

정부간행물 번호
53-1541370-000001-01
과학원 간행물 번호
TR-2010-AQ-038

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 부담 다량어 양식기술 연구개발



제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서는 “외해 참다랑어 양식기술연구개발” 과제의 2010년 1차년도 연구결과 보고서입니다.

2011년 7월

참여연구원

- 수중가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

김경민, 한석중, 지승철, 이정의, 구준호, 이창훈, 임한규, 임남철, 이경훈, 윤근현, 허정숙, 양준봉, 이윤길, 김갑용, 이창윤, 무라타 오사무, 타키이 켄지

- 내 파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

황형규, 김응오, 오봉세, 도정완, 김상수, 조은섭, 홍석남, 김동균

- 참다랑어 양식시스템개발

이건호, 정성재, 이경훈, 박성욱

- 육상수조를 이용한 참다랑어 양식기술개발

김문관, 오성립, 양병규, 박용석, 강봉조, 장영환

- 유전자원 대량발현 및 실용화

박순철, 안치현, 탁은식, 윤용민, 박상길, 박영민

요 약 문

I. 과제명 : 외해 참다랑어 양식기술연구개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 참다랑어의 안정적 생산 및 외해 참다랑어 양식기술개발로 기존 양식국과의 차별화된 양식산업 전략 추진
- 연안어장의 외해어장의 확대로 친환경 양식생산 시스템 구축
- 새로운 양식시스템 개발로 양식공학기술 축적
- 참다랑어 완전양식 기술개발로 안정적인 양식산업화 기반 구축

2. 연구개발의 필요성

- 세계 참다랑어 양식 선진국과 완전양식 관련 기술 격차를 해소하고 종묘생산 기술 및 세계수준의 양식기술을 확보하여 종묘방류 및 자원관리를 통한 국제적 공유 자원에 대한 어획권 확보가 필요함
- 외해가두리 양식이 기반 연구를 통하여 경제성이 입증되었으며, 신정부 100대 국정 과제인 돈버는 농림수산업 중 「한국형 외해양식 기반 구축」 사업의 주대상종으로서 참다랑어의 중요성 부각
- 연안어장의 반복되는 자연재해와 기술인력 감소에 따른 수익성 저하, 소형어종 위주의 획일적인 양식에서 참다랑어와 같은 고부가가치 대형어종으로 전환하여 양식산업의 국제경쟁력 제고
- 참다랑어 외해양식 단지와 연계한 해양생태관광으로 국민의 관광·레저 요구 충족 및 새로운 일자리 창출과 어촌의 고차산업화 구축

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 차세대 어미후보군 확보 및 관리
 - 자연산 어미후보군 확보: 300~400마리
 - 사육관리(3개소): 외해수증가두리, 육상수조, 아쿠아리움

- 조기 산업화를 위한 대량 종묘확보기술개발
 - 끝납시를 이용한 어획실험: 6~11월, 제주 및 거문도 연안
 - 어류 유집효과 실험: 어류유집장치 10기 설치 후 효과조사
 - 종묘 이송(해상, 육상)기술개발
- 생리생태 및 행동특성 분석
 - 비접촉식 측정기술을 이용한 사육관리 최적화
 - 품질관리 기초 연구
 - 행동특성 연구를 위한 데이터로거 삽입
- 환경 및 질병 모니터링
 - 외해가두리 수온 특성 비교
 - 주변 해역 환경 측정

2. 내파성 가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 참다랑어 종묘 확보 및 양성시험
 - 종묘확보 및 양성시험
 - 성장도 조사 및 수정란 채집시험
- 어체 성분분석 및 질병 모니터링
- 가두리양식장 환경모니터링
 - 수질환경 및 퇴적물 조사 분석
 - 적조발생 모니터링 조사
- 참다랑어 끝납시 어획조사 및 자원량 조사
- 적조대비 내파성(부침식)가두리 제작, 시설

3. 참다랑어 양식시스템 개발

- 참다랑어 가두리 모형실험 및 설계안 제시

4. 참다랑어 육상양식기술개발(위탁연구)

- 참다랑어 차세대 어미후보군 확보
 - 참다랑어 치어 포획 및 어군 분포도, 해역별 내유시기 조사
- 자연산 종묘 어획 및 육상 수송기술 개발
 - 육상 수송수조 형태별 생존율 변화 조사
 - 육상 수송수조 수용밀도별 생존율 변화 조사

- 어미관리 및 생리생태 특성 분석
 - 육상수조에서의 적정 사육환경 조사
 - 육상양식 과정에서의 질병발생 현황 모니터링

5. 유전자원 대량발현 및 실용화(위탁연구)

- 대상 어류의 유전자원 탐색
 - cDNA library : 대상 어류의 주요 조직 유래 유전자 도서관 구축
- 대상 어류의 유전자원 발굴
 - RACE-PCR : 위 template를 이용한 특정 primer로 full-length cDNA를 발굴
 - 생식조절, 성장촉진 및 면역증강 생리활성 유전자 발굴
- 대상 어류의 유전자원 특성화
 - 전체 염기서열 판독
 - 분자계통유전학적 분석
 - 다중배열염기서열 분석
 - 단백질 특성분석 및 3차원 구조 결정
- 대상 어류의 유전자원 대량발현
 - 생식조절 유전자의 형질도입 시스템 구축
 - 생리활성물질의 대량발현 시스템 구축

IV. 연구개발 결과

1. 수중가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 차세대 어미후보군 확보 및 관리
 - 자연산 어미후보군 확보(240마리): '09년산 113마리(8 kg 전후), '08년산 127마리(30 kg 전후)
 - 사육관리(3개소): 외해수중가두리, 육상수조, 아쿠아리움
 - 외해수중가두리 SeaStation 3,000m³ 1기, 5,400m³ 1기
 - 육상수조: 육상수조 지붕공사 및 수처리 시스템 구축
 - 아쿠아리움: 백다랑어 77마리 수용 및 사육관리
- 조기 산업화를 위한 대량 종묘확보기술개발
 - 끝낚시를 이용한 어획실험: 6~11월, 제주 및 거문도 연안
 - 백다랑어 총 607마리, 생존률 81%(아쿠아리움 75마리 분양)
 - 종묘채포 기술보급: 사랑방 좌담회 개최 2회, 다랑어 포스터 제작 배포
 - 어류 유집효과 실험: 어류유집장치 10기 설치
 - 몽치다래, 줄삼치 등 군집 확인

- 종묘 이송(해상, 육상)기술개발
 - 대형종묘 해상수송: 참다랑어 25 kg 급 236마리, 직경 22m 원형가두리 이용
이동거리 53 km(제주 화순 ⇒ 표선), 27시간 소요
 - 장거리 육상수송: 백다랑어 150~250 g 75마리, 직경 2 m 원형수조 이용
수송경로 제주 위미항 ⇒ 부산 아쿠아리움, 13시간 소요
- 생리생태 및 행동특성 분석
 - 비접촉식 측정기술을 이용한 사육관리 최적화
 - 음향카메라와 스테레오 카메라를 이용한 어체 측정: 오차범위 2% 이하
 - 음향카메라를 이용한 유영특성조사: 야간은 저층, 주간은 상층에서 유영
 - 품질관리 기초 연구
 - 지방 축적: 500 g급 3~4%에서 3 kg급은 30~40%로 단기간에 증가
 - 수은 축적: 500 g 급 0.003~0.005 ppm, 3 kg급 0.03~0.06 ppm
 - 행동특성 연구를 위한 데이터로거 삽입
 - 백다랑어 복강절개 후 데이터 로거 삽입(체온, 유영수심, 유영속도 측정 가능)
- 환경 및 질병 모니터링
 - 외해가두리 해역 수온 특성 비교
 - 겨울철 연안지역보다 높은 수온을 유지하며, 수온약층을 보이지 않음
 - 주변 해역 환경 측정
 - 가두리에서 거리별, 수심별 pH, 총질소, 유기인 등의 차이를 보임

2. 내파성 가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 참다랑어 종묘 확보 및 양성시험
 - 종묘확보 및 양성시험
 - 어미후보군 관리(2개소): 통영시 육지도, 거문도 연안에 시험어장 확보
 - 어미후보군 확보: 자연산 종묘 215마리, 산업체(인성수산) 확보 물량 3,179마리
 - 성장도 조사 및 수정란 채집시험
 - 체장 120 cm급은 1년간 1.5배, 체장 150 cm급은 1.3배 성장
 - '07년산 10마리(60~65 kg)에서 7~10월까지 산란 확인되지 않음
- 어체 성분분석 및 질병 모니터링
 - 조단백은 15.0~21.9%로 등근육이 높고, 조지방은 15.9~43.5%로 배근육이 2~3배 높음
 - 총수은 및 메틸수은 함량은 식약청 허용기준치 보다 낮은 값을 보임
 - 해산어류 주요 병원성 바이러스(5종) 및 특이 병리학적 증상 없음
- 가두리양식장 환경모니터링
 - 수질환경 및 퇴적물 조사 분석

- 수온은 10.4~26.3℃로 2월에 최저, 8월에 최고였으며, 8월에 수온약층 형성
- 용존산소, COD, 총인, 총질소가 대부분 수질 1등급 기준 이하 유지
- 적조발생 모니터링 조사
 - 6년간 육지도 근해해역은 규조류가 와편모조류보다 월등히 높은 우점
 - 6월, 7월은 와편모조류의 비율이 40% 이상, 여름철은 *Gymnodinium* sp.가 거의 매년 출현
 - Chl-a와 총세포수도 일출과 일몰에 따라 상하 수직이동
- 참다랑어 끝낚시 어획조사 및 자원량 조사
 - 거문도지역 참다랑어 1마리(350 g), 제주연안 백다랑어 100마리(163~303 g) 어획
 - 전남 여수, 육지도 정치망에서 백다랑어, 점다랑어, 몽치다래 어획
- 적조대비 내파성(부침식)가두리 제작, 시설
 - 내파성 가두리 1개(직경 20 m) 시설완료

3. 참다랑어 양식시스템 개발

- 다랑어 양식용 가두리로써 Tension-leg 가두리와 중심부력 제어식 가두리 두 종류를 설계하고 모형실험을 통해 그 성능을 비교하여 최종 설계안을 도출
- Tension-leg 가두리가 중심부력제어식 가두리보다 환경외력에 높은 안정성 보임

4. 참다랑어 육상양식기술개발(위탁연구)

- 차세대 어미후보군 확보: 참다랑어 치어 포획 및 어군 분포도, 해역별 내유시기
 - 1월~10월까지 매월 제주도 주변해역에서 참다랑어 치어 어획
 - 9월 12일부터 200g~700g 사이의 참다랑어와 백다랑어가 혼획됨
 - 내유시기: 제주남부 및 서부해역은 7월 하순~9월하순(25.5~27.0℃)
추자해역은 8월 중순~10월 중순(21.3~24.7℃)
- 자연산 종묘 어획 및 육상 수송기술 개발
 - 육상 수송수조 형태별 생존율 변화 조사
 - 사각수조와 원형수조의 수조 형태에 따른 생존율 차이 없음
 - 육상 수송수조 수용밀도별 생존율 변화 조사
 - 200g 내외의 치어를 3마리, 6마리, 13마리, 28마리 밀도로 수송시 생존율 100%
 - 300g 내외의 치어를 14마리, 22마리, 26마리, 28마리 밀도로 수송시 생존율 100%
- 어미관리 및 생리생태 특성 분석
 - 육상수조에서의 적정 사육환경 조사
 - 2009년 10월 가랑이체장 38.9cm, 1.3kg급 참다랑어 입식 사육 중
 - 24시간 형광등을 점등(야간 100lux)하고, 전갱이를 1회/일 주 6회 공급
 - 평균 가다랑이체장 85.3cm, 평균 체중 10.7kg으로 성장, 사료계수는 12.2

- 어체 크기별 생식소 발달상태 조사
 - 참다랑어 종묘(전장 365~430cm, 체중 472~1,110g)의 생식소는 좌우 1쌍으로 배부 체강벽에 의해 아래로 달려 있었으며, 신장과 밀착되어 길게 자리 잡고 있음
 - 조직학적으로 모두 정소조직만을 가짐
- 육상양식과정에서의 질병발생 현황 모니터링
 - 기생충은 관찰되지 않았으며, *Vibrio* sp. 2종의 분리되었음

5. 유전자원 대량발현 및 실용화(위탁연구)

- 대상 어류의 유전자원 탐색
 - 참다랑어 뇌조직, 간조직 cDNA library 구축
 - 고등어 뇌조직, 간조직 cDNA library 구축
- 대상 어류의 유전자원 발굴
 - 참다랑어 성장호르몬(GH) 유전자, 인슐린유사성장인자(IGF) 유전자, 생식소호르몬 분비유도호르몬(GnRH) 유전자 발굴
 - 고등어 성장호르몬(GH) 유전자, 생식소호르몬분비유도호르몬(GnRH) 유전자 발굴
- 대상 어류의 유전자원 특성화
 - 전체 염기서열 판독
 - 분자계통유전학적 분석
 - 다중배열염기서열 분석
 - 단백질 특성분석 및 3차원 구조 결정
- 대상 어류의 유전자원 대량발현
 - 생식조절 유전자의 형질도입 시스템 구축
 - 고등어 성장호르몬 및 생식소호르몬 분비유도호르몬의 재조합
 - 참다랑어 성장호르몬 및 생식소호르몬 분비유도호르몬의 재조합
 - 생리활성물질의 대량발현 시스템 구축
 - 고등어 GnRH 유전자를 지렁이에 형질도입하여 단백질 대량생산 후 *in vitro* 활성시험 중

V. 활용계획

1. 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 참다랑어 어미후보군은 '14년 수정란 생산 및 종묘생산에 활용
- 종묘채포기술은 어민교육을 통한 기술보급으로 참다랑어 양식 조기 산업화 유도
- 스테레오 카메라를 이용하여 어체 성장 조사 등 사육관리기술에 적용
- 데이터 로거를 이용한 참다랑어 행동특성 구명을 위한 예비 실증실험 실시(2011년)

2. 내파성 가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 남해안의 내파성 가두리양식기술개발로 연안 가두리양식장의 재배치 및 연안역의 환경개선 효과
- 내파성 가두리는 적조 및 태풍에 안전하고 저비용, 고효율 양식시스템으로서 중앙정부 및 지자체에 정책자료 제공 및 민간업체에 기술을 이전할 계획

3. 참다랑어 양식시스템 개발

- 민간업체에 기술 이전 등을 통하여 개발된 참다랑어 양식 시스템 보급하고 참다랑어 양식 산업을 활성화함

4. 참다랑어 육상양식기술개발(위탁연구)

- 참다랑어 치어의 제주도내 어군 분포도 및 회유로 파악에 의한 어민소득 창출
- 육상수송 결과를 바탕으로 종묘 이송 방법에 적극 활용
- 생식소 발달상태 및 초기 성분화 과정 조사에 이용
- 육상양식 기초 데이터 제공

5. 유전자원 대량발현 및 실용화(위탁연구)

- 고등어 재조합 GnRH의 경구투여 급여시험
- 참다랑어 재조합 GH의 경구투여 급여시험
- 섭이 후 축양생물의 증체율, 생리활성능 및 안전성 모니터링

SUMMARY

I . Development research of bluefin tuna culture used offshore net cage

II. Purpose and Necessity

- Tuna is recognized as one of high value-added fish whose farming is considered to drive the aquaculture industry as new growth engine for the whole economy.
- The Korean government listed the project, "Establishment of the Korean-type Offshore Culture" on the 100 national projects of the new administration and tuna is one of major species for the offshore culture.
- To satisfy the need both for the fisheries resources management and economic benefits, it is urgently needed to develop tuna aquaculture technologies to produce the profitable fishery product and highly functional materials from the species.

III. Contents and scope of the study

1. Development of bluefin tuna culture technique used offshore net cage

- The security and culture of bluefin tuna broodstocks
 - 1) The security of broodstocks in natural: 300~400 fishies
 - 2) Culture (3 places) : offshore net cage, land tanks, aquarium tank
- Capturing Juveniles for Tuna Aquaculture
 - 1) The trial of capturing juveniles by trolling : June~November, Jeju and Geomoon-do coast
 - 2) Effects of the Fish Aggregating Device : 10 set
 - 3) Developments of juvenile transfer technique (sea and land)
- Characteristics of physiology and ecology
 - 1) Growth investigations by the not contact system
 - 2) The basic study on quality control
 - 3) Insert a data logger for the studies of behavior characteristic
- Marine environmental monitoring around tuna culture area

2 Development research of bluefin tuna culture used high density polyethylene cage (HDPE)

- Trial fish purchase and culture of bluefin tuna
 - Trial fish purchase and culture
 - Analysis of growth and collection of fertilization eggs
- Analysis of body component and disease
- Marine environmental monitoring around tuna culture area
 - Analysis of water quality and sediment

- Analysis of red tide around tuna culture area
- Investigation of fishing and stock biomass of tuna in southern sea
- Installation of submersible net cage

3. Development of bluefin tuna aquaculture system

- The model test of bluefin tuna cage and the suggestion of design model

4. Study on land-based culture of bluefin tuna

- Natural seedling capture and development of land transportation
- To study rearing techniques of Pacific Bluefin Tuna at indoor tank

5. Genetic Resource Mass-expression and Application

- Search the genetic resource
 - 1) cDNA library construction : the genetic resource library of the target fish
- Identification and cloning of the target genes
 - 1) RACE-PCR : identify the full length target gene using the template as the cDNA library
 - 2) identification and cloning the bioreactor genes (GH, IGF, GnRH)
- Characterization of the genetic resource
 - 1) Analysis of the full length gene
 - 2) Analysis of the phylogenetic profiling
 - 3) Analysis of the multiple alignment
 - 4) Analysis of the properties of the deduced amino acids and construction of 3-D structure
- Mass production of the genetic resource from the target fish
 - 1) Construct the mass-production system of the reproduction regulation material
 - 2) Construct the mass-production system of the bioreactors

IV. Results of research

1. Development of bluefin tuna culture technique used offshore net cage

- The security and culture of bluefin tuna broodstocks
 - 1) The security of broodstocks in natural : 241 fish
 - Born in '09 year : 113 fish (8 kg), Born in '08 year: 127 fish (30 kg)
 - 2) Culture (3 places) : offshore net cage, land tanks, aquarium tank
 - Offshore net cage : Culture in SeaStation 3,000 m³ 1 unit and 5,400 m³ 1 unit
 - Land tank : roof covering and construction of water treatment system
 - Aquarium : Culture of 75 longtail tuna
- Capturing Juveniles for Tuna Aquaculture
 - 1) The trial of capturing juveniles by trolling : June~November, Jeju and Geomoon-do coast
 - Caught a total of 607 longtail tuna, 81% of survival rate (provide 75 fish to Aquarium)

- Dissemination of tuna catch technique for fisherman : Hold a round-table talk for 2 times
- 2) Effects of the Fish Aggregating Device : 10 set
 - Caught a some of Frigate mackerel, Striped bonito
- 3) Developments of juvenile transfer technique (sea and land)
 - Transportation of big size on sea
 - 236 Blue fin tuna (25 kg), used circle type net cage (Ø 22m)
 - transfer distance of 53 km(Hwasoon ⇒ Pyoseon), 27 hours
 - Land transportation
 - 75 longtail tuna (150~250 g), used circle type tank (Ø 2m)
 - route of transportation : Jeju Weemi ⇒ Busan Aquarium, 13 hours
- Characteristics of physiology and ecology
 - 1) Growth investigations by the not contact system
 - Growth investigations by the dual-frequency identification sonar and stereo camera : 2% error
 - Characteristics of swimming behavior : tuna swim in the bottom depth at night time while swim in the shallow depth at day time
 - 2) The basic study on quality control
 - accumulated the fat as fast as adults while slowly accumulated the mercury as the weight increased
 - 3) Insert a data logger for the studies of behavior characteristic
 - Insert a data logger into the abdominal cavity of longtail tuna
- Marine environmental monitoring around tuna culture area
 - Lowest water temperature was observed as 14°C in Febuary and highest as 24.5°C in September
 - COD : 1.20~2.12 mg/L, TP : 0.002~0.022 mg/L, TN : 0.071~0.201 mg/L

2 Development research of bluefin tuna culture used high density polyethylene cage (HDPE)

The result of growth analysis showed that the average body weight of the bluefin tuna produced 2007 was 49 kg, and that of the trial fishes produced in 2008 was 20~21 kg. Trial fish purchased 200 individuals for the adults use seed production and have cultured in Geomun island. The size of fish showed that 38~48 cm in total length, 0.8~1.8 kg in body weight (average weight 39.4 cm). The results of growth fish 120 cm in fork length showd a half times more than before a year.

An analysis showed that the mercury content in the body of the aquacultured bluefin tuna was safe level below the standard value set by KFDA.

A trial culture site has been secured on the coast of Yokji island, Tongyeong-si and Geomun island Yeosu-si in order to develop aquaculture technologies for bluefin tuna, as a joint research between industry and research institute.

Minimum water temperature was observed as 10.4°C in Febuary and maximum as

26.3°C in August with thermocline. From February to December in 2010, the pH ranged from 7.6 to 8.3. The dissolved oxygen concentrations in February of study area was approximately 5 mg/L and the concentrations of the other months were near or above 7 mg/L. The COD concentrations of study area were below 1mg/L from February to December, 2010. The TP(total ortho-phosphate) concentrations of the study area from February to December in 2010 were below 0.03 mg/L. The TN (total nitrogen) concentrations of the study area from February to December in 2010 were below 0.3 mg/L.

We analyzed the fluctuation of the phytoplankton including harmful dinoflagellates occurring in Yokgido for 6 years. Total cell density showed a significant monthly variation and the flora was predominated with diatoms. *Gymnodinium* sp. occurred 19 times, the greatest number of occurrence in all kinds of dinoflagellates during summer. In particular, the total number of occurrence of *C. polykrikoides* was 8, and harmful dinoflagellates such as *Karenia brevis*/*Fibricapsa japonica* occurred. The relationship between Chl-a concentration/total cell number and sunset/sunrise was significant and reasonable sinking depth in floating cage was found to be at least 3m from the water surface, which was associated with massive fish kills caused by *C. polykrikoides*.

3. Development of bluefin tuna aquaculture system

In this study two type of cages were designed and tested in model experiment, which were the tension-leg type and the central buoyancy control type. After test the final design of cage was derived through the comparing the results of two models. As a results there was no difference in the function of submerging and surfacing, however the tension-leg type was more stable than the central buoyancy control type in the same condition

4. Study on land-based culture of bluefin tuna

○ Natural seedling capture and development of land transportation

Fishing tests on Pacific Bluefin Tuna carried out in the neighboring waters around Jeju from January to October, 2010 have revealed incidental catches of Pacific Bluefin Tuna's seed, total weight 200g~700g, in Longtail Tuna since September 12. The rectangular tank (1.4m×1.4m×0.8m)-water temperature 25.1°C, oxygen concentration 14.7ppm containing 3, 6, 13, and 28 specimens was transported by land and the survival rate was 100%. The circular-shaped tank (1.6m wide×0.8m depth)-water temperature 22.3°C, oxygen concentration 12.5ppm containing 14, 22, 26, 28 specimens was transported by land and the survival rate was 100%. Tests performed on the plastic rectangular tank (1.4m×1.4m×0.8m, effective volume 1.5m³) and self-manufactured FRP circular-shaped tank (1.6m wide× 0.8 depth, effective volume

1.5m³) respectively showed a 0% death rate and found no difference in survival rate according to the shape of the culture facilities.

○ To study rearing techniques of Pacific Bluefin Tuna at indoor tank

3 young fish that body weight 150g and three other young fish that body weight an average of 500g each inhabited the land-based culture facilities (13m in wide × 7m depth, effective volume 860m³) that 1-year-old Pacific Bluefin Tuna, ranging from 8~10 kg, were being bred in and the first 3 young fish were eaten by Pacific Bluefin Tuna. However, the latter ones swam around in a different location and did not display any aggressive movement. On October, 2009, the young of the Pacific Bluefin Tuna-38.9cm in total length, 1.3 kg in body weight inhabited the land-based culture facilities (13m in wide× 7m depth, effective volume 860m³) that were fluorescent bulb-lit for 24 hours and provided pompano 6 times a week for a year grew by 85.3 cm in total length and 10.7 kg in body weight and feed coefficient were recorded by 12.2

The wild fry, captivated and transported in the land-based culture facilities saw 93.4% cumulative mortalities within 15 days, but the fry, domesticated in an enclosing net for 17 days showed mortalities of 30.3% in 15 days.

Monitoring results of the status and causes of diseases found no endoparasitic diseases during rearing. Microscopic inspection on bacteria and disease indicated 2 kinds of gram negative bacteria isolation from the sample of Pacific Bluefin Tuna.

5. Genetic Resource Mass-expression and Application

○ Construction cDNA library for search the genetic resources for the target fishes

1) Construct the brain and liver cDNA library from blue fin tuna

2) Construct the brain and liver cDNA library from mackerel

○ Identify the target genes and cloning

1) Identify and cloning growth hormone gene, insulin-like growth factor genes, and gonadotropin releasing hormone gene from blue fin tuna

2) Identify and cloning growth hormone gene, and gonadotropin releasing hormone gene from mackerel

○ Molecular characterization of the genetic resource from the target fish

1) Identification of the full length gene

2) Phylogenetic profiling of the target gene

3) Analysis of the multiple alignment

4) Molecular characterization and 3-D structure construction of the target protein

○ Mass production of the genetic resource from the target fish

1) Construct the mass-production system of the reproduction regulation material
- Recombination the GnRH and GH genes of blue fin tuna

- Recombination the GnRH and GH genes of mackerel
- 2) Construct the mass-production system of the bioreactors
 - Transduce the mackerel's GnRH gene to the earthworm, and inducing mass production of mackerel's GnRH
 - *in vitro* bioactivity TEST

V. Applications of the Study Results

1. Development of bluefin tuna culture technique used offshore net cage

- Bluefin tuna broodstocks used the seedling production in 2014 year
- The juvenile capturing technology will be nurtured as new income source for the fishers
- Fish measurement by Stereo camera apply the development of bluefin tuna culture technique
- Insert a data logger into the bluefin tuna for the studies of behavior characteristic (2011)

2. Development research of bluefin tuna culture used high density polyethylene cage (HDPE)

- The bluefin tuna is one of the high value-added large fishes, therefore We have to procure aquaculture competitive through technique development and fundamental research of aquaculture.
- Transfer technique of artificial seed production and adult culture methods for industrial aquaculture of bluefin tuna.

3. Development of bluefin tuna aquaculture system

- The technique for the tuna cage system developed will be transferred to a private company for the growth of bluefin tuna aquaculture industry.

4. Study on land-based culture of bluefin tuna

- To elevation of fisherman's income by grasp the distribution schematic and migratory route a shoal of Pacific Bluefin Tuna's fry in the costal of jeju island
- To application of Pacific Bluefin Tuna's fry of transportation methods
- To using of the status gonad development and the investigation of early sex determination process
- Offer of rudimentary rearing data at indoor tank in Pacific Bluefin Tuna

5. Genetic Resource Mass-expression and Application

- Oral feed the mackerel's recombinant GnRH to aquacultural mackerels (expected time : 2011. 2~3)
- Oral feeding the recombinant GH to tuna fries (expected time : 2011. 4~5)
- After oral feeding to target fishes, monitoring the growth rate, biological activity and the safe-stability of biosynthetic materials



Contents

26	제 1 장 연구개발과제의 개요
26	제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성
26	1. 연구개발의 목적
26	2. 연구개발의 필요성
26	제 2 절 연구개발의 목표
26	1. 최종 목표
27	2. 당해년도 연구목표(2010년)
27	제 3 절 추진전략 및 연차별 추진일정
27	1. 추진전략
28	2. 연차별 추진일정
29	3. 2010년도 세부 추진 계획

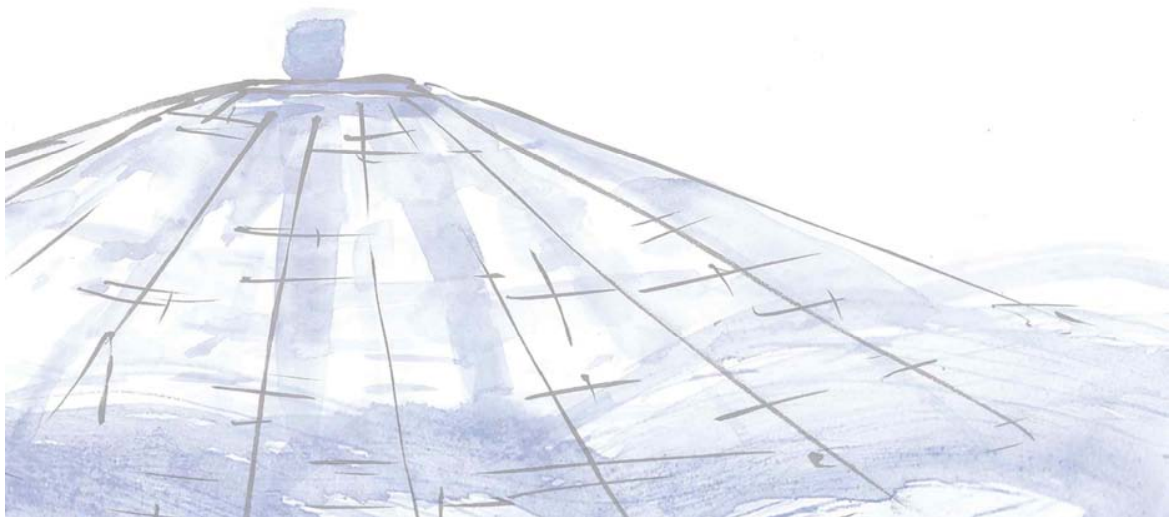


32	제 2 장 국내외 기술개발 현황 과학기술정보
32	제 1 절 외해양식 기술개발 현황 34
32	1. 유럽
32	2. 미국
32	3. 호주
33	4. 일본
33	제 2 절 국외 참다랑어 양식기술개발 및 과학기술정보
33	1. 일본의 연구동향
33	가. 완전양식에 이르기까지
34	나. 참치 연구소 설립
34	다. 21세기 COE(Center of Excellence)와 Global COE 프로그램 운영
35	라. 완전양식기술 및 자원관리 연구
36	2. 지중해 연안국의 연구동향
37	3. 호주의 기술개발 및 연구추진 동향
38	제 3 절 국내 참다랑어 양식기술개발 및 양식현황
38	1. 외해양식 개발 현황
38	2. 참다랑어 양식기술개발 현황
40	3. 국내의 연구개발 수준





44	제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과
44	제 1 절 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
44	1. 차세대 어미군 확보 및 사육관리
44	가. 자연산 어미확보: 현재 240마리 사육관리 중
44	나. 외해수증가두리 사육관리
46	다. 육상수조 사육관리(2개소): 육상수조(미래양식연구센터), 가온수조(아쿠아리움)
50	라. 태풍 피해에 따른 참다랑어 어미후보군 폐사
56	2. 조기산업화를 위한 대량종묘 확보기술개발
56	가. 끝났시를 이용한 종묘확보
59	나. 어류유집장치를 이용한 종묘확보
63	다. 어획기술 보급 및 활용
64	라. 종묘 이송기술 개발
70	4. 참다랑어 생리생태 및 행동특성 분석
70	가. 비접촉식 측정기술을 적용한 사육관리 최적화 연구
76	나. 음향카메라를 이용한 유영특성 조사
79	다. 행동특성 연구를 위한 데이터 로거 삽입
82	라. 부위별 영상특성 및 증금속 평가
85	5. 양식어장 환경평가
85	가. 수온
88	나. 해양환경 화학분석





94	제 2 절 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
94	1. 참다랑어 종묘확보 및 양성시험
94	가. 종묘확보
95	나. 양성시험
96	다. 성장 및 생존율 조사
100	라. 참다랑어 수정란 채집 시험
100	마. 겨울철 대량폐사 원인분석
103	2. 어체 성분분석 및 질병 모니터링
103	가. 분석 방법
103	나. 분석결과
105	3. 가두리양식장 환경모니터링
105	가. 분석방법
107	나. 분석결과
118	4. 참다랑어 끝낚시 어획조사 및 자원량 조사
118	가. 조사방법
120	5. 적조대비 내파성(부침식)가두리 제작, 시설

122	제 3 절 참다랑어 양식시스템 개발
122	1. 가두리 설계 및 모형실험
122	가. 가두리 2종 설계 및 모형실험
125	나. 모형실험 방법

127	2. 결과
127	가. 파랑에 대한 계류력 측정 결과
131	나. 파랑 중 가두리 침하부상 시험

제 4 절 참다랑어 육상양식기술개발(위탁연구)

138	1. 차세대 어미군 확보 및 사육관리
-----	----------------------

138	가. 자연산 종묘 포획 방법
142	나. 자연산 종묘 포획 결과

149	2. 자연종묘 육상수송기술개발
-----	------------------

149	가. 수송방법
150	나. 수송결과

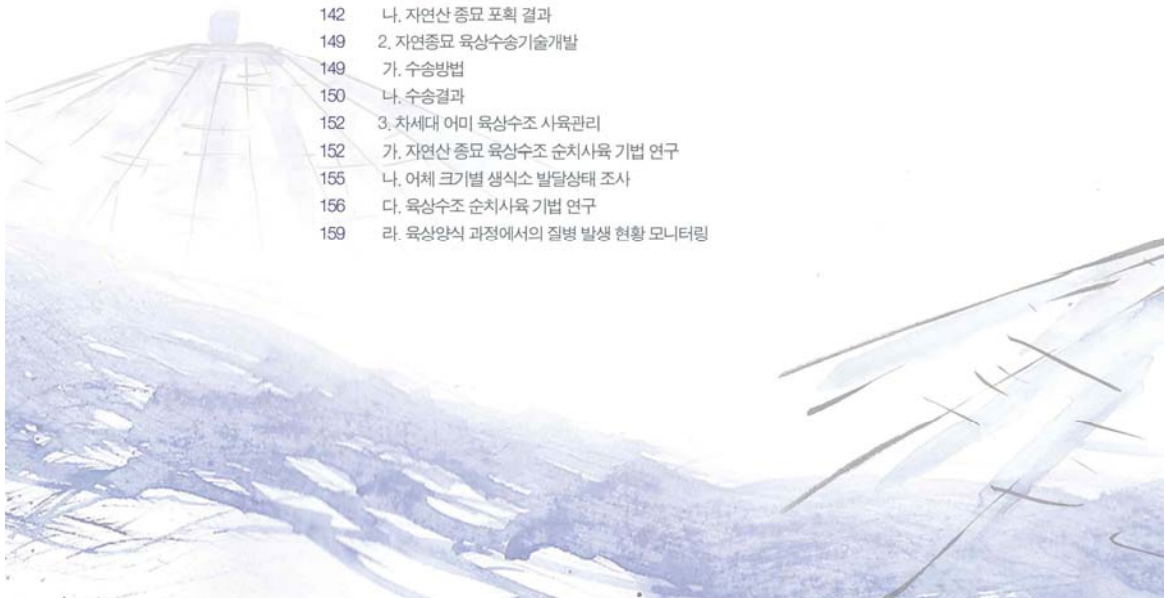
152	3. 차세대 어미 육상수조 사육관리
-----	---------------------

152	가. 자연산 종묘 육상수조 순치사육 기법 연구
-----	---------------------------

155	나. 어체 크기별 생식소 발달상태 조사
-----	-----------------------

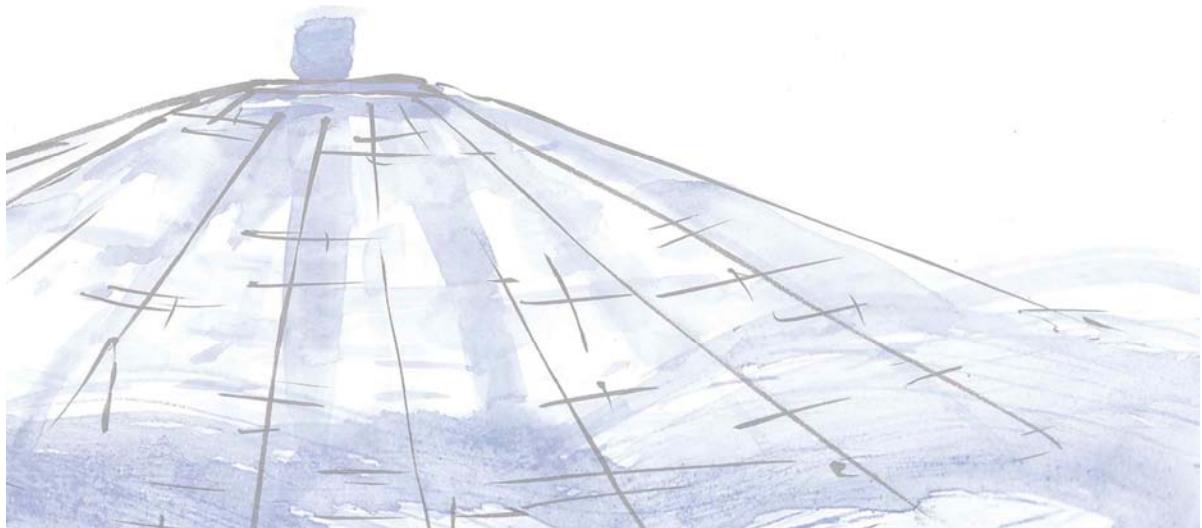
156	다. 육상수조 순치사육 기법 연구
-----	--------------------

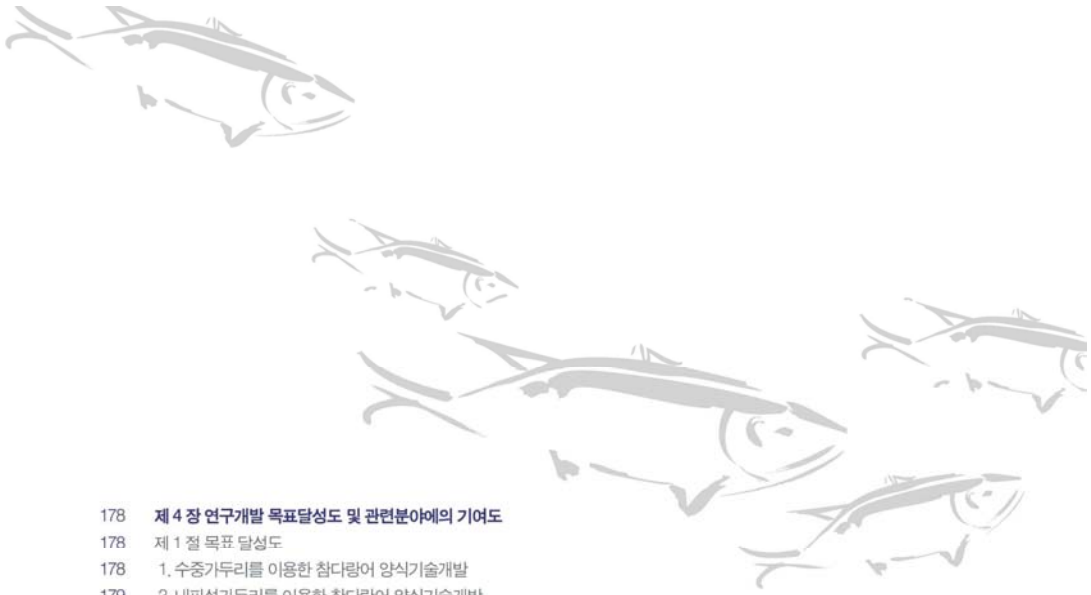
159	라. 육상양식 과정에서의 질병 발생 현황 모니터링
-----	-----------------------------





162	제 5 절 유전자원 대량발현 및 실용화
162	1. 대상어류의 유전자원 탐색
162	가. 대상어류의 시료 확보
162	나. cDNA library 구축
165	2. 대상어류의 유전자원 발굴
165	가. 생리활성물질 발굴 과정
165	나. 참다랑어 생리활성물질
166	다. 고등어 생리활성물질 발굴
167	3. 대상어류의 유전자원 특성화
167	가. 물질의 분자특성 분석
167	나. 참다랑어 생리활성물질의 특성화
169	다. 참다랑어 생리활성 물질의 구조 기능성 규명
171	라. 고등어 생리활성물질의 특성화
173	4. 대상어류의 유전자원 대량발현
173	가. 재조합 유전자 구성
174	나. 생리활성물질 대량발현 시스템 구축





178 **제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도**
 178 제 1 절 목표 달성도
 178 1. 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
 179 2. 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
 179 제 2 절 기여도
 179 1. 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
 179 2. 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

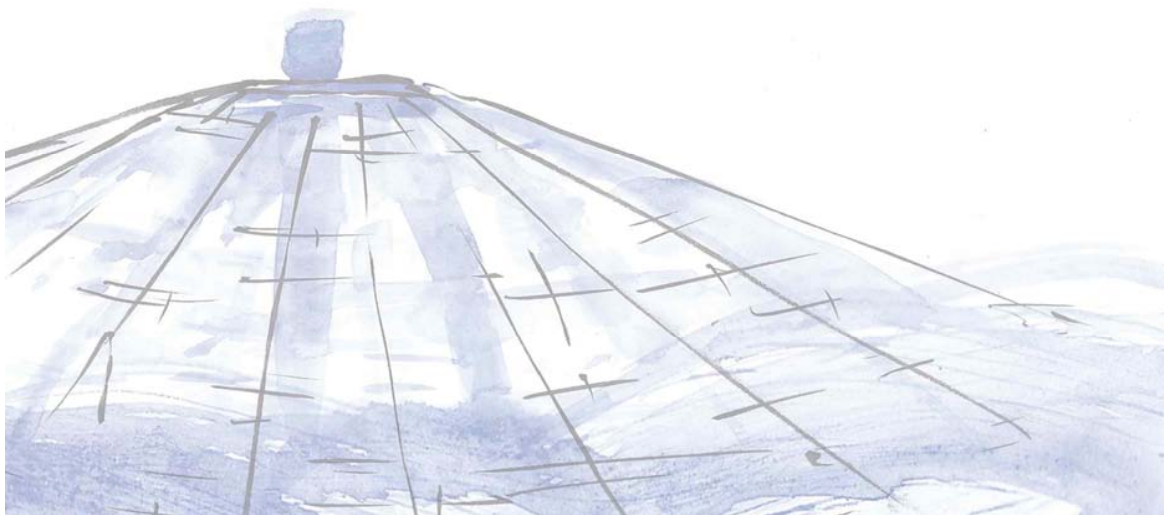
182 **제 5 장 연구개발 성과 및 활용**
 182 제 1 절 연구개발 성과 및 활용실적
 182 1. 참다랑어 양식산업화 추진단 설립 및 운영
 183 2. 참다랑어 종묘채포 기술보급을 위한 시랑방 직담회
 183 3. 참다랑어 종묘채포 기술보급 포스터 제작 및 배포
 184 4. 국내외 학술활동
 186 5. 홍보
 191 제 2 절 금후 활용계획 및 기대효과

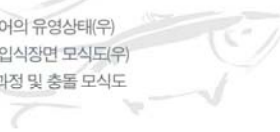
194 **제 6 장 참고문헌**



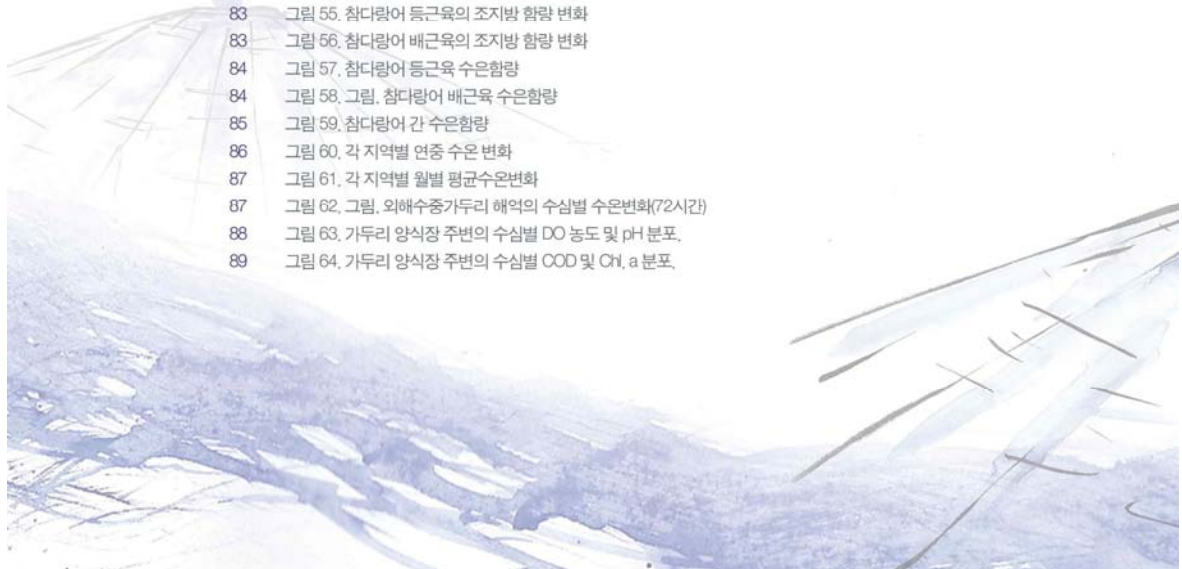
그림목차

- 27 그림 1. 외해 참다랑어 양식기술개발 추진전략
- 28 그림 2. 단계별 추진계획
- 34 그림 3. 일본 다랑어 연구소의 연구 추진체계
- 36 그림 4. 일본 긴키대학 수산연구소 COE 프로젝트 홈페이지 및 관련 소식지
- 37 그림 5. 지중해 연안 말타의 참다랑어 양식장 및 출하
- 37 그림 6. Clean Seas 社の 홈페이지 및 남방참다랑어 광고
- 40 그림 7. 우리나라의 참다랑어 양식기술개발 및 산업위치
- 44 그림 8. 참다랑어 어미후보군 사육관리 중인 외해양식어장 위치
- 45 그림 9. 외해 수중가두리 설치 모식도
- 45 그림 10. 참다랑어 먹이 공급 과정
- 46 그림 11. 태중내습 이전까지 사육기간 중의 수온 및 생존율 변화
- 49 그림 12. 사육초기의 폐사개체에서 주로 발생된 아가미 손상
- 49 그림 13. 사육 10일 이후 출몰사에 의해 폐사한 개체의 외상
- 50 그림 14. 비닐보호막 설치 전(좌)과 설치 후의 Holding 수조(우)
- 52 그림 15. 참다랑어 폐사개체의 주둥이(좌) 및 두개골 파손(우)
- 52 그림 16. 가두리 내부 및 아가미 내부의 부착생물
- 53 그림 17. 폐사가 발생한 참다랑어 및 사육시설(2010. 8. 13)
- 55 그림 18. 부착생물 제거전의 수중가두리(좌) 및 부착생물 제거작업(우)
- 55 그림 19. 부착생물 제거 후의 수중가두리 외부(좌) 및 내부(우)
- 56 그림 20. 중요채포 꿀늬시 어구 모식도(좌) 및 어획용 어구(우)
- 57 그림 21. 중요채포 시험어업 해역
- 57 그림 22. 어획중요 낚시 제거 및 순치 가두리 수용
- 58 그림 23. 일별 백다랑어 어획량 변화
- 58 그림 24. 다랑어류의 종류별 어획비율
- 59 그림 25. '09년도 추자도에서 어획된 참다랑어가 섭취한 먹이 비율

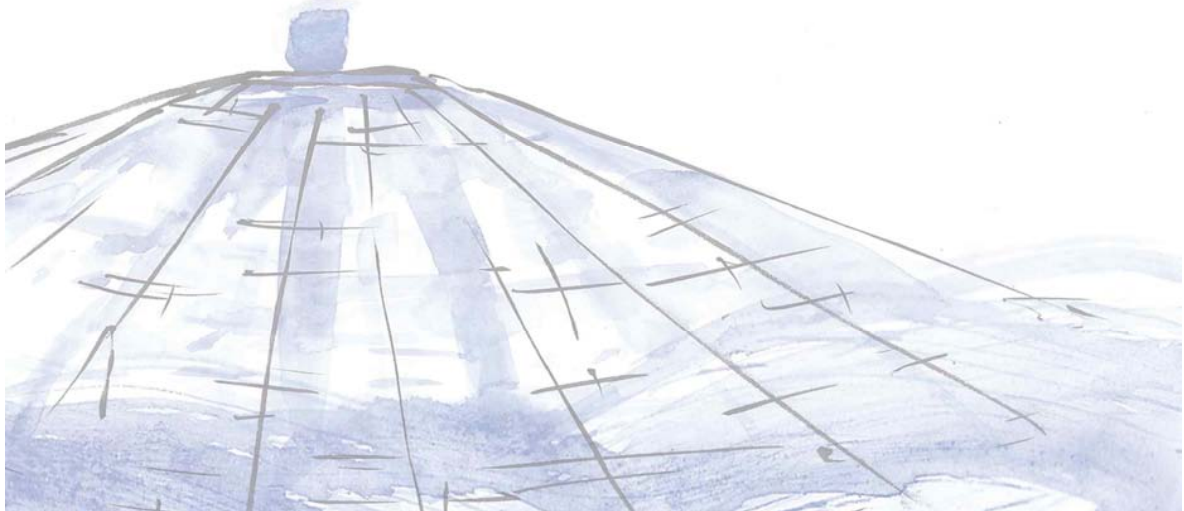


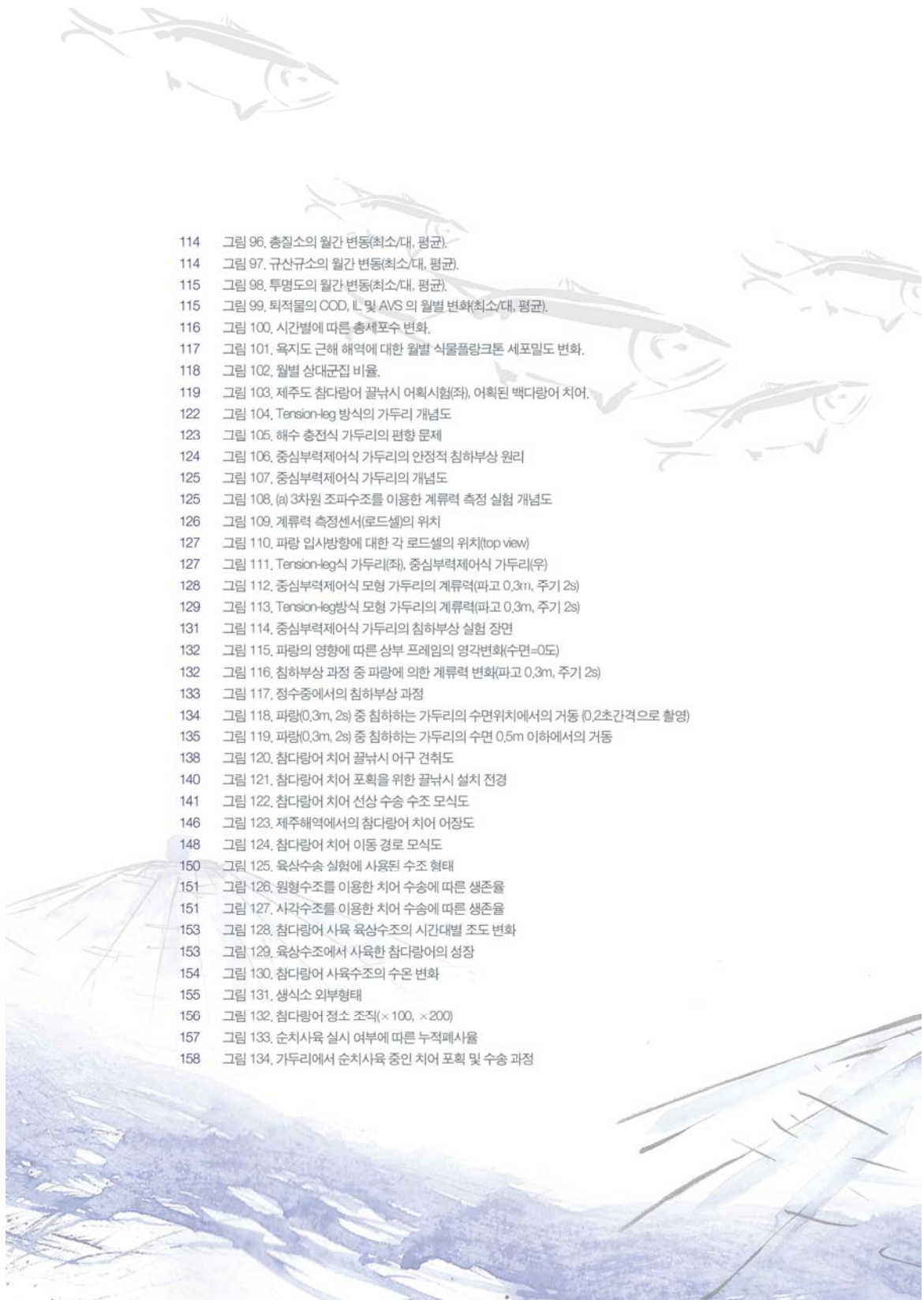


60	그림 26. 어류유집장치를 활용한 어획 조감도
60	그림 27. 어류유집장치 설치 주요해역의 해구도
61	그림 28. 어류유집장치 모식도(좌) 및 설치해역(우)
61	그림 29. 어류유집장치 수중투하(좌) 및 수중에서 전개된 모습(우)
63	그림 30. 어민을 대상으로 한 사랑방 좌담회 및 기술지도
64	그림 31. 이송 가두리 결박모식도(좌) 및 이송가두리 및 이송을 위한 수중 준비작업
65	그림 32. 참다랑어 장거리 가두리 해상수송경로(화순-표선)
65	그림 33. 가두리 예인 장면(좌) 및 수송중의 가두리 그물변형과 참다랑어의 유영상태(우)
67	그림 34. 가두리 해상수송 후 외해수중가두리와 연결(좌), 외해가두리 입식장면 모식도(우)
67	그림 35. 외해수중가두리와 연결된 상태(좌), 물이그물을 이용한 유도과정 및 총돌 모식도
68	그림 36. 가두리 이동(좌), 수송장비 준비
68	그림 37. 낚시를 이용한 선적(좌), 수송용 수조에 수용(우)
69	그림 38. 육상 수송경로(좌), 도착 후 사육수 환수(우)
69	그림 39. 비닐팩을 이용한 운반(좌), 사육수조에 수용된 백다랑어
71	그림 40. 음향카메라 센서(좌), 사육수조에 수용된 백다랑어
71	그림 41. 음향카메라 촬영장면, 가두리내 고등어(좌), 육상수조 전경이(중), 육상수조 돌돔(우)
72	그림 42. 음향카메라 및 실측한 고등어, 전갱이, 돌돔의 전장 비교
72	그림 43. 음향카메라를 이용한 참다랑어 실측 결과
73	그림 44. 3차원 스테레오 기법 및 광학시스템 교정방식
74	그림 45. 1999년산 참다랑어 가량이체장 빈도
74	그림 46. 외해 수중가두리내 참다랑어 측정 사례
75	그림 47. 1999년산 참다랑어 가량이체장 빈도
76	그림 48. 유영특성 조사 모식도 및 실제 조사 장면
77	그림 49. 참다랑어 가두리내 일간 유영수심변화
78	그림 50. 참다랑어의 시간대별 가두리내 유영수심 변화
79	그림 51. 참다랑어의 유영수심 이동과 유영반경 변화
80	그림 52. 시연에 사용된 데이터 로거(좌), 데이터 로거 삽입 전 프레젠테이션(우)
81	그림 53. 데이터 로거 삽입시술(좌), 데이터 로거 삽입 후 확인(우)
82	그림 54. 참다랑어 어체 지방, 수은 분석 부위
83	그림 55. 참다랑어 등근육의 조지방 함량 변화
83	그림 56. 참다랑어 배근육의 조지방 함량 변화
84	그림 57. 참다랑어 등근육 수은함량
84	그림 58. 그림. 참다랑어 배근육 수은함량
85	그림 59. 참다랑어 간 수은함량
86	그림 60. 각 지역별 연중 수은 변화
87	그림 61. 각 지역별 월별 평균수은변화
87	그림 62. 그림. 외해수중가두리 해역의 수심별 수은변화(72시간)
88	그림 63. 가두리 양식장 주변의 수심별 DO 농도 및 pH 분포.
89	그림 64. 가두리 양식장 주변의 수심별 COD 및 Chl, a 분포.



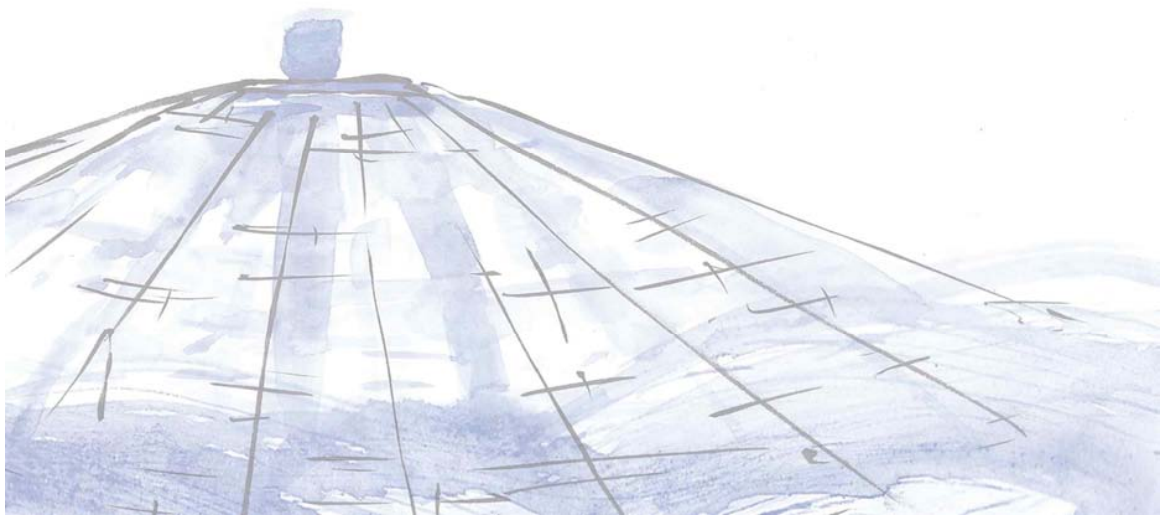
- 90 그림 65. 가두리 양식장 주변의 수심별 DIN 및 TN 분포.
- 91 그림 66. 가두리 양식장 주변의 수심별 DIP 및 TP 분포.
- 94 그림 67. 참다랑어 이송경로(육지도-거문도).
- 95 그림 68. 그림. 참다랑어 활어선 선적작업.
- 95 그림 69. 참다랑어 연구교습어장(통영 육지도).
- 95 그림 70. 참다랑어 시험어장(여수 거문도).
- 97 그림 71. 수중음향카메라시스템의 음향원도우내부구조(좌), 음향원도우의 영상처리방식(우).
- 98 그림 72. 연구교습어장내 참다랑어 시험가두리.
- 99 그림 73. 가두리내 참다랑어의 크기분포(좌:4월, 우:8월).
- 99 그림 74. 음향시스템을 이용한 가두리내 어체측정.
- 99 그림 75. 스테레오카메라를 이용한 참다랑어 어체측정.
- 100 그림 76. 참다랑어 수정란 채집시설.
- 101 그림 77. 통영 육지도 연안 동계수온 비교(2009-2010).
- 102 그림 78. 겨울철 통영 연안 동계 풍속 변화.
- 102 그림 79. 통영연안 동계 풍랑주의보 발표 현황('09-' 10).
- 103 그림 80. 참다랑어 질병분석 및 성분분석 시료처리.
- 105 그림 81. 참다랑어에서 병원성바이러스 PCR 분석사진
- 106 그림 82. 환경모니터링 조사정점도.
- 108 그림 83. 수온의 월간 변화(최소/대, 평균).
- 108 그림 84. 염분의 월간 변화(최소/대, 평균).
- 109 그림 85. pH의 월간 변화(최소/대, 평균).
- 109 그림 86. 용존산소의 월간 변화(최소/대, 평균).
- 110 그림 87. COD의 월간 변화(최소/대, 평균).
- 110 그림 88. 클로로필-a의 월간 변화(최소/대, 평균).
- 111 그림 89. 부유입자물질의 월간 변동(최소/대, 평균).
- 111 그림 90. 총인의 월간 변동(최소/대, 평균).
- 112 그림 91. 인산인의 월간 변동(최소/대, 평균).
- 112 그림 92. 아질산질소의 월간 변동(최소/대, 평균).
- 113 그림 93. 질산질소의 월간 변동(최소/대, 평균).
- 113 그림 94. 암모니아질소의 월간 변동(최소/대, 평균).
- 113 그림 95. 용존무기질소의 월간 변동(최소/대, 평균).





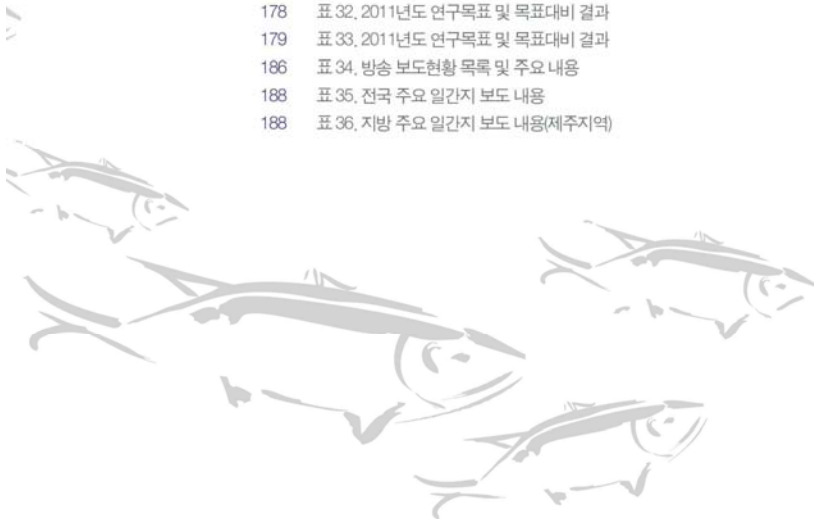
114	그림 96. 총질소의 월간 변동(최소/대, 평균).
114	그림 97. 규산규소의 월간 변동(최소/대, 평균).
115	그림 98. 투명도의 월간 변동(최소/대, 평균).
115	그림 99. 퇴적물의 COD, IL 및 AVS 의 월별 변화(최소/대, 평균).
116	그림 100. 시간별에 따른 총세포수 변화.
117	그림 101. 육지도 근해 해역에 대한 월별 식물플랑크톤 세포밀도 변화.
118	그림 102. 월별 상대군집 비율.
119	그림 103. 제주도 참다랑어 낚시 어획시험(좌), 어획된 백다랑어 치어.
122	그림 104. Tension-leg 방식의 가두리 개념도
123	그림 105. 해수 충전식 가두리의 편향 문제
124	그림 106. 중심부력제어식 가두리의 안정적 침하부상 원리
125	그림 107. 중심부력제어식 가두리의 개념도
125	그림 108. (a) 3차원 조피수조를 이용한 계류력 측정 실험 개념도
126	그림 109. 계류력 측정센서(로드셀)의 위치
127	그림 110. 파랑 입사방향에 대한 각 로드셀의 위치(top view)
127	그림 111. Tension-leg식 가두리(좌), 중심부력제어식 가두리(우)
128	그림 112. 중심부력제어식 모형 가두리의 계류력(파고 0.3m, 주기 2s)
129	그림 113. Tension-leg방식 모형 가두리의 계류력(파고 0.3m, 주기 2s)
131	그림 114. 중심부력제어식 가두리의 침하부상 실험 장면
132	그림 115. 파랑의 영향에 따른 상부 프레임의 영각변화(수면=0도)
132	그림 116. 침하부상 과정 중 파랑에 의한 계류력 변화(파고 0.3m, 주기 2s)
133	그림 117. 정수중에서의 침하부상 과정
134	그림 118. 파랑(0.3m, 2s) 중 침하하는 가두리의 수면위치에서의 거동 (0.2초간격으로 촬영)
135	그림 119. 파랑(0.3m, 2s) 중 침하하는 가두리의 수면 0.5m 이하에서의 거동
138	그림 120. 참다랑어 치어 낚시 어구 견취도
140	그림 121. 참다랑어 치어 포획을 위한 낚시 설치 전경
141	그림 122. 참다랑어 치어 산상 수송 수조 모식도
146	그림 123. 제주해역에서의 참다랑어 치어 어장도
148	그림 124. 참다랑어 치어 이동 경로 모식도
150	그림 125. 육상수송 실험에 사용된 수조 형태
151	그림 126. 원형수조를 이용한 치어 수송에 따른 생존율
151	그림 127. 사각수조를 이용한 치어 수송에 따른 생존율
153	그림 128. 참다랑어 사육 육상수조의 시간대별 조도 변화
153	그림 129. 육상수조에서 사육한 참다랑어의 성장
154	그림 130. 참다랑어 사육수조의 수온 변화
155	그림 131. 생식소 외부형태
156	그림 132. 참다랑어 정소 조직($\times 100$, $\times 200$)
157	그림 133. 순치사육 실시 여부에 따른 누적폐사율
158	그림 134. 가두리에서 순치사육 중인 치어 포획 및 수송 과정

162	그림 135. 미래양식연구센터로부터 제공받은 참다랑어 치어
162	그림 136. 제공받은 참다랑어로부터 뇌조직을 선별하는 모습
163	그림 137. 참다랑어의 뇌, 간조직에서 추출한 mRNA의 전기영동 사진
164	그림 138. 참다랑어의 뇌, 간조직에서 추출한 mRNA의 전기영동 사진
164	그림 139. 합성한 cDNA로부터 500bp 이상의 크기를 선별하기 위하여 전기영동 한 사진
164	그림 140. cDNA를 subcloning 후 콜로니 형성 사진
166	그림 141. 참다랑어의 GnRH 유전자의 전기영동 사진
166	그림 142. 참다랑어의 IGF 유전자의 전기영동 사진
166	그림 143. 참다랑어 GH 유전자의 전기영동 사진
166	그림 144. 고등어의 GnRH 유전자 전기영동사진
166	그림 145. 고등어의 GH 유전자의 전기영동한 사진
168	그림 146. 참다랑어 GnRH의 다중염기배열 분석 결과
168	그림 147. 참다랑어 면역증강 생리활성물질간의 다중염기배열 분석결과
170	그림 148. 참다랑어 GnRH에 대한 분자유전계통 분석 결과
170	그림 149. 참다랑어 GnRH의 단백질 특성 규명 결과
171	그림 150. 참다랑어 GnRH의 3차원 입체 조명 결과
172	그림 151. 고등어의 생식조절 생리활성물질에 대한 다중염기배열 분석 결과
173	그림 152. 고등어 성장호르몬의 COBALT를 이용한 다중염기배열분석 결과
173	그림 153. 성장호르몬 단백질의 CCD 분석 결과
174	그림 154. 운반체와 목표단백질 유전자의 재조합
175	그림 155. 지렁이를 생물공장으로 활용하는 형질도입 및 양성과정
175	그림 156. 추출한 목표단백질의 in vitro 활성시험 결과
176	그림 157. 추출된 생합성 목표단백질의 안전성 검사 결과
176	그림 158. 운반체 유전자를 존재여부를 판독하기 위한 PCR 결과
184	그림 159. 그림. 다랑어류 생태 포스터 및 신문 보도자료
187	그림 160. 주요 방송사 방송 보도 내용
189	그림 161. 전국 주요 일간지 보도내용
190	그림 162. 지방 주요 일간지 보도내용



표목차

29	표 1. 수중가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
30	표 2. 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발
39	표 3. 참다랑어 증묘 입식 및 사육관리 현황
47	표 4. 입식후 초기 사료공급 및 섭취 현황
48	표 5. 폐사개체의 어체중에 따른 외상 분석
62	표 6. 어류유집장치 설치 해역에서 끝났시오 어획된 어류(2010. 8. 31)
66	표 7. 수송시간 경과에 따른 참다랑어의 유명특성
70	표 8. 수송 종료 후 사육수조별 수질환경
70	표 9. 음향카메라 전송 빔 정보
80	표 10. 초음파 발산기의 활용
86	표 11. 각 지역의 월별 최저·최고 수온비교
90	표 12. 총질소에 대한 유기질소의 수심별 정점별 평균 분률(%)
91	표 13. 총인에 대한 유기인의 수심별 정점별 평균 분률(%)
96	표 14. 참다랑어 사육 현황
97	표 15. 실험에 사용된 음향카메라 제원
104	표 16. 참다랑어 어체내 일반성분 분석 결과
104	표 17. 참다랑어 어체내 중금속성분 분석 결과
107	표 18. 우리나라 해역별 수질기준
119	표 19. 제주도 참다랑어 끝났시오 어획시험 결과
120	표 20. 여수해역 참치 자원량 조사 결과
120	표 21. 내파성 가두리 시설
127	표 22. 실험 모형의 유체정역학적 특성
130	표 23. 두 가지 가두리 모형에 대한 성능 비교
139	표 24. 참다랑어 치어 포획을 위한 어구 사양
142	표 25. 연도별 해역별 참다랑어 치어 어장 조사 기간
142	표 26. 연도별 해역별 참다랑어 치어 어장 조사 어구
144	표 27. 연도별 해역별 참다랑어 치어 어장 표층 수온
147	표 28. 연도별 참다랑어 치어 어장 조사 횟수
147	표 29. 연도별 해역별 참다랑어 치어 포획량
154	표 30. 육상수조에서 사육한 참다랑어의 사료계수, 증중률, 일간성장률, 일간섭이율
160	표 31. 참다랑어로 분리된 <i>Vibrio</i> spp.에 대한 항생제 감수성 시험결과
178	표 32. 2011년도 연구목표 및 목표대비 결과
179	표 33. 2011년도 연구목표 및 목표대비 결과
186	표 34. 방송 보도현황 목록 및 주요 내용
188	표 35. 전국 주요 일간지 보도 내용
188	표 36. 지방 주요 일간지 보도 내용(제주지역)



2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

외해 참다랑어 양식기술 연구개발

제 1 장

연구개발과제의 개요



제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 외해 참다랑어 양식기술개발로 기존 양식국과의 차별화된 양식산업 전략 추진
- 연안어장의 외해어장의 확대로 친환경 양식생산 시스템 구축
- 참다랑어의 안정적 생산 및 외해양식 산업화
- 참다랑어 차기 어미후보군 확보를 통한 안정적인 양식산업화 기반 구축
- 고부가가치를 창출할 수 있는 차세대 양식품종으로서 참다랑어 완전양식 기술개발을 통해 세계수준의 양식기술 확보
- 참다랑어 양식단지와 연계한 해양생태관광으로 국민의 관광·레저 요구 충족 및 새로운 일자리 창출과 어촌의 고차산업화 구축

2. 연구개발의 필요성

- 신 성장동력 양식산업 창출을 위해 고부가가치 어종의 양식이 절실함
- 신정부 100대 국정과제인 「한국형 외해양식 기반 구축」사업의 주대상종
- 우리나라가 국제기구에서 기득권 획득을 위해서 자원관리 체계 수립이 시급함
- 다랑어에 대한 수요도는 증가하고 있는 반면, 세계 각 해역에서의 다랑어류 자원량은 계속 감소하고 있는 것으로 평가
- 성공적이고 안정적인 참다랑어 양식을 위해서는 인공종묘생산 기술개발 필요
- 참다랑어의 생리생태 특성에 적합한 사육관리기술을 조기에 정립하여 양식 경쟁력을 확보할 필요성이 높음
- 참치 등 외해성 어종의 양식은 가두리 등 양식시설의 현지화가 필수적으로 한국형 외해가두리 시스템을 개발하고 이를 외해성 어종에 적용해 부가가치 창출 가능함

제 2 절 연구개발의 목표

1. 최종 목표

- 참다랑어 완전양식 기술개발 및 산업화
 - ('10) 참다랑어 양식기반 구축 ⇒ ('14) 완전양식 기술 확립

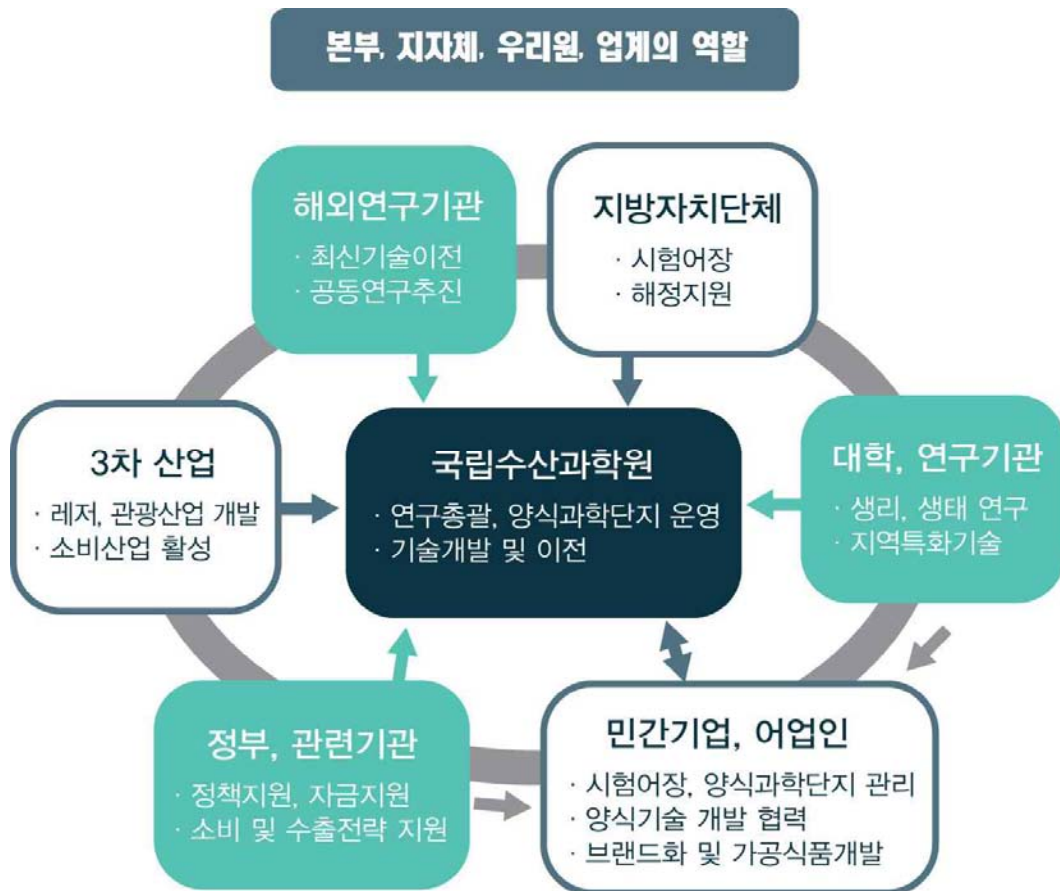
2. 당해년도 연구목표(2010년)

- 참다랑어 차세대 어미후보군 확보
- 양성용 자연산 종묘 어획 기술개발 및 수송
- 어미관리 및 생리생태적 특성 분석
- 적조, 태풍대비 가두리시스템 모형실험 및 현장 시설
- 외해, 내파성가두리, 육상양식기술 개발

제 3 절 추진전략 및 연차별 추진일정

1. 추진전략

- 본부, 국립수산과학원, 지방자치단체, 어업인 및 대학 등의 관련 부서가 유기적으로 결합된 산학연 융복합 연구추진
- 양식기술의 조기 확립을 위해 해외선진 연구기관과 지속적인 국제협력 관계 유지 (일본, 호주 등)
- 참다랑어 양식시스템 국산화 달성으로 국가경쟁력 제고



2. 연차별 추진일정

- 1단계 : 2010년
 - 외해수증가두리, 내파성가두리, 육상양식기술개발을 위한 기반을 마련
 - 완전양식기술개발을 위한 어미후보군 확보 및 재생산을 위한 성성숙 유전자원 대량 발현기술 확립

- 2단계 : 2011~13년
 - 성성숙 유도기술개발, 해외연수 및 해외 수정란 확보 등을 통한 조기 종묘생산 기술확보
 - 행동 및 성장특성, 육질평가 등을 통한 양식기술개발 및 보급으로 산업화에 기여

- 3단계 : 2014년
 - 자체 수정란 확보 기술개발 및 종묘생산기술개발
 - 인공종묘 생산 및 보급



3. 2010년도 세부 추진 계획

표 1. 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

연구항목(연구기간)	수행부서	2010년도 연구계획
○ 종묘생산 및 양성 기술개발	미래양식연구센터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 어미군 확보 및 사육관리 <ul style="list-style-type: none"> - 자연산 어미확보 : 300~400마리 - 사육관리(3개소) <ul style="list-style-type: none"> · 외해가두리, 육상수조, 아쿠아리움 사육시험 · 성숙도 및 성장패턴 조사 ○ 유집 효과 시험(2개소) <ul style="list-style-type: none"> - 어류군집 모니터링 및 유집패턴 분석(음향영상기법) - 어획 및 수송시험(끝낚시) ○ 끝낚시 이용 어획시험(6~11월, 제주연안, 거문도) <ul style="list-style-type: none"> - 대량어획 종묘 생존율 향상 연구 ○ 생리생태 및 행동특성 분석(3개소) <ul style="list-style-type: none"> - 생리, 생태 특성 분석 - 음향영상기법, 비주얼 촬영기법에 의한 성장 및 행동특성 조사 ○ 환경 및 질병 모니터링 (4회)
○ 육상양식기술개발	제주도해양수산연구원	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자연산 종묘 육상 수송 모델 개발(3~12월) <ul style="list-style-type: none"> - 종묘 100마리 어획 및 수송 ○ 차세대 어미 육상수조 사육관리 <ul style="list-style-type: none"> - 생식소 성숙 조사 및 질병 모니터링
○ 유전자원 대량발현 및 실용화	중앙대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고도회유성 어류 생리조절 유전자(원) 탐색 ○ 유용유전자 발굴 및 구조 기능분석 <ul style="list-style-type: none"> - 대상종: 2종(참다랑어, 고등어)

제1장 연구개발과제의 개요

표 2. 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

연구항목	수행부서	2010년도 연구계획
내파성 가두리 양식기술개발	남서해수산연구소	<ul style="list-style-type: none"> ○ 장소: 통영시 옥지면 서산리 연구교습어장(10ha) ○ 내파성가두리 양식기술 개발(1~12월) <ul style="list-style-type: none"> - 어미관리 : '07~'08년산, 260마리(참여업체 및 자체 보유분) - 치어관리 : '09년산, 960마리(참여업체 및 자체 보유분) - 치어확보 : '10년 자연산 종묘어획 또는 일본산 이식종묘 확보 - 조사항목 <ul style="list-style-type: none"> ·성장도 및 사료효율, 질병모니터링 조사 ·성장단계별 체성분 분석 및 수은함량 비교 ○ 해양환경조사(1~12월) <ul style="list-style-type: none"> - 수질조사 : 수온(일별), pH, COD, 영영염류, TP, TN등(월별), 저질(분기) - 적조발생모니터링(6~9월) 및 수직이동예찰
참다랑어 양식 시스템개발	시스템공학과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유영행동 특성 모니터링(6~10월) <ul style="list-style-type: none"> - '07~'09년산 시험어 - 체급별 행동특성 조사 ○ 적조대비 내파성 가두리시스템 적용 실험 <ul style="list-style-type: none"> - 부침식가두리 모형실험 및 설계안 제시(2~11월)

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

외항어 양식기술 연구개발

제 2 장

국내외 기술개발 현황 과학기술정보



제 2 장 국내외 기술개발 현황 과학기술정보

제 1 절 외해양식 기술개발 현황

1. 유럽

북구 유럽의 양식 강국인 노르웨이를 비롯하여 스웨덴, 아일랜드를 중심으로 외해양식이 발달하였다. 지중해 연안국을 중심으로 1990년대 초반부터 외해 양식기술이 발달해 왔고, 그 양식 대상 어종은 대서양연어, 참치 등이 주류를 이루고 있다. EU 6개국과 노르웨이가 참여하여 Offshore Aquaculture Technology Platform (OATP)을 만들어서 본격적인 외해양식을 추진하고 있다. OATP는 연구기관, 양식어업인, 가공, 유통 등이 다양하게 참여하여 유럽 관련국들의 외해 양식산업 진흥을 위한 기회와 효용성을 연구하고 있다.

2. 미국

미국은 1998년 NOAA 내에 "National Marine Aquaculture Initiative (NMAI)" 팀 구성하고 외해가두리 개발 및 시험에 집중적으로 투자하고 있다. SeaGrant 사업과 연계한 사업 추진으로 'SeaStation' 개발에 성공하여, 현재 국립수산물과학원과 민간기업(노아외해양식 영어법인)이 공동으로 도입하여 제주도에 설치해 두고 시험 연구를 실시하고 있다. 또한, "National Offshore Aquaculture Act of 2007"을 국회에 제출하여 연방정부가 관할하는 해역인 3마일 외해역에서 생태계기반의 양식을 추진할 수 있는 법적 근거를 마련 중에 있다.

하와이에서는 Cates international Inc.과 Kona Blue Water Farms에서 Moi와 갯방어를 대상으로 양식을 시도하고 있으며, 푸에르트리코에서도 Cobia와 돔류(snapper)를 대상으로 시도 중에 있고, 뉴햄프셔에서는 대구를 대상으로 외해가두리 시스템, 자동급이기 등이 개발 시험 중이다.

3. 호주

호주는 Inshore와 offshore로 분리하여 각각 주정부와 연방정부에서 해역의 관리를 실시하고 있다. "The Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 (EPBC Act/환경보호 및 생물다양성 보존법 1999)"를 법으로 정하여 연안 환경에 영향을 주는 행위에 대한 엄격한 관리 준비 중이며, 외해양식 진흥을 위한 가이드라인을 제시 (EPBC Act Policy Statement 2.2, 2006년 8월)해 두고 있다. 참다랑어 축양을 통한 양식에 성공을 한 후, 실내수조에서 인공종묘생산에도 성공(Clean Seas)하였다.

4. 일본

일본은 전통적으로 노동 집약적인 내만형 해상가두리 양식이 발달하여 우리나라 양식 대상종, 시설양식, 기술개발 방향 등과 매우 유사하다. 외해 가두리 양식방법으로는 1980년대부터 큐우슈우 지방에서 개발되어 활용 해온 로우프식 해상가두리 시스템으로서, 로우프와 브이로만으로 이루어진 이 형은 나무나 철재와 같은 고형 구조물을 제외시킴으로써 파도나 너울을 이길 수 있도록 개발하여 대형 방어나 참치 양식에 사용해 오고 있다.

제 2 절 국외 참다랑어 양식기술개발 및 과학기술정보

1. 일본의 연구동향

가. 완전양식에 이르기까지

일본의 참다랑어 양식의 시작은 1970년도 일본 수산청의 『다랑어류 양성기술 개발 시험』 프로젝트가 시초가 되었다. 이 프로젝트는 수산청 연구과와 원양수산연구소가 중심이 되어 시즈오카현, 미에현, 나가사키현, 가고시마와 코지현의 각 수산시험장과 동해대학 및 긴키대학이 참여하여 5년간 실시되었으나, 큰 성과를 거두지 못하고 중단되었다. 긴키대학 수산연구소는 프로젝트의 중단과는 별개로 지속적인 연구를 계속해 왔으며, 1979년 처음으로 자연에서 채포한 종묘로부터 어미로 성장한 친어가 자연산란하여 수정란을 얻는데 성공하였다. 1982년도에는 자연산란으로 얻어진 수정란을 부화시켜 57일간 사육하였으나, 그 후 1983년부터 1993년까지 종묘생산 기술 개발도 별다른 진전을 거두지 못했다. 1994년 다시 산란이 시작되어 종묘생산 연구가 본격적으로 진행되었으며, 1995년도에 종묘 생산한 치어를 친어로 성장시켜 2002년 이 친어로부터 다시 산란에 성공하여 비로소 완전양식을 완성하였다. 1990년대 이후에는 마루하, 일본배합사료, 타쿠요 등의 민간 기업과 독립행정법인 수산종합연구센터 등의 국가기관이 종묘생산기술 개발에 주력하고 있으며, 방류를 통한 자원증식에도 많은 투자를 기울이고 있다.

특히, 긴키대학 수산연구소는 2002년 세계 최초로 참다랑어 완전양식에 성공하였고, 2004년에는 완전양식 참다랑어의 판매를 시작하여 세계적으로 주목 받고 있으며, 양성뿐만 아니라 세계에서 가장 앞선 종묘생산 기술을 보유하고 있다. 또한 2003년부터는 문부과학성이 주관하는 COE프로그램, 2008년부터는 글로벌COE프로그램의 일환으로 참다랑어 양식기술에 대한 대규모 연구 프로젝트를 수행하면서 참다랑어 양식기술개발에 크게 기여하고 있다.

나. 참치 연구소 설립

수산종합연구센터와 수산청이 효과적인 참치 연구 수행을 목적으로 참치 연구소를 설립하여 운영(2007. 2. 1 설립)하고 있다. 수산청은 연구성과를 행정시책에 적극적으로 반영하고 센터내에서의 참치 관련 연구 조직의 제휴 강화 및 기능 발휘를 극대화하기 위해 연구소를 설립하였다. 본 연구소에서는 참치자원의 적절한 관리, 완전양식을 통한 적극적인 증양식, 어업의 효율화와 유통의 개선 등 참치에 관련된 종합적인 연구 컨트롤 타워 역할을 수행하고 있다.



그림 3. 일본 다랑어 연구소의 연구 추진체계

다. 21세기 COE(Center of Excellence)와 Global COE 프로그램 운영

COE 프로그램은 일본의 문부과학성이 우수한 연구소나 대학을 지원하여 세계적인 인재양성 및 기술 보급을 목적으로 시행하고 있다. 수산양식분야는 긴키대학 수산연구소가 2003~2008년 COE 프로그램(연구비 약 100억), 2008년부터는 Global COE 프로그램(연구비 약 150억) 선정되어 참다랑어 등의 해산어류 양식기술 개발 및 기술보급을 위한 인재 육성을 추진하고 있다.

COE 프로그램은 긴키대학을 중심으로 ① 종묘생산 및 양식 그룹, ② 환경 보존, 자원동태 그룹, ③ 사료, 식품안전성, 가공 그룹, ④ 유통, 경제 그룹 등 4개 연구분야 운영하고 있다.

- 종묘생산 및 양식 그룹 : 채란기술, 우량 종묘생산, 고효율 양성기술을 확립하고 인공산 친어를 사용하여 성숙, 산란, 육성에 관한 생리·생화학·육종학적 연구, 종묘생산기술 향상 및 경영의 개선, 방류용 종묘의 생산기술향상
- 환경보존 및 자원동태 그룹 : 양식어장의 자가오염, 환경부하기작의 해명과 자원동태, 환경 변화와 생물 행동의 해석, 방류효과 조사, 양식시설의 물리특성 파악과 구

조의 검토

- 사료, 식품안정성 및 가공 그룹 : 실용배합사료의 개발과 육질, 안정성, 선도유지, 가공법의 확립, 양식산과 자연산의 육질, 가공, 안정성 등에 관한 연구결과를 고도양식 기술에 접목시키는 연구 수행
- 유통 및 경제 그룹 : 참다랑어의 양식산과 자연산의 생산, 유통량 조사 및 경제적 과급효과 연구

라. 완전양식기술 및 자원관리 연구

일본은 1970년부터 참다랑어 양식연구를 시작하여 1979년 처음으로 자연산란에 성공하였으며, 긴키대학 수산연구소는 2002년 완전양식을 달성하였다. 그 후 대량 종묘생산 연구를 지속하여 2007년부터 인공종묘를 민간에 공급하기 시작하였고, 2009년에는 4만 마리, 2010년에는 2만 마리의 종묘 생산에 성공하였다. 또한 양식 참다랑어의 보존, 유통, 보관 등의 품질향상 연구를 수행하고 참다랑어용 치어의 영양요구량 구명 및 인공배합사료 개발에 성공하여 민간 사료회사에 기술이전이 되어 치어용 상품 배합사료가 시판되고 있다.

동해대학은 육상양식 연구를 민간기업과 지속적으로 수행하고 있으며, 마루하(주)는 2007년 4월부터 대학과 공동으로 양식용 종묘를 모두 인공종묘로 대체하기 위한 연구를 수행하고 있다. 우리와 유사한 국가연구기관인 아마미오오시마 재배어업센터는 종묘생산 기술개발 및 방류용 인공종묘생산을 위해 종묘생산동 신축(2008년)하였으며, 지속적으로 인공종묘생산 기술개발연구에 투자하고 있다.

인공종묘는 세계최초로 긴키대학 수산연구소가 1995년에 87마리를 방류하였으며, 재배어업센터가 1998년 11마리(전장 30 cm), 1999년 30마리(전장 40 cm), 2005년 300마리(전장 30 cm)를 모두 표지방류하였다. 방류자원의 효율적인 관리 및 우량 친어 육성을 위해 친어의 유전자 해독 및 등록 시스템 연구 등을 지속적으로 추진하고 있다.

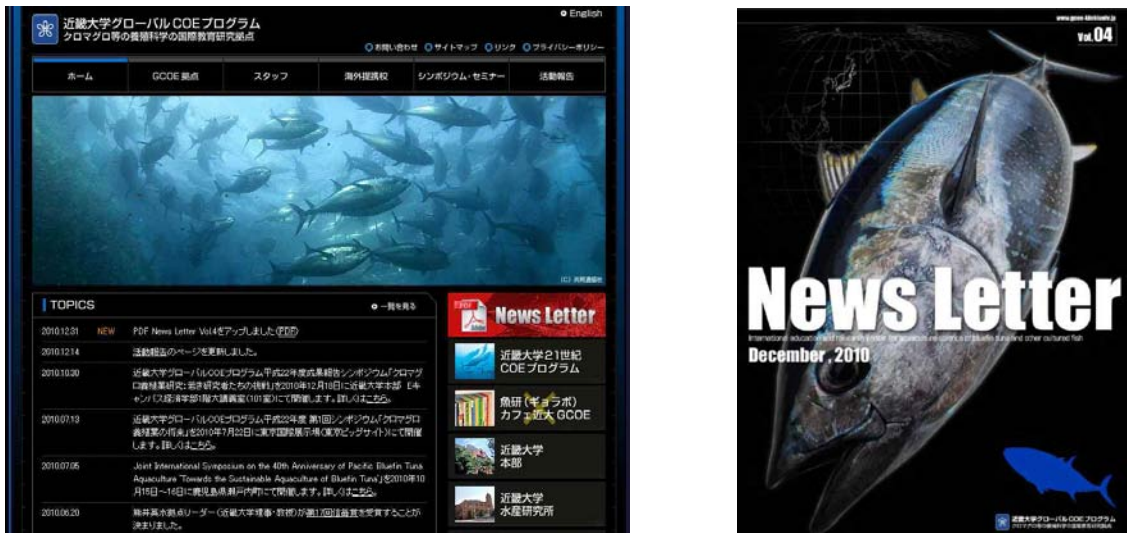


그림 4. 일본 긴키대학 수산연구소 COE 프로젝트 홈페이지 및 관련 소식지

2. 지중해 연안국의 연구동향

지중해는 연안 12개국 50여명의 연구자가 참여하여 25개 분야를 공동 연구하는 DOTT(Domestication of *Thunnus thynnus*) 양식 프로그램에 의해 참다랑어 양식에 관한 연구를 1998~2003년(5개년) 까지 1차적으로 완료하였다. 본 연구는 참다랑어 양식 연구 개발을 위한 과학적 목적과 상업적 이익 도모를 위해 정기적인 국제 심포지움 개최하고 참다랑어에 대한 생태학적, 번식생물학적 지식의 공유 및 발전, 안정된 어미관리로 대량 수정란 확보를 통한 초기 사육기술개발, 참다랑어에 관한 모든 기술을 종합하여 완전양식에 도전함으로써 새로운 양식 대상종에 대한 양식 산업화에 기여하고 있다. 본 연구에서는 가두리에서의 어미순치 및 안정된 어미 사육관리 프로그램, 참다랑어 사육을 위한 handling 기법, Sampling 기법연구, 성성숙 및 생식소의 조직학적 관찰(성 결정), 가두리와 자연산 어미의 스트레스에 관한 연구, 호르몬 처리에 의한 산란유도, 생식세포의 특징 및 종묘생산 기초연구 등을 실시하였다. 본 연구의 월별 생식주기 조사결과 지중해 연안에서는 5~8월이 주산란기로 확인되었다. 산란 및 채란방법에 관한 기초연구 결과, 7~8월에 호르몬주사에 의한 자연산란을 유도하여 가두리에서 채란망을 이용하여 채란하는 수정란 채집시스템 개발에 성공하였고, 수정란은 수정후 54시간 경과시까지 생존 자어를 관찰할 수 있었다.

2010년에는 프랑스 해양연구소에서 일본 긴키대학 출신의 Seoka 박사를 영입하여 종묘 생산에 성공하였다고 보고되어 지중해 연안국의 인공종묘생산 기술개발도 상당히 진전하고 있다.



그림 5. 지중해 연안 말타의 참다랑어 양식장 및 출하

3. 호주의 기술개발 및 연구추진 동향

호주의 양식업자는 참다랑어 연승이나 선망에 종사하던 어업인이 창립한 양식회사가 대부분을 차지한다. 호주 정부로부터 남방참다랑어 개별 어획할당을 가진 어업자 30인이 단독 또는 13개의 양식회사를 설립하고 양식허가를 취득하고 있으며, 이중 11개 업자가 양식을 하고 있다. 또한 가공, 식품 등 관련업계도 동일한 지역에 집중되어 있어 포트링컨은 다랑어 업계 클러스터를 형성하고 있다. 양식업자가 집중되어 양식이 이루어지고 있는 포트링컨은 호주 정부, 서부호주 주정부, 대학 업계가 출자하는 공동연구프로젝트 거점이 설치되어 다랑어 양식기술개발 및 환경조사 등이 수행되고 있다. 2009년 Clean Seas 社가 자체 연구소인 Lincoln 해양과학센터의 육상수조에서 남방참다랑어 친어를 관리하여 수정란 생산에 성공하였고, 2010년에는 30여마리의 종묘생산에 성공하였다. 본 회사의 연구소는 일본의 긴키대학 수산연구소와 MOU를 체결하여 종묘생산기술개발에 관한 상호 협력 체계를 구축하고 있다.

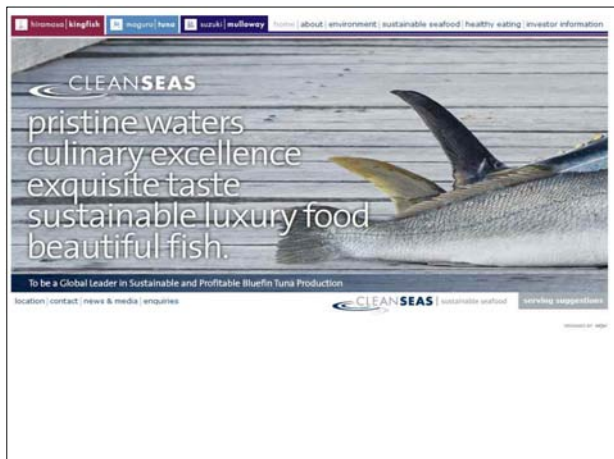


그림 6. Clean Seas 社의 홈페이지 및 남방참다랑어 광고

제 3 절 국내 참다랑어 양식기술개발 및 양식현황

1. 외해양식 개발 현황

2002년 이후 한미양식협의회를 통해 심층 가두리를 포함한 외해 양식이 처음 국내에 소개되었다. 2005년에 제주도 외해양식영어조합법인(NOAH)에서 미국의 외해 양식설비를 도입하여 최초의 외해가두리 양식이 시작되었으며, 용적이 3,000m³인 외해가두리 Ocean Spar 3조를 설치하였고, 2006년 추가로 개량된 용적 6,400m³인 외해가두리 3조를 도입하였다. 또한 국립수산과학원은 2005~2007년 3년간 “외해가두리 양식산업 기반기술개발” 연구를 통해 외해양식 시설물의 안전성 및 경제성을 평가하여 외해양식의 기반을 구축하는 성과를 나타냈다.

정부는 제주도(2005년), 경상남도(2006년), 전라남도(2007년) 등 3개소에 시험어업 지역을 선정하여 외해양식을 수행하였으며, 2010년 성공적으로 시험어업이 수행되었다고 평가되어 제주도와 전라남도에 국내 최초로 외해양식 정식 면허가 발급되었다. 또한, 해양수산부는 외해양식 시험어업의 효율성을 높이기 위해 2007년 “외해 수증가두리 양식 시험어업계획 기본지침”을 발표하여 2009년까지 해역별 특성을 감안하여 도별로 2개소 이내에서 외해양식 시험어업을 추진토록 계획을 수립하였다. 대상 품종은 참치, 대구 등과 같은 신품종 또는 가급적 기존 양식어종과 경합되지 않은 돌돔, 능성어, 참돔 등 수입대체 품종을 선택해 시행토록 하였으며, 시험어업 장소는 미국법령을 참고하여 수심 40m 이상, 해안선에서 3km 이상을 원칙으로 하되 해역의 특성을 고려하도록 하였다.

2. 참다랑어 양식기술개발 현황

우리나라도 고부가가치의 새로운 양식 어종의 기술개발에 따른 양식 어종의 다양화 및 고급화로 변화가 필요하고, 연안정착성이 아닌 회유성 어종의 양식기술 개발이 앞으로 절실하다. 그리고 국내에서 활발히 연구가 진행되고 있는 외해 가두리의 양식대상종의 개발이 필요한 시점에 있다. 또한, 다랑어 양식 기술은 세계가 주목하는 고도의 양식 기술로서 이러한 기술의 선점이 필요하다고 할 수 있다.

국내에서는 2006년 국립수산과학원이 실시한 『참다랑어 양식기술개발 로드맵』 연구를 시작으로 국내에서의 참다랑어 양식 가능성과 관심을 증가시키는 계기가 되었다. 국립수산과학원은 2007~2010년까지 수산특정연구과제로 『외해가두리를 이용한 참치양식 가능성 검토』 연구를 수행하여, 2008년에는 양식적지에 대한 환경조사를 완료하고 시험양식을 위한 제반 사항들에 대한 기반을 마련하였다. 또한 국립수산과학원 미래양식연구센터는 세계 최고 수준의 참다랑어 완양식기술을 보유하고 있는 일본 긴키대학수산연구소와 2008년 MOU를 체결하고 참다랑어 양식기술 협력 및 인공종묘 도입 등을 추진하였다. 2007년도부터 참다랑어 종

묘채포를 위한 어획시험을 실시하여 제주도 연안에 종묘가 회유하는 것을 확인하였고, 2009년도는 제주도 연안(추자도)에서 끝낚시를 이용하여 참다랑어 종묘 총 833마리(체중 800~1,200 g)를 채포하여 이중 400여 마리를 표선 외해 수중가두리에 수용하여 사육 중에 있다.

표 3. 참다랑어 종묘 입식 및 사육관리 현황

업체명	위치	사육 마리수				확보방법	사육시설
		계	25~60kg	5~10kg	1kg이하		
인성수산	통영 욱지도	3,213	213	-	3,000	어획, 이식(1kg)	내파성가두리 7조 (Ø25×10m)
남평수산	통영 욱지도	3,000	-	-	3,000	이식	내파성가두리 6조 (Ø20×10m)
글로벌수산	제주도 대정	1,800	-	800	1,000	이식	육상수조 2개 (30×60×7m, 30×50×8m)
한창수산	제주도 대정	1,800			1,800	이식, 어획	육상수조 3개 (30×60×7m)
남서해연구소	통영 욱지도	227	27	-	200	어획, 이식(1kg)	내파성가두리 2조 (Ø25×10m)
미래양식센터	제주도 표선	241	128	113	-	어획, 이식(25kg)	수중가두리 2조 (3,000, 5,000모델)
		10,281	368	913	9,000		

* 위 자료는 입식량에 근거한 자료이며, 정확한 사육물량은 아님

지자체 및 민간업자들도 참다랑어 양식에 많은 관심을 가지고 양식산업화를 추진 중에 있다. 경상남도 통영시는 지자체 예산을 사용하여 양식적지에 관한 환경조사 연구 용역을 실시(2008년)하였으며, 참치양식을 희망하는 양식업체를 모집하여 본격적인 산업화에 전력을 다하고 있다. 통영시 욱지도의 인성수산은 2007년부터 정치망에서 어획되는 참다랑어를 포획하여 일부 양식을 시도하고 있으며, 통영시는 참다랑어 양식을 본격적으로 육성하기 위한 많은 노력을 하고 있다.

한편, 제주도는 외해가두리를 이용한 참다랑어 양식과 육상 양식을 지자체와 어민이 관심을 가지고 함께 추진하고 있다. 제주도 해양수산자원연구원은 직경 13 m의 육상수조를 건설하여 추자도에서 어획한 참다랑어 6마리를 사육 중에 있다. 제주도의 글로벌수산은 98년 1,300마리의 종묘를 일본에서 들여와 가두리 양식을 시도하였으며, 2009년도 1,200마리, 2010년 3,000마리를 수입하여 육상수조에 입식하여 해상과 육상양식 양면에서 산업화가 추진되고 있다.

3. 국내의 연구개발 수준

참다량어 양식기술개발 수준을 보면 일본> 호주, 지중해 연안 국가> 한국 순으로 판단된다. 한국의 참다량어 양식연구 수준은 일본의 양식시점으로 본다면 1970년대 후반에 위치하고 일본보다 약 35년, 호주 및 지중해 연안국보다 약 20년쯤 늦게 시작한 후발 국가로 평가된다.

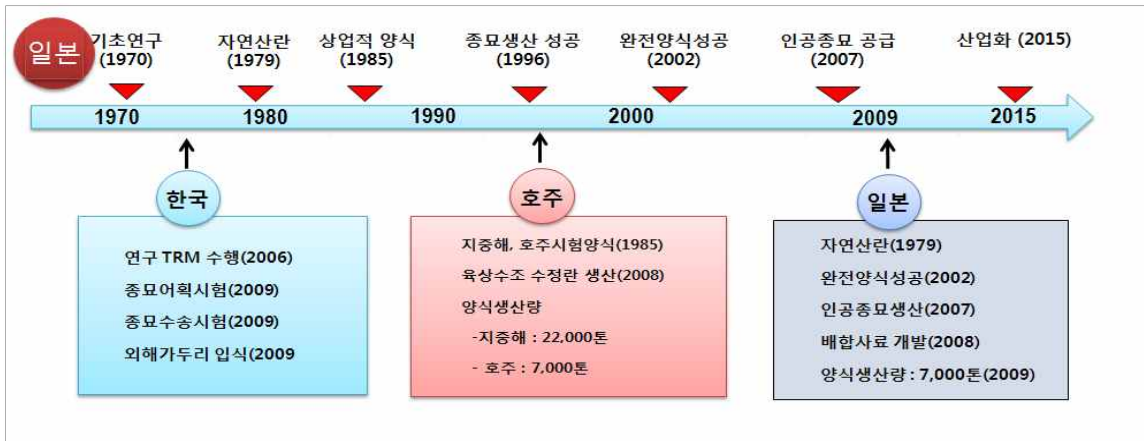


그림 7. 우리나라의 참다량어 양식기술개발 및 산업위치

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 수심다랑어 양식기술 연구개발

제 3 장

연구개발 수행내용 및 결과



2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

외해 참다랑어 양식기술 연구개발

제 3 장
연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절
수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발



제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

1. 차세대 어미군 확보 및 사육관리

가. 자연산 어미확보 : 현재 240마리 사육관리 중

'08년 자연산 236마리 (2회 구매)를 구매하고, '09년 어획된 자연산 412마리를 연계하여 지속적으로 사육관리 하였으나 태풍 덴무에 의한 영향으로 충돌사가 발생하여 현재 240마리 사육관리 중에 있다. '08년 자연산은 국내 양식업자가 일본에서 수입하여 1년간 사육관리해 온 것으로 구입당시 15~20 kg급 이었으며, '09년 자연산 412마리(1~2kg)는 추자도에서 끝났시로 어획되어 외해수증가두리에서 사육되어 왔다.

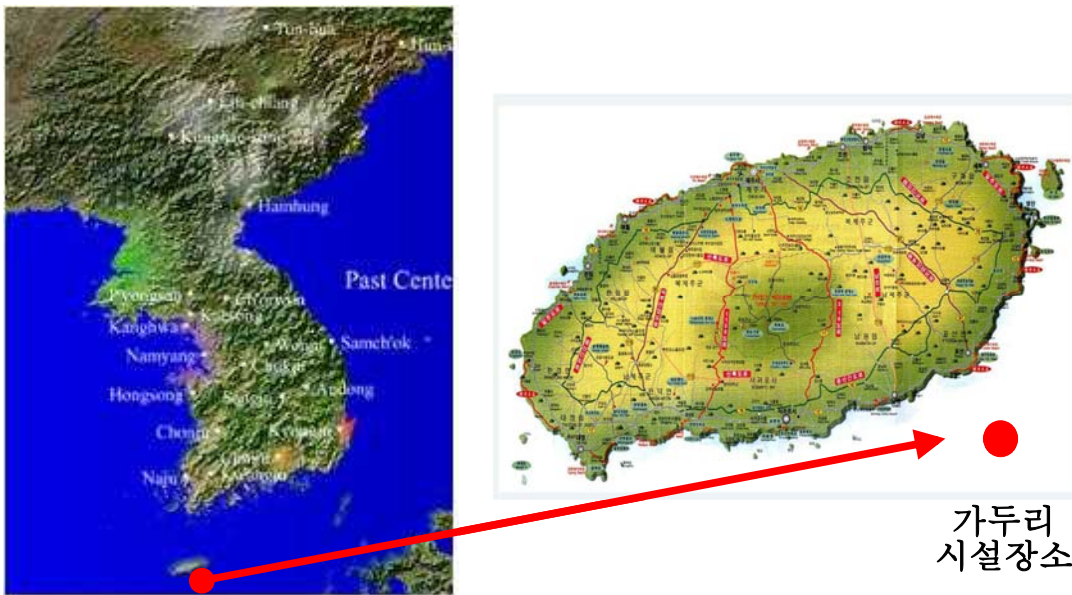


그림 8. 참다랑어 어미후보군 사육관리 중인 외해양식어장 위치

나. 외해수증가두리 사육관리

참다랑어가 수용된 시설은 외해수증가두리 형태인 Sea Station™ 3000m³ 및 Sea Station™ 5400m³ 모델로 노아외해양식법인 표선 외해양식어장에 설치되어 있는 시설을 사용하였다. Sea Station™ 3000m³의 규격은 Spar(중앙기둥)의 높이가 20m, 중간의 림(Rim)의 직경은 26 m이며, Sea Station™ 5400m³은 Spar(중앙기둥) 높이가 21m, 중간의 림(Rim)의 직경은 34 m로 시설물 지지를 위해 25톤의 콘크리트 블록 앵커 4개를 설치하

였다. 가두리의 부상과 침하는 Spar와 Rim에 공기를 주입하거나 제거시키는 방법으로 수행하며, 시설물 관리담당 다이버가 출입할 수 있는 출입구가 가두리 상부에 제작되었다.

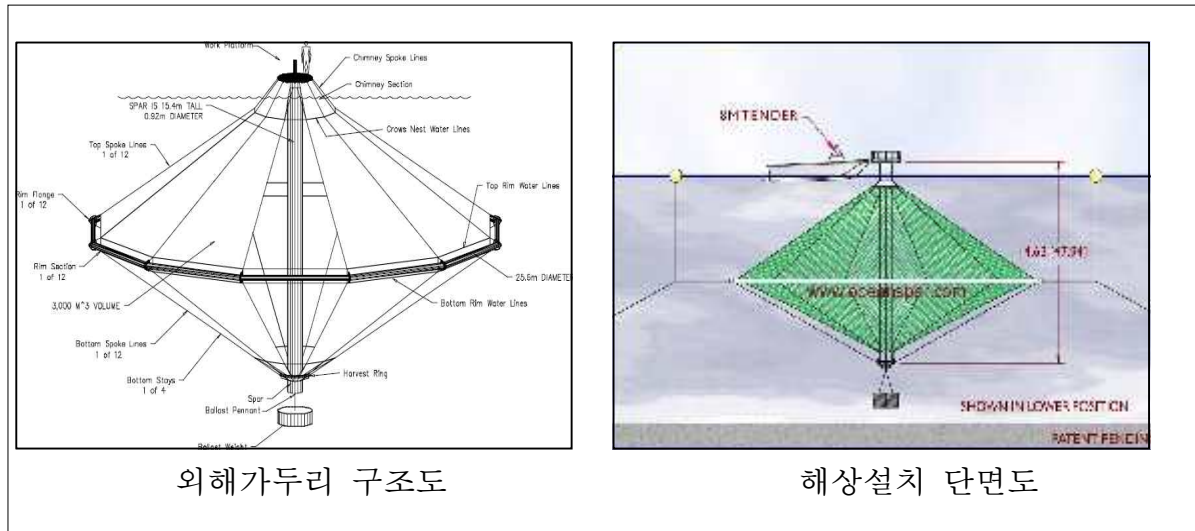


그림 9. 외해수증가두리 설치 모식도

시설점검 및 사료 공급은 매일 담당 다이버가 직접 가두리 안으로 진입하여 사료공급 및 시설확인을 실시하였다. 외해에 시설물이 설치된 관계로 풍랑주의보 발효시는 관리선 출항이 통제되어 사료공급은 매일 이루어지지 못하였다. 사료는 생사료를 공급 하루 전 냉장실에 보관하여 해동 후 사료포대에 담아 다이버가 직접 가두리에 진입하여 공급하였다. 사료는 냉동 전갱이, 강달이, 고등어를 어체성장에 따라 생사료의 크기를 조절하여 공급하였다.



그림 10. 참다랑어 먹이 공급 과정

사료 공급시는 매일 수온을 조사하고 폐사개체 발생시 폐사개체를 수거하였으며, 가두리 시설 점검도 함께 실시하였다. 수온은 12월까지 18℃ 이상을 유지하였으며, 겨울철 최저

제3장 연구개발수행내용 및 결과

수온은 14°C를 나타내었다. 수온 14°C는 2월부터 4월까지 약 3개월간 유지되었으며, 이때의 먹이섭취 및 유영상태는 양호하였다. 5월 이후 수온은 단계적으로 상승하여 6월 중순부터 19°C 이상을 나타내었다.

외해수중기두리에 수용 후 태풍내습으로 인한 폐사 이전까지 생존율은 91%로 높은 생존율을 나타내었으나, 태풍 텐무의 내습에 따른 충돌사로 각각 42.5% 및 68.5%의 폐사율이 발생하였다. 태풍내습 이전 8개월간의 생존율은 직접 비교는 어려우나, 일본 연안의 일반 내파성 가두리에서의 출하시까지 평균 생존율인 60%보다 높을 것으로 기대된다. 특히 일본의 경우 종묘 수용 후 이리도바이러스에 의한 폐사, 동절기 저수온기 폐사, 또한 인위적인 소음, 불빛 등 다양한 스트레스 요인에 의한 지속적인 폐사가 발생하고 있다.

외해수중가두리의 경우 입식 후 초기에 건강상태가 양호하지 못하고 먹이 섭취 상태가 불량한 개체 중심으로 폐사가 발생하였다. 특히, 11월에는 풍랑주의보로 9일간 먹이공급이 중단된 이후에 10마리가 누적 폐사하는 일도 발생하였으며, 이후에도 3일 이상 먹이공급이 중단된 이후에는 폐사가 빈번히 발생하였다. 그러나, 수온상승기인 5월 이후에는 안정된 먹이공급과 수온상승에 따라 폐사는 거의 발생하지 않았다.

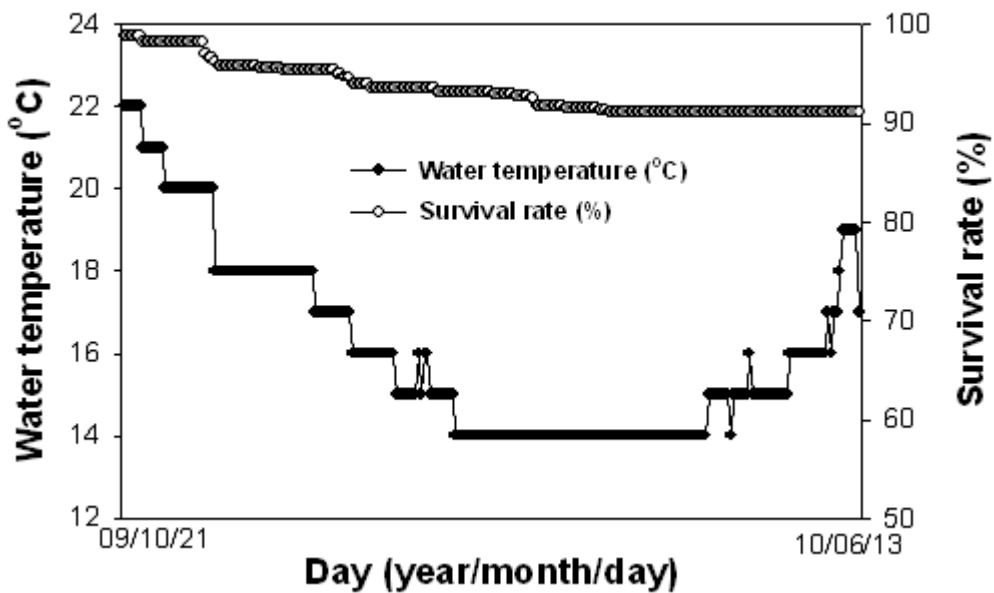


그림 11. 태풍내습 이전까지 사육기간 중의 수온 및 생존율 변화

다. 육상수조 사육관리(2개소) : 육상수조(미래양식연구센터), 가온수조(아쿠아리움)

육상수조는 현재 지붕공사 및 산소공급장치 시설이 완료되어 2011년 어미후보군을 입식예정에 있다. 가온수조(아쿠아리움)에서는 참다랑어 입식 전 사전 예비사육 실험을 위하여 백다랑어 사육관리 실험을 수행하였다. 육상장거리 수송을 통해 수송된 77마리의 백

다랑어를 부산 아쿠아리움의 Holding Tank(메인 수조와 연결된 격리 사각수조, W4000 * L8000 * H900, 수량 약 28ton)에 먼저 수용하였다. 사육은 2010. 10. 08 부터 시작하였고, 사육 시작시의 시험어의 전장은 21~25.5cm, 어체중은 74~246g 범위이었다. 사육수는 해운 대해수육장 앞바다의 자연해수를 순환여과시스템으로 메인 수조의 LSS장치(프로테인 스킨머(오존), 고압모래여과기, 바이오타워)를 거친 여과수를 사용하였으며, 사육시스템은 순화여과식으로 1일 환수율은 2% 이하이었다. 사육기간 중의 수온은 25~26℃, DO 4~5ml/L, pH 7.8~7.9, 암모니아 0.00~0.02 ppm, 아질산염 0.01~0.02 ppm, 질산염 10~20 ppm 범위이었다.

먹이는 도루묵, 양미리, 열빙어, 오징어, 중하새우, 크릴새우를 공급하였으며, 도루묵과 양미리는 사육초기부터 양호한 섭취활동을 나타내었다. 먹이 공급량은 1일 2~3회로 나누어 약 1 kg씩 공급하였으며, 사육일령에 따라 양을 점차 증가시켰다. 초기사료 공급결과, 도루묵과 양미리가 기호성도 높고 사료 순치에 유리한 것으로 판단되었다.

참다랑어를 양식하는 대부분의 국가는 15~200 kg의 대체적으로 큰 개체를 포획하여 6개월 내외에 단기간 사육후 출하하는 형태를 보인다. 따라서 사용되는 먹이도 고등어, 전갱이, 청어 등을 통째로 공급하는 형태이다. 일본의 경우는 500~1,000 g의 종묘를 어획하여 2년 정도 양식하는 형태로 사용되는 먹이도 까나리, 양미리 등 소형개체를 사용하고 있다. 본 시험에서도 양미리의 기호성이 높게 나타났으며, 도루묵보다는 사료로서 수급이 용이한 양미리가 사료원으로서 적정할 것으로 평가된다.

표 4. 입식후 초기 사료공급 및 섭취 현황

공급날짜	먹이종류					
	도루묵	양미리	열빙어	오징어	중하새우	크릴새우
10.08	○	○	-	-	-	-
10. 09	○	○	-	-	△	△
10. 10	○	○	-	-	-	-
10. 11	○	○	-	△	-	△
10. 12	○	○	-	-	△	-
10. 13	○	○	○	○	-	△
10. 14	○	○	○	○	-	-
10. 15	○	○	-	○	-	○
10. 16	○	○	-	-	○	○
10. 17	○	○	-	-	-	○
10. 18 ~	○	○	○	○	○	○

○: 사료섭취 활발, △: 사료섭취 저조, -: 사료공급 없음

제3장 연구개발수행내용 및 결과

백다랑어 입식일인 10월 8일부터 일일 1~4마리가 지속적으로 폐사하였다. 총 28마리의 폐사어 중 18마리가 육안적인 확인이 가능한 외상을 보였는데, 그 주요 증상은 아가미 기조의 탈락, 체표 손상, 두부의 손상이었으며 사육 일령에 따라 폐사개체의 외상이 다르게 나타났다. 사육 초기의 폐사개체들은 주로 아가미 탈락 및 체표 손상의 외상이 관찰된 반면 사육 10일 이후의 폐사 개체에서는 두부 손상에 의한 두부 출혈 및 구강 천장의 뼈대 돌출을 관찰할 수 있었다. 어체중 100g 미만(5마리)의 폐사개체는 수송 중 체력 저하 및 스트레스에 의한 환경적응 실패로 생각되어진다. 하지만 반입 직후 3~4마리만이 무리 이탈 및 금식 행동을 보였고 폐사 개체 27마리 중 대부분의 개체가 체표가 매우 깨끗하고 어체중이 큰 것을 감안하면 지속적으로 먹이를 섭이하는 개체들이 폐사하는 것으로 판단할 수 있었다.

표 5. 폐사개체의 어체중에 따른 외상 분석

어체중	총 개체수	체표 손상	아가미 손상	안구 손상	구강뼈 돌출	두부 손상	확인불가
100g 이하	5	3					
100~150 g	3		2				
150~200 g	10		2	1	2	1	
200~300 g	6		1			3	
300~400 g	3				3		
Total	28	3	5	1	5	4	10
%	100	10.7	17.9	3.6	17.9	14.3	35.7

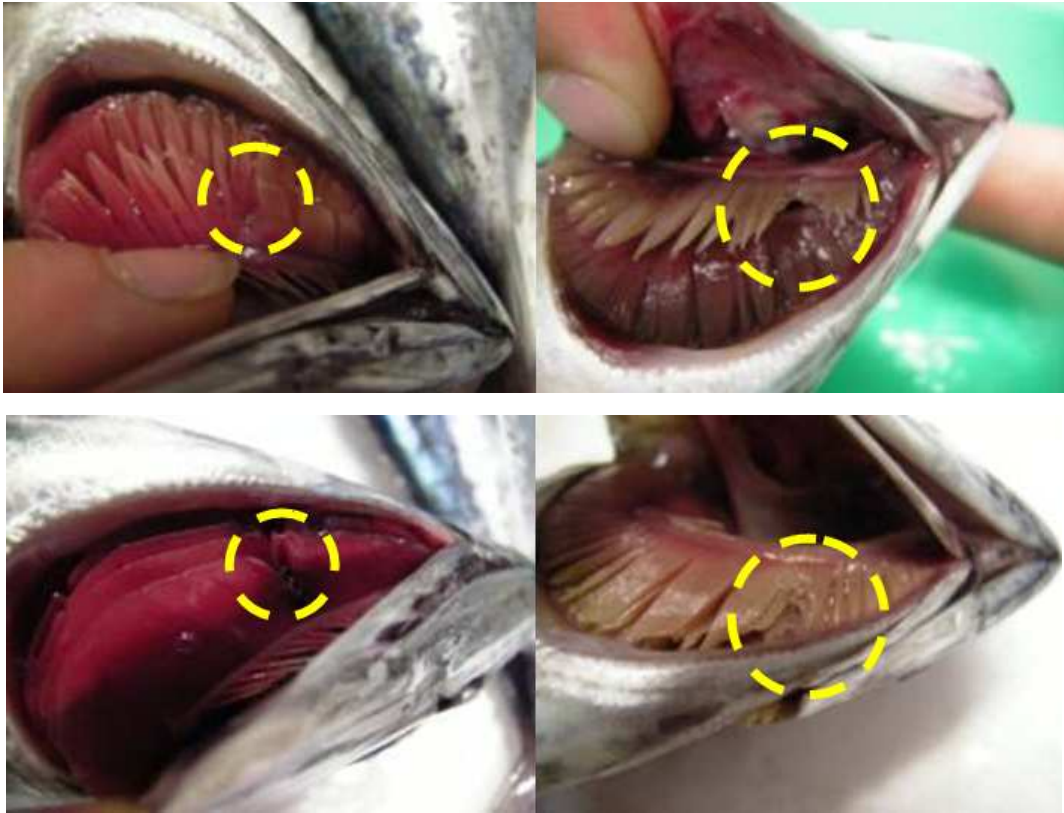


그림 12. 사육초기의 폐사개체에서 주로 발생된 아가미 손상

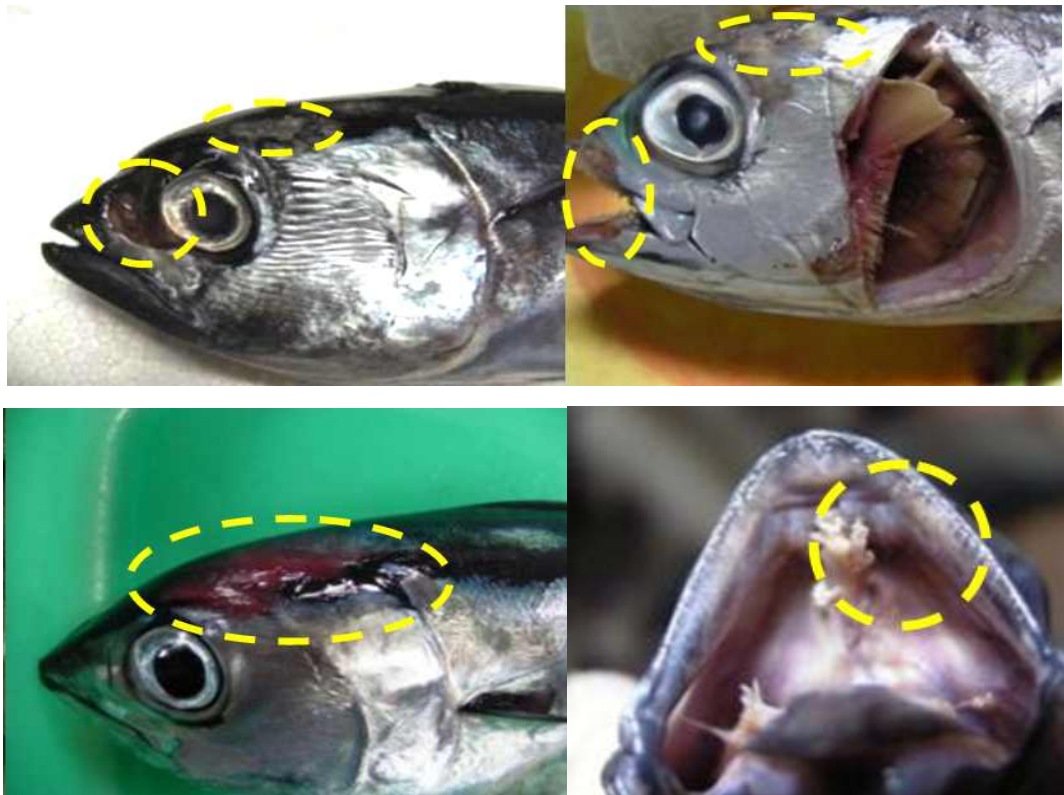


그림 13. 사육 10일 이후 충돌사에 의해 폐사한 개체의 외상

제3장 연구개발수행내용 및 결과

사육 10일령 이상의 개체들의 두부 손상 및 구강 뼈대 돌출의 외상으로 미루어 보아 사육 중인 Holding 수조내 수조벽에 충돌하여 생긴 외상으로 의심되어 충돌의 충격을 방지하고자 10월 24일 사육 수조내 사면을 벽으로부터 약 30cm를 이격하여 비닐을 설치하여 벽의 충돌에 의한 폐사를 줄이고자 하였다. 육안 관찰 외 사육 초기, 중기, 후기 3차례에 걸쳐 폐사 개체를 대상으로 부검 및 현미경 검경을 하였으나 사인으로 의심될 만한 병원체는 발견되지 않았다.

11월 초 백다랑어 종묘는 500 g 이상 성장하여 Holding 수조 내에서의 사육이 불가능하다고 판단하여 대형 전시수조로 이동하였으나, 대형수조의 상어류에 대부분 포식되는 결과를 보였다. 따라서 아쿠아리움의 항온수조를 이용하여 참다랑어 사육관리를 효율적으로 수행하기 위해서는 일정기간 포식자로부터 보호할 수 있는 사육관리 기술이 마련되어야 할 것으로 판단된다.



그림 14. 비닐보호막 설치 전(좌)과 설치 후의 Holding 수조(우)

라. 태풍 피해에 따른 참다랑어 어미후보군 폐사

1) 피해상황 및 폐사원인

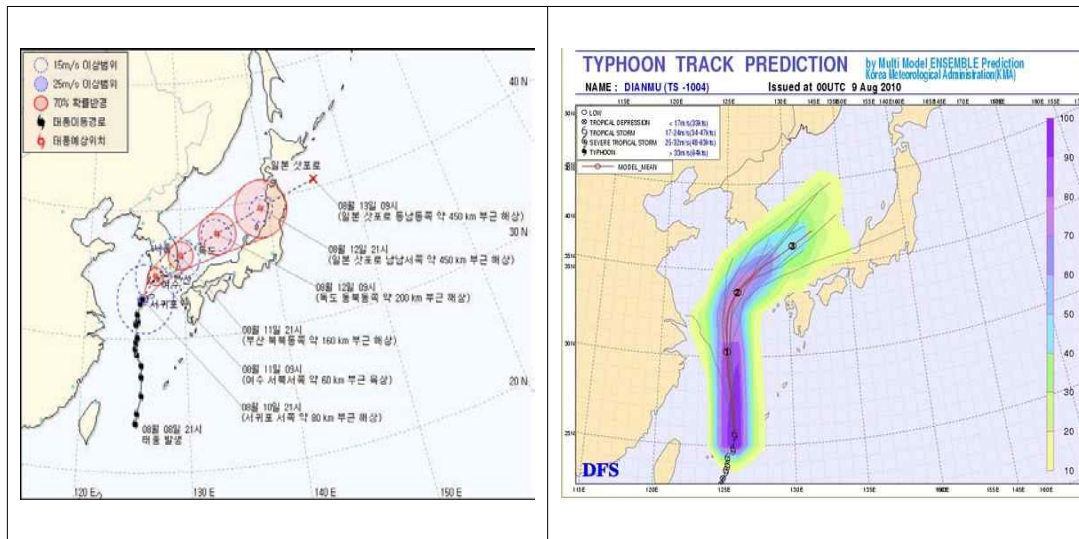
태풍 “덴무(DIANMU)”가 2010. 8. 10~8. 11일(약 2일간) 제주연안을 통과하면서 “참다랑어 완전양식 및 산업화 연구” 과제로 수행중인 참다랑어 종묘의 폐사가 발생하였다. 피해는 '08년산 246마리, '09년산 96마리 총 342마리의 폐사를 1차적으로 확인하였으며, 이후 상태가 좋지 않았던 3마리가 추가적으로 폐사하여 2010. 12월말 현재 240마리를 사육관리 중에 있다.

※ 참다랑어 태풍피해 상황(1차)

- Sea Station 3,000 m³ 가두리 수용종묘(5kg급) : 246마리(폐사율 : 68.5%)
- Sea Station 5,400 m³ 가두리 수용종묘(25kg급) : 96마리(폐사율 : 42.5%)

- 태풍 “덴무” 정보 -

- 명칭 : 4호 덴무(2010. 8. 8 발생)
- 특징 및 규모 : 중심기압 980 hPa, 순간최대풍속 31 m/sec
 파고 6~8 m, 영향반경 최대 330 km
- 태풍의 경로 : 서귀포 서쪽 40 km 통과(8. 11. 0시)
- 서귀포(표선) 직접영향권 : 8. 10 오후 ~ 8. 11 오전



태풍피해 발생이 확인된 직후, 즉시 양식연구단, 학계, 참여연구원 등 6명의 전문가 그룹 조사팀을 구성하여 2차 현장조사 및 피해발생 원인구명을 실시하였다. 또한 좀 더 객관적이고 전문적인 원인 구명을 위해 긴키대학 수산연구소의 자문을 요청하였다. 폐사개체에 대한 수중 촬영 사진자료와 육안 및 폐사체를 해부하여 확인한 결과, 대부분의 폐사체에서 주둥이 부분의 마찰흔적이 관찰되었고, 두개골부분이 손상된 것으로 보아 고정된 물체에 부딪친 것을 확인 할 수 있었다. 폐사체를 육안으로 확인한 결과, 1차 폐사직후는 표피의 손상보다는 주둥이 부분의 손상이 관찰되었으며, 2차 폐사체에서는 주로 표피손상이 관찰되었고, 질병 등 2차 감염이 발생하여 폐사가 이루어진 것으로 보이며, 1차 폐사체와는 다르게 주둥이 또는 두개골이 파손된 개체는 관찰되지 않았다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과



그림 15. 참다랑어 폐사개체의 주둥이(좌) 및 두개골 파손(우)

위, 아가미 등을 해부하여 조사한 결과 초기 폐사개체는 식도와 위에서 가두리 그물에 부착된 종류(히드라충류)의 생물이 존재하는 것이 대부분 관찰되었고, 일부개체는 아가미에도 부착되어 있어서 호흡 곤란 등 장애가 있었을 것으로 추정되었다.

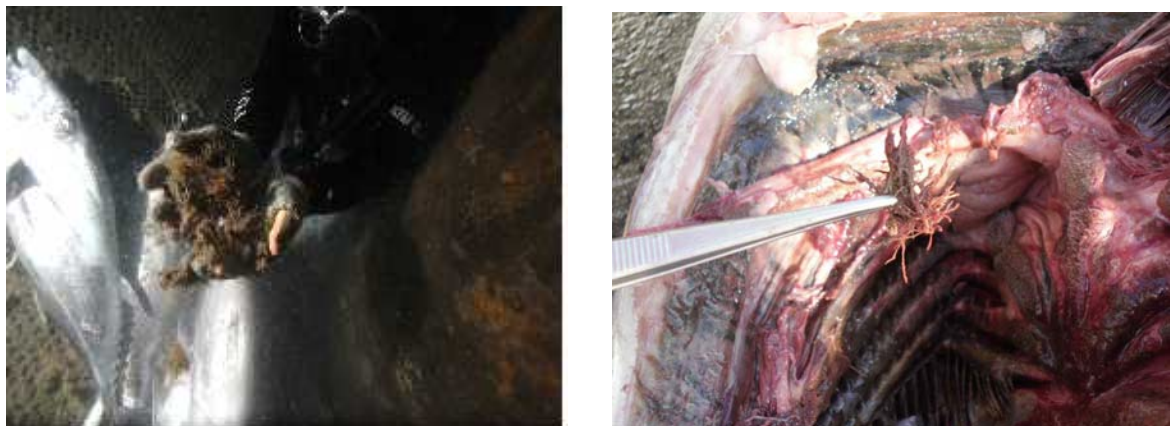


그림 16. 가두리 내부 및 아가미 내부의 부착생물

사진자료 및 태풍내습 등과 관련한 사항에 대해서 구체적인 설명을 통하여 긴키대학 수산연구소의 자문을 받은 결과, 참다랑어는 태풍, 강우, 조류, 파고 등의 환경변화에 민감하게 반응하며, 태풍 등 사육환경의 변화가 감지되었을 경우에는 도피에 대한 욕구가 다른 어종에 비하여 크다고 하였다. 또한 탁수유입, 소음, 빛 등의 스트레스가 증가하면 급격히 패닉현상을 일으켜 가두리에 충돌할 수 있다고 하였다. 가두리의 구조적인 면에서는 일반가두리의 경우는 태풍에 의한 높은 파도에 의한 가두리 그물의 변형으로 폐사가 일어날 수 있으나, 외해수중가두리의 구조적 특성상 그물변형 가능성은 오히려 낮다고 평가하였다. 따라서 태풍내습시 이상을 감지하고 일정 수심에서 집중적으로 무리를 지어 유영하던 중 가두리의 부착생물이 탈락하며 추가적인 스트레스 요인으로 작용했을 가능성이

있을 수 있다고 하였다. 식도나, 위 전반부에서 관찰된 부착생물은 자의적으로 섭취했다기보다는 유영과정에서 흡입된 것으로 추정되며, 부착생물 섭취가 스트레스로 작용하기는 어려우나, 이러한 부착생물이 아가미에 흡착되거나 인지되지 않은 상태에서 식도를 통과할 때는 스트레스가 가해져 공황상태가 되어 충돌사를 일으켰을 가능성이 크다고 평가하였다.

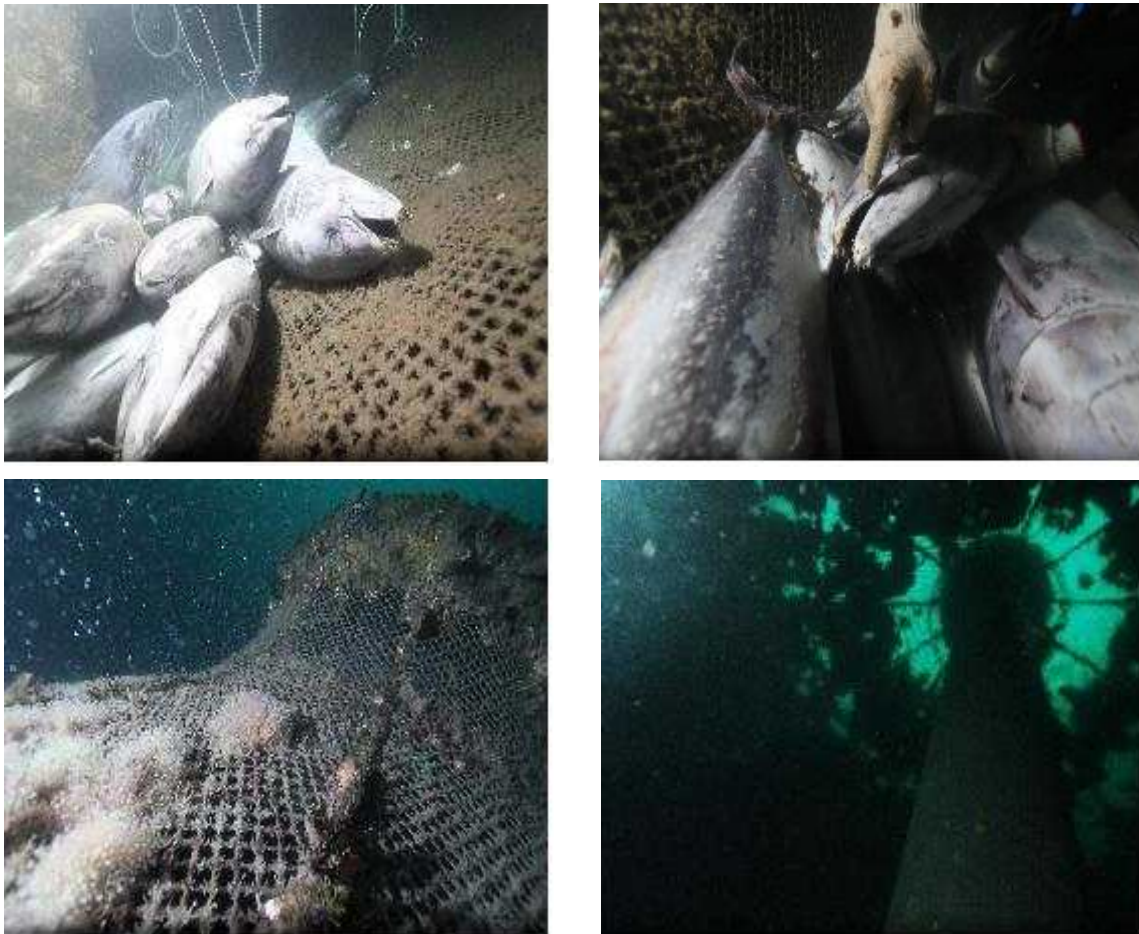


그림 17. 폐사가 발생한 참다랑어 및 사육시설(2010. 8. 13)

일본의 경우도 '04. 9. 5. 아마미 오오시마 긴키대학수산연구소 시험장에서 태풍 18호에 의해 강풍과 강우로 유입된 대규모의 혼탁수 영향으로 참다랑어 총 1,777마리(피해액 1억 9천만엔)가 폐사된 사례가 보고되어 있다.

- 태풍영향에 의한 참다랑어 피해사례(일본) -

1. 태풍정보: 태풍 18호 : 중심기압, 강수량 400 mm
2. 피해상황
 - 시기 및 장소 : '04. 9. 5. 아마미 오오시마 긴키대학수산연구소 시험장
 - 피해 규모 : 참다랑어 총 1,777마리(피해액 1억 9천만엔)
 - 양성용 1,100마리 : 가두리 3개, 평균체중 18 kg(98.6%)
 - 친어용 677마리 : 가두리 4개, 체중 40~250 kg(98.5%)
 - ※참고사항 : 동일 장소에서 사육중인 돌돔 등은 전혀 이상없음
3. 폐사원인
 - 강우에 의한 대규모의 혼탁수 유입으로 판단
4. 기타 참고사항
 - 혼탁수 유입으로 유영수심이 중층에 집중되는 이상 유영패턴 확인
 - ※ 유영특성 조사를 위한 Biotelemetry 삽입(2004. 7)

※ 자료출처 : 긴키대학 COE 프로그램 뉴스레터, 2005년 2월호(Vol. 3)

- 빛, 탁수 영향 등에 의한 공항(panic)발생 피해사례(일본) -

1. 피해발생 요인
 - 자동차 헤드라이트 불빛, 천둥 등의 큰 소리, 탁수유입 등에 의해 1차적으로 공항(panic)상태인 상황에서 충돌사 발생
2. 충돌사 원인
 - 전장 5 cm 이상에서 발생하며, 유영속도는 평소의 5배(최대속력 80~150 km/h)
 - 가두리 또는 수조 벽에 부딪혀 두부의 골격 파손 및 피부조직의 손상으로 폐사



비닐수조를 관통한 참다랑어



충돌에 의한 두부 골격 손상(A, B)

2) 재발방지를 위한 조치 및 향후 추진계획

참다랑어 태풍 피해 원인조사결과, 주요원인으로 파악된 가두리 부착생물에 대해 즉시 제거 작업을 실시하였다. 부착생물제거는 가두리 상부를 부상시켜 다이버가 가두리 내에 진입하여 고압세척기를 이용하여 제거하였다. 부착생물 제거 후 제주도에 직접적인 영향을 미친 끈파스, 말로에 의한 태풍피해는 전혀 발생하지 않았다.



그림 18. 부착생물 제거전의 수중가두리(좌) 및 부착생물 제거작업(우)



그림 19. 부착생물 제거 후의 수중가두리 외부(좌) 및 내부(우)

가두리 부착생물에 의한 재발방지를 위해 참다랑어 사육 가두리에 한해서 부착생물이 번무하는 하절기에는 가두리 시설점검을 강화하고, 주기적인 청소를 실시하여 부착생물의 부착 및 탈락을 방지하고자 한다. 참다랑어 사육을 위해서 현재 가두리 시스템의 망목 크기조정에 대한 기술적 검토가 필요할 것이며, 바닥저면에 그물을 설치하는 방법을 적용하여 찌꺼기 배출 등의 구조 개선도 검토하여야 한다. 좀 더 적극적인 방법으로 수중 가두리에 그물인식 등을 쉽게 할 수 있는 조명장치부착 등을 실험을 통해 효과를 규명하여 설치하는 방안에도 검토 중에 있다. 또한 자동환경 측정장치 시설, 종묘 및 가두

제3장 연구개발수행내용 및 결과

리시설 실시간 체크시스템 시설 등의 모니터링 시스템의 개발도 사육관리기술의 개발에 중요한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

일본 등 해외 전문가와의 지속적인 인적 교류, 기술 및 정보교환 등을 통한 사육기술 향상 기반 구축하고, 세미나 등을 통한 참다랑어 사육관리에 관한 국제교류 추진하고자 한다. 이러한 추진계획의 일환으로 '10. 11. 24일 일본 긴키대학 수산연구소의 참다랑어 양식연구 전문가와 국내 외해양식 전문가가 참석한 공동 국제 워크숍을 개최하였다.

2. 조기산업화를 위한 대량종묘 확보기술개발

가. 끝낚시를 이용한 종묘확보

1) 어획방법

어획시험은 2010. 9. 13~10. 1일 까지 제주특별자치도 위미 연안 해역에서 3~5톤 내외의 소형 채낚기 어선을 이용하여 실시하였다. 어획어구는 미늘을 제거한 인조미끼가 부착된 낚시를 사용하고, 일정수심을 유지하기 위해 19 cm 내외의 잠수판을 부착하였다. 낚시줄의 길이는 15~25 m로 조정하고 어선의 속도는 2~3노트를 유지하였으며, 종묘채포 어선에 10 m 내외의 낚시대를 양쪽으로 매달고 한쪽 낚시대에 3개씩의 낚시줄을 매달아 천천히 이동하면서 어획을 실시하였다. 어획기간 중의 수온은 23.5~26.4℃ 범위이었다.

어획된 참다랑어는 손을 대지 않고 갈고리를 이용하여 낚시를 제거하였으며, 1차적으로 비닐 및 플라스틱 재질의 소형 용기로 운반하여 선상에 설치된 Ø1.5 m 원형수조에 활어 상태로 수용 후 수송하여 위미항에 설치된 Ø22 m의 가두리에서 순치 사육관리하였다.

본 방법은 일본의 종묘채포 방법을 적용하여 국립수산과학원 미래양식연구센터가 2007년부터 제주연안에서 사용하였던 방법으로 2009년 833마리의 참다랑어를 추자도에서 포획하였다.

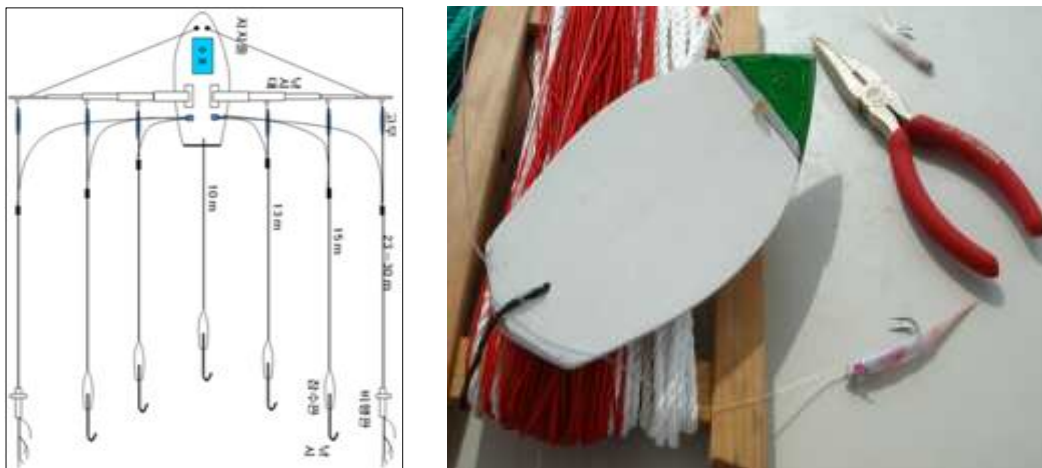


그림 20. 종묘채포 끝낚시 어구 모식도(좌) 및 어획용 어구(우)

2) 어획시험 결과

어획기간은 9. 13~10. 1까지 총 19일간 이었으며, 3척의 어선이 출어하여 누적조업일수는 41일간이었다. 어획 장소 서귀포시 남원읍 위미리에서 태흥리 근해 사이에서 주로 실시하였다. 총 어획량은 백다랑어 607마리(150~250g)이었으며, 1일 최대 어획량 204마리, 어선 1척당 1일 평균 어획량은 14.8마리이었다. 어획 후 순치 가두리 입식까지 생존한 마리수는 482마리로 생존율은 81%를 나타내었다. 순치과정에서 410마리가 생존하여 생존율은 68%를 보였으며, 이중 아쿠아리움에 77마리를 분양하여 육상 항온수조 사육실험을 실시하였다. 나머지 333마리는 제주도 해양수산연구원과 미래양식연구센터로 육상수송기술개발 및 소형 수조 적응 실험을 위해 수송하여 순치 사육실험을 실시하였으나 먹이 순치의 어려움 및 충돌사에 의해 실험 과정에서 폐사하였다.



그림 21. 종묘채포 시험어업 해역



그림 22. 어획종묘 낚시 제거 및 순치 가두리 수용

제3장 연구개발수행내용 및 결과

본 실험에서 보여준 순치 가두리 입식까지의 생존율 81%는 '09년 추자도에서의 생존율 68.5%보다 높은 값을 보였다. 이는 참다랑어와 백다랑어의 어종 차이도 한가지 원인이지만, 어체중의 차이가 가장 큰 원인으로 분석된다. '09년 참다랑어의 어획당시의 어체중은 기간에 따라 차이가 있으나 740~1,400 g 범위 이었으나, 백다랑어는 평균체중 148~194 g 범위로 매우 작은 개체가 어획되었기 때문으로 생각된다. 일본의 경우도 종묘의 크기가 작을수록 선호하는데, 작은 개체일수록 순치가 빠르고 수송 등 핸들링 과정에서 폐사가 낮기 때문이다. 따라서 참다랑어와 백다랑어의 직접적인 비교는 어려우나 종묘 채포시 정확한 회유 및 복상 경로를 파악하여 작은 개체를 포획하는 것이 양식 종묘로서의 사용 가치가 높을 것으로 평가된다.

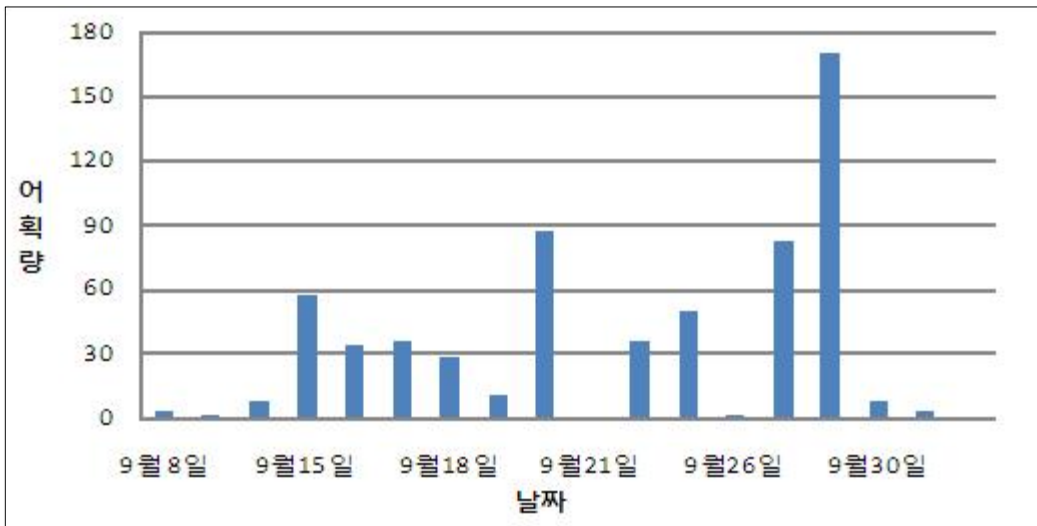


그림 23. 일별 백다랑어 어획량 변화

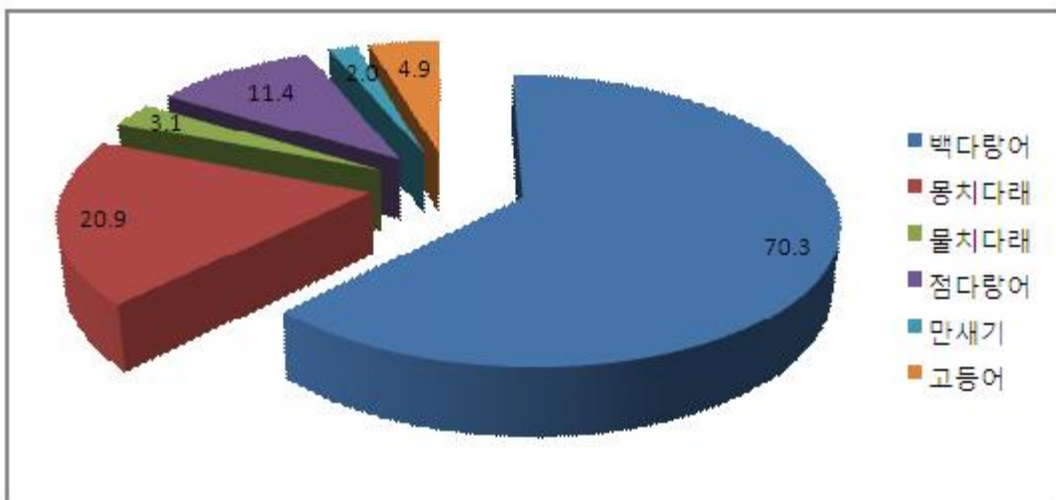


그림 24. 다랑어류의 종류별 어획비율

‘09년 추자도의 어획시험에서는 참다랑어의 어획비율이 98%를 나타내었으나, ‘10년에는 백다랑어 70.3%, 몽치다래 20.9%, 점다랑어 11.4% 순으로 백다랑어의 비율이 가장 높았으며, 몽치다래와 점다랑어의 비율도 비교적 높은 값을 보였다. 또한 섭취한 먹이를 조사한 결과, 소형의 새우류와 갑각류를 주로 섭식하여 대형 멸치를 주로 섭취한 ‘09년도의 시험 어업 결과와는 먹이의 차이도 나타났다. 따라서 이러한 먹이의 종류 및 크기의 차이가 어획된 다랑어의 종류 및 어체 크기의 차이를 나타내는 주요 원인으로 작용한 것으로 판단된다.

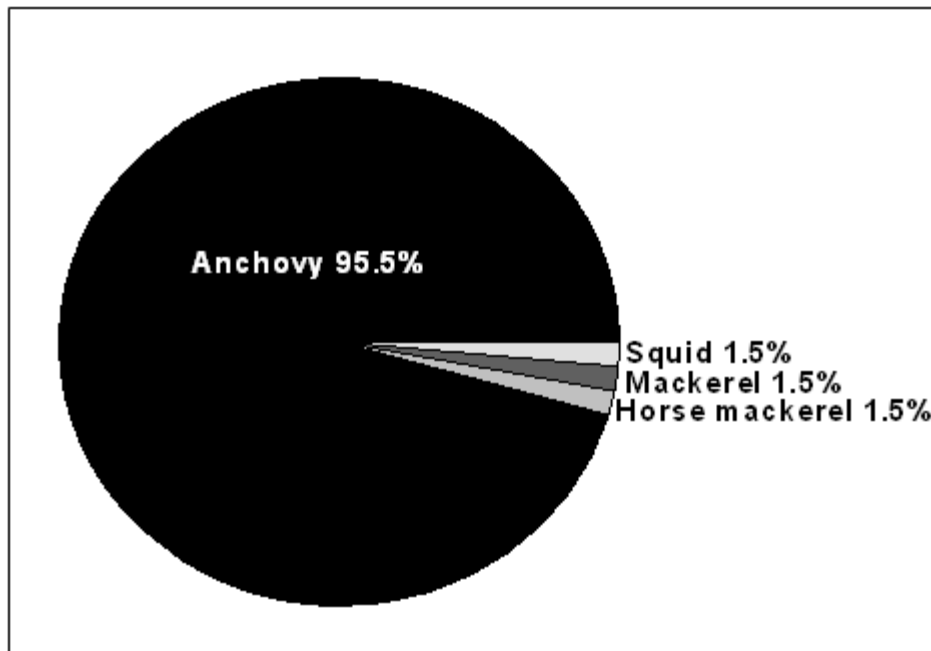


그림 25. ‘09년도 추자도에서 어획된 참다랑어가 섭취한 먹이 비율

나. 어류유집장치를 이용한 종묘확보

1) 어류유집장치

어류유집장치(FAD ; Fish Aggregating Device)는 어획능률 향상을 위해 인공 혹은 자연적인 부유물을 대양의 표면 또는 바닥에 부착해 두는 어구 보조 장치이다. 참치 선망어선들이 주로 사용하며 형태 및 배치 방법에 따라 Anchored FAD(고정식), Drifting FAD(유동식) 등으로 구분하고 있다. WCPFC는 현재 북위 20°~남위 20° 해역에서 8월~9월은 FAD 사용 금지 협약체결 중에 있다.

FAD를 활용한 어획사례를 보면, 일본 남부 Ishigaki 섬에서 33km 해상에 설치하여 황다랑어, 방어, 상어 등을 유집하여 어민들과 낚시인들의 어획 능률을 향상시킨 예가 있으며, 다양한 어종이 군집되어 다랑어류 등 20 종이 어획되는 것으로 알려져 있다.

2) 어류유집장치를 이용한 어획시험의 필요성

'10년부터 시작된 정책과제인 R&D 사업의 어미후보군 및 시험어 확보를 위해 국내산 참다랑어 종묘 확보가 시급한 실정에 이르렀다. 또한, 지자체 4개소에 지원되는 외해 참치양식 시설사업에 필요한 종묘수요도 약 10,000마리 이상으로 추정되어 채낚기에만 의존하여 확보하기에는 다소 어려움이 예상된다. 수입의 경우는 통관, 국제정세, 한·일간의 미묘한 국가관계에 따라 국내에서 종묘를 수급하는 것이 안정적이므로 끝낚시와 원양선망어선에서 활용하는 어류유집장치를 병행하여 종묘어획시험을 추진하였다.

본 연구를 통해 원양선망어선에서 비중있게 활용하는 노하우의 기술을 신속히 접목하여 대처하고자 하였다. 그리고, 안정적인 종묘 확보를 위한 다각적 접근을 통해 제주근해의 겨울철 및 연중 종묘확보 가능성을 조사하였으며, 연근해에서의 참다랑어 종묘 유인 방법의 실효성도 함께 검증하고자 하였다.



그림 28. 어류유집장치 모식도(좌) 및 설치해역(우)



그림 29. 어류유집장치 수중투하(좌) 및 수중에서 전개된 모습(우)

제3장 연구개발수행내용 및 결과

3) 어류유집장치를 이용한 어획시험

여름철 북상하는 참다랑어 종묘의 유집효과를 검토하기 위해 표선항에서 남동쪽으로 10~15마일(233 해구) 해상에 총 10개의 어류유집장치를 설치하였다. 어류유집장치 설치는 2010. 8. 20일 평균 수심 100 m 내외의 총 3 지역에 실시하였으며, a지역 3개, b 지역 3개, c지역 6개를 분산하여 설치하였다(설치해역은 아래 그림 참조). 어류유집장치의 총길이는 120m 내외로 원지름 1.2m, 원통길이는 15m, 앵커는 200 kg 내외의 것을 사용하였다.

어류유집장치는 통상적으로 설치 후 15일 이후에는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 설치 후 15일 후인 8월 31일 설치해역에서 끝낚시 조업에 의한 어획시험 및 시설에 대한 잠수조사를 실시하였다.

4) 어획시험 결과

여름철 북상하는 참다랑어의 유집효과를 검토하기 위해 유집장치 설치 15일 후 설치해역에서의 끝낚시를 이용한 어획시험을 실시하였다. a, b, c지역 모두 참다랑어는 어획되지 않았으나, 백다랑어, 몽치다래, 물치다래, 만새기, 고등어가 어획되었다. 세 지역 모두 만새기가 공통적으로 어획되었으며, 기상 상태가 고르지 못한 관계로 잠수조사를 통한 직접적인 유집효과 확인은 불가능하였다. 이후 2차례 정도 지역 어민들의 협조로 시험어업을 실시하였으나 참다랑어 어획은 이루어지지 않았으며, 고르지 못한 기상이 지속되는 관계로 소형 선박의 출어가 곤란하여 어획조사에 한계가 있었다. 어류유집장치는 대량의 어류를 특정지역에 균집시켜 안정적으로 어획할 수 있는 장점이 있어 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 음향카메라 등의 장비 확보를 통한 과학적인 균집 모니터링 및 균집 패턴 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

표 6. 어류유집장치 설치 해역에서 끝낚시로 어획된 어류(2010. 8. 31)

어획지역	어종	어획량(마리)	평균체중(g)	전장(cm)	가랑이체장(cm)	체장(cm)
a	백다랑어	3	1,465	47.2	44.3	40.5
	만새기	1	639	48.6	45	37.8
	몽치다래	1	805	33.8	33.2	31.0
b	만새기	1	428	41.0	35.8	33.0
	물치다래	1	202	25.8	24.8	23.2
c	만새기	1	384	41.1	35.2	32.2
	물치다래	4	210	25.8	23.4	24.9
	고등어	1	287	31.8	27.8	29.6

다. 어획기술 보급 및 활용

1) 기술보급

국립수산과학원이 '07~'09년간 시험어업을 통해 습득해온 참다랑어 종묘채포기술개발에 대해 지역 어민들을 대상으로 사랑방 좌담회를 개최하여 기술보급을 실시하였다. 사랑방 좌담회는 2월과 4월 제주도와 거문도에서 개최하였으며, 어획도구 및 어획기술, 핸들링방법, 순치 사육관리 등에 대해 지금까지 개발된 기술에 대한 영상설명 및 직접 시연을 통해 기술지도를 실시하였다. 어획기술에 대해서는 수조크기 변경, 핸들링기술 확립으로 생존율 향상의 필요성, 8월 이전의 작은 개체(500 g 내외)를 어획한다면 1회당 어획개체수 및 생존율 향상 가능성에 대해서도 설명되었다. 또한 어민들로부터 어획방법, 어장탐색, 수송 등에 관해 국립수산과학원 측의 좀 더 많은 연구개발 및 기술지도 필요성이 제시되었고, 추자도 및 거문도 해역에서의 동절기 사육가능성 조사를 통한 양식산업화 연구에 대한 필요성도 의견으로 제시되었다.

이러한 기술보급의 성과로 '10년 제주특별자치도와 통영시에서는 참다랑어 종묘확보 시범사업이 실시되었고, 추자도에서는 371마리의 참다랑어를 어획하는 성과를 나타내었다. 그러나 아직 어획시기, 어장환경, 어획기술에 대해 기술개발 요구가 높아 이에 대한 지속적인 연구개발과 함께 기술보급이 이루어져야 할 것으로 보인다.



그림 30. 어민을 대상으로 한 사랑방 좌담회 및 기술지도

2) 활용

어민들의 기술지도 및 어획시험 과정에서 국내에서 어획되는 다랑어류에 대한 종 판별 및 어획 시기 등에 대한 정확한 정보가 부족함이 나타났다. 특히 어민들의 자체적인 시험 어업을 위해서는 연근해에서 실제로 어획되는 다랑어류에 대한 종 판별이 시급한 과제였다. 이에 국립수산과학원이 '07년도부터 수행하여 온 시험어업에서 어획된 국내 연근해 다랑어류에 대해 형태를 정확히 구분할 수 있고 기본적인 생태 자료가 담긴 다랑어류 도감 포스터를 제작하여 배포하였다. 배포는 어업인을 중심으로 각 어촌계, 수협뿐만 아니라

제3장 연구개발수행내용 및 결과

라 대학 및 연구기관, 대국민 홍보 및 교육을 위한 교육기관에도 배포하였다. 현재까지 85개소에 284부가 배포되었으며, 이중 상당부분은 어업인 및 기관에서의 요청에 의한 것이었다. 현재도 다양한 개인, 기관으로부터 배포 요청을 받고 있으며, 지속적으로 공급할 예정이다.

라. 종묘 이송기술 개발

1) 해상 이송기술개발

가) 해상이송 준비

'08년산 참다랑어를 구매하여 제주도 화순항에서 표선외해가두리 시설해역까지 해상 수송을 실시하였다. 수송을 위한 가두리시설은 $\varnothing 22\text{m}$ 폴리에틸렌 재질의 원형 내과성가두리를 이용하였다. 가두리 그물은 깊이 12m로 고강도 그물을 사용하였으며, 그물 저면의 테두리는 체인으로 연결하여 수송과정에서 그물의 원형형태가 변형되지 않도록 설계하였다. 수송전 이송가두리 결박 모식도와 같이 가두리 테두리의 가운데 양옆의 3부분을 로프로 결박하고 가두리 그물의 상부로부터 4 m 지점을 로프로 고정하여 4가닥의 로프를 약 45~60 m를 연장하여 하나로 결박시켰다. 1개로 결박된 로프에 다시 두꺼운 로프 약 150 m 정도를 수송선인 국립수산물과학원 조사선 탐구 18호에 연결하여 해상 수송을 실시하였다. 또한 수송 전에 잠수부가 20 kg의 추를 가두리 저면의 테두리 12곳에 고정하였다. 특히 조류 및 수류의 저항을 많이 받을 것으로 예상되는 가두리 앞면에는 20 kg 추를 1~2개씩 추가로 고정하여 그물의 변형과 부상을 최대한 예방하고자 하였다.

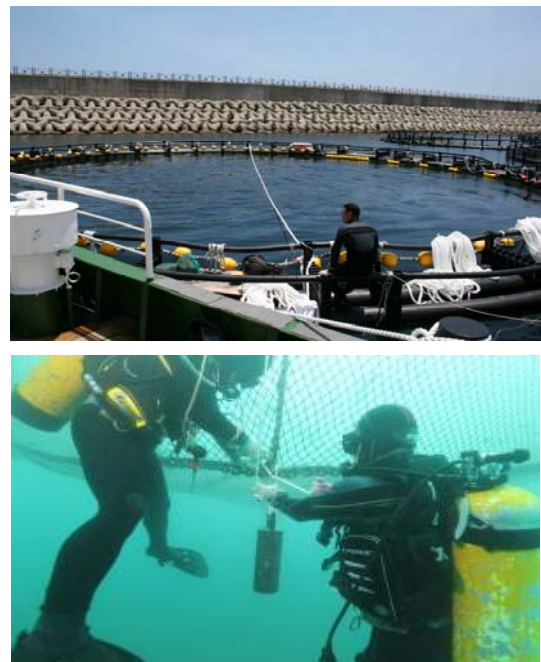
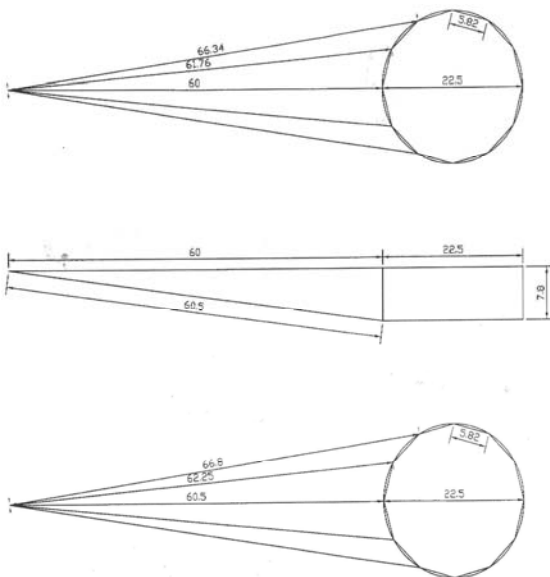


그림 31. 이송 가두리 결박모식도(좌) 및 이송가두리 및 이송을 위한 수중 준비작업

나) 가두리를 이용한 해상수송

해상수송은 참다랑어 어미후보군 236마리를 가두리에 수용한 채로 서귀포시 화순항부터 서귀포시 표선항 앞바다까지 총 거리 53km를 이동하였다. 수송시간은 2010년 7월 22일 05시에 준비하여 이튿날 08시까지 약 27시간 동안 이루어졌다. 처음 해상수송이 시작되면서 참다랑어의 유영속도가 빨라지고 수중과 표면을 오르내리는 행동을 보이거나 약 5시간이 경과하면서 부터는 안정을 되찾았고, 전량 안전하게 수송하는데 성공하였다.



그림 32. 참다랑어 장거리 가두리 해상수송경로(화순~표선)



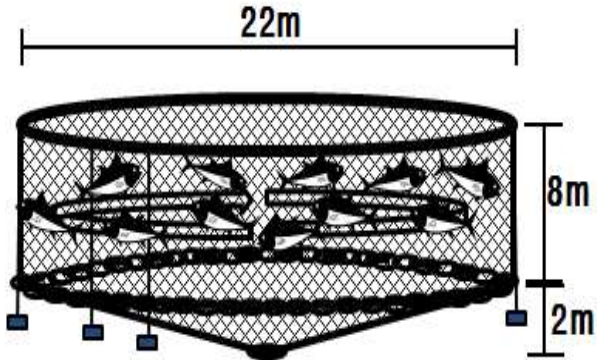
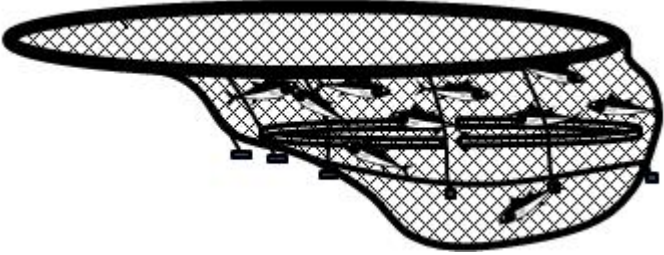
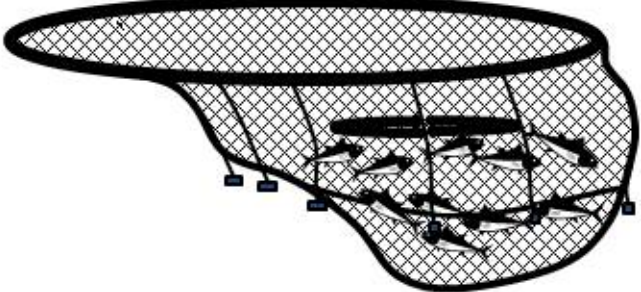
그림 33. 가두리 예인 장면(좌) 및 수송중의 가두리 그물변형과 참다랑어의 유영상태(우)

가두리의 예인속도는 평균 0.5 knot/h 이었으나 약 1.8 knot/h를 넘을 경우 그물이 표층으로 부상하여 용적이 급격히 줄어들어 수송이 곤란하였으며, 1.5 knot/h 이하에서도 그물의 용적이 약 1/3까지 축소되는 것으로 나타났다. 또한 조류의 방향이 수송에 큰 영향을 미쳤는데 역조류인 경우 최대 -0.9 knot/h의 속도로 후방으로 밀려나는 경우도 발생하였다. 따라서 해상 가두리 수송인 경우 수송경로의 해상 날씨뿐만 아니라 조류의 세

제3장 연구개발수행내용 및 결과

기, 방향 등에 대한 정보수집이 사전에 충분이 이루어져야 안전한 수송이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

표 7. 수송시간 경과에 따른 참다랑어의 유영특성

<p>해상수송 이전에 수면 3 m 내외의 상층에서 넓은 유영반경을 보임</p>	
<p>해상 이송 2시간 전후까지 상층에서 유영하면서 그물에 가볍게 부딪치는 개체도 관찰되나, 폐사는 없었음 ※예인속도 1(51.5cm/s) ~ 2 knot</p>	
<p>2시간 이후 주간에도 가두리 저면에서 좁은 반경을 유지하며 안정된 유영상태를 보임</p>	

다) 외해수중가두리 수용

임시 수용 가두리를 외해가두리 관리선(노아호 40톤급)을 이용하여 약 한시간 정도 이송하여 외해수중가두리 상부 약 30%를 부상시킨 후 연결하였다. 외해수중가두리와 임시가두리를 가로, 세로 각각 3 m씩 절개하여 부드럽고 단단한 로프를 이용하여 연결하여 참다랑어가 이동할 통로를 확보하였다.

가두리 연결이 완료 된 후 다이버가 사전에 제작된 물이용 망을 펼쳐 임시가두리내 참다랑어를 몰아 연결통로로 유도하였다. 외해가두리 안쪽에서는 1명의 다이버가 오징어를 투여하여 참다랑어의 외해가두리 이동을 유도하였다. 물이망을 이동통로로 좁히는 과정에서 참다랑어의 유영속도가 급격히 증가하여 가두리 통로 1/3 지점까지 좁혀진 시점부

터 1/2지점(직경 10 m)까지 유도한 상황에서 위기상황을 감지한 참다랑어가 몰이그물에 충돌하는 상황이 발생하였다. 참다랑어가 충돌하면서 몰이그물이 글러브 형태로 변형되어 참다랑어가 빠져 나오지 못하면서 호흡정지로 6마리가 사망하였다. 그러나 나머지는 дай버들의 유도에 의해 모두 외해수중가두리 안으로 수용하였고, 수용 후 다음날 생사료를 공급하였으며, 먹이섭취 및 유영활동 등이 양호함을 확인하였다.

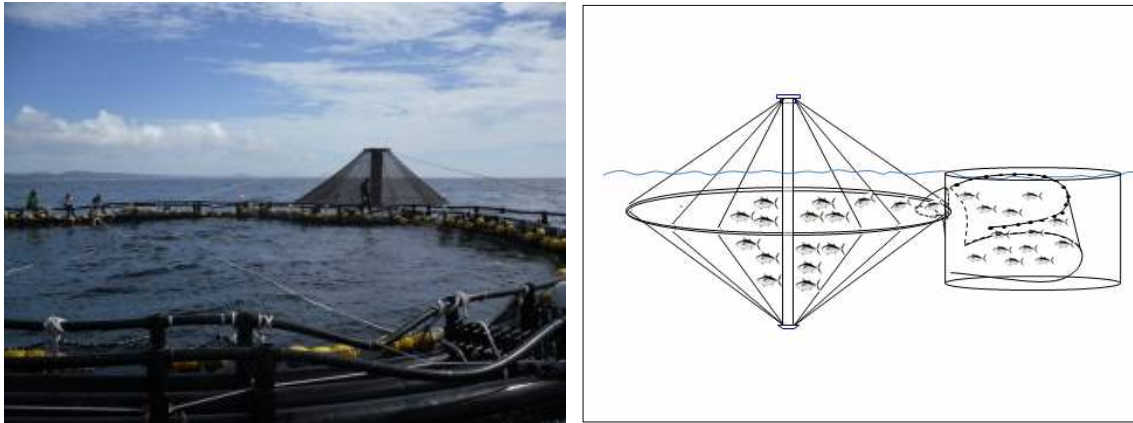


그림 34. 가두리 해상수송 후 외해수중가두리와 연결(좌), 외해가두리 입식장면 모식도(우)

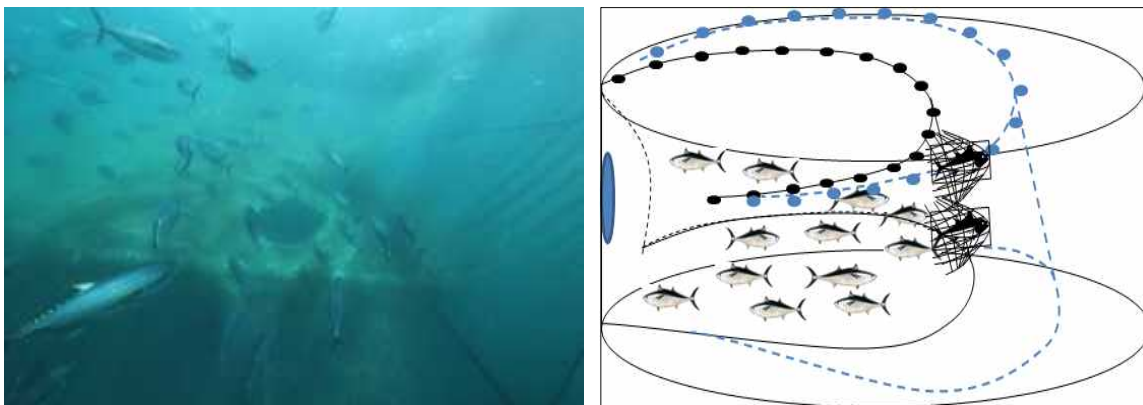


그림 35. 외해수중가두리와 연결된 상태(좌), 몰이그물을 이용한 유도과정 및 충돌 모식도

2) 육상 장거리 수송시험

가) 수송을 위한 장치 및 장비

제주도 위미에 설치된 순치사육 가두리에서 부산 가온수조(아쿠아리움)까지 백다랑어를 이용하여 장거리 육상 운송시험을 실시하였다. 수송 차량은 수송 중의 외부노출에 따른 스트레스를 최대한 줄이고자 5톤 왕바디 트럭을 준비하였다. 수조는 직경 Ø 215cm의 폴리에틸렌 재질의 원형수조 3개를 수송트럭에 탑재하였다. 수송 중의 순화여과식의 수질관리를 위해 액화 산소, 외부여과기(50L) 1개, 수중 펌프 (50W-수류형성) 1개를 모든 수조에

제3장 연구개발수행내용 및 결과

동일하게 설치하였다. 또한 2 kw의 자가발전기를 준비하여 순화여과장치에 전력을 공급하였다. 본 장비 및 장치를 대상으로 수송전 제주도 위미에서 예비실험을 실시한결과 19 시간 동안의 실험기간에도 백다랑어의 폐사는 발생하지 않았다.



그림 36. 가두리 이동(좌), 수송장비 준비



그림 37. 낚시를 이용한 선적(좌), 수송용 수조에 수용(우)

나) 백다랑어의 장거리 수송 및 입식

백다랑어의 차량 선적을 위해 이동용 소형 가두리(4×4 m)에 백다랑어를 수용하여 가두리를 차량이 접근할 수 있는 선착장 부근까지 소형 선박으로 예인하여 이동시켰다. 트럭에는 Ø 215cm의 폴리에틸렌 수조 3개를 탑재하여 신선한 해수를 채우고, 여과장치(외부여과기, 수중펌프, 액화산소)를 설치하였다. 또한 야간의 조명변화에 따른 백다랑어의 스트레스 및 충돌사 방지를 위하여 20W LED 전구를 차량 적재함 내부에 설치하였다. 수송 준비 완료 후 백다랑어를 가두리에서 낚시로 포획한 후 트럭의 수송용 수조에 직접 수용하고, 수조의 사육수의 유실을 방지하기 위해 비닐 덮개 설치 후 수송을 시작하였다. 수송경로는 먼저 선적지인 위미항을 출발하여 약 1시간이 소요되어 제주항에 도착하였다.

제주항에서 선박에 차량을 여객선에 싣고 5시간에 걸쳐 고흥(녹동항)에 도착하였다. 녹동항부터는 지방도와 고속도로를 이용하여 부산 아쿠아리움까지 260 km를 수송하는데 약 5시간이 소요되어 새벽 2시경에 도착하였다.



그림 38. 육상 수송경로(좌), 도착 후 사육수 환수(우)



그림 39. 비닐팩을 이용한 운반(좌), 사육수조에 수용된 백다랑어

수송 직후 사육수조별 수질환경을 조사한 결과, pH는 7.60~7.73, DO는 11.9~14.2 ml/L, 수온은 22.8~23.3℃로 백다랑어의 생존에 큰 문제가 없는 범위이었으며, 수송중의 수질악화에 따른 폐사 문제는 발생하지 않았다. 도착 후 백다랑어의 환경적응을 위해 약 20~30분간에 걸쳐 수송수조의 사육수를 아쿠아리움의 사육수로 50~60% 정도 환수하였다. 일정시간의 환경적응이 완료된 후 비닐팩(50cm×70cm)을 이용하여 1~4마리씩 포획하여 지상에서 지하 2층 격리 수조까지 약 60m의 거리를 계단을 이용해 이동하여 사육수조에 수용하였으며, 이동시간은 30~40초 정도 소요되었다. 사육 수조는 메인 전시수조와 연결된 격리(Hoding) 사육수조(W4000×L8000×H900)로 수량은 약 28ton 이었다. 제주도에서 부산 아쿠아리움까지의 수송도중과 도착 후 아쿠아리움 격리수조에 수용하는 과정에서 폐사는 발생하지 않아 수송 및 수용은 성공적인 것으로 평가되었다. 그러나, 다랑어류는 실내수조 적응과정에서 초기에 충돌에 의한 폐사가 빈번하므로 이에 대한 대책이 마련되는 것이 시급할 것이다.

표 8. 수송 종료 후 사육수조별 수질환경

	수조 NO.1	수조 NO.2	수조 NO.3
pH	7.60	7.73	7.67
DO (ml/L)	11.9	14.2	12.7
수온(°C)	23.3	22.8	22.9

4. 참다랑어 생리생태 및 행동특성 분석

가. 비접촉식 측정기술을 적용한 사육관리 최적화 연구

1) 음향카메라를 이용한 성장조사

가) 원리 및 측정방법

세계적으로 참다랑어 핸들링 기술이 어느정도 개발되어 단순한 어체측정 정도는 이루어지고 있으나 항상 폐사의 위험을 감수해야 할 실정이다. 참다랑어는 대형개체이고 유연력이 강해 핸들링 과정에서 피부 손상이 쉽게 발생함으로 어체측정을 위해 포획하는 일은 스트레스 및 어체 손상에 따른 폐사의 위험성이 높다. 따라서 본 연구에서는 음향카메라(Dual-Frequency IDentification SONar; DIDSON)를 사용한 수중에서의 어체측정 가능성에 대해 검토하였다.

음향카메라 시스템은 일종의 어군탐지기의 개념으로 음향카메라에 촬영된 대상물의 크기를 수치화 할 수 있는 시스템이다. 이러한 시스템을 참다랑어 양식관리기술에 적용한다면 참다랑어를 채포하지 않고 어체측정이 가능할 것으로 기대된다.

표 9. 음향카메라 전송 빔 정보

항목	작동범위	작동원리
저분해능 대상물체 탐지거리	최대 40 m	0.6° 간격으로 48개의 빔을 이용, 1.1MHz 작동
고분해능 대상물체 탐지거리	최대 12 m	0.3° 간격으로 96개의 빔을 이용, 1.8MHz 작동
탐지범위	29°	센서의 수평방향
초당 저장 프레임 수	5~20 frames/sec	
빔내 초점 지정거리	1~40 m	

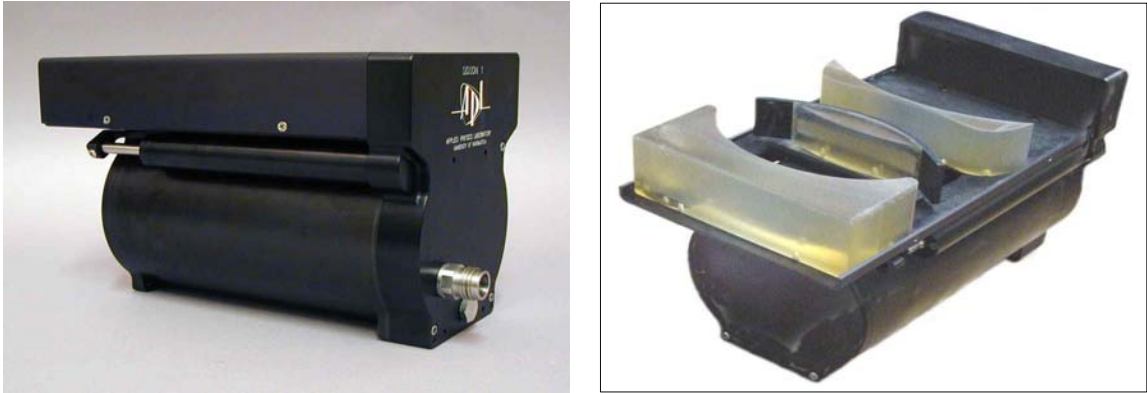


그림 40. 음향카메라 센서(좌), 음향카메라 센서 내부(우)

나) 일반 어류 적용 실험

먼저 음향카메라의 정확도를 검토하기 위해 일반가두리에서 사육하는 고등어, 전갱이, 돌돔 3종에 대한 음향카메라 촬영을 실시하여 어체크기를 데이터화하였다. 그리고 촬영한 대상종에 대해 전장, 가랑이체장, 체장을 실측하여 음향카메라 데이터와 비교분석하였다. 음향카메라 데이터와 실측 결과를 비교 분석한 결과 전장이 상호 측정 결과와 유사하였으며 오차는 2% 이내로 매우 정확한 결과를 보였다.

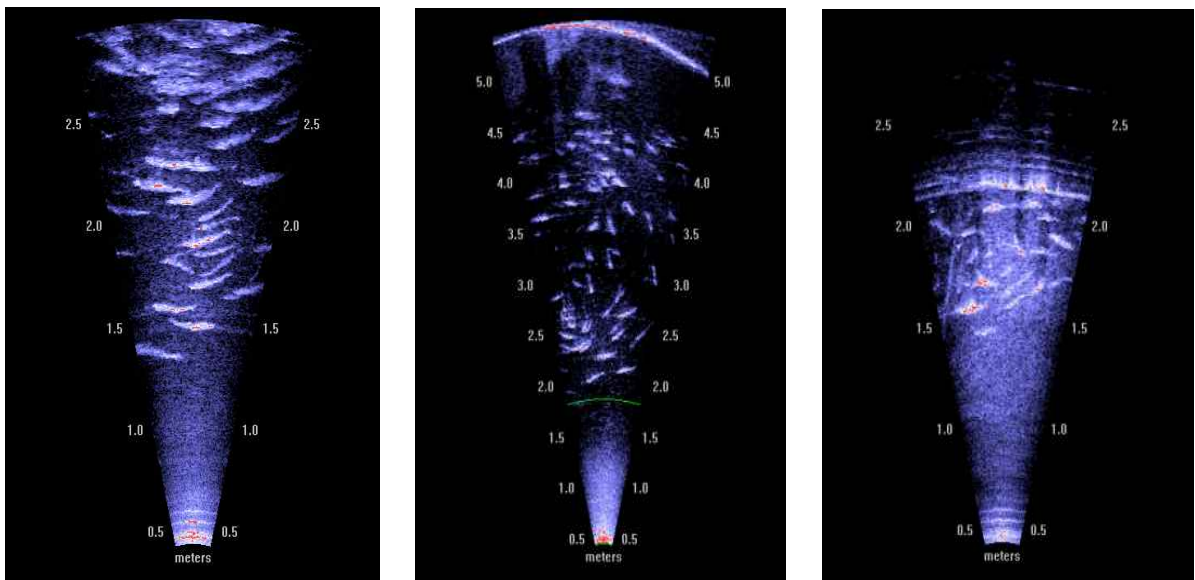


그림 41. 음향카메라 촬영장면. 가두리내 고등어(좌), 육상수조 전갱이(중), 육상수조 돌돔(우)

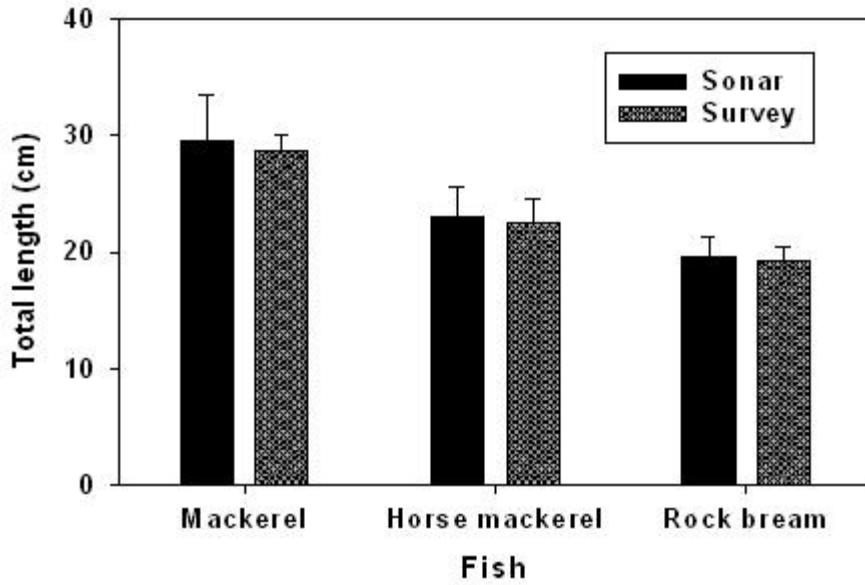


그림 42. 음향카메라 및 실측한 고등어, 전갱이, 돌돔의 전장 비교

다) 참다랑어 측정 결과

사전 연구결과를 토대로 육지도 정치망에서 어획되어 사육중인 참다랑어를 대상으로 음향카메라 조사를 실시하였다. 음향카메라 조사 결과 1년산은 전장 평균 80 cm 내외를 나타내었다. 음향카메라의 경우 사육수의 투명도나 야간에도 측정이 가능하다는 장점은 있으나 장비 가격이 고가이고, 전장만이 측정 가능한 점이 단점으로 지적된다.

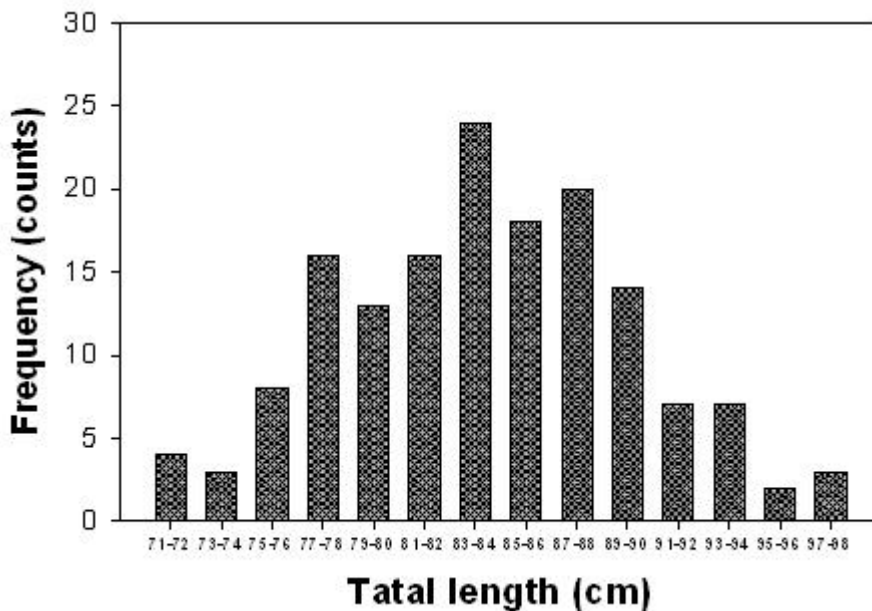


그림 43. 음향카메라를 이용한 참다랑어 실측 결과

2) 스테레오카메라를 이용한 성장조사

가) 원리 및 기능

광학시스템을 이용한 대상생물의 크기측정방식은 스테레오 동기화 방식(Stereo Matching Method)을 적용하는데, 좌우에 설치된 2대의 카메라로 2장의 화상정보를 동시에 저장하고, 좌측 카메라에서 촬영된 화상이 우측 카메라에서 촬영된 화상의 어느 픽셀에 해당하는지를 계산하여 그 대응관계를 삼각측량에 의해 각 점을 3차원으로 분석하여 위치를 추정하는 방식을 이용한다.

본 3차원 어류측정시스템은 바닷속의 시야가 확보되는 환경에서 보다 정확하고 다양한 어류의 행동패턴 정보를 모니터링하기 위해 2개의 카메라를 이용한 스테레오기술을 적용하였다.

현재 호주에서 개발된 상용제품은 단순히 대상 어류의 크기나 개체수를 파악하는 단순한 기능과 고가인데 반해, 본 시스템은 국내개발을 통해 상대적으로 가격도 저렴하고, 대상 어류의 크기, 개체수, 유영거리, 유영속도 등의 다양한 정보를 파악할 수 있는 3차원 어류 크기 측정 장비이다.

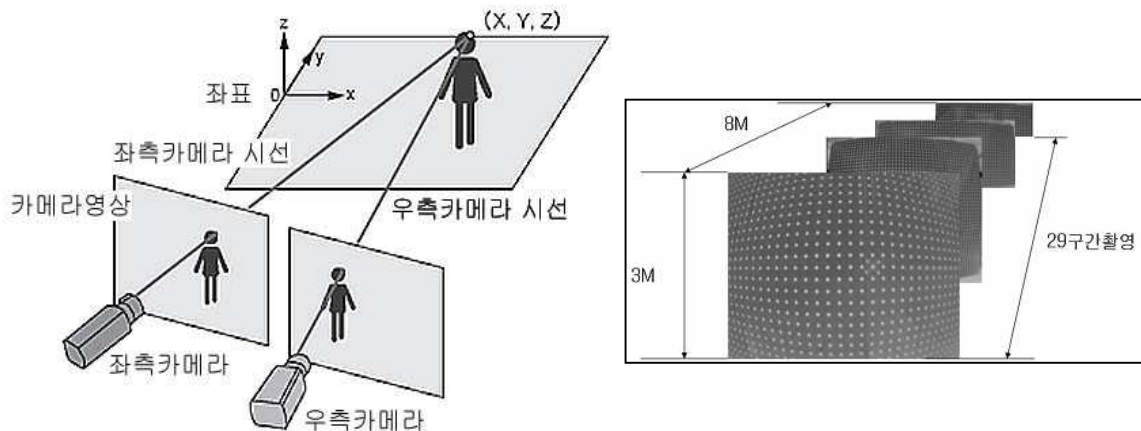


그림 44. 3차원 스테레오 기법 및 광학시스템 교정방식

나) 참다랑어 측정 결과

'09년 8월 어획된 1 kg 내외의 참다랑어를 외해가두리에 '09년 10월에 수용하여 사육하던 것을 '10년 3월 30일 측정한 결과 가랑이체장 43~53 cm 범위를 나타내었다. '09년 외해 수중가두리 수용 당시의 평균 가랑이체장은 38 cm이었으며, '10년 3월 30일 측정시의 평균 가랑이체장은 48 cm로 약 10 cm 성장한 것으로 나타났다. 특히, 48~51 cm 빈도가 가장 높았으며, 가장 작은 개체는 43 cm급 2마리로 조사되었다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

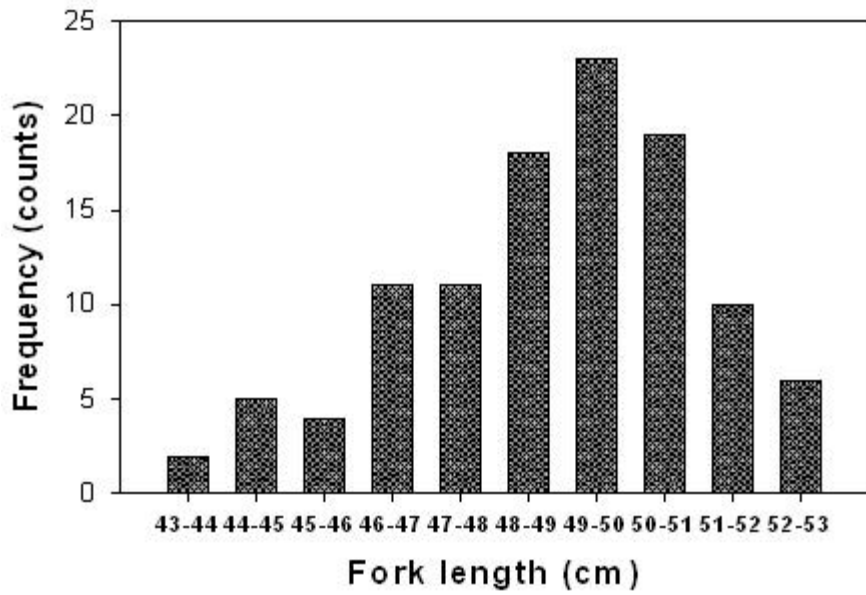


그림 45. '09년산 참다랑어 가랑이체장 빈도

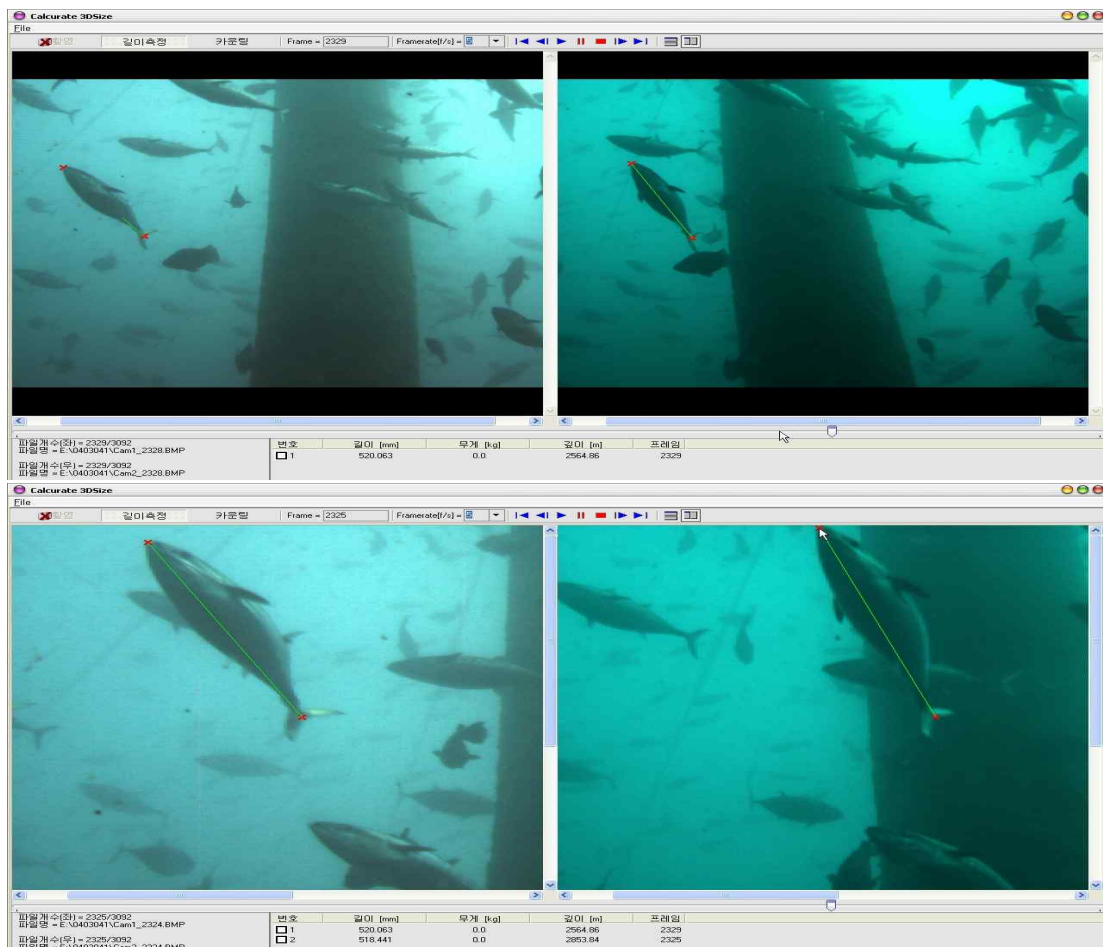


그림 46. 외해 수중가두리내 참다랑어 측정 사례

참다랑어는 종묘(1~2 kg)의 원활한 사육을 위한 겨울철 하한 수온이 12℃ 전후로 보고되고 있는데, 12℃이하에서는 먹이활동이 둔화되기 때문이다. 시험사육이 실시된 제주도 표선 연안은 수온 측정 결과 겨울철에도 14℃이상을 유지하기 때문에 겨울철 동안에도 먹이 활동이 활발하였으며, 어체성장도 기대되어 참다랑어 월동에 적절한 양식환경을 갖는 것으로 평가된다.

'08년 12월에 일본 자연산 종묘를 수입하여 사육중인 참다랑어를 '10년 6월 5일 측정한 결과 평균 가랑이체장 93 cm 이었다. 가랑이체장의 범위는 83~110 cm 이었으며, 95cm 전후가 가장 높은 빈도를 나타내었다. 이러한 성장은 일본의 주요양식지인 와카야마현(겨울철 최저수온 14℃)의 참다랑어 성장과 유사하거나 우수한 것으로 제주도는 성장면에서는 경쟁력이 충분히 있을 것으로 판단된다.

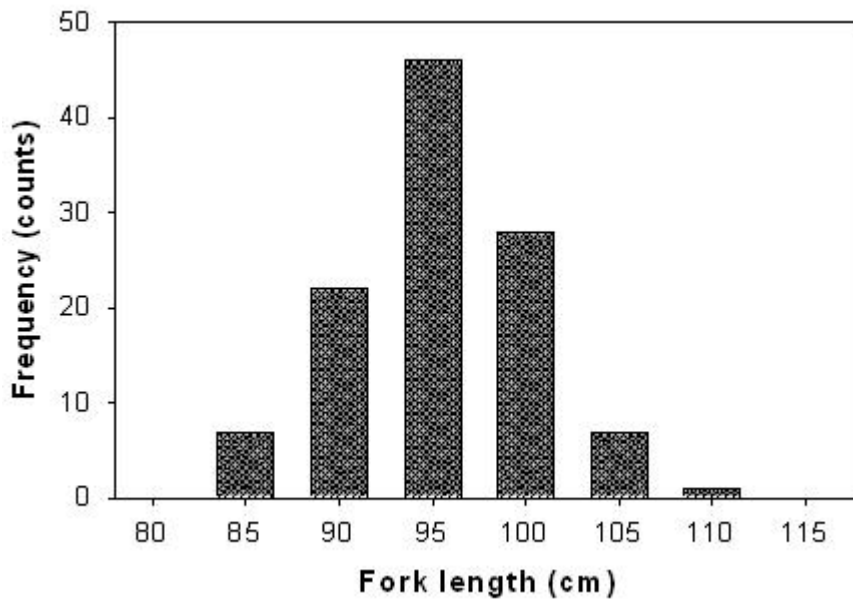


그림 47. '08년산 참다랑어 가랑이체장 빈도

3) 음향카메라와 스테레오카메라의 활용 방안

음향카메라는 야간과 시야가 좋지 않은 상황에서도 측정이 가능한 장점이 있으나, 고가이면서 전장 측정만 가능하여 데이터 선택성이 단점으로 지적된다. 스테레오카메라는 선택적인 어체측정, 개체수 파악, 유영속도 측정이 가능해 어류 성장조사 뿐만 아니라 유영 특성 등 생태특성 파악에도 이용할 수 있다. 그러나 시야가 확보되지 않은 지역은 사용이 불가능한 단점이 있다.

따라서 위 두 시스템을 적절히 목적에 맞게 사용한다면 참다랑어의 사육관리 및 생태조사에 직접적인 어체 접촉없이 스트레스를 가하지 않고 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

나. 음향카메라를 이용한 유영특성 조사

1) 필요성 및 방법

참다랑어는 강한 회유성 어종으로 유영력이 강하고, 좁은 공간에서의 사육관리 과정에서 충돌 등에 의한 폐사가 발생하는 일이 빈번하다. 참다랑어의 유영특성 파악을 통해 참다랑어에 있어서 최적 양식가두리 형태 설계 등에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 음향카메라(Dual-Frequency IDentification SONar; DIDSON)를 사용하여 주야간 참다랑어의 유영수심, 유영반경 조사를 통해 유영특성을 파악하고자 하였다. 음향카메라는 가두리 중심부와 가장자리의 중간지점 수심 1m 지점에 로프로 연결하여 바닥을 향해 설치하고, 케이블을 이용하여 컴퓨터에 연결한 후 24시간 모니터링을 실시하였다. 주야간 및 일주 유영특성을 파악하기 위해 컴퓨터에 저장된 데이터를 해질녁, 야간, 해뜰녁, 주간으로 구분하고 각각 3시간씩의 자료를 분석하였다.

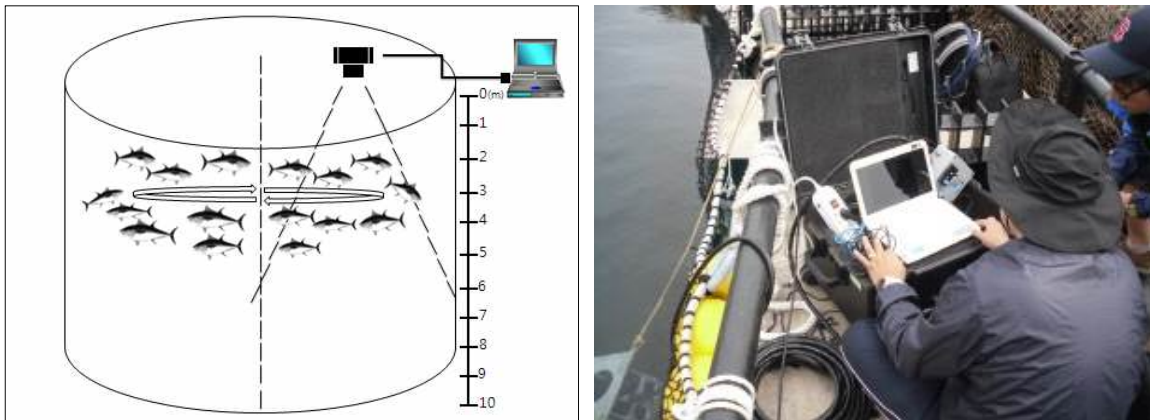


그림 48. 유영특성 조사 모식도 및 실제 조사 장면

2) 측정결과

해질녁 오후 5시부터 8시 사이에 유영수심은 5시경은 수심 4~5m 부근에서 주로 유영하였으나 조사일자인 6월 4일 일몰시간 오후 7시 39분을 전후로 유영수심의 폭이 넓어지고 유영수심도 6 m 전후로 깊어졌다. 야간의 유영수심은 8~10 m 수심층에서 주로 유영하였고, 해뜰녁은 6~8 m 수심에서 유영하다가 점차 표층으로 이동하여 오전 7시 경에는 3~4 m 수심으로 이동하였다. 주간의 경우는 거의 모든 개체가 표층으로 이동하여 수심 3 m 내외에서 유영하는 것이 관찰되었으며, 해뜰녁과 해질녁은 유영수심 폭이 매우 크고 유영 수심층이 이동하는 것이 관찰되었다.

참다랑어는 가두리내에서 야간에는 저층, 주간에는 표층에서 주로 유영하는 것이 관찰되었으며, 일출, 일몰 시간 전후로 유영 수심층의 이동이 관찰되었다. 본 연구결과는 일본의 가두리내 참다랑어 유영수심 변화와 동일한 결과를 보였으며, 유영특성 결과를 토대로 한

참다랑어 사육 가두리 그물 깊이는 10 m 이상이 적절할 것으로 보고하였다.

또한 유영반경 특성 조사결과, 야간에는 가두리 중심부에서 적은 유영 반경을 보였으며, 주간에는 표층에서 가두리 가장자리를 타고 유영하는 넓은 유영반경을 보였다. 이는 야간의 경우 시설물의 식별이 어려워 이를 대비한 자체적인 방어 기작으로 판단된다.

참다랑어는 성장하면서 시력이 증가하는데 만 1세어(전장 1m 내외)의 식별거리는 1 m 내외로 보고되고 있다. 따라서 주간보다 야간은 조도 감소로 식별에 어려움을 겪기 때문에 가두리내 유영 회전반경을 좁혀 충돌을 저하시키려는 노력으로 판단된다. 또한 야간의 갑작스러운 빛에 의한 참다랑어의 불규칙적인 유영으로 가두리 그물에 부딪혀 두부가 손상되거나 그물에 걸려죽는 일이 자주 발생하는 것은 이러한 유영특성과도 연관시켜 볼 수 있을 것이다.

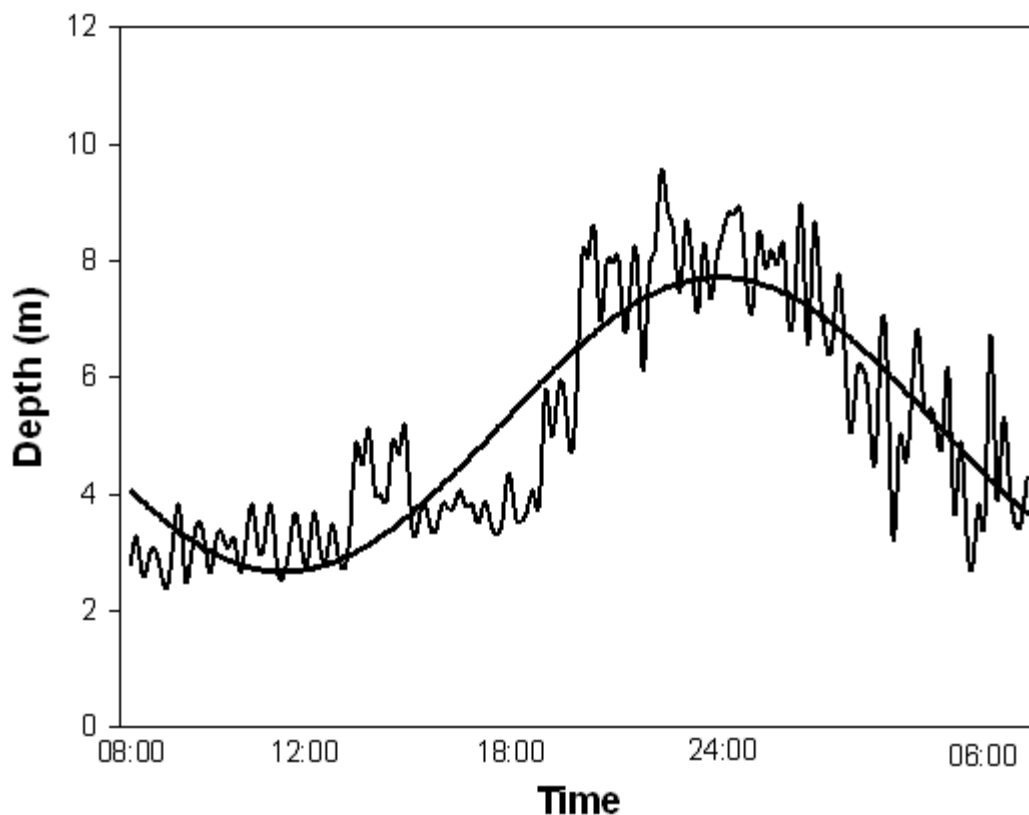


그림 49. 참다랑어 가두리내 일간 유영수심변화

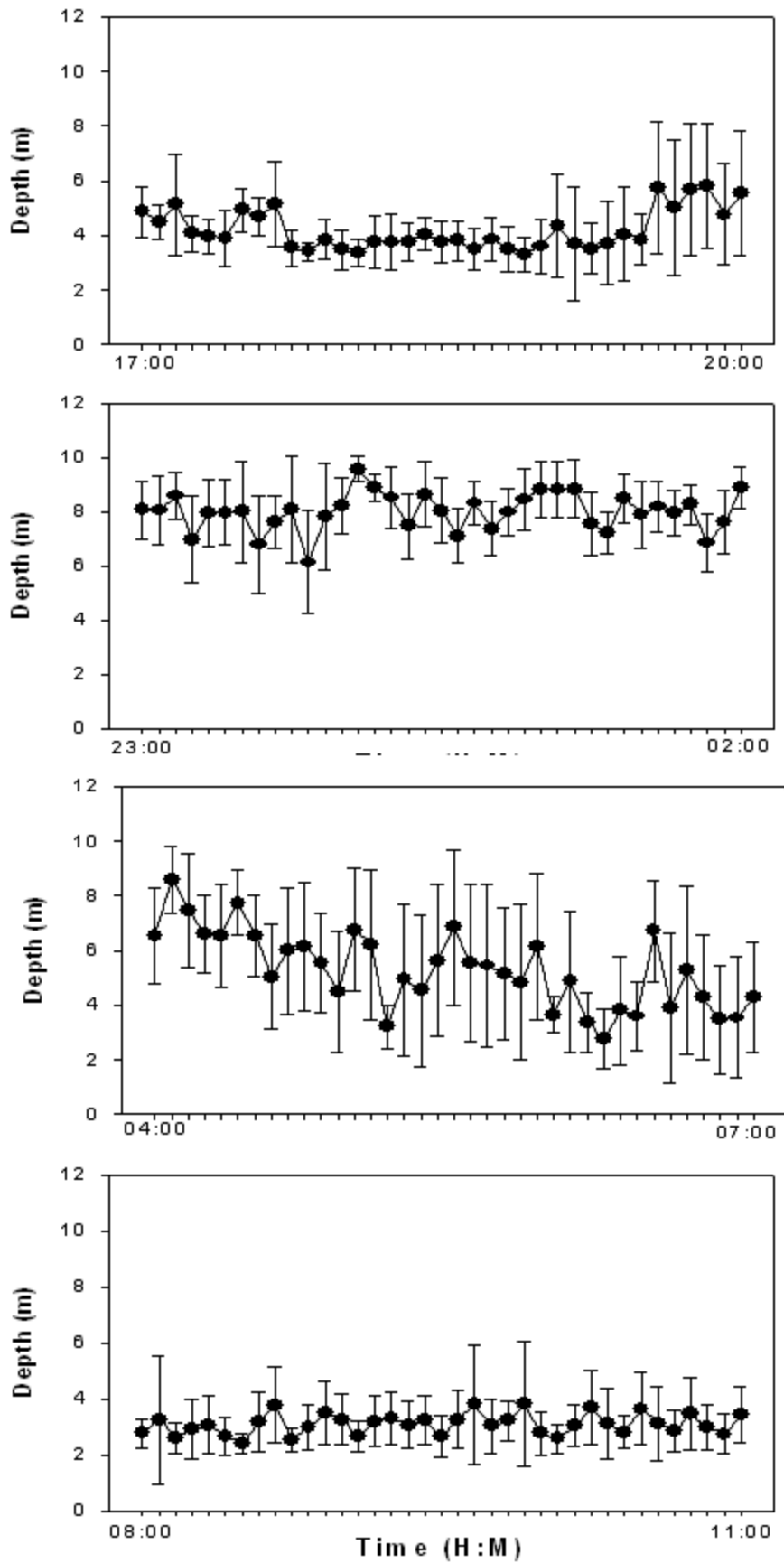
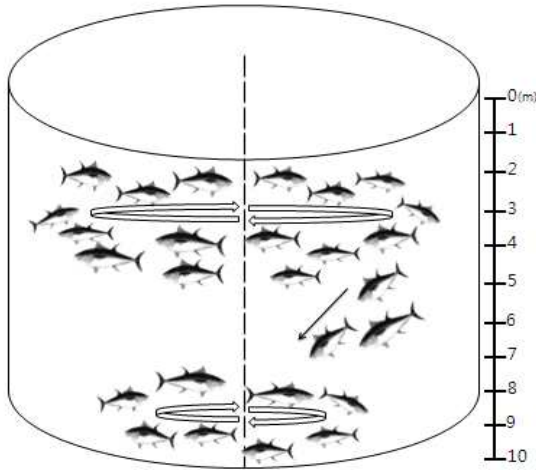
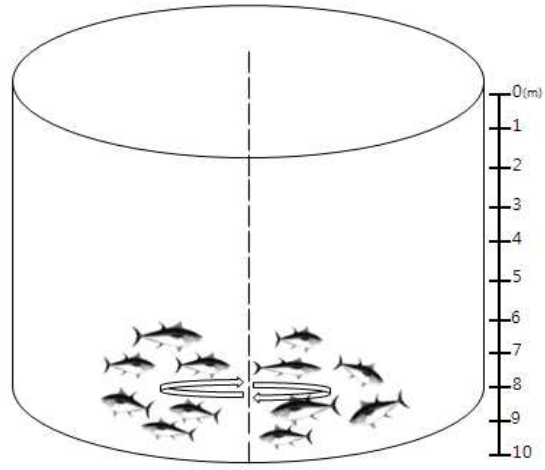


그림 50. 참다랑어의 시간대별 가두리내 유영수심 변화

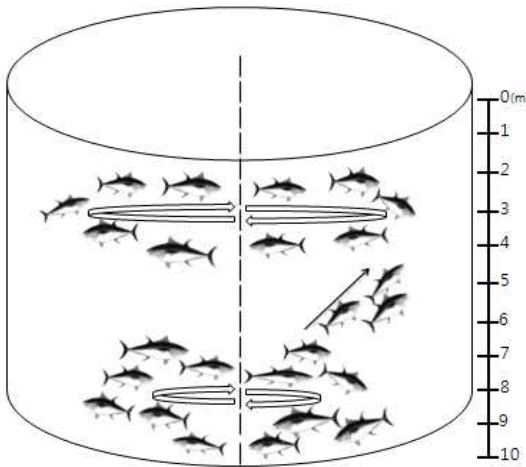
(해질녘 17:00~20:00)



(야간 23:00~02:00)



(해뜰녘 04:00~07:00)



(주간 08:00~11:00)

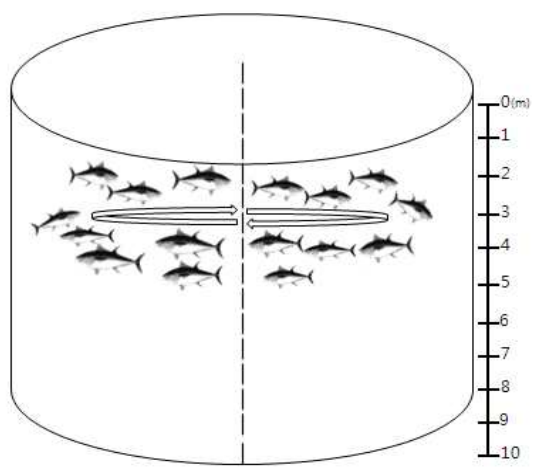


그림 51. 참다랑어의 유영수심 이동과 유영반경 변화

다. 행동특성 연구를 위한 데이터 로거 삽입

1) 데이터 로거의 원리 및 활용

초음파 발신기를 거북이 등의 생물에 부착하여 인공위성을 통하여 회유경로 및 해역의 수온 등의 환경자료를 수집하기 위하여 사용되었다. 이후 참다랑어에서는 초음파 발신기를 복강내 삽입하여 복강내 온도, 유영속도, 유영수심 등을 인공위성을 통하여 정보를 수집하여 행동특성을 파악하였다. 또한 복강내 체온 변화는 소화생리 특성을 연구하는 자료로 활용되기도 하였다. 현재 초음파 발신기를 대신하여 주로 사용되는 데이터 로거는 온도, 수심, 염분농도 등의 측정이 가능하며, 데이터를 자체적으로 저장하는 장치로 생물의 외부에 부착하거나 복강에 삽입이 가능하여 어류의 생리생태 연구에 주로 사용되고 있다.

표 10. 초음파 발신기의 활용

<p>○ 회유경로 파악</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초음파 발신기 부착 - 인공위성을 통하여 정보수집 - 회유경로 추적 - 행동특성 파악 	<p>○ 유영특성 및 생리생태 파악</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초음파 발신기 복강내 삽입 - 인공위성을 통하여 정보수집 - 유영수심 및 유영속도 등 행동특성 파악 - 체온조사를 통한 소화생리 파악

2) 데이터 로거 삽입시연

데이터 로거를 이용한 참다랑어 행동특성 파악 연구를 지속적으로 추진하여 온 일본 긴키대학 수산연구소 Sakamoto Wataru 교수를 초청하여 데이터 로거 삽입 시연을 실시하였다. 시연에 사용된 데이터 로거는 수심과 온도 측정이 가능한 제품으로 참다랑어의 복강에 삽입하여 유영수심과 복강내 온도를 측정하고 수집하는 장치이다. 시연 전 데이터 로거에 대한 기능 및 삽입방법 등에 대한 사전 프레젠테이션을 실시하였다. 사전 준비 과정에서 가장 중요한 점은 데이터 로거의 무게가 삽입하는 대상 어류의 어체중의 2%를 넘지 않아야 한다. 즉 1 kg의 어류에는 20 g 이하의 데이터 로거가 사용되어야 하는 것이다.



그림 52. 시연에 사용된 데이터 로거(좌), 데이터 로거 삽입 전 프레젠테이션(우)

데이터 로거 삽입은 먼저 낚시를 이용하여 수조에서 사육되는 참다랑어를 어획한 후 고정판에 어류를 움직이지 못하게 고정하고 신선한 해수를 지속적으로 흘려주었다. 또한 빛에 대한 스트레스를 최소화하기 위해 두부를 타올로 가려주고 데이터로거 삽입 기술을 실시하였다. 복강 절개 부위는 항문 근처로 두부방향으로 절개하였다. 절개는 메스를 이용하여 내장기관이 다치지 않게 주의하여 복부를 절개한 후 데이터 로거를 집어넣고 손가락으로 안쪽으로 밀어 넣어 복강내 자리잡게 한 다음 수조로 재수용하였다. 데이터 로거 회수를 위해 시술된 어류의 등지느러미 기저부에 표식 장치를 부착하였다.

본 시연에서 참다랑어 2 마리에 데이터로거를 삽입하였으나, 다음날 모두 폐사하였는데 어체중에 비해 준비된 데이터로거의 크기가 너무 대형인 것이 원인으로 판단되었다. 따라서 어체중에 적합한 데이터로거의 선택이 매우 중요하다는 점이 확인되었다. 폐사된 개체의 데이터 로거 삽입 위치를 확인한 결과, 삽입은 위 부위를 전체적으로 감싸는 형태로 정상적으로 삽입된 것을 확인하였다.



그림 53. 데이터 로거 삽입시술(좌), 데이터 로거 삽입 후 확인(우)

3) 데이터 로거 활용방안

데이터 로거는 참다랑어의 외해수중가두리내의 행동특성 파악을 통한 사육관리기술개발에 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 또한 어류의 생리변화를 측정하여 소화 및 생리특성 변화를 통한 사료 개발 등에 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 핸들링이 어렵고 피부가 약한 참다랑어에 적용하기 이전에 방어류, 고등어 등을 이용한 삽입기술 및 데이터 해석 능력을 배양한 후 참다랑어에 적용한다면 시행착오를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구진은 2011년에 방어류를 이용한 데이터 로거 삽입 능력 및 데이터 활용 방안을 검토한 후 2012년부터 본격적으로 참다랑어에 적용할 계획이다.

라. 부위별 영양특성 및 중금속 평가

1) 필요성 및 방법

참다랑어의 품질을 평가하는 주요 요소 중에 하나는 지방함량이며, 지방이 주로 축적된 복부 부근의 근육은 가장 고급 부위로 평가된다. 지중해, 호주 등에서 자연산 참다랑어를 채포하여 단기간 사육에 따른 품질 개선을 통한 수익증가는 결국 어체 지방축적을 통한 품질개선이다.

또한 다랑어류를 비롯한 회유성 어류는 체내 수은 함량이 높다는 것이 알려져 있으며, 참다랑어의 경우는 최상위 포식자로서 체내 수은 함량이 어체중 증가에 따라 직선적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 일본은 양식산의 체내 수은 함량이 자연산보다 낮으며, 먹이 조절을 통해 수은 함량을 저하시키는 연구를 진행하고 있다. 그러나 아직까지 초기 종묘단계의 수은 축적에 관한 연구내용은 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 참다랑어의 초기 종묘 시기의 지방 및 수은 축적 경향을 파악하여 앞으로 품질관리를 위한 양식관리기술개발에 활용하고자 한다. 분석에 사용된 참다랑어는 '09년 어획되어 외해수증가무리에 수용하여 사육하는 과정에서 0.5~3 kg의 개체를 단계적으로 샘플링하여 사용하였다. 분석 부위는 등근육과 배근육으로 나누어 각 부위를 다시 3등분하여 각각의 부위에 대해 조지방 함량과 수은 함량을 분석하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 수은은 자동수은분석기를 이용하여 측정하였다.

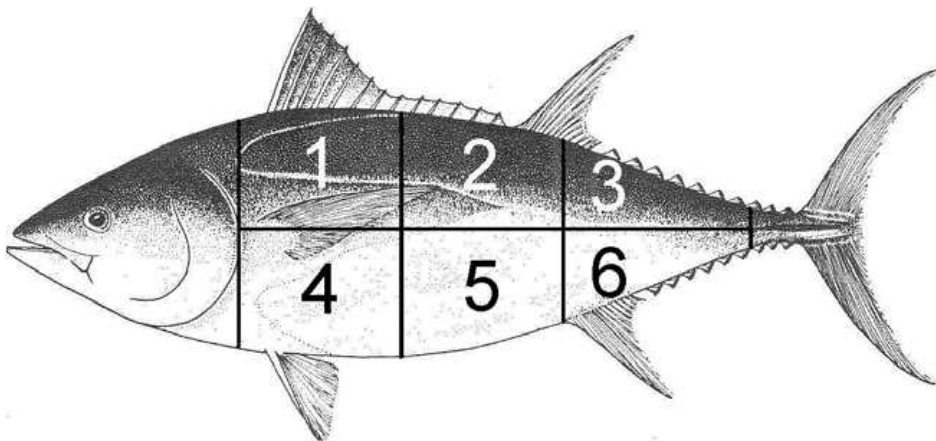


그림 54. 참다랑어 어체 지방, 수은 분석 부위

2) 분석 결과

가) 지방

등근육 지방함량은 500 g 내외의 개체는 3~4% 범위이었으나 등근육 앞부분(Front)은 어체중 증가에 따라 직선적으로 증가하여 3 kg내외의 개체는 30% 이상을 나타내었다. 다른 부위도 2 kg 이상부터 급속히 증가하여 3 kg 내외의 개체는 중간(Middle) 및 꼬리부

위(Rear)도 30~49% 함량을 나타내었다.

배근육도 유사한 증가 경향을 보였으나 어체중 1.5 kg 이상에서 앞부분(Front, 일명 대뱃살)은 40%를 넘는 것도 조사되었다. 또한 등근육보다는 전체적으로 높은 조지방 함량을 보여 3 kg 내외의 개체는 40~50% 함량을 나타내었다.

자연에서 어획되어 인위적으로 먹이를 공급하는 참다랑어는 단기간에 지방의 축적이 빠르게 진행되며 출하 크기의 양식산 참다랑어(30~40 kg 이상)의 조지방 함량과도 유사한 수치에 도달하는 것으로 밝혀졌다.

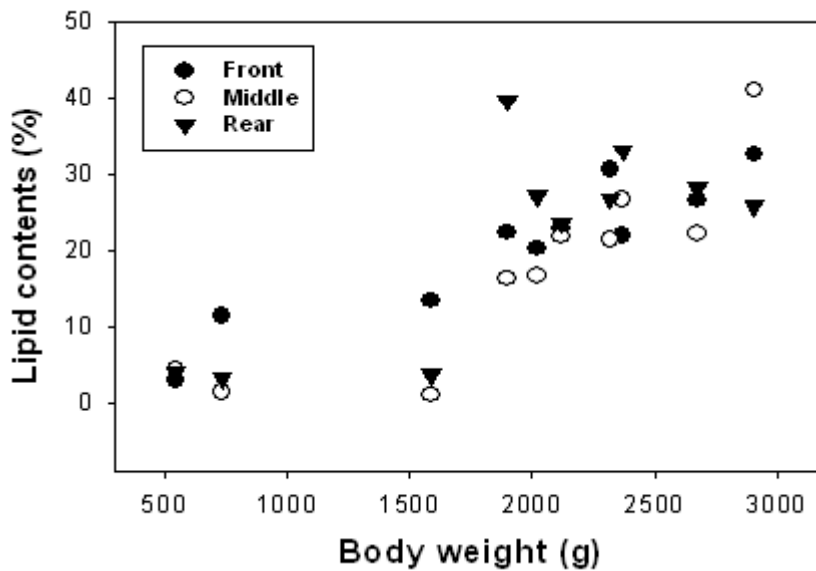


그림 55. 참다랑어 등근육의 조지방 함량 변화

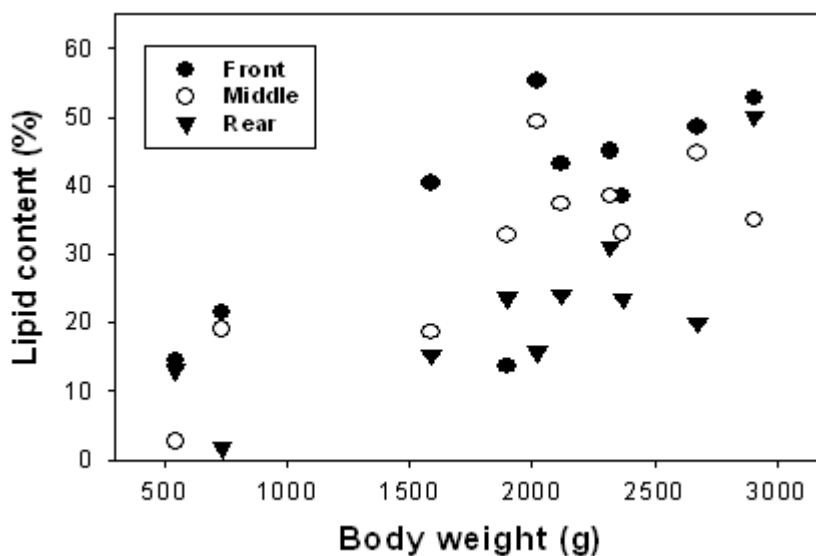


그림 56. 참다랑어 배근육의 조지방 함량 변화

나) 수은

자연에서 채포된 참다랑어 500 g 내외의 개체는 0.003~0.005 ppm 범위이었으나, 1.5 kg 이상의 개체에서는 0.03~0.05 ppm 범위를 나타내었다. 간의 수은 축적 함량은 어체중 증가에 따라 점차 증가하는 경향을 보여 3 kg 내외의 개체가 0.037 ppm을 나타내었다.

등근육과 배근육의 수은함량 차이는 관찰되지 않았으며, 어체 조지방 함량이 단기간에 20~30 kg 급 개체의 조지방 함량과 유사한 값을 나타낸 것과는 달리 단기간의 수은 축적은 보이지 않았다. 출하 크기의 양식산 참다랑어 수은 함량은 0.5 ppm으로 보고되고 있어 이후 출하 크기까지의 수은 축적에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 보인다.

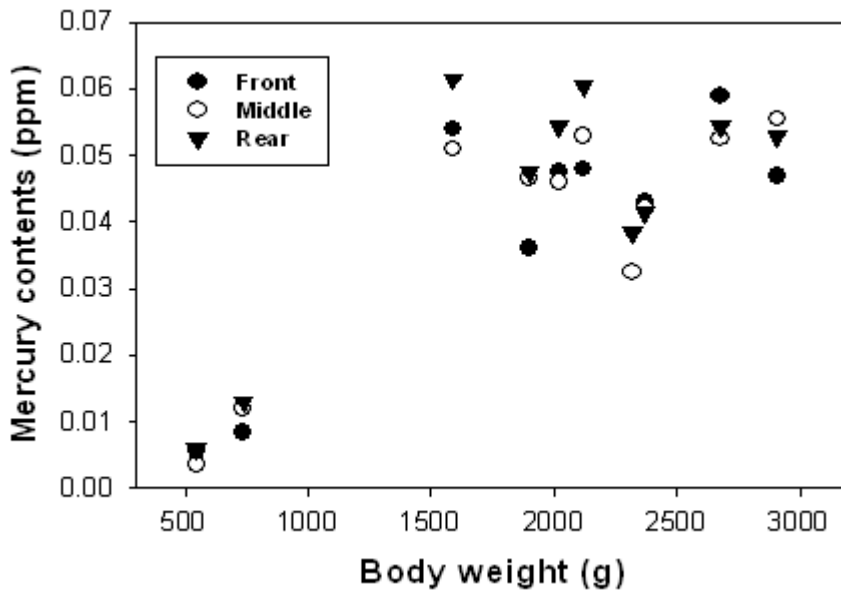


그림 57. 참다랑어 등근육 수은함량

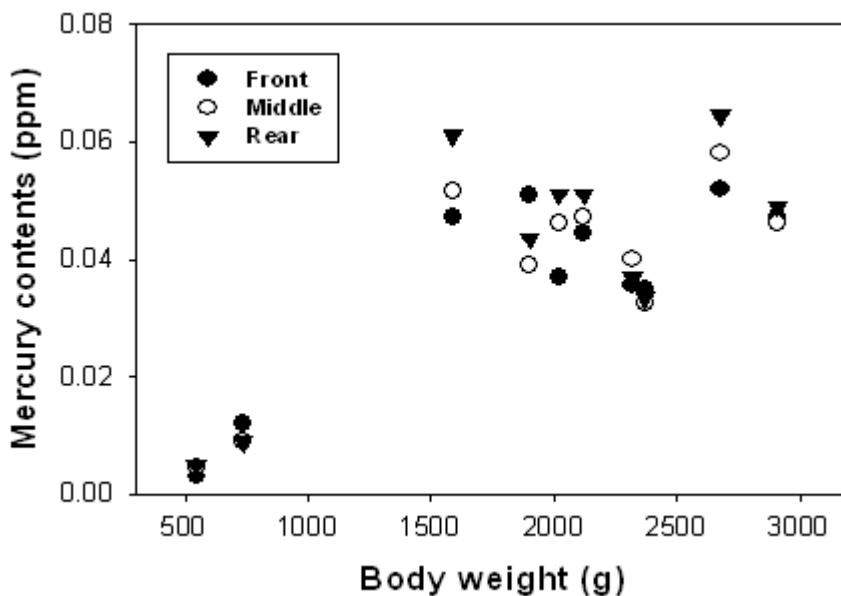


그림 58. 그림. 참다랑어 배근육 수은함량

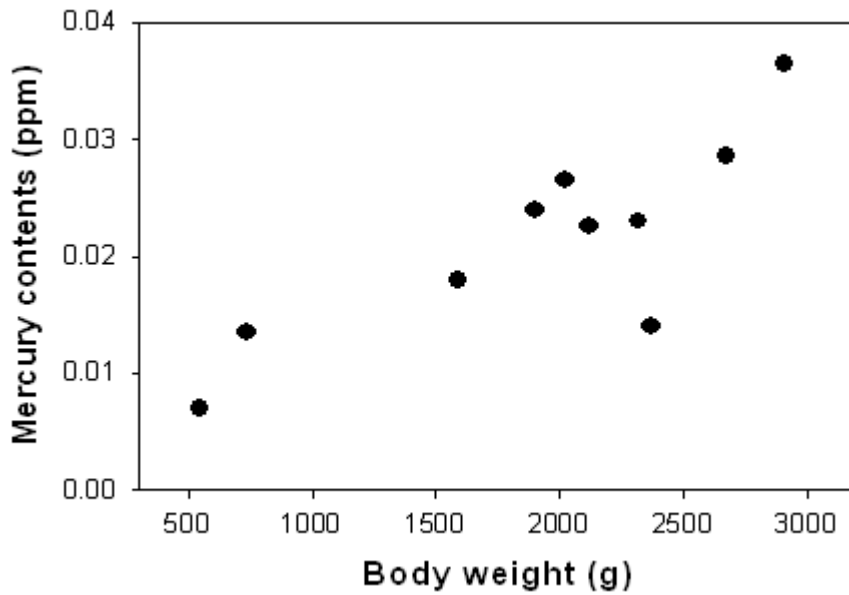


그림 59. 참다랑어 간 수은함량

5. 양식어장 환경평가

가. 수온

1) 측정 해역 및 방법

참다랑어 어미후보군을 사육관리하고 있는 제주도 서귀포시 표선면 외해수증가두리 양식장의 연중 수온을 조사하였다. 또한 제주도 근해의 수온 비교를 위해 북쪽 지역은 외도 앞바다, 남쪽 지역은 위미 앞바다의 수온을 조사하여 외해수증가두리 해역의 수온과 비교하였다. 외도와 위미 지역은 디지털 수온계를 이용하여 표층의 수온을 측정하였으며, 외해수증가두리는 가두리가 시설되어 있는 중층(20 m 전후)의 수온을 측정하였다.

2) 지역별 수온변화

2010년 수온 분포를 계절변화에 따른 해역별 특성을 비교해 보면, 12월부터 2월까지 동절기는 외해수증가두리 해역의 수온이 가장 높고 외도 해역이 낮은 값을 보였다. 외도 지역은 10월부터 월 평균 수온이 3개 지역 중 가장 낮은 값을 나타내었다. 6월 이후부터 8월까지의 하절기는 외도지역이 가장 높은 값을 보였으며, 8월의 최고수온은 29.8℃로 24.0℃의 외해수증가두리 해역보다 5℃이상 높은 값을 보였다. 이러한 수온의 차이는 외해가두리 해역은 수중 20 m 부근의 수온을 측정된 반면, 2개 지역은 표층 수온의 측정된 것이 영향을 준 것으로 판단된다. 외해가두리 지역과 인접한 위미의 경우는 29.0℃로 외도 지역과 큰 차이를 보이지 않았다. 최저 수온은 모두 2월에 나타났는데 외도와 위미는 각각 10℃와 11.2℃이었으나 외해가두리 해역은 14.0℃로 가장 높은 값을 보였다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

표 11. 각 지역의 월별 최저·최고 수온 비교

월별 최저·최고수온													
지역		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
외도	최저	12.8	10.0	12.4	13.4	16.5	16.6	18.9	25.5	20.1	17.8	14.5	13.7
	최고	14.0	14.5	14.6	15.7	17.9	21.1	27.2	29.8	26.7	22.5	18.8	17.5
표선	최저	15.4	14.0	14.1	14.2	14.9	16.5	16.8	20.6	18.9	20.3	18.2	16.5
	최고	16.8	15.6	14.9	15.3	16.7	19.2	22.6	24.0	24.5	23.4	22.5	20.1
위미	최저	12.0	11.2	12.0	13.0	15.0	17.7	18.5	21.3	23.1	19.9	18.3	13.8
	최고	16.0	15.0	15.2	16.0	17.7	20.7	25.0	29.0	26.3	25.3	21.4	19.6

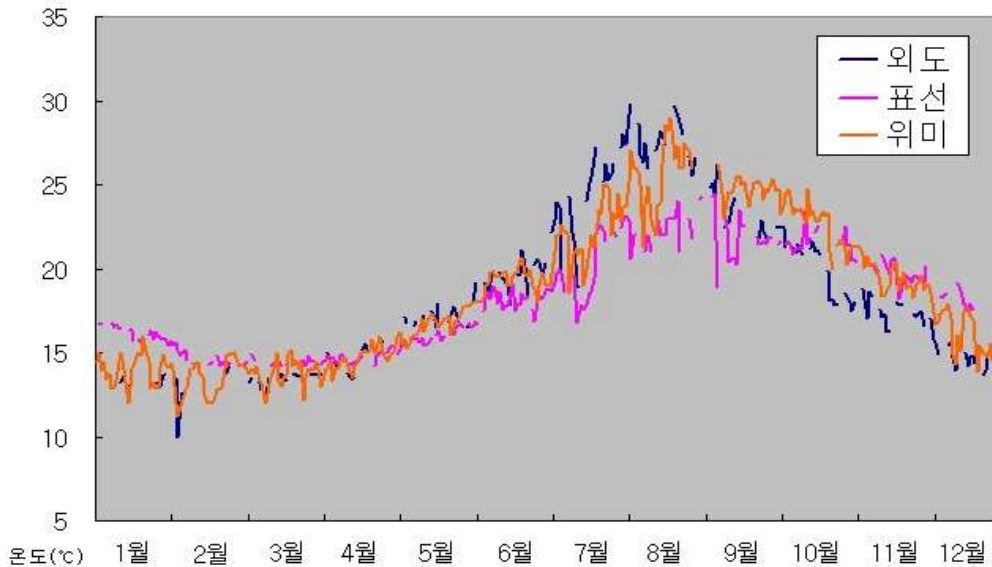


그림 60. 각 지역별 연중 수온 변화

수온의 상승은 조사해역이 표층인 외도와 위미에서 빠르게 상승하여 외도 지역은 5월부터 최고 수온이 외해가두리 해역보다 1°C 이상 높은 값을 유지하였다. 그러나, 외도지역은 수온 하강도 빠르게 진행되어 10월의 경우 최저 수온이 17.8°C로 외해가두리 해역의 20.3°C보다 2.5°C 낮은 값을 보였다. 각 해역별 수온 변화 폭을 보면, 외도 지역이 10.0°C~29.8°C로 약 20°C 가까운 변화 폭을 나타내었으며, 표선 외해수중가두리 해역은 14.0~24.5°C로 외도지역의 약 절반 정도의 수온 변화 폭을 나타내었다. 참다랑어의 적정 사육수온은 25°C 전후로 알려져 있는데, 외해수중가두리 해역은 23~25°C 유지하는 기간이 다른 지역보다 긴 것으로 나타나 참다랑어 사육에 적절할 것으로 판단되었다.

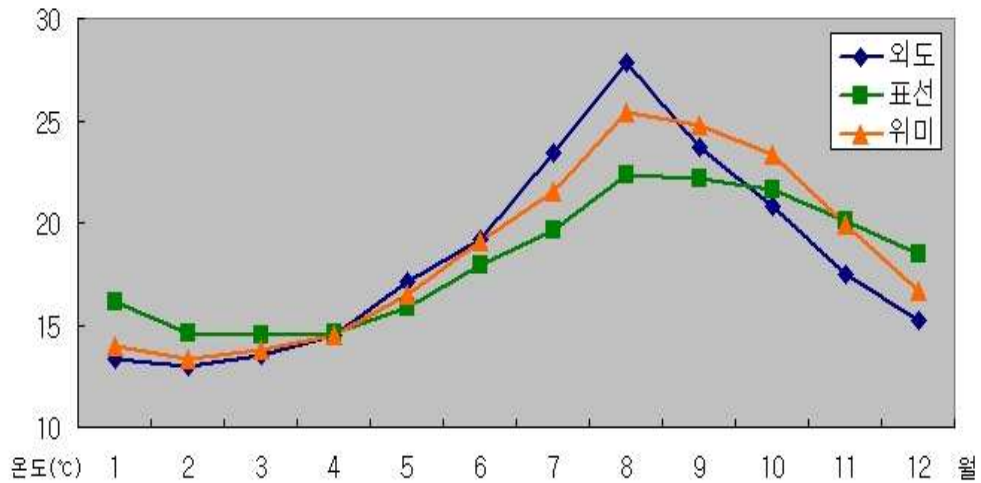


그림 61. 각 지역별 월별 평균수온변화

3) 외해수증가두리 수층별 수온 변화

참다랑어 수증가두리가 설치된 해역에 수심 12m, 22m, 32m에 자동온도 측정 장치를 설치하고 3일간 수층별 수온 변화를 측정하였다. 조사시기는 겨울철 1월 1일~3일까지로 72시간을 10분 단위로 연속 측정하였다. 조사결과 수심별 유의적인 차이는 없었으며, 수온약층의 형성도 관찰되지 않았다. 3일간의 수온 변화 중 중층인 22m 지점에서 약 0.1~0.2°C 낮은 수온이 지속적으로 관찰되었는데, 조사장비의 측정 오차 범위내의 수온 차이로 단순한 측정장비의 오차인지 환경의 차이인지는 추후 면밀한 검토가 필요하다. 또한 본 조사는 1월에 일시적으로 실시되었으나 연중, 계절별, 수심별 수온 변동 조사를 통한 외해양식 어장의 환경변화 및 특성에 대한 정확한 판단자료 마련이 시급할 것으로 생각된다.

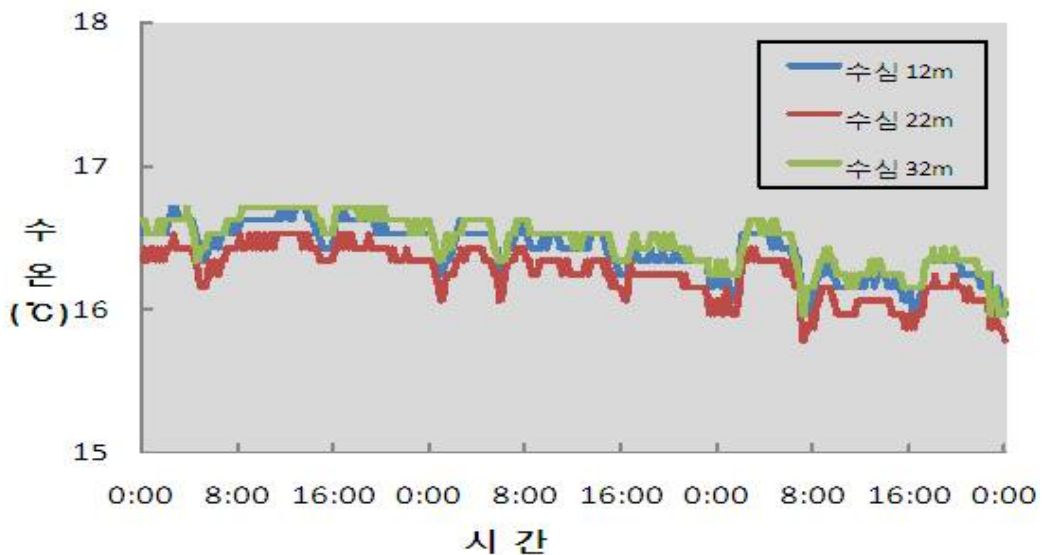


그림 62. 그림. 외해수증가두리 해역의 수심별 수온변화(72시간)

나. 해양환경 화학분석

1) 수질 환경조사 방법

DO, pH는 다목적수질측정기(YSI, YSI 6600)로 현장 관측하였고, 영양염류, 화학적산소 요구량(COD) 등 일반수질항목은 해양환경공정시험법(해수부, 2005)에 따라 분석하였다. 수질분석을 위한 시료채취 정점은 참다랑어 사육가두리를 기준으로 동쪽으로 0(정점 1), 100(정점 2), 200(정점 3), 500(정점 4) m, 북쪽으로 100(정점 5), 200(정점 6)m에서 시료를 상층, 중층, 하층으로 구분하여 채취하였다.

2) 수질 환경조사 결과

가) DO, pH

DO 분포를 수층별로 보면, 표층에서 7.94~8.95 mg/L (8.53 ± 0.36 mg/L), 중층에서 7.48~8.03 (7.72 ± 0.24), 저층에서 7.19~8.67 (7.61 ± 0.54)이었다. 표층에서 가장 높은 값을 보인 반면 중층과 저층은 유사한 값을 보이고 있다. 정점별로 값에 차이를 보이고 있지 않았다.

수층별 pH 분포는 표층에서 7.98~8.24(8.11 ± 0.10), 중층에서 7.83~8.20(8.02 ± 0.14), 저층에서는 7.87~8.16(7.99 ± 0.11)이었다. 표층에서 높고 저층에서 낮은 전형적인 경향을 보여 주고 있다. 정점별로 살펴보면, 가두리 중앙(정점 1)부에서 바깥쪽으로 멀어질수록 pH는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 pH의 감소의 정확한 원인에 대해서는 추후 면밀한 검토가 필요하다.

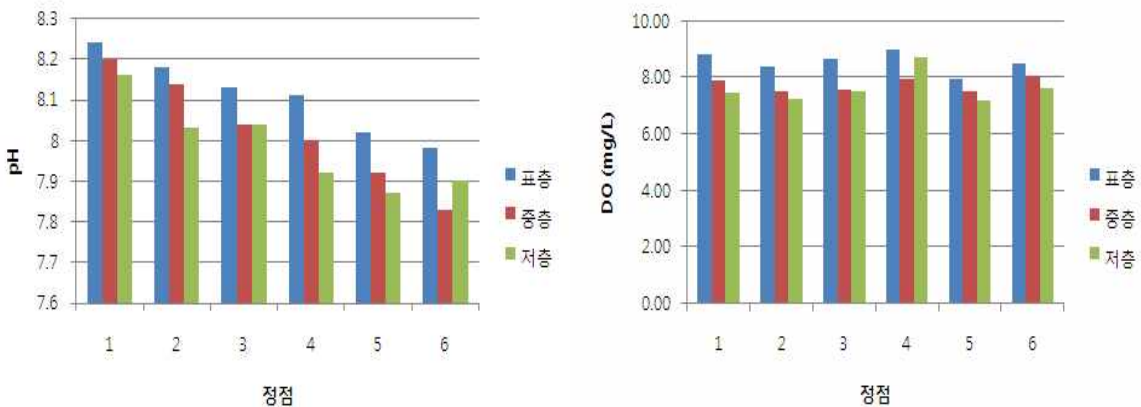


그림 63. 가두리 양식장 주변의 수심별 DO 농도 및 pH 분포.

나) 유기물질(COD, Chl.a)

COD 농도를 수층별로 보면, 표층에서 1.20~2.12 mg/L (1.85 ± 0.48 mg/L), 중층에서 1.32~2.12(1.63 ± 0.29), 저층에서 1.24~1.92(1.49 ± 0.26)이었다. 표층에서는 가두리 중심부 보

다 정점 2에서 높은 값을 보이고 멀어질수록 COD가 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 중층에서는 거리가 멀어질수록 높은 값을 보이고 있다. 저층에서는 가두리 중심부가 높은 값을 보인 반면 거리가 멀어지수록 값은 낮아지는 경향을 보이고 있다.

Chl. a(클로로필 a) 농도는 표층에서 0.51~1.04 ug/L (0.64 ± 0.20 ug/L), 중층에서 0.55~0.99(0.65 ± 0.17), 저층에서 0.59~0.80(0.63 ± 0.08)이었다. 수심별로는 가두리 중심부에서 표층 및 중층에서 유사한 값을 보이고 저층이 다소 낮은 값을 보이고 있으며, 타 정점에서는 큰 차이를 보이고 있지 않지만, 정점별로 봤을 때, 가두리 중심부에서 가장 높은 값을 보인 반면, 거리가 멀어질수록 큰 차이 없이 유사한 값을 보이고 있다.

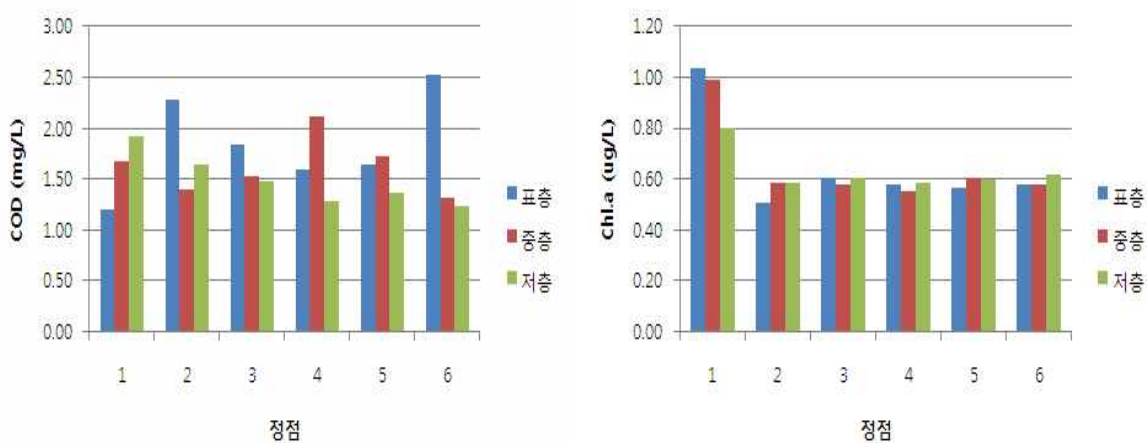


그림 64. 가두리 양식장 주변의 수심별 COD 및 Chl. a 분포.

다) 영양염류

DIN의 농도는 표층에서 0.031~0.064 mg/L (0.042 ± 0.013 mg/L), 중층에서 0.058~0.086(0.073 ± 0.011), 저층에서 0.086~0.125(0.103 ± 0.014)이었다. 표층의 경우 가두리 중심부에서 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 중층과 저층에서는 정점 2에서 최고값을 보이다 멀어질수록 낮아지는 경향을 보이고 있다.

TN의 농도는 표층에서 0.071~0.140 mg/L (0.099 ± 0.027 mg/L), 중층에서 0.083~0.201 (0.127 ± 0.042), 저층에서 0.114~0.197(0.138 ± 0.033)이었다. 전체적으로 가두리 중심부에서 낮은 값을 보이다 거리가 멀어질수록 높은 값을 보이고 있다. 또한 총질소 중 유기질소의 성분이 수심별로 표층에서는 53.1%, 중층에서는 38.4%, 저층에서는 21.6%로 정점별로 가두리 중심부(정점 1)가 16.1%, 정점 2에서 18.9%, 정점 3에서 29.9%, 정점 4에서 49.9%, 정점 5에서 47.7%, 정점 6에서 63.7%로 상대적으로 다량의 유기성분이 수층에 머물러 있다고 할 수 있다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

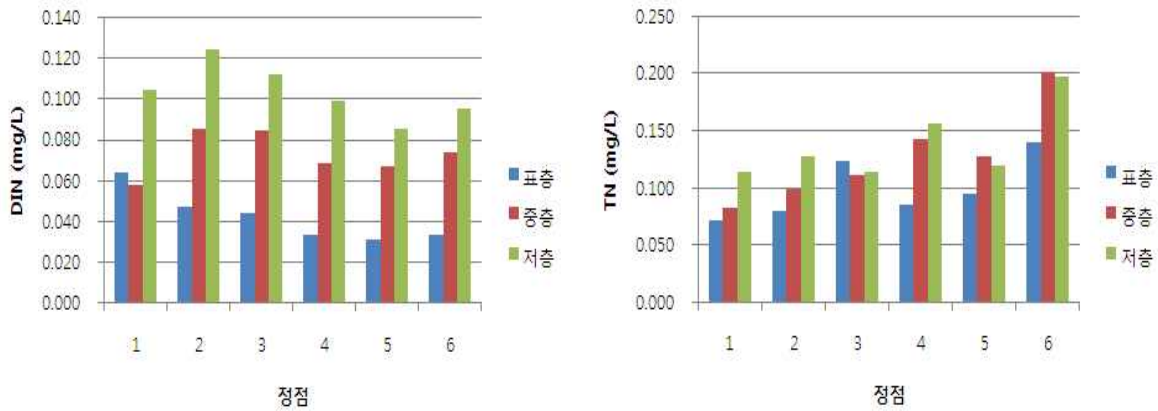


그림 65. 가두리 양식장 주변의 수심별 DIN 및 TN 분포.

표 12. 총질소에 대한 유기질소의 수심별 정점별 평균 분률(%)

정점 \ 수심	표층	중층	저층	평균
정점 1	10.1	29.8	9.3	16.1
정점 2	40.3	13.6	2.7	18.9
정점 3	63.9	24.0	1.7	29.9
정점 4	61.0	52.0	36.7	49.9
정점 5	67.3	47.8	28.1	47.7
정점 6	75.9	63.4	51.8	63.7

DIP의 농도 분포는 수심별로 표층에서 0.000~0.004 mg/L (0.002±0.001 mg/L), 중층에서 0.003~0.007(0.005±0.001), 저층에서 0.008~0.014(0.011±0.002)이었다. 표층과 중층의 경우 정점 2에서 가장 높은 값을 보이고 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있으며 저층에서는 정점 3에서 최고값을 보이다 멀어질수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 저층에서는 표층과 중층에 비해 매우 높은 값을 보이고 있다.

TP의 농도 분포는 표층에서 0.002~0.013 mg/L (0.007±0.004 mg/L), 중층에서 0.006~0.018(0.012±0.005), 저층에서 0.010~0.022(0.015±0.004)이었다. 전체적으로 가두리 중심부에서 낮은 값을 보이다 거리가 멀어질수록 높은값은 보이고 있다. 표층에서는 가두리 중심부에서 가장 낮은 값을 보이다 정점 3에서 가장 높은 값을 보이고 중층 및 저층에서는 정점 4에서 가장 높은 값을 보이고 있다. 또한 총인 중 유기인의 성분이 수심별로 표층에서는 59.2%, 중층에서는 51.1%, 저층에서는 25.9%이며, 정점별로 가두리 중심부(정점 1)가 19.7%, 정점 2에서 6.5%, 정점 3에서 55.4%, 정점4에서 63.6%, 정점 5에서 59.5%, 정점 6

에서 67.8%로 상대적으로 다량의 유기성분이 수층에 머물러 있다는 TN 결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

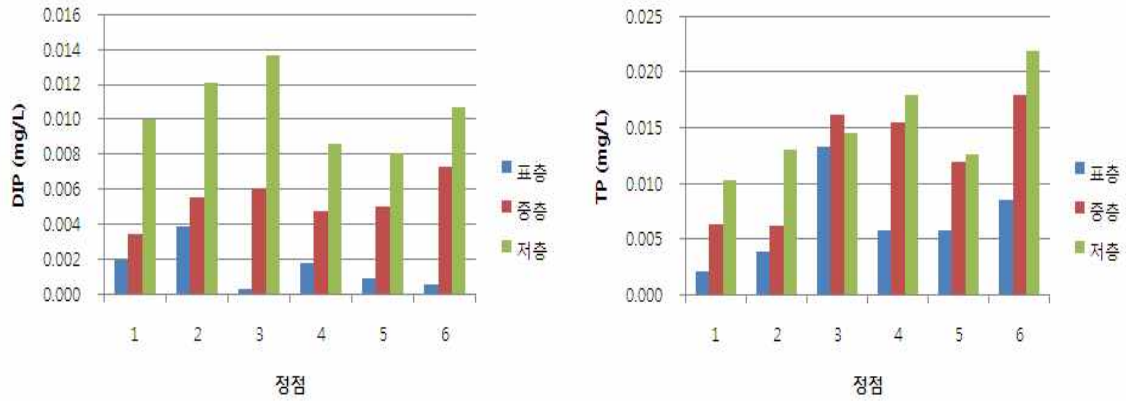


그림 66. 가두리 양식장 주변의 수심별 DIP 및 TP 분포.

표 13. 총인에 대한 유기인의 수심별 정점별 평균 분률(%)

정점 \ 수심	표층	중층	저층	평균
정점 1	9.3	46.5	3.3	19.7
정점 2	1.0	11.5	7.1	6.5
정점 3	97.8	62.3	6.1	55.4
정점 4	69.6	69.2	51.9	63.6
정점 5	84.8	57.5	36.3	59.5
정점 6	93.0	59.4	51.0	67.8

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

외해 참다랑어 양식기술 연구개발

제 3 장
연구개발 수행내용 및 결과

제 2 절
내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발제



제 2 절 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

1. 참다랑어 종묘확보 및 양성시험

가. 종묘확보

어미화 사육시험을 위한 종묘확보는 2010년 일본 우화지마해역에서 어획한 자연산을 인성수산에서 9월 20일경 이식하여 순치사육한 종묘 200마리를 구입하였다. 구입 당시 종묘의 크기는 전장 38~48 cm(평균 39.4 cm), 체중 0.8~1.8 kg(평균 1.4 kg)이었다. 구입한 종묘는 통영 육지도에서 거문도 덕촌리로 이송하여 중간육성을 실시하였다.

당초 종묘확보는 우리나라 연안에서 어획시험을 통하여 자연산을 확보할 계획이었으나, 남해안으로 회유하는 자원량 급감으로 인하여 확보가 곤란하여 일본 자연산을 이식하여 확보하였다. 이송작업은 100톤 활어운반선을 이용하였으며, 활어선으로 선적을 미늘을 제거한 방어용 낚시를 이용하여 이동하였다. 육지도에서 거문도까지의 이송시간은 약 7시간 소요되었다(선박속력 8~9 knot). 거문도 현지에서 가두리 이송은 활어칸에 검은색 타포린 천을 덮어 썩은상태에서 가두리그물과 활어선 수문을 연결하여 출구로 유인하여 이송하였다. 이송과정에서 외상에 의하여 10마리가 폐사하였다.

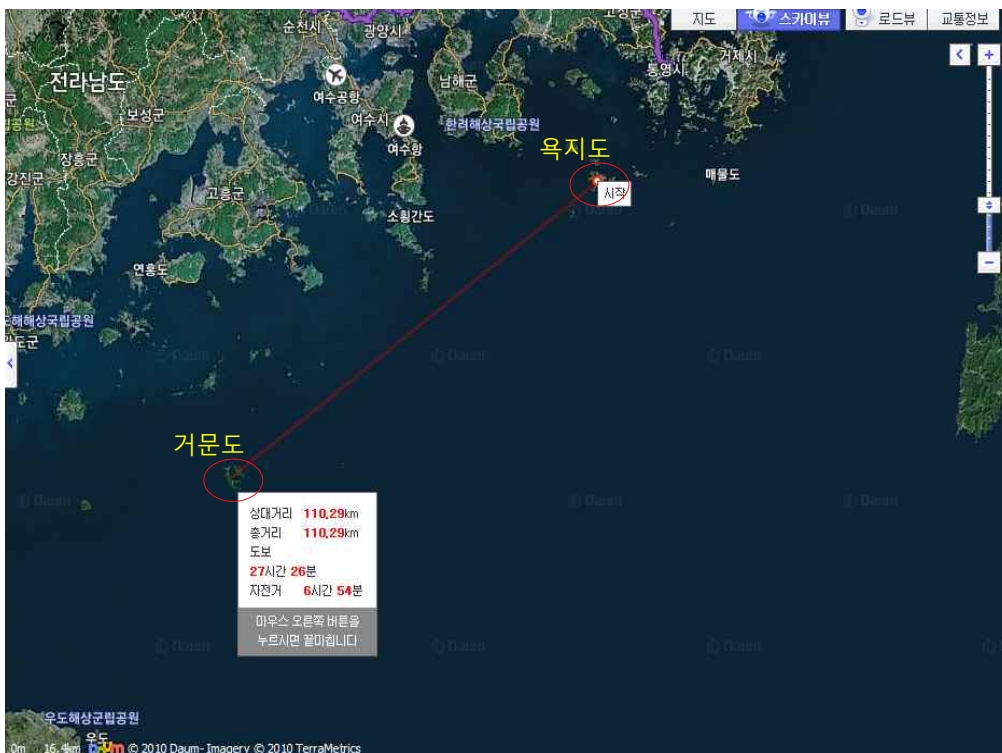


그림 67. 참다랑어 이송경로(육지도→거문도).



그림 68. 그림. 참다랑어 활어선 선적작업.

나. 양성시험

양성시험은 통영 육지도 연구교습어장과 여수 거문도 시험어장에서 실시하였다. 시험어는 인성수산에서 보유하고 있는 3,179마리와 남서해수산연구소에서 확보하여 사육중인 215마리를 대상으로 양성시험을 실시하였다. 시험어 중 '07년산과 '08년산은 육지도 인근 정치망에서 어획하여 사육중이고, '10년산은 일본 우화지마 및 대마도에서 자연산을 이식하여 사육하였다.



그림 69. 참다랑어 연구교습어장(통영 육지도).



그림 70. 참다랑어 시험어장(여수 거문도).

제3장 연구개발수행내용 및 결과

사육은 내파성 원형가두리(ø 20 m)에 분산 수용하여 사육하였으며, 2010년산 연구소 시험어는 거문도 내파성 사각가두리(14×14×8m) 1조에 수용하였다. 2010년산 자연산 참다랑어 종묘는 일본 우화지마 해역에서 어획된 자연산 치어를 이식하였으며, 종묘 입식후 순치과정은 입식당일 5시간 후에 까나리와 크릴새우를 혼합 공급하여 활발한 섭식상태를 보여 정상적으로 순치가 이루어졌다. 먹이공급은 입식에서부터 약 3개월(체중 2kg내외)까지는 소형 까나리와 크릴새우를 공급하였으며, 그 이후부터는 대형 까나리와 소형의 전갱이를 혼합 공급하면서 먹이전환을 실시하였다. '07~'08년산은 고등어 및 전갱이를 1일 1~2회 공급하였으며, 1일 공급량은 어체중의 약 5~10% 내외를 공급하였다. 참다랑어는 수온이 13℃이하 조건에서는 먹이활동이 둔화하는 현상을 보였다. 특히 10℃내외에서는 섭이량이 평상시의 약 10~20%로 급격히 떨어지는 경향을 보여 2~3일에 1회 먹이를 공급하였으며, 공급량도 체중의 1~2%를 공급하였다. 2009년산 참다랑어 종묘는 겨울철 월동과정에서 저수온 조건이 장기간 지속되어 전량 폐사하였다.

표 14. 참다랑어 사육 현황

구 분	사육장소	사 육 마리수	확보방법	사육시설	
연구소	'08년산	통영 옥지도	27	자연산, 이식	내파성가두리 1조 (ø20×10m)
	'10년산	여수 거문도	188	자연산, 이식	내파성가두리 1조 (14×14×8m)
인성수산	'07년산	통영 옥지도	10	자연산, 정치망	내파성가두리 1조 (ø20×10m)
	'08년산	“	203	자연산, 정치망	내파성가두리 1조 (ø20×10m)
	'10년산	“	2,964	자연산, 이식	내파성가두리 5조 (ø20×10m)

※ 2009년산 934마리(연구소 50마리, 인성수산 884마리)는 2~3월 전량폐사

다. 성장 및 생존율 조사

1) 성장조사 방법

성장도 조사는 음향카메라시스템(Dual-Frequency IDentification SONar; DIDSON) 및 3차원 어류측정시스템(3D Stereo vision & Reconstruction)을 적용하여 4월과 8월에 조사하여 비교, 분석하였다. 음향카메라시스템은 수중음향시스템과 유사한 방식의 2 주파수를 이용한 수중음향카메라(Underwater Acoustic Camera, Dual Frequency IDentification SONar

; DIDSON)가 미국 Ocean Marine Industries Inc.에서 개발되어 전 세계적으로 해양생물학 및 구조해석분야에서 크게 호응을 얻고 있는 모델이다.

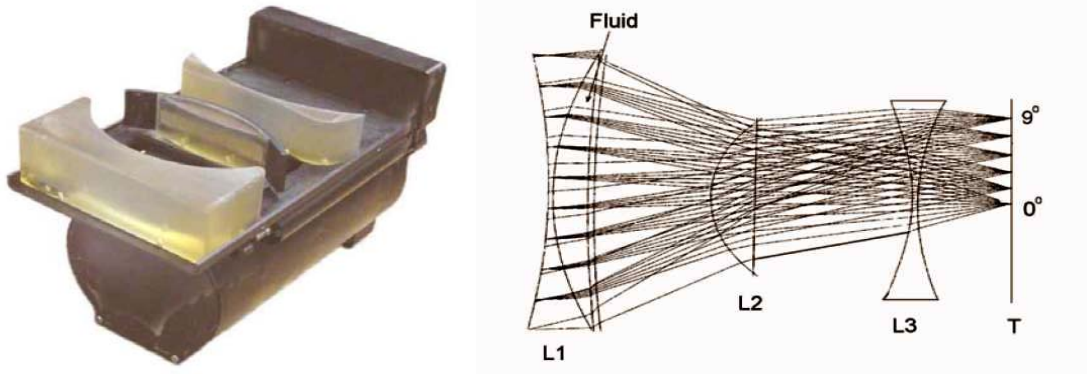


그림 71. 수중음향카메라시스템의 음향원도우내부구조(좌), 음향원도우의 영상처리방식(우).

본 실험에서 사용한 음향카메라는 1.8MHz와 1.1MHz의 초음파를 이용하여 정밀한 초음파 영상을 최대 21프레임의 화상으로 저장할 수 있다. 1.8MHz는 폭 0.3°의 빔을 수평으로 96개, 1.1MHz는 폭 0.6°의 빔을 수평으로 48개를 방사하여 수평각도 약 29°, 수직각도 약 12°의 영역을 탐지할 수 있다. 또한 탐지가능거리는 고해상도(1.8MHz)에서 최대 12m, 저해상도(1.1MHz)에서 최대 40m까지 관찰할 수 있다.

표 15. 실험에 사용된 음향카메라 제원

High-frequency mode	
Operating frequency	1.8MHz
Beamwidth(2-way)	0.3° horizontal by 12° vertical
Number of beams	96
Low-frequency mode	
Operating frequency	1.1MHz
Beamwidth(2-way)	0.4° horizontal by 12° vertical
Number of beams	48
Both modes	
Field of view	29°
Power consumption	30W typical
Weight in air	7.0kg
Weight in water	-0.61kg
Dimensions	171mm×307mm×206mm

제3장 연구개발수행내용 및 결과

본 조사에서는 통영 육지도 참다랑어 연구교습어장에서 Trial-1('08년산-I), Trial-2 ('07년산), Trial-3('08년산-II)을 음향카메라를 이용하여 4월과 8월에 조사한 결과를 분석하였다. 참다랑어의 성장도 조사는 음향카메라를 가두리내부에 설치하여 각 가두리별 참다랑어의 유영상태에서 음향카메라로부터 참다랑어가 주로 유영하는 거리에 초점을 두고 1초당 10프레임의 자료를 지속적으로 수집하였으며, 자료 분석과정에서 초음파 빔을 상하로 움직이는 경우는 크기의 측정오차가 발생되어 좌우로 유영하는 개체를 대상으로 크기를 측정하였다.

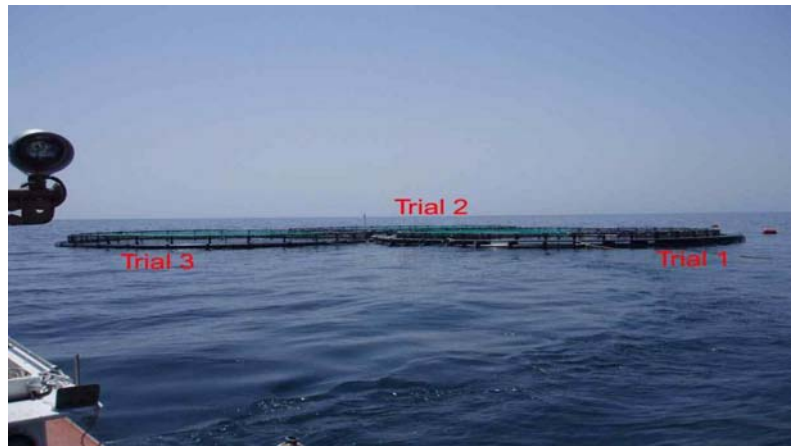


그림 72. 연구교습어장내 참다랑어 시험가두리.

2) 성장조사 결과

연구교습어장에서 양성시험 중인 참다랑어의 성장도는 4월과 8월에 측정한 자료를 분석하여 참다랑어의 크기분포로 나타내었다. Cage-1('08년산, 연구소)의 경우, 4월에는 참다랑어의 크기분포가 가랑이체장 이 109.9 ± 6.8 cm, 8월에는 127.3 ± 6.7 cm로 약 1.2배 정도 성장하였고, 체중은 28~32 kg 범위이었다. Cage-2('07년산)는 4월에는 137.8 ± 5.9 cm, 8월에는 148.7 ± 6.4 cm로 약 1.1배정도 성장하였고, 체중은 65~70 kg이었다. Cage-3('08년산, 인성)은 4월에는 95.5 ± 8.6 cm, 8월에는 119.4 ± 5.9 cm로 약 1.3배 성장하였고, 체중은 24~27 kg 범위로 조사되었다.

2009년 5월에 측정한 자료를 기준으로 현재 체장 120 cm급은 1년간 1.5배정도 성장하였으며, 체장 150 cm급은 1년간 1.3배 성장하였다.

또한 가두리내 유영행동특성을 관찰한 결과, 참다랑어의 유영속도는 150 cm급 참다랑어는 1.33 TL/sec, 120 cm급 참다랑어는 1.51 TL/sec로 유영하는 것으로 나타났다.

생존율은 2009년 대비 '07년산 어미가 전량 생존하였으며, '08년산은 93~98%로 조사되어 양호한 생존율을 보였으나, '09년산 치어는 1~4월까지 10℃내외의 저수온이 지속되는 시기에 전량 폐사하여 어린 참다랑어에 있어 월동대책을 강구해야 할 것으로 판단되었다.

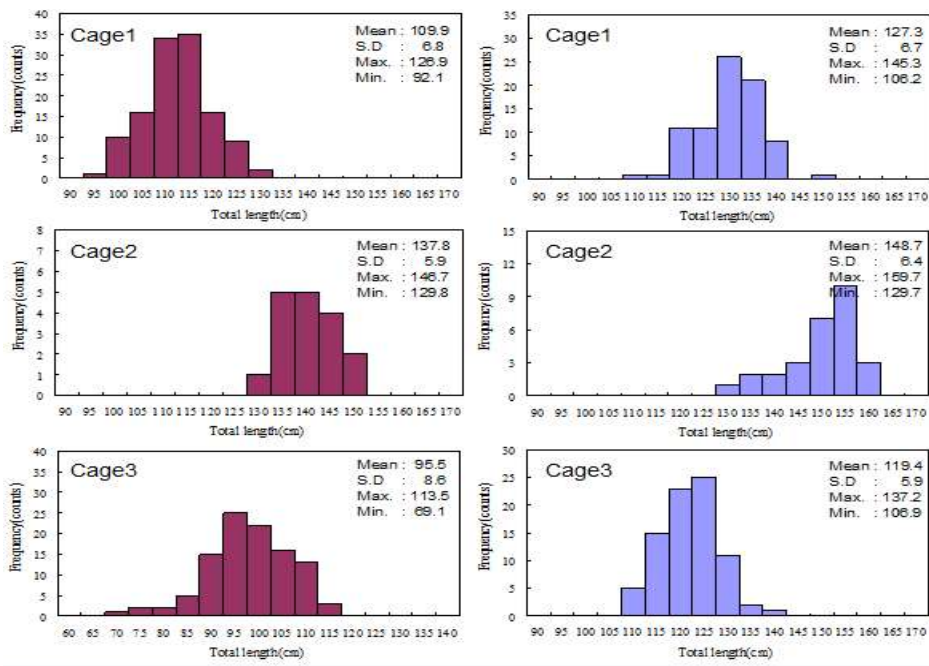


그림 73. 가두리내 참다랑어의 크기분포(좌 : 4월, 우 : 8월).

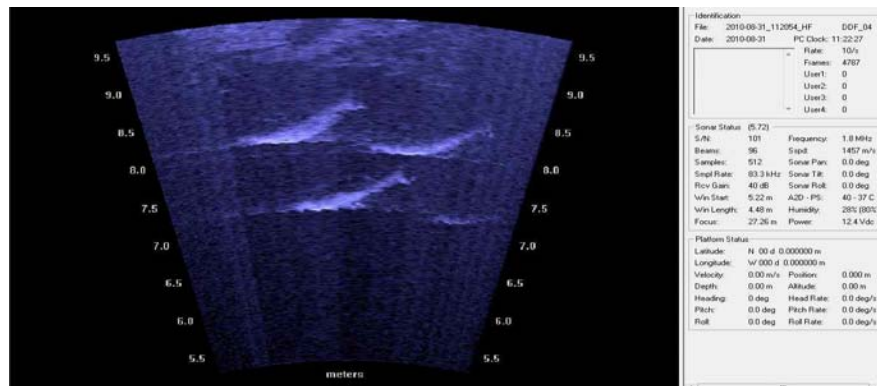


그림 74. 음향시스템을 이용한 가두리내 어체 측정.

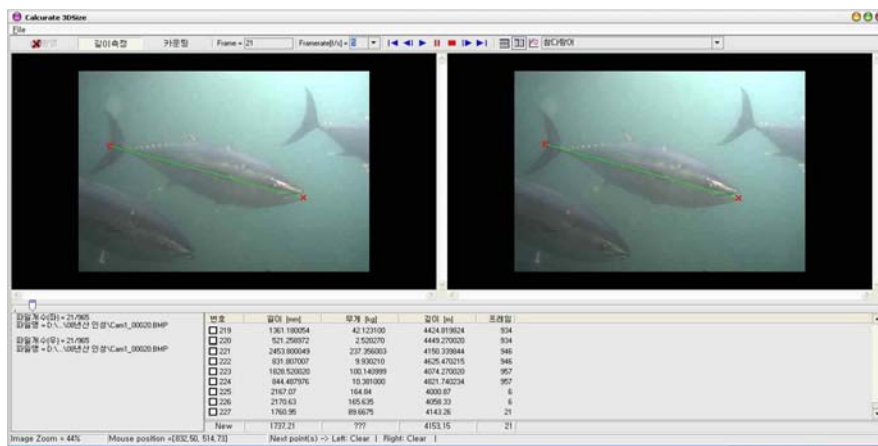


그림 75. 스테레오카메라를 이용한 참다랑어 어체 측정.

라. 참다랑어 수정란 채집 시험

1) 채집 방법

수정란 채집시험은 통영 옥지도 연구교습어장에 사육중인 '07년산 참다랑어 어미 10마리(60~65 kg)를 대상으로 2010년 7월부터 10월까지 약 3개월간 조사하였다.

조사방법은 사육 중인 원형 내파성가두리(Ø 20m 1조)에 자연산란된 수정란을 채집하기 위하여 가두리 그물망 내측으로 타포린 펜스를 설치하여 1일 4회 가두리에 산란상황을 조사하였다.



그림 76. 참다랑어 수정란 채집시설.

2) 참다랑어 수정란 채집 결과

참다랑어 수정란을 채집하기 위하여 '07년산 10마리를 사육중인 가두리에서 약 3개월간 자연산란을 관찰하였으나, 산란은 확인되지 않았으며, 만 3년생으로서 아직 생물학적 최소형에 도달하지 못하여 산란에 참여하지 못한 것으로 추정되었다.

마. 겨울철 대량폐사 원인분석

1) 원인분석 방법

'09년산 종묘의 대량폐사 원인을 분석하기 위하여 폐사체를 대상으로 육안 및 해부학적 진단을 실시하여 시료의 외관 및 내부 기관의 병변여부를 관찰하였으며, 채집한 사료의 신장 및 비장부위를 균질여과 처리후 해산어류의 대표적 바이러스에 대하여 PCR기법을 이용하여 검사하였다.

해양환경 및 기상 자료 분석을 위하여 연구교습어장 내에 설치한 실시간 자동수온관측자료('09~'10)와 연안관측자료('09~'10)를 분석하였고, 기상청(부산지방기상청) 기상자료(풍속, 파고, 특보상황 등)를 통하여 참다랑어 종묘의 폐사원인을 분석하였다.

2) 분석 결과

가) 월동기 수온자료 분석

실시간 수온관측 자료에 의하면 2009년과 2010년의 1~2월중순까지의 월평균 수온은 10.7~12.6℃로서 큰 차이는 보이지 않았으나, 2010년 2월하순부터 4월 중순까지의 평균수온은 2009년과 비교하여 1~2℃정도 낮은 경향을 보였다. 특히 2009년의 경우 3월초부터 연안수온이 지속적으로 상승하는 경향이었으나, 2010년의 경우는 4월 초순까지 11℃ 내외의 저수온 상태가 장기간 누적됨으로써 수온 스트레스를 강하게 받아 생리적으로 약화되어 '09년산 종묘의 대량폐사가 발생한 것으로 추정되었다.

따라서 남해안 겨울철 수온이 10℃이하로 하강하는 경우가 빈번하여, 본격적인 참다랑어 양성에 앞서 장기간 수온 분석자료를 검토하여 참다랑어 사육적수온 범위의 비교, 분석을 통하여 적지선정에 참고자료로 활용해야 할 것으로 생각된다.

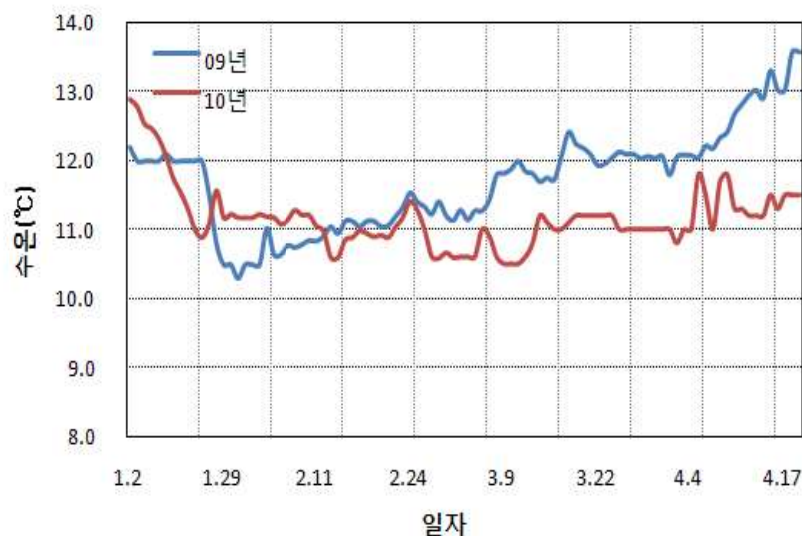


그림 77. 통영 육지도 연안 동계수온 비교(2009~2010).

나) 기상자료 분석

2010년 통영연안의 바람의 영향을 분석한 결과, 2010년 1~3월의 월평균 풍속은 2.8~3.4 m/sec로서 평년에 비하여 0.4~0.6 m/sec정도 높았고, 특히 주기적으로 5 m/sec 내외의 비교적 강한 바람이 불어 평년에 비하여 약 2~3 m/sec 높은 경향을 보여, 강풍에 의한 수질혼탁으로 인한 섭이불량이 장기화 되는 경향을 보였다. 통영 해역의 풍랑주의 발표 현황을 분석한 결과, 2010년의 풍랑주의 발효 건수는 2월과 3월에 각각 12회와 20회로서 전년에 비하여 6~8회 정도 더 증가하는 경향을 보였다. 특히 이러한 기상 특보는 폐사가 발생한 시기인 3월에 집중되어 강풍에 의한 수질혼탁으로 인한 섭이불량 및 스트레스도 폐사의 한 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 통영 육지도 연구교습어장은 북서풍의 영향

제3장 연구개발수행내용 및 결과

을 직접적으로 받는 지형적인 조건을 갖추고 있어 한파를 동반한 강한 북서풍으로 인하여 저수온기에 생리적으로 약한 참다랑어 치어에 있어서 폐사를 가중시킬 수 있었던 요인으로 작용하였을 것으로 추정되었다.

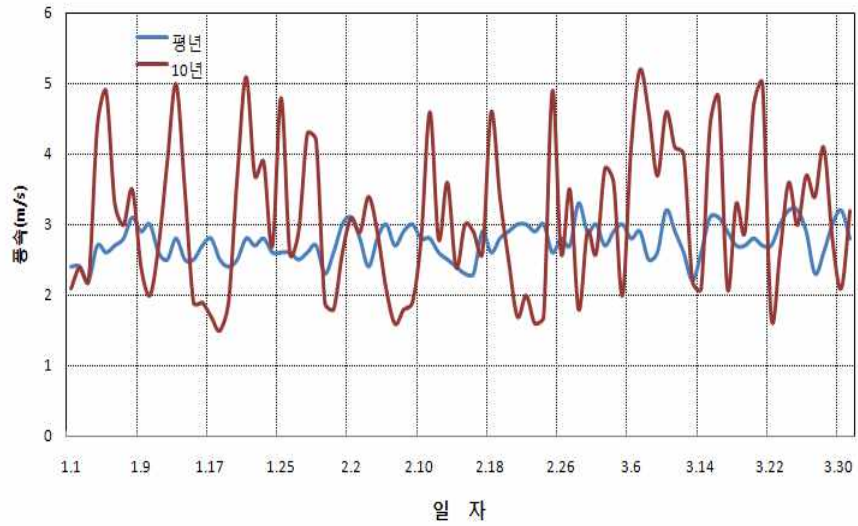


그림 78. 겨울철 통영 연안 동계 풍속 변화.

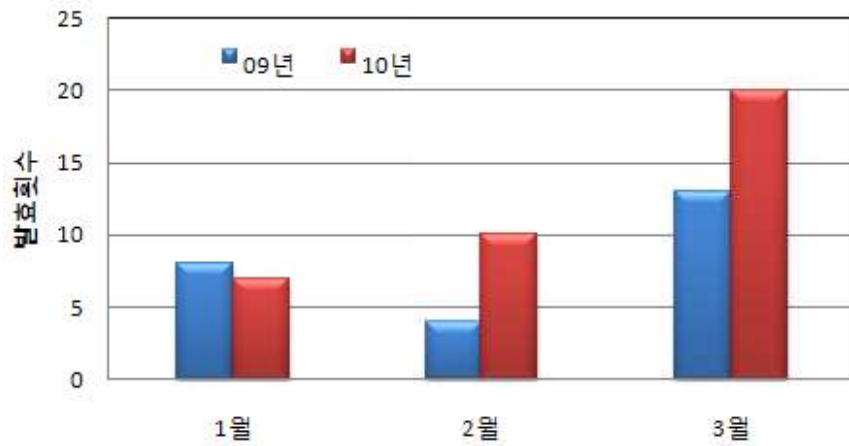


그림 79. 통영연안 동계 풍랑주의보 발표 현황('09~' 10).

라) 폐사 발생 원인

'08년산 참다랑어는 체중이 20 kg 내외로 성장하여 저수온에 대한 적응능력이 어린 개체보다 뛰어나 폐사가 발생하지 않아 참다랑어 종묘는 월동 전에 3 kg 이상의 개체를 입식하는 것이 저수온 피해를 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

특히, 참다랑어 종묘(1~2 kg)를 일본으로부터 입식한 시점이 수온이 15℃내외로 하강하는 11월말로서 수송과정에서의 스트레스와 4월 중순까지 지속된 저수온의 영향으로 체력

을 회복하지 못한 어린 종묘에서 집중적인 폐사가 발생하였다. 따라서 통영 육지도에서 시험사육중인 '09년산 참다랑어 종묘(2 kg 내외)의 폐사 원인은 1~4월에 걸쳐서 연안 수온이 10~11℃의 저수온이 장기간 지속에 따른 체내 에너지 소진으로 폐사가 발생한 것으로 추정되었다.

2. 어체 성분분석 및 질병 모니터링

가. 분석 방법

실험어는 자연산과 양식산을 대상으로 등근육, 배근육, 꼬리근육으로 구분하여 일반성분(조단백질, 조지방, 조회분, 수분)을 분석하였고, 중금속은 총수은, 메틸수은, 카드뮴, 비소 등의 함량을 분석하였다.

질병 모니터링을 위한 실험어는 양식산('08년산) 및 자연산('09년산) 참다랑어를 체포하여 비장, 신장을 절개하여 -80℃에 급냉동하여 실험실로 운반한 후 조직으로부터 핵산을 추출하였다. 추출한 핵산은 실험전까지 -80℃에 보관한 후 유전자증폭법(PCR법)으로 바이러스 감염여부를 확인하였다.



그림 80. 참다랑어 질병분석 및 성분분석 시료처리.

나. 분석결과

1) 일반성분 분석 결과

약 2년간 가두리에서 사육한 참다랑어를 대상으로 일반성분을 분석한 결과, 조단백질은 15.0~21.9%로서 등근육에서 가장 높았으며, 조지방은 15.9~43.5%로 배근육이 꼬리나 등근육에 비하여 2~3배 정도 높게 조사되었다. 자연산의 조단백질은 20.3~23.9%로 유사한 경

제3장 연구개발수행내용 및 결과

향이었고, 조지방은 등근육과 꼬리근육에 비하여 배근육에서 15.1%로서 현저하게 높게 조사되었다.

표 16. 참다랑어 어체내 일반성분 분석 결과

구분	조단백(%)	조지방(%)	회분(%)	수분(%)	
자연산	배근육	20.28±0.71	15.07±3.49	1.52±0.17	62.31±2.49
	등근육	23.96±0.60	2.19±1.31	1.75±0.04	70.88±0.90
	꼬리근육	23.87±0.99	2.29±1.47	1.88±0.16	71.51±0.97
양식산	배근육	15.03	43.55	1.19	37.38
	등근육	21.92	15.90	1.76	59.90
	꼬리근육	20.15	22.36	1.32	53.53

2) 중금속 분석 결과

양식산의 총수은 함량은 0.20~0.29 ppm으로 식약청 허용 기준치(0.5 ppm)보다 낮았으며, 메틸수은도 0.01~0.03 ppm으로서 허용 기준치(1.0 ppm)에 현저하게 미달되었으며, 카드뮴은 전혀 검출되지 않아 식품으로서 안전한 것으로 조사되었다. 자연산의 총수은 함량이 0.91~1.86 ppm으로서 허용 기준치를 초과하는 것으로 나타났으나, 메틸수은은 허용 기준치 범위 내에 포함되었다. 앞으로 국내연안에 어획되는 자연산과 비교분석이 필요하며, 양식산에 있어 크기별, 계절별 성분분석이 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

표 17. 참다랑어 어체내 중금속성분 분석 결과

구분	총수은 (ppm)	메틸수은 (ppm)	카드뮴 (ppm)	비소 (ppm)	
자연산	배근육	1.85±0.18	0.06±0.01	0.00	3.54±12.16
	등근육	1.56±0.23	0.09±0.01	0.01±0.01	3.77±13.55
	꼬리근육	0.91±0.17	0.07±0.01	0.01±0.01	7.52±9.01
양식산	배근육	0.28	0.01	0.00	3.65
	등근육	0.29	0.03	0.00	2.76
	꼬리근육	0.20	0.03	0.00	4.54

※ 자연산 : 국내산 선망어획(10 kg), 양식산 : '08년산 사육어(18 kg)

※ 수산물 중 중금속 허용기준치(식약청 고시): 총수은 0.5 mg/kg, 메틸수은 1.0 mg/kg

3) 질병모니터링 결과

2010년 2월 하순부터 4월 중순까지 '09년산 참다랑어 폐사체를 대상으로 병리학적 분석을 실시한 결과 대량폐사를 유발할 만한 외부적인 특이한 증상은 없었으며, 아가미의 특이한 병리학적 증상도 발견되지 않았다.

양식산 2마리, 자연산 2마리를 대상으로 해산어류 병원성 바이러스 5종(이리도바이러스; Irido, 림포시스티스바이러스; LCDV, 해양버나바이러스; MABV, 랍도바이러스; HRV, 바이러스성신경괴사증; VNN, 바이러스성출혈성패혈증; VHSV)의 감염 조사에서도 병원성 바이러스 5종은 발견되지 않았다.

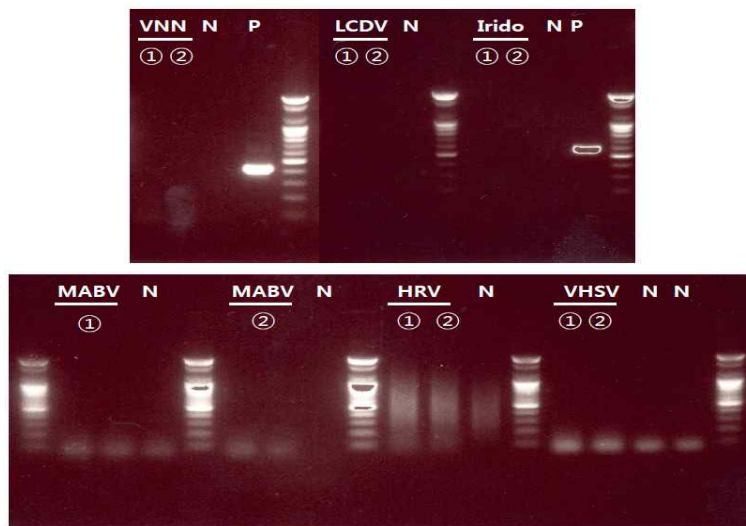


그림 81. 참다랑어에서 병원성바이러스 PCR 분석사진
①; 양식산 참다랑어, ②; 자연산 참다랑어.

3. 가두리양식장 환경모니터링

가. 분석방법

1) 현장조사 및 시료채집 방법

통영 육지도 유동해역의 참다랑어 시험양식장 해역에서 시험양식과 관련한 해양환경 변화를 모니터링하기 위하여 시험양식장이 설치된 해역(조사해역)에서 4개 정점을 선정하여 표층(S)과 저층(B) 해수의 변화를 조사하였으며 조사된 결과를 우리나라 해역별 수질 기준을 이용하여 비교, 판단하였다.

2010년 2월부터 10월까지 격월로 각 정점의 표층(해수면하의 약 1 m 깊이)과 저층(해저면에서 2m 상부의 깊이)에서 현장수질측정기(YSI 6600, USA)를 이용하여 수온, 염분 등 현장에서 측정할 수 있는 항목을 조사하였다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

각 정점에서의 투명도는 Secchi disk를 이용하여 측정하였고, Niskin 채수기를 이용하여 표층과 저층의 해수시료를 각각 채취하였으며, 채취된 시료를 실험실로 운반하여 화학적산소용구량 등 이화학적 성분을 분석하였다.

그리고 해저 퇴적물의 환경 변화를 모니터링하기 위해 해수 시료를 채취한 4개 정점에서 corer sampler를 이용, 해저퇴적물 시료를 채취하여 COD 등 일반항목을 분석하였다.

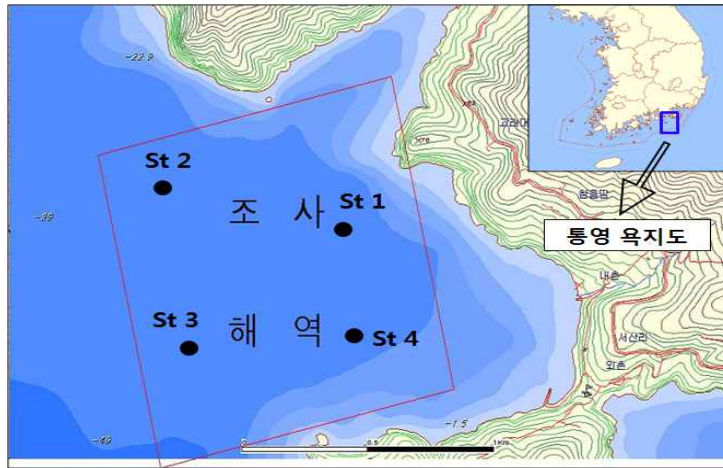


그림 82. 환경모니터링 조사정점도.

2) 해수의 이화학적 분석방법

시험양식장 해역에서 채취하여 실험실로 운반한 해수의 이화학적 분석은 해양환경공정 시험방법(해양수산부, 2005)에 준하여 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD) 등의 일반성분을 분석하였다. COD는 알칼리성 과망간산 칼륨법, 부유입자물질(Suspended particulate matter, SPM)은 GF/F여과지(Whatman, USA)를 이용하여 일정량의 해수를 여과하고 이 여과지를 105±5°C의 건조기(dry oven)에서 2시간 동안 건조시킨 다음 건조 전 후의 무게차이를 이용하여 계산하였다.

질산질소(NO₃-N)는 cadmium-copper 환원법, 아질산질소(NO₂-N)는 sulfanilamide-NED 법, 암모니아질소(NH₄-N)는 indophenol blue법으로 각각 비색 정량하였으며, 정량된 3가지 질소의 농도를 합산하여 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen)로 하였다. 한편 규산규소는 폴리브덴청법, 인산인(PO₄-P)은 ascorbic acid법으로 각각 비색 정량하였으며, 총인(total phosphorus)과 총질소(total nitrogen)는 각각 과황산칼륨법과 알칼리성 과황산칼륨법으로 비색 정량하였다.

클로로필-a(chl-a) 분석은 일정량의 해수를 여과한 여과지를 90%(V/V) 아세톤 용액에 침지시켜 클로로필-a를 추출한 다음, 분광광도계(Varian Cary 300, USA)를 이용하여 4개 파장(750nm, 665nm, 645nm, 630nm)에서 각각 흡광도를 측정하고 정해진 계산식을 이용하여 농도를 계산하였다.

표 18. 우리나라 해역별 수질기준

등급	기준						
	수소이온 농도 (pH)	화학적 산소요구량 (COD) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	대장균군 (대장균군수 /100mℓ)	용매추출 유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총 인 (mg/L)
1	7.8-8.3	1 이하	7.5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
2	6.5-8.5	2 이하	5.0 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
3	6.5-8.5	4 이하	2.0 이상	-	-	1.0 이하	0.09 이하

비고 1. 등급 I 은 참돔, 방어 및 미역 등 수산생물의 서식, 양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다.

2. 등급 II는 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I의 해역에서 서식, 양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식, 양식에 적합한 수질을 말한다.

3. 등급 III은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.

3) 해저퇴적물의 이화학적 분석방법

시험양식장 해역에서 채취하여 실험실로 운반한 해저퇴적물 시료의 화학적 산소요구량 (Chemical oxygen demand, COD) 등 일반성분 분석도 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2005)에 준하여 분석하였다. COD는 알카리성 과망간산칼륨법, 강열감량(Ignition loss, IL)은 동결건조된 시료를 105±5℃에서 건조하여 항량이 되게 한 다음, 다시 550℃의 회화로에서 2시간동안 회화시킨 후 회화 전후의 무게 차이를 이용하여 계산하였다. 산취발성황화물(Acid volatile sulfide, AVS) 농도는 황화수소 발생관에 퇴적물 시료를 넣고 황산을 첨가한 후, 황화수소 검지관을 연결하여 검지관의 색(눈금) 변화가 없을 때까지 감압·흡입한 다음, 측정된 검지관의 눈금변화를 이용하여 산출하였다.

4) 적조발생 모니터링 조사

적조발생모니터링 조사는 6~10월 사이에 육지도 근해 해역을 중심으로 발생하는 코클로디니움 적조생물을 동정 분석하였다. 또한 플랑크톤 수직이동 조사는 9월에 육지도 참치 양식장 해역의 시간별 적조생물의 수층별 총세포수 변동을 조사하였다. 식물플랑크톤 군집변동은 역시 육지도 근해 해역에서 하절기에 발생하는 식물플랑크톤 군집을 집중적으로 조사하였다.

나. 분석결과

1) 수질환경 조사결과

통영 육지도 해역의 조사기간 중 관측된 최저 수온은 2월에 저층에서 관측된 10.4℃이었으며 최고 수온은 8월에 표층에서 관측된 26.3℃이었다. 표층의 경우 2월의 평균 수온

제3장 연구개발수행내용 및 결과

이 10.5℃이었으며 8월에 관측된 수온은 25.9℃로 나타나 조사기간 중 가장 높은 값을 보였다. 본 시험해역은 주변에 해류의 흐름을 방해할 수 있는 장애물이 없는 비교적 외해역에 위치하여 외해성 해류의 영향을 주로 받을 것으로 판단되었으며 국지적 고수온 현상의 발생 가능성은 낮을 것으로 예상되었다.

저층의 평균 수온은 2월에 10.7℃로 관측되었으며 10월에 관측된 18.6℃가 가장 높은 평균수온으로 나타났다. 한편 8월에 저층의 평균 수온이 15.9℃로 나타나 표층 수온의 평균(25.9℃)에 비해 약 10℃ 정도의 차이가 있었으며 수온약층 형성이 관측되었다. 염분은 8월에 표층에서 관측된 30.7이 가장 낮은 값이었으며 4월에 저층에서 관측된 33.9가 가장 높은 값으로 나타났다. 염분은 대부분 약 33에서 34의 범위 이내에 있었으나 8월에 표층에서의 염분이 우리나라의 계절적 특징인 하계 강우의 영향으로 30.8까지 낮아졌으며 이로 인하여 8월에 대부분 정점에서 표층과 저층간의 염분 차이가 약 3정도로 관측되어 수온약층 형성과 더불어 염분약층 형성도 관측할 수 있었다.

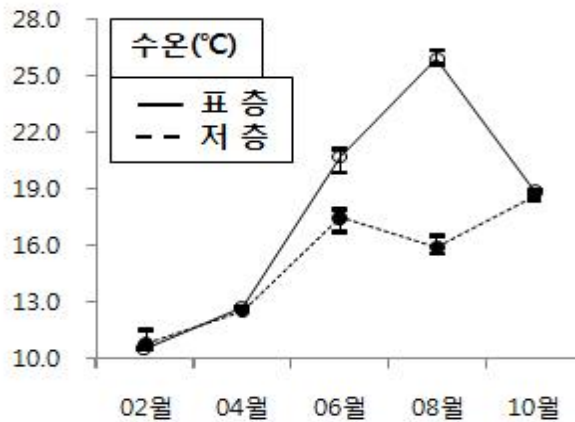


그림 83. 수온의 월간 변화(최소/대, 평균).

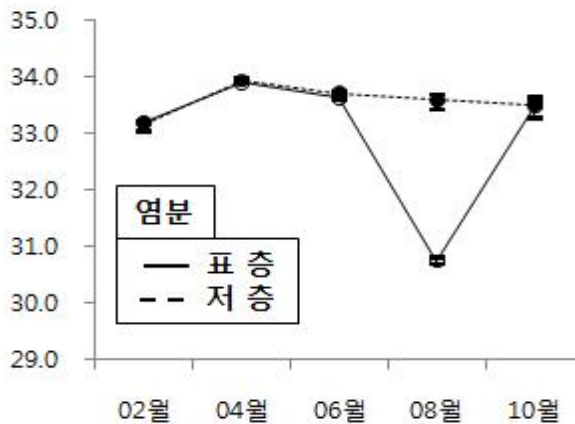


그림 84. 염분의 월간 변화(최소/대, 평균).

2월부터 10월까지 조사된 pH는 7.6에서 8.3의 범위를 보였으며 대부분 해역 1등급 수질기준(7.8~8.3) 이내였고 8월에 저층에서 관측된 pH의 평균이 약 7.7로 나타나 1등급 수질기준에서 크게 벗어나지 않은 것으로 판단되었다.

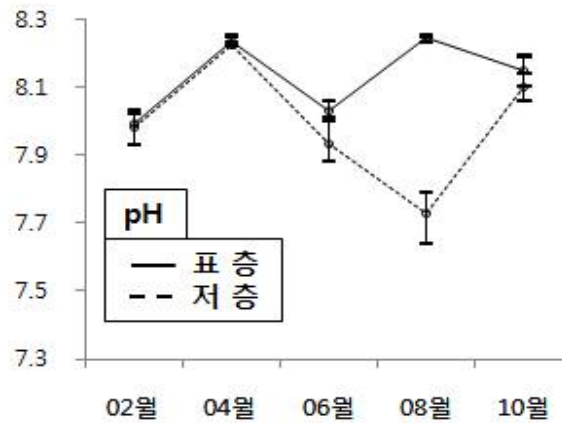


그림 85. pH의 월간 변화(최소/대, 평균).

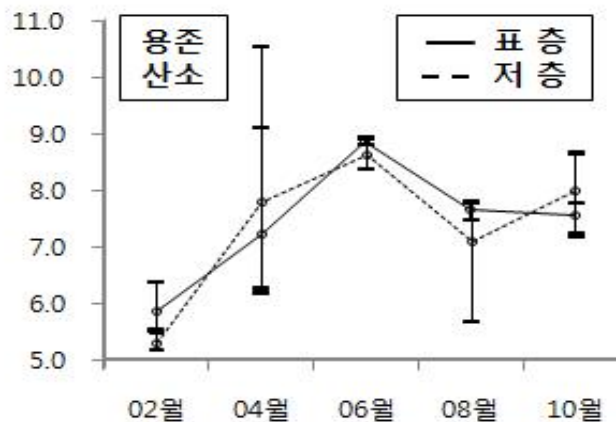


그림 86. 용존산소의 월간 변화(최소/대, 평균).

빈산소수괴 형성을 판단할 수 있는 용존산소의 농도는 6월의 표층 평균이 8.8 mg/L로 나타나 가장 높은 값을 보였으며, 2월에 저층에서 조사된 5.2 mg/L가 가장 낮은 값이었다. 2월에는 대부분 수질 2등급 기준(5 mg/L이상) 내외의 농도를 보였으며, 4월부터 10월까지 조사한 용존산소는 대부분 수질 1등급 기준(7.5 mg/L이상) 내외의 양호한 농도를 보였다. 8월에 저층에서 국지적으로 낮은 값을 보이는 정점도 관측되었으나 수질 2등급 기준(5 mg/L이상)보다 낮은 값은 아니었다.

본 연구해역에서 조사한 COD는 0.11~0.81 mg/L의 범위였으며, 2월부터 10월까지 표층과 저층에서 조사한 모든 결과 중 수질 1등급 기준(1 mg/L이하)보다 높은 값은 나타나

제3장 연구개발수행내용 및 결과

지 않았다. 해수 중 유기물질량을 간접적으로 평가할 수 있는 COD 조사결과로만 보면 본 연구해역은 매우 양호한 수질 상태인 것으로 판단되었다. COD의 월간 변화는 6월과 8월에 조사한 COD가 상대적으로 높게 나타났으며 정점간 편차도 다소 크게 나타났다. 이는 조사 당일 전후의 기상상황과 계절적 영향을 반영하는 결과라고 판단되었다.

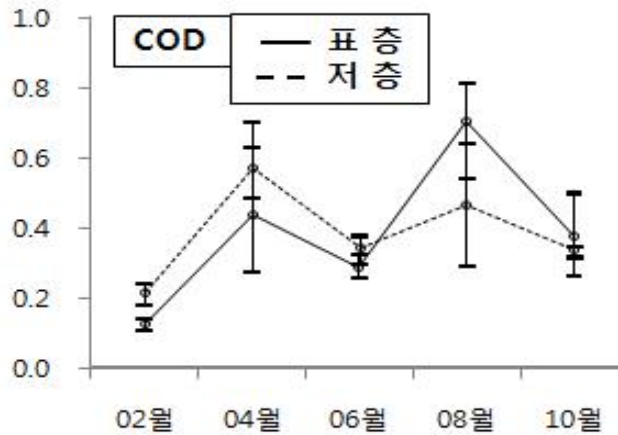


그림 87. COD의 월간 변화(최소/대, 평균).

식물플랑크톤의 현존량을 간접적으로 파악할 수 있는 클로로필-a의 농도는 0.34~5.04 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보였으며, 저층의 농도가 표층보다 대체로 높게 나타난 것이 특징적이었다. 조사 시기별로는 4월 결과가 다른 시기에 비해 상대적으로 높게 나타났는데 이는 일반적으로 알려진 춘계의 플랑크톤 대증식 때문일 것으로 판단되었다.

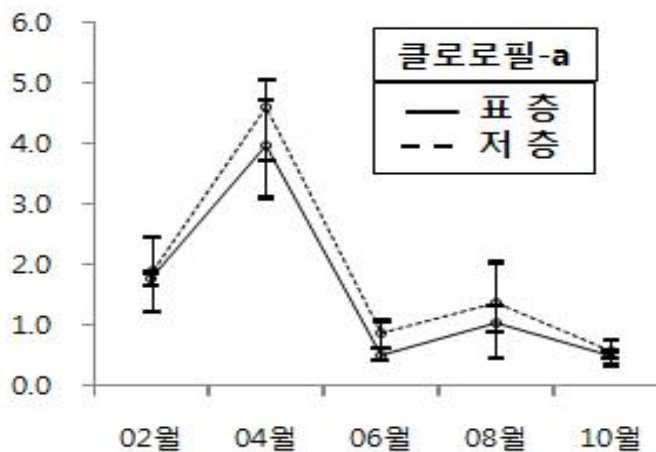


그림 88. 클로로필-a의 월간 변화(최소/대, 평균).

부유입자물질은 조사기간 중 4.4~80.4 mg/L의 범위를 보였다. 10월에 저층에서 조사한 결과의 평균값이 5.4 mg/L로 가장 낮은 값을 보였으며, 8월에 저층에서의 평균농도가 60.7 mg/L로 가장 높은 값을 보였다. 6월에는 표, 저층의 각 정점간 편차가 상대적으로 크게 나타났으며, 8월에 가장 높은 평균값을 보인 것은 강수에 의한 영향 때문으로 판단되었다.

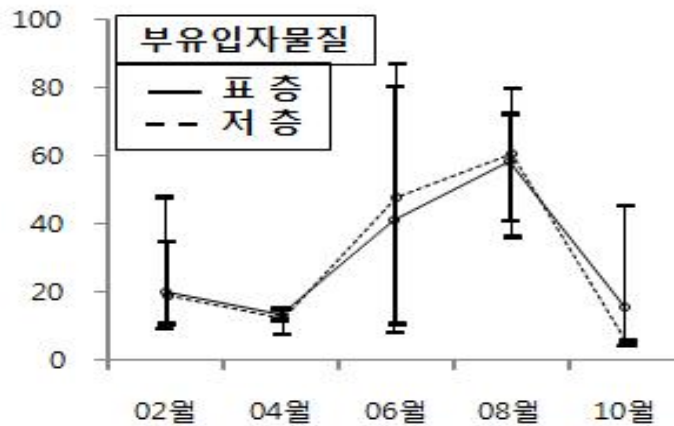


그림 89. 부유입자물질의 월간 변동(최소/대, 평균).

총인은 0.004~0.115 mg/L의 범위를 보였으며, 10월에 각 정점의 표, 저층의 평균값(0.010, 0.011 mg/L)이 가장 낮았으며, 6월(0.112 mg/L와 0.107 mg/L)이 다른 시기에 비해 상대적으로 높게 나타났으나 전반적으로 수질 1등급 기준(0.03 mg/L이하)을 초과하는 값이 나타나지는 않았다. 2월에 각 정점에서 조사한 총인의 농도는 정점간 편차가 상대적으로 큰 것으로 나타났으나 4월 이후에는 정점 간 편차가 크지 않았으며 8월에 총인의 농도가 높게 나타난 것은 사료투여량과 어류배설물 증가 등이 원인인 것으로 판단되었다.

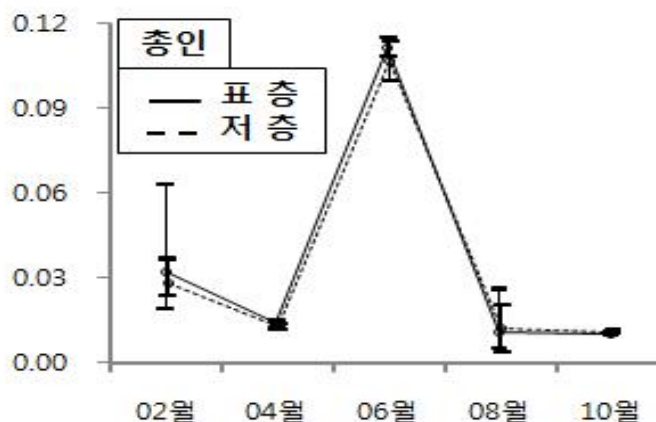


그림 90. 총인의 월간 변동(최소/대, 평균).

제3장 연구개발수행내용 및 결과

조사된 인산인은 0~0.045 mg/L의 범위를 보였으며 2월 평균값이 다른 시기에 비해 상대적으로 높았으나 이후 점차 감소하는 경향을 보였고 8월에 표층에서 조사된 농도가 상대적으로 가장 낮았다.

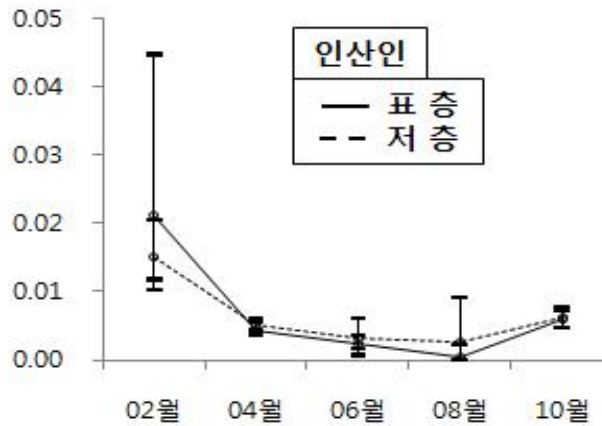


그림 91. 인산인의 월간 변동(최소/대, 평균).

아질산질소, 질산질소 및 암모니아질소의 합계로 표시된 용존무기질소의 변화 범위는 0.008~0.091 mg/L로 나타났다. 용존무기질소 중 질산질소가 차지하는 비율이 가장 높았으며 암모니아질소와 아질산질소의 순으로 구성비가 낮아졌다. 그러므로 용존무기질소의 월별 변화패턴은 질산질소의 패턴과 매우 유사하였으며, 시기별 변화 패턴을 보면 먼저, 표층의 경우 2월부터 8월까지의 계속 감소하는 추세를 보이다가 10월에 다시 증가하였으며, 저층은 2월에서 4월까지의 감소하였으나 4월 이후 10월까지의 증가 추세를 보였다. 8월에 저층의 조사정점 간 농도차이가 크게 나타났으나 그 밖의 시기에는 정점간 편차가 상대적으로 작았다.

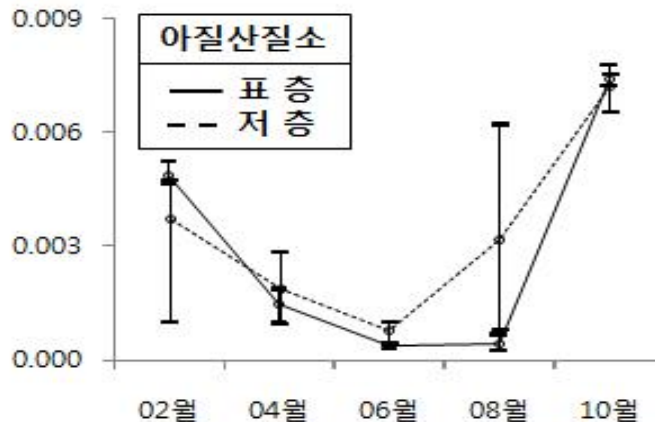


그림 92. 아질산질소의 월간 변동(최소/대, 평균).

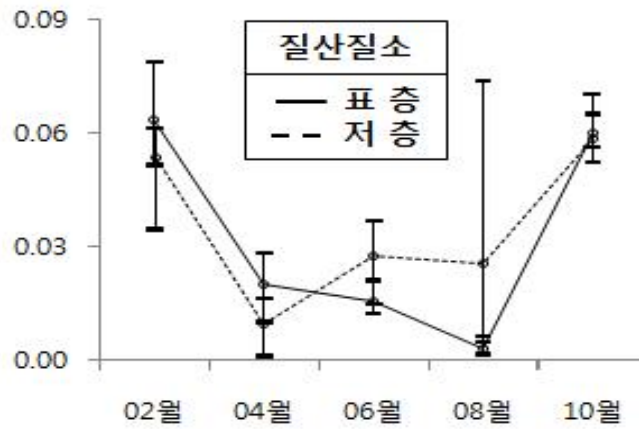


그림 93. 질산질소의 월간 변동(최소/대, 평균).

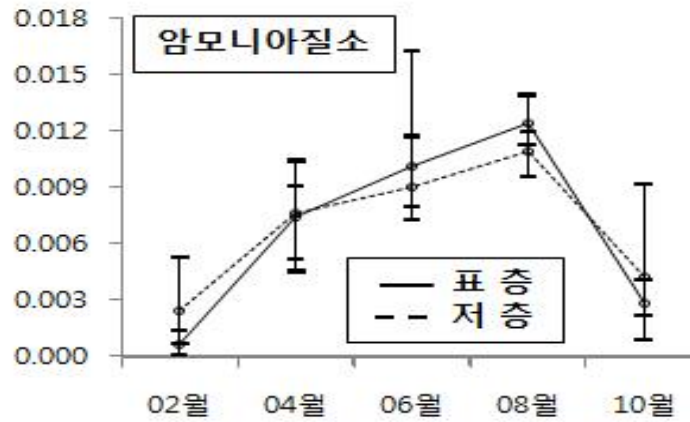


그림 94. 암모니아질소의 월간 변동(최소/대, 평균).

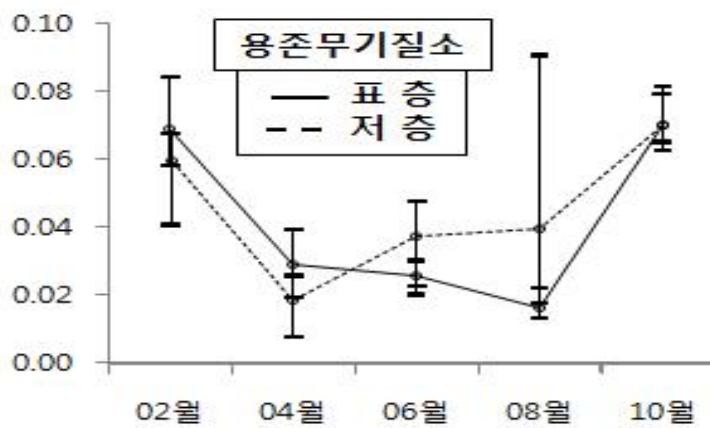


그림 95. 용존무기질소의 월간 변동(최소/대, 평균).

제3장 연구개발수행내용 및 결과

총질소는 4월에 저층에서 조사된 0.042 mg/L에서 6월에 표층에서 나타난 0.321 mg/L 범위이었다. 6월에 양식장 위치에서 가까운 정점에서 1등급 기준을 약간 상회하는 농도를 보였으나 조사결과의 대부분은 수질 1등급 기준(0.3 mg/L이하)보다 낮게 나타나 비교적 양호한 수질상태를 보였다.

한편 규산규소는 월간 농도변화가 다소 크게 나타났는데 전체 조사결과의 농도 범위는 4월 저층에서 조사된 0.025 mg/L에서 6월에 저층에서 조사된 0.452 mg/L까지 이었다. 4월과 8월에 조사된 결과가 다른 시기에 비해 상대적으로 낮았고 2월과 6월, 8월은 상대적으로 높은 경향을 보였다.

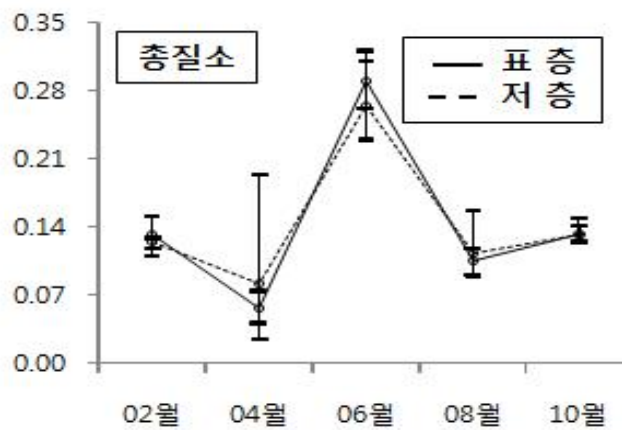


그림 96. 총질소의 월간 변동(최소/대, 평균).

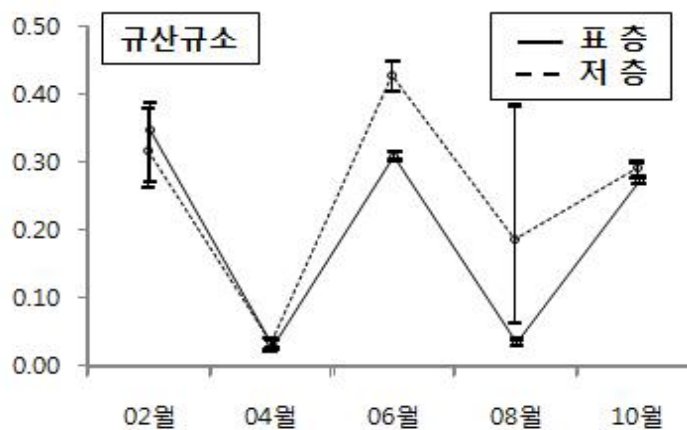


그림 97. 규산규소의 월간 변동(최소/대, 평균).

조사해역의 투명도는 2.5 m에서 11 m의 범위였으며 2월부터 8월까지의는 지속적으로 증가 추세를 보이다가 10월에 약간 낮아지는 경향을 보였으며 각 정점 간 편차도 1m 내외인 것으로 관측되었다.

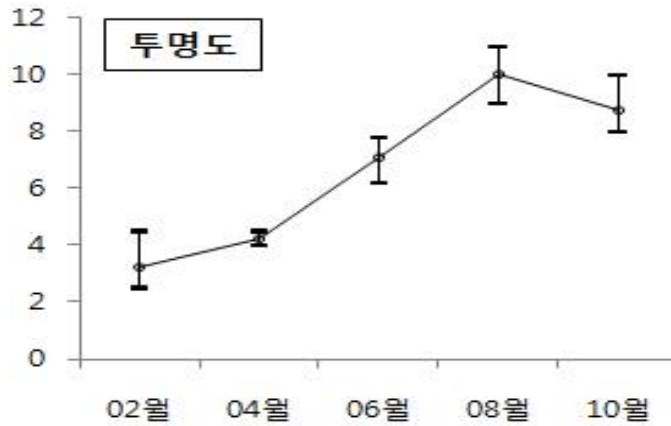


그림 98. 투명도의 월간 변동(최소/대, 평균).

2) 해저퇴적물의 일반항목 분석결과

참다랑어 시험양식장이 위치한 통영 육지도 유동해역의 해저퇴적물에서 화학적 산소요구량 (COD)의 변화를 조사한 결과, 조사 기간 중 화학적 산소요구량(COD)의 최소값은 9.67 mg/g · dw 이었으며 최대값은 17.49 mg/g · dw인 것으로 나타났다. 4월과 8월에 각 정점에서 조사된 퇴적물 COD의 평균값은 거의 차이를 보이지 않았으며, 10월에는 약간 감소한 것으로 나타났지만 각 정점에서 10월에 조사된 COD 결과 중 최대값이 약 17 mg/g.dw로 나타난 것을 감안하면 조사해역의 퇴적물 중 평균 COD 농도는 큰 변화가 없을 것으로 판단되었다. 그리고 연구기간 중 조사된 퇴적물의 COD 결과 중 일본 수산자원보호협회(1987)에서 제시한 오염 퇴적물 판정기준인 20 mg/g.dw를 초과하는 값은 나타나지 않았다. 한편 강열감량(IL)은 최소 5.2%에서 최대 7.3%의 범위를 보였으며 4월, 8월 및 10월의 평균은 각각 6.7%, 5.8% 및 6.6%이었다. 월별로 큰 변화폭을 보이지 않았으나 8월에 약간 낮게 나타났다.

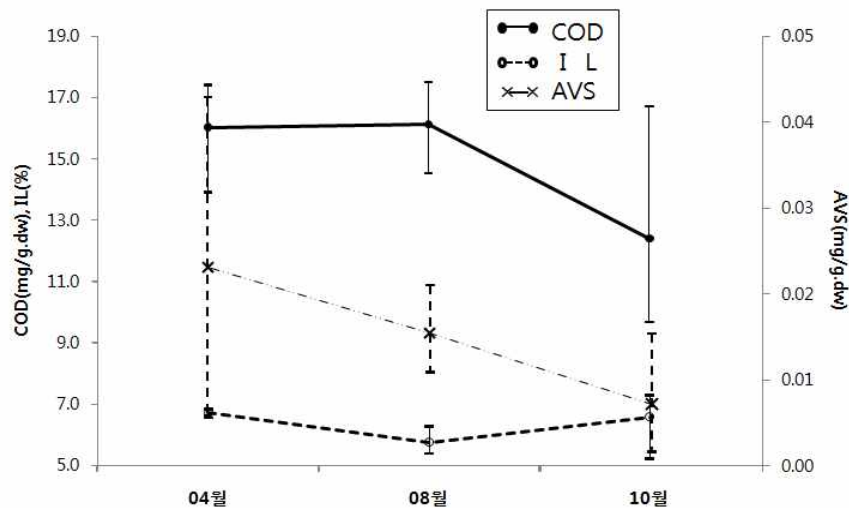


그림 99. 퇴적물의 COD, IL 및 AVS의 월별 변화(최소/대, 평균).

제3장 연구개발수행내용 및 결과

산취발성황화물(AVS) 조사 결과, 최소값은 0.002 mg/g · dw, 최대값은 0.043 mg/g · dw이었다. 4월, 8월 및 10월의 평균값은 각각 0.023 mg/g · dw, 0.015 mg/g · dw 및 0.007 mg/g · dw이었다. 월간 변화 패턴을 보면 4월부터 10월까지 대체로 감소하는 경향을 보였으나 감소폭의 차이가 크지 않은 것으로 판단되었다. 그리고 조사된 AVS 결과 중 일본 수산자원보호협회(1987)에서 제시한 오염 퇴적물 판정기준인 0.2 mg/g.dw를 초과하는 값은 없었다.

3) 적조발생 모니터링 조사 결과

2010년 6월부터 시작된 적조광역조사를 통하여 육지도 근해해역에 대한 코클로디니움 적조는 발생되지 않았고 2010년 9월17일 통영시 산양읍에서 코클로디니움 적조가 최초로 발생되어 약 3일 정도 지속되었고, 최고 밀도는 1,030 cells/ml로 나타났다.

가) 수직이동조사

총세포수의 변화를 보아도 17시 경에는 표층에서 평균 900 cells ml⁻¹로 수심이 높아짐에 따라 세포수는 점점 감소하는 경향을 보여 수심 10 m의 경우 평균 100 cell ml⁻¹ 정도로 표층과는 약 8 배 이상의 차이를 보여주었다. 20시부터 02시까지는 수심이 증가함에 따라 거의 직선적으로 세포밀도가 높아지는 것을 알 수 있다. 일출이 시작되는 시점인 05시 경우 표층의 세포밀도는 02시에 비하여 증가되는 것을 알 수 있었고 수심 1 m, 3 m에서의 세포수도 수심 10 m와 거의 비슷한 밀도를 보이고 있다. 그러나 08시부터 17시까지는 05시에 비하여 수심에 따른 세포수의 변화는 뚜렷이 나타났다. 따라서 일출과 동시에 식물플랑크톤은 표층으로 많이 이동하며 일몰이 시작되면 신속히 저층으로 움직이는 전형적인 상하 수직이동을 보여주었다.

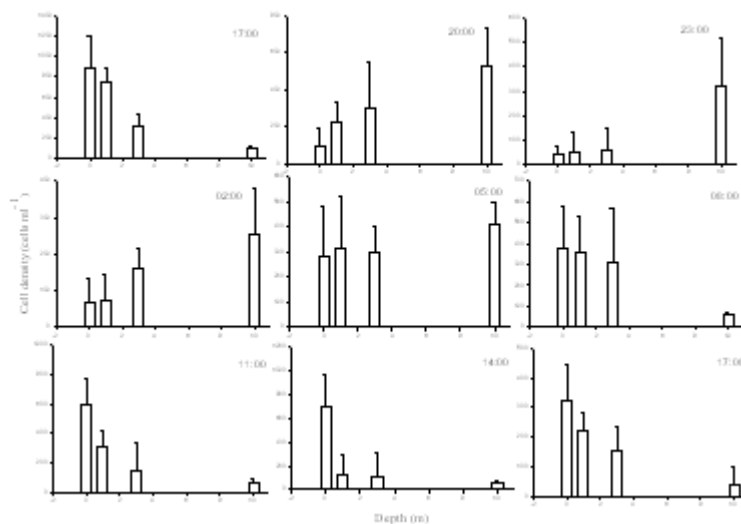


그림 100. 시간별에 따른 총세포수 변화.

나) 식물플랑크톤 군집변동

3월의 식물플랑크톤 총세포수가 6년 동안의 총세포수 평균치보다 낮은 연도가 2004년, 2008년, 2009년으로, 특히 2009년은 평균 세포수수가 50 cells ml^{-1} 이하로 다른 연도에 비하여 매우 낮은 세포수를 보이고 있다. 4월이 되면 세포밀도가 3월에 비하여 큰 폭으로 상승되어 6년 동안의 평균 세포수가 약 $250 \text{ cells ml}^{-1}$ 정도로 3월에 비하여 약 2배 이상 증가되었다. 2006년을 제외한 나머지 연도에서는 거의 평균 세포수에 근접하였으나, 2006년에는 약 3배 정도 높은 평균 $700 \text{ cells ml}^{-1}$ 을 나타내고 있다. 5월과 6월에도 4월에 나타난 추이처럼 2006과 2008년에만 평균 세포수보다 유일한 높은 세포밀도를 나타내고 있다. 4월부터 6월까지의 평균 세포수는 약 $180\sim300 \text{ cells ml}^{-1}$ 범위였으나 7월부터 9월까지의 약 $800 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 세포밀도가 약 2배 정도 증가된 것을 알 수 있다. 따라서 육지도 근해 해역에 출현되는 식물플랑크톤 총 세포수 및 평균 세포 밀도는 월별에 따라 변동 될 수 있으나 대부분 평균 세포수 범위 내의 연도가 많이 나타나는 관계로 육지도 근해 해역에서의 식물플랑크톤 출현 양상은 비교적 안정적인 것으로 추측된다.

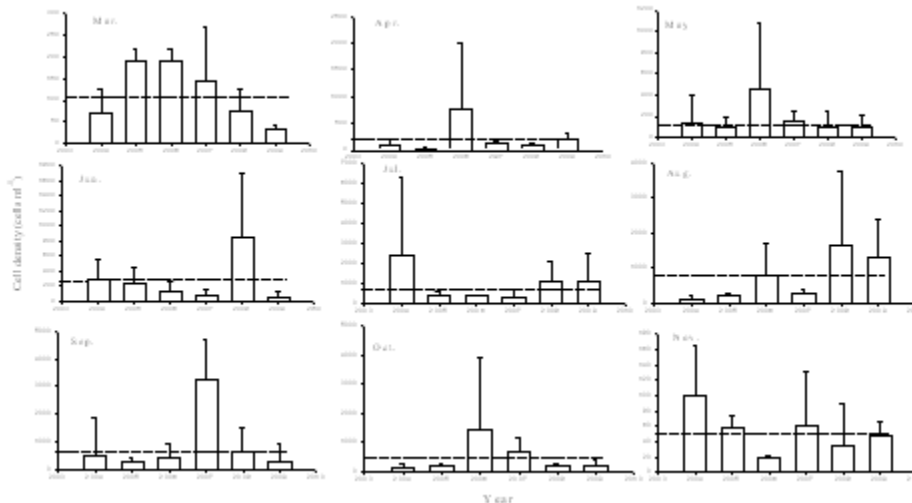


그림 101. 육지도 근해 해역에 대한 월별 식물플랑크톤 세포밀도 변화.

월별 규조류 및 와편모조류의 비율을 보면, 3월부터 5월까지 규조류의 점유율이 약 90% 이상을 보여 그 기간 동안 육지도 근해해역은 규조류로 조성되고 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나 6월과 7월에는 와편모조류의 비율이 현저히 상승되어 50~60% 정도를 보이고 있다. 8월부터 11월까지의 거의 규조류의 상대비율이 90% 이상의 높은 수치를 나타내고 있다. 이러한 상대비율은 조 등(2006, 2007)이 발표한 남해안 중부연안의 식물플랑크톤 군집생태와 거의 비슷한 양상을 보였다. 따라서 육지도 근해 해역은 규조류로 군집을 형성하고 있고 점유율 또한 매우 높아 와편모조류의 점유세력이 쉽게 천이되지 않는 건강한 기초 해양생태계를 형성하고 있는 것으로 판단되었다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

6월부터 9월까지의 6년 동안 육지도 근해 해역에 출현한 와편모조류는 총 28속 49종이 분류되었다. 가장 많이 출현한 종은 *Gymnodinium* sp.로 총 19회, *Scrippsiella trochoidea*가 15회, *Prorocentrum minimum*이 14회 순으로 나타났다. 특히 *C. polykrikoides*는 2004년, 2009년 제외하곤 나머지 연도에서 출현하여 총 8회 나타났다. 또한 *Gyrodinium fissum*, *Karenia brevis*, *Protoperidinium depressum* 등은 6년동안 1회만 단독 출현되어 여름철 종 조성 횡수는 종에 따라 많은 차이를 볼 수 있다. *C. polykrikoides* 외 *K. brevis*, *Fibrocapsa japonica* 등은 어류 치사종으로 알려져 있기 때문에 육지도 참지 양식장에 대한 식물플랑크톤 군집변화는 매우 중요하다고 할 수 있다.

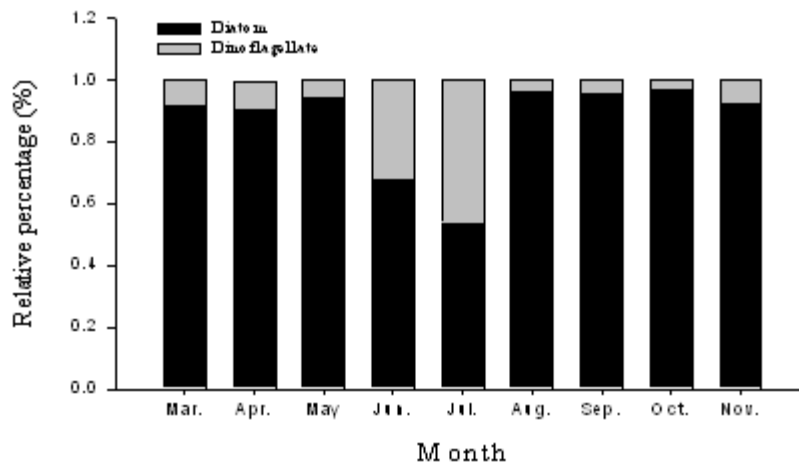


그림 102. 월별 상대군집 비율.

4. 참다랑어 끝납시 어획조사 및 자원량 조사

가. 조사방법

1) 끝납시 어획조사

참다랑어 종묘확보를 위하여 여수시 거문도해역과 제주도 서귀포해역에서 끝납시를 이용하여 어획조사를 실시하였으며, 거문도는 8월 21일부터 10월 7일까지 백도~여서도 남방 약 25~30 km 해역에서 총 7회에 걸쳐 끝납시를 이용하여 조사하였다. 제주도는 9월 29일부터 10월 1일까지 서귀포시 위미~태흥 남방 약 2 km해상에서 소형 선박(2~5톤)을 이용하여 총 3회에 걸쳐 끝납시를 이용하여 조사하였다.

2) 남해안 자원량 조사

전남 여수 돌산읍 소리도 해역에 위치한 정치망과 통영 육지도와 갈도지역을 대상으로 어획현황을 조사하였다. 갈치 채낚기에 의한 참다랑어 어획현황을 거문도수협 위판량 조사와 청취 조사를 실시하였다.

나. 조사결과

1) 참다랑어 끝낚시 어획조사

참다랑어 종묘확보를 위하여 여수시 거문도해역에서 약 7회에 걸쳐서 어획조사를 실시한 결과 9월 15일에 참다랑어는 1마리(가랑이 체장 22.5 cm, 체중 350 g)를 어획하였으나, 더 이상 추가적인 어획이 확인되지 않은 것으로 보아 남해안 자연산 회유 자원량이 평년에 비해 급격히 감소한 것으로 추정되었다.

제주도는 서귀포시 위미~태흥 남방 약 2 km 해상에서 미래양식연구센터와 공동으로 총 3회에 걸쳐 끝낚시를 이용하여 조사한 결과 참다랑어는 전혀 어획이 확인되지 않았고, 참다랑어와 유사종인 백다랑어 치어를 약 100마리(전장 22~28 cm, 체중 163~303 g) 정도 어획하였다.

표 19. 제주도 참다랑어 끝낚시 어획시험 결과

어획장소	어획일시	어종	마리수	크기		어획방법
				전장(cm)	체중(g)	
서귀포 위미 남방 2km	2010. 9. 29. 09:00~11:00	백다랑어	100	18~20	163~303	끝낚시

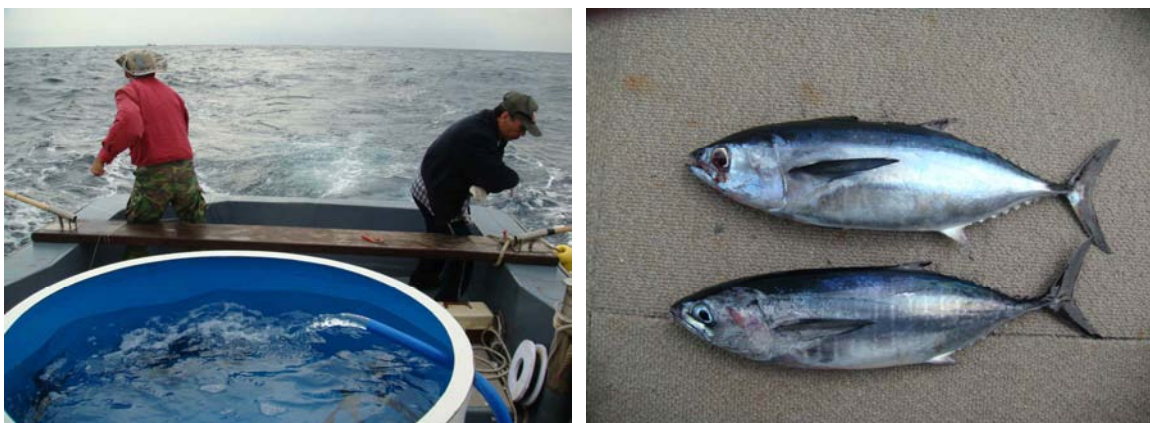


그림 103. 제주도 참다랑어 끝낚시 어획시험(좌), 어획된 백다랑어 치어.

2) 남해안 참다랑어 자원량 조사

전남 여수와 통영 연안 정치망 어장에서의 참다랑어 어획은 확인되지 않았으며, 백다랑어, 몽치다래, 점다랑어 등 유사어종만 소량으로 어획되었다. 거문도 백도근해~여서도에서 갈치 채낚기에 의한 참다랑어 어획현황을 조사한 결과 총어획량은 약 20마리 정도였

제3장 연구개발수행내용 및 결과

고, 거문도에서 여서도 방향으로 약 20~25 km 지점에서 주로 어획되었으며, 크기는 평균 체중 약 1.5 kg 내외의 크기가 어획되었다.

표 20. 여수해역 참치 자원량 조사 결과

어종	조사 기간	총어획량 (위판량)	가랑이체장 (cm)	체중 (kg)	어획수심 (m)	수온 (°C)
참다랑어	8~10	35	42~47cm	1,2~1,7	20~30	24.5~25.0

5. 적조대비 내파성(부침식)가두리 제작, 시설

표 21. 내파성 가두리 시설

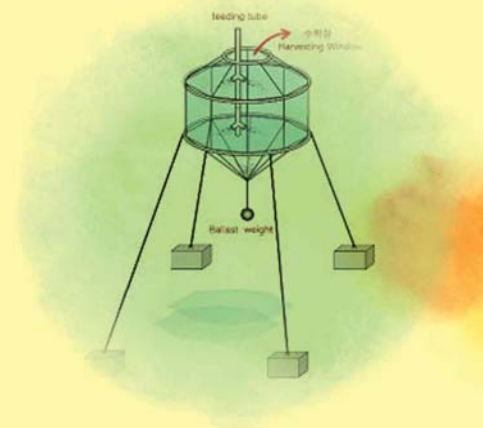
구 분	규 격	수량	시설장소	비 고
내파성가두리-I	PE내파성 ø20×10m	1조	통영 옥지도	부침기능 추가
내파성가두리-II	PE내파성 ø20×10m	1조	거문도 덕촌리	상부프레임 1조 추가
한국형외해가두리	수중식, 강관프레임 내경 14.6M×10H	1조	통영 옥지도	

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

왜해 참다랑어 양식기술 연구개발

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 3 절 참다랑어 양식시스템 개발



제 3 절 참다랑어 양식시스템 개발

1. 가두리 설계 및 모형실험

가. 가두리 2종 설계 및 모형실험

1) Tension-leg식 가두리 설계

Tension-leg식 가두리는 평상시 수면에서 일정한 깊이로 침하된 상태로 운용이 되므로 수면에서 일어나는 파랑의 영향을 상대적으로 적게 받는 장점이 있다(김, 2004). 따라서 가두리의 초기 계류력은 수면에 설치되는 Catenary 방식의 가두리보다 크게 작용하지만 순수한 파랑에 의해 발생하는 힘은 오히려 적다는 장점이 있다. 그리고 마찰이나 순간적인 큰 힘에 의해 그물이 파망 되는 것을 방지하기 위해 전체적인 뼈대를 구성하는 로프 재질의 외망과 실제 양식어가 들어있는 사육용 내망을 분리 구성하여 내구성이 높다는 장점이 있다. 또한 사료 급이 등의 문제를 해결하기 위해 급이를 위한 외부장치를 부착하여 운용상의 단점을 보완하였다. 아래에 본 연구에서 설계한 Tension-leg방식 가두리의 특징을 열거하였다.

- 높이 15미터, 지름 14.6미터의 원통형이며 사육용적은 2,500 m³
- 급이를 위한 외부장치와 연결이 가능하도록 시스템을 구축
- 상부발판과 선박접안시설을 설치하여 관리편의를 도모함.
- 유사 시 침하 시 하부의 웨이트를 이용하여 침하시킨 후 안전핀 방식계류로 동요를 방지함.
- 침하깊이는 생물의 스트레스와 최대설계파의 한계인 7m로 설계하였음.

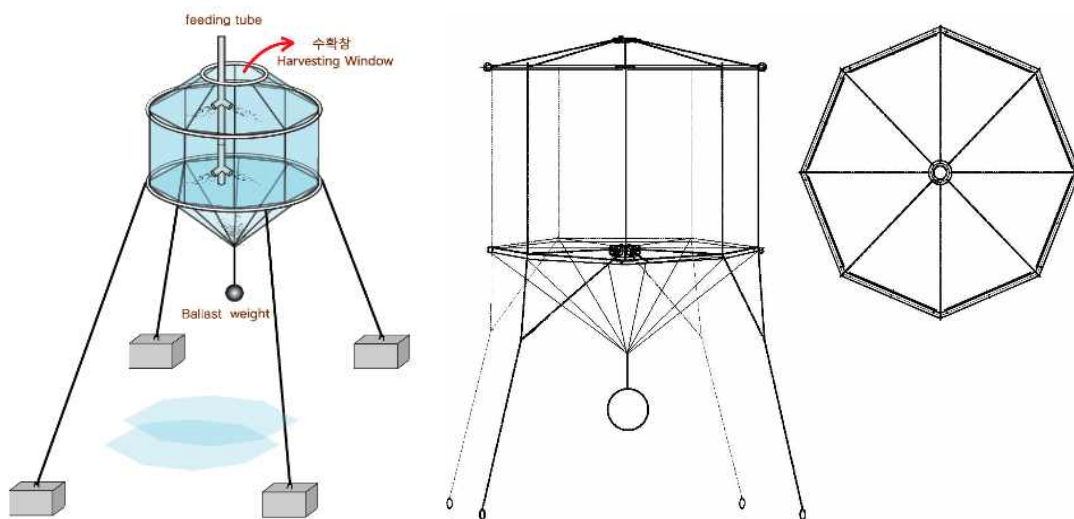


그림 104. 그림 1. Tension-leg 방식의 가두리 개념도

2) 중심부력제어식 가두리 설계

중심부력제어식 가두리는 일반적인 catenary 방식의 원통형 가두리의 하부에 침하부상이 가능하도록 부력제어장치를 부착한 전형적인 부침식 가두리이다. 부침식 가두리는 태풍이나 급조와 같은 거친 해상 상황이나 적조 등이 발생할 경우 가두리를 일시적으로 수중으로 침하시킴으로써 양식생물을 보호하는 것을 목적으로 한다(조 등, 2010).

부침식 가두리에서 가장 중요한 점 중의 하나는 가두리가 침하 또는 부상하는 과정에서 가두리 시설이 특정방향으로 편향되지 않고 침하 또는 부상 직전과 동일한 형태로 침하부상이 이루어져야 하는 점이다(김 등, 2005).

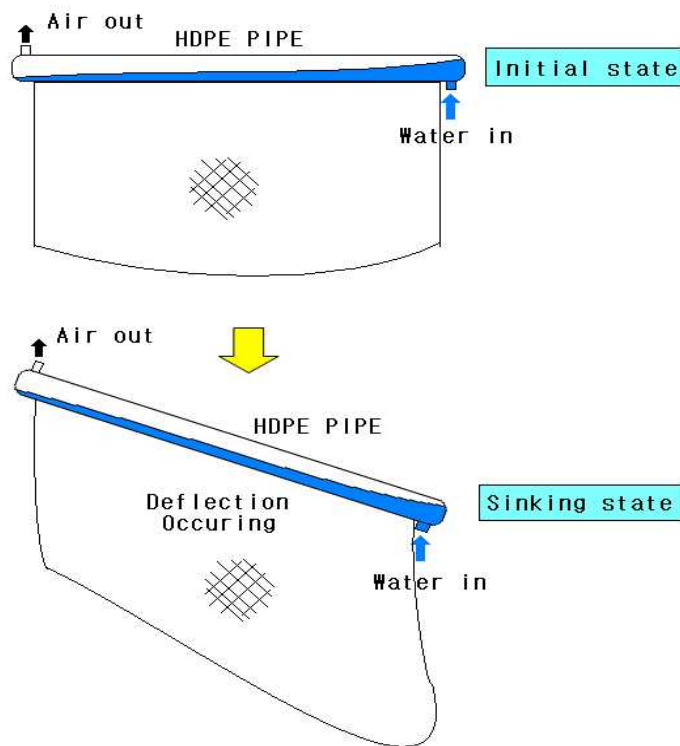


그림 105. 해수 충전식 가두리의 편향 문제

일반적으로 부침식 가두리는 침하부상의 방법으로 가두리의 상부 형태를 구성하는 HDPE 프레임이나 별도의 부력재 내부에 해수를 충전하거나 배출시키는 방법을 사용한다. 그러나 단순히 파이프에 해수를 넣고 빼는 것은 편향 현상과 동시에 그물의 중첩과 쓸림 현상을 야기해 침하부상 도중 양식 생물이 대부분 폐사하게 만든다. 보다 개선된 방법은 가두리 상부를 구성하는 파이프의 내부를 일정간격의 격실로 구성하고 전자식 제어장치를 이용하여 각 격실에 유입되는 해수와 공기를 동시에 제어하는 방법이 있다(김 등, 1996). 그러나 침하부상 기능을 구현하는 장치들의 해수에 대한 내구성을 따져볼 때 전기·전자를 이용한 제어 방법은 정밀한 시설 제어가 가능하나 제어장치를 덮고 있는 보호

제3장 연구개발수행내용 및 결과

장치가 부식되거나 손상되어 해수에 노출될 경우 오작동하여 침하 또는 부상 도중 가두리의 균형이 무너질 가능성이 있다. 또한 복잡한 금속 기계 등으로 구성된 물리적 시스템은 해수에 대한 부식의 우려가 있어 필요시 갑자기 동작하지 않거나 동작 중 파손될 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 원통형 가두리의 균형을 균일하게 유지시키면서 침강력의 크기만 변화시키는 비교적 단순한 원리와 구조를 가지면서도 안정적으로 가두리를 침하 부상시킬 수 있는 부침식 가두리를 설계하였다. 아래에는 중심부력제어식 가두리의 특징을 열거하였으며 개념도를 그림으로 나타내었다.

- 원통형 가두리의 균형을 균일하게 유지시키면서 침강력 크기만 변화시키는 단순한 원리와 구조를 가지면서도 안정적으로 가두리를 침하 부상시킬 수 있는 구조
- 파랑의 영향 중 안정적 침하가 가능한지에 대해 모형실험 수행실험에 사용
- 직경20m, 높이 10m 원통형 PE프레임 가두리를 1/10로 축소하여 제작
- 실물 그물규격은 그물 한발 길이 30mm, \varnothing 4mm인 나일론 사각망지
- 모형의 상부프레임은 2m 직경의 PE재질의 도넛 형태이며 속이 비어 있어 부력재의 역할을 할 수 있게 하고 하부의 바닥망 쪽에는 상부 프레임과 같은 직경의 SUS 링을 부착한 후 SUS링의 중심(원의 중심)에 부력제어기를 장치함
- 부력제어장치는 해수 및 공기가 출입하는 원통형 탱크와 탱크가 공기가 충전되어 부력이 발생할 경우 안정시켜주는 중량추가 붙어 있는 비교적 단순한 구조로 되어 있음
- 원통형 탱크를 여러 가닥의 줄로 균형 있게 연결하고 원통형 탱크에 공기와 물을 출입시킴으로써 부력 제어가 가능하게 함

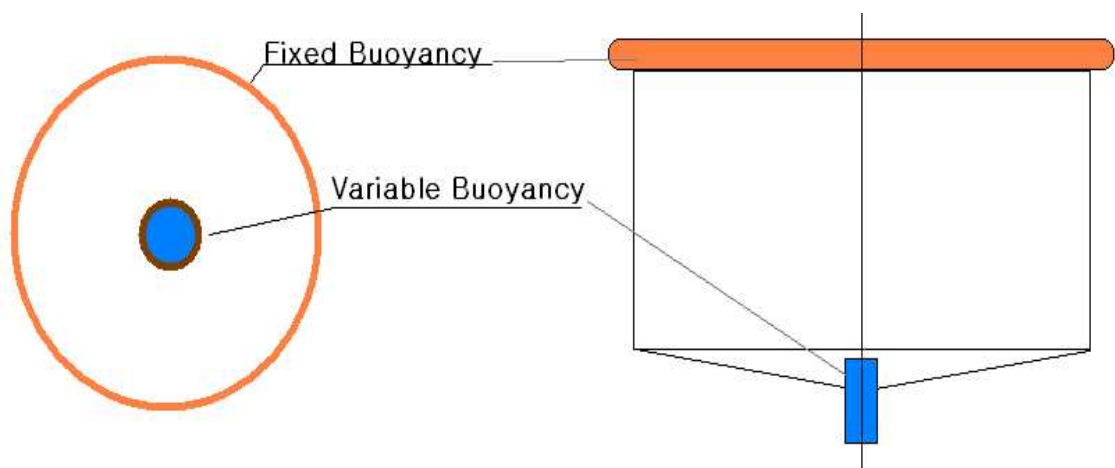


그림 106. 중심부력제어식 가두리의 안정적 침하부상 원리

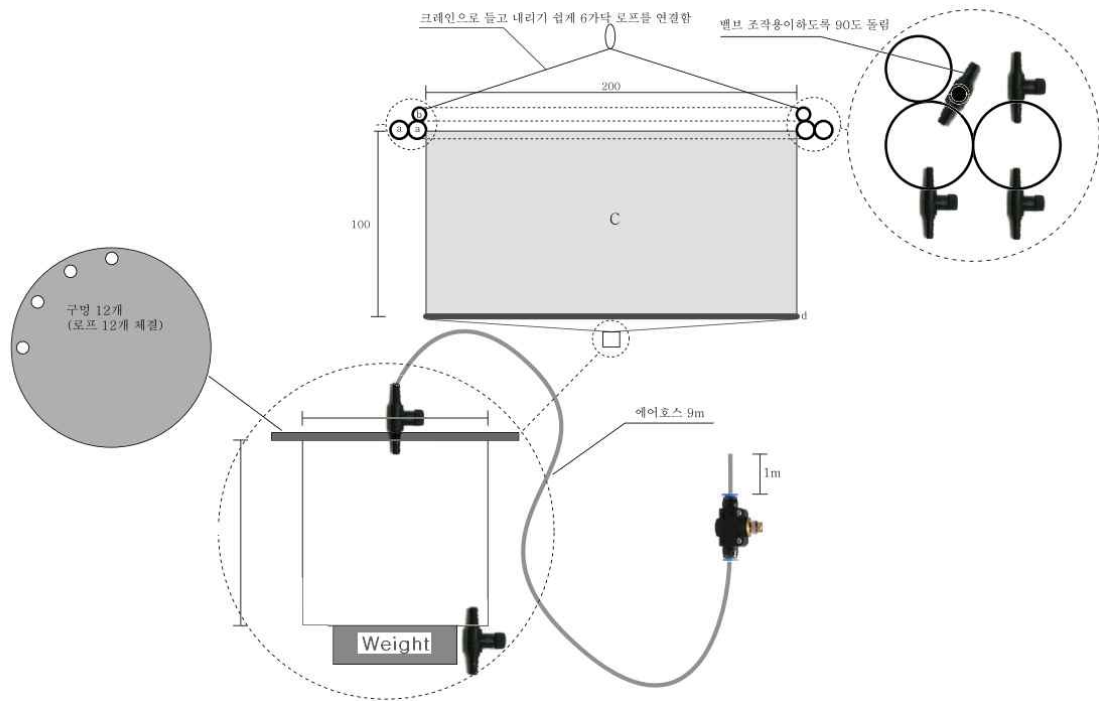


그림 107. 중심부력제어식 가두리의 개념도

나. 모형실험 방법

1) 파랑에 대한 계류력 측정 실험

계류력 측정은 국립수산과학원 3차원 조파수조(L85m×W10m×D4.3m, Max wave 0.5m)에서 수행되었다. 각 가두리를 3차원 조파수조에서 조파기로부터 20m 거리에 고정시킨 후 규칙과 조건에서의 운동응답을 계측하였다. 로드셀(용량50kgf)을 모형 가두리를 고정하는 각 계류로프에 하나씩 장치하여 파고별 각 계류로프에 작용하는 장력측정을 통해 계류로프에 요구되는 강도 및 최대하중을 측정하였다.

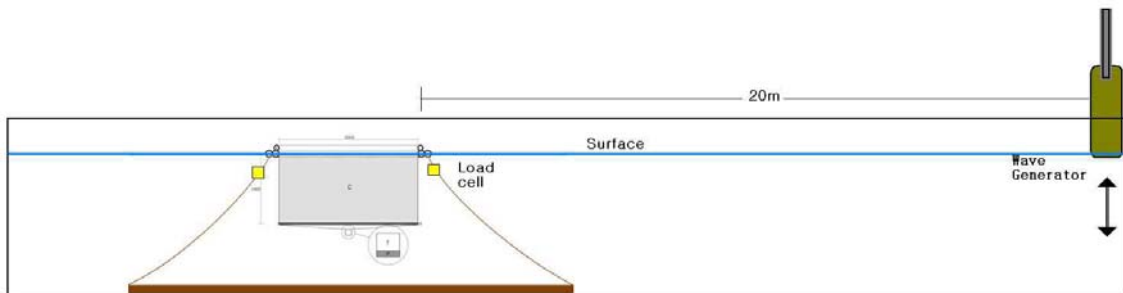


그림 108. (a) 3차원 조파수조를 이용한 계류력 측정 실험 개념도

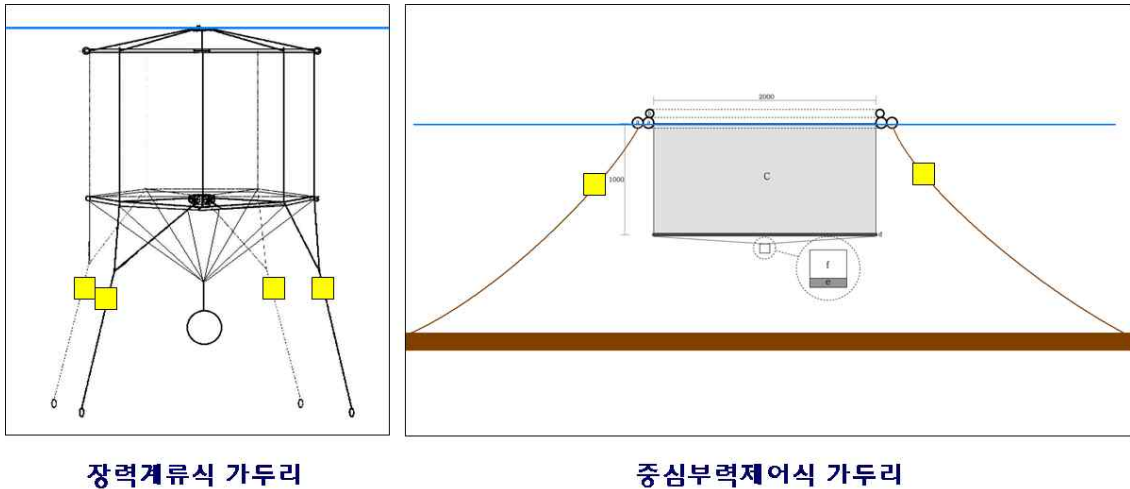


그림 109. 계류력 측정센서(로드셀)의 위치

2) 파랑 중 가두리의 침하부상 실험

실험에 사용한 가두리는 직경 20m, 높이 10m 원통형 PE프레임 가두리를 1/10로 축소하여 제작하였다. 실물그물의 규격은 한발의 길이 30mm, \varnothing 4mm인 사각망지로써 나일론 무결망이었다. 모형의 상부프레임은 2m 직경의 PE재질의 도넛 형태이며 속이 비어 있어 부력재의 역할을 할 수 있게 하고 하부의 바닥망 쪽에는 상부 프레임과 같은 직경의 SUS 링을 부착하였다. SUS링의 중심(원의 중심)에 중량추가 붙어 있는 원통형 탱크를 여러 가닥의 줄로 균형 있게 연결하고 원통형 탱크에 공기와 물을 출입시킴으로써 부력제어가 가능하게 하였다. 상부의 프레임을 제외한 그물, SUS링, 중량추 등의 음성 부력요소들의 총합은 상부 프레임의 양성부력의 절대값에 10%가 크도록 구성하였고, 하부의 원통형 탱크 내부의 부력은 상부프레임 부력의 20%를 차지하도록 구성하였다. 실험은 국립수산과학원 조파수조에서 수행하였으며, 침하수심은 실제 수심 10m로 가정하고 모형 가두리를 수면에서 1m만큼 침하시켰다(모형의 축소비 1/10). 실험조건별로 침하부상을 각 3회 반복하면서 침하 부상 과정에서의 장력변화를 계측하였고, 침하부상 시 가두리의 편향 현상 및 그물의 변형정도를 확인하기 위해 수중카메라로 침하 부상 장면을 촬영한 후 이미지를 분석하였다. 가두리를 부상 시킬 때는 가두리 하단부에 위치한 부력제어기의 공기주입구에 컴프레셔를 이용하여 공기를 주입하여 가두리 전체가 양성부력을 가지게 함으로써 부상 운동을 하게 하였다. 부력제어기의 공기주입구를 개방하면 수압에 의해 부력제어기 내부로 물이 유입되어 자연스럽게 음성부력이 형성되므로 이를 통해 침하운동을 구현하였다. 실험의 편의성을 위해 가두리의 잉여 부력재를 모두 제거하고 고정 부력재만을 장치함으로써 전체 부력을 중성부력에 가깝게 만들었다. 이러한 과정을 통하여 부력제어기에 소량의 물을 넣고 빼는 것만으로도 침하 부상 운동 상태가 빠르게 전환되도록 하였다.

2. 결과

가. 파랑에 대한 계류력 측정 결과

계류력 측정 시 사용된 두 모델의 유체정역학적 특성 중 장력계류식 가두리 설계 특성상 중심부력제어식 가두리보다 계류로프의 초기 장력이 4배 이상 크게 나타났다.

표 22. 실험 모형의 유체정역학적 특성

	장력계류식	중심부력제어식
축적과 크기	1/10 \varnothing 1.5m, H1.46m	1/10 \varnothing 2.0m, H1.0m
부력(kgf)	81.25	46.25
초기텐션(kgf)	44.94	9.94
초기텐션(kgf/계류줄1개)	11.24	2.48

그림 110은 가두리가 설치된 조파수조 위에서 본 모습으로 파랑의 진행방향과 각 센서의 위치를 나타내고 있다. 그림 111은 수조에 정수중에 계류된 Tension-leg방식의 가두리와 중심부력 제어식 가두리의 모형에 대한 사진이다.

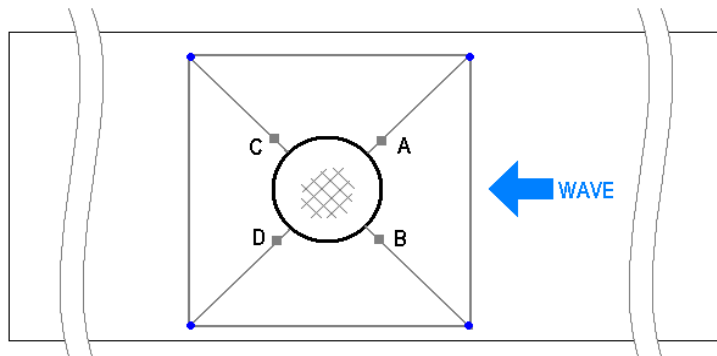
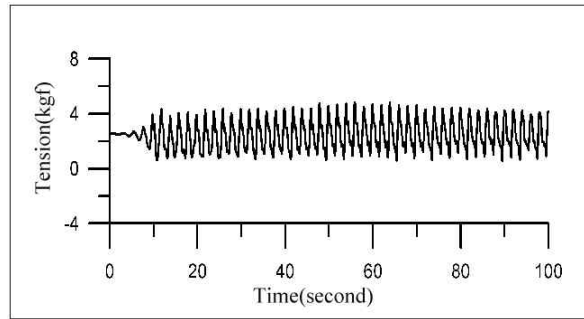


그림 110. 파랑 입사방향에 대한 각 로드셀의 위치(top view)

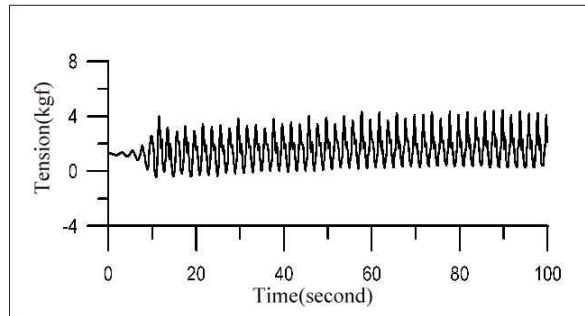


그림 111. Tension-leg식 가두리(좌), 중심부력제어식 가두리(우)

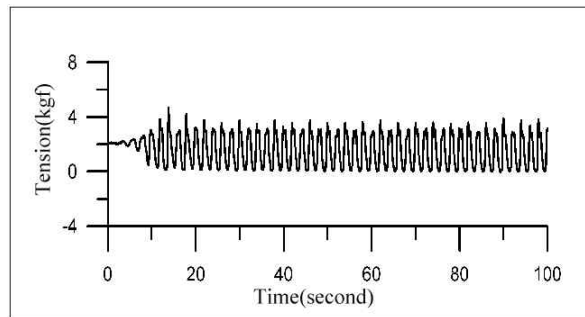
제3장 연구개발수행내용 및 결과



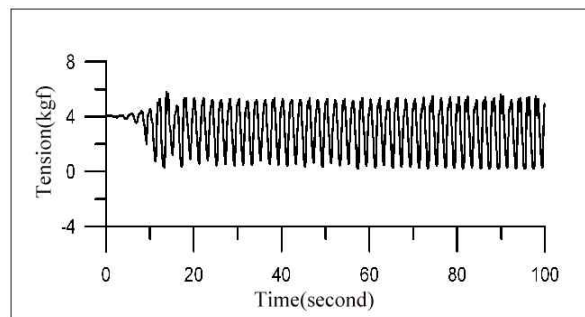
(a) Tension of part A by time series



(b) Tension of part B by time series

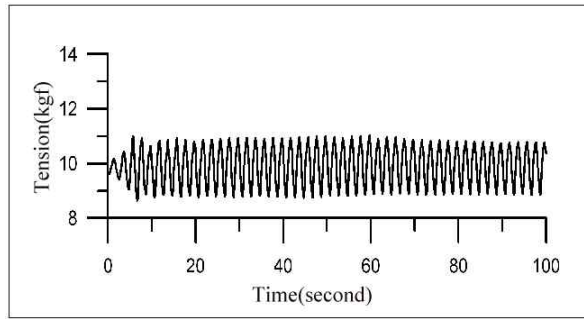


(c) Tension of part C by time series

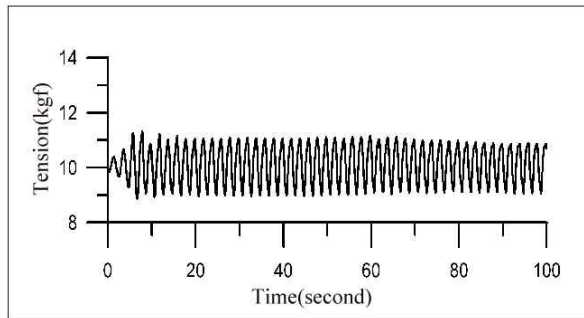


(d) Tension of part D by time series

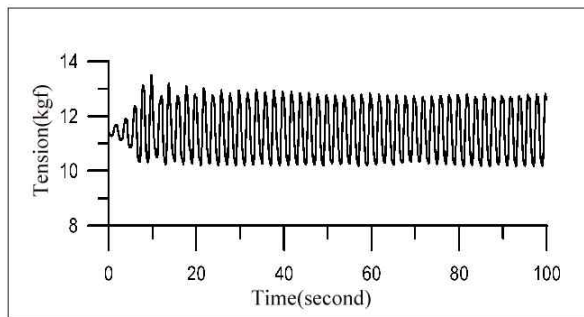
그림 112. 중심부력제어식 모형 가두리의 계류력(파고 0.3m, 주기 2s)



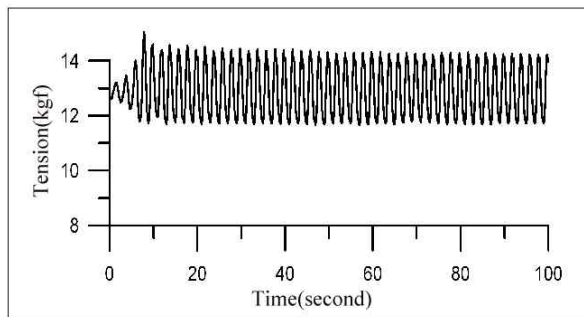
(a) Tension of part A by time series



(b) Tension of part B by time series



(c) Tension of part C by time series



(d) Tension of part D by time series

그림 113. Tension-leg방식 모형 가두리의 계류력(파고 0.3m, 주기 2s)

제3장 연구개발수행내용 및 결과

그림 112의 그래프는 파고 0.3m, 주기 2초인 파랑조건에서 중심부력제어식 가두리를 지지하고 있는 4가닥의 계류 로프에 작용하는 인장력을 나타낸다. 각 로프에 작용하는 계류력의 최대값은 5.8kgf으로 나타났으며 4개의 로프에 작용하는 전체 계류력은 약 20 kgf로써 초기 계류력을 고려할 때 파랑에 의한 순수 힘은 약 10 kgf인 것으로 나타났다. 또한 4개의 로프에서 나타난 총 계류력의 변동폭은 약 16 kgf로 나타났다. 그림 113는 같은 조건에서 Tension-leg방식의 가두리의 각 로프에 나타난 계류력을 나타낸 것이다. 각 계류로프에 작용하는 인장력 중 최대값은 약 15 kgf로 나타났으며, 전체 계류력은 약 49 kgf로 나타났으나, 파랑에 의한 순수 힘은 약 6 kgf으로 중심부력제어식 가두리에 비해 60%수준이었고 계류력의 변동폭 또한 8 kgf으로 중심부력제어식 가두리의 50%수준으로 나타났다.

표 23. 두 가지 가두리 모형에 대한 성능 비교

구분 비교 항목	Tension-leg 타입	하부중심부력제어 타입
특 징	<ol style="list-style-type: none"> 1. 높이 15미터, 지름 14.6m, 원통형 구조로서 2,500m³의 용적 2. 장력식 계류(수중의 중량물에 의해 가두리가 가진 부력으로 계류)방법을 채용하고 있음 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 높이 10m, 지름20m의 원통형 구조로 3,100m³의 용적 2. 일반적인 수면계류방법 (계류로프가 해저에 뻗쳐있음) 방법을 채용하고 있음
장 점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 설치수심 제한없음 2. 부상식으로 운용가능 3. 형태가 생물사육에 유리 4. 먹이공급시설 설치용이 5. 유사한 구조 시설에 대한 해상실험 자료있음 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 일반적인 수면계류식 가두리와 구조가 유사하여 관리가 용이함 2. 침하부상을 제어장치 설치가 간단하고 내구성이 높음
단 점 또는 보완책	<ol style="list-style-type: none"> 1 강한 조류 시 상하부 립의 움직임으로 인한 용적손실발생 2. 상업적으로 설치할 경우 저항에 강한 그물을 사용할 필요가 있음 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 침하 후 가두리 위치를 움직임없이 안정시킬 수 있는 추가방안 필요 2. 침하부상 전후 준비 시간이 다소 필요함 3. 초기연구로 개선점이 다소 있음

두 가지 모델에 대한 실험을 비교한 결과 초기 장력은 Tension-leg타입의 가두리가 높게 나타났으나 파랑에 의한 순수 힘만을 고려하였을 때는 중심부력제어식 가두리에 비해 60%수준이었고 계류력의 변동폭도 중심부력제어식 가두리의 50% 수준으로 절반가량 낮게 나타났다. 또한 Tension-leg식 가두리는 초기 계류력이 크기 때문에 계류에 사용되는

로프의 파단강도 및 내구성이 중심부력제어식 가두리에 비해 높다. 즉, 초기장력이 약 4.5 배 높으면서도 순수한 파랑에 의한 외력은 60%에 불과하다. 이 두 가지를 고려하면 Tension-leg식 가두리에 작용하는 파랑의 힘은 상대적으로 13%로 낮아지므로 안정성은 보다 높아진다. 따라서 Tension-leg식 가두리가 환경외력에 대한 안정성이 중심부력제어식 가두리 보다 우수한 것으로 판단된다.

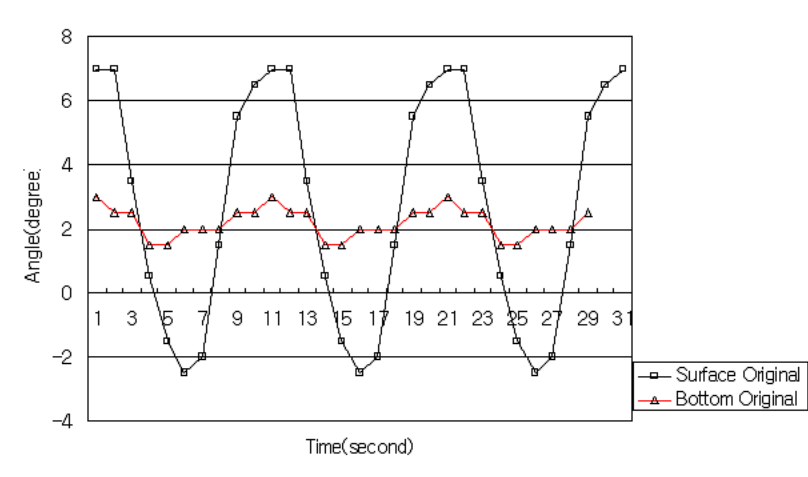
나. 파랑 중 가두리 침하부상 시험

실험결과 수중에서 기울기 변화가 거의 없는 안정적인 침하부상이 이루어졌으며, 파랑의 조건에서는 파고가 클수록 물입자 운동의 영향에 따른 흔들림이 크게 발생하였으나 평균적인 기울기는 비교적 일정하게 유지되면서 침하 부상이 이루어졌다. 이와 같이 안정적인 침하부상이 이루어진 원인 중 첫 번째는 밀폐형 원형 프레임은 내부 공간의 크기와 분포가 360도 방향으로 일정하면서도 각 방향에 대해 부력이라는 큰 힘이 지속적으로 작용하는 구조로써 침하부상과정에서 시설전체에서 발생하는 소규모의 균형변화에 지속적으로 대응하는 균형 유지장치 역할을 한 것으로 보인다. 또한 하부 중간에 위치한 원통형 탱크는 가두리 전체의 무게 중심점에 위치함으로써 기하학적인 균형 변화에는 영향을 미치지 않으나 단지 가두리의 침강력 변화라는 스칼라적인 변화만을 가져옴으로써 가두리의 균형유지에 기여한 것으로 판단된다. 그림 114는 중심부력제어식 가두리의 침하부상 실험 장면을 나타내며, 그림 115는 파고 0.3m, 주기2초인 파랑 조건에서 모형가두리의 거동을 0.2초단위로 촬영한 이미지를 분석하여 가두리 상부프레임의 영각변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 115a는 보정하기 전의 값으로 나타낸 그래프이며 그림 115b는 평균값을 기준으로 보정한 값에 대한 그래프이다. 영각 변화는 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 나타내는데 바닥 수심 근처에서의 최대 영각은 표층에서의 값에 비해 18.8%로 낮게 나타났다. 그림 1116은 침하부상 과정 중 파랑에 의한 계류력의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 파랑에 의한 물입자의 운동은 수심이 깊어질수록 감소하기 때문에 모형실험 결과에서도 마찬가지로 수심에 따라 계류력이 감소하는 것을 알 수 있다. 파고 0.3m, 주기 2초인 규칙파 조건에서 수심 1m 바닥에서의 계류력은 표층에서의 계류력에 약 10%정도로 측정되었다.

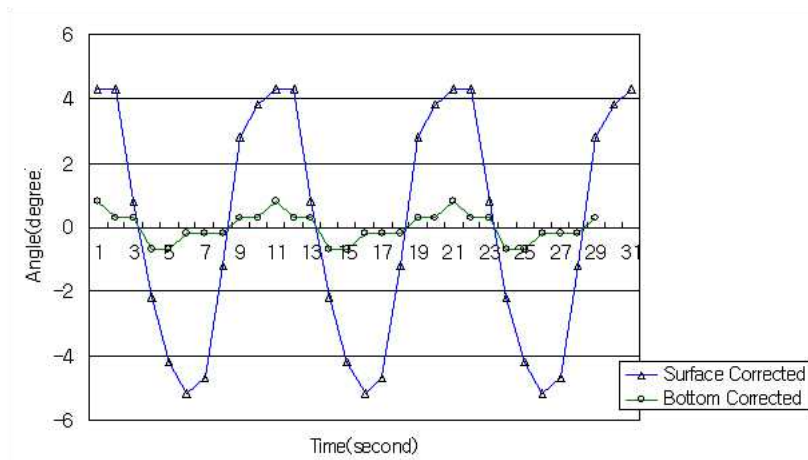


그림 114. 중심부력제어식 가두리의 침하부상 실험 장면

제3장 연구개발수행내용 및 결과



(a) Original data



(b) Corrected data

그림 115. 파랑의 영향에 따른 상부 프레임의 영각변화(수면 = 0도)

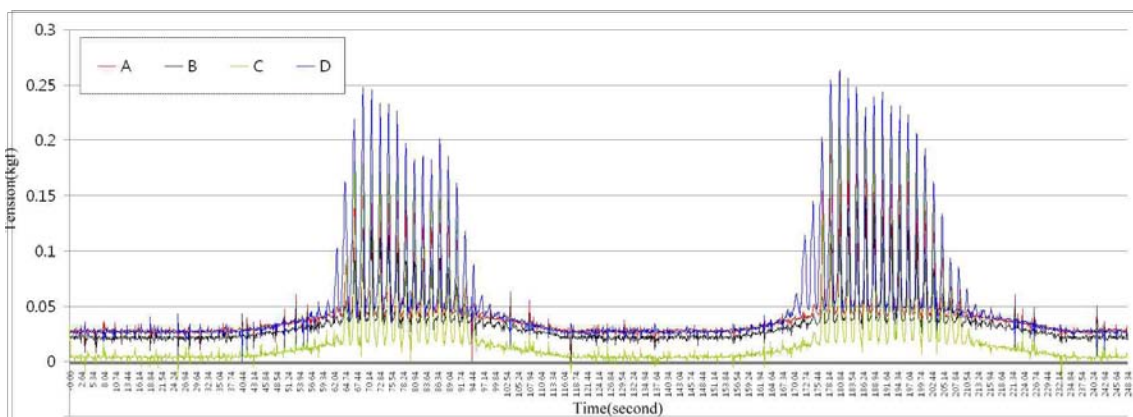


그림 116. 침하부상 과정 중 파랑에 의한 계류력 변화(파고 0.3m, 주기 2s)

그림 117은 모형가두리의 침하부상과정을 정수중에서 4초간격으로 촬영한 결과를 나타낸다. 또한 그림 118은 파고0.3m, 주기2초인 파랑 조건에서 표층에서 침하 중인 모형가두리를 0.2초 간격으로 촬영한 결과를 나타내며, 그림 119는 같은 조건에서 0.5m 이하 수심 근처에서 침하 중인 장면을 연속적으로 나타낸 것이다. 그림 14는 실제 파고 3m를 가정한 실험으로 파랑의 영향을 받으면서 침하가 이루어질 때도 비교적 가두리의 형상 유지가 양호한 것을 나타낸다.

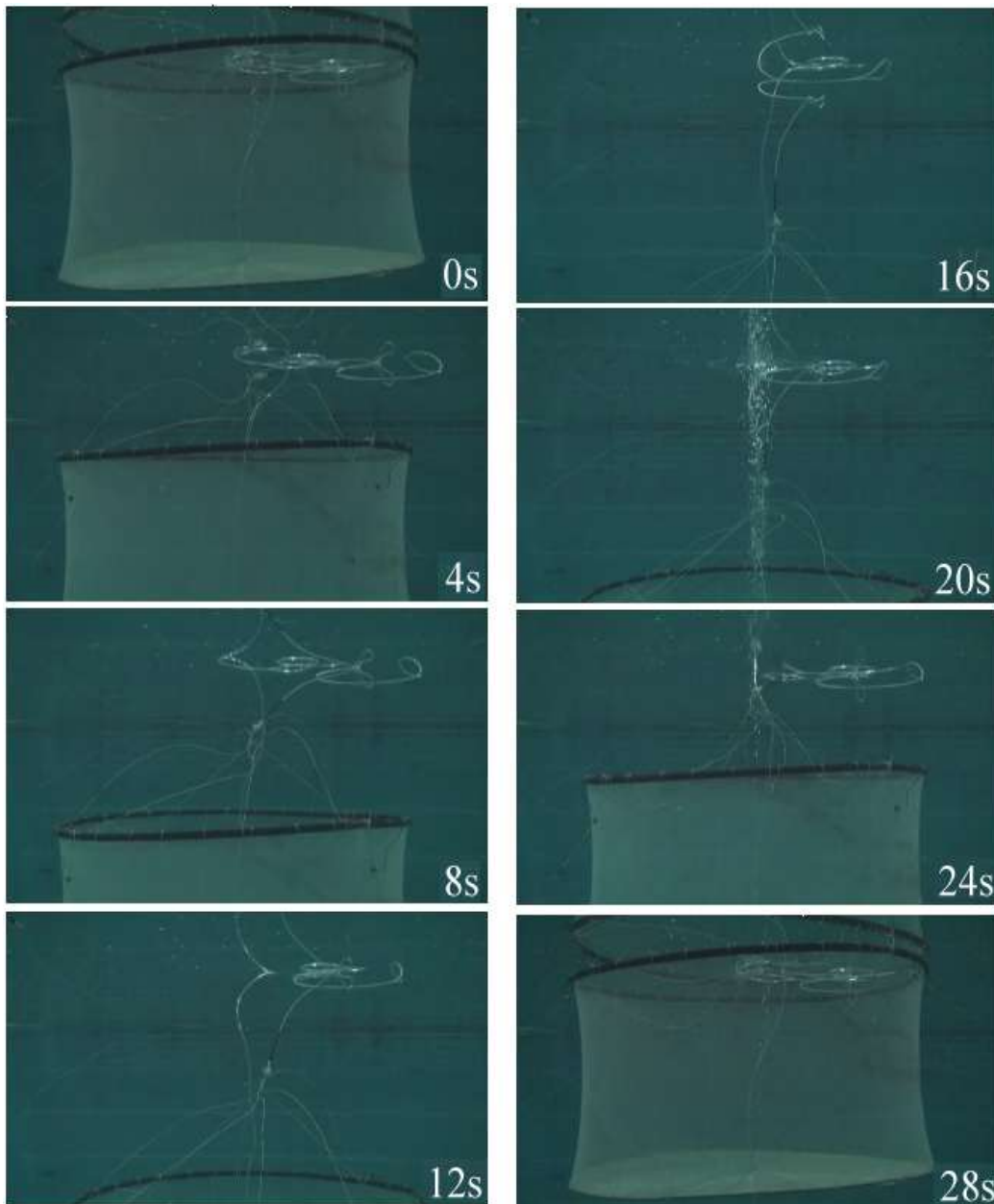


그림 117. 정수중에서의 침하부상 과정

제3장 연구개발수행내용 및 결과

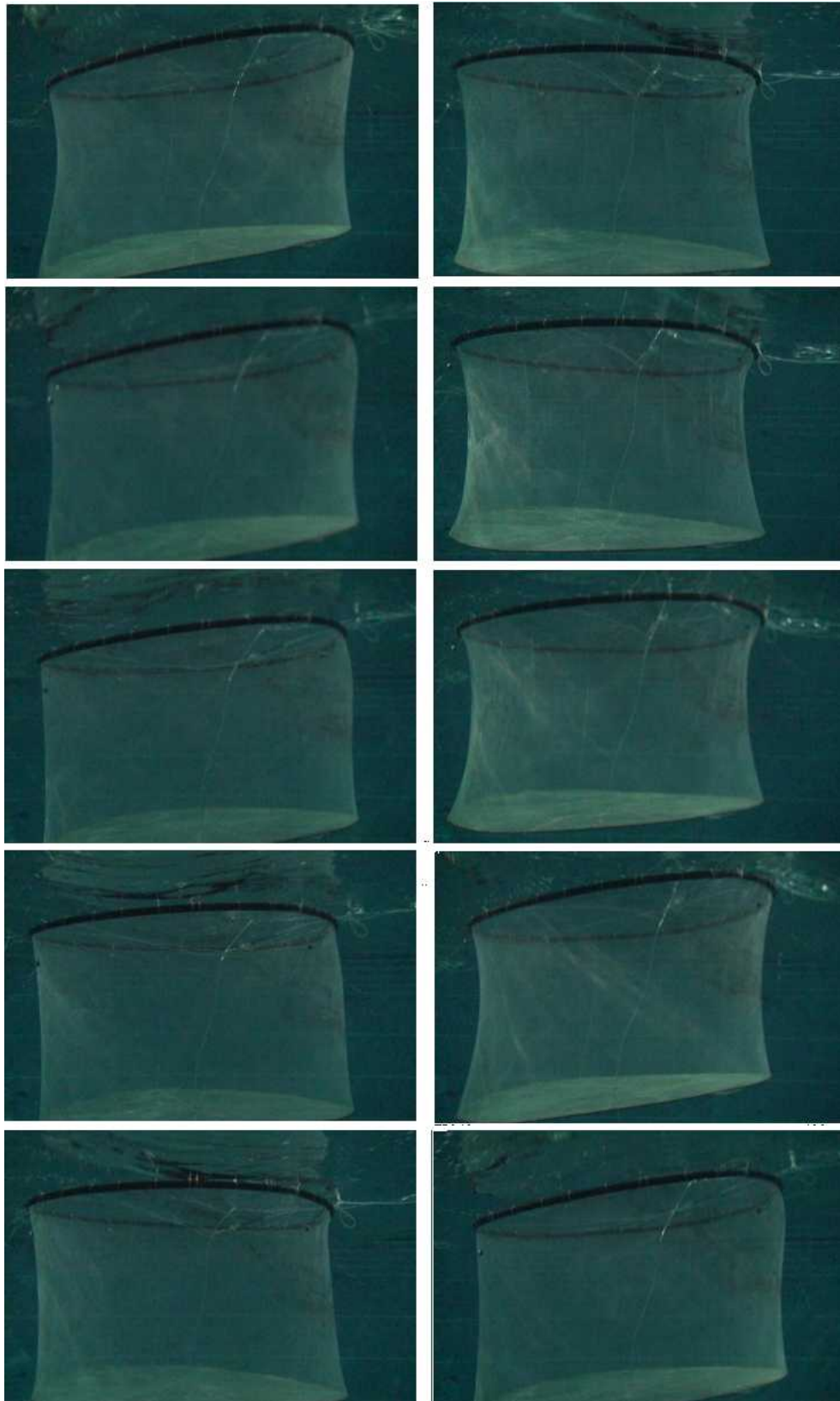


그림 118. 파랑(0.3m, 2s) 중 침하하는 가두리의 수면위치에서의 거동 (0.2초간격으로 촬영)

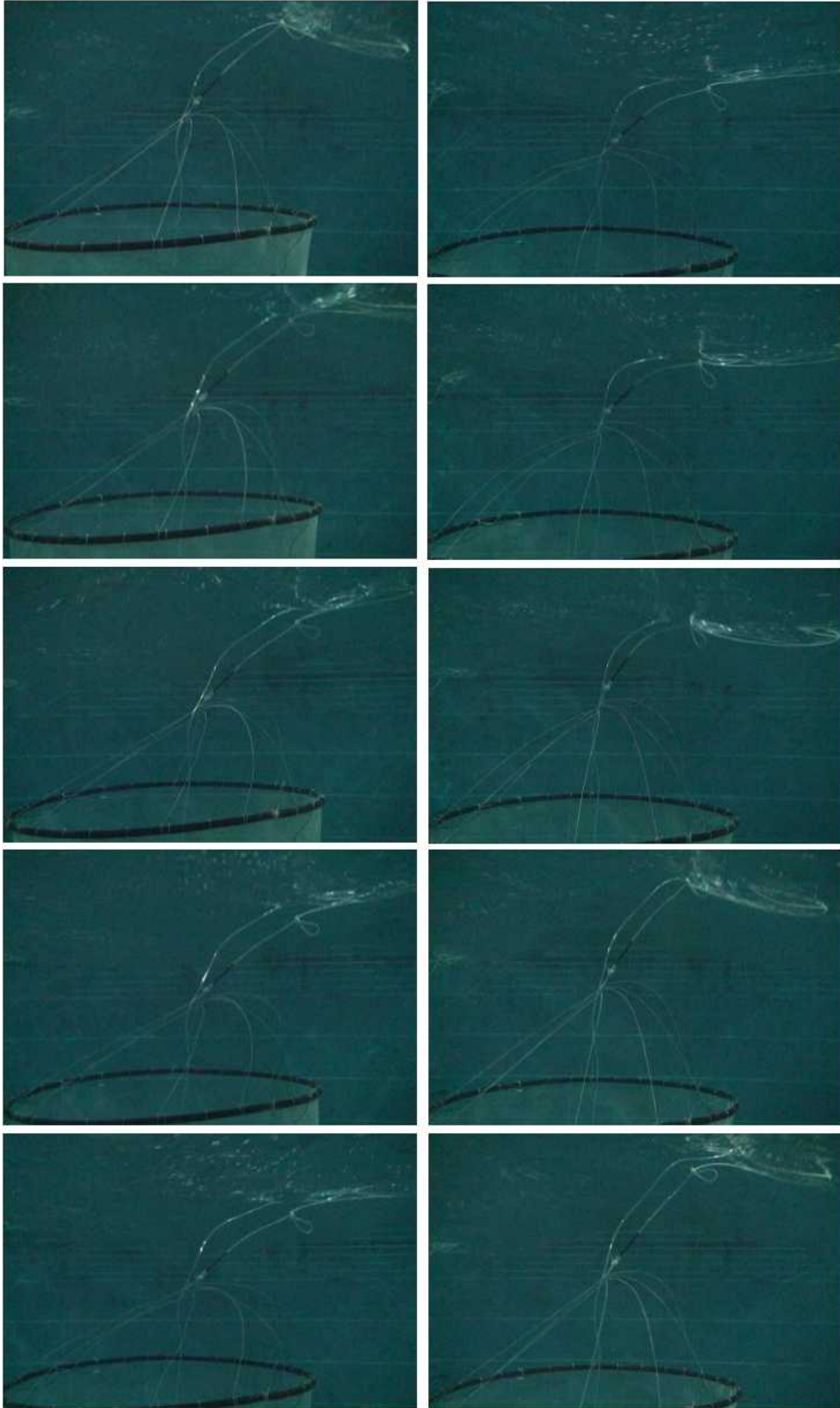


그림 119. 파랑(0.3m, 2s) 중 침하하는 가두리의 수면 0.5m 이하에서의 거동
(0.2초간격으로 촬영)

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 참다랑어 양식기술 연구개발

제 3 장
연구개발 수행내용 및 결과

제 4 절
참다랑어 육상양식기술개발(위탁연구)



제 4 절 참다랑어 육상양식기술개발(위탁연구)

1. 차세대 어미군 확보 및 사육관리

가. 자연산 종묘 포획 방법

제주특별자치도 해양수산연구원 시험조사선(17톤)을 이용하여 매월 참다랑어 치어 포획에 의한 어장 조사 및 어군 분포도, 해역별 내유시기를 조사하였고, 9월 11일부터 참다랑어 치어가 포획되기 시작하자 민간 어선을 임차하여 포획을 시도하였다.

1) 시험어구

시험 어구는 뺨침대를 적당한 길이로 3등분하여 각 등분점마다 1가닥씩 쿠션 고무로 만든 낚시 끝줄에 끝줄을 연결하는데, 뺨침대의 길이보다 약 1m 길게 구성하였다. 어획 시 어획물을 어선 안으로 끌어당길 수 있게 각각의 끝줄 끝에 돋움줄을 연결하였다. 가장 바깥쪽의 1번 끝줄 끝에는 길이 15발, 중간에 있는 2번 끝줄 끝에는 길이 10발, 3번 끝줄 끝에는 길이 8발이 되도록 원줄을 연결하였다. 각각의 원줄 끝에는 5.5호의 잠항판을 연결하고 잠항판의 뒤쪽에 1~1.5m의 아릿줄을 달아 그 끝에 12~13호의 새털 쌍낚시를 사용하였다.

2) 뺨침대

어구를 6가닥 사용하려고 하면 각각의 루어와 낚시줄이 엉키지 않도록 뺨침대가 필요하다. 루어의 움직임은 높은 곳에서 끌 경우와 낮은 곳에서 끌 경우 차이가 발생하지만, 뺨침대는 해면으로부터 약 40°의 각도를 유지하게 설치하였다. 조업할 때 조파의 가장 바깥쪽을 예향하도록 뺨침대의 길이를 설정하였다. 치어가 어느 위치에서 흘러보낸 어구에 어획되어도 어구끼리 엉키지 않게 배 위로 올릴 수 있도록 어구 원줄의 길이를 서로 다르게 배치하였다.

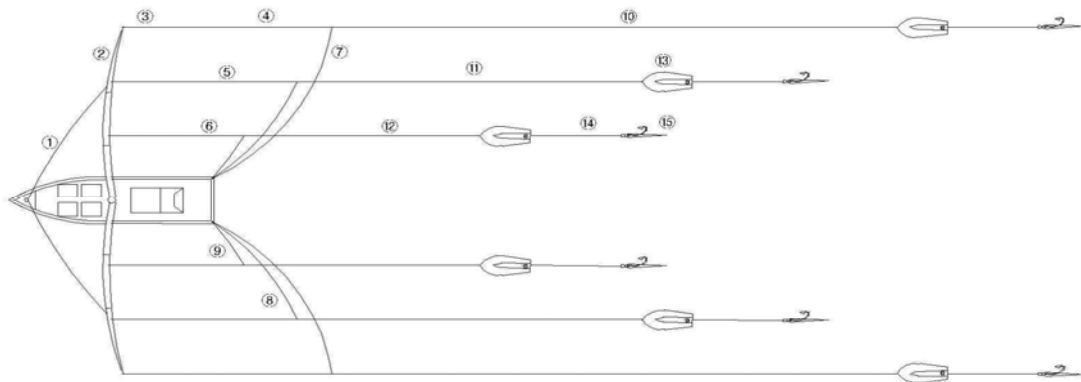


그림 120. 참다랑어 치어 낚시 어구 견취도

표 24. 참다랑어 치어 포획을 위한 어구 사양

부호	명 칭	재 질	규격 · 치수	수량
①	버 팀 줄	브레이드로프	φ4mm	1
②	뺨 침 대	FRP	9m, 밑둥 φ88mm, 3가닥, 12kg	2
③	낙싯대 끝줄	쿠션고무	φ7mm × 2m	6
④	끝 줄(1)	브레이드로프	φ4mm, 8m	2
⑤	끝 줄(2)	브레이드로프	φ4mm, 5m	2
⑥	끝 줄(3)	브레이드로프	φ4mm, 2m	2
⑦	돈 움 줄(1)	가다랑어코드	φ1.8mm, 10m	2
⑧	돈 움 줄(2)	가다랑어코드	φ1.8mm, 7m	2
⑨	돈 움 줄(3)	가다랑어코드	φ1.8mm, 4m	2
⑩	원 줄(1)	가다랑어코드	φ1.8mm, 22.5m	2
⑪	원 줄(2)	가다랑어코드	φ1.8mm, 15m	2
⑫	원 줄(3)	가다랑어코드	φ1.8mm, 12m	2
⑬	잠 항 판	나무	5.5호, 165mm	6
⑭	아 릇 줄	나일론	φ0.65mm, 1~1.5m	6
⑮	루어+낙시	새털+철	쌍침 12호, 13호	6

※ 명칭 중 괄호 안의 숫자는 뺨침대 끝의 것을 1번으로 함

3) 잠항판

잠항판은 연 모양의 물체로써 연날리기와 마찬가지로 빙글빙글 돌아 낙하하는 연에 꼬리를 붙여서 저항체를 갖게 하면 안정된다. 빙글빙글 돌아서 수면으로 부상하는 잠항판의 후부에 고무를 무겁게 부착하고 아릿줄을 잠항판의 후부에 연결하여 저항을 부가하여 조정하였다. 잠항판은 예항하게 되면 바다 속에서는 물의 저항력으로 인하여 판이 좌우로 움직이고, 이에 따라 루어를 좌우로 움직이게 하는 역할을 하였다. 어획되면 예항 각도가 변하여 저항력이 없어지므로 판이 반전하여 수면으로 부상하였다.

4) 뺨침대 홀더

낙싯대나 릴에 비하여 무겁고 큰 끝낙시용 장비를 장시간 손에 잡을 수 없기 때문에 뺨침대를 전개할 홀더가 필요하므로, 브리지 옆에서 뺨침대의 각도를 조절할 수 있는 자유형 홀더를 제작하여 설치하였다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과



그림 121. 참다랑어 치어 포획을 위한 끝낚시 설치 전경

5) 선상 수송 수조

5톤급의 어선에 설치하기에 적절한 수조(FRP제, $\Phi 1.6\text{m} \times \text{H}0.7\text{m}$)를 도면과 같이 설계 제작하였다. 수조 중앙부에 파이프를 삽입하여 그 끝이 수조 바닥면으로부터 0.1m 떨어지도록 배치하였으며, 급수용 호스를 파이프 안으로 삽입하여 해수가 바닥면에 분사되면서 수조 바닥의 배설물 등의 잔류물을 수조 위로 배출하게 설계하였다. 수조 상면은 빛이 투과할 수 있는 재질로 제작하여 수조 안의 고기가 벽면을 용이하게 관측하여 충돌사를 감소시키도록 고안하였다. 또한 환경 변화로 인하여 발생하는 경악 반응 이후에 나타나는 수조 벽면과의 충돌을 방지할 목적으로 폭 50mm의 흰색과 붉은색의 세로 줄무늬를 반복 배치하였다. 어획어의 반출입과 배출수의 배출구로 사용되는 곳은 크기가 약 $0.5 \times 0.6\text{m}$ 의 직사각형 모양이며, 파랑에 의하여 선체가 요동할 때 수조 안의 해수가 대량으로 넘치지 않게 배출구 입구 위를 안쪽으로 60mm 접어서 제작하였다.

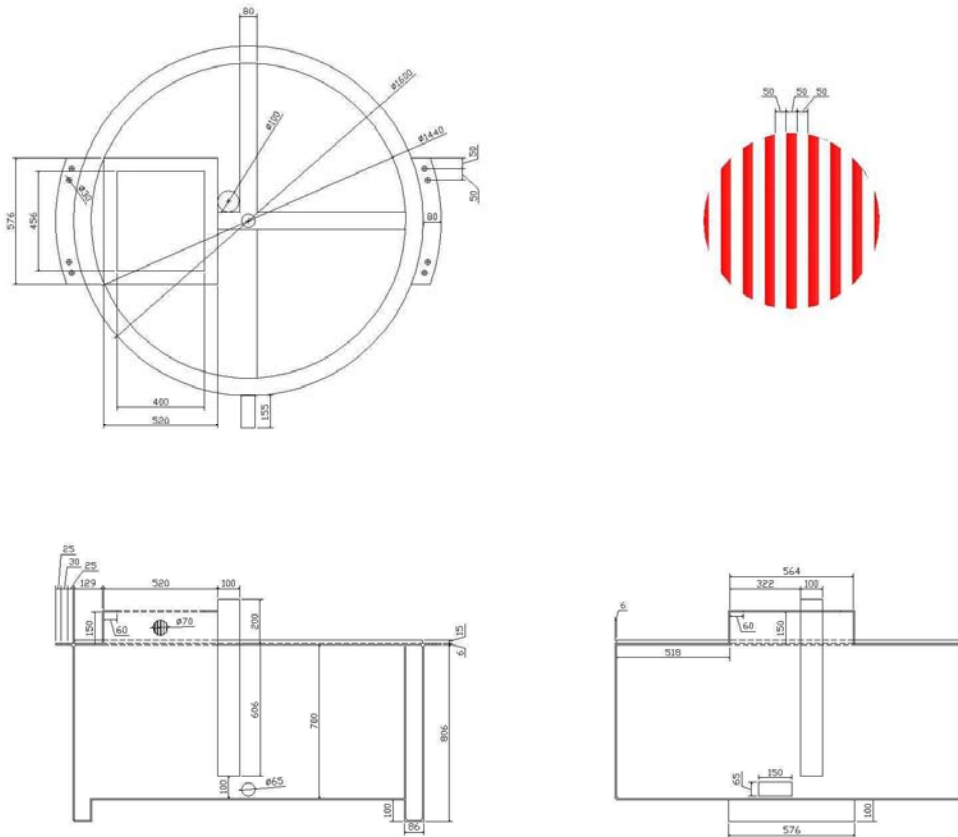


그림 122. 참다랑어 치어 선상 수송 수조 모식도

6) 어장 조사

제주해역을 4개 해역 즉, 성산연안의 동부해역, 표선~서귀 연안의 남부해역, 비양도와 차귀도연안의 서부해역, 추자도와 사수도연안의 추자해역으로 구분하였다. 이들 해역을

제3장 연구개발수행내용 및 결과

중심으로 2007년도 하반기부터 삼치끝납시어구, 참다랑어 치어 끝납시어구, 갈치 채납기 어구, 정치망에서 참다랑어 치어의 내유 시기 및 크기, 어장의 표층 수온을 측정하였다.

표 25. 연도별·해역별 참다랑어 치어 어장 조사 기간

(단위 : 월)

연 도	동부	남부	서부	추자	거문도	EEZ
2007	11	12	11			
2008	5, 10, 12	2~3, 9~12	1~4			
2009	3~4, 8~9	2~3, 7~9		9~10	5, 10	5, 7
2010	2	1~5, 7~10		8~10		

표 26. 연도별·해역별 참다랑어 치어 어장 조사 어구

연 도	동부	남부	서부	추자	거문도	EEZ
2007	끝납시	끝납시	끝납시			
2008	끝납시	끝납시	정치망 끝납시			
2009	끝납시	끝납시		끝납시	채납기 끝납시	끝납시
2010	끝납시	끝납시		끝납시		

나. 자연산 종묘 포획 결과

본 연구에서는 전통적인 어구를 사용하여 참다랑어 치어의 내유 시기 및 존재를 파악한 후 이러한 어종을 효율적으로 어획할 수 있도록 시험 어구를 제작하였다(九州·山口ブロック水試漁業分科會編, 1977). 2010년 1월부터 10월까지 매월 제주도 주변해역에서 참다랑어 치어 어획 실험결과 9월 12일부터 200g~700g 사이의 참다랑어 치어가 백다랑어와 혼획되면서 어획되었으며, 시험 조업 시 도출된 결과를 다음과 같이 분석하였다. 그리고 2007년부터 2010년까지 시험조업하면서 얻은 결과를 바탕으로 제주 주변 해역에서의 참다랑어 치어 어장도 및 회유로를 분석하였다.

1) 포획 시간대

플랑크톤을 섭식하는 멸치 등의 소형어를 참다랑어 등의 대형어가 섭식하는 식물 연쇄 현상이 일어난다. 어류가 있는 장소를 파악하려면 먹이 생물의 유무가 중요한 요인이 되는 데, 참다랑어 치어는 먹이인 소형어를 추적하면서 대형 어군으로 회유한다.

동트기 시작하는 새벽녘에 플랑크톤과 치어는 해면 근처로 부상하고, 그것에 추종하여 회유어도 부상한다. 해가 높이 솟아오르게 되면 태양광선이 강해져서 소형어는 하층으로 침하하거나 그늘에 은신한다. 그리고 태양이 서쪽 하늘로 기울면 다시 플랑크톤과 그것을 섭이하려고 하는 소형어가 해면으로 부상하고 그것을 섭식하려고 하는 대형어도 부상한다. 이와 같은 일주 운동이 바다에서 매일 계속되고 있다. 아침과 저녁 물때에는 수면으로 떠오르는 식물성 플랑크톤을 동물성 플랑크톤과 멸치 등이 포식하게 되고, 다시 이것들을 포식하는 참다랑어 치어가 수면으로 올라오기 때문이다. 따라서 하루 중에도 각 시간에 적합한 어법이 필요하며, 천후와 조류, 수온 등이 복잡하게 얽혀 있지만, 위와 같은 식물 연쇄 현상을 고려하면 치어 어획에 적합한 하루 중 시간대는 아침에는 박명시 부터 2~3시간 후, 저녁에는 2시간 전이 적합한 것으로 추정되었다.

2) 루어

어체는 거의 2가지 색이다. 등쪽은 검푸른색이고 배쪽은 은색이나 백색이다. 이것은 새가 위에서 해면을 보았을 때 바다 색에 가깝고 큰 물고기가 아래에서 해면을 올려다보았을 때 반짝이는 해면색에 가까워서 천적으로부터 자신을 보호하기 위하여 보호색을 띠기 때문이다. 루어는 쿠로시오해류의 검푸른 색에 흡수되지 않게 2가지 색의 농담의 윤곽이 확실한 것이 좋은 것으로 추정된다. 카와무라는 새치와 가다랑어 등의 망막을 조사한 결과 색맹이라고 발표하였으며, 낚시 미끼의 중요한 유인 효과는 먹이의 움직임이지 색과 모양이 아니라고 주장하였다.

치어는 새털 등을 사용하여 비교적 움직임이 작고, 머리 부분은 강하게 반짝이는 은색, 눈은 핑크색의 루어에 잘 반응하였으며, 치어의 주둥이가 쉽게 파열되기 때문에 쌍낚시를 사용하였다. 루어의 크기는 다소 차이가 있어도 입질하지만, 어획률을 높이기 위하여 때와 장소에 따라서 포식되는 생미끼의 크기와 일치시키는 것이 좋다. 폐사한 치어의 배를 갈라서 포식한 먹이를 조사한 결과 루어의 크기는 보편적으로 12호가 적합하였다.

포획 및 낚시로부터의 탈락 실험에서도 북상회유어(0.1~1kg)와 남하회유어(1~3kg)에 적절한 루어의 크기는 각각 12호, 13호가 적정하였다.

3) 해류와 수온 · 어장

쿠로시오해류는 지구 자전에 의하여 발생하는 데, 바람이 분다든지 편서풍, 무역풍에 의하여 적도 부근의 따뜻한 바닷물이 북태평양을 시계 방향으로 순환하고 있다. 제주연안

제3장 연구개발수행내용 및 결과

을 통과하는 난류인 쿠로시오해류는 많은 끝낚시 대상어를 동반한다. 난류 측의 연안수역에는 떠다니는 해초와 쓰레기 등의 부유물 안에 다양한 어류의 생태계가 존재하므로, 이러한 해류를 잘 활용한 것이 끝낚시어구다.

끝낚시의 대상이 되는 어류는 일반적으로 회유어다. 이 중 다랑어류가 대표적이며 어느 일정 기간에 걸쳐서 연안으로 회유 색이하면서 이동하는 습성을 갖고 있는데, 유영력이 우수하고 어체는 방추형이다. 이러한 회유어는 다소 차이는 있지만 거의 매해 같은 시기에 같은 장소에 출현한다. 시험 조업 결과에 의하면 4~6월에 타이완 동측 태평양에서 부화하여 북상하기 시작한 치어는 쿠로시오해류를 타고 제주연안에 7월 하순부터 9월 하순까지 제주남동부연안으로 내유하면서 색이 회유 하였다가 쿠로시오해류가 한류와 부딪치는 동해안까지 북상하는 것으로 추정되었다. 이때 체중은 100~600g 정도이며, 이 시기의 어획 수온은 25.5~27.0℃이었다. 이곳에서 성장하면서 추자도해역으로 북상한 어군은 1kg 전후로 성장하여 10월 중순까지 어획되고 이때의 어획 적수온은 21.3~24.7℃이었다.

그리고 7~9월에 독도 주변의 동해안에서 부화한 참다랑어 치어는 쿠로시오해류 전선 해역에서 가을까지 머문 후 쿠로시오해류를 타고 10~12월에 쓰시마해역으로 남하 회유하여 다음 해 1월 중순부터 3월 중순까지 제주연안으로 적수온과 먹이를 찾아서 색이회유하는 것으로 확인되었다. 이 시기에 제주서부연안 및 제주남동부연안에서 삼치끝낚시어구에 어획되었으며, 한림연안에서는 1월 중순에 정치망에 어획되었는데 이때의 어획 수온은 14.5~16.0℃이었다.

표 27. 연도별·해역별 참다랑어 치어 어장 표층 수온

(단위 : ℃)

연 도	동부	남부	서부	추자	거문도	EEZ
2007	-	-	-			
2008	-	15.5 25.5	14.5~15.0			
2009	16.0 25.8~27.0	25.8~26.7		23.5~24.7	-	19.8~20.0
2010		25.5~26.7		21.3		

4) 새떼

참다랑어 치어는 수중에서 소형어를 멀리서부터 포위하여 한 곳에 몰아넣는데 소형어는 한 덩어리가 되어 도피하였으며, 어떤 어군은 수면으로 도약하였다. 이러한 행동을 주시하고 있던 갈매기는 바다 속으로 강하하여 회유어가 쫓고 있던 멸치 어군을 섭식하는 새떼가 생성되었다. 새떼는 멸치 등의 소형어가 도피한 방향으로 전력으로 쫓아가기 때문에 아주 빠르게 이동하는데, 먹이의 움직임에 대응하여 참다랑어 치어도 이동하였다. 새떼가 형성된 한 가운데에 루어를 잘 흘려 놓으면 아주 높은 확률로 참다랑어 치어를 어획할 수 있기 때문에 끝낚시를 할 때는 먼저 새떼를 발견하는 것이 중요하였다. 대체적으로 새떼의 움직임과 이동하는 속도를 눈대중으로 판단하여야 한다.

5) 조목

조목에는 쓰레기, 유목 등이 많이 떠다니므로, 먹이가 되는 소형어가 자연적으로 모이게 되고 그것을 먹으려고 치어가 모여든다. 조목의 주변이 물결치므로 조목의 양 쪽 경계면에서 어구를 끄는 것이 좋았다. 주위를 멀리 바라보면 쓰레기가 있고 포획할 확률이 높은 해역이지만, 해면의 부유물보다 바다 속에 흘러 다니는 것이 많으므로 쓰레기를 피하여 조선헌 필요가 있었다.

6) 선속

끝낚시어구의 예항에 적절한 선속은 3.5~4.5노트였다. 참다랑어는 색이행동 중 조류를 거슬러 유영하는 습성이 있으며, 쫓아가서 포식하는 것을 생각하면 조류를 거스르면서 조선헌하는 편이 어획할 확률이 높았다. 따라서 조류를 거슬러서 직진하면 곧 포인트를 통과해버리기 때문에 지그재그로 진행하고, 포인트를 이탈하면 곧 되돌아와서 조선헌하는 것이 좋다고 판단되었다.

참다랑어 치어를 어획할 때 루어를 살아있는 먹이처럼 보이게 하는 것이 중요하다. 태양 빛으로 인하여 어류가 루어를 발견하기 어렵기 때문에 태양을 등지고 조선헌하는 편이 어류가 낚일 확률이 높았다.

새떼나 멸치어군으로부터 치어 어군을 발견하였을 때 그 안으로 어선을 진행하면 어군이 분산하게 되므로, 새떼, 먹이 어군이 분산하지 않도록 어군의 앞 쪽에서 그 주변을 크게 선회하여 루어가 어군의 선단에 들어오도록 조선헌하는 것이 좋았다.

7) 회유 · 어장

참다랑어 치어는 타이완 동쪽 부근의 북태평양에서 4~6월에 산란한 후 쿠로시오해류에 편승하여 북상 회유하는 태평양 발생군과 동해에서 7~9월에 산란한 후 쿠로시오해류의 역방향으로 남하 회유하는 동해 발생군으로 구분하고 있다. 당세어에서 1세어까지는 쿠

제3장 연구개발수행내용 및 결과

로시오해류를 타고 남북으로 회유하지만 그 후 성장하면서 북태평양을 횡단하여 미국의 서안까지 회유한 후 그곳에서 남북으로 회유하다가 4~5세어가 되면 산란하기 위하여 재차 타이완 부근 해역으로 회유하여 모습을 드러내는 것으로 알려져 있다.

참다랑어 치어는 주로 끝남시어구에 포획되었으며, 정치망과 갈치 채낚기 어구, 갈치 주낙어구에 소량 포획되었다. 주요 어획지역은 제주 남부~동부 연안, 서부 연안, 추자도 연안이었다. 포획한 참다랑어 치어는 100~300g급과 500g~4,900g급의 소형 개체였다.

2008~2009년에 제주남부해역과 서부해역에 남하 회유어의 어장이 형성되었으며, 태평양 발생군인 북상 회유어의 어장은 2009년 제주남부해역에 7~8월, 추자해역에 8~9월에 형성되었다. 그러나 2010년 1~3월에는 참다랑어 치어가 채포되지 않았고, 제주남부해역에서는 조사 횟수에 비해서 9월 중~하순에 어장이 미미하게 형성되어 300~500g급을 소량 포획하였을 뿐이며, 추자해역에 10월 하순에 늦게 형성되어 1~2kg급을 포획하였다.

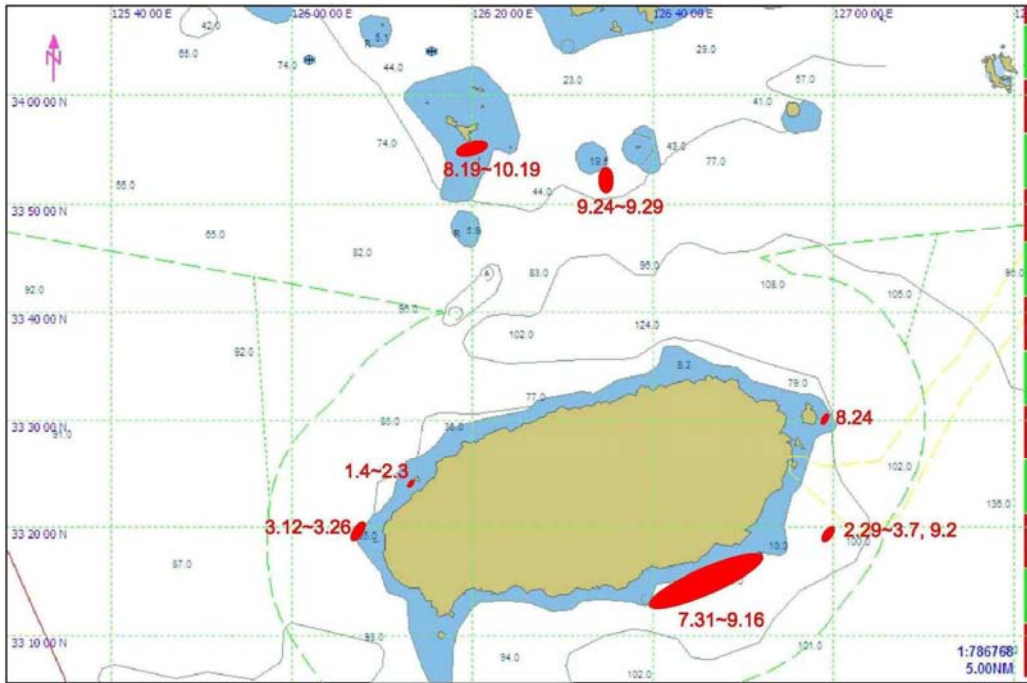


그림 123. 제주해역에서의 참다랑어 치어 어장도

제주남부해역은 해안선을 따라서 대륙사면과 유사하게 급경사를 이룬 지형이 길게 발달해 있다. 이러한 지형에서는 조석 작용에 의하여 만조가 시작되면 깊은 곳의 조류는 급경사면의 위쪽으로 솟구치는 용승 작용을 하게 된다. 이 때 깊은 곳의 해저에 있던 영양염류가 조류와 함께 위로 상승하게 되고 이러한 영양염류를 섭취하기 위해서 플랑크톤이 모여들고 또 이것을 섭식하려는 새우류 또는 멸치 등이 이동해오기 때문에 용승어장이 생성되었기 때문이라고 추정한다.

치어를 채포하려면 돌과 해역과 돌과 시기를 파악하는 것이 중요한데, 연안수의 확장 상태를 조

사한 후 참다랑어 치어의 쿠로시오해류로부터의 돌과 여부 판단하여 어장 형성 사례를 보고하고 있다(濱崎·永井, 1995). 어장 형성에 관여하는 표면 수온으로부터 한국연안수의 세력이 확장되면 쓰시마해역에서의 어군의 체류 조건으로 부적절하다고 보고하고 있다(西村 等, 2003). 앞으로는 제주해역에서 발생하는 쿠로시오해류를 횡단하는 양쯔강 등의 연안수의 확장에 착목하여 발생 시기와 장소를 검토하고, 과거에 조사한 정보를 더해서 참다랑어 치어의 채포 가능성을 분석하여야 할 것으로 생각한다.

전국적으로 참다랑어 양식 종묘의 수요가 증대되고 있는 가운데, 본 조사에서 제주해역서 참다랑어 치어를 포획할 수 있는 것으로 판명되었으므로, 그림 9와 같이 이동 경로를 모식도로 나타낼 수 있다. 제주해역은 참다랑어 치어의 남북 회유 경로에 위치하므로 어업적 가치가 매우 높은 것으로 생각된다.

표 28. 연도별 참다랑어 치어 어장 조사 횟수

연 도	횟수		
	소 계	시험선	어 선
합 계	160	66	94
2007	7	-	7
2008	28	-	28
2009	46	27	19
2010	79	39	40

표 29. 연도별·해역별 참다랑어 치어 포획량

(단위 : 마리)

연 도	합계	동부	남부	서부	추자	거문도	EEZ
합 계	144	4	109	13	13	0	5
2007	0	0	0	0	-	-	-
2008	27	0	14	13	-	-	-
2009	82	4	62	-	11	0	5
2010	35	-	33	-	2	-	-

제3장 연구개발수행내용 및 결과

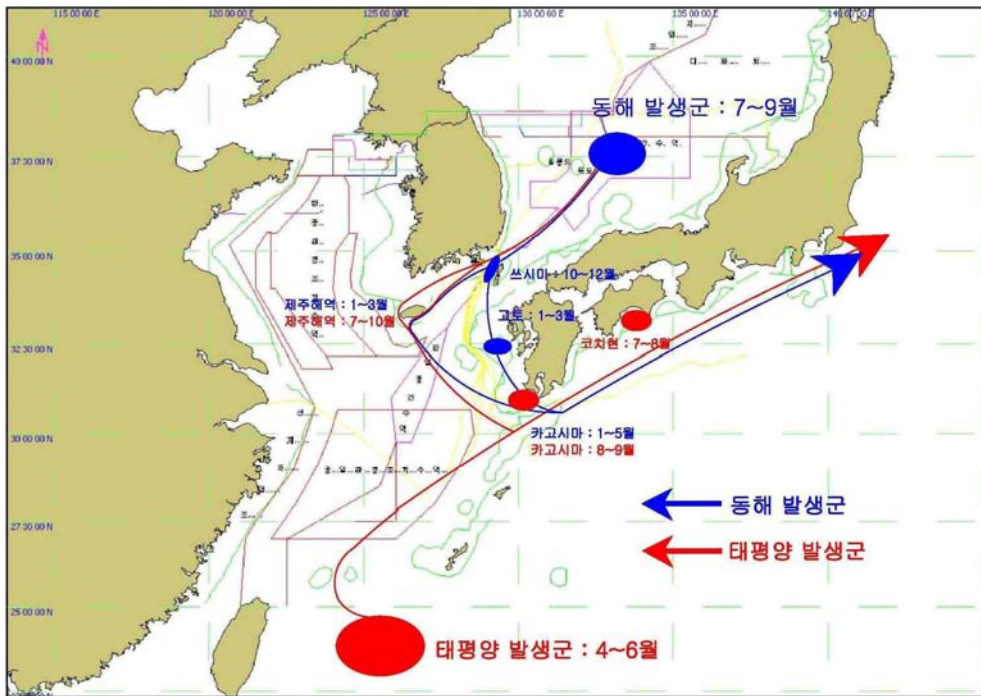


그림 124. 참다랑어 치어 이동 경로 모식도

8) 선상 취급

참다랑어 치어는 아주 까다로운 어종으로 피부가 약하고 손으로 잡으면 비늘이 벗겨지고 세균에 감염되어 폐사하게 되며, 또 빛과 소리에 민감하여 공포감을 일으킨다. 게다가 산소 요구량이 아주 커서 신선한 해수를 필요로 하기 때문에 항상 계속 유영하여 정지할 수 없는 등 본 종을 순치시켜서 장기간 사육하는 것은 아주 곤란하다고 알려져 있다. 포획한 치어를 손에 접촉하지 않고 직접 플라스틱 버킷의 해수에 낙하시킨 후 진정시켜 폐사율을 최소화하였으며 선상 수송 수조에 옮겼다.

9) 충돌사 방지

石橋(2006)는 부화 후 30~80일의 치자어의 폐사율은 직경 6m의 원형 수조에서 약 4%, 직경 30m의 원형 가두리에서 0.5%로 보고하고 있으며, 수송 중의 폐사율을 감소시키기 위하여 여러 가지 실험을 모색하고 있다(升間, 2008). 참다랑어 치어는 빛, 수조의 색, 모양 등에 따라서 경악 반응을 보이며, 근거리 존재하는 유색 물질에 대해서 현저하게 경악하고 스트레스 반응을 보이는 특성이 있다고 보고하고 있다.

石橋(2006)는 충돌사를 감소시키기 위해서 단색 수조 보다는 무늬가 있는 수조에서의 충돌사율이 감소할 것으로 추정하여 실험한 결과 폭 50mm의 세로줄 무늬를 설치한 수조에서의 생존율이 향상되었다고 보고하고 있다. 본 과제에서도 선상 수송 시 사용할 수송 수조 안의 벽면을 잘 분간할 수 있게 그림과 같이 대비가 잘되는 흰색과 적색의 세로 줄 무늬

를 수조 안의 벽면에 배치하였다. 그 결과 시험선에 설치한 수조($\Phi 2\text{m} \times \text{H}0.9\text{m}$)를 사용하여 1~2kg급의 백다랑어 25마리 및 0.1~1kg급의 참다랑어 치어 31마리를 넣고 수송하여도 충돌에 의한 폐사가 발생하지 않았다. 그러나 상부에서 주수하고 하부 측면에서 배수하게 제작된 PE제 사각 수조($\text{W}1.4\text{m} \times \text{L}1.4\text{m} \times \text{H}0.8\text{m}$)에 150g급 백다랑어 30여 마리를 수용하여 선상 수송하는 도중에 폐사 개체가 발생한 후 연이어서 폐사가 진행되었다. 폐사 원인은 수조의 형태가 사각형이기 때문에 어군의 회전 유영에 방해가 되는 것과 포획 직후 수조에 수용된 치어가 어선의 동요에 따라 수조 안에서의 해수의 유동에 의하여 치어가 토사물을 배출하게 되고 이것이 수조 바닥에 고여서 발생하는 유해 가스의 영향일 것이라고 추정된다. 따라서 활어 수송 수조는 원형이면서 토사물과 배설물을 잘 배출할 수 있고, 충돌을 방지할 수 있도록 수조 벽에 세로줄무늬가 새겨져 있는 것이 적합하다.

주간과 야간의 충돌사를 각각 경감시키기 위하여 세로 줄무늬 벽면과 야간 점등의 상승 효과를 조사한 결과 두 처리구에서의 생존율이 무 처리구의 생존율보다 현저하게 높게 나타났다고 보고하고 있다. 저녁에 어획한 치어를 선상 수송할 때 치어가 수조 벽면을 인지함으로써 충돌사가 발생하지 않게 수조 위에서 점등하여 폐사 개체가 발생하지 않았다. 따라서 벽면 모양과 야간 점등 동시 처리가 충돌사의 발생을 경감시키는 아주 유효한 방법이라고 생각되어 본 수송 실험에 도입하였다.

2. 자연종묘 육상수송기술개발

가. 수송방법

치어 포획 시 육상수조로 수송하는데 있어서 적정 방법을 조사하기 위하여 육상 수송 수조 형태 및 수용 밀도별 생존 변화를 조사하였다. 실험에 이용된 수조는 자체 제작한 FRP 원형수조(직경 1.6m×높이 0.8m, 유효수량 1.5ton)와 시판중인 플라스틱 사각수조(1.4m×1.4m×0.8m, 유효수량 1.5ton)를 이용하였다.

원형수조에 200g 내외의 백다랑어 치어를 14마리(1.9 kg/m^3), 22마리(2.9 kg/m^3), 26마리(3.5 kg/m^3), 28마리(3.7 kg/m^3) 밀도로 수용하였다. 사각수조에는 백다랑어 치어 3마리(0.4 kg/m^3), 6마리(0.8 kg/m^3), 13마리(1.7 kg/m^3), 28마리(3.7 kg/m^3) 밀도로 수용하여 육상 수송하였다.

육상 수송은 서귀포시 남원읍 위미리 위미항에서 제주특별자치도 해양수산연구원 육상 수조까지 약 20km를 운송하였으며, 운송 시간은 약 30분이 소요되었다. 육상 수송시 용존 산소농도를 높여 주기 위하여 공업용 산소를 공급하였고, 충돌에 의한 폐사를 방지하기 위하여 원형수조는 입구를 개방하여 빛이 들어 갈 수 있도록 하였으며, 사각수조는 투명 비닐로 입구를 덮어 주었다.



그림 125. 육상수송 실험에 사용된 수조 형태

나. 수송결과

1) 수조 형태별 수송결과

사각수조(1.4m×1.4m×0.8m)에 200g 내외의 백다랑어 치어를 3마리(0.4 kg/m³), 6마리(0.8 kg/m³), 13마리(1.7 kg/m³), 28마리(3.7 kg/m³) 밀도로 수용하여 육상 수송 실험한 결과 수송 중의 폐사개체는 없었으며, 생존율은 100%였다. 육상 수송시 수조내 수온은 25.1℃이었으며, 용존산소농도 14.7 ppm 이었다. 따라서 시판중인 플라스틱 사각수조와 자체 제작한 FRP 원형수조를 이용하여 육상 수송 실험 결과 생존율은 100%로 수조 형태에 따른 생존율 변화는 없었다. 이러한 것은 일본 도쿄의 육상 수족관에서 자체 제작한 활어차(사각형 수조)를 이용하여 육상 수송시 생존율이 100%의 결과와 일치한다. 또한 평균 체중 3.6 kg의 황다랑어를 육상수조에 수용하기 위하여 낚시를 이용한 포획 및 수송 과정에서 49.1%의 폐사율을 보였다. 이것은 어획되는 개체의 크기에 따른 것으로 생각되어지며, 개체 크기가 작을수록 포획 및 수송과정에서 생존율이 높다고 보고되어 있다(Wexler et al. 2003).

2) 수용밀도별 수송결과

원형수조(직경 1.6m×높이 0.8m)에 200g 내외의 백다랑어 치어를 14마리(1.9 kg/m³), 22마리(2.9 kg/m³), 26마리(3.5 kg/m³), 28마리(3.7 kg/m³) 밀도로 수용하여 육상 수송 실험한 결과 수송 중의 폐사 개체는 없었으며, 생존율은 100%였다. 육상 수송시 수조내 수온은 22.3℃였으며, 산소농도 12.5 ppm 이었다. 본 실험에서는 육상 수송 수조내 수용 밀도를 최대 3.7kg/m³ 내외로 하였다. 그러나 가두리를 이용한 친어사육에 있어서 최대 밀도를 3 kg/m³로 추정하고 있으며(Sawada, 2005), 양식과정에 있어서 출하시기의 밀도를 1 kg/m³ 이하로 사육하는 것이 좋다고 보고하였다(Masuma et al., 2008). 그렇지만 일본의 경우 육상 수송시 사육수 환수 및 여과장치가 설치된 대형 활어차로 약 6~10 kg/m³내외로 수용하여 수송하고 있다(Mimori et al., 2006). 따라서 앞으로 육상수송시 경비 절약 등을 위해서 최대 수용 밀도를 산정할 필요가 있는 것으로 생각된다.

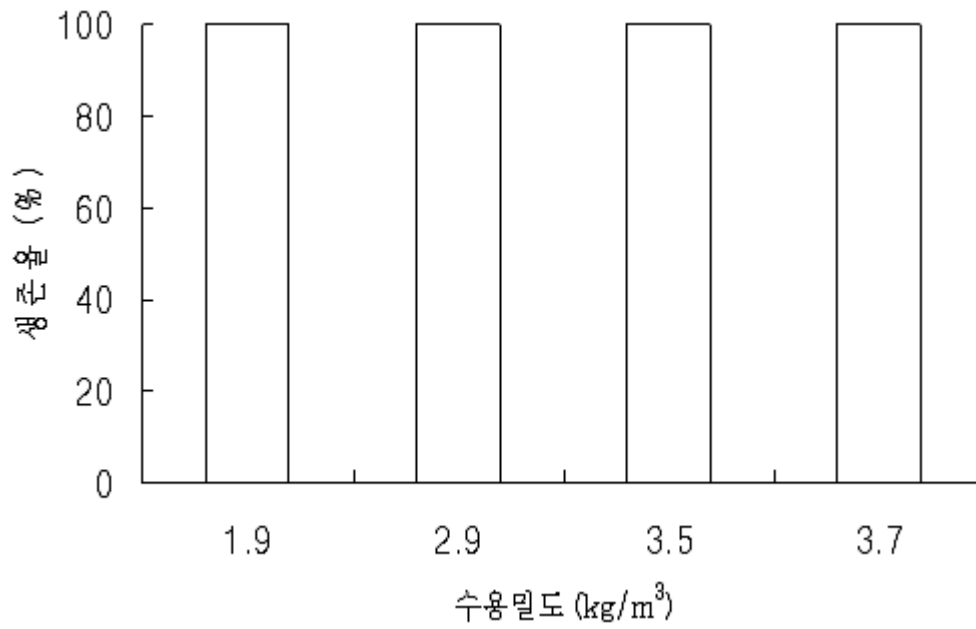


그림 126. 원형수조를 이용한 치어 수송에 따른 생존율

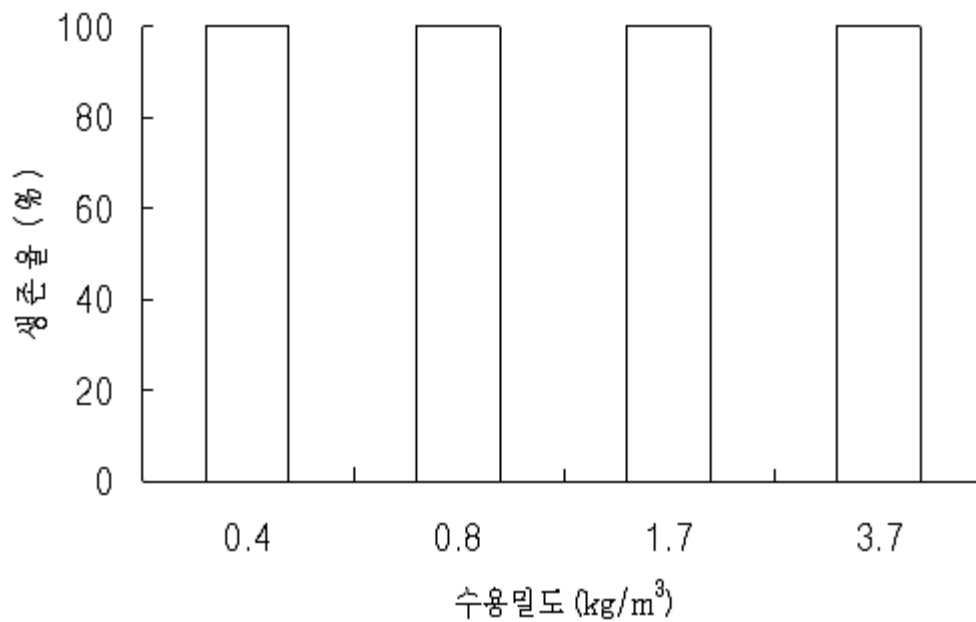


그림 127. 사각수조를 이용한 치어 수송에 따른 생존율

3. 차세대 어미 육상수조 사육관리

가. 자연산 종묘 육상수조 순치사육 기법 연구

1) 혼합사육 가능성 조사

체중이 서로 다른 참다랑어의 혼합사육 가능성을 조사하기 위하여 2009년산과 2010년산 참다랑어를 혼합하여 수용하였다. 평균 체중 10kg급 참다랑어가 사육되고 있는 육상수조에 150g 3마리와 500g 3마리를 수용하였다. 실험에 이용된 수조는 직경 13m, 깊이 7m 원형콘크리트 수조(유효수량 800ton)이었다.

150g 치어는 1년생 참다랑어에 잡혀 먹혔으나, 500g급 치어는 1년생 참다랑어의 유영 위치와 서로 다른 위치에서 유영하였으며, 공격하는 행위는 나타나지 않았다. 이러한 것은 수족관에서 서로 다른 크기의 생물을 혼합하여 사육할 경우 먹이사슬 경쟁 관계에 있는 동물을 제외하고는 혼합사육이 가능하다는 보고와 일치한다(Iwata et al., 2006).

2) 육상수조 사육

가) 사육방법

2009년 9월 평균 가다랑이체장 38.9cm, 평균 체중 1.3kg 참다랑어 치어를 콘크리트 원형 수조(직경 13m, 높이 7m, 유효수량 800t)에 입식하였다. 사육수는 지하해수와 자연해수를 혼합하여 공급하였고, 환수량은 5회전/일 정도 유지하였다. 먹이는 전갱이를 1회/일 주 6회 공급하였고, 용존산소 농도를 높여주기 위하여 액체산소를 공급하였다. 그리고 야간에 충돌사를 방지하기 위하여 24시간 형광등을 점등하였으며, 야간의 조도는 자동조도 조절기를 이용하여 50lux를 유지하였다. 사육기간 동안 수온은 15.7~23.5℃ 범위를 나타내었다. 육상수조 사육에 따른 증중률(weight gain rate), 일간성장률(daily growth rate), 일간섭이율(daily feeding rate), 사료계수(feed coefficient)는 다음과 같은 공식으로 계산하였다.

- weight gain rate = $(FW-IW) \times 100 / IW$
- daily growth rate = $\{(1nFW-1nIW)/t\} \times 100$
- daily feeding rate = $(TF \times 100) / \{(IW+FW) \times \text{day fed} / 2\}$
- feed coefficient = TF / TWG

※ IW : initial weight, FW : final weight, TF : total feed, TWG : total weight gain, t : rearing time(day)

어체 크기 측정법은 좌우에 설치된 2대의 카메라로 2장의 화상을 이용하여 좌측 카메라에서 촬영된 화상과 우측 카메라에서 촬영된 화상의 어느 부분에 대응하는지 계산하여 그 대응관계를 이용한 삼각측량에 의해 각 점을 3차원적 위치 추정을 통하는 stereo matching method를 이용하여 측정하였다.

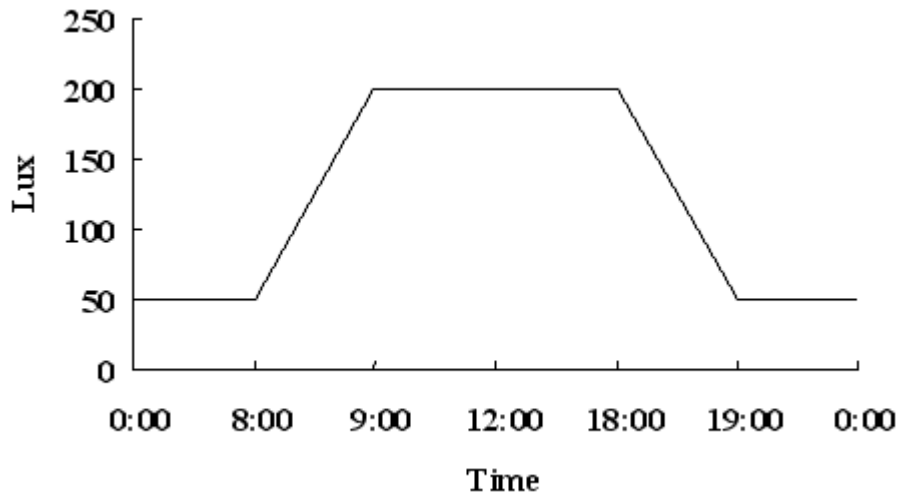


그림 128. 참다랑어 사육 육상수조의 시간대별 조도 변화

나) 육상수조 사육결과

2009년 10월 가다랑어체장 38.9cm, 1.3kg급 참다랑어 치어를 입식한 콘크리트 원형수조 (직경 13m, 높이 7m, 유효수량 860t)에 24시간 형광등을 점등(야간 50lux)하고, 전갱이를 1회/일 주 6회 공급하면서 1년간 사육한 결과 평균 가다랑어체장 85.3cm, 평균 체중 10.7kg으로 성장하였다.

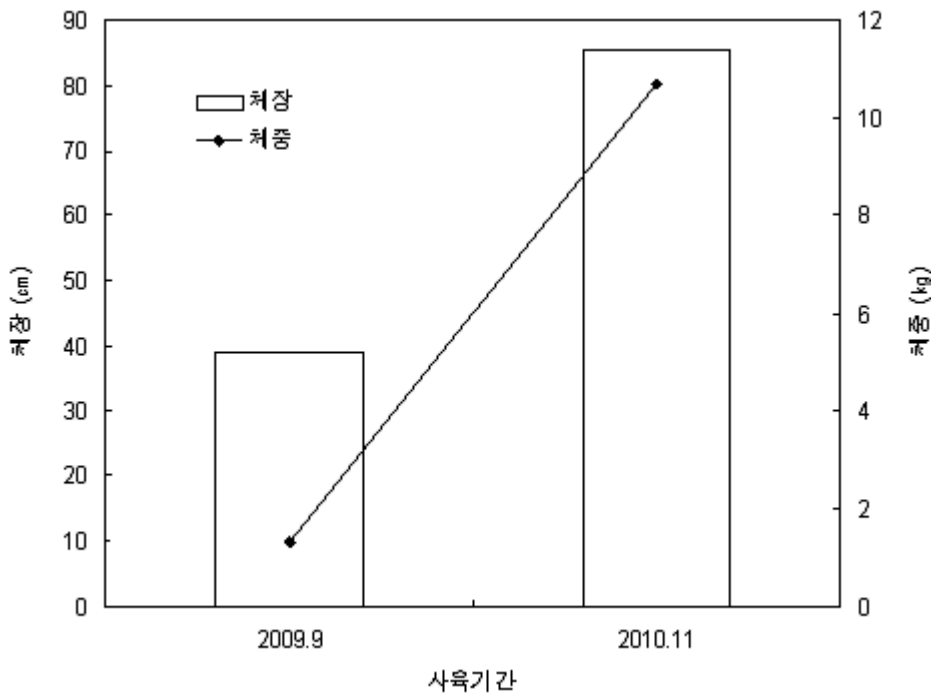


그림 129. 육상수조에서 사육한 참다랑어의 성장

제3장 연구개발수행내용 및 결과

참다랑어 치어를 육상수조에서 423일간 사육한 결과, 사료계수는 12.2로 넉치, 참돔의 경우보다 높게 나타났으며, 증중율은 724.3%, 일간성장율은 2.22%, 일간섭이율은 5.79%로 나타났다.

표 30. 육상수조에서 사육한 참다랑어의 사료계수, 증중률, 일간성장률, 일간섭이율

사료계수	증중률(%)	일간성장률(%)	일간섭이율(%)
12.2	724.3	2.22	5.79

참다랑어의 성장은 사육수온 범위에 많은 영향을 받는다(Masuma et al., 2010). 따라서 가두리에서 사육하는 참다랑어의 경우 20℃ 이상일 때 왕성한 먹이 섭식이 일어나는 것으로 보고하였다(Hirota et al., 1976; Masuma et al., 1991). 일본에서 참다랑어 양식과정에서 먹이공급량은 어체중의 1.5~11%를 투여하고 있다(Masuma et al., 2006). 이 연구에서는 먹이공급량은 일일 어체중의 약 6%를 공급하였다. 이러한 것은 참다랑어의 어체중이 증가할수록 먹이 공급량도 증가할 것으로 생각되고 있다.

본 연구에서 참다랑어의 일간성장은 0.02kg으로 나타났다. 그렇지만 20.1~29.7℃ 수온 범위에서 사육한 2년어와 3년어 황다랑어의 일간성장은 0.03~0.09kg이고(Wexler et al., 2003), 131일간 사육한 대서양참다랑어(25~34kg)의 일간성장은 0.06kg이라고 보고하였다(Carter et al., 1998). 이것은 참다랑어 성장에 많은 영향을 미치는 사육수온의 차이로 생각되며, 또한 참다랑어의 경우 어체중이 증가하면 할수록 일간성장률이 증가하는 것으로 생각되어지고 있다.

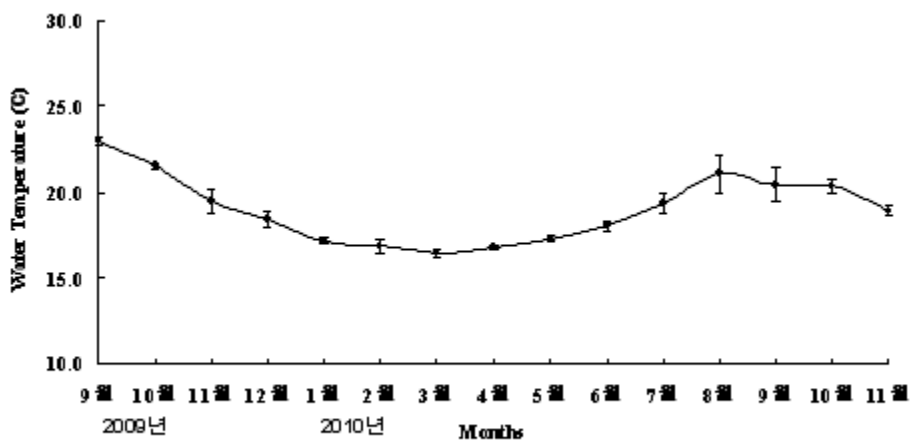


그림 130. 참다랑어 사육수조의 수온 변화

나. 어체 크기별 생식소 발달상태 조사

1) 조사방법

육상수조에 순치사육 중인 개체들 중 폐사 개체는 어체 크기별 생식소 발달 상태를 조사하기 위하여 복부를 절개한 후 10% 포르말린에 고정시켰다. 조직학적 관찰을 위해서 생식소만을 절취하여 부황용액(picric acid 0.9%, formaldehyde 9%, acetic acid 5%)에 24시간 고정 후 흐르는 물에 수세하여 70% 알콜에 재고정하였다. 생식소 조직 슬라이드를 제작하기 위하여 자동조직과라핀유도기를 이용하여 조직내 파라핀을 침투시킨 후 Tissue Embedding center를 이용하여 파라핀에 포매하였다. 파라핀에 포매된 조직절편은 마이크로톰(Richert-Jung, 820)을 이용하여 종단면으로 5~6 μm 크기의 부분절편을 만들었다. 염색은 Mayer's haematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하였으며, 생물현미경(Zeiss, HBO 50)을 이용하여 검경하였다.

2) 조사결과

전장 365~430cm, 체중 472~1,110g 개체의 생식소를 조직학적방법을 이용하여 발달 상태를 조사하였다. 참다랑어 치어의 생식소는 외부 형태적으로 좌우 1쌍으로 배부체강벽에 의해 아래로 달려 있었으며, 신장과 밀착되어 길게 자리 잡고 있었다.



그림 131. 생식소 외부형태

본 실험에 사용된 700g 내외의 참다랑어 생식소는 7개체 전체에서 정소 조직의 형태를 나타내고 있었다. 참다랑어의 산란시기는 지역별로 조금씩 차이가 나지만 태평양발생군의 경우 5~11월에 산란이 이루어지는 것으로 보고되어 있지만 주 산란시기는 6~7월 이다(Masuma, 2006), 따라서 이 연구에 사용된 700g 내외의 참다랑어 개체들은 6월에 산란한 개체들로 가정할 경우 부화 후 약 5개월령 개체들이라 할 수 있다. 그렇지만 실험어 전체에서 정소조직만을 가진 개체들이고, 난소조직을 가진 개체들은 없었다. 고등어의 경우 부화 후 40~50일령에 염색인기 난모세포를 가지는 난소조직이 형성되고 있으며, 160일령

에 일부 정자형성과정의 일어난다고 보고되어 있다(Kobayashi et al., 2006). 따라서 향후 난소조직이 나타나지 않는 이유가 sampling에 의한 차이인지 중 특이적인 성 특성인지 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

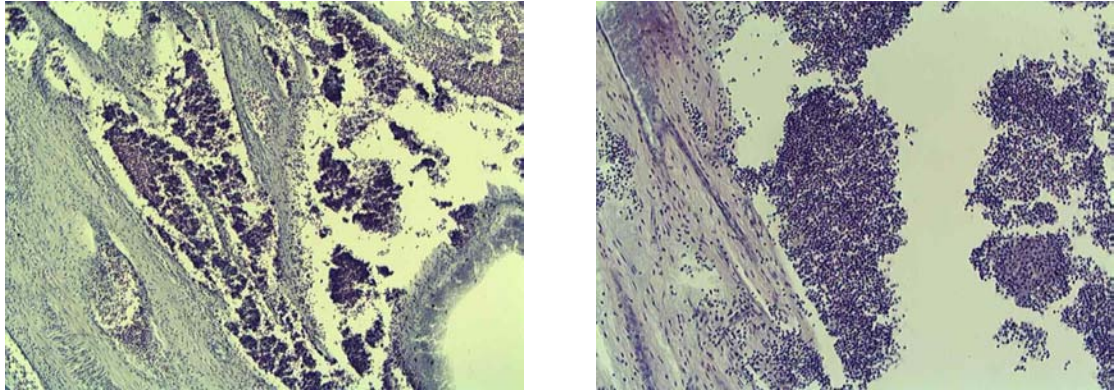


그림 132. 참다랑어 정소 조직(×100, ×200)

다. 육상수조 순치사육 기법 연구

1) 사육방법

포획된 자연산 치어를 순치 사육하지 않고 육상수조(직경 5m×깊이 1.5m 유효수량 30톤)로 직접 수송하는 방법과 가두리에서 일정기간 순치 사육한 후 낚시로 어획된 치어를 육상수조로 수송하는 방법에 대하여 생존율을 비교 조사하였다.

어획된 치어의 순치사육은 위미항내에 원형가두리(직경 22m×깊이 10m)를 시설한 후 어획되는 개체들을 입식하였으며, 먹이는 냉동 전갱이, 오징어, 붉은가시발새우를 혼합하여 만든 MP사료를 매일 공급하였다.

순치사육 없이 육상수조로 직접 수송은 사각수조를 이용하였으며, 순치사육 치어 수송은 원형수조를 이용하였다. 육상 수송은 서귀포시 남원읍 위미항에서 제주특별자치도해양수산연구원 육상수조 까지 약 20km를 운송하였으며, 운송 시간은 약 30분이 소요되었다. 육상 수송시 용존산소농도를 높여 주기 위하여 공업용 산소를 공급하였고, 충들에 의한 폐사를 방지하기 위하여 원형수조는 입구를 개방하여 빛이 들어 갈 수 있도록 하였으며, 사각수조는 투명 비닐로 입구를 덮어 주었다.

2) 사육결과

자연산 백다랑어 치어를 포획 후 육상수조로 직접 이송한 경우 15일 동안 누적폐사율이 93.4%였지만 가두리에서 17일간 순치 사육한 치어를 육상수조로 수송하여 사육한 결과 15일 동안 누적폐사율은 30.3%였다. 이러한 것은 가두리에서 순치사육기간 동안 건강한

치어들을 제외하고는 폐사가 일어나면서 생존율의 차이가 있는 것으로 추정된다. 따라서 육상수조로 직접 수송할 경우의 생존율과 가두리내에서 순치사육하면서 발생하는 폐사율에 수송과정에서 발생하는 폐사율을 종합적으로 분석해야할 것으로 생각된다.

3kg급 황다랑어를 포획 직후 육상수조(직경 17m, 깊이 6m)로 이송한 경우 생존율은 50%였으며, 가두리에 사육중인 참다랑어를 육상 수족관으로 수송하여 1년간 사육한 결과 생존율은 35.2%였다. 이와 같은 생존율의 차이는 육상 수송한 생물의 크기, 수송 밀도, 수송 시간 등 여러 가지 요인이 있지만 가장 중요한 요인으로는 육상수조의 크기로 추정된다. 두 종류의 육상수조에서 황다랑어를 1년 동안 사육한 결과 1,362m³에서 사육한 황다랑어의 생존율이 170m³ 수조에서 사육한 경우보다 높게 나타났다(Wexler et al., 2003).

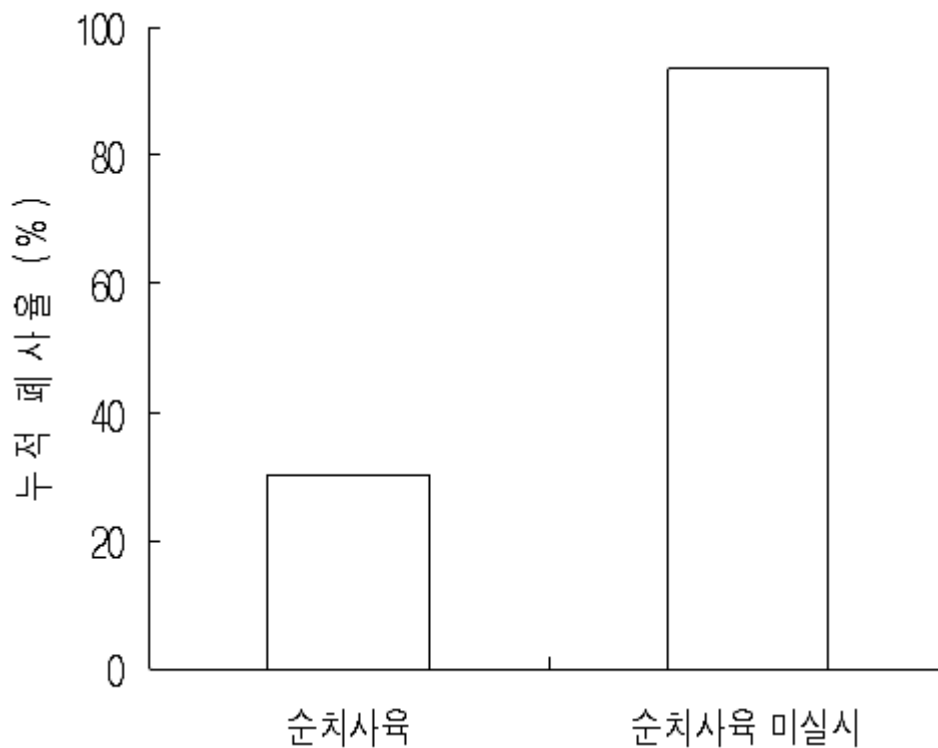


그림 133. 순치사육 실시 여부에 따른 누적폐사율

제3장 연구개발수행내용 및 결과



그림 134. 가두리에서 순치사육 중인 치어 포획 및 수송 과정

라. 육상양식 과정에서 질병 발생 현황 모니터링

1) 모니터링 방법

육상양식 과정에서 질병 발생 현황을 모니터링하기 위하여 육상수조에서 사육되고 있는 개체들 중 폐사되기 직전의 개체를 수거하여 질병 감염 여부를 조사하였다. 기생충 검경은 채집된 참다랑어 시료의 체표 점액질 및 아가미 세엽을 채취하여 슬라이드 표본을 만들어 현미경으로 직접 검경하였다. 세균 검경은 참다랑어 시료를 냉장상태로 실험실로 운반하여 무균적으로 해부 한 후 심장, 신장 및 간 조직액을 혈액한천배지, 1.5% NaCl-BHIA, 1.5% NaCl-TCBS, SS Agar에 도말하여 30±0.5℃에서 24~48시간 배양하였다. 혈액한천배지 및 1.5% NaCl-BHIA의 경우는 20±0.5℃(48hr)에도 추가적으로 배양하였다. 각각의 배지에서 배양된 세균은 Thoesen(1994)의 방법에 따라 속 수준에서 진단하였다.

분리된 세균의 항생제 감수성 시험은 각각의 배지에서 분리된 세균에 대해 Baucer 등 (1966)의 disc확산법에 따라 시험하였다. 분리된 세균은 순수배양 한 후 0.85% 멸균 생리 식염수에 희석하여 McFaland NO. 0.5가 되도록 탁도를 조절하여 1.5% NaCl이 첨가된 Muller Hinton Agar에 도말 한 후 BBL사의 항생제 disc를 얹어 30±1℃에서 24±2시간 동안 배양 한 후 억제환을 측정하였다.

2) 모니터링 결과

육상양식 과정에서 질병 발생 현황을 모니터링하기 위하여 육상수조에서 사육되고 있는 개체들 중 폐사되기 직전의 개체를 수거하여 질병 감염 여부를 조사한 결과, 기생충은 관찰되지 않았다. 세균 질병 검경 결과 참다랑어 시료로부터 2종의 그람음성세균의 분리되었다. 분리된 세균은 Thoesen(1994)의 방법에 간이 동정 한 결과 2종 모두 *Vibrio* sp. 로 동정되었다. 분리된 세균은 TCBS agar에서 노란색의 콜로니를 형성하였다.

표 8과 같이 분리된 *Vibrio* sp. 2종에 대한 항생제 감수성 시험결과 Ciprofloxacin, Doxycycline, Florfenicol, Flumequine, Oxytetracycline, Oxolinic acid, Nofloxacin, Ofloxacin, Pefloxacin등에 감수성을 나타내었다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

표 31. 참다랑어로 분리된 *Vibrio* spp.에 대한 항생제 감수성 시험결과

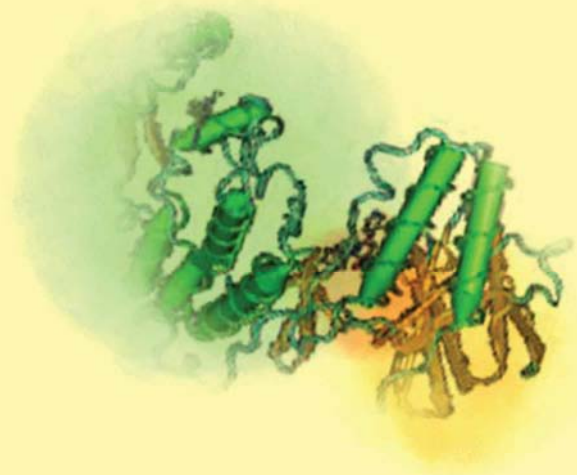
Antibiotics	<i>Vibrio</i> sp. 1	<i>Vibrio</i> sp. 1
Amoxycillin(30 μ g)	-	+
Ampicillin(10 μ g)	-	+
Clindamycin(2 μ g)	-	-
Ciprofloxacin(5 μ g)	+	+
Doxycycline(30 μ g)	+	+
Erythromycin(15 μ g)	-	-
Florfenicol(30 μ g)	+	+
Flumequine(30 μ g)	+	+
Gentamicin(10 μ g)	-	+
Oxytetracycline(30 μ g)	+	+
Oxolinic acid(2 μ g)	+	+
Nofloxacin(10 μ g)	+	+
Ofloxacin(5 μ g)	+	+
Pefloxacin(5 μ g)	+	-
Cefadroxil(30 μ g)	-	-
Cephalexin(30 μ g)	-	-

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 식품다량어 양식기술 연구개발

제 3 장
연구개발 수행내용 및 결과

제 5 절
유전자원 대량발현 및 실용화



제 5 절 유전자원 대량발현 및 실용화

1. 대상어류의 유전자원 탐색

가. 대상어류의 시료확보

본 연구에 사용된 어류는 국립수산물과학원 미래양식연구센터와 협의에 의해 3kg급의 참다랑어 치어와 제주 육상가두리에서 육성하고 있는 고등어를 확보하였다. 이를 동결상태로 연구실로 항공이송하고 동물해부실험실에서 동물 생리활성물질을 생성하고 분비하는 주요 기관인 뇌, 간, 생식소, 신장 등의 주요 장기 및 기관을 적출하였으며, 사용 시까지 -70℃가 유지되는 초저온 냉동고에 보관하였다.



그림 135. 미래양식연구센터로부터 제공받은 참다랑어 치어



그림 136. 제공받은 참다랑어로부터 뇌조직을 선별하는 모습

나. cDNA library 구축

1) 방법

대상어류의 유전자원을 탐색하기 위하여 우선적으로 대상생물의 주형을 확보하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하여 cDNA library를 구축하였다.

가) total mRNA 추출

준비된 시료 50 mg 당 Tri-Reagent (Sigma) 를 500 ul 가하여 homogenizer 를 이용하여 분쇄하고 상온에서 10분간 배양 후 chloroform 100 ul 를 첨가하여 교반한 뒤 원심분리기로 4°C, 13,000 rpm에서 10분간 처리하여 상층 분리한다. 분리한 최상층액을 새 튜브에 넣고 동량의 isopropanol 을 첨가하여 -20°C에서 10분간 배양한 후 다시 13,000 rpm 에서 15분간 원심분리하여 RNA 만을 침전시키고, 이를 ethanol washing 하여 0.1% DEPC가 처리된 3차 증류수 50 ul 에 용해시켜 total RNA를 추출한다. 추출한 total RNA는 다시 Dynabead mRNA DirectTH kit (Dyna) 을 이용하여 제조사의 방법에 따라 mRNA 만을 선별 추출한다.

나) cDNA 합성

선별된 mRNA는 M-MLV Reverse Transcriptase kit (Promega) 를 이용하여 RACE-PCR 및 cDNA library 을 위한 cDNA를 각각 제조사의 방법에 따라 제조한다.

다) cDNA library 구축

선별된 mRNA를 주형으로 cDNA library를 구축하기 위해 SMART cDNA synthesis kit (Clontech) 를 사용하였으며, 제조과정은 제품제조사의 시험방법에 따랐다.

2) cDNA library 구축

적출한 대상어류의 주요 장기조직 및 기관 중에서 생리활성물질을 생성하고 생리현상을 조절하는 뇌, 간조직을 분쇄기로 분쇄하여 각각 전체 mRNA를 추출하였다. 이를 주형으로 상보적 염기서열 이중가닥인 cDNA를 합성하였으며, 추가적인 연구수행을 위해 합성된 cDNA로부터 생리활성단백질 군으로 추정되는 유전자의 크기인 500bp 이상의 크기만을 선별하고, 이를 다시 subcloning을 통하여 cDNA library를 구축하였다.

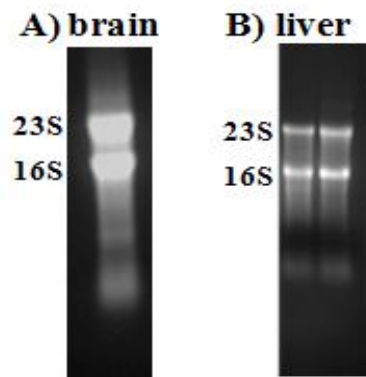


그림 137. 참다랑어의 뇌, 간조직에서 추출한 mRNA의 전기영동 사진

제3장 연구개발수행내용 및 결과

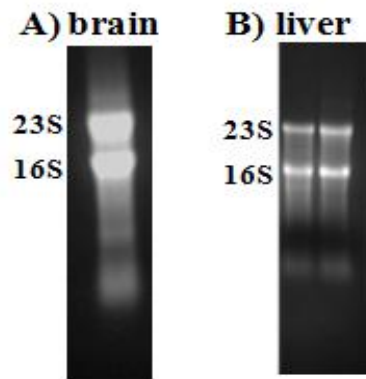


그림 138. 참다랑어의 뇌, 간조직에서 추출한 mRNA의 전기영동 사진

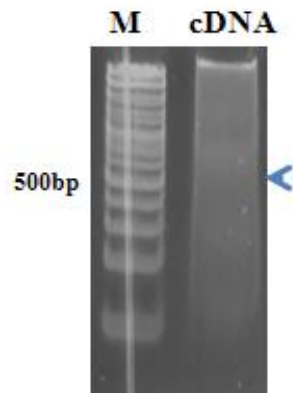


그림 139. 합성한 cDNA로부터 500bp 이상의 크기를 선별하기 위하여 전기영동 한 사진
(파란선은 cDNA library구축을 위해 절개될 부위 표시)

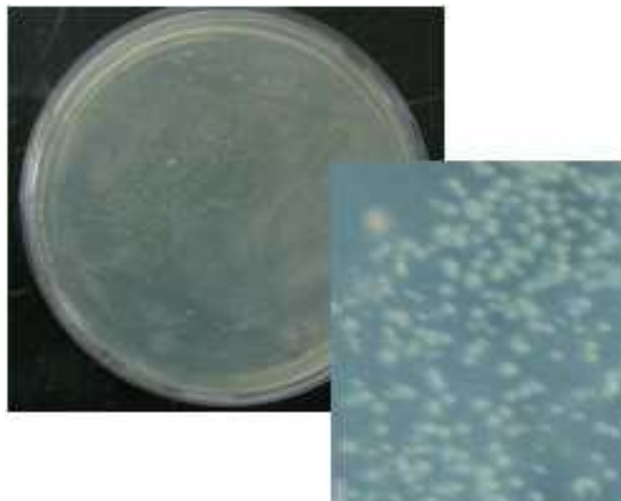


그림 140. cDNA를 subcloning 후 콜로니 형성 사진
(우측의 확대사진은 배양배지의 콜로니를 확대한 사진)

2. 대상어류의 유전자원 발굴

가. 생리활성물질 발굴 과정

1) 종특이적 탐침자(specific primer) 제작

목표 유전자의 specific primer 설계를 위하여 NCBI에서 제공하는 해당 관련유전자를 Blast Search를 통해 검색하고 ClustalW (EBI, ver 1.8) 웹기반 프로그램으로 Multiple Alignment를 수행한 후 유전자의 Conserved region을 찾아서 Primer3 웹사이트에서 specific primer를 설계 제작한다.

2) RACE-PCR

제작한 3' 또는 5'- specific primer와 Marathon™ cDNA Amplification kit (Clontech)을 이용하여 제조사의 방법에 따라 전장 cDNA 를 증폭 구축한다.

3) Cloning and Sequencing

제작된 전장 cDNA를 주형으로 목표 유전자의 양말단 primer를 이용하여 최적온도에 서 해당 유전자를 증폭하고, 그 산물을 1% agarose gel electrophoresis를 통해 유전자의 발현을 확인한다. 확인된 산물은 QIAquick PCR kit (Qiagen)를 이용하여 추출한다. 한 추출한 산물을 pGEM T-easy vector kit (Promega) 를 이용하여 재조합유전체를 구축하고, 이를 HIT competent cell (RBC) 에 형질전환한 후 HiYield plasmid miniprep kit (RBC) 를 이용하여 plasmid 를 추출한다.

나. 참다랑어 생리활성물질

1) 생식조절 생리활성물질 : GnRH

제작되어 있는 참다랑어 뇌의 cDNA를 주형으로 하여 RACE-PCR을 통해 고등어의 생식조절 생리활성물질인 GnRH 의 유전자를 발굴하였다.

2) 면역강화 생리활성물질 : IGF

제작되어 있는 참다랑어 뇌의 cDNA를 주형으로 하여 RACE-PCR을 통해 고등어의 면역강화 생리활성물질인 IGF의 유전자를 발굴하였다.

3) 성장촉진 생리활성물질 : GH

제작되어 있는 참다랑어 뇌의 cDNA를 주형으로 하여 RACE-PCR을 통해 참다랑어의 성장촉진 생리활성물질인 Growth hormone 의 유전자를 발굴하였다.

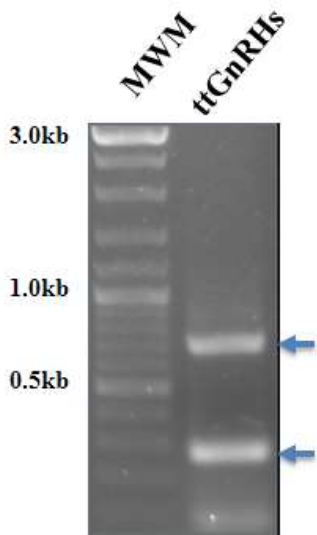


그림 141. 참다랑어의 GnRH 유전자의 전기영동 사진

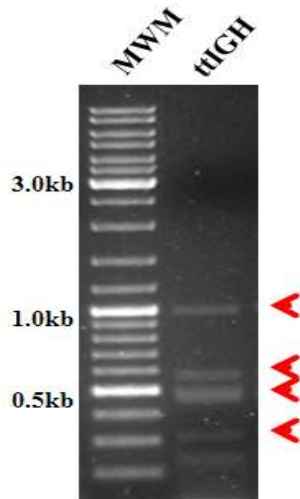


그림 142. 참다랑어의 IGF 유전자의 전기영동 사진

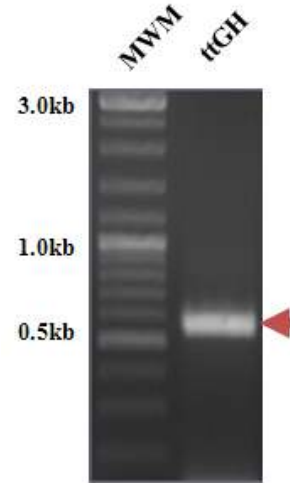


그림 143. 참다랑어 GH 유전자의 전기영동 사진

다. 고등어 생리활성물질 발굴

1) 생식조절 생리활성물질 : GnRH

제작되어 있는 고등어 뇌의 cDNA를 주형으로 하여 RACE-PCR을 통해 고등어의 성장 촉진 생리활성물질인 Growth hormone 의 유전자를 발굴하였다.

2) 성장촉진 생리활성물질 : GH

이미 제작되어 있는 고등어 뇌의 cDNA를 주형으로 하여 RACE-PCR을 통해 고등어의 성장 촉진 생리활성물질인 Growth hormone 의 유전자를 발굴하였다.

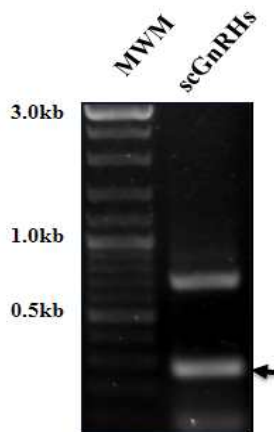


그림 144. 고등어의 GnRH 유전자 전기영동사진

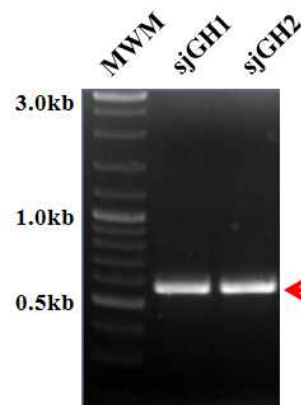


그림 145. 고등어의 GH 유전자의 전기영동한 사진

3. 대상어류의 유전자원 특성화

가. 물질의 분자특성 분석

1) DNA 염기서열 분석방법

추출한 유전자원을 포함하는 plasmid를 ABI DNA analyzer 3700 (AB bioscience)을 이용하여 계층적 반복분석을 수행하여 증폭된 유전자원의 DNA 염기서열을 판독하였다.

2) 다중염기배열분석 (Multiple alignment analysis)

대상어류에서 확보한 염기서열을 기반으로 COBALT system (NCBI, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/cobalt/>)과 EBI의 clustalW2 system (<http://www.ebi.ac.uk/tool/clustalw/>)를 이용하여 다중염기배열분석을 수행하였다.

3) 분자유전학적 계통 분석

deduced amino acid의 서열을 이용하여 MEGA (ver. 4.0, Japan) program을 이용하여 분자유전학적 계통분석을 수행하였으며, 계통수 작성은 1,000 replicon과 bootstrap 방법을 기초로 ME, MP 방법을 사용하였다.

나. 참다랑어 생리활성물질의 특성화

1) 생식조절 생리활성물질 : GnRH

참다랑어의 생식조절 활성물질인 GnRH의 특성이 맞는지 알아보기 위하여 우선적으로 DNA와 deduced amino acid 염기서열을 판독하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

○ DNA 염기서열

```
1 atgtgtgtct ctcggctggt ttgctgctg gggctgctc tatgtgttg agctcagctg
61 tccaacgctc agcactggc ccatggttg tctctggag gcaagaggga gctggactc
121 ttggcacgt cagagatttc acaggagatc aagctgtgcg aggcagggga atgcagctac
181 ttgagacctc agaggaggag tcttctgaga aacattctt tggatgcctt agccagagag
241 ctccagaaga gaaagtga
```

○ deduced amino acid 염기서열

```
1 mcvsrlvlll glllcvgaqI snaqhwhshgw ypggkrelde fgtseisqei kIceagecsy
61 lrpqrrsllr nilldalare lqkrk
```

또한 판독된 deduced amino acid 염기서열을 토대로 기존에 밝혀져 있는 GnRH와 다중염기배열분석을 수행하였으며, 그 결과 GnRH 중 type II인 chicken type 인 것으로 확인되었다.

3) 성장촉진 생리활성물질 : GH

참다랑어의 성장호르몬의 특성이 맞는지 알아보기 위하여 우선적으로 DNA와 deduced amino acid 염기서열을 판독하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

○ DNA 염기서열

```
1 atggacagag tcttctctt gctgtcagtc ctgtctctgg gtgtctctc tcagccaatc
61 acagacagcc agcgtctgtt ctccatcgct gtcagcagag tgcaaacacct ccacctgctc
121 gccagagac tcttctctga ctttgagagc tctctgcaga cagaggagca gcgctcagctc
181 aacaaaatct tcttcagga tttctgcaac tctgattaca tcatcagccc gatcgacaag
241 catgagacac aacgcagctc tgttctgaag ctgctgtcga tctcctatcg attggtggaa
301 tcgtgggagt tccccagccg ttctctgtcc ggaggttctg ctccaaggaa ccaaactca
361 caaaactgt ctgaactgaa gacaggaatc cacctgctga tcagggcaa tcaggatgga
421 gacgagatgt tcgctgacag ctctgccctc cagctcgtc cgtatggaaa ctattatcaa
481 agtctgggag ctgacgagtc actgagacgg agctacgagc tgcttgctg cttaagaag
541 gacatgcaca aggtggagac ctacctgacg gttgctaaat gtcgactctc tccagaagct
601 aactgcaccc tntag
```

○ deduced amino acid 염기서열

```
1 mdrvfillsv lslgvssqpi tdsqrllfsia vsrvqhlhll aqrllsdfes slqteeqrql
61 nkiflqdfcn sdyiispdk hetqrssvlk llsisyrive swefpsrsls ggsaprnqis
121 pklselktgi hlliranqdg demfadssal qlapygnyyq slgadeslrr syellacfk
181 dmhkvetylt vakcrllspea nctl
```

다. 참다랑어 생리활성 물질의 구조 기능성 규명

1) 구조기능성 규명 방법

가) 분자생물학적 기능 규명

발굴 개발하고자 하는 목표 단백질의 발현되었을 때를 분자생물학적 정보를 통해 그 기능을 예측 판독하고자 CBS Prediction Servers (<http://www.cbs.dtu.dk/services/>) 에서 제공하는 protein prediction 시스템을 사용하여 세포내 위치, 분비여부, 인산화, 당화의 정도 등을 판단하였다.

나) 3차원 구조 기능적 규명

생합성 목표단백질의 입체구조 형성을 예측하기 위하여 3차원 단백질 구조분석 시스템 (<http://www.ics.uci.edu/~baldig/index.html>) 과 NCBI에서 제공하는 단백질 입체구조

제3장 연구개발수행내용 및 결과

작성 tool 인 Cn3D (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/CN3D/cn3d.shtml>) 이를 통해 온전한 단백질의 기능을 발휘할 수 있는지 알아보고자 3차원 단백질 구조를 그리고 그 구조적 기능성을 확인하였다.

2) 참다랑어 생식조절 생리활성물질의 구조기능적 규명

참다랑어의 생식조절 생리활성물질인 GnRH의 경우는 본 연구과제의 핵심적인 물질로 그 구조적 기능적 특성을 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 따라서 상기 물질의 분자유전학적 계통분류를 통해 생성될 단백질의 유연관계를 파악하여, 참다랑어의 생리활성물질임을 확인하였다.

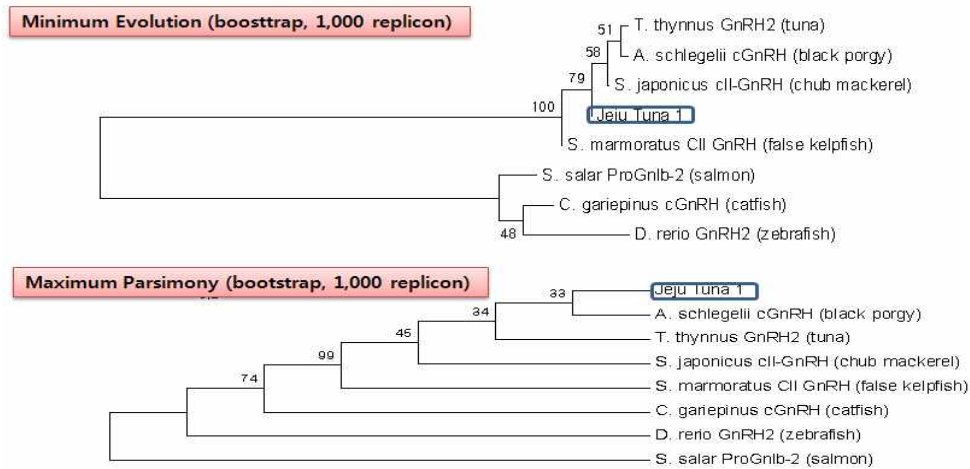


그림 148. 참다랑어 GnRH에 대한 분자유전계통 분석 결과

한편, DNA 염기서열에서 유래한 deduced amino acid 염기서열을 이용하여 분자수준의 단백질 기능을 분석한 결과 분비단백질의 전형적인 구조인 signal peptide를 가지고 있고 4개의 인산화부위가 있는 것을 확인하였다. 이를 토대로 3차원 입체구조 모델링을 수행한 결과 반응결합부위가 존재하는 것으로 확인되었다.

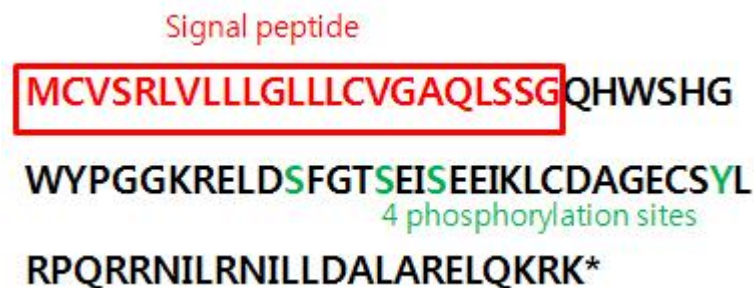


그림 149. 참다랑어 GnRH의 단백질 특성 규명 결과

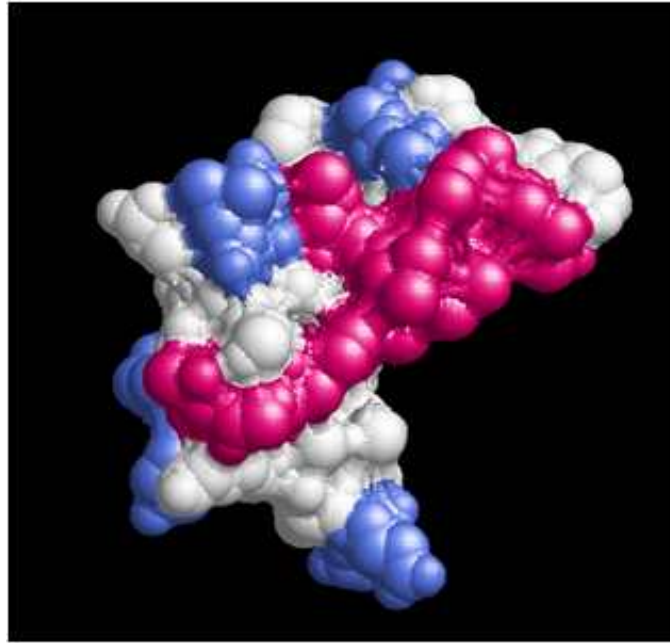


그림 150. 참다랑어 GnRH의 3차원 입체 조명 결과

라. 고등어 생리활성물질의 특성화

1) 생식조절 생리활성물질 : GnRH

고등어의 생식조절 활성물질인 GnRH의 특성이 맞는지 알아보기 위하여 우선적으로 DNA와 deduced amino acid 염기서열을 판독하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

○ DNA 염기서열

```

1 atgtgttat ctcggctggt tttgctgctg gggttgcttc tatgtgtggg ggctcaactg
61 tccaacgctc agcactggtc ccatggttg tatccaggag gcaagagggga gctggactct
121 ttggcacac cagagatttc agaggagatc aaactgtgcg aggcagggga atgcagctac
181 ttgagacccc agaggaggag ttttctgaga aacattattt tggatgcctt agccagagag
241 ctcagaaga gaaagtga
  
```

○ 아미노산 염기서열

```

1 mcvsrlvlll glllcvgaql snaqhwhshw ypggkrelde fgtpeiseei klceagecsy
61 lrpqrrsflr niildalare lqkrk
  
```

판독된 염기서열을 토대로 deduced amino acid 염기서열을 작성하여 다중염기배열분석을 수행한 결과 GnRH 중 type II인 chicken type 인 것으로 확인되었다.

제3장 연구개발수행내용 및 결과

ADP89592	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNAQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTPEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSFLRNIILDALAR	79
ADP89592	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNAQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTPEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSFLRNIILDALAR	79
AAF08687	1	MVSVARLVFMLGLLCLGAQLSSSQHWSHGWP	GGKRELD	SFTTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRNINILKNIILDALAR	80
AAF57219	1	MVSVARLVFMLGLLCLGAQLSSSQHWSHGWP	GGKRELD	SFTTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRNINILKNIILDALAR	80
AAQ16502	1	MC-VSRLVLLGLLLCAGQLSNAQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRRLRSIILDALAR	79
ABX10869	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNAQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTSEI	SQEKLCEAGECSYLRPQRSLRNIILDALAR	79
ABX38719	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNAQHWSHGWP	GGKRELD	SFTTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSILRNIILDALAR	79
ABU92552	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNGQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSLRNIILDALAR	79
ABS50340	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNGQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSLRNIILDALAR	79
ACL68348	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSSAQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSILRNIILEALAR	79
AAT80333	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSNAQHWSHGWP	GGKRELD	SFTTSEI	SEEEKLCEAGECSYLRPQRSILRNIILDALAR	79
ABS18279	1	MC-VSRLVLLGLLLCVGAQLSSAQHWSHGWP	GGKRELD	SFGTSEI	SDSEIKLCEAGECSYLRPQRNINILRNIILDALAR	79
ADP89592	80	ELQKRK			85	
ADP89592	80	ELQKRK			85	
AAF08687	81	EFQKRK			86	
AAF57219	81	EFEKRK			86	
AAQ16502	80	ELQKRK			85	
ABX10869	80	ELQKRK			85	
ABX38719	80	ELQKRK			85	
ABU92552	80	ELQKRK			85	
ABS50340	80	ELQKRK			85	
ACL68348	80	ELQKRK			85	
AAT80333	80	ELQKRK			85	
ABS18279	80	DLQKRK			85	

그림 151. 고등어의 생식조절 생리활성물질에 대한 다중염기배열 분석 결과

2) 성장촉진 생리활성물질 : GH

고등어의 성장호르몬의 특성이 맞는지 알아보기 위하여 우선적으로 DNA와 deduced amino acid 염기서열을 판독하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

○ DNA 염기서열

```

1 atgaacagag tcacctcct gctgtcagtc atgtgtgtgg gcgtgtcctc tcagccaatc
61 acagagaacc agcgctgtt ctccatcgt gttggctgag ttcagtatct tcacctagtt
121 gctaagaaac tcttcagtga ctttgagaac tctactacagt tggaggatca acgtcttctc
181 aacaaaatcg ctcaaaaga atttgtcat tcagataatt tcttgagtcc gatcgacaaa
241 cacgagacac aaggcagctc agttcagaag cttttatcgg tctcttatcg attgattgag
301 tctgggagtc tttcagtcg ctctctggc gcaagtttg ctgtgaggac ccaggttaca
361 tccaaactgt cagaactgaa gatgggtctc ctgaagctga tagaggccaa tcaggatgga
421 gcaggtggat tctctgagag ttcggtgctc cagctcacgc cgtatggaaa ctctgaactg
481 ttcgctgct ttaagaagga tatgcacaag gtggagacgt acctgaccgt ggccaaatcg
541 cgactcttc cagaagctaa ctgcaccctg tag

```

○ 아미노산 염기서열

```

1 mnrvillsv mcvgvssqpi tenqrfsia vgrvqylhlv akklfsdfen slqledqrll
61 nkiaskefch sdnflspidk hetqgssvqk llsvsyrlic sweffsrflv asfavrtqvt
121 sklsekmgl lklianqdg aggfsssvl qltpygnsel facfkkmhk vetyltvakc
181 rlfpeanctl

```


또한 관독된 염기서열을 토대로 deduced amino acid 염기서열을 작성하여 다중염기배열분석을 수행하였고, 이를 기반으로 conserved domain을 판별한 결과 성장호르몬의 특성을 가지는 것으로 확인되었다.

ACZ04987	1	MNR--VILLISVMCVGVSSQPITE-NQRLFSIAVGRVQYLHLVAKKLFSDFENSLQLEDQRLLNKIASKEFCHSDNFLSP	77
P09537	1	MNR--VILLISVMCVGVSSQPITE-NQRLFSIAVGRVQYLHLVAKKLFSDFENSLQLEDQRLLNKIASKEFCHSDNFLSP	77
ACI95760	1	MNR--VILLISVLSLGVSSQPITD-SQRLFSIAVSRVQHLHLLAQRLFSDFEGSLQTEEQRLNKIFLQDFCNSDYIISP	77
BAC07248	1	MDR--VILLISVLCVGVSSQPITD-G-RLFSIAVGRVQHLHLLAQRLFSDFESSLQTEEQRLNKIFLQDFCNSDYIISP	76
AAO31982	1	MNR--AILLISVVCIAVSSQPFIAD-SQRLFSIAVSRVQHLHLLAQRLFSDFESSLQTEEQRLNKIFLQDFCNSDYIISP	77
ABR24160	1	MDI--VILLISVLSVGVSSQPITDGSQRLFSIAVSRVQNLHLIAQKLLSEFESPLQTEEQRLNKIFLQDFCNSDYIISP	78
AAK38234	1	MDI--VILLISVLSVGVSSQPITDGSQRLFSIAVSRVQNLHLIAQKLLSEFESPLQTEEQRLNKIFLQDFCNSDYIISP	78
ACM43287	1	MDK--LVLLSMLCMSVSTQFVID--QRRFSIAVSRVQHLHLLAQKVFSDFENSLQTEEQRLNKIFLQDFCNSDYIISP	75
AAR88434	1	MGQVFLIMFVLLVSCFLSQGAAME-NQRLFNIAVNRVQHLHLLAQKMFNDFEGTLLPDERRQNKIFLLDFCNSDSIVSP	79
AAA49558	1	MGQVFLIMFVLLVSCFLSQGAAME-NQRLFNIAVNRVQHLHLLAQKMFNDFEGTLLSDERRQNKIFLLDFCNSDSIVSP	79
ACZ04987	78	IDKHETQSSVQKLLSVSYRLIESWEFFSRFLVAS----FAVRTQVTSKLSELKMGLLKLIANQDGGGFSESSVLQLT	153
P09537	78	IDKHETQSSVQKLLSVSYRLIESWEFFSRFLVAS----FAVRTQVTSKLSELKMGLLKLIANQDGGGFSESSVLQLT	153
ACI95760	78	IDKHETQRSVVKLLSISYRLVESWEFFSRFLSGG----SAPRNQISPKLSELKMGILLIRANQDGAEIFPSSALQLA	153
BAC07248	77	IDKHETQRSVVKLLSISYRLVESWEFFSRFLSGG----SAPRIQISPKLSELKMGILLIRANQDGTDLFPGSSTLQLA	152
AAO31982	78	IDKHETQRSVVKLLSISYGLVESWEFFSRFLSGG----SAPRTQISPKLSELKMGILLIRANQDPAEIFSDPSPGQVP	153
ABR24160	79	INNHETQRSVVKLLYISYRLVESWEFFSRFLSGG----SAPRFQIPSKLPELKTGILLIRANQDGAEGFPSSALQLA	154
AAK38234	79	INNHETQRSVVKLLYISYRLVESWEFFSRFLSGG----SAPRFQIPSELKMGILLIRANQDGAEGFPSSALQLA	154
ACM43287	76	DNKHETQRSVVKLLSISYRLVDSWEFSLHFTWV----LFPFANVLRHSLDLKKGIQMLIEASDG--AEMSDSITLPVT	149
AAR88434	80	IDKHETQRSVVKLLHISYRLIESWEYPSQTLTISNSIMVRNSNQISEKLSDLKVGINLLIKGSQDGMLSLDDNDSQQLP	159
AAA49558	80	IDKHETQRSVVKLLHISYRLIESWEYPSQTLTISNSIMVRNSNQISEKLSDLKVGINLLIKGSQDGMVSLDDNDSQHLF	159
ACZ04987	154	PYGN-----SELFACFKDMHKVETVLTIVAKRCLFPEANCTL	190
P09537	154	PYGN-----SELFACFKDMHKVETVLTIVAKRCLFPEANCTL	190
ACI95760	154	PYGNYYQSLGDESRLRTYELLACFKDMHKVETVLTIVAKRCLFPEANCTL	204
BAC07248	153	PYGNYYQSLGDESRLRTYELLACFKDMHKVETVLTIVAKRCLFPEANCTL	203
AAO31982	154	SYGNYYQSLGDESRLRTYELLACFKDMHKVETVLTIVAKRCLFPEANCTL	204
ABR24160	155	PYGYHQSFGA-----ELLACFKDMHKMETVLTIVAKRCLFPEANCTL	197
AAK38234	155	PYGYHQSFGA-----ELPACFKDMHKMETVLTIVAKRCLFPEANCTL	197
ACM43287	150	PFGNFYENLGGNESQKRNVELLACFKDMHKVETVLTIVAKRCLFPEANCTL	200
AAR88434	160	PYGNYYQNLGGNGVNRNRYELLACFKDMHKVETVLTIVAKCRKSLANCTL	210
AAA49558	160	PYGNYYQNLGGDGNIRNRYELLACFKDMHKVETVLTIVAKCRKSLANCTL	210

그림 152. 고등어 성장호르몬의 COBALT를 이용한 다중염기배열분석 결과

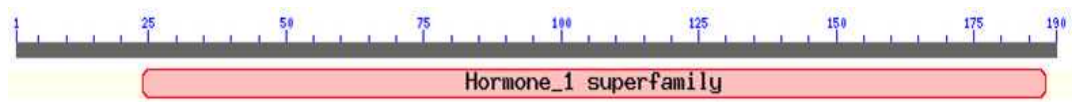


그림 153. 성장호르몬 단백질의 CCD 분석 결과

4. 대상어류의 유전자원 대량발현

가. 재조합 유전자 구성

대상어류에서 발굴한 유전자를 이용하여 생물공장인 지렁이에 형질을 도입하기 위한 재조합유전자의 제작은 본 연구과제 참여연구진의 개발특허 (“지렁이의 생식소 재생능력을 이용한 형질전환 지렁이의 제조방법 등”)의 방법에 따라 수행하였다. 형질도입은 환형동물인 지렁이를 생물공장으로 활용하는 기법을 이용하여 pCMV promoter를 가지고 있는 형질도입 유전체와 목표단백질인 참다랑어와 고등어의 생식조절 생리활성물질인 GnRH를 각각 삽입하여 scGnGH와 ttGnRH를 재조합하였다.

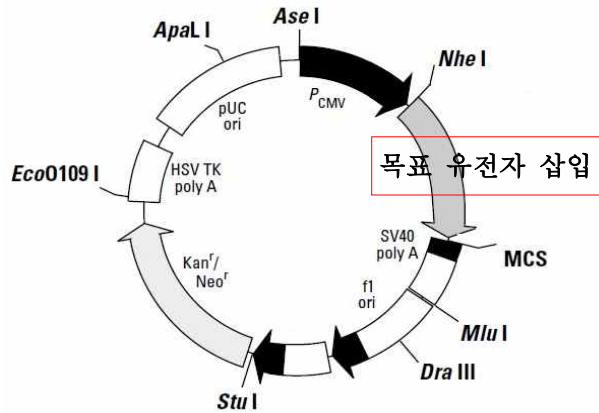


그림 154. 운반체와 목표단백질 유전자의 재조합

나. 생리활성물질 대량발현 시스템 구축

1) 단백질 추출 및 생리활성, 안정성 검증

가) 재조합된 목표단백질 추출

재조합된 목표단백질의 생성여부를 파악하기 위하여 Protein Method (CBS press) 의 단백질 정제방법에 따랐으며, 부분 정제하여 시료로 사용하였다.

나) *in vitro* 생리활성 검증

추출된 목표단백질의 활성은 검증하기 위하여 ELISA kit for fish 를 사용하였으며, 검증방법은 제조사의 방법에 따랐고 대조구로는 동결된 어류의 조직으로부터 추출한 단백질을 사용하였다.

다) 안전성 검증

대량발현 시스템을 통하여 생산되는 생합성 생리활성물질의 안전성을 확인하기 위하여 대량발현에 사용된 유전 운반체(vector)의 잔류여부를 조사하고, 추출한 단백질의 잔류 중 금속함량을 포함하는 기본적인 독성검사를 수행하였다. 이는 농림수산부 고시 규정인 사료공정서에 기재되어 있는 분석방법에 따라 분석하였다.

3) 생리활성물질 대량발현 시스템 구축

가) 형질발현 시스템 구축

형질발현 유도는 지렁이에 미세주입법을 변형한 방법을 통해 적정부위에 재조합된 유전체를 삽입시켜 목표 단백질을 생성할 수 있도록 하였다. 또한 지속적인 생산이 가능하도록 가온 양성하였다.



그림 155. 지렁이를 생물공장으로 활용하는 형질도입 및 양성과정

나) 목표 단백질 추출 및 in vitro 활성 검증

생물공장인 지렁이를 통해 생합성된 목표단백질을 추출하기 위하여 PEG 침전법을 사용하였으며, 이로부터 추출한 단백질에서 목표단백질의 활성을 검증하기 위해 ELISA 방법에 따라 그 효율을 측정한 결과, 참다랑어나 고등어의 생체 발현량보다 최소 3배에서 5배 높은 수준으로 생합성되는 것을 확인하였다.

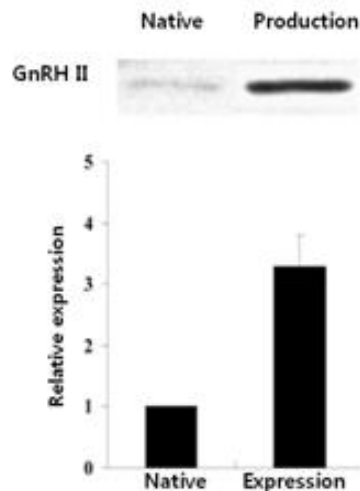


그림 156. 추출한 목표단백질의 in vitro 활성시험 결과

다) 안전성 검증

추출된 목표단백질이 가용 가능 여부를 알아보기 위해 농림수산물부의 고시에 따라 일반성분 분석과 중금속 및 곰팡이독소에 대한 기초적인 안전성 검사를 수행하였다. 분석한 결과 유해물질의 경우 허용범위보다 낮게 검출되어 생명체에 별도의 유해물질이 첨가되지 않았음을 확인하였다. 또한 형질도입에 사용한 운반체 (vector)가 검출되는 지 여부를 확인하기 위하여 운반체 특이적 탐침자를 설계하여 PCR을 수행한 결과, 검출되지 않는 것으로 보아 운반체의 유전물질이 포함되지 않았다고 판단하였다.

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 침입대량어 양식기술 연구개발

제 4 장

연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도



제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표 달성도

1. 수증가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

표 32. 2011년도 연구목표 및 목표대비 결과

연구목표		목표대비 결과	목표 달성도 (%)	비고
외해수증가두리 양식기술개발	어미후보군 확보 및 관리	○ '09년산: 117마리(8 kg급) ○ '08년산: 127마리(26kg 급)	100	
	종묘확보(어획시험)	○ 백다랑어 607마리: 생존율 81% ○ 어류유집장치 설치(10개) 및 어획시험	100	
	생리생태 및 행동 특성	○ 비접촉식방식을 이용한 성장·유영특성 조사 ○ 어체 영양성분, 수은 축적 특성 조사 ○ 데이터로거 삽입 시연 실시	100	
	환경 및 질병 모니터링	○ 외해가두리 수온, 수질 분석자료 확보 ○ 질병 발생 및 피해 없음	100	
육상양식기술 개발	자연산 종묘확보	○ 종묘 포획기술개발: 1~10월 ○ 어획지역 해양환경 및 어군회유시기 파악	100	
	육상수송기술개발	○ 수조 형태별 생존율 변화 조사 ○ 수조 수용 밀도별 생존율 조사	70	
	어미 육상사육기술개발	○ 육상수조 적정 사육환경 수립 ○ 어체 크기별 생식소 발달상태 조사 ○ 질병발생 현황 모니터링	100	
유전자원 대량발현 및 실용화	생리조절 유전자원 탐색	○ 대상종 2종: 참다랑어, 고등어 ○ 뇌, 간조직의 cDNA library 구축	100	
	유용유전자 발굴	○ 참다랑어: 성숙호르몬(GnRH)외 2종 ○ 고등어: 성숙호르몬(GnRH)외 1종	100	
	유용유전자 구조기능분석	○ 유전자 염기서열 판독, 구조결정 ○ 지렁이 형질도입 유전자 대량생산체계 구축	100	

2. 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

표 33. 2011년도 연구목표 및 목표대비 결과

연구목표		목표대비 결과	목표 달성도 (%)	비고
내파성가두리 양식기술개발	어미 확보 및 양성관리	○ 어미후보군 관리(2개소): 육지도, 거문도 ○ 어미후보군: 자연산 215마리, 산업체 3,179마리 ○ 성장조사 및 수정란 채집 시험	100	
	어체분석 및 질병 모니터링	○ 참다랑어 체내 지방, 수은함량 분석 ○ 기생충, 세균성, 바이러스성 발병 없음	100	
	양식장 환경모니터링	○ 수질환경 및 퇴적물 조사 분석 ○ 적조발생 모니터링 조사(6년간)	100	
참다랑어 양식시스템 개발	부침식 가두리 설계안 제시	○ 가두리 모델 2종 설계 (장력계류식, 중심부력제어식)	100	
	부침식 가두리 모형실험	○ 가두리 모델 2종 설계 (장력계류식, 중심부력제어식) ○ 파랑의 영향에 대한 저항 및 거동 변화 분석완료	100	

제 2 절 기여도

1. 수중가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 참다랑어 종묘채포 및 관리기술 개발을 통한 어민 보급으로 현재 제주도, 남해안을 중심으로 새로운 어민 소득사업으로 자리매김함
- 외해수중가두리에서의 성공적인 사육관리로 국외와는 차별화된 기술 우위를 차지
- 외해가두리 고부가가치 양식 산업종 개발로 외해양식 산업화 가속화
- 참다랑어 육상수송에의 기술활용 및 육상양식에 따른 안정적 수정란 확보 기반 확립
- 유용 유전자원확보를 통한 자원주권 확립 및 BT 기술의 양식기술에의 응용 확대

2. 내파성가두리를 이용한 참다랑어 양식기술개발

- 남해안에서 내파성 가두리양식 기술개발을 통한 연안 가두리양식장의 재배치 및 연안역의 환경개선에 긍정적인 효과
- 내파성 가두리는 적조 및 태풍에 안전하고 저비용, 고효율 양식시스템으로서 중앙정

제4장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

- 부 및 지자체에 정책자료 제공 및 민간업체에 기술 이전 효과
- 참다랑어 양식 시설 제작에 대한 국내기술 확보 및 안정적 공급기반 구축
- 첨단 참다랑어 모니터링 기술 개발을 통한 경제적이고 효율적인 참다랑어 성장관리 기반 확보
- 외국산 양식시설물의 공격적인 영업으로 인한 우리나라 양식시설물의 시장잠식에 대응하여 국산품 자체개발과 보급으로 일정부분 억제효과
- 특허 및 신기술의 정부소유로 어업인과 수산업계의 소득증대 및 국내관련 산업분야의 진흥과 고용창출 효과 달성
- IT 등의 최신기술이 접목된 미래형 외해양식 시설물에 대한 국내설치와 운용실적을 바탕으로 주변국과 선진국을 대상으로 한 외해양식시설물 수출기반 확보 가능

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 수심 다랑어 양식기술 연구개발

제 5 장

연구개발 성과 및 활용

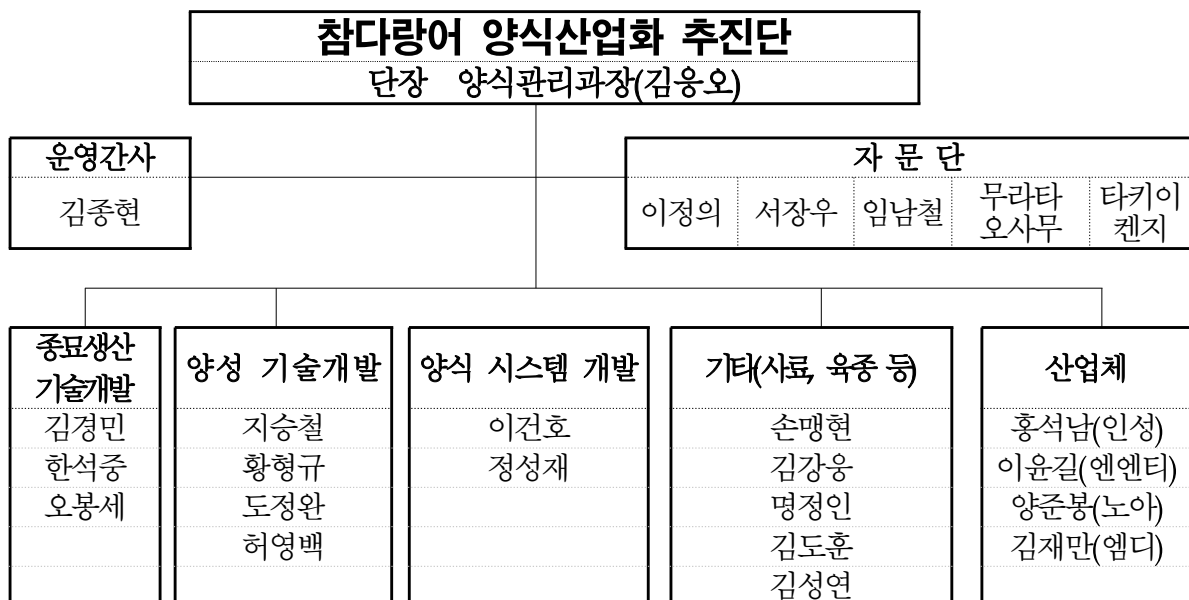


제 5 장 연구개발 성과 및 활용

제 1 절 연구개발 성과 및 활용실적

1. 참다랑어 양식산업화 추진단 설립 및 운영

- 추진단 설립일: 2010. 3
- 설립목적: 정책과제인 “외해 참다랑어 양식기술 연구개발” 수행에 따른 과제진도 및 방향 점검 등을 위한 참다랑어 추진단 구성
- 주요 활동내용
 - 참다랑어 완전양식 조기실현을 위한 연구방향 설정, 과제수행의 연구항목별, 수행 부서별 중간진도 등 점검
 - 국내외 참다랑어 연구동향 파악 및 분석
 - 다각적 연구 접근방법으로 종합적인 연구결과의 도출과 연구원 상호간 정보교류
 - 본부 및 지자체, 산업체와의 산업적 가교 역할
 - 참다랑어 기술개발 및 산업화 관련 세미나 개최, 개발기술의 보급 및 홍보 등
 - 사업 추진결과에 대한 연차보고서 발간
- 2010년 활동 실적
 - 사업결과 발표회 3회
 - 2010년 사업결과 보고회 2회



2. 참다랑어 종묘채포 기술보급을 위한 사랑방 좌담회

가. 참다랑어 종묘 시험어획 평가 사랑방 좌담회

- 일시 : 2010. 2. 1(17:00~)
- 장소 : 추자도 어선주협의회 사무실
- 참석(20여명) : 제주수산연구소, 추자도어선주협의회, 제주특별자치도, 제주시, 추자도 어촌계, 추자수협, 관련어민
- 주요내용
 - '09년 참다랑어 종묘어획 결과 보고 및 평가
 - '09년 어획된 참다랑어 종묘를 활용한 수송시험, 외해수중가두리 사육시험 추진현황

나. 참다랑어 종묘채포 기술교육 사랑방 좌담회

- 일시: 2010. 4. 15(목) 13:00~15:00
- 장소: 여수시 삼산면 거문도수협 회의실
- 참석(16명): 남서해수산연구소, 미래양식연구센터, 거문도수협, 어업인
- 주요내용
 - 참다랑어양식 국내외현황 및 연구추진계획
 - 참다랑어 종묘채포 기술 교육
 - 거문도연안 참다랑어 채포 선단구성 및 지원방안 협의

	
<p>참다랑어 종묘어획시험평가 사랑방 좌담회(추자도, 2010. 2. 1)</p>	<p>참다랑어 종묘채포 기술보급 사랑방좌담회(거문도, 2010. 4. 15)</p>

3. 참다랑어 종묘채포 기술보급 포스터 제작 및 배포

- 포스터 제목: 대한민국 참치들 인사올립니다
- 내용: 시험어획을 통해 어획된 다랑어류 및 회유성어종의 어획시기 및 외부 판별법
- 저작권 등록: 제 C-2010-001201호(2010. 01. 29)

제4장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

○ 배포실적: 85개소 284부 이상

- 농림수산식품부, 수협, 어촌계, 어민, 대학 및 교육기관, 연구소, 제주도 등 지자체,



참치·회유어종 포스터 배포

배성재 기자

국립수산과학원 제주수산연구소는 국내 연근해에서 주로 잡히는 참다랑어류와 회유성 어종의 모습을 담은 포스터(사진)를 제작해 배부한다고 11일 밝혔다. 포스터에는 지난해 8월부터 시작한 참다랑어 종묘 채포 시험어업에서 잡힌 다랑어류 7종과 회유성 어종 4종을 찍은 사진과 학명, 어획시기와 지역이 담겨져 있다. 제주수산연구소 관계자는 “포스터를 어업인과 낚시객에게 나눠주면 이들 어종에 대한 정확한 정보를 제공해 국내 연안에 회유하는 참다랑어류 자원의 산업화 활용방안 수립

에 자료로 활용되고 일반인이 참다랑어를 이해하는데도 도움이 될 것”이라고 말했다.

그림 159. 다랑어류 생태 포스터 및 신문 보도자료

4. 국내외 학술활동

가. 국내외 학술발표 : 3건

- Feasibility study on offshore tuna aquaculture in Korea
 - Kyong Min Kim, Seung Cheol Ji, Jun Ho Koo, Nack Jung Choi and Seok Jung Han
 - 2010년 한일중양식국제심포지움
- 끝납시를 이용한 북태평양참다랑어(*Thunnus orientalis*) 어획
 - 지승철, 김경민, 최낙중, 한석중(2010년 춘계 어류학회)
- 제주연안의 북태평양참다랑어(*Thunnus orientalis*) 어획과정에서 혼획되는 고등어과 어류
 - 김경민, 지승철, 최낙중, 한석중(2010년 춘계 어류학회)

나. 국제 워크숍 개최

- 참다랑어 외해양식 연구발전을 위한 한일전문가 국제워크숍
- 일시 및 장소: 2010. 11. 24. 수(14:00~18:00), 네이버후드 호텔
- 발표자
 - 일본측(4명): Takii Kenji, Sakamoto Wataru, Sawada Yoshihumi, Ando Masashi(긴키대학)
 - 한국측(2명): 박순철(중앙대), 김경민(국립수산과학원)
- 참석범위(30명): 국립수산과학원, 제주특별자치도, 도 연구소, 제주도, 서귀포시, 전라남도, 경상남도, 관련양식업체
- 주제발표

내 용	발 표 자
BT 기술을 적용한 참다랑어 산란유도	중앙대학교 박순철 교수
참다랑어 외해양식기술개발 현황	수산과학원 김경민 박사
環境変動とクロマグロの成長	긴키대학 Sawada Y. 교수
クロマグロ行動特性	긴키대학 Sakamoto W. 교수
クロマグロ栄養要求	긴키대학 Takii K. 교수
クロマグロ食品安全性	긴키대학 Ando M. 교수



5. 홍보

가. 방송

- 중앙방송 뉴스보도: 4건(KBS 2건, SBS 2건)
 - 참다랑어 외해수증가두리 양식, 참다랑어 해상수송
- 과학 다큐멘터리: 4건(YTN 사이언스TV, EBS 원더풀 사이언스, EBS 하나뿐인 지구, 아리랑TV)
 - 참다랑어 외해양식, 참다랑어 연구과정 및 과학적 지식
- 교양 프로그램: 1건(KBS 감성다큐 미지수)
 - 참다랑어 외해수증가두리 양식 연구

표 34. 방송 보도현황 목록 및 주요 내용

방송일시	프로그램명/방송사	방송내용
2010. 2. 8	SBS 8시 뉴스/SBS	참다랑어 세계 최초 외해수증가두리 양식
2010. 9. 25	SBS 8시 뉴스/SBS	참다랑어 금발 일군다
2010. 4. 10	감성다큐 미지수/KBS	“참치 커넥션”
2010. 4. 30	YTN 사이언스 TV/YTN	녹색의 꿈, 참다랑어 외해양식
2010. 7. 1	원더풀 사이언스/EBS	21세기 수산과학 “참다랑어 양식”
2010. 7. 23	KBS 9시 뉴스/KBS	참다랑어 해상수송
2010. 7. 23	KBS 11시 뉴스/KBS	양식참치 이주
2010. 10. 14	하나뿐인 지구(EBS)	뜨거워지는 한반도, 밥상이 변하고 있다 “참다랑어 외해양식”
2010. 10. 27	프라임TV/아리랑TV	참치전쟁(2부작)

나. 신문보도

- 전국 주요 일간지(국제신문, 부산일보 포함): 15건
 - 한겨레신문, 경향신문, 조선일보, 동아일보, 매일경제, 한국일보, 부산일보, 국제신문 등
 - 참다랑어 외해수증가두리 양식 성공가능성, 참다랑어양식기술 연구 현황
- 수산전문 신문: 4건
 - 한국수산경제, 수산인신문, 어민신문
 - 참다랑어 외해수증가두리 양식 성공 가능성, ‘14년까지 참다랑어 수정란 확보
- 지방지(제주지역): 12건
 - 제주일보, 한라일보, The Jeju Weekly, 제민일보 등
 - 참다랑어 외해양식, 다랑어류 포스터 제작 배포, 새로운 방식의 참다랑어 양식

 <p>SBS 시청자가 만드는 SBS뉴스, 제보 기다립니다.</p>	 <p>지승철 국립수산물과학원 제주수산연구소 박사 정치 -민주 "총리직은 높은 도덕성 요구...단호하게 임할 것"</p>
<p>SBS 8시 뉴스(SBS, 2010. 2. 8)</p>	<p>SBS 8시 뉴스(SBS, 2010. 9. 25,)</p>
 <p>KBS 11시</p> <p>참다랑어 해상 수송</p>	 <p>KBS 11시</p> <p>뉴스리얼 LIVE 국내 첫 참치 이주 성공</p>
<p>KBS 9시 뉴스(2010. 7. 23)</p>	<p>KBS 11시 뉴스(2010. 7. 23)</p>
 <p>원더풀 사이언스</p> <p>한석중 소장 국립수산물과학원</p> <p>오염 문제라든지 환경 문제라든지 질병 문제라든지 어류 양식에 있어서</p>	 <p>미지수</p>
<p>원더풀 사이언스(EBS, 2010. 7. 1)</p>	<p>감성다큐 미지수(KBS, 2010. 4. 10)</p>
 <p>하나뿐인 지구</p> <p>김경민 박사 / 국립수산물과학원 외해양식연구소</p>	 <p>YTN 사이언스TV</p>
<p>하나뿐인 지구(EBS, 2010. 10. 14)</p>	<p>YTN 사이언스TV(2010. 4. 30)</p>

그림 160. 주요 방송사 방송 보도 내용

제4장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

표 35. 전국 주요 일간지 보도 내용

No.	날 짜	신 문 사	기 사 제 목	페이지
1	2010. 1. 4	파이낸셜뉴스	제주 참다랑어 양식성공 가능성	해양경제 21면
2	2010. 1. 7	한겨레신문	제주 '먼바다 양식' 전망 밝다	제주강원 13면
3	2010. 1. 7	경향신문	태풍 길목 제주 바다 속 양식 '합격점'	전국14면
4	2010. 1. 7	조선일보	참치(참다랑어)먼바다 양식 성공... 대량생산 길 터	제주서울 A31면
5	2010. 1. 8	동아일보	제주 '외해 수중 양식' 면허 만다	호남제주 A18면
6	201. 1. 8	부산일보	제주 먼바다 그물 속, 참다랑어 살 오르는 소리	해양수산 14면
7	2010. 1. 11	부산일보	대한민국 참치를 소개합니다	해양수산 14면
8	2010. 2. 01	한겨레신문	제주 근해 양식 참치 '펼떡'	전국 13면
9	2010. 3. 3	아시아경제	참치 먼바다 완전양식 순항	종합 20면
10	2010. 3. 4	조선일보	제주 양식 참치, 내년이면 맛 본다	제주서울 35면
11	2010. 3. 4	내일신문	참다랑어 양식 순항	산업 16면
12	2010. 3. 4	한국일보	'한국産 참치' 무럭무럭 자랍니다	경제 19면
13	2010. 3 05	부산일보	참다랑어 대량 생산 눈앞	경제 14면
14	2010. 4. 24	국제신문	수중생물조사 다이버 없이도 한다	해양수산 12면
15	2010. 4. 26	매일경제	참치양식, 바이오에너지 기회는 있다	유통 A20면

표 36. 지방 주요 일간지 보도 내용(제주지역)

No.	날 짜	신 문 사	기 사 제 목	페이지
1	2009. 12. 30	제주일보	제주바다, 외해양식산업 '메카'로	경제8면
2	2009. 12. 30	제주타임스	참다랑어 외해양식 적응성공	경제6면
3	2010. 1. 7	제민일보	외해수중가두리 제주 전략산업 부각	종합2면
4	2010. 1. 7	한라일보	제주 외해양식 가능성 입증	종합7면
6	2010. 1. 9	제주타임스	포스터 (대한민국 참치들 인사올립니다)	문화8면
7	2010. 1. 13	제주일보	참치전쟁(칼럼)	오피니언 13면
8	2010. 2. 12	The Jeju Weekly	Survival of the Species - Tuna breeders adapt new methods -	IT/Business 6면
9	2010. 3. 04	제주일보	참다랑어 수중양식 '순항 중'	종합 4면
10	2010. 3. 04	한라일보	참다랑어 외해양식 '성공'	경제 6면
11	2010. 3 04	제민일보	참다랑어 외해수중양식 "순조"	사회 5면

위기의 수산업 ③

참치 양식·바이오에너지...기회는 있다



제주도 사귀다시 요양원에 필리핀 참치 양식장 3000㎡를 임대해서 1억 4000만 원에 1000여 마리 참치 양식장을 조성했다. 이 시설은 수심 20~30m 정도 있는 참치 양식장인 참치 양식장이다. 참치 양식장 조성은 필리핀에서 1000여 마리 참치 양식장을 조성하는 데 1000만 원 정도가 든다고 한다. 필리핀에서 참치 양식장 조성은 1000만 원 정도가 든다고 한다. 필리핀에서 참치 양식장 조성은 1000만 원 정도가 든다고 한다.

노르웨이는 연어에 4300억 원이 23조 원 해수관상어 시장 노르웨이

참치 양식장 구조도는 참치 양식장 구조도를 보여준다. 참치 양식장 구조도는 참치 양식장 구조도를 보여준다. 참치 양식장 구조도는 참치 양식장 구조도를 보여준다.

‘한국산 참치’ 무럭무럭 자랍니다

제주서 외해 가두리 양식 첫 성공...10년대 완연할 시대 앞장



스시 요양 등 일본 음식이 세계에 알려지면서 참치 수요가 급증하고 있다. 참치 양식업은 참치 양식업이다. 참치 양식업은 참치 양식업이다. 참치 양식업은 참치 양식업이다.



참치 양식 현황
(단위: 1000톤)

연도	양식량
2000	1000
2001	1000
2002	1000
2003	1000
2004	1000
2005	1000
2006	1000
2007	1000
2008	1000

참치 양식업은 참치 양식업이다. 참치 양식업은 참치 양식업이다. 참치 양식업은 참치 양식업이다.

참다랑어 대량 생산 눈앞

수과원, 먼바다 양식 성공적

국립수산과학원은 제주도에서 세계 최초로 진행 중인 참다랑어의 외해(먼바다) 수증양식(사천)이 성공적으로 이뤄지고 있다고 5일 밝혔다.

수산과학원은 지난해 8~9월 제주도 추자도 근해에서 채낀기 어선을 이용해 참다랑어의 종묘(씨물고기)를 잡는 데 성공했고, 이를 제주도 표면면의 외해 수증가두리에 옮겨 400여마리를 사육해 왔다.

수산과학원에 따르면 이들 양식 참다랑어는 바닷속 20~30m 수증가두리 안에서 자연산 같은 몸 색깔과 활동력을 보이고 있다. 올해 2월 말 현재 몸무게 4~5kg 정도로, 수온이 낮은 겨울철인데도 왕성하게 음식을 섭취하며 유행하고 있다. 폐사한 개체는 거의 없다.

또 참다랑어 어획과 운반 과정에서 관련 노하우를 축적했고 어획한 참다랑어를 가두리에 수증해 80% 이상 생존율을 유지할 수 있는 기술도 쌓았다고 수산과학원은 덧붙였다.

수산과학원 관계자는 “지금까지 이뤄진 어획·수송 시험, 중간사육 시험, 외해 가두리 입식(가축을 들여 기르) 시험

등은 대부분 처음으로 적용된 기술”이라며 “앞으로 4~5년 뒤 핵심기술인 수증장 생산을 할 수 있느냐가 완전양식 성공 여부를 가를 것으로 본다”고 말했다.

완전양식이란 ‘산란-수정-부화-사육-산란’으로 되풀이되는 동물의 생애 전 과정을 인위적으로 관리하는 양식을 말한다.

전 세계적으로 참치류의 양식 기술은 호주와 일본, 지중해 연안국 정도만 보유하고 있으며 이렇게 생산된 양식 참치는 연간 약 4만이다. 일본의 경우 2002년 완전양식에 성공했고 호주는 지난해 완전양식의 핵심기술인 수증장 확보 기술을 개발했다. 송현수 기자 songh@


수증생물 조사 다이버 없이도 한다

수과원, 비정축 측정장비 개발 고가 양식어종 연류 유용할 듯

수산과학원은 수증생물 조사를 위해 다이버 없이도 할 수 있는 비정축 측정장비를 개발했다. 이 장비는 수증생물 조사를 위해 다이버 없이도 할 수 있는 비정축 측정장비를 개발했다. 이 장비는 수증생물 조사를 위해 다이버 없이도 할 수 있는 비정축 측정장비를 개발했다.

수산과학원은 수증생물 조사를 위해 다이버 없이도 할 수 있는 비정축 측정장비를 개발했다. 이 장비는 수증생물 조사를 위해 다이버 없이도 할 수 있는 비정축 측정장비를 개발했다.

그림 161. 그림. 전국 주요 일간지 보도내용

	내용	잡지명/호
	참다랑어의 품질관리기술	양식&푸드/2월호
	참다랑어 유통과 소비동향	양식&푸드/3월호
	참다랑어 외해양식 꿈은 아니구나	해양과 문화/3월호
	참다랑어 국내외 양식기술개발 현황	양식&푸드/4월호
	참다랑어 양식산업화와 비전	양식&푸드/5월호
	참다랑어 양식 도전과 희망 - 참다랑어를 만나다 -	양식&푸드/7월호
	참다랑어 양식 도전과 희망 - 일본 긴키대 수산연구소를 가다 -	양식&푸드/8월호
	참다랑어 양식기술개발과 산업화	양식&푸드/9월호
	참다랑어 양식 도전과 희망 - 참다랑어 배합사료를 개발하라 -	수산양식/10월호
	참다랑어 양식 도전과 희망 - 충돌사를 해결하라 -	수산양식/11월호
	참다랑어 양식 도전과 희망 - 충돌사의 원인을 제거하라 -	수산양식/12월호

제 2 절 금후 활용계획 및 기대효과

- 확보된 참다랑어 어미후보군은 '14년 수정란 생산 및 인공종묘생산의 중요한 기반임
- 종묘채포기술은 어민들 새로운 소득창출 산업으로 육성하고, 관련 어구 및 수조 등도 국산화 작업 및 개발을 유도
- 외해가두리 사육관리기술은 국외와 차별화된 양식기술 개발로 2010년부터 시작되는 참치외해양식 업자를 대상으로 기술보급 및 지도
- 참다랑어 행동특성 연구 결과를 토대로 양식시설의 설계에 적용하고, 지질, 수은 축적 특성 결과는 사료공급 및 사육관리기술과 배합사료개발의 기초 자료로 활용
- 개발된 부침식 가두리는 일반 가두리에 부력제어시스템만을 결합한 형태로써 전체 시스템을 새로 구성할 필요 없어 저렴한 비용으로 제작 및 설비가 가능
- 참다랑어 가두리에 대한 기술을 특허 등록하고 민간업체에 기술 이전 등을 통하여 참다랑어 양식 시스템 보급 및 양식 산업을 활성화하고자 함
- 개발된 가두리 기술은 참다랑어 뿐만 아니라 다른 양식어종 적용 가능하므로 타 어종의 양식용 시설에도 활용이 가능함

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위험 부담 다량어 양식기술 연구개발

제 6 장

참고문헌



제 6 장 참고문헌

- Abascal FJ, Medina A. Ultrastructure of oogenesis in the bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. *J Morphol*. 2005 May; 264(2):149-60.
- Carlsson J, McDowell JR, Díaz-Jaimes P, Carlsson JE, Boles SB, Gold JR, Graves JE. Microsatellite and mitochondrial DNA analyses of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*) population structure in the Mediterranean Sea. *Mol Ecol*. 2004 Nov; 13(11):3345-56.
- Carter, C. C., Seeto, C. G., Smart, A., Clarke, S., and R. J. van Barneveld, 1998.
- Chini V, Cattaneo AG, Rossi F, Bernardini G, Terova G, Saroglia M, Gornati R. Genes expressed in Blue Fin Tuna (*Thunnus thynnus*) liver and gonads. *Gene*. 2008 Feb 29; 410(1):207-13. Epub 2007 Dec 23.
- Correlates of growth in farmed juvenile southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* (Caselnau). *Aquaculture* 161, 107-119.
- Corriero A, Medina A, Mylonas CC, Bridges CR, Santamaria N, Deflorio M, Losurdo M, Zupa R, Gordin H, de la Gandara F, Belmonte Rios A, Pousis C, De Metrio G. Proliferation and apoptosis of male germ cells in captive Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) treated with gonadotropin-releasing hormone agonist (GnRHa). *Anim Reprod Sci*. 2009 Dec; 116(3-4): 346-57. Epub 2009 Feb 27.
- Corsolini S, Sarà G, Borghesi N, Focardi S. HCB, p,p'-DDE and PCB ontogenetic transfer and magnification in bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Mediterranean Sea. *Environ Sci Technol*. 2007 Jun 15; 41(12):4227-33.
- Di Bella G, Licata P, Bruzzese A, Naccari C, Trombetta D, Lo Turco V, Dugo G, Richetti A, Naccari F. Levels and congener pattern of polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Straits of Messina (Sicily, Italy). *Environ Int*. 2006 Aug;32(6):705-10. Epub 2006 Mar 6.
- Garcia-Gonez A., De La Gandara F., Raja T. & Atunes De Mazarron S.L. 2003. First experience of adult bluefin tuna (BFT), *Thunnus thynnus*. Transportataion from rearing cages to inland facilities. In: *Cahiers Oprions Mediterra-neennes*, Vol. 60, *Domestication of the Nluefin Tuna Thunnus thynnus* (ed. by C. R. Bridges, H. Gordin & A. Garcia), Center International de Hautes Etudes Agronomique Mediterraneans, Paris, France. pp. 77-79.

- Gimenez F.A. & Garcia B.G. 2003. Macronutrient composition of food for bluefin tuna(*thunnus thynnus thynnus*). Center International de Hautes Etudes Agronomique Mediterraneans, Paris, France. pp. 15-16.
- Iwata, M., K. Fujii, A. Komoda and Y. Abe, 2006. Ecological exhibit of tunas in the Aquamarine Fukushima. Proceedings of the Joint International Symposium on Bluefin Tuna, Wakayama, Japan, 143-145.
- Kobayashi, T., R. Ishibashi, S. Yamamoto, K. Ueno and O., Murata, 2006. Gonadal Formation and Development in cultured Chub Mackerel, *Scomber japonicus*. Proceedings of the Joint International Symposium on Bluefin Tuna, Wakayama, Japan, 79-84.
- Kumai H. 1997. Present state of bluefin tuna aquaculture in Japan. Suisan Zoshoku 45, 293-297.
- Kumai, H., O. Murata, S. Okamoto. Y. Muka, M. Nakatani, S. Miyashita, and T. Harada. 1995. Growth and spawning of bluefin tuna at the coastal area of Kushimoto and Oshima. Proceedings of the 1995 spring meeting of the Japanese Society of Fisheries.
- Licata P, Trombetta D, Cristani M, Naccari C, Martino D, Calò M, Naccari F. Heavy metals in liver and muscle of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the Straits of Messina (Sicily, Italy). Environ Monit Assess. 2005 Aug;107(1-3):239-48.
- Lockley AK, Bardsley RG. Novel method for the discrimination of tuna (*Thunnus thynnus*) and bonito (*Sarda sarda*) DNA. J Agric Food Chem. 2000 Oct;48(10):4463-8.
- Marino F, Monaco S, Salvaggio A, Macrì B. Lipoma in a farmed northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (L.). J Fish Dis. 2006 Nov;29(11):697-9.
- Masuma, S., 2006. Studies on broodstock management and spawning ecology of bluefin and yellowfin tuna in captivity. Ph, D Thesis, Kyushu University, Fukuoka, Japan. 197 pp. (in japanese with English summary).
- Masuma, S., 2008. Development of techniques of stock enhancement for Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* by the Fisheries Research Agency (formerly, Japan Sea Farming Association). Journal of Fisheries Technology 1, 21-36 (in japanese with English abstract).
- Masuma, S., M. Oka, M. Kanematu, N. Tezuka, K. Teruya, H. Fushimi and N. Ishibashi, 1991. Feeding and growth of captive bluefin in yaeyama. Saibaigiken 20, 35-40 (in Japanese).

제5장 참고문헌

- Masuma, S., T. Takebe and Y. Sakakura, 2010. A review of the broodstock management and larviculture of the Pacific northern bluefin tuna in Japan. *Aquaculture*, 1-7.
- Mimori, R., S. Tada and H. Arai, 2008. Overview of husbandry and spawning of bluefin tuna in the aquarium at Tokyo Sea Life Park. *Proceedings of 7th International Aquarium Congress, Shanghai, China*, 130-136.
- Mimori, R., S. Tada and H. Arai, 2008. Overview of husbandry and spawning of bluefin tuna in the aquarium at Tokyo Sea Life Park. *Proceedings of 7th International Aquarium Congress, Shanghai, China*, PP. 130-136.
- Miyashita S., (2002) Studies on the seedling production of the Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. *Bulletin of the Fisheries Laboratory of Kinki University* 8, 1-171 (in Japanese, with English abstract).
- Miyashita, S., Y. Sawada, H. Nakatsukasa, H. Yagi, S. Oda, O. Murata, and H. Kumai. 1996. Relative growth of artificially hatched bluefin tuna at juvenile and young stage. *Proceeding of the 1996 spring meeting of the Japanese Society of Fisheries Science*.
- Mladineo I. Histopathology of five species of *Didymocystis* spp. (Digenea:Didymozoidae) in cage-reared Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*). *Vet Res Commun*. 2006 Jul;30(5):475-84.
- Murata, O., Y. Ishitani, S. Miyashita, M. Seoka, Y. Kubo, and H. Kumai. 1995. Condition of the reared bluefin tuna gonad in the spawning season. *Proceedings of the 1995 spring meeting of the Japanese Society of Fisheries Science*.
- Nakatsukasa, H., S. Miyashita, O. Murata, K. Kato, S. Masuma, M. Koiso, K. Teruya, and H. Kumai. 1996. Anesthetizing of artificially hatched bluefin tuna. *Proceedings of the 1996 spring meeting of the Japanese Society of Fisheries Science*.
- Ortega A, Mourente G. Comparison of the lipid profiles from wild caught eggs and unfed larvae of two scombroid fish: northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L., 1758) and Atlantic bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793). *Fish Physiol Biochem*. 2010 Sep;36(3):461-71. Epub 2009 Mar 28.
- Palmieri G, Acone F, Desantis S, Corriero A, Ventriglia G, Addis P, Genovese S, Aprea A, Spedicato D, Losurdo M, Deflorio M, Di Summa A, De Metrio G. Brain morphology and immunohistochemical localization of the gonadotropin-releasing hormone in the bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. *Eur J Histochem*. 2008 Jan-Mar;52(1):19-28.

- Periago MJ, Rodrigo J, Ros G, Rodríguez-Jérez JJ, Hernández-Herrero M. Monitoring volatile and nonvolatile amines in dried and salted roes of tuna (*Thunnus thynnus* L.) during manufacture and storage. *J Food Prot.* 2003 Feb;66(2):335-40.
- REPRO-DOTT FINAL REPORT, 2002. Reproduction of the bluefin tuna in captivity-feasibility study for the domestication of *Thunnus thynnus*. pp 220.
- Roberts RJ, Agius C. Pan-steatitis in farmed northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (L.), in the eastern Adriatic. *J Fish Dis.* 2008 Feb;31(2):83-8.
- Rodríguez-Gómez FJ, Rendón-Unceta MC, Piñuela C, Muñoz-Cueto JA, Jiménez-Tenorio N, Sarasquete C. Immunocytochemical characterization of pituitary cells of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus* L. *Histol Histopathol.* 2001 Apr;16(2):443-51.
- Sarasquete C, Cárdenas S, de González CM, Pascual E. Oogenesis in the bluefin tuna, *Thunnus thynnus* L.: a histological and histochemical study. *Histol Histopathol.* 2002;17(3):775-88.
- Sawada, Y., 2005. Bluefin tuna. In: Kumai, H. (Ed.) *Marine Fish. Kouseishakouseikaku*, Tokyo, pp. 173-204.
- Stefanelli P, Ausili A, Ciuffa G, Colasanti A, Di Muccio S, Morlino R. Investigation of polychlorobiphenyls and organochlorine pesticides in tissues of tuna (*thunnus thynnus thynnus*) from the Mediterranean Sea in 1999. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2002 Dec;69(6):800-7.
- Stevens ED, Kanwisher JW, Careymaltese cross FG. Muscle temperature in free-swimming giant Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.). *J Therm Biol.* 2000 Dec 1;25(6):419-423.
- Storelli MM, Casalino E, Barone G, Marcotrigiano GO. Persistent organic pollutants (PCBs and DDTs) in small size specimens of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Mediterranean Sea (Ionian Sea). *Environ Int.* 2008 May;34(4):509-13. Epub 2008 Mar 4.
- Storelli MM, Marcotrigiano GO. Total mercury levels in muscle tissue of swordfish (*Xiphias gladius*) and bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Mediterranean Sea (Italy). *J Food Prot.* 2001 Jul;64(7):1058-61.
- Wexler, J.B., V.P. Scholey, R.J. Olson, D. Margulies, A. Nakazawa and J.M. Suter, 2003. Tank culture of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*: developing a spawning population for research purposes. *Aquaculture* 220. 327-353.
- Yun-peng Zhao, Tiao-jian Xu, Guo-hai Dong, Yu-cheng Li, 2010, Numerical simulation of a submerged gravity cage with the frame anchor system in irregular waves,

제5장 참고문헌

- Journal of Hydrodynamics, Ser. B, Vol. 22, No. 5, 433-437.
- 九州・山口ブロック水試漁業分科會編(1977) 西日本海域における曳縄漁業. 1-126.
- 국립수산과학원, 1999. 태평양산 원양어류도감, 한글그라픽스, 436-437.
- 국립수산과학원, 2008. 외해가두리 양식산업 기반기술 개발 - 최종연구보고서, 260pp.
- 김재오, 신형일, 1996, 압축공기식 부침가두리에 관한 연구(I) (부침가두리의 동적특성), 한국어업기술학회지, Vol. 32, No. 2, 117-124.
- 김진하, 김영식, 정동호, 김현주, 2005. 부침식 가두리 양식시스템에 관한 연구, 선박해양기술학회, Vol. 40, 97-106.
- 김태호, 2004, 부설 수심의 변화에 따른 파랑 중 원통형 부체의 운동 및 계류삭 장력 해석, 한국어업기술학회지, Vol.40, No. 4, 360-366.
- 김태호, 김창길, 김호상, 백철인, 류청로, 2002, 가두리 시설이 파랑과 흐름에 의해 받는 유체력 특성, 한국어업기술학회지, Vol.38, No.3, 190-196.
- 남서해수산연구소, 2010. 2009 외해양식어업 적지조사 연구보고서.
- 남해수산연구소, 2009. 여수 외해수중가두리양식 시험어업 연구보고서.
- 남해수산연구소, 2009. 외해가두리 참치양식 어장개발 적지조사 연구보고서.
- 남해수산연구소. 2006. 참다랑어 양식기술개발 로드맵, 98pp.
- 농림수산식품부, 2008. 남해안 가두리양식장 돔류 월동 사육기술 개발.
- 濱崎清一, 永井達樹(1995) 日本海西南部から東シナ海中部におけるクロマグロ未成魚の分布と回遊. 水産技術 59(4), 398-408.
- 西村大介, 山本憲一, 高木信夫(2003) 對馬海區におけるクロマグロ幼魚漁獲量豫測手法の検討. 水産技術 29, 1-8.
- 石橋泰典(2006) 種苗生産衝突死. 日水誌, 72(5), 949-950.
- 升間 主計(2008) 水産総合研究センター(旧日本栽培漁業協會)によるクロマグロ栽培漁業技術の開発. 水産技術 1(1), 21-36.
- 양동범, 김석현, 이광우, 1984. 1983년 7월 진해만의 해양화학지수의 수직분포에 관하여, 한국해양학회, Vol 19, No 1, 89-93.
- 양동범, 이광우, 1986. 하계 진동만의 해양화학지수의 분포, 한국물환경학회(구 한국수질보전학회), Vol. 2, No. 2, 25-30.
- 오진석, 곽준호, 정성재, 함연재, 이지영, 2008, 외해 가두리 양식장 데이터 분석 및 원격 감시 시스템 개발 한국마린엔지니어링학회지, Vol.32, No.1, 153-161.
- 日本水産資源保護協會. 1987, 水質汚濁調査指針.
- 조은섭, 황형규, 2010, 참다랑어 양식 : 육지도 식물플랑크톤 군집구조 및 부침식 가두리 적정 침강수심, 해양환경안전학회지, Vol.16, No.4, 381-386.
- 지승철, 2009. 한국의 참다랑어 양식기술개발 현황 및 발전 방향, 참다랑어 양식기술개발

및 산업화 국제심포지움, 한국, 경남. 103-105.

川村軍藏(1994) マグロ類の生理. 月刊海洋, 26(9), 529-533.

해양수산부, 2005, 해양환경공정시험방법.

환경부, 2003, 환경정책기본법.

참고자료

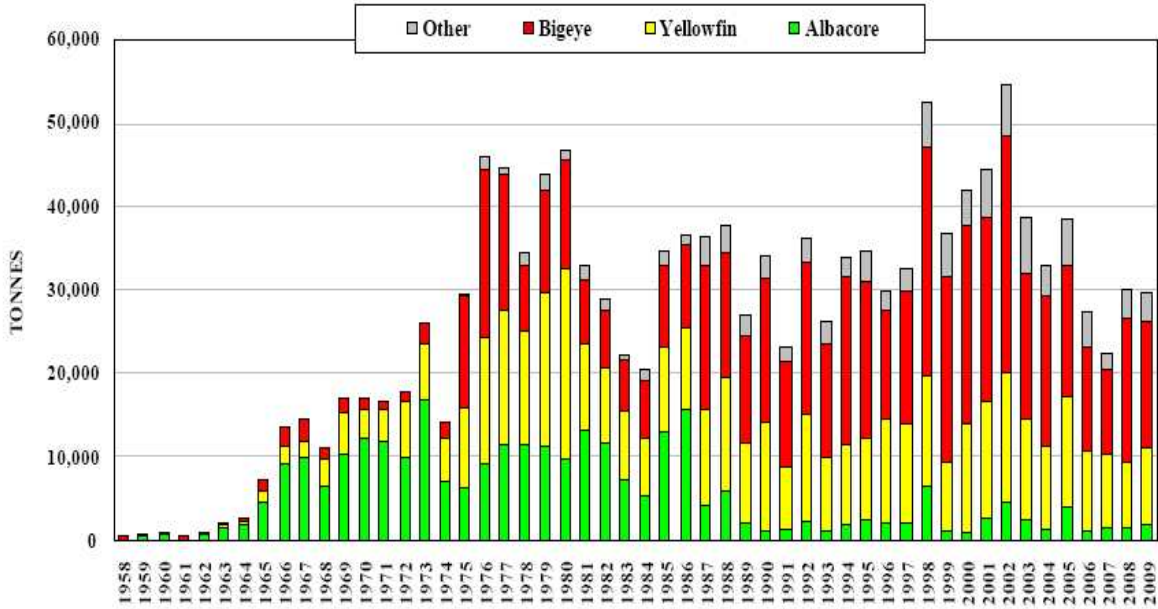


그림. 한국의 원양어업 중 다랑어류 어획량 추세 (1958~2009)

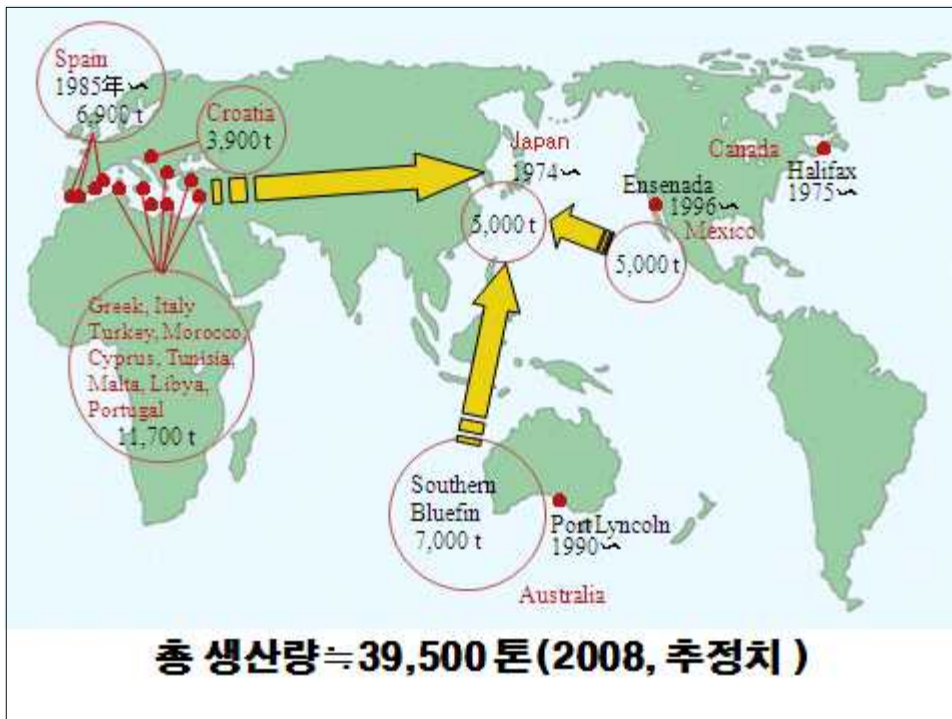


그림. 세계 참다랑어 양식생산량

표. 참치 회 소비량(초밥 포함)

소비국	소비량(톤)
일본	400,000 ~ 450,000
미국	30,000 ~ 50,000
한국	15,000 ~ 20,000
대만	5,000 ~ 8,000
유럽연합	4,000 ~ 8,000
중국	4,000 ~ 6,000
합계	458,000 ~ 542,000

※ 양식 참다랑어 소비자 공급가격(긴키대학수산연구소, 2005)

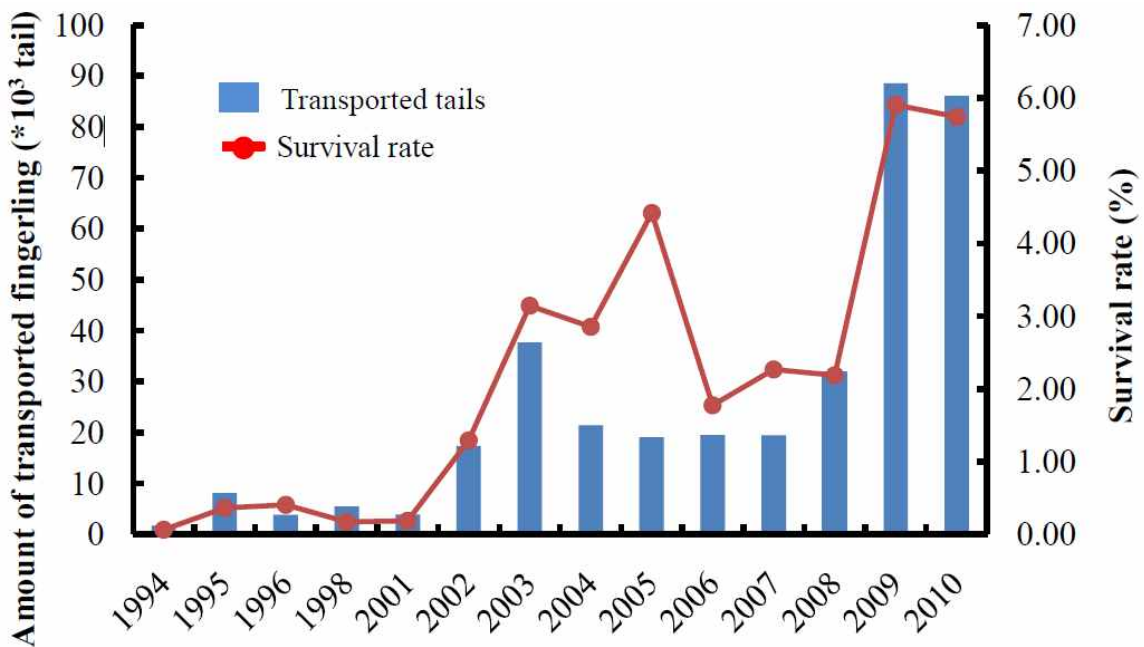


Fig.3 The changes of total fingerlings production and the survival rate of PBT juvenile on land based hatchery at Oshima station.

그림. 일본 긴키대학 수산연구소의 참다랑어 인공종묘 생산량 및 생존율 변화



그림. 2009년 세계 발명품 2위에 오른 참다랑어 양식

2010년 1차년도 연구보고서
Tuna offshore aquaculture
technology and research

위해 부담 다량어 양식기술 연구개발

-
- 주의**
- 1 이 보고서는 국립수산과학원에서 시행한 수산시험연구사업의 연구보고서입니다.
 - 2 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국립수산과학원에서 시행한 수산시험연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
 - 3 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용을 대외적으로 발표 또는 공개할 수 없습니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

- 문의처 | 국립수산과학원 TEL 051)720-2114(대)
- 문의처 | 미래양식연구센터 TEL 064)750-4300

발행일	2011년 4월
발행처	국립수산과학원
주소	부산광역시 기장군 기장을 해안로 152-1번지
연락처	02-820-5114(대)
인쇄처	시후디자인 TEL 064) 746-0679
