

해양한국발전프로그램(KSGP)연구개발사업

# 연 구 보 고 서

외해 양식시스템의 양식생물 사육·관리기술 연구  
(Research on cultivation and maintenance  
technics for offshore aquaculturing system)

2004. 6. .

부경대학교 SG연구사업단

농림수산식품자료실



0014414

해 양 수 산 부

00

9.30732

140

## 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “외해 양식시스템의 양식생물 사육·관리기술에 관한 연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 6 월 일

대학(교)명 : 부경대학교  
사업단장 : 김 동 수  
연구팀장 : 윤 길 수  
참여교수 : 박 수 일

## 요 약 문

### I. 과 제 명

외해 양식시스템의 양식생물 사육·관리기술에 관한 연구

### II. 연구개발의 목적 및 필요성

#### 1. 연구개발의 목적

외해양식은 내만중심의 해산어류 양식산업이 갖는 근원적 문제인 연안오염과 그로인한 질병, 적조문제 등을 가장 적극적으로 해결할 수 있는 수단을 제공할 뿐 만 아니라, 통합양식관리(Integrated Aquaculture Management)의 실현을 위한 핵심요소로서 최근 몇몇 선진국에서 연구가 진행되고 있고, 우리나라에서도 양식개발의 필요성이 강하게 대두되고 있다. 그러나 외해양식은 방법적으로 높은 수준의 기술력을 필요로 하고, 또한 본 양식방법의 성공적 추진을 위해서는 우리환경에 적합한 고유모델의 개발이 요구되는 바, 외해양식에서 가장 기초적이고 중요한 양식생물학적 요소인 유용 대상종과 양식생물특성 그리고 공학적으로 핵심요소인 계류시스템에 대한 연구를 통해 우리나라에서의 외해양식 가능성을 개진하고, 또한 고유시스템 개발을 위한 우리해역 특이적 핵심기술을 구축하고자 한다.

#### 2. 연구개발의 필요성

우리나라의 내만 환경에서의 양식은 이미 환경수용범위를 벗어난 상태로, 이로 인한 2차피해 문제 즉, 적조, 질병, 폐사, 품질저하 등으로 양식경영이 악화되어 있어, 어류양식 시스템을 외만으로 이동시는 근본적인 대책이 없이는 양식경영의 악순환을 극복하기 어려운 실정에 있다고 볼 수 있다. 내만의 수면가두리 양식은 연안 조경권에 대한 국민의 기본권 침해라는 본질적 문제를 내포하고 있어, 양식 시설물의 외만으로의 이동은 추후 불가피할 것이며, 또한 과학의 발달은 필연적으로 환경수용력이 월등한 외해지역을 양식장으로 개발하는 방향으로 추진 될 것이고, 따라서 양식기술의 선점화를 통한 국제 경쟁력확보를 위해 개발의 필요성이 있다. 외해양식은 최근 미국을 포함한 선진국에서 개발되어 세계도처로 확산되고 있고, 우리나라 역시 도입의 필요성이 대두되고 있으나, 시스템의 가격이 비싸고, 또한 우리 환

경에 도입되었을 시 이에 대한 양식정보가 전무한 실정에 있어, 우리환경에서의 양식연구와 고유 모델의 개발을 통해 국가의 외해양식 정책자료를 확보하고, 대어민 기술지원을 통해 국제경쟁력을 갖춘 양식산업을 육성할 필요성이 있다. 이를 위해서는 외해양식 개발에 있어 생물학적으로 가장 중요한 요소인 양식생물학적 연구와 시스템공학적인 부분에서 계류시스템의 연구는 우리나라 고유모델개발에 의한 외해양식 산업육성을 위한 가장 필요한 연구분야로 판단되고 있다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

#### 제 1 절 양식 대상종 선정

1. 외해수중양식시설의 어종에 대한 개요
2. 후보종 분석

#### 제 2 절 양식 대상종 선정 종묘의 환경 적응성 검토

1. 서론
2. 재료 및 방법
  - 가. 대상어류의 선정
  - 나. 외해의 유속환경에서의 생물의 반응
    - 시험구의 유속  
유속을 0에서 25cm/sec 까지 6단계로 나누어 실험.
    - 채혈
    - 신장 대식세포의 분리
    - 면역 인자의 활성화에 미치는 영향
  - 다. 유기오염물질에 대한 생물의 반응
3. 결과 및 고찰
  - 가. 면역 인자의 활성화에 미치는 영향
  - 나. 보체 살균 반응에 미치는 영향
  - 다. 비특이적 세포성 면역반응
    - 신장 대식 세포의 활성화 산소 생산량에 미치는 영향
  - 라. 환경오염 물질에 대한 스트레스인자(Cortisol) 반응
4. 결론

### 제 3 절 외해양식시설의 태풍시 관리방법: 앵커 파주력 강화 방안

1. ABSTRACT
2. Introduction
3. Pile anchor
4. Pile anchor model
5. Analysis of the measuring results of pulling out of the pile anchor
6. Results and discussions

#### IV. 연구개발결과 및 활용계획

1. 외해양식시설에 대상어종의 변화된 환경적응 기간을 적이 적용
2. 외해양식시설에 자기전개식 앵커 적용함으로써 큰 파주력을 적용
3. Sea grant 등 공동연구 제의

#### V. 기대효과

##### ○ 경제적 측면 (성과의 산업계 이전 및 산업화를 통한 기대효과 등)

- 현재 우리나라의 내만은 대부분 양식장이 과밀한 상태에 있으며, 미래의 부족한 수산식량 확보를 위한 양식장 공간이 필요한 시점에 있으며, 연안 대체 후보지로 외해를 활용할 수 있다.
- 외해는 조류의 소통이 원활하고, 어류양식시 필요한 양질의 사육수가 무한히 보장되어 있어 양식공간 경쟁요인이 없으며, 따라서 미래 양식생산성 제고에 기여 할 것임.
- 적조피해로부터 안전한 양식을 영위할 수 있음.
- 양질의 사육수를 확보함으로써 질병의 자연발생을 억제하여, 그 결과 약제사용에서 오는 경제적 및 환경적 손실을 최소화 할 수 있음.

##### ○ 연안오염의 방지 및 연안 조망권 문제 해결

- 어류양식은 연안오염을 유발하는 주요 요인중의 하나이며, 특히 대부분의 어류양식시설이 내만에 위치하므로 국지적 오염을 심각히 유발하며, 이는 적조 및 질병발병이라는 2차적 피해를 야기시키고 있으며, 육상 및 내만에 위치한 어류 양식시설은 외해로 이동시킴으로 연안환경을 개선하는 효과를 가져옴.
- 현재 우리나라의 연안은 무분별하게 양식시설이 산재하고 있는 실정이며, 이러한 시설들은 연안의 조망권과 휴양지로서의 가치를 떨어뜨리고 있어, 휴양지로서 국민의 연안이용권리를 복원시킬 수 있는 대안이 됨.

- 외해양식시설은 태풍 등의 큰 외력을 받게되므로 파주력이 큰 앵커의 개발이 요청되는데 그에 대한 해결방법을 제시하였음.

## S U M M A R Y

(영문요약문)

The study, research on cultivation and maintenance techniques for offshore aquaculture system, consists of two research subjects. One is "adaptation on the environmental influence of cultured species", the other is "maintenance method for offshore aquaculture facilities - model Test for pulling out resistance of the self expendable pile anchor". The former focuses on the changes of lysozyme activity in the serum and kidney tissue of fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively. And the changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in fingerling and adult red seabream accommodated to various speed of a current, from 0 to 25 cm/sec(CS), with the interval of 5cm/sec. The Changes of chemiluminescence response of the same species was included. It is considered that the adaptation of red seabream needs 40 days for the changed environmental condition. A physiological response of the fish against one of the priority environmental pollutants, benzo(a)pyrene (BaP) was additionally studied in terms of plasma cortisol expression. The plasma cortisol profile of the BaP-stressed fish was initially rapid, followed by stagnant thereafter. Overall, the profile confirmed an adverse effect of the chemical on, at least, a type of animal physiology. In the latter study, greater holding force of an anchor was required for keeping the position of a larger floating structure. According to the series of model tests of pile anchors with movable fluke, the square type pile anchor with fluke showed about 6 times for symmetric circular pile anchor and 8 times for square pile anchor, and asymmetric circular pile anchor. When compared with its weight, especially the resistance of the square type pile anchor showed about 100 times. Compared with the ordinary pile anchor shown about 50-60 times of its weight, the square type pile anchor showed excellent performance. This self expandable anchor is patented in Korea as Patent No. 0387375. It is worthwhile to test the validity of the pulling out resistance for the effect of the length of flukes. If this model tests were performed and modified with the ultra sonic measuring devices, we can see the fluke folding shape and more detail pulling out resistance. We would like to propose for proto type model tests with aquacultural facilities such as the sea station 3000 in real sea.

## CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1	Introduction-----	12
Chapter 2	States of art-----	13
Chapter 3	Contents of research-----	14
Section 1	Selection of aquaculturing fish species-----	14
Section 2	Adaptability for given environment of selected fish species-----	17
Section 3	Maintenance method for Offshore aquaculturing facilities - Model Test for pulling out resistance of the Self Expendable Pile Anchor.-----	34
Chapter 4	Achievement of research objects and services-----	43
Chapter 5	Results of research and application plan-----	45
Chapter 6	References-----	45

※ 각 장, 절별로 목차 및 페이지를 기록토록 함.



## 목 차

제 1 장	서	론	-----	12
제 2 장	국내외	연구개발	현황	-----13
제 3 장	연구개발	수행내용	및 결과	-----14
제 1 절	양식	대상종	선정	-----14
제 2 절	양식	대상종	선정	중요의 환경 적응성 검토-----17
제 3 절	외해양식	시설의	관리방법: 앵커 파주력 강화 방안---	34
제 4 장	연구개발	목표	달성도	및 대외기여도-----43
제 5 장	연구개발	결과	의 활용계획	-----45
제 6 장	참고문헌			-----45

## 제 1 장 서 론

외해 양식시스템에 유용한 대상어종의 선별과 생물종의 사육·관리기술의 체계적인 확립을 위해 외력 환경에 적응할 수 있는 적절한 양식 생물종에 대한 환경적응성 검토 및 사육기법을 수립한다. 외해 양식시설의 급이시스템 구축을 위한 기초적 연구로서 외력환경에서의 양식생물종의 생태·생리학적 변화에 대한 해석기법을 구축하고자 한다.

우리나라 해면양식의 경우 지난 수 십년 동안 양식기술의 발달과 더불어 내만은 굴을 비롯한 패류양식의 집중화 현상이 나타났고, 더욱이 1980년대 들어 해면어류 양식산업의 발달은 양식의 내만 집중화를 가속화 시킴으로써 내만 양식장의 오염과 노화현상 등이 진행되고 있다.

육상에서의 산업화와 도시화는 연안오염을 가중시키는 결과를 초래했고 그 결과 양식산업은 직·간접적으로 심각한 피해를 겪고 있으며, 일부 연안환경은 양식장으로서의 가치를 이미 상실한 단계에까지 이르고 있는 등 양식산업은 점차 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서, 외해양식시스템은 기존의 내만 중심의 양식을 탈피하여 외해에 양식시설물을 설치하여 연안오염과 적조 문제를 가장 적극적으로 해결하고자 할 뿐만 아니라 외해를 양식장화 하는 미래지향적 첨단양식방법 개발의 필요성이 대두되고 있다.

외해 양식시설물로서 미국 NOAA에서 개발한 외해양식시설의 도입과 관련된 설치, 운영에 관한 관리 기술에 대해 연구 예정이었으나 시설 자금이 확보되지 않아 실제 외해양식시설에서의 연구범위 및 내용을 불가불 실험실 규모의 회류수조에서의 참돔의 운동에 따른 효과와 태풍시 커지는 외력을 견딜 수 있는 저항이 큰 앵커의 적응성에 대해 연구 범위를 축소 수행하였다.

## 제 2 장 국내외 연구개발 현황

### ○ 양식 대상종

- 어류양식은 근본적으로 오염을 수반하는 문제를 안고 있어 이를 극복하기 위한 수단으로 외해양식은 시작되었고, 지금까지 여러나라에서 양식에 대한 접근이 있었으나, 가장 현대적 규모의 양식 시스템은 미국에서 개발된 시스템을 들 수 있음.
- 지금까지의 외해양식은 대서양 연어를 중심으로 한 북구형과 미국형을 중심으로한 온대 및 열대지역의 양식이 실험적으로, 또는 상업적으로 이루어지고 있는 바, 주 대상어종은 Moi, Amberjack, Cobia, Atlantic salmon 등이 있으며, 잠수성 시스템에서 주로 양식되는 종은 Moi, Amberjack, Cobia 정도에 지나지 않고 있음.
- 따라서 국내에서는 아직 외해양식 대상종으로 연구된 바는 전무한 실정이나, 현재 국립수산물연구원 등에서 잠재 양식종으로서 방어, 줄전갱이, 돔류, 참치류, 대구, 농어류 등이 고려되고 있고, 외래종으로서는 Cobia가 관심을 받고 있음.

### ○ 외해양식관련 연구 항목

- 외해양식의 주요 연구항목은 system engineering과 운영 및 양식생물학적 연구로 대별하고 있으며, 운영에서는 시스템이 잠수형임을 감안하여 자동화 (animal monitoring, autofeeder, autoenvironmental monitoring 등)와 생물 연구로는 대상종의 개발, 생물생태학적 연구, 배합사료연구, carrying capacity에 준한 친환경양식 연구 등이 있음.
- 국내에서는 본 연구항목에 대해서 연구된 바는 전무한 실정임.

### ○ 연구수행 측면

- 2002. 4 : 제1회 한미양식협의회 개최
  - 외해수증가두리양식 개발 등 협의
- 2002.10 : 한미 양식개발 협의회 참석
  - 외해수증가두리양식 시설 견학 및 한국설치 협의
- 2004. 3 : 한미 양식개발협의회 참석
  - 세계양식학회 학술대회 참석
- 2004. 5 : 한미 양식개발협의회 3회
  - 한미전문가 협의 (제주도) 참석 발표

## 제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

본 연구는 3년간 수행 예정이었고, 외해양식시설로서 미국 NOAA에서 개발한 Sea Station 3000의 도입과 설치한 후 연구를 진행할 계획이었으나, 연구재원의 부족으로 시설이 도입되지 않아 실제시설이 아닌 회류수조 실험실에서 1차년 과제로 수행하였다.

- 양식대상 후보종과 기존 연구종을 Moi 및 Amberjack 으로 생각하였으나 실제 시설이 도입되지 않는 관계로 참돔의 실험수조에서의 회류특성, 적응생리학적 특성, 회류수조내에서의 참돔의 혈액성상을 비교 분석하였다.

내해 연안성 어류인 참돔을 대상으로 유속의 차이에 따른 면역능의 변화를 조사한 결과, 시험 개시시에는 다소 면역력이 약해지거나 불안정한 상태를 보이기도 하지만, 같은 조건을 40일 이상 지속해주면 현재의 환경에 적응하여 정상적인 면역력을 회복할 수 있을 것으로 생각된다.

다만, 자연 상태에서는 실험실 조건처럼 환경이 일정하지 않고 끊임없이 변한다는 점과 유속이 더 빠를 수 있다는 점을 고려한다면, 참돔과 같은 내만성 어류를 외해에 양식하기 위해서는 초기의 관리가 질병 예방에 매우 중요하며, 적어도 수개월간의 환경 변화에 대한 적응 기간이 필요할 것으로 사료된다.

- 또한 외해수증양식시설의 태풍시 커지는 파력에 대해 견딜 수 있는 자기전개식 앵커의 적용 가능성에 대해 연구하였다.

앵커의 파주력을 키우기 위해 fluke 의 자기전개형 앵커에 대한 모형실험을 수행한 결과 원형 대칭 파일앵커는 6배, 비대칭 원형 파일앵커와 사각 파일앵커는 파주력이 8배 커지는 것을 확인하였다.

특히 사각 파일앵커는 자중과 비교할 때 100배의 파주력을 보인다. 이는 50-60 배를 보통의 파일앵커에 비해 탁월한 성능을 보인다. 이 방법을 응용하여 개발된 자기전개식 앵커는 한국특허 0387375로 등록되었다.

자기전개식 앵커의 fluke 의 길이와 전개 등에 따fms 파주력의 효과에 대해 제주에 설치 예정인 Sea Station 3000 의 앵커로서 개념설계, 모형실험 및 실험실실험을 단계적으로 한미공동연구를 제의하였다.

### 제 1 절 양식 대상종 선정

#### 1. 외해수증양식시설의 어종에 대한 개요

국립수산과학원 연구보고에 의하면, 제주도는 산업시설에 의한 오염원이 적을 뿐 아니라 겨울철 최저수온이 13℃ 이상, 여름철 최고 수온이 27℃ 이하가 유지되어 온수성 어류 양식이 아주 좋은 적지로서 동남부 해안을 중심으로 일정한 수온(17~18℃)의 풍부한 지하해수를 이용

할 수 있으므로 다른 지역에 비해 좋은 환경 특정을 지니고 있다고 한다. 또한 해안선이 단순하고 계절적인 폭풍 및 태풍 영향으로 해상 가두리 양식이 어렵다는 단점과 함께 대도시 소비 시장으로 수송을 위한 물류비용이 크다는 단점이 있으며, 넙치 단일 품종 위주의 양식이 이루어지면서 홍수출하에 의한 어려움뿐만 아니라, 넙치에 특이성이 있는 기생충 세균성 질병 및 근년에 큰 문제가 되고 있는 바이러스에 의한 질병에 의한 피해가 날로 커지고 있음을 지적하고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안 중 하나가 외해양식으로의 전환이라 할 수 있다.

양식에서 가장 중요한 조건 중 하나는 대상 어종을 고밀도로 키울 수 있는 매체인 물이다. 일반적으로 해수어류는 담수어류에 비해서 산소 요구량이 높고 암모니아 등 배설물에 대한 저항력이 약한 편이다. 즉, 산업화나 도시화가 이루어져있는 해역에서 해산 어류를 양식하는 것은 어렵다. 또한, 기존 해산어류를 양식하고 있는 해역에서는 적정 시설 및 사육량 초과에 따른 환경오염과 함께 질병에 의한 피해가 매우 크다. 이러한 난제를 해결할 수 있는 방법 중 하나가 외해를 이용한 양식 기술에 의해 외해양식시설을 개발필요성을 주장하고 있다. 그는 외해양식 대상종의 선정 기준으로는 크게 사회적으로 적합한 어종 중에서 경제적 가치가 크며 우리나라 해양환경에 적합한 어종을 선택하여야 함을 주장하고 있다. 즉, 성장이 빠르고 생존율이 높아서 다른 어종에 비해서 양식경쟁의 우위를 점해야 할 것이며, 군집 유영력이 크고 고밀도 사육이 가능해야 할 것이다. 또한 서식 생태적 특성상 외해의 가두리에서 사육이 가능해야 하며, 종묘생산 용이성과 대량 확보가 가능한 어종이어야 한다. 그는 이러한 조건을 크게 다음의 3가지로 분류하였다.

첫째, 외국에서 외해 양식종으로 개발되어 있는 어종의 도입.

이러한 어종의 대표적인 것으로는 열대와 아열대 해역에 서식하는 어종으로 성장이 매우 빠르고 고밀도 사육이 가능한 코비아(*Cobia, Racfycenton mnadum*)를 들었다. 이 종은 고수온 해역에서 사육할 경우 연성장이 7kg 이상의 속성장을 보이는 어종이다.

둘째, 우리나라에서 현재 양식되고 있는 어종을 대상으로 하는 것으로서 대표적인 어종으로 조피볼락, 들류, 농어류 및 민어류 등을 들고 있다. 이러한 어종을 외해에서 양식할 경우는 이미 오염도가 매우 큰 연안어장에서 어류양식을 외해로 끌어들이는 효과가 있을 것이다.

셋째, 기존의 양식종이 아닌 어종 중에서 고부가가치가 있는 어종을 대상으로 하는 것이다. 그 중 대표적인 어종이 다량어류, 능성어류 및 고등어를 들 수 있다.

다량어류 중 가장 인기가 있는 참다랑어는 성장이 매우 빠르고 유영력이 클 뿐만 아니라 판매 단가가 높기 때문에 경쟁력이 있다고 볼 수 있다. 그러나 이들 어종은 종묘생산 기술이 초보 단계이거나 아직 개발이 안되어 있기 때문에 외해양식에 충분한 량의 종묘를 확보하는데 어려움이 있을 것으로 생각된다. 다른 방법으로 다량어류나 고등어 종묘를 자연 어장에서 채포하여 성육시키는 방법을 택하는 것도 가능할 것이다. 능성어류(능성어 자바리)의 경우도 아직 대량종묘생산에 상당한 제약이 있어서 충분한 양의 종묘확보에 어려움이 있을 것으로 생각되지만 부가가치가 높기 때문에 고려할 대상어종이라 할 수 있다. (이정의, 2004). 외해수중양식시설의 설치장소가 제주로 정해질 경우, 좀 더 자세한 대상어종의 연구가 수행될 필요가 있다.

## 2. 후보종 분석

외해양식 대상종의 선정은 시스템구축, 운영 등과 더불어 연구의 기초를 이루고 있다고 볼 수 있다. 그러나 아직 우리나라에서는 외해양식의 관점에서 후보종에 대한 연구가 전무한 관계로 기존 외국의 연구현황과 우리나라의 특수한 환경에 대상종이 될 수 있는 요소를 감안하여 평가하고자 하였다. 다음 어종은 외국이 사례에서 외해양식이 진행되고 있거나 후보종으로서 관심의 대상이 되고 있는 종에 한해 우리나라의 관점에서 분석하였다. 본 연구의 기준은 기존 연구이력, 회유성, 경제성, 용이성, 종묘생산을 바탕으로 우리나라의 도입 가능성을 타진하였다.

### 가) 모이 (*Moi, Polydactylus sexfilis*)

모이는 적도에서 30°N까지 분포하며, 광염성으로 수평 서식범위가 넓은 종이다. 본 종은 미국의 하와이에서 경제성이 있는 주요 양식 대상종으로 외해양식 시스템에서 상업적 양식을 위한 많은 연구자료가 축적되어 있는 실정으로, 우리나라에서는 외해양식자료 확보를 위한 관심의 대상이 될 되는 종이며, 양식 대상종으로 도입에 대해서는 현재로서는 장점이 많지 않은 것으로 평가되고 있음.

### 나) 코비아

코비아 (*Cobia, 날쌔기, Rachycentron canadum*)는 대만, 미국 등에 분포하며, 한국에서는 전남 연안에서 일부 분포하는 것으로보고되고 있으나, 이것은 우리나라 자체의 개체군이라기 보다는 계절회유를 하는 대만 개군의 일부가 우리나라에 이동한 것으로 추측되고 있다. 대만 개체군은 북상하면서 동중국해 연안에서 5~6월에 산란하며, 식성은 게, 오징어 및 소형어류를 포식하는 것으로 알려져 있다. 코비아는 회유성이 강하고 성장이 빨라 지금까지 보고된 자료에 의하면 최고 40~50Kg 까지 성장하는 것으로 알려져 있음.

코비아는 경제성이 높은 어종으로 양식 대상종으로 관심을 끌여 왔고, 1980년 대 대만에서 실내 종묘생산이 성공함으로써 양식에 대한 연구가 본격화되었다. 코비아의 종묘생산 및 양식 산업화 기술을 축적한 곳으로는 대만 (대만수산연구소, TFRIN), 미국 (마이애미대학교, University of Miami), 중국 (Shenzhen East Coast Fisheries Ltd. Co) 등이 있으며, 이 중 대만이 가장 앞선 기술을 가진 것으로 알려져 있으며, 대만은 현재 약 3000톤의 코비아를 양식생산하고 있다. 코비아는 생물의 특성상 대형 가두리 에서 양식이 가능하며, 외만의 대형가두리에서 미국의 마이애미대학 연구팀은 수온 23°C 이상에서 11개월 사육으로 약 7Kg의 제품을 생산했고, 대만에서는 1년 사육으로 약 7Kg의 제품을 사육보고 하고 있다. 본 종의 성장특성은 초기 3까지 성장이 완만하다 4개월 이후 급성장하는 특성이 있어, 우리나라에서 양식은 초기 종묘를 가온조에서 3~4개월간 실내사육을 거친 후, 수온이 20°C 전후에 이르는 시점에 5~6개월 사육 후 2~3Kg의 제품을 생산하는 전략이 필요한 것으로 판단되고 있다. 종묘생산은 친어도입, 종묘도입, 수정난도입 등 이 고려되며, 이중 수정난의 도입이 효과적일 것으로 판단되고 있음.

### 다) 앰버잭

앰버잭 (Amberjacks, *Seriola lalandei*)은 수심 50m 정도에서 서식하는 아열대성 어종으로 54°N에서 43°S까지 분포하고 있다. 미국의 하와이에서 외해양식 후보종으로 평가받고 있으며, 성장 적수온이 18-24°C로 비교적 우리환경에 잘 맞고, 방어와 유사한 특성이 있다. 1년정도의 사육으로 약 2Kg까지 성장하는 우리나라 남해해역에서 월동대책이 확립 될 경우 외해양식 대상종으로 도입의 가능성이 있음.

#### 라) 대서양 대구

대서양대구 (Atlantic cod, *Gadus morhua*)는 미국의 동북부와 유럽에 걸쳐 분포하는 대형 어종이다. 미국과 캐나다에서 양식기술이 축적되어 있고, 내한성이 있어 우리나라 동해안에서 양식에 대한 관심이 높고 연구의 필요성이 있는 종으로 평가되고 있으며, 미국은 위도가 우리나라와 비슷한 뉴햄프셔에서 양식되는바 우리나라 동해안의 양식 대상종으로 개발의 가치 있는 것으로 평가되고 있다. 그러나 우리나라에서는 아직 종묘생산기법이 확립되지 않아 본 종이 후보종으로 되기 위해서는 양식학적 연구가 필요한 것으로 판단되고 있다.

#### 마) 기타종 및 국내 후보종

기타종으로 할리벗, 터봇 등이 외해양식으로 양식되거나 가능성이 있는 것으로 판단되고 있으며, 국내 외해양식 후보종으로는 참돔, 들돔, 방어, 참다랑어, 대구, 연어, 그루퍼, 조기, 황복 등을 외해양식 후보종으로 연구의 가치가 있을 것으로 판단되고 있다. 이 중 참돔은 연구 대상종으로 환경에 대한 감수성이 높은 종으로 연구 대상종으로 가치가 있는 것으로 판단되고 있다.

## 제 2 절 양식 대상종 선정 종묘의 환경 적응성 검토

### 1. 서론

외해양식 환경이 기존의 내만환경에 비해 가장 뚜렷한 차이를 물리, 화학, 생물학적으로 분석할 때, 1) 물리적 요인은 수류 (조류 및 연안류) 및 수온을 들 수 있고, 2) 화학적으로는 영양염, 오염물 (특히, **persistent organic pollutants, POPs**), 그리고 3) 생물학적으로는 유해생물 등을 들 수 있다. 물리적 요인인 수류는 시스템의 위치와 생물의 물리적 스트레스 요인이 될 수 있고, 수온은 성장과 관련이 있다. 따라서 이들 요인은 외해양식에 있어 가장 기초적인 요인이라고 볼 수 있다. 화학적 요인 중 **POPs**의 영향은 최근 양식생산성 및 지속성에 장기적으로 문제를 야기하는 요인으로 관심이 많은 연구 분야이다. **POPs**의 영향은 특히 생물전반에 걸쳐 누적 스트레스를 야기하여 2차적으로 질병 및 성장 저하 등을 유발하여 양식경영을 악화시키는 바, 양식장선정에서 중요시되고 있다. 따라서 외해양식을 수행함에 앞서 양식생물의 스트레스 요인을 사전에 분석하는 일은 사업의 성공적 운영과 직접적인 관련성이 있고, 특히 외해환경의 가장 뚜렷한 특성으로 양식생물에 다양한 영향을 미치는 요인의 연구는 기초를 이룬다고 할 수 있다. **Benzo(a)pyrene**은 **polyaromatic hydrocarbon (PAH) family** 중 **priority pollutant**로서 널리 알려져 있으며, 양식생물에 영향을 미치는 요소가 잘 연구

되어 있어 실험의 분석결과를 해석하는 데 잇점이 있기도 하다. 이러한 사항과 관련하여볼 때, 스트레스의 특성으로 면역학적 분석은 의미가 있고, 또한 생물의 생리적 스트레스 요인인 **cortisol** 또한 많이 연구되는 기초 분야이다. 본 연구는 내해에 서식하고 있는 어종을 외해에서 양식하고자 할 때 서식 환경의 차이에서 오는 면역학적 변화 및 스트레스 지표물질인 **cortisol**에 대한 기초 자료를 얻기 위하여 수행한 것이다. 참돔 (*Pagrus major*)은 우리나라 특히 제주도 해역에서 양식되는 종으로 시장성이 높은 종이다. 본 종은 양식환경에 가장 민감한 감수성을 가진 종으로 알려져 있고, 따라서 참돔을 대상으로 연구를 수행하는 것은 외해 양식의 실제적 후보종이라는 점 외에 양식생물학적으로 연구의 의의가 있다고 볼 수 있다. 또한 본 실험에서는 면역학적 특성조사시 참돔을 크기별로 실험을 함으로서 연구결과의 신뢰도를 제고하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시험어

시험어는 현재 양식중인 참돔 (*Pagrus major*)을 대상으로 선정하였으며, 어체의 크기는 전장 10~15 cm 정도의 소형어 시험구와 전장 30 cm 전후의 대형어 시험구로 구분하여 실시하였다. 시험어는 경남 소재 가두리 양식장에서 구입하였으며 구입 후 1주일간 실내 사육 수조에서 순치시킨 다음 실험에 사용하였다. 먹이는 시판 배합 사료를 1일 2회 투여하였다. 시험어를 순치하는 기간 중 별다른 이상은 볼 수 없었다. 각 시험구별로 충분히 **aeration** 시켰으며 또한 유속을 달리하는 유수식 방식으로 수질을 관리하였기 때문에 시험 기간 중 수질에 영향은 통상적 관점에서 볼 때 전혀 제한 요인이 되지 않았다.

### 나. 유속

시험구별 유속의 변화는 각 시험구별 유속은 실험실의 여건상 최고 유속 시험구가 25 cm/sec 이었으며, 이하 평균 5 cm/sec 정도로 차등을 두었고 대조구는 0 cm/sec의 지수 상태로 하였다. 시험구의 수온은 자연 수온 조건하에 두었으며 18~21 °C이었다. 생리적 스트레스 조사시는 유속은 정체로 하였고, 충분한 주입수를 통해서 수질이 실험의 제한요인이 되지 않도록 하였고, 또한 광을 최대한 일정하게 유지하였다.

### 다. Benzo(a)pyrene 노출

참돔사료(extruded pellet)에 BaP를 0 (aceton vehicle), 50, 500, 5000 ng/g 농도로 분사하여 BaP에 대한 vector로 사용하였다. 노출은 2회/1일 기준으로 하였다. Vector pellet이 정확히 참돔에 투여하기 위해서 vector를 개별적으로 먼저 투여하여 섭취를 확인한 다음, BaP-free pellet을 적절한 양을 투입하였다.

### 라. 채혈

면역 반응을 조사하기 위한 혈액의 채취는 시험어를 벤조카인으로 마취시킨 후 미부 정맥을 통해서 채혈하는 방법을 사용하였다. 시험어 마리 수는 각 시험구별로 5마리를 사용하였으며, 소형어 시험구의 혈액은 **pool** 방식으로 측정하였고 대형어 시험구는 개체 방식으로 측정 후 평균치를 택하였



다. 채혈된 혈액은 2시간 동안 실온에 방치한 후  $3000 \times g$ , 30 min, 4 °C에서 원심 분리하여 혈청을 분리하였다. 분리된 혈청을 신선 혈청으로 하여 각종 실험에 사용하였다. 비동화혈청의 제작은 56 °C, 30 분간 가열하는 방법을 사용하였다.

#### 마. 신장 대식세포의 분리

신장 대식세포의 세포 활성을 알아보기 위하여 대식세포를 분리하였다. 대식세포의 분리를 위하여 가능한 한 시험어의 순환 혈액을 모두 제거한 다음 복부를 절개한 후 신장을 무균적으로 절취하였다. 이 신장을 2 % fetal bovine serum (FBS, Sigma Chemical Co.), penicillin/streptomycin (Sigma Chemical Co.) 100 units/ml 및 heparin 10 units/ml가 함유된 Leibovits-15 (L-15) culture medium 1 ml를 분주해둔 1회용 소형 petridish에 넣고 시료를 잘게 분쇄한 후 nylon membrane을 통과시켜 세포 현탁액을 준비하였다. 이 현탁액을 34-51 % percoll gradient (Sigma Chemical Co.)를 이용하여  $500 \times g$ , 30 min, 4 °C에서 원심 분리하고 세포층을 분리하였다. 분리된 세포는 HBSS로  $500 \times g$ , 5 min, 4 °C에서 3회 세척한 다음 trypan blue exclusion method (Hudson and Hay, 1989)를 이용하여  $1.5 \times 10^5$  cells/ml의 농도로 조정하여 실험에 사용하였다.

#### 바. 면역 인자의 활성화에 미치는 영향

각 인자별 활성화의 조사는 유속 자극을 개시한 후 10일 간격으로 5회 차까지 시행하였다.

##### (1) 비특이적 체액성 면역 인자

###### (가) Lysozyme 활성 시험

시험어로부터 혈청과 신장을 분리한 후 Turbidimetric assay법을 사용하여 비동화혈청 및 조직 내 lysozyme 활성을 조사하였다. 즉, 건조 *Micrococcus lysodeikticus*를 0.2 mg/ml의 농도가 되도록 0.05 M sodium phosphate buffer (pH 6.2)에 희석한 후 각 시험어의 비동화혈청 및 조직 마쇄액 100  $\mu$ l와 혼합하여 1 ml가 되게 하였다. 이것을 25 °C에서 반응시키고 0.5분 및 4.5분 후에 흡광도(OD=530nm)를 측정하였다. lysozyme의 활성은 unit/ml로 나타내었으며, 흡광도 값이 0.001/min 감소한 값을 1 unit로 나타내었다.

###### (나) 보체의 살균능 시험

각 시험구에서 분리한 신선 혈청과 GVB2<sup>+</sup>를 1 : 4로 혼합 희석한 다음 1  $\mu$ g/ml 으로 조정된 *E. coli* 세균 부유액과 1 : 1로 혼합하여 27 °C로 조정된 진탕 배양기로 반응시키면서 0, 1, 3, 6 시간 경과 할 때마다 반응액을 단계 희석하여 Miles and Misra(1938)에 따라 균 집락수의 변화를 측정하여 살균능을 판정하였다.

##### (2) 비특이적 세포성 면역 인자

###### (가) 신장 대식세포의 활성 산소 생산량에 미치는 영향

두신 대식 세포의 활성 산소 생산량을 측정하기 위하여 두신 조직을 무균적으로 절취한 다음 34 % 와 51 % percoll 용액 위에 중층시킨 후, 400× g에서 30분간 원심 분리하여 대식세포를 분리하였다. 대식세포의 활성 산소 생산량 측정은 Luminol을 사용하는 화학발광법( Chemiluminescence Assay, CL)을 사용하였으며, 측정은 시험 개시 후 10일, 30일 및 50일째 시행하였다. Luminol은 10 mg/ml의 stock solution을 제작하였으며, working solution은 stock solution을 10배 희석하였다. 분리된 대식세포는 0.2 % tryphan blue로 viability를 관찰한 후,  $1 \times 10^5$  cells/ml의 농도로 조정하여 white-adapted 96 well plate (Packard)에 well당 100  $\mu$ l씩 분주한 다음 100  $\mu$ l의 luminol working solution 20  $\mu$ l를 넣고 10분간 반응시킨 후 zymosan solution 80  $\mu$ l를 첨가하여 0.5 sec의 노출 시간으로 lumicounter를 사용하여 측정하였다.

### 사. 환경학적 요소 측정

혈청무기성분인 칼슘과 마그네슘은 각각o-cresolphthalein-complexon법, Xylidyl blue법에 의하여 임상용 kit(Asan Pharm. Co., Ltd)를 사용하여 측정하였다. 혈청유기성분인 glucose는 GOD/POD법으로 측정하였다. Plasma cortisol 측정을 위해서 plasma sample을 2% perchloric acid에서 deproteinated 시킨 후 분석 키트 (ImmuChem RIA kit)를 사용하였다. 방법은 Vijayan et al.(2003)의 방법을 준하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 면역 인자의 활성에 미치는 영향

유속의 차이가 시험어류의 생체 방어에 미치는 영향에 관해서는 비특이적 인자를 중심으로 조사하였다.

#### (1) 비특이적 체액성 면역반응

##### (가) 혈청 Lysozyme의 활성에 미치는 영향

혈청 lysozyme 활성에 미치는 영향의 정도를 조사한 결과를 소형어 시험구와 대형어 시험구로 구분하여 각각 Fig. 1-1 및 1-2에 나타내었다. 전체적으로 볼 때, 대조구의 경우 대형어 시험구의 Lysozyme 활성이 평균 505 units 전후로서 평균 394.5 units인 소형어 시험구에 비하여 100 units 정도 이상 높은 것으로 나타났다. 유속을 9 cm/sec (A 시험구) 로 가했을 때 Lysozyme의 활성이 대형어의 경우 175~370 units이고 소형어의 경우 150~350 units로서 두 시험구 사이에서 차이를 볼 수 없었다. 유속을 15 cm/sec (B 시험구) 정도로 높였을 때에는 대형어 시험구의 Lysozyme 활성이 100~400 units 인 반면 소형어 시험구에서는 295~350 units로서 대형어 시험구의 변화 폭이 훨씬 큰 것으로 나타났다. 그리고 유속을 25 cm/sec (C 시험구)로 높였을 때에는 두 시험구 모두 Lysozyme 활성이 큰 폭으로 변하는 것을 알 수 있었다. 그러나 두 시험구 모두 실험 개시 후 30일 정도까지는 Lysozyme의 활성이 저하되고 있었으나 이후부터 활성이 회복하기 시작하여 50일 제에는 대조구에 비하여 80 % 이상의 수준에 이르고 있음을 알 수 있었다. 따라서 시험 개시 직후에는 유속의 차이에 따라 Lysozyme의 활성도 다소 영향을 받는 것으로 나타났으나 1개월 정도 경과하면서 각각의 환경에 적응하는 것으로 판단되었다.

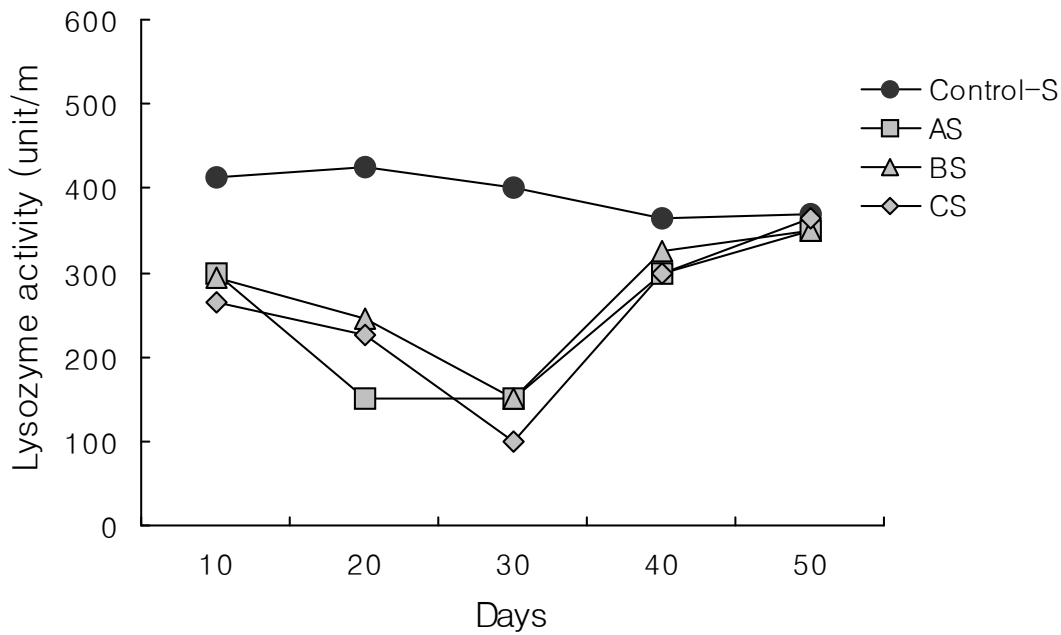


Fig. 1-1 Changes of lysozyme activity in the serum and kidney tissue of fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.

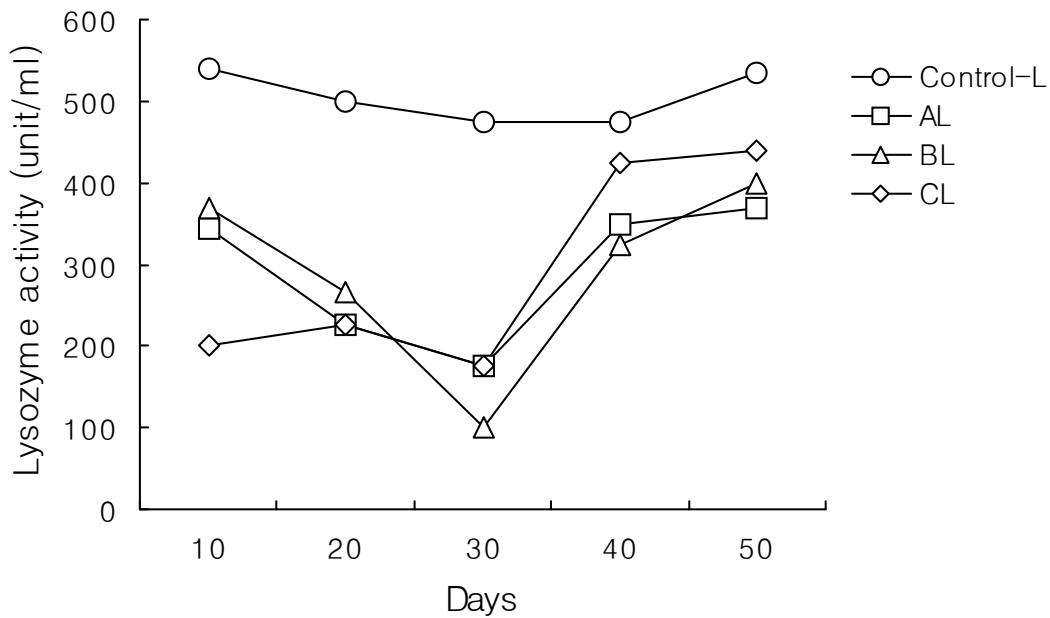


Fig. 1-2. Changes of lysozyme activity in the serum and kidney tissue of adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.

(나) 보체 살균 반응에 미치는 영향

유속의 차이가 시험어에서 분리한 신선 혈청 중의 보체 활성에 미치는 영향을 조사한 결과를 소형어 시험구와 대형어 시험구로 구분하여 각각 Fig. 1-3a~1-7a 및 Fig. 1-3b~1-7b에 나타내었다.

시험의 전반적인 경향을 볼 때, 대조구와 시험구 사이에 큰 차이는 확인할 수 없었으나 보체의 활성이 시험 반응 시간인 12시간째까지 지속되는 것으로 나타났다. 보체의 활성을 시험어의 크기별로 비교해 보면, 시험 개시 10일째의 소형어 시험구에서 12시간째 측정치가 log 2.84~3.08 CFU/ml이었으나 대형어 시험구에서는 log 2.6~2.95 CFU/ml로 나타나 대형어가 소형어에 비해 보체의 활성이 다소 높은 것으로 조사되었다. 이후 다소간의 변동은 있으나 40일째 조사치부터 보체의 활성이 안정적으로 나타나기 시작하였으며, 이러한 현상은 50일째 조사 때까지 지속되었다. 40일째 조사치를 보면 소형어 시험구가 log 2.08~2.9 CFU/ml로서 시험 개시시보다 활성이 증가된 것을 알 수 있었다. 그리고 같은 기간의 대형어 시험구에서는 이보다 낮은 log 2.1~2.6 CFU/ml의 조사치를 나타내어 보체의 활성도는 대형어가 소형어보다 더 강한 것을 알 수 있었다. 그러나 유속의 차이와 관련한 보체의 활성도는 측정 시기에 따라 다르게 나타나서 특정한 연관성을 인정할 수 없었다.

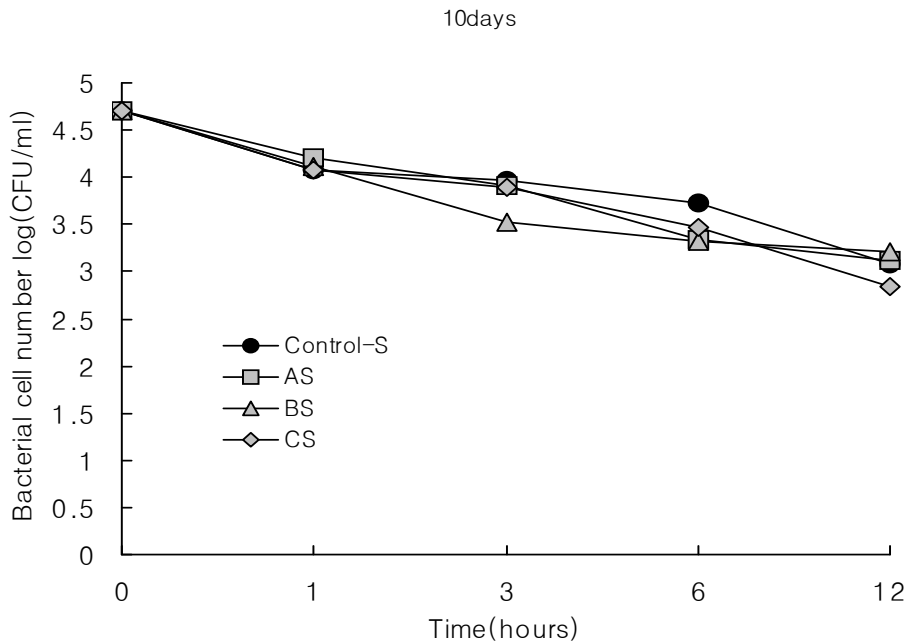
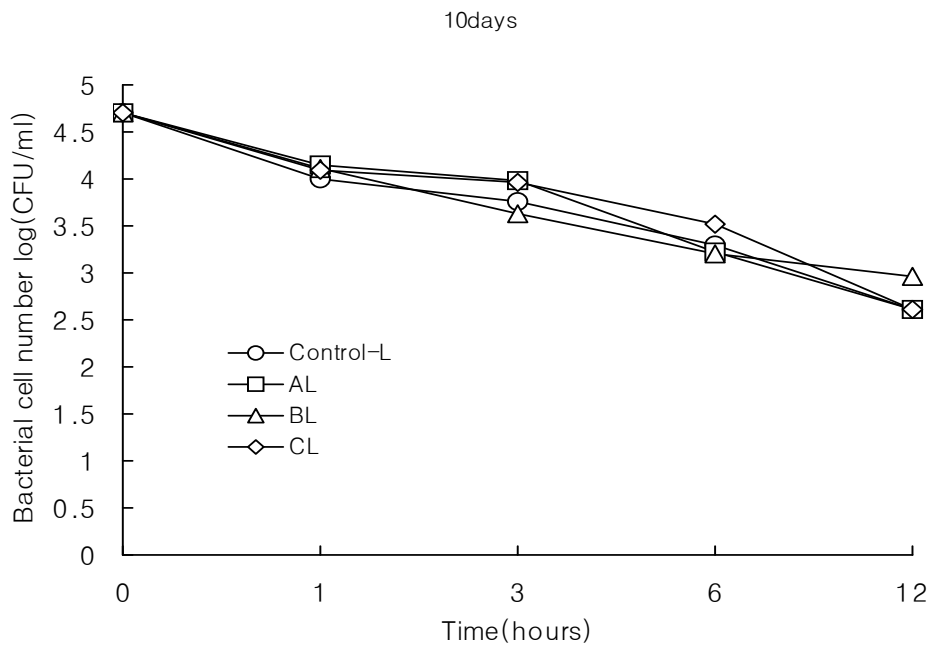
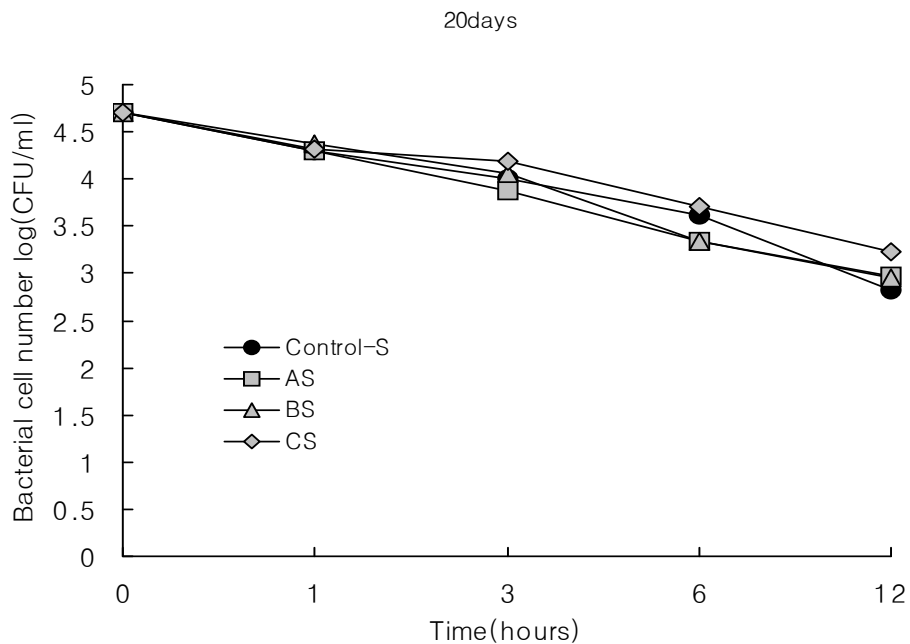


Fig. 1-3a. Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.



**Fig. 1-3b.** Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.



**Fig. 1-4a.** Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.

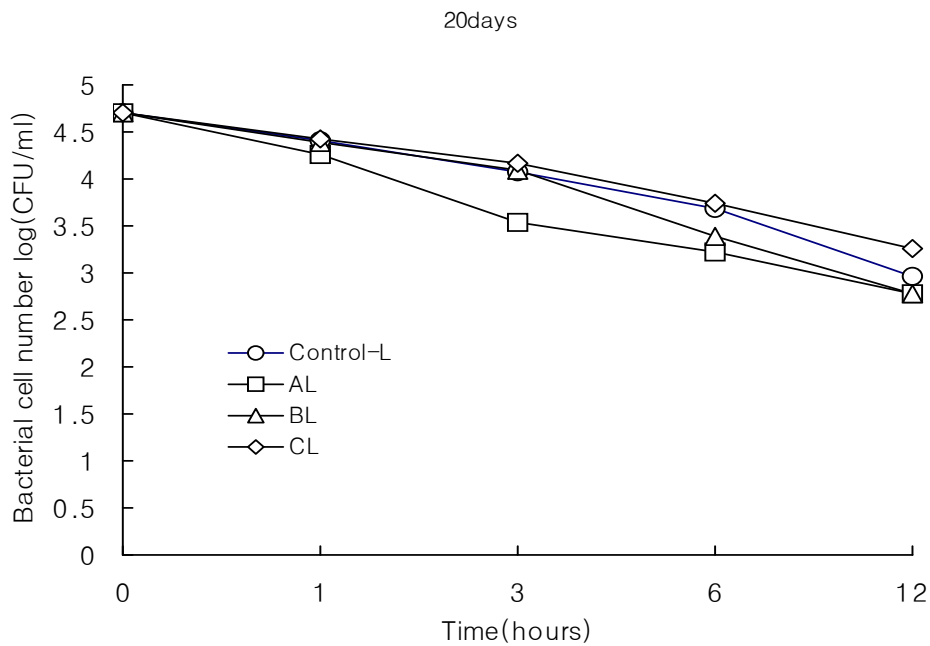


Fig. 1-4b. Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.

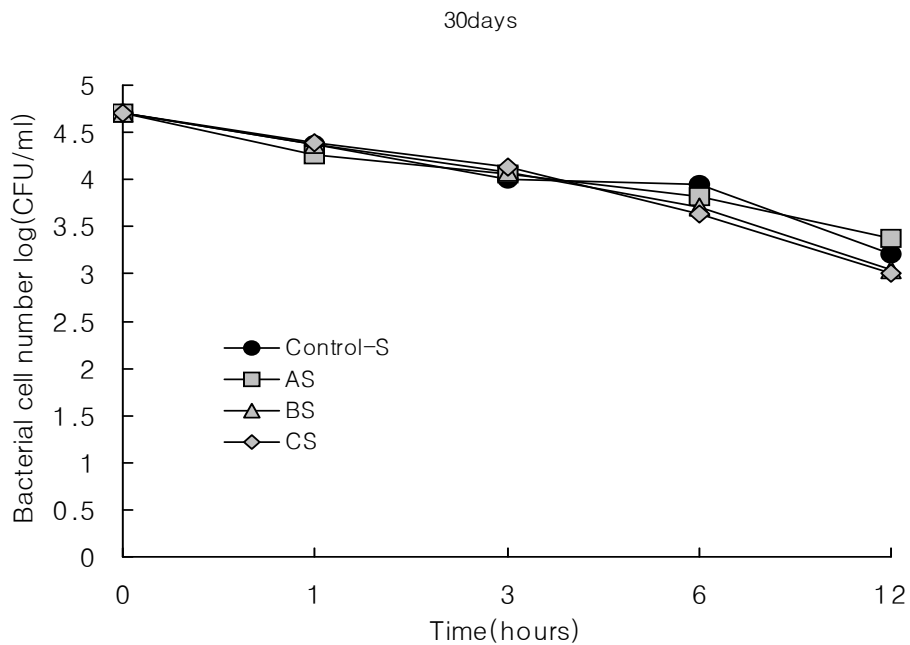


Fig. 1-5a. Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.

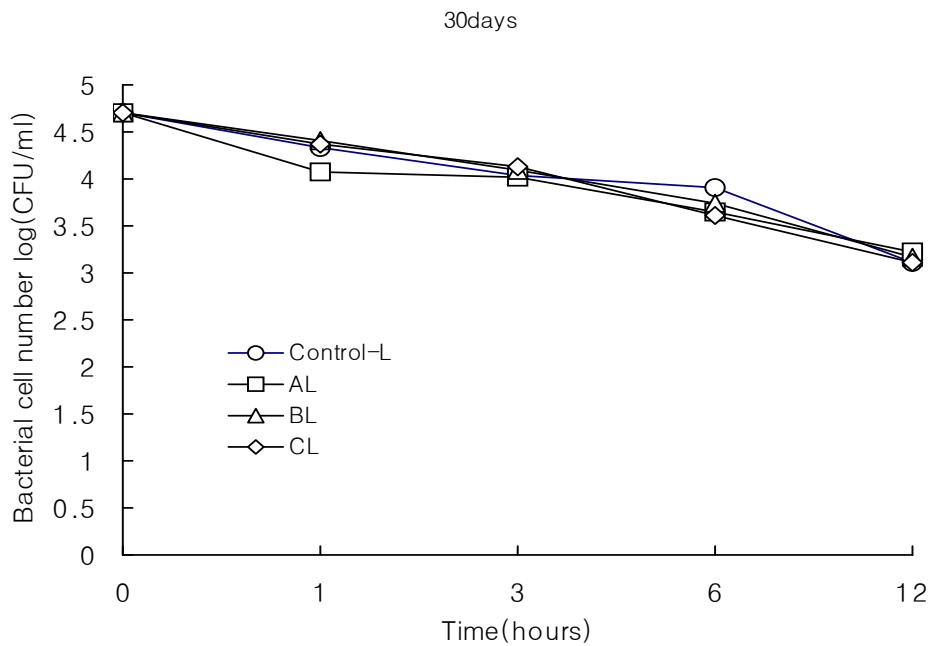


Fig. 1-5b. Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.

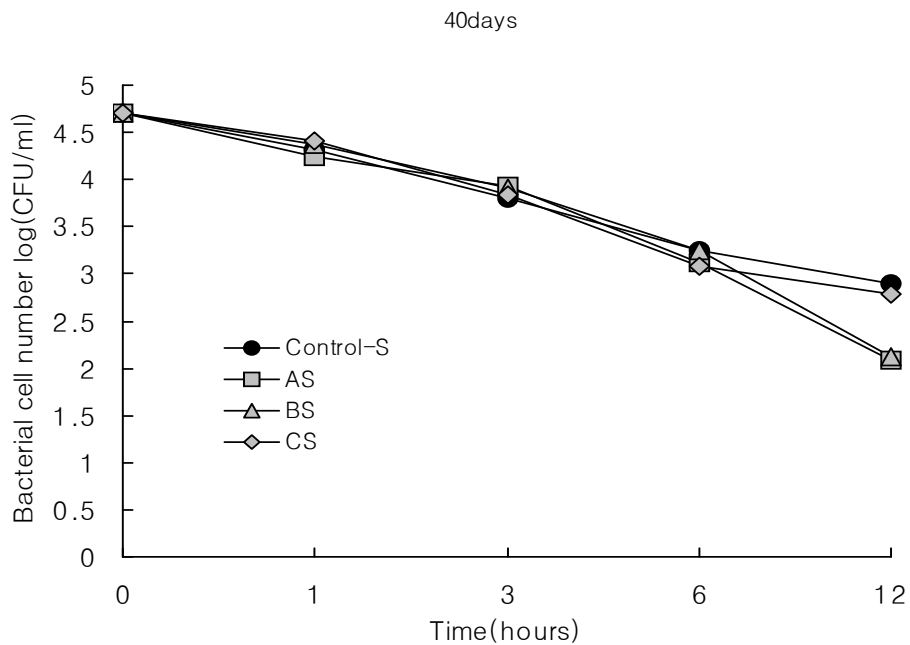
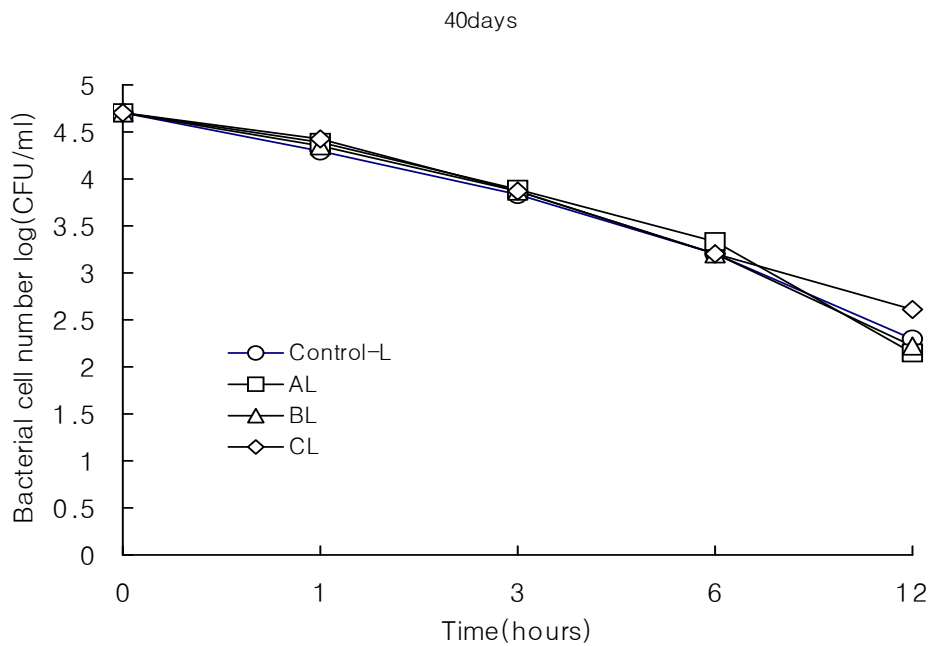
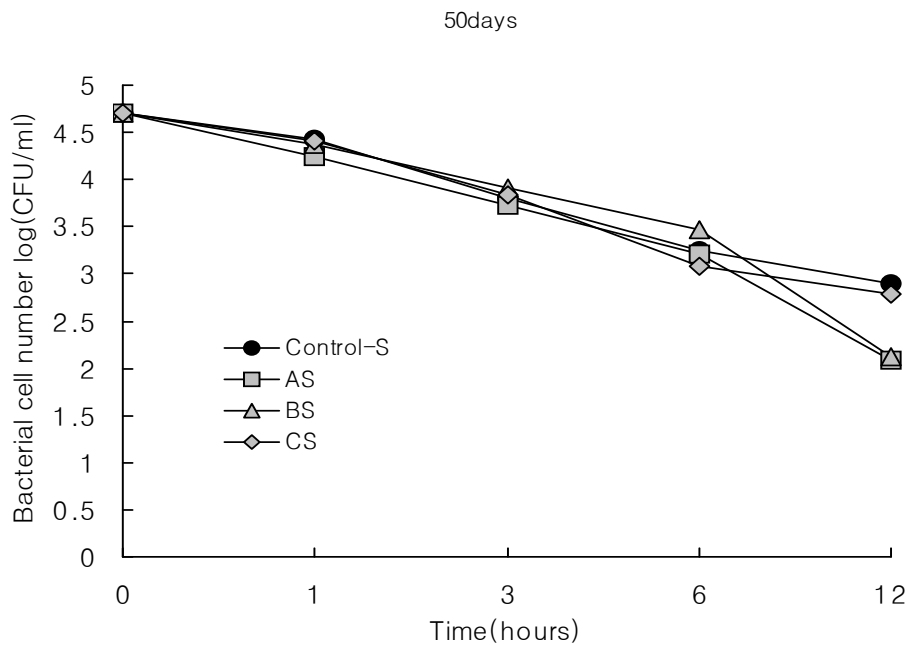


Fig. 1-6a. Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.

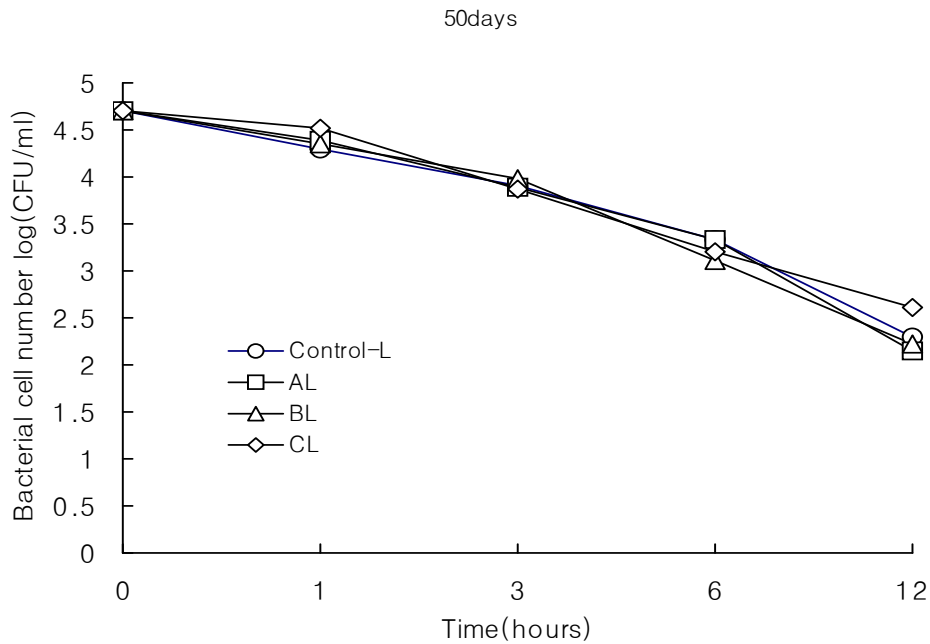


**Fig. 1-6b.** Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.



**Fig. 1-7a.** Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in fingerling red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.





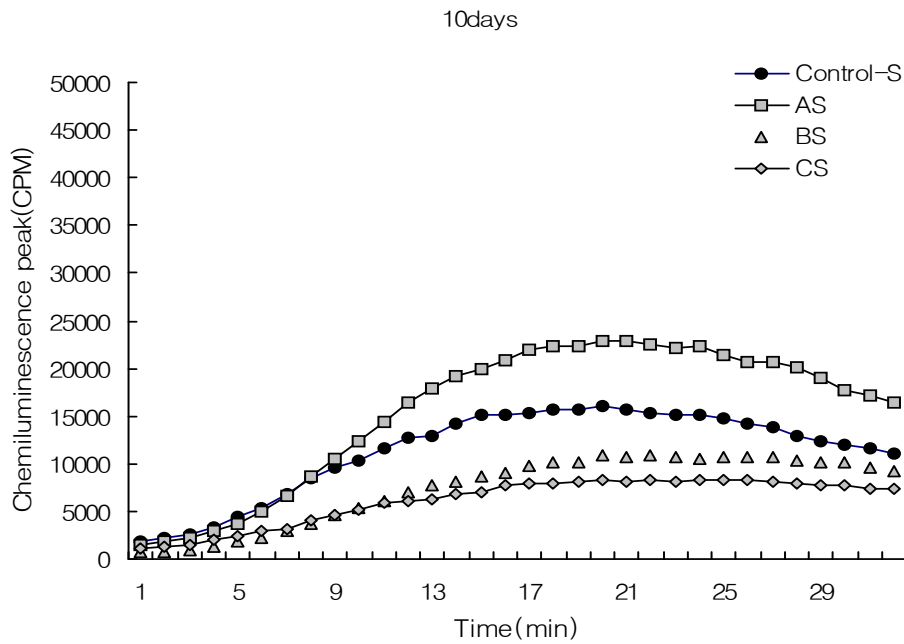
**Fig. 1-7b.** Changes of bactericidal reaction of the fresh serum against *E. coli* in adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.

다. 비특이적 세포성 면역반응

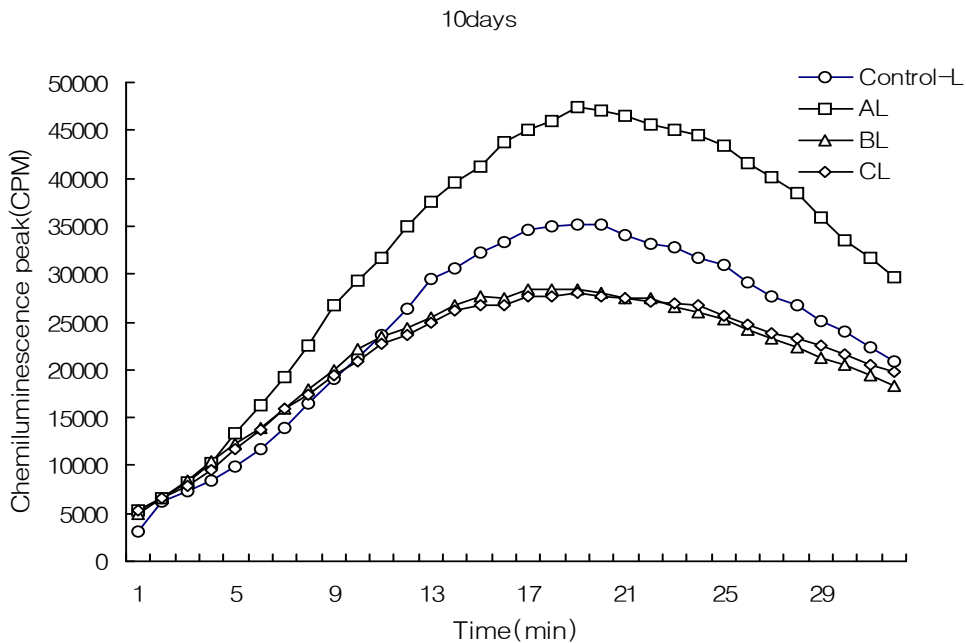
(1) 신장 대식 세포의 활성 산소 생산량에 미치는 영향

유속의 차이가 신장 대식세포의 활성 산소 생성능에 미치는 영향을 알기 위하여 화학발광 반응법 (CL response)을 이용한 결과를 소형어 시험구와 대형어 시험구로 구분하여 각각 Fig. 1-8a~1-10a 및 Fig. 1-8b~1-10b에 나타내었다.

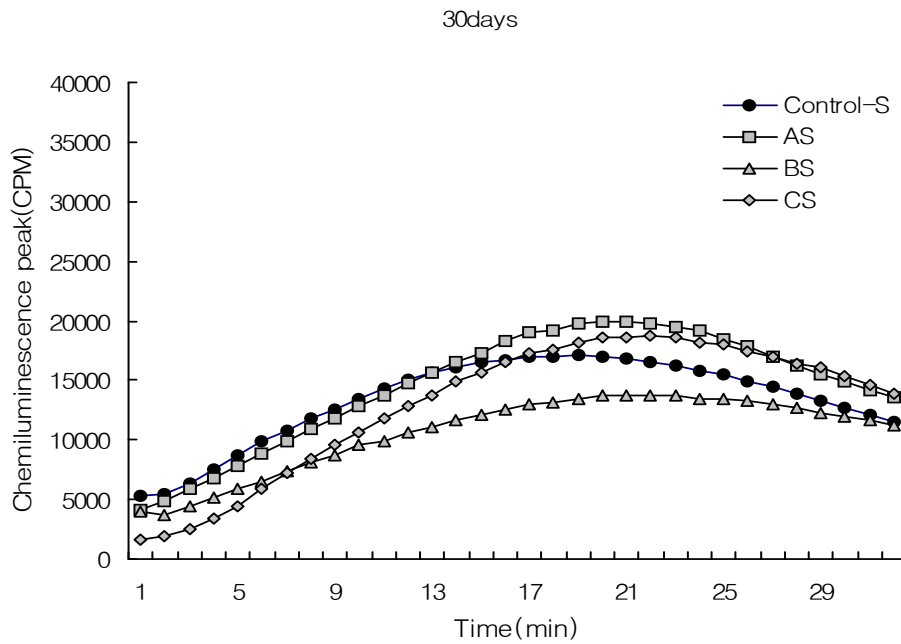
본 실험에 있어서 대식세포의 활성 산소 생성능을 전체적으로 검토해보면 일부의 측정 시기를 제외하면 소형어 시험구와 대형어 시험구에서 유속이 9 cm/sec로 가장 약한 시험구에서 높은 반응력을 나타내었다. 그리고 시험 개시 후 30일째까지는 활성 산소 생성능이 다소 떨어지는 경향을 보였으나 50일째 시험구에서는 시험 개시시의 수준 이상으로 회복되어 있는 것을 알 수 있었다.



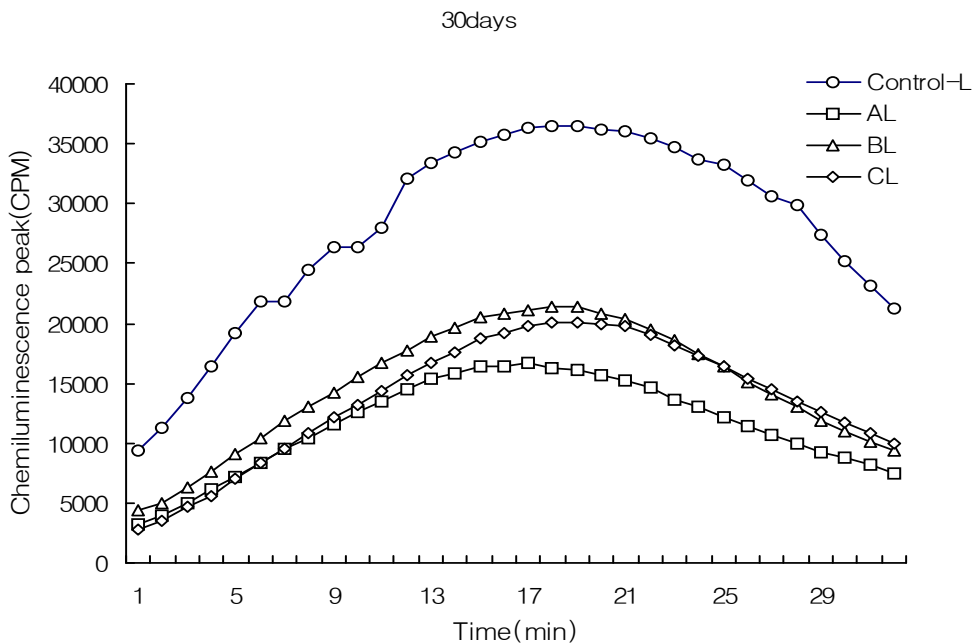
**Fig. 1-8a.** Changes of chemiluminescence response in the fingerling of red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.



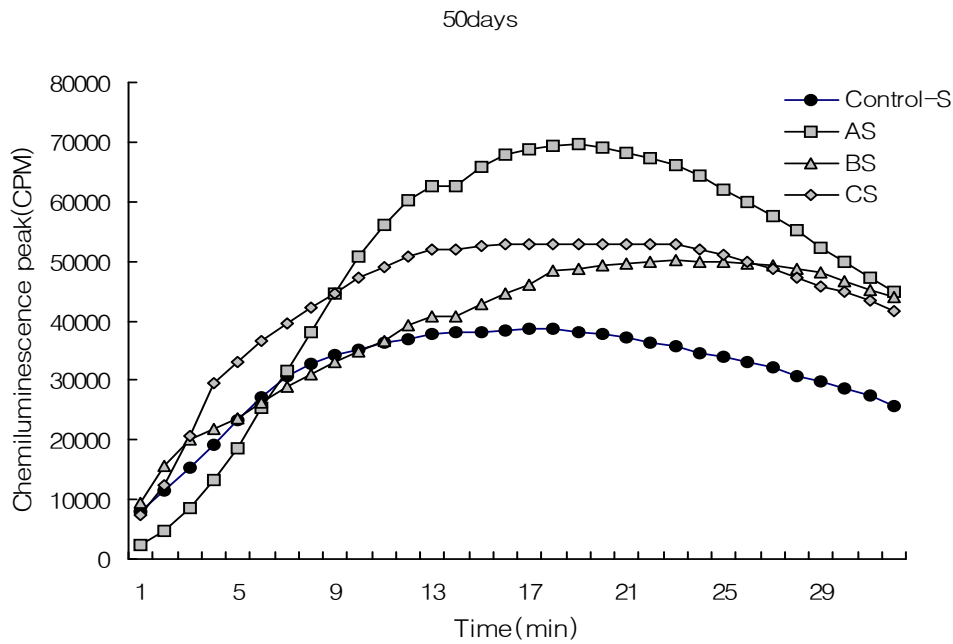
**Fig. 1-8b.** Changes of chemiluminescence response in the adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.



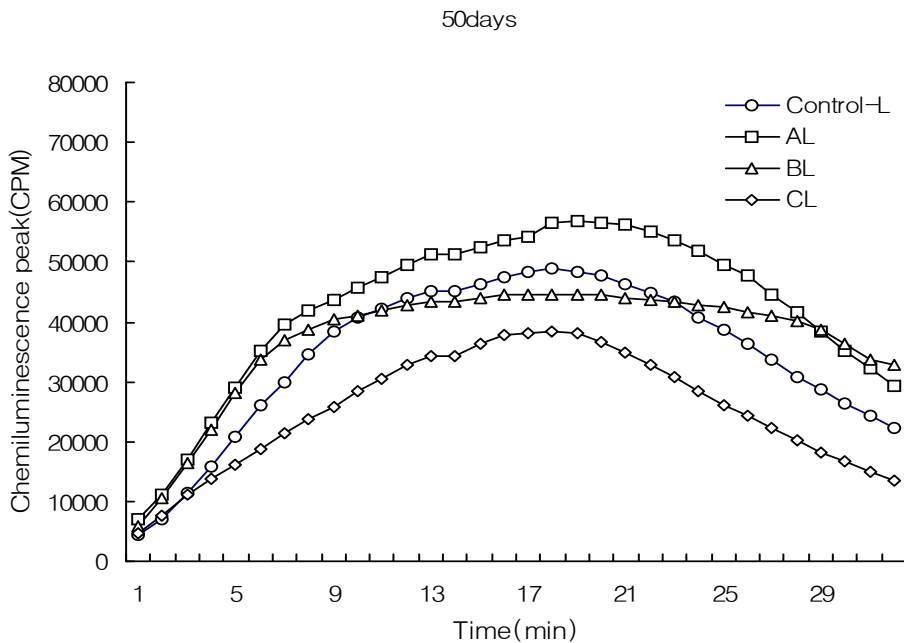
**Fig. 1-9a.** Changes of chemiluminescence response in the fingerling of red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.



**Fig. 1-9b.** Changes of chemiluminescence response in the adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.



**Fig. 1-10a.** Changes of chemiluminescence response in the fingerling of red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-S), 9 cm/sec(AS), 15 cm/sec(BS) and 25 cm/sec(CS), respectively.



**Fig. 1-10b.** Changes of chemiluminescence response in the adult red seabream, *Pagrus major*, accommodated to various speed of a current, 0 cm/sec(Control-L), 9 cm/sec(AL), 15 cm/sec(BL) and 25 cm/sec(CL), respectively.

## 나. 유기오염에 대한 반응

### 1) LSI (Liver-somatic index)

표 1은 60일간의 사육실험에서 BaP 노출농도별 참돔의 LSI치를 보여주고 있다. 결과 대조구의 수치는 2.1-2.2정도 였고, 초기에 BaP에 대한 영향이 뚜렷함을 보여 주고 있다. 대조구의 수치는 사육일수 7일 째에 실험구별 1.6-1.8치로 감소하였고, 이러한 결과는 사육일수 14일 째까지 유사한 경향을 보였다. 그러나 사육일수가 30일에 이르렀을 때 는 대조구 보다 오히려 증가하거나, 또는 증가의 경향을 보여 주었다. 사육일수 60일 째에서도 유사한 결과를 보여, 참돔이 유기오염에 영향을 받음을 알수 있었고, 이러한 영향을 사육초기에 특히 민감함을 보여주었다.

표 1. 참돔의 사육기반별 BaP에 대한 LSI치 변화

BaP (ng/g)	사육일수				
	0	7	14	30	60
Control	2.1±0.2	2.1±0.2	2.1±0.2	2.1±0.2	2.2±0.2
0.2	-	1.6±0.1	1.9±0.3	2.2±0.3	2.3±0.4
2	-	1.6±0.3	1.7±0.3	2.0±0.15	2.0±0.2
20	-	1.8±0.4	1.8±0.2	2.2±0.1	2.3±0.2

### 2) 성장치 변화

그림 1-11은 실험실 조건에서 유기오염물질이 참돔의 성장에 미치는 영향을 보여주고 있다. 본 실험결과를 통해서 참돔은 유기오염물질인 BaP에 직접적인 영향을 받음을 알 수 있었다. 흥미로운 것은 참돔이 유기오염물질에 받는 영향은 저농도의 실험구 (0.2ng/g)에서도 뚜렷한 영향을 받는 점이었다. 시험치에서 초기수치는 농도별 영향이 뚜렷하였는데, 사육일수가 길어짐에 따라 농도별 영향보다는 존자자체의 영향이 있음을 보여주고 있었다. 그러나 60일의 수치에서는 초기 7일째의 영향과 유사한 결과를 보였다. 대조구에서는 14일 및 30일째 변화가 심한 양상을 보였는데, 이것은 본 실험이 소형수조에서 진행된 것과 관련이 있는 것으로 판단되었다. 전반적으로 유기오염은 참돔의 성장에 유의하게 영향을 미쳤고, 따라서 우리나라의 연안이 전반적으로 다양한 종의 유기오염원에 의해 오염이 진행되고 있다는 점을 감안 할 때, 유기오염원이 비교적 적은 외해환경에서 양식은 최소한 유기오염물에 의해서 야기되는 성장저하 문제는 극복할 수 있을 것으로 판단되어지고 있다.

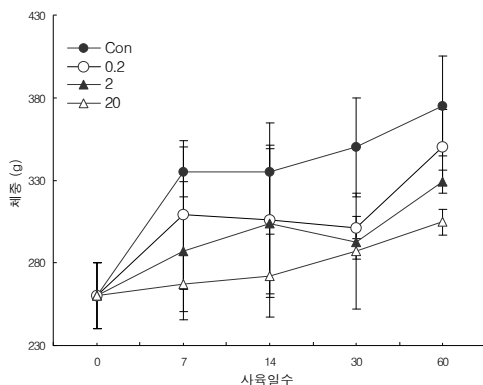


Fig. 1-11. Effects of benzo(a)pyrene on the growth of seabream.

### 3) 주요 생리지표물질의 변화

표 2는 그림 1-11의 성장과 관련하여 주요 생리지표물질의 변화를 보여 주고 있다. 본 실험에서는 지표물질의 변화를 glucose, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cortisol을 통해서 분석하였는데, 가장 유의한 결과는 cortisol에서 확인되고 있었다. Cortisol의 변화는 특히 초기에 많은 영향이 있었다. 이러한 수치는 일반적으로 cortisol이 환경변화에 대한 반응이 빠르고, 또한 조건이 지속됨에 따라 쉽게 복원되는 특성이 있다는 점에서 일반적인 양상의 패턴을 보여주고 있었다. 그러나 cortisol이 초기 특히 14일 까지 변화의 양식이 뚜렷하였다는 사실은 본 연구의 다른 요소와도 상응하는 결과이며, 종합적으로 판단 할 때, 유기오염물질이 참돔에 영향을 미치고 있다는 결론을 내릴 수 있었다.

표 2. 유기오염물질에 의한 참돔의 주요 생리지표 변화

노출일	노출농도 (ng/g BaP)	조사항목			
		Glucose (mg/dl)	Mg <sup>2+</sup> (mg/dl)	Ca <sup>2+</sup> (mg/dl)	Cortisol
0		21.3±4.1	4.8±0.2	5.7±0.2	0.10±0.01
7	Control	20±1	4.7±0.1	5.5±0.1	0.16±0.01
	0.2	23.9±7.1	6.3±1.2	5.5±0.6	0.15±0.03
	2	36.2±1.5	5.7±1.9	5.00.5	0.23±0.02
	20	28.9±1.6	2.9±0.2	5.0±0.1	0.31±0.20
14	Control	21±2.3	4.9±0.1	5.2±0.2	0.17±0.03
	0.2	17.4±2	6.0±2.3	0.5±0.2	0.15±0.10
	2	21.1±2	4.8±0.5	0.5±0	0.20±0.17
	20	15.9±1.7	5.5±1.4	0.5±0.1	0.39±0.20
30	Control	18±2	4.7±0.1	4.9±0.2	0.19±0.05
	0.2	18.3±5.8	2.5±0.3	6.8±1	0.19±0.02
	2	19.8±4.1	2.8±0.5	5.5±0.5	0.17±0.02
	20	20.8±1	3.0±1.0	5.3±0.4	0.15±0.16
60	Control	19.4±1.6	4.6±0.1	5.1±0.2	0.18±0.01
	0.2	19.6±1.6	0.3±0.4	6.5±0.5	0.15±0.10
	2	22.8±1.4	0.3±0	5.4±0	0.13±0.01
	20	25.8±1.5	3.3±0.1	4.3±0.8	0.19±0.13

#### 4. 결론

주요 양식 대상종인 참돔을 대상으로 외해환경의 물리적 특성 중 가장 중요한 요소인 유속에 의한 생물의 스트레스 반응을 측정하기 위해 유속별 참돔의 면역특성 변화를 추적하였다. 본 실험결과 참돔은 유속에 의해서 면역학적으로 스트레스를 받음을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 스트레스 특성은 초기에 국한되는 경향이 있었고, 이후 사육이 지속됨에 따라 유속에 대한 강한 적응력을 보였다. 이러한 적응의 시점은 본 실험에서는 약 40일로 나타났고, 이러한 것은 크기에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과에서 참돔은 외해의 물리학적 요소인 유속에서는 최소한 본 실험조건에서의 유속에 대해서는 크게 영향이 없음을 결론지을 수 있었다. 대부분의 경우 연안성 어종은 유속에 적응력이 있는 경우가 많고, 실내에서 종묘생산된 어종도 적절한 순치를 통해서 적응력을 높일 수 있다는 점을 감안하면, 참돔은 외해양식 대상종으로서 외해의 물리적 환경에 적응이 가능할 것으로 판단되었다. 다만, 본 연구에서 유속이 제한적이었다는 점은 추후 외해환경에 노출 될 경우 적응시간이 최소한 40일 이상이 소요된다는 점을 암시하고 있었다.

BaP에 대한 참돔의 반응은 초기 뚜렷한 양상을 보였다. 본 연구에서는 BaP에 대한 생물 반응을 Cortisol로 측정한 바, 본 Biomarker 물질에 대한 일반적 반응특성을 이해할 때, 최소한 유기오염물질은 참돔에 직접적 영향을 줌을 알 수 있었다. 이것은 Cortisol은 외부자극에 대한 일차적이고, 빠르게 반응하여, 추후 정상화가 된다는 점을 감안하고, 일반적으로 BaP는 장기적으로 생물의 다양한 생리적 기능에 영향을 미친다는 점은 BaP의 영향을 추측할 수 있게 해주고 있었다.

### 제 3 절 외해양식시설의 관리방법: 앵커 파주력 강화 방안

Maintenance method for Offshore aquaculturing facilities

- Model Test for pulling out resistance of the Self Expendable Pile Anchor

#### 1. ABSTRACT

Greater holding force of an anchor is required for keeping the position of a larger floating structure. According to the series of model tests of pile anchors with movable fluke, the square type pile anchor with fluke showed more than 6 times of the uplift pulling force comparing with the same type pile anchor without fluke. This uplift force is 100 times to its weight. I would like to propose this research proposal as one of the U.S.-Korea cooperative offshore aquacultural research proposals.

#### 2. Introduction

Mooring system is necessary for keeping the position of floating structures. The anchor resistance should be enough for the forces of floating structures. There are 4 type of anchors such as drag anchor, gravity anchor, embedded anchor and pile anchor.

anchors are usually installed in sand or silt sea foundation. Where the foundation is solid, concrete anchors such as gravity type are installed by free falling from boat. Concrete type gravity anchors are possible for field production and easy to install and have large horizontal resistance compared to small uplift resistance. It is said drag type anchors can be digged into the sand when it is dragged, but it is only our expectation. Compared to this, embedded pile anchors have good uplift resistance but it is difficult to embed pile anchor into sufficient depth. According to Jones, pile anchor has large horizontal resistance but small uplift resistance (Jones, 1985).

According to Mr. Langley gace (2004), one of the developing team of the Sea station 3000, current speed is only 65cm/sec. He insisted followings items.

1. they have never had a problem with the cage and those are the strongest currents we have measured.
2. They have a current meter in the water on one of our Puerto Rican sites right now because we think the currents are stronger there.
3. They have just had two very good reports that our Sea Stations did very in Puerto Rico in 6 meter waves for 48 hours.
4. He wants our data about the typhoon if we are anxious about the current speed.

We surveyed two representative sites in Jeju island and Ulsan. We selected the design parameters for the offshore aquaculturing facility as followings. Tidal speeds of two sites are from 0.5m/sec to 0.8m/sec in calm sea not in typhoon condition. It is beyond the limit of current speed of the Sea Station 3000. So we should device a scheme to



reinforce anchoring resistance.

Table 2-1 Design parameters for coastal structures

Parameter (for design of coastal structures)	Jeju	Ulsan
Wave periods (sec)	12.0	14.0
Wave height (m)	8.8	6.5
Wave direction (°)	S	S
Wind speed (m/sec)	40.2	31.7
Wind direction (°)	NE	NNE
Tidal current (m/sec)	0.5-0.8(E-W)	0.5-0.8 (S-W)
Tidal water level (m)	3.032	0.608
Bottom	Sand, Rock	Sand

In this study, a series of model tests were performed to increase the uplift resistance of pile anchor. Pile anchor should be installed on the sea foundation and it is difficult to install compared with the gravity anchor freely falling down from surface boat.

### 3. Pile anchor

Floating structures are used for the various purposes such as fisheries facilities, observation monitoring devices and barge mounted plant. Floating structures are inevitably affected by the external winds, waves, and currents. This external forces is resisted by the mooring system. The greater the external force is, the greater anchor resistance is required. (Berteaux, 1976; McClelland and Focht., 1958; Matlock and Reese, 1962; McClelland and Reifel, 1986).

Especially there are frequent typhoons in Jeju island. So much greater resistance of anchor is required. Nowadays suction pile anchor is considered for a representative one and it was patented for Gulf Co. and its installation technique is patented by Nethland's Noordhoek Diving Company. It has a cup type upside down on the sea bottom and discharged the water in the pile by using of ROV. The conceptual design of suction pile anchor is excellent but if we use this suction pile anchor, we should rely on patented foreign company. So it is not recommended for offshore aquacultural facilities.

We have studied the analysis of mooring system for the horizontal forces (Yoon, 1997). With this base we tried a series of model tests to develop pile anchor for the large uplift pulling out resistance.

For the large depth, the conceptual diagram for the installation of the concrete pile anchor is Fig. 2-1.

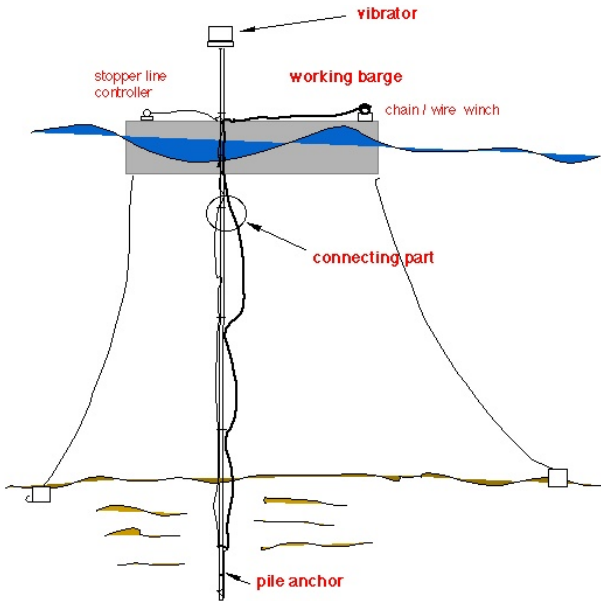


Fig. 2-1. Installation diagram for concrete pile anchor.

#### 4. Pile anchor model

The resistance force of the pile anchor should be less while installing and greater while pulling out. So pile anchor with symmetric flukes and asymmetric ones movable up to 45 degree was attached to the main body. There were some cases that the flukes were not folded for circular pile anchor. This problem can be solved with assistant mooring line attached to the flukes to be exerted in advance before the main mooring line force is delivered to pile anchor (Yoon, 2003).

The assistant mooring line Q1 is connected to the fluke developer and main mooring line Q2 is connected to the whole pile anchor as Figure 5. We expect this self expendable pile anchor can be exerted even in gravel sand foundation.

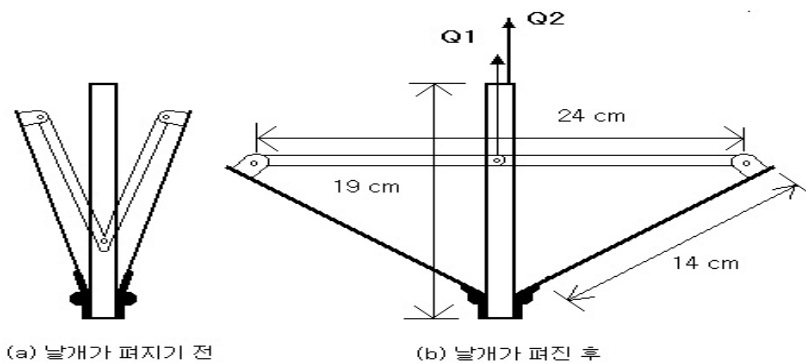


Figure 2-2. Self expendable anchor.

5. Analysis of the measuring results of pulling out of the pile anchor model

This model test was measured in the interval 1/15 sec. with loadcell and digital indicator BS-4100A, RS232C board, and Window 95 PC as Figure 2-3.

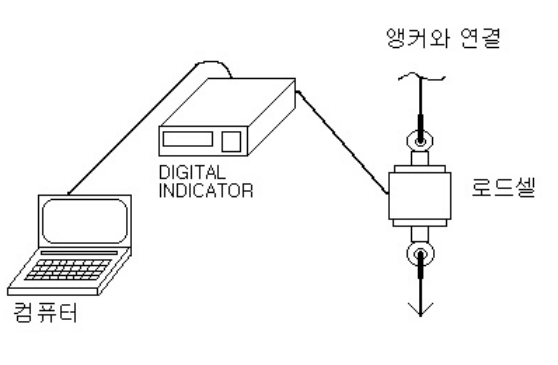


Figure 2-3. Measuring device for pulling force.

The pulling out model tests were performed 3 times and the measured values are shown in Figure 2-7, 2-8, 2-9.



Figure 2-4. Pulling force for symmetric circular pile anchor.

Only the pulling out resistances were measured and the velocity of pulling out was not measured due to the lack of measuring devices.



Figure 2-5. Pulling force for unsymmetric circular pile anchor.



Figure 2-6. Pulling force for square pile anchor.

The larger areas under the curves of pulling out resistance is better than the smaller ones because the larger ones can cope with larger resistance. The reason why the holding power of the square pile anchor shows greater than that of circular one is the greater area under the curve. The time when the maximum pulling out resistance is different for the type of pile anchors, but the average pulling out resistance is 6.7 times for the pile anchors with fluke compared with the pile anchors shown as Table 2-2.

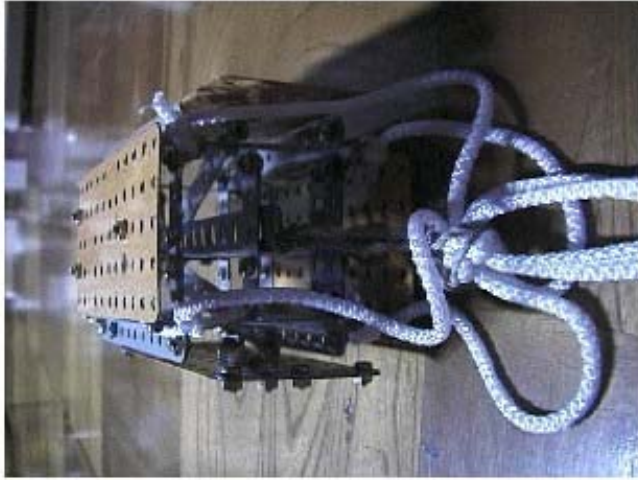
Table 2-2 comparison of pulling force for pile anchors with/without fluke.

Pile type	Pulling force (kgf)	Pulling force ratio with/without fluke
Circular pile	1.12	
Symmetric circular pile anchor	7.68	6.86
Unsymmetric circular pile anchor	9.05	8.08
Square pile	1.52	
Square pile anchor	10.21	6.72

Table 2-3 Comparison of pulling force with pile anchor's weight.

	Weight (kgf)	Pulling force (kgf)	Pulling force ratio to weight
Symmetric circular pile anchor	0.16	7.68	48.0
Unsymmetric circular pile anchor	0.18	9.05	50.3
Square pile anchor	0.10	10.21	102.1

【도 7】



【도 8】

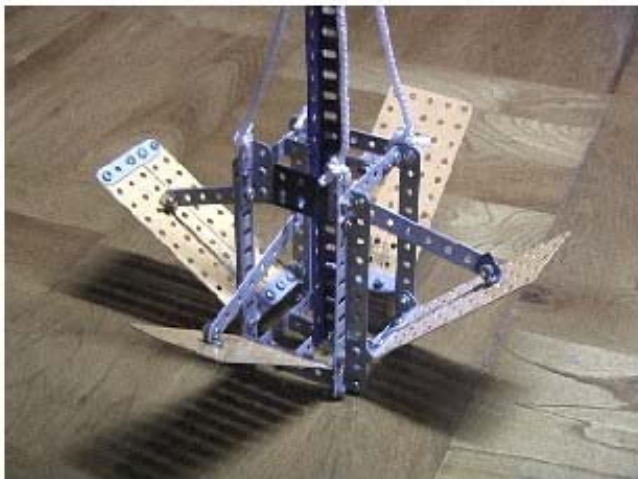


Figure 2-7. Above: unfolded anchor model, below: self expanded anchor model



Figure 2-8. Korean patent reight for self expandable anchor.

## 6. Results and discussions

It shows about 6 times for symmetric circular pile anchor and 8 times for square pile anchor, and unsymmetric circular pile anchor. As we can see in Table 2 when compared with its weight, especially the resistance of the square type pile anchor shows about 100 times. Compared with the ordinary pile anchor shown about 50-60 times of its weight, the square type pile anchor shows excellent performance. This self expandable anchor is patented in Korea as Patent No. 0387375. It is worthwhile to test the validity of the pulling out resistance for the effect of the length of flukes. If this model tests were performed and modified with the ultra sonic measuring devices, we can see the fluke folding shape and more detail pulling out resistance.

We would like to propose for proto type model tests with aquacultural facilities such as the sea station 3000 in real sea of Jeju island. But as you see, the sea grant does

not allow the financial support for the facilities. We would like to study this research proposal with U.S.-Korea cooperative study. We hope to extend this research year by year to conceptual study, model test and real sea aquacultural net system by using of this pile anchor and to develop Korean type aquacultural netting system.



#### 제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

○ 연구목표의 달성도 및 관련분야의 기술적·학문적 발전에의 기여도 등을 기술

○ 경제적 측면 (성과의 산업계 이전 및 산업화를 통한 기대효과 등)

- 현재 우리나라의 내만은 대부분 양식장이 과밀한 상태에 있으며, 미래의 부족한 수산식량 확보를 위한 양식장 공간이 필요한 시점에 있으며, 연안 대체 후보지로 외해를 활용할 수 있음.
- 외해는 조류의 소통이 원활하고, 어류양식시 필요한 양질의 사육수가 무한히 보장되어 있어 양식공간 경쟁요인이 없으며, 따라서 미래 양식생산성 제고에 기여 할 것으로 보임.
- 적조피해로부터 안전한 양식을 영위할 수 있음.
- 양질의 사육수를 확보함으로써 질병의 자연발생을 억제하여, 그 결과 약제사용에서 오는 경제적 및 환경적 손실을 최소화 할 수 있음.

○ 연안오염의 방지 및 연안 조망권 문제 해결

- 어류양식은 연안오염을 유발하는 주요 요인중의 하나이며, 특히 대부분의 어류양식시설이 내만에 위치하므로 국지적 오염을 심각히 유발하며, 이는 적조 및 질병발병이라는 2차적 피해를 야기시키고 있으며, 육상 및 내만에 위치한 어류 양식시설은 외해로 이동시킴으로 연안환경을 개선하는 효과를 가져옴.
- 현재 우리나라의 연안은 무분별하게 양식시설이 산재하고 있는 실정이며, 이러한 시설물은 연안의 조망권과 휴양지로서의 가치를 떨어뜨리고 있어, 휴양지로서 국민의 연안이용권리를 복원시킬 수 있는 대안이 됨.

○ 통합양식 시스템의 구축 및 기술정보산업화에 대비

- 외해는 기초생산력이 부족한 곳으로, 생태적으로 trophic level이 높은 어류를 양식하고 내만은 부유물식성인 패류를 중점적으로 양식하는 대규모의 생태적 균형을 추구하는 과학적, 미래지향적 통합양식 및 환경친화적 양식을 추구할 수 있음.
- 외해양식은 현재 미국에서 집중적으로 연구되고 있고, 우리나라에 적합한 기술을 확보함으로써 차후 기술정보산업화에 대비.

○ 학술적 측면 (성과의 타 산업 및 학문에 미치는 효과 등)

- 외해양식은 시설과 운영에 있어 첨단기술과 과학적 운영에 바탕을 둔 새로운 형태의 양식방법이며, 이 방법의 성공적 도입은 기존 양식이 갖는 문제점을 해결 할 수 있을 뿐 아니라, 기존의 내만 중심 양식에도 기술적, 방법적으로 영향을 미칠 수 있을 것으로 보임.

○ 인적 측면

- 외해양식은 미국에서 개발되어 최근들어 미국을 포함한 여러 국가에서 연구차원에서 보급, 운영되는 양식방법인 바, 미국의 시스템을 이해하는 일은 필수적이며,
- 본 과제의 연구팀은 2000년 해양수산부와 미국의 NOAA간 회의에서 합의된 사항인 연안 및 해양자원관리에 관한 과학, 기술적 협력 사항의 일환으로 개최된 2002년 제1회 한미수산양식협의회, 2002년 하와이협의회, 2002년 제1회 외해양식전문가협의회, 2003년 제2회 외해양식 전문가협의회 등을 통해 국내에서 전문지식을 축적해 왔음.

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

- 외해양식의 양식학적 기법 확립
  - 후보 양식생물 대상종 선별에 대한 기준 제시
  - 양식 대상어종의 생태/생리적 특성 분석
- 양식시설의 설치, 유지 관리 기법
  - 계류계 설치, 가두리 배치, 유지 관리 기법 연구
  - 양식시설의 개선방안 연구

## 제 6 장 참고문헌

Berteaux, H.O., "Buoy Engineering", A Willy-International Pubrication, pp.97-309,1976.

Cox, W.R., L.C. Reese and B.R. Grubbs, "Filed Testing of Laterally Loaded Piles", OTC 2079, pp.459-472, 1974.

Hudson and Hay(1989) tryphan blue exclusion method

Langley gace, Private E-mail, 2004

Manual of Suction Pile Technology, 1996

Matlock, H. and L.C. Reese, "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles", Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 127, pp.1220-1251, 1962.

McClelland, B. and J.A. Focht, "Soil Modulus for Laterally Loaded Piles", Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 123, pp.1049-1086, 1958.

McClelland, B. and M.D. Reifel, "Planning and Design of Fixed Offshore Platforms", Van Nostrand Reinhold, pp.801-817, 1986.

Miles and Misra(1938)

Vijayan, M.M., Raptis, S. and Sathiyaa, R., 2003. Cortisol treatment affects glucocorticoid receptor and glucocorticoid-responsive genes in the liver of rainbow trout. *Gen. Comp. Endocrinol.* **132**, 256 - 263.

이정의, 한국형 외해양식에서의 대상종과 특성, Korea-U.S. on Seminar offshore Aquaculture Technology, May 19, 2004, Jeju, Korea.

윤길수, SureMath 의 선박설계 활용 예, 대한조선학회 1999년 추계학술대회 논문집, pp. 57-60, 1999.

윤길수, 자기전개식 앵커 특허등록증, No.0387375, 2003

※ 각 장, 절별로 목차 및 페이지를 기록토록 함.

## 본문작성요령

1. 본문의 순서는 장, 절, 1, 가, (1), (가), 1), 가), ①, ㉠ 등으로 하고,
  - 장은 3호(16포인트) 고딕체
  - 절은 4호(14포인트) 명조체
  - 항은 5호(11포인트) 명조체
  - 본문은 5호(11포인트) 명조체로 한다.  
단, 본문의 내용중 중요부문은 고딕체로 사용할 수 있다.
2. 장은 원칙적으로 페이지를 바꾸어 시작한다.
3. 본문은 5호(11포인트) 황으로 작성한다.
4. 페이지 번호는 하단 중앙 끝에 5호(10포인트) 활자로 한다.
5. 각 주(註)는 해당 페이지 하단에 6호(8포인트) 활자로 표기하여 본문과 구분토록 한다.
7. 페이지수는 편집순서 2의 제출문부터 시작한다.  
단, 삽입물이 있을 때는 그 삽입물의 크기에 불문하고 1면을 한 페이지로 하여 일련번호를 붙인다.
8. 한글, 한문, 영문을 혼용한다.
9. 뒷면지에는 주의문을 넣는다.
10. 참고문헌 인용의 경우 본문중에 사용처를 반드시 표시한다.

## 주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 “해양한국발전프로그램 (KSGP)연구개발사업”의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 “해양한국발전프로그램(KSGP)연구개발사업”의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.