

외해가두리 양식 및 관리기술 연구

Development of Offshore Aquaculture and Technology

주관연구기관	국립수산과학원 제주수산연구소
연구책임자	한석중
발행년월	2009-12
주관부처	농림수산식품부
사업관리기관	농림수산식품부
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201200010888
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 16:56:11

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

2009년도

국립수산과학원 사업보고서

Report of National fisheries Research & Development Institute

외해가두리 양식 및 관리기술 연구

Development of Offshore Aquaculture and Technology

제주수산연구소

Jeju Fisheries Research Institute

국립수산과학원

National Fisheries Research & Development Institute

2009 국립수산과학원 사업보고서 외해가두리 양식 및 관리기술 연구

국립수산과학원 제주수산연구소

보고서 요약

과제관리번호		연구기간	2008-2009	단계 구분	종료
세부과제명	외해가두리 양식 및 관기기술 연구				
연구항목명	<ul style="list-style-type: none"> · 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구 · 주변생태변화 모니터링 및 경제성 분석 				
연구책임자	한석중	해당단계 참여연구원수	총 : 22명 내부: 19명 외부: 3명	해당단계 연구비	정부: 260,000천원 기업: 천원 계: 260,000천원
과제소관부서명	제주수산연구소		참여기업명		
요약(연구결과를 중심으로 500자 이내)					보고서 면수
<p>1. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고등어 친어 1,076마리를 확보하여 사육하였으며, 인공종묘생산을 통하여 고등어 치어 155천마리를 생산하였음 ○ 고등어 대량생산 시험을 위하여 어미 1,600마리에 대하여 호르몬 주사에 의한 산란 유도 결과 고등어 등근육에 호르몬을 직접 주사한 경우 수정율이 낮게 나타났고, pellet을 주사한 경우는 1일 산란양이 많지 않아서 대형수조를 이용한 대량생산에는 개선이 필요 함 ○ 외해가두리에서의 산란특성 조사를 통해 고등어와 참돔의 가두리 내 수중 산란을 확인하였고 1일 최대 참돔 수정란 1,450 cc수거에 성공 ○ 외해가두리 고등어 양성 시험 결과 08년 8월 70.9 g의 고등어를 입식하여 '09년 8월 584.5 g으로 성장하였음 ○ 고등어의 어체성분 분석 결과 고등어의 등근육은 지방함량이 배근육보다 낮고 단백질 함량은 높은 값을 보였고. 양식산 고등어는 자연산 고등어에 비해 지방이 유의하게 높은 함량을 보였음 <p>2. 주변생태변화 모니터링 및 경제성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주변생물 변화 모니터링을 위하여 COD, 총질소, 총인 등 수질환경조사를 4회 실시하였고 현재까지도 환경의 변화는 일어나지 않고 있음 ○ 고등어 경제성을 분석한 결과 이자율을 8%로 가정할 경우 순 현재가치(NPV)는 고등어는 약 4.70억 원, 참돔은 1.74억 원으로 분석되었고, 내부수익율(IRR)은 24.5 %, 12.3 %로 나타났다. 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	외해양식, 외해가두리, 환경 모니터링, 환경관리, 환경 수용력, 시설물 안전성, 경제성 분석, 대상어종, 사육, 지속가능한 양식, 책임 양식, 생태기반 양식, 환경친화적 양식, 안전 식품			
	영 어	Offshore aquaculture, Offshore cage, Environment monitoring, Environment management, Carrying capacity, Cage safety, Economic analysis, Target species, Culture, Sustainable aquaculture, Responsible aquaculture, Ecosystem-based aquaculture, Food-safety products			

요 약 문

I. 제 목 : 외해가두리 양식산업 기반기술 개발

- 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구
- 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

외해가두리 양식에 적합한 대상종을 개발하고 사육관리 방안에 대한 관리지침을 마련하여 양식생물에 알맞게 개량하고 실용화시킴으로써 고품질의 해산어류를 안정적으로 생산할 수 있는 방안을 마련하고, 연안의 어류양식에 의한 환경오염을 최소화시킴으로써 외해양식을 수산양식업의 금후 정책으로 수립, 추진할 수 있는 기반을 마련하는데 있음.

2. 필요성

가. 기술적 측면

양식은 일정 수면에서 생물을 사육하여 수익을 창출하는 행위를 말하며, 해산어류 양식의 문제점은 시설물에 의한 해양의 자정능력 저하, 먹이를 사용하는데 따른 찌꺼기 및 배설물의 퇴적 등으로 연안환경 오염의 주요한 요인 중 하나로서 인식되고 있다. 근년에는 양식기술의 발달로 고밀도 사육이 이루어지면서 연안 해역 환경은 더욱더 오염이 가중되어 진행되고 있는 실정이다.

우리나라에서 해면을 이용한 어류양식은 비교적 풍파에 시설물 유지가 용이한 남해안의 내만을 중심으로 집중적이고 고밀도로 이루어지고 있으며, 비교적 높은 파도가 일어나는 동해안과 및 제주도의 청정해역에서는 양식 시설물 유지가 곤란하여 아직까지도 활발하게 양식이 이루어지지 못하고 있다.

외해 수면의 입체적 활용과 환경허용 범위 내에서 실현가능한 양식 산업 육성을 위한 정책을 마련하기 위하여 2005년부터 제주해역에서 외해가두리 양식 시험어업을 추진 중이다. 우리나라에 시설되어 있는 연안 가두리 양식이 목재와 스티로폼 부자로 제작한 뗏목형 구조로 되어 있어서 2003년도에는 태풍에 의한 양식시설 피해가 1,300여 억원, 양식생물 피해 금액은 4,000여 억원으로 추정되고 있다. 시험어업을 통하여 시설의 안전성을 검

증하고 경제성을 평가하여 새로운 대안을 제시할 필요성이 있으며, 우리나라 양식산업의 활로를 개척하고 경쟁력 강화를 위해서는 수질이 양호한 외해에서 고품질 어류의 안정적 생산할 수 있는 기반이 필요하다.

나. 경제·산업적 측면

우리나라 수산업은 국가 간에 이루어지고 있는 FTA 및 연안자원 보호를 위한 각국의 노력 등 국내외 환경변화로 조업구역이 위축되어 있고, 남획 및 해양환경 오염 등에 의해 어족자원이 급격히 감소하면서 양식업 의존도는 점점 커지고 있다. 그러나 우리나라 해산어류 양식은 내만에서 고전적인 방식으로 이루어지면서 사료의 유실 및 배설물에 의한 수질악화와 더불어 매년 발생하는 적조에 의한 피해, 태풍에 의한 시설물 및 사육생물 손실 피해도 매년 심각한 실정이다.

이에대한 대안으로서 외해양식의 경우 시설물은 태풍에 견디고 생물보호가 가능한 정도의 시설을 설치 운용할 수 있을 정도의 기술수준으로 발전시킬 수 있기 때문에 경제·산업에 미치는 파급효과가 클 것으로 기대된다.

다. 사회·문화적 측면

해산어류 양식은 연안에서 집중적으로 이루어짐으로써 연안환경 오염주범으로서 부각될 뿐 아니라 항해 및 조망권 침해 등에 의한 지역주민과의 마찰이 증가할 것으로 예상된다. 이러한 현상은 지방자치가 강화되면서 레저와 관광을 겸비한 연안어장 활용이 활발해질 것이므로 수중 노출 시설물에 대한 주민과의 마찰은 더욱 거세질 것으로 전망되고 있다. 그러나 국민들에게 품질이 우수하고 안정적인 수산물 공급과 어가소득향상을 통한 풍요로운 어촌을 위해서도 경쟁력 있는 어류 양식산업으로 발전할 수 있어야 할 것이다. 이를 위해 외해양식을 개발하여 보급함으로써 수산업이 처한 당면한 문제를 극복하고 국제적인 경쟁력을 가질 수 있는 고부가가치 산업으로 육성 발전시킬 수 있는 방안이 절실히 요구되고 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 연차별 연구개발 목표와 내용

연 도	목 표	내용 및 범위	비 고
1차년도 (2008년)	회유성 대상종 인 고등어에 대한 수익성 양식기술 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦회유성 어종 실내사육 및 종묘생산 연구 ◦회유성 대상종 양성시험 ◦배합사료 급이체계 연구 ◦스트레스 반응과 품질평가 및 육질분석 	외해양식 대상종 개 발과 사육관리 및 운 영체계연구
	사육관리 운영체 계 연구, 환경영향 모니터링 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> ◦사육관리 운영체계 연구 ◦해양환경 조사 ◦주변해역에 대한 생물유집효과 분석 	주변생태변화 모니터 링 및 경제성 분석
2차년도 (2009년)	회유성 대상종인 고등어, 참다랑어 대한 수익성 양식 기술 모델 개발 참다랑어 시험사 육 및 산업화 방 안 제시	<ul style="list-style-type: none"> ◦종묘생산 시험 및 초기 먹이 계열 조사 ◦회유성 대상종 양성시험 <ul style="list-style-type: none"> - 고등어 외해가두리 양식 - 참다랑어 시험 사육 ◦사료 급이 프로그램 구축 ◦사육생물 유영특성 조사 	외해양식 대상종 개 발과 사육관리 및 운 영체계연구
	사육관리 운영체 계 연구, 환경영향 모니터링 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> ◦해양환경 조사 및 영향 분석 ◦경제성 분석 	주변생태변화 모니터 링 및 경제성 분석

2. 연구개발 방법

가. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구

- 자연산 고등어 어미 확보를 위하여 통영 육지도와 제주 표선에서 2년산을 구입하
여 실내에서 사육 관리하였다.
- 대량 종묘생산 기술개발을 위하여 LHRHa 호르몬을 사용하여 어체중 Kg당 125 µg

비율로 등지느러미 하단 부위 근육에 주사하고 수정란을 확보하였고, 수온자극에 의한 자연산란 유도 및 수중채란 시험을 실시하였다.

- 외해가두리 양성 시험은 고등어의 입식을 실시한 후부터 성장 조사를 위하여 격월로 전장, 체장, 체중 등을 측정하였다.
- 자연산 및 인공산 참다랑어를 외해가두리에 수용하여 외해양식 가능성을 검토하였다
- 사육 방법에 따른 품질 영향 평가를 위해 자연산 고등어와 양식산 고등어의 가식 부위를 절단하여 AOAC (1990)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(105℃, 6시간)으로, 조단백은 Auto Kjeldahl System (VAP50OT/ TT125, Gerhard)를 사용하여, 조지방은 soxhlet 추출법으로, 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다.
- 사육관리체계 연구를 위해 고등어의 수온별 산소 소모량은 695±70 g의 것을 이용하여 수온 16, 20, 24, 28℃에서 시간별 소모량, 치사농도, pH 및 암모니아 농도 변화 등을 조사하였고, 종묘생산 및 양성과정 중 선별, 계측, 수송 등 핸들링 과정에서 발생하는 폐사방지를 위해 사용되는 MS-222, clove oil 및 2-Phe -noxyethanol 마취제를 농도 50, 100, 200, 400, 600 및 800 ppm로 달리하여 마취 및 회복실험을 실시하였다.

나. 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석

- 외해가두리 주변 생태변화 모니터링은 주변 해역의 생물유집효과 알아보기 위하여 비주얼 조사와 삼중자망 및 통발을 이용한 어획조사를 실시하였고, 해양환경 조사 및 영향 평가를 위하여 해류 특성을 고려하여 외해가두리 양식장을 중심으로 동남 방향의 7개 정점에 대하여 해수(수온, 염분, DO, 영양염, TOC, 색소 등)와 퇴적물(입도, TOC, 색소)을 조사 분석하였다.
- 연안가두리(통영 육지도)와 외해가두리 양식장(제주 표선)이 환경 중에 미치는 영향과 오염 특성을 파악하고자 가두리 설치위치와 10 m, 100 m, 200 m, 500 m에서 수질(COD, DIN, DIP, TN, TP)과 퇴적물(함수율, 강열감량, 퇴적물 COD, 산취발성 황화물)을 조사하였다.
- 참돔 외해가두리양식 경제성 분석에 있어서는 2006.12~2009.3 기간동안 제주도 외해가두리양식 운영결과로부터 도출된 생물학적 자료(생존율, 사료계수, 중량 등)와 경제적인 자료(시설투자비 등의 고정비용, 운영경비 등의 변동비용, 시장가격 등)를 수집하여 경제성분석을 위한 기초 자료로 이용하였다.

IV. 연구개발 결과

1. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구

1-1. 외해양식 대상종 개발

- 고등어 친어 1,076 마리를 사육하였으며, 실내사육에 통하여 성숙지수를 조사한 결과 GSI 값은 6월 중순이후 지속적으로 상승하여 7월 2일에 GSI 14.3으로 최고치가 나타남
- 고등어 종묘 대량생산 시험을 위한 수정란 확보를 위하여 어미 1,600마리에 LHRHa 호르몬을 주사하여 산란 유도한 결과 고등어 등근육에 호르몬을 직접 주사한 경우에는 수정율이 낮게 나타났고, pellet을 주사한 경우는 1일 산란양이 많지 않아서 대형수조를 이용한 대량생산에는 개선이 필요하였음, 또한 자연산란 유도 및 채란을 위하여 지하해수와 자연해수의 배합비를 달리하여 수온자극을 실시하였고 이를 통하여 소량의 자연산란 유도에 성공하였음
- 산란유도를 통하여 확보한 수정란을 이용하여 고등어 종묘 생산을 실시하였는데 부화 후 30일경에 종묘크기인 가랑이체장 7 cm이상 성장하여 초기성장이 무척 빠른 것으로 나타났다. 고등어 인공종묘 155천마리를 생산하여 외해가두리 사육을 위해 70천마리에 대하여 중간육성을 실시하였음
- 외해가두리 고등어 양식 시험을 위하여 다량의 종묘 확보가 가능한 정치망에서 자연산 고등어를 어획하여 외해가두리 양식장에 수용한 결과 '08년 8월 70.9 g의 고등어가 '09년 8월 584.5 g으로 성장하였음

1-2. 사육관리 및 운영체계 연구

- 외해가두리에서 양식한 고등어의 일반성분을 분석한 결과 조지질 함량이 낮게 나타나고 있어서 배합사료 급이량이 부족한 것으로 추정되며 배합사료 공급량을 늘릴 필요가 있었음, 고등어의 등근육은 지방함량이 배근육보다 낮고 단백질 함량은 높은 값을 보였으며, 양식산 고등어는 자연산 고등어에 비해 지방이 유의하게 높은 함량을 보였음
- 고등어를 대상으로 수온별 산소 소모량을 조사한 결과 24℃와 28℃의 소모량은 16℃에서보다 약 2배 이상 소비하였고, 빈산소 상태에서는 1시간 이내에 폐사에 이르고 있음을 알 수 있었음. 또한 일반 육상양식장의 대형수조에서 산소농도의 변화를 조사한 결과 배합사료 공급 직후에는 3 mg/L 까지 저하하는 것으로 나타나 용존산소가 고등어 양식에 있어서는 매우 중요한 요소로 확인되었음
- 고등어 양식과정에서의 문제점 개선을 위하여 핸들링(이송, 수확) 시에 마취효과

시험을 실시한 결과 MS-222 및 2-Phenoxyethanol은 회복시간이 짧고, 폐사도 안정적인 반면, Clove oil은 저농도에서도 마취효과 높으나 회복시간 및 정상 유영까지 많은 시간이 소요되며 폐사의 위험성도 높은 것으로 나타남

- 외해가두리 양식어장에서 자연 산란된 수정란을 확보하기 위하여 채란효과 실험을 실시한 결과 고등어와 참돔의 가두리 내 수중 산란을 확인하였고 1일 최대 참돔 수정란을 1,450cc나 수거함으로써 수중채란에 성공하여 친어관리를 위해 외해가두리를 이용하는 방안이 긍정적으로 검토되었음

2. 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석

1-1. 주변 생태변화 모니터링

- 주변생물 변화 모니터링을 위하여 COD, 총질소, 총인 등 수질환경조사를 4회 실시하였고, 현재까지도 환경의 변화는 일어나지 않고 있음을 알 수 있었는데 유기물질의 COD 농도는 표층에서 4월에 0.33 ± 0.34 , 5월에 1.84 ± 1.04 mg/L이며, 저층에서 4월에 0.47 ± 0.21 , 5월에 2.09 ± 0.83 mg/L로 시기별 큰 차이를 보이고 있으며 또한 저층이 표층보다 높은 농도를 보이고 있었음
- 가두리 해역의 생물유집 효과를 2월, 4월, 7월 10월 4회 실시한 결과 비주열 조사에서 6월부터 주변에 어류군집이 관찰되었고, 저서어류조사에서는 가두리 주변의 통발에서 솜뱅이, 붕장어, 황놀래기를 주로 하여 어획량이 높았음
- 연안가두리와 외해가두리의 수질측정 결과 COD는 연안가두리가 1.10, 외해가두리가 0.60 mg/L로 연안가두리가 약 2배 높음, 총질소(TP)는 연안가두리가 0.680, 외해가두리가 0.150 mg/L로 연안가두리가 약 4배 이상 높음

1-2. 경제성 분석 결과

- 고등어 경제성을 분석한 결과 이자율을 8%로 가정할 경우 순 현재가치(NPV)는 고등어는 약 4.70억 원, 참돔은 1.74억 원으로 분석되었음, 내부수익율(IRR)에 있어서는 고등어와 참돔이 각각 24.5% 및 12.3%로 나타나 높은 수익율을 보이고 있음

V. 기대효과 및 활용방안

1. 기대 효과

가. 기술적 측면

- 고도 회유성 양식대상종에 대한 외해양식 기술 확립

- 외해가두리 관리기술 정착으로 양식의 산업화 및 기업화 유도
- 우리나라 양식을 기업화 및 산업화시킴으로써 양식경영, 사육시설물의 유지관리, 생산물의 채취 및 운반 등과 같이 분업화 할 수 있음
- 경험에 의존하여 운영 관리되어 왔던 양식업을 과학적인 데이터에 근거하여 최적의 생물서식조건을 제공하고 우리나라 자연환경에 적합한 가두리 운영관리 모델을 개발하여 기술적인 우위를 점함으로써 추후 우리나라와 자연조건이 비슷한 국가에 대해 수출품으로 육성 가능

나. 경제·산업적 측면

- 한국의 기존양식 패러다임과 정책을 보완 개선할 수 있는 수익성 모델을 개발함으로써 국제 경쟁력 확보 및 생산성 향상 기대
- 연안가두리의 적조, 태풍, 질병, 생산성 저하 등의 문제를 해결하여 양식산업의 활성화에 기여
- 무한한 잠재력이 있지만 태풍에 대한 안전성이 확보되지 않은 외해를 레저와 연계한 양식으로 효율적인 이용 방안 마련함으로써 해양의 효율적인 활용 가능
- 태풍 및 적조의 피해를 최소화 할 수 있는 시설로서 양식의 활성화 및 막대한 피해 보상비를 줄임으로써 국고의 낭비를 막을 수 있음
- 외해양식 대상어종에 따라 수출을 목표로 생산함으로써 수입 수산물에 의한 외화유출 저감 및 외화획득을 위한 새 장을 열 수 있음
- 해산어류에 대한 외해양식 산업화로 연안해역의 효율적 관리 방안 마련
- 외해양식 산업화로 새로운 개념의 소득원 개발 및 외화획득

2. 활용 방안

- 회유성 어류에 대한 양식 타당성 검증을 통하여 경제적이고, 효율적인 양식방안을 마련하고, 외해가두리 내 대상생물에 대한 특성을 파악하여 체계적인 관리방안을 구축
- 외해양식 시설 장소는 다양한 어류 및 수서생물의 안식처로 제공함으로써 낚시 등을 위한 유어장으로 활용이 가능하고 수중관광 장소로서도 가능함

Summary

This project is aimed to develop a target species suitable for offshore cage culture and to establish farming guidelines for the offshore cage, which helps to improve the offshore cage culture system, secure stable supply of high-qualified marine fish and find the way to reduce marine pollution caused by coastal aquaculture. The project will contribute to promoting the offshore farming as a main strategy for the future aquaculture industry.

1. Developing target species for offshore farming and aquaculture management and operating systems

- 1076 ind. of adult mackerels were captured and reared as brood stock and produced 155,000 fries at hatchery.
- For mass production, tests were conducted to inject spawning-inducing hormone into 1600 ind. of mackerels. The hormone injection into the back muscle resulted in a low rate of fertilization and pellet injection produced a small amount of eggs on day 1, indicating more research is still to be done for mass production.
- Based on spawning characteristics in the offshore cage, mackerel and red sea bream were found to spawn in the offshore cage and as much as 1,450 cc of fertilized eggs of red sea bream was successfully collected.
- A 70.9g weighed mackerel which was accommodated into the offshore cage in August 2008 was grown to weigh 584.5g in August 2009.
- Extruded components analysis showed that mackerel has lower level of fat and higher level of protein in the back muscle than in the stomach muscle and a farmed mackerel contains significantly higher percentage of fat than a wild one.

2. Close monitoring and economic analysis on the ecological change

- As for monitoring on changes in the surrounding aquatic organisms, water quality survey like on biological COD, nitrogen, phosphorus was conducted for four times, without showing any signs for changes in the environment.

- Mackerel economic analysis showed that at 8% of interest rates, the Net Present Value (NPV) was measured about 470 million won(about \$470,000) for mackerel and 174 million won(about \$174,000) for red sea bream. As for the Internal Rate of Return (IRR), mackerel and red sea bream were shown to be at 24.5%. and 12.3% respectively.

목 차

요약문	3
그림 목차	15
표 목차	17
제 1 장 연구개발과제의 개요	19
제 1 절 추진배경	19
1. 외해양식의 개념	19
2. 외해양식(offshore aquaculture)이란?	20
3. 외해양식의 장단점	20
제 2 절 목표 및 연구 범위	21
1. 최종 목표	21
2. 연차별 목표	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황	22
1. 국내 연구동향	22
2. 국외 연구동향	22
제 3 장 연구 추진 전략 및 수행 방법	24
제 1 절 추진전략	24
1. 총괄 추진 계획	24
2. 연구항목별 계획	25
제 2 절 수행 방법	25
1. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구	25
1-1. 외해가두리 양식 대상종 개발	25
1-2. 사육관리 및 운영체계 연구	27

2. 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석	28
2-1. 주변 생태변화 모니터링	28
2-2. 경제성 분석	29
제 4 장 연구 결과 및 고찰	30
제 1 절 연구결과 요약	30
1. 2008년도 연구결과 요약	30
2. 2009년도 연구결과 요약	32
제 2 절 연구 항목별 연구 결과	33
1. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구	33
1-1. 외해가두리 양식 대상종 개발	33
1-2. 사육관리 및 운영체계 연구	39
2. 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석	47
2-1. 외해가두리 주변 생태변화 모니터링	47
2-2. 경제성 분석	52
제 5 장 참고문헌	54

그림 목차

그림 1. 고등어 사육수조와 배수구에 설치 된 채집망	26
그림 2. 개발되어 외해가두리 수정란 채집망 설치 모형	27
그림 3. 외해가두리 설치 해역	28
그림 4. 해양환경 조사 정점	28
그림 5. 일반가두리(위)와 외해가두리(아래) 퇴적물 채취 위치	28
그림 6. 수중 채집시설 설치 모습	36
그림 7. 수정란 채집주머니	36
그림 8. 총 어획량 및 1척당 평균 어획량 변화	38
그림 9. 어획 후 생존율 및 가두리 수용 후 폐사율 변화	38
그림 10. 참다랑어 어체중 변화	39
그림 11. 참다랑어 체장 변화	39
그림 12. 외해가두리 입식장면 모식도	39
그림 13. 외해양식 대상종 참다랑어	39
그림 14. 고등어 음향카메라 영상화면	41
그림 15. 수송 후의 참다랑어 및 고등어 혈장 코르티졸 농도 비교	41
그림 16. 고등어 성장호르몬 유전자 염기서열	42
그림 17. 수온별 시간경과에 따른 누적 산소소비량	43
그림 18. 수온 증가에 따른 산소 소비량	43
그림 19. 수온 증가에 따른 치사농도 변화	44
그림 20. 시간 경과에 따른 pH 변화	44
그림 21. 액화산소 사용 양식장의 일간 용존산소 변화	44
그림 22. 액화산소 미사용 양식장의 일간 용존산소 변화	44
그림 23. MS-222의 농도별 마취시간 및 회복시간	45
그림 24. 2-Phenoxyethanol의 농도별 마취시간 및 회복시간	45
그림 25. Clove oil의 농도별 마취시간 및 회복시간	46
그림 26. 영상시스템 모식도	47
그림 27. 먹이자동 공급 장치	47

그림 28. 가두리 해역 출현종 개체수(2008)	47
그림 29. 가두리에서 400m 해역의 출현종 개체수(2008)	48
그림 30. 가두리 해역 출현종 개체수(2009)	48
그림 31. 가두리에서 400m 해역의 출현종 개체수(2009)	48
그림 32. 가두리 양식장의 층별 COD 분포	49
그림 33. 가두리 양식장의 층별 DIN 분포	49
그림 34. 가두리 양식장의 층별 TP 분포	50
그림 35. 가두리 주변 유집생물 조사 결과	51

표 목차

표 1. 외해양식 가두리 형태 구분(계류방식에 따른 구분)	23
표 2. 고등어 어미구입 현황 조사	33
표 3. 고등어 실내사육 성장 조사 결과	33
표 4. 생식소 속도지수(GSI)의 변화	34
표 5. 호르몬 처리에 따른 산란량과 수정율	34
표 6. 산란유도를 위한 고등어 성숙도 조사 결과	35
표 7. 호르몬 지적 주사 및 pellet 주사에 따른 산란량과 수정율	35
표 8. 자연산란 유도 따른 산란량과 수정율	36
표 9. 2008년도 고등어 대량종묘생산 결과	37
표 10. 2009년도 고등어 대량종묘생산 결과	37
표 11. 고등어 초기 성장 결과	40
표 12. 외해가두리 수용 고등어 성장 결과	40
표 13. 고등어 성장 조사 결과	40
표 14. 고등어 양식해역 및 방법별 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 분석결과	42
표 15. 고등어 부위별 조지방 비율	43
표 16. 외해가두리 양식장으로부터의 거리별 퇴적물 내 화학적 특성	50
표 17. 연안 및 외해가두리 설치 어장의 수질측정 결과	51
표 18. 연안 및 외해양식 어장의 퇴적물 오염 특성	51
표 19. 참돔 외해가두리 양식 경제성분석 결과	52
표 20. 고등어 외해가두리 양식 경제성분석 결과	53

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 추진배경

1. 외해양식의 개념

미래 인류가 안고 있는 가장 큰 과제는 고품질의 식량을 안전하게 확보하는 것이다. 수산물 생산 및 소비에 관한 FAO 보고서에 의하면 2030년에는 수산물 소비량이 180백만톤에 이를 것으로 예측하고 있다. 어업생산은 1억톤 이상 유지하기 어려운 현실을 감안할 때 부족분(FAO Gap)에 대해서는 양식 수산물에 상당량을 의존할 수밖에 없다.

미래지향적인 관점에서 세계양식 흐름을 둘러봤을 때, 세계양식을 한번 마디로 표현한다면 production-oriented aquaculture(생산 지향적 양식)에서 environment-oriented aquaculture(환경 지향적 양식)로 바뀌었다고 할 수 있다. 다시 세분하여 말하면, 세계양식 트렌드는 sustainable(지속적), responsible(책임있는), environment-friendly(환경친화적), ecosystem-based(생태계기반을 둔), food-safety(식품안전)에 근간을 두고 있다. 이제 양식은 이러한 기반을 두지 않고는 존립자체가 어려운 시점에 이르렀다고 생각된다. 이러한 흐름을 따라가기 위해서는 해산어류처럼 타가영양에 의한 성장으로 오염유발 가능성이 있으므로 외해로 나가야 할 수 밖에 없다.

한국 양식산업을 한 차원 높여서 새롭게 도약 할 수 있도록 하는 방법은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 첫째가 기존 양식시스템을 개선하고 발전시키는 방법이고, 둘째가 새로운 개념의 양식시스템을 개발하는 것이라 할 수 있다. 기존 양식시스템을 up-grade 시키는 방안으로는 육종기술, 질병예방, 고효율 배합사료 개발 및 자동화 시스템 등 환경친화적이면서 양식원가 절감을 통해 경쟁력을 강화시키는 방안을 들 수 있으며, 양식어업 종사자, 연구자 및 정책담당자 등 각각의 시각에 따라 목표 설정에 대해서는 이견이 있을 수 있으나 방향성은 적절하였다고 평가되며 양식산업 발전의 중요한 한축임을 부인할 수는 없다.

그러나 기존 양식시스템을 개선하는 것으로 한국양식의 근본적인 문제를 해결할 수는 없다고 판단되며, 해결 방안은 내해와 외해를 분리하여 관리하는 방안으로 접근해야 된다고 생각된다. 즉, 내해에는 환경 수용력 범위 내에서 어류양식, 자가영양 양식종을 포함한 복합양식이나 해조류 양식 등을 통해 환경을 개선시킬 필요성이 커졌고, 아름다운 연안 바다는 국민에게 친수공간으로 제공해야 하는 시대로 진입하고 있는 것이 아닌가 싶다. 환경에 부담을 주는 어류 양식은 환경수용력이 큰 외해로 진출하여 고부가가치를 지속적으로 창출할 수 있도록 하는 새로운 패러다임이 필요한 시점이다.

2. 외해양식(offshore aquaculture)이란?

외해(Offshore)를 어떻게 정의하는가에 대한 명확한 답을 구하기는 어렵다. 사실상 offshore를 '외해'라고 정의하는데도 다소간의 무리가 있다. 학술적인 의미에서 Offshore는 육상에서부터의 거리나 수심 등에 근간을 두고 정의하는 것이 아니라, 해양환경에 근간을 둔다. 즉, 내륙의 영향보다는 대양의 영향을 받고, 조류의 영향보다는 해류의 영향을 받는 곳을 의미하므로 현재 수준의 양식방법을 외해 양식으로 정의하는 데는 무리가 있다. 그러나 연안 양식방법과 동일시 할 수도 없으므로 새로운 용어를 사용하는 것은 타당하다고 생각된다. 이렇게 외해양식에 대한 추상적 정의에 혼선을 막기 위하여 노르웨이 정부는 파고 및 노출정도를 기준으로 하여 등급을 나누어 제시하였으나(표 1) 이 방법은 시설물 설치에 중요한 기준이 되는 파장과 조류에 대해서는 기준 값을 정하고 있지 않다(Ryan 2004).

3. 외해양식의 장단점

외해양식의 가장 큰 장점은 서두에 언급했던 5개의 세계 양식 트렌드를 전부 만족시킬 수 있는 것이다. 세간의 화두 중 하나는 '어떻게 하면 풍요로운 삶을 영유하면서 장수할 수 있는가'하는 참살이(well-being)이다. 외해양식의 가장 큰 장점 중 하나는 식품 안전성을 지니면서 경쟁력이 매우 높은 고급 수산생물을 생산할 수 있다는 것이다. 외해양식은 환경 수용력이 매우 큰 청정의 외해에서 고급 수산물을 생산할 수 있는 장점이 있어 식품 안전성과 환경 친화성을 모두 충족시킬 수 있는 방법인 것이다. 미국 New Hampshire와 하와이에 시설되어 있는 외해양식장에서의 환경 모니터링 결과에 의하면 수질은 물론 저서생태계에도 큰 영향을 주지 않은 것으로 조사되었다(Grizzle et al, 2003; Bybee and Hailey-Broock 2003).

외해양식은 노출되어 있는 외해 해역에서 생물을 사육하는 사업으로서 많은 위험성이 도사리고 있다. 즉 외해양식 사업수행에 가장 역점을 두어야하는 것은 가두리 시설 및 관련 시스템과 사육생물의 안전성일 것이다. 또한 외해양식은 대규모의 시설과 첨단 과학 기술을 요하므로 많은 자본 투자가 필연적이다. 따라서 외해양식의 성공요인은 이러한 장단점과 특성을 면밀히 분석한 후 수행해야 성공을 거둘 수 있는 사업적 특성을 지니고 있다.

제2절 목표 및 연구 범위

1. 최종 목표

고도회유성 양식품종 개발로 한국 외해양식의 새로운 수익성 모델 창출

2. 연차별 목표

<2008년>

- 회유성 대상종인 고등어에 대한 양식기술 모델 개발
- 가두리 내 행동패턴 조사를 통한 품질 향상 및 환경영향 모니터링

<2009년>

- 회유성 대상종인 고등어, 참다랑어 대한 수익성 양식기술 모델 개발
- 사육관리 운영체계 연구, 환경영향 모니터링 및 평가
- 참다랑어 시험사육 및 산업화 방안 제시
- 참다랑어 양식어장 환경 모니터링, 가두리 설계 및 수리모형 실험

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내 연구동향

국내에는 2000년 한국과 미국(해양대기청, NOAA)은 「한미해양과학기술 협력에 관한 약정」을 체결하고 2002년 제1차 한미양식협의회(국립수산과학원 개최)를 통해 ‘외해양식 및 연안통합관리 대한 한미공동연구’를 협의하였고, 외해가두리 시설을 비롯하여 외해 양식이 처음 국내에 소개되었으며, 국립수산과학원의 주관으로 외해양식 희망업체를 선정하여 2005년 제주도에 외해가두리 3조를 도입하여 시설물 안전성 및 경제성을 분석하였다

현재 외해양식에 대해서는 초기단계이며 2005년 제주도 외해양식영어조합법인(NOAH, 대표 양준봉)에서 미국 해양대기청(NOAA)의 외해 양식설비를 도입하여 시설함으로써 시작되었음. 용적이 3,000 m³인 외해가두리 Ocean Spar 3조를 설치하여 우리나라 태풍 영향이 가장 큰 제주 서귀포시 해역에 시설하여 양식시험을 시작하였고, 2006년 추가로 개량된 용적 6,400 m³인 외해가두리 3조를 도입하여 시설물 안전성 및 경제성을 분석하였다. 양식 시험어장은 연안에서 4 km 떨어진 수심 45~50 m 해역으로 수표면에서 12~32 m 층에 가두리가 설치됨으로써 초속 35~40m의 바람과 파고 6~8 m의 높은 파도를 동반했던 태풍에 안전함이 입증되면서 가두리 양식의 불모지인 제주에서 돌돔양식을 가능케 하였다.

2. 국외 연구동향

국제적으로 외해양식은 미국과 노르웨이를 중심으로 개발 및 평가가 이루어지는 단계이며, 실용화를 통한 공급이 현재까지는 초기 단계에서 진행되고 있으며, 미국은 1997년부터 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration, 국립해양대기청)과 Department of Commerce(상무성) 주관으로 NOAA/DOC Aquaculture Policy를 입안하여 1999년에 본격적으로 수행하고 있다. 유럽에서의 외해가두리 연구는 노르웨이, 스웨덴, 영국 등에서 가두리 형태와 계류방법에 따른 유체력 계산에 대한 연구가 주축을 이루고 진행되고 있으며, 근년에 노르웨이 SINTEF에서 일정계류에 의한 가두리 설계 방법 및 TLC(Tension Leg Cage)에 관한 연구를 수행하고 있으나, 아직 실용화 되지 않고 있다. 노르웨이의 경우 피요르드 해안의 지형적 특성을 고려하여, 내파성 가두리를 응용한 심층까지의 공간을 활용하는 가두리를 제작하여, 연어 등 어류 축양에 활용하고 있으며, 주로 원격 관리 시스템 개발에 초점을 두어 10 ha 면적의 공간을 한명의 관리자가 운영하는 시스템을 개발하여 시범운영 중이다. 아일랜드도 세계의 외해양식을 이끌고 있는 나라 중 하나로서 외해양식과 관련한 기술 및 산업이 매우 발달되어 있다(Bridger, 2004). 외해가두리 형태 및 종류도

다양한 시도를 행하고 있고 특히 일본 Bridgestone사에서 개발한 고무재질의 원형가두리도 실용화 되고 있다.

현재까지 외해양식에 쓰이는 가두리는 대부분 category 3등급 정도의 폭풍에 견딜 수 있도록 되어있다. 그러나 연안과 접한 외해 해역의 부족, 다른 산업과의 충돌 및 오염 등으로 인하여 더 깊고 넓은 외해 해역으로 진출할 수밖에 없다. 이를 위해서는 category 4이상에도 견딜 수 있는 안전한 가두리의 개발과 함께 고수익을 창출할 수 있는 대상종의 개발 또한 현안의 문제로 대두되고 있다(Ryan 2004).

표 1. 외해양식 가두리 형태 구분(계류방식에 따른 구분)

구 분	주요 특징	개발 상품
Gravity type	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 전통적인 방법으로 현재 개발되어 있는 외해 가두리로서 가장 널리 쓰이고 형태임 ◦ 중앙 platform에 연결하는 것이 일반적이며 작업대로 활용 ◦ 입식, 수확, 관리(사료, 청소, 관찰 등)에 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Rubber cage (아일랜드) ◦ Marine construction (노르웨이) ◦ Sadco Shelf (러시아) ◦ Farm Ocean Cage (스웨덴)
Anchor-tension type	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 앵커를 이용하여 계류하며, 가두리 골조는 유연하거나 약간 견고 ◦ 입식, 수확, 관리에 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ AquaSpar Fish Pen (Net systems, 미국)
Semi-rigid type	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 앵커를 이용한 계류 방식으로서, 가두리 골조는 견고한 유연하거나 약간 견고 ◦ 수중식이 기본으로서 입식, 수확, 관리(사료 공급, 청소 등) 등에 다소 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ SeaStation (Ocean Spar, 미국)
Rigid type	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 앵커를 이용한 계류 방식으로서 가두리 골조는 견고하게 구성됨 ◦ 노출식, 부침식, 수중식의 있음 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Aquapod Net Pen (Ocean Farm Technology, 미국) ◦ Ocean Globe (BYKS, 노르웨이)
Tension-type	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 가두리 고정 원리는 gravity cage와 유사하지만, 외해의 깊은 곳 시설 가능함 ◦ 가두리와 연결된 링이 고정 역할을 하며, 대형으로 제작이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ TLS system (RefaMed, 이탈리아)
Modified type		<ul style="list-style-type: none"> ◦ Untethered (Net Systems, 미국) ◦ Semi-submarine Tuna Ship (IZAR Fene, 스페인)

제 3 장 연구 추진 전략 및 수행 방법

제1절 추진전략

1. 총괄 추진 계획

구분	연간 목표	연구내용 및 범위	추진(예상) 결과	진도율 (%)
1년차 ('08년)	-회유성 대상종인 고등어에 대한 양식기술 개발 -외해양식 운영체계 연구 및 환경영향 조사	<ul style="list-style-type: none"> 고등어 실내사육 및 관리 종묘생산 및 양식 연구 배합사료 급이체계 연구 사육관리 운영체계 연구 스트레스 반응과 품질평가 및 육질분석 해양환경 조사 주변해역에 대한 생물유집 효과 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 고등어 종묘생산 기술 개발 고등어 외해 양식 수행 고등어 양식 제한요소 구명 및 해결 외해양식의 친환경 효과 분석 논문 발표 등 	50
2년차 ('09년)	-고등어 종묘생산 연구 및 양성 체계 구축 -사료 관리 체계 구축과 환경조사 및 경제성 분석 -내파성 가두리를 이용한 참다랑어 양식 예비 조사	<ul style="list-style-type: none"> 종묘생산 과정 중 초기먹이 계열 조사 회유성 대상종 양성시험 고등어 급이 프로그램 구축 사육생물 유영특성 조사 해양환경 조사 및 영향 분석 경제성 분석 참다랑어 시험어 예비사육 및 양성시험 해양환경조사 남해안 참치 자원량 조사 내파성 가두리시스템 설계, 모형실험 참다랑어 산업화 방안제시 	<ul style="list-style-type: none"> 고등어 먹이생물 계열 표준화 배합사료 급이 프로그램 작성 외해가두리 내 행동 특성 파악 고등어 양식에 대한 경제성 분석 참다랑어의 양식 가능성 검토 내파성가두리 설계 해양변화 추적 논문게재 등 	50



최종목표	고도회유성 양식품종 개발로 한국외해양식의 새로운 수익성 모델 창출
------	---

2. 연구항목별 계획

연구항목 및 세부내용	연 도		비 고
	2008년 (1차년도)	2009년 (2차년도)	
○ 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구			
- 고도회유성 어종을 이용한 외해양식 대상종 개발			
· 고등어 양식 기술 개발			
· 참다랑어 외해양식			
- 사육관리 및 운영체계 연구			
○ 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석			
- 주변생태 변화 모니터링			
- 경제성 분석			
사업 진도 (%)	50	50	
소요 인원 (명)			
소요 예산 (천원)	100,000	160,000	
주요 연구결과	고등어 인공종 묘생산 성공	고등어 경제성 내부 수익율 24.5% 분석	

제2절 수행 방법

1. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구

1-1. 외해가두리 양식 대상종 개발

- 고등어 어미 확보 및 사육
 - 자연산 친어 및 후보어를 경남 통영 옥지도 와 제주 표선 외해가두리에서 확보하였다. 추정 연령은 다같이 2년산 이었다.
 - 성장조사는 분기별로 실시하였으며, 고등어 20마리를 전장, 체장, 체중과 생식소를 0.1 cm, 0.1 g까지 측정하였다.
- 대량 종묘생산 기술개발
 - 호르몬 처리에 의한 수정란 확보를 위하여 수온 20℃ 전후, 난경이 600 μm 전후에

도달할 시기에 LHRHa 호르몬을 사용하여 어체중 Kg당 125 μg 비율로 등지느러미 하단 부위 근육에 주사하였다.

- 종묘생산 연구는 연구소 시험포와 산업체를 이용하여 실시하였다.
- 외해가두리 양성 시험
 - 고등어의 입식을 실시한 후부터 성장 조사를 위하여 격월로 전장, 체장, 체중 등을 측정하였다.
- 대량 종묘생산 기술개발
 - 호르몬 직접 주사 : 수정란 확보를 위하여 수온 20 $^{\circ}\text{C}$ 전후, 난경이 600 μm 전후에 도달할 시기에 LHRHa 호르몬을 어체중 Kg당 125 μg 비율로 등지느러미 하단 부위 근육에 주사하였다.
 - 호르몬제 pellet 주사 : LHRHa 호르몬으로 펠릿을 제조하여 등 근육에 주사하였다.
 - 자연산란 유도 및 채란 : 수온자극에 의한 산란유도와 채집망을 제작하여 자연산란을 유도하였다.
 - 종묘생산 연구는 연구소 시험포와 산업체를 이용하여 실시하였다.

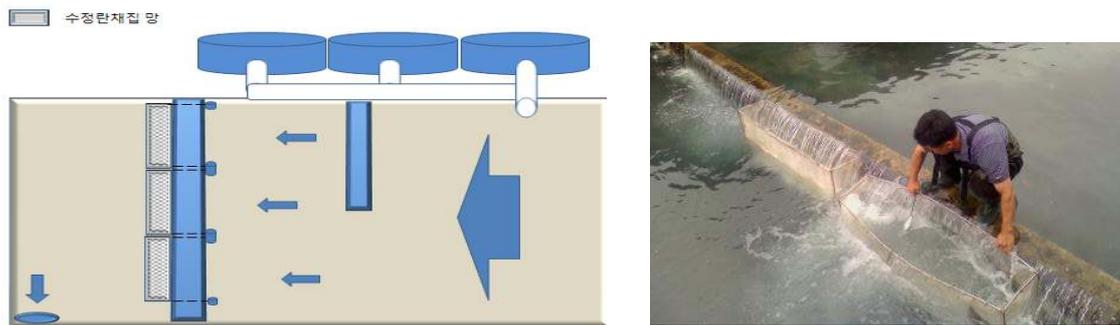


그림 1. 고등어 사육 수조와 배수구에 설치 된 채집망.

- 참다랑어를 활용한 신규 대상종 개발
 - 자연산 및 인공산 참다랑어를 외해가두리에 수용하여 외해양식 가능성을 검토하였다
- 외해가두리 양성 시험
 - 고등어의 입식을 실시한 후부터 성장 조사를 위하여 격월로 전장, 체장, 체중 등을 측정하였다.
- 사육 방법에 따른 품질 영향 평가
 - 자연산 고등어와 양식산 고등어의 육질 성분을 평가하기 위하여 가식부위를 절단하여 AOAC (1990)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(105 $^{\circ}\text{C}$, 6시간)으로, 조단백

은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/ TT125, Gerhard)를 사용하여, 조지방은 soxhlet 추출법으로, 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다.

○ 사육관리체계 연구

- 회유성 외해양식 대상종에 대한 수증가두리에서의 수정란 채집을 위하여 채집망을 개발하여 효과실험을 실시하였다.

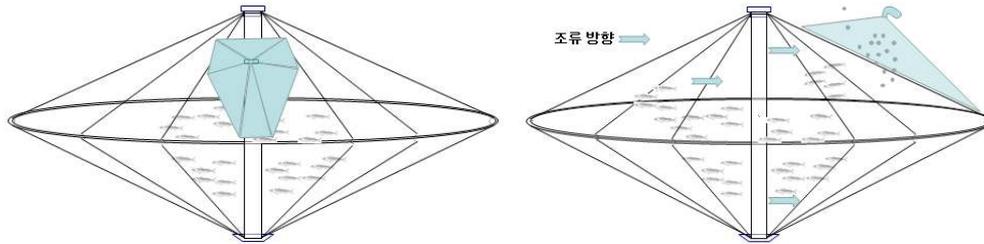


그림 2. 개발되어 수증가두리에 수정란 채집망 설치 모형.

1-2. 사육관리 및 운영체계 연구

○ 가두리 사육에 따른 품질 영향 평가

- 자연산 고등어와 외해가두리 양식산 고등어의 육질 성분을 평가하기 위하여 가식 부위를 절단하여 AOAC (1990)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(105℃, 6시간)으로, 조단백은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/ TT125, Gerhard)를 사용하여, 조지방은 soxhlet 추출법으로, 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다.

○ 사육관리체계 연구

- 고등어 양식에서 주요 환경요인을 구명하고 관리방안을 찾기 위하여 여러 가지 실험을 실시하였다.
 - 고등어의 수온별 산소 소모량은 695±70 g의 것을 이용하여 수온 16, 20, 24, 28℃에서 시간별 소모량, 치사농도, pH 및 암모니아 농도 변화 등을 조사하였다.
 - 육상양식장의 액화산소 사용 여부를 대상으로 산소소모량의 일간변화를 YSI를 이용하여 24시간 연속 측정하였다.
 - 종묘생산 및 양성과정 중 선별, 계측, 수송 등 핸들링 과정에서 발생하는 폐사방지를 위해 사용되는 MS-222, clove oil 및 2-Phe -noxyethanol 마취제를 농도 50, 100, 200, 400, 600 및 800 ppm로 달리하여 마취 및 회복실험을 실시하였다.

○ 운영체계 연구

- 외해가두리 양식에서 입식과 수확으로 인해 일부개체의 폐사가 발생하므로 폐사 방지와 상품성 제고를 위하여 주의 할 점들을 기록하였다.

2. 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석

2-1. 주변 생태변화 모니터링

- 주변 해역의 생물유집효과 알아보기 위하여 비주얼 조사와 삼중자망 및 통발을 이용한 어획조사를 실시하였다.
- 해양환경 조사 및 영향 평가를 위하여 해류 특성을 고려하여 외해가두리 양식장을 중심으로 동남방향의 7개 정점에 대하여 (그림 4) 해수(수온, 염분, DO, 영양염, TOC, 색소 등)와 퇴적물(입도, TOC, 색소)을 조사 분석하였다.

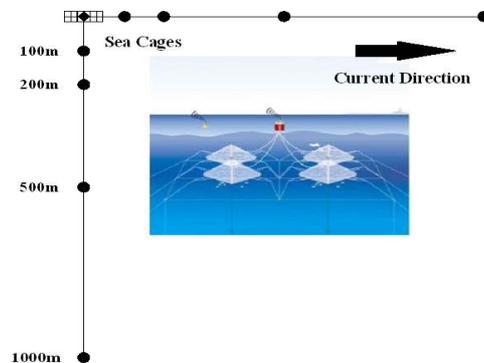
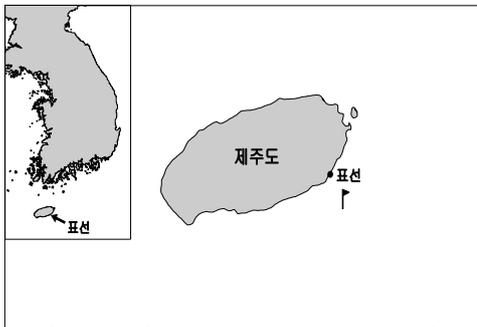


그림 3. 외해 가두리 설치 해역.

그림 4. 해양환경 조사정점.

- 연안가두리(통영 육지도)와 외해가두리 양식장(제주 표선)이 환경 중에 미치는 영향과 오염 특성을 파악하고자 가두리 설치위치와 10 m, 100 m, 200 m, 500 m에서 수질(COD, DIN, DIP, TN, TP)과 퇴적물(함수율, 강열감량, 퇴적물 COD, 산화발성 황화물)을 조사하였다.

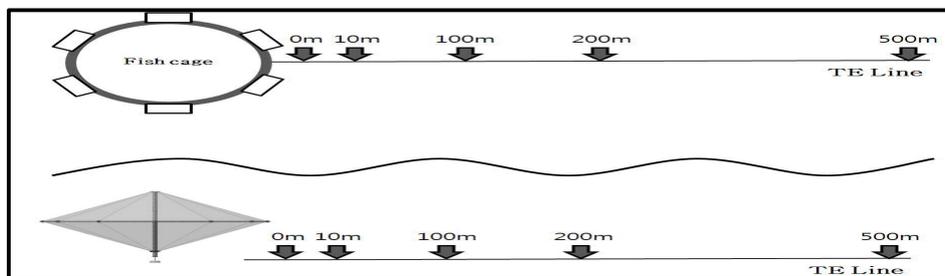


그림 5. 일반가두리(위)와 외해가두리(아래) 퇴적물 채취 위치.

2-2. 경제성 분석

- 참돔 외해가두리양식 경제성 분석에 있어서는 2006. 12 ~ 2009. 3 기간 동안 제주도 외해가두리양식 운영결과로부터 도출된 생물학적 자료(생존율, 사료계수, 중량 등)와 경제적인 자료(시설투자비 등의 고정비용, 운영경비 등의 변동비용, 시장가격 등)를 수집하여 경제성분석을 위한 기초 자료로 이용하였다.
- 고등어 외해가두리 경제성 분석에 있어서는 2006. 11 ~ 2008. 2 기간 동안 운영결과로부터 경제성분석을 위한 기초 자료로 이용하였다.
- 분석에 있어서는 수집된 생물학적 자료와 경제적인 자료를 활용하여 양식기간 동안의 수익성 분석과 향후 10년 동안의 현금흐름을 바탕으로 한 경제성분석을 실시하였다.

제 4 장 연구 결과 및 고찰

제1절 연구결과 요약

1. 2008년도 연구결과 요약

연구항목	연구내용 및 결과
○ 외해가두리 양식 대상종 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고등어 친어 1,076마리를 확보하여 사육 중 ○ 실내사육에 따른 GSI 값은 6월 중순이후 지속적으로 상승하여 7월 2일에 GSI 14.3의 최고치로 나타남 ○ 고등어 종묘 155천마리를 생산하였고 외해가두리 사육을 위해 70천마리 중간육성을 실시
○ 사육관리 및 운영체계 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고등어는 부화 후 30일경에 종묘크기인 가랑이체장 7 cm이상 성장하여 초기성장이 무척 빠른 것으로 나타났음 ○ 자연산 고등어를 입식하여 현재 외해가두리에서 사육 중 ○ 일반성분 분석결과 외해가두리 양식산 고등어의 조지질 함량이 낮게 나타나고 있어서 사료급이량을 늘릴 필요가 있음 ○ 고등어의 수온별 산소 소모량을 조사한 결과 24℃와 28℃의 소모량은 16℃의 약 2배 이상 소비하였고 1시간 이내에 폐사에 이르렀음 ○ 일반 육상 양식장에서 산소농도 변화를 조사 한 결과 3 mg/L 까지 저하하였음 ○ 핸들링에 의한 피해를 줄이기 위한 마취실험 결과 MS-222 및 2-Phenoxyethanol은 회복시간이 짧고, 폐사에도 안정적인 반면, Clove oil은 저농도에서도 마취효과 높으나 회복시간 및 정상 유영까지 많은 시간이 소요되며 폐사의 위험성도 높음

연구항목	연구내용 및 결과
○ 주변생태변화 모니터링 및 경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주변 해역의 생물유집효과 알아보기 위하여 비주얼 조사결과 2월과 6월 중 주변 해수수온이 예년에 비하여 2℃가량 낮아서 유영어류의 관찰이 어려웠고, 삼중자망과 통발을 이용하여 가두리해역과 주변해역을 대상으로 어회조사를 실시한 결과 개체수 및 체중량에서 가두리해역이 높게 나타났음 ○ 유기물질의 COD 농도는 표층에서 4월에 0.33±0.34, 5월에 1.84±1.04 mg/L이며, 저층에서 4월에 0.47±0.21, 5월에 2.09±0.83 mg/L로 시기별 큰 차이를 보이고 있으며 또한 저층이 표층보다 높은 농도를 보이고 있었음 ○ 연안가두리와 외해가두리의 수질측정 결과 COD는 연안가두리가 1.10, 외해가두리가 0.60 mg/L로 연안가두리가 약 2배 높음, 총질소(TP)는 연안가두리가 0.680, 외해가두리가 0.150 mg/L로 연안가두리가 약 4배 이상 높음

2. 2009년도 연구결과 요약

연구항목	연구내용 및 결과
○ 외해가두리 양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고등어 대량생산 시험 : 어미 1,600마리에 대하여 호르몬 주사에 의한 산란 유도 결과 고등어 등근육에 호르몬을 직접 주사한 경우 수정율이 낮게 나타났고, pellet을 주사한 경우는 1일 산란양이 많지 않아서 대형수조를 이용한 대량생산에는 개선이 필요 함 ○ 자연산란 유도 및 채란을 위하여 지하해수와 자연해수의 배합비에 의한 수온자극을 통하여 소량 자연산란 유도 성공 ○ 외해가두리에서의 산란특성 조사를 통해 고등어와 참돔의 가두리 내 수중 산란 확인하였고 1일 최대 참돔 수정란 1,450cc수거 ○ 해가두리 고등어 양성 시험 결과 08년 8월 70.9 g의 고등어를 입식하여 '09년 8월 584.5 g으로 성장하였음 ○ 고등어 성장측정을 위하여 음향카메라를 이용한 고등어 성장조사 시험을 실시하여 2%이내의 오차범위임을 입증 ○ 고등어 스트레스 분석 및 성장호르몬 염기서열 분석을 실시 ○ 고등어의 어체성분 분석 결과 고등어의 등근육은 지방함량이 배근육보다 낮고 단백질 함량은 높은 값을 보였고, 양식산 고등어는 자연산 고등어에 비해 지방이 유의하게 높은 함량을 보였음
○ 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주변생물 변화 모니터링을 위하여 COD, 총질소, 총인 등 수질환경 조사를 4회 실시하였고 현재까지도 환경의 변화는 일어나지 않고 있음 ○ 가두리 해역의 생물유집 효과를 2월, 4월, 7월 10월 4회 실시한 결과 비주얼 조사에서 6월부터 주변에 어류군집이 관찰되었고 저서 어류조사에서는 ○ 가두리 주변 저서어류 조사 가두리 주변의 통발에서 쏨뱅이, 붕장어, 황놀래기를 주로 하여 어획량이 높음 ○ 고등어 경제성을 분석한 결과 이자율을 8%로 가정할 경우 순 현재 가치(NPV)는 고등어는 약 4.70억 원, 참돔은 1.74억 원으로 분석되었었고, 내부수익율(IRR)은 고등어와 참돔이 각각 24.5%와 12.3%로 나타났음

제2절 연구항목별 연구 결과

1. 외해양식 대상종 개발과 사육관리 및 운영체계 연구

1-1. 외해가두리 양식 대상종 개발

가) 대상종 어미 사육

- 고등어 어미 확보 및 사육을 위하여 경남 통영 육지도산(일반 가두리)과 제주 표선 외해가두리산(심층가두리) 고등어 친어 1,076마리를 확보한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 고등어 어미구입 현황 조사(2/4분기)

구입일시	구입장소	마리수	크기		생존율 (%)	비고
			전장(cm)	체중(g)		
3. 26일	제주표선 외해가두리	564	38.0±1.8	581.8±118.4	9.0	포획과정 중 외피손상으로 71.1%폐사
6. 2일	경남 통영 일반가두리	512	32.5±0.8	370.2±46.0	78.3	장거리 운반으로 10% 전후 폐사

- 외해가두리 양식장에서 고등어를 구입한 경우 폐사율이 높은 것은 고등어수확에 대한 작업방법이 정착되지 않아서 포획과정에 의한 외피손상이 있었으며 이로 인하여 초기 폐사개체가 많이 나타났다.

- 고등어 어미사육을 위해 실내사육한 결과 6월 입식한 고등어 어미는 11월까지 39.9%의 생존율을 나타내었고, 가량이 체장은 28.3±1.1 cm에서 31.9±2.2 cm로 성장하였다.

표 3. 고등어 실내사육 성장 조사 결과

	전 장 (cm)	가량이체장 (cm)	체 중 (g)	생존율 (%)	비고
6월	32.3±1.3	28.3±1.1	369.6±75.6	100	
9월	34.4±1.8	30.8±1.8	374.4±59.7	48.1	
11월	34.7±2.4	31.9±2.2	363.6±81.8	39.9	

- 실내사육결과 9월 이후 생리적인 문제로 채색이 검게 변화하면서 누적 폐사가 발생하였는데, 질병에 대한 역학조사 결과에서 바이러스 검출 및 세균감염은 조사되지 않았다.

○ 대량 종묘생산 기술개발

① 생식소 성숙 및 산란유도

- 실내사육 중인 고등어 어미에 대한 GSI 값은 6월 9일에 6.8 이었으나 수온이 20℃ 이상 상승한 6월 중순이후 지속적으로 상승하여 7월 2일에 GSI 14.3의 최고치로 나타나 자연산 고등어 산란기 5 ~ 6월보다 다소 늦은 6월 중순 이후 실내에서 성숙하는 것으로 나타났다.

표 4. 생식소 속도지수 (GSI)의 변화 (조사마리수 : 10마리내외)

	체중(g)	생식소 중량(g)	GSI	비고
'08년 6월 9일	370.2±46.0	25.8±13.3	6.8±2.9	
6월 12일	369.1±99.7	28.6±15.5	7.3±2.8	
6월 30일	392.1±111.1	33.7±24.1	8.0±3.1	
7월 2일	406.9±56.2	61.6±53.4	14.3±10.5	
7월 16일	368.8±65.8	20.4±13.3	4.6±3.2	
9월 5일	331.5±89.4	1.2±0.3	0.4±0.1	
11월 10일	363.6±81.8	1.8±1.2	0.6±0.3	

- 고등어 수정란 확보를 위하여 LHRHa호르몬을 주사하여 산란 유도를 실시하였는데, 2008년도 호르몬 주사 결과 6월 18일부터 7월 31일까지 43일간 극소량씩 산란이 지속적으로 이루어졌다.
- 산란된 수정란의 난경은 0.89±0.05 mm(유구경은 0.19±0.03 mm) 였으며, 인공종묘 생산에 활용되었다.

표 5. 호르몬 처리에 따른 산란량과 수정율

처리일시	처리 마리수	수정란 산란량(cc)			평균수정율 (%)	산란기간
		계	수정란	사란		
'08. 6. 16일	166	535	214	321	40.0	6.16 ~ 6.25
6. 25일	24	161	8	153	5.0	6.26 ~ 6.30
6. 30일	43	247	20	227	8.1	7.1 ~ 7.31

- 2009년도에는 고등어 대량생산 시험을 위하여 어미군 1,600마리에 대하여 수정란 산란유도를 실시하였다. GSI 값은 5월 하순 이후 연안의 가두리에서는 5.2이었으나 외해가두리 양식산은 8.2로 높게 나타났다. 6월 중순 이후 실내에서 사육하고 산란유도를 실시하였다.

표 6. 산란유도를 위한 고등어 성숙도 조사 결과

	체중(g)	생식소 중량(g)	GSI	비고
'09. 4. 21일	250.4±46.9	4.5±2.6	1.7±0.8	
4. 28일	214.7±49.1	3.8±3.0	1.6±1.2	
5. 13일	291.8±65.8	16.6±12.1	5.1±3.3	
5. 26일(가두리산)	350.3±171.1	22.5±22.6	5.2±3.2	
5. 26일(외해산)	221.4±57.4	18.8±6.2	8.2±1.6	

- 고등어 대량종묘생산에 있어서 가장 중요한 요소는 수정란의 안전적 확보이므로 다량의 어미군을 확보하여 호르몬 주사 방법에 따른 산란유도를 실시하였다. 호르몬을 고등어 등근육에 직접 주사한 경우 수정율이 낮게 나타났고, pellet을 주사한 경우는 1일 산란양이 많지 않아서 대형수조를 이용한 대량생산을 위한 수정란 확보에는 어려움이 있으므로 이에 대한 개선이 필요한 실정이다.

표 7. 호르몬 직접 주사 및 pellet 주사에 따른 산란량과 수정율

처리일시	처리방법	마리수	수정란 산란량(cc)			평균 수정율 (%)	산란기간
			계	부상란	침하란		
'09. 5. 27일	직접주사	140	650	90	560	13.8	5.28 ~ 6.6
6. 3일	"	400	880	100	780	11.4	6.3 ~ 6.12
6. 17일	"	150	460	120	290	26.1	6.18 ~ 6.23
6. 19일	pellet주사	200	920	350	570	38.0	6.21 ~ 7.16
7. 21일	"	200	760	230	153	30.3	7.23 ~ 8.10
7. 23일	"	600	1,120	360	760	32.1	7.24 ~ 8.7
7. 27일	"	400	1,050	250	800	23.8	7.28 ~ 8.9

- 인공종묘생산을 위한 안정적인 고등어 수정란 확보를 위해서는 자연산란을 유도하는 것이 매우 중요한 문제라 판단되며 이를 위해서 수온자극 방법에 의하여 산란유도를 실시하였다.

- 고등어 자연산란을 유도하기 위하여 지하해수와 자연해수의 배합비율을 조절하여 온도자극을 유도하고 채란을 실시하여 우량의 수정란 채집 가능성을 확인하였으나 다량확보를 위해서는 성숙시기에 수온자극을 통하여 산란유도를 하는 것이 효과적일 것이다.

표 8. 자연산란 유도 따른 산란량과 수정율

처리일시	처리방법	마리수	수정란 산란량(cc)			평균수정율 (%)
			계	부상란	침하란	
'09. 8. 6일	수온자극	5,000	50	40	10	80.0
8. 7일	"		약간	-	-	-

- 외해가두리에는 수십만 마리의 고등어와 참돔 등이 사육되고 있는 실정이다. 자연상태에서 고등어가 산란하고 있으므로 대량 사육되고 있는 외해가두리의 고등어 어미군에서 산란 상태 확인과 참돔 사육 가두리를 이용하여 수중에서 수정란 확보 방안에 대한 실험을 실시하였다.

- 수중가두리에서 사육중인 고등어, 참돔의 가두리 내 수중 산란은 2009년 6월 25일에서 7월 5일까지 수정란 채집시설을 설치하여 수정란 채집주머니에 모아진 수정란을 통하여 산란을 확인할 수 있었다.
- 참돔 가두리에서는 1일 최대 수정란 1,450cc를 수거하는데 성공 함으로써 수중 양식 시설에서의 수정란 확보 기술을 확립하였다.



그림 6. 수중 채집시설 설치 모습.



그림 7. 수정란 채집주머니.

② 고등어 인공종묘생산 실험

- 고등어 종묘생산 과정 중에는 초기 공식에 의한 감모가 많으며, 고수온기 수질 악화에 따른 대량 폐사가 발생하였으나, 고등어 종묘 155천마리를 생산하였음, 그리고 외해가두리 사육을 위해 70천마리를 중간육성 실시하였다.

표 9. 2008년도 고등어 대량종묘생산 결과

수정란 수용		부화자어		종묘 생산량			비고
일자	수용량 (천)	자어수 (천)	부화율 (%)	생산량 (천)	생존율 (%)	크 기 (cm)	
'08. 6. 30	200	110	70	5	5	8.8 ~ 12.9	
7. 1	300	210	50	100	48	7.2 ~ 10.5	
7. 3	600	390	65	0	0	-	
7. 4	200	150	75	0	0	-	
7. 5	400	350	88	50	14	6.9 ~ 11.3	공 식
7. 7	300	230	78	0	0	-	수질악화

§ 국내 최초로 고등어 대량종묘생산에 성공하였으며, 회유성 어류의 종묘생산 체계 구축을 통하여 완전양식의 기틀을 마련하였다.

- 고등어 대량생산을 위한 2009년도 추진 결과 고등어 종묘 대량생산에 필요한 수정란 확보에 어려움이 있었으며, 6월 19일과 22일 확보된 수정란을 통하여 20천 마리를 생산하였다.

표 10. 2009년도 고등어 대량종묘생산 결과

수정란 수용		부화자어		종묘 생산량			비고
일자	수용량 (천)	자어수 (천)	부화율 (%)	생산량 (천)	생존율 (%)	크 기 (cm)	
'09. 6. 4	80	65	81	-	-	-	공식
6. 20	100	95	50	5	5.3	12.5 ~ 17.1	
6. 23	150	140	78	15	10.7	8.6 ~ 14.2	

③ 참다랑어를 활용한 외해양식 대상종 개발

- 참다랑어 종묘확보를 위하여 2009년도 8월 17일부터 9월 24(22일간)일까지 추자 근해에서 총 833마리의 참다랑어를 어획하였으며, 순치실험을 통하여 순치용 해상가두리에서 순치시켰다.
- 어획시험 결과 일일 최소 어획량은 3마리, 최대 어획량은 195마리이었다. 어획 초기는 추자도 본도로부터 약 15마일 떨어진 사수도 지역에서 어획되었으나, 9월 초순부터는 점차 추자도 근해에서 어획되어 9월 중순에는 추자도 연안 2~3마일 해역에서 다량 어획되었다. 특히 1일 최대 어획된 해역도 추자도 가장 근접한 해역이었다.

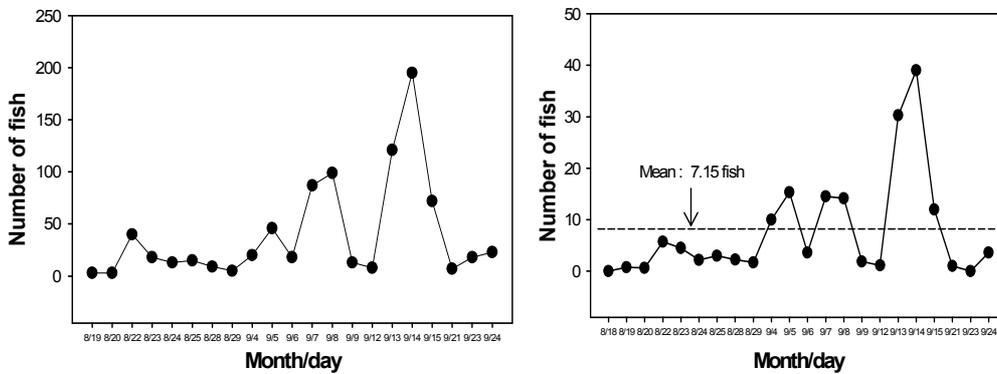


그림 8. 총어획량 및 1척당 평균 어획량 변화.

- 참다랑어는 어획 후 순치용 가두리 수용까지의 생존율은 최종적으로 68.5%, 어획에서 순치가두리를 거쳐 양성용 외해가두리에 이송시까지 최종 생존율은 44.5% 이었다.

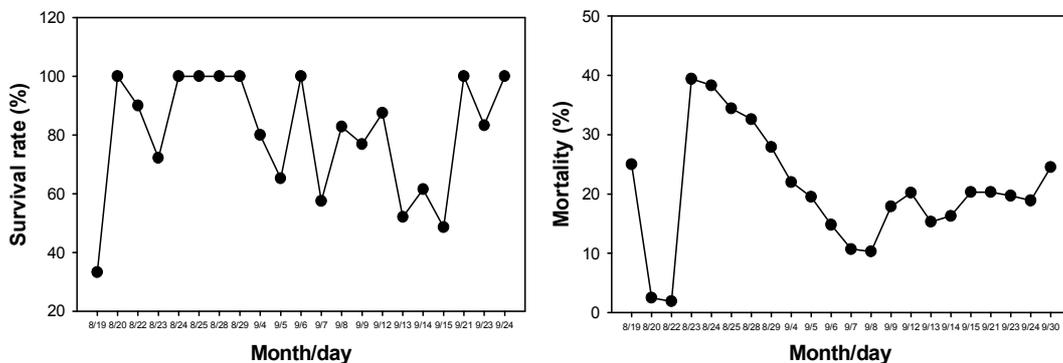


그림 9. 어획후 생존율 및 가두리 수용후 폐사율 변화.

- 어획된 참다랑어의 개체당 평균체중은 어획 초기인 8월은 740~850 g, 9월에는 1090~1406 g으로 성장하였다. 전장의 경우도 어획초기 35 cm 전후에서 9월말에는 45 cm 전후로 1개월에 약 10 cm의 성장차를 보였다.

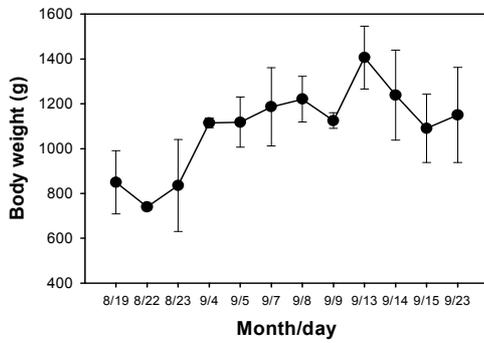


그림 10. 어체중 변화.

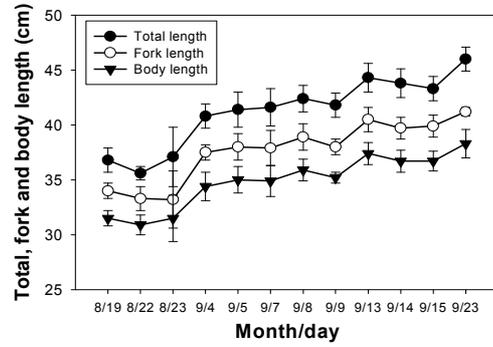


그림 11. 체장변화.

- 자연산 참다랑어를 추자도에서 제주 표선까지 선박을 이용하여 수송에 성공하였으며, 그림과 같이 외해가두리에 수용하여 현재 사육중이다.

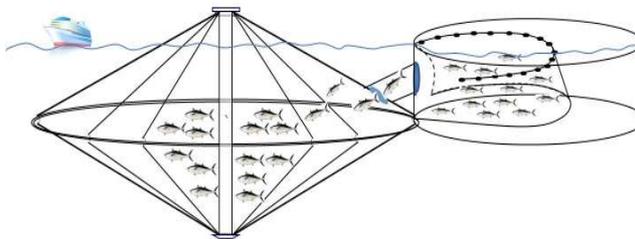


그림 12. 외해가두리 입식장면 모식도.



그림 13. 외해양식 대상종 참다랑어.

1-2. 사육관리 및 운영체계 연구

○ 외해가두리 고등어 양성 시험 결과

- 고등어는 부화 후 30일경에 종묘크기인 가랑이체장 7 cm 이상 성장하여 초기성장이 무척 빠른 것으로 나타났다.

표 11. 고등어 초기 성장 결과(2008)

부 화 자 어			고등어 초기 성장								
일자	전장 (mm)	마리수 (천)	7월 11일			7월 22일			8월 2일		
			전장 (cm)	마리수 (천)	생존율 (%)	체장 (cm)	마리수 (천)	생존율 (%)	체장 (cm)	마리수 (천)	생존율 (%)
7/2	3.9 ~ 4.2	210	0.7 ~ 1.2	190	90	2.2 ~ 3.5	150	71	7.2 ~ 10.5	100	48
7/4	3.8 ~ 4.2	390	0.6 ~ 1.1	250	64	1.0 ~ 2.1	20	5	-	0	-
7/6	3.9 ~ 4.1	350	0.6 ~ 0.8	300	86	2.5 ~ 4.0	80	23	6.9 ~ 11.3	50	14

- 외해가두리 고등어 양식에 있어서 가두리 망목크기로 인해 자연산 고등어를 입식하여 성장을 조사 중이며 자연산 고등어를 외해가두리에 수용하는 경우에는 수용 후 약 24일간 사료섭이를 하지 않고 있어서 인공종묘생산에 의한 대량생산체계의 조기 확립이 절실히 요구된다.

표 12. 외해가두리 수용 고등어 성장 결과

	전장(cm)	가랑이체장(cm)	체고(cm)	체폭(cm)	체중(g)	비고
'08. 8. 5	20.0	18.7	3.4	2.4	70.9	외해 수용
9. 5	20.5	19.1	3.5	2.3	72.4	
11. 5	21.7	20.2	3.9	2.7	96.3	

- 외해가두리에 08년 8월 70.9 g의 고등어를 입식하여 사육한 결과 '09년 8월 584.5 g으로 성장하였고 상품성을 인정받아 출하를 실시하였다.

표 13. 고등어 성장 조사 결과

항 목	입식일 (08. 8월)	'09년 3월	'09년 5월	'09년 8월	'09년 10월	
가랑이체장	18.7±1.6	25.8±1.9	25.1±2.1	34.6±1.1	35.3±1.7	10월 출하
증 중 량	70.9±23.5	205.8±47.4	221.4±57.4	584.5±56.1	591.4±58.9	

○ 외해가두리 고등어 성장조사를 위한 방법 개발

- 어군탐지기 원리의 음향카메라를 이용한 고등어 성장조사 방법에 대한 실험을 실시하였으며, 음향카메라에 촬영된 고등어를 대상으로 어체 크기를 데이터화 하였고, 촬영한 대상종에 대해 전장, 가랑이체장, 체장을 실측하여 음향카메라 데이터와 비교분석한 결과 전장이 상호 측정 결과와 유사하였으며 오차 2% 이내로 매우 정확한 결과를 보였다.

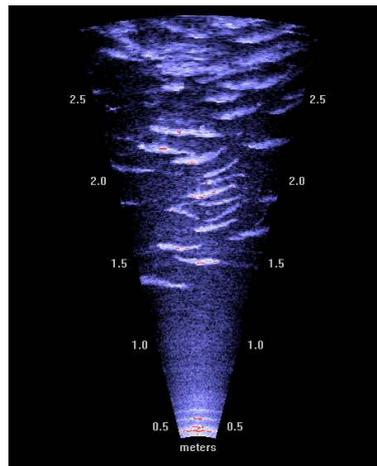


그림 14. 고등어 음향카메라 영상화면.

○ 고등어는 핸들링 과정에서 폐사 발생 및 상품성 저하가 발생하고 있어서 스트레스에 따른 영향을 조사하기 위하여 고등어 스트레스 분석 및 성장호르몬 염기서열 분석을 실시하였다.

- 고등어는 스트레스 반응에서 코르티졸 농도가 매우 높게 나타나고 있어서 수송전후의 스트레스 반응에 대한 연구가 좀더 세심하게 연구될 필요가 있음.

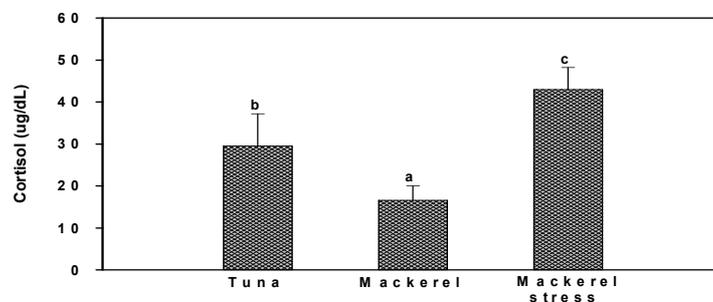


그림 15. 수송 후의 참다랑어 및 고등어의 혈장 코르티졸 농도 비교.

- 고등어에서 확보한 성장호르몬의 유전자의 염기서열을 분석하였으며, 그에 대해 예상되는 아미노산 서열을 확인하였고, 미국 NCBI에 등록 하였다.

```

>/tmp/outseq.input.5029 [Unknown form]
DNA: ATGAACAGAGTCACTCCTCGCTGTCAGTCATGTGTGGGCGTGTCTCT
+1: M N R V I L L L S V M C V G V S S
DNA: CAGCCAATCACAGAGAACCAGCGCCTGTTCCTCCATCGCTGTGGTGGAGTT
+1: Q P I T E N Q R L F S I A V G R V
DNA: CAGTATCTTCACCTGGTTGCTAAGAACTCTTCAGTGACTTTGAGAACTCA
+1: Q Y L H L V A K K L F S D F E N S
DNA: CTACAGTTGGAGGATCAACGCTCTTCTCAACAAAATCGCTTCAAAAAGAATTT
+1: L Q L E D Q R L L N K I A S K E F
DNA: TGTCAATCAGATAATTTCTTGAGTCCGATCGACAAACACGAGACACAAGGC
+1: C H S D N F L S P I D K H E T Q G
DNA: AGCICAGTTCAGAAGCTTTTATCGGTCTCTTATCRATTGATTGAGTCCGG
+1: S S V Q K L L S V S Y X L I E S W
DNA: GAGTTTTTCAGTCGCTTCCCTGGTCGCAAGTTTTGCTGTGAGGACCCAGGTT
+1: E F F S R F L V A S F A V R T Q V
DNA: ACATCCAAACTGTCAGAACTGAAGATGGGTCTCCTGAAGCTGATAGAGGCC
+1: T S K L S E L K M G L L K L I E A
DNA: AATCAGGATGGAGCAGGTGGATTCTCTGAGAGTTCGGTGCCTCCAGCTCAGC
+1: N Q D G A G G F S E S S V L Q L T
DNA: CCGTATGGAAACTCTGAACCTGTTCCGCTGCTTTAAGAAGGATATGCACAAG
+1: P Y G N S E L F A C F K K D M H K
DNA: GTGGAGACGTACCTGACCGTGGCCAAATGCCGACTCTTTCAGAAGCTAAC
+1: V E T Y L T V A K C R L F P E A N
DNA: TGCACCCTGTAG
+1: C T L *

```

그림 16. 고등어 성장호르몬 유전자 염기서열.

○ 외해가 사육에 따른 고등어 품질 영향 평가 결과

- 자연산 고등어와 외해가두리 양식산 고등어 및 내만가두리 양식산 고등어의 품질을 알아보기 위하여 일반성분을 분석하였다. 분석결과 외해가두리 양식산 고등어의 조지방 함량이 낮게 나타나고 있으며, 이는 일반적인 양식 어류의 경향과 다르게 나타나고 있어서 사료 급여량이 부족한 것으로 예측 되었다.

표 14. 고등어 양식해역 및 방법별 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 분석결과

분석 항목	고등어 양식 해역별							
	내만가두리(육지)		자연산(선망)		일반가두리(제주)		외해가두리(대)	
	등근육	배근육	등근육	배근육	등근육	배근육	등근육	배근육
수 분	52.37±	33.87±	68.50±	58.55±	55.70±	38.09±	53.93±	36.16±
조지방(%)	29.01±	51.87±	7.31±	22.51±	27.74±	48.62±	30.04±	50.80±
조단백질(%)	17.92±	13.91±	23.72±	19.04±	16.70±	12.09±	18.59±	14.13±
조회분(%)	0.95±	0.87±	1.53±	1.42±	0.96±	0.83±	0.89±	0.90±

- 고등어의 등근육은 지방함량이 배근육보다 낮고 단백질 함량은 높은 값을 보였다. 양식산 고등어는 자연산 고등어에 비해 지방이 유의하게 높은 함량을 보였고, 자연산 고등어의 등근육 지방산 함량은 7.6% 이었으나 양식산은 27 ~ 30%이었으며, 배근육은 자연산이 22% 내외이었으나 양식산은 48 ~ 51%로 2배 이상으로 높았다.

표 15. 고등어 부위별 조지방 비율

부 위	고등어 양식 해역별				비고
	일반가두리(육지)	자연산(선망)	일반가두리(제주)	외해가두리(대)	
등근육	29.01±	7.31±	27.74±	30.04±	
배근육	51.87±	22.51±	48.62±	50.80±	
간	28.40±	17.70±	24.12±	23.97±	
위	2.89±	2.50±	4.90±	14.83±	
장	25.75±	23.91±	13.99±	17.11±	

- 자연산과 양식산의 어체성분 중 어류에서 에너지원으로 주로 사용되는 지방 함량이 큰 차이를 보였는데 이는 양식산의 운동량의 부족과 지속적인 먹이 공급에 따른 것으로 판단된다.
- 고등어 사육관리에 있어서 용존산소는 매우 중요한 요소이므로 수온에 따른 산소 소모량을 조사하였다.
- 고등어의 수온별 산소 소모량을 조사한 결과 24℃와 28℃의 소모량은 16℃의 약 2배 이상 소비하였고 1시간 이내에 폐사에 이르렀다.

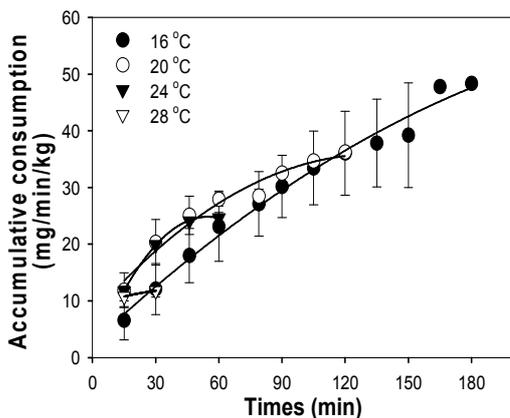


그림 17. 수온별 시간경과에 따른 누적 산소소비량.

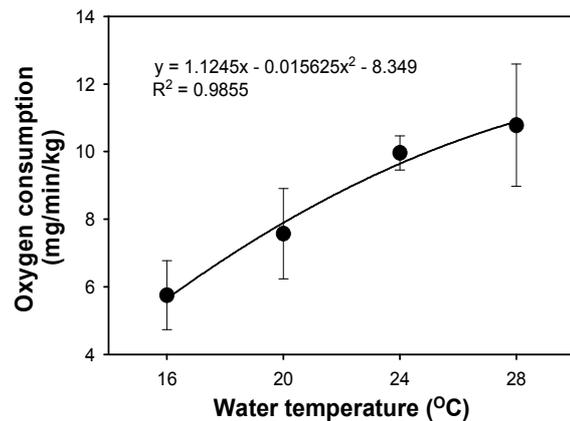


그림 18. 수온 증가에 따른 산소 소비량.

- 수온 증가에 따른 치사 산소농도와 pH 변화를 보면 수온 24℃를 지나면서 치사 농도는 급격히 증가하였고, pH는 시간경과에 따라 모든 수온구에서 직선적으로 감소하여 누적 호흡량 증가에 의한 CO₂ 증가와 상관관계를 볼 수 있었다.

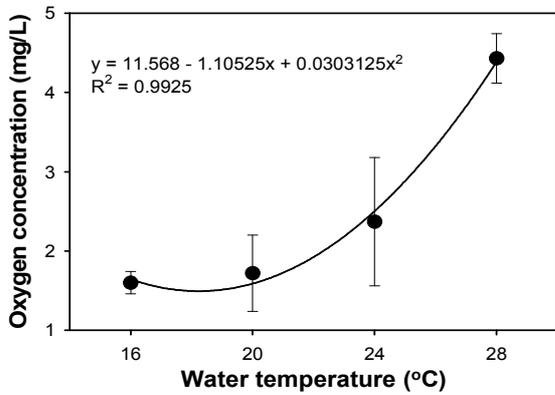


그림 19. 수온 증가에 따른 치사농도 변화.

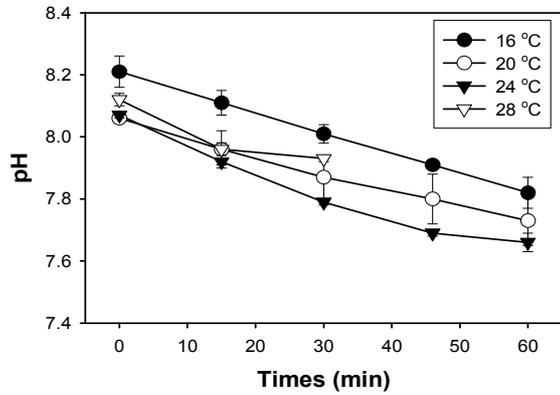


그림 20. 시간 경과에 따른 pH 변화.

- 육상양식장의 대형사육 시설을 이용한 사육수 용존산소농도 변화를 조사 한 결과 액화산소를 사용한 양식장은 8 mg/L 이상의 높은 용존산소를 유지하였으나, 액화산소 미사용 양식장은 3 mg/L 까지 저하하였다. 또한 모두 사료 공급 후 급격한 용존 산소량이 급격히 감소하여 정상농도 회복까지 약 6 ~ 8시간이 소요되었다.

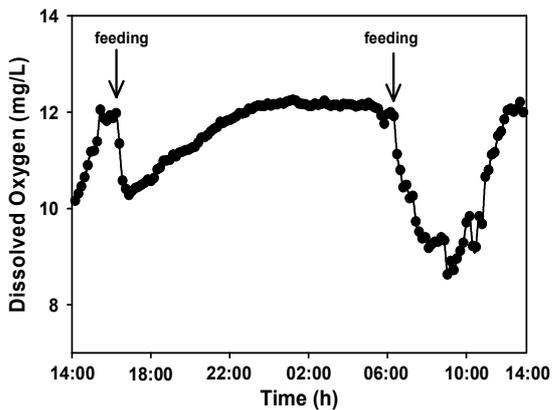


그림 21. 액화산소 사용 양식장의 일간 용존산소 변화.

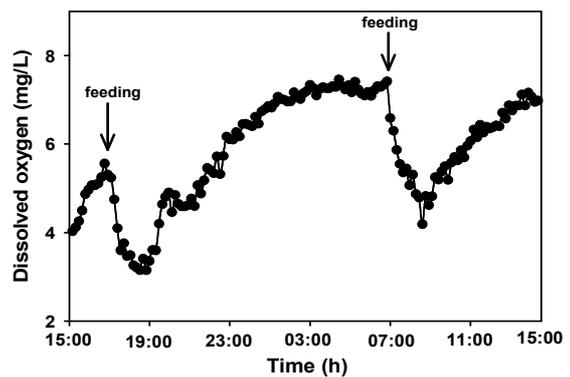


그림 22. 액화산소 미사용 양식장의 일간 용존산소 변화.

- 육상수조 양식장에서 사료섭취 후 급격한 산소농도의 감소가 관찰되므로 안정적인 용존산소 유지를 위해서는 연안어장보다 산소 및 양식 환경이 좋은 외해가두리에 적합한 양식어종으로 판단된다.
- 고등어 이송과정의 폐사방지를 위하여 마취제를 사용할 필요성이 있으므로 마취제 종류별로 효과 및 회복력을 조사하였다.
- MS-222 및 2-Phenoxyethanol은 회복시간이 짧고, 폐사에도 안정적인 반면, Clove oil은 저농도에서도 마취효과 높으나 회복시간 및 정상 유영까지 많은 시간이 소요되며 폐사의 위험성도 높았다.

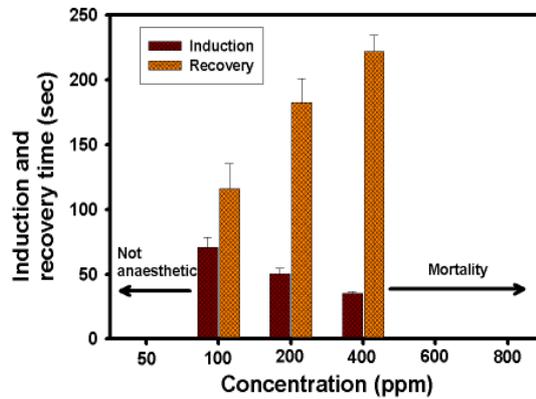


그림 23. MS-222의 농도별 마취시간 및 회복시간.

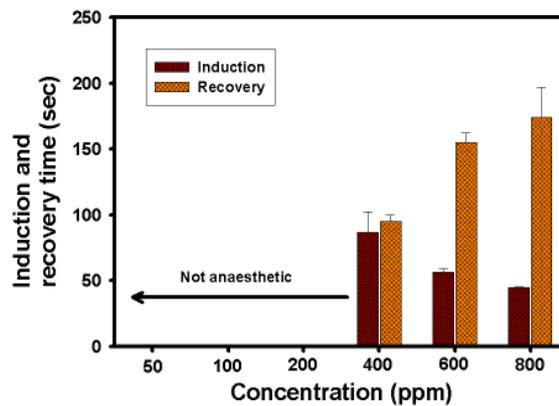


그림 24. 2-Phenoxyethanol의 농도별 마취시간 및 회복시간.

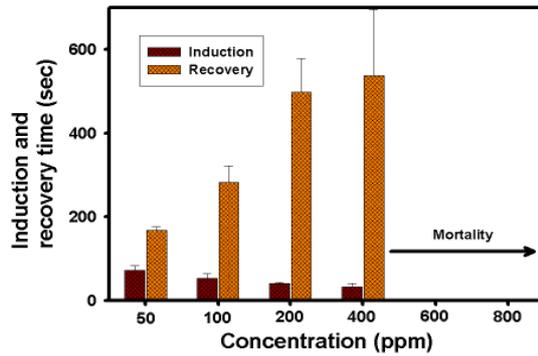


그림 25. clove oil의 농도별 마취시간 및 회복시간.

- 외해가두리 양식에서 입식과 수확으로 인한 폐사 발생이 일어나고 있으므로 해상 작업의 특성을 파악하고 주의 할 요소를 파악할 필요가 있다.

운용방법	사용 모습	주의 할 점
고등어 호스 입식		≪선박에서 호수를 사용하여 고등어와 해수를 동시에 주입하며 가두리 내에 이식하는 방법≫ ○ 호스 내 산소 부족시 폐사 위험 높음 ○ 파도가 높을 때는 이용 곤란 ○ 대량 입식에 많은 시간이 소요
지퍼를 이용한 입식		≪외해가두리를 부상시켜서 상층부의 지퍼에 일반가두리를 붙여서 고등어 종묘를 입식하는 방법≫ ○ 일반가두리의 그물의 꼬임에 의한 폐사 높음 ○ 잠수인원이 많이 소요 됨 ○ 빠른 조류가 발생 할 경우에 이용 곤란
수 확		≪외해가두리에 사육생물을 수확할 때≫ ○ 외해가두리 내 협소한 곳에 24시간 이상 순치하여 갑작스런 유집 스트레스를 반감시켜야 함 ○ 표층 5m 내외에서 24시간 2차 순치 시킨 후 수확

- 영상모니터링시스템을 통한 관측 및 제어 시스템 설계와 배합사료 자동급이 장치를 제작할 필요성이 있으며 그림과 같은 구성이 필요하다.

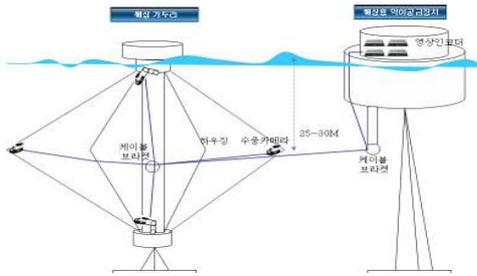


그림 26. 영상시스템 모식도.

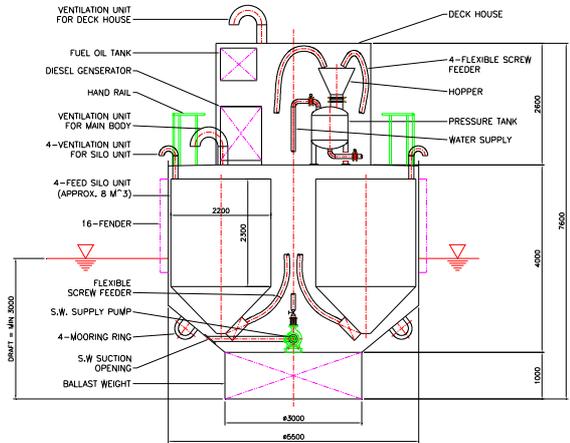


그림 27. 먹이자동 공급 장치.

2. 주변 생태변화 모니터링 및 경제성 분석

2-1. 외해가두리 주변 생태변화 모니터링

- 외해가두리 주변 생태변화 모니터링

- 주변 해역의 생물유집효과 알아보기 위하여 비주얼 조사결과 2월과 6월 중 주변 해수수온이 예년에 비하여 2°C가량 낮아서 유영어류의 관찰이 어려웠고, 삼중자망과 통발을 이용하여 2008년도 가두리해역과 주변해역을 대상으로 어획조사를 실시한 결과 개체수 및 체중량에서 가두리 해역이 높게 나타났다.

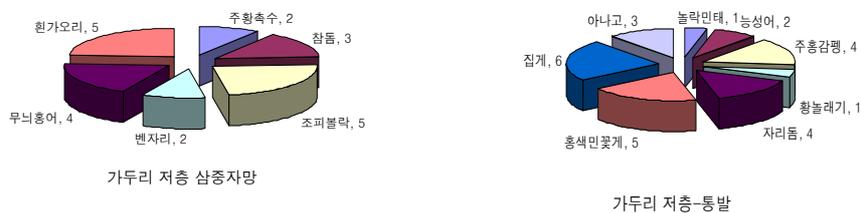


그림 28. 가두리 해역 출현종 개체수(2008).

- 외해가두리 주변 환경 조사는 COD, 총질소, 총인 등 수질환경조사 등 4회를 실시하였으며 외해가두리 시설 전후의 환경변화를 모니터링하였다.
- 해양환경 조사 및 영향 평가를 위하여 수질특성을 조사한 결과 유기물질의 COD 농도는 표층에서 4월에 0.33 ± 0.34 , 5월에 1.84 ± 1.04 mg/L이며, 저층에서 4월에 0.47 ± 0.21 , 5월에 2.09 ± 0.83 mg/L로 시기별 큰 차이를 보이고 있으며 또한 저층이 표층보다 높은 농도를 보이고 있었다.
- 전체적인 수층별 분포에서 표층보다 저층에서 높은 값은 사료 및 어류의 분해에 의해 지속적인 오염물질 증가에 의한 영향인 것으로 판단된다.

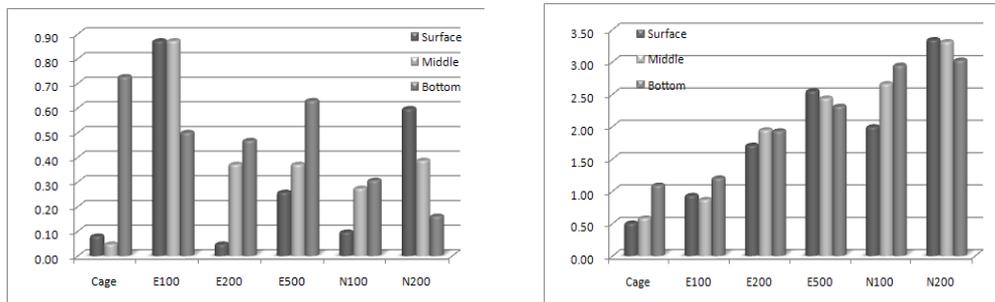


그림 32. 가두리 양식장의 층별 COD 분포(좌측 4월, 우측 5월).

- 영양염류의 DIN 농도는 표층에서 4월에 0.067 ± 0.012 , 5월에 0.027 ± 0.010 mg/L이며, 저층에서 4월에 0.076 ± 0.008 , 5월에 0.054 ± 0.006 mg/L로 시기별 큰 차이를 보이고 있으며 또한 저층이 표층보다 낮은 농도를 보이고 있었다.

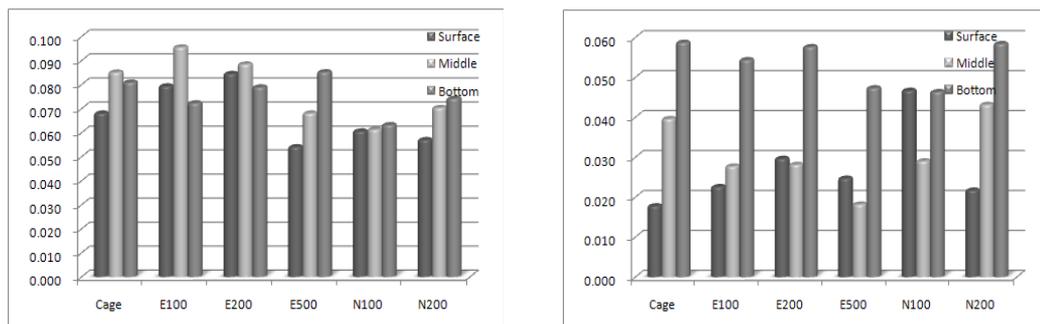


그림 33. 가두리 양식장의 층별 DIN 분포(좌측 4월, 우측 5월).

- TP 농도는 표층에서 4월에 0.010 ± 0.011 , 5월에 0.011 ± 0.002 mg/L이며, 저층에서 4월에 0.011 ± 0.012 , 5월에 0.011 ± 0.001 mg/L로 시기별 차이를 보이지 않았으며 표층 및 저층 간의 차이 또한 불 수가 없었다.

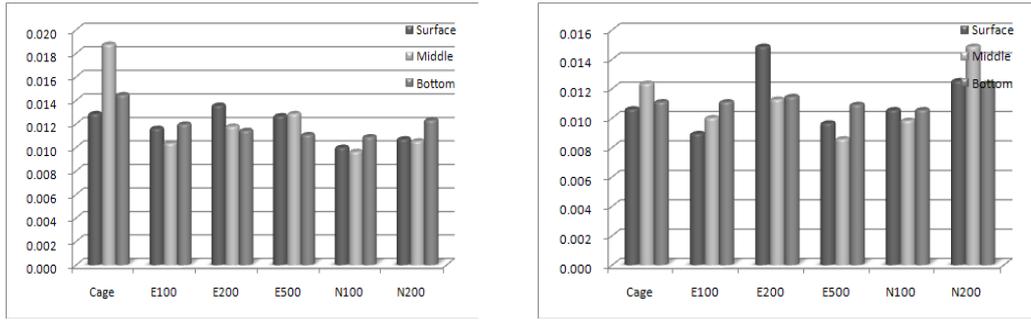


그림 34. 가두리 양식장의 층별 TP 분포(좌측 4월, 우측 5월)

○ 외해가두리 양식장의 퇴적물 특성 조사 결과

- 퇴적물의 유기물들은 주로 양식장 바로 아래에 침강하여 퇴적되는 경향을 보인다. 특히 강열감량은 양식장 정점에서 가장 높은 값을 보이나 전체적인 농도는 아주 낮은 농도로 양식장의 사료와 어류의 분으로 인해 수질 및 퇴적물 오염에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

표 16. 외해가두리 양식장으로부터의 거리별 퇴적물 내 화학적 특성

조사정점	함수율 (%)	강열감량 (%)	산휘발성황화물 (mgS/g)	COD (mg/kg)
Cage	25.50	7.96	0.001	105.73
E10	37.28	5.13	N.D.	129.87
E100	37.12	4.62	N.D.	119.70
E200	37.65	4.16	N.D.	74.65
E500	32.20	6.22	N.D.	105.64

○ 연안가두리 와 외해가두리 양식장의 환경특성 조사 결과

- 수질측정 결과 COD는 연안가두리가 1.10, 외해가두리가 0.60 mg/L로 연안가두리가 약 2배 높음, 총질소(TP)는 연안가두리가 0.680, 외해가두리가 0.150 mg/L로 연안가두리가 약 4배 이상 높았다.

표 17. 연안 및 외해가두리 설치 어장 수질측정 결과

Cage Type	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	N/P	TN (mg/L)	TP (mg/L)
연안가두리	1.10	0.082	0.016	11.71	0.680	0.023
외해가두리	0.60	0.067	0.005	30.63	0.150	0.012

- 퇴적물 오염특성 결과 퇴적물 COD는 연안가두리에서 1752.26, 외해가두리에서 107.16 mg/kg로 연안가두리가 외해가두리에 비해 15배 이상 높게 나타났고, 산화발성황화물(AVS)은 연안가두리에서 0.022, 외해가두리는 가두리 바로 밑지점(0 m)에서 0.001 mgs/g이 검출되었다.

표 18. 연안 및 외해양식어장 퇴적물 오염 특성

Cage Type	Distance (m)	W. D. (%)	I. L.	COD (mg/kg)	AVS (mgs/g)
연안가두리	0	47.17	6.81	1613.74	0.040
	10	45.38	6.80	1836.75	0.043
	100	44.70	7.86	1717.93	0.007
	200	55.02	8.36	1374.10	0.016
	500	57.12	8.25	2218.79	0.007
외해가두리	0	24.50	7.96	105.73	0.001
	10	37.28	5.13	129.87	N.D.
	100	37.12	4.62	119.70	N.D.
	200	37.65	4.16	74.64	N.D.
	500	32.20	6.22	105.85	N.D.
	Control	28.76	2.77	893.65	N.D.

- 생물 유집 효과 비주얼 조사결과 겨울철(2월)은 수온 하강에 따라 주변 유영어류가 관찰되지 않았고, 수온상승(6월)과 더불어 일부개체 군집 시작하였다.



그림 35. 가두리 주변 유집생물 조사 결과(좌측 2월, 우측 6월)

2-2. 경제성 분석

○ 참돔 외해가두리양식 경제성분석 결과

① 생산자료

- 제주지역 외해가두리 1조에서 총 130,000마리의 참돔 치어(평균 중량 100 g)를 입식하여, 27개월(2006.12 ~ 2009.3) 동안 양식한 결과 약 140톤이 생산되었다.
- 생물학적인 변수로서 생존율은 평균 90%, 사료계수는 1.23, 그리고 시장가격은 kg당 10,000원인 것으로 조사되었다.

② 비용자료

- 양식기간 동안 참돔 외해가두리양식의 운영비용은 평균 10.12억 원으로 나타났는데, 이 중에서는 인건비(34.7%), 사료비(22.5%), 그리고 치어대(12.8%) 등이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.
- 참돔 외해가두리양식의 시설 설치(1조)를 위한 초기 투자비용은 가두리, 그물, 시설고정 장비, 스쿠버장비, 사료저장시설 등을 포함하여 약 4.03억 정도 소요되는 것으로 분석되었으며, 각 시설물들의 내용연수는 가두리 및 그물의 경우 평균 8년, 스쿠버장비 등은 약 5년 정도로 조사되었다.

③ 분석 결과

- 참돔 외해가두리양식 경제성분석 결과, 향후 10년 기간동안 발생할 이익을 이자율로 할인한 순현재가치(NPV)의 값은 아래 <표-19>에서 보는 바와 같음. 즉, 이자율을 8%로 가정할 경우 순현재가치(NPV)는 약 1.74억 원으로 분석되었다.
- 또한 내부수익률(IRR)은 평균 12.3% 수준으로 분석되었으며, 양식기간 (27개월) 별 수익성 분석에서는 총수익은 약 14.04억 원 그리고 총비용은 10.12억 원으로 나타나 양식이익률은 약 28%로 평가되었다.

표 19. 참돔 외해가두리양식 경제성분석 결과 (단위: 억 원)

	이자율			
	4%	6%	8%	10%
순현재가치(NPV)	4.13	2.82	1.74	0.85
내부수익률(IRR)	12.3%			

- 이상과 같이 NPV와 IRR 기준으로 볼 때, 참돔 외해가두리양식업의 경제성은 우수한 것으로 나타났음. 특히 비용부분 중 많은 비중을 차지하고 있는 인건비나 사료비 등이 절감되고, 생존율 등이 보다 높아질 수 있다면 경제성은 더욱 향상될 수 있을 것으로 기대됨

○ 고등어 외해가두리양식 경제성분석 결과

① 생산자료

- 제주지역 외해가두리 1조에서 총 120,000마리의 고등어 치어(평균 중량 80g)를 입식하여, 15개월(2006.11 ~ 2008.2) 동안 양식한 결과 약 91.2톤이 생산되었다.
- 생물학적인 변수로서 외해가두리양식 고등어의 생존율은 평균 95%로 상당히 높은 것으로 나타났으며, 사료계수는 1.6, 그리고 시장가격은 kg당 평균 10,000 원인 것으로 조사되었다.

② 비용자료

- 양식기간 동안 고등어 외해가두리양식의 운영비용은 평균 7.2억 원으로 나타났는데, 이 중에서는 인건비(27.1%), 사료비(26.8%), 그리고 치어대(11.7%) 등이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.
- 고등어 외해가두리양식의 시설 설치(1조)를 위한 초기 투자비용은 가두리, 그물, 시설고정 장비, 스쿠버장비, 사료저장시설 등을 포함하여 약 4.03억 정도 소요되는 것으로 분석되었으며, 각 시설물들의 내용연수는 가두리 및 그물의 경우 평균 8년, 스쿠버장비 등은 약 5년 정도로 조사되었다.

③ 분석 결과

- 고등어 외해가두리양식업의 경제성을 분석한 결과, 향후 10년 동안 발생할 이익을 이자율로 할인한 순현재가치(NPV)의 값은 아래 <표-20>에서 보는 바와 같음. 즉, 이자율을 8%로 가정할 경우 순현재가치(NPV)는 약 4.70억 원으로 분석되었다.
- 또한 내부수익률(IRR)은 평균 24.5% 수준으로 분석되었으며, 양식기간 (15개월) 별 수익성 분석에서는 총수익은 약 9.12억 원 그리고 총비용은 약 7.20억 원으로 나타나 양식이익률은 약 21%로 평가되었다.

표 20. 고등어 외해가두리양식 경제성분석 결과 (단위: 억 원)

	이자율			
	4%	6%	8%	10%
순현재가치(NPV)	6.89	5.72	4.70	3.81
내부수익률(IRR)	24.5%			

- 이상과 같이 NPV와 IRR 기준으로 볼 때, 고등어 외해가두리양식업의 경제성은 아주 높은 것으로 나타났음. 인건비나 사료비 그리고 치어비 등의 절감, 시장가격의 변화에 따라 고등어 외해가두리양식의 경제성 평가결과가 크게 달라지는 것으로 나타났다.

제 5 장 참고문헌

- Bridger, C. J. 2004. Exposed Aquaculture Site Development in the Bay of Fundy : Feasibility Report. New Brunswick Salmon Grower's Association, 2A8.
- Bybee D. R. and J. H. Bailey-Brock, 2003. Effect of a Hawaiian open ocean fish culture system on the benthic community. *Open Ocean Aquaculture*, 119-128.
- FAO. 2007. Status of world aquaculture 2006. FAO Fisheries Technical Paper 500.
- Gerdes, R., 1993. A primitive equation ocean circulation model using a general vertical coordinate transformation. 1. Description and testing of the model. *Journal of Geophysical Research* **98**, 14,683 ~ 14,701.
- Grizzle, R. E., L. G. Ward, R. Langan, G. M. Schnaittacher, J. A. Dijkstra, and J. R. Adams. 2003. Environmental monitoring at an open ocean aquaculture site in the Gulf of Maime : Results for 1997-2000. *Open Ocean Aquaculture*, 105-117.
- Raymond E. Grizzle, Larry G. Ward, Richard Langan, Gwynne M. Schnaittacher, Jennifer A. Dijkstra, and Jamie R. Adams. 2003. Environmental monitoring at an open ocean aquaculture site in the Gulf of Maime : Results for 1997-2000. *World Aquaculture Society* 2003.
- Ryan, J. 2004. Farming the deep blue. Marine Institute, Ireland, pp 70.