

발간등록번호

76-6480346-000003-01



# 참다랑어 양식산업화를 위한 기초연구



경상남도수산자원연구소



# 머 리 말

우리 연구소는 수산자원 회복과 연안어장 어족 자원증대를 위하여 1999년 10월에 개소 이후 현재까지 매년 지속적으로 경남 연안의 특성에 적합한 어패류 등의 종묘를 대량생산·방류하고 있으며, 고부가 특산품종 개발과 새로운 종묘생산 기술을 연구하여 보급하는 등 모든 연구진들이 수산자원 회복과 어업인의 소득증대에 최선을 다하고 있습니다.

현재 우리 수산업은 한중 FTA체결 등 외국과의 무역협정체결 가속화, 환경오염 및 해양생태계 변화로 인한 해수온 상승, 어촌인력 노령화와 적조 및 태풍 등 자연재해로 어업환경이 악화되어 많은 어려움을 겪고 있는 실정입니다.

이를 타개하기 위해서 우리연구소에서는 미래전략품종 개발과 현장밀착형 생산성 향상 실용기술 연구, 지역특산 품종 자원회복 등을 통하여 수산업을 어촌관광과 접목된 2, 3차 산업으로 전환하여 지속가능한 산업으로 발전시켜 나가는 노력을 경주하고 있으며, 관내의 국가연구기관, 수산관련 대학과의 지속적인 업무협약 연계를 통한 연구 인프라를 구축하고, 각 기관들의 역량을 결집하여 시너지 효과를 극대화함으로써 지역 수산현안에 공동대응을 적극적으로 추진해 가고 있습니다.

특히 차세대 어류 양식산업의 블루오션으로 주목받고 있는 참다랑어의 양식 기술 개발 연구를 2010년부터 역점적으로 수행하고 있습니다. 2013년에는 친어 양성용 대형수조를 건립하여 현재 40kg 내외/마리 30마리를 사육중에 있으며, 2014년에는 5cm 크기 종묘 10,000마리를 생산하여 어업인에게 분양하는 실적을 이루어 냈습니다. 이번에 그간 연구수행 과정에서 확보한 기술과 시행착오가 참다랑어 양식에 관심 있는 분들에게 도움이 될 것을 확신하며 상세히 정리하여 연구결과보고서로 발간하게 되었습니다.

앞으로도 우리 연구소가 세계 제일의 수산자원연구소로 발전하기 위해 변화를 두려워하지 않고 도전하겠다는 각오로 연구추진에 최선을 다하겠습니다. 아울러 이 책자에 수록된 연구수행 자료가 어업인들이나 연구기관의 참고자료로 활용된다면 더 없는 기쁨으로 생각하겠습니다. 감사합니다.

2015. 10.

경상남도수산자원연구소장 박 경 대





## 제1장 도입

- (1) 세계 참다랑어 양식기술개발 연구 역사 ..... 71
- (2) 세계 참다랑어 양식 및 어획 현황 ..... 81
- (3) 우리연구소 연구현황 ..... 2

## 제2장 연구 추진사항

### (1) 기초연구

- 가. 회유경로 조사를 위한 시험조업(2010년) ..... 72
- 나. 남해안 월동시험(2010년~2011년) ..... 2
- 다. 시험조업(2011년)을 통한 종묘확보 및 소형(50ton)육상사육 시험 ...6 3
- 라. 몰타에서의 수정란 수거 및 국내 수송(2013년) ..... 04
- 마. 기초자료 수집을 위한 국외 출장 ..... 4
  - 《일본출장》
  - 《호주출장》

### (2) 인공종묘생산 연구

- 가. 2012년 인공종묘생산 연구 ..... 5
- 나. 2013년 인공종묘생산 연구 ..... 2
- 다. 2014년 인공종묘생산 연구 ..... 7
- 라. 3년간 인공종묘생산 연구 비교 ..... 7
- 마. 일본의 종묘생산연구 적용 ..... 9

### (3) 친어용 중간어 양성 추진사항

- 가. 대형수조 건립 및 중간어 수용 ..... 8
- 나. 중간어 양성(보유) 현황 ..... 4

## 제3장 마치면서 ..... 8

## 제4장 참고문헌 ..... 9

## 표 차례

---

(표 1) 시험조업 결과 채포어종 분포 .....	82
(표 2) 종묘 구입의 원가계산 .....	13
(표 3) 일자별 참다랑어 채포 마리수 .....	73
(표 4) 가두리 사육 중 일자별 참다랑어 폐사 마리수 .....	93
(표 5) 42일간 참다랑어 사육결과 .....	94
(표 6) 일별 수행사항 .....	42
(표 7) 2012년 수송용기 및 부화관리수조의 수질환경 .....	66
(표 8) 2012년 종묘생산 공정표 .....	67
(표 9) 2013년 수송용기 및 부화관리수조의 수질환경 .....	24
(표 10) 2013년 종묘생산 공정표 .....	73
(표 11) 2014년 수송용기 및 부화관리수조의 수질환경 .....	47
(표 12) 2014년 종묘생산 공정표 .....	75
(표 13) 먹이별 공급시기 및 방법 .....	67
(표 14) 이송 및 사육과정에서의 폐사 .....	67
(표 15) 연도별 수정란 수용 및 부화 .....	87
(표 16) 연도별 사육환경 .....	9
(표 17) 연도별 문제점 및 성과 .....	9

## 그림 차례

---

(그림 1) 위탁업체 가두리어장 사진(위탁업체 소유 사료저장 냉동 창고) .....	30
(그림 2) 위탁사육 업체 소재지 .....	30
(그림 3) 참다랑어 종묘 이송작업 .....	33
(그림 4) 동절기 참다랑어 가두리양식을 추진하고 있는 4개소의 2011년 수온변화 .....	34
(그림 5) 출장국(몰타) 위치 .....	41
(그림 6) 수정란 수거 및 포장작업 .....	43
(그림 7) 참다랑어 채포어선 및 채포방법 .....	45
(그림 8) 가두리 전경 및 참다랑어 먹이 .....	46
(그림 9) 출하를 위한 참다랑어 전처리 .....	46
(그림 10) 킨키대학 견학 .....	48
(그림 11) 쓰키지시장 모습 .....	49
(그림 12) South Australian Research and Development Institute 방문 .....	50
(그림 13) South Australian Research and Development Institute 견학 .....	51
(그림 14) Tony's Tuna International 방문 .....	52
(그림 15) Tony's Tuna International 냉동창고 견학 .....	52

## 그림 차례

---

(그림 16) CleanSeas Tuna Ltd. 전체 모습 .....	53
(그림 17) 참다랑어 친어 이송 영상 .....	54
(그림 18) CleanSeas Tuna Ltd. 가두리 방문 .....	55
(그림 19) Lincoln Marine Science Centre 방문 .....	56
(그림 20) South Australian Marine Products Industries Pty Ltd 방문 .....	57
(그림 21) Hand Feed and Swim with the Tuna 견학 .....	58
(그림 22) Hand Feed and Swim with the Tuna 체험 .....	58
(그림 23) 남방참다랑어 회유경로 .....	60
(그림 24) 2012년 수정란 이식 .....	65
(그림 25) 2012년 부화중인 수정란 .....	66
(그림 26) 2012년 부화자어 모습 .....	67
(그림 27) 2012년 치어의 가두리 이송 .....	68
(그림 28) 2012년 자.치어의 모습 .....	69
(그림 29) 참다랑어 종묘 이송 과정 .....	77
(그림 30) 참다랑어 사육수조 및 충돌로 인한 폐사어 .....	84



# 연구 추진사항 요약

## (1) 기초연구

### 가. 회유경로 조사를 위한 시험조업(2010년)

경상남도 관내를 대상으로 참다랑어 자연산종묘의 회유 여부를 조사하기 위해 시험조업을 실시하였다.

3척의 외출낚시 어선으로 4일간 조업한 결과 총 221마리의 회유성어종을 채포했으나 다랑어류의 채포는 실패했으며 채포어종은 4종으로 몽치다래가 가장 많이 잡혔다. 주채포시간은 07시~09시로 이후 채포수가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 통영시에서 2009년 실시했던 시험조업에 비하여 2010년 우리연구소를 비롯한 통영시의 조업이 부진했으며 일본 대마도에서의 조업도 같은 경향을 보인 것으로 조사되었다.

### 나. 남해안 월동시험(2010년~2011년)

관내 동절기 수온이 가장 높은 지역을 대상으로 가두리 위탁관리가 가능하고 신선한 사료수급(정치망 보유)이 원활한 곳을 위탁관리인으로 선정하고자 하였다.

거제시에서 추천한 양식업체를 대상으로 환경조사 등을 실시하였다. 조사결과 정치망을 보유하여 신선한 먹이의 공급이 가능하고 가두리수심이 평균 15m(13~17m) 정도로 적절하며 위탁관리에 적극적인 거제 동부 학동의 장유수산(대표 : 이정호)을 위탁관리인으로 선정하였다. 위탁관리 기간은 2010년 10월 1일부터 2011년 5월 31일까지로 하였다.

종묘 구입처는 선정과정을 거쳐 통영시 옥지면 인성수산(대표 : 홍석남)으로 정하였다. 2010년 12월 1일 2kg 크기 100마리를 구입하였다. 전문활어선을 임차하여 위탁어장까지 이송하여 수용하였으며 사육관리를 시작했다.

가두리수용 이후 수온 등 환경조사와 함께 계속적으로 생존 및 성장상태에 관한 조사를 진행하였다. 3차례 수중조사를 실시한 결과 10℃의 저수온 충격(2011년 1월 31일)이 있는 후 5~10일 뒤 대량폐사가 발생된 것으로 추정되었으며, 그 해 2월 중 대부분 폐사하였다.

다. 시험조업(2011년)을 통한 종묘확보 및 소형(50ton)육상수조 사육시험  
연근해 회유경로 파악(포획시험) 및 친어 육성용 종묘 확보를 위해 민간전문  
가와 협약으로 참다랑어 종묘를 끝낚시로 채포하여 확보하였다. 2011년 8월 19  
일부터 10월 3일까지 137마리의 참다랑어를 채포하였으며 주 채포장소는 홍도의  
측에서 일본과의 해상경계선까지였다. 채포한 종묘는 우리연구소가 확보한 통영  
곤리도의 연구교습어장 가두리(지름 25m, 깊이 13m)에 수용·관리하였다. 이후  
저수온기 월동을 위하여 2011년 11월 16일과 12월 7일 2회에 걸쳐 육상수조로  
이송하였다. 1년간의 사육기간 중 계속적인 폐사가 발생하여 수용 참다랑어 대  
부분이 폐사하였다. 결론적으로 50ton 크기(지름 6.5m, 깊이 1.7m)의 소형육상수  
조는 참다랑어 중간어의 사육에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

#### 라. 몰타에서의 수정란 수거 및 국내 수송(2013년)

국립수산과학원 주도의 참다랑어 연구 클러스터에 우리연구소가 참여하면서  
몰타산(대서양참다랑어) 수정란 확보에 참가하게 되었다. 출장기간은 2013년 6월  
16일부터 6월 30일까지 15일간이었다. 수정란 채집장소는 몰타국 TA' MATTEW  
FISH FARM(참다랑어 양식업체)으로 참다랑어 종묘생산 연구 협약에 따라 경비  
는 국비로 부담하였다.

출장결과 총 2회(6월17일, 6월 21일)에 걸쳐 5,200ml의 수정란을 채집하여 국  
내 3개소에 발송하였으며, 참다랑어 수정란 채집·포장방법 및 국내 이송경로  
등을 파악하였다. 국내 이송된 수정란은 국립수산과학원 미래양식연구소, 제주도  
해양수산연구소 등에 공급되어 종묘생산연구에 사용되었다.

#### 마. 기초자료 수집을 위한 국외 출장

##### 《일본출장》

참다랑어 양식산업의 선진기술 보유국인 일본에서의 양성 및 인공종묘생산 기술  
자료수집을 위해 2010년 11월 1일부터 5일간 일본출장을 다녀왔다.

출장자는 송태엽 당시 기술담당관과 박대원 담당연구사로 노마이케 참다랑어  
어업자협업체(가고시마현 미나미사쓰마시), 오카야마대학교 이과대학연구소(오카  
야마현 오카야마시), 긴키대학 수산연구소(와카야마현 니시무로군 사라하마쵸),

쓰키지 시장(도쿄도 주오구 쓰키지) 등을 방문하였으며, 가고시마현 농림수산부 수산과의 아라타니 기술주사, 노마이케초 어협의 시모토 조합장 외 2명, 참다랑어양식협업체 모리오카 대표, 오카야마 이과대학연구소의 야마모토 교수, 긴키대학 수산연구소 무라다 교수, 요시가와 수산 요시가와 대표 등을 만나 참다랑어에 대한 자료를 수집하였다.

### 《호주출장》

2011년 5월 30일부터 6월 5일까지(7일간) 소장 포함 우리연구소 직원 3명이 호주 포트링컨을 방문하였다. 방문목적은 참다랑어 인공종묘생산 기술현황 파악 및 기술이전 협의, 참다랑어 친어사육수조 건립을 위한 육상양식장 시설 자료수집, 기타 수산양식분야 기술교류 협의를 위해서였다.

방문기관은 South Australian Research and Development Institute(수산연구소), Tony's Tuna International(참다랑어 양식, 채포, 냉동, 수출업체), CleanSeas Aquaculture Hatchery Pty Ltd.(참다랑어 및 부시리 종묘생산업체), Clean Seas Tuna Ltd.(참다랑어 및 부시리 가두리양식), Lincoln Marine Science Center(Flinders University 등 부설연구소), South Australian Marine Products Industries Pty Ltd.(참다랑어부산물 처리업체), Hand Feed and Swim with the Tuna(참치관련 체험 현장) 등 이었다.

## (2) 인공종묘생산 연구

### 가. 2012년 인공종묘생산 연구

2012년 국립수산과학원과 한국해산종묘협회 2곳에서 몰타산 대서양 참다랑어 수정란 이식을 추진했다. 국립수산과학원 미래양식연구센터에서는 연구사를 파견하여 수정란을 이식하였고 한국해산종묘협회에서는 남해군의 협조를 받아 협회회장이 수정란을 수거하여 회원들에게 수정란을 판매하였다. 우리연구소에서는 한국해산종묘협회에서 수정란을 분양받아 인공종묘생산 시험연구를 실시하였다.

2012년 6월 23일 대서양 참다랑어(몰타산) 수정란 300천개를 우리연구소 사육수조에 이식하였다.

가두리 이송·관리 중 부화 58일령(8월 5일) 적조의 영향으로 활력저하가 발생했으며, 60일령(8월 7일) 전량 폐사한 것으로 추정(140mm까지 성장)되었다.

#### 나. 2013년 인공종묘생산 연구

2013년 7월 11일과 12일 각각 대서양 참다랑어(몰타산) 수정란 500천개, 700천개를 우리연구소 사육수조에 이식·수용하였다. 부상한 수정란 120ml(120천개, 7월 11일), 380ml(380천개, 7월 12일)를 50ton 원형수조 2개에 각각 수용하였다. 부화 60일령(13cm 내외, 300마리)까지 성장한 참다랑어 치어는 이후 꾸준한 폐사가 발생하였다. 2013년의 경우 적조의 지속적 발생으로 가두리 양성을 시도할 수 없었다. 주된 폐사원인은 종묘생산에 사용한 사육수조가 50ton으로 참다랑어 인공종묘생산에 적절치 않았던 것으로 보인다. 11월 12일(120일령)까지 11마리(전장 22cm)가 생존한 것이 확인되었으며, 이후 성장을 멈추고 서서히 폐사하여 12월 5일 전량 폐사하였다.

#### 다. 2014년 인공종묘생산 연구

국립수산과학원과의 협약에 의해 2014년 6월 17일 20시 몰타산 대서양참다랑어 수정란이 포장박스(수량 : 10ℓ) 16개에 수용된 상태로 우리연구소에 도착했다. 한 박스 당 8만개 정도의 수정란이 포장되어 수정란 수량은 총 128만개 정도였다. 2014년 7월 24일 부화 37일령까지 5cm 내외 1만 마리의 치어생산을 성공했다. 성장한 참다랑어 치어는 어선을 이용하여 민간업체(남평참다랑어영어조합법인)로 분양을 실시했다.

### (3) 친어용 중간어 양성 추진사항

#### 가. 대형수조 건립 및 중간어 수용

2013년 2월 참다랑어 사육용 대형 사육수조를 건립(외해양식동)하였다. 지름 20m, 깊이 9m의 원형콘크리트 수조로 보유 수량은 2,500ton정도였다. 가온관리를 위해 용량 20RT 공냉식 히터펌프 6대(총 120RT)를 설치했으며, 산소공급기와 브로와 등 부대시설을 완비했다.

2013년 12월 4일 참다랑어 중간어 41마리(4.5kg 내외)를 육상사육수조로 이송하였다. 2012년 11월 제주도 추자도 해역에서 채포한 것을 국립수산과학원 미래양식연구센터에서 1년 이상 사육하던 것이었다.

## 나. 중간어 양성(보유) 현황

2013년 12월 수용한 중간어는 2014년 6월(6개월)까지 가두리 사육분(이후 가두리 사육분은 2014년 8월 적조로 전량 폐사)에 비해 30% 이상 빠른 성장을 보였다.

동절기 사육수온은 히터펌프를 이용하여 14℃ 이상 유지하며 월동과정을 마쳤다. 사육수온 18℃까지는 1회/일, 그 이상에서는 2회/일 소형고등어(170g 내외/마리)를 공급하였다. 영양의 균형을 맞추기 위해 3일에 1번씩은 냉동오징어를 절단하여 공급했다. 2015년 10월 현재 사육중인 30마리 생존어의 체중은 평균 35 kg 이상으로 조사되었다. 폐사어를 고려한 사료계수는 13 정도로 추정되었고 현재는 안정적으로 육상수조에 적응한 것으로 보인다.



참다랑어 양식산업화를 위한 기초연구

# 제1장 도입





## (1) 세계 참다랑어 양식기술개발 연구 역사

다랑어속에는 모두 8종의 다랑어류가 있다. 먼저 태평양, 대서양, 남방 등 3종의 참다랑어가 있는데, 이중 태평양참다랑어가 최대 길이 3m, 무게 500kg 이상으로 가장 크다. 이밖에도 눈다랑어, 날개다랑어, 황다랑어, 검정지느러미다랑어, 백다랑어가 있다. 이밖에 다랑어속이 아닌 가다랑어속에도 가다랑어와 점다랑어가 있다. 따라서 통상 참치 또는 다랑어는 이 10종의 다랑어를 포괄하는 것으로 볼 수 있다. 즉, 참치는 참다랑어 3종과 나머지 7종의 다랑어류를 포함해서 부르는 것이라고 보는 것이 정확할 것이다.

이중 가장 비싼 다랑어는 태평양과 대서양, 남방 등 3종의 참다랑어다. 2013년 이들 참다랑어 3종의 생산량은 3만5천ton으로 전체 다랑어 생산량 572만ton의 0.6%에 불과했다. 다랑어 어획량의 53%는 가다랑어, 23%는 황다랑어, 8%는 눈다랑어가 차지했다. 다랑어 가운데 고급횃감으로 사용되는 것은 참다랑어와 눈다랑어다. 둘 가운데서도 참다랑어의 가격이 눈다랑어의 2~3배 가량 된다. 가다랑어, 황다랑어, 날개다랑어 등은 통조림에 주로 사용된다.

이렇게 고급어종의 대명사인 참다랑어 양식관련 연구는 일본이 주도해 왔다고 해도 무방하다. 현재 세계 참다랑어 소비의 대부분을 차지하는 일본은 1970년도 수산청 주도의 “다랑어류 양식기술 개발시험” 프로젝트를 시작하며 참다랑어 양식연구에 뛰어들었다. 이 프로젝트는 별 성과 없이 중단되었지만 이때 프로젝트에 참여했던 긴키대학 수산연구소가 계속적으로 연구를 진행하면서 가시적인 성과가 나오기 시작했다. 1979년 자연산 친어로부터 수정란생산이 성공했다. 한국보다 무려 36년이나 빠른 것이다. 1982년 부화 후 57일령까지 사육하게 되지만, 이후 상당기간 수정란 생산에 실패하며 답보상태를 거치게 된다. 1994년 다시 수정란이 생산되기 시작했으며, 1995년 생산된 치어를 친어로 사육하여 2002년 완전양식에 성공하게 된다. 즉, 일본도 수정란을 어미로 키워서 다시 수정란을 얻는 ‘완전 양식’까지는 연구시작부터 23년이 더 걸린 셈이다. 이후 2004년부터는 인공종묘를 양성하여 상업적 판매를 시작하게 되었고, 2007년에는 민간어업인에게 종묘를 분양하게 되었다. 지금 세계에서 1위의 참다랑어 소비국인 일본은 참다랑어의 완전 양식에 성공한 유일한 나라인 것이다. 이러한 결과 전 세계의 횃감 참다랑어 가운데 70~80%가 일본에서 소비되며 양식 생산비중 역시 제일 높다.

오랜 시간 지속적인 연구결과일 것이다.

지중해의 연안국(12개국) 50여명의 연구자들은 1998년부터 5년간 참다랑어 양식에 대한 전반적 연구를 진행(DOTT 양식 프로그램)하였다. 지중해 연안에서 대서양참다랑어의 주 산란기(5~8월)를 밝혀내고, 7~8월 호르몬 주사를 실시하여 가두리에서 자연산란을 유도하기도 했다. 2010년에는 프랑스 해양연구소에서 일본 키키대학 출신 연구자를 영입하여 종묘생산을 진행한 예가 있으며 지금도 몰타, 스페인 등에서 다양한 연구가 진행되고 있다.

호주의 참다랑어 양식은 남방참다랑어가 대상이다. 인구 3만의 작은 도시 포트링컨이 참다랑어 양식의 중심이다. 이곳에는 다양한 참다랑어 양식클러스터가 있고 대부분 양식업자들을 중심으로 진행되고 있다. 2009년 Clean Seas社가 육상수조에서 수정란 생산을 시작으로 인공종묘 생산연구가 진행되고 있다. 이 회사도 일본의 키키대학과 종묘생산에 대해 상호협력체계를 구축한 것을 보면 역시 양식기술의 중심은 일본인 것을 알 수 있다. 2011년 운 좋게 한국인 최초로 Clean Seas社를 방문했을 때 헬기를 이용한 참다랑어 친어(80~100kg/마리)의 육상이송 영상을 볼 기회가 있었는데 인상적이었다. 대규모 투자로 양식이 진행되고 있으며, 현재도 많은 상업적 연구가 진행되고 있었다. 그때 견학할 수 있도록 협조해 주신 '마린플러스' 이영국사장에게 이 지면을 이용해 감사의 말을 전한다.

## (2) 세계 참다랑어 양식 및 어획 현황

세계 다랑어류 전체 생산량은 1970년대 124만ton, 2000년 441만ton에서 2013년 572만ton으로 5배 가까이 늘어났다. 그러나 다랑어류 가운데 참다랑어의 생산량은 1970년 7만6천ton에서 2000년 8만2천ton(어획량 7만8천ton, 양식생산량 3,500ton)으로 조금 늘었다가 2013년 3만5천ton으로 절반 이하로 감소했다. 이후로도 자연어획량 감소는 지속적으로 진행(자연어획량이 2000년 7만8천ton에서 2013년 1만2천ton으로 급감)되었지만, 양식생산량은 2000년엔 3,500ton에서 2013년엔 2만3천ton으로 급증하고 있다는 것은 고무적이다. 이제 참다랑어 양식은 선택이 아니라 필수가 된 것을 알 수 있다. 세계가 참다랑어 양식에 대해 경쟁 중인 것이다.

자원 감소 외에 맛과 경제성, 안전성 등도 참다랑어 양식 증가의 이유들이다. 양식 참다랑어는 주로 오징어와 고등어 등 고단백 수산물을 먹기 때문에 체중 증가가 빠르고 지방이 많아 특히, 회로 먹을 때 특유의 고소한 맛이 강해진다. 이는 지중해 국가나 호주에서 참다랑어를 잡아 잠시(3~6개월) 비육을 목적으로 양식한 뒤 판매하는 이유이기도 하다. 자연산보다 양식산의 맛이 더 좋은 것은 특히 자연산의 지방함량이 줄어드는 여름철에 그렇다. 또 양식산은 먹이의 영양이 높아 60kg 이상의 성어 참다랑어로 키우는 데 3~4년밖에 걸리지 않는다(자연 상태에서는 5년간량 소요). 물론 사육수온에 따라 차이는 있다. 게다가 자연산은 사람에게 해로운 수은 축적량이 많은데, 양식산은 이를 통제할 수 있다는 점에서 안전상으로도 유리하다. 많은 연구에서도 중금속 등의 축적이 적은 소형어류를 먹이로 먹는 양식산이 자연산보다 더 안정적인 것이 판명되고 있다.

일본의 2013년 양식 참다랑어 생산량은 1만396ton으로 세계 양식생산량의 44% 이상을 차지하고 있다. 특히 2014년에 51만9천마리의 참다랑어 종묘를 양식에 사용했는데, 양식산에서 29만8천마리(57.4%)를 얻어 자연산 22만1천마리(42.6%)보다 더 많았다. 불과 3~4년 전 양식종묘의 비중이 10% 정도였던 것과 비교하면 큰 발전이다. 이것은 참다랑어 종묘 대부분을 자연산에서 얻는 다른 국가들보다 일본이 크게 앞선 대목일 것이다. 또 안정적 양식산업 추진과 양식생산량 증가가 앞으로도 가능한 이유가 된다.

일본에 이어 참다랑어 양식에 도전한 나라는 몰타, 크로아티아, 튀니지, 스페인 등 지중해 연안 국가들이다. 지중해에선 1979년부터 모로코 북부에서 '대서양참다랑어' 양식이 시도됐으며, 1985년부터는 본격 양식을 하고 있다. 그러나 지중해 국가들의 양식 방법은 자연산 참다랑어를 잡아 사육하는 것이다. 어미로 키운 뒤 여기서 수정란을 얻어 다시 키우는 일본의 양식 방법(완전양식)보다 낮은 수준이다. 일본은 '완전 양식' 방법이고, 지중해 국가들은 '불완전 양식' 방법인 것이다. 불완전 양식 방법은 자연산 참다랑어를 얼마나 잡는지에 따라 양식 생산량이 결정되기 때문에 생산량이 고르지 못하다. 이러한 이유로 한때 지중해 국가들은 7,000ton 이상의 생산량을 기록했다가 2013년 3,000ton 정도로 참다랑어 양식 생산량이 예전에 비해 급격한 감소를 보이고 있다.

1991년부터 양식을 시작한 호주도 지중해 국가들과 같은 '불완전 양식'을 하고 있다. 호주는 10~30kg 정도 되는 어린 '남방참다랑어'를 잡아서 대표적 양식지역

인 포트링컨으로 옮겨 양식을 하고 있다. 호주의 2013년 양식 생산량은 3,482ton으로 세계 3위이다. 이 역시 지중해국가와 같이 예년에 비해 대폭 감소된 것으로 볼 수 있다. 멕시코는 1996년부터 '태평양참다랑어' 양식을 시작했는데, 2013년 생산량은 6,228ton으로 일본에 이어 세계 2위다. 일본을 제외하고는 그나마 생산량을 유지해가고 있다. 이상에서 보듯이 인공종묘생산으로 종묘확보가 안정화되고 있는 일본만이 생산량이 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

2014년 한국의 다랑어 어획량은 32만ton가량으로, 가다랑어 229,588ton, 황다랑어 63,971ton, 눈다랑어 22,888ton, 날개다랑어 1,310ton, 태평양참다랑어 1,309ton, 남방참다랑어 783ton 등 순서였다. 한국은 이 가운데 20,000ton가량을 소비하고, 300,000ton가량을 주로 일본에 수출해 5억 달러 이상을 벌어들이고 있다. 다랑어는 한국에서 어획량 1위의 수산물로 농수산물 통틀어서도 1위의 수출품이기도 하다.

국내 참다랑어 양식은 통영 육지도의 인성수산(현 인성해양목장영어조합법인)이 2007년 10월 정치망에서 포획된 자연산종묘로 시작하였다. 하지만 산업적 규모의 양식은 국내 4개 업체에서 1만 마리 이상의 일본 자연산 채포 종묘를 이식하여 양성을 시작한 2010년이다. 그러므로 2010년을 참다랑어 양식의 원년으로 보아도 무방할 것이다. 이렇게 이식된 참다랑어는 대부분 월동과정에서 폐사하여 참다랑어 양식은 딜레마에 빠지게 된다. 경험 및 관련지식이 거의 전무한 상태에서 무리하게 추진한 결과라고 볼 수 있다.

양식을 위해서는 종묘가 필요하다. 그래서 자연산 종묘의 채포가 필수적이지만 자연산 종묘는 매년 그 수가 감소하고 있다. 일본의 경우 최근 잡히는 자연산 종묘의 수가 평년(약 40만 마리)의 절반 정도로 줄어, 종묘 1마리 가격이 3년 만에 3배(10만원/마리 ⇒ 30만원/마리)로 급증했다. 국내에서도 매년 1,000마리 정도의 자연산 종묘(200g~2kg)가 추자도 부근에서 채포되었다. 그러나 2003년에는 50마리 정도 채포된 이후 채포수량이 감소되고 있다. 세계적으로도 참다랑어 자원량 감소로 인한 쿼터제 및 소형개체(30kg 이하) 채포제한, 중국 등 신흥시장 수요증가와 맞물려 참다랑어 양식용 인공종묘생산은 꼭 필요한 미래동력 산업으로 대두되고 있다. 특히 해수부 선정 10대 수출전략품종으로 선정된 후 현재는 국립수산물과학원을 비롯하여 우리연구소(경상남도수산자원연구소)와 제주해양수산연구원 등의 지자체 연구기관에서 인공종묘생산 관련연구를 진행하고 있는 실정이다.

### (3) 우리연구소 연구현황

‘참치 통조림’으로 1980년대부터 다랑어류는 국내에서 쉽게 접할 수 있는 어종이 되었다. 역사적으로도 우리나라 선사시대 조개무지에서 다랑어의 뼈가 나온 것을 보면 다랑어가 우리 바다에서 잡힌 것은 오래되었던 것으로 추정된다. 하지만 다랑어류 중 참다랑어는 점차 접하기가 어려워지는 어종이 되고 있다. 참다랑어 자원이 급격히 감소하기 때문에 참다랑어 채포에 대한 국제기구의 규제도 점점 더 강해지고 있기 때문이다. 한국이 포함된 중서부태평양수산위원회(WCPFC)는 참다랑어 자원의 보호를 위해 2002~2004년을 기준으로 30kg 미만의 태평양참다랑어의 어획량을 50% 이하로 제한하고 있다. 30kg 이하는 더 잡을 수 없고 현행 수준을 유지하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이에 따라 2015년 한국은 718ton, 일본은 4,008ton으로 어획량이 뚝뚝했다. 대서양, 지중해, (태평양) 남방 등지에서도 참다랑어 자원 회복 계획을 시행해 어획 할당량 축소, 소형어 어획금지, 어획노력량 증가금지 등 조치를 시행하고 있다.

그러므로 양식활성화를 통한 참다랑어 양식산업화를 위해 우리연구소에서는 2010년부터 참다랑어 연구를 실시해 왔다. 우리연구소 참다랑어 연구은 크게 2가지 목표를 가지고 진행 중이다. 첫 번째는 인공종묘생산 기술의 개발, 두 번째는 수정란 생산이 가능한 친어의 확보다.

첫 번째 목표를 위해서 2012년부터 몰타산 대서양참다랑어 수정란을 활용하여 종묘생산연구를 시작했다. 인공종묘생산 시험연구 3년째인 2014년에는 수산과학원에서 협조 받은 수정란을 활용하여 1만 마리의 참다랑어 치어(5cm 내외)를 생산하여 민간업체에 분양했다. 2년간의 연구 끝에 많은 시행착오를 거쳐 축적된 경험이 이러한 결실을 만들었다.

두 번째의 목표를 위해서 친어양성용 종묘확보를 추진했었다. 가두리를 활용한 월동과정에서 당년어의 월동이 어렵다는 결론으로 친어양성용 대형수조(지름 20m, 깊이 9m)를 2013년 완공하였다. 2013년 12월 친어양성용 중간어 41마리(4~5kg 내외/마리)를 확보하여 수용하였다. 국립수산과학원에서 분양받은 것으로 2015년 8월 현재 35kg 내외 30마리를 사육중이다. 2017년부터는 수정란을 생산하여 어업인 분양을 실시할 계획이다. 친어까지 5년 이상 양성기간이 소요되는 참다랑어의 특성상 안정적 친어확보가 가능하게 된 것이다.

이번 지면을 통해서는 이상과 같이 인공종묘생산 기술개발 및 친어 확보연구 외에도 지난 5년간 우리연구소에서 수행한 참다랑어 양식 기초연구 결과에 대해 간단히 소개하고자 한다.

참다랑어 양식산업화를 위한 기초연구

## 제2장 연구 추진사항





## (1) 기초연구



## (1) 기초연구

### 가. 회유경로 조사를 위한 시험조업(2010년)

경상남도 관내에서의 참다랑어 자연산종묘 회유 여부를 조사하기 위해 시험조업을 실시하였다.

#### <참다랑어 종묘 채포방법별 특성(참고자료)>

##### 1. 끝낚시 채포

- 소형어(3kg 이하)를 1마리씩 채포해야하며 선박위에 활어통 등의 장비 필요
- ※ 장거리(3시간 이상 거리) 경우 선박 물칸의 개조 필요
- 회유경로를 정확히 파악해야하며 채포시 낚시바늘 제거 및 이송 등 숙련기술 필요

##### 2. 정치망 채포

- 경남의 경우 외해에 접한 정치망에 9~11월 주로 채포되며, 3kg 크기 이상 개체가 대규모(100마리 이상)로 채포되는 경우도 있음.
- 혼획되는 다른 어종과 분리 후 수용하는 기술이 필요하나 상처 없이 안전하게 종묘를 채포할 수 있는 방안

##### 3. 선망 채포

- 외국과 달리 참다랑어 채포를 목적으로 선망작업을 실시한 예는 없음.
- ※ 호주와 지중해는 참다랑어 채포전용 선망작업을 실시하고 있음.
- 수과원 공학팀에서는 휴대용 이송가두리에 대한 연구 진행 중
- 대형종묘(3kg 이상)의 대량 채포가 가능, 400ton 이상의 전문활어선 활용방안 모색이 필요

1일차(10.12) 조업은 북여도, 남여도 부근(위도 34도42분, 경도 128도48분)에서 실시했다. 10월 12일(화) 거제 학동지선에서 04시 30분 출항하여 90분 후 북여도, 남여도 부근(2010년 통영시 조업시 가장 많은 백다랑어 포획 장소)에 도착하여 좌현과 우현에 각 2개의 13호 낚시(총4개)바늘을 사용하여 조업하였다. 06시~10시까지 끝낚시로 조업 후 120분에 걸쳐 12시경 거제 학동에 도착하였다.

2일차(10.13) 일본 대마도현지에 조사한 결과 참다랑어 무리가 남쪽으로 이동했다는 정보를 입수하고 홍도부근으로 조업장소를 옮겨 조업했다. 13일(수) 04시 출항하여 120분 후 홍도부근(위도 34도34분, 경도 128도45분)에 도착하여 06시~10시까지 끝낚시로 조업 후 120분에 걸쳐 12시경 거제 학동에 도착했다.

3일차(10.14) 03시30분 출항하여 180분 후 국도 부근(위도 34도31분, 경도 128도30분)에 도착하여 06시~09시30분까지 끝남시로 조업하였고 180분에 걸쳐 12시경 거제 학동에 도착 후 4일차 조업 장소인 욱지도로 이동하였다. 이 시기 추라도부근에서는 많은 수의 참다랑어가 채포 증으로 전체적인 어군이 경남 관내를 벗어나 남쪽으로 이동된 것으로 추정되었다.

4일차(10.15) 통영 욱지면 갈도부근(위도 34도29분, 경도 128도15분, 9월 말경 통영시 조업시 참다랑어 3마리를 채포했던 지역)에서 5시30분부터 10시까지 끝남시로 조업하였고, 130분에 걸쳐 12시경 연구소에 도착했다.

**표 1. 시험조업 결과 채포어종 분포** (단위:마리)

조업일	몽치다래 (300~700g)	만세기 (1,300~2,200g)	삼치 (900~1,900g)	방어 (800~1,200g)
1일차('10.10.12)	32	4	6	2
2일차('10.10.13)	16	21	0	0
3일차('10.10.14)	50	27	5	2
4일차('10.10.15)	24	10	20	2

3척의 외출남시어선으로 4일간 조업한 결과 총 221마리의 회유성어종을 채포했으나 다랑어류의 채포는 실패했으며, 채포어종은 4종으로 몽치다래가 가장 많이 잡혔다. 주 채포시간은 07시~09시로 이후 채포수가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 통영시에서 2009년 실시했던 시험조업에 비해서 2010년 통영시를 비롯한 우리연구소의 채포가 부진했으며, 일본 대마도도 같은 경향을 보인 것으로 조사되었다.

국내로 회유하는 참다랑어 치어는 동해발생군과 태평양발생군이 있으며, 경남은 대부분 태평양발생군이 회유하는 것으로 추정된다. 경남에서는 8월경 태평양발생군이 동해로 회유하며 올라가는 개체군을 끝남시로 포획하고 10월경 동중국해로 내려가는 개체군을 정치망으로 포획하고 있다. 올라갈 때에는 큰 무리를 지어 올라가며 내려올 때는 작은 무리를 지어 내려오는 것으로 추정된다(전문 채포경험자의 의견).

우리연구소 외에 2010년 경남 관내 참다랑어 채포를 추진했던 곳은 통영시와

거제참다랑어(대표: 정웅기)가 있다. 통영시는 끝낚시 어선 12척을 이용하여 2010년 8월부터 2010년 10월까지 척당 20~24회 조업, 800~1,000g 크기의 참다랑어 5마리를 채포(백다랑어는 다수 채포)하여 우리연구소 3마리(9.19) 그리고 인성수산에 2마리를 공급하였는데 2009년에 비해 적은 수가 회유하여 채포수가 적었다. 거제참다랑어의 경우 참다랑어 종묘의 북상시기(8월)에 홍도 외해에서 600마리 정도의 종묘를 채포하여 순치된 300마리를 양성하였다. 그러나 300마리 중 상당량은 백다랑어 등이 혼획 되어 있는 것으로 추정된다.

이상의 결과와 2009년 통영시의 시험조업 결과를 분석한 결과, 경상남도 내만에서 끝낚시를 이용한 참다랑어 종묘 채포시도는 정확한 회유시기를 조사하여 세밀한 채포작업이 필요한 것으로 보인다.

#### 나. 남해안 월동시험(2010년~2011년)

참다랑어 종묘 위탁관리 장소를 선정하려고 조사를 실시했다. 관내에서 동절기 수온이 가장 높은 지역을 선택하여 가두리 위탁관리가 가능하고 접근성이 용이하며, 사료수급이 원활한 곳을 선정하고자 하였다. 결론적으로 경상남도 관내 수온이 가장 높은 구조라 해역에서 부터 도장포 해역을 중심으로 참다랑어의 양성에 적합한 지역을 조사하였다. 자연환경적인 부분과 함께 참다랑어 연구에 적극적인 협조가 가능한 어업인 선정에 중점을 두어 양성장을 조사하였다.

거제시를 방문하여 가두리 이설의 법적 검토와 양성적지 선정의 기준에 적합한 지역 중 가두리의 이설 및 임대 가능업체에 대한 자료를 요청하였다. 겨울철 수온이 12℃ 이상 유지되는 거제시 도장포에서 구조라 지선에서 종묘의 위탁사육 가능 어업인에 대한 조사와 함께, 참다랑어 양성에 신선한 먹이의 공급을 위해 정치망 어업권 현황자료 요구 및 정치망에서 참다랑어 종묘확보 방안도 함께 검토하였다.

거제시에서 추천한 양식업체를 대상으로 환경조사 등을 실시하였는데, 정치망을 보유하고 있으며 신선한 먹이의 공급이 가능하고 가두리수심은 평균 15m(13~17m) 정도이며, 위탁관리에 적극적인 거제 동부 학동의 장유수산(대표 : 이정호)을 위탁관리인으로 선정하였다. 위탁관리 기간은 2010년 10월 1일부터 2011년 5월 31일까지로 하였다. 2010년 9월 19일 통영시에서 끝낚시로 채포한 참다랑어 3마리를 예비적으로 우선 수용하였다.



그림 1. 위탁업체 가두리어장 사진(위탁업체 소유 사료저장 냉동 창고)

수심 15m 지점에서 15×15m 사각 나무가두리 안에서 사각 15m 그물(깊이 10m)을 설치하고 종묘의 수용준비를 하였다. 이 지역은 12월 수온하강기에 경남에서 가장 높은 수온을 유지(12월 평균 16℃유지)하는 곳으로 참다랑어의 양성에는 적절한 곳이나 매년 여름철 낙동강의 담수유입에 의해 탁도가 높은 문제점이 있었다. 그래서 당년어의 월동이 완료된 후에는 탁도 문제가 적은 통영 등의 지역으로 이송 후 관리하는 계획을 수립하였다.



그림 2. 위탁사육 업체 소재지

본격적인 참다랑어 인공종묘생산 연구에 앞서 생리·생태 등의 기초적 연구 수행 및 친어확보를 위해 종묘구입을 추진했다. 일본산 종묘의 이식은 이송비용(소요예산 : 42,000천원) 과다 및 일본 내 구입처 확보의 어려움 등 문제가 발생하여 실패하였다. 특히 일본 내에서도 인공종묘(킨키대학 생산)가 질병(이리도바 이러스)으로 인해 대량폐사가 발생하여 수급 불균형으로 인한 가격상승의 문제도 있었다. 우리연구소의 참다랑어 채포시험 역시 3척(영덕·일성·송정호)의 끝낚시 어선으로 4일간 조업하였으나, 회유경로 등의 정보 및 경험부족으로 이렇다 할 성과를 거두지 못하였다.

제주도의 추자수협(‘10년 10월 13일~10월 20일까지 추자수협 조합원이 약 600마리 채포)에서 구입을 추진하였으나, 추자수협이 제주도의 참다랑어 양식업체인 글로벌영어조합(대표 : 김영태)과 4,000마리 공급계약을 체결하여 구입이 무산되었다. 거제참다랑어의 경우 사육중인 어종이 참다랑어 인지 불분명한 문제점이 있었다.

결국 모든 부분을 고려하여 연구목적의 경우, 원가로 종묘공급 의사가 있는 통영시 육지면 인성수산(대표 : 홍석남)으로 구입처를 정하고 2010년 12월 1일에 2kg/마리 100마리를 구입하였다.

구입단가를 정하기 위하여 인성수산에서 2010년 8월 31일 일본에서 이식하여 지금까지 양성한 참다랑어 종묘의 원가계산(2kg 정도/마리)을 실시하였다.

**표 2. 종묘 구입의 원가계산** (단위:천원)

항 목	내 용	소요액	비고
계	1마리당 소요비용	274	1,400원/ 100엔 적용
일본 종묘가격	140천원/마리(10천엔/마리)	140	
이 송 비	30천원/마리(300만엔/1,400마리 운반)	30	
수입절차 비용	종묘구입을 위한 출장비, 하역비, 관세비, 검사비 등	10	
폐사에 따른 비용	30% 폐사 (180천원×30%=54천원)	54	
사료비 등 국내 사육비용	3개월간 사료비, 인건비 등	40	

참다랑어의 이송실험에 적절한 활어선을 조사한 결과, 이송경험(2010년 참다랑어 종묘 200마리를 통영 육지에서 거문도로 이송)이 있는 광명호(통영소재)를 선정하였다. 광명호는 일본선박을 수입하여 개조한 전문 활어이송선이다. 이송에 앞서 점농어를 대상으로 한 채포 예비실험을 먼저 실시했다. 효과적으로 판명된 방어채포용 낚시대와 미끼는 조미 된 크릴을 사용하였다. 낚시바늘에서 참다랑어를 분리하는 작업을 위해서 스텐봉 앞부분을 휘어 만든 것을 사용했다. 준비를 마치고 2010년 12월 1일 인성수산에서 낚시로 100마리를 채포 후, 전용활어선에 수용하여 이송하였다. 낚시에 잡힌 참다랑어는 낚시줄을 잡고 분리하여 활어선에 수용하였다. 3명이 낚시를 하여 100마리 채포·활어선수용에는 50분이 소요되었다. 미끼로는 크릴보다 사료로 공급하고 있는 까나리가 유인에 효과적으로 나타나 낚시 도중 미끼를 까나리로 교체하였다.

채포한 참다랑어는 1.5~2.5kg 범위로 채포과정 중 3마리가 낚시 바늘에서 떨어져 활어선의 바닥에 충돌하였으나, 이송 중 폐사개체는 없었다. 3×4×2.5m 크기 2개 물칸에 50마리씩 수용 후, 54.3km의 거리를 230분에 걸쳐 이송하였다. 용존산소는 참다랑어 수용수조가 7.8ppm으로 빈칸 8.4ppm보다 0.6ppm 정도 낮게 유지되었다. 활어선에서 양성가두리로 옮길 때 밝은 곳으로 이동하는 어류의 습성을 이용하여 차양을 통한 이송시도를 하였으나, 효율이 떨어져서 후릿그물을 사용했으며 남은 4마리의 참다랑어는 죽대를 이용하여 이송하였다.





인성수산 일본산 참다랑어 이식 : 2.5kg 내외 1,000마리로 8.31, 9.14에 이어 3차분



검역을 위한 sample 채취 : 규정상 최소 3마리 이상을 채취해야하며 금번에는 6마리 검사 실시



참다랑어 채포 : 50분에 걸쳐 100마리 채포, 미끼로 크릴보다 까나리가 효율적



참다랑어 채포 : 스텐봉으로 바늘제거 작업



활어선에서 양성가두리로 이용 : 후릿그물 사용 후 남은 4마리를 쪽대로 이송



가두리 덮망 작업 : 가두리 위로 넘는 것을 방지

### 그림 3. 참다랑어 종묘 이송작업.

참다랑어 가두리수용 이후 수온 등 환경조사와 함께 계속적으로 생존 및 성장 상태에 관한 연구를 진행하였다. 3회에 걸쳐 수중조사를 실시하였고 국내 참다랑어를 양식을 시도하고 있는 곳의 수온을 함께 조사하였다.

2010년부터 참다랑어 가두리양식을 시도하고 있는 제주 표선(국립수산과학원 미래양식연구소), 여수 거문도(인성수산), 거제 동부(경상남도수산자원연구소), 여

수 거문도(국립수산과학원 남서해수산연구소) 등 4곳의 수온을 조사하였다. 제주 표선해역은 13℃ 이상을 꾸준히 유지하였으나, 타 해역은 10℃ 이하까지 떨어졌다. 평년의 경우 매년 2월 최저수온을 나타내었으나, 2011년은 이상한파로 1월말 최저수온 형성하였다. 각 지역별 최저수온을 보면 거문도(1월 27일, 9.6℃), 거제(1월 31일, 9.8℃), 옥지(2월 1일, 9.5℃)였으며, 제주도를 제외하고는 3월말까지 참다랑어 당년어 사육의 안정수온(14℃)으로 회복되지 않았다. 우리연구소의 위탁양성장소인 거제 학동의 경우, 12월 수온은 타 지역보다 높았으나 3월부터 수온상승기는 타 지역과 큰 차이가 없었다.



그림 4. 동절기 참다랑어 가두리양식을 추진하고 있는 4개소의 2011년 수온변화.

2011년 1차(2월 17일), 2차(3월 11일), 3차(4월 20일)에 걸쳐 위탁양성장소인 장유수산(거제 학동)에 대해 수증조사를 실시하였다.

1차 조사 결과 20마리 정도 무리를 지어 유평하고 있었으며 50마리 정도가 폐사된 상태로 바닥에 쌓여 있었다. 10℃의 저수온 충격(1월 31일) 5~10일 후 대량 폐사가 유발되는 것으로 추정되며 사료공급 시 활발하지는 않으나 포식 개체가 관찰되었다. 부패 상태를 감안하면 저수온(9.8℃)에 의한 충격 후 2월 5일(토)~2월 13일(월) 간 폐사가 발생된 것으로 추정된다.

2차 조사 결과 12마리 정도 무리를 지어 유평하고 있었으며, 7마리가 바닥에

쌓여 폐사된 상태로 발견되었다. 형태가 유지된 개체는 없어 폐사 후 5일 이상 경과한 것으로 추정되었다. 사료공급 시 활발하지는 않으나 포식 개체가 관찰되었다. 타 어종과 달리 폐사어는 폐사 후 거의 수면으로 떠오르지 않는 특징이 있었다.

3차 조사는 4월 14일부터 사료를 먹는 개체가 관찰되지 않아 확인을 위해 실시하였다. 유영개체가 확인되지 않아 가두리를 올린 결과 부패정도가 심한(폐사 후 5~7일 경과 추정) 4마리의 사체만 관찰되었으며 생존개체는 없었다. 수온상승기에서도 약해진 개체를 대상으로 계속적 폐사어가 발생하는 것을 알 수 있었다.

참다랑어 양식이 시도되고 있는 다른 지역의 월동상황을 조사했다. 거제 와현의 참다랑어 양식장(거제참다랑어)에서는 월동 후 20마리 정도 생존 추정되며 거문도(남서해수산연구소) 및 한국해양연구원(25kg 내외 4마리)은 전량 폐사하였다. 거제참다랑어의 경우 5kg 내외의 2년산이 월동에 성공한 것으로 보였다. 한국해양연구원의 폐사는 수온 외적요인에 의한 폐사 가능성도 있는 것으로 추정된다. 인성수산 및 남평수산은 2011년 2월 1일(화) 기준 50% 정도 폐사 추정되며 5월에는 대부분 폐사했다. 제주도의 경우 수증가두리(미래양식연구센터)는 14℃, 지하해수를 공급하는 육상수조(제주해양수산연구원)는 16℃ 이상을 유지하고 있어 수온에 의한 폐사는 없었다.

제주도를 제외한 전 해역에서 수온 10℃이하로 내려감에 따라 저수온에 의한 기능저하로 폐사피해가 발생하였다. 최저수온 후 충격으로 지속적인 폐사가 발생하는 경향을 보였으며 수온상승기에도 폐사가 발생하였다. 특히 국내에서는 수온뿐 아니라 기생충감염 등 환경조건에 대한 연구가 거의 없는 상황이다.

2011년 4월까지 제주도를 제외한 지역에서 당년어가 일부라도 생존한 지역은 거제시 와현 지역이 유일(거제참다랑어에서 20마리 정도 생존 추정)하나 2011년의 특수(이상한파)한 경우가 재발한다면 경남에서 당년어의 안정적 월동지역은 없는 것으로 추정된다. 수온을 제외한 수질, 풍파 등을 고려한 양성장소 선택이 필요하며 경남에서는 육지도보다 매물도 지역이 유리한 것으로 판단된다.

일본, 제주도(수온 13℃ 이상)에서 월동 후 4~5월 이송하여 양성하는 방안과 선망에서 채포되는 중간어(5kg 이상)를 이송하여 양성하는 방안의 모색이 필요한 것으로 생각된다. 정치망, 끝낚시 등으로 채포한 치어(200g~3kg)를 육상수조(지하해수나 가온시설 필요)에 수용하여 월동하는 방안과 인공종묘생산 후 육상수조

에서 월동하여 가두리 양성하는 것도 검토가 필요하다.

참다랑어의 경우 저수온기 체중감소와 함께 서서히 폐사함으로 저수온기 전 비만도를 높이는 것이 중요하다. 그러므로 1월까지 3kg 이상 사육해야하며 지방 성분이 많은 사료로 충분히 살찌우는 것이 필수적이다. 또 채포 및 이송작업은 10월 전 실시하여 스트레스로 인한 사료량 감소 및 상처로 인한 폐사 등을 피해야 할 것으로 보인다.

#### 다. 시험조업(2011년)을 통한 종묘확보 및 소형(50ton)육상사육 시험

연근해 회유경로 파악(포획시험) 및 친어 육성용 종묘 확보를 위해 민간전문가와 협약으로 참다랑어 종묘를 끝낚시로 채포하여 확보하였다. 더불어 연안 회유경로 파악 등을 위해서 통영외줄낚시협회와 협약으로 시험 조업을 실시하였다.

참다랑어 채포를 위해 채포경험이 있는 이영국(마린플러스 대표)씨와 협약을 체결하고 조업을 실시하였다. 2011년 8월 19일부터 10월 3일까지 137마리의 참다랑어를 채포하였으며 주 채포장소는 홍도외측에서 일본과의 해상경계선까지였다. 새벽 4시경 거제에서 출발하여 일본과의 해상경계선 부근에서 조업을 실시했다. 조업은 끝낚시 방식으로 실시했으며 채포된 개체는 채포어선(9.7ton 급) 물칸에 수용 후 우리연구소 연구교습어장이 있는 통영시 곤리도 부근까지 이송하였다. 물칸의 크기가 작아 개체가 많이 채포되는 경우에는 이송과정에서 폐사하는 개체가 관찰되었다.

**표 3. 일자별 참다랑어 채포 마리수**

채 포 일	수용 마리수	누계	수용장소	비 고
8월 19일	3	3	연구소 사각가두리	500g 2마리, 5kg 1마리 (종묘가격에 포함 <b>않음</b> )
8월 29일	5	8	바다목장 사각가두리	400~500g
8월 30일	10	18	"	400~500g, 5kg 내외 1마리
8월 31일	22	40	"	400~550g
9월 1일	4	43	"	800~1,000g
9월 6일	21	65	"	200~300g
9월 8일	6	71	"	200~300g
9월 9일	12	83	"	500~1,000g 9마리, 2~3kg 3마리
9월 16일	14	97	"	1.2~1.5kg
9월 23일	11	108	바다목장 원형가두리	250~300g
9월 24일	19	127	"	1.5~2.2kg
9월 30일	7	134	"	250~350g
10월 3일	3	137	연구소 육상수조	250g 1마리, 2kg 2마리
<b>계</b>			<b>137마리</b>	

채포한 종묘는 우리연구소가 확보한 통영 곤리도의 연구교습어장 가두리(지름 25m, 깊이 13m)에 보관하였다. 수시로 폐사어 여부 및 환경조사를 위해 수중조사를 실시했으며 까나리 및 멸치를 2회/일 공급하였다. 수용된 개체는 3~7일 정도의 순치기간 이후에는 사료를 먹는 것으로 관찰되었다.

이후 저수온기 월동을 위하여 2011년 11월 16일과 12월 7일 2회에 걸쳐 육상수조로 이송하였다. 9.7ton 전문활어선을 임차하여 통영 곤리도에서 우리연구소까지 수송하였다. 활어선 수용을 위해서는 낚시를 사용하였으며 남은 일부개체는

가두리를 올려 족대로 채포하였다. 활어선에서는 참다랑어 채포 전용족대를 이용하여 운반용 플라스틱용기(80ℓ)에 수용 후 육상사육수조까지 이송하였다. 이송 직 후 별도의 약육처리는 실시하지 않았다.

육상사육수조(50ton 규모) 4개로 수용 후 수온별(13℃, 14~15℃의 두 구간), 먹이별(까나리와 멸치 공급 비교)로 2011년 12월 10일부터 42일간 생존율 등을 조사하였다. 15마리씩을 수용 후 수온(13℃와 14~15℃)과 먹이를 달리하여 42일간 사육한 결과 수온 13℃ 사육구와 멸치공급구에서 많은 폐사가 발생했다. 그러므로 스트레스를 많이 받는 소형수조에서는 14℃ 이상 유지해 주고 멸치 공급량을 줄이는 것이 필요한 것으로 추정된다. 싸이펀 등 수조청소가 어렵기에 일정량의 유수량이 유지되어야 사료찌꺼기가 배출되었으며 폐사개체를 제거할 때에도 생존개체들이 많은 스트레스를 받는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 50ton 수조(지름 6.5m, 깊이 1.7m)의 소형육상수조는 참다랑어 중간어의 사육에는 적합하지 않은 것으로 생각되었으며 충돌 및 탈출로 인한 폐사가 수시로 발생하였다. 특히 성장에 따라 적정밀도를 초과하는 부분에 대해서는 약한 개체를 대상으로 지속적인 슈아내기가 진행되었다. 참다랑어 양식 선진국을 보더라도 사육용 가두리는 최소한 지름이 15m 이상이었으며 몰타국의 경우는 지름 100m 크기의 가두리가 사용되기도 한다. 대형어를 사육할 시설과 시설을 운영할 기술개발이 필요한 부분이다.

표 4. 가두리 사육 중 일자별 참다랑어 폐사 마리수

채 포 일 (2011년)	수용 마리수	폐사수 (누계)	사육 마리수	비 고
9월 17일	97	3	94	9.16 수용개체 중 3마리 폐사
8월 29일	127	8(11)	116	원형가두리 수중다이버 조사
10월 6일	137	1(12)	125	소형어 1마리 폐사
11월 9일	137	2(14)	123	육상수조 및 가두리 각 1마리 폐사
11월 16일	137	20(34)	103	사각가두리(94마리 추정)에 74마리 생존, 이송과정에 4마리 폐사
11월 18일	137	2(36)	101	사각수조에서 밖으로 2마리 탈출
11월 19일	137	1(37)	100	사각수조에서 밖으로 1마리 탈출
11월 20일	137	2(39)	98	사각수조에서 밖으로 2마리 탈출
11월 22일	137	1(40)	97	사각수조에서 밖으로 1마리 탈출
11월 23일	137	2(42)	95	상처로 2마리 폐사(이송 스트레스)
11월 24일	137	4(46)	91	상처로 4마리 폐사(이송 스트레스)
11월 25일	137	2(48)	89	상처로 2마리 폐사(이송 스트레스)
11월 26일	137	1(49)	88	상처로 1마리 폐사(이송 스트레스)
11월 28일	137	1(50)	87	상처로 1마리 폐사(이송 스트레스)
12월 2일	137	4(54)	83	원형가두리 수중다이버 조사
12월 4일	137	1(55)	82	상처로 1마리 폐사(이송 스트레스)
12월 7일	137	22(77)	60	원형가두리(25마리 추정)에 10마리 생존, 이송과정에 7마리 폐사
12월 11일	137	1(78)	59	상처로 1마리 폐사(이송 스트레스)
12월 14일	137	1(79)	58	상처로 1마리 폐사(이송 스트레스)
12월 18일	137	1(80)	57	상처로 1마리 폐사(이송 스트레스)
12월 19일	137	3(83)	54	상처로 3마리 폐사
12월 20일	137	2(85)	52	외부상처 없이 2마리 폐사, 질병검사 의뢰
12월 21일	137	1(86)	51	상처로 1마리 폐사
12월 22일	137	1(87)	50	상처로 1마리 폐사
12월 23일	137	2(89)	48	상처로 1마리, 충돌로 1마리 폐사
12월 24일	137	1(90)	47	상처로 1마리 폐사
12월 25일	137	1(92)	45	상처로 2마리 폐사
12월 26일	137	1(93)	44	상처로 1마리 폐사
12월 28일	137	1(94)	43	상처로 1마리 폐사
12월 31일	137	1(95)	42	상처로 1마리 폐사
<b>최 중</b>	<b>137</b>	<b>95</b>	<b>42</b>	

**표 5. 42일간 참다랑어 사육결과**

구 분	실험시작 수용머리수	42일 사육 후 생존수	생 존 율	비 고
13℃	까나리 공급	15	9	60%
	멸치공급	15	6	40%
14~15℃	까나리 공급	15	13	87%
	멸치공급	15	11	73%

**라. 몰타에서의 수정란 수거 및 국내 수송(2013년)**

참다랑어는 해양수산부 선정 10대 수출전략품종이다. 참다랑어 양식산업화를 위한 국립수산과학원 주도의 참다랑어 연구 클러스터에 우리연구소가 참여하면서 몰타산(대서양참다랑어) 수정란 확보에 참가하게 되었다. 국립수산과학원 미래양식연구센터와의 협약(2013년 5월 13일)에 의해 몰타산 참다랑어 수정란의 채집 및 이식을 위해 몰타국 출장을 실시하였다. 출장기간은 2013년 6월 16일부터 6월 30일까지 15일간이었다. 수정란 채집장소는 몰타국 TA' MATTEW FISH FARM (참다랑어 양식업체)로 참다랑어 종묘생산 연구 협약에 따라 경비는 국비로 부담하였다.

관광업이 주산업인 몰타에서는 1990년대 정부차원에서 수산업 육성이 시작되었다. 1990년대 말 농어 및 돔류 가격하락으로 참다랑어 양식에 대한 투자를 시작하였다. 쿼터에 배정된 수량만큼 자연산 대서양참다랑어를 선망으로 채포(30~150kg)하여 단기간(3~6개월) 비육시키는 방식으로 양식을 실시하고 있다. 6월(지방함량이 낮아 상품성 저하) 배정받은 쿼터량을 채포하여 비육시킨 후 9월부터 일본시장에 판매하는 방식이다. 이렇게 비육시키는 기간에 산란기가 겹치므로 수정란 확보를 위한 시도를 할 수 있었다.

가두리에서 산란한 수정란을 수거·이송하기 위해 다양한 환경을 고려해야 했다. 조류의 방향이 국내와는 달리 일정한 한 방향으로만 움직이므로 가두리 밖에 채집망을 설치하는 방식으로 수정란 수거하였다. 이것은 플랑크톤 네트를 끌어 가두리 내 수정란을 채집하는 방식으로 수정란 수거하는 일본과는 차이가 있었다. 05시 가두리 관리선을 이용하여 가두리로 가서 수정란 수거 후 07시까지 항구로 옮겨와서 포장하였다. 20ℓ 용기에 물 10ℓ을 넣고 알 70~100ml(약 8만 개



정도)을 수용 후 산소를 채워서 이중 포장하는 방식으로 작업을 진행했다. 항공편과 부화시간을 고려하면 12시 독일 프랑크푸르트행 비행기를 이용해 국내 이송을 해야 하므로 10시 30분까지 포장작업 종료시켜야 했다. 독일 경유 인천공항에 다음날 11시 40분 도착하면 세관 통관 후 국내 이식하였다.

출장결과 총 2회(6월17일, 6월 21일)에 걸쳐 5,200ml의 수정란을 채집하여 국내 3개소에 발송하였으며 참다랑어 수정란 채집·포장방법 및 국내 이송경로를 파악하였다. 국내 이송된 수정란은 국립수산물과학원 미래양식연구소, 제주도 해양수산연구소 등에 공급되어 종묘생산연구에 사용되었다.



그림 5. 출장국(몰타) 위치

## 표 6. 일별 수행사항

일 자 (일 차)	일별 수행사항	비 고
6월 16일 (1일차)	○ 인천공항에서 독일 프랑크푸르트 공항 경유 몰타국제공항에 도착	- 숙소 도착
6월 17일 (2일차)	○ 수정란 9,000ml 확보, 3,400ml를 4박스로 포장 ○ 비행기편 미확보로 <u>1,700ml(20박스)만 국내이송</u> 하고 나머지는 폐기처분	- 21.5°C로 수온 상승 중 - 미래양식연구소에 수용
6월 18일 (3일차)	○ 전일 미 채집란 500ml만 수거 ⇒ 국내 수송 중 부화되어 폐사되므로 폐기처분 ○ 병산소 충전 및 수정란 채집 망 보수	- 수온 23°C
6월 19일 (4일차)	○ 수정란 수거량 없음.	- 수온 22.5°C(수온 하강)
6월 20일 (5일차)	○ 수정란 수거량 없음. ○ 수정란 채집 망 보수	- 수온 22.5°C(수온 하강) - 종묘협회에서도 실패
6월 21일 (6일차)	○ <u>수정란 3,500ml 확보, 4박스로 포장하여 제주도 3개소에 15, 15, 10박스 각각 이송</u> ⇒ 토요일(6.22) 통관 및 이송문제로 경남으로 이송 실패	- 수온 23.5°C (본격적으로 상승)
6월 22일 (7일차)	○ 수정란 수거량 없음.	- 수온 23.5°C
6월 23일 (8일차)	○ 풍랑으로 수정란 수거망 설치 실패	- 수온 24.5°C
6월 24일 (9일차)	○ 수정란 수거망 설치(풍랑은 여전히 심함)	- 수온 24.0°C
6월 25일 (10일차)	○ 풍랑으로 수정란 수거여부 조사 실패(선박운행 정지)	- 수온 23.5°C(수온하강)
6월 26일 (11일차)	○ 수정란 수거망 조사결과 풍랑으로 4개 유실 확인 ○ 풍랑으로 수정란 수거망 추가 설치 포기	- 수온 22.5°C - 수거망 제작업체 조사
6월 27일 (12일차)	○ 수정란 수거망 제작 ○ 2012년 사용한 수거망 2개를 추가로 가두리 설치	- 수온 22.5°C
6월 28일 (13일차)	○ 수정란 수거량 없음.	- 수온 22.1°C - 수온하강의 영향으로 보임.
6월 29일 (14일차)	○ 수정란 수거량 없음. ○ 출국 : 독일 프랑크푸르트공항 도착	- 수온 22.5°C
6월 30일 (15일차)	○ 인천공항 도착	- 귀국



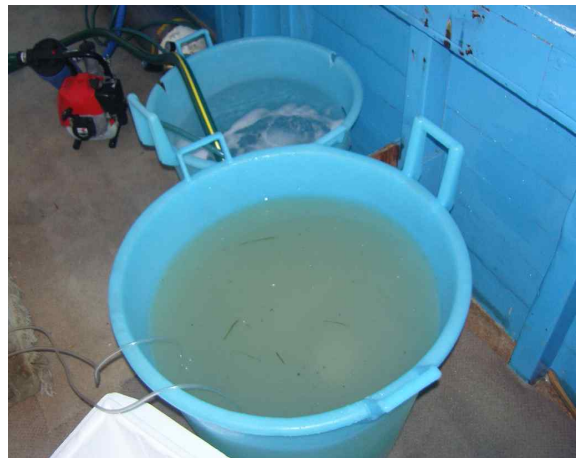
**차단막 설치**  
(수정란의 가두리밖 유출 방지용)



**수정란 수거망 설치**  
(조류방향을 고려하여 설치)



**수정란 수거**  
(수거망 끝 T자형태의 수거통 2개에서 수거)



**수거된 수정란**  
(약 900백 만개, 이송가능은 350만개 정도)



**수정란 수량 체크**  
(1,000개/ml)



**수정란 포장**  
(8만개/박스, 아이스 팩 동봉)

**그림 6. 수정란 수거 및 포장작업.**

## 마. 기초자료 수집을 위한 국외 출장

### 《일본출장》

참다랑어 양식산업의 선진기술 보유국인 일본에서의 양성 및 인공종묘생산 기술 자료 수집을 위해 2010년 11월 1일부터 5일간 일본출장을 다녀왔다.

출장자는 송태엽 기술담당관과 박대원 담당연구사로 노마이케 참다랑어 어업자 협업체(가고시마현 미나미사쓰마시), 오카야마대학교 이과대학연구소(오카야마현 오카야마시), 긴키대학 수산연구소(와카야마현 니시무로군 사라하마쵸), 쓰키지 시장(도쿄도 주오구 쓰키지) 등을 방문하였으며, 가고시마현 농림수산부 수산과의 아라타니 기술주사, 노마이케초 어협의 시모토 조합장 외 2명, 참다랑어양식협업체 모리오카 대표, 오카야마 이과대학연구소의 야마모토 교수, 긴키대학 수산연구소 무라다 교수, 요시가와 수산 요시가와 대표 등을 만나 참다랑어에 대한 자료를 수집하였다.

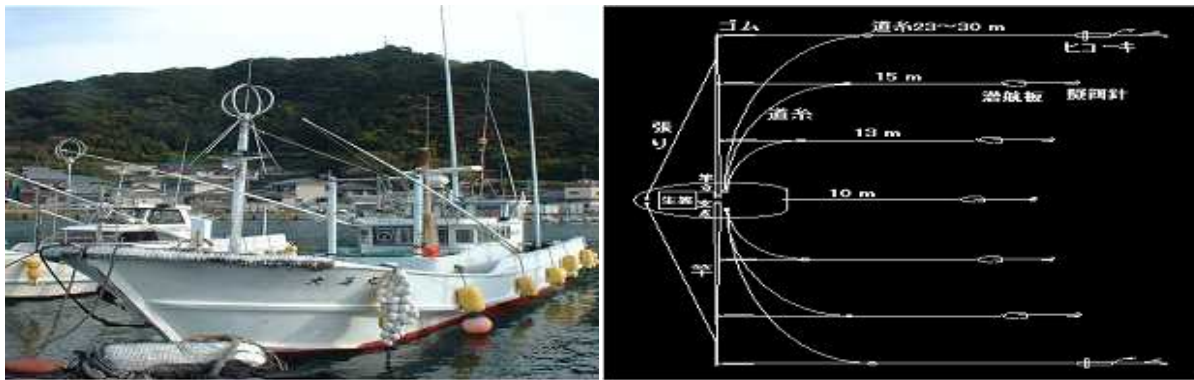
#### 1) 노마이케 참다랑어 어업자협업체

1992년부터 1999년까지 “(사)마리노포럼21”이 참다랑어 시험양식을 실시한 후 2002년 “미요마루수산”으로 창업되었다. 2003년 양식업자 10명과 어선어업자 8명이 협업체(대표 : 모리)를 설립하여 본격적인 참다랑어 양식을 시작했다. 2003년 17,120천엔의 참다랑어 판매실적 이후 2009년 참다랑어 1,000마리(40kg 크기)를 판매하여 70,980천엔의 매출을 기록하였다.

참다랑어 종묘확보방법은 끝낚시 채포가 주였으며 어선위에 특수 제작한 수조를 설치 후 채포된 종묘를 양성가두리까지 이송 후 양성하고 있다. 채포어선 5척으로 8~9월 100~1,000g의 종묘(200g 내외가 주로 채포)를 채포하며 2009년의 경우는 채포가 부진하여 시코쿠에서 채포된 종묘를 국비 50%, 지방비 25%, 자담 25%로 구입하여 전문 활어선을 이용하여 이송 후 양식에 활용하였다.

2010년 일본에서 인공종묘생산을 실시하는 업체는 긴키대학, 마루하(주), 닛수이(주)가 있다. 2009년 일본 내 종묘 소요량의 10%인 40천 마리를 인공종묘생산으로 생산하였으나 잉여분 판매는 긴키대학에서만 실시하고 있다. 이 협업체에서는 2009년의 경우 긴키대학의 인공산종묘(800~1,000g)를 구입했으나 50%정도가 이리도바이러스 감염으로 폐사가 발생하였다.

참다랑어 양성은 인공방파제 내에 위치하여 수심 12m, 수온 12~33℃에 지름 15m 가두리 7개(깊이 8m)로 양식하고 있었다. 수온 12℃ 이하에서는 폐사의 가능성이 있으며 30℃ 이상에서는 거의 먹이를 먹지 않았다. 매일 다이버가 양식어의 상태를 관찰 중이며 종묘기(이리도바이러스 가능성 있음)를 제외하고는 특정한 질병이 없다. 그러나 장마에 의한 오수의 유입으로 탁도가 높아지거나 번개 등으로 인해 참다랑어가 충격을 받으면 가두리망과 충돌하여 폐사하는 경우가 있다. 가두리망은 2중망이며 안쪽망은 PE재질 무결절망(키코망, 8절)으로 종묘가 5~7kg 크기까지 사육 후 제거하고 바깥쪽은 철코팅망(5절)로 출하(40kg)까지 이용된다.



참다랑어 종묘채포 어선

종묘채포에 사용되는 끝낚시 방법

**그림 7. 참다랑어 채포어선 및 채포방법.**

참다랑어는 절단 된 사료를 잘 먹지 않기에 종묘의 수육초기에는 양미리 등 부드러운 것을 공급하고 성장하면 고등어 등을 2회/일 공급하였다. 성장에 따라 밀식이 우려되면 분조를 실시한다. 소형개체는 낚시를 이용하여 분조를 하고 대형어(7kg 이상)는 다른 방법을 선택해야 한다. 여기서는 가두리 바깥망에 통로가 설치되어 있어 처음 수육된 참다랑어 400마리는 이 통로를 통해 분조를 할 수 있게 시설되어 있었다.

양식의 경제성확보(손익분기점)를 위해서는 80% 이상의 생존율과 3,000엔/kg의 가격유지가 필요하다. 종묘에서 출하까지는 27개월이 소요되며 이는 대마도에 비해 4~5개월 빠르고 아마미오시마보다는 4~5개월 늦는 수준이다.



가두리 전경(지름 15m 7개)



참다랑어 먹이(고등어로 2회/일 공급)

**그림 8. 가두리 전경 및 참다랑어 먹이.**



냉동고등어를 녹이는 장치



아가미, 내장, 피를 제거 후 얼음물 처리

**그림 9. 출하를 위한 참다랑어 전처리.**

참다랑어의 경우 채포시 스트레스를 주면 급격한 운동으로 체온이 50℃까지 상승하는 “야케”가 발생하여 조직 변성으로 인한 가격하락이 발생한다. 그러므로 참다랑어 출하를 위한 채포는 전기충격을 가할 수 있는 특수 제작된 낚시를 사용하며 미끼인 고등어를 참다랑어가 무는 순간 전기충격으로 기절시켜 선박으로 끌어올려 채포한다. 선상에서 아가미, 내장, 피를 제거하고 육지로 이송 후 얼음물에 넣어 “야케”현상을 예방하고 연간 1,000마리 정도를 판매하고 있다.

## 2) 오카야마이과대학 연구소(2010.11.3)

인공해수를 이용한 육상양식을 시도하고 있는 연구소로 담수에 칼슘 등이 혼합된 시약(분말형태)을 녹여 만든 인공해수(“호적환경수”라고 부름)에 참다랑어, 자바리(다금바리), 자주복, 전갱이 등을 순환여과식으로 양식하고 있다.

인공해수 생산비는 중국이 5,000엔/ton, 일본이 10,000엔/ton이나 야마모토 교수가 개발한 해수는 1,000엔/ton으로 경제적이며 수온 25℃ 유지와 3%/일 이하의 환수로 양식 중이다. 비중은 1.007~1.008(일반해수는 1.024정도) 정도이며 사육에 부족한 무기염류는 배합사료에 첨부하여 공급하였다.

7월 하순 시코쿠에서 포획된 참다랑어의 치어를 일반활어차 (200g크기 20마리/3ton)로 100마리를 오카야마까지 운송 후 지름 8m, 수심 3m의 육상수조(140ton 규모)에 인공해수를 만들어 사육을 시작하였다. 육상수조가 소형으로 충돌사의 위험이 있으므로 수조벽과 바닥에 노란색과 검은색의 에폭시를 번갈아 칠하여 충돌의 위험을 막았고 갈매기 모양의 모빌을 천정에 매달아서 뛰어넘는 것을 방지하였다. 그러나 처음 수용한 100마리 중 75마리가 충돌사로 폐사하였다. 역시 소형수조(지름 15m 이하)에서의 참다랑어 사육은 적절하지 않는 것으로 생각되었다.

## 3) 긴키대학 수산연구소(2010.11.4)

긴키대학 수산연구소는 산하에 5개의 연구소와 4개의 종묘생산시험장을 보유하고 있으며 참돔의 선발육종(성장, 체형, 색태 등)과 교잡종(돌돔과 강담돔(킨다이), 참돔과 감성돔(참성돔) 등 다수 어종에 대한 연구와 세계최초의 종묘생산(넙치, 참다랑어돌돔, 방어류, 능성어 등) 실적을 가진 연구소다. 2010년 당시 연구소장은 무라다교수로 지금은 정년을 한 상태다.

연구소에서 생산한 종묘는 분양과 직접 사육으로 수익사업을 진행하고 있으며 A marine kindai(주)를 설립하여 판매를 전담하고 있다.

수산청 프로젝트 참가(1970) 후 참다랑어의 자연산 치어 순치 성공(1974), 세계 최초의 자연산란 유도를 성공(1979), 1983~1993년 11년간 산란 정지(냉수대의 영향으로 추정하나 정확한 원인을 알 수 없음), 산란 재시작하여 치어 246일간 사육(1994), 1995년 종묘생산 한 6년산 어미를 사용하여 완전

양식 성공(2002), 완전양식 참다랑어를 시장에 출하(2004)하였다.



수산연구소 가두리(출하용)



23년 사육 후 자연사한 참다랑어

### 그림 10. 긴키대학 견학.

참다랑어 인공종묘생산의 문제점으로 산란의 불안정(친어에 대한 스트레스요인 제거와 양식적지 선정으로 해결), 부화 후 3~7일 부상사 및 침강사에 의한 초기 대량감모(바닥에 적정한 공기주입과 인공적 유막 형성으로 해결), 부화 후 10~30일 공식(충분한 먹이공급과 적정 밀도 유지로 해결), 부화 후 35~60일 5~25cm 치어기의 충돌사(야간에 적정 조도를 유지하여 충돌방지) 등이 있다.

#### 4)쓰키지시장(11.5)

쓰키지 시장(築地市場, つきじしじょう)은 일본 도쿄 주오구 쓰키지에 위치한 공설의 수산물 전문 도매시장이다. 에도시대부터 도쿄지역의 식품이 거래되는 시장으로 간토 대지진으로 파괴된 뒤 1935년에 현재의 위치로 옮겨져 다시 개설되었다.

23헥타르의 면적에 약 1,000여명의 경매업자들이 수산물을 경매하며 하루에 약 2,000ton 이상의 수산물과 1,000ton 이상의 청과물이 거래된다. 일본 내 가장 큰 참다랑어 경매시장으로 05시부터 개장한다.

참다랑어 경매를 보면 크기가 크고 품질이 좋을수록 가격(보통은 4만원정도/kg)이 높아서 400kg 정도의 참치 1마리가 2,300만 엔(80만원/kg)에 경매된 예가 있었다(2013년 1월 5일 222kg 크기 1마리가 원화 18억에 낙찰되기도 함). 꼬리부근을 자른 상태로 marbling 상태나 “야케”의 문제 등을 조사 후 경매가 진행되



었다. 호주산 남방 참다랑어(냉동, 냉장포함), 지중해산 대서양 참다랑어(냉동), 일본산 태평양 참다랑어(냉장, 냉동포함) 등 모두 다양한 크기가 경매에 참여하고 있었다.

시장위판을 통해 살펴본 일본 참다랑어 양식의 현황을 보면 300~400천마리/년 종묘를 자연채포 후 사육(필요량은 400천 마리로 종묘부족)하고 있는 실정으로 2010년 9월까지 12개현 67개의 양식회사에서 9,200ton(228천 마리)을 출하한 것으로 조사되었다(현재는 자연채포가 많이 줄었고 그 부족분을 인공종묘가 차지하고 있음).



품질검사(마블링 정도 파악)

호주산 냉장참다랑어(73.6kg)

### 그림 11. 쓰키지시장 모습.

#### 5) 출장을 다녀와서

일본에서는 참다랑어 양식을 위하여 민관연이 혼연일체가 되어 연구에 몰두하고 있었으며 특히 세계최초로 참다랑어 인공종묘를 생산한 킨끼대학의 수산연구소를 직접 방문하여 발전한 기술수준을 확인하였다.

일본과 비교하여 겨울철 바다수온 등의 환경문제와 종묘생산 및 양성과정에서 많은 기술격차를 체험했다. 하지만 향후 지구온난화와 국제적 참다랑어 종묘 채포금지 움직임을 감안한다면 관내 참다랑어 양식어업인과 국내 양식산업의 발전을 위해서는 적극적 투자로 인공종묘 생산 기술의 확보가 필요할 것으로 생각된다.

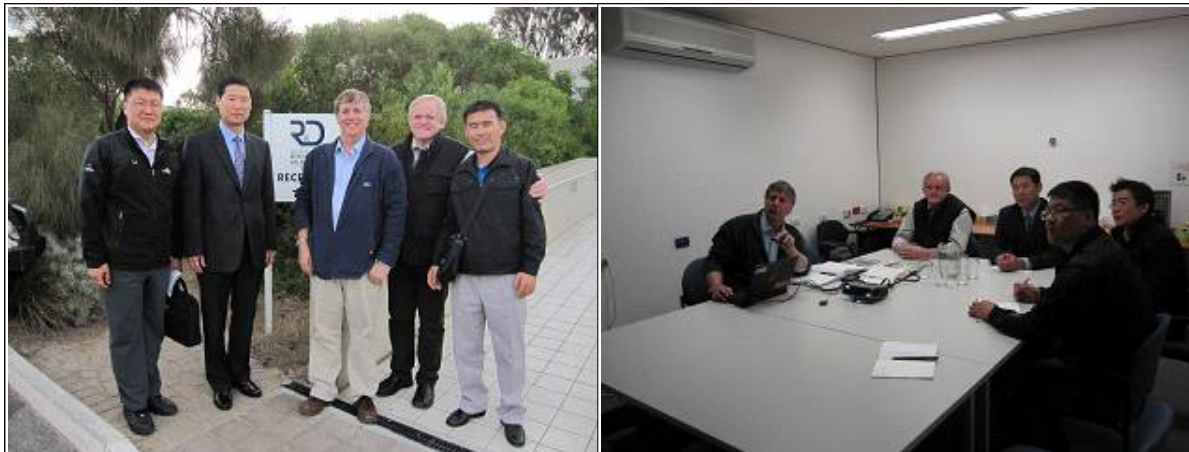
## 《호주출장》

2011년 5월 30일부터 6월 5일까지(7일간) 우리연구소 3명이 호주 포트링컨을 방문하였다. 방문목적은 참다랑어 인공종묘생산 기술현황 파악 및 기술이전 협의, 참다랑어 친어사육수조 건립을 위한 육상양식장 시설 자료수집, 기타 수산양식분야 기술교류 협의를 위해서다.

방문기관은 South Australian Research and Development Institute(수산연구소), Tony's Tuna International(참다랑어 양식, 채포, 냉동, 수출업체), CleanSeas Aquaculture Hatchery Pty Ltd.(참다랑어 및 부시리 종묘생산업체), Clean Seas Tuna Ltd.(참다랑어 및 부시리 가두리양식), Lincoln Marine Science Center(Flinders University 등 부설연구소), South Australian Marine Products Industries Pty Ltd.(참다랑어부산물 처리업체), Hand Feed and Swim with the Tuna(참치관련 체험 현장) 등 이었다.

### 1) South Australian Research and Development Institute

2011년 5월 31일(화) 방문하여 Steven Clarke(직책 : Principal Scientist)씨를 면담하였고 연구소의 전반적 연구추진 상황 파악 및 연구시설을 견학하였다.



Mr. Steven Clarke(Principal Scientist)와 함께

Steven Clarke씨로부터 SARDI의 현황을 소개 받음.

### 그림 12. South Australian Research and Development Institute 방문.

주 연구분야는 어업 및 수산양식, 수중환경 및 기후변화, 농업 및 축산분야 연구, 가축 및 수산양식생물의 질병관리 등이었다. 주정부와 수산업계에서 요구

하는 다양한 연구를 수행하여 해수 및 기수와 담수에서 수산양식산업의 지속 발전 가능하도록 하는 것이 이 연구소의 주요업무였다.

그 외에도 인도네시아 황다랑어 종묘생산, 베트남의 담수 못양식, 싱가포르의 양식연구소 건설 등 해외활동을 진행 중이며, 현재는 미세조류의 배양을 통한 Biofuels(경유 등) 생산이 중요한 연구테마로 한국의 산업체와도 공동작업을 추진하고 있었다.

남방참다랑어, blue mussels(지중해담치), 전복 등 다양한 양식종의 산업화 연구 수행과 함께 사육 품종에 알맞은 가두리양식을 비롯하여 우수식 및 순환여과식, 못 양식, 수하식 양식방법을 연구하여 어업인에게 보급하고 있었다.



그림 13. South Australian Research and Development Institute 견학.

## 2) Tony's Tuna International

2011년 6월 1일(수) 방문했으며 Andrew Wilkinson씨(General Manager)의 안내로 참다랑어 양식, 가공, 수출과정을 견학하였다.

호주에서 두 번째로 큰 참다랑어 양식장 보유하고 있으며 자연산 종묘채포, 양식, 수확, 냉동처리 및 수출 등을 진행하고 있었다. 12월부터 3월까지 종묘를 채포하며 대형가두리를 이용하여 양식장으로 이송하고 고등어나 정어리를 공급하여 양식을 하고 있었다. 지름 40m, 깊이 15m 가두리에 15~22kg 크기를 1,500~2,000마리 정도를 수용 후 양식하고 있었으며 모든 사료는 호주정부에서 요구하는 엄격한 위생 및 검역조건을 만족해야 하므로 정기적으로 검사를 진행하고

있었다. 참치의 건강과 사육 상태 관찰을 위하여 매일 다이버가 양식장을 조사하며 수온, 용존산소, 수질 등의 모니터링을 실시하고 있었다.



**그림 14. Tony's Tuna International 방문.**

참다랑어 수확 시 어체에 대한 스트레스를 감소시켜 신선도를 유지하는 수확 기술을 확보하고 있었다. 참다랑어를 채포 후 선상에서 내장과 아가미를 제거하고 얼음물에 넣어 가공공장으로 이송하였고 호주의 검역기관에서 제품에 대한 검사를 엄격히 실시 후 출하하였다. 수확과정에서 발생하는 폐기물은 모두 수거하여 재처리업자에게 위탁해야하며 이때 적용되는 규정이 EPA standards였다.



**그림 15. Tony's Tuna International 냉동창고 견학.**

### 3) CleanSeas Tuna Ltd., CleanSeas Aquaculture Hatchery Pty Ltd.

2011년 6월 1일(수) Clifford Ashby씨(Managing Director) 소개로 참다랑어 종묘생산 과정 및 양식과정을 견학하였다. 2009년 육상수조에서 수정란 생산(Lincoln Marine Science Centre와 공동연구)을 성공하여 2009년 Time 선정 세계 100대 발명품 중 2위에 선정되기도 한 회사였다.

2010년 30마리 정도의 중간종묘를 생산 성공(5cm까지는 10만마리 이상 생산)한 곳이었으나 사진촬영이 금지되어 아쉬웠다.



그림 16. CleanSeas Tuna Ltd. 전체 모습.

가두리의 친어관리 현황을 보면 지름 45m 가두리 3개에 80kg 이상 친어 300마리를 보유하고 있었다. 수정란 생산 시 필요수량을 헬기를 이용하여 이송하였고 가두리의 망청소는 수중에 로버트 투입 후 수압으로 진행하고 있었다.

친어관리를 위한 육상수조는 지름 25m, 깊이 5~6m 크기 1개를 보유하고 있었으며 8회/일 환수 가능한 양수시설과 냉각 및 가온시설을 보유하고 있었다. 수조 내 4개의 감시카메라가 시설되어 참다랑어 행동 관찰하고 있었으며 현재 100~150kg 친어 25마리(암컷 11마리)를 수용하여 수정란 생산을 시도하고 있었다. 참다랑어 수컷이 암컷의 뒤를 따라가며 정자를 뿌리는 모습을 영상으로 확인(수컷은 꼬리가 흰색)할 수 있었으며 산란촉진 호르몬 주사를 실시하고 있는 것으로 조사되었으나, 정확한 용량 및 방법은 비밀사항으로 공개를 거부했다. 연간 20백만개의 수정란을 생산하여 종묘생산 중 이었다.

영상자료와 설명을 종합하면 육상 친어관리 수조로 친어를 이송하기 위한 방법은 다음과 같다. 이송용 가두리를 육지에 최대한 가까이 접근시킨 후 가두리 내에 소형그물을 넣어 친어를 수심 3m까지 올렸다. 이후 다이버가 이송용 천막에 참다랑어를 1마리(80kg 정도)씩 수용하고 헬기를 이용하여 육상 친어관리 수조로 이송하였다. 이송용 천막에 참다랑어를 수용하는 과정을 보면 다이버가 꼬리를 잡고 어체를 뒤집으면 아가미를 벌리고 기절하며 이때 아가미를 손으로 잡고 이송용 천막에 수용(1마리 이송에 3~4분 정도 소요)하였다. 육상수조 이송 후 혈액채취로 건강도 등을 조사하고 있었다.

육상수조에서 생산된 수정란은 2~3일내 부화하며 부화 20일부터 어류 자어 등 다양한 먹이를 공급하고 있었다. 2010년 30마리 정도 종묘생산을 성공(5cm까지는 10만마리 이상 생산)했었다.

양식은 자연산 종묘에 의존하며 현재 평균 15~22kg 종묘를 12~4월에 채포하여 5개월 사육 후 30~40kg로 성장시켜 냉장이나 냉동상태로 일본에 수출하고 있었다.

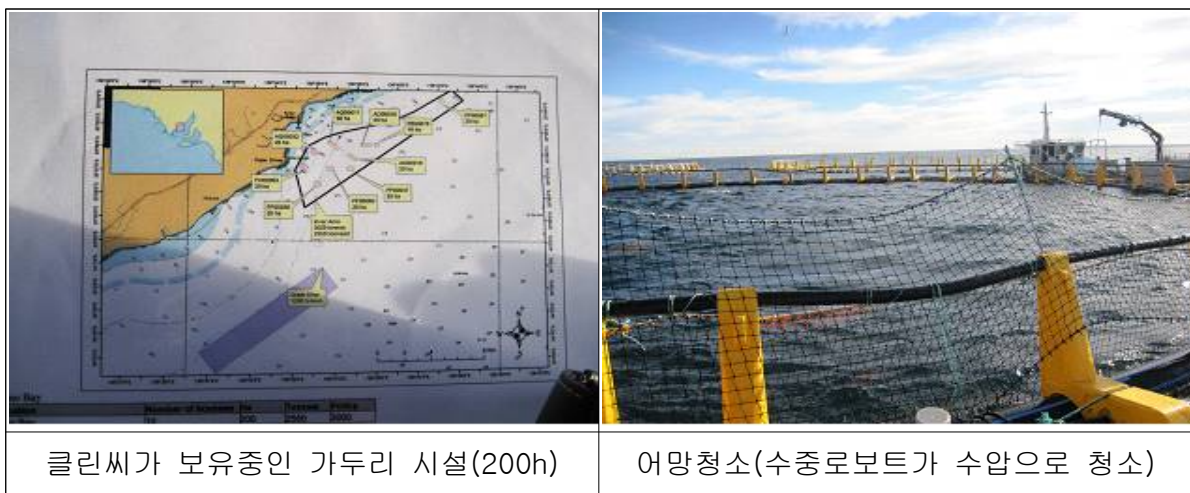
부시리는 외양성 대형어로 종묘생산기술과 양식방법이 참다랑어에 적용할 수 있는 종으로 18개월에 4kg 이상 성장하는 양식대상종이다. 친어는 25~30kg 정도로 산란을 유도하기 위해 광주기와 수온 조절을 실시하며 연간 4번의 종묘생산을 실시(7백만마리 생산)하고 있었다. 해수는 55ℓ/초 용량으로 4,000ton 저수조에 저장 후 각 수조로 배분되고 있었으며 인위적인 조절로 생산된 수정란은 부화조로 옮겨진 다음 자어로 부화되었다.



그림 17. 참다랑어 친어 이송 영상

자어에 공급할 먹이생물(rotifers)을 배양하고 있었으며 200억마리/일 로티퍼 공급을 위해 로티퍼의 먹이인 식물성플랑크톤을 9ton/일 배양하고 있었다. 알테미아를 부화시켜 공급 후 자어가 대략 1cm 로 성장하면 인공 배합사료로 전환하고 30일 경과 후 자어는 치어(10cm, 5g)로 성장되었다.

Cleanseas사의 최종목적은 경제성 있는 남방참다랑어 양식이지만 현재 수익을 내고 있는 것은 부시리와 Mulloway(호주 특산종)의 양식이었다. 2006년 Cleanseas사는 Arno Bay에 1,600ton의 생산이 가능한 가두리 시설과 종묘생산 시설 허가를 획득하고 현재는 200ha의 어장을 확보하고 있었다. 정부에서는 3,000ton 이하의 생산을 허가했으며 연간 2,550ton을 생산하고 있었다. 호주 정부의 “Clean and Green” 해산물 정책에 따라 수산물을 생산하고 있으며 자원감소에 따른 대책도 연구하고 있었다. 양식 부시리는 18개월 양식을 실시하여 3.5kg이 상품크기였다. 이미 이탈리아, 독일, 프랑스, 영국과 스위스에 수출하고 있으며 동유럽과 러시아 등 새로운 시장 개척 중이었다. 덴마크의 양식기술 수출업체인 Uni-Aqua와 MOU를 체결하여 부시리와 남방참다랑어의 양식 및 유통에 새로운 투자를 실시하고 있었다. Mulloway의 경우 20년간의 남획으로 자원이 멸종에 가까워지고 있으나 양식으로 1주에 4~5ton을 판매하고 있었다.



**그림 18. CleanSeas Tuna Ltd 가두리 방문.**

#### 4) Lincoln Marine Science Centre

2011년 6월 2일(목) Bob DeLaine(Technical Coordinntor)의 안내로 참다

랑어 육상수조 이송과정 파악을 비롯하여 Lincoln Marine Science Centre 연구시설을 견학하였다.



**그림 19. Lincoln Marine Science Centre 방문.**

1995년 해양과학에 관한 연구와 교육을 위해 설립되었으며 긴키대학과 MOU 체결 상황으로 계속적 유대관계를 가지고 있었다.

수산양식 연구에 필요한 많은 장비 및 시설을 보유하고 있으며 이를 다양한 연구기관 및 산업체에 제공하고 있었다. 연구원들을 산업체에 파견하여 현장중심의 실용 연구 진행하고 있었다. 수질 및 어체 분석 장치 등을 비롯하여 어류 자·치어 및 기타 수산생물의 사육과 연구에 필요한 많은 실험수조 및 장비도 보유하고 있었다. 인화성 물질(알콜표본 등)을 보관하고 있는 특수시설 보유하고 있었다.

South Australian Research and Development Institute의 산하 연구기관으로 우리연구소와 상호 연구관련 정보 및 기술교류를 협의했다.

#### 5) South Australian Marine Products Industries Pty Ltd.

2011년 6월 2일(목) Terry Romaro(Director)의 안내로 참다랑어 가공 시 생산되는 부산물 처리공장을 견학하였다.

1ton의 부산물 처리에 18만원의 경비가 소요되는 참다랑어 부산물을 무료로 인수받아 처리(운송은 참다랑어 가공·냉동업체에서 부담)하고 있었다. 연간 700ton



의 참치부산물 등을 냉동 후 산처리 및 열처리 과정을 거쳐 5년간 실온에서도 보관 가능한 액상물질 생산하였다. 전체적인 처리에 24시간이 소요되며 시간당 15ton의 부산물을 처리하였고, 생산물을 이용하여 밀밥, 액상비료, Oil, 사료 등 다양한 재활용 방안을 연구 중이었다.

참다랑어 부산물로 만든 밀밥은 어류나 갑각류(새우, 게 등) 등을 채포하는데 사용되며 생산된 밀밥은 냉장보관이 필요 없이 장기간 보관이 가능하였다.

참다랑어 부산물로 만든 액상비료는 분무식으로 토지에 뿌려주며 식물의 성장에 필요한 필수성분들이 모두 포함하고 있었다. 액상비료 20ℓ로 1ha 토지의 목초성장이 가능하였다. 어류 부산물에 포함된 칼륨, 질소, 인, 셀레늄 그리고 다양한 물질은 식물의 성장에 도움을 주며 화학비료의 문제점을 상당부분 해결하고 있었다.



**그림 20. South Australian Marine Products Industries Pty Ltd 방문.**

참다랑어 부산물에서 추출한 Oil은 DHA+EPA의 함량이 높아 섭취 시 인체 뇌 발달 등에 탁월하여 어린이에게 추천되며 스트레스 감소, 내장 종양발생, 천식, 불면증, 건선, 우울증 등에 효과가 있었다.

참다랑어 부산물로 만든 사료를 닭에게 공급하면 빠른 성장 및 산란율 증가, 건강도 향상을 기대되고 돼지 등에게 공급하면 빠른 성장 및 건강도 증가 등의 효과가 있다고 했다.

6) Hand Feed and Swim with the Tuna

Port Lincoln항에서 선박으로 15분 거리에 위치한 이곳은 지름 45m 가두리에 체험 수영장 및 터치 풀 등을 보유하고 있었다. 보유어종은 참다랑어 57마리(50~60kg 내외) 및 랍스터를 비롯한 호주에 서식하는 어종들이었다. 사육밀도가 낮아 2011년 채포 참다랑어 종묘의 경우 양식현장보다 10~20kg 더 성장하였다.

체험비용은 사료공급 체험(어른 \$60, 어린이 \$40), 수영체험(각 \$10 추가)이었으며 간단한 식사 및 음료는 별도로 돈을 받고 있었다. 세부 체험내용으로 가족장갑을 착용하고 정어리를 참다랑어에 공급하는 체험, 기타 보유중인 어종에게 사료를 공급하는 체험, 잠수복을 착용 후 가두리 내에서 수영, 터치 풀에 사육중인 어종 채포, 수중 아크릴방에서 참다랑어 유영 관찰 등이 있었다.



그림 21. Hand Feed and Swim with the Tuna 견학



그림 22. Hand Feed and Swim with the Tuna 체험

## 7) 호주 참다랑어 양식의 전반적 개요

호주 Port Lincoln은 동서로 세계에서 가장 긴 해안선을 가지고 호주 해양생물의 70~80%를 보유한 Southern Australia주에 속한 작은 도시이다. South Australia 주의 Lincoln 국립공원 바깥쪽에 위치하고 있으며 인구는 약 14,000명 정도다. 뛰어난 주변 환경으로 관광객이 많이 붐비는 지역으로 많은 호텔과 위락시설이 완비되어 여름 휴양지로 인기가 있는 곳이다. 대도시인 Adelaide로부터 650km(400 mile)나 떨어져 있고 항공편이 Adelaide로부터 매일 여러 편 있으며 약 50분정도 소요된다. 기온은 여름(12~2월) 25°C~29°C, 겨울(6~8월) 15°C~18°C 정도로 강수량은 연간 490mm 정도이며 수온은 13°C~22°C 범위에 있어 바다수온은 제주도과 비슷한 조건을 갖추고 있다.

남방참다랑어는 남반구의 넓은 지역에 분포하며 빠른 유영으로 회유하는 대형어로 인도양의 호주와 인도네시아의 북서 해안에서 9월부터 4월까지 산란한다. 수정란은 2에서 3일 내에 부화하는 것으로 추정되며 부화 20일부터는 어류 자어 등 다양한 먹이를 포식한다. 2년에 대략 15kg까지 성장하며 이때 종묘로 포획된다. 9년에서 12년 성장한 자연산친어가 주 산란군으로 추정되고 있다.

50년간 과잉채포 등으로 남방참다랑어 자원의 감소는 심각한데 1960년대 개발된 냉동기술은 이러한 경향을 가속화 시켰다. 1960년대 초 80,000ton, 중반에는 60,000ton, 1980년대에는 40,000천ton이 채포되어 채포량이 줄어들고 있는 추세이며 이것을 계기로 일본, 호주, 뉴질랜드 등에서 쿼트제를 도입하였다. 3국은 1989년 쿼트량을 11,750ton으로 감소시켰다. 이들 국가간 협의는 1994년 Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna(CCSBT) 결성으로 공식화되었고 현재는 CCSBT회원국에서 평균 15kg의 종묘를 12월에서 4월까지 연간 14,030ton(호주 5,000ton 정도) 채포하고 있다.

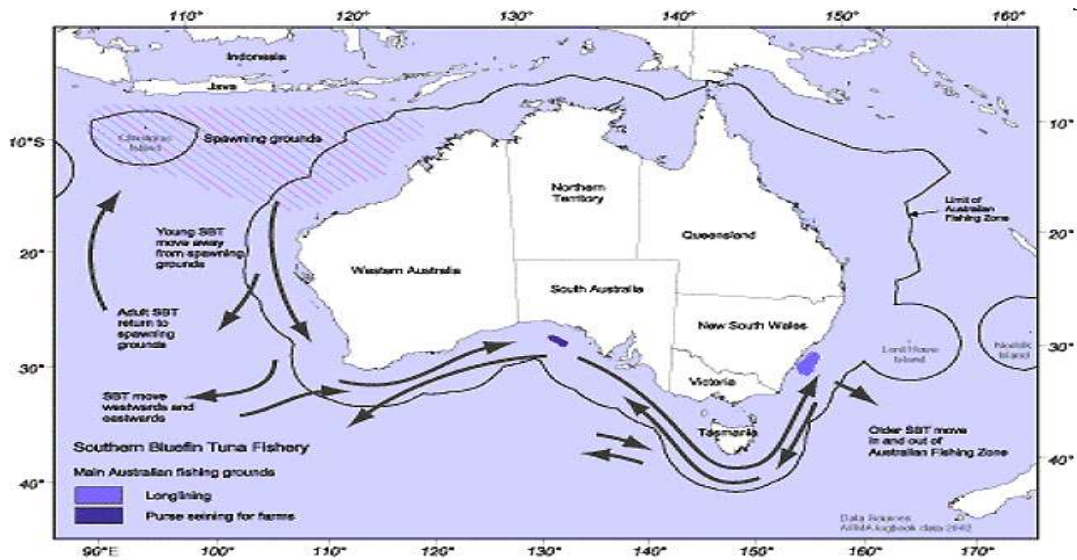


그림 23. 남방참다랑어 회유경로.

1960대년까지는 호주 남쪽의 New South Wales나 Port Lincoln에서 참다랑어 양식을 시도했으나 1970년대부터는 Port Lincoln에서만 참다랑어 산업이 발전되었다. 현재 호주에서 유일한 참다랑어 양식지역인 Port Lincoln은 세계 1위의 참다랑어 양식지(10,000ton/년, 세계 25% 정도)로 깨끗한 수질, 종묘채포 어선단, 적당한 자연환경, 신선한 생사료(정어리)공급 등으로 남방참다랑어 양식에 최적조건을 갖추고 있다. 매년 1~3월 Port Lincoln에서 120마일 떨어진 곳에서 종묘(15~22kg)를 채포하여 1노트 속도로 Port Lincoln에 이송 후 가두리에 수용한다. 채포한 종묘는 3~6개월 사육으로 2배 이상 성장시켜 \$20/kg 이상 가격으로 대부분 일본의 초밥재료로 공급되고 있다. 가두리에 수용 시 정부기관에서 조사를 나와 이송통로(3×4m 크기)에 카메라를 설치하여 수용하는 개체의 수량 및 크기를 파악하고 있다. 3~6개월간 정어리와 고등어 등을 2회/일 공급하며 2배 정도 성장시킨 후(40kg), 7~8월(수온 14℃) 수확하여 90% 이상을 일본에 수출하며, 9월부터는 수온이 상승하여 육질이 저하되므로 사육하지 않는다. 사료로 사용하는 수입산 생사료는 전량 정부에서 검역 후 사용하며 양식장 반경 1km까지 환경변화를 모니터링하여 양식장면허 연장에 반영하고 있다.

수확을 위해서 가두리 밑 부분에 2×2m 이송통로와 수확그물을 연결한 후 다이버가 들어가 수확그물로 예정물량을 이송한다. 그물을 수심 3m까지 올려 참다랑어의 행동반경을 줄임으로 산소부족을 유발하여 활동성에 제약을 가한다.

그리고 다이버가 꼬리를 잡고 어체를 뒤집으면 6~7초간 아가미를 벌리며 움직임을 멈추며, 이때 다이버가 컨베이어 벨트를 이용하여 선상까지 어체 이송하는 방법을 사용한다. 자연산 채포 참다랑어에는 적용하기 어려운 기술로 3명이 한 팀이다. 1명씩 쉬고 2인 1조로 1~3마리/분 채포가 가능하며 Port Lincoln에만 40명 정도 전문다이버가 있어 연간 10,000마리/명 이내로 수확하고 있다.

채포 후 선상에서 내장과 아가미를 제거하고 얼음물에 넣어 가공공장으로 이송하며 24시간 내 -60℃ 이하로 냉동하여 신선도를 유지하고 있다.

## 8) 마치면서

국내 참다랑어 양식은 통영 육지도의 인성수산(현 인성해양목장영어조합법인)이 2007년 10월 정치망에서 포획된 종묘로 시작하였다. 하지만 산업적 규모의 양식은 10,000마리 이상의 일본산 종묘를 이식(4개 업체)하여 양성을 시작한 2010년이다. 그러므로 2010년을 참다랑어 양식의 원년으로 보아도 무방할 것이다.

그렇다면 과연 우리나라에서 경제성 있는 참다랑어 양식은 가능할까?

세계적으로 인공종묘로 참다랑어 양식을 산업적으로 실시하는 나라는 일본이 유일하다. 하지만 일본에서도 인공종묘생산을 실시하는 업체는 긴키대학, 마루하(주), 닛수이(주) 등 몇 곳에 불과하고 이중 종묘판매는 긴키대학에서만 실시하고 있다. 즉 유일하게 상업적 인공종묘생산을 실시하는 일본에서도 대부분(필요종묘의 90%)의 양식용 종묘는 자연산으로 확보한다.

채포하는 종묘의 크기에 따라 양식하는 방식에는 차이가 있다. 참다랑어 대량 양식을 실시하는 지중해 연안국과 호주는 15kg 이상 중간어 종묘를 채포하여 단기육성(3~6개월 양성)을 한다. 우리나라 연안에서도 10kg 이상의 중간어가 소량 회유하지만 현실적으로 이를 채포하여 양성하는 것은 많은 문제점이 있다. 그러므로 양성용 종묘는 일본산 이식 및 끝낚시 채포로 소형어(0.2~2kg 크기)를 확보해야 한다. 이러한 소형어는 상품크기(40kg 이상)까지 장기양성(2~3년 양성)이 필요하다. 그러나 소형어 양식방법으로 오랫동안 양식을 실시한 일본에서도 양식의 경제성확보를 위해서는 80% 이상의 생존율과 3,000엔/kg의 가격유지가 필요하다(일본 참다랑어양식업자 언급)고 한다. 그러므로 경험과 기술력을 비롯한 관련기반이 거의 없는 우리나라에서 참다랑어 양식으로 이익을 창출한다는 것은

결코 쉬운 일이 아니다.

2010년 일본에서 이식된 참다랑어 종묘 중 경남 통영 2개 업체(7,000마리)에 수용했던 것은 저수온 쇼크에 따라 2011년 전량 폐사했다. 2012년에는 태풍의 영향으로 산란이 진행중이던 통영 육지의 친어와 제주도 미래양식연구소의 중간어가 폐사하였다. 제주 글로벌영어조합법인의 판매중이던 참다랑어의 폐사도 국내에서 참다랑어 양식이 산업적으로 정착할 수 있는 기회가 늦춰 졌다고 볼 수 있어 아쉬움이 많다.

그러나 실망할 필요는 없다고 본다. 다른 참다랑어 양식선진국이 장기간 겪어왔던 실패의 경험들을 홍역처럼 짧은 시간에 경험했을 뿐이다. 참다랑어란 어종이 현재 우리가 양식하고 있는 어종과 차이가 있음을 이해하고 우리가 가진 장점들을 참다랑어 양식에 적용해가는 과정인 것이다. 양식에 긍정적인 신호도 많다. 최근의 수온상승 등으로 우리나라 연안으로 회유하는 참다랑어의 양이 증가하는 추세로 자연산 종묘확보에 청신호가 켜지고 있다. 인성수산에서 양성중인 참다랑어의 경우도 많은 시행착오를 거쳤지만 정상적으로 성장하였다. 여기에 자연산 채포금지(쿼터제 등) 및 소비의 지속적 증가는 양식 전망을 밝히고 있다.

하지만 조심해야 할 부분도 적지 않다. 대규모의 자금과 기술력이 필요한 참다랑어 양식은 성공을 위해서 많은 경험과 세심한 주의가 필요하다. 장기간 참다랑어 양식에 대한 경험으로 2012년 10,000ton(일본 쓰키지시장 관계자 언급)의 참다랑어 양식생산량을 기록한 일본에서도 정부의 지원이 없이는 수익 창출이 어렵다는 것은 고민할 부분이 많다는 것이다. 수정란 생산에서 양식 및 판매까지 충분한 조사와 검토가 필요한 이 시점이 정부의 지속적 지원이 필요할 때이다. 그리고 양식업자는 막연한 기대가 아닌 신중한 접근이 필요한 시기다. 더불어 국내 관련 연구기관의 연구자들의 어깨가 무거워지는 이유다.

## (2) 인공종묘생산 연구





## (2) 인공종묘생산 연구

### 가. 2012년 인공종묘생산 연구

2012년 국립수산과학원과 한국해산종묘협회 2곳에서 몰타산 대서양 참다랑어 수정란의 이식을 추진했다. 국립수산과학원 미래양식연구센터에서는 연구사를 파견하여 수정란을 이식하였고 한국해산종묘협회에서는 남해군의 협조를 받아 박완규회장이 수정란을 확보하여 회원들에게 판매하였다. 우리연구소에서는 한국해산종묘협회에서 수정란을 분양 받아 인공종묘생산 시험연구를 실시하였다.

2012년 6월 23일 대서양 참다랑어(몰타산) 수정란 300천개를 우리연구소 사육수조에 이식하였다. 한국해산종묘협회가 몰타에서 수거한 참다랑어 수정란을 항공편으로 국내 인천공항까지 수송하면 우리연구소가 고용한 관세사를 통해 연구소까지 이송 후 수용하는 방법으로 진행되었다.

수정란은 20ℓ 비닐에 물 10ℓ 정도를 채운 후 수정란 50ml(약 5만개)씩 수용하여 산소포장으로 이송되었으며, 온도조절을 위해 아이스 팩 1개씩 동봉되어 있었다.

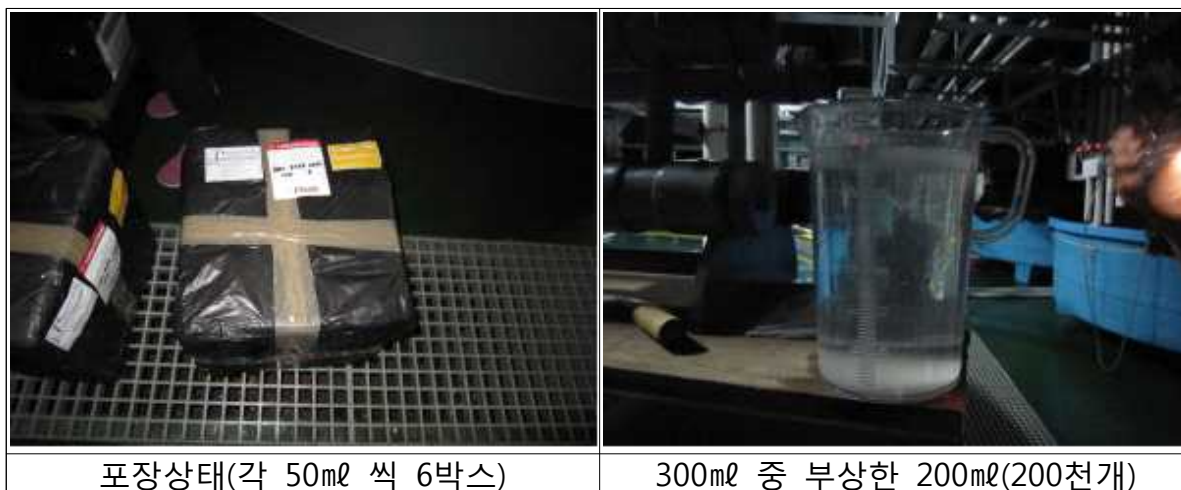


그림 24. 2012년 수정란 이식.

부상한 수정란 200ml(200천개)를 20ton 원형수조 2개에 분산 수용하여 부화시켰다. 수정란은 개체가 형성되어 심장 박동이 시작된 상태로 우리연구소에 도착했으며 사육수조 수용 전 비닐포장 상태로 부화수조에 수용하여 15분간 수온을 21.

5℃ 이상으로 상승시켰다. 이후 비닐을 풀고 부상란 200ml를 100ml씩 사육수조 2개에 수용하였고 5~8시간 후 전량부화 하였다.

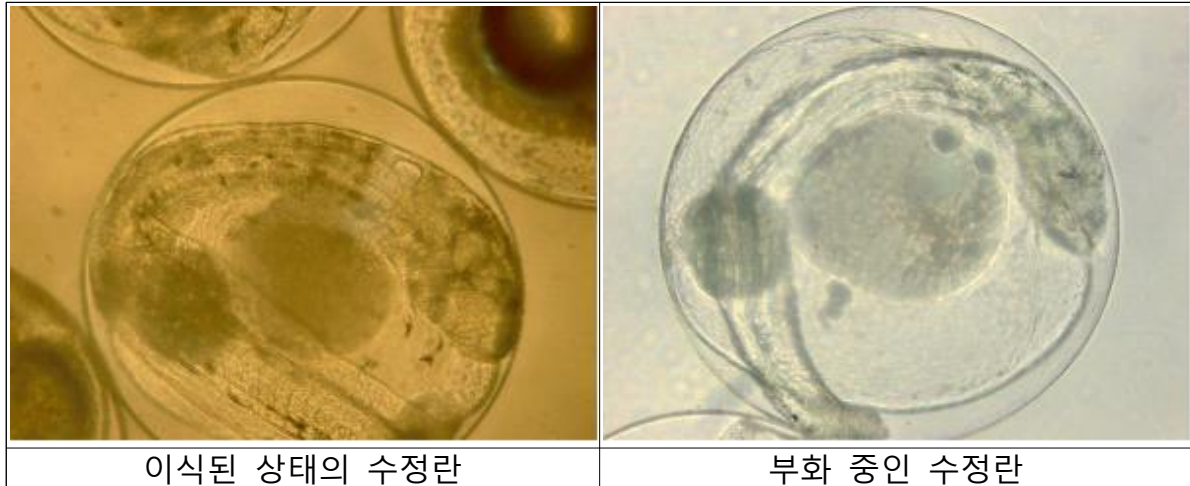


그림 25. 2012년 부화중인 수정란.

소형 에어스톤 6개로 부정란 부상을 위한 통기를 실시했으며 부화율은 60% 였으나 난황이 흡수된 부화 3일령까지 생존율은 20% 정도로 저조하였다.

표 7. 2012년 수송용기 및 부화관리수조의 수질환경

구 분	수온(℃)	용존산소(ppm)	염분(psu)	pH
포장박스	20.7	8.3	37.9	8.2
수용수조	21.8	7.9	33.6	8.4

부화 20일령까지 0.3회/일, 45일령까지 0.7회전/일 환수를 실시했으며 이후 가두리로 이송하여 사육(8.7일 부화 45일령된 75마리를 가두리 이송)하였다. 22℃ 에서 부화 후 3일 뒤 25℃로 수온을 상승시켜 관리했으며 이후 사육수온은 25℃ 를 유지하였다.

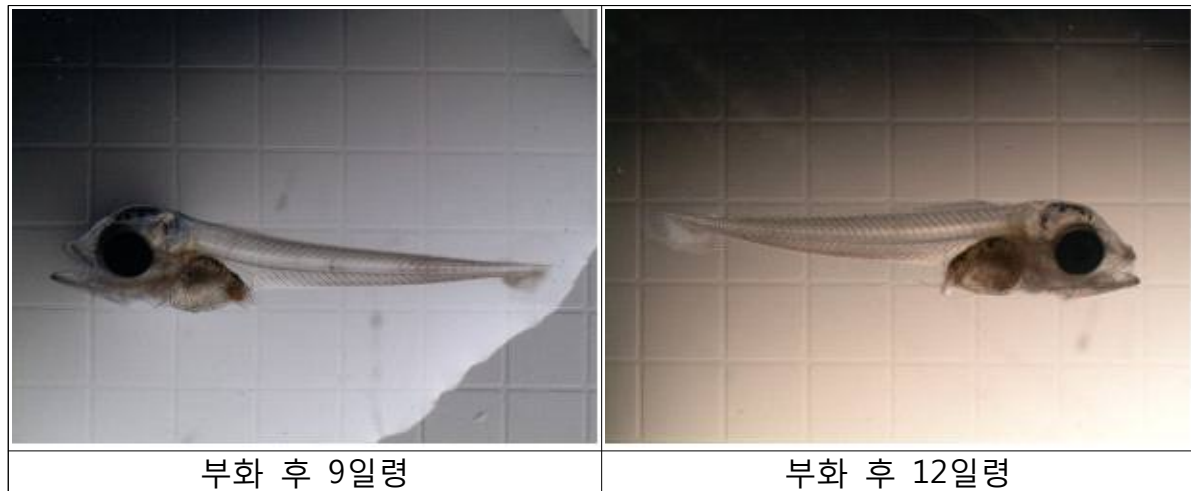


그림 26. 2012년 부화자어 모습.

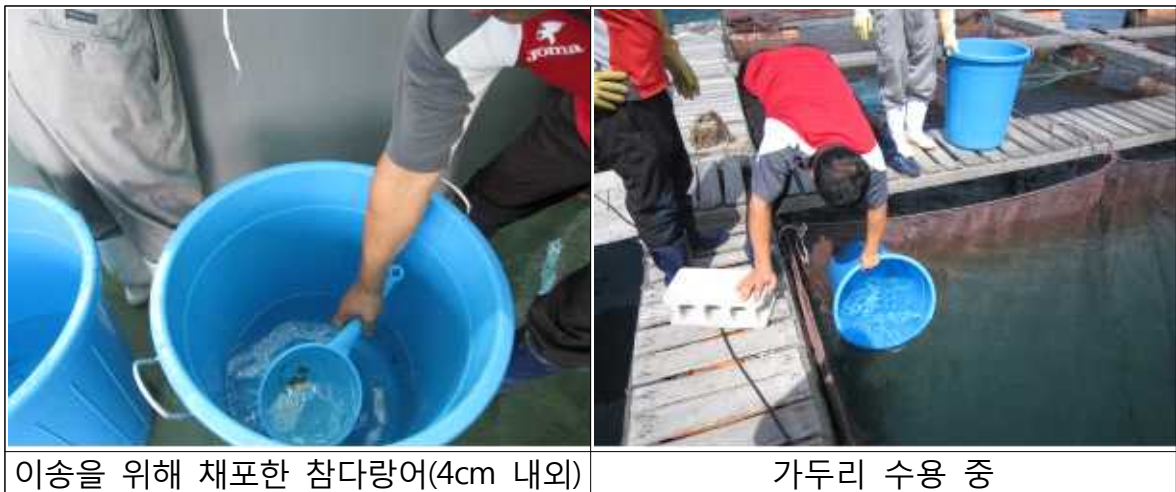
표 8. 2012년 종묘생산 공정표

부화일 종류	0	10	20	30	40	50	60
크기(mm)	3.6	5.8	18.7	27.1	30.6	87.5	137.2
클로렐라 (cell/ml)	<b>부화 2일</b> <b>부화 20일</b> 부화 2일부터 20일까지 50만 cell/ml 유지. 매일 오전 농축 해산 클로렐라로 Green water 조성						
로티퍼 (개체/ml)	<b>부화 1일</b> <b>부화 10일</b> <b>부화 20일</b> 3~5개체 유지[2회] 10개 이상 유지[2회] - 부화 20일 공급 중지						
알테미아	부화 15일차 0.5개체/ml[1회, 10시]      부화 20일차 1개체/ml[2회, 10시, 15시] 20일~45일차 가두리 이송시 까지 알테미아 영양강화 후 공급						
배합사료	25일차부터 배합사료 공급을 시도했으나 폐사개체 발생으로 중단함						
쨌지 부화자어	20~30일차까지 공급 : 수정란생산 감소로 공급 중단						
넙치 부화자어	35~45일까지 공급 : 가두리 이송으로 공급 중단						
바닥청소	20일령부터 가두리이송[45일령]까지 1회/5일 실시						
사육장소	육상사육시설(0~45일령)      가두리(45일령부터)						

광주기는 24시간 명조건 유지, 조도는 직사광선을 차광막(95% 차단용)으로 직사광선을 차단하였다. 에어스톤을 통한 통기를 6개/수조 설치하고 중앙에 1개의 액산공급용 고압스톤 운용으로 산소를 공급했으며 자어성장에 따라 통기량을

증가시켰다. 용존산소는 8~10ppm, 염분은 33~35psu, pH는 7.8~8.1을 유지하였다.

성장단계별 먹이생물 공급을 보면 부화 후 10일까지는 3~5개체/ml, 20일까지는 10개체/ml의 로티퍼를 공급 후 일반 해산어류와는 달리 어류부화자어를 공급하였다. 알테미아는 최소한 공급해야 한다고 문헌에 있어 최대 1개체/ml를 공급하였다. 부화 25일령부터 일반 해산어류 종묘생산에 사용되는 미립자사료를 공급했으나 폐사 증가로 공급 중단했다. 부화 20일령부터 쥐치 및 넙치부화자어를 공급했으나 충분한 양의 확보가 실패하여 성장 및 생존에 영향을 준 것으로 생각되었다.



**그림 27. 2012년 치어의 가두리 이송.**

부화 20일령부터는 성장도 조사를 위해 매일 10여 개체를 Sample하였다. 부화 45일령 생존한 75마리를 가두리에 이송 후 냉동까나리를 분쇄한 생사료를 공급했으며 야간점등으로 먹이생물(동물성플랑크톤)을 유집하여 먹이로 이용되도록 하였다.



그림 28. 2012년 자.치어의 모습.

부화 58일령(8.5일) 적조의 영향으로 활력저하가 발생했으며 60일령(8.7일) 전량 폐사한 것으로 추정(140mm까지 성장)되었다.

2012년은 참다랑어 연구를 진행하면서 처음으로 수정란을 확보하여 인공종묘 생산연구를 실시했다. 문헌만을 참고로 실시한 첫 종묘생산은 많은 실수와 아쉬움을 남겼다. 일반적으로 알려진(대부분 긴키대학 발표 자료) 상황과 실제 종묘생산에서 느낀 점을 소개해 보겠다.

일본에서는 종묘생산 시 3가지 정도의 위험기와 그에 대한 대책이 알려져 있다. 시기에 따라 “부상사 및 침강사”와 “적정먹이 부족문제 및 공식문제”, “충돌사 및 접촉사” 등 3가지다.

첫째 부화초기 “부상사 및 침강사”다. 부화 후 10일까지 발생한다고 알려져 있다. 먼저 부상사를 보면 공기방울에 붙어 수면에 올라간 후 표면장력의 힘으로 수중에 내려가지 못하고 폐사된다고 한다. 대책으로는 수면에 인공적으로 유막을 만들어 수면부상을 막는 방법이 사용된다. 야간에 바닥으로 가라앉아 폐사하는 침강사(염분조절은 효과 없음)는 가장 폐사율이 높은 문제로 인위적으로 공기를 공급하여 수류를 발생시키거나 야간에 조명을 처리하여 바닥에 침강하는 것을 막고 있다고 했다. 실제 종묘생산에서도 이러한 문제는 발생했으나 종묘생산에 사용한 수정란의 난질저하로 인해 초기폐사가 많았기에 폐사원인에 대해 정확히 구분하기는 어려웠다.

둘째 “적정먹이 부족문제 및 공식문제”다. 부화 후 15~30일까지 주로 나타나며

로티피에서 다른 먹이생물로 전환되는 시기에 먹이전환 실패로 인한 공식현상이 심각하다고 한다. 참다랑어의 소화기관 발달을 보면 부화 1일령에 항문이 열리고, 2.5일에 간·쓸개가 분화되고, 10일에 위선이 발달하며 15일에 위 전체의 위선이 완성, 20~25일과 50일령 2회에 걸쳐 유문수의 발달이 급격히 이루어지는 것으로 알려져 있다. 유문수의 성장이 빨라지는 25일령부터 성장이 빨라지며, 타 어종과 비교하여 내장 중 유문수의 크기가 대단히 큰 것을 고려하면 참다랑어에서 유문수는 소화·흡수에 큰 역할을 하는 것으로 추정된다. 이렇게 자어의 발달에 따라 일반 해산어류의 종묘생산에 주로 사용하는 알테미아 공급은 많은 문제를 야기하는 것으로 알려져 있다. 폐사율이 증가하고 성장이 늦어져서 일본에서는 종묘생산 초창기와는 달리 알테미아를 거의 공급하지 않고 있었다. 대신 돌돔의 부화자어를 부화 15일령부터 공급하여 공식피해에 대처하고 있다. 실제 긴키대학에서는 5천만개(50ℓ)/일 이상의 수정란을 부화시켜 공급한 예가 있었다. 돌돔부화자어는 부화 직 후 난황을 보유한 것을 공급하고 있었다. 이번 종묘생산에서도 공식이 많이 관찰되었지만 수정란의 준비부족으로 방지하지 못한 점은 아쉬움으로 남는다.

또 일본의 경우 참다랑어의 배합사료 개발을 위하여 자·치어의 소화 및 흡수, 단백질·탄수화물·지방의 적절한 배합, 비타민 C 요구량에 대한 연구 등을 실시하였다. 그 결과 사료 가공 중 가열로 인한 단백질변성은 소화·흡수에 문제를 야기하는 것으로 조사되어 효소처리 한 칠레어분을 사용한 배합사료의 공급이 필요(일반배합사료는 성장저하 발생)하다고 하였다. 이번 종묘생산에서도 타 어종에 사용하는 일반 미립자사료와 절단한 까나리를 공급했는데 소화불량 등으로 폐사를 야기하는 것이 관찰되었다.

세 번째는 “충돌사 및 접촉사”다. 부화 후 30~60일까지에 많이 발생하며 1년생(전장 25cm)까지도 발생한다고 알려져 있다. 육상수조 및 가두리에서 충돌로 두개골 파손이 생기는 충돌사와 가두리 망 등에 부딪혀 상처로 폐사하는 접촉사가 발생한다고 한다. 참다랑어는 꼬리지느러미가 브레이크 역할을 하는 가슴지느러미보다 빠르게 발달하고 야간의 시력이 떨어져 벽면을 잘 볼 수 없으므로 충돌에 의한 폐사량이 증가하는 것으로 추정되었다. 대책으로는 야간 조명(150lux 이상)과 사육수조 대형화, 그리고 갑작스런 물리적 충격을 줄이는 방법이 알려져

있다. 이번 종묘생산에서는 생산된 마리수가 적어서 인지 특별히 충돌되는 개체가 관찰되지는 않았다.

일본 긴키대학 참다랑어 종묘생산은 와카야마현의 오오시마를 비롯하여 카고시마현의 아마미오오시마 등 총 4개의 종묘생산장에서 실시하고 있다. 인공종묘 1세대는 2002년, 2세대는 2007년, 3세대는 2012년에 성공했으며 대량인공종묘생산은 2009년부터 성공했으나 현재까지는 생존율이 계속 3% 정도 유지되고 있다고 한다. 육상수조에서 종묘(5cm 크기)까지의 생존율은 수량 1ton당 300마리 이상으로 계속 증가하고 있으나 이후 가두리에서의 생존율은 개선되고 있지 않기 때문일 것이다. 와카야마현의 오오시마가 경험과 전통면에서 안정적인 종묘생산이 가능하나 친어의 경우 수온의 변동이 적은 카고시마현의 아마미오오시마가 유리하여 안정적으로 수정란의 생산이 유지되고 있다고 했다. 가두리에서 보유한 어종 산란에 참여하는 친어는 10% 이하로 생각되며 안정적 수정란 생산을 위해서는 50마리 이상의 친어 보유가 필요하다고 했다. 자연산 경우 4년산 80kg 이상에서 산란이 가능하며 23℃ 이상이 산란 적기로 알려져 있다. 친어의 사료에 비타민 등을 넣어 공급 등 먹이가 산란에 영향을 미친다고 한다. 하지만 산란에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수온으로 알려져 있다. 인공종묘생산 된 종묘를 사육하여 친어로 사용하면 3년산 60kg 이상 크기, 21℃ 이상에서 산란이 가능하며 긴키대학의 경우 3세대 친어를 사용하여 산란시기도 11월말까지 길어지는 것으로 전해진다. 모든 양식에서 첫 시작이 종묘이고 이를 위해서는 친어의 관리가 꼭 필요하다는 것을 전제하면 2012년 태풍으로 인한 국내 사육 친어의 유실이 더욱 더 아쉬워지는 이유다.

## 나. 2013년 인공종묘생산 연구

2013년 7월 11일과 12일 각각 대서양 참다랑어(몰타산) 수정란 500천개, 700천개를 우리연구소 사육수조에 이식·수용하였다. 국립수산물과학원 미래양식연구센터가 몰타에서 수거한 참다랑어 수정란을 항공편으로 국내까지 수송하면 우리연구소가 고용한 관세사를 통해 연구소까지 이송 후 수용하는 방법으로 진행되었다.

수정란은 20ℓ 비닐에 물 10ℓ 정도를 채운 후 수정란 50~70ml(5~7만개 정도)씩 수용하여 산소포장으로 이송되었으며, 온도조절을 위해 아이스 팩 1개씩 동봉되어 있었다.

부상한 수정란 120ml(120천 개, 7월 11일), 380ml(380천 개, 7월 12일)를 50ton 원형수조 2개에 각각 수용하였다. 사육수의 비중이 1.024였기에 천일염을 녹여 1.026을 맞추어 수정란을 부화시켰다. 수정란 개체가 형성되어 심장의 박동이 시작된 상태로 우리연구소에 도착했으며 비닐포장 상태로 부화수조에 수용하여 15분간 수온을 23.5℃ 이상으로 상승시켰다. 수용 후 4~8시간 후 전량부화 하였다.

소형 에어스톤 6개로 통기하였으며 부화율은 50%였으나 난황이 흡수된 부화 3일령까지 생존율은 15% 정도로 저조하였다. 침강에 따른 폐사가 발생한 것으로 추정된다.

**표 9. 2013년 수송용기 및 부화관리수조의 수질환경**

구 분	수온(℃)	용존산소(ppm)	염분(psu)	pH
포장박스	22.5	8.3	37.9	8.2
수용수조	23.5	8.9	37.6	8.4

부화 20일령까지 0.3회/일, 40일령까지 0.7회전/일 환수를 실시했으며 이후 1.5회전/일으로 환수량을 증가시켰다.

광주기는 24시간 명조건 유지, 조도는 차단율 95% 차광막으로 직사광선을 차단하였다. 에어스톤을 통한 통기를 6개/수조 설치하고 중앙에 1개의 액산공급용 고압스톤을 설치하여 산소를 공급했으며 자어성장에 따라 통기량을 증가시켰다. 용존산소는 8~10ppm, 염분은 33~35psu(부화 후부터), pH는 7.8~8.1을 유지하였다.



성장단계별 먹이생물 공급을 보면 부화 후 10일까지는 3~5개체/ml, 20일까지는 10개체의 로티퍼를 공급 후 일반 해산어류와는 달리 돌돔부화자어를 공급하였다. 돌돔부화자어는 부화 15일령부터 50일령까지 공급했다. 그러나 참다랑어 수정란 입식시기가 늦어 부화 40일령인 8월 중순 이후 돌돔의 산란량 감소로 원활한 부화자어의 공급이 어려웠다. 결론적으로 돌돔 부화자어의 충분한 양 확보가 실패하여 성장 및 생존에 영향을 준 것으로 생각되었다. 알테미아는 최소한 공급해야 한다고 일본의 연구문헌에 있어 최대 0.3~0.5개체/ml를 부화 15~45일령에 공급하였다. 부화 30일령 이후에는 까나리를 다져서 공급하기 시작하였으며 성장에 따라 3회/일 공급하였다.

부화 60일령(13cm 내외, 300마리)까지 성장한 참다랑어 치어는 이후 꾸준한 폐사가 발생하였다. 2013년의 경우 적조발생으로 가두리 양성을 시도할 수 없었다. 종묘생산용 수조에서 계속적으로 양성을 시도했지만 10cm 이상의 개체는 소형 사육수조(50ton)에서 계속적으로 폐사가 진행되는 것을 알 수가 있었다. 최소한 지름 10m 이상의 사육수조가 필요한 것으로 보인다. 11월 12일(120일령)까지 11마리(전장 22 cm)가 생존하였고 이후 성장을 멈추고 서서히 폐사하여 12월 5일 전량 폐사하였다.

표 10. 2013년 종묘생산 공정표

부화일 종류	0	10	20	30	40	50	60
크기(mm)	3.6	5.8	18.7	27.1	30.6	87.5	137.2
클로렐라 (cell/ml)	부화 2일 부화 20일 부화 2일부터 20일까지 50만 cell/ml 유지. 매일 오전 농축 해산 클로렐라로 Green water 조성						
로티퍼 (개체/ml)	부화 1일 부화 10일 부화 20일 3~5개체 유지[2회] 10개 이상 유지[2회] - 부화 20일 공급 중지						
알테미아	부화 15일차 0.3개체/ml[1회, 10시] 부화 20일차 0.5개체/ml[2회, 10시, 15시] 20일~45일령까지 알테미아 영양강화 후 공급 : 공급량은 최소량으로 유지						
돌돔 부화자어	15~50일차까지 공급 : 50일 이후 수정란생산 중단으로 공급 중단						
까나리 절단사료	30일령부터 공급						
바닥청소	20일령부터 1회/5일 실시						

#### 다. 2014년 인공종묘생산 연구

참다랑어 연구 클러스터에 우리연구소가 참여하면서 국립수산과학원이 확보한 몰타산(대서양참다랑어) 수정란을 협조 받아 2014년에도 인공종묘생산 시험 연구를 실시하였다. 인공종묘생산 준비를 위해 50ton 사육수조 2개를 준비하고 통기시설을 설치했다. 돌돔의 수정란(부화자어 공급용) 생산을 위해 700g 이상의 돌돔친어 200마리를 육상수조(25ton)에 수용하여 20℃를 유지하며 관리를 시작하였다. 국내에서는 전용사료의 확보가 어려워 일본에서 전용사료(0.5mm 크기 이상부터)를 구입하였다.

2014년 6월 17일 20시 수정란 포장박스(수량 : 10ℓ) 16개가 우리연구소에 도착했다. 국립수산과학원 미래양식연구센터가 몰타에서 수거한 참다랑어 수정란을 항공편으로 국내까지 수송되면 우리연구소가 고용한 관세사를 통해 연구소까지 이송 후 수용하는 방법으로 수정란 수송을 진행하였다. 수정란은 20ℓ 비닐에 물 10ℓ 정도를 채운 후 수정란 70~80ml씩 수용하여 산소포장으로 이송되었으며, 온도조절을 위해 아이스 팩이 1개씩 동봉되어 있었다. 한 박스 당 8만개 정도의 수정란이 포장되어 수정란 수량은 총 128만개 정도였다. 수정란 계수 결과 1,000ml가 부상(50ton 수조 2개에 수용)하고 500ml는 침강하여 폐사하였다. 수정란은 개체가 형성되어 심장의 박동이 시작된 상태로 우리연구소에 도착했으며 비닐포장 상태로 부화수조에 수용하여 15분간 수온을 24.0℃ 이상으로 상승시켰다. 수용 후 4~8시간 후 전량부화 하였다.

소형 에어스톤 20개로 통기하였으며 부화율은 50%였으나 난황이 흡수된 부화 3일령까지 생존율은 25% 정도로 저조하였다. 부상 및 침강에 따른 폐사가 발생한 것으로 추정된다.

표 11. 2014년 수송용기 및 부화관리수조의 수질환경

구 분	수온(℃)	용존산소(ppm)	염분(psu)	pH
포장박스	22.5	8.5	37.9	8.2
수용수조	24.0	8.5	34.6	8.4

부화 20일령까지 0.3회/일, 40일령까지 0.7회전/일 환수를 실시했으며 이후 1.5회전/일으로 환수량을 증가시켰다.

광주기는 24시간 명조건 유지(야간 100lux 유지), 조도는 95% 차광막으로 직사광선을 차단(주간 2,000lux)하였다. 에어스톤을 20개/수조 설치하여 공기를 공급하고 중앙에 1개의 액산공급용 고압스톤을 이용하여 산소를 공급했다. 자어성장에 따라 통기량을 증가시켰다. 수온은 용존산소는 8~10ppm, 염분은 33~35psu(부화 후부터), pH는 7.8~8.1을 유지하였다.

**표 12. 2014년 종묘생산 공정표**

종류 \ 부화일	0	10	20	30	36일령
크기(mm)	3.6	5.8	19.7	29.1	
바닥청소(싸이편)	싸이편 실시(1회/4일)				
클로렐라(cell/ml) 공급	부화 2일 부화 20일 부화 2일부터 20일까지 50만 cell/ml 유지. 매일 오전 농축 해산 클로렐라로 Green water 조성				
로티퍼(개체/ml) 공급	부화 1일 부화 10일 부화 20일 3-5개체 유지[2회] 10개 이상 유지[2회/일] - 부화 25일 공급 중지				
알테미아 공급	부화 15일차 0.3개체/ml[1회/일, 10시] 20일~36일령까지 알테미아 영양강화 후 공급 : 공급량은 최소량으로 유지[2회/일, 10시, 15시]				
돌돔 부화자어 공급	15-36일차까지 공급				
배합사료 공급	20일령부터 5회/일 공급				

성장단계별 먹이생물 공급을 보면 부화 후 10일까지는 3~5개체/ml, 25일까지는 10개체의 로티퍼를 공급하였다.

일반 해산어류와는 달리 돌돔부화자어를 공급하였다. 돌돔부화자어는 부화 15일령부터 치어의 가두리 이송까지 공급했다. 먹이용 돌돔자어 공급을 위해 수정란 생산용 친어는 냉각기를 사용하여 수온 20℃에서 관리했다. 알테미아는 최소한 공급해야 한다고 문헌에 있어 최대 0.3~0.5개체/ml를 부화 15~36일령에 공급하였다. 부화 30일령 이후에는 까나리를 다져서 공급하기 시작하였으며 성장에 따라 3회/일 공급하였다. 배합사료는 부화 20일령부터 계속적으로 공급했다.

표 13. 먹이별 공급시기 및 방법

구 분	공 급 시 기 및 방 법
로 티 퍼	부화 10일령까지 3~5개체/ml, 10~25일령까지는 10개체/ml
알테미아	최대 0.3~0.5개체/ml를 부화 15일령부터 공급
돌 돌 부화자어	돌돌친어(700 g 이상) 200마리를 육상수조(25ton)에 수용 후 냉각기를 사용하여 20℃ 유지하며 수정란 생산 돌돌 부화자어를 부화 15일령부터 공급(최대 5백만 마리/일)
배합사료	일본산 전용사료(0.5 mm 크기 이상) 공급 부화 25일령부터 계속적으로 공급(10회/일)
까 나 리	다져서 부화 30일령 이후 공급

2014년 7월 24일 부화 37일령(5 cm 내외, 10,000마리)까지 성장한 참다랑어 치어는 분양을 위해 어선을 이용하여 민간업체(남평참다랑어영어조합법인)로 이송하는 작업을 실시했다. 육상수조에서 사육하던 종묘를 후리방식으로 채포하여 비닐포장으로 어선까지 이송하였다. 어선의 물칸 6개에 플라스틱망을 설치하여 종묘를 분산 수용 후 1시간에 걸쳐 통영 육지면 가두리어장으로 이송하였다. 이송 후 사각가두리에 7×14m(깊이 6m) 가두리망을 설치하고 치어 수용하였다. 육상수조에서 치어 채포 및 어선까지 이송과정에서 800마리 정도, 가두리현장까지 이송과정에서 3,500마리 정도 폐사하였다. 특히 이날 오전 10시경부터 파고가 높아서 이송과정 중 받은 스트레스가 원인으로 추정된다. 어선에서 가두리로 수용과정에서 500마리 정도 추가 폐사하였다.

표 14. 이송 및 사육과정에서의 폐사

구 분	채포과정 및 어선으로 이송	가두리현장까지 이송	가두리 수용	수용 1주일 후
폐사수(마리)	800	3,500	500	4,000

이후 가두리 사육 중 소량씩 폐사하는 개체가 발생하였으며 9월 7~8일 2일간 적조발생으로 대부분의 개체가 폐사하였다. 살아남은 300여마리는 2015년 1월 월동과정에서 동사한 것으로 추정된다.



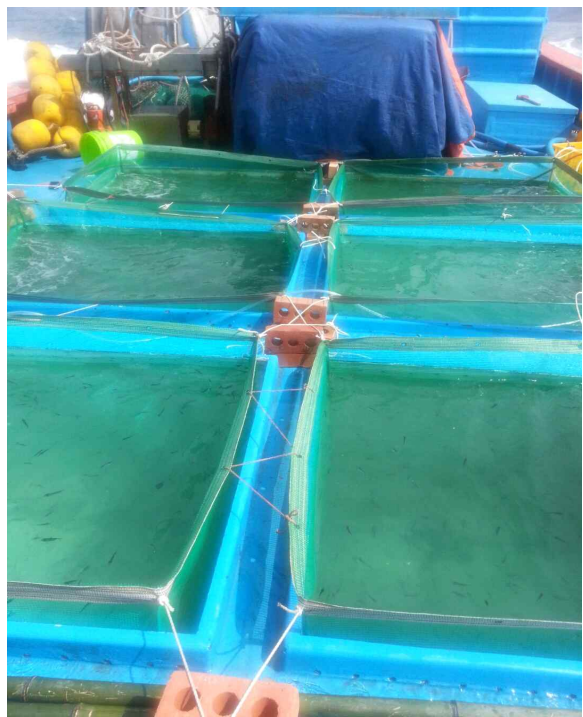
사육수조에서 채포



가두리 수용



가두리 어망 설치



어선을 이용한 운송

**그림 29. 참다랑어 종묘 이송 과정.**

라. 3년간 인공종묘생산 연구 비교

수정란의 상태는 3년 중 2014년이 가장 좋았으며 그에 따라 초기 부상사 및 침강사에 의한 폐사량도 가장 적었다. 2013년의 경우 7월 중순에 수정란을 수용하여 돌돔수정란 생산시기와 엇박자로 폐사가 많이 발생하였다. 수정란 수용 시기는 최소한 6월 중에는 완료되어야 원활한 돌돔부화자어의 공급이 가능했다. 수정란 부화수온은 2014년도에 지중해의 수온과 같이 24℃를 유지한 것이

도움이 되었던 것으로 보인다.

표 15. 연도별 수정란 수용 및 부화

구 분	2012년	2013년	2014년
도 착 일	6월 23일	7월 11일, 12일	6월 17일
수량(만개)	20	120	150
수정란상태	下	中 (타 어종 수정란 혼재)	상
수용란(만개)	20(모두 수용)	50(부성란)	100(부성란)
염분(psu)	34.5	37.8	34.6
수온(℃)	22.2	23	24
부화량	20%	40%	60%
생존율 (부화3일후)	5%	15%	25%

2014년에는 사육수조에 에어스톤을 많이 설치하고 환수량도 부화시기부터 높여 침강사를 방지하는데 역점을 두었다. 결론적으로 초기 생존율이 가장 높은 결과를 보였다. 충돌사 방지를 위해 3년 모두 연속조명을 실시했고 사육수온은 2014년 25℃로 가장 높게 유지했다.

2012년에는 가두리 사육을 시도했었고 2013년에는 부화 후 150일령까지 사육했었다. 2014년에는 충분한 양의 돌돔부화자어 공급을 위해 친어를 확보했던 것이 고밀도 생산의 밑거름이 되었던 것 같다. 경험이 축적될수록 사육 중 문제에 대한 해결책을 제시되었고 2014년에는 사육수량 ton당 200마리 밀도로 10,000마리의 치어를 생산하였다.

표 16. 연도별 사육환경

구 분	2012년	2013년	2014년
수용수조	20ton 사각 2개	50ton 원형 2개	50ton 원형 2개
에어스톤(공기)	6개	10개	20개(침강사 호전)
고압스톤(산소)	1개	1개	2개
환수량	0.1~1.5회/일	0.1~1.5회/일	0.3~1.5회/일
광주기	24시간 명조건	24시간 명조건	24시간 명조건
조도(lux)	주간 2,000, 야간 300	주간 2,000, 야간 300	주간 2,000, 야간 100
DO(ppm)/pH	8~10/7.8~8.1	8~10/7.8~8.1	8~10/7.8~8.1
수온(℃)	23	24	25

표 17. 연도별 문제점 및 성과

구 분	2012년	2013년	2014년
문 제 점	돌돔수정란확보 실패	적조발생 (가두리 이송 ×)	이송 시 폐사
중간결과	45일령 5cm 75마리, 가두리 이송	60일령 13cm 300마리 생산	37일령 5cm 10,000마리 가두리 이송
최종결과	60일령 6마리(14cm) 적조에 전량폐사	120일령 11마리(22cm), 12월 전량 폐사	80일령 적조에 전량 폐사
성 과	가두리사육 시도	150일령까지 생존	대량, 고밀도 생산 (200마리/m <sup>2</sup> )

#### 마. 일본의 종묘생산연구 적용

일본의 참다랑어 종묘생산연구는 긴키대학을 중심으로 이루어지고 있다고 해도 별 무리가 없을 정도다. 긴키대학에서의 참다랑어 종묘생산은 와카야마현의 오오시마를 비롯하여 카고시마현의 아마미오오시마 등 총 4개의 종묘생산장에서 실시하고 있다. 그러나 계속되는 관련연구에서도 현재까지는 최종 생존율이 계속

3% 정도 유지되고 있다고 한다. 육상수조에서 종묘(5cm 크기)까지의 생존율은 300마리/ton 이상으로 계속 증가하고 있으나 이후 가두리에서의 충돌사로 폐사량이 증가하기 때문일 것이다. 이러한 충돌사는 만 1년어(200~500g 이상)까지도 발생한다고 하나 많은 부분은 현재 개선되고 있는 중이다.

최근 일본에서는 참다랑어 양식산업화를 본격적으로 추진하고 있다. 이러한 산업의 기초가 되는 종묘의 안정적인 공급을 위해 토요타통상과 킨키대학이 나가사키현 고토시 타마노우라초에 건설 중이던 '튜나드림 고토종묘센터'(토요타통상 100% 출자)가 2015년 완공되었다. 5년 후인 2020년 3월까지 참다랑어 양식에 필요한 일본 내 종묘수요(약 35만 마리)에 달하는 약 30만 마리의 양산화를 목표로 하고 있다.

완성된 '튜나드림 고토종묘센터'는 토요타통상이 전 세계에서 최초로 참다랑어 완전양식에 성공한 킨키대학과 사업 파트너를 관계를 맺고 건설한 육상 시설이다. 금번 완공된 시설은 수정란 부화부터 치어까지 중간 육성되는 대규모 종묘센터이며, 사업비 8억엔을 투자하여 제1기 공사로 50ton 육상수조 6개와 사업소동을 완성하였다. 이 중 수조 4기를 참다랑어용, 2기는 다랑어의 사료로 쓰이는 돌돔자어의 생산용으로 쓰이며, 2017년 3월말까지 6만 마리의 참다랑어 종묘를 생산할 계획이다. 2기 공사(7억엔 투자 예정)가 완료되는 2020년 3월까지 50ton 육상수조 10기를 추가 설치하여 연간 2회전 가동으로 30만 마리의 종묘를 생산할 계획이다.

지금까지는 와카야마 아미미에 있는 킨키대학의 수산연구소에서 해상 운송된 약 5cm의 치어를 해상활어조에 옮겨 요코와(종묘의 크기에 따른 명칭) 출하 사이즈인 1kg, 30cm까지 키워 중간육성을 실시해 왔으나 수송 중 약 절반이 폐사된다는 문제가 남아있는 상태였다. 금번 종묘센터 완공으로 인해 동 센터를 중심으로 중간 육성된 치어를 해상활어조로 옮기는 작업이 15분이면 가능해진다. 수송 시 치어 대량폐사라는 리스크를 경감시킬 수 있으며 실제로 지금까지 시험결과 약 50%였던 치어의 생존율은 98%로 상승할 것으로 예상된다.

이렇게 일본에서는 참다랑어의 양식산업화를 위해 본격적인 움직임이 진행되고 있으며 성과 또한 가시적이다. 부러워만 할 수 만은 없는 것 같다. 좀 더 많은 연구자가 참다랑어 양식기술에 대한 연구를 진행하여 기술격차를 줄이는 노력이 필요할 것으로 보인다.



### (3) 친어용 중간어 양성 추진사항



### (3) 친어용 중간어 양성 추진사항

#### 가. 대형수조 건립 및 중간어 수용

상품어(40kg 이상)는 3년 정도의 양식으로 생산이 가능하지만 수정란 생산이 가능한 친어는 5년(80kg 이상) 이상의 사육이 필요하다. 5년이란 긴 시간동안 해상가두리에서 사육을 실시하면 적조 및 태풍 등의 자연재해에 안정적인 친어 사육이 매우 힘들다. 국내 유일의 친어였던 80kg급 참다랑어(통영 육지 흥진영어 조합법인이 6년 사육한 것)가 2012년 태풍에 유실된 것이 그 예다. 그래서 육상에 대형수조를 완공하고 환경조절이 가능한 시스템을 적용하여 친어로 사육을 시작했다. 2017년부터는 수정란 생산의 결실을 가능할 것으로 생각된다.

2013년 2월 참다랑어 사육용 대형 사육수조를 건립(외해양식동)하였다. 지름 20m, 깊이 9m의 원형콘크리트 수조로 보유 수량은 2,500ton정도다. 가온관리를 위해 용량 20RT 공냉식 히터펌프 6대(총 120RT)를 설치했으며 산소공급기, 브로와 등 부대시설을 완비했다. 그러나 예산상의 문제로 여과기의 설치는 2015년으로 연기했다.(2015년 여과기를 설치공사를 완공 함.) 참다랑어 수용 전 부시리 10마리(10kg 내외)와 백다랑어 45마리(200g 내외)를 수용하여 예비사육실험 실시하고 시험가동 하였다.

2013년 12월 4일 참다랑어 중간어 41마리(4.5kg 내외)를 육상사육수조로 이송하였다. 2012년 11월 제주 추자에서 채포한 것을 국립수산과학원 미래양식연구센터에서 인수한 다음 통영 육지의 가두리로 이송하여 관리하던 것이다. 참다랑어 이송 전문활어선을 임차하였고, 작업을 위해 잠수부 3명을 고용하였다. 가두리와 전문활어선 사이에 사각가두리 망을 넣고 맞대기 방식으로 연결한 다음 몰이방식으로 전문활어선에 참다랑어를 수용하였다. 전문활어선은 100분간의 운항으로 우리연구소 가두리에 도착·정박하였다. 참다랑어를 안정시킨 후 후리그물로 활동반경을 줄여서 비닐족대로 1마리씩 채포했다. 70ℓ 비닐에 1마리씩 넣어서 육상사육수조로 이송 후 수용하였다.

수용 시 사육수온은 히터펌프로 15℃를 유지하여 가두리보다 2℃ 높게 설정하였다. 수용 1일 후부터 소형고등어(170 g 내외/마리)를 공급하였고 이송 14일 후 1마리가 폐사하였다(이송 시 바닥으로 떨어진 개체로 추정). 다이버 투입으로 점검한 결과 추가폐사는 없는 것으로 조사되었다.



사육수조 전경



총들로 인한 폐사(22 kg)

그림 30. 참다랑어 사육수조 및 총들로 인한 폐사어.

#### 나. 중간어 양성(보유) 현황

2013년 12월 수용한 중간어는 2014년 6월(6개월)까지 사육 결과 가두리 사육분(가두리 수용분은 이후 2014년 8월 적조에 전량 폐사)에 비해 30% 이상 빠른 성장을 보였다. 동절기 가온 및 꾸준한 사료공급 때문이다.

동절기 사육수온은 히터펌프로 14℃ 이상 유지하며 월동과정을 마쳤다. 18℃까지는 1회/일, 그 이상에서는 2회/일 소형고등어(170 g 내외)를 공급하였다. 영양의 균형을 맞추기 위해 3일에 1번씩은 냉동오징어를 공급했다. 수용(2013년 12월 4일)하고 14일 후 이송 시 발생한 상처로 1마리가 폐사하였다. 1회/월 다이버 투입으로 2014년 3마리의 추가 폐사가 발생했으며 모두 외부충격에 의한 총돌사로 추정되었다. 2005년에는 정전으로 인한 스트레스 및 공사 중 진동 등으로 7마리가 추가 폐사했다. 2015년 9월 현재 30마리의 생존어의 체중은 평균 35kg 이상으로 추정된다. 폐사어를 고려한 사료계수는 13 정도이며 현재 안정적으로 육상수조에 적응한 것으로 보인다.

일본의 긴키대학에서의 수정란 생산과정을 보자. 와카야마현 오오시마(동절기 13℃ 이상 유지)에서 경험과 전통면에서 안정적인 종묘생산이 가능하나 친어의 경우 수온의 변동이 적은 카고시마현의 아마미오오시마(동절기 17℃ 이상 유지)가 유리하여 안정적으로 수정란의 생산이 계속되고 있다고 했다. 보유친어 중 산란에 참여하는 친어는 10% 이하로 생각되며 안정적 수정란 생산을 위해서는 50

마리 이상의 친어 보유가 필요하다고 보고되고 있다. 자연산 경우 4년산 80kg 이상에서 산란이 가능하며 23℃ 이상이 산란 적기로 알려져 있다. 친어의 사료에는 비타민 등을 넣어 공급하는 등 먹이가 산란에 영향을 미치지만 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수온으로 알려져 있다. 인공종묘생산 된 종묘를 사육하여 친어로 사용(완전양식)하면 3년산 60kg 이상 크기, 21℃ 이상에서 산란이 가능하며 자연산 친어와 비교하여 친어의 크기가 작고 낮은 수온부터 산란이 진행되는 것을 알 수 있었다. 건키대학의 경우 3세대 친어를 사용하여 산란시기도 11월말까지 길어지는 것으로 전해진다. 모든 양식에서 첫 시작이 종묘이고 이를 위해서는 친어의 관리가 꼭 필요하다는 것을 전제하면 홍진영어조합법인에서 사육 중 산란을 시작한 친어가 2012년 태풍으로 인해 유실된 점은 국내 참다랑어 양식에 있어 더욱 아쉬워지는 부분이다.



참다랑어 양식산업화를 위한 기초연구

## 제3장 마치면서





## 마치면서

2014년은 국내 참다랑어 양식산업과 우리연구소 참다랑어 연구에 중요한 전환점이 된 한해였다. 자체 관리한 친어를 활용한 것은 아니지만 몰타에서 수정란을 이식하여 우리연구소와 국립수산물과학원 미래양식연구센터에서 10,000마리 이상의 인공종묘가 생산되었기 때문이다. 수정란 확보만 된다면 대량종묘생산이 가능하다는 것이다. 그리고 우리연구소에서는 완전양식의 첫 단추가 되는 친어확보용 중간어 사육이 본격화 된 1년이였다. 해상 가두리에서 친어를 양성하면 5년 간 많은 자연재해에 노출되어 높은 폐사가능성으로 실패 확률이 커진다. 그래서 우리연구소에서는 2013년 대형수조를 완공하고 그해 12월 4일 참다랑어 종묘 41마리(평균 4.5kg)를 수용하여 사육을 시작한 것이다. 현재까지 30마리(25kg 내외)가 안정적으로 육상수조에 적응해 있다. 참다랑어 양식이란 측면에서 보면 친어확보의 계기를 마련한 것이다.

참다랑어 완전양식은 일본이 유일하다. 그러나 현재까지는 일본에서도 인공종묘만으로는 전체 양식에 필요한 수량을 충당하지는 못하고 있다. 나머지는 자연산 종묘를 채포해서 양식하는 것으로 볼 수 있다. 종묘부족 현상은 국내 사정도 비슷하다. 양식용 종묘로 자연산이나 일본이식산을 확보하려고 해도 쉽지가 않다. 특히 2015년 국내 참다랑어 양식업계는 양식용 종묘구입에도 애로사항이 많았던 한해였다. 국내에서 자연산 채포가 거의 이루어지지 않았다. 일본의 경우도 예년의 채포량에 비해 40% 정도만이 채포되어 종묘부족현상이 발생했으며 당연히 국내 이식물량의 확보는 더욱 어려워졌다. 그러므로 국내에서도 끝낚시, 정치망, 선망 등을 이용한 참다랑어 종묘채포에 관해서도 관심을 가져야한다. 물론 궁극적으로는 인공종묘생산만이 해결책으로 보인다.

국내 참다랑어 양식적지는 수온을 고려하면 제주도가 적지지만 태풍문제가 매년 발생하고 있다. 남해안은 매년 적조·태풍의 피해가 있고 수온이 낮아 당년어의 월동이 어려움이 있다. 종묘생산한 치어의 경우 월동 시 제주도 이송 후 사육 및 대형육상수조를 이용한 월동이 필요한 이유다. 그러므로 향후 국내에서 수정란이 생산되면 참다랑어가 분포하지 않는 동남아지역과 협약체결 후 현지에서 종묘 생산을 실시할 필요가 있어 보인다. 적조발생 및 태풍피해가 없는 지역을 선정 후

치어공급을 통한 완전양식을 실시하면 자연재해 및 수온에 따른 문제를 해결할 수 있기 때문이다.

현재 국내에서의 참다랑어 양식수준은 참다랑어란 어종이 지금까지 양식했던 어종과 차이가 있음을 이해하고 우리가 가진 장점들을 참다랑어 양식에 적용해가는 과정에 있다. 1970년대부터 양식이 진행된 일본에 비해서는 10년 정도 기술적 격차가 있는 것으로 보인다.

그러나 양식에 긍정적인 신호도 많다. 2011년 전남 여수 금오도에서 잡은 어린 참다랑어 98마리를 국립수산물과학원에서 사육·관리하여 친어로 성장한 것은 참다랑어 양식산업화의 청신호가 아닐 수 없다. 2011년 3kg에 불과했던 2년생 참다랑어들은 2015년 마리 당 65kg 이상으로 자랐다. 2015년 8월에 네 차례 걸쳐 30만4천개의 알을 산란·수정했고, 이 가운데 29만 마리가 부화에 성공했다. 이들 새끼가 4~5년 뒤 어미로 자라 다시 산란, 수정, 부화하면 한국은 세계 2번째의 참다랑어 완전양식 국가가 될 것을 믿어본다. 더불어 최근의 수온상승 등으로 참다랑어 양식에 적절한 환경으로 바다환경이 바뀌고 있는 것도 호재다. 하지만 조심해야 할 부분도 적지 않다. 대규모의 자금과 기술력이 필요한 참다랑어 양식은 성공을 위해서 많은 경험과 세심한 주의가 필요하다. 장기간 참다랑어 양식에 대한 경험으로 2013년 10,396ton(일본 쓰키지시장 관계자 언급)의 참다랑어 양식생산량을 기록한 일본에서도 지속적인 정부의 지원으로 수익 창출을 해 나가고 있다는 것은 시사하는 바가 크다. 수정란 생산에서 양식 및 판매까지 충분한 조사와 검토가 필요한 이 시점이 정부의 지속적 지원이 필요할 때이다. 그리고 양식업자는 막연한 기대가 아닌 신중한 접근이 필요한 시기다. 더불어 국내 관련 연구기관의 연구자들의 실질적 연구 및 상호협조가 필요한 시점이다.

참다랑어 양식산업화를 위한 기초연구

## 제4장 참고문헌



## 참 고 문 헌

- 국립수산과학원, 2009. 참다랑어 양식기술개발 및 산업화 국제 심포지엄
- 경상남도수산자원연구소, 2010. 연구사업보고서
- 한국해양연구원, 2010. 참다랑어 양식개발 사업
- 국립수산과학원, 2010. 외해 참다랑어 양식기술 연구개발
- 국립수산과학원, 2010. 참다랑어 외해양식 연구발전을 위한 한일 전문가 국제 워크숍
- 경상남도수산자원연구소, 2011. 연구사업보고서
- 국립수산과학원, 2012. 10대 수출전략품종 선진기술 교류를 위한 해외 전문가 초청 국제워크숍
- 경상남도수산자원연구소, 2012. 연구사업보고서
- 국립수산과학원, 2012. 세계 수산업 동향
- 경상남도수산자원연구소, 2013. 연구사업보고서
- 경상남도수산자원연구소, 2014. 연구사업보고서
- 국립수산과학원, 2015. 참다랑어 연구 kick-off 회의

## 참다랑어 양식산업화를 위한 기초연구

발행일 : 2015년 10월 일

발행인 : 경상남도 수산자원연구소 소장 박 경 대

편집인 : 해양수산연구사 박 대 원

발행처 : 경상남도 수산자원연구소

(경남 통영시 산양읍 풍화일주로 615)

TEL. (055) 254-3411 FAX. (055) 254-3419

인쇄처 :

※ 이 책자에 수록된 내용은 행정적 자료로 활용할 수 있으며, 각종 주요자료, 논문 등  
활용 시 연구소로 문의하여 주시기 바랍니다.