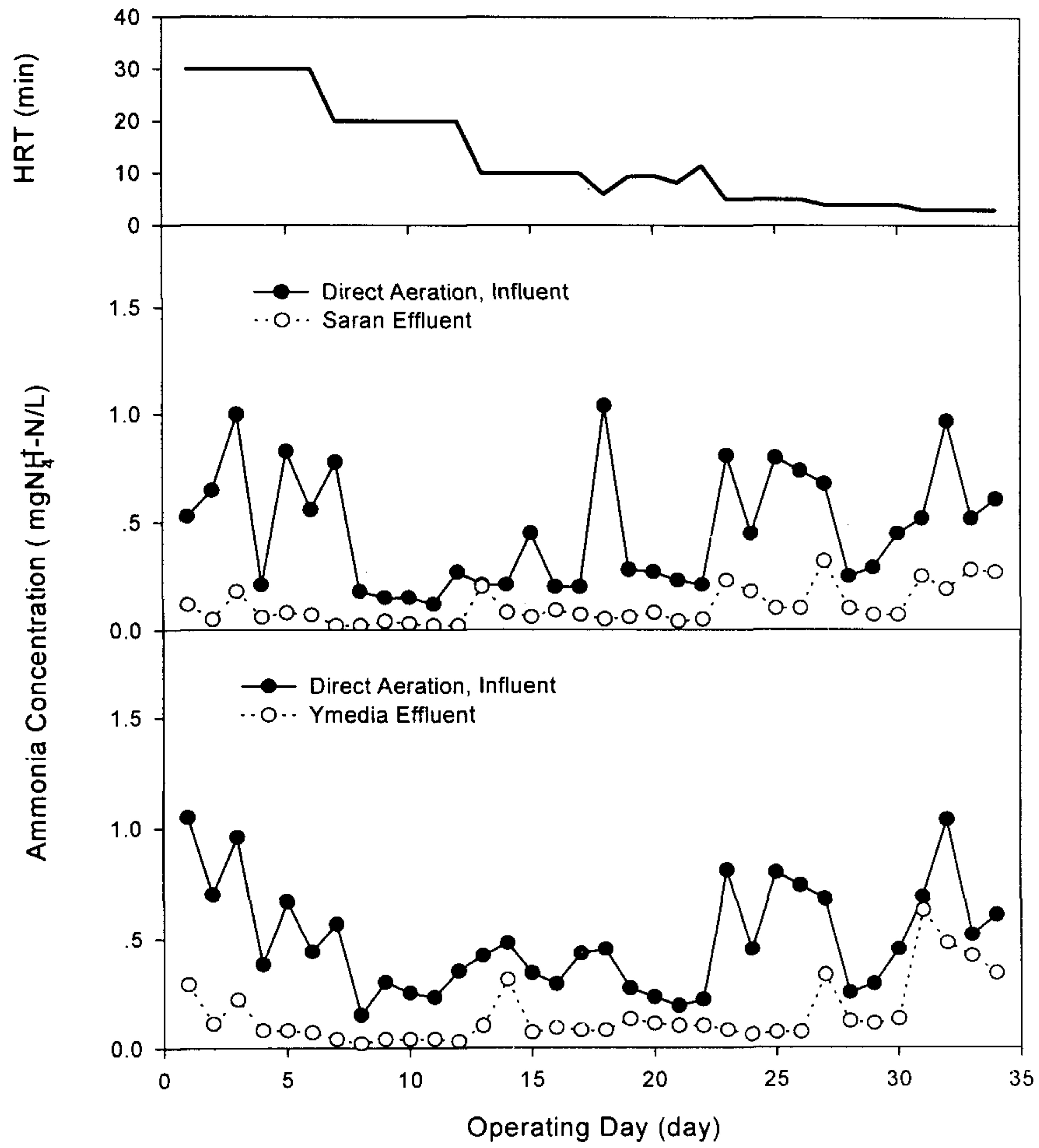
### 3) 페타이어 삼상유동층 반응조

생물막형성을 위하여 부경대학교 부설 양어장의 침전조 슬러지에 메디아를 넣고 약 7일간 공기를 주입하며 미생물을 부착시켰다. 이러한 초기적응을 마친 페타이어 메디아에는 일정량의 미생물들이 존재하여 순환수처리시 초기 단계가 단축되었다. 페타이어를 이용한 삼상 유동층 반응조를 순환여과식 양어시스템에 적용할 경우 최적의 설계인자를 도출하기 위해 수리학적 체류시간(HRT)을 25, 20, 8분으로 변화시켰다. 이때 생물막여과조의 유출수 수질이  $0.1\text{mg NH}_4^+\text{-N/L}$ 이하를 나타내면 체류시간을 단축시켰다. 용존산소(Dissolved Oxygen)유지와 유체이동을 위한 공기공급은 유동층 반응조의 정중앙에 위치한 Draft Tube로 주입되었다. Draft Tube를 중심으로 내부에서는 상향류 흐름이 생성되어 외부에서는 하향류 흐름이 균일하게 유지되도록 하여 반응조 내부가 완전혼합이 이루어지도록 하였다. 이러한 유동현상을 이루기 위한 최소 공기 유량은  $15\text{ L/min}$ 이었고, 전체 실험기간동안 이조건을 유지하였다.

### 3. 결과 및 고찰

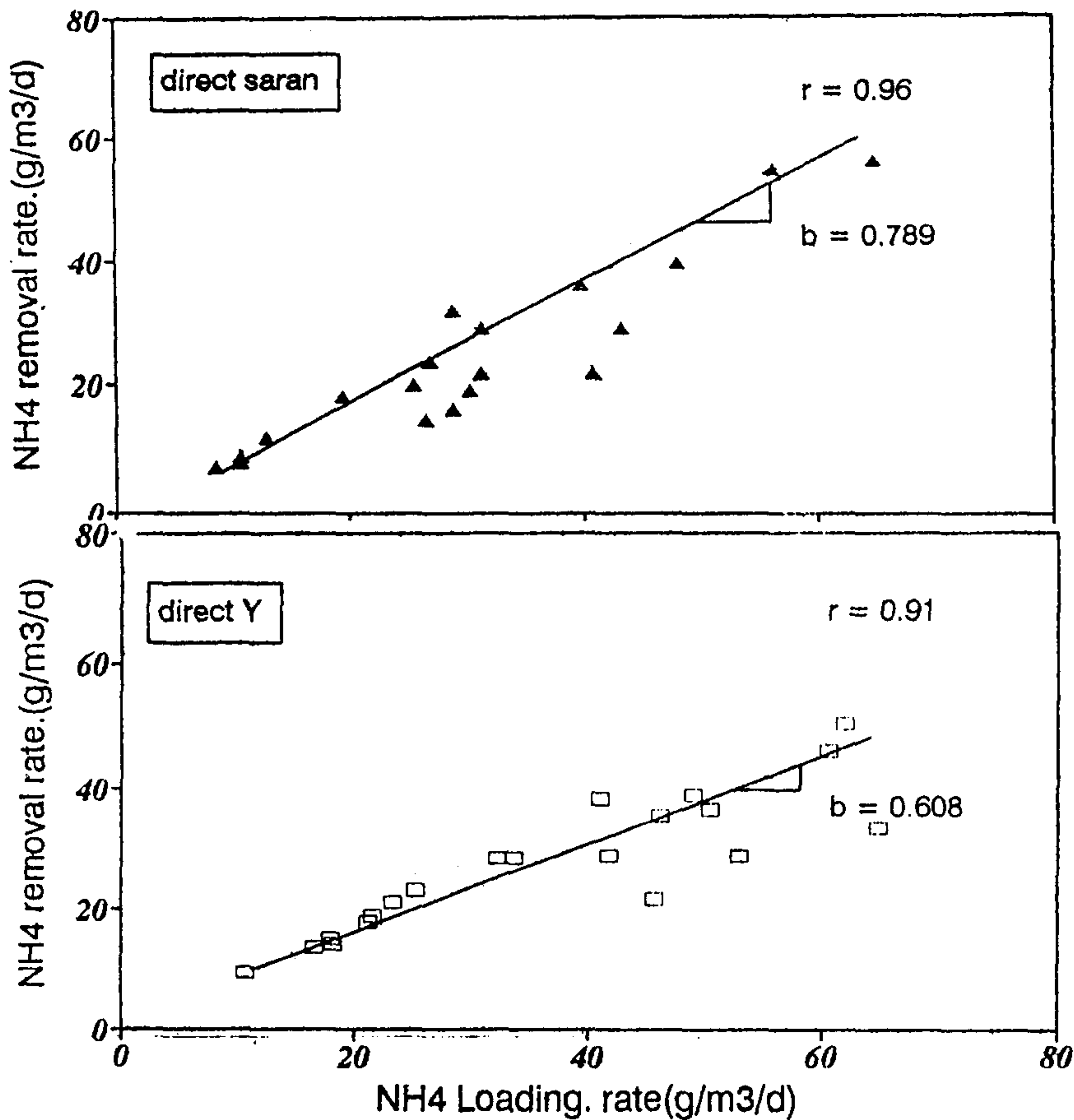
#### 가. 직접포기식 고정생물막 반응조

직접포기식 고정생물막 반응조를 적용하기 위한 설계인자를 도출을 위해 양어장 순환수에 대하여 실험을 수행 하였다. 적용한 순환여과식 양어시스템은 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant 양어시스템으로 킬라피아를 사육중이었다. 양어 시스템의 구성은 사육조, 침전조, 생물막여과조, 오존접촉조로 구성되어 있었고, 사육조는 2㎡ 규모 였다. 이러한 순환여과식 양어 시스템에서 침전조 유출수에 실험용 직접포기식 반응조를 부착시켜 일련의 수리학적 체류시간 변동실험을 수행하였다. 운전조건의 변동은 반응조 유출수의 암모니아성 질소농도가 0.1 mg N/L이하를 유지하면, 다음 조건으로 변동 하였다. 직접포기식 생물막 반응조는 전체 수리학적 체류시간의 변동을 30 ~ 3 min으로 7단계로 변동시켰다. 연속실험기간동안 유입수의 암모니아성 질소농도는 0.12 ~ 1.04 mg N/L였으며, 부하범위는 10.08 ~ 465.60 g N/㎡/day였다. 전체 실험일수에 따른 실험조건인 수리학적 체류시간의 변동 및 각 충전 미디어별 유출수의 농도변화를 <그림 2-4-4>에 나타내었다. 실제 양어장 순환수의 처리 실험에서 유입수는 사육조 내부의 사료주입 특성, 시스템의 운전특성에 따라 농도변화가 있는 것으로 관찰되었다. 유입수는 1 mg N/L이하의 낮은 암모니아성 질소농도이나 다소의 변동이 보였다. Saran미디어가 충전된 생물막 반응조의 유입수는 0.16 ~ 1.04 mg N/L의 농도 변화를 보였다. 반응조의 수리학적 체류시간변동이 5min까지 단축된 경우, 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 수질을 보였으나, 수리학적 체류시간이 3 min으로 단축된 경우 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 관찰할 수 있었다. Y미디어가 충전된 생물막 반응조의 유입수 암모니아는 0.14 ~ 1.04mg N/L의 농도 범위를 보였다. 여기서도 수리학적 체류시간이 5min까지 단축되어도 안정적인 유출수 수질을 보였으나, 그이하의 수리학적 체류시간에서는 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다.



<그림 2-4-4> 직접포기식 생물막 반응조에서 운전일수에 따른 운전조건과 유출수 암모니아변화

각각의 연속실험결과를 부하량( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )으로 환산하여 부하량 변화에 따른 각 반응조의 제거율을 나타내면 <그림 2-4-5>과 같다. 직접포기식 Saran메디아와 Saran+ Y 메디아 등에 대한 각각의 유입부하 범위는 10.08-465.60, 10.80-499.20 ( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )였고, 각 반응조별 제거율은 45.10-97.44, 35.42-92.88( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )의 범위였다. Saran메디아의 제거율은 52 - 97%범위의 암모니아 제거율을 보였고, Saran + Y메디아는 26 - 94%의 암모니아 제거범위를 나타내었다.



<그림 2-4-5> 암모니아 부하에 따른 직접포기식 반응조의 제거율.

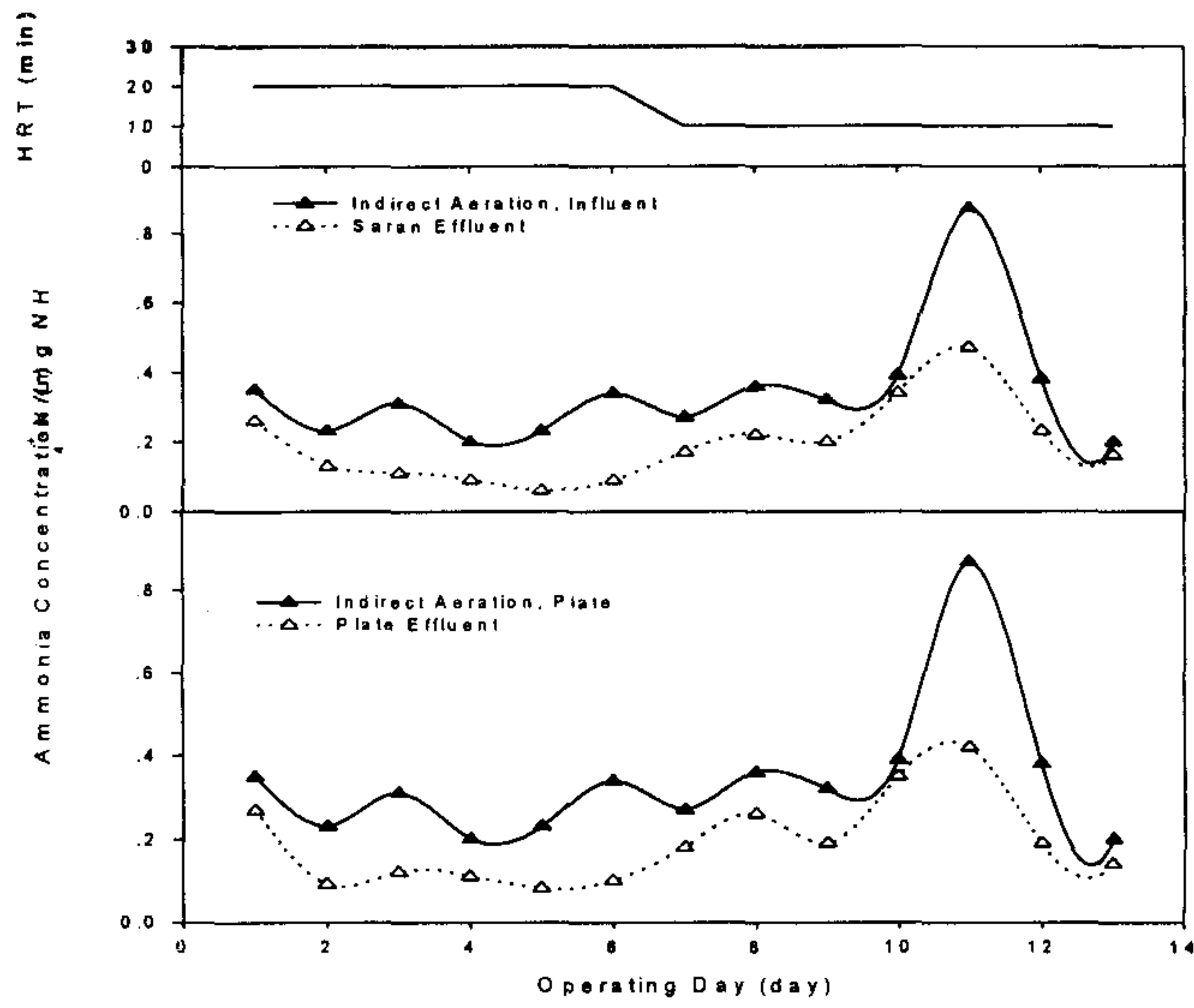
## 나. Air - Lift식 생물막 반응조

Air - Lift식 생물막 반응조 양어장 순환수처리실험에서 수리학적 체류시간 변동은 20, 10min 두단계로 하였다. 시험기간중 유입수의 암모니아성 질소농도 범위는 0.20-0.87 mgN/L였고, 부하범위는 14.4-125.3 ( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )였다. Air - Lift식 생물막 반응조의 운전일수에 따른 유입수 및 유출수의 특성과 운전조건을 <그림 2-4-6>에 나타내었다. 수리학적 체류시간이 20min일 때 Air - Lift식 생물막 반응조는 0.1 mg N/L이하의 양호한 수질을 보였다. 운전조건을 10min으로 단축하였을 때, 직접포기식의 경우에는 하루정도의 순응기간 이후 안정적인 유출수 수질을 보였으나, Air - Lift식 생물막 반응조에서는 유입수 농도에 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다.

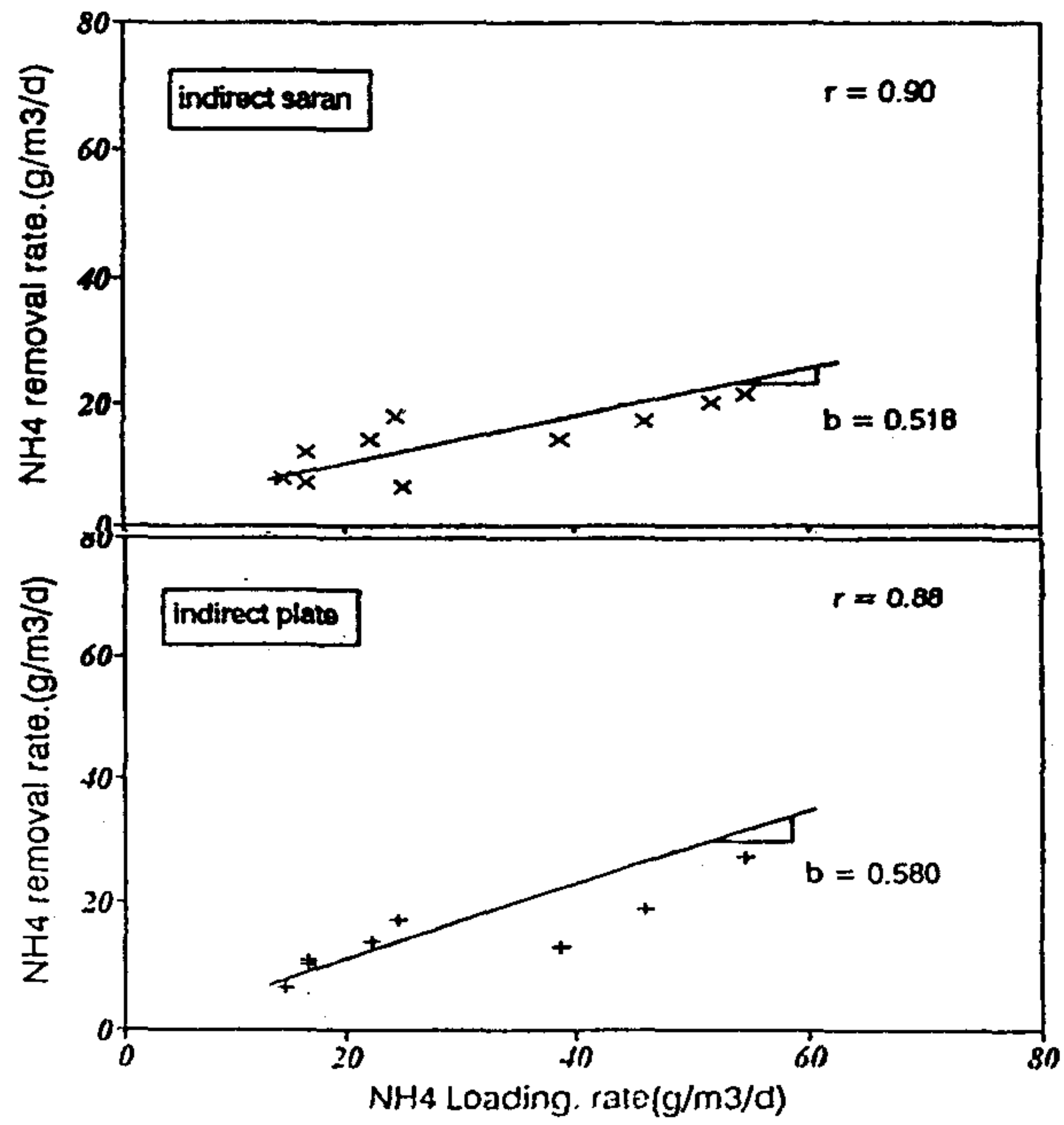
Air - Lift식 생물막 반응조에서는 충전메디아와는 상관 없이 수리학적 체류시간의 변화에 있어서 20min의 조건에서는 안정적인 처리수 수질을 보였으나 10min의 경우에는 유입수 변동에 영향을 많이 받는 것을 알수 있었다.

Air - Lift식 생물막 반응조에서 Saran메디아, Plate메디아를 이용한 각 반응조의 유입부하 범위는 14.40 ~ 125.28, 14.40 ~ 125.28( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )였고, 제거율의 범위는 37.04 ~ 73.91, 30.00 ~ 70.59( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )였다.

유입 암모니아 부하( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )에 대한 각 반응조의 부하제거율( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )과의 관계는 대체로 선형관계를 보였으며, <그림 2-4-7>과 같다. 각 반응조별 선형관계식은 Saran메디아가  $Y=0.518X(r=0.90)$ , Plate메디아가  $Y=0.580X(r=0.88)$ 로 나타났다. 따라서 각 반응조의 효율은 별차이가 없었다.



<그림 2-4-6> Air - Lift식 생물막 반응조의 수질변화특성



<그림 2-4-7> Air - Lift식 생물막 반응조의 유입부하에 따른 제거율

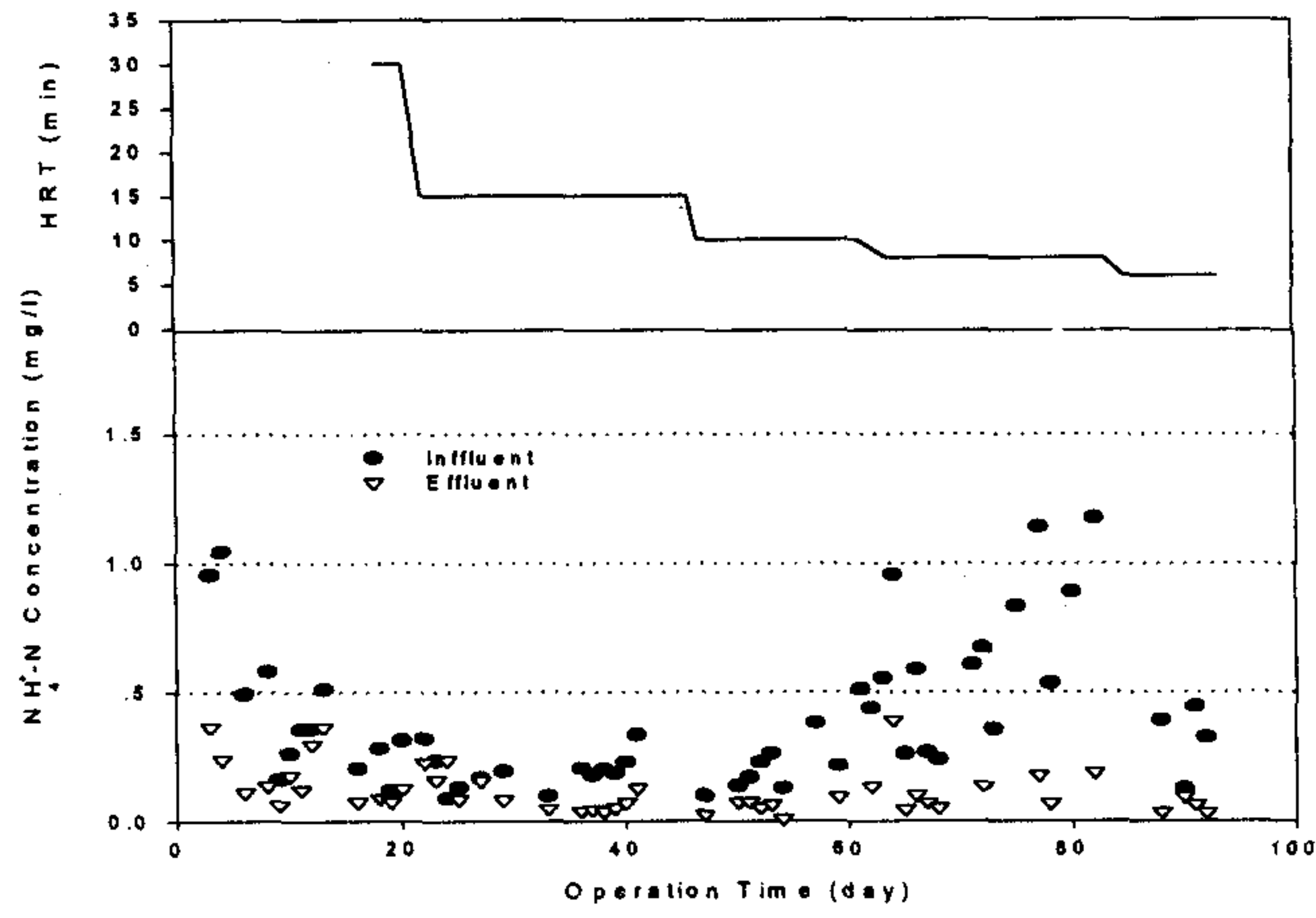
다. 페타이어 삼상유동층 반응조

<그림 2-4-8>와 <표 2-4-4>에는 전체 운전일수와 수리학적 체류시간에 따른 유입수 및 유출수의 암모니아성 질소농도 변화를 나타내었다. 수리학적 부하를  $48 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$  -  $240 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ 로 운전 하였을 때 유입수의 농도는  $0.09 \text{ mg/L} \sim 1.17 \text{ mg/L}$ 였으며 유출수의 농도는  $0.01 \text{ mg/L} \sim 0.39 \text{ mg/L}$ 로 전 기간동안 최대  $0.4 \text{ mg/l}$  이하를 유지하였다.

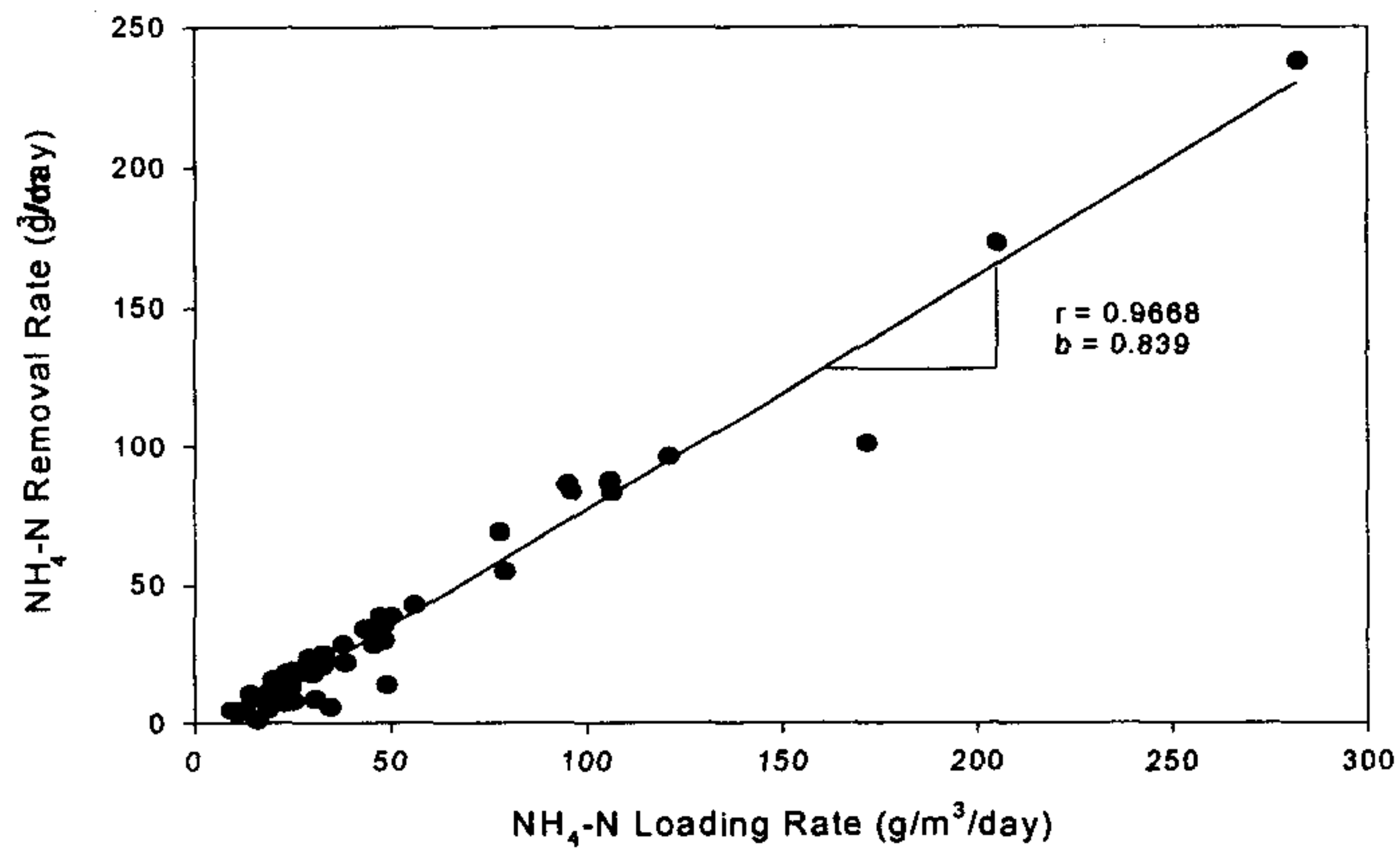
<그림 2-4-9>에는 운전기간 동안의 수리학적 부하 조건과 유입수의 암모니아성 질소농도와의 관계에서 유입 암모니아부하를 계산한 결과를 나타내었다. 운전기간동안 반응조에 가해진 부하범위는  $15.44 \text{ g/m}^3/\text{day} \sim 205.3 \text{ g/m}^3/\text{day}$ 였으며 이부하 범위에서 유동층반응조가 가진 제거율은  $80.3 \%$ 로 나타났다. 수리학적 부하를  $48 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ 으로 운전하였을 때  $0.11 \text{ mg/l} \sim 0.37 \text{ mg/l}$ 의 유출수 수질을 보였으며 이때의 평균 효율은  $71.87 \%$ 로 나타났다. 수리학적 부하를  $144 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ 으로 3배정도 높여서 운전할 경우  $0.01 \text{ mg/l} \sim 0.13 \text{ mg/l}$ 의 수질을 보였으며  $70.64 \%$ 의 평균 효율을 보였으며 수리학적 부하를  $240 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ 으로 높였을 경우 유출수의 암모니아성 질소 농도는  $0.03 \text{ mg/l} \sim 0.19 \text{ mg/l}$  나타내었으며 유출수의 암모니아성 질소의 농도는 수리학적 부하에 크게 영향을 받지 않았다.

<표 2-4-4> 운전조건에 따른 암모니아 처리특성

HRT (min)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N influent (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N effluent (mg/L)	Removal efficiency (%)	Ammonia Loading Rate (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Ng/m <sup>3</sup> /d)	Removal rate (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Ng/m <sup>3</sup> /d)
30	0.51	0.24	71.87	39.84	28.36
15	0.27	0.15	42.81	25.48	12.15
10	0.20	0.07	63.52	31.20	18.74
8	0.59	0.13	70.10	106.25	72.66
6	0.49	0.09	88.17	140.40	119.8



<그림 2-4-8> 전 운전 기간동안의 암모니아성 질소 농도 변화



<그림 2-4-9> 암모니아성 질소 부하율에 따른 제거율



#### 4. 결론

##### 가. 직접포기식 고정생물막 반응조

- ▶ 전체실험기간동안 유입수의 암모니아성 질소농도는 0.12 ~ 1.04 mg N/L였으며, 부하범위는 10.08 ~ 465.60 g N/m<sup>3</sup>/day였다. 반응조의 수리학적 체류시간변동이 5min까지 단축된 경우, 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 수질을 보였으나, 수리학적 체류시간이 3 min으로 단축된 경우 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 관찰할 수 있었다.
- ▶ Y메디아가 충전된 생물막 반응조의 유입수 암모니아는 0.14 ~ 1.04mg N/L의 농도 범위를 보였다. 수리학적 체류시간이 5min까지 단축되어도 안정적인 유출수 수질을 보였으나, 그이하의 수리학적 체류시간에서는 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다.
- ▶ 직접포기식 Saran메디아와 Saran+ Y 메디아 등에 대한 각각의 유입부하 범위는 10.08 - 465.60, 10.80 - 499.20 (g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)였고, 각 반응조별 제거율은 45.10 - 97.44, 35.42 - 92.88(g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)의 범위였다.

##### 나. Air - Lift식 생물막 반응조

- ▶ 시험기간중 유입수의 암모니아성 질소농도 범위는 0.20 -0.87 mgN/L였고, 부하범위는 14.4-125.3 (g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)였다. 수리학적 체류시간이 20min일 때 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 농도를 보였고, HRT를 10min으로 단축하였을 때 유입수 농도에 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다.
- ▶ 충전메디아와는 상관 없이 수리학적 체류시간의 변화에 있어서 20min의 조건에서는 안정적인 처리수 수질을 보였으나 10min의 경우에는 유입수 변동에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다.

- ▶ Air - Lift식 생물막 반응조에서 Saran메디아, Plate메디아를 이용한 각 반응조의 유입부하 범위는 14.40 ~ 125.28, 14.40 ~ 125.28( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )였고, 제거율의 범위는 37.04 ~ 73.91, 30.00 ~ 70.59( $\text{g NH}_4^+\text{-N/m}^2\text{/day}$ )였다.

다. 페타이어 삼상유동층 반응조

- ▶ 수리학적 부하를  $48 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$  -  $240 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ 로 운전 하였을 때 유입수의 농도는  $0.09 \text{ mg/L}$  ~  $1.17 \text{ mg/L}$ 였으며 유출수의 농도는  $0.01 \text{ mg/L}$  ~  $0.39 \text{ mg/L}$ 로 전 기간 동안 최대  $0.4 \text{ mg/l}$  이하를 유지하였다.
- ▶ 운전기간동안 반응조에 가해진 부하범위는  $15.44 \text{ g/m}^3\text{/day}$  ~  $205.3 \text{ g/m}^3\text{/day}$ 였으며 이부하 범위에서 유동층반응조가 가진 제거율은 80.3 %로 나타났다.

## 제5절 활성탄 이상유동층 반응조를 이용한 실험실 규모의 질산성 질소 제거

### 1. 개요

우리나라의 순환여과식 양식장의 운전에서 사육조 내의 질산성 질소의 제거는 대부분 환수에 의존하고 있는 실정이다. 이와같은 시스템을 통하여 사육조 내에서 질산성 질소의 축적이 일어날 경우 일정농도 이상에서 어류에 유해한 영향을 미친다. 또한 침전조등에서 발생할 수 있는 불완전한 탈질반응이 발생될 경우 생성되는 아질산성 질소는 저농도에서도 어류에 아주 유해하다.

어류양식에서 사육조 내의 pH는 6.5 - 9.0 사이가 적합한 것으로 보고되고 있다. 따라서 pH가 저하될 경우에 어류 생산성을 크게 떨어뜨릴 뿐만 아니라 각종 어병의 발병율도 증가시키게 된다. 어류의 대사작용과 소비되지 않은 사료 등으로 인하여 발생하는 암모니아와 아질산성 질소는 사육중인 어류에 나쁜 영향을 끼치게 되며, 이것으로 인하여 어체의 아가미 손상을 초래하게 된다. 따라서 순환여과식 양식장 내의 질산성 질소의 축적에 따른 문제점들을 해결하기 위해서는 이들에 대한 제거가 요망된다. 최근에 들어와서는 처리공법의 효율증대를 위하여 유동층 공법을 이용한 연구가 진행중에 있다. 침지여상공법을 이용한 양어장 수처리 실험에서 부분적 탈질소화가 발생하였다는 보고가 있으며, 순환여과식 양식장에서 질산성 질소의 농도가 축적될 경우에 이러한 부분적 탈질소화 공정을 거쳐 아질산성 질소의 농도 역시 증가하게 되어 어류에 유해한 영향을 끼치게 된다. 따라서 순환여과식 양식장에서 질산성 질소의 축적에 따른 문제점들을 해결하기 위해서는 순환수 내에서 질소의 완전한 제거가 요구되어진다. 본 연구는 사육조 내의 질산성 질소의 축적을 방지하는데 있어서 이상 유동층 공법을 적용하여 탈질소화에 필요한 최적의 수리학적 체류시간과 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비 등을 도출하였다.

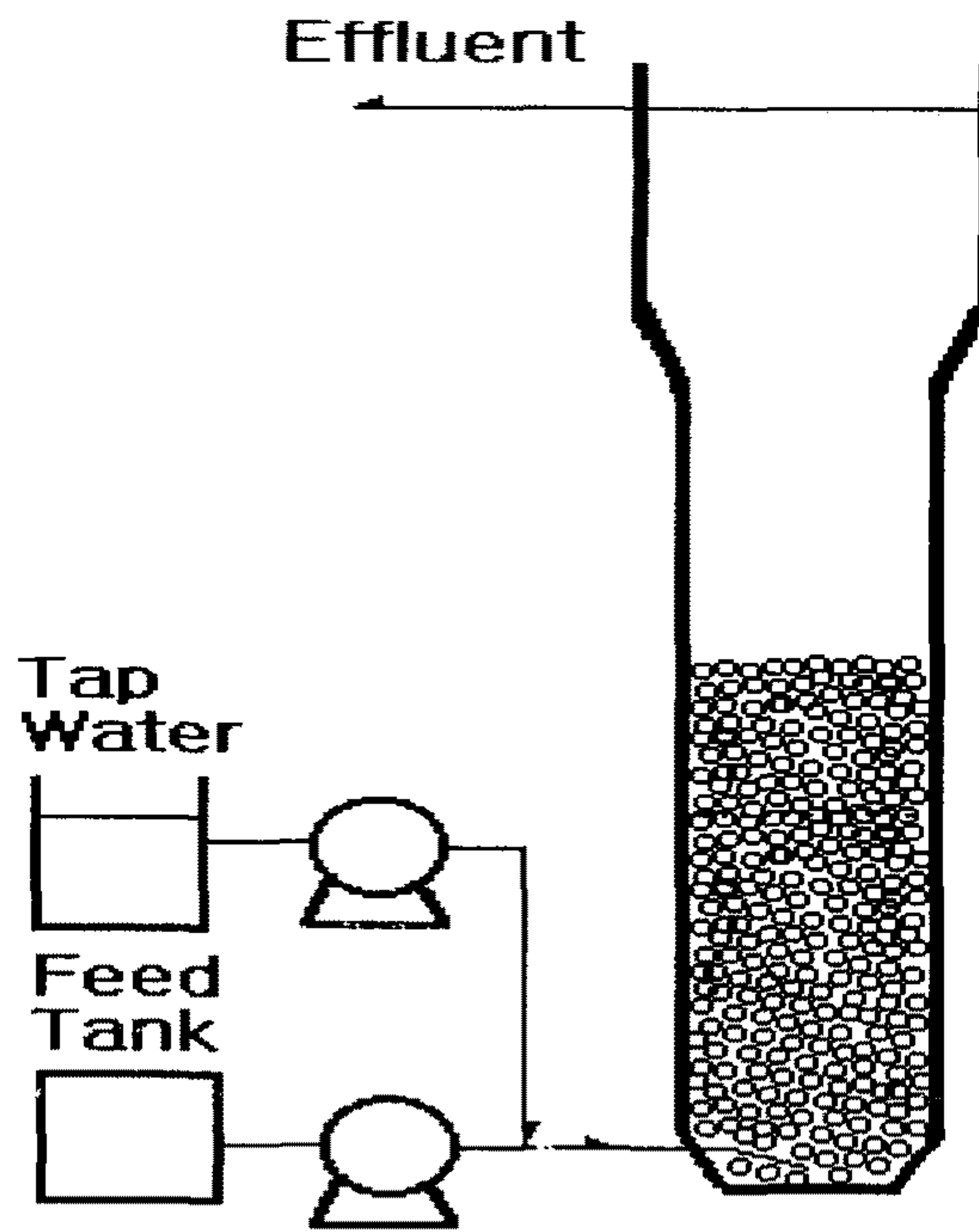
## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

본 실험에 사용된 2상 유동층 반응조의 실험장치는 <그림 2-5-1>에 나타내었다. 반응조 제작은 두께가 5 mm인 아크릴 관을 이용하여 만들었고, 이때의 반응조 총 용적은 12.8 l로서 상단부의 침전조 부분을 제외하면 8.7 l가 된다. 반응조의 직경은 77 mm이며, 높이는 2107 mm가 되도록 제작하였다. 실험조건에 맞는 기질 주입을 위해 SJ-1211 (Perista mini-pump)와 ISM 7553-20 (Cole-Parmer Instrument Company) 및 호스를 사용하였다. 반응조 내부에는 무정형탄소의 집합체인 입상활성탄을 반응조 높이에 대하여 79 cm(42.5%)에 해당되는 부분까지 채워서 운전을 하였는데, 이때의 활성탄 입경은 0.420~0.840 mm 사이에 있는 것들을 이용하였다. 활성탄의 물성치는 <표 2-5-1>에 나타내었다.

<표 2-5-1> 코코넛 재질의 활성탄소 특성

Contents	Values
Bulk Density, kg/m <sup>3</sup>	430-470
Moisture, %	5.0 max
Ash, %	5.0 max
Hardness, %	95 min
pH	4-11
Specific surface area, M <sup>2</sup> /g	1,100 min
Iodine Number, mg/g	1,100 min
MB Decolorization, ml/g	240 min



<그림 2-5-1> 이상유동층공법의 모식도

본 연구에 이용된 인공양식수는 김(1995)에 의해 제시된 현장자료를 토대로 조제하였다. 유기원으로서 포도당(Glucose)을 사용하였으며 암모니아원으로 염화암모늄( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )을 이용하였다. 기질조제에 필요한 희석수는 미량원소의 공급을 위하여 수도수를 사용하였고 <표 2-5-2>에 조성표를 나타내었다.

<표 2-5-2> 인공양식수의 조성

Composition	mg/L
Glucose	20
NaHP04	40
MnSO4	2
NO3-N	As need

## 나. 방법

생물막의 초기형성을 위하여 부산광역시 수영 하수처리장의 폭기조 미생물을 65 mesh( $\phi$ : 0.21 mm) 체로 걸러 협잡물을 처리한 후 인공양식수에 일주일간 순양시킨 다음 반응기에 5ℓ를 붓고 수돗물로 채웠으며, 이때의 미생물 농도는 2,850 mg/L 이었다. 운전초기 미세활성탄을 배출시키기 위하여 7일정도 수돗물로 조금씩 반응기 내를 씻어낸 다음 기질을 주입하기 시작하였다.

활성탄의 충전높이(bed height)는 반응조 길이에 대해 42.5 %로 하여 운전하였다. 일정한 팽창율을 유지하기 위해서는 미생물이 증식하여 일정높이를 초과한 만큼의 부착매디아를 반응기에서 채취하여 미생물을 털어내고, 털어낸 미생물양으로 부터 슬러지 생산량을 계산하였으며 매디아는 반응기로 다시 넣었다.

실험단계는 0.726 - 5.271 kg COD/m<sup>3</sup>/day, 0.413 - 2.204 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/m<sup>3</sup>/day의 부하 범위에서 운전을 행하였다. 실험 항목 및 분석방법은 Table 3.4에 나타내었다.

<표 2-5-3> 분석항목 및 방법

Parameter	Unit	Experimental method
pH	-	pH Meter(Corning, Type 245)
Alkalinity	mg/L	Potentiometric Titration Method(mg as CaCO <sub>3</sub> /L)
COD	mg/L	Open Reflux Method
TSS, VSS	mg/L	Vacuum Filtration(Glass Fiber Filters, Gelman Type A)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg/L	Ammonia-Selective Electrode Method(ORION)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	mg/L	DX-100 Ion Chromatograph
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	mg/L	DX-100 Ion Chromatograph
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P	mg/L	DX-100 Ion Chromatograph

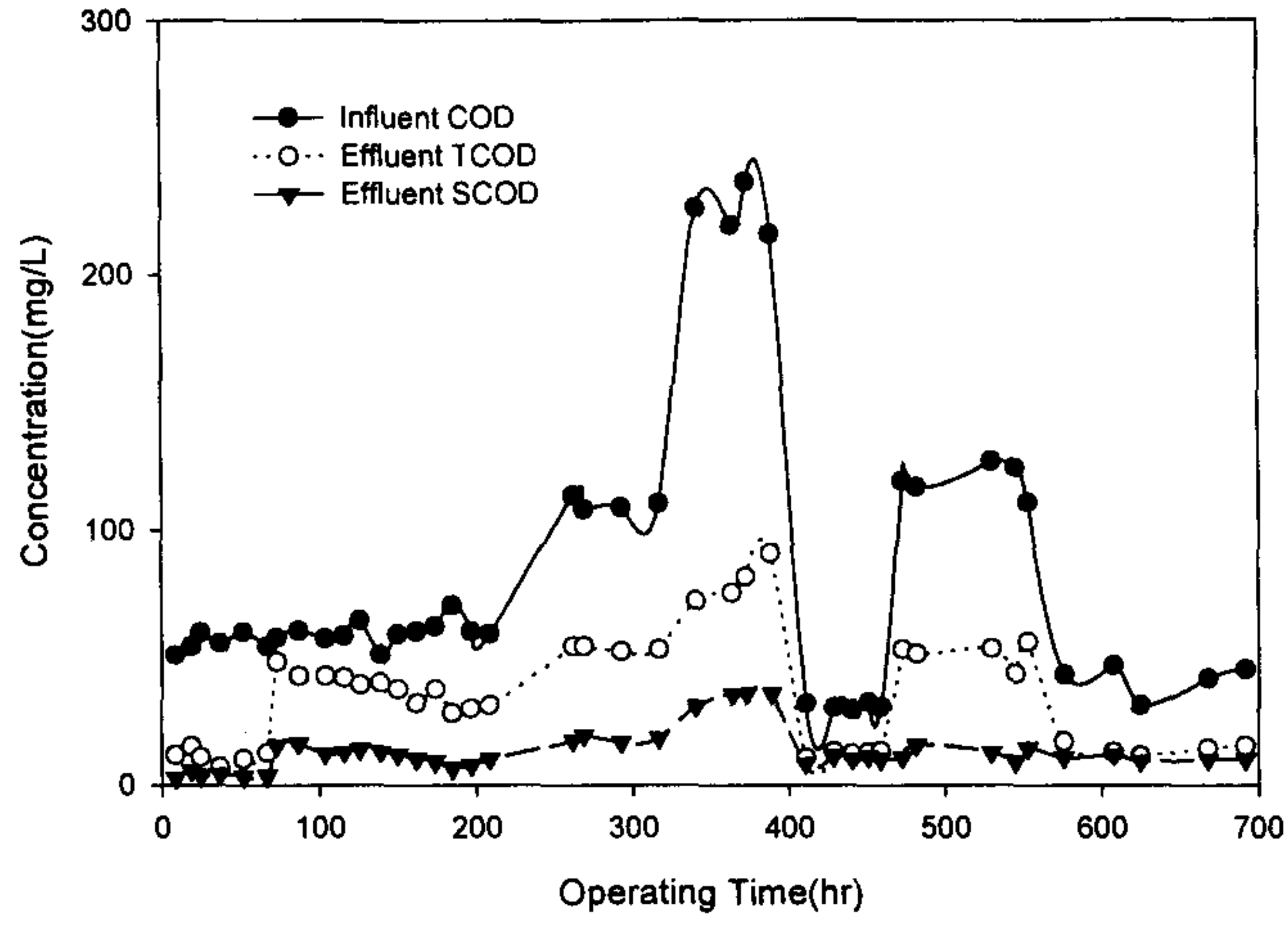
### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 유기물질 제거

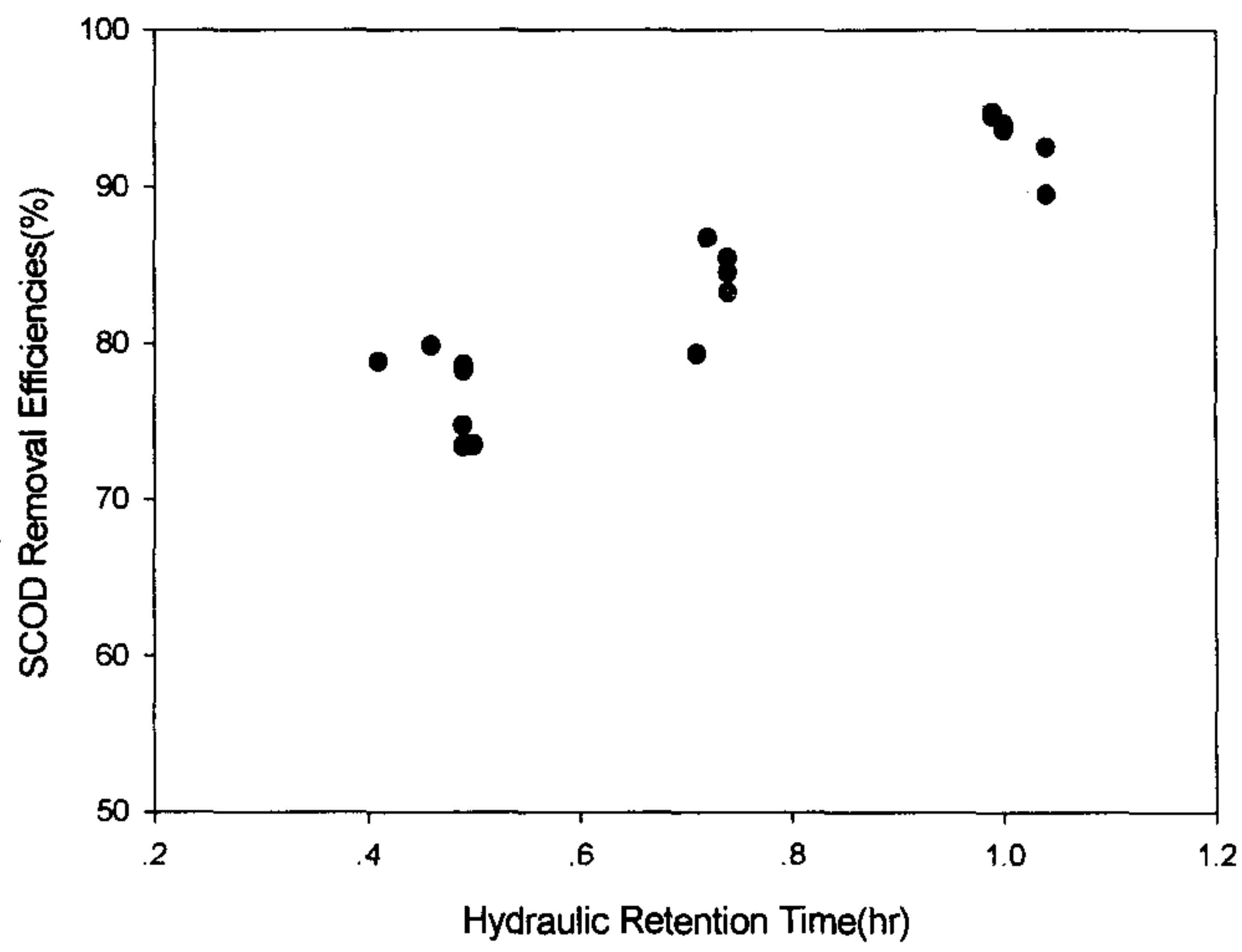
<표 2-5-4>는 이상 유동층 반응기의 유기물질 제거 실험에서의 운전조건과 결과를 나타낸 것이다. <그림 2-5-2>는 운전기간 동안 COD농도 변화를 나타낸 것이며, <그림 2-5-3>은 수리학적 체류시간에 따른 SCOD제거효율을 나타낸 것이다. 5.271 - 0.726 kg COD/m<sup>3</sup>/day의 유기물질 부하에서 67.4 - 93.1%의 COD제거효율을 나타내었으며, 수리학적 체류시간이 1.0시간일 때 93.1%로 가장 높게 나타났고 0.7, 0.5시간에서 각각 86.2, 76.75%의 제거효율을 나타내었다.

<표 2-5-4> 이상유동층 반응조의 운전조건에 따른 유기물제거 특성

Organic loading rate (kgCOD/m <sup>3</sup> /d)	HRT (hr)	Influent COD/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (Ratio)	Influent COD	Effluent SCOD	COD removal efficiency (%)
			(mg/L)		
1.330	1.01	3.2	55.9	3.8	93.1
2.042	0.73	3.1	62.5	8.6	86.2
2.929	0.48	2.9	58.6	13.6	76.7
2.568	1.03	3.0	110.0	17.9	83.8
5.271	1.02	2.4	224.4	34.5	84.6
0.726	1.03	1.4	31.0	10.5	67.4
1.001	1.00	2.0	41.0	10.3	75.3
2.927	0.99	5.7	119.0	12.5	89.5



<그림 2-5-2> 전체 운전일수에 따른 이상유동층 반응기 COD농도변화



<그림 2-5-3> 수리학적 체류시간에 따른 SCOD제거율

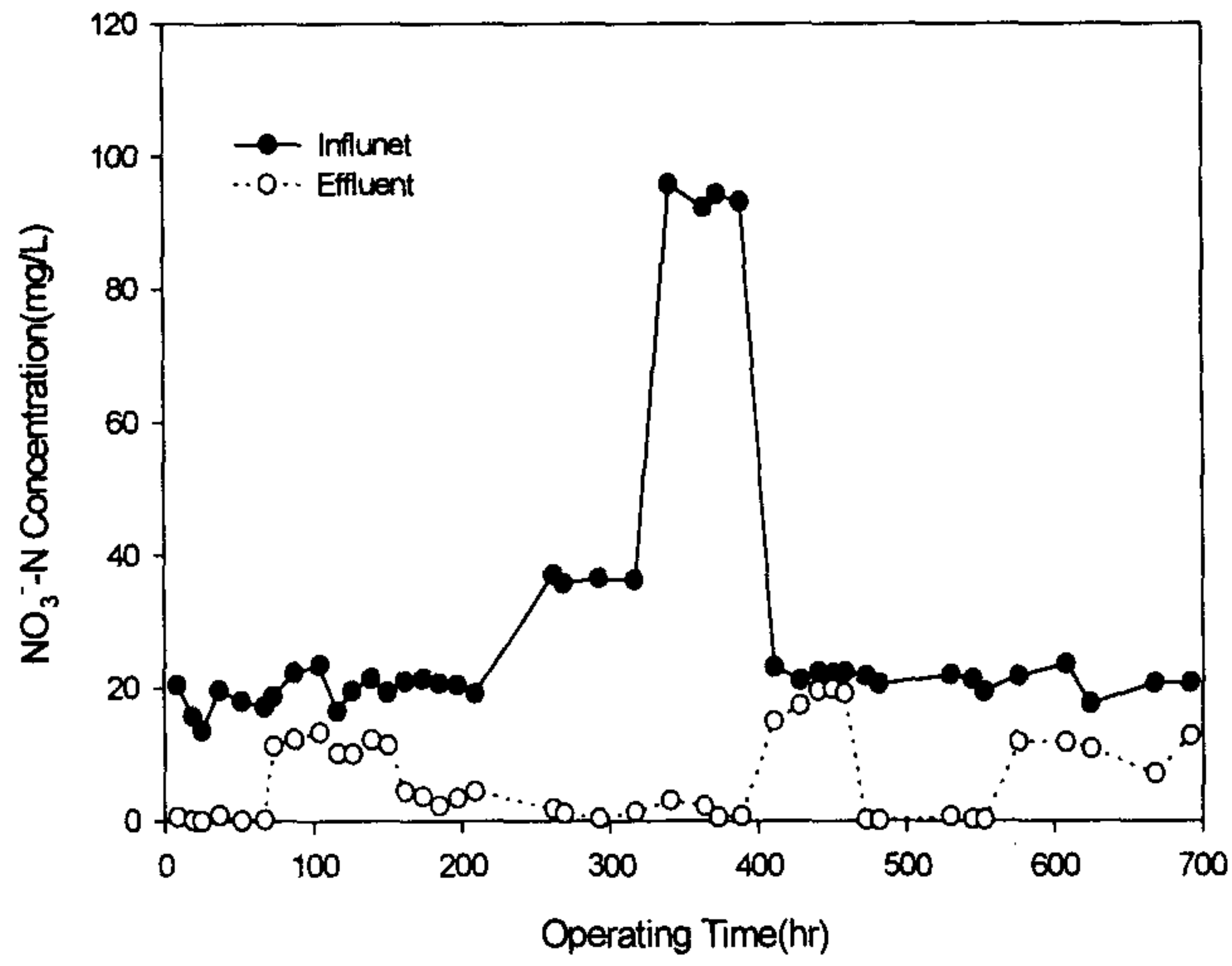


나. 질산성 질소제거

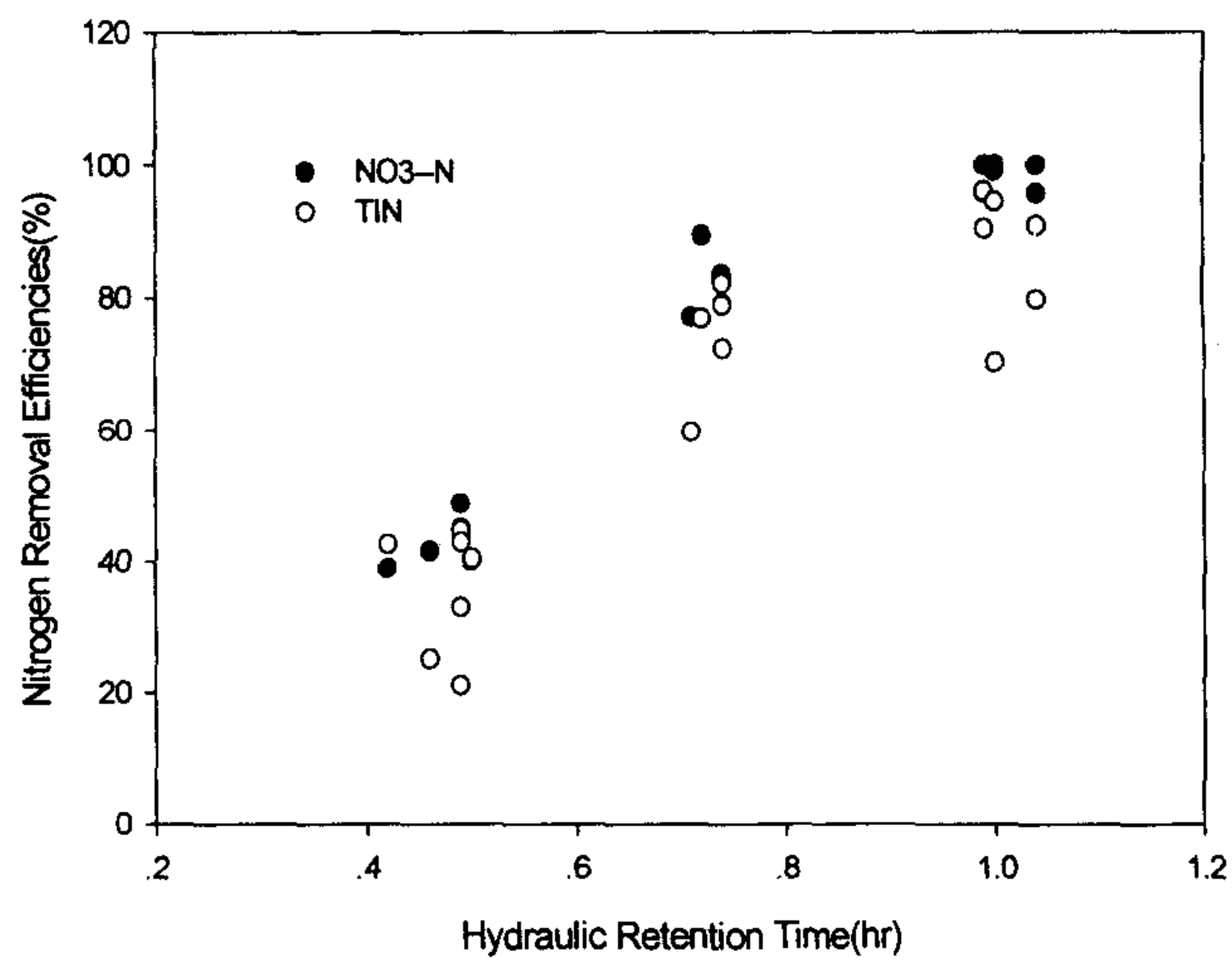
<표 2-5-5>는 이상 유동층 반응기의 질산성 질소 제거실험의 운전조건과 결과를 나타낸 것이다. <그림 2-5-4>는 운전기간 동안 유입수중의  $\text{NO}_3^-$ -N농도 변화를 나타낸 것으로 17.4 - 93.8 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/L범위로 유입시켰으며, 0.4 - 2.2 kg  $\text{NO}_3^-$ -N/m<sup>3</sup>/day의 질산성 질소 부하 범위와 0.0 - 0.2 mg  $\text{O}_2$ /L의 산소량을 유지하면서 운전하였다. <그림 2-5-5>는 수리학적 체류시간에 따른 TIN,  $\text{NO}_3^-$ -N제거효율을 나타낸 것으로 수리학적 체류시간이 길어질수록 제거효율도 역시 증가하는 경향을 보였다. 수리학적 체류시간이 1.0시간인 상태에서 질산성 질소의 제거효율은 98.4%이며, 이때의 TIN의 제거효율은 이보다 다소 낮은 87.3%에 해당하는 값을 보여 효율이 전반적으로 높게 나타난 반면에, 수리학적 체류시간이 0.5시간 에서는 질산성 질소의 제거효율이 42.9%이고 TIN의 제거효율이 36.0%로서 낮은 처리효율을 보였다. 질산성 질소의 제거효율과 TIN의 제거효율간에 나타나는 이러한 차이는 탈질소화 과정에서 질산성 질소가  $\text{N}_2$  가스로 전환되는 중간단계의 산물인 아질산성 질소가 완전하게 처리되지 않고 그대로 유출수중에 포함되어 반응조 밖으로 배출되는 까닭에 기인한다.

<표 2-5-5> 이상유동층 반응조의 운전조건에 따른 탈질 특성

$\text{NO}_3^-$ -N loading Rate (kg $\text{NO}_3^-$ -N/m <sup>3</sup> /d)	HRT (hr)	COD/ $\text{NO}_3^-$ -N	Influent			Effluent			$\text{NO}_3^-$ -N removal (%)
			$\text{NO}_3^-$ -N (mg/L)	$\text{NO}_2^-$ -N (mg/L)	pH	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/L)	$\text{NO}_2^-$ -N (mg/L)	pH	
0.413	1.01	3.2	17.34	3.80	7.0	0.31	2.38	8.5	98.4
0.669	0.73	3.1	20.47	2.27	7.2	3.59	2.32	7.6	82.5
1.003	0.48	2.9	20.15	2.03	7.1	11.42	2.74	7.3	42.9
0.848	1.03	3.0	36.53	6.27	7.2	1.07	3.92	8.1	97.1
2.204	1.02	2.4	93.77	11.82	7.4	1.61	14.73	8.2	98.3
0.520	1.03	1.4	22.17	1.26	7.8	18.15	0.02	8.0	18.0
0.500	1.00	2.0	20.82	0.80	7.2	10.80	0.03	7.9	48.1
0.505	0.99	5.7	20.95	2.47	7.3	0.19	1.96	8.3	99.1

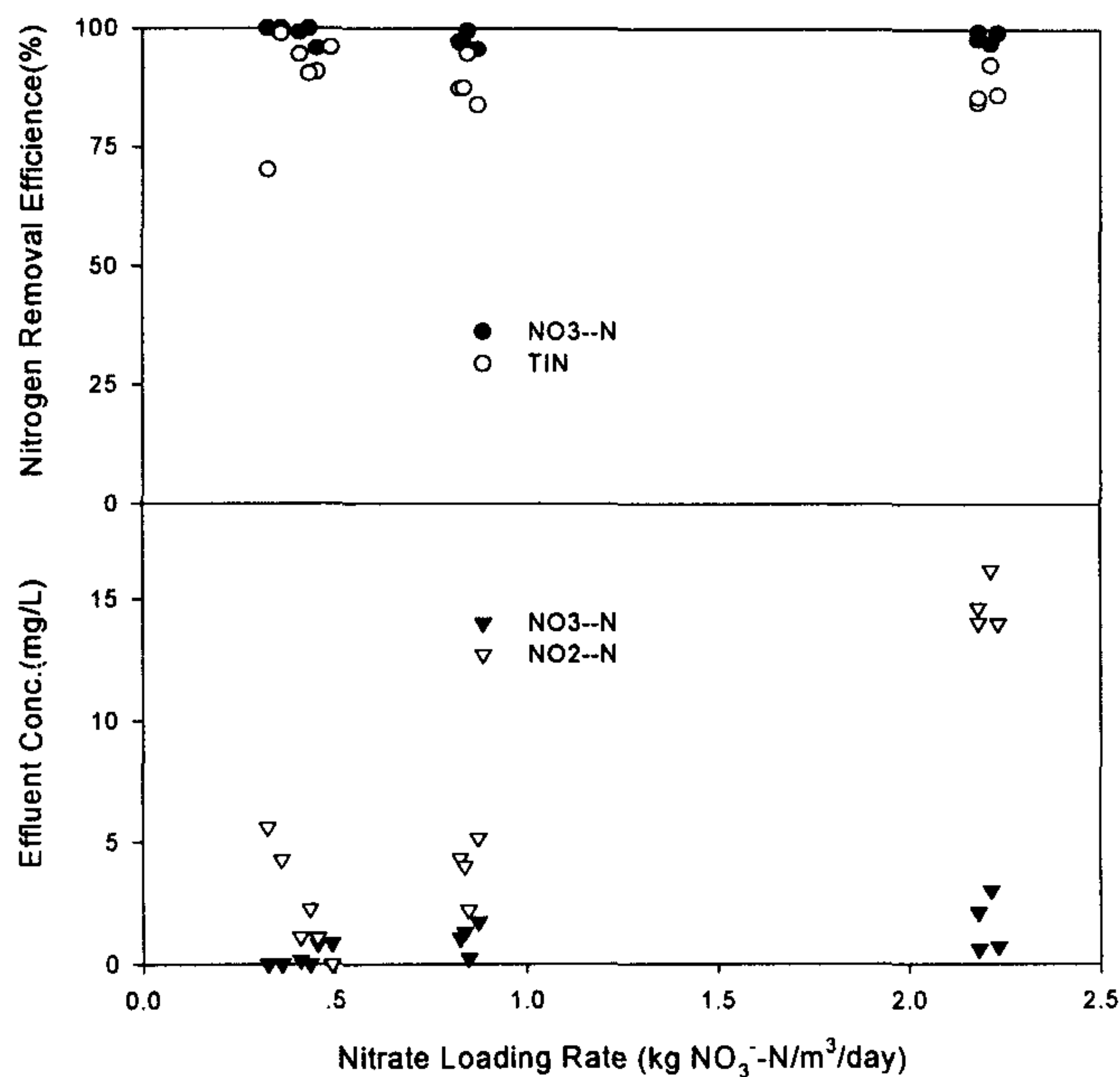


<그림 2-5-4> 이상유동층 반응조의 전체운전일수에 따른 질산성질소의 농도변화



<그림 2-5-5> 수리학적 체류시간에 따른 질산성 질소 및 TIN의 제거율

〈그림 2-5-6〉은 질산성 질소 부하에 따른 유출수의  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N 농도 변화와 질소 제거효율을 나타낸 것이다. 수리학적 체류기간과 COD/ $\text{NO}_3^-$ -N비를 각각 1시간 및 3으로 유지하고 부하율을 증가시켜도 제거효율에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 유출수중 아질산성 질소의 농도는 부하율이 증가하는 것에 따라 점진적으로 높은 값을 나타내었다. TIN으로 고찰하면 질산성 질소의 부하율이 증가할수록 제거효율은 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 아질산염의 독성이 질산염 보다도 2,000배 정도가 높게 나타난다는 점을 고려할 때 질산성 질소의 부하율이 높으면 처리수 중에 아질산성 질소의 농도가 증가하여 이에 따른 영향을 충분히 고려해야 할 것이다.



〈그림 2-5-6〉 질산성 질소 부하에 따른 유출수의  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N 농도 변화 및 제거율

#### 다. COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비에 따른 질산성 질소의 제거효율

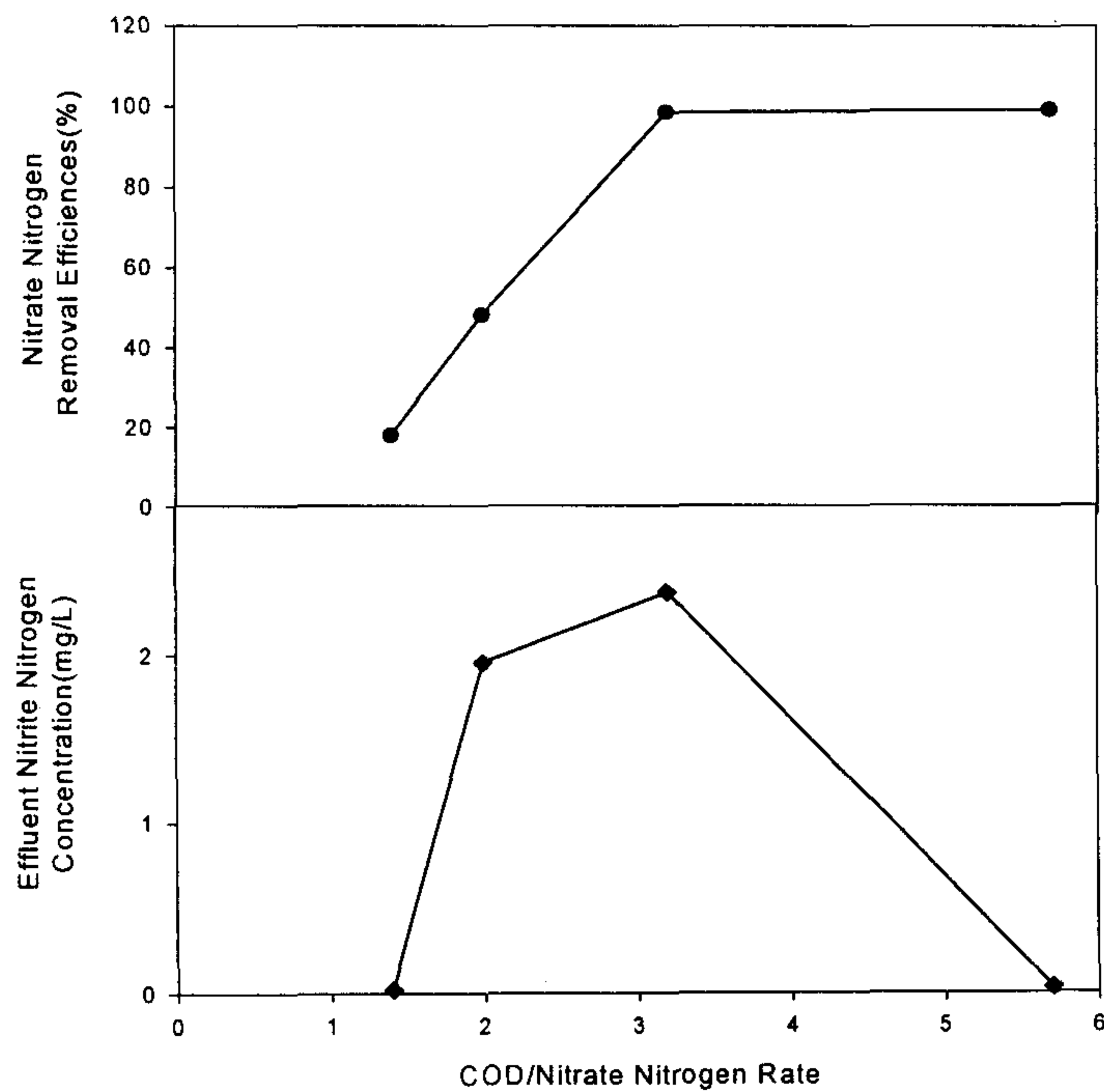
탈질소화 반응에 있어서 용존산소량이 0.0mg/L에서 부터 1.0mg/L까지 증가하면 탈질소화 비율도 이것에 따라 선형적인 감소를 나타나게 된다. 본 실험에서는 반응조의 전체 운전과정을 통하여 용존산소량을 0.2mg/L이하를 유지할 수가 있어서 이에 대한 영향은 없는 것으로 판단된다. 탈질소화 박테리아에 의해서 질산염이 최종산물인 N<sub>2</sub> 가스로 전화되어 제거되기 위해서는 일정량의 탄소원을 필요로 한다. 이때 요구되는 탄소원의 양은 일반적으로 1 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 에 대해서 대략 3 mg 의 BOD가 소비되어지는 것으로 알려져 있다. 본 실험은 Glucose를 탄소원으로 이용하여 탈질소화에 필요한 최적의 비를 알아보기 위해 수리학적 체류시간을 1시간으로 두고 유입수의 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비를 달리하면서 실험을 수행하였다. 이때 주어진 운전조건 및 실험결과는 <표2-5-6> 와 같다.

COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 비가 1.4일때 질산성 질소의 제거효율은 18%로서 낮은 반면 3.2 이상 일 경우 98%보다 높은 제거효율을 얻을 수가 있었다. 질산성 질소의 제거효율만을 고려할 경우에 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비가 3.2 이상에서 양호한 질소처리가 가능하였다.

<그림 2-5-7>에 표시되어 있는 바와 같이 어류에 독성이 강한 아질산성 질소의 농도가 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 비가 3.2일때 2.4 mg/L로 나타났다. 이는 어류의 건강과 생산력증대를 위해 권장되고 있는 0.012 - 0.1 mg/L 보다도 훨씬 높은 값이다. 탈질조 운전시 아질산 축적을 피하기 위해서는 보다 많은 탄소원의 공급을 통하여 완전한 탈질반응을 유도해야된다. <그림 2-5-7>에서 볼 때 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 비가 5.7에서 질산성 질소의 평균 제거효율은 99.1%이고 이때 아질산성 질소의 농도는 0.032 mg/L으로서 아주 낮은 값을 나타냈다. 본 실험을 통하여 질산성 질소의 농도가 20 mg/L 정도일 때, 수리학적 체류시간을 1시간, COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 비를 5 이상으로 하면 적합한 순환수처리가 가능하다고 생각한다.

<표 2-5-6> 이상 유동층 반응조에서 유입수의 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비에 따른 탈질효율.

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N loading rate (kgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/ m <sup>3</sup> /d)	HRT (hr)	Influent COD/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (ratio)	Influent NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	Influent NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N Removal (%)
0.52	1.03	1.4	22.17	1.26	18.0
0.50	1.00	2.0	20.82	2.47	48.1
0.41	1.01	3.2	17.38	3.80	98.4
0.51	0.99	5.7	20.95	0.80	99.1



<그림 2-5-7> COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N비에 따른 유출수내 질산성 질소와 아질산성질소의 농도변화

#### 라. 슬러지 생산량

이상 반응조의 운전을 통한 슬러지 생산량은 반응조 밖으로 인출시킨 슬러지량과 유출수중의 VSS 량을 합하여 반응조의 운전기간 동안에 제거된 kg COD량으로 나누어 계산하였다. 유기물질 부하율이 2.6 - 5.3 kg COD/m<sup>3</sup>/day에서 COD제거량은 18.7 - 39.0 g COD/m<sup>3</sup>/day 였으며, VSS생산량은 0.199 - 0.254 g VSS/day 였다. 따라서 COD 제거량당 슬러지 생산량은 0.199 - 0.254 g VSS/g COD 으로서 평균 0.227 g VSS/g COD 으로 나타났다.

#### 4. 결론

- ▶ 수리학적 체류시간의 변화에서 HRT가 1.0 시간인 경우에 유기물질 제거효율이 93.1 %, 질산성 질소의 제거효율이 98.4 %로서 아주 높게 나타났다. 반면에 처리수 중의 아질산성 질소의 농도와 질산성 질소의 농도를 함께 고려할 경우에는 86.9 %의 낮은 제거효율을 얻었다.
- ▶ 질산성 질소의 부하변동에 따른 실험에서 유입 질산성 질소의 농도를 93.8 mg/ℓ 까지 높이더라도 처리효율은 98.3 %으로서 아주 높게 나타난 반면, 유출수의 아질산성 질소의 농도가 14.7 mg/ℓ 로 나타났다.
- ▶ 탈질소화에 필요한 탄소원의 양을 결정하기 위하여 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비에 따른 질산성 질소의 제거효율 실험에서 그 비가 5.7과 3.2일 경우에 각각 제거율이 99.1 %와 98.4 %로 나타났다. 그러나 유출수중의 아질산성 질소의 농도가 3.2일 때가 5.7일 때 보다도 2.347 mg/ℓ 가 더 높은 2.379 mg/ℓ 으로서 일반적으로 장려되고 있는 허용치에는 못 미치는 결과를 얻었다.

## 제6절 양어장 슬러지를 이용한 원예작물 공정묘와 분식물의 생산

### 1. 개요

고급 식생활의 한 요소로서의 수산자원의 수요충족을 위한 길러서 수확하는 방식의 담수양식장이 도처에 건설되어 이용되고 있다. 한편 이들로부터 발생되어 배출되는 어류의 배설물 및 사료 잔여물이 혼합된 배출수는 중요한 환경 오염원임에도 불구하고 배출수 처리기술의 개발은 아직도 미흡하거나 비용이 많이 드는 문제점이 있다. 담수양식장 폐수의 처리방식으로 침전이나 여과법 등이 연구되고 있으나 수처리 부산물의 이용에 대한 연구는 미비하고, 특히 담수양식장 배출수 또는 발생슬러지의 농업에의 활용방안에 대한 국내 연구는 거의 없는 실정이다.

최근에는 환경오염 문제가 대두되어 화학비료 대신 유기질 비료의 생산과 효율적 이용이 관심의 대상이 되고 있고 유기질비료의 이용도가 점차 증가하고 있다. 담수양식장 배출수내 함유물질은 건조된 슬러지로의 수처리 기술이 개발되고 있어서 이 슬러지의 유기질 비료로서의 활용이 기대된다. 이상과 같은 상황에서 담수양식장과 원예농업이 공존할 수 있는 기술을 개발함으로써 양식장 배출수의 처리비용을 감소와 원예작물재배농가의 소득도 다소나마 증대시키며 환경오염도 동시에 경감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 특히 건조된 슬러지는 공정육묘용 상토혼합물이나 분화류 생산을 위한 배지의 혼합물로 적절할 수 있다는 관점에서 현재 첨단 원예기술로 등장한 공정묘와 분화류 생산을 위한 액비의 대체 비료로서의 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 농업과 담수양식산업의 상호보완을 통한 환경오염 대처방안으로서 양식장 배설물 및 사료 잔여물의 농업분야에서의 활용방안을 모색하기 위하여 담수양식장의 슬러지를 첨가한 육묘용 상토에서의 고추, 토마토 및 페튜니아 공정묘의 성장반응, 그리고 화분용 배지에서의 페튜니아 식물의 성장반응을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구의 육묘실험은 1995년 9월 14일부터 10월 25일까지 진주영농조합법인 플러그육묘장(경남 진주시 초전동 518-1)에서 실시하였다. 청홍 고추(*Capsicum annuum* L. cv. Chunghong, 서울종묘주식회사)와 광명 토마토(*Lycopersicon esculentum* MILL. cv. Kwangmyoung, 한농종묘주식회사)종자는 1995년 9월 14일에, 카니발 페튜니아(*Petunia hybrida* Vilm. var. Carnival, 중앙종묘주식회사) 종자는 1996년 1월 7일에 공정육묘 파종시스템(ASS-1, 주식회사 대동기전, Pusan, Korea)을 이용하여 128구 플러그 트레이(서명화학, Seoul)에 파종하고 질석으로 복토후 관수하였다. 페튜니아 분화 생산을 위한 공정묘를 생산하기 위하여 1997년 3월 3일 진주영농조합법인 플러그육묘장에서 카니발 페튜니아(*Petunia hybrida* Vilm. var. Carnival, 중앙종묘주식회사) 종자를 수동으로 288구플러그 트레이(서명화학, Seoul)에 파종하고 질석으로 복토 후 관수하였다. 파종된 트레이는 2일 동안 기온 27-30℃, 상대습도 90%의 발아실에서 최아시킨후 육묘베드로 옮겨 재배하였다. 1997년 3월 3일에 파종한 카니발 페튜니아는 토실이상토에서 육묘용 액비로 육묘후 경상대학교 공동실험관 온실로 옮겨 1997년 4월 15일 직경 7 cm의 비닐포트에 정식하였다. 육묘베드는 지상 75 cm의 높이에 가로 200 cm × 세로 170 cm의 망식철제(expanded metal)로 설치되었다.

실험구는 토실이상토(신안정밀주식회사, Chinju, Korea)를 기본배지로 사용하면 서 토실이 액비(신안정밀주식회사, Chinju, Korea)를 사용한 대조구와 토실이상토 1당 자연 건조시킨 슬러지를 2, 4, 9 및 16 %(w/v)(고추와 토마토) 또는 9, 18 및 36 %(w/v)(페튜니아)를 첨가한 처리구(각각 슬러지-2, 슬러지-4, 슬러지-9, 슬러지-18 및 슬러지-36구)로 설정하였다(표 2-6-1). 처리당 128구 트레이 1개를 1반복으로 3반복을 완전임의배치법으로 배치하였다. 1997년 3월 3일에 파종한 분화 페튜니아 실험에서도 토실이상토를 분식물 재배를 위한 기본배지로 사용하면서 원예용 다용도 액비(경상대학교 원예생산공학연구실 조제)를 사용한 대조구와 토실



이상토 1당 자연 건조시킨 슬러지를 16, 32, 48 그리고 64 %(w/v)를 첨가한 처리구를 가지고 실험을 실시하였으나 식물이 제대로 성장하지 못해 같은날 파종한 페츨리아를 이용해 0.6, 1.2, 2.0 및 4.0 %(w/v)를 첨가한 처리구(각각 슬러지-0.6, 슬러지-1.2, 슬러지-2.0 및 슬러지-4.0구)로 설정하였다(Table 2). 처리당 각각 20반복을 완전임의배치법으로 배치하였다.

<표 2-6-1> 배지내 첨가된 슬러지 농도

Treatment	Sludge concentration (%, w/v)	Plant species tested
Control (Liquid fertilizers)	0	Pepper, Tomato, Petunia
Sludge - 2	2	Pepper, Tomato
Sludge - 4	4	Pepper, Tomato
Sludge - 9	9	Pepper, Tomato, Petunia
Sludge - 18	18	Pepper, Tomato, Petunia
Sludge - 36	36	Petunia

육묘중 관수는 묘의 상태를 관찰하면서 매일 오전 11시경에 동력 분무기를 이용한 수동식 두상관수방식으로 행하였다. 파종후 10일째부터 3일 간격으로 대조구에는 토실이 액비(신안정밀주식회사)를 1,000배로 희석하여 관주하였고 슬러지 처리구에는 지하수만을 관수하였다. 병해충 방제는 토마토 본엽이 5-6매 출현한 육묘중기에 총채벌레가 발견되어 10월 3일 코니도 살충제를  $1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 농도로 살포하였다.

파종후 4일째에 발아율을, 그리고 파종후 20일(고추, 토마토)과 40일(고추, 토마

토, 페튜니아)재에 식물체의 생체중, 건물중, 엽수, 엽면적, 초장, 최대근장 및 총엽록소함량을 측정하였다. 또 생체중과 건물중을 이용하여 건물률을 산출하였다. 분화 생산실험에서는 페튜니아를 포트에 정식한 후 2주와 4주째에 생육을 조사하였다. 실험전후에 처리구마다 3반복씩 상토 시료를 채취하여 75℃의 건조기(DK-0V3, Dongkyeong Scientific Co., Seoul)내에서 72시간 건조시킨후 건조시료 20g을 증류수 100 ml와 혼합하였다. 물과 혼합된 상토는 교반기(UI, Vision Scientific Co., Seoul) 위에서 24시간 교반시킨후 kimwipe(유한킴벌리, Seoul) 1매를 통해 여과 시켜 용액의 pH(Delta 320, Mettler, Halstead, England)와 EC(CM-53, Takemura Electric Works, Ltd., Tokyo)를 측정하였다. 총 엽록소함량은 각 실험구에서 4개의 소식물체의 경엽부를 채취하여 80% 아세톤으로 추출하여 분광광도계(UVIKON 922, Kontron, USA)를 이용하여 파장 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정해(Arnon, 1949), 총엽록소함량( $\mu\text{g}\cdot\text{g fw}^{-1}$ ) =  $20.29A_{645} + 8.02A_{663}$ 식을 이용해 산출하였다.

<표 2-6-2> 페튜니아 분화제배를 위한 배지에 첨가된 슬러지 농도

Treatment	Sludge concentration (%, w/v)	Plant species tested
Control (Liquid fertilizers)	0.0	Petunia
Sludge - 0.6	0.6	Petunia
Sludge - 1.2	1.2	Petunia
Sludge - 2.0	2.0	Petunia
Sludge - 4.0	4.0	Petunia

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 고추

파종후 4일째의 배지내 슬러지 함량에 따른 고추 공정묘의 발아수와 발아율은 처리구간에 차이가 없었으므로 배지에 기비로 함유된 담수양식장의 폐수 슬러지가 고추 종자의 발아에 악영향을 미치지 않았음을 나타낸다(표 2-6-3).

<표 2-6-3> 배지내 첨가된 슬러지 농도가 고추공정묘의 발아율에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	No. of germinated seeds per 128 tray	% germination
Control	123a	95.8a
Sludge - 2	124a	96.6a
Sludge - 4	125a	97.7a
Sludge - 9	119a	93.0a
Sludge - 18	121a	94.3a

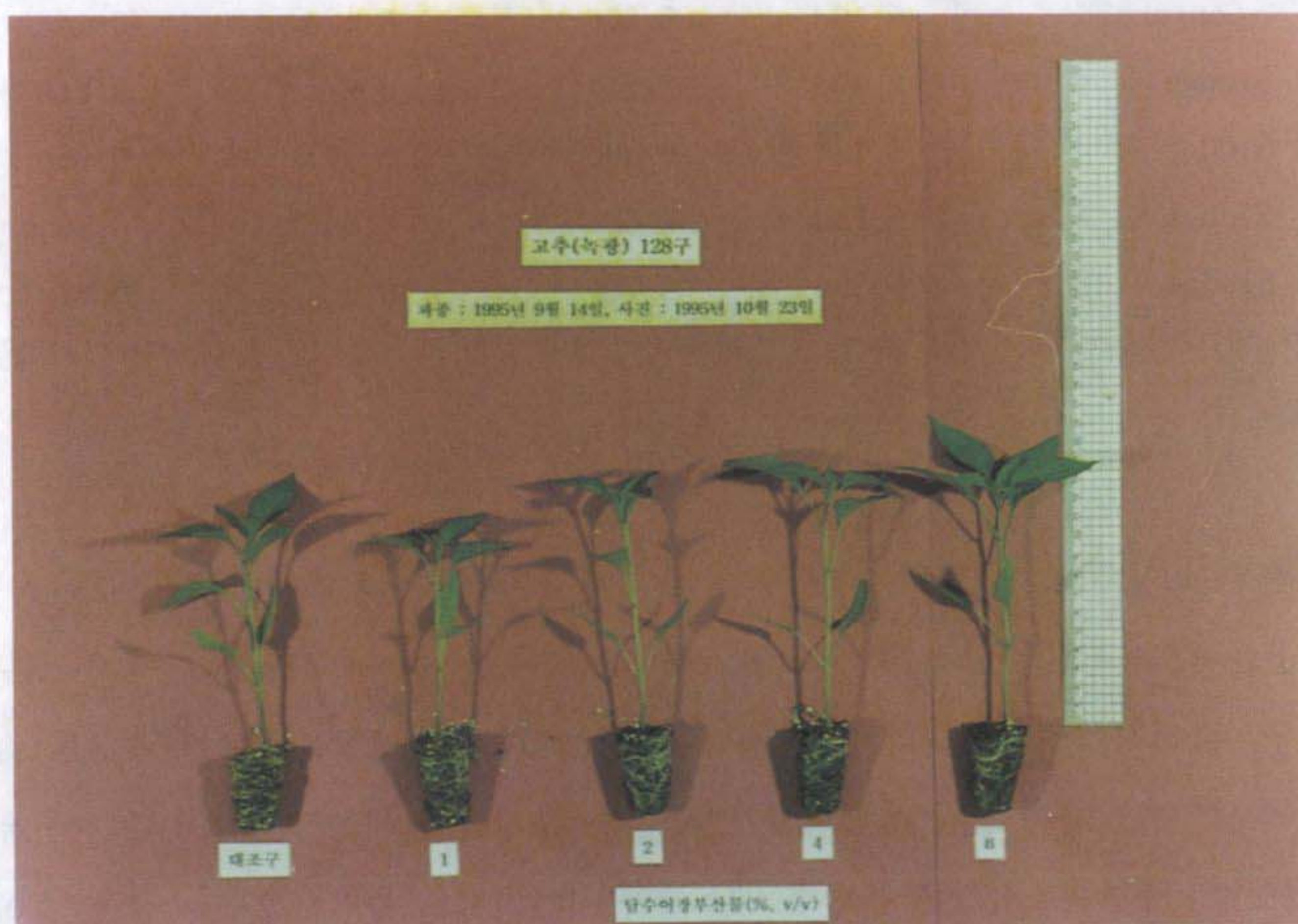
<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

파종후 20일째의 생체중은 슬러지-18구에서 가장 컸고 슬러지-4, 9, 18구에서 대조구 및 슬러지-2구에서 보다 컸고, 건물중은 슬러지-18구에서 타처리구에서 보다 유의성있게 컸다(표 2-6-4, 그림 2-6-1). 건물률은 처리간에 유의차가 없었다. 엽수 및 엽면적은 슬러지-9구와 슬러지-18구에서 대조구, 슬러지-2구 및 슬러지-4구에서 보다 유의성있게 컸다. 초장은 슬러지-9구와 슬러지-18구에서 대조구 및 슬러지-4구에서보다 유의성있게 길었다. 최대근장은 슬러지 처리구에서 대조구에서 보다 더 길었다. 총엽록소함량은 슬러지-2구에서 다소 낮았고 슬러지 함량이 높아질수록 증가하였다. 슬러지-2구에서 엽록소함량이 낮게 나타났는데 그것은 슬러지-2구의 식물체에 황화현상이 나타났기 때문으로 사료된다.

〈표 2-6-4〉 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후의 고추 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	Fresh wt. (g)	Dry wt. (g)	% dry matter	No of leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Root length (cm)	Chlorophyll (μg·g fw <sup>-1</sup> )
Control	0.53bc	0.05b	8.61a	3.77b	9.21b	6.66c	7.77b	63.20ab
Sludge-2	0.47c	0.05b	9.10a	3.77b	8.44b	6.80abc	8.27ab	47.56b
Sludge-4	0.55abc	0.05b	8.73a	3.61b	10.57b	6.75bc	8.27ab	66.40ab
Sludge-8	0.69ab	0.07b	8.95a	4.17a	14.47a	8.33a	9.05ab	75.17a
Sludge-18	0.71a	0.08a	9.91a	4.37a	15.01a	8.20ab	9.30a	85.93a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.



〈그림 2-6-1〉 배지내의 슬러지 농도가 파종 40일후의 고추 공정묘의 생장에 미치는 영향

배지의 pH는 육묘전의 경우, 대조구가 5.10으로 슬러지-2구와 비슷하였다(<표 2-6-5). 또 슬러지의 함량이 증가할수록 배지의 pH가 높아졌다. 20일간 육묘후의 배지의 pH는 대조구에서 5.60으로 육묘전에서 보다 0.5정도 높아졌다. 슬러지 처리구에서는 배지의 pH가 0.4-1.1정도 높아져 충분한 양분이 함유 되어 있었음을 시사한다. 배지의 EC는 육묘전의 경우, 슬러지-2구가 0.27 mS·cm<sup>-1</sup>로 0.12 mS·cm<sup>-1</sup>인 대조구의 약 2.3배였다. 육묘후의 배지의 EC는 대조구에서 0.14 mS·cm<sup>-1</sup>로 육묘전과 비슷하였으나 슬러지 처리구에서 육묘전과 비교해 0.02-0.30 mS·cm<sup>-1</sup>로 낮아졌다.

<표 2-6-5> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후 고추 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	pH		EC (mS · cm <sup>-1</sup> )	
	Before use	After use	Before use	After use
Control	5.10d	5.60c	0.12e	0.14c
Sludge - 2	5.09d	6.21b	0.27d	0.21c
Sludge - 4	5.42c	6.30b	0.37c	0.35b
Sludge - 8	6.18d	6.68a	0.50b	0.39ab
Sludge - 18	6.39a	6.78a	0.77a	0.47a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

파종후 40일째의 생체중과 건물중은 슬러지-2구에서 타처리에 비해 다소 작았고, 건물률은 대조구에서 다소 작았다(표 2-6-6). 엽수는 슬러지-9구와 슬러지-18구에서 대조구, 슬러지-2구 및 슬러지-4구에서 보다 많았다. 엽면적은 슬러지-2구와 슬러지-4구에서 타처리에서 보다 유의성있게 작았다. 초장과 최대근장은 처리구간에 유의차가 없었다. 총엽록소함량은 파종후 20일째와 마찬가지로 슬러지-2구는 물론 슬러지-4구에서도 타처리구에 비해 낮았다. 이 결과도 엽의 황화현상 때문으로 사료되고, 40일간 육묘시에는 상토 1당 9 kg이상의 건조 슬러지가 필요함을 나타낸다.

육묘 40일후의 배지의 pH는 대조구에서 6.03으로 육묘전에서 보다 0.9정도 높아졌다(표 2-6-7). 슬러지 처리구에서는 육묘전과 비교해 배지의 pH가 0.5-1.2정도 높아졌다. 육묘후의 배지의 EC는 대조구에서 0.12  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 육묘전과 동일하였으나 슬러지 처리구에서 육묘전과 비교해 0.06-0.37  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 정도 낮아졌다. 육묘 20일후와 40일후의 pH는 변화가 거의 없었으나 EC는 40일후에 다소 낮아졌다. 특히 슬러지-18구를 제외한 모든 슬러지처리구의 EC가 0.3  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 떨어져 이들 처리에서의 양분이 고갈 상태에 근접했음을 시사하고 이를 통해서 슬러지-9처리구에서는 황화현상이 곧 나타나리라고 예측된다.

<표 2-6-6> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 고추 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	Fresh wt. (g)	Dry wt. (g)	% dry matter	No. of leaves	Leaf area ( $\text{cm}^2$ )	Height (cm)	Root length (cm)	Chlorophyll ( $\mu\text{g}\cdot\text{g fw}^{-1}$ )
Control	1.69ab	0.16ab	9.31b	7.54b	26.47a	14.11a	10.54a	65.67a
Sludge-2	1.47b	0.15b	9.70ab	7.14b	19.87b	13.97a	11.44a	51.67b
Sludge-4	1.62ab	0.16ab	9.62ab	7.51b	21.97b	14.64a	10.91a	57.67b
Sludge-9	1.78a	0.18a	9.78ab	8.14a	28.04a	15.21a	10.34a	72.01a
Sludge-18	1.67ab	0.17a	9.93a	7.46ab	28.87a	14.87a	10.71a	69.67a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

<표 2-6-7> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 고추 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	pH		EC (mS · cm <sup>-1</sup> )	
	Before use	After use	Before use	After use
Control	5.10d	6.03b	0.12e	0.12d
Sludge - 2	5.09d	6.23b	0.27d	0.21c
Sludge - 4	5.42c	6.63a	0.37c	0.22c
Sludge - 9	6.18d	6.73a	0.50b	0.29bc
Sludge - 18	6.39a	6.90a	0.77a	0.40a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

#### 나. 토마토

파종후 4일째의 슬러지의 농도에 의한 토마토묘의 발아수와 발아율은 슬러지-18구에서 가장 컸다.

<표 2-6-8> 배지내 첨가된 슬러지 농도가 토마토 공정묘의 발아율에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	No. of germinated seeds per 128 tray	% germination
Control	82b	62.3b
Sludge - 2	79b	62.2b
Sludge - 4	91ab	71.4ab
Sludge - 9	54c	42.4c
Sludge - 18	101a	79.2a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

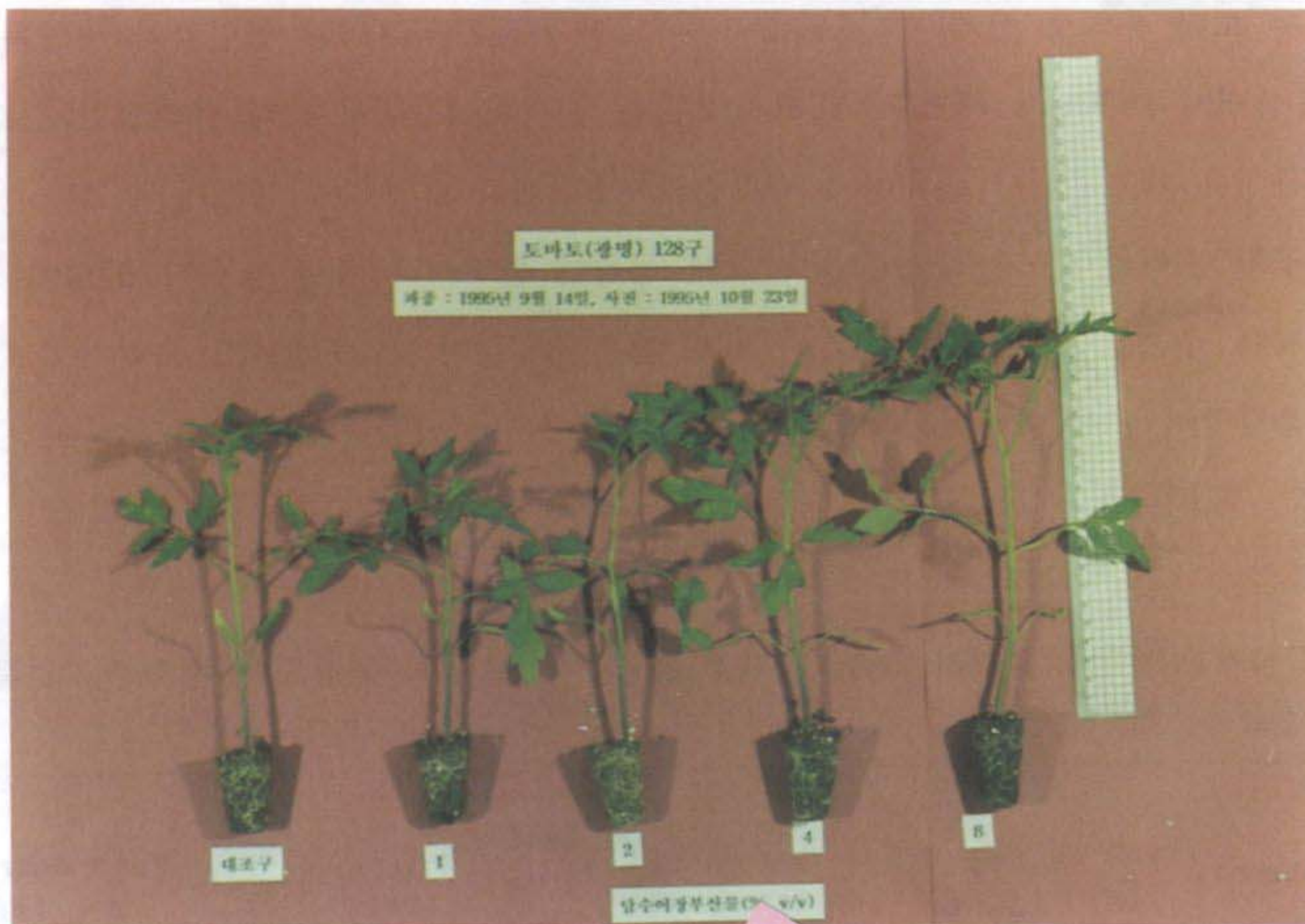
파종후 20일째의 생체중, 건물중, 건물률, 엽수 및 초장은 슬러지-18구에서 타처리구에서 보다 유의성 있게 컸다(표 2-6-9, 그림 2-6-2). 그리고 엽면적과 총엽록소함량은 슬러지-18구에서 대조구, 슬러지-2구 및 슬러지-4구에서 보다 유의성있게 컸다. 최대근장은 대조구에서 슬러지-4구와 슬러지-9구에서 보다 유의성있게 길었다. 슬러지-2구와 슬러지-4구가 대조구와 비교해 생육이 불량한 이유는 슬러지 함량이 낮아 식물체에 충분한 영양공급이 이루어지지 않은 것 같다. 고추에서도 슬러지-2구에서 엽록소함량이 낮게 나타났는데 그것은 슬러지-2구에서 식물체에 황화현상이 나타났기 때문인 것 같다.

<표 2-6-9> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후의 토마토 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	Fresh wt. (g)	Dry wt. (g)	% dry matter	No. of leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Root length (cm)	Chlorophyll ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}\text{ fw}^{-1}$ )
Control	1.01b	0.09bc	8.77a	3.57b	9.34b	11.64b	11.21a	61.49c
Sludge-2	0.98b	0.09c	8.40a	3.44b	8.27b	11.35b	8.19ab	53.16c
Sludge-4	1.02b	0.08c	7.87a	3.44b	9.61b	10.61b	7.58b	64.55bc
Sludge-9	1.17b	0.10b	8.19a	3.74b	17.94a	11.23b	7.20b	80.97ab
Sludge-18	1.39a	0.12a	8.48b	4.07a	21.41a	14.70a	8.57ab	85.91a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.





<그림 2-6-2> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 토마토 공정묘배지의 생장에 미치는 영향.

육묘전의 각 처리간의 배지의 pH 및 EC는 고추와 동일하였다(표 2-6-10). 육묘후의 배지의 pH는 대조구에서 5.32로 육묘전에서 보다 0.22가 높아졌다. 슬러지 처리구는 육묘전보다 배지의 pH가 0.36-0.81로 높아졌다. 육묘후의 배지의 EC는 대조구에서  $0.19 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 육묘전에서 보다  $0.07 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 높아진 반면 슬러지 처리구는 육묘전과 비교해  $0.01\text{-}0.2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 낮아졌다.

<표 2-6-10> 배지내 슬러지 농도가 파종 20일후 토마토 공정묘 배지의 pH와 EC에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	pH		EC (mS · cm <sup>-1</sup> )	
	Before use	After use	Before use	After use
Contorol	5.10d	5.32d	0.12e	0.19d
Sludge - 2	5.09d	5.80c	0.27d	0.26cd
Sludge - 4	5.42c	6.23b	0.37c	0.32bc
Sludge - 9	6.18d	6.54a	0.50b	0.37b
Sludge - 18	6.39a	6.79a	0.77a	0.49a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

파종후 40일째의 생체중과 건물중은 슬러지-9구에서 각각 대조구 및 슬러지-2구에서 보다, 그리고 대조구, 슬러지-2구 및 슬러지-4구에서 보다 유의성있게 컸다(표 2-6-11). 건물률은 슬러지-4구에서 대조구와 슬러지-18구에서 보다 유의성있게 컸다. 엽수 및 총엽록소함량은 슬러지-18구에서 각각 대조구, 슬러지-2 및 슬러지-4구에서 보다, 그리고 슬러지-2구, 슬러지-4구 및 슬러지-9구에서 보다 유의성있게 컸다. 엽면적은 슬러지-18구에서 타처리구에서 보다 유의성있게 컸다. 초장은 슬러지-18구에서 슬러지-4구에서 보다, 최대근장은 슬러지-4구에서 슬러지-18구에서 보다 유의성있게 길었다. 총엽록소함량은 파종후 20일째와 마찬가지로 슬러지-2구에서 가장 낮았다. 이 결과도 엽의 황화현상 때문이다.

<표 2-6-11> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후의 토마토 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 엽록소 농도에 미치는 영향.<sup>2</sup>

Treatment	Fresh wt. (g)	Dry wt. (g)	% dry matter	No. of leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Root length (cm)	Chlorophyll (μg·g fw <sup>-1</sup> )
Contorol	2.78b	0.22b	7.67c	5.97b	35.44c	20.47ab	10.74ab	64.34ab
Sludge-2	2.86b	0.25b	8.57ab	5.77b	31.61c	20.07ab	10.94a	43.67c
Sludge-4	2.73a	0.26b	9.22a	5.97b	31.87c	16.34b	11.77a	48.34c
Sludge-9	3.80a	0.34a	8.77a	6.91a	42.81b	20.94ab	10.81ab	56.01bc
Sludge18	3.55a	0.28ab	7.74bc	7.07a	49.61a	22.64a	9.34b	70.34a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

육묘후의 배지의 pH는 대조구에서 6.17로 육묘전 보다 1.07이 높아졌다(표 2-6-12). 슬러지 처리구는 육묘전에서 보다 배지의 pH가 0.3-2.5정도로 높아졌다. 육묘후의 배지의 EC는 대조구에서 0.11 mS·cm<sup>-1</sup>로 육묘전과 0.01 mS·cm<sup>-1</sup>의 차이를 보인 반면 슬러지 처리구는 육묘전과 비교해 0.04-0.31 mS·cm<sup>-1</sup>로 낮아졌다.

<표 2-6-12> 배지내 슬러지 농도가 파종 40일후 토마토 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	pH		EC (mS · cm <sup>-1</sup> )	
	Before use	After use	Before use	After use
Contorol	5.10d	6.17c	0.12e	0.11c
Sludge - 2	5.09d	6.48b	0.27d	0.17c
Sludge - 4	5.42c	6.42b	0.37c	0.33b
Sludge - 9	6.18d	6.71a	0.50b	0.32b
Sludge - 18	6.39a	6.73a	0.77a	0.46a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

다. 페튜니아

40일 육묘후의 배지의 pH는 슬러지 처리구에서 대조구에서 보다 유의성 있게 높았으며, EC는 슬러지 처리구에서 대조구에서 보다 높았고 슬러지 농도가 높아질수록 높았다(표 2-6-13). 생체중은 슬러지-18구와 슬러지-36구에서 대조구 및 슬러지-9구에서 보다, 건물중은 슬러지-18구에서 대조구, 슬러지-9구 및 슬러지-36구에서 보다 유의성 있게 컸다(표 2-6-14). 건물률은 슬러지-18구에서, 최대근장은 대조구에서 다른 처리구에서 보다 유의성 있게 컸다. T/R건물비는 슬러지-36구에서 대조구 및 슬러지-18구에서 보다, 엽수는 슬러지-18구에서 슬러지-9구에서 보다 유의성 있게 컸다. 그리고 엽면적과 초장은 슬러지-36구에서 대조구와 슬러지-9구에서 보다 유의성 있게 컸다. 그러나 총엽록소함량은 처리구간에 유의차가 없었다.

<표 2-6-13> 배지내 슬러지 농도가 페튜니아 공정묘배지의 pH와 EC에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	Sludge content (%, w/v)	pH		EC (mS · cm <sup>-1</sup> )	
		Before use	After use	Before use	After use
Control	0	5.10d	5.24b	0.12e	0.20c
Sludge - 9	9	6.18d	6.55a	0.50b	0.29bc
Sludge - 18	18	6.39a	6.57a	0.77a	0.35b
Sludge - 36	36	-	6.62a	-	0.49a

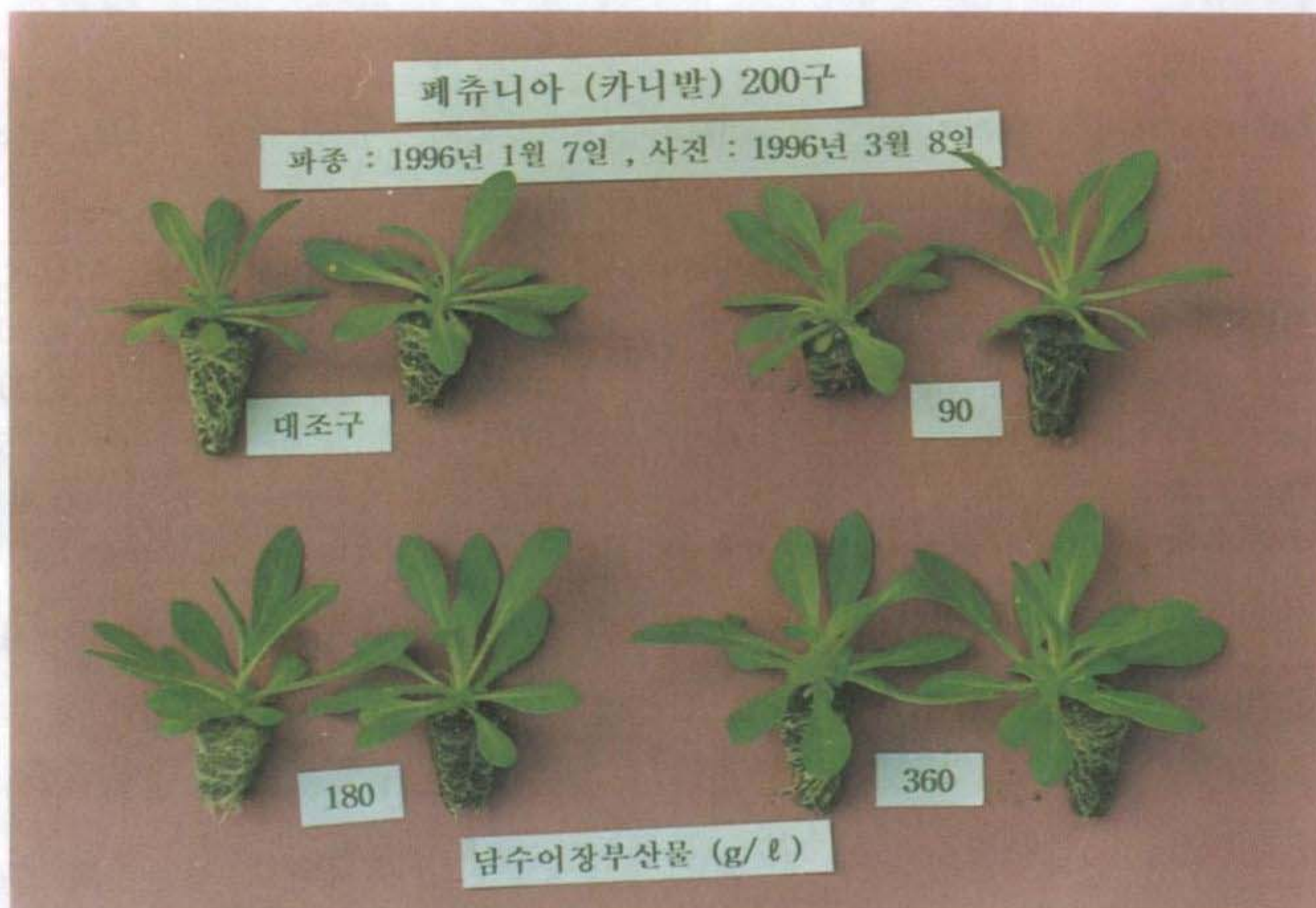
<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

이상의 결과로 양어폐수의 슬러지에 함유되어 있을 것으로 추정되는 잉여사료의 영양분과 어류 배설물에 함유된 비료 성분이 페튜니아 공정육묘 상토의 경우에 1당 약 9 kg만 첨가되면 충분함을 나타낸다. 이것은 또한 어류에 필요한 영양분이 페튜니아 등의 원예작물의 생육에 필요한 영양양분과 유사하고 성분간의 균형도 유사함을 시사한다. 고농도의 슬러지 처리구에서도 비료성분에 의한 독성은 나타나지 않았다.

<표 2-6-14> 배지내 슬러지 농도가 페튜니아 공정묘의 생체중, 건물중, 건물율, 엽수, 엽면적, 초장, 근장 및 총엽록소 농도에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment	Fresh wt. (g)			Dry wt. (g)			% Dry matter	No. of leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Root length (cm)	Chlorophyll (μg·g fw <sup>-1</sup> )
	Top	Root	Total	Top	Root	Total						
Control	0.94b	0.20a	1.14b	0.07c	0.03ab	0.09c	7.37b	12.86ab	4.02b	4.32c	7.71a	564.97a
Sludge-9	1.11b	0.12b	1.22b	0.08bc	0.02b	0.09bc	7.37b	12.67b	4.71b	5.32b	5.57b	525.33a
Sludge-18	1.55a	0.12b	1.67a	0.11a	0.04a	0.15a	8.55a	15.87a	5.41ab	6.41a	5.60b	521.18a
Sludge-36	1.57a	0.13b	1.69a	0.09ab	0.02b	0.11b	6.38c	15.31ab	6.22a	6.72a	5.95b	602.99a

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.



<그림 2-6-3> 배지내 슬러지 농도가 페튜니아 공정묘의 생장에 미치는 영향

라. 페튜니아 분화 생산

정식후 4주째의 생장에 있어서는 슬러지 무처리구가 슬러지 처리구에 비해서 초장,

근장, 엽수, 엽면적, 엽록소 농도, 생체중 및 건물중에 있어서 유의성 있게 컸다(표 2-6-15). 이전의 실험결과에서는 슬러지무처리구에 비해 슬러지처리구에서 약간의 유의성이 인정되었으나 본실험에 있어서는 반대의 결과를 나타냈다. 또 슬러지의 농도가 높은 처리구에서는 생장에 있어서 낮은 농도처리구에서보다 생장율이 떨어지는데 이는 슬러지가 가지는 염류농도가 높아서 염류장해 내지 독성을 나타내는 것 같다(표 2-6-15, 16). 4주 옥묘후의 배지의 pH는 슬러지 처리구에서 슬러지 무처리보다 높았고, EC는 슬러지 무처리구에서 높게 나타났다(표 2-6-16). 슬러지의 분석결과를 보면 식물에 독성이 강한 암모니움과 인산 및 아연의 함량이 적정 수준이상으로 지나치게 높고 Cl의 함량이 높은 것은 배지제조시 배지에 첨가되는 코어의 영향일 것이다. 이상의 결과로 미루어볼때 옥묘시 액비의 절약으로 인한 생산비의 절감과 묘의 성장속도의 증가로 인한 옥묘기간의 단축이 가능하다고 볼 수도 있으나 슬러지의 수거과정에 있어서 충분한 검토가 있어야 된다고 본다.

<표 2-6-15> 직경 7cm 비닐 포트 재배시 슬러지 농도가 페튜니아의 초장, 근장, 엽면적, 엽수, 총엽록소 농도, 생체중 및 건물중에 미치는 영향<sup>2</sup>

Treatment (%, w/v)	Height (cm)	Root length (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	No. of leaves	Chlorophyll ( $\mu\text{g} \cdot \text{gfw}^{-1}$ )	Fresh wt. (g/plant)			Dry wt. (g/plant)		
						Top	Root	Total	Top	Root	Total
Control	14.5a	17.3a	442.5a	80.6a	9.47a	31.5a	2.8a	34.3a	1.71a	0.24a	1.95a
Sludge-0.6	8.7b	17.7a	57.6b	19.1b	6.78b	4.6bc	1.7b	6.3cd	0.31bc	0.14b	0.46b
Sludge-1.2	8.3b	18.7a	81.8b	28.7b	6.49b	6.8b	2.3ab	9.1b	0.42b	0.17b	0.59b
Sludge-2.0	8.6b	16.2a	86.9b	23.6b	7.11b	6.3bc	2.0b	8.3bc	0.36b	0.14b	0.51b
Sludge-4.0	6.6b	10.0b	61.7b	20.2b	5.65b	4.1c	0.8c	4.9d	0.19c	0.06c	0.25c
Mean	9.3	16.0	146.1	34.4	7.10	10.7	1.9	12.6	0.60	0.15	0.75

<sup>2</sup>Numbers followed by the same letters are not significantly different at  $P=0.05$  by DMRT.

<표 2-6-16> 직경 7cm 비닐 포트 재배시 슬러지 농도가 페튜니아 배지의 pH, EC 및 화학적 조성에 미치는 영향

Treatment	Tosilee	Sludge(Before use)					Control	Sludge(After use)			
		Sludge	Sludge	Sludge	Sludge	Sludge		Sludge	Sludge	Sludge	Sludge
		:0.6	:1.2	:2.0	:4.0		:0.6	:1.2	:2.0	:4.0	
pH	6.0	5.8	5.8	5.9	5.9	5.7	5.8	6.2	6.4	6.6	6.7
EC(mS/cm)	4.55	24.65	5.30	4.85	6.40	8.30	2.40	1.00	0.95	0.95	1.25
OM(g/kg)	186	626	315	263	326	331	284	207	300	424	310
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	398	5720	552	684	827	1297	797	347	470	592	1032
K	2.28	1.00	2.44	2.91	3.35	2.44	1.33	1.14	1.20	1.31	1.19
Ex. Cat. Ca	1.52	19.30	2.46	2.95	3.24	4.72	3.50	3.83	5.13	5.70	6.88
(Cmol/kg) Mg	1.58	6.73	2.51	2.73	2.64	2.75	2.37	2.36	2.41	2.66	2.49
Na	2.37	1.03	3.58	3.65	3.41	2.92	1.12	1.47	1.64	1.50	1.36
NH <sub>4</sub> -N	327	3575	280	255	386	722	159	111	106	145	156
NO <sub>3</sub> -N	86	78	55	25	36	66	70	14	7	17	15
(mg/kg) SO <sub>4</sub>	766	111	596	426	511	128	426	298	255	298	298
Cl	1069	567	1383	1169	1347	1447	177	190	207	262	277
Fe	7.5	101.3	11.8	23.9	22.2	28.1	7.1	12.0	14.5	17.5	19.6
Mn	36.4	53.4	30.6	18.6	35.3	50.0	9.7	34.5	36.3	42.8	43.4
(mg/kg) Cu	0.58	21.2	1.04	1.40	2.43	3.82	1.39	2.97	3.15	3.89	5.29
Zn	5.6	284.3	10.6	12.4	15.2	48.0	5.6	16.7	22.6	45.6	56.3

위의 결과로부터 공정육묘시 상토내의 슬러지의 첨가로 인한 액비의 대체와 함께 공정육묘시 노동력과 액비의 절약으로 인한 생산비의 절감, 그리고 공정묘의 생장속도의 증가로 인한 육묘기간의 단축 가능성을 보여주었다. 그러나 슬러지 사용할 때 사료의 종류, 슬러지의 수집후 부숙기간이 중요하고 식물재배용으로 사용하기전에 반드시 성분의 정밀분석이 선행되어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 첫째 슬러지 폐수 수집후 새로 유입되는 슬러지가 차단된 상황에서 6개월 정도의 후숙기간을 거치거나, 암모니움 등의 독성을 억제하기 위하여 NO<sub>3</sub>를 보강한 후 사용하는 방안이 있다.



<그림 2-6-4> 직경 7cm 비닐 포트 재배시 배지내 슬러지 농도가 페튜니아의 성장에 영향(왼쪽의 식물은 슬러지 무첨가처리구로서 일반양액을 사용하였다.)

이번 연구를 통해 담수양식장의 폐수슬러지의 활용방안으로는 ① 공정육묘용 상토 첨가제 또는 화분식물 용토 첨가제로서 상품화, ② 원예작물의 토경재배시의 슬러지나 폐수의 비료로서의 대체 가능성, ③ 원예작물에서 국한하지 않고 작물의 범위를 넓혀 적용할 필요성을 제시할 수 있다. 따라서 우리나라 모든 담수양식장에서 연간 생산 할수 있는 건조된 슬러지가 약 30-40톤 정도로 추정되는데 이는 공정육묘용 상토와 화분식물용 용토의 구성성분으로 첨가할 경우 현재의 전국적 양식 및 영농규모에 비추어 균형이 비슷할 것으로 생각된다.



#### 4. 결론

국민 식생활의 고급화에 따른 수산물의 이용은 증가하고 있지만 양어시에 부수적으로 발생하는 배설물 및 잔여물은 중요한 환경 오염원임에도 불구하고 농업에의 활용방안에 대한 국내 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 농업과 담수양식산업의 상호보완을 통한 환경오염 대처방안으로서 양식장 배설물 및 사료 잔여물의 농업분야에서의 활용방안을 모색하기 위하여 담수양식장의 슬러지를 첨가한 육묘용 상토에서의 고추, 토마토, 페츄니아 공정묘 및 페츄니아 분화생산 재배의 성장반응을 조사하였다.

본 실험은 진주영농조합법인 플러그육묘장(경남 진주시 초전동 518-1)에서 실시하였다. 청홍 고추(*Capsicum annuum* L. cv. Chunghong, 서울종묘주식회사)와 광명 토마토(*Lycopersicon esculentum* MILL. cv. Kwangmyoung, 한농종묘주식회사)종자는 1995년 9월 14일에, 카니발 페튜니아(*Petunia hybrida* Vilm. var. Carnival, 중앙종묘주식회사) 종자는 1996년 1월 7일에 공정육묘 파종시스템(ASS-1, 주식회사 대동기전, Pusan, Korea)을 이용하여 128구 플러그 트레이(서명화학, Seoul)에 파종하고, 분식물 재배를 위한 카니발 페튜니아는 1997년 3월 3일에 288구 플러그 트레이에 직접파종하고 질석으로 복토후 관수하였다. 파종후 2일 동안 기온 27-30℃, 상대습도 90%의 발아실에서 최아시킨후 육묘베드로 옮겨 재배하였다.

실험구는 토실이상토(신안정밀주식회사, Chinju, Korea)를 기본배지로 사용하면서 토실이 액비(신안정밀주식회사, Chinju, Korea)를 사용한 대조구와 토실이상토 1당 자연 건조시킨 슬러지를 2, 4, 9 및 16 %(w/v)(고추와 토마토) 또는 9, 18 및 36 %(w/v)(페츄니아)을 첨가한 처리구(각각 슬러지-2, 슬러지-4, 슬러지-9, 슬러지-18 및 슬러지-36구)로 설정하였다. 분식물 재배를 위한 기본배지로 대조구와 토실이상토 1당 자연 건조시킨 슬러지를 16, 32, 48 그리고 64 %(w/v)를 첨가한 처리구를 가지고 실험을 실시하였으나 식물이 제대로 성장하지 못해 같은날 파종

한 페튜니아를 이용해 0.6, 1.2, 2.0 및 4.0 %(w/v)를 첨가한 처리구(각각 슬러지-0.6, 슬러지-1.2, 슬러지-2.0 및 슬러지-4.0구)로 설정하고 직경 7 cm의 비닐포트에 정식하였다.

관수는 수동식 두상관수방식으로 행하였는데 파종후 10일째부터 3일 간격으로 대조구에는 토실이 액비(신안정밀주식회사)를 1,000배로 희석하여 처리하였고 분식물 재배실험에서는 온실용 다용도 액비를 처리하였고 슬러지 처리구에는 지하수를 처리하였다. 고추와 토마토의 생육조사는 파종후 20일째와 40일째 실시하였고 페튜니아의 생육조사는 파종후 40일째에 실시하였으며 분식물 재배를 위한 페튜니아의 생육조사는 정식후 4주후에 조사하였다.

- ▶ 파종후 20일째와 파종후 40일째의 고추 공정묘의 생장은 약간 차이는 있었으나 생체중, 건물중, 엽면적, 초장 및 총엽록소함량은 배지내에 첨가하는 슬러지의 농도가 높은 구에서 양호하였다. 그러나 건물률, 엽수 및 최대근장은 처리간에 큰 차이가 없었다. 대조구에서 보다 슬러지 처리구에서 배지의 pH는 증가하고 EC는 감소하는 경향을 보였다.
- ▶ 고추와 마찬가지로 파종후 20일째와 파종후 40일째의 토마토 공정묘의 생장은 약간 차이는 있었으나 생체중, 건물중, 엽수, 엽면적, 초장 및 총엽록소함량은 배지내에 첨가하는 슬러지의 농도가 높은 구에서 양호하였다. 그러나 건물률 및 최대근장은 처리간에 큰 차이가 없었다. 대조구에서 보다 슬러지 처리구에서 배지 pH는 증가하고 EC는 감소하여 고추 공정묘에서와 비슷한 경향을 보였다.
- ▶ 페튜니아 40일 육묘후의 배지의 pH는 슬러지 처리구에서 대조구에서 보다 유의성 있게 높았으며, EC는 슬러지 처리구에서 대조구에서 보다 높았고 슬러지 농도가 높아질수록 높았다. 생체중은 슬러지-18구와 슬러지-36구에서 대조구

및 슬러지-9구에서 보다, 건물중은 슬러지-18구에서 대조구, 슬러지-9구 및 슬러지-36구에서 보다 유의성 있게 컸다. 건물률은 슬러지-18구에서, 최대근장은 대조구에서 다른 처리구에서 보다 유의성 있게 컸다. T/R건물비는 슬러지-36구에서 대조구 및 슬러지-18구에서 보다, 엽수는 슬러지-18구에서 슬러지-9구에서 보다 유의성 있게 컸다. 그리고 엽면적과 초장은 슬러지-36구에서 대조구와 슬러지-9구에서 보다 유의성 있게 컸다. 그러나 총엽록소함량은 처리구간에 유의차가 없었다.

- ▶ 정식후 4주째의 페튜니아의 생육은 슬러지 무처리구가 슬러지 처리구에 비해서 초장, 근장, 엽수, 엽면적, 엽록소 농도, 생체중 및 건물중에 있어서 유의성 있게 컸다. 또 슬러지의 농도가 높은 처리구에서는 생장에 있어서 낮은 농도처리구에서보다 생장율이 떨어지는데 이는 슬러지가 가지는 염류농도가 높아서 염류장해 내지 독성을 나타내는 것 같다. 4주 육묘후의 배지의 pH는 슬러지 처리구에서 슬러지 무처리보다 높았고, EC는 슬러지 무처리구에서 높게 나타났다.
- ▶ 이러한 결과는 양어폐수의 슬러지에 함유되어 있을것으로 추정되는 잉여사료의 영양분과 어류 배설물에 함유된 비료 성분이 공정육묘 상토 1당 9 kg만 첨가하면 충분함을 나타낸다. 이것은 어류에 필요한 영양분이 고추와 토마토 등의 원예작물의 생육에 필요한 영양양분과 유사하고 성분간의 균형도 유사함을 시사한다. 단지 많은 양의 비료성분이 슬러지내에 포함되어 있더라도 유기물은 서서히 분해되는 성질이 있으므로 고농도에 의한 장해는 받지 않았고 고추와 토마토의 공정육묘기간인 40일간 필요한 영양분을 충분히 공급할수 있음을 나타낸다.

## 제7절 Pilot Plant

### 1. 개요

순환여과식 양식 시스템에서 순환수의 적절한 처리는 아주 중요한 요소이다. 양식 어류의 배설물과 미섭취사료등에 의해 발생하는 암모니아는 어류의 성장을 저해하며 치사의 위험성이 있으므로 반드시 처리하여야 한다. 어류성장에 위해한 수질인자들을 처리하기 위한 수처리 시스템의 구성요소는 고형물제거장치, 용존성물질 제거장치등으로 구성된다. 용존성물질 제거장치는 암모니아와 아질산등의 질소화합물과 유기물질의 처리를 목적으로 한다. 이를 위해서 다양한 수처리 기법이 적용되고 있다. 본 연구에서는 실험실규모의 생물막 여과조에 대한 실험을 수행한 뒤 각각의 처리특성을 바탕으로 가장 효율이 우수한 고정생물막 공법과 유동층 생물막 공법을 Pilot Plant에 적용하였다.

수처리시스템의 설계인자와 운전인자를 도출하기 위해 Pilot Plant 규모의 실험을 수행하였다. Pilot Plant의 사육조 용량은 2 $\text{m}^3$ 이며 침전조, 생물막여과조, 오존접촉조로 수처리시스템을 구성하였다. 생물막 여과조로 적용된 고정 생물막 공법은 Saran 미디어와 Saran + Y미디어를 생물막 미디어로 충전하여 직접포기식 고정생물막 공법으로 설계하였다. 유동층 공법에 적용된 미디어는 페타이어 미디어를 적용하였다. 사육어류는 틸라피아를 사육하였고 사육 밀도는 10 kg/ $\text{m}^3$ 에서 100 kg/ $\text{m}^3$ 까지 다양한 범위에서 실험을 수행하였다. 순환여과식 양식시스템에서 어류 사육과 동시에 수처리 시스템의 효율을 평가하고 어류성장과 수질인자의 관계를 고찰하기 위해 사육조내의 수질인자들에 대한 측정과 어류성장율을 산정하였다.

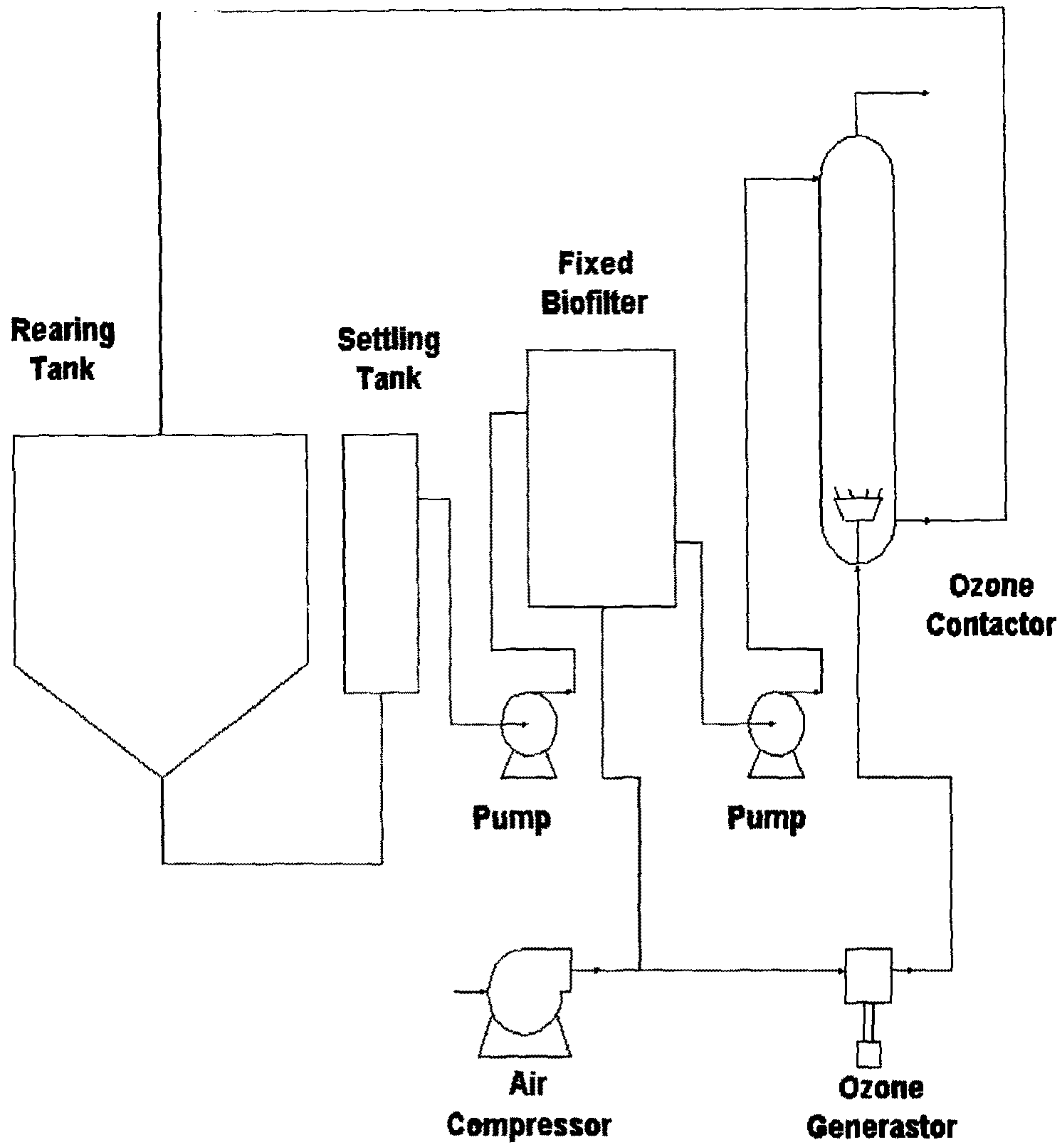
## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

#### 1) 고정생물막 반응조를 이용한 Pilot Plant

실험실 규모의 생물막 반응조실험을 수행한 결과 현재 현장에서 적용되고 있는 생물막 여과조의 부피를 축소하고 효율적인 수처리시스템의 설계 및 운전인자를 도출하기 위해 직접포기식 고정생물막 반응조를 적용한 순환여과식 Pilot Plant를 제작하여 어류 사육실험과 동시에 수처리 실험을 수행하였다.

본 실험에 적용된 Pilot Plant의 구성제원 및 운전조건을 <표 2-7-1>에 나타내었다. 사육조 용량 2m<sup>3</sup> 규모의 순환여과식 Pilot Plant의 공정도는 <그림 2-7-1>에 나타내었다. 시스템의 생물막 여과조는 고정생물막을 적용하였으며, 충진메디아의 종류에 따라 Saran을 이용한 것과 Saran + Yogurt를 이용한 것으로 각각 구분하여 2개의 시스템을 운전하였다. 사육조는 정사면체구조로 하부는 중앙으로 15°경사를 가지고 있으며 하부배수구조이다. 침전조는 가로(0.3 m)×세로(0.3 m)×높이(0.8 m)규격의 약 0.07m<sup>3</sup>용량의 반응조로 약 3분의 체류시간동안 최소 제거입자 크기를 1 mm로 설정하여 설계되었다. 침전조에서 유출된 물은 50L 저류조에서 온도조절을 거친후 펌프로 생물막여과조로 27 L/min의 유속으로 압송하였다. 생물막여과조는 직접포기방식으로 설계되어 있고 상부에서 침전조 유출수가 유입되어 고정생물막여과조를 통과한 뒤 유출된다. 생물막여과조는 약 20분의 HRT로 운전되었다. 생물막여과조의 유출수는 다시 저류조에 모아진 뒤 오존접촉조로 압송되었다. 오존접촉조는 3m 높이며, 하향류식 접촉방식이며, 오존 주입은 하부의 산기석을 설치하여 순환수와 접촉시켰다. 배오존가스는 활성탄 칼럼을 통과한 뒤 대기중으로 배기시켰다.



<그림 2-7-1> Pilot Plant 순환여과식 양식시스템의 공정도.

〈표 2-7-1〉 Pilot Plant의 구성제원 및 운전조건표.

구분	길이 (m)	폭 (m)	높이 (m)	단면적 (m <sup>2</sup> )	체적 (m <sup>3</sup> )	체류시간 (min)
사육조	2	2	0.7	4	2	70
침전조	0.3	0.3	0.8	0.09	0.07	3
드럼필터	1	0.7	0.8	0.7	0.05	2
생물막여과조	0.6	0.6	1.8	0.36	0.65	20
오존접촉조	φ0.35		3.0	0.1	0.3	10

시스템의 운전은 오전 9:00에 사료공급, 침전조에 모인 고형오물을 제거하고 난 뒤 이때 소비되는 양인 사육조 용량(2m<sup>3</sup>)의 약 1/10의 물을 보충하였다. 보충수는 2m<sup>3</sup> 저류조에 수돗물을 활성탄 칼럼을 통과시킨후 저장하였다가 필요시 사용하였다. 사료 공급은 시간조절장치가 부착된 자동공급기를 사용하였다.

수질조사에 필요한 시료는 사육조내부, 각 단위공정별 유출수를 작업이후 약 2시간 경과후 채수하여 암모니아성 질소, 질산성 질소, 아질산성 질소, 유기물(TOC), 탁도, pH, 알칼리도 등에 대하여 분석하였다.

실험에 적용한 어종은 수질에 대한 내성이 뛰어나며, 내수면의 주요 양식대상 종인 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 사용하였다. 틸라피아는 아프리카 대륙이 원산지인 Cichlidae과에 속하는 어류로서 낮은 용존산소와 광범위한 염분 농도에 잘 견디는 등 환경의 변화에 대하여 저항력이 강하며 맛이 좋아 전세계적으로 각광 받고 있는 양식 어종이다. 또한, 우리 나라 내수면의 주요 양식 대상어종으로 집약적인 관리를 통해 고밀도로 사육이 가능하다. 어류 성장을 위한 사료는 현재 시판중인 부상사료(틸라피아1호 육성, 우성사료)를 이용하였다. 상품사료의 일반성분은 〈표 2-7-2〉와 같다.

<표 2-7-2> 시판 부상사료의 구성성분표

조성	구성분율(%)
Crude protein	34.0
Crude lipid	4.0
Crude fiber	4.0
Crude ash	8.0
Ca	1.0
P	1.8

## 2) 페타이어 삼상유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant

삼상 유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant는 반응조는 <그림 2-7-1>의 고정생물막 대신에 적용되었다. 반응조는 내경 30cm, 두께 2cm의 투명 아크릴 원통을 이용하여 삼상유동층 반응조를 제작하였으며, 총 용량은 200 ℓ가 되게 하였다. 반응조 내부에 내경 15 cm의 Draft tube를 설치하고, 하부에 산기석을 설치하여 압축공기를 주입하였다. 이로 인해서 Draft tube내에서는 상향류의 유동현상이 발생되며, 외부에서는 하향류의 흐름이 형성되게 하였다. 상부 유출 웨어에는 망(screen)을 설치하여 메디아의 유실을 막았다. 유입수는 반응조 상부의 하향류 흐름에 주입하여 반응조 내부로 유입되도록 하였다. 유출수는 상부에서 유출되어 자연유하식으로 사육조로 유입되게 하였다.



## 나. 방법

### 1) 고정생물막 반응조를 이용한 Pilot Plant

고정생물막 반응조가 포함된 Pilot Plant의 설계 운전조건은 하루 20회전(사육조 대비)을 기준으로 운전하였다. 고정생물막 반응조는 Saran메디아를 충전한 것과 Saran + Y메디아를 충전한 것으로 구분하여 각각 반응조별 1개씩의 순환여과식 양어 시스템을 운전하였다.

사육조의 체류시간은 약 70분, 침전조의 체류시간은 약 3분, 생물막여과조의 체류시간은 약 20분, 오존접촉조의 체류시간은 약 10분으로 운전하였다. 질산화반응에 의해 감소되는 알칼리도 보충을 위해 일정량의 중탄산 나트륨을 공급하였다. 시스템의 운전은 오전 9시 침전조에 모인 고형분을 제거시키고, 이때 소비된 200L가량의 물을 보충시켰다. 사육조물이 약 3회전정도 이루어진 시점에서 시스템의 각 부분별로 시료를 채수하여 암모니아, 탁도, 알칼리도 등의 수질 인자를 측정하였다.

실험에 이용한 틸라피아는 부경대학교 부속어장 내에서 사육중이던 평균 어체중 100인 개체를 각 사육조에 각각 200마리씩 수용하여 총 20kg을 방양하였다. 사료공급은 시간제어기가 부착된 먹이공급장치를 이용하여 오전 9:00부터 오후 7:00까지 어체중의 1~2%정도씩 일정량을 공급하였다. 초기 10 kg/m<sup>2</sup>의 사육밀도에서 실험시작, 3주, 8주째에 각 실험탱크에서 무작위로 각각 40마리씩 시료를 채취하여 아미노안식향산에칠(Ethyl Aminobenzoate)에 마취시킨후 어체 각각의 무게를 측정하여 사료계수, 일간성장율등의 파라메타를 도출하였다. 실험 어류는 실험 시작, 3주, 8주째에 각 실험 탱크에서 무작위로 각각 40 마리씩 샘플하여 아미노안식향산에칠 (Ethyl Aminobenzoate)에 마취시킨후 어체 각각의 무게를 측정하였다. 이들결과를 바탕으로 사료계수, 일간성장율 등에 대하여 고찰하였다. 이들 성장 효과는 다음의 방법으로 계산하였다.

사료계수 (feed conversion ratio : FCR) = 사료공급량/증육량

일간성장율 (Daily growth rate : DGR, %) =  $[(W_t/W_0)^{1/t} - 1] \times 100$

단,  $W_t$  : t 일간 사육한 후의 어체중

$W_0$  : 실험 시작할 때의 어체중

t : 사육 기간 (일)

## 2) 폐타이어 삼상유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant

생물막형성을 위하여 부경대학교 부설 양어장의 침전조 슬러지에 메디아를 넣고 약 7일간 공기를 주입하며 미생물을 부착시켰다. 이러한 초기적응을 마친 폐타이어 메디아에는 일정량의 미생물들이 존재하여 순환수처리시 초기 단계가 단축 되었다. 폐타이어를 이용한 삼상 유동층 반응조를 순환여과식 양어시스템에 적용할 경우 최적의 설계인자를 도출하기 위해 수리학적 체류시간(HRT)을 25, 20, 8분으로 변화시켰다. 이때 생물막여과조의 유출수 수질이  $0.1\text{mg NH}_4^+\text{-N/L}$ 이하를 나타내면 체류시간을 단축시켰다. 용존산소(Dissolved Oxygen)유지와 유체이동을 위한 공기공급은 유동층 반응조의 정중앙에 위치한 Draft Tube로 주입되었다. Draft Tube를 중심으로 내부에서는 상향류 흐름이 생성되어 외부에서는 하향류 흐름이 균일하게 유지되도록 하여 반응조 내부가 완전혼합이 이루어지도록 하였다. 이러한 유동현상을 이루기 위한 최소 공기 유량은  $15\text{ L/min}$ 이었고, 전체 실험기간동안 이조건을 유지하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 고정 생물막 반응조를 이용한 Pilot Plant

##### 1) 어류성장

침지식 고정생물막 반응조의 실험실규모의 연구결과를 바탕으로 구축한 순환여과식 양식시스템에서 어류 성장에 따른 수처리시스템의 암모니아성 질소 및 기타 수질인자들에 대한 수처리 능력을 고찰하였다. 순환여과식 Pilot Plant는 사육조 규모가 2m<sup>3</sup>이며, 침전조, 생물막 여과조, 오존접촉조로 구성된 양어시스템을 제작하였다.

고정생물막 반응조의 충전매디아를 변수로 운전한 결과 어류 성장은 초기 사육밀도 10 kg/m<sup>3</sup>에서 시작하여 약 5개월 경과후 Saran+Y, Saran 매디아가 충전된 각 시스템의 어체중은 각각 305g, 282g, 일간 성장률은 1.00, 1.22, 사료계수는 1.06, 1.04로 계산되었다.

각 시스템에서 조사된 사육결과를 실험단계별로 나타내면 <표 2-7-3>과 같다. 김(1983)은 틸라피아를 filter bed가 없는 순환 탱크에서 고밀도 사육하였을 때 사료계수가 0.9~1.2로 나타났고, 김과 우(1988)는 순환여과식 사육장치에서 용존산소량의 변화에 따른 틸라피아 성장을 조사한 결과를 살펴 보면 용존산소량 2.0~3.5 mg/l 일 때 사료계수 1.05~1.11, 일간성장을 0.8~1.4% 결과로 틸라피아의 성장에 가장 좋은 효과를 나타내었다고 보고하였다. 그러므로 이러한 결과는 5 개월간 사육한 결과 사료계수 0.88~1.5와 비교하여 사료 효율면에서 비슷한 결과를 보였다. 그러나 일간 성장율면에서는 0.53-1.53으로 김과 우(1983)의 결과에 비해 약간 낮은 것을 보였다.

<표 2-7-3> 실험기간동안 Pilot Plant에서 사육한 틸라피아의 성장 특성

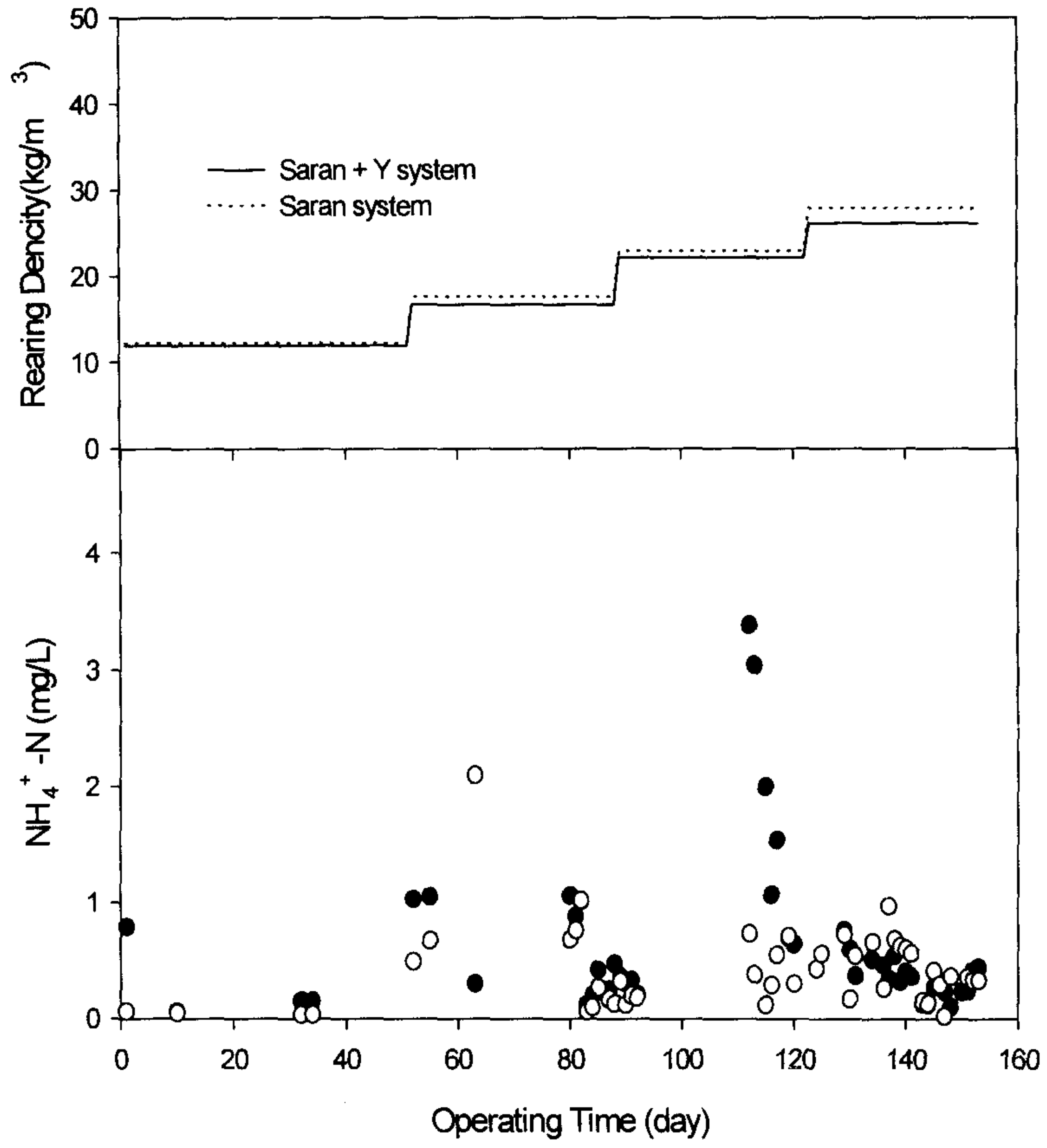
System	Initial weight		Final weight		Fed feed (kg)	Gain wt. (kg)	Feed conversion ratio	Daily growth rate (%)
	Total wt. (kg)	Avg. wt. (g)	Total wt. (kg)	Avg. wt. (g)				
1st trial Jul. 11~Aug. 4								
Saran+Y	20 (200)*	100	29.1	145.7	10.2	9.1	1.1	1.57
Saran	20 (200)*	100	26.8	134.1	10.2	6.8	1.5	1.23
2nd trial Aug. 6~Sep. 10								
Saran+Y	29.1	145.7	41.5	207.5	12	12.4	0.97	0.96
Saran	26.8	134.1	40.4	202.2	12	13.6	0.88	1.12
3rd trial Sep. 11~Oct. 14								
Saran+Y	41.5	207.5	50.6	253.0	9.75	9.1	1.07	0.60
Saran	40.4	202.2	48.2	241.0	8.3	7.8	1.06	0.53
4th trial Oct. 15~Nov. 2								
Saran+Y	50.6	253.0	61.1	305.5	11.1	10.5	1.06	1.00
Saran	48.2	241.5	56.4	282.0	8.5	8.2	1.04	1.22

\* Fish number

## 2) 암모니아 제거

순환여과식 양식시스템의 순환수내 암모니아는 어류의 대사 배설물질 중 질소 화합 물질로부터 기인된다. 암모니아는 수중의 pH, 온도 등에 따라 이온성 암모니아와 비이온성 암모니아로 구분되는데 비이온성 암모니아가 어류에 독성이 강하다고 알려져 있다. 많은 연구자들에 의해 어종에 따른 비이온성 암모니아의 치사농도에 관한 여러 가지 연구결과가 보고되고 있다. 그러나 아직까지 정확한 독성작용 메카니즘에 대한 정보와 암모니아 농도가 어류성장에 미치는 영향 또한 전무한 실정이다. 본 연구에서는 수처리 시스템으로 생물막 미디어를 Saran미디어, Saran + Y미디어로 충전한 생물막 반응조를 구분하여 시스템을 구성하였으며, 수처리시스템의 암모니아 제거특성을 연구하였고, 이때 사육조내 암모니아 농도와 어류의 일간성장율과의 관계를 고찰하였다.

전체 실험기간중 사육수조내 암모니아성 질소의 평균농도와 사육밀도와의 관계를 <그림 2-7-2>에 나타내었다. Saran+Y 미디어와 Saran미디어를 생물막 여과조로 적용하였을 때 각 실험단계 별 사육조내 평균암모니아농도는 I 단계에서 0.64, 0.36 mg N/L, II 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, III 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, IV 단계에서 0.47, 0.60 mg N/L로 나타났다. 실험실 규모의 실험들의 결과는 생물막 반응조가 안정상태에 있을 경우 유출수의 농도는 0.1 mg N/L 이하를 유지하였다. 전체 운전기간 동안 생물막 여과조가 안정상태에 도달한 후 Saran+Y 미디어와 Saran 미디어를 충전한 각 시스템 유출수의 암모니아성 질소 농도는 I 단계에서 0.23, 0.10 mg N/L, II 단계에서 0.32, 0.25 mg N/L, III 단계에서 0.30, 0.10 mg N/L, IV 단계에서 0.21, 0.17 mg N/L로 나타나, 안정적인 수질결과를 보였다.

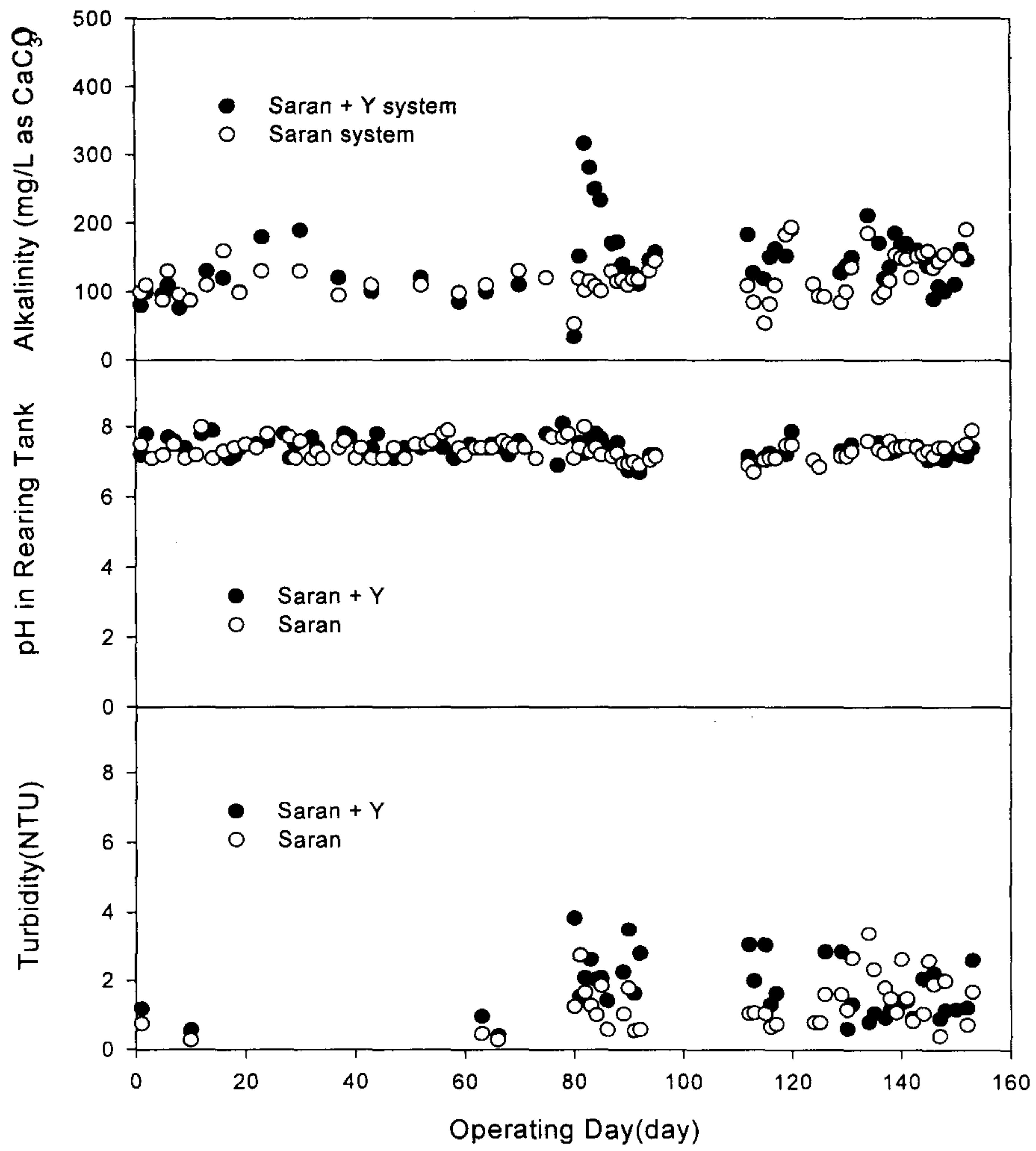


〈그림 2-7-2〉 연속일수에 따른 각 시스템의 사육조내  
 암모니아성 질소 농도와 사육밀도의 변화

### 3) 기타 수질인자의 변화

담수 순환여과식 양어시스템에서 고려해야 되는 수질인자들은 pH, 알칼리도, 탁도 등이며 질산염의 과도한 축적 여부를 확인해야 된다. 본 연구에서는 이러한 기타 수질인자들의 변화에 대하여 전체 실험기간동안 각 시스템별로 시료를 채취하여 측정하였다. pH는 어류성장과 암모니아 처리시 중요한 수질인자이다. 담수양어 시스템의 경우 pH 7.0 - 8.5범위가 적합하다고 보고되고 있다. 그 이유는 생물막 여과조의 질산화를 위한 pH 범위가 7.5 - 8.5 이고, 어류성장을 위해서는 pH가 6.5 - 9 의 범위로 질산화를 위한 pH범위보다 다소 넓은 것을 알 수 있다. 따라서 두 개의 조건을 만족시키는 범위가 이용되고 있다. 이러한 pH 조건을 유지하기 위해서는 알칼리도 유발 물질을 공급해야 된다. 순환여과식의 경우 시스템내 순환수중의 알칼리도는 20 - 200 mg/L as CaCO<sub>3</sub> 로 유지하는 것이 보편적이다. 본 연구기간중에서는 순환수중 알칼리도의 공급을 위해 공업용 NaHCO<sub>3</sub>를 100-150 g/day로 공급하였다. 이로 인해 전체 실험 기간동안 pH 7 - 8을 유지할 수 있었다.

탁도란 수중에 존재하는 부유성 미세입자에 의해 발생하는 물의 탁한 정도를 나타내는 수질인자이다. 탁도는 측정방법상 TU, NTU, JTU등으로 나타내는데, 본 연구에서는 NTU meter를 이용하였다. 일반적인 범주는 5 NTU이하의 경우, 깨끗한 물로 인식되고, 5NTU 이상에서는 육안으로 혼탁함이 느껴진다. 호수의 탁도가 25NTU정도이면, 깨끗한 호수로 인식된다. 만약 호수가 100NTU이상이면 진흙탕으로 인식된다. 수돗물의 음용기준의 경우 2TU이하이다. Nightingle등(1975)은 양어장의 탁도 권고 기준을 60NTU로 보고하였다. 본 연구결과 각 시스템은 평균 1NTU이하의 양호한 상태를 유지하였다.

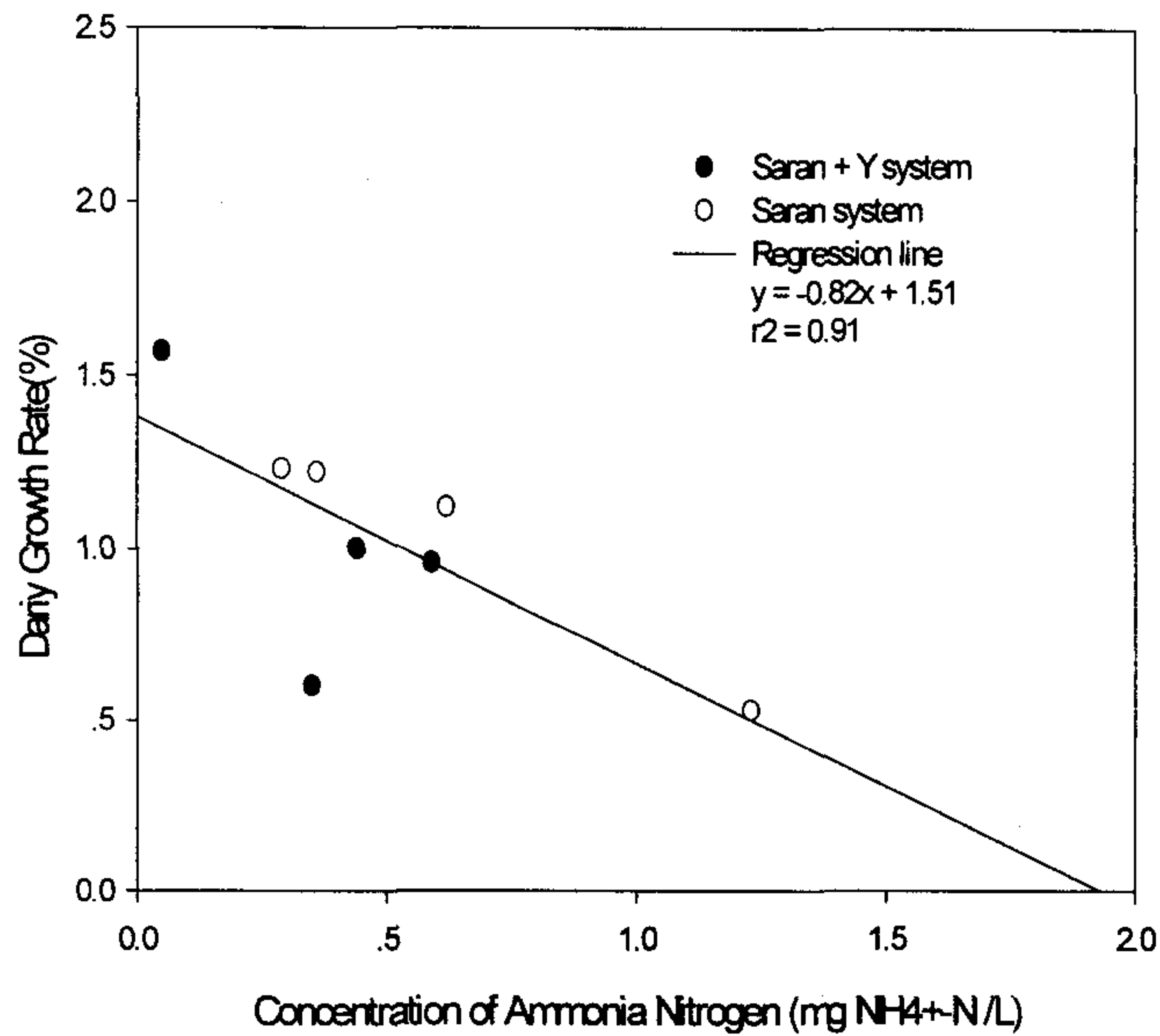


<그림 2-7-3> 실험기간동안 pH, 탁도, 질산성 질소 등 기타 수질인자의 변화



#### 4) 어류성장과 수질인자와의 관계

본 연구에서는 사육조내 수질인자중 암모니아성 질소농도와 어류의 성장과의 관계에 대하여 고찰하기 위해 각 시스템별 사육조내 암모니아성 질소농도의 평균값을 구한 뒤, 각 사육조내 어류의 일간성장율을 계산하여 암모니아농도를 독립변수로 설정하고 일간성장율을 종속변수로 하여 최소자승법을 이용하여 상호관계를 조사하면 <그림 2-7-4>와 같다. <그림 2-7-4>에서 사육조내의 암모니아성 질소농도와 어류의 일간성장율의 관계는 1차선형관계를 나타내었다.



<그림 2-7-4> 사육조내 암모니아성 질소농도와 어류의 일간성장율의 관계

## 5) 부하변동에 따른 암모니아 제거효율

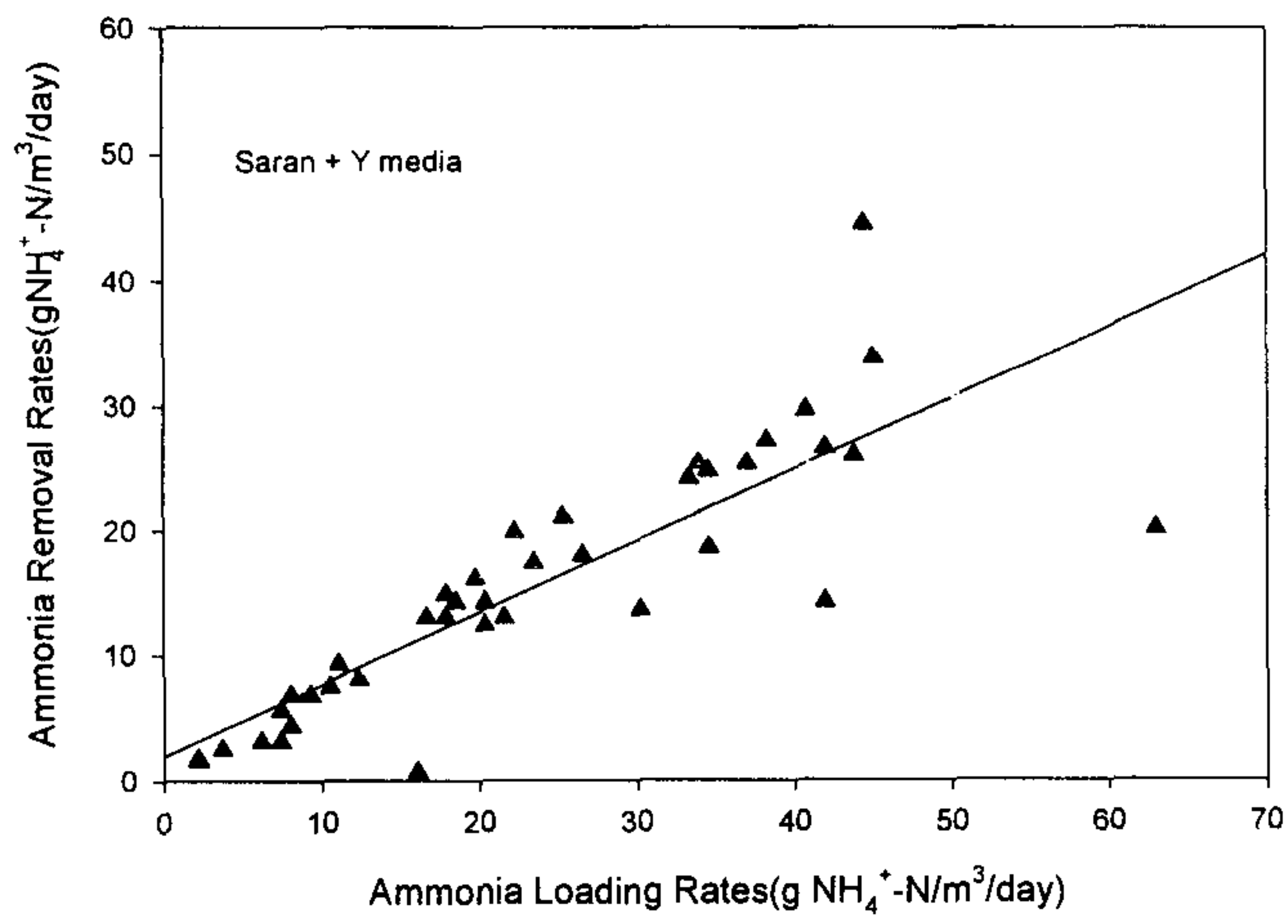
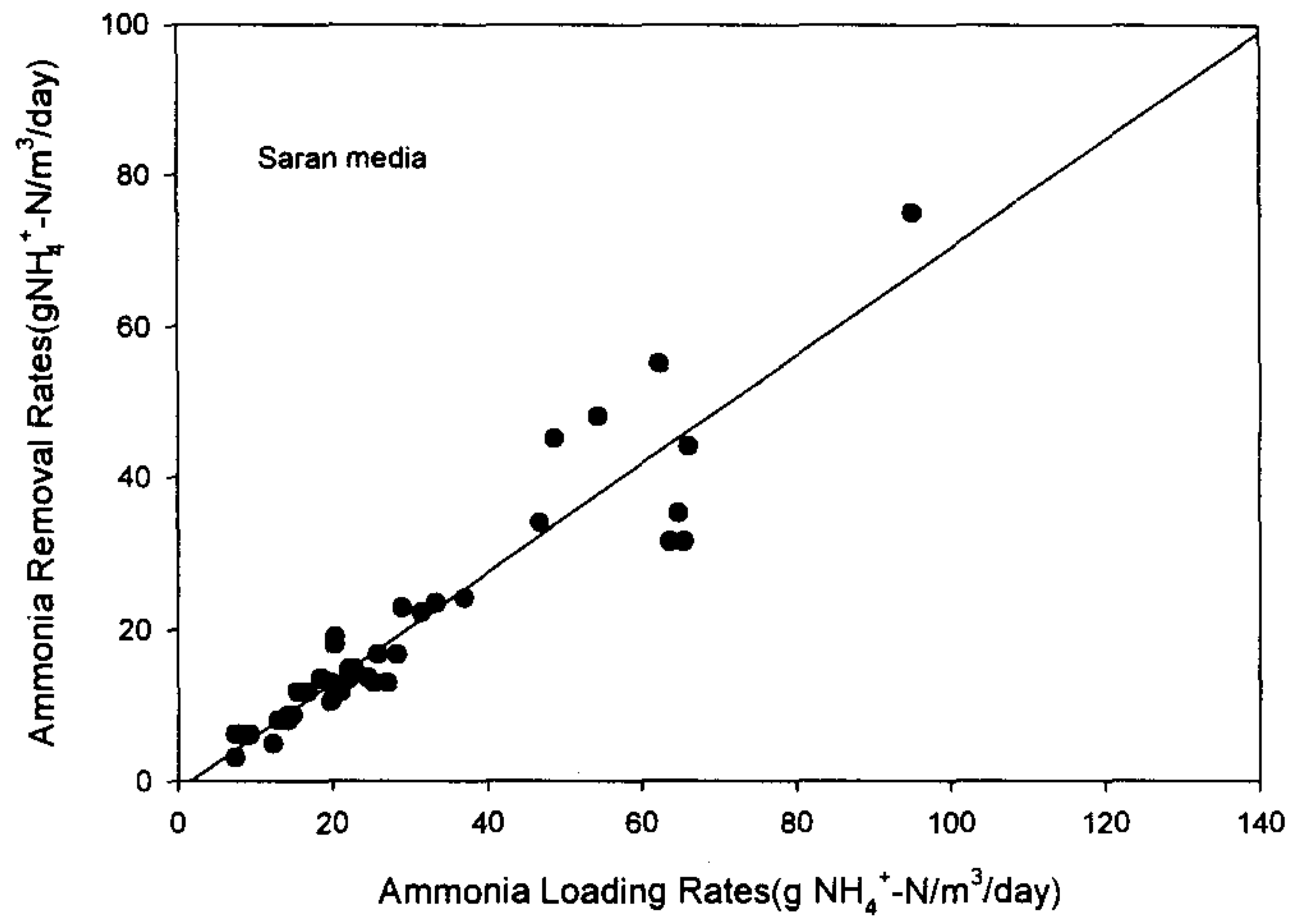
Pilot Plant규모의 순환여과식 양어시스템에서 생물막 여과조로 적용한 침지식 생물막 반응조의 충전매디아별(Saran매디아, Saran+Y매디아) 암모니아 제거특성을 고찰하였다. 사육조내 암모니아성 질소농도를 생물막반응조의 유입부하( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ )로 환산하여 유출수의 암모니아 부하를 감하여 부하당 제거율( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ )을 계산하였다. 각 충전매디아별 유입 암모니아 부하량대 제거부하량의 관계는 <그림 2-7-5>과 같다. 전체 실험기간동안 Saran매디아 및 Saran + Y 매디아를 충전한 생물막 반응조에 적용된 암모니아 부하( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ ) 범위는 각각, 3.7 - 98.7( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ ), 1.2 - 63.5( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ )로 나타났다. 순환수의 유량을 20회전을 기준으로 운전하였으나 이와 같은 넓은 범위의 유입부하가 나타난 이유는 사료주입량과 어류의 성장특성이 큰 원인인 것으로 생각된다.

생물막 반응조의 암모니아 제거특성은 이와 같은 암모니아 부하범위에서 선형적인 제거특성을 보였다. 유입암모니아 부하( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ )에 따른 암모니아 제거율( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ )을 최소자승법을 이용하여 선형화 결과, 다음과 같은 결과식을 얻을 수 있었다.

$$\text{Saran media : } Y = 0.715X - 1.19, (r = 0.89)$$

$$\text{Saran + Y media : } Y = 0.575X - 1.87, (r = 0.71)$$

Saran매디아를 충전한 생물막 반응조는 약 72%의 암모니아 부하( $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{m}^3/\text{day}$ )에 따른 제거율을 나타냈다. Saran + Y매디아를 충전한 생물막 반응조는 약 58%의 제거율을 나타냈다.



<그림 2-7-5> Pilot Plant의 각 충전메디아별 암모니아 부하에 따른 제거특성

나. 페타이어 삼상 유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant

1) 어류성장

페타이어 삼상유동층 반응조를 생물막 여과조로 이용한 Pilot Plant의 어류성장 결과는 <표 2-7-4>와 같다. 실험의 각 단계별 사육밀도는 각각 38.3, 42.3, 92.0으로 조사되었다. 실험 I, II단계는 4월부터 7월 말까지 성장한 결과이며, 실험 III단계는 사육밀도를 인위적으로 증가시켜 수처리 시스템의 처리한계를 고찰하기 위해서 조정 한 단계이다. 일간성장율과 사료계수의 자료들을 고정생물막공법을 생물막 여과조로 이용하였을 경우와 비교하면, 대체로 효율이 낮은 경향을 보이고 있다. 그 이유는 사육 어류의 개체무게가 증가하였기 때문으로 생각된다. 실험단계별 평균어체중은 각각 470, 610, 660(g)으로 고정생물막공법을 생물막 여과조로 이용한 실험에 비해 높은 개체임을 알 수 있다.

<표 2-7-4> Pilot Plant 운전결과

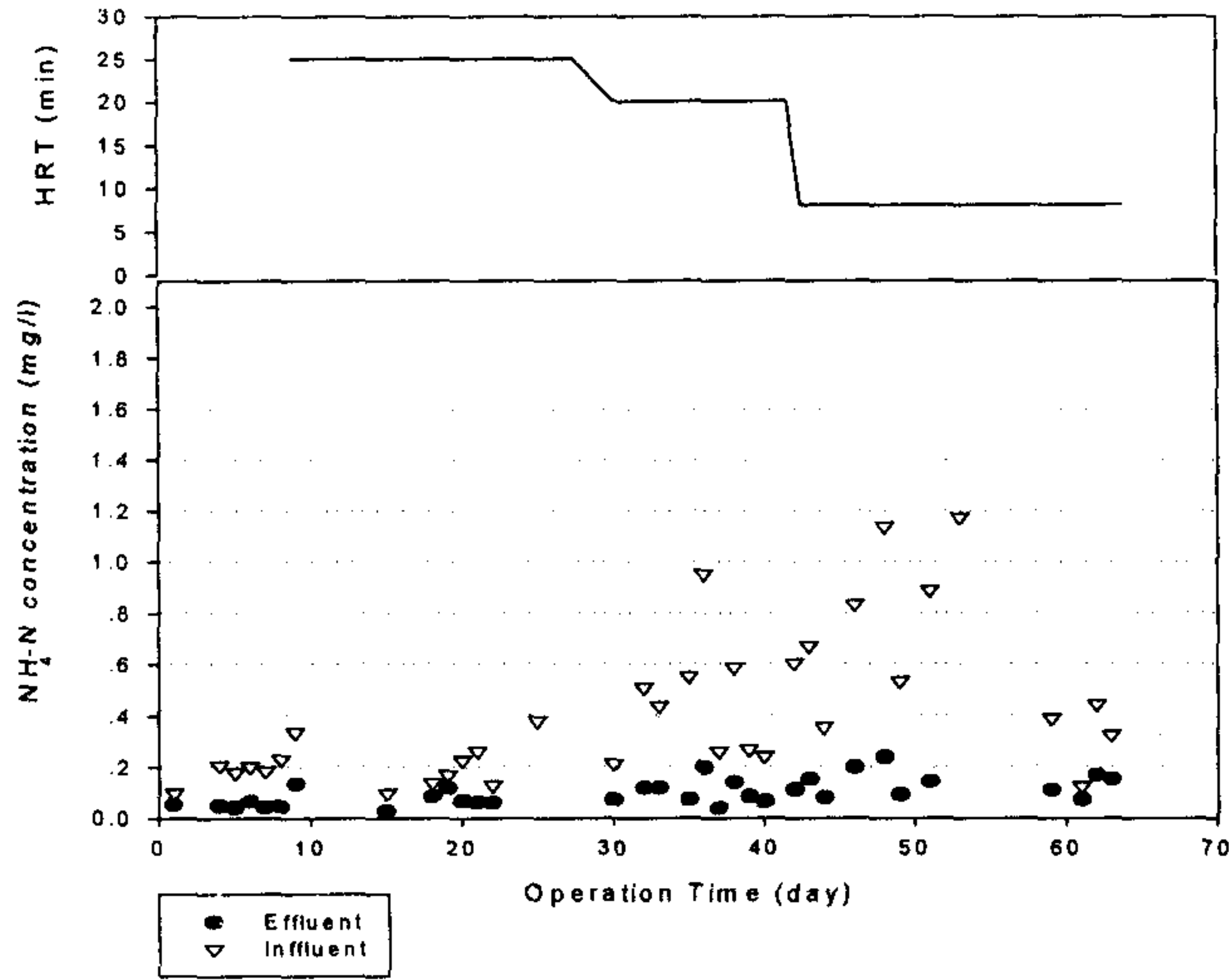
단계	운전기간	사육밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	일간성장율 (kg/kd/d)	사료계수	폐사율 (%)	평균어체중 (g)
I	97. 4. 15-6. 2	38. 3	0. 64	1. 30	3. 6	470
II	6. 3-7. 30	42. 3	0. 36	1. 53	-	610
III	7. 31-9. 22	92. 0	0. 13	4. 30	0. 7	660

## 2) 암모니아 처리특성

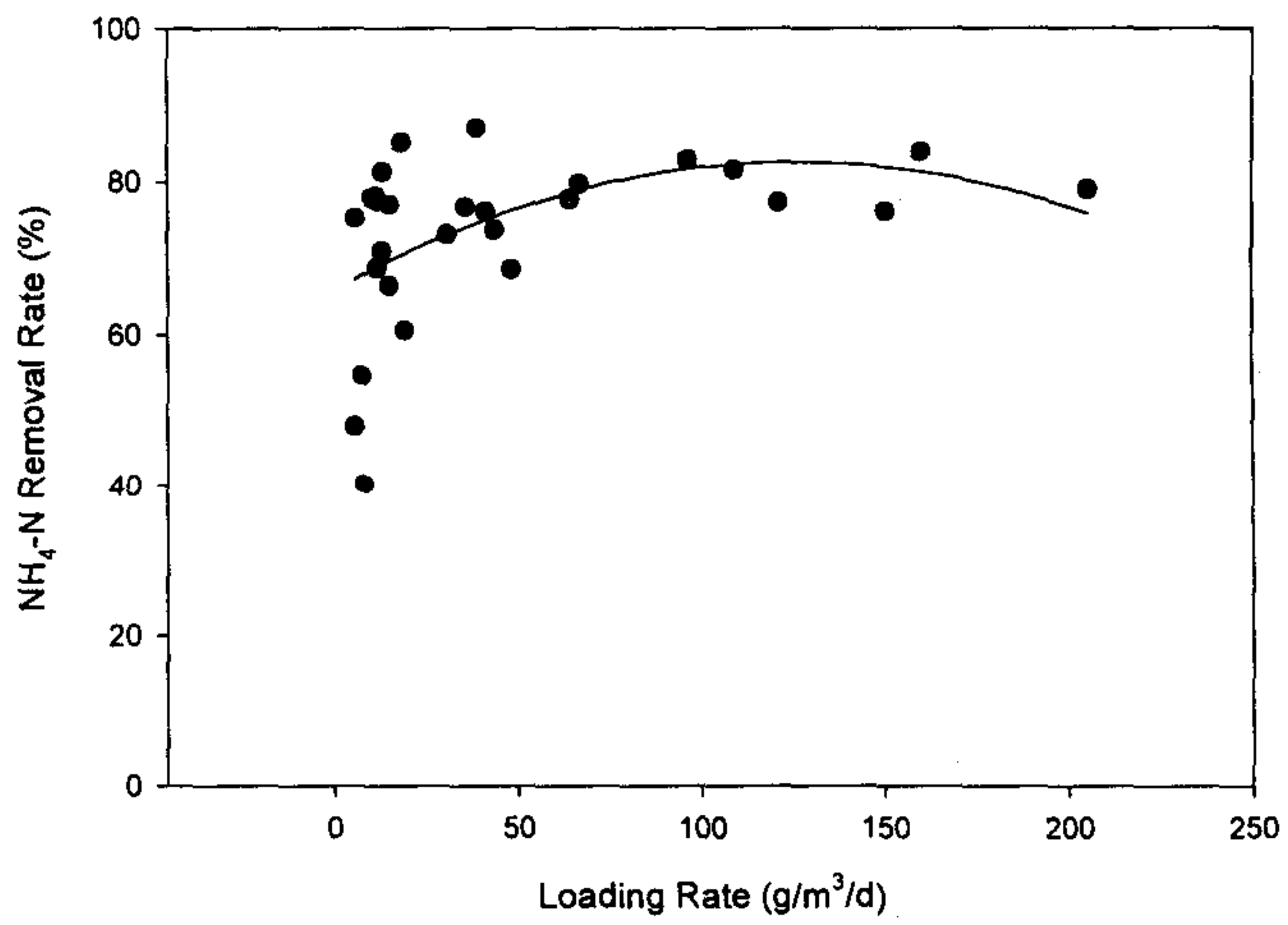
페타이어 미디어의 유동특성 실험에서 20%의 충전율에서 최소 겉보기 공기 상승속도는 41.67 cm/min으로 나타났으나 실제 Pilot-Scale 삼상 유동층 반응기 운전에서는 안정적인 운전을 도모하기 위하여 겉보기 공기 상승속도를 약 1.4배정도인 62.24 cm/min으로 유지하였다. 실험실 규모의 삼상 유동층 반응조 실험에서 상부의 기-액-고 분리장치가 의한 액체순환 유속에 부의 영향이 있는 것으로 생각되어 Plot Scale 삼상 유동층의 기-액-고 분리장치는 유출수 웨어에 망을 설치하여 미디어의 유실을 막았다. <그림 2-7-7>에는 운전기간 동안의 유입수 및 유출수의 암모니아성 질소농도 변화를 나타내었고 <그림 2-7-8>에는 처리효율을 나타내었다. 수리학적 부하를 57.6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d ~ 180 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d 로 운전 하였을 때 유입수의 농도는 0.10 mg/l ~ 1.17 mg/l 였으며 유출수의 농도는 0.02 mg/l ~ 0.24 mg/l로 전 기간동안 최대 0.3 mg/l 이하를 유지하였다. 이 때의 암모니아성 질소 부하는 5.63 g/m<sup>3</sup>/day ~ 205.2 g/m<sup>3</sup>/day였으며 부하율에 대한 제거율은 80.7 %로 나타났다. <표 2-7-5>에 Plot Scale 삼상 유동층 반응조의 수처리 특성을 나타내었다. 암모니아성 질소 부하에 따른 제거효율은 40.25 ~ 85.05 %의 범위를 나타내었으며 제거율도 실험실 규모 삼상 유동층 반응조의 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 Pilot Scale 삼상 유동층 반응조의 Scale-up은 적절하게 이루어진것으로 판단된다.

<표 2-7-5> Pilot scale 삼상 유동층 반응조의 수처리 특성

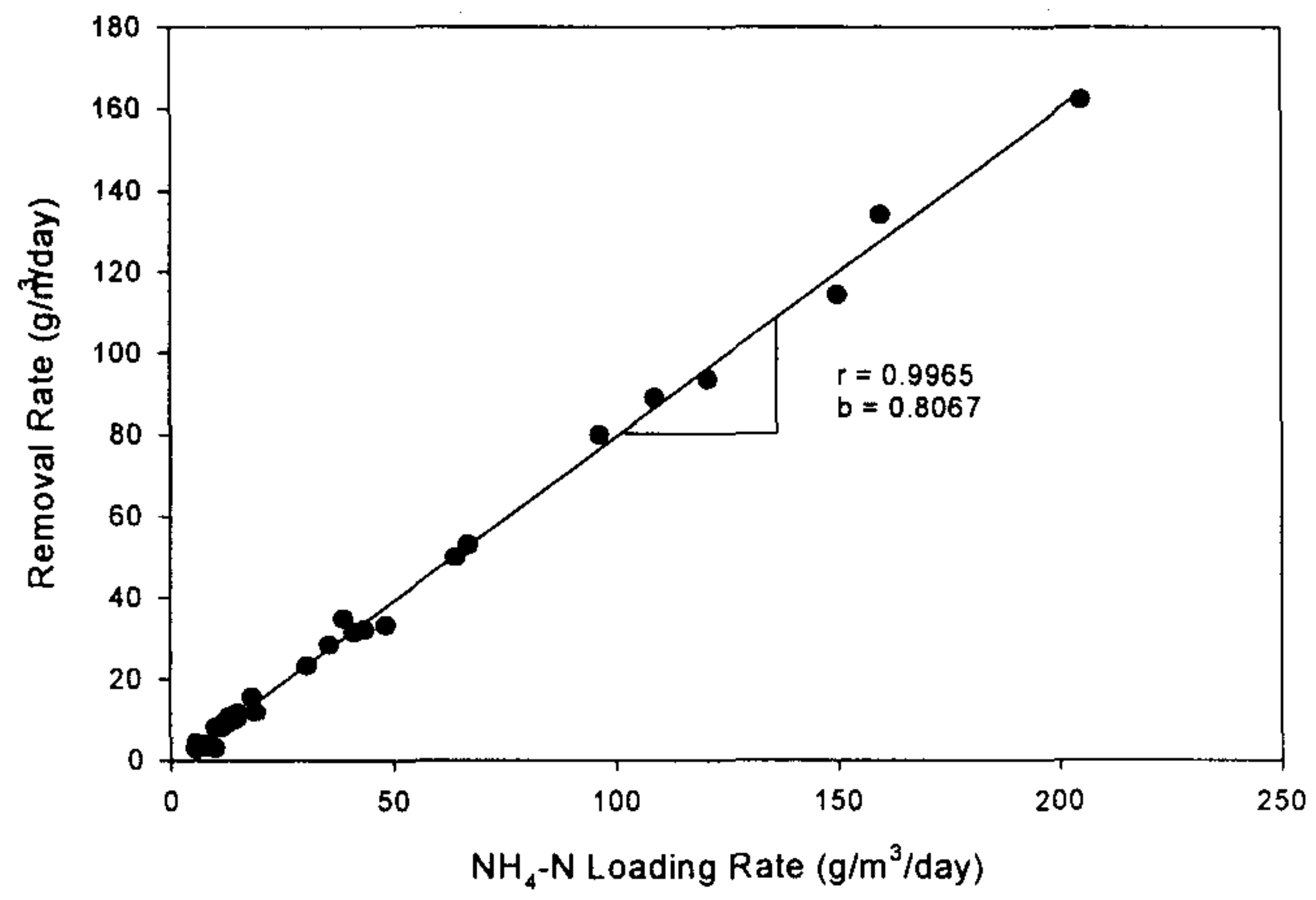
HRT (min)	influent (mg/l)	effluent (mg/l)	loading rate (g/m <sup>3</sup> /d)	removalrate (g/m <sup>3</sup> /d)
25	0.216	0.057	12.46	9.07
20	0.501	0.109	35.2	28.01
8	0.617	0.128	110.28	87.55



<그림 2-7-6> 전 운전기간 동안의 암모니아성 질소 농도변화



<그림 2-7-7> 암모니아 부하에 따른 제거효율



<그림 2-7-8> 암모니아성 질소 부하에 따른 제거율

#### 4. 결론

##### 가. 고정 생물막 반응조를 이용한 Pilot Plant

- ▶ 실험기간동안 일간 성장률은 1.00, 1.22, 사료계수는 1.06, 1.04로 나타났다.
- ▶ 순환수의 pH 유지를 위해 공업용  $\text{NaHCO}_3$ 를 100-150 g/day로 공급하여 전체 실험 기간동안 pH 7 - 8을 유지할 수 있었고, 각 시스템의 평균 탁도농도는 1NTU이하의 양호한 상태를 유지하였다.
- ▶ Saran+Y 미디어와 Saran미디어를 생물막 여과조로 적용하였을 때 각 실험단계 별 사육조내 평균암모니아농도는 I 단계에서 0.64, 0.36 mg N/L, II 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, III 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, IV 단계에서 0.47, 0.60 mg N/L로 나타나, 안정적인 수질결과를 보였다.

##### 나. 페타이어 삼상유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant

- ▶ 수리학적 부하를  $57.6 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d} \sim 180 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$  로 운전 하였을 때 유입수의 농도는 0.10 mg/l ~ 1.17 mg/l였으며 유출수의 농도는 0.02 mg/l ~ 0.24 mg/l로 전 기간동안 최대 0.3 mg/l 이하를 유지하였다.
- ▶ 암모니아성 질소 부하는  $5.63 \text{ g}/\text{m}^3/\text{day} \sim 205.2 \text{ g}/\text{m}^3/\text{day}$ 였으며 부하율에 대한 제거율은 80.7 %로 나타났다.
- ▶ 암모니아성 질소 부하에 따른 제거효율은 40.25 ~ 85.05 %의 범위를 나타내었으며 제거율도 실험실 규모 삼상 유동층 반응조의 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 Pilot Scale 삼상 유동층 반응조의 Scale-up은 적절하게 이루어진것으로 판단된다.



## 제8절 미세스크린을 이용한 양식수 처리

### 1. 개요

순환여과식 양어시스템의 수처리 시스템은 크게 고형물제거와 용존성 물질(암모니아, 아질산성 질소 등)의 처리를 목적으로 한다. 고형물질은 사육 어류에서 발생하는 어분과 미섭취된 사료등에서 발생되며, 이들이 사육조내에 장시간 체류할 경우 수중의 용존산소를 고갈 시키며, 물의 색을 탁하게 한다. 그리고 적절히 처리되지 못하여 생물막여과조로 유입될 경우 여과조의 암모니아 제거 효율을 감소시키기도 한다. 따라서 순환여과식 양어시스템에서 고형물 제거장치의 기능은 아주 중요한 요소이다.

현재 순환여과식 양어시스템에서 고형물 제거장치의 경우 대부분 중력침강에 의한 처리법이 적용되고 있다. 그 이유는 별다른 기계장치 없이 설치 운전이 가능하기 때문에 많이 적용되고 있으나, 과도한 설치부지 면적, 빈번한 청소등의 이유로 기계적인 고형물 제거장치의 연구가 필요하다. 압력식 모래여과법과 드럼필터법이 유럽과 미국등지의 순환여과식 양식장에서 적용되고 있다. 압력식 모래여과법은 자동역세척 장치의 설치비와 세척수가 다량 소비되는 문제점을 가지고 있다.

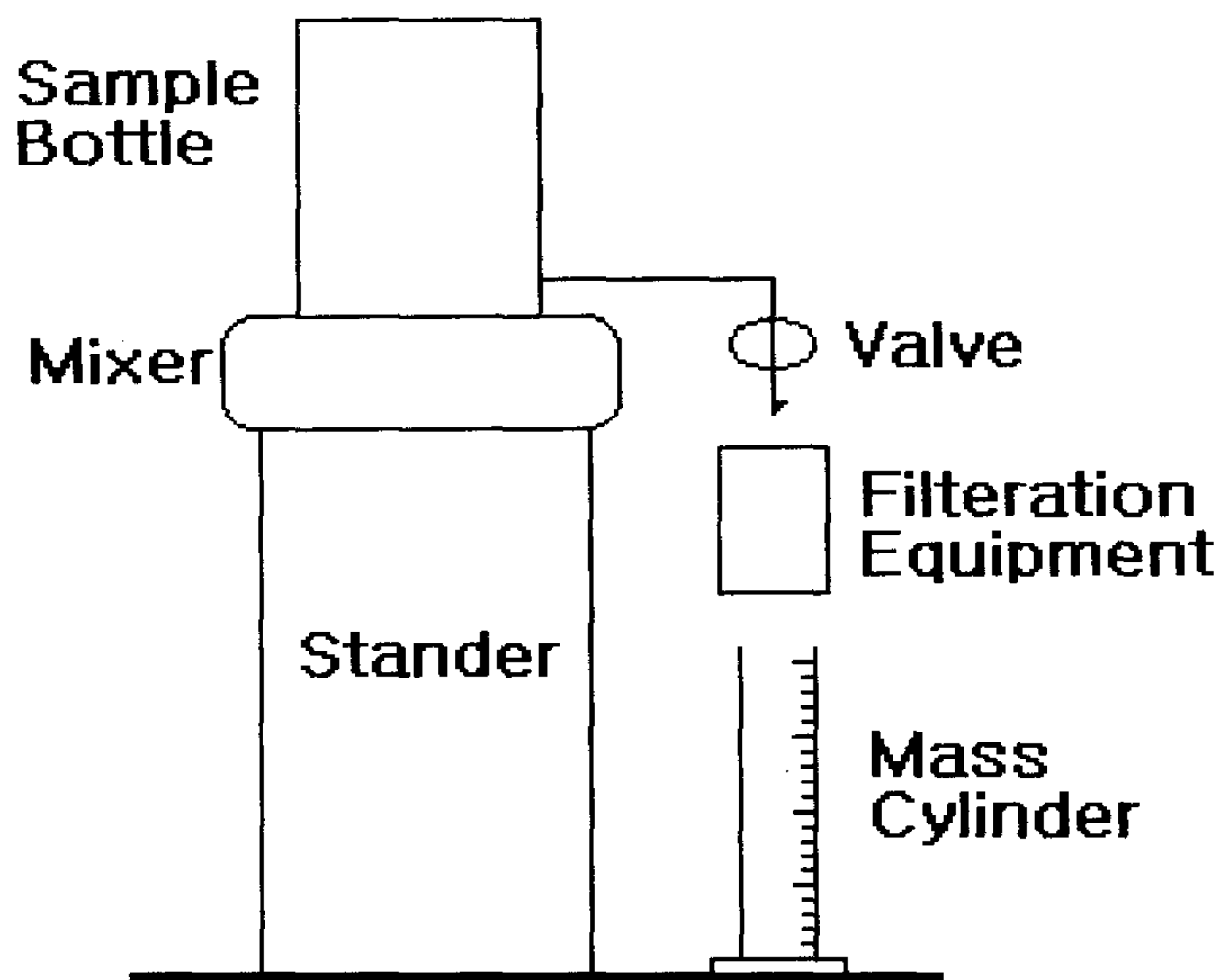
미세스크린을 이용한 드럼필터법은 소량의 세척수를 이용하여 연속적인 여재의 자동세척이 가능하므로 양어장 순환수처리 및 상·하수처리시 그 적용성이 큰 여과기술로 전망된다.

본 연구에서는 양어장 순환수내 고형물처리를 위하여 미세스크린 드럼필터를 적용하기 위한 미세스크린의 여과특성실험을 수행하였다. 양식수에 대한 미세스크린의 여과특성을 조사하기 위해 여러가지 종류의 양식수를 이용하였다. 여과특성 실험으로부터 미세스크린의 고형물 제거특성 및 여과특성을 고찰하였으며, 미세스크린 드럼필터를 순환여과식 양식시스템에 적용하기 위한 설계인자를 도출하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

미세스크린을 이용한 양어장 순환수내 입자상 고형물질 처리특성을 조사하기 위해 적용한 미세스크린은 플랑크톤넷으로 이용되는 공극 크기가 20, 30, 50, 70  $\mu\text{m}$ 인 Polyester 재질의 미세스크린을 이용하였다. 미세 스크린의 여과특성을 실험하기 위해 유효 여과면적이  $1\text{m}^2$ 이 되도록 설계한 실험용 여과장치를 제작하였다. 실험용 여과기의 모식도는 <그림 2-8-1>에 나타내었다.



<그림 2-8-1> 여과실험장치의 모식도

양식수의 SS농도에 따른 미세스크린의 여과특성을 조사하기 위해, 10L 용기에 금붕어를 키우면서 SS농도를 측정하여 20, 35, 100  $\text{mg/L}$ 일 때 여과실험에 이용하였다.

양식수는 한국의 주요 내수면 양식 어종인 틸라피아, 뱀장어 등의 양식수로 선정하였다. 틸라피아 양식수는 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant에서  $100\text{kg}/\text{m}^3$ 의 사육

밀도로 사육중인 순환수를 이용하였다. 뱀장어 양식수는 전라북도 정읍시에 위치한 T 수산과 J양어장의 순환수를 이용하였다. 틸라피아 양식장은 사육조, 침전조, 사여과조, 생물막 여과조로 구성된 순환여과식 시스템으로 양식중이었고, 일일 사육조용량의 10%에 해당하는 물을 고형물제거시 환수하였다. 뱀장어 양식은 정수식 양식에 가까운 운전형태를 보였다. 일정한 수처리 장치없이 하루 5%의 물을 교환해 주고 있었고, 어류 선별을 위해 60 - 70일 주기로 사육수조의 물을 전량 교체하는 방식으로 운전중이었다.

#### 나. 실험방법

미세 스크린에 의한 양식수의 여과실험은 2L시료통에 시료를 채운 다음 자석교반기를 이용하여 여과실험동안 균일한 농도의 시료가 이용될수 있도록 교반하였다. 시료통에 부착된 밸브를 통하여 시료를 여과실험기로 공급하였다. 여과실험기에 시료가 가득채워진 순간부터 일정한 수두를 계속 유지하면서 초시계와 용량플라스크를 이용하여 일정 단위시간당 미세스크린을 통과하는 여액의 부피를 측정하였다.

각 미세스크린별 수처리능력을 조사하기 위해 여과특성실험을 통해 얻어진 여액 및 원 시료에 대하여 SS농도를 측정하였다. SS분석은 진공여과기와 GF/C여재를 이용한 증량법에 따랐다. 틸라피아와 뱀장어 양식수의 수질을 조사하기 적용된 항목 및 분석 방법은 <표 2-8-1>에 나타내었다.

<표 2-8-1> 수질분석 항목 및 방법

Items	Methods	Instrument
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N	Ammonia Selective Electrode Method	Orion Model 720A
COD	Potassium Dichloride Method	
SS	Vacuum Filtration	
TP	Persulfate Digestion Method	
TN	UV Spectrophotometric Method	
Turbidity	Turbidity Meter	HACH Co. 2100N
E.Coli	M.P.N	
pH	pH Meter	Cheon Sei LP-101

### 3. 결과 및 고찰

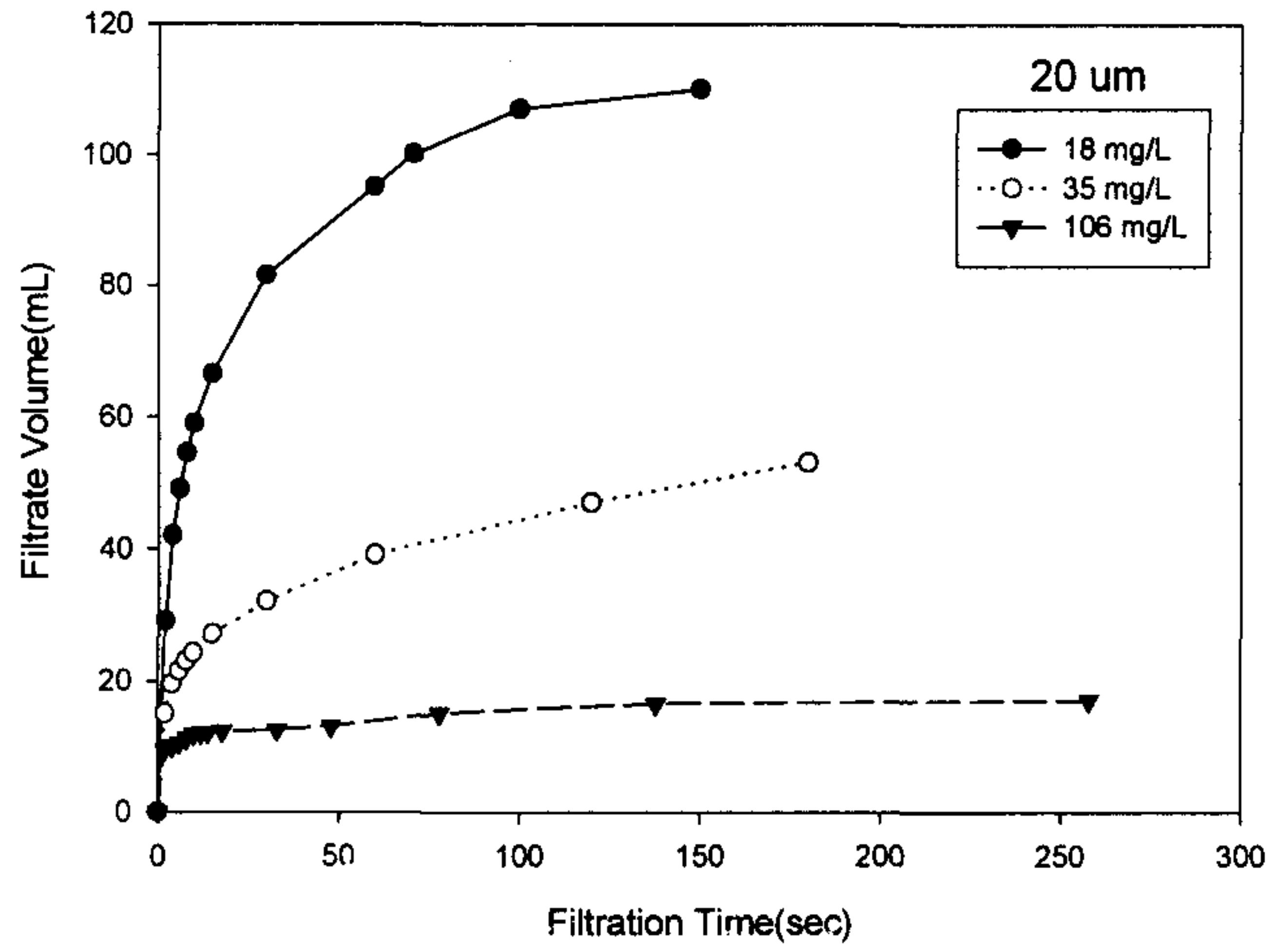
#### 가. SS농도 별 미세 스크린의 여과특성

미세스크린의 입경에 따른 여과특성을 조사하기 20, 30, 50, 70 $\mu$ m의 미세스크린을 이용하여 SS의 농도가 18, 36, 106 mg/L인 시료를 대상으로 여과실험을 수행하였다. <그림 2-8-2> ~ <그림 2-8-5>에 SS농도 18, 36, 106 mg/L인 시료에 대하여 여과시간에 따른 여과특성을 나타내었다. 각 미세스크린의 여과특성은 여과개시후 빠른 여재폐쇄현상이 발생하였고 처리수의 SS농도보다는 스크린의 공극크기가 여재폐쇄현상에 도달하는 시간에 영향을 주는 것으로 생각된다.

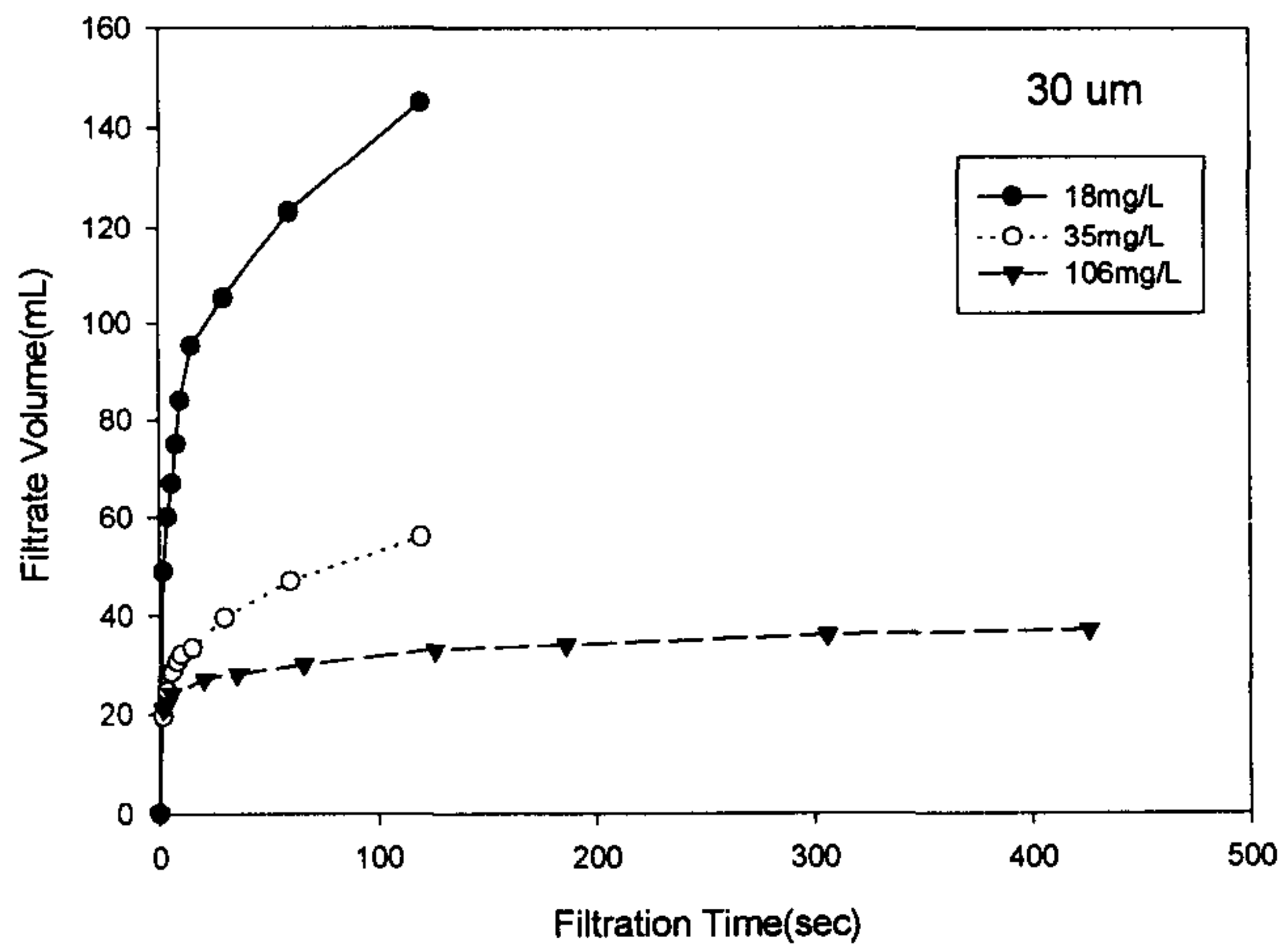
<표 2-8-2>에 각 스크린별 SS제거율과 여액의 농도를 나타내었다. 여과후 SS농도는 평균 3.7 - 25.9mg/L의 범위를 보였다. 이상의 여과실험에서 여재폐쇄현상은 여재의 공극크기가 주된요인이며, 여액의 부피는 SS농도에 영향을 크게 받는 것을 알 수 있었다. 여액의 SS농도는 원액의 농도에 영향을 받으나 양호한 수질을 보여 양식수처리에 적합한 것을 알 수 있었다.

<표 2-8-2> SS농도별 미세스크린의 SS제거율 및 유출수 농도

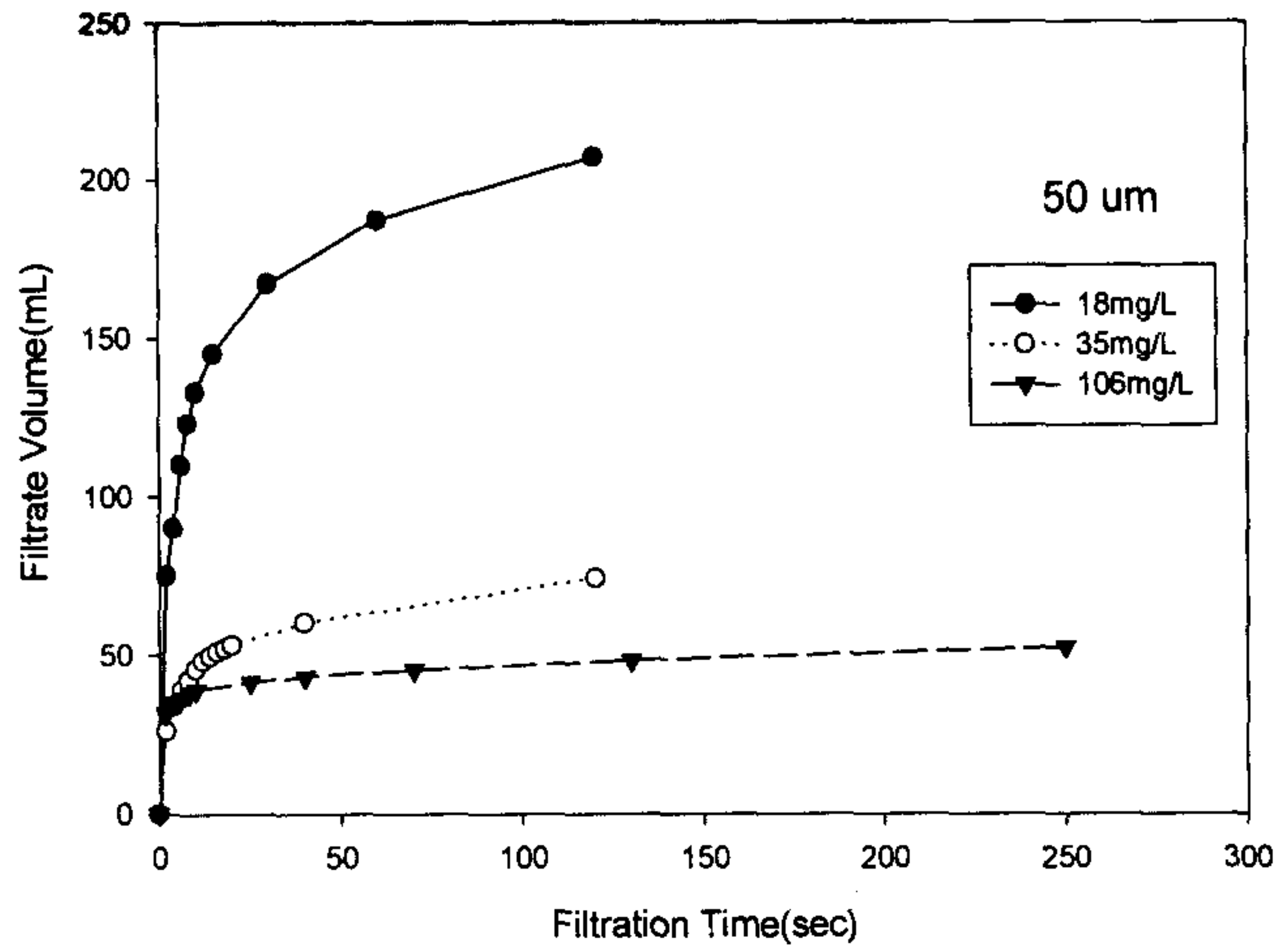
Sample	SS (mg/L)	Removal Rate(%)	SS (mg/L)	Removal Rate(%)	SS (mg/L)	Removal Rate(%)
Raw	18.0	-	34.7	-	106.0	-
20 $\mu$ m	2.4	86.7	9.5	72.6	22.0	79.2
30 $\mu$ m	2.8	84.5	12.5	64.0	22.7	78.6
50 $\mu$ m	3.6	80.0	13.0	62.5	29.0	72.6
70 $\mu$ m	6.0	66.7	22.0	36.6	30.0	71.7
Average	3.7	79.5	14.25	58.9	25.9	75.5



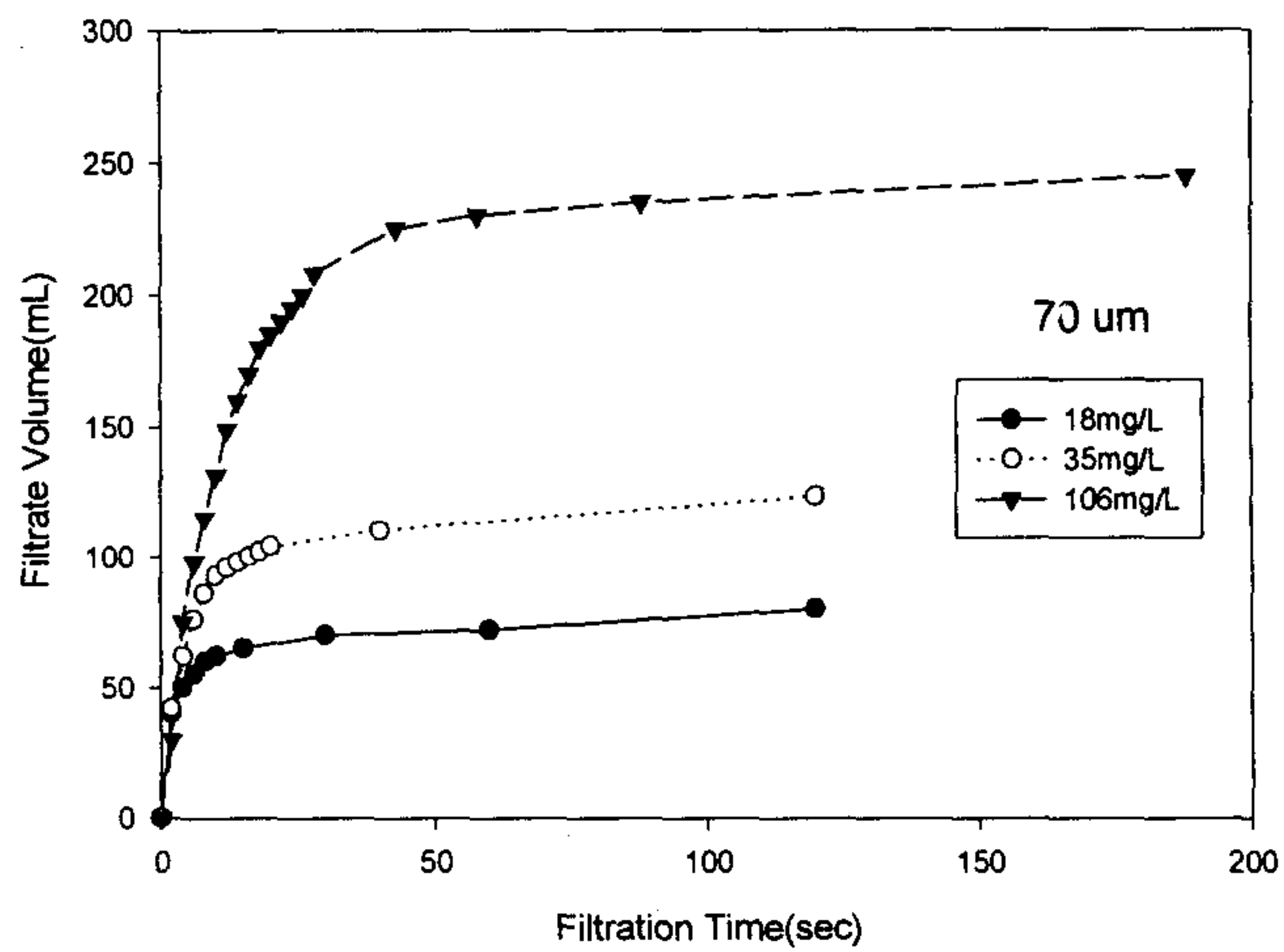
<그림 2-8-2> 20 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성.



<그림 2-8-3> 30 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성



<그림 2-8-4> 50 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성



<그림 2-8-5> 70 $\mu$ m 미세스크린의 SS농도별 여과특성

## 나. 현장 양식수의 여과특성

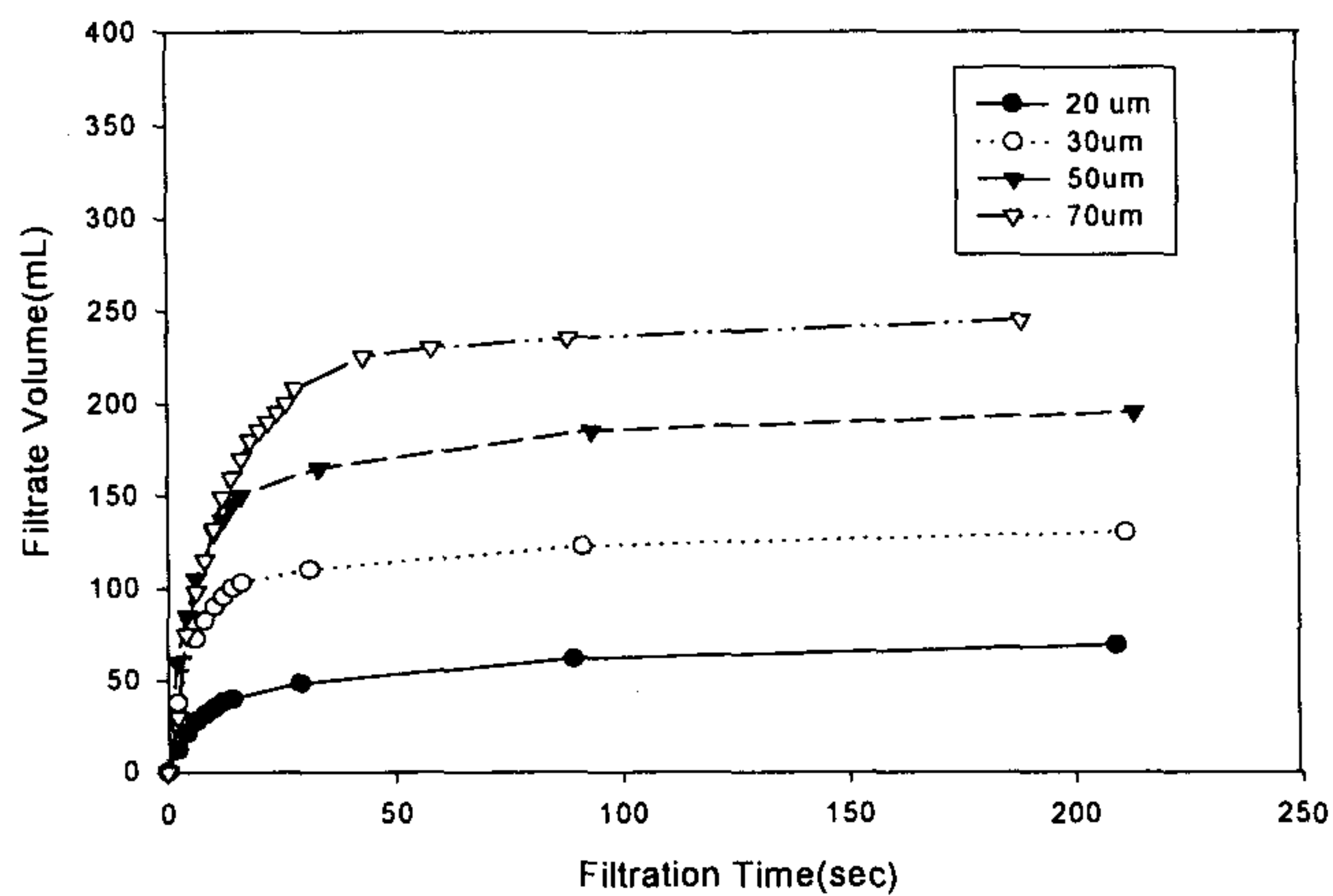
현장 양식수의 여과특성을 고찰하기 위해 한국의 주요 내수면 양식 어종인 틸라피아, 뱀장어 등의 양식수를 채수하여 여과실험을 수행하였다. 이들 양식수의 수질 특성은 <표 2-8-3>와 같다. 수질인자별 농도가 상이한 것은 어종에 따른 사육방식의 차이 때문으로 생각되며, 순환여과식의 사육수 수질이 뱀장어 양식수에 비해 양호한 것을 알 수 있고, 수처리 시스템이 없는 경우 양식수의 수질이 환수에 의해 조절되지 않는 것을 알 수 있다.

<표 2-8-3> 각 양식장의 수질특성

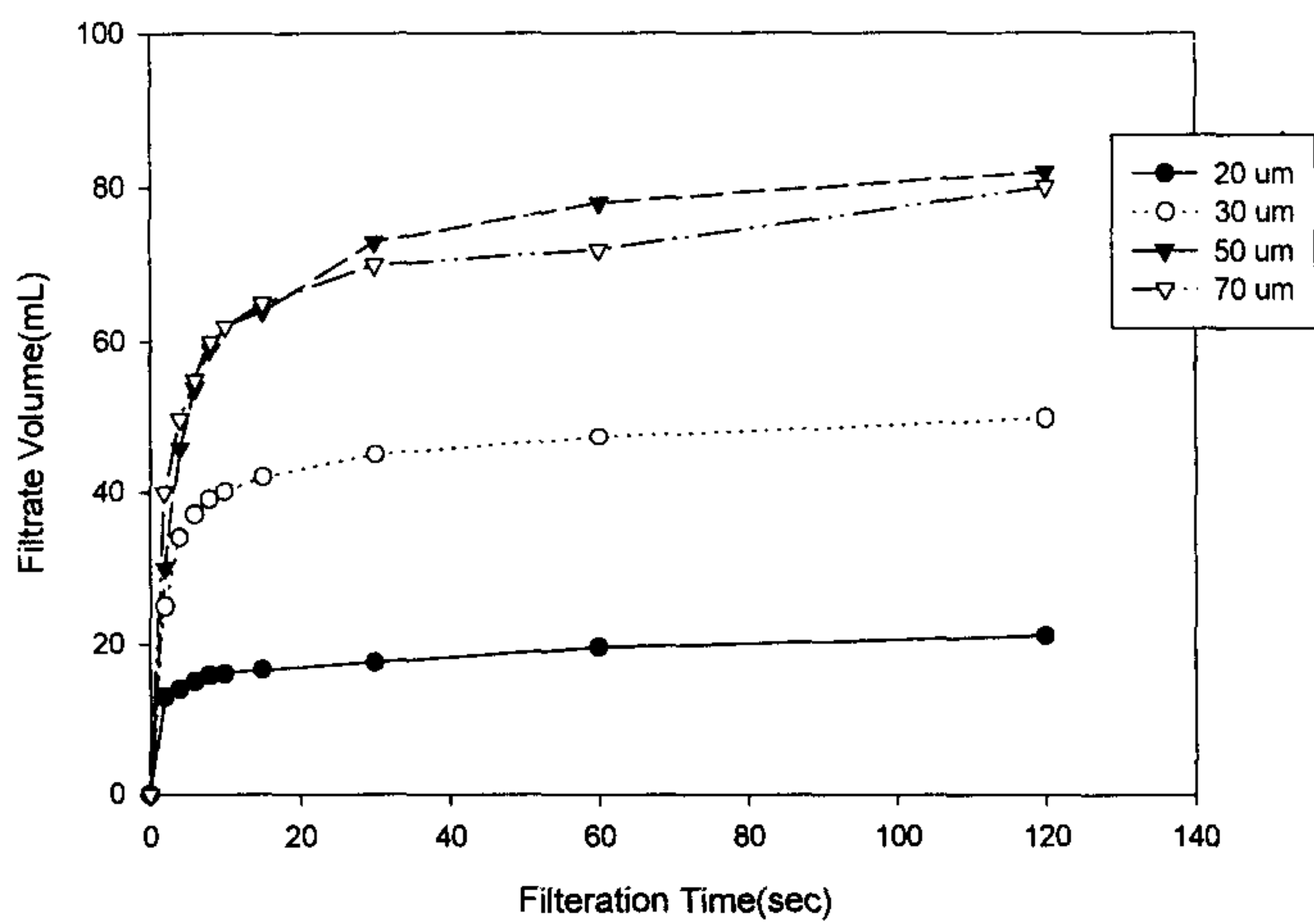
Item	Tilapia	Eel	
		T	J
COD(mg/L)	15.0	82.0	39.1
SS(mg/L)	23.0	45.0	62.0
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	0.2	45.0	23.4
pH	8.2	4.8	7.5
Turbidity(NTU)	1.3	24	32
TN(mg/L)	-	164.6	74.6
TP(mg/L)	-	11.3	4.0

<그림 2-8-6>에 틸라피아 양식수의 각 스크린별 여과특성을 나타내었다. SS농도별 스크린의 여과특성을 고찰한 것과 유사한 경향을 보이고 있다. 양식수의 SS농도가 23.0 mg/L로 낮아 저농도 영역의 여과특성을 잘 나타내고 있다.

<그림 2-8-7>에는 SS농도가 45.0 mg/L인 T수산의 뱀장어 양식수의 여과특성을 나타내었다. 70 $\mu$ m 스크린은 시료의 농도가 높음에도 저농도 시료의 여과특성을 보이고 있다. <그림 2-8-9>에서는 SS농도가 62.0 mg/L인 J양식장의 양식수에 대한 여과특성을 보이고 있다. 70 $\mu$ m 스크린의 경우 SS 106mg/L인 시료와 비교해 빠른 여과폐쇄 현상이 관찰되었다.

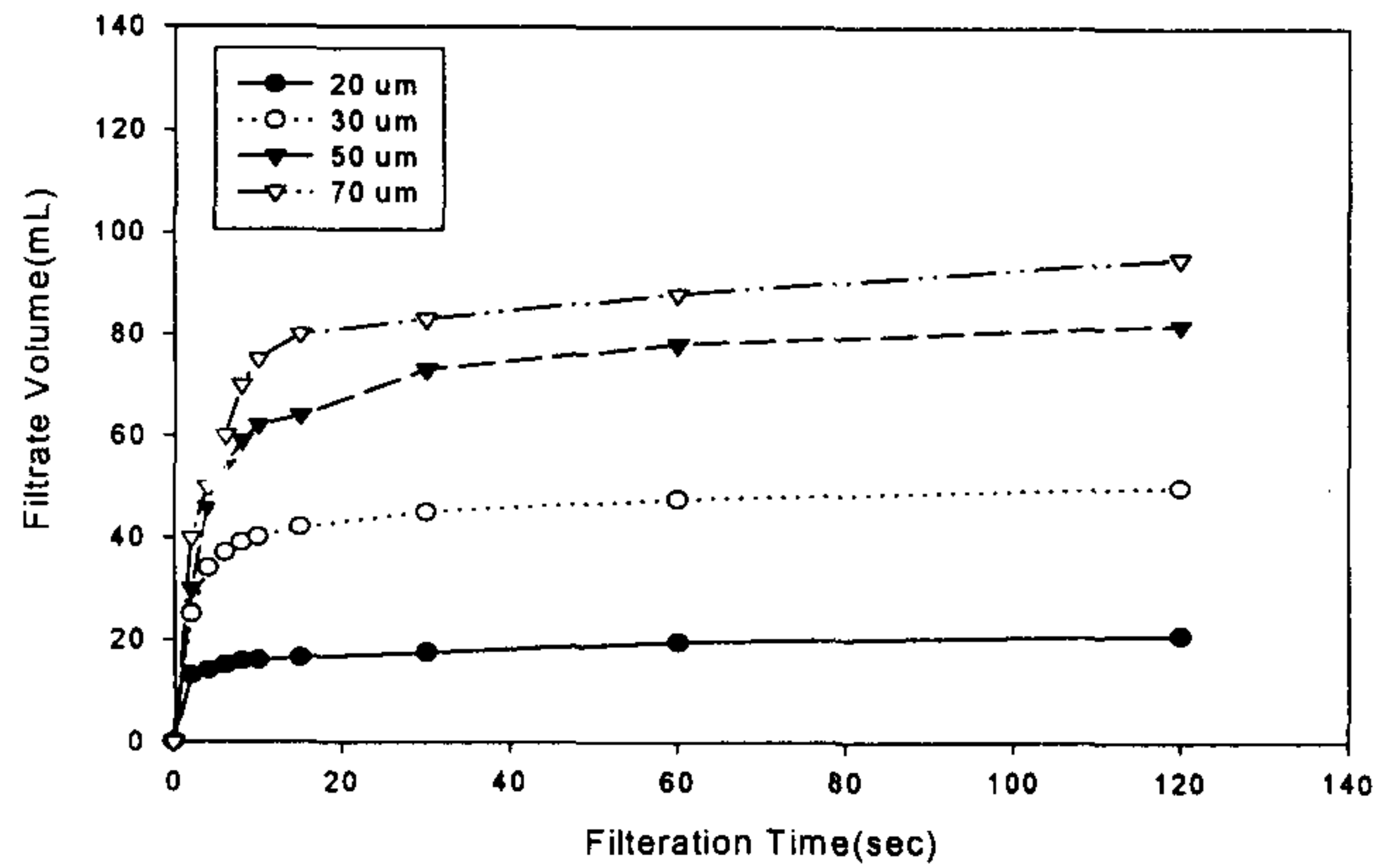


<그림 2-8-6> 틸라피아 양식수의 여과특성



<그림 2-8-7> 뱀장어 양식수의 여과특성(T-양식장)





<그림 2-8-8> 뱀장어 양식수의 여과특성(J-양식장)

#### 다. SS농도별 Flux의 변화

미세스크린을 이용한 SS별 농도와 현장 양식수의 시료의 여과특성을 고찰하기 위해 여과시간에 따른 Flux를 계산하였다. 시료의 SS농도가 18 mg/L일 때 여과시간에 따른 각 스크린별 Flux를 Table 4.3과 Fig. 4.8에 나타내었다. 여과시간에 따른 각 Flux의 경향이 선형관계를 가지므로 독립변수를 여과시간으로 하고 종속변수를 Flux로 설정하여 선형관계를 나타내면 (1) - (4)식과 같다.

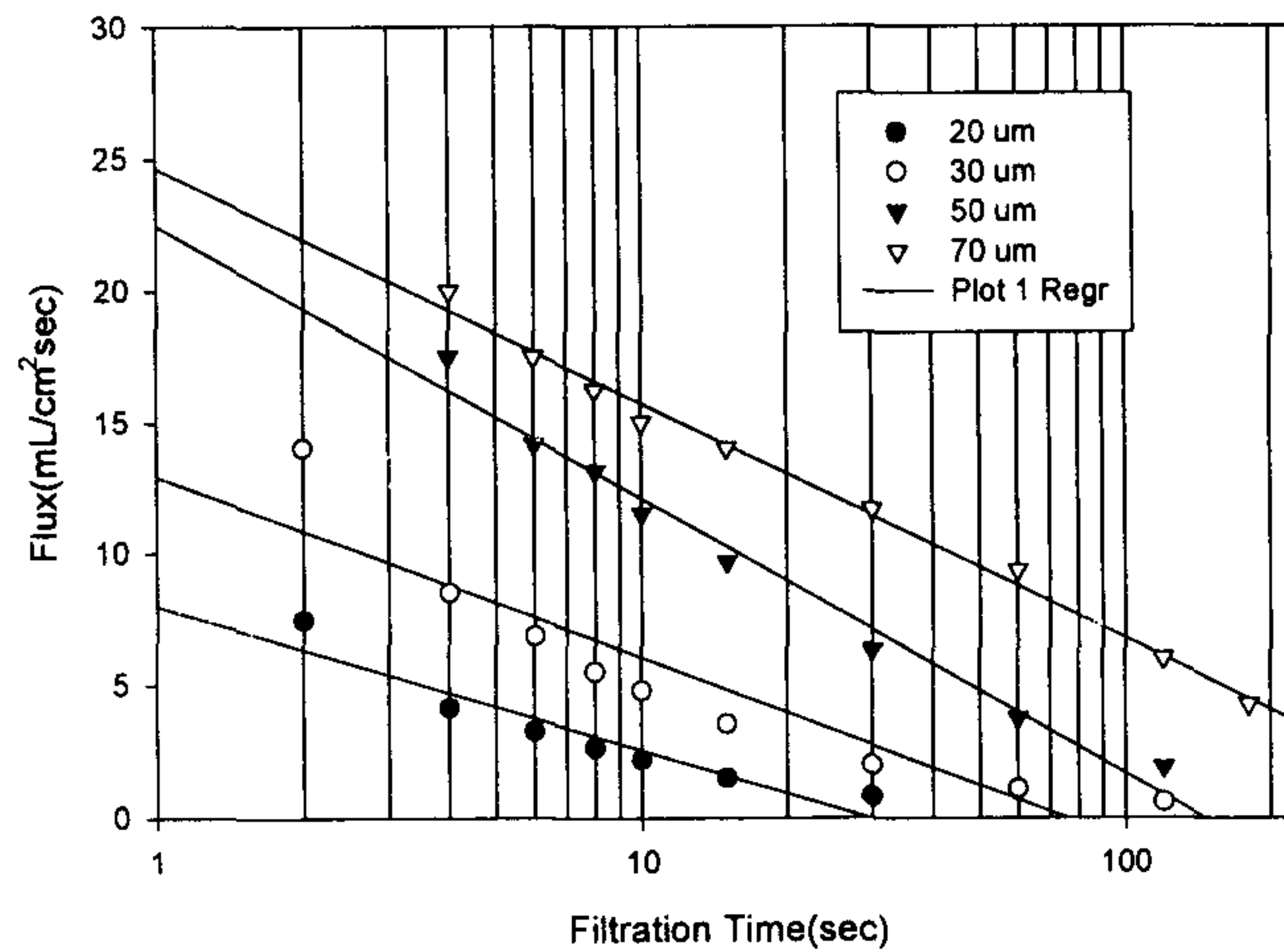
$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -7.43 \log T(\text{sec}) + 9.25 ; r=0.95 \quad (1)$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.90 \log T(\text{sec}) + 15.27 ; r=0.93 \quad (2)$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -10.39 \log T(\text{sec}) + 22.46 ; r=0.98 \quad (3)$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.65 \log T(\text{sec}) + 25.87 ; r=0.95 \quad (4)$$

원수의 SS농도가 18mg/L일 경우 각 미세스크린의 초기 Flux는 각각 9.25, 15.27, 22.46, 25.87 (mL/cm<sup>2</sup>sec)로 나타나 스크린 크기에 따라 초기 Flux가 증가한 것을 알 수 있다. Flux의 감소율은 각 미세스크린별로 7.34, 9.90, 10.39, 9.96으로 나타나 30 $\mu$ m이상은 별차이가 없는 것으로 나타났다.



<그림 2-8-9> SS=18mg/L 일 때 의 시간에 따른 Flux변화

SS농도가 32 mg/L일 때 여과시간에 따른 각 스크린별 Flux를 <그림 2-9-10>에 나타내었다. 여과시간을 Log좌표로 하여 Flux와의 관계를 선형식으로 나타내면 (5) - (8) 식과 같다.

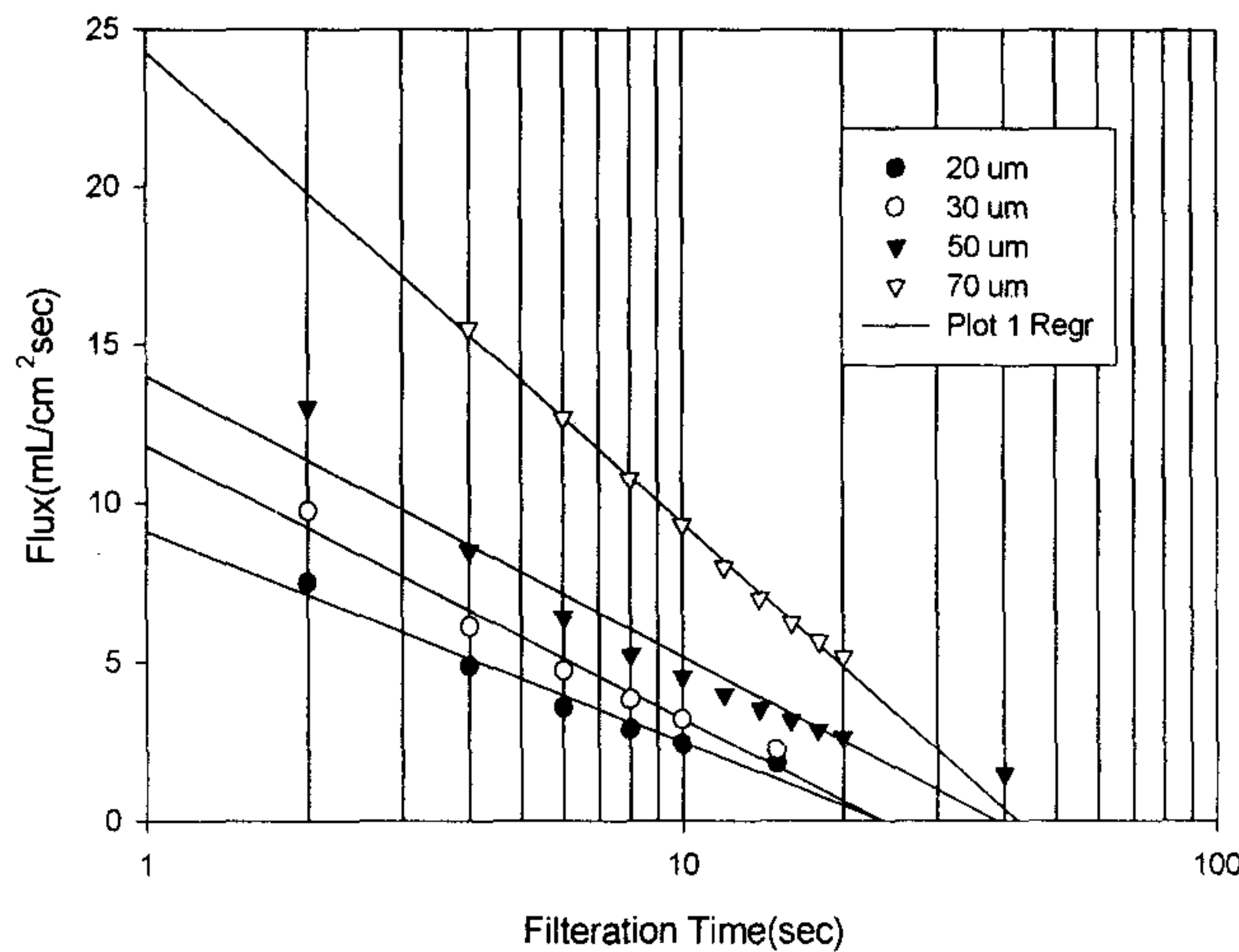
$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -6.61 \log T(\text{sec}) + 9.09 ; r=0.97 \quad (5)$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -8.56 \log T(\text{sec}) + 11.77 ; r=0.97 \quad (6)$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -8.80 \log T(\text{sec}) + 13.98 ; r=0.93 \quad (7)$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -14.93 \log T(\text{sec}) + 24.30 ; r=0.99 \quad (8)$$

원수의 SS농도가 32mg/L일 경우 각 미세스크린의 초기 Flux는 각각 9.09, 11.77, 13.98, 24.30 (mL/cm<sup>2</sup>sec)로 나타나 스크린 크기에 따라 초기 Flux가 증가한 것을 알 수 있다. Flux의 감소율은 각 미세스크린별로 6.61, 8.56, 8.80, 14.93 으로 나타나 30 $\mu$ m이상은 별차이가 없는 것으로 나타났다.



<그림 2-8-10> SS=32mg/L일 때 여과시간에 따른 Flux변화

SS농도가 106 mg/L일 때 여과시간에 따른 각 스크린별 Flux를 <그림 2-8-11>에 나타내었다. 여과시간을 Log좌표로 하여 Flux와의 관계를 선형식으로 나타내면 (9) - (12)식과 같다.

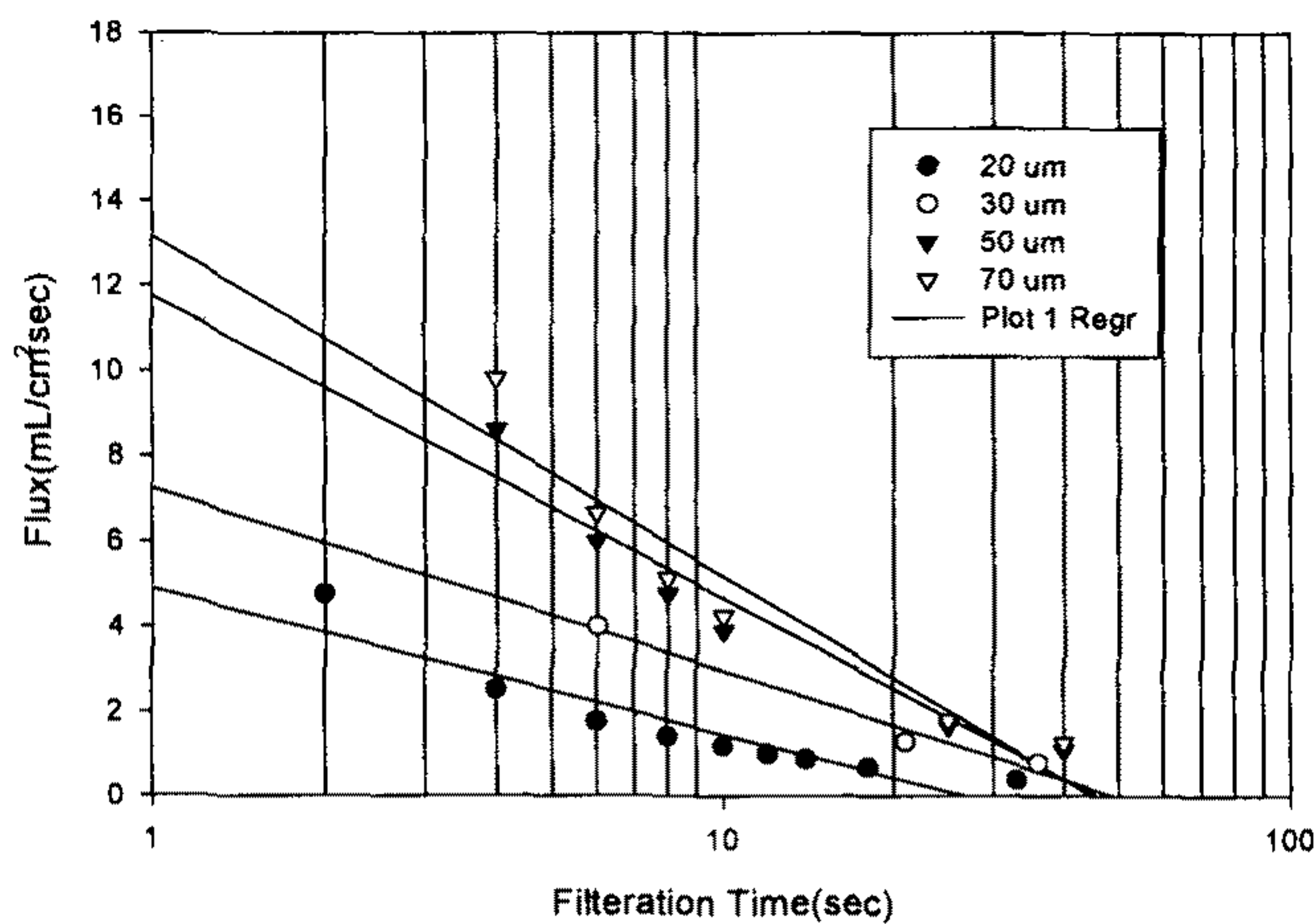
$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -3.43 \log T(\text{sec}) + 4.88 ; r=0.87 \quad (9)$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -4.93 \log T(\text{sec}) + 8.14 ; r=0.97 \quad (10)$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -7.18 \log T(\text{sec}) + 11.88 ; r=0.92 \quad (11)$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -7.79 \log T(\text{sec}) + 12.92 ; r=0.92 \quad (12)$$

원수의 SS농도가 106 mg/L일 경우 각 미세스크린의 초기 Flux는 각각 4.88, 8.14, 11.88, 12.92 (mL/cm<sup>2</sup>sec)로 나타나 스크린 크기에 따라 초기 Flux가 증가한 것을 알 수 있다. Flux의 감소율은 각 미세스크린별로 3.43, 4.93, 7.18, 7.79로 나타나 20, 30 $\mu$ m의 미세스크린의 Flux 감소율은 유사하고 50, 70 $\mu$ m는 약간 높은값을 보였다.



<그림 2-8-11> SS=106mg/L일 때 여과시간에 따른 Flux변화

SS농도가 23 mg/L인 톨라피아 양식수를 시료로 하여 여과시간에 따른 각 스크린별 Flux를 <그림 2-8-12>에 나타내었다. 여과시간을 Log좌표로 하여 Flux와의 관계를 선형식으로 나타내면 (13) - (16)식과 같다.

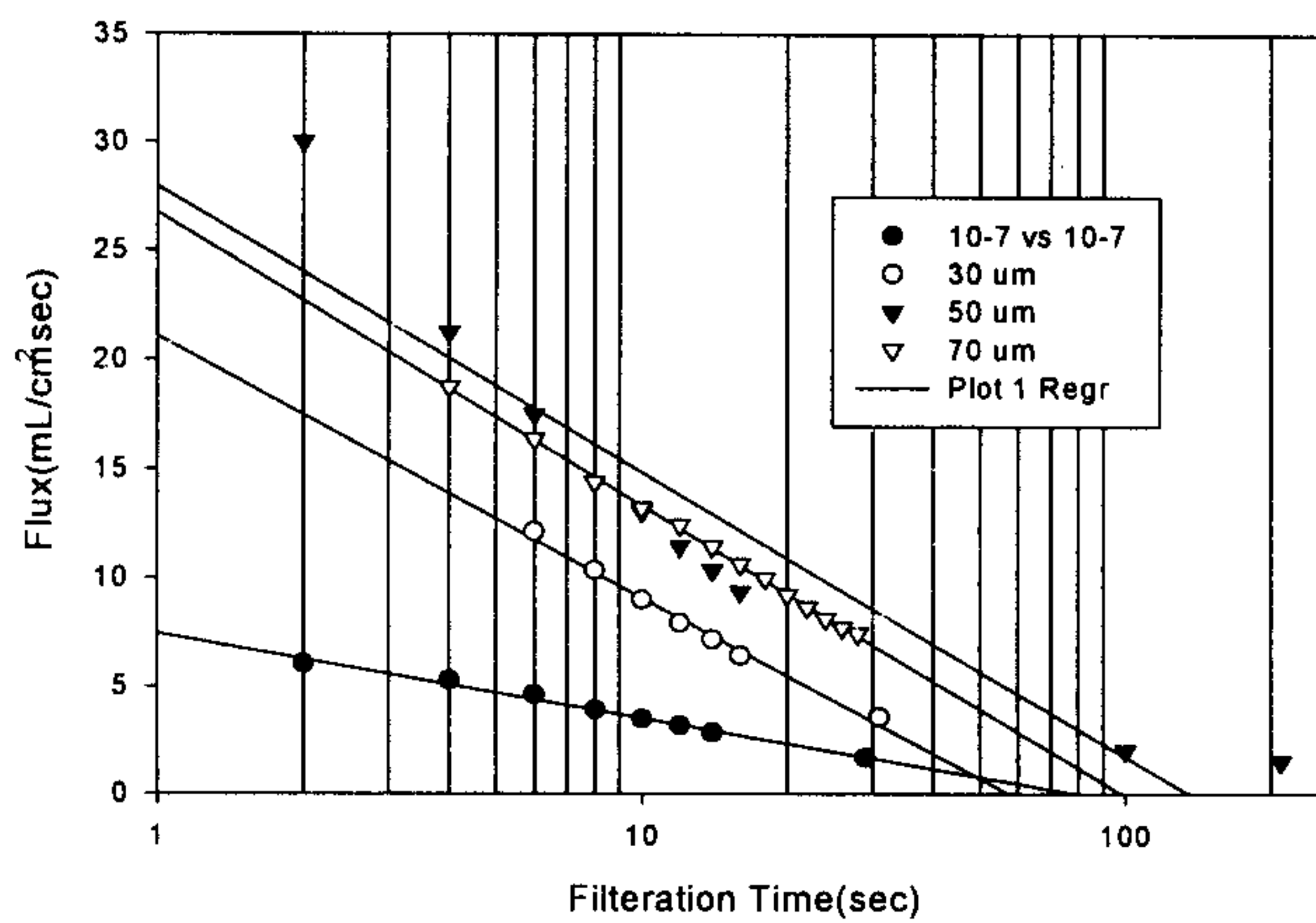
$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -3.45 \log T(\text{sec}) + 7.04 ; r=0.98 \quad (13)$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -12.00 \log T(\text{sec}) + 21.09 ; r=0.99 \quad (14)$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -13.69 \log T(\text{sec}) + 28.25 ; r=0.89 \quad (15)$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -12.94 \log T(\text{sec}) + 26.24 ; r=0.99 \quad (16)$$

원수의 SS농도가 23mg/L일 경우 각 미세스크린의 초기 Flux는 각각 7.04, 21.09, 28.25, 26.24 (mL/cm<sup>2</sup>sec)로 나타나 스크린 크기에 따라 초기 Flux가 증가한 것을 알 수 있다. Flux의 감소율은 각 미세스크린별로 3.45, 12.00, 13.69, 12.94로 나타나 30 $\mu$ m 이상은 별차이가 없는 것으로 나타났다.



<그림 2-8-12> 티라피아 양식수의 여과시간에 따른 Flux변화

SS농도가 45 mg/L인 T뱀장어 양식수를 시료로 하여 여과시간에 따른 각 스크린별 Flux를 <그림 2-8-13>에 나타내었다. 여과시간을 Log좌표로 하여 Flux와의 관계를 선형식으로 나타내면 (17) - (20)식과 같다.

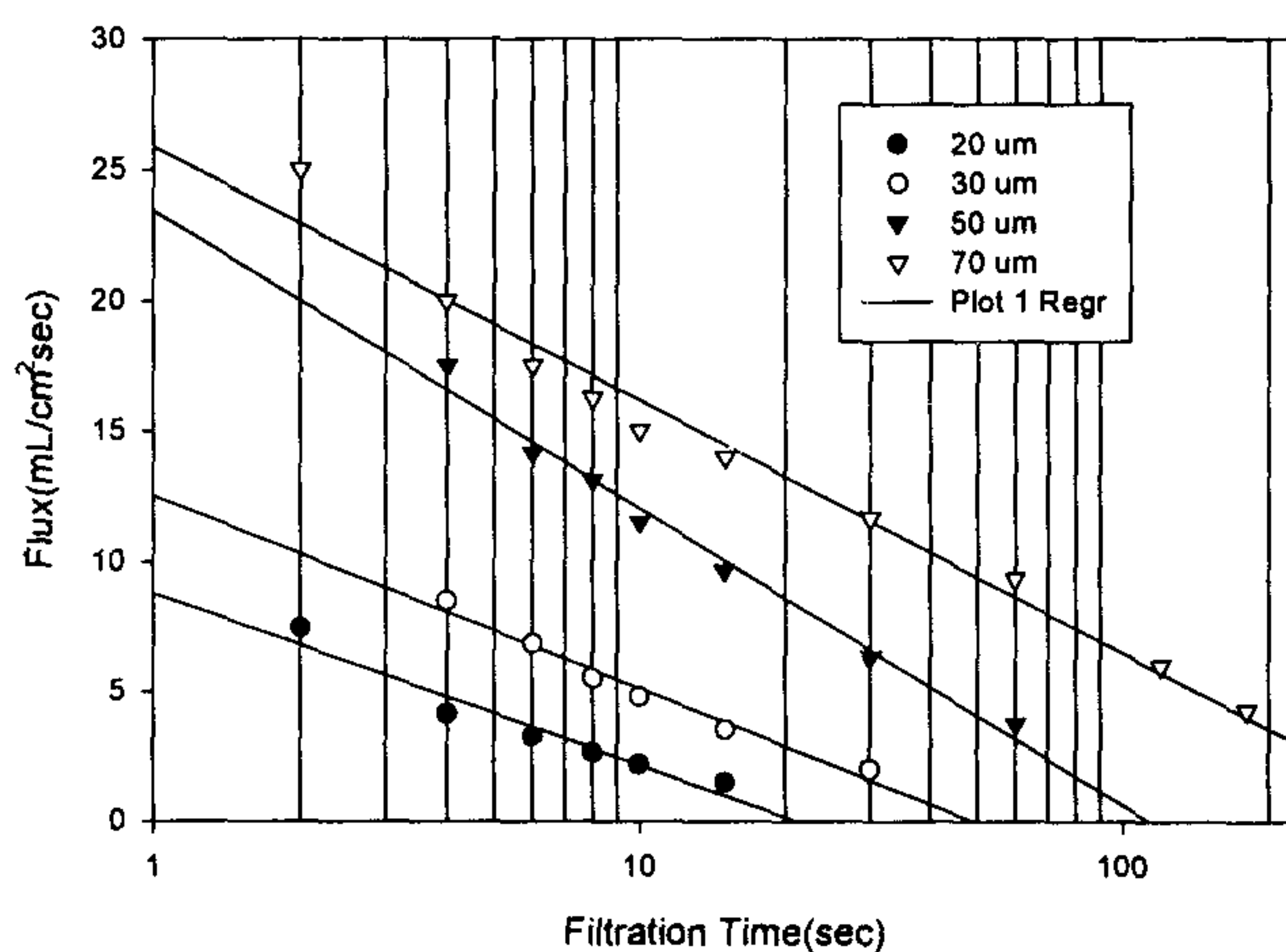
$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -6.65 \log T(\text{sec}) + 8.80 ; r=0.94 \quad (17)$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -8.74 \log T(\text{sec}) + 13.63 ; r=0.99 \quad (18)$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -11.41 \log T(\text{sec}) + 23.43 ; r=0.98 \quad (19)$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.69 \log T(\text{sec}) + 25.87 ; r=0.98 \quad (20)$$

원수의 SS농도가 45 mg/L인 T뱀장어 양식수의 각 미세스크린별 초기 Flux는 각각 8.80, 13.63, 17.86, 20.05 (mL/cm<sup>2</sup>sec)로 나타나 스크린 크기에 따라 초기 Flux가 증가한 것을 알 수 있다. Flux의 감소율은 각 미세스크린별로 6.12, 49.48, 11.10, 12.12로 나타나 큰 차이는 없지만 단계적으로 증가하는 것을 알 수 있었다.



<그림 2-8-13> T뱀장어 양식장의 Flux변화

SS농도가 45 mg/L인 T뱀장어 양식수를 시료로 하여 여과시간에 따른 각 스크린별 Flux를 <그림 2-8-13>에 나타내었다. 여과시간을 Log좌표로 하여 Flux와의 관계를 선형식으로 나타내면 (21) - (24)식과 같다.

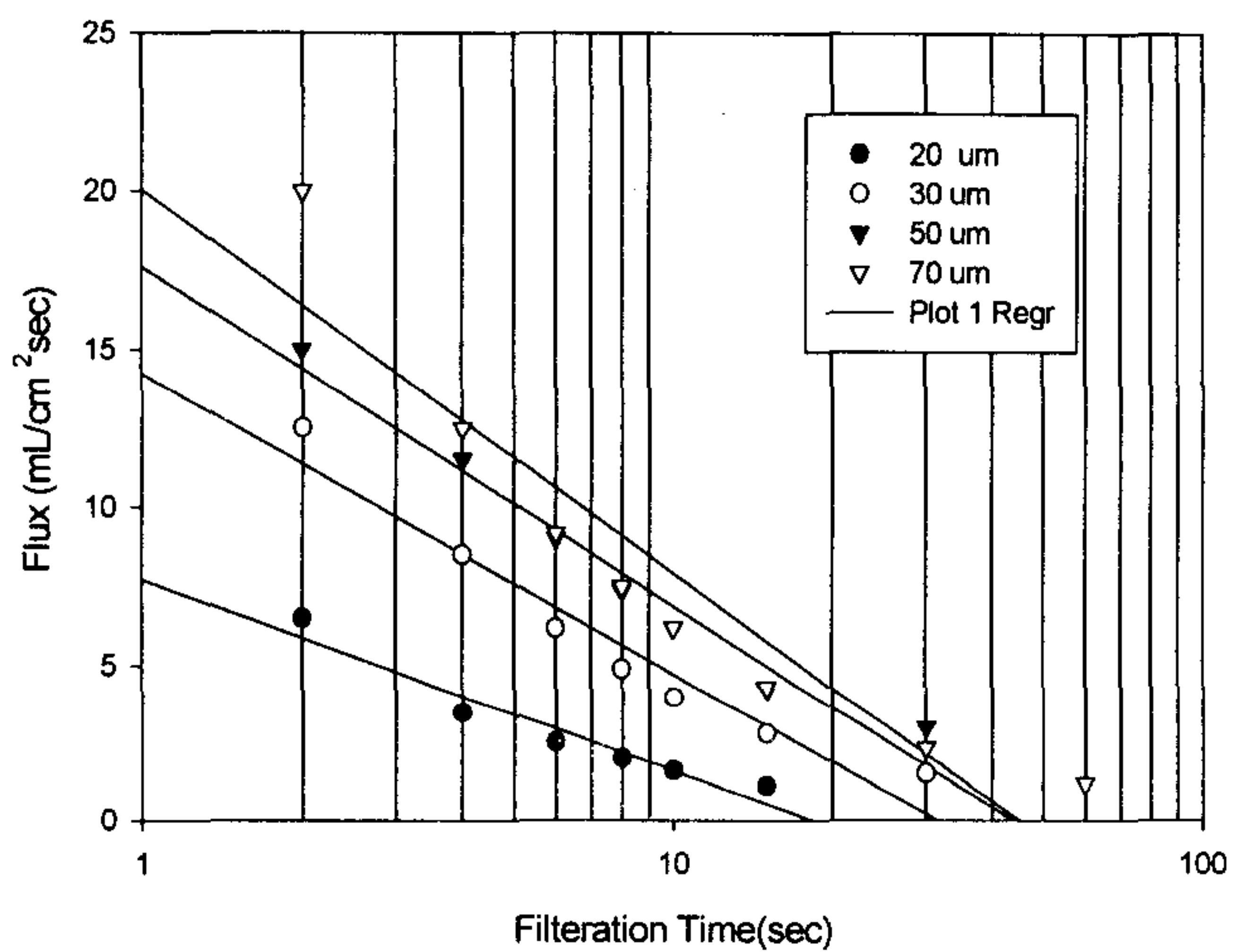
$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -6.12 \log T(\text{sec}) + 7.72 ; r=0.93 \quad (21)$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.48 \log T(\text{sec}) + 14.21 ; r=0.95 \quad (22)$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -11.10 \log T(\text{sec}) + 17.86 ; r=0.98 \quad (23)$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -12.12 \log T(\text{sec}) + 20.05 ; r=0.88 \quad (24)$$

원수의 SS농도가 62 mg/L인 J뱀장어 양식수의 각 미세스크린별 초기 Flux는 각각 7.72, 14.21, 17.86, 20.05 (mL/cm<sup>2</sup>sec)로 나타나 스크린 크기에 따라 초기 Flux가 증가한 것을 알 수 있다. Flux의 감소율은 각 미세스크린별로 6.12, 49.48, 11.10, 12.12로 나타나 큰 차이는 없지만 단계적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 초기 Flux의 50%에 도달하는 시간은 각 스크린별로 9.13, 15.77, 20.32, 22.56(sec)로 계산되었다.



<그림 2-8-14> J뱀장어 양식수의 Flux변화

#### 4. 결 론

이상과 같은 SS농도별 시료와 현장 양식수를 대상으로 여과실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ▶ SS농도별 여과실험을 수행한 결과 여액의 SS농도는 평균 3.7 - 25.9 mg/L로 나타나 양호한 수질을 보였다.
- ▶ 여과실험결과를 반대수그래프에 적용한 결과 여과시간에 대한 Flux의 함수로 나타낼 수 있었다. SS농도가 20mg/L일 때 각 스크린별 여과특성식은 다음과 같이 구해졌다.

$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -7.43 \log T(\text{sec}) + 9.25 ; r=0.95$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.90 \log T(\text{sec}) + 15.27 ; r=0.93$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -10.39 \log T(\text{sec}) + 22.46 ; r=0.98$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.65 \log T(\text{sec}) + 25.87 ; r=0.95$$



## 제9절 양식수의 오존처리

### 1. 개요

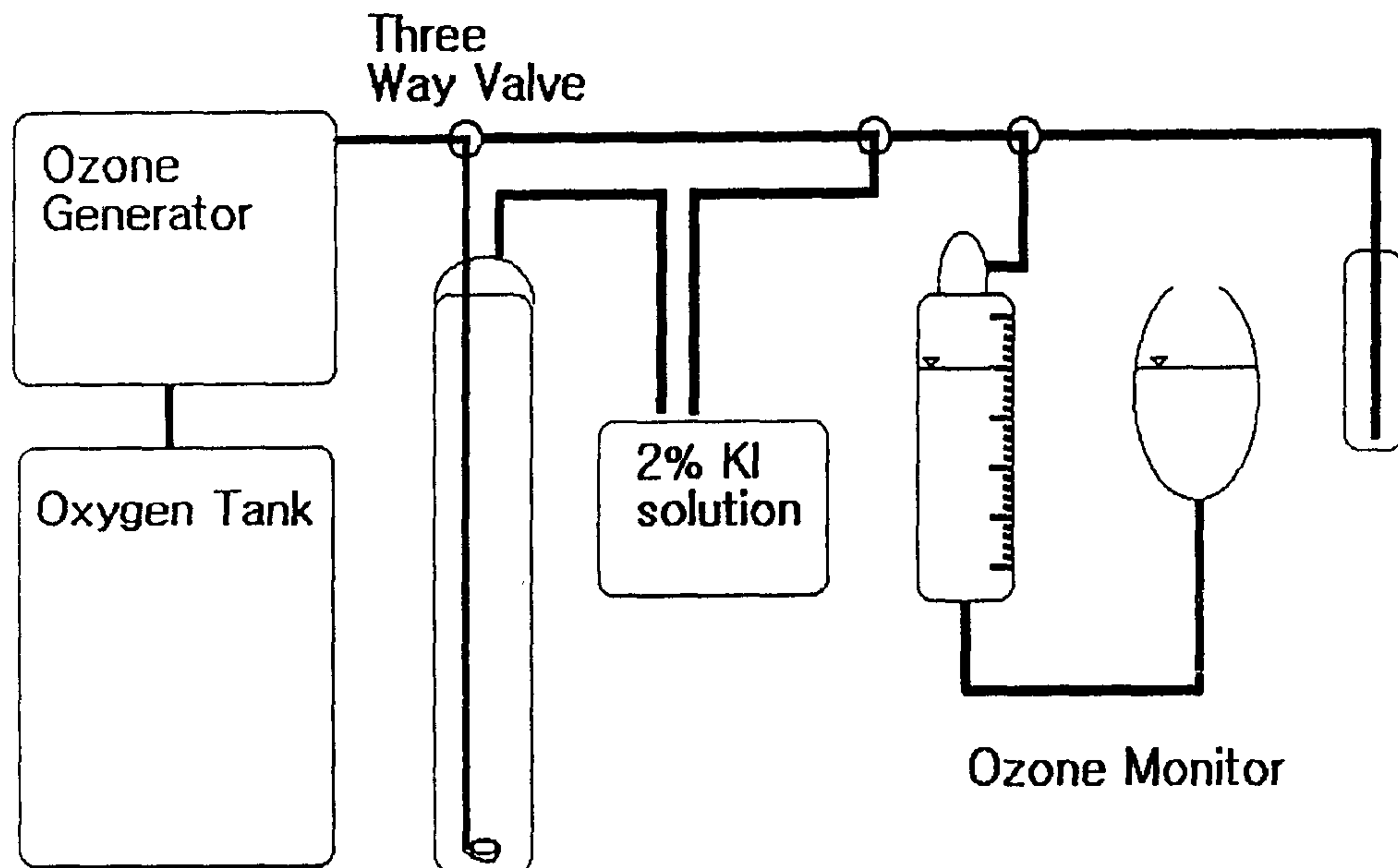
오존은 매우 강력한 산화력이 있으며 여러분야에 이용되고 있으나 가장 흔히 이용되는 것은 수처리 분야이다. 오존이 물분야에 이용한 것은 유럽에서는 100여년의 역사를 갖고 있으며 물 분야에서 이용되는 용도는 첫째, 수중의 유기물질 산화분해 둘째, 탈색 및 탈취 셋째, 소독 등이 있다. 양어장의 오존처리시스템으로는 사육하는 수조의 수질 정화를 목적으로 수족관에 적용이 되기 시작한 이래, 대형어류나 포유류를 전시하는 대형 수조에서 물의 투명도는 전시 효과면에서 매우 중요하며 오존처리로서 투명도가 현저하게 향상되었다. 동시에 오존의 소독효과 및 수처리 효과에 대한 인식이 개선되었으며 오존을 적극적으로 활용한 처리시스템이 설계되었다.

양식산업에서는 물고기 알을 부화시켜 어린 치어를 육성하는 종묘생산 분야에서 물고기 질병의 발생으로 생산이 감소하는 사례가 많아 안정된 종묘생산에 대한 강력한 요구가 있어 왔다. 또한 물고기 성장에 따라 암모니아와 오염된 유기물질 등의 배설량이 증대하므로 수질정화에 대한 많은 개대를 하고 있다. 따라서 본 논문에 있어서는 부경대학교의 양어장 순환수를 오존으로 처리할 시 여러 수질인자의 오존접촉시간에 따른 수질변화를 파악하고 오존에 의한 양식수의 살균 효과를 조사하기 위해 오존 접촉시간에 따른 대장균수를 측정하였고, 유기물의 산화특성을 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험장치

양어장 순환수의 오존처리특성을 조사하기 위한 실험장치는 <그림 2-9-1>과 같다. 오존발생기는 순산소를 오존발생 원료가스로 사용하였으며, K사의 제품을 이용하였다. 오존발생기는 코로나 방전을 이용한 수냉식 발생기이며 최대 2g O<sub>3</sub>/hr의 발생량을 가졌다. 오존반응관의 용량은 약 1L이며, 오존주입관을 반응관 내부에 삽입하여 오존반응을 수행 하였다. 오존주입관의 끝부분은 다공성의 Glass Filter를 부착하여 오존주입을 통해 기-액 접촉이 양호할 수 있도록 하였다.



<그림 2-9-1>오존실험 장치의 모식도

## 나. 시료특성

본 실험에 사용한 시료는 킬라피아 양식수와 뱀장어 양식수를 사용하였으며 그 수질특성은 <표 2-9-1>과 같다. 킬라피아 양식수는 부경대학교내 순환여과식 Pilot Plant의 순환수를 이용하였으며 뱀장어 양식수는 전라북도 정읍시에 위치한 T수산의 순환수를 이용하였다. 어종에 따라 각기 다른 양식 시스템으로 운전중이었는데 킬라피아 양식장은 사육조, 침전조, 사여과조, 생물막 여과조로 구성된 순환여과식 시스템으로 어류를 양식중이었고, 일일 사육조용량의 10%에 해당하는 물을 고품물제거시환수하였다. 뱀장어양식은 정수식 양식에 가까운 운전형태를 보였으며 일정한 수처리 장치 없이 하루 5%의 물을 교환해 주며 운전 하고있었다.

## 다. 실험방법

양어장 순환수의 오존처리특성을 고찰하기 위해 킬라피아와 뱀장어 양식수에 대하여 회분식 오존산화 실험을 수행하였다. 오존산화실험은 미리 채수한 각각의 양식수를 800mL를 오존반응관에 넣고 4.5mg O<sub>3</sub>/min의 조건으로 오존을 주입하였다. 반응시간은 1, 3, 5, 10, 20분으로 설정하고 매 반응시간이 종료하면 오존반응을 종료시킨 뒤, 0.1N 티오황산나트륨 (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 2mL을 오존처리된 시료에 주입하고 시료를 분석하였다. COD분석시는 오존처리후 바로 분석을 수행하였다.

오존산화반응으로 인한 양식수내 유기물의 변동을 고찰하기 위해 COD, UV-254등의 항목에 대하여 분석을 수행하였다. 양식수내 존재하는 미생물의 살균특성을 고찰하기 위해 대장균과 탁도에 대한 분석을 수행하였다. pH, 알칼리도와 같은 기타 수질인자별 측정법은 <표 2-9-2>에 나타내었다.

<표 2-9-1> 양식수의 수질특성

구분	pH	Total Alkalinity (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Turbidity (NTU)	UV <sub>254</sub>	COD (mg/L)	E. coli number
틸라피아양식수	8.2	270.50	0.06	1.49	0.18	38.30	16000
뱀장어양식수	4.8	-	44.84	19.10	0.29	76.60	900

라 분석방법

모든 수질분석은 Standard Methods(APHA 등, 1989)에 의하여 수행하였으며 Standard Methods의 여러 방법중 COD는 Close Reflux Method로, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N는 Ammonia-Selective Electrode Method로 수행하였다.

<표 2-9-2>분석 방법 및 기기

Parameter	Unit	Experimental method
pH	-	pH meter(Corning, Type 245)
Alkalinity	mg/L	Potentiometric Titration Method(mg as CaCO <sub>3</sub> /L)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg/L	Ammonia-Selective Electrode Method
Turbidity	NTU	2100P Turbidimeter
COD	mg/L	Close Reflux Method
UV <sub>254</sub>	-	Spectrophotometer(Smart Plus 190V)
E. coli	MPN/100ml	MPN Method

### 3. 결과 및 고찰

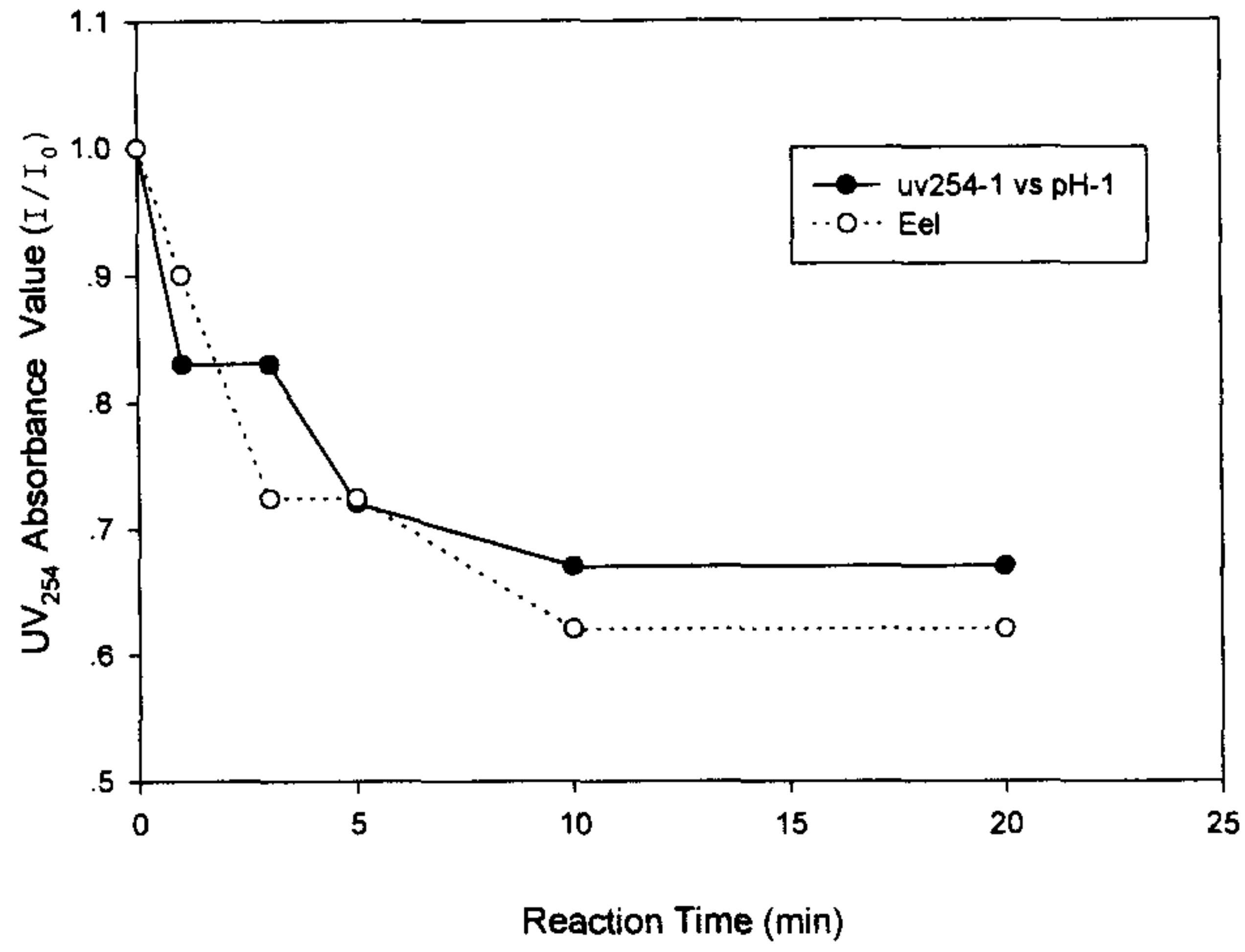
#### 가. 오존처리에 따른 양어장 수질변화

오존접촉시간에 따른 양어장 순환수에 수질특성변화를 알아보기 위해 접촉시간을 1분, 3분, 5분, 10분, 20분으로 변화시키면서 UV<sub>254</sub>, COD, 대장균, 암모니아성 질소, 알카리도, 탁도등의 수질인자의 변화를 조사하였다. <표 2-9-3>은 운전조건 및 결과를 나타낸 것이다. <그림 2-9-2>은 오존접촉시간에 따른 UV<sub>254</sub> 값의 변화를 나타낸 것으로 틸라피아, 뱀장어 양식수 둘다 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 수중의 유기물질이 방향족화합물등의 생물학적으로 분해되기 어려운 물질들이 분해가능한 물질로 바뀌는 것으로 추정된다. <그림 2-9-3>에서는 오존접촉시간에 따른 COD의 변화를 나타낸 것으로, UV<sub>254</sub> 값과 마찬가지로 수중에서 유기물을 나타내는 지표로 사료되고 있다. COD의 경우에는 틸라피아 양식수에서의 원수의 38.3mgCOD/L가 20분 접촉시 12.77mgCOD/L로 66.7%의 제거효율을 보였으며 뱀장어 양식수에서의 원수의 76.6 mgCOD/L가 접촉시간 10분에서 29.8mgCOD/L로 61%, 접촉시간 20분에서는 17.0mgCOD/L로 75%의 제거효율을 보이고 있다. 본 결과를 통해 오존은 pH 조건에 따라 유기물과 직, 간접적으로 반응을 하여 유기물 제거속도에 영향을 미친다고 파악할 수 있다. <그림 2-9-4>은 틸라피아와 뱀장어양어장 사육수의 경우 오존접촉시간에 따른 대장균 사멸 정도를 나타낸 것이다. 여기서 틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수는 모두 양어장 순환수를 오존접촉시간을 각각 1, 3, 5, 10, 20 분으로 달리했을 때의 대장균 사멸 정도를 나타낸 것으로 틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수는 모두 5분대에서 급격한 사멸 현상을 나타내고 있다. 이는 오존접촉시간에 따른 대장균의 사멸되는 정도가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 틸라피아 양식수에서는 오존접촉시간 3분에서 140마리의 대장균수가 5분에서는 10마리 내외로 급격하게 떨어졌고, 뱀장어 양식수에서는 5분의 접

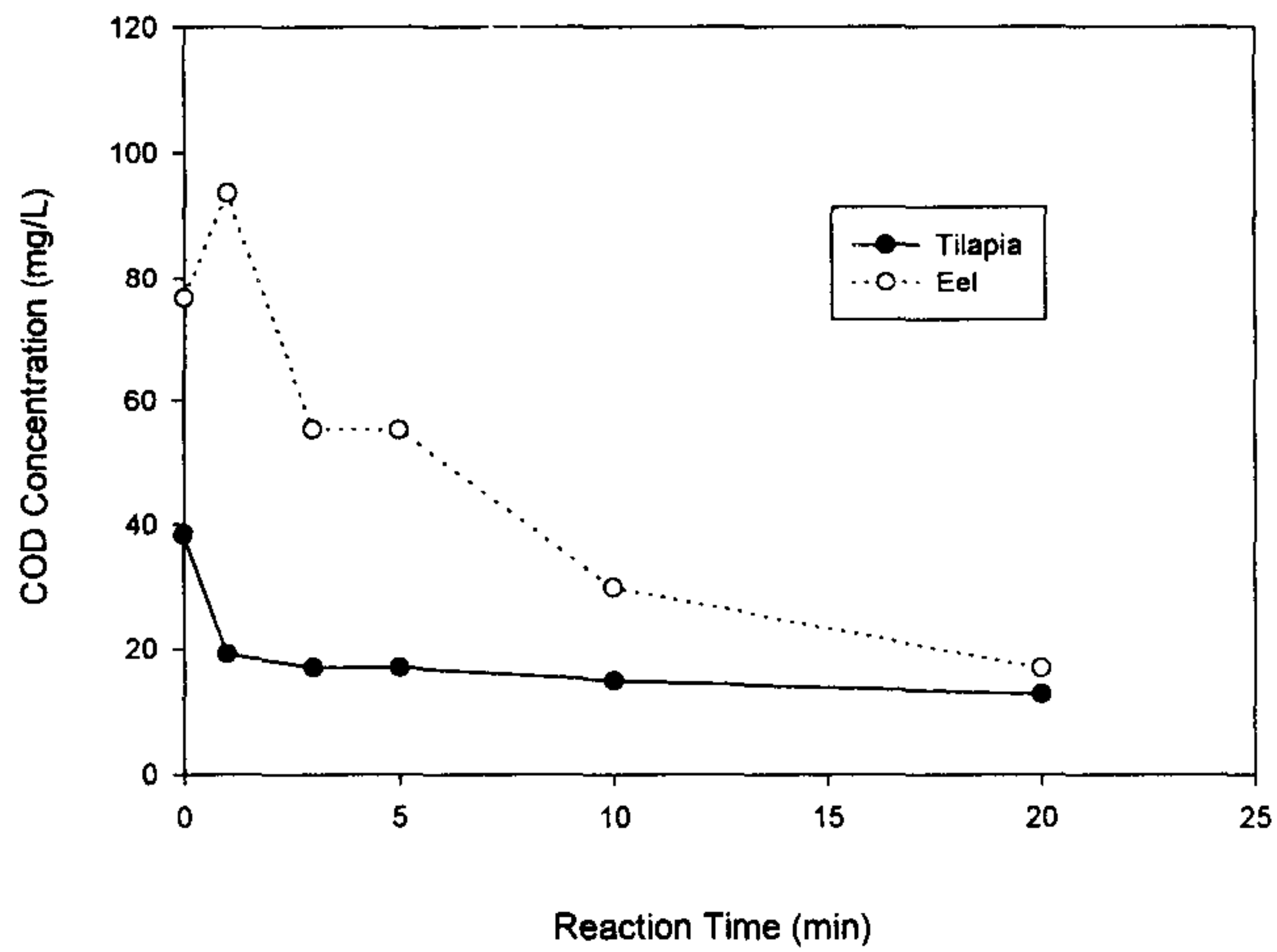
축시간에서 약 170마리, 10분과 20분에서는 각각 50마리와 13마리로 크게 감소하였다. <그림 2-9-5>는 오존접촉시간에 따른 탁도의 변화를 나타낸 것으로 뱀장어 양식수에서 오존접촉시간 1분에서 탁도는 24 NTU이나 20분에서는 7 NTU로 크게 떨어지는 것을 알 수가 있다. 원수보다 접촉시간 1분대에서 탁도가 4-5 NTU 정도 높은 것으로 보아 원수의 부유물질이 처음 오존과 반응하면서 일시적으로 부서지는 것으로 말미암아 증가한 것으로 사료된다. 특히 뱀장어양식수에서의 탁도감소가 현저한 것을 살펴볼 수 있었다. 양식수내 아질산성질소는 아주 유해한 수질인자이다. 생물막 여과조에서 이루어지는 질산화의 중간생성물로 발생가능하며 침전조에 모인 고형오물이 분해되어 아질산이 생성되기도 한다. 본 연구에서 채수한 시료에서는 아질산성 질소가 측정되지 않았기 때문에 아질산성 질소를 인위적으로 투입하여 그 산화특성을 고찰하였다. 틸라피아 양식수에  $\text{NaNO}_2$  일정량을 주입하여 약 5mg N/L가 되도록 조제한후 오존산화실험을 수행하였다. 오존접촉시간에 따른 아질산성질소의 변화를 Fig. 4.5 나타내었다. 오존과 시료의 산화반응이 증가할수록 아질산성 질소의 농도는 감소하여 20분의 반응시간에서 아질산성 질소의 농도는 약 0.8mg N/L에 도달하여 약 83%의 제거효과를 보여, 순환수내에서 발생할수 있는 아질산성 질소 제거에 탁월한 효과가 있는 것으로 고찰된다. <그림 2-9-6>에서 암모니아의 변화는 거의 볼 수 없었으나, 미미하게나마 아주 조금씩 감소한 것은 암모니아의 산화가 매우 느리게 진행되고 있다는 것을 알 수 있었다. Bruno Langlais (1991)는 pH 9.3이하의 단계에서 암모니아의 산화가 잘 된다고 보고하였다. Hoigne과 Bader(1978b)는 암모니아 산화는 대부분 분자상 오존에 의해 생산된 직접반응과 오존분해에 의해 형성된 OH 라디칼의 간접반응의 결과이다. 는 오존접촉시간에 따른 암모니아성 질소변화를 나타낸 것으로 접촉시간에 따라 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. <그림 2-9-7> 은 오존접촉시간에 따른 pH의 변화를 나타낸다. 틸라피아 양식수에서는 pH 8.2에서 8.6으로 상승하였으나, 뱀장어 양식수에서는 pH 4.8에서 4.3으로 감소하였다. Fig. 4.8. 은 총알칼리도의 변화를 나타내는 데 틸라피아 양어순환수에서 총알칼리도는 거의 일정한 값을 유지하였다.

<표 2-9-3> 오존접촉시간에 따른 수질변화

Item	HRT (min)	틸라피아양식수	뱀장어양식수
Total Alkalinity (mg/L)	raw	270.50	-
	1	278.25	-
	3	272.00	-
	5	269.50	-
	10	270.00	-
	20	268.25	-
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	raw	0.06	44.84
	1	0.08	44.34
	3	0.07	44.10
	5	0.08	43.70
	10	0.07	43.00
	20	0.06	42.80
Turbidity (NTU)	raw	1.49	19.10
	1	1.12	24.00
	3	1.05	22.70
	5	1.02	16.80
	10	0.84	9.91
	20	0.92	6.26
UV 254	raw	0.18	0.29
	1	0.15	0.26
	3	0.15	0.21
	5	0.13	0.21
	10	0.12	0.18
	20	0.12	0.18
COD (mg/L)	raw	38.30	76.60
	1	19.15	93.60
	3	17.02	55.30
	5	17.02	55.20
	10	14.90	29.80
	20	12.77	17.00
E. coli (MPN)	raw	16000이상	900
	1	160	700
	3	140	240
	5	7	170
	10	26	50
	020	4	13

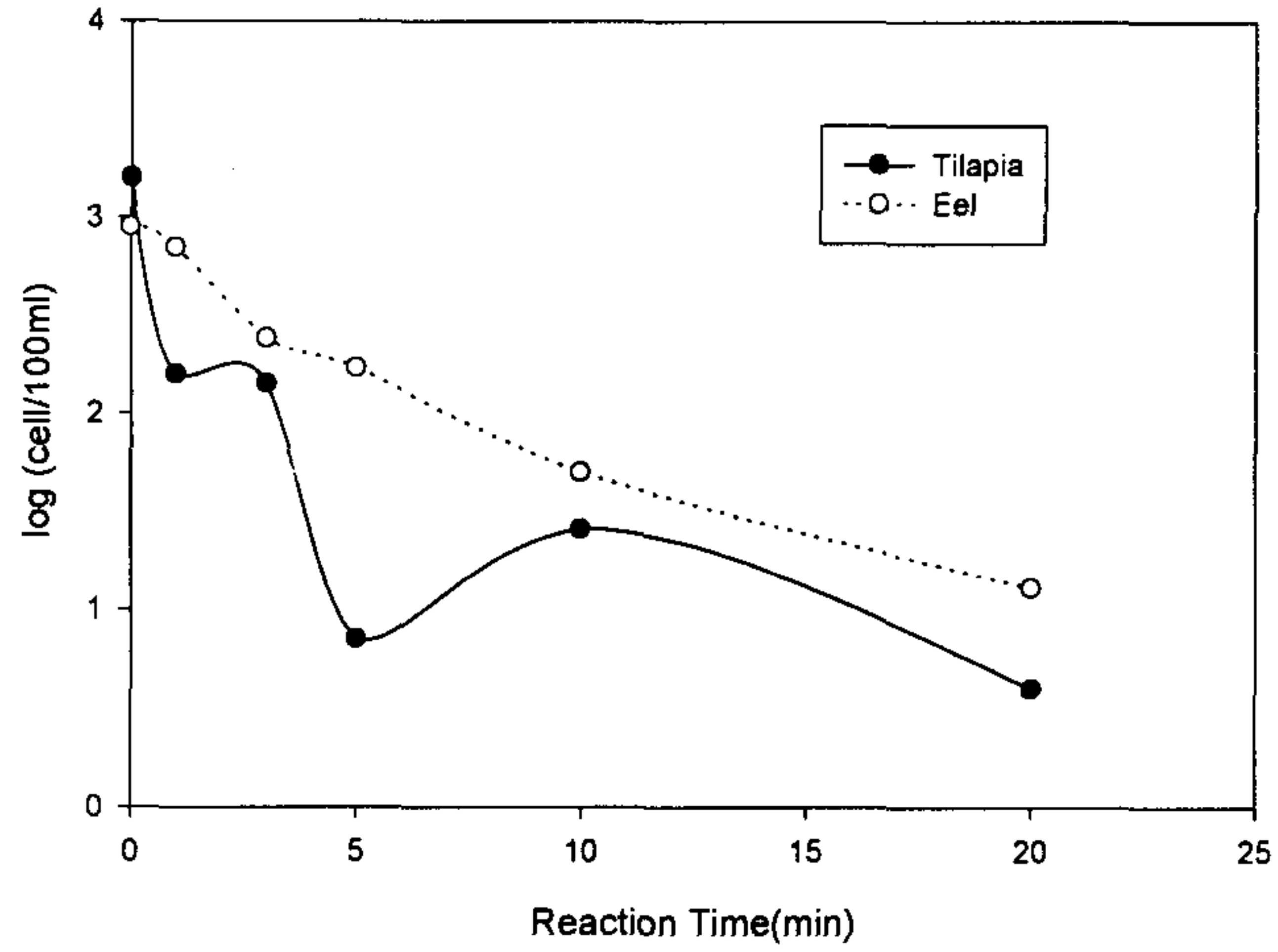


<그림 2-9-2> 오존접촉시간에 따른 UV<sub>254</sub> (I/I<sub>0</sub>)의 변화

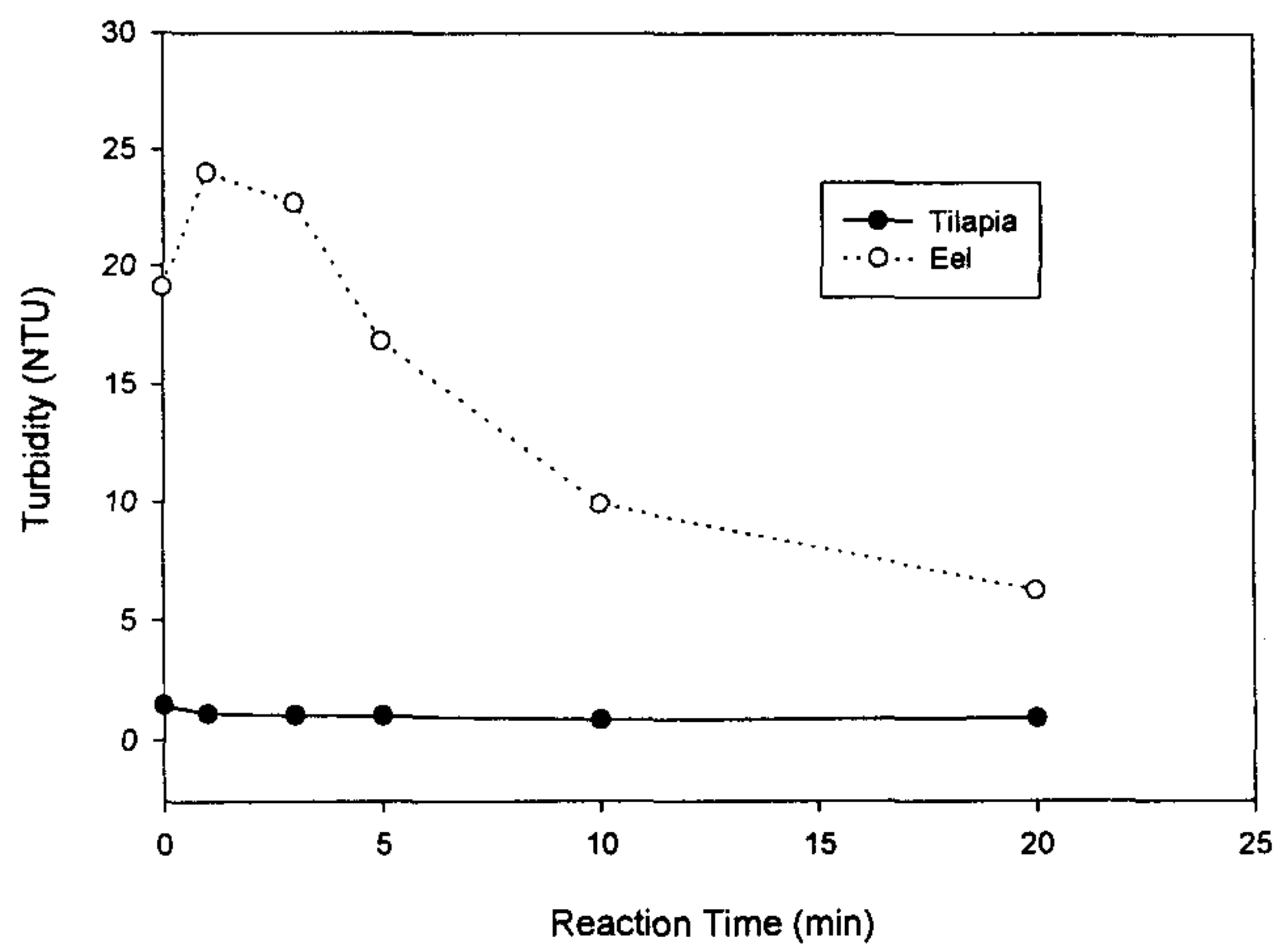


<그림 2-9-3> 오존접촉시간에 따른 COD변화

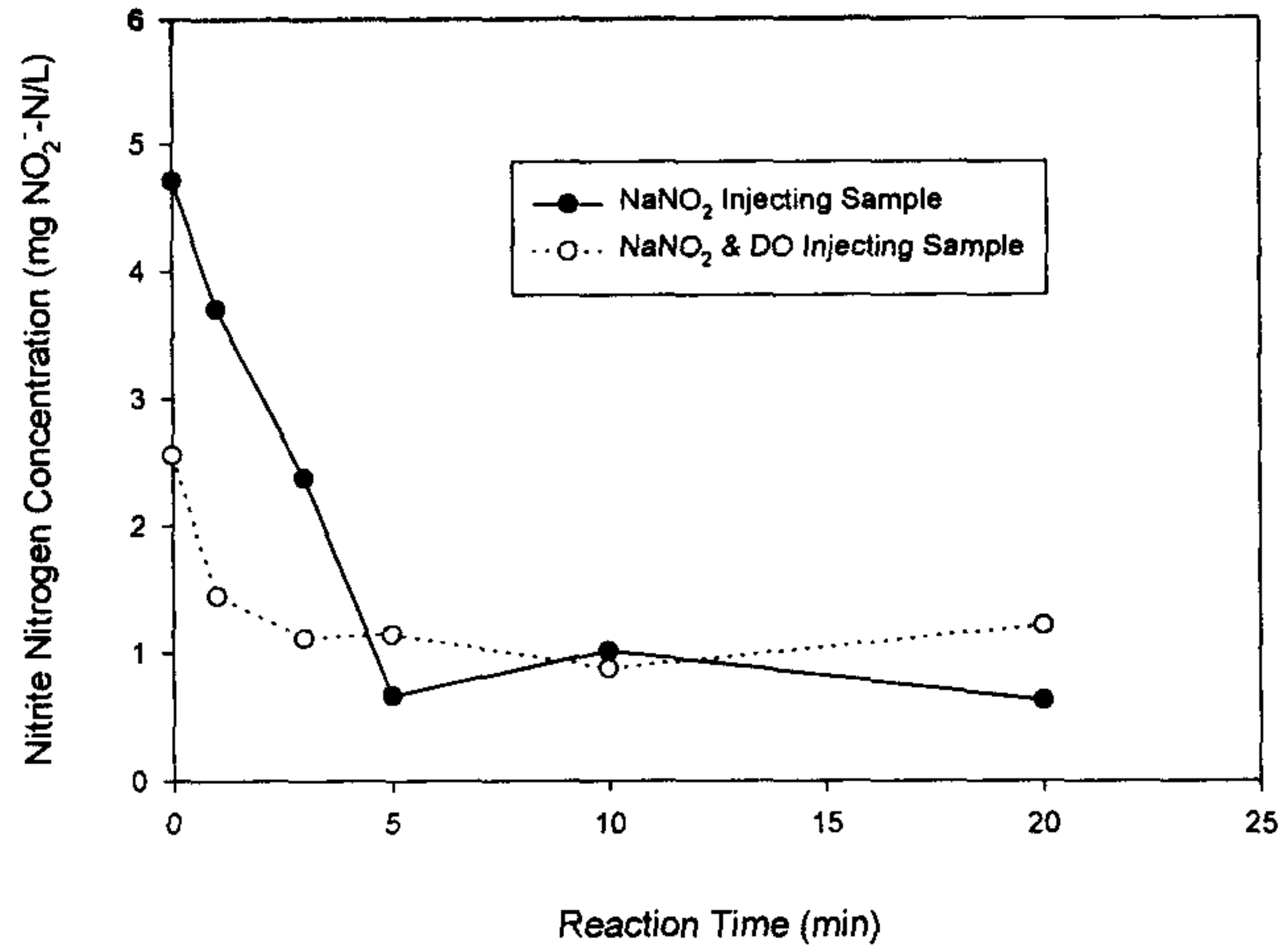




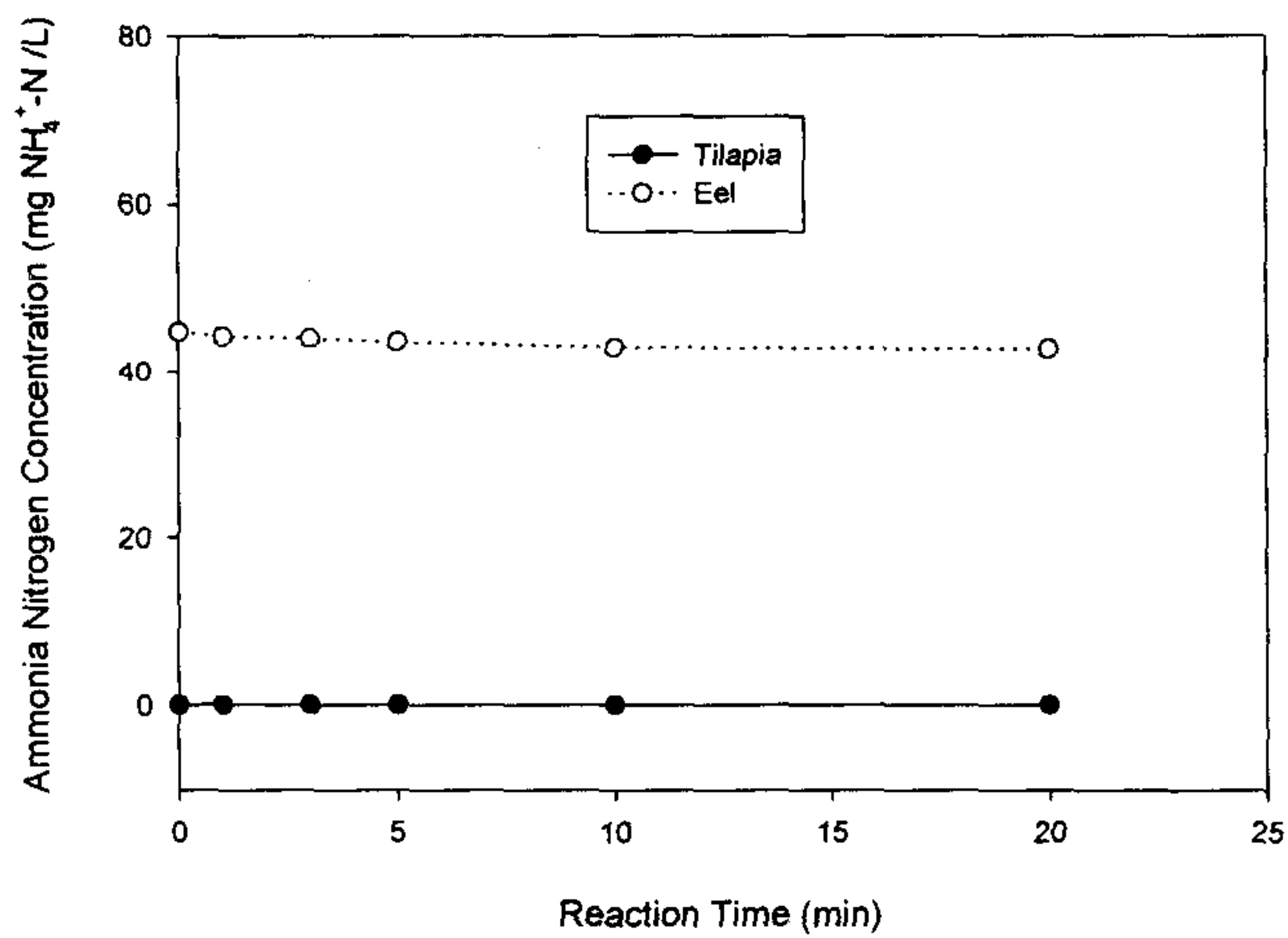
<그림 2-9-4>오존반응시간에 따른 MPN의 변화



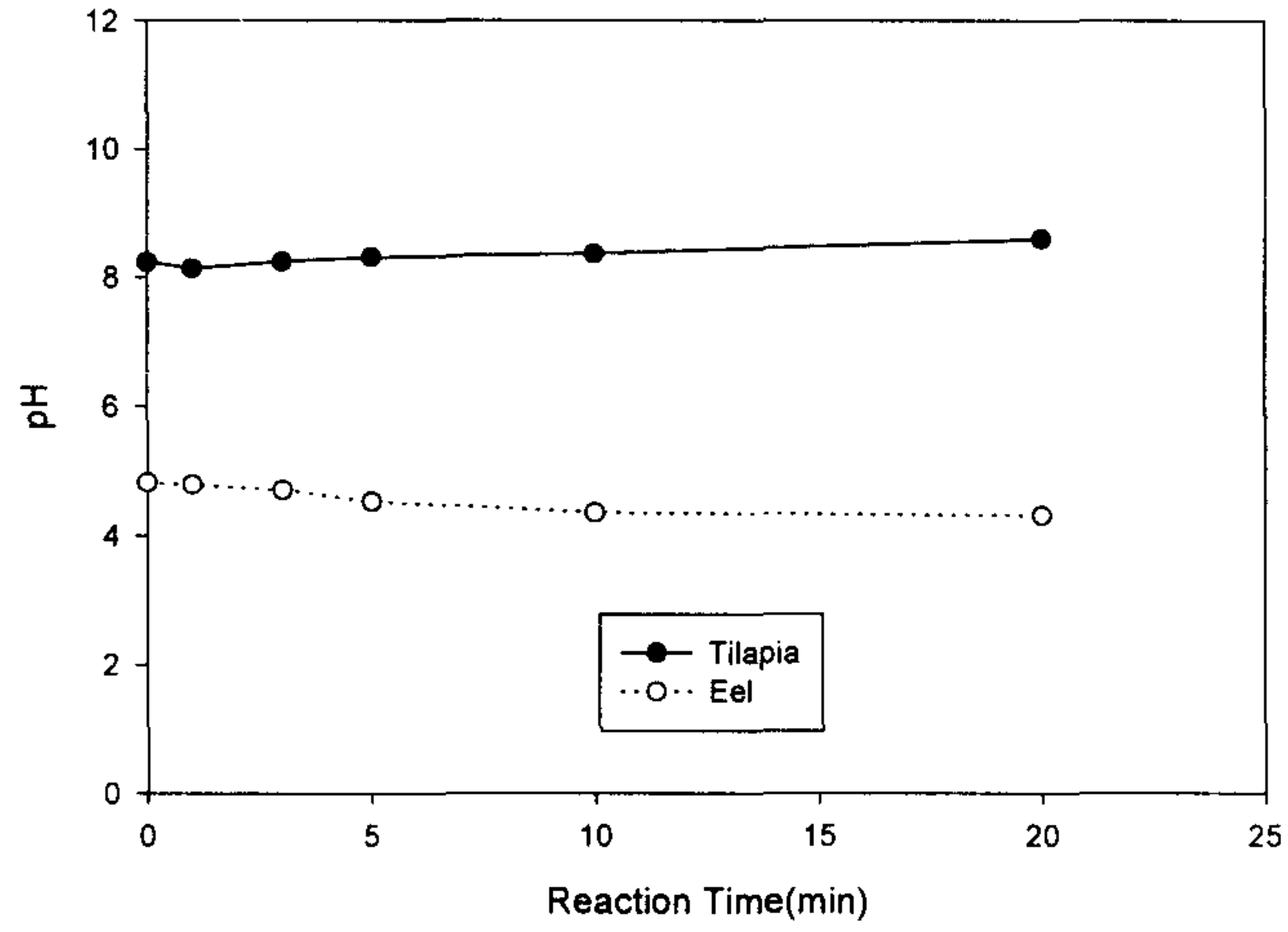
<그림 2-9-5>오존처리에 따른 탁도의 변화



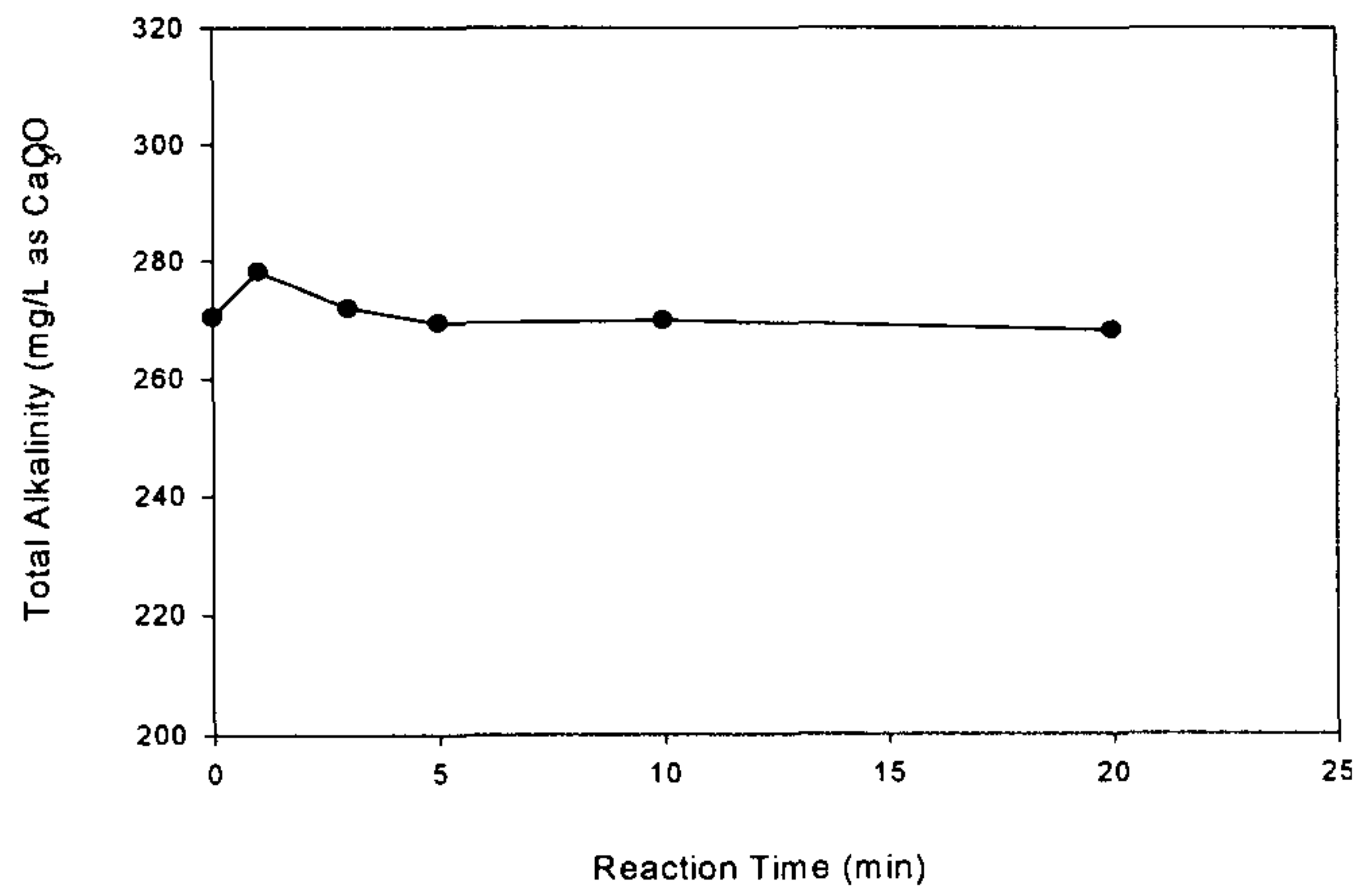
<그림 2-9-6>오존처리에 따른 아질산성 질소의 변화



<그림 2-9-7>오존처리에 따른 암모니아의 변화



<그림 2-9-8>오존처리에 따른 pH의 변화



<그림 2-9-9>오존처리에 따른 알칼리도의 변화

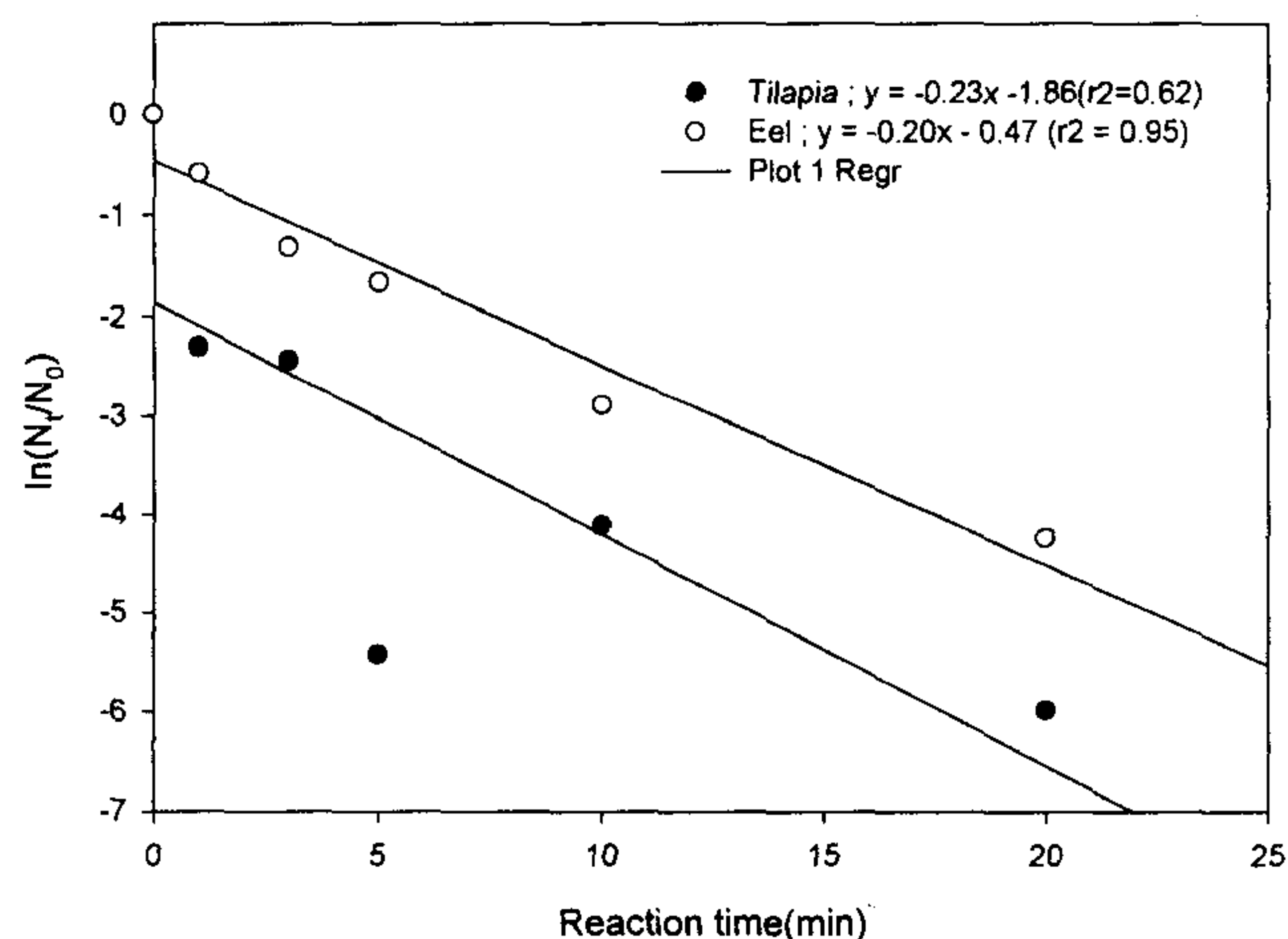
나. 오존처리에 따른 살균

틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수에 대한 오존처리결과 양식수내 존재하던 대장균수의 감소를 <그림 2-9-4>에서 고찰하였다. 오존접촉시간에 따른 대장균수의 변화를 Check's의 법칙에 적용한 결과를 <그림 2-9-10>에 나타내었다. 틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수의 살균특성은 1차 반응 형태를 보여 Check's의 법칙에 잘 적용되는 것을 알수 있었다. 오존반응시간에 따른 대장균수의 변화를 선형화한 결과식은 (1), (2)식과 같다.

$$\text{틸라피아} : y = -0.23x - 1.86 \quad (r^2 = 0.62) \quad (4.1)$$

$$\text{뱀장어} : y = -0.20x - 0.47 \quad (r^2 = 0.95) \quad (4.2)$$

이 결과식들로 부터 Check's 살균속도식의 속도상수 k를 각각 구할 수 있다. 틸라피아 양식수의 k는  $-0.23\text{min}^{-1}$ , 뱀장어 양식수의 k는  $-0.20\text{min}^{-1}$  으로 나타나 유사한 결과를 보였다.



<그림 2-9-10>오존접촉시간에 따른  $\ln(N_t/N_0)$ 의 변화

#### 다. 오존처리에 따른 유기물의 변화

UV<sub>254</sub>는 수중의 유기물질 농도를 측정하는 항목이며 수중의 니그린, 탄닌, 휴믹 물질과 방향족 화합물의 강한 자외선을 흡수한다. UV흡수는 담수, 염수, 폐수의 유기화합물을 측정하는데 유용한 측정항목을 대신한다. UV흡수와 유기탄소 화합물, 색도, THM의 전구물질, 소독간에는 밀접한 관계가 있다. 또한, UV흡수는 산업폐수 방류수의 모니터, 응집에 의한 유기물 제거, 탄소 흡착과 수처리 프로세스에서 사용되고 있다. UV흡수와 유기탄소 농도의 비는 일반적인 유기물질과 특징지어져 사용되어 오고 있다. 측정 파장을 254 nm(253.7)로 하는 이유는 방해작용을 하는 다른 화합물에 의한 흡수가 254nm에서 최소화되기 때문이다(Andrew Eaton, 1995, 2).

흡광도값은 오존접촉시간에 따라 감소하였다. 이는 양어장 수중에 방향족 화합물 등의 생물학적 분해불가능한 물질들이 오존처리에 의해 분해하기 쉬운 물질로 바뀌는 것으로 사료된다. COD값은 거의 20 mg/L 전후로 일정하게 유지되었다. 뱀장어 양어수의 UV<sub>254</sub> 흡광도값은 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 킬라피아 양어장순환수 UV<sub>254</sub> 흡광도값보다 크고 감소되는 경향도 크게 나타나고 있다. 이로써 뱀장어 양어장순환수에서도 오존처리시간에 따라 유기물중 생물학적으로 분해하기 힘든 방향족 화합물 등의 물질이 생물학적으로 분해하기 쉬운 물질로 변화한다고 생각할 수있다. 뱀장어 양어수에서 COD 농도는 약 80 mg/L에서 20으로 감소하였다. 이는 킬라피아 양어수에 비해 현저한 감소를 보였는데, pH가 약 4정도의 산성영역이므로 오존과 유기물이 직접반응을 한 것으로 여겨진다. COD 만으로 오존에 대한 유기물해석이 힘들므로 Ultra-filtration을 이용하여 수중의 물질중 분자크기에 따라 여과시킨 시료가 오존접촉시간에 따라 COD, BOD 농도가 어떻게 변화하는가 추가실험을 하였다.

#### 4. 결 론

틸라피아 양어순환수와 뱀장어 순환수의 오존접촉시간에 따른 수질인자의 변화는 다음과 같다.

- ▶ 오존접촉시간에 따른 대장균 사멸정도는 접촉시간 5분에서 거의 사멸되어져 대장균 살균에 뛰어난 효율을 나타냈다.
- ▶ 아질산성 질소는 오존접촉시간에 따라 점차적으로 감소하여 HRT 20 min에서는 0.8mg/L 의 농도로 낮아졌다.
- ▶ 유기물 변화는 UV<sub>254</sub> 값이 오존접촉시간에 따라 감소하는 것으로 보아 오존처리가 생물학적 분해불가능한 물질들을 분해가능한 물질로 변화시킨다는 것을 고찰할 수 있었다.
- ▶ 오존접촉시간에 따라 탁도는 뱀장어 양어수에서 틸라피아 양어수보다 훨씬 뛰어난 제거효율을 보였다.

## 제10절 공정관리 방안

순환여과식 양어시스템은 고밀도 어류의 고밀도 양식을 위해 개발된 양식기술이다. 따라서 시스템의 운전은 안정적이며 효율적인 어류의 성장을 목표로 수처리시스템의 유지관리기술이 필요한 시스템이다. 따라서 생산성 증대를 위해서는 양어기술과 수처리시스템의 운전방안이 제안되어야 된다. 본 연구에서는 순환여과식 양어시스템에서 수처리시스템의 운전시 순환수특성, 시설점검, 처리기능저하시 대응방법, 청소시기, 및 운전 유지관리방안에 대해 다음과 같이 구분하여 서술해 본다.

### 1. 순환수특성

순환여과식 양어시스템의 수처리장치가 처리해야 되는 순환수특성은 오염물질의 농도는 낮고 많은 유량을 처리해야되는 특성이 있다. 따라서 오염물질의 농도가 높고 유량 변동이 심한 도시하수처리나 공장폐수처리와는 차이점이 존재하며, 소량의 배출수를 보충한 이외에는 재사용되므로, 안정한 처리효율을 유지하지 못하면 암모니아, 아질산 등이 축적되어 효율적인 어류 양식을 달성하기 어렵다.

순환수처리시 일반적으로 가장 중요한 수질인자는 암모니아, 아질산염, 용존산소, 세균 등이다. 이 이외에도 어종에 따라 특히 고려해야 되는 인자들이 존재하지만, 이들 수질인자는 어류의 성장에 큰 영향을 주므로 순환여과식 양식의 성패를 좌우하는 요소라 할 수 있다. <표 2-10-1>에 어류 사육에 필요한 수질 인자들을 나타내었으며, 이는 6개 연구기관에서 제시한 양어장 수질 기준으로 미국 EPA에서는 어류에 대

한 비이온성 암모니아의 기준 농도를 0.02mg/L이라고 제시하고 있지만 이는 어종, pH, 수온등에 따라 달라질 수 있다. 한편 일반적으로 pH 7부근에서 수중의 총 암모니아 1%정도가 비이온화 형태로 존재하므로 기준치 0.02 mg/L를 만족시키기 위한 암모니아성 질소의 농도는 2mg/L정도이다.

<표 2-10-1> 어류 양식에 필요한 수질인자별 권고농도

인자	연구기관 및 연구자					
	US. EPA	Roberts	Klontz	Nightingale	Environment Canada	Meade
Alkalinity as CaCO <sub>3</sub>	20	0.02	20-200		20	10-400
Aluminum				0.2	0.1	0.01
Ammonia	0.02	0.4-3.0	0.012	0.1	0.02	0.02
Arsenic						0.05
Barium						5.0
Cadmium	1.2-12	0.05		0.05	0.02	
Calcium			52			4-160
Carbon dioxide			2.0			0-10
Chromium	0.1			0.5	0.04	
Coliform (cell/mL)	14					
Color units	75					
Copper	1.0	0.01	0.006	0.002	0.005	0.006-0.03
Dissolved Oxygen			5.0		4.0	5>
Hardness as CaCO <sub>3</sub>				300		10-400
Iron	1.0		1.0	0.5	0.3	0.01
Lead		0.03		0.1		0.02
Magnesium					0.1	15.0
Mercury		0.05			0.1	0.2
Nitrite		0.1	0.55			0.1
PCB						0.002
pH	6.6-9	6.5-8.5	6.5-9.0	6.5-8	6.5-9	6.5-8.0
Potassium						5.0
Salinity						5%
Selenium						0.01
Sodium						75
Sulfide	0.002	0.002	0.002		0.002	
Total dissolved solids	250		400			400.0
Total suspended solids		8	80		25	80.0
Turbidity				60		
Zinc				0.04	0.03	0.005



## 2. 수처리장치의 종류 및 운전방법

순환여과식 수처리장치의 종류는 크게 고형물 제거장치와 용존성분 제거장치로 구분할 수 있다. 수처리 대상 인자들과 권고농도는 <표 2-8-1>에 나타내었다. 이들 수질인자들의 농도 증가는 대부분 사료공급을 통하여 이루어 진다. 미섭취 사료, 어분 등을 통하여 고형물이 생성되며, 어류의 대사작용을 통하여 암모니아, 유기물질, 미세고형분등이 생성된다.

### 가. 고형물제거 장치

고형분의 제거는 중력침전방식을 이용한 침전조, 여재를 이용한 스크리닝 등이 적용되고 있다. 침전조의 경우 콘크리트 구조물로 설치되므로, 정상상태에서 안정적인 처리효율을 기대할수 있고 동력비가 필요하지 않으나 미세입자를 처리하기 위해서는 넓은 부지가 필요한 단점이 있다. 침전지는 설계시간동안 안정적인 처리효율을 기대할 수 있으나 침전된 고형오물을 필히 수동으로 제거해 주어야 된다. 장시간 고형오물이 침전조에 체류할 경우 이들로 부터 암모니아, 질산염, 아질산염의 용출이 발생되며, 질산염이 환원되어 아질산염의 농도가 증가하는 경우가 빈번하다. 그리고 침전조에서 배출되는 슬러지는 함수율이 높아 슬러지 처리에 대한 부수적인 공정이 필요하다. 스크리닝 기법은 가압식 모래여과와 드럼필터방식 등이 적용되고 있다. 가압식 모래여과는 일정한 모래층 순환수를 통과시켜 고형분을 제거하는 기법으로 모래 입자 크기에 따라 제거되는 고형분의 크기 및 제거효율이 차이가 있다. 그러나 입자크기가 작을수록 적용해야 될 압력이 높아야 되고 빈번한 여재의 세척이 필요하다. 설계시간이 경과하여 여재가 폐쇄될 경우 자동 또는 수동의 역세방법도 고려해야된다. 수동

역세장치는 단순한 밸브의 조작을 통하여 이루어지나 항상 작업자가 세심한 주의를 기울여야 되는 단점이 있고, 자동 역세척장치는 가격이 고가이고 순환수 중 고형분이 많을 경우 빈번히 역세동작이 이루어지므로 역세 수량이 많이 필요하다. 마이크로 필터가 부착된 드럼필터는 마이크로 필터의 종류에 따라 안정적인 고형물제거가 이루어지고, 연속적인 필터세척이 이루어 지므로 안정한 수질을 기대할 수 있다. 드럼필터는 회전드럼에 마이크로 필터(눈금크기 : 20-70  $\mu$ m)를 장착하고 순환수를 내부에서 외부로 통과시킨다. 이때 회전드럼의 내부와 외부의 수두차는 약 10cm를 두며 여과작용이 일어난다. 회전드럼의 상부에 필터를 세척할 수 있는 장치가 있으며 이 장치는 압력 노즐을 통하여 공기나 물이 분사된다. 따라서 연속동장을 통하여 여과와 세척이 이루어 진다 특별한 경우에는 드럼의 외부에서 내부로 여과작용이 이러나는 경우도있고, 여재의 세척은 흡입식 진공장치를 이용하여 여재를 세척할 수도 있다. 이와같은 드럼필터는 초기장치비가 고가인 단점이 있다.

#### 나. 용존성 오염물질의 처리

용존성 오염물질은 생물학적 처리를 통하여 제거된다. 생물막여과조의 주된 기능은 암모니아성 질소와 아질산성 질소의 산화이며, 일부의 유기물질 처리가 이루어 진다. 생물막여과조는 부유성생물을 이용한 활성슬러지 공법, 미디어에 부착된 생물막을 이용한 고정상 생물막 공법과 유동상 생물막공법등이 이용되고 있다. 이들 생물막여과조의 운전시 가장 주의깊게 고려해야될 인자들은 온도, 용존산소, pH등이다. 이들 인자들은 미디어에 부착되어 성장하는 미생물들의 성장과 대사활동에 큰 영향을 미치므로 갑작스런 변화는 수질에 큰영향을 미친다.

### 1) 알칼리도의 유지

pH를 유지하기 위해서는 항상 일정량의 알칼리도의 공급이 필요하다. 알칼리도의 공급은 탄산염이나 중탄산염등을 주입함으로써 이루어질수 있다. <표 2-8-2>에 알칼리도를 공급할수 있는 물질들과 특성을 나타내었다.

<표 2-10-2>알칼리도 유발 물질 및 특성

화학식	이름	등가무게	용해도	용해율
NaOH	수산화나트륨	40	높음	빠름
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	소다 회	53	"	"
NaHCO <sub>3</sub>	중탄산타트륨	83	"	"
CaCO <sub>3</sub>	방해석	50	중간	중간
CaO	소석회	28	높은	"
Ca(OH) <sub>2</sub>	수산화석회	37	"	"
CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	백운석	46	중간	느림
MgCO <sub>3</sub>	마르네사이트	42	"	"
Mg(OH) <sub>2</sub>	수산화마그네슘	29	"	"

<예>와 같은 순환여과식 시스템에서 최적 pH유지를 위한 알칼리도의 공급량은 다음과 같이 구할 수 있다.

<예제> 알칼리도 공급량 결정을 위한 순환여과식 시스템의 조건표

시스템의 부피	4000L
환수율	40L/day
유입수내 알칼리도	100mg/L as CaCO <sub>3</sub>
사료공급율	5kg/day (F)
요망하는 pH범위	6 - 8
수온	25°C,
사료내 질소함량	5% (N <sub>feed</sub> )
사료내 질소가 어체에 동화되는 율	50% (F <sub>f</sub> )
미섭취사료중 고형물제거로 얻어지는 제거율	20% (F <sub>s</sub> )

일정한 pH범위를 유지하기 위해서는 알칼리도 소비율이 알칼리도 공급율과 같아야 된다. 따라서 하루당 제거되어야 되는 질소량은 다음과 같다.

$$NR = FN_{\text{feed}}(1-F_f-F_s) = (5000)(0.05)(1-0.5-0.2) = 75 \text{ gN/day}$$

암모니아성 질소의 질산화시 필요한 알칼리도를 계산하면 다음과 같다.

$$[\text{ALK}]_{\text{req}} = NR(\text{gN/day}) \times 1\text{mole Nitrogen}/14\text{g Nitrogen} \times 1.98\text{eq.} [\text{ALK}]/1\text{mole Nitrogen}$$

$$[\text{ALK}]_{\text{req}} = 75(\text{gN/day}) \times 1\text{mole Nitrogen}/14\text{g Nitrogen} \times 1.98\text{eq.} [\text{ALK}]/1\text{mole Nitrogen}$$

$$= 10.6 \text{ eq/day}$$

주입 해야될 알칼리도물질을 순수  $\text{CaCO}_3$ 를 적용한다면, 다음과 같다.

$$\text{CaCO}_3\text{required} = 10.6\text{eq}[\text{ALK}]/\text{day} \times 50\text{g CaCO}_3/1\text{eq} = 530\text{gCaCO}_3/\text{day}$$

즉, 하루당 530g의 순수  $\text{CaCO}_3$ 가 필요하다. 이것을 공업용(함량90%)  $\text{CaCO}_3$ 로 환산하면 하루 0.59kg이 필요하며, 계산은 다음과 같다.

$$90\%\text{Pure CaCO}_3\text{required} = (0.53\text{kgCaCO}_3/\text{day}) \times (1/0.9) = 0.59\text{kg}90\%\text{CaCO}_3/\text{day}$$

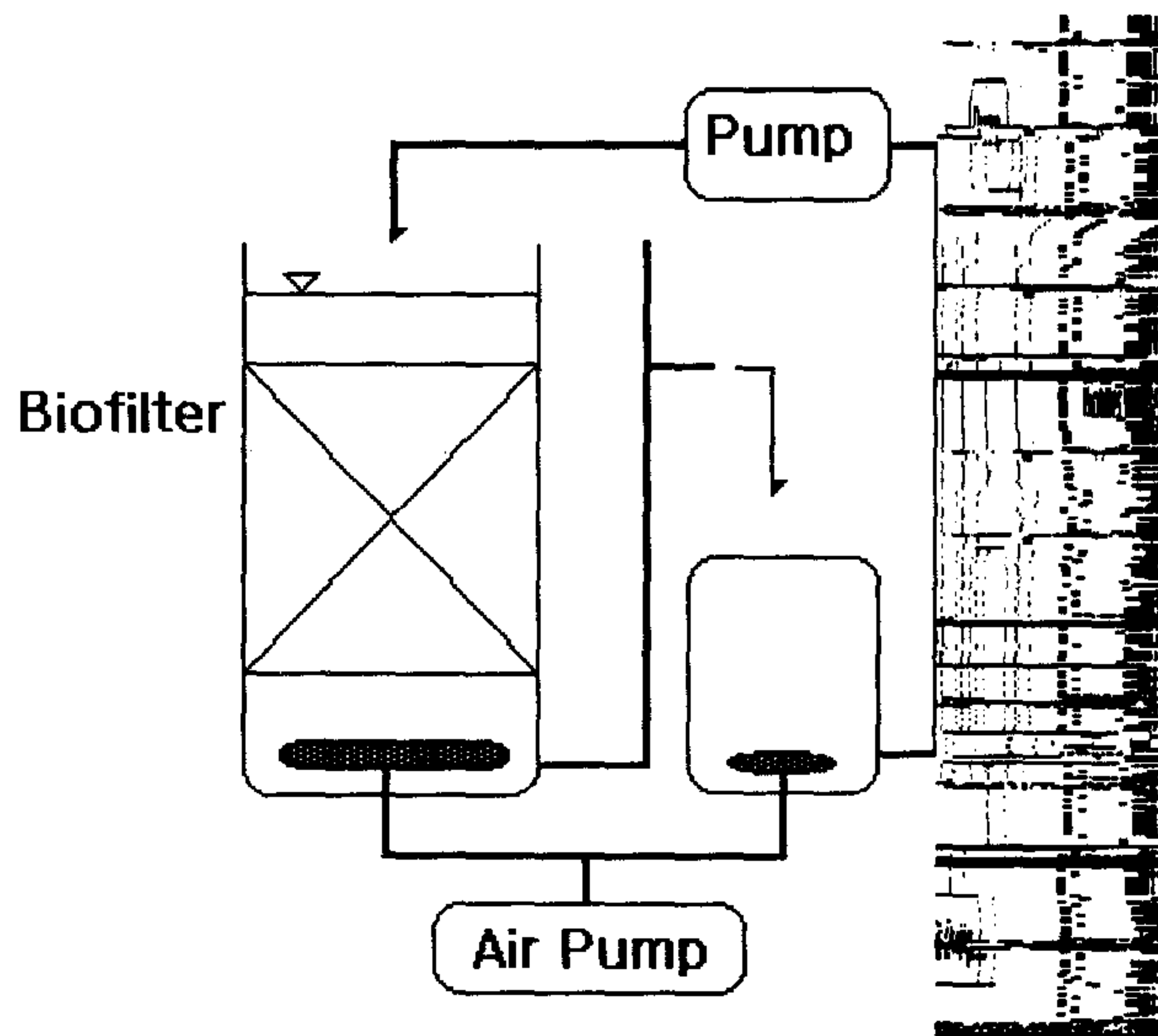
Pilot Plant 운전기간중 초기에는 하루 필요한 양의 중탄산염을 펌프 유입저류조에 1회 공급하였고, 그 이후에는 정량펌프를 이용하여 24시간 연속 공급하였다. 알칼리도 공급은 원칙적으로 정량공급이 최적인 방안이고, 그렇지 못할 경우 일정량씩 순환수에 풀려나갈수 있도록 주입하면 된다.

## 2) 생물막 여과조의 운전

생물막여과조는 여러 가지 방식이 있으나 본 고에서는 고정생물막공법과 유동층공법에 대하여 설명하겠다. 고정생물막공법은 운전과 시공에 있어서 손쉬운 장점이 있

다. 적용하는 생물막 담체(메디아)에 따라 다소 처리효율이 차이가 있으나 대체로 암모니아제거에 우수한 처리효율을 보였다. 초기 생물막여과조의 운전은 두가지 방법이 있다. 첫 번째는 미생물의 식종을 통하여 생물막여과조에 미생물을 인위적으로 식종하는 경우이고 두 번째는 인위적인 식종없이 여과조를 운전하는 방식이다. 첫 번째의 방식은 초기에도 안정적인 처리수 수질을 기대할 수 있어 좋으나, 식종에 필요한 미생물의 공급이 여의치 않을 수 있다. 본 실험에서는 활성슬러지공법으로 운전되는 도시하수처리장의 반송슬러지를 채취하여 1-2일간의 공폭기를 실시한 뒤 생물막 여과조의 식종 미생물로 이용하였다. 미생물의 식종방법은 충진 메디아에 따라 다르지만 여과조를 통과하는 유속이 빠를수록 미생물의 부착이 빠른 것을 관찰하였다. 침지식 생물막여과조를 이용한 경우에 미생물의 식종방법은 <그림 2-10-1>과 같이 반응조와 저류조에 계속하여 포기를 시키면서 미생물과 일정량의 글루코즈, 암모니아, 알칼리도가 함유된 물을 순환시켰다. 이러한 작업을 1-2일정도 연속적으로 해주면 충진된 메디아의 표면에 갈색의 미생물이 부착하는 것을 관찰할 수 있고, 순환수를 유입시켜도 빠른 시간내에 원하는 처리수질을 얻을 수 있었다. 삼상유동층공법에 적용된 페타이어 메디아는 비중이 1.2 - 1.4정도로 물과 비슷하여 일부는 물에 부상하고 나머지 일부는 침전하는 경우가 있다. 이메디아의 특징은 페타이어 가공시 분말활성탄을 첨가하여 가공하므로 일정량의 흡착반응도 일어난다. 미생물 식종을 위해서 도시하수처리장의 반송슬러지를 이용하여도 가능하고, 침전조에 모인 고형오물을 메디아와 함께 혼합하여 1-2일간 공폭기한 뒤 유동층반응기에 넣고 운전하여도 초기의 순용단계를 단축할 수 있었다. 삼상 유동층 반응기에 적용된 메디아는 도시하수처리장의 반송슬러지를 식종미생물로 이용하여 식종 하여도 침지식 생물막 반응조에서 관찰된 것과 같은 갈색의 미생물이 부착된 현상은 관찰되지 않았다. 침지식 생물막 반응조를 운전

할 경우 가장 문제가 될것이라고 예상되었던 것은 생물막에 부착된 미생물이 과도하게 증식되어 생물막 막힘현상 또는 생물막이 탈리되어 생성되는 슬러지등의 문제점등을 기대하였다. 그러나 유입경로는 확실하지 않으나 달팽이 종류의 생물이 시스템 전체에 퍼져 서식하는 현상이 발생되었다. 이들 달팽이는 생물막 여과조의 미생물들을 먹이로 하여 아주빠른 속도로 증식하여 생물막 여과조의 미생물을 모두 사멸시켜, 종국에는 생물막 여과조의 암모니아 제거 기능을 손상시켜 수처리 시스템의 처리효율을 저하시키는 원인이 되었다. 이들 달팽류에 대한 대응방법으로 현재까지 보고된 사례가 전무한 실정이다. 유동층 생물막 공법을 적용한 경우, 반응조의 특성상 미디어가 계속 유동하므로 인해 달팽이의 영향은 없었다.



<그림 2-10-1>. 침지식 생물막 반응조의 식종 방법

### 3. 시설의 점검 및 처리기능 저하시의 대응방법

순환여과식 양어시설에서 유량, 온도, pH, 용존산소 등 수질항목은 고기 사육을 위해서 아주 중요한 인자이며, 수처리 장치에 있어서도 아주 중요한 요인들이다. 이들 인자들은 시스템의 최적 운전을 위해서 항상 관찰되어야 되는 요인들로 최적의 운전 방안은 자동측정장치를 설치하여 일간 변화를 관찰하여 이에 대한 대책을 수립하고 운전하는 것이 이상적이라 할 수 있다. 만약 이러한 연속 측정이 어려운 경우라도 간이 시험기를 이용한 측정은 필요하며 수질변동에 대하여 관찰이 필요하다. 수처리시설중 가장 중요한 부분중 하나는 펌프설비이다. 펌프의 유입 배관내에 이물질이 누적되어 관경축소로 유량감소등의 문제가 발생된다. 따라서 6개월 정도의 기간을 단위로 펌프정비 및 펌프 유입관의 청소등이 필요하다.

고형물제거장치는 침전조, 드럼 스크린, 사여과장치 등으로 구분할 수 있다. 침전조는 고형물질이 계내에 잔류하므로 하루주기를 통하여 청소를 해주어야 되며, 설계 유속이상의 유속이 침전조에서 발생할 경우 입자의 제거가 어려워지며, 고형물이 장기간 침전조에 있을 경우 아질산의 생성과 침전된 고형물이 재부상하는 등의 현상이 발생된다. 드럼 스크린은 연속 기계식 자동세척이 이루어지고 순환수에서 제거된 고형분은 자동적으로 계외부로 처리되므로 침전조에 비하여 인력과 시간의 소요가 적은 장치이다. 운전시 생산회사에서 권고하는 드럼의 회전수, 세척수의 공급상태등은 매일 확인해야 되는 요소이다. 사여과장치는 자동역세와 수동역세가 구분되어 공급되고 있다. 자동역세의 경우 역세주기를 유심히 관찰하여 사여과장치의 운전상태를 파악해야 된다. 여재로 충전된 모래가 오염되어 역세를 통하여 세척되지 않을 경우 역세시간이 증가하여 심할 경우 운전시간에 비해 역세기간이 길어질 경우도 발생된다. 이때

는 충전된 여재를 교환해주어야 된다. 드럼스크린의 경우 기계장치에 의해 자동세척이 이루어지므로 침전조나 사여과장치의 문제점이 발생할 소지가 많이 감소되었다. 그러나 자동세척에 의해 스크린의 세척이 완전히 이루어 지지 않으므로 생산회사에서 제시하는 스크린의 수명에 따라 스크린을 교체해주어야 된다.

생물막 여과조의 수처리 기능저하는 수질분석을 통하여 관찰할 수 있다. 생물막 여과조의 기능저하는 pH, 온도, 용존산소의 영향이 가장 큰 요인들이다. 이들 요인과 생물막의 형태를 관찰하여 생물막여과조의 상태를 점검하여야 한다. 침지식 생물막공법에서는 생물막의 과도한 증식에 의한 생물막 막힘 현상이나, 달팽이 증식에 의한 미생물의 소멸등의 현상이 발생하여 수처리 기능이 저하하는 경우가 발생된다. 수질 인자에 의한 기능저하는 알칼리도의 공급을 증가시키거나 온도를 조절하거나 공기공급을 증가시킴으로써 해결할 수 있다. 생물막 막힘 현상이 발생하였을 경우는 생물막 여재를 역세작업을 통하여 해결할 수 있다. 역세작업은 노즐이나 펌프를 이용하여 여재에 과잉으로 부착된 생물막을 탈리시켜 생물막의 두께를 일정상태로 유지시키는 작업으로 이때 탈리시킨 생물막은 회수하여 일정처분을 하여야 된다. 달팽이가 시스템에 서식할 경우 침지식 생물막 공법은 아주 위험한 상태를 맞이하게 된다. 이때 가능한 대처방법은 이때는 15 - 20cm의 잉어를 생물막여과조에 방랑하면 다소 도움이 되나 깊숙한 여재사이에 서생하는 달팽이 제거에는 도움이 되지 못한다. 삼상유동층반응조의 운전시에 가장 중요한 요소는 공기주입속도와 미디어의 유실등이다. 삼상 유동층 반응조는 설계시 최적의 조건을 제시하므로 운전시에는 항상 유량계를 관찰하여 공기의 유량이 감소하거나 증가하지 않게 유지관리 하여야 한다. 삼상 유동층 반응조의 설계시 미디어의 유출에 대하여 많은 고려를 하여 반응조내에 미디어를 분리해 낼 수 있는 침전조나 스크린등을 설치하지만 운전시, 미디어 유출에 대하여 많은 관심을



기울여야 된다. 만약 미디어가 유출되면 배관등에 누적되어 유량감소등의 현상을 일으킨다.

살균장치는 오존과 자외선 살균법이 있다. 오존접촉방식은 살균효과가 우수하여 유럽 및 미국등지에서는 적용이 보편화되는 추세이다. 오존의 접촉방식은 여러 가지 반응조를 통하여 적용할 수 있다. 오존 운전시 배오존가스에 대한 고려가 설계시 이루어 지지만 운전자도 배오존가스에 대한 주의를 하여야 된다. 배오존가스처리는 오존 설비시 포함되어 공급된다. 일반적으로 적용되는 방식은 활성탄칼럼을 이용하는 것과 연소기를 부착한 연소방식등이 있다. 순환여과식 양어시스템은 온도보전을 위해 비닐 하우스와 같이 밀폐된 공간에서 이루어지는 경우가 많다. 배오존가스가 완저처리되지 않고 작업장내에 누출되어 축적될 경우 작업자의 건강과 시설물의 산화등의 가능성이 있으므로 배오존가스의 처리 및 배출에 대하여 주의를 기울여야 된다. 활성탄 칼럼을 이용한 경우 배가스내의 습기로 인해 활성탄칼럼이 폐쇄될 가능성이 있으므로 일정주기별로 이에대한 확인이 필요하다.

### 3. 주요공정의 공정관리

#### 가. 고형물 제거장치

##### 1) 운전현황

본연구의 Pilot Plant 운전시 고형물제거장치는 침전조, 침전조와 사여과장치를 함께 적용하였다. 침전조만 운전하였을 때는 수조내 탁도가 완전히 제거되지 않아 바닥

에 고인 고형오물을 분별하기 어려웠으나, 사여과장치를 적용하고 난 뒤, 바닥의 고형물까지 관찰할 수 있을 정도로 탁도가 제거되었다. 따라서, 고형물제거를 위해서는 사여과 장치나 드럼스크린형태의 장치가 필수적이다.

## 2)공정관리요령

침전조에 고인 고형물질은 1일1회에 걸쳐 스탠드 파이프를 이용하여 고형물을 제거하였고, 이 작업을 통하여 일정량의 물을 환수하였다. 사여과장치는 수동으로 운전하였으며, 1일 1회정도 역세를 통하여 사여과장치를 세척하였다. 사여과장치의 운전은 운전시간에 따라 여과층 단면적당 여과량이 감소하지만 하루정의 운전주기가 적당하였다. 침전조의 관리는 1일 1회정도가 적당하며, 침전조에 고인 고형물을 완전히 제거해야 된다.

## 나. 생물막여과조

### 1)운전현황

생물막 여과조는 2년차 운전에서 Pilot Plant규모로 직접포기식 생물막 공법을 이용하였다. 이때 Saran메디아와 Saran+Y메디아를 충전하였으며, 3년차 운전에서는 충전메디아를 Plate를 이용한 Air lift형태의 고정생물막 반응조와 삼상 유동층 반응조를 운전하였다.

## 2) 공정관리요령

생물막 여과조의 관리는 운전유량을 점검하여 생물막 여과조가 설계조건대로 운전되는지를 점검해야 된다. 생물막 여과조에 부착된 생물막의 상태로 관찰이 필요하며 과도한 생물막 형성은 효율저하가 발생되므로, 생물막의 탈리가 이루어지면 인위적인 세척이 필요하다. 고정생물막 반응조의 운전시 달팽이가 서식하면 생물막 여과조의 기능은 감소된다. 삼상유동층 생물막 반응조는 미디어가 계속 유동하므로 달팽이 번식에 따른 문제점은 극복할 수 있다. 유동층 반응조의 관리 요령은 주입공기량의 관리가 아주 중요한 요소이며, 유출수내 미디어가 혼합되어 나오지 않도록 주의를 기울여야 된다.

## 제11절 경제성 검토

순환여과식 양식시스템의 수처리장치의 연구실험결과 얻은 설계 인자를 이용하여 현장적용한 결과를 중심으로 유동층 생물막 여과조의 설계예와 설치 비용을 산출하면 다음과 같다. 생물막 여과조의 연구 결과로 도출된 수처리시스템을 충청남도 예산군에 소재한 예당수산에 적용하였다. 적용한 시스템 단위공정별 규격 및 설계 조건은 <표 2-11-1>과 같다.

<표 2-11-1> 현장 수처리시스템의 설계조건표

구분	설계조건	현장조건	비고
사육조용량(m <sup>3</sup> )		400	400
사육밀도(kg/m <sup>3</sup> )	10 ~ 100		15
회전수(회전/일)		20	36
유량(m <sup>3</sup> /일)		8000	14,400
HRT(분)		7.5	7.5
생물막 미디어 충전율(%)	10 ~ 15/30		13/30
여과조 /공기겉보기상승속도 (cm/min)		20/35 25/50	
드럼필터(m <sup>3</sup> /hr)		600	600

적용한 현장의 사육조 용량이 400m<sup>3</sup>이고 여기에 적용된 시스템의 재료 및 단가를 산정하면 <표 2-9-1>과 같다.

<표 2-9-2> 현장설치 비용

재료	단가	총비용
미디어	100,000원/kg	10,000,000원
Biofilter 높이 : 2m, 지름 : 1m	40,000원/개×50개	2,000,000원
공기펌프(5HP)	650,000원/대×3대	1,950,000원
총액		1,395,000원

## 제12절 결론

양어장 수처리 시스템개발을 위하여 생물막공법을 이용한 순환수 처리 실험을 인공 양식수를 이용한 실험과 실제 양식수를 이용한 실험을 수행하여 양식수 처리특성을 고찰하였고, Pilot Plant의 운전을 통하여 순환여과식 양식시스템의 운전을 통하여 생물막 여과조의 성능실험을 수행하였다. 미세스크린을 순환수내 고형물 제거장치로 선택하기 위한 기호실험으로 틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수에 대한 여과특성 실험을 수행하였다. 순환수의 살균과 유기물 분해특성을 고찰하기 위해 회분식 오존 산화 실험을 수행하였다. 양어장 폐슬러지의 작물이용가능성에 대한 연구도 수행하였다. 이러한 여러 가지 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 각각 도출할 수 있었다.

### 1. 인공양식수를 이용한 실험실 규모의 순환수 처리실험

#### 가. 간접포기식 고정생물막 반응조

Saran 미디어 이용한 간접포기식 생물막 공법에서는 유기물질 제거율은 약 13.5분의 수리학적 체류시간에서 평균 40% 보였으며 Ring미디어의 경우 평균 21%였다. 암모니아 제거는 정상상태 이후 유출수의 암모니아성 질소농도는 약0.1mg/L 이하를 보여 암모니아 제거능력이 우수하였다.

#### 나. 직접포기식 고정생물막 반응조

유기물 제거율은 약 13.5분의 HRT에서 Saran미디어가 평균 40%, Ring 미디어는 평균 21.0%의 제거효율을 보였다. 실험결과 유출수의 암모니아성 질소농도는 Saran미디어와 Ring미디어의 경우 각각 0.1mg/L, 0.172mg/L이하로 나타났다.

#### 다. 활성탄 삼상 유동층 반응조

1일 회전수를 4.6과 9.6으로 두고 운전한 결과 유기물 제거는 각각 81.9%와 59.6%로 나타났고, 암모니아성 질소의 제거효율은 31.0%와 18.8%로 나타났다.

## 2. 실험실 규모의 양어장 순환수처리

### 가. 직접포기식 고정생물막 반응조

Saran메디아를 충전한 경우유입수의 암모니아성 질소농도는 0.12 ~ 1.04 mg N/L였으며, 부하범위는 10.08 ~ 465.60 g N/m<sup>3</sup>/day였다. 반응조의 수리학적 체류시간변동이 5min까지 단축된 경우, 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 수질을 보였으나, 수리학적 체류시간이 3 min일때, 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 관찰할 수 있었다. Saran+Y메디아를 충전경우 유입수 암모니아는 0.14 ~ 1.04mg N/L의 농도 범위 였고, 수리학적 체류시간이 5min까지 단축되어도 안정적인 유출수 수질을 보였다. 그이하의 수리학적 체류시간에서는 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다. 직접포기식 Saran메디아와 Saran+ Y 메디아 등에 대한 각각의 유입부하 범위는 10.08-465.60, 10.80-499.20 (g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)였고, 각 반응조별 제거율은 45.10 - 97.44, 35.42 - 92.88(g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)의 범위였다.

### 나. Air - Lift식 생물막 반응조

실험기간중 유입수의 암모니아성 질소농도 범위는 0.20 -0.87 mgN/L였고, 부하범위는 14.4-125.3 (g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day)였다. 수리학적 체류시간이 20min일 때 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 농도를 보였고, HRT를 10min으로 단축하였을 때 유입수 농도에 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다.

### 다. 페타이어 삼상유동층 반응조

수리학적 부하를 48 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d - 240 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d로 운전 하였을 때 유입수의 농도는 0.09 mg/L ~ 1.17 mg/L였으며 유출수의 농도는 0.01 mg/L ~ 0.39 mg/L로 전 기간동안 최대 0.4 mg/l 이하를 유지하였다. 암모니아성 질소의 부하범위는 15.44 g/m<sup>3</sup>/day ~ 205.3 g/m<sup>3</sup>/day였으며 이때 제거율은 80.3 %로 나타났다.

### 3. 활성탄 이상유동층 반응조를 이용한 실험실 규모의 질산성 질소 제거

수리학적 체류시간의 변화에서 HRT가 1.0hr에서 유기물질 제거효율이 93.1 %, 질산성 질소의 제거효율이 98.4 %로 나타났다. 질산성 질소의 부하변동에 따른 실험에서 유입 질산성 질소의 농도를 93.8 mg/ℓ 까지 높이더라도 처리효율은 98.3 %였다. 탈질 소화에 필요한 탄소원의 양을 결정하기 위하여 COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비에 따른 질산성 질소의 제거효율 실험에서 그 비가 5.7과 3.2일 경우에 각각 제거율이 99.1 %와 98.4 %로 나타났다.

### 4. 양어장 슬러지를 이용한 원예작물 공정묘와 분식물의 생산

양어장 슬러지에 함유되어 있을 것으로 추정되는 잉여사료의 영양분과 어류 배설물에 함유된 비료 성분이 공정육묘 상토 1당 9 kg만 첨가하면 충분함을 나타낸다. 이것은 어류에 필요한 영양분이 고추와 토마토 등의 원예작물의 생육에 필요한 영양양분과 유사하고 성분간의 균형도 유사함을 나타낸다. 단지 많은 양의 비료성분이 슬러지 내에 포함되어 있더라도 유기물은 서서히 분해되는 성질이 있으므로 고농도에 의한 장애는 받지 않았고 고추와 토마토의 공정육묘기간인 40일간 필요한 영양분을 충분히 공급할수 있음을 나타낸다.

### 5. Pilot Plant

#### 가. 고정 생물막 반응조를 이용한 Pilot Plant

실험기간동안 일간 성장률은 1.00, 1.22, 사료계수는 1.06, 1.04로 나타났다. 순환수의 pH 유지를 위해 공업용 NaHCO<sub>3</sub>를 100-150 g/day로 공급하여 전체 실험 기간동안 pH 7 - 8을 유지할 수 있었고, 각 시스템의 평균 탁도농도는 1NTU이하의 양호한 상태를 유지하였다. Saran+Y 미디어와 Saran미디어를 생물막 여과조로 적용하였을 때 각 실험단계 별 사육조내 평균암모니아농도는 I 단계에서 0.64, 0.36 mg N/L, II 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, III 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, IV 단계에서 0.47, 0.60

mg N/L로 나타나, 안정적인 수질결과를 보였다.

#### 나. 페타이어 삼상유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant

수리학적 부하를  $57.6 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d} \sim 180 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$  로 운전 하였을 때 유입수의 농도는  $0.10 \text{ mg/l} \sim 1.17 \text{ mg/l}$ 였으며 유출수의 농도는  $0.02 \text{ mg/l} \sim 0.24 \text{ mg/l}$ 로 전 기간동안 최대  $0.3 \text{ mg/l}$  이하를 유지하였다. 암모니아성 질소 부하는  $5.63 \text{ g/m}^3/\text{day} \sim 205.2 \text{ g/m}^3/\text{day}$ 였으며 부하율에 대한 제거율은 80.7 %로 나타났다. 암모니아성 질소 부하에 따른 제거효율은 40.25 ~ 85.05 %의 범위를 나타내었으며 제거율도 실험실 규모 삼상 유동층 반응조의 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 Pilot Scale 삼상 유동층 반응조의 Scale-up은 적절하게 이루어진것으로 판단된다.

#### 6. 미세스크린을 이용한 양식수처리

이상과 같은 SS농도별 시료와 현장 양식수를 대상으로 여과실험을 수행한 결과, SS농도별 여과실험을 수행한 결과 여액의 SS농도는 평균  $3.7 - 25.9 \text{ mg/L}$ 로 나타나 양호한 수질을 보였다. 여과실험결과를 반대수그래프에 적용한 결과 여과시간에 대한 Flux의 함수로 나타낼수 있었다. SS농도가  $20\text{mg/L}$ 일 때 각 스크린별 여과특성식은 다음과 같이 구해졌다.

$$\text{Flux}_{20\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -7.43 \log T(\text{sec}) + 9.25 ; r=0.95$$

$$\text{Flux}_{30\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.90 \log T(\text{sec}) + 15.27 ; r=0.93$$

$$\text{Flux}_{50\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -10.39 \log T(\text{sec}) + 22.46 ; r=0.98$$

$$\text{Flux}_{70\mu\text{m}}(\text{mL}/\text{cm}^2\text{sec}) = -9.65 \log T(\text{sec}) + 25.87 ; r=0.95$$



## 7. 양식수의 오존처리

틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수의 오존접촉시간에 따른 수질인자의 변화는 다음과 같다. 오존접촉시간에 따른 대장균 사멸정도는 접촉시간 5분에서 거의 사멸되어져 대장균 살균에 뛰어난 효율을 나타냈다. 아질산성 질소는 오존접촉시간에 따라 점차적으로 감소하여 HRT 20 min에서는 0.8mg/L 의 농도로 낮아졌다. 유기물 변화는 UV<sub>254</sub> 값이 오존접촉시간에 따라 감소하는 것으로 보아 오존처리가 생물학적 분해불가능한 물질들을 분해가능한 물질로 변화시킨다는 것을 고찰할 수있었다. 오존접촉시간에 따라 탁도는 뱀장어 양어수에서 틸라피아 양어수보다 훨씬 뛰어난 제거효율을 보였다.

## 8. 공정관리 방안

순환여과식 양어시스템의 수처리장치가 처리해야 되는 순환수특성은 오염물질의 농도는 낮고 많은 유량을 처리해야되는 특성이 있다. 미국 EPA에서 권고하는 양어장 순환수내 비이온성 암모니아의 기준 농도를 0.02mg/L이라고 제시하였다. pH를 유지하기 위해서는 항상 일정량의 알칼리도의 공급이 필요하다. 알칼리도의 공급은 탄산염이나 중탄산염등을 주입함으로써 이루어질수 있다. 침전조에 고인 고형물질은 1일1회 주기의 제거작업이 필요하다. 이 작업을 통하여 일정량의 물이 환수된다. 사여과장치는 수동으로 운전하였으며, 1일 1회정도 역세를 통하여 사여과장치를 세척하였다. 생물막 여과조의 관리는 운전유량을 점검하여 생물막 여과조가 설계조건대로 운전되는지를 점검해야 된다. 유동층 반응조의 관리 요령은 주입공기량의 관리가 아주 중요한 요소이며, 유출수내 미디어가 혼합되어 나오지 않도록 주의를 기울여야 된다.

## 9. 경제성 검토

사육조 규모 100㎡인 현장에 적용한 설치비 내역을 산출하면 다음과 같다

- 생물막 여과조 설치 :

Biofilter(높이 2m, 지름 1m) : 4만원/조 × 50조 = 200만원

메디아 : 100만원/㎡ × .13 × 1.5㎡/조 × 50조 = 1000만원

공기공급( 6HP 공기펌프 ) : 65만원/대 × 3대 = 195만원

- 총액 = 1395만원

## 제 3장 순환여과식 양어시설의 종합설계시스템 개발

### 제 1절 서론

순환여과식 양어방법은 우리나라에서는 1973년에 부경대학교 어류양식 실험실 내에서 간이 순환여과장치로서 각종 어류의 성장을 조사한 것이 순환여과식을 양식에 이용한 시초이며, 1979년에 약 600 $\text{m}^3$ 의 시험규모의 순환여과 사육장치가 부경대학교 양어장에 시설되어 순환여과식에 대한 본격적인 실험이 시작되었다.<sup>1)</sup> 순환여과식 사육장치의 장점은 소량의 물로 많은 양의 어류를 키울수 있고, 좁은 면적에서 고밀도 양식이 가능하다는 점인데 산업적으로 이용되기 위해서는 어류로부터 배출되는 많은 양의 대사노폐물의 제거, 암모니아농도 등 수처리기술개발이 해결되어야 한다.<sup>2)</sup> 본 연구에서는 고품오물의 효과적인 제거를 위한 사육조와 침전조의 설계를 위한 수리학적 연구를 통하여 설계지침을 마련하고 에너지절약을 위한 양수펌프의 양정고를 낮추기 위한 설계방안을 검토한다. 공정관리가 용이하고 경제적인 설계방안에 대하여 검토한다. 순환여과식 양어시설의 사육수조와 침전수조 및 순환장치의 종합적인 설계시스템을 개발하기 위하여 우선, 사육수조의 기능을 최대한 발휘할 수 있는 수리학적 최적설계와 경제적인 설계가 필요하다. 침전수조는 고품입자의 중력침강에 의하여 수중에 함유된 고품입자를 제거하는 수조로서 기계적인 스크린여과장치나 필터에 의한 여과장치와는 그 구조와 기능이 다르며 본 연구에서는 중력침강에 의한 침전수조의 수리학적 최적설계방안과 경제적인 설계방안에 대하여 다룬다. 물 순환장치는 순환여과식 양어시설에서 【사육수조 → 침전수조 → 여과장치 → 수처리시설 → 사육수조】로 연결되는 물 순환 사이클에서 사육수조로 유입되는 유입장치, 사육수조로부터 침전수조로 유출되는 유출장치와 사육수조내에서 기포공급장치 등의 수리학적 기능을 고려한 설계방법에 대하여 다룬다. 한편, 순환여과식 양어시설의 물 순환펌프의 용량

과 관련하여 소요동력 즉 소요경비와 직접적인 관련이 있다. 따라서, 펌프에 의한 양정고를 최소화 할 수 있도록 설계하는 것이 경제적인 측면뿐 아니라 공정관리에 있어서는 유리하다. 현재, 우리나라에서 산업적으로 이용되고 있는 어류양식은 유수식 또는 유수식과 폐쇄식의 중간형태인 반지수식이 대부분으로서 다량의 오폐수를 자연환경에 배출시키기 때문에 환경부에서는 침전수조의 면적을 전체양어장면적의 최소한 일정한 비율을 갖도록 법제화하고 있다. 따라서, 앞으로는 순환여과식 양어방법에 대한 많은 연구와 설계방안의 검토가 필요하다.

## 제 2절 기존 연구결과의 소개

### 1. 순환여과식 양식의 발전방향<sup>3)</sup>

일반적으로 순환여과식이라함은 물의 재 사용율이 1일에 95~98%의 범위에 이르는 것을 말한다. 초기의 산업용 순환여과식은 1960년대 佐佰有常 等(1962)에 의하여 잉어양식이 시작되어, 1970년대에는 미국의 Memphis 주립대학에서 송어양식에 관한 연구가 시작되어 1980년대에 들어 개발수준은 유아기이지만 빠른속도로 산업적인 규모로 발전하고 있다. 한국에서는 1979년 Pilot 규모의 양식시설이 金仁培(1980)에 의하여 시작되었다. 순환여과식 양식장에 필요한 요소 중 본 연구과제와 관련된 사항에 대하여 열거하면 다음과 같다.

#### 가. 사육수조

##### (1) 수조의 형태

원형 또는 준 원형수조에서 중앙배수식, 사각형수조에서 수조의 말단부분에서 배수시키는 방식, 정사각형의 긴 수로형(race way)수조와 회류식 수조 등이 있다.

##### (2) 사육수조의 크기와 바닥형태

사육수조의 규모와 관련하여 고려해야 할 점은 수조내에서 발생한 배설물과 찌꺼기는 빨리 제거할수록 좋으며 사육수조에서 고형오물의 제거에 영향을 주는 요인은 다음과 같다.

- 사육수조의 크기
- 공급사료의 양
- 수용된 어류의 양과 크기
- 수조안의 수류의 방향과 유속

일반적으로 수질유지측면에서 5-6m 정도의 크기가 적당하다. 그러나, 실제로 8-10m 정도의 수조도 많이 사용하고 있으나 수질악화의 문제점이 발생하기 쉽다. 한편, 사

육수조의 바닥은 일정한 경사를 주거나 배출구부근에서 경사를 더 크게 주는 것이 노폐물의 배출에 유리하다.

#### 나. 고형오물의 제거

##### (1) 사육조로부터 고형오물의 제거

사육조에서 발생한 고형오물의 제거를 위해서는 다음과 같은 사항에 유의해야 한다.

- 오물이 생긴 곳에서 배출되는 곳까지 거리가 짧을수록 좋다.
- 수조내의 유속은 고형오물입자가 움직일 수 있는 최소유속을 가져야 하지만 유속이 너무 빨라 오물이 부유상태로 있어서는 안된다.
- 수조내에 발생한 오물이 물에 용해되기 전에 제거해야 한다.
- 집적된 오물은 침전조로 보내어 침전분리 시키거나 또는 스크린여과기로 분리한다. 이때 오물이 침전한 바닥 가까운 곳에서는 가능한 한 난류가 발생하지 않도록 해야 한다.

##### (2) 스크린 여과기에 의한 고형오물의 제거

직경 2m, 길이 3m 인 원통형의 대형스크린 여과기에서 망의 직경이 60 $\mu$ 인 스크린을 장착하여 1시간당 약 2700m<sup>3</sup>(750 l/s)의 물을 여과시킬 수 있다.

다. 미세 부유물(SS)의 제거를 위한 침전수조

침전수조나 유속이 매우 느린 생물여과조는 미세한 부유물의 침전조 역할을 하며 거품분리법도 효과적인 제거방법이 된다.

## 2. 각종 순환여과식 양식 시스템

덴마크식 이나 네델란드식 뱀장어 양식장의 경우에는 사육조로부터 발생하는 고형오물을 드럼스크린을 통하여 제거하고 있으며, 네델란드식의 메기 양식장의 경우에는 평판찌꺼기 분리조에 의하여 고형오물을 제거하고 있다. 한국의 IBK 순환여과식 시스템을 소개하면 다음과 같다.

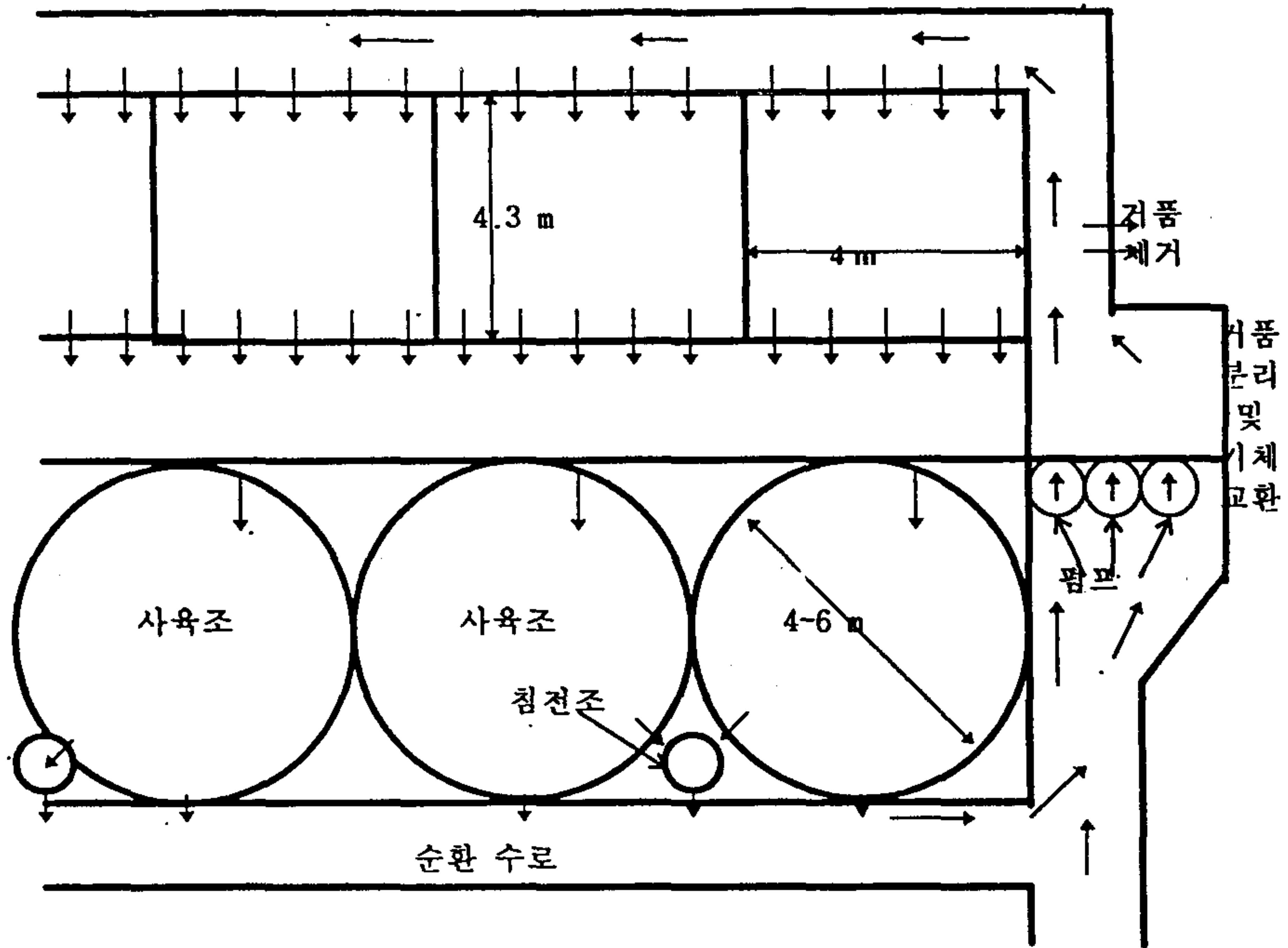
### 가. IBK 순환여과식 시스템<sup>3)</sup>

틸라피아 양식을 위한 IBK 시스템을 사육조와 각 사육조에 딸린 소형의 침전조와 생물학적 여과조로 구성되어 있으며, 사육조와 여과조 사이에는 수로로 연결하여 물을 순환시키기 위한 펌프는 여과조 바로 앞에 두며 사육조와 여과조의 높이차를 50cm로 하여 순환용펌프의 양정고를 줄이도록 하였다.

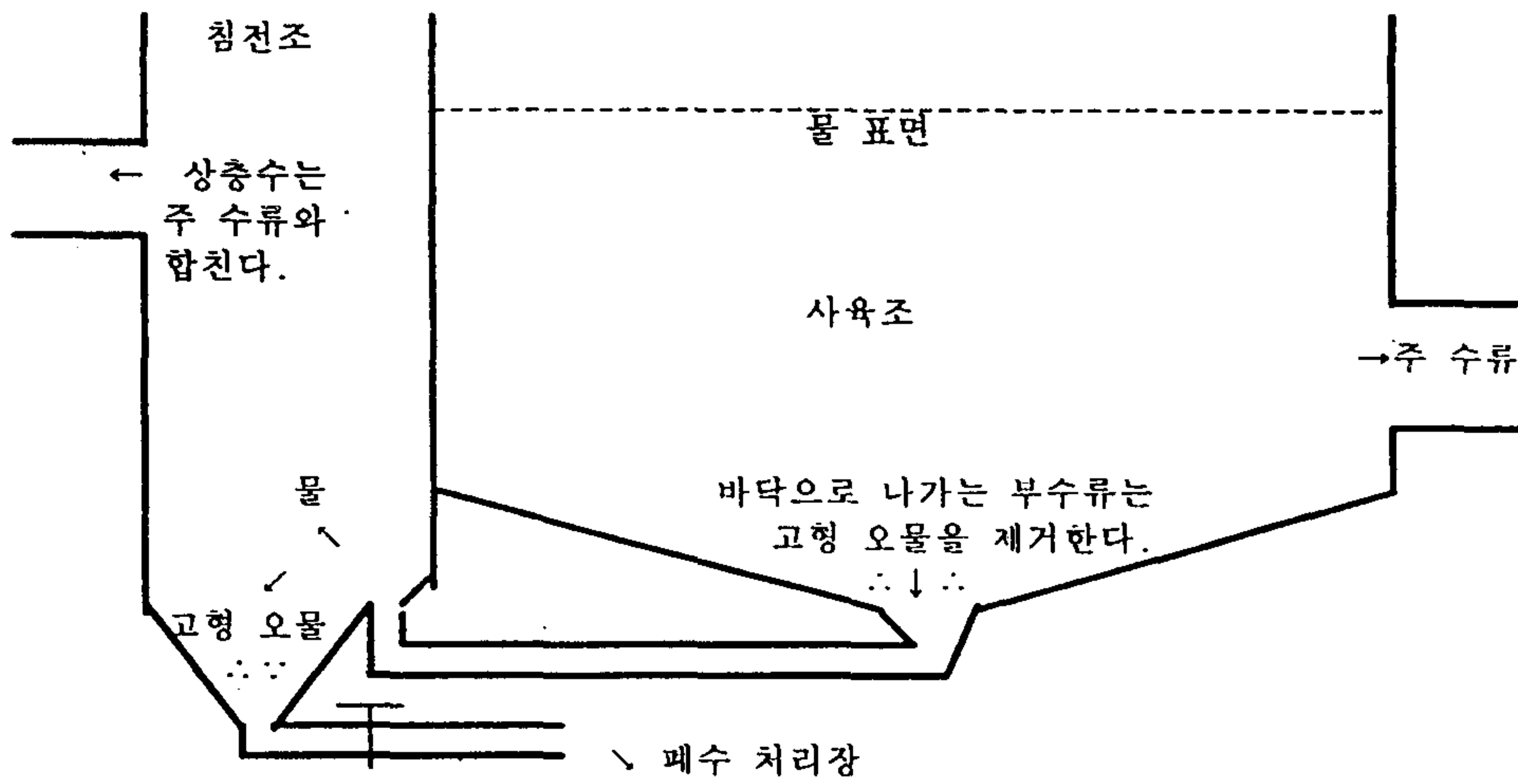
<그림 3-2-1>은 IBK식 순환여과 사육시설의 부분평면도를 나타낸다. <그림 3-2-2>는 사육조와 침전조의 단면모식도를 나타낸다. <그림 3-2-3>은 침전조의 상세구조와 스탠드 파이프의 단면을 나타낸다. <그림 3-2-4>는 펌프장의 구조와 역할을 나타낸다. <그림 3-2-5>는 여과조의 구조와 여과재료의 설치도를 나타낸다.

여기서, IBK식 한국형 순환여과 양식시설의 특징을 소개하면 다음과 같다.

- (1) 시설이 단순하여 정밀한 시공을 요하지 않아 제작이 용이하다.
- (2) 각 구성요소를 다목적으로 이용하도록 하여 구성요소의 종류를 최소화하도록 하여 시설의 단순화를 꾀하였다.
- (3) 낮은 양수고를 갖는 에너지절약형이다.
- (4) 여과조내의 유속을 5mm/s 이내로 감소시켜 SS의 침전능력을 극대화하도록 하였다.
- (5) 1시간에 2~4회전의 높은 회전율을 갖는다.
- (6) 큰 여과조의 용량은 충격흡수능력을 강화하는 작용을 한다.
- (7) 사육조에서 발생한 고형오물을 바로 옆의 작은 침전조로 보내어 오물의 조기분리를 꾀하도록 하였다.
- (8) 모든 작업은 수동으로 고장날 곳이 없으면서도 작업이 간단하다.
- (9) 양수기는 한 군데 여러 대를 설치하여 비상시 대처 할 수 있도록 하였다.
- (10) 물의 추가 공급량이 적다. 연간 100톤의 생산을 목표로 추가 수량은 1일 총 수량의 1%인 25톤 정도로서 연간 사용되는 수량을 9,125톤이며, 틸라피아 1kg을 생산하는데 91ℓ의 물이 소요될 정도로 매우 작다.

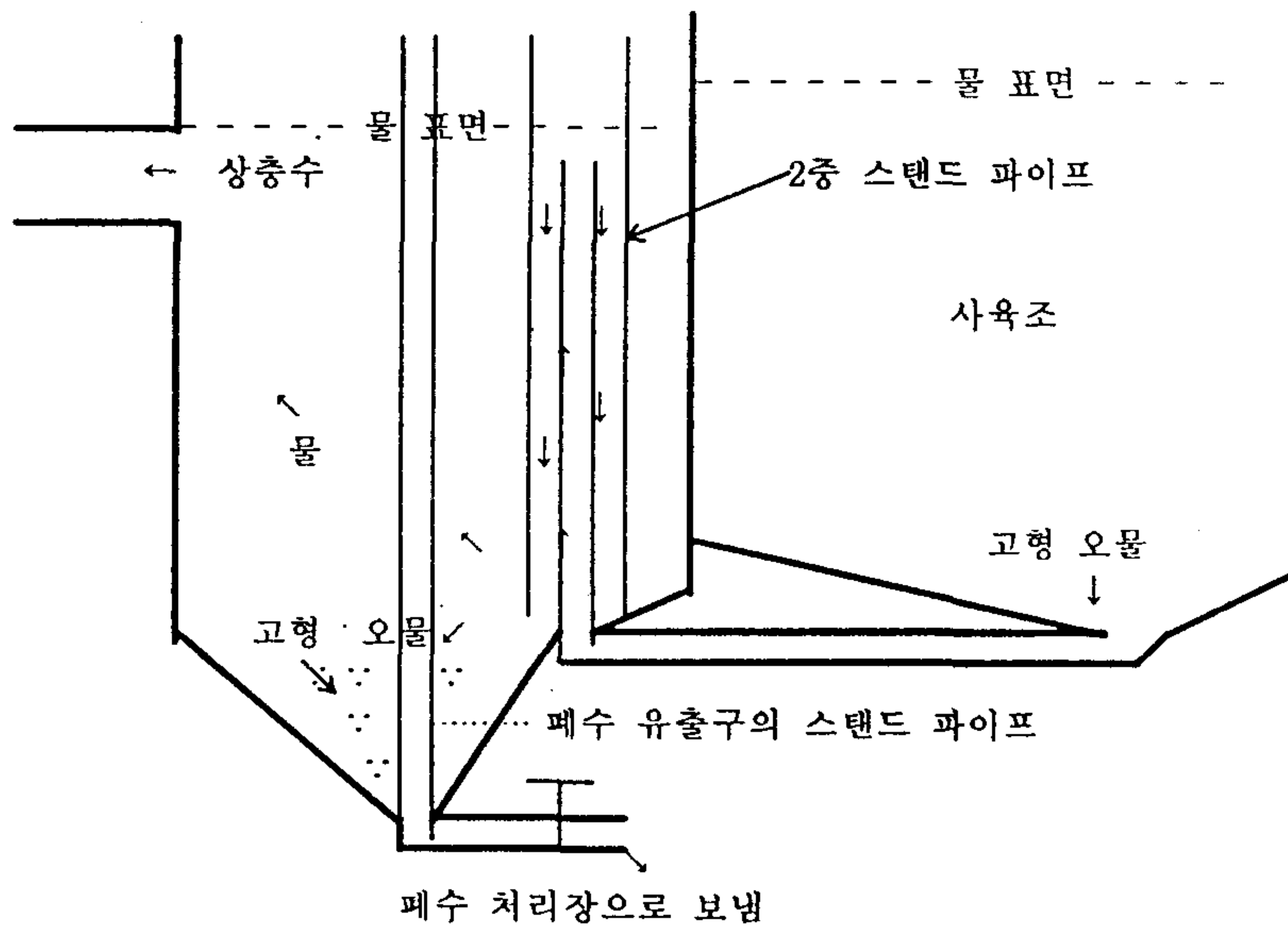


<그림 3-2-1> IBK식 순환여과 사육시설의 부분평면도

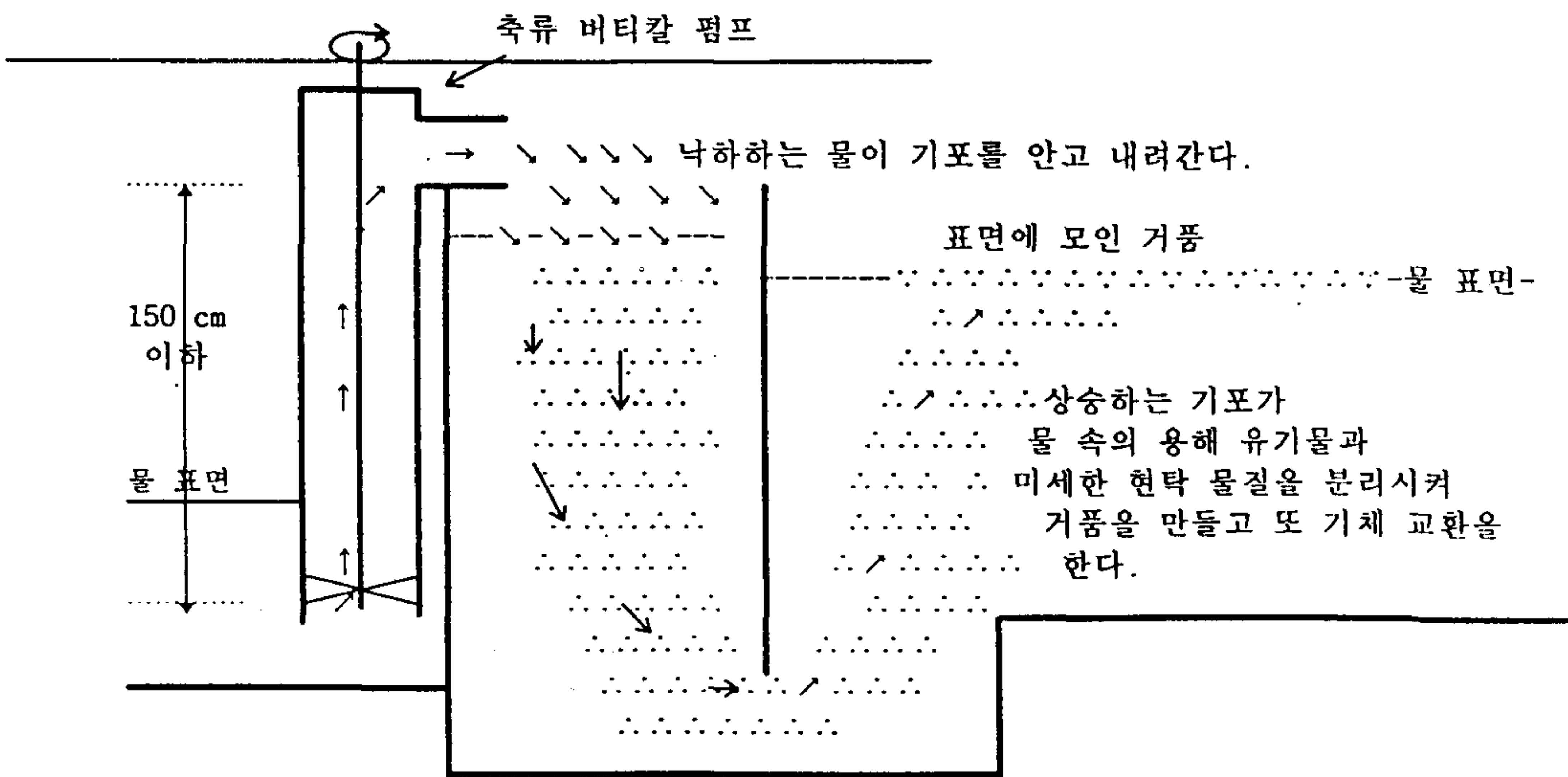


<그림 3-2-2> 사육조와 침전조의 단면모식도

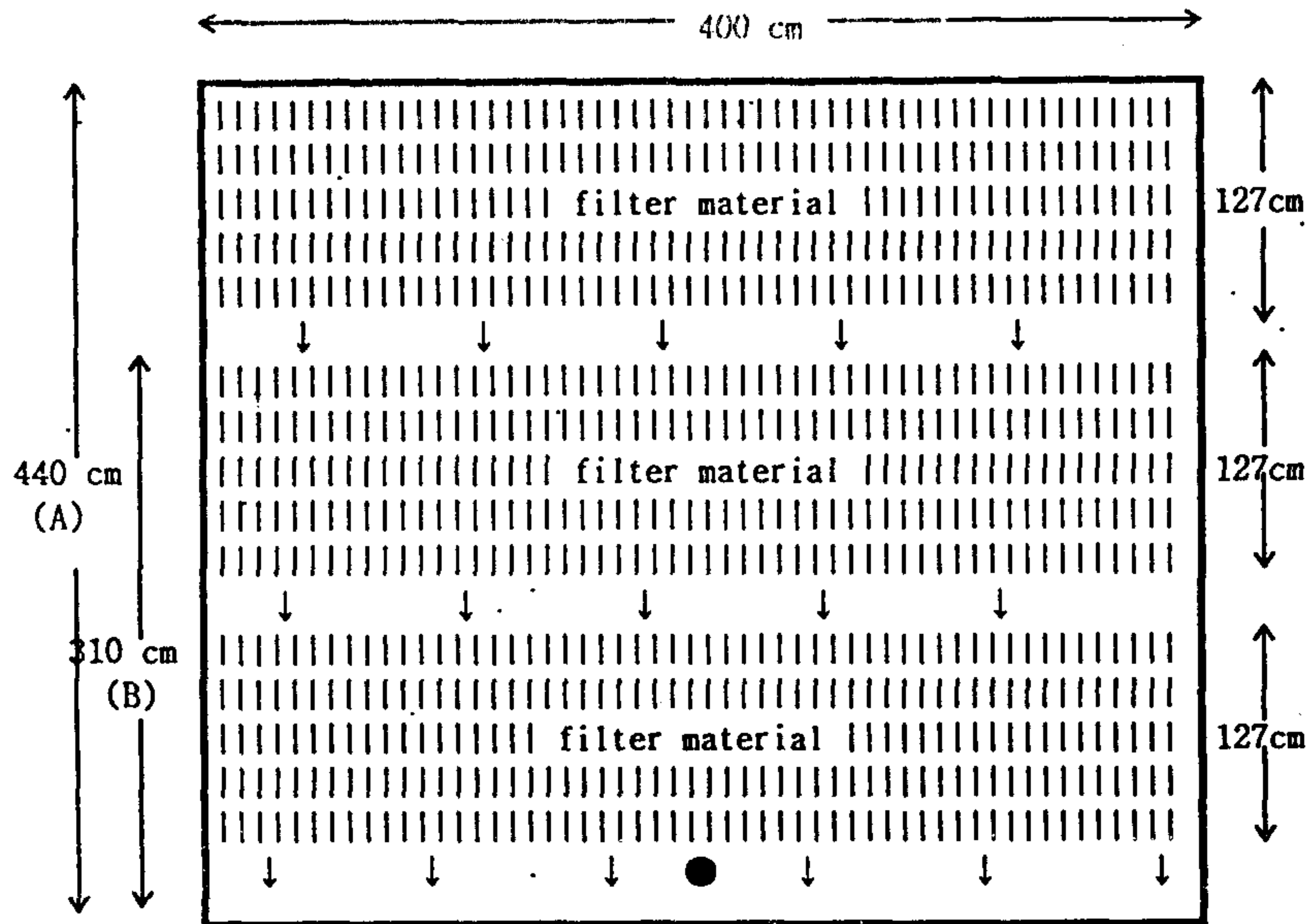




<그림 3-2-3> 침전조의 구조와 스탠드 파이프의 단면



<그림 3-2-4> 펌프장의 구조와 역할



<그림 3-2-5> 여과조의 구조와 여과재료의 설치도

### 3. 순환여과식 양식의 문제점과 전망<sup>3)</sup>

지금까지 고도의 정밀도가 요구되는 기술수준의 높은 순환여과식 양식시스템의 개발에 주력해 왔으나 그러한 시스템은 일반의 소형업체에서는 유지관리나 운영이 힘들 것으로 보인다. 그리고, 기업인들이 개발한 시스템은 기술공개를 꺼리고 고가의 기술료를 내고 이용하도록 하는 경향이 있다. 고가의 시설에서 채택된 어류가 재래식 양어장에서 생산된 상품과 비교하여 경쟁력을 갖기 위해서는 보다 단순한 물 절약방식을 채택한 시스템의 개발이 필요하다. 즉, 공학적인 정밀도의 향상도 중요하지만 아주 기초적인 기술과 지침에 의해서 개발될 수 있는 비교적 단순한 순환여과식 시스템의 개발이 요구된다. 따라서, 기술적인 측면과 경제적인 측면에서 다음과 같은 사항을 검토하여 시설계획을 세워야 할 필요가 있다.

#### 가. 기술적 측면

보다 안정되고 고장이나 사고가 없는 시설의 개발이 중요하고, 현재 허용하는 환경

규제의 범위 내에서 보다 저렴하게 생산이 가능한 시설부터 출발하여 점차 고도의 환경 대처 기술로 이어져 가도록 하는 것이 바람직하다. 기술적 측면에서 시설비가 생산단가에 미치는 단위 생산량에 얼마의 시설비가 소요되는가 하는 것을 면밀하게 검토하고, 시설운영시 인건비 부담에 적게 들도록 해야 한다. 그 밖에 일상 사육관리 소요인력, 수확시의 필요인력, 생산품과 사료의 운반에 필요한 물류비용도 감안하여 시설을 하여야 한다.

#### 나. 경제적 측면

한국의 사회적, 경제적 현실을 감안할 때, 세계적으로 경쟁이 가능한 생산 시스템을 목표로 개발해야 한다. 이를 위해서는 생산에 소요되는 각 항목의 경비를 잘 분석하여 부담이 많이 가는 경비를 줄이도록 해야 한다. 현재, 가장 커다란 생산경비는 인건비이고 그 다음이 전기료, 열비 등의 에너지 비용이다. 즉, 한 사람이 연간 얼마나 생산할 수 있는가 하는 것이 가장 중요한 문제이다.

## 제 3절 사육수조의 설계

### 1. 사육수조내의 유동구조에 관한 수리실험

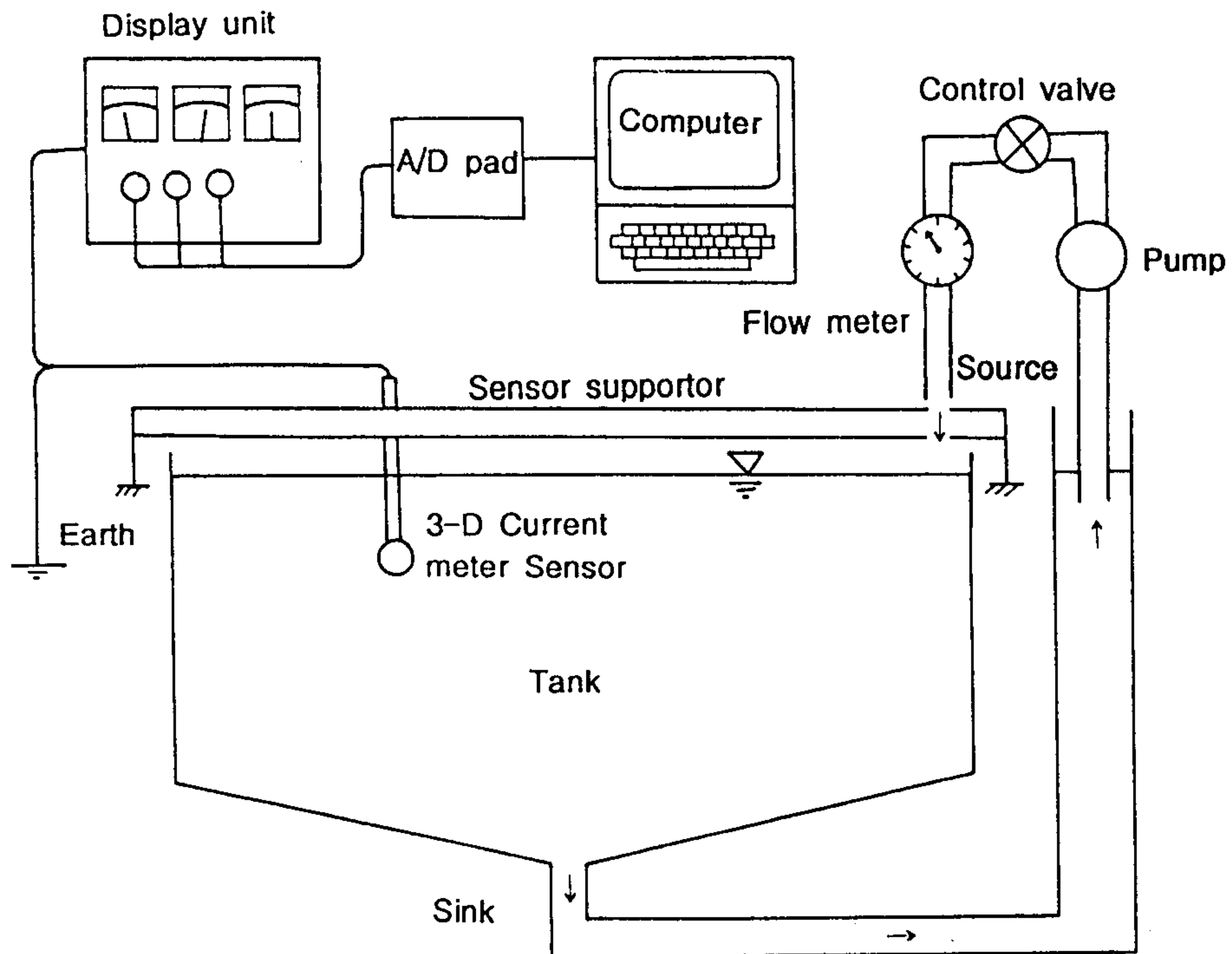
사육수조의 평면형상, 수조의 바닥경사 및 물 순환장치의 구조가 수조내의 유동구조에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수조 중앙의 저면으로부터 물을 배출시키는 하부배수식 수조내에서의 3차원 유동구조 측정과 수조의 중앙에 세워진 파이프를 통하여 물을 배출시키는 상부 파이프 배수식 수조내의 유동구조 측정을 통하여 수조내의 유동특성을 조사하였다.

#### 가. 하부배수식 수조내의 3차원 유동구조에 관한 실험

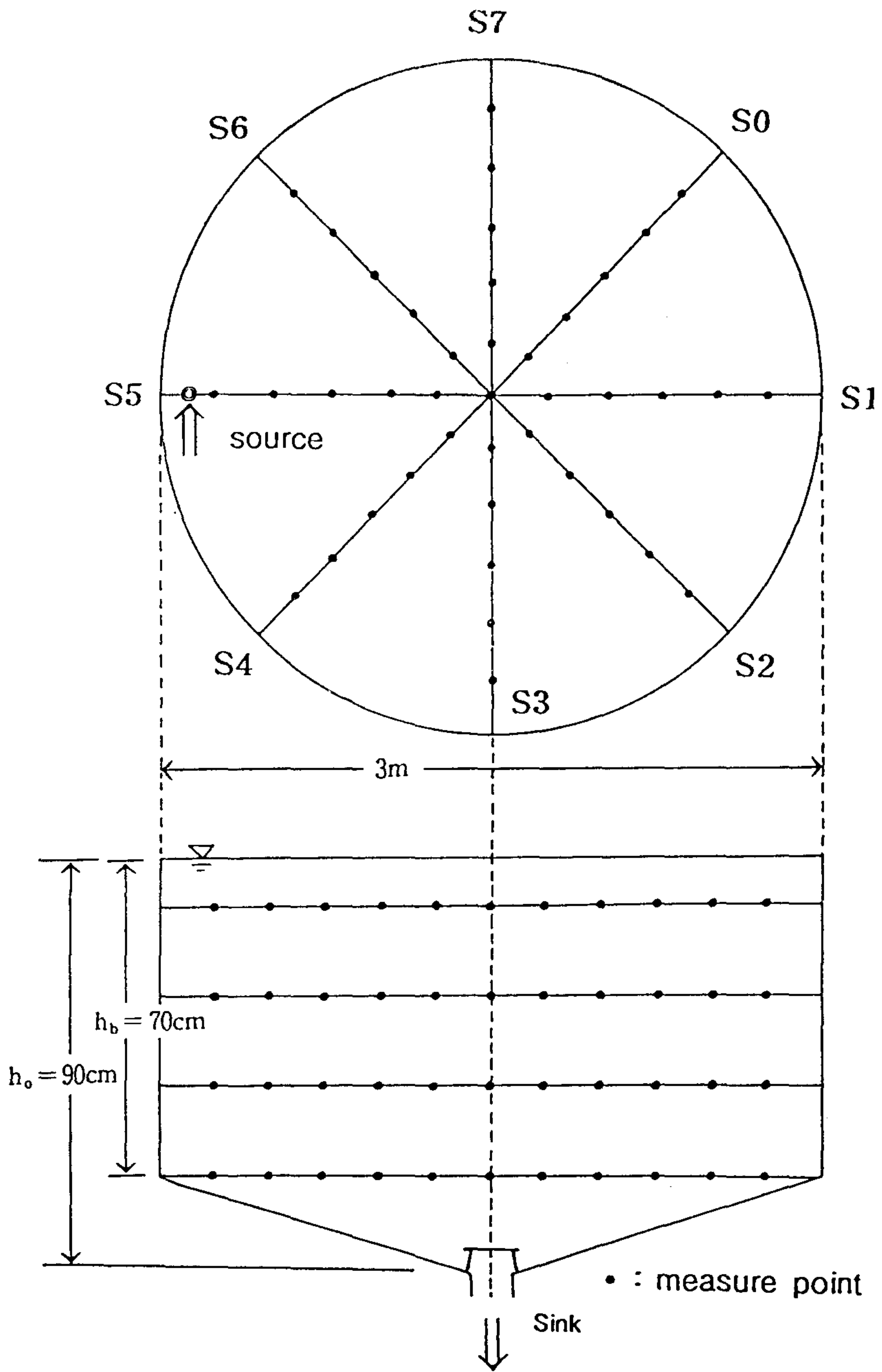
하부배수식 수조란 수조의 중앙부분 바닥으로부터 물을 배출시키는 방식을 말한다. 하부배수식 사육조내의 유동구조를 파악하기 위하여 재 순환 유입수의 유량  $Q_i$ , 수조의 평면형상, 수조의 수심  $h_0$  등을 바꾸어 가면서 총 8가지 case에 대하여 실험을 하였다. <표 3-3-1>은 각 Case별 실험조건을 나타낸다. <그림 3-3-1>은 실험장치의 개요를 나타낸다. 물은 펌프에 의하여 순환시켰으며 유속은 3성분 전자유속계(Alec. Co. Ltd Model ACM-300, Japan)를 사용하여 x, y 및 z방향의 유속을 동시에 측정하였다. 각 측정점에서 유속의 Analog신호를 A/D pad를 통하여 샘플링 시간간격  $\Delta t$ 는 0.5초 간격으로 digital값으로 변환하여 컴퓨터에 저장시킨 후 시간 평균한 유속값을 사용하였다. 각 실험 case별로 <그림 3-3-2>에서와 같이 유속을 4개 층의 총 164개 지점에서 측정하였다. <그림 3-3-3>은 S1 line 수면 하 30cm지점에서 유속과 유향의 시간에 따른 변화를 나타낸 그림이다. 유속은 실험개시 후 약 25분 후에 유속의 시간적인 변화가 거의 없는 정상상태에 달하였으며 유향은 측정도중 약  $\pm 1\%$  정도의 미세한 변화를 나타내었다. <그림 3-3-4>부터 <그림 3-3-11>까지는 각각 Case 1부터 Case 8에 대한 측정결과로서 층별 수평방향의 속도벡터와 연직방향 속도 크기를 나타낸 결과이다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

〈표 3-3-1〉 수조내의 3차원 유동구조에 관한 실험조건

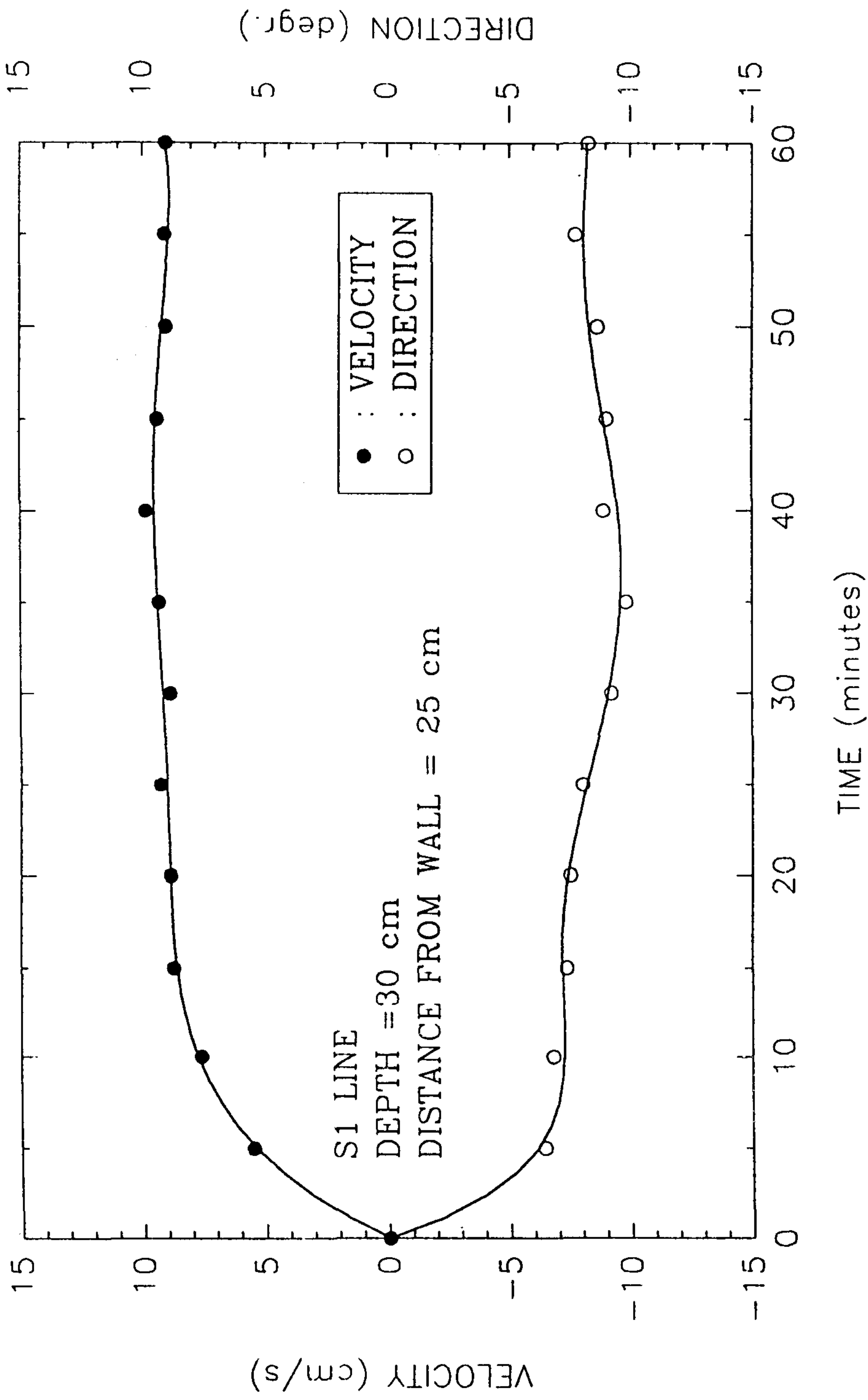
실험조건 case	수조형태	크기 (cm)	저면경사 (%)	최대수심 (cm)	유입유량 Q(l/s)	유입지점 유속(cm/s)	배수방법
1	원형	φ300	13	90	1.0	10.0	수조의 중앙부 바닥으로 부터 배출시킴
2	원형	φ300	13	90	2.0	21.0	
3	원형	φ300	13	70	1.0	13.5	
4	원형	φ300	13	70	2.0	21.0	
5	정8각형	1변의길이 110cm	13	50	1.0	10.0	
6	정8각형	1변의길이 110cm	13	50	2.0	17.0	
7	정4각형	210×210	13	50	1.0	7.0	
8	정4각형	210×210	13	50	2.0	18.0	



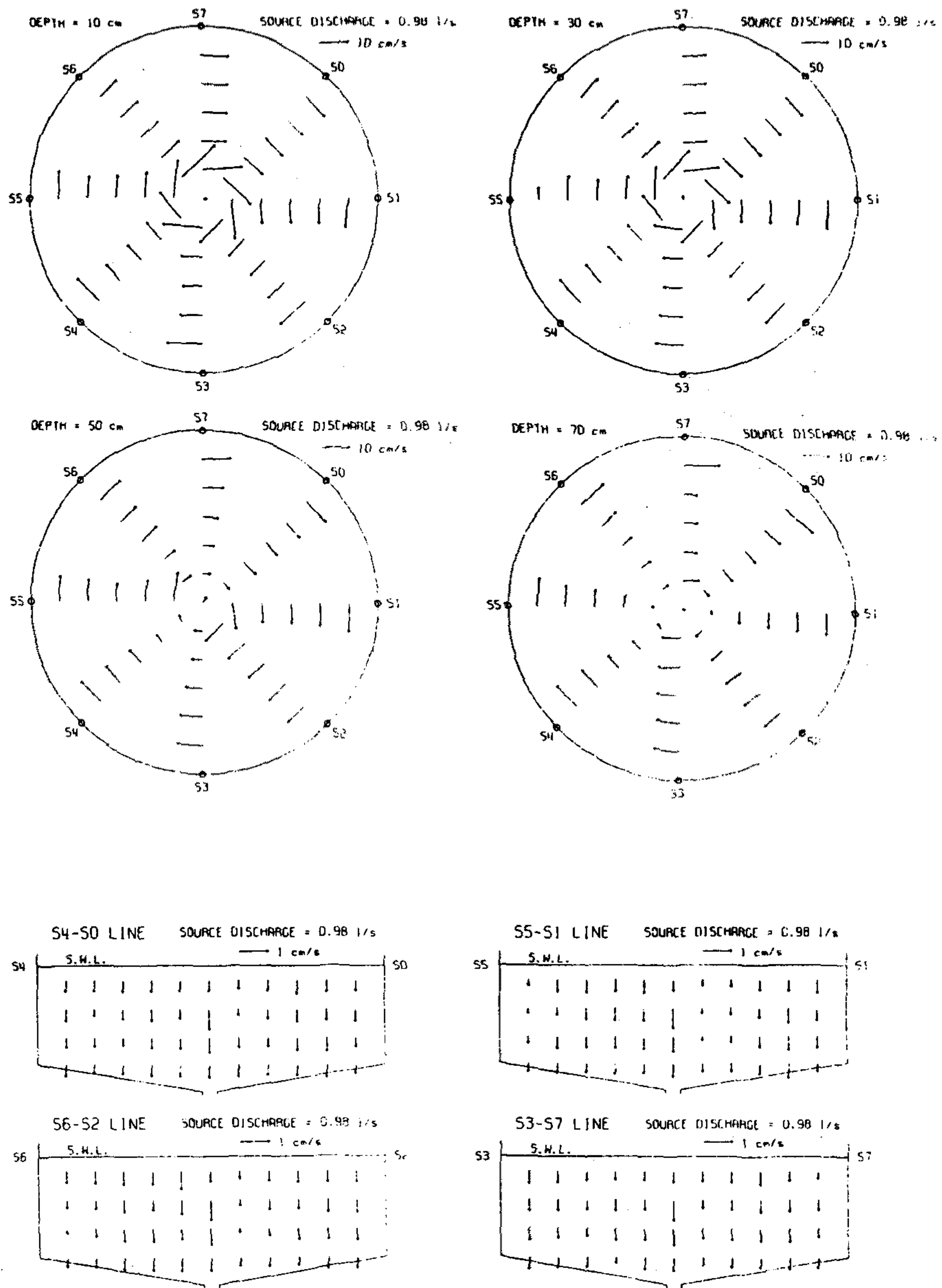
〈그림 3-3-1〉 사육조내의 3차원 유동구조 측정을 위한 실험장치의 개념도



<그림 3-3-2> 수조내 측정점의 위치

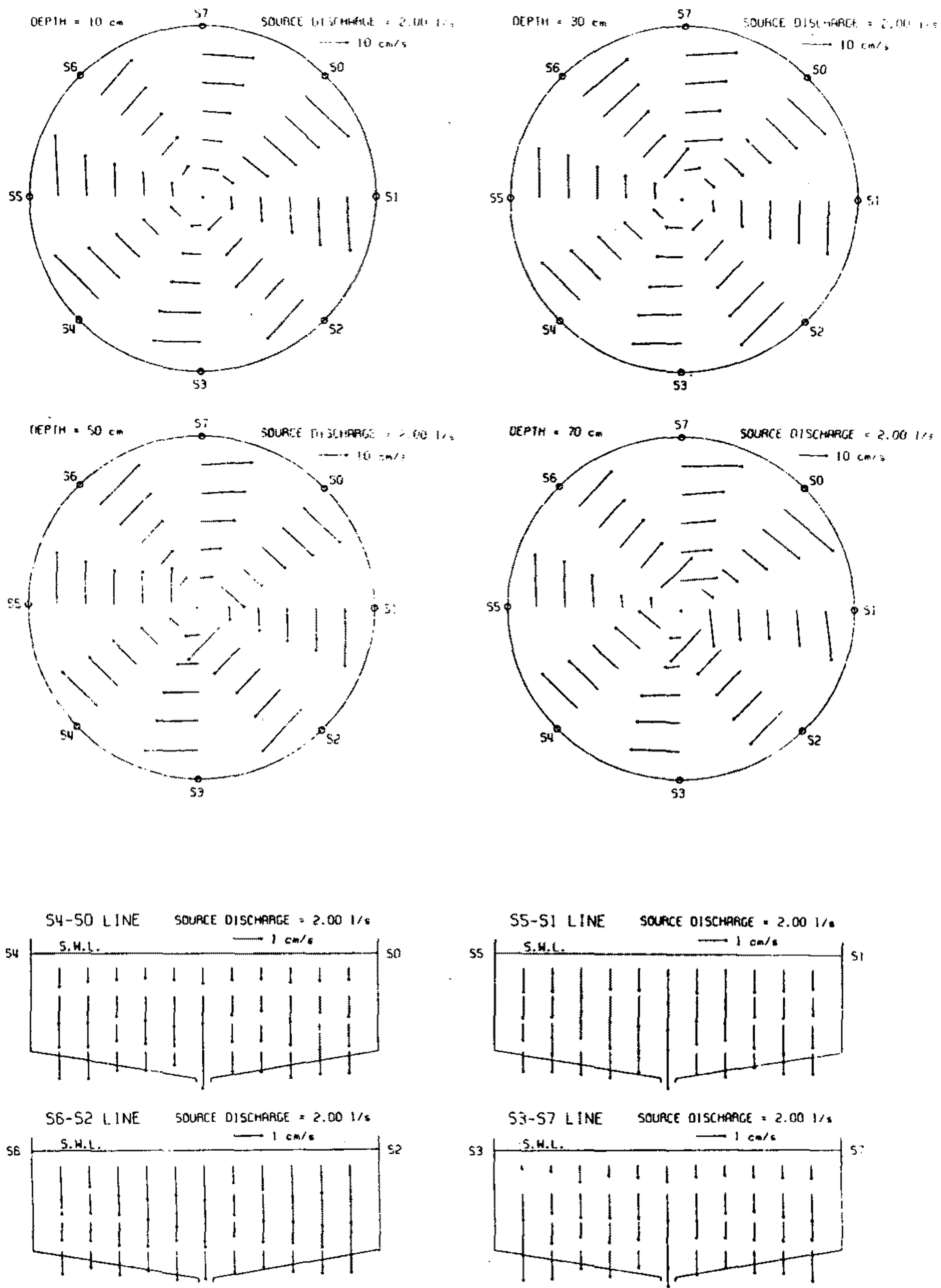


<그림 3-3-3> 시간별 유속과 유향의 측정결과

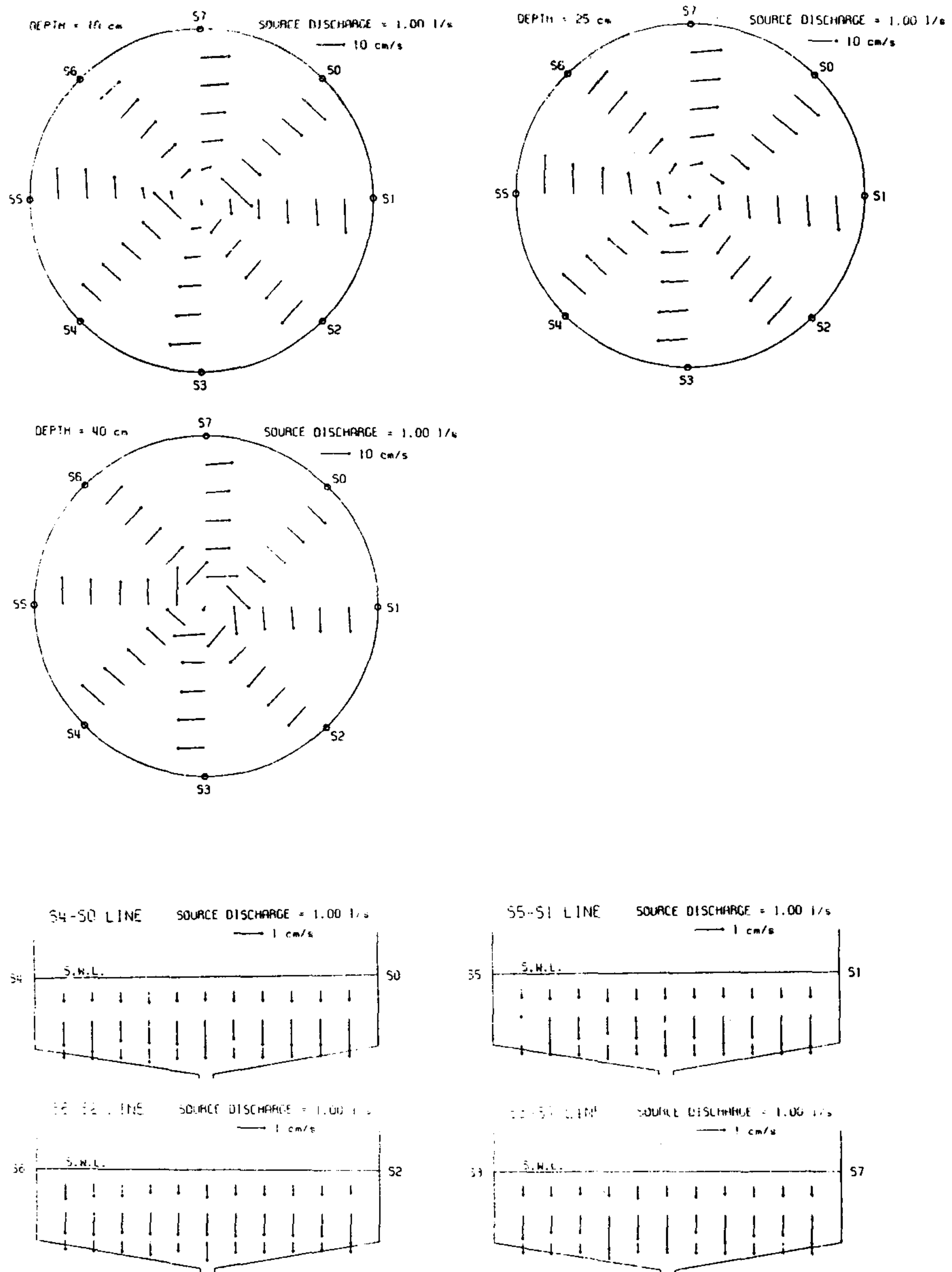


<그림 3-3-4> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 1)

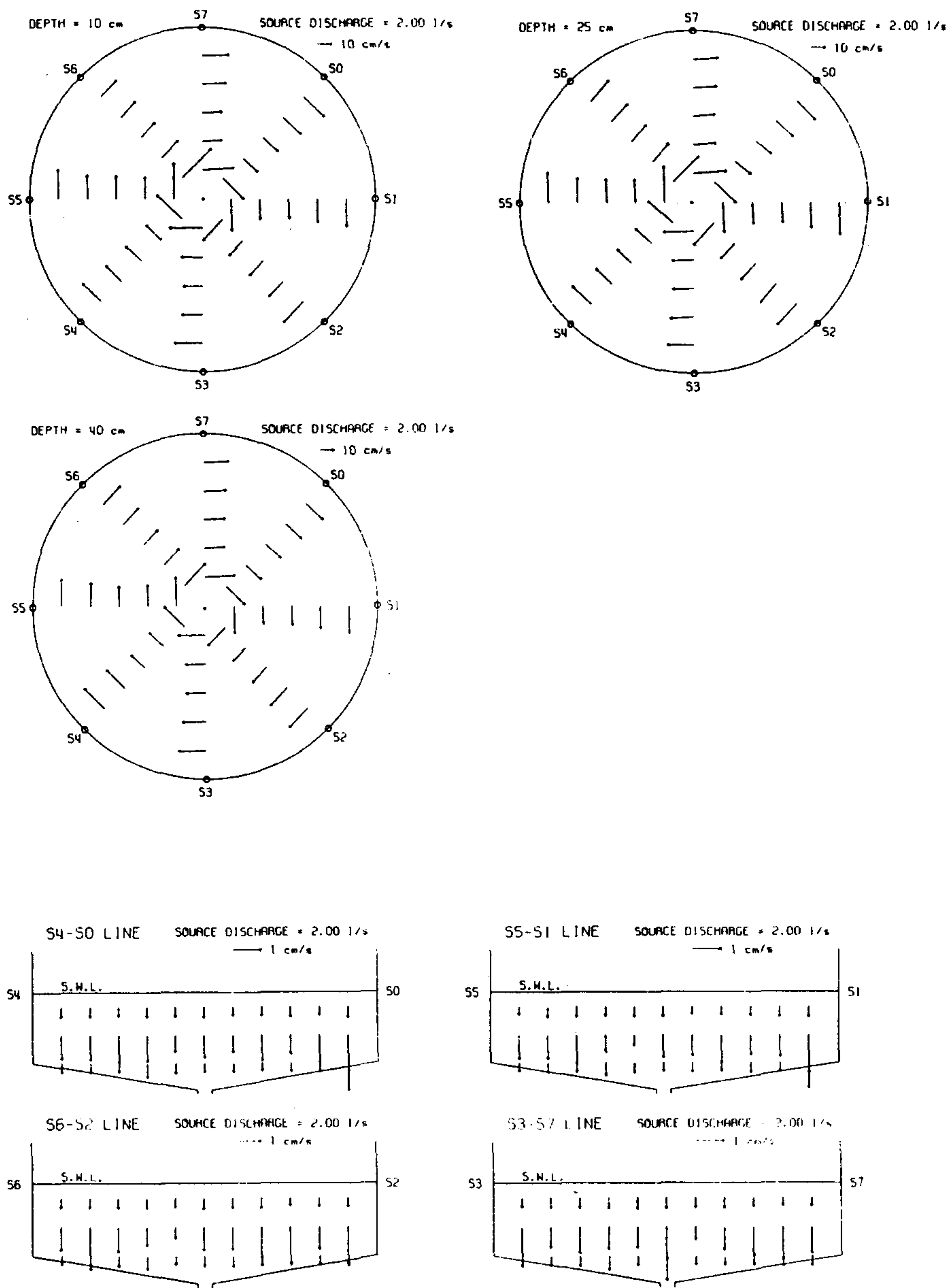




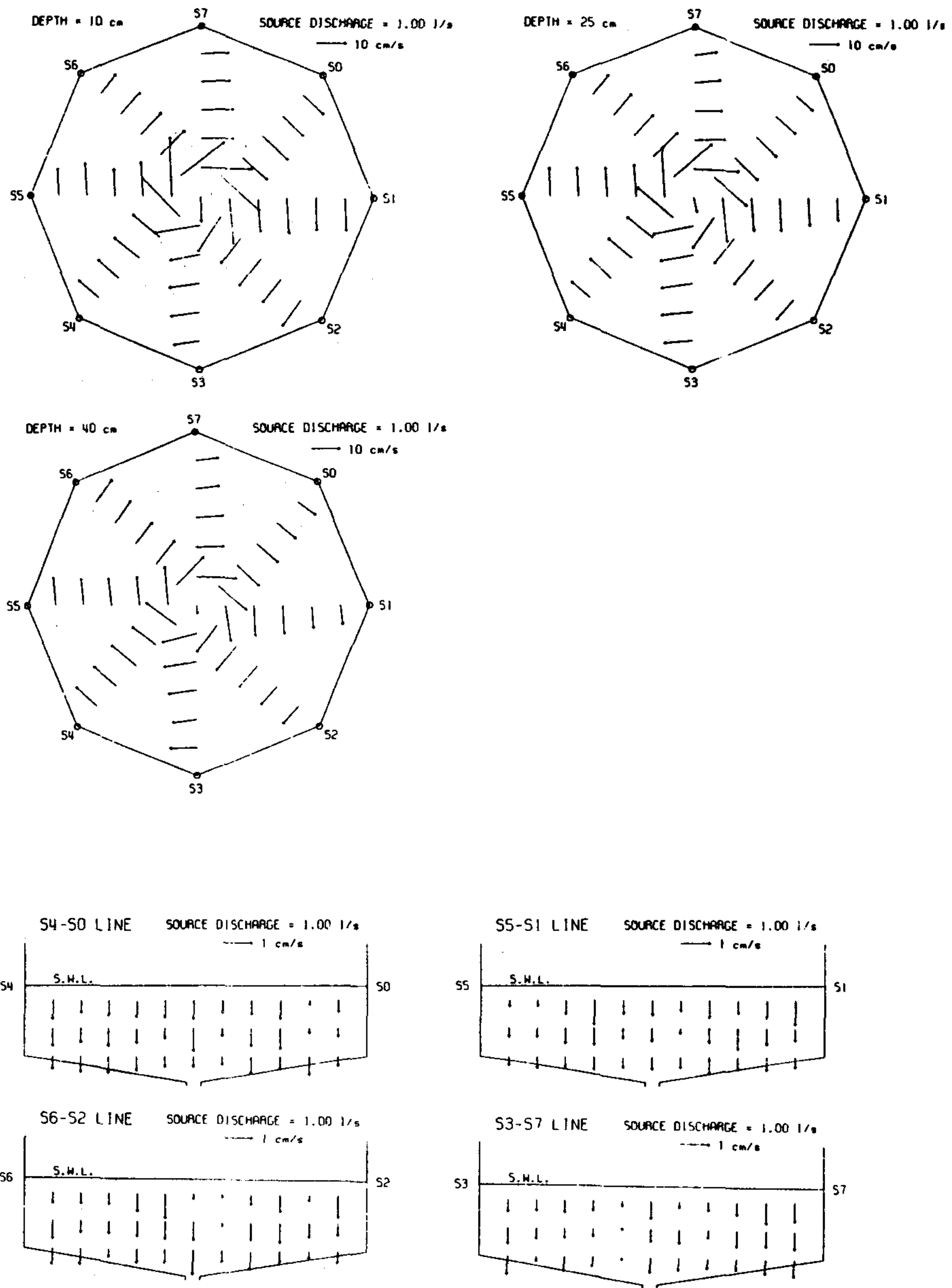
<그림 3-3-5> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 2)



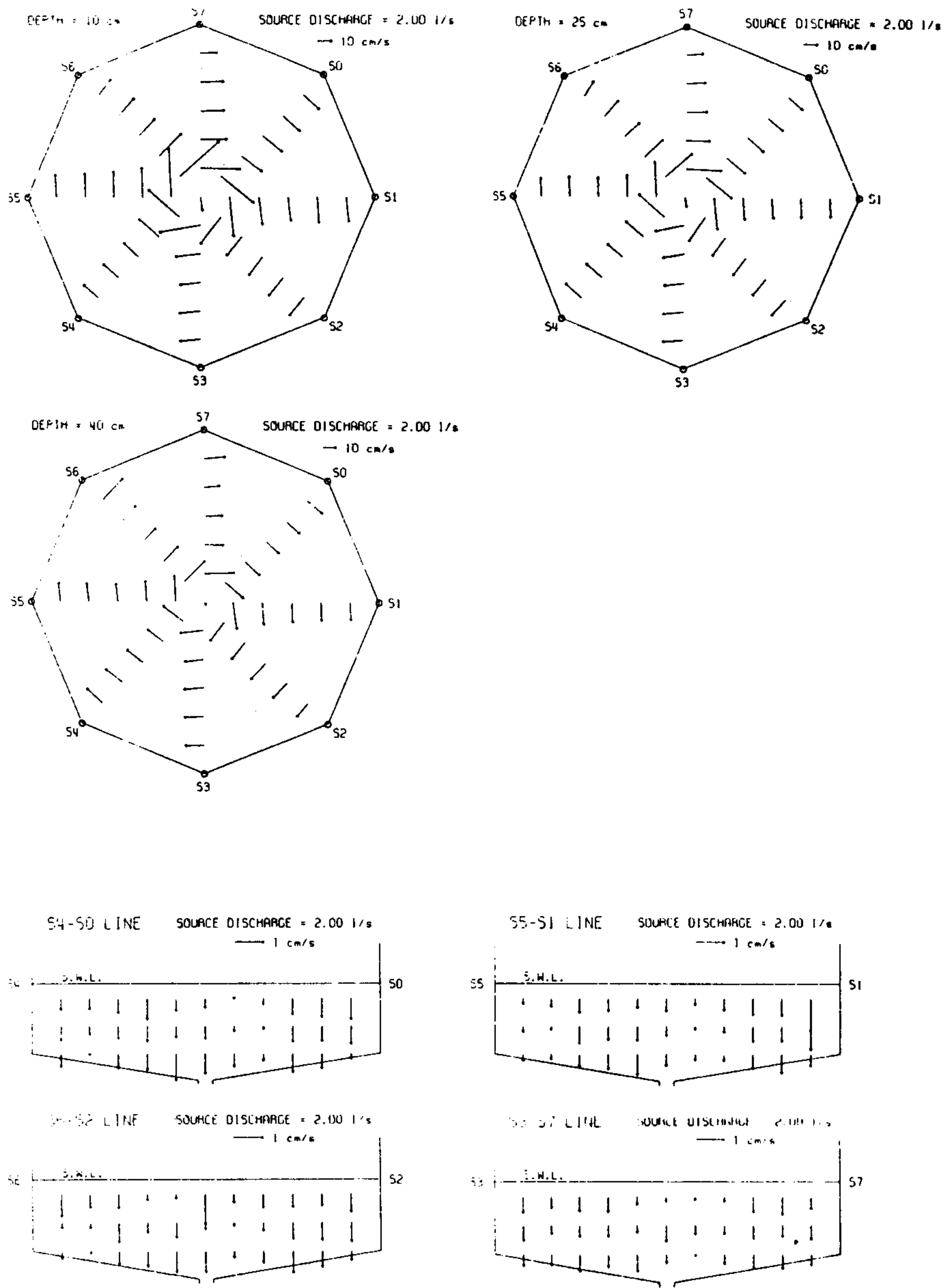
<그림 3-3-6> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 3)



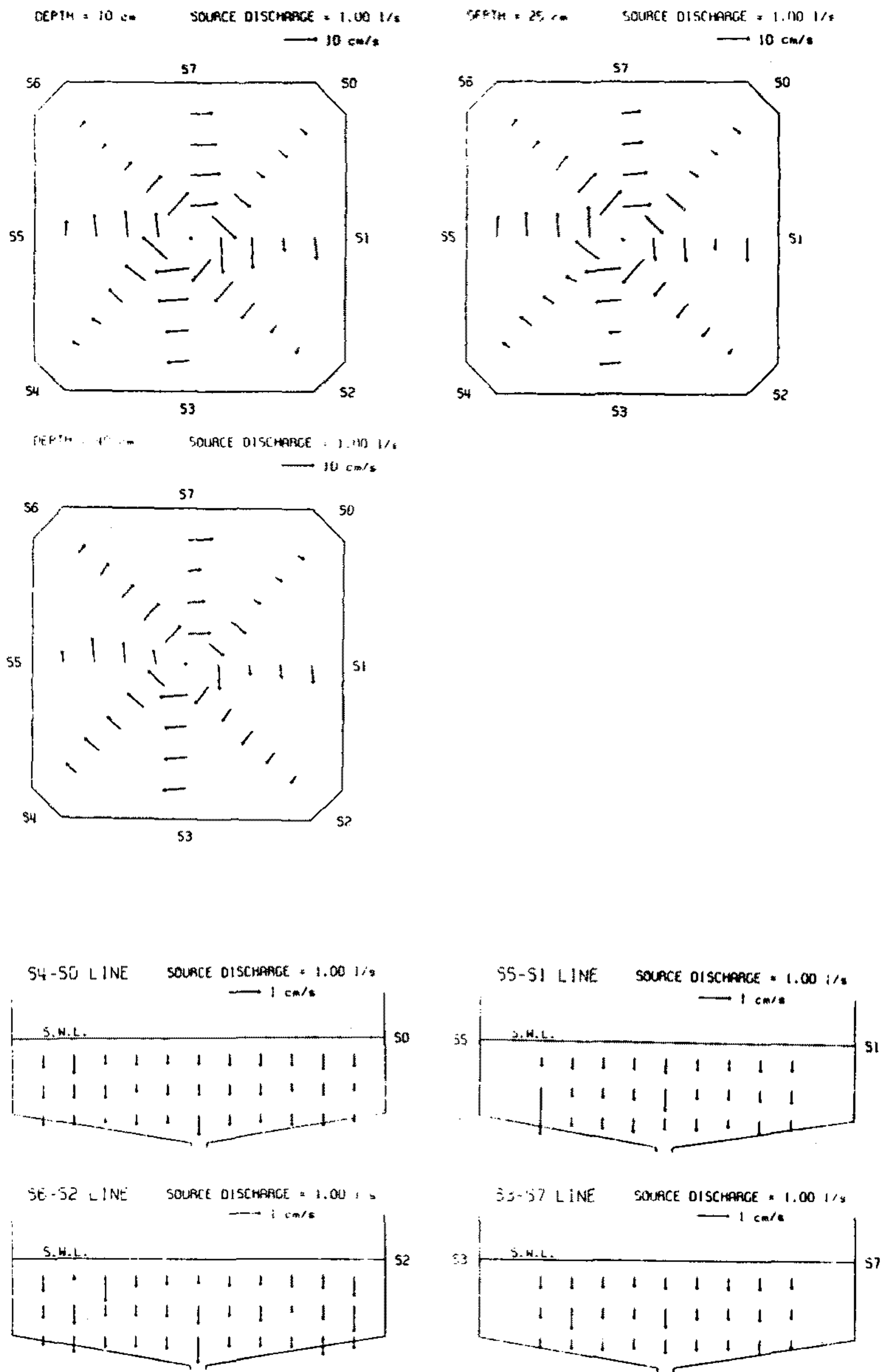
<그림 3-3-7> 원형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 4)



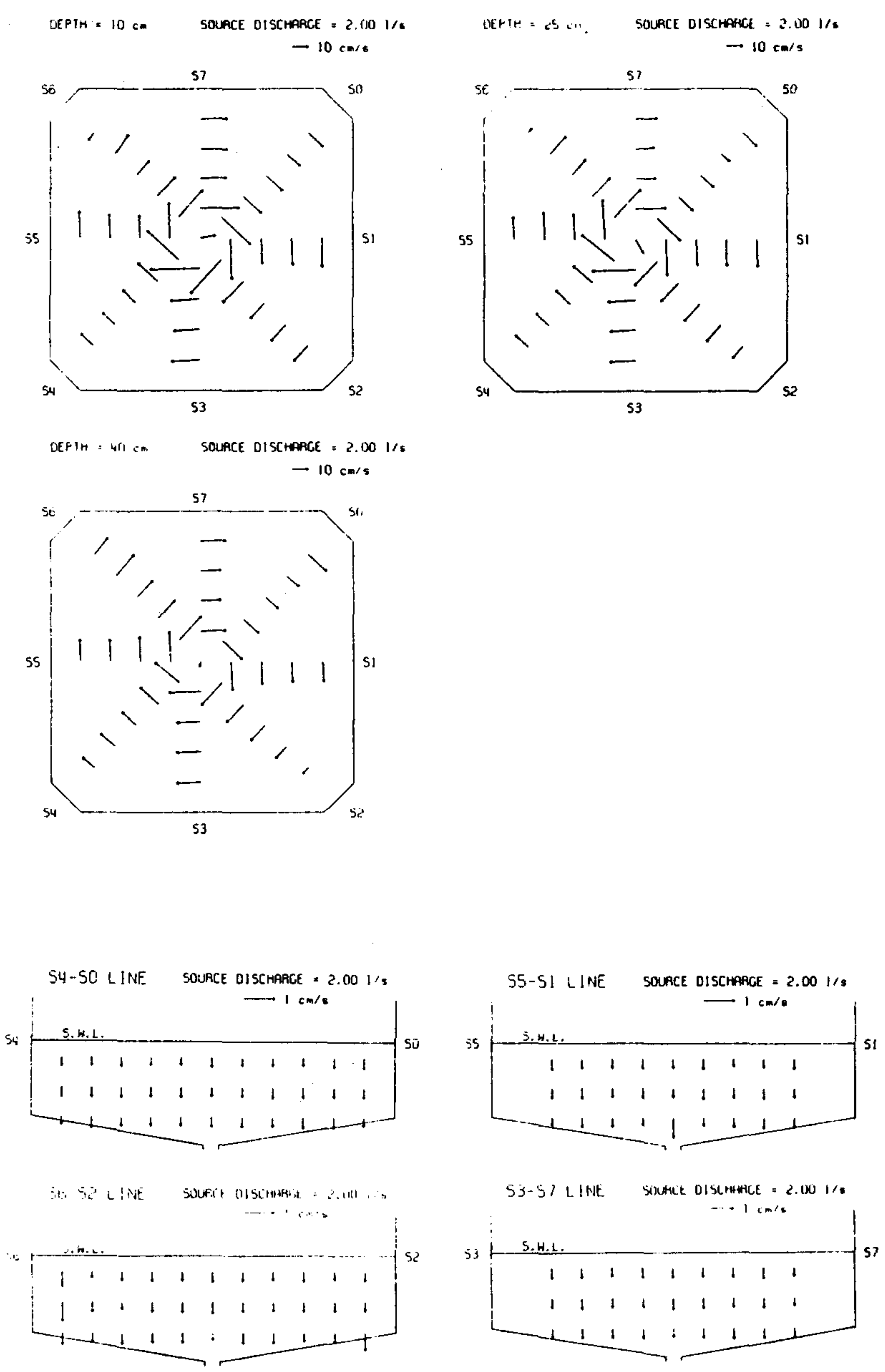
〈그림 3-3-8〉 팔각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 5)



〈그림 3-3-9〉 팔각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 6)



<그림 3-3-10> 사각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 7)



<그림 3-3-11> 사각형수조에서의 층별 평면유속벡터 및 단면별 연직속도벡터의 측정결과(Case 8)

## 1) 수평적인 유속분포 (Case 1 ~ Case 4)

### 가) 원형수조의 경우

- 수조의 중심에서의 유속은 거의 없는 상태이다.
- 수조내에서 최대유속이 나타나는 위치는 수조의 중심으로부터 약 25cm 떨어진 곳에서 나타나지만 이러한 유속분포는 층에 따라 다르게 나타난다.
- 전반적으로 깊이 방향에 따른 유속의 변화는 거의 없으며 유속분포는 거의 좌우대칭을 이룬다.

### 나) 정 8각형 수조의 경우 (Case 5 ~ Case 6)

- 수조의 중심에서도 어느 정도 유속이 크게 나타난다. 이는 수류의 중심이 수조의 중앙부분으로부터 물의 유입지점 쪽으로 약간 이동하고 있음을 나타낸다.
- 수조내의 최대유속은 수조의 중심부근에서 나타나며 수조의 벽면부근과 수조의 중앙부근에서의 속도차는 원형수조의 경우보다 크게 나타난다.
- 수평적인 유속분포양상은 층별로 거의 변화가 없으며 깊이에 따른 유속변화도 거의 없다.

### 다) 정 4각형 수조의 경우 (Case 7 ~ Case 8)

- 수류의 중심은 수조의 중앙으로부터 벽면 쪽으로 약간 이동한다. 이러한 중심의 이동은 수조내에서 속도차로 인한 압력차에 기인하는 것으로 보여진다.
- 수조의 중심으로부터 벽면방향으로의 속도의 변화율은 수조의 벽면방향보다 대각선방향으로 더 크게 나타난다.
- 수조내의 최대유속은 수조의 중심부근에서 나타나며 수조의 벽면부근에서의 유속과의 속도차는 8각형 수조의 경우보다 크게 나타난다.
- 수조의 구석진 우각부에서는 수류가 정체하거나 역류가 나타나는 사수영역이 나타난다.
- 수평적인 유속분포 양상은 층별로 거의 변화가 없으며 깊이에 따른 유속변화도 거



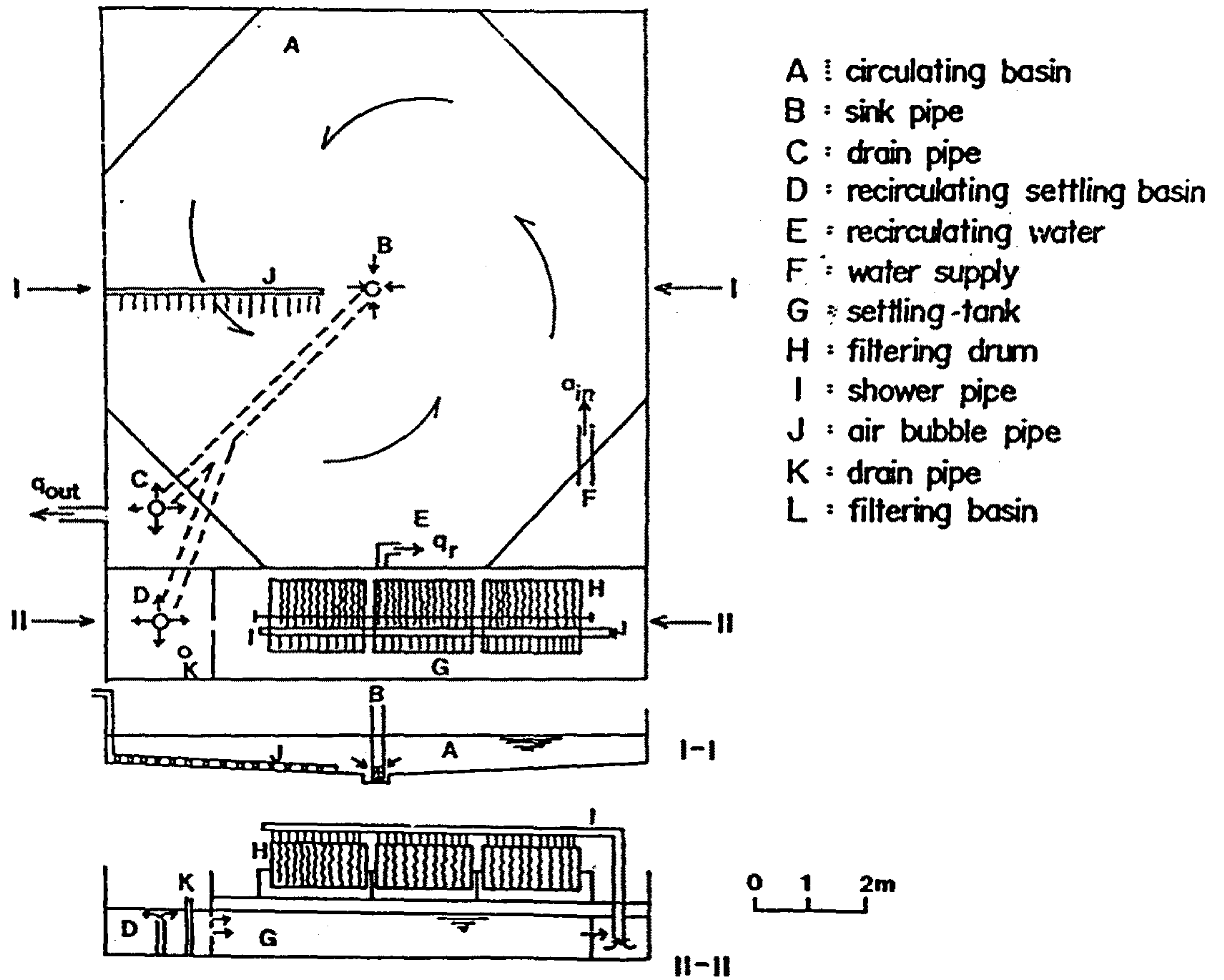
의 없다.

## 2) 연직방향의 유속분포

모든 경우에 대하여 연직방향의 속도성분은 수조바닥을 향하는 성분만 존재하였으며, 연직방향의 속도는 0.5cm/s~1.5cm/s 정도로 나타났다. 연직방향의 유속은 유입유량  $Q_i$ 가 클수록 크게 나타나고 수조내의 수심 즉, 수조의 용적이 작을수록 크게 나타난다. 연직속도 성분의 최 대치는 수조의 중층에서 가장 크게 나타나고, 그 다음은 저층 그리고, 표층에서는 가장 작은 값을 나타내었다.

### 나. 상부파이프 배수식 수조내의 유동구조

상부파이프 배수식 수조는 수조의 중앙부분에 세워진 파이프의 상부를 월류시켜 물을 배출시키는 방식이다. <그림 3-3-12>와 같은 가로 6m, 세로 6m, 수조중심에서의 최대수심 0.8m, 벽면에서의 최소수심 0.35m이고, 저면경사가 4/30인 4각형수조에서 수조내의 유속분포를 측정하였다. 측정은 수조내의 3개 단면 25개 지점에서 표층, 중층 및 저층의 유속을 프로펠러형 소형정밀유속계(C-510AP, Japan)를 이용하여 측정하였다. 유속측정결과에 의하면 물은 강제 순환시키는 유입구 지점으로부터 회전방향으로 유속이 점차 약해지면서 표층으로부터 중층 및 저층으로 운동량이 확산되는 양상을 나타내고 있다. 그리고, 각 단면에서의 유속분포는 수조중심에서는 유속이 거의 없고 반경방향으로 멀어짐에 따라 유속이 증가하는 단순한 강제와동(forced vortex)의 속도분포를 나타내었으며 수류의 중심은 수조의 중앙에서 물의 유입구 쪽으로 약 50cm 이동하였다.



<그림 3-3-12> 반폐쇄식 순환여과 양어시스템(상부파이프 배수식)

## 2. 사육수조내의 유동해석을 위한 수치모델의 개발 및 적용

### 가. 2차원 수치모델의 적용

#### 1) 기본방정식

물의 밀도가 일정하고 연직방향의 속도성분을 무시할 수 있다고 할 때 연직방향으로 수심 평균된 운동방정식은 다음과 같다.

x방향

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} = -gH\frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right) \quad (1)$$

y방향

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} = -gH\frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

연속방정식

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

여기서,

$$U = \int_{-h}^0 u \, dz, \quad V = \int_{-h}^0 v \, dz \quad (4)$$

여기서, 유체의 운동이 주로 운동량에 의하여 지배되는 경우 식(1)과 식(2)에서 압력항 즉 동수경사항은 매우 작다고 가정하여 무시할 수 있으며, 식(1)과 식(2)를 각각 x와 y방향에 대하여 미분하고 정리하면 다음과 같이 수심이 고려된 와도방정식 (vorticity equation)이 유도된다. (Pedlosky, 1979)<sup>4)</sup>

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial \Psi}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y} = A_h \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (6)$$

여기서,  $\omega$ 와  $\phi$ 는 각각 다음과 같은 와도함수와 유량함수이다.

$$\omega = \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y} \quad (7)$$

$$(U, V) = \left( \frac{\partial \Psi}{\partial y}, -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) \quad (8)$$

여기서는 운동방정식에서 유도된 와도방정식인 식(5)와 식(6)을 유한차분화하여 수조형태 및 수심변화에 따른 유체역학적인 특성을 계산한다.

## 2) 운동방정식의 차분화

식(5)와 식(6)을 FTCS(Forward Time Centered Space)방법과 SOR(Successive Over-Relaxation)법을 도입하여 다음과 같이 차분화하여 수치계산한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Omega_{i,j}^{n+1} - \partial \Omega_{i,j}^n}{\Delta t} = & - \frac{\Psi_{i,j+1}^n - \Psi_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \cdot \frac{\Omega_{i+1,j}^n - \Omega_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \\ & + \frac{\Psi_{i+1,j}^n - \Psi_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \cdot \frac{\Omega_{i,j+1}^n - \Omega_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \\ & + a_h \left( \frac{\Omega_{i+1,j}^n - 2\Omega_{i,j}^n + \Omega_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} \right. \\ & \left. + \frac{\Omega_{i,j+1}^n - 2\Omega_{i,j}^n + \Omega_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Psi_{i,j}^{n+1} = \Psi_{i,j}^n + \lambda \left( \frac{\Psi_{i+1,j} - 2\Psi_{i,j} + \Psi_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{\Psi_{i,j+1} - 2\Psi_{i,j} + \Psi_{i,j-1}}{\Delta y^2} + \omega_{i,j} \right) \quad (10)$$

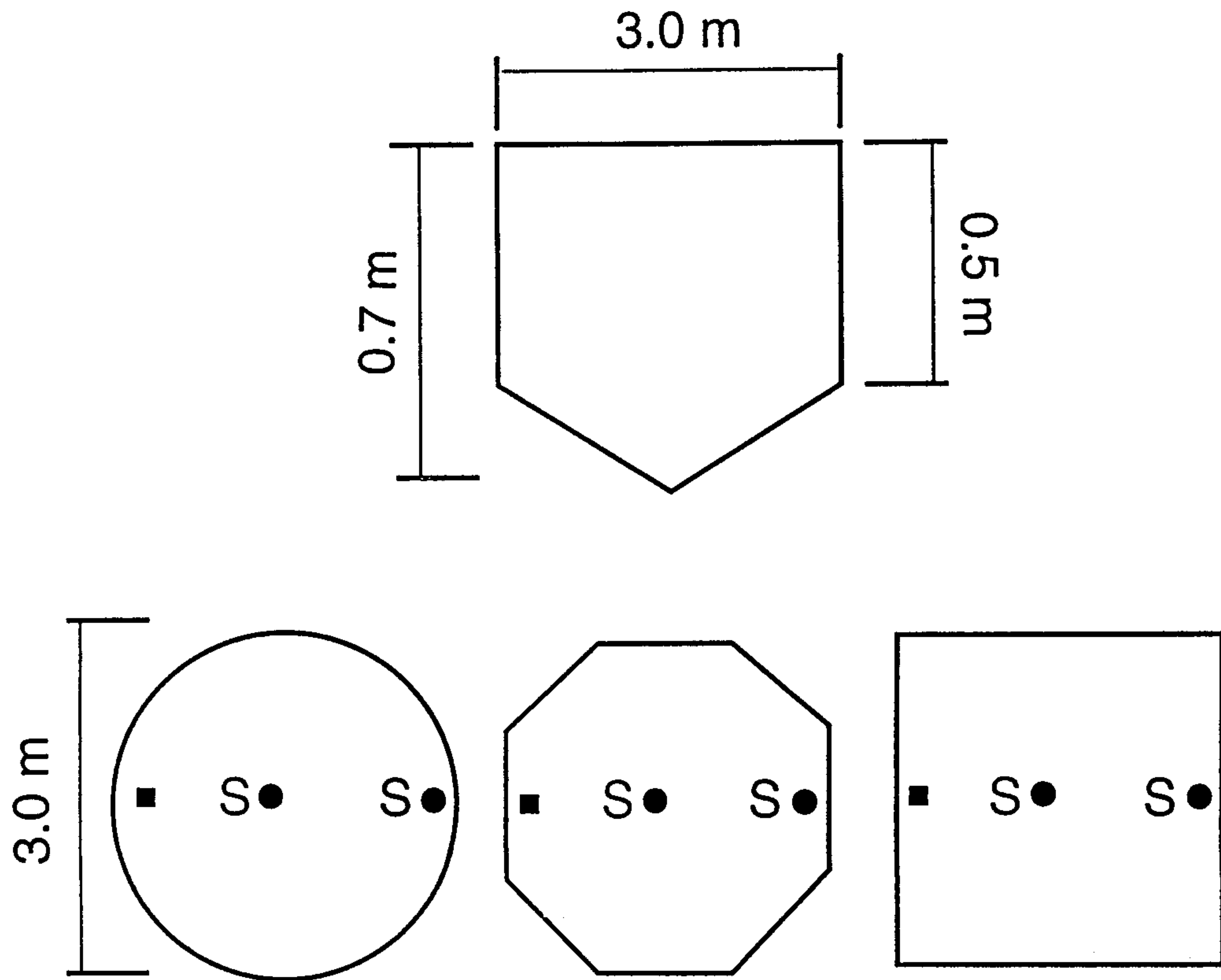
여기서,

$$\Omega = \left( \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y} \right) \text{이다.}$$

윗 식에서  $n, i, j$ 는 각각 시간과 공간에 대한 차분연산첨자이며, 식(10)의 계수  $\lambda$ 는 수렴계수로서 일반적으로  $1 \leq \lambda \leq 2$ 의 값을 갖는다.

### 3) 모델의 적용조건

수조의 형태에 따른 유체역학적인 특성을 알아보기 위하여 그림 2.6과 같이 크기가  $3 \times 3\text{m}^2$  이고, 수심이 0.7m, 저면경사가 0.07인 원형, 8각형 및 4각형에 대한 유체역학적인 수치실험을 실시하였다. <그림 3-3-13>에서 점 S는 강제적으로 유속을 발생시킨 지점으로 초기유속 40cm/s가 주어졌다. 계산조건으로서 첫 번째는 수조내에서 유속만 발생시키고 수조내의 물의 유입과 유출이 없는 경우이고, 두 번째는 수조내의 물의 유입과 유출이 있는 경우로서 순환여과식 사육조의 수조형태이다.



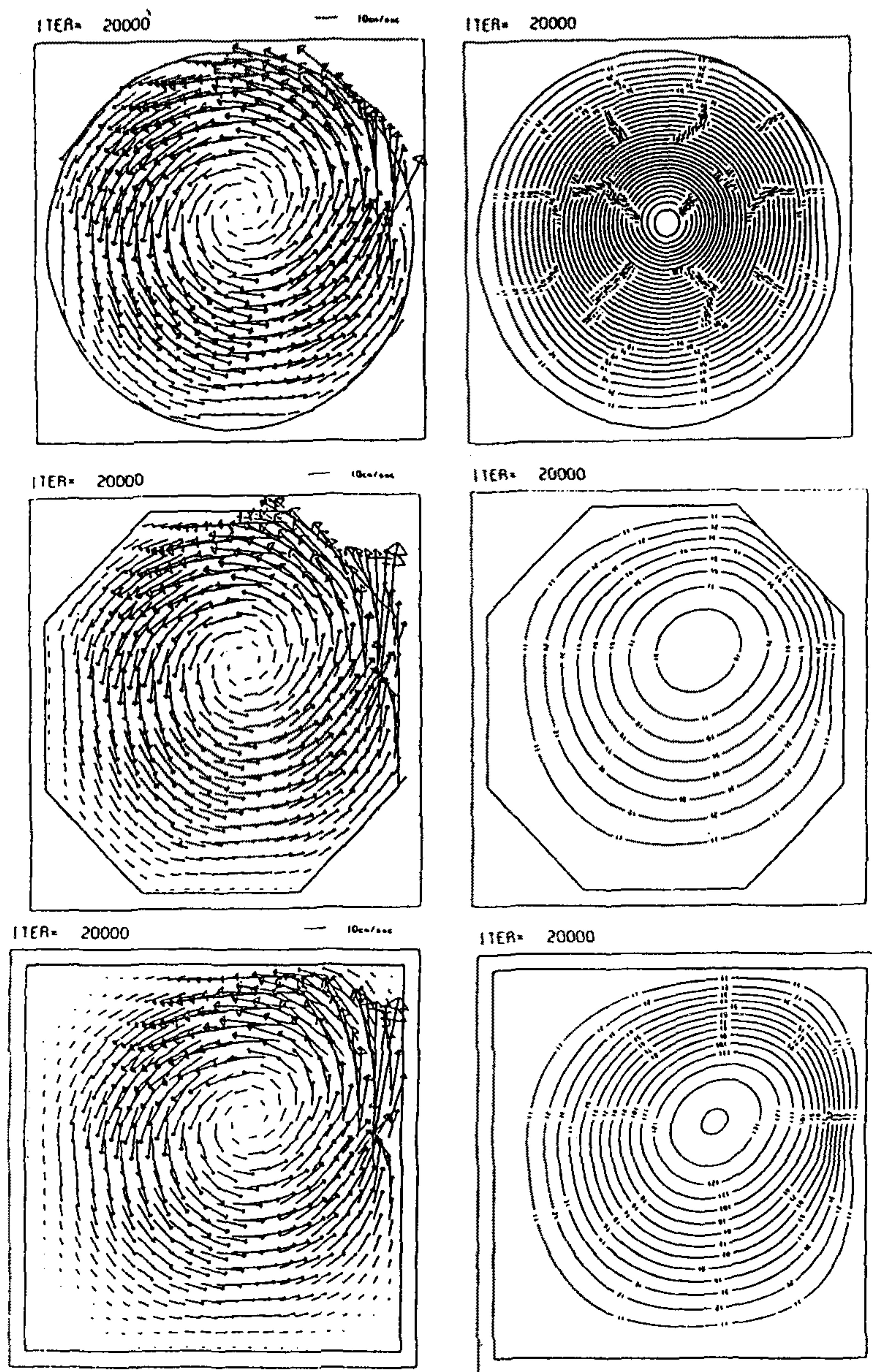
<그림 3-3-13> 수조의 유체역학적 특성을 위하여 선택된 모델

(S는 표층에서 유출되는 분사구이고 중앙의 S는 배출구의 위치임)

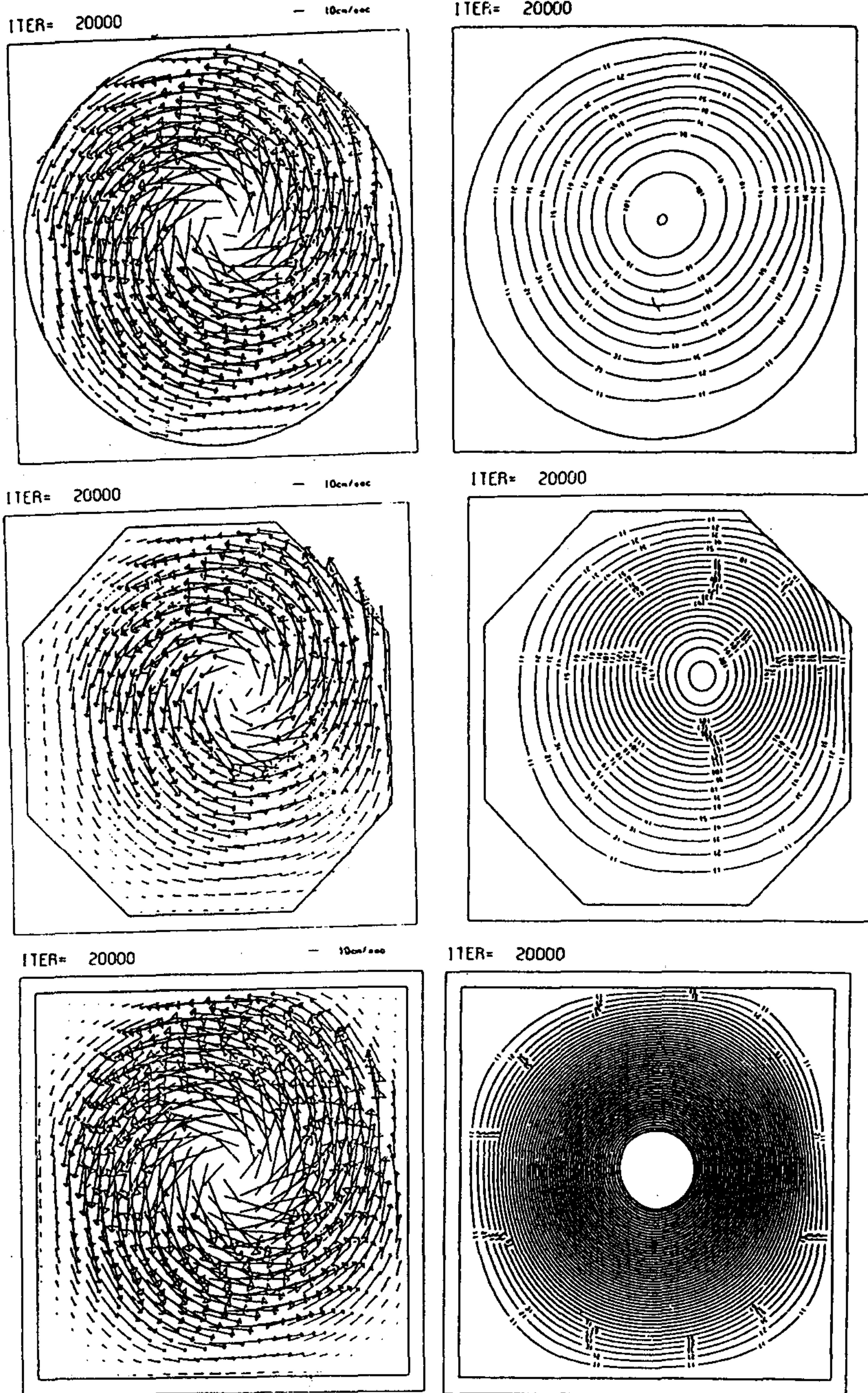
#### 4) 모델의 계산결과

##### 가) 수조내의 물의 유·출입이 없는 경우

<그림 3-3-14>는 원형, 8각형 및 4각형 수조내에서 거의 정상상태에 달한 후의 계산결과를 유속벡터와 유량함수의 분포로서 나타낸 것이다.



〈그림 3-3-14〉 모형수조의 유속분포 및 유량함수의 분포  
 (수조내 물의 유·출입이 없는 경우)



〈그림 3-3-15〉 모형수조의 유속분포 및 유량함수의 분포  
(수조내 물의 유·출입이 있는 경우)



<그림 3-3-14>에서 유속의 좌우비대칭성은 8각형이나 4각형 수조에서 매우 크게 나타나고 있으며, 유속이 거의 없는 사수 영역은 4각형 수조에서 가장 크게 나타나고 있다.

#### 나) 수조내 물의 유·출입이 있는 경우

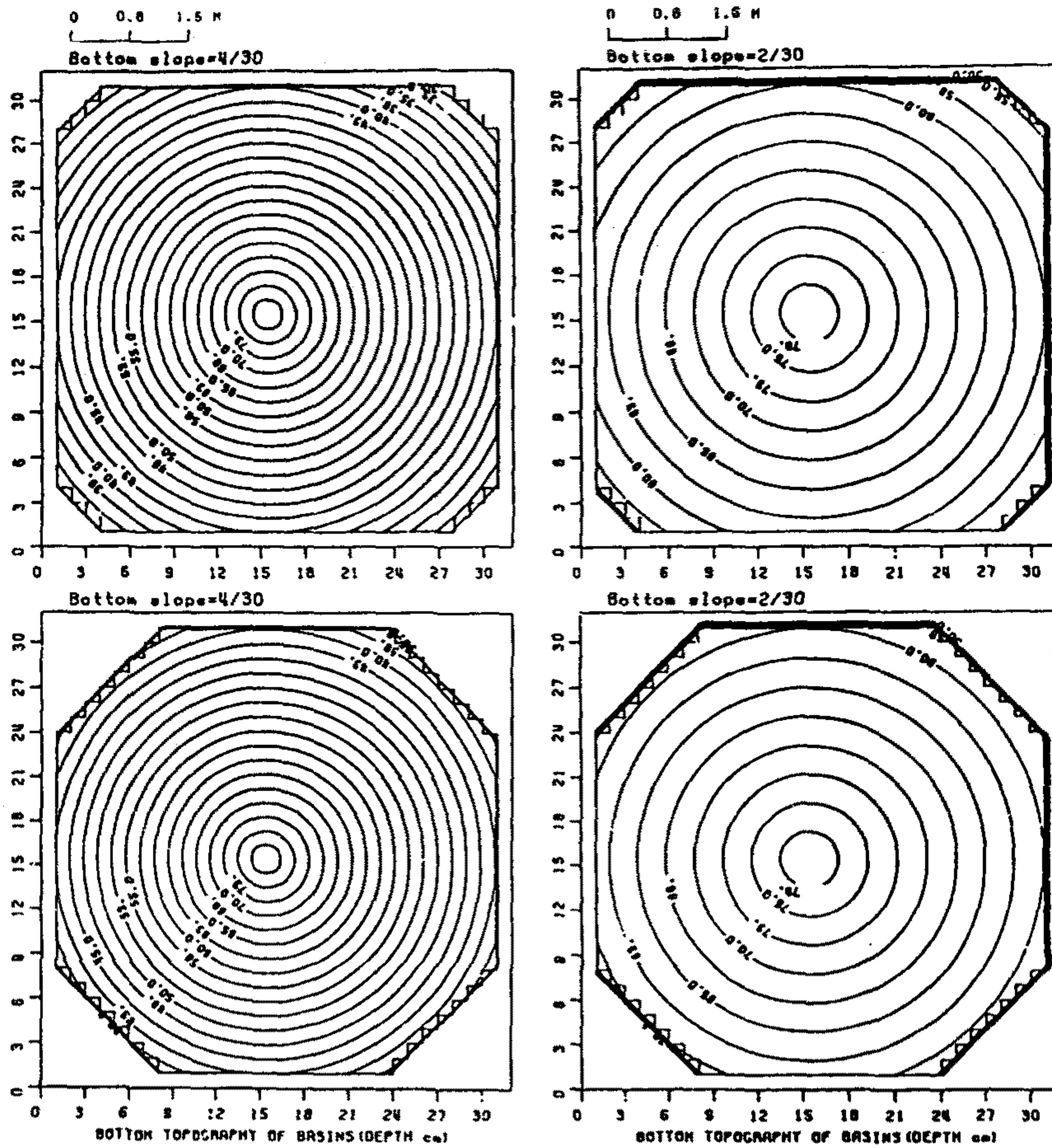
<그림 3-3-13>과 동일한 수조의 조건에서 수조의 중앙에서 물의 유출속도를 주고 계산한 경우이다. 이것은 앞의 하부배수식수조의 실험에 대응하는 계산조건이라고 할 수 있다. <그림 3-3-15>는 원형, 8각형 및 4각형 수조내에서의 계산결과를 유속벡터와 유량함수로서 나타낸 그림이다. 수조내 물의 유·출입이 없는 경우인 <그림 3-3-14>와 비교하여 보면 유속분포의 좌우비대칭성은 원형이나 8각형 수조에서는 크게 나타나고 있지만 4각형 수조에서는 거의 비대칭적인 현상이 나타나지 않는다. 또한, 유속은 수조의 중앙부분에서 가장 크게 나타나고 벽면 쪽으로 갈수록 유속이 작아지는 경향을 나타내어 3.1절의 실험결과와 같은 경향을 나타내었다.

#### 나. 3차원 수치모델의 적용

사육조내의 3차원적인 유동구조를 파악하기 위하여 Kim and Lee(1994)<sup>5)</sup>에 의한 3차원 유동모델 BACHOM-3를 적용하여 해석하였다. 본 모델은 다층위모델(multi-level model)로서 각 층별로 수평방향의 유속성분과 연직방향유속 및 수위를 계산할 수 있다.

##### 1) 모델의 적용조건

<그림 3-3-16>은 수치모형실험에 적용한 수조의 형태와 수심분포를 나타낸다. 수조의 크기는 6m×6m이고, 최대수심은 0.8m이고, 수조의 평면형태는 우각부를 round cut한 4각형과 8각형의 두 가지 경우에 대하여 저면경사는 4/30와 2/30의 2가지로 하여 총 4가지 경우에 대하여 수치실험을 하였다. 여기서, 수조를 4개 층으로 나누어 계산하였다. <표 3-3-2>는 유동모델의 해석에 사용한 계산조건과 물리적 파라미터의 제원을 나타낸다.



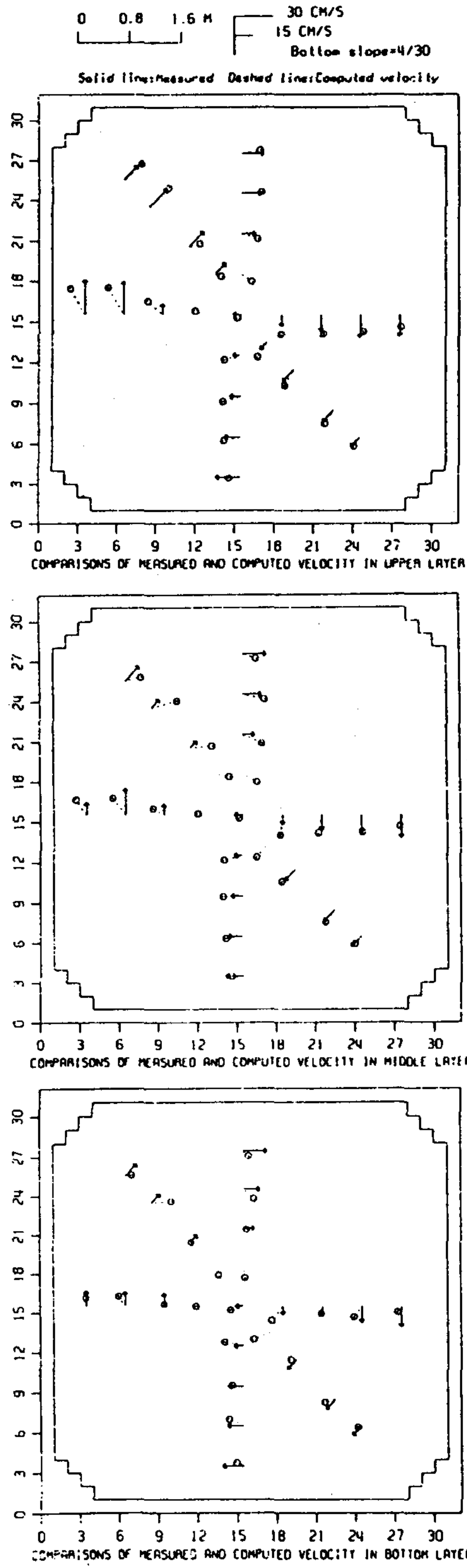
<그림 3-3-16> 수치실험에 적용한 수조의 형태와 수심분포

(왼쪽 위 : 4각형,  $S=4/30$ , 오른쪽 위 : 4각형,  $S=2/30$ ,

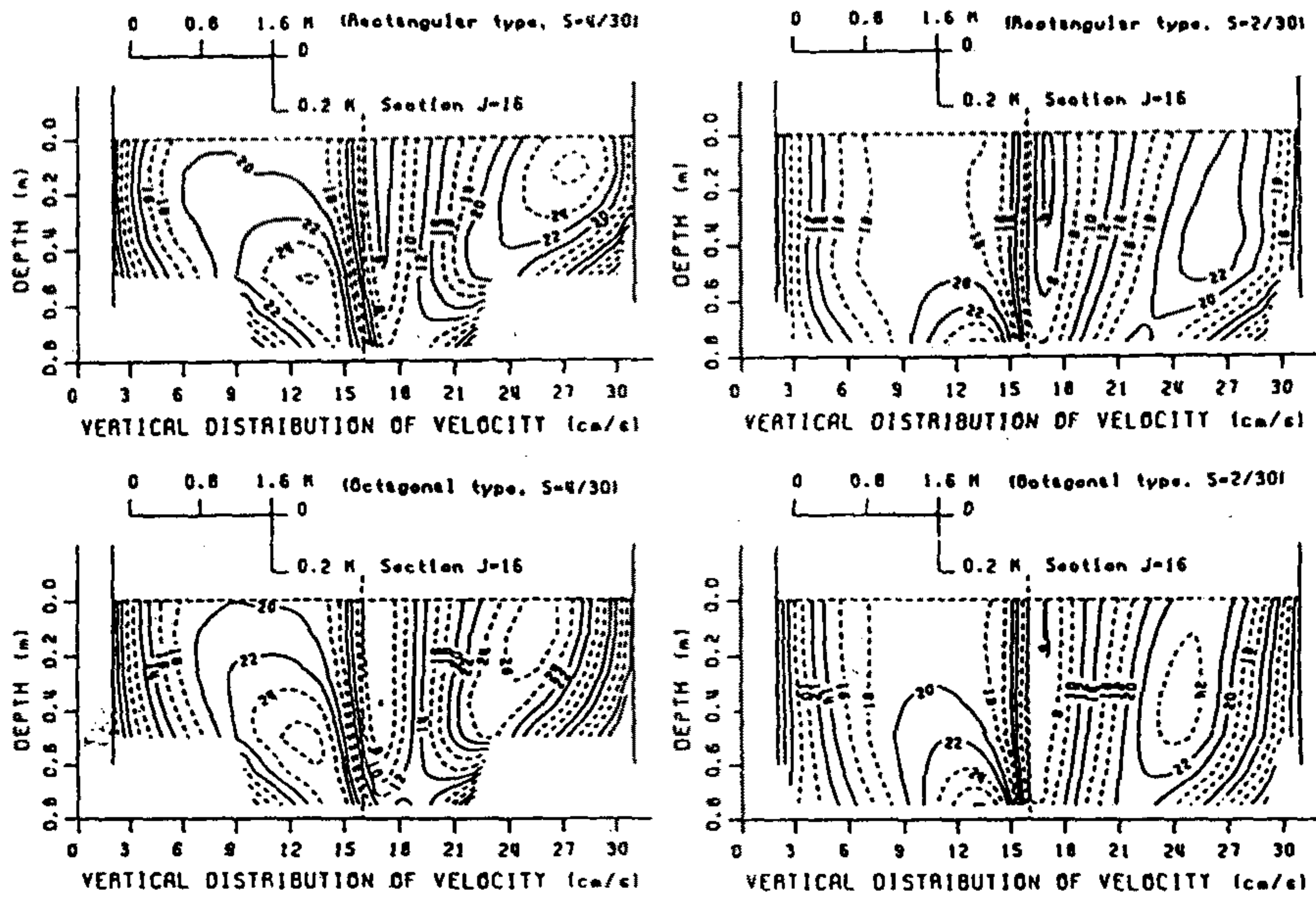
왼쪽아래 : 8각형,  $S=4/20$ , 오른쪽아래 : 8각형,  $S=2/30$ )

<표 3-3-2> 유동모델의 계산조건과 물리적 파라미터

Parameters	Used values
Grid space	$\Delta X = \Delta Y = 20\text{cm}$
Level height	$\Delta h = 20\text{cm} \times 4 \text{ level}$
Time interval	$\Delta t = 0.1\text{s}$
Internal friction coefficient	$f_i = 0.001$
Bottom friction coefficient	$f_b = 0.0026$
Eddy viscosity coefficient	$K_x = K_y = 0.02\text{m}^2/\text{s}$



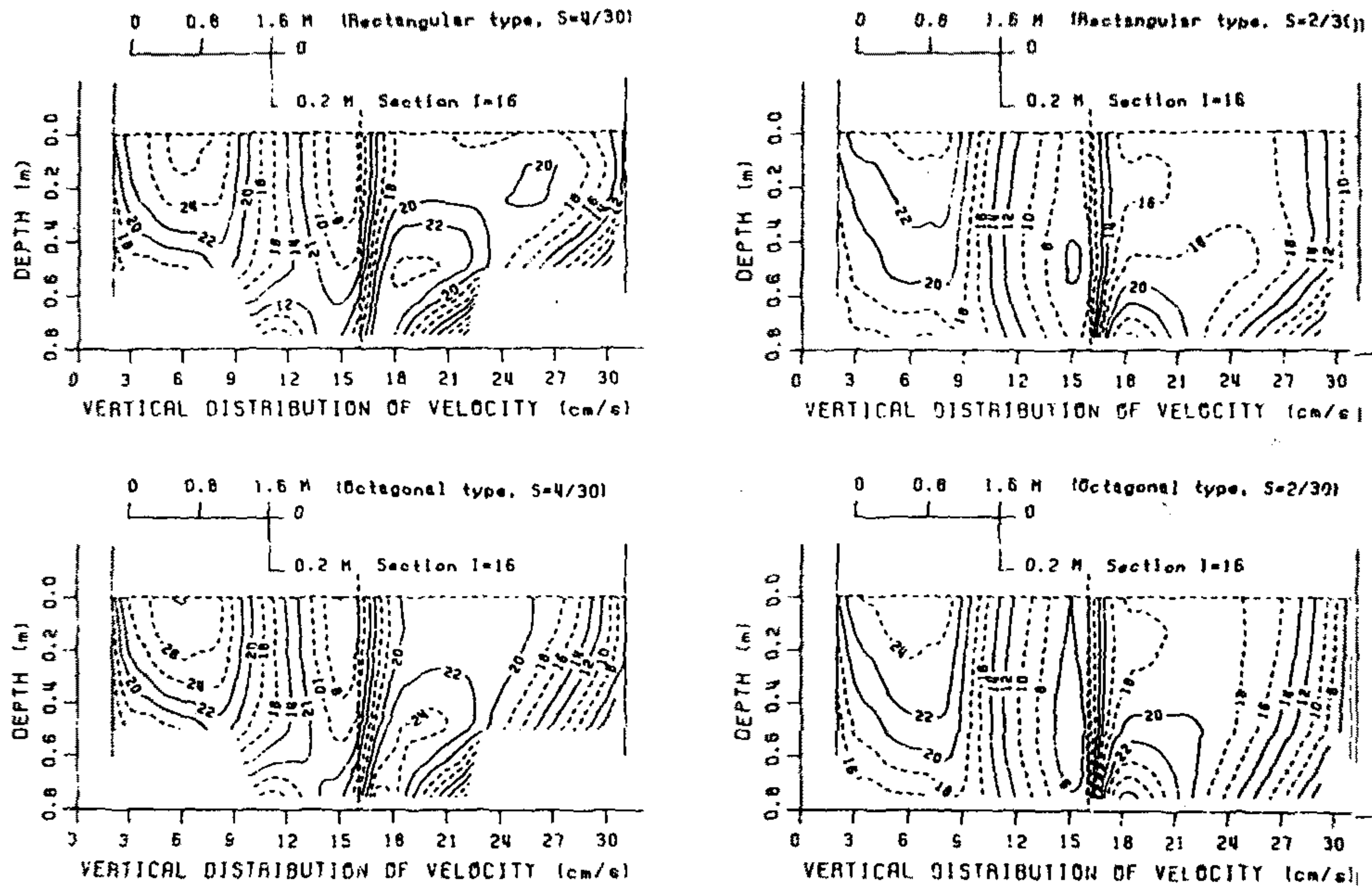
<그림 3-3-17> 수조내 층별 유속분포의 계산결과와 실측결과의 비교  
(상부파이프 배수식 구조)



<그림 3-3-18> 가로축좌표(Y=16) 단면에서의 속도분포

(왼쪽 위 : 4각형, S=4/30, 오른쪽 위 : 4각형, S=2/30,

왼쪽아래 : 8각형, S=4/20, 오른쪽아래 : 8각형, S=2/30)



<그림 3-3-19> 세로축좌표(X=16) 단면에서의 속도분포(그림 3-3-18과 동일)

## 2) 모델의 계산결과

<그림 3-3-16>에서 4각형의 저면경사 4/30인 수조에 대하여 현지에서 유속분포를 측정된 결과와 계산결과를 비교하여 나타낸 것은 <그림 3-3-17>과 같다. 여기서, 유속의 크기는 실측결과와 계산결과가 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 그러나, 유향에 있어서는 소형정밀 프로펠러 유속계에 의한 유향의 측정이 곤란하였기 때문에 계산결과와 다소 차이를 나타내고 있다. 여기서, 실험조건은 3.1. 나. 절에서 언급한 상부파이프 배수식 수조로서 실측결과 수조의 중앙부에서는 유속이 거의 없고 반경방향으로 멀어짐에 따라 유속이 증가하는 강제와동의 속도분포를 나타내고 있다. 수조의 평면형상과 저면경사에 따른 속도차를 비교하기 위하여 <그림 3-3-16>의 4가지 형태의 수조에 대하여 수조의 중심을 지나는 가로축좌표  $Y=16$ 인 단면에서의 등속도선을 나타낸 것은 <그림 3-3-18>과 같다. 이 그림에서 수평길이와 연직방향 길이는 1:4로 변형되어 있다. <그림 3-3-18>에서 속도의 최대치와 연직분포에 크게 영향을 미치는 요인은 저면경사인 것을 알 수 있으며, 동일한 저면경사의 조건하에서는 8각형 수조가 4각형 수조보다 최대유속에서 약 1~2cm/s 큰 값을 나타낸다. <그림 3-3-19>는 수조의 중심을 지나는 세로축좌표  $X=16$ 인 단면에서의 계산결과를 나타내는데 속도분포는 <그림 3-3-18>과 같은 변화양상을 나타낸다. 이상의 수치실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가) 층별 속도분포는 실험결과와 잘 일치하였으며, 수조내 와류의 중심은 현지수조 내에서의 실측결과와 같이 유속강제점(물의 유입지점)이 주어진 쪽으로 편향되어 나타났다.
- 나) 4각형 수조의 우각부를 한 형태의 수조에서 우각부에서 유속의 감소는 있으나 정체수역의 형성은 보이지 않았다.
- 다) 수조바닥의 경사는 수조내의 속도분포에 영향을 미치며 저면경사가 4/30로서 큰 경우에는 저면경사가 2/30로서 작은 경우보다 약 5~10% 정도 더 큰 유속을 나타냈다.

#### 다. 와도방정식에 의한 3차원 유동구조 해석모델의 개발

수조내의 3차원적인 유동구조를 밝히기 위한 수치실험을 수행하기 위하여 본 연구에서는 3차원 유체의 운동방정식과 연속방정식으로부터 수치모델을 개발하였다. 이 모델은 지금까지 수조내에서는 처음 적용되는 모델로서 본 연구의 목적에 부합되도록 운동방정식과 연속방정식을 설정하여 개발하였다. 일반적으로 3차원 수치모델의 경우 주로 운동방정식과 연속방정식을 수심에 대하여 적분하거나 직접 차분화하거나 유한요소법을 이용하여 계산해 왔다. 그러나 적분법으로 해를 구하려고 할 경우 시간이 많이 걸리며 수치방정식의 설정이 매우 어려운 점이 있다. 따라서 최근에는 차분법이나 유한요소법을 이용하여 수조내의 유동구조에 대한 해를 구하려는 시도를 해왔다. 수치적으로 유동구조를 밝히려 할 때 시간에 대해서는 양해법과 음해법에 의한 수치기법을 이용할 수 있다. 그런데 이런 경우 3차원 운동방정식을 양해법(explicit method)의 형식으로 차분화하여 계산하면 수치 계산 속도가 빠른 장점이 있는 반면 방정식을  $x$ ,  $y$  평면상에서 수평유속  $u$ ,  $v$ 를 계산한 후 연속방정식을 이용하여 연직방향의 유속  $w$ 를 계산해야 한다. 이 경우  $u$ ,  $v$ ,  $w$ 를 동시에 계산하지 않음으로 인하여 유속의 값이 시간의 동시성이 없이 수평 및 연직유속  $u$ ,  $v$ ,  $w$ 가 계산될 수 있다. 또한 양해법에 의한 수치모델은 계산하는데 있어서 매우 불안한 점이 있다. 반면에 이 방정식을 음해법(implicit method)으로 풀 경우 계산상에서 매우 안정된 값을 구할 수 있으나 방정식의 matrix가 매우 크게 되어 컴퓨터 메모리를 매우 많이 차지하며, 따라서 계산속도가 매우 느린 단점이 있다. 그러나 최근에는 양해법 가운데 tri-diagonal 매트릭스법에 의한 음해법이 개발되어 음해법의 계산속도를 매우 향상시키고 있다. 3차원 운동방정식을 차분화한 수치모델로서 수조내의 유동구조를 평가하려고 할 경우 운동방정식에 포함되어 있는 압력항에 대한 평가가 매우 어려울 수가 있다. 왜냐하면 실제로 수조내의 유동구조는 압력변화에 의한 유동특성의 변동보다는 초기 유속을 야기시키는 유체의 유속에 의하여 좌우되기 때문이다. 따라서 유체의 운

동이 압력변동에 의하여 좌우되는 형태를 가진 운동방정식을 차분화하기 보다는 압력 항을 소거하고 유속변동에 의하여 유동이 변동하는 3차원 와도방정식(vorticity equation)을 이용하여 계산하는 것이 매우 유용할 것으로 생각된다.

### 1) 운동방정식과 연속방정식

일반적으로 수조내의 3차원 유체의 운동은 다음의 Navier-Stoke's 방정식으로 나타낼 수 있다. 이 경우 유체는 비압축성이며 시간에 따른 밀도의 변화는 일정하다고 가정하며, 유체가 회전적이다.

#### 가) 운동방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + A_h \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (13)$$

여기서  $u, v, w$ 는  $x, y, z$  방향의 유속을 나타내며,  $P$ 는 수압,  $\rho$ 는 밀도를 나타낸다.

$A_h$ 는 수평 및 연직확산계수이다.

#### 나) 연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

운동방정식 (11), (12), (13) 식과 연속방정식 (14)를 이용하여 다음의 벡터포텐셜식

을 유도할 수 있다(保原 允, 大宮司久明, 1992: Pedlosky, 1979)<sup>6)</sup>

다) 3차원 와도방정식

$$\frac{\partial \omega_x}{\partial t} = - \left( \frac{\partial \omega_x}{\partial x} + v \frac{\partial \omega_x}{\partial y} + w \frac{\partial \omega_x}{\partial z} \right) + A_h \left( \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial z^2} \right) \quad (15)$$

$$\frac{\partial \omega_y}{\partial t} = - \left( \frac{\partial \omega_y}{\partial x} + v \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + w \frac{\partial \omega_y}{\partial z} \right) + A_h \left( \frac{\partial^2 \omega_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_y}{\partial z^2} \right) \quad (16)$$

$$\frac{\partial \omega_z}{\partial t} = - \left( \frac{\partial \omega_z}{\partial x} + v \frac{\partial \omega_z}{\partial y} + w \frac{\partial \omega_z}{\partial z} \right) + A_h \left( \frac{\partial^2 \omega_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_z}{\partial z^2} \right) \quad (17)$$

라) 벡터포텐셜방정식

$$\frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial z^2} = - \omega_x \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial z^2} = - \omega_y \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 \phi_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi_z}{\partial z^2} = - \omega_z \quad (20)$$

$$\text{여기서, } \omega_x = \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y}, \quad \omega_y = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z}, \quad \omega_z = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}$$

그리고 유속  $u$ ,  $v$ ,  $w$ 는 다음과 같은 식으로부터 구해진다.

$$u = \frac{\partial \phi_z}{\partial y} - \frac{\partial \phi_y}{\partial z}, \quad v = - \frac{\partial \phi_z}{\partial x} + \frac{\partial \phi_x}{\partial z}, \quad w = \frac{\partial \phi_y}{\partial x} - \frac{\partial \phi_x}{\partial y}$$



여기서,  $\psi_x, \psi_y, \psi_z$  를  $x, y, z$  방향의 벡터포텐셜이라고 한다.

## 2) 운동방정식의 차분화

운동방정식의 차분식은 크랭크-니콜슨법(Crank-Nicolson)으로 알려진 3단계 음해법(implicit method)를 이용하여 풀었으며,  $\omega_x$  성분,  $\omega_y$  성분,  $\omega_z$  성분의 차분식은 다음과 같다(Hoffmann, 1989).<sup>7)</sup>

### 가) $\omega_x$ 의 차분식

#### 1단계 차분

$$\begin{aligned} \frac{\omega_x^{n+1/3}{}_{i,j,k} - \omega_x^n{}_{i,j,k}}{\Delta t} = & - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_x^{n+1/3}{}_{i+1,j,k} - \omega_x^{n+1/3}{}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_x^n{}_{i+1,j,k} - \omega_x^n{}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right. \\ & \left. + v_{i,j,k} \frac{\omega_x^n{}_{i,j+1,k} - \omega_x^n{}_{i,j-1,k}}{2\Delta y} + w_{i,j,k} \frac{\omega_x^n{}_{i,j,k+1} - \omega_x^n{}_{i,j,k-1}}{2\Delta z} \right) \\ & + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_x^{n+1/3}{}_{i+1,j,k} - 2\omega_x^{n+1/3}{}_{i,j,k} + \omega_x^{n+1/3}{}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\ & + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_x^n{}_{i+1,j,k} - 2\omega_x^n{}_{i,j,k} + \omega_x^n{}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\ & + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_x^n{}_{i,j+1,k} - 2\omega_x^n{}_{i,j,k} + \omega_x^n{}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_x^n{}_{i,j,k+1} - 2\omega_x^n{}_{i,j,k} + \omega_x^n{}_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) \end{aligned}$$

#### 2단계 차분

$$\begin{aligned} \frac{\omega_x^{n+2/3}{}_{i,j,k} - \omega_x^n{}_{i,j,k}}{\Delta t} = & - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_x^{n+1/3}{}_{i+1,j,k} - \omega_x^{n+1/3}{}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_x^n{}_{i+1,j,k} - \omega_x^n{}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right. \\ & \left. + v_{i,j,k} \frac{\omega_x^{n+2/3}{}_{i,j+1,k} - \omega_x^{n+2/3}{}_{i,j-1,k}}{4\Delta y} + v_{i,j,k} \frac{\omega_x^n{}_{i,j+1,k} - \omega_x^n{}_{i,j-1,k}}{4\Delta y} \right. \\ & \left. + w_{i,j,k} \frac{\omega_x^n{}_{i,j,k+1} - \omega_x^n{}_{i,j,k-1}}{2\Delta z} \right) + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_x^{n+1/3}{}_{i+1,j,k} - 2\omega_x^{n+1/3}{}_{i,j,k} + \omega_x^{n+1/3}{}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\ & + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_x^n{}_{i+1,j,k} - 2\omega_x^n{}_{i,j,k} + \omega_x^n{}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - 2\omega^{n+2/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

3단계 차분

$$\begin{aligned}
\frac{\omega^{n+1}_{i,j,k} - \omega^n_{i,j,k}}{\Delta t} = & - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega^{n+1/3}_{i+1,j,k} - \omega^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i+1,j,k} - \omega^n_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right. \\
& + v_{i,j,k} \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - \omega^{n+2/3}_{i,j-1,k}}{4\Delta y} + v_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - \omega^n_{i,j-1,k}}{4\Delta y} \\
& + w_{i,j,k} \frac{\omega^{n+1}_{i,j,k+1} - \omega^{n+1}_{i,j,k-1}}{4\Delta z} + w_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - \omega^n_{i,j,k-1}}{4\Delta z} \left. \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+1/3}_{i+1,j,k} - 2\omega^{n+1/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i+1,j,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - 2\omega^{n+2/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+1}_{i,j,k+1} - 2\omega^{n+1}_{i,j,k} + \omega^{n+1}_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

나)  $\omega_y$ 의 차분식

1단계 차분

$$\frac{\omega_y^{n+1/3}_{i,j,k} - \omega_y^n_{i,j,k}}{\Delta t} = - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_y^{n+1/3}_{i+1,j,k} - \omega_y^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_y^n_{i+1,j,k} - \omega_y^n_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right)$$

$$\begin{aligned}
& + v_{i,j,k} \frac{\omega_{y,i,j+1,k}^n - \omega_{y,i,j-1,k}^n}{2\Delta y} + w_{i,j,k} \frac{\omega_{y,i,j,k+1}^n - \omega_{y,i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{y,i+1,j,k}^{n+1/3} - 2\omega_{y,i,j,k}^{n+1/3} + \omega_{y,i-1,j,k}^{n+1/3}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{y,i+1,j,k}^n - 2\omega_{y,i,j,k}^n + \omega_{y,i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_{y,i,j+1,k}^n - 2\omega_{y,i,j,k}^n + \omega_{y,i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_{y,i,j,k+1}^n - 2\omega_{y,i,j,k}^n + \omega_{y,i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

2단계 차분

$$\begin{aligned}
\frac{\omega_{i,j,k}^{n+2/3} - \omega_{i,j,k}^n}{\Delta t} = & - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_{i+1,j,k}^{n+1/3} - \omega_{i-1,j,k}^{n+1/3}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_{i+1,j,k}^n - \omega_{i-1,j,k}^n}{4\Delta x} \right. \\
& + v_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j+1,k}^{n+2/3} - \omega_{i,j-1,k}^{n+2/3}}{4\Delta y} + v_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j+1,k}^n - \omega_{i,j-1,k}^n}{4\Delta y} \\
& + w_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j,k+1}^n - \omega_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \left. + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{i+1,j,k}^{n+1/3} - 2\omega_{i,j,k}^{n+1/3} + \omega_{i-1,j,k}^{n+1/3}}{\Delta x^2} \right) \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{i+1,j,k}^n - 2\omega_{i,j,k}^n + \omega_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{i,j+1,k}^{n+2/3} - 2\omega_{i,j,k}^{n+2/3} + \omega_{i,j-1,k}^{n+1/3}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{i,j+1,k}^n - 2\omega_{i,j,k}^n + \omega_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_{i,j,k+1}^n - 2\omega_{i,j,k}^n + \omega_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

3단계 차분

$$\begin{aligned}
\frac{\omega_{i,j,k}^{n+1} - \omega_{i,j,k}^n}{\Delta t} = & - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_{i+1,j,k}^{n+1/3} - \omega_{i-1,j,k}^{n+1/3}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_{i+1,j,k}^n - \omega_{i-1,j,k}^n}{4\Delta x} \right. \\
& + v_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j+1,k}^{n+2/3} - \omega_{i,j-1,k}^{n+2/3}}{4\Delta y} + v_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j+1,k}^n - \omega_{i,j-1,k}^n}{4\Delta y} \\
& + w_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j,k+1}^{n+1} - \omega_{i,j,k-1}^{n+1}}{4\Delta z} + w_{i,j,k} \frac{\omega_{i,j,k+1}^n - \omega_{i,j,k-1}^n}{4\Delta z} \left. \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_{i+1,j,k}^{n+1/3} - 2\omega_{i,j,k}^{n+1/3} + \omega_{i-1,j,k}^{n+1/3}}{\Delta x^2} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i+1,j,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - 2\omega^{n+2/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+1}_{i,j,k+1} - 2\omega^{n+1}_{i,j,k} + \omega^{n+1}_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

다)  $\omega_z$ 의 차분식

1단계 차분

$$\begin{aligned}
\frac{\omega_z^{n+1/3}_{i,j,k} - \omega_z^n_{i,j,k}}{\Delta t} &= - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_z^{n+1/3}_{i+1,j,k} - \omega_z^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_z^n_{i+1,j,k} - \omega_z^n_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right. \\
& + v_{i,j,k} \frac{\omega_z^n_{i,j+1,k} - \omega_z^n_{i,j-1,k}}{2\Delta y} + w_{i,j,k} \frac{\omega_z^n_{i,j,k+1} - \omega_z^n_{i,j,k-1}}{2\Delta z} \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_z^{n+1/3}_{i+1,j,k} - 2\omega_z^{n+1/3}_{i,j,k} + \omega_z^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega_z^n_{i+1,j,k} - 2\omega_z^n_{i,j,k} + \omega_z^n_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& \left. + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_z^n_{i,j+1,k} - 2\omega_z^n_{i,j,k} + \omega_z^n_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega_z^n_{i,j,k+1} - 2\omega_z^n_{i,j,k} + \omega_z^n_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) \right)
\end{aligned}$$

2단계 차분

$$\begin{aligned}
\frac{\omega_z^{n+2/3}_{i,j,k} - \omega_z^n_{i,j,k}}{\Delta t} &= - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega_z^{n+1/3}_{i+1,j,k} - \omega_z^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega_z^n_{i+1,j,k} - \omega_z^n_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right. \\
& \left. + v_{i,j,k} \frac{\omega_z^{n+2/3}_{i,j+1,k} - \omega_z^{n+2/3}_{i,j-1,k}}{4\Delta y} + v_{i,j,k} \frac{\omega_z^n_{i,j+1,k} - \omega_z^n_{i,j-1,k}}{4\Delta y} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + w_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - \omega^n_{i,j,k-1}}{2\Delta z} + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+1/3}_{i+1,j,k} - 2\omega^{n+1/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i+1,j,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - 2\omega^{n+2/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) + \frac{1}{R} \left( \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

### 3단계 차분

$$\begin{aligned}
\frac{\omega^{n+1}_{i,j,k} - \omega^n_{i,j,k}}{\Delta t} = & - \left( u_{i,j,k} \frac{\omega^{n+1/3}_{i+1,j,k} - \omega^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{4\Delta x} + u_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i+1,j,k} - \omega^n_{i-1,j,k}}{4\Delta x} \right. \\
& + v_{i,j,k} \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - \omega^{n+2/3}_{i,j-1,k}}{4\Delta y} + v_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - \omega^n_{i,j-1,k}}{4\Delta y} \\
& + w_{i,j,k} \frac{\omega^{n+1}_{i,j,k+1} - \omega^{n+1}_{i,j,k-1}}{4\Delta z} + w_{i,j,k} \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - \omega^n_{i,j,k-1}}{4\Delta z} \left. \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+1/3}_{i+1,j,k} - 2\omega^{n+1/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i+1,j,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+2/3}_{i,j+1,k} - 2\omega^{n+2/3}_{i,j,k} + \omega^{n+1/3}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j+1,k} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^{n+1}_{i,j,k+1} - 2\omega^{n+1}_{i,j,k} + \omega^{n+1}_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) \\
& + \frac{1}{2R} \left( \frac{\omega^n_{i,j,k+1} - 2\omega^n_{i,j,k} + \omega^n_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right)
\end{aligned}$$

### 3) 벡터포텐셜 방정식의 차분식(중앙차분)

(x-성분)

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\psi^x_{i+1,j,k} - 2\psi^x_{i,j,k} + \psi^x_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\ & - \left( \frac{\psi^x_{i,j+1,k} - 2\psi^x_{i,j,k} + \psi^x_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\ & - \left( \frac{\psi^x_{i,j,k+1} - 2\psi^x_{i,j,k} + \psi^x_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) = -\omega^x_{i,j,k} \end{aligned}$$

(y-성분)

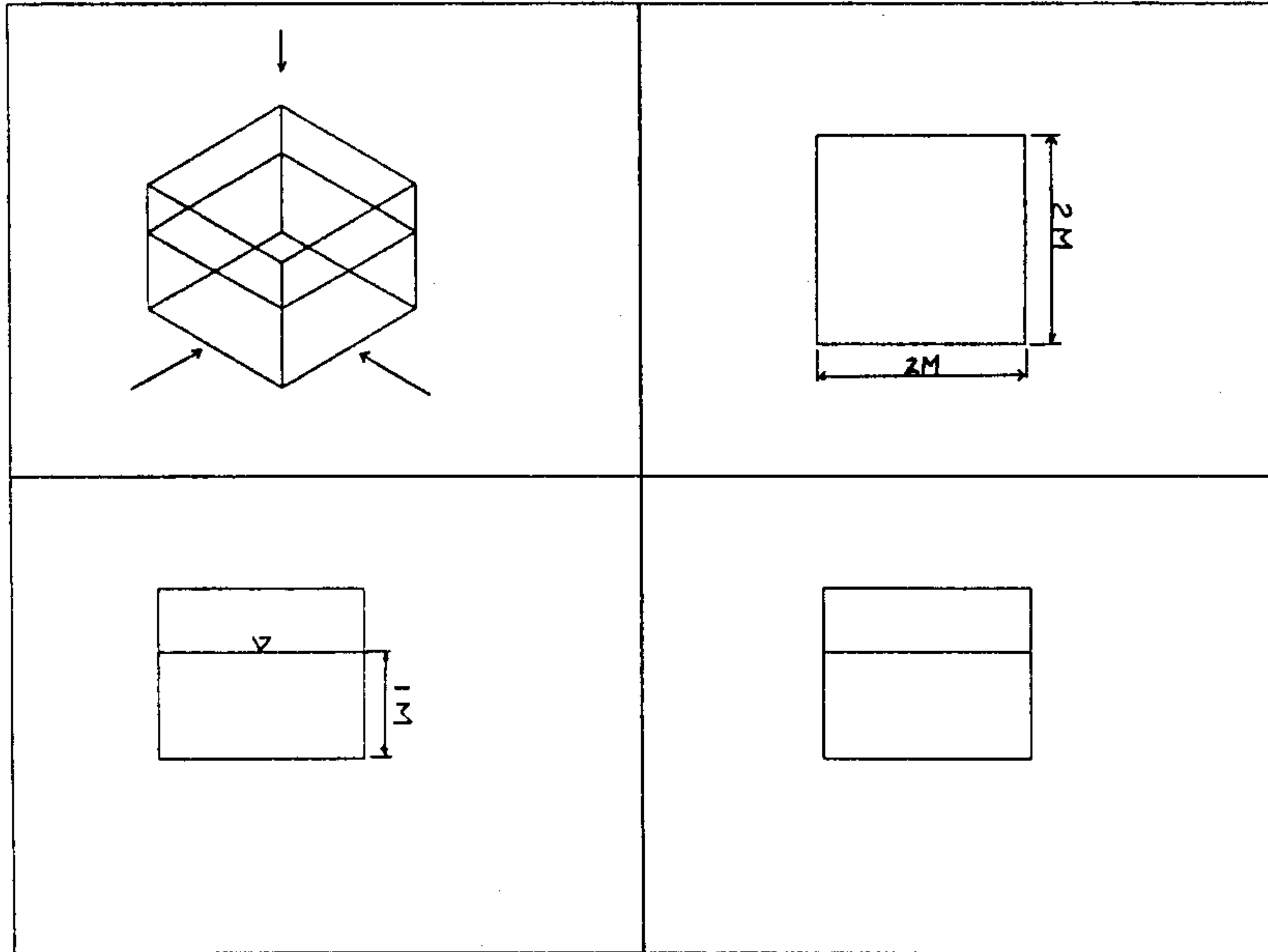
$$\begin{aligned} & \left( \frac{\psi^y_{i+1,j,k} - 2\psi^y_{i,j,k} + \psi^y_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\ & - \left( \frac{\psi^y_{i,j+1,k} - 2\psi^y_{i,j,k} + \psi^y_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\ & - \left( \frac{\psi^y_{i,j,k+1} - 2\psi^y_{i,j,k} + \psi^y_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) = -\omega^y_{i,j,k} \end{aligned}$$

(z-성분)

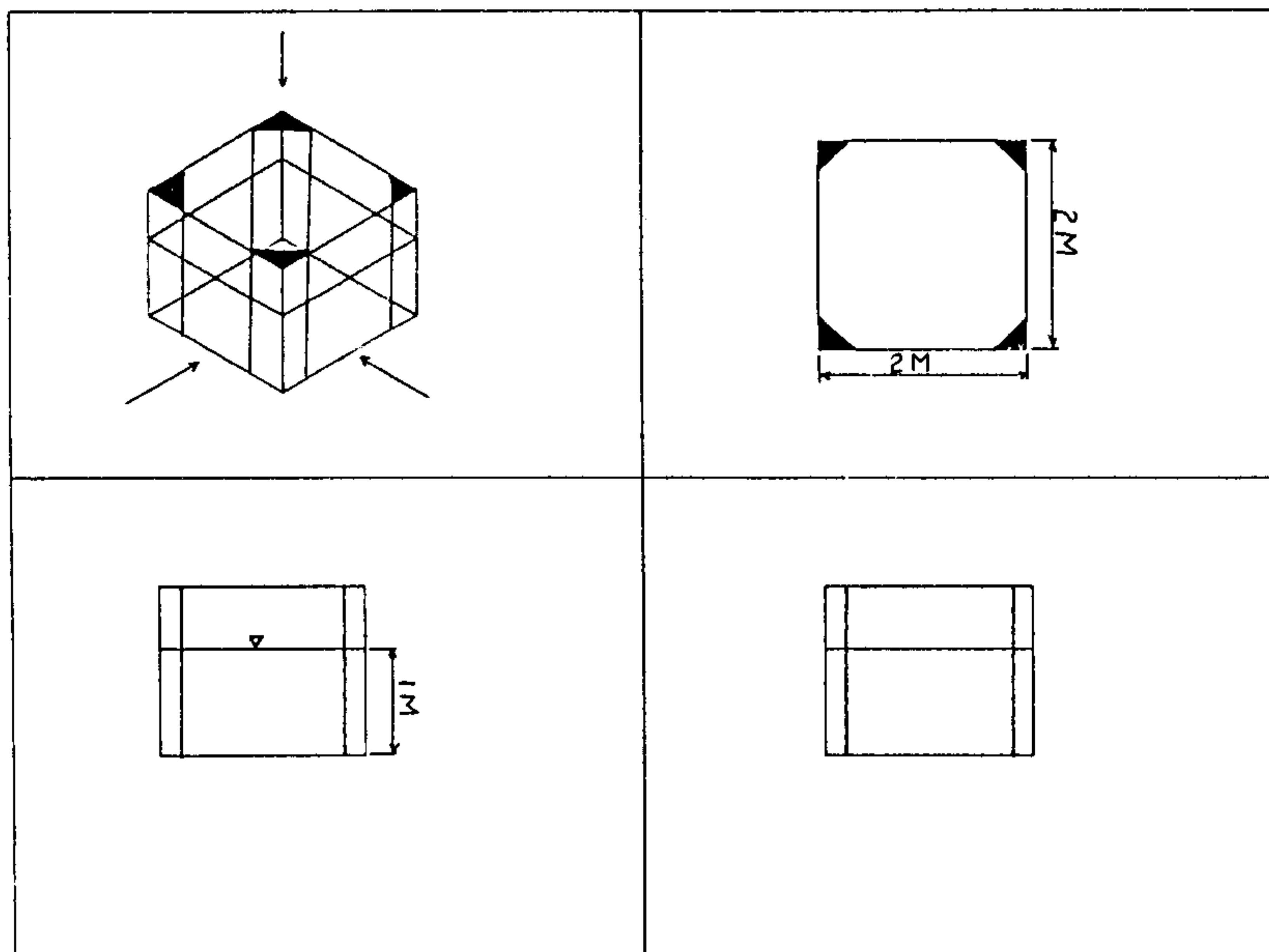
$$\begin{aligned} & \left( \frac{\psi^z_{i+1,j,k} - 2\psi^z_{i,j,k} + \psi^z_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} \right) \\ & - \left( \frac{\psi^z_{i,j+1,k} - 2\psi^z_{i,j,k} + \psi^z_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} \right) \\ & - \left( \frac{\psi^z_{i,j,k+1} - 2\psi^z_{i,j,k} + \psi^z_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) = -\omega^z_{i,j,k} \end{aligned}$$

#### 4) 계산결과

본 연구에서는 격자를 가로와 세로를 각각 10 cm x 10 cm의 크기로서 수평방향으로는 20 x 20개의 격자를 구성하였고, 연직방향으로는 10개의 격자로 구성하였다. <그림 3-3-20>은 사각형수조의 제원을 나타내며, <그림 3-3-21>은 8각형 수조의 제원을 나타낸다.



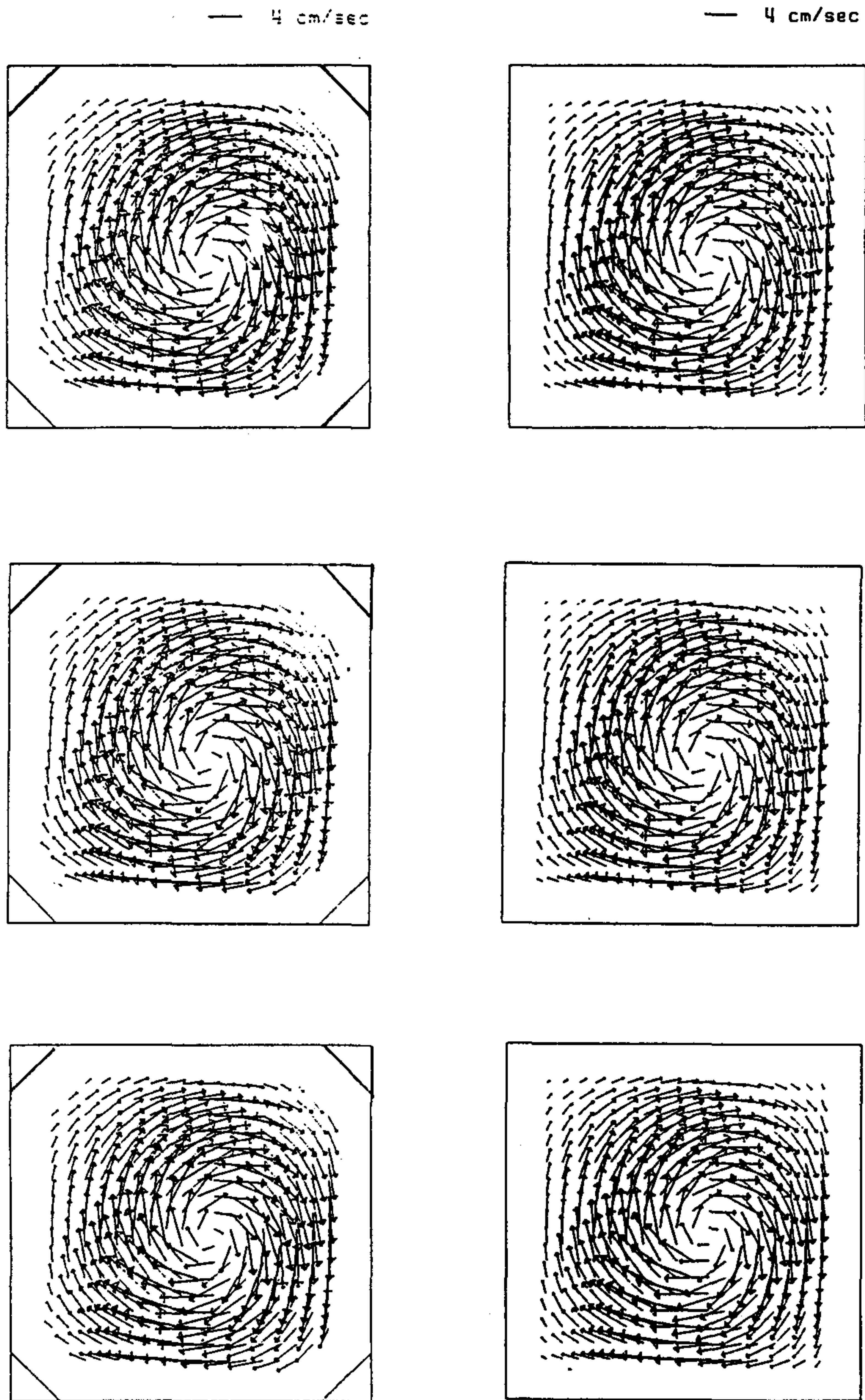
<그림 3-3-20> 모델에 이용된 사각형 수조의 제원



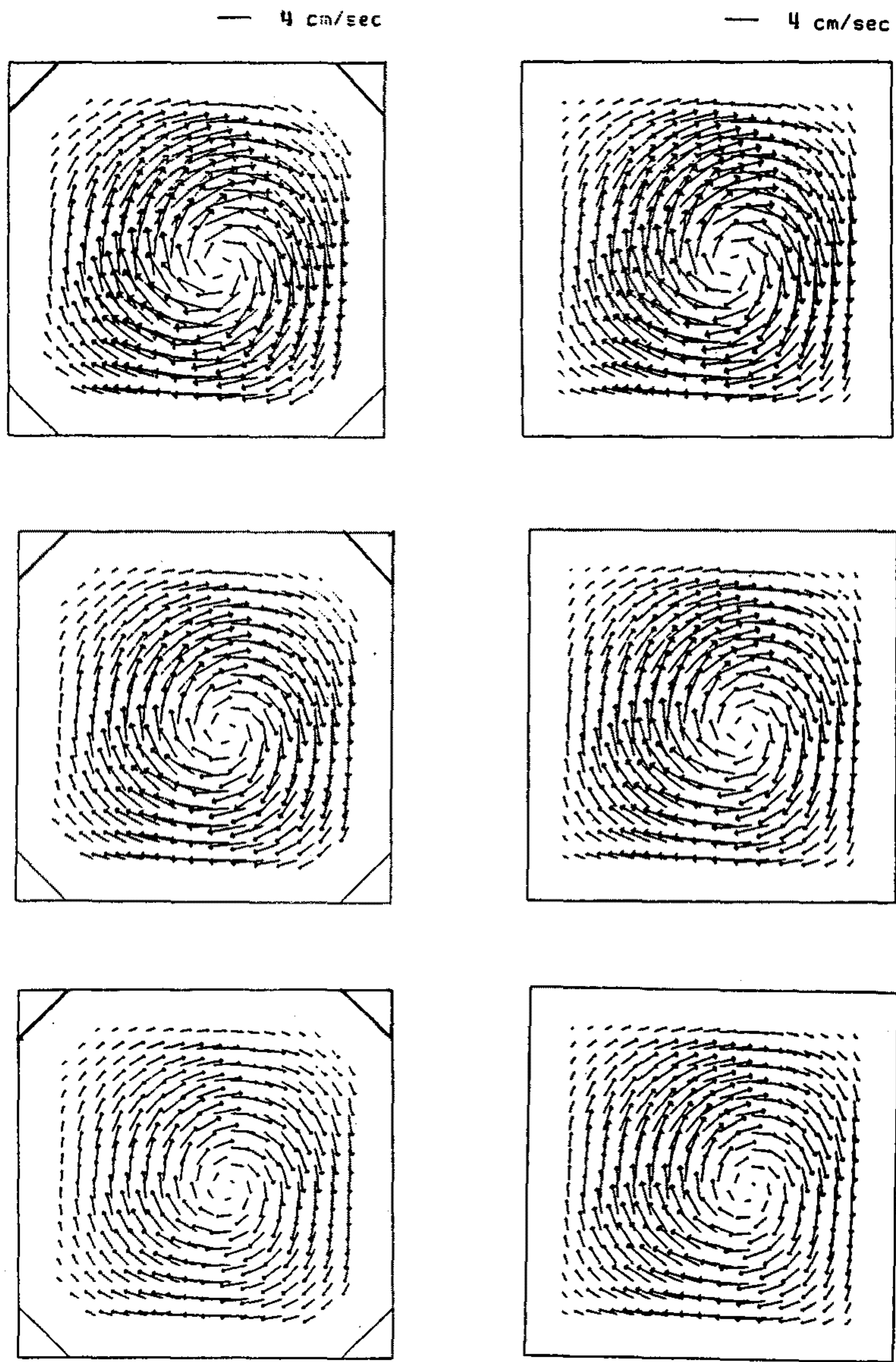
<그림 3-3-21> 모델에 이용된 팔각형 수조의 제원

수치계산에 있어서 시간간격  $\Delta t$ 는 1초 간격으로 하였으며, 계산결과는 100초, 300초, 800초, 1100초 일 때의 각 층별 수평유속을 나타내었다. 유속의 세기는 10 cm/sec로 주었으며, 실제 수조모델과 같이 한 점에서 유속값을 주었다. <그림 3-3-22>부터 <그림 3-3-24>까지는 1100초 때의 사각형과 팔각형의 유속분포를 보여주고 있다. <그림 3-3-22>는 2층, 3층, 4층에서의 사각형과 팔각형의 유속을 나타내고 있다. <그림 3-3-23>은 5층, 6층, 7층에서의 유속을 나타내고 있으며, <그림 3-3-24>는 8층, 9층, 10층에서의 유속값을 나타내고 있다. 이때부터 거의 모든 층의 유속값이 정상상태에 도달하고 있음을 알 수 있었다. 표층의 경우 약 10 cm/sec로 사각형과 팔각형의 수조 내에서의 유속값이 거의 같음을 알 수 있다. 주목되는 것은 유속값이 중층인 5, 6, 7까지는 표층에 비하여 큰 유속차를 보이지 않는 반면 하층인 8, 9, 10층에서의 유속값은 매우 작음을 알 수 있다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 3차원 벡터포텐셜법으로 수조에 대한 수치실험을 행하였을 때 전반적으로 안정된 계산결과를 보여주고 있다. 그리고 3차원 수조실험을 통한 팔각형과 4각형의 유속형태를 볼 때 팔각형이 정상상태에 빨리 도달하며, 유속값이 안정적으로 유지되는 특징이 있다. 그리고 수조의 모퉁이 부분의 유속에는 사각형 수조에서 나타나는 사수(정체흐름)의 형태가 나타나지 않는 특징이 나타났다.

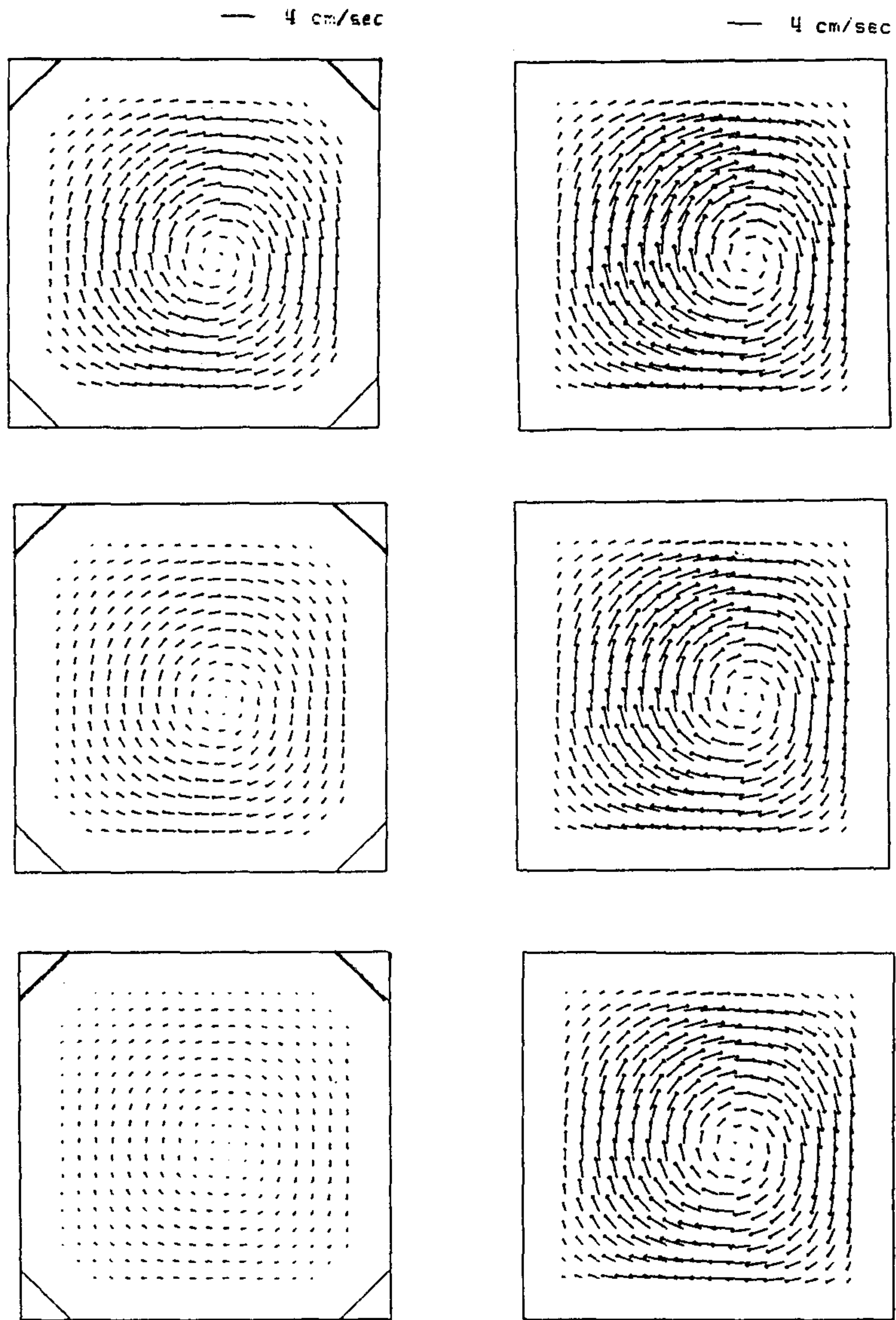




<그림 3-3-22> 1100초 때의 2, 3, 4층에서의 사각형과 팔각형에서의 유속벡터성분



<그림 3-3-23> 1100초 때의 5, 6, 7층에서의 사각형과 팔각형에서의 유속벡터성분



<그림 3-3-24> 1100초 때의 8, 9, 10층에서의 사각형과 팔각형에서의 유속벡터성분

### 3. 사육수조의 설계

#### 가) 수조의 평면형상 및 단면형상

사육조내의 유동구조에 관한 수리실험 및 수치실험결과에 의하면 원형수조의 경우가 가장 이상적인 수조형태로 나타났다. 그러나, 원형수조에 가까운 8각형 수조의 경우 수평적인 속도분포나 연직방향의 속도분포 등에 있어서 4각형 수조보다 좋은 결과를 보이지 못하고 있음을 알 수 있었다. 정 4각형 수조의 경우에는 우각부의 사수영역을 제외하고는 원형수조에 가까운 속도분포를 나타내었다. 경제적인 관점에서 보면 동일한 면적에 대하여 수조의 용적을 최대로 하는 것이 유리하므로 원형수조보다는 정사각형수조가 훨씬 더 유리하다. 따라서, 정사각형수조의 우각부를 유선을 따라 곡선으로 처리하면 경제적이면서도 수리학적으로도 효과적인 수조의 형태가 된다. 수조의 단면형상에 있어서 수조의 바닥을 평평하게 하면 노폐물을 수조바닥의 중앙부에 집중시키기 위하여 수조의 중심에서 유속이 거의 zero가 되도록 수류를 조절해야 한다. 그러나, 수조의 임의지점에서 강제적으로 운동량을 가하여 흐름을 발생시킬 경우 수류의 중심은 수조의 기하학적 중심에서 어느 한 쪽으로 편향되는 경향이 있으므로 바닥에 퇴적한 노폐물을 배출시키는 데 매우 곤란한 문제점을 일으킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 수조의 바닥에 일정한 경사를 주면 수심변화로 인한 저면마찰력의 변화와 노폐물의 거동에 미치는 중력효과 등으로 인하여 노폐물을 수조 중앙부에 집중시키는데 매우 효과적이다. 또한, 수조바닥이 일정한 경사를 갖도록 하면 수조를 청소할 경우에도 매우 편리하다. 일반적으로 수조바닥의 경사도는 10%~15% 정도가 바람직할 것으로 본다.

#### 나) 수조내의 유동구조에 미치는 물 유·출입장치의 영향

앞에서 행한 수리실험 결과에 의하면 수조내 물 유·출입장치에서 하부배수식 수조와 상부파이프 배수식 수조에서 수조내의 물 순환구조가 크게 달라짐을 볼 수 있었다. 하부배수식수조의 수조단면 내에서 유동구조는 <그림 3-3-25>와 같이 수조의 중

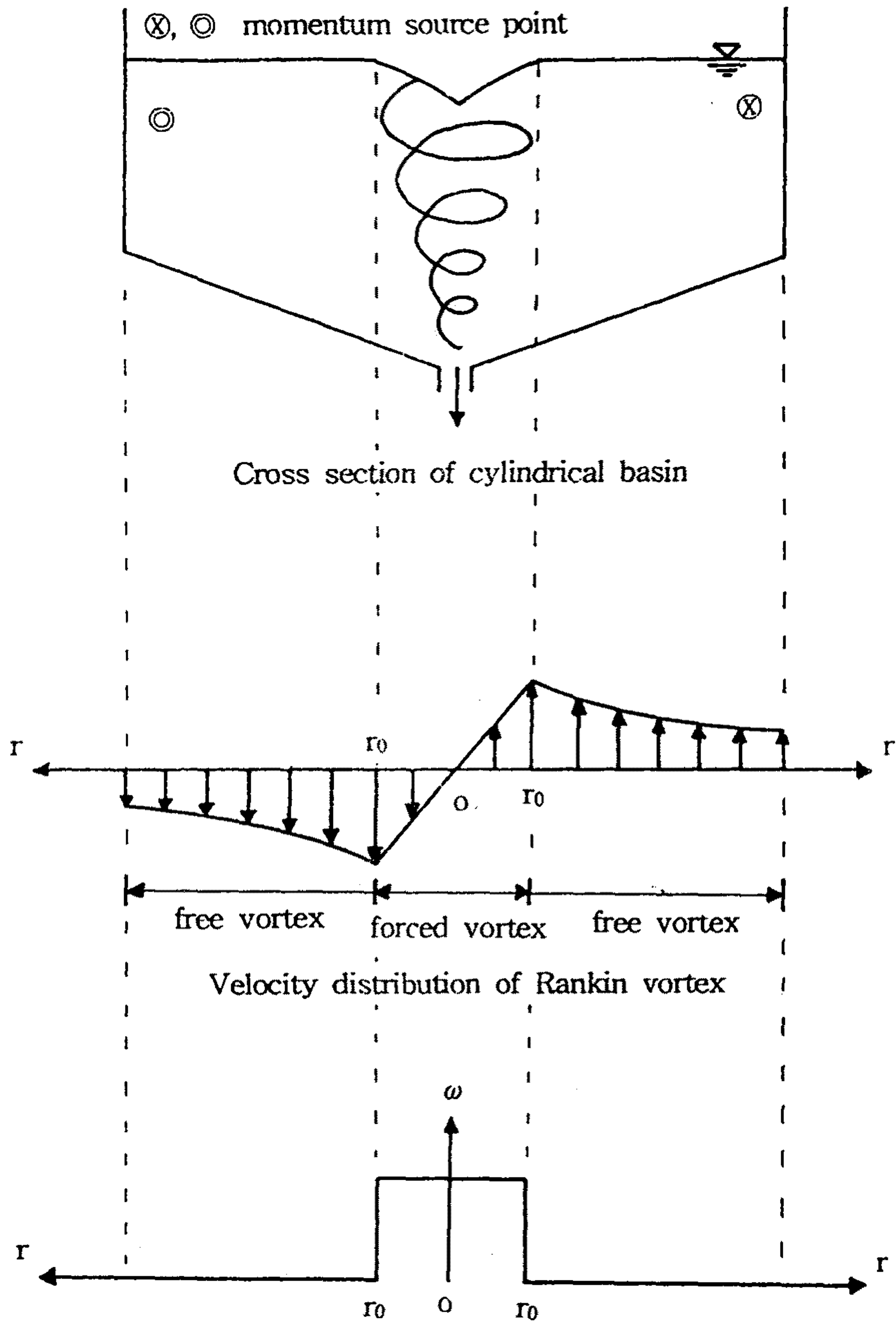
양부근에서 강한 소용돌이가 나타나고 수면의 하강이 발생한다. 또한, 수조의 평면상에서의 유동구조는 중심으로부터 만큼 떨어진 지점까지는 중심으로부터 거리에 비례하여 속도가 증가하는 강제와동(forced vortex)이 나타나고, 그 밖의 영역에서는 거리에 따라 속도가 감소하는 자유와동(free vortex)이 나타난다. 즉, 욕조에서 물을 빨 때 나타나는 욕조내의 속도분포와 유사한 bathtub vortex를 형성한다. 또한, 태풍 중심권과 태풍중심권 밖에서의 풍속분포와 유사한 분포로서 이러한 흐름을 Rankin vortex 또는 combined vortex라고 한다.

이 때의 속도분포는 다음과 같이 주어진다.

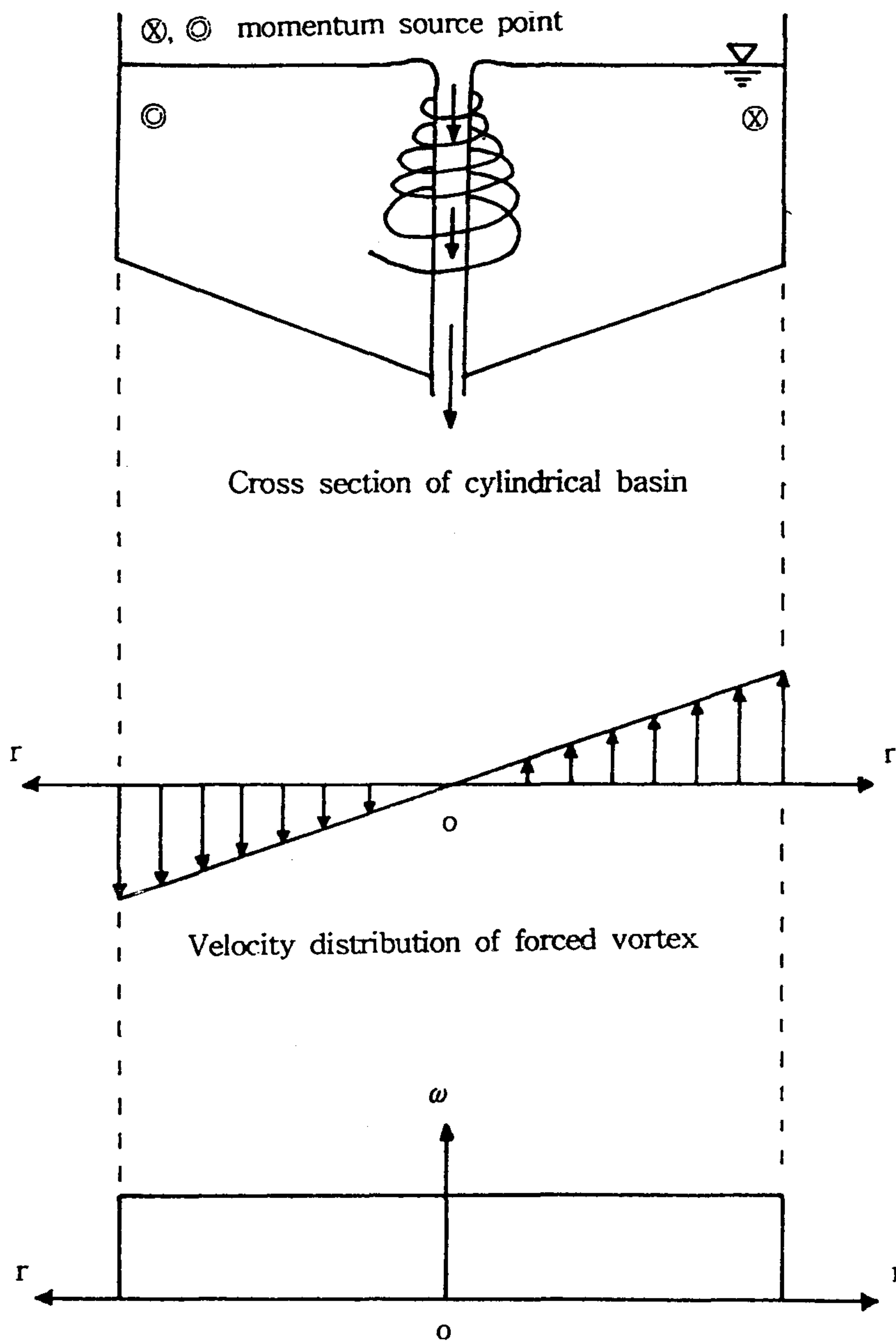
$$V_{\theta} = \omega r \quad (r < r_0, \omega = \text{일정})$$

$$V_{\theta} = k/r \quad (r > r_0, k = \text{일정})$$

한편, 수조의 중앙에 놓여진 파이프의 상부를 통하여 물을 유출시키는 경우에는 수조내에 유입된 물은 커다란 와동을 그리며 수조의 중앙부에 모이게 되며 배출파이프 주위에서 수위가 가장 높아진다. 이 경우의 속도분포는 <그림 3-3-26>에서 보는 바와 같이 강제와동과 유사한 운동을 나타낸다. 사육수조내에서 어체의 밀도가 대단히 높은 담수양어의 경우 다량의 노폐물을 원활하게 배출시키기 위하여는 수조의 중앙부분 바닥을 통하여 물을 유출시키는 것이 유리하다. 그러나, 수조의 규모가 6m정도 이상으로 큰 대형수조의 경우에는 하부배수식 방법으로는 수조내에 일정한 속도분포를 유지시켜 노폐물을 수조중앙부분으로 집중시키는데 상당한 어려움이 따르게 된다. 따라서, 대형수조를 설계할 경우에는 파이프의 상부를 통한 배수방식이 유리할 것으로 보여진다. 단, 이 경우에는 수조바닥에 쌓인 노폐물의 배출을 위하여 파이프의 밑부분을 통하여 노폐물이 배출될 수 있도록 특별한 장치를 만들 필요가 있다.



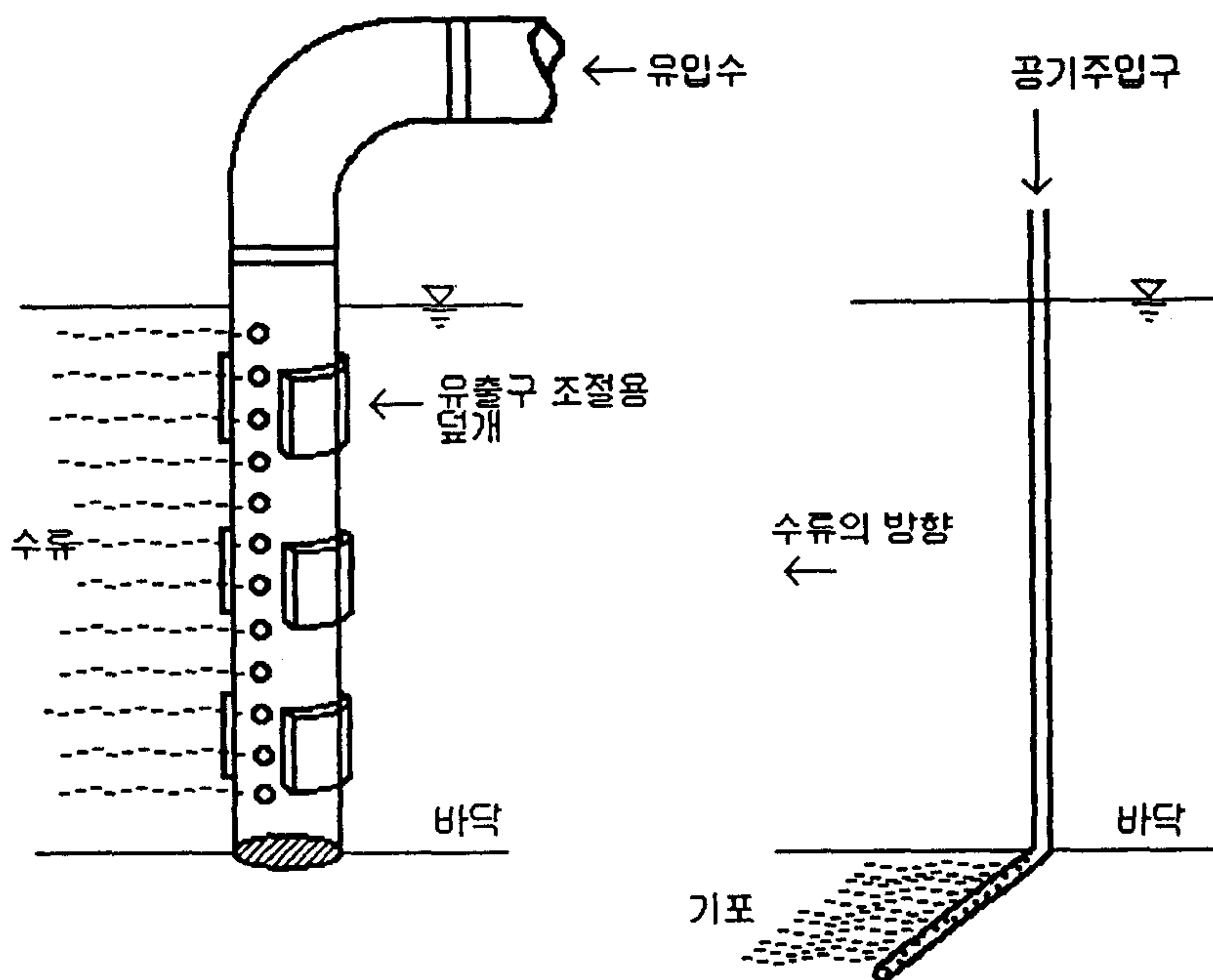
<그림 3-3-25> 하부배수식 원형수조의 단면내에서 수위, 속도 및 와도분포



<그림 3-3-26> 상부파이프 배수식 원형수조의 단면내에서 수위, 속도 및 와도분포

다) 순환수 유입장치 및 기포공급장치

수조내의 물을 순환시키는 작용을 하는 장치는 주로 순환수 유입장치와 기포공급장치에 의하여 이루어진다. 대개의 경우에는 수조의 수면에 비스듬하게 물이 낙하하도록 하여 물을 순환시키고 있으며, 기포공급장치는 수조바닥을 통하여 기포가 연직상 방향으로 상승하도록 설치하여 기포를 공급하는 것이 보통이다. 그러나, 이와 같은 방식은 수조내의 물 순환에 효과적인 방법이 되지 못하고, 기포는 수류의 회전을 방해하는 역할을 하게 된다. 따라서, 수조내의 물 순환을 돕고 또한 물 순환을 조절할 수 있게 하기 위하여는 <그림 3-3-27>과 같이 수조의 벽면을 통하여 수심에 따라 일정한 유속이 흐름방향으로 발생하도록 순환수 유입장치를 설계하고, 또한 기포도 수조바닥을 통하여 흐름방향으로 분출하도록 설계하여야 한다. 이때, 기포의 직경은 가능한 한 작게 하는 것이 좋다.

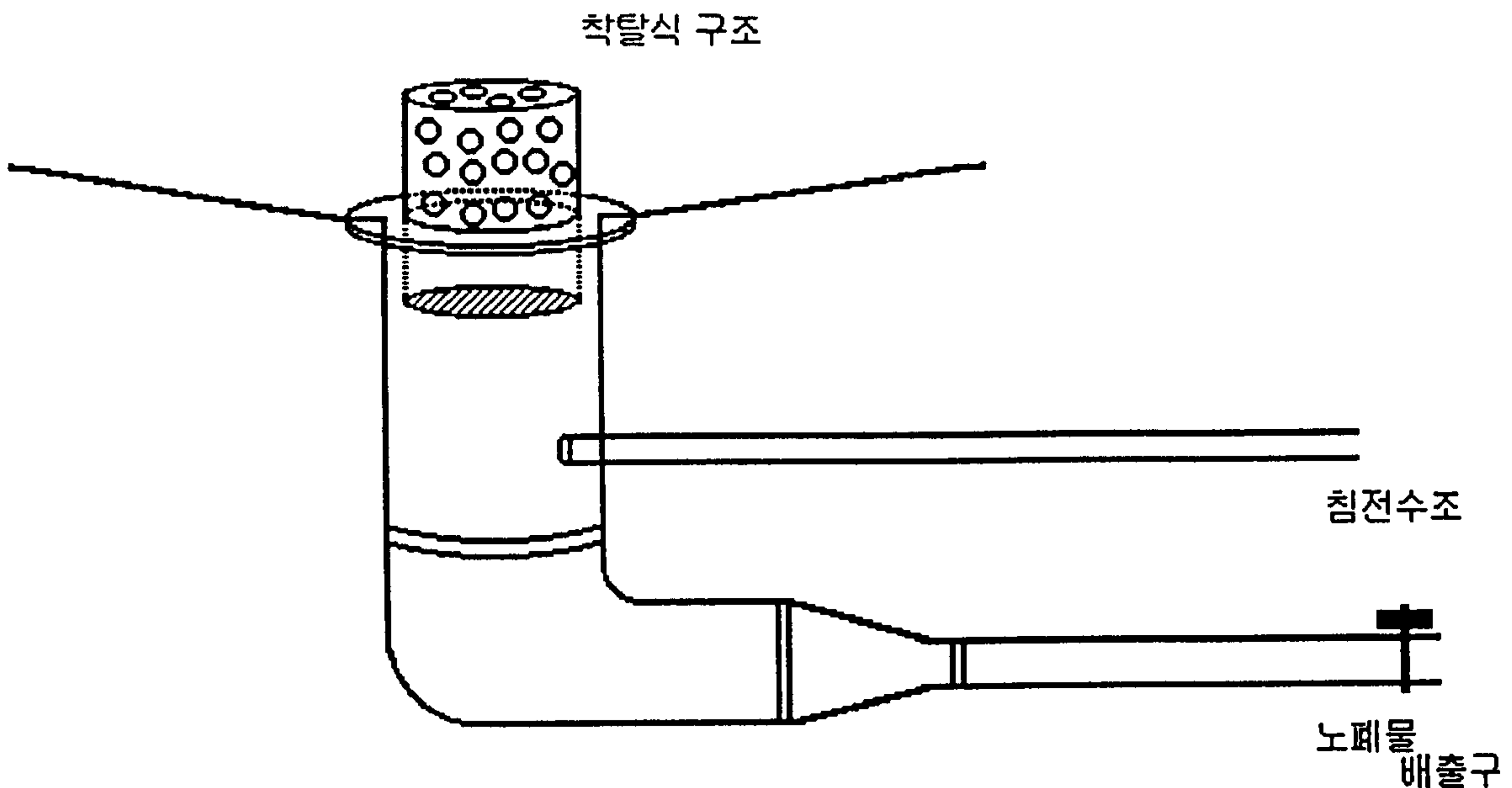


<그림 3-3-27> 순환수 유입 및 기포공급장치



라) 노폐물 배출장치

사육수조내에서 발생하는 물고기의 배설물이나 사료의 찌꺼기 등은 노폐물 배출구를 통하여 침전수조로 이동한다. 이때, 많은 양의 노폐물이 그대로 침전수조로 유입되면 침전수조의 유지관리에 많은 문제점이 발생하게 된다. 따라서, 사육조의 노폐물 배출장치를 통하여 비중이 크고 커다란 다량의 노폐물을 순환여과사육시스템의 밖으로 배출시키도록 하면 수질관리와 운영에 커다란 도움이 된다. 특히, 사료의 찌꺼기는 점착성이 강하여 관로의 벽면에 부착하거나 침전수조의 바닥 등에 부착하게 되면 제거하는 것이 매우 어렵게 되며 또한, 관로내의 유속이 작으면 관로를 막게 되어 커다란 문제점을 발생시키게 된다. 이러한, 문제점을 해결하기 위하여 사육조의 배출구에 <그림 3-3-28>과 같은 노폐물 배출장치를 설치한다. 여기서, 노폐물 배출구 쪽으로 쌓인 비중이 커다란 노폐물은 일정 시간간격으로 밸브를 열어 배출시키도록 한다. 따라서, 대체로 가볍고 입경이 작은 노폐물만이 재 순환수와 함께 침전수조로 이동하게 된다.



<그림 3-3-28> 노폐물 배출장치의 설계도

## 제 4절 침전수조의 설계

### 1. 침전수조의 현황과 문제점

재 순환수 중에 포함된 노폐물 등과 같은 고형입자를 중력작용에 의하여 물과 분리시켜 순환여과 시스템 밖으로 배출시키는 역할을 하는 물리적 장치로서는 침강수조, 원심분리기 그리고 hydrocloning 등이 있다. 이 밖에 수중에 포함된 고형입자를 제거하는 장치로서는 스크린, 여과필터 등이 있으나 여기서는 언급하지 않기로 한다.  $1\mu\text{m}$  내외의 미세한 고형입자를 제거하는데 있어서는 Cartridge 필터나 filter bags 또는 sand filter 등이 효과적인 것으로 알려져 있다. (Huguenin and Colt, 1989)<sup>8)</sup>

그러나, 순환여과 사육시스템에서 이러한 장치를 사용하는 것은 운영이나 경제적인 면에서 실제 사용하기가 곤란하기 때문에 일반적으로 1차 처리로서 간단한 침전조를 사용하고 있는 실정이다. 침전조를 설계하는데 있어서 중요한 설계요인은 제거하고자 하는 입자의 입경에 대한 입자의 침강속도와 재 순환수의 유량이 된다. 따라서, 입자의 침강속도가 작고, 유량이 클수록 침전조의 면적은 커지게 되어 시설투자 면에서 커다란 제약조건이 된다. 그러므로 침전조의 크기를 최소화하면서 침전효율을 크게 하는 것이 중요한 문제점으로 대두된다. 그리고, 일단 바닥에 가라앉은 노폐물의 체류시간을 짧게 하여 물과 접하는 시간을 줄이는 것이 수질관리 면에서 바람직하다. 따라서, 침전조는 위의 두 가지 측면에서 설계되어야 한다.

#### 가. 기존의 침전조에 대한 소개와 문제점

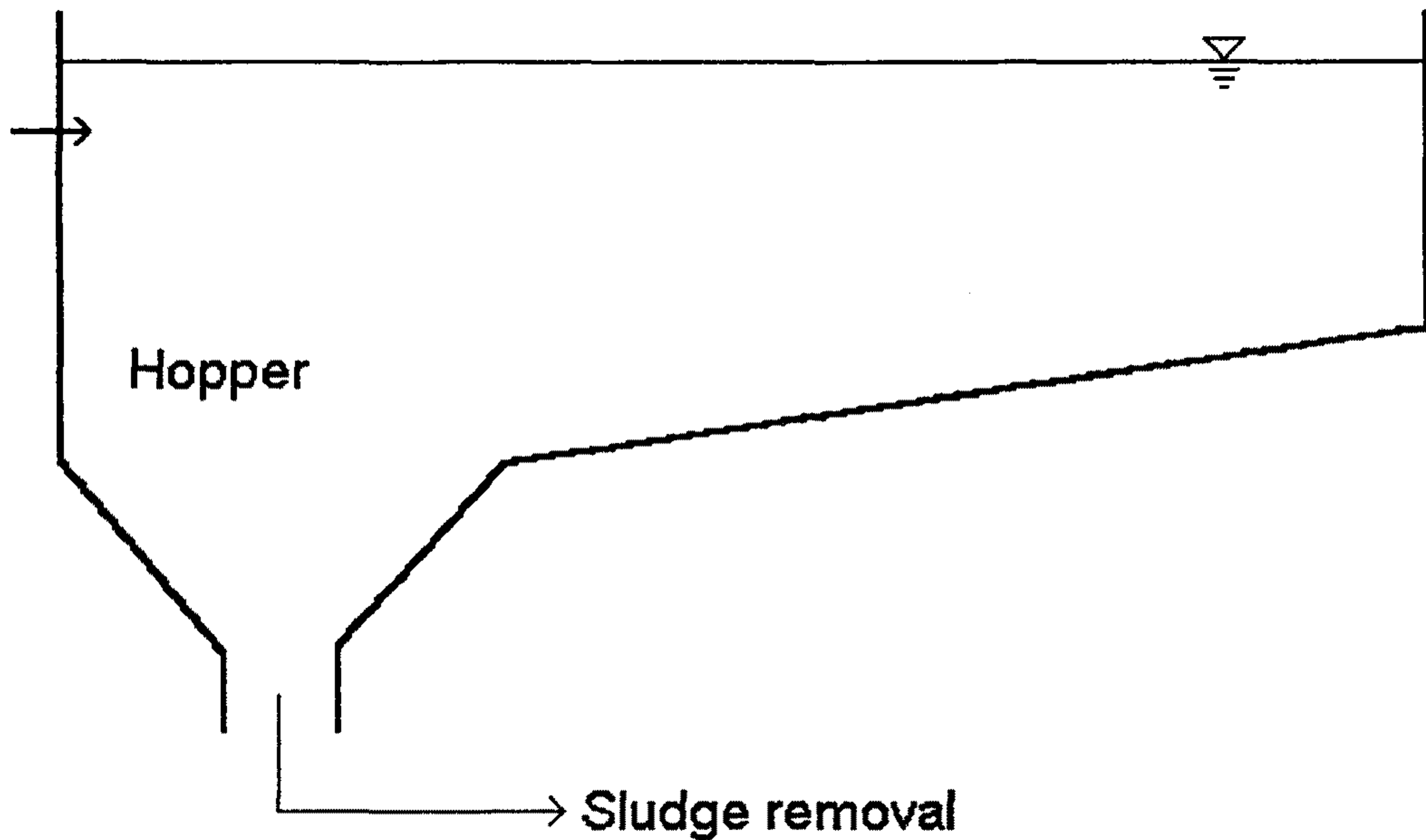
##### 1) 중력작용에 의한 침전조

단순한 중력작용에 의한 침강속도에 의하여 노폐물을 제거하는 장치로서 4각형 침전수조의 단면을 개량한 Hopper형 4각형 침전수조, Plate settlers의 원리를 이용한 Lamellar settling trap, 튜브를 사용한 tube settler 등을 들 수 있다.

##### 가) Hopper형 침전수조

단면형태는 <그림 3-4-1>과 같이 되어있어 유입구 쪽의 수심이 깊고 저면에 경사를

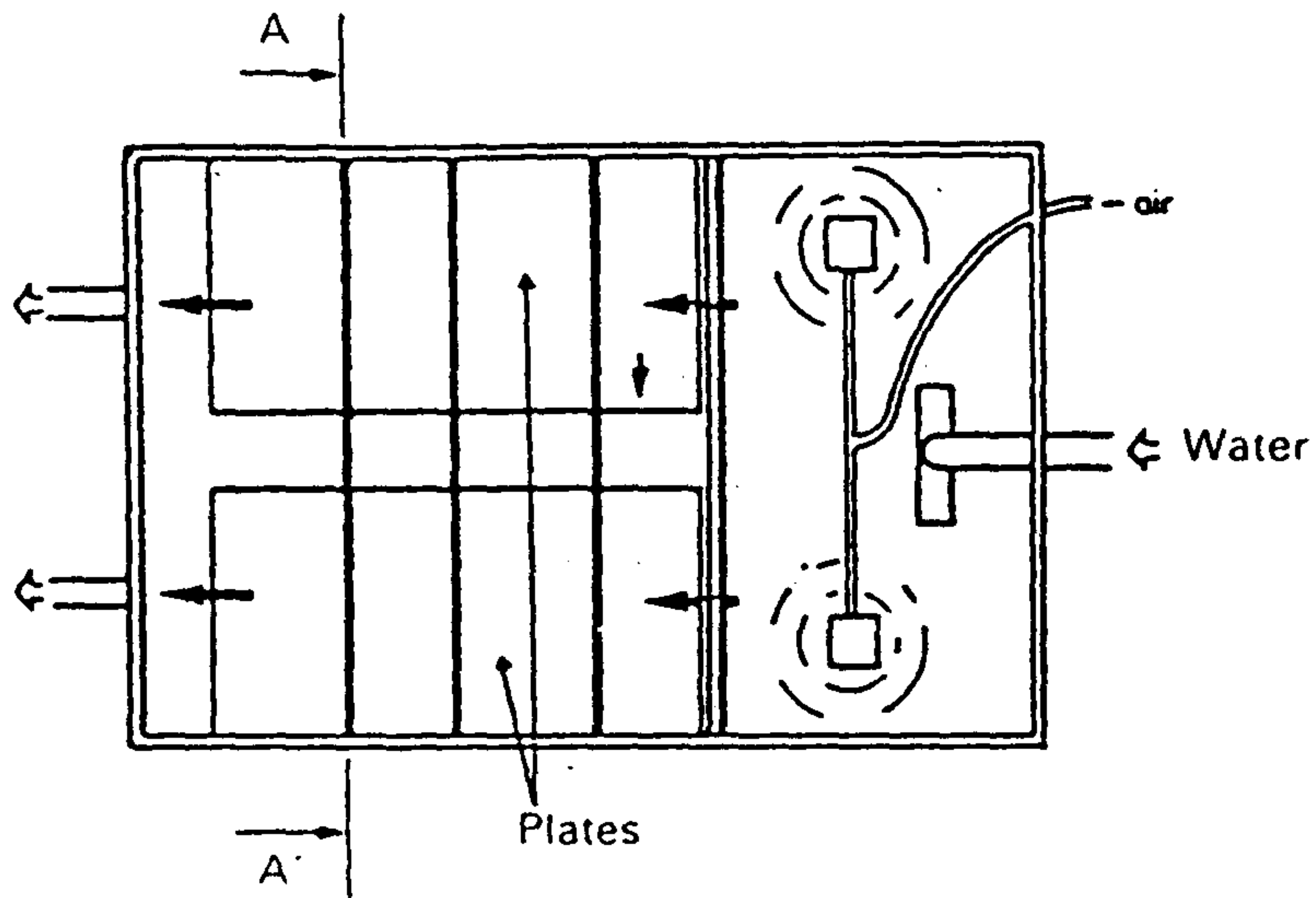
주어 바닥에 쌓인 노폐물을 한 곳으로 모으기 쉽게 되어있다. 그러나, 미세한 입자의 침전을 위해서는 수조의 길이가 길어야 하며 또한 바닥에 쌓인 슬러지를 Hopper로 모으는 기계적인 장치가 필요하다.



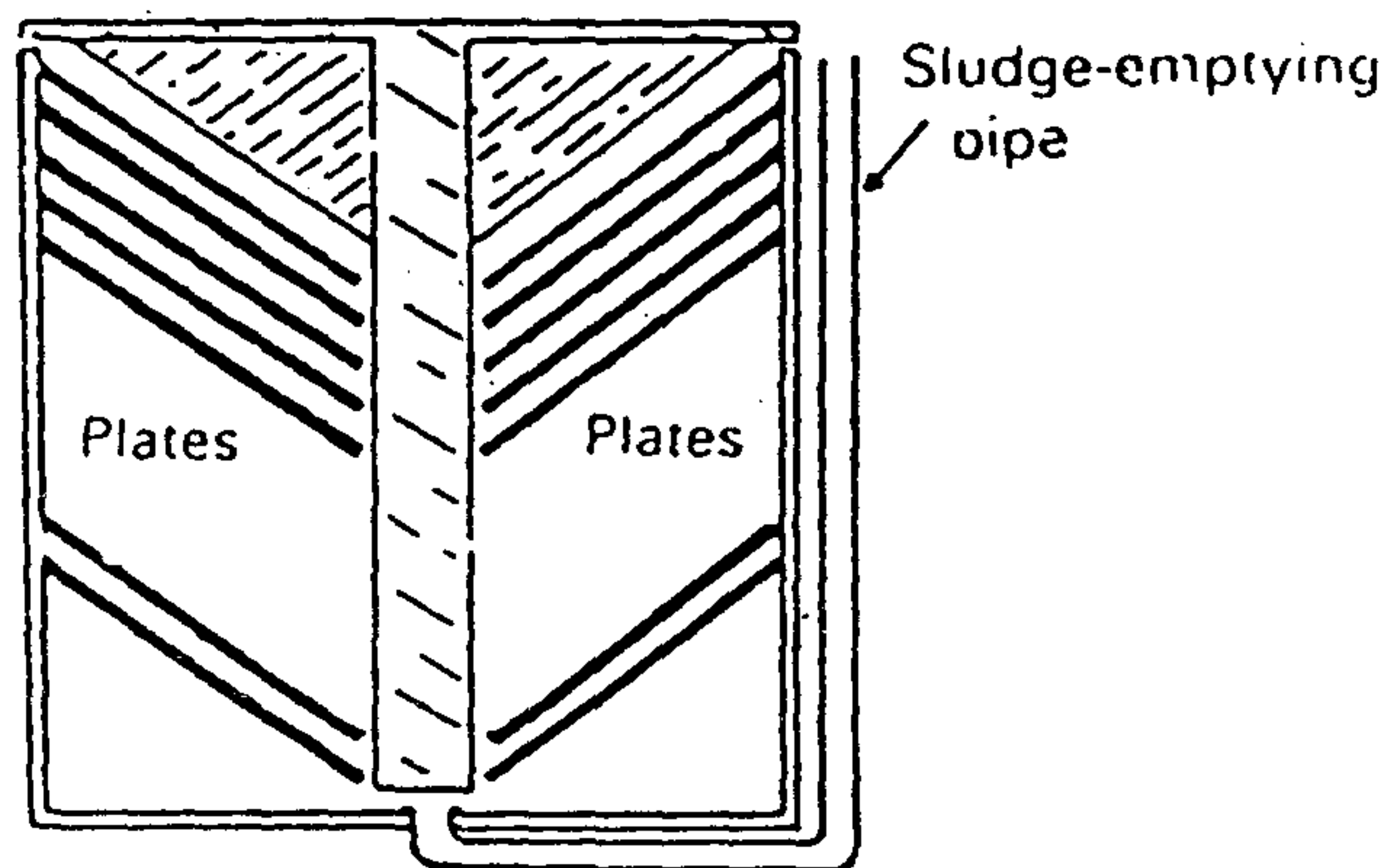
〈그림 3-4-1〉 Hopper형 4각형 침전수조의 단면도

나) Lamellar settling trap

〈그림 3-4-2〉와 같이 침전조의 가운데에 경사지게 Plate를 넣어서 노폐물을 빠른 시간내에 배출시키는 것으로 소형의 수조로도 비교적 효과가 높은 것으로 알려져 있다. 그러나, Plate에 부착한 노폐물이 수질을 악화시키는 요인이 되기 때문에 자주 청소를 해 줄 필요가 있으며, 침전조의 바닥중앙부분에 모인 슬러지의 배출에 어려운 문제점이 많다.



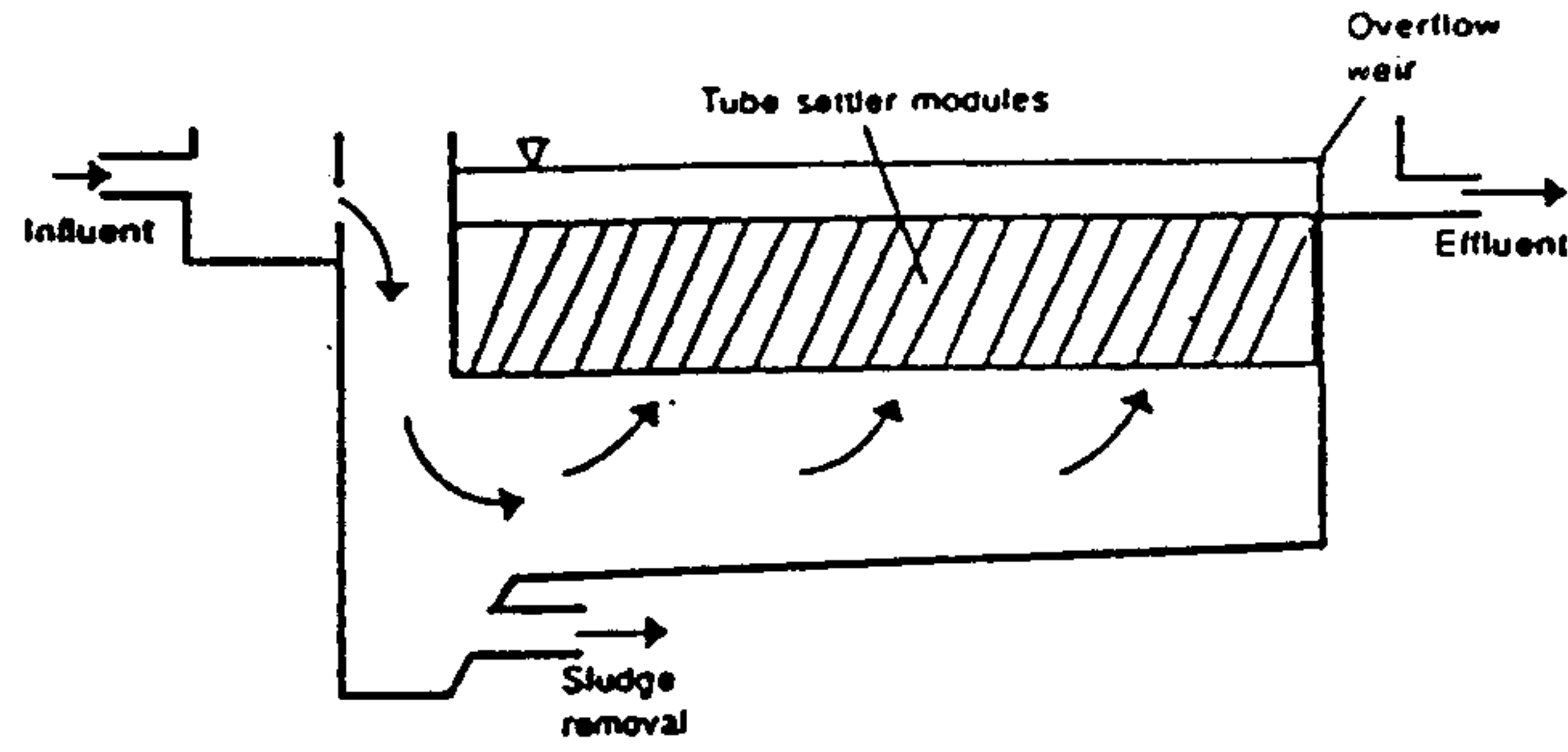
Section A-A'



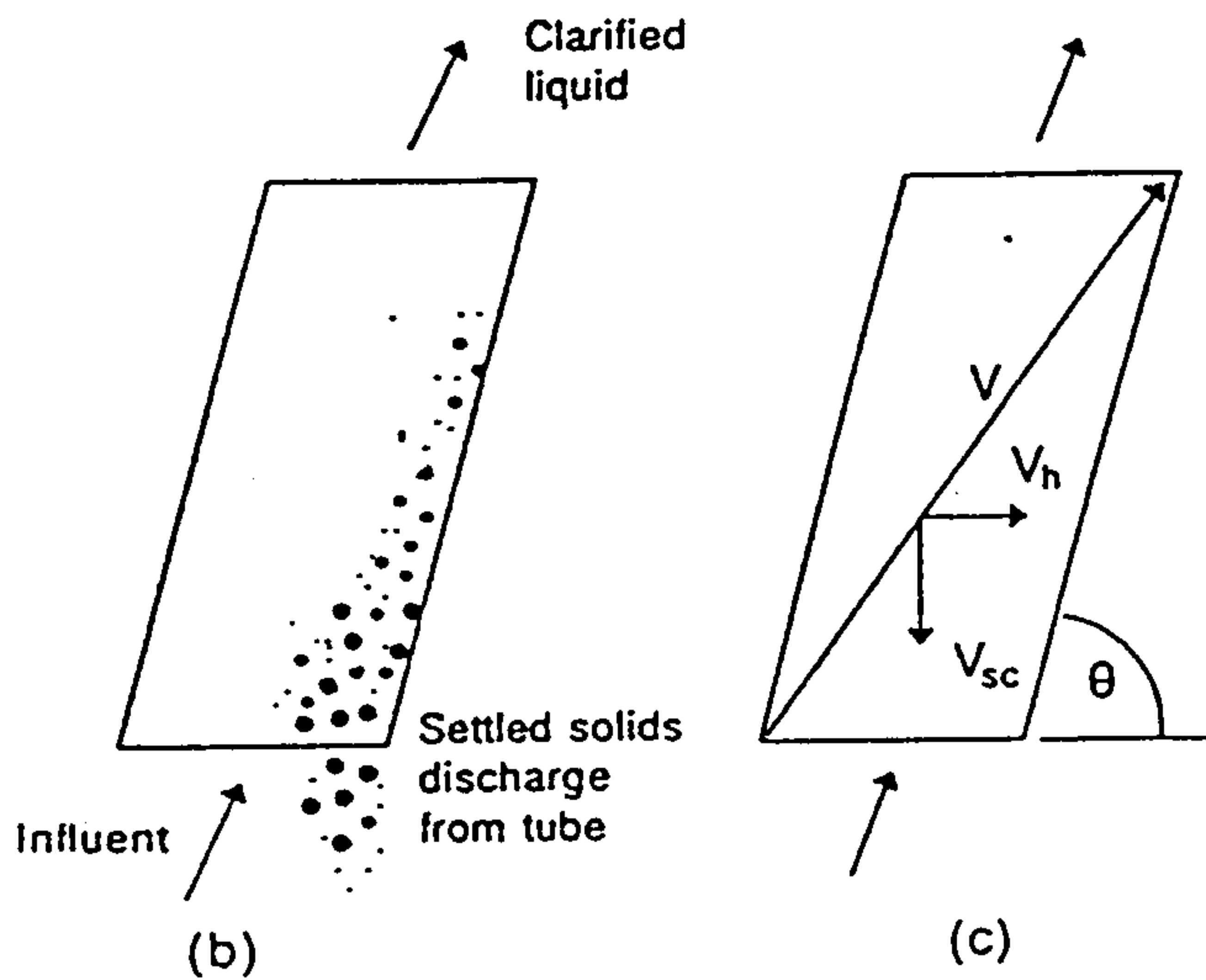
<그림 3-4-2> Lamellar settling trap의 원리와 배치도

다) Tube settler

<그림 3-4-3>과 같이 사각형 침전조에 경사지게 tube settler 장치를 부착한 것으로 노폐물의 침전효율은 매우 좋은 것으로 알려져 있다. 그러나, 바닥에 쌓인 슬러지를 한 곳에 모으는 것과 튜브 내에서의 미생물의 번식이 문제가 된다.



(a)



<그림 3-4-3> Tube settler의 모식도<sup>6)</sup>

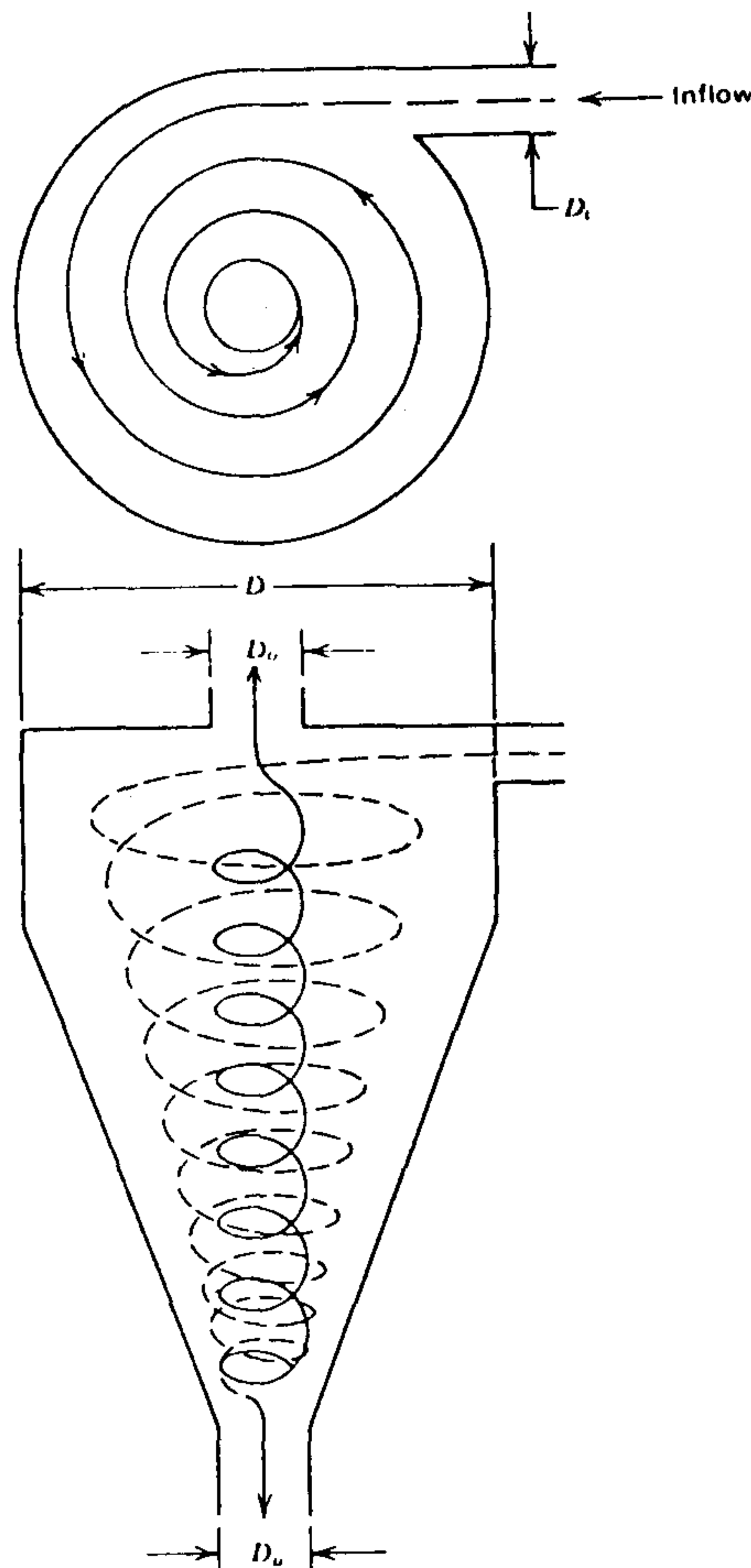
## 2) 원심력을 이용한 노폐물 분리장치

수류를 회전시켜 원심력에 의하여 물보다 밀도가 높은 노폐물과 물을 분리시켜 노폐물을 한 곳에 모은 후 침전조 밖으로 배출시키는 장치이다. 여러가지 형태의 장치들이 있으나 대표적인 예로서 Hydro-clone을 소개한다.

### 가) Hydroclone

<그림 3-4-4>는 Hydroclone의 작동원리를 나타낸다. 원주방향으로 유입된 흐름은 원주를 따라 돌아내려가면서 고품입자들은 벽면을 따라 내려가서 밑부분을 통하여 배출되고, 맑은 물은 수조의 중앙부에 형성된 저압부를 따라 유입수와는 반대방향으로 회전하면서 상부를 통하여 유출되게 된다. Hydroclone의 직경을 작게 할수록 많은 원심력을 얻게 되어 커다란 원심분리기의 효과를 얻게 된다. 이 장치는 공업용의 슬러

지 분리에 있어서는 커다란 효과를 보고 있으나 양식장용으로는 그다지 효과가 없는 것으로 알려져 있다. 왜냐하면, 순환여과사육조에서 나오는 재순환수 중에 포함된 노폐물의 양이 그다지 많지 않으며, 노폐물과 물과의 밀도차가 0.2 정도로 작아서 원심력이 크게 작용하지 못하며, 일단 바닥에 모인 노폐물을 배출시키려면 underflow의 유량을 어느 정도 주지 않으면 효과가 없는데 순환여과 사육시스템에서는 될 수 있는 한 배출수를 억제해야 하는 문제점이 있으며, Hydroclone내를 고속으로 회전하는 과정에서 노폐물이 미세하게 부서져서 노폐물의 처리가 더욱 어렵게 되며, 또한 많은 전력이 소모된다는 점 등을 문제점으로 들 수 있다.



<그림 3-4-4> Hydroclone의 작동원리<sup>9)</sup>

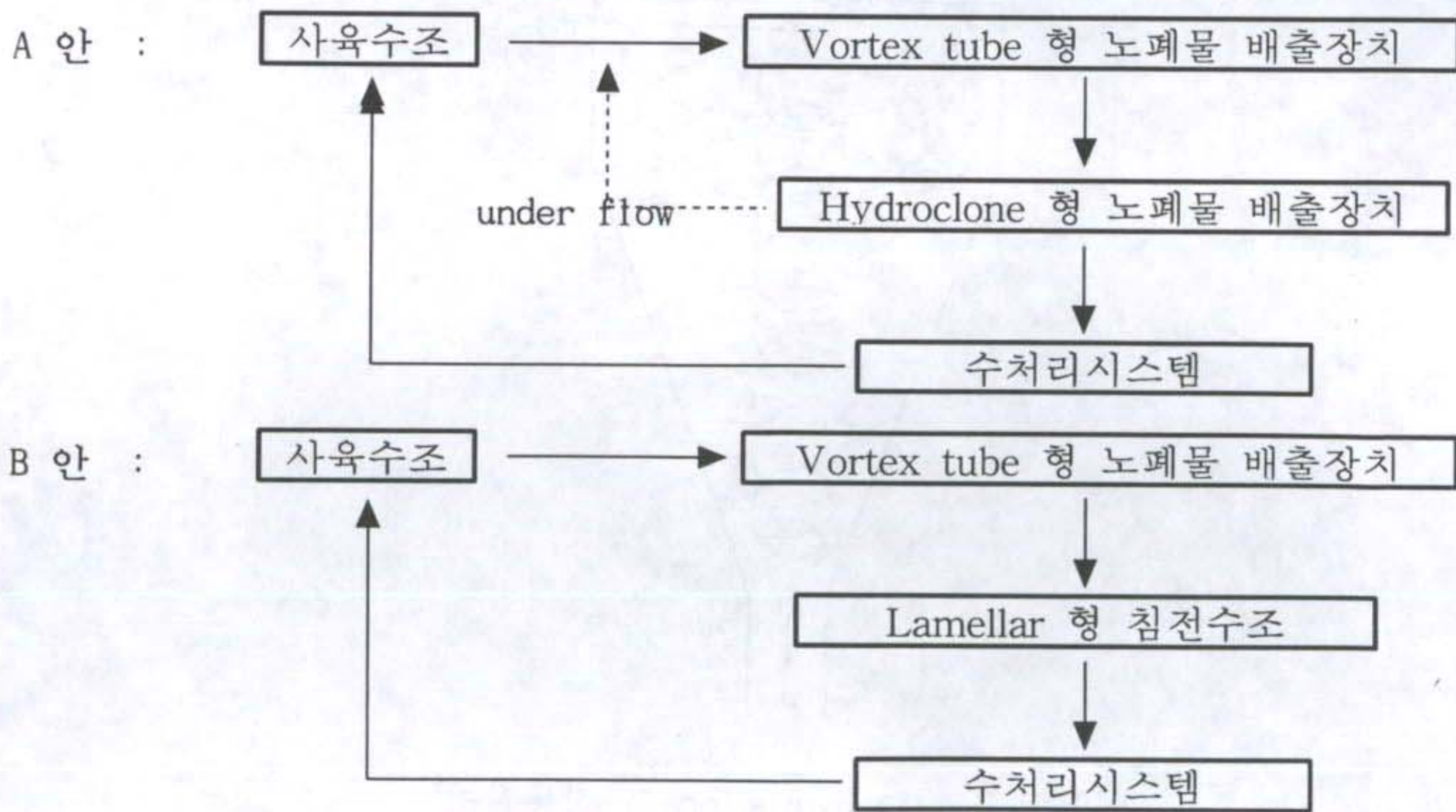
2. 침전수조의 성능 및 효율에 관한 현장실험

<그림 3-4-5>는 실험장치의 전경을 나타낸다.



<그림 3-4-5> 실험장치의 전경

여기서 실험장치의 구성을 다음과 같이 A 안과 B 안으로 나누어 실험하였다.



여기서, 각각의 장치의 개요는 다음과 같다.

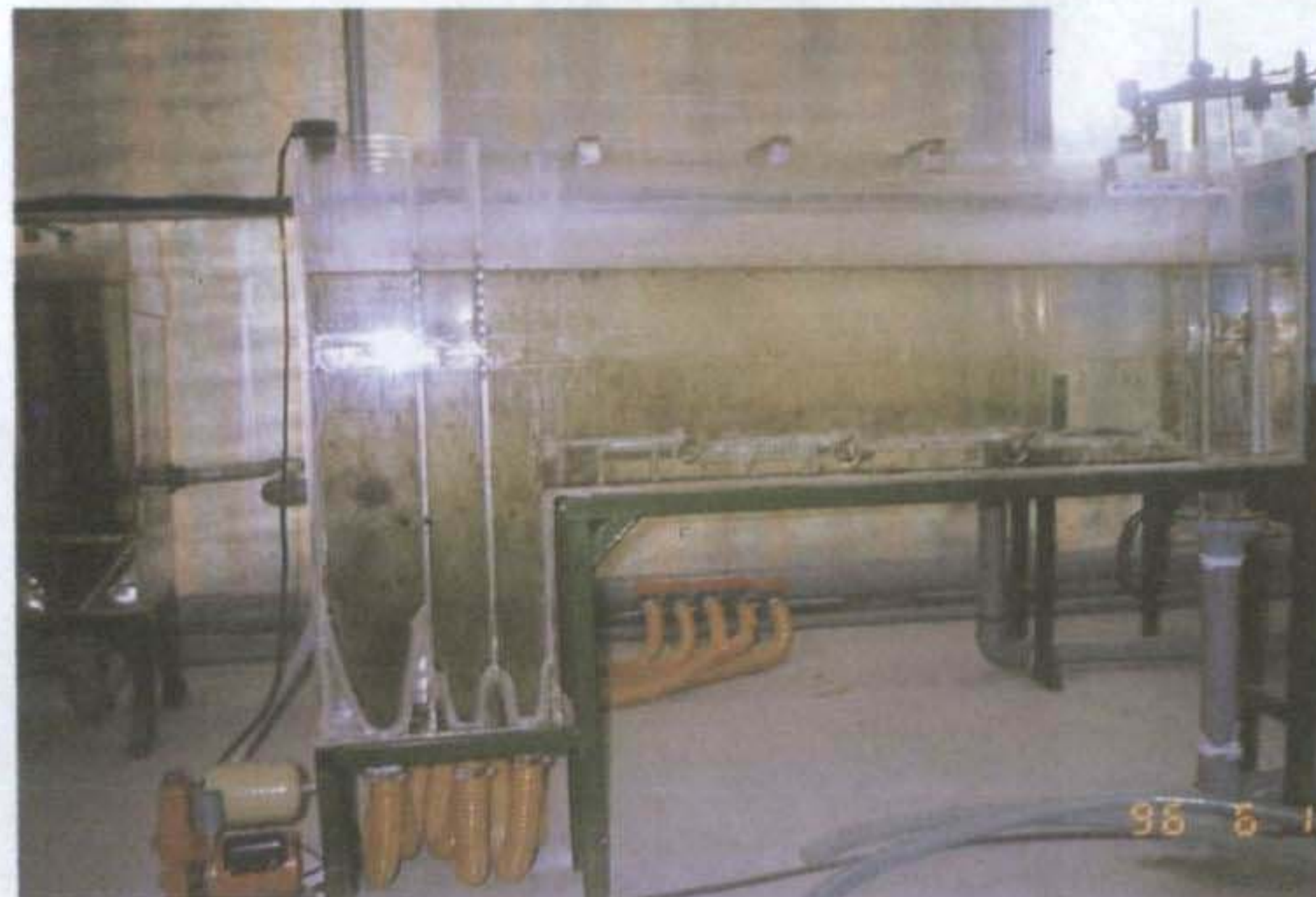
사육수조 : 가로 2m × 세로 2m × 높이 1m

round cut한 사각형수조로서 바닥경사는 20% <그림 3-4-6>

Vortex tub형 노폐물 배출장치 : <그림 3-4-7>



<그림 3-4-6> 사육수조



<그림 3-4-7> Vortex tub형 노폐물 배출장치



Hydroclone 형 노폐물 배출장치 : <그림 3-4-8>

Lamellar 형 침전수조 : <그림 3-4-9>



<그림 3-4-8> Hydroclone 형 노폐물 배출장치



<그림 3-4-9> Lamellar 형 침전수조

장기간에 걸친 실험장치의 운영결과를 요약하면 다음과 같다.

#### 가. 사육수조

수조내에서 발생하는 어류의 배설물과 사료의 찌꺼기 등은 수조내에서의 수류의 속도와 어류의 운동에 의하여 발생하는 흐름으로 인하여 수조중앙의 stand pipe를 통하여 쉽게 수조로부터 빠져나간다.

#### 나. Vortex tube 형 노폐물 배출장치

비중이 1.20 정도로 비교적 커서 수로바닥을 소류상태로 이동하는 어류의 배설물은 Vortex tube를 통하여 용이하게 배출되지만 부유상태로 떠있는 미세한 입자는 장치내에서 발생하는 와류에 의하여 침전하지 않고 재 순환수의 흐름을 따라 그대로 이동하였다. 한편, 침전된 노폐물을 장치 밖으로 배출시키기 위해서는 밸브를 열어 노폐물을 물과 함께 밖으로 배출시키게 된다.

#### 다. Hydroclone 형 노폐물 배출장치

Vortex tube 형 노폐물 배출장치로부터 제거되지 않고 흐름과 함께 빠져 나온 노폐물은 입경이 작고 비중이 1.20이하로서 흐름 중에 함유된 노폐물의 양 자체로 매우 작은 편이다. 이러한 미세입자 형태의 노폐물은 Hydroclone 내를 고속으로 회전하며 하강하는 과정에서 원심력이 크게 작용하지 않기 때문에 under flow의 유량을 어느 정도 크게 주지 않으면 노폐물을 장치 밖으로 배출시키기 어렵게 된다. 여기서, under flow의 유량을 Vortex tube 형 노폐물 배출장치나 그 밖의 침전수조로 유입시키면 미세 입자의 제거에 효과적인 좋은 결과를 얻을 수 있다.

#### 라. Lamellar 형 침전수조

침전수조내의 흐름을 층류상태로 유지시키고 plate 사이의 간격을 좁게 하면 미세 입자의 제거율을 높일 수 있다. 그러나, plate에 부착된 노폐물은 수조내의 수질에 나쁜 영향을 미칠 수 있으며, 수조내를 통과하는 재 순환수의 체류시간이 길어질수록 그 영향은 더욱 커지게 된다.

### 3. 침전수조의 주요 설계요소

사육수조로부터 발생하는 어류의 배설물이나 사료의 찌꺼기 등의 노폐물을 효과적으로 제거하여 재 순환 유입수의 수질을 개선시키기 위해서는 우선, 노폐물이 물과 접하는 체류시간을 최소한으로 줄이는 것이 가장 중요하며, 가능하면 미세한 노폐물까지 제거할 수 있도록 하는 것이 좋다. 입경이 크고 유기물의 배출이 큰 어류의 배설물은 사육수조에서 침전수조로 도달하기 전에 별도의 노폐물 제거장치를 통하여 재순환수와 분리하여 배출시키는 것이 좋고, 미세한 노폐물은 중력식 침강수조를 통하여 가라앉힌 후에 제거하도록 하는 것이 바람직하다. 여기서, 스크린 여과장치에 의하여 기계적으로 노폐물을 걸러내는 장치도 매우 편리한 방법 중의 하나이지만 본 연구에서는 중력식 침전수조에 대하여만 다루기로 한다.

#### 가. 노폐물 제거장치

사육수조에서 발생한 노폐물을 침전수조에 도달하기 전에 제거하기 위해서는 다음과 같은 장치들이 쓰여질 수 있다.

##### 1) 침강탱크

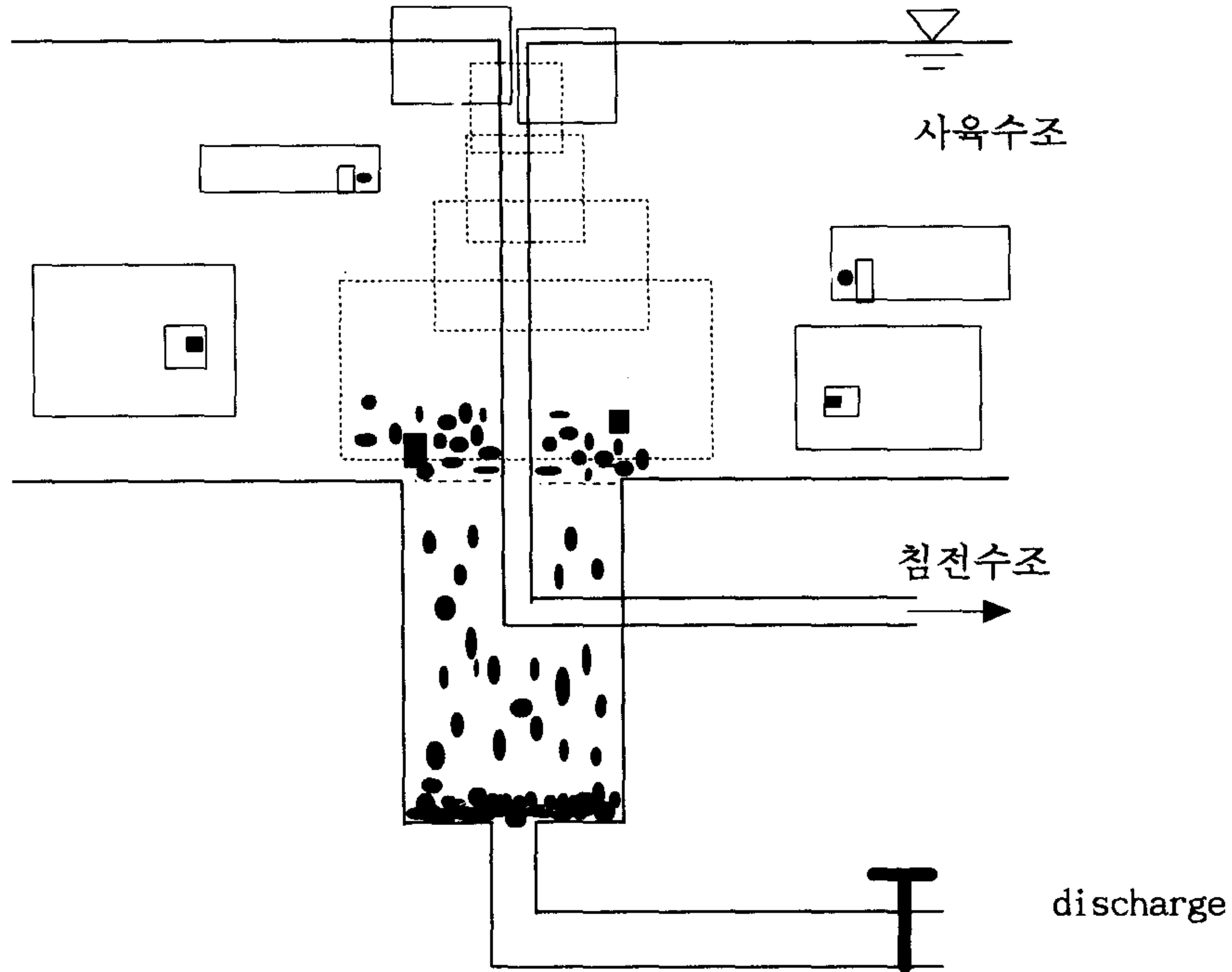
사육수조에서 배출되는 노폐물을 재 순환수와 분리시킬 수 있도록 침강탱크를 설치하면 침강속도가 큰 노폐물을 1차적으로 분리시킬 수 있다. 이는 수조의 중앙에서 stand pipe를 통하여 물을 배출시키는 경우에 수조중앙부의 하단에 설치하면 효과적이다. <그림 3-4-10>은 침강탱크의 단면도를 나타낸다.

##### 2) Hydroclone의 응용

사육수조에서 배출되는 노폐물을 Hydroclone의 원리를 이용하여 노폐물의 크기와 비중이 큰 것을 재 순환수와 분리한다.

##### 3) Vortex tube 형 노폐물 배출장치의 응용

이것도 역시 노폐물의 크기와 비중이 큰 것을 재 순환수와 분리할 수 있는 방법 중의 하나로서 쓰여질 수 있다.



<그림 3-4-10> 침강탱크의 단면도

나. 침전수조

1) 침전조의 형상과 설계요소

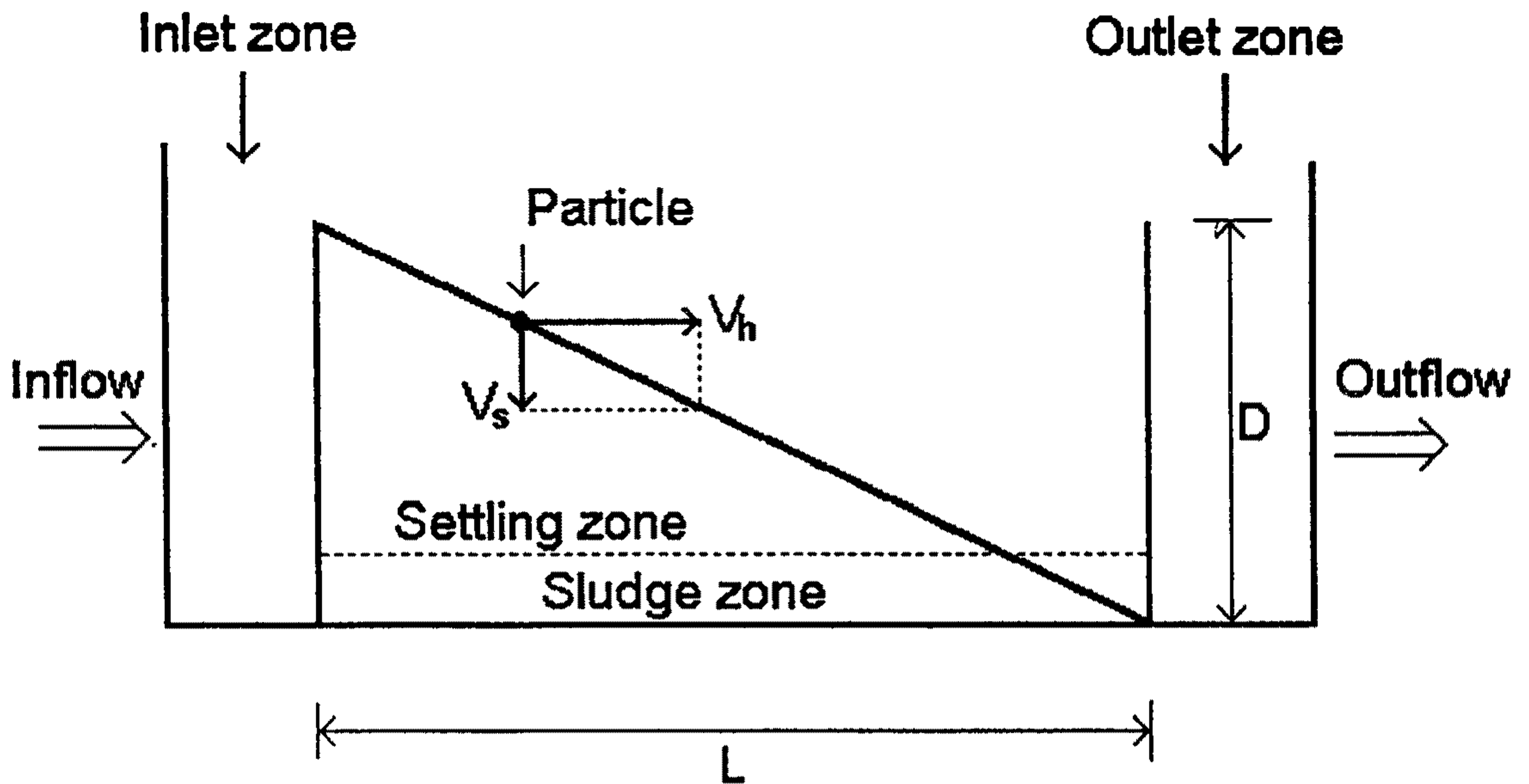
기본적인 침전조의 구성은 <그림 3-4-11>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 침전수조는 크게 4개의 영역 즉, 유입구역, 침강구역, 노폐물 퇴적구역과 유출구 영역으로 나뉘어진다. 여기서,  $V_s$ 는 입자의 침강속도,  $V_h$ 는 유속의 수평성분,  $D$ 는 수심 그리고  $L$ 은 수조의 길이이다. 따라서, 침강 가능한 한계침강속도  $V_{sc}$ 는 다음식과 같이 주어진다.

$$V_{sc} > DV_h / L \tag{1}$$

여기서,  $V_h$ 는 유량  $Q$ 를 수조의 단면적 즉, 수조의 수심  $D \times$  수조의 폭  $W$ 로 나눈 값이므로  $V_{sc}$ 는 다음과 같이 된다.

$$V_{sc} > D \cdot \frac{Q}{D \cdot W} \cdot \frac{1}{L} = \frac{Q}{WL} \quad (2)$$

즉, 침강 가능한 한계침강속도는 유량을 수조의 평면적으로 나눈 값이 된다.



<그림 3-4-11> 기본적인 침전수조의 형상(Lawson, 1995)<sup>10)</sup>

가) 침강속도 산정식

구체의 침강속도를 산정할 때  $Re < 1.0$  인 경우에는 다음과 같은 Stokes의 침강속도법칙이 이용될 수 있다.

$$V_s = \frac{g d^2}{18 \nu} \left( \frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \quad (3)$$

여기서,  $g$ 는 중력가속도,  $d$ 는 입자의 입경,  $\sigma$ 는 입자의 밀도,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $\nu$ 는 유체의 동점성계수이다. 한편,  $Re > 1.0$  인 경우에는 다음과 같은 식이 적용된다.

$$V_s = \left\{ \frac{4}{3} \frac{g d^2}{18 \nu} \left( \frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

여기서,  $C_D$ 는 항력계수로서 Stokes의 침강속도식의 경우에는 식(4)에서  $C_D=24/Re$ 에 해당하는 결과식이 된다. 항력계수  $C_D$ 에 관하여는 여러 연구자들에 의하여 다양한 형태의 식이 제안되어 있는데  $Re$ 수의 폭넓은 범위에 대하여 적용이 가능한 다음과 같은 Rubey의 식이 많이 쓰여진다.

$$C_D = \frac{24}{Re} + 2.0 \quad (Re < 500) \quad (5)$$

참고로 양어장에서 발생하는 사료찌꺼기의 수중 비중이 1.28, 어류배설물의 비중이 1.20인 값을 이용하여 20℃인 물의 동점성계수  $\nu=1.00 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ , 중력가속도  $g=9.801 \text{m/s}^2$ ,  $\sigma=1.20$ 인 경우 입경에 따른 침강속도를 Stokes식에 의하여 구하면 다음과 같다.

$$d = 10 \mu\text{m} (0.01\text{mm}) : V_s = 0.001089 \text{ cm/s}$$

$$d = 100 \mu\text{m} (0.1\text{mm}) : V_s = 0.1089 \text{ cm/s}$$

#### 나) 침전조의 설계방법

앞의 식(2)에 의하여 침전조를 설계한다고 하면 침전조의 길이  $L$ 이 너무 길어지게 되어 현실적으로 단순한 4각형의 침전수조는 사용할 수가 없으며, 수조바닥에 가라앉은 노폐물의 신속한 제거에 있어서도 많은 문제점이 발생한다. 따라서, 다음과 같은 사항을 고려하여 침전조를 설계하지 않으면 안된다.

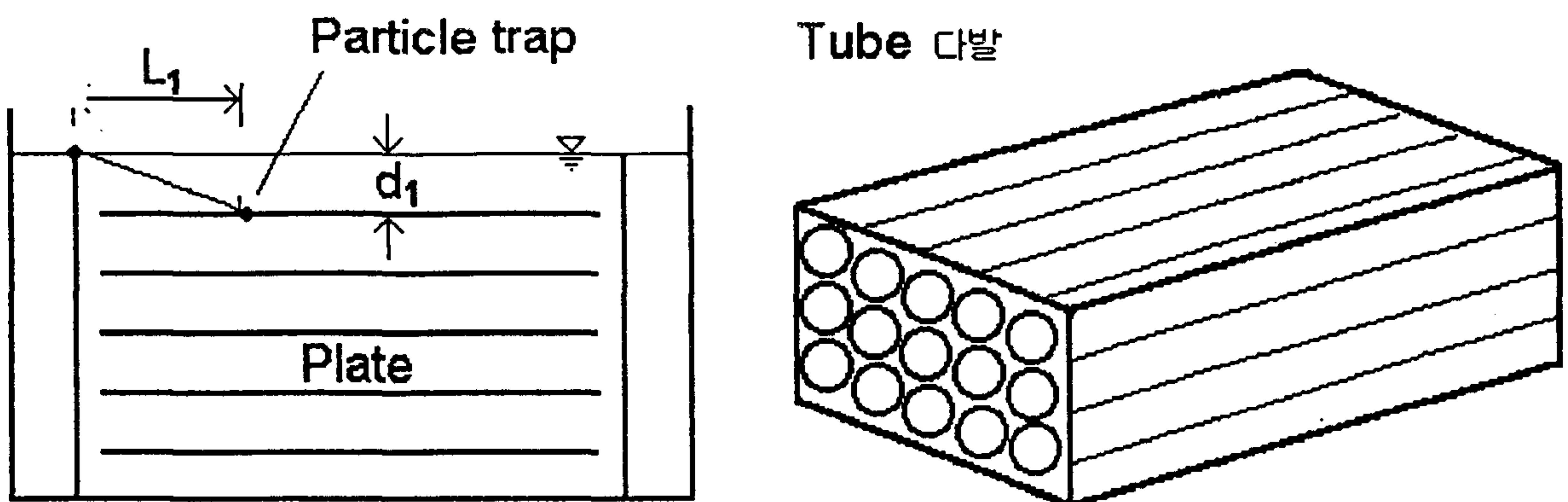
##### (1) 침전조내 흐름의 종류화

침전조내에서 미세한 입자가 재부상하지 않고 단순한 침강운동만 할 수 있도록 침전조내의 흐름을 종류화하지 않으면 안된다. 일반적으로 개수로 형태의 침전조에서 종류와 난류를 구분짓는 무차원 파라미터는  $Re$ 수로서 종류상태를 유지하기 위해서는

한계 Re수  $Re_c = VR/\nu$  의 값이 500보다 작아야만 한다. 여기서,  $V$ 는 유속,  $\nu$ 는 동점성계수 그리고,  $R$ 은 동수반경으로서 수로의 단면적  $A$ 를 윤변의 길이  $P$ 로 나눈 값이다. 따라서, 침전수조 내에서 Re수 값을 작게하기 위해서는 동수반경  $R$ 을 작게 하여야 하며  $R$ 값을 작게 하기 위해서는 윤변의 길이  $P$ 를 크게 하여야 한다. 윤변의 길이  $P$ 를 크게 하기 위해서 침전조 내에서 유선을 따라서 얇은 판을 층층이 끼워넣는다든지 또는 직경이 작은 관(tube)을 많이 집어넣는 것은 흐름을 층류화하는데 매우 효과적인 방법이 된다.

## (2) 침강거리의 최소화

<그림 3-4-11>에서 수면에 위치한 입자가 바닥에 가라앉기 위해서는 수심  $D$ 만큼 침강하지 않으면 안된다. 따라서, 침강에 소요되는 시간  $t_s$ 는  $D/V_{sc}$ 초만큼 걸린다. 즉, 침전조내에서 입자의 체류시간이 적어도  $t_s$ 만큼 필요하게 된다. 체류시간은 침전조의 용적을 유입유량으로 나눈 값이므로 체류시간을 길게 하려면 침전조의 용적을 크게 하지 않으면 안된다. 따라서, 침강에 소요되는 길이와 체류시간을 적게 하기 위해서 침강수조내에 얇은 판이나 직경이 작은 관을 <그림 3-4-12>와 같이 설치한다. 이와 같이 하면 입자가 얇은 판이나 튜브관벽에 부착하는데 소요되는 시간이나 이동거리가 매우 짧아지게 되어 보다 효율적인 침전조의 역할을 하게 된다.



<그림 3-4-12> 침전수조 안에 얇은 판 또는 tube다발을 채운 침전수조

### (3) 침전조내의 노폐물 배출

침전조 내이 바닥에 쌓인 노폐물은 점착성으로 인하여 시간이 지남에 따라 응집되어 제거하기가 어렵게 되며, 물과 접하는 시간이 길어질수록 수질을 악화시키게 된다. 따라서, 바닥에 쌓인 노폐물을 신속하게 배출시킬 수 있도록 하는 것이 중요하다. 기계적인 Sludge scraping 장치에 의하여 바닥에 쌓인 sludge를 한 곳에 모아서 밸브를 통하여 배출시키는 장치를 사용하거나 또는 사이폰에 의하여 침전조 밖으로 뽑아내는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 이 때 침전조내이 물은 가능한한 적게 유출시키고 노폐물만 효율적으로 배출시키도록 하는 것이 중요하다.



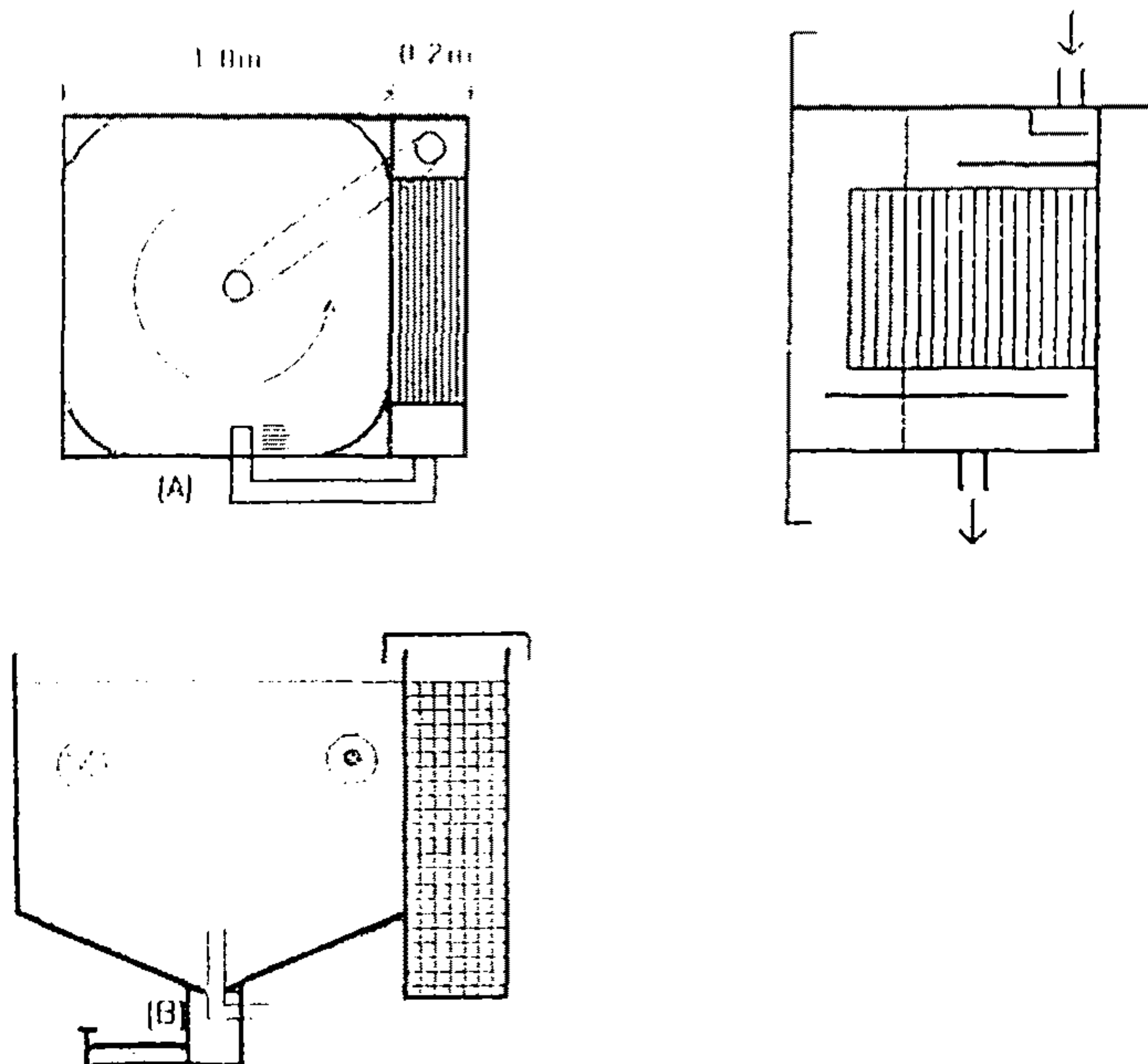
## 제 5절 새로운 사육수조와 침전수조의 개발

앞의 연구 및 고찰 결과를 바탕으로 새로운 형태의 사육수조와 침전수조를 개발하고 수리모형실험을 행하여 유동구조와 노폐물의 거동 등을 측정하였다.

### 1. 사육수조의 구성과 설계

#### 가. 수리모형실험의 상사칙과 수조의 설계

본 연구에서 행하고자 하는 수리모형실험은 이동한계 소류력의 상사와 침강속도의 상사를 만족시키는 조건하에서 상사칙을 유도한 결과 Froude 상사칙이 적용됨을 알 수 있었다. 따라서, Froude 상사칙에 의하여 실제 수조의 1/2축척의 모형수조를 제작하여 수리모형실험을 행한다. 여기서, 길이축척비  $L_r = 1/2$  로 주었을 때 속도의 축척비는  $V_r = \sqrt{L_r}$  로서 0.707 이 되며, 유량의 축척비는  $Q_r = (L_r)^{5/2}$  로서 0.176 이 된다. 따라서, 이러한 축척비를 만족시키도록 모형에서의 유량과 파이프의 직경 등을 결정하였다. <그림 3-5-1>은 사육수조와 침전수조의 평면도와 단면도를 나타낸다.



<그림 3-5-1> 사육수조와 침전수조의 평면도와 단면도

여기서, 모형수조의 평면형상은 round cut한 4각형이고, 물 유입장치를 (A) 와 같이 설치하였다. (B)는 침강탱크의 단면을 나타내며, 침전수조는 육면체형상의 침전수조에 4각형 plate를 끼워 넣는 구조로 제작하였다. <그림 3-5-2>는 모형수조의 형상을 나타내며, <그림 3-5-3>은 수조 밑에 부착한 침강탱크를 나타낸다.



<그림 3-5-2> 모형수조의 형상(좌측 : 사육조부분, 우측 : 침전조부분)



<그림 3-5-3> 노폐물 배출장치의 원형침강수조

나. 실험방법 및 실험조건

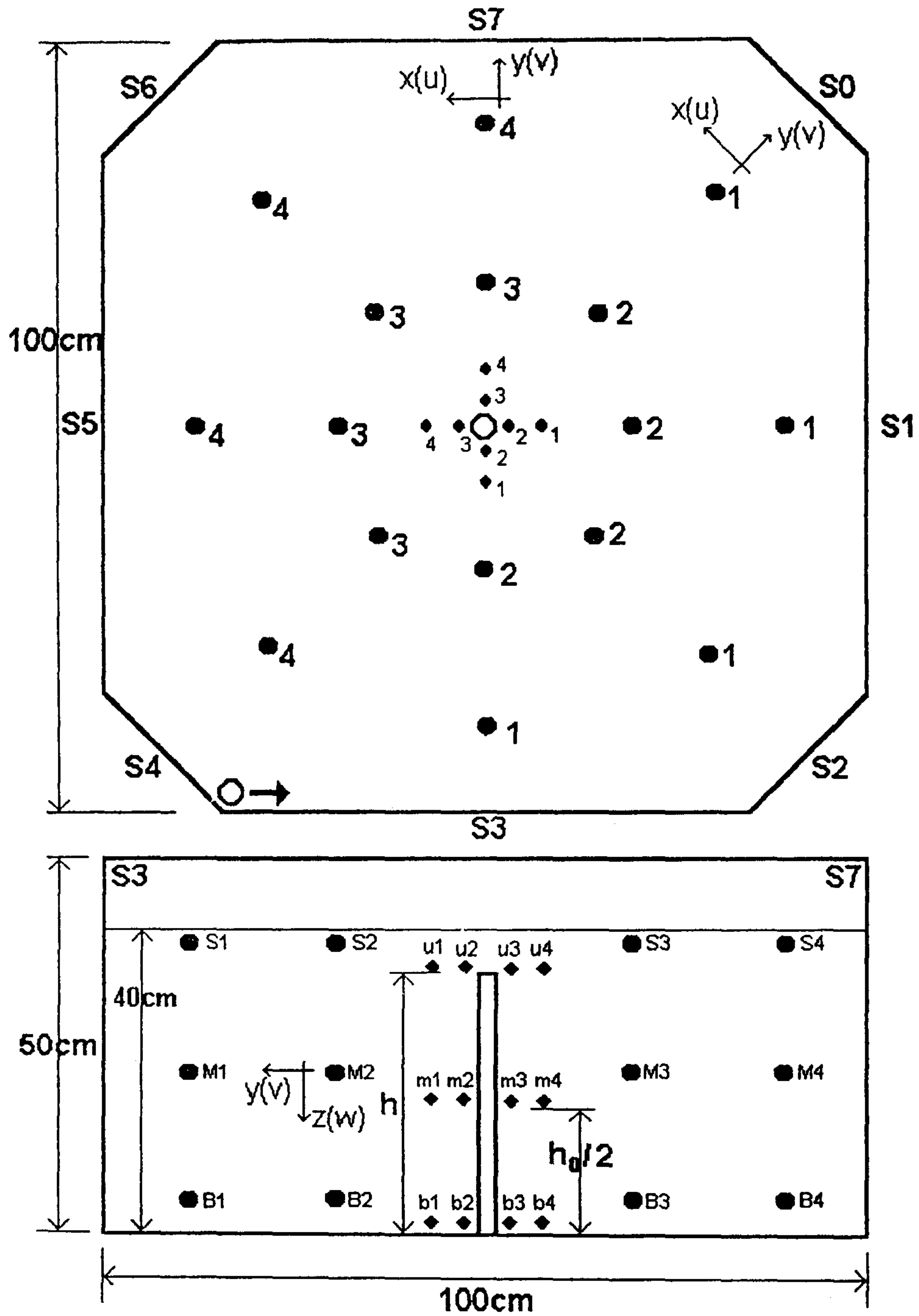
사육수조의 크기는 1m×1m×0.5m인 사각형수조이고 수조바닥은 경사도를 주지 않고 수평상으로 하였다. 물의 유입장치는 연직방향으로 세워진 파이프의 노즐을 통하여 연직방향의 속도분포가 일정하도록 하였다. 물의 배출은 수조의 중앙에 세워진 파이프의 상부를 통하여 배출하였으며 Stand pipe의 높이는 임의로 바꿀 수 있도록 하였다. 사육수조내에서의 3차원적인 유동구조와 노폐물의 거동을 관찰하기 위하여 배출유량(Q) 3.0 l/min, 4.6 l/min, 6.0 l/min의 3가지 경우에 대하여 배출수 파이프의 높이를 0.3m, 0.15m 그리고 0.02m의 3가지 경우에 대하여 총 3×3=9 Case에 대하여 실험하였다. <표 3-5-1>는 각 실험 Case별 실험조건을 나타낸다.

<표 3-5-1> 사육수조내의 유동구조에 관한 수리실험조건

수조내에 일정한 유입유량이 주어졌을 때 배출파이프의 높이에 따른 수조의 상층, 중

실험 case		방출유량	배출수 파이프 높이	비 고
CASE R1	a	3.0 l/min	0.3m	
	b		0.15m	
	c		0.02m	
CASE R2	a	4.5 l/min	0.3m	
	b		0.15m	
	c		0.02m	
CASE R3	a	6.0 l/min	0.3m	
	b		0.15m	
	c		0.02m	

층 및 저층에서 속도의 수평방향과 연직방향의 속도분포를 조사하기 위하여 <그림 3-5-4>와 같은 section S0~S7에 이르는 4개 단면에서 수평방향으로 8점, 연직방향으로 3개층에 해당하는 총 4×8×3=96개 점에서 유속의 x,y,z 성분을 측정하였다. 유속은 3성분 전자유속계(Alec. Co, Ltd Model ACM-300, Japan)를 사용하여 측정하였다.



<그림 3-5-4> 모형수조의 측정점의 위치(위 : 평면도, 아래 : 측면도)

#### 다. 실험결과

각 Case별 유속측정 결과를 수조내의 물의 유입파이프 전면의 표층점인 S3-S7 단면의 Point 1의 표층에서의 유속값인  $U_0$ 로 무차원화하여 상대적인 유속크기를 나타내었다. <표 3-5-2>부터 <표 3-5-10>까지는 각각 Case R1부터 CASE R3의 a, b, c 경우에 대하여 나타낸 표이다. <그림 3-5-5>부터 <그림 3-5-13>까지는 각 Case별 유속측정결과를 유속벡터로 나타낸 그림이다. <그림 3-5-14>는 수조 중앙부에서 유동구조를 알아보기 위하여 잉크를 주입하여 잉크의 이동형태를 조사한 사진자료이다. <그림 3-5-15>는 수조내에 투입한 사료의 찌꺼기의 운동상황을 촬영한 사진으로서, 노폐물이 수조의 중앙부에 모여 미세한 입자는 상승와류를 따라 부상하고 있는 모습을 알 수 있다. <그림 3-5-16>은 수조중앙부에 모인 노폐물이 침강탱크내로 침전하여 바닥에 쌓여 있는 모습을 나타낸다. <그림 3-5-17>은 침전수조내로 유입된 미세한 노폐물이 침전수조의 plate와 바닥에 가라앉아 있는 상태를 보여주고 있다.

<표 3-5-2> CASE R1-a 의 유속측정결과

(Q=3.0 ℓ /min, U<sub>o</sub>=2.17cm/s, h=40cm, h<sub>o</sub>=30cm)

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)	u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)	u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)	u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)
S3-S7	Surface	100.0	40.1	82.0	29.5	59.0	79.7	90.8	55.8	82.0	181.1	88.0	87.6
	Middle	143.8	-23.5	3.2	49.7	0.5	5.1	53.9	-2.3	1.8	144.7	-10.6	2.7
	Bottom	115.7	16.1	-14.3	13.4	-2.3	-5.5	30.8	-0.5	-10.6	123.9	-6.5	-6.9
	Upper	14.7	6.5	51.2	13.4	9.7	48.8	18.9	3.7	52.1	16.6	5.1	51.6
	Middle	10.6	4.2	-20.3	9.7	5.1	-24.9	8.8	9.7	-16.1	6.9	3.2	-21.2
	Bottom	10.6	3.7	-6.9	11.5	9.7	-6.9	11.1	1.8	-2.3	7.4	1.4	-6.9
S2-S6	Surface	94.0	54.8	47.5	26.3	51.2	81.6	49.7	35.9	64.5	109.2	60.8	71.4
	Middle	123.0	-15.2	-4.1	47.5	-3.2	1.4	49.3	0.5	-6.9	131.8	1.4	-2.3
	Bottom	138.7	36.4	-24.4	20.3	7.8	-17.0	42.8	9.7	-7.8	104.6	6.5	-9.7
S1-S5	Surface	199.5	112.9	77.9	47.5	79.7	80.6	33.6	53.9	74.2	126.7	56.7	76.0
	Middle	147.0	31.8	5.1	44.2	5.1	8.3	45.6	-7.8	6.4	136.4	-3.2	7.4
	Bottom	165.4	23.9	-6.0	43.8	17.0	-8.7	38.7	-0.5	-6.0	125.8	2.8	-5.1
	Upper	7.4	18.9	51.2	1.8	20.7	53.5	5.1	17.9	49.8	2.8	18.4	49.3
	Middle	0.5	14.7	-19.4	1.4	11.9	-17.5	2.8	12.4	-22.6	3.2	11.5	-15.7
	Bottom	0.5	10.6	-5.5	1.8	11.9	-6.9	5.1	9.7	-2.3	1.8	11.1	-7.8
S0-S4	Surface	134.6	73.3	80.2	227.2	-53.5	82.9	31.8	42.8	78.8	85.3	67.7	87.6
	Middle	123.0	6.9	6.0	41.0	0.5	1.4	42.8	-0.5	0.9	101.4	1.4	7.8
	Bottom	117.5	-31.8	-26.3	117.5	-29.0	-17.0	42.8	-4.6	-16.1	106.4	1.4	-19.8

Q : discharge rate, U<sub>o</sub> : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth, h<sub>o</sub> : discharge pipe height

<표 3-5-3> CASE R1-b 의 유속측정결과

(Q=3.0 ℓ /min, U<sub>0</sub>=2.37cm/s, h=40cm, h<sub>0</sub>=15cm)

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)
S3-S7	Surface	100.0	10.7	25.8	57.0	1.0	1.7	50.3	0.5	2.0	96.2	9.0	20.0
	Middle	133.0	43.5	2.0	43.5	3.6	1.2	42.1	3.4	2.0	111.0	1.4	1.8
	Bottom	101.0	9.7	3.8	28.2	8.3	5.9	30.6	4.4	4.2	82.9	17.3	0.6
	Upper	49.5	17.3	1.0	46.5	10.9	3.6	75.7	23.4	17.5	59.2	7.4	0.8
	Middle	43.7	-29.8	-9.9	41.7	5.9	2.0	53.7	10.0	3.9	45.7	13.9	2.0
	Bottom	37.7	29.4	9.1	42.7	3.2	1.8	52.5	7.9	1.0	45.9	11.3	0.2
S2-S6	Surface	92.4	1.9	24.3	59.8	1.0	20.8	56.7	6.4	7.8	88.5	4.4	18.3
	Middle	119.0	25.6	4.2	42.0	15.7	1.4	47.1	0.8	2.0	116.0	2.8	5.1
	Bottom	93.0	3.4	9.1	38.6	1.6	2.4	29.0	5.7	7.3	80.3	3.2	0.4
S1-S5	Surface	95.8	1.2	35.4	59.8	12.9	16.5	45.9	2.4	20.0	100.0	1.0	29.4
	Middle	107.0	6.4	2.6	29.4	3.2	0.6	33.0	12.7	4.9	111.0	16.5	2.6
	Bottom	114.7	3.4	0.0	37.8	4.2	5.2	30.6	2.6	2.9	98.6	6.4	1.0
	Upper	45.5	20.4	11.7	38.6	45.1	7.1	94.4	48.5	12.3	60.2	20.3	3.6
	Middle	19.8	53.7	15.9	19.8	19.8	19.8	47.7	17.8	7.9	43.7	19.8	3.9
	Bottom	16.9	50.3	15.3	13.1	15.3	20.0	44.7	12.5	5.0	41.1	13.3	4.2
S0-S4	Surface	93.4	3.0	24.2	56.8	1.6	17.9	61.2	1.6	12.5	85.7	3.2	13.9
	Middle	84.7	9.3	5.6	28.4	9.5	0.8	46.3	0.4	1.4	95.0	8.7	2.4
	Bottom	101.2	12.7	4.9	41.1	1.8	2.9	37.6	0.2	1.4	94.4	8.9	1.6

Q : discharge rate, U<sub>0</sub> : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth, h<sub>0</sub> : discharge pipe height

<표 3-5-4> CASE R1-c 의 유속측정결과

(Q=3.0 l/min,  $U_0=2.54\text{cm/s}$ ,  $h=40\text{cm}$ ,  $h_0=2\text{cm}$ )

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$
S3-S7	Surface	100.0	-2.4	42.1	14.2	-3.9	28.7	24.4	1.2	36.6	79.5	5.9	42.1
	Middle	68.1	-8.2	2.8	38.6	-13.0	1.9	35.8	-7.5	1.9	80.3	-5.9	3.1
	Bottom	112.2	66.5	-34.6	19.7	-13.0	-20.0	43.7	10.6	-20.8	116.9	-22.4	-23.2
	Upper	12.6	3.1	48.0	9.1	4.3	40.9	11.0	0.8	50.8	10.6	2.8	44.1
	Middle	12.6	1.9	28.7	10.2	0.4	21.7	11.4	3.1	18.5	12.2	1.6	20.9
	Bottom	9.5	3.5	-9.1	12.2	3.9	-13.8	11.4	2.0	-9.8	8.3	4.3	-4.3
S2-S6	Surface	78.7	0.0	39.4	42.9	-28.7	36.2	39.4	-4.3	39.4	78.7	0.0	39.7
	Middle	59.8	5.9	8.7	38.9	-1.2	4.7	38.9	-0.8	4.3	82.7	-2.0	6.7
	Bottom	75.2	1.2	-33.5	5.1	-0.8	-25.6	33.1	3.9	-31.8	100.0	-0.4	-27.6
S1-S5	Surface	125.6	-18.1	55.5	48.0	-4.7	42.1	41.0	-8.3	41.0	87.8	0.4	48.4
	Middle	107.9	39.8	9.8	36.2	0.4	1.6	39.0	-8.3	5.9	92.1	-9.8	1.2
	Bottom	123.6	7.5	-15.4	7.5	22.4	-38.9	29.1	-0.4	-25.6	108.7	-3.5	-26.4
	Upper	9.1	3.5	42.1	11.0	5.5	37.4	11.4	2.8	41.3	10.2	1.6	39.8
	Middle	1.6	13.4	25.6	2.0	16.5	25.6	0.4	13.8	31.9	2.8	12.6	21.7
	Bottom	0.8	9.1	-8.3	1.2	8.3	-6.3	0.8	5.5	-4.3	0.4	6.7	-5.9
S0-S4	Surface	104.3	3.2	47.6	33.5	2.8	42.9	28.7	-12.6	47.2	81.9	-1.6	37.8
	Middle	80.7	-5.1	4.7	38.2	-6.7	1.2	38.2	-4.7	3.2	71.3	-5.5	3.9
	Bottom	121.3	-28.2	-26.4	42.5	20.5	-34.3	31.1	-9.8	-26.4	85.0	-4.7	-33.9

Q : discharge rate,  $U_0$  : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth,  $h_0$  : discharge pipe height



<표 3-5-5> CASE R2-a 의 유속측정결과

(Q=4.6 ℓ /min, U<sub>o</sub>=5.10cm/s, h=40cm, h<sub>o</sub>=30cm)

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)	u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)	u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)	u/u <sub>o</sub> (%)	v/u <sub>o</sub> (%)	w/u <sub>o</sub> (%)
S3-S7	Surface	100.0	11.7	20.8	63.4	5.7	19.1	49.1	3.6	16.5	99.0	16.7	30.0
	Middle	152.0	36.0	-17.4	50.0	-2.9	0.2	40.6	0.8	-0.2	112.9	2.5	-0.2
	Bottom	100.0	-25.1	3.7	42.3	-8.6	1.4	44.1	-12.2	1.0	99.6	-25.1	0.0
	Upper	68.6	15.7	21.6	74.5	21.6	25.5	78.4	15.7	23.5	78.4	3.9	19.6
	Middle	45.1	-23.5	-0.2	45.1	1.9	-7.8	52.9	7.8	-1.9	47.0	-17.6	-3.9
	Bottom	35.2	-15.6	-5.8	35.2	-5.8	-9.8	39.2	7.8	-7.8	39.2	-7.7	-4.0
S2-S6	Surface	99.6	2.5	18.0	49.4	-5.3	0.0	60.4	6.4	16.5	90.0	6.7	15.7
	Middle	99.8	-17.2	-0.8	37.6	-10.7	1.5	40.0	0.6	-0.2	112.1	0.2	0.4
	Bottom	85.3	0.6	1.9	49.8	-23.9	1.6	49.8	-4.5	2.2	91.4	-1.6	-3.7
S1-S5	Surface	97.3	0.0	26.8	41.7	10.2	0.4	14.1	63.1	0.4	14.1	93.9	6.0
	Middle	113.1	-1.5	2.5	38.6	2.7	0.9	30.6	-7.8	1.4	107.0	-8.2	-0.4
	Bottom	140.0	2.4	4.9	58.0	-1.6	1.8	49.2	-19.0	1.2	112.0	-2.5	-5.3
	Upper	47.0	21.5	21.6	64.7	45.1	27.4	92.1	25.5	31.4	62.7	9.8	23.5
	Middle	9.8	-23.5	-13.7	-11.7	19.6	-13.7	58.8	3.9	-2.0	49.0	-27.4	-6.0
	Bottom	23.5	-19.6	-7.8	-5.8	-7.8	-7.8	35.3	9.8	-9.8	35.3	-19.6	-7.8
S0-S4	Surface	85.3	-3.7	14.9	56.7	1.4	10.0	51.6	2.1	10.6	92.3	5.5	5.1
	Middle	80.9	-1.5	-5.3	-39.0	10.4	0.6	36.3	0.8	-1.6	99.6	-10.4	2.1
	Bottom	95.3	-21.7	1.9	52.5	-17.8	1.2	52.7	-9.8	0.6	102.9	-32.2	13.9

Q : discharge rate, U<sub>o</sub> : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth, h<sub>o</sub> : discharge pipe height

<표 3-5-6> CASE R2-b 의 유속측정결과

(Q=4.6 ℓ /min, U<sub>0</sub>=5.03cm/s, h=40cm, h<sub>0</sub>=15cm)

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)
S3-S7	Surface	100.0	10.7	25.8	57.0	1.0	1.7	50.3	0.5	2.0	96.2	9.0	20.0
	Middle	133.0	43.5	2.0	43.5	3.6	1.2	42.1	3.4	2.0	111.0	1.4	1.8
	Bottom	101.0	9.7	3.8	28.2	8.3	5.9	30.6	4.4	4.2	82.9	17.3	0.6
	Upper	49.5	17.3	1.0	46.5	10.9	3.6	75.7	23.4	17.5	59.2	7.4	0.8
	Middle	43.7	-29.8	-9.9	41.7	5.9	2.0	53.7	10.0	3.9	45.7	13.9	2.0
	Bottom	37.7	29.4	9.1	42.7	3.2	1.8	52.5	7.9	1.0	45.9	11.3	0.2
S2-S6	Surface	92.4	1.9	24.3	59.8	1.0	20.8	56.7	6.4	7.8	88.5	4.4	18.3
	Middle	119.0	25.6	4.2	42.0	15.7	1.4	47.1	0.8	2.0	116.0	2.8	5.1
	Bottom	93.0	3.4	9.1	38.6	1.6	2.4	29.0	5.7	7.3	80.3	3.2	0.4
S1-S5	Surface	95.8	1.2	35.4	59.8	12.9	16.5	45.9	2.4	20.0	100.0	1.0	29.4
	Middle	107.0	6.4	2.6	29.4	3.2	0.6	33.0	12.7	4.9	111.0	16.5	2.6
	Bottom	114.7	3.4	0.0	37.8	4.2	5.2	30.6	2.6	2.9	98.6	6.4	1.0
	Upper	45.5	20.4	11.7	38.6	45.1	7.1	94.4	48.5	12.3	60.2	20.3	3.6
	Middle	19.8	53.7	15.9	19.8	19.8	19.8	47.7	17.8	7.9	43.7	19.8	3.9
	Bottom	16.9	50.3	15.3	13.1	15.3	20.0	44.7	12.5	5.0	41.1	13.3	4.2
S0-S4	Surface	93.4	3.0	24.2	56.8	1.6	17.9	61.2	1.6	12.5	85.7	3.2	13.9
	Middle	84.7	9.3	5.6	28.4	9.5	0.8	46.3	0.4	1.4	95.0	8.7	2.4
	Bottom	101.2	12.7	4.9	41.1	1.8	2.9	37.6	0.2	1.4	94.4	8.9	1.6

Q : discharge rate, U<sub>0</sub> : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth, h<sub>0</sub> : discharge pipe height

<표 3-5-7> CASE R2-c 의 유속측정결과

(Q=4.6 l/min,  $U_0=5.10\text{cm/s}$ , h=40cm,  $h_0=2\text{cm}$ )

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$
S3-S7	Surface	100.0	43.9	35.3	58.3	30.0	34.5	74.7	39.9	36.1	108.1	45.2	36.5
	Middle	77.6	-15.6	4.9	34.5	-11.5	4.5	35.7	-3.7	6.8	78.9	-4.3	5.6
	Bottom	61.2	-4.1	-7.2	21.6	-1.4	-5.5	22.6	1.6	-5.1	77.0	-9.4	-13.3
	Upper	6.6	1.6	23.0	5.3	1.0	22.2	5.5	0.4	23.9	5.7	0.6	21.6
	Middle	6.6	0.2	7.0	4.5	0.8	9.4	5.7	1.6	7.2	6.2	1.0	6.8
	Bottom	4.1	1.2	-2.5	3.5	1.0	-2.9	4.7	0.6	-2.9	4.5	0.8	-3.1
S2-S6	Surface	108.9	22.4	38.8	55.9	25.5	38.0	71.9	25.5	38.8	89.9	21.2	35.5
	Middle	78.9	-6.8	6.6	38.0	-2.1	4.7	39.2	-1.7	8.4	78.9	-3.1	3.9
	Bottom	56.5	0.6	-12.7	22.2	5.7	-14.4	25.1	2.7	-12.0	61.0	1.0	-13.8
S1-S5	Surface	100.0	43.1	36.1	55.9	50.8	36.6	78.2	3.5	36.1	90.6	10.5	32.2
	Middle	102.3	-7.0	9.6	36.3	-1.0	4.9	40.0	-8.4	5.1	87.9	-3.3	7.0
	Bottom	78.9	12.1	-5.8	26.1	8.6	-14.8	23.6	-1.0	-8.4	75.6	-2.9	-10.5
	Upper	4.7	0.8	22.8	5.3	0.6	21.6	5.1	1.4	22.6	5.5	0.4	23.0
	Middle	0.2	6.6	8.2	0.4	5.7	6.8	0.2	6.8	6.8	0.6	6.2	8.6
	Bottom	1.0	4.1	-3.1	0.2	4.3	-2.1	0.4	4.7	-3.7	2.1	5.3	-2.9
S0-S4	Surface	89.5	32.2	36.8	62.4	27.1	34.1	59.5	17.9	31.9	84.6	11.5	35.9
	Middle	73.9	-16.0	4.9	33.7	-6.2	6.2	34.9	-2.7	4.5	74.8	-5.3	9.5
	Bottom	90.1	-2.9	-13.6	37.2	5.1	-12.5	22.8	-1.5	-6.6	78.6	-1.2	-16.8

Q : discharge rate,  $U_0$  : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth,  $h_0$  : discharge pipe height

<표 3-5-8> CASE R3-a 의 유속측정결과

( $Q=6.0 \ell / \text{min}$ ,  $U_0=6.85\text{cm/s}$ ,  $h=40\text{cm}$ ,  $h_0=30\text{cm}$ )

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$
S3-S7	Surface	100.0	1.0	9.8	59.1	-6.3	11.1	64.2	-16.2	11.8	103.2	-3.6	11.2
	Middle	120.4	10.4	-4.7	58.1	1.3	-3.2	47.9	2.3	-3.8	100.8	12.1	-5.4
	Bottom	81.7	-5.1	-4.4	45.4	-0.1	-5.5	41.3	-7.2	-4.7	88.6	-8.2	-5.3
	Upper	4.6	2.0	16.2	4.2	3.1	16.9	6.0	1.2	17.9	5.3	1.6	17.8
	Middle	3.4	1.3	-2.0	3.1	1.6	-2.0	2.8	3.1	-2.2	2.2	1.0	-2.3
	Bottom	3.4	1.1	-2.2	3.6	3.1	-5.1	3.5	0.6	-3.6	2.3	0.4	-2.0
S2-S6	Surface	91.8	-17.4	7.3	62.6	-16.4	13.0	66.6	-10.2	1.3	87.6	-13.4	0.1
	Middle	107.0	-11.1	-1.6	51.4	-2.8	-11.2	57.4	3.1	-10.4	102.8	-0.1	-14.6
	Bottom	86.6	-3.1	-14.4	45.1	-2.2	-14.7	36.6	0.7	-11.8	76.1	3.5	-9.5
S1-S5	Surface	97.9	-17.9	13.3	58.7	-0.4	13.0	72.3	-27.6	9.9	87.0	-15.6	8.5
	Middle	98.5	4.7	-2.8	47.9	3.8	-3.2	56.5	-12.1	-2.8	102.3	-5.5	-3.1
	Bottom	102.0	1.6	-4.1	49.5	3.1	-2.9	42.8	-4.7	-2.5	97.4	1.9	-1.5
	Upper	2.3	6.0	16.2	0.6	6.6	16.9	1.6	5.7	17.2	0.9	5.8	18.5
	Middle	0.2	4.7	-3.2	0.4	3.8	-2.6	0.9	3.9	-2.8	1.0	3.6	-2.0
	Bottom	0.2	3.4	-1.8	0.6	3.8	-2.2	1.6	3.1	-2.2	0.6	3.5	-1.9
S0-S4	Surface	86.8	-17.8	11.5	71.9	-16.9	8.7	60.8	-11.1	9.5	60.8	-10.4	12.4
	Middle	80.1	7.7	-3.4	43.6	0.1	-3.1	59.3	0.3	-1.9	88.6	0.3	-2.5
	Bottom	89.5	-9.1	-1.7	49.2	-1.7	-2.2	45.8	0.4	-1.5	93.6	-0.4	-2.5

Q : discharge rate,  $U_0$  : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth,  $h_0$  : discharge pipe height

<표 3-5-9> CASE R3-b 의 유속측정결과

(Q=6.0 ℓ /min, U<sub>0</sub>=5.54cm/s, h=40cm, h<sub>0</sub>=15cm)

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)	u/u <sub>0</sub> (%)	v/u <sub>0</sub> (%)	w/u <sub>0</sub> (%)
S3-S7	Surface	100.0	1.9	13.5	62.6	-9.0	10.3	64.8	-13.4	16.4	102.2	-9.8	14.9
	Middle	93.1	12.3	-5.6	54.1	13.2	-1.6	36.1	0.0	-0.9	100.5	0.5	-1.4
	Bottom	103.4	-5.9	-20.6	54.7	0.2	-11.7	52.5	-3.6	-14.6	104.7	-8.5	-17.5
	Upper	6.9	3.9	21.6	7.4	0.9	23.5	6.3	-3.8	19.9	6.5	1.8	19.9
	Middle	5.6	1.8	2.0	3.9	0.0	2.2	4.2	-1.8	1.4	3.9	1.8	2.5
	Bottom	3.6	2.2	-2.0	1.8	2.7	-3.1	3.6	0.5	-2.2	1.8	0.9	-3.6
S2-S6	Surface	115.7	-39.5	16.8	73.3	-20.2	6.7	77.9	-6.8	13.5	111.0	-15.3	14.9
	Middle	98.7	-17.3	-3.2	52.5	-7.2	-4.0	41.7	5.6	-0.4	91.1	-0.6	-9.9
	Bottom	95.1	-2.0	-15.3	54.7	-8.8	-16.1	47.1	1.1	-15.3	90.0	-0.9	-9.2
S1-S5	Surface	112.3	-17.5	18.9	59.0	0.7	11.7	72.2	-18.2	13.9	107.9	-4.3	12.1
	Middle	98.6	-2.2	-5.8	39.9	6.5	0.0	49.3	-7.6	-0.5	88.3	-0.5	-12.4
	Bottom	113.5	-0.2	-9.0	59.9	2.0	-24.4	45.1	2.7	-9.9	103.8	-1.1	-9.7
	Upper	3.1	5.8	7.9	2.3	4.2	6.3	4.2	6.1	7.0	2.5	4.7	4.2
	Middle	2.2	4.2	2.5	1.3	2.9	1.1	0.4	2.5	2.2	2.0	3.1	2.3
	Bottom	2.3	4.0	-2.5	2.5	2.5	-2.9	1.4	2.3	-3.8	0.5	2.5	-2.2
S0-S4	Surface	79.6	-0.9	5.1	54.2	-18.1	3.2	54.7	-0.5	2.2	89.7	-0.9	10.5
	Middle	75.6	-1.6	-2.3	36.1	-1.1	-0.5	50.7	8.8	-2.5	80.1	0.9	-1.6
	Bottom	71.2	-14.3	-21.3	58.3	-5.4	-25.8	57.9	-2.2	-7.6	109.7	-3.6	-9.9

Q : discharge rate, U<sub>0</sub> : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth, h<sub>0</sub> : discharge pipe height

<표 3-5-10> CASE R3-c 의 유속측정결과

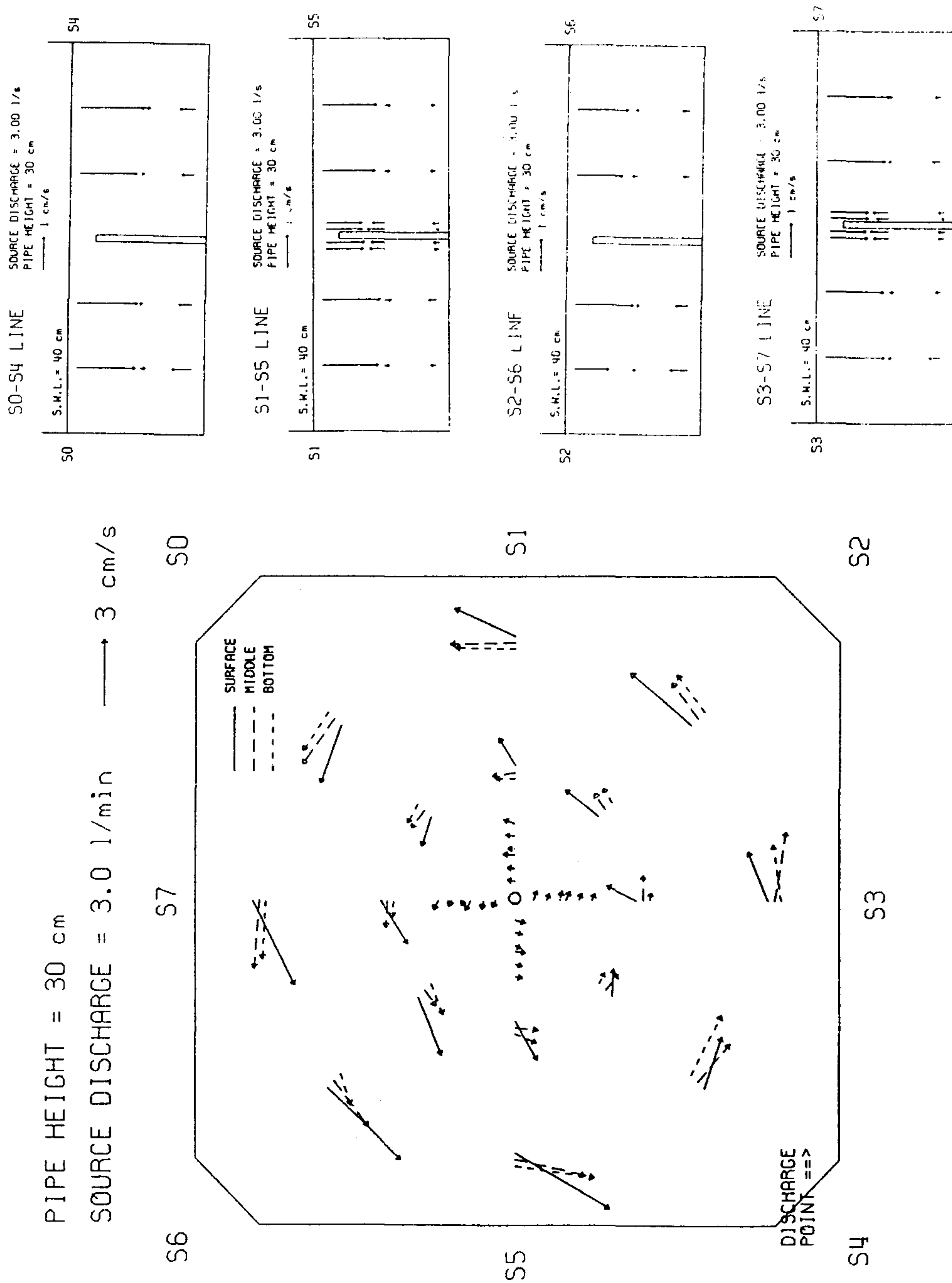
(Q=6.0 ℓ /min,  $U_0=5.59\text{cm/s}$ ,  $h=40\text{cm}$ ,  $h_0=2\text{cm}$ )

Section No.	Level	Point 1			Point 2			Point 3			Point 4		
		$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$	$u/u_0(\%)$	$v/u_0(\%)$	$w/u_0(\%)$
S3-S7	Surface	100.0	36.5	23.8	56.7	30.6	18.8	77.5	16.8	18.2	111.6	26.1	21.8
	Middle	92.3	21.3	11.4	61.7	25.2	54.4	54.4	21.8	11.9	98.6	20.2	13.9
	Bottom	81.7	-1.2	-3.4	38.8	-3.1	22.7	22.7	-3.2	-2.7	87.1	-3.2	-4.5
	Upper	5.7	1.4	21.8	4.1	1.9	23.9	5.0	0.4	21.3	4.8	1.3	21.8
	Middle	5.7	0.9	10.9	4.7	0.2	11.6	5.2	1.4	12.0	5.5	0.7	11.3
	Bottom	4.3	1.6	-2.3	5.5	1.8	-2.7	5.2	0.9	-0.9	3.8	2.0	-2.0
S2-S6	Surface	97.5	13.6	19.5	64.9	35.2	19.5	73.5	25.2	21.3	105.4	22.0	21.6
	Middle	87.3	30.9	9.8	63.5	27.4	9.1	56.4	24.7	10.9	91.2	22.1	12.3
	Bottom	76.6	-8.6	-4.8	40.6	-12.0	-5.2	18.1	1.6	-3.2	69.6	8.8	-2.9
S1-S5	Surface	107.5	21.6	21.3	69.6	47.0	18.6	74.0	5.5	16.3	99.3	13.9	16.3
	Middle	112.8	44.4	11.9	56.7	30.6	10.7	66.5	20.6	11.1	106.0	24.7	12.5
	Bottom	97.5	-15.9	-2.0	40.4	-2.5	-5.2	30.6	9.8	-2.7	79.6	19.5	-2.3
	Upper	4.1	1.6	20.9	5.0	2.5	21.6	5.2	1.3	24.2	4.6	0.7	21.6
	Middle	0.7	6.1	11.6	0.9	7.5	9.8	0.2	6.3	7.3	1.3	5.7	9.8
	Bottom	0.4	4.1	-2.0	0.5	3.8	-2.9	0.4	2.5	-2.0	0.2	3.1	-2.7
S0-S4	Surface	83.0	22.7	19.6	75.3	27.7	17.5	62.6	17.7	18.4	91.1	21.5	20.2
	Middle	94.3	24.5	9.3	54.2	23.6	5.9	63.5	22.7	8.1	91.6	16.1	9.5
	Bottom	75.7	-26.6	-3.0	18.4	-4.3	-5.4	32.0	2.1	-0.5	87.6	-6.4	-3.4

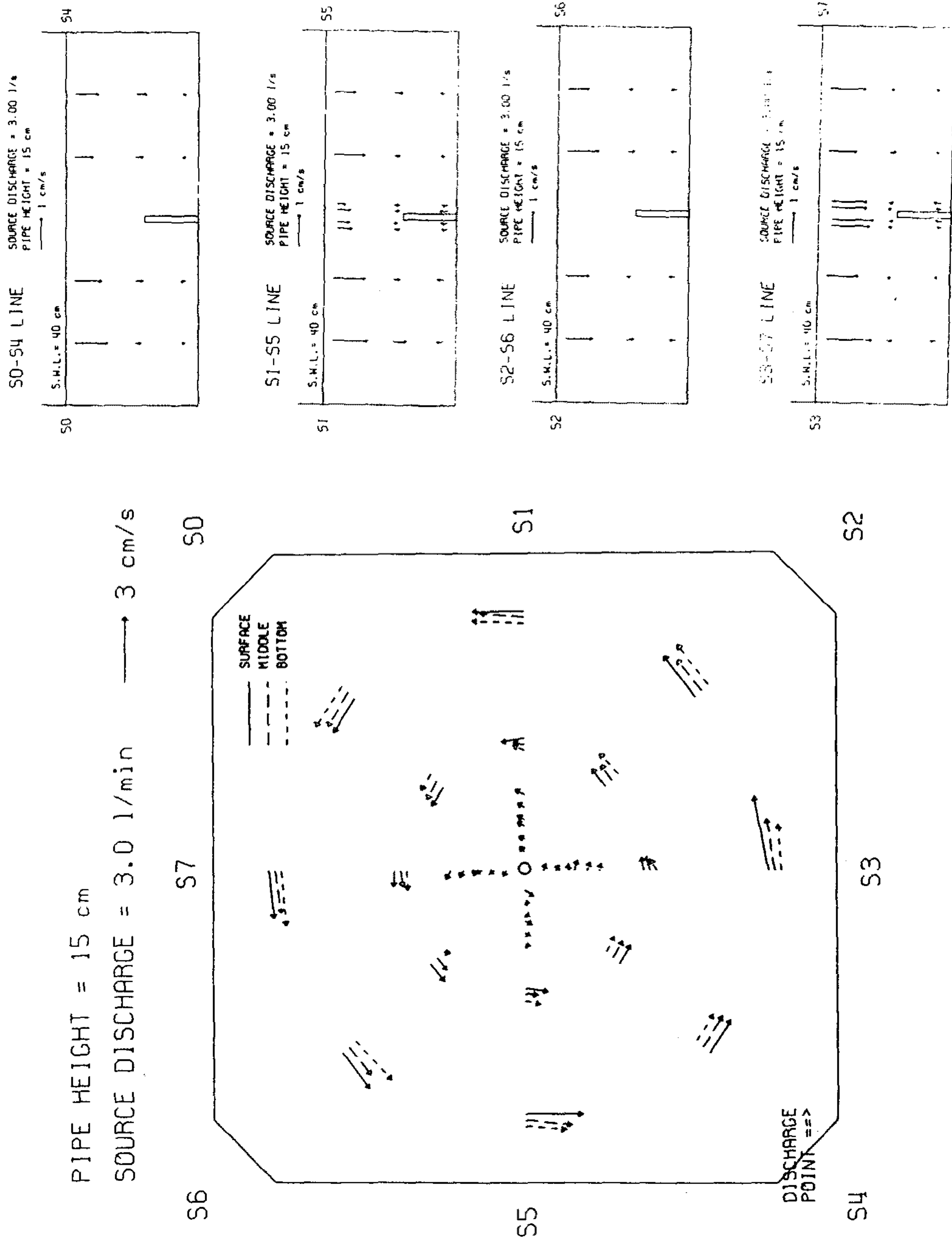
Q : discharge rate,  $U_0$  : U Velocity at Point S1 of S3-S7 Section

h : basin depth,  $h_0$  : discharge pipe height

<그림 3-5-5> CASE R1-a의 유속분포 측정결과

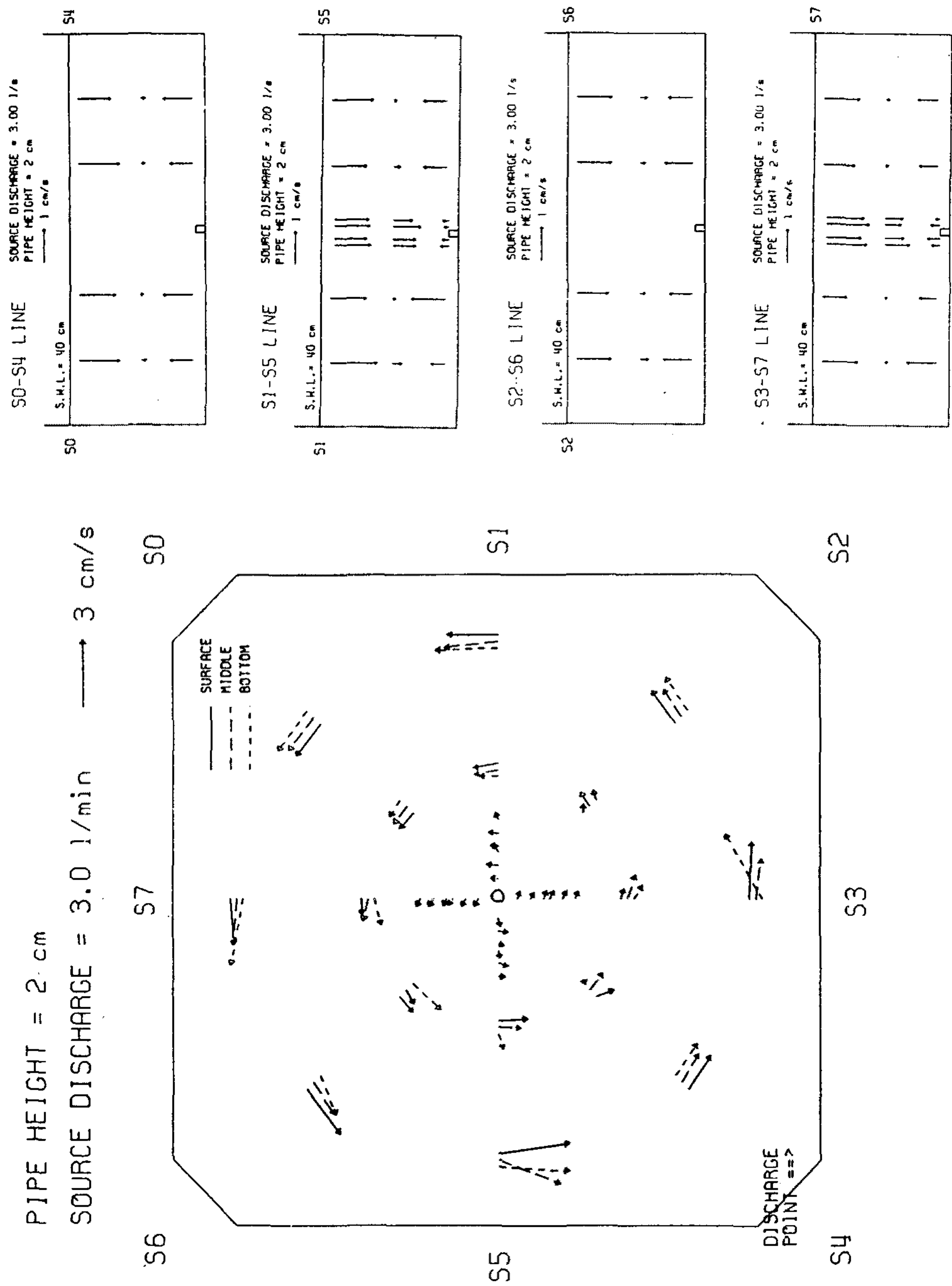


<그림 3-5-6> CASE R1-b의 유속분포 측정결과





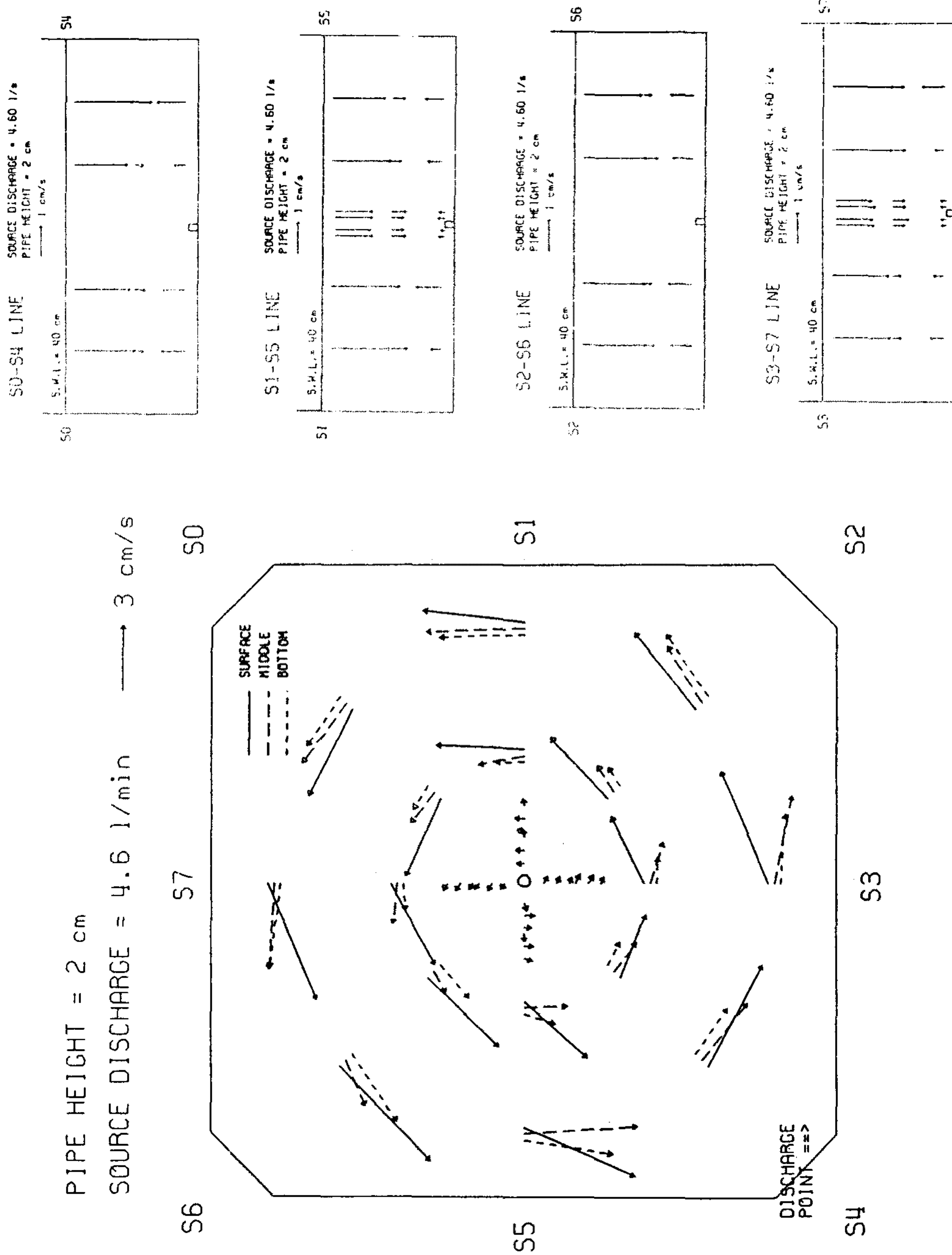
<그림 3-5-7> CASE R1-c의 유속분포 추정결과



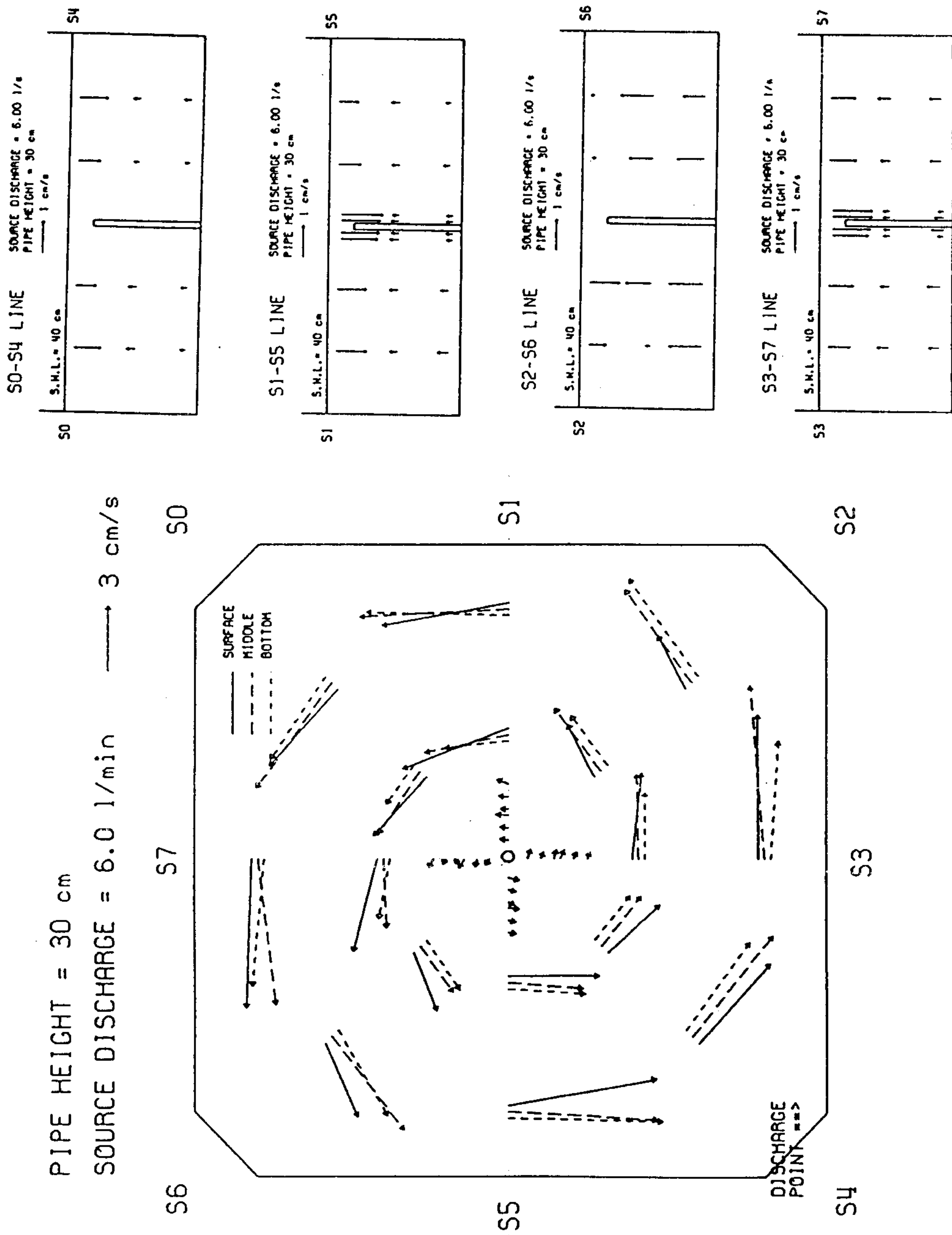
# 내용누락

# 내용누락

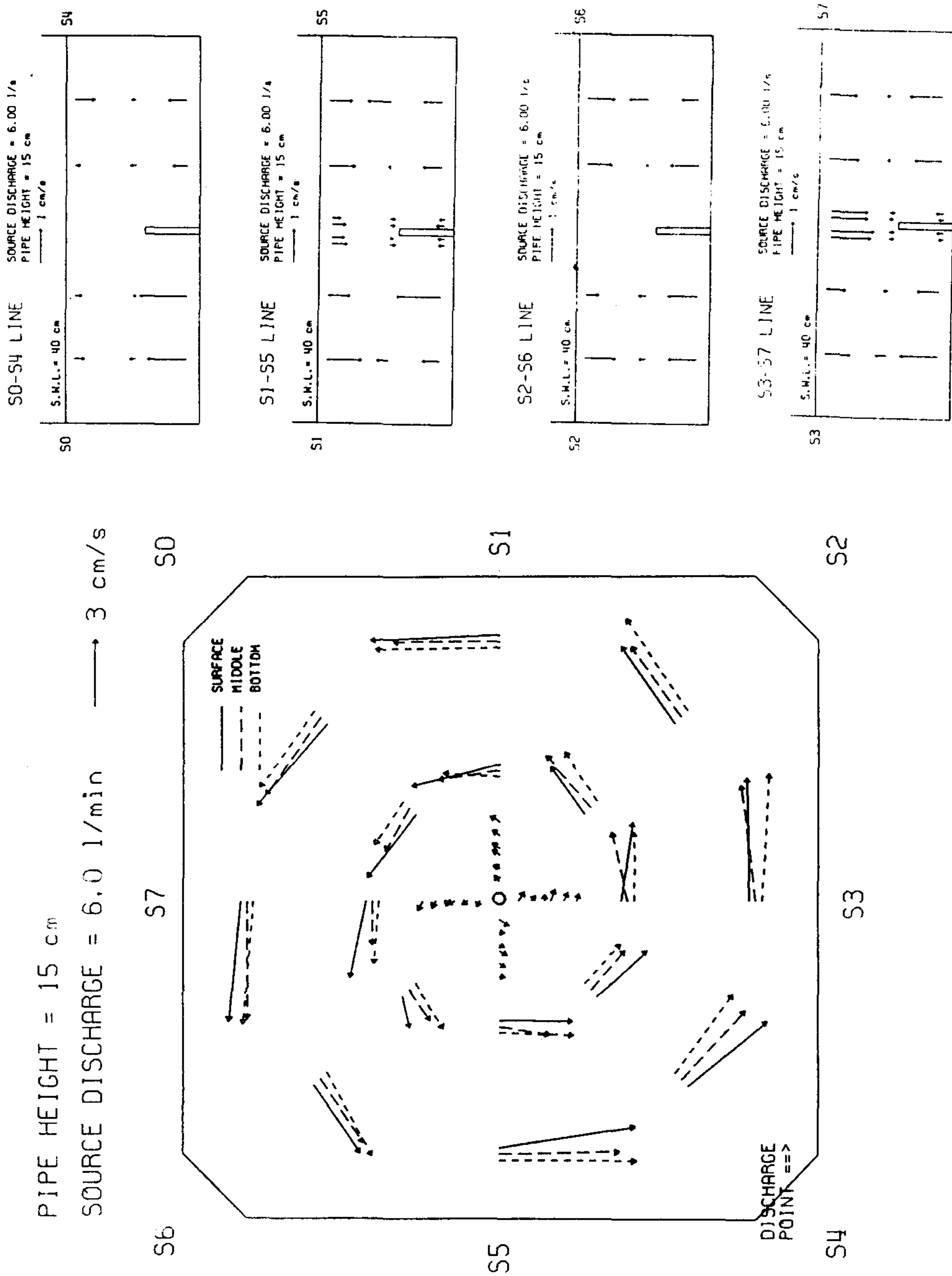
<그림 3-5-10> CASE R2-c의 유속분포 측정결과



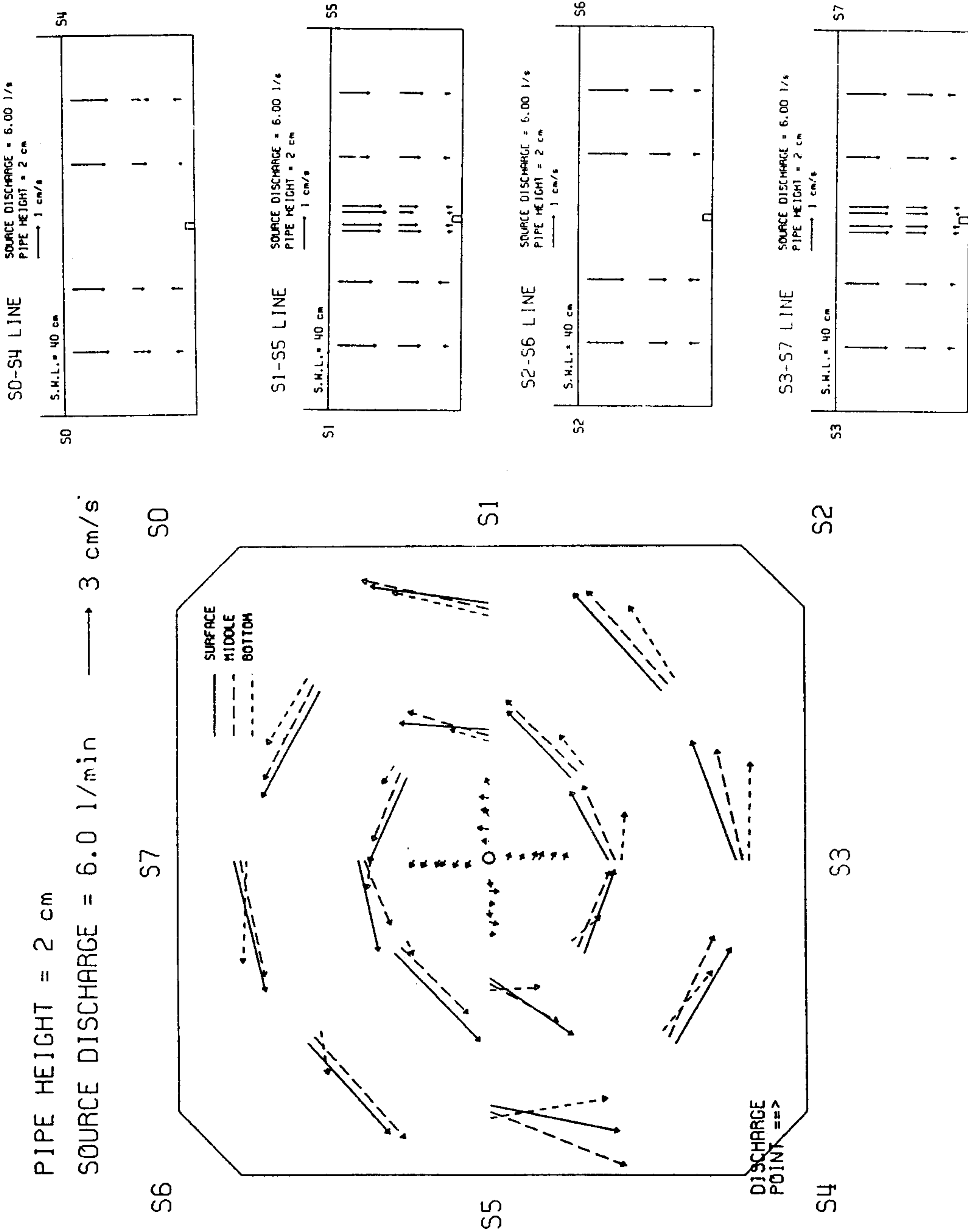
<그림 3-5-11> CASE R3-a의 유속분포 측정결과



<그림 3-5-12> CASE R3-b의 유속분포 측정결과



<그림 3-5-13> CASE R3-c의 유속분포 측정결과





<그림 3-5-14> 수조 중앙부에서 유동구조

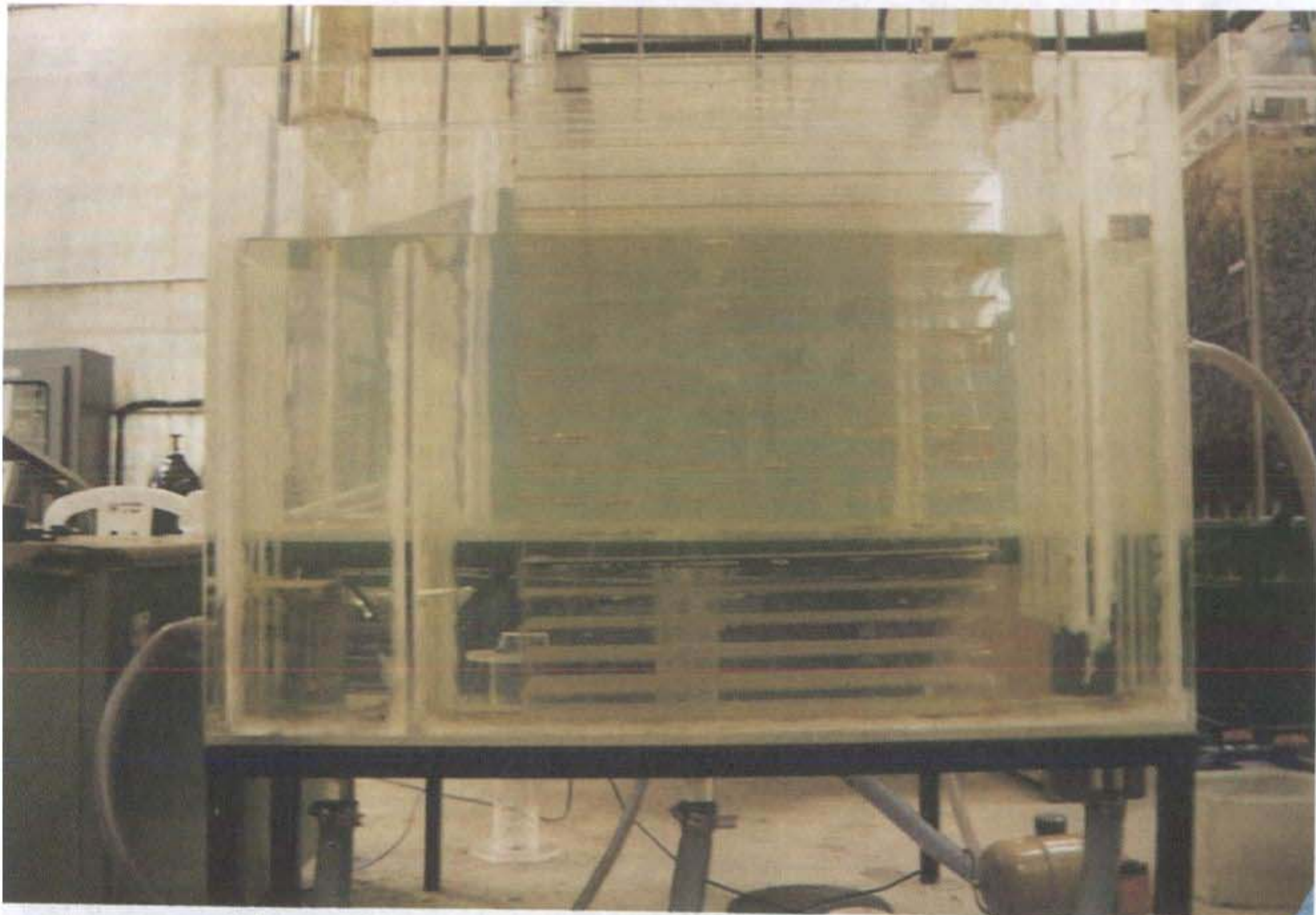


<그림 3-5-15> 수조내에 투입한 사료의 찌꺼기의 운동상황





<그림 3-5-16> 수조중앙부에 모인 노폐물의 침전



<그림 3-5-17> 침전수조내로 유입된 미세한 노폐물의 침전

## 2. 침전수조의 구성과 설계

침전수조는 폭 0.2m×길이 1.0m×높이 0.5m의 직육면체의 수조에 <그림 3-5-1>에서 보는 바와 같이 baffle과 격벽을 설치하였으며 침전수조의 중앙부분에는 한 변의 길이가 2.5cm인 4각형의 plate를 끼워 넣었다.

### 가. 실험방법 및 실험조건

침전수조에서의 유속분포와 노폐물의 거동을 관찰하기 위하여 유량이 3.0 l/min, 4.6 l/min, 6.0 l/min의 3가지 경우에 대하여 유입유량이 위어 타입의 격벽을 넘어 유입할 때 위어의 높이가 0.5m와 0.35m이고 plate가 없는 경우와 있는 경우로 나누어 총 3×2×2=12가지 경우에 대하여 실험을 행하였다. <표 3-5-11>은 각각의 실험조건을 나타낸다.

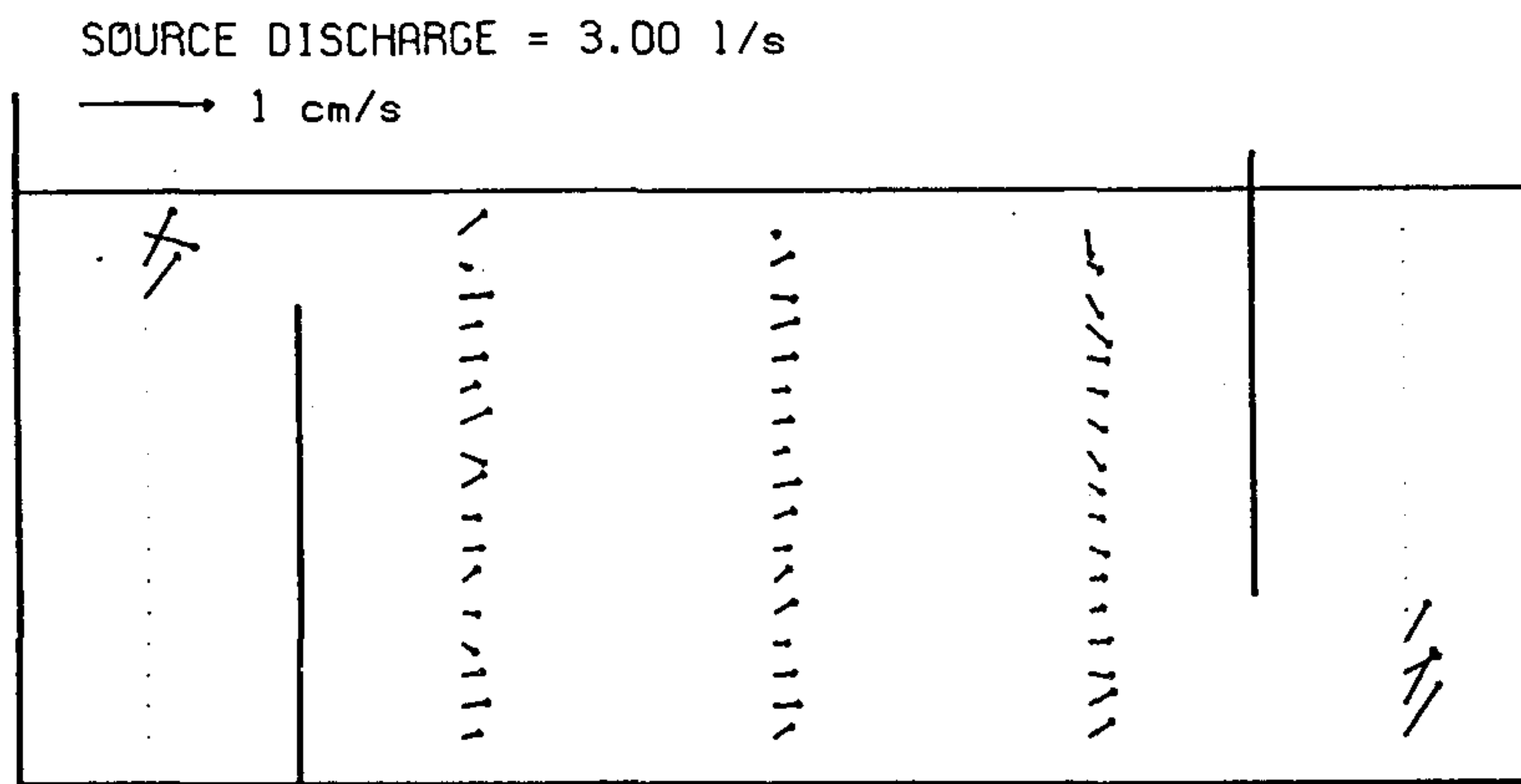
<표 3-5-11> 침전수조내의 단면유속분포에 관한 수리실험조건

실험 case		방출유량	위어높이	침전필터
CASE S1	a	3.0 l/min	0.5m	무
	b		0.5m	유
	c		0.35m	무
	d		0.35m	유
CASE S2	a	4.5 l/min	0.5m	무
	b		0.5m	유
	c		0.35m	무
	d		0.35m	유
CASE S3	a	6.0 l/min	0.5m	무
	b		0.5m	유
	c		0.35m	무
	d		0.35m	유

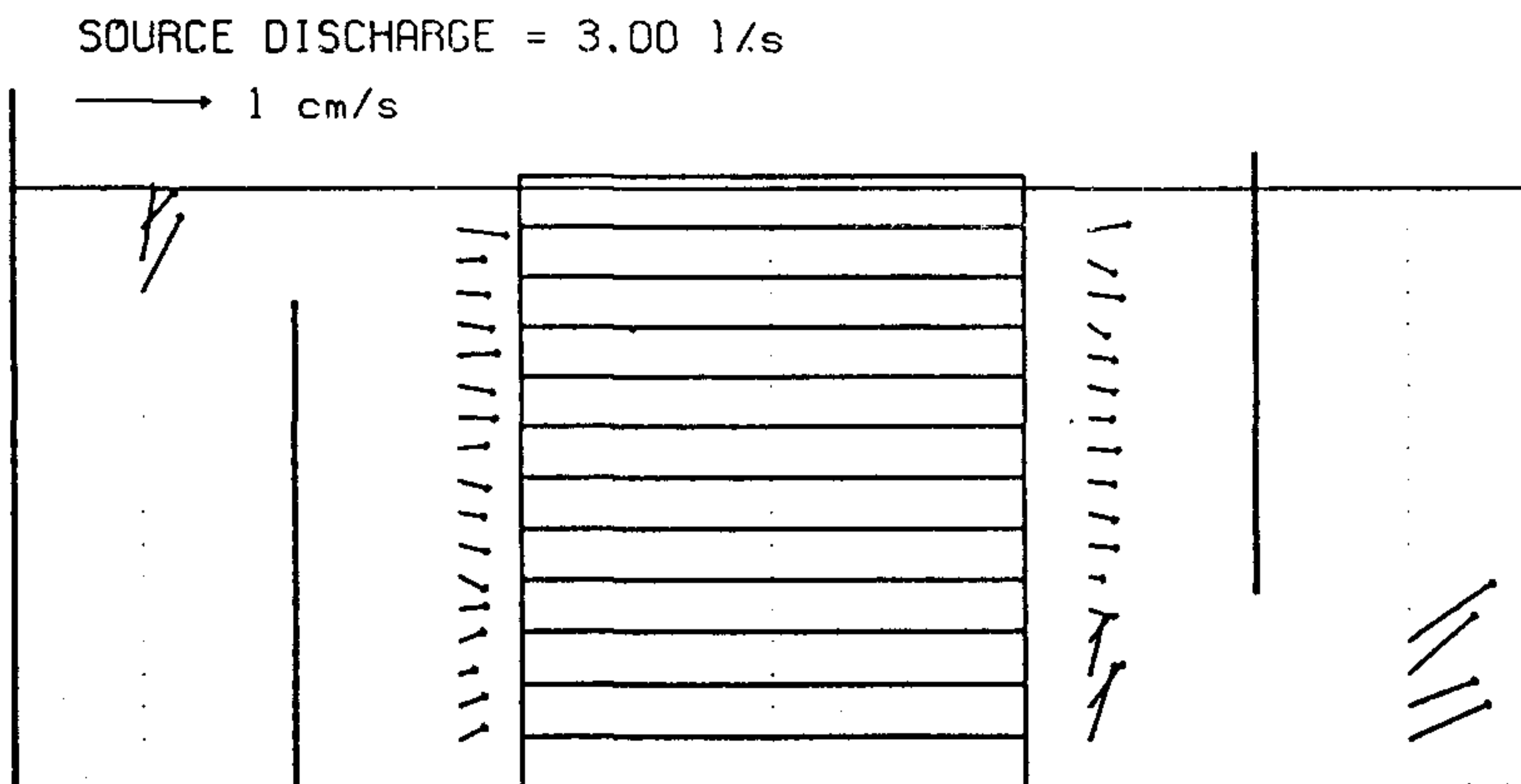
한편, 침전수조내에서 측정 가능한 단면에 대하여 총별로 유속의 x, z 방향성분을 측정하였다.

나. 실험결과

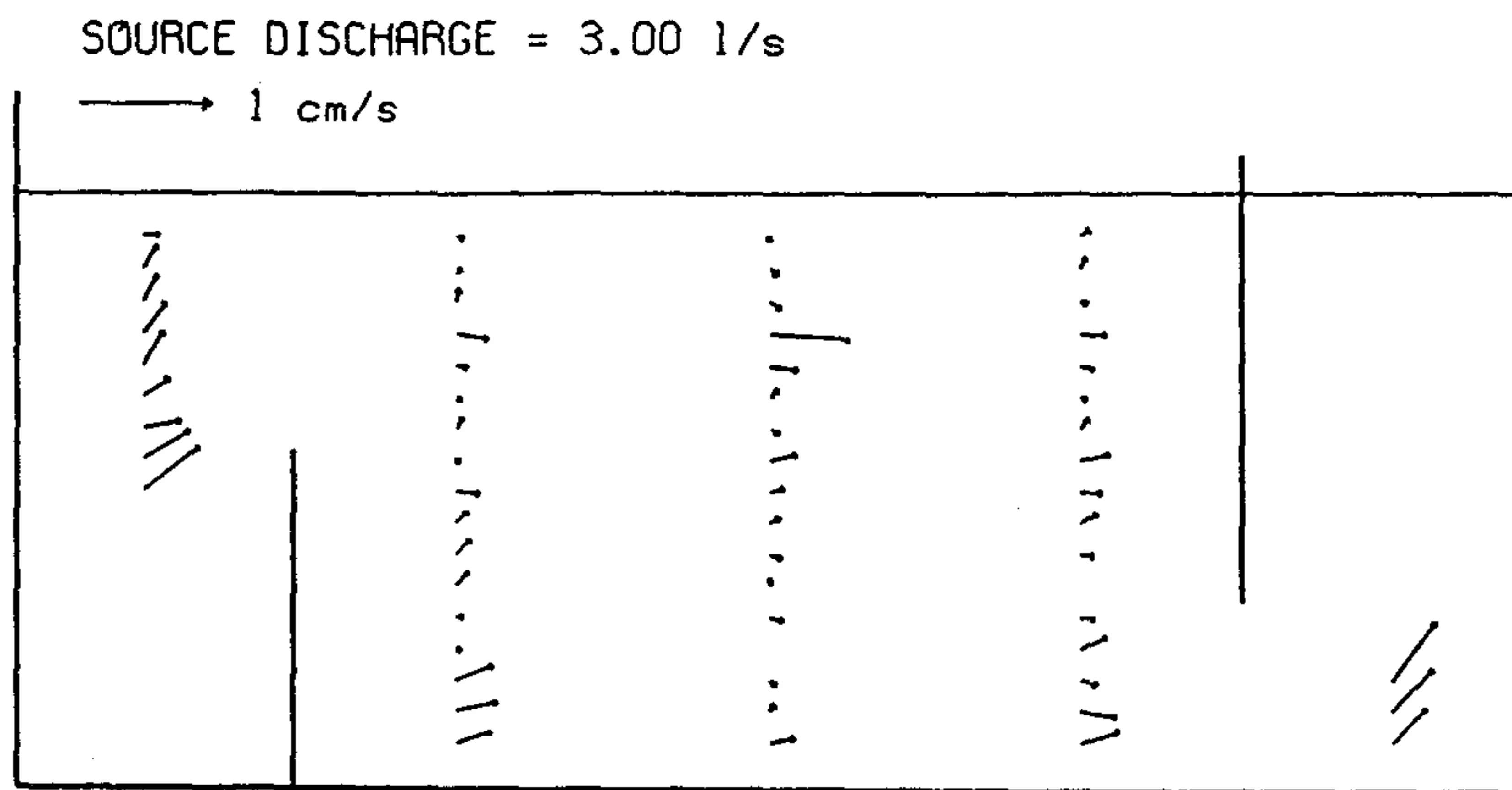
각각의 실험 Case별로 단면유속분포의 측정결과를 유속벡터로 나타낸 것은 <그림 3-5-18>부터 <그림 3-5-29>와 같다. <그림 3-5-17>은 침전수조내로 유입된 미세한 노폐물의 침전상황을 나타내는 사진자료이다.



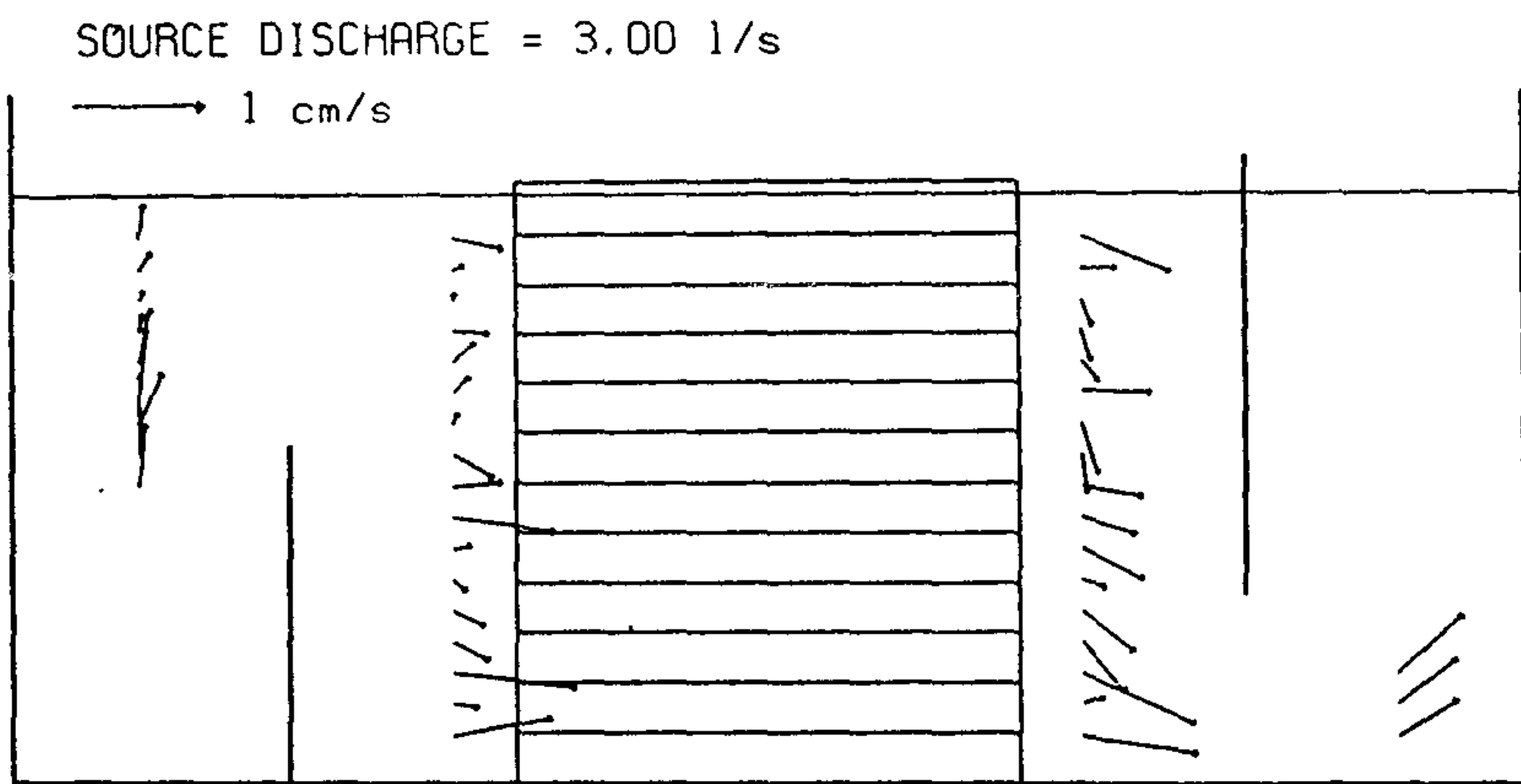
<그림 3-5-18> CASE S1-a의 유속분포의 측정결과



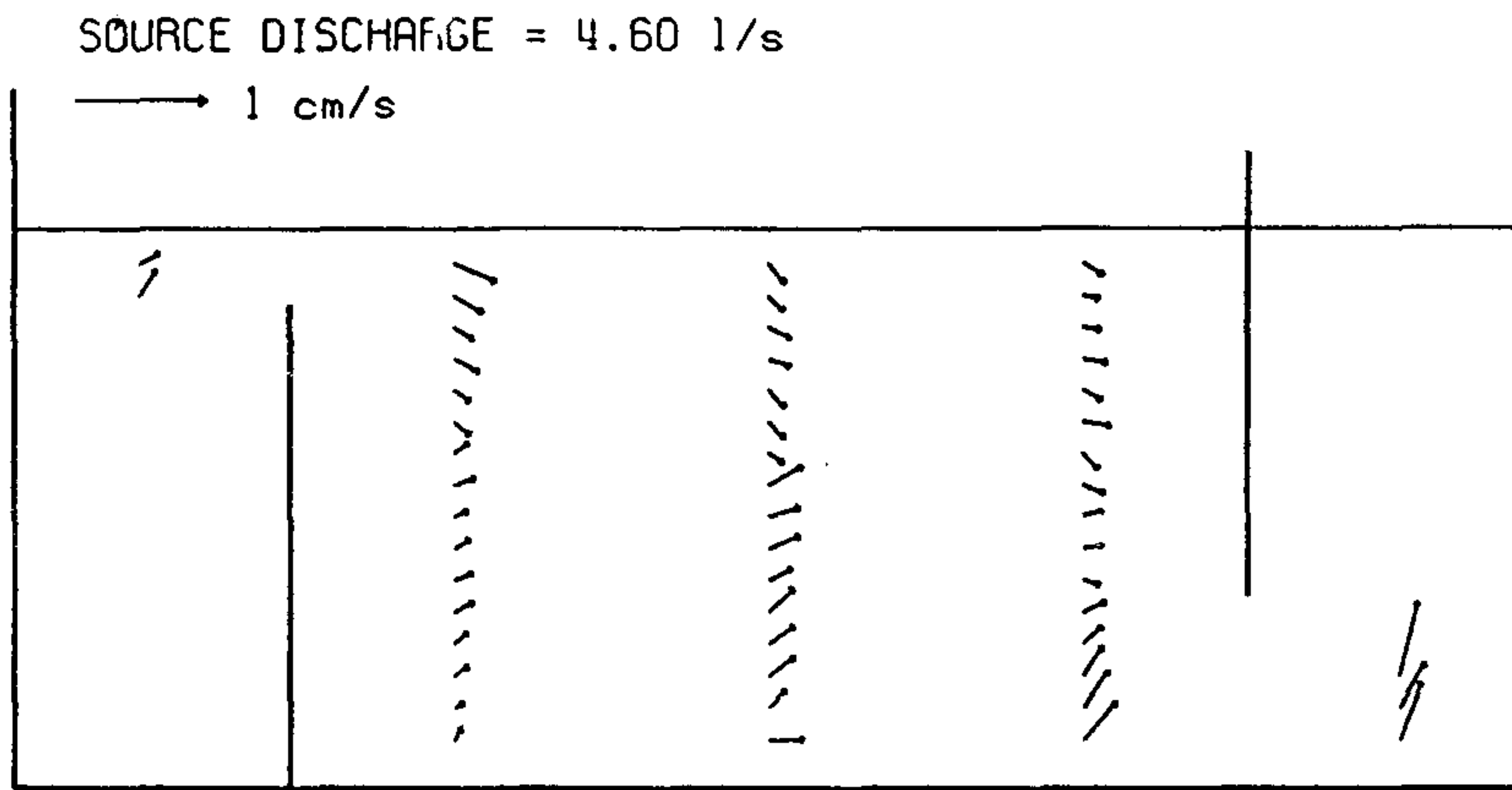
<그림 3-5-19> CASE S1-b의 유속분포의 측정결과



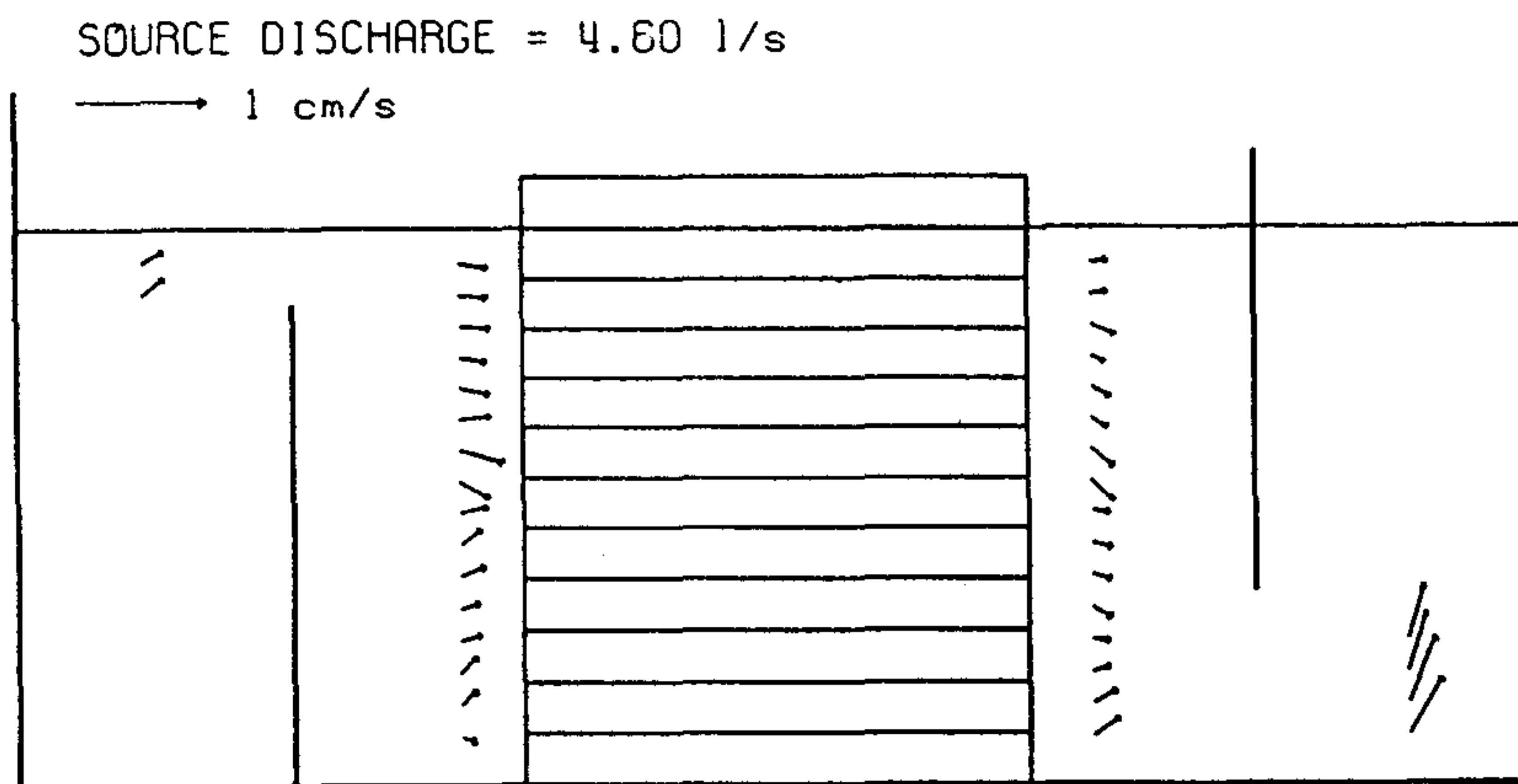
<그림 3-5-20> CASE S1-c의 유속분포의 측정결과



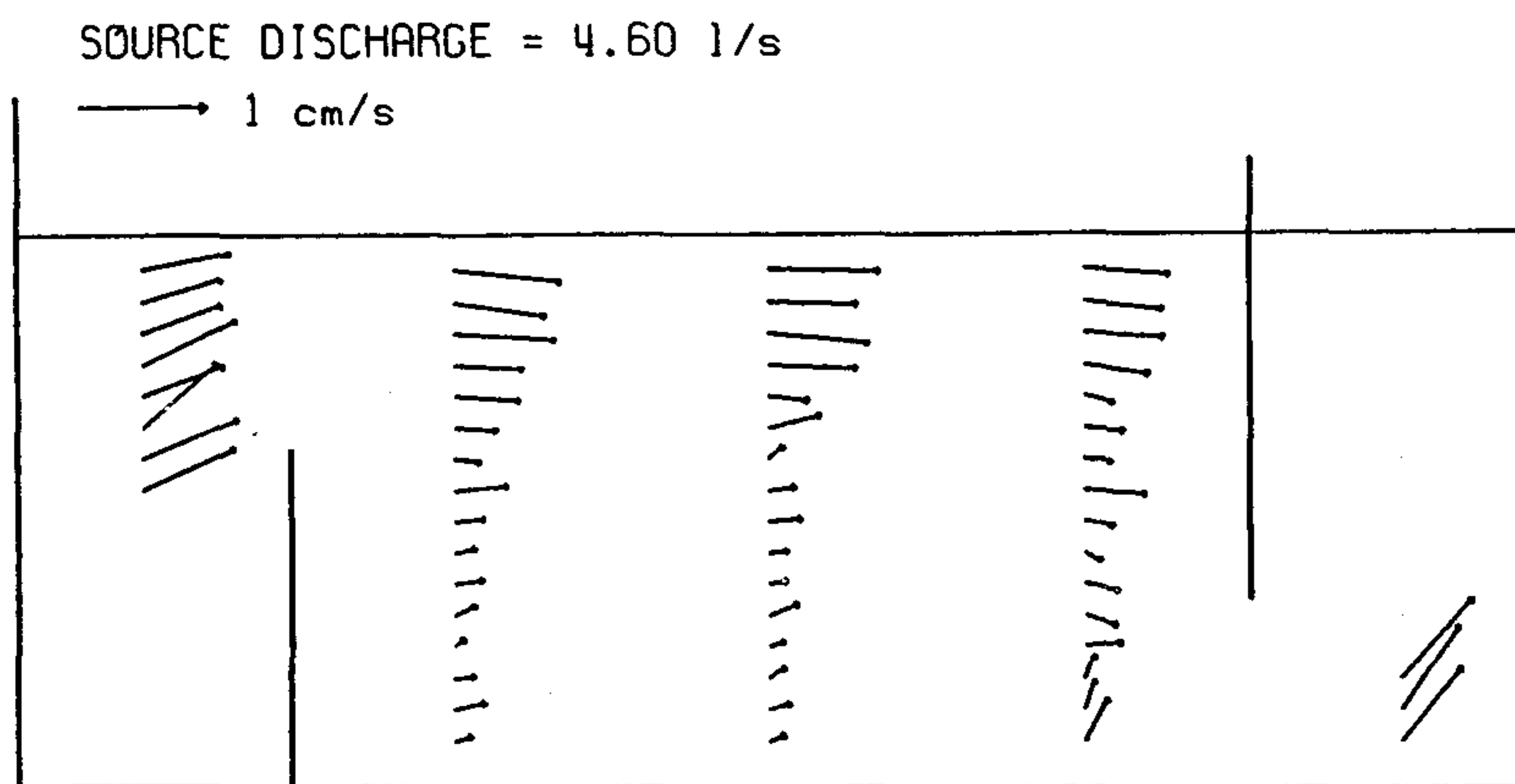
<그림 3-5-21> CASE S1-d의 유속분포의 측정결과



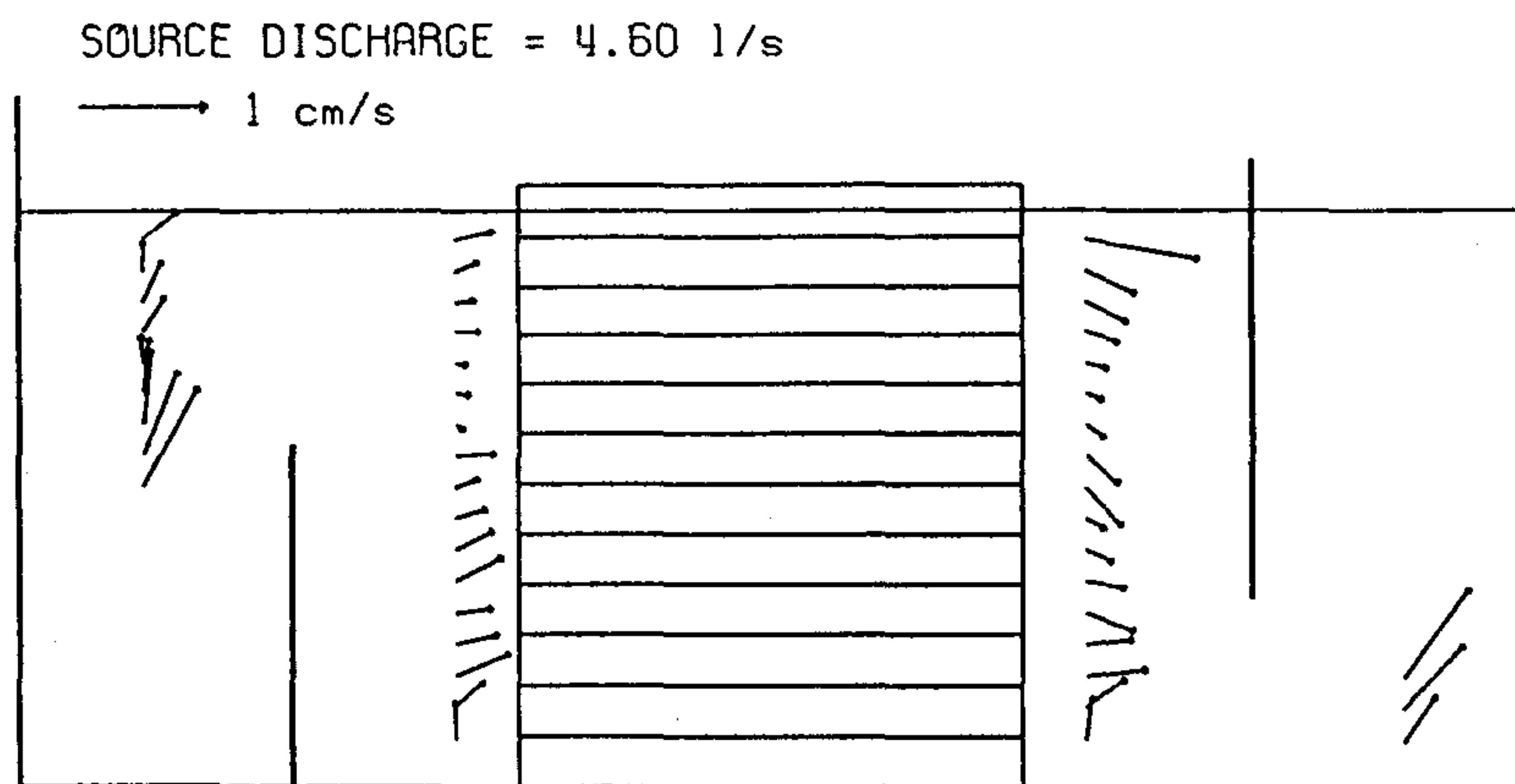
<그림 3-5-22> CASE S2-a의 유속분포의 측정결과



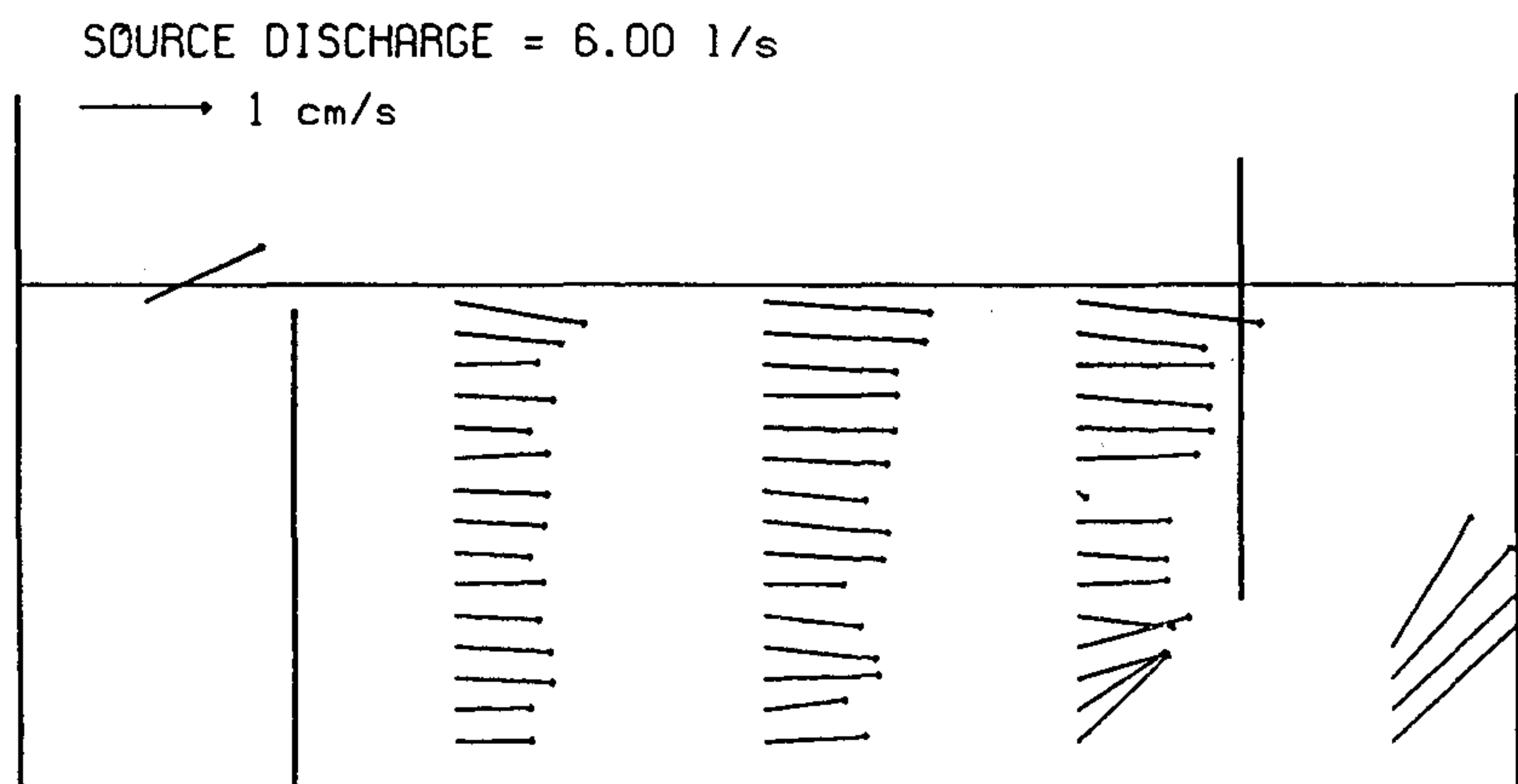
<그림 3-5-23> CASE S2-b의 유속분포의 측정결과



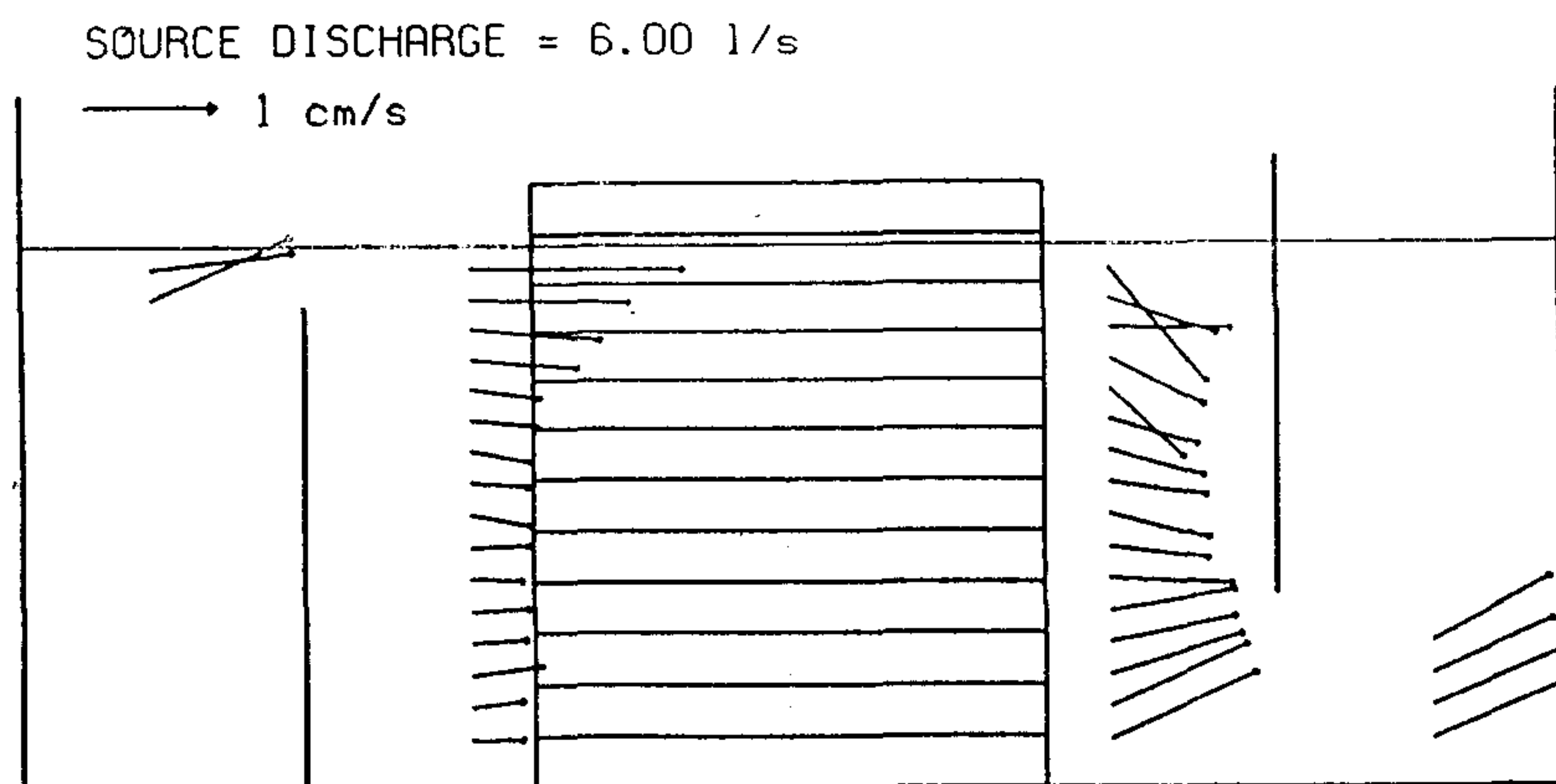
<그림 3-5-24> CASE S2-c의 유속분포의 측정결과



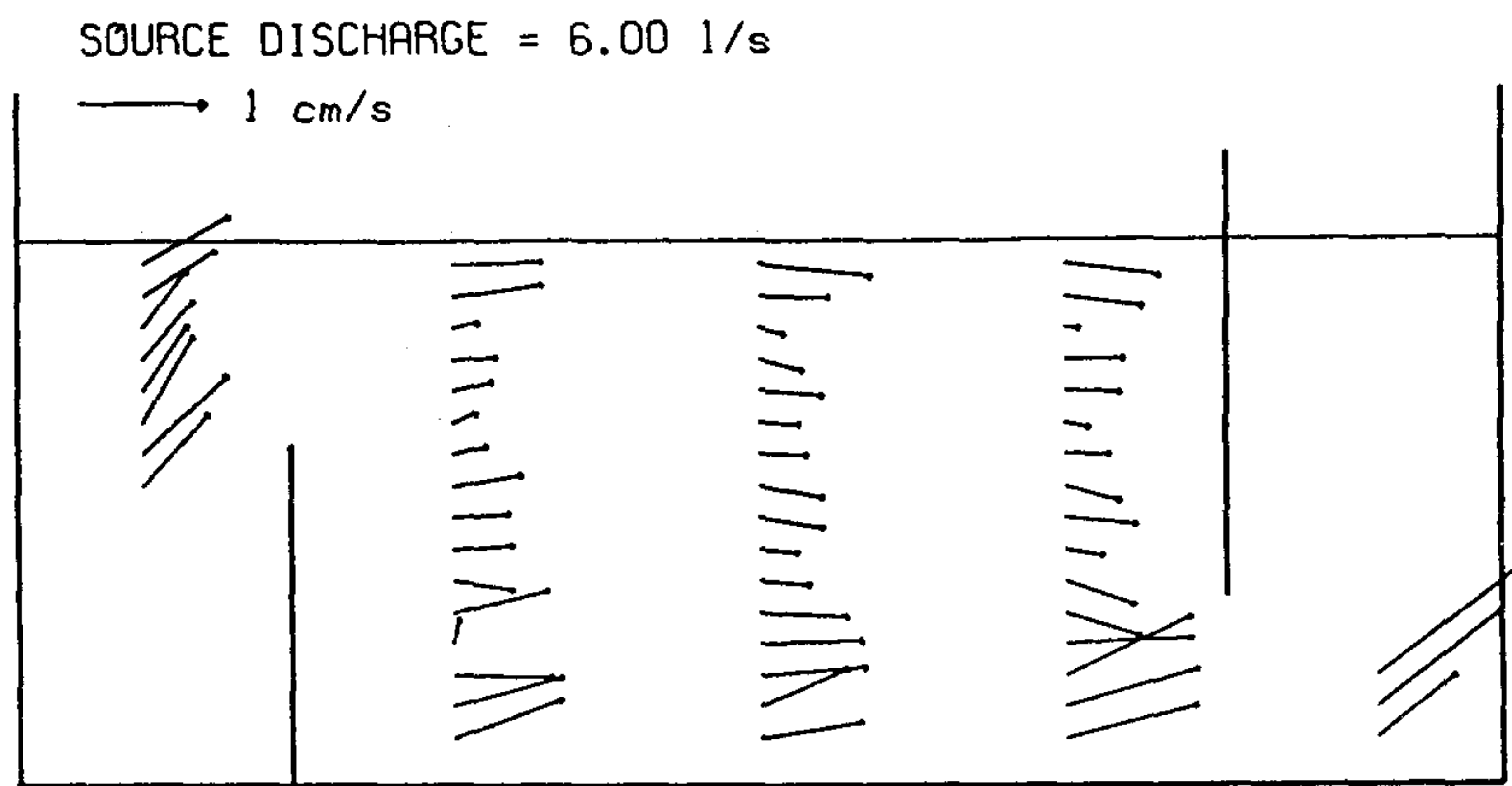
<그림 3-5-25> CASE S2-d의 유속분포의 측정결과



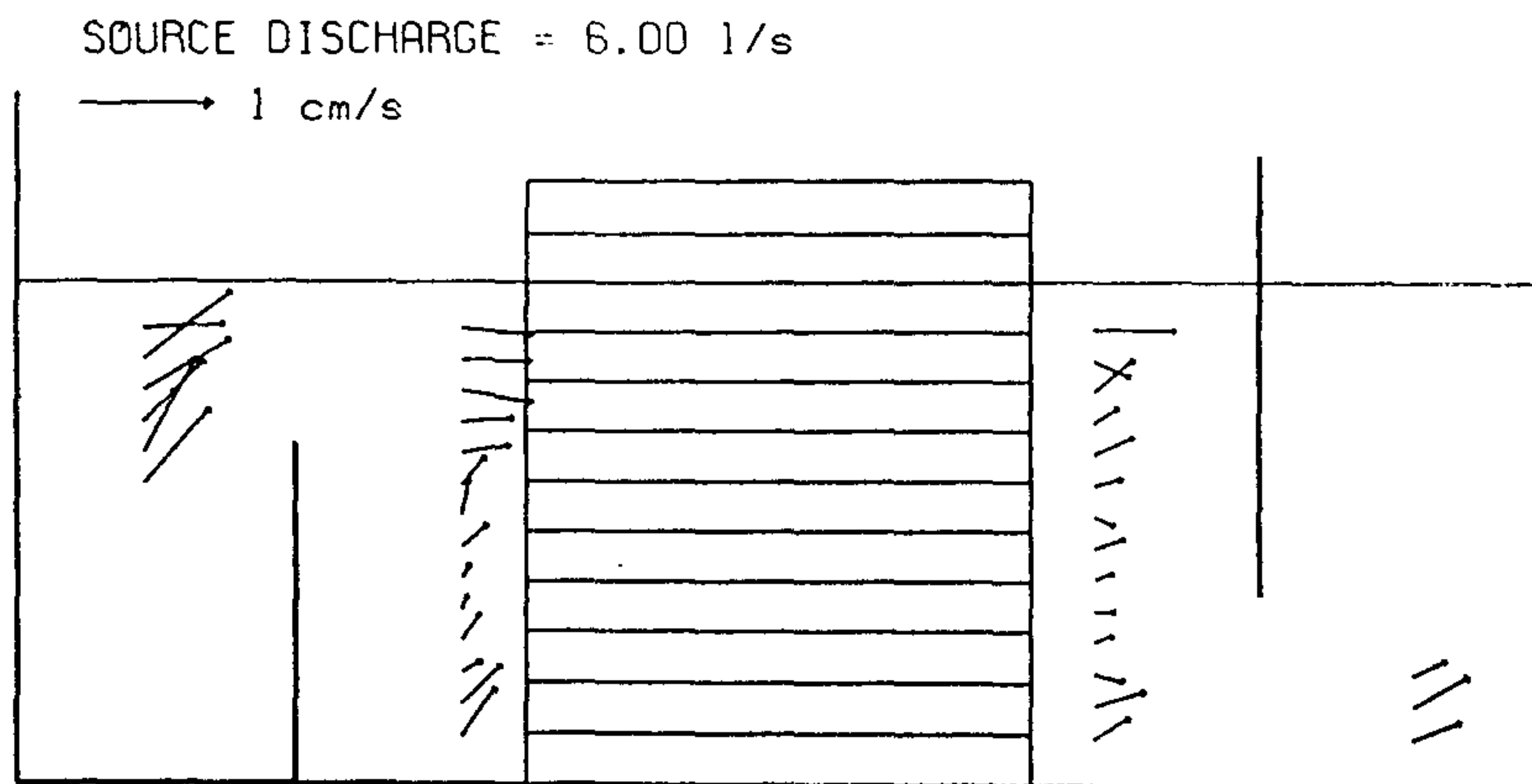
<그림 3-5-26> CASE S3-a의 유속분포의 측정결과



<그림 3-5-27> CASE S3-b의 유속분포의 측정결과



<그림 3-5-28> CASE S3-c의 유속분포의 측정결과



<그림 3-5-29> CASE S3-d의 유속분포의 측정결과



### 3. 새로운 사육수조와 침전수조의 수리모형 실험결과

수리모형 실험결과 사육조내에서의 유동구조는 흐름의 가시화를 통해 입체적으로 관찰할 수 있었으며 수조중앙에 설치한 배수파이프 주변에서는 바닥으로부터 상층으로 향하는 나선류가 발달하고 있음을 볼 수 있었다. 수조내에 노폐물의 투입결과 노폐물은 배수파이프 하단에 모여 배수파이프 주위를 회전하는 양상을 나타내었으며, 이 노폐물은 원통형의 침전수조내로 쉽게 유입됨을 볼 수 있었다. 한편, 배수파이프의 상부를 통해 유입되는 미세한 입자는 2차침전조의 역할을 하는 plate 형 침전수조에서 대부분 제거가 가능한 것으로 나타났다.

## 제 6절 사육수조와 침전수조의 설계를 위한 기본지침

### 1. 사육수조의 설계지침

사육수조의 설계시 고려해야 할 설계요소로서는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- 수조의 평면형상과 단면형상
- 물의 유입장치와 배출장치
- 노폐물 배출장치
- 기포 공급장치

이러한 설계요소별 설계인자와 설계시에 고려해야 할 사항을 표로서 나타내면 다음과 같다.

<표 3-6-1> 사육수조의 설계에 관한 기본사항

설계요소	설계인자	고려해야 할 사항
수조의 평면형상	단축길이/장축길이 (형상비)	유선의 형태, 정체수역의 형성여부
수조의 단면형상	저면경사도 최대수심/장축길이	노폐물의 집적효과 노폐물 배출의 용이함
물의 유입장치	파이프 노즐의 조절기능	수조내 유속의 연직분포 조절기능
물의 배출장치	상부파이프 배수식	대형수조에 적합 자동적인 노폐물 배출장치 파이프의 적절한 높이조절
	하부배수식	소형수조에 적합 노폐물 제거장치설치
노폐물 배출장치	수조내에 설치	반 강제식 배출구조 노폐물의 집적농도 증가
	수조밖에 설치	노폐물을 수류로부터 분리하는 기능 노폐물의 집적농도를 크게 하여 강제적으로 배출시키는 방법
기포공급장치	수류와 함께 자동유입시키는 방법	노즐의 유입속도가 어느 정도 커야됨
	공기펌프에 의한 방법	수류에 장애가 되지 않도록 고려

#### 가. 수조의 평면형상

수조의 평면형상은 유선을 따라 round cut한 정4각형의 형태가 가장 경제적이고 효과적인 형태라고 할 수 있다. 입지조건에 따라 수조의 단측과 장측의 비를 달리한 형태를 채택할 경우에는 유선의 형태를 잘 파악하여 우각부에서 정체수역이 발생하지 않도록 유의할 필요가 있으며 수조내에 와류가 발생하여 노폐물이 어느 한 곳에 모이지 않도록 해야 한다. 한편, 수조내의 임의 지점에서 발생한 노폐물이 가장 빠른 시간 내에 수조의 배출구를 통하여 배출될 수 있도록 노폐물의 체류시간을 산정하여 두어야 할 필요가 있다. 그리고, 물의 배출장치와 배출구의 위치선정에 있어서 이러한 체류시간을 고려하여 최적의 방법을 선택하도록 한다.

#### 나. 수조의 단면형상

수조의 바닥경사는 물의 배출구를 향하여 일정한 경사를 갖도록 설계하는 것이 노폐물의 배출이나 수조의 청소시에 유리하다. 그러나 수조의 바닥경사의 불균일로 인하여 저면부근에서 와류나 정체수역이 발생하지 않도록 주의를 요한다. 일반적으로 10%내외의 저면경사를 주면 커다란 문제는 없을 것으로 보인다.

#### 다. 물의 배출장치

수조의 규모가 길이 5m이상으로 커지게 되면 수조의 중앙부에서 stand pipe를 통하여 배출시키는 것이 일정한 수류의 구조를 유지하는데 유리하다. 그러나, 이때는 배출파이프 밑에 모인 노폐물 수조 밖으로 배출될 수 있도록 노폐물 배출장치를 설치해야 한다. 수조의 규모가 2~3m정도로 소형인 경우에는 하부배수식도 좋을 것으로 본다. 그러나, 이 경우에도 노폐물이 재 순환수와 빠른 시간내에 분리될 수 있도록 노폐물 제거장치를 설치하는 것이 좋다.

#### 라. 노폐물 배출장치

사육수조내에 노폐물 배출장치를 설치하는 경우에는 노폐물이 수렴한 위치에 침강 탱크를 설치하여 노폐물을 수조밖으로 배출시키는 방법이 좋다. 노폐물 배출장치를

사육수조밖에 설치하는 경우에는 재 순환수의 강한 수류로부터 빠른 시간내에 노폐물을 분리할 수 있는 장치가 좋다. 재 순환수 중에 포함된 노폐물의 양이 많은 경우에는 Hydroclone 형태의 노폐물 배출장치가 유리할 것으로 생각된다. 그밖에 2중 탱크를 이용한 노폐물 제거장치도 많이 쓰이고 있으나 노폐물이 집적되는 곳의 유속을 아주 작게하여 노폐물이 재 부상하거나 흩어지지 않도록 해야 한다.

#### 마. 기포공급장치

기포공급장치가 필요한 경우 공기펌프에 의하여 강제적으로 기포를 공급하는 방법보다 수류와 함께 기포가 자동적으로 유입하도록 하는 방법이 에너지 절약이나 수조내의 수류구조를 유지하는 측면에서 유리하다. 기포공급파이프로부터 공급되는 기포는 수조내의 흐름을 교란시키는 역할을 하기 때문에 수조내의 노폐물이 부유상태로 남아 수조내의 수질에 나쁜 영향을 주기 때문에 기포의 공급장치와 위치선정에 있어서는 벽면을 따라서 공급하는 것이 바람직하다.

## 2. 침전수조의 설계지침

중력식 침전수조의 설계시에는 침전시키고자 하는 고형입자의 입경을 어느 정도로 할 것인가 하는 것을 설정해 둘 필요가 있다. 아무리 잘 만들어진 침전수조도  $100\mu\text{m}$ ( $0.1\text{mm}$ )이하의 고형입자를 침전시키는 것은 불가능하다고 보는 것이 좋다. 보다 효과적인 침전수조를 설계하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려하여 설계에 반영하는 것이 좋다.

- 노폐물의 밀도  $\sigma$
- 물의 동점성 계수  $\nu$
- 물의 밀도  $\rho$
- 노폐물의 침강속도  $V_s$
- 재 순환수의 유량  $Q$
- 침전수로의 수심  $D$ 와 폭  $W$

- 침전수로의 길이 L
- 침전수로내에 설치하는 plate의 간격  $\ell$
- 물이 통과하는 수류의 단면적  $a(=b\ell)$
- 침전수조내를 흐르는 물의 마찰속도  $U_* \left( = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \right)$

<표 3-6-2> 는 침전수조의 설계에 관한 기본사항을 나타낸다.

<표 3-6-2> 침전수조의 설계에 관한 기본사항

설계요소	설계인자	고려해야 할 사항
수조의 유수단면적	유량 (Q) 단면평균속도 (V)	단면평균유속이 노폐물의 이동 한계유속보다 작아야 함.
수조의 길이 수조의 수심	침강가능한계침강속도( $V_{sc}$ ) 유량 (Q) 수조폭 (W) 수조의 길이(L) 수조의 동수반경(R)	$V_{sc} > \frac{Q}{W \cdot L}$ $R_e = \frac{V \cdot R}{\nu} \ll 500$
수조내 plate의 간격 또는 tube의 직경	플레이트의 간격 $\ell$ 튜브의 직경 $d_2$	단면평균유속이 노폐물의 이동 한계유속보다 작아야 함. $R_e = \frac{V \cdot d_2}{\nu} \ll 2000$ $R_e = \frac{V \cdot \ell}{\nu} \ll 1000$
슬러지 배출장치	슬러지 집적장치 자동적인 슬러지 배출장치	재순환수와 슬러지가 접하는 시간을 줄이도록 할 것,

가. 침전수조의 침전 가능한 노폐물의 입경 추산방법

침전수조가 그 기능을 다하기 위해서는 침전수조내에서의 흐름이 층류상태로 되지 않으면 안된다. 층류상태를 유지하려면 Reynolds수가  $R_e = \frac{V \cdot R}{\nu}$  이 500보다 훨씬 작아야만 한다. 여기서, R은 동수반경으로서 유수단면적 A를 윤변 P로 나눈 값이다.

1) 단순한 직육면체형상의 침전수조의 경우

평균입경  $d(\text{mm})$ 인 노폐물을 침전시키려고 할 경우 침전 수조의 수조길이  $L$ 을 산정하는 문제에 있어서

노폐물의 밀도  $\sigma=1.10$

물의 동점성계수  $\nu=1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  ( $20^\circ\text{C}$  수온)

중력가속도  $g=9.8\text{m}/\text{s}^2$

여기서,  $d=100\mu\text{m}(0.1\text{mm})$  인 경우 stokes 침강속도법칙에 의한 침강속도  $V_s$ 는

$$V_s = \frac{gd^2}{18\nu} \left( \frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) = 5.444 \times 10^{-2} \text{cm}/\text{s}$$

여기서, 침전수조의 제원으로서 수조의 폭  $W=0.5\text{m}$  수조의 수심  $D=0.5\text{m}$  라 하면

$$V_s > D \cdot \frac{Q}{DW} \cdot \frac{1}{L} = \frac{Q}{WL}$$

즉,  $L > \frac{Q}{W \cdot V_s}$  이어야 한다.

여기서, 재 순환수의 유량  $Q = 10\text{회전}/\text{일} \times 10\text{m}^3 = 100\text{m}^3/\text{day}$

라 하면  $Q = 0.001157\text{m}^3/\text{s}$

$$\text{따라서, } L = \frac{0.001157}{0.5 \times 5.444 \times 10^{-4}} = 4.25(\text{m})$$

수조내의 평균유속  $V = \frac{0.001157}{0.5 \times 0.5} = 0.004628 \text{m}/\text{s}$ 가 된다.

$$\text{이때, } R_e = \frac{VR}{\nu} = \frac{0.004628 \times 0.1666}{1.0 \times 10^{-6}} = 771$$

여기서,  $R_e > 500$ 이므로 흐름은 난류상태가 되므로 노폐물의 침전을 기대하기 곤란

하다. 따라서, 수조의 수심  $D$ 를  $1\text{m}$ 로 하면 수조내의 평균유속은

$$V=0.002314\text{m}/\text{s}$$

$$R_e = \frac{0.002314 \times 0.2}{1.0 \times 10^{-6}} = 462.8$$

따라서,  $R_e < 500$ 으로 되어 침전수조의 길이 L을 4.25m정도로 하면 노폐물의 침전을 기대할 수 있게 된다.

### 2) Plate 형태의 침전수로의 경우

앞에서와 같은 경우에 있어서 폭  $b = \frac{W}{10}$ , 높이  $l = \frac{D}{10}$ 인 Plate를 채워 넣는 경우의 침전수조의 길이 L을 계산하면

$$V_s = 5.444 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

$$W = 0.5 \text{ m} \quad (b = 0.05 \text{ m})$$

$$D = 1.0 \text{ m} \quad (l = 0.1 \text{ m})$$

$$V_s > l \cdot \frac{Q}{DW} \cdot \frac{1}{L} = \frac{l}{D} \cdot \frac{Q}{WL}$$

$$L > \frac{l}{D} \cdot \frac{Q}{W \cdot V_s}$$

즉, 침전수조의 길이 L은 Plate가 없는 경우보다  $\frac{l}{D} = 0.1$ 배 만큼 작아도 된다.

이때,  $R_e$ 수는 동수반경  $R = \frac{bl}{2(b+l)} = \frac{0.05 \times 0.1}{2(0.05+0.1)} = 0.0167$ 로서 Plate가 없는

경우의  $\frac{1}{12}$  정도로 된다.

따라서,  $R_e = 38.6$ 정도로 되어 보다 충류에 가까워진다.

즉, 침전수조의 길이 L=0.425m정도가 된다.

### 3) 침전수조의 설계시 주의할 점

미세한 노폐물의 침전을 기하기 위해서는 침전수조내를 흐르는 흐름의 마찰속도  $U_*$ 가 입자의 침강속도  $V_s$ 보다 작아야 한다. (입자가 부상하지 않을 조건임)

$$U_* = \sqrt{\frac{f}{8}} \cdot V$$

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$U_* = \sqrt{\frac{8}{Re}} \cdot V = \sqrt{8 \cdot \frac{\nu}{VR}} \cdot V = \sqrt{\frac{8\nu}{R}} \cdot V$$

상기 2)의 경우에 대하여 계산하면

$$\nu = 1.0 \times 10^{-6} m^2/s$$

$$R = 0.0167$$

$$V = 0.0023 m/s \text{ 이므로}$$

$$U_* = 5.03 \times 10^{-5} m/s$$

앞에서  $d=0.1mm$  인 입자의 침강속도  $V_s = 5.444 \times 10^{-4} m/s$  그러므로  $U_* < V_s$ 로서 흐름중에서 재 부상하지 않고 침전을 기대할 수 있게 된다.

나. 침전수조의 설계에 있어서 주의할 점

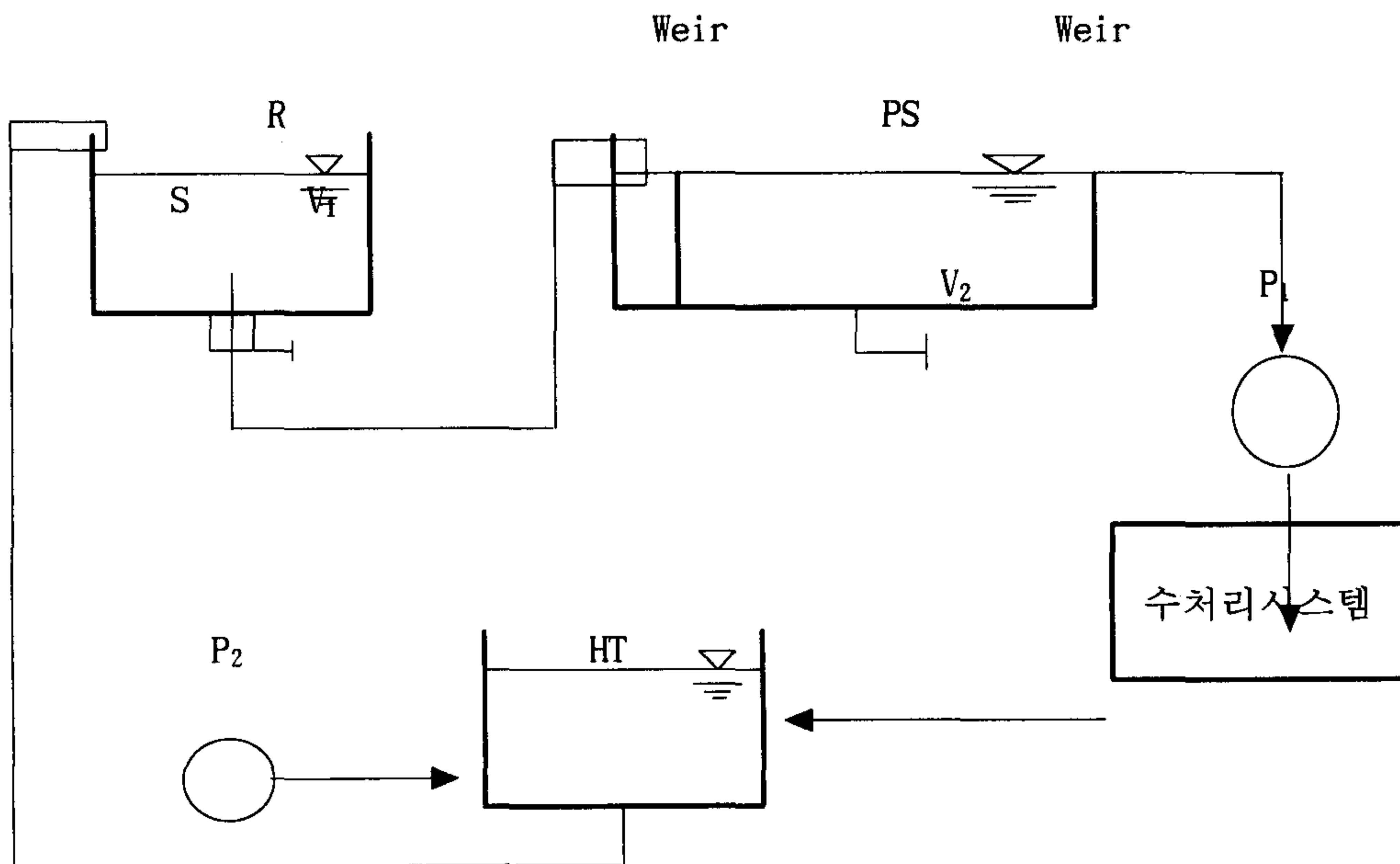
앞에서 살펴본 바와 같이 중력식 침전수조에 있어서  $Q=100m^3/day$ 의 유량을 침전수조의 규모가  $0.5m(W) \times 1.0m(D) \times 0.5m(L)$ 보다 커다란 큰 수조에서 Plate의 간격이  $0.1(W) \times 0.1(D)$ 인 Plate를 이용함으로써  $d=100\mu m$  정도의 미세입자를 가라앉힐 수 있게 된다. 그러나, 침전수조가 이론적으로 계산한 조건을 만족시키기 위해서는 침전수조내로 유입하는 유입구와 배출구를 잘 설계하여 침전수조내에서 국부적인 요란이 발생하지 않도록 해야 한다. 그리고, 물 순환시스템내에서 발생하는 수면의 요란이나 관수로내의 압력이 침전수조에 직접 전달되지 않도록 침전수조의 유입부나 배출되는 부분을 개수로의 위어형태로 설계해야 한다.



## 제 7절 공정관리 방안

본 연구에서 순환여과식 양어시설의 종합설계시스템에서 물 순환과정을 그림으로 나타내면, <그림 3-7-1>과 같다.

- |                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| R : 사육수조          | P <sub>1</sub> : 가압펌프       |
| S : 노폐물 배출장치      | P <sub>2</sub> : 수두조절용 양수펌프 |
| PS : Plate 형 침전수조 | V <sub>1</sub> : 노폐물 배출용 밸브 |
| HT : 수두조절용 탱크     | V <sub>2</sub> : 노폐물 배출용 밸브 |



<그림 3-7-1> 순환여과식 양어시설의 종합설계시스템

여기서, 사육수조에서 침전수조 사이의 흐름은 양 수조사이의 수두차에 의하여 발생하며 시스템 전체내에서 발생하는 에너지손실수도는 펌프 P<sub>1</sub>과 수두조절용 탱크사이의 수두차가 된다. 여기서 손실유량은 노폐물 배출장치와 침전수조로부터 배출되는

유량이 된다. 여기서, 사육수조내의 수위는 수두조절용 탱크와 침전수조 사이의 수위를 유지하게 된다. 따라서, 본 시스템은 펌프  $P_1$ 에 의하여만 운전되게 된다. 한편, 밸브  $V_1$ 은 일정한 시간 간격으로 한 번씩 열리도록 자동화하고 침전수조는 침전수조에 가라앉는 노폐물의 양에 따라 수개월에 한 번씩 노폐물을 배출시키면 시스템의 관리자체가 아주 간단화 되어 인력의 절감을 가져올 수 있다. 그리고, 밸브로부터 유량의 손실이 발생하여 수두조절탱크의 수위가 저하하면 자동적으로 양수펌프가 작동하여 일정한 수두를 유지하도록 하면 된다.

## 제 8절 경제성 검토

### 1. 초기 건설비 및 연간 유지관리비의 산정

#### 가. 초기 건설비의 산정

사육수조와 침전수조 및 주변 부속장치의 초기 건설비로서는 사육수조의 용량 5m<sup>3</sup> 당 다음과 같다.

<표 3-8-1> 사육수조와 침전수조 및 주변 부속장치의 초기 건설비

항 목	비 용	비 고
사육수조제작비	1,000천원	콘크리트수조 콘크리트수조
침전수조제작비	500천원	
침강탱크형 노폐물 배출장치	200천원	
수두조절용 수조	300천원	
관로 및 밸브	500천원	
가압용 펌프 (2대)	500천원	
양수펌프 (2대)	500천원	
자동수위 측정장치	500천원	
계	4,000천원	

여기서, 사육수조의 용량이 커짐에 따라 초기 건설비도 커지게 되지만 상기비용에 반드시 비례하지 않고 단위 용량당 비용은 적어질 것으로 생각된다.

#### 나. 연간 유지관리비

연간 유지관리비로서는 인건비, 전력비, 상수도사용료, 사료비, 보수비 및약품비 등을 들 수 있으며 한 사람이 관리할 수 있는 시설용량을 사육수조의 용적 100m<sup>3</sup>로 하였을 때 다음과 같다.

<표 3-8-2> 연간 유지관리비

항 목	유지관리비	비 고
인건비 전력비 사료비 상수도사용료 약품비 보수비	12,000천원/년 3,000천원/년 6,000천원/년 2,000천원/년 2,000천원/년 3,000천원/년	사육수조용량 100m <sup>3</sup> 당의 유지관리비임
계	28,000천원/년	

## 2. 연간 투자비용과 총 생산금액의 산정

시설용량 100m<sup>3</sup>에 대한 총 시설비는 8천만원 정도가 되며 시설 사용년수를 20년으로 하였을 경우 1년간에는 약 4백만원이 되며, 연간 유지관리비를 2,800만원으로 하면 약 3,200만원 정도가 된다. 한편, 시설용량 100m<sup>3</sup>에 대하여 생산가능한 량을 시설용량의 약 20%로 하면 어체 중량 약 20톤을 생산할 수 있다. 어체의 판매가격을 2,000원/kg으로 하면 총 생산금액은 약 4천만원 정도가 된다. 따라서, 연간 순 이익은 약 800만원 정도가 될 것으로 예상된다.

## 제 9절 결론 및 요약

순환여과식 양어시설의 종합설계시스템개발과 관련하여 제 2절에서는 기존의 연구 결과를 정리하고 문제점을 도출하였다. 제 3절에서는 사육수조의 설계를 위한 과학적인 접근방법으로서 수리모형실험과 현지조사 및 수치모형실험을 통하여 사육수조내의 유동구조에 미치는 설계인자에 대하여 검토하였다. 그 결과 기존에는 정성적으로만 제시하였던 수조의 설계에 대하여 정량적인 결과를 제시하였다. 제 4절에서는 침전수조의 설계와 관련하여 기존의 침전수조의 현황과 문제점을 제시하고 여러 가지 형태의 침전수조를 현장실험을 통하여 각 침전수조의 성능과 효율을 평가하고 침전수조의 주요 설계요소를 제시하였다. 제 5절에서는 제 3절과 제 4절에서 얻어진 연구결과를 바탕으로 새로운 사육수조와 침전수조의 구성방법과 설계방법을 제시하고 수리모형실험을 통하여 그 타당성을 검토하였다. 제 6절에서는 사육수조와 침전수조의 설계에 있어서 시행착오를 거치지 않고 안전하게 설계할 수 있는 기본적인 설계지침을 제시하였다. 끝으로 제 7절과 제 8절에서는 본 시스템의 공정관리방안과 경제성에 대하여 검토하여 본 시스템에 의하여 어류를 양식할 경우 기술적인 어려운 점 없이 경제성 있는 양어가 가능함을 보였다.

## 참고문헌

1. 김인배, “순환여과식 사육수 정화 재사용 방법에 의한 Pilot 규모의 어류양식 시험”, 한국수산학회지 13(4), pp.195-206(1980)
2. 부경대학교 해양산업개발연구소편, “해양산업개발총서 1, 양식공학”, 부경대학교 출판부, pp.1-36(1996)
3. 김인배, “순환여과식 양어시설의 발전방향”, 순환여과식 육상양어장의 설계 및 관리에 관한 세미나, 부경대학교 해양산업개발연구소·농림수산기술 관리센터, pp.1-27(1997)
4. J. Pedlosky, “Geophysical fluid dynamics”, Spring-Verlag, New York, pp.624(1979).
5. Kim, C.K. and Lee, J.S., 1994, “A three-dimensional PC-based hydrodynamic model using an ADI scheme”, Coastal Engineering, ELSEVIER, Vol. 23, pp.271-287(1994)
6. 保原充, 大宮司久明, “數值流體力學”, 東京大學 出版會, pp.635(1992)
7. Klaus A. Hoffmann, “Computational fluid dynamics for engineers”, Austin, TX, pp.567(1989)
8. Hugunnin, J. E. and J. Colt, “Design and Operating guide for aquaculture seawater system”, Amsterdam, Elsevier.(1989)
9. Wheaton, F.W., “Aquacultural Engineering”, Jhon Wiley & Sons, pp.708(1995)
10. Lawson, T. B., “Fundamentals of Aquacultural Engineering”, Chapman & Hall, pp. 355(1995)

## 제4장 종합관리 시스템 개발

### 제1절 서론

우리나라 양식업은 60년대 후반부터 천해양식업에 대한 본격적인 투자를 시작으로 해면·내수면양식 모두 눈부신 발전을 거듭하여 점차 기업화 하는 추세로 전환되고 있으며 이에따라 첨단 양식기자재가 폭넓게 활용되고 있다. 그러나, 국내에서 사용되고 있는 양식기자재는 일본 등 양식선진국에서 개발, 변용된 것이 대부분이다.

노동환경중에서 농수산업은 그 구성원의 고령화나 인력부족으로 고민하고 있으며 양식업 분야 역시 예외는 아니다. 이를 해결하기 위해 농업에서는 기계화나 협동 영농 방식 등에 의해 노동의 절약을 꾀해 생력농업이란 말이 사전에 올라있을 정도로 생력화는 시대의 흐름이 되고 있다. 양식경영에 있어, 노동환경을 고려할 경우 노동시간의 단축, 육체적 부담의 경감은 당연한 것이며, 그밖에 직업적 훈련등도 생각해 볼 수 있다.

원양어업의 경우는 트롤이던 연승어업이던 간에 어획대상이 존재하는 해역에 생산자와 어구, 가공기계 및 냉동설비와 같은 생산수단이 갖추어지지 않고서는 어획을 할 수 없다. 또 어획물을 적절한 형태와 선도를 유지하여 항구까지 운반해 오지 않으면 어로작업이 아무런 의미가 없어진다. 이 때문에 생산기반인 어선이나 기계에 대해 많은 투자를 함으로써 사업의 유지가 가능하다. 이에 반해 양식업의 생산현장은 바로 생산자의 눈앞에 있다. 종묘를 가두리에 넣고 먹이를 일정기간 투여하면 이것이 자라서 상품으로 출하되게 되는 것이다. 물론 살아있는 생물을 취급한다는 고충은 대단한 것이지만 종묘, 먹이 그리고 성실한 노동력만 있으면 경영은 성립하게 된다. 그러나 현실은 그렇게 간단하지만은 않다. 인력수급은 날로 어려워지고 있으며 임금 또한 엄청나게 상승, 장래에는 노동력에만 의존해서는 양식업 자체가 존립할 수 없는 처지에

이르고 말았다.

양식생산량의 증대는 일본 뿐만아니라 이미 세계적인 추세가 되고 있다. 그러나 생산량이 증가하면 가격이 내려가고, 품질이 떨어지면 소비자로부터 외면 당한다는 것은 당연한 이치이다. 따라서 경쟁에서 이길 수 있는 고품질의 생산과 생산원가 하락을 위한 노력은 양식경영의 1차적인 관건이 되고 있다. 이와 함께 경영과 판매전략에도 지혜를 짜내지 않으면 안된다. 한정된 인력으로 이 모두를 쉽게 달성할 수는 없다. 따라서, 첨단 기계화는 필연적인 과제가 되고 있다. 이것은 우리나라 뿐만아니라 양식경영을 영위하는 대부분의 국가에서 큰 과제가 되고 있다.

이와 같은 요구에 부응하기 위해 본 연구에서는 양식장 감시 및 자동화를 위한 시스템을 마이크로 프로세서와 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 개발하였으며, 실험을 통해 그 유효성을 검증한 후 실제 두곳의 양어장(대천수고와 부경대 양어장)에 설치하여 사용 중에 있다.

본 시스템에서는 수위, 온도, pH, 용존산소량 등이 각 수조에 설치된 원칩 마이크로 프로세서를 통해 신호처리되어 PC 모니터링 컴퓨터에서 실시간으로 감시되도록 하였으며, 갑작스런 환경변화나 각종 비상사태에 대비하고 수조의 물리적 환경이 적정 수준으로 조절 제어되도록 개발하였다. 특히 주어지는 제어 조건에 따라 사료 공급 시스템이 제어 관리되도록 하였으며, 또한 영상처리 시스템의 개념을 도입하여 양식장 주변 환경이 CCD카메라를 통해 감시되는 기능과 함께 어떤 특정한 대상물의 동작을 해석할 수 있는 시스템도 개발하였다.

## 제2절 양어장 종합관리 시스템의 하드웨어 구성

### 1. 수조의 물리적 환경 측정부

#### 가. 환경 감시부

본 실험장치에 내장된 A/D 변환기는 수조의 물리적 환경에 관련된 데이터를 실시간



적으로 처리하기 위해 이용되며, 각각 8채널을 사용하고 있다. 수조의 수위센서, 온도센서, 산소센서, pH센서 등으로부터 발생된 전기적 신호는 IC 모듈을 사용하여 구성된 증폭기를 통해 입력전압범위(0-5V)로 증폭되어 A/D변환기에 입력되어 약 22 $\mu$ s의 변환시간을 소요한 후, 디지털적인 양으로 변환되어 샘플링 시간마다 프로그램 루틴에서 처리된다. 이렇게 하여 수조의 환경이 원칩 마이크로 컴퓨터로 입력된 후 원칩 마이크로 컴퓨터는 RS-422통신으로 PC로 데이터를 보내면 PC는 모든 데이터를 받아 일목 요연하게 모니터링해 준다.

현재 사용하고 있는 센서로서는 수위센서, 온도센서, 용존 산소량센서와 pH센서를 사용하고 있으며 각 센서의 출력신호는 5V내의 전압으로 출력되도록 증폭되어 8097BH에서 A/D변환되어 퍼스널 컴퓨터에 RS-422통신으로 입력된다. A/D변환기는 10비트의 분해능(Resolution)을 가졌으며 각각은 0 ~ 1024( $2^{10}$ )까지로 분해되어 측정되어진다.

#### 나. 센서의 종류와 특징

##### 1) 수온센서

측정범위는 0 ~ 100 $^{\circ}$ C로 오차는  $\pm 0.1\%$ 이며, 축온저항계 방식이다.

##### 2) pH센서

측정범위는 pH 0 ~ 14까지이며, 오차는  $\pm 1\%$ 이다. 출력은 밀리 볼트 단위이며, 표준 출력은 58.4mV이다. 센싱 방식은 센서 유리관내의 표준 용액과 측정하려는 용액과의 차에 의해 측정된다.

##### 3) DO(용존산소량)

측정범위는 0 ~ 20ppm 이며, 오차는  $\pm 2\%$ 이다. 특징으로는 물의 내부에 포함하고 있는 산소비를 밀리 암페어 단위로써 4 ~ 20mA를 출력한다. 케이블의 길이에 제한이 없으며, 수심 100m의 압력에서도 사용할 수 있다. 센서방식은 격막에 투과된 산소가 전해액중에서 두 전극간에 반응을 일으키게 해 용존산소량에 비례하여 발생하는 전류를 측정해서 용존산소량을 구한다.

##### 4) 수위센서

측정범위는 0 ~ 1m이며, 오차는  $\pm 1\%$ 이다. 센서방식은 물의 전도성을 이용한 것으로 담수와 해수에 따라 측정값은 달라진다.

#### 다. 각 센서의 사양 및 증폭기

환경의 물리적, 화학적 아날로그양을 측정하기 위한 센서들의 사양을 <표 4-2-1>에서 보이고 있다.

<표 4-2-1> 각 센서의 사양

	Measurement Range	Output Range	Power
Temperature	0 ~ 100 °C	0 ~ 5 V	AC 100/200 V
pH meter	0 ~ 14 pH	4 ~ 20 mA	AC 100/200 V
DO meter	0 ~ 15 ppm	4 ~ 20 mA	AC 100/200 V
Level meter	0 ~ 100 %	4 ~ 20 mA	AC 100/200 V

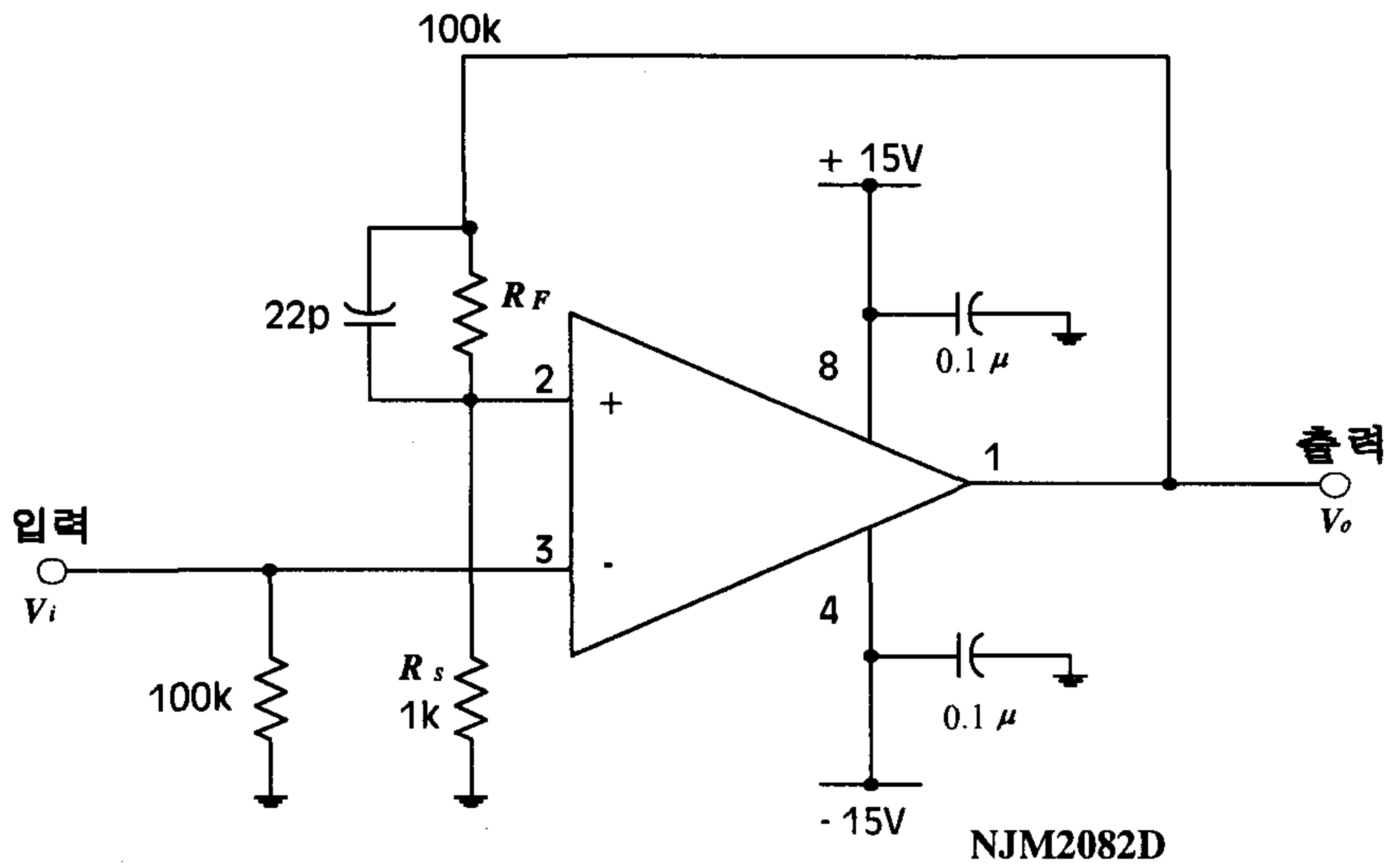
아래 <표 4-2-1>에서 온도센서를 제외한 각 센서는 공통적으로 4~20mA를 출력한다. 각 센서의 출력단에 저항을 접속함으로써 전압분배법칙에 의해 전류를 전압으로 변환할 수 있다. 그러나 이와 같은 변환으로 얻어진 전압은 미소하므로 <그림 4-2-1>과 같은 연산증폭기를 이용하여 증폭하고 원칩 마이크로 프로세서의 A/D 채널에 입력하고 있다.

위의 <그림 4-2-1>의 증폭회로를 Level meter에 접속하여 증폭한 아날로그 값을 Fitting한 결과를 아래 <그림 4-2-2>에서 보이고 있다. 이 실험에서 알 수 있듯이 측정시의 오차를 감안하여 보면 선형성에 대해서 충분히 보장됨을 알 수 있다.

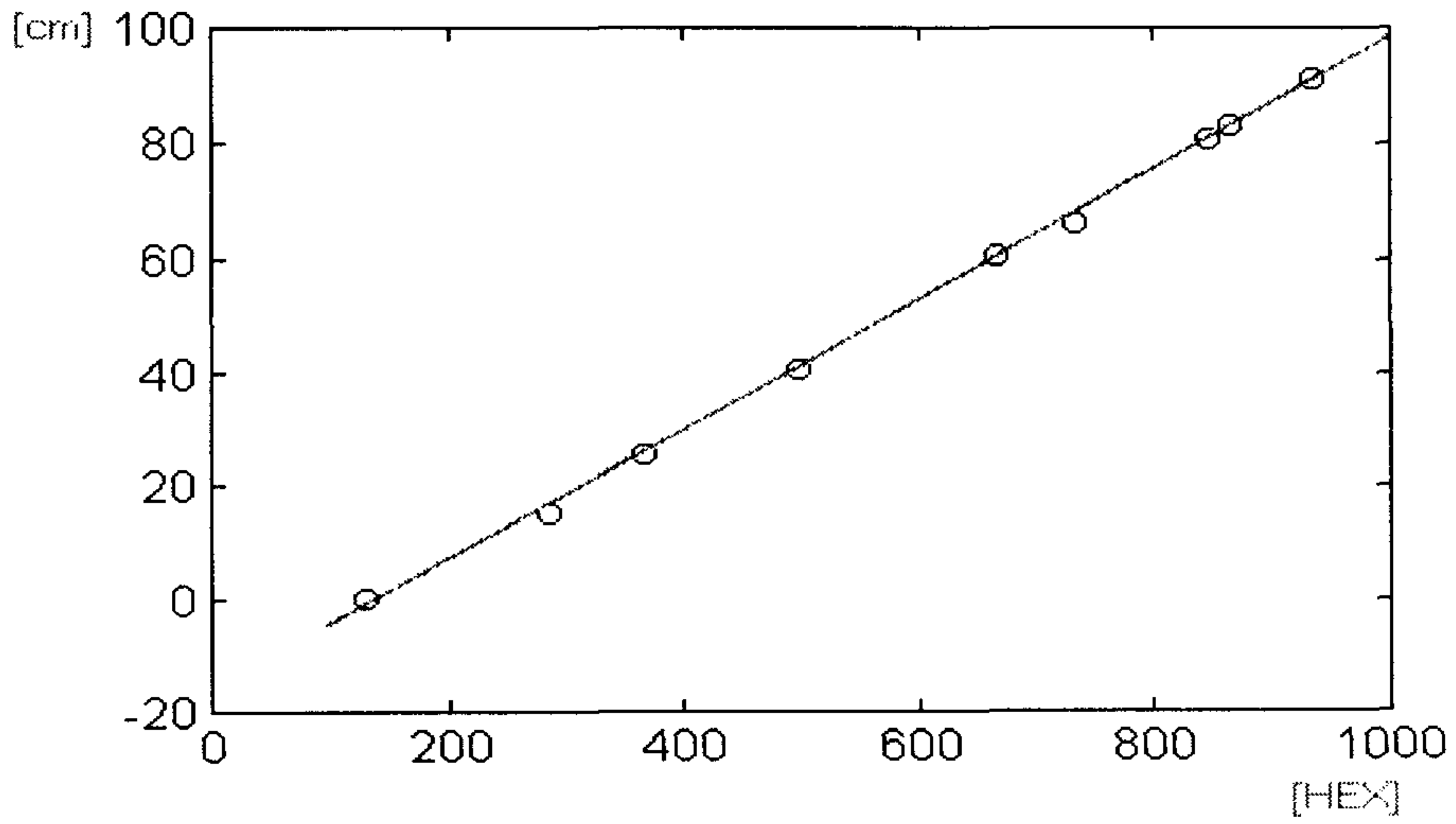
## 2. 양어장 종합관리 시스템 개발의 전체적 구성

### 가. 전체적 구성

<그림 4-2-3>는 양식장 자동화를 위한 종합관리 시스템의 기본 구성을 나타내고 있다. DTU(Data Terminal Unit)는 수조내의 물리적 환경정보수집을 위한 장치로서 주로 PLC(Programable Logic Controller)로서 구성된다.



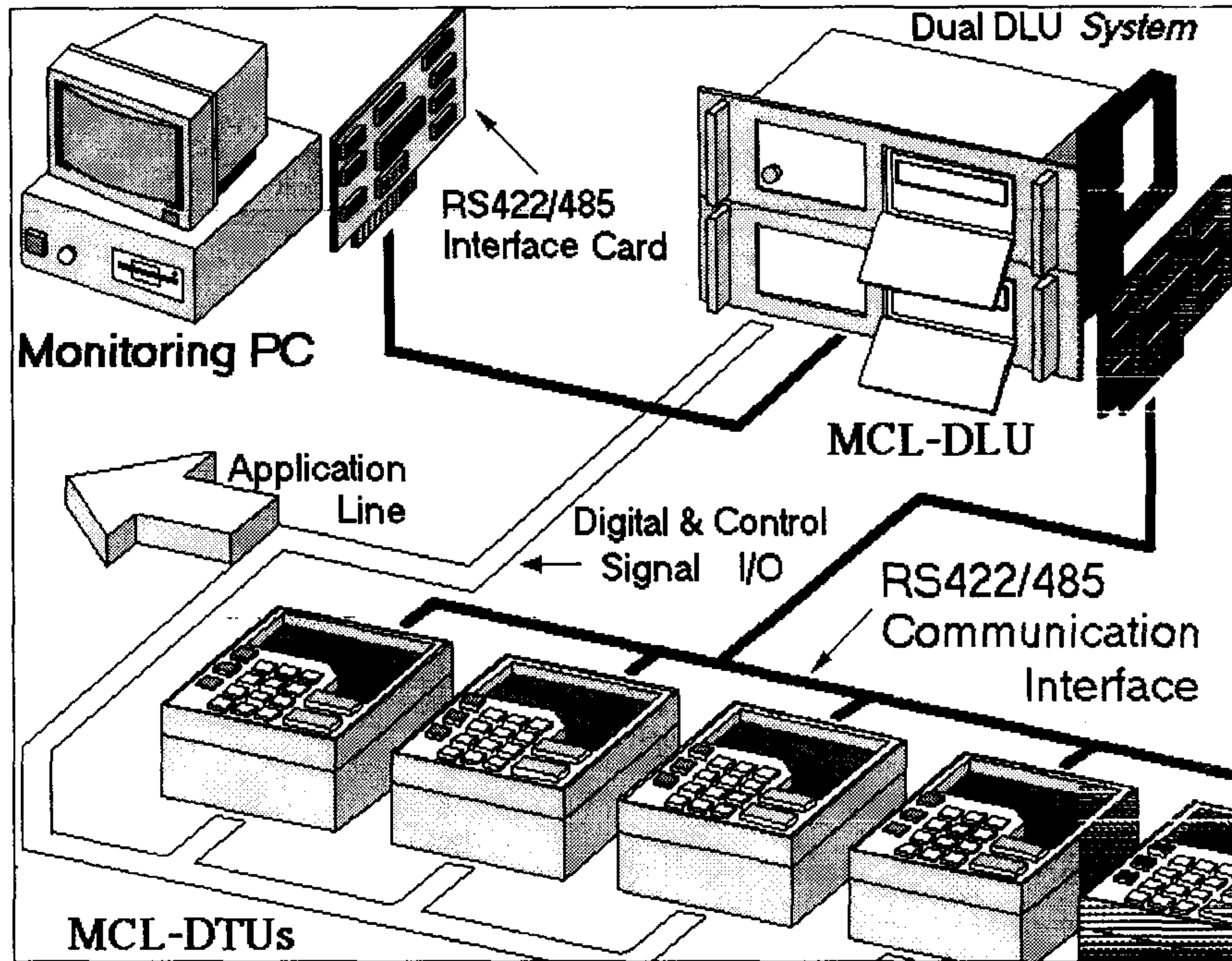
<그림 4-2-1> 연산 증폭기



<그림 4-2-2> 수위 센서의 선형성 측정결과 그래프

물론 DTU나 PLC장치는 이러한 정보수집뿐만 아니라 펌프나 밸브류의 기기들을 작동 시키거나 제어하는 기능도 가지고 있다. 이렇게 각 DTU에 의해 얻어진 정보는

DLU(Data Logging Unit)를 통해 모두 모아져서 디스플레이되고, 상위 네트워크와 연결되어 양어장내의 각 부서로 전송되게 된다.



<그림 4-2-3> MCL 시스템의 전체적 구성

## 나. 수조내의 양식환경 제어

### 1) 수위 및 온도 제어

수조의 수위 및 온도 등을 제어하기 위해 원칩 마이크로 프로세스의 입출력 포트를 사용하여 펌프와 히터 등을 구동하게 된다.

제어부에서 D/A 변환기의 출력전압 0-5V 범위만으로는 직접 제어부 및 비상시스템을 구동하는 데는 낮은 전압이므로 간단한 IC 모듈 및 SSR을 사용하여 각각의 기기에 알맞는 입력전압 범위로 증폭하여 제어부와 비상시스템이 구동되도록 하드웨어를 구성하였다.

제어부로는 수조의 수위가 낮을 경우에는 급수펌프를 구동하고, 수위가 높을 경우에

는 배수펌프 또는 배수 밸브를 구동하게 된다. 수위의 최고치와 최저치는 수위센서를 수직으로 이동시켜가며 정하게 되고 그 폭은 프로그램으로 설정하게 된다. 온도가 높을 때는 급수펌프와 배수펌프를 모두 가동하여 새로운 물을 공급함으로써 온도를 낮추게 되며 온도가 낮을 경우는 히터를 가동시켜 온도를 높여준다. 적정온도는 25~30℃로 설정하였으며 적정온도 범위는 양식 어종에 따라 변경할 수 있다.

## 2) pH 및 용존 산소량 제어

pH와 용존 산소량을 적정 수준으로 제어하는 방법은 많이 있을 수 있겠지만 여기서는 수조의 물이 산성이 되거나 산소가 부족할 경우에는 급수, 배수펌프를 가동하여 물갈이를 시켜 신선한 물을 공급하도록 구성하였다.

## 다. MCL 시스템

### 1) MCL 시스템이란

MCL(Modern Control Laboratory)시스템은 <그림 4-2-3>에서 보인 양식장 자동화를 위한 통합관리 시스템의 구현을 위해, 본 연구 팀(부경대학교 제어공학연구실)에 의해 개발된 시스템으로서 마이크로프로세서 기술 및 센서기술, 통신 기술, 일렉트로닉스 기술 등을 종합한 메카트로닉스 기술을 사용하여 자체 제작된 하드웨어와 각종 통신 관리 프로그램, 실시간 데이터 수집 및 처리 프로그램, 각종 센서드라이버 구동 및 다양한 프로세서 제어 프로그램 등의 소프트웨어로 구성되는 통합 모니터링 및 제어 시스템이다.

### 2) 시스템의 구성

<그림 4-2-3>의 MCL 시스템은 Application Line으로부터의 데이터를 다수의 MCL-DTU를 통해 수집하고 수집된 각각의 데이터는 RS422/485통신을 통해 DLU로 모아진다. 이렇게 모아진 데이터들은 별도의 모니터링 PC를 통해 데이터베이스 혹은 그래픽 처리된다. 한편, Application Line에 대한 명령이나 제어는 DTU상의 키패드를 통해 이루어지며, 기본적인 셋팅 상태나 기타 이상 상태 등의 디스플레이 요소들은 DTU상에 있는 LED 혹은 LCD 디스플레이 장치에 의해 표시된다.

Dual DLU 시스템은 두대의 MCL-DLU가 Main과 Slave로 연결되어 서로의 데이터를 공유하며 항상 서로의 상태를 감시하던 중 Main DLU로 부터의 이상이 발견되면 이상이 생긴 시점부터 Slave측의 DLU가 모든 Main DLU의 기능을 이어 받아 시스템이 정지되는 것을 막는 안전시스템이다. 일반적으로 PC(Personal Computer)나 기타 전자장비 및 통신장비들이 사용되는 환경이 항상 최적이라는 보장이 없으므로 이러한 안전에 대비한 기능은 매우 중요한 부분이다.

### 3) 통신 인터페이스 장치

MCL-DTU는 MCL-DLU와의 통신을 위해서 기본적으로 RS232C 및 RS422/485통신을 제공한다. 현재 널리 사용되고 있는 직렬통신 규약 RS232C는 데이터 전송거리나 전송속도 면에서 RS422/485에 비해 기능이 많이 떨어진다. 하지만, 대부분의 PC에서 RS232C를 지원하므로 기본적으로는 MCL-DTU에서도 RS422/485와 함께 RS232C통신을 제공하고 있는 것이다.

한편, RS422/485 인터페이스를 위해서는 별도의 PC측 인터페이스 카드 및 MCL-DTU측의 인터페이스 장치가 필요하게 된다. 하지만, RS422/485통신을 통해 데이터 전송에 있어 고속의 높은 신뢰성을 얻을 수 있다.

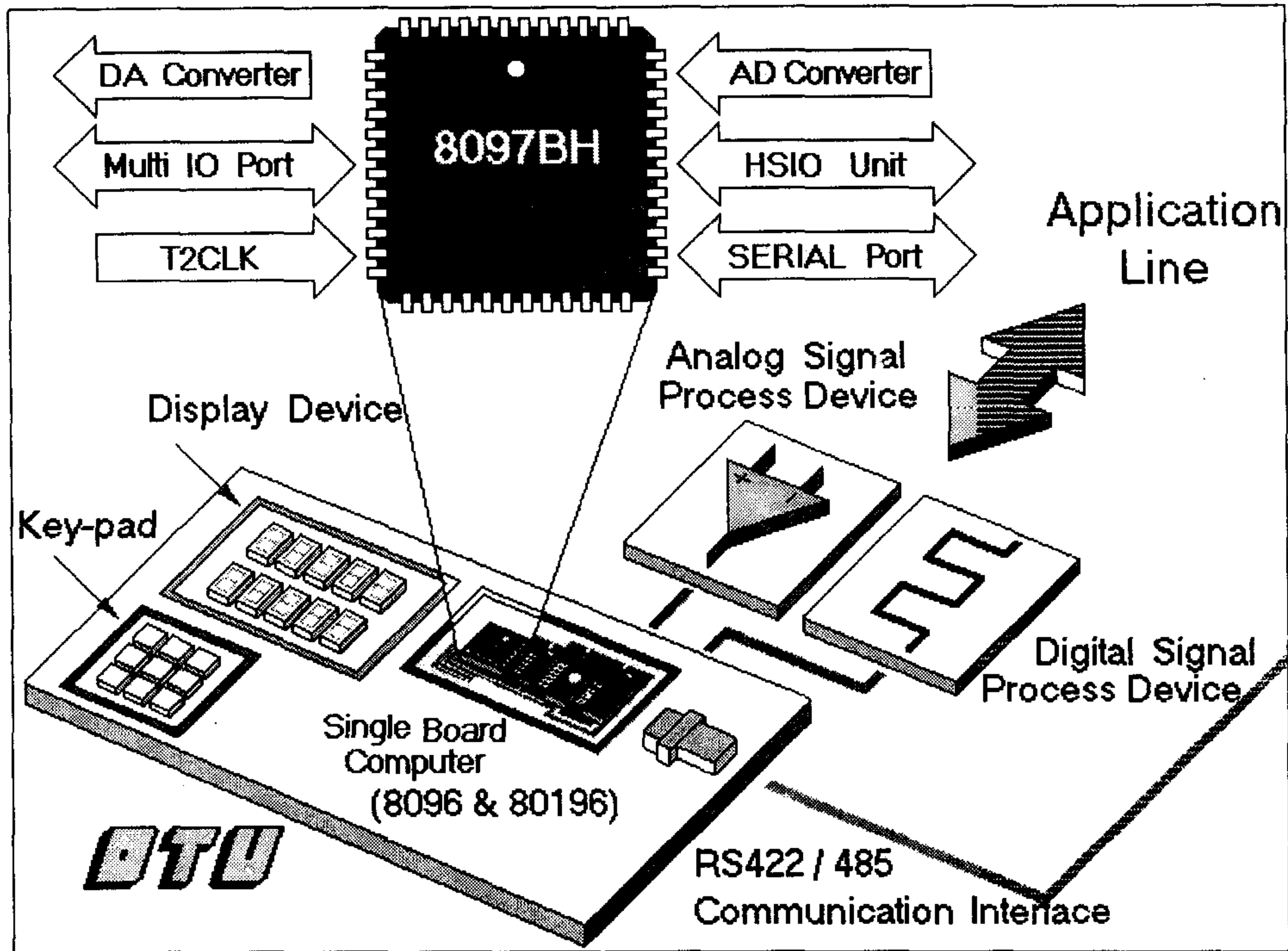
## 3. MCL-DTU 시스템

### 가. 전체적 구성

MCL-DTU는 크게 Processing Part와 Interfacing Part로 나눌 수 있다. Processing Part는 Intel사의 8비트, 16비트 Embeded Microprocessor인 8051, 8096, 8097BH, 80196 시리즈를 사용하여 개발된 싱글보드형 컴퓨터를 말한다. 그리고 Interfacing Part는 싱글보드형 컴퓨터의 입출력 장치 및 센서 디바이스, 통신 인터페이스 장치, 디지털 및 아날로그 신호 처리 장치 등 응용대상과의 직접적인 인터페이스에 관여하는 부분이다. <그림 4-2-4>은 이러한 MCL-DTU의 구성을 잘 나타내고 있으며, <표 4-2-2>는 본 연구에 주로 사용되어진 8097BH의 각 구성 성분들의 기본적인 사양을 설명하고 있다.

## 나. 싱글보드형 컴퓨터

많은 산업 분야에서 원칩 마이크로프로세서를 이용한 소규모 다기능의 제어시스템이 실현되고 있다. 또한, Embedded Controller 혹은 Embedded Microprocessor라는 정식 명칭을 가진 원칩 마이크로프로세서의 등장으로 다양한 형태의 마이컴(Microcomputer) 응용시스템 및 응용제품이 개발되었다. 초기에 등장한 4비트, 8비트급 마이크로프로세서는 기존의 시퀀서적인 제어를 좀 더 랜덤한 제어로 발전시켰으며, 대표적인 8비트 마이크로프로세서로서 Z80이 가장 많은 인기를 모았다. 지금까지도 많은 응용분야에서 Z80을 찾아볼 수 있다. 하지만, 응용시스템이 점점복잡해지면서 보다 복잡하고 정밀한 제어알고리즘이 요구되었다. 따라서 많은 처리량과 복잡한 연산을 요구하는 이러한 제어알고리즘을 실현하기에는 Z80과 같은 8비트급의 마이크로프로세서로는 많은 제약이 따랐다. 하지만, 이러한 복잡한 제어의 실현을 위해 16비트급, 32비트급의 고급 마이크로프로세서가 곧바로 개발됨으로써 이러한 하드웨어적인 제약을 해결하게 되었다. 일반적으로 우리가 알고 있는 PC(Personal Computer)내의 CPU들과는 달리 Embedded Microprocessor 칩들은 칩내에 기본적으로 I/O와 Peripheral 기능을 내장하고 있기 때문에 그 자체로서 혹은 단지 몇개의 부품만을 사용해서 간단한 제어시스템을 형성할 수 있다. 그리고 최근에는 특별한 기능만을 부각시킨 다양한 원칩 마이크로프로세서들이 개발되고 있기때문에 원하는 응용시스템에 사용될 마이크로프로세서를 선택함에 있어 그 선택폭이 한층 더 넓어졌다. 이와 더불어 PC시장을 주도해오고 있는 Intel사 역시 기존의 CPU로 사용되던 Intel 80386, 80486, Pentium 등의 칩들을 Embedded Microprocessor화 하여 고성능 제어 실현이 가능하도록 하고 있다. 또한, DSP(Digital Signal Processor)나 RISC와 같은 고속의 명령처리 및 연산이 가능한 칩이 계속해서 개발되고 있어 이러한 하드웨어적인 발전을 소프트웨어가 오히려 따라가지 못하는 실정이다.



<그림 4-2-4> MCL-DTU의 구성

<표 4-2-2> 8097BH의 하드웨어 내부구성 및 기능

사양	성능
▶ 입출력 포트	▷ 5개의 8비트 입출력 포트 ▷ 어드레스 버스 및 데이터 버스 포함
▶ 분해능	▷ 10비트 분해능을 가지는 A/D 변환기 8채널 ▷ 변환시간 22 $\mu$ s
▶ PWM출력	▷ D/A 변환기의 역할을 하는 PWM은 0 ~ 5V
▶ 통신 포트	▷ 3개의 비동기식과 1개의 동기식 통신 모드를 가지는 Serial 포트
▶ 타이머	▷ 4개의 소프트웨어 타이머
▶ 타이머 카운터	▷ 2개의 16비트 타이머 카운터
▶ 고속 입출력	▷ 고속 입출력이 가능한 HSI, HSO



이상에서 설명한 원칩 마이크로프로세서를 기초로하여 기본 I/O의 확장, Peripheral 장치의 확장, 그 밖의 각종 디바이스 인터페이스 장치의 보충 등을 통해서 하나의 싱글보드형 컴퓨터가 형성된다. 이렇게 해서 제작된 싱글보드형 컴퓨터는 마이크로프로세서의 처리능력을 충분히 활용할 수 있으며 여러 형태의 인터페이스 장치들을 사용하여 제어대상을 독립적으로 관리 및 제어할 수 있게 된다. 물론 원칩 마이크로프로세서 단독으로 처리가 가능 한 경우도 있지만, 대부분의 시스템이 복잡하고 다양한 정보 소스를 가지므로 이에 대처하기 위해서는 다른 인터페이스 장치와 함께 구성해서 사용하는 것이 훨씬 바람직하다.

#### 1) 마이크로 프로세서

MCL-DTU에서 사용되는 마이크로프로세서는 Intel사의 8096계열 중 8097BH와 80196계열의 80C196KC이다. 8097BH를 중심으로 한 기본적인 기능이나 사양은 <표 4-2-2>에 다소 소개되었다. 앞서 설명한 것과 같이 마이크로프로세서는 그 기능면에서나 성능면에서 많은 종류가 있다. 따라서 그 중에서 하나를 선택한다는 것은 매우 어려운 일이다. 그리고, 새로운 마이크로프로세서를 사용하기 위해서는 기본적인 구조에 대한 새로운 학습과 새로운 어셈블러 프로그래밍 방법을 배워야 한다는 어려움이 따른다. 물론 요즘은 프로그램 개발을 용이하게 하는 다양한 개발툴들과 C언어를 통한 호환성을 시도하고 있지만, 그래도 마이크로프로세서의 기능을 충분히 이용하고 가장 최적으로 제어하기 위해서는 자체의 어셈블러를 사용하는 것이 가장 적합하다. 이와 같은 이유에서 많은 사람들이 자신의 손에 익은 마이크로프로세서를 고집하는지 모르겠다. 그리고, 지금까지 사용해온 마이크로프로세서에 대한 노하우나 프로그램 라이브러리, 주변 인터페이스 모듈들을 한꺼번에 포기한다는 것은 상당히 어려운 일이다. 아직까지 Z80이 많은 산업 분야에서 사용되고 있는 것 또한 그러한 이유 때문일 것이다.

#### 2) MCL 시스템에 사용된 원 칩 마이크로 프로세서

MCL-DTU에서 사용되는 8097BH나 80C196KC는 다른 마이크로프로세서와는 달리 칩내

에 8채널의 A/D 변환기를 가지고 있으므로 별도의 A/D 변환 모듈을 제작할 필요가 없다. 물론 HSI(High Speed Input), HSO(High Speed Output) 등의 특수한 기능들도 있지만, 고가의 A/D 변환 모듈의 제작없이도 간단하게 A/D 변환을 할 수 있으므로 많은 산업분야 특히 모니터링 및 제어분야에서 널리 사용되고 있다. 그리고, 80C196KC는 8096계열의 상위 호환 버전인 80196계열의 마이크로프로세서로서 8097BH와 비교해서 기능이나 성능면에서 많은 향상이 있었다. 하지만, 그 기본적인 기능은 8097BH와 전체적으로 비슷하므로 그 설명을 생략한다. 두 마이크로 프로세서의 내부 블럭 구조도를 살펴보다도 상당한 유사성을 발견할 수 있을 것이다. 그러나 80C196KC는 8097BH보다 약 2배이상의 처리 속도와 작은 소비전력, 직렬 통신을 위한 전용 송수신 버퍼 및 내부 RAM영역의 확장 등 많은 장점을 지니고 있다.

8097BH는 Intel사의 16비트 마이크로프로세서인 8096계열 중의 하나로서 다목적 용도에 알맞게 설계되어 광범위한 응용 분야에서 사용되고 있다. 하드웨어적인 내부 구성 및 그 기능을 살펴보면 다음과 같다. 한편, 8097BH가 과잉사양이 되는 경우, 같은 Intel사의 8051계열의 8751H를 사용한다. 8751H는 8비트 마이크로프로세서로서 칩내에 프로그램이 가능한 ROM을 내장하고 있기 때문에 외부 메모리(ROM & RAM)를 특별한 경우가 아닌 경우는 필요로 하지 않는다. 개략적인 8751H의 하드웨어적인 내부구성 및 기능은 다음과 같다.

<표 4-2-3> 8051H의 하드웨어적인 내부구성 및 기능

사양	성능
▶입출력 핀	▷32개의 양방향성 입출력 핀
▶타이머 카운터	▷2개의 16비트 타이머/카운터
▶인터럽트	▷5개의 인터럽트
▶직렬포트	▷1개의 직렬포트

### 3) Pheripheral 장치 및 I/O의 확장

마이크로프로세서에 내장된 주변회로 및 I/O장치는 기능이 한정적이기 때문에 확장을 요구한다. 주로 마이크로프로세서의 I/O확장은 8255에 의한 병렬 포트의 확장과

기타 래치 및 버퍼 등에 의한 디지털 I/O를 보충한다.

#### 다. 호스트 컴퓨터로의 전송을 위한 통신부

PC와 MPU간의 통신을 위해서 기본적으로 RS232C 및 RS422/485 통신을 제공한다. 현재 널리 사용되고 있는 직렬통신규약인 RS232C는 데이터 전송거리나 전송속도면에서 RS422/485에 비해 기능이 많이 떨어진다. 하지만 대부분의 PC에서 RS232C를 지원하므로 프로그램 코딩은 RS232C 통신규약에 맞게 하고 전류방식의 RS422/485 통신의 원거리 통신 효과를 노릴 수 있다면 매우 유리할 것이다.

이를 위해서 본 연구팀은 RS232C/422/485 인터페이스 모듈을 개발하였다. 따라서 이 인터페이스 모듈은 별도의 PC용 인터페이스 카드가 필요없게 하고, RS422/485 통신의 원거리 및 전송의 신뢰성을 보장 받을 수 있는 장점이 있다.

이 모듈은 전송속도 및 전송거리 그리고 인터페이스의 확장 및 연결이 가장 우수한 RS485 통신의 연결법을 이용하여 설계되었다.

#### 라. 사용자 입출력 장치

응용 시스템에 대한 전체적인 모니터링이 가능하다 하더라도 실제 현장에서 그 시스템에 대한 전반적인 상태나 에러메세지를 인지하지 못한다면 비상사태 발생시 즉각적인 대응능력이 떨어지게 된다. 한편, 순간순간 사용자의 요구에 충실한 시스템이 되도록 하기 위해서는 사용자의 요구나 명령을 입력받을 수 있는 장치가 요구된다. 그리고, 아무리 무인화 되어있는 시스템이라 할지라도 현장관리자는 반드시 필요하며 이러한 현장관리자로부터의 직감적인 시스템 정보입력을 받아서 전체 시스템에 알려 줄 수 있는 입력장치가 반드시 요구되는 것이다. 이렇듯 현장관리자에게 시스템의 상태를 알려주고 센서를 통해서 알아내기 힘든 시스템의 오류나 비상사태를 입력장치를 통해 전체시스템에 알려주도록 함으로써 좀 더 유동적이고 융통성있는 시스템을 구축할 수 있게 된다.

출력장치로서 가장 많이 사용되는 것은 LED와 액정디스플레이(LCD)이다. 일반적으로 수치적인 데이터의 디스플레이용으로 많이 사용되는 LED디스플레이 장치는 가격이 싸

고, 장치를 구성하기가 간단하다. 한편, 문자나 그림과 같은 비수치 데이터를 통한 정보의 출력을 위해서는 LCD디스플레이 장치가 사용된다. LCD디스플레이 장치는 LED 디스플레이 장치에 비해서는 고가이며, 장치 구성이 까다로운 편이다. 하지만, 최근 LCD디스플레이 장치의 가격이 많이 저렴해지고, 컨트롤러 또한 장착되어 판매되는 제품이 많아 다양한 정보 전달을 위해 많이 사용되고 있다.

입력장치로는 Key-pad를 많이 사용하게 되는 데, 요즘에는 사용자 인터페이스를 강조한 그래픽 스위치나 패널이 많이 사용되고 있다. 그리고, 이러한 키입력을 위한 전용칩들이 많이 나오고 있기 때문에 사용자의 다양한 입력사양에 맞추어 입력을 받아 들일 수 있다.

#### 4. MCL-DLU 시스템

MCL-DLU는 흩어져 있는 MCL-DTU로부터의 정보를 모두 모아서 상위 시스템으로의 전송을 위한 중간단계에 위치하고 있다. 그러므로, 여러대의 MCL-DTU를 통신을 통해 전체적으로 관리하는 것이 매우 중요하다. MCL-DLU는 RS232C 혹은 RS422/485통신 인터페이스를 사용하여 멀티스캔 방식의 다중 통신을 실현하였다. 또한, MCL-DLU는 MCL-DTU로부터 모아진 데이터들을 일정시간 데이터베이스화하여 보관해 두었다가 상위 시스템의 요구가 있을 때 모든 데이터를 전송한다. 따라서, 어떤 이유로 인해 MCL-DLU의 시스템이 다운되거나 정지되었을 때는 데이터의 유실을 초래할 수 있다. 이를 방지하기 위해 MCL-DLU는 특별한 안전시스템을 갖추고 있다.

##### 가. 전체적 구성

MCL-DLU는 Intel 80386을 CPU로하는 대용량 산업용 PC로 만들어 졌다. <표 4-2-4>는 MCL-DLU의 기본적인 사양을 나타내고 있다. <표 4-2-4>에서도 알 수 있는 바와 같이 MCL-DLU는 기본적으로 80586 PC를 중심으로 디지털 및 아날로그 신호 처리 장치를 확장하고, RS422/485 인터페이스 카드를 장착하고 있다. 이 때, 확장된 신호 처리 장치는 MCL-DTU로 처리가 불가능하다고 판정되는 고속의 병렬 입출력을 GPIB나 DSP를 이용한 아날로그 신호 입출력 장치를 통해 신호 처리 능력을 향상 시킨다. 또한, 방대

한 데이터의 안전과 속도를 향상시키기 위해서 다수의 MCL-DLU를 구성하여 LAN을 형성한다. 따라서, MCL-DLU간의 데이터 공유가 가능해지면서 훨씬 더 신뢰성있는 데이터의 저장 및 전송이 이루어지게 된다.

〈표 4-2-4〉 MCL-DTU의 사양

싱글보드형 컴퓨터	CPU	Intel 8051, 8096, 8097BH, 80196 계열
	Digital Interface	기본 8비트 입출력 포트(확장 가능)
	Analog Interface	A/D 컨버터 8채널, D/A 1채널
	Timer & Counter	T2CLK에 의한 16비트 카운터
	Special 기능	고속 입출력 기능. (HSI, HSO)
	통신 인터페이스	RS232C 호환 통신 포트
Sensor Device	각종 센서에 대한 Amp.	
Display Device	LED & 그래픽 LCD 디스플레이 장치	
키패드 Device	N × M Matrix 키패드	
통신 인터페이스	RS/232C & RS422/485 지원	

#### 나. MCL-DLU의 안전 시스템

비상 시스템으로는 〈그림 4-2-5〉에 보인 것과 같은 시스템을 구성하여, 돌발적인 전원 공급 중단으로 인한 사태에 대비하기 위해 비상발전기를 가동할 수 있도록 되어 있으며, 수조의 수위가 위험 상태일 경우와 온도가 위험 상태일 경우에 경보장치 구동과 모니터링도 가능하게 된다.

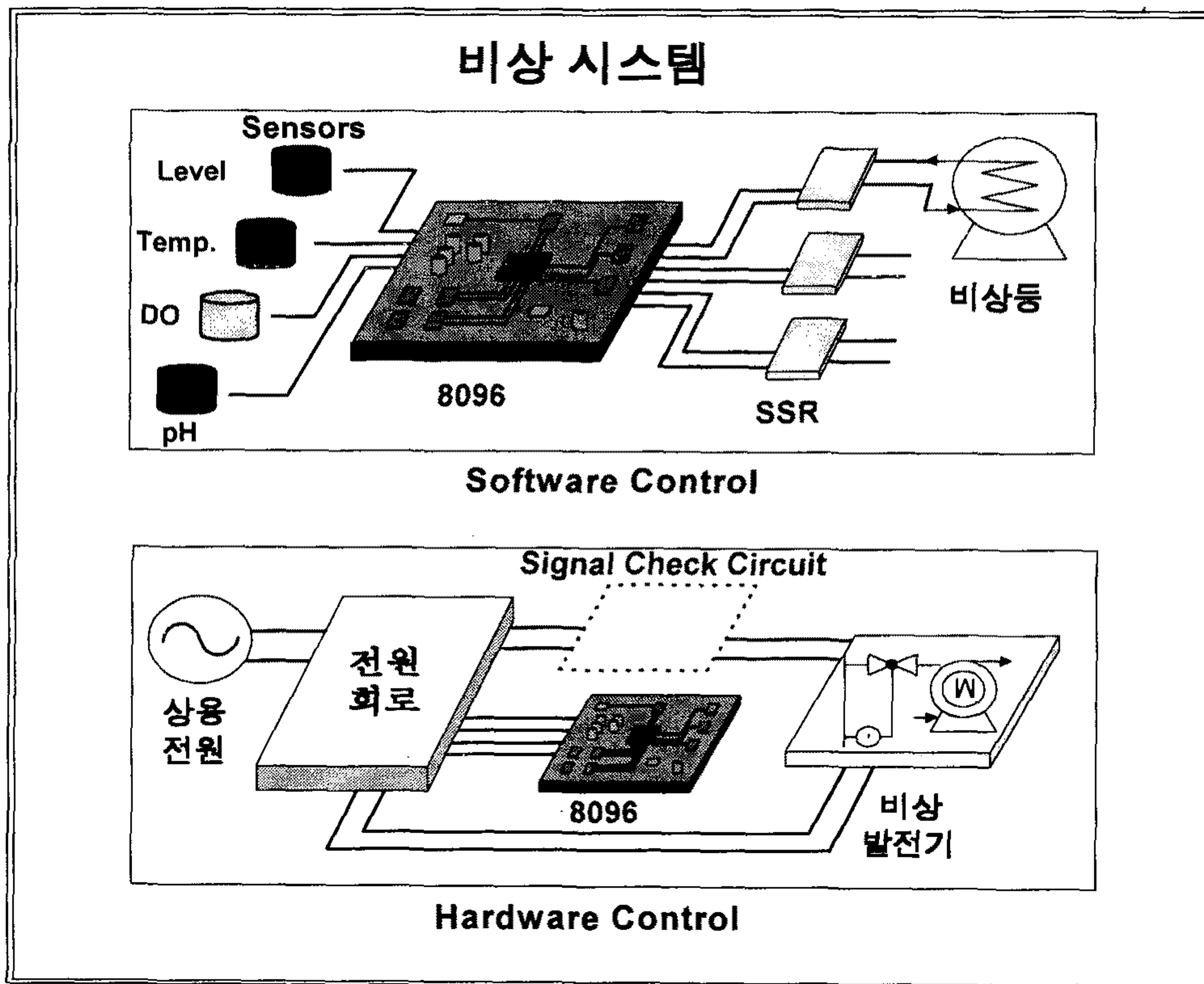
비상시스템은 모든 상태보다 먼저 비상상태를 점검하게 되어 있으며, 비상시스템의 구동은 비상발전기는 하드웨어적으로 비상등은 소프트웨어적으로 작동된다.

각 센서로부터 출력되는 신호를 8097BH MPU 내부에서 점검하여 미리 프로그램 되어 있는 비상상태(대략 20℃ < 온도 < 37℃, 0.5m < 수위 < 2m, 3 < pH < 5, < DO < 의 범위를 벗어나는 상태)일 경우 비상 경보장치가 8097BH의 포트 출력에 의한 SSR구동으로 작동된다.

비상 발전기의 구동도 마찬가지로 전원부의 앞단에서 정전압 시스템을 거친 전압이 정상적으로 들어오면 비상발전기는 정지하며 전원이 들어오지 않으면 릴레이가 동작하여 비상발전기를 구동하게 된다.

주 감시제어장치와 각 수조에 부착된 단일칩 제어기 사이에는 통신을 위한 인터페이스가 필요한데, 여기서는 RS-422/485 통신방식을 이용하였다. 일반적으로 PC에서 많이 사용되고 있는 RS-232통신의 한계성 때문에 여기서는 비교적 빠르고, 전송 길이가 길며 데이터의 신뢰성을 위해 RS-422/485 통신을 이용하고 있다.

이 통신방식에 의해 각 수조로부터 수집된 데이터를 PC로 전송하고, 주 시스템으로부터 수조의 환경설정을 위한 변수를 8097BH 마이크로 컴퓨터로 전송하는 데 사용된다.



<그림 4-2-5> 비상 시스템의 개념도

통신방식은 여러 수조를 담당하기 위해 멀티 통신을 구현하게 되는 데, 8097BH 자체에서 제공하는 멀티 통신 모드(통신 모드2, 3)를 사용하여 PC용 RS-422/485 인터페이스 카드와의 통신을 수행한다.

8097BH는 8 채널 A/D 변환 포트를 이용하여 임의의 시간마다 각종 센서(pH, 산소, 온도, 수위)등의 아날로그 값을 읽어 7 세그먼트 디스플레이에 출력한다. A/D 포트에 읽은 아날로그 값을 설정된 목표값과 비교하여 두값의 차이에 의해 모터를 구동한다. 만약 PC로부터의 통신요구가 있을 때마다 자기 고유의 어드레스 프레임에 갖는 8097BH는 시리얼 인터럽션(Serial Interruption)기능을 이용하여 각종 센서의 아날로그값을 PC쪽으로 송신하게 된다. PC에서는 수신한 데이터를 그래픽 처리하면서 실시간으로 데이터를 저장하게 된다.

응용시스템에 따라 그 기능 및 장치가 제거 될 수도 혹은 추가될 수도 있는 것이다. 따라서 과잉 사양으로 인한 경제적 손실이나 부족한 사양으로 인한 기능적 손실을 최대한 막는 것이 최적의 시스템을 구성하는 척도라 할 수 있다.

MCL-DTU는 기능별 모듈화를 통해 다양한 응용능력을 가지고 있으므로 각 모듈들간의 기능적 결합에 의해 다양한 응용시스템에의 적용이 가능하다. 즉, 응용시스템을 위한 최적의 사양을 모듈간의 결합과 제거를 통해 손쉽게 얻어 낼 수 있다.

## 5. 각종 신호 처리 장치

싱글보드형 컴퓨터가 다루게 되는 신호들의 종류는 크게 나누어 아날로그 신호와 디지털 신호로 나눌 수 있다. 따라서 신호 처리 장치 역시 아날로그 신호 처리 장치와 디지털 신호 처리 장치로 나눈다. 8097BH는 기본적으로 제공하는 ADC(Analog to Digital Converter) 8채널과 DAC(Digital to Analog Converter) 1채널을 가지고 있으며, 범용의 8비트 디지털 입출력 포트 1개를 가지고 있다. 또한, 특수한 디지털 입출력 장치로서,  $2\mu\text{sec}$ 간격의 고속 입출력이 가능한 HSI, HSO장치가 있으며, 디지털 카운팅 장치로서 16비트 타이머 & 카운터가 2개 있다. 이상은 기본적으로 마이크로프로세서가 지니고 있는 장치 및 기능 들이다. 따라서 이와같은 기본적인 기능이나 장치만 가지고는 다양한 신호의 처리가 불가능하다. 그래서 추가적인 아날로그 신호 처리 장치 및 디지털 신호 처리 장치가 요구된다. 디지털 신호 처리 장치로서 주로 사용되는 것은 8255칩을 통한 병렬 포트의 확장이다. 그리고, 아날로그 신호 처리 장치는 외부 A

DC 및 DAC의 확장 및 센서로부터의 미세한 신호를 증폭하는 증폭회로 장치 등이다.

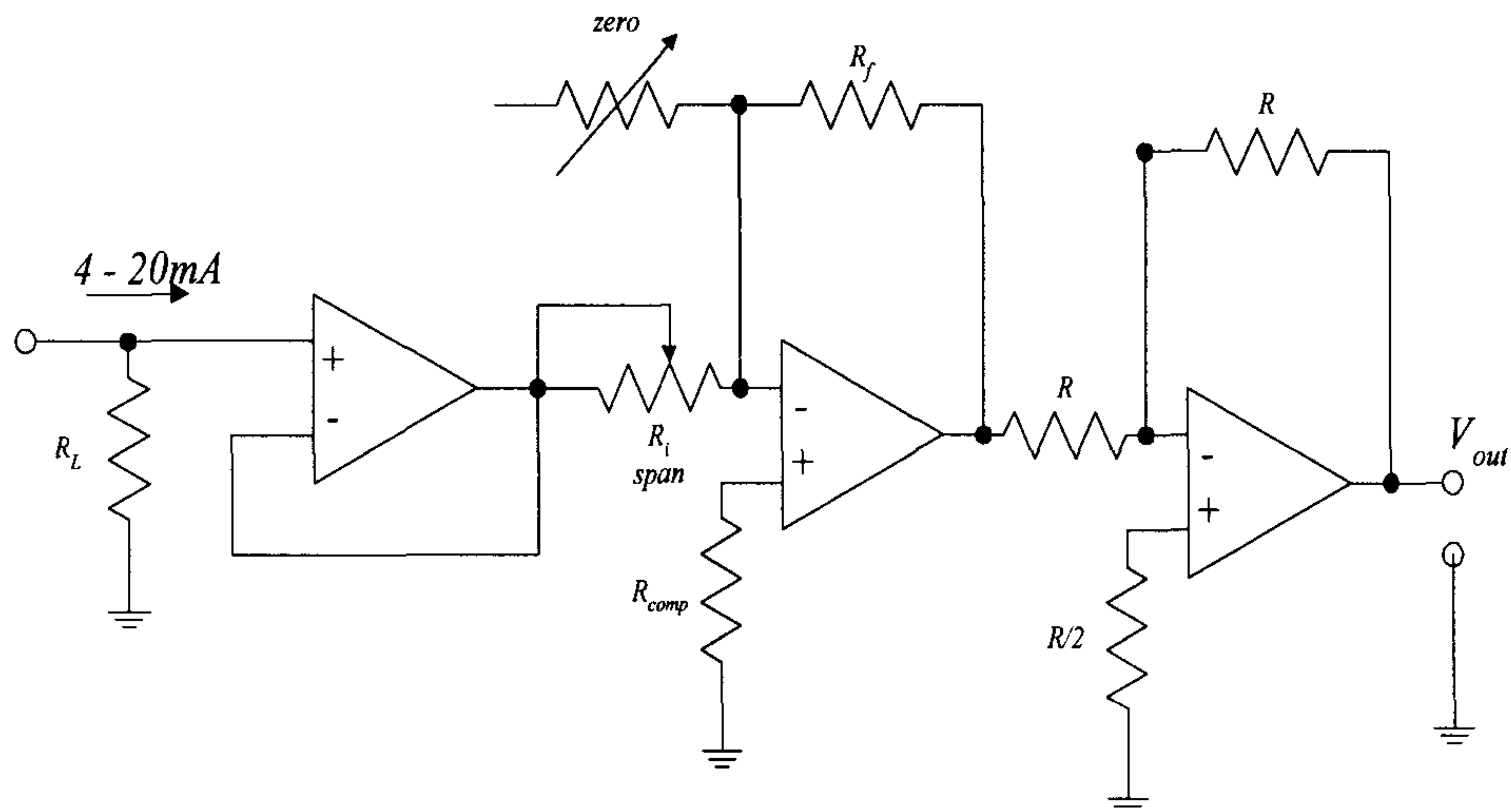
## 6. 종합관리 시스템을 위해 개발된 회로 설계

### 가. 회로설계

#### 1) 전류-전압 변환기

##### 가) 접지부하 전류-전압 변환기

전류-전압 변환기는 입력 전류를 부하저항  $R_L$ 에 의해서 전압으로 변환시킨다. <그림 4-2-6>은 접지부하의 전류-전압 변환기를 나타낸다. 이 회로는 송수신부 사이에 전류 루프 공통선이 있어야 하며, 이 공통선은 전압강하를 일으킨다.



<그림 4-2-6> 접지부하 전류-전압 변환기

이 전압강하에 의한 오차는 보정될 수 있지만, 공통선 전위차는 예측할 수 없는 결과를 발생시킬수 있다. 이러한 문제점을 플로팅 부하를 사용하여 해결할 수 있다. 플로팅 부하에서의 전류는 입력전선을 통해서 부하로 보내지며 또한 <그림 4-2-7>과 같이 루프를 형성한다. 따라서 이들 전선사이의 동위상 잡음은 부하단에서 동시에 제거된다.



나) 플로팅 전류-전압 변환기

(1) 개요 및 설계조건

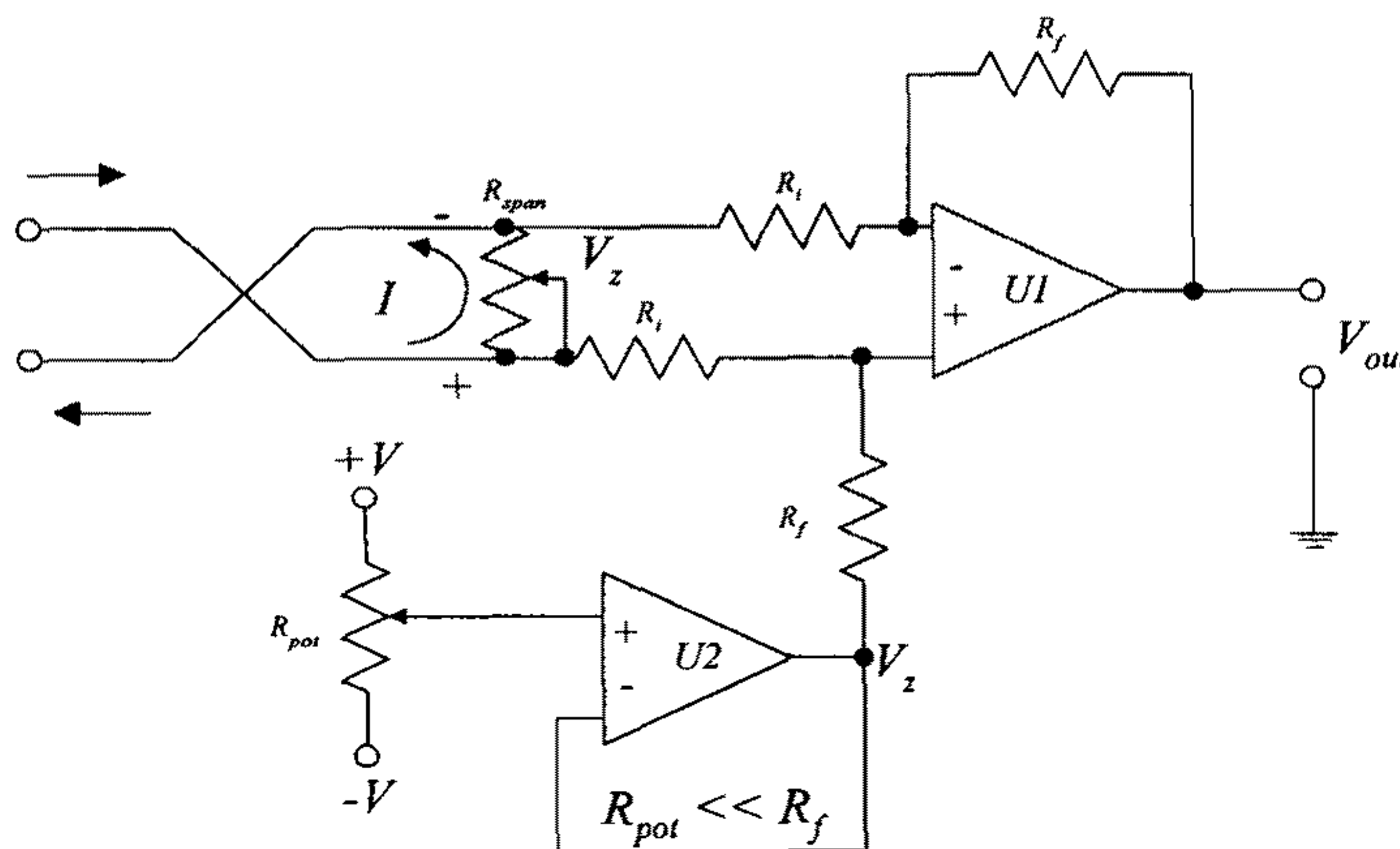
전송된 전류는 저항  $R_{span}$  양단의 전위차로 변환된다. OP 앰프 U1과 저항  $R_i$ ,  $R_f$ 는 차동 증폭기로 작용한다. 이 때 부하오차를 방지하기 위해서, 저항은 조건을 만족하여야 한다.

$$R_i \gg R_{span}$$

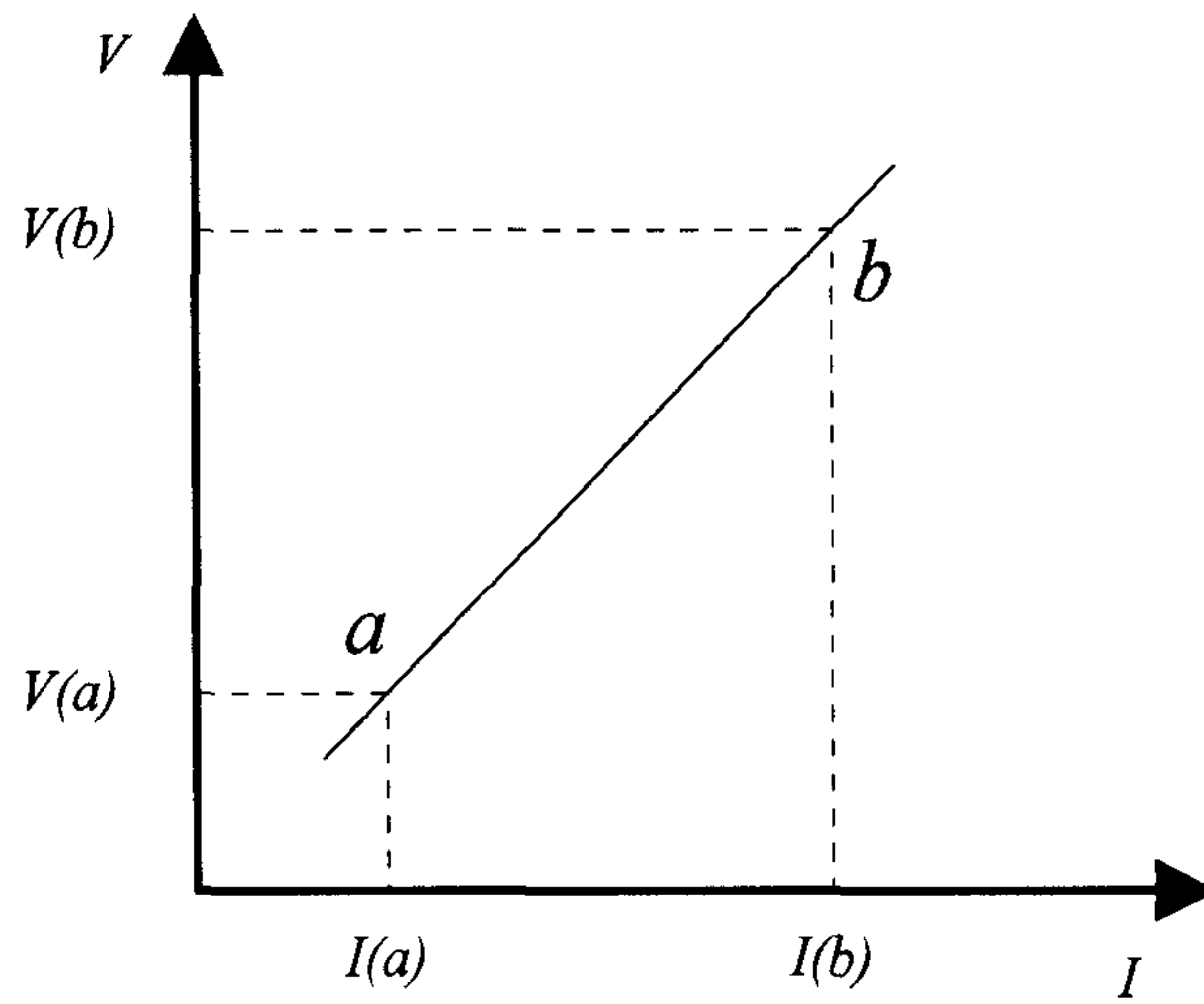
출력전압  $V_{out}$ 은 다음과 같다.

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i} IR_{span} + V_z$$

따라서 증폭기의 출력전압은 전류  $I$ , 제로 오프셋 전압  $V_z$ , 이득  $R_i / R_f$ 와 플로팅 저항  $R_{span}$ 에 의해서 정해진다.



<그림 4-2-7> 플로팅 전류-전압 변환기



<그림 4-2-8> 전류-전압 변환기의 특성곡선

(2) 정확한  $R_{span}$  을 정하는 방법

정확한  $R_{span}$  을 선택하기 위해서, <그림 4-2-8>에서  $a$ 점의 전압  $V(a)$ 는

$$V(a) = \frac{R_f}{R_i} I(a)R_{span} + V_z$$

$b$ 점의 전압  $V(b)$ 는 다음과 같다.

$$V(b) = \frac{R_f}{R_i} I(b)R_{span} + V_z$$

$b$ 점과  $a$ 점과의 전위차  $V(b) - V(a)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V(b) - V(a) &= \frac{R_f}{R_i} I(b)R_{span} - \frac{R_f}{R_i} I(a)R_{span} \\ &= \frac{R_f}{R_i} R_{span} [I(b) - I(a)] \end{aligned}$$

따라서 저항  $R_{span}$  과 전압  $V_z$ 는 다음 식과 같다.

$$R_{span} = \frac{V(b) - V(a)}{(R_f/R_i)[I(b) - I(a)]}$$

$$V_z = V(a) - \frac{R_f}{R_i} I(a) R_{span}$$

나. 실제 설계 과정

1) 조건

4 mA에서 20 mA 전류신호를 0V에서 5V까지 전압신호로 변환시킬 수 있는 플로팅 전류-전압 변환기를 설계한다.

2) 과정

<그림 4-2-8>의 특성곡선에서,

$$\begin{aligned} I(a) &= 4mA, & V(a) &= 0V \\ I(b) &= 20mA, & V(b) &= 5V \end{aligned}$$

$R_f / R_i = 10$ 으로 하면,

$$R_{span} = \frac{5V - 0V}{(10)(20mA - 4mA)} = 31.25\Omega$$

따라서, 15Ω 고정저항을 갖는 33Ω 멀티 턴 퍼텐쇼미터를 선정한다.

한편,  $R_i \gg R_{span}$  이므로  $R_i = 2.2k\Omega$ 으로 결정한다. 이것을 토대로  $R_f, V_z$ 를 계산 하면 아래와 같은 결과가 나온다.

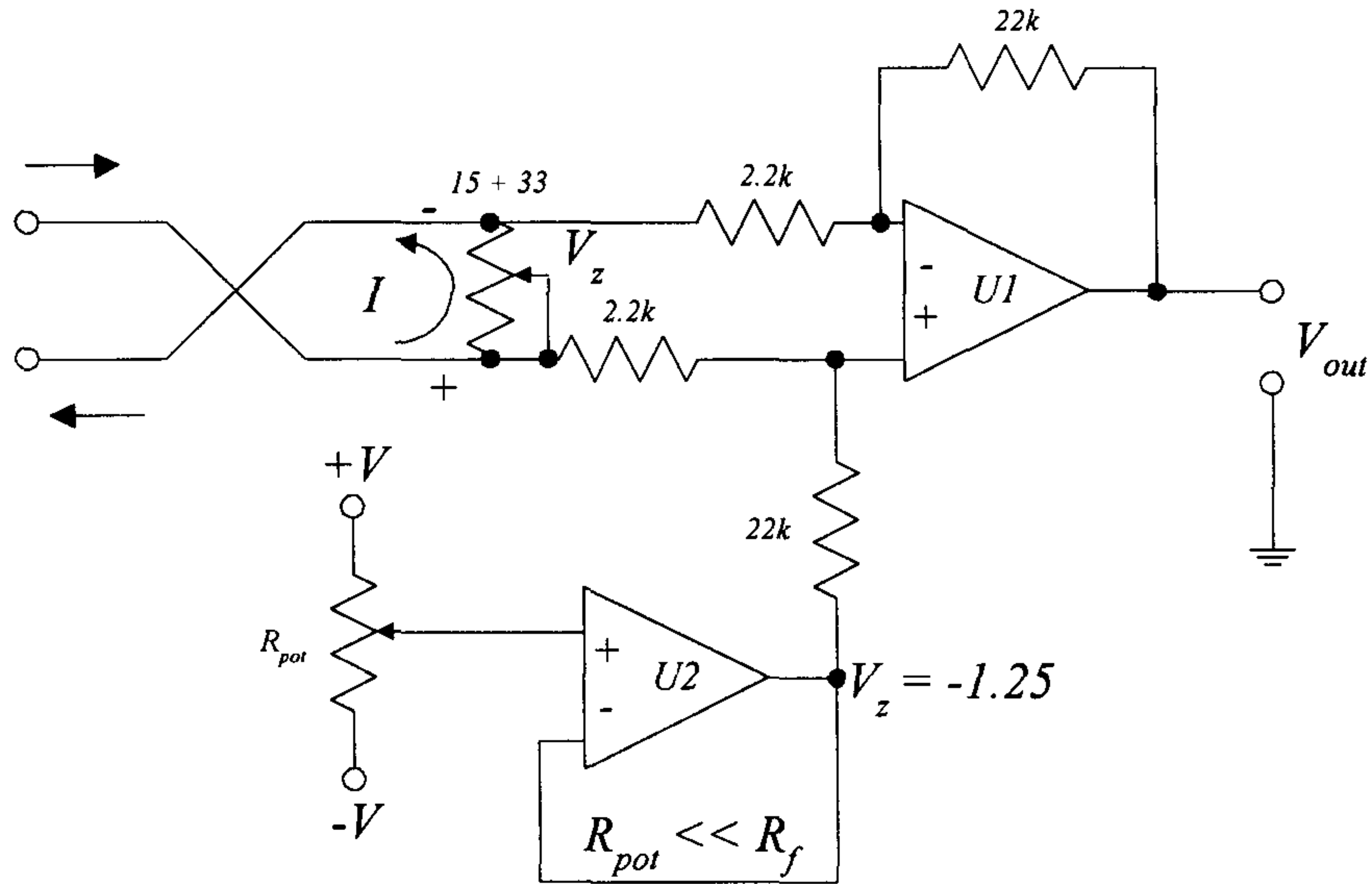
$$\begin{aligned} \frac{R_f}{R_i} &= 10 \\ R_f &= 10R_i = 22k\Omega \\ V_z &= 0V - \frac{22k\Omega}{2.2k\Omega} (4mA)(31.25\Omega) = -1.25V \end{aligned}$$

위의 계산값에 의해 설계된 전류-전압 변환기는 <그림 4-2-9>와 같이 나타낸다.

다. 릴레이 구동회로

1) 전자 회로에 있어서의 릴레이 사용법

가) 접속방법



<그림 4-2-9> 실제 플로팅 전압-전류 변환 계산식

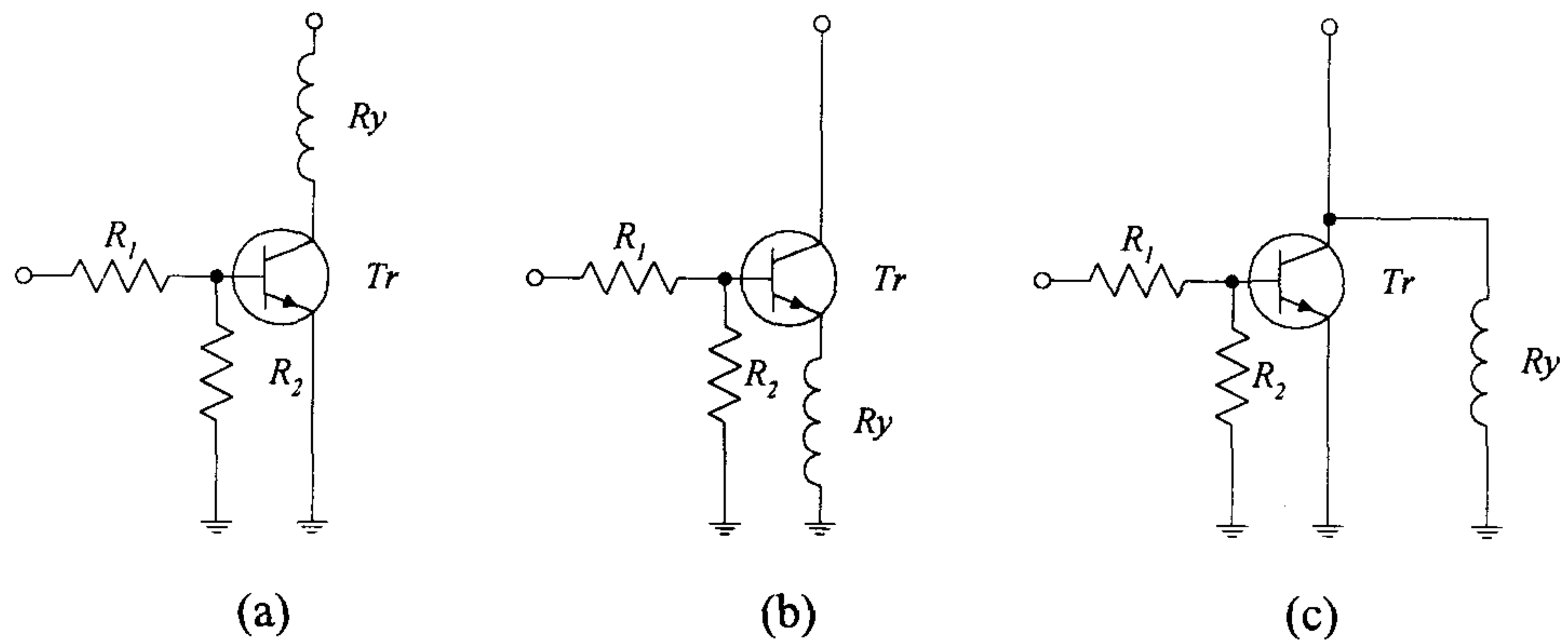
릴레이에 인가하는 전압은 항상 정격전압을 정확하게 걸고 또 차단시에는 완전히 0 전압으로 해두는 것이 트러블 없는 사용 방법이다.

<그림 4-2-10>에서 (a)의 방법이 가장 일반적이고 동작이 안정되어 있는 방법이다. (b)는 동작상 부득이한 경우에 사용될 수 있으나, 릴레이에 완전히 전압이 인가되지 않고 트랜지스터도 완전히 도통되지 않는 불안이 있다. (c)는 회로 전체의 소비전력이 커지고 릴레이 전압도 배려할 필요가 있다.

#### 나) 릴레이 구동회로의 원리

솔레노이드, 전자 브레이크, 전자 밸브도 코일에 흐리는 전류를 ON/OFF함으로써 동작하기 때문에, 전기회로는 거의 같은 사고방식으로 설계할 수 있다.

<그림 4-2-10>은 트랜지스터에 의한 릴레이의 구동회로이다. 제어 신호 입력이 "H" 일 일때, 74HC04의 출력은 "L"(0.26~0.4V)로 된다. 이때, <그림 4-2-11>의 트랜지스터의 베이스 전류  $I_b$ 는 0으로 되기 때문에 컬렉터 전류  $I_c$ 는 흐르지 않는다.



〈그림 4-2-10〉 트랜지스터에 의한 릴레이 구동 방법의 종류  
 (a) 컬렉터 접속 (b) 에미터 접속 (c) 병렬 접속

다음에 제어신호가 “L”로 되면 74HC04의 출력은 “H”로 되고 베이스 전류  $I_b$ 는 아래와 같이 흐르게 된다. 이 때 트랜지스터의 컬렉터-에미터간에는, 컬렉터 전류  $I_C = \beta \times I_b$ 로 흐른다. 여기서  $\beta$ 는 전류증폭율이라 하여,  $h_{FE}$ 로 표시되어 있는 파라미터이다.

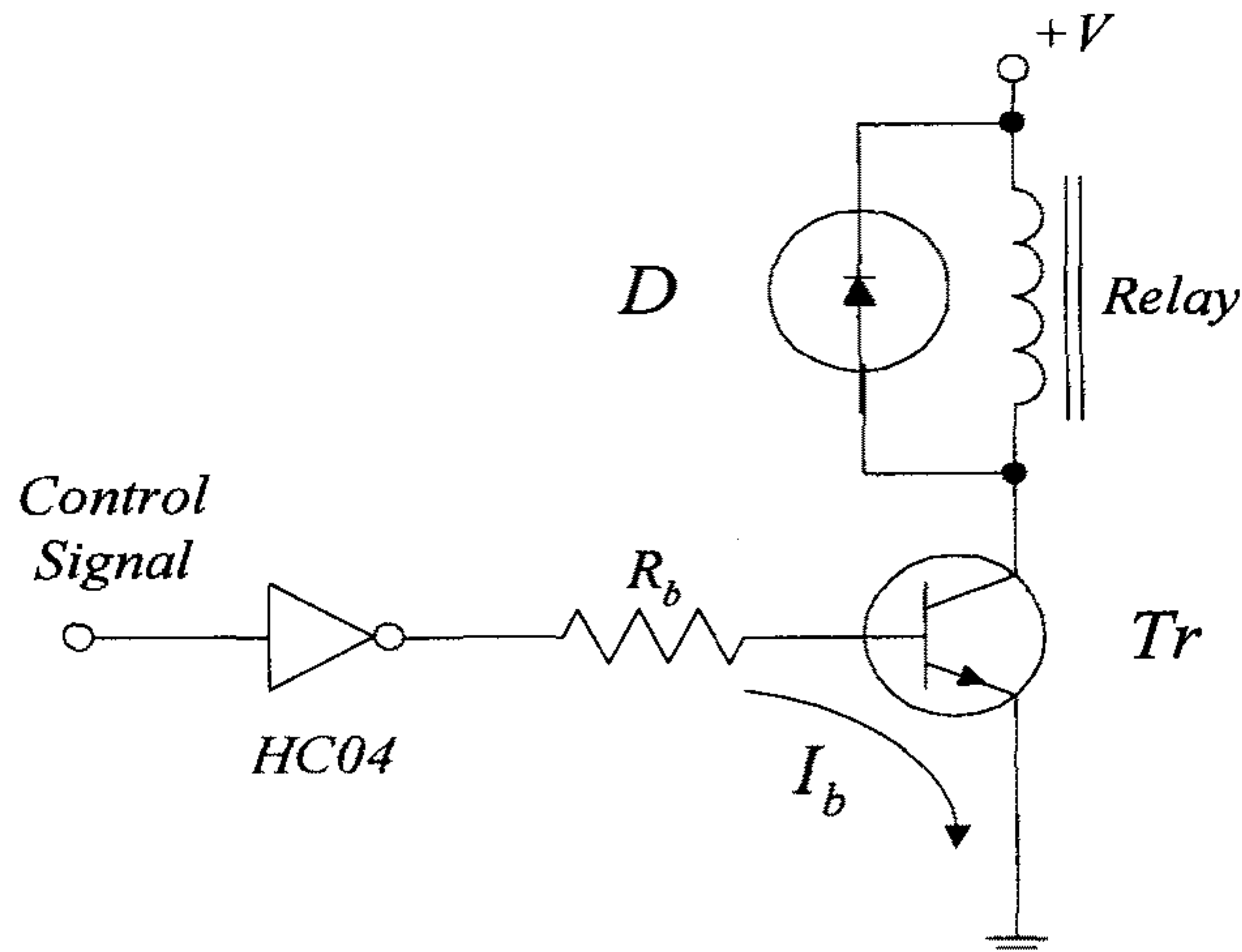
이 값은 트랜지스터의 소자마다 다르지만 〈그림 4-2-11〉과 같은 스위칭 회로에서는 트랜지스터를 포화영역에서 사용하므로  $\beta=10$ 으로 계산하는 것이 일반적이다. 74HC04는 출력이 “H”일때, 4.0mA~5.2mA정도 이므로 컬렉터 전류  $I_C$ 는 40mA~52mA정도밖에 흘리지 못한다.

이 문제점을 해결하기 위해 〈그림 4-2-11〉과 같은 에미터 접속을 이용한다. 참고로 다링턴 접속은 즉시 불량으로 연결되지 않지만 장기간 또는 갯수가 많아지면 Tr2의 포화전압(0.7V)이 트러블로 연결된다. 하지만 에미터 접속은 Tr2의 포화전압이 0.1V가 되므로 트러블을 방지할 수 있으며, Tr1도 다링턴 접속에서 처럼 고성능의 트랜지스터가 필요없이 신호용이면 충분하다.

$$I_b = (V_H - V_{BE})R_b$$

여기서,

$V_H$  : 74HC04의 High 상태 출력  
 $V_{BE}$  : 트랜지스터의 베이스-이미터 포화 전압  
 $R_b$  : 베이스 저항



<그림 4-2-11> 릴레이 구동 회로의 원리

2) 설계 포인트

가) 컬렉터-이미터 전압  $V_{CE0}$

트랜지스터의 컬렉터-이미터간에 인가할 수 있는 최대전압을  $V_{CE0}$ 로 나타낸다. 어떤 트랜지스터를 사용할 경우 그 트랜지스터의  $V_{CE0}$  전압 이상으로 릴레이를 구동할 수 없다. 그것은 유도성 부하를 OFF로 했을 때, 코일의 양단에 기전력이 발생하기 때문이다. 이 기전력은 전원 전압의 수배에 이른다. <그림 4-2-12>에 릴레이에 병렬로 연결되어 있는 다이오드는 이 기전력을 바이패스시키기 위한 것으로 플라이휠 다이오드라 부르고 있다. 실제 설계에서는  $V_{CE0}$ 가 전원 전압의 2배가 되는 트랜지스터를 사용하면 된다.

나) 컬렉터 전류  $I_C$

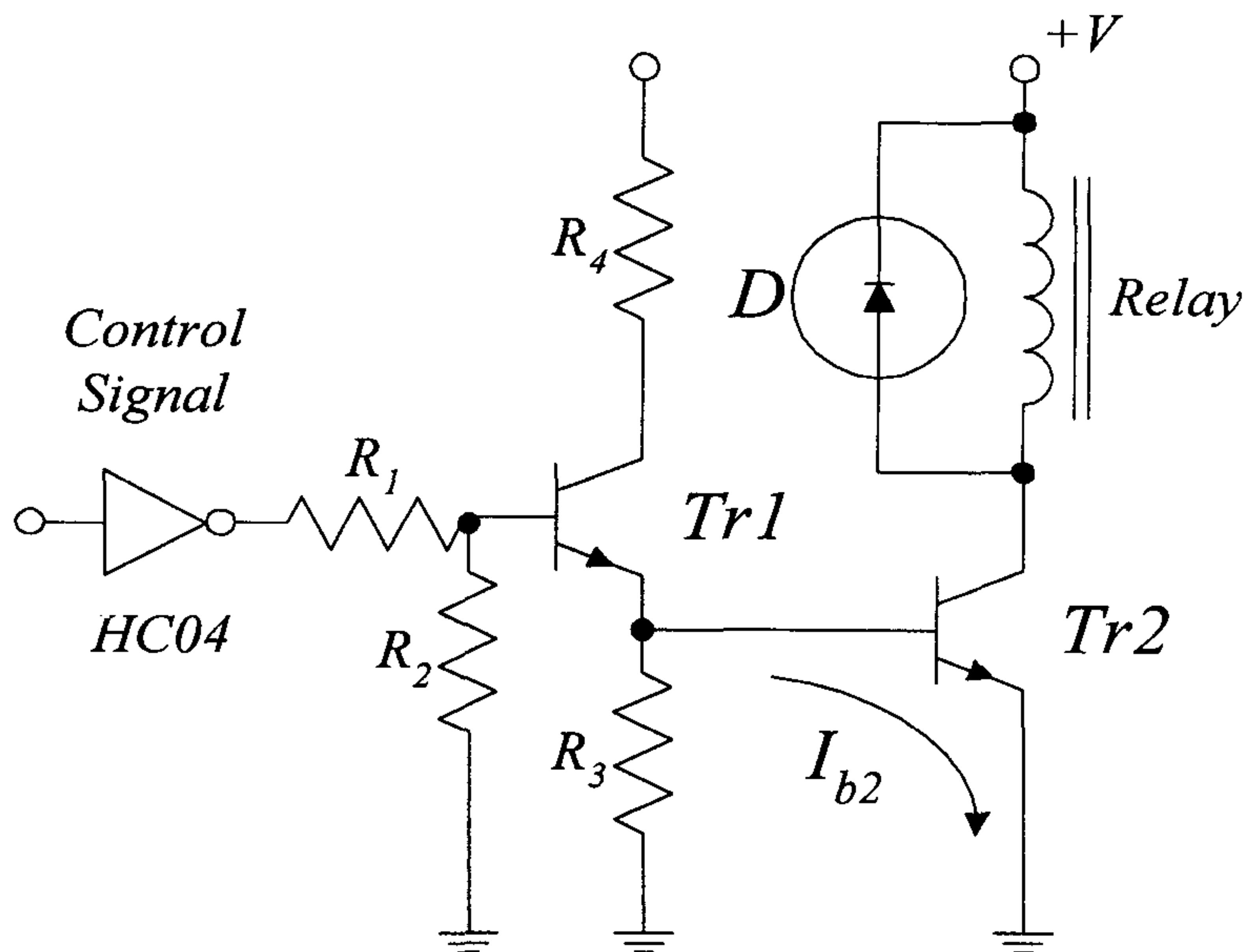
코일에 흐르는 전류는 트랜지스터 정격의 컬렉터 전류를 넘어서는 안된다.

다) 컬렉터-이미터 포화전압  $V_{CE0(sat)}$

$V_{CE0(sat)}$  는 트랜지스터를 완전히 ON 상태로 했을 때의 컬렉터-이미터 간의 전압으로 작을수록 구동 효율이 좋아진다. 뿐만 아니라 회로의 수명을 늘려 주고 안정도를 증가시킨다.

라. 설계 순서

- 1) 릴레이 선정 : 접점의 전압 및 전류, 접점수, 수명, 동작 시간, 치수 등으로 형식을 결정
- 2) 릴레이 전류 결정 : 릴레이의 구동 전력을 결정하여 코일의 저항, 전류를 구한다.
- 3) 트랜지스터 선정 : 전력, 전압, 전류 측면에서 트랜지스터를 결정한다.
- 4) 각 소자값 결정 : '2)'에서 얻어진 전압, 전류를 형성시킬 수 있도록 소자값들을 결정한다.



<그림 4-2-12> 실제 릴레이 구동 회로

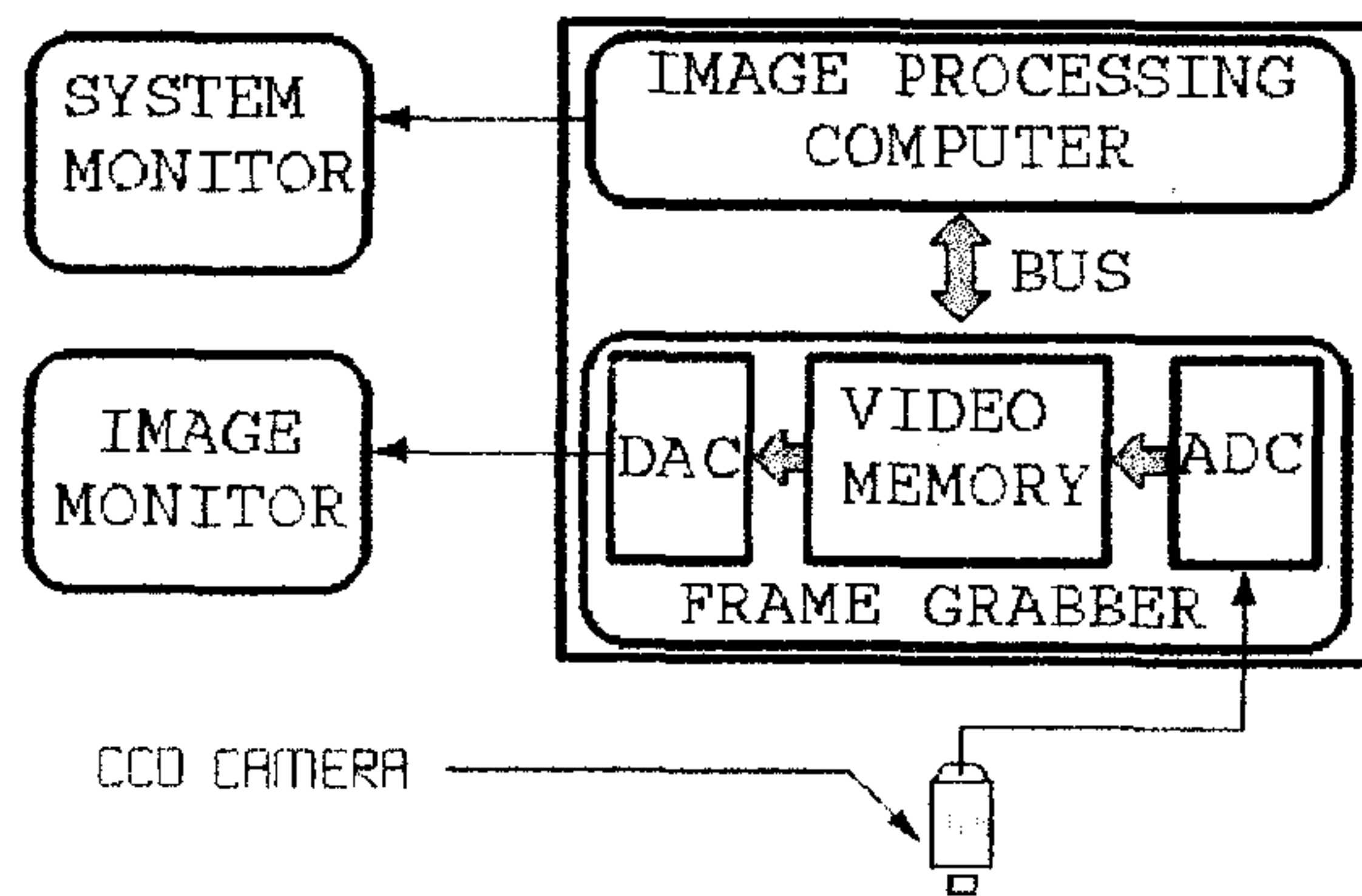
마. 설계 결과

실제 설계에서는 구하기 쉬운 트랜지스터를 위주로 하였다. Tr1은 2SC1815를 Tr2는

TIP41C를 사용하였으며, 각 저항들은 모두 5% 일반 저항으로 하였다. 제작시 어려운 점은 2SC1815의  $h_{FE}$ 값이 각 소자마다 달라서 탁상에서 계산한 저항값과 실제 사용한 저항값이 다르게 되며, 여러 개의 릴레이를 구동하기 위해 구동 회로를 여러개 만들게 되면 개별 소자 부품수의 증가로 PCB 제작도 귀찮아지는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, ULN2803 Driver IC를 사용하였다. 이 칩을 이용해서 릴레이 구동 회로를 설계하였다. ULN2803은 입력이 TTL이나 CMOS(5V) 논리 입력이기 때문에 마이크로 프로세서와의 인터페이스가 쉽고,  $I_c$ 가 최대 500 mA이므로 본 시스템에서 선정된 릴레이의 구동 전류 100 mA를 충분히 소화시킬 수 있다. 내부에 플라이휠 다이오드가 내장되어 있어 회로가 아주 간단해진다.

#### 7. CCD 카메라 감시 시스템

CCD 카메라를 이용한 영상 시스템은 단순화면 출력의 개념을 넘어 기존 센서의 한계를 극복하기 위해 많은 개발이 이루어져 왔으며, 실제 적용되는 분야도 서서히 증가되고 있는 추세다.



<그림 4-2-13> 화상처리 시스템의 개념도

본 영상 시스템은 CCD 카메라를 이용하여 사육 어류와 수조의 상태를 관찰하기 위해 이용되어지고 있다. 본 시스템의 개념도를 보이면 <그림 4-2-13>과 같다.

모니터에서는 카메라의 영상을 선택적으로 볼 수 있도록 프로그램 되었고, 또한, 카



메라의 방향을 자체 시스템에 의해 각 수조의 모든 부분을 볼 수 있으며, 모니터에서는 수조의 환경이나 어류의 모습을 모두 볼 수 있다.

이와 같은 영상처리 시스템을 도입함으로써 양어장 환경의 좀 더 현실적인 관찰이 가능하고, 센서로서는 측정하기 힘든 물고기의 상태 및 거동 혹은 먹이의 과다 투입 및 그로 인한 수조의 탁도 등을 측정해 낼 수 있는 장점이 있다.

#### 8. 자동 급이 시스템

고밀도 양식어장의 사육조는 생물의 양에 비하여 면적이 좁기 때문에 인위적인 환경 관리가 쉽고 목적에 따라 생산성 증대를 위한 수온 등 일부 환경요인의 조절이 가능하여 자연환경하에서는 양식이 불가능하거나 생산성이 낮은 생물을 대량 생산할 수 있다는 잇점이 있어 제주도를 비롯한 남해, 동해안 연안에 산재되어 있다. 이러한 고밀도 양식장을 대상으로 하여 수조내의 수온변화, 염분의 농도, 용존산소량 등을 모니터링하여 그 환경을 알맞게 조절해 주는 양식어장용 자동화 시스템이 부경대학교의 해양산업개발연구소(본 연구실 추축)를 중심으로 활발히 연구되어지고 있다.

기존의 양어장 시스템과 자동화된 시스템을 불문하고 어류의 알맞은 성장을 위해서는 적당한 량의 먹이공급이 필수적이라 하겠다. 기존 양식어장에서의 먹이 공급 상황을 살펴보면, 아직 많은곳에서 사람의 손을 필요로 하고 있는 실정이며, 자동화가 어느 정도 이루어진 양식어장이라 할지라도 조잡한 형태의 용기에 모터를 부착하여 하루 평균 두번씩, 타이머에 의해서 일정 시간 동안 SSR을 구동하여 모터를 구동하여서 먹이를 공급하고 있다. 타이머를 이용한 급이 장치의 경우는 계절 및 어류의 성장에 따라서 다시 세팅이 이루어져야 하고, 실질적으로 먹이의 양이 얼마나 투입되는가를 정확히 모르기 때문에 오랫동안 숙련되고 어류에 대한 지식이 풍부한 사람들이 먹이가 공급되는 동안 항상 지켜봐야 되고 모자라는 경우 더 보충을 해 주어야만 함으로 자동화의 이점으로 항상 대두되는 인건비 절감이라든지 작업자의 작업 효율 향상 등을 기대할 수 없는 실정이다. 따라서 양어장 자동화가 활발히 추진되고 있는 이때 계절 및 어류의 성장에 맞추어 정확히 먹이의 양을 과학적으로 공급할 수 있는 자동

급이 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

#### 가. 사료의 형태 및 저장

<표 4-2-5>는 건식 및 습식 사료의 상대적 이점과 단점에 대해 요약하여 정리한 것이며, 건식 사료(DP; dry pellet)는 습식이나 잡어에 비해 많은 장점을 가지고 있다.

DP 사료는 수중에서 대단히 안정되어 있으므로 수질의 오염을 저감시키며 대부분의 양식 어종에 대한 사료로 사용될 수 있기 때문이다. 그러나 DP 사료는 그 생산 공정에 투입되는 여러 가지 비용으로 약 1~3%의 비용이 추가된다.

저장 중 사료의 질적 저하를 최소화하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

- 1) 사료를 저장 용기에 넣기 전에 어떤 해로운 물질은 반드시 제거시켜야 하며 또한 오염을 막기 위해 소독을 실시해야 한다.
- 2) 사료는 팩에다 저장하며 땅위 적당한 높이에 저장해야 한다.
- 3) 저장 장소 내의 환기가 최대화되어야 하며 온도는 가능한 낮게 유지되어야 한다. 함석 종류는 더운 기후에서의 건축 자재로 사용해서는 안된다.
- 4) 쥐 종류의 동물이나 곤충들로부터 피해를 방지할 수 있어야 하며, 특히 열대 지방에서는 2중형으로 구조물을 건축함으로써 여러 가지 해충들로부터 피해를 방지할 수 있다
- 5) 사료는 주기적으로 검사되어야 하며, 색깔의 변화, 덩어리의 상태, 부스러지기 쉬운 상태 또는 냄새 등은 손상의 척도로서 이용된다. 수분 함량도 조사되어야 한다. DP 사료의 수분 함량은 약 10% 근처여야 하며, 만일 이 함량이 13~16% 정도로 증가하면, 손상을 의심해야만 한다. 곤충 및 쥐 종류 등은 항상 관찰되어야 한다. 어떤 오염된 재료는 사용되어서는 안되며 가능한 한 빨리 분리시켜야 하고 소독이 실시되어야 한다.

MP와 DP 사료의 수명 및 저장 기간을 <표4-2-6>에 들었다.

〈표 4-2-5〉 건식 및 습식 사료의 상대적 이점과 단점에 대한 요약

사료 형태	혼합물	이점	단점
잡어	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷잡어종,</li> <li>▷어류 통조림</li> <li>▷공정으로부터 찌꺼기</li> <li>▷활어종</li> <li>▷냉동어</li> <li>▷다진 어육</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷저렴한 가격</li> <li>▷양식어가 좋아한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷높은 습기 함유</li> <li>▷운송 보관비 고가</li> <li>▷오염도가 높다</li> <li>▷독성을 가진 어종도 있다.</li> <li>▷양식 어종의 색이 문제</li> </ul>
습식 사료	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷비타민, 무기질, 단백질을 함유한 먹이와 잡어를 혼합한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷개선된 영양소</li> <li>▷잡어에 비해 높은 수질 보호성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷영양의 균형을 위해 정기적으로 잡어의 공급이 필요</li> <li>▷보관이 곤란</li> <li>▷급이시스템의 선택을 제한됨</li> </ul>
건식 사료	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷비타민, 무기질, 단백질을 함유한 먹이와 잡어를 혼합한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷수질오염이 작다</li> <li>▷안정된 품질</li> <li>▷보관이 용이</li> <li>▷상대적으로 낮은 운송비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷고가</li> <li>▷어종에 따라서는 비기호적이다.</li> <li>▷영양의 균형을 위해 정기적으로 잡어의 공급이 필요</li> </ul>

오염된 먹이를 먹고 자란 어류는 이상한 행동을 보일 뿐만 아니라 식욕의 저하, 성장의 둔화 등을 보인다.

〈표 4-2-6〉 사료 형태에 따른 저장 기간

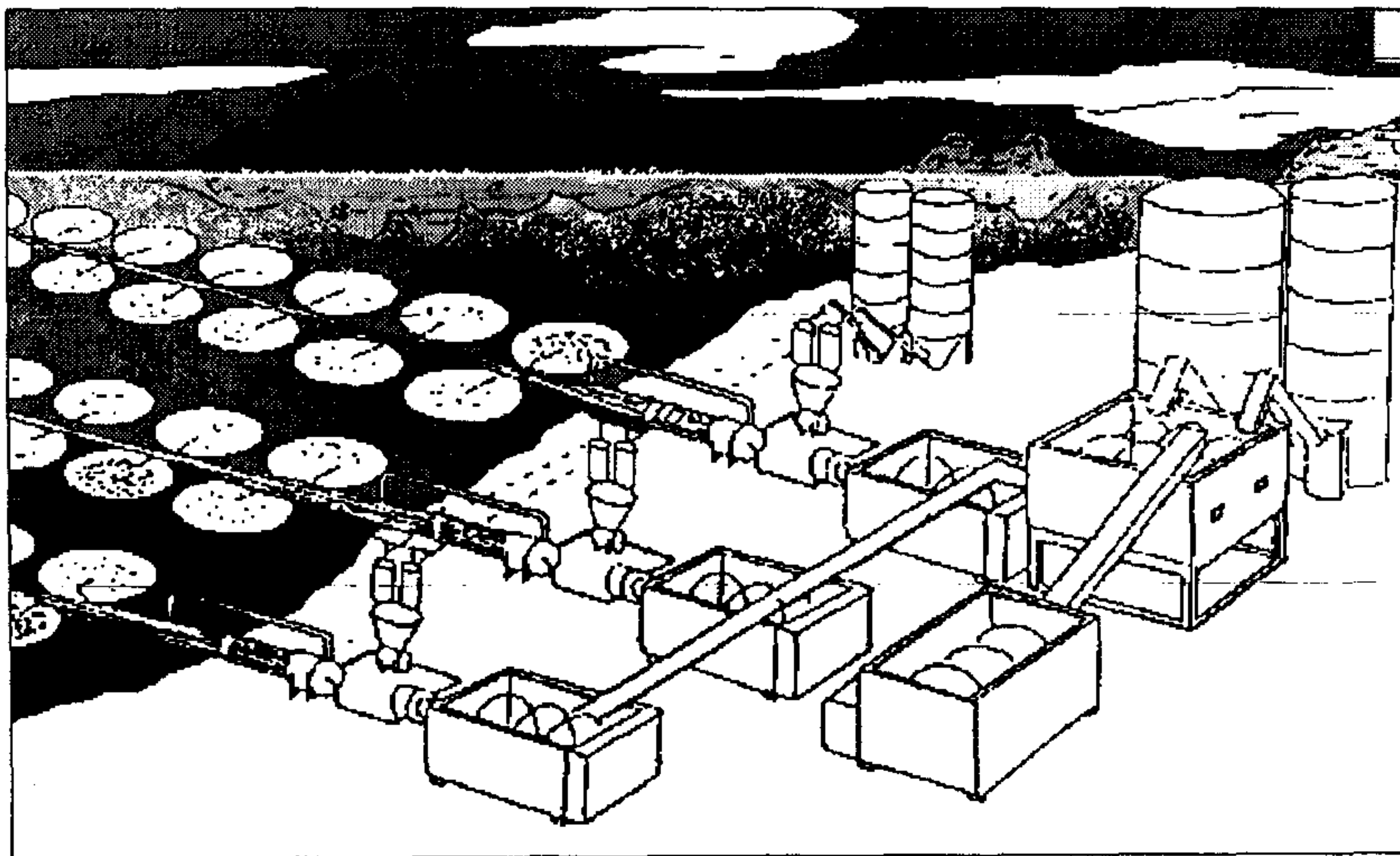
사료 형태	저장 기간
건조 사료류 (예: 쌀, 밀기울, 밀)	습기 함유량이 10% 이하이고 재료가 서늘하고 건조하고 해충이 없는 환경에서 저장된다면, 수 개월(열대 지방)~수십 개월(온대 지방) 저장될 수 있다.
잡어(냉동)	고지방 함유: -20°C에서 3달 이상 저지방 함유: -20°C에서 1년
저장 사료 (silage)	저지방이고 충분한 항산화제를 포함한다면 6~8달
펠렛형 상업용 사료	온대지방에서는 보통 요구 이상 충분히 높은 수준의 항산화제와 비타민을 포함시킨다. 만약 이것들이 깨끗하고 건조한 상태에서 저장된다면 먹이는 9개월 이상 안전할 것이다 열대지방에서는 앞에서와 같은 농도의 항산화제 혹은 비타민을 포함할 필요는 없다. 그러나 이것은 단지 2~3개월 동안만 보존되어야 한다.

나. 먹이 공급

기계적인 공급기는 최근 대부분 대규모 노동집약적인 양어장에서 노동 절약의 측면에서, 손으로 직접 공급하는 방식을 주로 대신해 왔다. 어류의 먹이 요구에 따라 어류 스스로 장치의 먹이 토출 출구봉을 머리 부위로 가볍게 접촉함으로써 먹이가 자동적으로 공급되게 하는 요구식 사료 공급기(demand feeder)와 일정 시간마다 정해진 양의 먹이를 자동으로 공급하는 조절식 사료 공급기(controlled feeder) 같은 두 가지의 기본적인 형이 있다. 해상용 가두리에서 사용되고 있는 먹이 공급기의 형태는 육상에서 사용되고 있는 먹이 공급기와 실제적으로 동일하다.

요구식 사료 공급기는 값이 매우 싸고 먹이가 24시간 내내 어류에게 공급될 수 있도록 할 수 있으며, 어류가 원할 때는 스스로 언제든지 섭취할 수 있다.

조절식 사료 공급기를 사용하는 상대적 장점은, 사료 전환 효율(FCRs; food conversion ratio)의 향상, 생산량의 증가, 수질의 개선 및 질병 문제를 개선한다는 데 있다. 그러나 이러한 사실들은 엄격히 실험되지 않았으나 특별한 종류의 어류나 환경 및 양식 방법에 적용하고 있다. 요구식 사료 공급기는 메기, 배스, 틸라피아 및 무지개 송어 등에는 적용되어 그 유효성이 입증되고 있지만, 아직까지 다른 종류의 어류에 대해서 광범위하게 실험되지 못하고 있다. DP(dry pellet)형 자동 공급기는 담수 양어장에 설치되는 가장 일반적인 형이다. 그 기본적 구성 요소로써, 정해진 일정 시간마다 일정량의 펠렛이 방출되거나 분사되게 하는 트리거형 장치를 플라스틱형 호퍼에 갖추고 있다. 보통 이와 같은 형태의 먹이 공급기는 재충전할 수 있는 배터리나 압축공기 분사 방식에 의해 동작된다. 후자의 형태에 대한 개념도를 그림으로 보이면 <그림 4-2-13a>과 같다.



<그림 4-2-13a> 컴퓨터 제어형 자동 급이 장치

전원 공급 시스템으로써, 육상용일 경우는 큰 문제가 되지 않지만, 해상용일 경우, 전기적 공급 시스템은 여러 개의 먹이 공급기와 결합되어 하나의 장치로 구성된 중앙

집중식 전원 공급 방식 또는 먹이 공급기 자체가 독립적으로 동작하면서 자체적으로 전원과 제어장치를 갖는 방식이 있다. 전자의 시스템은 10개 정도까지의 먹이 공급기를 동작시킬 수 있도록 하기 위해 12 V급의 자동차용 배터리가 주로 사용되며 사용 빈도에 따라 1~3개월 지속된다. 제어장치는 급이 회수와 지속 시간을 프로그램 입력하여 일정 시간 간격으로 먹이 공급기에 보내야 할 동작 펄스의 주기와 길이를 결정한다.

태양전지와 같은 광전관(photocell)은 종종 낮 동안에 먹이 공급기를 동작시켜야 할 경우만 사용된다. 이 시스템은 축전지에서부터 보행로와 가두리의 외형 구조물을 따라 먹이 공급기까지 케이블로 연결되며 한 그룹의 가두리에 주로 설치된다.

먹이 공급기는 알루미늄 막대기를 사용하여 가두리 중앙 위에 매달아 두고 매우 간단한 방법으로 동작시킨다. 즉 배터리로부터의 전기적 신호인 임펄스로 호퍼의 밑에 부착된 진동 평판을 작동시킴으로써, 물 속에 먹이를 배출시킨다.

호퍼가 텅 비게 되었을 때는 먹이 공급기가 가두리의 옆으로 당겨져서 다시 채워지게 된다.

위에서 설명한 시스템은 하나의 결점을 갖고 있다. 즉 모든 먹이 공급기는 똑같은 전원과 시분할 장치에 연결되기 때문에 동시에 같은 시간 동안 배출된다. 독립적으로 작동하는 먹이 공급기는 물론 이러한 결점은 없지만 가격이 상당히 비싸다. 이러한 장치들은 가두리의 규모가 작은 양식장에서나 가두리들이 독립된 양식장에서 이상적이다.

압축 공기 시스템은 가두리 양식장에서는 인기가 없지만, 통로를 통해 육지와 연결된 가두리 양식장이나 압축기를 동작시키는 데 요구되는 3상 전원이 공급되는 곳에서는 사용될 수 있다. 그 시스템의 공기 압축 시스템은 보통 건물 안쪽에 장착되며, 공기 분출용 압축 용기에 압축 공기를 저장하였다가 통로를 따라 뻗어있는 고압 파이프를 통해 양식장의 먹이 공급기에 공급한다. 공기의 토출은 압축기에 장착된 시간 조절 장치에 의해 조절된다.

먹이 공급기 자체는 가두리의 측면에 붙어 있으며, 때때로 먹이 공급기에 부착된 보조 공기 탱크를 통해 펠렛이 중력으로 압축 공기 라인에 연결된 수평형 수송 파이프까지 떨어지게 하는 호퍼로 구성된다. 공기가 공기실로부터 토출될 때 공급용 파이프 내에 있는 펠렛이 가두리 내로 모두 분출된다. 어류에 공급되어야 할 먹이의 양은 공기실로부터 분출되는 주기뿐만 아니라, 먹이가 수송 파이프에 떨어지는 개구부의 크기에 의해 결정된다.

가두리 양식에서 시도되었던 건식 펠렛 자동 먹이 공급기의 또 다른 한 형태로서, 압축된 물을 사용하여 먹이를 중앙 공급 장치로부터 파이프 라인을 따라 각각의 가두리로 운반하는 방법이 있다.

가두리 양식에 사용되고 있는 가장 간단한 형태의 자동 습식 펠렛 먹이 공급기로써, 선박에 펠렛 장치를 장착하여 직접 사료를 가두리에 공급하는 방식을 들 수 있다. 이와 같은 시스템을 채택함에 있어서 선결 조건으로서 적당한 크기의 선박을 비롯하여 선박 내에 전원 공급기가 있고 변조된 펠렛 장치와 공급용 튜브가 먹이 혼합 장치의 출구에 부착되어 있어야 한다. 이런 시스템은 널리 채택되어 판매되고 있으며, 비록 노동시간과 연료의 관점에서 값이 비싸게 먹힌다고 하더라도 노르웨이 연어 양식자들에게는 통상적인 것으로 되고 있다. 좀 더 복잡한 형태의 시스템을 몇몇 대서양 연어 양식 업자들이 이용하고 있는데, 펌핑된 물을 사용하여 습한 먹이는 혼합 장치로부터 중앙 분배 장치까지 전송되어, 파이프라인을 통해 600 m 이상 떨어진 가두리까지 전송된다.

먹이 배급과 관련된 운전은 저장 사일로와 제어실에 의해 통제된다. 제어실에서는 마이크로컴퓨터가 설치되어 있어 각각의 가두리로부터의 온도 데이터를 기록하여 적당한 먹이량이 공급될 수 있도록 하는 조절 기능을 가지고 있다. 이 점에서 건조 펠렛을 포함한 다른 종류의 먹이가 다른 가두리로 보내질 수 있을 뿐만 아니라 사용된 먹이, 사료 전환 효율 및 일일 온도 관리에 대한 상세한 기록이 보존될 수 있다. 32 개 이상의 가두리를 관리하고 시간당 1,500kg 이상 먹이를 공급할 수 있는 시스템의

설치가 가능하다.

<표 4-2-7>와 <표 4-2-8>은 각각 자동 먹이 공급을 위한 관리 데이터와 먹이 공급표의 예이다.

이와 같은 시스템의 가장 큰 이점으로써 어류들의 환경 변화에 바로 대응할 수 있어 오로지 먹이 공급표에 의존하거나 먹이에 대한 어류의 반응에 의존하는 것보다는 훨씬 우수하다는 것을 들 수 있다. 특히 사료전환률의 수치가 많이 개선되었을 뿐만 아니라 잔류 사료에 의한 오염이 현저히 감소된 것을 알 수 있었다는 것이 보고되고 있다. 다양한 형태의 먹이 공급장치의 상대적인 이점과 단점들이 <표 4-2-9>에 요약되어 있다.

<표 4-2-7> 급이 테이블의 예

CAGE NUMBER	1	2	3	4
최종 기록일	01/08/96	01/08/96	01/08/96	01/08/96
금일 최후 공급 시간	10.18	10.39	10.41	10.42
금일 총 먹이량(kg)	2.97	20.38	7.74	11.77
금일 최후 공급량(kg)	1.5	7.1	2.5	4.0
총 먹이공급 시간	2	3	3	3
세척 시간(분)	1	1	1	1

사람이 직접 먹이를 공급하는 방법과 요구식 사료 공급 장치는 어류 자신들이 충분히 먹이를 섭취했는지 어떤지를 가장 잘 알고 있다고 하는 원칙하에서 먹이 공급이 실시되지만, 어류에게 먹이가 너무 많이 주어질 수도 있는 것 또한 사실이다. 그래서 사료 회사의 권장량에 대한 지침을 고려하는 것이 바람직하다. 한편, 대개의 자동 먹이 공급 장치는 온도와 어류 크기를 기초로 하여 산출한 먹이 공급표로부터 얻은 일일 정량을 적용한다. 그러나, 항상 환경 조건에 맞추어 먹이 공급율을 일률적으로 적용하는 것이 효과적이라고는 할 수 없다. 어류가 과다 섭취하거나 충분히 섭취하지 못할 경우도 있기 때문이다.



컴퓨터화 된 시스템을 이용해 이 문제를 해결하려는 시도는 획기적인 개선이지만 상대적으로 비싸며, 식욕을 결정하는 중요한 한 요소인 어류의 건강을 고려할 수 없다는 것이 문제점으로 지적된다. 때로는 항상 어류의 상태를 관찰하면서 수동으로 공급하는 것도 고려해야만 한다.

〈표 4-2-8〉 자동 급이를 위한 관리 데이터의 예

날짜 : 01/10/31

CAGE TABLE				
CAGE NUMBER	1	2	3	4
방양 날짜	01/07/96	01/07/96	01/07/96	01/07/96
고기의 마리 수	39,650	23,600	33,400	23,750
평균 무게(kg)	0.3	0.5	0.3	0.6
전체 무게(kg)	11,895	11,800	10,020	14,250
전체 먹이량(tones)	0.04842	0.11705	0.06161	0.09393
먹이 형태	2	1	2	1
체중 퍼센트	2.5	3.0	2.0	2.5
활동 계수	1	1	1	1
일일 공급량(kg)	12	98	37	63
일일 공급 횟수	16	16	16	16
1회 공급당 먹이 무게	0.3	6.1	2.3	3.9
먹이 밀도	1	1	1	1

최근에는 양어장 내에 직접 들어가서 어류의 상태를 관찰하지 않고 CCD 카메라를 수조 위에 조명과 함께 설치해 두고 필요할 때마다 어류의 상태를 CRT 화면상에서 대상체를 확대시켜 더욱더 세밀히 관찰할 수 있도록 할 수도 있다.

〈표 4-2-9〉 먹이 공급 방법에 따른 장·단점

공급 형태	먹이 형태	이 용 도	장 점	단 점	
수동적 공급	보충적이고 집중적인 먹이	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소규모적인 양식에서 이용.</li> <li>- 일본의 방어 양식장을 포함한 매우 조직화된 양어장에서 선호</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사료에 대한 자본 소모가 없다</li> <li>- 어류 건강 상태의 관찰 가능</li> <li>- 식욕에 따라 먹이 주기 가능</li> <li>- 먹이를 널리 배분 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대규모 양어장에서는 임금 상승 효과</li> <li>- 양식업자가 양식장에 매어 있어야 한다</li> <li>- 어떤 환경에서는 과섭취</li> <li>- FCR 값의 저하 및 찌꺼기의 증가</li> </ul>	
요구식 사료 공급기 (Demand feeder)	펠릿화 된 건식 먹이	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 어종의 집약적 또는 비집약적 양식에 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동 급이기 보다 덜 노동집약적</li> <li>- 급이율을 환경에 적절하게 조절 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과잉 공급에 주의</li> <li>- 10 g 미만의 작은 어류에는 사용 불가</li> <li>- 노출된 장소에서는 파도에 의한 작동 가능</li> <li>- 일부 어족에 적합하지 않음</li> <li>- 먹이를 고르게 공급하지 못함</li> </ul>	
자 동 공 급 기	먹 이	① 압축 공기 작동 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 집중적인 연어 양식에 이용</li> <li>- 가두리에는 일반적이지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 양식 업자가 먹이 공급율과 시간을 정할 수 있음</li> <li>- 고른 사료 공급 가능</li> <li>- 노동 절약 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소음</li> <li>- 밸브가 얼어붙는 영하 환경에서는 문제 발생</li> <li>- 어류에 대한 정보의 직접 획득 불가능하므로 과공급의 문제 발생</li> </ul>
		② 전기적 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 집약적 양식에 널리 이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 양식 업자가 먹이 공급율과 시간을 정할 수 있음</li> <li>- 노동 절약 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 어류에 대한 정보의 직접 획득이 불가능하므로 과공급의 문제 발생</li> </ul>
	③ 물 공급 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스칸디나비아 반도에서 습식 사료를 사용한 연어 양식에 주로 이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 환경 변화에 대응하는 컴퓨터화 된 시스템</li> <li>- 사료효율 개선과 고형물의 제거</li> <li>- 사용되는 먹이 형태 범위의 유연성</li> <li>- 컴퓨터화 된 포괄적 기록</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비타민 손실에 대한 문제가 있음</li> <li>- 장치비가 매우 비싸다</li> </ul>	

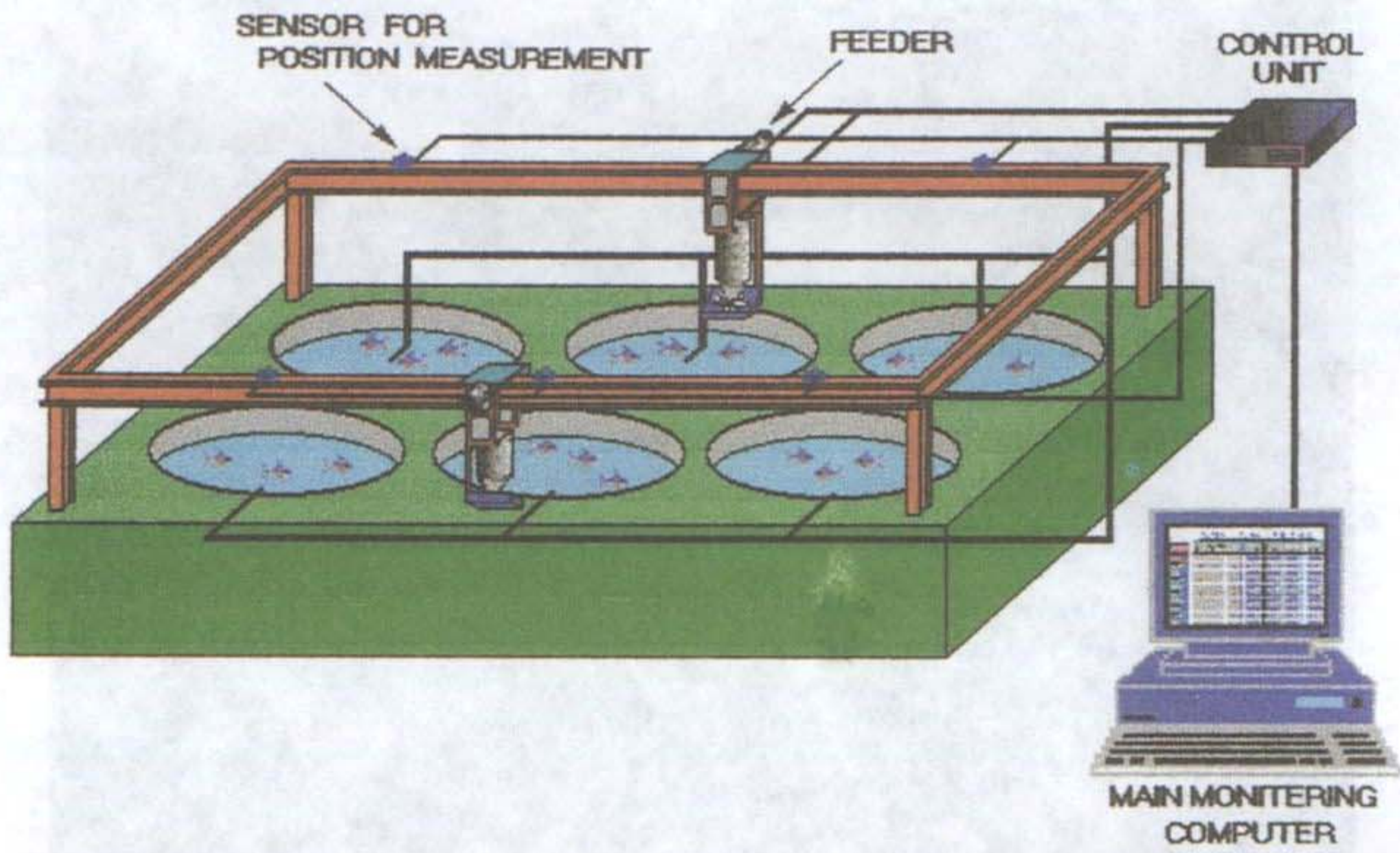
다. 자동 먹이 공급기의 예

유럽에서는 송어나 뱀장어 등의 먹이 사료로서 건조 펠렛형으로 공급하고 있으므로 먹이 공급 장치의 자동화가 용이하며, 어종에 따라 그 크기와 형태가 다르게 제작되어 판매되고 있다. <사진 4-2-1>은 컴퓨터 먹이 공급 시스템의 예를 보인 것이며, <사진 4-2-2> 및 <사진 4-2-3>은 각각 뱀장어용과 연어용의 자동 먹이 공급기를 예로서 보인 것이다. 이외에도 외부의 전원 공급원 없이 태양열을 이용하여 자동으로 먹이를 공급할 수 있는 시스템도 개발되어 시판되고 있다. <사진 4-2-4>는 먹이 저장 사일로의 모습을 보여주고 있다.

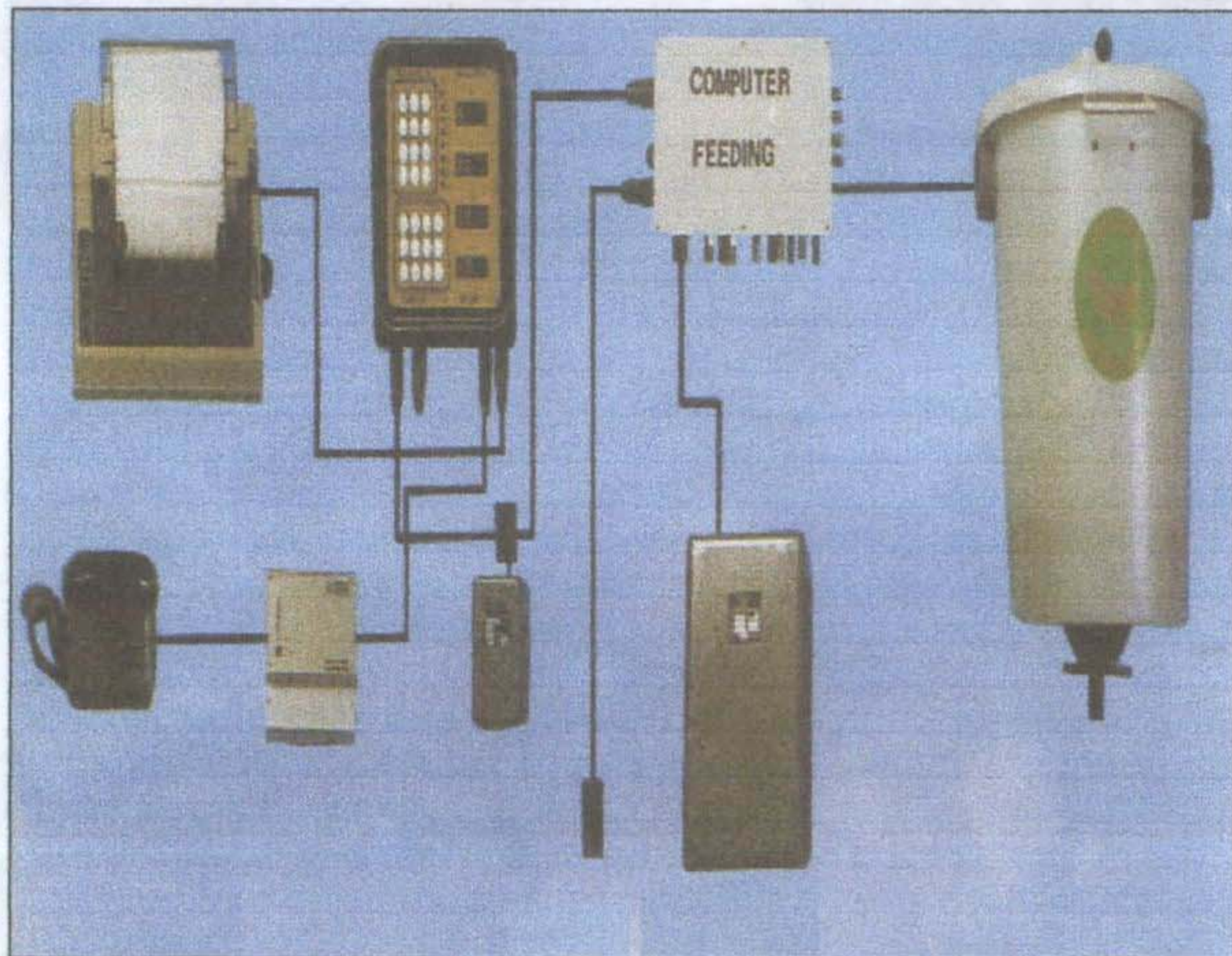
컴퓨터에 의한 자동 사료 공급 시스템은 투여량의 정량화가 가능하며 이로 인한 인력 절감도 가능하다. 사료 공급 방법으로는 사료 탱크에서 직접 사료 공급 장치를 연결하거나 탱크에서 호스를 빼내어 사육장까지 연결해 펌프 등으로 먹이를 공급하는 방법 등이 있지만 전자의 방법을 구체적으로 개념화하여 도식화해서 그림으로 보인 것이 <그림 4-2-14>와 <그림 4-2-15>이다.

<그림 4-2-14>는 컴퓨터 제어에 의한 수조 내의 먹이 공급 개념도를, <그림 4-2-15>는 레일을 설치하여 1대의 먹이 공급기로 여러 수조를 대상으로 했을 경우의 개념도를 보인 것이다. <그림 4-2-16>은 먹이 공급기의 구체적인 모형도를 보인 것이다.

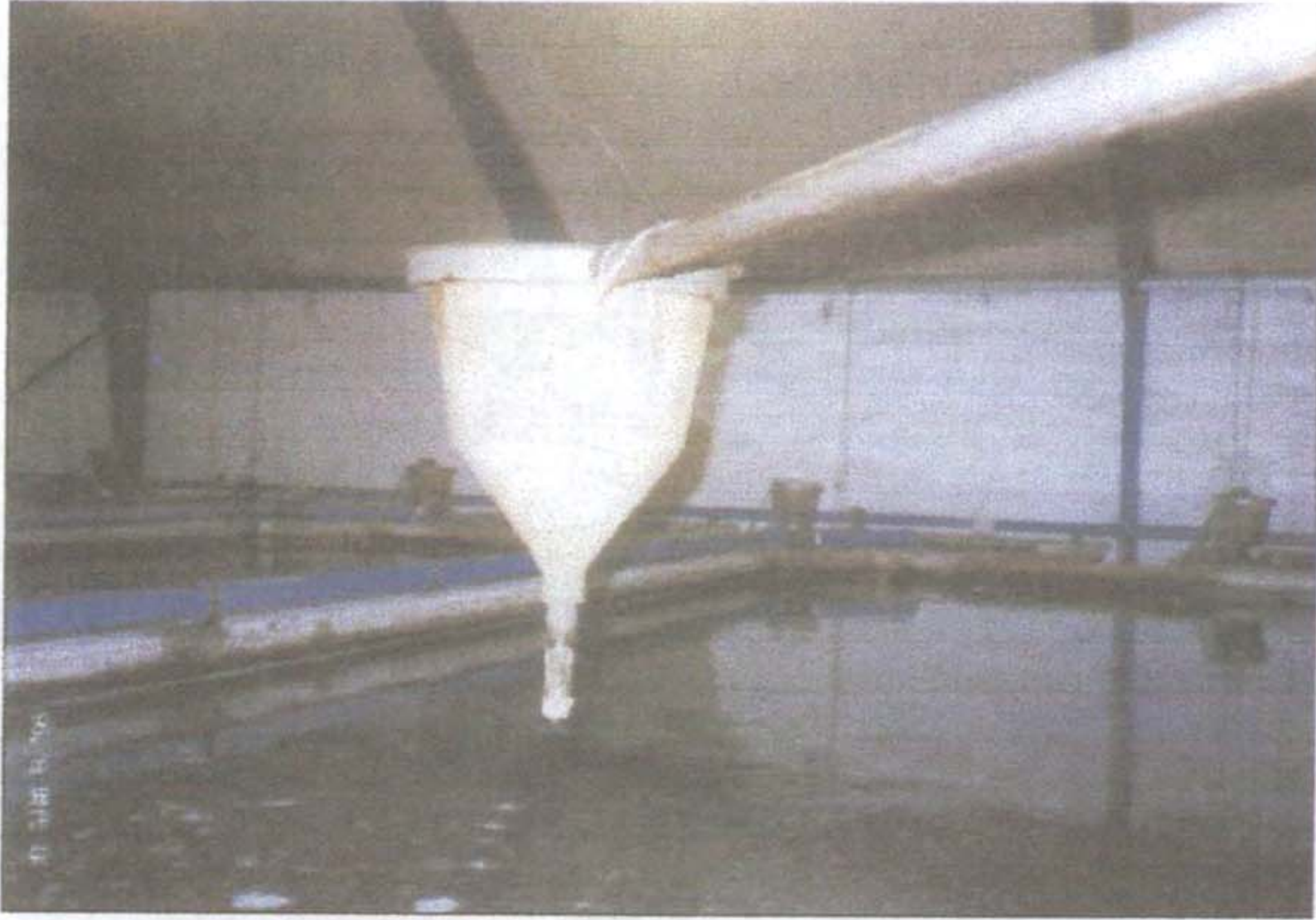
사료 공급 방법으로 탱크의 아래 부분에 4각 나사산 모양을 만들어 평소에는 정지해 있다가 마이크로 컴퓨터로부터 신호가 들어오면 모터를 동작시켜 사료공급을 시작하며 마이크로컴퓨터에서 신호가 끊길 때까지 사료 공급을 계속하게 된다. 이때 사료 공급량은 모터를 가동하는 시간에 의해 조정될 수 있다. 또한, 적정한 양이 유효 적절히 공급될 수 있기 위해서는 습기를 제거하는 시스템이 필요하다. 이를 위해 사료 공급 장치의 가열 시스템을 추가했을 경우를 보이고 있다



<그림 4-2-14> 컴퓨터 제어에 의한 수조 내의 먹이 공급 장치의 개념도



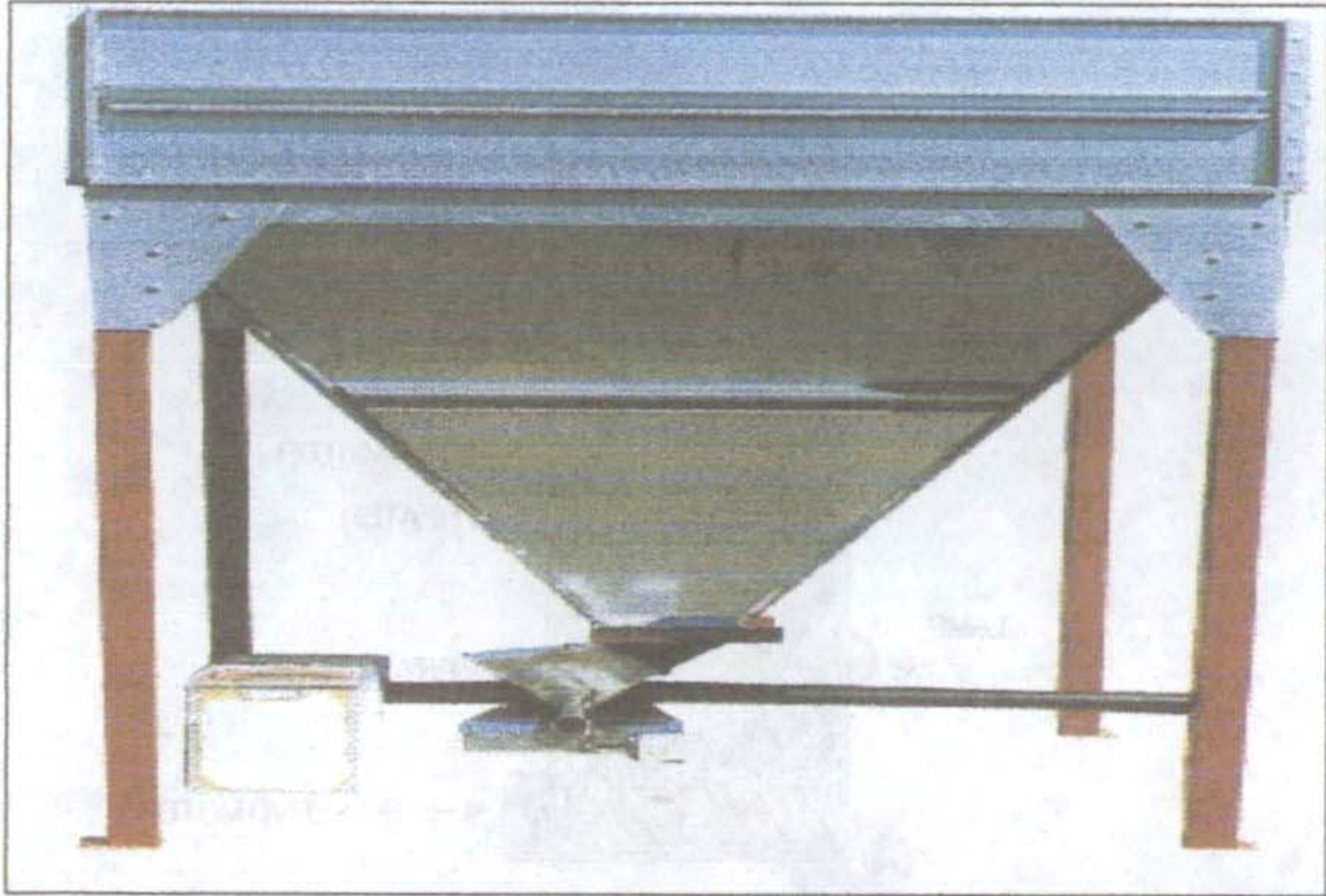
<사진 4-2-1> 컴퓨터 먹이 공급기



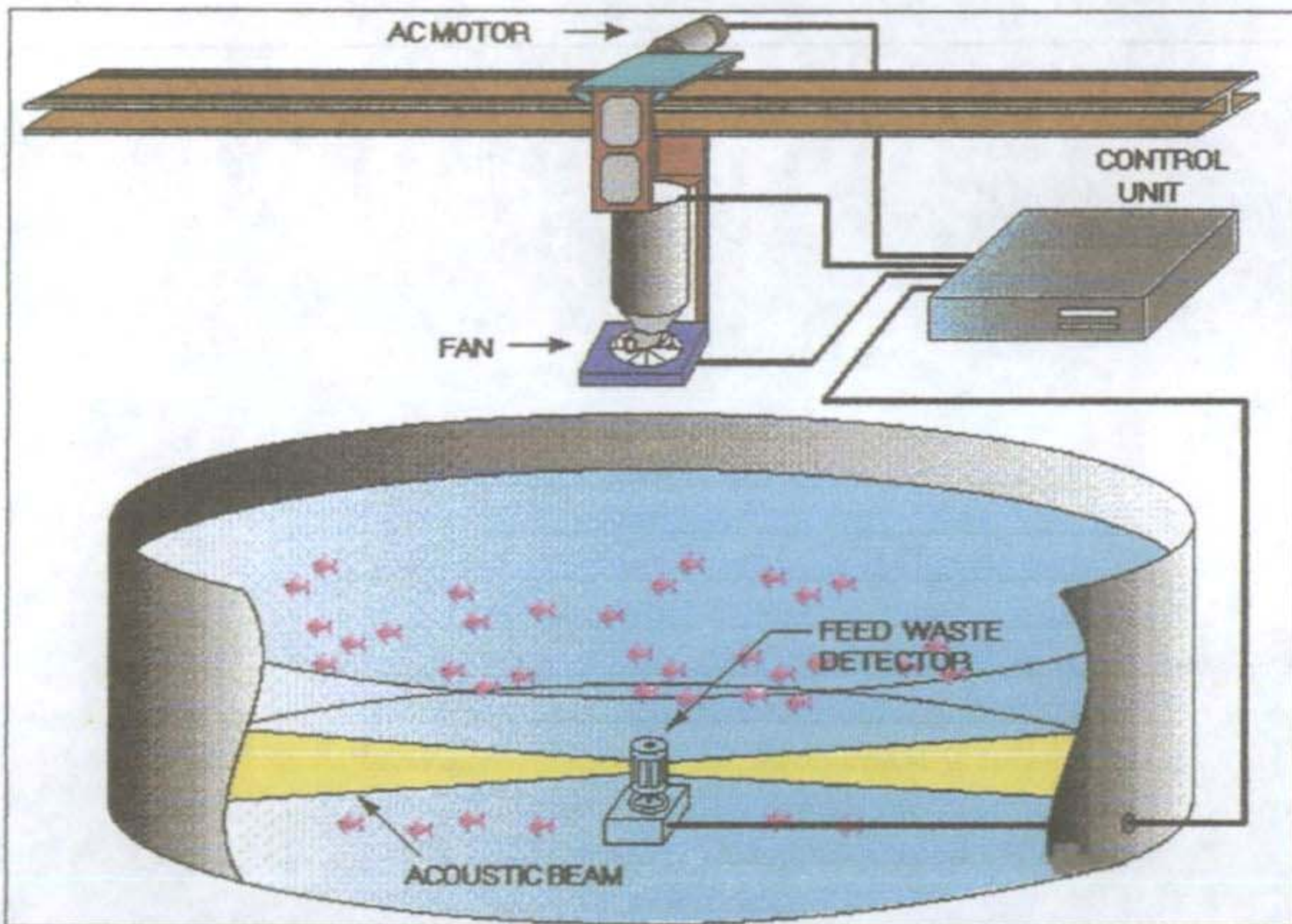
〈사진 4-2-2〉 뱀장어용 요구식 사료 공급기



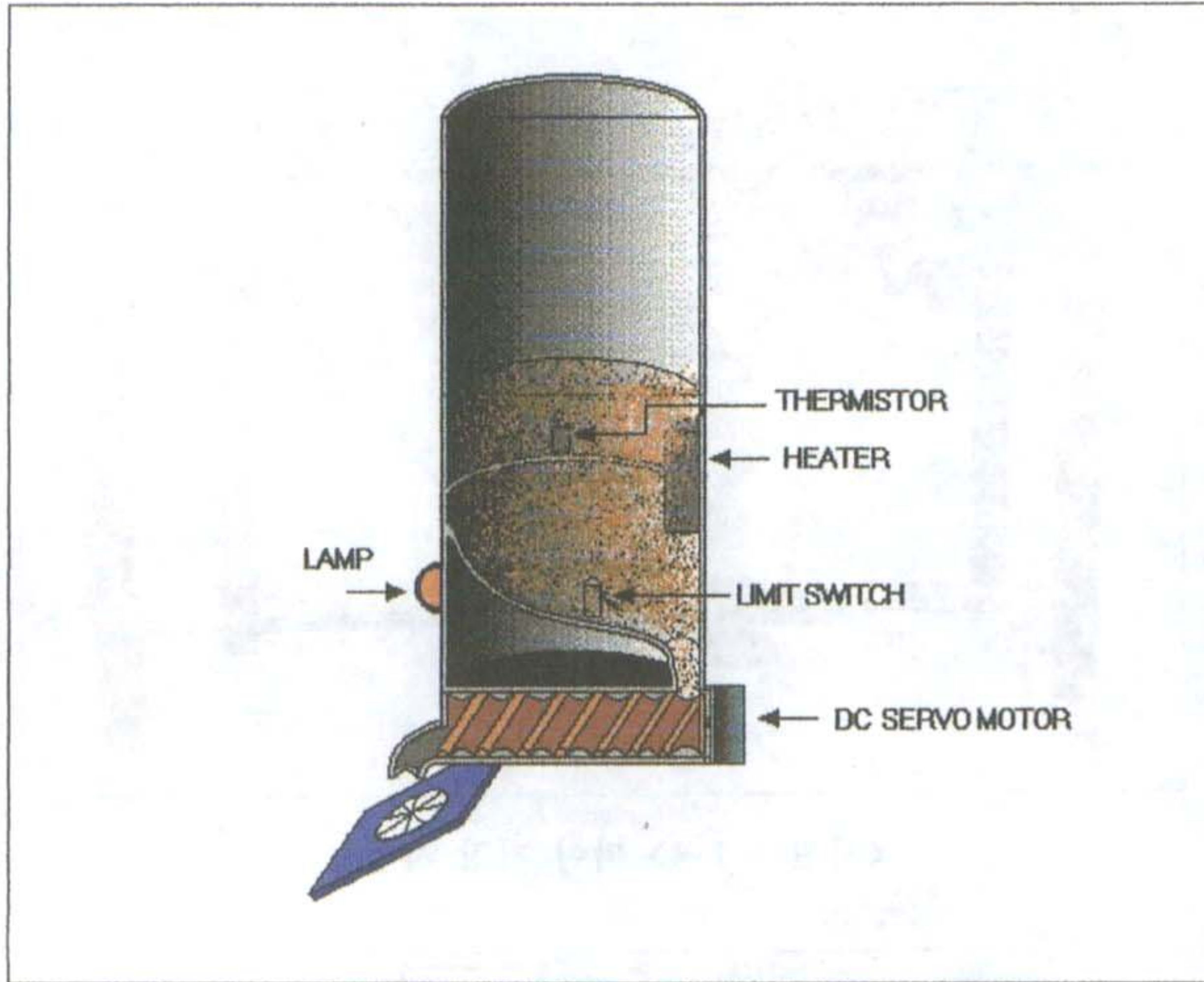
〈사진 4-2-3〉 연어용 자동 먹이 공급기



〈사진 4-2-4〉 먹이 저장 사일로



〈그림 4-2-15〉 레일을 설치한 1대의 먹이 공급기로 여러 수조를 대상으로 했을 경우의 먹이 공급 개념도



<그림 4-2-16> 컴퓨터 제어형 먹이 공급 장치

## 제3절 소프트웨어 개발

### 1. 8097BH MPU측 소프트웨어

MPU에는 통신을 위한 송수신용 링버퍼가 구현되어 통신상의 에러를 최소화시켰고, 호스트 컴퓨터에서 송신요구시 인터럽트가 발생하여 링버퍼에 저장된 데이터를 RS232C/422-485 인터페이스 모듈을 통해서 전송한다. 정상시는 수조의 물리적 환경을 측정하는 센서로부터의 아날로그 신호를 A/D 컨버터를 통해서 입력받아 송신용 링버퍼에 저장하는 한편 각 데이터들의 상태를 파악하여 현재 수조 환경에 적절한 조치를 취한다.

#### 가. 통신을 위한 링버퍼

##### 1) 링버퍼의 목적

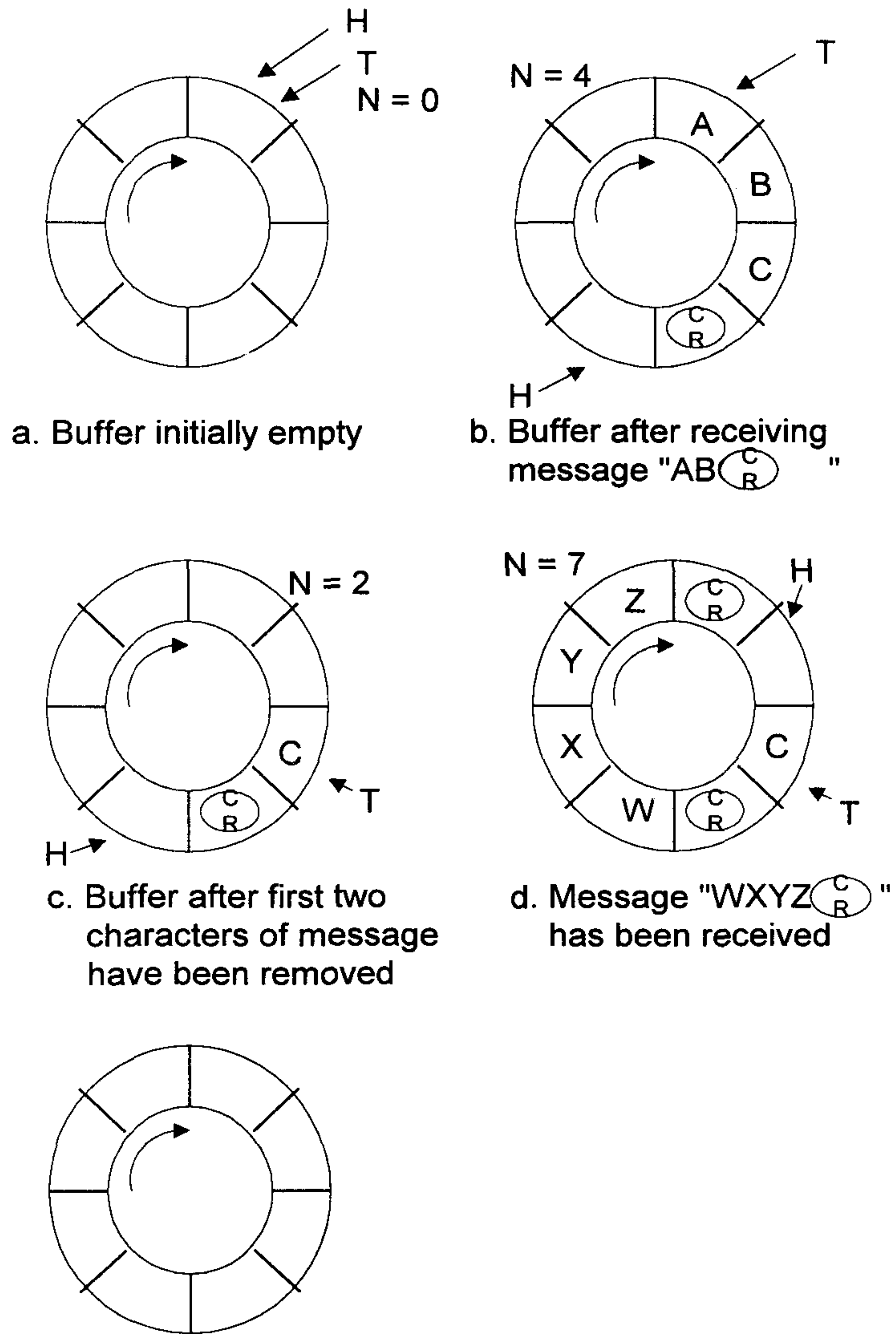
마이크로 컴퓨터의 입장에서 보면 가장 중요한 작업은 무엇보다 에러 없이 호스트 컴퓨터에게 데이터를 전송하고, 그 데이터의 분석에 의한 작업자의 명령을 수신 받아 처리하는 것이다. 특히 명령이나 데이터 중 결코 무시될 수 없는 곳에서 에러가 발생하면 문제는 심각해진다. 이를 해결하기 위해 송수신간 링버퍼를 구현하게 되었다.

##### 2) 링버퍼의 구현

#### 가) 링 버퍼란 무엇인가?

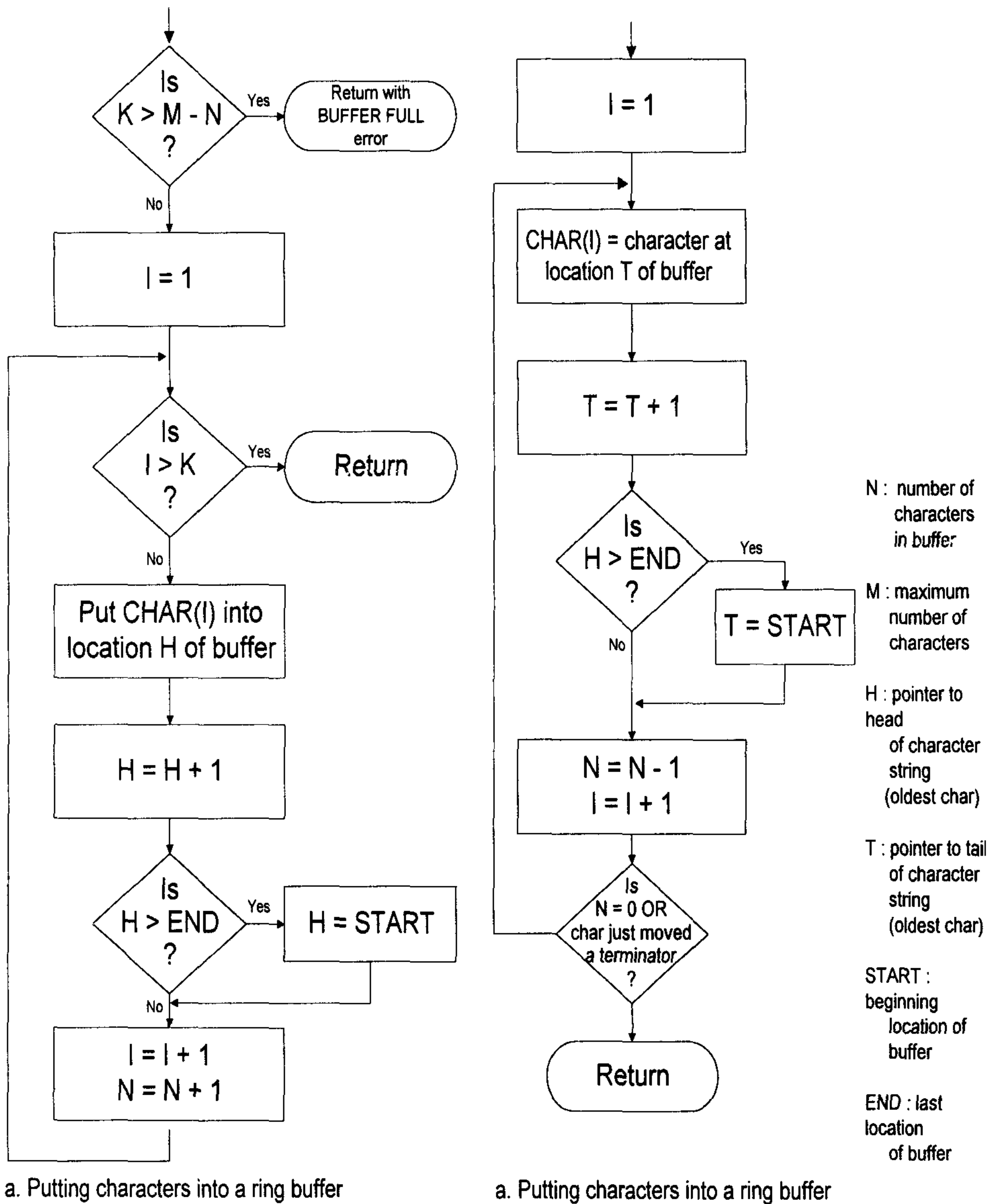
수신 FIFO(First In First Out) 을 확대하기 위해서 사용할 버퍼형을 말한다. 이 버퍼 외부나 내부에서 바이트의 동작은 두 개 포인터 즉, 헤드나 테일 포인터라고 알려진 포인터에 의해 관리된다. 두 개의 포인터는 버퍼 처음에서 초기화된다. 수신 인터럽트의 발생시, 인터럽트 서비스 루틴은 바이트를 읽고, 헤드 포인터에 의해 지시된 위치에 그것을 놓는다. 그리고 나서 헤드 포인터를 증가시킨다. 바이트들은 테일 포인터에 표시된 바이트를 읽음으로써 버퍼에서 인출되고, 이후 테일 포인터를 증가시킨다. 만약 증가 포인터의 값이 버퍼를 넘어서 지시하면, 버퍼를 따르는 데이터를 보호하기 위해서, 포인터는 버퍼의 처음으로 재세팅된다.





<그림 4-3-1> 링버퍼의 구조

나) 링버퍼 구현 알고리즘



<그림 4-3-2> 링버퍼 알고리즘

## 나. 8097BH MPU측 통신 프로그램

### 1) 8097BH 직렬 통신(RS232C Serial Communication)

#### 가) 직·병렬 통신의 차이점

8097BH에서 컴퓨터 상호간의 통신은 RS232C나 RS422/485 통신 방식을 사용하여 수행하는 경우가 많다. 이와 같은 직렬 통신은 컴퓨터 통신기기 상호간에 거리가 멀 경우 통신 선로를 줄이기 위하여 병렬 통신(9선 이상)을 하지 않고 직렬 통신(이 경우 통신 선수는 3선으로 가능)을 하며, 따라서 속도는 병렬 통신에 비하여 느리다.

#### 나) 직렬 통신

8097BH는 3개의 비동기 모드와 하나의 동기 모드를 가진다. 수신기는 이중 버퍼로 되어 있어 2번째 바이트의 수신은 첫 번째 바이트가 읽어지기 전에 시작될 수 있다. 직렬(신호) 포트 제어는 직렬 신호 포트 제어 / 상태 레지스터의 위치 11H를 통해 이루어진다.

직렬 포트에 입출력되는 데이터는 SBUF(Rx)와 SBUF(Tx)의 07H 번지를 통해 전송된다. 비록 이 레지스터는 같은 어드레스를 공유하지만 직렬포트에 의해 수신된 데이터를 포함한 SBUF(Rx)와 전송을 위해 준비된 데이터를 유지하기 위해 사용되는 SBUF(Tx)와 물리적으로 분리되어 있다.

#### 다) 직렬 포트의 제어

직렬포트 제어는 직렬 포트제어와 직렬포트 상태 레지스터를 통해 이루어진다. 비동기 모드에서는 SBUF(Tx)에 써넣는 것은 송신을 시작하며, RXD의 하강 파형에서 REN이 1로 세트되어 있다면 수신을 시작할 것이다. 모든 모드에서 RI 플래그는 마지막 데이터 비트가 비트 시간 중간에서 샘플된 다음에 세트된다. 또한 모든 모드에서 TI 플래그는 마지막 데이터 비트(8번째나 9번째)가 비트 시간의 중간에서 전송된 다음 세트된다. 또한 TI와 RI는 SP\_STAT가 읽혀질 때 클리어 된다.

#### 라) TEST 프로그램

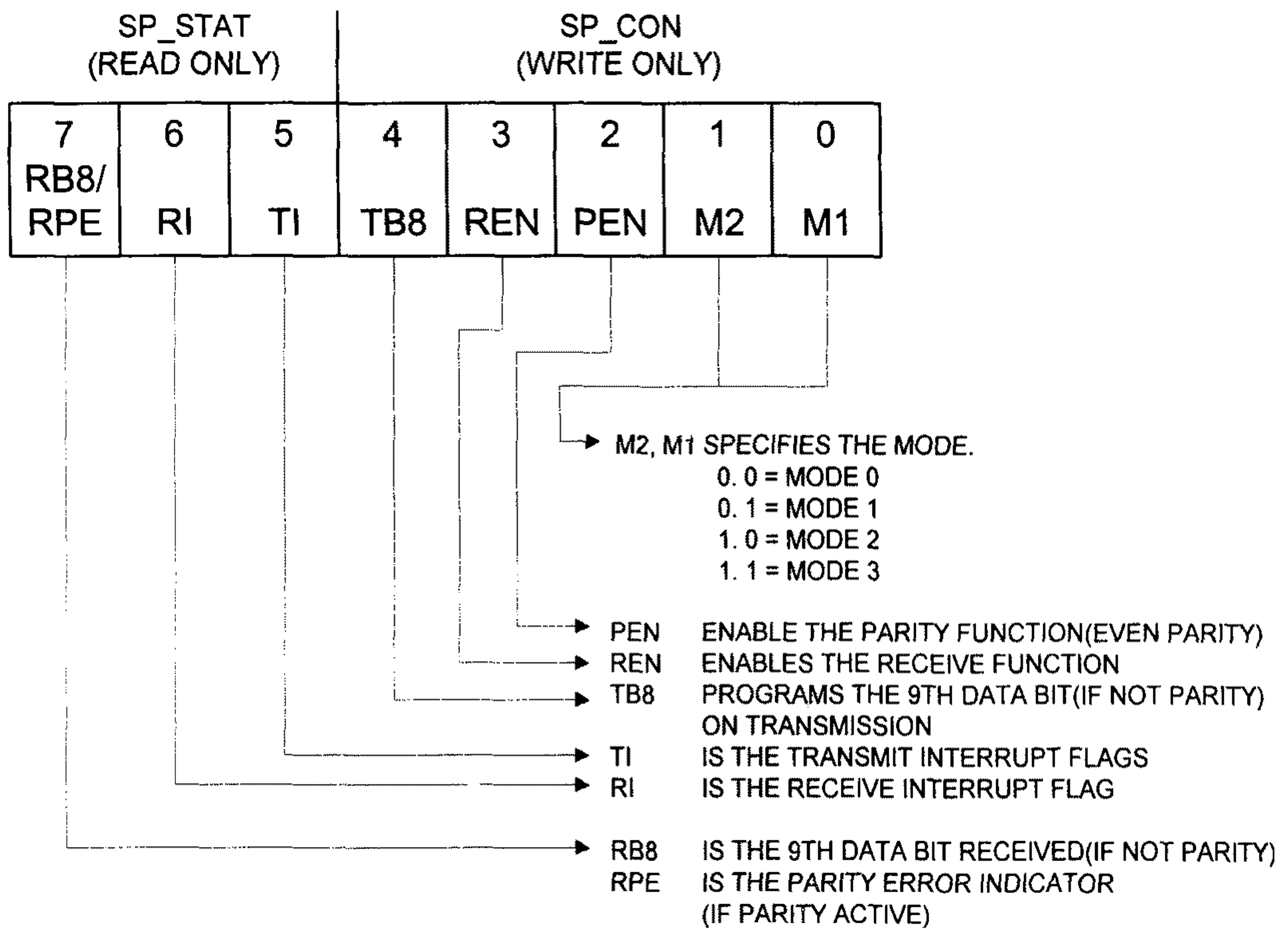
##### (1) TEST PROG. NO.1

폴링모드에서 'SERIAL PORT TESTING.....'를 계속 출력하는 시리얼 통신 테스트 프로그램

##### (2) TEST PROG. NO.2

시리얼 포트 인터럽터를 테스트하기 위한 프로그램으로 인터럽트 서비스 루틴에서는 한문자를 입력받아 그 문자가 M이면 MENU를 출력하고, ?이면 HELP를 출력한다. 그리고 메인에서는 PWM의 값을 증가시킨다. 직렬 포트 제어 및 상태 레지스터를 <그림 4-3-3>에 나타내었다.

[NOTE : 인터럽트 서비스 루틴 안에서는 RXD\_ISR와 TXD\_ISR을 구분하여야 한다.]



NOTE: TI and RI are cleared when SP\_STAT is read

<그림 4-3-3> 직렬 포트 제어 및 상태 레지스터

(3) TEST PROG. NO.3

키보드로 한 문자를 입력받아서 그 문자의 ASCII 코드 값을 하나 증가시키고, ASCII코드값이 증가한 문자를 LCD 및 PC로 출력하는 프로그램

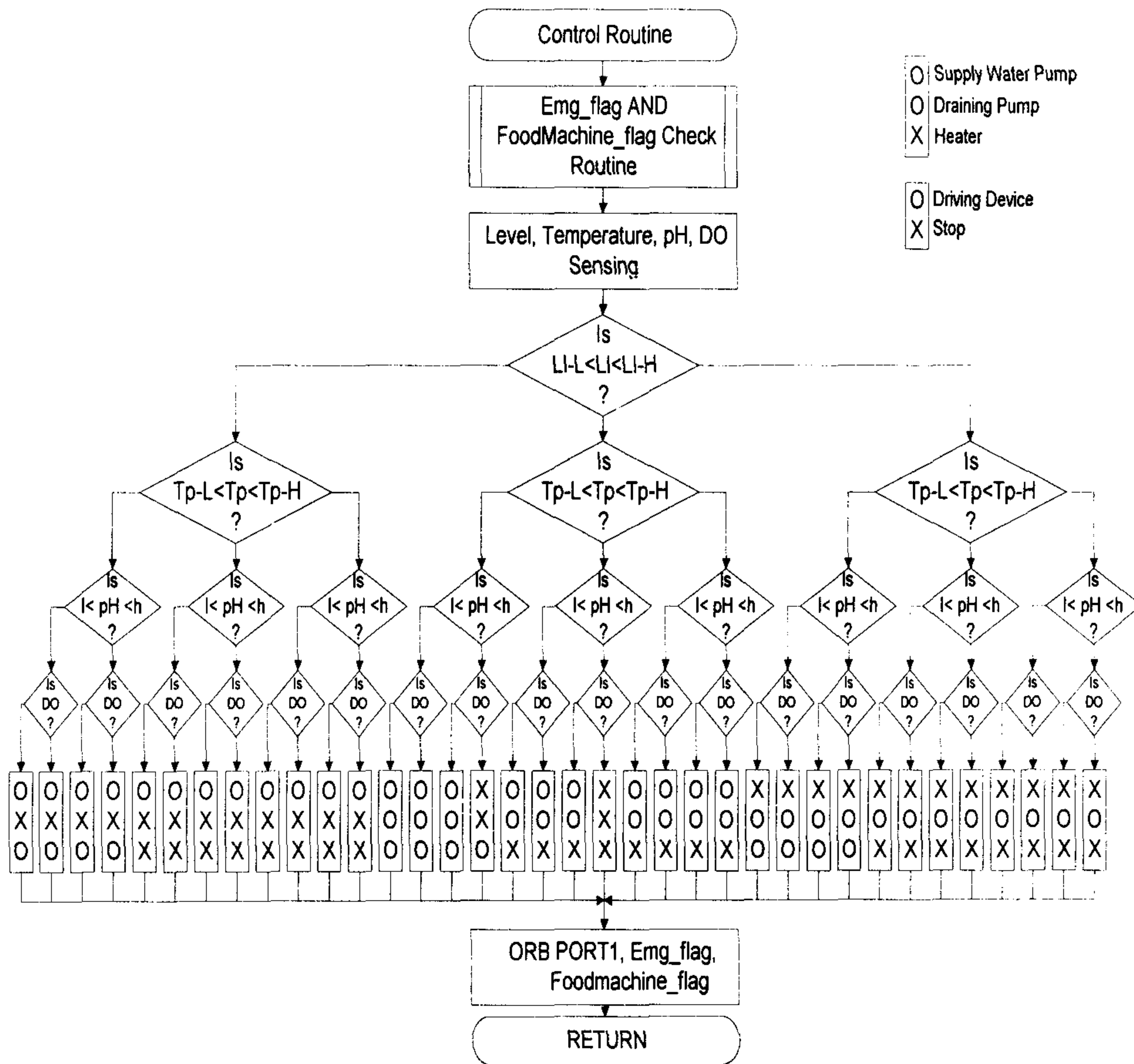
(4) TEST PROG. NO4

키보드로부터 스트링을 입력받은 후 PC 및 LCD로 돌려준다. 스트링 입력이 끝났음을 알리는 문자는 ?이고, 8096측에서는 !를 스트링의 마지막 문자로 출력한다.

(5) TEST PROG. N05

NO.4의 작업을 인터럽트 서비스 루틴에서 실시하고, 메인에서는 PWM의 값을 출력한다.

인터럽트 서비스 루틴안에서는 RXD\_ISR와 TXD\_ISR을 구분하여야 한다



<그림 4-3-4> 주 프로그램의 흐름도라. 마이크로 프로세서 프로그램의 흐름도

<그림 4-3-4>는 주 프로그램의 흐름도로서 센서로부터 들어오는 입력값에 따라 제어부를 구동하게 되어 있다. 각 센서의 입력값에 따라 각종 장치를 구동시키는 제어부가 양식장의 주위 환경 조건에 따라 동작되어야 하므로 센서들의 중요도에 따른 우선순위를 정하지 않을 수 없다. 또한 우선순위가 가장 높은 입력값을 기준으로 순서대로 적정 수준으로 맞추어 나가지만, 프로그램 전체적으로 볼 때 센서의 값들을 모두 읽어 낸 후 그 값들을 비교 검정하여, 우선 순위에 따라 제어부를 구동하고 있으므로 제어부에서 이중 일은 하지 않도록 구성되어 있다.

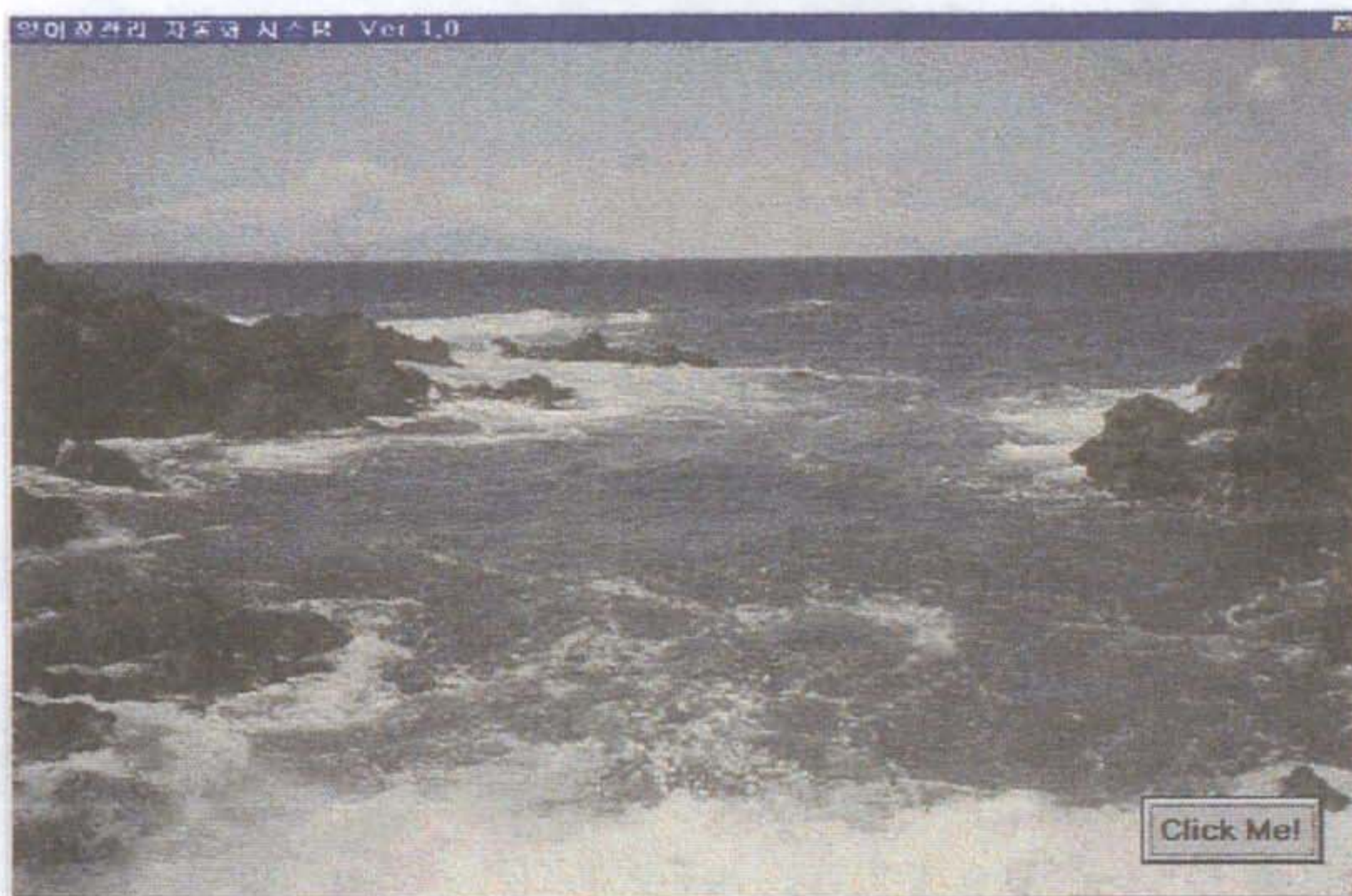
## 2. PC측 프로그램

### 가. 각 윈도우 기능 및 설명

사용자가 프로그램 작동시 실행되는 각 윈도우를 순서대로 나타내고 그 윈도우가 가진 기능 및 역할을 살펴보자

#### 1) 초기화 화면

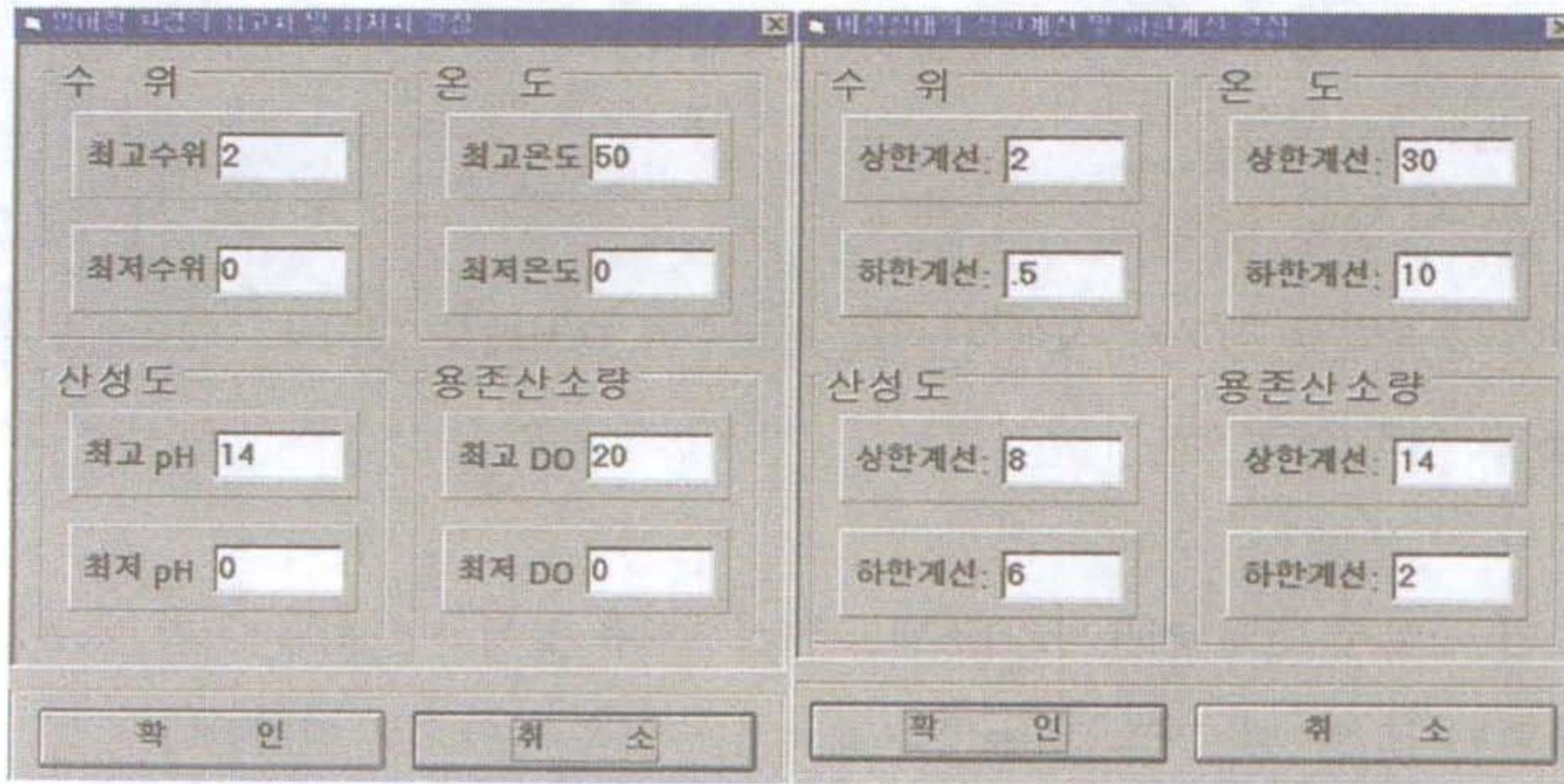
사용자가 양어장 관리 자동화 시스템의 프로그램을 실행하면 다음과 같은 초기화 화면이 출력된다. 이 때 "Click Me!"를 클릭하면 다음 화면으로 진행한다.



<그림 4-3-5> 시스템의 초기화 화면

2) 양어장 환경 설정

양어장 환경의 최고 및 최저치를 결정하는데 이는 MPU에 영향을 미치지 못하는 단점을 가지고 있다. 앞으로 보완되어야 할 점이며 “확인” 버튼을 누름으로써 비상 한계선을 결정하는 다음 창으로 넘어가고 “취소” 버튼을 누르면 이전 창으로 되돌아간다. 비상 한계선의 설정은 사용자가 임의로 조작이 가능하다. 이 설정에 따라 설정치를 벗어나는 상황이 발생하면 MPU는 비상등을 작동시키게 된다. 수조 환경 설정 화면을 <그림 4-3-8>에 나타내었다.



<그림 4-3-6> 수조 환경 설정 화면

3) 데이터 저장하기

<그림 4-3-6>에서 확인을 클릭하면 <그림 4-3-7>과 같은 화면이 출력되고 “저장할 파일명” 버튼을 클릭하면 다음의 <그림 4-3-8>과 같은 화면이 출력된다.

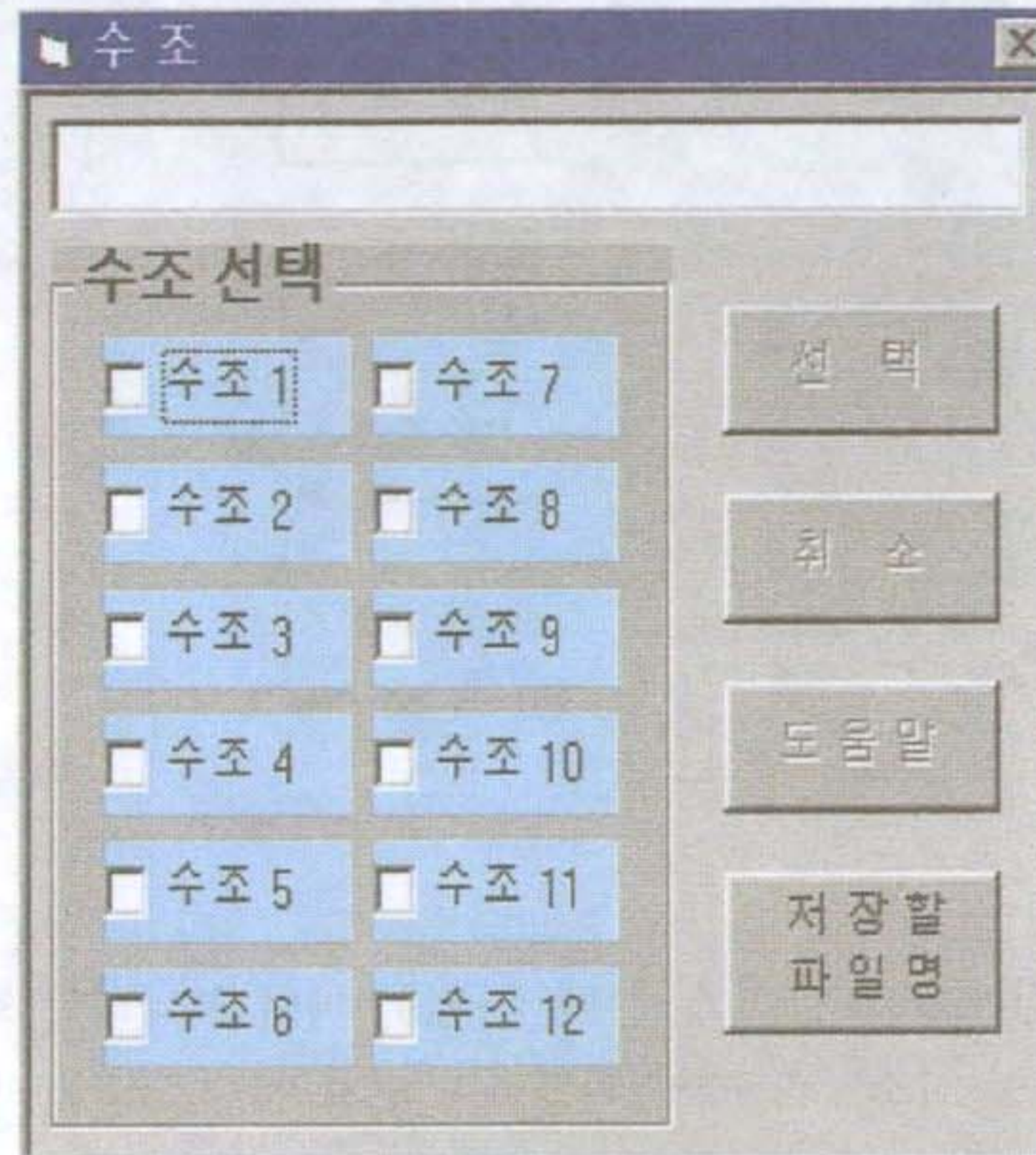
4) 파일 저장을 위한 화면

<그림 4-3-7>에서는 파일을 저장하고자 하는 디렉토리로 이동하여 파일 이름을 적고 “새파일” 버튼을 누른다. 이때 파일 이름을 입력하지 않으면 “10-31.dat” 처럼 당일 날짜를 파일명으로 하는 파일이 생성되고 “ddd”라고 입력하면 당일 날짜와 함께 “10-31ddd.dat”로 파일이 생성된다. 동작 중인 시스템은 날짜가 바뀌면 자동으로 다른 이름의 파일을 생성한다.

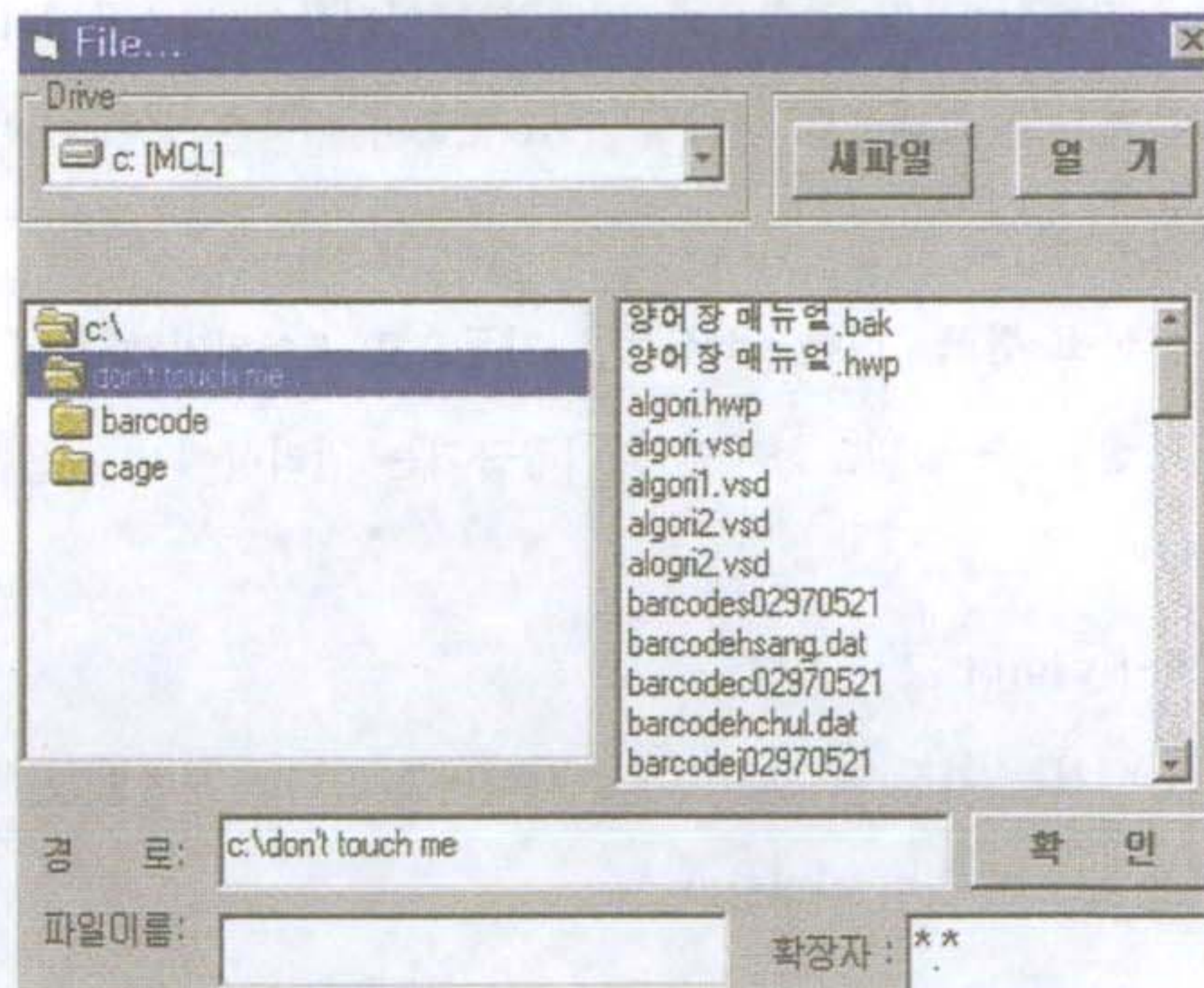
5) 수조 선택 화면

MPU(Micro Process Unit) 프로그램은 멀티 통신이 가능하도록 되어 있지만 PC측 프로그램이

수조1 하나만 사용하도록 되어 있으며 이는 약간의 프로그램 수정으로 확장할 수 있다. 1번의 수조일 경우 <그림 4-3-9>에서 “수조1”을 클릭한 후 “확인” 버튼을 클릭한다.



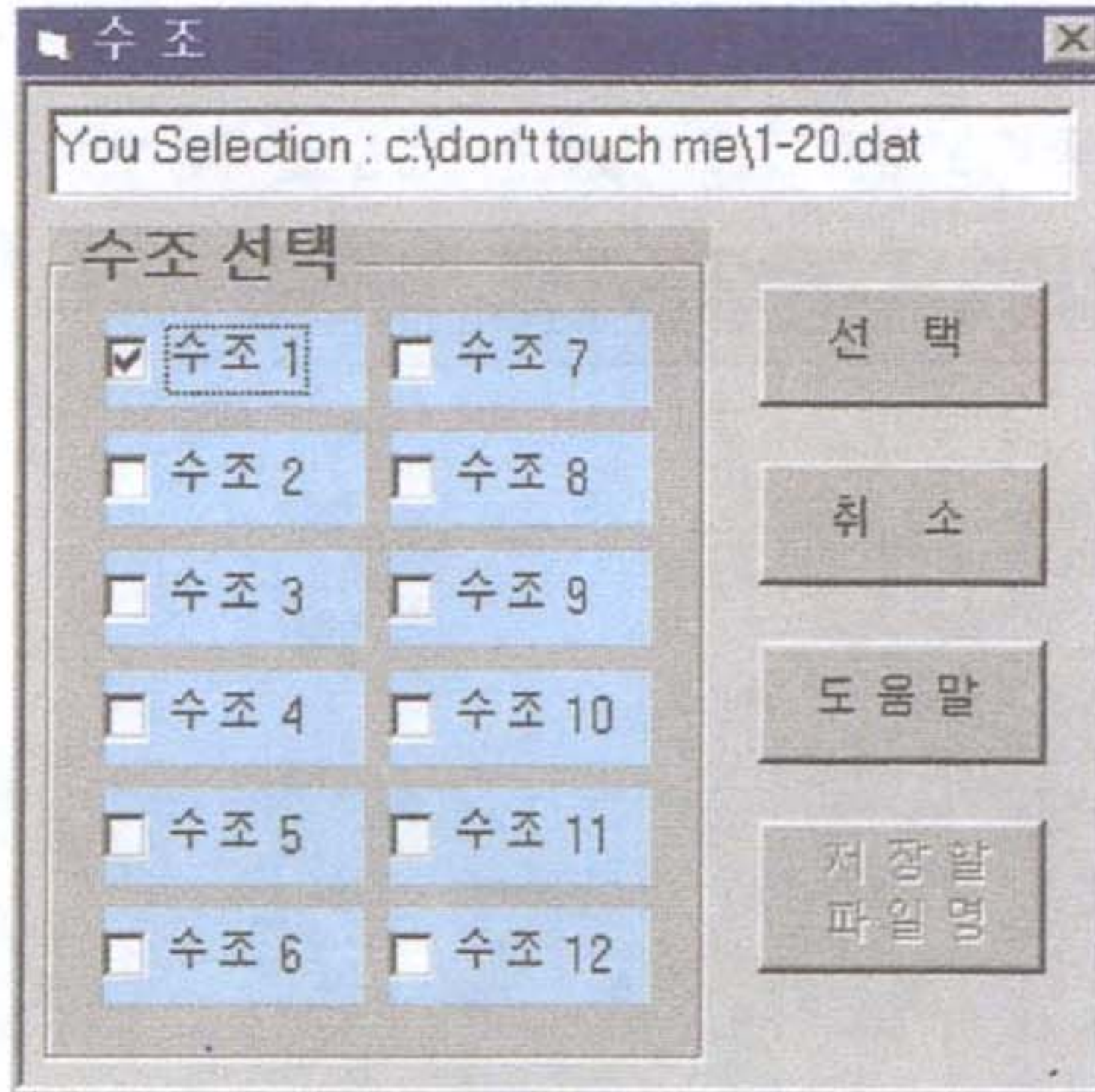
<그림 4-3-7> 파일



저장하기

<그림 4-3-8> 파일 저장을 위한 화면





<그림 4-3-9> 수조 선택 화면6) 메인 모니터링 화면

<그림 4-3-10>은 모니터링 시스템의 메인 화면이며 현재의 수조의 상태를 나타낸다.

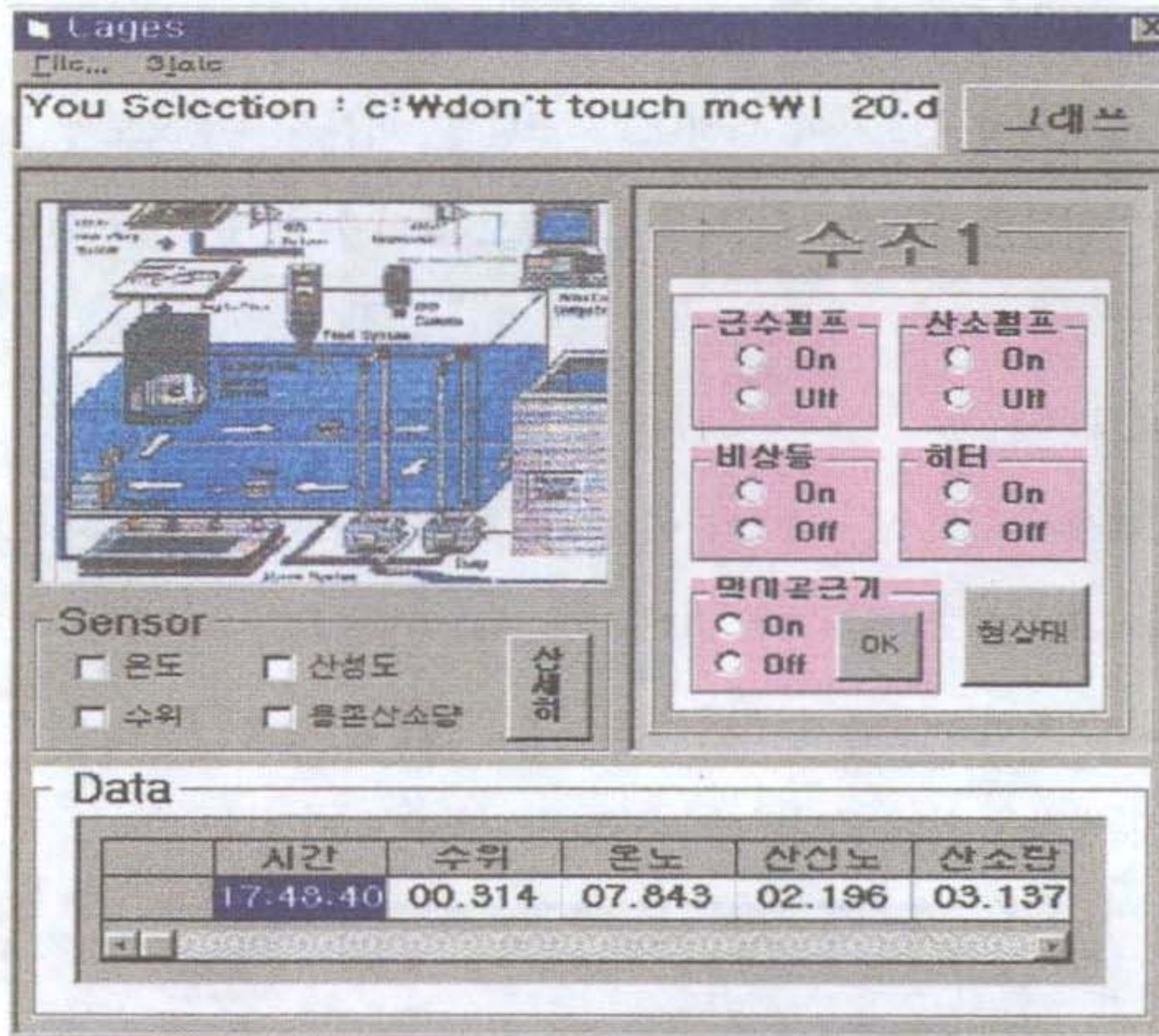
그림 하단부의 Data란에서는 현재의 수조 환경을 실시간적으로 모니터링하고 있다. 이 때 이들의 데이터들을 더욱 상세하게 모니터링하려면 “상세히”를 클릭하면 <그림 4-3-11>과 같은 화면이 나타나고 지정한 시간 간격으로 10개의 데이터들이 디스플레이된다. 또한, 시간의 변화에 따른 환경의 변화를 그래프로 나타낼 수도 있으며 이들은 모두 프린트 기능을 가지도록 프로그래밍 되었다.

급수 펌프, 산소 펌프, 히터, 비상등은 자동으로 제어되기 때문에 현상태만 표시할 뿐 사용자가 임의로 조정할 수 없다. 하지만 먹이공급기는 관리실에서 사용자가 직접 제어할 수 있도록 하였다.

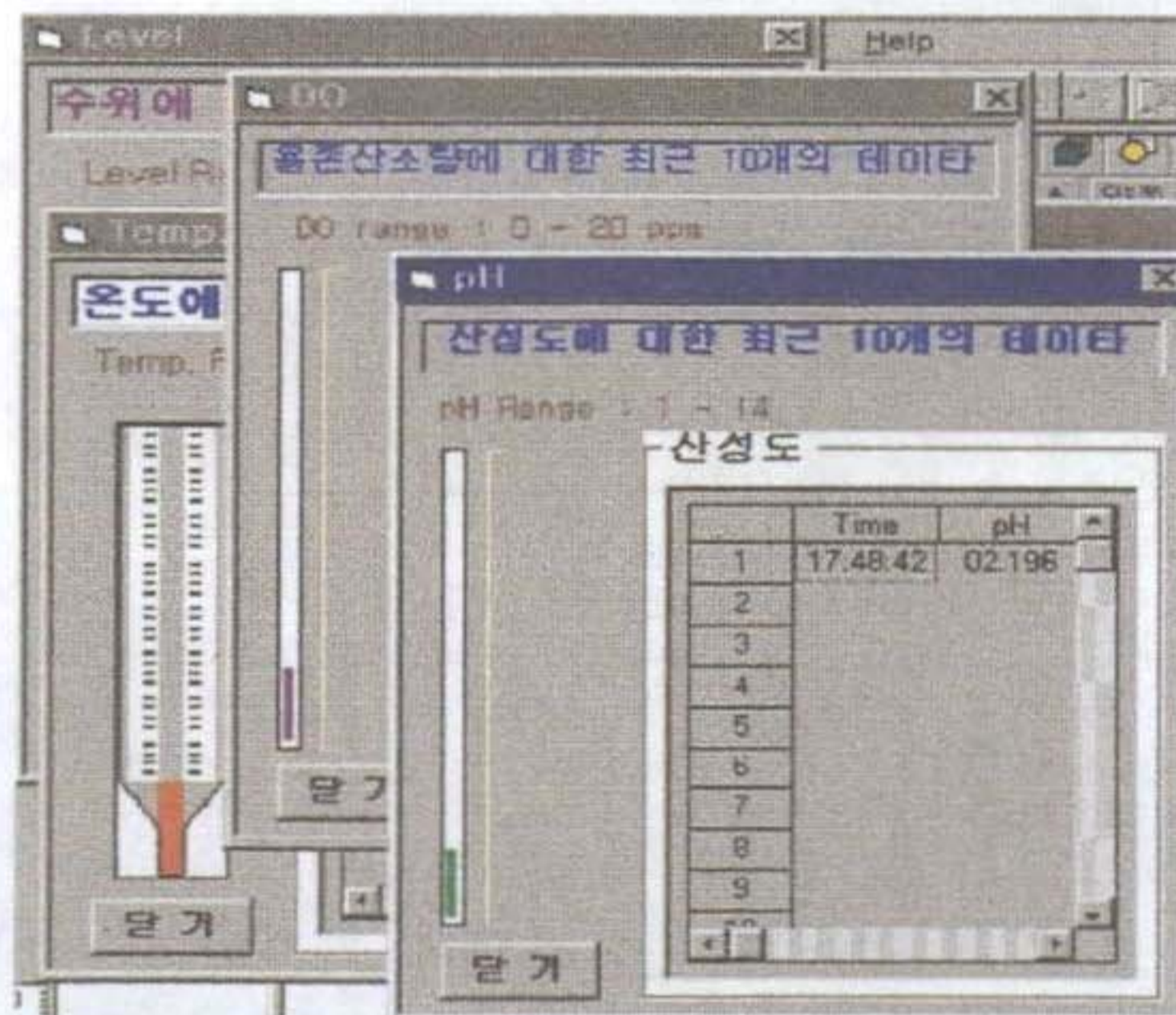
#### 7) 최근 10개의 데이터 표시 화면

<그림 4-3-11>에서는 가장 최근의 10개의 데이터를 간단한 모형의 게이지와 함께 표로써 나타낸다.

“닫기” 버튼을 누르면 창이 사라진다.



<그림 4-3-10> 메인 모니터링 화면



<그림 4-3-11> 데이터 검색

8) 그래프로 나타낸 화면

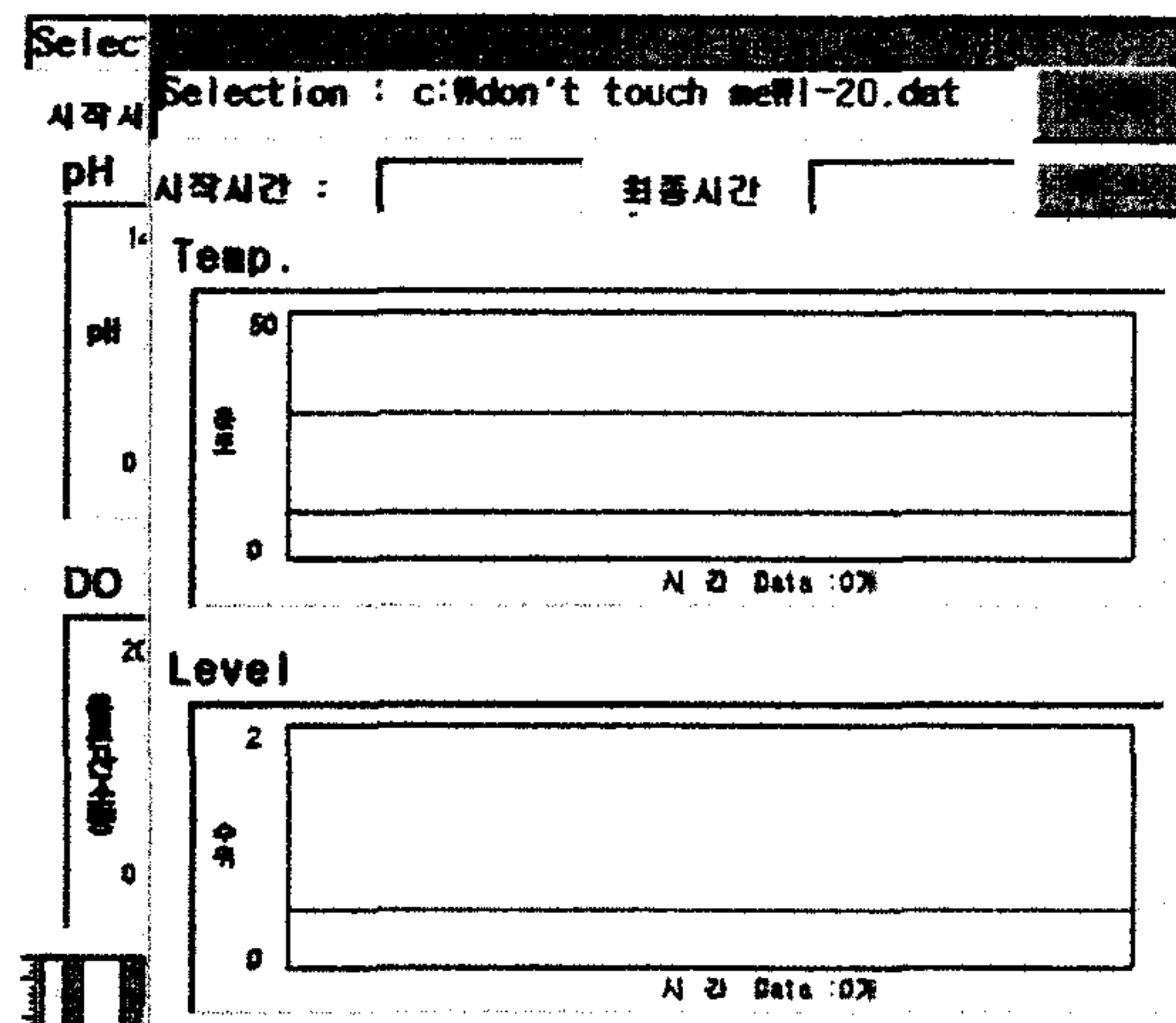
<그림 4-3-12>은 현재까지 저장된 데이터를 그래프로 모니터링할 수 있는 화면이다. “인쇄” 버튼을 누르면 현 윈도우가 프린트된다.

9) 이전의 데이터를 보기 위한 화면

이전의 데이터를 불러와서 윈도우에 나타내고 “프린트” 버튼을 누름으로써 데이터들의 프린트가 가능하다. “그래프” 버튼은 불러온 데이터를 그래프로 나타낼 수 있고 그 윈도우를 프린트 할 수 있다.

10) 고장 점검 메시지

고장 점검이라는 메시지 윈도우는 데이터 에러 메시지를 위한 윈도우로 데이터가 갑자기 급변하여 그 변화 폭이 전체의 10%를 초과할 경우 10회 이상 계속 이 상태가 지속되면 하드웨어의 점검을 요구하게 된다. 이때는 “확인”버튼을 누르면 되고 “취소”버튼을 눌러 무시할 수도 있다. “확인”버튼을 누르면 사용자의 점검을 위해 모니터링 시스템은 자동으로 꺼진다.



<그림 4-3-12> 그래프 출력 화면

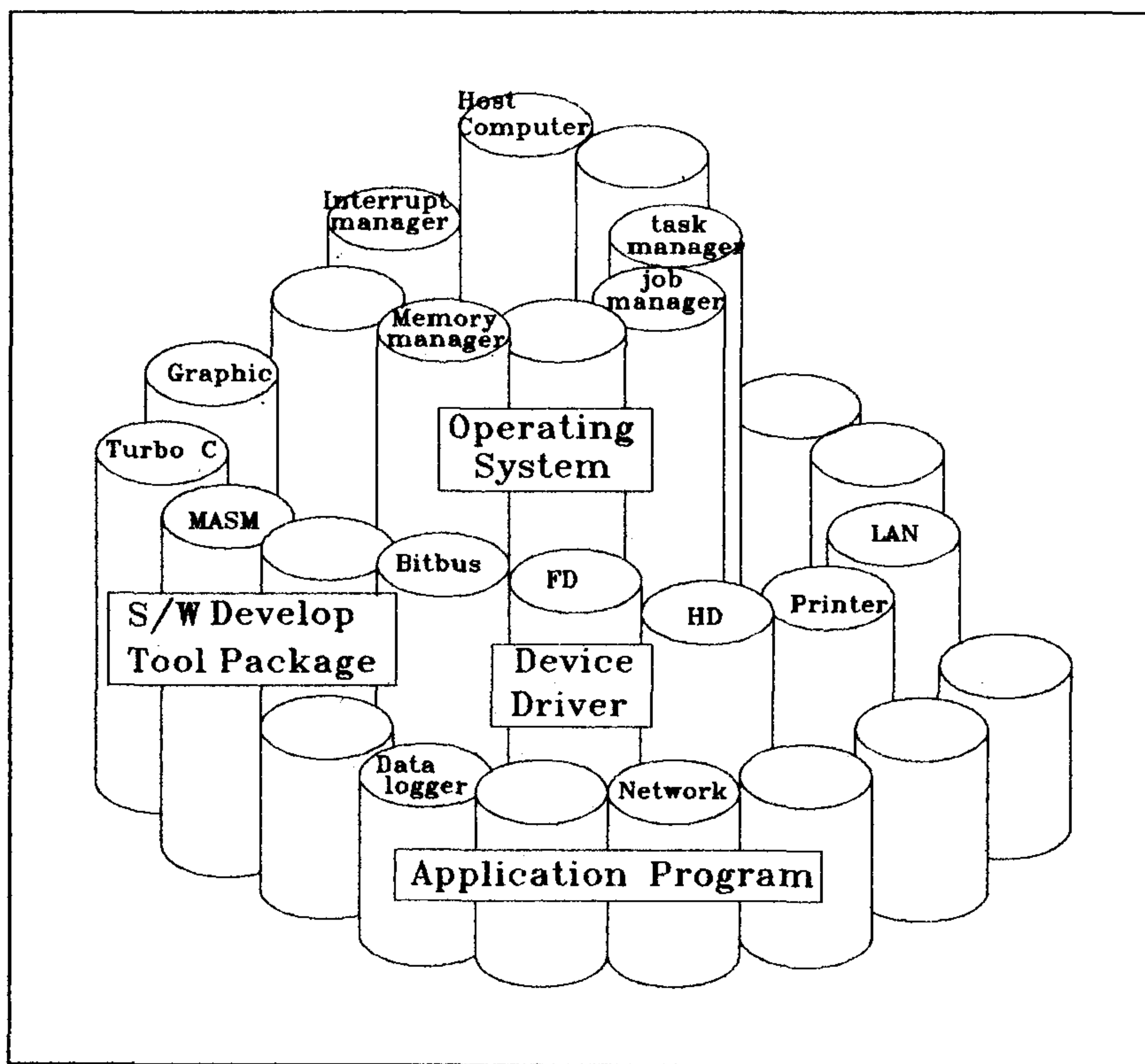
나. Monitoring PC의 소프트웨어

Monitoring PC는 MCL-DLU로부터 얻어진 데이터들을 가공하고 처리하는 업무를 담당하고 있다. 그러므로 실시간적으로 MCL-DLU로부터 들어온 데이터를 순간 순간 그래픽처리하여 모니터링하고, 또 필요에 따라서는 데이터들을 고용량의 하드디스크에 저장해 두었다가 LAN으로 연결된 다른 PC가 사용할 수 있도록 데이터베이스화 한다.

OS의 목적은 프로세서 시간, 메모리 그리고 주변 장치들과 같은 시스템 자원을 제

어하기 위한 데 있다. 따라서 각 레벨별 컴퓨터들간의 유기적 결합 및 이들의 원활한 운영을 위해서는 무엇보다도 각 시스템들을 제어하고 통제해 주는 OS가 필요하다. <그림 4-3-13>은 Software Overview를 보여준다.

통합 자동화 시스템에 있어 실시간 OS는 필수적이다. 실시간 OS는 크게 Nucleus(Kernel)와 많은 추가 소프트웨어 Tool을 포함하는 Outer layer로 나뉘어진다.



<그림 4-3-13> 소프트웨어의 개략도

1) Neucleus

Nucleus는 사용자의 응용 업무와 OS의 확장 프로그램을 제어한다. 특히 주의해야만 할 것은 인터럽트 처리와 Task Scheduling이다.

가) 인터럽트 처리

프로세서가 특별한 내부적 혹은 외부적 Event를 인식하게 되면 인터럽트 상태가 된다. 그리고 하나의 인터럽트 상태에서 다른 인터럽트가 발생하면 나중에 발생한 인터럽트는 우선 순위에 따라 발생 혹은 무시된다. 그리고 프로세서는 인터럽트가 끝난 뒤 인터럽트가 발생하기 직전의 Task로 돌아간다.

#### 나) Task 스케줄러

Task 스케줄러는 다음에 실행될 Task들의 모든 시간을 관리한다. 그러나 인터럽트가 발생하면 스케줄러는 현재의 Task업무를 보류한 뒤 인터럽트 서비스 루틴을 실행한다. 그리고 인터럽트 처리가 끝나고 나면 다시 원래의 상태로 돌아오게 된다. 즉, 인터럽트 handler와 Task 스케줄러 사이에 밀접한 정보 교환이 이루어지고 있는 것이다.

#### 2) Outer Layer

Outer layer는 nucleus의 기능들을 기초로 해서 형성된다. Outer layer는 고수준 OS 기능을 다룬다. 이를 열거하면 다음과 같다.

##### 가) Task 관리

Task의 생성, 시작, 끝, 제거 혹은 우선 순위 결정 등을 관리한다.

##### 나) 메모리 관리

동적 메모리 할당 및 중앙 메모리와 보조 메모리 사이에서 Task의 이동을 관리한다.

##### 다) I/O 시스템 관리

사용자가 주변장치들을 쉽게 interfacing할 수 있도록 I/O 장치들을 관리한다.

##### 라) File 관리

File의 생성, 변화, 삭제, 보호 등 File에 관련된 업무를 관리한다.

#### 다. 소프트웨어 구축 언어

##### 1) 비주얼 베이직의 특징

통합 관리 시스템의 소프트웨어 개발 언어는 윈도우즈 환경에 적합한 비주얼 베이직을 사용하였다. 그 특징은 다음과 같다.

2) 마이크로 소프트사의 비주얼 베이직은 윈도우 환경에서 좀 더 편하고 원활하게 프로그래밍을 할 수 있도록 개발된 프로그래밍 언어이다.

3) 프로그램의 Form을 구현하는 것, 즉 창을 만들고 선을 긋고 선택 단추 등을 프로그래밍 하는 작업은 기존의 프로그래밍 언어에서는 상당히 복잡하고 또한 반복적인 작업인 것에 반해 비주얼 베이직은 아주 간단하게 원하는 폼을 구현할 수 있다.

4) 윈도우즈용 프로그래밍 언어의 강력한 한 가지 특징은 그래픽 사용자 인터페이스 (Graphical User Interface)이다. 즉, GUI는 사용자들이 프로그램과 충분히 상호 동작할 수 있도록 다양한 시각적인 구성 요소들을 제공한다.

라. 통신 데이터 포맷 소스 및 알고리즘

#### 1) 통신 데이터 포맷 소스

Private Sub Timer1\_Timer()

```
Do
  Do
    dummy = DoEvents()
    Debug.Print "do"
    Com1.Output = "$1A31" + Chr$(13)
    Loop Until Com1.InBufferCount >= 7
    Replace = Com1.Input
    instring = Check_Sum(3, Replace)
  Loop Until instring <> ""
```

once\$ = "&" + instring

GrdMain.Row = 1

GrdMain.Col = 5

If (Left\$(instring, 1) <> "H") Or \_

(Abs(Val(once\$) - beforeD0) > 25.5) Then

```

        x4 = beforeDO * 20 / 255
Else
        x4 = Val(once$) * 20 / 255
        beforeDO = Val(once$)
End If

x4 = Format(x4, "00.000")
GrdMain.Text = x4
FrmDO.GrdDO.Col = 2
FrmDO.GrdDO.Row = C
FrmDO.GrdDO.Text = x4
CDDO(C) = Val(x4)
FrmDO.GDO.Value = CInt(x4)
FrmDO.GrdDO.Col = 1
FrmDO.GrdDO.Text = Time$

CmdState_Click

If (Level_Low > x1 Or x1 > Level_High) _
    Or (Temp_Low > x2 Or x2 > Temp_High) _
    Or (pH_Low > x3 Or x3 > pH_High) _
    Or (DO_Low > x4 Or x4 > DO_High) Then

    Comml.Output = "$1ME1" + Chr$(13)
    OptEmergencyOn.BackColor = &HFFCOFF

```

```
OptEmergencyOff.BackColor = &HFFCOFF
```

```
FraEmergency.BackColor = &HFFCOFF
```

```
Comm1.Output = "$1ME1" + Chr$(13)
```

```
Else
```

```
Comm1.Output = "$1ME0" + Chr$(13)
```

```
OptEmergencyOn.BackColor = &HFFF00
```

```
OptEmergencyOff.BackColor = &HFFF00
```

```
FraEmergency.BackColor = &HFFF00
```

```
Comm1.Output = "$1ME0" + Chr$(13)
```

```
End If
```

```
'3분에 한번 파일에 기록한다.
```

```
Result = C Mod 18
```

```
If Result = 0 Then
```

```
Print #1, Time$, x1, x2, x3, x4
```

```
minuteCount = minuteCount + 1
```

```
Else
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Function Check_Sum _
```

```
(Sum As String, jamsistring As String) As String
```

```
Dim Pos_Channel As Integer
```

```
Dim jamsi As String
```

```
Dim Return_str As String
```

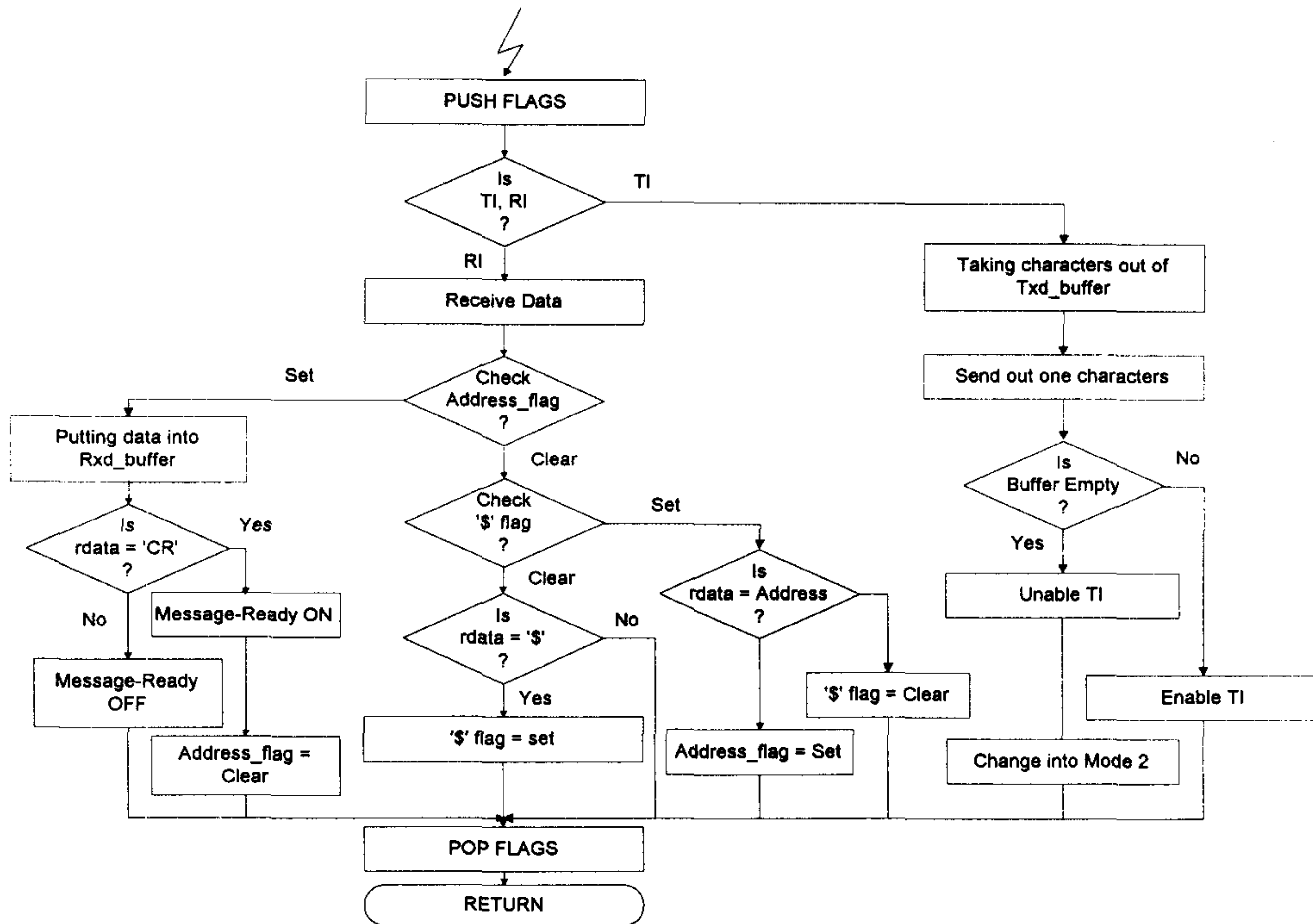


```

Pos_Channel = InStr(jamsistring, "%")
jamsi = Mid(jamsistring, Pos_Channel + 1, 1)
Debug.Print "jamsi": jamsi
If jamsi = Sum Then
    Return_str = Mid(jamsistring, Pos_Channel + 2, 3)
Else
    Return_str = ""
End If
Check_Sum = Return_str
End Function

```

2) 직렬 통신 알고리즘



<그림 4-3-14> 직렬 통신 알고리즘 흐름도

## 제4절 연구 실적 사례

### 1. 대천 수산 고등학교 실습실 설치 (1996년 12월 설치)

#### 가. 전체 시스템 구성

실습장 수조의 실제 모습은 <사진 4-4-1>와 같고 모니터링 시스템이 설치되어 있는 관리실의 실제 모습은 <사진 4-4-2>와 같다. 수조의 물리적 환경 측정부에는 pH, DO, 온도, 센서 3가지가 설치되어 있고 MPU에서 출력되는 제어 신호는 릴레이 구동 회로를 거쳐 릴레이를 동작시키고 이는 해수관, 온수관, 산소 브로우에 연결되어 있는 솔레노이드 밸브를 ON/OFF 시킴으로써 수조의 환경을 최적의 상태로 조절한다.

#### 나. 대천 수산 고등학교 실습장용 프로그램

관리실에 설치된 PC측 비주얼 베이직 프로그램은 기존의 것을 그대로 사용했으며 8097BH MPU측 프로그램은 제어 요소가 실험용 시스템과는 다소 상이한 점이 있으므로 수정된 프로그램을 사용하였다.

<표 4-4-1>는 두 시스템간 제어 요소의 차이점을 보여주고 있다.

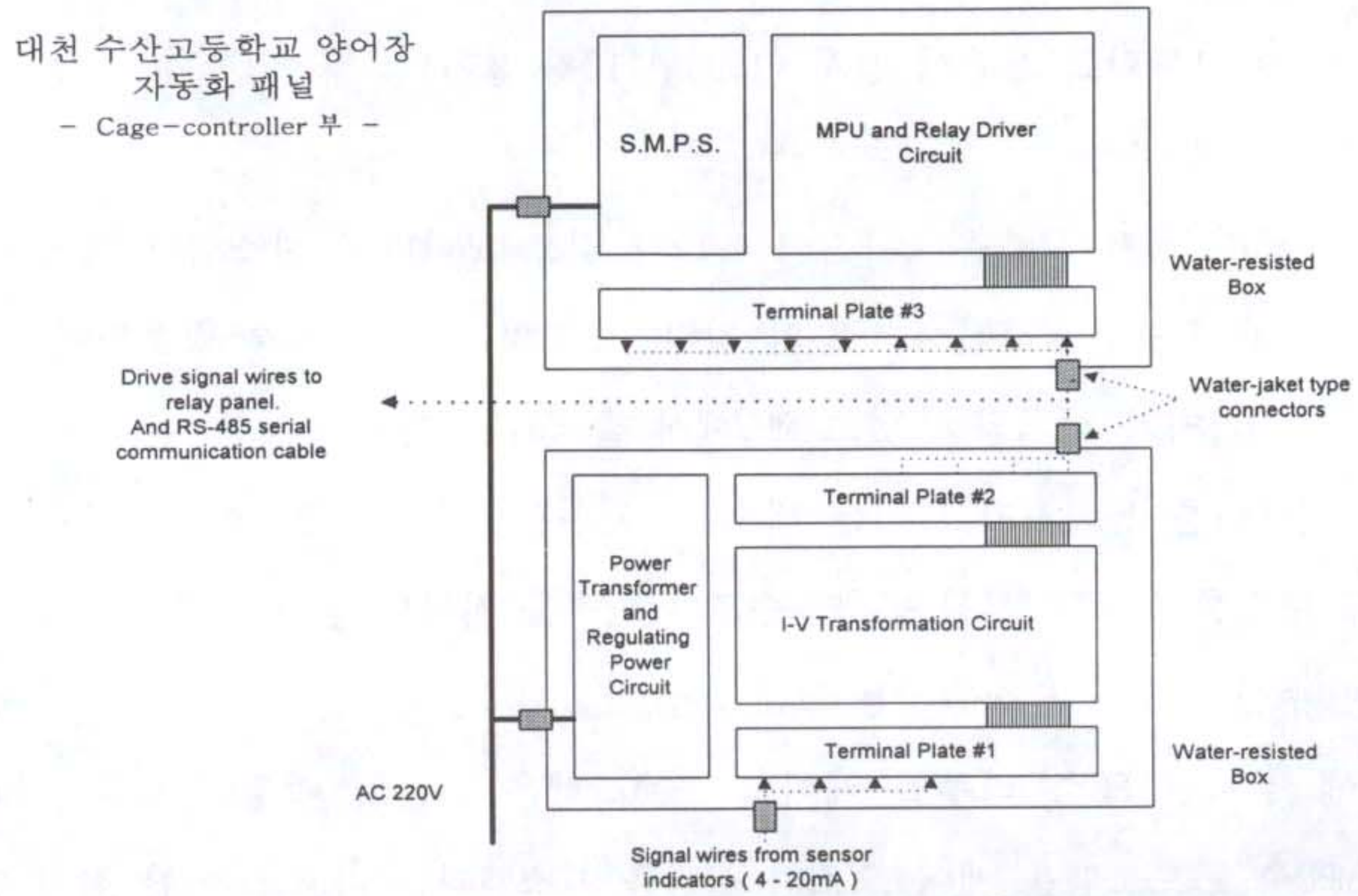
<표 4-4-1> 대천수고 실습장용 시스템과 실험용 시스템과의 차이

실험용 시스템	대천수고 실습장용 시스템
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 급수펌프 ON → 수위, pH 증가</li> <li>    OFF → 수위, pH 감소</li> <li>◦ 히터 ON → 온도 증가</li> <li>    OFF → 온도 감소</li> <li>◦ 산소 펌프 ON → DO 증가</li> <li>    OFF → DO 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 급수 밸브 ON → 온도 증가</li> <li>    OFF → 온도 감소</li> <li>◦ 해수 밸브 ON → pH 증가</li> <li>    OFF → pH 감소</li> <li>◦ 산소 밸브 ON → DO 증가</li> <li>    OFF → DO 감소</li> </ul>

#### 다. 협력 업체

(주)에스제이하이테크

라. 패널 배치도



<그림 4-4-1> 패널 구성도

마. 대전 수산 고등학교 실습장 현장 사진



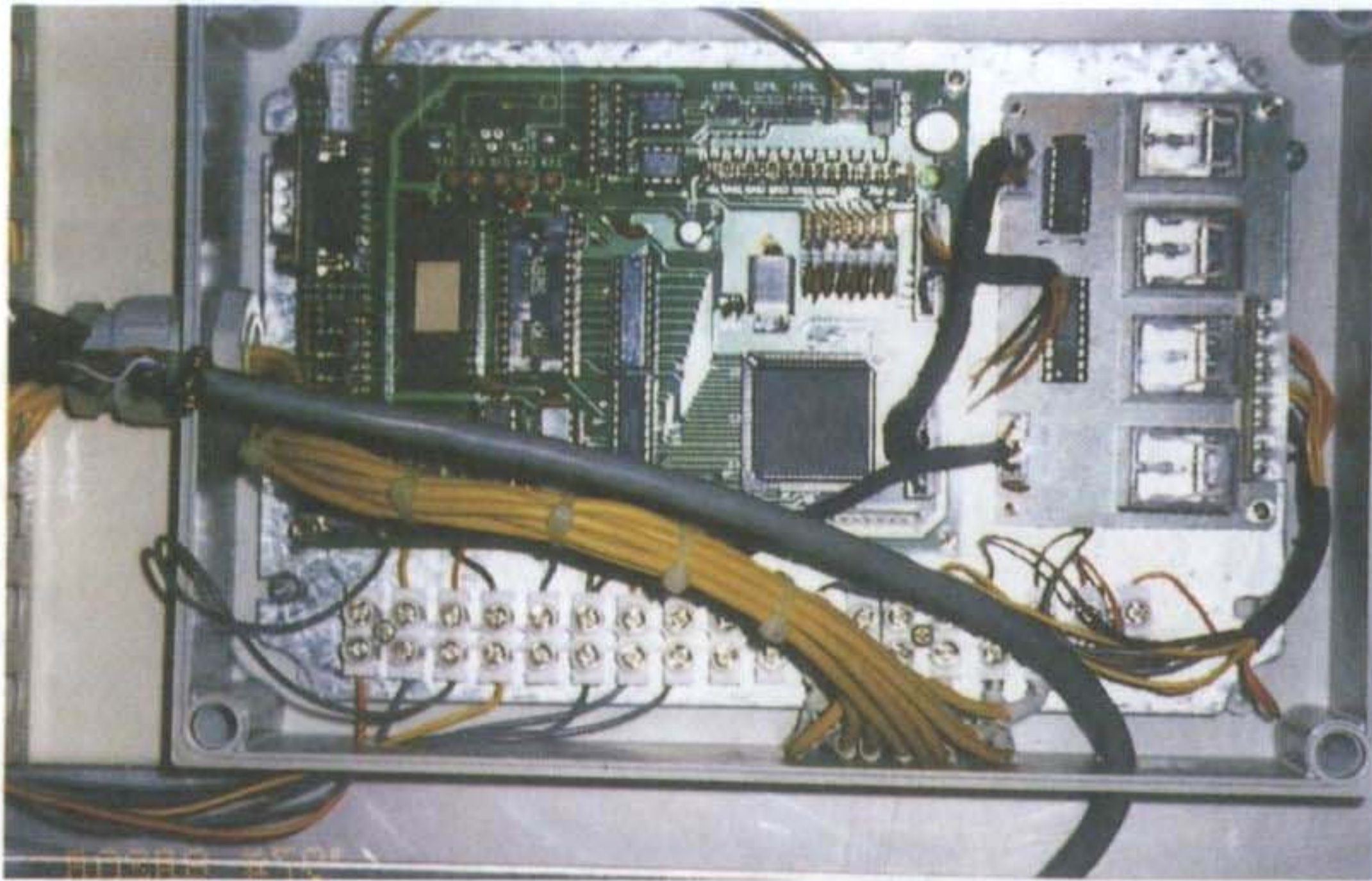
<사진 4-4-1> 대전 수고 실습장 수조



<사진 4-4-2> 대천 수고 실습장 관리실



<사진 4-4-3> 제어 패널



<사진 4-4-4> 마이크로 프로세서 제어부

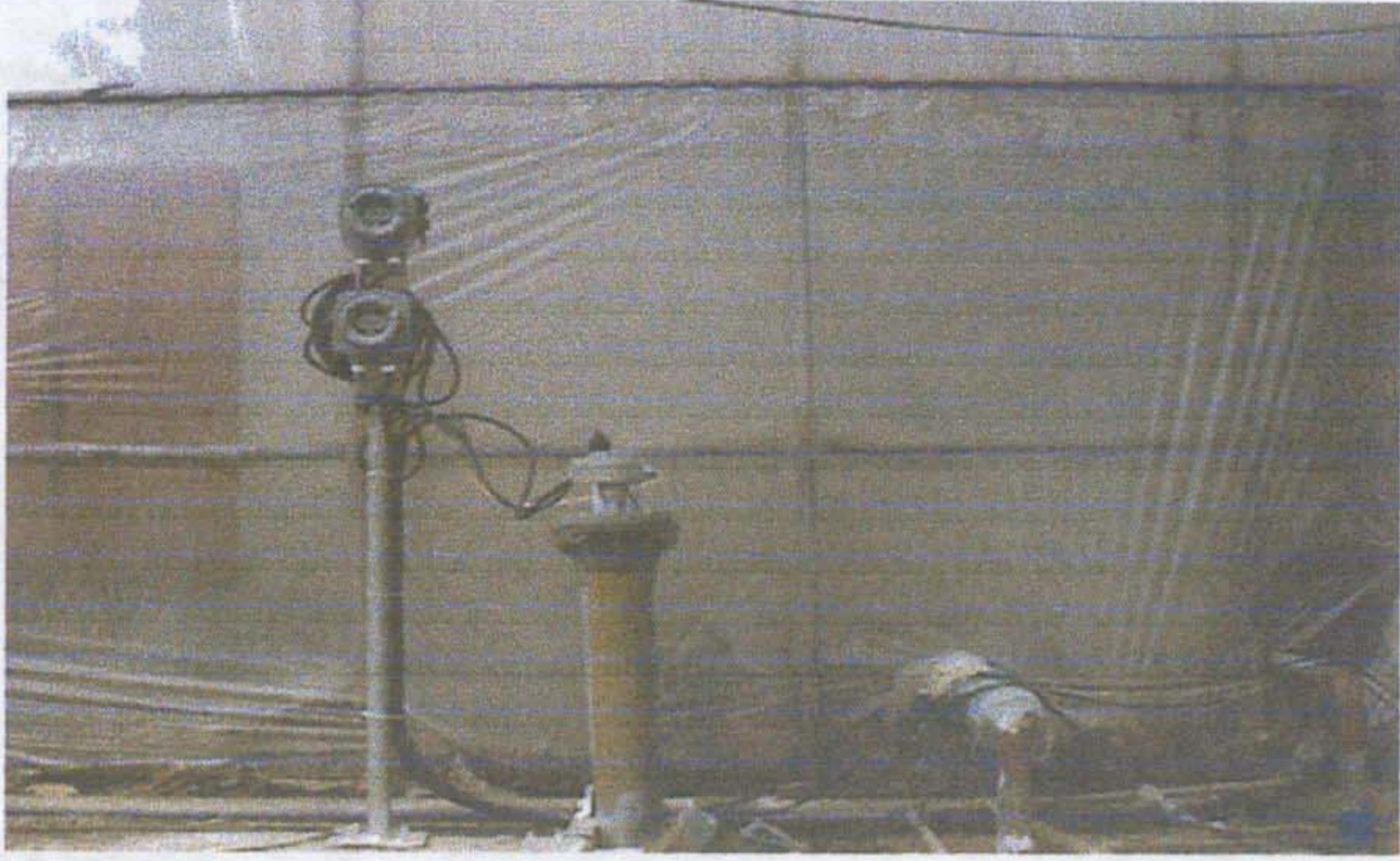
2. 부경대학교 교내 양어장 설치(1997년 5월 설치)

가. 협력 업체 : (주)에스제이하이테크

나. 양어장 전경



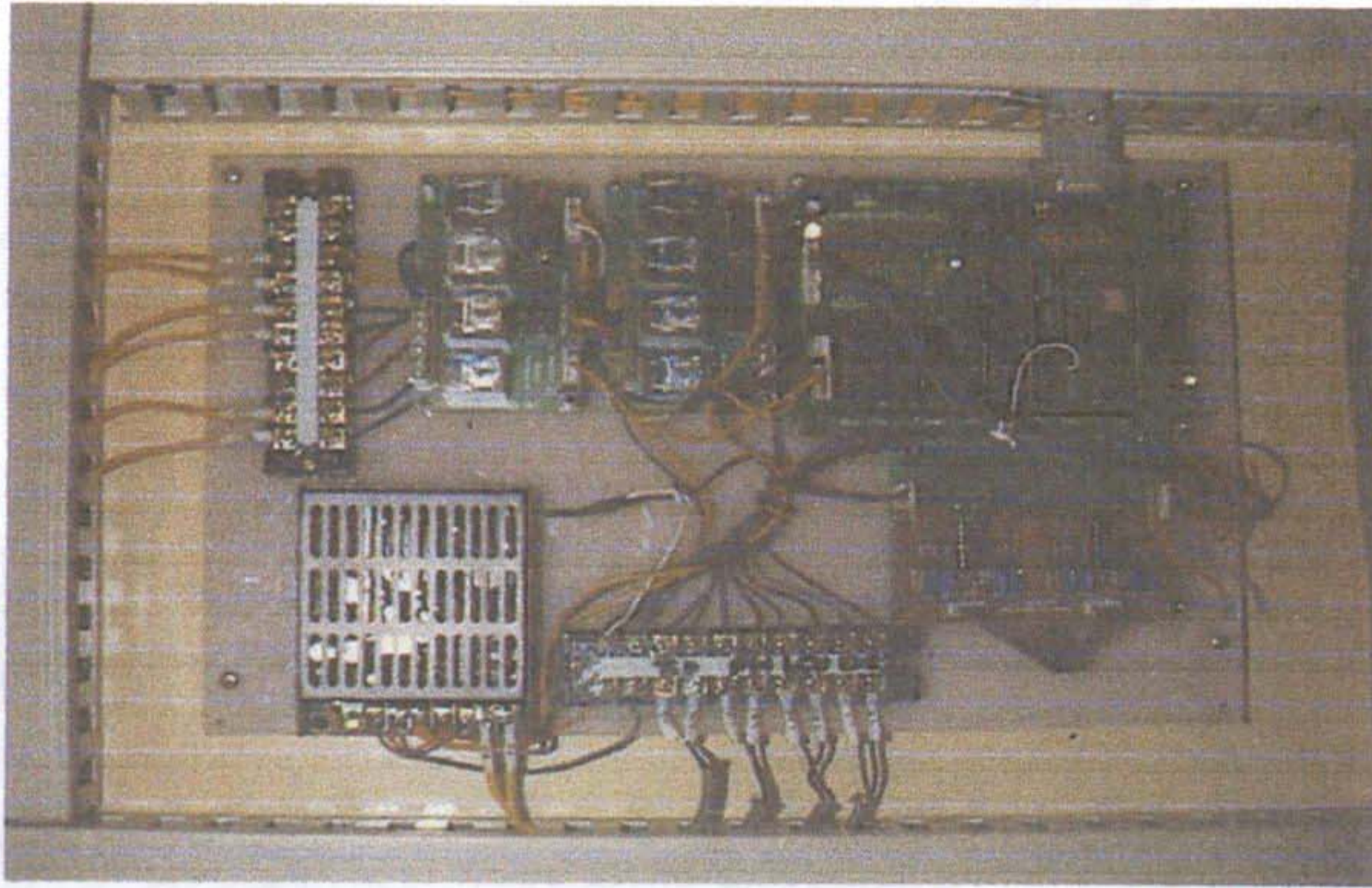
<사진 4-4-5> 부경대학교 양어장 관리실



〈사진 4-4-6〉 양어장 센서



〈그림 4-4-7〉 부경대학교 담수 양어장



〈그림 4-4-1〉 주 제어 패널

### 3. 논문 및 특허 실적

#### 가. 학술지 논문

- ① 강호원, 이성호, 김제윤, 정석권, 김상봉, “양어장 자동화 시스템의 개발 - 모형 수조를 중심으로”, 『한국수산학회지』, 제28권, 제3호, pp.294-300, 1995.5
- ② 강호원, 김성근, 김상봉, “양어장 자동화 시스템 개발( I )”, 『해양산업개발연구소 제4회 국내학술회의』, 1994.

#### 나. 초청강연

김상봉, “양식산업 자동화 시스템”, 『한국산업기술연구원』, 제940033호 pp.66-75, 1994.11.19

#### 라. 특허

김상봉, 강호원, 조규대 “양식장 자동화 시스템”, 특허출원 제72314호, 1995.12.20

## 제5절 자동화 및 모니터링 시스템의 공정 관리 방안

### 1. 운영관리체계와 작업의 분담 방법

자동화와 중앙 모니터링에 의한 컴퓨터 통합 관리 시스템으로 양어장을 정상적으로 운전하면서 안정된 생산 관리를 하기 위해서는 운영 관리를 효율적으로 하여야 한다.

### 2. 양어장 시설의 특성과 운전 조작 상의 유의 사항

양어장 시설은 일반 산업체 시설과는 달리 항상 습기와 수분에 접해 있으며, 특히 해수를 사용하는 양어장일 경우, 염분으로 인해 사용하는 기기에 세심한 관리와 주기적인 점검이 요구된다. 또한 수분으로 인한 감전사고의 위험도 크다. 따라서 전기적인 연결 커넥터는 항상 방수와 누전에 유의하여 다루어야 한다. 사용하는 재질도 방식될 수 있는 재질의 사용이 필수적이며, 정기적인 보수를 행해야 한다.

살아 있는 생물을 생산하고 있으므로, 순간적인 관리 실수는 곧바로 경영에 큰 손실을 초래하므로, 안정된 환경관리와 기기의 안전한 운전이 대단히 중요하다. 그래서 기기를 켜고 끌 때는 세심한 주의가 요구되며, 항상 한번더 주위를 살피고 확인한 후 조작하는 것이 바람직하다.

### 3. 운전사양서에 의한 조작

모니터링 프로그램의 기동시, 비상시의 동작 조건과 데이터 저장 기간에 따른 파일 명의 입력 처리 등과 같은 초기 입력 과정이 있으므로 화면에서 표시되는 내용을 잘 숙지하면서 시스템을 기동해야 할 필요가 있다.

### 4. 센서기능 저하시의 대응 방법 및 보수 시기

산소나 pH 센서 등은 정기적으로 보수 점검을 실시하지 않으면, 그 기능이 저하되어 실제값과는 다른 값을 출력하여 비상 시스템이 작동하게 되며, 시스템 전체가 오동작을 하는 경우가 있으므로 각 센서들의 사양서에 따라 보수를 시행해야 할 필요가 있다.



## 5. 운전 및 유지 관리

### 가. 시운전

다음 각 사항을 확인한다.

- 1) 각 수조에 물을 공급하여 누수 여부를 확인한다.
- 2) 공기 및 냉온수 배수관의 접합부, 조정 밸브 등의 접합부에서 누수 여부
- 3) 펌프, 블로워 등 기기류가 소음을 내지 않고 정상적으로 가동하는지
- 4) pH, 산소, 온도, 수위 등의 센서류가 정상적인 작동을 하는지
- 5) 계장 기기가 관련 장치와 연동하여 정상적으로 작동하는지
- 6) 전기계통의 접지가 정상적으로 연결되어 안전하게 작동하고 있는지
- 7) 운전 안내서에 의한 조작으로 정상적인 기기 작동상태

시운전의 결과, 설계 사양과 같은 동작 결과를 기대할 없는 경우가 있다. 때로는 설치 후의 시운전에서는 양호한 결과를 얻었지만, 몇 개월도 지나지 않아 정상적인 동작을 하지 않는 경우도 있을 수 있다. 이와 같은 문제점의 발생은 설계 상의 문제 또는 운전 관리상의 보수와 점검 소홀에 의해 나타난다. 따라서 다음과 같은 설계 및 운전 관리상의 문제점에 대해 검토하는 것이 바람직스러울 것이다.

### 나. 설계로 인한 경우

- 1) 적용 범위의 오류
- 2) 설계상 필요한 자료의 부족
- 3) 비용 절감을 위한 안전율, 여유율의 부족
- 4) 재질선정의 잘못, 부식, 응력, 온도 등에 의한 고려 부족
- 5) 조건의 불명확

### 다. 운전 관리로 인한 경우

- 1) 정기적인 보수 점검의 미비
- 2) 수질 환경 관리가 불충분
- 3) 계기에 지나치게 의존하는 운전

라. 유지 관리에 관한 기본적 사항

- 1) 양어장 관리 자동화 시스템의 운전을 정상적으로 행하기 위해서는 시설 업체로부터 제시된 설계사양서, 취급 설명서 및 시설도면 등을 사전에 숙독하고, 필요한 경우는 시설업자나 전 관리자의 설명을 들어 자동화시설의 내용전체를 충분히 이해하는 것이 중요하다.
- 2) 각종 펌프, 모터 등의 기기류에 대한 주유 및 청소를 비롯하여, pH, 산소, 온도, 수심 등의 센서류의 보증과 청소와 같은 보수 점검 작업은 기계 설비나 계측기기의 고장 및 손상 등을 미연에 방지하기 위해 정기적으로 행한다.
- 3) 소모되기 쉬운 벨트, 패킹, 회전 부품 및 오일 등은 반드시 정기적으로 교환한다.
- 4) 기기류등의 점검의 결과, 이상한 상태가 발견되었을 때는 신속하게 보수 또는 개선한다.

## 제6절. 경제성 평가

### 가. 재료비 및 노무비

항목	내역	수량	단가	금액(단위 : 원)
재료비				
(1)Conduit pipe	28M/M	500M	1,100	550,000
Normal bank & Fitting	54M/M	450M	2,300	1,035,000
(2)Cable	-	1Lot	-	300,000
CVV-S	36M/M	260M	1,428	371,280
CVV-S	2.0SQ6C	900M	1,000	900,000
(3)Pull & Joing box PVC	2.0SQ19C	750M	3,100	2,325,000
(4)Flexibl conduit & fitting	20×20M/M	50EA	20,000	1,000,000
(5)설치잡자제	16, 22, 54M/M	1 Lot		1,200,000
		1 Lot		1,000,000
소계				8,681,280

### 나. 노무비

항목	내역	수량	단가	금액(단위 : 원)
직접노무비	H/W설치기사	5명×15일	68,376	5,128,200
간접노무비	통신설비공	2명×15일	62,028	1,860,840
	S/W시험기사	2명×15일	65,946	1,978,380
소계				8,967,420

다. 경비

항 목	내 역 단 가	금액 (단위 : 원)
경 비	(재료비+노무비)*0.0372	706,569
	수도광열비 0.249%	
	복리후생비 1.639%	
	소모품, 사무용품 0.980%	
	여비, 교통비, 통신비 0.268%	
	세금과공과 0.304%	
	도서인쇄비 0.051%	
	지급 수수료 0.231%	
소 계	706,569	

라. 일반관리비

항 목	내 역 단 가	금액 (단위 : 원)
일반관리비	계 : 3.277%	1,182,022
	(재료비+노무비+경비)*0.06	
소 계		1,182,022

마. 업체이윤

항 목	내 역 단 가	금액 (단위 : 원)
이 윤	(재료비+노무비+경비)*0.15	1,830,168
소 계		1,830,168

바. 총경비

항 목	소 계 (단위 : 원)
재 료 비	8,681,280
노 무 비	8,967,420
경 비	706,569
일 반 관 리 비	1,182,022
이 윤	1,830,168
T O T A L	22,712,257
부 가 가 치 세	2,271,257
총 계	24,983,829

## 제7절 결론

퍼스널 컴퓨터와 8096 마이크로프로세서를 이용하여 양어장 수조의 환경을 제어, 감시하는 자동화 시스템을 개발하여, 파이롯 플랜트와 실시스템을 대상으로 하여 실험을 통해, 다음과 같은 결과를 얻었다.

양어장의 생력화는 여러 분야에서 가능한 것이며 타분야로 부터 과학기술이 도입됨에 따라 생력화의 가능 분야는 매우 넓다고 볼 수 있다. 단지 이를 지나치게 추구하면 하이테크 어장과 같이 무인 양어장이 되고 말겠지만 그것이 양어 경영이 목표하는 생력화의 도달점이라고는 할 수 없다. 여기에서 생력화의 원점으로 돌아가면 생력화의 역할은 고령화나 인력 부족의 해결이며 이는 양어 경영에 있어 경비 절감으로 나타날 것이다. 그리고 생력화에 의해 얻어진 잉여 시간은 양어 기술의 향상이나 판매 전략을 세울 수 있는 시간도 가질 수 있을 것이다.

본 시스템은 기존의 PLC에 의한 자동화에 비해 8051, 8096, 80196 Microprocessor를 이용함으로써 프로그램의 수정이 용이하고, Interface 장치를 쉽게 접속할 수 있기 때문에 양어장의 환경 변화에 쉽게 대처할 수 있다. 또한 통신 방법을 기존의 RS232통신이 아닌 RS422/485통신을 이용함으로써 ERROR를 줄이고 원거리 통신이 가능하게 되었다. 그리고 DLU부의 Dual개념을 도입하여 Data Logging 시스템이 안정화되었다. 만약 한 대의 PC가 알 수 없는 이유로 동작을 멈추게 되면, 다른 한대의 PC가 다른 PC에서 처리하던 역할을 대신하게 된다. 위의 Microprocessor의 사용, RS422/485 통신 방법과 Dual 개념 때문에, 기존의 PLC 자동화 장치에 비해 안정성과 유연성 면에서 우수함을 알 수 있다.

양어장 시스템 구동용 소프트웨어에 대한 전체적인 구성에 있어, 기존의 시스템이 단지 ON/OFF만을 전달하고 있는 점에 반하여 본 시스템은 Dual개념을 사용하여 타 시스템의 감시도 병행함으로써 해서 시스템의 이상 상태 발생에 대한 대처 능력을 부여하였다.

센서가 장착된 실제 수조와 모니터링용 PC의 위치, 즉 현장에서의 사무실과 수조간의 간격을 감안하여 RS-422통신을 이용하여 데이터의 교환을 실현함으로써 해서 RS-232C통신을 사용 할 때의 거리상의 제약을 해결할 수 있었다.

양식업은 어류의 유형에 따라 환경 조건에 있어서 큰 차이를 보이고 있으며, 앞에서 제시한 환경의 우선 순위도 달라져야 할 것이다. 이러한 문제는 센서, 제어부(하드웨어적인)부분, 그리고 프로그램 등을 조금 변경하거나 추가함으로써 해결 할 수 있으리라 생각한다. 양식장 자동화의 실용화를 위해서는 현장의 경험이 있거나 지금 현재 종사하고 있는 양식가의 조언이나 공동연구가 필요하다.

추후 더욱 연구되어야 할 과제로서는 어망 세척, 활어선별기 등의 개발이 남아 있으며, pH와 용존 산소량의 제어시 지금은 급수, 배수펌프로 조절하고 있지만 중화제나 액체산소 등을 탱크에 비치해 두었다가 수질 상태가 기준치를 넘어 섰을 때 자동으로 주입 시킬 수 있는 장치의 개발을 예상하고 있다.

## 제5장 결론

### 1. 수처리시스템의 개발

인공양식수를 이용한 실험실 규모의 순환수 처리실험 실험에서 간접포기식 고정생물막 반응조의 운전결과는 다음과 같다. Saran 미디어 이용한 간접포기식 생물막 공법에서는 유기물질 제거율은 약 13.5분의 수리학적 체류시간에서 평균 40% 보였으며 Ring미디어의 경우 평균 21%였다. 암모니아 제거는 정상상태 이후 유출수의 암모니아성 질소농도는 약 0.1mg/L 이하를 보여 암모니아 제거능력이 우수하였다.

직접포기식 고정생물막 반응조를 운전한 결과는 다음과 같다. 유기물 제거율은 약 13.5분의 HRT에서 Saran미디어가 평균 40%, Ring 미디어는 평균 21.0%의 제거효율을 보였다. 실험결과 유출수의 암모니아성 질소농도는 Saran미디어와 Ring미디어의 경우 각각 0.1mg/L, 0.172mg/L이하로 나타났다.

활성탄 삼상 유동층 반응조를 운전한 결과는 다음과 같다. 1일 회전수를 4.6과 9.6으로 두고 운전한 결과 유기물 제거는 각각 81.9%와 59.6%로 나타났고, 암모니아성 질소의 제거효율은 31.0%와 18.8%로 나타났다.

실험실 규모의 양어장 순환수처리에 적용된 반응조별 실험결과는 다음과 같다. 직접포기식 고정생물막 반응조에서 Saran미디어를 충전한 경우유입수의 암모니아성 질소농도는 0.12 ~ 1.04 mg N/L였으며, 부하범위는 10.08 ~ 465.60 g N/m<sup>2</sup>/day였다. 반응조의 수리학적 체류시간변동이 5min까지 단축된 경우, 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 수질을 보였으나, 수리학적 체류시간이 3 min일때, 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 관찰할 수 있었다. Saran+Y미디어를 충전경우 유입수 암모니아는 0.14 ~ 1.04mg N/L의 농도 범위 였고, 수리학적 체류시간이 5min까지 단축되어도 안

정적인 유출수 수질을 보였다. 그이하의 수리학적 체류시간에서는 유입수변동에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다. 직접포기식 Saran메디아와 Saran+ Y 메디아 등에 대한 각각의 유입부하 범위는 10.08-465.60, 10.80-499.20 ( $\text{g NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{day}$ )였고, 각 반응조별 제거율은 45.10 - 97.44, 35.42 - 92.88( $\text{g NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{day}$ )의 범위였다.

Air - Lift식 생물막 반응조는 실험기간중 유입수의 암모니아성 질소농도 범위는 0.20 -0.87 mgN/L였고, 부하범위는 14.4-125.3 ( $\text{g NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{day}$ )였다. 수리학적 체류시간이 20min일 때 0.1 mg N/L이하의 안정적인 유출수 농도를 보였고, HRT를 10min으로 단축하였을 때 유입수 농도에 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다.

페타이어 삼상유동층 반응조 수리학적 부하를  $48 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$  -  $240 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ 로 운전 하였을 때 유입수의 농도는 0.09 mg/L ~ 1.17 mg/L였으며 유출수의 농도는 0.01 mg/L ~ 0.39 mg/L로 전 기간동안 최대 0.4 mg/l 이하를 유지하였다. 암모니아성 질소의 부하범위는  $15.44 \text{ g}/\text{m}^3/\text{day}$  ~  $205.3 \text{ g}/\text{m}^3/\text{day}$ 였으며 이때 제거율은 80.3 %로 나타났다.

활성탄 이상유동층 반응조를 이용한 실험실 규모의 질산성 질소 제거실험에서 수리학적 체류시간의 변화에서 HRT가 1.0hr에서 유기물질 제거효율이 93.1 %, 질산성 질소의 제거효율이 98.4 %로 나타났다. 질산성 질소의 부하변동에 따른 실험에서 유입 질산성 질소의 농도를 93.8 mg/ℓ 까지 높이더라도 처리효율은 98.3 %였다. 탈질소화에 필요한 탄소원의 양을 결정하기 위하여 COD/ $\text{NO}_3^-$ -N 비에 따른 질산성 질소의 제거 효율 실험에서 그 비가 5.7과 3.2일 경우에 각각 제거율이 99.1 %와 98.4 %로 나타났다.

양어장 슬러지를 이용한 원예작물 공정묘와 분식물의 생산실험에서는 다음과 같은 결과를 얻었다. 양어장 슬러지에 함유되어 있을 것으로 추정되는 잉여사료의 영양분과 어류 배설물에 함유된 비료 성분이 공정육묘 상토 1당 9 kg만 첨가하면 충분함을 나타낸다. 이것은 어류에 필요한 영양분이 고추와 토마토 등의 원예작물의 생육에 필요



한 영양양분과 유사하고 성분간의 균형도 유사함을 나타낸다. 단지 많은 양의 비료성분이 슬러지내에 포함되어 있더라도 유기물은 서서히 분해되는 성질이 있으므로 고농도에 의한 장애는 받지 않았고 고추와 토마토의 공정육묘기간인 40일간 필요한 영양분을 충분히 공급할수 있음을 나타낸다.

Pilot Plant 운전 결과는 다음과 같다. 고정 생물막 반응조를 이용한 Pilot Plant에서 실험기간동안 일간 성장률은 1.00, 1.22, 사료계수는 1.06, 1.04로 나타났다. 순환수의 pH 유지를 위해 공업용  $\text{NaHCO}_3$ 를 100-150 g/day로 공급하여 전체 실험 기간동안 pH 7 - 8을 유지할 수 있었고, 각 시스템의 평균 탁도농도는 1NTU이하의 양호한 상태를 유지하였다. Saran+Y 미디어와 Saran미디어를 생물막 여과조로 적용하였을 때 각 실험단계 별 사육조내 평균암모니아농도는 I 단계에서 0.64, 0.36 mg N/L, II 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, III 단계에서 0.79, 0.35 mg N/L, IV 단계에서 0.47, 0.60 mg N/L로 나타나, 안정적인 수질결과를 보였다. 폐타이어 삼상유동층 반응조를 이용한 Pilot Plant의 운전결과는 수리학적 부하를  $57.6 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d} \sim 180 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$  로 운전하였을 때 유입수의 농도는  $0.10 \text{ mg/l} \sim 1.17 \text{ mg/l}$ 였으며 유출수의 농도는  $0.02 \text{ mg/l} \sim 0.24 \text{ mg/l}$ 로 전 기간동안 최대  $0.3 \text{ mg/l}$  이하를 유지하였다. 암모니아성 질소 부하는  $5.63 \text{ g/m}^3/\text{day} \sim 205.2 \text{ g/m}^3/\text{day}$ 였으며 부하율에 대한 제거율은 80.7 %로 나타났다. 암모니아성 질소 부하에 따른 제거효율은 40.25 ~ 85.05 %의 범위를 나타내었으며 제거율도 실험실 규모 삼상 유동층 반응조의 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 Pilot Scale 삼상 유동층 반응조의 Scale-up은 적절하게 이루어진것으로 판단된다.

미세스크린을 이용한 양식수처리 실험에서 틸라피아 양식수와 뱀장어 양식수의 오존접촉시간에 따른 수질인자의 변화는 다음과 같다. 오존접촉시간에 따른 대장균 사멸정도는 접촉시간 5분에서 거의 사멸되어져 대장균 살균에 뛰어난 효율을 나타냈다. 아질산성 질소는 오존접촉시간에 따라 점차적으로 감소하여 HRT 20 min에서는  $0.8 \text{ mg/L}$  의 농도로 낮아졌다. 유기물 변화는  $\text{UV}_{254}$  값이 오존접촉시간에 따라 감소하

는 것으로 보아 오존처리가 생물학적 분해불가능한 물질들을 분해가능한 물질로 변화시킨다는 것을 고찰할 수있었다. 오존접촉시간에 따라 탁도는 뱀장어 양어수에서 틸라피아 양어수보다 훨씬 뛰어난 제거효율을 보였다.

공정관리 방안 순환여과식 양어시스템의 수처리장치가 처리해야 되는 순환수특성은 오염물질의 농도는 낮고 많은 유량을 처리해야되는 특성이 있다. 미국 EPA에서 권고하는 양어장 순환수내 비이온성 암모니아의 기준 농도를 0.02mg/L이라고 제시하였다. pH를 유지하기 위해서는 항상 일정량의 알칼리도의 공급이 필요하다. 알칼리도의 공급은 탄산염이나 중탄산염등을 주입함으로써 이루어질수 있다. 침전조에 고인 고형물질은 1일1회 주기의 제거작업이 필요하다. 이 작업을 통하여 일정량의 물이 환수된다. 사여과장치는 수동으로 운전하였으며, 1일 1회정도 역세를 통하여 사여과장치를 세척하였다. 생물막 여과조의 관리는 운전유량을 점검하여 생물막 여과조가 설계조건대로 운전되는지를 점검해야 된다. 유동층 반응조의 관리 요령은 주입공기량의 관리가 아주 중요한 요소이며, 유출수내 미디어가 혼합되어 나오지 않도록 주의를 기울여야 된다. 경제성 검토결과 사육조 규모 100㎡인 현장에 적용한 설치비 내역을 산출하면 다음과 같다. 생물막 여과조 설치는 Biofilter(높이 2m, 지름 1m) : 4만원/조 × 50조 = 200만원, 미디어 : 100만원/㎡ × .13 × 1.5㎡/조 × 50조 = 1000만원, 공기 공급( 6HP 공기펌프 ) : 65만원/대 × 3대 = 195만원, 총액 = 1395만원

## 2. 시설물 종합관리 시스템 개발

순환여과식 양어시설의 종합설계시스템개발과 관련하여 제 2절에서는 기존의 연구 결과를 정리하고 문제점을 도출하였다. 제 3절에서는 사육수조의 설계를 위한 과학적인 접근방법으로서 수리모형실험과 현지조사 및 수치모형실험을 통하여 사육수조내의 유동구조에 미치는 설계인자에 대하여 검토하였다. 그 결과 기존에는 정성적으로만 제시하였던 수조의 설계에 대하여 정량적인 결과를 제시하였다. 제 4절에서는 침전수조의 설계와 관련하여 기존의 침전수조의 현황과 문제점을 제시하고 여러 가지 형태의 침전수조를 현장실험을 통하여 각 침전수조의 성능과 효율을 평가하고 침전수조의 주요 설계요소를 제시하였다. 제 5절에서는 제 3절과 제 4절에서 얻어진 연구결과를 바탕으로 새로운 사육수조와 침전수조의 구성방법과 설계방법을 제시하고 수리모형실험을 통하여 그 타당성을 검토하였다. 제 6절에서는 사육수조와 침전수조의 설계에 있어서 시행착오를 거치지 않고 안전하게 설계할 수 있는 기본적인 설계지침을 제시하였다. 끝으로 제 7절과 제 8절에서는 본 시스템의 공정관리방안과 경제성에 대하여 검토하여 본 시스템에 의하여 어류를 양식할 경우 기술적인 어려운 점 없이 경제성 있는 양어가 가능함을 보였다.

## 3. 종합관리 시스템 개발

퍼스널 컴퓨터와 8096 마이크로프로세서를 이용하여 양어장 수조의 환경을 제어, 감시하는 자동화 시스템을 개발하여, 파이롯 플랜트와 실시스템을 대상으로 하여 실험을 통해, 다음과 같은 결과를 얻었다.

양어장의 생력화는 여러 분야에서 가능한 것이며 타분야로 부터 과학기술이 도입됨에 따라 생력화의 가능 분야는 매우 넓다고 볼 수 있다. 단지 이를 지나치게 추구하

면 하이테크 어장과 같이 무인 양어장이 되고 말겠지만 그것이 양어 경영이 목표하는 생력화의 도달점이라고는 할 수 없다. 여기에서 생력화의 원점으로 돌아가면 생력화의 역할은 고령화나 인력 부족의 해결이며 이는 양어 경영에 있어 경비 절감으로 나타날 것이다. 그리고 생력화에 의해 얻어진 잉여 시간은 양어 기술의 향상이나 판매 전략을 세울 수 있는 시간도 가질 수 있을 것이다.

본 시스템은 기존의 PLC에 의한 자동화에 비해 8051, 8096, 80196 Microprocessor를 이용함으로써 프로그램의 수정이 용이하고, Interface 장치를 쉽게 접속할 수 있기 때문에 양어장의 환경 변화에 쉽게 대처할 수 있다. 또한 통신 방법을 기존의 RS232통신이 아닌 RS422/485통신을 이용함으로써 ERROR를 줄이고 원거리 통신이 가능하게 되었다. 그리고 DLU부의 Dual개념을 도입하여 Data Logging 시스템이 안정화되었다. 만약 한 대의 PC가 알 수 없는 이유로 동작을 멈추게 되면, 다른 한대의 PC가 다른 PC에서 처리하던 역할을 대신하게 된다. 위의 Microprocessor의 사용, RS422/485 통신 방법과 Dual 개념 때문에, 기존의 PLC 자동화 장치에 비해 안정성과 유연성 면에서 우수함을 알 수 있다.

양어장 시스템 구동용 소프트웨어에 대한 전체적인 구성에 있어, 기존의 시스템이 단지 ON/OFF만을 전달하고 있는 점에 반하여 본 시스템은 Dual개념을 사용하여 타 시스템의 감시도 병행함으로써 해서 시스템의 이상 상태 발생에 대한 대처 능력을 부여하였다.

센서가 장착된 실제 수조와 모니터링용 PC의 위치, 즉 현장에서의 사무실과 수조간의 간격을 감안하여 RS-422통신을 이용하여 데이터의 교환을 실현함으로써 해서 RS-232C통신을 사용 할 때의 거리상의 제약을 해결할 수 있었다.

양식업은 어류의 유형에 따라 환경 조건에 있어서 큰 차이를 보이고 있으며, 앞에서 제시한 환경의 우선 순위도 달라져야 할 것이다. 이러한 문제는 센서, 제어부(하드웨어적인)부분, 그리고 프로그램 등을 조금 변경하거나 추가함으로써 해결 할 수 있으

리라 생각한다. 양식장 자동화의 실용화를 위해서는 현장의 경험이 있거나 지금 현재 종사하고 있는 양식가의 조언이나 공동연구가 필요하다.

추후 더욱 연구되어야 할 과제로서는 어망 세척, 활어선별기 등의 개발이 남아 있으며, pH와 용존 산소량의 제어시 지금은 급수, 배수펌프로 조절하고 있지만 중화제나 액체산소 등을 탱크에 비치해 두었다가 수질 상태가 기준치를 넘어 섰을 때 자동으로 주입 시킬 수 있는 장치의 개발을 예상하고 있다.

## 참고문헌

- Antonie, R.L., D.L. Kluge and J. H. Mielke. 1974. Evaluation of a rotating disk wastewater treatment plant. *J. WPCF*. Vol. 46. pp. 298-311.
- APHA., AWWA & WPCF. 1989. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17th Ed.
- Armstrong, D. A., D. Chippendale, A.W. knight, and J. E. Colt. 1978. Interaction of ionized and un-ionized ammonia on short-term survival and growth of prawn larvae, *Macrobrachium rosenbergii*. *Biol. Bull.*, Vol.154, pp.15-31
- Armstrong, D. A., M. J. Stephenson, and A. W. Knight. 1976. Acute toxicity of nitrite to larvae of the giant Malaysian prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, Vol.9, pp.39-46.
- Atkinson, B., Cunningham J. D. and Piches A. 1984. Biomass hold-ups and overall rates of Substrate(glucose) uptake of support particles containing a mixed microbial culture. *Chem. Engng Res. Des.*, Vol.64, pp. 155-164.
- Bower, C. E. and J. P. Bidwell (1978) Ionization of ammonia in seawater : effects of temperature, pH, and salinity. *J.Fish. Res. Board Can.*, Vol.35, pp. 1012-1016.
- Brockway, D. R. 1950. Metabolic products and their effects. *Prog. Fish-Cult.*, Vol.12, pp.127-129
- Brown, D. A. and D. J. McLeay. 1975. Effect of nitrite on methemoglobin and total hemoglobin of juvenile rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.*, Vol.37, pp.36-38.

- Bryers, J. D. 1979. rates of initial biofouling in turbulent flow systems. Ph. D. thesis, Rice University.
- Burkhead, C. E. and R. E. McKinney (1968). Application of complete mixing activated sludge design equations to industrial wastes, *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, Vol. 40, 557.
- Burrows, R. E. 1964. Effects of accumulated excretory products on hatchery reared Salmonids Bureau of sport Fisheries and Wild-life Research Report, Vol.66, pp.1-11.
- Cardeilhac, P. T. and E. R. Hall 1977. Acute copper poisoning of cultured marine teleosts. *Am. J. Vet. Res.*, Vol.38, pp.525-527.
- Carmignani, G.M. and J.P. Bennelt. 1977. Rapid start-up of a biological filter in a recirculating aquaculture system containing channel catfish. *Aquacultural Engineering*. Vol. 3, pp. 39-57.
- Characklis, W. G. 1981. Fouling biofilm development : A process analysis. *Biotechnology and bioengineering*, Vol. 23, pp. 1923-1960
- Chiang, H. C. and J. C. Lee. 1986. Study of Treatment and Reuse of Aquacultural Wastewater in Taiwan. *Aquacultural Engineering.*, 5, pp. 301-312.
- Christensen, G. M. 1971/1972. Effects of metal cations and other chemicals upon the in vitro activity of two enzymes in the blood plasma of the white sucker. *Catostomus commersoni*(Lacepede). *Chem. -Biol. Interactions*, Vol.4, pp. 351-361.
- Crawford, R. E. and G. H. Allen. 1977. Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Vol.106, pp.105-109.
- Csavas, Imre, 1990. Why Asia leads in aquaculture Fish farming Intn'l. 17(101:8-10)

- Design and operating guide for aquaculture seawater system. 1992.  
*Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 20*
- Dillon G. R. and Thomas V. K. 1990. A pilot - scale evaluation of the "Biocarbon process" for the treatment of settled sewage and for tertiary nitrification of secondary effluent. *Wat. Sci. Technol.*, Vol. 22, pp. 305 - 316.
- Dorman, J. 1929. Results of operation of experimental contact filter with partially submerged rotating plates., *Sewage Works Journal*, Vol. 1, No.5, pp.555.
- EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Committee). Waste quality criteria for European freshwater fish : Report on finely divided solids and inland fisheries.
- EIFAC. 1965. Working Party on Water Quality for European Freshwater Fish. EIFAC Technical Paper, Vol. 1, pp. 1-21.
- Ellis, M. M. 1937. Detection and measurement of Stream pollution. *Bull. Bun. Fish.*, Vol.48, pp.365-437.
- EPA(Environmental Protection Agency), 1976. Quality criteria for water. Washington, D.C.
- EPA(Environmental Protection Agency), 1971. Function products and system development the dow chemical company. A literature Search and Critical Analysis of biological Trickling Filter Studies. Washington D.C.
- Epifanio, C. E. and R. F. Srna. 1975. Toxicity of ammonia, nitrite ion, nitrate ion, and orthophosphate to *Mercenaria mercenaria* and *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.*, Vol.33, pp.241-246.



- Function Products and System Development. 1971. The Dow Chemical Company, A Literature Search and Critical Analysis of biological Trickling Filter Studies, Wat. Pollut. Control Research series. V. S. Environmental protection Agency., Vol. 1, pp. 23.
- Gujer, W. and Jenkins, D. 1974. The contact Stabilization Process - Oxygen and nitrogen Mass Balances. University of California, Berkeley, Sanitary Engineering Research Laboratory report. No.74, pp. 2.
- Hampson, B. L(1976) Ammonia concentration in relation to ammonia toxicity during a rainbow trout rearing experiment in a closed freshwater - seawater system. *Aquaculture* Vol.9, pp. 61-70.
- Hem L. J. and degaard H. 1988. The SINTEF - process, a cost - effective method for sewage treatment. Report N. 80 - 88 from NTNF<sub>s</sub>(Royal Norwegian council for scientific and Industrial research) Sanitary Engineering Programme(in Norwegian)
- Iida, Y. and Terandish, A..1984. Nitrogen Removal from Municipal Wastewater by a Single Submerged Filter. *J. Water Poll. Control Fed.*, Vol. 56, pp. 251
- Imhoff, K. 1928. Submerged contact-aerators for sewage treatment Engineering News-Record, Vol.97,928.
- Jackin, E., J. M. Hamlin, and S. Sonis. 1970. Effects of metal poisoning on five liver enzymes in the killifish(*Fundulus heteroclitus*). *J. Fish. Res. Board Can.*, Vol.27, pp. 383-390.
- Jaffe, E. R. 1964. Metabolic processes involved in the formation and reduction of methemoglobin in human erythrocytes. In the red blood cell, C.

- binship and D. surgenor (eds.). Academic Press, New York, pp. 397-422.
- Jeris, J.S., C. Beer. and J.A. Mueller. 1975. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, Vol. 47, pp. 2043.
- Jewell, W.J. and Cummings, R.J. 1990. Expanded bed treatment of complete recycle aquaculture system. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 22. No. 1/2. pp.443-450.
- J. E. Rokocy. 1989. Vegetable hydroponics and fish culture a productive interface. 1989. *World Aquaculture*. 20(3): 42-47.
- Kato, K. and Y. Sekikawa. 1967. Fixed activated Sludge process for industrial waste treatment, Proceedings 22nd Industrial Waste Conference, Purdue Univ., 129, 926.
- Knepp, G. W. and G. F. Arkin. 1973. Ammonia toxicity levels and nitrate tolerance of channel catfish. *Prog. Fishcult.* Vol.35, pp. 221-224.
- Kuwatani, Y., T. nishii, and F. Isogai. 1969. Effects of nitrate in culture water on the growth of the Japanese pearl oyster. *Bull. Natl. Pearl Res. Lab.*, Vol.14, pp. 1735-1747. (Japanese)
- K.Hirayama, H.Mizuma and Y. Mizue. 1988. The Accumulation of Dissolved Organic Substances in Closed Recirculation Culture Systems, *Aquaculture Engineering*, Vol. 7, pp. 73 - 87.
- Leglise, J. P., Gills, P. and Moreaud. H. 1980. A New Development in the biological Aerated Filter Bed Technology. The 53rd WPCF Annual Conference, Las Vegas, Nevada, U.S.A., Oct.
- Levenspiel. 1967. Chemical Reaction Engineering. John Willey and Sons, Inc.
- Lewis, W.H., J.H. Yopp., Schramm and A.M. Brandenburg. 1978. Use of

- hydroponics to maintain quality of recirculating water in fish culture system. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Vol. 107, pp.92-99.
- Liao, P. B. and R. D. Mayo. 1974. Intensified Fish Culture Combining Water Reconditioning with Pollution Abatement. *Aquaculture.*, Vol.3, pp. 61-85.
- Malone, R. F., and D. G. Burden. 1988. Design of recirculating blue crab shedding systems. Department of Civil Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana.
- McCarty, P. L. 1970. Biological Processes for Nitrogen Removal: Theory and application. Proceedings of the Twelfth Sanitary Engineering Conference, Urbana, III: University of Illinois.
- Mckim, J. M., G. M. Christensen, and E. P. Hunt. 1970. Changes in the blood of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) after short-term and long-term exposure to copper. *J. Fish. Res. Board Can.*, Vol.27, pp. 1883-1889.
- McKinney, R.E. 1984. Activated sludge kinetics-microbiology. Unpublished.
- Meade, T. L. 1973. Salmonid culture in closed system. Proc. Ammu. Workshop. World Mariculture Soc., Vol. 4, pp. 115-122.
- Meade, J.W. 1989a. Importance of water quality for fish growth and health Aquanor 1989, 5th International Conference and Exhibition on Fish Farming Techniques and Equipment, Trondheim, Norway.
- Meade, J.W. 1989b. Aquaculture management. Van Nostrand Reinhold. New York. 190.
- Meske, C.H. 1976. Fish culture in a recirculating system with water treatment by activated sludge. In *Advances in Aquaculture*, eds T.V.R. Pillay and

- W.A. Dill, pp.527-531.
- Michael, B. T. and Thomas, M. L. 1994. Aquaculture wate reuse system : Engineering Design and Management, Elsevier, pp. 127
- Miller, G. E. and G. S. Libey. 1984. Evaluation of a trickling biofilter in a recirculating aquaculture system containing channel catfish. *Aquacultural Engineering*, Vol.3, pp. 39-57.
- Milne, M. D., B. H. Scribner, and M. A. Crowford. 1958. Non-ionic diffusion and the excretion of weak acids and bases. *Am. J. Med.*, Vol.24, pp. 709-729
- Mulcahy, L. T. and Lamotta, E. J. 1978. Mathematical model of the fluidized-bed biofilm reactor. Report NO. Env. E. 59-78-2, Department of Civil Engineering, University of Massachusetts at Amherst.
- Muir, J.F. 1982. Recirculated Water Systems in Aquaculture. Chapter 6. pp.358-446 in *Recent Advances in Aquaculture*. J. F. Muir and R. J. Roberts. Westview Press, Inc., Boulder, CO.
- Muncy, R.J. *et al.* Effects of suspended solids and sediment on reproduction and early life of warmwater fishes: a review. EPA-600/3-79-042, National Technical Information Service, Springfield, Virginia. 101.
- M. C. Palada, W. M. Cole, S. M. A Crossman, J. E. Rokocy, and J. A. Kowalski. 1994. Potential of fish culture water as an irrigation and nutrition source for bell peppers in the vergin islands. *HORTSCIENCE*, 29(5): 508.
- M. C. Palada, W. M. Cole, S. M. A Crossman, J. E. Rokocy, and J. A. Kowalski.1995. Fish culture water and sludge applied via drip irrigation improves yield of Pak Choi(*Brassica rapa* L. *Chinensis*).

- HORTSCIENCE, 30(4): 885.
- M. Tschui, M. Boller, W. Gujer, J. Eugster, C. Mader and C. Stengel. 1994. Tertiary Nitrification in aerated Pilot Biofilters. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 29, No. 10-11, pp. 53-60.
- M. R. McMurtry, D. C. Sanders, P. V. Nelson, and A. Nash. 1993. Mineral Nutrient concentration and uptake by tomato irrigated with recirculating aquaculture water as influenced by quantity of fish waste products supplied. *J. of Plant Nutrition*. 16(3): 407-419.
- M. R. McMurtry, D. C. Sanders, R. P. Patterson, and A. Nash. 1993. Yield of tomato irrigated with recirculating aquacultural water. *J. Prod. Agric.* 6: 428-432.
- Nihof, M. and J. Bonverdeur. 1990. Fixed Film Nitrification characteristics in sea-water recirculating fish culture system. *J. Aquaculture.*, Vol. 87.
- Ogura. N. 1980. Ultraviolet absorption as an index of organic pollution. *Water purification and Liquid Waste Treatment (Mizushorigijutsu in Japanese)*, Vol. 21, pp. 610 - 607. (in Japanese)
- Ogura. N. and Hanya.T. 1967. Ultraviolet absorption of the seawater in relation to organic and inorganic matters. *Int. J. Oceanol. and Limnol.*, Vol. 1, pp. 91-102.
- Paffoni C. Grousailles M., Rogalla F. and Gilles P. 1990 b. Aerated biofilters for nitrification and effluent polishing. *Wat. Sci. Technol.*, Vol. 22, pp. 181 -189
- Paffoni C., Vedry B. and Grousailles M. 1990 a. Tertiary nitrification pilot plants on Parisian waste water. *Wat. Sci. Technol.*, Vol. 22, pp. 347

- Painter, H. A. 1970. A Review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganisms. *Water Res.*, Vol. 4, pp. 393-450.
- Perrone, S. J. and T. L. Meade. 1977. Protective effect of chloride on nitrite toxicity in coho salmon ( *Oncorhynchus kisutch* ). *J. Fish. Res. Board Can.* Vol.34, pp. 486-492
- Phelps, E.B. 1925. Public Health Engineering, Macmillan Co., New York.
- Poxton, M. G. and S. B. Allouse. 1982. Water Quality Criteria for Marine Fisheries. *Aquacultural Engineering*. Vol. 1, pp. 153-191.
- Randall, C.W., H.R. Edwards and P. H. King. 1972. Microbial Process for Acidic Low-Nitrogen Wastes, *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 44, pp. 401.
- Reiber, S. and Stensel, D., 1985. Biologically Enhanced Oxygen Transfer in a Fixed-Film System. *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 57, No.2, pp. 135-142.
- Rogers. G. L and S. L. Klemetson. 1985. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. *Aquaculture Engineering*, Vol. 4, pp. 135-154.
- Russo, R. C., C. E. Smith, and R. V. Thurston. 1974. Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* Vol.31, pp. 1653-1655.
- Saintpierre. O. 1989. Tertiary nitrifying immersed biofilter with plastic Media. *Envir. Technol. Lett.*, Vol. 9, pp. 1059 - 1072. (in French)
- Scott, K. R. and D. C. Gillespie. 1972. A compact recirculation unit for the rearing and maintenance of fish. *J. Fish. Res Board Can.*, Vol. 29, pp.

1071 - 1074.

- Semon, J., T. Sadck, D. Palumbo, R. Schede, M. Santoro, M. Schneider, and S. Le sando. 1994. Biological Upflow Fluidized Bed Denitrification Reactor D emonstration Project-Stamford, Ct.
- Sharma, B. and Albert, R. C. 1977. *Wat. Res.*, Vol. 6, pp. 859 -869.
- Siddall, S. E. 1974. Studies of closed marine culture systems. *Prog. Fish Cult.*, Vol 36, pp. 52-59.
- Skidmore, J. F. 1964. Toxicity of Zinc compounds to aquatic animals, with special reference to fish. *Quart. Rev. Biol.*, Vol.39, pp. 227-247.
- Smith, C. E. and W. G. Williams. 1974. Experimental nitrite toxicity in rainbow trout and chinook salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Vol.103, pp. 389-390.
- Smith, P.B. and Yates, D. 1980. Experiences of high Rate Biological Filtration at Derby Sewage Treatment Work. *J. Watwe Pollut. Control Fed.*, Vol. 79, pp. 87
- Speece, R. E. 1973. Trout Metabolism Characteristics and the Rational Design of Nitrification Facilities for Water Reuse in Hatcheries. *Trns. Amer. Fish Soc.*, Vol. 2, pp.323-334.
- Stensel. H. D., Brenner R. C., Lee K. M., Melcer H. and Rakness K. 1988. Biological aerated filter evaluation. *J. envir. Engng.*, Vol. 114, pp. 655 - 671.
- Sutton, P. M., W. K. Shieh, P. Kos, and P. R. Dunning, 1981. Dorr-Oliver's Oxitron System™ fluidized-bed water and wastewater treatment process. In *Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater* (Edited by Cooper P. F. and Atkinson B.), pp. 285-300. Ellis Horwood, London.

- Thomas B.L.(1995), Fundamentals of Aquacultural Engineering, pp. 219, Chapman & Hall, N.Y.
- Tomasso, J. R, C. A. Goudie, B. A. Simco and K. B. Davis(1980). Effects of enviromental pH and calcium on ammonia toxicity in channel catfish. *Transactions of American Fisheries Society*, Vol. 109, pp. 229-234.
- Trussell, R. P. (1972) The percent un-ionized ammonia in aqueous solutions at different pH levels and temperatures. *J. Fish. Res. Board Can.*, Vol.29, pp. 1505-1507.
- Vernon, E. H. 1954. The toxicity of heavy metals to fish, with special reference to lead, Zinc and copper, *Can. Fish Cult.*, Vol.15, pp. 1-6.
- Watson, T. A. and B. A. Mckeown. 1976. The effect of sublethal concentrations of zinc on growth and plasma glucose levels in rainbow trout, salmo gairdneri Richardson. *J. Wildl. Dis.*, Vol.12, pp. 263-270.
- Westin, D. T. 1974. Nitrate and Nitrite toxicity to salmonoid fishes. *Progressive Fish Culturist*, Vol. 36, No. 2, pp. 86.
- Wheaton, F., J. hochheimer. and G. E. Kaiser. 1989. Biological filters for Agriculture, Scientific article # A-4904, Maryland Agricultural Experiment Station.
- Wheaton, F. W. 1977. Aquacultural Engineering. John Wilery and Sons, New York.
- W. Wesley Eckenfelde, Jr. 1989. Industrial Water Pollution Control, secon edition. Mcgraw - Hill Book Company.
- Young, J.C. and Stewart, M.C. 1979. PBr-A New Addition to the AWT family. *Water and Wastewater Eng.*, Vol. 16, No. 8, pp. 20-26.
- Y. Watanabe, Y. Iwasaki and S. Masuda 1993. Pilot Plant Study of an Upgraded



- Rotating Biological Contactors. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 28, No. 10, pp. 361 - 368.
- Zhimin Lu et. al., Nitrifying characteristics of a high rate packed column, Proceedings of an aquaculture engineering conference 21-23 June 1993 Spocane, Washington, pp. 345
- 勝田賢仁, 他. 1987. 暴氣濾過池によるアンモニア態窒素の消化. 水道協會雜誌, Vol. 56, No. 635, pp. 2-15.
- 松本利通, 堺好雄, 1978. 新しい生物學的處理技術總覽(生物學的脫リン法), 科學技術開發 センター.
- 稻森 悠平, 遠藤 一之, 須藤 隆一, 1982, 日本水處理生物學會第19回大會.
- 須藤 隆一, 今井 章雄, 稻森 悠平, 杉浦 則夫, 1993. 생물활성탄 유동상 Process에 의한 고도처리. 첨단환경기술. 8월호.
- 金成淳, 李染圭, 卓晟濟, 李東彦. 1988. 固定層 生物膜公法에 의한 下廢水의 淨化效率에 관한 實驗的 研究. 大韓 上下水道 學會志, 弟1號, pp. 12-18.
- 김인배. 1980. 순환여과식 사육수 재사용 방법에 의한 Pilot 규모의 어류 양식 시험. 한수지. Vol. 13, No. 4, pp. 195-206.
- 김정숙. 1995. 생물막공법을 이용한 양어장 수처리에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 환경공학과. 박사학위논문.
- 농림수산부(1989-1994), 농림수산 통계 연보
- 박미경. 1991. 생물막 공법을 이용한 고농도 상수원수 처리에 관한 연구. 고려대학교 대학원 토목공학과. 석사학위논문.
- 안갑환. 1993. 생물막 유동층 반응기를 이용한 호기성 폐수처리에 관한 연구. 부산대학교 대학원 화학공학과. 박사학위논문.

- 윤성순. 1995. 유기물 공존시 생물막에 의한 암모니아 제거 동력학에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 환경공학과. 석사학위논문.
- 이기완. 1992. 생물학적 유동층을 이용한 어류양식 순환수의 처리시스템 개발. 동신대학교 공과대. 한국학술진흥재단 보고서.
- 이현주. 1995. 회전식과 침지식 여과조의 여과 효율 및 나일 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 성장 비교. 부산수산대학교 대학원 수산생물학과. 석사학위논문
- 임용승. 1993. 회전원판법을 이용한 저농도 암모니아 폐수의 질산화에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 환경공학과. 석사학위논문
- 수질오염·폐기물 공정시험법. 1992. 동화기술, pp. 193-195 & pp. 136-139.
- 조광명. 1993. 충전상 고정 생물막 공법에 의한 저농도 유기성 폐수의 처리. 대한환경공학회. Vol. 5, No. 2.
- 조영개. 1994. 회전원판법에 의한 해수중 암모니아 질산화. 부산수산대학교 대학원 환경공학과. 석사학위논문
- 최광수. 1994. 호기성 3상 생물막 유동층 반응기를 이용한 폐수처리에 관한 연구. 부산대학교 대학원 환경공학과. 석사학위논문
- 홍기택. 1987. 호기성 생물학적 유동층을 이용한 폐수처리에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 환경공학과. 석사학위논문.