

**유동층 공법 질산화조 첨가에 의한  
순환여과식 양식장의 효율 개선**

Efficiency improvement of Recirculating Aquaculture System by  
Using Fluidized Bed Reactor

**순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링**

Modeling of Fluidized Bed Reactor in Recirculating Aquaculture System

**순환여과식 양식장 어병방지효과산정**

To estimate the effects of fish disease resistant in recirculating system.

**2002.12**

부경대학교

해양수산부

## 최 종 보 고 서

1999 년도 수산특정연구개발사업에 의하여 완료한 유동층 공법 질산화조  
첨가에 의한 순환여과식 양식장의 효율 개선에 관한 연구의 최종보고서  
붙임과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 8부  
2. 최종보고서 디스켓 1매  
\* 최종보고서 파일은 인터넷(<http://rptf.kmi.re.kr>)으로 제출

2002 년 12월 21일

총괄연구책임자 이 병 현 (인)

주관연구기관장 부경대학교총장 (직인)

해 양 수 산 부 장 관 귀 하

## 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “유동층 공법 질산화조 첨가에 의한 순환여과식 양식장의 효율개선  
에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002 년 12월 21일

주관연구기관명 : 부경대학교  
총괄연구책임자 : 이 병 현  
연구 원 : 이 민 규, 이 상 윤  
          황 은 주, 빈 정 인  
          송 원 철, 김 정 두  
          전 평 조, 김 동 인  
          김 창 섭, 이 재 일  
          황 성 수

# 요 약 문

## I. 제 목

유동층 공법 질산화조 첨가에 의한 순환여과식 양식장의 효율 개선

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

### 1. 제1세부과제 : 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 수처리 공법개발

양식결과 생성되는 어류의 노폐물이나 미 섭취되고 남은 사료분은 고농도의 영양분을 함유하고 있으나 미처리된 상태로 처분하고 있어 또 다른 환경오염원으로 부각됨에 따라 그에 따른 처리방안이 요구된다. 처리 방안으로 현재 다양한 순환 여과식 어류 양식 방법이 적용되고 있다. 현재 적용되고 있는 생물여과조로는 침지식 생물여과조, 회전 원판법, 유동층 공법 등이 사용되고 있다. 침지식 생물여과조는 현재 국내에 가장 많이 보급되어 있는 생물여과조로 추가적인 에너지 없이 운전되며, 사용되는 담체는 현장 조건에 따라 여러 가지 담체가 적용되고 있다. 침지식 생물여과조의 경우 조의 크기가 클수록 효율이 감소하며, 적용하는 담체의 종류에 따라 효율의 차이가 크며 담체 사이에 축적되는 미생물 및 사료 찌꺼기 등에 의해 일정기간(1~3개월)을 주기로 빈번한 담체 청소가 요구되며, 청소 후 약 1개월 정도 효율이 급감하여 순환수 처리에 인력 및 수질향상에 개선점이 많이 필요한 공법이다. 또한 유동층 공법에 비해 최대 6배 이상의 여과조 용량이 필요하다는 문제점을 지니고 있다. 회전 원판법 역시 침지식 생물여과조와 같이 현장에 보급되고 있는 공법으로 순환수를 회전원판 담체가 부착된 담체드럼의 상부에서 낙수시킴으로써 생성되는 에너지를 회전력으로 하여 순환수에 회전원판이 계속적으로 적셔짐으로써 수중에 존재하는 오염물질을 제거하는 방법이다. 회전원판 표면에 부착 성장하는 미생물이 일정기간 이후 탈리되어 침지식 생물여과조와 유사한 문제점을 발생시킨다. 이러한 생물여과조의 문제점을 해결하기 위해 처리시간이 짧고 좁은 부지에 설치가 가능하고 효과적인 암모니아 처리 가능한 유동층 질산화조 수처리 공법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

## 2. 제2세부과제 : 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링

현재 순환여과식 양식장의 유동층 생물여과조의 설계에 대한 자료는 거의 없는 실정이다. 유동층 질산화조 모델링의 목적은 시뮬레이션을 통한 유동층 생물여과조 및 각 수처리 장치의 최적의 설계 인자들을 구하기 위함이다. 모델링의 중요성은 유동층 생물여과조를 설계할 시 반응조 운전 시 각종 변수들에 의한 야기 될 수 있는 문제점들을 사전 예측을 통해 설계에 미리 반영하여 문제점들이 발생했을 때 피해를 최소화할 수 있다는데 중요성이 있다고 할 수 있다.

## 3. 제3세부과제 : 순환여과식 양식장 어병방지 효과 산정

1980년대 초부터 넙치를 비롯한 해산어 양식이 육상 수조식에서 시작되어 현재 산업적으로 완전히 정착이 되어가고 있는 실정이다. 이러한 해산어 양식에 있어 기존의 육상 수조식 양식에서는 연안 자연 해수를 사육수로 사용함으로써 연안 해수의 급속한 환경 변화에 대해 적절하게 대처를 하지 못하여 사육어류의 성장 부진, 질병의 원인으로 작용하는 사례가 발생하였다. 특히 동해안의 경우 5월에서 9월 사이에 빈번히 발생하는 냉수대는 해산 양식어류의 성장 부진, 어체의 stress 가중에 의한 어병 발생 원인으로 작용하여 양식 어업인의 생산성을 저해하였다. 이에 순환 여과식 양식 형태로의 전환은 적정 사육 수온 유지, 수질 환경의 효율적 제어 등을 통해 사육 어류의 고밀도 생산, 급속한 사육 환경 변화에 대한 양식 어류의 stress 방지를 통한 어병 예방 효과와 같은 장점이 부각되었다.

이에 따라 본 연구에서는 순환 여과식 양식어장에서 어병 발생 동향을 조사함으로써 사육 환경의 효율적 제어를 통한 어병 방지 효과의 가능성을 조사하고자 한다.

## Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

### 1. 제1세부과제 : 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 수처리 공법개발

순환여과식 양식시스템에서 어류의 대사작용 및 미섭취된 사료로부터 생산되는 암모니아, 아질산, 질산 등은 사육조의 어류에게 독성을 준다. 본 연구는 유동층 공법을 이용하여 질산화에 대한 실험을 수행하였으며, 또한 유동층 반응조에 이용될 수 있는 여러 종류의 미디어(여과재료)의 효율 검증을 통하여 최적의 미디어를 선택하는 기준을 마련하고자 하였다.

미디어의 규격화 및 고효율의 유동층 생물막 여과조의 개발을 위해 실험실 규모의 실험, Pilot Plant 실험, 현장 적용을 통하여 실험을 수행하였다. 미디어의 규격화에 이용된 미디어는 K사, S1사, 6중, S2사의 미디어를 이용하였으며, 규격화를 통해서 적정 미디어로 선택된 K사, S1사의 미디어를 이용하여 Pilot Plant 및 현장 적용에 사용하였다. Pilot Plant 및 현장 적용 실험

은 넓치를 이용 유동층 공법이 첨가된 시스템을 적용하여 실험을 수행하여 유동층 공법이 현장에 적용가능한지를 연구하였고, 이를 바탕으로 운전지침서(운전관리방안)과 설계지침서를 작성하였다.

## 2. 제2세부과제 : 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링

본 연구에서는 각종 물질(암모니아성 질소, 아질산성 질소, 용존산소 등)들의 물질 수지식을 이용하여 순환여과식 양식시스템의 각 단위 공정에 적용하여 순환여과식 양식장의 최적의 공정 결정을 위한 모델링을 실시하였다. 그리고 각종 Parameter를 이용 비용을 산출함으로써 경제성평가를 위한 기초 자료로서 이용하였다.

## 3. 제3세부과제 : 순환여과식 양식장 어병방지 효과 산정

순환여과식 양식장 어병방지 효과 산정을 위해 먼저 현장 적용을 한 포항 지역의 양식 시설 별 어업권 현황과 행정 처분 현황을 조사하였으며, 해산어 양식장에서 사용하는 연안수에 대하여 수온의 변화에 대한 해수중의 세균량 변동을 조사하였다. 포항지역의 해산 양식 어류를 대상으로 포항지방해양수산청 어병진료센터에 접수된 어병 진료 결과 분석을 통해 이 지역의 어병 발생 동향을 조사하였다. 이를 바탕으로 순환여과식시스템에서의 사육수의 세균수와 어병 발생 현황을 조사하였다.

# IV. 연구개발결과

## 1. 제1세부과제 : 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 수처리 공법개발

순환여과식 양식장에서 생물막 여과조를 유동층 공법을 이용한 결과 기존의 생물막 공법보다 개선된 결과를 얻었고, 유동층 공법의 현장 적용 가능성을 얻었으며, 미디어의 규격화로 유동층 공법에 이용될 미디어의 선정에 도움을 얻을 수 있었다.

## 2. 제2세부과제 : 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링

모델링을 통해 유동층 생물여과조의 최적의 조건을 산출하였으며, 또한 순환여과식 양식장의 각 단위 공정의 결정을 통해 순환여과식 양식장의 효율을 개선할 수 있었다.

## 3. 제3세부과제 : 순환여과식 양식장 어병방지 효과 산정

해산어류 양식어장에 대한 순환 여과식 양식 시스템의 도입은 사육수의 효율적 관리를 통한 생산성 향상을 가져와 어류 양식 산업 발전에 있어 획기적으로 기여 할 수 있는 양식 시스템

이라 생각한다. 이러한 양식 시스템의 완전한 정착을 위해서는 효율적 수질관리가 가장 큰 문제점으로 지적된다. 수질 환경 변화는 양식 어류 생산성 저해의 원인인 어류 질병과 밀접한 관계를 가진다. 그러므로, 순환 여과식 양식 시스템에서의 세균수, 염양 염류 등의 수질 환경과 관련한 어류 질병 발생 조사는 의미 있다 할 수 있다.

#### V. 연구개발결과의 활용계획

유동층 공법이 첨가된 순환여과식 양식 시스템에 대해서 지속적으로 양식어민을 대상으로 세미나를 개최하여 순환여과식 양식 시스템에 대한 인식의 전환시키고 양식 기술을 보급하며, 참여업체와의 유기적인 관계를 지속하여, 유동층 공법이 첨가된 순환여과식 양식시스템의 시공기술을 산업계로 이전하고, 현장 적용성을 극대화한다.

# S U M M A R Y

## Efficiency improvement of Recirculating Aquaculture System by Using Fluidized Bed Reactor

The wastes and uneaten feeds from farmed fish contained high concentrations of nutrients, such kinds of materials were released to the environment without manage and they increase the pollution of environment. Therefore, management methods are required to solve these problem. In present, a lot of methods existed in managing the wastes from recirculating aquaculture system, the biological filter chamber included submerged biofilter, rotational biological contactor (RBC) and fluidized bed biofilter, etc. Submerged biofilter was extensively used now in domestic fish farms, it can be operated without extra energy charge and was adapted to different conditions. However, with the increase of submerged biofilter chamber sizes, the efficiency of this kind of biofilter decreased. And also according to the different users, there was a big difference in its efficiency. Meanwhile, in order to estimate the bacteria and uneaten feeds, it must be cleaned in definite time (1-3 months), and the efficiency of biofilter decreased greatly after one month of cleaning and therefore need a lot of human power to manage water and improve water quality. Another problem is that submerged biofilter need 6 times of volume compared with Fluidized Bed biofilter. RBC was also extensively used in practical as well as submerged biofilter. Recirculating water attached to the upper of rotary drum and to remove the waste based on the power when the energy of dropped water change to the energy of rotary. Similar problems will be happened as it was in submerged biofilter because the bacteria attached on the rotary drum will drop off after a period of time. In order to solve these problems in biofilter and to decrease the time necessary to manage water, a good solution — fluidized Bed biofilter, that can be possibly settled and have good efficiency in managing ammonia, should be developed necessarily.



# CONTENTS

(영 문 목 차)

## 목 차

요 약 문 .....	2
SUMMARY .....	6
CONTENTS .....	7
목 차 .....	8
표 차 례 .....	11
그림 차례 .....	13
사진 차례 .....	16
제 1 장 서 론 .....	17
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	17
제 2 장 국내·외 기술 개발 현황 .....	20
제 3 장 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 처리 공법개발 .....	22
제 1 절 서 론 .....	22
제 2 절 문 헌 연 구 .....	24
1. 어류 양식과 수질환경 .....	24
2. 순환여과식 양식 시스템의 수처리 원리 및 장치 .....	30
제 3 절 담수에서의 미디어별 효율 산정 .....	50
1. 개요 .....	50
2. 재료 및 방법 .....	51
3. 결과 및 고찰 .....	55
제 4 절 담수 및 해수에서의 미디어별 질산화 특성 .....	60
1. 개요 .....	60
2. 재료 및 방법 .....	60
3. 결과 및 고찰 .....	63
4. 결론 .....	79
5. 실험실 규모 탈질 반응조의 운전 .....	79
제 5 절 Pilot Plant .....	82
1. 개요 .....	82
2. 재료 및 방법 .....	83
3. 결과 .....	87
4. 결론 .....	99
제 6 절 현장 규모의 순환여과시스템의 운전 .....	100
1. 개요 .....	100

2. 재료 및 방법 .....	101
3. 결과 .....	111
4. 결론 .....	121
제 7 절 운전 관리 방안 .....	122
1. 순환수 특성 .....	122
2. 수처리 장치의 운전 방법 .....	124
3. 시설의 점검 및 처리기능 저하시의 대응방법 .....	127
4. 주요 공정의 공정관리 .....	129
제 8 절 설계지침서의 작성 .....	130
1. 설계 유량 산정 .....	130
2. 오염발생량 산정 .....	130
3. 드림스크린의 결정 .....	133
4. 오존시스템 .....	134
제 4 장 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링 .....	136
제 1 절 순환여과 시스템에서 물질수지 .....	136
1. 암모니아 물질 수지 .....	136
2. 질산성 질소의 물질수지 .....	138
3. 용존산소의 물질수지 .....	139
4. 유동층 반응조의 물질수지 .....	140
5. 구형 Floc모델의 해석 .....	141
제 2 절 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링 .....	144
1. 개요 .....	144
2. 각 성분의 물질수지식 .....	146
3. 생물학적 유동층 반응조의 흐름 개념도 .....	147
4. 검토 순서 .....	148
제 3 절 순환여과식 양식장 공정에 대한 검토 .....	149
제 4 절 설계절차 .....	156
1. 개요 .....	156
2. 설계절차 .....	157
제 5 장 순환여과식 양식장 어병방지효과 산정 .....	168
제 1 절 서 론 .....	168
제 2 절 연구방법 .....	169
제 3 절 연구 결과 .....	170

1. 해산 양식 현황 조사 .....	170
2. 해수중 세균수 조사 .....	171
3. 어병 발생 동향 조사 .....	172
4. 순환여과시스템에서의 사육수의 세균수 변동 조사 .....	172
5. 순환여과시스템에서의 어병 발생 현황 및 누적 폐사율 .....	174
제 4 절 고찰 .....	176
제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	177
제 7 장 연구개발결과의 활용계획 .....	178
제 8 장 참고문헌 .....	179

## 표목차

<표 3-2-1> 양식시스템의 구분 및 특성 .....	25
<표 3-2-2> 연구기관별 양어장 수질 기준 .....	26
<표 3-2-3> 입자 크기별 한계 침강속도와 침전조 규격 .....	32
<표 3-2-4> 탈질화에 필요한 유기탄소원의 비탈질을 .....	40
<표 3-3-1> 유동층 미디어로 이용될 수 있는 미디어의 특성 .....	51
<표 3-3-2> 실험조건 .....	54
<표 3-3-3> 운전 기간 암모니아 농도 변화 요약 .....	56
<표 3-3-4> 운전 기간 암모니아 제거효율 변화 요약 .....	56
<표 3-4-1> 미디어의 물성치 .....	62
<표 3-4-2> 실험조건에 따른 암모니아 농도 변화 .....	64
<표 3-4-3> HRT에 따른 암모니아 농도 결과 요약 .....	69
<표 3-5-1> Pilot Plant 순환여과시스템 재원 .....	84
<표 3-5-2> 미디어 물성치. ....	84
<표 3-5-3> 사료의 조성 .....	86
<표 3-5-4> 수질분석 방법 .....	86
<표 3-5-5> 넙치의 비성장률(SGR) 특성 .....	91
<표 3-6-1> 원수 조건에 따른 제품별 최대 여과 용량 .....	104
<표 3-6-2> 입자 크기별 한계 침강속도와 침전조 규격 .....	105
<표 3-6-3> 순환여과시스템 설계사양 .....	108
<표 3-6-4> 순환여과시스템 운전조건 .....	109
<표 3-6-5> 실험조건 .....	110
<표 3-6-6> 어류 생육 결과 .....	119
<표 3-7-1> 어류 양식에 필요한 수질인자별 권고 농도 .....	123
<표 3-7-2> 알칼리도 유발 물질 및 특성 .....	125
<표 3-8-1> 사료 주입에 따른 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 생성결과 .....	131
<표 3-8-2> 해수 순환여과시스템에서 사육종과 운전 조건 .....	131
<표 3-8-3> 원수 조건에 따른 제품별 최대 여과 용량. ....	133
<표 4-1-1> Floc 모델로부터 도출된 Flux 방정식 .....	143
<표 4-3-1> 공정 계산에 사용된 자료 .....	149
<표 4-3-2> 공정 계산 결과 .....	150
<표 4-4-1> 설계자료 .....	158
<표 4-4-2> 설계 파라미터 .....	160
<표 4-4-3> 설계 파라미터(계속) .....	160
<표 4-4-4> 설계 파라미터 .....	164
<표 4-4-5> 비용산출결과 .....	165
<표 4-4-6> 비용산출결과(계속) .....	165
<표 5-3-1> 우리 나라 및 포항지역의 해산 양식 어업권 현황 .....	170

<표 5-3-2> 해수중의 총 세균수 .....	171
<표 5-3-3> 포항지역의 원인별 어병 발생 분포율 .....	172
<표 5-3-4> 사육 수온 19.0 ℃ 일 때 순환여과시스템에서의 사육수중 세균수 .....	173
<표 5-3-5> 사육 수온 22.0 ℃ 일 때 순환여과시스템에서의 사육수중 세균수 .....	173
<표 5-3-6> 사육 수온 25.0 ℃ 일 때 순환여과시스템에서의 사육수중 세균수 .....	174
<표 5-3-7> 실험구의 폐사어 및 빈사어에서 검출된 어류 병원체 .....	175

## 그림목차

<그림 3-2-1> 침전수조에서 고형물질의 침전현상. ....	32
<그림 3-2-2> 드럼필터 운전 모식도. ....	33
<그림 3-2-3> 모래여과장치의 모식도. ....	34
<그림 3-2-4> 침지식 생물막 여과조의 운전모식도. ....	42
<그림 3-2-5> 살수여상 공법의 운전모식도. ....	42
<그림 3-2-6> 바이오드럼 운전모식도. ....	44
<그림 3-2-7> 회전원판법의 운전모식도. ....	44
<그림 3-2-8> 삼상 유동층 반응조의 운전모식도. ....	47
<그림 3-2-9> Bead 반응조의 운전모식도. ....	47
<그림 3-3-1> 반응조 모식도. ....	53
<그림 3-3-2> 반응조별 암모니아 농도 변화. ....	57
<그림 3-3-3> 각 반응조별 암모니아 제거효율 변화. ....	58
<그림 3-3-4> 각 반응조별 $\text{NO}_3^-$ -N 농도 변화. ....	59
<그림 3-4-1> 반응조 모식도. ....	61
<그림 3-4-2> 암모니아 농도 변화. ....	65
<그림 3-4-3> 암모니아 제거효율 변화. ....	66
<그림 3-4-4> pH 변화. ....	67
<그림 3-4-5> HRT에 따른 암모니아 농도 변화. ....	70
<그림 3-4-6> HRT에 따른 암모니아 제거효율 변화. ....	71
<그림 3-4-7> 유입 암모니아 부하에 따른 암모니아 제거율. ....	75
<그림 3-4-8> 유입 암모니아 부하에 따른 암모니아 제거효율. ....	76
<그림 3-4-9> 유입 TAN에 따른 유출수의 비이온성 암모니아 농도. ....	77
<그림 3-4-10> 타 연구 결과와의 암모니아 제거율 변화. ....	78
<그림 3-4-11> 탈질 반응조 운전 모식도. ....	80
<그림 3-4-12> $\text{NO}_3^-$ -N 농도 변화. ....	81
<그림 3-4-13> $\text{NO}_3^-$ -N 제거효율 변화. ....	81
<그림 3-5-1> Pilot Plant 모식도. ....	83
<그림 3-5-2> 유동층 반응조 모식도. ....	85
<그림 3-5-3> 사육조 내의 수질 변화(COD, TAN, $\text{NO}_2^-$ -N, and $\text{NO}_3^-$ -N). ....	89
<그림 3-5-4> 사육조 내의 수질 변화(pH, Alkalinity, SS and Turbidity). ....	90

<그림 3-5-5> 사육수와 유출수의 TAN 변화. ....	93
<그림 3-5-6> 사육수와 유출수의 비이온성 암모니아 농도 변화. ....	94
<그림 3-5-7> 유입 부하율에 따른 TAN 제거율. ....	95
<그림 3-5-8> 유입 부하율에 따른 비이온성 암모니아 농도. ....	97
<그림 3-5-9> 아질산성 질소와 질산성 질소의 변화. ....	98
<그림 3-6-1> 드럼스크린 운전모식도. ....	104
<그림 3-6-2> 침전수조에서 고형물질의 침전현상. ....	105
<그림 3-6-3> 순환여과시스템 모식도. ....	110
<그림 3-6-4> 증체량의 비교. ....	112
<그림 3-6-5> 사료전환율 비교. ....	112
<그림 3-6-6> 부유물질(SS) 비교. ....	114
<그림 3-6-7> 암모니아 비교. ....	114
<그림 3-6-8> 사육수 내의 세균수 변화. ....	115
<그림 3-6-9> 사육조 내의 암모니아 농도 변화. ....	117
<그림 3-6-10> 사육조 내의 $\text{NO}_2^-$ -N의 농도 변화. ....	117
<그림 3-6-11> 사육조 내의 SS 변화. ....	118
<그림 3-6-12> 사육조 내의 COD 변화. ....	118
<그림 3-6-13> 증체량의 비교. ....	120
<그림 3-6-14> 사료전환율의 비교. ....	120
<그림 3-7-1> 드럼스크린 운전 모식도. ....	124
<그림 3-8-1> 사료 주입에 따른 암모니아성 질소의 생산량. ....	132
<그림 3-8-2> 오존접촉조건에 따른 어병 발생 미생물의 살균효과. ....	135
<그림 4-1-1> 연구에 이용된 구형 floc 모델. ....	141
<그림 4-2-1> 순환 여과 양식시스템의 단위공정들. ....	144
<그림 4-2-2> 순환 여과 양식시스템에서 i 성분의 물질수지. ....	145
<그림 4-2-3> 유동층 반응조에서의 DO 수치. ....	148
<그림 4-3-1> 어체량 변화에 따른 유량 변화. ....	152
<그림 4-3-2> 사료섭취율 변화에 따른 유량변화. ....	152
<그림 4-3-3> 사료내 단백질 함량 변화에 따른 유량변화. ....	153
<그림 4-3-4> 사료 주입횟수 변화에 따른 유량변화. ....	154
<그림 4-3-5> 암모니아성 질소 농도변화에 따른 유량변화. ....	154



<그림 4-3-6> 질산성 질소 농도변화에 따른 유량변화. ....	155
<그림 4-3-7> 유입유량 변화에 따른 순환유량 변화. ....	156
<그림 4-3-8> 순환유량 변화에 따른 암모니아 농도 변화. ....	156
<그림 4-4-1> 사육조 크기에 따른 어체 증가량 및 사료요구량. ....	162
<그림 4-4-2> 사육조 크기에 따른 공급산소량 및 필요산소량. ....	162
<그림 4-4-3> 사육조 크기에 따른 질산화 유량 및 담체 면적. ....	163
<그림 4-4-4> 사료량 변화에 따른 어체 증가량 및 산소요구량. ....	163
<그림 4-4-5> 사료공급량에 따른 총비용의 변화. ....	167
<그림 4-4-6> 비용분석결과. ....	168
<그림 5-3-1> 해산양식 어종별 사육 현황. ....	171

## 사진목차

<사진 3-2-1> 드럼필터 운전 사진. ....	34
<사진 3-3-1> 유동층 생물여과조에 이용될 수 있는 각종 미디어. ....	52
<사진 3-6-1> 순환여과시스템 현장 설치 현황 .....	107
<사진 7-1-1> 경기 하나수산의 드럼스크린 및 유동층 생물여과조 운전모습. ....	179

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발의 필요성

유동층 공법은 반응조내의 물질상에 따라 이상 유동층 공법과 삼상 유동층 공법으로 구분된다. 이상 유동층 공법은 반응조내에 액체와 고체(메디아)로 구성되어 있고, 삼상 유동층 공법은 액체, 고체(메디아) 기체(공기)로 구성되어 있다. 이상 유동층 공법은 주로 모래를 유동 메디아로 이용하며 유입수 에너지를 이용하여 반응조내 메디아를 부상시키며, 부상된 메디아는 유입수와 완전혼합에 가까운 분산 형태를 보이며 유입수중의 오염물질을 정화한다. 삼상 유동층 공법은 일명 Air Lift Reactor라고도 하며, 반응조 내의 용존산소를 유지하기 위해 인위적으로 공기를 주입하며, 주입되는 공기의 힘에 의해 메디아가 유동하는 특성이 있다. 삼상 유동층 공법도 반응조의 분산 형태가 완전혼합에 가까워 효과적인 오염물 처리결과가 보고 되고 있다.

침지식 생물 여과조는 반응조에 고정 메디아를 충전시키고 폐수를 유입시키면 메디아 표면에서 서식하고 있는 수질 정화 미생물이 폐수내의 오염물질을 정화시키는 공법이다. 현재 양식장 순환수를 처리하기 위해 스카이 라이트 골판(Corrugated Skylight Plate : 간이건물의 지붕으로 사용되는 건축재료)을 이용한 침지식 생물여과조를 많이 이용하고 있다. 스카이 라이트 골판은 가격이 저렴하고, 내구수명이 긴 장점이 있으나 비표면적이 다른 메디아에 비해 적은 단점이 있다.

침지식 생물여과조는 순환여과식 양식장에서 침전지 역할도 수행하여 수중의 고형성분을 제거하는 역할도 있으나, 고형성분들은 메디아 표면에서 과잉 부착하여 미생물막(Biofilm)의 탈리 현상을 촉진하는 부작용도 있어 일정시간 침지식 생물막 반응조를 운전한 뒤에는 충전된 메디아를 세척해야 되는 번거로움이 있고, 세척후 처리효율이 안정하지 못한 단점이 있다.

순환여과식 양식에서 사육어종, 사료 등은 사업의 성패를 좌우하는 중요한 요인이다. 이에 따른 수처리 공정의 선택도 중요한 요인이다. 고효율의 유동층 생물여과조의 개발은 양식산업의 발전에 중요한 요인으로 사료된다. 유동층 생물여과조는 비중이 낮고 비표면적이 큰 메디아가 필요하다. 유동층 메디아는 현재 삼성, 코오롱, 삼환기업 등의 국내 대기업에서 폐수처리용 유동층 메디아를 생산되고 있고, 하나아쿠아시스템 등에서는 양식장용 유동층 메디아를 생산되고 있다.

유동층 생물여과조의 현장 적용을 위해서는 이들 제품에 대하여 규격화된 연구가 필요하다. 즉, 같은 형태의 유동층 반응조에서 각 메디아별 수처리 특성에 대한 비교 실험이 필요하고, 이 결과를 바탕으로 각 메디아별 경제성 비교를 통해 양식장에 적용할 수 있는 최적의 메디아를 선정되어야 된다. 또한 유동층 반응조의 규격화된 설계 지침서 및 운전 지침서가 필요하다.

## 1. 기술적 측면

순환여과식 양식기법은 고밀도 양식이 적합한 기법으로 어류 사육밀도의 증가에 따라 고효율의 수처리 공정이 필요하다. 따라서 기존의 침지식 생물막 여과조보다 효율이 우수하고 점용 부지면적이 작은 생물여과조의 개발이 필요하다. 그런면에서 현재 미생물이 부착된 미디어를 반응조 내에서 유동시켜 폐수 내 오염물질을 처리하는 유동층 공법은 폐수처리 분야에서 각광받고 있는 공법이다. 최근 연구보고에 의하면 유동층 생물막 반응조의 암모니아 제거효율이 우수하여 짧은 체류시간의 조건에서도 효과적이며 안정적인 순환수 처리 결과들이 보고 되고 있다. 그러나 유동층 생물 여과조에 사용되는 미디어(여과재료)는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정인데 최근 국내 업계에서 자체 기술력에 의해 생산된 제품이 몇몇 있으나 양어장 순환수 처리에 대한 효율 검정이 이루어지지 않은 상태에서 판매가 이루어지고 있어 이들에 대한 효율 검정과 최적 유동층 미디어의 선정 및 규격화를 필요로 하고 있다. 또한 유동층 생물 여과조는 생물막(biofilm)공정의 한 형태로서 정확한 질산화 반응의 동력학적 해석에 대한 연구결과가 없는 실정이다. 그래서 고효율 유동층 생물막 반응조의 현장 적용을 통한 상품화를 위한 효과적이며 지속적인 연구 개발이 요구되고 있다.

## 2. 경제·산업적 측면

현재 한·일 어업협정 결과에 따른 수산물 생산량의 양적인 감소를 극복하기 위해서 양식 산업의 발전을 위한 기술개발이 요구되고 있는 있는데 그 기술 방법이 순환여과식 양식 기법이다. 순환여과식 양식 기법은 어류 사육에 이용된 물을 재 사용하는 양식기법으로 환경친화적인 양식 산업을 육성할 수 있다. 미국과 유럽 등지에서는 이미 기업화된 양식시설 사업체가 존재하여 양식 전반적인 부분에 기술을 축적하고 상품화하여 국내진출을 하고 있는 실정이다. 따라서 이에 대비하기 위해 국내 연구진에 의한 고효율의 수처리 공정의 개발이 필요하다 하겠다.

### 3. 사회·문화적 측면

양식 산업은 1차 산업임에도 불구하고 환경오염 산업이라는 인식을 가지고 있다. 이를 타파하기 위해서는 환경친화적인 순환여과식 양식의 기술 개발이 필요하다. 특히, 순환여과식 양식은 고밀도 양식에 적합한 양식기법으로써 안정적이며, 고효율의 수처리 장치의 개발이 필요하다. 또한 양식어민들 사이에는 국내 기술의 불신풍조가 팽배하여 외국산 제품에 대한 선호도가 높은 실정이다. 국내 기술에 의한 고효율 생물여과 기술을 개발하여 이러한 망국적인 풍토를 쇄신할 필요성이 있다.

## 제 2 장 국내 · 외 기술 개발 현황

순환여과식 양식이란 어류 사육에 사용한 물을 정화하여 재 사용하는 기법으로, 주위환경 변화에 영향을 적게 받으며, 고밀도 양식에 적합한 환경친화적인 양식기법이다. 산업적 규모의 순환여과식 양식기법은 1960년대 일본에서 잉어 양식(佐伯有常, 1960), 1970년대 미국의 Memphis 주립대학의 송어 양식 연구와 연어 부화장에서의 여과 장치 사용(KCM & UMA 1974)한 경우들이 있었다. 1980년대에는 빠른 속도로 발전하여 산업적 규모로 성장하여, 덴마크와 네덜란드의 뱀장어 양식과 노르웨이 해산어 육상 순환 여과식 양식 기술 등이 개발되어진 상태이다.

한국에서는 김 등에 의해 1970년대 간이순환 여과 장치로 각종 어류 성장 실험이 이루어졌고, 1979년 Pilot 규모의 순환 여과식 양식시설에서 어류 사육에 대한 연구결과를 발표한 이후로, 여러 연구자들에 의해 순환수처리 및 순환여과식 양식에 관한 연구결과가 보고 되고 있다.

현재 국내에서 보고 되고 있는 순환여과식 수처리 장치는 하수처리공정을 응용한 형태로, 살수여상, 회전원판, 회전드럼, 침지식 생물막 공법들에 대한 연구결과 등이다. 이들 방법 중 침지식 생물막 공법은 설계와 시공이 간편하여 많은 순환여과식 양식장의 수처리 공정으로 적용되고 있고, 수리학적 체류시간을 길게 설정하여 침전조 기능을 부가함으로써 순환수내의 암모니아 제거와 고형물 제거를 동시에 수행할 수 있는 기능이 있으나, 고밀도 양식에 따른 많은 양의 미섭취된 사료와 어류의 배설물이 침지식 여과조에 축적되어 빈번한 세척작업이 필요하며, 이러한 여과조 세척에 의한 생물막의 탈리 현상으로 암모니아 제거율이 저하되어 안정적인 수질을 유지 못하는 단점이 있다.

이러한 침지식 생물막 여과조의 단점을 보완하여 안정적인 순환수처리를 위한 공법으로 유동층 생물막 여과조에 대한 연구가 이루어지고 있다. 김 은 활성탄을 미디어로 한 이상 유동층 공법과 삼상유동층 공법을 이용한 양어장 순환수처리에 관한 연구논문을 발표하였고, 김 은 Pilot Plant 규모의 순환여과식 양식시스템에서 페타이어를 가공한 미디어를 이용한 삼상유동층 공법을 적용하여 암모니아 제거 특성을 보고하였다. 또한 류 는 김의 연구결과를 바탕으로 Pilot Plant 규모의 해산어 순환여과식 양식시스템에서 페타이어를 가공한 미디어를 이용한 삼상유동층 공법을 적용하여 수처리 특성을 보고하였다.

삼상 유동층 생물 여과조에 대한 연구는 다양한 각도에서 진행되었고, 특히 Pilot Plant운전을 통해 안정적인 순환수처리가 입증되었으나, 현장에 적용하기 위한 설계 인자가 부족한 단점이 있다. 또한 다양한 종류의 미디어별 수처리 효율 산정이 이루어지지 않아 양식 어민들이 고

가의 미디어를 적용할 가능성이 높다. 따라서 국내에서 유통되는 다양한 미디어별 수처리 효율 산정 및 현장에 적용할 수 있는 정확하고 규격화된 설계 지침서가 필요하다.

### 제 3 장 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 처리 공법개발

#### 제 1 절 서 론

양식업의 발달은 수 천년전 중국에서부터 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). 그러나 최근에는 연안 해역의 오염과 빈번한 적조로 인해 그 생산량이 감소하고 있는 실정이다. 우리나라에 있어서도 양식 생산량은 1982년에 약 852 M/T에 머무르던 것이 1997년에 약 1,015,000 M/T로 증가했다가 최근에는 다시 감소세로 돌아서 2001년 생산량은 약 656,000 M/T로 감소하였다(통계청 2001). 이러한 양식 생산량의 감소는 연안 해역 오염 및 빈번한 적조 발생으로 인한 대량 폐사도 한 가지 이유가 될 수 있다. 또한 양식업은 어류를 사육하는데 요구되어지는 다량의 양식수와 고 수질을 유지하기 위해 필요로하는 자가 오염물질의 제어문제 등으로 인하여 많은 제약을 받고 있기 때문이라고 말할 수 있다(Speece, 1973 : Liao와 May, 1974 : Poxton과 Allouse, 1982 : Chiang과 Lee, 1986 : Muir, 1982). 우리나라의 경우 겨울 동안 저 수온기가 길기 때문에 양식 어류의 생산력에 크게 제한을 받게 되는데, 온수성 어류일 경우에는 여기에 맞는 온도를 유지하기 위한 보온장치가 추가로 필요로 할 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 고밀도 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 사육 중인 어류에 나쁜 영향을 끼칠 수가 있는데(Millerd와 Libey, 1984), 어체의 아가미 손상(Burrows, 1964) 및 혈중  $\text{Na}^+$  농도저하(Tomasso 등, 1980) 같은 현상으로 어류가 폐사하는 경우를 초래할 수 있다. 따라서 고밀도 사육하는 순환여과식 양식장에서의 암모니아 및 아질산 등의 처리는 양식 어류의 생산력에 큰 영향을 끼칠 수가 있다.

순환여과식 양식시스템에서 수처리는 어류의 생산력 증대를 위해 반드시 필요한 과정으로 어



류의 미 섭취된 잔류 먹이분과 계속되는 배설물에 의해 발생하는 암모니아 제거를 주요 처리 대상으로 한다. 순환수의 수질관리를 위한 수처리 공법으로 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 처리 공법의 효율 증대를 위하여 유동층 공법에 의한 양어장 순호나수 처리에 대한 연구가 진행 중에 있다(Jewell와 Cummings, 1990). 생물학적 처리이외에도 물리적 처리방법으로 부상분리, 압력식 모래여과방법, 드럼필터, 오존 또는 UV 장치를 이용한 살균 방법 등이 순환처리에 응용되고 있다.

본 연구에서는 고효율의 유동층 생물막 여과조의 개발을 위해 일련의 실험을 수행하였다. 먼저 유동층 생물막 여과조에 이용될 수 있는 미디어의 선택을 위해 국내에서 시판 중인 K사, S1사, 6종, S2사의 미디어의 검정을 수행하였다. 검정 결과 유동층 생물막 반응조에 최적으로 사용될 수 있는 K사와 S1사의 미디어를 선택해 재 검정을 수행하였다. 미디어의 규격화가 끝나고 유동층 생물막 반응조가 포함된 순환여과 시스템을 Pilot Plant 와 현장에 구축하고 유동층 생물막 반응조의 암모니아 처리 특성에 대한 연구와, 수리학적 부하 변동에 따른 처리 특성에 대한 효율을 산정하였다. 또한 실험실 규모의 탈질 반응조를 운전하여 순환수의 탈질에 대한 기초를 얻었으며 이를 바탕으로 현장에 적용될 수 있는 유동층 생물막 반응조의 설계지침서와 운전지침서(운전관리방안)를 작성하였다.

## 제 2 절 문 헌 연 구

### 1. 어류 양식과 수질환경

#### 가. 어류 양식

양식이란 육상의 농업과 같이 자체 소유의 유용 수산생물을 길러 수확하는 것으로 정의할 수 있다. 양식현황과 전망을 살펴보면 1970년을 고비로 전세계 어업 생산량이 6,000만톤에 이르다가 1980년 이후로 어선의 대형화, 기술 향상 등으로 어획량을 증가시키려 했으나, 크게 증가되지 않아 자연의 자원량이 한계점에 도달했음을 알 수 있다. 반면에 양식의 생산량은 세계적으로 1973년 500만톤에서 1988년에는 1,450만톤에 이르러 1999년에 사상최대인 3,331만톤에 이르고 있다. 이는 인구의 증가와 생활수준의 향상 등으로 신선하고 건강에 보다 유익한 고급 단백질 식품의 생산과 소비량이 크게 증가하고, 또 이 수요량은 자연 자원의 어획에 의한 공급만으로는 도저히 충족시킬 수 없으므로, 양식업의 발전이 필연적으로 요구되어 양식에 의한 식량증산의 중요성이 점차 증가하고 있음을 알 수 있는 것으로, 우리나라에서도 1970년대 들어서면서 개인 면허로 인한 양식장의 확대가 증가하여 2001년에는 656,000톤에 이르렀지만 그 대부분이 해초류 및 패류로 구성되어 있어(통계청, 2002) 균형 잡힌 양식 생산이라고는 할 수 없었다. 이를 개선하기 위해 최근에는 고가품종인 어류의 양식이 급속히 보급되고 있다.

생물의 생태에 따른 양식 방법을 유영동물양식 측면에서 구분하면 정수식 못양식, 유수식 양식, 가두리양식, 순환여과식 양식으로 구분할 수 있다. 각 양식의 특성은 <표 3-2-1>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. 유수식 양식과 가두리 양식은 대량 생산에 적합한 방법이지만 고밀도 양식일 경우는 사료 공급으로 생성되는 폐기물을 처리해야 하는 문제점이 있다. 유수식 양식, 가두리 양식이 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 순환여과식 양식이 많이 개발되었다. 순환여과양식의 장점으로는 위치선정에 유리하며, 시장 가까운 곳에 설치 가능하며, 사육환경을 정확히 제어할 수 있으며 물 사용량이 줄어들고 폐수처리에 유용하다. 이러한 시스템은 어류 성장률을 촉진시키고, 겨울이 긴 우리나라에서 보온에 유리한 특성이 있다.

<표 3-2-1> 양식시스템의 구분 및 특성

양식의 종류	특 성
정수식 못양식	사료는 못속에서 발생하는 천연먹이를 주로 하며 배설물 등의 찌꺼기는 흙속에 사는 질산화세균이 분해한다. 용존산소는 공기 중 산소가 녹아들어가서 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 콘크리트 재질의 사육조를 이용하며, 사육어종은 공급되는 물이 수온이 낮은 용천수나 하천수 등이므로 냉수성 어종인 무지개 송어 등을 사육한다.
가두리양식	과거에는 내만 등에서 둑을 만들어서 해야 했으므로 경비가 많이 들었다. 최근에는 그물 등으로 구획을 지어 가두리를 만들어 어류를 수용하여 경비를 감소시키고 있다. 장점은 많은 양의 어류를 수용하여도 가두리속의 수질이 나빠지지 않아 작은 시설에 많은 양의 어류를 기를 수 있어 시설면에서 매우 경제적이다. 양식어종은 저수지에서 잉어, 금붕어 양식과 바다에서는 방어, 돛류 등의 치어와 연어, 송어 등이다.
순환여과식양식	어류의 배설물과 미섭취 사료가 녹아 있는 사육조의 물을 여과조를 이용하여 처리하고 다시 사용하는 방식이다.

나. 양식장의 수질환경인자

수질이 저하할 경우에 어류에 스트레스를 주고 어류의 성장률 저하와 폐사의 원인이 되므로 순환여과식 양식시스템에서 수질을 충분히 고려하여야 한다. Meada(1989a)는 수질감소는 어류의 질병이나 폐사의 위험을 증가시킨다고 보고하였다. <표 3-2-2>에 미국환경보호청을 비롯한 5개 연구기관에서 제시한 양어장 수질기준을 나타내었다.

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

<표 3-2-2> 연구기관별 양어장 수질 기준

인 자	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	0.0012	0.1	0.02	0.02
Arsenic						0.05
Barium						5.0
Cadminm	1.2-12	0.05		0.05	0.02	
Calcium			52			4-160
Carbon dioxide			2.0			0-10
Chrominm	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	6.5-8.0	6.5-9.0	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

### (1) 알칼리도와 pH

어류양식에 있어서 수중의 pH는 중요한 인자이다. 이로 인하여 수중에 존재하는 암모니아성 질소, 질산성 질소, 아질산성 질소, 이산화탄소 등의 물질이 어류의 생육에 영향을 주는 독성물질의 분율을 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 어류 성장에 적합한 pH범위를 유지하기 위해 알칼리도의 유지가 필요하다. 알칼리도는  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  등에 의해 기인된다. 순환여과식 양식시스템에서는 이들 알칼리도 유발물질의 주입이 필요하다.

암모니아성 질소 1mg이 질산성 질소로 산화하는데 약 7mg의 알칼리도가 소비되므로, 수중의 pH와 알칼리도는 감소하고,  $\text{CO}_2$  농도는 증가한다. Gujer와 Boller(1984)는 50mg as  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  이하의 알칼리도에서는 질산화를 제한하고 pH7이하에서는 질산화 효율이 저하한다고 보고하였다. 암모니아는 자연수계에서 정상적인 온도와 압력하에서 기체이다. 이 기체는 수중에서 암모니아( $\text{NH}_3$  : 비이온성 암모니아)와 암모늄( $\text{NH}_4^+$  : 이온성 암모니아)으로 평형을 이루고 있다.



$$\frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{(\text{pH}-\text{pKa})} \quad (3-2-2)$$

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

식(3-2-1)은 pH와 온도의 함수로서(25°C, 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 폐사하는 경로는 일반적으로 다음과 같이 알려져 있다. 수생동물이 암모니아가 높은 곳에 노출되면, 성장률의 감소, 스테미나의 감소, 아가미 이상현상(gill sbnomality)등을 일으켜 중국에는 폐사하는 것으로 알려져 있다.

암모니아는 어류에 의해 배출되는 대사산물로서 사료 1g 소비당 30mg의 암모니아를 생산하며 유기화합물의 생물학적 탈라민작용, 내생호흡과 세포분해 등의 처리과정에서도 생성이 된다. 일반적으로 암모니아라 함은 총암모니아로서  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ 를 말한다. 양식에 있어 총암모니

아는 중요한 수질인자이다. 비이온성 암모니아가 고농도일 경우 어류에게 독성을 미친다. 무지개 송어에서는  $LD_{50} = 0.32 \text{ mg/L}$ 이고, 메기일 경우  $LD_{50} = 3.10 \text{ mg/L}$ 이다.  $0.05 \sim 0.2 \text{ mg/L}$ 의 저농도일 경우에도 어류성장을 저해한다.

### (3) 이산화탄소

고밀도 양식시스템에서 산소의 고갈과 함께 나타나는 심각한 문제 중의 하나는 혈액의 산소 전달 능력 등을 감소시키는 이산화탄소의 독성이다. 이산화탄소는 호흡에 의한 중간 생성물이 배설물에 포함되어 있으며 생물막의 미생물에 의해서도 생성된다. 연어와 송어는 사료 1mg 섭취당  $0.3 \sim 0.4\text{mg}$ 의 이산화탄소를 생산한다. 이산화탄소는 질산화박테리아의 합성과 질산화 과정에서도 발생하는데  $\text{mg NH}_4^+-\text{N}$  소비량 약 6g의 이산화탄소를 생산한다. 이산화탄소의 조절은 pH, 탄산계와 대기의 이산화탄소 평형에 의존한다. 이산화탄소 평형과 air stripping 또는 화학적 첨가를 이용한 이산화탄소 처리를 행할 수 있다.

### (4) 용존성 질소가스

질소가스는 생물막적으로 불활성이며 화학적으로 반응하지 않는다. 그렇지만 질소 가스가 110%이상으로 과포화시 대부분의 어류에게 영향을 미친다. Colt와 Orwicz은 가스에 의한 영향은  $\Delta P$ , 어종, 어류의 성장단계, 수질과 수중 깊이에 따라 다른데 가스 과포화에 의한 영향을 피하기 위해 10mmHg이하의  $\Delta P$ 를 유지하는 것이 바람직하다고 발표하였다.

### (5) 용존유기물

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

## (6) 용존산소

수중의 용존산소는 양식에 있어서 수용량과 생산량을 결정하는 주요인자로서 용존산소 부족 시에는 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 이 독성은 칼슘과 염소 이온의 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(Ka = 4.5 × 10<sup>-4</sup>, 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 순환여과 양식시스템에서 질산염 농도가 25 ~ 35mg/L라도 어류에 영향을 미치지 않는다고 주장하였다. Colt와 Tchobanoglous은 어류의 96hr LC<sub>50</sub>이 1,000 ~ 2,000mg/L라고 보고하였으며 Braun(1972)은 무지개 송어의 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 pH 영역에서 이 평형반응은 질산염 상태에 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, 성장 정도에 따라 다른데 Wallen은 69,000mg/L의 부유물질농도에서도 열대어의 성장에 영향을 주지 않는다고 발표했으며, Herbert와 Merkens은 규조토로서 207mg/L의 부유물질 농도에서 무지개송어의 지느러미가 찢고 폐사에 이른다고 발표하였다.

### 2. 순환여과식 양식 시스템의 수처리 원리 및 장치

순환여과식 양식시스템은 한번 사육조에 공급한 물을 수처리 장치를 이용하여 처리한 뒤 재사용하는 시스템으로 일정한 수처리 시스템이 필요하며, 개방형 양식기법에 비해 기술과 장비가 필요한 양식기법이다. 순환여과식 양어시설을 적용한 연구는 1960년대 일본에서의 순환여과식 잉어양식과 미국 Memphis 주립대학의 송어양식 연구 등을 들 수 있다. 그 이후 1968년에 시작한 미국 Delaware 대학교의 순환여과식 해산패류양식 연구와 1970년대 미국의 연어부화장에서의 여과장치의 사용 예들이 있다. 그러나 이들 시도는 그 후 계속해서 산업발전으로 연결되지 못하고 있는 실정이다. 1980년대에 들어와서 순환여과식 양어가 꾸준히 개발되기 시작하고 이들 수준은 유아기에 불과했지만 빠른 속도록 산업적 경제 규모를 갖출 수 있게 되어갔다. 그래서 순환여과식 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 순환여과식 뱀장어 양식기술이 개발되었으며, 이 두나라의 순환여과식 뱀장어 생산량은 유럽에서 양식되는 전 생산량의 약 절반을 넘는 것으로 알려지고 있다. 독일의 상업적 순환여과식 양어 기술의 개발 판매, 노르웨이의 해산어 육상 순환여과식 양식 기술 개발 등이 있다.



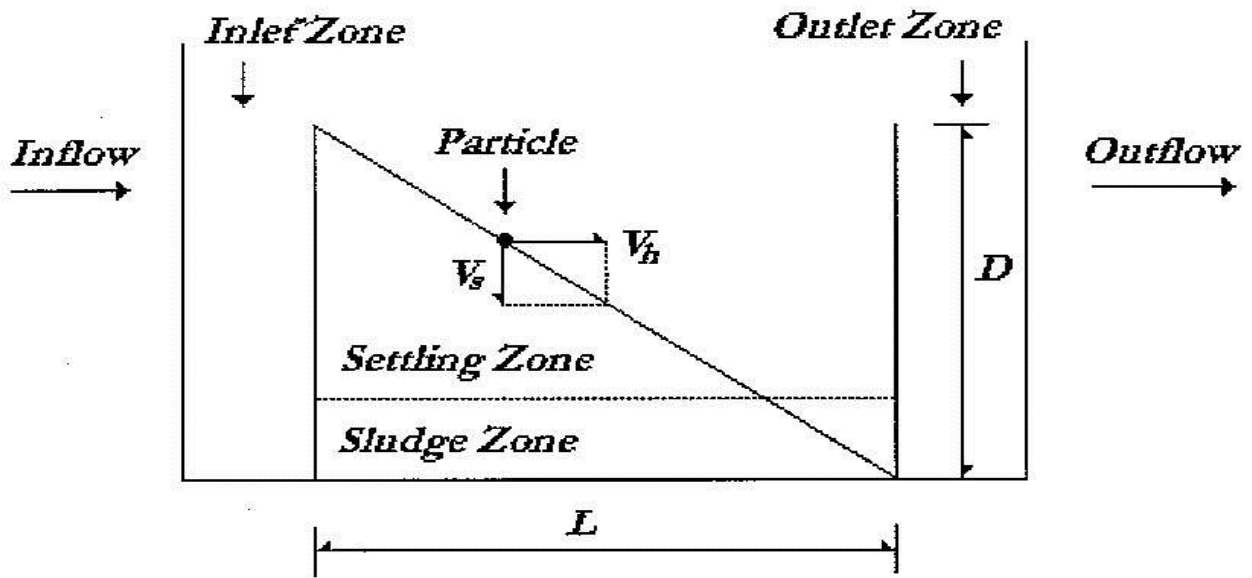
현재 순환여과식 양식 기술 개발이 늦어진 한 가지 이유는 기술정보의 보급이 늦다는데 있다. 전세계의 다른 집단식이 같은 과오를 수없이 되풀이하면서 같은 바퀴를 연구하고 있는 셈이다. 어쩌다 기술 개발에 진전이 있을 때는 그 기술을 비밀에 붙이는 경향이 있다.

한국에서 순환여과식 양식의 역사는 1970년대에 김 등이 간이 순환여과 장치로 각종 어류 성장 시험을 한 것이 시작이며, 1979년에 Pilot 규모의 양식 시설을 하여 어류의 각종 사육 시험을 하는데 유용하게 이용되어 왔다. 이 과정에서 사용된 여과조는 침지식 여과장치였다. 충전 매디아는 자갈, 요철 플라스틱 판, 플라스틱 골판 및 첨모직물 등을 이용하였으나 매디아별 처리효율상의 차이점은 없었다.

생물막 여과장치의 개선을 위해 폐수처리에서 적용되는 매디아를 순환수처리에 응용한 결과도 많이 보고 되고 있다. 미국의 경우에는 양어장 순환수처리를 위한 매디아를 별도로 판매하고 있다. 순환여과식 양식시스템은 어류 양식에 필요한 사육조와 순환수처리 위한 수처리 장치로 구성된다. 수처리장치는 고형물 처리장치와 용존성 물질처리장치 그리고 덧붙여 살균장치로 구분하여 서술하면 다음과 같다.

#### 가. 고형물 처리장치

순환수내 고형물의 발생요인은 사료 공급에 따른 양식 어류의 배설물과 미섭취 사료 등에 의해 기인된다. 중력식 침전조 형태와 마이크로 필터나 모래를 이용한 여과(Filtration : Solid and liquid seperation)방식으로 처리가 가능하다. 이들은 설치와 운전상의 각기 장단점이 있다. 중력식 침전조를 이용한 고형물 제거는 일정한 입자의 밀도와 침강 속도를 측정하여 이를 근거로 침전조를 설계할 수 있다. 단순 콘크리트 구조물로 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 이에대한 별도의 처리가 요구된다. 침전수조에서 고형물질의 침전현상과 입자 크기별 한계 침강속도와 침전조 규격을 <그림 3-2-1>과 <표 3-2-3>에 나타내었다.



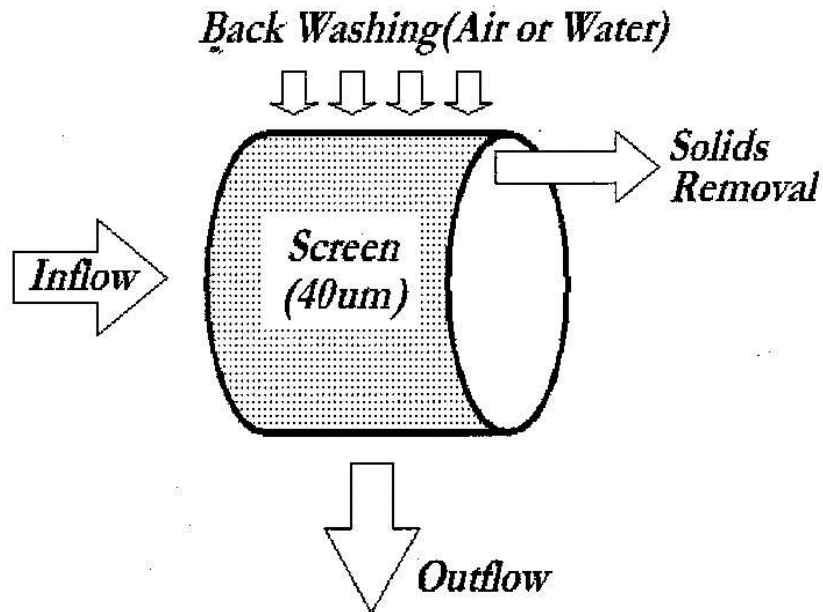
<그림 3-2-1> 침전수조에서 고형물질의 침전현상.

<표 3-2-3> 입자 크기별 한계 침강속도와 침전조 규격

제거입자 d, $\mu\text{m}$	한계침강속도 $V_s(\text{m/s})$	$V_{sc} =$ $V_s \times 1.2$	$\text{m}^2$	W	L	D	Volume ( $\text{m}^3$ )	HRT (min)
10	0.00001	0.00001	319	319.10009	1.0	0.5	159.55005	637.69003
40	0.00017	0.00021	20	19.94376	1.0	0.5	9.97188	39.85563
100	0.00109	0.00131	3	3.19100	1.0	0.5	1.59550	6.37690
200	0.00436	0.00523	0.8	0.79775	1.0	0.5	0.39888	1.59423
400	0.01742	0.02091	0.2	0.19944	1.0	0.5	0.09972	0.39856
1000	0.10890	0.13068	0.03	0.03191	1.0	0.5	0.01596	0.06377
4000	1.74240	2.09088	0.002	0.00199	1.0	0.5	0.00100	0.00399
10000	10.89000	13.06800	0.0003	0.00032	1.0	0.5	0.00016	0.00064

모래여과장치를 이용한 고형물제거는 충전한 모래크기에 따라 처리효율이 달리 지며, 일반적으로  $20\mu\text{m}$ 크기의 입자까지 제거 가능하다. 압력식 모래여과기는 일정주기별로 역세척을 통하여 여과층을 세척하여야만 안정적인 처리효율을 유지할 수 있다. 역세방법은 수동식과 자동식으로 구분되는데 수동식은 작업자가 압력계지를 읽고 밸브를 작동하여야 되며, 자동식은 여과기내의 압력이 일정한 수준이상 상승하며, 솔로노이드 밸브와 시간조절기가 자동으로 작동하여 역

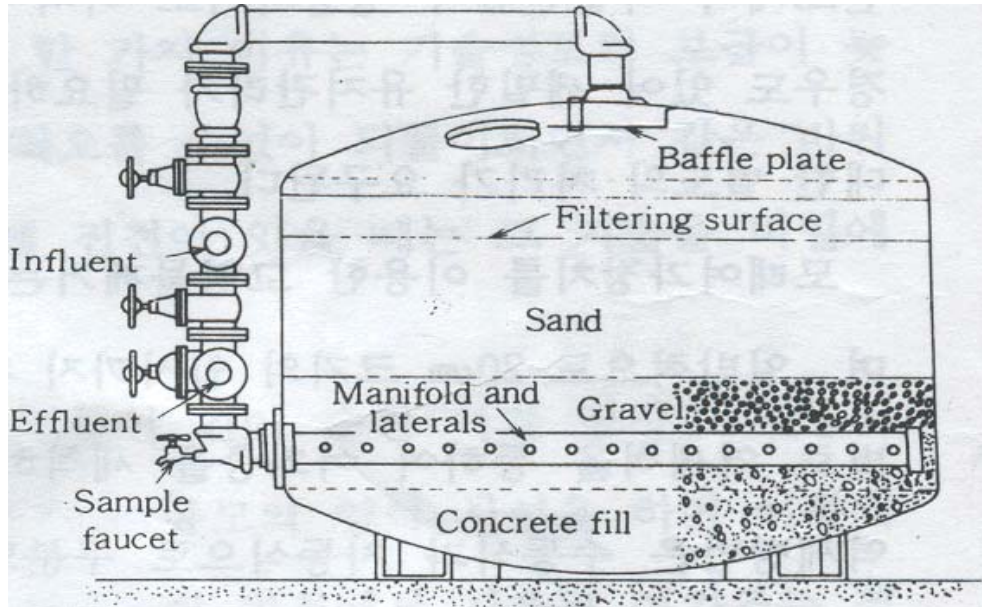
세작업이 진행된다. 마이크로스크린을 이용한 여과방식은 드럼필터형식을 많이 이용한다. 마이크로 스크린의 눈금크기에 따라 처리효율이 달라질 수 있다. 일반적으로 사용하는 눈금크기는  $50\mu\text{m}$  정도의 것을 이용한다. 드럼스크린은 드럼의 표면을 스크린으로 장치하고 회전한다. 순환수는 드럼의 내부로 유입되어 외부로 유출된다. 이때의 드럼내부와 외부의 수두차는 10cm 정도로 유지된다. 회전드럼에 장치된 스크린은 드럼상부에 장치된 세척장치를 통하여 연속적으로 세척되므로 운전자의 작업이 필요 없다. 드럼필터의 운전모식도 및 사진과 모래여과장치의 그림을 <그림 3-2-2>와 <사진 3-2-1> 및 <그림 3-2-3>에 나타내었다.



<그림 3-2-2> 드럼필터 운전 모식도.



<사진 3-2-1> 드럼필터 운전 사진.



<그림 3-2-3> 모래여과장치의 모식도.

## 나. 용존성 물질의 생물학적 처리

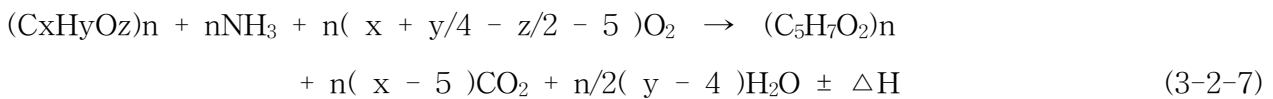
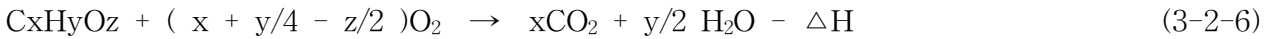
### (1) 기본원리

순환수 내에 처리해야 될 용존성 물질은 질소화합물 및 유기물 등이다. 질소화합물질은 암모니아, 질산, 아질산 등으로 구분할 수 있다. 유기물, 암모니아 및 아질산의 처리는 생물학적 처리방법이 가장 손쉽고 유효한 방법이다. 생물학적 처리에 의한 이들 물질의 제거원리는 다음과 같다.

#### (가) 유기물 제거

일반적으로 생물학적 처리하고 하는 것은 폐수 중에 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 탄소화합물

은 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 동시에 내생호흡을 통하여 세포를 분해하는 과정을 거친다. 이상과 같은 각각의 반응 형태는 다음과 같이 표현된다.



여기서,  $\pm\Delta H$ 는 반응에 이용되는 에너지이다.

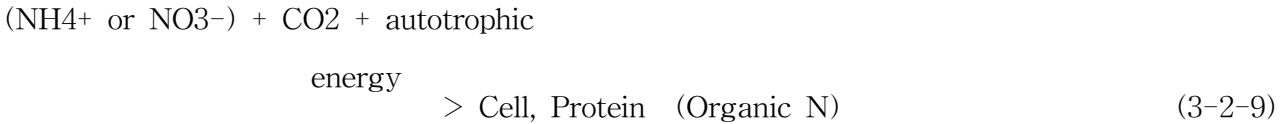
Burkhead 등(1968)에 의하면 호기성 박테리아의 신진대사는 외부로부터 먹이가 공급되었을 경우에 위의 3가지반응형태가 동시에 일어난다고 보고하였다. 유기물은 호기성 미생물의 대사 작용에 의해 새로운 세포로 합성이 된다. 반응을 통하여 발생된 에너지의 1/3은 세포를 합성할 때 필요로 하는 에너지원으로 사용되고 2/3는 새로운 세포로 전환되는데 이용된다. 합성된 세포 g VSS 당 사용되는 에너지는 2.3 Kcal/g VSS 이며 세포로 전환되는 에너지는 4.7 Kcal/g VSS 로서 전체 에너지는 7.0 Kcal/g VSS가 된다(Mckinney, 1984).

반면에 합성된 미생물 등은 내생호흡에 의해 세포량이 줄어드는 것으로서 최종적으로 80% g VSS는 세포의 주위를 둘러싸고 있는 Lipoprotein-polysaccharid 복합물로 분해 불가능한 부분으로 남아있게 된다. 내생호흡은 20℃에서 2.0%/hr이다.

#### (나) 질산화

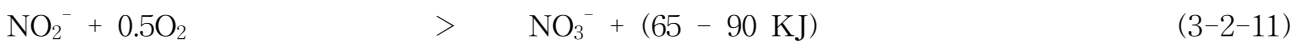
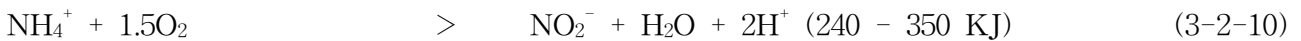
질소는 종속영양 미생물(heterotrophic organism)이든 독립영양 미생물(autotrophic organism)이든 모든 형태의 미생물 성장에 필요한 영양소로서 이용된다. 미생물량에 따라 실제 요구량이 다르며, 종속영양 미생물은 독립영양 미생물에 비해 그 양도 많으며 상당량의 질소를 동화(Assimilation)하므로 유기물 분해시 상당한 양의 에너지를 얻는다. 그에 비해 독립영양 미생물은 복잡한 유기물을 세포합성에 이용할 수 있는 적당한 형태인 이산화탄소로 전환하는데 많은

양의 에너지를 필요로한다. 그 결과 이용된 에너지 기질당(Energy Substrate)적은 미생물 증식을 보이며 질소 요구량도 적다. 무기질소를 산화하여 에너지를 얻는 질산화 박테리아(Chemoautotrophic)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 중속영양 박테리아에 비해 천천히 성장한다. 따라서, 미생물학적 측면에서 최대 질산화를 이루기 위해서는 적당한 환경요인의 공급으로 질산화 미생물의 성장이 유기물질을 산화하는 중속영양 박테리아의 성장률 보다 크게 유지하는 것이 가장 중요하다.

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

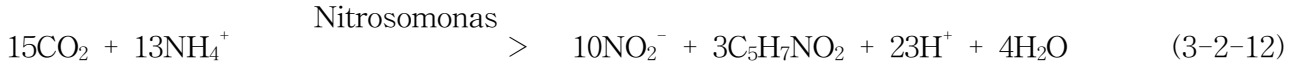


이러한 반응에서 방출되는 에너지는  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  와 같은 무기탄소원으로부터 필요한 유기물량을 합성하는 질산화 미생물에 의해 이용된다.

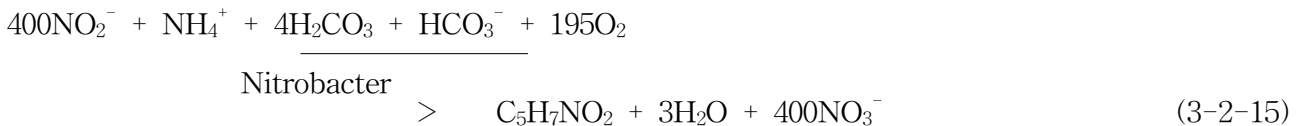
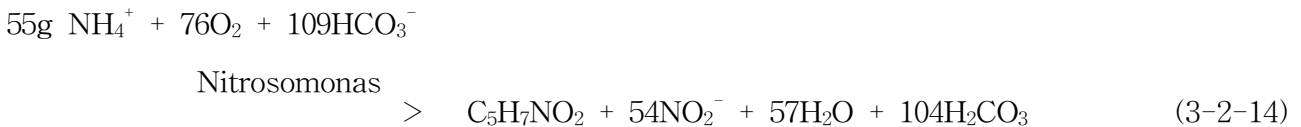
Nitrosomonas와 Nitrobacter는 편성 호기성으로 오랫동안 산소가 없어도 사멸하지 않는다. 그리고 기질이 없을 때 호기성 조건에서 보다는 혐기성 조건하에서 호흡율의 감소가 상대적으로 천천히 일어난다. 산소가 없을 때 Nitrobacter는 질산염을 아질산염으로 환원시킬 수 있다.

질산화 박테리아는 중속영양 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  $\text{CO}_2$ 를 유기형태로 환원시키는데 주로 이용된다. Nitrosomonas와

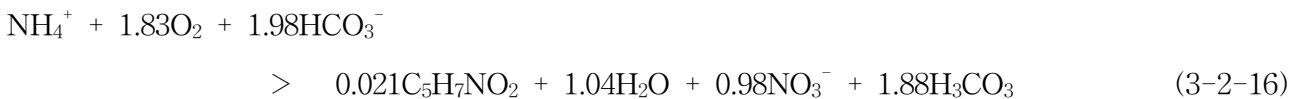
Nitrobacter의 구성이 C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>로 나타내어질 수 있다는 가정 하에 세포성장의 화학 양론식은 다음과 같다.



Nitrosomonas의 세포성장은 0.15g VSS/g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이고 Nitrobacter의 세포성장은 0.02g VSS/g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N으로 가정하면, 세포성장의 화학 양론식은 다음과 같다.



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



순환수 처리시 질산화 반응에 미치는 중요한 인자는 산화된 암모니아성 질소당 매우 낮은 세포생산, 질산화의 산소요구량은 제거된 g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N당 약 4.2g의 산소가 필요하며, 질산화 과정 동안 생성된 수소 이온에 대해 g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N당 약 7g의 알칼리도가 요구된다.

암모니아 제거를 위해 가장 경제적이고 광범위하게 이용되고 있는 방법은 생물학적 처리이다. 한편, 여러 가지 문제점을 내포하고 있는 상·하수 처리공법에 대한 처리기능의 보완을 위하여 하수처리의 경우 2차처리 시설로서 활성슬러지의 각종 변법과 상수처리의 경우 전처리 공정으



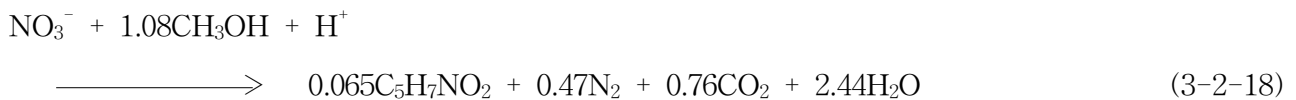
로 생물막 공법의 적용여부에 관한 연구개발(박, 1991)도 최근에 들어 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 생물막 공법은 주고 영양소 등을 제거하기 위한 고도처리로서 많이 이용되고 있다. 임(1993)은 회전원판법을 이용하여 암모니아의 질산화에 관한 연구 결과를 보고한 바 있으며 안(1993)과 홍(1987)은 생물막 유동층 반응기를 이용한 폐수처리에 관하여 이(1992)와 김(1995)은 생물막 유동층 공법을 이용하여 양식장 순환수처리에 필요한 예도 있다. 府中은 안스라사이트를 여과재로 사용한 생물막 여과법의 하수 고도처리 실험에서 BOD가 1차식으로 먼저 제거되고 그 다음  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 이 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 질산화 과정을 해석하였다. Iida와 Terandish는 침적생물막 반응조의 단일 공정으로 도시하수의 유기탄소와 질소제거실험 결과 7시간의 체류시간 및 간헐적인 폭기와 2.0의 재순환 비율로 보조 탄소성분을 첨가하지 않고 질소의 80%를 제거 가능하다고 보고하였다.

(다) 탈질화

탈질화 반응은 무산소 상태에서 유기에너지원이 존재할 때 수소 수용체(Hydrogen acceptor)로서 질산염을 이용하는 종속영양 미생물(Heterotrophic microorganisms)에 의해서 일어나는 반응이다. 탈질화의 반응식은 다음과 같은 형태로 일어난다.



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



탈질반응에 있어서의 용존산소량이 0mg/L에서부터 1.0mg/L까지 증가하면 탈질화율도 이것에 따라 선형적인 감소를 보인다고 알려져 있다. 무산소조에서 1mg/  $\text{NO}_3^-$ -N의 탈질화에 대해서 3.57mg Alkalinity(as  $\text{CaCO}_3$ )가 생성된다고 알려지고 있으며, 1mg  $\text{NO}_3^-$ -N가 탈질화 반응을 거치기 위해서는 대략 3mg/L BOD가 소비되어진다. <표 3-2-3>에는 탈질화에 필요한 유기탄소원의 비탈질율(Specific denitrification rate)을 나타내었다(W.Wesley Eckenfelde. Jr, 1989).

생물학적 탈질화법은 에너지를 획득하는 방법에 따라서 크게 Wuhrmann 방식과 Bringmann 방식의 두 종류로 구분된다(松本利通, 堺好雄, 1978).

Wuhrmann 방식은 탈질중에 별도의 유기 탄소원을 첨가하지 않고 질산화 과정을 거친 처리수 중에 남아있는 BOD와 내생호흡에 의해 세포질을 이용하여 탈질을 유도하는 방식이고, Bringmann 방식은 이와는 별도로 유기 탄소원을 첨가하여 탈질을 유도하는 방법이다.

<표 3-2-4> 탈질화에 필요한 유기탄소원의 비탈질율

Carbon Source	kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -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

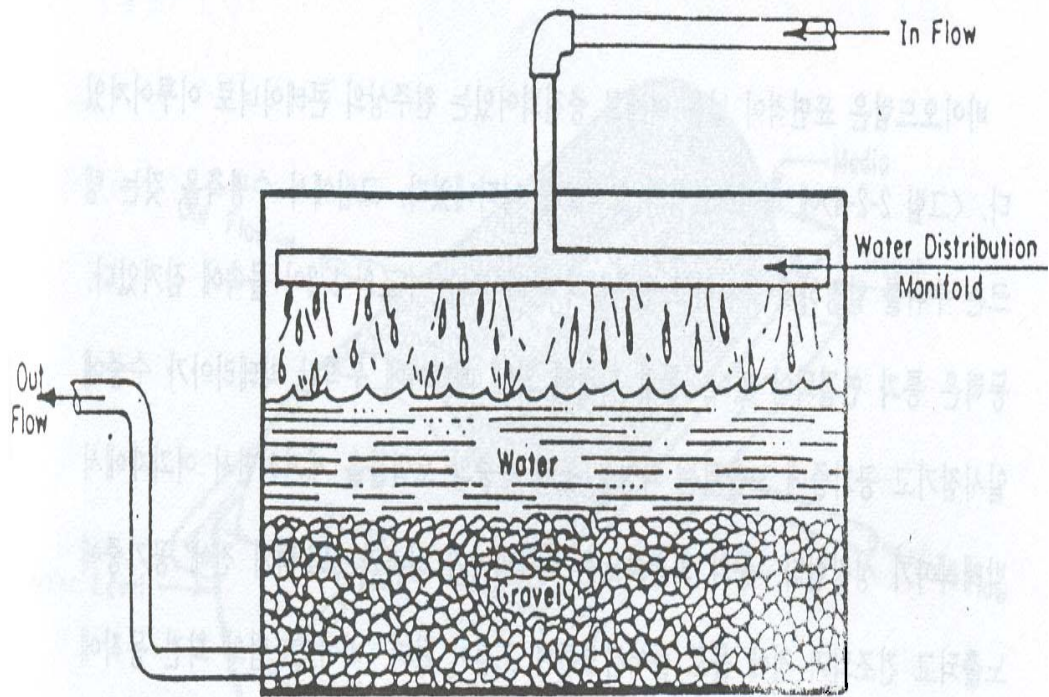
생물학적 수처리 방법은 미생물의 성장 특성에 따라 부착성장 미생물법과 부유성장 미생물법으로 구분할 수 있다. 부착성장 미생물은 미생물이 고체의 표면에 부착하여 생물막(Biofilm)을 형성하여 물속의 오염물질을 정화한다. 부유성장 미생물법은 미생물간에 일정한 균체를 이루어 미생물 덩어리(Floc)를 형성하여 물속의 오염물질을 정화하는 각각의 성장 특성을 가지고 있다. 부착성장 미생물의 특성을 이용한 수처리 기법을 생물막 공법이라 하며, 오래전부터 이용한 방식은 RBC법, 살수여상법 등이 있고, 침지식 생물막법, 유동층법도 최근 많은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

(가) 침지식 생물막 공법

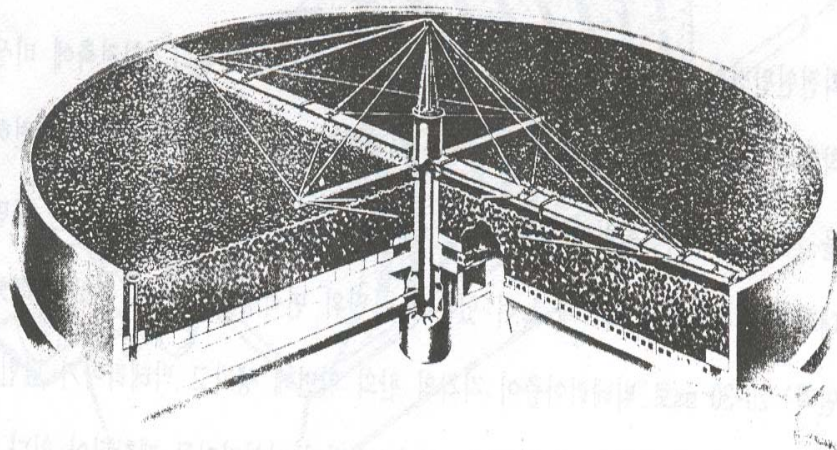
양어장 순환수내 암모니아제거를 위한 침지식 생물막 여과조를 <그림 3-2-4>에 나타내었다. 침지식 생물막 공법은 현재 국내에 가장 많이 보급되어 있는 생물여과조로 추가적인 에너지 없이 여과기로 양수되는 수두차에 의해 운전되며, 사용되는 담체는 현장조건에 따라 자갈, 플라스틱 등의 담체가 충전되어 이 고정층 사이로 물이 지나가게 된다. 질산화 박테리아가 수중의 여과재에 부착되어 있기 때문에 산소가 물에 의해 여과기로 전달되어야 한다. 침지식 생물여과조의 경우 조의 크기가 클수록 효율이 감소하며, 적용하는 담체의 종류에 따라 효율의 차이가 크며 담체 사이에 축적되는 미생물 및 사료 찌꺼기 등에 의해 일정기간(1~3개월)을 주기로 빈번한 담체 청소가 요구되며, 청소후 약 1개월 정도 효율이 급감하여 순환수 처리에 인력 및 수질향상에 개선점이 많이 필요한 공법이다. 유동층 공법에 비해 최대 6배 이상의 여과조 용량이 필요하다. 이것은 침지식 생물막 여과기가 가장 제한을 받는 요인 중에 하나가 된다.

(나) 살수여상공법

<그림 3-2-5>에 살수여상공법의 운전모식도를 나타내었다. 이 방법은 여과재가 젖어 있지만 침지되어 있지는 않다. 여과기가 물로 채워져 있기 않기 때문에 공기는 여과기를 통과하여 메디아에 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 3-2-4> 침지식 생물막 여과조의 운전모식도.



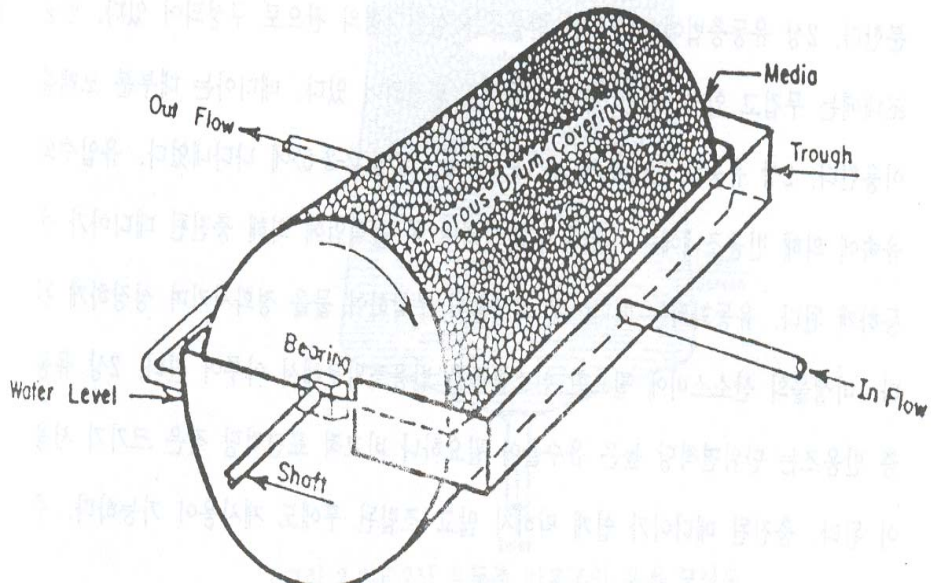
<그림 3-2-5> 살수여상 공법의 운전모식도.

#### (다) 바이오드럼(Biodrums)

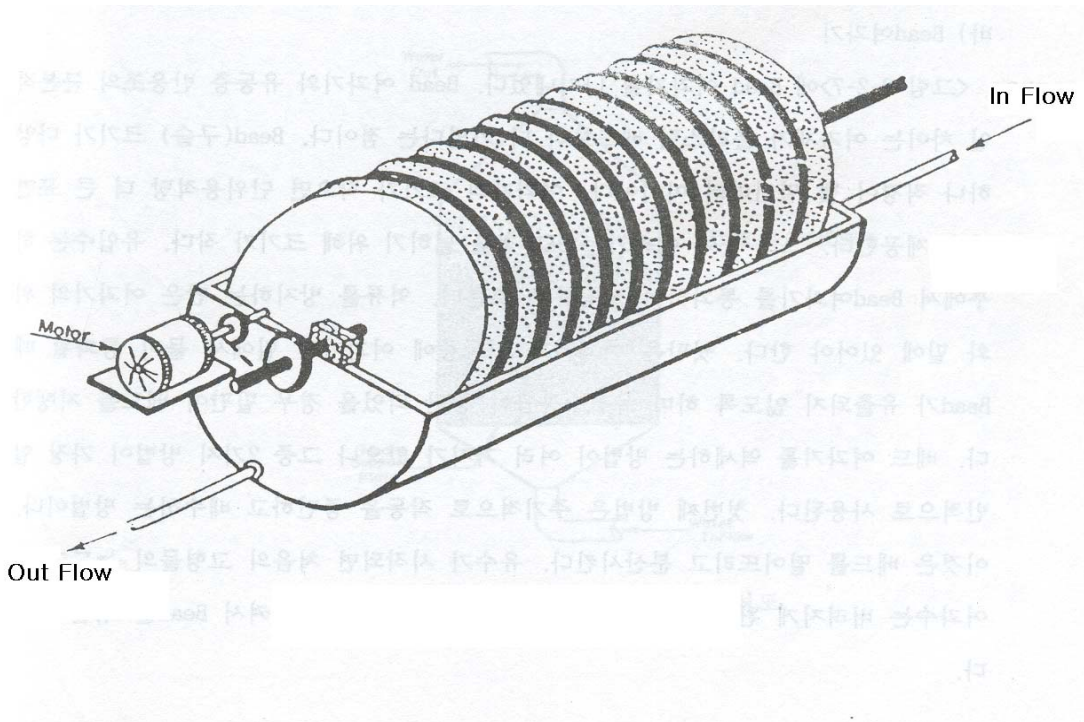
바이오드럼은 표면적이 넓은 여과재로 충전 되어 있는 원주상의 컨테이너로 이루어져 있다. <그림 3-2-6>에 바이오드럼의 모식도를 나타내었다. 그림에서 수평축을 갖는 탱크는 수위를 일정하게 유지하고 원주상의 컨테이너는 수조의 1/2이 물속에 잠겨있다. 동력은 통과 연결되어 있다. 통의 회전에 의해 미디어에 부착한 박테리아가 수중에 일시 잠기고 공기 중에 노출되는 과정을 통해 수중의 오염물을 제거하면서 여과재에서 박테리아가 성장한다. 통의 회전속도는 박테리아가 산소가 고갈되기 전에 공기 중에 노출되고 건조되기 전에 물로 들어감으로써 조절이 된다. 바이오드럼의 회전 동작에 의해 수조 내가 혼합된다. 내부 외부로의 유체의 흐름 때문에 회전중의 바이오드럼이 막히는 것이 드물다. 에너지 소요량은 회전원판법보다 바이오드럼이 더 크다.

#### (라) 회전원판법

회전원판법의 운전기작은 바이오드럼과 유사한 형태를 가진다. 침지식 생물여과조와 같이 현장에 보급되고 있는 공법으로 순환수를 회전원판 담체가 부착된 담체드럼의 상부에서 낙수시킴으로써 생성되는 에너지를 회전력으로 하여 순환수에 회전원판이 계속적으로 적셔짐으로써 수중에 존재하는 오염물질을 제거하는 방법이다. 회전원판법의 개략도는 <그림 3-2-7> 같다. 판의 공간은 표면적을 최대화하기 위하여 인접하게 놓여 있는데, 단위 면적당(여과기의 용적당 매개체의 표면적) 20 ~ 30mm로 박테리아층이 각각의 판의 양면에 생기고 박테리아가 박힌 판 사이에 물이 순환하게 된다. 회전속도는 바이오드럼과 마찬가지로 제한되어 있다. 비록 바이오 디스크가 약간의 과동을 수조안에서 일으키지만 바이오드럼보다는 적게 일어난다. 바이오 디스크를 회전하기 위해서 드는 에너지는 바이오드럼보다는 훨씬 적다. 회전원판 표면에 부착 성장하는 미생물이 일정기간 이후 탈리되어 침지식 생물여과조와 유사한 문제점을 발생시킨다.



<그림 3-2-6> 바이오드럼 운전모식도.



<그림 3-2-7> 회전원판법의 운전모식도.



## (마) 유동층공법

유동화(Fluidization)란 용어는 1878년에 처음으로 문헌에 사용된 이후 1910년 Phillip과 Bulteel이 유동화에 의한 기체와 촉매의 접촉방법으로 첫 특허를 얻었고, 1942년 석유산업에 이 방식이 처음 적용된 이후 상업적으로 보편화되기 시작하였다(Frederick and Donald, 1960). 환경공학에서 유동화가 처음 사용된 것은 상수의 정화목적으로 모래층에 물을 여과시키고 난 후 모래층 상부의 찌꺼기를 걸러내기 위한 역세척(Backwashing)이었으며 모래층을 유체로 팽창시켜 유동화하였다.

폐수처리로의 응용은 1935년 Annular floc blanket zone clarifier와 Hopper-bottomed floc blanket clarifier부터 이고(P.F.Cooper, B. Atkinson. 1981), 1945년 Pugh가 영국의 Avon 강물의 염소소독을 위한 암모니아 제거에 생물학적 유동층의 적용가능성을 보고하였다. 네덜란드에서는 삼상 유동층 생물막 반응조 내부에 draft tube를 설치하여 상향류와 하향류를 형성시키는 Air-Lift Reactor를 연구하여 0.5 ~ 2hr의 짧은 체류시간으로 COD 용적부하를  $20\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 까지 유지하였다. 그 이후 여러 가지 다양한 매디아를 미생물에 부착시켜 유체의 흐름형태를 응용한 많은 연구가 진행되어져 왔다(Miller, 1981).

유동층 공법은 반응조 내에 유동화 현상을 유지하기 위한 방법으로 이상 유동층과 삼상 유동층으로 구분한다. 이상 유동층 공법에 적용되는 반응조는 실린더형의 관으로 구성되며 반응조 내에는 무겁고, 입자크기가 작은 매디아로 충전 되어 있다. 매디아는 대부분 모래를 이용한다.

이상 유동층 공법은 유입수의 유속에 의해 반응조 내에는 상향류가 형성되며 이 움직임에 의해 충전된 매디아가 유동하게 된다. 유동화되는 매디아에 미생물이 부착하여 물을 정화시키며 성장하게 된다. 미생물의 산소 소비에 필요한 산소공급은 반응조 외부에서 이루어진다. 이상 유동층 반응조는 단위면적당 높은 유수율이 필요하나 비교적 표면적당 작은 매디아 크기가 사용된다. 충전된 매디아가 쉽게 막히지 않고 매디아를 설치된 후에도 재사용이 가능하다. 주 에너지는 양수를 위해서 사용이 된다. 삼상 유동층 공법은 액체(처리수), 기체(공기), 고체(매디아)의 세 가지 상의 존재하며, 매디아의 유동현상은 주입되는 공기에 의존한다. 3상 유동층 반응조의 운전 모식도는 <그림 3-2-8>에 나타내었다. 이상 유동층 공법에 비해 미생물에 산소 전달이 용이하며 높은 부하조건에서도 적용이 가능하나 매디아의 유동현상을 위해 반응조의 설계와 매디아의 선택이 중요하다.

유동층 생물막 반응조 내에서의 동력학은 Gas hold-up, 액체 순환속도 물질전달 등이 달라지기 때문에 유동층 반응조의 설계 및 운전은 이들을 고려하여 진행되어야 한다. 따라서 매디아의 특성에 따라 공기 유량, 내부 Draft tube의 규격, 기-액 분리장치, 수위 등의 최적조건을 도

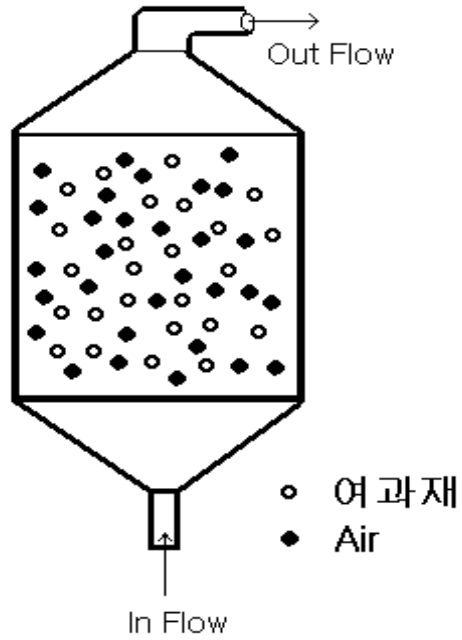


출하여 안정적인 운전과 에너지 소모량을 줄일 수 있어야 한다.

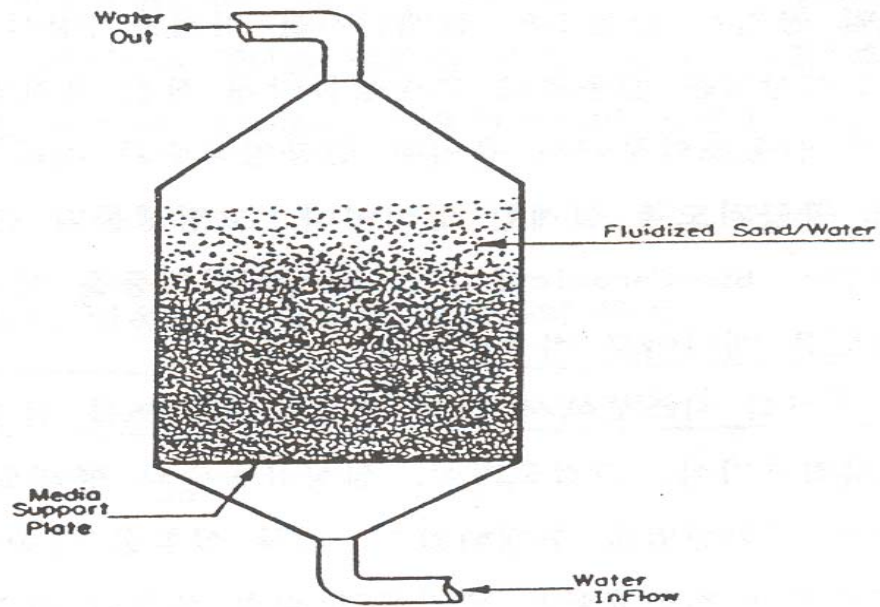
유동층공법의 장점으로는 처리시간이 짧아 좁은 부지에 설치가 가능하며 효과적인 암모니아 처리 가능하는데 있다.

#### (바) Bead 여과기

<그림 3-2-9>에 Bead 여과기를 나타내었다. Bead 여과기와 유동층 반응조의 근본적인 차이는 여과재가 플라스틱 베드보다 더 가볍다는 점이다. Bead(구슬) 크기가 다양하나 직경이 몇 mm 이하이다. 여고재의 크기가 작으면 단위 용적당 더 큰 표면적을 제공한다. 그래서 이 여과기는 표면적을 넓히기 위해 크기가 작다. 유입수는 하부에서 Bead 여과기를 통과하여 상향류로 흐른다. 역류를 방지하는 판은 여과기의 위와 밑에 있어야 한다. 윗판은 여과기가 가동 중에 여과기의 밑에서 물이 통과될 때 Bead가 유출되지 않도록 하며 유입수 공급이 중단 되었을 경우 밑판이 베드를 지탱한다. Bead 여과기를 역세하는 방법이 여러 가지 있으나 그 중 2가지 방법이 가장 일반적으로 사용된다. 첫 번째 방법은 주기적으로 작동을 중단하고 배수하는 방법이다. 이것은 Bead를 떨어뜨리고 분산시킨다. 유수가 시작되면 처음의 고형물의 농도가 큰 여과수는 버려지게 된다. 두 번째 방법은 기계적으로 교반시켜서 Bead를 섞는다.



<그림 3-2-8> 삼상 유동층 반응조의 운전모식도.



<그림 3-2-9> Bead 반응조의 운전모식도.

## 다. 살균 장치

순환여과식 양식장에서 어병 방지 대책으로 사육수의 살균 방법이 요구되고 있다. 살균방법에는 물리적(열이나 자외선 조사, 한외여과)인 것과, 화학적(염소나 오존 주입)등이 있다. 이들에 대하여 알아보면 다음과 같다.

### (가) 한외여과법(Ultra Filtration)

막에 의한 물의 여과 작용을 통하여 미생물을 순환수로부터 제거하는 방법이다. 여과막의 미세공은 세균류보다 상당히 작은 것이 사용되지만 변형하여 미세공을 통과하는 세균이 있기 때문에 처리 후에 자외선을 조사할 필요가 있다. 처리수량이 적을 경우 효과적인 것으로 알려져 있다.

### (나) 자외선(UV-ray)

파장 중에서 파장  $2537\text{\AA}$ 이 가장 살균력이 강하다.  $3200\text{\AA}$ 의 파장에서는 전자에 비해 0.4% 효과 밖에 얻을 수 없다. 자외선 살균법의 조작은 간편하지만 물에 현탁물이나 착색이 있으면 조사 효율이 감소하여 살균 효율이 저하한다. 또 자외선이 통과하는 수층의 두께가 자외선 흡수에 큰 영향을 미친다. 수층이 얇아 무색 투명한 상태에서는 살균 효과를 발휘한다. 그러나 자외선 조사량은 미생물의 종류에 따라 다르다. 따라서 선택하는 램프출력에 따라 효과를 얻을 수 없는 대상 생물도 있다. 또한 온도에 따라 출력이 변화하고 램프의 사용 시간에 따라 출력이 저하하는 특성이 있다.

### (다) 염소(Chlorination)

염소는 소독제로서 일반적으로 알려져 있다. 이것도 사육 생물에 대해서는 유독물질이다. 차아염소산염으로서는 칼슘염과 나트륨염이 일반적이다. 염소가스를 물에 용해시키면 차아염소산이 되지만 pH가 낮으면 유리염소가 된다. 각종 생물에 대한 독성 농도는 종류에 따라 다르다. 그러나 일반적으로  $0.05\text{mg/L}$ 이하가 안전하다고 알려져 있다. 이 염소도 유기물이나 환원성 물질과 반응해 소비된다. 염소로 살균할 경우에는 오존의 경우와 같이  $1\text{mg/L}$  전후의 농도로 주입한 뒤 약 3분정도 접촉한 후에 물을 활성탄이나 목탄 여과층에 통과시켜 잔류 염소를 충분

히 제거하는 것이 필요하다. 또는 아질산이나 티오황산나트륨을 첨가하여 잔류염소를 제거하기도 한다. 염소는 일광에 의해 염사에 의해 분해 되지만 오존과 같이 방치해도 간단히 분해 소멸되지 않기 때문에 주의가 필요하다.

#### (라) 오존(Ozonation)

오존화된 가스를 물에 접촉시켜 사용하는 방법이다. 오존은 물에 용해되어 있는 악취 유발물질 등을 산화시켜 무취로 만드는 성질이 있다. 또 용해 유기물이나 환원성 물질이 물 속에 있으면 바로 산화반응을 일으킨다. 따라서 오존 살균을 할 경우에는 이러한 오존 소비 물질의 양을 미리 조사해 두고 오존 필요량을 엄밀히 저해 공급해야 된다. 잔류 오존 농도와 사육생물에 대한 독성의 관계는 어중에 따라 다양하지만 일반적으로 담수의 경우 잔류 오존농도가 0.05mg/L 정도에서는 안전하다고 보고 되고 있다.

오존에 의한 살균처리와 제거를 확실히 하려면 1mg/L정도(전달율 90%)의 주입류에 2 ~ 3분 정도의 반응시간을 유지한 뒤 활성탄 또는 목탄층에 통과시켜 잔류오존을 충분히 제거시킨 뒤 사육수로 이용해야 된다. 오존은 불안정한 물질이므로 수중에서 쉽게 O<sub>2</sub>로 전환된다. 오존 분해조에 30 ~ 40분 정도 체류시키면 자연분해가 가능하다. 이때 분해조에 산소 또는 공기를 공급하면 체류시간을 줄일 수 있다.

### 제 3 절 담수에서의 미디어별 효율 산정

#### 1. 개요

순환여과식 양식에 있어서 순환수 중 처리하여야 될 가장 중요한 수질인자들은 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 유기물 등이다. 그 중에서 암모니아성 질소는 반드시 제거되어야 될 물질이다. 순환여과식 양식장에서 암모니아성 물질 제거는 생물막 공법으로 제거가능하다. 현재 생물막 공법에 대한 연구 결과는 많이 알려져 있다. 최근에는 유동층 공법에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 하지만 정작 유동층 반응조에 이용될 미디어에 대해서는 규격화된 자료가 없는 실정이다.

유동층 생물여과조는 비중이 낮고 비표면적이 큰 미디어가 필요하다. 유동층 미디어는 현재 국내 대기업 등에서 폐수처리용 유동층 미디어가 생산되고 있고, 하나아쿠아시스템 등에서는 양식장용 유동층 미디어가 생산되고 있다. 하지만 이것 또한 미디어에 대한 규격화가 이루어지지 않고 현장 운전을 통한 경험에 의해 사용되고 있다. 유동층 생물여과조의 현장 적용을 위해서는 이들 제품에 대한 규격화된 연구가 필요하다. 즉, 같은 형태의 유동층 반응조에서 각 미디어별 수처리 특성에 대한 비교 실험이 필요하고, 이 결과를 바탕으로 각 미디어별 경제성 비교를 통해 양식장에 적용할 수 있는 최적의 미디어가 선정되어야 한다. 여기에 본 연구의 목적이 있다.

본 연구에서는 유동층 반응조에서 미디어의 특성을 연구하기 위해 국내에서 시판되고 있는 S1사, KL사, 6종, S2사의 미디어를 이용하여 반응조를 제작해 담수에서의 각 미디어에 대한 암모니아 제거효율 및 질산성 질소의 제거효율을 살펴보고, 결과를 이용 현장에 적용될 수 있는 최적의 미디어를 선택하는데 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

#### (1) 유동층 반응조

양어장수에 존재하는 암모니아 제거를 위하여 본 연구에서는 발포 폴리우레탄 재질의 미디어를 이용한 유동층 공법을 대상으로 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 유동화 현상에 필요한 공기유입을 반응조 하부의 구석에 설치하고 반응조 하부 바닥에 경사를 줌으로써 Baffle 없이 미디어의 순환이 가능하도록 설계하였다.

실험에 사용된 반응조는 Air-Lift식 삼상 유동층 반응조 3개조와 bead filter 반응조 1개를 사용하였다. PVC를 이용하여 제작하였으며, 상부의 여유고를 제외한 유효용적이 55L 3개조, 64L 1개조가 되게 제작하였다. <그림 3-3-1>은 실험에 사용된 반응조 모식도를 나타내었다.

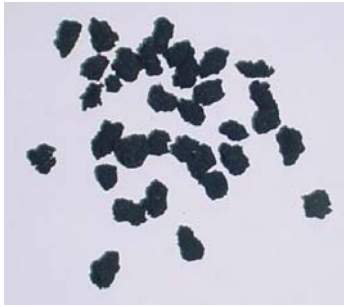
실험에 사용한 미디어는 각 반응조마다 S1, KL, 6종, S2미디어를 충전 하였으며, 미디어의 유동을 위해 필요한 공기주입은 삼상 유동층 반응조의 하부에 산기석을 장치하여 공기공급장치로 공기를 주입하여 미디어를 유동시켰고, 암모니아 제거에 필요한 용존산소 농도는 7mg/L로 유지할 수 있도록 하였다.

삼상 유동층 반응조 충전에 사용한 미디어는 국내에서 개발된 11종 미디어로 반응조부피의 15%를 주입하였다.

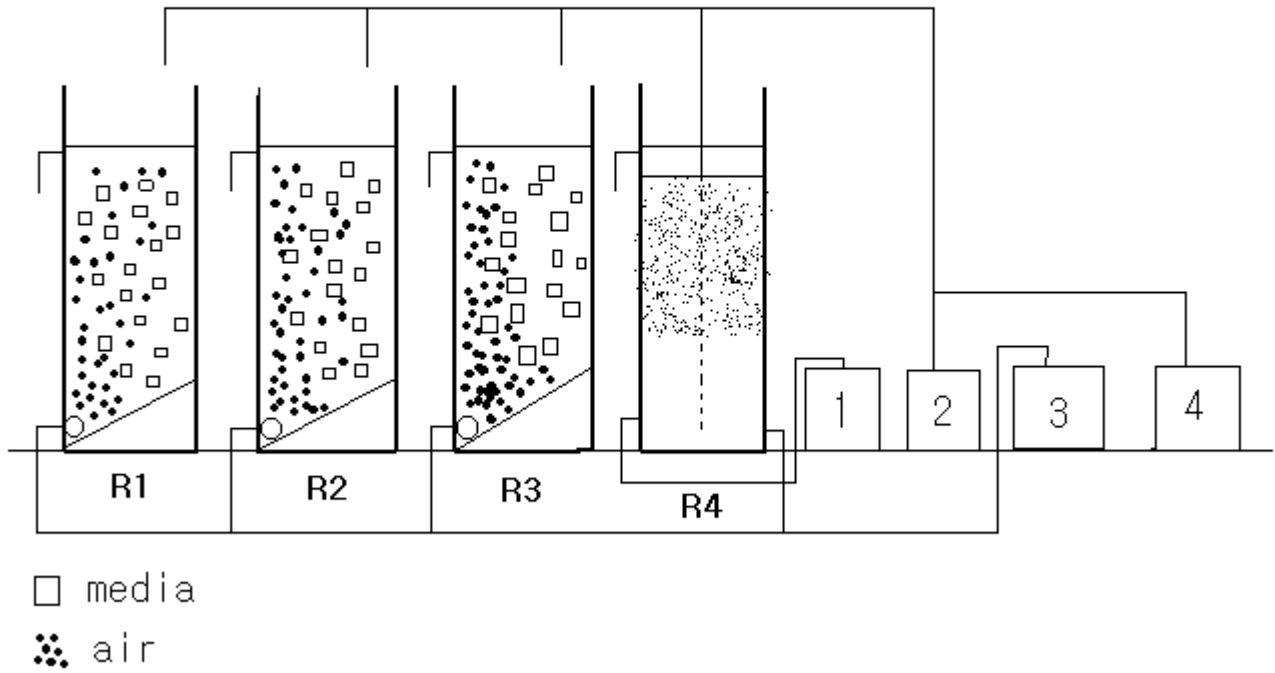
유동층 미디어에 이용될 수 있는 미디어의 종류 및 특성을 <표 3-3-1>에 나타내었다. 또한 미디어 사진을 <사진 3-3-1>에 나타내었다.

<표 3-3-1> 유동층 미디어로 이용될 수 있는 미디어의 특성

미디어 종류	입자모양	크기(직경)	마모도	유동화	스크린문제
Bio Sac	무정형	0.5cm	중간	양호	문제
Poly vinyl	원추형	0.5cm	강함	양호	문제
우레탄 A	육면체	1.3cm	강함	양호	양호
우레탄 B	육면체	1.3cm	강함	양호	양호
스펀지 A	육면체	1.2cm	약함	양호	양호
스펀지 B	육면체	1.2cm	약함	양호	양호
Poly Propylene	툽니바퀴형	1.0cm	아주강함	중간	양호



<사진 3-3-1> 유동층 생물여과조에 이용될 수 있는 각종 미디어.



R1 : KL 미디어 R2 : S1 미디어 R3 : 6종 미디어 R4 : S2 미디어

1 : 역세펌프      2 : 유입펌프      3 : air pump      4 : feed pump

<그림 3-3-1> 반응조 모식도.



## 나. 방법

양어장수에서 폴리우레탄 재질 매디아의 암모니아 제거특성을 검토하기 위해 각 메이커 별로 실험 장치를 각각 구성하였다. 매디아는 반응조 부피의 15%(vol)정도 충전 하였으며, 유입수는 순환 여과식 양식장의 농도에 대응하는 암모니아 농도로 조제하여 주입하였다. 유동층 반응조의 유동화 현상과 질산화 반응에 필요한 공기공급은 반응조 하부의 산기관을 통해 이루어졌다. 수질분석에 필요한 시료는 유입수와 유출수를 채수하여 암모니아성 질소, pH, 알칼리도는 매일 측정을 기본으로 하였다.

채수된 시료의 분석에서 암모니아성 질소는 Ammonia-selective ion method(APHA, 1996)에 따라 분석하였다. 전체 실험은 유입 암모니아 농도를 0.5, 1, 2 mg/L으로 하고 수리학적 체류 시간 20분의 조건에서 수행하였다. 각 유입 암모니아조건에서 안정적인 유출수 수질이 유지되면, 수리학적 체류시간을 20, 10, 5분으로 변화시키며 수리학적 부하변동에 따른 처리 특성을 고찰하였다.

<표 3-3-2> 실험조건

Item	Conditions
Ammonia Conc.(mg N/L)	0.5
HRT(min)	20*, 15, 10
Temp.(°C)	20*

\* : basic condition

### 3. 결과 및 고찰

양어장수에서 각 미디어의 암모니아 제거특성을 검토하기 위해 Air-Lift식 삼상 유동층 반응조 3개조와 bead filter 반응조 1개를 사용하여 R1: KL, R2: S1, R3: 6종, R4: S2미디어로 충전된 각 반응조의 운전일수에 따른 암모니아 농도를 <그림 3-3-2>에 나타내었다. 전체 운전기간동안 유입 암모니아 농도는 약 0.5 mg/L로 유지하였다. 수리학적 부하조건에 따른 각 운전조건별 암모니아 제거 특성을 고찰하기 위해, 안정적인 암모니아 제거효율을 보이기 시작하면, 단계적으로 유량을 증가시켜 반응조의 수리학적 체류시간을 증대시켰다. 기본 운전조건은 HRT 20분을 기준으로 운전하였고, HRT 15, 10분까지 감소시켰다.

HRT 20분에서 유입수의 암모니아 농도가 0.5mg/L일 때 유출수의 암모니아 농도는 각 반응조별로 0.15mg/L, 0.12mg/L, 0.25mg/L, 0.18mg/L로 나타났으며, HRT 15분에서의 유출수의 암모니아 농도는 각각 0.22mg/L, 0.17mg/L, 0.25mg/L, 0.08mg/L로 나타났고, HRT 10분에서의 유출수의 암모니아 농도는 각각 0.14mg/L, 0.13mg/L, 0.14mg/L, 0.09mg/L로 나타났다. HRT를 20분에서 10분으로 두배로 증가시켰을 경우라도 유출수의 암모니아 농도에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나 R4 floating media의 유출수 암모니아 농도는 감소하였음을 알 수 있다.

전체 운전기간동안 수행된 각 반응조 별 암모니아 제거효율의 변화를 <그림 3-3-3>에 나타내었다. HRT 20분에서 R1은 77.6%, R2는 77.9%, R3는 57.6%, R4는 78.9%로 나타났으며, HRT 15분에서의 암모니아 제거효율은 각각 64.5%, 74.9%, 69.4%, 87.3%로 나타났고, HRT 10분에서의 R1은 69.7%, R2는 71.2%, R3는 74.7%, R4는 81.2%로 나타났다. HRT를 20분에서 10분으로 두배로 증가시켰을 경우라도 암모니아 제거효율의 변화도 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나 R4 floating media의 암모니아 제거효율은 감소하였음을 알 수 있다.

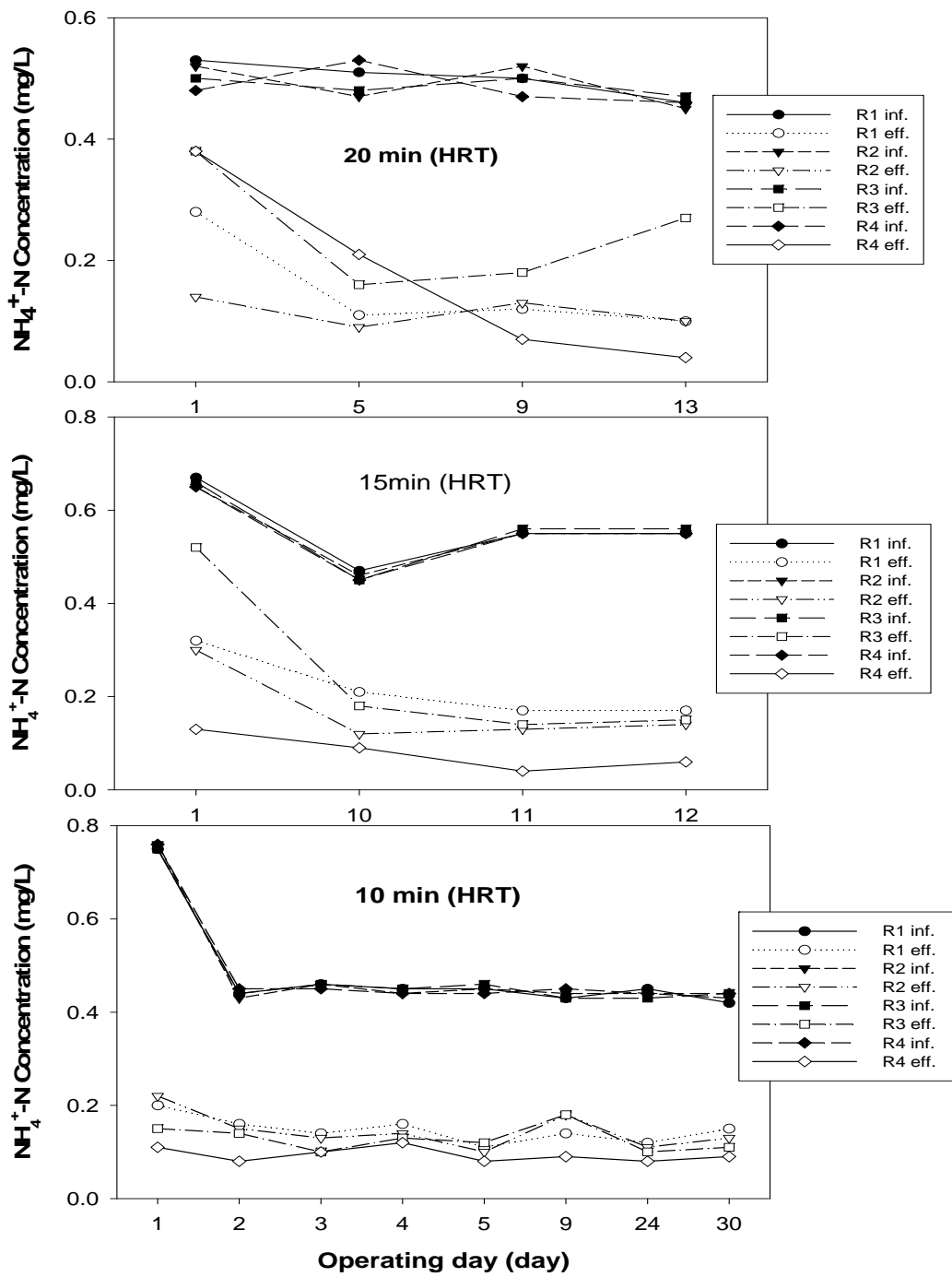
<표 3-3-3> 운전 기간 암모니아 농도 변화 요약

inf. conc. 0.5mg/L	R1	R2	R3	R4
HRT 20min	0.15mg/L	0.12mg/L	0.25mg/L	0.18mg/L
HRT 15min	0.22mg/L	0.17mg/L	0.25mg/L	0.08mg/L
HRT 10min	0.14mg/L	0.13mg/L	0.14mg/L	0.09mg/L

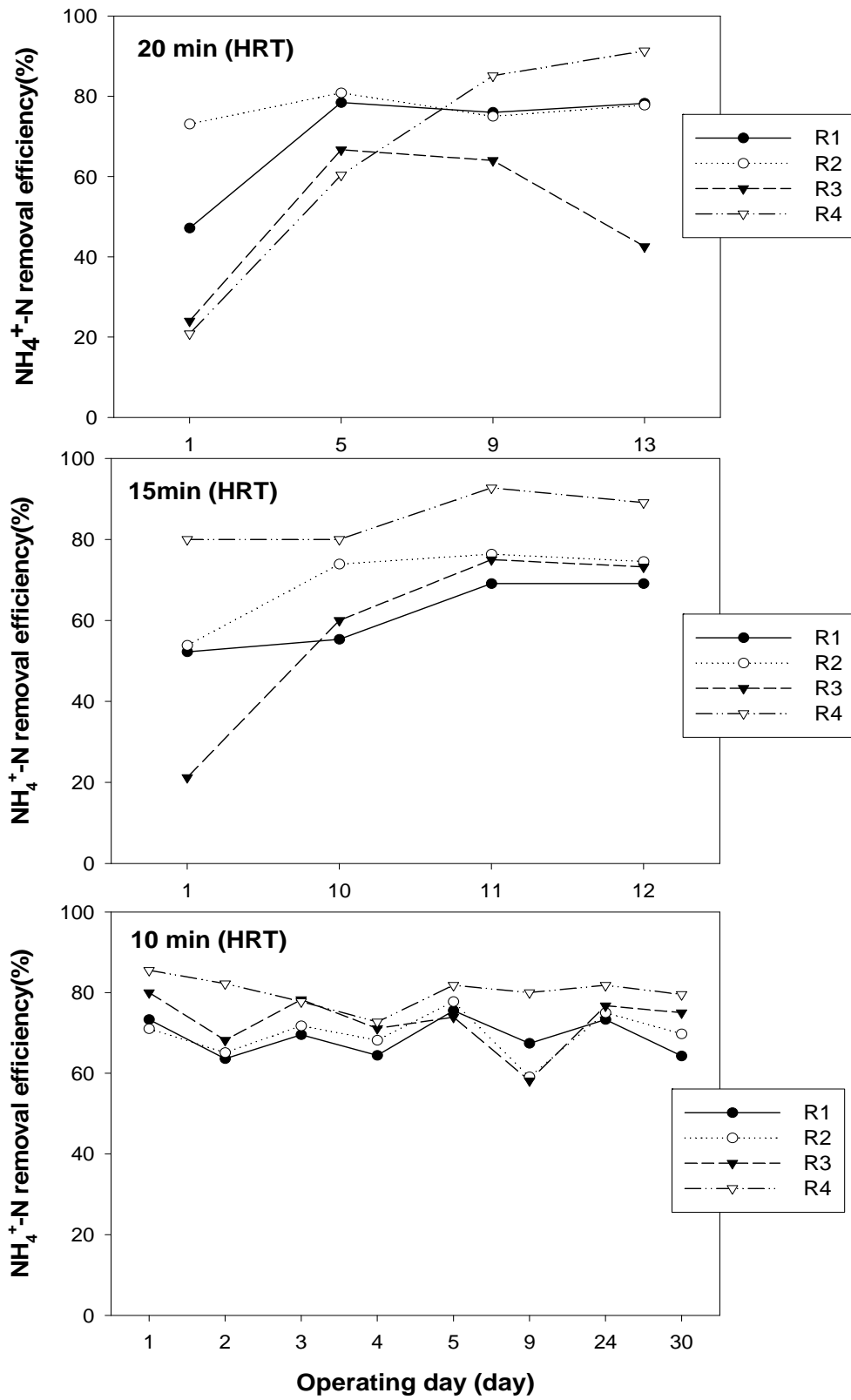
<표 3-3-4> 운전 기간 암모니아 제거효율 변화 요약

inf. conc. 0.5mg/L	R1	R2	R3	R4
HRT 20min	77.6%	77.9%	57.6%	78.9%
HRT 15min	64.5%	74.9%	69.4%	87.3%
HRT 10min	69.7%	71.2%	74.7%	81.2%

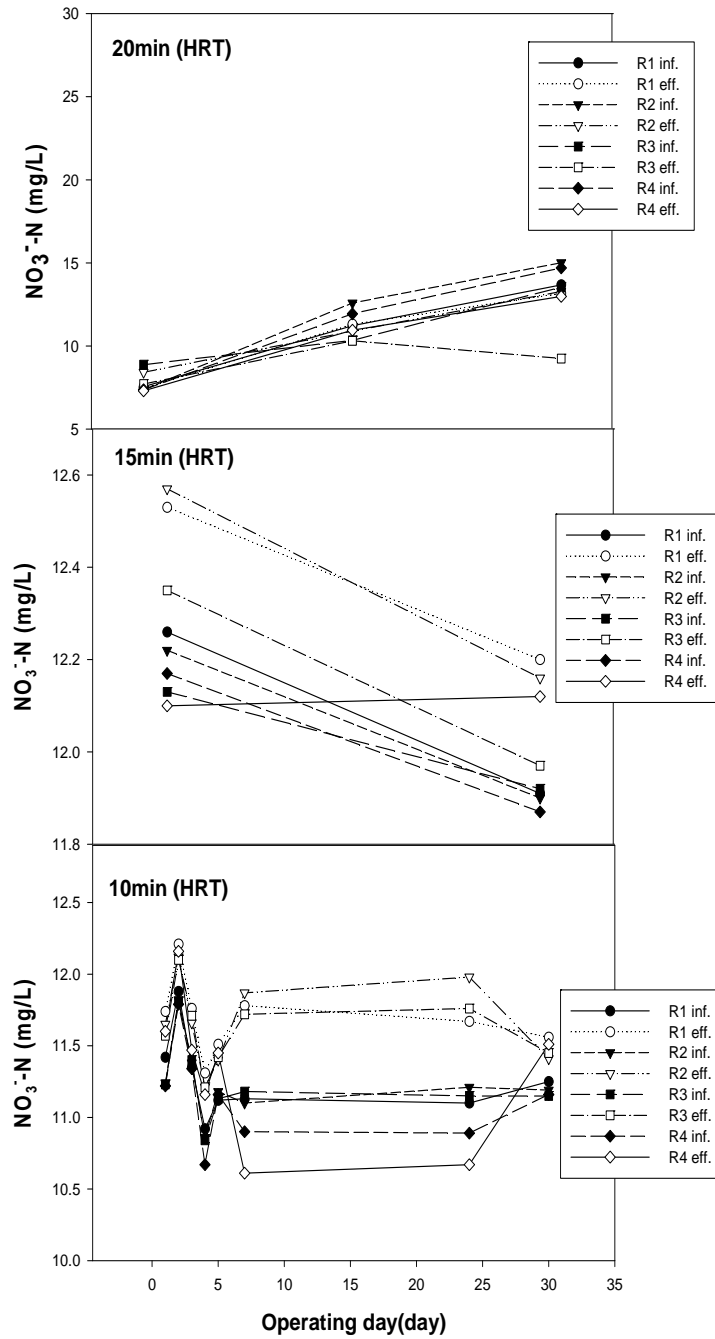
각 반응조 별  $\text{NO}_3^-$ -N농도의 변화를 <그림 3-3-4>에 나타내었다. HRT 20분에서 R1은 10.6mg/L, R2는 10.9mg/L, R3는 9.1mg/L, R4는 10.4mg/L로 나타났으며, HRT 15분에서의  $\text{NO}_3^-$ -N농도는 각각 12.4mg/L, 12.4mg/L, 12.2mg/L, 12.1mg/L로 나타났고, HRT 10분에서  $\text{NO}_3^-$ -N농도는 R1은 11.7mg/L, R2는 11.7mg/L, R3는 11.6mg/L, R4는 11.3mg/L로 나타났다.



<그림 3-3-2> 반응조별 암모니아 농도 변화.



<그림 3-3-3> 각 반응조별 암모니아 제거효율 변화.



<그림 3-3-4> 각 반응조별 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도 변화.

## 제 4 절 담수 및 해수에서의 미디어별 질산화 특성

### 1. 개요

담수에서의 각 미디어별 특성 조사 및 질산화 특성을 살펴본 결과 유동층 반응조에 가장 적합한 미디어로 KL사와 S1사의 미디어를 선택하였다.

본 연구에서는 KL사와 S1사의 미디어를 재검정을 하였다. KL사와 S1사의 미디어별 담수 및 해수에서의 암모니아 제거 특성을 살펴보았으며, 수리학적 부하조건과 암모니아 부하조건에 따른 암모니아 제거 특성 또한 살펴보았다. 그리고 다른 연구 결과와의 비교를 통해 본 연구에 사용된 유동층 생물여과조의 특성을 살펴보고자 하였다.

실험실 규모의 탈질 반응조를 운전하여 고농도일 경우의  $\text{NO}_3^-$ -N의 제거특성 또한 살펴보았다.

### 2. 재료 및 방법

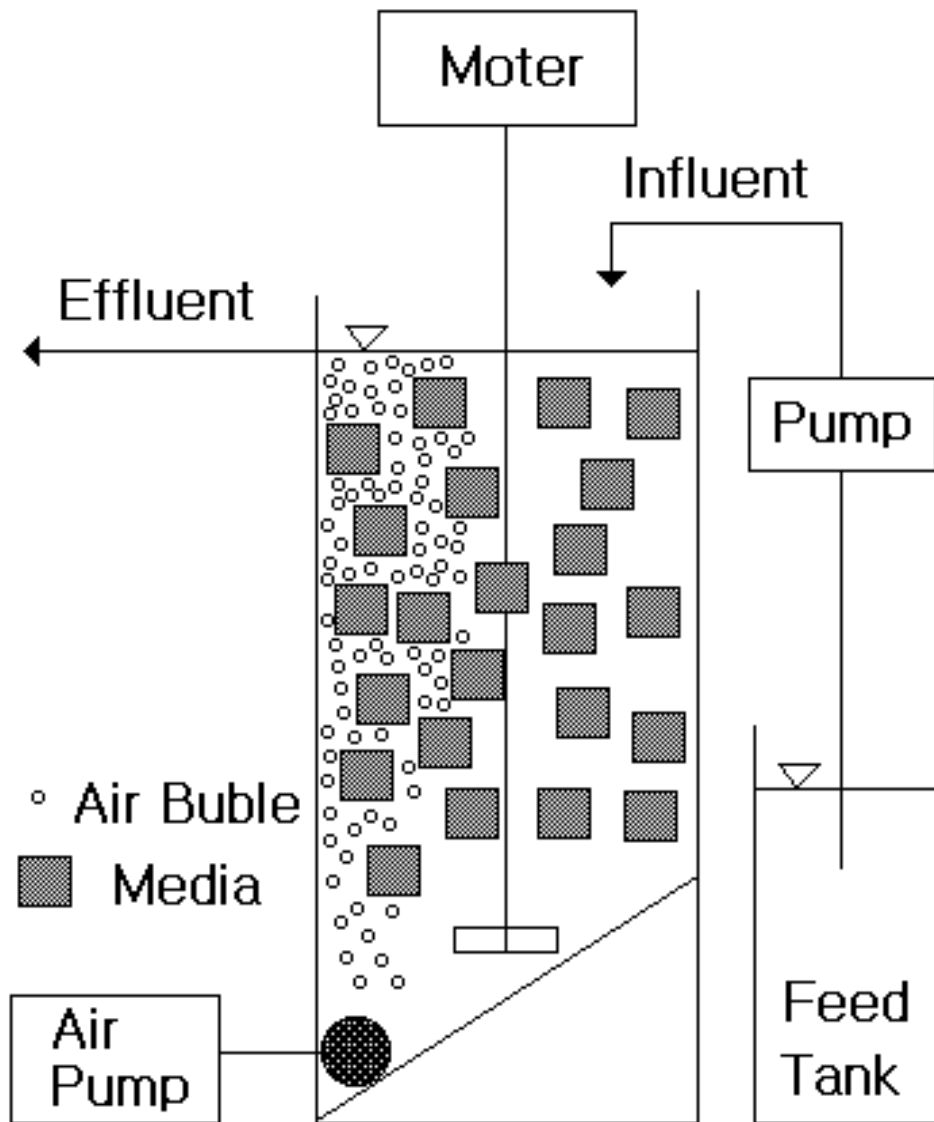
#### 가. 재료

해수 및 담수 중 존재하는 암모니아 제거를 위하여 본 연구에서는 발포 폴리우레탄 재질의 미디어를 이용한 유동층 공법을 대상으로 연구를 수행하였다. 양어장 순환수 처리용 삼상 유동층 생물막 여과조에 대한 연구는 김(1997)에 의해 접근되었다. 김(1997)은 반응조 내부에 Draft tube를 장치하고 상부에 미디어의 회수를 위한 침전조를 설치한 UASB형태의 반응조를 설계하였다. 또한 류(1999)는 Draft tube를 Baffle로 간소화 시켰고, 침전조 대신 스크린을 이용하여 유동층 미디어를 효과적으로 회수할 수 있도록 설계하여 현장 적용성을 높였다. 본 연구에서는 반응조 형태를 더욱 간소화하기 위해 Baffle을 제거하고 유동화 현상에 필요한 공기유입을 반응조 하부의 구석에 설치하고 반응조 하부 바닥에 경사를 줌으로써 Baffle 없이 미디어의 순환이 가능하도록 설계하였다.

실험에 사용된 반응조는 Air-Lift식 삼상 유동층 반응조로 그 운전 모식도는 <그림 3-4-1>에 나타내었다. 두께 3mm의 아크릴을 이용하여 제작하였으며, 가로 5.6cm × 세로 8cm × 높이 32.25cm 규격으로 하여 상부의 여유고를 제외한 유효용적이 700mL가 되게 제작하였다. 미디어의 유동을 위해 필요한 공기주입은 삼상 유동층 반응조의 하부에 산기석을 장치하여 공기공급장치로 공기를 주입하여 미디어를 유동시켰고, 암모니아 제거에 필요한 용존산소 농도는

4mg/L로 유지할 수 있도록 하였다. 또한 매디아의 엉킴현상을 방지하기 위해 모터를 설치하여 원할한 매디아 유동이 이루어 질 수 있도록 하였다. 실험에서 온도조건을 배제하기 위해 항온 수조를 설치하여 20℃를 유지할수 있도록 하였다.

균일한 유량을 유지하기 위해 Colparmer Co. Mastflex(Model 7519-05)를 이용하여 계획된 유량조건을 유지하였다. 삼상 유동층 반응조 충진에 사용한 매디아는 S1사와 KL사에서 개발된 국내매디아로 반응조부피의 15%를 주입하였다. 반응조 충진에 사용된 매디아의 물성치는 <표 3-4-1>에 나타내었다.



<그림 3-4-1> 반응조 모식도.



<표 3-4-1> 미디어의 물성치

Item	KL사	S1사
Density(g/m <sup>3</sup> )	0.035±0.005	0.06
Dimension(cm)	1.3×1.3×1.3	1.3×1.3×1.3
Type	Hexahedron	Hexahedron

나. 방법

해수 및 담수에서 폴리우레탄 제질 미디어의 암모니아 제거특성을 검토하기 위해 본 실험에서는 K사와 S사에서 사용하는 미디어를 이용하여 실험을 수행하였다. 각 메이커 별로 해수 및 담수 실험 장치를 각각 구성하였다. 미디어는 반응조 부피의 15%(vol)정도 충전 하였으며, 유입수는 순환 여과식 양식장의 농도에 대응하는 암모니아 농도로 조제하여 주입하였다. 유동층 반응조의 유동화 현상과 질산화 반응에 필요한 공기공급은 반응조 하부의 산기관을 통해 이루어 졌고, 원활한 유동현상과 용존산소(DO) 농도를 4 mg/L 이상 유지할 수 있도록 하였다. 또한 임펠러를 이용해 미디어의 유동이 더욱 원활하게 유지 되도록 하였다. 시료는 하루 한번 채수 하였으며 수질분석에 필요한 시료는 유입수와 유출수를 채수하여 암모니아성 질소, pH, 알칼리도는 매일 측정을 기본으로 하였다.

채수된 시료의 분석에서 암모니아성 질소는 Ammonia-selective ion method(APHA, 1996)에 따라 분석하였다. 본 실험의 조건은 Table 2와 같다. 전체 실험은 유입 암모니아 농도를 0.5, 1, 2 mg/L으로 하고 수리학적 체류시간 20분의 조건에서 수행하였다. 각 유입 암모니아조건에서 안정적인 유출수 수질이 유지되면, 수리학적 체류시간을 20, 10, 5, 1.2분으로 변화시키며 수리학적 부하변동에 따른 처리 특성을 고찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### (1) 해수 및 담수에서의 질산화 특성

해수 및 담수 조건에서 운전된 삼상 유동층 생물막 반응조의 담수 및 해수에서 미디어 S1와 KL이 충전된 각 반응조의 운전일수에 따른 암모니아 제거 결과를 <그림 3-4-2>에 나타내었다. 전체 운전기간동안 유입 암모니아 농도는 약 0.5, 1.0, 2.0 mg/L로 유지하였다. 이 조건에서 담수 및 해수의 KL, SS 미디어별 평균 유출수 평균 농도는 각각 0.39, 0.49, 0.88, 0.93 mg/L로 나타났다.

실험에 사용된 미디어들은 활성슬러지(MLSS 2500mg/L)에 약 3일간 접촉시켜 미생물을 부착한 상태로 운전하였다. 담수조건의 경우, 운전 초기 모의 양식수에 적응하지 못하고 유입수 농도에 따라 유출수의 농도도 함께 변화하는 것을 볼 수 있었고, 운전일수 7일부터 23일까지 약 20 - 30%의 암모니아 제거 특성을 나타내었다. 운전일수가 30일 이후부터는 60%의 암모니아 제거효율을 나타내었다. 또한 운전일수 50일 이후에는 80%이상의 효과적인 암모니아 제거가 이루어지는 것이 확인되었다. 운전일수 60일부터 유입암모니아 농도 조건을 1.0mg/L로 조절한 뒤에도 유출수 수질은 큰 변화 없이 암모니아 처리가 이루어졌다. 운전일수 70일부터 유입 암모니아 농도를 2.0mg/L로 증가 시켜 운전하였을 경우, 미디어 KL의 경우, 약 60%의 제거효율을 보였으며, 미디어 S1의 경우, 약 50%의 제거효율을 보여 실험에 적용한 두가지 종류의 유동층 미디어는 유입암모니아 증가에 따른 부하변동에 잘 적응하는 것으로 나타났다.

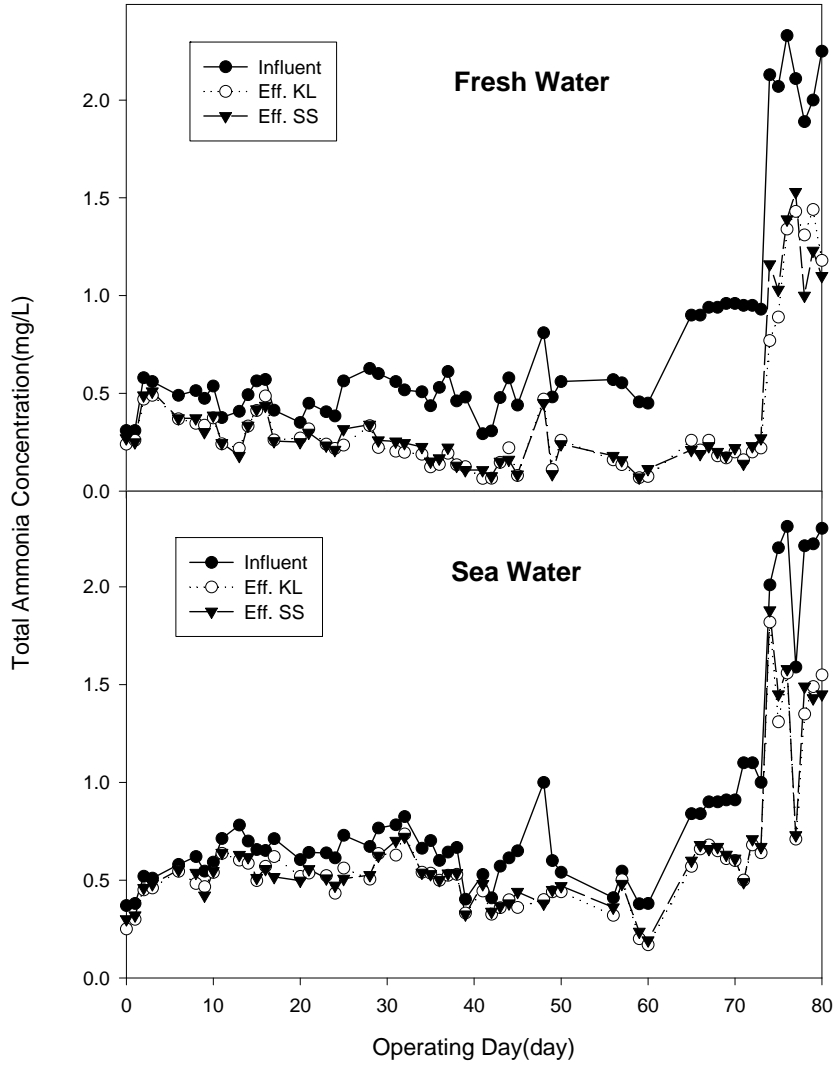
해수조건에서 삼성과 코오롱 미디어를 충전하고 운전된 결과는 담수조건에 비해 암모니아 제거효율이 상당히 낮게 나타났으며, 이와 같이 해수조건에서 암모니아 제거효율이 낮은 이유는 해수 중 존재하는 염화이온이 질산화 미생물의 대사활동에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 운전일수 50일경 담수에 적용한 두 종류의 미디어는 안정적인 처리효율을 보이기 시작한 반면, 해수의 경우는 안정적인 처리를 하지 못하고 유입수 농도 변화에 따라 유출수 농도가 변하는 것으로 나타났다. 유입 암모니아 농도를 1.0mg/L로 변화시킨 뒤, 담수의 경우 약 78%의 제거효율을 보인 반면, 해수의 경우 40%미만의 효율을 보이고 있다.

각 운전조건별 유입수 및 유출수 평균 암모니아 농도를 <표 3-4-2>에 나타내었다. 유입 암모니아 농도가 0.5 mg/L에서 담수의 경우 평균 유출수 암모니아 농도는 0.14, 0.16으로 나타났고, 해수에서는 0.45, 0.46으로 나타났다. 담수와 해수에 대한 유동층 생물막 반응조의 암모니아 제거는 담수에서 효과적인 처리가 가능한 것으로 나타났고, 두가지 종류의 미디어 KL, SS의 차이점은 미미한 것으로 나타났다.

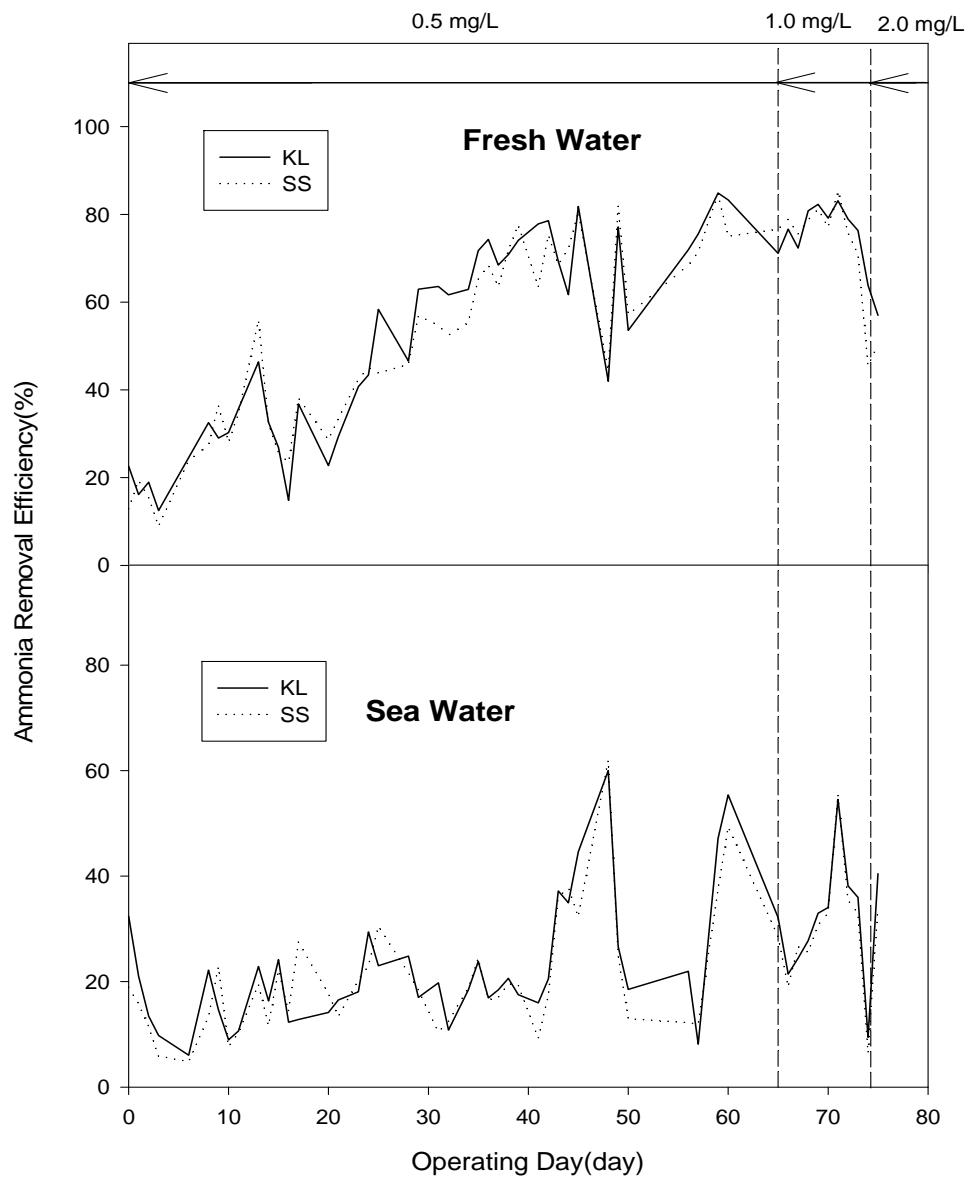
<표 3-4-2> 실험조건에 따른 암모니아 농도 변화

Influent Ammonia Concentration	Fresh Water		Sea Water	
	KL	S1	KL	S1
0.5 mg/L (0.6mg/L)	0.14	0.16	0.45	0.46
1.0 mg/L	0.21	0.21	0.62	0.64
2.0 mg/L	0.83	1.10	1.56	1.67

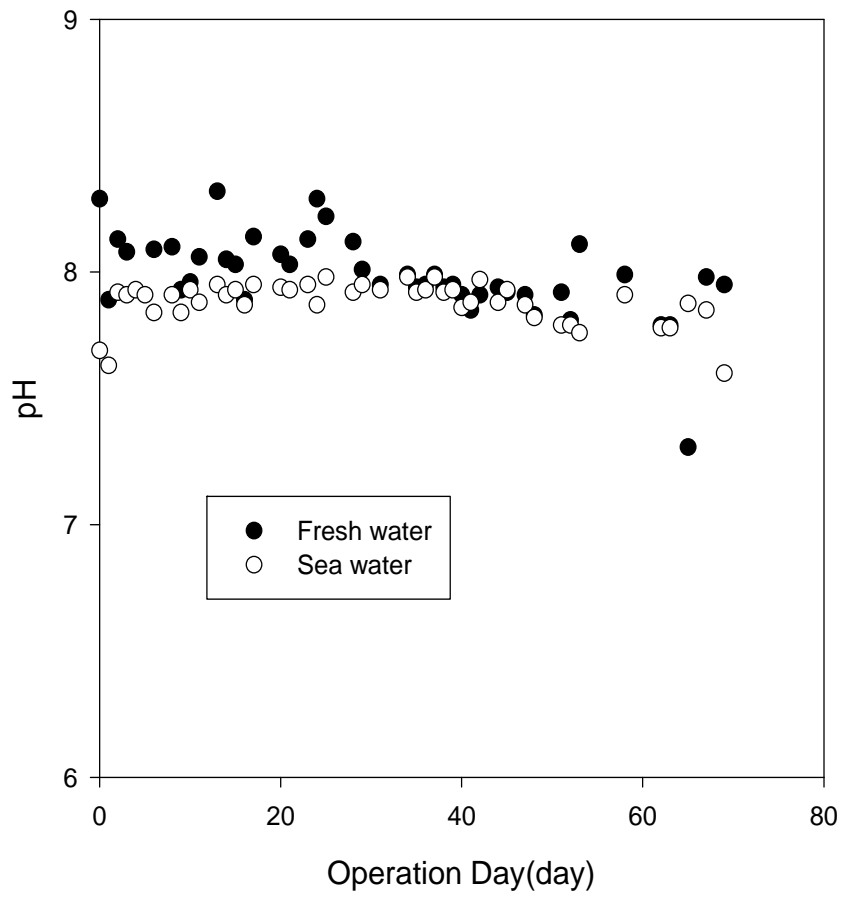
전체 운전기간동안 수행된 각 반응조 별 암모니아 제거효율의 변화를 <그림 3-4-3>에 나타내었고, 암모니아 제거효율에 있어서도 담수조건에서 나타난 결과가 해수조건에 비해 높게 나타났다. 담수조건에서는 운전일수가 경과함에 따라 암모니아 제거효율이 60%이상을 유지하였고, 유입 암모니아 농도를 1.0mg/L로 증가시켜도 암모니아 제거효율은 80%수준을 유지하는 것으로 나타났다. 해수의 경우 전반적으로 암모니아 제거효율이 낮게 나타났다. 또한 유입암모니아 농도를 증가시킬 경우 KL 미디어가 S1 미디어에 비해 다소 높은 암모니아 제거효율을 보이고 있다.



<그림 3-4-2> 암모니아 농도 변화.



<그림 3-4-3> 암모니아 제거효율 변화.



<그림 3-4-4> pH 변화.

## (2) 수리학적 부하조건에 따른 암모니아 처리 특성

수리학적 부하조건에 따른 각 운전 조건별 암모니아 제거 특성을 고찰하기 위해, 안정적인 암모니아 제거효율을 보이기 시작하면, 단계적으로 유량을 증가시켜 반응조의 수리학적 체류시간을 증대시켰다. 기본 운전조건은 HRT 20분을 기준으로 운전하였고, HRT 10, 5, 1.2분까지 감소시킨 결과를 <그림 3-4-5>에 나타내었다.

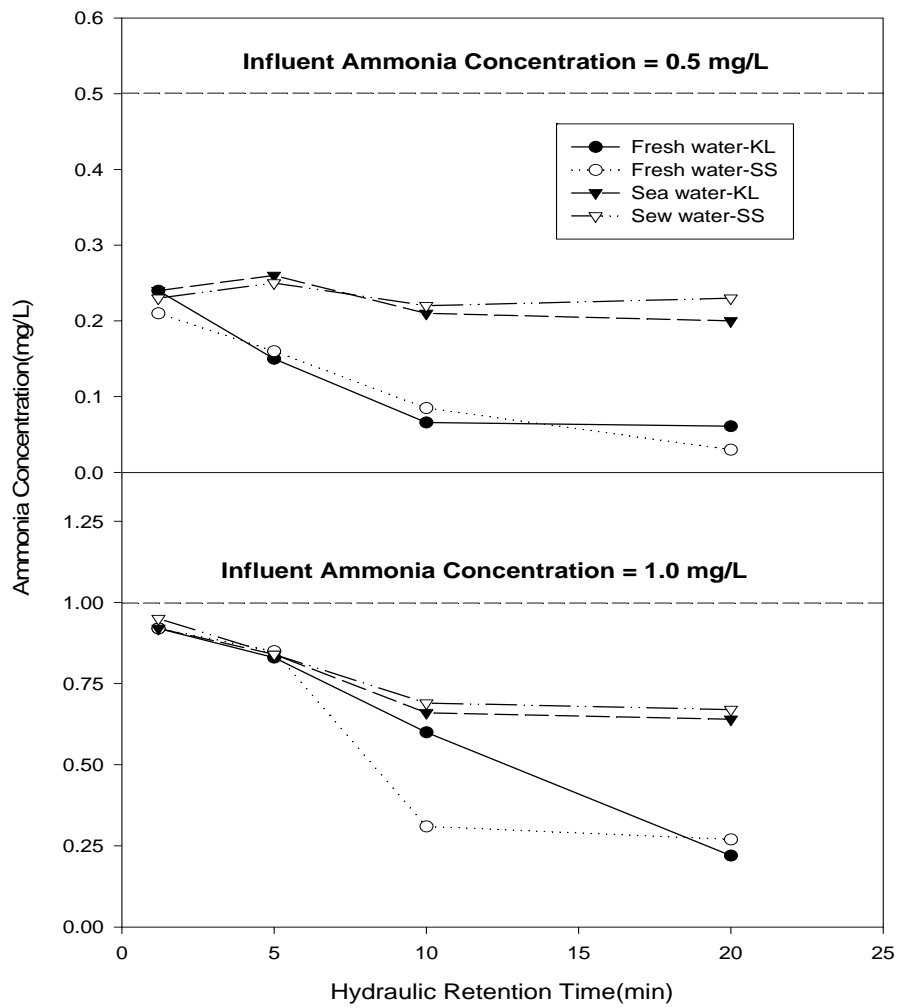
HRT 20분에서 유입수의 암모니아 농도가 0.5mg/L일 때 유출수의 암모니아 농도는 담수와 해수에서 코오롱과 삼성 미디어 각각 0.06mg/L, 0.03mg/L, 0.20mg/L, 0.23mg/L로 나타났으며, HRT 10분에서의 유출수의 암모니아 농도는 해수와 담수 각각 0.07mg/L, 0.09mg/L, 0.21mg/L, 0.22mg/L로 나타났다. HRT를 20분에서 10분으로 두배로 증가시켰을 경우라도 유출수의 암모니아 농도에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. HRT를 5분으로 증가시켰을 경우 유출수의 암모니아 농도는 해수와 담수 각각 0.15mg/L, 0.16mg/L, 0.26mg/L, 0.25mg/L로 나타났으며, HRT 20분과 10분에 비교해볼 때 유출수의 암모니아 농도가 약간 증가하였음을 알 수 있다. HRT를 1.2분으로 하였을 경우 유출수의 암모니아 농도는 0.24mg/L, 0.21mg/L, 0.24mg/L, 0.23mg/L으로 각각 나타났다. 이 경우 담수의 유출수의 암모니아 농도는 증가한 반면, 해수의 유출수의 암모니아 농도는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. HRT 20분에서 유입수의 암모니아 농도를 1.0mg/L로 하였을 때 유출수의 암모니아 농도를 담수와 해수에서 코오롱과 삼성 미디어별로 각각 살펴보면 0.22mg/L, 0.27mg/L, 0.64mg/L, 0.67mg/L로 나타났으며, HRT 10분에서 유출수의 암모니아 농도를 각각 살펴보면 0.60mg/L, 0.31mg/L, 0.66mg/L, 0.69mg/L로 나타났다. HRT 20분의 경우와 비교해보면 HRT를 두배로 증가시켰을 경우 유출수의 암모니아 농도가 담수의 삼성미디어의 0.31mg/L의 경우를 제외하고 증가하는 것으로 나타났다. HRT를 5분과 1.2분으로 증가시키면 유출수의 농도가 각각 0.83mg/L, 0.85mg/L, 0.84mg/L, 0.84mg/L와 0.92mg/L, 0.92mg/L, 0.92mg/L, 0.95mg/L로 크게 증가하는 것으로 나타나 암모니아가 거의 제거되지 않음을 알 수 있다. HRT 변화에 따른 암모니아 제거효율을 살펴보면 유입 암모니아 농도 0.5mg/L에서 HRT 20분일 때 코오롱과 삼성 미디어별로 담수 및 해수 각각 약 80%, 90%, 약 40%, 약40%의 제거율을 보인다. HRT 10분에서의 제거효율을 보면 HRT 20분에서와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. HRT 5분에서 담수의 처리효율이 해수의 처리효율보다 크게 감소함을 알 수 있고 HRT를 1.2분으로 하였을 경우 담수와 해수의 처리효율은 약 40% 정도로 비슷해짐을 알 수 있으며, 미디어종류에 따른 차이도 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 유입 암모니아 농도를 1.0 mg/L로 증가시킨 후의 HRT 20분에서는 코오롱과 삼성 미디어 각각의 처리효율이 담수의 경우 약 75%정도 해수의 경우 약 35%정도의 처리효율을 보였다. 농도가 두배로 증가하더라도 담수에서는 안정적으로 유입 암모니아를 제거하는 것으로 나타났다. HRT를 10분으로 증가시켰을 경우 담수의 경우 코오롱 미디어는 약 30%, 삼성 미디어는 70%의 제거율을 보여 코오롱 미디어에 비해 삼성 미디어의 처리효율이 이 조건에서 월등히 높음을 알 수 있다. HRT를 5분과 1.2분으로 조절했을 때의 처리효율은 낮게 나타나 해수나 담수,

메디아 종류에 따라 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

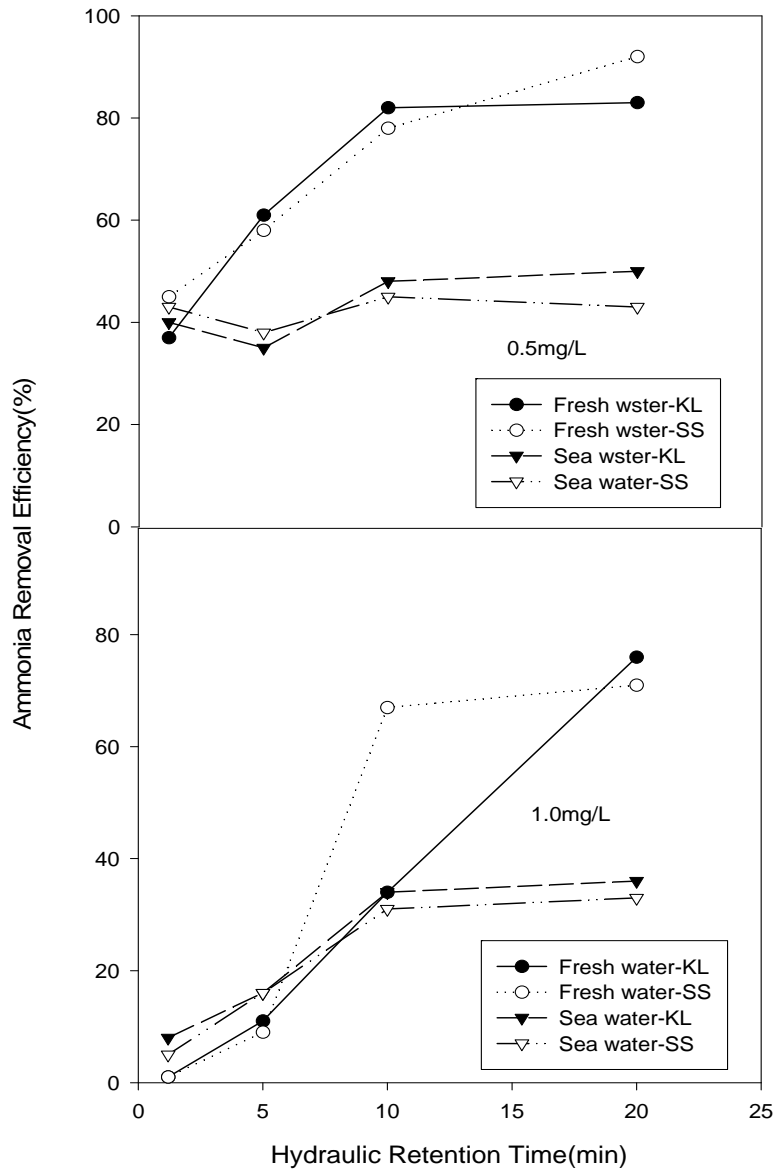
<표 3-4-3> HRT에 따른 암모니아 농도 결과 요약

Inf. conc. 0.5mg/L	담 수		해 수	
	KL	S1	KL	S1
HRT 20min	0.06	0.03	0.20	0.23
HRT 5min	0.15	0.16	0.26	0.25
HRT 1.2min	0.24	0.21	0.24	0.23
<b>Inf. conc. 1mg/L</b>				
HRT 20min	0.22	0.27	0.64	0.67
HRT 10min	0.60	0.31	0.66	0.69
HRT 5min	0.83	0.85	0.84	0.84
HRT 1.2min	0.92	0.92	0.92	0.95





<그림 3-4-5> HRT에 따른 암모니아 농도 변화.



<그림 3-4-6> HRT에 따른 암모니아 제거효율 변화.

### (3) 암모니아 부하조건에 따른 암모니아 처리 특성

암모니아 부하조건에 따른 각 운전 조건별 암모니아 제거 특성을 고찰하기 위해, 유입 암모니아 농도조건에 대하여 안정적인 제거효율을 보이기 시작하면, 단계적으로 암모니아 농도를 증가시켜 암모니아 부하조건을 조절하였다.

암모니아 부하조건은 유입 암모니아 농도를 0.5, 1.0, 2.0 mg/L를 기준으로 운전하였다. 각 암모니아 부하 조건에 따른 각 미디어별 반응조의 처리결과를 <그림 3-4-7>에 나타내었다. 전체 실험조건에서 유입 암모니아 부하는 최대 1200 g/m<sup>3</sup>/day까지로 나타났다. 유입 암모니아 부하에 따른 제거율을 살펴보면 유입 암모니아 부하가 50 g/m<sup>3</sup>/day일 때 담수의 경우, KL과 S1 미디어의 제거율이 약 46 g/m<sup>3</sup>/day로 나타나 높은 제거율을 보였고, 해수의 경우 유입 암모니아 부하가 50 g/m<sup>3</sup>/day일 때 제거율이 약 29 g/m<sup>3</sup>/day으로 나타나 담수에 비해 해수의 경우 제거율이 낮게 나타났다. 또한 유입 암모니아 부하가 약 160 g/m<sup>3</sup>/day일 경우 담수는 98 g/m<sup>3</sup>/day로 나타났고, 해수는 64 g/m<sup>3</sup>/day로 나타났다.

최대 암모니아 제거율을 보인 조건은 담수의 경우 유입 암모니아 부하가 470 g/m<sup>3</sup>/day일 때 KL미디어는 168 g/m<sup>3</sup>/day S1 미디어는 207 g/m<sup>3</sup>/day, 해수의 경우 유입 암모니아 부하가 480 g/m<sup>3</sup>/day일 때 KL미디어는 154 g/m<sup>3</sup>/day, S1미디어는 204g/m<sup>3</sup>/day로 나타났다.

유입 암모니아 부하에 따른 해수 및 담수조건에서 각 미디어별 제거효율의 관계를 <그림 3-4-8>에 나타내었다. 담수에서 KL과 S1 미디어의 제거율은 담수의 경우 미디어 종류에 관계없이 35g/m<sup>3</sup>/day의 부하조건에서 제거효율은 10%~80%의 범위로 나타났다. 유입부하가 70g/m<sup>3</sup>/day일 때 제거효율의 감소 없이 70%~90%정도의 제거효율을 보여 정상상태를 유지할 경우, 유입부하가 두 배정도 증가하여도 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 해수의 경우 담수에 비해 전체적으로 제거효율이 낮은 것으로 나타났다. 이를 보아 해수에 미생물이 적응하는데 담수에 비해 매우 오랜 기간이 소요되는 것을 알 수 있다.

유입되는 총 암모니아성 질소 부하에 따른 유출수 중의 비이온성 암모니아의 농도는 <그림 3-4-9>에 나타내었다. USEPA(1976)에서는 양어장 순환수 중의 비이온성 암모니아의 농도를 0.02mg/L로 제안하고 있다. 본 연구에서의 결과를 이 기준과 비교할 경우, 담수 조건에서는 유입 총 암모니아 부하가 100 g/m<sup>3</sup>/day 이하의 경우 유출수 중의 비이온성 암모니아의 농도가 USEPA에서 제안한 농도 이하로 나타나고 있으나 해수의 경우 유입 총 암모니아 부하가 100 g/m<sup>3</sup>/day 이하일 경우 USEPA에서 제안한 농도를 초과하는 것이 많은 것으로 나타났다. 이는 담수에 비해 해수의 제거효율이 낮았기 때문으로 생각되며 미디어별 처리효율에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 연구결과를 다른 연구결과와 비교하기 위해 <그림 3-4-10>에 연구자별 미디어에 따른 제거율(g/m<sup>3</sup>/day)을 도시하였다. plastic bed를 이용한 Hargrove (1996)의 연구결과 각각 암모니아 제거율은 60 g/m<sup>3</sup>/day와 80 g/m<sup>3</sup>/day로 나타났고, Winberly(1990)의 연구결과는 100 g/m<sup>3</sup>/day로 나타났다. Fixed media를 이용한 Park(1996)의 연구를 보면 암모니아 제거율이

60g/m<sup>3</sup>/day로 나타났으며, 폐타이어를 가공한 유동층 매디아를 적용한 Kim(97)의 연구를 보면 제거율이 240g/m<sup>3</sup>/day로 나타났다. 본 연구에서는 담수의 경우 KK사와 S1사의 매디아가 암모니아 제거율이 약 200 g/m<sup>3</sup>/day으로 나타났고, 해수의 경우 KL사의 경우 200g/m<sup>3</sup>/day, S1사의 경우 150g/m<sup>3</sup>/day로 나타나 Kim(97)의 연구결과를 제외한 다른 연구결과에 비해 높은 제거율을 보이는 것으로 나타났다.

고밀도 순환여과식 사육 시스템의 순환수는 수량이 많고 오염물의 농도가 낮은 것이 그 특징이라 할 수 있다. 양어장 순환수 처리에 주로 이용되는 방법으로는 침지식(Carmignani & Nemmelt, 1977), 살수여상(Roger & Klemetson, 1985), Bildrums, Biodisks(Antonie et al, 1974), 유동층 공법 그리고 Bead filter 등이 있다.

Roger 등(1985)은 RBC, Biodurm, 살수여상, 잠수여상의 4가지 생물막 공법을 이용하여 각 공법의 처리 효율을 비교실험하여 RBC 및 Biodurm에서 90%의 암모니아성 질소의 제거효율을 얻는데 각각 0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day와 0.02m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day의 수리학적 부하율이 요구되며, 살수여상 공법에서 50%의 암모니아성 질소 제거효율을 얻기 위해 0.01m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day의 수리학적 부하율을 유지하는 것이 요구된다고 보고하였다.

지영옥(1987)은 침지식 생물막 공법에서 media로 Cloth, Corrugater skylight plate, Embossed palte. Gravel의 4가지 다른 여재를 사용한 실험에서 유입수의 암모니아성 질소 농도가 0.635~1.02mg/L에서 사용 여재에 따라 각각 0.547~0.945mg/L, 0.582~0.965mg/L, 0.608~0.967mg/L의 유출수 암모니아 농도를 보였다.

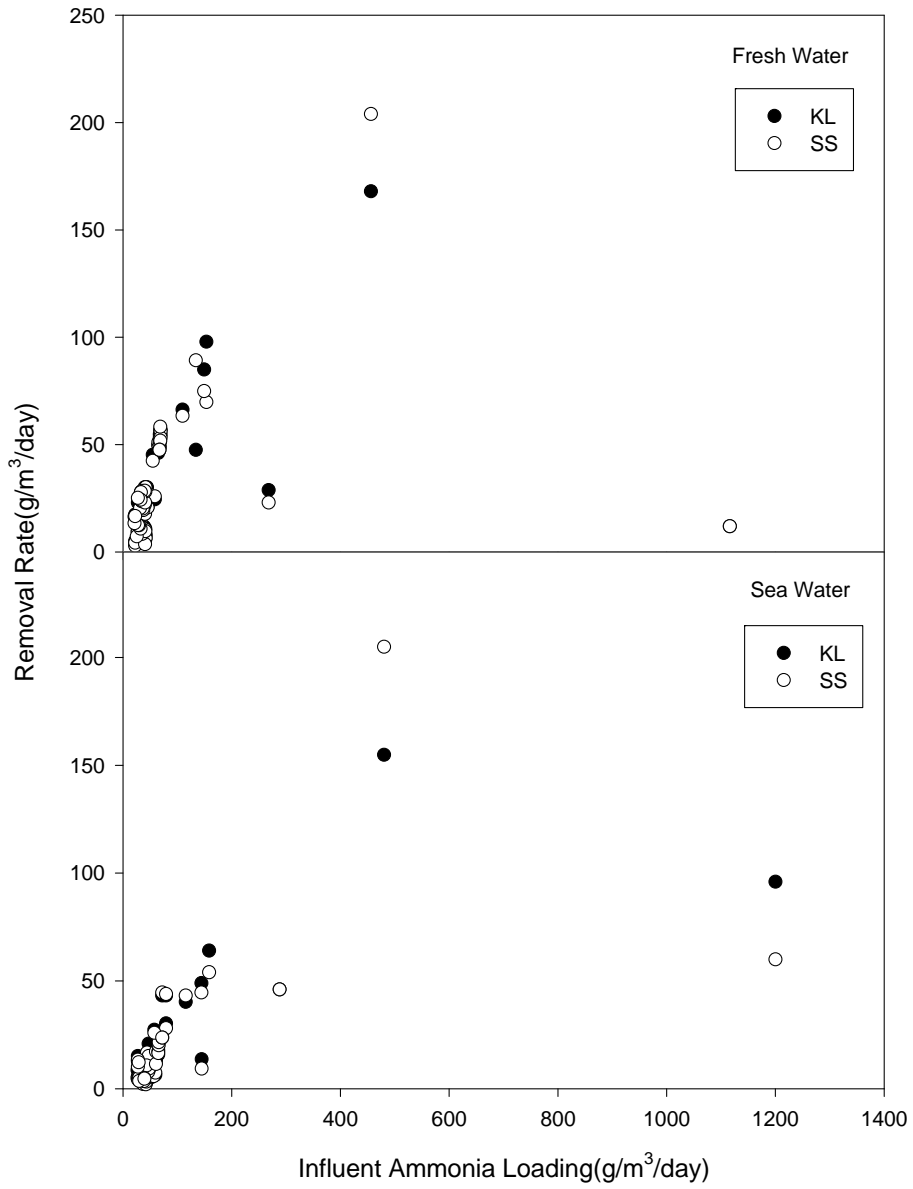
Nijhof(1987)는 침지식 공법을 이용하여 450m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day의 수리학적 부하율에서 40%의 암모니아 제거효율을 얻었으며, 살수여상에서는 210m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day의 수리학적 부하율에서 40%의 암모니아 제거효율을 얻었다.

Paller와 Lewis(1988)는 오존 접촉조를 앞에 둔 유동층 공법에 의한 처리에서 5~44L/L/sec의 수리학적 부하율과 1~61min의 체류시간을 적용하여 사육조의 암모니아 농도를 0.8~1.6mg/L로 유지하였다.

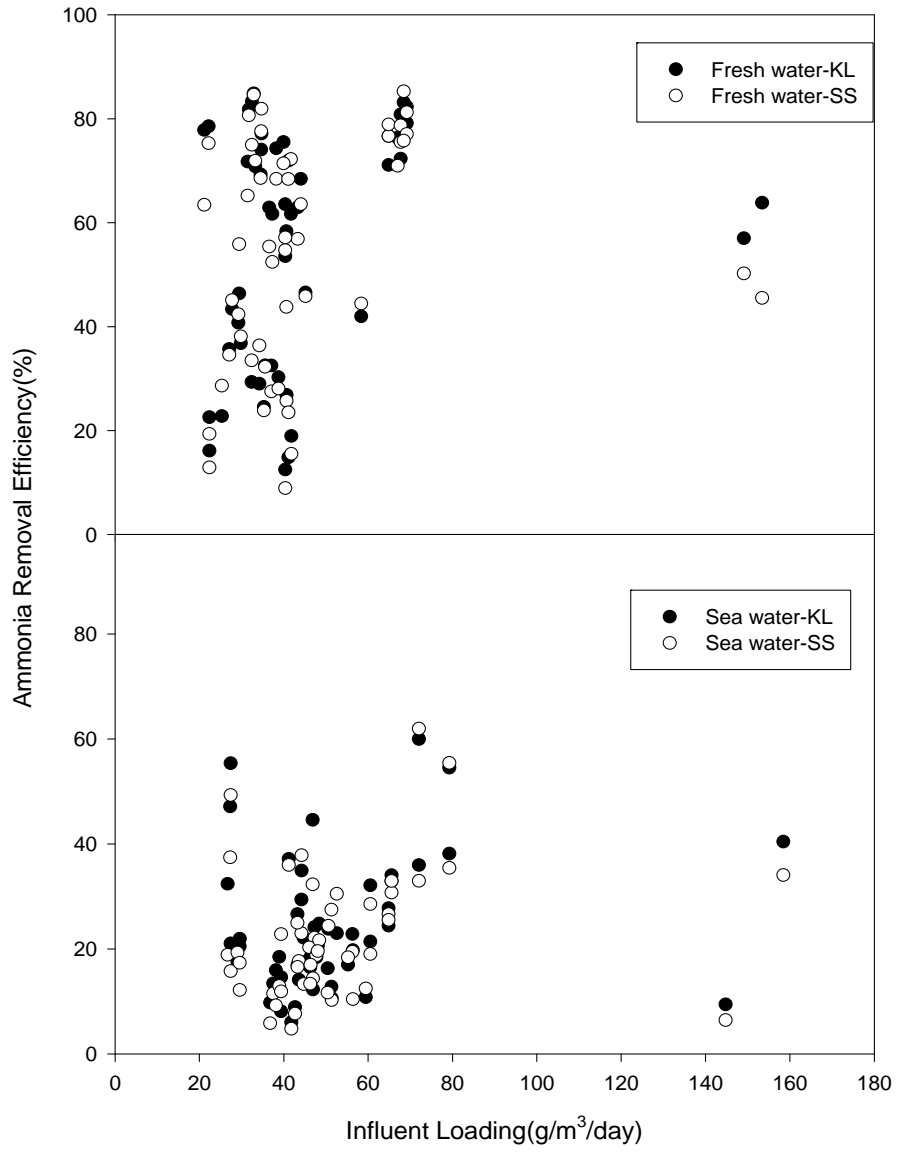
김도희(1990)는 암모니아 농도를 5mg/L로 조성한 인공 양식수를 Corrugated skylight roofing plate를 media로 이용하여 0.028~0.111m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day의 수리학적 부하율과 25℃의 온도에서 19~83.5%의 암모니아 제거효율을 얻었다. 조영개(1994)는 RBC를 이용한 해수중의 암모니아 제거능력의 평가에서 57~395m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day의 수리학적 부하율과 HRT가 26.2~3.1hr의 조건에서 97%의 암모니아 제거효율을 보인 바 있다.

김정숙(1995)은 이상 유동층 공법을 이용한 인공 양식수의 처리에서  $44 \sim 1,816 \text{ gNH}_4^+ \text{-N/m}^3 \text{/day}$ 의 부하범위에서 98~66.9%의 암모니아 제거율을 보였으며 삼상 유동층 공법을 이용한 실험에서  $128 \sim 1,575 \text{ gNH}_4^+ \text{-N/m}^3 \text{/day}$ 의 부하범위에서 62.3~92.6%의 제거율을 얻었다.

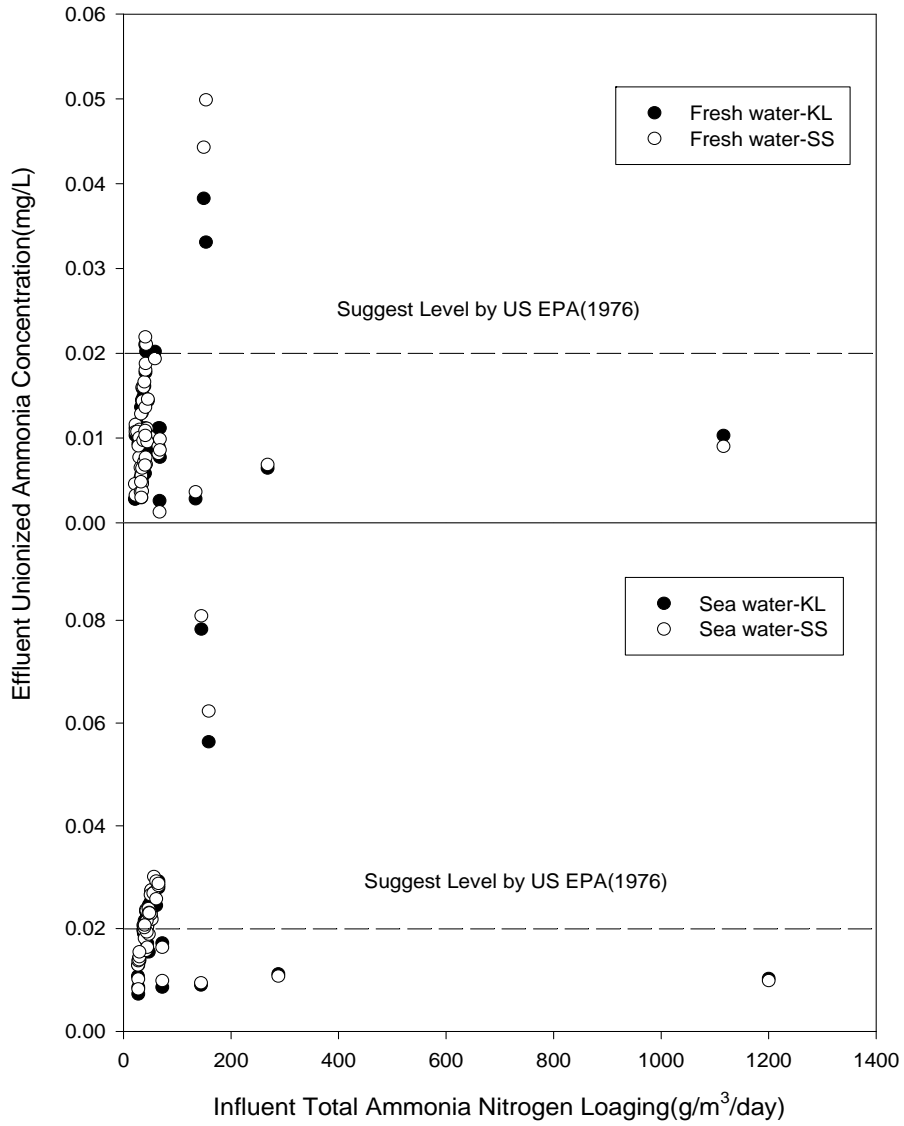
오선경(1996)은 saran media를 이용한 상향류 침지식 생물막 공법을 이용하여 인공 양식수를 대상으로 한 실험에서  $114.7 \sim 305.8 \text{ gNH}_4^+ \text{-N/m}^3 \text{/day}$ 의 암모니아 부하 범위에서 각각 92.9%, 90.6%의 제거율을 보였다. 또한 하향류 실험에서  $110 \sim 215 \text{ gNH}_4^+ \text{-N/m}^3 \text{/day}$ 의 암모니아 부하에서 97.2~91.0%의 제거율을 보였다.



<그림 3-4-7> 유입 암모니아 부하에 따른 암모니아 제거율.

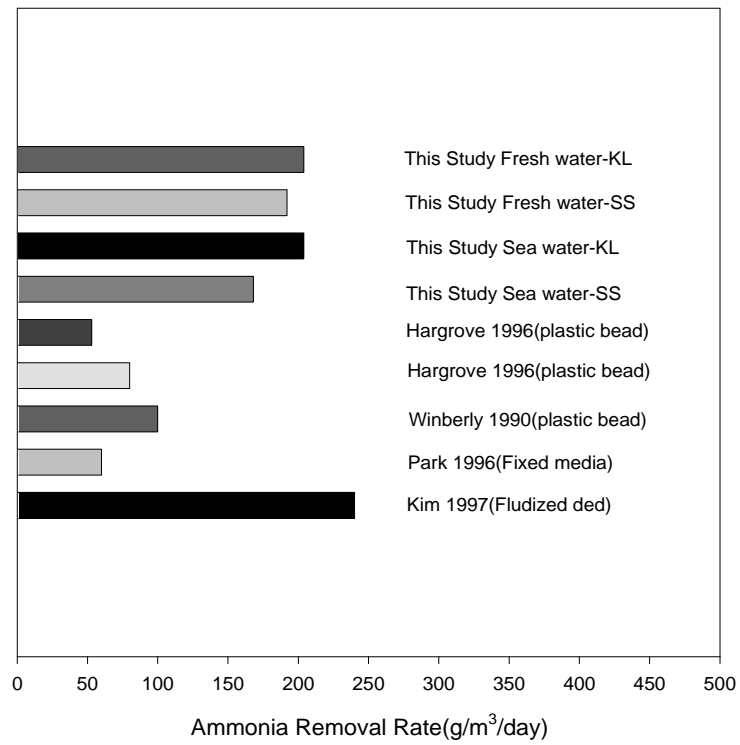


<그림 3-4-8> 유입 암모니아 부하에 따른 암모니아 제거효율.



<그림 3-4-9> 유입 TAN에 따른 유출수의 비이온성 암모니아 농도.





<그림 3-4-10> 타 연구 결과와의 암모니아 제거율 변화.  
 (Hargrove.96, Winberly. 90, Park. 96, Kim 97)

#### 4. 결론

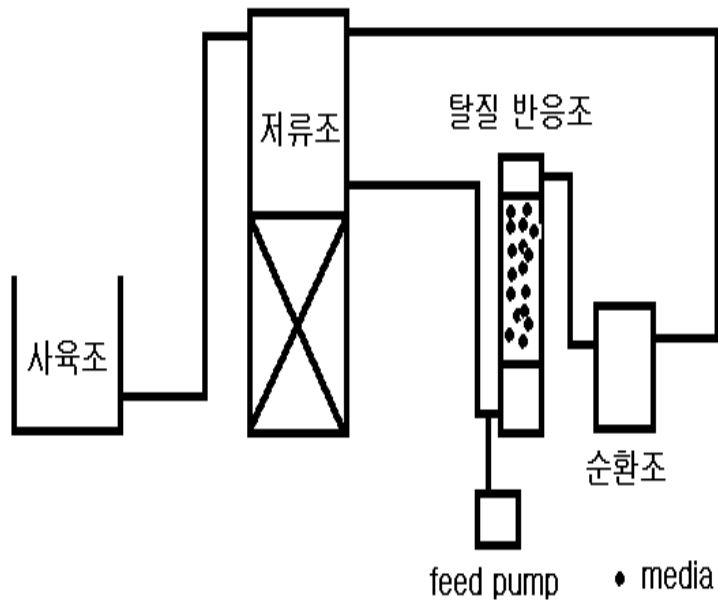
해수 및 담수에서 수행된 유동층 반응조에서 충전 미디어별 암모니아 제거특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 해수 및 담수에 대한 유동층 반응조의 암모니아 제거는 담수조건에서 빠른 안정조건에 도달하였고, 담수조건에서 암모니아 제거효율은 70~80%로 나타났다.
- (2) 폴리우레탄 제질 유동층 미디어의 암모니아 제거특성을 검토한 결과 KL과 S1의 미디어별 차이점은 미미한 것으로 나타났다.
- (3) 암모니아 부하에 따른 각 운전조건별 결과, 담수조건에서 KL 미디어는 168 g/m<sup>3</sup>/day, S1 미디어는 207 g/m<sup>3</sup>/day, 해수조건에서 KL 미디어는 154 g/m<sup>3</sup>/day, S1 미디어는 205 g/m<sup>3</sup>/day로 나타났다.
- (4) 네가지 HRT 변동 조건에서 미디어가 유입 암모니아농도에 안정상태일 경우 10분의 수리학적 체류시간에서도 효과적인 처리가 가능하였다.

#### 5. 실험실 규모 탈질 반응조의 운전

##### 가. 실험방법

실험에 이용한 반응조의 모식도는 <그림 3-4-11> 과 같다.  
저류조의 용량은 600L이며, 반응조의 용량은 44L 미디어는 70%를 충전하였다. 매일 저류조의 10%는 환수 개념으로 배출시키고 보충수는 사육조에서 사육수를 pumping 하였다. 또한 임의로 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N feed를 주입하여 반응조예로의 유입농도를 50mg/L를 유지하도록 하였다. 실험기간 동안 HRT는 4시간이었다.

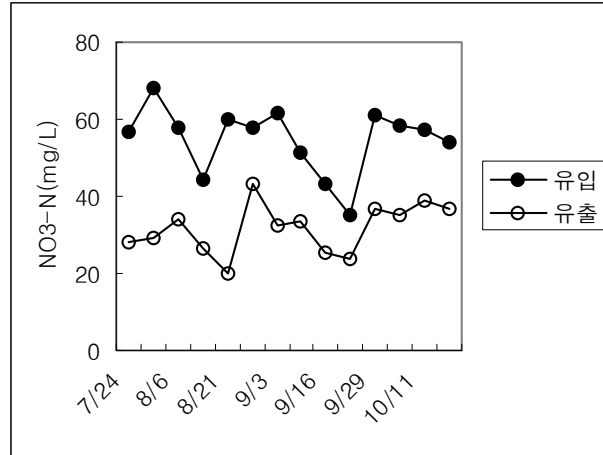


<그림 3-4-11> 탈질 반응조 운전 모식도.

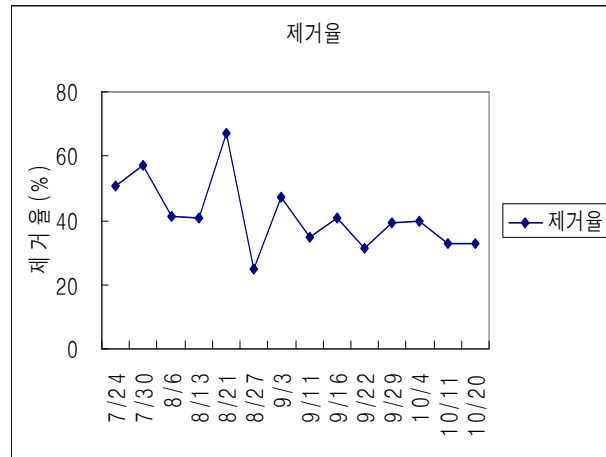
나. 실험결과

운전 기간동안의  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 의 농도 변화 및 제거 효율을 <그림 3-4-12>와 <그림 3-4-13>에 나타내었다.

실험결과 평균 제거효율은 HRT 4hr이었을 때 40% 내외에 제거효율을 나타내었다. 초기 제거율이 높았다가 낮아지는 것은 수온 영향이 큰 것으로 사료된다.



<그림 3-4-12> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도 변화.



<그림 3-4-13> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 제거효율 변화.

## 제 5 절 Pilot Plant

### 1. 개요

순환여과식 양식 시스템에서 순환수의 적절한 처리는 아주 중요한 요소이다. 양식 어류의 배설물과 미 섭취사료 등에 의해 발생하는 암모니아는 어류의 성장을 저해하며 치사의 위험성이 있으므로 반드시 처리하여야 한다. 어류 성장에 위대한 수질인자들을 처리하기 위한 수처리 시스템의 구성요소는 고형물 제거장치, 용존성 물질 제거장치 등으로 구성된다. 용존성 물질 제거장치는 암모니아와 아질산 등의 질소화합물과 유기물질의 처리를 목적으로 한다. 이를 위해서 다양한 기법이 적용되고 있다. 본 연구에서는 유동층 생물여과조가 현장에 적용될 가능성 여부를 조사하기 위하여 유동층 반응조를 Pilot Plant에 적용하였다.

수처리 시스템의 설계인자와 운전 인자를 도출하기 위해 Pilot Plant 규모의 실험을 수행하였다. Pilot Plant의 사육조 용량은 55L(51.5×36×27cm), 25L(41×24.5×25cm)인 수조를 18개 사용하여 총 1440L로 구성하였고, 유동층 생물여과조, 카트리지 필터, 오존접촉조로 수처리 시스템을 구성하였다.

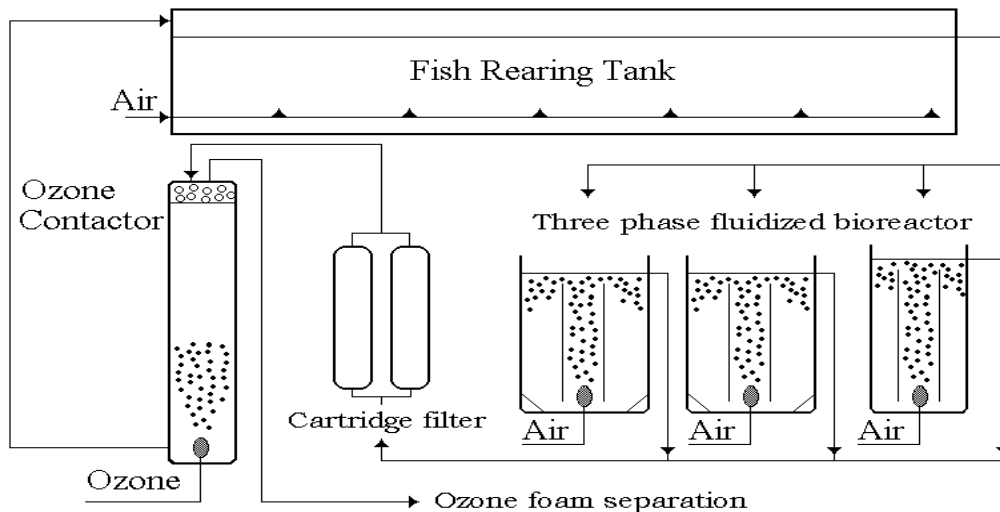
본 연구의 목적은 유동층 생물여과조를 이용하여 순환여과 시스템을 구성하여 어류 사육과 동시에 수처리 시스템의 효율을 평가하고 어류 성장과 수질인자와의 관계를 고찰하기 위해 사육조내의 수질인자들에 대한 측정과 어류 성장을 산정하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

#### (1) 순환여과시스템의 구성

순환여과 시스템은 어류 사육시스템과 수처리 시스템으로 구성되어 있다. 본 연구에서 구성한 Pilot 규모의 순환여과 시스템은 사육조 → 유동층 반응조 → 카트리지 필터 → 오존접촉조 → 사육조로 순환 되도록 하였으며, <그림 3-5-1>에 운전 모식도를 나타내었다. 사육조 용량은 55L(51.5×36×27cm), 25L(41×24.5×25cm)인 수조를 18개 사용하여 총 1440L로 구성하였다. 또한 사육조에 공기 공급장치를 설치하여 용존산소 농도를 유지하였다. 어류 사육을 통해 발생하는 고형물질은 10 μm 눈금의 카트리지 필터를 이용하여 제거하였다. 또한, 암모니아는 페타이어 미디어를 충전한 유동층 반응조를 이용하여 제거하였으며, 순환수의 살균처리를 위해 오존을 이용하였다. 오존접촉조는 산기석을 이용한 하향류식 반응조로 0.1 mg/L의 오존주입율로 운전하였다. 전체 시스템의 구성재원을 <표 3-5-1>에 나타내었다.



<그림 3-5-1> Pilot Plant 모식도.

<표 3-5-1> Pilot Plant 순환여과시스템 재원

Item	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	HRT (min)	Number	Total volume (m <sup>3</sup> )
Rearing tank	0.515	0.36	0.30	0.056	39.0	18	1.008
	0.410	0.25	0.29	0.029	20.0	18	0.522
Cartridge filter	φ0.2		0.50	0.016	1.3	2	0.032
Fluidized bed reactor	0.430	0.43	1.16	0.214	16.5	2	0.428
Ozone contactor	2.200	0.30	0.30	0.198	7.6	1	0.198
Retention tank	1.930	1.22	1.00	2.355	90.0	1	2.355

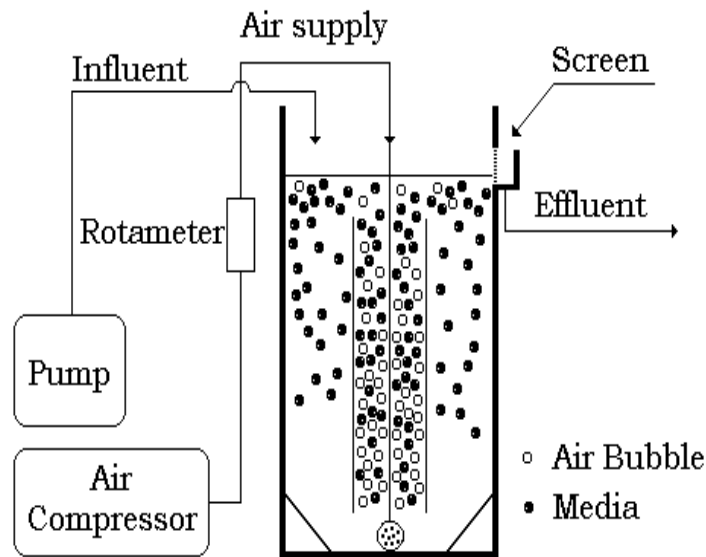
(2) 유동층 생물여과조

순환 여과 시스템내 수처리 장치에 적용된 유동층 반응조는 Air-Lift식 삼상 유동층 반응조이며, 운전 모식도를 <그림 3-5-2>에 나타내었다. 반응조는 아크릴로 제작하였으며, 용량은 160L×2조, 120L×1조(총 용량 : 440L)로 병렬 운전하였다. 충전된 매디아의 원활한 유동을 위한 Baffle의 설치는 김(1998)이 제안한 설계인자를 적용였고, 수리학적 체류시간(HRT)은 16분으로 설계하였다. 유동층 반응조에 충전한 매디아는 페타이어를 가공한 것을 이용하였고, 실험에 사용하기 전 약 3주간 해수에 순양시킨 후 반응조 부피에 대하여 약 30%를 충전 하였다. 매디아의 물성치는 <표 3-5-2>에 나타내었다.

매디아의 유동 및 질산화에 필요한 산소공급을 위해 압축공기를 사용하였으며, 공기 유량계 ((DWYER Co. Air Flow Meter)를 사용하여 조절하였으며, 각 반응조별로 주입된 공기량은 각각 25 L/min (160L 반응조) 그리고 12 L/min(120L 반응조)이었다.

<표 3-5-2> 매디아 물성치.

Contents	Values
Specific gravity	1.06 ~ 1.13
Settling velocity(cm/sec)	6.5 ~ 6.6
Equilibrium diameters(mm)	7.1
Apparent specific gravity	0.43 ~ 0.52
Specific surface area(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	1700<



<그림 3-5-2> 유동층 반응조 모식도.

#### 나. 방법

전체 운전기간 중 사료는 오전 9시, 오후 4시에 공급하였다. 운전기간 20일까지는 총 어체량의 4%를 공급하였고, 운전기간 20일 이후부터 60일까지는 총 어체량의 3%를 공급하였다. 실험에 사용한 사료의 조성을 <표 3-5-3>에 나타내었다. 사육 어종은 넙치(Oliver Flounder)를 대상으로 하였고, 평균 어체중은 2.6g인 것을 이용하였다. 계절적인 온도의 영향을 배제하기 위해 냉각기 및 보일러를 설치하여  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 어체 성장률을 검토하기 위한 어체량 측정은 3주 간격으로 수행하였다.

사육조 청소는 사료를 공급한 뒤, 사이폰을 사용하여 배설물을 제거하였고, 수질분석을 위하여 사료 공급 후 2시간 뒤 채수하여 시료분석을 수행하였다. 시스템 세척, 증발, 수질 분석 시료채취 등으로 손실되는 해수는 2~3주 간격으로 부산 근해의 해수로 보충하였다.

수질관측을 위해 사육조 내부, 유동층 반응조 유출, 오존접촉조 유출 등의 지점에서 시료를 채수하여 염분농도(‰), COD(mg/L),  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L),  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ (mg/L),  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/L), pH, 알칼리도(mg/L as  $\text{CaCO}_3$ ), 탁도(NTU), 그리고 SS(mg/L) 등의 항목에 대하여 수질분석을 수행하였다. 암모니아는 선택적 이온전극법에 따라 분석한 후 시료의 pH와 온도를 측정하여 식(1)을 이용하여 비이온성 암모니아농도를 계산하여 총암모니아(Total Ammonia Nitrogen ; TAN)를 환산하였다(Summerfelt, 1993).



$$\frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{(\text{pH} - \text{pK}_a)}, \text{pK}_a = 0.09018 + 2729.92/\text{T}, \text{ } ^\circ\text{K} \quad (3-5-1)$$

아질산성 질소와 질산성 질소는 수질오염 공정시험방법 해수편에 따라 Diazoa Method와 자외선 흡광광도법으로 분석하였고, 나머지 분석방법들은 Standard Methods(APHA, 1995)에 따라 시료를 분석하였다. <표 3-5-4>는 시료 분석에 사용한 실험방법을 나타내었다.

<표 3-5-3> 사료의 조성

The ingredients of Feed <sup>b</sup>	Percentage of feed composition(%) <sup>a</sup>
Protein	69.78
Lipids	8.23
Ash	9.08
Moisture	8.31
P	1.07

a : Feed stuffs not mentioned here are the same feed stuffs as the domestic aquaculture feed companies are using currently.

b : Kum Sung Feed Co

<표 3-5-4> 수질분석 방법

Items	Experimental methods	Instrument
Ammonia nitrogen	Ammonia-Selective Electrode method	Orion Model 720A
Nitrite nitrogen	Diazoa method	SAMRT 190 - DUV
Nitrate nitrogen	UV absorption method	SAMRT 190 - DUV
Turbidity	Turbidity meter	HACH 2100-P Turbidimeter
pH	pH meter	Cole-Parmer 05669-20
Alkalinity	Titration method	-
Salinity	Salinity refractometer	ATAGO
SS	Vacuum filtration	Glass fiber filters

### 3. 결과

#### 가. 사육조내 수질변화와 어류성장 특성

해수 순환여과 시스템에서 유동층 반응조의 수처리 특성을 고찰하기 위해 넙치(Oliver Flounder)를 대상으로 Pilot 규모의 실험을 수행하였다. 순환수 유량은 수처리 시스템에서 사육조로 공급하는 배관에 적산유량계를 설치하여 측정하였다. 유량은 24.5 ~ 32.0 L/min의 범위였고, 평균 26 L/min을 유지하였다. 전체 운전기간 동안 9회에 걸쳐 보충수를 공급하였으며 총 17.1 m<sup>3</sup>를 사용하였다. 염분 농도의 경우 해산어류의 생리작용에 큰 영향을 주므로 매일 측정하여 시스템내의 염분 농도 변화를 관찰하였다. 운전기간동안 측정된 염분농도의 범위는 30 ~ 35‰이었고, 평균 31‰를 유지하였다.

전체 운전기간 동안 사육조내 수질변화를 파악하기 위해 COD(mg/L), TAN(mg/L), NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N(mg/L), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N(mg/L), pH, 알칼리도(mg/L as CaCO<sub>3</sub>), SS(mg/L) 그리고 탁도(NTU) 등의 수질인자들에 대해 분석한 결과를 <그림 3-5-3>, <그림 3-5-4>, <그림 3-5-5>에 나타내었다.

사육조내 COD 농도는 전체 운전기간 동안 3~14 mg/L의 범위를 보였고, 평균 9 mg/L로 나타났다. 천연 해수의 COD 농도에 비하여 다소 높게 나타났으나, 유기물질 자체는 어류 성장에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고되고 있다. 본 연구 결과에서는 다소 높은 COD 농도를 나타냈으나 어류 성장에 큰 영향이 없는 것으로 사료된다.

순환수내의 암모니아는 어류 성장에 큰 영향을 미치는 중요한 수질인자 중의 하나이다. USEPA(1976)에서는 어류에 대한 비이온성 암모니아의 권장 농도를 0.02 mg/L이하로 제안하고 있다. 암모니아가 어류에 미치는 영향은 어종, pH, 수온, 염분농도 등에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 pH7 부근에서 수중의 TAN 농도의 1%가 비이온화 형태로 존재하므로 USEPA 권장치 0.02 mg/L을 만족시키기 위한 사육조내 TAN농도는 2 mg/L 정도이다. 또한 해수에서는 염분에 의한 영향으로 담수에 비해 같은 pH 조건에서 보다 낮은 비이온성 암모니아 분율을 가지게 된다(Trussel, 1972. Bower and Bidwell, 1978). 전체 운전기간 동안 측정된 사육조내 총 암모니아성 질소(TAN)의 농도 범위는 0.05 ~ 0.41 mg/L이며, 평균 0.22 mg/L로 나타나, 양호한 수질을 유지한 것으로 나타났다.

아질산성 질소는 암모니아가 질산성 질소로 산화되는 과정에서 생성되는 중간 생성물질이다. 담수어종에 있어서 아질산성 질소는 저농도에서도 독성 영향을 미치지만(Russo *et al.*, 1974 ; Smith and Williams, 1974 ; Meade, 1989 a,b) 해수에 있어서 아질산성 질소의 96hr LC<sub>50</sub>은 600 - 1100 mg/L로 보고되고 있다(Crawford and Allen, 1977 ; Epifaino and Srna, 1975). 전체 실험기간 중 사육 수조내의 아질산성 질소 농도 범위는 0.01 - 0.08 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L로 나타났고(13일의 0.48mg/L 제외), 평균 0.05 mg/L 나타나 양호한 수질을 유지한 것으로 나타났다.

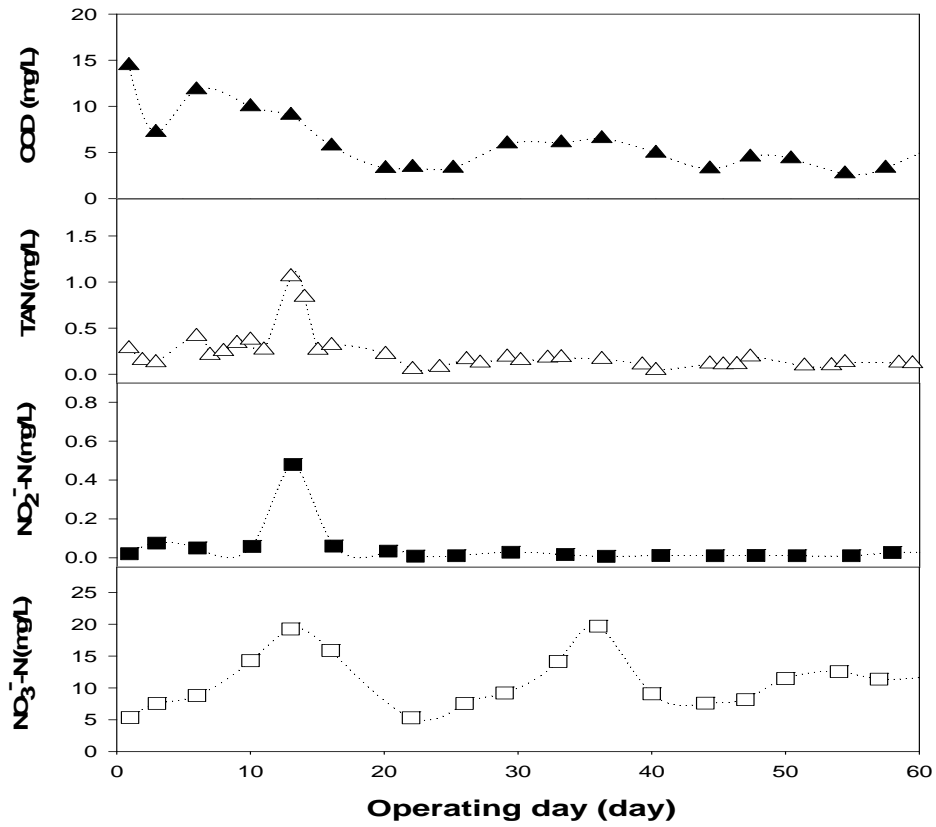
수중의 질산성 질소농도의 변화는 증가와 감소를 보이고 있다. 이는 생물학적 질산화 과정을 통한 암모니아의 산화로 인해 지속적인 질산성 질소의 축적현상이 이루어지다, 보충수 공급을 통해 감소하는 것으로 나타났다. 전체 운전기간 중 질산성 질소의 최대 농도는 약 20 mg/L로 나타났다.

pH 및 알칼리도는 어류 성장과 유동층 반응조의 운전에 중요한 수질인자이며, 일정한 알칼리도를 유지하여야만 안정적인 pH를 유지할 수 있다. 담수어종에 대한 순환 여과식 양식에서는 중탄산염 등과 같은 알칼리도 유발물질을 인위적으로 공급하여 100~200 mg as CaCO<sub>3</sub>/L의 농도를 유지하는 것이 일반적이다. 해수의 알칼리도는 약 100 mg as CaCO<sub>3</sub>/L이므로 보충수를 통하여 알칼리도를 유지할 수도 있다. 인위적으로 알칼리도 공급시 약품마다 해수에 대한 용해도가 다르고 잘 녹지 않을 가능성이 높아 상당한 주의가 필요하다.

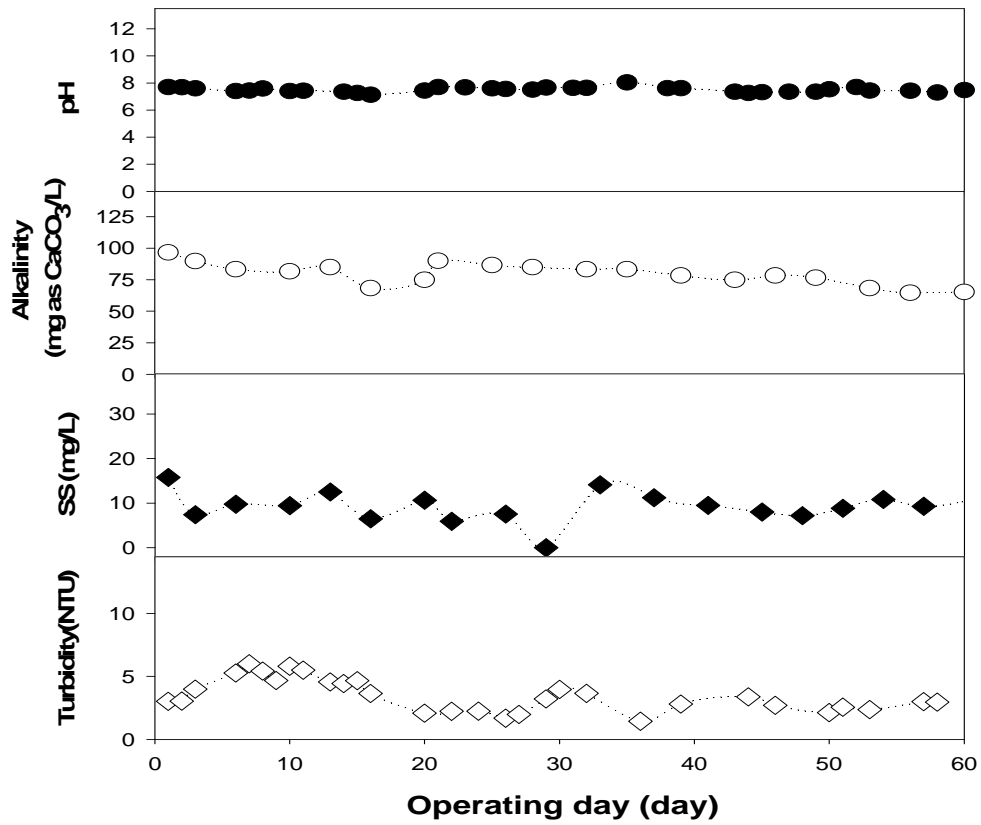
운전기간 중 사육조내 pH는 평균 7.6으로 유지되었고, 알칼리도는 평균 70 mg as CaCO<sub>3</sub>/L로 나타났다. 알칼리도는 암모니아의 산화에 의해 감소되며, 보충수의 공급으로 인해 유지된 것으로 나타났다. 탁도는 Nightingale(1976)에 의해 권고되는 수질농도가 60 NTU이하로 유지하는 것이 어류 양식에 좋다고 보고 되었다. 본 순환 여과양식의 경우 사육조내 탁도 범위가 1.45~6 NTU였고, 평균 3.64 NTU로 양어장 순환수에 권장하는 60 NTU보다 훨씬 낮게 운전되었다. 이는 10 $\mu$ m 크기의 필터를 이용할 경우, 효과적인 탁도 처리가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

부유물질은 Enviroment Canada(1979)에서 권장하는 농도가 25 mg/L이하로 보고 되고있다. 담수 순환여과 양식의 경우, Herbert and Merkens (1961) 규조토로서 207 mg/L의 부유 물질농도에서 무지개 송어의 지느러미가 찢고 사망에 이른다고 보고 되었다. 본 연구의 사육조내 부유 물질농도 범위는 5.99~15.78 mg/L였고, 평균 9.45 mg/L로 나타나 양호한 수준을 유지할 수 있었다.

이러한 수질조건에서 성장한 넙치의 비성장율(SGR)결과를 <표 3-5-5>에 나타내었다. 전체 운전기간에 따른 비성장율은 I 단계에서 2.96, II 단계에서 2.60으로 나타나 초기단계에서 다소 높게 나타났으며, 전체 평균 2.77로 나타났다.



<그림 3-5-3> 사육조 내의 수질 변화(COD, TAN, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N).



<그림 3-5-4> 사육조 내의 수질 변화(pH, Alkalinity, SS and Turbidity).

<표 3-5-5> 넙치의 비성장률(SGR) 특성

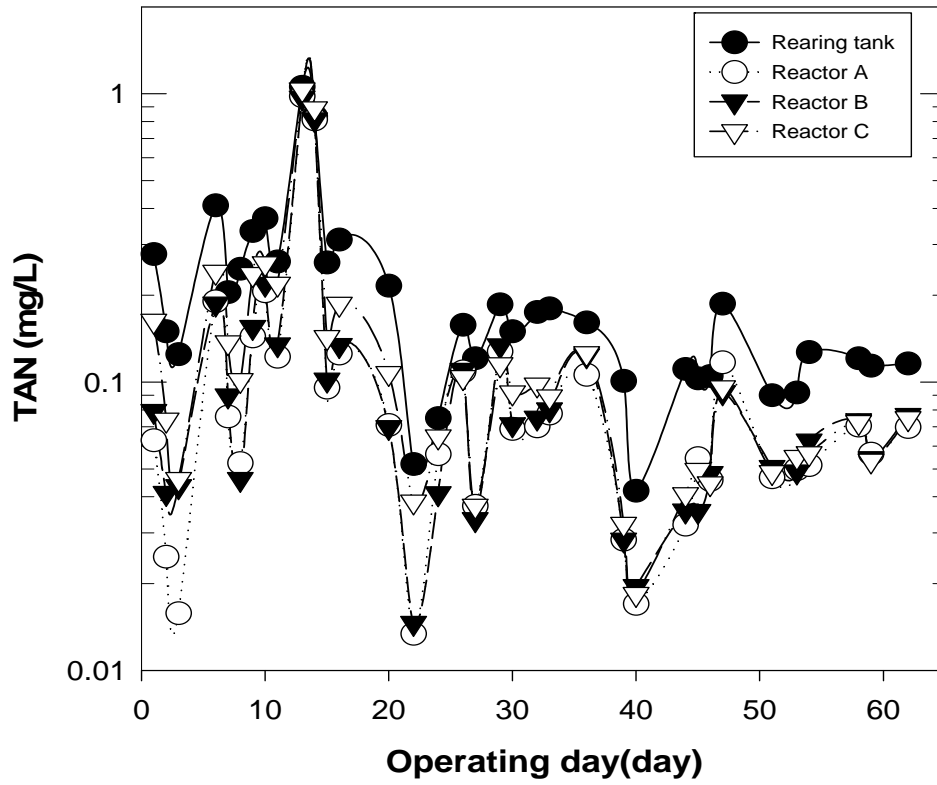
Phase	Composition	Weight (g)	SGR(%)
I	Initial	2.67	2.96
	After 3 weeks	4.96	
II	Initial	4.96	2.60
	After 3 weeks	8.59	
Total	Initial	2.67	2.77
	After 6 weeks	8.59	

#### 나. 유동층 생물막 반응조의 암모니아 제거특성

폐타이어 미디어를 충전한 유동층 반응조를 생물여과기로 적용한 본 연구에서는 어류 사육과 동시에 순환수내 TAN 제거성능을 평가하였다. 약 60일간의 연속운전 기간동안 측정된 운전결과를 <그림 3-5-5>에 나타내었다. 유입수의 TAN 농도는 약 0.05~0.42 mg/L의 농도범위를 보였고, 평균 0.22 mg/L로 나타났다. 유동층 반응조를 통과한 유출수의 TAN 농도는 약 0.01~0.22 mg/L의 농도로 평균 0.13 mg/L로 나타나 양호한 수질을 보였다. 운전일수 13일에 TAN 농도가 높게 나타났는데, 이는 유동층 반응조 운전에 필요한 공기공급장치의 고장으로 미디어 유동현상이 정지되어 TAN 제거 효율이 급격히 저하되었기 때문이다.

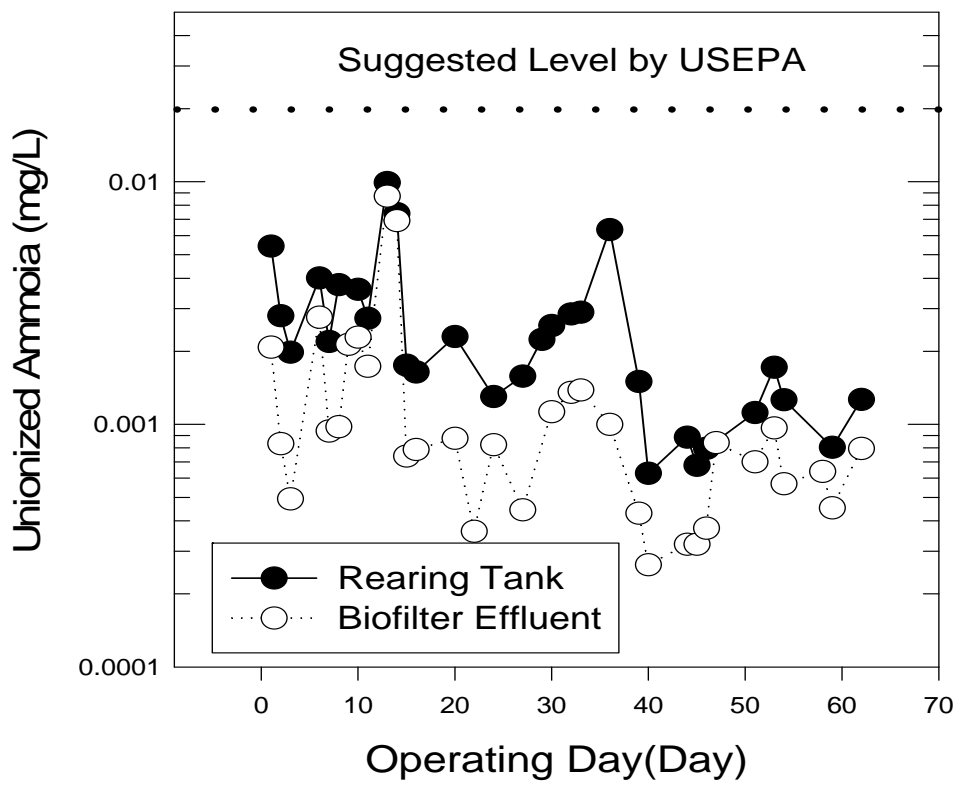
유동층 반응조의 유입 유출에 따른 암모니아 제거특성을 고찰하기 위해 <그림 3-5-6>에 운전일수에 따른 비이온성 암모니아 농도를 나타내었다. USEPA(1976)에서 제안하는 비이온성 암모니아 농도가 0.02mg/L인 것을 감안하면, 유동층 반응조의 유입, 유출수 비이온성 암모니아 농도가 아주 낮게 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 세 개의 유동층 반응조의 병렬운전에 결과 유출수의 비이온성 암모니아의 평균농도는 0.002 mg/L로 나타나, 효과적인 암모니아 처리가 가능한 것으로 나타났다.

<그림 3-5-7>은 유동층 반응조의 TAN 유입 부하량에 따른 제거율을 부하량 단위( $\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$ )로 나타내었다. 전체 운전기간 동안 유동층 반응조로 가해진 TAN 부하량 범위는 4.3 ~ 32.9  $\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$ 였고, 평균 19.4  $\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$ 로 나타났다. 이러한 부하 범위에서 수행된 유동층 반응조의 제거율은 반응조 A, B는 제거효율이 60%로 나타났고, 반응조 C는 47%로 나타났다. 이런 차이는 반응조 C의 설치가 다른 반응조에 비해 약 20일 뒤에 이루어진 차이로 생각된다. 수리학적 체류시간(HRT) 10분의 조건에서 김(1990)은 선라이트(Corrugated skylight roofing plate)를 사용한 인공 양식수 처리결과 수리학적 부하가 23.7 $\text{m}^2/\text{m}^3/\text{day}$ 일 경우 암모니아 제거효율이 저조하다고 보고하였다. Rogers and Klemetson (1985)은 회전원판법을 양어장 순환수 처리에 이용한 결과 수리학적 부하 19.4  $\text{m}^2/\text{m}^3/\text{day}$ 에서 62%의 상당한 높은 제거효율을 보였다고 보고하였다. 유동층 반응조의 암모니아 제거특성을 고찰해 본 결과 해수에서도 효과적인 암모니아 처리가 가능한 것으로 나타났다.

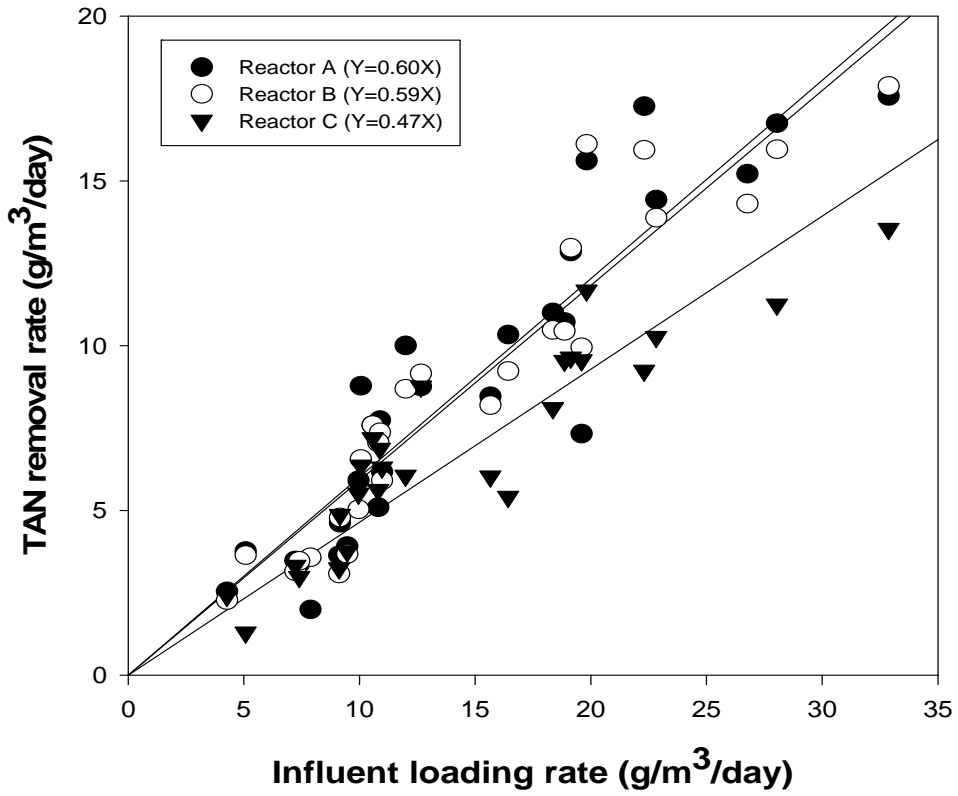


<그림 3-5-5> 사육수와 유출수의 TAN 변화.





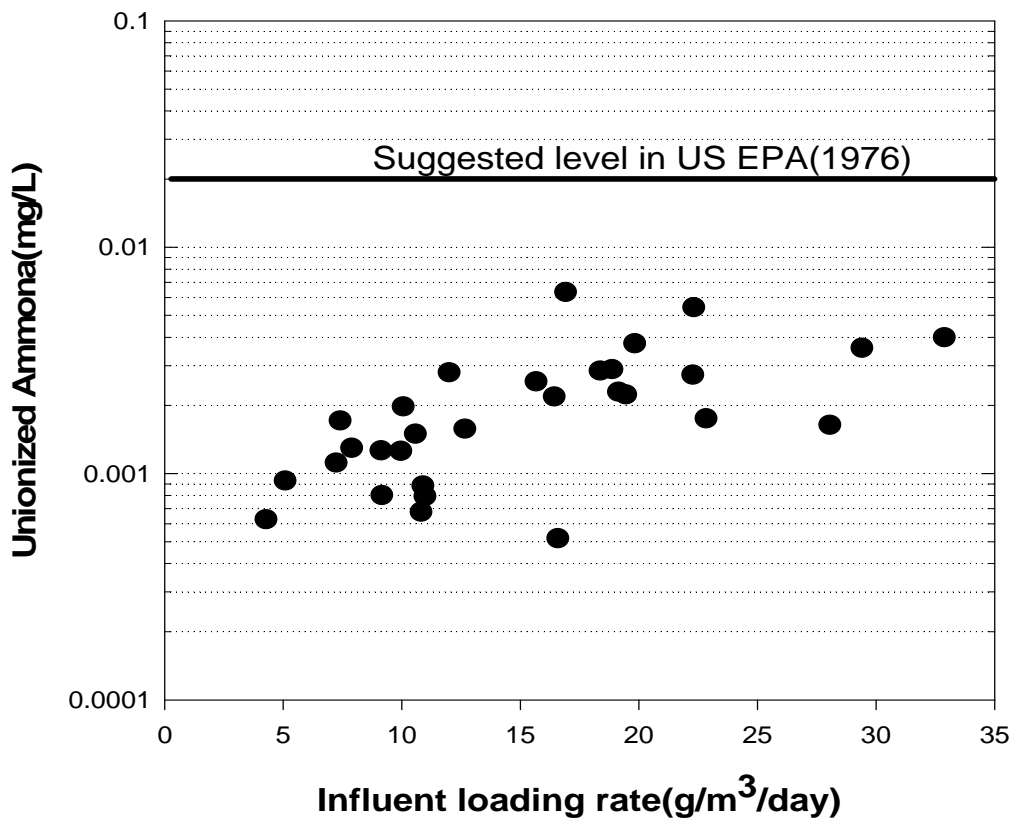
<그림 3-5-6> 사육수와 유출수의 비이온성 암모니아 농도 변화.



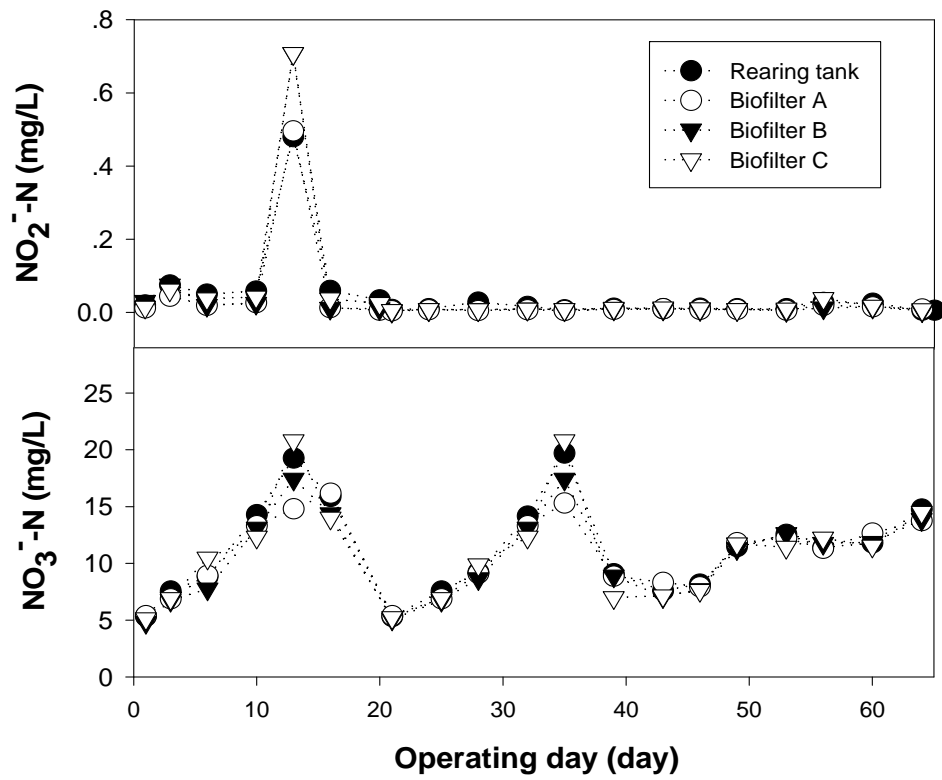
<그림 3-5-7> 유입 부하율에 따른 TAN 제거율.

유입 암모니아 부하에 따른 유출수의 비이온성 암모니아 농도변화를 <그림 3-5-8>에 나타내었다. 반응조에 가해진 TAN부하 범위에서 반응조 유출수의 비이온성 암모니아 농도는 USEPA (1976)에서 제안하는 0.02mg/L이하로 유지되는 것으로 나타나 안정적인 암모니아 처리결과를 나타내었다. 암모니아의 산화로 인해 생성되는 질산성 질소와 아질산성 질소는 해수 순환여과 시스템에서 어류 생육에 큰 영향은 없으나, 유동층 반응조의 질산화 특성을 고찰하기 위해서 필요한 요소이다. 운전기간동안 사육조와 세 조의 유동층 반응조 유출수에서 측정된 질산성 질소와 아질산성 질소의 농도 변화를 <그림 3-5-9>에 나타내었다.

아질산성 질소는 질산화 단계의 중간생성물로 유동층 반응조의 효율에 따라 처리수 및 사육조내 농도가 다소 변화하는 것을 알 수 있다. 특히 유동층 반응조의 운전이 정지된 13일의 경우 유동층 반응조 C의 유출수는 약 0.7 mg/L까지 유지되었으나 유동층 반응조의 제거효율이 안정되면서, 처리수 및 사육조내 아질산성 질소농도가 안정하게 유지되는 것으로 나타났다. Nijhof and Bonverdeur(1990)에 의하면 해수에서 질산화는 담수에서 질산화보다 질산화 진행속도가 느리지만, 해수에서 질산화도 담수와 같이 완벽하게 일어난다고 보고하였다. 따라서 본 실험에서는 해수에서도 담수에서와 같이 전형적인 질산화 반응이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.



<그림 3-5-8> 유입 부하율에 따른 비이온성 암모니아 농도.



<그림 3-5-9> 아질산성 질소와 질산성 질소의 변화.

#### 4. 결론

삼상 유동층 반응조의 수처리 효율을 검토하기 위해 해수 순환여과 시스템을 운전하였다. 수처리 시스템은 유동층 반응조, 카트리지 필터, 오존접촉조로 구성되어 있고, 전체 운전기간동안 사육조내 수질인자별 평균농도는 각각 COD 9mg/L, 총암모니아(TAN) 0.22mg/L, 아질산성 질소 0.05mg/L, 질산성 질소 20mg/L, 탁도 3.64NTU, SS 9.5mg/L, pH 7.6, 알칼리도 70mg/L as CaCO<sub>3</sub>등으로 나타나 양호한 수질조건을 유지할 수 있었다.

유동층 반응조의 TAN 부하량 범위는 4.3~32.9 g/m<sup>3</sup>/day였고, 평균 제거율은 20 g/m<sup>3</sup>/day으로 나타났다. 각 반응조의 TAN 제거율은 47~60%로 나타나 해수에서도 효과적인 암모니아 제거 특성을 나타내었다. 또한 유출수의 비이온성 암모니아 농도는 0.002 mg/L이하로 유지 할 수 있었다.

## 제 6 절 현장 규모의 순환여과시스템의 운전

### 1. 개요

순환여과식 양식시스템은 순환수를 재 사용함으로써, 물 요구량이 감소되고, 적절한 온도가 유지되며 최부 환경의 영향을 적게 받는 시스템으로 고밀도 양식이 가능하며, 환경친화적인 양식시스템이다. 순환여과식 양식시스템에서 순환수의 적절한 처리는 아주 중요한 요소이다. 양식어류의 배설물과 미 섭취사료 등에 의해 발생하는 암모니아는 어류의 성장을 저해하며 치사의 위험성이 있으므로 반드시 처리되어야 한다. 암모니아는 수중에서 pH에 따라 비이온성 암모니아( $\text{NH}_3$ )와 이온성 암모니아( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )로 존재한다. 이온성 암모니아에 비하여 비이온성 암모니아는 미량으로도 어류에 독성을 미치므로, 순환수는 적정농도 이하로 유지하여야 한다. 미국환경보호청(USEPA)에서는 비이온성 암모니아 농도를 0.02mg/L이하로 유지하도록 권고하고 있다(USEPA, 1976).

순환여과식 양식시스템에서 순환수의 특징은 많은 수량과 낮은 오염도가 그 특징이다(Phillips et al, 1991). 따라서 양어장 순환수 처리에 적합한 수처리 기술이 요구된다.

본 연구에서는 Pilot Plant 연구 결과를 바탕으로 해산어 양식을 위해 유동층 공법의 실제 현장 적용 가능성을 연구하기 위하여 실제 양식장의 일부를 이용하여 연구를 수행하고자 하였다.

앞선 연구 결과를 이용 유동층 생물여과조를 이용하고 메디아는 가장 적절하다고 판단된 KL사와 S1사의 메디아를 이용하였다. 아울러 유동층 공법의 가능성과 더불어 유동층 공법을 포함한 해산어 양식을 위한 순환여과 시스템의 성능을 평가하기 위해 유수식과 수질 및 성장률을 비교 조사하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 오염발생원 및 순환여과 단위공정 검토

발생원 및 오염물질	정화방법	공법 해설	공법선정
사료급이에 따른 부유고형성 물질(SS)	드럼스크린	<p>여과(Filteration)는 일정크기의 눈금을 가진 체에 의해 이루어지는 물질적 고액분리공정이다. 여과 및 스크린의 역세작업이 연속적으로 수행되며, 입자크기 40<math>\mu</math>m까지 처리할 수 있어 침전지에 비해 처리시간과 처리효율에 있어서 경제적이다. 드럼필터의 운전형태는 &lt;그림 3-6-1&gt;과 같다. 드럼 스크린의 처리유량은 원수 수질(SS)에 따라 크게 변하는데 원수 수질에 따른 스크린 눈금크기별 최대 여과 용량은 &lt;표 3-6-1&gt;과 같다.</p>	<p>처리시간이 짧아 좁은 부지에 설치 가능하여 효과적인 암모니아 처리 가능</p>
	침전조	<p>중력 침전에 의한 방식의 개념은 &lt;그림 3-6-2&gt;와 같다. 침전 수조는 크게 4개의 영역(유입구 영역, 고형물 침강영역, 고형물 퇴적 영역, 유출수 영역)으로 나뉘어 진다. 여기서 <math>V_s</math>은 입자의 침강속도, <math>V_h</math>는 유속의 수평분포, <math>D</math>는 수심, 그리고 <math>L</math>은 수조의 길이이다. 따라서, 침강 가능한 한계 침강속도 <math>V_{sc}</math>는 다음 식과 같이 주어진다.</p> <p>한계 침강속도 <math>V_{sc} &gt; D \times V_h / L</math></p> <p><math>V_{sc} &gt; D \times Q / (D \times W \times L) = Q / (WL)</math></p> <p>구체의 침강속도를 산정할 때 <math>Re &lt; 1.0</math>인 경우에는 Stokes의 침강속도법칙이 이용된다.</p> $V_s = \frac{g d^2 (\sigma - \rho)}{18 \nu}$ <p>양어장에서 발생하는 사료찌꺼기의 비중이 1.20를 이용하여 20<math>^{\circ}</math>C에서 물의 동점성 계수 <math>\nu = 1.00 \times 10^{-6}</math> m<sup>2</sup>/sec, 중력가속도 <math>g = 9.801</math> m/sec<sup>2</sup>, <math>\sigma = 1.20</math>인 경우 입경에 따른 침전조의 각 인자 선정은 &lt;3-6-2&gt;와 같다.</p>	

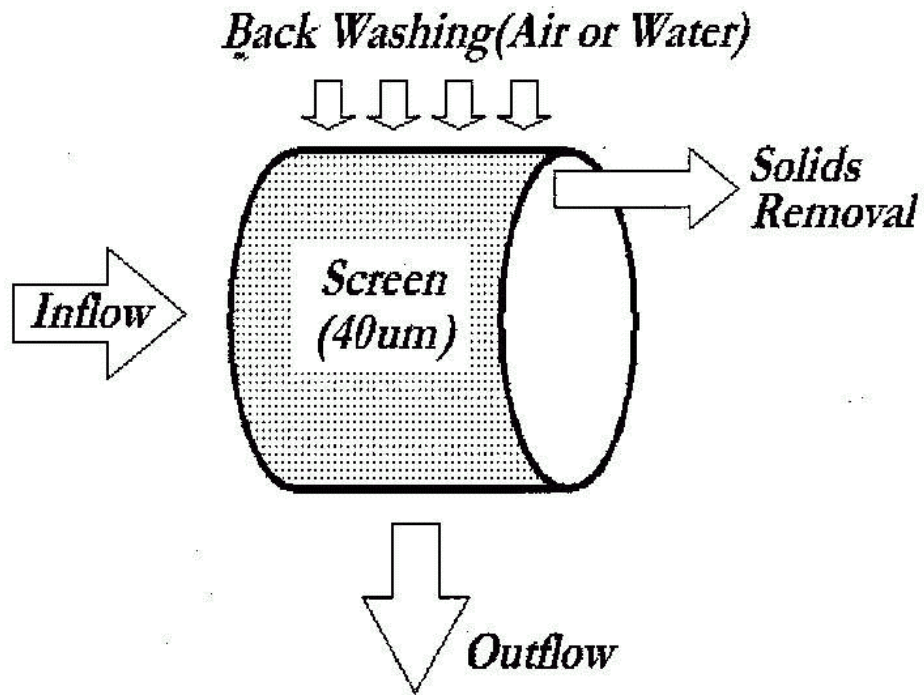


오염발생원 및 정화방법 (연속)

발생원 및 오염물질	정화방법	공법 해설	공법선정
암모니아 및 기타 용해성 오염물질	유동상 생물여과조	<p>담체의 유동화 현상을 유지하기 위해 물을 사용할 경우, 2상 유동층이며, 공기를 이용할 경우 3상 유동층이라 한다. 2상 유동층의 경우 모래를 담체로 하며, 미국 등지에서는 보편화 되어 있는 생물여과조이나 유지관리가 어렵고 오염물질의 부하가 높을 경우 용존산소가 부족하여 바이오필터의 효율이 감소하는 단점이 있다.</p> <p>3상 유동층의 경우 2상 유동층에 비해 유동화 현상을 위해 공급하는 공기에 의해 질산화 및 오염물질 산화에 필요한 산소가 충분히 공급됨으로써 2상 유동층에 비해 안정적인 처리가 가능한 것으로 보고되고 있다. 3상 유동층은 담체 선정이 까다로운 편이다. 비중이 물에 비해 일정수준 이상 높아 자연적으로 침전하나 공기에 의해 부상해야 됨으로써 최적 담체의 비중은 1.1~1.2 정도로 폴리우레탄 발포 제품 및 PP재질의 다공성 담체등이 많이 보급되고 있다.</p>	처리시간이 짧은 부지에 설치 가능하여 효과적인 암모니아 처리 가능
	침지식 생물여과조	<p>현재 국내에 가장 많이 보급되어 있는 생물여과조로 추가적인 에너지 없이 운전되며, 사용되는 담체는 현장 조건에 따라 여러 가지 담체가 적용되고 있다. 침지식 생물여과조의 경우 조의 크기가 클수록 효율이 감소하며, 적용하는 담체의 종류에 따라 효율의 차이가 크며 담체 사이에 축적되는 미생물 및 사료 찌꺼기 등에 의해 일정기간(1~3개월)을 주기로 빈번한 담체 청소가 요구되며, 청소후 약 1개월 정도 효율이 급감하여 순환수 처리에 인력 및 수질향상에 개선점이 많이 필요한 공법이다. 유동층 공법에 비해 최대 6배 이상의 여과조 용량이 필요하다.</p>	
	회전원판법	<p>침지식 생물여과조와 같이 현장에 보급되고 있는 공법으로 순환수를 회전원판 담체가 부착된 담체드럼의 상부에서 낙수시킴으로써 생성되는 에너지를 회전력으로 하여 순환수에 회전원판이 계속적으로 적셔짐으로써 수중에 존재하는 오염물질을 제거하는 방법이다. 회전원판 표면에 부착성장하는 미생물이 일정기간 이후 탈리되어 침지식 생물여과조와 유사한 문제점을 발생시킨다.</p>	

오염발생원 및 정화방법(연속)

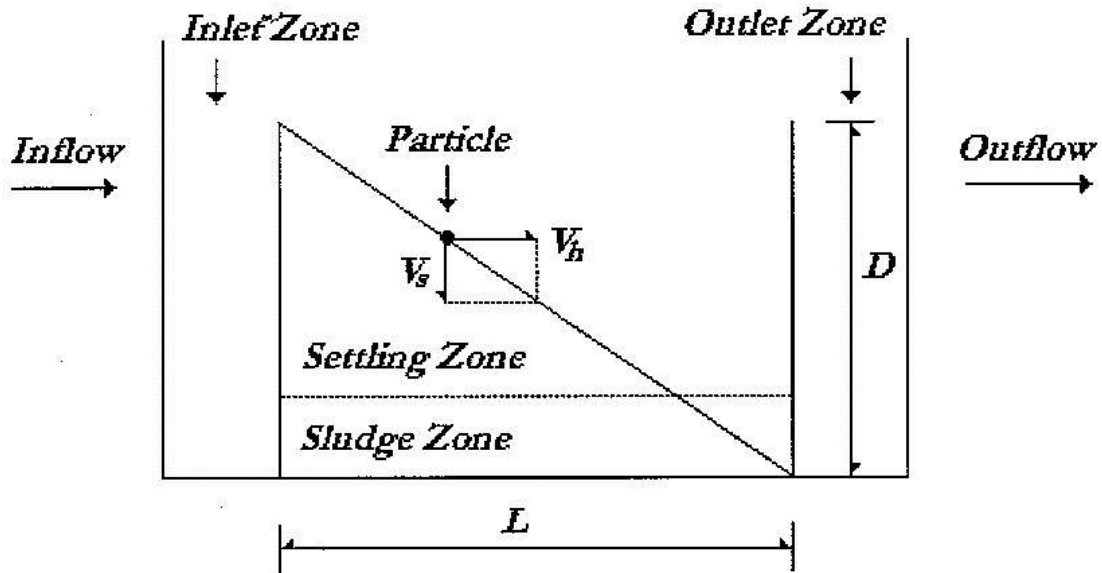
발생원 및 오염물질	정화방법	공법 해설	공법선정
암모니아 및 기타 용해성 오염물질	오존	<p>오존화된 가스를 물에 접촉시켜 사용하는 방법이다. 오존은 물에 용해되어 있는 악취 유발물질 등을 산화시켜 무취로 만드는 성질이 있다. 또 용해유기물이나 환원성 물질이 물 속에 있으면 바로 산화반응을 일으킨다. 따라서 오존 살균을 할 경우에는 이러한 오존 소비 물질의 양을 미리 조사해 두고 오존 필요량을 엄밀히 정해 공급해야 된다. 잔류오존농도와 사육생물에 대한 독성의 관계는 어중에 따라 다양하지만 일반적으로 담수의 경우 잔류오존농도가 0.05mg/L 정도에서는 안전하다고 보고되고 있다.</p> <p>오존에 의한 살균처리와 제거를 확실히 하려면 1mg/L정도(전달률 90%)의 주입률에 2-3분 정도의 반응시간을 유지한 뒤 활성탄 또는 목탄층을 통과시켜 잔류오존을 충분히 제거시킨 뒤 사육수로 이용해야 된다. 오존은 불안정한 물질이므로 수중에서 쉽게 O<sub>2</sub>로 전산화된다. 오존 분해조에 30~40분 정도 체류시키면 자연분해가 가능하다. 이때 분해조에 산소 또는 공기를 공급하면 체류시간을 줄일 수 있다.</p>	살균효과가 우수하고 기타 수질 개선효과가 있어 선정
	UV	<p>파장 중에서 파장 253.7Å이 가장 살균력이 강하다. 320.0Å의 파장에서는 전자에 비해 0.4% 효과밖에 얻을 수 없다. 자외선 살균법의 조작은 간편하지만 물에 현탁물이나 착색이 있으면 조사 효율이 감소하여 살균효율이 저하된다. 또 자외선이 통과하는 수층의 두께가 자외선 흡수에 큰 영향을 미친다. 수층이 얇아 무색 투명한 상태에서는 살균효과를 발휘한다. 그러나 자외선 조사량은 미생물의 종류에 따라 다르다. 따라서 선택하는 램프 출력에 따라 효과를 얻을 수 없는 대상 생물도 있다. 또한 온도에 따라 출력이 변화하고 램프의 사용시간에 따라 출력이 저하하는 특성이 있다.</p>	



<그림 3-6-1> 드럼스크린 운전모식도.

<표 3-6-1> 원수 조건에 따른 제품별 최대 여과 용량

조건	최대 여과 용량( $l/sec$ )			
	스크린 눈금크기	A	B	C
SS 10 mg/L	10	15	45	140
	20	50	150	480
	30	65	175	700
SS 25 mg/L	30	45	135	420
	40	60	150	560
	60	80	150	800
SS 40 mg/L	20	15	45	140
	20	25	60	180
	25	30	75	220



<그림 3-6-2> 침전수조에서 고형물질의 침전현상.

<표 3-6-2> 입자 크기별 한계 침강속도와 침전조 규격

제거입자 d, $\mu\text{m}$	한계침강속도 $V_s(\text{m/s})$	$V_{sc} =$ $V_s \times 1.2$	$\text{m}^3$	W	L	D	Volume ( $\text{m}^3$ )	HRT (min)
10	0.00001	0.00001	319	319.10009	1.0	0.5	159.55005	637.69003
40	0.00017	0.00021	20	19.94376	1.0	0.5	9.97188	39.85563
100	0.00109	0.00131	3	3.19100	1.0	0.5	1.59550	6.37690
200	0.00436	0.00523	0.8	0.79775	1.0	0.5	0.39888	1.59423
400	0.01742	0.02091	0.2	0.19944	1.0	0.5	0.09972	0.39856
1000	0.10890	0.13068	0.03	0.03191	1.0	0.5	0.01596	0.06377
4000	1.74240	2.09088	0.002	0.00199	1.0	0.5	0.00100	0.00399
10000	10.89000	13.06800	0.0003	0.00032	1.0	0.5	0.00016	0.00064

#### 나. 재료

해산어 양식용 순환여과시스템 구축을 위해 가.항에서 고찰된 각 단위공정을 결합하여 다음과 같은 공정을 결정하였다.

사육조 → 펌프 → 드럼스크린 → 오존접촉조(살균공정) → 유동층 생물여과조 → 사육조

순환펌프의 설치는 원칙적으로 여과공정의 맨 후미에 설치하는 것이 효과적이다. 본 연구에서는 1, 2차 사육실험에서는 현장설치 조건이 맞지 않아 부득이하게 전단에 설치함으로써 후단공정이 자연유하로 사육조까지 연결되어야 하는 문제점을 안고 설계가 이루어졌다. 따라서 드럼스크린의 경우, 지상에서 3.5m 상부에 설치되어 드럼스크린의 설치 및 운전, 관리에 많은 어려움을 안게 되었고, 사료 공급이후 펌프에 의해 고형성분이 미세고형성분으로 분쇄되는 단점을 유발시켰다. 그러나 3차 사육실험에서는 1, 2차 사육실험의 문제를 해결하기 위하여 드럼스크린을 사육조와는 거리가 떨어지게 설치했지만 사육수가 펌프에 의해서 드럼스크린으로 유입되는 것이 아닌 자연유하고 드럼스크린에 유입되도록 설치하였다. 그래서 실험결과를 1, 2차 사육실험과 3차 사육실험으로 나누었다. 사육실험에 이용된 설계사양 설치도는 <표 3-6-3>, <사진 3-6-1>과 같다.



<사진 3-6-1> 순환여과시스템 현장 설치 현황

<표 3-6-3> 순환여과시스템 설계사양

구 분	사 양	비 고
사육조	8500(L) × 8500(W) 콘크리트 사각수조	현장설비 이용
드림스크린	외형(700W × 900H × 1,000L) 드림길이 : 600mm 드림직경 : 500mm 망목크기 : 40 $\mu$ m(SUS 304) 노즐수 : 5개 세척펌프 : 1/6 Hp 구동모터 : 1/4 Hp 처리용량 : 40m <sup>3</sup> /hr 케이스 : pp	구매, 자가설치
오존발생기	TYPE : 순산소 형식 Model : OZONIA CFS-1 최대발생량 : 50g O <sub>2</sub> /hr	구매, 자가설치
생물여과조	TYPE : 3상 유동층 담체 : 스폰지Type 10 × 10 × 10 (mm) 충전부피 ; 30% HRT : 8min	외주제작 담체구매
기타 기계설비	부로워 : 5 Hp 순환펌프 : 5 Hp	구매, 자가설치

다. 방법

넙치 축양장에 설치된 순환여과시스템에 대하여 순환여과방식에 의한 양식조건과 유수식 양식조건에 대한 비교실험을 수행하였다. 1차적으로 해수에 대한 순환여과방식의 적용가능성을 검토하기 위해 생사료(MP)공급 및 온도 변화조건을 조절하지 않고 어류사육결과 및 수질변화를 관찰하였다.

실험에 있어서 같은 조건의 순환여과조 2조와 유수식 수조 2조를 선택하여 가능한 같은 시기에 도입되어 성장하고 있는 어류를 실험어로 이용하였다. 사료 급이는 가능한 현장운전 형태(최대공급)에 따라 수행하였다. 매일 실험구를 관찰하여 발생하는 폐사어에 대한 원인 및 증세를 관찰하였다.

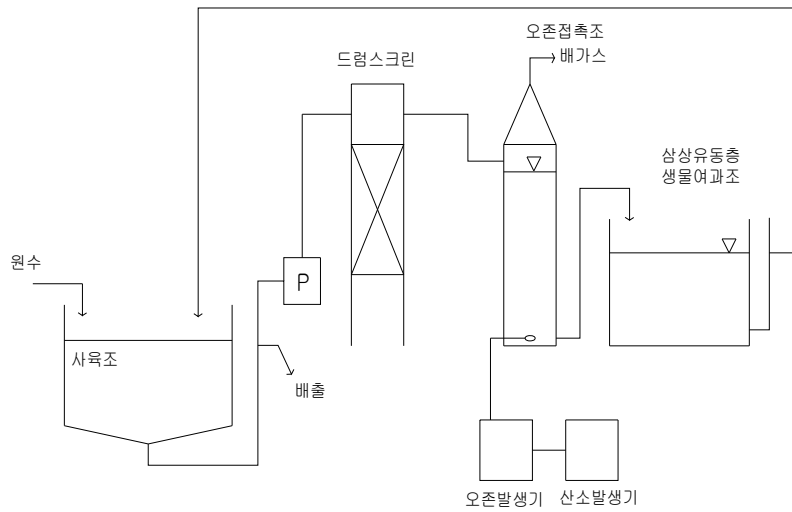
<표 3-6-4> 순환여과시스템 운전조건

구분	설계	1, 2차실험	3차실험	비고
회전비(회/일)	24회전/ day 기준	18~20회전 /day	22회전 /day	1, 2차 실험시 수류에 의해서 어류의 폐사가 발생해 처리 용량을 줄여 18회전~20회전의 순환비로 운전하였는데 3차실험에서는 순환비를 늘리고 수류를 감소시키기 위해 원수의 유입회전방향과 순환수의 유출회전 방향을 바꾸어음.
생물여과조 HRT	10분	12~13분	11분	순환량 감소에 따른 여과조의 수리학적 체류시간 증대.
환수량	20% (순환물량대비)	30% (순환물량대비)	20% (순환물량대비)	생사료(MP) 급이에 따른 환수량 감안.

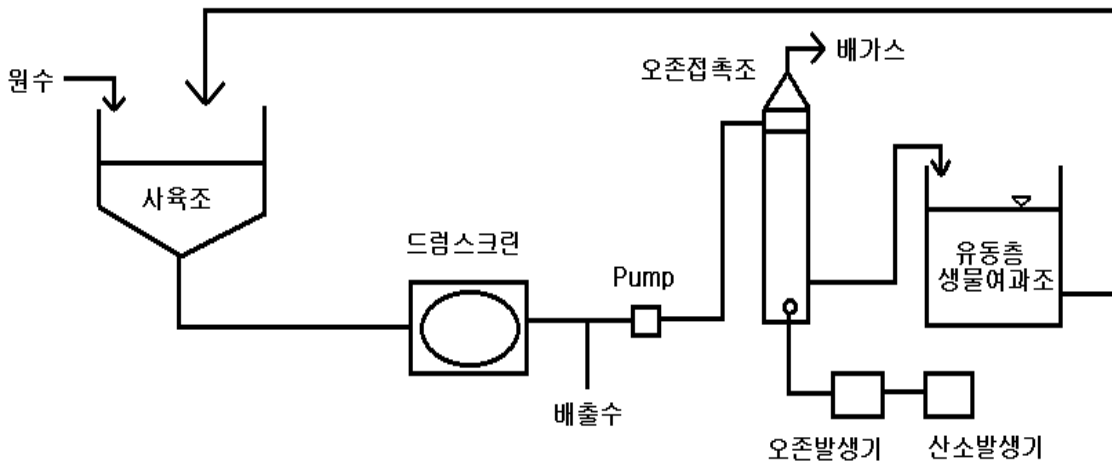


<표 3-6-5> 실험조건

구 분	실 험 초 기 조 건	비 고
1차	수온 10°(초기미수 : 2352 - 2680), 초기어체중 : 300g	겨울철(저수온기)
2차	수온 15 - 25°(초기미수 : 3000), 초기어체중 : 300g	여름철(고온수기)
3차	수온 9~13°C, (초기미수 : 2000미), 어체중 : 320g	겨울, 봄철



(1, 2차 사육실험).



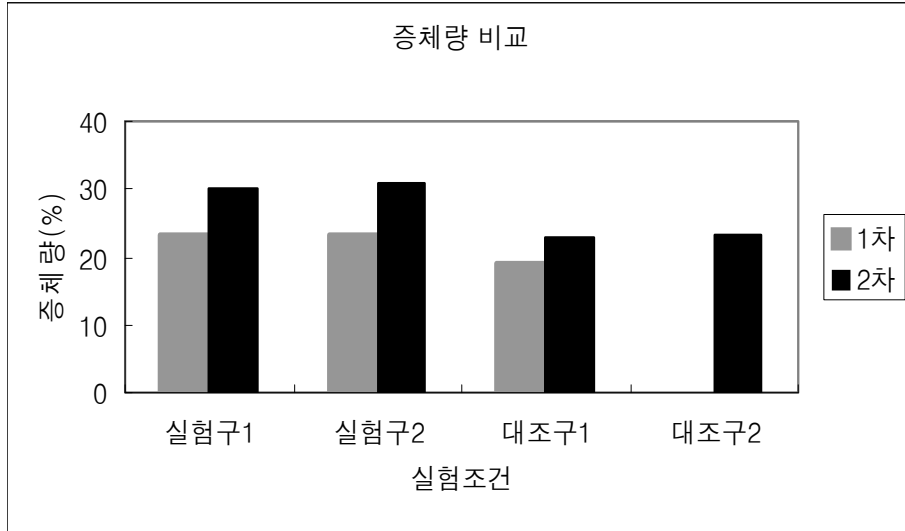
<그림 3-6-3> 순환여과시스템 모식도(3차 사육 실험).

### 3. 결과

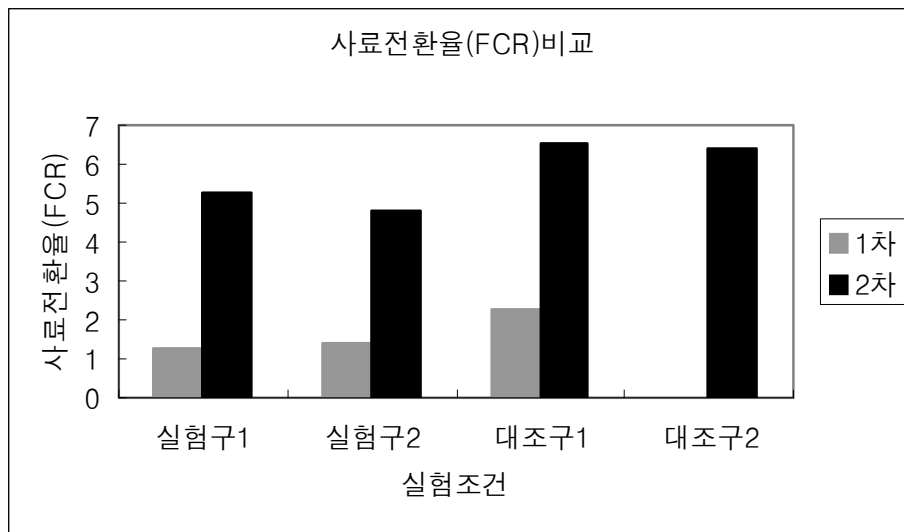
#### 가. 1, 2차 실험결과

순환여과시스템과 유수식 시스템에 대한 어류성장결과를 아래 <그림 3-6-4>에 나타내었다. 1차 및 2차결과를 검토하면, 실험구인 순환여과 시스템에서 어류의 증체량이 다소 높게 나타났다. 1차 실험결과에서 순환여과시스템의 경우 23% 정도의 증체량을 보인 반면, 유수식 양식수조에서 성장한 어류의 증체량은 18% 내외로 나타났고, 2차 실험결과에서는 순환여과시스템에서 증체량은 약 31%, 대조구인 유수식 양식수조에서는 22%내외로 나타났다.

사육실험기간동안 급이된 사료량을 이용하여 사료전환율(FCR)을 계산하여 <그림 3-6-5>에 도표로 나타내었다. 수온이 낮았던 겨울시기에 수행된 1차 실험결과에서 FCR은 각각 실험구에서 약 1.2, 대조구는 2.1로 계산되어졌다. 수온이 높은 시기인 2차 실험결과에서 각각의 FCR은 4.8~5.1, 6.3~6.5로 계산되어져 순환여과시스템에서 어류생육이 다소 양호하게 나타났다.



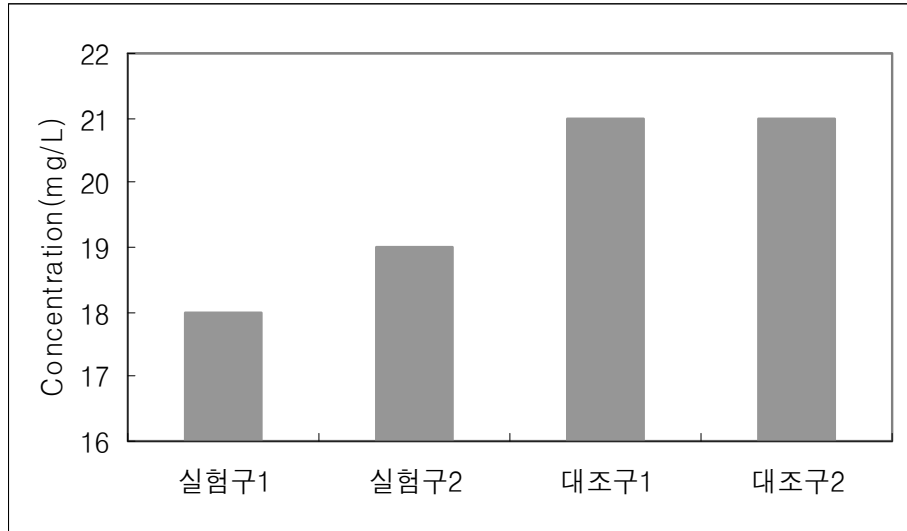
<그림 3-6-4> 증체량의 비교.



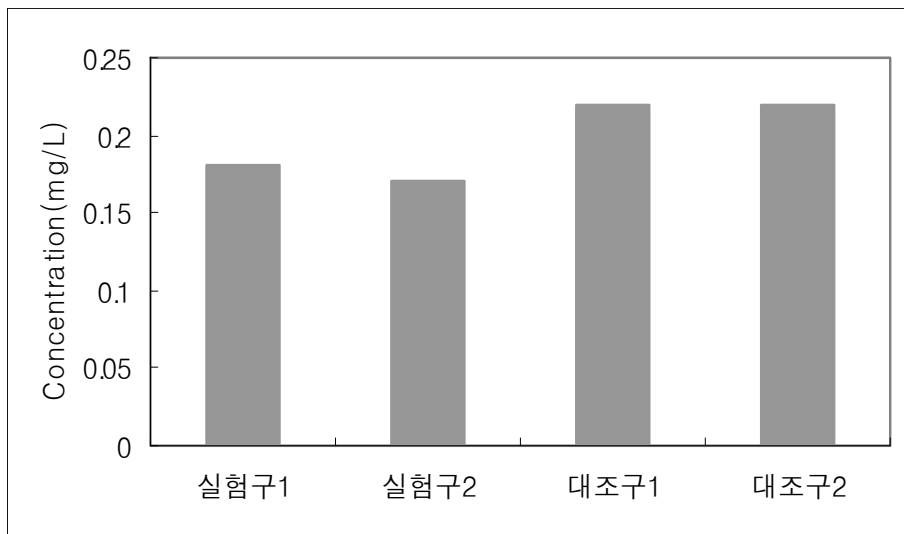
<그림 3-6-5> 사료전환율 비교.

순환여과시스템과 유수식 시스템에 대한 수질변화를 아래 <그림 3-6-6>과 <그림 3-6-7>에 나타내었다. 사료 급이후 1회전이 진행된 이후에 사육조 내의 물을 채취하여 암모니아, 아질산, 부유물질등의 수질분석을 통해 관측된 실험결과를 평균하여 나타내었다.

부유물질의 경우 순환여과시스템에서 18~19 mg/L로 나타났고, 유수식 시스템에서 21 mg/L로 조사되었다. 암모니아의 경우, 실험구에서 0.17, 0.18로 각각 나타났고 대조구에서 0.22, 0.22로 나타났다. 아질산의 경우 실험구에서 0.0043, 0.0034로 나타났다.



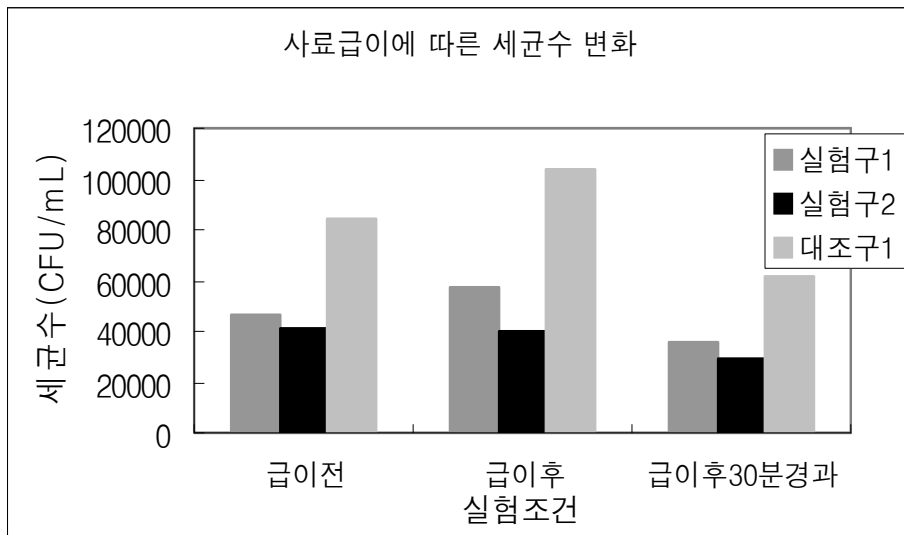
<그림 3-6-6>부유물질(SS) 비교.



<그림 3-6-7> 암모니아 비교.

순환여과식 양식어장에서 어병발생동향을 조사함으로써 사육 환경의 효율적 제어를 통한 어병방지효과의 가능성을 조사하기 위해 순환여과 시스템과 유수식 양식 시스템에서 급이 전후의 사육수를 채수하여 단계희석법으로 TSA배지를 이용하여, 24시간 28℃에서 배양하여 세균 집락수를 계수한 결과를 <그림 3-6-8>에 나타내었다.

전반적으로 유수식에 비해 순환여과식의 사육수내의 세균수는 50%정도 낮게 관측되고 있다, 오존발생기의 운전시간은 사료급이후 1시간 하여 1일 3회 수행하였다. 세균수는 사료급이후 최대로 상승하며 오존주입에 의해 세균수는 감소하는 것으로 나타났다. 유수식의 경우도 급이후 감소하는 것으로 나타났는데 이는 환수(물갈이)에 의한 것이다. 급이전 세균수는 대조구의 경우 약 80,000CFU, 실험구에서 약 40,000CFU로 나타났고, 오존주입이 진행중인 급이후 30분 경과후에 실험구는 환수를 하지 않고도 약 25,000CFU로 감소했으나 대조구의 경우 환수를 하더라도 60,000CFU를 초과하는 것으로 나타났다.



<그림 3-6-8> 사육수 내의 세균수 변화.

## 나. 3차 실험결과

### (1) 사육 수질

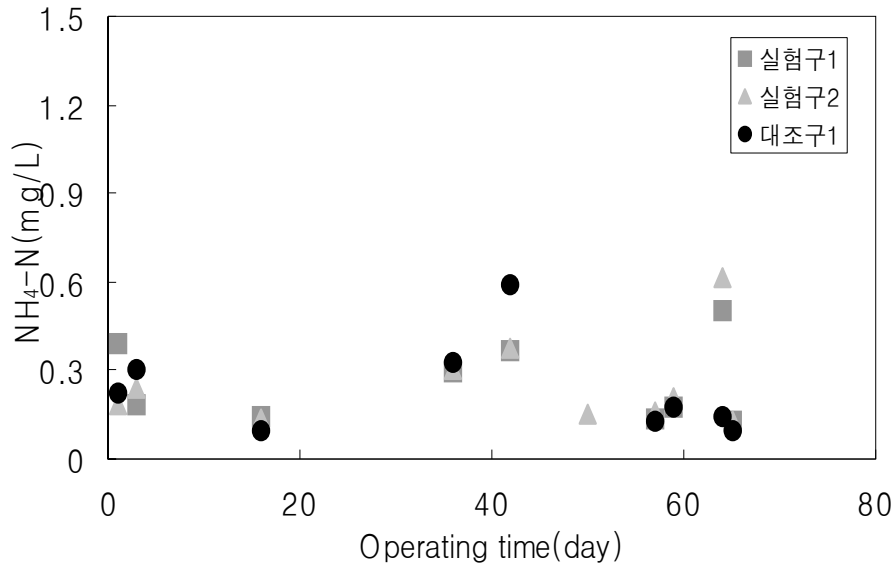
순환여과 시스템과 유수식 시스템에 대한 수질 변화를 <그림 3-6-9>~<그림 3-6-12>에 나타내었다. 사료급여 후 30분경과 후 사육수를 채수하여 시험방법에 따라 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 부유물질, 화학적 산소요구량 등의 수질분석을 통해 관측된 실험결과를 그래프로 나타내었다.

본 실험에서 운전기간 중 암모니아의 경우 순환여과시스템에서 암모니아성 질소의 범위가 0.1~0.6 mg/L로 나타났으며, 각각 평균 0.22mg/L, 0.24mg/L로 나타났고, 유수식 시스템의 경우 암모니아성 질소의 범위가 순환여과시스템에서와 마찬가지로 0.1~0.6 mg/L로 나타났으며, 평균 0.2mg/L를 나타내었다. 순환여과시스템이 유수식 시스템보다 약간 높은 암모니아 농도를 나타내었으나 EPA 권장치 이하의 양호한 수질을 나타내었다.

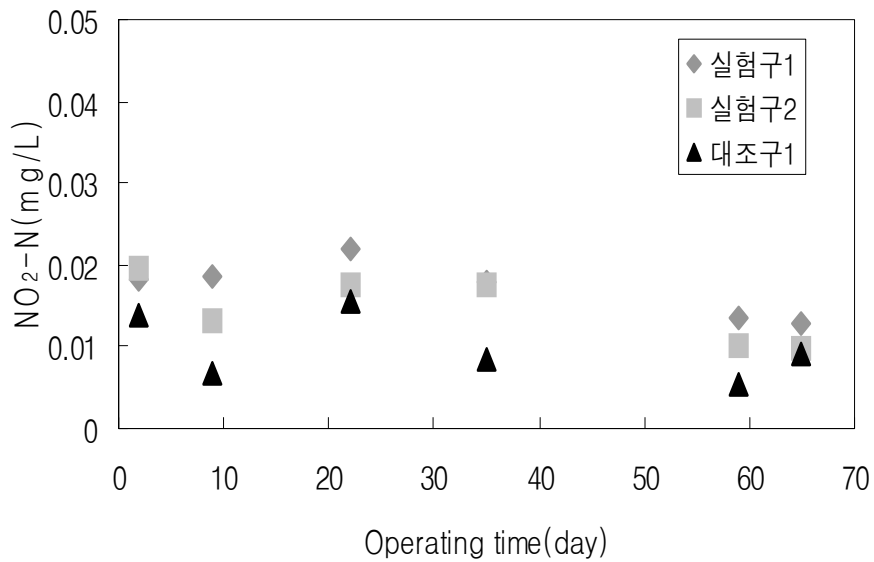
암모니아의 질산화 작용으로 인해 생성되는 질산성 질소와 아질산성 질소는 담수어종에 비해서 해산어의 경우 큰 영향이 없는 것으로 보고 되고 있다(Perone and Meade, 1977). 본 실험에서 운전 기간 중 아질산성 질소의 경우 순환여과시스템에서 각각 평균 0.0147mg/L, 0.0172mg/L를 나타내었으며, 유수식 시스템의 경우는 0.0098mg/L의 농도를 나타냈다.

부유 물질은 Environment Canada(1979)에서 권장하는 부유 물질 농도가 25mg/L이하로 유지하는 것이 어류 상식에 저해를 주지 않는 다고 보고 되었다. 본 실험에서 운전기간 중 순환여과시스템의 사육조 내의 부유물질 농도 범위는 4~19mg/L였고, 각각 평균 9.42mg/L, 10.67mg/L였고, 유수식 시스템의 경우 8.37mg/L로 나타났다.

수중의 유기물질의 농도를 나타내는 지표인 COD는 운전 기간 중 3.5~9mg/L의 범위를 보였으며, 순환여과시스템에서 각각 평균 5.26mg/L, 4.47mg/L 나타내었으며, 유수식 시스템의 경우 4.16mg/L로 나타났다.

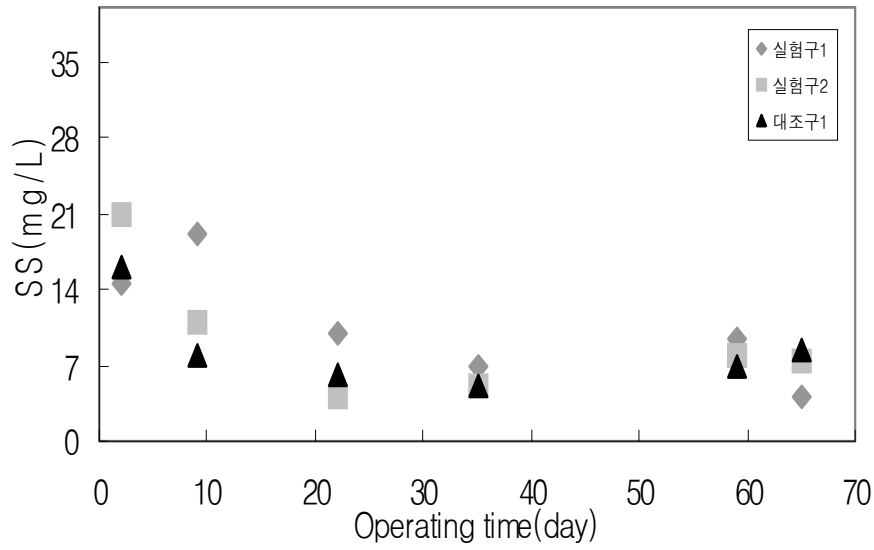


<그림 3-6-9> 사육조 내의 암모니아 농도 변화.

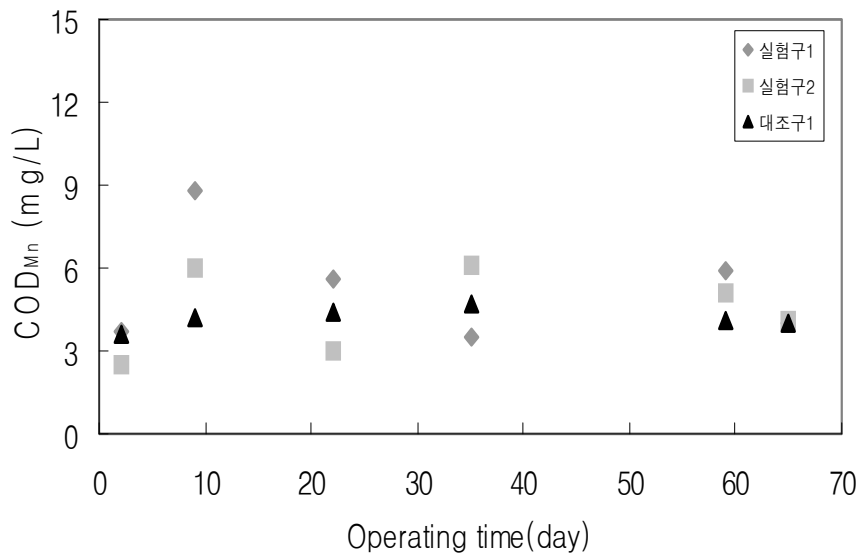


<그림 3-6-10> 사육조 내의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 농도 변화.





<그림 3-6-11> 사육조 내의 SS 변화.



<그림 3-6-12> 사육조 내의 COD 변화.

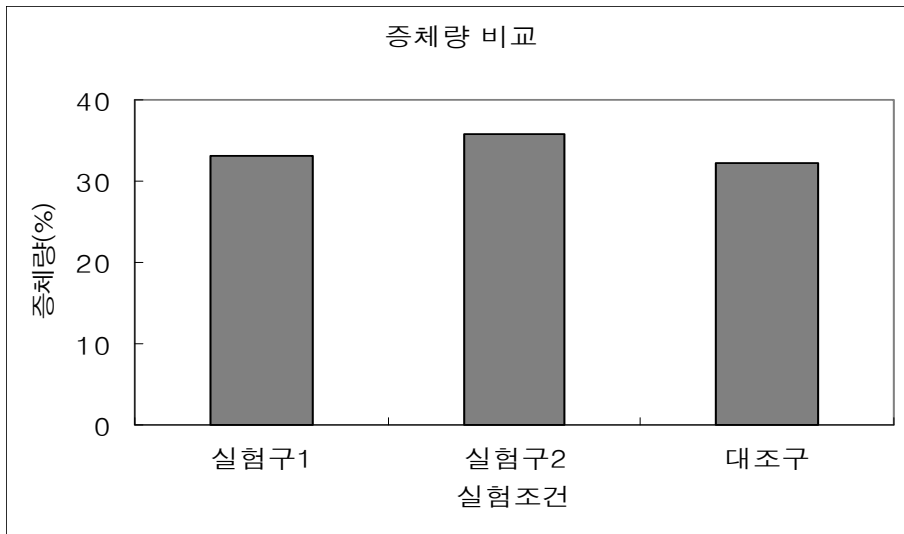
(2) 어류 성장

순환여과 시스템과 유수식 시스템에 대한 어류성장 결과를 아래 <표 3-6-6>과 <그림 3-6-12>에 나타내었다. 실험결과 순환여과시스템의 경우 평균 34.5%의 증체율을 보인 반면 유수식 시스템의 경우 32.2%의 증체율을 보였다.

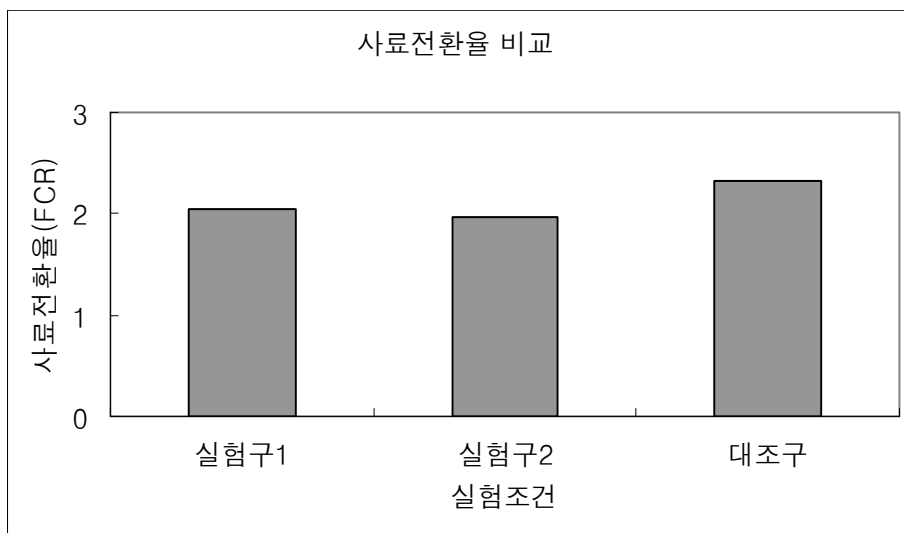
사육기간 동안 급이되는 사료량을 이용하여 사료전환율(FCR)을 계산하여 <그림 3-6-13>에 나타내었다. 겨울철 및 봄철에 수온이 낮은 시기에 실험한 결과 순환여과시스템의 경우 평균 2.01을 나타내었으며, 유수식 시스템의 경우 2.33을 나타내어 순환여과시스템에서 안정적인 어류 성장이 이루어진 것으로 나타났다.

<표 3-6-6> 어류 생육 결과

구 분	실험구1		실험구2		대조구		비 고
	어체중	미수	어체중	미수	어체중	미수	
실험초기	320g	2000미	320g	2000미	320g	2000미	
실험결과	430g	1982미	440g	1975미	430g	1968미	
증체량	33.2%		35.8%		32.2%		
급이량	435kg		450kg		480kg		
사료전환율(FCR)	2.05		1.97		2.33		



<그림 3-6-13> 증체량의 비교.



<그림 3-6-14> 사료전환율의 비교.

#### 4. 결론

이상의 위의 실험결과에서와 같이 우수식 양식시스템에 비해 유동층 공법이 첨가된 순환여과식 양식의 경우가 다소 낮은 수질을 관찰할 수 있었던 이유는 3상 유동층 생물여과조에 의해 암모니아와 아질산 등의 용존성 오염물질의 처리가 효과적으로 수행되어 천연해수에 의해 공급되는 우수식과 유사한 수질을 이루었기 때문으로 검토되었다.

어류사육 결과에서 다소 순환여과시스템이 우수하게 나타난 이유는 계속해서 같은 물을 정화하여 공급함으로써 안정적인 수질조건을 유지했기 때문인 것으로 사료된다.

## 제 7 절 운전 관리 방안

순환여과식 양식시스템은 어류의 고밀도 양식을 위해 개발된 양식 기술이다. 따라서 시스템의 운전은 안정적이며 효율적인 어류의 성장을 목표로 수처리시스템의 유지관리 기술이 필요한 시스템이다. 따라서 생산성 증대를 위해서는 양어기술과 수처리 시스템의 운전방안이 제안되어야 한다. 본 과제에서는 순환여과식 양어시스템에서 수처리시스템의 운전시 순환수특성, 시설 점검, 처리가능저하시 대응방법, 청소시기 및 운전 유지 관리 방안에 대하여 다음과 같이 구분하여 본다.

### 1. 순환수 특성

순환여과식 양어시스템의 수처리 장치가 처리해야 되는 순환수의 특성은 오염물질의 농도는 낮고 많은 유량을 처리해야 되는 특성이 있다. 따라서 오염물질의 농도가 높고 유량 변동이 심한 도시 하수처리나 공장폐수처리와는 차이점이 존재하며, 소량의 배출수를 보충한 이외에는 재사용되므로, 안정한 처리 효율을 유지하지 못하면 암모니아, 아질산 등이 축적되어 효율적인 어류 양식을 달성하기 어렵다.

순환수 처리 시 일반적으로 가장 중요한 수질인자는 암모니아, 아질산염, 용존산소, 세균 등이 다. 이 외에도 어종에 따라 특히 고려해야 되는 인자들이 존재하지만 이들 수질인자는 어류의 성장에 큰 영향을 주므로 순환여과식 양식의 성패를 좌우하는 요소라 할 수 있다. <표 3-7-1>에 어류 사육에 필요한 수질 인자들을 나타내었으며, 이는 6개 연구기관에서 제시한 양어장 수질 기준으로 미국 EPA에서는 어류에 대한 비이온성 암모니아의 기준 농도를 0.2mg/L 라고 제시하고 있지만 이는 어종, pH, 수온 등에 따라서 달라질 수 있다. 한편 일반적으로 pH 7 부근에서 수중의 총 암모니아 1%정도가 비이온화 형태로 존재하므로 기준치 0.02mg/L를 만족시키기 위한 암모니아성 질소의 농도는 2mg/L정도이다.

<표 3-7-1> 어류 양식에 필요한 수질인자별 권고 농도

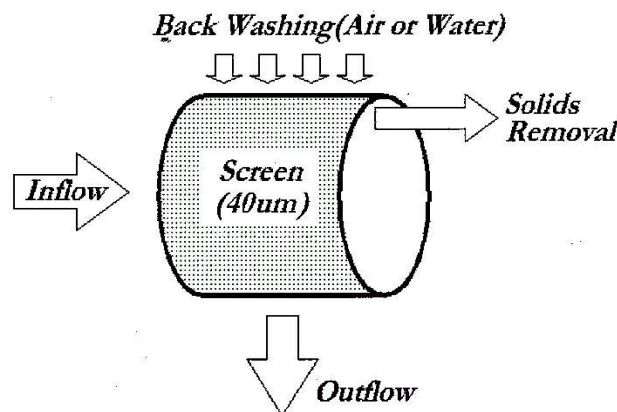
인 자	연구기관 및 연구자					
	US. EPA	Roberts	Klontz	Nightingale	Environment Canada	Meade
Alkalinity as CaCO <sub>3</sub>	20	0.02	20-200		20	10-400
Aluminum				0.2	0.1	0.01
Ammonia	0.02	0.4-3.0	0.0012	0.1	0.02	0.02
Arsenic						0.05
Barium						5.0
Cadminm	1.2-12	0.05		0.05	0.02	
Calcium			52			4-160
Carbon dioxide			2.0			0-10
Chrominm	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	6.5-8.0	6.5-9.0	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. 수처리 장치의 운전 방법

순환여과식 수처리 장치의 종류는 크게 고형물 제거장치와 용존성분 제거장치로 구분할 수 있다. 수처리 대상 인자들과 권고농도는 <표 3-7-2>에 나타내었다. 이들 수질인자들의 농도 증가는 대부분 사료공급을 통하여 이루어진다. 미섭취 사료, 어분 등을 통하여 고형물이 생성되며, 어류의 대사 작용을 통하여 암모니아, 유기물질, 미세고형분등이 생성된다.

### 가. 고형물 제거 장치

고형물의 제거는 중력침전방을 이용한 침전조, 여재를 이용한 스크린링 등이 적용되고 있다. 본 과제에서 이용한 고형물 제거 장치로는 드럼스크린을 이용하였다. 드럼스크린의 운전 모식도는 <그림 3-7-1>과 같다.



<그림 3-7-1> 드럼스크린 운전 모식도.

마이크로 필터가 부착된 드럼스크린은 마이크로 필터의 종류에 따라 안정적인 고형물제거가 이루어지고, 연속적인 필터세척이 이루어지므로 안정한 수질을 기대할 수 있다. 드럼스크린은 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, 연속동작을 통하여 여과와 세척이 이루어진다. 특별한 경우에는 드럼의 외부에서 내부로 여과작용이 일어나는 경우도 있고, 여재의 세척은 흡입식 진공장치를 이용하여 여재를 세척할 수도 있다. 이와같은 드럼스크린은 초기장치비가 고가인 단점이 있다.

## 나. 용존성 오염물질의 처리

용존성 오염물질은 생물학적 처리를 통하여 제거된다. 생물막 여과조의 주된 기능은 암모니아성 질소와 아질산성 질소의 산화이며, 일부의 유기물질 처리가 이루어진다. 생물막 여과조는 부유성 생물을 이용한 활성슬러지 공법, 매디아에 부착된 생물막을 이용한 고정상 생물막 공법과 유동상 생물막 공법등이 이용되고 있다. 이들 생물막 여과조의 운전 시 가장 주의 깊게 고려해야 될 인자들은 온도, 용존산소, pH등이다. 이들 인자들은 매디아에 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 중탄산염 등을 주입함으로써 이루어 질 수 있다. <표 3-7-2>에 알칼리도를 공급할 수 있는 물질들과 특성을 나타내었다.

<표 3-7-2> 알칼리도 유발 물질 및 특성

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



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

<예제> 알칼리도 공급량 결정을 위한 순환여과식 시스템의 조건표

시스템의 부피	4000L
환수율	40L/day
유입수내 알칼리도	1000mg/L as CaCO <sub>3</sub>
사료공급율	5kg/day
요망하는 pH 범위	6-8
수온	25℃
사료내 질소함량	5%(N <sub>feed</sub> )
사료내 질소가 어체에 동화되는 율	50% (F <sub>f</sub> )
미섭취 사료중 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.

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

암모니아성 질소의 질산화시 필요한 알칼리도를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} [\text{Alk.}]_{\text{req}} &= NR(\text{g N/day}) \times 1 \text{ mole Nitrogen} / 14\text{g Nitrogen} \times 1.98_{\text{eq.}} [\text{Alk.}] / 1 \text{ mole Nitrogen} \\ [\text{Alk.}]_{\text{req}} &= 75(\text{g N/day}) \times 1 \text{ mole Nitrogen} / 14\text{g Nitrogen} \times 1.98_{\text{eq.}} [\text{Alk.}] / 1 \text{ mole Nitrogen} \\ &= 10.6\text{eq/day} \end{aligned}$$

주입 해야될 알칼리도 물질을 순수 CaCO<sub>3</sub>를 적용한다며, 다음과 같다.

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

즉, 하루당 530g의 순수 CaCO<sub>3</sub>가 필요하다. 이것을 공업용(함량 90%) CaCO<sub>3</sub>로 환산하면 하루 0.59kg이 필요하며, 계산은 다음과 같다.

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

알칼리도 공급은 원칙적으로 정량공급이 최적인전방안이고, 그렇지 못할 경우 일정량식 순환수에 풀려나갈 수 있도록 주입하면 된다.

## (2) 생물막 여과조의 운전

생물막 여과조는 여러 가지 방식이 있으나 본 과제에서 수행한 유동층 공법에 대하여 설명하겠다.

담체의 유동화 현상을 유지하기 위해 물을 사용할 경우, 이상 유동층이며, 공기를 이용할 경우 삼상 유동층 이라 한다. 이상 유동층의 경우 모래를 담체로 하며, 미국 등지에서는 보편화되어 있는 생물막여과조이나 유지 관리가 어렵고 오염물질의 부하가 높을 경우 용존산소가 부족하여 바이오필터의 효율이 감소하는 단점이 있다.

삼상 유동층의 경우 이상 유동층에 비해 유동화 현상을 위해 공급하는 공기에 의해 질산화 및 오염물질 산화에 필요한 산소가 충분히 공급됨으로써 이상 유동층에 비해 안정적인 처리가 가능한 것으로 보고 되고 있다. 삼상 유동층은 담체 선정이 까다로운 편이다. 비중이 물에 비해 일정수준 이상 높아 자연적으로 침전하나 공기에 의해 부상해야 됨으로써 최적 담체의 비중은 1.1~1.2 정도로 폴리우레탄 발포 제품 및 PP재질의 다공성 담체 등이 많이 보급되고 있다.

## 3. 시설의 점검 및 처리기능 저하시의 대응방법

순환여과식 양식시설에서 유량, 온도, pH, 용존산소 등 수질항목은 어류 사육을 위해서 아주 중요한 인자이며, 수처리 장치에 있어서도 아주 중요한 요인들이다. 이들 인자들은 시스템의 최적 운전을 위해서 항상 관찰되어야 되는 요인들로 최적의 운전 방안은 자동 측정 장치를 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. 수처리 시설 중 가장 중요한 부분 중 하나는 펌프설비이다. 펌프의 유입 배관 내에 이물질이 누적되어 관경축소로 유량감도 등의 문제가 발생될 수 있다. 따라서 6개월 정도의 기간을 단위로 펌프 정비 및 펌프 유입관의 청소 등이 필요하다.

고형물질 제거장치인 드럼스크린은 연속 기계식 자동세척이 이루어지고 순환수에서 제거된 고형물은 자동적으로 계외부로 처리되므로 침전조에 비하여 인력과 시간의 소요가 적은 장치이다. 운전 시 생산회사에서 권고하는 드럼의 회전수, 세척수의 공급 상태, 세척수 노즐 막힘 등은 매일 확인해야 되는 요소이다. 또한 드럼스크린의 경우 기계장치에 의해 자동세척이 이루어지므로 문제점이 발생될 소지가 많이 감소되지만 자동세척에 의해 스크린의 세척이 완전히 이루어지지 않으므로 생산회사에서 제시하는 스크린의 수명에 따라 스크린을 교체해 주어야

한다.

생물막 여과조의 기능저하는 수질분석을 통하여 관찰할 수 있다. 생물막 여과조의 기능저하는 pH, 온도, 용존산소의 영향이 가장 큰 요인들이다. 이들 요인과 생물막의 형태를 관찰하여 생물막 여과조의 상태를 점검하여야 한다. 수질 인자에 의한 기능저하는 알칼리도의 공급을 증가시키거나 온도를 조절하거나 공기 공급을 증가시킴으로써 해결할 수 있다. 삼상 유동층 반응조의 운전 시에 가장 중요한 요소는 공기 주입속도와 미디어의 유실 등이다. 삼상 유동층 반응조는 설계 시 최적의 조건을 제시하므로 운전 시에는 항상 유량계를 관찰하여 공기의 유량이 감소하거나 증가하지 않게 유지 관리 하여야 한다. 삼상 유동층 반응조의 설계 시 미디어의 유출에 대하여 많은 고려를 하여 반응조 내에 미디어를 분리해 낼 수 있는 침전조나 스크린 등을 설치하지만 운전 시, 미디어 유출에 대하여 많은 관심을 기울여야 된다. 많은 미디어가 유출되면 배관 등에 누적되어 유량감소 등의 현상을 일으킨다.

살균장치는 오존과 자외선 살균법이 있다. 오존 접촉 방식은 살균효과가 우수하여 현재 적용이 보편화되고 있는 추세이다. 오존의 접촉방식은 여러 가지 반응조를 통하여 적용할 수 있다. 오존 운전 시 배오존 가스에 대한 고려가 설계 시 이루어지지만 운전자도 배오존 가스에 대한 주의를 하여야 된다. 배오존 가스처리는 오존 설비 시 포함되어 공급된다. 일반적으로 적용되는 방식은 활성탄 칼럼을 이용하는 것과 연소기를 부착한 연소방식 등이 있다. 순환여과식 양식시스템은 온도보전을 위해 비닐하우스와 같은 밀폐된 공간에서 이루어지지는 경우가 많다. 배오존 가스가 완전처리 되지 않고 작업장 내에 누출되어 축적될 경우 작업가의 건강과 시설물의 산화 등의 가능성이 있으므로 배오존 가스의 처리 및 배출에 대하여 주의를 기울여야 된다. 활성탄 칼럼을 이용한 경우 배가스 내의 습기로 인해 활성탄 칼럼이 폐쇄될 가능성이 있으므로 일정주기별로 이에 대한 확인이 필요하다.

#### 4. 주요 공정의 공정관리

##### 가. 고형물 제거장치

###### (1) 운전현황

본 과제에서 현장 운전 시 고형물 제거장치로 드럼스크린을 적용하였다. 실험초기 현장 조건으로 인해 펌프를 이용해 드럼스크린에 유입을 시킨 결과 펌프에 의해 고형물의 파쇄로 드럼스크린의 효율을 저하시키는 원인이 되었다. 문제점을 보완하기 위해 후에 드럼스크린 유입을 자연 유하로 시킨 결과 고형물의 제거는 효율적으로 이루어졌다. 사육수를 드럼스크린으로 유입을 시킬 경우는 최대한 자연 유하 방식을 택해야 한다.

###### (2) 공정관리요령

드럼스크린이 운전되는 것은 수시로 관찰을 해야 한다. 노즐 막힘은 수시로 확인을 해야 하며 제거된 고형물들이 호퍼를 통해 적절히 배출되는지도 확인을 해주어야 한다.

##### 나. 생물막 여과조

###### (1) 운전현황

생물막 여과조로는 삼상 유동층 반응조를 운전하였으며, 이 때 미디어는 KL사와 S1사 미디어를 충전하였다.

###### (2) 공정관리요령

유동층 반응조의 관리는 운전유량을 점검하여 유동층 반응조가 설계 조건대로 운전 되는지를 점검해야 된다. 또한 주입 공기량의 관리가 아주 중요한 요소이며, 미디어가 반응조 내에 유동되지 않고 정체되어 있는지를 확인하며, 유출수내에 미디어가 혼합되어 나오지 않도록 주의 기울여야 된다.

## 제 8 절 설계지침서의 작성

시스템의 구성은 다음과 같다.

사육조 → 드립스크린 → 오존접촉조(살균공정) → 유동층 생물여과조 → 사육조

시스템 별 설계지침서를 작성하면 다음과 같다.

### 1. 설계 유량 산정

설계 유량을 산정하기 위해서 사육조의 용량을 결정하여야 한다. 사육조 용량이 결정되면 순환비를 결정한다. 일반적으로 12회전~24회전/day을 기준으로 결정하게 되는데 24회전/day를 최적유량으로 결정한다. 1일 처리 유량이 결정되게 된다.

### 2. 오염발생량 산정

오염발생량의 산정은 다음과 같은 실험에 의해 사료 주입에 따른 오염발생량을 산정할수 있다.

#### 가. 넙치의 원단위 오염발생량 산정

본 연구에 적용된 해수순환여과 시스템의 사육장치는 김(1995)에 의해 보고 되어진 순환여과 시스템 사육장치에서 오염발생량을 산정하는 원단위 방식을 이용하여 실험을 수행하였다, 본 실험에 사용된 어류는 우리나라 양식 해산어종의 주종인 넙치(Oliver Flounder)를 사용하였다. 넙치가 섭취한 사료의 종류와 소화율에 따라 발생하는 암모니아성 질소의 발생량이 달라진다. 오염발생량 실험은 3개의 대조구를 사용하여 사료 주입후 암모니아성 질소 발생량을 측정하였다 사육조 탱크별 어체량은 4g, 4g, 3.51g이었다. 사료공급은 운전 1일째 어체중의 4.45%를 주입하였고, 운전 1일 이후 어체중의 3.34%를 주입하였다. <표 3-8-1>은 사료주입량에 따른 암모니아성 질소 발생량을 나타내었다. <그림 3-8-1>은 사료 주입량에 따른 암모니아성 질소 발생량을 나타내었다. 사료 주입량에 따라 암모니아성 질소 발생량은 선형적으로 나타났고, 이 값은  $16.13\text{mgNH}_4^+\text{-N/g feed}$ 로 나타났다. 이것은 넙치의 배설물에서 발생하는 암모니아성 질소와 미섭취된 사료에서 발생하는 암모니아성 질소인 것으로 생각되고, 암모니아성 질소를 처리하는 장치가 없어 계속적으로 증가하는 것으로 생각된다. Kikuchi 등(1995)에 의하면 넙치는 수온 20℃에서  $29.6\text{mg-N}/100\text{g fish/day}$ 를 발생시킨다고 보고하였다.

해수순환여과 시스템 실험에 사용된 넙치의 총 무게는 2.056kg이었고, 넙치의 개체수는 810마리였다. 넙치 개체 당 무게는 2.54g이었다. 실험에 사용된 넙치의 개체특성은 <표 3-8-2>에

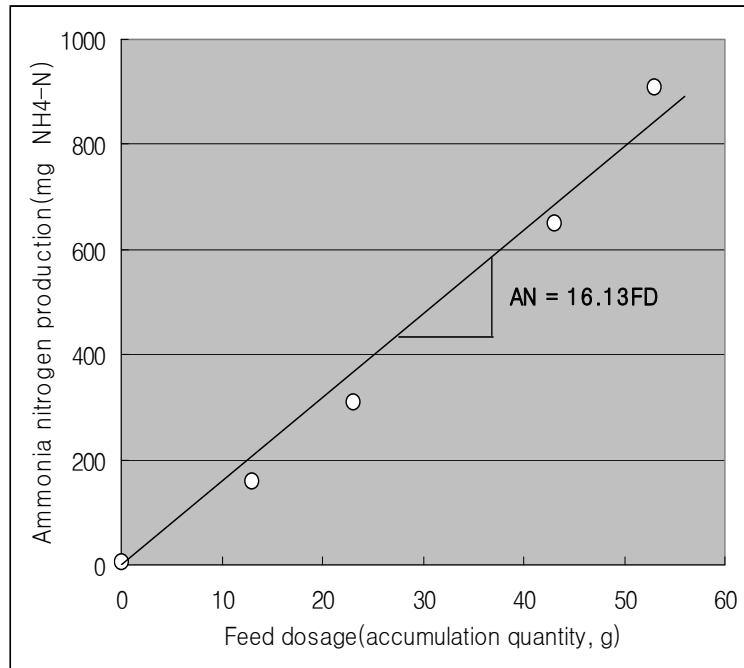
나타내었다.

<표 3-8-1> 사료 주입에 따른  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  생성결과

Operation day (day)	Feeding rate (g/day)	Accumulation feed quantity (g)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ conc. in rearing tank (mg/ℓ)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ Production (mg)
1	4.45	0.00	0.16	14.432
2	3.34	13.34	2.22	195.653
3	3.34	23.35	3.94	346.72
4	3.34	33.60	5.91	546.35
5	3.34	43.37	6.60	680.88
6	3.34	53.38	6.64	900.52

<표 3-8-2> 해수 순환여과시스템에서 사육종과 운전 조건

Parameters	Units	Results
Species	-	Oliver Flounder
Temperature	°C	20±1
Total fish biomass	g	2.056
Total numbers	-	810
Total feeding rate	g/day	61.68
Rearing tank volume	L	1440
Flow rate	L/min	26



<그림 3-8-1> 사료 주입에 따른 암모니아성 질소의 생산량.

(AN = Ammonia Nitrogen, FD = Feed Dosage)

사육 어류의 총 무게는 사육조 용량 1440L에서 2056g 이었다. 하루 당 어체중의 3%를 사료로 주입한다. 하루 당 총 사료량은

$$\begin{aligned} \text{Feed}(3\%/day): 2056g \text{ fish} \times 0.03 & \frac{g \text{ feed}}{g \text{ fish} \cdot \text{day}} \\ & = 61.68 g \text{ feed} / \text{day} \end{aligned}$$

<그림 3-8-1>에서 구한 선형적인 값 16.13 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / g feed에 하루당 주입 사료량을 곱하면, 하루 당 총 암모니아성 질소 발생량을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{NH}_4^+ - \text{N} \text{ } \Pi \text{ } uct: 61.68 \frac{g \text{ feed}}{\text{day}} \times 16.13 \frac{mg \text{NH}_4^+}{g \text{ feed}} \\ = 0.995 g \text{ NH}_4^+ - \text{N} / \text{day} \end{aligned}$$

하루당 사육조에서 발생하는 암모니아성 질소의 양이 0.995g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/day 정도로 나타났다. 하루당 주입되는 사료량에 따라 사육조의 넙치(Oliver Flounder)에서 발생하는 암모니아성 질소의 양은 선형적으로 나타나 사육조 설계 및 어류 사육에 좋은 결과를 줄 것으로 생각된다.

### 3. 드럼스크린의 결정

유입수 수질 및 처리 유량에 따라 드럼스크린을 결정하게 된다. <표 3-8-3>에서 원수 조건에 따른 각 제품별 최대 여과 용량을 나타내었다.

<표 3-8- 3> 원수 조건에 따른 제품별 최대 여과 용량.



조건	최대 여과 용량(ℓ/sec)			
	스크린 눈금크기(μm)	A	B	C
SS 10 mg/L	10	15	45	140
	20	50	150	480
	30	65	175	700
SS 25 mg/L	30	45	135	420
	40	60	150	560
	60	80	150	800
SS 40 mg/L	20	15	45	140
	20	25	60	180
	25	30	75	220

#### 4. 오존시스템

##### 가. 오존 주입량 산정

- 오존 주입에 따른 TRO(Total Residual Oxidants)의 생성은

$$\text{TRO}(\text{mg/L}) = 0.194 \times \text{O}_3 \text{ dosage}(\text{mg/L}) \quad (3-8-1)$$

- 90% 세균성 박테리아 제거(E.Seriollica 기준)를 위한 TRO 농도

$$\text{제거율}(\%) = 11.44 \cdot (\text{CT})$$

$$90 = 11.44 \cdot (\text{CT})$$

$$\text{CT} = 7.87 \text{ (mg/L} \cdot \text{sec)}$$

$$\text{접촉시간} = 60\text{sec}$$

$$\therefore \text{C} = 0.13\text{mg/L as TRO}$$

$$\text{TRO} = 0.13 \text{ mg/L} \quad (3-8-2)$$

- TRO 0.13mg/L 유지를 위한 오존 주입량의 결정

식(1)에 TRO를 대입하고 식을 전개

$$0.13(\text{mg/L}) = 0.194 \times \text{O}_3 \text{ dosage}(\text{mg/L})$$

$$\text{O}_3 \text{ dosage}(\text{mg/L}) = 0.675(\text{mg/L})$$

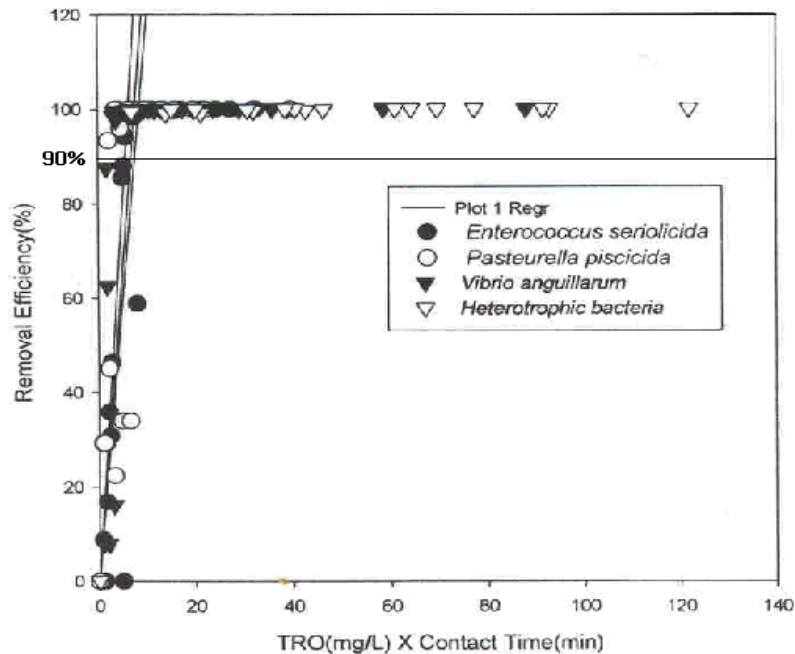
나. 오존발생기 산정

다음과 같은 식에 의해 오존발생기를 산정할 수 있다.

$$- \text{O}_3 \text{ dosage}(\text{mg/L}) = 0.675(\text{mg/L}) = x \text{ g/min}(\text{오존발생량}) / y \text{ m}^3/\text{min}(\text{처리유량})$$

다.오존 접촉조의 용량 설계

- 오존 접촉조는 HRT 1min을 기준으로 처리용량에 따라 결정되게 된다.



<그림 3-8-2> 오존접촉조건에 따른 어병 발생 미생물의 살균효과(H. Sugita., 1992).



## 제 4 장 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링

### 제 1 절 순환여과 시스템에서 물질수지

#### 1. 암모니아 물질 수지

순환여과식 양식 시스템에서 총암모니아성 질소에 대한 물질수지는 비정상상태 조건에서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V \frac{dC_{TAN}}{dt} = Q \cdot C_{TANin} - Q \cdot C_{TANout} + P_{TAN} - R_{TAN} \quad (4-1-1)$$

여기서,

$C_{TAN}$	= 시스템 내부의 TAN농도	(mass/volume)
$dt$	= 시간 간격	(time)
$Q$	= 시스템의 유량	(volume/time)
$C_{TANin}$	= 보충수의 TAN농도	(mass/volume)
$C_{TANout}$	= 시스템 유출수의 TAN농도	(mass/volume)
$V$	= 시스템 용량	(volume)
$P_{TAN}$	= TAN생성율	(mass/time)
$R_{TAN}$	= TAN제거율	(mass/time)

비이온화 형태의 암모니아 농도는 다음식에 의해 계산되어진다.

$$NH_3-N = a \cdot TAN \quad (4-1-2)$$

여기서,

$NH_3-N$	= 비이온성 암모니아 농도
$a$	= 비이온성 암모니아의 몰분율
$TAN$	= 총암모니아 농도

순환여과식 양식장의 물질수지를 위한 가정조건은 다음과 같다.

- 1) 공급되는 사료의 단백질 함량은 16%
- 2) 소화되는 질소는 %NF
- 3) 소화되지 않는 질소원은 수조에서 빨리 제거된다.
- 4) 소화된 질소중 %NEF는 배출된다.
- 5) 배출되는 질소원 중 %NUF는 요소로 배출되고, (100-NUF)% as TAN로 나타낸다
- 6) 사료공급후 t 시간동안 대부분의 TAN 는 배출된다.
- 7) 사료공급 시간은 t 시간 이내이다.

TAN 생성율은 사료공급율, 단백질 함량 등의 식으로 다음과 같다.

$$P_{TAN} = \frac{FA * PC * f}{t} \quad (4-1-3)$$

여기서,

- |    |                     |        |
|----|---------------------|--------|
| FA | = 사료공급량             | (mass) |
| f  | = 상수 (= NF*NCF*NUF) | ( - )  |
| PC | = 사료중 단백질 함량        |        |
| t  | = 사료공급 주기           | (time) |

소비항은 다음과 같이 표현된다.

$$R_{TAN} = Q_f * C_{TAN} * E \quad (4-1-4)$$

여기서,

- |       |                 |                    |
|-------|-----------------|--------------------|
| $Q_f$ | = 유동층 반응조로 유입유량 | (volume/time)      |
| E     | = 유동층 반응조의 제거효율 | (decimal fraction) |

## 2. 질산성 질소의 물질수지

순환여과 시스템에서 질산성 질소의 물질 수지는 비정상상태에서 다음 식에 의해 계산되어진다.

$$V \frac{C_{NO_3}}{dt} = Q \cdot C_{NO_3in} - Q \cdot C_{NO_3out} + P_{NO_3} \quad (4-1-5)$$

여기서,

$C_{NO_3}$  = 시스템내의 질산성 질소농도 (mass/volume)

$C_{NO_3in}$  = 보충수의 질산성 질소농도 (mass/volume)

$C_{NO_3out}$  = 유출수의 질산성 질소농도 (mass/volume)

$P_{NO_3}$  = 질산성 질소의 생성율 (mass/time)

$R_{NO_3}$  = 질산성 질소의 제거율 (mass/time)

정상상태 조건에서  $NO_3$ ,  $Q_{in}=Q_{out}$ ,  $C_{NO_3in} = 0$ ,와 같이 되고, 질산성 질소를 처리하는 탈질공정이 없을 경우, 시스템내에서  $R_{NO_3}=0$ 이 되고 보충수를 고려할 경우 다음과 같이 표현된다.

$$Q = \frac{P_{NO_3} - R_{NO_3}}{C_{NO_3out}} \quad (4-1-6)$$

질산성 질소의 생성율은 유동층 생물여과조의 질산화율에 의해 계산되어진다.

$$P_{NO_3} = R_{TAN} * STC \quad (4-1-7)$$

여기서,  $STC$  = 화학양론비

### 3. 용존산소의 물질수지

순환 여과시스템에서 용존산소의 물질수지는 비정상상태조건에서 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$V \frac{dC_O}{dt} = Q \cdot C_{Oin} - Q \cdot C_{Oout} + P_O - R_O \quad (4-1-9)$$

where,

$C_O$  = 시스템 내부의 용존산소농도 (mass/volume)

$C_{Oin}$  = 보충수의 용존산소 농도 (mass/volume)

$C_{Oout}$  = 배출수의 용존산소 농도 (mass/volume)

$P_O$  = 용존산소 생성율 (mass/time)

$R_O$  = 용존산소 소비율 (mass/time)

총괄 용존산소 소비율( $R_O$ )은 다음식과 같이 표현된다.

$$R_O = R_{resp} + R_{BOD} + R_{NOD} \quad (4-1-10)$$

여기서,

$R_{resp}$  = 사육 생물에 의한 용존산소 소비율 (mass/time)

$R_{BOD}$  = 유기물에 의한 용존산소 소비율 (mass/time)

$R_{NOD}$  = 질사화에 의한 용존산소 소비율 (mass/time)

시스템에 공급되어야 되는 용존산소는 다음과 같이 추산된다.

$$P_O = Q \cdot (C_{Oout} - C_{Oin}) + R_O \quad (4-1-11)$$

#### 4. 유동층 반응조의 물질수지

정상상태 조건에서 유동층 생물반응조의 물질수지는 다음과 같이 표현된다.

$$0 = Q_f' \cdot (C_{fin} - C_{fout}) - R_i \quad (4-1-12)$$

여기서,

$$Q_f' = \text{유동층 반응조로 흐르는 유량} \quad (\text{mass/volume})$$

$$C_{fout} = \text{유출수중 농도} \quad (\text{mass/volume})$$

$$C_{fin} = \text{유동층 반응조 내부농도} \quad (\text{mass/volume})$$

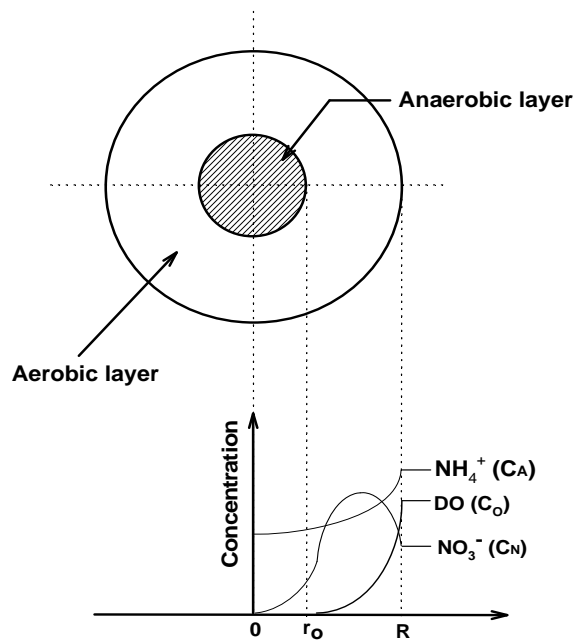
$$R_i = \text{유동층 반응조의 반응속도상수} \quad (\text{mass/time})$$



## 5. 구형 Floc모델의 해석

구형 생물막내에서 제거 속도식을 구하기 위하여 다음과 같이 가정하였다.

1. 생물막은 구형이다
2. 벌크내의 용존산소는 생물막 표면에서 생물막내로 확산되어 호기적 반응이 일어난다.
3. 생물막내부에서 DO가 0이 되는 영역에서는 탈질반응이 일어난다.
4. 수소 공여체는 충분하여 생물막내에서는 0가 되지 않는다.
5. 반응은 0차반응으로 진행된다.



<그림 4-1-1> 연구에 이용된 구형 floc 모델.

위의 가정하에 물질수지식을 취하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{D_i}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dC_i}{dr} \right) = R_i$$

$r$  : 중심에서의 거리

$C_i$  : 기질 농도

$D_i$  : 유효확산 계수

$R_i$  : 반응속도

미생물내의 반응을 0차 반응이라 하면

$$R_i = k_i \quad (\text{const})$$

일반해는 다음과 같다.

$$r^2 \frac{dC_i}{dr} = \frac{k_i}{3D_i} r^3 + \alpha \quad (4-1-13)$$

$$C_i = \frac{k_i}{6D_i} r^2 - \frac{\alpha}{r} + \beta \quad (4-1-14)$$

위의 식(4-1-13) 및 (4-1-14)를 이용하여 Case(a)~(e)경우에 대한 해와 각 기질의 flux식을 구할 수 있다.

<표 4-1-1> Floc 모델로부터 도출된 Flux 방정식

	Case I	Case II	Case III	Case IV
	$\frac{6D_oC_o^*}{k_oR^2} = 0$	$0 < \frac{6D_oC_o^*}{k_oR^2} < 1$		$\frac{6D_oC_o^*}{k_oR^2} > 1$
		$\frac{6D_oC_o^*}{k_oR^2} > \frac{6D_oC_A^*}{k_A R^2}$	$\frac{6D_oC_o^*}{k_oR^2} < \frac{6D_oC_A^*}{k_A R^2}$	
DO	0	$-(1-\phi_o^3)\frac{k_oR}{3}$		$-\frac{k_oR}{3}$
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0 (k <sub>A</sub> =0)	$-(1-\phi_A^3)\frac{k_oR}{3}$	$-(1-\phi_o^3)\frac{k_oR}{3}$	$-(1-\phi_A^3)\frac{k_oR}{3}$
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$-(1-\phi_N^3)\frac{k_N R}{3}$	$\{(1-\phi_A^3)k_A - (\phi_o^3 - \phi_N^3)k_N\}\frac{R}{3}$	$\{(1-\phi_o^3)k_A - (\phi_o^3 - \phi_N^3)k_N\}\frac{R}{3}$	$-(1-\phi_A^3)\frac{k_oR}{3}$ (k <sub>N</sub> =0)

$$\phi_o : 2\phi_o^3 - 3\phi_o^2 + 1 = 6D_oC_o^*/k_oR^2$$

$$\phi_A : 2\phi_A^3 - 3\phi_A^2 + 1 = 6D_A C_A^*/k_A R^2$$

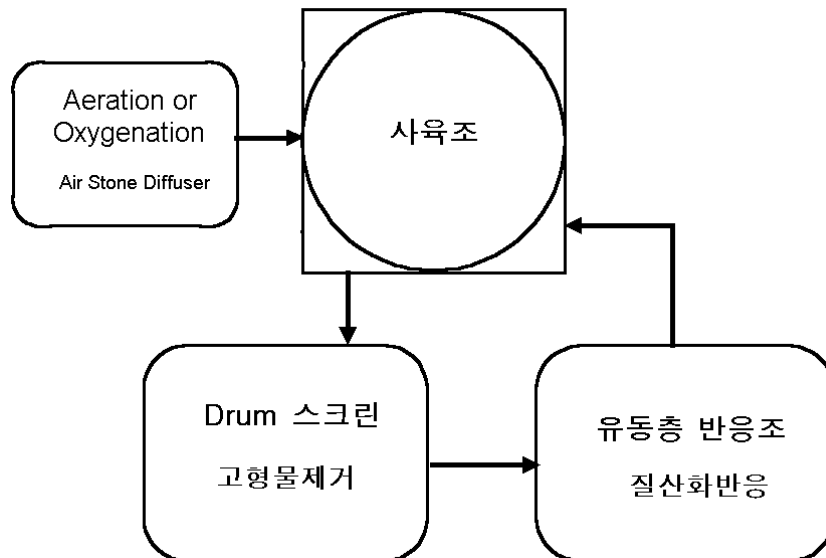
$$\phi_N : 2\phi_N^3 - 3\phi_N^2 + 1 = 6D_N C_N^*/k_N R^2 + 6D_oC_o^*/k_oR^2 + (K_A/K_L)\alpha$$

$$\alpha = 6D_A C_A^*/k_A R^2 (\text{Case II}), \quad 6D_oC_o^*/k_oR^2 (\text{Case III})$$

## 제 2 절 순환여과식 양식장 유동층 질산화조 모델링

### 1. 개요

본 연구에서 고려하고 있는 유동층 공법 순환 여과식 양식시스템의 단위공정에 대한 개략도는 <그림 4-2-1>과 같다.



<그림 4-2-1> 순환 여과 양식시스템의 단위공정들.

양식 시스템에서의 흐름개념도는 <그림 4-2-2>와 같이 나타낼 수 있으며, 일반적인 물질 수 지식은 다음과 같이 표현된다.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{accumulation} \\ \text{of mass} \\ \text{of component} \\ \text{in the system} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Mass flow} \\ \text{of the} \\ \text{component} \\ \text{into the system} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Mass flow} \\ \text{of the} \\ \text{component} \\ \text{out of} \\ \text{the system} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{production} \\ \text{of the} \\ \text{component} \\ \text{by the reaction} \end{array} \right)$$

Accumulation = Input - Output + Generation - Consumption

$$V \frac{dC_i}{dt} = QC_{in} - QC_{out} + P_i - R_i \quad (4-2-1)$$

여기서,  $C_i$  = 계에서의 i 성분의 농도 (mass/volume),  $t$  = 시간 (time)

$Q$  = 유량 (volume/time),

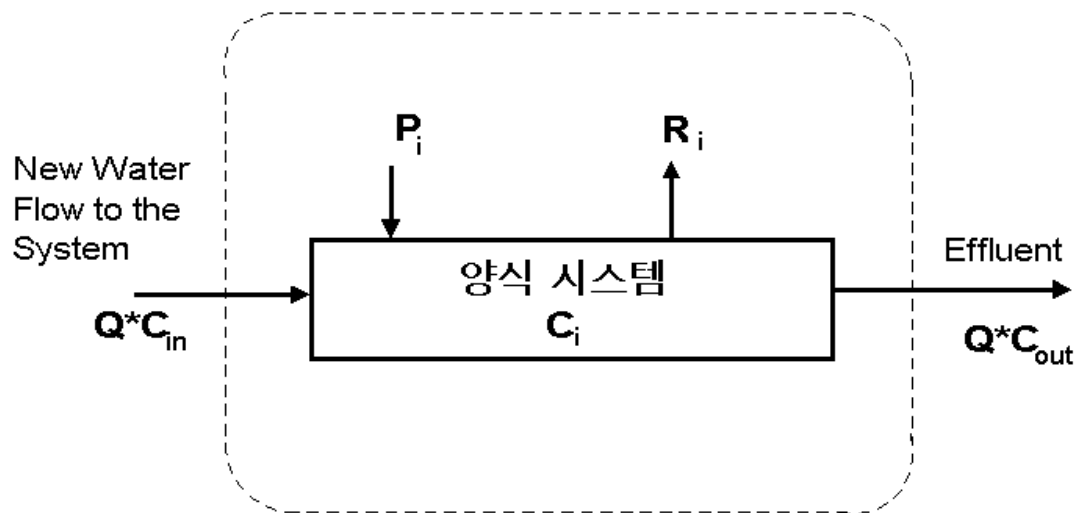
$V$  = 계의 부피 (volume)

$C_{in}$  = 유입수중의 i 성분의 농도 (mass/volume)

$C_{out}$  = 유출수중의 i 성분의 농도 (mass/volume)

$P_i$  = i 성분의 생성속도 (mass/time)

$R_i$  = i 성분의 소비속도 (mass/time)



<그림 4-2-2> 순환 여과 양식시스템에서 i 성분의 물질수지.



## 2. 각 성분의 물질수지식

### 가. 암모니아에 대한 물질수지

순환양식시스템에서 비정상상태 조건하의 TAN 물질수지는 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$V \frac{dC_{TAN}}{dt} = QC_{in} - QC_{out} + P_{TAN} - R_{TAN} \quad (4-2-2)$$

암모니아성 질소의 소비속도는 다음과 같이 되므로

$$R_{TAN} = Q_f \cdot C_{TAN} \cdot E \quad (4-2-3)$$

여기서,  $Q_f$  = 반응조에로의 유입유량 (volume/time)

$E$  = 유동층 반응조에서의 제거효율 (decimal fraction)

따라서 순환 양식시스템이 정상상태 조건으로 유지하는데 요구되는 반응조에로의 유입유량은 다음과 같이 된다.

$$Q_f = \frac{QC_{TANin} - QC_{TANout} + P_{TAN}}{C_{TAN} \cdot E} \quad (4-2-4)$$

### 나. 질산성 질소의 물질 수지

$$V \frac{dC_{NO3}}{dt} = QC_{NO3in} - QC_{NO3out} + P_{NO3} - R_{NO3} \quad (4-2-5)$$

### 다. 용존산소 물질 수지

$$V \frac{dC_{DO}}{dt} = QC_{DOin} - QC_{DOout} + P_{DO} - R_{DO} \quad (4-2-6)$$

DO 총소비속도

$$(R_{DO}) = R_{resp} + R_{BOD} + R_{NOD} \quad (4-2-7)$$

여기서,  $R_{resp}$  = 어류의 호흡에 의한 DO 소비속도 (mass/time)

$R_{BOD}$  = 탄소산화에 의한 DO 소비속도 (mass/time)

$R_{NOD}$  = 질산화에 의한 DO 소비속도 (mass/time)

계에서 요구되는 DO 유입요구량

$$P_{DO} = Q_{CDOout} + R_{DO} - Q_{CDOin} \quad (4-2-8)$$

3. 생물학적 유동층 반응조의 흐름 개념도

생물학적 유동층 반응조의 흐름 개념도는 <그림 4-2-3>과 같다.

유동층 반응조에서의 정상상태 DO 물질수지를 취하면

$$0 = Q'_f (C_{DOfin} - C_{DOfout}) - R_{BODf} - R_{NOD} \quad (4-2-9)$$

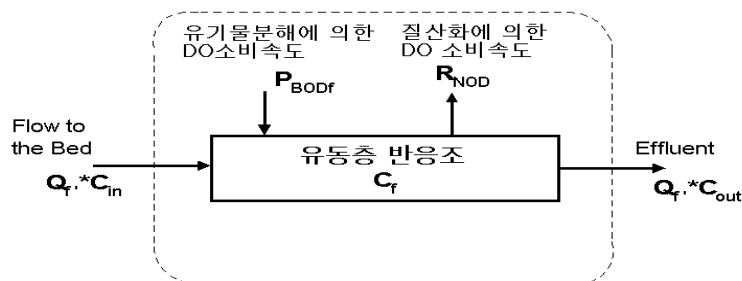
여기서,  $C_{DOfout}$  = 출구에서의 DO 농도 (mass/volume)

$C_{DOfin}$  = 입구에서의 DO (mass/volume)

$R_{BODf}$  = 반응조내에서 유기물분해에 의한 DO 소비속도 (mass/time)

따라서

$$Q'_f = \frac{R_{BODf} + R_{NOD}}{C_{DOfin} - C_{DOfout}} \quad (4-2-10)$$



<그림 4-2-3> 유동층 반응조에서의 DO 수지.



#### 4. 검토 순서

단계 1 : 사료중에 함유된 protein의 함량 및 사료투입속도에 의해 암모니아성 질소의 생성속도를 구한다.

단계 2 : nitrate의 생성속도와 유출수중의 nitrate 농도로부터 보충수의 유량을 산출한다.

단계 3 : 실험에 의하여 유동층 반응조에서의 제거율 E를 구한다음, 식 (4-2-4)를 이용하여 recycle flow rate를 계산한다.

단계 4 : 계에서의 총 DO 소비속도 및 산소 생성속도를 계산한다.

단계 5 : 식 (4-2-10)를 이용하여 유동층반응조의 출구 DO 농도를 일정값으로 유지하는데 필요한 유동층 반응조로의 유입유량 산출한다.

단계 6 : 실험에 의하여 drum 스크린에서의 제거 실험식을 얻고, 식 (4-2-2) ~ (4-2-10)을 이용하여 각 성분의 비정상상태 및 정상상태 거동을 구한다.

### 제 3 절 순환여과식 양식장 공정에 대한 검토

앞 절의 실험에서 주어진 자료를 근거로 하여 공정의 계산에 사용한 자료는 <표 4-3-1>과 같으며, 정상상태 조건하에서 검토를 하였다. 이로부터 얻어진 결과를 <표 4-3-2>에 요약하였다.

<표 4-3-1> 공정 계산에 사용된 자료

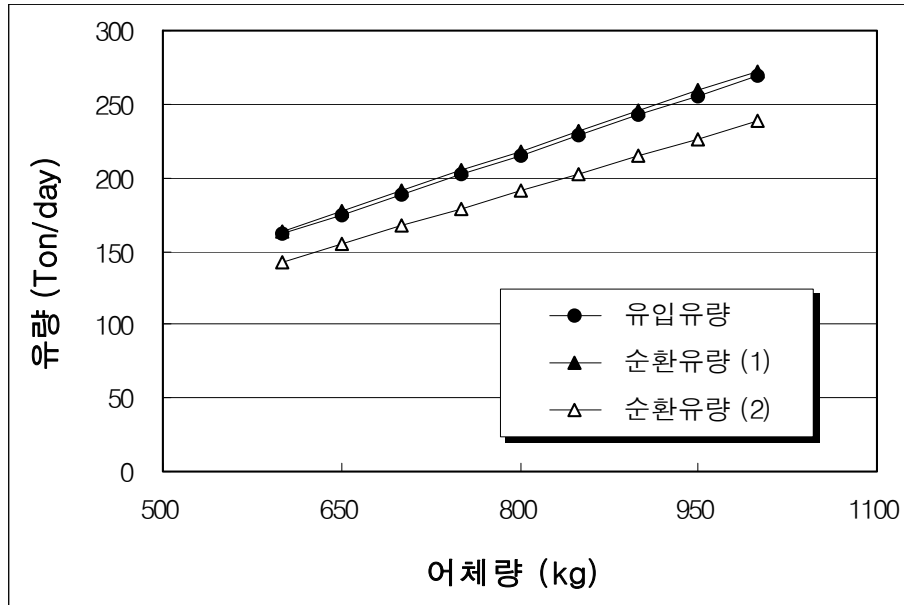
Symbol	Parameter	Value	Units
BM	Biomass	750	(kg)
FW	Fish Weight	300	(g)
FR	Feed Rate	1.0	(%)
PC	Protein Content	20	(%)
F	Feedings per Day	2	
t	TAN excretion time	6	(hours)
$C_{DOin}$	DO in New Water	6.8	(mg/L)
$C_{TANin}$	TAN in New Water	0.0	(mg/L)
$C_{NO3in}$	NO <sub>3</sub> in New Water	0.0	(mg/L)
T	Water Temperature	28	(°C)
pH	System Water pH	8.0	
$C_{DO}$	System DO Concentration	6.0	(mg/L)
$C_{TAN}$	System TAN Concentration	0.9	(mg/L)
$C_{NO3}$	System NO <sub>3</sub> Concentration	4.7	(mg/L)
BOD <sub>5</sub>	Unfiltered BOD <sub>5</sub> Excretion Rate	2.3	(mg/g/day)
$C_{DOfin}$	Filter Influent DO Concentration	6.0	(mg/L)
$C_{DOfout}$	Filter Effluent DO Concentration	2.0	(mg/L)
$E_{TAN}$	System Efficiency for TAN	60	(%)
$E_{BOD}$	System Efficiency for BOD	75	(%)

<표 4-3-2> 공정 계산 결과

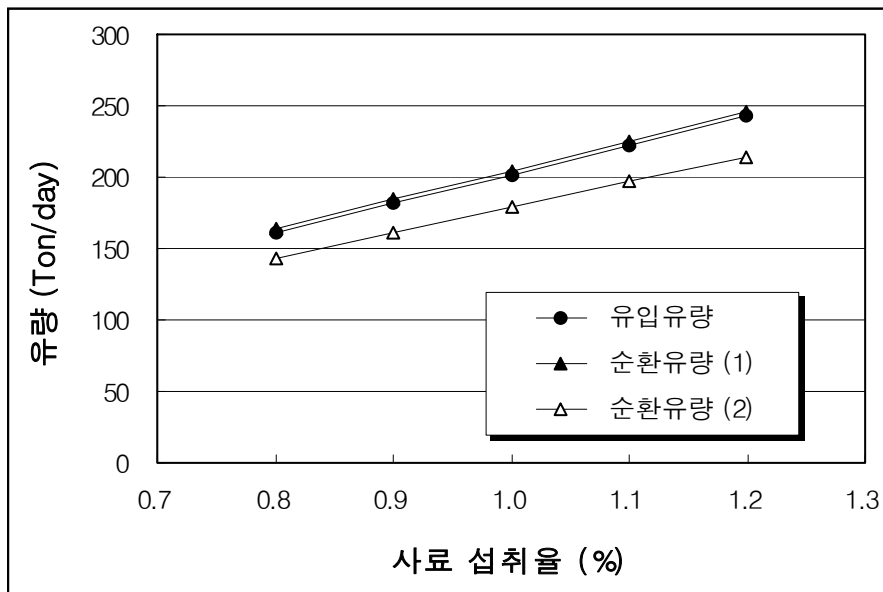
Symbol	Parameter	Value	Units
FA	Weight of feed per feeding	3.8	(kg)
P <sub>TAN</sub>	TAN production rate	12	(g/hr)
P <sub>NO3</sub>	NO <sub>3</sub> production rate	40	(g/hr)
Q	Flow through rate	202	(ton/day)
Q <sub>f</sub>	Recycle flow rate for the system	204	(ton/day)
R <sub>resp</sub>	DO consumption rate of Respiration	136	(g/hr)
R <sub>NOD</sub>	DO consumption rate of nitrification	20	(g/hr)
R <sub>BODf</sub>	DO consumption rate of BOD <sub>5</sub>	41	(g/hr)
R <sub>DO</sub>	Total DO consumption rate	197	(g/hr)
P <sub>DO</sub>	Oxygen production rate	190	(g/hr)
Q <sub>f'</sub>	Flow to the fluidized bed	367	(ton/day)

<그림 4-3-1>은 사육조 내의 어체량 변화에 따른 유입 및 순환유량을 나타낸 그림이다. 어체량이 증가함에 따라 사료 섭취량이 많아짐으로써 발생하는 암모니아 및 BOD가 증가하고 이를 제거하여 사육조 내의 수질조건을 만족시키기 위해서는 유입 및 순환유량이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 암모니아를 기준으로 하는 순환유량 (1)보다 BOD를 기준으로 하는 순환유량 (2)의 증가폭이 약간 낮은 경향을 나타내고 있다. 사육조에서 사육기간이 경과함에 따라 사육어의 성장으로 중량이 초기보다 증가하며, 이로 인한 사육조 내의 어체량은 증가한다. 따라서 동일한 사육조 내의 수질조건을 만족시키기 위해서는 사육기간의 경과 즉 어체량의 증가에 비례적으로 유입 및 순환유량을 증가시켜야 하며 증가된 유입 및 순환유량을 기준으로 시스템을 설계해야 함을 알 수 있다.

사육어의 사료 섭취율 변화에 따른 유입 및 순환유량의 변화를<그림 4-3-2>에 나타내었다. 사육어의 종류와 상태에 따라 하루에 섭취하는 사료의 양은 달라질 수 있으며, 그림에서 사료 섭취율은 어체중량당 하루에 섭취하는 사료의 중량을 % 단위로 나타낸 것이다. 어체량 증가와 마찬가지로 사료 섭취율이 증가함에 따라 사육조 내에 배출되는 암모니아와 BOD의 양 또한 증가하므로 유입 및 순환유량이 비례적으로 증가하고 있다.



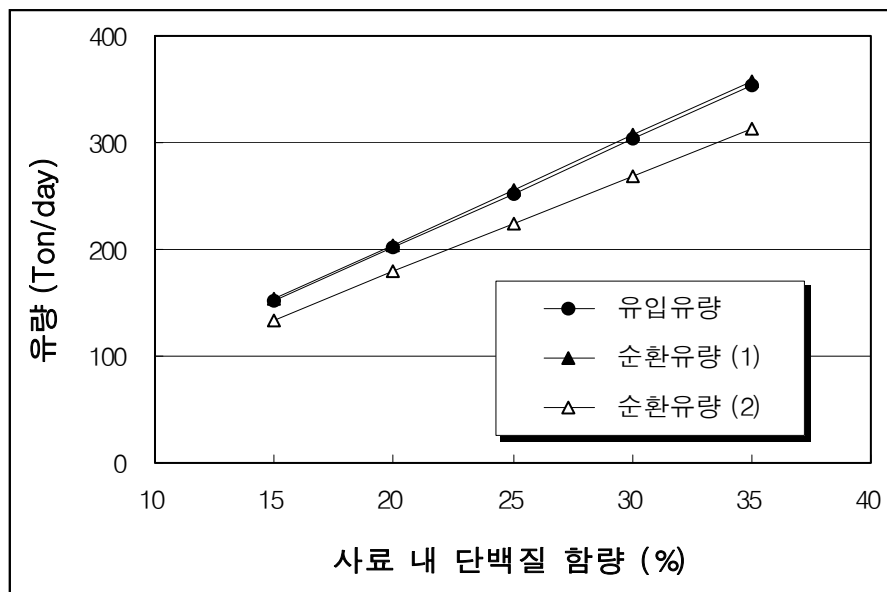
<그림 4-3-1> 어체량 변화에 따른 유량 변화.



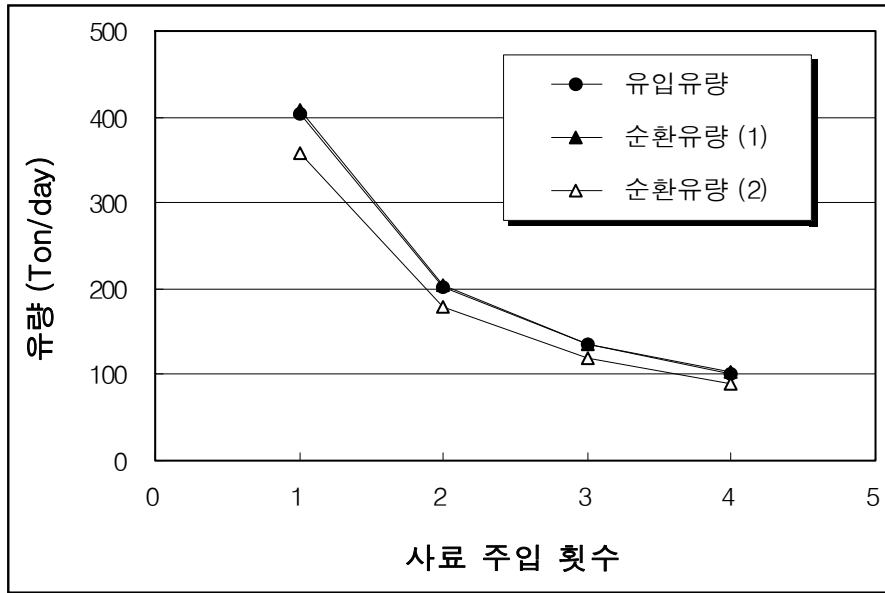
<그림 4-3-2> 사료섭취율 변화에 따른 유량변화.

<그림 4-3-3>은 사료 내의 단백질 함량 변화에 따른 유입 및 순환유량을 나타낸 그림이다. 암모니아의 발생은 사료 내의 단백질을 기준으로 계산하기 때문에 사료 내의 단백질 함량의 증가는 결국 발생하는 암모니아의 증가를 초래한다. 따라서 단백질 함량이 증가함에 따라 유입 및 순환유량은 비례적으로 증가한다.

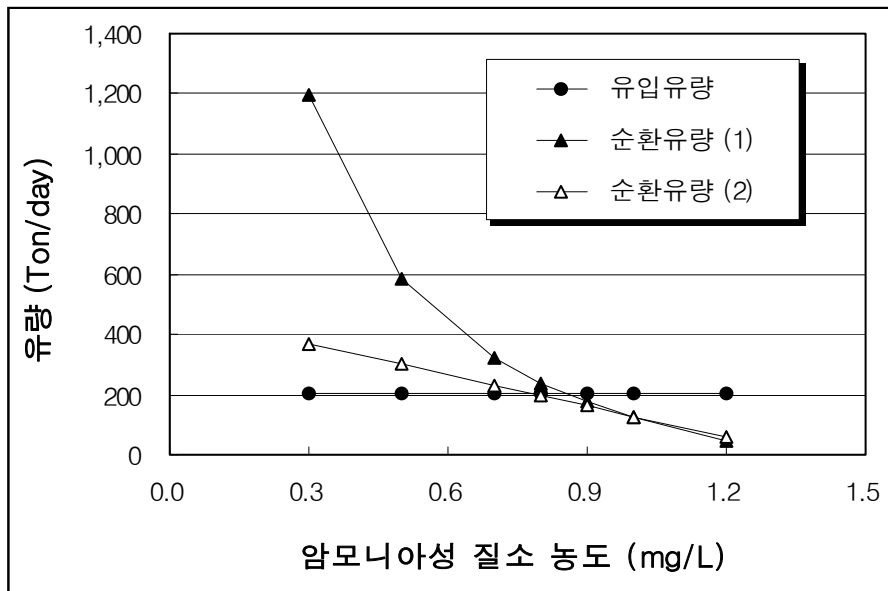
하루에 사료를 주입하는 횟수의 변화에 따른 유입 및 순환유량의 변화를 <그림 4-3-4>에, 사육조 내의 암모니아의 농도 변화에 따른 유입 및 순환유량의 변화는 <그림 4-3-5>에 나타내었다. 암모니아의 어류독성을 방지하는 것은 매우 중요한 사항이다. 이러한 암모니아의 적정 농도로 유지하기 위해서는 유입유량 또는 순환유량을 적절하게 설정하여야 한다. 그림에 나타난 바와 같이 암모니아의 농도가 증가함에 따라 유입유량은 일정하게 유지되는데 이는 질산성 질소로만 유입유량은 산정하므로 암모니아 농도에는 무관하기 때문이다. 반면에 암모니아 농도를 기준으로 산정하는 순환유량 (1)의 경우 급격히 감소하고 있다. 기준 암모니아 농도인 0.9 mg/L에서 3배 감소된 0.3 mg/L로 사육조 내의 암모니아 농도를 유지하기 위해서는 약 6배의 순환유량이 필요함을 알 수 있다. 순환유량의 증가는 동일한 제거효율을 갖는 재순환 시스템의 용적 증가를 초래함으로써 비용이 증가한다. 따라서 어류독성을 방지할 수 있으면서도 재순환 시스템의 비용이 낮게 유지될 수 있는 암모니아 농도를 선정하여 유지할 필요가 있다.



<그림 4-3-3> 사료내 단백질 함량 변화에 따른 유량변화.



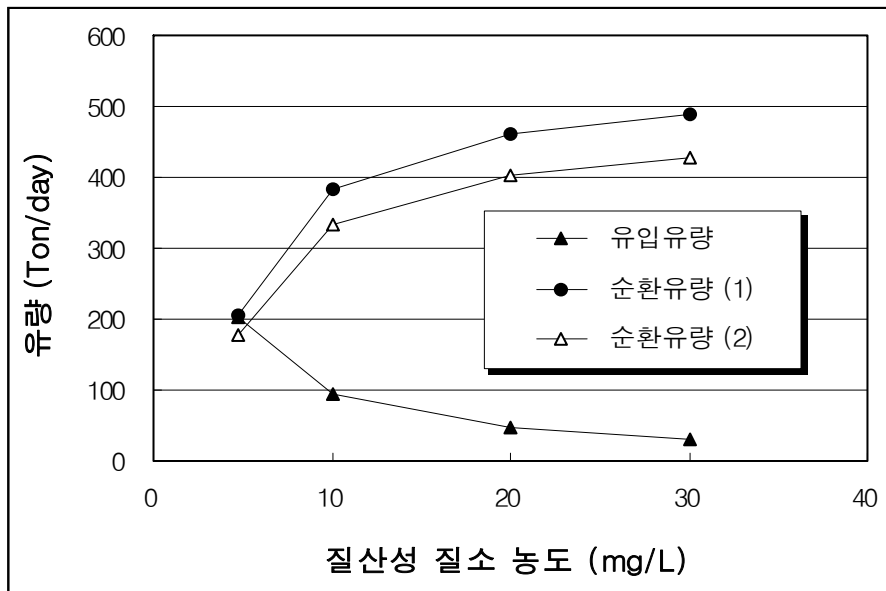
<그림 4-3-4> 사료 주입횟수 변화에 따른 유량변화.



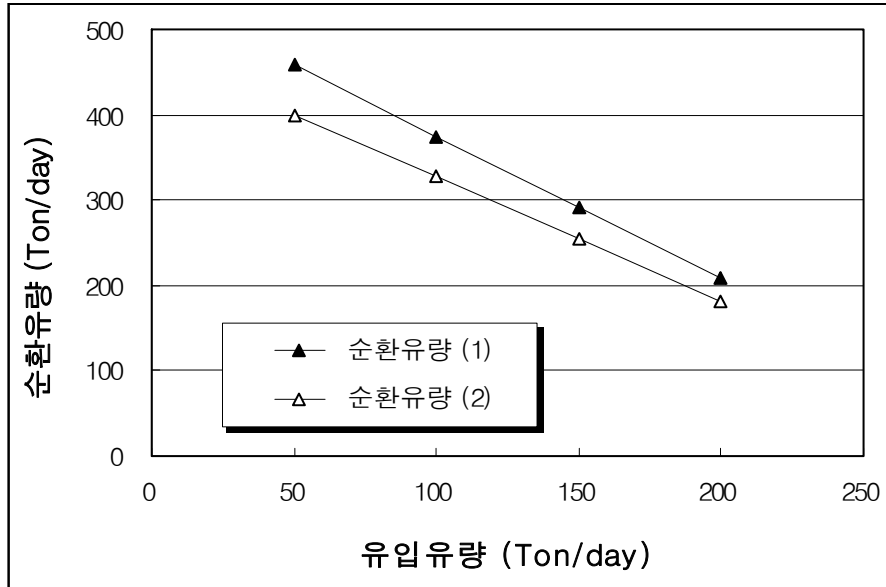
<그림 4-3-5> 암모니아성 질소 농도변화에 따른 유량변화.

<그림 4-3-6>은 사육조 내의 질산성 질소 농도 변화에 따른 유입 및 순환유량을 나타낸 그림이다. 유입유량의 경우 질산성 질소의 농도로 산정하기 때문에 동일하게 발생하는 암모니아에 대해서 사육조 내에 유지되는 질산성 질소의 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 즉 유입유량의 증가로 인하여 발생된 암모니아의 최종생성물인 질산성 질소를 효과적으로 제거할 수 있음을 의미한다. 반면 순환유량의 경우 질산성 질소 농도와는 직접적으로 관계가 없지만 유입유량이 감소하면 희석에 의한 암모니아 및 BOD 제거가 줄어들기 때문에 증가하는 경향을 나타내고 있다.

<그림 4-3-7>은 유입유량의 변화에 따른 순환유량을 나타낸 그림이다. 유입유량의 증가는 발생하는 암모니아와 BOD를 희석에 의해 제거하는 기능을 가짐으로써 순환유량은 직선적으로 감소한다. 즉 유입유량이 증가하면 발생하는 암모니아와 BOD에 대해서 희석에 의한 제거부분이 증가함으로써 순환시스템의 유입부하가 줄어들기 때문으로 사료된다.

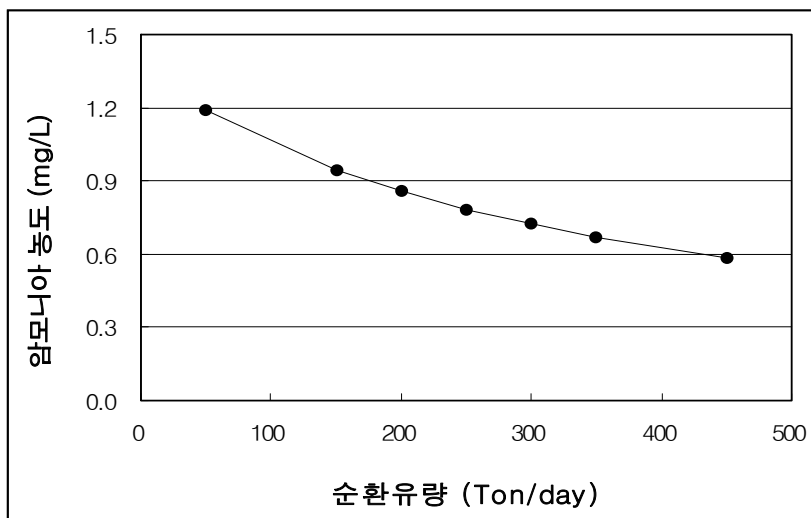


<그림 4-3-6> 질산성 질소 농도변화에 따른 유량변화.



<그림 4-3-7> 유입유량 변화에 따른 순환유량 변화.

<그림 4-3-8>은 순환유량의 변화에 따른 사육조 내의 암모니아 농도를 나타낸 그림이다. 순환유량을 증가함으로써 발생하는 암모니아에 대한 처리효율은 증가하며 사육조 내의 암모니아 농도는 감소한다. 그림에서 보는 바와 같이 순환유량이 50 Ton/day인 경우 암모니아 농도가 약 1.2 mg/L이며, 순환유량이 450 Ton/day인 경우 암모니아 농도는 약 0.6 mg/L로 나타났다. 즉 순환유량을 약 9배 증가시키더라도 암모니아 농도는 약 2배 감소하는 결과를 보이고 있다.

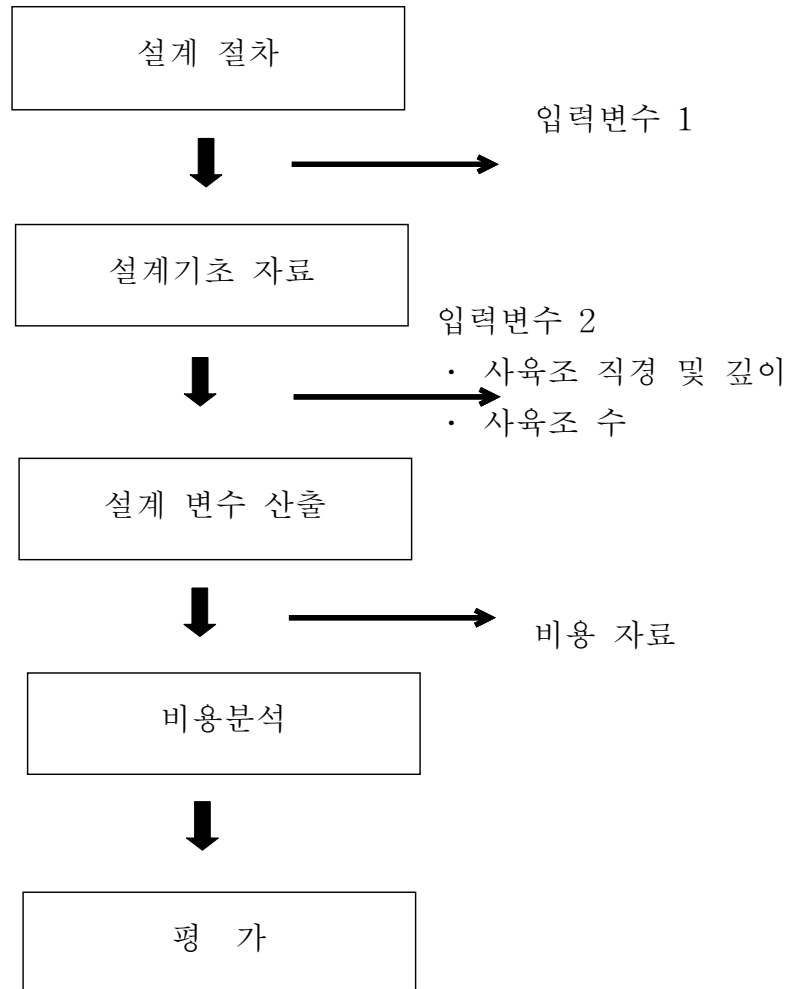


<그림 4-3-8> 순환유량 변화에 따른 암모니아 농도 변화.



## 제 4 절 설계절차

### 1. 개요



## 2. 설계절차

위의 모식도에 의거 공정의 설계절차는 다음과 같다

### 가. 입력 변수 입력

- (1) 폭기에 의한 산소공급율(%) : 폭기에 의해 물에 첨가되는 산소의 양
- (2) 생물학적 질산화속도( $\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ ) : 질산화 박테리아가 암모니아를 산화/소비하는 속도
- (3) 담체의 표면적( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) : 담체 단위부피당의 표면적
- (4) 담체층의 깊이(m)
- (5) 사육조내의 암모니아 농도( $\text{mg}/\text{L}$ )
- (6) 생물 반응기에 의해 제거되는  $\text{NH}_3$  % : 생물 반응기의 효율
- (7) 생물 반응기의 펌프동력(kW) : 생물 반응기에서 요구되는 펌프동력의 양
- (8) 사료의 단백질 함량(%) : 사료에 포함된 단백질 %
- (9) 펌프를 통과시 산소변화량( $\text{mg}/\text{L}$ ) : 산소공급장치 혹은 펌프에 의한 물속의 산소 농도 변화
- (10) 사육조내의 산소 농도( $\text{mg}/\text{L}$ ) : 물속에 첨가되는 하루당 산소 무게(kg)을 계산하는데 사용
- (11) 담체층의 상승 속도( $\text{cm}/\text{sec}$ ) : 담체층에서 물이 위로 상승하는 속도(수력학적 부하량 : 이 값은 생물반응기를 통과하는 유속 계산에 사용)
- (12) 어체부하량( $\text{kg}/\text{L}$ ) : 생체량의 설계부하( $\text{kg}/\text{L}$ )
- (13) 어체무게(kg) : 현재 계획하는 계산을 위한 물고기의 평균 무게(물고기의 수확 크기, 이로부터 최대부하량 산출)
- (14) 사료당 어체증가율( $\text{f}/\text{g}$ )
- (15) 사료공급율(%) : 어체무게당 공급되는 사료량의 비율

### 나. 기초 자료

- (1) 1일 성장율(%) : 어체가 하루에 성장하는 비율
- (2) 예상되는 컬럼 높이(m)
- (3) 질산화 속도( $\text{g}/\text{day}/\text{m}^2$ )
- (4) 유량( $\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$ ) : 생물반응기를 통과하는 유량
- (5) 첨가된 산소량( $\text{kg}/\text{day}$ ) : 유량 100 L/min 당 공급되는 산소량
- (6) 사육장에서의 연간 총 생산량( $\text{kg}/\text{yr}$ ) : 1년 동안 사육장에서 생산된 어체의 총 무게

<표 4-4-1> 설계자료

입력자료			
폭기에 의한 산소공급률 %	생물학적 질산화 속도 g/m <sup>2</sup> /day	담체 표면적 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	담체 깊이 m
100	0.02	4,100	2.0
탱크내 암모니아 농도 mg/L	암모니아 제거율 %	반응기 운전 동력 kW	단백질 함량 %
2.00	20	8	32
공급 산소 농도 mg/L	탱크내 산소 농도 (mg/L)	상승속도 cm/sec	물고기 밀도 kg/L
5.5	5	3.50	0.10
어체 무게 kg	사료당 어체 증가율 사료 kg/어체 kg	사료 섭취량 % 사료/일/어체 kg	
1.5	1.30	1.50	
산출 기초 자료			
1일 어체 성장율 %	사육조 높이 m	질산화 속도 g/day/m <sup>2</sup>	유량 L/min
1.15	4.4	164.0	2100.0
필요 산소량 산소 kg/day/100(L/min)	연간 어체 증가량 kg/yr		
1.5	35,233		

다. 설계변수

(1) 입력 변수

(가) 사육조 직경(m)

(나) 사육조 깊이(m)

(다) 사육조의 수 : 동일한 크기의 사육조

(2) 계산 값

(가) 수량(L): 사육조내의 물의 량

(나) 어체량(kg) : 사육조내의 어체량

(다) 1일 사료공급량(kg/day) : 하루에 공급하는 사료량

(라) 폭기 유량(L/min) : 어류와 생물반응기에서 필요로 하는 산소의 공급 유량

(마) 담체층을 통과하는 실제 유량(L/min)

(바) NH<sub>3</sub> 조절을 위한 유량(L/min) : 생물반응기에서의 질산화를 통해 사육조내 NH<sub>3</sub> 농도를 설계 목표값 이하로 유지하기 위해 담체층을 통과하는 실제 유량

(사) 공급 산소량(kg/day) : 물에 더해진 실제 산소량

(아) 필요 산소량(kg/day)

(자) 월간 어체증가량(kg/mon)

(차) 연간 어체증가량(kg/yr) : 연간 일정 크기의 어류의 어체증가량

(카) NH<sub>3</sub> 생성량(g/day) : 하루에 생성되는 암모니아의 총량

이 sheet에 의해 다음의 3 가지를 구할 수 있다.

① 필요 폭기 유량

② 담체층을 통과하는 유량

③ NH<sub>3</sub> 조절을 위한 유속

위의 3가지 값들이 동일하면 이상적으로 설계된 것이다. 그러나 만약 이들 3가지 값들이 25% 이상 차이를 보이면 다시 설계를 하는 것이 바람직하다.

<표 4-4-2> 설계 파라미터

입력자료			산출자료					
직경 m	깊이 m	사육조 개	사육조 부피 L	어체량 kg/사육조	사료량 kg/day	폭기 유량 L/min	담체 면적 m <sup>2</sup>	질산화 유량 L/min
2	2.0	1.0	6,283	628	9	232	169.2	355,281
3	2.0	1.0	14,137	1,414	21	523	380.7	799,381
4	2.0	1.0	25,132	2,513	38	930	676.7	1,421,123
5	2.0	1.0	39,269	3,927	59	1,453	1,057.4	2,220,504
6	2.0	1.0	56,547	5,655	85	2,092	1,522.6	3,197,526
7	2.0	1.0	76,967	7,697	115	2,848	2,072.5	4,352,188
8	2.0	1.0	100,528	10,053	151	3,720	2,706.9	5,684,491
9	2.0	1.0	127,231	12,723	191	4,708	3,425.9	7,194,433
10	2.0	1.0	157,075	15,708	236	5,812	4,229.5	8,882,017

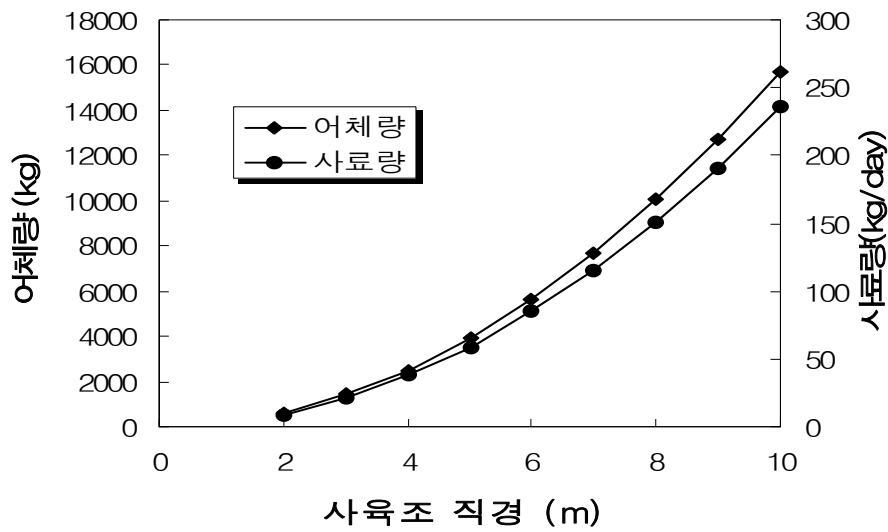
<표 4-4-3> 설계 파라미터(계속)

산출자료					
유량(암모니아 제거) L/min	필요 산소량 kg/day	산소요구량 kg/day	사료량 kg/mon	년간 사료량 kg/yr	암모니아 생산량 g/day
48,170	1,534.8	826.8	217	2,610	27,746
108,382	3,453.3	1,860.2	489	5,872	62,428
192,679	6,139.2	3,307.0	870	10,439	110,983
301,060	9,592.6	5,167.2	1,359	16,312	173,411
433,527	13,813.3	7,440.8	1,957	23,489	249,712
590,078	18,801.5	10,127.7	2,664	31,971	339,885
770,715	24,557.0	13,228.0	3,480	41,758	443,932
975,436	31,080.0	16,741.7	4,404	52,850	561,851
1,204,242	38,370.3	20,668.8	5,437	65,247	693,643

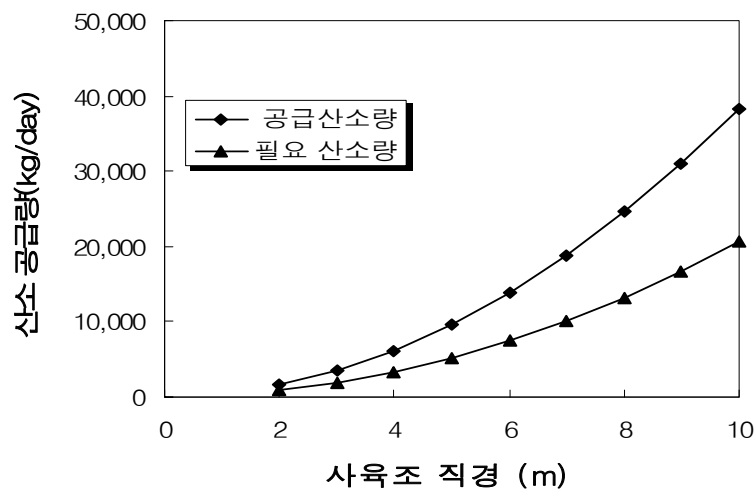
<표 4-4-3>은 <표 4-4-2>의 설계 자료에서 구한 산출 기초 자료를 이용하여 따른 각 설계 자료들의 입력방법과 산출 결과를 예시한 것이다.

이로부터 구해진 결과를 이용하여 사육조 직경(크기)에 따른 어체량, 사료량, 산소필요량 등을 <그림 4-4-1>~<그림 4-4-3>에 나타내었으며, 이들 값들은 사육조의 크기에 따라 지수적으로 증가함을 알 수 있다.

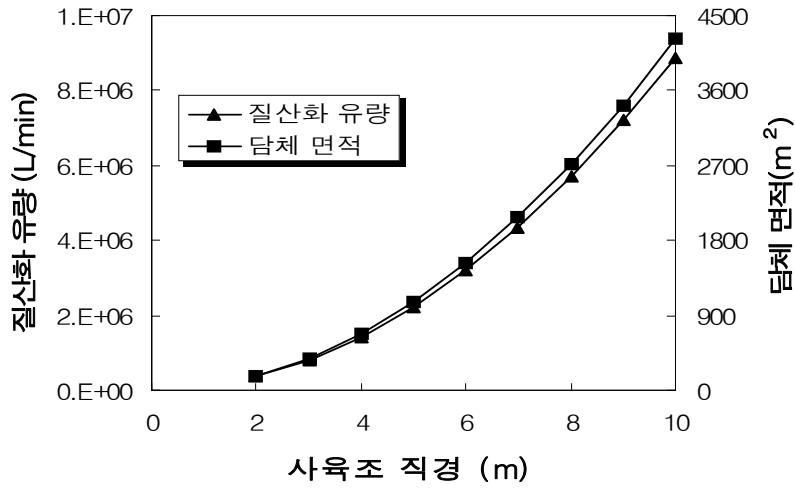
또한 <그림 4-4-4>에는 사료량이 증가함에 따라 어체 증가량 및 산소필요량이 선형적으로 증가하였다.



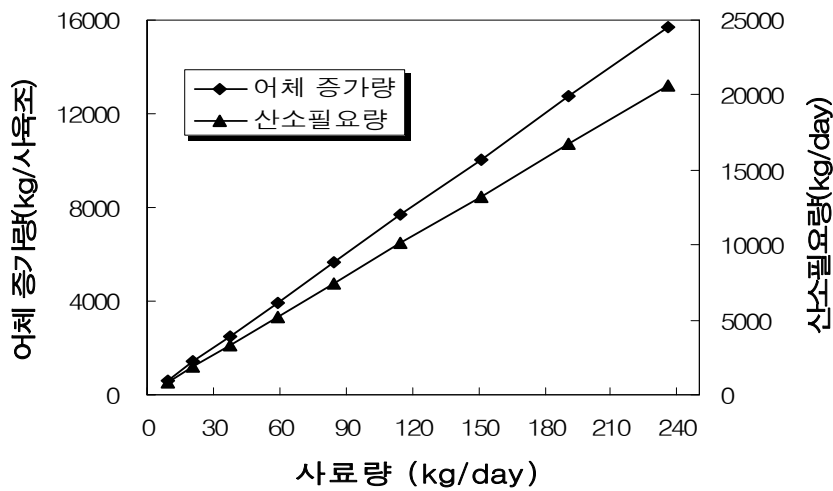
<그림 4-4-1> 사육조 크기에 따른 어체 증가량 및 사료요구량.



<그림 4-4-2> 사육조 크기에 따른 공급산소량 및 필요산소량.



<그림 4-4-3> 사육조 크기에 따른 질산화 유량 및 담체 면적.



<그림 4-4-4> 사료량 변화에 따른 어체 증가량 및 산소요구량.

라. 비용분석

(1) 다음 변수들을 입력한다.

- 사료당 성장율
- 연간 운전 일수 : 연간 시설을 운전한 일수
- 총 인건비(천원/yr) : 연간 인건비
- 1일 물 교환율(%) : 하루당 교체한 물의 비율

- 열교환기 효율(%)
- 산소가격(천원/kg) : 물에 부가한 산소의 무게당 가격
- 사료가격(천원/kg) : 사료당 가격
- 사료당 공급된 산소량(kg O<sub>2</sub>/kg 사료) :  
물고기에게 공급해주는 사료당 공급해주어야 하는 산소량
- 전기요금(천원/kWh)
- 수량(L) : 물의 부피(L)
- 건물의 보수 및 모니터링 가격(천원): 초기 투자비용
- 양어장 시설비용(필요 부품 포함)(천원) : 초기 투자비용
- 생물반응기 장치의 감가상각 년수(yrs)
- 건물의 감가상각 년수(yrs)
- 소요전력(kW)
- 사멸량 : 전체 성장기간동안 사멸되는 퍼센트
- 치어가격 : 치어 비용
- 판매 크기(kg) : 판매하고자 하는 어체의 크기
- 사육조의 수온(C)
- 보충수의 수온(C) : 사육조에 보충하는 물의 온도
- 초기건설비용: 건물 건설비용
- 평균 천장높이(m) : 환기교환율 계산에 사용
- 총 바닥면적(m<sup>2</sup>) : 건물을 짓는데 드는 땅면적
- 건물 R값 : 건물 천장과 벽의 열전달 계수
- 최소 공기 교환부피(m<sup>3</sup>/hr) : 최소 환기율
- 이자비용
- 연료가격(천원/100,000 Btu)
- 최소 사료량(kg/day)
- 최대 사료량(kg/day)



<표 4-4-4> 설계 파라미터

장치 및 인건비					
연간 운전일수	운전 시간	사육조 면적	사육조 수	사육조 부피	사육조
day/yr	hrs/day	m <sup>2</sup>	개	L/개	천원/개
365	24.0	1,500	16	53,000	26,000
장치감가상각	건물감가상각	연간 인건비	반응기비용	유지비	
yrs	yrs.	천원/yr	천원	천원	
7.0	39.0	130,000	20,000	2,000	

산소, 사료 및 치어가격					
산소 가격	산소공급량	사료 비용	어체 증가율	최소 사료 공급량	최대 사료 공급량
천원/kg	kg/kg사료	천원/kg	사료 kg/어체 kg	kg/일	kg/일
0.234	1.00	0.507	1.00	45.5	180
사멸율	치어 가격	출하 무게			
	천원/kg	kg			
0.05	0.0260	0.68			

가열 및 전기료					
수온	보충수 수온	물교환율	열교환기 효율	열전달계수	공기교환량
C	C	%	%	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>3</sup> /hr
28.0	10.0	10.0	10.0	5.3	2.00
가스비용	전력량	전기료			
천원/L	kW/개	천원/kWh			
0.26	9.0	0.0780			

<표 4-4-5> 비용산출결과

사료량 kg/일/개	총 어체 증가량 kg/주	전기료 천원/kg	사료 비용 천원/kg	물 가온비용 천원/kg	공기 가온비용 천원/kg
45.5	4,982	0.38	0.52	0.18	0.08
58.95	6,455	0.29	0.52	0.14	0.06
72.4	7,928	0.24	0.52	0.12	0.05
85.85	9,401	0.20	0.52	0.10	0.04
99.3	10,873	0.17	0.52	0.08	0.03
112.75	12,346	0.15	0.52	0.07	0.03
126.2	13,819	0.14	0.52	0.07	0.03
139.65	15,292	0.12	0.52	0.06	0.02
153.1	16,764	0.11	0.52	0.05	0.02
166.55	18,237	0.10	0.52	0.05	0.02
180	19,710	0.10	0.52	0.05	0.02

<표 4-4-6> 비용산출결과(계속)

산소 비용 천원/kg	운전비 천원/kg	치어 가격 천원/kg	유지비 Cost/kg	반응기비용 천원/kg	감가상각비 천원/kg	총 비용 천원/kg
0.24	0.50	0.04	0.10	0.08	0.22	2.34
0.24	0.39	0.04	0.08	0.06	0.17	1.99
0.24	0.32	0.04	0.06	0.05	0.14	1.77
0.24	0.27	0.04	0.05	0.04	0.12	1.62
0.24	0.23	0.04	0.05	0.04	0.10	1.51
0.24	0.20	0.04	0.04	0.03	0.09	1.42
0.24	0.18	0.04	0.04	0.03	0.08	1.36
0.24	0.16	0.04	0.03	0.03	0.07	1.30
0.24	0.15	0.04	0.03	0.02	0.07	1.26
0.24	0.14	0.04	0.03	0.02	0.06	1.22
0.24	0.13	0.04	0.03	0.02	0.06	1.19

<표 4-4-5>는 비용자료를 예시한 것이고, <표 4-4-6>은 이로부터 얻어진 비용산출 결과이다.

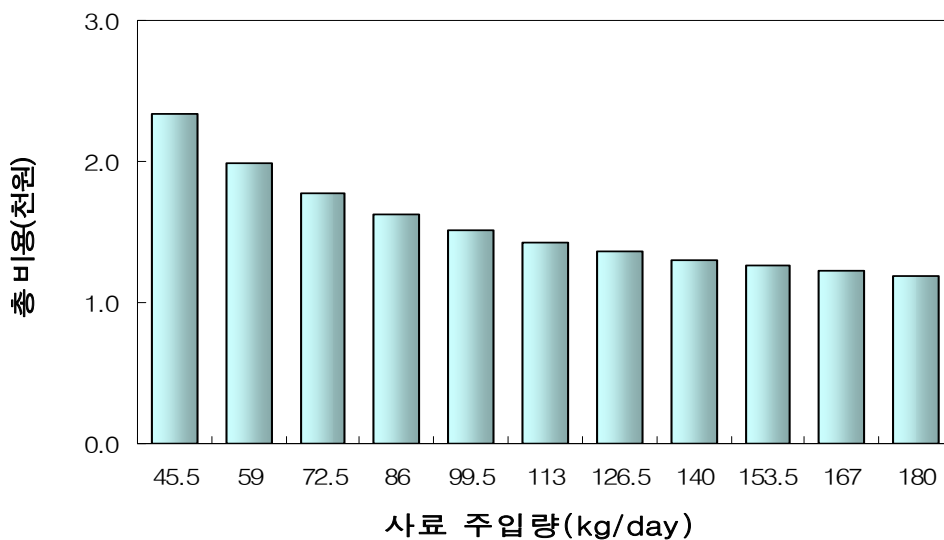
비용 계산시에는 다음과 같이 가정하였다.

- 공기 온도는 수온보다 약 4도 높다
- 년평균 대기 온도와 보충수의 동일하다고 가정한다.
- 연료의 연소효율은 100%라고 가정한다.
- 수선비와 유지비는 초기 건물비와 자제비의 5%이다.
- 감가상각은 선형연수로 계산한다.

<표 4-4-6>에서 사료 공급량은 최소 사료 공급량과 최대 사료 공급량간을 10등분하여 공급함에 따른 결과와 1주당 총 어체 증가량의 자료를 통해 1주단위로 판매시기를 결정할 수 있는 근거로 사용 될 수 있을 것이다.

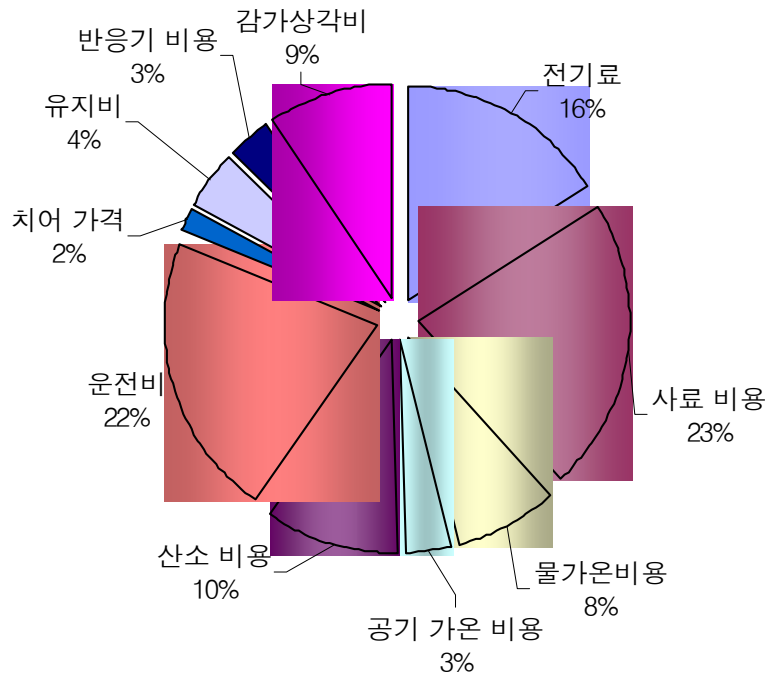
<그림 4-4-5>에서 보여지는 바와 같이 사료 공급량을 최소값에서 최대값으로 증가시킴에 따라 비용은 감소하는 결과를 보이고 있다.

<그림 4-4-6>은 비용분석 결과로서 총생산 비용에서 사료비용(23%), 인건비(22%) 및 전기료(16%)가 약 80%를 차지하며 생물반응기는 총 비용의 약 3%정도에 지나지 않았다.



<그림 4-4-5> 사료공급량에 따른 총비용의 변화.

### Total cost(%)



<그림 4-4-6> 비용분석결과.

## 제 5 장 순환여과식 양식장 어병방지효과 산정

### 제 1 절 서 론

1980년대 초부터 넙치를 비롯한 해산어 양식이 육상 수조식에서 시작되어 현재 산업적으로 완전히 정착이 되어가고 있는 실정이다. 이러한 해산어 양식에 있어 기존의 육상 수조식 양식에서는 연안 자연 해수를 사육수로 사용함으로써 연안 해수의 급속한 환경 변화에 대해 적절하게 대처를 하지 못하여 사육어류의 성장 부진, 질병의 원인으로 작용하는 사례가 발생하였다. 특히 동해안의 경우 5월에서 9월 사이에 빈번히 발생하는 냉수대는 해산 양식어류의 성장 부진, 어체의 stress 가중에 의한 어병 발생 원인으로 작용하여 양식 어업인의 생산성을 저해하였다. 이에 순환 여과식 양식 형태로의 전환은 적정 사육 수온 유지, 수질 환경의 효율적 제어 등을 통해 사육 어류의 고밀도 생산, 급속한 사육 환경 변화에 대한 양식 어류의 stress 방지를 통한 어병 예방 효과와 같은 장점이 부각되었다.

이에 따라 본 연구에서는 순환 여과식 양식어장에서 어병 발생 동향을 조사함으로써 사육 환경의 효율적 제어를 통한 어병 방지 효과의 가능성을 조사하고자 한다.

## 제 2 절 연구방법

### 1. 해산 양식 어업권의 현황 조사

포항 지역의 양식 시설별 어업권 현황을 2001. 1. 1을 기준으로 행정 처분 현황을 조사하고자 하였다.

### 2. 해수중 세균수 변동 조사

포항 지역의 해산어 양식장에서 사용하는 연안수에 대하여 수온의 변화에 대한 해수중의 세균량 변동을 조사하였다. 해산어 양식 어장이 집중된 지역인 포항시 남구 대보면 소재 2개 양식어장 인입수와 사육수를 채수하여 단계희석법으로 TSA 배지를 사용하여, 24시간 28℃에서 배양하여 세균 집락수를 계수하였다.

### 3. 어병 발생 동향 조사

포항지역의 해산 양식 어류를 대상으로 포항지방해양수산청 어병진료센터에 접수된 어병 진료 결과 분석을 통해 이 지역의 어병 발생 동향을 조사하였다.

### 4. 순환여과시스템에서의 사육수의 세균수 조사

순환 여과 시스템에서 사육수에 대한 세균량의 변동은 사료의 급이 전, 사료의 급이후, 오존 살균후의 시점에서 사육수를 sample 처리하고, 단계희석법으로 세균 분리용 배지인 TSA 배지를 사용하여, 24시간 28℃에서 배양하여 세균 집락수를 계수하였다.

### 5. 순환여과시스템에서의 어병 발생 현황 조사

순환 여과 양식 시스템에서의 폐사량을 조사하고, 질병 증상어의 출현에 따른 증상어의 무균적 해부 후 간, 비장, 신장 등으로부터 어병 세균의 분리 및 동정, 어체의 기생충 감염 여부를 등을 조사하였다.

### 제 3 절 연구 결과

#### 1. 해산 양식 현황 조사

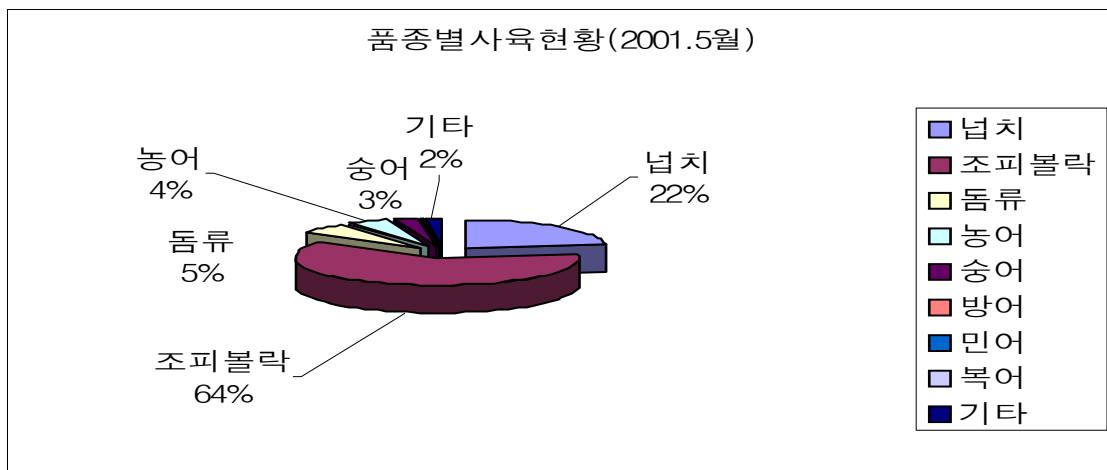
##### (가) 어업권현황

<표 5-3-1> 우리 나라 및 포항지역의 해산 양식 어업권 현황 (단위 : 건/ha)

양식 형태	육상수조식	해상가두리	축 제 식	
포항(A)	97/62.7	54/15.9	31/37.1	12/9.7
전국(B)	1,622/2,372	977/330	475/1,192	170/850
면적대비(A/B)	2.6%	4.8%	3.1%	1.1%

전국적으로 양식 어업권 현황은 1,622건 2,372ha로 육상 수조식이 977건 330ha, 해상가두리 475건 1,192ha, 축제식 170건 850ha로 조사되었으며, 이중 포항지역의 전체 어업권 현황은 전국대비 2.6%를 차지하였다. 육상 수조식 양식 어장은 포항 지역이 54건 15.9ha로 전국 면적 대비 4.8%로 나타났다.

##### (나) 해산 양식 어종별 사육 현황



<그림 5-3-1> 해산양식 어종별 사육 현황.

2001년 5월 현재 전국적으로 조피볼락, 넙치 등을 포함해 392,863천미를 양식하고 있는 것으로 조사되었다. 이중 조피볼락이 246,410천미로 64%, 넙치 88,036천미, 22%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 육상 수조식 양식어장에서의 해산 어류 양식은 넙치가 81,213천미로 전체 어종 중에서 20.7%의 점유율을 보였다.

## 2. 해수중 세균수 조사

해산어 육상 양식장 밀집 지역의 일반 해수 및 사육조에 대한 총 세균량은 <표 5-3-2>에 나타내었다. 특이적으로 MP사료 급이 직후에는 사육조 내의 세균량이 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

<표 5-3-2> 해수중의 총 세균수

지	역	총 세균수 (CFU/ml)			
		12.5℃ <sup>(A)</sup>	15.0℃ <sup>(A)</sup>	20.0℃ <sup>(A)</sup>	27.0℃ <sup>(A)</sup>
KD	인입수	7.8×10 <sup>2</sup>	2.3×10 <sup>3</sup>	2.1×10 <sup>4</sup>	1.54×10 <sup>4</sup>
	사육조	4.1×10 <sup>3(B)</sup>	4.8×10 <sup>3(B)</sup>	8.45×10 <sup>4(B)</sup>	9.25×10 <sup>4(B)</sup>
DY	인입수	3.2×10 <sup>2</sup>	3.0×10 <sup>2</sup>	1.3×10 <sup>3</sup>	5.0×10 <sup>3</sup>
	사육조	1.15×10 <sup>5(C)</sup>	3.6×10 <sup>3(B)</sup>	9.7×10 <sup>3(B)</sup>	1.0×10 <sup>4(B)</sup>

A : sampling 수온, B : MP사료 급이전, C : 사육 수온 15.0℃, MP 사료 급이 후.



### 3. 어병 발생 동향 조사

<표 5-3-3> 포항지역의 원인별 어병 발생 분포율

구분	세균성 질병					기생충성 질병						바이러스성 질병		복합원인	영양성질병	환경성질병	미동정질병	정상
	B①	B②	B③	B④	B⑤	P①	P②	P③	P④	P⑤	P⑥	V①	V②					
100	9.4	10	16	0.7	12	7.3	2.6	3.3	1.3	2.0	4.0	1.3	3.4	11	3.3	1.3	2.4	8.7

B① : 비브리오증, B② : 에드워드증, B③ : 연쇄구균증, B④ : 파스체렐라증, B⑤ : 복합 원인 세균, P① : 스키테카증, P② : 트리코디나증, P③ : 백점충증, P④ : 익티오보도증, P⑤ : 아가미흡충증, P⑥ : 복합 기생충증, V① : 임파종증, V② : 미동정 바이러스증.

포항 지역의 주 양식 대상 어종인 넙치, 조피볼락 등을 대상으로 2001. 1. 1~10. 15일까지 어병 진료 횟수는 149회로 육상 수조식, 축제식, 해상가두리 양식어장에서 세균성 질병 증상, 기생충성 질병 원인체, 바이러스성 질병, 복합 원인으로 인한 질병이 발생하였다. 질병 원인별 발생 분포율은 <표 5-3-3>에 나타내었다. 질병 원인별로는 세균성 질병이 48.1%, 기생충성 질병이 20.5%, 바이러스성 질병 4.7%, 복합원인 11%로 나타났다.

### 4. 순환여과시스템에서의 사육수의 세균수 변동 조사

순환 여과 시스템에서의 사육수내 세균수는 사육 수온 별로 <표 5-3-4>~<표 5-3-6>에 나타내었다. 사육수조내의 수온 19℃일 때 사료 급이 직전의 사육조의 세균수에서는 실험구와 대조구와의 유의적 차이는 없었다. 그러나, MP 급이 직후의 세균수에서는 실험구와 대조구를 비교하였을 때 약 1.8 2.6배정도 증가한 수치가 관찰되었다. 사료 급이 후 실험조의 사육수를 30분 동안 살균 처리한 결과에서는 급이전, 급이 직후 보다 감소된 세균수가 관찰되었다.

<표 5-3-4> 사육 수온 19.0 ℃ 일 때 순환여과시스템에서의 사육수중 세균수

구분	세 균 수(CFU/ml)		
	A	B	C
Exp No. 1	$4.7 \times 10^4$	$5.7 \times 10^4$	$3.6 \times 10^4$
Exp No. 2	$4.1 \times 10^4$	$4.0 \times 10^4$	$2.9 \times 10^4$
Control	$8.4 \times 10^4$	$1.04 \times 10^5$	$6.2 \times 10^4$

A : 사료 급이 직전, B : 사료 급이 직후, C : 사료 급이 후 30분 동안 살균 후.

사육수조내의 수온 22℃일 때 사료 급이 직전의 사육조의 세균수는 실험구와 대조구와의 비교에서 실험조가 50% 감소된 세균수가 조사되었다. 그러나, MP 급이 직후의 세균수에서는 실험구와 대조구를 비교하였을 때 약 1.3~2.0배 정도 증가한 수치가 관찰되었다. 사료 급이 후 실험조의 사육수를 30분 동안 살균 처리한 결과에서는 급이전, 급이 직후 보다 다소 감소된 세균수가 관찰되었다.

<표 5-3-5> 사육 수온 22.0 ℃ 일 때 순환여과시스템에서의 사육수중 세균수

구분	세 균 수(CFU/ml)		
	A	B	C
Exp No. 1	$2.9 \times 10^4$	$6.4 \times 10^4$	$5.6 \times 10^4$
Exp No. 2	$3.0 \times 10^4$	$9.88 \times 10^4$	$3.3 \times 10^4$
Control	$6.6 \times 10^4$	$1.33 \times 10^5$	$9.3 \times 10^4$

A : 사료 급이 직전, B : 사료 급이 직후, C : 사료 급이 후 30분 동안 살균 후.

사육수조내의 수온 25℃일 때 사료 급이 직전의 사육조의 세균수에서는 실험구와 대조구를 비교 하였을 때 오히려 대조구의 세균수가 낮게 관찰되었다.

MP 급이 직후의 세균수에서는 실험구와 대조구를 비교하였을 때 비슷한 세균수가 관찰되었다. 사료 급이 후 실험조의 사육수를 30분 동안 살균 처리한 결과에서는 급이전, 급이 직후 보다 유의적으로 낮은 세균수가 조사되었다.

<표 5-3-6> 사육 수온 25.0 ℃ 일 때 순환여과시스템에서의 사육수중 세균수

구분	세 균 수(CFU/ml)		
	A	B	C
Exp No. 1	$5.16 \times 10^6$	$7.72 \times 10^6$	$7.7 \times 10^4$
Exp No. 2	$2.36 \times 10^6$	$4.24 \times 10^6$	$1.06 \times 10^5$
Control	$1.11 \times 10^6$	$6.84 \times 10^6$	$4.0 \times 10^5$

A : 사료 급이 직전, B : 사료 급이 직후, C : 사료 급이 후 30분 동안 살균 후.

#### 5. 순환여과시스템에서의 어병 발생 현황 및 누적 폐사율

2001. 4. 24~2001. 10.12 까지 누적 폐사율은 Exp No. 1수조에서 11.8%, Exp No. 2 수조에서 14%, 대조구 12.6%로 조사되어 순환여과 시스템과 대조구 사이의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 특히 조사 기간 동안의 월별 실험구간별 빈사어 및 폐사어에 대한 질병 증상의 관찰에 따른 어류 병원체 검출 결과는 <표 5-3-7>에 나타내었다. 5월과 6월에 조사된 시료로부터는 실험구와 대조구 모두에서 어류 병원체가 검출되지 않았다. 그러나, 7월 이후 부터는 대조구와 실험구의 질병 증상어로부터 그람 음성 간균인 *E. tarda*와 그람 양성 구균인 *Streptococcus* sp.가 단독 또는 복합적으로 감염되어 폐사를 일으키는 것으로 조사되었다. 어류 병원체 종류의 분포에서 실험구와 대조구간의 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

<표 5-3-7> 실험구의 폐사어 및 빈사어에서 검출된 어류 병원체

구분	조 사 구		
	Exp No. 1	Exp No. 2	Control
MAY	No detection	No detection	No detection
JUN	No detection	No detection	No detection
JUL	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.
AUG	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.
SEP	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.	<i>E. tarda</i> <i>Streptococcus</i> sp.

## 제 4 절 고찰

해산어류 양식어장에 대한 순환 여과식 양식 시스템의 도입은 사육수의 효율적 관리를 통한 생산성 향상을 가져와 어류 양식 산업 발전에 있어 획기적으로 기여 할 수 있는 양식 시스템이라 생각한다. 이러한 양식 시스템의 완전한 정착을 위해서는 효율적 수질관리가 가장 큰 문제점으로 지적된다. 안정적 사육 환경 여건아래 건강한 어류의 생산성 증가는 양식 어업인 누구나 추구하고자 하는 목표이다. 한편, 수질 환경 변화는 양식 어류 생산성 저해의 원인인 어류 질병과 밀접한 관계를 가진다. 그러므로, 순환 여과식 양식 시스템에서의 세균수, 염양 염류 등의 수질 환경과 관련한 어류 질병 발생 조사는 의미 있다 하겠다.

연구 결과에서 알 수 있듯이 수온상승에 따른 사육 수조내의 세균수는 증가하였다. 특히 MP 사료 급이 후의 세균수는 사료 급이 전의 세균수 보다는 다소 증가하는 경향이 관찰되었다. 또한, 수질 환경 개선을 위한 살균효과 면에서 대조구와 비교해 볼 때 세균수가 감소하였으며, 급이 전, 후와 비교해 볼 때는 유의적으로 감소하는 결과를 나타내었다. 그러므로 사료 급이 후 사육 수조내의 수질 개선 효과는 인정할 수 있었다. 그러나, 순환 여과시스템운용에 따른 살균 장치의 적정 살균 농도 및 시간에 대한 검토가 있어야 될 것으로 생각한다.

한편 순환 여과 시스템 운용에 따른 어병 방지 효과는 대조구와 실험구간에서 검출되는 어병 세균 및 누적 폐사율을 고려해 볼 때 유의성은 관찰되지 않았다. 그러므로, 이러한 실험 시스템이 어류 질병을 발생시키지는 않는 것으로 생각된다.

## 제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

고효율 유동층 생물막 여과조 개발과 미디어(여과재료)의 규격화, 설계지침서 작성, 운전지침서 작성 등의 연구 최종 목표를 달성하기 위해 1차년 연구개발 단계에서는 제1세부과제 및 제2세부과제별로 독립적인 연구를 수행하여 2차년도 연구(Pilot 구축을 통한 현장적용성 연구)에 필요한 기초 연구를 수행하였다.

미디어별 수처리 효율 산정을 위하여, 국내에서 시판되고 있는 KL사 및 S1사의 미디어를 대상으로 해수 및 담수에서 암모니아 제거효율을 검증하였으며, 이들보다 가격이 저렴한 미디어 선정을 위해 일반 스폰지에 대한 효율검증을 수행하였다.

2차년 연구개발 단계에서는 제1세부과제 및 제2세부과제, 제3세부과제별로 각 독립적인 연구를 수행하여 3차년도 연구(1년차 및 2년차 연구결과를 바탕으로 양식장 현장의 일부를 운전할 수 있는 순환여과시스템을 구축)에 필요한 연구를 수행하였다.

Pilot Plant를 구축하여 유동층 반응조의 현장 적용 가능성을 타진한 결과 실제 양식장에서도 유동층 생물여과조가 포함된 순환여과시스템이 적용 가능하다는 결론을 내릴 수 있었다.

3차년 연구개발 단계에서는 제1세부과제 및 제2세부과제로 연구를 수행하여 1년차 및 2년차의 연구결과를 바탕으로 국내 양식장(극동수산)의 일부분의 수조에 순환여과시스템을 구축하여 유동층 공법의 현장 적용 가능성에 대한 길을 연 것으로 판단된다. 또한 현장에 순환여과시스템을 구축하여 운전함으로써 양식어민들의 순환여과식 양어시스템의 신뢰도 증진에 기여하였으며, 적조 및 기타 환경오염 인자의 변화에 안정적인 양식장에 대한 연구가 되었다고 판단된다.

## 제 7 장 연구개발결과의 활용계획

본 과제 목적은 유동층 생물여과조 첨가된 순환여과시스템의 산업화에 있다. 산업화는 참여기업 및 관련업체로 기술이전을 통해 이루어질 수 있다.

지금 현재의 기술 단계로는 기업화 및 기술이전을 위한 기술확보단계인 실시 준비 단계에 있다.

본 연구 결과 유동층 생물막 여과조를 포함한 순환여과 시스템 기술 및 순환여과 시스템의 수학적 모델 시뮬레이션 기술과 운전 및 설계시 위험 요소를 고려한 지침서 확보한 상태이다. 참여기업인 하나피엔시에서 두 곳의 양어장에 유동층 생물여과조가 첨가된 순환여과시스템을 시공하였다. 현장 실적중 경기 하나수산의 사진은 <사진 7-1-1>과 같다.



<사진 7-1-1> 경기 하나수산의 드럼스크린 및 유동층 생물여과조 운전모습.

향후 기존 양식장 보수 및 시공시 유동층 생물여과조의 설계에 관한 자료를 시공회사 및 양식장 업자에게 제공하며, 세미나를 통해 유동층 생물여과조의 모델링 기술을 관계 종사자에게 기술을 전수할 것이다.



## 제 8 장 참고문헌

- 김정숙, 1995, 생물막공법을 이용한 양어장 수처리에 관한 연구, 부산수산대학교 박사학위논문
- 김현철, 1997, 삼상유동층 공법을 이용한 양어장 순환수 처리, 부경대학교 석사학위 논문
- 류종수, 1999, 삼상유동층 생물막 반응조를 이용한 해산어 양식장 수처리공정, 부경대학교 석사학위 논문
- 농림부, 1997, 담수양어시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발
- 김인배, 1980, 순환여과식 사육수 재사용 방법에 의한 Pilot 규모의 어류 양식 시험. 한수지. Vol.13. No. 4, p195-206
- 김인배. 박명자. 1974. 순환여과장치의 뱀장어 사육시 어병방제약품이 여과조 기능에 미치는 영향, 한수지. Vol. 7, No. 4, p187~194.
- 김형수. 1995. 넙치, *Paralichthys olivaceus* 仔漁의 생존과 성장에 미치는 암모니아의 영향. 부산수산대학교. 이학석사학위논문.
- 서근학, 1997. 순환여과식 양어장의 포말분리. 한국수산학회지, Vol. 30, No. 2, p239~243.
- 조영개. 1994. 회전원판법에 의한 해수중 암모니아 질산화. 부산수산대학교. 석사학위논문.
- 최광수. 1994. 호기성 3상 생물막 유동층 반응기를 이용한 폐수처리에 관한 연구. 부산수산대학교. 석사학위논문.
- Bower, C.E. and Bidwell, J.P., 1978. Ionization of ammonia in seawater ; effects of temperature, pH and salinity. J. Fish Res. Board Can., Vol. 35, p36~38.
- Brian Austin. 1990. Methods in Aquatic Bacteriology.

Chen, S., D. E. Coffin and R. F. Malone. 1991. Sludge management for recirculating for recirculation aquacultural systems. Paper presented at the workshop on Design of High Density Recirculating Aquacultural systems. Louisiana State University. Baton Rouge, Louisiana, September. p25-27

Cooper, P. F. 1981. The use of biological fluidised beds for the treatment of domestic and industrial wastewater. *The Chemical Engineer*. August/September, p373-376.

Crawford, R.E. and Allen, G.H., 1977. Seawater inhibition of nitrite ion toxicity to chinook salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Vol. 103, p105-109.

Environmental Canada, 1979. Water quality sourcebook, A Guide to Water Quality Parameter, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa.

Epifaino, C.E. and Srna, R.F., 1975. Toxicity of ammonia, nitrite ion, nitrate ion, and orthophosphate to *Mercenaria mercenaria* and *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.*, Vol. 33, p241-246.

Frederick, A. Z. and O. F. Donald. 1960. Fluidization and fluid-particle system. Reingold Publishing Cooperation, New York, p1-70.

Herbert, D.W. and Merkens, J. C., 1961. The effects of suspended mineral solid on the survival of trout. *Air Water Poll.*, Vol. 5, p46-50.

Jewell, W.J. and Cummings, R.J., 1990. Expanded bed treatment of complete recycle aquaculture system. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 22, No. 1/2, p443-450.

Klontz, G.W., P.C. Downey and R.L. Focht. 1979. A good deal from egg sac to creel, A Manual For Trout and Salmon Production, Sterling H. Nelson and Sons, Murray, Utah.

Lorsordo, T. M., R. F. Malone and S. Chen. 1992. Water aquaculture requirements and environmental impacts of recirculating aquaculture Systems, p1-19.

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. Trodgeirh Norway.

Nightingale, J. W. 1976. Development of biological design criteria for intensive culture of warm and cool water species, Technical Report of Kramer, Chin and Mayo Inc., Seattle, Washington.

Nijhof, M. and Bonverdeur, J., 1990. Fixed film nitrification characteristics in sea-water recirculating fish culture system. J. Aquaculture, p87.

Perrone, S.J. and Meade, T.L., 1977. Protective effect of chloride on nitrite toxicity in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish. Res. Board Can., Vol.34, p486~492.

Phillips, M.J., M.C.M. Beveridge, and R.M. Clarke. 1991. Impact and aquaculture on water resources. p568-591. In: Brune, D.E, and J.R. Tomasso. Aquaculture and water quality. World Aquaculture society. Advances in Aquaculture Volume 3. Baton Rouge, Louisiana, USA.

Roberts, R.J. 1978. Fish Pathology, Balliere and Tindall, London.

Rogers, G. L. and Klemetson, S. L., 1985. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. Aquaculture Engineering, Vol. 4, p135-154.

Russo, R.C., Smith C.E. and Thurston, R.V., 1974. Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*salmo gairdneri*). J. Fish Res. Board Can., Vol. 31, p1653~1655.

US EPA (Environmental Protection Agency), 1976. Quality criteria for water. Washington D.C.  
APHA AWWA WEF, 1995. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association, Washington, DC

## 주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.