

내수면 유수식양식장 배출수 처리 방안

TREATMENT OF EFFLUENT FROM  
INLAND FLOW-THROUGH AQUACULTURE SYSTEM

2005. 5

부경대학교 수산과학연구소

해양수산부

## 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “내수면 유수식 양식장 배출수 처리 방안” 과제의 최종보고서로 제출  
합니다.

2005 년 5 월 일

주관연구기관명 : 부 경 대 학 교

총괄연구책임자 : 조 재 윤

연 구 원 : 김 인 배

연 구 원 : 서 근 학

연 구 원 : 김 은 필

협동연구기관명 : 이화정송어양식장

협동연구책임자 : 박 주 형

# 요 약 문

## I. 제 목

### 내수면 유수식 양식장 배출수 처리 방안

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

현재 우리나라 내수면 양식장의 배출수 처리의 현황은 수질환경보전법 제50조에 관련된 시행규칙 별표 10(1999)의 1항 수산물양식시설의 (나)의 일반양어장의 시설 또는 조치사항에 의하면 “사료 찌꺼기, 배설물 기타 슬러지 등을 적정 처리하기 위하여 사육시설 면적의 20% 이상이고 깊이가 1-1.5 m (배출수가 1.5 시간 이상 체류할 수 있는 경우는 깊이는 1 m 이하로 할 수 있다)인 침전시설 또는 이와 동등 이상의 효율을 입증할 수 있는 수질오염방지시설을 설치하여야 한다”라고 규정하고 있다. 그러나 이 규정에 따르면 침전조의 체류 시간을 1.5시간(90분)을 기준으로 한 단순 침전에 의한 침전 효과를 전제로 한 것이다.

그러나 실제 현장에서 일어나는 상황은 사육 수면적을 기준으로 하고 있기 때문에 사용되는 수량과는 무관하게 되어 침전효과에는 일정한 성과를 기대할 수가 없다. 특히 유수식 양식장은 막대한 양의 물을 사용하며, 사용되는 물의 양도 각 양식장의 조건에 따라서 판이하게 다르다. 따라서 현재의 규정은 배출되는 폐수가 침전지에서 침전되는 실제 효과와는 무관하게 규정되어 있기 때문에 양식 산업과 자연환경 모두를 보호하지 못하고 있는 실정이다.

그러나 양식장에서 생성되는 고형 오물의 침전효과는 중력을 이용하면서도 와류 또는 원심력에 의한 밀도차이에 따른 분리 효과와 중력에 의한 효과를 동시에 이용하면 가장 효과적이다. 따라서 수중에서의 침전효과는 중력을 이용한 단순 침전의 경우 시간도 오래 걸리고 이에 따라 침전조의 크기도 커져야하지만 와류에 의한 오물 분리 효과를 고려하고 중앙부를 향한 경사 구조로 하면 현재 규정에 나와 있는 체류 시간 90분 보다 훨씬 짧은 10분을 기준으로 하여도 동등한 효과를 낼 수 있다. 그렇기 때문에 바닥이 경사진 원형구조의 침전시설에서 와류의 힘을 이용하는 방법이 실제적인 방법이라고 사료된다.

또 와류침전지를 설치 운용하면 일반적인 유수식 양식장에서는 소요 면적이 사육수면적의 1-2%이면 충분할 것으로 생각되며, 건조 장치의 면적을 생각하더라도 2-3% 정도만 되면 충분할 것으로 판단된다. 이 뿐만 아니라 일반 침전조에는 주기적으로 침전물을 제거하여 그 사이에 침전물에서 용출된 여러 가지 성분들이 자연수계로 들어가 부영양화에 기여할 수 있으나 와류형 고형오물 분리장치는 거의 연속적으로 제거할 수 있기 때문에 그 성능 면에서 비교할 수 없을 정도

로 우수하다.

이렇게 된다면 양식어민에게도 침전지 수면적에 대한 부담을 크게 경감시킬 수 있을 것이며, 양식장의 찌꺼기를 효율적으로 수집, 관리 할 수 있기 때문에 국토의 효율적 이용은 물론 자연수계의 보호나 상수원의 보호에도 큰 도움이 되게 된다. 따라서 와류침전시설 즉 와류형 고품오물 분리장치의 개발이 필요하다.

이 외에도 침전된 찌꺼기를 적절하게 처리하는 방안이 있어야 만이 수집된 찌꺼기가 자연수를 다시 오염시키지 않기 때문에 침전 찌꺼기를 건조하거나 발효, 또는 부형제를 이용하여 처리하는 시간을 단축 시킬 필요가 있다. 또한 수중에서 단시간에 침전되지 않고 물속을 떠다니는 미세한 입자들을 제거하지 않으면 많은 유기물이 자연수계로 나가게 된다. 이렇게 배출된 유기물은 자연수계의 BOD를 높이고 유기물을 먹고 사는 박테리아와 원생동물의 번식을 조장하기 때문에 수중 환경을 오염시키는 원인이 되므로 제거하는 방법을 개발하지 않으면 안 된다. 이를 해결하기 위하여 우수식 양식장 현장에서 현장에 맞는 배출수 처리방안을 개발할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 내수면 우수식 양식장 배출수의 수질을 와류형 오물분리 장치 및 기타 방법으로 정화시켜 현재 사육 수면적의 20%로 되어 있는 침전조의 면적을 줄여 양식어민들의 부담을 낮추어 주어 내수면 우수식 양식장의 어류 생산 경쟁력을 높이는 동시에 환경도 보호하는 것이 목적이다. 그리고 내수면 우수식 양식장의 배출수 처리를 위한 표준 설계도를 개발 보급하고 배출수 처리에 대한 정책 방향을 제시하는 것이 이 연구의 목적이다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

우수식 양식장의 배출수에 섞여 나오는 찌꺼기는 분과 먹이 찌꺼기 등의 고품 침전물과 암모니아 및 탄산가스 등의 용존 노폐물이 있다. 그리고 분과 먹이 찌꺼기가 어류의 운동과 수류에 의해 잘게 부서져 침전이 잘 안되는 미세 고품 침전물이 된다. 따라서 분과 먹이 찌꺼기 등의 대형 고품 오물은 와류형 오물 분리장치로 침전 시켜 제거하고 침전이 어려운 미세 부유물질 등은 이들을 침전 시키는 효과가 뛰어난 IBK 순환여과시스템의 침전 여과조를 이용하여 정화시킨 후 배출 하도록 하기 위하여 와류형 오물 분리장치와 IBK 침전 여과조를 시설하여 이들의 성능을 조사 연구한다. 또한 침전된 오물은 빠르게 처리하지 않으면 다시 수중으로 녹아 나오거나 자연수계를 부영양화 시키기 때문에 수집된 침전 오물을 처리하여 재이용하는 방법도 개발되어야 배출수를 완전히 처리할 수 있게 된다. 그리고 이러한 각각의 시스템이 유기적으로 연결되어 경제적인 방법으로 구성될 수 있도록 하기 위하여 배출수를 처리하면서 효과적인 찌꺼기 제거가 이루어질 수 있도록 종합적인 설계도면을 개발할 필요가 있다.

## IV. 연구개발결과

### 1. 중요 양식 어류의 오염부하량 조사 결과

#### 가. 무지개송어 오물 생성량 구명

이 어류의 경우 총 사료 섭취량의 약 18%정도가 분으로 배설된다. 분의 발생은 먹이를 먹는 낮 동안에는 거의 일정한 속도로 배설이 되어 전체 낮 시간에 고르게 분포된다. 따라서 무지개송어의 분 제거는 하루 내내 계속적으로 해야 하는 것으로 조사되었다.

#### 나. 잉어 오물 생성량 구명

잉어의 오물발생량은 건조 중량으로 사료 공급량의 평균 16.5%가 분으로 배설된다. 분 발생은 사료공급을 시작한 후 4시간이 지나서 배설이 시작되었고, 분 배설은 먹이 공급 후 10시간에서 16시간 사이에서 최대가 되었다. 따라서 분 배출에 필요한 장치는 이 시간 내에 집중적으로 관리해야하는 것으로 조사되었다.

### 2. 시험 규모의 와류형 오물 분리장치와 현장형 와류형 오물 분리장치의 성능 조사 결과

#### 가. 시험 규모의 와류형 오물분리장치의 성능

##### (1) 와류형 오물 분리장치 유량과 성능과 관계

시제품에서의 성능은 유속이 빠를수록 가운데로 모이는 찌꺼기의 침전 효율이 높았다. 이것은 유입수량이 많아지면 자연히 유속이 빨라지면서 배설물 등의 오물이 가운데로 모이는 힘이 강해지면서 효율이 증가하는 것이다.

##### (2) 와류형 오물 분리장치 크기와 유량과의 관계

와류형 오물 분리기의 길이와 직경이 비슷하면서 overflow 의 구경이 주수구의 구경보다 큰 것이 효율이 좋았다. 이것은 overflow의 구경이 커지면서 넘쳐나가는 물에 저항이 걸리지 않으므로 효율이 높아지는 것으로 사료되었다.

##### (3) 와류형 오물분리장치 수리학적 시뮬레이션

시험 규모의 와류형 오물분리장치에서 경제적 최적 운전조건은 주수량이 840L/min, 즉 와류형 오물분리기의 순환율이 4-5회/h 일 때가 가장 좋은 것으로 나타났다.

#### 나. 현장형 대형 와류형 오물분리장치 현장 최적운전조건구명

##### (1) 수질측정에 의한 조사 결과

대형 와류형 오물 분리장치에서는 침전 가능 오물의 제거율은 평균 80%였고, 작은 침전 가능 입자의 15%가 제거되었다. 수질에 따른 계산상으로는 건조중량으로 하루 4.5kg이 제거되는 것으로 나타났지만, 실제 침전양으로 조사한 결과 하루 제거 양은 10kg으로 현장 오물분리 장치로서 성능이 우수한 것으로 조사되었다. 만일 사육시스템 내에 위치한 침전조가 없었다면 제거 성능은 더욱 우수했을 것으로 사료된다.

#### (2) 와류형 오물분리장치 현장 시뮬레이션

최적 운전 조건 및 시뮬레이션 결과 현재의 경제적 최적 운전조건은 주수량이 840L/min, 순환율 4-5회/h 일 때가 가장 좋은 것으로 나타났다.

### 3. 고품배설물의 최적 건조 조건 구명

#### 가. 초기 자연수압에 의한 이동

분리된 고품오물의 정화처리방법 개발에서 오물의 분리에 자연수압을 이용하여 건조장으로 흘러가도록 시도하였으나 고품오물이 시간 경과에 따라 분해세균의 작용으로 점도가 증가하여 자연 수압에 의한 자체적 이동이 불가하여 오수펌프를 사용하는 것이 수분함량을 최소화하고 처리시간을 단축하여 경제적이기 때문에 자연수압으로 분리되게 하기 위하여 만든 수집 맨홀은 구조를 변경하여 건조장으로 바로 양수하였다.

#### 나. 농축슬러지의 성상

침전되어 수집된 오물 슬러지는 평균 수분 함량이 86.4%, 평균 비중이 0.9995로 조사되었다.

#### 다. 부형제 첨가조건

농축된 오물 슬러지를 즉시 이동시키는데 필요한 부형제로서 톱밥과 왕겨를 사용하여 조사한 결과 톱밥은 오물용량 1에 대하여 0.5의 용량 비율, 그리고 톱밥은 오물 용량 1에 대하여 0.75 용량 비율로 혼합하면 혼합 후 즉시 이동 운반이 가능한 것으로 조사되었다. 그리고 퇴비를 빨리 만들기 위해서는 톱밥은 1:0.75, 왕겨는 1:1의 비율이 바람직한 것으로 조사되었다. 부형제를 섞은 오물의 건조속도는 중량이 50% 감소하는데 오물만 둔 것은 12주, 톱밥을 혼합한 것은 3주, 왕겨를 혼합한 것은 4주가 소요되어 톱밥을 혼합한 것이 가장 빠르게 건조되었다.

#### 라. 효소처리 실험

수집된 오물에 빵 효모를 각각 0.5% 섞어서 발효를 시도한 결과 효과가 없었기 때문에 다

른 효모로 발효를 시도할 필요는 있지만 수집된 오물 자체의 수분 함량이 80%가 넘기 때문에 효모의 발효를 기대하기는 어렵다고 사료된다. 따라서 부형제를 섞어 퇴비화 하는 것이 바람직한 것으로 조사되었다.

#### 마. 퇴비이용가능성

톱밥을 섞은 실험구에서 나온 반 건조된 고형오물은 비료로 사용할 수 있는 가능성이 충분이 있다고 판단되었다. 톱밥을 1:0.25로 섞어서 자연 상태에서 방치하면서 관능검사를 한 결과 8주 후 오물의 검은색이 회색으로 변하고 냄새도 없어졌다. 톱밥 양을 증가한다면 수분 함량을 줄여 조기에 숙성도 가능할 것으로 사료된다.

#### 바. 침전물의 일반 성분 분석

침전 오물의 일반성분을 분석한 결과 수분, 조지방, 조단백, 조회분 각각 86.8%, 0.26%, 2.56% 및 7.6%로 조사되었고, 회분 7.6% 중에는 Ca, P, K, Mg의 함량이 각각 2.2%, 0.97%, 266ppm 및 973ppm으로 조사되어 퇴비로서의 가능성을 보여주었다.

### 4. 미세 부유 입자의 제거

#### 가. 포말분리 법

포말분리장치에 의한 미세부유물처리를 위해 파일럿 규모에서는 현탁 오물에 대한 포말분리 장치의 수중 단백질, SS, COD의 제거 기능은 우수하였다. 그러나 현장에서 적용하여 실험한 결과 거품(foam) 형성이 되지 않았다. 이는 배출수에 용존유기물의 함량이 낮기 때문으로 추정되며 이에 따라 IBK 순환여과식 시스템의 침전 여과조를 최종 부유물 침전 제거에 이용하였다.

#### 나. IBK 침전 여과조 미세부유 입자 처리 효과

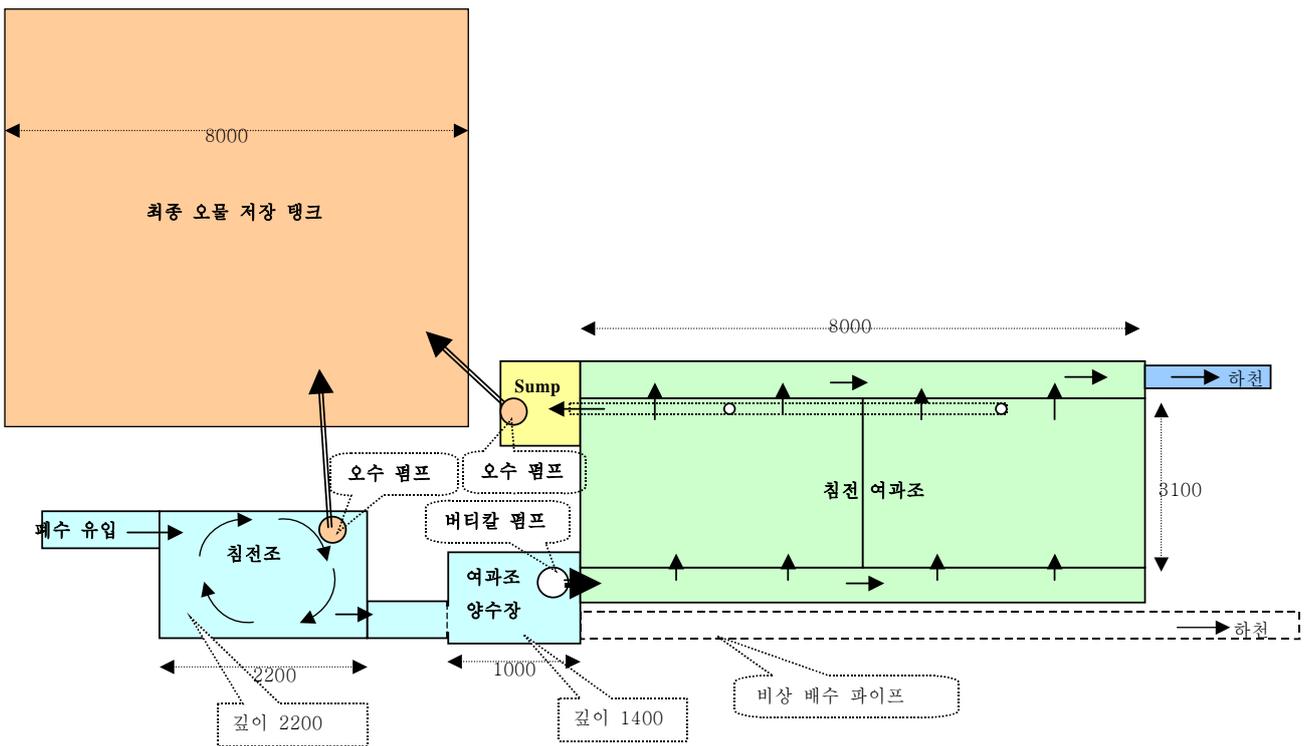
침전 가능한 고형오물은 와류형 오물 분리조에서 제거되며 침전 생물 여과조에서는 미세 부유물질을 제거하였다. 배출수 수량 65m<sup>3</sup>/h인 경우 침전 여과조에서 침전 가능 고형물의 제거량은 1일 0.85kg, 부유성 미세 고형물 제거량은 1일 2kg으로 총고형물 제거량은 1일 2.85kg으로 성능이 우수하였다. 생물 침전여과조의 침전물 성상은 와류형 오물분리조의 침전물 중 가벼운 침전물과 유사하였다.

#### 다. 기타 용존 물질 제거효과

용존 물질 중 TAN, NO<sub>3</sub>는 일부 제거되었으나 NO<sub>2</sub>와 PO<sub>4</sub>는 침전 여과조를 통과하면서 오히려 증가되었다.

### 5. 고품질 오물 분리처리 시스템 설계도 완성

내수면 유수식 양식장의 배출수 오물분리장치를 포함한 배출수 오물의 최종처리를 위한 전체 설계도를 완성하였다. 간이 설계 평면도면은 다음과 같다.



### 6. 경제성 분석

침전조와 생물여과조 및 오물을 모아두는 저장조만 갖추면 반영구적으로 사용가능하므로 환경오염을 최소화하면서 경제적으로 이용할 수 있는 것으로 조사되었다. 양식 어민들이 드럼 필터와 같은 구매와 유지에 고가의 비용이 들어가는 기기를 구매할 필요가 없이 한 번 시설하면 장기간에 걸쳐 사용이 가능하고 유지비가 저렴하여 경제적으로 사용 가능하였다. 예를 들면 드럼필터의 경우 외국산으로 드럼필터 시공비가 1일 처리용량 2000m<sup>3</sup>인 경우 6000만원 정도이며 구매 후 1년이 지나면서부터 미세 망, 압력노즐 등 교환하는데 필요한 유지비가 연간 1000만원 정도 소요되는 것으로 나타났다. 반면에 와류형 오물 분리장치 및 IBK 침전 여과조 및 오수 저장조는 3.3m<sup>2</sup> (1평) 당 10-15만원이 소요되는 것으로 조사되어 저렴하고 유지비가 필요

없다.

## 7. 침전지의 법규개정 정책 자료제시

유수식 양식장의 침전조는 대형 찌꺼기의 침전을 위해 장방형 육면체의 침전조를 설치하고 미세 입자의 제거를 위해 IBK 생물여과조를 설치한다. 그리고 침전조와 생물여과조에 나오는 찌꺼기를 처리할 건조장 또는 혐기성 분해장을 만들면 1일 사용 수량에 따라 차이가 있겠지만

침전된 오물의 퇴비화 외에 농축 시킨 오물을 지자체에서 인분처리에 준하는 방법으로 구매하여 일괄 처리해주는 방안이 가능하면 저렴하고 손쉽게 처리할 수 있음. 따라서 정부에서는 동물의 분은 인분을 처리하는 위생사업소에서 받아주지 않기 때문에 정책적인 협의가 필요하다고 사료된다.

## 8. 와류형 오물 분리장치의 성능개선

와류형 오물분리장치의 성능은 이번 실험에서는 기존의 양어장에 추가로 시설하였기 때문에 부득이하게 양수펌프를 사용하지 않으면 안 되었으므로 침전 가능한 큰 입자가 양수기에서 쪼개져 미세한 부유물질로 되어 침전이 어려워 졌다. 그러나 새로 신설되는 양식장에서는 양수기를 쓰지 않고 시설을 하도록 하였기 때문에 침전가능 입자가 미세하게 분해되는 것을 방지하여 성능이 크게 개선될 것이다.

# V. 연구개발결과의 활용계획

## 1. 내수면 유수식 양식장 배출수 처리를 위한 표준 설계도 보급

### 가. 기술 이전

현재 개발 되어 있는 설계도 (Fig. 3.35)를 필요로 하는 양식장에 기술 이전하여 시설하도록 장려한다. 그러나 영세한 어민들이 독자적으로 기술 이전을 받아 배출수 처리장을 시설하기에는 경제적인 문제가 가장 크므로 해양수산부의 지원이 절실하게 필요하다. 이 것은 앞으로 국민이 환경에 대한 관심이 증가하면서 국가가 생산 산업 장려와 자연 환경 보호라고 하는 두 가지의 상충되는 목적을 달성해야 하기 때문에 법률의 제정과 시행을 앞두고 경과 조치로서 배출수 처리 시설을 하도록 장려하고 지원이 필수적이다.

## 나. 현장 기술 지도

표준 설계도가 있어도 배출수 처리 시설을 시공하는 것은 경험이 필요하기 때문에 현장 시공에 설계도를 읽고 해석하고 시공하는 기술 지도가 있어야 잘 못된 시공에 의한 경제적인 손실을 줄일 수 있다. 따라서 정부에서 배출수 처리 시설을 적극적으로 장려하고 지원한다면 부경대학교 또는 국립수산과학원 등의 교육 시설과 연계하여 전문가를 양성하는 프로그램을 운영하여 현장에서 직접 지도할 산업 요원들의 교육도 필요하다.

## 2. 기타 부수적인 기술 이전

### 가. 양어 기술

양식장을 경영하는 양식어민들은 언제나 사육어류의 빠른 성장을 첫 번째 성공요인으로 생각하고 있기 때문에 사료 공급 기술이나 수질 관리 기술 등의 이전이 필요하다. 이러한 기술은 배출수의 수질 오염과 밀접한 관계가 있다. 즉, 사료 공급을 적절히 조절하지 못하면 사료를 과다하게 줄 가능성이 있고 과다한 사료 공급은 사료 효율을 떨어뜨리며 분의 발생을 증가시키는 동시에 잉여 사료의 발생을 야기하여 배출수에 과다한 유기물이 섞여 나오게 되는 경우가 많다. 이런 경우 나빠진 사료 효율로 인하여 양식장 경영에 압박 요인이 될 뿐 아니라 사육 시스템 내에 증가하는 유기물 농도로 인하여 세균이나 원생동물의 밀도가 증가하여 질병 발생 빈도가 높아 이 또한 경영 압박 요인이 되어 어민들의 경영 수지는 물론 자연 환경보호에도 적신호가 된다. 따라서 배출수 처리 시설 기술의 이전과 더불어 사료를 적절하게 먹일 수 있는 양어 기술의 이전도 필요하다.

### 나. 수질 관리 기술

양어장의 수질은 사육 동물이 그 속에서 먹고 잠자고 배설하고 헤엄치는 장소로 건강한 양식 동물을 키우는데 가장 중요한 요인들 중의 하나이다. 수질관리를 잘 하여 환경을 깨끗이 해주면 양식의 절반은 성공한 것과 같다. 그러나 어민들은 물론 알고 있어도 그 물의 수질 조건은 알 수 없으므로 수질 관리를 소홀히 하여 양식 효율을 떨어뜨리는 경우가 많다. 따라서 사료 공급 기술 등의 양식 기술과 더불어 수질 관리 기술도 함께 보급한다면 양식에 성공할 수 있는 확률도 높고 또한 자연 보호에도 크게 이바지 할 수 있다.

### 다. 특허 기술 보급

현재 수질 관리 기술 중에 하나인 생물여과에 의한 수질 관리 기술인 “미세 비드 여과 장치”를 국립수산과학원 울진 어류양식연구소에 이전하여 사용하게 하고 있다.

### 3. 해산 유수식 양식장의 배출수 처리에 활용

#### 가. 해산어류 양식장의 문제점

현재 육상수조식 해산어류 양식장은 거의 대부분이 유수식 양식 시스템을 채택하고 있어서 배출수의 처리에 많은 어려움을 겪고 있고 주로 20% 면적의 침전조를 운영하거나 차광망 등을 이용한 걸름망을 이용하여 여과를 하고 있다. 침전조는 청소를 거의 할 수 없는 형편이기 때문에 침전된 오물이 지속적으로 녹아나가 자연수계에 유기 오염을 시키고 있으며, 차광망을 이용한 여과는 효과가 없고 결국 차광망에 여과된 오물은 시간이 지나면서 그대로 녹아서 바다로 흘러들어 간다. 현재의 침전 오물 분리조와 IBK 침전 여과조를 이용한다면 많은 오물을 침전시킨 후에 깨끗해진 배출수를 바다로 내보낼 수가 있을 것으로 사료되어 양식어민들은 물론이고 자연 환경을 적극적으로 보호하는 방법도 될 것이다.

# S U M M A R Y

## TREATMENT OF EFFLUENT FROM INLAND FLOW-THROUGH AQUACULTURE SYSTEM

### 1. Introduction

Aquaculture effluent from flow-through aquaculture systems requires treatment with sedimentation tanks before discharge to natural body of water. Surface area of the tank must be 20% or more of the total cultural surface area of fish farms and water depth of the tank should be 1-1.5 m. The water depth of the sedimentation tank can be less than 1m if residential time in the tank is greater than 1.5 hours. The concept of this regulation is to reduce the solid organic wastes such as feces or uneaten feed in the effluent before flowing into the receiving water system. However, this regulation is not much effective to reduce organic loading to the receiving water system because it only concerns the surface area of the sedimentation tank but not the amount of effluent water flow through the sedimentation tank. Therefore this regulation has two most distinctive problems.

One problem is that if water flow rate in the sedimentation tank increases, residential time become shorter, then higher percentage of solids in the effluent water flow out with discharging water. Moreover leaching nutrients from accumulated solids in the sedimentation tank are also dissolved and flow out with discharging water. Another problem is that fish farmers have to prepare 20% of total fish rearing area for the sedimentation tank. This means that fish farmers have to reduce 20% of their production capacity to prepare the sedimentation tank.

Recently, swirl separation method for solid removal from liquid is applied for removing suspended solids from aquaculture water. Centrifugal force of the swirl separator acts to remove the solids from water. This is very efficient method to separate solids from water but needs high energy to produce centrifugal force. Even though, there is a high possibility in adapting the concept of swirl separator for the effluent treatment of rainbow trout farm if the energy consumption can be reduced. If swirl separator is adapted to effluent treatment system of flow-through aquaculture farm, the surface area of sedimentation tank can be reduced to 2-3% of total rearing surface area. This helps not only for increasing

production efficiencies and fish farmers but also for protecting natural body of water that receives effluent from fish farms.

To achieve this goal, a series of experiments were done as follow;

- 1). Determination of feces production of rainbow trout and common carp.
- 2). Determination of efficiencies of pilot scale and on site scale swirl separators.
- 3). Optimum conditions of treating solid wastes collected from rainbow trout farm.
- 4). Removal efficiencies of micro solid wastes.
- 5). Design of effluent treatment system for inland flow-through aquaculture farm.
- 6). Economical analysis of effluent treatment system.
- 7). Proposal of an effluent treatment policy.

## **2. Feces production of rainbow trout and common carp**

The feces production rates of rainbow trout were significantly different ( $P < 0.001$ ) among the 3 different feeding regimes. Amount of total feces production of the fish fed 1%, 2.5% and 5% of the feed per body weight over 24 hours were 2.11, 5.74 and 10.39 g/kg fish respectively. When the rainbow trout were fed from 8 AM to 8 PM, the fish produced feces continuously for 24-hour period. This means that collecting devices of rainbow trout feces must work continuously for 24 hours. However, when feed was not given at 8 AM, the amount of feces was dramatically reduced at noon time. The amount of feces production of 1%, 2.5%, and 5% groups were ranged 0.115 - 0.287, 0.311 - 0.562, and 0.494 - 1.242 g/kg fish per day, respectively. Feces production and distribution of this fish during fasting period were measured from 14 hours to 114 hours after the last feeding. The amount of feces production from 5% feeding group 14 hours after final feeding was 3.4 and 2.9 times higher than that of 1% and 2.5% feeding groups. However, the amount of feces production from all the treatment groups at 48 hours after final feeding reduced to 2.9% - 9.7% of the amount collected at 14 hours after final feeding, and the differences among the treatment were also reduced.

The feces production rates of common carp were significantly different ( $P < 0.001$ ) among the 3 different feeding regimes. Amount of total feces production of the carp fed 1%, 2.5% and 5% of the feed per body weight over 24 hours were 1.64, 3.70 and 9.10 g/kg fish, respectively. When the common carps were fed from 8 AM to 8 PM, less than 3% of total

daily produced feces was collected. Over 65% of average daily collected total amount of feces were collected between 6 PM and mid night, and over 86% were collected between 4 PM and 2 AM of next day. Between 92.9–98.3% of all feces collected for 72 hour period were collected within 24 hours and 1.2–1.5% of them were collected for the next 24 hours, and rest of them, 0.5–1.8%, were collected for the next 24 hours. This means that collecting devices of common carp feces must be big enough from 6 PM to mid night.

There were significant differences in the three feed regime treatments on the feces production and weight gain of both species tested, but did not show any differences in moisture, ash and protein content in fish feces.

### **3. Efficiencies of pilot scale and on site scale swirl separators**

The total suspended solids removal efficiencies of the swirl separator, a circular conical bottom sedimentation (CCBS) tank, were ranged 30.9%–41.7 % with average removal rates of 1619.0–7536.5 g/day. Efficiencies of the CCBS tank increased further to 75.6%–83.9% and the average removal rate ranged 968–8374 g/day when settleable solids were considered. However, the removal efficiencies of non settleable solids in CCBS tank were not effective.

Average TAN concentrations before and after CCBS tank were ranged 1.12 – 2.01 mg/L and 1.11 – 1.94 mg/L respectively. The removal efficiencies of TAN in CCBS tank were ranged 2.4% – 3.7%.

The lowest and the highest average  $\text{NO}_2$  concentration before and after CCBS tank were same as 0.18 and 0.22 mg/L, respectively. The removal efficiencies of  $\text{NO}_2$  at CCBS tank were ranged 4.24%–3. The average  $\text{NO}_3$  concentration before and after CCBS tank were similar with ranged 3.37 - 4.04 mg/L and 3.38 - 4.03 mg/L respectively. The removal efficiencies of  $\text{NO}_3$  at CCBS tank were ranged 0.099% - 2.139 %. Generally the average  $\text{PO}_4$  concentrations in CCBS tank were not significantly decreased with after CCBS tank with concentration ranged 0.323 - 0.478 mg/L and 0.331 - 0.470 mg/L respectively. The removal efficiencies of  $\text{PO}_4$  in CCBS tank were ranged 2.41% - 1.63. Average COD removal efficiency ranged 11.4%–23.4% while average removal rates were 1308–7813.3 g/day. Average COD removal efficiency increased when the COD concentration in influent water of CCBS increased. Average COD concentration in August and September (summer season) remained lower than during October (autumn season).

According to the above results, the efficiencies to remove SS and other solids from CCBS were very effective. However, there is one obstacle of CCBS tank. Since the CCBS tank is circular and conical bottom, there is much difficulty to build this tank in the fish farm. There must be circular mold to build completely round wall and must have very skillful carpenter to build conical bottom of CCBS tank. This needs too much cost to build one for fish farmers. Therefore, rectangular shape, alternative structure of CCBS tank, is recommended. This should have almost the same efficiency but requires much lower construction costs.

#### **4. Optimum conditions of treating solid wastes collected from rainbow trout farm**

The moisture content of collected feces was 86.4% and its specific gravity was 0.9995. For drying the feces by air in a drying tank (8 m length, 1.2 m width, 0.5 m height), it needs 12 weeks to reduce the volume to half. If collected feces in the CCBS tank every month, at least 3 drying tanks are needed with this drying condition. This is not economical for fish farmer to treat collected feces.

Even when some bulky additives, such as saw dust or rice husk, were mixed with feces in various volume ratios (1:0.5, 0.75, and 1), drying speed were not much changed. Therefore, to find out the optimum mixing ratio between feces and the additives to handle the wastes for removing from drying tank to other place such as a compost yard a series of tests were conducted. The tested mixing ratios of feces with saw dust were 1:0.25, 0.5, 0.75, 1.0 and 1.25, and the ratios with rice husk were 1:0.5, 0.75, 1.0, 1.25, and 1.5. The minimum mixing ratio with saw dust for removing was 1:0.5, and that with rice husk was 1.0:0.75. If fast drying is needed, or if using feces as a fertilizer, the minimum mixing ratios of feces with saw dust and rice husk should be 1:0.75, and 1:1, respectively. Time needed to move half dried feces (1.4 m<sup>3</sup>) mixed with 0.42m<sup>3</sup> of saw dust was half hour by 3 persons. When the feces was mixed with 0.5% of bread yeast for fast fermentation, no efficiencies were found. It seems the high moisture contents of feces (>80%) prohibit the activities of bread yeast. When the feces was mixed with saw dust at the ratio of 1:0.25 and let it dry under natural condition, fecal smell and black color disappeared after 2 months.

The moisture, crude fat, crude protein, and crude ash in the feces were 86.8%, 0.26%,

2.56%, and 7.6%, respectively. The crude ash contained Ca, P, K, and Mg at the ratio of 2.2%, 0.97%, 266 ppm, and 973 ppm, respectively. According to these analysis, there is a high possibility for feces to be used as a fertilizer.

## **5. Removal efficiencies of micro solid wastes**

In the pilot scale test, foam fractionation showed good efficiencies to remove protein, suspended solids, COD from rearing water of farming tank. However, when the foam fractionation was applied at the effluent water of rainbow trout farm, foam production was low. Therefore, IBK biofilter was tested to remove the micro solids in the effluent water. When the effluent water was 65 m<sup>3</sup>/hour, removal rate of settleable solid from IBK biofilter was 0.85 kg/day, and that of the non settleable solid was 2.0 kg/day. According to this results, IBK biofilter was very effective to remove micro solids from effluent water of rainbow trout farm.

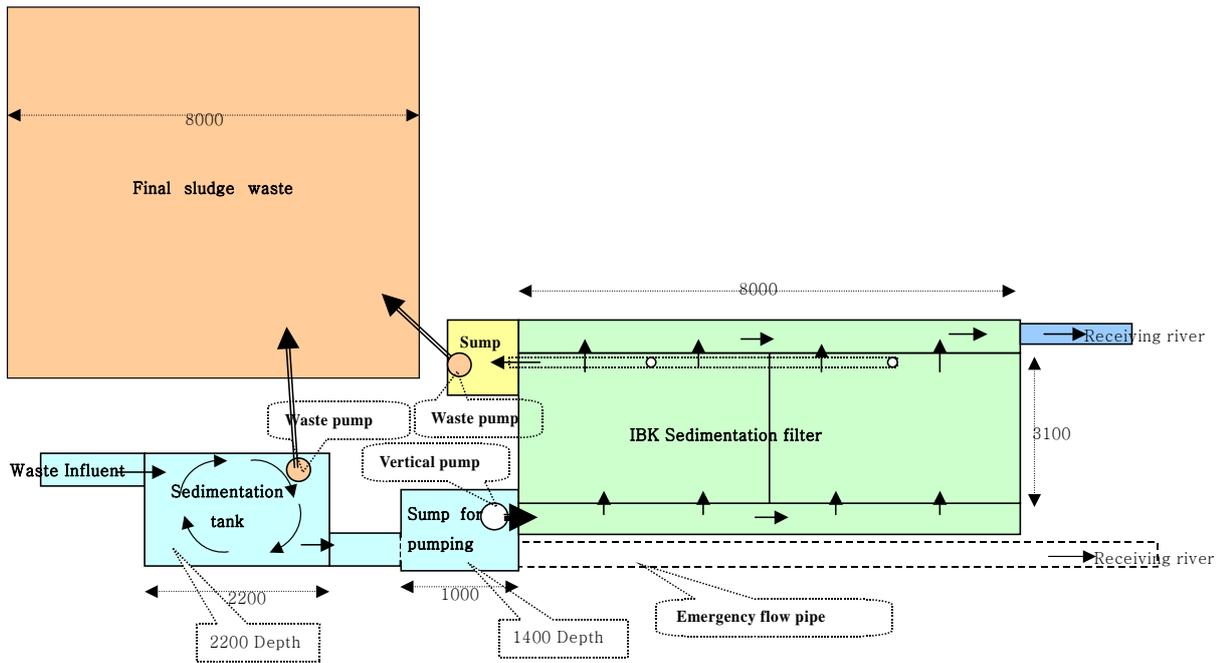
In the IBK biofilter, parts of TAN and NO<sub>3</sub> were removed but NO<sub>2</sub> and PO<sub>4</sub> were rather increased.

## **6. Design of effluent treatment system for inland flow-through aquaculture farm**

Brief final design plan of effluent treatment system for inland flow-through rainbow trout farm and its function are as follow.

When the effluent water with settleable and non settleable solids flow into the sedimentation tank, most of settleable solids settle down there. The depth of sedimentation tank is 2.2 m and residential time of effluent water is around 2.4 min when water flow rate is 100m<sup>3</sup>/h. After the settleable solids settle down, non settleable solids are over-flowed into the pumping tank. Then water is pumped into the inlet channel of IBK biofilter. Settleable solids settled in the sedimentation tank are pumped time to time into the sludge storage tank by submersible sewage pump.

When water pumping rate of the pump is 100 m<sup>3</sup>/h, water flow speed in one of the IBK biofilter becomes 0.4 cm/sec. This is enough water velocity for the settlement of the micro solids in the effluent water. Then clean water flows out to the receiving stream out side of fish farm. The IBK biofilter tank is cleaned time to time depends on the amount of accumulated solids. When one tank is under cleaning, the other



tank is used. Most top water is removed quietly, and remaining solids are moved into the sump through drain pipe. The drained sludge water in the sump pumped into the solid storage tank by submersible sewage pump. Collected solids in the storage tank is let it dry under sun light and wind or decompose in the tank.

In case of emergency such as failure of pump to IBK biofilter, water flows out through the emergency drain pipe.

## 7. Economical analysis of effluent treatment system

This effluent system is much economical than using micro screen drum filter or disc filter. If fish farmers have to buy micro screen filter, they must pay not only for the machine but also maintenance cost because they have to change micro screen and nozzle time to time. However, this proposed effluent treatment system is once constructed, farmers need to replace pump only every 2-3 years. The cost of a micro screen filter, the filtering capacity of which is around 2000 m<sup>3</sup>/day is 60,000,000 won. Maintenance cost for screen and nozzle is around 10,000,000 won and is needed one year after the machine is installed. While the construction costs of this effluent treatment system is 150,000-200,000 won per 3.3m<sup>2</sup>. Therefore the construction costs of this system is around 3,750,000-5,000,000 won. Two submersible sewage pumps are 700,000 won and one vertical axial pump is

1,200,000 won.

## **8. Proposal of treatment policy of effluent from fish farm**

Fish feces or solid waste from fish farms are not accepted in the human feces treatment plant. If this is accepted, the treatment of collected solids from fish farm will become very easy. If feces or solid wastes are accumulated in fish farms, fish farmers ask the human waste treatment company to pump up. Urgent discussion and policy agreement is needed between the Ministry of Maritime and Fisheries and the Ministry of Environment.

# CONTENTS

Abstract (Korean) .....	1
Abstract (English) .....	10
Content (English) .....	17
Content (Korean) .....	22
Chapter 1 Introduction of study .....	27
Section 1 Purpose of study .....	27
1. Necessity of study .....	27
A. Technological side .....	27
B. Social and cultural side .....	29
2. Target of study .....	29
Chapter 2 Status of technological development in the world .....	30
Section 1 Domestic .....	30
Section 2 Other countries .....	30
Section 3 Prospects of this technology .....	31
Chapter 3 Methods and results of study .....	33
Section 1 Pollution loading of fishes .....	34
1. Pollution loading of rainbow trout - ammonia and feces production .....	34
A. Materials and methods .....	34
(1) Rearing system .....	34
(2) Experimental fishes .....	34
(3) Feeding methods .....	35
(4) Measurement of feces production .....	35
(5) Measurement of ammonia excretion .....	35
(6) Statistical analysis .....	36
B. Results .....	36
(1) Growth .....	36
(2) Total ammonia excretion .....	37
(3) Feces production .....	38
(4) Digestion rate .....	39
(5) Excretion of NO <sub>2</sub> and NO <sub>3</sub> .....	40
㉔. Discussion .....	41
2. Pollution loading of common carp - ammonia and feces production .....	45
A. Materials and methods .....	45

B. Results .....	45
(1) Growth .....	45
(2) Feces production .....	46
Section 2 Swirl separator .....	52
1. Optimum dimension of pilot scale swirl separator .....	52
A. Methods of pilot scale swirl separator study .....	52
(1) Dimension .....	52
(2) Running conditions and test particle .....	54
(3) Sedimentation tank .....	55
(4) Regulation of inlet water .....	55
(5) Efficiencies .....	55
B. Results of pilot scale swirl separator study .....	56
(1) Pilot scale swirl separator .....	56
(2) Results of pilot scale swirl separator .....	61
2. Optimum dimension of large scale swirl separator .....	63
A. Methods of large scale swirl separator study .....	63
(1) Construction and efficiencies of large scale swirl separator .....	63
B. Results of large scale swirl separator study .....	68
(1) Construction and efficiencies of large scale swirl separator .....	68
(2) Sedimented quantities of solids .....	75
3. Application of large scale swirl separator for rainbow trout farm .....	79
A. Materials and method .....	79
(1) Large scale swirl separator .....	79
B. Results .....	81
(1) Removal efficiencies of settleable and non settleable solids .....	81
(2) Removal efficiencies of dissolved nutrients .....	83
(3) Removal efficiencies of COD .....	85
C. Discussion .....	86
Section 3 Effective methods of micro solids .....	88
1. Micro solids removal with IBK biofilter .....	88
A. Materials and method .....	88
B. Results .....	88
C. Discussion .....	93
2. Micro solids removal with foam fractionator .....	95
A. Materials and methods .....	95
(1) Micro solids removal .....	95
B. Results .....	96

3. Final purification by foam fractionator .....	101
A. Materials and methods .....	101
B. Results and discussion .....	101
Section 4 Treatment methods of separated and condensed sludge .....	103
1. Dry and using additives .....	103
A. Materials and methods .....	103
(1) Quantity of settled solids .....	103
(2) Methods of treatment of separated solids wastes .....	103
B. Results .....	104
(1) Quantity of settled solids .....	104
(2) Methods of treatment of separated solids wastes .....	106
Section 5 Design of effluent treatment methods for flow-through aquafarm ..	111
1. Results .....	111
A. Feces and ammonia excretion of fishes .....	111
(1) Rainbow trout .....	111
(2) Common carp .....	112
B. Efficiencies of swirl separator .....	113
(1) Pilot scale swirl separator .....	113
(2) Large scale swirl separator .....	113
C. Removal efficiencies of micro solids .....	115
(1) IBK biofilter .....	115
(2) Foam fractionator .....	116
D. Methods of treatment of condensed sludge .....	117
(1) Results .....	117
(2) Economical analysis .....	118
2. Optimum design factors .....	119
A. Total feces production in farms .....	119
B. Optimum size for solids treatment system .....	120
C. Design of effective removal system .....	120
(1) Manpower .....	121
(2) Construction problems for round and cone-shape sedimentation tank ..	121
(3) Problem shooting .....	121
D. Methods of sedimented wastes .....	121
3. Design factors and designing .....	122
A. Design factors .....	122
B. Design plans .....	123

Chapter 4 Achievement and contribution .....	125
Section 1 Achievement and contribution in the first year .....	125
1. Achievement .....	125
A. Swirl separators .....	125
B. Feces production of fishes .....	126
(1) Common carp .....	126
(2) Rainbow trout .....	128
2. Contribution .....	129
A. To the science information .....	129
B. Publications .....	129
Section 2 Achievement and contribution in the second year .....	130
1. Achievement .....	130
A. Large on-site swirl separator .....	130
(1) Construction and efficiencies of large scale swirl separator .....	130
(A) Construction .....	130
(B) Efficiencies .....	131
(C) Computer simulation .....	131
(2) Quantities of sedimentation .....	132
(3) Methods of waste treatment .....	132
(A) Collection and condensation of collected wastes .....	132
(B) Methods of sludge treatment in dry tank .....	132
(4) Methods of solids treatment by foam fractionator .....	134
2. Contribution .....	135
A. To the fish farm .....	135
B. Publications .....	135
Section 3 Achievement and contribution in the third year .....	138
1. Achievement .....	138
A. Design and construction of micro solids removal facilities .....	138
(1) Construction of IBK biofilter .....	138
(2) Removal efficiencies of micro solids by IBK biofilter .....	139
B. Design of effluent treatment system .....	139
(1) IBK biofilter .....	139
2. Contribution .....	139
A. To the fish farm .....	139
B. Publications .....	140
Chapter 5 Application plan of study results .....	143

Section 1 Support of effluent treatment of inland flow-through farm .....	143
1. Support standard design .....	143
A. Technology transfer .....	143
B. Extension service .....	143
2. Other technology transfer .....	143
A. Fish culture technology .....	143
B. Water quality management technology .....	144
C. Patented technology .....	144
Chapter 6 Technological information from other countries .....	145
Chapter 7 References .....	146
Appendix: Plan for effluent treatment system .....	149

# 목 차

요약문 (국문) .....	1
요약문 (영문) .....	10
목차 (영문) .....	17
목차 (국문) .....	22
제 1장 연구 개발 과제의 개요 .....	27
제 1절 연구 개발의 목표 .....	27
1. 연구개발의 필요성 .....	27
가. 기술적 측면 .....	27
나. 사회 문화적 측면 .....	29
2. 연구개발의 목표 .....	29
제 2장 국내외 기술개발 현황 .....	30
제 1절 국내 기술 개발 현황 .....	30
제 2절 국외 기술 개발 현황 .....	30
제 3절 앞으로의 전망 .....	31
제 3장 연구개발 수행내용 및 결과 .....	33
제 1절 어류의 오염 부하량 .....	34
1. 무지개송어 오염부하량 연구 - 사료공급량에 따른 암모니아 및 분배설량 .....	34
가. 연구방법 .....	34
(1) 사육 시스템 .....	34
(2) 사육 어류 .....	34
(3) 사료 공급방법 .....	35
(4) 분 배설량 측정 방법 .....	35
(5) 암모니아 배설 측정 방법 .....	35
(6) 통계 분석 .....	36
나. 결과 .....	36
(1) 성장률 .....	36
(2) 총암모니아 배설량 .....	37
(3) 분배설량 .....	38
(4) 소화율 .....	39
(5) NO <sub>2</sub> 와 NO <sub>3</sub> 배설량 .....	40
다. 고찰 .....	41
2. 잉어 오염부하량 연구 - 사료공급량에 따른 암모니아 및 분배설량 .....	45
가. 연구방법 .....	45
나. 결과 .....	45

(1) 잉어의 성장 .....	45
(2) 분 배설량 .....	46
제 2절 와류형 오물 분리장치 .....	52
1. 소형 와류형 분리장치의 최적 운전 조건 연구 .....	52
가. 소형와류형 분리장치의 연구방법 .....	52
(1) 와류형 분리장치 .....	52
(2) 시료 입자 및 운전 조건 .....	54
(3) 침전조 .....	55
(4) 유입수량 조절 .....	55
(5) 수집 효율 측정 .....	55
나. 소형 와류형 분리장치 연구 결과 .....	56
(1) 소형 와류형 분리장치 .....	56
(2) 소형 와류형 분리장치 연구 결론 .....	61
2. 대형 와류형 분리장치의 최적 운전 조건 연구 .....	63
가. 대형와류형 분리장치의 연구방법 .....	63
(1) 와류형 오물 분리장치의 설치공사 및 성능 .....	63
나. 대형 와류형 분리장치 연구 결과 .....	68
(1) 와류형 오물 분리장치의 설치공사 및 성능 .....	68
(2) 고품오물 침전량 .....	75
3. 무지개송어 양식장 배출수 전처리로써 대형 와류형 분리장치 이용방안 .....	79
가. 연구방법 .....	79
(1) 와류형 분리장치 .....	79
나. 결과 .....	81
(1) 부유 및 침전성 고형물 제거 효율 .....	81
(2) 용존성 영양염 제거 효율 .....	83
(3) 화학적산소요구량 (COD) 제거 효율 .....	85
다. 고찰 .....	86
제 3절 미세 침전물의 효과적인 제거 방법 .....	88
1. IBK 생물여과조를 이용한 미세부유물의 처리 성능 .....	88
가. 실험 방법 .....	88
나. 결과 .....	88
다. 고찰 .....	93
2. 포말분리 장치를 이용한 미세부유물의 처리 성능 .....	95
가. 연구 방법 .....	95
(1) 포말 분리장치에 의한 미세 부유물의 처리 .....	95
나. 연구 결과 .....	96
3. 포말분리에 의한 최종 정화 연구 .....	101

가. 연구 방법 .....	101
나. 연구 결과 .....	101
제 4절 분리 수거된 농축 슬러지의 처리 방법 .....	103
1. 건조 및 부형제 이용 연구 .....	103
가. 연구 방법 .....	103
(1) 고형오물의 침전 양 .....	103
(2) 분리된 고형오물의 정화 처리 방법 .....	103
나. 연구 결과 .....	104
(1) 고형오물의 침전 양 .....	104
(2) 분리된 고형오물의 정화 처리 방법 .....	106
제 5절 내수면 유수식 양식장 배출수 처리를 위한 최적 설계 .....	111
1. 연구 결과 .....	111
가. 어류의 분 및 암모니아 배설량 .....	111
(1) 무지개송어 .....	111
(2) 잉어 .....	112
나. 와류형 분리 침전조의 성능 .....	113
(1) 소형 와류형 분리 침전조의 성능 .....	113
(2) 대형 와류형 오물 분리 침전조의 성능 .....	113
다. IBK 생물여과조 1c 포말분리장치에 의한 미세침전물의 분리성능 .....	115
(1) IBK 생물여과조 .....	115
(2) 포말 분리 실험 .....	116
라. 농축 분리된 슬러지의 처리방안 .....	117
(1) 결과 .....	117
(2) 경제성 검토 .....	118
2. 최적 설계도 및 설계 상수 .....	119
가. 양어장 내의 분생성장 .....	119
나. 양어장 내의 분생성장률 처리하기 위한 시스템의 크기 .....	120
다. 효과적인 제거를 위한 시스템의 설계 .....	121
(1) 인력 운용상의 문제 .....	121
(2) 원뿔 및 원형 침전조의 시설 공사에 대한 문제 .....	121
(3) 해결 방안 .....	121
라. 침전 오물의 처리 방안 .....	121
3. 최적 설계 상수 및 설계도 .....	122
가. 설계 상수 .....	122
나. 설계도 .....	123
제 4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도 .....	125

제 1절 1차년도 목표 달성도 및 관련분야 기여도 .....	125
1. 목표 달성도 .....	125
가. 와류형 오물 분리 장치 부분 .....	125
나. 잉어 및 무지개송어의 오물 생성량 .....	126
(1) 잉어 .....	126
(2) 무지개송어 .....	128
2. 기여도 .....	129
가. 학술정보의 기여 .....	129
나. 학술지 발표 .....	129
제 2절 2차년도 목표 달성도 및 관련분야 기여도 .....	130
1. 목표 달성도 .....	130
가. 대형 현장형 와류형 오물 분리 장치 .....	130
(1) 와류형 오물 분리 장치의 설치공사 및 성능 .....	130
(가) 대형 현장형 오물 분리 장치 설치 .....	130
(나) 와류형 오물 분리 장치의 성능 .....	131
(다) 와류형 오물 분리 장치의 시뮬레이션 .....	131
(2) 고품오물의 침전 양 .....	132
(3) 분리된 고품오물의 정화처리 방법 .....	132
(가) 오물의 분리수집 및 농축 방법 .....	132
(나) 건조장의 농축 슬러지의 처리 방법 .....	132
(4) 포말분리 장치에 의한 미세 부유물의 처리 .....	134
2. 기여도 .....	135
가. 양식 현장에의 기여 .....	135
나. 학술지 발표 .....	135
제 3절 3차년도 목표 달성도 및 관련분야 기여도 .....	138
1. 목표 달성도 .....	138
가. 미세 침전물 제거 장치 설계 및 현장 설치 .....	138
(1) IBK 침전 여과조 현장 설치 .....	138
(2) IBK 침전 여과조 고품물 제거 능력 .....	139
나. 내수면 유수식 양식장 배출수 처리 시설 설계 .....	139
(1) IBK 침전 여과조 .....	139
2. 기여도 .....	139
가. 양식 현장에의 기여 .....	139
나. 학술지 발표 .....	140
제 5장 연구 개발 결과의 활용 계획 .....	143

제 1절 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리 설계도 보급 .....	143
1. 표준 설계도 보급 .....	143
가. 기술 이전 .....	143
나. 현장 기술지도 .....	143
2. 기타 부수적인 기술 이전 .....	143
가. 양어 기술 .....	143
나. 수질 관리 기술 .....	144
다. 특허 기술 보급 .....	144
제 6장 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보 .....	145
제 7장 참고 문헌 .....	146
부록 : 내수면 유수식 양식장 배출수 처리 시스템 설계도면 .....	149

# 제 1 장 연구 개발 과제의 개요

## 제 1절 연구개발의 목표

### 1. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

현재 우리나라 내수면 양식장의 배출수 처리의 현황은 수질환경보전법 제50조에 관련된 시행규칙 별표 10(1999)의 1항 수산물양식시설의 (나)의 일반양어장의 시설 또는 조치사항에 의하면 “사료 찌꺼기, 배설물 기타 슬러지 등을 적정 처리하기 위하여 사육시설 면적의 20% 이상이고 깊이가 1-1.5 m (배출수가 1.5 시간 이상 체류할 수 있는 경우는 깊이는 1 m 이하로 할 수 있다)인 침전시설 또는 이와 동등 이상의 효율을 입증할 수 있는 수질오염방지시설을 설치하여야 한다”라고 규정하고 있다. 이 침전지의 목적은 침전이 가능한 먹이 찌꺼기와 배설물을 침전시키고 맑은 윗물을 일반 공유수면에 방류하도록 하는 취지에서 시행되고 있다. 이 규정에 따르면 침전조의 체류 시간을 1.5시간(90분)을 기준으로 한 단순 침전에 의한 침전 효과를 전제로 한 것이다.

그러나 실제 현장에서 일어나는 상황은 사육 수면적을 기준으로 하고 있기 때문에 사용되는 수량과는 무관하게 되어 침전효과에는 일정한 성과를 기대할 수가 없다. 특히 유수식 양식장은 막대한 양의 물을 사용하며, 사용되는 물의 양도 각 양식장의 조건에 따라서 판이하게 다르다. 따라서 현재의 규정은 배출되는 폐수가 침전지에서 침전되는 실제 효과와는 무관하게 규정되어 있기 때문에 양식 산업과 자연환경 모두를 보호하지 못하고 있는 실정이다.

즉, 현재 사용되고 있는 침전지는 대개 다음 Fig. 1.1과 같은 구조로 침전지 안에 침전된 오물은 사육 수면적의 20%에 해당하는 넓은 면적의 침전지 바닥에 널리 흩어져 침전된 오물의 최종처리가 실제적으로 힘들다. 따라서 거의 대부분의 경우 침전오물이 그대로 방치되어 있는 상태가 보통이기 때문에 시일이 경과함에 따라 침전된 오물이 용해 또는 분해되어서 결국은 공유수면의 오염부하를 가중시키는 결과로 이어지고 있다. 따라서 단순 침전을 이용하는 현재의 방법은 양식장에서 사용하는 수량은 크게 상관하지 않고 수면적에 대한 비율과 수심만을 규정하고 있기 때문에 유수식 양식장에서는 효과가 크게 감소할 수밖에 없고 수면적의 손실에 따른 어민의 경쟁력도 줄어든다.





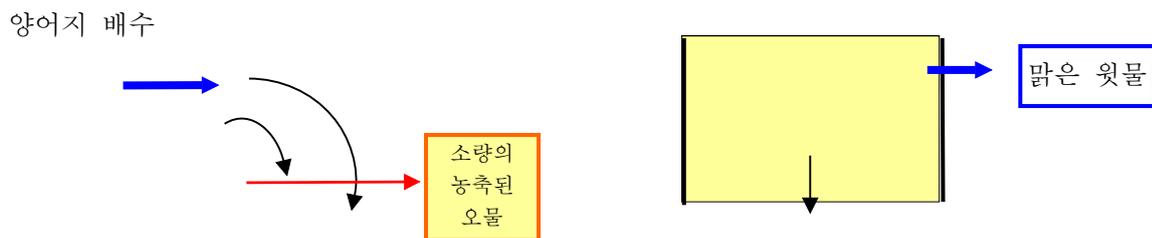
Fig. 1

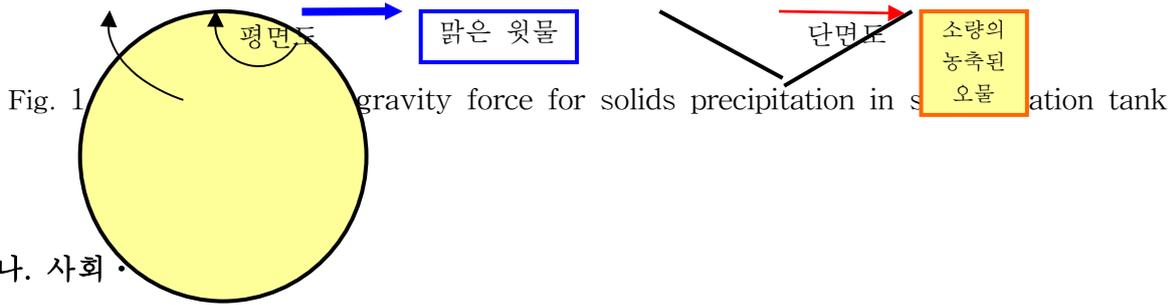
그러나 양식

에 의한 밀도차이에 따른 분리 효과와 중력에 의한 효과를 동시에 이용하면 가장 효과적이다. 따라서 수중에서의 침전효과는 중력을 이용한 단순 침전의 경우 시간도 오래 걸리고 이에 따라 침전조의 크기도 커져야하지만 와류에 의한 오물 분리 효과를 고려하고 중앙부를 향한 경사 구조로 하면 현재 규정에 나와 있는 체류 시간 90분 보다 훨씬 짧은 10분을 기준으로 하여도 동등한 효과를 낼 수 있다 (Schwarz, 2000). 그렇기 때문에 바닥이 경사진 원형구조의 침전시설에서 와류의 힘을 이용하는 방법이 실제적인 방법이라고 사료된다. 그리고 원형 침전지에서는 고형 오물의 와류 분리 기능이 침전지를 통과하는 수량이 많아야 높아진다는 점을 감안해야 한다(Summerfelt and Timmons, 2000). 이점이 단순 침전지에서의 침전 기능과 상이한 점이다. 따라서 일반 침전지 대신 와류침전지를 사용하면 침전오물을 바닥의 중앙배수구를 통하여 효과적으로 분리할 수 있으므로 오물이 공유수면에 방출되는 것을 효과적으로 막을 수 있다.

또 와류침전지를 설치 운용하면 일반적인 유수식 양식장에서는 소요 면적이 사육수면적의 1-2%이면 충분할 것으로 생각되며, 건조 장치의 면적을 생각하더라도 2-3% 정도만 되면 충분할 것으로 판단된다. 이 뿐만 아니라 일반 침전조에는 주기적으로 침전물을 제거하여 그 사이에 침전물에서 용출된 여러 가지 성분들이 자연수계로 들어가 부영양화에 기여할 수 있으나 와류형 고형오물 분리장치는 거의 연속적으로 제거할 수 있기 때문에 그 성능 면에서 비교할 수 없을 정도로 우수하다.

이렇게 된다면 양식어민에게도 침전지 수면적에 대한 부담을 크게 경감시킬 수 있을 것이며, 양식장의 찌꺼기를 효율적으로 수집, 관리 할 수 있기 때문에 국토의 효율적 이용은 물론 자연수계의 보호나 상수원의 보호에도 큰 도움이 되게 된다. 따라서 다음 그림과 같은(Fig. 1.2) 와류 침전시설 즉 와류형 고형오물 분리장치의 개발이 필요하다.





나. 사회

내수면 양식장의 허가 취소 등으로 우리나라의 내수면 어류의 생산이 감소하면서 종이나 계통이 다른 중국의 내수면 어류가 대체품으로 수입되어 들어와 식용으로만 쓰이지 않고 우연한 사고로 또는 의도적으로 자연 수계에 방출되므로써 우리나라 토종 어족들의 생존을 위협하고 해칠 뿐만 아니라 우리나라의 고유한 종을 멸종으로 유도하여 우리나라에만 있는 어족의 유전 정보의 소실을 가져오게 하는 동시에 자연에 외래종의 범람으로 사회 문화적인 측면에서 국민의 정서에 나쁜 영향을 주게 된다.

## 2. 연구개발의 목표

본 연구는 내수면 유수식 양식장 배출수의 수질을 와류형 오물분리 장치 및 기타 방법으로 정화시켜 현재 사육 수면적의 20%로 되어 있는 침전조의 면적을 줄여 양식어민들의 부담을 낮추어 주어 내수면 유수식 양식장의 어류 생산 경쟁력을 높이는 동시에 환경도 보호하는 것이 목적이다. 이 같은 목적을 달성하기 위하여 배출수에 섞여 나오는 분과 먹이 찌꺼기 등의 고형 침전물을 와류형 오물 분리장치로서 제거하고 침전이 어려운 미세 부유물질 등을 침전시키는 효과가 뛰어난 IBK 순환여과시스템의 생물여과조를 이용하여 배출수를 통과시켜 정화시킨 후 배출 하도록 한다. 또한 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리를 위한 표준 설계도를 개발 보급하고 배출수 처리에 대한 정책 방향을 제시한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 국내 기술 개발 현황

국내에서는 내수면 양식장의 배출수의 처리에 대한 연구는 전무하고 해산어 양식장의 배출수에 대한 연구는 2건의 보고서가 있다. (동해안축양협회 1994; 수산청 1995) 그러나 해산어 양식장

의 배출수의 특성은 내수면 양식장의 배출수의 특성과는 어류의 배설 형태와 먹이 공급 형태에 있어서 근본적으로 차이가 있다. 즉, 해산어는 현재 주로 생사료를 원료로 한 습식사료(moist pellet)를 사용하고 있으며, 내수면 어류는 거의 모두가 건조 알갱이 사료(extruded pellet 혹은 expanded pellet)를 사용하고 있다. 또한 내수면 어류(오, 2001)와 해산어류(이, 1996)서는 배설되는 분의 형태가 크게 차이가 있으며 배설물의 응집도에서도 차이가 많아서 이에 대한 대책이 달라져야 할 필요가 있다.

## 제 2절 국외 기술 개발 현황

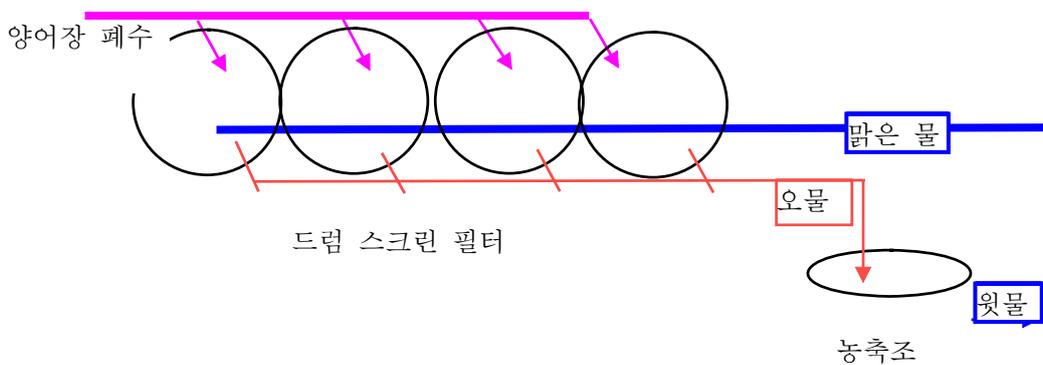
국외에서 배출수에 대한 규제는 유럽국가연합에서 볼 수 있다. 이에 대한 규제는 주로 배출수의 수질을 정하는 방법과 양어장의 사용 가능한 사료 양을 규제하는 방법이 있다(FES, 1992, 조재윤 번역(1997)). 유럽국가연합에서는 양어장의 고품질 오물 제거 방법으로 드럼스크린필터(Lawson, 1995)를 이용한 물리적인 여과가 주류를 이루고 있고, 미국에서는 흐르는 물의 원심력을 이용한 소형의 와류형 고품질 오물 분리기(Wheaton, 1977; Svarovsky, 1977)도 사용하고 있다. 이 중에서 와류형 고품질 오물 분리 방법은 흐르는 물에서 중층에 부유하는 고품질오물을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 물에 뜨는 고품질 오물도 제거할 수 있는 방법으로 현재까지 소형 수조나 탱크에서 많이 이용되고 있다. 노르웨이의 대서양 연안에서는 바다에 설치한 가두리를 이용하여 세계에서 연어를 가장 많이 양식하고 있는데, 양식용 연어의 종묘는 육상의 수조에서 길러낸다. 따라서 이러한 육상 종묘 생산 시설과 유수식 양식장에서 대량으로 흘러나오는 물을 일단 드럼스크린 필터를 이용하여 찌꺼기를 분리시킨 후 마지막에 소형 침전조를 사용하는 경우가 있다(Fig. 2.1).

대형드럼스크린 필터를 설치하면 설치비용이 많이 소요되는 문제와 기계적 장치의 관리(Langer et al., 1999)에 큰 부담이 추가되는 단점이 있다. 그래서, 와류 침전시설을 대형으로 만들면 충분히 유수식의 대량 배출수에서도 이용할 수 있는 가능성이 크므로 이 원리를 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리에 응용하려고 한다.

## 제 3절 앞으로 전망

우리나라는 국토가 좁은 반면 인구밀도가 세계에서 두 번째로 높은 국가로 가용할 수 있는 면적이 적다. 많은 선진국이 국가의 부의 창출에는 어느 정도 기반이 조성된 후에는 국민들의 복지에 힘을 쏟아 쾌적한 환경과 여가 선용에 대한 많은 투자를 하고 있기 때문에 미래에는 환경 보호가 국가 정책의 최우선 과제 중에 포함될 것이며 이에 대한 대책으로 환경을 오염시키는 어떠한 산업도 규제가 강화될 것으로 예상된다. 우리나라도 OECD 국가에 포함되게 되었고 점차 선진국의 대열에 들어가게 되었으므로 환경을 보호하는 정책에 맞추어 수산과 양식 산업을 발전시켜

가야 할 것이다. 따라서 현재에 자연에 오염물을 직접 배출하는 양식 방법에서 오물을 분리 처리하여 청정한 배출수를 방출하는 방법으로 전환되어야 하며 이를 위해 우선 우리의 바로 곁에 있는 내수면 유수식 양식장의 배출수를 처리하여 내보내지 않으면 안 되므로 이 과제를 시작하기로 하였다. 이 과제가 완성되어 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리가 완벽하게 된다면 양식 산업의 지속적인 확대 발전이 가능하고 국민들에게 건강한 고급 단백질을 공급하면서도 내수면 자연환경을 깨끗이 유지할 수 있는 일석이조의 성과를 올릴 수 있다. 또한, 이 시스템을 개발하게 되면 내수면 양식보다 규모가 훨씬 큰 해산어 유수식 양식장에도 적용이 가능할 뿐 아니라 이를 현재의 개발도상국이나 선진국에 기술 이전 또는 판매할 수도 있을 것으로 판단된다.



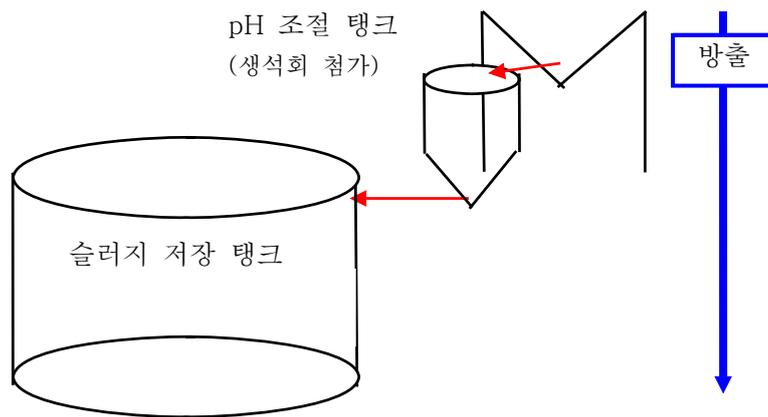


Fig. 2.1. Schematic drawing of waste water treatment system in Norway  
(Bergheim and Cripps, 1998)

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

내수면 유수식 양식장 배출수 처리 방안에 대한 연구 개발은 가장 효과적인 결과를 도출하기 위하여 다음과 같은 순서로 시행하였다.

- 1) 내수면 유수식 양식장에서 사육되는 어류의 오염부하량 연구  
대표적인 양식종인 무지개송어와 잉어의 오염 부하량을 추정하기 위해 분 배설량 및 암모니아 배설량을 조사하여 배출수 처리의 기초 자료로 이용함.
- 2) 배출수에 혼합되어 나오는 오물의 효과적인 분리 방안 연구  
배설된 분을 모으고 처리하기 위한 장치 개발을 위하여 효과가 있는 와류형 오물분리장치를 이용하기로 하고
  - ① 소규모의 와류형 분리장치에 대한 성능을 조사하여 설계의 기초자료로 이용함.
  - ② 이 결과를 바탕으로 현장에 대형 와류형 오물분리장치를 시설하여 오물의 침전 분리에 대한 성능을 조사함.
- 3) 미세 침전물의 효과적인 제거 방안 연구  
와류형 오물분리 장치에서도 제거 되지 않고 배출되는 미세 침전물을 효과적으로 제거하기 위하여
  - ① IBK 생물여과조를 와류형오물분리장치 다음에 추가 설치하고 성능을 조사함과 동시에
  - ② 포말분리법에 의한 유기물 제거로 최종 배출수의 추가 정화 가능성을 조사함.
- 4) 침전 분리된 오물의 정화처리 방안 연구  
배출수에서 오물을 효과적으로 분리할 수 있었지만 분리된 오물을 처리할 수 있는 방법을 개발하고 분리된 오물의 적정 이용방법을 조사함.
- 5) 우리나라 내수면 유수식 양식장에 가장 적합한 배출수 처리장치의 표준 설계도 작성  
위의 연구 결과를 바탕으로 하여 어민들에게 직접 보급할 수 있는 설계도를 작성함.
- 6) 유수식 양식장의 배출수 처리 방안에 대한 정책 방향 제시  
우리나라의 양식장도 살리고 환경도 보호하는데 필요한 정책 방향을 제시함.

### 제 1절 어류의 오염부하량

# 1. 무지개송어 오염부하량 연구 - 사료공급량에 따른 암모니아 및 분배설량

## 가. 연구방법

### (1) 사육시스템

사육시스템은 순환여과식으로 설계되었으며, 부경대학교 양식공학실험실에 설치하여 실험을 실시하였다(Fig. 3.1). 설치된 사육수조는 23 x 25 x 39.5 cm 용량이며, 1,154 ℓ 용량의 침지식 질산화여과조를 설치하였다. 소화율 측정에 영향을 미칠 수 있는 사육순환수내 이물질을 제거하기 위해 침전조와 사육수조로 유입되는 사육 순환수는 슝 슝린 및 카터리지 필터(100 μm)를 이용하였다. 사육수는 지하수를 공급하였다.

### 사육 어류

실험에 사용된 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) 치어는 상주에 위치한 이화정송어양식장 청리양어장에서 공급되었으며, 실험 시작 전 사육시스템에 적응시켜 이미 사용되었던 35% 단백질 함량의 상품사료를 공급하여 실험을 하였다. 실험 시작 시점의 어체중은 9.33 g 이었으며, 실험어는 9개의 수조에 각각 11마리씩 수용하여 3반복으로 사육하였고, 2주 마다 성장률을 측정하였다. 분배설량은 0.5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사료에 첨가하여 소화율 측정을 통해 계산되었다.

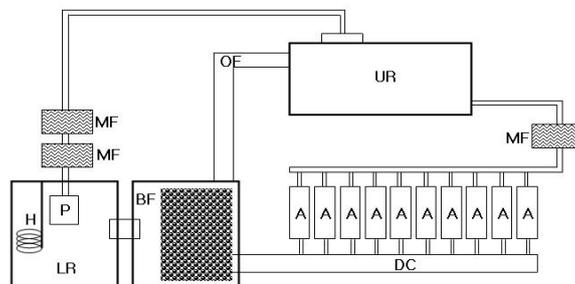


Fig. 3.1. Schematic diagram of experimental system used for collecting feces of rainbow trout and common carp.

A: aquaria; BF: biofilter; DC: drain channel; H: heater; LR: lower reservoir; MF: mechanical filter; P: pump, submerged; UR: upper reservoir

### (3) 사료공급 방법

실험사료는 3반복 실험구 각각에 대하여 일일 어체중의 1%, 2.5% 및 5%를 아침 8시에서 저녁 10시까지 3시간 간격으로 공급하였다. 사료는 실험어가 섭취하는 동작을 살피면서 공급하였으며 먹지 않은 사료는 사료 공급량에서 제외하였다.

#### (4) 분배설량 측정방법

실험에 이용된 분 수집 장치는 Fig. 3.2에 나타내었다. 분수집은 매일 아침 사료 공급 전에 수집하여 일간배설량을 측정하였고, 그리고 매 2시간 마다 수집하여 사료 공급 후 시간별 배설 패턴을 조사하였다. 수집한 분은 동결 건조하여 분석하였다.

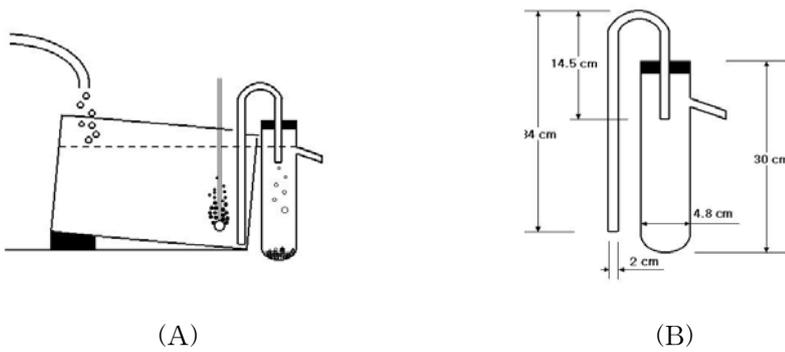


Fig. 3.2. The TUF Column System for feces collection.

(A): TUF Column attached to a culture aquarium; (B): dimension of TUF Column

#### (5) 암모니아 배설 측정방법

암모니아 배설량은 3가지 다른 방법으로 측정하였다. 첫째는 절식상태에서 측정하여 기초 대사량을 측정하였고, 둘째는 12시간 동안 매 3시간 간격으로 사료를 공급하여 매 2시간 간격으로 측정하였고, 셋째는 4일간 사료 공급 후 반복상태의 어류의 암모니아 배설량을 측정하였다. 총암모니아 측정은 Leung et al. (1999)의 방법으로 하였다.

$$\text{TAN (mg N kg}^{-1}\text{h}^{-1}) = \{(C_0 - C_1)(dv/dt)_1 - (C_c - C_1)(dv/dt)_2\}/W$$

즉,  $C_1$  is the ammonia concentration (mg TAN  $l^{-1}$ ) at the inflow.

$C_0$  is the ammonia concentration at the outflow of the experimental chamber.

$C_c$  is the ammonia concentration at the outflow of the control chamber.

$(dv/dt)_1$  is the flow rate ( $l h^{-1}$ ) through the experimental chamber.

$(dv/dt)_2$  is the flow rate of the control chamber

$W$  is the wet body weight (kg) of the fish.

#### (6) 통계분석

실험구별 암모니아 및 분배설량의 유의성 검증을 SPSS 통계프로그램을 이용하여 one-way ANOVA 분석을 하였다.

### 나. 결과

**(1) 성장률**

무지개송어는 육식성 어류로 매우 활발한 사료섭취 행동 패턴을 나타내었다. 또한 어체중의 증가와 함께 사료섭취량도 함께 증가하였다. 사료공급량에 따른 성장률은 2주후에 현저한 차이를 보여, 평균 어체중 증가율은 사료 공급구 5%, 2.5%, 1%에서 각각 70.9%, 40.5%와 15.4%를 나타내었다. 4주후 평균 어체중 증가율은 사료 공급구 5%, 2.5%, 1%에서 각각 66.5%, 42.1% 및 11.8%로 나타났다. 어체 중, 일일성장률, 사료계수에 대한 결과를 Table 3.1에 나타내었다.

Table 3.1. Fish weight, weight gain and FCR in every two weeks

Feeding regime (% BW)	Number of fish in Each tank	Initial BW (g)	Changes in 2 week intervals					
			1st (g)	SWG (%)	FCR	2nd (g)	SWG (%)	FCR
5	11	102.57 ± 0.493	175.3 ±0.709	70.9 ±0.473	0.843 ±0.006	291.9 ±1.997	66.5 ±1.015	0.973 ±0.015
2.5	11	102.63 ±0.462	144.6 ±0.781	40.5 ±0.723	0.863 ±0.021	205.4 ±1.365	42.1 ±0.929	0.817 ±0.021
1	11	102.73 ±0.289	118.3 ±0.737	15.4 ±0.513	0.920 ±0.026	132.3 ±0.513	11.8 ±0.289	1.177 ±0.023

BW: Body Weight, SWG: Specific Weight Gain, FCR: Feed Conversion Ratio

**(2) 총암모니아 배설량**

어체중 12-28 g인 무지개 송어를 이용하여 3시간 간격의 사료공급에 따른 2시간 간격의 암모니아 배설량 측정 결과는 Table 3.2와 같다.

암모니아 배설량은 5% 사료공급구가 2.5%와 1% 사료공급구보다 월등히 높게 나타났으며, 전체적으로 5% 사료공급량 범위에서 사료공급량에 비례하여 암모니아 배설량도 증가하였다. 배설패턴은 오전 8시부터 저녁 22시 까지는 암모니아 배설량이 모든 사료 공급구에서 증가하다가 24시부터는 감소하는 패턴을 나타내었다.

Table 3.2. TAN excretion (mgN/kg/h) when fish were fed every 3 hours from 08:00 to 20:00

Time	Treatments (Feeding Rate)		
	1%	2.5%	5%
08:00	7.95	10.49	16.04
10:00	12.79	21.18	34.69
12:00	15.75	29.10	40.29
14:00	22.51	32.88	42.72
16:00	26.59	35.10	41.86
18:00	27.67	36.33	43.14
20:00	30.39	39.96	44.36
22:00	31.37	40.35	45.35
24:00	28.57	33.53	41.53
02:00	23.22	31.80	39.30
04:00	19.54	25.96	34.53
06:00	15.56	24.57	32.16
08:00	7.63	13.79	18.71
Mean	20.73	28.85	36.51

사료를 반복공급 하였을 때의 암모니아 배설량에 대한 결과를 Table 3.3에 나타내었다. 모든 사료 공급구에서 반복공급후 암모니아 배설량은 증가하다가 측정 10시간을 정점으로 이후부터 감소하는 경향을 나타내었다. 4일간 절식시킨 무지개송어의 암모니아 배설량은 모든 사료공급 구에서 2.7-2.8 mg/kg/h를 나타내었다.

Table 3.3 TAN excretion (mgN/kg/h) of rainbow trout fingerling after satiation following 4 days starvation

Time	Treatments (Feeding Rate)		
	1%	2.5%	5%
15	4.9	4.5	3.9
16	8.2	8.2	7.7
17	9.2	8.9	9.9
19	12.3	14.4	13.8
21	14.5	17.8	20.7
23	17.4	18.2	21.2
1	20.8	21.7	23.3
3	20.3	20.8	23.0
5	18.9	17.8	22.4
7	14.4	16.8	14.7
9	16.4	18.9	16.5
11	15.2	12.2	20.4
13	11.4	12.5	11.4
15	11.8	12.0	10.3
17	9.8	9.1	7.5
19	9.0	9.7	7.3
21	6.1	5.0	6.3
Mean	13.0	13.5	14.1

### (3) 분배설량

사료 공급구별 24시간 동안의 사료공급에 따른 분배설량에 대한 결과를 Table 3.4에 나타내었다.

Table 3.4. Changes of feces amount (g/kg fish) during 24h at standard feeding

Time	Treatments (Feeding Rate)		
	1%	2.5%	5%
2	0.287	0.444	0.816
4	0.222	0.342	0.968
6	0.115	0.311	0.763
8	0.179	0.520	1.096
10	0.159	0.557	1.242
12	0.155	0.502	1.027
14	0.170	0.562	1.203
16	0.181	0.542	0.782
18	0.170	0.518	0.707
20	0.149	0.529	0.628
22	0.200	0.503	0.664
24	0.120	0.410	0.494
Total	2.109	5.740	10.391

각 실험구별 절식에 따른 분배설량에 대한 결과를 Table 3.5에 나타내었다. 절식 시간의 증가에 따라 분배설량은 거의 나타나지 않았다.

Table 3.5. Changes of feces production (g/kg fish) during starvation period. Feces collection was started 14 hours after the last feeding.

Time	Treatments (Feeding Rate)		
	1%	2.5%	5%
14	0.183	0.216	0.637
16	0.102	0.157	0.493
18	0.078	0.105	0.264
20	0.060	0.074	0.212
22	0.077	0.057	0.140
24	0.074	0.043	0.136
26	0.049	0.040	0.056
28	0.032	0.044	0.059
30	0.024	0.025	0.033
32	0.034	0.023	0.052
34	0.046	0.033	0.031
36	0.035	0.027	0.027
42	0.011	0.016	0.021
48	0.017	0.021	0.019
60	0.009	0.010	0.010
<b>84</b>	<b>0.005</b>	<b>0.008</b>	<b>0.005</b>
114	0.004	0.004	0.004
<b>Total</b>	<b>0.838</b>	<b>0.902</b>	<b>2.199</b>

#### (4) 소화율

일간 사료섭취량에 따른 소화율과 분배설량에 대한 결과를 Table 3.6에 나타내었다.

Table 3.6. Daily of feed, feces and digestibility

Day	5%			2.5%			1%		
	Feed g/kg fish/d	Fec Prod g/kg fish/d	Digest (%)	Feed (g)	Fec Prod g/kg fish/d	Digest (%)	Feed g/kg fish/d	Fec Prod g/kg fish/d	Digest (%)
5	39.832	6.709	83.2	24.854	4.563	81.5	9.971	1.159	88.5
6	39.832	9.049	77.3	24.854	3.981	83.9	9.971	1.266	87.4
7	49.790	9.379	83.1	24.854	4.466	81.9	9.971	1.285	87.1
8	39.832	11.214	71.9	24.854	3.417	86.3	9.971	1.392	86.1
9	39.832	10.194	74.4	24.854	3.971	84	9.971	1.353	86.5
10	39.832	10.748	73	24.854	4.369	82.4	9.971	1.519	84.9
11	39.832	11.786	70.4	24.854	4.252	82.9	9.971	1.461	85.4
12	49.790	10.583	78.8	24.854	3.922	84.2	9.971	1.315	86.8
13	49.790	11.126	77.7	24.854	4.000	83.9	9.971	1.412	85.9
14	49.790	10.107	79.7	24.854	3.330	86.6	9.971	1.168	88.3
15	49.790	13.680	72.5	24.854	3.330	86.6	9.971	1.490	85.1
16	40.076	9.886	75.3	24.931	4.959	80.2	10.025	1.369	86.3
17	40.076	8.280	79.3	24.931	4.564	81.7	10.025	1.023	89.8
18	40.076	9.463	76.4	24.931	4.495	81.9	10.025	1.310	86.9
19	50.095	10.783	78.5	24.931	4.703	81.1	10.025	1.784	82.2
20	50.095	13.566	72.9	24.931	4.149	83.4	10.025	1.488	85.1
21	50.095	11.143	77.8	24.931	3.672	85.3	10.025	1.555	84.5
22	50.095	12.954	74.1	24.931	3.499	86	10.025	1.378	86.2
23	50.095	11.589	76.9	24.931	4.212	83.2	10.025	1.437	85.6
24	50.095	11.011	78	24.931	3.714	85.2	10.025	1.471	85.3
25	50.095	10.360	79.3	24.931	4.599	81.6	10.025	1.767	82.3
26	50.095	12.280	75.5	24.931	3.893	84.4	10.025	1.589	84.1
27	50.095	12.726	74.6	24.931	5.076	79.7	10.025	1.767	82.3
28	50.095	11.131	77.8	24.931	4.689	81.2	10.025	1.598	84.1
29	50.095	13.943	72.2	24.931	5.360	78.6	10.025	1.724	82.7
30	33.800	17.800	68.4	25.054	3.759	85	10.023	1.451	85.5
31	38.360	11.038	71.2	25.054	4.990	80.1	10.023	1.451	85.5
32	36.828	10.295	72.1	25.054	5.034	79.9	10.023	1.512	84.9
33	38.641	10.490	72.9	25.054	5.628	77.5	10.023	2.124	78.8

### (5) NO<sub>2</sub>와 NO<sub>3</sub> 배설량

사육시스템의 아질산과 질산 농도 측정결과를 Fig. 3.3과 Fig. 3.4에 나타내었다. 아질산과 질산의 농도는 유입수와 유출수에서 차이가 거의 나타나지 않았다.

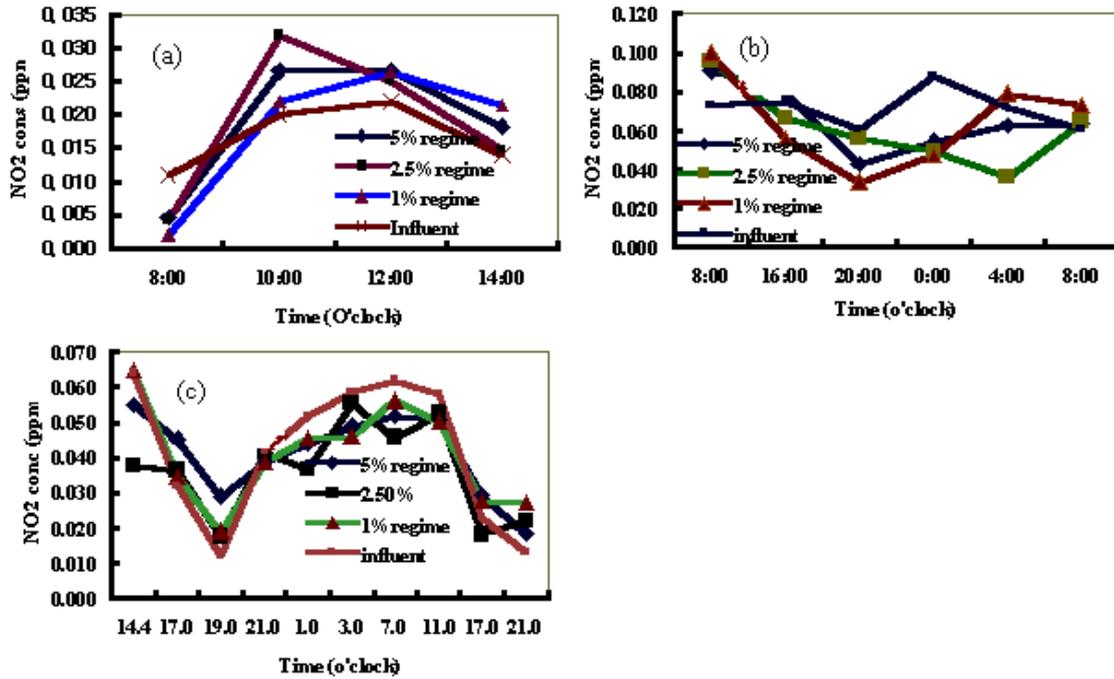


Fig. 3.3. NO<sub>2</sub> concentration on (a) basic excretion (b) standard condition and (c) after satiation

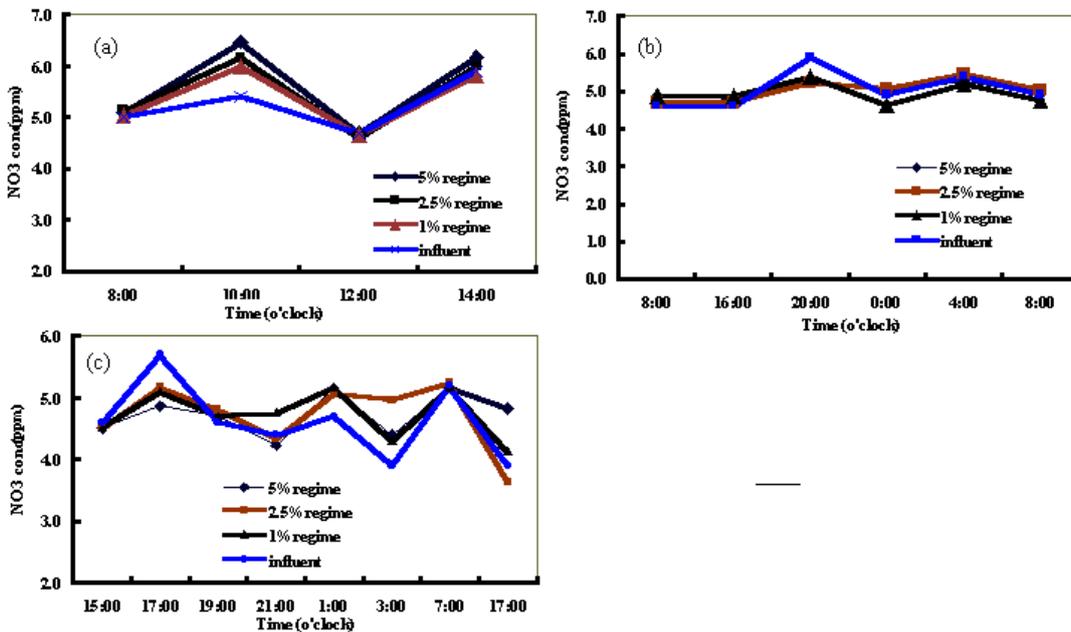


Fig. 3.4. NO<sub>3</sub> concentration on (a) basic excretion (b) standard condition and (c) after satiation

#### 다. 고찰

사료공급량과 사료효율은 어류 성장률에 중요한 요인으로 사료계수, 어체 조성 등에 영향을 미친다(Ogata et al. 2002; Ham et al. 2003). 본 연구에서 어류의 성장률은 첫4주 동안의 결과

가 다음 4주의 성장률보다 높게 나타났는데, 이것은 처음 실험 시작 시 작은 어체중의 실험어가 실험 기간의 경과 후 성장한 어류보다 어체중 비율비 사료섭취량이 많기 때문이다. 그러나 본 실험에서 5% 사료공급구의 사료공급량은 매우 높은 것으로, 그리고 2.5%와 1% 사료공급구는 5% 사료공급구와 비교하여 성장률이 현저히 낮게 나타나, 사료공급량이 낮은 것으로 사료된다.

암모니아 배설량은 모든 사료공급구에서 사료공급과 함께 증가하여 마지막 사료공급후 2시간 후에 감소하기 시작하였는데, 이는 사료내 단백질 함량과 그 섭취량에 따라 영향을 받는 것으로 사료되고, 사료섭취량이 많을 경우 탈아미노 대사과정도 높게 나타나는 것으로 사료된다(Forsberg and Summerfelt, 1992). 이것은 또한 암모니아 배설 대사에 현저한 영향을 미친다(Webb and Johannes, 1969).

암모니아 배설 유형에 있어 사료 공급 직후 배설량은 급격하게 증가하고 이후 일정시간 까지 서서히 증가한다. 이것은 앞선 다른 연구(Kaushik and Gomes, 1988)에서도 유사하게 나타나는 현상이다. 본 연구에서 무지개송어의 경우 오랜 시간 동안의 지속적 사료공급은 짧은 시간 동안의 사료공급에 비해 암모니아 배설량이 현저하게 증가됨을 발견하였다(Table 3.2). 본 연구에서는 사료공급 시간이 매 3시간 간격으로 사료 공급 바로 직후의 총암모니아량은 급속하게 증가하지 않았다. 무지개송어가 사료섭취후 암모니아 배설 대사에 소요되는 시간은 Fauconneau and Arnal (1985)에 의하면, 사료 공급후 2에서 4시간 정도 소요되고, 다른 연구가들(Smith, 1981; Loughna and Goldspink, 1984; Houlihan et al. 1986)은 사료 공급 후 12에서 24시간 소요되는 것으로 밝히고 있다.

Table 3.7. The peak of ammonia excretion after meal in different feeding time periods

Feeding time / Protein conc	Time period experiment	Time peak value after meal	Concentration (mg/kg BW)	Reference
Daily / 50.9%	72 hours	8, 10, 13 h after meal 1, 2 and 3	From 10 to 22	Kaushik and Gomes, 1988
Once for 2 d /50.9%	72 hours	12 hours	From 12 to 30	Kaushik and Gomes, 1988
Once for 4 d /50.9%	72 hours	14 hours	From 12 to 35	Kaushik and Gomes, 1988
Every 3 hour /35%	12 hours	Every after meal	Tab. 2	This study
After 4 d starv35%	30 hours	10 hours	From 2.8 to 22 (Tab. 3)	This study

모든 사료공급구에서 절식시킨 후에는 암모니아 배설 유형에 큰 차이가 나타나지 않았다. 사

료공급후 절식 8시간 까지는 암모니아 배설량이 증가하였으나 이후 감소하였다. 이러한 결과는 Wicks and Randall (2002)와 Rychly and Marina (1977)의 연구 결과와 유사하다. 절식시 5% 사료공급구가 2.5%와 1% 사료공급구에 비해 오전 11시 암모니아 배설량이 높게 나타났는데, 이는 다른 사료공급구에 비해 5% 사료공급구의 실험어가 성장에 따른 어체중이 더 무거우며 또한 사료 공급에 대한 기대와 사료공급전 활발한 운동이 더 심하게 나타나 암모니아 배설량도 증가된 것으로 추정되며, 다른 연구(Regnalt, 1981; Blazka et al. 1982)에서도 유사하게 나타나고 있다.

사료공급후 2시간 동안에는 사료공급량과 암모니아 배설량 및 분배설량에 대한 상관관계가 나타나지 않았으나, 사료공급 24시간 후에는 사료공급량에 따른 암모니아와 분배설량간의 상관관계가 발견되었다(Fig. 3.5).

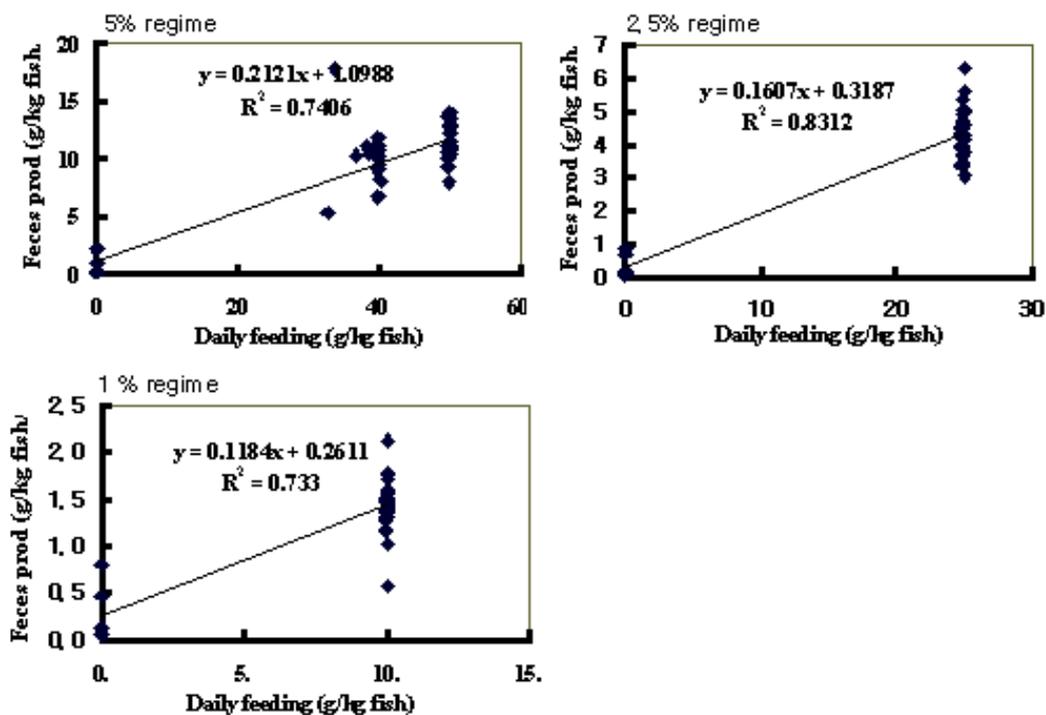


Fig. 3.5. Correlation regression between daily feces production and daily feeding

본 연구에서 4일간 절식한 무지개송어의 총암모니아 배설량은 모든 사료공급구에서 유사하게 나타났다. Dall and Smith (1986)도 사료 절식 48시간 후에는 플라즈마암모니아 배설량은 모든 절식실험구와 유사하게 나타난다고 밝히고 있다.

소화율에 있어서는 5% 사료 공급구가 2.5% 및 1% 사료 공급구보다도 낮게 나타났다. 이에 따라 일간 분배설량도 5% 사료공급구가 2.5% 및 1% 사료공급구보다도 높게 나타났다. 사료공급후 30시간 이후에는 분배설이 검출되지 않았다. 이 시간 이후에는 암모니아 배설량도 거의

일정하게 낮게 유지되었다. 절식 기간동안의 가장 낮은 암모니아 배설량은 4.5 mg/kg/h 이하로 유지되었다.

본 실험의 순환여과식 사육시스템에서 아질산 농도는 0.1 ppm 이하로 나타났으며, 이는 Russo et al (1974)이 무지개송어의 경우 아질산 농도가 0.27 ppm 이하에서는 안전하다 밝힌 것 보다도 낮은 농도로 유지된 것이다.

이상의 결과에서 분배설량과 암모니아 배설량은 사료공급량에 따라 직접적인 상관관계가 있었으며, 공급량은 2.5%에서 5% 사이가 최적일 것으로 사료된다.

## 2. 잉어의 오염 부하량 연구-사료공급량에 따른 암모니아 및 분 배설량

### 가. 연구방법

사료공급량에 따른 잉어의 암모니아, 분 배설량 추정 및 성장률 측정을 위한 실험 방법은 앞서 제시한 무지개송어를 대상으로 한 실험방법과 동일한 방법으로 실시하였다.

### 나. 결과

#### (1) 잉어의 성장

오물 생성량 조사를 위해 잉어를 사육한 시스템은 Fig. 3.1과 같이 무지개송어에서 사용한 10개의 유리수조와 1개의 생물여과조, 그리고 2개의 저수조로 구성된 시스템을 사용하였다. 분수집도 역시 무지개송어의 분을 수집한 TUF Column시스템으로 수집하였다 (Fig. 3.2). 9개의 유리수조에 평균체중 25.2g의 잉어치어를 각 수조 마다 10마리씩 방양하여 1일 사료공급량을 1.0%, 2.5%, 5.0%로 달리하여 4주간 사육하여 성장한 결과는 Table 3.8과 같다. 1일 사료공급량을 어체중의 5%를 공급한 그룹은 성장이 가장 좋아서 평균체중 45.8g으로 성장하였으며 2.5% 그룹과 1.0% 그룹은 각각 평균 32.6g과 26.2g으로 성장하였고 폐사는 없었다.

4주간 공급된 총 사료량은 5%, 2.5%, 1% 사료 공급구에 각각 355.6g, 176.4g, 72.8g이 공급되었고 사료계수는 각각 1.74, 2.43, 7.64로 나타나 1% 공급구는 거의 성장하지 못한 것으로 나타났다.

Table 3.8. Growth results of common carp(*Cyprinus carpio*) for feces collection experiment

Treatment Number*	Stocking Wt.(g)	Number of Fish	Harvesting Wt.(g)	Wt. Gain		Daily Ration (g)	Total Feed Fed (g)	FCR	
				Replication	Trt. Average			Replication	Treatment Average
5-1	252.4	10	461.6	209.2	204.20	12.70	355.6	1.70	1.742
5-2	254.3	10	453.2	198.9		12.70	355.6	1.79	
5-3	253.8	10	458.2	204.4		12.70	355.6	1.74	
2.5-1	253.8	10	318.5	64.7	73.37	6.40	176.4	2.73	2.431
2.5-2	251.5	10	335.1	83.6		6.30	176.4	2.11	
2.5-3	251.7	10	323.5	71.8		6.30	176.4	2.46	
1-1	250.7	10	264.9	14.2	10.20	2.60	72.8	5.13	7.631
1-2	250.9	10	259.3	8.4		2.60	72.8	8.67	
1-3	252.9	10	260.9	8		2.60	72.8	9.10	

\* 5-1: 5% daily ration group, replication #1; 5-2: 5% group, replicat. #2; 5-3: 5% group, replicat. #3  
 2.5-1: 2.5% daily ration group, replication #1; 2.5-2: 2.5% group, replicat. #2; 2.5-3: 2.5% group, replicat. #3  
 1-1: 1% daily ration group, replication #1; 1-2: 1% group, replicat. #2; 1-3: 1% group, replicat. #3

#### (2) 분 배설량

잉어 배설량은 일간 사료량을 어체중의 1%, 2.5%, 5%로 달리하였을 때 각각 하루 평균 2.52g, 6.31g, 12.68g (건조중량)의 사료를 섭취하였고, 24시간 동안의 평균 배설량은 각각 0.414g, 0.934g, 2.309g (건조중량)으로 나타났다 (Table 3.9). 분 배설량에 대한 자료만으로 소화율을 계산하면 각각 83.6%, 85.2%, 및 81.8%로 나타났다. 그러나 이 자료는 산화크롬을 섞은 사료와 이를 섭취한 분에서 나온 자료를 비교해야 정확한 것을 얻을 수 있다.

24시간 내의 잉어 분 배설량의 분포를 처음에는 4시간 간격으로 그 후부터는 매 2시간 간격으로 나누어 조사한 결과 Table 3.9에 나타난 바와 같이 첫 4시간에는 거의 배설하지 않다가 8시간 후부터 증가하기 시작하여 10시간에서 16시간 동안 가장 많이 배설하다가 18시간부터 감소하기 시작하였으며 20시간 후에는 급격히 줄어든다. 이에 따라 낮 동안 계속 먹이를 공급하다가 오후 8시경 마지막 사료를 공급하고 나면 약 16시간 후에서부터 배설이 시작되는 것으로 나타났다. 이것은 처음 사료를 공급하기 시작하면서부터 약 28시간 후부터 배설이 시작되고 32시간 후에는 증가하기 시작하여 34시간에서 40시간 사이에 가장 많이 배설하며 42시간 후부터 감소하기 시작하여 44시간 후에는 급격히 줄어들어 1일 총 배설량의 5% 이하로 감소하였다. 따라서 사료를 공급하기 시작한 후 34시간에서부터 40시간 사이에 1일 총 배설량의 65% 이상 배설하였고 사료 공급 후 32시간에서부터 42시간 사이에 1일 총배설량의 86% 이상을 배설하였다. 이 같은 배설 형태를 구명한 것은 처리하여야 할 오물의 양의 구명과 더불어 하루 중에 전날 먹은 사료가 소화되어 배설될 때 10시간 내에 전체 배설량의 거의 대부분을 처리해야 한다는 것을 밝혀 처리 장치의 용량을 결정하는데 아주 중요한 정보를 얻게 되었다.

Table 3.10.에서 나타난 바와 같이 잉어가 배설하는 총 배설량의 관점에서 잉어 체중의 1%, 2.5%, 5%를 먹이고 난 후 72시간까지의 배설량의 시간별 분포를 보면 총 배설량의 92.9-98.3%가 24시간 이내에 배설되었으며 48시간에는 1.2-5.2%가 배설되었고 72시간째에는 0.5-1.8%가 배설되어 1일분의 먹이를 먹고 난 후 소화되지 않고 분으로 배설되는 것은 24시간이내에 93% 이상이 배설되는 것으로 나타났다. 이는 잉어의 먹이 습성과 연관이 있는 듯하며, 위가 없는 잉어는 먹이를 한꺼번에 다량 섭취하지 못하고 조금씩 여러 번으로 나누어 먹기 때문에 가두리에서의 잉어 양식 시에 1시간에 한번씩 1일 12시간 동안 계속 먹이를 공급하는 경우도 있었다.

Table 3.9. Changes of the amount of feces excretion of common carp and average percentage of each treatment by every 2 to 4 hours. Feces were collected by TUF Column system during 24-hour period

Treatment Number*	Feces Amount (g)		4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
	Total	Trt. Av.											
5-1	2.2070	2.3088	0.0413	0.1287	0.3016	0.3506	0.3226	0.413	0.3639	0.2138	0.0310	0.0325	0.008
5-2	2.3158		0.0404	0.1887	0.3074	0.3998	0.3481	0.3604	0.3839	0.1892	0.0662	0.0162	0.0155
5-3	2.4037		0.1402	0.2002	0.2420	0.5699	0.4071	0.2960	0.2607	0.1715	0.0920	0.0123	0.0118
2.5-1	0.7807	0.9336	0.0139	0.0319	0.0969	0.1335	0.1512	0.1202	0.0997	0.0670	0.0488	0.0085	0.0091
2.5-2	0.9734		0.0126	0.0146	0.085	0.1211	0.162	0.1553	0.2211	0.1455	0.0379	0.0097	0.0086
2.5-3	1.0468		0.0098	0.0078	0.0855	0.1917	0.1729	0.1386	0.1656	0.1740	0.0665	0.0205	0.0139
1-1	0.4986	0.4135	0.014	0.0008	0.0143	0.0686	0.0794	0.1006	0.0877	0.0837	0.0271	0.0160	0.0064
1-2	0.2894		0.0092	0.0034	0.0115	0.0343	0.0561	0.0691	0.0414	0.0310	0.0197	0.0073	0.0064
1-3	0.4524		0.0068	0.0033	0.0111	0.0595	0.0841	0.0778	0.0671	0.0717	0.0358	0.0154	0.0198

\* Consult the explanation at Table 3.8.

Table 3.10. Percentage of collected feces to the total amount of collected feces excreted by common carp from 8:00 AM to 8:AM. Feces were collected first 4 hours at the beginning and were collected every two hours thereafter.

Treatment Number*	Total Feces(g)	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
5-1	2.207	1.87	5.83	13.67	15.89	14.62	18.71	16.49	9.69	1.40	1.47	0.36
5-2	2.3158	1.74	8.15	13.27	17.26	15.03	15.56	16.58	8.17	2.86	0.70	0.67
5-3	2.4037	5.83	8.33	10.07	23.71	16.94	12.31	10.85	7.13	3.83	0.51	0.49
Average		3.15	7.44	<b>12.34</b>	<b>18.95</b>	<b>15.53</b>	<b>15.53</b>	<b>14.64</b>	8.33	2.70	0.89	0.51
2.5-1	0.7807	1.78	4.09	12.41	17.10	19.37	15.40	12.77	8.58	6.25	1.09	1.17
2.5-2	0.9734	1.29	1.50	8.73	12.44	16.64	15.95	22.71	14.95	3.89	1.00	0.88
2.5-3	1.0468	0.94	0.75	8.17	18.31	16.52	13.24	15.82	16.62	6.35	1.96	1.33
Average		1.34	2.11	9.77	<b>15.95</b>	<b>17.51</b>	<b>14.86</b>	<b>17.10</b>	<b>13.38</b>	5.50	1.35	1.13
1-1	0.4986	2.81	0.16	2.87	13.76	15.92	20.18	17.59	16.79	5.44	3.21	1.28
1-2	0.2894	3.18	1.17	3.97	11.85	19.38	23.88	14.31	10.71	6.81	2.52	2.21
1-3	0.4524	1.50	0.73	2.45	13.15	18.59	17.20	14.83	15.85	7.91	3.40	4.38
Average		2.50	0.69	3.10	<b>12.92</b>	<b>17.97</b>	<b>20.42</b>	<b>15.58</b>	<b>14.45</b>	6.72	3.05	2.62
Grand Average		2.33	3.41	8.40	<b>15.94</b>	<b>17.00</b>	<b>16.94</b>	<b>15.77</b>	<b>12.05</b>	4.97	1.76	1.42

\* Consult the explanation at Table 3.8.

사료 공급량 별 배설 특성은 3가지 사료 공급량 모두에서 24시간 이내 대부분의 분이 배설되었으나, 가장 많은 양을 공급한 5% 실험구보다 2.5%와 1.0%로 적게 먹일수록 24시간 이내 배설되는 총 분량이 유의성 있게 적어졌고, 2.5% 실험구에서 보다 1.0% 실험구에서 전체 배설량은 줄어들었다. 이 같은 특징은 먹이가 풍부한 경우와 먹이가 부족한 경우에 배설되는 형태가 달라진

다는 것을 의미하고 먹이가 부족한 경우 장내에 머무르는 시간이 길어지는 것으로 판단된다.

Table 3.12는 분을 수집하는 방법에 따른 분의 양을 나타내었다. 24시간동안 그대로 두었다가 일시에 수집하는 방법으로 모은 분의 양은 사료를 5%, 2.5%, 1.0% 먹인 순서대로 각각 1.1963g, 0.5547g, 및 0.2857g이었으나 매 2시간마다 모아서 받은 것은 각각 2.3088, 0.9336, 및 0.4135g으로 나타나 상당한 양이 차이가 있었다. 가장 먹이를 많이 준 5% 그룹은 약 24시간 한차례만 수집한 것이 51.8% 로 약 절반 정도 밖에 안 되었으며 2.5%와 1%를 먹인 그룹도 절반 보다는 높아 각각 58.3%와 69.1%에 지나지 않아 한차례만 수집한 것이 분의 유실이 있었음을 보여준다.

Table 3.11. Comparisons of feces amount and percentages of feces of common carp to the total amount of feces collected for 3 days. Fish were fed daily rations of 5%, 2.5%, and 1.0% of body weight from 8:00 AM to 8:00 PM. Collection of feces were started from 12 hours after the last feeding and were measured at 24 h, 48 h, and 72 h.

Treatment Number*	Total Amount	24h	%	48h	%	72h	%
5-1	2.2339	2.207	98.80	0.0157	0.70	0.0112	0.50
5-2	2.3692	2.3158	97.75	0.0411	1.73	0.0123	0.52
5-3	2.4396	2.4037	98.53	0.0261	1.07	0.0098	0.40
2.5-1	0.8123	0.7807	96.11	0.017	2.09	0.0146	1.80
2.5-2	1.0041	0.9734	96.94	0.018	1.79	0.0127	1.26
2.5-3	1.0847	1.0468	96.51	0.0296	2.73	0.0083	0.77
1-1	0.5308	0.4986	93.93	0.0252	4.75	0.007	1.32
1-2	0.3216	0.2894	89.99	0.0242	7.52	0.008	2.49
1-3	0.4823	0.4524	93.80	0.0204	4.23	0.0095	1.97
Average			95.82		2.96		1.23

\* Consult the explanation at Table 3.8

Table 3.12. Comparisons of the amount of collected feces of common carp by two different collecting methods.

Treatment Number*	The First Method**	Treatment Average (1)	The Second Method***	Treatment Average (2)	Comparison****
5-1	1.139	1.1963	2.207	2.3088	51.8%
5-2	1.231		2.3158		
5-3	1.219		2.4037		
2.5-1	0.448	0.5447	0.7807	0.9336	58.3%
2.5-2	0.472		0.9734		
2.5-3	0.714		1.0468		
1-1	0.326	0.2857	0.4986	0.4135	69.1%
1-2	0.276		0.2894		
1-3	0.255		0.4524		

\* Consult the explanation at Table 3.8.

\*\* Feces were collected once in 24 hours.

\*\*\* Feces were collected every 2 or 4 hours and added for 24-hour period

\*\*\*\* (1) ÷ (2) x 100

Table 3.13. Characteristics of blood of common carp (*Cyprinus carpio*) fed 3 different daily ration levels.<sup>1</sup>

Diet	HSI <sup>2</sup> (Hepatosomatic Index)	CF <sup>3</sup> (Condition factor)	PCV (Hematocrit)	Hb (Hemoglobin)
1 (5%)	1.26 ± 0.24	1.55 ± 0.04a	40.8 ± 1.5	5.68 ± 0.5b
2 (2.5%)	1.54 ± 0.32	1.43 ± 0.11ab	44.7 ± 2.4	7.45 ± 0.3a
3 (1%)	1.08 ± 0.03	1.33 ± 0.04b	44.2 ± 1.9	8.13 ± 1.3a

<sup>1</sup>values within the same column with different superscripts are significantly different (P<0.05)

<sup>2</sup>Hepatosomatic Index (%): liver wt.×100/body wt.

<sup>3</sup>Condition Factor: (wet weight / total length<sup>3</sup>)×100

혈액분석 결과에서 헤마토크리트(hematocrit)는 39.5~47.3% 범위로 나타났는데 이 결과는 무지개송어에 있어서 32~42% 측정값(Alexis et al.,1985)과는 조금 높고, 성장기 잉어(송 등, 1995)와 조피볼락(배 등, 1996)에 있어서 보고한 44%와 비슷한 경향을 나타내었다. 헤모글로빈(hemoglobin)의 양은 5.09~9.16g/dl의 범위로 나타났으며 이러한 측정값은 송 등 (1995)이 발표한 잉어에서의 9~10g/dl 보다는 낮은 경향을 보였고, Kikuchi et al., (1994)이 발표한 넙치에서의 3.6~5.3g/dl 보다는 높은 경향을 보였다. 보통 건강한 어류의 헤모글로빈의 양은 10g/dl 정도라는 보고가 있기는 하지만(Post, 1983), 정상적인 값은 아직 어종별로 증명된바는 없고, 필수영양소의 결핍과 어중에 따른 환경조건 및 성장상태에 따라 그 값이 변할 수 있다고

많은 연구자들은 밝히고 있기 때문에 (Watanabe et al., 1981; Murai et al., 1982; Cowey et al., 1983; Wilson et al., 1984; Mosconi-Bac. 1987; Babin 1987a; Garrido et al., 1990) 단순히 값으로만 비교하는 것은 무리하다고 생각된다.

전어체분석 및 CF (condition factor)의 결과 매일 어체중의 5%를 공급한 실험구가 단백질 함량이 낮고 지방이 높은 반면, 2.5 와 1% 첨가구는 단백질이 높고 지방함량이 낮아지는 결과를 나타내었다. 그리고 2.5와 1% 첨가구에서는 CF가 높아 성장에 1일 사료 공급량이 낮아 어체의 정상적인 성장이나 대사에 필요한 충분한 에너지를 공급받지 못한 것으로 생각되며, 에너지의 저장 형태인 지방 또한 확보하지 못한 것으로 사료된다. 그러나 또 다른 면으로 5% 공급구가 과잉 에너지 공급으로 인한 체지방 및 CF 증가도 생각할 수도 있으나, 성장률과 사료 효율 등 다른 factor를 고려하면 에너지 과잉 공급 보다는 2.5, 1% 실험구가 충분한 에너지 공급을 받지 못한 것이 더 타당성이 있다고 사료된다.

Table 3.14. Proximate analysis results of whole-body of common carp (*Cyprinus carpio*) fed 3 different daily ration levels (% of DM basis)<sup>1</sup>

Diet	Crude Protein	Crude Lipid	Crude Ash	Moisture
1 (5%)	62.4 ± 1.89c	30.9 ± 0.56a	8.94 ± 0.68b	73.5 ± 1.97
2 (2.5%)	69.7 ± 3.80b	21.3 ± 2.75b	11.28 ± 1.35ab	76.4 ± 0.73
3 (1%)	79.5 ± 0.65a	16.1 ± 3.66b	14.26 ± 2.69a	77.9 ± 1.10

<sup>1</sup>values within the same column with different superscripts are significantly different (P<0.05)

Table 3.15. Percent apparent digestibility of DM and CP

Diet	DM apparent digestibility(%)	CP apparent digestibility(%)
1 (5%)	44.7 ± 1.1	87.94 ± 0.65ab
2 (2.5%)	46.3 ± 0.9	88.50 ± 0.47a
3 (1%)	45.2 ± 1.0	86.35 ± 1.25b

<sup>1</sup>values within the same column with different superscripts are significantly different (P<0.05)

건물(DM) 및 단백질(CP)의 겉보기소화율 (apparent digestibility, AD)를 분석한 결과를 Table 3.15에 나타내었다. 3가지 서로 다른 1일 사료량 처리구 간에 건물소화율은 실험구간의 유의적인 차이가 없었으나, 전반적으로 44~45사이로 낮게 나왔고, 단백질은 2.5% 실험구가 1%실험구보다 유의적으로 높은 것은 2.5% 실험구가 단백질 소화율 측면으로 볼 때, 적절한 사료 공급량으로 보여 진다.



## 제2절 와류형 오물 분리장치

### 1. 소형 와류형 분리장치의 최적운전조건 연구

#### 가. 소형와류형 분리장치 연구방법

##### (1) 와류형 분리장치

본 실험을 위해 제작된 와류형 분리장치는 최적의 크기와 운전조건을 규명하기 위해 장치의 전체 크기, 유입수량, 유속, vortex finder 직경 등을 변화시킬 수 있도록 제작되었다 (Table 16, Table 17). 또한 본 와류형 분리장치는 장치내부의 입자의 회전 유형과 속도 및 장치 내에 형성되는 mantle의 크기를 관찰하기 위하여 아크릴로 제작하였다. 이 장치는 기본적으로 원통형 직경 335mm인 실린더(4가지: 131, 134, 227, 322 mm)와 콘( $\theta=66^\circ$ ) 부분이 결합된 형태로, 실린더의 높이는 실린더에 부착된 플랜지의 탈,부착으로 조절할 수 있게 하였다. 처리해야 할 시료 수는 실린더 내부 표면에 직각이 되게 부착된 유입관 (2가지: 직경 30, 50mm)을 통해 유입되어 실린더 내부에서 회전을 하여 고형물은 실린더내벽과 콘을 거쳐 콘 하부에 부착된 배출 실린더를 통해 침전조로 유입되도록 하였다. 이 장치에서 처리된 정화된 물은 실린더 윗부분에 결합되어있는 분리판의 중앙에 난 vortex finder(5가지: 직경 30, 50, 60, 70, 100mm)를 통해 배출된다. 유입수와 침전조를 통과하는 수량은 장치에 연결되는 배관에 밸브를 설치하여 조절하였다.

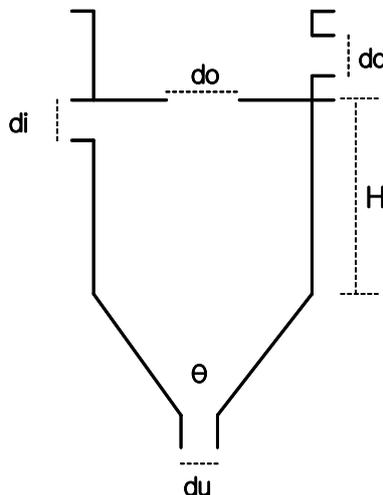


Fig. 3.6. Schematic drawing of tested swirl separator

di: inlet pipe diameter; do: overflow diameter; dd: drain pipe diameter;

$\theta$ : cone; du: underflow diameter; H: height of cylinder

Table 3.16. Geometry parameters and dimensions of tested swirl separator

$\theta$	D	H	du (mm)	di	do
66°	335	131	50	30	100
		265		50	70
		358			60
		489			50
					30

Table 3.17. Dimensions and geometrical parameters of tested swirl separator

Series	$\theta$	D	H*	(mm)			wv** (ℓ)
				du	di	do	
f30-100	66°	335	131	50	30	100	20.4
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f50-100	66°	335	131	50	50	100	20.4
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f30s-100	66°	335	265	50	30	100	32.3
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f50s-100	66°	335	265	50	50	100	32.3
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f30m-100	66°	335	358	50	30	100	40.6
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f50m-100	66°	335	358	50	50	100	40.6
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f30l-100	66°	335	489	50	30	100	49
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	
f50l-100	66°	335	489	50	50	100	49
-70						70	
-60						60	
-50						50	
-30						30	

\* Cylinder height; \*\* Water volume of each separator dimension

(2) 시료 입자 및 운전조건

양식장 고품 배설물은 대부분이 공급된 사료에서 기인하며, 분배설물, 사료찌꺼기 등이 대부분을 차지한다. 이에 대한 본 장치의 처리 효율 및 최적 운전조건을 구명하기 위해 먼저 구형(직경 1.1-1.3 mm)의 polypsyren ( $\rho_s=1.05\text{g/cm}^3$ )을 이용하였다. 이 입자의 침전속도는 0.71-1.43 cm/s로 전장 7-10cm 의 잉어 및 무지개송어가 배설한 펠렛 모양의 배설물의 침전속도 0.61-1.25 cm/s와 유사한 범위에 있다. 입자시료는 사각수조 수량( $0.9\times 0.7\times 0.55\text{ m}^3$ )에 0.1%

(344 ml) 투여 혼합하여 수중펌프를 이용하여 와류형 분리장치에 공급하였다(Fig. 3.7).

미세한 사료찌꺼기의 처리효율 및 최적 운전조건을 구명하기 위해 잉어 사료가루에 대해 소형와류형분리장치의 운전조건에 따른 효율을 Fig. 3.7의 장치를 이용하여 측정하였다. 잉어 (평균어체중 27g)의 사료찌꺼기와 분찌꺼기의 수거효율 조사를 실제 사육장치와 연결한 Fig. 3.7와 같은 장치를 이용하여 위 사료가루를 통해 구한 운전조건에 따라 구하였다. 또한 소형와류형분리장치를 실제 양어장에 설치하여 양어장에서 발생하는 미세부유성고형오물(SS)의 최대 제거효율 및 이때의 최적운전조건을 구명하였다(Fig. 3.8). 잉어사료 가루의 경우 입자크기가 1-700 $\mu\text{m}$  였으며, 미세부유성고형오물(SS)의 경우 입자의 크기는 1-2500 $\mu\text{m}$  였다. 최적운전조건 규명을 위해 400, 600, 800 및 1000ml/s의 4가지 유입수량과 이들 유입수량에 대한 하부유출수량비(bypass ratio)를 5%에서 30% 범위에서 5%간격으로 6가지 하부유출수량비( $R_f$ )에 대해 조사를 하였다.

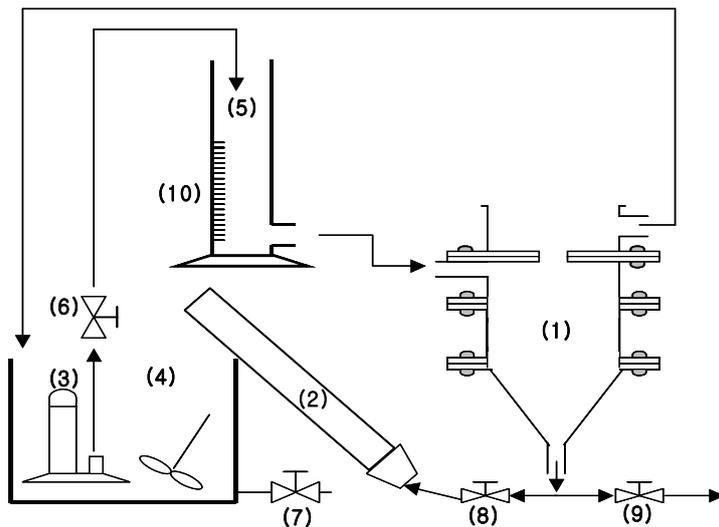


Fig. 3.7. Schematic diagram of the experimental apparatus; (1) hydrocyclone, (2) settlement cylinder, (3) submerged pump, (4) holding tank, (5) feed slurry tower, (6, 7, 8, 9) valves, (10) measures.

### (3) 침전조

본 장치에서 침전된 입자는 직경 50mm 배관을 통하여 직경 90mm, 길이 945mm인 아크릴 침전조를 거치게 되어 있으며, 이 침전조에서 입자의 침전상태와 부상 높이를 관찰할 수 있게 하였다.

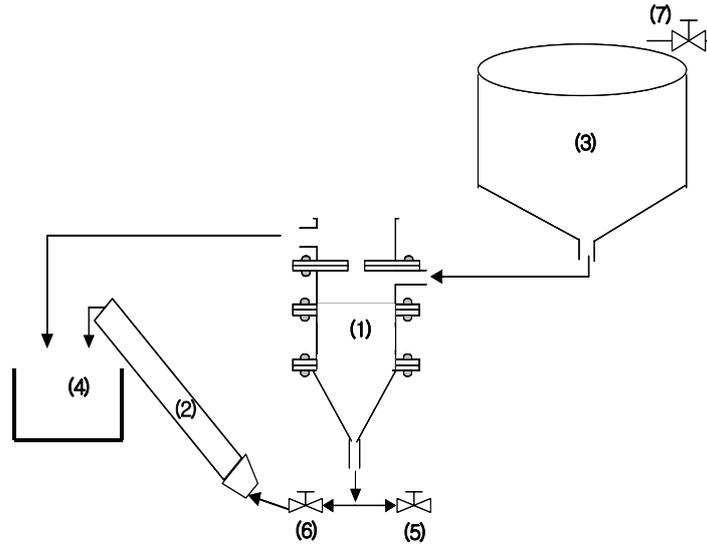


Fig. 3.8. Schematic diagram of experimental equipments; (1) hydrocyclone, (2) settlement cylinder, (3) rearing tank, (4) outflow raceway, (5, 6, 7) valves.

#### (4) 유입수량 조절

유입수량은 펌프와 와류형 분리 장치 사이에 부착된 밸브를 통하여 조절하였다. 장치를 통과하여 배출된 처리수량과 침전조에서 나오는 배출수량을 측정하여 결정하였다.

#### (5) 수집 효율 측정

시료 입자의 수거 효율은 0.1%의 시료 입자가 희석된 사각수조의 시료수가 1회전하여 분리장치를 통과한 후 침전조에 침전된 시료 입자를 수집하여 탈수 후, 메스실린더를 이용하여 측정하였다. 와류형 분리장치 통과 후 침전조에 침전하지 않고 overflow와 underflow를 통해 사각수조로 유입이 되는 시료 입자는 사각수조로 연결된 배관의 유입구에 스크린을 설치하여 수집하였다.

본 실험에 이용된 소형와류형 분리장치의 최적의 치수 비는 0.09 ( $D_i/D_c$ ), 0.18 ( $D_o/D_c$ ), 0.15 ( $D_u/D_c$ ) 및 1.72 ( $L_c/D_c$ )로 규명되었다 ( $D_i$ : 유입관직경,  $D_c$ : 실린더직경,  $D_o$ : 상부유출구 직경,  $D_u$ : 하부유출관직경). 소형와류형분리장치의 구조 및 치수는 전년도 연차보고서에 보고된 결과참조.

#### 나. 소형 와류형 분리장치 연구 결과

소형 와류형분리장치의 최적인전조건 규명을 위해 잉어의 분과 분 부스러기 수집에 대해서는 이와 유사한 비중과 침전속도를 나타내는 플라스틱비드를 이용하여, 그리고 미세부유성 고형오물에 대해서는 이와 유사한 잉어사료가루를 이용하여 최적의 운전조건을 구명하였다. 또한 소형 와류형분리장치를 실재 양어장에 설치하여 잉어의 사료찌꺼기, 분 찌꺼기 및 양어장에 발

생하는 미세부유성 고형오물(SS)의 최대제거효율 및 이때의 최적운전조건을 구명하였다.

(1) 소형 와류형분리장치 - 1차 년도에 기 보고된 30가지의 소형 와류형분리장치의 운전 조건에 따른 입자 수집효율은 Table 3.18에 나타낸바와 같다.

Table 3.18. Total separation efficiency ( $Et$ ) for each apparatus and inflow rates.

Di*	Do*	Cylinder length (Lc)							
		S-type (250 mm)							
		fi( $Et$ )	fi( $Et$ )	fi( $Et$ )	fi( $Et$ )	fi( $Et$ )	fi( $Et$ )	fi( $Et$ )	fi( $Et$ )
30	30	350 (0.99)	430 (0.99)	547 (0.94)	620 (0.93)	750 (0.83)	-/-	-/-	-/-
	50	351 (0.99)	454 (0.99)	567 (0.98)	620 (0.99)	708 (0.99)	851 (0.98)	970 (0.98)	1111 (0.98)
	60	350 (1.00)	507 (0.99)	585 (0.99)	615 (0.99)	751 (0.99)	849 (0.99)	982 (0.99)	1105 (0.98)
	70	355 (0.99)	427 (0.98)	600 (0.98)	616 (0.98)	756 (0.99)	823 (0.99)	915 (0.97)	1099 (0.96)
	100	358 (0.99)	450 (0.99)	617 (0.99)	621 (0.98)	738 (0.99)	830 (0.98)	916 (0.98)	1160 (0.83)
50	30	360 (0.99)	460 (0.98)	500 (0.95)	610 (0.87)	748 (0.81)	-/-	-/-	-/-
	50	348 (0.99)	447 (0.98)	510 (0.99)	620 (0.99)	791 (0.97)	-/-	915 (0.96)	1059 (0.95)
	60	365 (0.99)	463 (0.99)	529 (0.98)	604 (0.98)	710 (0.98)	859 (0.99)	919 (0.98)	1083 (0.97)
	70	350 (0.99)	446 (0.97)	578 (0.97)	610 (0.97)	738 (0.98)	842 (0.98)	922 (0.98)	1031 (0.97)
	100	358 (0.97)	400 (0.95)	587 (0.94)	595 (0.94)	735 (0.93)	-/-	967 (0.92)	1100 (0.91)
M-type (345 mm)									
30	30	360 (0.99)	450 (0.98)	522 (0.97)	663 (0.97)	770 (0.94)	-/-	-/-	-/-
	50	350 (1.00)	462 (0.99)	505 (0.99)	643 (1.00)	753 (1.00)	855 (0.99)	970 (0.99)	1110 (0.99)
	60	348 (1.00)	430 (0.99)	500 (1.00)	589 (1.00)	706 (1.00)	898 (0.99)	-/-	1101 (0.99)
	70	355 (1.00)	473 (1.00)	589 (1.00)	640 (0.99)	732 (1.00)	864 (1.00)	956 (0.99)	1138 (0.97)
	100	351 (0.99)	446 (0.99)	510 (0.99)	650 (0.99)	737 (0.99)	820 (0.99)	914 (0.99)	1100 (0.96)
50	30	357 (0.96)	459 (0.96)	550 (0.95)	645 (0.93)	700 (0.92)	778 (0.92)	-/-	-/-
	50	357 (0.98)	474 (0.99)	582 (0.97)	650 (0.97)	740 (0.95)	803 (0.97)	950 (0.96)	-/-
	60	361 (0.98)	421 (0.99)	493 (0.98)	620 (0.97)	710 (0.98)	826 (0.99)	980 (0.99)	-/-
	70	360 (0.99)	427 (0.98)	578 (0.96)	630 (0.97)	728 (0.96)	835 (0.97)	950 (0.96)	-/-
	100	360 (0.98)	478 (0.92)	517 (0.91)	670 (0.90)	740 (0.92)	810 (0.93)	945 (0.89)	-/-
L-type (442 mm)									
30	30	355 (0.99)	450 (0.99)	540 (0.99)	639 (0.99)	755 (0.99)	810 (0.96)	-/-	-/-
	50	361 (1.00)	477 (1.00)	-/-	605 (1.00)	793 (1.00)	847 (1.00)	918 (1.00)	1050 (1.00)
	60	350 (1.00)	471 (1.00)	550 (1.00)	630 (1.00)	766 (1.00)	869 (1.00)	970 (1.00)	1120 (0.99)
	70	355 (1.00)	461 (1.00)	530 (1.00)	605 (1.00)	769 (1.00)	870 (1.00)	970 (1.00)	1110 (1.00)
	100	340 (0.99)	450 (0.99)	552 (0.99)	-/-	700 (0.99)	807 (0.99)	923 (1.00)	1050 (0.99)
50	30	352 (1.00)	440 (0.97)	519 (0.96)	690 (0.94)	-/-	816 (0.94)	-/-	-/-
	50	365 (0.99)	455 (0.98)	510 (0.98)	673 (0.96)	753 (0.96)	865 (0.96)	998 (0.96)	1102 (0.97)
	60	362 (0.97)	478 (0.97)	550 (0.96)	638 (0.95)	750 (0.95)	870 (0.94)	1010 (0.96)	1180 (0.96)
	70	357 (0.99)	400 (0.97)	580 (0.94)	631 (0.94)	725 (0.92)	840 (0.92)	946 (0.92)	1150 (0.93)
	100	371 (0.94)	-/-	520 (0.89)	662 (0.86)	740 (0.90)	815 (0.87)	950 (0.87)	1150 (0.88)

\*Di, inflow diameter; Do, overflow diameter; fi, inflow rate (ml/s);  $Et$ , total separation efficiency.

2차 년도에는 이중에서 좋은 효율을 나타낸 18가지 소형 와류형 분리장치의 운전조건별 입자수집효율을 유입관 유량 330~1200 ml/s에서 분 부스러기와 침전속도가 유사한 직경 0.5 mm의 작은 플라스틱비드를 이용하여 조사해본 바, 수집효율의 경향은 큰 플라스틱비드입자를 이용하였을 때와 유사하였으나, 동일 크기의 와류형 분리장치와 비교하여 그 효율은 감소하여 20%에서 97% 효율의 범위를 나타내었다(Table 3.19 참조). 수집효율에 대한 유입관 직경의 영향은 큰 플라스틱비드입자에 비해 작은 플라스틱비드입자에서 더욱 크게 나타났다. 특히, 유입관 직경이 30 mm인 분리장치가 직경이 50 mm인 분리장치보다 효율이 20%에서 52% 높게 나

타났다. 또한 상부 유출관 직경이 60 mm가 70mm와 100mm 보다도 효율이 높게 나타났다.

Table 3.19. Total separation efficiency ( $Et$ ) for each apparatus and inflow rate.

Di*	Do*	Cylinder length (Lc)							
		S-type (250 mm)							
		fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )	fi ( $Et$ )
30	60	322 (0.67)	441 (0.71)	-/-	686 (0.77)	775 (0.70)	869 (0.72)	969 (0.60)	-/-
	70	331 (0.48)	412 (0.52)	-/-	693 (0.46)	-/-	872 (0.38)	956 (0.37)	1051 (0.29)
	100	373 (0.36)	492 (0.44)	-/-	671 (0.39)	770 (0.47)	845 (0.46)	-/-	1086 (0.40)
50	60	-/-	409 (0.40)	573 (0.36)	658 (0.36)	760 (0.34)	-/-	952 (0.34)	-/-
	70	-/-	414 (0.39)	566 (0.31)	-/-	721 (0.30)	873 (0.28)	955 (0.29)	1039 (0.26)
	100	-/-	466 (0.36)	587 (0.29)	650 (0.28)	728 (0.26)	-/-	928 (0.23)	1032 (0.23)
M-type (345 mm)									
30	60	335 (0.90)	454 (0.90)	555 (0.90)	651 (0.90)	767 (0.82)	888 (0.66)	-/-	1053 (0.59)
	70	365 (0.87)	456 (0.86)	517 (0.86)	686 (0.78)	-/-	803 (0.67)	930 (0.63)	1049 (0.59)
	100	365 (0.78)	446 (0.74)	560 (0.70)	695 (0.58)	-/-	820 (0.47)	967 (0.44)	1120 (0.40)
50	60	329 (0.56)	493 (0.48)	569 (0.38)	645 (0.39)	710 (0.40)	815 (0.38)	900 (0.37)	1050 (0.34)
	70	389 (0.32)	450 (0.36)	594 (0.37)	-/-	760 (0.34)	834 (0.33)	969 (0.30)	1102 (0.29)
	100	370 (0.39)	486 (0.37)	578 (0.32)	662 (0.28)	758 (0.24)	862 (0.23)	989 (0.22)	1110 (0.20)
L-type (442 mm)									
30	60	349 (0.91)	450 (0.94)	579 (0.95)	648 (0.97)	760 (0.93)	807 (0.90)	920 (0.86)	1018 (0.85)
	70	393 (0.88)	-/-	519 (0.96)	667 (0.94)	797 (0.91)	-/-	899 (0.86)	1093 (0.74)
	100	373 (0.71)	450 (0.77)	550 (0.82)	645 (0.90)	-/-	800 (0.88)	900 (0.86)	1000 (0.77)
50	60	342 (0.71)	474 (0.64)	572 (0.50)	650 (0.54)	749 (0.60)	814 (0.62)	984 (0.63)	1090 (0.62)
	70	345 (0.68)	448 (0.58)	508 (0.50)	684 (0.42)	766 (0.50)	887 (0.54)	934 (0.57)	1096 (0.50)
	100	386 (0.54)	-/-	503 (0.46)	617 (0.42)	727 (0.36)	850 (0.60)	943 (0.65)	1045 (0.62)

\*Di, inflow diameter; Do, overflow diameter; fi, inflow rate (ml/s);  $Et$ , total separation efficiency.

와류형 분리장치의 치수 중 실린더의 길이가 길어질수록 효율이 향상되는 것으로 나타났으며, 이는 작은 크기의 미세입자 분리의 경우 더욱 이와 같은 효과가 있는 것으로 나타났다. 작은 플라스틱비드를 이용하여 조사한 실린더길이 증가에 따른 입자수집 효율향상을 Table 3.20에 나타내었다. 모든 유입 유량 범위에서, 입자수집 효율은 실린더 길이가 증가함에 따라 향상되는 것으로 나타났다. 최대의 효율을 나타내는 치수에 대해 실린더 길이만 250, 345, 442 및 575mm로 변화시켰을 때, 최대 수집효율은 각각 77%, 90%, 97% 및 99%로 모두 600 ml/s 유입유량 주위에서 나타났다.

Table 3.20. Total separation efficiency ( $Et$ ) for each apparatus and inflow rate.

Di	Do	Lc	fi ( $Et$ )							
30	60	S	322(0.67)	441(0.71)	567(0.76)	686(0.77)	775(0.70)	869(0.72)	969(0.60)	-/-
		M	335(0.90)	454(0.90)	555(0.90)	651(0.90)	767(0.82)	888(0.66)	-/-	1052(0.59)
		L	349(0.91)	450(0.94)	579(0.95)	648(0.97)	760(0.93)	807(0.90)	920(0.86)	1018(0.85)
		XL	340(0.97)	503(0.98)	598(0.99)	690(0.98)	798(0.96)	892(0.95)	990(0.95)	1100(0.93)

\*Di, inflow diameter; Do, overflow diameter; Lc, cylinder length; S-type, 250 mm; M-type, 345 mm; L-type, 442 mm; XL-type, 575 mm; fi, inflow rate (ml/s).

두 가지 크기의 플라스틱비드 입자를 이용하여 32가지의 소형 와류형 분리장치의 최적 치수를 규명해본 바 최대효율을 나타내는 최적의 치수는 유입관 직경(Di) 30 mm, 상부 유출관 직경(Do) 60 mm, 하부 유출관 직경(Du) 50 mm, 실린더길이(Dc) 335 mm 및 콘 각( $\theta$ ) 68° 였으며, 이때의 치수비는 0.09 (Di/Dc), 0.18 (Do/Dc), 0.15 (Du/Dc) 및 1.72 (Lc/Dc) 였다.

규명된 최적 소형 와류형 분리장치의 운전 조건 중 유입수량에 대한 하부 유출 수량비( $R_f$ )는 작은 플라스틱비드 입자의 경우 5% 수준 이상에서는 높은 효율을 나타내었다. 그러나 실제 현장에서의 보다 작은 미세한 입자의 분리를 위해 사료가루에 대하여 하부 유출수량 비를 조사해보았다. 사료가루의 입자크기는 1에서 700 $\mu$ m 범위를 나타내었고, 이중 1에서 10 $\mu$ m 범위에 있는 입자가 27%, 1에서 250 $\mu$ m 범위에 분포하는 입자가 약 74%를 차지하였다. 이들 입자는 미세한 사료찌꺼기와 수중의 미세 부유성 입자와 그 물리적 특성이 유사한 것으로, 소형 와류형 분리장치의 최적운전 조건은 이들 미세입자의 수집효율을 최대화하는 유입수량에 대한 하부 유출수량 비에 대해 구하였다. 유입수량은 400, 600, 800 및 1000 ml/s, 하부 유출수량 비 (bypass ratio,  $R_f$ )는 0에서 30% 범위에서 5% 간격으로 설정하였다. 수집효율은 유입수량과 하부유출수량비가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내어 400, 600, 800, 1000 ml/s 유입수량에 대한 최대수집 효율은 각각 41%, 46%, 46%, 46%였으며, 각각 하부 유출수량 비 30%, 25%, 30% 및 30%에서 나타났다(Fig. 4). 그러나 수집된 입자와 함께 배출되는 하부유출수량비의 증가는 2차적인 수처리비용의 증가를 초래하므로 이를 최소화하면서 수집효율을 최대화할 수 있는 유입수량별 하부 유출수량 비는 400, 600, 800, 1000 ml/s에 대해 각각 25%, 25%, 20% 및 10%였으며, 이때의 수집효율은 각각 18%, 28%, 30% 및 33%였다.

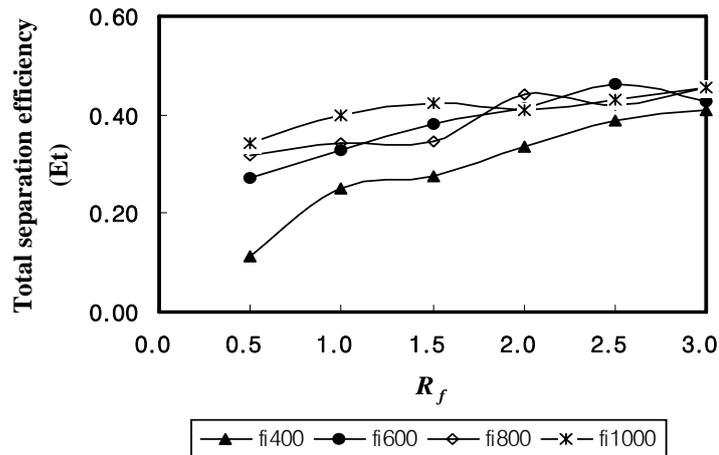


Fig. 3.9. Effect of bypass ratio ( $R_f$ ) on the total separation efficiency ( $Et$ ) for fine organic particles according to the four different inflow rates (400, 600, 800, 1000 ml/s).

여기서 구한 최적의 운전조건을 양어장에 설치한 소형 와류형 분리장치에 적용시켜 실제 사료찌꺼기와 분 찌꺼기 그리고 미세 부유성 고형오물을 제거하는 효율을 조사해본바, 사료찌꺼기 수거효율은 유입수량 및 하부 유출수량 비( $R_f$ )가 각각 600 ml/s와 25%에서 최대효율인 71%를 나타내었다(Table 3.21).

Table 3.21. Waste production by common carp and separation performance of hydrocyclone according to the inflow rate and bypass ratio ( $R_f$ ).

Operating variation	Feeding rate	Feed waste	Performance	
			$Et$	$E't$
Inflow rate ( $R_f$ )	% of fish wt.	% of feed		
400 (0.25)	3.1±0.07	4.68±0.071 <sup>a</sup>	0.67±0.016 <sup>b</sup>	0.56±0.022 <sup>b</sup>
600 (0.25)	3.1±0.14	4.78±0.306 <sup>a</sup>	0.71±0.012 <sup>a</sup>	0.61±0.016 <sup>a</sup>
800 (0.20)	3.2±0.28	4.82±0.401 <sup>a</sup>	0.63±0.002 <sup>c</sup>	0.51±0.003 <sup>c</sup>
1000 (0.10)	3.1±0.28	4.07±0.236 <sup>b</sup>	0.59±0.012 <sup>d</sup>	0.45±0.0016 <sup>d</sup>

$Et$ , total separation efficiency;  $E't$ , reduced separation efficiency.

Different superscript letters in columns are significantly different ( $P < 0.01$ ).

분 찌꺼기 수거효율은 유입수량 및 하부 유출수량비( $R_f$ )가 각각 600 ml/s와 25%에서 최대 효율인 60%를 나타내었다.

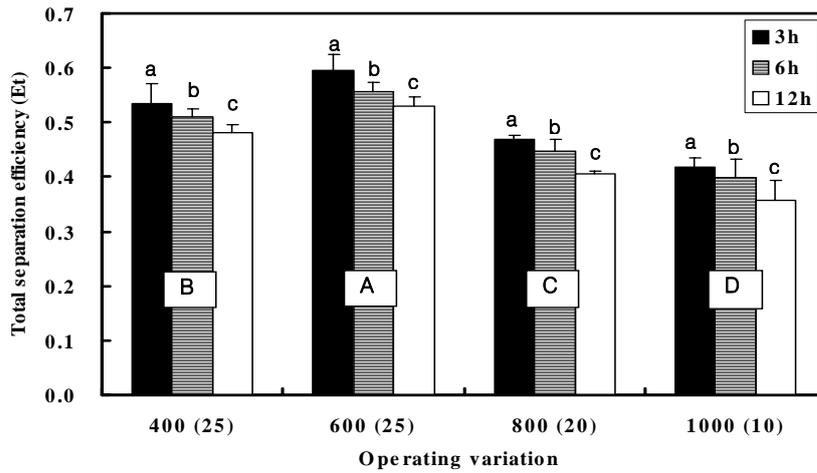


Fig. 3.10. Separation performance of hydrocyclone for fecal solids of common carp according to the inflow rate and bypass ( $R_f$ ) and collecting duration (3, 6, 12h). Different letters on bars in each variation are significantly different ( $P < 0.01$ ). Also different capital letters on each variation were significantly different ( $P < 0.01$ ).

양어장의 미세부유성고형오물 수거효율은 유입수량 및 하부유출수량비가 각각 1000 ml/s와 10%에서 최대효율인 24.4%를 나타내었다.

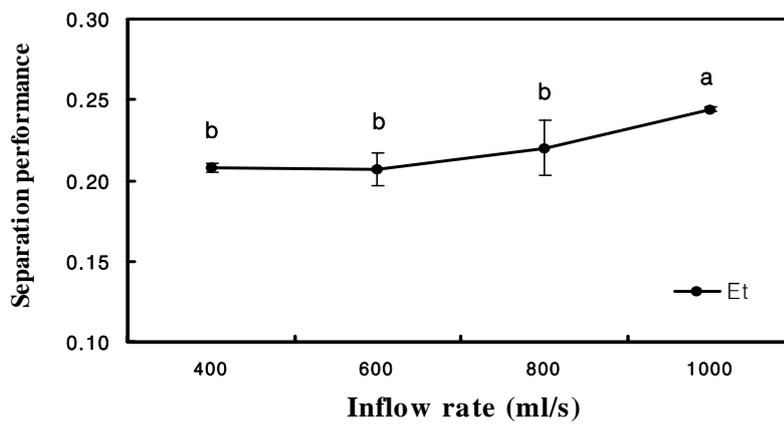


Fig. 3.11. Separation performance of hydrocyclone for suspended solids in fish farm according to the different operating variation. Different letters are significantly different ( $P < 0.01$ ).

(2) 소형 와류형분리장치 실험의 결론

와류형분리조 제작에 앞서 고려해야 할 점은 다음과 같다.

### 양식장 오물의 특성

1. 유수식 양식장 배출수내 오물은 많은 물량에 희석된 형태이다.
2. 어류의 분의 경우 어체 크기, 사료원료 및 체류시간에 따라 다양한 크기의 부정형의 모양을 띤다.
3. 강한 수류에 의해 분은 쉽게 부서진다.
4. 양식장 오물의 밀도는 물과 큰 차이가 나지 않는다 ( $\rho = 1.06-1.07$  정도)
5. 유수식 양식장 오물 처리는 여과조 면적을 줄이면 줄일수록 단위 면적 및 단위 시간당 처리해야 할 수량이 늘어나게 된다.

### 와류형분리조 운전원리

1. Stokes' law (eq.1) 에 의하면 양식장 오물의 침전속도는 입자의 크기와 물과 입자의 밀도차에 비례하여 상승하게 된다.

$$V_c = [g(\rho_s - \rho)d^2]/18\mu \quad (\text{eq. 1})$$

where  $V_c$  = terminal settling velocity of particle ( $\text{ms}^{-1}$ );  $g$  = acceleration due to gravity ( $\text{ms}^{-2}$ );  $\rho_s$  = density of the particle ( $\text{kgm}^{-3}$ );  $\rho$  = density of water ( $\text{kgm}^{-3}$ );  $d$  = particle diameter (m);  $\mu$  = viscosity of water (Pa.s).

2. 와류형분리조는 (eq. 2)에서처럼 중력가속도( $g$ )를 원심력을 이용하여 상승시키는 효과를 이용한다.

$$v_s = \omega^2 R d^2 (\rho_p - \rho_l) / 18\mu \quad (\text{eq. 2})$$

3. 양식장 오물의 대부분은 크기가 큰 분이므로 최대 수집량을 위해서는 이들 분이 부서지지 않는 수류의 속도를 찾는 것이 중요하며, 여기에 부합하는 와류형분리조의 구조와 치수가 구명되어야 한다.

4. 와류형분리조의 유입수량 400-600 ml/s에서 분수집에 대한 최대효율을 나타내었다. 이때의 유입 유속은 0.57-0.85 m/s 이며, 분리조내 수류의 체류시간은 2-1.3 min 이다.

5. 실험결과 구명된 최대효율(99-100%)을 나타내는 와류형분리조의 구조와 치수비는 유입관 직경( $D_i$ ) 30 mm, 상부유출관 직경( $D_u$ ) 60 mm, 하부유출관 직경 ( $D_u$ ) 50 mm, 실린더 직경 ( $D_c$ ) 335 mm, 실린더부 길이( $L_c$ ) 450-770 mm 였으며, 실린더 길이가 길어질수록 미세 오물

의 제거효율이 증가되었다. 이때의 치수비는  $D_i/D_c=0.09$ ,  $D_o/D_c=0.18$  (0.15-0.21),  $D_u/D_c=0.15$  및  $L_c/D_c=1.72$  (1.32-1.72) 였다.

6. 이를 바탕으로 한 현장의 대형 와류형분리조 건설에 있어 고려되어야 할 사항을 소형와류형분리조와 비교해 보면,

① 소형와류형분리조의 경우 저속 원심분리의 역할을 통해 오물을 연속적으로 수집하여 하부유출관을 통한 연속적 수집이 중요하지만,

② 대형와류분리조에서는 실린더와 콘부에서의 와류에 의한 plug flow를 유도하여 처리수의 와류분리조에서의 체류시간을 증가시켜 침전효과를 상승시키는 결과를 유도하도록 설계되었다.

③ 많은 물량의 처리를 위해 와류를 생성시키는 실린더부의 직경이 충분하도록 설계되었으나, 실린더부의 길이를 줄이고 콘부의 각을 조정하여 ( $\Theta=130^\circ$ ), 전체적인 깊이를 안정성 있는 깊이로 조정하였다.

④ 유입부의 직경을 소형에서 보다 다소 작은비가 되게하였으나, 일일 1500톤 처리시 유입부의 유속은 0.24 m/s 이며, 분리조내 수류의 체류시간은 18.6 min 이다.

## 2. 대형 와류형 분리장치 현장 최적 운전조건 연구

### 가. 대형와류형 분리장치 연구방법

#### (1) 와류형 오물분리장치의 설치공사 및 성능

##### ① 설치 공사

본 과제의 협력 산업체인 이화정송어양식장(경북 상주시 청리 소재) 현장에 수로식 무지개송어 양식장에 와류형 오물분리기 설치 공사를 다음과 같이 건설하였다. 기히 시설되어 있는 이화정송어양식장의 수로식 무지개송어 사육조는 Fig. 3.12과 같이 길이 30m, 폭 6m의 사육수조가 6개 있으며 각각의 사육수조에는 가운데에 길이 25m의 벽을 설치하여 벽을 중심으로 하여 사육수가 순환되면서 흐르게 하였다. 사육수조의 높이는 1.1m, 수심은 0.9m로 유지되었고 사육수조 전체의 수량은 972m<sup>3</sup>였다. 여과조는 길이 37m, 폭 6m, 높이 1.6m 이고 수량은 355m<sup>3</sup>로 되어 시스템 전체의 총수량은 1,327m<sup>3</sup>였다. 수직축류 펌프 3대를 설치하여 그 중 2대를 번갈아 운전하여 물이 여과조를 통과하도록 하였다. 펌프에 의한 자체 순환율은 1일 12회전이었고, 새로운 물의 주수량은 1일 1,000-1,400m<sup>3</sup>, 평균 1,200m<sup>3</sup>로 1일 약 1회전 이었다.

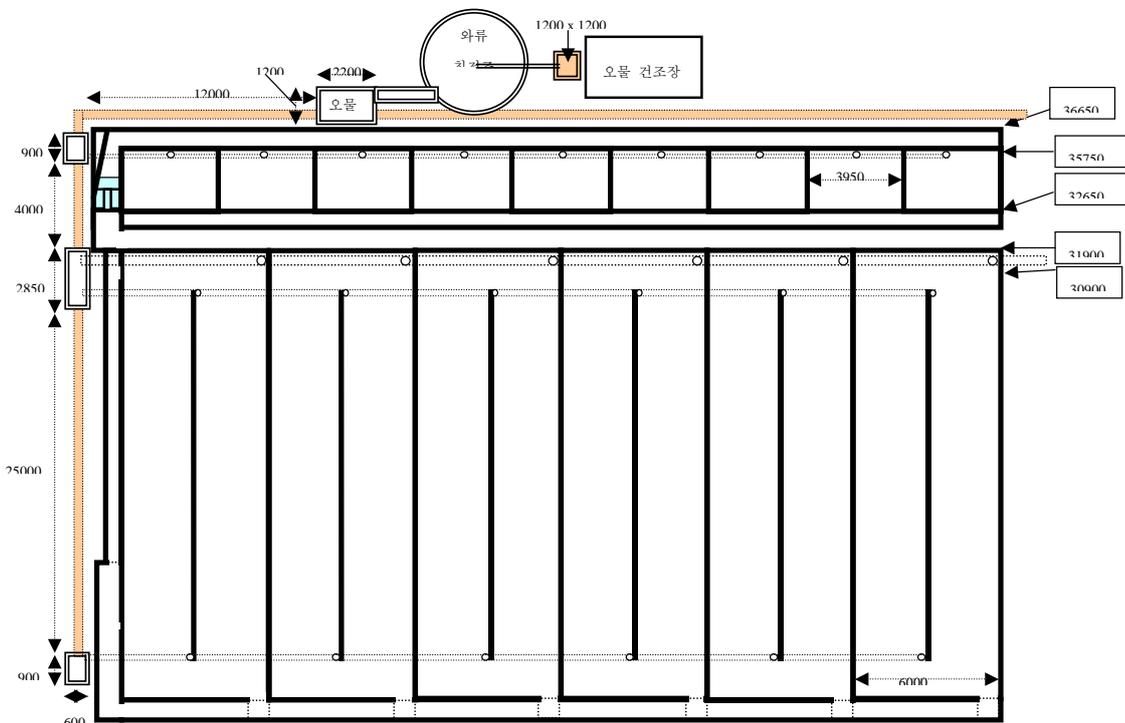


Fig. 3.12 Schematic diagram of rainbow trout farm, circular sedimentation chamber, and drying tank.

Fig. 3.13와 같이 와류형 오물제거장치는 직경 4.2m, 벽 높이 0.8m의 원통 아래쪽에, 높이

0.9m의 깔때기 형태의 구조로 시설하였고 여기에 사육수조에서 모여서 나오는 최종 배수를 가로, 세로, 높이 1.2m×2.2m×1.8m의 저수조에 모아 수직축류 펌프를 이용하여 퍼 올려서 폭 50cm, 길이 2.5m의 수로를 통하여 오물제거장치에 주수하였다.

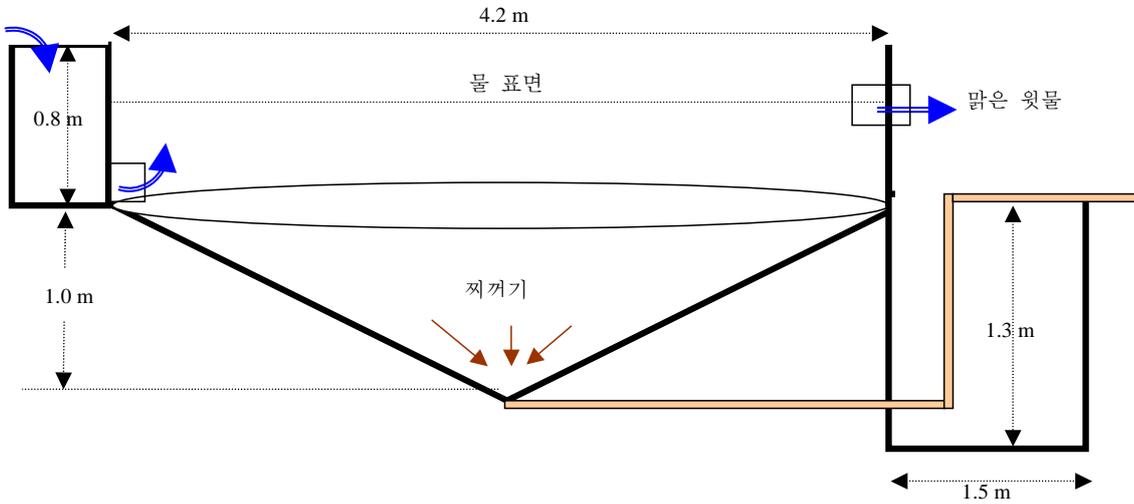


Fig. 3.13 Circular sedimentation tank (side view)

주수구는 직경 30cm 파이프를 수로의 바닥에 붙여서 설치하고 오물제거장치의 안쪽에 파이프에 맞는 90° 각도의 엘보를 끼워 물이 탱크의 벽과 나란히 흘러들어가도록 하였다. 주수된 물은 회전하면서 침전이 되고 오물이 침전된 맑은 물의 배수는 윗벽에서 8cm 아래에 직경 30cm의 PVC 파이프 연결소켓을 넣어 연속적으로 흘러넘치도록 하였다.

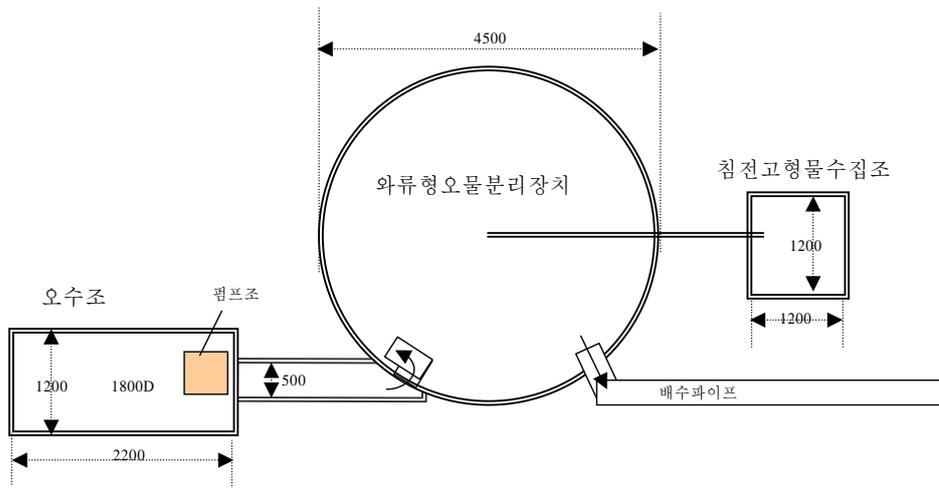


Fig. 3.14 Sediments collecting tank, circular sedimentation tank and manhole (plane view).

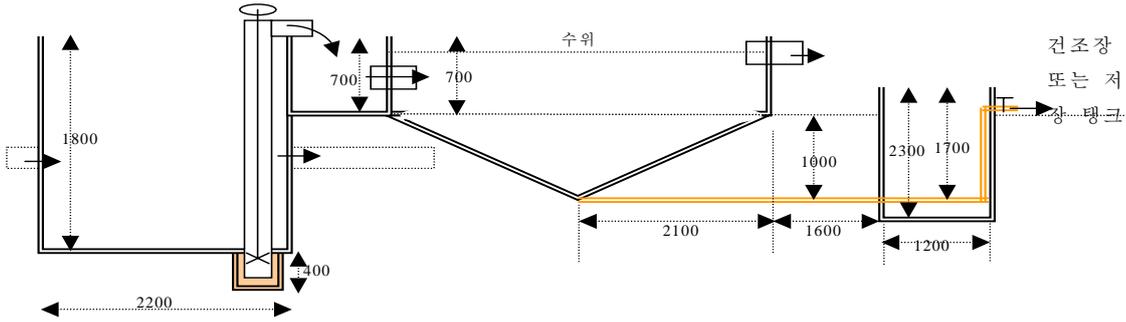


Fig. 3.15 Sediments collecting tank, circular sedimentation tank and manhole (side view).

분리된 오물의 건조장은 Fig. 3.16-17와 같이 길이 8m, 폭 1.2m, 높이 0.4m의 장방형 탱크를 두개 설치하고 각각의 용량은 3.84m<sup>3</sup>이었다. 와류형오물분리장치의 오물을 수압을 이용하여 제거하기 위한 배관의 용이성을 위하여 맨홀을 설치하여 오물분리장치의 바닥에서 나오는 오물분리 파이프를 연결하여 건조장으로 연결하였다. 연결된 파이프는 우측의 건조장으로 연결하여 T자형 파이프에 연결하고 위로는 구부릴수 있는 스탠드파이프를 세웠으며 옆으로는 좌측으로 가는 파이프에 연결하였다. 좌측에 연결된 파이프의 끝에도 엘보를 달아 다시 스탠드파이프를 세웠다. 반대쪽 끝에는 배수를 위한 스탠드 파이프를 세워 맑은 물이 위로 넘어가게 하거나 최종 배수를 위한 장치를 만들었다. 그리고 비가 올 때를 대비하여 비닐하우스를 덮었다.

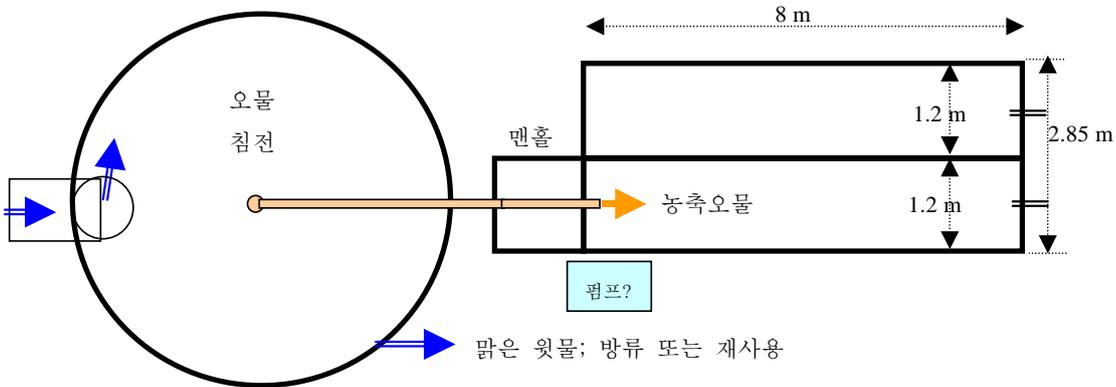


Fig. 3.16 Circular sedimentation tank, manhole and drying tank (plane view).

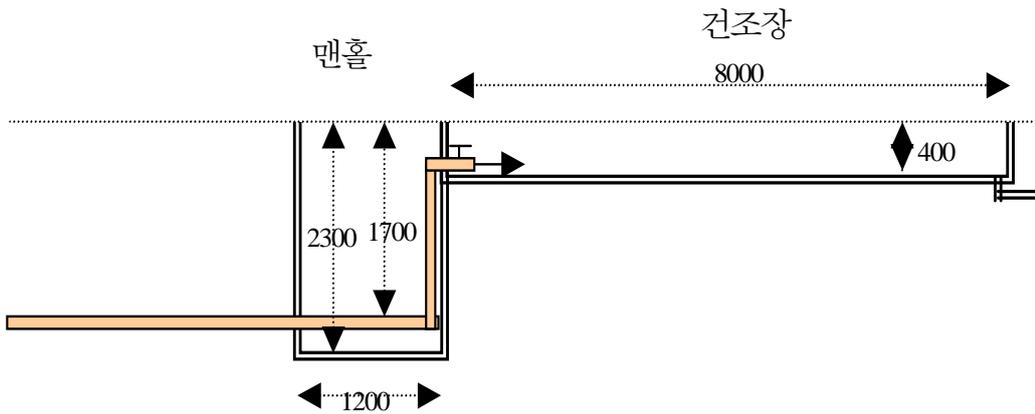


Fig. 3.17. Manhole and drying tank (side view).

이화정송어양식장 청리양어장의 수로식 반 순환여과 무지개송어 사육조는 Fig. 3.12에서와 같이 길이 30m, 폭 6m의 사육수조가 6개 길이 37m, 폭 6m, 높이 1.6m의 여과조가 있는 사육탱크 밖으로 직경 4.2m, 벽 높이 0.8m의 원통 아래쪽에, 높이 0.9m의 깔때기 형태의 구조의 와류형 오물분리장치를 시설하였다.

사육수조에서 모여서 나오는 최종 배수를 가로, 세로, 높이 1.2m x 2.2m x 1.8m의 오수 저수탱크에 모아 수직축류 펌프를 이용하여 펴 올려서 폭 50cm, 길이 2.5m의 수로를 통하여 오물분리장치에 주수하였다. 1일 배출되는 수량이 평균 1,200m<sup>3</sup>이므로 주수구의 크기는 이 수량을 충분히 소화할 수 있도록 직경 30cm 파이프를 사용하였고 이 파이프를 수로의 바닥에 붙여서 설치하여 주수된 물이 와류형 오물분리장치의 중간으로 들어갈 수 있게 하였다. 그리고 주수된 물이 오물분리장치 내에서 최대한 길게 체류할 수 있도록 배수구는 주수구의 반대쪽에 주수구보다 약 40cm 위쪽으로 직경 30cm의 PVC 파이프 연결소켓을 넣어 만들었고 이를 통하여 배수되는 물이 연속적으로 흘러넘치도록 하였다.

최초 시공에는 Fig. 3.18과 같이 와류형 오물분리장치의 아래쪽으로부터 오물이 빠져나가 침전고형물 수집조에 모아 건조장으로 보내도록 하였으나, 실제 사용해 본 결과 침전된 오물이 빠져나가지 않아 폐쇄하고 Fig. 3.19와 같이 재시공하여 침전고형물 수집조를 제거하였다.

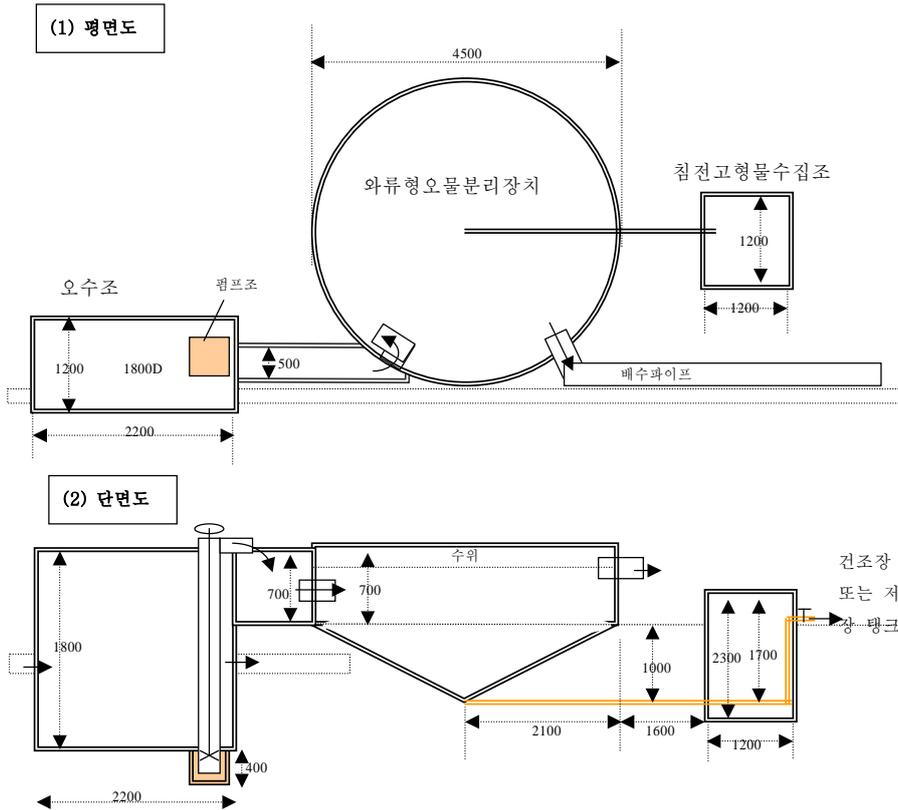


Fig. 3.18. Schematic dimensions of circular sedimentation tank designed for the first time (plane and side view)

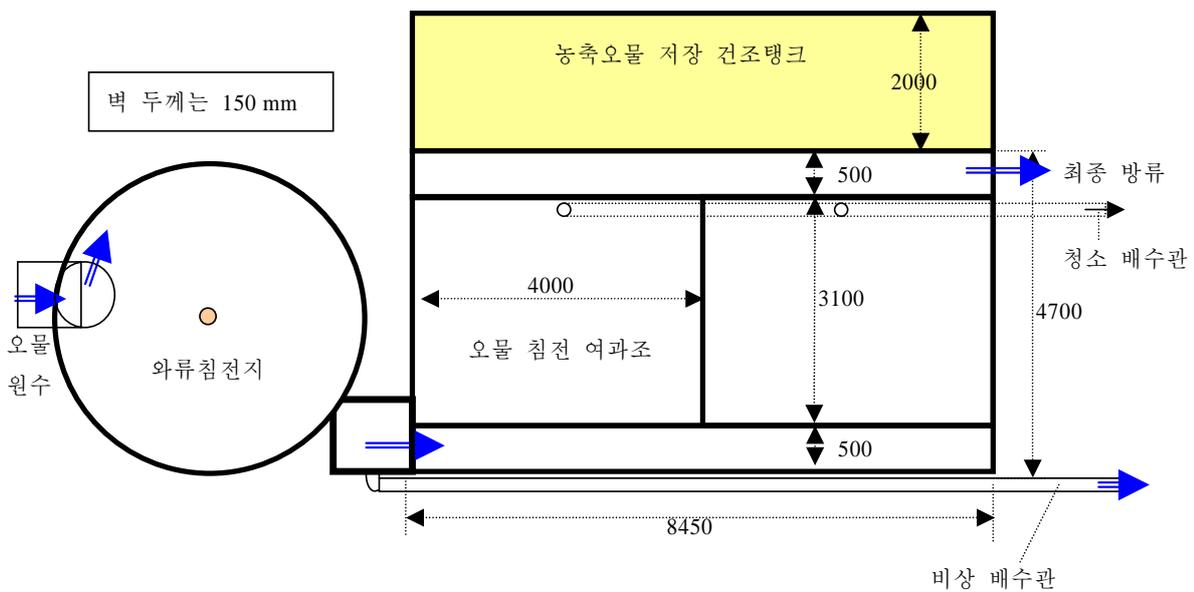


Fig. 3.19 New designed circular sedimentation tank, biofilter, and drying tank

② 와류형오물분리장치의 성능

## 주수구의 방향

주수구의 방향에 따른 성능을 알아보기 위하여 엘보 없이 주수로의 방향 그대로 흘러들어가는 경우, 90° 각도로 하향 주입되는 경우, 90° 측면 주입의 경우, 90° 상향 주입 등으로 나누어 조사하였다.

## 수질분석

사육탱크내의 수질을 알기 위하여 탱크 내에 순환되는 수로의 물을 채수하고 사육탱크에서 배출되어 와류형 오물분리장치에 들어가는 물의 수질을 알기 위하여 저수조를 거쳐 펌프로 퍼 올린 물을 채수하였으며, 와류형 오물분리장치의 성능을 알기 위하여 배출구에서 넘쳐 나오는 물의 수질을 측정하였다. 또한 무지개송어 사육 현장에서 평균 현존량 약 30,000kg의 무지개송어에 하루 오전과 오후 2회 하루 총 250-450kg의 먹이를 공급하면서 시간별로 달라지는 정도를 알기 위하여 오전 사료 주기 전 1시간 전부터 사료 준 후까지는 매 1시간마다, 그리고 오후에 사료를 주기 전까지는 매 2시간, 오후 사료주기 전 1시간 전부터 사료 공급 후 3시간은 매 1시간마다, 그 후에는 매 2시간마다 48시간동안 수질을 연속하여 측정하였다. BOD, COD, SS, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>를 측정하였고 모든 측정은 Standard Method(APHA, 1992)에 의해 실시하였다. 그리고 새로 주수되는 물의 수질을 알기 위하여 지하수를 퍼 올려 주수하는 곳에서 채수하여 동일한 항목의 수질을 측정하였다.

## 고형오물의 침전 양

건조장에 모인 오물의 용양을 측정하고 수분함량과 비중을 측정한 후 침전된 전체 오물의 양을 건조중량으로 환산하여 계산하였다. 1차 수집은 2003년 8월 11일부터 시작하여 8월 20일까지 9일간 침전된 양을, 2차 수집은 8월 20일부터 10월 16일까지 57일간, 3차 수집은 2003년 10월 16일부터 2004년 2월 3일까지 110일간 침전된 양을 수집하여 계산하였는데 이 중에 2003년 12월 12일에 오물의 건조 속도 측정을 위하여 채집한 부분을 합쳐서 이 기간 동안의 오물 침전량을 계산하였다.

## 나. 연구결과

### (1) 와류형 오물분리장치의 설치공사 및 성능

#### ① 설치 공사

기히 시설되어 있는 이화정송어양식장 청리 양어장의 수로식 무지개송어 사육조의 평균 어류 현존량, 사료량, 1일 순환량, 1일 주수량을 계산하고 이에 따라 여기에 맞는 와류형오물분리장치

를 시공하였고 1일 배출되는 수량이 평균 1,200m<sup>3</sup>이므로 주수구의 크기는 이 수량을 충분히 소화할 수 있도록 맞추어 시공한 결과 직경 4.2m, 벽 높이 0.8m의 원통 아래쪽에, 높이 0.9m의 깔때기 형태의 구조로 시설하였다. 주수된 물이 충분히 소화될 수 있고 장치 내에서 최대한 길게 체류할 수 있도록 직경 30cm의 관을 와류형오물분리장치의 중간으로 들어가게 하고 배수는 40cm 높게 시설 하였다. 결과 수류는 회전하면서 찌꺼기가 잘 침전되어 아래쪽에 모였다.

## ② 와류형오물분리장치의 성능

### 주수구의 방향

주수구의 방향에 따른 성능을 알아보기 위하여 엘보 없이 주수로의 방향 그대로 흘러들어가는 경우, 90° 각도로 하향주입되는 경우, 90° 측면 주입의 경우, 90° 상향 주입 등으로 나누어 조사하였다. 그 결과 주수로에서 흘러나온 물이 그대로 들어갈 경우 와류는 주수되는 방향을 기준하여 좌우로 형성되며 위의 물은 흘러서 그대로 배수로 방향으로 나가기 때문에 좌우로 갈라져서 회전하는 물 이외에는 대부분의 물이 직접 배수로로 흘러 나가게 되며 SS가 침전되지 않고 흘러나가 체류시간이 짧아져 효율이 나빠졌다. 주수구에서 90° 각도로 하향 주입되는 경우 수류가 총 90cm의 깔때기 형의 침전부위에서 30cm 이상 아래쪽에서 쏟아지게 되어 수류는 50cm 이상 아래로 내려갔다가 회전하는 현상이 일어나 찌꺼기가 침전되어 쌓여야 할 부분을 수류가 지나가게 되어 침전 효과가 떨어지며 체류시간도 짧아지는 현상이 발생하여 효율이 나빠졌다. 주수구에서 90° 상향 주입되는 경우에 물은 높은 곳으로 주입되어 침전 수심은 증가하게 되지만 수류가 회전을 일으키지 않게 되어 체류시간이 짧아지면서 침전효과가 나빠졌다. 주수구에서 90° 측면으로 주입되면 앞의 경우와는 달리 무거운 입자부터 갈아 앓기 시작하여 깔때기의 내부를 타고 내려가면서 나선형으로 갈아 앓는 현상이 생겼으며 주수구에서 멀어질수록 점차 가벼운 침전물이 침전하였다. 또한 가운데로 모인 침전물은 나선형으로 회전을 하다가 배수구를 넘쳐 흘러나가게 되고 처음에 배수구로 빠져나가지 않은 침전물은 가운데로 침전하는 것이 관찰되었다. 이 결과 90° 측면 주입이 침전효과와 아울러 회전 효과도 좋게 관찰되었다. 이 결과에 따라 오물분리조 안쪽에 파이프에 맞는 90° 각도의 엘보를 끼워 물이 탱크의 벽과 나란히 흘러들어가도록 하여 효율을 극대화하였다.

### 수질분석

사육탱크내의 수질을 알기 위하여 탱크 내에 순환되는 수로의 물을 채수하고 사육탱크에서 배출되어 와류형오물분리장치에 들어가는 물의 수질을 알기 위하여 저수조를 거쳐 펌프로 퍼 올린 물을 채수하였으며, 와류형오물분리장치의 성능을 알기 위하여 배출구에서 넘쳐 나오

는 물의 수질을 측정하였다. 또한 무지개송어 사육 현장에서 평균 현존량 약 30,000kg의 무지개송어에 하루 오전과 오후 2회 하루 총 250-450kg의 먹이를 공급하면서 시간별로 달라지는 정도를 알기 위하여 오전 사료 주기 전 1시간 전부터 사료 준 후까지는 매 1시간마다, 그리고 오후에 사료를 주기 전까지는 매 2시간, 오후 사료주기 전 1시간 전부터 사료 공급 후 3시간은 매 1시간마다, 그 후에는 매 2시간마다 24시간 이상 수질을 연속하여 측정하였다. BOD, COD, SS, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>를 측정하였고 모든 측정은 Standard Method(APHA, 1992)에 의해 실시하였다. 그리고 새로 주수되는 물의 수질을 알기 위하여 지하수를 퍼 올려 주수하는 곳에서 채수하여 동일한 항목의 수질을 측정하였다.

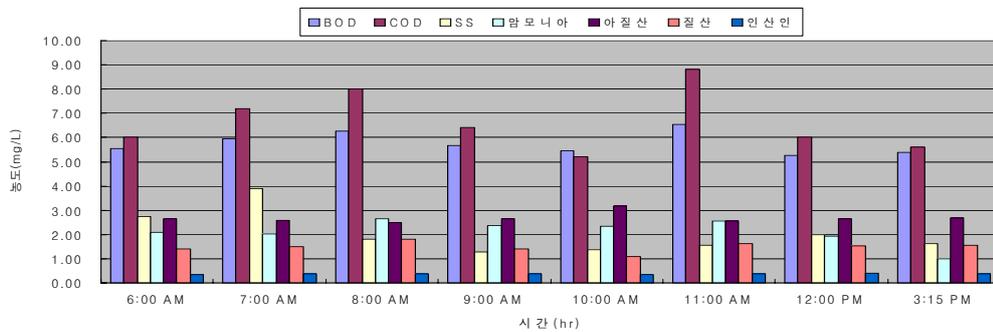
사육탱크에 공급되는 지하 원수의 수질은 BOD 0.43ppm, COD 1.2ppm, SS 0.18ppm, 암모니아 0.078ppm, 아질산 0.009ppm, 질산 1.572ppm, 인산인 0.15ppm로 아주 양호한 수원이었다. Table 3.22 및 Fig. 3.20에 나타낸 바와 같이 사육탱크 내의 수질 중 BOD는 최소 6.02ppm, 최대 7.24ppm으로 일간 큰 변화 없이 거의 일정하게 나타났고, COD는 최소, 최대 각각 5.2ppm과 9.2ppm으로 나타나 오후와 밤에 좀 더 높게 나타났다. 그리고 SS는 최소1.27ppm, 최대 3.89ppm으로 나타났고 COD와 비슷하게 주로 밤에 높게 유지되는 경향을 나타내었다. 암모니아는 최소, 최대 각각 0.98ppm과 3.5ppm으로 나타났지만 대개 2ppm 전후로 한번씩 높거나 낮아지는 외에는 크게 변화는 없었다. 아질산도 크게 변화 없이 평균 2.68ppm으로 나타났고 질산도 평균 1.528ppm으로 크게 변하지는 않고 비슷하게 유지되었으며 인산인도 평균 0.373ppm으로 큰 변화 없이 0.329ppm과 0.444ppm 사이에서 변화하였다. 이들 수질 요인들과 먹이 먹는 시간과의 관계는 크게 나타나지 않았다. 그 이유는 이 양식장이 순환여과식을 겸하고 있고 자체 순환율이 1일 12회전이고 새로운 물에 의한 환수량은 1일 1회전 정도 밖에 안 되므로 사육탱크 내의 수질은 크게 변화하지 않고 일정하게 유지되는 때문으로 사료된다.

다.

와류형오물분리조에 유입되는 물의 수질조건은 Table 3.23과 Fig. 3.21에 나타낸 바와 같이 BOD는 최소 6.26ppm, 최대 8.69ppm으로 평균 7.59ppm이었고 BOD는 최소 및 최대 각각 6.0ppm 및 14.0ppm, 평균 10.4ppm으로 측정되었으며, SS는 최소 5.43ppm, 최대 17.05ppm, 평균 8.48ppm으로 변화의 폭이 크게 나타났다. 반면 암모니아와 아질산, 질산 및 인산인은 변화의 폭이 크지 않고 일정한 범위 내에서만 변화하였고 그 평균값도 각각 1.038ppm, 2.45ppm, 1.496ppm 및 0.395ppm으로 나타났다. 유입수의 BOD, COD 및 SS의 변화폭이 큰 것은 펌프에서 바로 퍼올린 다음에 채수하여 펌프에서 잘게 부서지면서 그 변화 폭이 커진 것으로 추정된다. 전체적인 수질 조건은 사육탱크 내에 보다는 증가하였다.

Table 3.22 Diurnal variation of water quality in a rearing tank of rainbow trout (ppm)  
 (Fish were fed at 06:30 and 19:30)

Time	BOD	COD	SS	Ammonia	Nitrite	Nitrate	PO <sub>4</sub> -P
06:00 AM	6.26	6.0	2.73	2.096	2.642	1.405	0.329
07:00 AM	6.63	7.2	3.89	2.037	2.585	1.493	0.362
08:00 AM	6.87	8.0	1.82	2.636	2.500	1.805	0.379
09:00 AM	6.38	6.4	1.27	2.366	2.642	1.405	0.379
10:00 AM	6.02	5.2	1.38	2.336	3.182	1.093	0.346
11:00 AM	7.11	8.8	1.55	2.546	2.557	1.627	0.379
12:00 PM	6.26	6.0	2.00	1.947	2.642	1.527	0.412
03:15 PM	6.14	5.6	1.61	0.988	2.671	1.559	0.379
07:15 PM	6.99	8.4	1.96	3.504	2.728	1.593	0.444
08:15 PM	6.75	7.6	2.46	2.186	2.756	1.474	0.395
09:15 PM	6.99	8.4	3.05	2.546	2.756	1.549	0.346
10:15 PM	7.24	9.2	3.27	1.408	2.728	1.047	0.391
11:15 PM	6.99	8.4	3.52	2.306	2.699	1.470	0.346
12:15 AM	7.11	8.8	3.70	2.186	2.699	1.849	0.346
03:15 AM	6.99	8.4	2.86	2.366	2.614	1.904	0.361
06:15 AM	6.99	8.4	2.59	2.306	2.585	1.841	0.346
07:15 AM	6.38	6.4	2.00	1.168	2.728	1.335	0.406
Min	6.02	5.2	1.27	0.988	2.500	1.047	0.329
Max	7.24	9.2	3.89	3.504	3.182	1.904	0.444
Avg	6.71	7.5	2.45	2.172	2.689	1.528	0.373



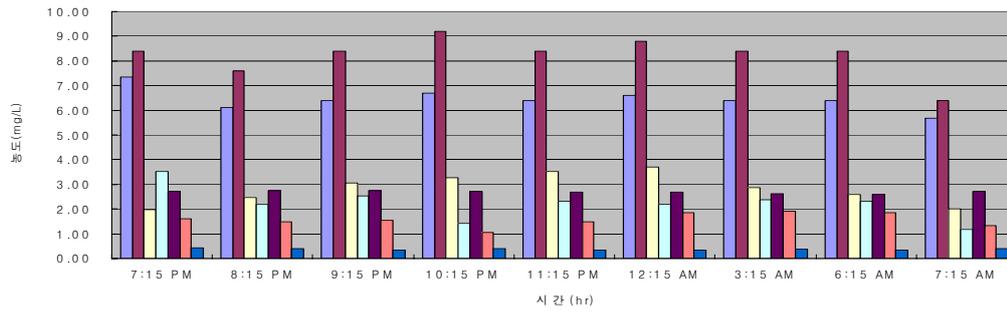
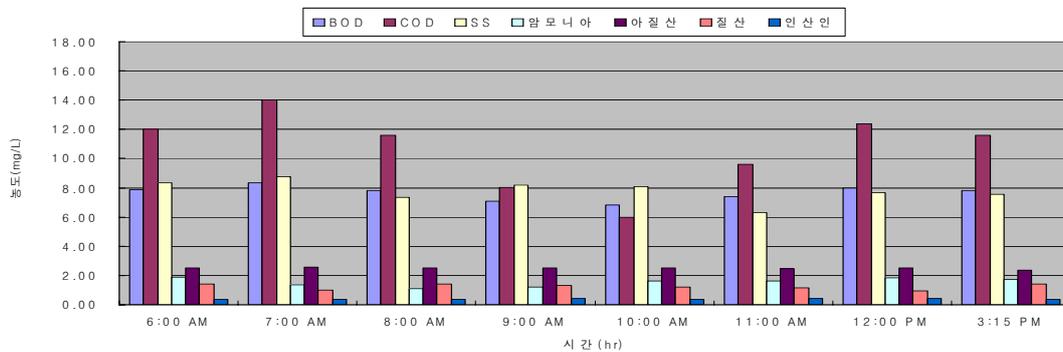


Fig. 3.20. Diurnal variation of water quality in a rearing tank of rainbow trout

Table 3.23. Diurnal variation of water quality of inflow in circular sedimentation tank (ppm)  
(Fish were fed at 06:30 and 19:30)

Time	BOD	COD	SS	Ammonia	Nitrite	Nitrate	PO <sub>4</sub> -P
06:00 AM	8.09	12.0	8.33	1.887	2.529	1.398	0.362
07:00 AM	8.69	14.0	8.75	1.348	2.585	1.023	0.379
08:00 AM	7.96	11.6	7.33	1.078	2.529	1.413	0.379
09:00 AM	6.87	8.0	8.18	1.198	2.529	1.337	0.395
10:00 AM	6.26	6.0	8.07	1.617	2.529	1.216	0.379
11:00 AM	7.36	9.6	6.32	1.617	2.443	1.180	0.412
12:00 PM	8.21	12.4	7.68	1.857	2.529	0.958	0.428
03:15 PM	7.96	11.6	7.54	1.737	2.387	1.430	0.379
07:15 PM	7.72	10.8	17.05	1.647	2.415	1.577	0.428
08:15 PM	7.11	8.8	10.00	1.228	2.472	1.456	0.428
09:15 PM	7.96	11.6	7.54	1.887	2.557	1.611	0.412
10:15 PM	8.21	12.4	7.35	2.067	2.443	1.708	0.331
11:15 PM	7.48	10.0	7.11	1.917	2.330	1.806	0.376
12:15 AM	7.11	8.8	8.11	1.767	2.415	1.497	0.391
03:15 AM	6.87	8.0	5.43	1.887	2.358	1.857	0.391
06:15 AM	7.48	10.0	10.53	1.527	2.330	1.950	0.421
07:15 AM	7.60	10.4	8.86	1.587	2.273	2.023	0.421
Min	6.26	6.0	5.43	1.078	2.273	0.958	0.331
Max	8.69	14.0	17.05	2.067	2.585	2.023	0.428
Avg	7.59	10.4	8.48	1.638	2.450	1.496	0.395



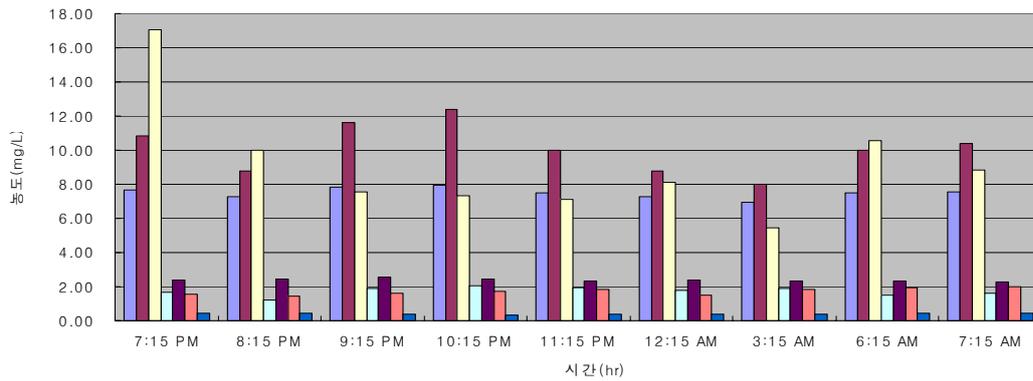


Fig. 3.21. Diurnal variation of water quality of inflow in circular sedimentation tank (ppm)  
(Fish were fed at 06:30 and 19:30)

Table 3.24와 Fig. 22에 나타난 바와 같이 와류형 오물분리조에서 배출되는 배출수의 수질을 측정된 결과 BOD가 최저, 최고 각각 6.51ppm 및 7.72ppm, 평균 7.12ppm으로 나타났고 COD 농도는 최저가 6.8ppm, 최고가 10.8ppm 평균 8.8ppm으로 조사되었고 SS의 경우 최소가 4.12ppm, 최대 11.43ppm, 평균 6.56ppm으로 나타났고 암모니아와 아질산, 질산 및 인산인의 평균값은 각각 1.702ppm, 2.490ppm, 1.428ppm 및 0.413ppm으로 변화폭이 크지 않았다.

Table 3.24. Diurnal variation of water quality of outflow from circular sedimentation tank (ppm)

Time	BOD	COD	SS	Ammonia	Nitrite	Nitrate	PO <sub>4</sub> -P
06:00 AM	7.36	9.6	4.26	2.216	2.415	1.641	0.346
07:00 AM	7.11	8.8	5.93	1.557	2.330	1.207	0.379
08:00 AM	7.24	9.2	5.91	1.917	2.529	0.649	0.379
09:00 AM	7.24	9.2	5.36	1.647	2.387	1.454	0.379
10:00 AM	6.75	7.6	6.33	1.707	2.387	1.542	0.379
11:00 AM	6.63	7.2	6.67	1.647	2.330	2.030	0.362
12:00 PM	6.99	8.4	6.61	1.228	2.443	1.812	0.412
03:15 PM	6.99	8.4	5.74	1.707	2.585	1.598	0.428
07:15 PM	6.87	8.0	11.43	1.857	3.012	1.132	0.461
08:15 PM	6.51	6.8	7.41	1.947	2.699	1.588	0.461
09:15 PM	7.72	10.8	6.67	1.348	2.472	1.903	0.444
10:15 PM	7.24	9.2	6.76	1.647	2.642	1.621	0.421
11:15 PM	7.36	9.6	5.59	1.587	2.529	1.176	0.406
12:15 AM	7.11	8.8	6.45	1.797	2.415	1.050	0.421
03:15 AM	7.36	9.6	4.12	1.797	2.415	1.210	0.436
06:15 AM	6.99	8.4	8.13	1.617	2.472	1.329	0.466
07:15 AM	7.60	10.4	8.13	1.707	2.273	1.336	0.451
Min	6.51	6.8	4.12	1.228	2.273	0.649	0.346
Max	7.72	10.8	11.43	2.216	3.012	2.030	0.466
Avg	7.12	8.8	6.56	1.702	2.490	1.428	0.413
Removal(%)	6.13	14.77	22.67	-3.87	-1.64	4.56	-4.77

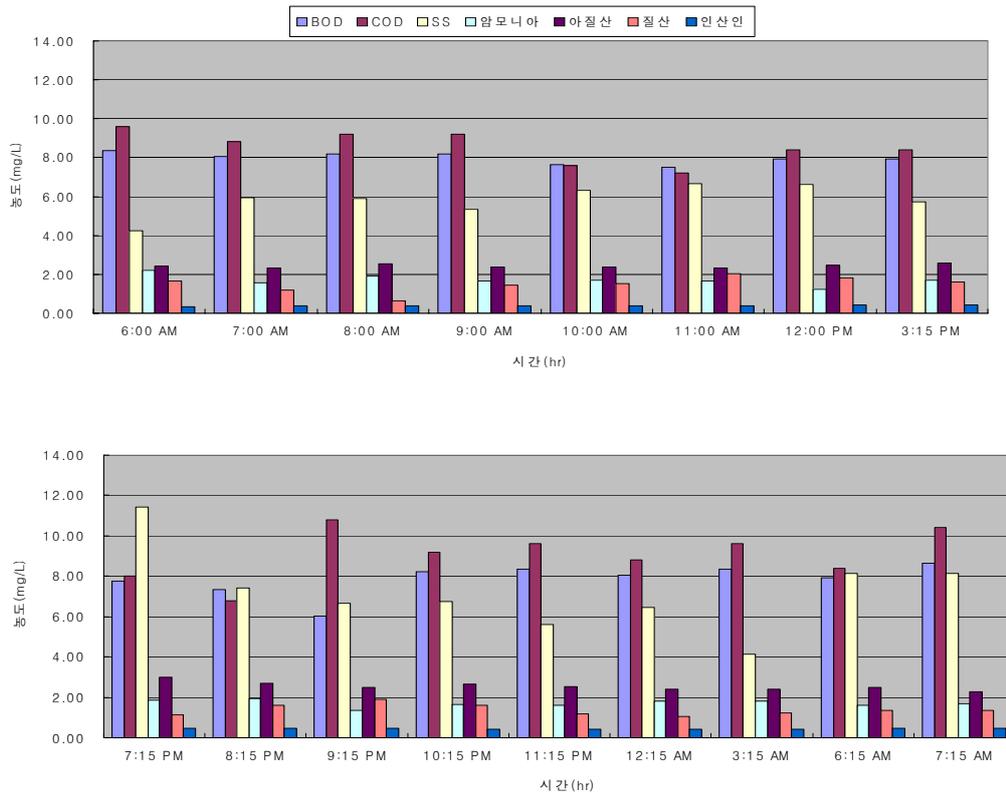


Fig. 3.22. Diurnal variation of water quality of outflow from circular sedimentation tank (ppm)

Fig. 3.23은 와류형오물분리조에서 제거되는 BOD, COD, SS, 암모니아, 아질산, 질산, 인산

인의 비율을 보여주고 있다. BOD는 평균 7.59ppm이 유입되어 7.12ppm이 배출되어 제거율이 6.13% 였고, COD는 평균10.4ppm 이 유입되어 8.8ppm이 되어 유출되면서 제거율이 14.77% 였 으며, SS는 유입수의 평균값이 8.48ppm이고 유출수의 평균값은 6.56ppm으로 22.67%가 제거되 었다. 따라서 와류형오물분리조는 수중의 SS를 22% 이상 제거하므로써 BOD와 COD도 함께 하강하는 것으로 추정되며 전체 SS의 1/5 이상이 침전되어 처리되는 것으로 나타나 오물분리 조의 기능이 아주 우수한 것으로 나타났다. 반면에 암모니아는 3.87%가 증가하였고 아질도 1.64%, 인산인도 4.77% 증가하는 것으로 나타나 침전된 유기물이 분해하면서 이들 물질들이 소량이나마 수중으로 방출되어 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

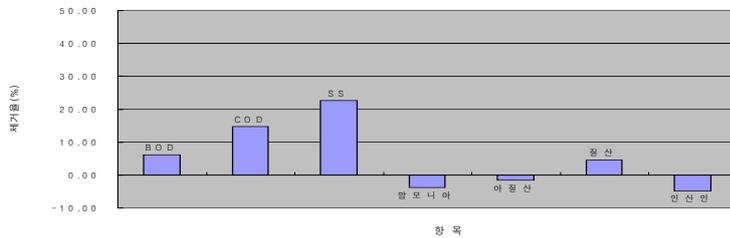


Fig. 3.23. Removal efficiency of each water quality variable in circular sedimentation tank

(2) 고형오물의 침전 양

건조장에 모인 오물의 용량을 측정하고 수분함량과 비중을 측정한 후 침전된 전체 오물의 양을 건조중량으로 환산하여 계산하였다. 1차 수집은 2003년 8월 11일부터 시작하여 8월 20일 까지 9일간 침전된 양을, 2차 수집은 8월 20일부터 10월 16일까지 57일간, 3차 수집은 2003년 10월 16일부터 2004년 2월 3일까지 110일간 침전된 양을 수집하여 계산하였는데 이 중에 2003년 12월 12일에 오물의 건조 속도 측정을 위하여 채집한 부분을 합쳐서 이 기간 동안의 오물 침전량을 계산하였다. 1차 수집량은 길이 8m, 폭 1.2m의 건조장에 수용한 결과 672L였고 수분 함량은 89.3% (Table 3.25), 비중은 0.99955 (Table 3.26)로 거의 약 71.87kg에 해당하는 양으로 1일 침전량은 건조량으로 7.99kg이었다. 2차 수집된 양을 건조장으로 넘긴 결과 침전물의 양은 5,520L였고 이 침전물의 수분함량이 85.0% (Table 3.27)이고 비중을 고려하면 건조중량으로 827.63kg으로 나타나 1일 침전량은 14.52kg이었다. 3차 조사에는 건조 속도 실험을 위한 표본 조사를 하여 120L의 침전물을 표면에서 채집하였는데 수분함량이 81.17% (Table 3.28)로 비중을 고려한 건조중량으로는 22.59kg 이었으며, 4차 조사에서는 수집된 오물량이 5,136L, 수분함량이 84.4% (Table 3.29)로 건조중량으로는 800.86kg의 오물이 침전되어 3차와 4차를 합친 1일

침전량은 7.49kg 이었다. 따라서 이들을 평균하면 건조량으로 1일 평균 10.0kg 정도의 침전물이 제거되는 것으로 나타났다 (Table 3.30).

Table 3.25. Moisture contents in 1st collected feces and settleable wastes of rainbow trout  
(2003.8.11-20)

Sample No.	Mass (g)	Dry matter (g)	Moisture (g)	Moisture (%)
1	15.92	2.34	13.59	85.32
2	34.37	3.18	31.19	90.76
3	32.89	2.42	30.47	92.65
4	27.49	3.37	24.12	87.76
5	31.18	2.46	28.72	92.11
6	13.50	2.68	10.82	80.14
7	37.65	3.25	34.40	91.36
8	32.83	2.57	30.26	92.16
9	21.38	3.01	18.37	85.93
10	15.74	2.49	13.25	84.19
11	33.69	2.29	31.40	93.21
12	22.43	2.59	19.84	88.45
13	30.34	1.46	28.88	95.18
14	33.31	3.02	30.29	90.93
Avg.				89.30

Table 3.26. Weight per volume of collected feces and settleable wastes of rainbow trout  
(wt/2,000 ml)

Sample No.	Bucket wt. (g)	Total wt. (g)	Mass (g)
1	331.4	2330.2	1998.8
2	333.1	2333.5	2000.4
3	331.5	2329.9	1998.4
4	333.9	2333.6	1999.7
5	331.5	2330	1998.5
6	332.7	2332.4	1999.7
7	333.2	2333.2	2000
8	333.5	2331.8	1998.3
9	331.3	2329.9	1998.6
10	331.7	2330.3	1998.6
Avg.			1999.1
Mass in 1000 ml			999.55

Table 3.27. Moist contents in 2nd collected feces and settleable wastes of rainbow trout  
(2003.8.20-10.16)

Sample No.	Mass (g)	Dry matter (g)	Moisture (g)	Moisture (%)
1	18.46	2.88	15.58	84.40
2	20.64	3.06	17.58	85.17
3	20.26	3.04	17.22	85.00
4	20.18	3.06	17.12	84.84
5	20.85	3.05	17.80	85.39
Avg.				84.96

Table 3.28. Moist contents of out layer of feces and settleable waste mass of rainbow trout for the drying speed estimation (2003.12.12)

Sample No.	Mass (g)	Dry matter (g)	Moisture (g)	Moisture (%)
1	16.08	3.19	12.89	80.17
2	17.11	3.23	13.88	81.12
3	18.05	3.34	14.71	81.50
4	18.26	3.33	14.93	81.78
5	17.57	3.29	14.29	81.30
Avg.				81.17

Table 3.29. Moist contents in 3rd collected feces and settleable wastes of rainbow trout

(2003.10.16-2004.2.3)

Sample No.	Mass (g)	Dry matter (g)	Moisture (g)	Moisture (%)
1	21.55	3.11	18.44	85.58
2	21.00	3.52	17.48	83.23
3	22.42	3.61	18.81	83.89
4	23.87	3.73	20.14	84.36
5	18.70	3.36	15.34	82.03
6	25.60	3.79	21.81	85.21
7	19.62	3.17	16.45	83.83
8	21.68	3.28	18.40	84.87
9	25.90	3.64	22.26	85.96
10	22.09	3.38	18.71	84.70
Avg.				84.37

Table 3.30. Daily collected amounts of feces and settleable wastes in circular sedimentation tank

Period	Duration (days)	Collected volume (L)	Moisture (%)	Gravity	Dry matter (kg)	Daily collected amount (kg)
1st	9	672	89.3	0.99955	71.87	7.99
2nd	57	5520	85.0	0.99955	827.63	14.52
3rd	0	120	81.2	0.99955	22.55	7.49
4th	110	5136	84.4	0.99955	800.86	
Avg.	176	2,862	84.97			10.00

### 3. 무지개송어 양식 배출수 전처리로서 대형 와류형 분리장치 이용 방안

#### 가. 연구방법

여과되지 않고 양식장으로부터 배출되는 유기물은 pH 저하 및 산성화를 유발하고, 수괴바닥에 침전되어 축적되어지면 바닥을 혐기성 상태로 만들어 정화능력을 상실하게하거나 박테리아로부터 분해되면 적조생물 배양 등 좋지 않은 환경을 조장하게 된다(Muslim and Jones, 2003). 그러므로 양식장 배출수는 배출 전 환경기준에 맞게 개선된 기술로 처리되어야 한다(Chen and Gu, 1993). 본 연구에서는 무지개송어 양식장 배출수의 배출직전의 효율적 처리를 위해 무지개송어 양식장 현장에 설치한 대형 와류형 분리장치를 이용하여 미세부유고형물과 유기물 제거 능력을 측정하였다.

#### (1) 부유 및 침전고형물 제거 방법

본 연구에서 배출수 방류 직전 배출수에 포함된 미세부유고형물을 제거하기 위해 양식장 외부에 Fig. 3.24에서 나타난 바와 같이 크게 3부분으로 나누어 구조물을 설치하였다. 미세부유고형물 제거 방법은 양식장 밖에 설치된 배출수 수집조로 배출된 배출수를 버티칼 펌프로 양수하여 먼저 와류형 침전조에서 1차 처리를 하고난 후, 처리수를 재차 생물여과조로 유입시켜 2차 처리를 하였다.

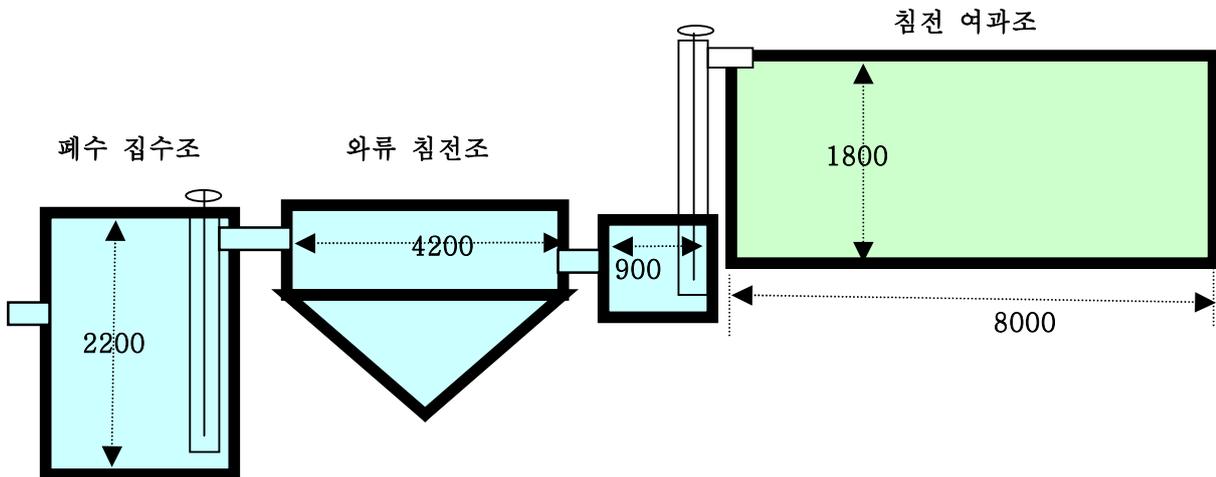


Figure 3.24. Schematic diagram of waste water treatment before discharge to environment, Circular sedimentation and biofilter as primary and secondary treatment

① 배출수 수집조 구조

Fig. 3.24의 배출수 수집조와 버티칼펌프를 통한 양수는 Fig. 3.25에 나타난 바와 같으며, 양수펌프의 용량은 2.2 Kw, 1720 rpm으로 100L/min 수량을 양수하였다. 일반적으로 양식장 배출수에는 양식어류가 섭취하는 사료의 미섭취 찌꺼기, 섭취후의 배설된 분찌꺼기를 비롯하여 어류의 사체 및 콘크리트 구조물의 부스러기 등의 다양한 배출찌꺼기가 함유되어 있으므로 이것을 감안하여 처리구조물의 설치할 때 Fig. 3.24에서처럼 처리해야할 배출수와 펌프로 직접 연결하지 않고 수집조에 수집한 후 찌꺼기에 의해 막힘이나 펌프의 손상의 위험이 없는 원통형 버티칼 펌프를 이용하여 양수하는 방식을 취하였다.

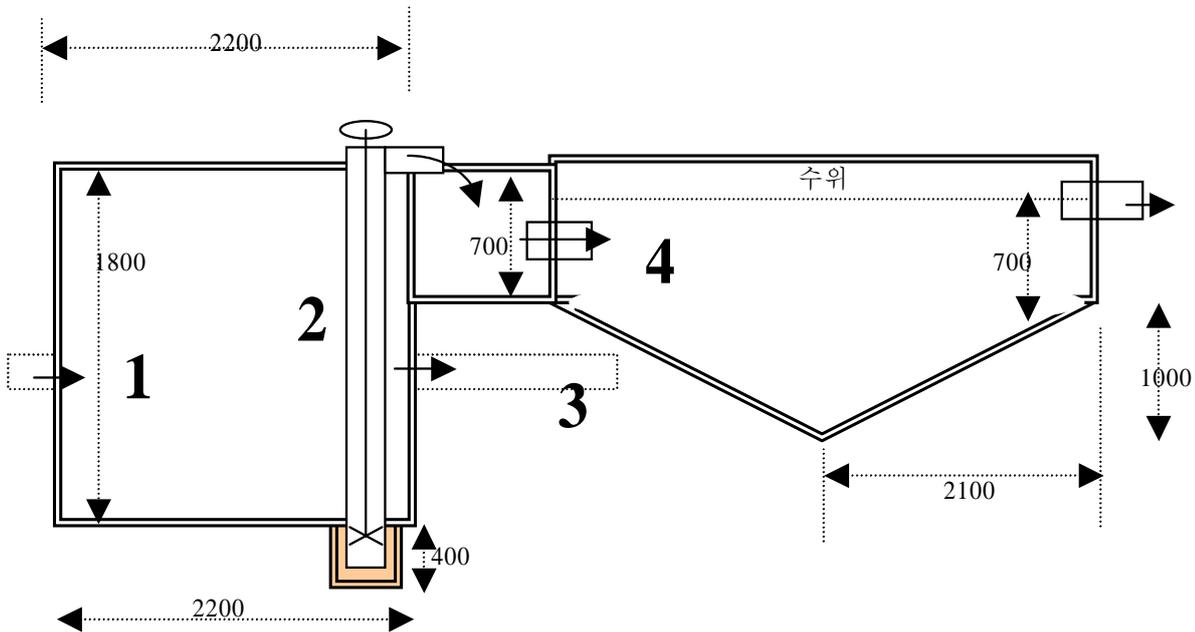


Figure 3.25. Schematic diagram of effluent pumping chamber. 1, Water waste effluent from fish farm. 2, Axial flow vertical pump. 3, Over flow pipe. 4, Effluent (out flow) to a circular with conical bottom sedimentation tank.

② 원형와류형침전조 구조

와류형 침전조의 구조는 Fig. 3.26에 나타난 바와 같으며, 실린더부와 콘부로 이루어져 있다. 이 시스템은 구조가 단순하고 설치가 쉽고 제작비용을 줄일 수 있는 장점이 있으나, 처리해야 할 배출수 특성에 맞는 수리역학적 구조가 요구되어 진다. 이에 대한 기초 연구는 이미 실시한 소형와류형 고형물 분리장치에서 습득하여, 이를 바탕으로 이루어졌다.

설치된 원형와류형침전조의 크기는 실린더부의 직경이 4.2 m, 실린더부의 높이가 0.8 m, 콘부의 깊이가 1 m로 이루어져 있다. 실린더 부로 유입된 배출수는 실린더부와 콘부에서 형성되

는 와류에 의해 체류시간이 길어지게 되고 또한 와류에 의해 형성된 원심력은 물과 부유고형오물 간의 밀도차이에 비례하여 더욱 증가되어져 부유고형오물은 콘부 바닥 부위에 침전하게 된다. 이러한 와류형 침전방식은 단순 중력침전방식 보다는 개선된 형태이며(Ruston et al. 1996), 단순중력침전 방식에 비해 침전조 설치 면적을 크게 줄일 수 있다.

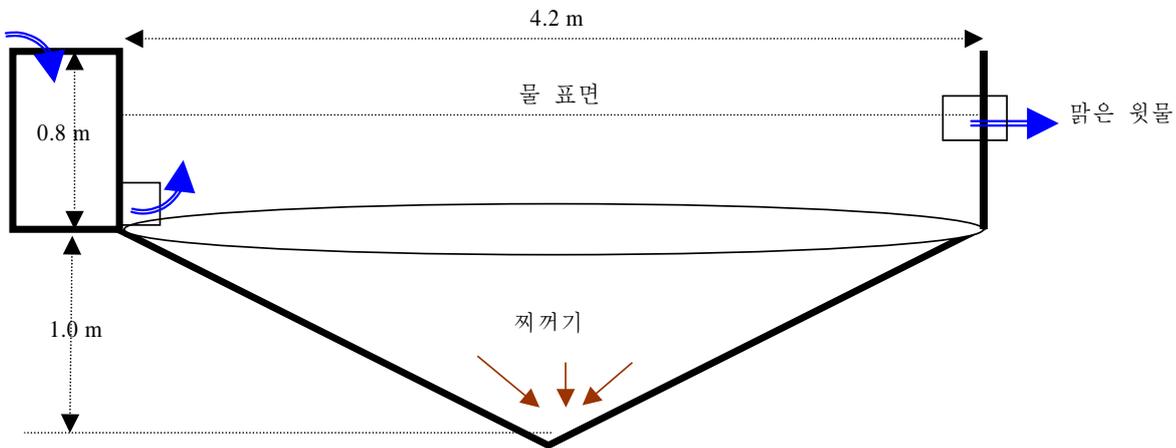


Figure 3.26. Schematic diagram of a circular with conical bottom sedimentation tank.  
Arrow: Inflow waste water from effluent chamber and outflow of circular tank.

### ③ 샘플채집 및 분석방법

수질 측정을 위한 샘플 취수는 원형와류형침전조 처리전, 즉 양어장 배출수와 원형와류형침전조 처리후 지점 및 생물여과조 처리후 3지점에서 3시간 마다 24시간 측정하였다. 고형침전물은 APHA (1995)에 따라 침전성 및 부유성으로 나누어 채집하기 위하여 14L 용기에 채수하여 5분동안 가려앉힌 후 0.6mm 비닐호스를 이용하여 수집하였다. 용기의 나머지 샘플은 잘 저어서 500 ml를 수집하여 부유성고형오물(SS)를 측정하였다. 수거된 고형오물은 GF/C 여과지를 이용하여 Rushton 등(1996)에 따라 측정하였고, COD (APHA, 1995), TAN (Orion 120, USA), NO<sub>3</sub> 및 PO<sub>4</sub> (ion chromatography, Dionex 120, USA), NO<sub>2</sub> (spectrophotometer, Oporon 3000, Hanson Tech, Korea) 등을 측정하였다.

## 나. 결과

### (1)부유 및 침전성 고형물 제거효율

양식장 배출수내 부유 및 침전고형오물은 와류형침전조 통과 후 현저하게 제거가 되었으며, 그 결과를 Table 3.31-33에 나타내었다. 총 고형오물의 제거효율은 30.9%-41.7%였으며, 일간

평균 제거량은 155.4-723.5 g/day이었다. 침전고형물 제거효율은 매우 높아 평균제거율이 75.6%-83.9%였으며, 일간평균 제거량은 84.5-803.9 g/day 이었다(Table 3.33). 그러나 미세부유고형물의 제거율은 낮게 나타났다(Table 3.32). 수온이 22℃ 이상으로 매우 높은 8월, 9월의 양식장내의 총고형물량은 이 보다 수온이 낮은 10월 보다 낮게 나타났는데 이것은 고수온기에는 냉수성어류인 무지개송어가 사료를 적게 섭취하기 때문이다. 그러나 총 고형오물 제거율에는 큰 영향이 없는 것으로 그리고 침전성고형물 제거율은 부화가 많이 걸리는 10월에 더욱 높은 것으로 나타나 본 와류형 침전조가 침전성고형물 제거에 효과가 높은 것으로 나타났다.

Table 3.31. Average of TSS (settleable + non settleable) concentration (mg/L) before and after a circular sedimentation system

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	3.41	2.25	2.84	1.91	11:00	17.16	11.19	14.65	6.86
9:00	3.69	1.99	3.26	2.32	14:00	9.56	5.24	9.36	5.70
12:00	2.46	1.26	2.55	2.70	17:00	10.15	5.73	14.41	8.61
15:00	3.26	2.03	3.21	1.89	20:00	9.64	7.31	13.08	7.74
18:00	1.40	1.43	4.38	2.74	23:00	10.69	6.16	11.39	6.39
21:00	1.91	1.14	4.64	3.55	2:00	9.19	5.37	10.31	6.79
0:00	1.70	0.64	4.71	3.14	5:00	7.59	6.22	13.14	7.83
3:00	2.85	1.01	6.96	3.26	8:00	13.96	7.80	12.75	7.59
6:00	2.60	1.82	3.29	3.24	11:00	11.60	7.24	10.37	6.74
Mean	2.59	1.51	3.98	2.75	Mean	11.06	6.92	12.16	7.14
SD(±)	0.796	0.542	1.369	0.604	SD(±)	2.890	1.838	1.887	0.881
Remove (mg)		1.079		1.231	Remove (g)		4.141		5.024
Remove(g/d)		155.4		177.3	Remove(g/d)		596.3		723.5
Efficiency(%)		41.72		30.91	Efficiency(%)		37.44		41.31

Table 3.32. Average of non settleable SS concentration (mg/L) before and after a circular sedimentation system

	1st Trial (August)		2nd Trial (September)			3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
TIME	Before	After	Before	After	TIME	Before	After	Before	After
6:00	2.40	2.00	2.40	1.80	11:00	5.20	8.60	5.60	5.80
9:00	2.40	1.60	2.40	2.20	14:00	4.40	4.40	4.20	4.80
12:00	1.60	1.00	2.20	2.60	17:00	5.00	4.80	6.20	7.00
15:00	1.80	1.80	2.60	1.80	20:00	4.80	6.20	5.60	6.60
18:00	1.00	1.00	3.60	2.60	23:00	4.60	5.20	5.80	5.60
21:00	1.40	1.00	3.80	3.40	2:00	4.20	4.60	4.20	6.00
0:00	0.80	0.60	3.60	3.00	5:00	4.00	5.20	6.20	6.60
3:00	2.40	0.80	5.80	2.80	8:00	5.80	6.40	6.60	6.40
6:00	1.80	1.60	2.60	3.00	11:00	4.40	6.20	5.20	5.80
Mean	1.73	1.27	3.22	2.58	Mean	4.71	5.73	5.51	6.07
SD(+)	0.600	0.490	1.142	0.552	SD(+)	0.558	1.304	0.849	0.663
Efficiency(%)		26.92		20.00	Efficiency(%)		-21.70		-10.08

Table 3.33. Average of settleable SS concentration (mg/L) before and after a circular sedimentation system

	1st Trial (August)		2nd Trial (September)			3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
TIME	Before	After	Before	After	TIME	Before	After	Before	After
6:00	1.01	0.24	0.44	0.11	11:00	11.96	2.59	9.05	1.06
9:00	1.29	0.39	0.86	0.12	14:00	5.16	0.84	5.19	0.90
12:00	0.86	0.26	0.35	0.10	17:00	5.15	0.93	8.21	1.61
15:00	1.46	0.23	0.61	0.09	20:00	4.84	1.11	7.48	1.14
18:00	0.40	0.14	0.78	0.14	23:00	6.09	0.96	5.59	0.79
21:00	0.51	0.14	0.84	0.15	2:00	4.99	0.77	6.11	0.79
0:00	0.90	0.04	1.11	0.14	5:00	3.59	1.02	6.94	1.23
3:00	0.45	0.21	1.16	0.46	8:00	8.16	1.40	6.15	1.19
6:00	0.80	0.22	0.69	0.24	11:00	7.20	1.04	5.17	0.94
Mean	0.85	0.21	0.76	0.17	Mean	6.35	1.18	6.65	1.07
SD(+)	0.365	0.097	0.275	0.117	SD(+)	2.506	0.558	1.365	0.261
Remove(gr)		0.645		0.587	Remove(gr)		5.163		5.583
Remove(g/d)		92.9		84.5	Remove(g/d)		743.5		803.9
Efficiency(%)		75.56		77.14	Efficiency(%)		81.34		83.90

(2) 용존성 영양염 제거 효율

원형와류형침전조를 통한 용존성 영양염 제거효율을 Table 3.34-37에 나타내었다. 연구기간 동안의 총 암모니아성 질소 농도는 1.11-2.01 ppm로 나타났으며, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> 농도 변화는 처리 전후 현저한 차이가 나타나지 않았다.

Table 3.34. Average of TAN concentration (ppm) before and after a circulation sedimentation system

	1st Trial (August)		2nd Trial (September)			3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
TIME	Before	After	Before	After	TIME	Before	After	Before	After
6:00	1.63	1.54	1.48	1.47	11:00	0.85	0.85	1.50	1.50
9:00	1.62	1.58	1.65	1.60	14:00	0.97	0.98	1.70	1.70
12:00	1.71	1.67	2.15	2.00	17:00	0.99	1.05	1.72	1.81
15:00	1.80	1.79	2.03	1.94	20:00	1.05	1.06	1.84	1.86
18:00	1.76	1.75	0.98	0.95	23:00	1.16	1.10	1.96	2.02
21:00	3.34	2.78	1.0	1.00	2:00	1.19	1.25	1.99	2.04
0:00	2.81	2.75	1.02	1.04	5:00	1.29	1.20	1.93	1.97
3:00	1.89	2.02	1.02	1.04	8:00	1.29	1.21	1.80	1.88
6:00	1.57	1.57	0.99	1.03	11:00	1.32	1.31	1.76	1.81
Mean	2.01	1.94	1.37	1.34	Mean	1.12	1.11	1.80	1.84
SD(+)	0.623	0.492	0.476	0.421	SD(+)	0.169	0.145	0.154	0.169
Efficiency(%)		3.7		2.1	Efficiency(%)		1.2		-2.4

Table 3.35. Average of NO<sub>3</sub> concentration (ppm) before and after a circular sedimentation system

	1st Trial (August)		2nd Trial (September)			3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
TIME	Before	After	Before	After	TIME	Before	After	Before	After
6:00	3.95	3.93	3.25	3.17	11:00	3.31	3.31	3.53	3.51
9:00	3.90	3.90	3.27	3.52	14:00	3.30	3.14	3.58	3.41
12:00	3.98	3.97	3.35	3.23	17:00	3.38	3.37	3.63	3.58
15:00	4.02	4.01	3.42	3.34	20:00	3.19	3.34	3.54	3.55
18:00	3.97	3.95	3.52	3.40	23:00	3.37	3.37	3.63	3.58
21:00	4.12	4.11	3.57	3.43	2:00	3.42	3.4	3.66	3.61
0:00	4.14	4.11	3.60	3.49	5:00	3.42	3.44	3.71	3.66
3:00	4.15	4.14	3.65	3.50	8:00	3.50	3.56	3.73	3.70
6:00	4.15	4.15	3.70	3.58	11:00	3.48	3.47	3.76	3.72
Mean	4.042	4.030	3.481	3.407	Mean	3.374	3.378	3.641	3.591
SD(+)	0.098	0.098	0.165	0.137	SD(+)	0.097	0.117	0.082	0.097
Efficiency(%)		0.302		2.139	Efficiency(%)		-0.099		1.373

Table 3.36. Average of NO<sub>2</sub> concentration (ppm) before and after a circular sedimentation system

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	0.162	0.166	0.180	0.187	11:00	0.176	0.177	0.172	0.177
9:00	0.170	0.173	0.188	0.196	14:00	0.178	0.181	0.170	0.174
12:00	0.174	0.179	0.192	0.203	17:00	0.178	0.182	0.182	0.177
15:00	0.185	0.189	0.205	0.213	20:00	0.252	0.187	0.200	0.183
18:00	0.192	0.196	0.220	0.228	23:00	0.191	0.194	0.184	0.183
21:00	0.193	0.196	0.231	0.242	2:00	0.199	0.198	0.183	0.187
0:00	0.194	0.199	0.236	0.243	5:00	0.202	0.205	0.189	0.190
3:00	0.189	0.183	0.239	0.252	8:00	0.211	0.206	0.189	0.188
6:00	0.171	0.174	0.249	0.255	11:00	0.208	0.207	0.186	0.186
Mean	0.18	0.18	0.22	0.22	Mean	0.20	0.19	0.18	0.18
SD(+)	0.012	0.012	0.025	0.025	SD(+)	0.024	0.012	0.009	0.006
Efficiency(%)		-1.56		-4.24	Efficiency(%)		3.30		0.79

Table 3.37. Average of PO<sub>4</sub> concentration (ppm) before and after a circular tank sedimentation

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	0.42	0.41	0.27	0.29	11:00	0.50	0.49	0.35	0.39
9:00	0.43	0.43	0.28	0.34	14:00	0.51	0.48	0.37	0.39
12:00	0.45	0.47	0.30	0.3	17:00	0.47	0.49	0.41	0.40
15:00	0.49	0.45	0.30	0.32	20:00	0.42	0.45	0.44	0.42
18:00	0.5	0.48	0.34	0.32	23:00	0.45	0.45	0.41	0.42
21:00	0.48	0.51	0.34	0.33	2:00	0.46	0.45	0.40	0.39
0:00	0.51	0.48	0.36	0.35	5:00	0.42	0.44	0.45	0.40
3:00	0.52	0.52	0.34	0.35	8:00	0.45	0.44	0.40	0.38
6:00	0.5	0.48	0.38	0.38	11:00	0.42	0.43	0.39	0.42
Mean	0.478	0.470	0.323	0.331	Mean	0.456	0.458	0.402	0.401
SD(+)	0.036	0.035	0.037	0.028	SD(+)	0.034	0.023	0.031	0.015
Efficiency(%)		1.63		-2.41	Efficiency(%)		-0.49		0.28

(3) 화학적 산소요구량(COD) 제거 효율

원형와류침전조 처리를 통한 COD 제거효율을 대한 결과를 Table 3.38에 나타내었다. COD 제거효율은 11.4%~23.4%로 일간 제거량은 125.6~750.1 g/day이었다. 배출수의 COD 함량이 증가할 수록 원형와류침전조의 COD 제거효율도 증가하여, 본 연구에 이용된 원형 와류형 침전조를 통한 양식장 COD 제거효율은 높은 것으로 나타났다.

Table 3.38. Average of COD concentration (mg/L) before and after a circular sedimentation system

	1st Trial (August)		2nd Trial (September)			3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
TIME	Before	After	Before	After	TIME	Before	After	Before	After
6:00	7.80	5.96	10.90	9.48	11:00	26.14	19.55	17.40	16.14
9:00	7.11	6.88	10.19	7.11	14:00	15.91	17.95	19.08	15.09
12:00	6.57	6.19	9.72	6.40	17:00	15.68	15.91	14.47	17.40
15:00	9.86	7.34	13.03	10.66	20:00	32.24	17.76	21.79	14.81
18:00	7.05	6.82	19.91	12.80	23:00	18.20	15.79	20.08	17.15
21:00	8.64	7.27	11.61	12.09	2:00	19.52	18.42	15.48	16.32
0:00	8.37	7.16	9.72	9.00	5:00	17.36	16.70	44.77	19.25
3:00	7.27	7.27	8.29	8.53	8:00	16.48	16.92	20.29	19.46
6:00	6.36	6.29	7.82	7.58	11:00	32.73	18.41	27.02	17.86
Mean	7.67	6.80	11.24	9.29	Mean	21.58	17.49	22.26	17.05
SD(+)	1.119	0.525	3.617	2.200	SD(+)	6.937	1.253	9.210	1.643
Remove(mg/L)		0.872		1.948	Remove(mg/L)		4.093		5.209
Remove(g/d)		125.6		280.6	Remove(g/d)		589.4		750.1
Efficiency(%)		11.37		17.33	Efficiency(%)		18.96		23.40

#### 다. 고찰

이상의 결과에서 나타난 바와 같이 실험에 이용된 원형와류형침전조는 양어장 배출수내 유기물 제거효율이 높은 것으로 나타났다. 평균 일간 총고형물과 침전성고형물 제거량이 각각 155.4-723.5 g/day 및 84.5-803.9 g/day로 매우 높게 나타났다. 그러나, 부유성미세고형물의 침전효율은 침전성보다도 낮게 나타는데 이는 원심력이 약한 저속 와류에서는 고속원심분리 방식에 비해 원심력이 떨어지고 또한 어류양식장의 유기물 특성상 그 밀도도 1.005-1.20 범위가므로(Warren-Hansen, 1982; Wong and Piedrahita, 2000) 저속와류에서의 이들 미세입자와 물과의 밀도차이를 원심력으로 크게 하기란 어려움이 따르며 또한 장치의 설계와 운영면에 있어서 경제성이 떨어지게 된다. 특히 배출물량이 많은 대형 양식장의 경우에는 더욱 그러하다.

본 연구를 실시한 양식장의 경우 침전성 대 비침전성 부유고형물의 비가 8월과 9월에 각각 33%:67% 및 19%:81%로 나타났다. 이것은 비침전성이 침전성 보다 높게 나타나 침전성 유기물을 빨리 처리하지 않아 이들 침전성 유기물이 비침전성 유기물 입자로 분해된 것을 의미한다고 사료되는 바, 양식장 시설 설계시 와류형침전조를 시설의 한 부분으로 설치하여 시설내 유기물 제거효율을 향상시키는 방안을 강구하는 것도 전체적인 양식장 배출수의 유기물 농도 저하를 위해 필요할 것으로 사료된다.

본 실험결과 원형와류형침전조 처리를 통한 배출수내의 총부유고형물(TSS)와 침전성고형물간의 상관관계( $R^2=0.962$ )가 검출 되었으며, TSS와 비침전성고형물의 제거효율 간에는 역상관관계( $R^2=0.9144$ )가 검출 되었다(Fig. 3.27). 유사한 결과로 Davidson and Summerfelt (2005)에 의하면 Swirl Separator를 통한 TSS 제거효율에서 TSS 농도와 제거효율 간의 상관관계가

보고되었다.

Table 3.38에 나타난 바와 같이 COD 농도와 원형 와류형침전조의 처리효율간의 상관관계가 발견되었다( $R^2=0.7868$ ). 본 실험에서 COD 농도는 부유성미세고형물의 농도와 상관관계를 나타내었다.

원형와류형침전조 처리를 통한 용존성 영양염의 처리효율에 대한 현저한 효과는 나타나지 않았다. Schneider et al.(2005)에 의하면, 용존성 혹은 비용존성 영양분은 어종, 사료공급량, 사료조성비, 어체 크기 및 수온에 따라서 달라지며, 또한 큰 유기물 입자가 작은 입자로 분쇄되는 과정에 용출될 수 있으므로(Summerfelt, 2001), 이러한 분쇄과정이 일어나기 전에 원형 와류형침전조 처리를 통한 배출수 처리를 유도하면 그 효율을 더욱 증가시킬 수 있을 것이다.

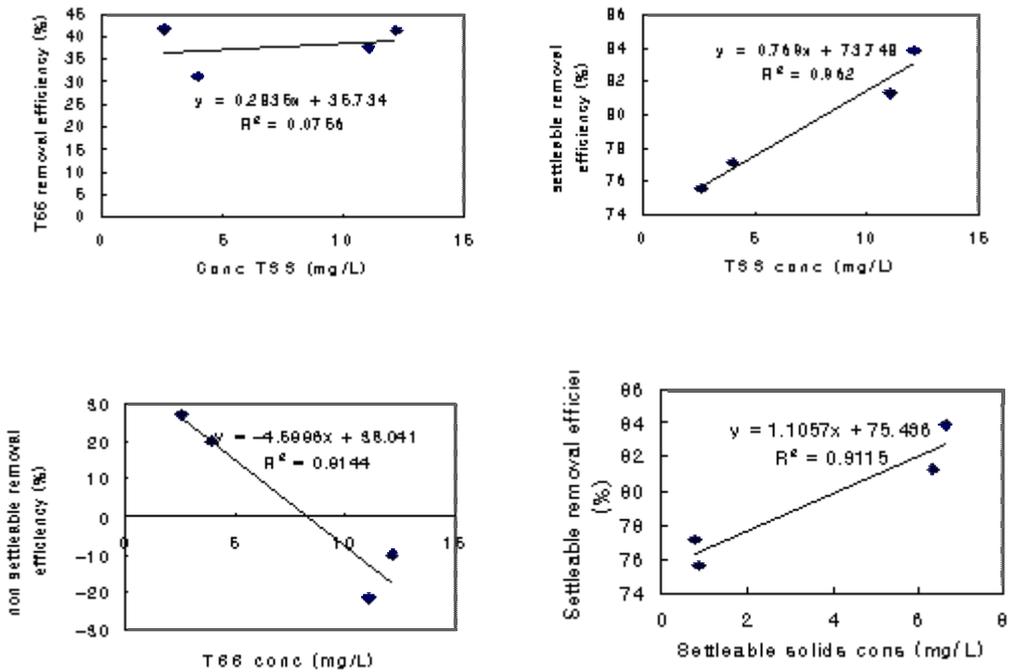


Fig. 3.27. Relationship between TSS concentration with removal efficiency of a). TSS, b). settleable, c). non settleable, and d) between settleable solids concentration with settleable removal efficiency.

### 제3절 미세 침전물의 효과적인 제거 방법

#### 1. IBK 생물여과조를 이용한 미세부유물의 처리 성능

세계적으로 양식장 배출수내 유기물 및 영양염들의 농도를 감소시키기 위해 많은 노력을 하고 있지만, 단순화한 한 개의 시설로는 배출농도 기준에 부합하기 어려운 것으로 알려지고 있다. 본 연구의 앞선 연구에서 원형 와류형침전조를 이용하여 총부유고형물과 침전성부유고형물 제거가 효율적으로 이루어지나 매우 작은 입자인 비침전성 부유고형물의 동시적인 처리가 어려우므로 이를 보완함과 아울러 양식장 배출수 처리 효율증진을 위하여 이미 여러 어종에 대하여 성공적 효율성이 입증된 IBK 순환여과식 시스템의 생물여과시설을 원형 와류형침전조와 결합하여 그 효율을 검증하기 위해 본 실험을 실시하였다.

##### 가. 실험방법

실험이 이루어진 시스템의 전체 모식도는 앞에서 언급한 Fig. 3.12와 같다. 그림에서와 같이 양식장 배출수를 원형 와류침전조에서 1차 처리를 한 후, 처리된 배출수를 IBK 생물여과조로 유입시켜 2차 처리가 되도록 하였다. 본 장치에 이용된 버티칼 펌프(2.2 Kw, 1720 rpm)는 앞 실험과 같은 용량으로 양수량은 100 L/min였다. 생물여과조는 2개이며 각 생물여과조 크기는 4×3.7×1.7 m 였으며 Fig. 3.28과 같다.

IBK 생물여과조의 2차 처리 효율을 검증하기 위해 원형 와류형침전조와 동일한 항목과 분석 방법으로 실험을 하였다.

##### 나. 결과

수질 분석 결과를 Table 3.39-46에 나타내었다. IBK 생물여과조를 통한 2차 처리에서 모든 부유성고형물이 매우 효과적으로 제거되어, TSS, 부유성고형물 및 침전성고형물의 제거효율이 각각 28.4-54.4%, 24.8-49.1%, 65.3-90.3% 범위였으며, 제거량은 각각 112.3-516 g/d, 89.6-377.6 g/d, 16.3-143.7 g/d 범위로 검증 되었다. 이 장치를 통한 COD 제거도 매우 효과적으로 제거율은 5.1-22.5% 였고, 제거량은 68.2-551.8 g/d 범위로 측정 되었다. 더욱이 IBK 생물여과조는 원형 와류침전조와 달리 총암모니아(TAN)와 NO<sub>3</sub>가 일부 제거되는 것으로 측정되었다. 그러나 NO<sub>2</sub>와 PO<sub>4</sub>는 증가하는 경향을 나타내었다.

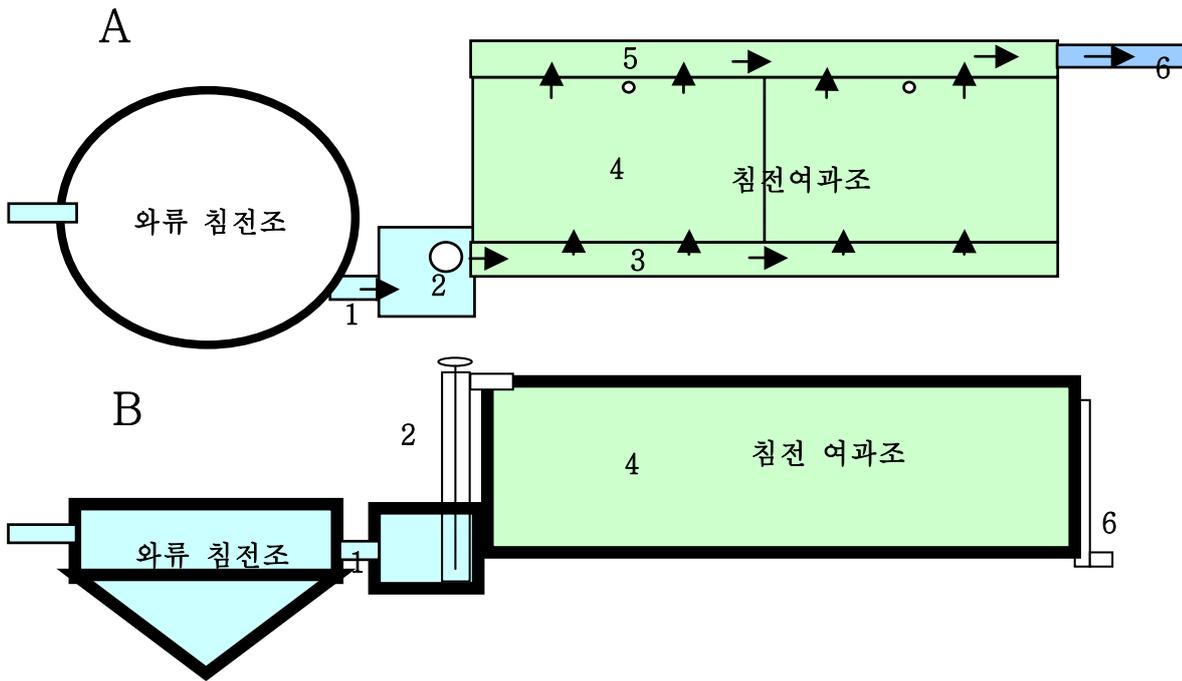


Fig. 3.28. Schematic diagram of IBK system used for the waste water treatment of rainbow trout farm. A: Plane view, B: Side view

- 1, Wastewater inflow from fish farm. 2, An axial flow vertical pump.
- 3, Inflow water to biofilter system. 4, Biofilter. 5, Outflow from biofilter.
- 6, Water discharge pipe

Table 3.39. Average of TSS concentration (mg/L) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	2.25	1.02	1.91	1.44	11:00	11.19	5.39	6.86	3.27
9:00	1.99	0.85	2.32	1.44	14:00	5.24	3.96	5.70	3.07
12:00	1.26	0.81	2.70	1.84	17:00	5.73	4.62	8.61	3.69
15:00	2.03	1.01	1.89	1.46	20:00	7.31	5.20	7.74	4.09
18:00	1.43	0.24	2.74	2.31	23:00	6.16	3.39	6.39	3.97
21:00	1.14	0.63	3.55	2.26	2:00	5.37	4.38	6.79	3.91
0:00	0.64	0.34	3.14	2.23	5:00	6.22	3.32	7.83	2.87
3:00	1.01	0.80	3.26	2.46	8:00	7.80	5.43	7.59	3.70
6:00	1.82	0.48	3.24	2.31	11:00	7.24	4.79	6.74	3.37
Mean	1.51	0.69	2.75	1.97	Mean	6.92	4.50	7.14	3.55
SD(±)	0.542	0.283	0.604	0.426	SD(±)	1.838	0.804	0.881	0.424
Remove (mg/L)		0.821		0.780	Remove (mg/L)		2.420		3.590
Remove (g/d)		118.2		112.3	Remove (g/d)		348.5		516.9
Efficiency(%)		54.42		28.35	Efficiency(%)		34.98		50.29

Table 3.40. Average of non settleable SS concentration (mg/L) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	2.00	1.00	1.80	1.40	11:00	8.60	5.20	5.80	3.20
9:00	1.60	0.80	2.20	1.40	14:00	4.40	3.80	4.80	3.00
12:00	1.00	0.80	2.60	1.80	17:00	4.80	4.40	7.00	3.60
15:00	1.80	1.00	1.80	1.40	20:00	6.20	5.00	6.60	4.00
18:00	1.00	0.20	2.60	2.20	23:00	5.20	3.20	5.60	3.80
21:00	1.00	0.60	3.40	2.20	2:00	4.60	4.20	6.00	3.80
0:00	0.60	0.20	3.00	2.20	5:00	5.20	3.20	6.60	2.80
3:00	0.80	0.80	2.80	2.40	8:00	6.40	5.20	6.40	3.60
6:00	1.60	0.40	3.00	2.20	11:00	6.20	4.60	5.80	3.20
Mean	1.27	0.64	2.58	1.91	Mean	5.73	4.31	6.07	3.44
SD(+)	0.490	0.313	0.552	0.414	SD(+)	1.304	0.782	0.663	0.410
Removal(mg/L)		0.62		0.67	Removal(mg/L)		1.42		2.62
Removal(g/day)		89.6		96.0	Removal(g/day)		204.8		377.6
Efficiency(%)		49.12		25.86	Efficiency(%)		24.81		43.22

Table 3.41. Average of settleable SS concentration (mg/L) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

Table 3.42. Average of TAN concentration (ppm) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

Table 3.43. Average of NO<sub>3</sub> concentration (ppm) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

Table 3.44. Average of NO<sub>2</sub> concentration (ppm) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

TIME		1st Trial (August)		2nd Trial (September)		3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
TIME	TIME	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
6:00		0.133	0.130	0.157	0.138	0.357	0.340	0.507	0.489
6:00		0.24	0.02	0.11	0.04	2.59	0.19	1.06	0.07
9:00		0.139	0.137	0.055	0.395	0.931	0.058	0.174	0.095
9:00		0.39	0.05	0.12	0.04	0.84	0.16	0.90	0.07
12:00		0.139	0.141	0.028	0.313	0.082	0.028	0.587	0.588
12:00		0.26	0.01	0.10	0.04	0.93	0.22	1.61	0.09
15:00		0.159	0.150	0.115	0.076	0.097	0.029	0.564	0.595
15:00		0.23	0.01	0.11	0.06	0.097	0.029	0.564	0.595
18:00		0.155	0.150	0.024	0.095	0.191	0.002	0.028	0.014
18:00		0.54	0.04	0.24	0.05	0.191	0.002	0.028	0.014
21:00		0.14	0.03	0.15	0.06	0.298	0.18	0.79	0.11
21:00		0.26	0.03	0.02	0.03	0.298	0.18	0.79	0.11
0:00		0.04	0.14	0.14	0.03	1.02	0.12	1.23	0.07
0:00		0.09	0.23	0.03	0.07	0.205	0.212	0.06	0.09
3:00		0.21	0.01	0.46	0.06	1.40	0.23	1.19	0.10
3:00		0.04	0.23	0.32	0.07	0.206	0.213	0.38	0.06
6:00		0.22	0.08	0.24	0.11	1.04	0.19	0.94	0.17
6:00		0.155	0.150	0.258	0.023	0.307	0.216	0.56	0.598
Mean		0.21	0.04	0.17	0.06	Mean	0.307	0.216	0.56
Mean		0.097	0.043	0.077	0.029	Mean	0.308	0.092	0.291
SD(+)		0.098	0.136	0.027	0.025	SD(+)	0.145	0.077	0.069
Removal(ng/L)		0.492	0.064	0.421	0.335	Removal(ng/L)	0.145	0.077	0.069
Efficiency(%)			1.89		2.48	Efficiency(%)		1.48	
Efficiency(%)			1.29		0.70	Efficiency(%)		5.08	
Efficiency(%)			78.71		65.30	Efficiency(%)		84.19	
Efficiency(%)					Efficiency(%)				90.32

Table 3.45. Average of PO<sub>4</sub> concentration (ppm) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	0.41	0.42	0.29	0.30	11:00	0.49	0.50	0.39	0.40
9:00	0.43	0.46	0.34	0.31	14:00	0.48	0.50	0.39	0.42
12:00	0.47	0.47	0.3	0.31	17:00	0.49	0.49	0.4	0.43
15:00	0.45	0.5	0.32	0.27	20:00	0.45	0.5	0.42	0.44
18:00	0.48	0.48	0.32	0.33	23:00	0.45	0.45	0.42	0.45
21:00	0.51	0.52	0.33	0.36	2:00	0.45	0.45	0.39	0.44
0:00	0.48	0.52	0.35	0.37	5:00	0.44	0.46	0.4	0.42
3:00	0.52	0.52	0.35	0.37	8:00	0.44	0.45	0.38	0.43
6:00	0.48	0.53	0.38	0.39	11:00	0.43	0.44	0.42	0.44
Mean	0.470	0.491	0.331	0.334	Mean	0.458	0.471	0.401	0.430
SD(+)	0.035	0.037	0.028	0.040	SD(+)	0.023	0.026	0.015	0.015
Efficiency(%)		-4.49		-1.01	Efficiency(%)		-2.91		-7.20

Table 3.46. Average of COD concentration (ppm) before and after IBK system for the second treatment of waste water effluent

TIME	1st Trial (August)		2nd Trial (September)		TIME	3rd Trial (Early October)		4th Trial (End of October)	
	Before	After	Before	After		Before	After	Before	After
6:00	5.96	5.28	9.48	9.48	11:00	19.55	16.82	16.14	11.11
9:00	6.88	5.05	7.11	6.64	14:00	17.95	16.36	15.09	14.26
12:00	6.19	4.13	6.40	7.35	17:00	15.91	16.36	17.40	12.37
15:00	7.34	7.11	10.66	10.19	20:00	17.76	14.25	14.81	11.33
18:00	6.82	6.82	12.80	9.95	23:00	15.79	16.89	17.15	10.88
21:00	7.27	5.91	12.09	10.43	2:00	18.42	16.45	16.32	12.97
0:00	7.16	5.68	9.00	9.00	5:00	16.70	13.19	19.25	18.41
3:00	7.27	5.34	8.53	8.06	8:00	16.92	14.95	19.46	15.48
6:00	6.29	6.36	7.58	8.29	11:00	18.41	19.32	17.86	12.20
Mean	6.80	5.74	9.29	8.82	Mean	17.49	16.06	17.05	13.22
SD(+)	0.525	0.930	2.200	1.324	SD(+)	1.253	1.767	1.643	2.461
Remove(mg/L)		1.06		0.47	Remove(mg/L)		1.43		3.83
Remove(g/d)		152.2		68.2	Remove(g/d)		205.4		551.8
Efficiency(%)		15.54		5.10	Efficiency(%)		8.15		22.47

#### 다. 고찰

본 실험에서 용존 무기인의 농도는 IBK 생물여과조 처리 후에 0.33-0.47 ppm에서 0.33-0.49 ppm로 증가하는 경향을 나타내었는데, 일반적으로 IBK 시스템에서는 이와 같은 용존 무기인의 처리를 위해 수생식물을 이용하는 예와 Zeolite 등을 이용하는 예(Bolan et al. 2004)도 있다. 본 실험결과 IBK 시스템 처리를 통해 총부유고형물과 COD 제거효율은 높았으나, 용존 영양염( $PO_4$  및  $NO_3$ )의 제거효율은 현저하지 않았으며, 유사한 경향을 Arbiv and Rijn (1955)은 보고하고 있다. 본 실험에서 이루어진 IBK 생물여과조에 의한 수처리 능력을 타문헌의 결과와 비교하여 Table 3.47에 나타내었다. 본 연구결과 무지개송어 양식장 배출수에 함유된 TSS, COD, TAN,  $NO_3$  등은 IBK 생물여과조 처리를 통해 효과적으로 처리할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 3.47. Comparison between mean concentration of BOD, COD, TSS, and nutrients in the pond effluent, and the percent removal of these components by the two-pond treatment system (Bolan et al, 2004) and before and after biofilter IBK system in this study.

Parameters	Bolan et al, 2004			This study		
	Anaerobic pond inlet	Oxidation pond outlet	removal (%)	After circular sedimentation	After IBK system	removal (%)
TSS (mg/L)	320(+35)	85(+22)	74	4.58(+2.88)	2.68(+1.69)	41.54
COD (mg/L)	950(+152)	453(+78)	52	12.7(+5.4)	11.0(+4.6)	13.4
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	115(+15)	95(+12)	8.3	1.56(+0.40)	1.45(+0.37)	6.74
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	5(+1.8)	15(+3.2)		3.60(+0.30)	3.55(+0.38)	1.41
Dissolved P (mg/L)	21(+2.3)	18(+1.6)	14	0.42(+0.06)	0.43(+0.07)	

## 2. 포말분리 장치를 이용한 미세부유물의 처리 성능

### 가. 연구방법

#### 1) 포말 분리 장치에 의한 미세 부유물의 처리

포말분리법은 수중의 현탁물질을 제거하므로써 수중의 SS는 물론 BOD와 COD를 낮추고 단백질을 제거하므로써 수중 유기물 농도를 낮추는데 크게 기여하고 있다. 이 방법을 배출수 최종 정화처리에 추가하여 배출수의 유기물 농도를 낮추기 위한 실험을 시행한 방법은 아래와 같다.

#### ① Pilot-scale 순환여과식 양식 시스템

본 연구에 이용한 순환여과식 양식 시스템은 Suh et al.(2001)이 개발한 것으로 2.5 ton 규모의 사육조와 0.5 ton 규모의 침전조, 0.5 ton 규모의 저류조, 침전조에서 제거되지 못한 고형물 제거를 위한 0.05 ton 규모의 floating bead filter와 질산화 반응기인 수용적 0.45 ton 규모의 회전원판 반응기로 구성되었으며 전체 시스템의 총 수량은 4.5 ton 이었다. 순환수는 한 대의 펌프를 이용하여 순환시켰으며 포말분리기와 bead filter에 필요한 공기는 blower를 이용하여 공급하였다. 시스템에 수용한 어류는 열대성 담수어종인 틸라피아 중 국내 내수면의 주요 양식 대상 종인 나일 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)였다.

#### ② 포말분리기

본 연구에 사용한 포말분리기는 직경 15 cm, 높이 90 cm의 플라스틱 원통관으로 제작되었으며 순환수의 유입과 유출은 별도의 액송펌프를 사용하지 않도록 포말분리기 하부의 공기분산기에서 공급되는 공기에 의해 포말분리기 하부의 순환수가 유입되어 상부의 출구로 배출되는 형태인 상향 병류식으로 제작하였다.

포말분리기 상부에는 포말이 충분히 농축되어 배출될 수 있도록 액면 위로 4 cm의 공간을 두었으며 포말 배출관의 직경은 2 cm이었다.

공기의 공급은 blower를 사용하였고 공급 공기량은 3.0 L/min이었으며 이는 공탑 공기속도로 0.28 cm/sec였다. 포말분리기는 동일한 두 개의 장치를 사육조 내부 벽면에 부착시켜 운전하였다.

#### ③ 어류사육 및 시스템 관리

Pilot plant의 운전은 매일 오전 9시에 첫 사료를 공급하고 침전조 및 플라스틱 bead filter를 청소

하여 어류사육을 통하여 발생한 고형물질을 제거하고 보충수를 공급하여 시스템의 수위를 유지시켰다. 이러한 시스템 점검을 마친 후 약 1시간 경과 후 수질 분석에 필요한 시료를 채취하였다. 보충수는 사육조의 약 10%에 해당하는 0.25 m<sup>3</sup>의 물을 사용하였다. 이때 사용한 보충수는 부경대학교 부속 양어장의 순환수를 이용하였다. 사료공급은 어류 입식시 측정된 어체의 체중에 대하여 약 1%에 해당하는 사료를 1일 4~5시간 간격으로 3~4회에 걸쳐 공급하였다. 순환수의 온도는 25 °C로 일정하게 유지하였다. 1차 실험은 사육조에 대해 2%의 사육밀도로 15일간 수행하였으며 2차 실험은 5%의 사육밀도로 30일간, 3차 실험은 7%의 사육 밀도로 35일간 수행하였다.

## 나. 연구결과

### ① 포말분리기의 양어장 적용 가능성

포말분리기의 실제 어류를 사육하는 양어장에서 나타내는 효율을 측정하기 위하여 pilot-scale의 순환여과식 양어장에서 어류를 2, 5, 7%의 밀도로 사육하면서 사육조 내의 수질과 포말분리기에 의해 배출된 포말농축액의 수질을 분석하였다. Fig. 3.29는 전체 실험 기간 중 얻어진 COD, TSS, 단백질의 사육조 농도( $C_T$ )와 포말 농축액 농도( $C_F$ )의 상관관계를 도시한 것이다. 두 농도 사이에서 얻어지는 기울기는 각 성분이 포말로 농축된 비율( $C_F/C_T$ )을 나타내는 것으로 그 값이 클수록 포말분리기에 의한 제거효율이 높음을 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 TSS가 4.48로 가장 높았으며 COD는 2.82, 단백질은 2.02의 농축비를 나타내었다. Dwivedy(1975)는 포말 분리에 의한 굴 양식장 폐수에서 부유성 유기물과 용존성 유기물을 제거할 수 있다고 하였다. 이는 본 연구의 결과가 부유 고형물과 단백질의 2-4.5배 정도로 농축하여 배출하는 것으로 보아 실제 양어장의 포말분리기 적용이 적합한 것으로 사료된다.

### ② 포말 농축액 유출 특성

전체 실험기간에서 사육조의 각 수질인자의 농도는 사육기간, 사육밀도, 수처리 장치의 효율, 사료 투입량 등에 따라 변화를 보였다. 사육기간이 길어짐에 따라 각 수질인자가 순환수에 농축되어 사육조의 각 수질인자의 농도는 증가하는 경향을 보였고 포말 농축액의 유출량도 증가하였으며 어류 입식 직후에는 사육조 내의 단백질 농도가 낮아 포말이 형성되지 않았다. Fig. 3.30은 실험을 행한 각 사육 밀도의 변화에 따른 포말 농축액의 양과 TSS, COD, 단백질의 사육조 내 농도의 평균값을 도시한 것이다.

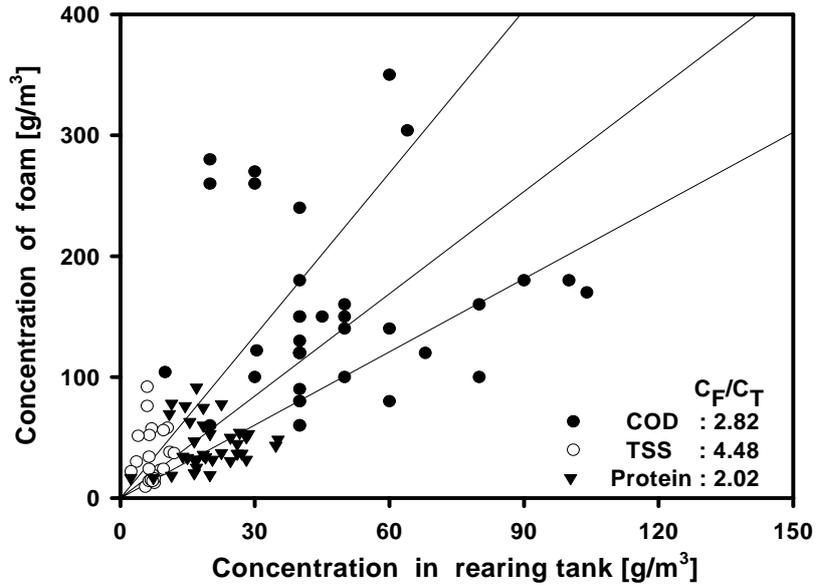


Fig. 3.29 Condensation rates of COD, TSS and protein by foam fractionation

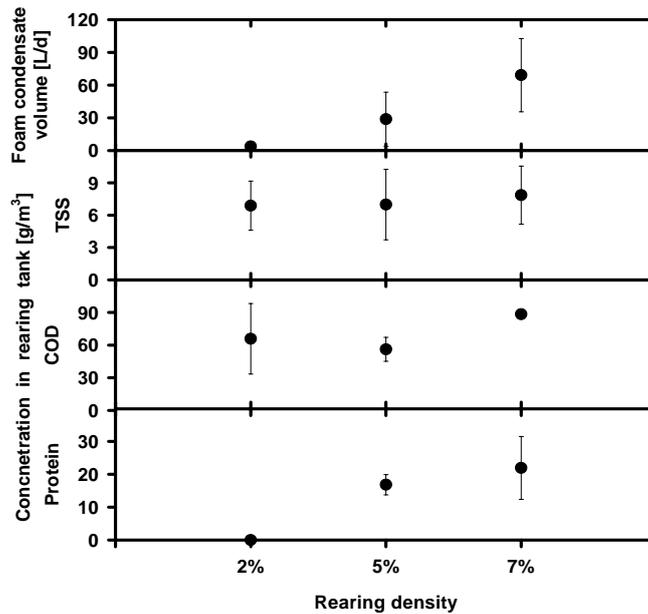


Fig. 3.30. Changes of daily foam, COD, TSS, and protein concentrations of the water of 3 different fish rearing densities.

그림에서 보는 바와 같이 사육밀도가 증가함에 따라 각 수질 인자의 농도가 증가하였으며 포말 농축액의 유출량도 증가하였다. 사육밀도의 증가에 따라 수질인자의 농도가 증가하는 것은 투입 사료량이 증가하여 순환수에 미 섭취 사료나 어분 등이 증가함에 따른 현상이다. 포말 농축액의 유출량이 사육밀도의 증가함에 따라 증가하는 현상은 수질 인자 중 계면활성제 역할을 하는 단백질의 농도가 증가

하여 포말의 발생량이 많아져서 포말 농축액의 유출량도 선형적으로 증가하는 것으로 사료된다. 순환수의 오염도가 높을 경우 포말 농축액이 많이 생성되는 것은 포말 분리기를 수처리 장치 뿐 아니라 포말 농축액의 발생량으로 수질의 오염도를 예측하는 장치로도 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

### ③ 단백질 제거특성

단백질은 미섭취 사료나 어분 중 어체에 흡수되지 못한 사료성분에서 용출되어 발생한다. 단백질의 구성은 대부분 C, H, O이나 소량의 N과 P를 함유하고 있어 순환수 중의 미생물에 의해 분해되면서 어류에 유해한 암모니아를 발생시키므로 신속히 제거하여야 한다(Wheaton et al., 1996). Fig. 3.31은 사육 밀도의 변화에 따른 단백질의 일간 제거량, 농축비, 사육조와 포말 농축액의 농도를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사육밀도가 5%에서 7%로 높아짐에 따라 사육조의 단백질 농도는 16.6 g/m<sup>3</sup>에서 21.9 g/m<sup>3</sup>으로 증가하였으며 일간 제거량은 0.99 g/day에서 2.5 g/day로 증가하였으나 포말의 단백질 농도는 50.6 g/m<sup>3</sup>에서 36.6 g/m<sup>3</sup>으로 감소하여 농축비는 3.2에서 1.9로 감소하였다.

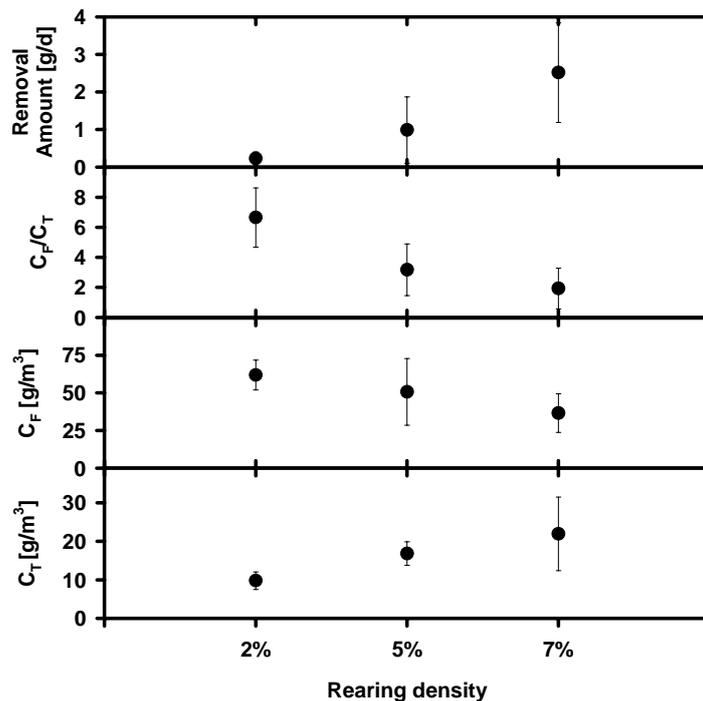


Fig. 3.31. Changes of concentration of condensed protein (P) in the rearing water ( $C_T$ ) and foam ( $C_F$ ) under 3 different rearing densities (2, 5, 7%)

사육밀도가 높아짐에 따라 농축비가 감소하는 현상은 단백질 농도가 증가함에 따라 포말의 생성량이 증가한 것에 기인한 현상으로 포말의 생성량이 많아 포말분리기 내에서 형성된 포말이 충분히 농축되기 전에 장치 외부로 흘러나간 때문이다.

#### ④ 부유 고형물 제거특성

순환여과식 양어장 순환수의 부유 고형물은 어류의 아가미에 손상을 주어 어류의 폐사를 유발하게 되므로 신속한 제거가 요구되나 입자의 직경이 30  $\mu\text{m}$ 이하로 침강속도가 매우 작아 침전조를 통해 제거하기 위해서는 긴 체류시간을 요구하여 비효율적이다(Chen et al, 1996; Suh et al, 1997; Suh et al, 2000). Fig. 32는 사육 밀도의 변화에 따른 총 부유 고형물의 일간 제거량, 농축비, 사육조와 포말 농축액의 농도를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사육조 내 총 부유 고형물의 농도는 사육밀도의 증가에 따라 약간 증가하였으나 그 차이는 크지 않았다. 반면 사육밀도의 변화에 따른 총 부유 고형물의 일간 제거량, 농축비와 포말 농축액의 농도의 변화는 단백질 제거특성과 그 형태가 유사하였다. 이는 총 부유 고형물이 제거되는 것은 단백질이 기·액 계면에 흡착될 때 동반 흡착되어 제거되는 제거기작에 의한 현상(Chen, 1991)에 의해 수행되는 것이므로 부유 고형물의 제거 특성이 단백질의 제거특성과 유사하게 나타나는 것으로 사료된다.

총 부유 고형물의 일간 제거량은 사육밀도 2%일 경우 0.2 g/d, 5%에서는 0.8 g/d, 7%에서는 1.5 g/d로 사육밀도와 비례하여 증가하였으며 농축비는 2%의 사육 밀도에서 10.2의 매우 높은 값을 나타내어 부유 고형물의 제거에 포말분리기가 효율적임을 알 수 있었다.

#### ⑤ 유기물 제거특성

Fig. 3.33은 사육 밀도의 변화에 따른 화학적 산소요구량(COD<sub>Cr</sub>)의 일간 제거량, 농축비, 사육조와 포말 농축액의 농도의 변화를 도시한 것이다. 화학적 산소 요구량은 수중의 유기물 함량을 나타내는 지표로써 호기성 미생물의 번식을 유발시켜 병원성 미생물을 증식시키는 원인이 된다(Wheaton et al., 1996).

그림에서 보는바와 같이 화학적 산소요구량의 변화에 있어서 부유 고형물 제거 특성에 있어서의 그림 14와 비슷한 경향을 보이고 있으며 일간 제거량과 농도의 경우 총 부유 고형물의 5배 정도로서 유사성을 보였다. 화학적 산소요구량의 일간 제거량은 사육밀도 2%일 경우 1.6 g/d, 5%에서는 4.2 g/d, 7%에서는 7.0 g/d로 나타났다.

화학적 산소 요구량의 포말분리기에 의한 농축비는 2%의 사육밀도에서 8.5로서 30 g/m<sup>3</sup>의 농도를 가지는 사육조 내 순환수를 255 g/m<sup>3</sup>의 농도로 농축시켜 제거 할 수 있어 그 효율이 뛰어난을 알 수 있었다. 7%의 사육밀도에서 포말 배출량이 증가하여 농축비가 감소하였으나 농축비가 3.5이상으로 비교적 잘 농축할 수 있는 것으로 나타났다.

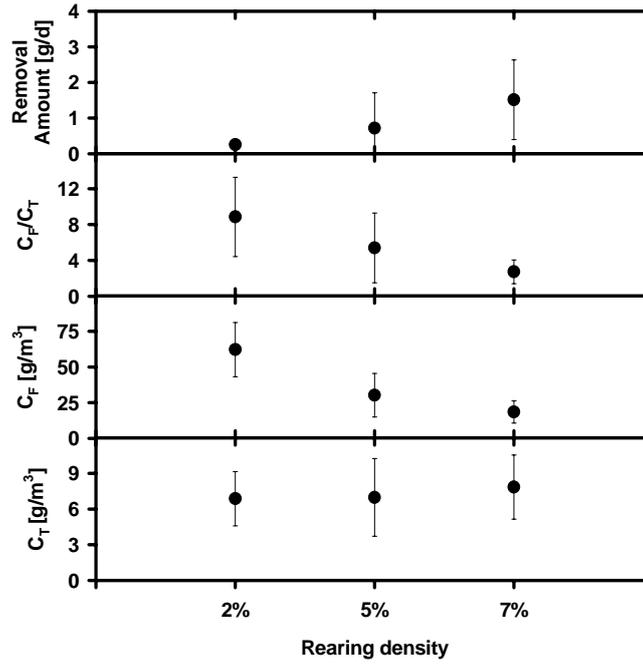


Fig. 3.32. Changes of condensation concentration of TSS in rearing water ( $C_T$ ) and foam ( $C_F$ ) under 3 different rearing densities (2, 5, 7%)

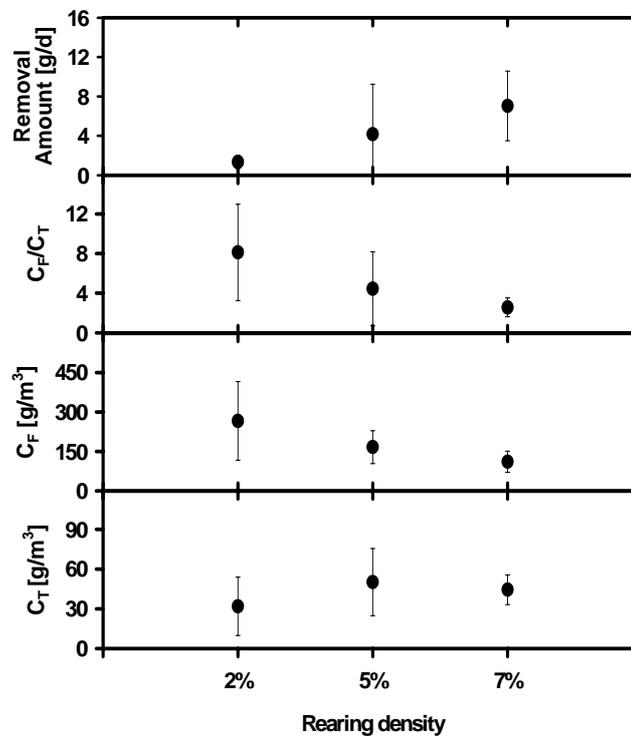


Fig. 3.33. Changes of condensation concentration of CODcr in rearing water ( $C_T$ ) and foam ( $C_F$ ) under 3 different rearing densities (2, 5, 7%)

### 3. 포말분리에 의한 최종정화 연구

### 가. 연구방법

Fig. 3.34에서와 같이 최종 침전되는 생물여과조의 주수부에 콤프레샤를 설치하고 길이 30cm의 고압 공기 분산기 3개와 저압 공기 분산기 2개를 설치하여 압축공기를 넣어 분리되는 거품의 성장과 배출되는 물의 미세 SS의 양을 조사하여 최종 정화 처리 성능을 조사하였다. 이 때 주입되는 공기의 양은 5개의 공기 분산기를 통하여 초당 4.57L 였고 분당 274L, 시간당 16,452L 였다. 공기방울의 평균 크기는 약 1-5 mm 였다.

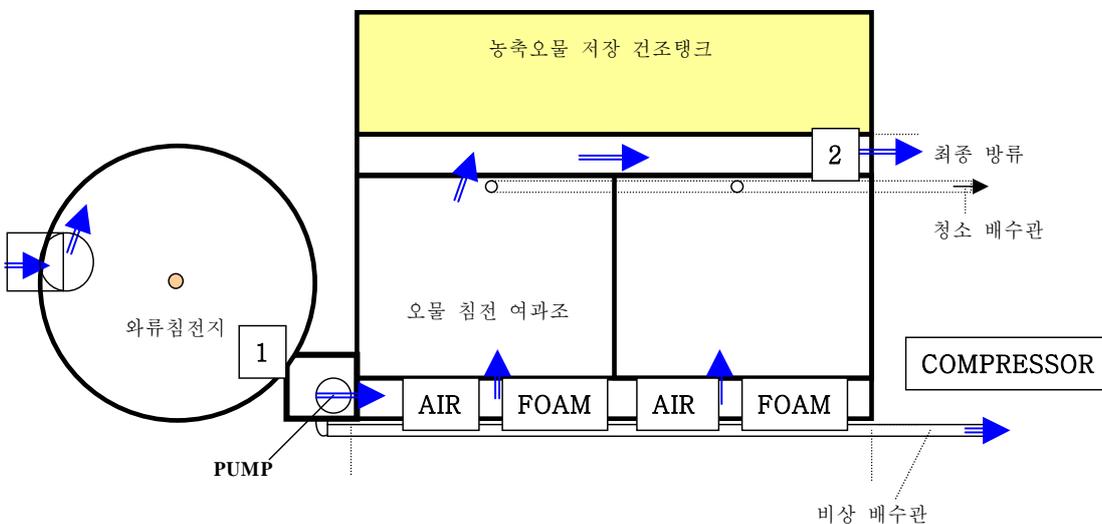


Fig. 3.34 Schematic drawing of foam fractionation experiment in the IBK biofilter. Sampling site, before (1) and after (2) foam fractionation.

### 나. 연구결과

현장에서의 포말분리를 하면서 포말분리 전과 후의 수질을 측정 한 결과 전체적인 제거 효율은 COD의 제거효율이 포말분리 전 10%가 감소한 반면 포말분리를 한 후에는 14.5%로 4.5% 정도 효율이 증가하였지만 정도가 크지 않았고 다른 수질 항목도 크게 변화가 없거나 오히려 증가하는 경향을 보여 무지개송어 양식장의 배출수에는 포말분리 법 자체가 수질 정화에는 크게 효과가 없었다. 이것은 배출수가 원형 오물분리장치를 지나면서 많은 고형물질이 침전되어 SS 농도가 낮아졌고 배출수의 BOD가 그렇게 높지 않기 때문에 포말분리에 의해 제거되는 양이 상대적으로 적은 것에 원인이 있다고 사료된다. 또한 유수식 송어 양식장의 배출수는 침전 가능한 오물이 제거되고 나면 수중 유기물의 양이 적고 온수성 어류에 비해 단위 용적당 사육하는 생체량이 적은 것도 하나의 원인이 될 수 있을 것이다.

Table 3.48. Water quality changes before and after foam fractionation (mg/L)

	Before foam fractionation			After foam fractionation		
	Inlet	Outlet	Removal efficiency(%)	Inlet	Outlet	Removal efficiency(%)
COD	15.69	14.12	10.00	17.09	14.53	14.98
TAN	1.16	1.10	5.20	1.43	1.38	3.49
NO <sub>2</sub>	0.09	0.10	-14.01	0.09	0.10	-12.49
NO <sub>3</sub>	1.1005	1.1023	-0.16	1.1004	1.10342	-0.27
TSS	6.11	3.39	44.52	6.17	4.13	33.06
NSS	5.30	3.30	37.74	5.36	4.04	24.63
SS	0.81	0.09	88.89	0.81	0.09	88.89
PO <sub>4</sub>	0.009	0.0086	4.44	0.0088	0.00886	-0.68

## 제 4절 분리 수거된 농축 슬러지의 처리방법

### 1. 건조 및 부형제 이용 연구

#### 가. 연구방법

##### (1) 고품오물의 침전 양

건조장에 모인 오물의 용양을 측정하고 수분함량과 비중을 측정한 후 침전된 전체 오물의 양을 건조중량으로 환산하여 계산하였다. 1차 수집은 2003년 8월 11일부터 시작하여 8월 20일까지 9일간 침전된 양을, 2차 수집은 8월 20일부터 10월 16일까지 57일간, 3차 수집은 2003년 10월 16일부터 2004년 2월 3일까지 110일간 침전된 양을 수집하여 계산하였는데 이 중에 2003년 12월 12일에 오물의 건조 속도 측정을 위하여 채집한 부분을 합쳐서 이 기간 동안의 오물 침전량을 계산하였다.

##### (2) 분리된 고품 오물의 정화 처리 방법

분리된 고품오물을 처리하는 최적 방법을 조사하기 위하여 분리수집 및 농축 방법과 건조 처리 및 부형제를 이용한 처리 방법은 다음과 같다.

##### ① 오물의 분리 수집 및 농축 방법

와류형 오물분리장치에서 침전 분리된 오물을 자연스럽게 흘러서 오물 건조장으로 갈 수 있도록 분리장치의 가장 아래쪽에 직경 70mm의 파이프를 넣고 이를 호스로 연결하여 오물분리장치의 수압에 의해 흘러나오도록 시도하였으나 슬러지의 점성이 강하고 3-4주간 모인 찌꺼기는 세균의 작용에 의하여 점성이 증가하여 자연스럽게 흘러나오지 못하였고 강제로 흘러나오게 하는 경우 다량의 물이 함께 건조장으로 들어와 농축력이 떨어지기 때문에 건조하는데 시간이 더 많이 소요되고 부형제의 양도 더 많이 필요하기 때문에 비경제적이었다. 따라서 일정 시간이 지난 후 오수펌프를 이용하여 건조장으로 퍼 올렸다.

##### ② 건조장의 농축 슬러지의 처리 방법

##### 건조 처리

비닐하우스가 된 건조장에 퍼 올려진 오물을 그대로 두면서 자연 건조가 되게 하여 건조되는데 필요한 기간을 산정하였다. 이와는 별도로 건조장에 옮겨진 침전물을 10L 용기에 각 3L 씩 담고 톱밥을 침전물의 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75배로 섞고 왕겨는 침전물의 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0배로 섞은 후 매일매일 무게를 달아 건조되는 속도를 측정하였다.

### 부형제의 첨가에 따른 효과

자연 건조시키면 시간이 너무 오래 걸리고 부형제를 혼합하여 건조하는 경우에는 일정한 시간이 지나면 부형제를 섞은 것 보다 섞지 않은 대조구의 건조가 더 빨라졌기 때문에 부형제를 섞어 즉시 또는 단기간이 지난 후에 퇴비장으로 옮기는 것의 타당성을 알아보기 위하여 톱밥과 왕겨 두 종류의 부형제를 시험하였다. 톱밥을 침전 오물 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25의 비율로 혼합하여 윗부분 직경 8.0cm, 아래 부분 직경 5.4cm, 높이 9.6cm의 컵에 넣어 형태를 만든 후 거꾸로 세워서 흘러내리는 정도를 조사하였고 왕겨의 경우 침전 오물 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 및 1.5의 비율로 섞어서 동일한 방법으로 조사하였다.

### 부형제 첨가에 따른 소요 시간 및 작업량 비교

건조장에 옮겨진 침전물은 2003년 10월 16일에 높이 31.0cm, 총 용량 2.976m<sup>3</sup>가 110일 후인 2004년 2월 3일에 높이 14.5cm, 용량은 1.395m<sup>3</sup>로 줄어들어 겨울동안 약 53.1%가 줄어들고 46.9%가 남았다. 이 남은 양에 톱밥 6포대, 용량 약 0.42m<sup>3</sup>를 뿌려 섞어서 완전히 밖으로 옮기는데 걸리는 시간을 측정하고 이 결과에 따른 작업량을 추정하였다.

### 유기 비료화 가능성 - 최종 처리물의 유기비료로서의 가치

최초의 오물을 2003년 8월 20일에 건조장으로 넣고 10월 16일에 톱밥과 섞어 쌓아두면서 수시로 냄새의 정도와 내부의 색깔을 조사하고 비료로서의 가치를 분석하였다.

### 경제성 검토 및 최종 방안 결정

이상의 결과를 종합하여 경제성을 검토하였고 오물제거의 적정 방안을 결정하였다.

## 나. 연구결과

### (1) 고품오물의 침전 양

건조장에 모인 오물의 용양을 측정하고 수분함량과 비중을 측정한 후 침전된 전체 오물의 양을 건조중량으로 환산하여 계산하였다. 1차 수집은 2003년 8월 11일부터 시작하여 8월 20일까지 9일간 침전된 양을, 2차 수집은 8월 20일부터 10월 16일까지 57일간, 3차 수집은 2003년 10월 16일부터 2004년 2월 3일까지 110일간 침전된 양을 수집하여 계산하였는데 이 중에 2003년 12월 12일에 오물의 건조 속도 측정을 위하여 채집한 부분을 합쳐서 이 기간 동안의 오물 침전량을 계산하였다. 1차 수집량은 길이 8m, 폭 1.2m의 건조장에 수용한 결과 672L였고 수분함량은 89.3% (Table 3.49), 비중은 0.99955 (Table 3.50)로 거의 약 71.87kg에 해당하는 양으로

1일 침전량은 건조량으로 7.99kg이었다. 2차 수집된 양을 건조장으로 넘긴 결과 침전물의 양은 5,520L였고 이 침전물의 수분함량이 거의 85.0% (Table 3.49)이고 비중을 고려하면 건조중량으로 827.63kg으로 나타나 1일 침전량은 14.52kg이었다. 3차 조사에는 건조 속도 실험을 위한 표본 조사를 하여 120L의 침전물을 표면에서 채집하였는데 수분함량이 81.17% (Table 3.49)로 비중을 고려한 건조중량으로는 22.59kg 이었으며, 4차 조사에서는 수집된 오물량이 5,136L, 수분함량이 거의 84.4% (Table 3.49)로 건조중량으로는 800.86kg의 오물이 침전되어 3차와 4차를 합친 1일 침전량은 7.49kg 이었다. 따라서 이들을 평균하면 건조량으로 1일 평균 10.0kg 정도의 침전물이 제거되는 것으로 나타났다 (Table 3.51).

Table 3.49. Moist content in 1st collected feces and settleable wastes of rainbow trout

Sample No. (Peiod)	*MF(g)	**DF(g)	Moisture (g)	Moisture (%)
1 (2003.8.11-20)	27.34	2.65	24.69	89.30
2 (2003.8.20-10.16)	20.85	3.02	17.06	84.96
3 (2003.12.12)	17.41	3.28	14.14	81.17
4 (2003.10.16-2004.2.3)	22.24	3.46	18.78	84.37
Average				

\*MF : Total weight of feces (g);

\*\*DF : Dry matter content in feces (g).

Table 3.50. Specific gravity of feces and settleable wastes in rainbow trout (wt(g)/2,000 ml)

Sample No.	Bucket wt (g)	Gross wt. (g)	Mass (g)
1	331.4	2330.2	1998.8
2	333.1	2333.5	2000.4
3	331.5	2329.9	1998.4
4	333.9	2333.6	1999.7
5	331.5	2330	1998.5
6	332.7	2332.4	1999.7
7	333.2	2333.2	2000
8	333.5	2331.8	1998.3
9	331.3	2329.9	1998.6
10	331.7	2330.3	1998.6
Average			1999.1
g/1000ml			999.55

Table 3.51. Daily settleable wastes amounts collected in circular sedimentation tank

Period	Collecting-day	Collected volume (L)	Moisture (%)	Gravity	Total dry matter (kg)	Diurnal dry matter (kg)
1st	9	672	89.3	0.99955	71.87	7.99
2nd	57	5520	85.0	0.99955	827.63	14.52
3rd	0	120	81.2	0.99955	22.55	7.49
4th	110	5136	84.4	0.99955	800.86	
Average	176	2,862	84.97			10.00

(2) 분리된 고형 오물의 정화 처리 방법

분리된 고형오물을 처리하는 최적 방법을 조사하기 위하여 분리수집 및 농축 방법과 건조 처리 및 부형제를 이용한 처리 방법은 다음과 같다.

① 오물의 분리 수집 및 농축 방법

와류형오물분리장치에서 침전 분리된 오물을 자연스럽게 흘려서 오물 건조장으로 갈 수 있도록 분리장치의 가장 아래쪽에 직경 70mm의 파이프를 넣고 이를 호스로 연결하여 오물분리장치의 수압에 의해 흘러나오도록 시도하였으나 슬러지의 점성이 강하고 3-4주간 모인 찌꺼기는 세균의 작용에 의하여 점성이 증가하여 자연스럽게 흘러나오지 못하였고 강제로 흘러나오게 하는 경우 다량의 물이 함께 건조장으로 들어와 농축력이 떨어지기 때문에 건조하는데 시간이 더 많이 소요되고 부형제의 양도 더 많이 필요하기 때문에 비 경제적이었다. 따라서 일정 시간이 지난 후 오수펌프를 이용하여 건조장으로 퍼올렸다.

② 건조장의 농축 슬러지의 처리 방법

**건조 처리**

비닐하우스가 시설된 건조장에 퍼올려진 오물을 그대로 두면서 자연 건조가 되게 하여 건조 되는데 필요한 기간을 조사한 결과를 Table 3.52에 나타내었다. 이 결과 2003년 10월 16일에 건조장에 퍼올린 침전오물의 양은 길이 8m, 폭 1.2m, 높이는 건조장 A가 31cm, 건조장 B가 22.5cm였다. 110일이 지난 2004년 2월 3일에 이 침전물의 높이는 건조장 A가 14.5cm, 건조장 B가 9.9cm로 감소하였다. 따라서 최초의 양이 건조되고 남은 잔여량은 건조장 A와 B가 각각 46.9%와 44.1%였고 기간은 110일이었다. 그동안 추운 날씨에 얼기도 하여 건조되는 속도가 늦어졌다고 해도 절반 이상 줄어드는데 12주 이상의 기간이 소요되기 때문에 1개월에 한번씩 청소를 한다고 보면 더 넓은 건조장이 필요하기 때문에 비경제적이었다.

Table 3.52. Changes of volume of collected feces and settleable wastes in drying tanks placed

in a green house for air drying

Dry tank	Dry tank A	Dry tank B
Initial wastes height (cm)	31.0	22.5
Final wastes height (cm)	14.5	9.9
Initial wastes volume (m <sup>3</sup> )	2.976	2.160
Final wastes volume (m <sup>3</sup> )	1.395	0.953
The rest (%)	46.9	44.1

이와는 별도로 건조장에 옮겨진 침전물을 10L 용기에 각각 3L 씩 담고 톱밥을 침전물의 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75배로 섞고 왕겨는 침전물의 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0배로 섞은 후 매일매일 무게를 달아 건조되는 속도를 측정하였다 (Table 3.53). 그 결과 1주일 후 톱밥은 초기 무게의 84.8%, 왕겨는 86.3%, 2주일 후에는 각각 68.5% 및 73.9%로 줄었고 3주일 후에는 각각 57.2% 및 66.3%로, 4주 후에는 각각 49.5% 및 60.8%로 감소하였다. 이 때 아무것도 섞지 않은 대조구의 중량은 1주부터 4주까지 각각 84.9%, 68.0%, 54.3% 및 44.1%로 감소하여 초기 1주일 정도는 톱밥을 섞은 것이 대조구보다 약간 빨리 건조되었으나 왕겨를 섞은 것은 대조구보다 빨리 건조되지 않았다. 그리고 톱밥을 섞은 것도 1주일 이 지나면서부터는 대조구가 모든 실험구 보다 건조되는 속도가 빨랐다. 대조구의 경우 초기 중량이 반으로 줄어드는데 4주가 걸렸고 24일이 걸렸고 톱밥의 경우 27일, 왕겨의 경우 약 47일이 걸렸다. 따라서 침전오물에 부형제를 넣어서 건조시켜도 완전히 건조하는데는 많은 시간이 걸려 완전히 건조시켜 제거하는 것은 토지를 효율적으로 이용하는 점에서 비경제적인 것으로 나타났다.

따라서 침전된 것을 건조시키는 것보다 부형제를 넣어 바로 퇴비장으로 옮기거나 또는 약 2주간 건조시킨 후 부형제를 넣어 퇴비장으로 옮기는 것이 바람직하다는 결론이 도출되었다.

Table 3.53. Changes of weight of feces and settleable wastes treated by sawdust(S) and rice hulls(R) as formative materials

Daily No.	Control (%)	Sawdust (%)				Rice hulls (%)			
		S-0.25	S-0.5	S-0.75	Average	R-0.5	R-0.75	R-1.0	Average
1	98.0	98.2	98.2	97.9	98.1	98.1	98.0	98.0	98.0
2	95.6	95.8	95.8	95.1	95.6	95.9	95.9	95.9	95.9
3	93.0	93.3	93.1	92.3	92.9	93.4	93.6	93.6	93.5
4	90.3	90.7	90.2	89.4	90.1	91.0	91.2	91.3	91.2
5	88.8	89.4	88.7	87.9	88.7	89.7	89.9	90.0	89.9
6	87.3	87.9	87.3	86.3	87.2	88.3	88.5	88.7	88.5
7	84.9	85.6	84.9	83.9	84.8	86.2	86.3	86.5	86.3
8	82.6	83.3	82.6	81.6	82.5	84.1	84.3	84.6	84.4
9	80.3	81.2	80.3	79.4	80.3	82.1	82.3	82.6	82.3
10	77.6	78.6	77.5	76.9	77.6	79.9	80.0	80.4	80.1
11	75.2	76.2	74.8	74.5	75.2	78.0	78.1	78.6	78.3
12	72.9	74.1	72.6	72.5	73.0	76.5	76.6	77.0	76.7
13	70.6	71.9	70.3	70.5	70.9	75.1	75.2	75.6	75.3
14	68.0	69.3	67.7	68.4	68.5	73.7	73.7	74.2	73.9
15	65.9	67.3	65.8	66.9	66.7	72.5	72.5	73.0	72.7
16	63.9	65.4	63.9	65.5	64.9	71.4	71.4	72.0	71.6
17	62.0	63.5	62.1	64.4	63.3	70.3	70.3	70.9	70.5
18	60.1	61.6	60.4	63.2	61.8	69.2	69.2	69.9	69.4
19	58.0	59.5	58.5	62.0	60.0	67.9	67.9	68.7	68.2
20	56.2	57.8	57.0	61.1	58.6	67.0	67.0	67.8	67.3
21	54.3	55.9	55.5	60.1	57.2	66.1	66.0	66.8	66.3
22	52.4	53.9	54.1	59.3	55.7	65.1	65.0	65.9	65.3
23	50.8	52.2	52.8	58.4	54.5	64.1	64.0	65.0	64.4
24	49.6	50.9	51.8	57.7	53.5	63.4	63.3	64.3	63.7
25	48.4	49.5	50.9	57.1	52.5	62.7	62.5	63.6	62.9
26	46.3	47.4	49.4	56.0	50.9	61.5	61.4	62.7	61.9
27	44.4	45.6	48.2	55.1	49.7	60.6	60.5	61.9	61.0
28	44.1	45.4	48.0	55.0	49.5	60.4	60.4	61.7	60.8
29	42.9	44.1	47.1	54.2	48.5	59.6	59.6	61.1	60.1
30	41.2	42.7	46.1	53.5	47.4	58.7	58.8	60.4	59.3
31	40.1	41.6	45.3	52.8	46.6	58.0	58.1	59.8	58.7
32	38.7	40.3	44.2	51.9	45.5	57.2	57.3	59.2	57.9
33	37.3	39.1	43.3	51.2	44.5	56.4	56.7	58.6	57.3
34	35.9	37.3	42.7	51.2	43.7	55.9	56.4	58.1	56.8
35	35.5	37.0	42.4	51.0	43.5	55.5	56.1	57.9	56.5
36	35.2	36.7	42.2	50.8	43.3	55.3	55.9	57.7	56.3
37	34.8	36.5	42.0	50.6	43.0	55.0	55.6	57.5	56.0
38	33.4	35.3	41.1	49.8	42.1	54.0	54.8	56.8	55.2
39	32.0	34.1	40.2	49.1	41.2	53.0	54.0	56.3	54.4
40	31.0	33.2	39.5	48.6	40.4	52.2	53.5	55.8	53.8
41	30.6	32.9	39.2	48.3	40.1	51.8	53.1	55.5	53.5
42	29.7	32.1	38.5	47.7	39.4	51.0	52.5	55.0	52.9
43	28.9	31.3	37.9	47.2	38.8	50.2	52.0	54.6	52.2
44	28.0	30.6	37.2	46.6	38.1	49.4	51.4	54.1	51.6
45	27.2	29.9	36.6	46.0	37.5	48.6	50.8	53.6	51.0
46	26.4	29.2	36.0	45.5	36.9	47.8	50.3	53.1	50.4
47	25.6	28.4	35.3	44.9	36.2	47.0	49.7	52.6	49.8

### 부형제의 첨가에 따른 효과

자연 건조시키면 시간이 너무 오래 걸리고 부형제를 혼합하여 건조하는 경우에는 일정한 시

간이 지나면 부형제를 섞은 것 보다 섞지 않은 대조구의 건조가 더 빨라졌기 때문에 부형제를 섞어 즉시 또는 단기간이 지난 후에 퇴비장으로 옮기는 것의 타당성을 알아보기 위하여 톱밥과 왕겨 두 종류의 부형제를 시험하였다. 톱밥을 침전오물 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25의 비율로 혼합하여 윗부분 직경 8.0cm, 아래부분 직경 5.4cm, 높이 9.6cm의 컵에 넣어 형태를 만든 후 거꾸로 세워서 흘러내리는 정도를 조사하였고 왕겨의 경우 침전오물 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 및 1.5의 비율로 섞어서 동일한 방법으로 조사하였다. 그 결과 높이가 각각 3.2cm, 4.5cm, 8.8cm, 9.3cm 및 9.5cm 이었고 아무것도 섞지 않은 대조구는 1.0cm 였다. 또한 왕겨의 경우에는 결과 높이가 각각 2.1cm, 4.9cm, 7.4cm, 8.7cm 및 8.9cm 로 조사되어 톱밥의 경우가 더 적은 양에서도 모양을 형성하는 정도가 왕겨보다 좋았다. 또한 분을 수집한 즉시 옮기기 위해서는 톱밥의 경우 최소 혼합비율이 1:0.5 였고 빠른 건조가 필요하다면 1:0.75가 적당하였다. 왕겨의 경우 옮기기 위한 최소 혼합비율은 1:0.75였고 빠른 건조가 필요하다면 1:1의 비율은 되어야 할 것으로 조사되었다.

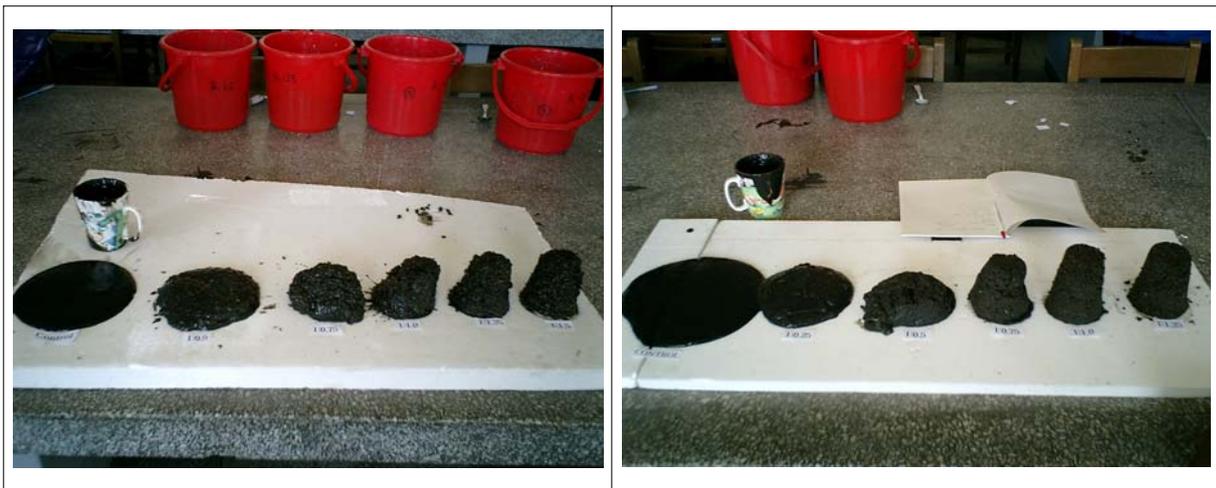


Fig. 3.35 Slump test of feces and settleable solids collected from circular conical bottom sedimentation tank of rainbow trout farm. The sludge was mixed with various level of either saw dust (left, 25, 50, 75, 100, and 125% of sludge) or rice hulls (right, 50, 75, 100, 125, and 150% of sludge).

### 부형제 첨가에 따른 소요 시간 및 작업량 비교

건조장에 옮겨진 침전물은 2003년 10월 16일에 높이 31.0cm, 총 용량 2.976m<sup>3</sup>가 110일 후인 2004년 2월 3일에 높이 14.5cm, 용량은 1.395m<sup>3</sup>로 줄어들어 겨울동안 약 52%가 줄어들고 48%가 남았다. 이 남은 양에 톱밥 6포대, 용량 약 0.42m<sup>3</sup>를 뿌려 섞어서 완전히 밖으로 옮기는데 걸리는

시간을 측정하고 이 결과에 따른 작업량을 추정한 결과 3명이 어른이 30분이 걸렸다. 이 작업량은 1명이라면 2시간 이상이 소요되는 작업량으로 최초에 넣은 침전오물양이라면 5시간 정도가 소요 될 것으로 추정된다. 그리고 이 실험에 사용된 톱밥의 양은 전체 오물의 양에 대하여 1:0.08배 정도로 섞었기 때문에 수분이 많아 한곳에 쌓아둘 수 없다. 따라서 흘러내리지 않게 하기 위해서는 톱밥의 양이 현재의 양보다 약 2-3배 정도 더 소요된다고 하면 소요 작업 시간은 다시 더 늘어날 것이므로 경제성이 떨어진다.

### 유기비료화 가능성 - 최종 처리물의 유기비료로서의 가치

최초의 오물을 2003년 8월 20일에 건조장으로 넣고 10월 16일에 톱밥과 섞어 쌓아두면서 수시로 냄새의 정도와 내부의 색깔을 조사하고 비료로서의 가치를 분석하였다. 그 결과 약 2개월 후에는 냄새도 없어지고 쌓아둔 가운데 부분의 색깔도 검은 색이 없어진 것으로 보아 퇴비로서 이용할 수 있는 것으로 나타났고, 가치가 있을 것으로 생각되었다. 비료로서의 가치는 Table 3.54에 나와 있는 것과 같이 조지방이 0.26%, 조단백이 2.56%, 조회분이 7.6% 였고, 조회분 중에 Ca, P, K 및 Mg의 함량이 각각 2.2%, 0.97%, 266ppm 및 973ppm이 포함되어 좋으며, 침전오물에 톱밥이 섞여서 기존의 흙과는 달리 상당한 양의 공기를 포함하여 부드러우므로 비료뿐만 아니라 화초 화분의 흙으로 더욱 적당할 것으로 추정된다.

Table 3.54. Results of proximate and nutrient analysis of feces and settleable solids collected from circular conical bottom sedimentation tank of rainbow trout farm.

Ingredient	Moisture	Crude fat	Crude protein	Crude ash	Crude ash			
					Ca	P	K	Mg
Rate	86.8%	0.26%	2.56%	7.6%	2.2%	0.97%	266ppm	97ppm

### 경제성 검토 및 최종 방안 결정

이상의 결과를 종합하여 경제성을 검토하였고 오물제거의 적정 방안을 결정한 결과 초기 건조되는 속도와 부형제를 넣어서 처리하는 것을 종합하여 보면 와류형오물분리장치에 모인 오물은 약 1개월 간격으로 퍼내어 건조장으로 옮기고 약 3주가 지난 후 톱밥 또는 왕겨 등의 부형제를 섞어 퇴비장으로 옮기는데 톱밥의 경우 침전물 용량 1에 대하여 0.75의 비율로, 왕겨의 경우 1의 비율로 섞는 것이 공기의 양이 많아 건조와 발효를 촉진시킬 것으로 판단된다.

## 제 5절 내수면 유수식 양식장 배출수 처리를 위한 최적 설계

### 1. 연구 결과

본 연구는 내수면 유수식 양식장 배출수의 수질을 와류형 오물분리 장치 및 기타 방법으로 정화시켜 현재 사육 수면적의 20%로 되어 있는 침전조의 면적을 줄여 양식어민들의 부담을 낮추어 주어 내수면 유수식 양식장의 어류 생산 경쟁력을 높이는 동시에 환경도 보호하는 것이 목적이다. 이 같은 목적을 달성하기 위하여 배출수에 섞여 나오는 분과 먹이 찌꺼기 등의 고형 침전물을 와류형 오물 분리장치로서 제거하고 침전이 어려운 미세 부유물질 등을 침전시키는 효과가 뛰어난 IBK 순환여과시스템의 생물여과조를 이용하여 배출수를 통과시켜 정화시킨 후 배출 하도록 하고, 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리를 위한 표준 설계도를 개발 보급하면서 배출수 처리에 대한 정책 방향을 제시하기 위하여 다음과 같은 실험 결과를 참고하였다.

#### 가. 어류의 분 및 암모니아 배설량

##### (1) 무지개송어

무지개송어 치어 (9.33g)를 11마리씩 사육 시스템에 넣고 4주간 사료 공급율을 1일 어체중의 1%, 2.5%, 및 5%를 공급 사육하면서 TUF Column 시스템으로 분을 수집하고 암모니아 배설량을 측정한 결과 암모니아 배설량은 절식 4일 후의 기본 배설량은 2.7-2.8 mg N/kg fish/h, 사료를 공급하는 정상 상태에서는 20.7-36.5 mg N/kg fish/h로 측정되었고, 사료 공급율이 높아질수록 암모니아 배설량은 증가하였고, 아침에 사료 공급을 시작하고부터 배설량이 점차 증가하다가 사료 공급을 중지한 후 2시간 후부터 감소하기 시작하였다. 또한 4일간 절식시킨 후 사료를 반복 공급한 후 24시간 암모니아 배설량을 조사한 결과 사료 공급 후 10시간 만에 20.3-23.0 mg N/kg fish/h 까지 최대로 증가하였다가 점차 감소하였다.

분 배설량 역시 사료 공급율이 높아질수록 분 배설량도 증가하였고 24시간 수집한 분의 양은 사료 공급구 1, 2.5, 및 5%에서 각각 2.109 g, 5.740 g, 및 10.391 g/kg fish/day 로 조사되어 사료 공급율과 비슷한 정도로 분 배설량도 증가하였다. 하루 중에 분 배설량은 사료 공급 후 14-16시간까지 지속적으로 증가하였다가 그 후 사료 공급이 중지되고 난 2-4시간 후에 가장 분 배설이 많았다가 점차 줄어들었다.

이상의 결과를 종합하면 아침부터 시작하여 사료를 공급하기 시작하면 암모니아 배설량과 분 배설량이 점차적으로 증가하기 시작하고 저녁에 사료 공급이 중지 된 후 2-4시간 후에 암

모니아와 분 배설량 모두 최대에 도달하였다가 점차적으로 감소하기 시작한다.

## (2) 잉어

무지개송어와 동일한 방법으로 잉어 치어 (25.2g)를 10마리씩 시스템에 넣고 일간 사료량을 어체중의 1%, 2.5%, 5%로 달리하였을 때 각각 하루 평균 2.52g, 6.31g, 12.68g (건조중량)의 사료를 섭취하였고, 24시간 동안의 평균 배설량은 각각 0.414 g, 0.934 g, 2.309 g (건조중량)으로 나타났고 분 배설량 자료만으로 소화율을 계산하면 각각 83.6%, 85.2%, 및 81.8%로 나타났다. 이 양을 어체중 1kg 당 하루에 배설하는 양으로 환산하면 어체중의 1, 2.5, 및 5%를 먹인 그룹에서 각각 1.64g, 3.71g, 및 50.32g/kg fish/day로 계산되었다.

24시간 내의 잉어 분 배설량의 분포를 처음에는 4시간 간격으로 그 후부터는 매 2시간 간격으로 나누어 조사한 결과 사료 공급 후 첫 4시간에는 거의 배설하지 않다가 8시간 후부터 증가하기 시작하여 10시간에서 16시간 동안 가장 많이 배설하였다. 그 후 18시간째부터 감소하기 시작하였으며 20시간 후에는 급격히 줄어든다. 이에 따라 낮 동안 계속 먹이를 공급하다가 오후 8시경 마지막 사료를 공급하고 나면 약 16시간 후에서부터 배설이 시작되는 것으로 나타났다. 이것은 처음 사료를 공급하기 시작하면서부터 약 28시간 후부터 배설이 시작되고 32시간 후에는 증가하기 시작하여 34시간에서 40시간 사이에 가장 많이 배설하며 42시간 후부터 감소하기 시작하여 44시간 후에는 급격히 줄어들어 1일 총 배설량의 5% 이하로 감소하였다. 따라서 사료를 공급하기 시작한 후 34시간에서부터 40시간 사이에 1일 총 배설량의 65% 이상 배설하였고 사료 공급 후 32시간에서부터 42시간 사이에 1일 총배설량의 86% 이상을 배설하였다. 이 같은 배설 형태를 구명한 것은 처리하여야 할 오물의 양의 구명과 더불어 하루 중에 전날 먹은 사료가 소화되어 배설될 때 10시간 내에 전체 배설량의 거의 대부분을 처리해야 한다는 것을 밝혀 처리 장치의 용량을 결정하는데 아주 중요한 정보를 얻게 되었다.

잉어가 배설하는 총 배설량의 관점에서 잉어 체중의 1%, 2.5%, 5%를 먹고 난 후 72시간까지의 배설량의 시간별 분포를 보면 총 배설량의 92.9-98.3%가 24시간 이내에 배설되었으며 48시간에는 1.2-5.2%가 배설되었고 72시간째에는 0.5-1.8%가 배설되어 1일분의 먹이를 먹고 난 후 소화되지 않고 분으로 배설되는 것은 24시간이내에 93% 이상이 배설되는 것으로 나타났다.

## 나. 와류형 분리 침전조의 성능

양식장 배출수에 혼합되어 나오는 먹이 찌꺼기와 분 및 기타 생물학적 과정에서 형성되는 세균, 곰팡이 등이 물의 BOD와 COD를 증가시키는 주 원인이며 이를 효과적으로 분리하는 것이 배출수의 수질을 법적 규정 이하로 유지하는 지름길이다. 현재 법적으로 규정된 양식장 사

육 면적의 20%에 해당하는 면적의 침전조는 면적으로만 규정되어 있어 유수량이나 체류 시간 등의 변화에 적절히 대응하지 못하고 있기 때문에 이들 오물을 효과적으로 분리할 수 있는 와류형 분리 침전조의 성능을 조사하여 양식장의 규모에 따른 적정 크기를 제시하는 기초 자료를 구하는 것이 목적이기 때문에 이를 위하여 실험실 내에서 소규모의 와류형 분리 침전조의 성능을 조사하여 이를 기초로 현장에 대형 와류형 분리 침전조를 설계하였다.

#### (1) 소형 와류형 분리 침전조의 성능

직경 335mm의 원통형 아크릴 통에 길이 4종류, 깔때기의 각도 1종류, 주입되는 파이프의 직경 2종류, 주입되는 물의 방향, 배수구의 직경 5종류 등의 많은 요인들을 조합하여 두 가지 크기의 플라스틱비드 입자를 이용하여 32가지의 소형 와류형 분리장치의 최적 치수를 규명해본 바 최대효율을 나타내는 최적의 치수는 유입관 직경(Di) 30 mm, 상부 유출관 직경(Do) 60 mm, 하부 유출관 직경(Du) 50 mm, 실린더길이(Dc) 335 mm 및 콘 각( $\theta$ ) 68° 였으며, 이때의 치수비는 0.09 (Di/Dc), 0.18 (Do/Dc), 0.15 (Du/Dc) 및 1.72 (Lc/Dc) 였다. 또한 여기서 구한 최적의 운전조건을 양어장에 설치한 소형 와류형 분리장치에 적용시켜 실재 사료찌꺼기와 분 찌꺼기 그리고 미세 부유성 고형오물을 제거하는 효율을 조사해본바, 사료찌꺼기 수거효율은 유입수량 및 하부 유출수량 비( $R_f$ )가 각각 600 ml/s와 25%에서 최대효율인 71%를 나타내었다. 분 찌꺼기 수거효율은 유입수량 및 하부 유출수량비( $R_f$ )가 각각 600 ml/s와 25%에서 최대효율인 60%를 나타내었다. 양어장의 미세부유성고형오물 수거효율은 유입수량 및 하부유출수량비가 각각 1000 ml/s와 10%에서 최대효율인 24.4%를 나타내었다. 이러한 소형 와류형 분리 침전조의 운전 조건은 주수량이나 압력을 높게 하여 물로부터 오물을 분리하기 때문에 대형 분리장치에 적용하기에는 어려움이 있지만 가장 적절한 수치를 적용하여 대형 오물 분리장치의 성능을 측정하였다.

#### (2) 대형 와류형 오물 분리 침전조의 성능

와류형 오물제거장치는 직경 4.2m, 벽 높이 0.8m의 원통 아래쪽에, 높이 0.9m의 깔때기 형태의 구조로 시설하였고 여기에 사육수조에서 모여서 나오는 최종 배수를 가로, 세로, 높이 1.2mx2.2mx1.8m의 저수조에 모아 수직축류 펌프를 이용하여 퍼 올려서 폭 50cm, 길이 2.5m의 수로를 통하여 오물제거장치에 주수하였다.

주수구는 직경 30cm 파이프를 수로의 바닥에 붙여서 설치하고 오물제거장치의 안쪽에 파이프에 맞는 90° 각도의 엘보를 끼워 물이 탱크의 벽과 나란히 흘러들어가도록 하였다. 주수된 물은 회전하면서 침전이 되고 오물이 침전된 맑은 물의 배수는 윗벽에서 8cm 아래에 직경 30cm의 PVC 파이프 연결소켓을 넣어 연속적으로 흘러넘치도록 하였다. 주수구의 방향은 엘보

의 주수 방향을 상, 하 및 수평 등으로 시험 해본 결과 수평으로 벽과 나란히 설치하는 것이 오물이 재 부상되지 않고 침전 능력이 아주 좋았다.

와류형 오물 분리조의 실질적인 침전 성능은 5분 이내 침전 가능한 오물과 침전하지 않고 부유하는 오물로 나누어 실험한 결과 침전 가능한 오물과 부유하는 오물 모두 합친 총 고형오물의 제거효율은 30.9%-41.7%였으며, 일간 평균 제거량은 4.3kg/day였다. 그러나 침전고형물 제거효율은 매우 높아 평균 제거율이 75.6%-83.9%였으며, 일간평균 제거량은 4.492kg/day였다. 그러나 부유성 고형물질은 오히려 증가하였다. 그 이유는 와류형 분리 침전조에 주입되는 물을 양수하기 위해 3마력의 수직 펌프를 쓰고 있으므로 사육조에서 흘러나온 찌꺼기가 펌프를 통과할 때 부서져서 아주 작은 입자로 변화하였기 때문이다. 따라서 펌프를 쓰지 않고 흘러들어 가게 하면 분이 부서지지 않으므로 제거율은 더욱 높아질 것으로 생각된다.

이 와류형 분리 침전조를 흘러나가는 배출수는 고수온과 저수온기인 여름과 겨울철에는 하루에 1200m<sup>3</sup>, 적정 수온기인 봄과 가을이 되면 하루에 2500m<sup>3</sup>가 된다. 그리고 하루에 들어가는 사료량은 여름과 겨울철 적을 때가 150kg, 봄, 가을에 많을 때가 300kg이 되고 이 사료 중에 소화되지 않고 분으로 배설되는 비율이 평균 18.74% 정도이므로 28.11kg의 분이 여름과 겨울철에 만들어지고 56.22kg의 분이 봄과 가을에 만들어져서 고형오물로 되며 이 고형오물량은 내부 생물여과조에 32.54kg이 침전되며, 4.3kg이 와류형 오물 분리조에 침전되고 2.85kg이 외부의 생물여과조에서 분리 침전된다. 나머지 중에 내부 침전조를 통과한 후 다른 사육 장치로 나가는 물에 0.9kg, 그리고 외부 생물여과조에서 배출되는 최종 배출수에 4.0kg의 고형오물이 섞여서 나가게 되고 나머지 약 11.58kg 정도가 사육수 이틀 시스템에 잡히지 않는 값이다.

침전된 오물을 건조장으로 넘겨 수분함량과 오물 양으로 계산 한 1일 오물 침전량이 약 10kg으로 계산되어 위의 4.3kg과는 차이가 있다. 이것은 이들 오물 침전 시스템에 잡히지 않은 양이 11.58kg 정도가 되기 때문에 수질 측정 시에 시간에 따른 오차 때문에 이 같은 차이가 난 것으로 판단된다.

결과적으로 전체 오물 생성량 중에 오물을 직접 측정하여 나온 하루 10kg의 오물이 와류형 오물 분리 침전조에 남게 되면 17.8%가 여기서 제거되며, 외부 생물여과조에서는 5%가 침전되어 총 22.8%가 여기서 침전 제거되는 것으로 나타났다. 그러나 만일 순수한 유수식 양식장으로 내부의 생물여과조가 없다면 57.9%의 오물이 와류형 분리 침전조와 생물여과조에서 침전 제거될 것이며 그 효율은 더욱 커질 것이다.

용존성 영양염 즉, TAN, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> 등은 변화가 없거나 경우에 따라서는 오히려 증가하였다. 원형 와류형 분리 침전조 연구기간 동안의 TAN 농도는 1.11-2.01 ppm로 나타났으며 제거 효율은 -2.4에서 3.7%로 아주 적었고, NO<sub>3</sub>의 경우 0-2.3%, NO<sub>2</sub>는 -4.2-3.3%, PO<sub>4</sub>의

경우 -2.4-1.6%로 농도 변화는 처리 전후 현저한 차이가 나타나지 않았고 와류형 분리 침전조를 지나는 동안 조건에 따라서 감소하였다 증가하였다 하였다.

와류형 분리 침전조 처리를 통한 COD 제거효율은 11.4%-23.4%로 일간 제거량은 4.5kg/day였다. 배출수의 COD 함량이 증가할수록 와류형 침전조의 COD 제거효율도 증가하였다. 그리고 와류형 분리 침전조를 통한 양식장 COD 제거효율은 높은 이유는 물속의 고형물질이 제거되면서 유기물 농도가 낮아지기 때문이었다.

#### 다. IBK 생물여과조 및 포말분리장치에 의한 미세 침전물의 분리 성능

와류형 오물 분리조에서는 침전 가능한 오물의 처리가 잘 되었지만 부유성 침전물의 제거는 효과가 낮았다. 따라서 생물여과조가 설치되었고 생물여과조의 주수부분에 압축형 공기펌프를 이용하여 미세한 공기를 주입하여 미세 침전물을 분리하기 위한 실험을 실시하였다.

##### (1) IBK 생물여과조

와류형 분리 침전조를 거친 물을 다시 수직축류 펌프로 생물여과조로 양수하여 통과시키면서 미세 침전물을 분리하기 위한 실험을 하였다. IBK 생물여과조를 통한 2차 처리에서 모든 부유성 고형물이 매우 효과적으로 제거되어, TSS, 부유성고형물 및 침전성고형물의 제거효율이 각각 28.4-54.4%, 24.8-49.1%, 65.3-90.3% 범위였으며, 제거량은 각각 2.854kg/day, 2.0kg/day, 0.854kg/day 범위로 조사 되었다. 이 IBK 생물여과 장치는 COD 제거도 매우 효과적으로 제거율은 5.1-22.5% 였고, 제거량은 2.546kg/day 범위로 조사되었다. 더욱이 IBK 생물여과조는 원형와류침전조와 달리 총암모니아(TAN)와  $\text{NO}_3$ 가 일부 제거되는 것으로 나타났다. 그러나,  $\text{NO}_2$ 와  $\text{PO}_4$ 는 증가하는 경향을 나타내었다.

##### (2) 포말분리 실험

포말분리에 관한 실험은 2단계로 나누어 예비 실험으로 pilot 형 포말분리 장치를 만들어 실험을 하였으며 이 시스템은 2.5 ton 규모의 사육조, 침전조, 저류조, floating bead filter, 및 회전원판식 여과조로 구성되었으며 전체 시스템의 총 수량은 4.5 ton으로 실험 어종은 나일 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)였다.

포말분리기는 직경 15 cm, 높이 90 cm의 플라스틱 원통관으로 제작되었으며 포말분리기 하부의 공기분산기에서 공급되는 공기에 의해 하부의 순환수가 유입되어 상부의 출구로 배출되는 형태인 상향 병류식으로 2개를 부착 실험한 결과 COD, TSS, 단백질의 사육조 농도( $C_T$ )와 포말 농축액 농도( $C_F$ )의 상관관계에서 각 성분이 포말로 농축된 비율( $C_F/C_T$ )이 클수록 포말분리기에 의한 제거효율이 높는데

TSS가 4.48로 가장 높았으며 COD는 2.82, 단백질은 2.02의 농축비를 나타내어 부유 고형물과 단백질의 2-4.5배 정도로 농축하여 배출하는 것으로 보아 실제 양어장예의 포말분리기 적용이 적합한 것으로 검증되었다. 총 부유 고형물의 일간 제거량은 사육밀도 2%일 경우 0.2 g/d, 5%에서는 0.8 g/d, 7%에서는 1.5 g/d로 사육밀도와 비례하여 증가하였으며 농축비는 2%의 사육 밀도에서 10.2의 매우 높은 값을 나타내어 부유 고형물의 제거에 포말분리기가 효율적임을 알 수 있었다. 또한 화학적 산소요구량의 일간 제거량은 사육밀도 2%일 경우 1.6 g/d, 5%에서는 4.2 g/d, 7%에서는 7.0 g/d로 나타나 포말분리법이 양어장의 COD를 낮추는데 결정적으로 기여한다는 것이 밝혀졌다.

이 것을 근거로 하여 IBK 생물여과조의 주수부에 콤프레사를 설치하고 길이 30cm의 고압 공기 분산기 3개와 저압공기분산기 2개를 설치하여 압축공기를 넣어 분리되는 거품의 성장과 배출되는 물의 미세 SS의 양을 조사하여 최종 정화 처리 성능을 조사하였으며, 이 때 주입되는 공기의 양은 5개의 공기 분산기를 통하여 초당 4.57L 였고 분당 274L, 시간당 16,452L 였다. 공기방울의 평균 크기는 약 1-5 mm 였다. 포말분리 전과 후의 수질을 측정 한 결과 전체적인 제거 효율은 COD의 제거효율이 포말분리 전 에는 10%가 감소한 반면 포말분리를 한 후에는 14.5%로 4.5% 정도 효율이 증가하였지만 정도가 크지 않았고 TAN, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, TSS, NSS 등 다른 수질 항목도 크게 변화가 없거나 오히려 증가하는 경향을 보여 무지개송어 양식장의 배출수에는 포말분리 법 자체가 수질 정화에는 크게 효과가 없었다. 그 이유는 무지개송어 양식 용수가 지하수를 사용하고 1일 100-150%의 새로운 물이 교환되어 수중 유기물 농도가 크게 높지 않아 포말이 형성되지 않는 것이 가장 큰 원인으로 추정되었다. 따라서 유수식 무지개송어 양식장에서는 포말분리의 효과가 없기 때문에 시설을 할 필요가 없는 것으로 사료된다.

#### 라. 농축 분리된 슬러지의 처리 방안

와류형 오물 분리장치에서 모인 슬러지는 침전조가 아주 대형으로 자체 분해가 이루어지지 않는 이상 분리해 내지 않으면 안 되고 분리된 슬러지는 그냥 자연으로 내보낼 수가 없기 때문에 처리하는 방법을 개발해야 한다. 이 슬러지 처리의 최적 방법을 개발하기 위하여 오물의 분리 수집 및 농축 방법, 건조 처리에 필요한 조건, 부형제를 이용한 처리 방법 개발, 유기비료화 가능성 개발 등에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다.

##### (1) 결과

① 건조장에 모인 침전오물의 수분 함량은 84.37-89.3% 범위로 평균 86.44%로 조사되었고 침전오물 1000ml 당 중량의 범위는 은 999.55 g 이었다. 와류형 오물 분리장치에 침전되는 오물의 양은 건조중량으로 1일 약 10kg으로 계산되었다.

② 침전 오물을 건조장에 넣어 건조시키는데 최초의 양이 건조되고 절반으로 줄어드는 기간 110일이었다. 그동안 날씨 관계로 건조되는 속도가 늦어졌다고 해도 절반 이상 줄어드는데 12주 이상의 기간이 소요되기 때문에 1개월에 한번씩 청소를 한다고 보면 더 넓은 건조장이 필요하기 때문에 비경제적이었다.

③ 침전오물에 톱밥과 왕겨를 섞어 빨리 건조시키는 방안을 강구하기 위하여 톱밥을 침전물의 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75배로 섞고 왕겨는 침전물의 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0 배로 섞은 후 매일매일 무게를 달아 건조되는 속도를 측정 한 결과 1주일 후 톱밥은 초기 무게의 84.8%, 왕겨는 86.3%, 2주일 후에는 각각 68.5% 및 73.9%로 줄었고 3주일 후에는 각각 57.2% 및 66.3%로, 4주 후에는 각각 49.5% 및 60.8%로 감소하였다. 따라서 침전오물에 부형제를 넣어서 건조시켜도 완전히 건조하는 데는 많은 시간이 걸려 완전히 건조시켜 제거하는 것은 토지를 효율적으로 이용하는 점에서 비경제적인 것으로 나타나 침전된 것을 건조시키는 것보다 부형제를 넣어 바로 퇴비장으로 옮기거나 또는 약 2주간 건조시킨 후 부형제를 넣어 퇴비장으로 옮기는 것이 바람직하다는 결론이 도출되었다.

④ 부형제를 섞어 즉시 또는 단기간이 지난 후에 퇴비장으로 옮기는 것의 타당성을 알아보기 위하여 톱밥과 왕겨 두 종류의 부형제를 시험하였다. 톱밥을 침전오물 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25의 비율로 혼합하여 윗부분 직경 8.0cm, 아래부분 직경 5.4cm, 높이 9.6cm의 컵에 넣어 형태를 만든 후 거꾸로 세워서 흘러내리는 정도를 조사하였고 왕겨의 경우 침전오물 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 및 1.5의 비율로 섞어서 동일한 방법으로 조사하였다. 그 결과 높이가 각각 3.2cm, 4.5cm, 8.8cm, 9.3cm 및 9.5cm 이었고 아무것도 섞지 않은 대조구는 1.0cm 였다. 또한 왕겨의 경우에는 결과 높이가 각각 2.1cm, 4.9cm, 7.4cm, 8.7cm 및 8.9cm 로 조사되어 톱밥의 경우가 더 적은 양에서도 모양을 형성하는 정도가 왕겨보다 좋았다. 또한 분을 수집한 즉시 옮기기 위해서는 톱밥의 경우 최소 혼합비율이 1:0.5 였고 빠른 건조가 필요하다면 1:0.75가 적당하였다. 왕겨의 경우 옮기기 위한 최소 혼합비율은 1:0.75였고 빠른 건조가 필요하다면 1:1의 비율은 되어야 할 것으로 조사되었다.

⑤ 침전 오물에 톱밥을 섞을 경우 어느 정도의 인력이 소요되는지를 알기 위해 옮겼을 당시에 총 용량 2.976m<sup>3</sup>가 110일 후 1.395m<sup>3</sup>로 줄어들어 48%가 남은 곳에 톱밥 6포대, 용량 약 0.42m<sup>3</sup>를 뿌려 섞어서 완전히 밖으로 옮기는데 걸리는 시간을 측정하고 이 결과에 따른 작업량을 추정한 결과 성인 3명이 30분이 걸렸다. 이 작업량은 1명이라면 2시간 이상이 소요되는 작업량으로 최초에 넣은 침전오물양이라면 5시간 정도가 소요 될 것으로 추정된다. 그리고 이 실험에 사용된 톱밥의 양은 전체 오물의 양에 대하여 1:0.08배 정도로 섞었기 때문에 수분이 많아 한곳에 쌓아둘 수 없다. 따라서 흘러내리지 않게 하기 위해서는 톱밥의 양이 현재의 양보다

약 2-3배 정도 더 소요된다고 하면 소요 작업 시간은 다시 더 늘어날 것이므로 경제성이 떨어진다.

⑥ 톱밥과 섞인 침전 오물을 비료화 하기 위하여 수시로 냄새의 정도와 내부의 색깔을 조사하고 비료로서의 이용 가능성을 관능검사로 분석하였다. 그 결과 약 2개월 후에는 초기에 나던 썩는 냄새도 없어지고 쌓아둔 가운데 부분의 색깔도 검은 색이 없어진 것으로 보아 퇴비로서 이용할 수 있는 것으로 나타났다. 비료로서의 가치는 현재 분석 중이므로 결과가 나와야 알 수 있겠지만 침전오물에 톱밥이 섞여서 기존의 흙과는 달리 상당한 양의 공기를 포함하여 부드러우므로 비료뿐만 아니라 화초 화분의 흙으로 더욱 적당할 것으로 추정된다.

## (2) 경제성 검토

① 이상의 결과를 종합하여 경제성을 검토하였고 오물제거의 적정 방안을 결정한 결과 초기 건조되는 속도와 부형제를 넣어서 처리하는 것을 종합하여 보면 와류형오물분리장치에 모인 오물은 약 1개월 간격으로 퍼내어 건조장으로 옮기고 약 3주가 지난 후 톱밥 또는 왕겨 등의 부형제를 섞어 퇴비장으로 옮기는데 톱밥의 경우 침전물 용량 1에 대하여 0.75의 비율로, 왕겨의 경우 1의 비율로 섞는 것이 공기의 양이 많아 건조와 발효를 촉진시킬 것으로 판단된다.

② 그리고 퇴비로 이용할 수 없는 경우에는 정부 차원에서 양식장 부산물을 도시 위생처리장에 옮길 수 있도록 한다면 농축된 액체 상태로 차량으로 흡입하여 버릴 수 있기 때문에 가장 바람직하다고 생각한다.

## 2. 최적 설계도 및 설계 상수

### 가. 양어장 내의 분 생성량

이 와류형 분리 침전조를 흘러나가는 배출수는 고수온과 저수온기인 여름과 겨울철에는 하루에 1200m<sup>3</sup>, 적정 수온기인 봄과 가을이 되면 하루에 2500m<sup>3</sup>가 된다. 그리고 하루에 들어가는 사료량은 여름과 겨울철 적을 때가 150kg, 봄, 가을에 많을 때는 300kg이 되고 이 사료 중에 소화되지 않고 분으로 배설되는 비율이 평균 18.74% 정도이므로 여름과 겨울철에는 매일 28.1kg의 분이 만들어지고 봄과 가을에는 매일 56.2kg의 분이 만들어져서 고형오물로 된다. 이렇게 만들어진 고형 오물량은 Table 3.55에 나타난 바와 같이 매일 내부 생물여과조에 32.54kg이 침전되며, 4.3kg이 와류형 오물 분리조에 침전되고 2.85kg이 외부의 생물여과조에서 분리 침전된다. 나머지 중에 내부 침전조를 통과한 후 다른 사육 장치로 나가는 물에 0.9kg, 그리고 외부 생물여과조에서 배출되는 최종 배출수에 4.0kg의 고형오물이 섞여서 나가게 되고 나머지 약 11.58kg 정도가 사육수 이틀 시스템에 잡히지 않는 값이다.

Table 3.55. Total amount of feces produced daily in the Chungri rainbow trout farm

* Amount of feces calculated with digestibility of feed: $300\text{kg feed/day} \times 18.74\%/ \text{kg fish/day} = 56.22 \text{ kg/day}$				
*[Amount of feces calculated with fish biomass by feces production rate: $20,000\text{kg fish biomass} \times 3.92\text{g feces/kg fish/day} \div 1000 = 78.4 \text{ kg/day}$ ]				
Amount of feces retrieved in different parts of the system				
	TSS inflow (g/m <sup>3</sup> )	TSS outflow (g/m <sup>3</sup> )	Flow rate m <sup>3</sup> /day	Deposit kg/day
Inside biofilter	3.64	0.928	12000	32.54
CCBST*	7.4475	4.58	1500	4.30
Outside biofilter	4.58	2.6775	1500	2.85
Reuse water for fingerling	-	0.928	1000	0.93
Effluent	-	2.6775	1500	40.16
Total				44.64

CCBST\* = Circular and conical bottom sedimentation tank

위와 같은 방법으로 계산된 오물 생산량 외에 일정한 기간 와류형 오물 분리장치에 침전된 오물을 건조장으로 넘겨 계산한 1일 오물 침전량은 약 10kg으로 계산되어 위의 4.3kg과는 차이가 있다. 이것은 이들 오물 침전 시스템에 잡히지 않은 양이 11.58kg 정도가 되기 때문에 수질 측정 시에 시간에 따른 오차로 인하여 이 같은 차이가 난 것으로 판단된다.

결과적으로 전체 오물 생성량 중에 오물을 직접 측정하여 나온 하루 10kg의 오물이 와류형 오물 분리 침전조에 남게 되면 일간 총 생산 오물량 중 17.8%가 여기서 제거되며, 외부 침전 여과조에서는 5%가 침전되어 총 22.8%가 여기서 침전 제거되는 것으로 나타났다. 그러나 일반적인 유수식 양식장은 내부의 생물여과조가 없기 때문에 57.9%의 오물이 와류형 분리 침전조와 침전 여과조에서 침전 제거될 것이며 그 효율은 더욱 커질 것이다.

#### 나. 양어장 내의 분 생성량을 처리하기 위한 시스템의 크기

이번 실험 송어 양식장에서 나오는 고평오물의 양은 사료 100kg 당 약 18.7kg으로 계산되었고 배출수의 수량이 평균 1500m<sup>3</sup>일 경우 직경 4m의 와류형 오물 분리조에서 총 고평 오물 배출량의 80% 정도가 제거될 것이다. 그리고 양어장에서 나오는 배출수를 그대로 와류형 오물 분리조로 흘러들어가게 한다면 그 효율은 더욱 증가할 것이다. 따라서 현재 이화정 송어양식장

청리양어장에서 배출되는 물의 양이 하루 평균 1500m<sup>3</sup>, 많이 사용할 때는 2500m<sup>3</sup>까지 증가하고 평균 사육하는 송어 생체량이 약 20,000kg, 하루 공급하는 사료양이 150kg에서 300kg, 평균 250kg일 때 직경 4.2m, 깊이 1.8m의 역 원뿔 형태의 와류형 분리 침전조와 가로 세로 깊이 각각 4x3.7x1.7m의 생물여과조 2개에서 거의 모든 고형오물을 제거할 수 있었다. 따라서 무지개 송어 연간 생산량 50톤, 사용수량 1일 2000m<sup>3</sup>, 1일 사료량 250kg까지의 규모에서는 이 정도의 침전 시설로서 충분히 기능을 할 것으로 판단된다.

#### 다. 효과적인 제거를 위한 시스템의 설계

현재 무지개송어를 연간 약 50톤 이상 생산하는 이화정송어양식장 청리양어장에서는 하루 평균 250kg의 사료를 사용하고 평균 사용 수량이 2000m<sup>3</sup>로 모든 고형 오물은 직경 4.2m의 역 원뿔형으로 된 와류형 분리 침전조와 가로, 세로, 깊이 각각 4m, 3.7m, 1.7m의 IBK 생물여과조 2개를 사용하고 있고 동일한 크기의 IBK 생물여과조 9개를 이용하여 사육수를 여과를 시키면서 무지개송어를 생산하고 있다. 현재까지는 수질이나 생산에 별다른 문제가 없지만 배출수를 효과적으로 처리하기 위하여 몇 가지 사항을 수정해야 할 필요가 있다.

##### (1) 인력 운용상의 문제

현재 이 양어장에서 사용 중인 배출수 처리 시설 중에 직경 4.2m의 와류형 오물 분리 침전조에 1-2개월 간 쌓인 침전물을 제거하는 오물의 점도가 크기 때문에 일반 양수기로는 퍼 올릴 수가 없고 오수 펌프를 사용해야하는데 반경이 2.1m 되는 침전조 밖에서 무거운 오수 펌프를 옮기고 양수 조작하는 것이 불가능하였다. 따라서 4.2m 직경의 와류형 분리 침전조에 사람이 직접 펌프를 가지고 들어가 옮겨가면서 일해야 하는 작업상의 불편이 있었다.

##### (2) 원뿔 및 원형 침전조의 시설 공사에 대한 문제

와류형 오물 분리침전조를 시설할 때 땅을 파고 기초 공사를 한 다음 약 45도 각도의 역 원뿔 형태의 깔때기 부분을 만드는데 기계적인 작업은 불가능하고 사람이 이를 만들어야하는 불편이 있었다. 또한 깔때기 형태의 침전조 바닥을 시공하는데 45도에 가까운 각도에서 시멘트가 흘러내리는 것은 물론 직경 4.2m를 계속해서 시공해야 하는데 최종 부분의 발판 문제 및 공사 후 탈출하는 어려움 등의 문제점이 있었다. 또한 깔때기 바닥의 윗부분에 만들어지는 원통형의 구조물은 완전한 원통형이기 때문에 이를 시공하는 원통형의 틀이 없으면 거푸집을 만들고 공사하는데 많은 어려움이 따르고 또한 비용이 많이 든다. 따라서 원통형 와류 침전조 설계를 수정하여 시공도 쉽고 관리도 쉽게 하기 위한 방안이 필요하다.

### (3) 해결 방안

현재 시설되어 있는 역 원뿔 원통형의 와류형 오물 침전조를 직사각형 침전수조로 만들어 오물을 제거할 때 물속에 들어가지 않고 직사각형 침전조의 양쪽에서 오수펌프로 오물을 퍼 올리는 방안이다.

#### 다. 침전 오물의 처리 방안

침전조를 설치하여 1-2개월간 쌓인 침전 오물을 건조장으로 보내고 이를 건조시키거나 반쯤 건조시켜 톱밥 등의 부형제를 첨가하여 퇴비를 만드는 방안 등이 효과적이지만 여전히 양어장 인력으로 일을 해야 하기 때문에 문제가 있다. 따라서 농축된 침전물을 처리하는데 가장 효율적인 방법은 도시 위생사업소에서 와서 인분처리와 같이 진공펌프가 장착된 트럭으로 뽑아가서 처리해주는 것이다. 이 것은 진공펌프에 달린 호스만 끌고 와서 침전조에 담가 흡입해서 탱크로리에 싣고 가면 되기 때문에 도시에서 인분을 처리하듯 양어장 인력이 붙어 있을 필요도 없고 흡입과 적재가 끝나면 경비만 지불하면 되기 때문에 가장 바람직한 형태의 처리 방법이다.

## 3. 최적 설계상수 및 설계도

지금까지의 결과를 종합하여 내수면 유수식 양식장의 배출수를 처리하기 위한 설계 상수를 근거로 배출수 처리시설을 설계한 결과는 다음과 같다.

#### 가. 설계 상수

최적 설계를 위한 기준 양식장의 내용은 Table 3.56에 나타내었다. 이 무지개송어 유수식 양식장은 순환여과식 생물여과조를 시설하여 유수식으로 양식하는 곳에 비해 약 2배 이상 더 생산하고 있는 양식장으로 사육 면적은 1080m<sup>2</sup>, 수로가 약 50m<sup>2</sup>, 물 자체 정화처리 구역인 생물여과조와 주변 수로를 합하여 약 222m<sup>2</sup>로 총 약 1350m<sup>2</sup> 정도의 규모다. 배출수를 처리하는 시설은 양식장에서 배출되는 물을 모으는 sump, 이를 와류형 침전조와 연결하는 수로 및 와류형 침전조, 그리고 미세 침전물을 제거하는 IBK 여과조가 있으며 총 면적은 약 60m<sup>2</sup>이다. 사육조 6개는 중간에 격벽을 설치하여 사육조가 두개로 나누어져 물이 순환되게 하였으며 순환과 산소 공급을 위하여 수차를 2대씩 설치하여 가동한다. 물은 순환되면서 물이 돌아 나오는 격벽의 아래에 찌꺼기가 배출 장치가 있어 지속적으로 사육조 밖으로 배출되도록 하였다. 수직축류 펌프 3대를 설치하여 이중 2대는 생물여과조를 통하여 수질을 정화하기 위하여 항상 가동되고

있으며 지하수와 함께 사육조로 흘러들어간다. 이 양식장의 일일 사용 수량은 여름과 겨울에는 1일 약 1200m<sup>3</sup>, 봄과 가을에 수온이 적절할 때는 2500m<sup>3</sup>를 사용하며 전적으로 지하수에 의존하고 있다. 지하수의 수온은 16℃에서부터 22℃ 범위로 얇은 수원은 겨울에 수온이 많이 내려가고 여름에는 많이 올라가 봄과 가을에 한하여 사용하고 깊은 수원의 지하수는 여름철에는 수온을 낮추어주고 겨울철에는 수온을 올려주는 역할을 한다. 사육조에는 언제나 약 20-25톤의 무지개송어가 유지되고 있으며 거의 매일 출하하며 연간 총 생산량은 50톤에서 70톤의 범위이다. 유지 인력은 상근 인력이 2명으로 1명은 사육을 담당하고 1명은 유통을 담당하며 어류를 잡아내어 출하할 때는 2명이 함께 일한다.

Table 3.56. Parameters for designing effluent treatment facilities for semi-recirculation rainbow trout farm

구분	명칭	규격	비고
총 규모	대지	종묘장, 관리사 포함	약 3600m <sup>2</sup>
	사육 수면적	30m x 6m x 1m - 6개 및 수로	약 1130m <sup>2</sup>
사육수 정화	IBK 생물 여과조	4.0x3.7x1.7m - 9개 및 수로	약 222m <sup>2</sup> (질산화 및 탈질산화)
배출수 처리	와류형분리침전조	직경 4.2m, 벽 0.8m, 침전부 0.9m 및 수로 등	약 20m <sup>2</sup> 대형 침전물 제거
	IBK 여과조	4.0x3.7x1.7m x 2개 및 수로	약 40m <sup>2</sup> 미세침전물 제거
생산 주변 환경	수원 및 주입수량	지하수, 1일 1200-2500m <sup>3</sup>	여름과 겨울: 수량 감소 봄과 가을: 수량 증가
	환경수용력	20-25 톤	종묘 - 식용 상품크기
	연간 생산량	50-70 톤	식용 상품 크기
	연간 사료소비량	60-90 톤	사료계수 1.2-1.4
	펌프	3대, 300m <sup>3</sup> /h	항상 2대 가동
	수차	12대,	각 수조 2대
기타	인력	상근 2명	사육1, 유통1

## 나. 설계도

위의 설계 기본 조건들을 감안하여 친환경적으로 배출수를 처리할 수 있는 간이설계도 (평면도)는 Fig. 3.36과 같다.

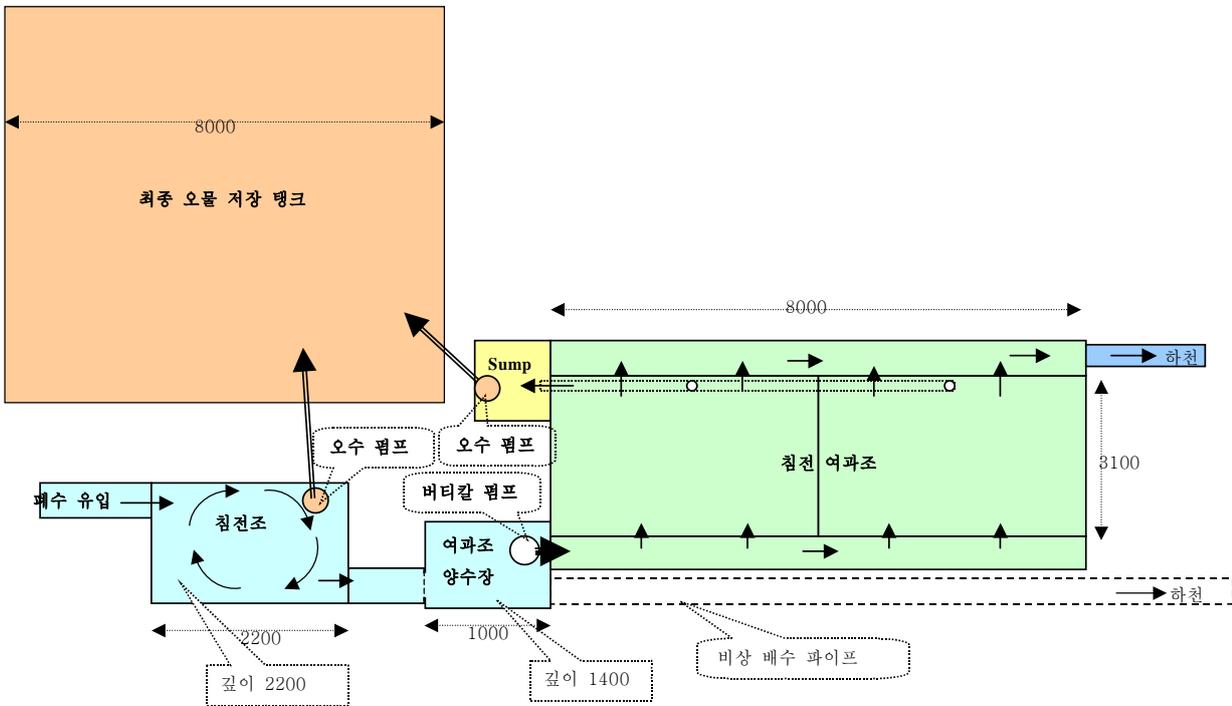


Fig. 3.36. Schematic diagrams of ideal effluent treatment system for the inland flow-through aquaculture system

양식장에서 배출수가 배출되면 오수가 들어가 모이는 sump로 들어가고 이 sump의 규격은 Table 3.56에 나타난 바와 같이 2.2x1.8x2.2m(D)이고 침전조를 겸한다. 와류형 오물 분리조를 설치하는 원형을 만들 때 원형 틀이 없으면 공사하기가 어렵고 이에 따라 경비가 많이 들기 때문에 비경제적이므로 쉽게 공사할 수 있으면서 대형 오물이 침전되는 sump를 이용한다. 여기에 들어온 배출수는 대형 오물이 침전된 후 물은 수로를 따라 양수장으로 흘러들어가고 수직축류 펌프를 이용하여 최종 미세 침전물을 제거하기 위하여 IBK 침전 여과조로 양수된다. 침전조에 침전된 찌꺼기는 주기적으로 오수용 수중 펌프를 이용하여 최종 오물 저장 탱크로 양수되며 양수된 찌꺼기는 여기서 침전되어 자연적인 호기성 또는 혐기성 분해과정을 거쳐 자동적으로 분해되거나 또는 건조처리를 한다. 침전 여과조에서는 두개의 침전조가 시설되어 일반적으로 한개만 가동하고 나머지 한개는 청소하거나 청소를 위하여 비워둔다. 침전 여과조 내에는 플라스틱 파판이 들어 있어서 그 사이를 흐르는 유속이 초당 0.5cm 이하로 흐르고 침전

되는 간격이 1-2cm 이하이기 때문에 미세한 침전물도 침전이 되어 배출되는 물은 깨끗이 정화되어 자연수계로 배출되게 된다. 침전여과조에 침전된 찌꺼기는 1년에 약 2회 윗물을 배수하고 찌꺼기를 모은 다음 찌꺼기 배출용 sump로 모아 역시 최종 오물 저장 탱크로 보내어 정화 처리 한다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1절 1차년도 목표 달성도 및 관련분야 기여도

#### 1. 목표 달성도

##### 가. 와류형 오물분리 장치 부분

본 실험을 위해 제작한 와류형분리장치는 3가지의 수용량(20.4, 32.3, 40.6, 49 L)과 이들 각 수용량에 2가지 크기의 유입관(30, 50 mm)과 각각 5가지 크기(30, 50, 60, 70, 100 mm)의 vortex finder 직경을 조합하여 총 30가지의 서로 다른 크기의 와류형분리장치를 약 300-1200 ml/s 범위 유입수량을 공급하여 장치의 입자 수집효율을 측정하였다. 이러한 와류형 분리 장치의 구조특성과 수용용량 및 공급되는 유입수량에 따라 침전조에서의 입자 수집량과 overflow 와 underflow로 유실되는 입자 수집량이 다르게 나타났다.

본 실험 와류형 분리장치에서는 유입수량의 증가에 따라 입자의 수집량은 증가하였고, 아울러 입자의 유실량도 증가하였다. 유입수량에 대한 처리 수용량도 와류형 분리장치의 수용용량이 커질수록 증가하였고 아울러 주입관의 직경이 30mm 보다 50mm에서 주입시 압력의 감소로 증가하는 것으로 확인되었다. 그러나, 50mm 주입관의 경우 30mm 주입관에 비해 더 많은 수량을 처리할 수 있으나 장치 내 와류의 유속이 30mm에 비해 느려 장치내 형성되는 mantle의 지름이 작아 overflow 직경과 유사해지는 크기에서는 입자의 유실이 많이 생기게 되며 동일 크기 장치의 운전조건에서도 30mm 주입관에 비해 효율의 변동이 많이 나타난다. 본 실험 와류형 분리장치의 운전조건중 vortex finder의 직경(VxD)은 30mm 이하에서는 입자수집 효율이 급격히 떨어짐이 확인되었고, 또한 유입수량과 유입관에서의 유입속도에 따라 장치내에 형성되는 mantle 직경이 VxD 직경과 유사할 때에는 이 부위에 농축된 입자의 유실이 급격히 증가하는 것을 확인하였다.

본 실험에서 입자의 수집량과 유실량을 통해 장치의 효율을 구명해본 바, 30가지 크기와 운전조건에 따른 와류형 분리장치 중 f301의 VxD 60, 70 및 100에서 넓은 유입수의 범위에 대하

여 안정적인 효율을 나타내는 것으로 확인되었다. f50m, f50l series에서는 유입수 증가에 따라 수집량도 증가시킬 수 있지만, 유실량도 상대적으로 증가하고, 넓은 수용량 처리 범위에서 f30l 보다 안정성이 떨어진다. 또한 분리 수집해야할 입자가 더욱 작아질 경우에 유실량은 상대적으로 증가하게 될 것이다.

그러므로, f30l의 VxD 60-100의 범위에서 분리수집해야할 입자의 밀도와 크기에 따라 유속을 변화시키며 운전할 경우 최대의 효율이 기대되며, 이 장치의 수리학적 특성을 보다 큰 장치에 활용할 것이다.

## 나. 잉어 및 무지개송어의 오물 생성량

### (1) 잉어

#### 성장

9개의 유리수조에 평균체중 25.2g의 잉어치어를 각 수조 마다 10마리씩 방양하여 1일 사료공급량을 1.0%, 2.5%, 5.0%로 달리하여 4주간 사육하여 성장한 결과 1일 사료공급량을 어체중의 5%를 공급한 그룹은 성장이 가장 좋아서 평균체중 45.8g으로 성장하였으며 2.5% 그룹과 1.0% 그룹은 각각 평균 32.6g과 26.2g으로 성장하였고 폐사는 없었다. 4주간 공급된 총 사료량은 5%, 2.5%, 1% 사료 공급구에 각각 355.6g, 176.4g, 72.8g이 공급되었고 사료계수는 각각 1.74, 2.43, 7.64로 나타나 1% 공급구는 거의 성장하지 못한 것으로 나타났다.

#### 분배설량

잉어 배설량은 일간 사료량을 어체중의 1%, 2.5%, 5%로 달리하였을 때 각각 평균 2.52g, 6.31g, 12.68g(건조중량)의 사료를 섭취하고, 24시간 동안의 평균 배설량은 각각 0.414g, 0.934g, 2.309g(건조중량)으로 나타나 분 배설량에 대한 자료만으로 소화율을 계산하면 각각 83.6%, 85.2%, 및 81.8%로 나타났다. 24시간 내의 잉어 분 배설량의 분포를 2-4시간 간격으로 나누어 조사한 결과 첫 4시간에는 거의 배설하지 않다가 8시간 후에부터 증가하기 시작하여 10시간에서 16시간 동안 가장 많이 배설하다가 18시간부터 감소하기 시작하며 20시간 후에는 급격히 줄어든다. 따라서 낮 동안 계속 먹이를 공급하다가 오후 8시경 마지막 사료를 공급하고 나면 약 16시간 후에서부터 배설이 시작되는 것으로 나타났다. 이 것은 처음 사료를 공급하기 시작하면서부터 약 28시간 후부터 배설이 시작되고 32시간 후에는 증가하기 시작하여 34시간에서 40시간 사이에 가장 많이 배설하며 42시간부터 감소하기 시작하여 44시간에는 급격히 줄어들어 1일 총 배설량의 5% 이하로 감소하였다. 따라서 밥을 주기 시작한 후 34시간에서부터 40시간 사이에 1일 총 배설량의 65% 이상 배설하였고 32시간에서부터 42시간 사이에 1일 총배설량의 86% 이상을 배설하였다. 이 같은 배설 형태를 구명한 것은 처리하여야 할 오물의 양의 구명과 더불어 하루 중에 전날 먹은 사료가

소화되어 배설될 때 10시간 내에 전체 배설량의 거의 대부분을 처리해야 한다는 것을 밝혀 처리 장치의 용량을 결정하는데 아주 중요한 정보를 얻게 되었다.

잉어가 배설하는 총 배설량의 관점에서 잉어 체중의 1%, 2.5%, 5%를 먹이고 난 후 72시간까지의 배설량의 시간별 분포를 보면 총 배설량의 92.9-98.3%가 24시간 이내에 배설되었으며 48시간에는 1.2-5.2%가 배설되었고 72시간째에는 0.5-1.8%가 배설되어 1일분의 먹이를 먹고 난 후 소화되지 않고 분으로 배설되는 것은 24시간이내에 93% 이상이 배설되는 것으로 나타났다. 이는 잉어의 먹이 습성과 연관이 있는 듯하며, 위가 없는 잉어는 먹이를 한꺼번에 다량 섭취하지 못하고 조금씩 여러 번으로 나누어 먹기 때문으로 사료된다. 사료 공급량 별 배설 특성은 3가지 사료 공급량 모두에서 24시간 이내 대부분의 분이 배설되었으나, 가장 많은 양을 공급한 5% 실험구보다 2.5%와 1.0%로 적게 먹일수록 24시간 이내 배설되는 총 분량이 유의성 있게 적어졌고, 2.5% 실험구에서 보다 1.0% 실험구에서 전체 배설량은 줄어들었다.

혈액분석 결과에서 헤마토크리트(hematocrit)는 39.5~47.3% 범위로 나타났는데 이 결과는 무지개송어에 있어서 32~42% 측정값(Alexis et al.,1985)과는 조금 높고, 성장기 잉어(송 등, 1995)와 조피볼락(배 등, 1996)에 있어서 보고한 44%와 비슷한 경향을 나타내었다. 헤모글로빈(hemoglobin)의 양은 5.09~9.16g/dl의 범위로 나타났으며 보통 건강한 어류의 헤모글로빈의 양은 10g/dl 정도라는 보고가 있기는 하지만(Post, 1983), 정상적인 값은 아직 어종별로 증명된 바는 없고, 필수영양소의 결핍과 어종에 따른 환경조건 및 성장상태에 따라 그 값이 변할 수 있다고 많은 연구자들은 밝히고 있기 때문에 단순히 값으로만 비교하는 것은 무리지만 사육어류의 건강은 크게 나쁘지는 않았다고 사료된다.

전어체분석 및 CF (condition factor)의 결과 매일 어체중의 5%를 공급한 실험구가 단백질 함량이 낮고 지방이 높은 반면, 2.5 와 1% 첨가구는 단백질이 높고 지방함량이 낮아지는 결과를 나타내었고, 2.5와 1% 첨가구에서는 CF가 높아 성장에 1일 사료 공급량이 낮아 어체의 정상적인 성장이나 대사에 필요한 충분한 에너지를 공급받지 못한 것으로 생각되며, 에너지의 저장 형태인 지방 또한 확보하지 못한 것으로 사료된다. 일반적으로 어류는 하루에 자기 체중의 0.8%를 먹게 되면 성장은 기대할 수 없고 유지가 가능하다고 하였으므로 1%를 먹은 어류는 아주 조금 성장한 것으로 나타났다.

건물(DM) 및 단백질(CP)의 결보기소화율 3가지 서로 다른 1일 사료량 처리구 간에 유의적인 차이가 없었으나, 전반적으로 44~45사이로 낮게 나왔고, 단백질은 2.5% 실험구가 1% 실험구보다 유의적으로 높은 것은 2.5% 실험구가 단백질 소화율 측면으로 볼 때, 적절한 사료 공급량으로 보인다. 이는 섭취한 사료가 부족하기 때문에 충분히 이용을 한 것으로 판단된다.

## (2) 무지개송어

### 성장

무지개송어는 육식성 어류로 매우 활발한 사료섭취 행동 패턴을 나타내었다. 또한 어체중의 증가와 함께 사료섭취량도 함께 증가하였다. 사료공급량에 따른 성장률은 2주후에 현저한 차이를 보여, 평균 어체중 증가율은 사료 공급구 5%, 2.5%, 1%에서 각각 70.9%, 40.5%와 15.4%를 나타내었다. 4주후 평균 어체중 증가율은 사료 공급구 5%, 2.5%, 1%에서 각각 66.5%, 42.1% 및 11.8%로 나타났다.

### 총암모니아 배설량

어체중 12-28 g인 무지개 송어를 이용하여 3시간 간격의 사료공급에 따른 2시간 간격의 암모니아 배설량 측정 결과 5% 사료공급구가 2.5%와 1% 사료공급구보다 월등히 높게 나타났으며, 전체적으로 5% 사료공급량 범위에서 사료공급량에 비례하여 암모니아 배설량도 증가하였다. 배설패턴은 오전 8시부터 저녁 22시까지는 암모니아 배설량이 모든 사료 공급구에서 증가하다가 24시부터는 감소하는 패턴을 나타내었다. 즉, 암모니아 배설량은 모든 사료 공급구에서 사료공급과 함께 증가하여 마지막 사료 공급 후 2시간 후에 감소하기 시작하였다. 암모니아 배설 유형에 있어 사료 공급 직후 배설량은 급격하게 증가하고 이후 일정시간 까지 서서히 증가한다.

사료를 반복공급 하였을 때의 암모니아 배설량에 대한 결과는 모든 사료 공급구에서 반복 공급 후 암모니아 배설량은 증가하다가 측정 10시간을 정점으로 이후부터 감소하는 경향을 나타내었다. 4일간 절식시킨 무지개송어의 암모니아 배설량은 모든 사료 공급구에서 2.7-2.8 mg/kg/h를 나타내었다.

사료 공급 후 2시간 동안에는 사료공급량과 암모니아 배설량 및 분배설량에 대한 상관관계가 나타나지 않았으나, 사료공급 24시간 후에는 사료공급량에 따른 암모니아와 분배설량간의 상관관계가 발견되었다. 본 연구에서 4일간 절식한 무지개송어의 총암모니아 배설량은 모든 사료공급구에서 유사하게 나타났다. Dall and Smith (1986)도 사료 절식 48시간 후에는 플라스마 암모니아 배설량은 모든 절식실험구와 유사하게 나타난다고 밝히고 있다.

### 분배설량 및 소화율

소화율에 있어서는 5% 사료 공급구가 2.5% 및 1% 사료 공급구보다도 낮게 나타났다. 이에 따라 일간 분배설량도 5% 사료공급구가 2.5% 및 1% 사료공급구보다도 높게 나타났다. 사료 공급 후 30시간 이후에는 분배설이 검출되지 않았다. 이 시간 이후에는 암모니아 배설량도 거의 일정하게 낮게 유지되었다. 절식 기간동안의 가장 낮은 암모니아 배설량은 4.5 mg/kg/h 이하로 유지되었다.

본 실험의 순환여과식 사육시스템에서 아질산 농도는 0.1 ppm 이하로 나타났으며, 이는 Russo et al (1974)이 무지개송어의 경우 아질산 농도가 0.27 ppm 이하에서는 안전하다 밝힌 것 보다도 낮은 농도로 유지된 것이다. 이상의 결과에서 분배설량과 암모니아 배설량은 사료공급량에 따라 직접적인 상관관계가 있었으며, 공급량은 2.5%에서 5% 사이가 최적일 것으로 사료된다.

## 2. 기여도

### 가. 학술 정보의 기여

잉어와 무지개송어의 사료 공급 율에 따른 암모니아와 분의 시간에 따른 배설 형태를 밝힌 것은 암모니아와 분을 처리해야하는 양과 최대 처리 시간을 예측할 수 있기 때문에 친환경 양식을 하는데 아주 중요한 정보를 제공하게 되었다. 또한 지속적으로 먹이를 반복 공급할 때와 굶길 때의 암모니아와 분의 배설량의 생성 패턴을 규명하여 최대 수처리 용량을 정하는데 결정적인 정보를 제공할 수 있었다.

### 나. 학술지 발표

이 외에 학술지에 발표 또는 출판된 논문 목록은 아래와 같으며 어류양식 및 수처리 분야에 크게 기여하였다.

#### 학술지 논문

김병진, 이정훈, 서근학. 2002. 고정화 질화세균의 암모니아 제거속도식.

한국화학공학회지 40(1):93-99

서근학, 김병진, 조재윤. 2002. 순환여과식 양식 시스템의 개시운전

한국수산학회지 35(1):21-26

서근학, 김병진, 조재윤. 2002. 순환여과식 양식시스템에서 나일틸라피아의 양식

한국수산학회지 35(1):27-34

서근학, 김병진, 김용하, 이석희, 서차수, 천재기, 조재윤. 2002. Pilot scale 순환여과식

양식장에서 병류공기구동식 포말분리 장치의 성능. 한국수산학회지 35(2):140-145

이정훈, 김병진, 김용하, 이경범, 임준혁, 천재기, 서근학. 2002. 고정화 질화세균을 이용

한 저농도 암모니아의 고도처리. 한국화학공학회지 40(6):763-768

서근학, 김병진, 이정훈, 김용하, 이석희, 김성구, 조재윤. 2002. Pilot scale 순환여과식

양식장에서 회전원판 반응기의 순환수 처리 및 산소전달.

한국수산학회지 35(5):469-475

## 학술대회 논문 발표

서근학, 이정훈, 김병진, 이민수, 나인걸. 2002. 고정화질화세균을 이용한 저농도 암모니아의 고도처리시 초기 암모니아 농도, 온도 그리고 pH의 영향. 한국생물공학회 춘계학술대회 요약집, 343-345

서근학, 이정훈, 김병진, 이민수, 나인걸. 2002. 고정화질화세균을 이용한 저농도 암모니아의 고도처리시 공기유입량과 수력학적 체류시간의 영향. 한국생물공학회 춘계학술대회 요약집, 346-348

이정훈, 김병진, 이민수, 나인걸, 서근학. 2002. 양어장내 암모니아 폐수처리시 초기 암모니아 농도, 온도 그리고 pH의 영향. 한국수산학회 춘계학술대회 요약집, 221-222

이정훈, 김병진, 이민수, 나인걸, 서근학. 2002. 양어장내 암모니아 폐수처리시 공기유입량과 수력학적 체류시간의 영향. 한국수산학회 춘계학술대회 요약집, 223-224

이정훈, 나인걸, 이민수, 김병진, 서근학. 2002. 저농도 암모니아 처리 공정 설계를 위한 제거 속도식 도출. 한국생물공학회 춘계학술대회 요약집, 799-802

## 제 2절 2차년도 목표 달성도 및 관련분야 기여도

### 1. 목표 달성도

#### 가. 대형 현장형 와류형 오물분리 장치

##### (1) 와류형 오물분리장치의 설치공사 및 성능

##### (가) 대형 현장형 오물분리장치 설치

본 과제의 협력산업체인 이화정송어양식장(경북 상주시 청리 소재) 현장에 수로식 무지개송어 양식장에 와류형 오물분리장치 설치 공사 후 침전 성능을 조사한 결과 효과가 우수하였다. 이에 따라 와류형 오물분리장치는 직경 4.2m, 벽 높이 0.8m의 원통 아래쪽에, 높이 0.9m의 깔때기 형태의 구조로 시설하였다. 사육수조에서 모여서 나오는 최종 배수를 가로, 세로, 높이 1.2mx2.2mx1.7.3m의 저수탱크에 모아 수직축류 펌프를 이용하여 펌 올려서 폭 50cm, 길이 2.5m의 수로를 통하여 오물분리장치에 주수하였다. 1일 배출되는 수량이 평균 1,200m<sup>3</sup>이므로 주수구의 크기는 이 수량을 충분히 소화할 수 있도록 직경 30cm 파이프를 사용하였고 이 파이프를 수로의 바닥에 붙여서 설치하였다. 주수된 물이 회전하면서 침전이 되고 오물분리장치내에서 최대한의 체류시간이 되도록 배수구는 주수구의 반대쪽에 주수구보다 약 40cm 윗쪽으로 직경 30cm의

PVC 파이프 연결소켓을 넣어 연속적으로 흘러넘치도록 하였다.

(나) 와류형오물분리장치의 성능

#### 주수구의 방향

주수구의 방향에 따른 성능을 그대로 흘러들어가는 경우, 90° 각도로 하향주입, 90° 측면 주입, 90° 상향 주입 등으로 나누어 조사한 결과 90° 측면 주입이 수류의 회전효과와 더불어 침전효과도 좋게 나타났다. 이 결과에 따라 오물분리조 안쪽에 파이프에 맞는 90° 각도의 엘보를 끼워 물이 탱크의 벽과 나란히 흘러들어가도록 하였다.

#### 수질분석

무지개송어 양식장에 사육되는 평균 어류의 양(현존량)은 약 30,000kg이고, 하루 오전과 오후로 나누어 1일 총 250-450kg의 먹이를 공급하며, 주입되는 지하수, 사육수, 와류형분리장치의 유입수 및 유출수의 BOD, COD, SS, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> 등을 24시간 이상 연속하여 측정하였다.

지하원수의 수질은 BOD 0.43ppm, COD 1.2ppm, SS 0.18ppm, 암모니아 0.078ppm, 아질산 0.009ppm, 질산 1.572ppm, 인산인 0.15ppm 이었다. 사육수조에 순환되는 물의 각 수질 농도는 6.71, 7.5, 2.45, 2.17, 2.69, 1.53, 및 0.37ppm 이었고, 와류형오물분리장치로 들어가기 전의 수질은 각 항목에서 7.59, 10.4, 8.48, 1.64, 2.45, 1.50, 0.4ppm 이었으며 배출될 때는 각각 7.12, 8.8, 6.56, 1.70, 2.49, 1.43, 0.41ppm으로 나타나 와류형 오물분리조에서의 제거율은 BOD가 6.1%, COD가 14.8%, SS가 22.7%, 질산이 4.6%로 나타났다. 반면 암모니아의 경우 3.8%가 증가되었고 아질산의 경우도 1.6%, 그리고 인산인의 경우 4.8% 증가하였다. 따라서 주 처리항목과 환경부 수질 통제 항목인 SS 및 BOD와 COD의 경우에 와류형 오물분리장치는 아주 좋은 효과를 보여주었다.

(다) 와류형 오물분리장치의 시뮬레이션

현장에 설치된 와류형 오물분리장치의 자연 성능은 위의 수질 분석에서 언급한 바와 같이 SS를 침전시키는데 아주 효율적으로 기능을 하며 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 결과 순환율이 시간당 3-6회전에서 효율이 좋은 것으로 나타났다.

(2) 고품오물의 침전 양

와류형 오물분리장치의 일반 조건은 주수량이 시간당 평균 50m<sup>3</sup>L, 오물분리장치 내의 순환율은 시간 당 4-5 회전이였다. 현재까지 밝혀진 침전효율은 여름철 2003년 8월 11일부터 시작

하여 8월 20일까지 9일간 침전된 양을 길이 8m, 폭 1.2m의 건조장에 수용한 결과 672L였고 수분함량은 89.3%, 비중은 0.99955로 건조중량 약 71.87kg에 해당하는 양으로 1일 침전량은 건조량으로 7.99kg이었다. 2차 조사에서는 8월 20일부터 10월 16일까지 57일간 건조장으로 넘긴 침전물의 양은 5,520L, 수분함량이 85.0%이므로 건조중량으로 827.6kg으로 나타나 1일 침전량은 14.52kg이었다. 3차 조사에는 건조속도 실험을 위한 표본 조사를 하여 120L의 침전물을 표면에서 채집하였는데 수분함량이 81.17%로 건조중량으로는 22.60kg이었으며, 4차 조사에서는 2003년 10월 16일부터 2004년 2월 3일까지 110일간 침전된 양은 5,136L, 수분함량이 84.4%로 건조중량으로는 800.86kg의 오물이 침전되어 3차와 4차를 합친 1일 침전량은 7.49kg이었다. 따라서 이들을 평균하면 건조량으로 1일 평균 10.0kg 정도 침전물이 침전되어 제거된 것으로 나타났다

### (3) 분리된 고형 오물의 정화 처리 방법

분리된 고형오물이 재 용출되어 자연수계로 들어가게 되면 오물을 분리한 효과가 전혀 없어진다. 따라서 어류의 사육량에 따라 2차 년도에서 밝혀진 고형 노폐물 및 용존 노폐물의 양을 근거로 하여 이 양을 분리 처리하는 최적 방법을 연구한 결과는 다음과 같다.

#### (가) 오물의 분리 수집 및 농축 방법

와류형오물분리장치에서 침전 분리된 오물을 자연스럽게 흘러서 오물 건조장으로 갈 수 있도록 분리장치의 가장 아래쪽에 직경 70mm의 파이프를 넣고 이를 호스로 연결하여 오물분리장치의 수압에 의해 흘러나오도록 시도하였으나 슬러지의 점성이 강하고 3-4주간 모인 찌꺼기는 세균의 작용에 의하여 점성이 증가하여 자연스럽게 흘러나오지 못하였다. 이를 강제로 흘러나오게 한 결과 다량의 물이 함께 건조장으로 들어와 농축력이 떨어지기 때문에 건조하는데 시간이 더 많이 소요되고 부형제의 양도 더 많이 필요하기 때문에 비 경제적이었다. 따라서 일정 시간이 지난 후 (4-8주) 오수펌프를 이용하여 건조장으로 퍼올리는 것이 가장 효율적이고 깨끗하였다.

#### (나) 건조장의 농축 슬러지의 처리 방법

##### 건조 처리

찌꺼기가 가장 많이 수집된 시기를 기준으로 하여 57일간 5.136m<sup>3</sup>의 농축 오물이 수집되었다. 따라서 건조장의 적정 면적은 길이 8m, 폭 1.2m, 높이 0.4m의 평면 구조 2개로 4주에 한번씩 14cm 높이로 오물을 채울 수 있었다. 그러나 이를 완전히 건조시키는데는 약 12주 이상의 기간이 소요되는 것으로 나타나 4주에 한번씩 퍼낸다면 동일한 건조장 면적의 3배 이상의 면적이 필요하여 경제성이 떨어지는 것으로 나타났다.

또한 건조장에 옮겨진 침전물을 10L 용기에 톱밥을 침전물의 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75배로 섞고 왕겨는 침전물의 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0배로 섞은 후 건조되는 속도를 측정 한 결과 1주일 후 톱밥은 초기 무게의 84.8%, 왕겨는 86.3%, 2주일 후에는 각각 68.5% 및 73.9% 로 줄었고 3주일 후에는 각각 57.2% 및 66.3%로, 4주 후에는 각각 49.5% 및 60.8%로 감소하였다. 이 때 아무것도 섞지 않은 대조구의 중량은 1주부터 4주까지 각각 84.9%, 68.0%, 54.3% 및 44.1%로 감소하여 초기 1주일 정도는 톱밥을 섞은 것이 대조구보다 약간 빨리 건조되었으나 왕겨를 섞은 것은 대조구보다 빨리 건조되지 않았다. 그리고 톱밥을 섞은 것도 1주일이 지나면서부터는 대조구가 모든 실험구 보다 건조되는 속도가 빨랐다. 대조구의 경우 초기 중량이 반으로 줄어드는데 24일이 걸렸고 톱밥의 경우 27일, 왕겨의 경우 약 47일이 걸렸다. 따라서 침전물이 건조되는 데는 많은 시간이 걸려 완전히 건조시켜 제거하는 것은 토지를 효율적으로 이용하는 점에서 비경제적인 것으로 나타났다. 따라서 침전된 것을 건조시키는 것보다 부형제를 넣어 바로 퇴비장으로 옮기거나 또는 약 2주간 건조시킨 후 부형제를 넣어 퇴비장으로 옮기는 것이 경제적으로 바람직하다는 결론이 도출되었다.

### 부형제의 첨가에 따른 효과

톱밥과 왕겨 두 종류의 부형제를 섞은 후 효과

톱밥을 침전오물 용량 1에 대하여 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25의 비율로 혼합하여 윗부분 직경 8.0cm, 아래 부분 직경 5.4cm, 높이 9.6cm의 컵에 넣어 형태를 만든 후 거꾸로 세워서 흘러내리는 정도를 조사한 결과 그 높이가 각각 3.2cm, 4.5cm, 8.8cm, 9.3cm 및 9.5cm 이었고 아무것도 섞지 않은 대조구는 모두 흘러 퍼져서 높이는 1.0cm 였다. 또한 왕겨의 경우 침전오물 용량 1에 대하여 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 및 1.5의 비율로 섞어서 동일한 방법으로 조사한 결과 높이가 각각 2.1cm, 4.9cm, 7.4cm, 8.7cm 및 8.9cm 로 조사되어 톱밥이 더 적은 양에서 모양을 형성하는 정도가 왕겨보다 좋았다. 또한 분을 수집한 즉시 옮기기 위해서는 톱밥의 경우 최소 혼합비율이 1:0.5 였고 빠른 건조가 필요하다면 1:0.75가 적당하였다. 왕겨의 경우 옮기기 위한 최소 혼합비율은 1:0.75였고 빠른 건조가 필요하다면 1:1의 비율은 되어야 할 것으로 조사되었다.

### 부형제 첨가에 따른 소요 시간 및 작업량 비교

건조장에 옮겨진 침전물은 2003년 10월 16일에 높이 31.0cm, 총 용량 2.976m<sup>3</sup>가 110일 후인 2004년 2월 3일에 높이 14.5cm, 용량은 1.392m<sup>3</sup>로 줄어들어 겨울동안 약 53.1%가 줄어들고 46.9%가 남았다. 이 남은 양에 톱밥 6포대, 용량 약 0.42m<sup>3</sup>를 뿌려 섞어서 완전히 밖으로 옮기는데 3명이 30분이 걸렸다. 이 작업량은 1명이라면 2시간 이상이 소요되는 작업량으로 최초에 넣은 침전

오물양이라면 5시간 정도가 소요 될 것으로 추정된다. 그리고 톱밥의 양은 전체 오물의 양에 대하여 1:0.08배 정도로 수분이 많아 한곳에 쌓아둘 수 없이 흘러내리는 형태로 톱밥의 양이 약 2-3 배 정도 더 들어간다고 하면 소요 작업 시간은 다시 더 늘어날 것이다.

### 유기비료화 가능성 - 최종 처리물의 유기비료로서의 가치

최초의 오물을 2003년 8월 20일에 건조장으로 넣고 10월 16일에 톱밥과 섞어 쌓아둔 결과 약 2개월 후에는 냄새도 없어지고 쌓아둔 가운데 부분의 색깔도 검은 색이 없어진 것으로 보아 퇴비로서의 가치가 있을 것으로 생각되었다. 비료로서의 가치는 톱밥이 섞여서 기존의 흙과는 달리 상당한 공기의 양을 포함하여 부드러우므로 비료뿐만 아니라 화초 화분의 흙으로 더욱 적당할 것으로 추정된다.

### 경제성 검토 및 최종 방안 결정

초기 건조되는 속도와 부형제를 넣어서 처리하는 것을 종합하여 보면 와류형오물분리장치에 모인 오물은 약 1개월 간격으로 퍼내어 건조장으로 옮기고 약 3주가 지난 후 톱밥 또는 왕겨 등의 부형제를 섞어 퇴비장으로 옮기는데 톱밥의 경우 침전물 용량 1에 대하여 0.75의 비율로, 왕겨의 경우 1의 비율로 섞는 것이 공기의 양이 많아 건조와 발효를 촉진시킬 것으로 판단된다.

#### (4) 포말 분리 장치에 의한 미세 부유물의 처리

포말분리법은 수중의 현탁물질을 제거하므로써 수중의 SS는 물론 BOD와 COD를 낮추고 단백질을 제거하므로써 수중 유기물 농도를 낮추는데 크게 기여하고 있다. 포말분리를 이용하여 수중의 SS를 제거하는 실험 결과 영향을 미치는 요인으로는 수중의 유기물의 농도, 기·액 계면의 접촉 시간 및 면적 등으로 조사되었고 효율은 최적 조건일 때 수중 단백질 16.6g/m<sup>3</sup>일 때 제거량은 0.99g/day, 21.9g/m<sup>3</sup>일 때는 2.5g/day로 나타났고, SS의 일간 제거율은 수중의 농도에 따라 0.2g-0.8g/day로 나타나 단백질과 같이 효과가 많이 나타났다. COD의 제거효율은 수중에 농도가 30g/m<sup>3</sup> 일 경우에 일간 제거율이 1.6g/day로 나타나 좋은 효율을 보였다. 따라서 수중에서의 단백질이나 SS 및 COD를 포말에서는 각각 3.2배, 10.2배 및 8.5배나 농축된 것으로 조사되어 유수식 양어장에서의 최종 배출수의 수질 저해 인자를 제거하는데 효과가 좋았다. 따라서 포말분리법은 와류형 오물분리기에 침전되지 않고 통과하여 나오는 미세 현탁 입자를 제거하는데 크게 기여하는 것으로 나타났다. 따라서 와류형 오물분리기를 통과하여 재침전시킨 후 자연수계에 배출하기 전에 포말분리 장치를 이용하여 배출수의 수질을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 기여도

### 가. 양식 현장에의 기여

현장에서 바로 사용할 수 있는 대형 와류형 오물 분리 장치를 설계, 설치하여 성능을 조사한 바 특히 침전 가능한 고형물의 침전이 잘 되어 효율이 아주 높았으며 무지개송어를 사육하고 있는 곳에서 직접 시험하고 조사하였으므로 현장에 그대로 적용할 수 있는 결과로 우수식 양식장의 배출수 처리에 획기적인 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 나. 학술지 발표

이 외에 학술지에 발표 또는 출판된 논문 목록은 아래와 같으며 어류양식 및 수처리 분야에 크게 기여하였다. 현재까지 본 연구과 관련되어 학술지에 발표된 논문은 13편이며 학술대회에 발표는 18건이었다.

#### 학술지 논문

김병진, 김성구, 서근학. 2003. Floating bead filter에 의한 순환여과식 양식장의 부유고형물 제거와 질산화. 한국수산학회지 36(2):163-169.

서근학, 김병진, 이정훈, 임준혁, 이경범, 김용하, 조재윤. 2003. 해수의 포말분리시 공기분산기기공크기 영향. 한국수산학회지 36(3):254-262, 2003.

오승용, 조재윤, 김종만. 2003. 회전속도와 수리학적 체류시간이 회전원판식 (Rotating Biological Contactor; RBC) 여과조의 암모니아 제거에 미치는 영향. 한국양식학회지 16(3):142-150.

Peng, Lei, Sung-Yong Oh, Jae-Yoon Jo. 2003. Protein removal by a foam fractionator in simulated seawater aquaculture system. Ocean and Polar Research 25(3):269-275.

Peng, Lei, Sung-Yong Oh, Jae-Yoon Jo. 2003. Organic matter and hydraulic loading effects on nitrification performance in fixed film biofilters with different filter media. Ocean and Polar Research 25(3):277-286.

마진석, 오승용, 조재윤. 2003. 수생식물을 이용한 담수 순환여과식 양식용수내의 무기영양염 처리 효율. 한국양식학회지 16(3):171-178.

서근학, 신정식, 이주화. 2003. 포말농축물에 의한 포말생성의 영양인자. 한국수산학회지 36(5):509-514.

서근학, 김병진, 김성구. 2003. 고정화 미생물을 이용한 공기부상식 생물반응기에 의한 순환여과식 양식장의 순환수 처리. 한국수산학회지 36(6):661-668.

- Peng, Lei and Jae-Yoon Jo. 2003. Nitrification efficiency in fixed film biofilters using different filter media in simulated seawater aquarium system. *Journal of Aquaculture* 16(4):203-209.
- Peng, Lei and Jae-Yoon Jo. 2003. Removal of total suspended solids by a foam fractionator in a simulated seawater aquaculture system. *Journal of Aquaculture* 16(4):216-222.
- Peng, Lei, Sung-Yong Oh, Jae-Yoon Jo. 2003. Performance of a lab-scale closed seawater recirculating system for Korean rockfish *Sebastes schlegeli* culture. *Ocean and Polar Research* 25(4):493-501.
- Peng, Lei, Sung-Yong Oh, Jae-Yoon Jo. 2003. Chemical budgets in intensive carp ponds. *Journal of Fisheries Science and Technology* 6(4):194-202.
- Peng, Lei, Jae-Yoon Jo. 2003. Performance of a foam fractionator in a lab-scale seawater recirculating aquaculture system. *Journal of Fisheries Science and Technology* 6(4):187-193.

학술대회 논문 발표

- Kuen-Hack Suh. 2003. Removal of protein and TSS by a foam separator. BIT-PKNU Joint Conference on Advanced Engineering 2003, March 20-23, Beijing, China. Abstract 158-161.
- Taoka, Yousuke, Jae-Yoon Jo, H. Maeda, S.C. Bai, and W.J. Lee. 2003. Effects of probiotics on growth and immune responses in olive flounder and on water quality. 수산관련학회공동학술대회 (2003. 5. 16-17). 부산 BEXCO, 요약집. 201-202.
- Peng, Lei, and Jae-Yoon Jo. 2003. Solids removal by foam fractionator in simulated seawater aquarium system. 수산관련학회 공동학술대회 (2003. 5.16-17). 부산 BEXCO, 요약집 219-220.
- Peng, Lei, and Jae-Yoon Jo. 2003. Nitrification efficiency of biofilters containing different filter media in simulated seawater aquaculture system. 수산관련학회공동학술대회 (2003. 5.16-17). 부산 BEXCO, 요약집 203-204.
- Peng, Lei, and Jae-Yoon Jo, and S.Y. Oh. 2003. Chemical budgets for intensive carp

- ponds. 수산관련학회 공동학술대회 (2003. 5.16-17). 부산 BEXCO, 요약집 223-224.
- Peng, Lei, and Jae-Yoon Jo. 2003. Performance of foam fractionator in seawater recirculating system. 수산관련학회 공동학술대회 (2003. 5.16-17). 부산 BEXCO, 요약집 221-222.
- 오승용, 노충환, 홍경표, 조재윤, 김종만. 2003. 한국산 선발계통, 일본산 양식계통, 그리고 이들 두 계통간 잡종 참돔 집단 수온과 광주기 변화에 따른 산소 소비율. 한국양식학회 추계 학술대회 요약집 (2003. 10. 24-25), 강릉대학교, 요약집 114-115.
- Suh, Kuen Hack, Jeong Sik Shin. 2003. Characteristics of protein and TSS removal by counter current air driven type, high speed aeration type and venturi type foam separator in aquacultural water. Proceeding of the 2003 International Symposium on Advanced Engineering. Nov. 13-15, Busan, Korea. p. 323-326.
- 신정식, 이주화, 서근학. 2003. 담수에서의 안정적인 포말분리를 위한 포말생성 영향인자. 생물공학회 2003 춘계학술발표대회 (4. 12). 부경대학교. 요약집 331-333.
- 이주화, 신정식, 서근학. 2003. 해수의 포말생성 영향인자 고찰. 생물공학회 2003 춘계학술발표대회 (4. 12), 부경대학교. 요약집 371-373.
- 신정식, 이주화, 서근학. 2003. 해수에서 포말생성 영향인자. 화학공학회 2003 춘계학술대회 (4. 26), 순천대학교. 요약집 87.
- 신정식, 이주화, 서근학. 2003. 담수에서 포말생성 영향인자. 화학공학회 2003 춘계학술대회 (4. 26), 순천대학교. 요약집 88.
- 정수경, 김용하, 서근학. 2003. 전기응집과 전기분해 조합시스템에 의한 폐수내 오염물 제거. 화학공학회 2003 춘계학술대회 (4. 26), 순천대학교. 요약집 113.
- 신정식, 서근학, 이창근. 2003. 포말분리를 위한 포말생성 특성 고찰. 화학공학회 2003 추계학술대회 (10. 24). 한양대학교, 요약집 120.
- 정수경, 김용하, 서근학, 정종식. 2003. 염색폐수의 처리에서 전기화학적 조합시스템의 평가. 화학공학회 2003 추계학술대회 (10. 24). 한양대학교, 요약집 105.
- 정수경, 김용하, 서근학. 2003. 염색폐수의 처리에서 전기화학적 조합시스템의 평가. 화학공학회 부산경남지회 세미나 2003 (12. 23) 부경대학교, 요약집 109.
- 이창근, 신정식, 서근학. 2003. 포말분리를 위한 포말생성 특성 고찰. 화학공학회 부산경남지회 세미나 2003 (12. 23) 부경대학교. 141.
- 이창근, 신정식, 서근학. 향류 공기구동식, 고속폭기식 및 벤츄리식 포말분리기에 의한 양어장 수의 단백질 및 부유고형물의 제거 특성. 화학공학회 부산경남지회 세미나 2003

## 제 3절 3차년도 목표 달성도 및 관련분야 기여도

### 1. 목표 달성도

#### 가. 미세 침전물 제거 장치 설계 및 현장 설치

##### (1) IBK 침전 여과조 현장 설치

실험이 이루어진 시스템은 양식장에서 배출되는 배출수를 sump에 모아 원형 와류형 침전조를 통과시켜 배출수를 1차 처리를 한 후, 처리된 배출수를 IBK 생물여과조로 유입시켜 2차 처리가 되도록 하였다. 본 장치에 이용된 버티칼펌프(2.2 Kw, 1720 rpm)는 양수량이 평균 65m<sup>3</sup>/h였다. IBK 침전 여과조 크기는 4×3.7×1.7 m 였으며 2개가 설치되어 한개를 청소할 경우 한 곳을 계속해서 쓸 수 있도록 하였다. IBK 침전 여과조는 그 속에 여과재료가 corrugated plastic 판이고 형태와 설치 모양이 독특할 뿐만 아니라 골 판의 산과 골마다 침전물이 침전할 수 있는 면적으로 된다. 따라서 여과재료가 동일 한 바닥 면적의 40배에 해당하는 침전면적을 제공하고 유속이 0.5cm/sec 이하로 지나갈 뿐만 아니라 침전 거리가 최대 3.1cm 밖에 안 되기 때문에 아주 미세한 고형물질도 침전시킬 수 있다. 따라서 와류형 오물분리 침전조에서 걸러지지 않은 미세 침전물을 거를 수 있게 되어 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리에 한층 더 효율을 높일 수 있게 되었고 성공적으로 설계, 설치 되었다.

##### (2) IBK 침전 여과조의 고형물 제거 능력

IBK 침전 여과조의 성능을 수질 분석 결과를 통하여 조사한 결과 IBK 침전 여과조를 통한 2차 처리에서 모든 부유성고형물이 매우 효과적으로 제거되어, TSS, 부유성고형물 및 침전성고형물의 제거효율이 각각 28.4-54.4%, 24.8-49.1%, 65.3-90.3% 범위였으며, 제거량은 각각 2.854kg/day, 2.0kg/day, 0.854kg/day 범위로 조사 되었다. 이 IBK 침전 여과 장치는 COD 제거에도 매우 효과적으로 제거율은 5.1-22.5% 였고, 제거량은 2.546kg/day 범위로 조사되었다. 더욱이 IBK 침전 여과조는 원형 와류 침전조와 달리 총암모니아(TAN)와 NO<sub>3</sub>가 일부 제거되는 것으로 나타났다. 그러나, NO<sub>2</sub>와 PO<sub>4</sub>는 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 나. 내수면 유수식 양식장 배출수 처리 시설 설계

##### (1) IBK 침전 여과조

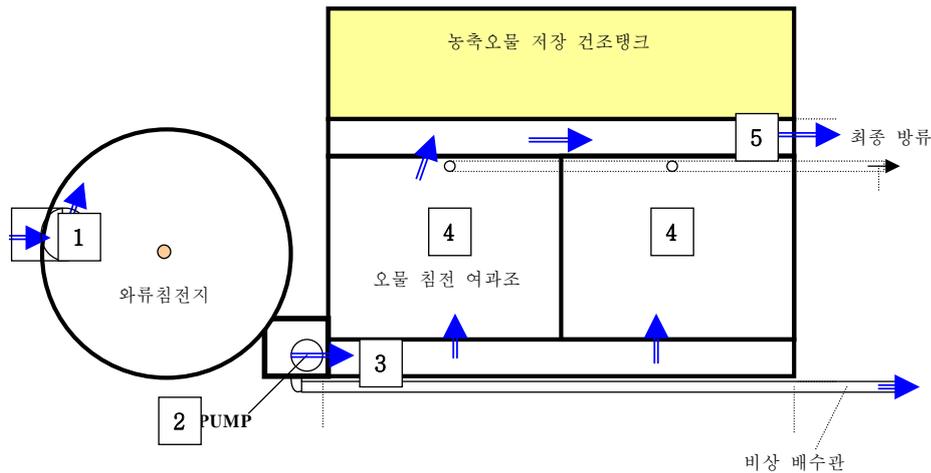


Figure 3.37. Schematic diagram of IBK system was used in the rainbow trout farm waste water treatment.

- 1, Wastewater inflow from fish farm; 2, An axial flow vertical pump;
- 3, Inflow water to biofilter system, 4, biofilter; 5, Outflow from biofilter

## 2. 기여도

### 가. 양식 현장에의 기여

현장에서 바로 설치 사용할 수 있는 우수한 성능의 IBK 침전여과조의 개발로 양식산업 자체 뿐만 아니라 미세한 유기 침전물을 제거하여 배출하므로써 친환경양식이 가능하게 하였고 자연 수계의 환경보호 차원에서도 크게 기여하게 되었다.

### 나. 학술지 발표

이 외에 학술지에 발표 또는 출판된 논문 목록은 아래와 같으며 어류양식 및 수 처리 분야에 크게 기여하였다. 현재까지 본 연구과 관련되어 출원한 특허가 1건, 학술지에 발표된 논문 8편이며 학술대회에 발표는 11건

#### 특허출원 (2004)

출원번호: 10-2004-0016781

-출원일: 2004.03.12

-명칭: 미세비드 여과장치

-출원인: 대한민국(부경대학교 총장)

-발명자: 김인배, 조재운

-심사청구: 청구

-특허청 수수료: 면제(사유: 국가)

학술지 논문 (2004년도)

Lei Peng, Sung-Yong Oh, and Jae-Yoon Jo. 2004. Design of closed seawater recirculating aquaculture system for Korean rockfish *Sebastes schlegeli* culture. Ocean and Polar Research 26(1):103-112.

Lei Peng and Jae-Yoon Jo. 2004. Performance of a recirculating aquarium system for the culture and holding of marine fish. J. Fish. Sci. Tech., 7(2):76-83.

서근학, 신정식, 이창근, 이석희, 천재기, 조재윤. 2004. 해수활어수조의 포말분리시 단백질농도의 영향. 한국수산학회지 37(1):18-23

김병진, 신정식, 정호수, 나인걸, 이민수, 서근학. 2004. 활어수조에서 포말분리에 의한 오염물 제거시 수력학적 체류시간 영향. 한국수산학회지 37(2):85-90

신정식, 김병진, 서근학. 2004. 해수 및 담수에서 포말형성 영향. 한국수산학회지 37(3):179-185

서근학, 신정식, 조재윤. 2004. 해수활어수조에서 붕장어와 넙치에 의한 오염물 발생량 산정. 한국수산학회지 37(6):492-487

신정식, 이창근, 정호수, 이민수, 이진경, 서근학. 2004. 해수활어수조에서 넙치 사육시 포말 분리 장치를 이용한 오염물 제거. 한국수산학회지 37(6):492-487

Su-Hee Shin, Yong-Ha Kim, Su-kyong Jung, Kuen-Hack Suh, Shin-Gyung Kang, Sun-Kwang Jeong & Hang-Goo Kim. 2004. Combined performance of electrocoagulation and magnetic separation processes for treatment of dye wastewater. Korean. J. Chem. Eng. 21(4):806-810

학술대회 발표논문 (2004)

Muslim, In-Bae Kim, Jae-Yoon Jo. 2004. Suspended solid removal efficiency of IBK system biofilter in a semi-recirculation rainbow trout farm. pp. 135-136. 한국양식학회 추계 술발표대회. 2004. 10.22. 한국해양연구원.

Muslim, In-Bae Kim, Jae-Yoon Jo. 2004. Efficiencies of a circular sedimentation tank on solid waste removal from effluent water of semi-recirculation rainbow trout farm. pp. 133-134. 한국양식학회 추계 학술발표대회. 2004. 10.22. 한국해양연구원.

Muslim, In-Bae Kim, Jin Hwan Lee, Jae-Yoon Jo. 2004. Effects of different feeding regimes on ammonia excretion and feces production of fingerling rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. The 7th Asian Fisheries Forum 04. The Triennial Meeting

- of the Asian Fisheries Society. pp. 101. Nov. 30-Dec. 4, 2004. Penang, Malaysia.
- Kim, Kang-Woong, Xiaojie Wang, Jae-Yoon Jo, Jeong-Yeol Lee and Sungchul Bai. 2004. An Overview and prospective of Aquaculture in Korea. Aquaculture-An Ecologically Sustainable and Profitable Venture, World Aquaculture Society Conference. pp. 292. March 1-5, 2004. Hawaii Convention Center, Hololulu, Hawaii, USA.
- Jeong-Sik Shin, Chang-Kuen Lee, Ho-Su Jeong, Jin-Kyung Lee and Kuen-Hack Suh 2004. Removal of protein and TSS by a Foam Separator. 2004 Korea/Japan/Taiwan Chemical Engineering Conference, Nov.2-4, Busan, Korea.
- Su-Kyong Jung, Yong-Ha Kim, Ho-Soo Jeong, Kil-Yoon Kang and Kuen-Hack Suh. 2004. A combined method of electrocoagulation and electrolysis in the treatment of dye wastewater. The Ninth Asian Conference on Fluidized-Bed and Three-Phase Reactors, Nov.21-24, Wanli, Taiwan
- 신정식, 정호수, 서근학. 2004. 활어수조의 포말분리-단백질 농도 영향. 화학공학회 2004 춘계 (4.23공주대학교)/61
- 신정식, 정호수, 서근학. 2004. 활어수조의 포말분리-수력학적 체류시간 영향. 화학공학회 2004 춘계(4.23 공주대학교)/64
- 서근학, 신정식, 이창근, 정호수, 이진경. 2004. 담수와 해수에서의 포말생성특성. 수산관련 공동학회 04년 (5.13부산 BEXCO 컨벤션센터)/185-186
- 서근학. 2004. 포말분리법을 이용한 해수의 수질관리. 한국양식학회 전문가 세미나 2004.1.6 (부경대학교).
- 서근학. 2004. 포말분리장치의 효율성 및 개발현황. 국립수산과학원 04.9.14 국립수산과학원어류 연구센터

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1절 내수면 유수식 양식장의 배출수 처리 설계도 보급

#### 1. 표준 설계도 보급

##### 가. 기술 이전

현재 개발 되어 있는 설계도 (Fig. 3.35)를 필요로 하는 양식장에 기술 이전하여 시설하도록 장려한다. 그러나 영세한 어민들이 독자적으로 기술 이전을 받아 배출수 처리장을 시설하기에는 경제적인 문제가 가장 크므로 해양수산부의 지원이 절실하게 필요하다. 이 것은 앞으로 국민이 환경에 대한 관심이 증가하면서 국가가 생산 산업 장려와 자연 환경 보호라고 하는 두 가지의 상충되는 목적을 달성해야 하기 때문에 법률의 제정과 시행을 앞두고 경과 조치로서 배출수 처리 시설을 하도록 장려하고 지원이 필수적이다.

##### 나. 현장 기술 지도

표준 설계도가 있어도 배출수 처리 시설을 시공하는 것은 경험이 필요하기 때문에 현장 시공에 설계도를 읽고 해석하고 시공하는 기술 지도가 있어야 잘 못 시공에 의한 경제적인 손실을 줄일 수 있다. 따라서 정부에서 배출수 처리 시설을 적극적으로 장려하고 지원한다면 부경대학교 또는 국립수산과학원 등의 교육 시설과 연계하여 전문가를 양성하는 프로그램을 운영하여 현장에서 직접 지도할 산업 요원들의 교육도 해야 한다.

#### 2. 기타 부수적인 기술 이전

##### 가. 양어 기술

양식장을 경영하는 양식어민들은 언제나 사육어류의 빠른 성장을 첫 번째 성공요인으로 생각하고 있기 때문에 사료 공급 기술이나 수질 관리 기술 등의 이전이 필요하다. 이러한 기술은 배출수의 수질 오염과 밀접한 관계가 있다. 즉, 사료 공급을 적절히 조절하지 못하면 사료를 과다하게 줄 가능성이 있고 과다한 사료 공급은 사료 효율을 떨어뜨리며 분의 발생을 증가시키는 동시에 잉여 사료의 발생을 야기하여 배출수에 과다한 유기물이 섞여 나오게 되는 경우가 많다. 이런 경우 나빠진 사료 효율로 인하여 양식장 경영에 압박 요인이 될 뿐 아니라 사육 시스템 내에 증가하는 유기물 농도로 인하여 세균이나 원생동물의 밀도가 증가하여 질병 발생 빈도가 높아 이 또한 경영 압박 요인이 되어 어민들의 경영 수지는 물론 자연 환경보호에도 적신호가 된다. 따라서 배출수 처리 시설 기술의 이전과 더불어 사료를 적절하게 먹일 수 있는 양어 기술의 이전도 필요하다.

#### 나. 수질 관리 기술

양어장의 수질은 사육 동물이 그 속에서 먹고 잠자고 배설하고 헤엄치는 장소로 건강한 양식 동물을 키우는데 가장 중요한 요인들 중의 하나이다. 수질관리를 잘 하여 환경을 깨끗이 해주면 양식의 절반은 성공한 것과 같다. 그러나 어민들은 물은 알고 있어도 그 물의 수질 조건은 알 수 없으므로 수질 관리를 소홀히 하여 양식 효율을 떨어뜨리는 경우가 많다. 따라서 사료 공급 기술 등의 양식 기술과 더불어 수질 관리 기술도 함께 보급한다면 양식에 성공할 수 있는 확률도 높고 또한 자연 보호에도 크게 이바지 할 수 있다.

#### 다. 특허 기술 보급

현재 수질 관리 기술 중에 하나인 생물여과에 의한 수질 관리 기술인 “미세 비드 여과 장치”를 국립수산과학원 울진 어류양식연구소에 이전하여 사용하게 하고 있다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

가장 최근에 출판된 양식장 배출수 처리 방안에 관한 것은 Robert Summerfelt 교수와 Richard Claytonr 교수가 편집하고 미국 Iowa 주의 Ames 소재 Iow State University 에서 2003년 9월에 열린 양식장 배출수 처리에 관한 심포지엄에서 나온 “Proceedings of Aquaculture Effluents” (2003)이다. 여기에 수록된 발표 논문들은 사례 연구 논문을 비롯하여 미국 환경보호국의 기준과 가축 농장에서의 예 등 단편적인 연구 및 관찰 결과들이 수록 되었고 우리의 실험과 같은 종합적인 연구는 없었다. 따라서 선진국이라고 하더라도 아직은 배출수 처리에 대한 포괄적인 방법을 제시한 것은 없다. 따라서 배출수 처리에 대한 해외과학기술 정보는 거의 없다고 하여도 과언이 아니다.

## 제 7 장 참고문헌

- 동해안축양협회, 1994. 넙치양식장 배수가 인근 해역의 환경에 미치는 영향. 동해안축양협회. 322 pp.
- 마진석, 오승용, 조재윤. 2003. 수생식물을 이용한 담수 순환여과식 양식용수내의 무기영양염 처리 효율. 한국양식학회지 16(3):171-178.
- 배승철 · 이경준 · 장혜경. 1996. 조피볼락의 사료 내 비타민 C 요구량 설정을 위한 기초연구, 한국양식학회지, 9(2):169-178.
- 서근학, 김병진, 이정훈, 임준혁, 이경범, 김용하, 조재윤. 2003. 해수의 포말분리시 공기분산기 기공크기 영향. 한국수산학회지 36(3):254-262, 2003.
- 송민헌 · 이경준 · 배승철. 1995. 성장기 잉어 (*Cyprinus carpio*) 사료에 있어서 단백질 사료원으로서의 혈분 첨가효과. 한국양식학회지, 8(4):343-354.
- 수산청, 1995. 육상양식장 배출수 처리방법에 관한 연구. 제주대학교부설 해양연구소. 55 pp.
- 오승용, 2001. 나일틸라피아의 질소부하율과 회전원판식 여과조의 질산화 효율. 부경대학교. 박사학위논문. 155 pp.
- 오승용, 조재윤, 김종만. 2003. 회전속도와 수리학적 체류시간이 회전원판식 (Rotating Biological Contactor; RBC) 여과조의 암모니아 제거에 미치는 영향. 한국양식학회지 16(3):142-150.
- 이진환, 1996. 어린 넙치에 대한 습식, 연성, 부상 사료의 소화율 및 성장률 비교. 부경대학교. 석사학위논문. 45 pp.
- 이진환, 2004. Design and performance of low-pressure hydrocyclone for solids removal in a recirculating aquaculture system. 부경대학교. 박사학위논문. 112 pp.
- 조재윤, 1997. 유럽공동체내에서의 양어장 배출수와 그 규제. 한국양식. 한국양식학회. p. 87-105.
- 해양수산통계연보, 2000. 해양수산통계연보. 해양수산부. 1422 pp.
- Alexis, M. N., E. Papaparaskeva-Papoutsoglou and V. Theochari, 1985. Formulation of practical diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) made by partial or complete substitution of fish meal by poultry by-products and certain plant by-products. Aquaculture, 50: 61-73.
- Babin, P. J. 1987a. Apolipoproteins and the association of egg yolk proteins with plasma high density lipoproteins after ovulation and follicular atresia in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Biol. Chem., 262:4290-4296.
- Bergheim, A. and S. J. Cripps, 1998. Effluent treatment and sludge processing on Norwegian land-based fish farms. Recirc Today 1(2):17-19.
- Bradley D. 1965. The Hydrocyclone, Pergamon Press, New York, USA.
- Chen, Y.Q. and Gu, X.G., 1993. An ecological study of red tides in the East China Sea. In:

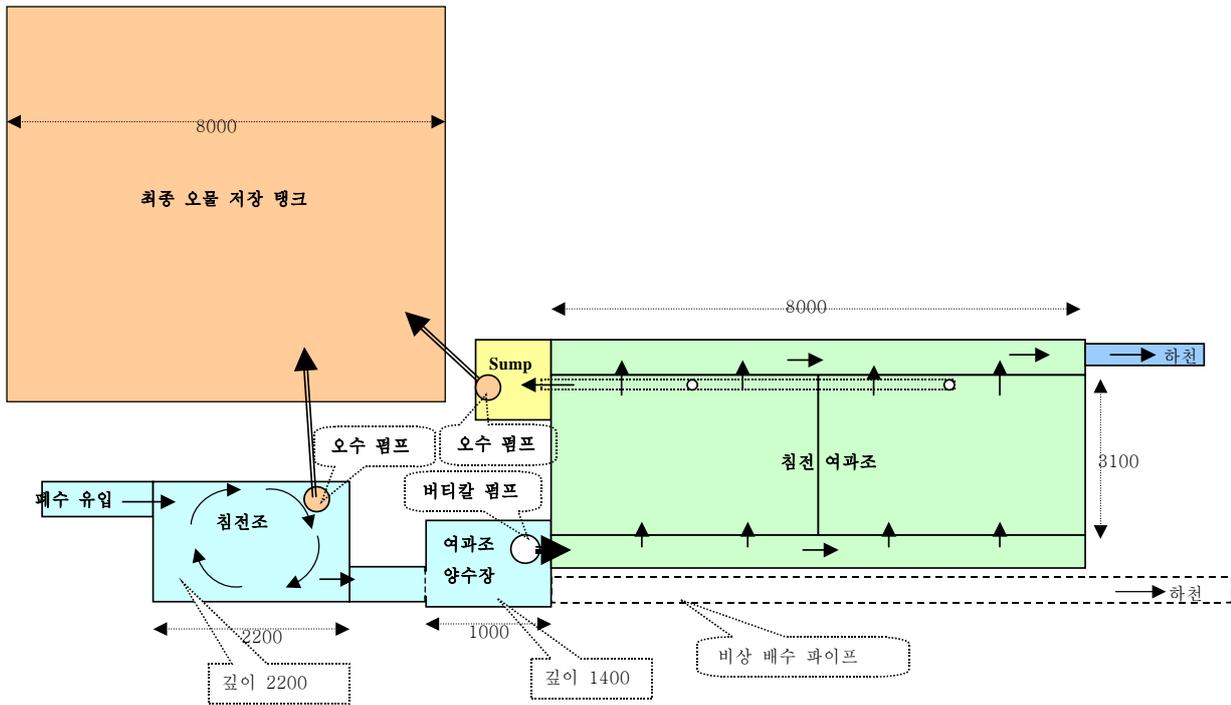
- Smayda, T.J., and Shimizu, Y. (Eds.). Toxic phytoplankton blooms in the sea. Proc. Fifth Int. Conf. On Toxic Marine Phytoplankton. Newport, Rhode Island, U.S.A. pp. 217-221.
- Corbitt, R. A. 1990. Standard Handbook of Environmental Engineering. New York, McGraw-Hill
- Cowey, B.B., J.W. Adron and A. Youngson. 1983. The vitamin E requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing polyunsaturated fatty acids derived from fish oil. *Aquaculture*, 30:85-93.
- Dall, W. and Smith, D.M., 1986. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswell. *Aquaculture*, 55, 23-33.
- FES, 1992. Fish farm effluents and their control in EC countries. Federation of European Salmon and Trout Growers. 30 pp.
- Garling, D.L. Jr. and R.P. Wilson, 1977. Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish. *Prog. Fish-Cult.*, 39:43-47.
- Kikuchi, K., T Furuta and H. Honda. 1994. Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Sci.*, 60(2): 203-306.
- Langer, J., S. Efthimou, H. Rosenthal, and P. Bronzi. 1999. Drum filter performance in an eel culture unit. *Recirc Today* 1(4):11-12.
- Lawson, T. 1995. Fundamentals of Aquaculture Engineering. Chapman & Hall. New York.
- Mosconi-bac, N. 1987. Hepatic disturbances induced by an artificial feed in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during the first year of life. *Aquaculture*, 67:93-99.
- Murai, M., Goshima, S. and Nakasone, Y., 1982. Some behavioral characteristics related to food supply and soil texture of burrowing habitats observed on *Uca vocans vocans* and *U. lactea perplexa*. *Marine Biology*, 66:191 - 197.
- Parks S. M. 1997. Relaxation model for homogeneous turbulent flows, PhD dissertation, Michigan State University, USA.
- Parks S. M., K. Weispfennig and C. A. Petty. 1998. An algebraic preclosure theory for the Reynolds stress, *Physics of fluids*, Vol. 10(13), p.645-653.
- Peng, Lei, Sung-Yong Oh, J.-Y. Jo. 2003. Protein removal by a foam fractionator in simulated seawater aquaculture system. *Ocean and Polar Research* 25(3):269-275.
- Peng, Lei, S.-Y. Oh, J.-Y. Jo. 2003. Organic matter and hydraulic loading effects on nitrification performance in fixed film biofilters with different filter media. *Ocean and Polar Research* 25(3):277-286.
- Peng, Lei and Jae-Yoon Jo. 2003. Nitrification efficiency in fixed film biofilters using different filter media in simulated seawater aquarium system. *한국양식학회지* 16(4):203-209.
- Peng, Lei and Jae-Yoon Jo. 2003. Removal of total suspended solids by a foam fractionator in a simulated seawater aquaculture system. *한국양식학회지* 16(4):216-222.

- Peng, Lei, Sung-Yong Oh, Jae-Yoon Jo. 2003. Performance of a lab-scale closed seawater recirculating system for Korean rockfish *Sebastes schlegeli* culture. *Ocean and Polar Research* 25(4):493-501.
- Peng, Lei, Sung-Yong Oh, Jae-Yoon Jo. 2003. Chemical budgets in intensive carp ponds. *Journal of Fisheries Science and Technology* 6(4):194-202.
- Peng, Lei, Jae-Yoon Jo. 2003. Performance of a foam fractionator in a lab-scale seawater recirculating aquaculture system. *Journal of Fisheries Science and Technology* 6(4):187-193
- Petty C. A. and S. M. Parks, 2001. Flow predictions within Hydrocyclones. AFS Society Presentation: Hydrocyclones July/August:28-34.
- Post, G., 1983. Nutrition and nutritional diseases of fish In : Textbook of fish health. TFH. Publications, Inc., Ltd., 199-207.
- Schwarz, M. 2000. Hampton summer flounder recirc system expansion. CFAST News 4(1): 1-2. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech.
- Solero, G. and A. Coghe, 2002. Experimental fluid dynamic characterization of a cyclone chamber. *Experimental Thermal and Fluid Science* 27:87-96.
- Sundstrom, D.W and H.E. Klei. 1979. Wastewater Treatment. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ. 444 pp.
- Summerfelt, S. and M. B. Timmons. 2000. Hydrodynamics in the 'Cornell-Type' dual-drain tank. p. 160-166. In Proceedings of the Third International Conference of Recirculating Aquaculture, July 19-21, Roanoke, VA
- Svarovsky, L. 1977. Hydrocyclones. In: Svarovsky, L. (Editor). Solids-liquid Separation, Butterworths, 333 pp.
- Svarovsky L. 1984. Hydrocyclones, Holt, Rinehart, and Winston, New York, USA.
- Watanabe, T., T. Takeuchi and M. Wada, 1981. Dietary lipid levels and  $\alpha$ -tocopherol requirement of carp, *Bull. Japn. Soc. Sci. Fish.* 47:1585 - 1590.
- Weaton, F.W. 1977. Aquaculture Engineering. Wiley-Interscience. New York. 708 pp.
- Weispfennig K. 1997. Relaxation/Retardation model for fully developed turbulent channel flow, PhD dissertation, Michigan State University, USA.
- Wilson, R.P., R.R. Bowser and W.E. Poe, 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 36: 37-48.

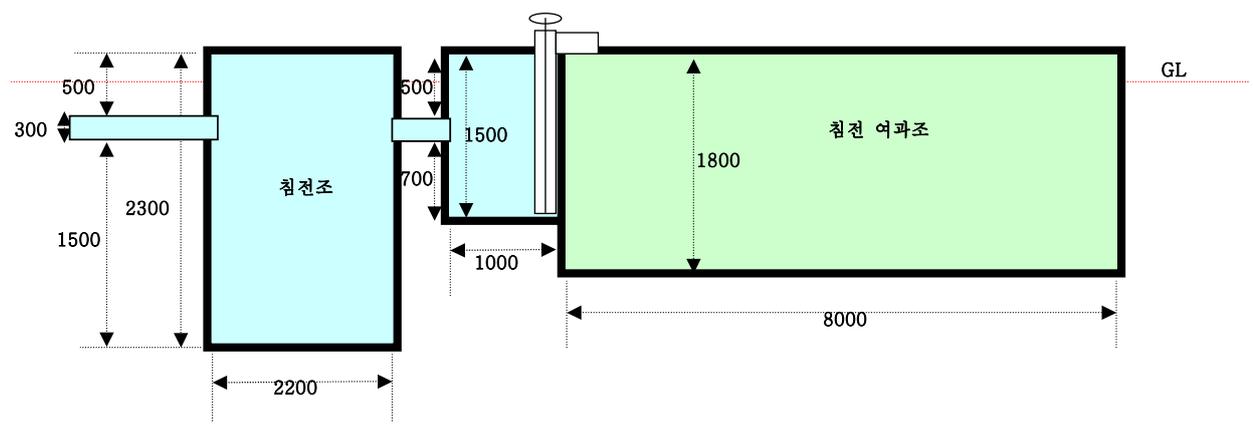
부 록  
APPENDIX

내수면 유수식 양식장 배출수 처리 시스템 설계도  
PLAN FOR EFFLUENT TREATMENT SYSTEM

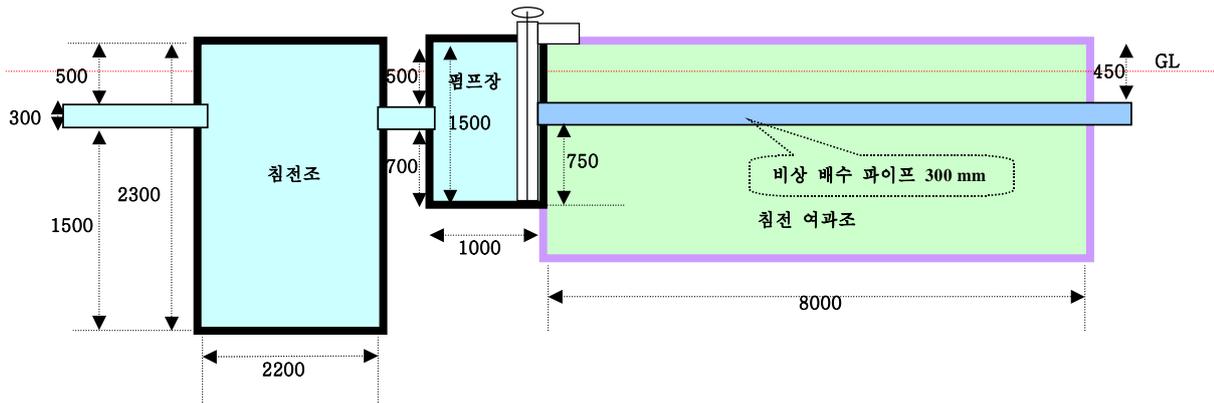
Final Effluent System 설계도면 1 (배치 평면도)



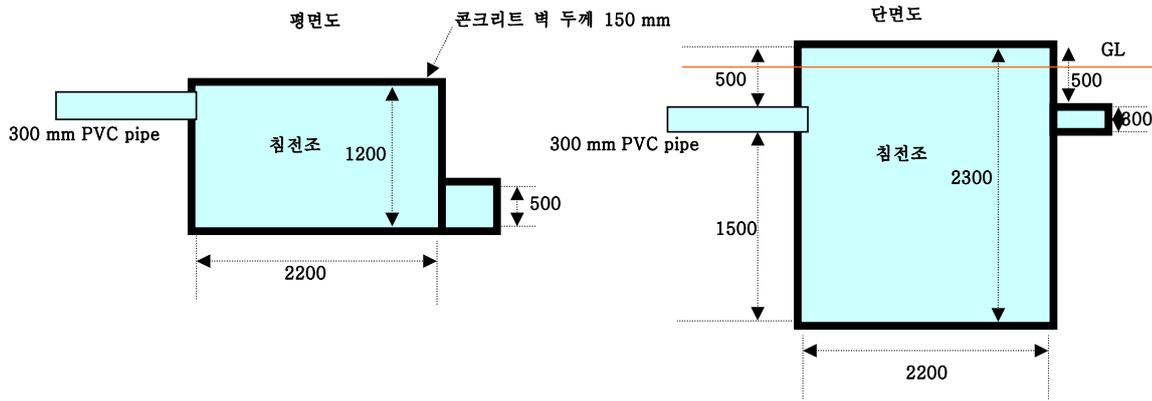
Final Effluent System 설계도면 2 (주요 부분 단면도)



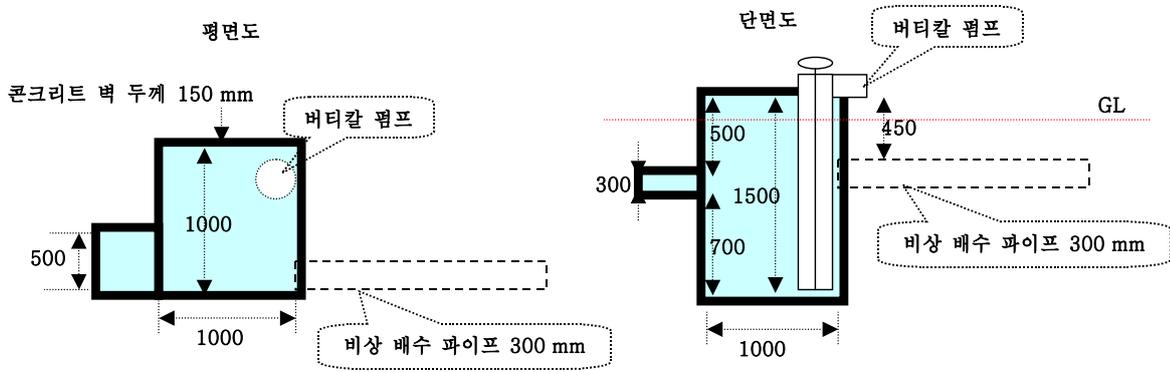
Final Effluent System 설계도면 3 (비상 배수 파이프 위치 표시 단면도)



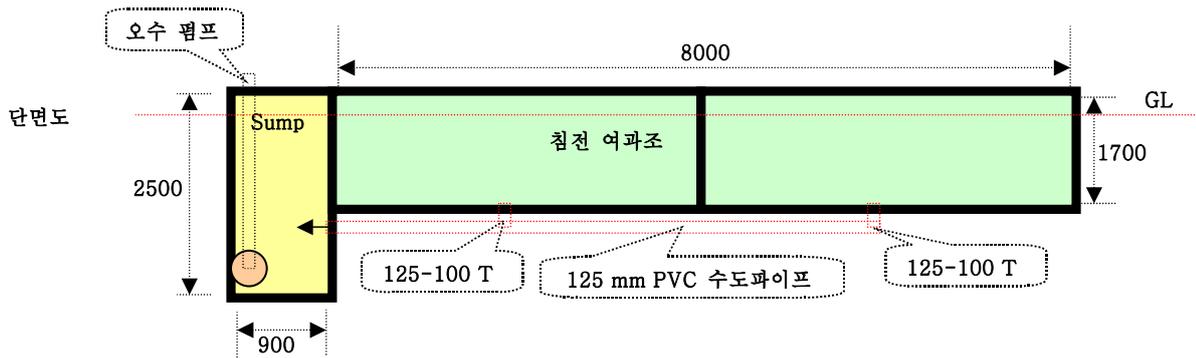
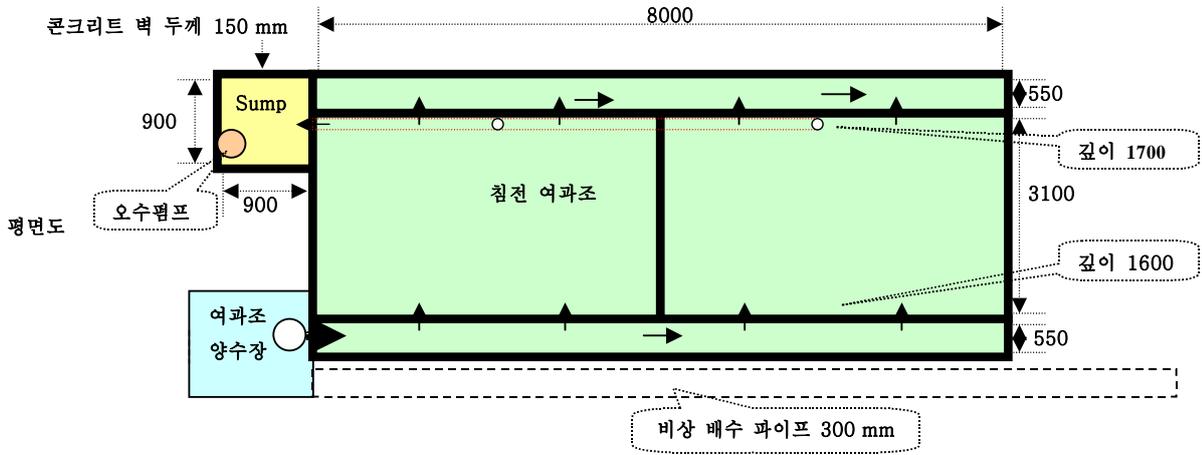
Final Effluent System 설계도면 4 (침전조 상세도)



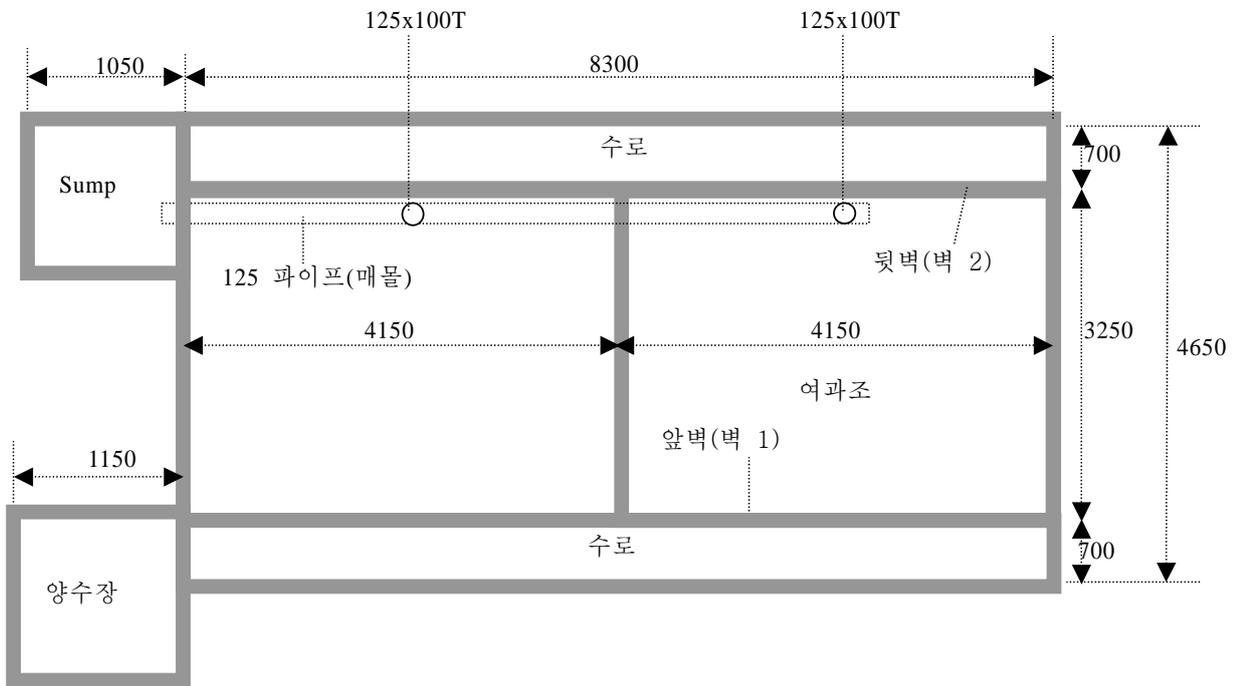
Final Effluent System 설계도면 5 (여과조 펌프장 상세도)



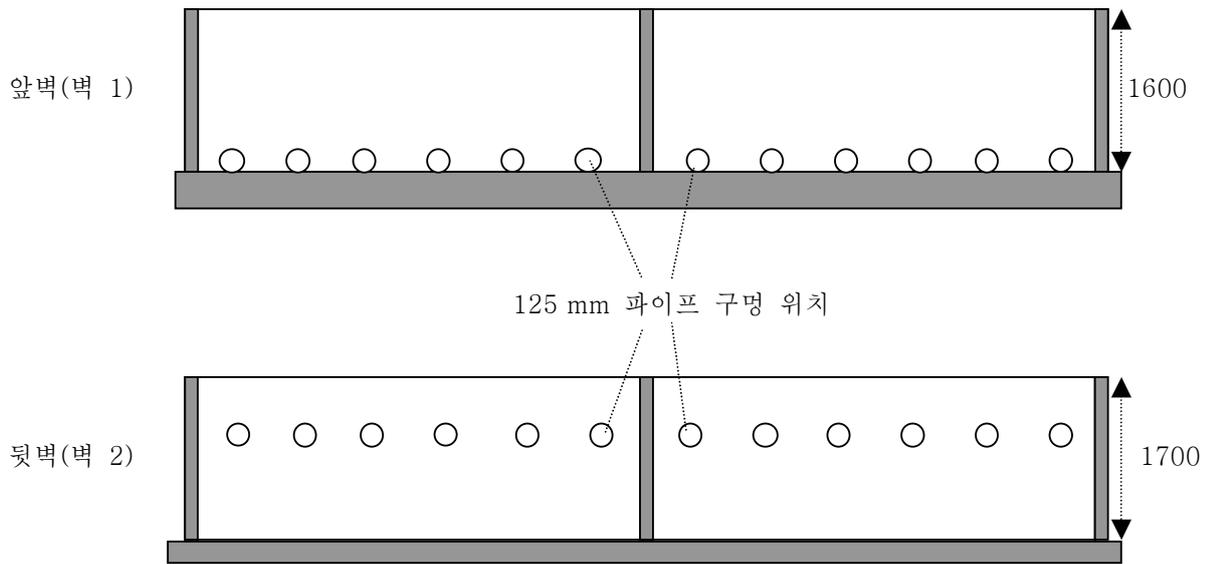
Final Effluent System 설계도면 6 (침전 여과조 개요)



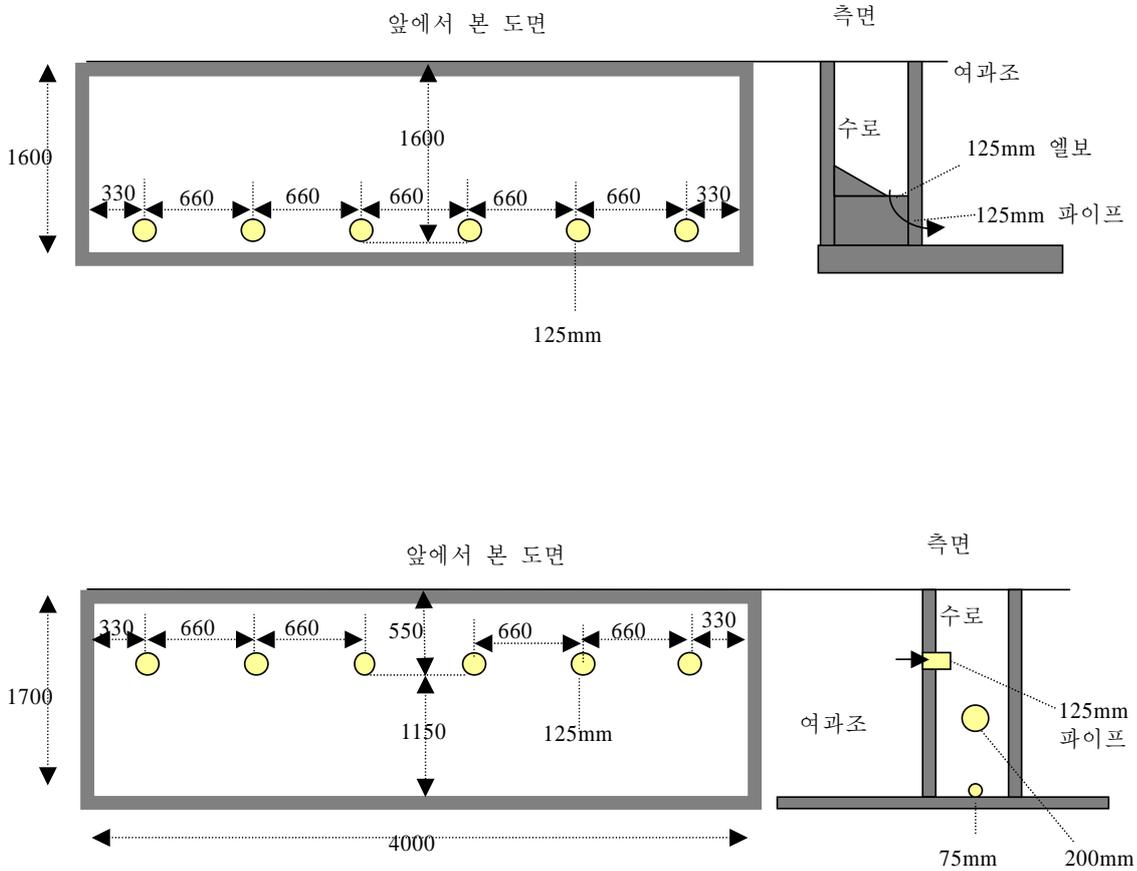
Final Effluent System 설계도면 7. 폐수처리용 여과조 시공용 평면도 1.



Final Effluent System 설계도면 8. 폐수처리용 여과조 시공용 평면도. 2. 여과 탱크 벽

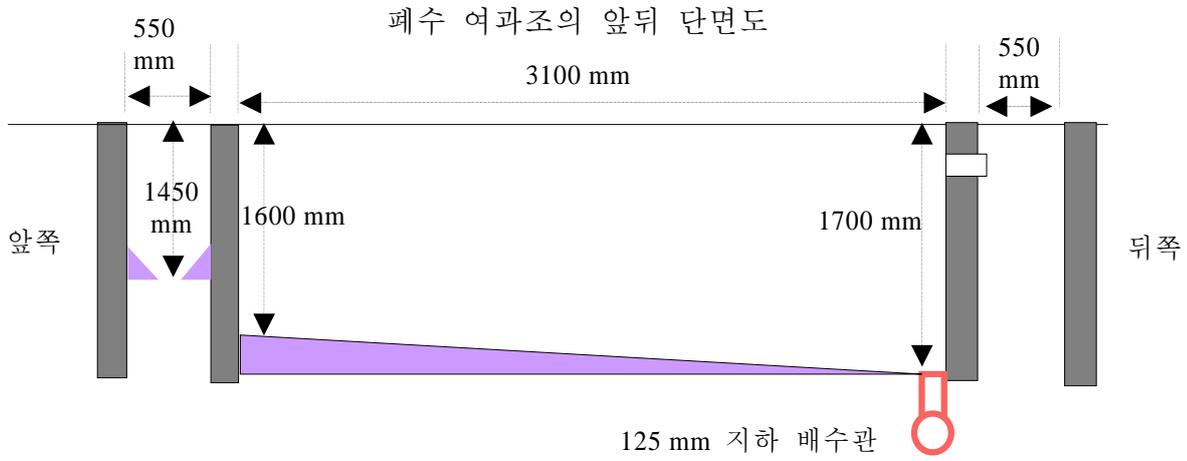


Final Effluent System 설계도면 9. 폐수처리용 여과조 시공용 평면도. 3. 여과 탱크 벽 상세도  
 1. 앞벽(벽1)

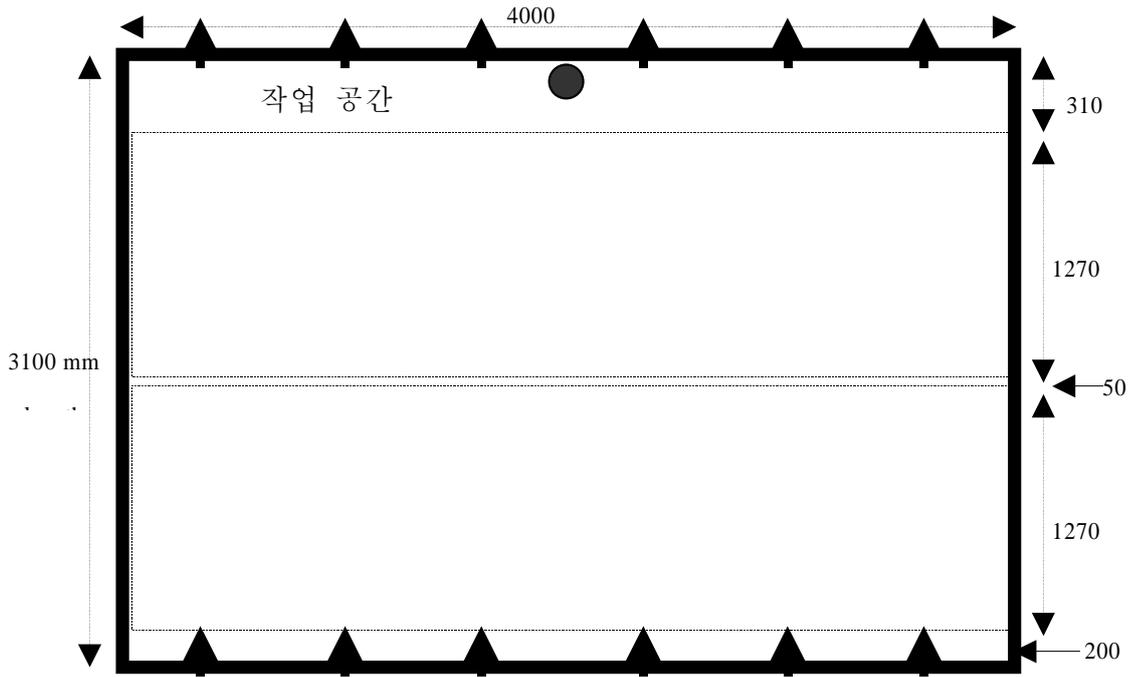


Final Effluent System 설계도면 10. 폐수처리용 여과조 시공용 평면도. 4. 여과 탱크 1개 전후 방향

단면도



Final Effluent System 설계도면 11. 폐수처리용 여과조 시공용 평면도. 5. 여과 탱크 IBK biofilter 여과재료 배치도



Final Effluent System 설계도면 12. 폐수처리용 여과조 시공용 평면도. 5. 여과재료 받침대 설치도  
 여과조1개당 재료 1.5치(45 mm) 각목 12자 12개

