

외해 심층가두리를 이용한 대구·참치 등 양식기술개발

**Developments of the aquaculture techniques for Pacific Cod and
BlueFin Tuna applying to offshore submerged cage system**

한국해양연구원

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “외해 심층가두리를 이용한 대구·참치 등 양식기술개발” 과제의
보고서로 제출합니다.

2010. 10.

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 박 흥 식

세부연구책임자 : 박 흥 식

연구원 : 노충환, 노봉호, 이형근, 박영길,
박용주, 강도형, 오승용, 윤건택,
박재석, 최영웅, 정윤환, 이수환

협동연구기관명 : 국립수산과학원

미래양식연구센터

협동연구책임자 : 지 승 철

연구원 : 이정익, 손상규, 한석중, 최낙중,
김응오, 임한규, 손맹현, 김도훈,
이종관, 김성연, 김경민, 구준호,
명정인, 황형규, 강수민, 임우철

요 약 문

I. 제 목

외해 심층가두리를 이용한 대구·참치 등 양식기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 우리나라의 연안의 어장환경은 해상가두리 시설의 내만의 집중에 따른 양식시설의 밀집화, 양식시설면적의 한정에 따른 고밀도 양식으로 자가오염이 증가하고 인근지역에서 유입되는 생활 폐수등으로 급격히 악화되고 있다. 이에 따라 양식환경이 부영양화되고 적조발생이 장기간 진행됨과 동시에 어병발생이 증가하고 있다. 이러한 변화는 양식생산성은 저하시키는 주된 원인으로 작용하고 있어 대안마련이 시급한 실정이다.

따라서 이 연구과제에서는 현재의 상황을 극복하고 양식경쟁력의 기반을 마련하기 위해 연안에서 기존의 축양 방식 또는 가두리 양식 기법에서 외해 심층 가두리 양식기술을 확립함으로써 생물 생산 공간 증대를 통한 대구, 참다랑어 등 고급어종의 양식기술 확보하고, 시스템 개발을 통한 양식 효율성을 증대하여 생물 산업의 신기술을 창출하는데 목적을 두고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

이 보고서는 2007년부터 2010년까지 외해 심층가두리를 이용한 대구·참치 등 양식기술개발을 위하여 외해수층가두리의 타당성 검토와 환경영향 분석, 대상어종의 인공적인 환경에서의 순치사육기술개발, 이후 외해가두리를 이용한 안정적인 사육기술개발을 위한 조사 그리고 외해가두리를 이용한 대상어종양식의 경제성분석등을 수행하였다. 연구개발 내용은 아래와 같다.

● 대구양식분야

- 자연산 대구어미에서 산란된 수정란을 이용하여 부화특성과 부화자어의 성장특성을 조사하고 안정적 성장을 위해 적정먹이공급체계와 자치어의 성장을 조사하였다.
- 대구치어의 사육에 적합한 안정적 사육환경 조성을 위해 대구치어의 생리적 특성을 조사하였다.
- 대구치어의 적정 성장을 유도하기 위한 먹이 붙임방법과 적합한 사료를 공급하기 위해 먹이선택성을 조사하였다.

- 대구치어의 중간사육단계에서 적정성장과 최대생산성을 유도하기 위해 사육밀도와 먹이공급횟수에 따른 성장을 조사하였다.
- 대구의 양식경영 및 산업화 전략을 수립하기 위해 외해가두리에서 경제성 평가를 실시하였다.

● 참치양식분야

- 참치 양식산업화의 기반을 조성하기 위해 국내 연안에 회유하는 참치종묘의 종류, 어획방법 및 어획시기를 파악하고 수송 후 순치기술 및 외국에서의 도입가능성 등 종묘확보 방안을 검토하였다.
- 어획한 참치의 안정적인 수송, 순치 그리고 외해가두리 입식 방법을 조사하였다.
- 외해가두리에 참치를 수용하고 성장효과 및 행동 특성 등의 안정적 관리기술 개발을 위한 조사를 수행하였다.
- 참치 양식의 적지선정을 위해 외해양식지역의 환경조사와 내만 양식어장과의 비교하여 적지환경을 평가하였다.
- 참치의 양식경영 및 산업화 전략을 수립하기 위해 외해가두리에서 경제성 평가를 실시하였다.

IV. 연구개발결과

제 1 절 대구양식분야

1. 종묘생산을 위한 기초연구

이 연구에서는 한해성 어종으로 안정적인 공급이 요구되고 있는 대구의 안정적인 생산을 위해 2009년 1월 17일부터 2009년 2월 18일까지 33일간 초기자어발달, 먹이공급체계와 성장특성 등의 종묘생산에 대한 기초연구를 실시하였다. 2009년 1월 17일 입식된 대구 수정란은 운송 중 부화한 개체가 발생하였으며, 수정란과 미수정란의 비율은 약 8:2로 비교적 수정률(부화율)이 높았다. 수정란의 난경은 약 1.1 mm이었고, 부화 직후 자어의 크기는 전장 약 4.1~4.3 mm로 입과 항문은 아직 열려 있지 않은 상태였으며, 난황을 가지고 있는 모습이 관찰되었다. 부화시작 후 3일째에는 거의 대부분의 수정란이 부화를 하였으며, 먼저 부화한 개체들이 먹이를 먹을 수 있도록 사육수조에 해산클로렐라로 12시간 영양강화된 로티퍼 약 5,000만 개체(5 개체/사육수 ml)를 공급하였다. 먹이는 부화 후 3일째부터 먹이를 먹기 시작한 부화 5일째까지는 로티퍼를 소량 공급하였고, 로티퍼를 섭취하기 시작한 6일령부터는 1회에 약 1억 개체의 로티퍼를 일간 5회 공급하였다.

자어의 형태는 부화 4일째에 개구되었고 부화 5일부터는 로티퍼를 섭취한 개체들을 확인할 수 있었다. 이 시기부터 등부위에서 흑색소포도 점점 발달하여 범위가 확대되었다. 부화 11일 후에는 전장이 약 5.1~5.6 mm에 도달하였고, 두부가 발달한 모습을 관찰할 수 있었다. 부화 22일 후에는 전장 약 7.0~7.4 mm에 도달하였으며, 체표면의 흑색소포도 많이 증가하여 성어와 비슷한 체형과 체색을 나타내었다. 부화 30일후부터는 로티퍼와 함께 배합사료를 공급하였다. 부화 33일 후 전장은 약 7.6~7.9 mm로 성장하였고 이기간 동안 대구자어의 일간 전장 성장률은 약 1.84%/day이었다.

2. 대구치어의 생리적 특성

가. 대구의 산소 소비율

대구 치어의 수온과 광주기에 따른 대사율을 조사하기 위해 산소 소비율을 조사하였다. 절식한 대구 치어(평균 무게 79.9 ± 2.0 g)를 대상으로 네 가지 수온(7, 10, 13, 16°C)과 세 가지 광주기(24L:0D, 12L:12D, 0L:24D) 조건에서 폐쇄 순환형 호흡 측정 시스템을 이용하여 24시간 동안 5분 간격으로(3반복) 산소 소비율을 측정하였다. 모든 광주기 조건에서 수온 상승에 따라 산소 소비율은 유의적으로 증가하였다 ($P < 0.001$). 수온 7, 10, 13 그리고 16°C에서의 시간당 평균 산소 소비율은 각각 793.7~1108.4, 1145.7~1570.3, 1352.8~1742.5 그리고 1458.2~1818.6 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹로 나타났다. 모든 수온 조건(7°C 제외)에서 연속 명기(24L:0D) 조건이 가장 높은 산소 소비율을 보였으며, 다음으로 12L:12D와 0L:24D 순이었으며($P < 0.001$), 12L:12D 조건의 명기에서의 산소 소비율은 같은 조건의 암기 때보다 유의하게 높은 산소 소비율을 보였다 ($P < 0.001$). Q_{10} 값은 7~10, 10~13 그리고 13~16°C 범위에서 각각 3.19~5.13, 1.41~1.70 그리고 1.15~1.35이었다. 이상의 결과에서 수온과 광주기 그리고 두 인자의 상호작용 모두가 대구 치어의 산소 소비율에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 본 연구 결과는 대구 치어 사육을 위한 시스템 내 용존산소 요구량을 추정하고 관리 방안을 구축하는데 필요한 정보를 제공한다.

나. 대구의 암모니아 배설

대구 치어(평균 36.5 g, 총 27마리)의 수온(9, 11 그리고 13°C)에 따른 절식 (fasting)과 사료 섭취에 따른 내인성 (endogenous) 및 식후 (post-prandial) 총 암모니아성 질소 (total ammonia nitrogen, TAN) 배설률의 일간 패턴과 배설률을 조사하였다. 실험어는 10일 이상 실험 수온에서 순치한 후 암모니아 배설 측정 시스템 내에서 24시간 동안 3반복 측정하였다. 내인성 TAN 배설은 72시간 절식 후 측정하였고, 식후 TAN 배설은 상품 사료(단백질 함량 40.6%)를 하루에 두 번(08:00, 16:00 h), 7일간 공급한 뒤 측정하였다. 사육수조 유입수와 배출수를 2시간 간격으로 24시간 동안 채수하여 TAN을 분석하였고, 모든 실험은 3반복으로 실시하였다. 내인성 및 식후 TAN 배설 모두 수온 상승에 따라 증가하였다

($P < 0.05$). 내인성 시간당 평균 TAN 배설률은 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 9.3, 11.0 그리고 11.9 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 11°C와 13°C가 9°C에 비해 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 경우 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 23.0, 31.6 그리고 45.4 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹으로 나타났다. 최대 평균 TAN 배설률은 최초 사료 공급 10시간 후 나타났으며, 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 38.0, 52.9 그리고 77.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었다. 수온 9, 11 그리고 13°C에서 섭취한 질소에 대한 TAN 배설 비율은 각각 43.9, 46.4 그리고 48.4%로 나타나 11°C와 13°C가 9°C에 비해 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 이상의 결과에서 수온은 대구 치어의 질소 대사에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3. 자연산 대구종묘의 사육

가. 크릴새우를 이용한 자연산 대구의 먹이붙임

이 연구에서는 자연산 대구를 인공적인 환경에서 안정적인 사육기술개발을 위해 연중 10°C 이하로 유지가 가능한 해양심층수를 이용하여 자연의 주 먹이인 크릴새우를 대상으로 육상 수조에서 먹이붙임 실험을 실시하였고, 실험용 사료를 자체 제조하여 대구 중간종묘의 성장 및 기호성을 조사하였다. 2009년 1월 16일 1차(1월 중간종묘)로 총 49.8 kg (877마리)의 대구 종묘를 수용하여 123일간 135 kg의 크릴새우를 공급하였고, 62.7 kg (406마리)로 성장하였다. 이때의 생존율은 46%로 나타났다. 반면, 3월 4일 2차(3월 중간종묘)로 반입한 대구 종묘는 총 71.5 kg (1,124마리)으로 76일간 87 kg의 크릴새우를 공급하였으나 52.5 kg (684마리)으로 감소하였다. 1월 중간종묘는 입식시 평균 전장 18.43±1.29 cm, 평균 체장 15.25±1.12 cm, 평균 체중 56.81±13.51 g이었으며, 47일 후엔 각각 21.62±1.23 cm, 17.77±1.02 cm, 95.95±20.85 g으로 성장하였다. 이후 130일에는 각각 26.26±2.88 cm, 21.47±2.37 cm, 154.35±57.59 g으로 성장하였고, 전 기간 일간성장률은 0.81%/day를 기록하였다. 반면, 3월 중간종묘는 입식시 평균 전장 19.50±1.11 cm, 평균 체장 16.00±0.95 cm, 평균 체중 63.60±12.58 g에서, 74일 후엔 각각 21.70±1.45 cm, 17.58±1.14 cm, 76.81±20.54 g으로 성장하였고, 이때의 일일성장률은 0.25%/day를 기록하였다. 위의 조사에서 정치망에서 어획된 대구 종묘를 초기 사료 순치를 위하여 크릴새우와 배합사료를 같이 공급한 예비실험에서 크릴새우에는 먹이반응이 빨랐으나 반면, 배합사료는 상대적으로 먹이에 대한 반응을 하지 않아 따라서 자연산 대구 종묘를 인공 사육하기 위해서는 초기부터 무리하게 배합사료를 공급하는 것보다는 크릴새우로 먹이와 환경에 대한 적응성을 길러준 후 서서히 배합사료를 비율을 늘려 순치시키는 것이 효율적이라고 판단된다.

나. 사료종류에 따른 성장률

이 연구에서는 1월 16일에 수집하여 크릴새우로 먹이불임이 끝난 대구 종묘를 4개의 원형수조(각각 2m³)에 나누어 30일간 성장 실험을 실시하였다. 실험사료는 시판중인 EP 배합사료에 각각 수분과 크릴 농축액을 혼합한 EP-1 (배합사료 85%, 수분 15%)과 EP-2 (배합사료 85%, 크릴농축액 15%)와 냉동 고등어가 중심이 된 MP-3 (냉동고등어 65%, 분말사료 35%)와 고등어와 크릴농축액을 혼합한 MP-4 (냉동고등어 50%, 분말사료 35%, 크릴농축액 15%)의 총 4종류로 제조되었다. 실험 시작시 각 실험구의 대구는 평균체중이 143~147 g 범위였으며, 30일 후의 종료시에는 152~159 g 수준으로 성장하였다. 실험구별 생존률을 보면 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 각각 99.1, 96.1, 98.0, 96.0 %로 높게 나타났다. 사육 기간 중의 사료효율은 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 각각 12.80%, 12.37%, 26.27%, 40.38%로 EP사료를 먹인 실험구보다 MP사료를 먹인 실험구에서 상당히 높은 사료효율을 보였다. 실험구별 일일성장률은 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 0.17%, 0.16%, 0.23%, 0.34%로 나타났다. 실험구별 일일사료공급률은 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 1.34%, 1.33%, 0.88%, 0.83%로 나타나 건중량 기준으로 MP실험사료에 비해 EP실험사료의 공급률이 높게 나타났다. 이상의 결과와 같이 30일간 MP실험사료(수분함량 약 45~49%)를 공급하여 사육한 대구 중간 종묘는 EP실험사료에 비하여 사료효율은 2배이상, 일일성장률은 1.3~2배로 높았으며, 일일사료공급률은 EP실험사료가 MP실험사료보다 1.5배 정도 높았다. 이러한 결과는 인공배합사료(EP)의 제조 과정에서 고온, 고압으로 사료원료를 가공하는 extruding process 공정을 거쳐 사료에 포함된 단백질 성분이 크게 변형되어 소화가 용이하지 못했던 것으로 판단할 수 있다. 나아가 대구는 한해성어 종이며, 그 결과 본 사육실험도 5~6°C의 저수온에서 실험을 수행하여 대구의 단백질 분해효소 활성이 매우 낮아 소화율이 불량하였을 것으로 추정하였다. 따라서 향후 대구 양식에서 사료 단백질의 소화도와 이용성을 판단하기 위한 연구와 아울러 적정 사육수온에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 대구의 적정사육밀도와 먹이공급

이 연구에서는 대구의 안정적인 사육환경 조성을 위해 90 g과 170 g의 대구의 사육밀도에 따른 성장, 그리고 주 3회 공급구와 주5회 공급구의 성장비교를 통해 적정사육밀도와 먹이공급을 위한 기초연구를 수행하였다.

가. 체중 90g의 대구치어의 적정사육밀도

이 연구에서는 2008년 4월 28일부터 6월 9일까지 6주간 120 L규모의 사각수조에서 사육밀도 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³로 설정하여 크릴새우를 공급하면서 성장을 조사하였다. 전장의 성장은 실험시작 2주후 저밀도 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³에서

빠르고 고밀도 실험군 13.4 kg/m³, 18.2 kg/m³에서 성장이 느렸다. 이후에도 같은 경향이 관찰되어 실험종료시 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³에서 평균전장은 각각 25.4±1.3, 24.3±1.0, 24.2±1.3 그리고 22.5±1.6 cm로 성장하여 저밀도 실험군에서 성장이 빨랐다. 체중의 성장은 실험시작시 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³에서 100.4±11.4, 101.8±14.6, 95.6±10.1 그리고 96.4±11.7 g 이었으며 실험종료시에는 각각 109.5±13.8, 104.7±14.1, 98.1±13.0 그리고 95.1±9.4 g으로 성장하여 실험구간의 성장은 수용밀도가 낮을수록 성장이 높게 나타났다. 총증중량은 실험종료시에 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³ 그리고 13.4 kg/m³에서 각각 76.0, 40.6, 47.5g이었고 18.2 kg/m³에서는 정상적인 성장을 하지 못했다. 생존율은 각각 80.0, 70.0, 63.3 그리고 42.5%로 고밀도 실험구에서 낮게 나타났다. 사료계수는 수용밀도가 낮을수록 높게 나타나고 저밀도 실험구 4.2 kg/m³에서 3.05로 사료 효율성이 가장 높게 나타났다. 그러나 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³에서는 밀도에 따른 경향을 관찰할 수 없었다. 일간성장률은 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³ 그리고 13.4 kg/m³에서 각각 0.08, 0.02 그리고 0.03%로 저밀도 실험구 4.2 kg/m³에서 가장 높게 나타났다. 일간섭식률은 각각 0.53, 0.41 0.26 그리고 0.16%로 수용밀도가 낮을수록 높았고. 비만도는 사육밀도가 높을수록 높게 나타났으나 이는 저밀도 실험구에서 체장의 성장에 따른 적정 체중의 성장이 이루어지지 않은 결과로 판단된다.

나. 체중 170 g의 대구치어의 적정사육밀도

이 연구에서는 2009년 10월 22일부터 2010년 2월 19일 까지 총 16주동안 원형 FRP 수조(0.5 톤)에서 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³로 설정하여 인공배합사료를 공급하면서 성장조사 하였다. 실험시작시 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³의 실험어가 각각 26.7±2.4, 27.0±1.6 그리고 27.6±2.0 cm에서 실험종료시 30.9±2.3, 31.2±2.0 그리고 32.0±2.64 cm로 성장하였고, 체중은 153.6±44.1, 167.0±32.0 그리고 182.9±47.5 g에서 각각 257.3±60.0, 273.8±61.6 그리고 302.7±80.6 g으로 성장하였으나 전장과 체중에서 모두 실험구간의 유의 차이는 없었다 (P>0.05). 총 증중량은 (total weight gain, g/tank)은 실험종료시 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³에서 각각 739.7, 1,399.9 그리고 4,399.7 g으로 최초체중의 각각 17.8, 17.1 그리고 35.4% 증가하였고, 사육밀도는 각각 4.8, 9.3, 16.6 kg/m³으로 증가하였다. 생존률은 각각 70.3, 73.6 그리고 81.7%로 고밀도 실험구에서 높았으나 통계적 유의 차이가 없었다 (P>0.05). 일간성장률에서도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³에서 각각 4.10, 4.15 그리고 4.25%로 사육밀도가 높을수록 성장률이 높았지만 통계적 유의 차이는 관찰되지 않았다 (P>0.05). 일간섭식률은 각각 2.78, 1.36 그리고 0.90%로 저밀도 실험구에서 높게 나타났고, 사료효율은 31.6, 33.5 그리고 57.8%로 고밀도 실험구에서 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다 (P>0.05). 비만도는 사료효율이 증가함에 따

라 높은 경향으로 최고밀도 실험구 12 kg/m³에서 0.91로 4 kg/m³의 0.86과 8 kg/m³의 0.89에 비하여 높게 나타났다 (P<0.05). 이상의 결과에서 사육밀도 12 kg/m³이에서 저밀도 실험구에 비해 성장의 차이가 없이 생산성이 높았던 것에 비추어 적정사육밀도는 12 kg/m³ 이상의 사육밀도로 판단된다. 그러나 예비실험에서 사육밀도 15 kg/m³에서 공식이 심하게 관찰되었던 것을 고려하면 15 kg/m³이상의 밀도에서는 사육이 어려운 것으로 판단된다.

다. 대구 치어의 적정 먹이공급횟수

이 연구에서는 2009년 12월 18일부터 2010년 2월 19일 까지 총 8주 동안 원형 FRP 수조(0.5 톤)에서 주 3회와 주 5회 공급구로 나누어 성장조사 하였다. 실험어는 실험 시작시 주 3회와 주 5회 공급구에서 실험어의 전장이 각각 28.6±2.5와 27.9±2.8 cm에서 실험 종료시에 30.4±2.68 그리고 30.1±2.5 cm로 성장하였고, 체중은 실험 시작시 각각 198.5±64.4, 189.7±72.4 g에서 실험종료시에 247.6±85.2 그리고 246.2±85.1 g으로 성장하였으나 실험구간의 유의차이는 없었다 (P>0.05). 총중증량은 실험종료시에 주 3회와 주 5회 공급구에서 각각 1431.7 그리고 1795.7 g으로 최초체중의 16.9%, 20.8% 증가하였고, 생존율은 유의차 없이 비슷하였다 (P>0.05). 일간성장률은 주 5회 공급구에서 0.47%로 주 3회 공급구의 0.39%에 비해 높게 나타났으나 유의 차이는 없었다 (P>0.05). 일간섭식률에서도 주 5회 공급구에서 1.12%로 주 3회 공급구의 1.08%보다 높았으나 유의차이는 없었고 (P>0.05), 이와는 반대로 사료효율은 주 3회공급구에서 56.4%로 주 5회공급구의 50.0%보다 높게 나타났으나 유의차이는 없었다 (P>0.05). 비만도는 주 5회 공급구에서 0.89로 주 3회 공급구 0.84보다 높았지만 두 시험구간의 차이는 없었다 (P>0.05). 이상의 결과에서 주 3회 공급구과 주 5회 공급구 사이에 성장차이가 없어 양식경영적 측면을 고려하면 주 3회 공급이 효율적인 것으로 판단된다.

5. 외해가두리 적용

가. 외해가두리 현황

국내 외해가두리 설치를 통한 양식사업은 2005년부터 정부 주관으로 수행되고 있으며, 각 지방자치별로 지역과 사업자를 선정하여 시험어업을 진행하고 있다. 이미 제주도와 전라남도, 경상남도에서 진행되고 있으며, 외해가두리 양식을 위한 수산업법조정을 위한 법적 준비도 진행되고 있다. 외해가두리양식은 기존 어업방식과의 조화가 우선적으로 이루어져야 하며, 기술, 인프라 등에 대한 복합적 양식 시스템으로 준비되어야 할 것이다.

나. 외해가두리 선정 및 적용

대구 양식을 위한 외해가두리는 2008년에 구형인 아쿠아포드사 제품으로 선정되었으며, 2009년 4월에 조립되어 설치하였다. 설치 과정에서 충분하지 못한 기술이전으로 어려움을

겪었다. 수심 24 m에 설치를 완료한 후 설치과정에서 발생한 문제점을 보완한 후에 2009년 10월 방어를 시험 입식하였다. 방어양식은 순조롭게 진행되다가 2010년 1월 급격한 수온감소로 인하여 전량 폐사하였으며, 상당부분의 가두리 판넬이 훼손되었다. 이러한 원인으로 2010년 5월에 입식을 준비하였던 대구 종묘 입식이 불가능해졌으며, 따라서 외해가두리를 활용한 대구 양식의 진행이 불가능하였다.

6. 외해 대구양식 경제성 분석

이 연구에서는 비할인율법(회수기간법, 평균회계수익률법)과 할인율법(순현재가치법, 내부수익률법, 편익-비용비율법, 수익성지수법)을 이용하여 외해가두리 가두리에서 대구를 사육관리 후 판매하는 3가지 시나리오 (A, 170 g 내외의 치어를 입식 후 약 8개월 후 판매; B, 170 g 입식하여 1.5 kg 까지 관리 후 판매; C, 170 g내외의 치어를 600 g까지 관리 후 1차판매, 1 kg 내외에서 2차 출하, 1.5 kg내외에서 3차 출하)에 대하여 분석하였고 이때 입식하는 치어구입은 2가지 시나리오 (1, 사업기간동안 매번 치어입식을 자연산 치어를 구입하는 경우; 2, 초기 입식시 자연산 치어를 입식하고, 인공적으로 종묘를 생산하는 경우)로 교차 분석하였다. 시나리오 A-1의 경우 순현재가 (NPV)가 -15,092.73으로 0보다 작으며, 비용편익비 (B/C-ratio)는 0.442로 분석되어 1보다 매우 작아 경제성이 없는 것으로 파악되었다. 시나리오 B-1의 경우 NPV가 -1,013.03으로 0보다 작으며, B/C-ratio는 0.901로 분석되어 1보다 작아 경제성이 없었다. C-1의 경우 NPV가 -4,661.19로 0보다 작게 나타났고, B/C-ratio역시 0.767로 1보다 작아 경제성이 없었다. A-2의 경우 NPV가 -6,721.74로 0보다 작게 나타나 경제성이 없는 것으로 파악되었고, B/C-ratio도 0.640으로 1보다 작아 경제성이 없었다. B-2의 경우 NPV가 -69.08로 0보다 작았고, B/C-ratio도 0.99로 1보다 작아 경제성이 없었다. C-2의 경우 NPV가 -1,877.75로 0보다 작게 나타나 경제성이 없는 것으로 파악되었고, B/C-ratio에서도 0.89로 1보다 작아 경제성이 없었다. 이상의 결과와 같이 모든 시나리오에서 경제성 타당성이 없는 것으로 나타났으며, 대구 외해가두리 양식을 실시할 경우 사회적 손실을 가져 오는 것으로 분석되었다.

제 2 절 참치양식분야

1. 외해수중가두리에서의 양식 타당성 검토

참치류 중 태평양 참다랑어가 국내 연안을 회유함으로서 종묘 확보가 가능하고, 성장이 빠르고 가격이 높아 적절한 외해양식 대상종으로 평가된다. 하지만, 참다랑어는 성장이 빠르고 유영력이 강해 대규모 사육시설이 필요하며, 조류나 해류의 유통이 원활하고, 적조의 피해가 없는 곳이 양식적지로 적합하다. 따라서 참다랑어의 생리·생태학적 특징을 고려한 양식적지 선정이 매우 중요하며 수중가두리를 이용한 양식도 가능할 것으로 판단된다.

2. 적지 선정 및 양식시험지 환경분석

제주의 표선, 한림 해역이 해양환경 및 기타 양식 환경에서 취약성과 위험성이 적어 양식적지로 평가되었다. 제주(표선, 한림)지역은 겨울철 최저수온이 14℃이상으로 타지역보다 수온조건이 유리하며, 높은 투명도, 낮은 부유물질, 풍부한 용존산소가 참다랑어 양식에 적합한 지역으로 평가되었다. 통영 육지도, 거제 구조라 해역은 적조에 대한 취약성, 포항 구룡포는 청수대 발생에 대한 위험성, 여수 거문도 해역은 접근성이 떨어지는 것으로 나타났다.

3. 참치용 실용화 외해가두리 선정 검토

참치용 외해가두리는 시설물 및 사육생물 안전성이 우선되어야 하며, 참치는 성장이 빠르고 유영반경이 커서 대형의 원형가두리가 유리할 것으로 판단된다. 또 이외에 기타 사육관리적인 특성을 고려하여 가두리를 선택해야 할 것으로 판단된다.

4. 양식용 참치종묘 확보 방안 마련

끝낚시(Trolling) ⇒ 선망 ⇒ 수입 순으로 단계별 참치 확보 방안을 검토하였다. 끝낚시와 선망, 종묘 수입 등 3가지 방법 모두 가능하나, 끝낚시가 저렴한 예산으로 가능하며, 성공가능성이 매우 높고 새로운 어민들의 소득증대 사업으로서도 가치가 높은 효과적인 방법으로 평가되었다.

5. 양식용 참치종묘 확보

제주연안에서 끝낚시를 이용하여 당년생(0-year) 참다랑어 833마리를 어획하여, 371마리를 외해가두리에 수용하였다. 따라서 끝낚시 방법으로 양식을 위한 종묘의 대량 확보가 가능할 것으로 판단되었다. 일본에서의 종묘도입은 기술적인 문제는 없으나 외교적 마찰, 참다랑어의 국제적인 자원확보를 위한 경쟁 심화에 따른 반출 제한 등을 근본적으로 해결할 수 있는 지속적인 교류협력 추진이 필요하다.

6. 참치 외해가두리 사육기술개발

외해 수중가두리에 09년 어획한 참치 종묘를 수용하고 생사료를 공급하여 사육하였으며, 6월 말 현재 91%의 높은 생존율을 나타내었다. 음향카메라 (Dual-Frequency Identification SONar)와 스테레오카메라 (Stereo Camera)를 이용한 성장조사를 실시하여, 직접적인 어체 접촉없이 스트레스를 가하지 않고 효과적인 성장조사가 가능하였다. 또한 음향카메라를 이용하여 참다랑어가 가두리내에서 야간에는 유영반경이 작고 저층에서 유영하며, 주간에는 유영반경이 크고 표층에서 주로 유영하는 특성을 확인하였다. 참다랑어는 어린시기(3 kg)에 성어와 유사할 정도의 빠른 지방 축적이 이루어지나, 수은 축적은

어체중 증가에 따라 천천히 이루어지는 것으로 조사되었다. 참다랑어의 유전자를 분석하여 계통유전학적 유연관계를 밝히고, 성장호르몬 (Growth hormone) 유전자 분석을 통해 유전자 자원의 산업화 기반을 마련하였다.

7. 참치 양식장 어장 환경 분석

해류의 영향을 받는 개방형 외해양식어장은 육지의 오염물질 영향을 거의 받지 않을 뿐만 아니라 오염물질의 확산과 분해가 빠르게 진행되어 친환경적인 것으로 판단된다. 반면 내만가두리는 육수의 영향을 받을 뿐만 아니라 오염물질이 확산 및 희석되지 못하고, 배설물 및 사료 찌꺼기가 그대로 양식어장 주변에 퇴적되어 퇴적물의 오염에도 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

8. 외해 참치양식 경제성 분석

참다랑어 외해양식은 일반관리비, 초기 투자비용이 다소 높지만 높은 생존율로 국내에서도 경쟁력이 있는 것으로 평가된다. 종묘비의 절감을 위해서는 종묘의 국산화가 필요하며, 안정적인 종묘공급을 위해서는 완전양식이 시급하다. 외해양식은 내만 가두리양식보다 생존율의 증가에 따른 안정적인 생산과 리스크를 줄일 수 있는 장점이 있으며, 적조, 태풍, 저수온 등의 자연재해에 대비가 가능해 경쟁력이 높은 것으로 판단된다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

- 대구종묘생산기술 : 대구자어의 최적성장과 생존률을 유도할 수 있는 먹이 및 사육환경조건을 검색하였고 안정적인 종묘생산을 위한 기초자료로 활용할 계획임.
- 자연산 대구종묘의 순치사육기술 : 자연산 대구의 순치사육 기간 동안 먹이습성, 사료선택성이 조사되어 향후 자연산 대구의 안정적인 순치사육기술에 있어서 적정성장과 생존률을 고려한 사육관리기술 확립에 기초자료로 활용할 계획임.
- 대구사육관리기술 : 대구의 사육에서 생식한계 수온인 14℃ 이하로 유지해야 하는 점은 우리나라의 환경조건에서 불가능한 점이었으나 이 연구에서 해양심층수를 이용한 사육관리방법이 마련되었고, 향후 대구의 안정적인 사육관리기술 확립에 기초자료로 활용할 계획임.

- 대구치어의 생리적 특성조사 : 대구치어의 생리적 특성을 조사하였고, 이결과는 논문으로 출판하여 향후 대구 치어의 안정적 사육환경 조성을 위한 기초자료로 제공할 계획임.
- 대구의 적정사육밀도와 먹이공급횟수 : 대구의 적정성장과 생존률을 고려한 적정사육 밀도와 먹이공급횟수의 기준마련에 대한 기초조사가 수행되었고, 이 결과는 논문으로 출판하고, 향후 합리적 사육환경 조성을 위한 기초자료로 활용할 계획임.
- 경제성 평가 자료를 이용하여 양식경영적 측면에서 외해가두리를 적용한 대구양식의 수익창출을 위한 자료로 활용할 계획임.
- 참치양식 적지조사 결과 : 국정과제 참치 외해시범양식의 적지선정의 기초 자료로 활용할 계획임.
- 종묘채포기술 : 어민들 새로운 소득창출 산업으로 육성하고, 관련 어구 및 수조 등도 국산화 작업 및 개발을 유도할 계획임
- 외해가두리 사육관리기술 : 국외와 차별화된 양식기술 개발로 2010년부터 시작되는 참치외해양식 업자를 대상으로 기술보급 및 지도할 계획임.
- 참다랑어 행동특성 연구 결과를 토대로 양식시설의 설계에 적용하고, 지질, 수온 축적 특성 결과는 사료공급 및 사육관리기술에 적용하고 배합사료개발의 기초 자료로 활용할 계획임.
- 환경평가를 통해 외해양식어장이 매만보다 친환경적인 것이 밝혀져 내만 가두리의 외해 이동을 위한 정책 자료로 적극 활용할 계획임.
- 경제성 평가 자료를 이용하여 추후 참다랑어 양식산업의 경영합리화 및 수익증대를 위한 자료로 적극 활용할 계획임.

SUMMARY

I . Title

Developments of the aquaculture techniques for Pacific Cod and Blue Fin Tuna applying to offshore submerged cage system

II . Necessity and Objective of Research

Recently, environmental pollution on the Bay that located in coastal waters of Korea are increasing due to the concentration of fish farming systems and equipment such as fish farming cages, the expansion of intensive fish culture industry in limited space and the inflow of the city waste water. For this reason, there have been eutrophication and increase the occurrence of fish disease, and also aquaculture productivity is decreasing on the environment around fish farming. Therefore, it has need to suggest the alternative way, which can be innovate on the present condition.

The purpose of this research is to developments of aquaculture techniques for pacific cod and bluefin tuna applying to offshore submerged cage system for increase the aquaculture productivity. Furthermore, it is conducted to create the new technique in aquaculture industry from obtain the aquaculture technique for fish species of high commercial value and led to increase the efficiency in management of aquaculture system by development of new farming system.

III . Contents and Extent of Research

This research was conducted to develop aquaculture techniques for pacific cod and bluefin tuna applying to offshore submerged cage system. The study was consisted to pacific cod culture techniques, prepare the obtain methods of bluefin tuna seed, economical analysis of culture by applying to offshore submerged cage system in pacific cod and bluefin tuna. The scope of the study are as followed.

Section 1. Pacific cod culture

- Seed production

- Physiological characteristics of juvenile
- Rearing the juvenile from wild
- Optimal stocking density and feeding frequency
- Economical analysis of cod culture using by offshore cage system

Section 2. Bluefin tuna culture

- Optimal site selection and environment assessment
- Supply channels of seeds (juveniles) used for tuna aquaculture
- Development of rearing technology for offshore cage culture
- Environmental assessment of offshore cage
- Economical assessment of offshore cage

IV. Research Results

Section 1. Pacific cod culture

1. Basic study in seed production

This report carried out the artificial seed production from January 17 to February 18, 2009. Fertilization rate was reached about 80%, the size of fertilized eggs were about 1.1 mm, the range of total length in the newly hatched larvae were 4.1~4.3 mm, which were not opened mouth and have the yolk. The hatching was occurred during the 3 days. We have fed the rotifer with 5 individuals/ml for larvae, also formed the green water by chlorella. Larvae were opened mouth on 4 days after hatching. And we could observed larvae with fed rotifer. The amount of larvae were dead from 10 days after hatching, total length of larvae were reached 5.1~5.6 mm on 11 days, 7.0~7.4 mm on 22 days after hatching. We have fed the mixed rotifer and artificial feed on 30 days after hatching. Larvae were grew to 7.6~7.9 mm in total length on 33 days after hatching, daily grow rate were 1.84 %.

2. Physiological characteristic in juvenile

A. Oxygen consumption rate

A study was conducted to investigate the effect of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption of the fasted juvenile Pacific cod, *Gadus macrocephalus* (mean body

weight 79.9 ± 2.0 g) in order to quantify metabolic response of this species at given conditions. The oxygen consumption rate (OCR) of *G. macrocephalus* was measured under the combination of four different water temperatures (7, 10, 13 and 16°C) and three different photoperiods (24L:0D, 12L:12D and 0L:24D) with an interval of 5 minutes for 24 hours using a closed recirculating respirometer. In each treatment three replicates were set up. The OCRs increased with increase in water temperature under all photoperiod conditions ($P < 0.001$). Mean OCRs at 7, 10, 13 and 16°C ranged $793.7 \sim 1108.4$, $1145.7 \sim 1570.3$, $1352.8 \sim 1742.5$ and $1458.2 \sim 1818.6$ $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectively. Mean OCRs of *G. macrocephalus* were the highest in continuous light (24L:0D) followed 12L:12D and 0L:24D photoperiod under all water temperature conditions except 7°C ($P < 0.001$). Mean OCRs of fish exposed to the 12L:12D photoperiod was significantly higher during the light phase than during the dark phase under all temperature conditions ($P < 0.001$). Q_{10} values ranged $3.19 \sim 5.13$ between 7 and 10°C , $1.41 \sim 1.70$ between 10 and 13°C and $1.15 \sim 1.35$ between 13 and 16°C , respectively. Based on overall results, water temperature, photoperiod and their combinations exert a significant influence on the metabolic rate of juvenile cod. This study provides empirical data for estimating the amount of oxygen demand and managing the culture of cod under the given water temperatures and photoperiod.

B. Total ammonia nitrogen excretion rate

A study was carried out to examine the effect of water temperature on daily pattern and rate of total ammonia nitrogen (TAN) excretion in juvenile Pacific cod *Gadus macrocephalus* (mean body weigh: 36.5 ± 0.3 g) under fasting and feeding conditions. Fish were acclimated over 10 days under three different water temperatures (9, 11 and 13°C). After 72 hours of fasting, endogenous TAN excretion was measured at each temperature. And then, to investigate post-prandial TAN excretion, fish were hand-fed with a commercial diet containing 40.6% crude protein over 7 days, two times daily 08:00 and 16:00 h. Water was sampled for both the inlet and outlet of chamber every 2 h over a 24 h period. Both of endogenous and post-prandial TAN excretion increased with the increase of water temperature ($P < 0.05$). Mean endogenous TAN excretion rates at 9, 11 and 13°C were 9.3, 11.0 and $11.9 \text{ mg TAN kg fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectively. The value of 9°C was lower than those of 11 and 13°C ($P < 0.05$), but there was no significant difference between 11°C and 13°C . Mean post-prandial TAN excretion rates at 9, 11 and 13°C were 23.0, 31.6 and $45.4 \text{ mg TAN kg fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectively. A peak value of post-prandial TAN excretion rate occurred after 2 hours from each feeding, and second value is always higher than first value. Maximum post-prandial TAN excretion rate occurred after 10 hours from the first feeding at 9°C (mean $38.0 \text{ mg TAN kg fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$), 11°C ($52.9 \text{ mg TAN kg fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and 13°C (77.5

mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹), respectively. The TAN loss for ingested nitrogen at 9°C (43.9%) was lower than that of 11°C (46.4%) and 13°C (48.4%). As overall results, water temperature exhibits a significant effect on the nitrogen excretion of juvenile Pacific cod.

3. Rearing the juveniles from wild

This research investigated that the growth of cod juvenile from wild reared by fed krill and growth of cod juvenile with the different feed types in Deep Seawater Center, Goseong, Gangwon. In the first experiment, the size of experiment fishes with collected on January 2009 were 18.4±1.2 cm in mean total length (MTL) (56.8±13.5 g in mean body weight (MDW)). Its were grow 21.6±1.2 cm in MTL, 95.9±20.8 g in MDW after 47 days, 26.6±2.8 cm in MTL, 154.3±57.5 g in MDW after 130 days. Daily growth rate was 0.81%/day during the 130 days. On March 2009, juveniles (initial total length, 19.5±1.1 cm; initial body weight, 63.6±12.5 g) were grow 21.7±1.45 cm in MTL and 76.8±20.5 g in MBW after 74 days, respectively. Daily growth rate was 0.25%/days during the 74 days. In the second experiment, there was investigated the grow of cod juvenile by fed the different diet with EP-1 (be made by extruded pellet 85% and moisture 15 %), EP-2 (extruded pellet 85%, krill concentrate 15%), MP-1 (frozen mackerel 65%, powder pellet 35%) and MP-1 (frozen mackerel 50%, powder pellet 35%, and krill concentrate 15%), respectively. Cod juvenile were grow from 143~147 g in rang of initial body weight to 152~159 g in final body weight. Survival were 99.1, 96.1, 98.0 and 96.0% in EP-1, EP-2, MP-1 and MP-2. feed efficiency were higher 26.7, 40.3% in MP-1, MP-2 than 12.8, 12.3% in EP-1, EP-2. Feed intake were highest 7,035 g in EP-1 and lowest 3,803 g in MP-2, total weight gains were 900.5 g, 747.0 g in EP-1, EP-2 and 1,062.5 g, 1,536 g in MP-1, MP-2. Daily growth rate were high 0.23, 0.34 % in MP-1, MP-2 and low 0.17, 0.16% in EP-1, EP-2. Daily feed intake were high 1.34, 1.33% in EP-1, EP-2 and low 0.88, 0.83% in MP-1, MP-2.

4. Optimal stocking density and feeding frequency

Growth patterns of Pacific cod with 178.9 g in mean weight on the stocking densities (4, 8 and 12 kg m³) and feeding frequency (3 and 5 times in a week) were investigated from October 2009 to February 2010. Total weight gain increased from 17.8% in stocked at 4 kg/m³ to 35.9% in stocked at 12 kg/m³. Specific growth rates, survival rates and feed efficiency increased as density increase, but there were not significantly different. Daily feed intake decreased as stocking density increased, whereas condition factors increased as stocking density increased (P<0.05). Growth rates of Pacific cod with fed to satiation increased as

feeding frequency increased, but were not significantly different ($P>0.05$). Survival rates, daily feed intake, feed efficiency and condition factors of pacific cod were not significantly different ($P>0.05$). Based upon these results, it is recommended that the optimum stocking density at juvenile stage in cod is hold above 12 kg/m^3 , feeding frequency is three times a week

5. Application to offshore submergible cage on cod culture

A. Status of offshore cage in Korea

Fish culture applying to offshore cage have carried by government funding from 2005 in Korea. Firstly, they candidated to the owner for pilot business per each regional government, also invested to the funds. Already Jeju province, Kyungsangnam-do and Jeonranam-do tried to that since 2006, in addition, the legal base for offshore culture on the fishery law administrated by project. The offshore culture have to be combined with currents of fisheries condition, preferentially, and special skills, infra-structure of these system will be prepared before it trying to that.

B. Application and fixation of offshore cage

Offshore cage for cod culture were fixed the ball type cage produced by Aqua-pod in 2008, and about six month later, assembled and installed in Yangyang province in Gangwon-do. Nevertheless, had suffered to the assemble it by language problem and so on, it finished the fixation about 24m depth. After supplementary measures of air tanker, put into the fin fish for pilot survey. But in Jan. 2010, by water temperature drop abruptly, all of fin fish died and founded out that some of the steel sheet also tear off that the plan which put juvenile cod into the cage were canceled. It was impossible to processing the cod culture applying to offshore cage in coldwater area.

6. Economical Analysis

This study was carried out the economical analysis of pacific cod culture applying to offshore submerged cage system according to 3 scenario in shipment (A, shipping the cod with reared 170 g fish in mean wight for 8 months; B, shipping the cod with reared 170 g fish to 1.5 kg fish; C, first shipping: about the cod with reared 170g to 600g; Second shipping: about the cod with reared to 1 kg; third shipping: about the cod with reared to 1.5 kg) and 2 scenario in seed obtain (1, often purchase the seed during the business period; 2, only one purchase the seed on initial time in culture, for the rest, obtain the seed by seed production). In case of scenario A-1, net present value (NPV) was -15,092.73, benefit-cost

ratio (B/C-ratio) was 0.422. On B-1, NPV was -1,013.03, B/C-ratio was 0.901, and -4,661.19 in NPV and 0.767 in B/C-ratio on C-1. And its were -6,721,74 (NPV), 0.640 (B/C-ratio) on A-2, -69.08 (NPV), 0.99 (B/C-ratio) on B-2, -1,877.75 (NPV), 0.89 (B/C-ratio) on C-2, respectively. This results recommended that the business of cod culture applying to offshore cage system is no economically viable from NPV were smaller than "1" and B/C-ratio were smaller than "0" in all scenario.

Section 2. Bluefin tuna culture

1. Feasibility of Offshore Cage Culture

Pacific bluefin tuna is evaluated as the optimal tuna species of offshore cage culture as it is priced high, grows fast and migrates to the Korean coastal waters, making it easy to obtain juveniles needed for farming. Its fast growth and dynamic swimming pattern requires a large-scaled farming system. Also to be the optimal farming site, it should have well flowing of tide and currents and be free of red-tide. It can be concluded that offshore cage culture is practicable for tuna if the site is optimally selected based on tuna's biological and ecological traits.

2. Optimal Site Selection and Environment Assessment

The waters of Pyosun and Hanrim, Jeju was selected as the optimal farming site as it was assessed to have more favorable farming conditions like warm water temperature of 14°C in winter, high transparency, less suspended solid and high DO. As for other candidate sites, Yokji-island of Tongyoung and Gujora of Geoje were assessed to be vulnerable to redtide, Guryongpo of Pohang city vulnerable to hypoxic water mass and Geomoon-island of Yeosu to be less accessible.

3. Selection of Offshore Cage

Safety of facility and reared tuna comes first to consider the location of offshore cage. Considering that tuna swim in a large radiation, round cage is the most appropriate. Rearing conditions should be also taken into account to decide the cage.

4. Supply Channels of Seeds (Juveniles) Used for Tuna Aquaculture

We reviewed on the supply channel of juveniles needed for farming. Juveniles can be obtained through trolling, purse seine and import, though trolling is the most preferred as it

costs less while offers a very high change for success. As such, trolling was evaluated as the most effective channel of seed supply with a potential to boost the income of fishing community.

5. Capturing Juveniles for Tuna Aquaculture

We captured 833 juveniles aged less than 1 year through trolling and 371 among which were contained in the offshore cage. It was judged that securing a large amount of young tuna is practicable. As for the seed import from Japan, it is technologically possible but with diplomatic issues and a possible ban on the trade due to the more intense competition for the tuna stock. Those issues are needed to be resolved through the long-term cooperation between the two countries.

6. Development of Rearing Technology for Offshore Cage Culture

The tuna juveniles captive in the offshore cage were caught in 2009 and fed by raw fish-based moist pellet. As of June 2010, the survival rate was 91%. The growth investigation was conducted by the dual-frequency identification sonar and stereo camera, which enabled effective growth investigations with no direct contact to the body of fish and no stress on it. The dual-frequency identification sonar also showed that tuna swim in a small radiation and in the bottom depth at night time while swim in a large radiation and in the shallow depth at day time. It was also found that young tuna weighed 3kg accumulated the fat as fast as adults while slowly accumulated the mercury as the weight increased. Genetic analysis on tuna and its growth hormone helped to lay a foundation for genetics resources industry.

7. Environment Assessment of Offshore Cage

The open-type offshore cage is evaluated as eco-friendly as it is not affected by sea currents, being free of land-based pollution and dealing with pollutants in a very fast way. Meanwhile, the coastal cage is not only susceptible to land-based pollution but has less capacity to handle the pollutants, leaving the land-based wastes accumulated around the farming cages.

8. Economic Assessment of Offshore Cage

Though costing high in terms of regular maintenance and early investment, the offshore farming of tuna is evaluated as competitive based on its high survival rate. For cost

reduction, juveniles are needed to be domestically supplied and for stable supply of juveniles, hatchery-reared juvenile culture is urgently needed to be completed. The offshore culture is judged to be more competitive than the coastal culture based on the fact that the former has higher survival rate and less vulnerability to red-tide, typhoon, low water temperature, and other natural abnormalities.

CONTENTS

Summary	xv
Contents	xxiii
Chapter I. Summary of research and development project	1
Chapter II. Present state of domestic and international technical development	4
Section 1. State of domestic technical development	4
Section 2. State of international technical development	11
Chapter III. Research results	14
Section 1. Cod culture	14
1. Seed production	15
2. Physiological characteristics of juvenile	21
3. Rearing the juvenile from wild	38
4. Optimal stocking density and feeding frequency	47
5. Application to offshore submergible cage on cod culture	59
6. Economical analysis of cod culture using by offshore cage system	73
Section 2. Tuna culture	115
1. Feasibility of offshore cage culture	115
2. Optimal site selection and environment assessment	126
3. Selection of offshore cage	141
4. Supply channels of seed used for tuna culture	144
5. Capturing juveniles for tuna culture	151
6. Development of rearing technology for offshore cage culture	165
7. Environmental assessment of offshore cage	198
8. Economical assessment of offshore cage	206
Chapter IV. Research development attainment of objective and contribution to related field ...	217
Chapter V. Application plan of research and development results	220
Chapter VI. Science and technology information of the foreign	221
Chapter VII. References	222

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	4
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	14
제 1 절 대구양식분야	14
1. 종묘생산을 위한 기초연구	15
가. 재료 및 방법	15
나. 결과	17
다. 고찰	20
2. 대구치어의 생리적 특성	21
가. 재료 및 방법	21
나. 결과	26
다. 고찰	34
3. 자연산 대구종묘의 사육	38
가. 재료 및 방법	38
나. 결과	42
다. 고찰	46
4. 대구의 적정사육밀도와 먹이공급량	47
가. 재료 및 방법	47
나. 결과	50
다. 고찰	56
5. 외해가두리 적용	59
가. 외해가두리 현황	59
나. 외해가두리 선정 및 적용	62
6. 경제성 분석	73
가. 대구양식 경제성 검토	73
나. 대구 외해양식 경제성 분석	90

제 2 절 참치양식분야	115
1. 외해수증가두리 타당성 검토	115
가. 분류	115
나. 태평양 참다랑어의 생리·생태적 특성	117
다. 성숙과 산란	117
라. 성장	119
마. 산소소비량	121
바. 염분내성	121
사. 충돌사	122
아. 사료	123
자. 기타 생리적 특성	125
차. 결론	126
2. 적지선정 및 양식시험지 환경영향분석	126
가. 조사지역	126
나. 조사내용 및 항목	127
다. 조사결과	127
라. 종합분석	140
3. 참치용 실용화 외해가두리 선정 검토	141
가. 국외의 외해양식 및 가두리 개발현황	141
나. 외해가두리에서 참치양식성공을 위한 요건	141
다. 세계 각국의 외해양식 추진현황 및 계획	142
라. 세계 각국의 외해가두리 개발현황	143
4. 양식용 참치종묘 확보방안 마련	144
가. 국외어획현황	144
나. 조사방법	145
다. 결과	146
라. 문제점 및 대책	150
마. 종합결론	151
5. 양식용 참치종묘 확보	151
가. 채낚기를 이용한 참치종묘어획시험	151
나. 수입에 의한 참치종묘확보	159
6. 참치 외해가두리 사육관리기술개발	165
가. 참치 종묘의 수송 및 수용	165
나. 외해수증가두리 사육시험	167

다. 성장조사 기법개발	169
라. 가두리내 유영특성	175
마. 어체 영양축적 특성	180
바. 유전학적 특성	184
7. 참치 양식장 어장환경 분석	198
가. 외해가두리 어장환경 평가	198
나. 외해가두리와 내만가두리 어장환경 특성 비교	203
8. 외해 참치양식 경제성 분석	206
가. 현황	206
나. 양식경제성 비교	213
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	217
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	220
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	221
제 7 장 참고문헌	222

제 1 장 연구개발과제의 개요

지난 30년 동안 양식산업은 기술적 발전을 이루면서 육상 단백질 공급시스템의 제한적인 점을 보완시키고, 고단백 식량원을 안정적으로 공급할 수 있는 발판을 제공해 주었다. 과거 잡는 기술에 전적으로 의지하여 어업활동을 통한 단백질 생산체계에서 벗어나 인공종묘생산기술의 개발, 어중에 적합한 사육기술 및 사육시스템의 개발 등의 양식생산성 향상을 거듭하여 안정적인 단백질 생산이 가능해졌다. 이러한 양식기술의 발전에 힘입어 수산자원의 남획, 장단기적인 해양환경변화에 따른 어획량 감소하는 현상에 불구하고, 전 세계 동물성 단백질 공급원 중 수산물이 차지하는 비중은 2000년에 전체의 15%에 이르고 이중 양식생산이 수산물 공급량에 차지하는 비율은 1970년에 3.9%에 이르던 것이 2000년에 이르러서는 27.3%, 그리고 2015년에 이르러서는 50%에 이를 것으로 예상되는 등 빠른 성장하고 있어 미래 인류의 단백질 공급에 중추적인 역할을 할 것으로 전망되고 있다 (FAO, 2010).

전 세계 양식생산량은 중국과 동남아시아의 잉어와 담수어류 그리고 미국과 북유럽의 메기와 연어등이 대부분을 차지하고 있다. 중국의 경우 1999년에 전 세계 어류양식생산량의 약 68.7% 차지하였으며 동남아시아 국가에서는 14.4%, 그리고 미국과 북유럽에서는 약 2.8%를 차지하였다. 그러나 중국의 경우 내륙지방에서 양식장확장에 따른 자연훼손과 생태계 교란, 약품의 무분별한 사용으로 인한 잔류허용기준치의 논란, 그리고 전형적인 노동집약적 형태로 선진국에 비해 기술력이 떨어져 생산면적에 비해 생산성이 낮다는 문제점을 갖고 있다 (표 1과 2, FAO, 2010).

표 1. 세계수산물 양식 생산량 (FAO: Food and Agriculture organization of united nations)

(단위: 천 톤)

국 가	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
중국	10,357	12,967	15,856	17,715	19,316	20,795	22,710
인도	1,427	1,528	1,686	1,783	1,862	2,030	2,035
일본	833	781	820	829	807	767	759
인도네시아	600	602	641	733	663	630	648
방글라데시	238	264	37	379	432	515	620
태국	457	510	560	556	540	608	603
베트남	183	217	452	433	494	522	595
미국	417	391	413	393	438	445	479
노르웨이	164	218	278	322	367	409	466
필리핀	392	388	362	349	330	312	328
계	17,835	20,764	24,493	26,747	28,728		33,310

표 2. 세계수산물 양식의 어종별 생산량

(단위: 천 톤)

어 종	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
잉어	7,505	8,777	10,202	11,739	13,220	14,061	14,902
뱀장어	187	188	188	234	234	226	228
연어·송어	716	814	934	1,075	1,225	1,290	1,392
참치류	0.6	1.3	1.9	2.0	2.1	5.1	6.3
새우류	848	891	953	961	1,001	1,075	1,131
굴	1,875	2,649	3,046	3,036	3,080	3,539	3,712
기타							
계	17,835	20,764	24,493	26,747	28,728	30,794	33,310

우리나라의 경우 1960년대에 김, 미역 등의 해조류 중심에서 1970년대에 굴, 피조개 등의 패류, 그리고 1980년대에 이르러 넙치, 방어, 돔류, 조피볼락 등과 같은 고소득 어종들로 연구개발분야가 확대되면서 양식 산업은 급격한 발전을 이루어 왔다. 그러나 1990년대 이후 양식생산량이 100,000 M/T에 이르던 수준은 2009년 현재에도 109,477 M/T 정도로 현상유지상태에 있다. 이러한 현상은 현재 양식생산량의 50% 이상을 차지하고 있는 해상가두리 시설이 내만의 집중되어 있어 생활하수와 자가 오염원등의 복합적 요인의 작용에 의한 양식 환경악화, 어병의 빈번한 발생으로 인한 피해증가, 적조의 발생기간의 장기화되는 점 등이 복합적으로 양식생산성을 감소시키는 원인으로 작용하고 있다. 양식생산을 위한 시설은 해상가두리 양식, 육상수조식 양식, 축제식 양식이 주된 형태로 2009년 현재 양식시설면적은 전체의 50.1, 20.3 그리고 29.6%를 차지하고 생산량은 해상가두리에서 54,132 M/T, 육상수조식에서 54,708 M/T, 축제식에서 637 M/T으로 총 109,477 M/T으로 생산성 향상을 위한 양식생산면적의 획기적 증대는 매우 어려운 실정이다 (표 3).

표 3. 양식방법별 사육시설면적 (2009년)

구 분	해상가두리	육상수조식	축제식
면적 (ha)	822.9	321.1	438.5
생산량 (M/T)	54,132	54,708	637

표 4. 어종별 양식현황 (SK: 2009년)

어 종	사육량 (천마리)	비율 (%)	판매금액 (백만원)
가지미류	2,773	0.5	5,303
고등어류	1,727	0.3	2,017
넙치류	105,532	20.3	545,791
농어	14,210	2.7	21,856
능성어	651	0.1	5,437
다랑어류	1	0.0	0
감성돔	37,055	7.1	16,967
참돔	34,893	6.7	78,028
돌돔	14,018	2.6	12,751
기타돔류	652	0.1	49
민어	118	0.0	118
방어	47	0.0	2,106
복어류	551	0.1	818
조피볼락	253,667	48.8	247,043
기타볼락	16,057	3.1	3,991
솜뱅이	135	0.0	46
송어류	28,979	5.5	31,678
전갱이류	123	0.0	47
전어	395	0.0	319
취치류	7,674	1.4	7,242

이와 같은 상황에서 우리는 연안역의 합리적으로 이용하여 양식생산성을 향상시키기 위해 우리해역의 환경에 적합한 새로운 양식시설의 시스템 개발과 적용이 요구되고 있다. 또한 1980년대 이후 넙치, 조피볼락, 돔류 등과 같은 한정된 양식대상어종에서 고부가가치형의 신어종의 양식개발을 통한 단백질 공급은 양식 경영적 측면과 소비자들의 양식산업 전반에 대한 인식제고를 위해 매우 필요한 실정이다 (표 4).

이 연구에서는 1990년대 이후부터 미국과 노르웨이를 중심으로 개발되고 있는 외해가 두리를 이용하여 고부가가치 경제성 어종인 대구와 참다랑어의 양식기술개발을 위해 안정적 생산과 공급의 기반연구를 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국외의 기술개발 현황

1. 외해양식 및 가두리 개발 현황

가. 외해양식

(1) 유럽

- 북구 유럽의 양식 강국인 노르웨이를 비롯하여 스웨덴, 아일랜드를 중심으로 외해양식이 발달되었음
- 지중해 연안국을 중심으로 1990년대 초반부터 외해 양식기술이 발달해 왔고, 그 양식 대상 어종은 대서양연어, 참치 등이 주류를 이루고 있음
- EU 6개국과 노르웨이가 참여하여 Offshore Aquaculture Technology Platform (OATP)을 만들어서 본격적인 외해양식에 대한 추진
 - 목적: 유럽 관련국들의 외해 양식산업 진흥을 위한 기회와 효용성을 연구
 - 구성: 연구기관, 양식어업인, 가공, 유통 등이 참여

(2) 미국

- 미국은 외해양식에 1998년 NOAA 내에 "National Marine Aquaculture Initiative (NMAI)" 팀 구성하고 외해가두리 개발 및 시험에 집중적인 투자가 이루어짐
 - SeaGrant 사업과 연계한 사업 추진으로 'SeaStation' 개발에 성공
 - 현재 국립수산과학원과 민간기업(노아외해양식영어법인)이 공동으로 도입하여 제주도에 설치해 두고 시험 연구 중임
- "National Offshore Aquaculture Act of 2007" 국회 계류 중에 있음
 - 연방정부가 관할하는 해역인 3마일 외해역에서 생태계기반의 양식을 추진할 수 있는 법적 근거를 마련 중에 있음
- 하와이에서는 Cates international Inc과 Kona Blue Water Farms에서 Moi와 잭방어를 대상으로 양식을 시도하고 있음
- 푸에르토리코에서도 Cobia와 돔류(snapper)를 대상으로 시도 중에 있고, 뉴햄프셔에서는 대구를 대상으로 외해가두리 시스템, 자동급이기 등의 개발 시험 중에 있음

(3) 호주

- Inshore와 offshore로 분리하여 각각 주정부와 연방정부에서 관리 추진
- "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 있음
- 참다랑어 축양을 통한 양식에 성공을 한 후, 실내수조에서 인공종묘생산에도 성공 (Clean Seas)

(4) 일본

- 일본은 전통적으로 노동 집약적인 내만형 해상가두리 양식이 발달하여 우리나라 양식 대상종, 시설양식, 기술개발 방향 등과 매우 유사함
- 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 있음
- 와카야마현 쿠시모토 긴키대학수산연구소 오오시마 시험장에서 참치 어미사육을 시작으로 참치 완전양식에 성공함

나. 외해가두리

(1) 특성에 따른 외해가두리 분류(James Ryan)

- 현재 개발되었거나 개발 중인 외국의 외해가두리 시스템은 설치 방법에 따라 수면형, 부침형, 잠수형 등으로 다양한 형으로 나눌 수 있으며, 대개 설치 수심은 30-50m, 크기는 1000~5000m²으로 다양함
- 계류 방식에 따라 다양한 타입이 있음

(가) Gravity type

- 전통적인 방법으로 현재 개발되어 있는 외해가두리로서 가장 널리 쓰이고 형태임
- 가두리는 견고한 재질로 이루어지고, 부의와 추를 이용하여 고정
- 중앙 platform에 연결하는 것이 일반적이며 작업대로 활용
- 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소, 관찰 등)에 용이
- 사용 예: Rubber cage (아일랜드), Marine construction (노르웨이), Sadco Shelf (러시아), Farm Ocean Cage (스웨덴)

(나) Anchor-tension type

- 앵커를 이용하여 계류하며, 가두리 골조는 유연하거나 약간 견고
- 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소, 관찰 등) 용이
- 사용 예: AquaSpar Fish Pen (Net systems, 미국)

(다) Semi-rigid type

- 앵커를 이용한 계류 방식으로서, 가두리 골조는 견고한 유연하거나 약간 견고
- 수중식이 기본으로서 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소 등) 등에 다소 어려움
- 사용 예: SeaStation (Ocean Spar, 미국)

(라) Rigid type

- 앵커를 이용한 계류 방식으로서 가두리 골조는 견고하게 구성됨

- 노출식, 부침식, 수중식의 있음
- 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소 등) 등이 어려움
- 사용 예: Aquapod Net Pen (Ocean Farm Technology, 미국), Ocean Globe (BYKS, 노르웨이)

(마) Tension-leg type

- 가두리 고정 원리는 gravity cage와 유사하지만, 외해의 깊은 곳 시설 가능함
- 가두리와 연결된 링이 고정 역할을 하며, 대형으로 제작이 용이함
- 사용 예: TLS system (RefaMed, 이탈리아)

(바) Modified type

- 사용 예: Untethered (Net Systems, 미국), Semi-submarine Tuna Ship (IZAR Fene, 스페인)

2. 대구양식기술 개발현황 가 연구동향

대구의 생리·생태학적 정보를 바탕으로 양식기술개발이 이루어져야 하지만 현재 대구에 대한 정보는 매우 제한적인 상태이다. 그동안 대구에 대한 연구는 미국해양대기청(NOAA)를 중심으로 한 자원학적 연구가 중심이 되어 왔다 (그림 1). 최근 대구의 어획량의 불규칙해지면서 자원관리적 측면에서의 재생산을 위한 연구가 일본과 우리나라에서 진행되고 있다.

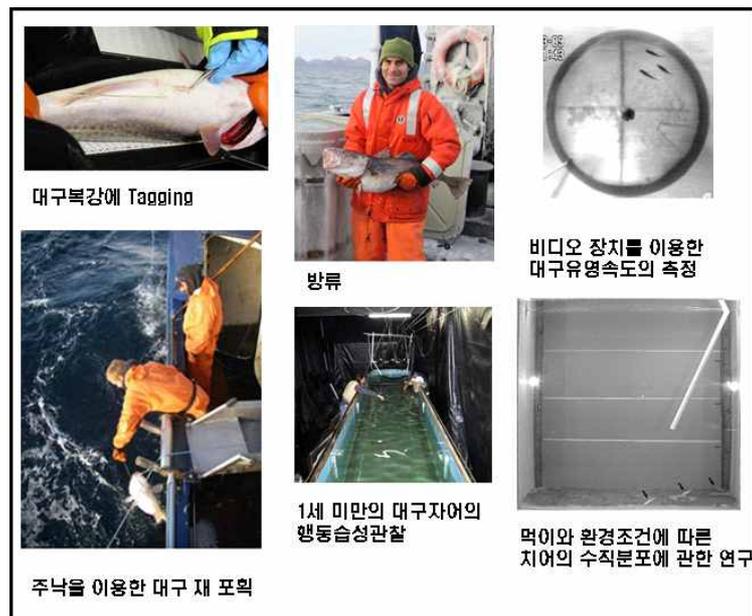


그림 1. NOAA에서 진행되고 있는 자원학적 연구.

(1) 일본의 연구동향

(가) 이시카와현 재배어업센터

- 해양심층수를 이용하여 15 ton 용량의 수조 2조에서 대구치어 관리시작 (1998년)
- 복부 팽만한 친어 1 미를 1 ton 수조에 수용하여 자연산란 유도 (1999년)
- 대구산란기인 2월에 정치망에서 어획된 대구친어를 대상으로 인공수정 후 채란하여 종묘생산시도 (2002년)
- 인공수정 후 채란하는 방법으로 자어 전장 50 mm까지 사육 (2005년)
- 광조건의 인위적 조절에 의한 조기채란가능여부조사 (2006년)

3. 참치양식기술 개발현황

(1) 일본의 연구동향

(가) 참치(마구로) 연구소 설립

- 마구로(다랑어) 연구소 설립 운영(2007. 2. 1 설립)
- 수산종합연구센터와 수산청이 효과적으로 참치 연구 수행을 목적으로 설립.
- 수산청은 연구성과를 행정시책에 적극적으로 반영하고 센터내에서의 참치 관련 연구 조직의 제휴 강화 및 기능 발휘의 극대화
- 참치자원의 적절한 관리, 완전양식을 통한 적극적인 증양식, 어업의 효율화와 유통의 개선



그림 2. 일본 다랑어 연구소의 연구 추진체계

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

- 문부과학성이 우수한 연구소나 대학을 지원하여 세계적인 인재양성 및 기술 보급을 목적으로 시행
- 수산양식분야는 긴키대학 수산연구소가 2003~2008년 COE 프로그램(연구비 100억), 2008년부터는 Global COE 프로그램(연구비 150억) 선정되어 참다랑어 등의 해산어류 양식기술 개발 및 기술보급을 위한 인재 육성
- 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 운영
- 종묘생산 및 양식 그룹 : 채란기술, 우량 종묘생산, 고효율 양성 기술의 확립하고 인공산 친어를 사용하여 성숙, 산란, 육성에 관한 생리·생화학·육종학적 연구, 종묘생산기술 향상 및 경영의 개선, 방류용 종묘의 생산기술향상이 최종 목표
- 환경보존 및 자원동태 그룹 : 양식어장의 자가오염, 환경부하기작의 해명과 자원동태, 환경 변화와 생물 행동의 해석, 방류효과 조사, 양식 시설의 물리 특성과악과 구조의 검토
- 사료, 식품안전성 및 가공 그룹 : 실용배합사료의 개발과 육질, 안정성, 선도유지, 가공법의 확립, 양식산과 자연산의 육질, 가공, 안정성 등에 관한 연구 결과를 고도양식 기술에 접목시키는 연구 수행
- 유통 및 경제 그룹 : 참다랑어의 양식산과 자연산의 생산, 유통량 조사 및 경제적 파급효과 연구
- 현재까지 연구결과
 - 참다랑어 종묘생산연구-양성된 참다랑어의 성숙과 산란(1979)
 - 참다랑어 난 발생과 자치어기 성장에 따른 형태의 변화(1997)
 - 소형 가두리에서의 참다랑어 성숙과 산란(1995)
 - 난 형성과정과 혈중 스테로이드 호르몬 동태(1995)
 - 양식 참다랑어 산란기에 있어서 생식선의 성장(1995)
 - 인공부화 참다랑어의 만 1년 사육(1998)
 - 인공부화된 참다랑어의 돌출사에 관한 연구(1999)
 - 양성환경과 산란 및 성숙의 연관성(특허 출원)
 - 초기 발육과 종묘생산 기술의 개발(특허 출원)
 - 초기 감모의 원인과 대책(특허 출원)
 - 다랑어류의 유전적 해석 및 분류
 - 수정란 및 부화 자·치어기의 질병과 예방

(다) 완전양식기술 및 자원관리 연구

- 긴키대학 수산연구소는 2002년 완전양식 달성 후 2007년부터 인공종묘 민간에 보급
- 양식 참다랑어의 보존, 유통, 보관 등의 품질향상연구 수행하고 참다랑어용 치어의 영양요구량 구명 및 인공배합사료 개발 성공

- 동해대학은 육상양식 연구를 민간기업과 지속적으로 수행하고 있음
- 마루하(주)는 2007년 4월부터 대학과 공동으로 양식용 종묘를 모두 인공종묘로 대체하기 위한 연구 수행. 2006년 3월에 배합사료 특허획득. 최근에는 외해양식에 도전.
- 아마미오오시마 재배어업센터는 종묘생산기술 개발 및 방류용 인공종묘 생산을 위해 종묘생산동 신축(2008년)
- 인공종묘 방류 : 세계최초는 긴키대학 수산연구소, 1995년 87마리
- 재배어업센터 1998년 11마리(전장 30 cm), 1999년 30마리(전장 40 cm), 2005년 300마리(전장 30 cm) 모두 표지방류
- 방류자원의 효율적인 관리 및 우량 친어 육성을 위해 친어의 유전자 해독 및 등록 시스템 연구

The screenshot shows the website for Tokai University's Marine Science Department. The main content area is titled '03 TOPICS OF RESEARCH' and features a large image of a white building, identified as the 'Land-based Complete Rearing Facility for Chum Salmon'. Below the image, there is a detailed text description in Japanese, followed by three photographs of chum salmon at different stages of their growth: one from September 7th (20-25 cm), one from October 18th (30-40 cm), and two samples for meat quality evaluation (one from October 10th, one from September 14th).

그림 3 동해대학의 참다랑어 육상양식 연구 소개(홈페이지)



그림 4. 표지가 부착된 방류용 참다랑어 종묘

(2) 지중해 연안국의 연구동향

(가) 개요

- DOTT (Domestication of *Thunnus thynnus*) 양식 프로그램에 의해 참다랑어 양식에 관한 연구수행 중이며, 지중해 연안 12개국 50여명의 연구자가 참여하여 25개 분야를 공동 연구하고 있으며, 연구 기간은 1998~2003년(5개년) 까지이다.
- 연구 목적은 참다랑어 양식 연구개발을 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 초기사육 기술 개발, 참다랑어에 관한 모든 기술을 종합하여 완전양식에 도전함으로써 새로운 양식 대상종에 대한 양식 산업화에 기여하고 있다.
- 주요 연구 프로젝트
 - 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
- 종묘생산 기초연구 성과
 - 어미관리 및 Handling 기술 연구
 - 가두리 1조에 적당한 사육밀도는 약 60마리(23~188kg)
 - 수중카메라 및 Ecosound system을 활용한 자동 모니터링시스템 개발
 - 생식주기를 구명한 결과, 대서양 참다랑어는 북대서양과 지중해 양쪽으로 이동하는 2개의 계군으로 추정하였고, 즉 멕시코만(4~6월)과 지중해(6~8월)에서 산란하는 서부와 동부군으로 구분

- 월별 생식주기 조사결과 지중해 연안에서는 5~8월이 주산란기로 확인
- 산란 및 채란방법에 관한 기초연구 결과, 7~8월에 호르몬주사에 의한 자연산란을 유도하여 가두리에서 채란망을 이용 채란하는 수정란 채집시스템 개발
- 초기 생활사 연구 결과, 난 및 부화자어에 대한 기초연구결과 수정후 54시간 경과시까지 생존 자어 관찰
 - 성숙연령 : 5~6세, 약 50kg이상
 - 포란수 : 100kg어미에서 1,000만립 이상
 - 난경 : 0.9~1.02mm, 분리부성란, 부화직후 자어 전장 : 약 2.9mm
- 어획은 대부분 연안에서 이루어지며 소형 채낚기 어선이 인조미끼를 사용한 낚시 채비를 이용하여 어획한 후 순치용 가두리에 수용하여 중간육성을 실시함

제 2 절 국내의 기술개발 현황

1. 외해양식 및 가두리 개발 현황

가. 연구동향

- 초기에는 연안의 공간 한계성을 극복하기 위한 방안으로 내파성가두리 형식에 관심을 가짐 (1992년) (국토해양부, 2009)
- 2002년 이후 한미양식협의회를 통해 심층 가두리를 포함한 외해 양식이 처음 국내에 소개됨. 2005년에 제주도 외해양식영어조합법인(NOAH)에서 미국에서 외해 양식설비를 도입하여 시설하여 최초의 외해 가두리 양식 수행. 용적이 3,000m³인 외해가두리 Ocean Spar 3조를 설치하였고, 2006년 추가로 개량된 용적 6,400m³인 외해가두리 3조를 도입하여 시설물 안전성 및 경제성을 분석하였음 (국토해양부, 2009)
- 제주도(2005년), 경상남도(2006년), 전라남도(2007년) 등 3개소에 시험 어업 지역을 선정하여 서식처별 외해 양식을 수행함 (국토해양부, 2009).
- 해양수산부는 외해 양식 시험어업의 효율성을 높이기 위해 2007년 ‘외해 수중가두리 양식 시험어업계획 기본지침’을 발표. 2009년까지 해역별 특성을 감안하여 도별로 2개소 이내에서 외해양식 시험어업을 추진토록 계획함. 대상 품종은 참치, 대구 등과 같은 신품종 또는 가급적 기존 양식어종과 경합되지 않은 돌돔, 능성어, 참돔 등 수입 대체 품종을 선택해 시행토록 하였으며, 시험어업 장소는 미국법령을 참고하여 수심 40 m 이상, 해안선에서 3 km 이상을 원칙으로 하되 해역의 특성을 고려하도록 함(국토해양부, 2009).

2. 대구양식기술 개발현황

가. 연구동향

현재까지 국내의 대구양식기술 개발에 대한 연구는 자원증강을 목적으로 자연산 친어에서 산란을 유도하여 수정란을 방류하거나 종묘크기까지 키워서 방류하는 형태로 진행되어 왔다.

나. 대구의 초기사육관한 연구결과

- 대구 종묘생산을 위한 채란, 부화 및 자어사육 (국립수산과학원, 2003)
- 한국 동해계군 대구의 난 발생과 자치어의 성장 (경북 수산자원개발연구소, 2003)
- 대구의 채란, 부화 및 자어성장에 미치는 수온의 영향 (국립수산과학원, 2003)

3. 참치양식기술 개발현황

가. 연구 동향

- 원양어업의 자원관리, 동태 및 생리, 생태에 관하여 활발하게 활발한 연구가 진행되고 있지만 양식에 관한 기초적인 연구는 전무한 실정이다.

나. 연구 수요

- 고부가가치를 창출할 수 있는 차세대 대형 양식품종으로 국가적 양식전략이 필요하다고 판단되나, 현재까지 인프라가 부족한 상황임.
- 외해 가두리양식 대상 품종으로 적합하며, 남해안 특정지역, 제주도 남부지역에서 지하해수를 이용한 종묘생산 및 양식수요가 기대됨

다. 인공산 참다랑어 시험양식

- 시험양식 기관 : 제주수산연구소
- 종묘이식: 일본 긴키대학 수산연구소에 3세대에 걸쳐 생산된 '08년산 인공종묘 250마리 (전장 40내외, 체중600g~1,500g)
- 사육방법 : 외해가두리에 시험사육

라. 자연산 참다랑어 시험사육

- 시험양식 기관 : 남해수산연구소
- 종묘이력 : '08년 정치망에서 어획된 자연산 종묘 30마리(7~8kg) 사육중
- 사육방법 : 통영 옥지도 내파성가두리(ø 20m)에 수용하여 고등어, 전갱이, 크릴새우 등 1일 2회 공급

마. 국내의 연구수준

- 참치양식 기술개발 수준을 보면 일본> 호주, 지중해 연안 국가> 한국 순으로 판단됨

- 한국의 참다랑어 양식연구 수준은 일본의 양식시점으로 본다면 1970년대 후반에 위치하고 일본보다 약 35년, 호주 및 지중해 연안국보다 약 20년쯤 늦게 시작한 후발 국가임

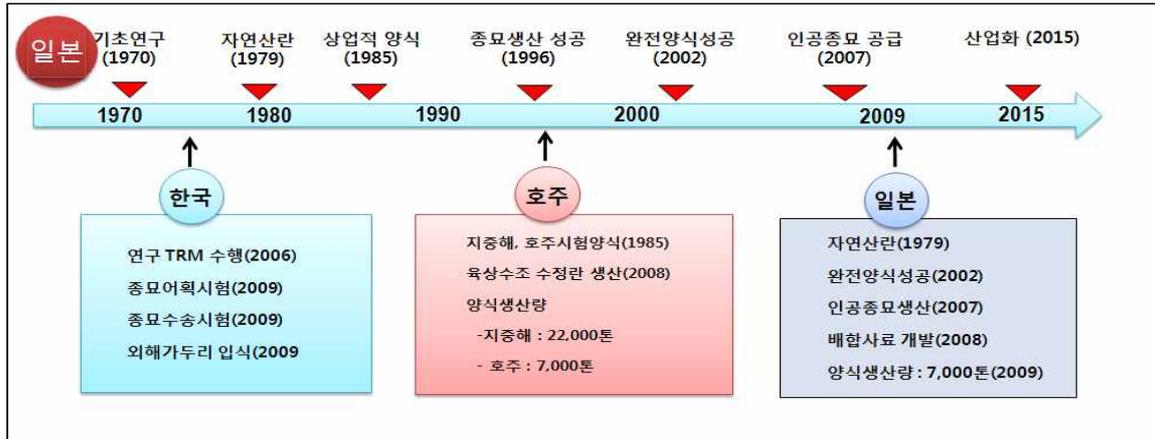


그림 5. 우리나라의 참치양식 및 산업 위치

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 대구양식분야

대구는 대구목 (Gadiformes), 대구과 (Gadidae), 대구속 (*Gadus*)에 속하는 한류성 어종으로 한국 동해안과 서해 북부, 북쪽으로는 오호츠크해, 베링해, 북동 태평양쪽으로는 알래스카만을 따라 남쪽으로 북미 캘리포니아 연안까지 광범위한 해역에 분포한다. 대구는 다른 대구과 (Gadidae)어류에 속하는 냉수성 어종의 일반명으로 종종 사용이 되어 왔고, 과거 많은 종들이 *Gadus*속으로 분류되어 왔다. 그러나 현재 대다수 종들이 다른 속명으로 분류되고, *Gadus*속의 종은 Atlantic cod *Gadus morhua*, Pacific cod *G. macrocephalus*, Greenland cod, *G. ogac* 등이 있다.

우리나라에서 대구라고 불리는 종은 *Gadus macrocephalus*로 우리나라 전 해안, 북태평양, 베링해, 알래스카, 북미 로스엔젤레스 연안까지 분포하며 수온 5~12℃의 수심 45~450 m 되는 깊은 곳에 서식하는 냉수성 어종으로 전장이 1 m에 달하며, 체중도 많이 나가는 편이다(서 등, 2007). 대구는 비린맛이 없이 담백해서 오래전부터 많은 사람들이 즐겨 먹는 어종으로 한약재로도 사용되며, 특히 간에서 추출한 간유는 약품으로도 사용되는 고급어종이다.

우리나라 해역에서 대구는 동해계군과 서해계군으로 구분된다. 서해계 대구는 동해계에 비하여 크기가 작아 보통 38 cm 내외이고, 동해계는 보통 68 cm 내외로 최소성숙전장은 동해계가 수컷 58 cm, 암컷 62 cm이고, 서해계는 수컷 32 cm, 암컷은 38 cm에 이른다. 동해계 대구는 시베리아 연해에서 함경남북도, 강원, 경북연해에 분포하다가 1~2월 사이에 진해만으로 모여 들어 산란하며 산란이 끝나면 다시 북쪽의 심해로 이동한다 (Chyung, 1977).

산란기는 우리나라에서 12~3월, 주 산란기는 1~2월로 수컷의 성숙기기가 암컷보다 길고, 1~2개월 빨리 성숙하며 일본 북해도 남부 연안에서는 12~1월로 우리나라 동해안보다 약 1개월 빠르다. 베링해 및 알래스카에서는 1~4월, 캐나다 연안에서는 1~3월로 위도가 높을수록 산란기가 길고 늦게 시작된다. 50% 군 성숙 체장은 캐나다의 British Columbia 연안에서 수컷 49 cm (2세), 암컷은 55 cm (3세)였고, 베링해의 암컷은 67 cm (5.8세), 우리나라 동해안의 암컷은 63.9 cm, 수컷은 56.0 cm로 지역 간 군성숙 체장에 차이가 있다.

인공사육환경에서 대구의 수정란은 부화까지 수온 3℃에서 25일, 6℃에서 15일, 수온 9℃에서 10일 그리고 12℃에서 8일 정도가 소요된다. 갓 부화한 대구 치어는 전장 3.9~4.3 mm의 크기로 인공적인 사육환경에서 부화 후 5일째부터 난황이 모두 흡수되어 로티

피를 섭취하고, 부화 후 100일이 되면 30 mm까지 성장하며 부화 후 25일째부터 인공배합사료를 섭취하기 시작하며 부화 후 5개월이 되면 전장 6.4 cm, 8개월째에 9.8 cm 그리고 1년 2개월이 되면 15.3 cm 정도로 성장한다(서 등, 2007).

인공종묘생산과정에서 대구는 다른 양식종에 비해 배합사료에 길들이기가 어려운 점과 연중 사육수온을 저온으로 관리해야 하는 점 그리고 성장이 느린 점등은 양성시켜 산업화하기에는 애로점이 있는 어종이지만 부화시켜 초기 치어단계까지 성장시켜 자원조성용으로 이용하기에 가능성이 있는 어종으로 평가되고 있다.

대구는 우리나라 동해안에서 연안 유자망, 기선저인망, 트롤 등으로 어획되어 왔음. 어획량은 1982년에 4,462톤이었으나 1990년대에 약 500톤으로 낮아졌으며 2000년대 이후부터 1,000톤 이상의 범위로 2006년에는 6,810톤으로 급격히 증가하는 추세이다. 그러나 대구자원은 2000년대 이후 탁월연급군이 발생하고 있고, 대구 치어와 포란한 친어를 무분별하게 포획하고 실정으로 적절한 자원관리를 통한 자원이용이 요구되고 있다.

1. 종묘생산을 위한 기초연구

가. 재료 및 방법

종묘 생산에 이용한 대구 수정란은 2009년 1월 거제 외포 위판장에서 어민들에 의해 포획된 대구 암컷 2마리와 수컷 2마리를 사용하였다. 현장에서 즉시 수정 후 인근 업체에 수용 중이던 수정란 1,600 ml를 2009년 1월 17일 강원도립대학 양어실습장내 PP수조(12 m³ 규모)에 옮긴 후 부화시켜 이용하였다(그림 6).

사육시스템은 직경 4.0 m의 PP원형수조로 사육수는 자연해수를 이용하였으며, 산소발생기를 이용하여 용존산소를 조절하였고, 로티퍼와 배합사료를 이용하여 초기먹이로 공급하였다. 성장도는 주기적으로 현미경의 마이크로메타를 이용하여 대구의 전장을 측정하여 판단하였고, 아울러 종묘생산 기간 동안의 먹이섭취 및 소화도는 현미경 관찰을 통하여 판단하였다. 종묘 생산 기간 중 수온은 평균 $9.8 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 용존산소와 pH는 각각 11.0 ± 0.9 mg/L와 8.1 ± 0.1 로 나타나 적절한 사육환경이 유지되었다(표 5).



그림 6. 대구 수정란 입식 및 부화모습

표 5. 대구 종묘생산 기간 중 평균 수온, 용존산소, pH, 염분도

Water temperature (°C)	Dissolved oxygen (mg/L)	pH	Salinity (psu)
9.8±0.5	11.0±0.9	8.1±0.1	35.2±0.1

나. 결과

2009년 1월 17일부터 2009년 2월 18일까지 33일간 대구 종묘 생산을 실시하였다. 2009년 1월 17일 입식된 대구 수정란은 운송 중 부화한 개체가 발생하였으며, 수정란과 미수정란의 비율은 약 8:2로 비교적 수정률(부화율)이 높았다. 수정란의 난경은 약 1.1 mm이었고, 부화 직후 자어의 크기는 전장 약 4.1~4.3 mm로 입과 항문은 아직 열려 있지 않은 상태였으며, 난황을 가지고 있는 모습이 관찰되었다. 부화시작 후 3일째에는 거의 대부분의 수정란이 부화를 하였으며, 먼저 부화한 개체들이 먹이를 먹을 수 있도록 사육수조에 해산클로렐라로 12시간 영양강화된 로티퍼 약 5,000 만 개체(5 개체/사육수 ml)를 공급하였다. 로티퍼 공급과 함께 사육수조에 해산 클로렐라도 같이 공급하여 로티퍼의 먹이 공급이 됨과 동시에 대구 자어의 사육에 안정적인 환경을 유지할 수 있도록 하였다.

종묘생산 기간 중 먹이공급체계와 먹이공급횟수를 표 2에 나타내었다. 첫 먹이가 들어간 부화 후 3일째부터 먹이를 먹기 시작한 부화 5일째까지는 로티퍼를 조금씩 공급하면서 대구 자어의 먹이 섭취 여부를 확인하였으며, 본격적으로 로티퍼를 섭취하기 시작한 6일령부터는 1회에 약 1억 개체의 로티퍼를 일간 5회 공급하였다. 자어의 형태는 부화 4일째에 입이 열려 있는 개체들을 관찰할 수 있었으며, 부화 5일부터는 로티퍼를 섭취한 개체들을 확인할 수 있었다(그림 7a). 그 이후 어체 표면(등쪽 부위)의 흑색소포도 점점 발달하여 범위가 확대되는 것을 볼 수 있었다. 부화 후 6일째에는 거의 대부분의 개체가 로티퍼를 섭취한 모습을 확인하였으며, 바닥에 쌓인 미수정란 및 찌꺼기들로 인하여 수생균이 발생하여 싸이폰으로 바닥을 청소하여 주었다(그림 7b). 그러나 부화 10일령부터 꾸준히 폐사가 발생하였다.

부화 11일 후에는 전장이 약 5.1~5.6 mm에 도달하였고, 머리 부분이 갓 부화시보다 커진 모습을 볼 수 있었다. 부화 22일 후에는 전장 약 7.0~7.4 mm에 도달하였으며, 체표면의 흑색소포도 많이 증가하여 성어와 비슷한 체형과 체색을 나타내었다. 부화 30일 후 부터는 로티퍼와 함께 배합사료를 공급하였다. 배합사료는 분쇄 후 사료를 물에 녹여 분무기를 이용하여 공급하였다. 배합사료의 공급과 함께 지속적으로 수생균이 발생하였으며, 폐사개체도 많이 발생하였다. 부화 33일 후 전장은 약 7.6~7.9 mm로 성장하였다(표 6).

종묘생산기간 중의 일간 전장 성장률은 약 1.84%/day이었다(그림 8). 총 33일간의 종묘생산 기간 동안 로티퍼는 약 128억 개체, 배합사료는 약 300g을 공급하였다.

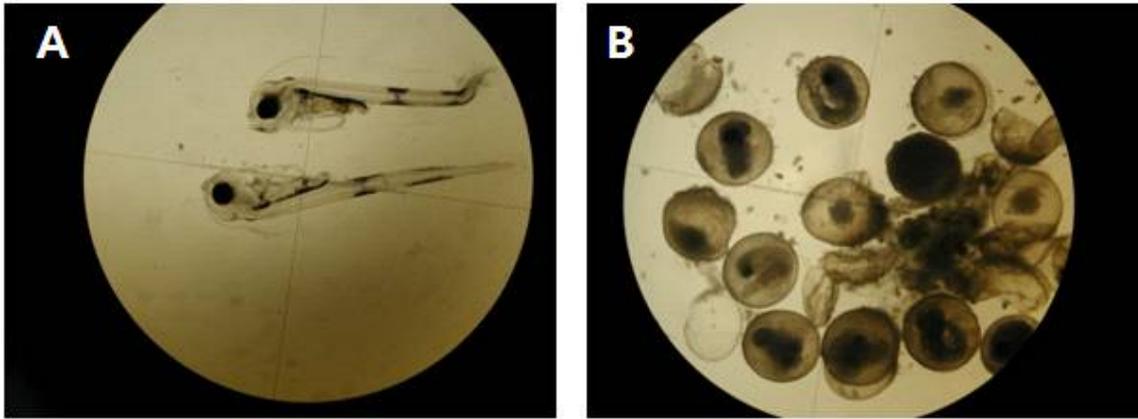


그림 7. 부화 후 5일째 로티퍼 섭취한 개체(A)와 바닥에 쌓인 수정란들(B)

표 6. 종묘생산 기간 중 먹이 공급 체계

일령	일간 로티퍼 공급량 (억 개체)	일간 로티퍼 공급횟수 (회)	일간 배합사료 공급량 (g)	일간 배합사료 공급횟수 (회)
3	0.5	1	-	-
4	1.2	2	-	-
5	4	4	-	-
6	5	5	-	-
7	6.2	5	-	-
8	6	4	-	-
9	5	5	-	-
10	6	5	-	-
11	5	5	-	-
12	5	5	-	-
13	5	5	-	-
14	1.8	3	-	-
15	3.8	5	-	-
16	7.5	5	-	-
17	8	5	-	-
18	8	5	-	-
19	8	5	-	-
20	5	5	-	-
21	4.8	5	-	-
22	1.5	5	-	-
23	5	5	-	-
24	5	5	-	-
25	2.6	4	-	-
26	2.5	5	-	-
27	3.5	5	-	-
28	3	5	-	-
29	1.2	4	-	-
30	2.4	4	50	1
31	1.8	3	100	2
32	2.4	4	50	1
33	1.2	2	150	3

표 7. 시간의 경과에 따른 전장의 변화

	수정란	부화직후	부화 후 11일	부화 후 22일	부화 후 33일
전장(mm)	1.1	4.1~4.3	5.1~5.7	7.2~7.5	7.6~7.9

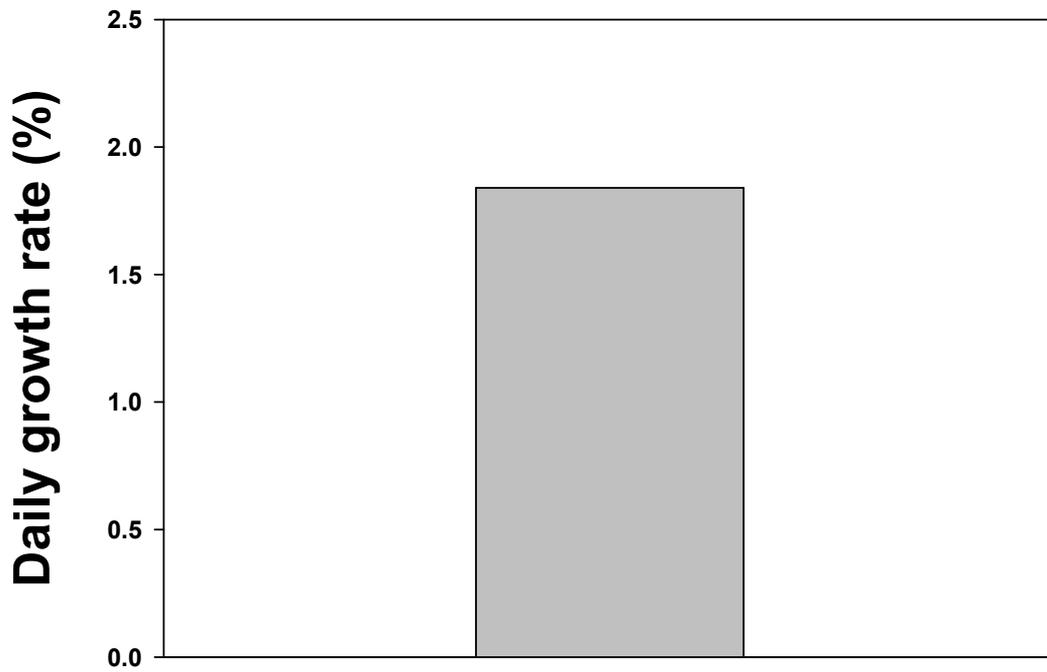


그림 8. 대구 자어의 일간 전장 성장률



그림 9. 일령에 따른 대구 자어의 성장 모습

다. 고찰

부화자어의 크기는 난경과 밀접한 관련이 있어서 난경이 큰 어류가 부화자어의 크기가 크고 생존률도 높다 (Blaxter and Hampel, 1963). 이러한 알의 크기는 어종에 따라 다양하게 나타나고, 동일종에서 계절적 영향, 개체군, 산란시기, 연령 등에 따라 알의 크기는 차이가 난다 (Farris, 1960). 이 연구에서 1월에 진해만에 산란 회유한 대구 어미에서 채취

한 수정란은 직경이 약 1.1 mm내외로 흰점독가시치의 0.58 ± 0.02 mm (황, 2002), 넙치의 0.91 ± 0.04 mm (Rho and Pyen, 1986), 돌돔, *Oplegnathus fasciatus*의 0.77~0.98 mm (Kumai, 1984)보다 대형이었다. 부화 직후 자어의 크기는 4.1~4.3 mm로 나타나 박(2008)의 3.7~4.4 mm와 비슷한 범위를 나타냈다.

어류의 종묘생산에서 자어의 안정적인 성장과 생존률 유도하기 위해서는 성장단계별로 적정 먹이 공급이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 먹이생물을 로티퍼로만 이용하여 사육한 후 30일령부터 배합사료와 함께 공급을 하여 대구 자어를 사육하였는데, 사료 공급으로 인하여 사육수조내 다량의 수생균이 발생하여 대구 자어의 대량폐사가 발생하였다. Takatsu (2008)에 의하면 대구 종묘생산 시 부화 후 20일 이후에도 로티퍼만을 단독으로 공급하면 영양결핍 등의 이유로 누적 폐사가 증가하므로 *Artemia nauplii*를 공급하는 시기와 공급량을 결정하는 것은 초기 대구 자어의 생존율을 높이는 데 중요하다고 언급하였고, 서 등(2007)은 부화 35일 후에 *Artemia nauplii*를 공급하고 난 후 3일 만에 대량감모가 발생하였는데 폐사된 대부분의 자어들은 *Artemia*가 장내에 가득 찬 상태로 바닥에 가라앉아 있었다고 하였다. 박 (2008)의 연구에서도 대구자어의 정상적인 성장을 위해서는 부화 후 30일령 이상까지 로티퍼의 공급이 필수적이며 *Artemia nauplii*의 소량공급(0.1개체/ml)하는 것이 바람직하다고 언급하였다. 또한 *Artemia nauplii*만을 단독으로 공급하였을 시 생존율이 떨어져 효과적인 종묘생산을 이루기 어렵다고 하였다. 위의 결과들을 볼 때 대구자어는 다른 해산어종에 비하여 단백질 소화력이 떨어지는 것으로 보이며, 종묘생산 시 로티퍼와 알테미아의 적정공급량과 공급시기를 결정할 수 있는 연구가 더 필요하다고 판단된다.

2. 대구 치어의 생리적 특성

가. 재료 및 방법

(1) 대구의 산소 소비율

(가) 실험어 및 순치

실험어는 경상남도 수산자원연구소에서 사육 중인 대구 치어를 사용하였다. 산소 소비율을 측정하기 전 실험어[71.5 ± 1.2 g(mean \pm SE, 습중량)]는 1,000 L FRP 수조와 침지식 생물여과조(1.0 × 1.5 × 2.0 m, 3.0 ton)로 이루어진 소형 실내 순환여과식 시설에 100마리를 옮겨 2주 동안 순치시켰다. 순치기간 동안 실험어는 시판용 해산어 상품사료(E-hwa Feed Co., Korea, 단백질 함량 46.7%)와 굴 성체를 적당한 크기로 잘라서 일간 어체중의 1.0~1.5%를 공급하였으며, 히터와 냉각기를 이용하여 수온을 10.0 ± 0.1 °C로 유지하였고, 32-W 형광등을 이용하여 광주기를 12L:12D로 조절하였다. 사육수 내 용존산소는 유량 조절과 에어레이션을 통해 80% 이상의 포화상태를 유지하였다. 순치기간 동안 사육수의 pH는 8.2 ± 0.1 , 염분은 34.0 ± 0.3 psu를 유지하였다.

(나) 실험 장치

대구 치어의 산소 소비율 측정은 저수탱크 (reservoir), 공급탱크 (head tank), 산소 측정실, 호흡실 및 카트리지 필터로 이루어진 폐쇄 순환형 시스템(그림 10, 오와 노 2006)을 이용하였다. 공급탱크와 저수탱크 내에는 2~3개의 에어스톤을 블로워에 연결하여 95% 이상의 산소 포화도를 유지하였고, 실험 수온을 유지하기 위해 자동 온도 조절 장치가 연결되어 있는 히터와 냉각기를 설치하였다. 순환수는 저수탱크에서 양수되어 공급탱크로 들어가기 전에 1 μm 의 카트리지 필터 1개를 연속적으로 거치도록 하여 입자성 부유물질의 영향을 최소화하였다. 실험기간 동안 시스템 내에 생성된 미생물에 의한 미량의 산소 소비를 줄이기 위해 유수식 자외선 살균기 (Model: P301, 처리 용량 3 ton/hr, 삼지통상)를 통과하여 재순환하도록 하였다. 용존산소의 측정은 실험어가 수용된 호흡실 전인 공급탱크 내에, 그리고 호흡실을 거친 후 설치된 산소 측정실에 산소 probe를 설치하여 연속적으로 측정되도록 하였다. 유속은 호흡실 유입수와 배출수간 용존산소 농도 차이가 최소한 0.2 mg/L이 되도록 유지하였으며(오와 노 2006), 평균 유량은 601.2 \pm 4.5 L/h이었다.

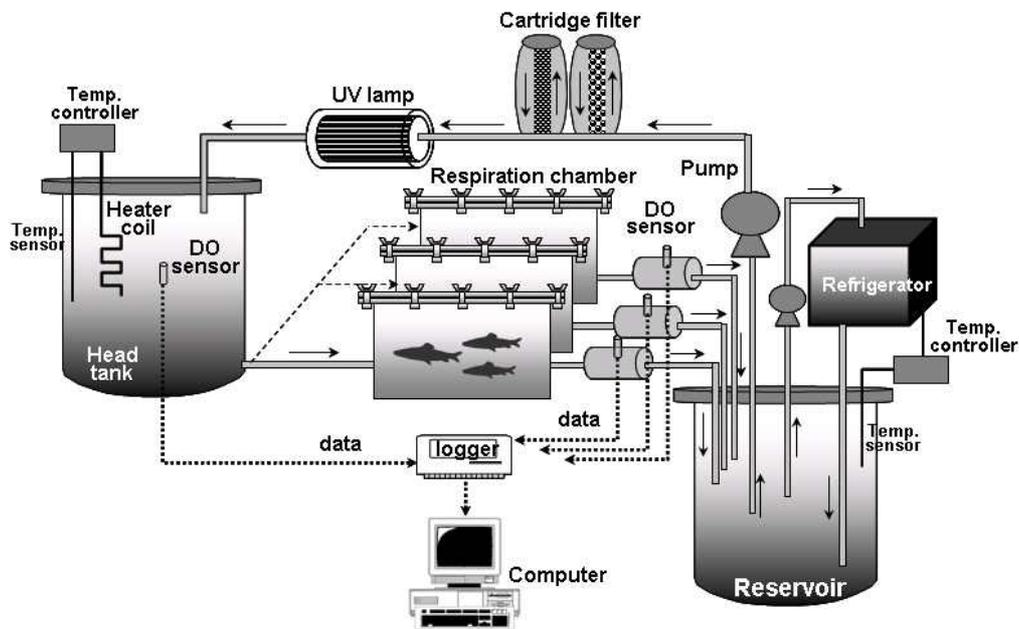


그림 10. 대구치어의 산소 소비율 측정 실험 장치 모식도

(3) 실험 방법

실내 수조에 순치된 실험어를 다시 200 L 유리수조 3개와 침지식 생물여과조(1.2 × 1.0 × 1.0 m, 1.2 ton)로 구성된 순환여과식 시스템 4 set, 총 12개의 유리수조에 8마리씩 분산 수용하였다. 실험어 수용 후 모든 수조는 10°C를 유지하였다. 실험 수온은 7, 10, 13 그리고 16°C로 설정하였으며, 10°C 실험구 1 set를 제외한 7°C와 13°C 실험구는 10°C로부터 3일간에 걸쳐 낮추거나 높였으며, 16°C 실험구 1 set는 6일간에 걸쳐 수온을 높였다.

광주기는 각 실험 수온 조건에서 24L:0D, 12L:12D 그리고 0L:24D로 달리하여 처리하였다. 즉, 실험 수온과 12L:12D 조건으로 순치된 각 set 내 세 수조 중 두 수조는 24L:0D와 0L:24D로 즉각적으로 변화시켰으며 (Jonassen et al. 2000), 나머지 한 수조는 그대로 유지하였다.

수온과 광주기 조절이 이루어진 후 실험어를 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰다. 순치기간 중 먹이는 상품사료와 굴 성체를 하루에 어체중의 0.5~0.6% 비율로 공급하였다. 실험 시작 전 2일간 절식시킨 후 2-phenoxyethanol (Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시켜 무게를 측정 후 순치된 실험 조건의 호흡실에 수용하였다. 유리수조와 호흡실의 암조건은 별도로 제작된 차광막을 이용하여 빛을 차단하였고, 명조건은 32-W 형광등을 이용하여 유도하였다. 실험어의 체중은 79.9 ± 2.0 g이었으며, 호흡실에 각각 2마리씩 3반복 수용하여 실험을 실시하였다.

호흡실에 수용한 후 handling에 의한 영향을 배제하기 위하여 3시간 동안 안정시킨 후 그 후 24시간 동안 산소 소비율을 측정하였다(오와 노 2006).



그림 11. 대구 치어의 수온과 광주기에 따른 산소 소비율 실험 모습

(4) 용존산소량 측정 및 자료 처리

용존산소량의 측정은 호흡실 전후에 설치된 산소 측정 probe와 자료 저장 장치인 Multi Data Logger System (Oxyguard, Denmark)을 사용하였다. 호흡실 유입수와 배출수의 용존산소 농도는 μ Log VL 100 Software를 이용하여 5분마다 측정됨과 동시에 산소 측정 판넬을 통해 Data Logger에 저장되었다. 이들 자료를 프로그램을 통해 다운로드하여 분석에 이용하였다. 실험어의 산소 소비율 (oxygen consumption rate, OCR)은 Jobling(1982)이 보고한 다음과 같은 방법에 따라 구하였다.

$$\text{OCR (mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}) = (\text{C}_i - \text{C}_o) \times Q / W$$

여기서, C_i = 어류 호흡실 유입수의 용존산소 농도(mg/L)
 C_o = 어류 호흡실 배출수의 용존산소 농도(mg/L)
 Q = 어류 호흡실을 지나가는 시간당 유량(L/h)
 W = 호흡실 수용 어체중(kg)

계산된 산소 소비율은 1시간 단위로 pooling 하여 일간 산소 소비율 패턴과 시간당 평균 산소 소비율을 구하였으며, 수온 변화에 따른 대구 치어의 민감도를 파악하기 위하여 다음 식(Wuenschel et al. 2005)과 같이 Q_{10} 값을 구하였다.

$$Q_{10} = \left[\frac{R_2}{R_1} \right]^{(10/T_2 - T_1)}$$

여기서, R_1 과 R_2 는 수온 T_1 과 T_2 일 때의 평균 산소 소비율

Elliot and Davison(1975)이 보고한 산소 소모에 따른 에너지 전환 계수(1 mL O_2 = 19.9 J = 4.776 cal)를 이용하여 각 조건별 대사작용에 의한 에너지 소비율을 구하였다.

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5(SPSS Inc., USA) 통계 프로그램으로 분산분석(ANOVA)를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다. 각 수온과 광주기(12L:12D 조건의 명기와 암기 포함)에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 one-way ANOVA를, 그리고 두 인자의 복합 영향은 two-way ANOVA를 통해 검정하였다.

(2) 대구의 암모니아 배설

(가) 실험어 및 순치

실험어는 강원도 속초 한국해양연구원 해양심층수센터에서 사육 중인 대구 치어(평균 무게 32.1 ± 1.4 g) 60마리를 사용하였다. 실험어는 실내 수조에 적응시키기 위해 실험 전 FRP 수조(용적 400 L) 2개와 침지식 질산화 생물여과조($1.0 \times 1.5 \times 2.0$ m, 3.0 ton)로 구성된 순환여과식 시설에 옮겨 2주 동안 $11.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 조건에서 순치시켰다. 순치기간 동안 시판용 해산어 사료(Purina Co., Korea, 단백질 함량 40.6%)를 일간 어체중의 2.0~3.0%를 하루에 두 번(08:00, 16:00 h) 공급하였으며, 수온은 히터와 냉각기를 이용하여 조절하였다. 사육수 내 용존산소는 유량 조절과 에어레이션을 통해 80% 이상의 포화상태를 유지하였고, 수질관리 및 배설물 제거를 위해 일일 전체 수량의 10% 이상을 환수시켰다. 순치 기간 동안 사육수의 pH는 8.1 ± 0.1 , 염분은 33.2 ± 0.9 psu를 유지하였다.

(나) 실험 장치

대구 치어의 수온에 따른 TAN 배설률은 실험어 수용을 위한 어류 사육조, 수질 관리를 위한 질산화 생물여과조 그리고 사육수 순환을 위한 공급탱크와 저수탱크로 이루어진 소형 순환여과식 시스템을 이용하여 측정하였다(오와 조 2005). 질산화 생물여과조는 직경 62 cm의 스카이라이트 골판으로 만든 원판 80장(총표면적 48.28 m²)을 여과재료로 사용한 회전원판식 여과조 (rotating biological contactor, RBC)를 이용하여 시스템 내 TAN 축적을 방지하였고, 공급탱크는 원형 고무수조(용적 519 L)를, 그리고 저수탱크는 직사각형(1.0 × 3.0 × 1.0 m, 3 ton) 형태의 FRP 수조를 사용하였다. 대구 치어를 수용한 어류 사육조는 가로 23 cm, 세로 39 cm, 높이 26 cm인 유리수조를 사용하였으며, 실험 기간 동안 수량은 20.5±0.5 L, 유량은 36.3±1.7 L/h를 유지하였다. 분과 유기물이 잘 모이도록 하기 위해서 어류 사육조를 15° 정도의 경사를 주었으며, 모인 분과 유기물은 직경이 16 mm인 플라스틱 파이프를 이용해 배출하였다.

(다) 실험 방법

각 실험 수온에 실험어의 순치는 유리수조(용적 200 L) 2개와 침지식 생물여과조(1.0 × 1.2 × 0.5 m, 0.6 ton)로 구성된 순환여과식 시스템 3 set에서 이루어졌다. 실내 수조에 순치된 대구 치어를 순치 수온(11°C)에 조절된 각 set별 유리수조마다 10마리씩, 총 6개의 유리수조에 분산 수용하였다. 실험 수온(9, 11 그리고 13°C)으로 바꾸기 위해 11°C 실험구 1 set를 제외하고 나머지 2 set의 순환여과식 시스템은 11°C로부터 3일간에 걸쳐 서서히 높이거나 낮추어 조절하였다. 수온 조절이 이루어진 후 대구 치어는 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰으며, 순치 기간 중 사료는 하루에 어체중의 2.0~3.0% 비율로 하루에 두 번(08:00, 16:00 h) 공급하였다. 실험 기간 동안 광주기는 12L:12D를 유지하였으며, 명조건은 32-W 형광등을 이용하여 유도하였다.

순치된 대구 치어는 2-phenoxyethanol (Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시켜 무게를 측정한 다음 실험 수온이 유지된 실험 장치 내 어류 사육조에 수용한 후, 운반 및 섭취한 사료(즉, 단백질)의 영향을 배제한 내인성 TAN 배설량을 측정하기 위해 72시간 절식한 후 24시간 동안 TAN 배설률을 조사하였다 (Leung et al. 1999a). 절식 시 TAN 배설률을 측정한 후 다시 무게를 측정한 다음 사료 섭취에 따른 정상적인 TAN 배설 패턴을 확보하기 위해 실험 장치 내에서 7일간 하루에 두 번(08:00, 16:00 h) 반복 사료 공급을 하였다. 사료 공급 11일째에 일간 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률을 24시간 동안 조사하였다. 실험에 이용된 대구 치어의 체중은 36.5±0.8 g(평균±S.D., 습중량)이었으며, 어류 사육조에 3마리씩, 3반복 수용하였다.

(라) 암모니아 측정 및 자료 처리

대구 치어의 수온에 따른 절식 시 TAN 배설률은 어류 사육조 유입수와 배출수를 08:00시부터 2시간 간격으로 다음 날 08:00시까지 채수하여 TAN 농도를 측정하여 구하였다. 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률은 사료 공급 직전(08:00 h)에 채수한 후 절식 TAN 배설률 측정 방법과 동일한 방법으로 채수하여 TAN 농도를 측정하였다. 각 실험 조건의 TAN 배설률은 어류를 수용하지 않은 대조구와 연계하여 다음의 식을 이용하여 구하였다 (Leung et al. 1999a). TAN 분석은 Strickland and Parsons (1972)의 방법에 따라 측정하였다.

$$\text{TAN 배설률}(\text{mg TAN kg fish}^{-1} \text{ h}^{-1}) = \{(C_0 - C_1)Q_1 - (C_c - C_1)Q_2\} / W$$

여기서, C_1 = 유입수의 TAN 농도(mg/L)

C_0 = 실험구 수조 배출수의 TAN 농도(mg/L)

C_c = 대조구 수조 배출수의 TAN 농도(mg/L)

Q_1 = 실험구를 지나가는 시간당 유량(L/hr)

Q_2 = 대조구를 지나가는 시간당 유량(L/hr),

W = 어체중(kg)

위 식을 통해 계산된 TAN 배설률 ($\text{mg TAN kg fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 시간에 대한 TAN 배설률로 도식화하여 곡선 아래 면적의 적분을 통해 일간 TAN 배설률 ($\text{mg TAN kg fish}^{-1} \text{ d}^{-1}$)을 추정하였다.

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5 (SPSS Inc., USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 볼락 치어의 TAN 배설률에 대한 수온의 영향은 분산분석 (ANOVA)를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

나. 결과

(1) 대구의 산소 소비율

수온과 광주기에 따른 대구 치어의 시간당 평균 산소 소비율의 일간 변화 패턴과 그 결과를 각각 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 연속 명기 조건(24L:0D)과 연속 암기 조건(0L:24D)의 일간 산소 소비율 패턴의 경우 동일 수온 조건에서 큰 변화가 없었지만, 12시간 명기와 12시간 암기 조건(12L:12D)의 경우 모든 수온 조건에서 명기에서 암기로 변화하면서 산소 소비율이 감소하는 경향을 보였다(그림 12).

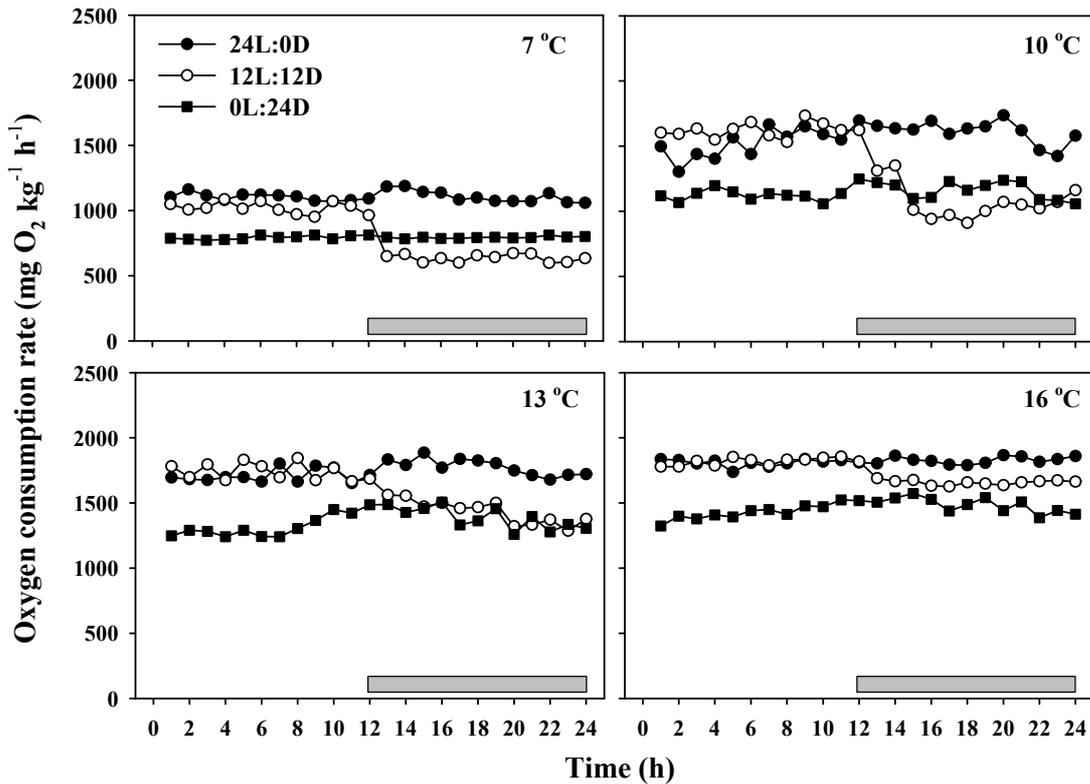


그림 12. 수온과 광주기에 따른 대구 치어의 산소 소비율

수온에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 24시간 연속 명기 조건(24L:0D)의 경우 7, 10, 13 그리고 16°C에서 각각 1108.4, 1570.3, 1742.5 그리고 1818.6 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹이었고, 12시간 명기와 12시간 암기 조건(12L:12D)의 경우 각각 828.1, 1352.6, 1587.3 그리고 1737.8 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹이었으며, 24시간 암기 조건(0L:24D)의 경우 각각 793.7, 1145.7, 1352.8 그리고 1458.2 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹이었다. 수온(T)에 따른 대구 치어의 시간당 평균 산소 소비율 (OCR)은 24L:0D, 12L:12D 그리고 0L:24D의 광주기 조건에서 각각 $OCR=668.24+77.66T$ ($r^2=0.86$, $P<0.0001$), $OCR=240.95+98.75T$ ($r^2=0.91$, $P<0.0001$) 그리고 $OCR=342.77+73.64T$ ($r^2=0.98$, $P<0.0001$)의 회귀식을 보였다(표 8). 따라서 동일 광주기 조건에서 수온이 높아질수록 시간당 평균 산소 소비율은 유의하게 증가하였다 ($P<0.001$).

동일한 수온 조건에서 광주기에 따른 시간당 평균 산소 소비율의 경우 24L:0D 조건이 가장 높았고, 다음으로 12L:12D와 0L:24D 순이었지만 ($P<0.001$), 7°C의 경우 12L:12D 조건과 0L:24D 조건은 유의적인 차이를 보이지 않았다(표 8, $P>0.05$). 명기와 암기가 반복(12L:12D)될 경우 시간당 평균 산소 소비율은 수온 7, 10, 13 그리고 16°C에서 명기시 각

각 1018.0, 1630.3, 1741.1 그리고 1818.3 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹로서, 암기시(각각 638.1, 1074.9, 1433.4 그리고 1657.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹) 보다 유의하게 높았다(그림 13, P<0.001). 따라서 명기와 암기가 반복될 때, 대구 치어의 시간당 평균 산소 소비율은 명기시에 비해 암기시 유의하게 감소하였다.

이상의 결과에서 대구 치어의 시간당 평균 산소 소비율은 수온이 높아질수록 유의하게 증가하였고 (P<0.001), 모든 수온 조건(7°C 제외)에서 연속 명기일 때 가장 높았으며, 명기와 암기가 반복될 때 명기에서 증가하고 암기에서 감소하는 일주기 리듬을 보였다. 따라서 수온 (P=0.000), 광주기 (P=0.000) 그리고 두 인자의 상호작용 (P=0.000) 모두가 대구 치어의 산소 소비율에 유의한 영향을 미쳤다(표 8).

표 8. 수온과 광주기에 따른 대구치어의 산소소비율

Photoperiod(P) Temperature(°C)	24L:0D	12L:12D	0L:24D		
	mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹				
7	1108.4±16.7 ^{a*(a)**}	828.1±8.0 ^{a(b)}	793.7±2.0 ^{a(b)}		
10	1570.3±0.9 ^{b(a)}	1352.6±3.0 ^{b(b)}	1145.7±11.2 ^{b(c)}		
13	1742.5±6.9 ^{c(a)}	1587.3±9.7 ^{c(b)}	1352.8±7.9 ^{c(c)}		
16	1818.6±8.7 ^{d(a)}	1737.8±8.8 ^{d(b)}	1458.2±10.8 ^{d(c)}		
Regression	OCR=668.24+77.66T (r ² =0.86, P<0.0001)	OCR=240.95+98.75T (r ² =0.91, P<0.0001)	OCR=342.77+73.64T (r ² =0.98, P<0.0001)		
Two-way ANOVA					
	d.f.	SS	MS	F	P
Temperature	3	3076629	1025543	3618.58	0.000
Photoperiod	2	828931	414465	1462.42	0.000
Temperature × Photoperiod	6	60016	10003	35.29	0.000
Error	24	6802	283		

* Values (mean±SE) with different superscripts within the same column are significantly different (n=3, P<0.001)

**Values (mean±SE) with different superscripts in parenthesis within the same row are significantly different (n=3, P<0.001)

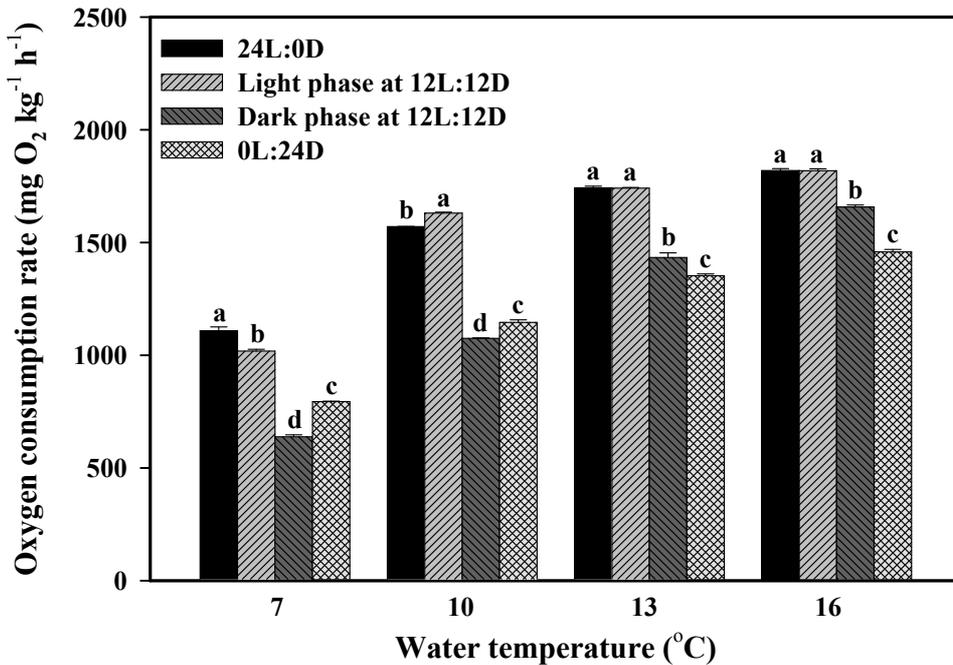


그림 13. 수온과 광주기에 따른 대구치어의 산소 소비율

대구 치어의 수온과 광주기에 따른 대사 에너지 소비율을 그림 14에 나타내었다. 수온에 따른 일간 평균 대사 에너지 소비율은 24L:0D 조건의 경우 7, 10, 13 그리고 16°C에서 각각 755.9, 1072.3, 1190.1 그리고 1247.0 kJ kg⁻¹ d⁻¹이었고, 12L:12D 조건의 경우 각각 565.9, 923.7, 1084.4 그리고 1186.7 kJ kg⁻¹ d⁻¹이었으며, 0L:24D 조건의 경우 각각 542.1, 782.6, 929.1 그리고 996.1 kJ kg⁻¹ d⁻¹로 나타나, 수온 상승과 연속 명기 조건에서 높은 대사 에너지 소비율을 보였다 (P<0.001).

수온과 광주기에 따른 대구 치어의 Q₁₀ 값은 표 9에 나타내었다. 수온 7~10°C 구간의 Q₁₀ 값은 24L:0D, 12L:12D 그리고 0L:24D에서 각각 3.19, 5.13 그리고 3.40이었으며, 10~13°C 구간에서 각각 1.41, 1.70 그리고 1.74이었고, 13~16°C에서 각각 1.15, 1.35 그리고 1.28로 나타나, 7~10°C 구간에서 가장 높았다. 각 수온 범위에서 광주기에 따른 Q₁₀ 값은 12L:12D(10~13°C 제외)에서 가장 높은 반면, 24L:0D에서 가장 낮은 값을 보였다. 전 수온 범위(7~16°C)의 Q₁₀ 값 역시 12L:12D 조건에서 3.73으로, 24L:0D(2.41)와 0L:24D(2.95) 조건에 비해 높은 값을 보였다.

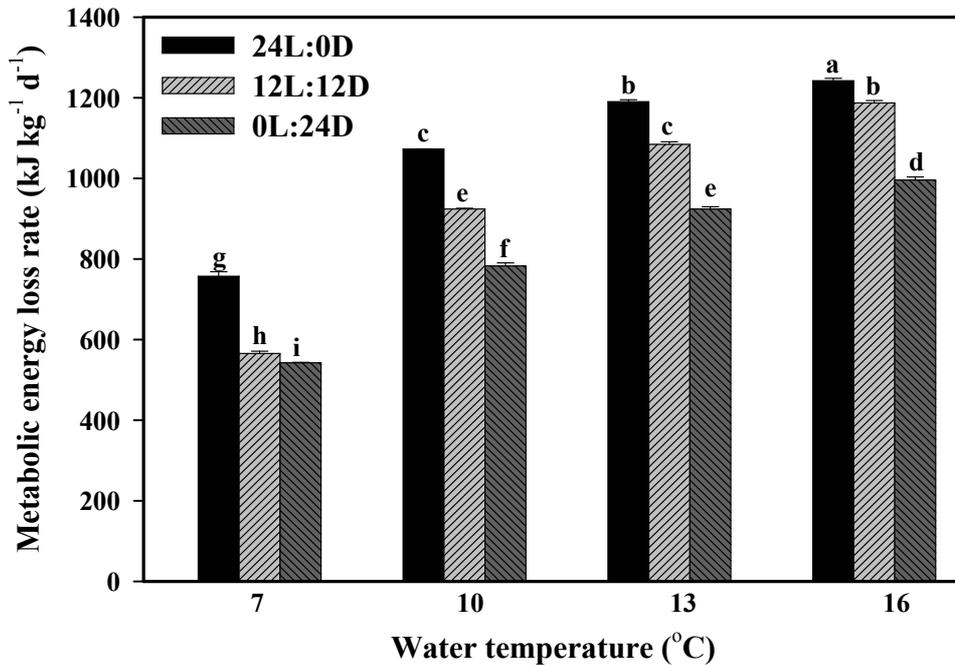


그림 14. 수온과 광주기에 따른 대구치어의 대사에너지 소모율

표 9. 수온과 광주기에 따른 대구치어의 Q_{10} 값

Photoperiod	Water temperature interval (°C)			
	7~10	10~13	13~16	7~16
24L:0D	3.19	1.41	1.15	2.41
12L:12D	5.13	1.70	1.35	3.73
0L:24D	3.40	1.74	1.28	2.95

(1) 대구의 암모니아 배설

(가) 절식에 따른 TAN 배설

대구 치어의 수온에 따른 절식 시 시간당 평균 TAN 배설물의 일간 패턴과 그 결과를 그림 15와 표 10에 나타내었다. 절식 시 시간당 평균 TAN 배설물은 수온 9, 10 그리고 13°C에서 각각 6.3~12.1(9.3±0.3, mean±standard error), 6.4~14.8(11.0±0.4) 그리고 7.1~15.6(11.9±0.4) mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 증가하였다. 일간 배설물(그림 16)은 각각 225.3±6.7, 267.8±10.2 그리고 286.7±20.3 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나, 9°C에 비해 11°C와 13°C가 각각 약 1.18배와 1.27배 증가하였다. 이상의 결과에서 대구 치어의 절식 시 시간당 및 일간 평균 TAN 배설물은 수온 상승에 따라 모두 증가하였으

며, 9°C에 비해 11°C와 13°C가 유의하게 ($P<0.05$) 증가하였지만, 11°C와 13°C간에는 차이가 없었다 ($P>0.05$).

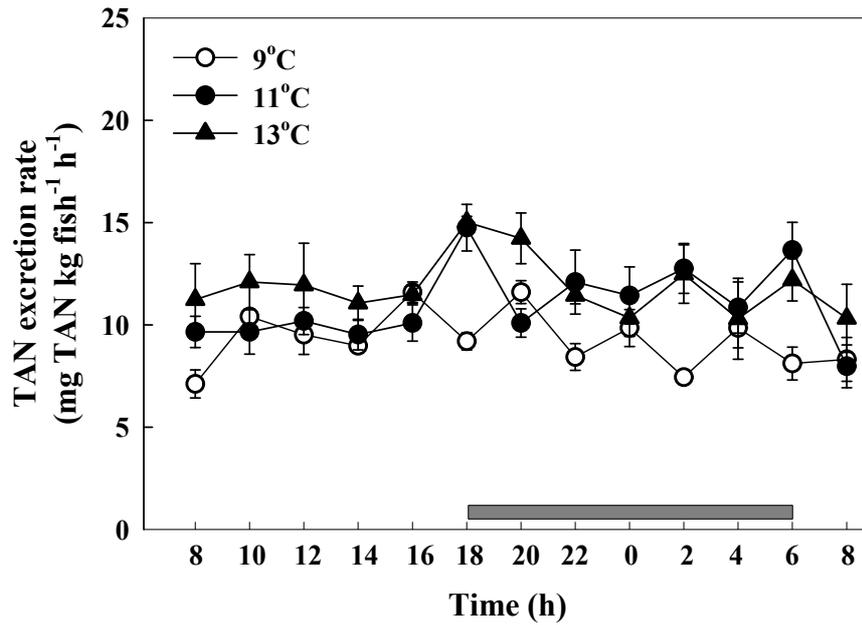


그림 15. 수온에 따른 대구치어의 암모니아 배설률

표 10. 수온에 따른 대구치어의 암모니아 배설률

	Water temperature (°C)		
	9	11	13
TAN excretion rate* (mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹)	9.3±0.3 ^a	11.0±0.4 ^b	11.9±0.4 ^b

*Values (mean±standard error) with different superscript are significantly different ($P<0.05$, $n=39$).

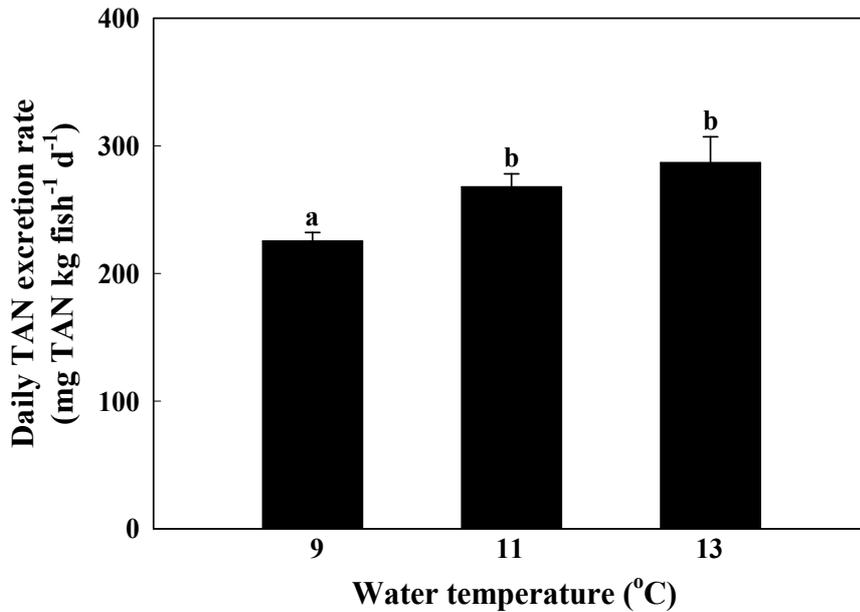


그림 16. 수온에 따른 대구치어의 일일 암모니아 배설률

(나) 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설

수온에 따른 대구 치어의 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 일간 패턴과 그 결과를 그림 17과 표 11에 나타내었다. 수온 9, 10 그리고 13°C 모두에서 사료 공급과 동시에 TAN 배설률이 증가하였다. 수온 9°C의 경우 사료 공급에 따른 식후 시간당 TAN 배설률은 12.5~40.7 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ 범위였으며 평균 23.0±1.1 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타났다. 첫 번째 사료 공급이 이루어진 08:00시부터 TAN 배설률은 증가하기 시작해 공급 2시간(즉, 10:00 h) 후에 첫 번째 peak 값(평균 28.9±2.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 보였다. 이후 TAN 배설률은 감소하였다가 두 번째(즉, 16:00 h) 사료 공급이 이루어진 2 시간(즉, 18:00 h) 후에 두 번째 peak 값(평균 38.0±1.9 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 보였다. 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 14시간 후에는 처음의 배설률로 낮아졌다. 수온 11°C와 13°C의 경우 식후 시간당 TAN 배설률은 각각 9.4~59.7와 20.0~78.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ 범위를 보였으며, 시간당 평균 TAN 배설률은 각각 31.6±1.6과 45.4±2.7 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다(P<0.05). 식후 일간 TAN 배설 패턴은 수온 9°C와 동일하게 수온 11°C와 13°C에서도 사료 공급과 동시에 증가하기 시작해 사료 공급(즉, 08:00와 16:00 h)이 이루어진 2시간 후(즉, 10:00와 18:00 h)에 peak 값을 보였다. 수온 11°C의 경우 첫 번째와 두 번째 peak 값은 각각 평균 37.4±2.2와 52.9±4.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 수온 13°C의 경우 각각 평균 68.1±1.4와 77.5±0.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹

로 나타나 9°C와 마찬가지로 11°C와 13°C에서도 두 번째 peak 값이 첫 번째 peak 값보다 높게 나타났다.

사료 공급에 따른 식후 일간 평균 TAN 배설률은 수온 9, 10 그리고 13°C에서 각각 564.3 ± 11.5 , 784.4 ± 44.5 그리고 1122.8 ± 53.8 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다 ($P < 0.05$). 섭취한 질소에 대해 TAN으로 배설, 손실되는 질소는 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 43.9 ± 0.8 , 46.4 ± 0.7 그리고 $48.4 \pm 1.1\%$ 로 나타나 9°C에 비해 11°C와 13°C의 손실 비율이 유의하게 높았으며 ($P < 0.05$), 11°C와 13°C는 차이가 없었다.

이상의 결과에서 수온 9, 11 그리고 13°C 모두 두 번의 사료 공급에 따라 두 번의 TAN 배설률 peak를 보였고 첫 번째 보다 두 번째 peak 값이 항상 높았으며, 사료 공급 2시간 후 peak 배설률을 보였다. 수온 상승에 따라 TAN 배설률이 유의하게 증가하였으며, 섭취 질소에 대한 질소 손실 비율은 9°C에 비해 11°C와 13°C가 약 2.5~4.5% 높게 나타났다.

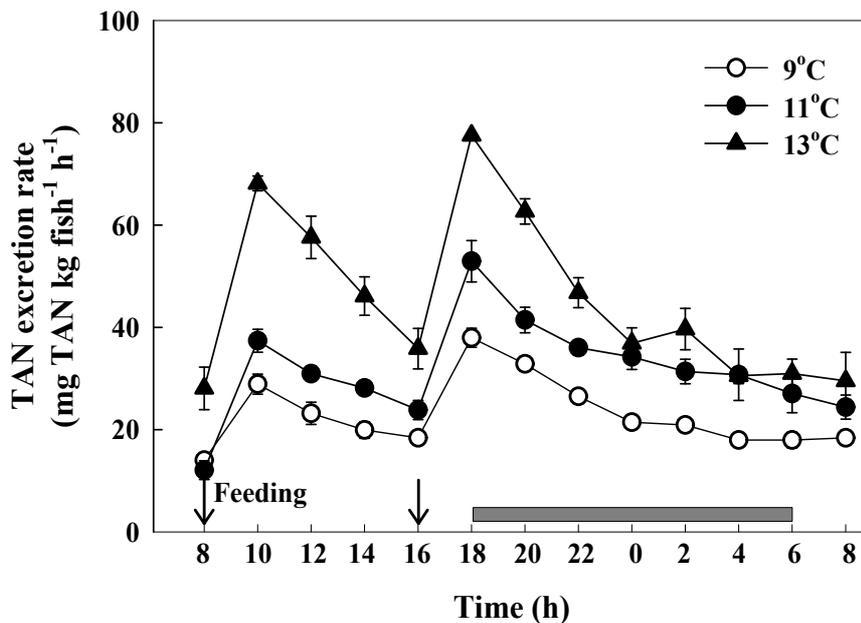


그림 17. 수온에 따른 대구치어의 총 암모니아 배설률의 일변화

표 11. 수온에 따른 대구 치어의 식후 시간당 섭취질소와 평균 TAN 배설률

Temp.	Daily intake N rate (n=3)	TAN excretion rate (n=39)	Daily TAN excretion rate (n=3)	TAN loss (n=3)
°C	mg N kg fish ⁻¹ d ⁻¹ *	mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹ *	mg TAN kg fish ⁻¹ d ⁻¹ *	%*
9	1288.1±47.2 ^a	23.0±1.1 ^a	564.3±11.5 ^a	43.9±0.8 ^a
11	1688.5±75.0 ^b	31.6±1.6 ^b	784.4±44.5 ^b	46.4±0.7 ^b
13	2316.3±78.1 ^c	45.4±2.7 ^c	1122.8±53.8 ^c	48.4±1.1 ^b

* Values (mean±standard error) with different superscript in same column are significantly different (P<0.05).

다. 고찰

(1) 대구의 산소 소비율

어류와 같은 변온동물의 성장, 먹이 섭취에 따른 소화, 산소 소비 및 대사 노폐물의 배설 등과 같은 대사 반응은 수온에 직접적인 영향을 받으며, 일반적으로 서식 수온 범위 내에서 온도 상승에 따라 직선적으로 증가한다 (Forsberg and Summerfelt 1992; Tytler and Calow 1985). 본 실험 결과 수온 상승은 대구 치어의 대사율을 증가시키는 인자로 작용하였으며, 이전의 연구 결과와 일치하였다 (Paul et al., 1988; Hanna et al., 2008). Paul et al., (1988)은 185~225 g의 *G. macrocephalus*를 대상으로 수온을 3.5°C에서 7°C로 상승시킬 경우 수온 상승에 따라 산소 소비율은 직선적[OCR($\mu\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)=23.45+4.789T, $r^2=0.99$]으로 증가한다고 보고하였으며, Hanna et al., (2008)은 성어(평균 무게 1.5 kg)를 대상으로 4°C에서 11°C로 상승할 경우 28% 산소 소비율이 증가한다고 보고하였다. Schurmann and Steffensen (1997)은 같은 속 어류인 대서양 대구 (*Gadus morhua*)를 대상으로 한 실험에서 5°C 상승할 경우 61% 산소 소비율이 증가하며, Pérez-Casanova et al., (2008) 역시 10°C에서 22°C로 상승할 경우 2.8배 증가한다고 보고하였다. 오 등(2009a)은 대구와 같은 냉수성 어종인 강도다리 (*Platichthys stellatus*) 치어(평균 무게 37.4 g)를 대상으로 수온 4°C에서 19°C로 상승할 경우 약 2.6배 증가한다고 보고하였다. Jonassen et al., (2000) 역시 냉수성 어종인 Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) 치어(평균 무게 11.6 g)를 대상으로 수온 6°C에서 12°C로 상승할 경우 약 1.3~1.4배 증가한다고 보고하였다. 본 실험의 경우 수온이 7°C에서 16°C로 상승할 경우 광주기 조건에 따라 약 1.6~2.6배 대사율이 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 차이는 실험 종, 크기, 실험 수온, 광주기, 절식 기간 그리고 산소 소비율의 측정 방법 및 시스템 등에 기인한 것으로 판단된다.

광주기 변화 역시 대구 치어의 산소 소비율에 영향을 미쳤다. 본 실험 결과 명기가 지

속될 경우 가장 높은 산소 소비율을 보였으며, 이것은 참메기, *Silurus asotus* (조와 김, 1999)와 돌돔, *Oplegnathus fasciatus* (오 등 2006)의 결과와 일치하였다. 이들 어종의 경우 수온 상승과 상관없이 명기가 지속될 때(24L:0D) 가장 높은 산소 소비율을 보였으며, 다음으로 12L:12D 그리고 0L:24D 순으로 나타나 본 실험 결과와 일치하였다. 그러나 볼락 (*Sebastes inermis*)의 경우 수온 상승시 24L:0D 조건보다 12L:12D 조건에서 더 높은 산소 소비율을 보여(오와 노 2006) 본 실험과 차이를 보였지만, 명기시의 산소 소비율이 암기 시 보다 항상 높은 결과를 보였다. Imsland et al., (1995)은 turbot (*Scophthalmus maximus*)을 대상으로 한 실험에서 24L:0D 조건이 자연 광주기 조건과 16L:8D 조건보다 높은 산소 소비율을 보인다고 보고하였고, 지속적인 명기 조건은 어류의 유영 등 움직임을 높이기 때문이라고 고찰하였다. 본 실험 역시 지속적인 명조건의 경우 대구 치어의 활발한 움직임을 관찰할 수 있었지만, 지속적인 암조건의 경우 호흡실 내 바닥에서 거의 움직임이 없는 상태를 유지하는 것으로 보아 명암이 대구 치어의 활동성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 생각된다. 이 밖에 Björnsson (1997)은 연어를 대상으로 실험한 결과 수온에 상관없이 광주기의 변화가 체내 성장 호르몬의 분비 등 대사회전 (turnover)을 높여 산소 소비율을 증가시킨다고 보고도 있어, 이에 대한 연구가 앞으로 필요하다.

대구 치어의 수온과 광주기에 따른 일간 산소 소비율 패턴의 경우 연속 명기 또는 암기 조건은 큰 변화를 보이지 않은 반면, 12L:12D 조건은 명기에서 산소 소비율이 증가하고 암기에서 산소 소비율이 감소하는 일주기 리듬을 보였다 (Fig. 1과 2). 이것은 광주기의 변화가 없는 연속 명기 또는 암기 조건의 경우 어체의 안정적인 상태를 유지하는 반면, 명기와 암기가 반복될 경우 체내 생리적 반응 및 행동 양상에 영향을 미쳐 나타난 것으로 생각된다. 이와 같은 현상은 볼락(오와 노 2006), 돌돔(오 등 2006) 그리고 참메기(조와 김 1999)에서도 보고되었으며, 참메기의 경우 암조건에서 더욱 안정적인 상태를 유지하는 것으로 나타났다. Biswas et al., (2002)은 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)를 대상으로 3L:3D, 6L:6D, 12L:12D 그리고 24L:24D의 광주기 조건에서 산소 소비율을 조사한 결과 12L:12D에서 가장 확실한 일주기 리듬을 보인 반면, 3L:3D 조건의 경우 빈번한 광주기 변화 때문에 일정한 일주기 리듬을 보이지 않는다고 보고하였다. Atlantic halibut 치어의 경우 수온 6°C와 12°C 조건에서 자연 광주기 조건으로 실험한 결과 명기보다는 암기 조건에서 더 높은 산소 소비율을 보여 본 실험과 반대의 현상을 보였지만, 역시 광주기 변화에 따른 일주기 리듬이 나타났다 (Jonassen et al. 2000). 따라서 광주기가 어류 체내 생체 리듬에 영향을 줄 수 있는 생체시계 (zeitgeber) 역할을 하는 것으로 판단되며, 이전의 연구 결과와 일치하였다 (Ross and McKinney 1988; Biswas and Takeuchi 2002).

어류의 산소 소비와 같은 대사 활동은 많은 에너지를 사용하며, 성장 및 생존 등에 필요한 에너지수지에 있어 상당한 부분을 차지한다 (Adams and Breck, 1990). 본 실험 결과 수온과 광주기 변화는 어류의 대사 에너지 소비율 상승에 주된 원인이었으며, 이전의 연

구 결과와 일치하였다(조와 김 1999; 오 등 2006; Jonassen et al., 2000). 본 실험 결과 연속 명기 조건에서 높은 에너지 소비율을 보인 반면, Biswas et al., (2002)은 나일틸라피아의 경우 광주기 3L:3D와 6L:6D 조건이 12L:12D 조건보다 각각 20%와 14% 더 높은 에너지를 소모하였다고 보고하였다. 이들은 빈번한 명암의 변화가 체내 생리 반응을 가속화시켜 어류의 활동성 또는 생체 리듬에 영향을 미쳐 더 많은 에너지를 소비할 수 있다고 고찰하였다.

Q_{10} 값은 수온 상승으로 유발된 체내 생화학적 반응의 적응을 위한 수서동물의 에너지 요구량을 나타낸다 (Spanopoulos-Hernández et al. 2005). 본 실험이 이루어진 7~16°C 범위에서 광주기에 따라 Q_{10} 값은 2.41~3.73으로 나타나, 다른 어종에서 일반적으로 보고된 2~3 범위 (Fry 1971)와 유사하였다. 동일 어종을 대상으로 한 실험에서 Hanna et al., (2008)은 성어(1.5 kg)의 경우 4°C에서 11°C로 상승할 경우 1.5의 Q_{10} 값을 보고하였고, Paul et al., (1988)은 미성어(185~225 g)의 경우 3.5~7°C 범위에서 2.5의 Q_{10} 값을 보고하였다. Schurmann and Steffensen (1997)은 같은 속 어류인 대서양 대구(26~35 g)를 대상으로 5~15°C 범위에서 2.12의 Q_{10} 값을 보고하였고, Soofiani and Priede (1985)는 31.5 g의 대서양 대구를 대상으로 7~15°C 범위에서 1.93의 Q_{10} 값을 보고하였다. Laurence (1978)는 36.0~2684.8 μg 의 대서양 대구를 대상으로 4~10°C 범위에서 5.31의 높은 Q_{10} 값을 보고한 바 있다. 이와 같은 차이는 실험이 이루어진 수온 범위, 실험 방법, 어종, 크기 및 순치 조건 등에 기인한 것으로 생각된다. 본 실험 결과 가장 낮은 수온 범위인 7~10°C 범위에서 가장 높은 Q_{10} 값(3.19~5.13)을 보였으며, 이전의 대서양 대구 (Saunders, 1963), Gray snapper, *Lutjanus griseus* (Wuenschel et al. 2005) 그리고 불락(오와 노 2006)의 결과와 유사하였다. 따라서 대구 치어는 수온이 상승하기 시작하는 봄철에 높은 대사율 증가가 예상되며, 이에 따른 적절한 용존산소 관리와 에너지 손실에 따른 먹이 공급이 충분이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 수온과 광주기는 대구 치어의 대사율에 직접적인 영향을 미치는 대사조절인자로 작용하였으며, 각 인자에 따른 정량적 대사율은 시스템 내 용존산소 요구량 및 사료 내 에너지 요구량 등 대구 치어 사육 관리를 위한 기본적인 정보로 활용할 수 있을 것이다.

(2) 대구의 암모니아 배설

본 실험 결과 수온은 대구 치어의 절식과 사료 공급에 따른 암모니아 배설에 직접적인 영향을 미쳤으며, 이전의 연구 결과와 일치하였다 (Cui and Wootton, 1988; Cai and Summerfelt, 1992; Forsberg and Summerfelt, 1992; Tanaka and Kadowaki, 1995; Leung et al., 1999; 오 등 2009b). 절식에 따른 암모니아 배설은 어류 자체 체단백질의 이화작용 (catabolism) 및 대사회전 (turnover)에 따른 내인성 (endogenous) 배설 (Jobling 1981)을 나타

내며, 절식 기간과 수온, 어종에 따라 다양하게 나타난다. 오 등(2009b)은 같은 냉수성 어종인 42.4 g의 starry flounder (*Platichthys stellatus*) 치어를 대상으로 3일간 절식 후 수온이 10, 15 그리고 20°C로 상승함에 따라 각각 10.9, 11.2 그리고 12.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 증가하는 결과를 보고하였다. 강도다리의 일간 내인성 배설률 역시 258.8~290.6 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 본 실험의 225.3~286.7 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹와 거의 유사하였으며, 수온 상승에 따라 증가하는 결과를 보였다. Kaushik and Cowey (1991)와 Ballestrazzi et al., (1994) 역시 몇 종의 경골어류를 대상으로 보고한 100~200 mg N kg fish⁻¹ d⁻¹의 일간 내인성 질소 배설률과도 유사하게 나타났다. 이상의 결과에서 수온 9°C에 비해 13°C의 내인성 TAN 배설률은 약 1.27배 증가하였으며, 이것은 수온 상승으로 유발된 대사 요구량을 체내 아미노산의 탈아미노화 (deamination)에 의해 부분적으로 충족된다는 것을 나타낸다 (Forsberg and Summerfelt, 1992).

어류가 섭취하는 사료 내 단백질은 수온과 더불어 암모니아 배설에 직접적인 영향을 미친다 (Brett and Zala 1975; Kaushik 1980; Ming 1985). 즉, 외부 단백질의 유입에 따른 체내 소화작용의 결과 TAN 배설은 즉각적으로 증가하며 (Kaushik 1980), 어종 및 섭취량 그리고 수온 등에 따라 배설 경향과 양은 달라진다. 수온 상승에 따른 식후 TAN 배설량의 증가는 minnows (*Phoxinus phoxinus*)(Cui and Wootton 1988)와 areolated grouper (*Epinephelus areolatus*)(Leung et al. 1999b), Arctic charr (Jobling 1998) 그리고 starry flounder (오 등 2009b) 등에서도 동일한 결과를 보였다.

사료 공급 후 나타나는 암모니아 배설의 일간 패턴은 사육 시스템 내 환수 시기 및 환수량 등 시스템 내 수질 관리를 위한 중요한 정보를 제공한다(Porter et al., 1987; Forsberg and Summerfelt 1992). 내인성 TAN 배설률의 일간 패턴은 수온에 관계없이 큰 변화를 보이지 않은 반면(Brett and Zala 1975; Kaushik 1980; Clarke et al., 1985; 오 등 2009b), 식후 TAN 배설률의 일간 패턴은 사료 공급 방법에 영향을 받는 것으로 나타났다. 일반적으로 식후 TAN 배설률은 사료 공급 횟수에 따라 unimodal 또는 polymodal 리듬을 보인다(Kaushik 1980; Kaushik and Cowey 1991). 본 실험의 경우 두 번의 사료 공급 후 두 번의 TAN 배설 peak를 보였으며, 모두 사료 공급 2시간 후 나타났고 두 번째 peak 값이 항상 높게 나타났다. Dosdat et al., (1996)은 sea bass, sea bream (*Sparus auratus*), turbot (*Scophthalmus maximus*), brown trout (*Salmo trutta fario*) 그리고 rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로, 오 등(2009b)은 starry flounder를 대상으로 그리고 오와 최(2009)는 dark-banded rockfish (*Sebastes inermis*)를 대상으로 두 번 사료 공급 후 두 번의 TAN 배설 peak를 관찰하였으며, 두 번째 peak는 첫 번째보다 높다고 보고하였다. 그러나 peak 시간의 경우 sea bass, sea bream, turbot, brown trout 그리고 rainbow trout은 사료 공급 3~5시간 후, 그리고 starry flounder는 사료 공급 2시간 후 그리고 dark-banded rockfish는 6시간 후에 나타나 어종에 따라 다른 결과를 보였다. Lied and Braaten (1984)는 같은

속 어류인 Atlantic cod (*Gadus morhua*)를 대상으로 하루 한 번 사료를 공급한 후 사료 공급 5~6시간 후 한 번의 TAN 배설 peak만이 나타났다고 보고하였다. Arctic charr (Lyytikäinen and Jobling 1998) 그리고 참돔(오 등 2004) 역시 한 번의 사료 공급 후 한 번의 TAN 배설 peak를 보였으며, 각각 사료 공급 2~3시간 그리고 6시간 후 최대 TAN 배설률에 도달한다고 보고하였다. 따라서 사료 공급에 따른 식후 최대 TAN 배설률에 도달하는 시간은 어종, 수온, 섭취한 질소의 양, 사료 공급 횟수 그리고 크기 등에 따라 달라지며, 대구의 경우 사료 공급이 이루어진 2시간 후 환수를 통한 사육 시스템 내 수질관리가 이루어져할 것으로 판단된다.

본 실험 결과 대구 치어는 수온에 따라 섭취한 사료 내 질소의 43.9~48.4%를 TAN으로 배설하였으며, 수온 상승에 따라 증가하였다. 냉수성 어종인 starry flounder 역시 수온 10°C에 비해 20°C에서 5.8%로 TAN 배설 비율이 증가하였으며(오 등 2009b), walleye의 경우 20°C에 비해 25°C에서 29.0% (Forsberg and Summerfelt 1992), 그리고 dark-banded rockfish (오와 최 2009)의 경우 15°C에 비해 25°C에서 5.5% 증가하는 것으로 나타나 본 실험 결과와 유사하였다. 이와 같은 결과는 내인성 TAN 배설률과 마찬가지로 수온 상승으로 유발된 높은 대사 에너지 요구량을 섭취한 사료 내 아미노산의 이화작용으로 충족시킨 결과, TAN 배설률이 증가한 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 수온은 대구 치어의 절식과 사료 섭취에 따른 내인성 및 식후 TAN 배설에 유의한 영향을 미쳤다. 식후 TAN 배설 패턴과 배설량은 사육 시스템 내 암모니아의 축적을 방지하기 위한 환수 시기 및 환수량의 결정 및 질산화 생물여과조 설계 그리고 대구 치어 성장에 영향을 미치는 질소 수치 산정을 위한 유용한 정보로 활용할 수 있을 것이다.

3. 자연산 대구종묘의 인공사육

가. 재료 및 방법

(1) 크릴새우를 이용한 자연산 대구의 먹이붙임

강원도 고성군 오호리항 연안의 정치망에서 어획된 대구 중간 종묘를 해양심층수연구센터의 수산동으로 수송하여 안정시킨 후 실험에 이용하였다. 대구 종묘는 1월 16일(1월 중간 종묘)과 3월 4일(3월 중간 종묘) 두 차례 구입하여 실험에 이용하였으며, 대구의 위 내용물에 대한 선행 조사 결과, 대구의 중간 종묘는 주로 크릴을 주식으로 하는 것으로 나타나 이러한 결과를 토대로 먹이 순치를 위하여 시판매중인 냉동 크릴새우로 순치 사육을 실시하였다. 사육수조는 4m PP원형수조(10t) 2개에 각각 수용하고 각각 123일과 76일간 해양심층수를 이용하여 수온을 조절하면서 사육하였다(그림 18).

사육 기간 중 해양심층수연구센터의 사육수온이 5~6°C로 일정하게 유지하였다.



그림 18. 정치망에서 어획된 대구 종묘와 위 내용물

(2) 사료종류에 따른 성장률

1월 16일에 수집하여 크릴새우로 먹이붙임이 끝난 대구 종묘를 4개의 원형수조(각각 2 m³)에 나누어 30일간 성장 실험을 실시하였다. 실험사료는 표 12과 같이 시판중인 EP 배합사료에 각각 수분과 크릴 농축액을 혼합한 2개 실험구(EP-1, EP-2)와 1개 실험구는 냉동 고등어가 중심이 된 MP사료, 또 다른 실험구는 고등어와 크릴농축액을 혼합한 MP사료 등 총 4개 실험구로 하였다. 실험용 EP 사료는 배합사료에 크릴농축액과 수분을 흡착시켜 제조하였으며, MP사료는 생사료와 분말사료, 크릴농축액, 수분을 반죽한 후 초과기를 이용 제조하였다(그림 19). 실험 사료는 -20℃에 냉동 보관하였다가 필요한 양만큼 꺼내어 일간 2회 공급하였다.

실험용 사료의 일반성분 분석을 위해 수분은 상압가열건조법(110℃, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법 (N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지질은 Buchi extraction system (B-811, Switzerland)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 제조된 실험용 사료의 성분함량을 표 12와 같이 EP사료가 중심이 된 2개의 실험사료는 수분이 약 16~17%, 조단백질이 54~55% 수준이었으며, MP사료 2가지는 수분이 45~49%, 조단백질이 50~51% 수준을 유지하였다.

표 12. 실험용 사료의 배합 비율

(단위 : %)

	생사료 (냉동고등어)	분말사료 (MP사료용)	크릴농축액	배합사료	수분	계
EP-1	-	-	-	85	15	100
EP-2	-	-	15	85	-	100
MP-1	65	35	-	-	-	100
MP-2	50	35	15	-	-	100



그림 19. 실험용 사료의 제조

표 13. 실험용 사료의 일반성분

(단위 : %)

	Moisture	Dry Matter Basis			
		Crude protein	Crude ash	Crude fat	Carbohydrates
EP-1	17.79 ± 0.12	55.46 ± 0.18	12.01 ± 0.13	12.23	20.30
EP-2	16.52 ± 0.50	54.52 ± 0.82	11.72 ± 0.13	11.73	22.03
MP-1	45.37 ± 1.80	51.64 ± 0.34	9.85 ± 0.15	12.77	25.74
MP-2	49.62 ± 0.26	50.55 ± 0.54	12.41 ± 0.21	16.24	20.80

표 14. 실험구별 일간 사육수 Turnover Rate

	EP-1	EP-2	MP-1	MP-2
일간 사육수 Turnover Rate (회/day)	10.66	13.22	14.08	12.34

사육수는 해양심층수연구센터에서 취수한 심층수를 이용하여 유수식으로 사육하였으며, 일간 사육수 공급량 (Turnover Rate)은 표 14와 같으며, 사육수의 수온, 용존산소, 염분도는 일간 2회 측정하였으며, 30일의 사육기간 동안 평균 수온은 5.1~5.3℃, 평균 용존산소량은 7.9~8.4 mg/L, 염분도는 33.9 psu로 안정적인 사육환경을 유지하였다(표 15).

표 15. 실험기간 중 평균 수온, 용존산소, 염분도

	Water temperature (℃)	Dissolved oxygen (mg/L)	Salinity (psu)
EP-1	5.3 ± 0.3	8.4 ± 1.1	33.9 ± 0.3
EP-2	5.2 ± 0.1	7.9 ± 0.9	33.9 ± 0.3
MP-1	5.1 ± 0.1	7.9 ± 0.8	33.9 ± 0.3
MP-2	5.1 ± 0.2	7.9 ± 0.6	33.9 ± 0.3

나. 결과

(1) 크릴새우를 이용한 자연산 대구의 먹이붙임

1월 16일 1차(1월 중간종묘)로 총 49.8 kg (877마리)의 대구 종묘를 수용하여 123일간 135 kg의 크릴새우를 공급하였고, 62.7 kg (406마리)로 성장하였다. 이때의 생존율은 46%로 나타났다. 반면, 3월 4일 2차(3월 중간종묘)로 반입한 대구 종묘는 총 71.5 kg (1,124마리)으로 76일간 87 kg의 크릴새우를 공급하였으나 52.5 kg (684마리)으로 감소하였다(표 16).

1월 중간종묘는 입식시 평균 전장 18.43 ± 1.29 cm, 평균 체장 15.25 ± 1.12 cm, 평균 체중 56.81 ± 13.51 g이었으며, 47일 후엔 각각 21.62 ± 1.23 cm, 17.77 ± 1.02 cm, 95.95 ± 20.85 g으로 성장하였다. 이후 130일에는 각각 26.26 ± 2.88 cm, 21.47 ± 2.37 cm, 154.35 ± 57.59 g으로 성장하였고, 전 기간 일일성장률은 0.81%/day를 기록하였다. 반면, 3월 중간종묘는 입식시 평균 전장 19.50 ± 1.11 cm, 평균 체장 16.00 ± 0.95 cm, 평균 체중 63.60 ± 12.58 g에서, 74일 후엔 각각 21.70 ± 1.45 cm, 17.58 ± 1.14 cm, 76.81 ± 20.54 g으로 성장하였고, 이때의 일일성장률은 0.25%/day를 기록하였다(표 17).

이상의 성장 결과를 보면, 1월 중간 종묘의 일일성장률이 0.81 %/day로 3월 중간 종묘의 일일성장률 0.25 %/day보다 약 3배 이상 높게 나타났다(그림 20).

표 16. 먹이붙임 실험의 사료공급량과 생존율

		Total Weight (kg)	No. of fish	Krill Ingested (kg)	Survival rate (%)	Remark
1월 중간종묘 (1월 16일)	Initial	49.8	877	135	46	사육 초기 대량 폐사 포함
	Final	62.7	406			
3월 중간종묘 (3월 4일)	Initial	71.5	1,124	87	60	초기 폐사 개체 일부 제외
	Final	52.5	684			

표 17. 사육기간에 따른 대구 종묘의 개체 성장

		사육기간 (일)	Total Length (cm)	Body Length (cm)	Average Weight (g)	Daily Growth Rate (%/day)
1월 중간 종묘 (1월 16일)	-		18.43 ± 1.29	15.24 ± 1.12	56.81 ± 13.51	0.81
	47		21.62 ± 1.23	17.77 ± 1.02	95.95 ± 20.85	
	123		26.26 ± 2.88	21.47 ± 2.37	154.35 ± 57.59	
3월 중간 종묘 (3월 4일)	-		19.50 ± 1.11	16.00 ± 0.95	63.60 ± 12.58	0.25
	76		21.70 ± 1.45	17.58 ± 1.14	76.81 ± 20.54	

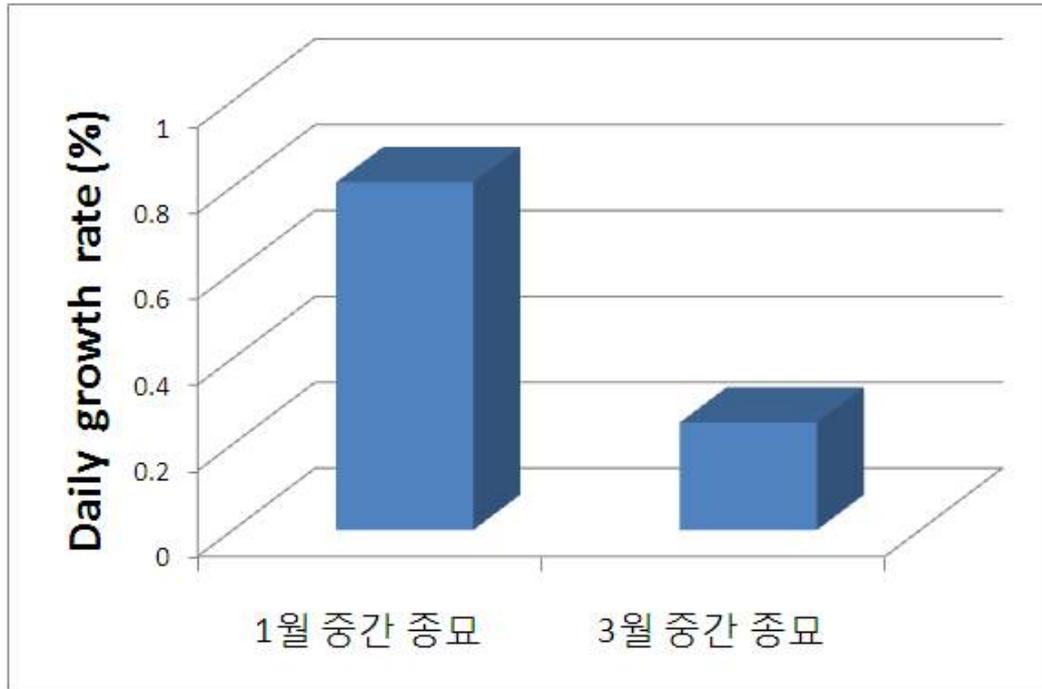


그림 20. 월 중간 종료와 3월 중간 종료의 일일성장률

(2) 사료 종류에 따른 성장률

사육한 결과는 표 18과 같이 실험 시작시 각 실험구의 대구는 평균체중이 143~147 g 범위였으며, 30일 후의 종료시에는 152~159 g 수준으로 성장하였다. 실험구별 생존률을 보면 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 각각 99.1, 96.1, 98.0, 96.0 %로 높게 나타났다.

사육 기간 중의 사료효율을 그림 21에 나타내었다. EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 사료효율은 각각 12.80%, 12.37%, 26.27%, 40.38%로 EP사료를 먹인 실험구보다 MP사료를 먹인 실험구에서 상당히 높은 사료효율을 보였다. 특히 MP사료에 크릴농축액을 첨가한 MP-2 실험구에서는 40.38%의 사료효율을 나타내어 EP사료를 먹인 실험구보다 3배 이상 높았으며 크릴농축액을 첨가하지 않은 MP-1 실험구보다도 1.5배 가량 높게 나타났다. 나아가 사료섭취량은 건중량 기준으로 EP-1 실험구가 7,035 g, EP-2 실험구가 6,037 g, MP-1 실험구가 4,045 g, MP-2 실험구가 3,803 g 순으로 많이 섭취하였다. 따라서 EP 계열사료는 많은 양을 섭취하지만 소화율이 극도로 낮아 성장률이 낮은 것으로 판단되었다. 그 결과 각 실험구의 증중량은 EP-1 실험구가 900.5 g, EP-2 실험구가 747 g, MP-1 실험구가 1,062.5 g, MP-2 실험구가 1,536 g 으로 나타났다.

실험구별 일일성장률은 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 0.17%, 0.16%, 0.23%, 0.34%로 나타났다(그림 22). 사료 효율과 마찬가지로 EP 사료를 공급한 두 실험구보다 MP사료를 공급한 실험구에서 높은 일일성장률을 보였다.

실험구별 일일사료공급률은 EP-1, EP-2, MP-1, MP-2 실험구에서 1.34%, 1.33%, 0.88%, 0.83%로 나타나 건중량 기준으로 MP실험사료에 비해 EP실험사료의 공급률이 높게 나타났다(그림 23).

표 18. 실험 사료 사육 결과

		EP-1	EP-2	MP-1	MP-2
Experimental Duration (day)		30	30	30	30
Initial	Total Weight (g)	17,010	14,741	14,796	14,488
	No. of fish	115	102	102	101
	Average Weight (g)	147.9	144.5	145.1	143.4
Final	Total Weight (g)	17,760	14,900	15,650	15,430
	No. of fish	114	98	100	97
	Average Weight (g)	155.8	152.0	156.5	159.1
Diet Ingested (g)	Wet Weight	8,558	7,232	7,404	7,550
	Dry Weight	7,035	6,037	4,045	3,803
Mortality (No., Weight)		1, 150.5	4, 588	2, 208.5	4, 594
Weight Gain (g)		900.5	747	1,062.5	1,536
Feed Coefficiency		7.81	8.08	3.81	2.48
Feed Efficiency (%)		12.80	12.37	26.27	40.39
Daily Growth Rate (%)		0.17	0.16	0.23	0.34
Daily Feeding Rate (%)		1.34	1.33	0.88	0.83

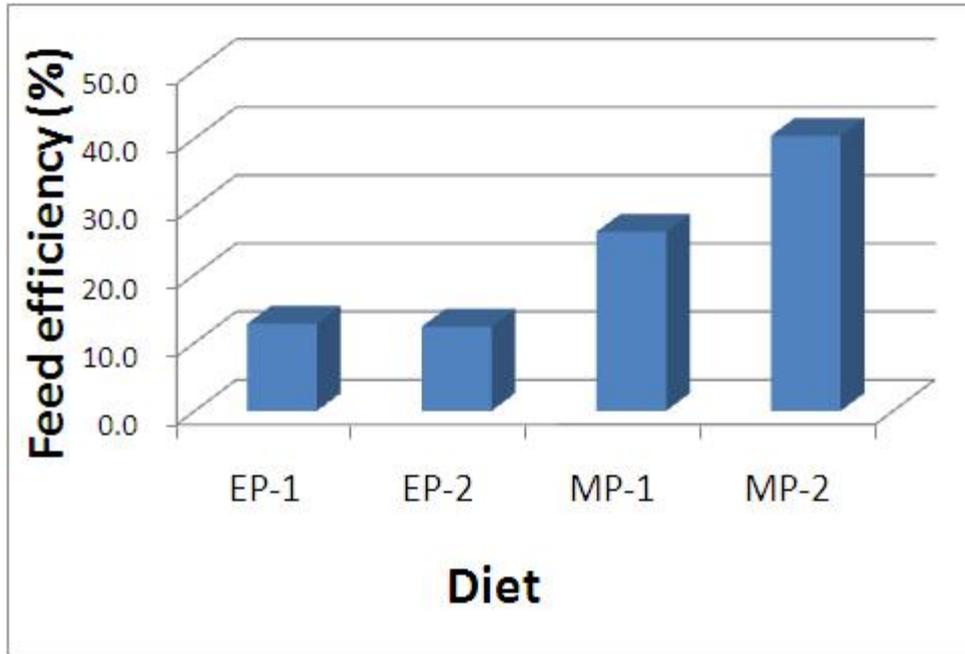


그림 21. 실험용 사료로 30일간 사육한 대구 종묘의 사료효율

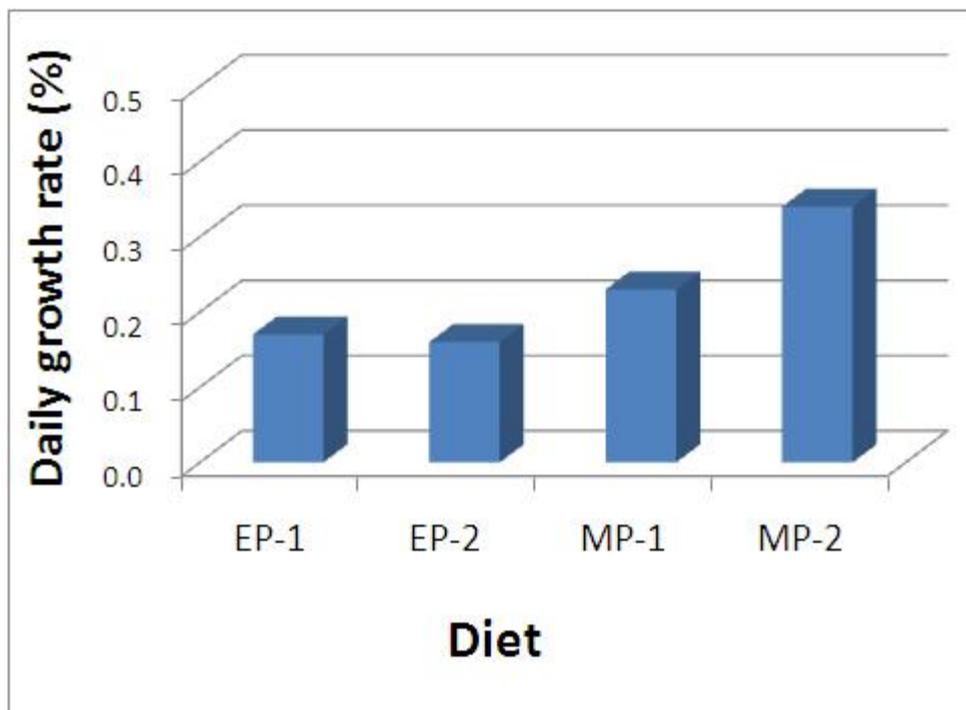


그림 22. 실험용 사료로 30일간 사육한 대구 종묘의 일간성장률

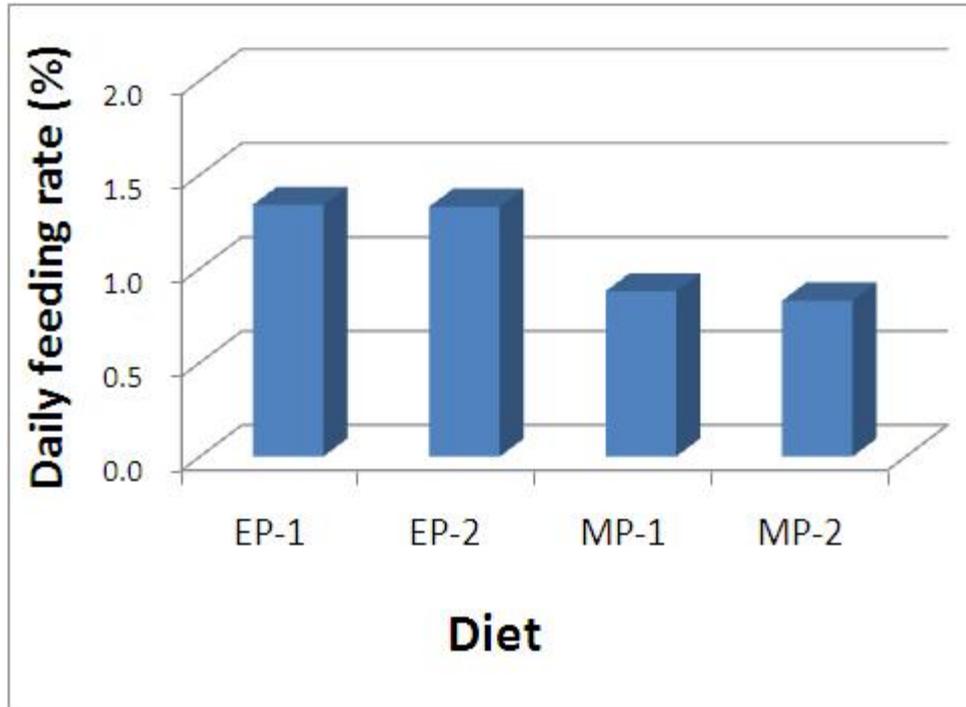


그림 23. 실험용 사료로 30일간 사육한 대구 종묘의 일일사료공급률

다. 고찰

어류의 관리에 있어서 자연산 개체를 실내수조에 적응시키는 데 있어서 먹이붙임은 우선적으로 해결해야 할 과제이다. 먹이붙임을 위해서는 우선 대상어종의 먹이습성에 적합한 자연먹이와 인공산 먹이를 함께 공급하면서 길들여져야 한다. 독가시치류, *Siganus rivulatus*의 경우 실내수조에 수용하여 조류와 건조 배합사료를 공급할 때 정상적인 먹이 붙임이 가능하였고, 가두리에서는 건조 pellet 사료보다 moist pellet 를 공급할 때 성장이 높다고 보고된바 있다 (Kissil, 1972). 흰점독가시치, *S. canaliculatus*의 경우 자연산 어미를 실내수조에 수용하여 먹이 붙임을 하기 위해 파래, 감태등의 해조류를 10일 동안 공급한 이후 인공배합사료를 공급하여 먹이붙임이 가능하였다 (Hwang, 1999). 이 연구에서는 자연산 대구의 위내용물 분석에 따라 자연산 먹이로 크릴새우를 이용하였다. 자연산 대구의 먹이붙임의 과정에서 1월 중간 종묘의 일일성장률이 0.81 %/day로 3월 중간 종묘의 일일성장률 0.25 %/day보다 약 3배 이상 높게 나타났다. 이것은 자연산 채집시기의 해양 환경과 관련하여 1월 종묘는 당시 고성군 일대의 해양 표층 수온이 8.1℃ 정도를 유지하여 육상 수조로 이송 후 유사한 수온으로 관리하여 성장률이 다소 높은 것으로 판단하였다. 반면, 3월 종묘는 1월과는 달리 해양 표층 수온이 9.7℃ 정도로 상당히 상승한 시기에 수집하고 이 후 낮은 수온에서 사육하여 스트레스가 상대적으로 큰 것이 성장에 느린

한 가지 원인으로 판단되었다. 나아가 크기와 수온을 연계하면, 개체 크기가 커지고 수온이 높을 때 어획된 3월 종묘는 사료를 순치시키는 기간도 길었고, 성장에서도 저조한 결과를 보여 자연산 대구 종묘의 수집 및 인공 사육을 위해서는 저수온기인 2월 이전에 수집하는 것이 타당하다고 판단하였다.

정치망에서 어획된 대구 종묘를 초기 사료 순치를 위하여 크릴새우와 배합사료를 같이 공급한 예비실험에서 크릴새우에는 적극적으로 달려들면서 섭취하였다. 반면, 배합사료는 상대적으로 잘 받아먹지 않았고, 섭취한 개체들도 곧 뱉어내는 현상을 보였다. 또한 자연산 대구 종묘의 위를 해부해 본 결과 위 내용물에는 크릴과 같은 소형 갑각류가 대부분을 차지하고 있었다. 따라서 자연산 대구 종묘를 인공 사육하기 위해서는 초기부터 무리하게 배합사료를 공급하는 것보다는 크릴새우로 먹이와 환경에 대한 적응성을 길러 준 후 서서히 배합사료를 비율을 늘려 순치시키는 것이 효율적이라고 판단된다.

1월 중간 종묘와 3월 중간 종묘의 생존율이 차이를 보이는 것은 사육기간이 1월 종묘가 123일로 3월 종묘의 76일보다 길었으며, 사육수조 입식 후 일주일 동안의 폐사량이 많았기 때문이다.

사료 종류에 따른 성장률에서 30일간 MP실험사료(수분함량 약 45~49%)를 공급하여 사육한 대구 중간 종묘는 EP실험사료에 비하여 사료효율은 2배이상, 일일성장률은 1.3~2배로 높았으며, 일일사료공급률은 EP실험사료가 MP실험사료보다 1.5배 정도 높았다. 이러한 결과는 인공배합사료(EP)의 제조 과정에서 고온, 고압으로 사료원료를 가공하는 extruding process 공정을 거쳐 사료에 포함된 단백질 성분이 크게 변형되어 소화가 용이하지 못했던 것으로 판단할 수 있다. 나아가 대구는 한해성어종이며, 그 결과 본 사육실험도 5~6℃의 저수온에서 실험을 수행하여 대구의 단백질 분해효소 활성이 매우 낮아 소화율이 불량하였을 것으로 추정하였다. 따라서 향후 대구 양식에서 사료 단백질의 소화도와 이용성을 판단하기 위한 연구와 아울러 적정 사육수온에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

4. 대구의 적정사육밀도와 먹이공급횟수

가. 재료 및 방법

(1) 체중 90 g의 대구 치어의 적정 사육밀도

실험어는 강원도 양양군의 연안해역에서 정치망으로 어획한 것으로 전장 21.9~25.9 cm (평균전장 23.7±1.21). 체중 80.1~127.7 g (평균체중 98.5±14.8 g) 되는 것으로 100마리를 대상으로하였다. 수용밀도 0.5kg /120L (n=5), 1.04kg/120L (n=10), 1.6 kg/120L (n=15) 그리고 2.2kg/120L (n=20) 나누어 2회 반복 수행하였고, 환산하여 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³ 나타내었다.

실험은 2008년 4월 28일부터 6월 9일까지 6주간 진행되었다. 실험수조는 모서리를 PP (polypropylene)로 처리한 유리사각수조 (60×40×55 cm)로 여과조(50×40×120 cm)를 연결한 순환여과식 사육시스템을 이용하였고 사육수는 하루 22 회전 순환시켰다. 수온은 냉각기 (JC-100, Korea)를 이용하여 8.0±0.5℃로 조절하였다. 염분은 32.5~34 psu, DO는 6.8~7.9 ml/L였고, pH는 7.4~8.1 범위였다. 먹이는 냉동크릴을 1일 2회 10:00와 14:00에 공급하였다.

실험어는 2 주간격으로 어체 측정을 실시하였다. 어체 측정 전에 24시간 절식시킨 후 MS-222 (Sigma, USA) 30 ppm으로 마취하여 전장은 1 mm까지, 체중은 전자저울 (AND, GF-2000, Japan)로 0.1 g까지 측정하였다.

(2) 체중 170 g의 대구 치어의 적정 사육밀도

실험어는 2009년 1월부터 5월까지 강원도 고성군 오호리 연안의 정치망에서 어획한 1년생 미성어 (171.9±43.3 g, NOAA, 2010)로 한국해양연구원 해양심층수센터에서 크릴새우와 인공배합사료를 혼합 공급하고, 6개월 이상 인공사육환경에서 순치사육하였다 (그림 24). 대상 어류는 순치사육기간 동안 공식현상에 의해 큰 개체로부터 공격을 받아 상처가 난 개체와 성장이 더딘 개체들은 제외하고 정상적인 섭이활동과 유평하는 개체들을 사용하였다. 사육수조는 원형 FRP 수조(0.5 톤)를 이용하였다.

실험은 2009년 10월 22일부터 2010년 2월 19일 까지 총 16주 동안 실시되었다. 사육수는 해양심층수를 이용하였고, 16~18 회전/일로 유지하였다. 수온은 대구의 생식수온의 상한이 13℃ (手塚, 2006)이고, 자연에서 서식수온은 6-9℃ (Ketchen, 1961) 범위임을 고려하여 순치사육기간동안 섭이활동을 꾸준히 유지하면서 생식활동에 적합한 온도로 관찰된 10.0±0.5℃로 유지하였으며, 이때 수온유지에는 electronic thermostat (DAC-302H, Korea)를 이용하였다. 그리고 실험기간 동안 pH는 7.2~7.9, DO 7.8~8.9 ml/L 그리고 염분은 34.4~35.0 ppt의 범위였다. 수용밀도는 Atlantic cod, *Gadus morhua*의 경우 2~40 kg/m³ 범위의 사육밀도에서 저밀도 실험구에서 성장률이 높고 30 kg/m³ 이상에서 성장률이 저하되었던 것 (Lambert and Dutil, 2001)과 순치사육기간동안 15 kg/m³의 밀도로 사육한 결과 공식현상이 심하게 발생했던 결과에서 성장률이 높은 저밀도 실험구에서 적합성을 판단하기 위해 각각 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³의 3 실험구로 설정하여 2회 반복 실시하였다 (표 19). 실험에 사용한 사료는 넙치육성용 배합사료 (6.6 mm in mean diameter, extruded pellet, 이화유지공업주식회사)로 1일 1회 반복 공급하였고, 공급량은 매일 기록하여 사료효율을 조사하였다.



해양심층수 연구센터 전경



해양심층수 연구센터 배양동 전경



실험에 이용된 대구



먹이공급 모습

그림 24. 해양심층수 연구센터에서의 사육실험.

표 19. 사육밀도에 따른 성장조사를 위해 설정한 실험구

Experiment	Replicates	n	Total length (cm)	Wet weight (g)
Stoking density (kg/m ³)				
4	1	13	26.7±2.4 (21.7–32.5)	149.8±45.0 (96.9–247.5)
	2	14	27.0±2.0 (24.4–30.2)	157.7±44.6 (94.0–218.5)
8	1	25	26.8±1.5 (23.9–28.9)	162.5±30.6 (108.2–215.2)
	2	24	27.2±1.7 (24.2–30.1)	171.6±33.4 (98.7–245.2)
12	1	32	27.6±1.9 (23.2–30.8)	183.9±46.4 (99.7–280.3)
	2	35	27.6±2.0 (24.2–31.0)	181.7±48.5 (116.4–284.6)

(3) 대구의 적정먹이공급횟수

먹이 공급횟수별 성장차이 조사는 2009년 12월 18일부터 2010년 2월 19일 까지 총 8 주 동안 실시하였다. 먹이 공급 횟수는 Atlantic cod의 경우 주 3회와 5회 공급한 경우에 성장률이 양호했던 결과 (Lambert and Dutil, 2001)를 근거로, 2일마다 1회 공급한 주 3회 공급구와 주 5회공급구로 설정하여 2회 반복 실시하였다 (표 20). 수용밀도는 10 kg/m³로 조절하여 실시하였다. 사육방법은 체중 170g의 대구치어의 적정사육밀도조사에서의 사육 방법과 동일하였고, 실험기간 동안 pH는 7.1~7.7, DO는 6.9~7.7 ml/L 그리고 염분은 34.6~35.0 psu 범위였다.

표 20. 먹이공급횟수에 따른 성장조사를 위해 설정한 실험구

Experiment	Replicates	n	Total length (cm)	Wet weight (g)
Feeding frequency (meals/week)				
3	1	24	28.8±2.4 (24.0–32.6)	206.6±61.9 (102.6–315.3)
	2	28	28.5±2.7 (24.0–33.8)	191.0±67.0 (92.8–328.2)
5	1	29	27.3±2.6 (23.4–32.8)	176.0±57.6 (88.6–308.7)
	2	26	28.5±3.0 (23.3–34.4)	205.2±84.7 (88.3–402.0)

나. 결과

(1) 체중 90 g의 대구 치어의 적정 사육밀도

2008년 4월 28일부터 6월 9일까지 6주간 밀도에 따른 대구의 전장과 체중의 성장은 그림 25와 같다. 전장의 성장은 실험시작 2주후 저밀도 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³에서 빠르고 고밀도 실험군 13.4 kg/m³, 18.2 kg/m³에서 성장이 느렸다. 이후에도 같은 경향이 관찰되어 실험종료시 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³에서 평균전장은 각각 25.4±1.3, 24.3±1.0, 24.2±1.3 그리고 22.5±1.6 cm로 성장하여 저밀도 실험군에서 성장이 빨랐다 (표 20). 체중의 성장은 실험시작시 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³에서 100.4±11.4, 101.8±14.6, 95.6±10.1 그리고 96.4±11.7 g 이었으며 실험종료시에는 각각 109.5±13.8, 104.7±14.1, 98.1±13.0 그리고 95.1±9.4 g 로 성장하여 실험구간의 성장은 수용밀도가 낮을수록 성장이 높게 나타났다 (표 21).

총중증량은 실험종료시에 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³ 그리고 13.4 kg/m³에서 각각 76.0, 40.6, 47.5g이었고 18.2 kg/m³에서는 정상적인 성장을 하지 못했다. 생존률 조사에서 실험초기부터 고밀도 실험구에서 서로 물어뜯는 개체들이 생기기 시작하면서 꼬리지느러미가 탈락하고 표피에 상처를 입는 개체가 급격히 증가하였고 결국 폐사에 이르게 되었다. 이처럼

고밀도 실험구에서 공간경쟁이 심하게 나타나 실험종료시에 생존율은 각각 80.0, 70.0, 63.3 그리고 42.5%로 고밀도 실험구에서 낮게 나타났다 (표 21).

실험기간동안 사료계수, 일간성장률, 일간섭식율 및 비만도는 표 21에 나타난 바와 같다. 사료계수는 수용밀도가 낮을수록 높게 나타나고 저밀도 실험구 4.2 kg/m³에서 3.05로 사료 효율성이 가장 높게 나타났다. 그러나 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³에서는 밀도에 따른 경향을 관찰할 수 없었다. 일간성장률은 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³ 그리고 13.4 kg/m³에서 각각 0.08, 0.02 그리고 0.03%로 저밀도 실험구 4.2 kg/m³에서 가장 높게 나타났다. 일간섭식율은 각각 0.53, 0.41 0.26 그리고 0.16으로 수용밀도가 낮을수록 높았고, 비만도는 사육밀도가 높을수록 높게 나타났으나 이는 저밀도 실험구에서 체장의 성장에 따른 적정 체중의 성장이 이루어지지 않은 결과로 판단된다.

표 21. 사육밀도에 따른 전장, 체중, 증중량 및 생존률

Stocking density (kg/m ³)	Initial			Final			Weight gain (g/fish)	Weight gain (g/tank)	Survival rate (%)
	Density (No.)	Total length(cm)	Body weight (g)	Density (No.)	Total length (cm)	Body weight (g)			
4.2	10	23.8±1.0	100.4±11.4	8	25.4±1.3	109.5±13.8	9.5	76	80
8.6	20	23.7±0.9	101.8±14.6	14	24.3±1.0	104.7±14.1	2.9	40.6	70
13.4	30	23.3±0.8	95.6±12.2	19	24.0±1.3	98.1±13.1	2.5	47.5	63.3
18.2	40	23.9±0.5	96.4±11.7	17	22.5±1.6	95.2± 9.4	-	-	42.5

-, 정상적인 성장이 안 된 실험구.

표 22. 사육밀도에 따른 사료계수, 일간성장률, 일간섭식율, 비만도

Stocking density (kg/m ³)	Feed coefficient ¹	Specific growth ² rate (%)	Daily feeding ³ rate (%)	Condition factor ⁴
4.2	3.05	0.08	0.53	0.67
8.6	8.59	0.02	0.41	0.72
13.4	6.71	0.03	0.26	0.70
18.2	-	-	0.16	0.83

-, 정상적인 성장이 안 된 실험구.

¹ 사료계수 = 사료공급량/증중량

² 일간성장률(%) = $\ln(\text{최초체중}-\text{최종체중})/\text{사육일수} \times 100$

³ 일간섭식율(%) = $\text{사료공급량} \times 100 / [(\text{최초체중} + \text{최종체중} + \text{폐사개체중량}) / 2 \times \text{일일평균공급량}]$

⁴ 비만도 = $\text{체중}/\text{전장}^3 \times 100$

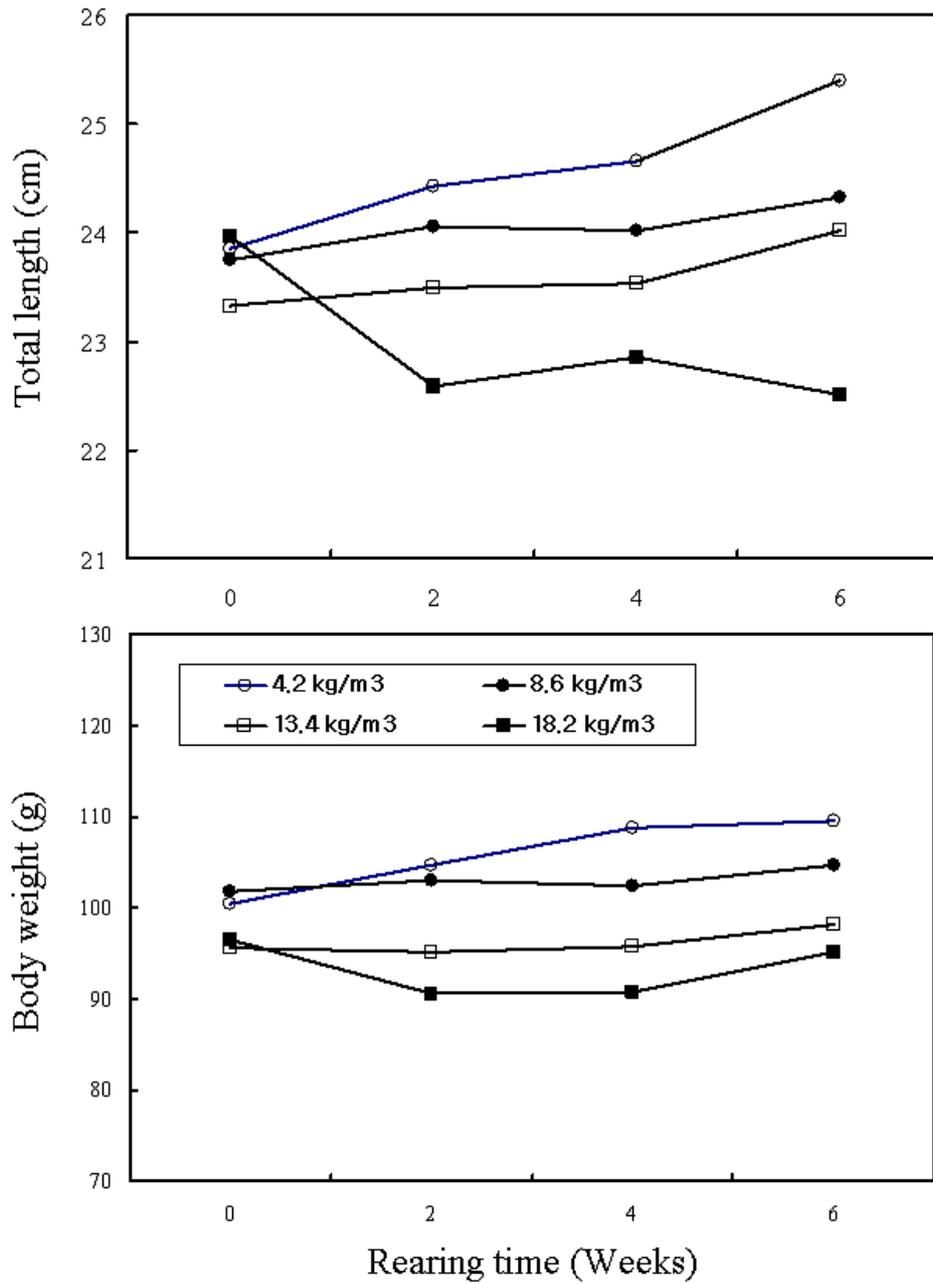


그림 25. 사육밀도에 따른 대구의 전장 및 체중의 성장

(2) 체중 170 g의 대구 치어의 적정 사육밀도

사육밀도를 달리한 조건에서 사육실험결과를 그림 26과 표 23에 나타내었다. 실험시작시 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³의 실험어가 각각 26.7±2.4, 27.0±1.6 그리고 27.6±2.0 cm에서 실험종료시 30.9±2.3, 31.2±2.0 그리고 32.0±2.64 cm로 성장하였고, 체중은 153.6±44.1, 167.0±32.0 그리고 182.9±47.5 g에서 각각 257.3±60.0, 273.8±61.6 그리고 302.7±80.6 g으로 성장하였으나 전장과 체중에서 모두 실험구간의 유의 차이는 없었다

($P>0.05$). 총 증중량은 (total weight gain, g/tank)은 실험종료시 사육밀도 4 kg/m^3 , 8 kg/m^3 그리고 12 kg/m^3 에서 각각 739.7, 1,399.9 그리고 4,399.7 g으로 최초체중의 각각 17.8, 17.1 그리고 35.4% 증가하였고, 사육밀도는 각각 4.8, 9.3, 16.6 kg/m^3 으로 증가하였다(표 23). 생존률은 각각 70.3, 73.6 그리고 81.7%로 고밀도 실험구에서 높았으나 통계적 유의 차이가 없었다 ($P>0.05$). 일간성장률에서도 4 kg/m^3 , 8 kg/m^3 그리고 12 kg/m^3 에서 각각 4.10, 4.15 그리고 4.25%로 사육밀도가 높을수록 성장률이 높았지만 통계적 유의 차이는 관찰되지 않았다 ($P>0.05$). 일간섭식률은 각각 2.78, 1.36 그리고 0.90%로 저밀도 실험구에서 높게 나타났고, 사료효율은 31.6, 33.5 그리고 57.8%로 고밀도 실험구에서 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다 ($P>0.05$). 비만도는 사료효율이 증가함에 따라 높은 경향으로 최고밀도 실험구 12 kg/m^3 에서 0.91로 4 kg/m^3 의 0.86과 8 kg/m^3 의 0.89에 비하여 높게 나타났다 ($P<0.05$).

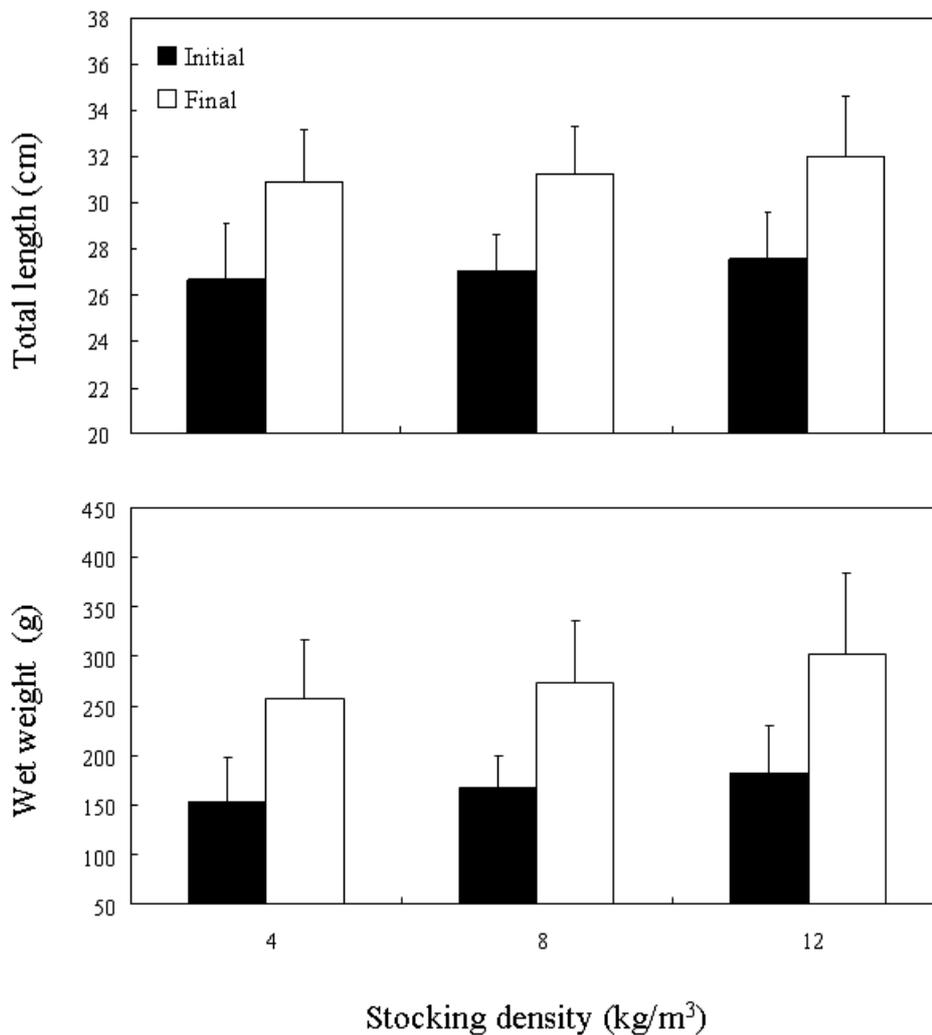


그림. 26. 16주 동안 사육밀도에 따른 대구의 전장과 체중의 성장.

표 23. 16주 동안 사육밀도에 따른 총 증중량, 생존률, 일간성장률, 일간섭식율, 사료효율 및 비만도

	Stocking density		
	4 kg/m ³	8 kg/m ³	12 kg/m ³
Total weight gain (g/tank)	739.7	1,399.9	4,399.7
Survival rate	70.0±12.0 ^a	73.6±13.6 ^a	81.7±9.5 ^a
Specific growth rate	4.10±0.12 ^a	4.15±0.07 ^a	4.25±0.14 ^a
Daily feed intake	2.78±0.07 ^a	1.36±0.04 ^b	0.90±0.08 ^c
Feed efficiency (%)	31.6±2.6 ^a	33.5±7.0 ^a	57.8±8.1 ^a
Condition factor	0.86±0.04 ^a	0.89±0.07 ^{ab}	0.91±0.06 ^b

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same column are significantly different ($P<0.05$).

(3) 대구 치어의 적정 먹이공급횟수

먹이공급횟수를 달리한 조건에서 사육실험결과를 그림 27과 표 24에 나타내었다. 실험 시작시 주 3회와 주 5회 공급구에서 실험어의 전장이 각각 28.6±2.5와 27.9±2.8 cm에서 실험 종료시에 30.4±2.68 그리고 30.1±2.5 cm로 성장하였고, 체중은 실험 시작시 각각 198.5±64.4, 189.7±72.4 g에서 실험종료시에 247.6±85.2 그리고 246.2±85.1 g으로 성장하였으나 실험구간의 유의차이는 없었다 ($P>0.05$). 총증중량은 실험종료시에 주 3회와 주 5회 공급구에서 각각 1431.7 그리고 1795.7 g으로 최초체중의 16.9%, 20.8% 증가하였고, 생존율은 유의차이 없이 비슷하였다 ($P>0.05$). 일간성장률은 주 5회 공급구에서 0.47%로 주 3회 공급구의 0.39%에 비해 높게 나타났으나 유의 차이는 없었다 ($P>0.05$). 일간섭식률에서도 주 5회 공급구에서 1.12%로 주 3회 공급구의 1.08%보다 높았으나 유의차이는 없었고 ($P>0.05$), 이와는 반대로 사료효율은 주 3회공급구에서 56.4%로 주 5회공급구의 50.0%보다 높게 나타났으나 유의차이는 없었다($P>0.05$). 비만도는 주 5회 공급구에서 0.89로 주 3회 공급구 0.84보다 높았지만 두 시험구간의 차이는 없었다 ($P>0.05$).

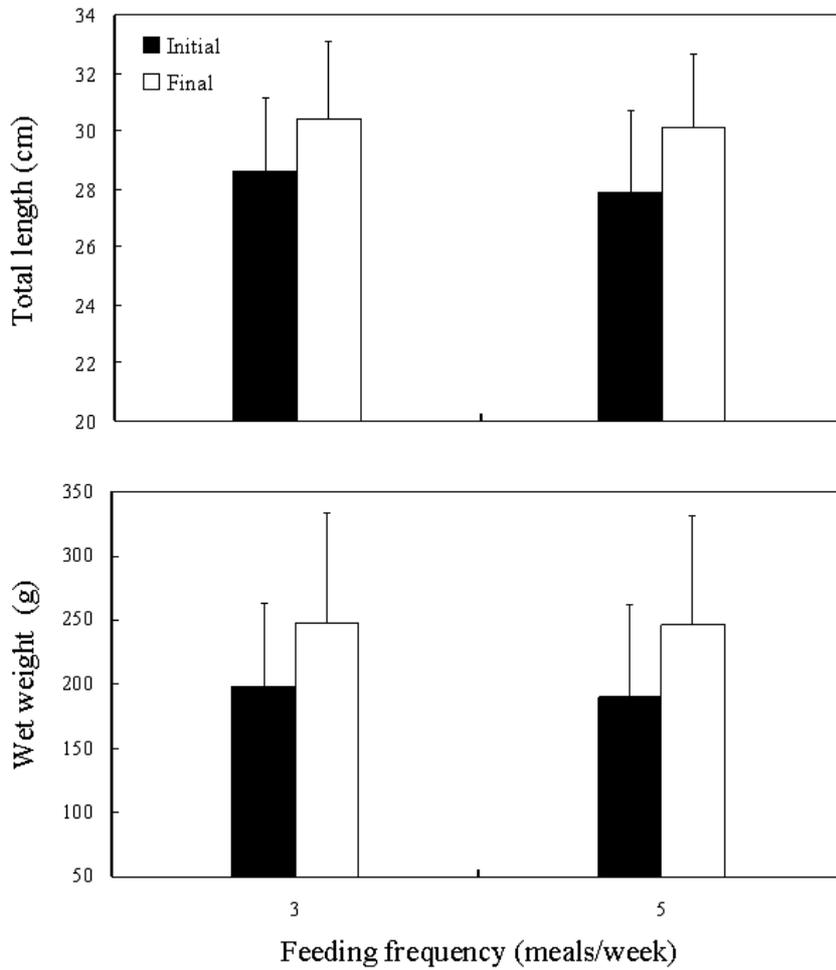


그림 27. 8주 동안 먹이공급횟수에 따른 대구의 전장과 체중의 성장.

표 24. 8주 동안 먹이공급횟수에 따른 총중증량, 생존률, 일간성장률, 사료효율 및 비만도.

	Feeding frequency (meals/week)	
	Three meals a week	Five meals a week
Total weight gain (g/tank)	1,431.3	1,795.7
Survival rate	68.1±3.9 ^a	68.5±1.9 ^a
Specific growth rate	0.39±0.07 ^a	0.47±0.05 ^a
Daily feed intake	1.08±0.01 ^a	1.12±0.06 ^a
Feed efficiency (%)	56.4±11.4 ^a	50.0±1.8 ^a
Condition factor	0.84±0.10 ^a	0.89±0.31 ^a

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same column are significantly different ($P<0.05$).

다. 고찰

어류의 적정 성장과 사료효율을 유도하고, 양식 생산에 소요되는 비용을 절감하기 위해서는 수온, 염분, 수질 요인 등의 외적요인과 먹이조건, 사육밀도와 같은 생물학적 요인이 고려되어야 한다. 이들 조건 중 사육밀도는 개체들간의 먹이 경쟁과 공간 경쟁의 직접적인 관계로 성장을 미치는 요소 (Brett, 1979)로서 비용을 절감하고, 한정된 공간에서 적정 성장을 유도하기 위하여 여러 어종에서 검토되어 왔다. Atlantic salmon, *Salmo salar* (평균체중 71.4g)는 사육밀도 21-86 kg/m³의 범위에서 사육한 결과 먹이를 충분히 공급해 줄때 최고밀도로 사육하여도 저밀도와 성장 차이는 없었고 (Hosfeld et al., 2009), rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (평균체중 180g)의 경우 10-80 kg/m³범위에서 사육한 결과 80 kg/m³까지 사육이 가능하다고 한다 (North et al., 2006). 그러나 Atlantic cod (832-1,002 g)의 경우 사육밀도 2-40 kg/m³에서 사육한 결과 30 kg/m³이상의 밀도에서 사육할 경우 성장률이 감소한다. (Lambert and Dutil, 2001). 이 연구에서는 평균체중 100g의 대구치어의 사육밀도를 달리한 조건에서 성장 조사한 1차실험과 평균체중 170 g의 개체의 대구치어의 사육밀도를 달리한 조건에서 성장 조사한 2차실험이 수행되었다. 1차 실험에서 평균체중 98.5 g (80.1~127.7 g)의 대구치어는 8℃에서 4.2 kg/m³, 8.6 kg/m³, 13.4 kg/m³ 그리고 18.2 kg/m³의 밀도로 설정한 후 6주간 성장조사가 이루어졌다. 실험종료시 전장과 체중은 성장은 저밀도 실험구에서 높은 결과를 나타내었다. 그리고 사료계수는 저밀도 실험구에서 낮게 나타나는 경향이었고, 일간성장률과 일간섭식률은 저밀도 실험구일수록 높은 경향이였다. 비만도에서는 고밀도 실험구에서 높은 경향으로 저밀도 실험구에서 체장의 성장에 따른 적정체중의 성장이 이루어지지 않은 결과가 반영된 것으로 판단된다. 이상의 결과는 저밀도 실험구일 수록 성장이 높은 결과를 얻었다. 그러나 생산적인 면을 조사하기에는 어려움이 있었다. 이것은 실험에 이용된 대구들이 1개월간 순치사육한 것들로 순치적응훈련을 실시간 기간이 충분하지 못하여 공식현상이 실험기간동안 영향을 미쳤던 점과 대규모의 수량을 일정온도를 유지할 수 있는 실험시설의 미비로 생산성을 고려한 적정사육밀도에 대한 성장조사가 수행되지 못하였던 것에 이유가 있었다. 이에 2 차 실험에서는 1차 실험을 보완하기 위해서 연중 저수온 유지가 가능한 해양심층수에서 6개월 이상 대구를 순치사육하여 Lambert and Dutil (2001)에 의해 도출되었던 Atlantic cod에서 사육밀도와 먹이공급횟수의 적정범위에서 사육밀도와 먹이공급횟수의 실험기준을 설정하여 성장차이를 조사하였다. 2차 실험에서 1년생 대구 미성어를 수온 10℃에서 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³으로 설정하여 16주간 사육한 결과 실험구간의 전장과 체중의 성장에서 유의적 차이는 없었다. 일간성장률은 밀도가 높을수록 높은 경향이였으나 유의적 차이는 없었다. 그러나 일간섭식률은 저밀도 실험구에서 높고, 사료효율에서는 이와는 반대로 고밀도 실험구에서 높게 나타났다. 이와 같은 원인은 사료효율이 같은 밀도에서 사료급여량이 많을수록 낮아지고, 또한 반복 공급보다는

만복의 80%의 전후를 공급하는 것에서 향상된 결과를 얻었던 보고 (El-Sayed et al., 1995; Lee et al., 1996)로서 설명될 수 있을 것이다. 즉 이 연구에서 전 실험구의 대구가 먹이를 먹지 않을 때까지 만복으로 공급한 것에서 저밀도 실험구에서는 먹이를 섭식할 수 있는 기회가 늘어나서 만복의 100%의 사료가 섭취되었다. 그러나 먹이경쟁이 심한 고밀도 실험구에서는 개체별로 저밀도 실험구에서보다 적은 양의 사료를 섭취한 결과 대구의 성장에 적합한 양의 사료를 섭취하게 되었고 사료효율에서 양호한 결과를 얻을 수 있었던 것으로 판단된다. 총 증중량에서는 최고밀도도 실험구 12 kg/m³에서 4,399 g으로 최초증량의 35.1%가 증가하여 가장 높은 생산성을 관찰 할 수 있었고, 생존률에서는 12 kg/m³에서 가장 높았으나 유의 차이는 없었다. 그리고 비만도에서도 12 kg/m³ 고밀도 실험구에서 0.91로 가장 높았다. 위의 결과를 종합해 볼 때 대구 1년생 미성어의 적정성장과 생산성 향상을 위해서는 12 kg/m³ 이상의 밀도에서 사육하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 이처럼 밀도에 따른 성장은 어종 고유의 특성에 따라 인공사육환경에서 차이가 나타나는 것으로 볼 수 있으며, 또한 같은 어종에 있어서도 성장단계에 따른 행동습성의 변화에 따라서도 차이가 있을 수 있기 때문에 안정적인 관리를 위해서는 향후 성장단계에 따른 적정 사육밀도의 정보제공이 더 필요하다.

양식대상어종에 대한 적정사료공급 횟수의 결정은 최대 성장과 사료효율을 얻을 수 있는 양식생산성 향상의 측면과 과잉공급으로 사료가 유실되는 경제적 손실과 수질오염 감소를 위해 중요하다 (Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 최대 성장을 유도하기 위해 적합한 사료공급횟수의 기준마련은 channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Andrews and Page, 1975), estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Chua and Teng, 1978), 그리고 Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* (Lee et al., 2000)에서 이루어진 바 있고, 종에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. channel catfish는 1일 1회 공급하는 것 보다 1일 2회 공급할 때 먹이효율이 더 좋다고 하였고 (Andrew and Page, 1975), estuary grouper에서 사료공급은 2일에 1회 공급하는 것이 적합하다고 한다 (Chua and Teng, 1978). 이처럼 종에 따른 차이는 각 대상어종이 사료를 섭취한 후 장의 내용물이 비워지는 시간과 밀접한 연관성에 따른 것으로 먹이공급 직후부터 식욕이 되돌아오는 시간에 따라 적절히 사료공급을 한다면 성장과 사료효율을 향상시킬 수 있다 (Holmgren et al., 1983; Lee et al., 2000). 가자미류 Lemon sole, *Microstomus kitt*는 수온 9.5~10.5 °C범위에서 72 시간 후 식욕을 되찾아 섭식 활동을 시작하지만 Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus*은 120시간 이후에도 섭식 활동을 하지 않는다고 한다. 이에 비해 yellowtail flounder, *Limanda ferruginea*는 위의 종들에 비해 위가 작고 장이 길어 자주 먹이를 섭식한다고 한다 (Davenport et al., 1990). Atlantic cod의 경우 섭식량이 많고, 일단 섭식이 끝나면 다음 섭식까지는 긴 시간이 소요되기 때문에 적정 성장을 유지시키기 위해서 2일에 1회 공급하는 것이 적당한 것으로 보고된 바 있다 (Braaten, 1983; Jobling, 1988). 그리고 사육밀도 10 kg/m³에서 사육할 때 사료를 만복

으로 주 2회, 3회와 5 회로 공급을 달리 할 경우 주 2회에 공급할 때 성장률이 가장 낮고 주 3회와 5회의 경우에 성장률이 차이가 없었다. 그러나 사육밀도가 40 kg/m³으로 증가할 경우 성장률의 유지를 위해서는 주 5 회 공급할 때 적당한 것으로 나타나 먹이공급횟수는 사육조건에 따라 차이가 있었다 (Lambert and Dutil, 2001). 이번 결과에서 순치사육기간동안 예비실험으로 대구가 사료공급 후 식욕이 돌아오는 상태를 판단하기 위해서 행동습성을 관찰하여 공급횟수를 기준을 정하였다. 최초사료 공급후 대구는 실험수조의 중하층과 수조 바닥 주변부에서 움직임이 거의 없이 가끔 지느러미를 움직이는 행동만을 보였다. 24시간 후 먹이를 공급하게 되면 전날에 비해 먹이에 대한 활동성이 매우 소극적으로 전체의 약 1/4의 개체만이 수표면 근처에서 섭식반응을 하였다. 그러나 48시간 후 공급하면 대부분의 개체가 먹이에 빠르게 반응하면서 수표면의 사료로 몰려들어 섭식활동을 하였다. 위의 결과와 Lambert and Dutil (2001)의 결과를 바탕으로 대구 미성어 (176~206 g)를 사육밀도 12 kg/m³에서 주 3회와 주 5회 공급구로 나누어 사육실험 한 결과 전장과 체중의 성장과 차이는 관찰되지 않았다. 생존률은 두 시험구간의 차이가 없이 비슷한 수준이었고, 일간성장률, 일간섭식률 그리고 비만도에서 주 5회 공급구에서 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다. 사료효율은 주 3회 공급구에서 56.4%로 높게 나타났고 두 시험구간의 유의적 차이는 없었다. 이러한 결과에서 주 3회와 5회 공급구 사이에 뚜렷한 차이는 관찰되지 않아 1년생 대구 미성어의 적정 성장유지와 경제성을 고려한 사료공급을 위해서는 반복으로 주 3회 공급하는 것이 바람직할 것으로 것으로 판단된다. 그러나 최대성장을 유도하기 위한 사료공급횟수는 어체의 크기, 사육조건에 따라 달라질 수 있어 (Wang et al., 1998; Lambert and Dutil et al., 2001; Dwyer et al., 2002;), 향후 대구의 성장단계 그리고 다양한 사육조건에 대해서도 사료공급횟수의 효율적인 범위의 설정이 필요하다.

이상의 결과는 해양심층수를 이용하여 자연산 대구 1년생을 대상으로 도출한 것으로 인공산을 대상으로 했을 때는 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 현재 안정적 생산과 연중 저수온으로 관리가 어려운 점에서 후자의 실험조건의 적용은 거의 불가능하다. Atlantic cod의 경우 안정적인 생산을 위해 자연에서 포획된 개체를 집약적 양성이 행해져 왔다 (Jobling, 1988; Lee, 1988; Dos Santos et al., 1993). 그러나 대구의 경우 상업적 규모의 양식은 이루어지지 않고 있다. 일본의 경우 중부해역에 위치한 도야마현수산시험장에서 해양심층수를 이용하여 대구 친어의 사육관리와 채란기술 및 종묘배양기술개발 등의 재생산 연구가 진행중이다 (手塚, 2006). 현재 국내에서도 대구자원이 불규칙하게 변동하는 상황에서 안정적인 공급할 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요한 상황이다. 이에 따라 대구의 생태적 특성과 경제성 고려한 안정적 사육기술확립에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

4. 외해가두리 적용

가. 외해가두리 현황

최근 들어 조류나 파도, 태풍 등 물리적 영향을 최소화한 현행 내만 중심의 양식 시스템에서 벗어나 외해에 시설물을 설치할 통해 환경문제와 양식 공간의 부족문제를 해결하는 수산양식분야의 획기적인 대안으로 외해 양식 (Offshore culture)에 대한 관심이 집중되고 있다. 단순히, 연안에서 외양으로 수평적 공간 이동이라고 해석할 수 있지만 연안 양식에 비해 첨단 기술이 요구되기 때문에, 새로운 산업으로 육성하여 경제성과 고용 창출을 유도할 수 신 산업이다. 또한, 대규모로 양식 수산물을 생산함으로써 연안 지역산업 구조 조정을 통한 양식 산업 클러스터 (industrial cluster)로 발전할 수 있는 새로운 기반 시스템이다.

우리나라에서는 외해 양식 산업이 추진되기 전에 우선 용어의 정의에서 혼선을 가져오고 있다. 외해양식과 관련된 용어는 정부 및 연구기관, 민간부문에 이르기까지 매우 다양하게 언급되고 있는데, 예를 들어 외해가두리, 해외수증가두리, 해외심층가두리, 외해양식 등으로 요약할 수 있다. 외해양식에서 “외해”라는 용어는 미국에서 사용하고 있는 ‘Offshore Aquaculture’ 용어에서 ‘Offshore’를 그대로 번역하여 사용하였기 때문인 것으로 판단된다. 미국의 경우는 우리나라와 달리 연안과 외해(근해)를 구체적으로 구분하고 있는데, 그 이유는 주정부는 연안 3해리 이내가 관할이고 연방정부는 3해리~200해리 사이를 관장하고 있기 때문이다. 따라서, 미국에서 외해양식은 연방정부 관할인 외해 (Offshore)에서 하기 때문에 용어가 적절하다고 볼 수 있다. 그러나 우리나라는 이러한 용어를 적용하기가 현실적으로 무리가 따른다고 할 수 있다. 수산업법 제44조(시험어업 및 연구어업·교습어업)에서 외해양식 지침에는 외해양식의 적지 조건과 관련 수심은 40 m 이상이며, 만조 시 해안선에서 3 km 이상을 원칙으로 하되, 해역의 특성을 고려하여 필요시 바다목장 해역을 제외하고 기준을 완화할 수 있도록 하였다. 그러나 우리나라에서 충족이 가능한 공간적 해역이 얼마나 있는지의 여부가 쟁점이 될 수 있으며, 대부분 양식 활동이 동해와 제주도에서만 수행될 수 있기 때문에 지역적 균형성을 고려한 검토가 요구되는 부분이다.

다음으로 ‘수증’이라는 용어를 언급해 보면, 하나의 양식방법을 설명하기 위한 것이라고 볼 수 있다. 정부의 외해양식과 관련한 ‘시험어업계획 기본지침’에서 ‘수증가두리’라는 용어를 사용하고 있고, 주로 어류만으로 한정된 양식 방법에서 기인한다. 따라서 해양 동식물은 어류, 연체동물, 갑각류, 해조류, 그리고 다른 형태의 양식을 고려한다면, ‘수증양식’이라는 용어가 적절할 것이다. 외국의 경우 양식관련 법률에서는 offshore aquaculture industry (외해양식산업, 미국), Aquaculture Industry (양식산업, 노르웨이) 용어가 사용되고 있다.

따라서, 우리나라도 외해양식산업의 연관성을 고려한다면 용어에 대한 정의가 우선적으로 진행되어야 하다고 생각하며, 이번에 소개하는 부분은 현재 우리나라에서 시험사업으로 진행하는 ‘외해 수증 가두리’를 활용한 어류 양식에 초점을 두었다.

국제적으로 외해 양식에 관심을 가진 국가는 10여 개국이 넘는다. 그러나 수증가두리의

경우 미국과 노르웨이를 중심으로 개발 및 평가가 이루어지는 단계이다. 다른 국가들은 주로 내파성 가두리와 패류, 해조류 등 다른 산업생물을 대상으로 개발 중에 있다. 외해수중가두리의 경우 실용화를 통한 공급 과정이 현재까지는 초기 단계에서 진행되고 있는데, 미국은 1995년부터 외해수중가두리 기술 개발에 착수하였고, 현재는 푸에르토리코, 뉴햄프셔, 하와이에 시설물의 통한 생산과 연구가 진행되고 있다. 뉴햄프셔 대학의 경우 고위도 지방에 위치하고, 지형적 입지조건이 우리나라와 비교적 유사하면서, 연구기관에 의해 대서양 대구 양식을 통한 자료 보완 및 사업성 평가가 진행되어 관심을 두어야 할 부분이다.

노르웨이의 경우 피요르드 해안의 지형적 특성을 고려하여, 초기 내파성 가두리를 응용하여 심층까지의 공간을 활용하는 가두리를 개발하여, 연어 등 어류 축양에 활용하고 있다. 주로 원격 관리 시스템 개발에 초점을 두어 10 ha 면적의 공간을 한명의 관리자가 운영하는 시스템을 개발하여 시범운영 중이다.

외해수중가두리에 대한 관심은 이미 오래전부터 논의 되어왔다. 초기에는 시설이나 시스템에서 기본 구조를 파악하지 못한 상태에서 1990년대부터 양식 사업가에 의해 다양한 정보가 국내에 소개되기 시작하였다. 외해공간에서의 양식을 위해 우선적으로 내파성 가두리를 중심으로 한 외해 양식이 진행되어 왔는데, 주로 노르웨이 등 북유럽의 해안이나 열대해역 등 물리적 환경이 안정된 상태에서는 상당한 성과를 이루었다. 그러나 계절에 따라 해황 변화가 심한 국내 여건에서 적용된 결과는 시스템의 안정성 면으로 인정받지 못하면서 수중에 가두리를 설치하는 부분으로 관심 방향을 전환하고 있다.

2001년에 미국해양대기국 (NOAA)와 해양수산부는 해양과학기술에 대한 포괄적 협력협정 체결하면서 당시 해양수산부는 NOAA 본부(메릴랜드 주 소재)에 협력활동을 담당할 고위공무원을 배치하고, 협력기금을 조성한 후에, Sea Grant를 포함한 해양 과학 기술 교환 프로그램을 개발하였다. 국립수산물품질관리원이 주관 기관으로서 주로 인력교류를 통해 근해양식, 복합양식, 새우양식, 해조류양식 및 연안관리를 포함하는 양식 관련 정보 교환 및 협력 사업 개발을 추진하였다. 이 시기는 미국에서도 친환경적 차원에서 해양 단백질원의 안정적 공급을 위한 연구가 진행되는 시점이었다. 미국은 수산물의 70%를 수입에 의존하고 있으면서도 연안에 대한 관점이 우리와는 다르게 경관 및 환경 보호에 치중하다가 2000년대 이후 건강에 대한 관심이 높아지고, 다민족 국가 구조에 의한 수산물 수요가 급증하면서 무역 적자에 대한 문제가 제기되기 시작하였다. 여기에 가장 큰 주제가 양식 사업이었고, 연안 환경 문제와 배치되지 않은 심해심층양식에 대한 연구가 추진되고 있는 상황이었다.

한미 수산양식소위원회에서 진행하였던 초기 과학기술 정보교환 단계는 연안 생태계관리 개선을 위한 한국에서의 심해양식 실행가능성과 심해양식 과학기술의 이용가능성을 알려주는데 특히 성공적 이었다.

최초의 시험어업은 2005년 제주도에서 시작되었다. 민간기업인 (주)NOAH에서 외해양식 영어조합법인을 설립하고, 미국 Sea-staion 사로부터 부상식 그물형 외해 가두리인 Ocean

Spar 3조 (용적 3,000m³)를 도입하여 시설하였다. 위치는 우리나라 태풍 영향이 주로 미치는 제주 서귀포시 해역을 선정하였는데, 양식 시험장은 연안에서 4 km 떨어진 수심 45-50 m 해역으로 수면에서 25 m 층에 가두리가 설치되어 2006년과 2007년에 각각 초속 35-40 m의 바람과 파고 6-8 m의 높은 파도를 동반했던 태풍에 안전성이 입증되면서 제주도에 가두리를 활용한 돌돔양식의 가능성을 열었다. 제주지역은 2006년도에 추가로 동일제품에서 개량된 용적 6,400 m³인 외해가두리 3조를 수입하여 경제성을 비교하고 있다. 제주도에서는 완전 배합사료를 사용하면서 95%이상의 생존율을 나타냈으며, 국립수산물과학원의 모니터링 결과, 성장도 우수하며, 질병 문제에서도 상당히 한 결과를 생산하였다. 현재 돌돔, 참돔, 고등어 등이 사육되고 있으며, 향후 참다랑어 양식에 대한 계획을 가지고 있다. 그 밖에 현재 추진되고 있는 경상남도와 전라남도에서도 외해의 특성인 원활한 조류 소통과 연안에 비해 안정된 해양환경이 어류성장에 직접적으로 작용하고 있으며, 양식시설물에 대해서도 안전성이 있는 것으로 평가되고 있다. 2008년에도 강원도, 2009년에 경상북도에서도 참여함으로써 지방자치단체별 효과검증 및 효율성에 대한 평가가 진행되고 있다.

표 25. 국내 외해가두리 운영 현황(2010년 기준)

항 목	제주도	경남도	전남도	강원도
사업기간	2005-2007	2006-2008	2007-2009	2008-2010
위 치	서귀포시 표선면 3.9km 해상 평균 수심48m	통영시 산양읍 800m 해상 평균수심 40m	여수시 삼산면 거문리 1.2km 해상 평균수심 43m	양양군 현남면 인구리 (신척) 3.4km 해상 평균수심 43m
사업규모	10ha	15ha	5ha	10ha
시 설	6 기 (미국 수입품)	가두리 5조 (국내 시험제작)	4기 (미국수입품)	3기(예정) (미국 수입품)
양식어종	8종 (돌돔,참돔 등)	4종 (민어,참돔 등)	2종 (돌돔, 능성어)	4종 (참돔, 대구 등)
수행업체/기관	제주노아외해 양식법인,	한국해양연구원	외해양식 영어조합법인	오광수산(주)

해양수산부는 외해 양식 시험어업의 중복투자를 방지하고 효과성을 높이기 위해 2007년 ‘외해 수증가두리 양식 시험어업계획 기본지침’을 발표하였다. 지침에 따르면 2009년까지 해역별 특성을 감안하여 도별로 2개소 이내에서 외해양식 시험어업을 추진토록 하고 있다. 대상 품종은 참치, 대구 등과 같은 신품종 또는 가급적 기존 양식어종과 경합되지 않은 돌돔, 능성어, 참돔 등 수입대체 품종을 선택해 시행토록 하고 있다. 시험어업 장소는 수심40 m 이상, 해안선에서 3 km 이상을 원칙으로 하되 해역의 특성을 고려해 필요시 기준을 조정

하는 것으로 알려져 있다.

외해수중가두리 관련 연구 활동은 2005년 국립수산물과학원 기본 사업과 수산특정사업을 통한 기획사업으로 ‘외해대형어류양식 시스템개발 (2004-2007, 제주대)’ 이 수행되었다. 주로 침하식 가두리 개발에 초점을 두고 진행한 사업으로 외해수중가두리와는 상이한 연구 진행이 이루어졌다.

2007년에는 해양수산부를 주축으로 정부 및 시도 관계자, 전문가로 구성된 ‘외해 양식 전문가회의’가 구성되어 4회에 걸친 회의가 진행되면서 본격적으로 연구 사업에 대한 로드맵이 선정되었다. 외해양식산업은 우선적으로 ‘외해 수중가두리’를 대상으로 진행하되, 사업 규모를 생산에서 시스템 개발, 관리까지 포괄적으로 진행하는 국가 R&D 사업으로 격상하기로 결론 내리면서, 우선적으로 법체계 정비 등 인문·사회적으로 필요한 요건을 정비하기 위해 씨그랜트 자금을 활용하여, ‘외해 양식산업 발전을 위한 법적·제도적 검토 연구’를 한국수산회에서 수행하였다. 한편 정부 기획 과제로서 ‘외해양식 산업화 기술개발사업 기획 추진 방안 연구’를 한국해양연구원에서 수행하였으나, 해양수산부의 해체로 인하여 업무추진에 다소 지연된 상태이다.

지난 2008년 5월에 부산에서 개최된 세계양식학회에서는 외해양식분야에 상당한 관심을 보여서 연일 세미나실이 만원이 되었으며, 당시 토론을 통해서 전 세계적으로 외해양식산업은 차세대 수산양식의 중심이 될 것으로 판단하였다.

나. 외해가두리 선정 및 적용

(1) 외해가두리 선정

2008년 5월에 개최된 세계양식학회와 기존의 시험어업을 통해 이미 소개된 정보를 바탕으로 대구 등 한류성어류에 적합한 외해가두리 선정을 수행하였다. 2005년 제주 지역에서 선정한 sea-station 사의 외해가두리를 우선적으로 검토하고, 기타 3개 제품에 대한 정보를 확보하였다(그림 28).

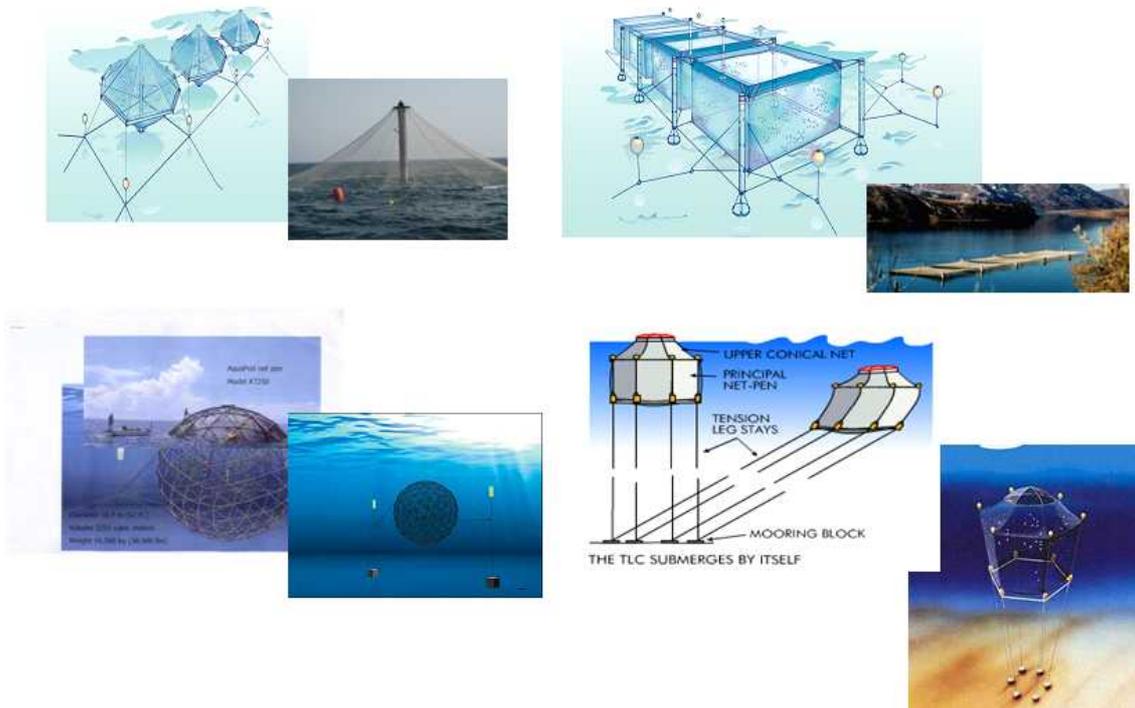
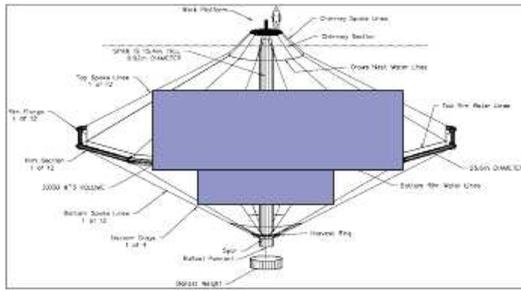
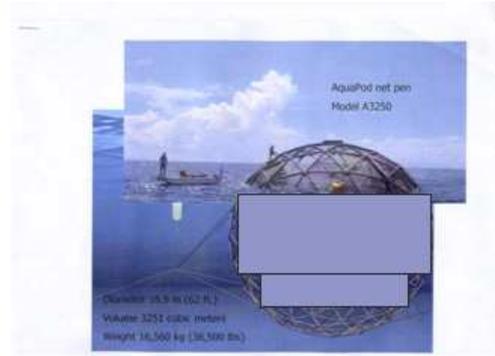


그림 28. 다양한 형태로 개발된 외해가두리 시제품

우리나라에서 외해가두리 선정에 가장 중요한 요소는 강한 조석과 어업강도에 따른 기타 어업(자망, 연근해 선망 등)과의 공간 활용부분이다. 동해의 경우 연중 1~2노트의 상대적으로 적은 조류의 흐름을 보이고, 조차도 30 cm 미만으로 다른 해역에 비해 조류의 영향이 적은 것으로 나타나지만 국지적으로 연안을 따라 수로가 형성되어 있고, 너울성파도의 영향을 고려해야 한다. 또한 가장 고려해야 할 사항은 수온변동이다. 동해는 연중 7~21도의 수온 변동이 발생하며, 특히 수온에 민감한 이동성어류의 채집이 계절에 따라 나누어지지만 최근 들어 난류와 한류가 교차하는 시기가 불확실한 복잡한 해황으로 일일수온 변동조차 복잡하게 나타나고 있다. 어류양식의 기본 요소는 연중 대상해역에서 포획되는 어종이 우선적으로 선정되어야 하며, 이러한 조건을 고려하면 동해에서의 어류 양식은 한정된 어종으로 제약받을 수 있다. 따라서 수온편차를 극복하기 위해 가두리의 수직적 이동을 고려한 장비의 선정이 필요하다. 또한 대상 어류의 행동학적 특성을 고려해야 한다. 즉, 효율성을 극대화하기 위해서는 경제성과 더불어 최대 수용량, 먹이 분산 효율성을 고려해야 한다. 또한 강한 내구성을 지닌 제품에 대한 선호도가 작용하였다. 이러한 평가를 통해 동해에서는 Aqua-pod 시스템을 설치하기로 하였다(그림 29).



Sea-STATION



Aqua-pod

그림 29. 양식 공간 면적 비교

가두리 입식 이후 어류의 행동 양상에서 대구는 저층을 중심으로 매우 느린 유동을 하며, 중층보다는 저층과 상층부의 공간 활용이 진행되어, 완만한 경계면을 나타내는 형태가 효율적이다. 가두리 선정은 이번과제에서 결정할 수 있는 권한이 없는 상황에서 강원도 시험어업 추진을 위한 프로그램에 참여함으로써 자문형식으로 향후 대구 양식의 적정성 파악을 수행하기로 하였다.

(2) 지역선정

외해 가두리양식에서 중요한 사항중 하나가 위치선정일 것이다. 외해에 설치함으로써 육상에서의 접근성과 지형을 고려한다면, 해수의 유동이 상대적으로 원활하고, 연안 근처에서 수심이 60 m 이상을 유지하는 곳으로 연안에서 급경사를 나타내다가 완만한 연성퇴적환경을 나타내는 곳이 유리하다. 이번 조사를 통해 강원도 지역 전체의 수심도 자료를 정리하였다.

입지조건으로는 연안에 근접하면서 수심 60 m 이내로 유지되는 사질퇴적상을 보이고, 연중 수온 변화가 상대적으로 냉수권을 형성하는 해역을 조사하였다.

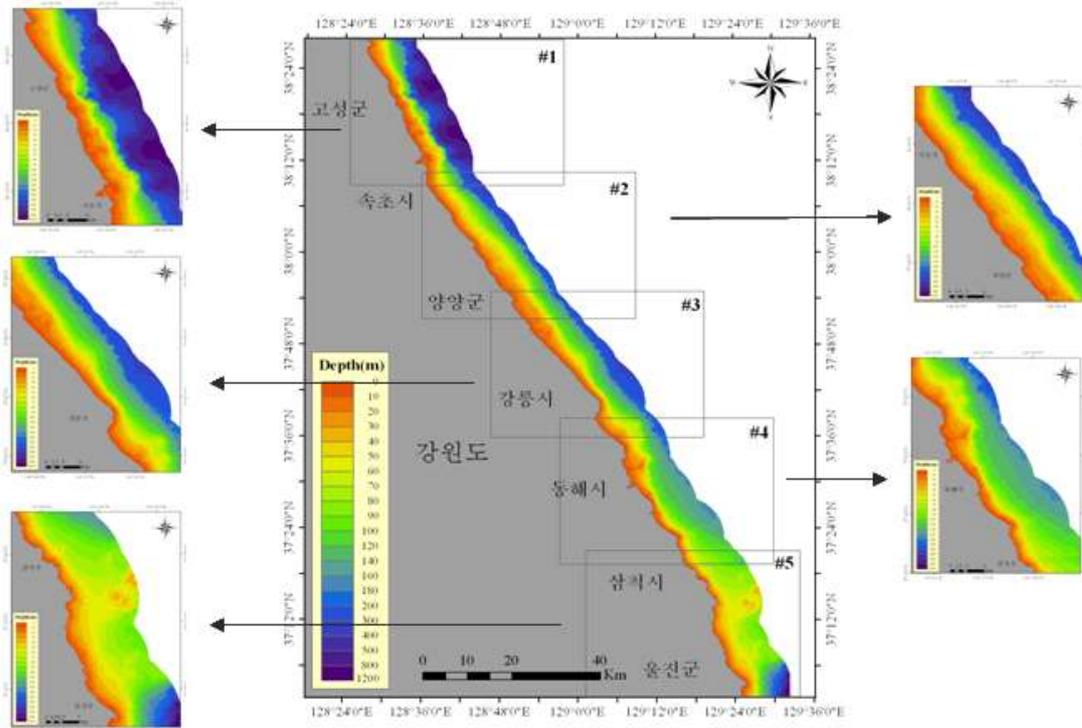


그림 30. 강원도 연안해역의 수심도 분포

강원도는 완만한 해안선구조를 가지며, 기역에 따라 다양한 수심도를 나타냈다 (그림 30). 고성군과 삼척시 지역을 제외하고는 수심 60 m 이상을 확보하기 위해서는 연안에서 최소 4 km 이상 떨어진 지역을 나타냈다. 따라서 수온변화가 상대적으로 적고, 수심을 고려한다면, 고성군과 삼척지역이 유리한 지형특성을 가지고 있었다. 그러나 강원도에서는 양양군이 가두리 양식 관심도에서 가장 높아서 시험어업의 특성상 양양군에서 사업을 진행되는 것으로 제안하면서, 양양군에 대한 환경조사를 수행하였다.

해역별 연중 수온분포를 비교하면, 한류성어류 양식에서는 고수온 시기에 대한 검토가 가장 중요하다. 8월-9월의 수온변화를 종리하면, 삼척에서 속초까지 지역적인 수온 변화는 크게 차이를 보이지 않았다. 특히 표층과 저층이 유사한 양상을 나타냈으며, 겨울철 최저 수온에서는 지역적 차이를 나타냈다(그림 31).

여름철 최고수온은 15°C를 나타내면서, 대구 양식에서 한계수온(15°C)과 유사한 양상을 나타냈다. 따라서 여름철 수온변화가 대구양식에서는 매우 중요한 성장조건으로 작용할 것으로 예상하였다. 한편, 순간수온변동을 파악하기 위해 3월부터 4월까지 ADCP를 40 m에 계류하여 자료를 측정하였다. 3월에 수행한 이유는 어린 종묘 방류시 수온민감도에 대한 사전 정보를 확보하기 위한 것으로 심층수로 생산한 치어나 순치한 중간육성단계의 대구를 가두리로 입식하는 과정에서 사전 수온관리를 위한 조사이다. 저층의 수온분동은 일변화가

최대 5℃까지 나타나는 변화가 심한 해황을 나타냈으며, 최저수온은 3℃에서 최고 수온은 12℃까지 증가하였다. 이러한 수온변동에서는 어류의 안정적 입식이 어려운 상황으로 입식 과정에서 대구의 적정 수온을 확보하기 위한 시기를 고려해야할 상황으로 판단하였다.

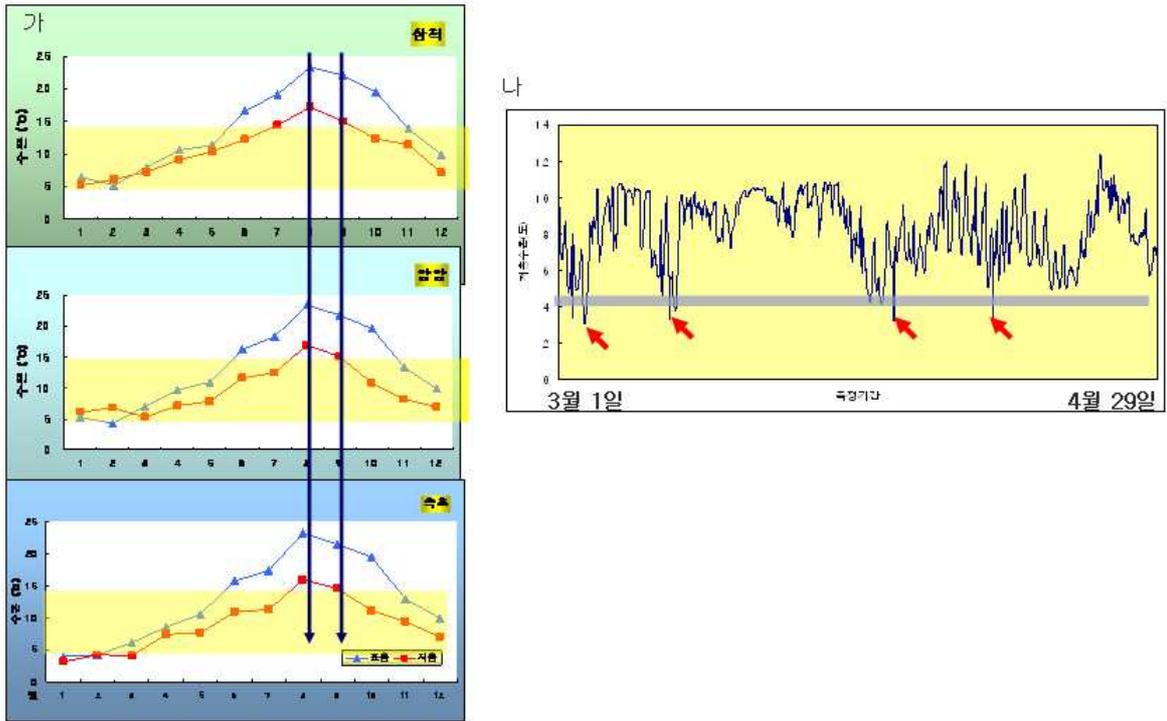


그림 31. 강원도 지역의 연중수온변화(가)와 양양지역에서 ADCP에 의한 겨울철 순간수온 변동 비교(나)

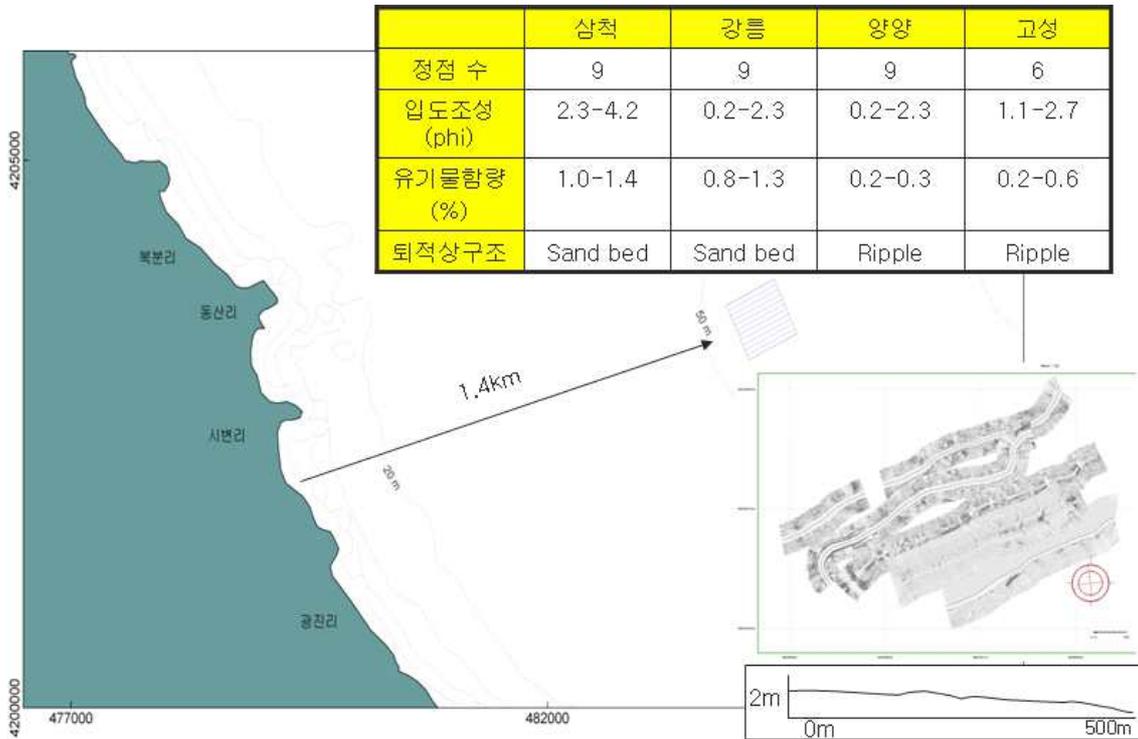


그림 32. 대상해역의 퇴적환경 비교

퇴적환경 조사는 외해가두리를 안정적으로 설치하는데 중요하며, 저층 퇴적 특성으로 저층 조류의 이동형태나 세기를 파악할 수 있다. 조사대상해역은 강원도 양양군 현남면 광진리 지선에서 수행하였다(그림 32). 해역은 정치망어장이 형성되어 있으며, 연안에서 약 1.4 km 떨어진 지역으로 관리조건이 수월한 해역이다. 퇴적분포는 주변에서 조사된 자료를 토대로 삼척, 강릉, 고성 등과 비교하였을 때, 사질로 구성되어 유사한 퇴적상을 나타냈으며, 표층퇴적물에서 유기물 함량은 0.2~2.3으로 삼척이나 고성에 비해 낮게 나타났다. 저층 퇴적특성은 연흔이 발달하여, 저층에 상대적으로 원활한 조류 소통이 진행되는 것으로 볼 수 있으며, 경사도는 수심 40 m 이상 지역에서는 평지에 이르는 경사도를 나타냈다.

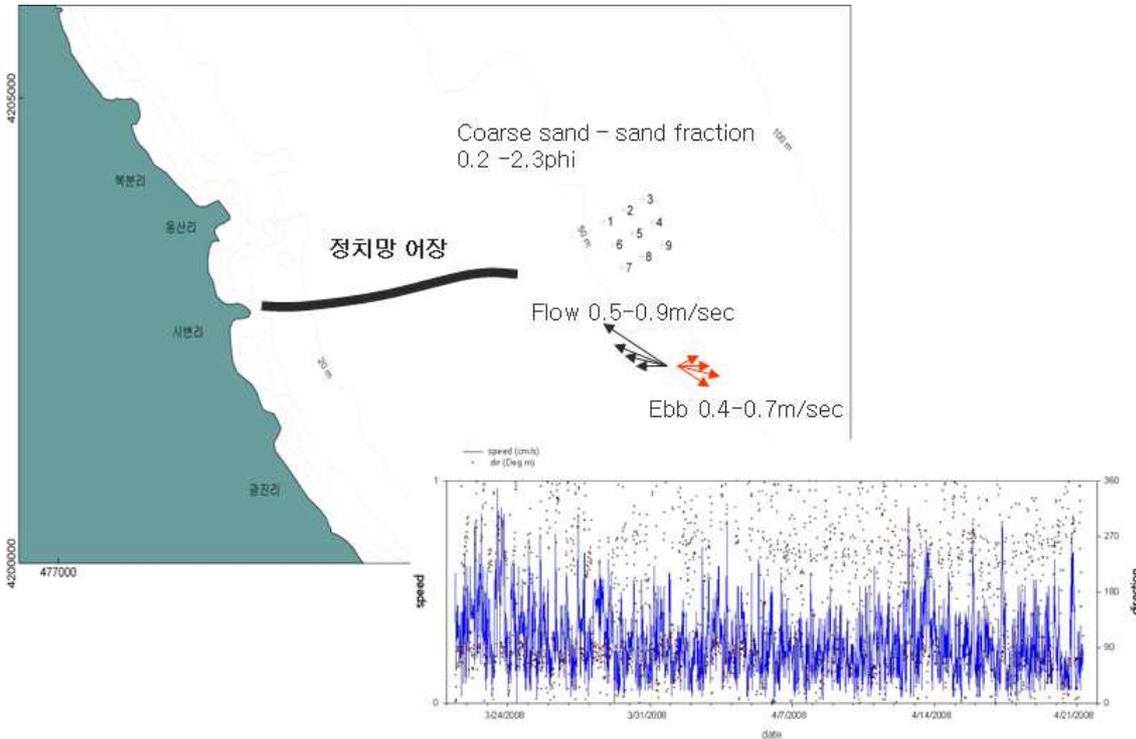


그림 33. 대상해역의 유향·유속 분석

유향·유속분석은 2008년 3월에 실시하였는데, 창조시 북서방향으로 0.5~0.9 m/sec 속도로 진행하였으며, 낙조시에는 남동 방향으로 0.4~0.7 m/sec 방향으로 작용하였다(그림 33). 조석방향은 연안을 따라 작용하고, 수심에 따라 편차를 보였다. 저층은 파도와 조석이 혼재되면서 흐름의 변화가 나타났지만 저층의 경우 상대적으로 속도가 증가하면서, 일관된 흐름을 나타냈다.

(3) 외해가두리의 조립과 설치

2009년 3월부터 외해가두리 조립이 수행되었다. 총 3기의 외해가두리 설치가 한달여 진행되었으며, 수심 49 m 지점에 설치하였다. 우선 조립과정은 육상에서 진행되었다(그림 34). 3,600 m³의 면적의 가두리는 총 330여개의 판넬이 조립된 것으로 원형구조를 나타내고, 2개의 공기통이 가두리를 상하로 이동시키는 역할을 하며, 조류의 영향에 따라 중심이 회전하는 특징을 가진다.



조립용 판넬



공기부양통 조립



상부 조립



조립 과정

그림. 34 외해가두리 조립

조립은 제품을 판매한 무국에서 전문가가 파견되어 진행되었으나 강한 강풍과 국내 조립 참여자와의 언어소통 문제로 조립에 어려움을 겪으면서 조립기간이 3주에서 6주로 연장되었다. 이제품은 국내뿐만 아니라 세계적으로도 처음 도입된 상태에서 무리한 시도가 있었으며, 조립에 필요한 다양한 장비 확보가 이루어 지지 않아 혼란을 겪으면서, 점차적으로 조립에 대한 숙련이 진행되었다.

조립이 이루어진 후에 해양으로 운반은 대형크레인을 활용하였다(그림 35). 완성된 가두리를 운반하기 전에 설치지역에 앵커설치를 우선 시도하였다. 가두리는 조립상태에서는 공기 부양통이 상하로 위치하였으나, 해양에 시설할 경우 좌우로 배치하여야 한다. 이때 대형 크레인으로 운반하고, 시설하는 과정에서 상하 위치를 좌우로 전환하는 방법이 설치 과정 중에 다이버를 통해 지지선 연결이 진행되었고, 3일간의 설치 과정을 마무리하였다. 그러나 공기부양통의 구조적 결함으로 설치이후 바로 부양을 위한 실험이 진행되지 않았다.



그림 35 가두리 이동과 설치 진행

3기 가두리 중에 1기는 공기 부양통 교체가 진행되었고, 기타 설치이후 가두리 망의 파손은 나타나지 않았다. 지지선과 연결이후 가두리는 수심 24 m에 위치하였고, 조류에 의해 회전이 원활히 진행되었다. 여기서 bridle 라인과 급이장치의 연결이 해황악화로 인하여 진행되지 않았으며, 설치과정은 설계도면에 준하여 진행되었다.



그림 36 부상한 가두리 모습

공기 공급을 통한 부상 실험은 설치한 후 4개월 뒤에 진행하였다. 망에는 말류가 가입되었고, 기타 생물의 부착은 발견되지 않았다. 부상시, 전체 가두리의 15%가 대기 중으로 노출되는 구조를 나타냈다(그림 36). 노출되는 부분은 공기 부양통의 부력양상에 의해 5%의 차이를 나타냈다. 공기부양통의 조립과정에서 틈이 나타난 곳에서는 부양력이 상대적으로 감소하였다. 가두리에는 이미 치어들의 가입으로 멸치 등의 어류가 유집되었다. 부양은 24 m에서 상승하는데, 약 40분정도가 소요되었으며, 부상상태는 육상에서 공기를 대칭적으로 공급하고, 공급속도에 의존하는 양상을 보였다.

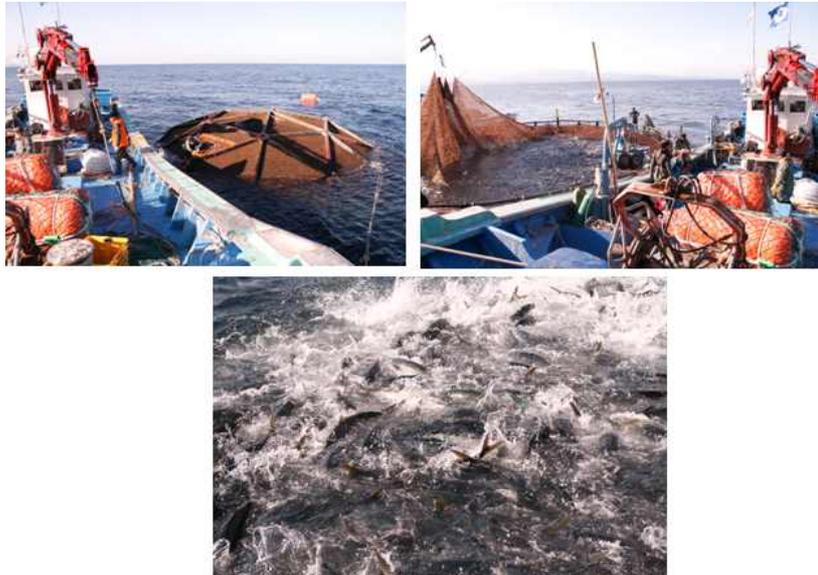


그림 37. 가두리 어류 입식

가두리에 시험어업을 위한 어류 입식은 2009년 10월에 진행하였다. 우선적으로 방어 7,000미 입식을 통하여 외해가두리의 어류 양식 가능성을 평가하였다(그림 37). 초기 입식 방식은 판넬의 한 부분을 해체한 후 방어를 옮겼으며, 방어 입식 이후 가두리에서의 움직임과 이동에 대한 반응은 내과성가두리와 유사하였다. 방어는 가두리 저층과 표층을 복잡하게 이동하다가 약 1시간 이후 원형을 중심으로 이동하는 양상을 나타냈다. 부양한 가두리에서 표층에서 약 8 m 수심까지 가장자리를 무리를 이루며 이동하는 양상을 나타냈다. 가두리는 수심 15m 까지 하강하였고, 초기 입식 이후 2일째에 첫 급이를 실시하였다. 가두리 부양에 따른 방어의 영향은 관찰되지 않았다. 방어 입식 이후 6일 동안 해황 악화로 선박이동이 불가능하여 급이가 진행되지 않았으며, 해황에 따라 지속적 급이가 이루어 졌다.

2010년 1월 14일에 급격한 냉해가 주변에 나타나 수온이 무려 8℃가 하강하여, 수온이 1℃이내 상태가 일주일간 계속되면서 결과적으로 방어가 집단 폐사하는 결과가 나타났다. 2010년 1월 26일 가두리를 부양하여 확인한 결과 모든 방어가 폐사하였으며, 잠수부를 동원하여 가두리내 폐사한 어류 제거를 수행하였다. 작업을 수행하는 과정에서 상당량의 가두리 폐넬의 파손이 발견되었다(그림 38).

철망 파손의 원인은 조류의 세기에 따라 가두리가 원형으로 회전하여 힘의 방향을 분산하는 역할을 하는 bridle라인이 흘러 다니는 어망에 감김으로서 역할을 하지 않았고, 일정한 면이 집중적인 영향을 받는 상황이 지속되면서 판넬의 철망이 파손되는 것으로 예측하였다.



그림 38. 가두리 파손 및 복구

가두리 훼손은 어류양식에서 가장 치명적 문제로, 근본적 대책이 필요한 상태이며, 자체적 결함(철망의 강도가 낮음)고 폐어구의 영향도 고려되어야 할 점이다. 이러한 영향으로 2010년 3월에 입식을 계획하였던 대구 종묘는 심층수센터에서의 지속적 관리가 진행되었다.

6. 경제성 분석

가. 대구양식 경제성 검토

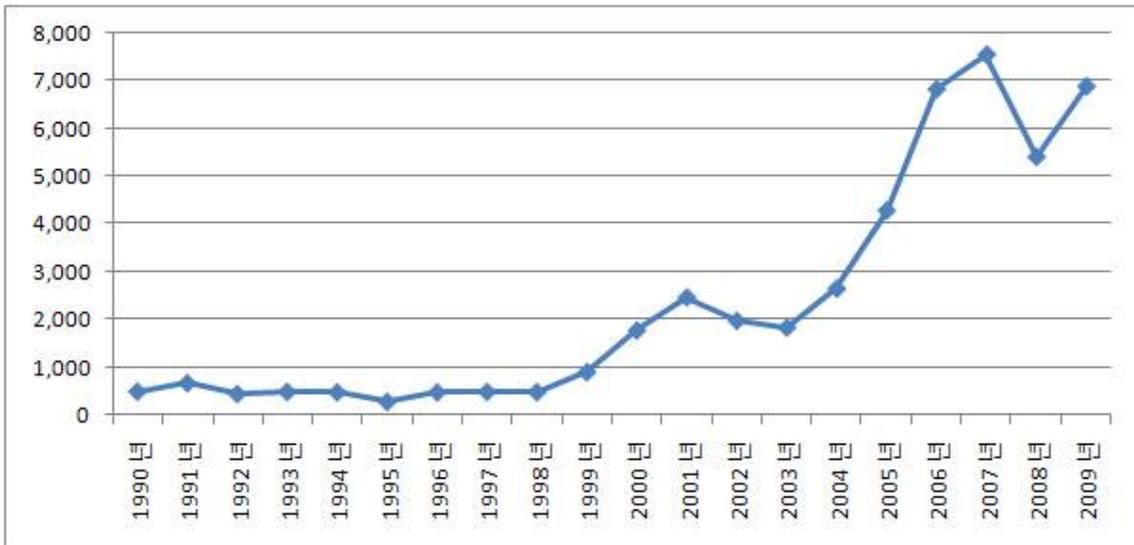
(1) 대구 실태분석

(가) 대구의 어획량 실태분석

- 우리나라 대구는 주로 탕, 구이, 포 등으로 주로 이용되며, 일부 횡감용으로 사용되기도 함.
- 대구의 생산은 크게 동해계군과 서해계군으로 구분되며, 서해계 대구는 동해계에 비하여 크기가 작아 보통 38 cm 내외이고 동해계는 보통 68 cm 내외로 최소성숙 전장은 동해계가 수컷 58 cm, 암컷 62 cm이고 서해계는 수컷 32 cm, 암컷은 38 cm에 달함. 동해계 대구는 시베리아 연해에서 함경남북도, 강원, 경북연해에 분포하다가 1~2월 사이에 진해만으로 모여 들어 산란하며 산란이 끝나면 다시 북쪽의 심해로 이동함.
- 대구 어획량을 살펴보면 1920년대부터 1940년대까지 연평균 약 24,500톤이 어획되었으나, 1940년대부터 1950년대까지는 연평균 약 6,870톤, 1960년대에는 연평균 약

- 2,030톤, 1970년대에는 연평균 약 1,505톤으로 어획량이 감소하는 경향이 나타났음
- 1990년대에 들어서는 어획량은 더욱 급감하여 1990년대 중반까지 약 500톤 내외 수준이었으며, 1990년대 말부터 어획량이 지속적으로 증가하고 있음. 2000년에는 약 1,800톤 수준에서 2009년에는 약 7,000톤으로 급격하게 증가하였음.

(단위 : 톤)



자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도

그림 39. 연도별 우리나라 대구 어획량

- 2008년에 생산량이 급격하게 떨어진 이유는 유가상승으로 인한 면세유가격의 급등으로 조업이 원활하게 이루어지지 못한 것이 영향을 미쳤을 것으로 보임.
- 대구의 어획량은 우리나라 연근해 어획량에 비추어보면 2000년 약 0.15%에서 2009년 기준 약 0.6% 정도로 약 4배에 가까이 증가를 하였음. 그러나 어획량의 절대적 비중은 그리 크지 않은 실정임, 그러나 대구라는 어종은 국민들에 수산물 소비에 있어서 고급어종으로써의 인식도 및 그 중요도는 매우 크다고 할 수 있음. 수산물의 경우 식습관에 있어서 소비의 결정에 이전의 경험이 큰 영향이 미치는 것으로 분석되고 있으며, 이러한 측면에서 볼 때 예전부터 꾸준하게 소비되고 있는 대구는 중요한 어종으로 판단됨.

표 26. 연도별 대구 어획량 비중

연 도	연근해 어획량(톤)	대구 어획량(톤)	대구 어획량 비중(%)
2000 년	1,189,000	1,766	0.15
2001 년	1,252,099	2,458	0.20
2002 년	1,095,812	1,968	0.18
2003 년	1,096,526	1,826	0.17
2004 년	1,076,687	2,641	0.25
2005 년	1,097,041	4,272	0.39
2006 년	1,108,815	6,810	0.61
2007 년	1,152,299	7,533	0.65
2008 년	1,284,890	5,395	0.42
2009 년	1,226,966	6,870	0.56

자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도

- 또한 대구의 수입량은 연도별로 약간씩 변화가 있지만 약 15,000톤 내외로 연근해 어획량에 비추어보았을 때 약 2009년 기준 약 2배정도 많은 것으로 조사되었음. 이는 국내 대구의 생산량보다 소비량이 많다는 것을 단적으로 보여주는 것이라 할 수 있으며, 또한 수산물 소비에 있어서 대구의 중요성을 보여주는 것임
- 일반적으로 수산물에 있어서 자급률이 낮다는 것은 해당 수산물에 대하여 선호도가 높고, 국내 소비량이 많을 경우 및 국내에 생산량이 아주 작거나, 상대적으로 국내 가격이 매우 높은 경우에 발생하는 것으로, 대구의 경우는 전자에 해당하는 것으로 파악됨.

표 27. 연도별 대구 어획량 비중

연 도	총수입	대구(신선, 냉장)	대구가루스(냉동)	대구(피레트/냉동)	대구(건조)	대구(염장, 염수장)
2000 년	18,397	1,354	15,891	1,152	0	0
2001 년	13,688	2,588	9,792	1,295	14	0
2002 년	15,083	1,807	11,694	1,575	7	0
2003 년	16,874	1,810	13,640	1,403	21	0
2004 년	21,164	2,262	17,113	1,583	205	0
2005 년	16,914	2,705	13,139	623	447	0
2006 년	16,928	2,566	12,974	704	684	0
2007 년	13,344	2,686	9,399	616	640	4
2008 년	15,255	1,902	12,727	303	318	4
2009 년	13,643	1,462	11,603	422	156	0

자료 : 수협, 수산물유통정보(<http://fifis.kr>) 각 년도

(단위 : 톤)

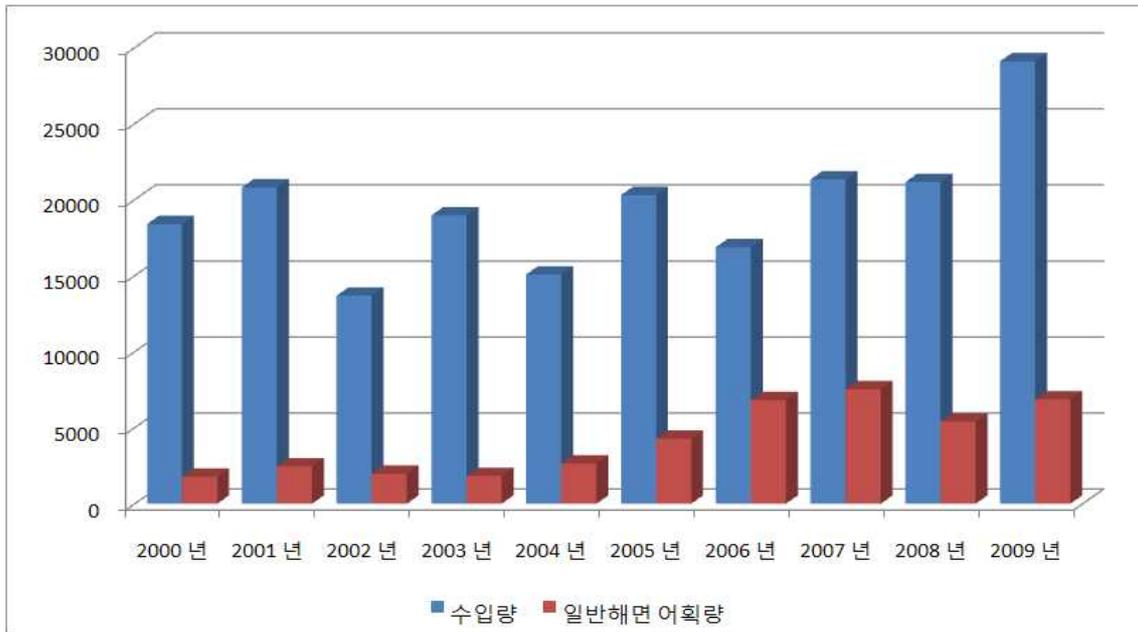
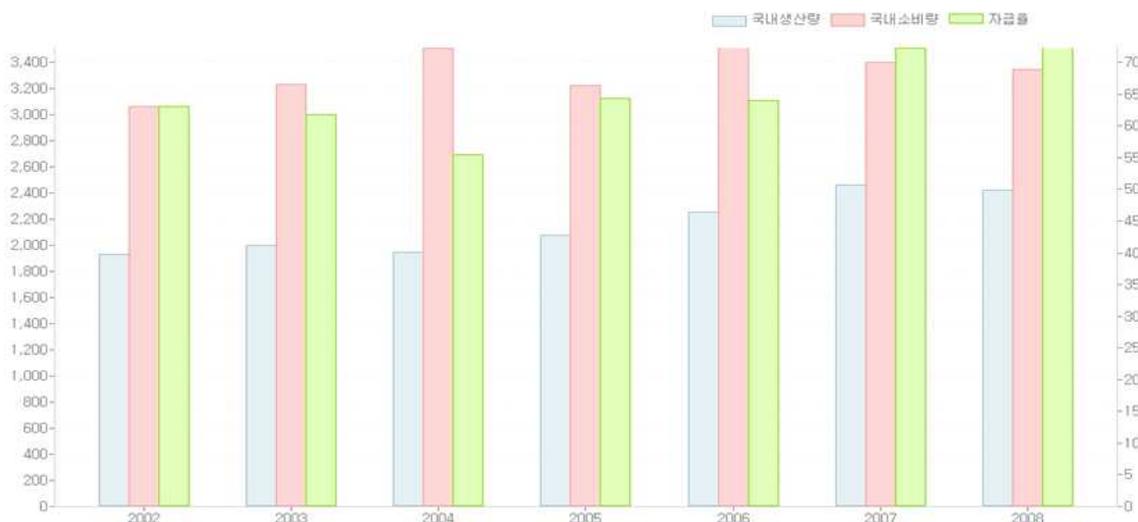


그림 40. 대구수입량 및 연근해 어획량 비교

- 우리나라의 수산물 중 해조류를 제외한 어패류의 자급률은 2008년 기준 약 72%임을 고려할 때, 대구는 국내 생산율에 비추어보면 자급률이 매우 낮은 어종이라 할 수 있음. 이는 앞서 언급한 바와 같이 대구는 선호어종으로 국내 어획량이 많지 않으며 및 국내 가격의 높은 것이 수입의 가장 큰 이유로 볼 수 있음



자료 : 한국농촌경제연구원, 식품수급표, 2008

그림 41. 우리나라 어패류 자급률

- 대구의 어획업종을 2007년~2009년 3년 평균을 기준으로 분석해보면, 연안자망이 연평균 1,861톤으로 전체 생산량의 28.2%를 차지하여 가장 많은 어획을 하는 것으로 나타났다. 그 다음으로 근해자망 1,853톤(28.1%), 근해연승 785톤(11.9%) 순으로 어획량이 높은 것으로 분석됨
- 대구 어획의 주요업종인 연안자망, 근해자망, 근해연승 등은 일반 근해어업 업종에 비하여 근거리의 해역에서 주로 조업을 하는 특성을 가지는 업종이며, 이를 제외한 일부 끝이형 어업인 기선권현망, 동해구기선저인망, 외끝이서남해구기선망 등에서도 어획이 일부 이루어지는 것으로 파악됨
- 업종별 어획추이를 살펴보면 1990년대에는 연안자망에서 어획량이 가장 높게 나타났으며, 2000년에 동해구기선저인망이 812톤으로 연근해 업종 중 가장 높은 어획량을 올렸으나, 이는 일시적인 것으로 2002년을 기점으로 다시 어획량이 감소하였음. 이에 반하여 근해자망의 경우 2000년부터 꾸준히 어획량이 증가하여 2003년에는 연안자망을 상회하여 2006년에는 3,323톤을 어획하였음.

표 28. 업종별 대구 어획량

(단위 : 톤)

	2007년	2008년	2009년	3년 평균	어획비중
합계	7533	5395	6870	6599	100
외끝이대형기선저인망	0	16	43	20	0.3
쌍끝이대형기선저인망	339	32	72	148	2.2
동해구기선저인망	215	132	531	293	4.4
외끝이서남해구기선망	170	252	370	264	4.0
대형트롤	0	0	23	8	0.1
동해구트롤	49	33	39	40	0.6
대형선망	61	3	7	24	0.4
소형선망	6	3	3	4	0.1
연안선망	1	11	48	20	0.3
근해채낚기	43	152	30	75	1.1
기선권현망	150	906	70	375	5.7
근해자망	2080	1100	2379	1853	28.1
연안자망	2288	1356	1940	1861	28.2
근해안강망	27	240	21	96	1.5
근해연승	1219	341	794	785	11.9
연안복합	109	204	132	148	2.2
정 치 망	64	29	65	53	0.8
각 망	43	19	11	24	0.4
기타구획	524	521	264	436	6.6
기타어업	136	37	20	64	1.0

(단위 : 톤)

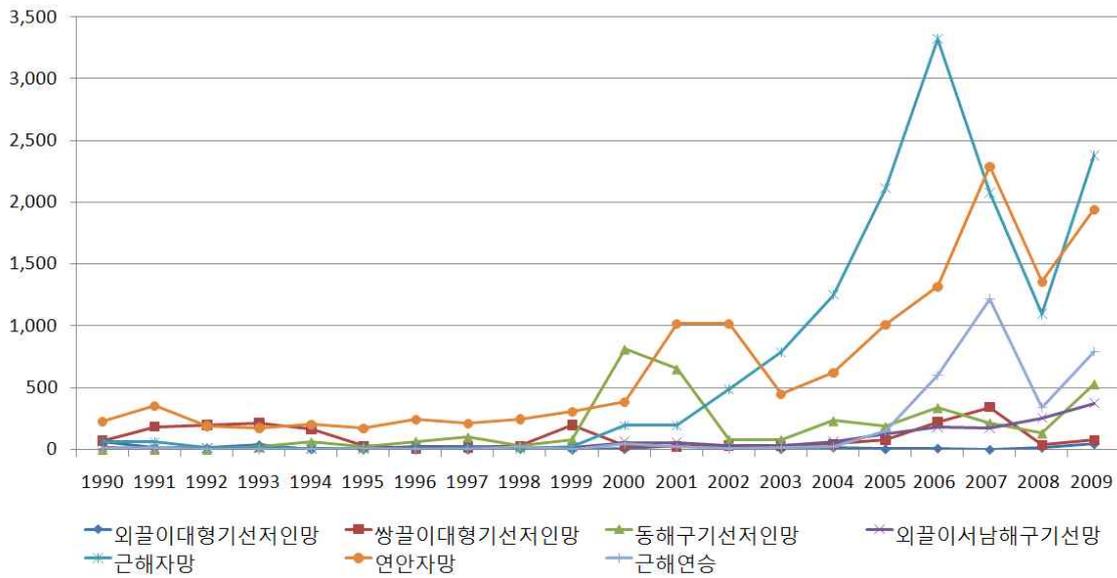


그림 42. 연도별 대구 주요업종별 어획량

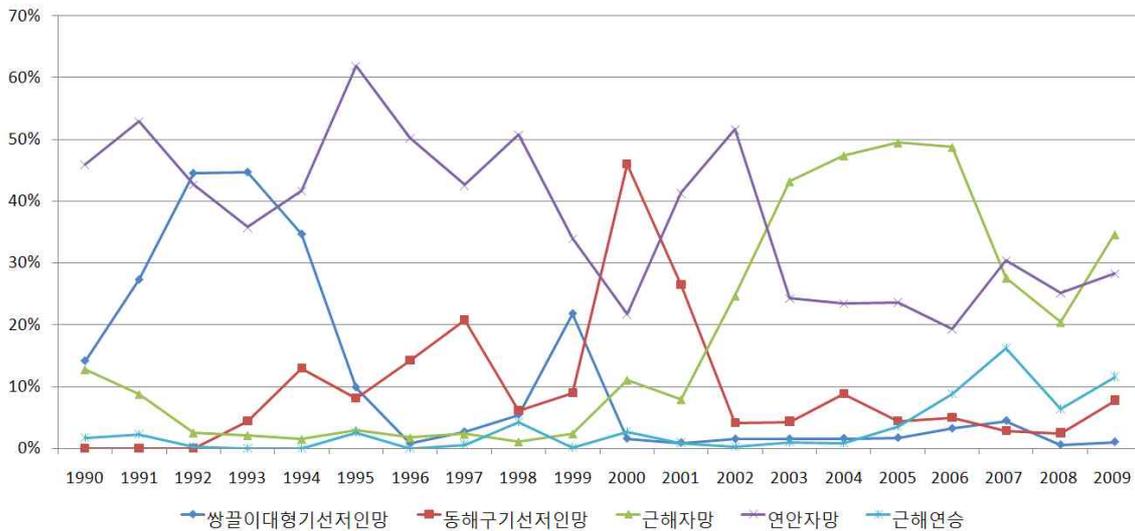


그림 43. 연도별 대구 주요업종별 어획비중

- 업종별 어획비중의 변화를 살펴보면 1995년에는 연안자망이 총 어획량의 61.9%로 가장 높으며, 그 다음으로 쌍끌이대형기선저인망이 14.2%를 생산하는 것으로 파악되었음. 2000년에는 근해연승이 46.0%로 어획비중이 가장 높게 파악되었으며, 연안자망, 근해자망 순으로 나타났음.
- 2005년에는 근해자망이 49.5%로 어획비중이 가장 높으며, 연안자망, 동해구기선저인망 순으로 나타나며, 2009년에는 근해자망이 34.6%, 연안자망이 28.2%, 근해연승이 11.6%로 분석되었음. 이는 생산량의 절대량이 아닌 상대적인 대구어획량에 대한

여 업종별 비중실태를 파악하기 위하여 살펴본 것으로, 그 결과를 보았을 때 주요 업종에 있어서 어획량 비중의 변화가 존재하는 것을 나타낸다고 할 수 있음

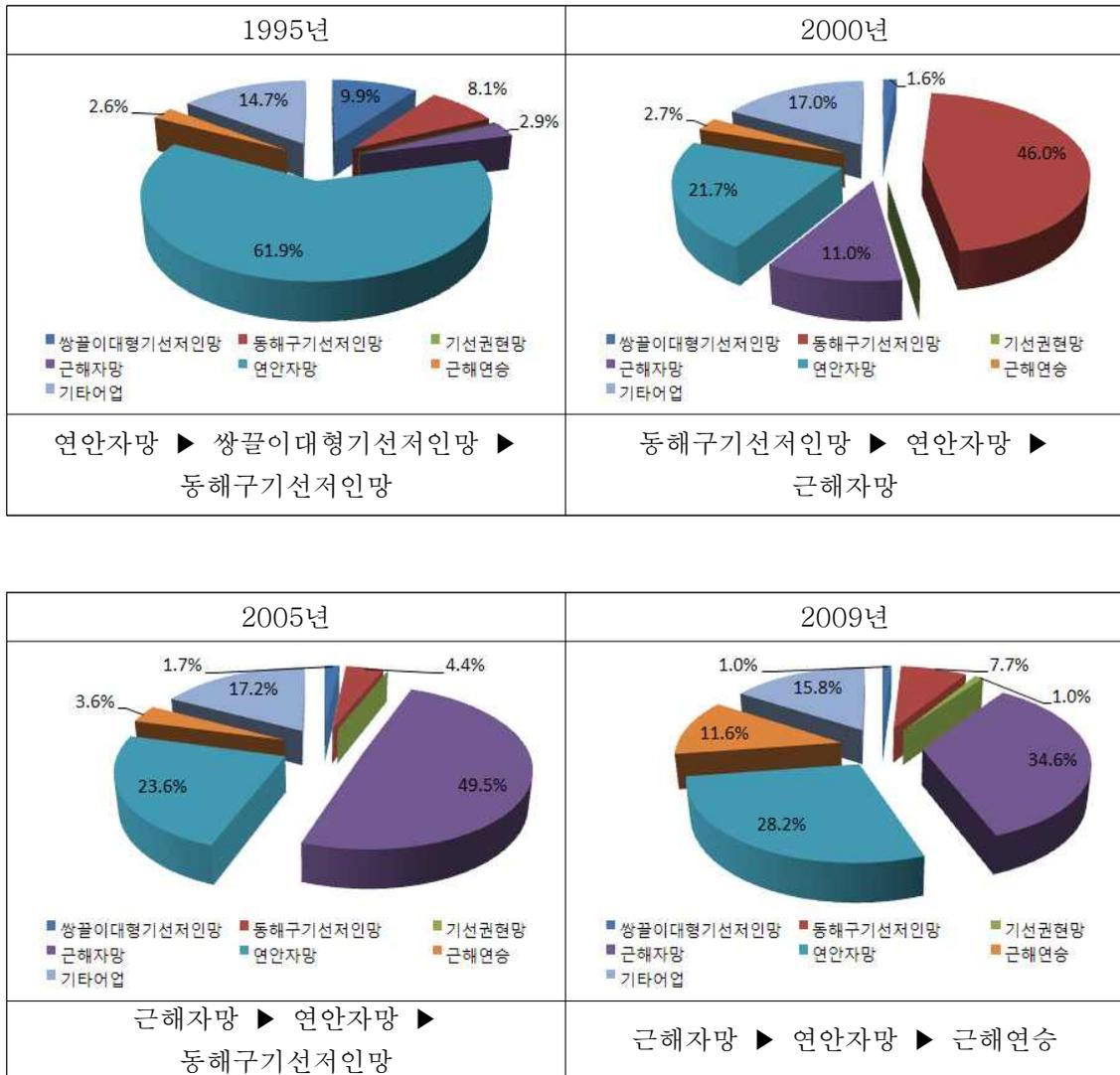


그림 44. 주요업종별 대구어획 비중

- 우리나라 연근해에서 어획되는 대구의 해역별 어획량을 살펴보면 1990년에는 동해권에서 약 72% 정도가 생산이 되었으며, 2000년에는 약 83.5%, 2002년에 89.9%로 어획량 비중이 가장 높게 나타났음. 이후 2003년부터 지속적으로 생산비중이 하락하는 경향을 보이다 2007년~2009년에는 3년 평균 약 50% 정도인 것으로 분석되었음. 남해권의 경우는 생산량이 2008년을 제외하고는 10%내외로 나타났으며, 주 어획 해역은 동해권과 서해권으로 분석되었음

표 29. 해역별 대구 어획량 비교

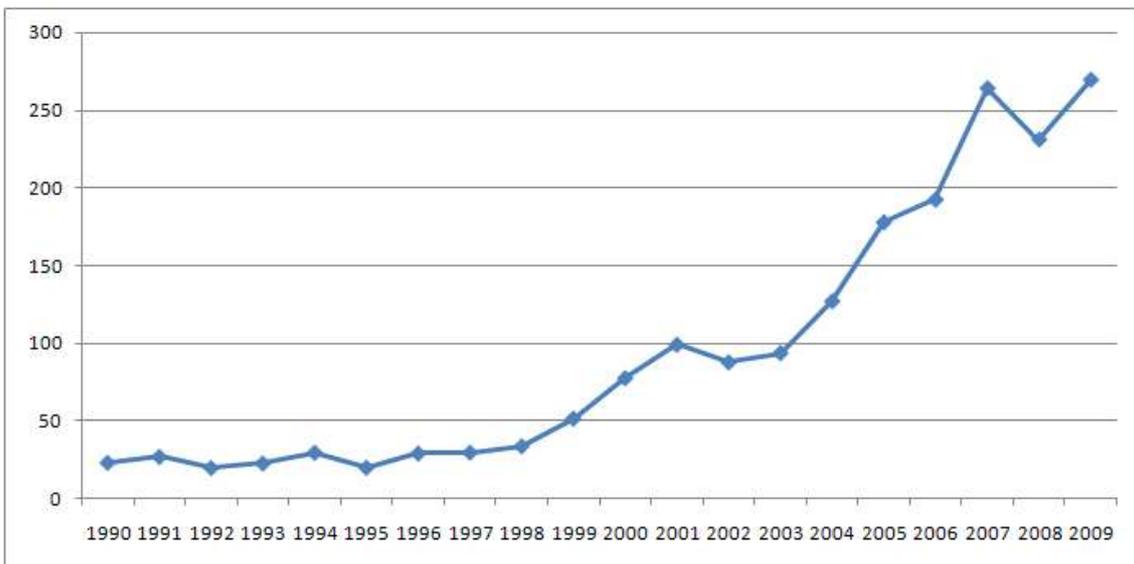
	동해권		남해권		서해권		합계
	생산량(톤)	비율	생산량(톤)	비율	생산량(톤)	비율	
1990	353	72.5%	25	5.1%	109	22.4%	487
1995	221	81.0%	16	5.9%	36	13.2%	273
2000	1,475	83.5%	22	1.2%	269	15.2%	1,766
2001	2,210	89.9%	6	0.2%	242	9.8%	2,458
2002	1,439	73.1%	22	1.1%	507	25.8%	1,968
2003	851	46.6%	79	4.3%	896	49.1%	1,826
2004	1,072	40.6%	234	8.9%	1,335	50.5%	2,641
2005	1,494	35.0%	394	9.2%	2,384	55.8%	4,272
2006	2,162	31.7%	452	6.6%	4,196	61.6%	6,810
2007	3,285	43.6%	764	10.1%	3,484	46.2%	7,533
2008	3,189	59.1%	1,098	20.4%	1,105	20.5%	5,392
2009	3,192	46.5%	783	11.4%	2,895	42.1%	6,870

자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도

(나) 대구의 생산 금액 실태 분석

- 대구 어획금액을 살펴보면 1990년대 초중반에 약 25억원 내외에서 약간의 변동을 보이다 1990년대 후반부터 급격하게 증가하여 최근 2009년에는 약 270억원 정도를 어획하는 것으로 분석되었음. 이는 가격의 상승보다는 어획량의 증가에 기인하는 것으로 파악됨
- 1990년대 초중반 연평균 어획금액이 약 25억원 임을 고려할 때 최근 3년(2007년~2009년)의 연평균 어획금액은 약 255억원으로 10배 이상 증가 한 것으로 분석됨

(단위 : 억 원)



자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도

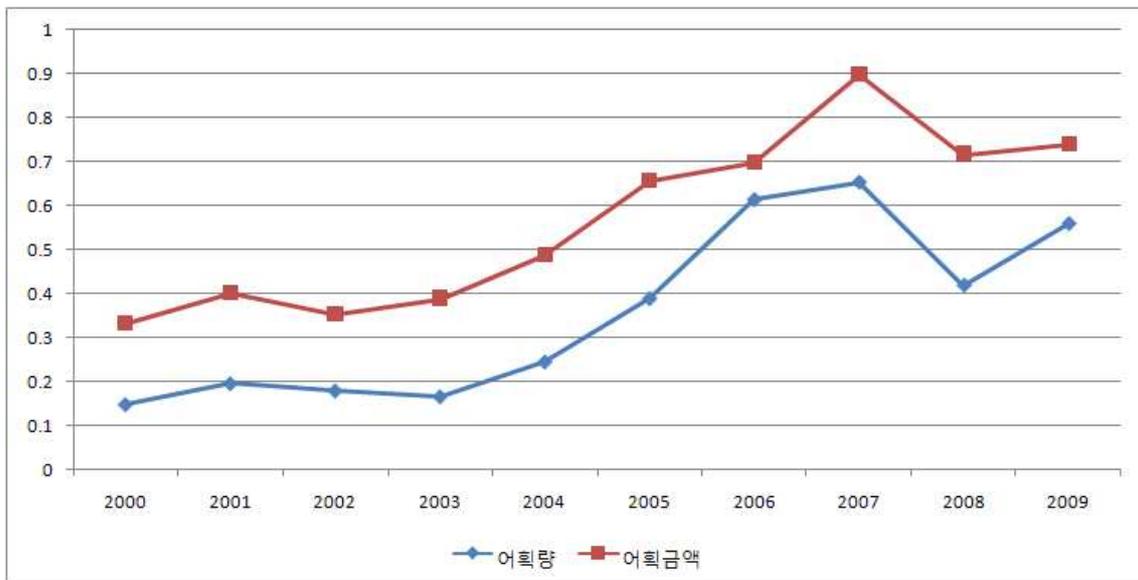
그림 45. 연도별 우리나라 대구 어획금액

- 대구의 어획금액을 우리나라 연근해 어획금액과 비교해보면 2000년 약 0.33%에서 2009년에는 약 0.41%가 증가하여 연근해 전체 어획금액대비 0.75% 수준으로 파악되었음. 이는 앞서 분석한 어획량의 비중과 비교해보았을 때, 약 0.2%~0.3% 정도 높은 것으로 나타났음.
- 연근해 어획과 비교하였을 때 어획금액 비중이 어획량 비중보다 높다는 것은 어획된 대구의 가격이 연근해 어획물의 평균가격보다 높다는 것을 의미함. 이러한 결과로 대구가 일반 연근해 어획물보다 고급어종이라 단정하기는 어려움이 있지만 어느정도 높은 가격을 가지는 것을 보여주는 것이라 할 수 있음

표 30. 연도별 대구 어획금액 비중

연 도	연근해 어획금액(천원)	대구 어획금액(천원)	대구 어획량 비중(%)
2000 년	2,329,483,389	7,763,157	0.33
2001 년	2,468,308,722	9,914,241	0.40
2002 년	2,487,006,174	8,784,212	0.35
2003 년	2,405,810,605	9,374,988	0.39
2004 년	2,609,717,094	12,702,293	0.49
2005 년	2,705,954,841	17,767,837	0.66
2006 년	2,751,251,398	19,223,302	0.70
2007 년	2,939,109,483	26,368,885	0.90
2008 년	3,222,256,094	23,080,275	0.72
2009 년	3,640,436,977	26,911,296	0.74

자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도



자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도

그림 46. 연근해 어획 대비 대구 어획량 및 어획금액 비중

- 대구의 어획업종을 2007년~2009년 3년 평균을 기준으로 분석해보면, 연안자망이 연평균 88억원으로 연근해 대구 어획금액의 약 35%를 차지하는 것으로 나타났으며, 근해자망이 약 20%, 근해연승이 약 11%의 어획금액 비중을 가짐
- 연도별로는 연안자망에서 어획금액이 꾸준히 증가하는 것을 보이고 있으며, 2000년에 동해구기선저인망의 급격한 증가로 주요업종 중 최고 어획금액을 기록한바 있음

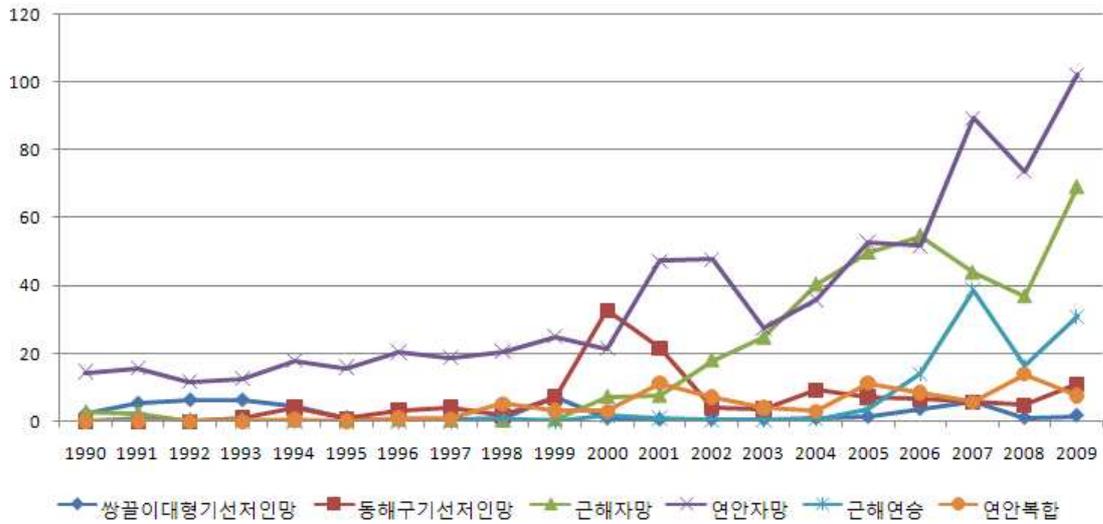


그림 47.연도별 대구 주요업종별 어획금액

- 해역별로 대구 어획금액을 살펴보면 약 2001년 이전까지는 동해권이 전체 연근해 대구생산금액의 약 80%이상을 차지하고 있어 가격결정에 있어서 영향력이 큰 것으로 분석되나 2003년부터 서해권 및 남해권에서 어획이 많이 이루어짐에 따라 어획금액의 약 40%내외 정도 수준에서 머물러 있는 실정임.

(다) 대구의 유통 및 가격 실태분석

① 대구유통

- 일반적인 수산물 유통경로는 생산자 → 수협 위판장 → 소비지도매시장 → 소매시장 → 소비자에 이르는 전통적인 유통경로와 ‘생산자 → 중간 유통업자 → 소매시장 → 소비자’의 두 가지 유통경로가 기본적인 형태라 할 수 있으며, 최근 대형소매점의 밴더가 생산자와 소비자를 직접 연결시키는 경로의 형태가 높아지고 있음

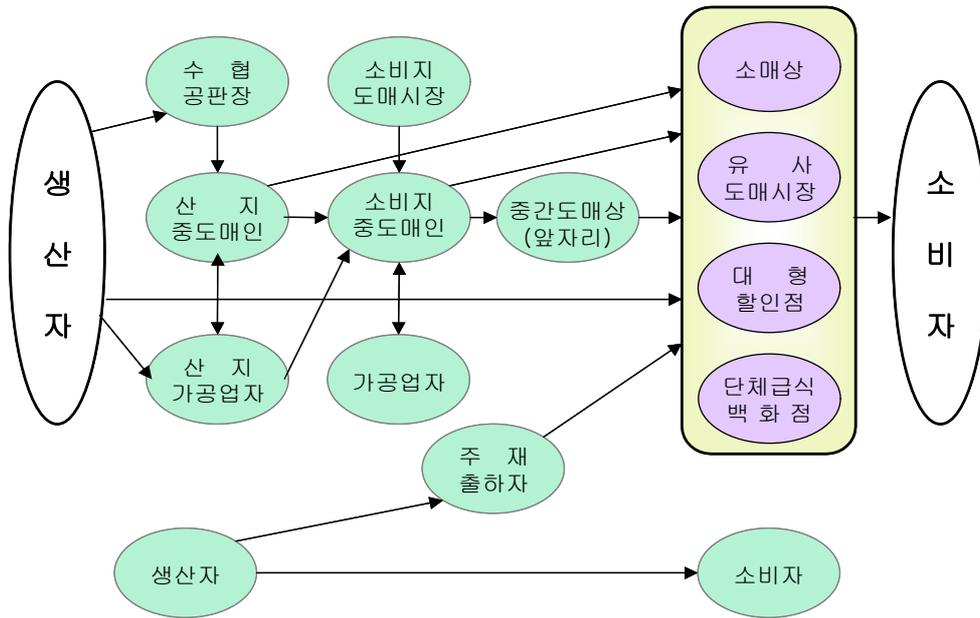


그림 48. 수산물의 일반적인 유통경로

- 그러나 일반적으로 양식어류의 경우는 일반적인 수산물 유통경로를 따르지 않는 경우가 많음. 양식어류의 대부분은 활어의 형태로 유통이 되는 경우가 많으며, 활어는 생산자가 수협에 위판하는 비율이 낮고, 소비지도매시장에 상장하는 비율도 선어에 비해 아주 낮음. 또한 소비지도매시장과 거래하는 경우에도 생산자가 도매시장에 직접 출하하는 경우는 거의 없음.
- 대구의 경우는 국내에 양식사례가 없으며, 활어유통 체계가 구축되어 있지 않음. 또한 대구의 식습관은 주로 탕, 구이, 포 등으로 이용되는 것이 대부분이며, 활어형태의 소비는 일부 횡감용 및 고급소매점에서 탕 및 구이용으로 전체 유통량의 소량으로 이용되고 있는 실정임
- 대구의 경우는 국내에 양식사례가 없으며, 활어유통 체계가 구축되어 있지 않음. 또한 대구의 식습관은 주로 탕, 구이, 포 등으로 이용되는 것이 대부분이며, 활어형태의 소비는 일부 횡감용 및 고급소매점에서 탕 및 구이용으로 전체 유통량의 소량으로 이용되고 있는 실정임

- 또한 선어 및 냉동대구의 경우 수입량이 많으며, 시장에서의 수요는 일정한 것으로 고정적 수요형태를 가지고 있는 것으로 조사됨.
- 특히 활대구의 경우 현재에 생산되고 있는 대부분 물량이 자연산이며, 유통경로는 ‘생산자 → 산지 위판장 → 유사(장외) 도매시장 → 대형소매점 및 음식점 → 소비자’로 유통되거나 ‘생산자 → 산지 수집상 → 대형소매점 → 소비자’의 형태를 보이는 것으로 파악되었음¹⁾
- 일반적 활어류와 달리 활대구의 유통경로가 일반적 수산물의 유통경로와 비슷한 이유로는 우선 대구 어종에 있어서 활어의 생산규모가 작기 때문이라는 점이 큰 이유로 나타났으며, 또한, 대구의 식습관이 횡감보다는 탕이나 구이용 등으로 많이 이용된다는 점도 영향을 미쳤을 것으로 사료됨.
- 넙치와 같은 경우 국내 생산량에서 양식으로 생산되는 활어의 비중이 약 80%이상을 차지하고 있으나 대구의 경우 산지위판장에서 판매되는 형태를 보면 2008년에는 활어의 비율이 약 11%, 2009년에는 5%로 극히 소량인 것으로 파악됨.

표 31. 산지위판장 대구 판매형태

연도	연근해 대구 생산량 (톤)	활어		선어		냉동/냉장	
		생산량 (톤)	비율	생산량 (톤)	비율	생산량 (톤)	비율
2008	5,395	630	11.7%	4,753	88.1%	12	0.2%
2009	6,870	348	5.1%	6,516	94.8%	6	0.1%

자료 : 어업생산통계시스템 (<http://fs.fips.go.kr>) 각 년도

② 대구 가격

- 자연산 수산물의 가격은 일반적인 공산품과는 달리 어획량, 어획물의 상태, 어획물의 크기, 계절적 요인 등에 따라 가격의 변화가 매우 큰 상품임.
- 대구의 가격을 살펴보면 1990년~1995년까지 생산량이 미미하게 감소함에 따라 약 7400원/kg까지 상승하였으나 1998년 이후 꾸준하게 생산량이 증가하면서 가격이 4000원/kg으로 안정되는 것으로 파악됨. 2008년에 생산량이 급격하게 떨어진 이유는 유가상승으로 인한 면세유가격의 급등으로 조업이 원활하게 이루어지지 못한 것이 영향을 미쳤을 것으로 보임.

1) 동해시 수협 중도매인 현지면담조사 내용

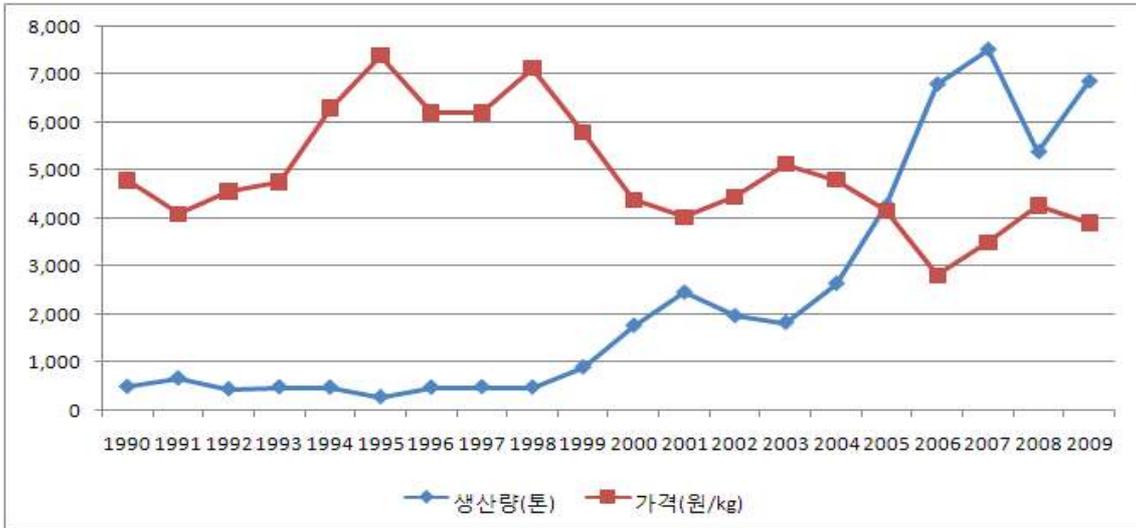


그림 49. 연근해 어획 대구류의 가격(위판가격기준)

- 특히 수산물의 특성상 계절적 요인으로 인하여 가격의 차이가 많이 나는 것은 대구의 경우에도 그 특성이 나타나는 것으로 보이며, 월별로 12월, 1월, 2월이 가격이 가장 높으며, 3월부터 하절기까지 가격이 하락하여 8월을 기점으로 다시 상승하는 형태를 나타내는 것으로 분석되었음.

(단위 원/kg)

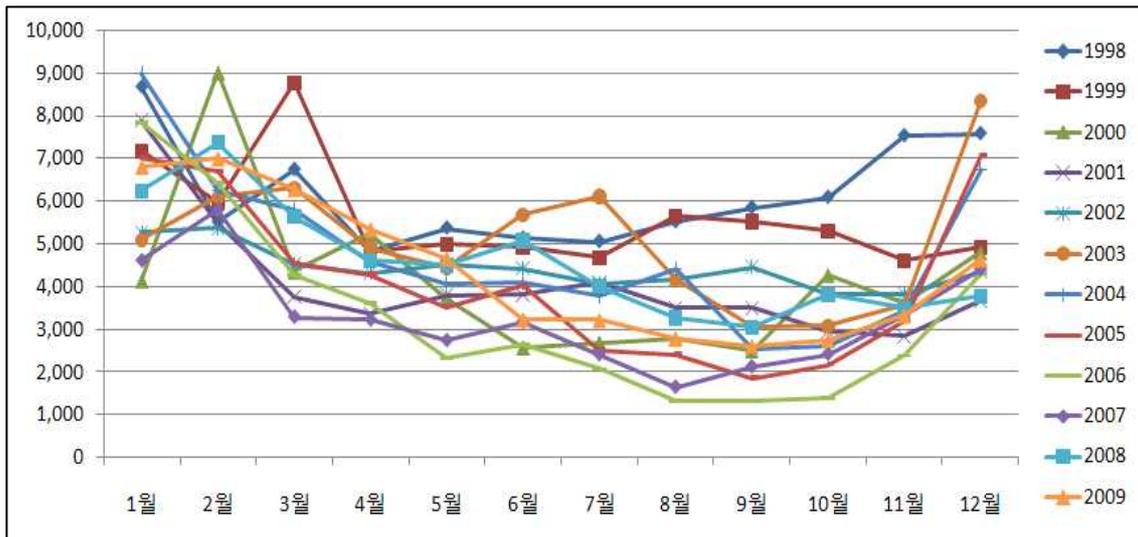


그림 50. 연근해 어획 대구류의 월별 가격

- 1998년부터 2009년까지의 월별 평균가격을 분석해본 결과 12월에 5월까지는 kg당 약 5000원 이상의 가격을 보이며 4월부터 6월까지는 약 4000원 내외, 7월부터 11월까지는 3천원대의 가격으로 나타나 대구의 가격에 있어서 계절적 영향을 많이 받는 것으로 분석되었음

표 32. 월별 대구가격(1998~2009년 평균)

(단위 원/kg)

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1998~ 2009년 평균	6,652	6,418	5,361	4,431	4,060	4,071
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	3,732	3,475	3,205	3,397	3,773	5,391

- 대구 가격에 있어서 최근 2년 동안의 활어와 선어를 비교해보면 활어는 kg당 약 1만원 수준으로 분석되며, 선어는 3,500원 정도 임. 이는 전체 연근해에 생산되는 전체 대구 생산가격에 비추어 보았을 때 약 2.39배가 비싼 것이며, 선어 대구의 가격과는 상대적으로 약 2.71배가 높은 것으로 파악됨.
- 일반적으로 활어의 경우 횡감용 및 고급음식점으로 판매가 많이 되므로 가격적 측면에서 상대적으로 경쟁력이 있음.

표 33. 대구 활어와 선어 가격비교

연도	연근해대구 평균가격(A) (원/kg)	활어(B)		선어(C)		활어/선어
		가격 (원/kg)	비교 (B)/(A)	가격 (원/kg)	비교 (C)/(A)	
2008	4,278	9,266	2.17	3,612	0.84	2.57
2009	3,917	10,208	2.61	3,583	0.91	2.85
평균	4,098	9,737	2.39	3,597	0.88	2.71

- 활어의 연도별·수협별 가격을 분석해본 결과 아래그림에서 나타나는 바와 같이 수협별 가격의 차이뿐만 아니라 동일 수협에서도 위판 건별로 가격의 차이가 매우 크며, 계절적으로도 가격이 매우 넓게 산포되어 있어 정확한 kg당 가격을 추정하기가 어려운 실정임.

(단위 원/kg)

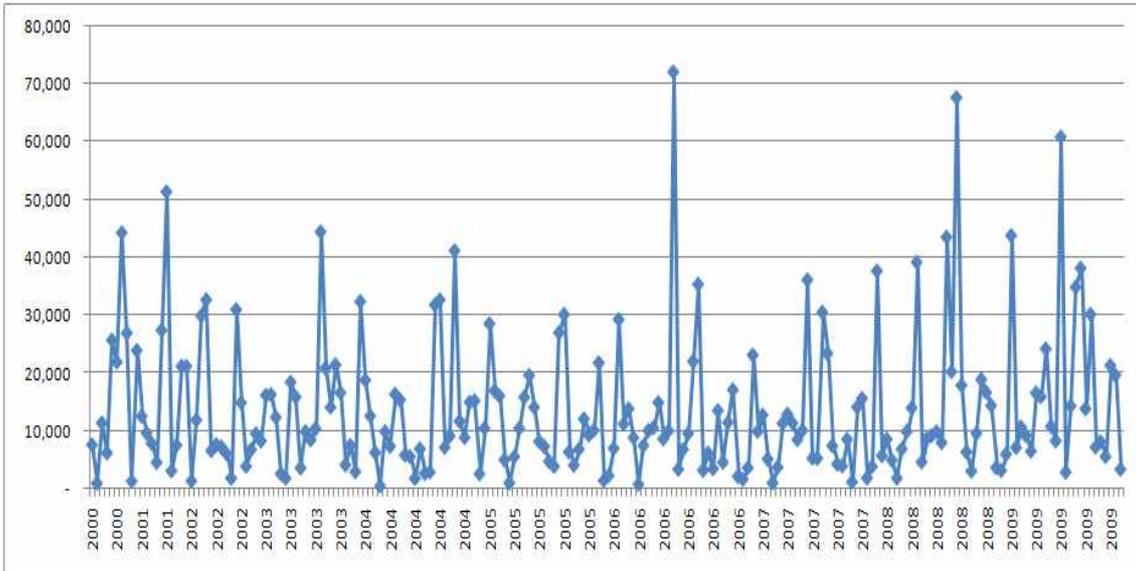


그림 51. 활대구 위판 가격

표 34. 위판장별 대구 활어 생산량 및 가격

구 분	최근 10년간 활대구 위판량(kg)	최근 10년간 활대구 평균가격 (원/kg)	구 분	최근 10년간 활대구 위판량(kg)	최근 10년간 활대구 평균가격 (원/kg)
강구수협	502	7454	안면도수협	986	44,617
거제수협	4,089,571	10,045	양양군수협	121,355	6,883
고성군수협	100,842	6,644	여수 수협	1,307	7,083
고흥군수협	813	32,546	용진수협	252	5,556
나로도수협	4,616	12,384	완도군수협	22,540	29,593
남해군수협	42,840	15,543	완도금일수협	1,474	34,951
대포수협	52,644	7,515	의창수협	203,366	30,077
동해시수협	764,361	1,916	인천수협	2,681	15,345
보령수협	200	9,004	장흥군수협	18	24,125
부안수협	28	7,464	죽변수협	24,726	6,319
사천수협	167	15,477	진동수협	83,776	11,208
삼천포수협	83,801	14,457	진해시수협	294,423	15,611
서산수협	31,971	18,316	축산수협	1,286	8,148
서천서부수협	89	8,987	통영수협	32,065	21,478
속초시수협	28,228	8,417	하동군수협	1,243	17,556
			후포수협	609,096	3,229

- 앞서 언급하였던 바와 같이 활대구의 경우 어획량, 어획물의 상태, 어획물의 크기, 계절적 요인 등에 따라 가격의 변화가 매우 큰 상품적 특성으로 인하여 정확한 가격을 통계적 자료로는 추정하기가 어려운 특징이 있어, 현지조사를 실시하였음.
- 현지조사는 동해시 중도매인을 대상으로 면담조사를 실시하였으며, 상품을 4단계로 구분하여 가격 및 제품의 크기, 제품 상태에 대한 특징을 기준으로 조사하였음.
- 우선 활대구의 경우 크기가 클 수록 높은 가격을 형성하는 것으로 조사되었으며, 일반적으로 판매사이즈는 1kg이상이 상품성이 있는 것으로 나타났음. 또한 제품의 지느러미 손상 및 어체 손상, 활동성 등도 가격에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었음

표 35. 활대구 상태별 가격

구 분	size(미당)	제품 상태	가격
특품	2kg 이상	활동성이 높으며, 외관상태 극상	20,000원 이상
상품	2kg~1kg	어체 손상이 없으며, 활동성 양호	15,000원 내외
중품	500g~1kg	지느러미 손상 및 활동성저조	10,000원 내외
하품	500g 이내		3,000~7,000

자료 : 동해시 수협 중도매인 현지면담조사 내용

나. 대구 외해양식 경제성 분석

(1) 경제적 타당성 분석을 위한 이론적 배경

(가) 분석방법

○ 일반적으로 경제적 타당성 분석에는 편익-비용분석이 많이 적용되고 있음. 편익-비용분석이라 함은 정부의 정책 또는 투자사업의 경제성 평가를 위해 사용되는 일반적이고 종합적인 분석틀로써, 이와 같은 편익-비용분석을 실시함에 있어서 고려 해야하는 점으로 경제성 분석의 기법, 편익과 비용의 판별, 할인율의 선택, 사업의 내용연수 등이 있음

- 분석기법 : 비할인율법(회수기간법, 평균회계수익률법), 할인율법(순현재가치법, 내부 수익률법, 편익-비용비율법, 수익성지수법)
- 편익과 비용의 판별 : 유무검증법과 전후검증법, 경제적 분석과 재무적 분석, 불확실성과 위험의 반영
- 사회적 할인율의 선택
- 경제성 평가기간 : 사업의 내용연수

○ 순현재가치 방법(NPV)

- 순현재가치 (Net Present Value, NPV) 방법은 평가 대상기간의 모든 비용과 편익을 현재 가치로 환산하고, 총 편익에서 총 비용을 뺀 값을 바탕으로 사업의 경제성을 평가하는 기법

$$\text{순현재가치} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : t년도의 편익

C_t : t년도의 비용

r : 할인율

n : 내용연수

- 순현재가치가 양(+)의 값이면 편익이 비용을 초과하는 것으로 그 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 평가

○ 편익비용비율법 (BCR)

- 편익/비용 비율 (B/C ratio)은 평가기간동안에 발생하는 총 편익을 총 비용으로 나눈 비율임

- 편익/비용 비율이 1을 넘어서면 사업으로 인해 얻는 편익이 투입된 비용보다 많게 되므로 그 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 평가하는데, 여기서 매년 발생하는 비용과 편익은 할인율을 적용하여 현재 가치로 환산하여 사용함

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+y)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+y)^t} = \frac{\text{총편익의현재가치}}{\text{총비용의현재가치}}$$

- 편익/비용 비율방법은 비용과 편익이 발생하는 시간을 고려할 수 있고, 다른 평가 기준보다 이해가 쉬워 경제성 평가에서 가장 많이 사용하는 방법이나, 미래의 편익과 비용을 현재 가치로 환산하기 위해 할인율을 사용하므로 적정 할인율의 결정이 올바른 평가의 관건임

○ 내부 수익률 방법(IRR)

- 내부 수익률 (Internal Rate of Return, IRR)은 투자사업이 원활히 진행될 경우에 기대되는 예상 수익률로서, 평가 기간에 걸쳐 발생하는 총 편익의 현재가치와 총 비용의 현재가치가 같아지는 할인율을 말함
- 이는 건설비와 운영비를 포함한 총 비용을 사업 평가기간 동안 모두 회수함과 동시에 수익을 창출할 수 있는 비용의 가득력을 의미하므로 그 사업에 투자된 비용의 수익성(내부 수익률)이 다른 사업에 투자함으로써 얻을 수 있는 최대수익인 자본의 기회비용(사회적 할인율)보다 클 경우, 그 사업은 경제적 수익성이 있다고 봄

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+y)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+y)^t}$$

- 이 방법은 순 현가나 편익/비용비를 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나 어려운 점이 많을 때 주로 적용하는데, 내부 수익률 방법은 결과치가 평균치인 비율로 표시되므로 투자규모의 차이가 기업의 자산가치에 미치는 영향을 적절히 반영시키지 못하고 있으며, 또한 현금흐름이 불규칙할 경우 해가 불가능인 경우도 있음
- 위에서 언급한 여러 가지 경제적 타당성 평가분석기법들 중에서 순현재가치법 (NPV)이 개념적으로 자본예산편성을 위한 최선의 기법이라 할 수 있으나 현실적으로 여러 기법의 사용하는 이유는 투자결정이 미래의 불확실성하에서 이루어지기 때문에 여러 기법을 적용함
- 최근에는 내부수익률법 (internal rate of return: IRR)과 순현재가치법 (NPV)이 가장 널리 사용되고 있는 실정임

표 36. 투자결정기법의 장단점비교2)

분석기법	판단	장점	단점
편익/비용비율 (B/C)	$B/C \geq 1$	- 이해용이, 사업규모 고려가능 - 비용편익 발생시간의 고려	- 편익과 비용의 명확한 구분이 곤란 - 상호배타적 대안선택시 오류발생 가능
내부수익률 (IRR)	$IRR \geq r$	- 사업의 수익성 측정 가능 - 타 대안과 비교가 용이 - 평가과정과 결과 이해가 용이	- 사업의 절대적 규모 고려하지 않음 - 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재
순현재가치 (NPV)	$NPV \geq 0$	- 대안 선택시 명확한 기준 - 장래발생편익의 현재가치 제시 - 순현재가치 고려 타분석에 이용 가능	- 이해의 어려움 - 대안 우선순위결정시 오류 발생 가능

- 비용-편익분석에서 편익이란 기본적으로 소비를 증가시키는 효과를 말하는데, 소비가 모든 경제활동의 목적이고 생산의 목적이기 때문이며, 직접 소비를 증가시키지 않은 기초시설에 대한 투자도 간접적으로 국민의 미래 소비를 증가시키기 때문에 편익으로 간주해야 함
- 어떤 사업의 비용이란 이 사업으로 인해서 포기된 편익을 말하며, 경제학에서 말하는 비용이란 늘 기회비용을 의미하므로, 비용과 편익은 부호만 다를 뿐 내용은 동일함
- 그러나 이런 기회비용의 계산이 사실상 불가능하기 때문에 관례상 사업의 수행에 소요되는 경비를 비용으로 간주하는 경우가 많음
- 유무검증은 편익-비용분석시에 사업을 수행할 경우 (with the project)와 수행하지 않을 경우 (without the project)의 차이에 의거 파악하는 증분적 현금흐름 (incremental cash flow)원칙을 기준으로 함. 여기서 현금흐름의 증분 (incremental cash flows)이란 어떤 기업이나 사업에 대해 투자안이 있는 경우 (with project)의 미래 현금흐름과 투자안이 없는 경우 (without project)의 미래 현금흐름간의 차이로서 투자안의 채택 여부는 그 투자안에서 발생하는 현금흐름의 증분만을 고려하면 되는데 이를 독립기업의 원칙 (stand-alone principle)이라 부름. 이를 감안하여 유무검증에서 순현금흐름 (net cash flows: NCF)은 아래의 식과 같이 설명 될 수 있음

2) 농림수산식품부, 통영바다목장경제성분석, 2007

$$\begin{aligned}
&= NB_t^w - NB_t^{wo} = (TR_t^w - TC_t^w) - (TR_t^{wo} - TC_t^{wo}) \\
&= (PQ_t^w - FC - v_t^w Q_t^w) - (PQ_t^{wo} - FC - v_t^{wo} Q_t^{wo}) \\
&= P(Q_t^w - Q_t^{wo}) - v_t^w(Q_t^w - Q_t^{wo}) + (v_t^w - v_t^{wo})Q_t^{wo}
\end{aligned}$$

- 전후검증은 사업을 수행하기 전 (before the project)과 수행하기 후 (after the project)의 차이에 의거한 편익-비용을 파악하는 기준으로, 전후검증에 의한 편익과 비용의 판별은 평가오류를 초래할 수 있기 때문에 진정한 기회비용을 고려할 수 있는 유무검증에 의한 편익과 비용을 판별하는 것이 바람직함

(나) 할인율의 결정

- 할인율이란 투자에 수반되어 발생하는 미래의 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 비교할 수 있도록 하기 위한 율 (rate)임. 즉 편익과 비용이 장기간에 걸쳐 발생할 때 그 편익과 비용의 흐름을 평가하기 위해서는 미래의 편익 및 비용이 현재가치로 환산되어야 하며, 이 때 적용되는 자본의 기회비용이다. 자본의 기회비용이란 같은 금액의 자본을 다른 기회에 투자하였을 때의 수익률을 말함
- 이러한 할인율이 너무 높으면 순 편익의 현재가치 (NPV)가 낮아지므로 사회적으로 필요한 사업이 투자부적격 판정을 받을 수 있고, 할인율이 너무 낮으면 사업의 타당성이 실제이상으로 과대 평가될 수 있음. 따라서 사업초기에 대규모 투자가 이루어지고 편익은 일정기간후 장기간에 걸쳐 지속적으로 발생하는 경우 경제적 타당성은 할인율 크기의 영향을 많이 받게 됨
- 할인율은 투자의 생산성, 소비의 선호도와 밀접한 관련이 있으며, 특히 외부재원의 조달원과 관련한 공채 이자율, 정부 금융기관의 장기 이자율, 민간투자 수익률, 시장 이자율의 가중 평균치, 전 산업의 평균 수익률 등이 고려되어 결정됨
- 사업의 경제성 분석시의 할인율은 크게 다음과 같은 두 가지 차원에서 주의가 필요
 - 이 분석시의 미래의 현금유입과 유출에 따른 현금흐름과 할인율 적용에 있어서 일관성을 유지할 필요가 있음. 다시 말해서 현금유입과 유출이 불변가격에 의한 현금흐름 (real cash flow)이면 할인율도 실질이자율 (real rate of interest)이 적용됨으로써 실제구매력 (actual purchasing power)이 도출되어야 함. 이 경제성 분석은 분석시점에서의 현재가격이 장래에도 매년 동일하게 발생할 것으로 가정한 실질 현금흐름이기 때문에 여기서 적용될 할인율도 실질이자율이어야 함. 그런데 우리가 시장에서 관찰할 수 있는 시장이자율은 실질이자율이 아닌 명목이자율 (nominal rate of interest)이며, 원래 명목이자율은 실질이자율에 예상인플레이션과 위험프리미엄을 더한 것과 같다고 볼 수 있지만 일반적으로 국공채에 대한 시장이자율(무위험증권에 대한 수익률)은 위험성이 없기 때문에 위험프리미엄을 제외한 실질이자율과 예상 인플레이션율로 구성되어 있다고 할 수 있음

$$R = r + E\left(\frac{\Delta p}{p}\right)$$

단, R = 명목이자율(무위험이자율)

r = 실질이자율 또는 자본의 한계생산성

$E\left(\frac{\Delta p}{p}\right)$ = 예상인플레이션율 (expected rate of inflation)

- 따라서, 이와 같은 경제분석시의 할인율은 국공채 등과 같은 무위험증권의 수익률에 예상인플레이션율을 뺀 값이 적용되어야 할 것임 즉,

$$r = R - E\left(\frac{\Delta p}{p}\right)$$

- 또 다른 유의사항은 여러 상품의 무위험이자율 중에서의 선택기준과 예상인플레이션율의 결정방법에 대한 것임. 무위험증권으로서는 크게 은행의 예금금리(정기예금, 자유저축, CD 등)와 국공채(통화안정증권, 지방채, 금융채, 국민주택 채권 등) 등으로 구분할 수 있는데, 은행의 예금금리는 시장의 원리에 의해 결정된 금리라고 하기 곤란하기 때문에 3년만기 회사채의 수익률 및 통화안정증권과 국공채의 수익률을 무위험이자율로서 이용하는 것이 합리적이라고 판단됨. 한편 예상인플레이션율은 시장에서 관찰되지 않기 때문에 인플레이션예상에 대한 적절한 대응변수가 고안되어야 하는데, 시장의 인플레이션예상을 과거 인플레이션의 함수로 규정하는 ‘예상적응모델 (adaptive expectation model)’이 흔히 사용되고 있음.

- 사회적 할인율과 관련한 국내문헌으로 국토연구원의 『민간투자사업의 수익률에 관한연구(2001)』와 한국개발연구원의 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침연구(2002)』 및 예비타당성조사 표준지침수정·보완연구(2004)』 등이 있음. 이 연구들에서는 사회적할인율 추정을 위해 IBRD의 L.Squire & H. van der Tak (1975)모형을 이용하여 추정하였으며, 추정결과는 90년대 평균실질 값으로 8.38% 로 추정되었으나, 외국사례, SOC 투자와 민간투자와의 보완적인 관계등을 고려하여 아래표와 같이 사회적할인율을 제시하고 있음

표 37. 사회적할인율 제시

사업의 성격	적용 사회적할인율
도로, 철도, 항만, 공항 등 일반공공투자 사업	7.5%
수자원개발, 환경시설, 낙후지역 개발 등의 사업	5.5%

- 사회적 할인율의 적정수준에 대한 견해는 예산제약이 강할 때(특히 긴축재정 시)에는 높은 사회적 할인율 수준이 바람직하다고 일반적으로 주장함. 이는 자원이 희소할수록 사람들은 미래에 발생할 편익들보다 현재 편익을 더 강하게 선호 할 것이기 때문임

표 38. 할인율의 적정수준에 대한 견해

높은 할인율선호 견해	낮은 할인율 선호 견해
공공사업의 경우 일반적으로 예산제약 하에 미래의 편익을 위해 투자하는 것이기 때문에 이의 타당성을 평가하는데 있어서는 높은 할인율 적용이 바람직함	대규모사업의 경우 일반적인 비용·편익 분석은 전체 경제효과를 측정할 수 없으므로 낮은 할인율 적용이 바람직함 높은 할인율은 SOC와 같은 장기사업의 시행을 어렵게 하고, 분석자로 하여금 편익을 과대 추정하게 만드는 요인이 됨

- 외해가두리양식 경제성분석과 관련된 국내 선행연구에서는 김도훈 외(2008)에서는 외해가두리양식 시범사업에 대하여 8%의 사회적 할인율을 사용하였으며, 제주수산연구소(2009)에서는 9%를 가정하여 제주 외해가두리양식 분석에 활용하였음. 국외의 관련연구로는 Kam et al., (2003)에서 10%의 사회적 할인율을 적용하여 하와이 지역의 외해가두리양식에 대하여 분석한 사례가 있으며, Jin et al., (2005)에서는 7%의 사회적 할인율을 사용하여 분석을 하였음.
- 동 연구에서는 대구 외해가두리양식은 상업적 목적을 가지고 있으며, 기회비용의 적정성 및 최근 시장금리, 선행연구의 내용을 바탕으로 8%의 사회적 할인율을 가정하였음. 또한 미래에 발생할 불확실성을 고려하여 할인율에 대한 민감도 분석을 병행하였음.

(다) 사업기간

- 경제적 비용과 편익에 대한 추정기간을 설정하는 데 있어서 가장 중요한 요소는 주요시설 및 장비에 대한 경제적 내용연수 (Economic Life)를 결정하는 것임. 추정기간을 장기로 하였을 경우에 동일한 사업의 NPV나 IRR이 높아지는 효과가 나타날 수 있으므로 투자의 경제적 타당성을 의도적으로 높이기 위해 장기의 추정기간을 선정할 가능성도 있음

- 따라서 추정기간을 설정하는 데 있어서 가장 중요한 요소는 주요시설 혹은 장비의 경제적 수명 (Economic Life)을 결정하는 것임. 일반적 사업의 투자에 있어서 주요 시설 및 장비별로 경제적 수명이 각기 다르기 때문에 각 시설의 투자비를 가중치로 하여 평균 경제적 수명 (Average Economic Life)을 구하여 추정기간으로 설정하는 방법을 사용하기도 하며, 외해가두리양식사업과 관련하여서는 선행연구에서 주요시설을 가두리 및 그물로 파악하여 이에 대한 내용연수를 추정기간으로 사용하고 있음.
- 김도훈 외(2008)에서는 외해가두리양식 시범사업에 대하여 가두리 및 그물에 대하여 내용연수를 8년으로 가정하였으며, 이를 추정기간으로 적용하여 경제성 분석을 실시하였음. 제주수산연구소(2009)에서도 가두리 시설의 내용연수를 기준으로 8년을 적용하였음.
- 동 연구에 분석대상인 외해가두리 Aqua-Pod 7000은 개발된 기간이 길지 않아 정확한 내용연수를 산정하기에는 힘듦. 기존의 선행연구의 결과를 적용하여 추정기간을 8년으로 가정함

(2). 경제적 타당성 분석을 위한 기본가정

(가) 일반적 가정

- 동 연구에 분석대상은 동해안에 한류성 어종인 대구에 대하여 수중식 외해가두리 ‘Aqua-Pod 7000’ 3기를 설치하여 생산하는 것의 경제성을 분석하는 것임. 기본가정으로는 사업기간, 사업의 형태, 사회적할인율, 대구의 치어가격 및 판매가격, 대구 성장 가정 등이 있음.
- 사업기간
 - 분석대상인 수중식 외해가두리 Aqua-Pod 7000은 개발된 기간이 길지 않아 정확한 내용연수를 산정하기에는 힘듦. 기존의 선행연구의 결과를 적용하여 추정기간을 8년으로 가정함.
- 사업형태
 - 동해지역을 대상으로 수중식 외해가두리 ‘Aqua-Pod 7000’ 3개를 설치하여 한류성 어종인 대구를 양식하여 활어형태로 판매. 치어의 입식은 약 0.17kg 내외의 size를 대상으로함
 - 가두리 시설의 7000m³ 규모 중 생물 육성에는 6,000m³ 활용을 최대 공간으로 가정
- 사회적할인율
 - 사회적할인율은 앞서 언급한 바와 같이 동 사업은 상업적 목적을 가지고 있으며, 기회비용의 적정성 및 최근 시장금리, 선행연구의 내용을 바탕으로 8%의 사회적 할인율을 가정하였음.

○ 대구 성장

- 알에서 체중 0.056 kg까지 소요되는 시간은 약 14개월(430일) 정도임(서 등, 2007). 이후 0.17kg까지 성장에 대한 실측데이터가 없으므로 해양연구원에서 2009년 10월 22일부터 2010 2월 9일까지 총 16주간의 실험에서 추정된 체중에 관한 회귀식 $Y(g) = 8.2T + 165.7$ 을 적용(여기서 Y는 중량, T=사육기간/주)을 하여 0.035-0.040 kg/월의 성장을 하는 것으로 가정함. 이에 따라 알에서 0.17kg까지 총 소요되는 시간은 약 17개월로 추정됨

○ 치어가격 및 판매가격

- 현재 대구치어 20 cm 미만 (약 70-80 g) 미만의 개체는 포획이 금지되어 있어 이용이 불가능하고 20 cm 이상 되는 대구치어의 가격은 해황에 가격차이가 있으므로 대구입식시기에 따라 치어구입비용이 차이가 있을 수 있음.
- 강원도 고성군 오호리, 대진리일대의 항의 위판장에서는 90~130 g의 개체는 상품성이 없어 일정한 용기에 담아 용기당 가격이 매겨지고 있으며, 150 g이상의 개체들은 1두릅 (20마리)단위로 경매가 이루어지는데 조사가 이루어진 2010년 5월~6월 사이에 체중 150~210g의 개체들이 20마리 단위로 경매되었고 최고가 38,500원에 거래되었음. 자연산 대구 치어의 경우 170kg 내외의 사이즈로 일반적으로는 하품에 속하며 가격은 kg당 약 7,000원 내외에서 거래되고 있는 실정임. 여기에서 활어상태의 구입비용의 증가 및 동일한 크기에 대한 구매 어려움과 구매의 일시성 등으로 고려할 때, 170g/20 마리 40,000원으로 가정하였음.
- 판매가격은 활어의 형태로 판매를 가정하였으며, 앞서 대구 가격분석의 결과를 이용하여 약 500g이하의 경우 약 7,000원 600g의 경우 10000원, 1kg의 경우 12,000원, 1.5kg은 15,000원으로 가정함.

(나) 분석시나리오

- 경제성 분석에 있어서 시나리오는 판매크기(성장기간)과 판매형태의 두가지로 구분하여 시나리오 매트릭스를 설정하였음
- 가두리가 설치되는 지점은 약 수심 60 m되는 연안역으로 해류의 흐름이 빠르고 해상날씨의 변화를 직접적으로 받는 지역으로 가두리관리 및 수선비용이 예상보다 크게 날수 있음. 문제는 여름철 수온 상승기 - 15도 이상시 성장이 어려움. 가두리 구조상 잦은 수확이 수온으로 대구에게 영향을 줄 수 있어서, 수확시기를 3~4개월 전 조기 출하방식으로 가정함
- 판매크기(성장기간)
 - 판매크기에 대한 시나리오로는 170 g의 치어 입식후 약 8개월 정도를 성장시켜 판

- 매하는 방법, 1.5 kg 내외(3년)까지 성장시켜서 일괄판매하는 방법, 매년 출하조절을 통해 적정사육밀도를 조절하는 방법의 3개로 구분하였음.
- 대구의 경우 한류성 어종으로 잦은 수확이 수온으로 대구에게 영향을 줄 수 있으며, 가두리에서의 크기가 상이할 경우 공식현상이 심하게 일어나기 때문에 사육기간 중간에 새로운 치어의 입식이 불가능함.
 - 또한, 수중식 외해가두리의 특성상 크기에 따른 분류 및 선별을 통한 이동은 불가능한 것을 고려하였음.

표 39. 판매크기 시나리오

시나리오	시나리오구분
I	170g 내외의 치어를 입식하여 약 8개월을 기준으로 판매
II	170g 내외의 치어를 입식하여 1.5kg내외(3년)까지 성장시켜서 일괄판매
III	170g 내외의 치어를 입식하여 약 600g내외에서 1차출하(1년), 1kg내외에서 2차출하(2년), 1.5kg내외에서 3차출하(3년)를 통해 적정사육밀도를 조절하는 방안

- 판매크기의 시나리오를 살펴보면 시나리오 I의 경우 8개월을 주기로 출하가 가능하므로 매년 일정한 규모의 생산량을 확보할 수 있으나 매년 대량의 치어를 구입해야 하며, 판매크기가 작아 상품성이 낮음. 이는 판매시에 가격적 하락을 가져올 수 있음
- 시나리오 II의 경우 상품성이 높은 크기까지 일괄적으로 가두리시설에서 약 3년의 기간을 두고 일괄 출하를 하는 것으로 상품성 확보는 가능하나 치어입식 후 수입이 발생하기까지 시간이 소요됨
- 시나리오 III의 경우 출하조절을 통해 적정사육밀도의 유지가 가능하며, 매년 생산량을 일정량 확보할 수 있는 것으로 파악됨.

표 40. 판매크기 시나리오별 장단점

시나리오	시나리오구분
I	장점 : 매년 일정한 규모의 생산량 확보가능 단점 : 매년 치어의 구입의 어려움, 판매크기가 상품성이 낮음
II	장점 : 판매시 적정크기로 인한 상품성 확보가능, 단점 : 치어입식후 일정기간동안 비용은 발생하지만 수입이 없음.
III	장점 : 조절출하를 통하여 적정사육밀도 유지, 매년 생산량 확보 단점 : 각 출하시 가두리 시설의 해상으로의 양망비용 발생

- $Y(g) = 8.2T + 165.7$ 을 적용(여기서 Y는 중량, T=사육기간/주)하였을 때, 약 8개월을 사육할 경우 170g체중의 치어를 입식하여 약 450g 내외로 성장하는 것으로 분석됨

- 1년을 성장시킬 경우는 체중이 약 600g내외, 2년 성장시에는 약 1kg내외, 3년 성장시에는 약 1.5kg내외로 성장하는 것으로 분석됨

표 41. 추정식으로 계산된 성장기간별 대구 체중

성장기간	대구체중(g)
8개월	451.1
1년	593.3
2년	1,020.8
3년	1,448.4

주 : 1년 ≍ 52.1주로 계산, 1개월 ≍ 4.35주로 가정

○ 치어구입

- 사업에 있어서 가장 문제점이 자연산 치어의 구입으로 일시적으로 동일한 체중의 치어구입은 어려움이 있으며, 투입비용 중 치어구입비가 가장 큰 비중을 차지하므로 매번 치어입식을 자연산 치어로 사용하는 방법과 초기 치어입식시 자연산 치어를 입식하고, 인공적으로 종묘를 생산하는 방법의 두가지 시나리오로 분석함.
- 대구종묘생산에 대한 기술은 아직 안정적으로 확립되지 않은 단계. 경상북도수산자원연구소에서 2006년에 대구친어로부터 알을 받아 140 만마리를 부화시키고 부화 후 90일 후 약 3 cm 되기까지 생존률 7.1% (약 100,000마리)의 결과를 얻은 적이 있음. 또한 강원도 고성군의 민간업체에서는 2008년 100만마리 정도의 치어를 부화시켜 생산을 시도하였으나 3개월후 2% 생존률 (20,000 마리)의 결과를 얻었고 이후 5개월에 이르러 5,000 마리를 수확

표 42. 치어구입 시나리오

시나리오	시나리오구분
1	사업기간동안 매번 치어입식을 자연산 치어를 구입하는 방법
2	초기 치어입식시 자연산 치어를 입식하고, 인공적으로 종묘를 생산하는 방법

표 43. 치어구입 시나리오별 장단점

시나리오	시나리오구분
1	장점 : 사업기간동안 매번 치어입식을 자연산 치어를 구입하는 방법 단점 : 비용이 많이 들고, 자연산 동일체중의 치어를 구하기 힘들
2	장점 : 대구치어의 안정적 확보가능 단점 : 기술은 아직 안정적으로 확립되지 않음

(3) 경제성 분석

(가) 비용의 산정

- 동 사업에 있어서 비용은 크게 초기투자비용인 시설비용과 치어구입비용 및 사료비를 포함한 운영비용으로 구분할 수 있음.
- Investment cost
 - 초기투자비용은 ‘Cage-AquaPod’3기의 운송비를 포함한 구입가격과 동해지역에 시설을 하는 시설비용이 이에 포함됨. 총 비용은 부가세 20%를 포함하여 총 1,400,352,000원으로 산정됨

표 44. Cage-AquaPod 구입비용

구분	품명	규격	단가	수량	금액
구매비용	Cage-AquaPod	7,000m ³	US\$188,000.00	3	564,000,000원
	관세		US\$18,800.00	3	56,400,000원
	부가세		US\$20,680.00	3	62,040,000원
	운송료	1Set	US\$30,000.00	3	90,000,000원
	소계		US\$257,480.00		772,440,000원

주 : 운송료는 1SET당 40FT 컨테이너가 6개 필요(총 18개), 기준환율 : 1,000원

표 45. Cage-AquaPod 시설비용

구분	품명	규격	단가	수량	금액
시설비	외국인	1명	US\$500.00	30일	15,000,000원
	설계비	FEA	12,000,000원	1식	12,000,000원
	다이버	4명	300,000원	30일	36,000,000원
	선원	1명	150,000원	15일	2,250,000원
	설치용선박	1척	500,000원	15일	7,500,000원
	설치용선박-유류	L	1,500원	3,000리터	4,500,000원
	바지선	1척	35,000,000원	1개월	35,000,000원
	예인선	1척	25,000,000원	1개월	25,000,000원
	바지선 유류	L	유류산출내역참조		8,700,000원
	예인선 유류	L	유류산출내역참조		60,720,000원
	바지,예인선수당				60,000,000원
	좌표 포지셔닝	1Set	1,650,000원	7일	11,550,000원
	Block Anchor	60ton	3,800,000원	12	45,600,000원
	Block Anchor	6ton	450,000원	6	2,700,000원
	Mooring Rope	Poly-ester 12연64mm	1,500,000원	12	18,000,000원
	Mooring Chain	Stud-link 50mm27.5m	1,500,000원	12	18,000,000원
	Mooring Buoy	Set	1,000,000원	12	12,000,000원
	기타 잡비		20,000,000원	1	20,000,000원

○ 치어구입비용

- 현재 대구치어 20 cm 미만 (약 70-80 g) 미만의 개체는 포획이 금지되어 있어 이용이 불가능하고 20 cm 이상 되는 대구치어의 가격은 해황에 가격차이가 있으므로 대구입 식시기에 따라 치어구입비용이 차이가 있을 수 있음. 그러나 분석의 편의를 위해서 170g/20 마리에 40,000원으로 가정을 하였으며, 추정 근거는 강원도 고성군 오호리, 대진리일대의 위판장에서 판매되는 가격을 고려하여 활어상태로의 구입 및 구입의 일시성을 감안한 금액임

표 46. 시나리오별 치어구입비용

(단위 :원)

	시나리오 I	시나리오 II	시나리오 III
1년	2,285,714,286	685,714,286	2,285,714,286
2년	2,285,714,286	0	0
3년	2,285,714,286	0	0
4년	2,285,714,286	685,714,286	2,285,714,286
5년	2,285,714,286	0	0
6년	2,285,714,286	0	0
7년	2,285,714,286	1,028,571,429	2,285,714,286
8년	2,285,714,286	0	0

○ 사료비용

- 동 사업에 있어서 치어구입비용과 더불어 비용항목에서 가장 큰 비중을 차지함. 사료공급시 양식어류의 사료공급반응을 “빠름”, “보통”, “느림”의 3단계로 나누었을때 대구의 섭식행동은 “느림”에 해당되는 정도로 민첩도가 낮아 사료유실율을 최대로 감안했음. 사료유실율은 약 50%로 가정을 함.
- 선행실험의 결과로 나타난 사료계수 1.6을 가정하여 치어의 입식량 및 총 생산가능량을 기준으로 사료비용을 산정. 사료의 가격은 kg당 3,000원

표 47. 시나리오별 사료비용

(단위 :원)

	시나리오 I	시나리오 II	시나리오 III
1년	2,150,400,000	985,124,571	3,283,748,571
2년	2,150,400,000	985,124,571	1,641,874,286
3년	2,150,400,000	985,124,571	820,937,143
4년	2,150,400,000	985,124,571	3,283,748,571
5년	2,150,400,000	985,124,571	1,641,874,286
6년	2,150,400,000	985,124,571	820,937,143
7년	2,150,400,000	1,477,686,857	3,283,748,571
8년	2,150,400,000	1,477,686,857	3,283,748,571

○ 인건비

- 동 사업의 사업기간동안 유지를 위해서는 약 3명의 근로자가 필요하며, 근로자의 임금은 월 1,800,000원 산정하였음.

○ 약품비

- 어병발생시 약품사용비 Oxytetracycline (치료제)를 사용할 경우 약 100g/1ton 처리할 수 있음. 현재 Oxytetracycline의 가격은 10,500원/kg 으로 연간 총 사용되는 약품비는 7.2kg ×10회로 756,000원으로 산정함

○ 운영비

- 전기료 및 사료저장고 운영료는 각 월 1,000,000원, 1,200,000원으로 산정
- 동 사업을 실시하면서 필요한 선박운항은 1개월에 약 10회로 1회 출항시 비용은 300,000원으로 산정
- 로프, 가두리 수선비 등 소모품비로 1개월에 1,200,000원 정도가 소요되는 것으로 산정
- 다이버의 고용은 월 2회 점검을 기준으로 하여, 최소인원인 3명이 필요함. 1회 점검시 300,000원/인 산정함
- 장비 및 운영비에 대한 규모효과는 분석의 편의상 고려하지 않음

(나) 편익의 산정

- 일반적으로 외해가두리양식업에서 발생하는 편익은 직접편익인 양식물의 판매수익과 간접편익으로 관광개선편익, 고용유발편익 등이 발생할 가능성이 있음. 그러나 대구 외해가두리양식은 수중형을 기본으로 약 수심 60m에 설치를 하므로 관광효과는 발생하지 않을 것으로 사료됨. 또한 고용유발편익은 극히 미미하여 분석의 편익을 위하여 포함하지 않음.
- 분석에서는 순수하게 가두리시설에서 생산되는 양식물의 판매가격을 편익으로 산정하였음. 각 시나리오별 편익(판매수입)은 아래 표와 같음

표 48. 시나리오별 편익

(단위 :원)

	시나리오 I	시나리오 II	시나리오 III
1년	2,160,000,000	0	1,920,000,000
2년	2,160,000,000	0	2,000,000,000
3년	2,160,000,000	5,400,000,000	4,500,000,000
4년	2,160,000,000	0	1,920,000,000
5년	2,160,000,000	0	2,000,000,000
6년	2,160,000,000	5,400,000,000	4,500,000,000
7년	2,160,000,000	0	1,920,000,000
8년	2,160,000,000	3,600,000,000	4,000,000,000

(다) 분석결과

○ 시나리오 I - 1

- 일반적으로 경제적 타당성 판단에 있어서 B/C비율(BCR) 이 $B/C \geq 1$, 순현재가(NPV)가 ≥ 0 , 내부수익률(IRR)이 \geq 시장할인율일 경우에 경제적으로 타당한 것으로 판별. 시나리오 I - 1 의 경제성 분석결과를 살펴보면 NPV가 -15,092.73으로 0보다 작으며, B/C-ratio는 0.442 분석되어 1보다 매우 작은 것으로 파악됨. 그러므로 동 시나리오는 경제성이 없는 것으로 파악됨

표 49. 시나리오 I - 1 경제성 분석 결과

(단위 :백만원)

	비용					수입 합계	편익
	시설비용	치어구입 비	사료비	운영비 및 기타비용	비용합계		
0	1,400.4	0.0	0.0	0.0	1,400.4	0.0	-1,400.4
1	0.0	2,097.0	1,972.8	181.4	4,251.2	1,981.7	-2,269.6
2	0.0	1,923.8	1,809.9	166.4	3,900.2	1,818.0	-2,082.2
3	0.0	1,765.0	1,660.5	152.7	3,578.2	1,667.9	-1,910.3
4	0.0	1,619.3	1,523.4	140.1	3,282.7	1,530.2	-1,752.5
5	0.0	1,485.6	1,397.6	128.5	3,011.7	1,403.9	-1,607.8
6	0.0	1,362.9	1,282.2	117.9	2,763.0	1,287.9	-1,475.1
7	0.0	1,250.4	1,176.3	108.2	2,534.9	1,181.6	-1,353.3
8	0.0	1,147.1	1,079.2	99.2	2,325.6	1,084.0	-1,241.5
NPV	-15,092.73						
B/C-ratio	0.442						

○ 시나리오 II- 1

- 시나리오 II- 1의 경제성 분석결과를 살펴보면 NPV가 -1,013.13 으로 0보다 작으며, B/C-ratio는 0.901로 분석되어 1보다 작아 경제성이 없는 사업으로 나타났음.

표 50. 시나리오 II- 1 경제성 분석 결과

(단위 :백만원)

	비용					수입 합계	편익
	시설비용	치어구입 비	사료비	운영비 및 기타비용	비용합계		
0	1,400.4	0.0	0.0	0.0	1,400.4	0.0	-1,400.4
1	0.0	629.1	903.8	195.3	1,728.2	0.0	-1,728.2
2	0.0	0.0	829.2	173.4	1,002.6	0.0	-1,002.6
3	0.0	0.0	760.7	159.1	919.8	4,169.8	3,250.0
4	0.0	485.8	697.9	150.8	1,334.5	0.0	-1,334.5
5	0.0	0.0	640.3	133.9	774.2	0.0	-774.2
6	0.0	0.0	587.4	122.9	710.3	3,219.8	2,509.6
7	0.0	562.7	808.3	121.0	1,492.1	0.0	-1,492.1
8	0.0	0.0	741.6	105.9	847.5	1,806.7	959.2
NPV	-1,013.13						
B/C-ratio	0.901						

○ 시나리오 Ⅲ- 1

- 시나리오 Ⅲ- 1의 경제성 분석결과를 살펴보면 NPV가 -4,661.19으로 0보다 작게 나타나 경제성이 없는 것으로 파악되며 B/C-ratio 역시 0.767로 1보다 작아 경제성이 없음

표 51. 시나리오 Ⅲ- 1 경제성 분석 결과

(단위 :백만원)

	비용					수입 합계	편익
	시설비용	치어구입 비	사료비	운영비 및 기타비용	비용합계		
0	1,400.35	0.00	0.00	0.00	1,400.35	0.00	-1,400.35
1	0.00	2,096.99	3,012.61	231.11	5,340.70	1,761.47	-3,579.24
2	0.00	0.00	1,381.93	178.97	1,560.90	1,683.36	122.46
3	0.00	0.00	633.91	157.85	791.76	3,474.83	2,683.06
4	0.00	1,619.26	2,326.29	178.46	4,124.00	1,360.18	-2,763.83
5	0.00	0.00	1,067.11	138.19	1,205.30	1,299.86	94.56
6	0.00	0.00	489.50	121.89	611.39	2,683.20	2,071.82
7	0.00	1,250.36	1,796.32	137.80	3,184.49	1,050.31	-2,134.18
8	0.00	0.00	1,648.00	114.95	1,762.95	2,007.47	244.51
NPV	-4,661.19						
B/C-ratio	0.767						

○ 시나리오 I - 2

- 시나리오 I - 2의 경제성 분석결과를 살펴보면 NPV가 -6,721.74으로 0보다 작게 나타나 경제성이 없는 것으로 파악되며 B/C-ratio도 0.640로 1보다 작아 경제성이 없음

표 52. 시나리오 I - 2 경제성 분석 결과

(단위 :백만원)

	비용					수입 합계	편익
	시설비용	치어구입 비	사료비	운영비 및 기타비용	비용합계		
0	1,400.4	0.0	0.0	0.0	1,400.4	0.0	-1,400.4
1	0.0	2,097.0	1,972.8	181.4	4,251.2	1,981.7	-2,269.6
2	0.0	1,923.8	1,809.9	166.4	3,900.2	1,818.0	-2,082.2
3	0.0	70.0	1,660.5	135.7	1,866.2	1,667.9	-198.3
4	0.0	64.2	1,523.4	124.5	1,712.1	1,530.2	-181.9
5	0.0	58.9	1,397.6	114.3	1,570.8	1,403.9	-166.9
6	0.0	54.0	1,282.2	104.8	1,441.1	1,287.9	-153.1
7	0.0	49.6	1,176.3	96.2	1,322.1	1,181.6	-140.5
8	0.0	45.5	1,079.2	88.2	1,212.9	1,084.0	-128.9
NPV	-6,721.74						
B/C-ratio	0.640						

○ 시나리오 II- 2

- 시나리오 II- 2의 경제성 분석결과를 살펴보면 NPV가 -69.08으로 0보다 작게 나타나 경제성이 없는 것으로 파악되며 B/C-ratio는 0.99로 1보다 작아 경제성이 없음

표 53. 시나리오 II- 2 경제성 분석 결과

(단위 :백만원)

	비용					수입 합계	편익
	시설비용	치어구입 비	사료비	운영비 및 기타비용	비용합계		
0	1,400.4	0.0	0.0	0.0	1,400.4	0.0	-1,400.4
1	0.0	629.1	903.8	195.3	1,728.2	0.0	-1,728.2
2	0.0	0.0	829.2	173.4	1,002.6	0.0	-1,002.6
3	0.0	0.0	760.7	159.1	919.8	4,169.8	3,250.0
4	0.0	64.2	697.9	146.6	908.7	0.0	-908.7
5	0.0	0.0	640.3	133.9	774.2	0.0	-774.2
6	0.0	0.0	587.4	122.9	710.3	3,219.8	2,509.6
7	0.0	49.6	808.3	115.9	973.8	0.0	-973.8
8	0.0	0.0	741.6	105.9	847.5	1,806.7	959.2
NPV	-69.08						
B/C-ratio	0.99						

○ 시나리오 III- 2

- 시나리오 III- 2의 경제성 분석결과를 살펴보면 NPV가 -1,877.75으로 0보다 작게 나타나 경제성이 없는 것으로 파악되며 B/C-ratio는 0.89로 1보다 작아 경제성이 없음

표 54. 시나리오 III- 2 경제성 분석 결과

(단위 :백만원)

	비용					수입 합계	편익
	시설비용	치어구입 비	사료비	운영비 및 기타비용	비용합계		
0	1,400.4	0.0	0.0	0.0	1,400.4	0.0	-1,400.4
1	0.0	2,097.0	3,012.6	231.1	5,340.7	1,761.5	-3,579.2
2	0.0	0.0	1,381.9	179.0	1,560.9	1,683.4	122.5
3	0.0	0.0	633.9	157.8	791.8	3,474.8	2,683.1
4	0.0	64.2	2,326.3	162.9	2,553.4	1,360.2	-1,193.2
5	0.0	0.0	1,067.1	138.2	1,205.3	1,299.9	94.6
6	0.0	0.0	489.5	121.9	611.4	2,683.2	2,071.8
7	0.0	49.6	1,796.3	125.8	1,971.7	1,050.3	-921.4
8	0.0	0.0	1,648.0	115.0	1,763.0	2,007.5	244.5
NPV	-1,877.75						
B/C-ratio	0.89						

- 시나리오별로 경제성 분석결과를 비교해보면 시나리오II- 2가 NPV값이 -69.08, B/C-ratio 값은 0.993로 가장 경제성이 높은 것으로 나타나며, 시나리오 I- 1이 경제성이 상대적으로 가장 낮게 분석되었음.
- 그러나 동 사업에 있어서 모든 시나리오에서 경제적 타당성은 없는 것으로 나타났으며, 대구 외해가두리양식을 실시할 경우 사회적 손실을 가지고 오는 것으로 분석되었음.

표 55. 시나리오별 경제성 분석결과 종합

(단위 :백만원)

	NPV	B/C-ratio	경제성 판단
시나리오 I - 1	-15,092.73	0.442	없음
시나리오 II - 1	-1,013.13	0.901	없음
시나리오 III - 1	-4,661.19	0.767	없음
시나리오 I - 2	-6,721.74	0.640	없음
시나리오 II - 2	-69.08	0.993	없음
시나리오 III - 2	-1,877.75	0.891	없음

(라) 민감도 분석

- 위험분석은 어떤 변수에 대한 확률분포에 대해선 알고 있지만 그것의 실제가치는 모르는 반면에, 불확실성분석은 확률분포나 실제가치도 모르는 상황과 관련된 분석임. 예를 들면, 가격계획이 불확실하다는 의미는 가격이 어떻게 변화할지 또는 변할 확률이나 가능성정도를 모르는 것임. 한편, 위험도분석에서는 가격의 변화범위의 확률을 알고 있지만, 그 가격이 실제로 어떻게 될지는 모르는 상황에 대한 분석이라 할 수 있음
- 일반적으로 민감도 분석은 주요변수에 대한 가정이 일정하게 변화할 때 현재가치 혹은 내부수익률이 얼마나 변화하는가를 보여주는 식으로 이루어지는 경우가 많음. 이와 같이 민감도분석의 목적은 어떤 사업의 변수의 변화에 대하여 사업의 가치 또는 이익이 얼마나 민감하게 반응하는가를 결정하는 것임. 이것은 대부분 ‘가정에 대한 변화 (what if)’질문으로 구성됨. 민감도분석의 단계는 다음과 같은 내용을 포함함
 - (1) 기본적인 케이스 대한 NPV의 계산;
 - (2) 사업의 결과에 대해 영향을 주는 요인의 결정(예: 최초의 현금흐름, 사업의 경제적 수명, 순현금흐름 및 할인율);
 - (3) 각 주요변수의 가치 또는 량의 변화정도의 결정;
 - (4) 변수의 변화의 사업가치의 최종측정치(NPV, IRR 또는 B/C Ratio 등)에 미치는 효과분석; 및
 - (5) 전 단계의 결과와의 비교해석.
- 한편 전환값(switching value)이란 사업의 현재가치를 0으로 만드는 어떤 변수의 값

을 의미하며, 주로 현재가치를 0으로 만들기 위해 필요한 어떤 변수의 변화분을 백분율로 나타냄. 예를 들면 아래표와 같이 자동차 수요가 예상치보다 10% 감소할 때 혹은 유가가 예상치보다 20% 상승할 때 고속도로의 현재가치가 0이 된다면 이 고속도로 사업에 대한 자동차 전환값은 -10%, 유가의 전환값은 +20%가 되는 것임

표 56. 전환값의 예

변수	전환값
자동차 수요	-10%
유가	+ 20%
건설비용	+ 10%

- 민감도 분석의 목적이 어떤 변수에 대한 순편익의 탄력성을 추정하는 것이 아니라 어떤 사업의 현재가치가 마이너스가 될 지도 모를 위험을 개략적으로 따져보기 위한 것이라면, 현재가치가 0이 되는 각 변수의 변화분 즉 전환값을 보고하는 것보다 더 간편하고 유용할 수 있음
- 특히, 민감도지수(sensitivity indicators: SI)는 민감도분석의 하나로서 제시되고 있다. 민감도지수는 어떤 변수의 변화율에 대한 IRR의 민감정도를 나타내는 측정치로서 변수들간의 민감도의 순위를 판별할 수 있음

$$SI = \frac{IRR의\ 변화율}{변수의\ 변화율}$$

- 하지만 민감도분석의 여러 한계점이 있음. 이러한 한계점을 살펴보면 (1) 한 시점에서 하나의 파라미터이상의 변화에 대한 사업의 민감도를 제공하지 못하며, 다른 변수들은 일정하게 두고 한 가지 변수의 변화만을 고려할 경우, 여러 변수들이 서로 독립적이 아닌 이상 위험을 제대로 반영하지 못할 우려가 있다는 점 (2) 각 변수에 대한 확률분포가 고려되지 않기 때문에 공식적인 위험분석이 아님 (3) 의사결정자가 따라야 할 공식적인 의사결정기준이 아님 (4) 고려된 변수의 변화분 혹은 계산된 전환값이 얼마나 실현가능성이 높은지에 대한 아무런 정보가 제공되지 않는다는 것. 이에 대한 해결로는 각 전환값에 대하여 그 값 혹은 그보다 더 나쁜 값이 실현될 확률을 개략적으로 제시하여 준다거나 변수들의 변화에 대한 민감도의 경우 고려되는 변수의 변화분을 해당 표준편차에 따라 설정해준다거나 하는 방법을 생각해 볼 수 있음

(4) 외해가두리를 활용한 한류성 어류 양식 적합성

- 일반적으로 사업의 적합성 또는 타당성을 평가하기 위해서 경제적 평가를 주로 이용하는 경향이 있음. 하지만 공공사업의 경우 경제적 평가뿐만 아니라 정책적 평가 및 기술적 평가도 중요한 요소라 할 수 있음.
- 대구 외해가두리 사업에 대하여 미래 발생할 경제성이 있다고 하더라도 정책적으로 정책 일치성이나 기술적 실현가능성이 뒷받침 해주지 못한다면 사업이 적합하지 못하다고 할 수있음

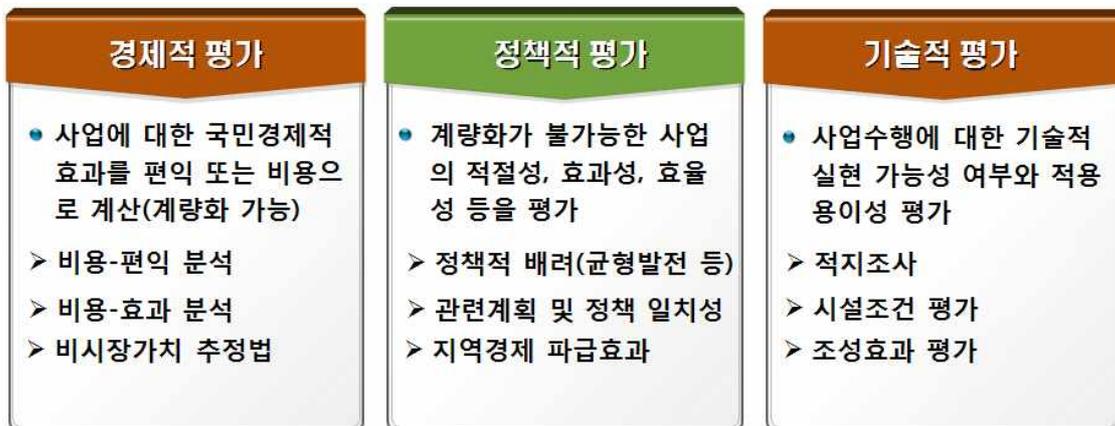


그림 52. 사업의 적합성 평가방법

- 사업의 적합성을 파악하기 위한 선행단계로써 동해안 대구 외해가두리양식에 대하여 SWOT 분석을 해보면, **강 점(Strength)** 적합한 수온을 유지, 어업인 단체 존재, 위판장 존재, 시장선점가능 등을 가지고 있으며, **약 점(Weakness)**으로 대구종묘의 확보어려움, 공식현상 발생 및 고수온기에 취약, 불법조업으로 인한 피해, 기술의 확보 등 위험요인 상존 등이 존재하는 것으로 분석되었음.

표 57. 동해안 대구 외해가두리 SWOT 분석

강 점(Strength)	약 점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 한류성 어종 양식에 적합한 수온을 유지 ○ 자생적 어업인 단체 존재하며, 수산업 전반적 어업인 의식수준 높음 ○ 외해가두리 양식산업과 해양레저 연계 가능 ○ 해역별 전략적 생물생산 기법 확립 용이 ○ 기존 국내 대구양식업체가 없으므로 사업정착 용이 ○ 대구활어에 대한 마켓파워 보유가능 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 근해어선의 불법조업으로 인한 피해 빈번, 끝어구류의 불법어업 ○ 대구종묘의 확보어려움(자연산) ○ 종묘생산기술이 확립되어 있지 않음 ○ 최근 대구생산이 급격하게 늘어 가격하락 ○ 어업규모의 영세 및 노동력 부족 ○ 어업생산기반 축소가능성 ○ 기존의 대구 양식사례가 없으므로 기술의 확보 등 위협요인 상존 ○ 어종의 특성상 공식현상 발생 및 고수온기에 취약
기회요인(Opportunity)	위협요인(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국민소득 증가와 식생활 개선 등으로 수산물 소비량 및 생산량은 전반적 증가 추세 ○ 중국 인도 등 아시아 경제시장 급성장 ○ 수산물 가공 및 상품화에 대한 여지가 많고, 기반조성이 용이 ○ 고급어종에 대한 수요증가로 경제성 확보가능 ○ 친환경 수산물에 대한 인식도 및 수요증가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환율 상승, 유류비 급등의 영향 ○ 어업인구 감소·고령화 등으로 어업인력의 양적·질적 저하 ○ 식품안전성 및 국제적 위생기준 강화 ○ 연안어장의 갯녹음 현상 진행 ○ 외해가두리관련 관련 법제도의 부재 ○ 상황에 맞는 제주형 가두리 양식 필요 ○ 유가상승 및 원화 평가절하로 어구 자재비 인상 ○ 기초투자환경 및 사회간접자본 미비 ○ 자원회복계획 어종으로 향후 자원량 증가 시 가격의 불안정 내포
● S-O 전략	● W-T 전략
<p>종묘 산업의 안정적 수요확보와 대규모 자본형성에 따른 기술개발의 활용분야 증가</p>	<p>원천기술 확보 및 시스템 구성 신규 시장의 안정적 공급에 따른 수요 창출 자본의 투입을 통한 새로운 양식업체 구성</p>

제 2 절 참치양식분야

1. 외해수증가두리 타당성 검토

가. 분류

참치속 어류는 농어목 고등어아목 고등어과에 속하며, 대서양 참다랑어 (*Thunnus thynnus*), 태평양 참다랑어 (*Thunnus orientalis*), 남방 참다랑어 (*Thunnus maccoyii*), 대서양 다랑어(*Thunnus atlanticus*), 황다랑어 (*Thunnus albacares*), 눈다랑어 (*Thunnus obesus*), 날개다랑어 (*Thunnus alalunga*), 백다랑어 (*Thunnus tonggol*) 8종으로 분류된다.

태평양 참다랑어 (*Thunnus orientalis*), 대서양 참다랑어 (*Thunnus thynnus*), 남방 참다랑어 (*Thunnus maccoyii*)가 주요 양식대상종이며, 대서양 참다랑어는 주로 지중해 연안, 태평양 참다랑어는 일본과 멕시코, 남방참다랑어는 호주에서 주로 양식되고 있다.



그림 53. 주요 참치류의 종류별 외부 형태 및 크기 비교

표 58. 참치의 종류 및 특성 비교

종류	영명	서식 수온	최대 크기
태평양 참다랑어	Pacific bluefin tuna	7~30 °C	500 kg 이상
대서양 참다랑어	Bluefin tuna	7~30 °C	500 kg 이상
남방참다랑어	Southern bluefin tuna	5~30 °C	260 kg 이상
대서양 다랑어	Blackfin tuna	—	20 kg 이상
황다랑어	Yellowfin tuna	15~30 °C	200 kg 이상
눈다랑어	Bigeye tuna	11~29 °C	200 kg 이상
날개다랑어	Albacore	14~25 °C	50 kg 이상
백다랑어	Longtail tuna	—	30 kg 이상

표 59. 참다랑어류의 생물학적 특성 요약

	서 식 해 역			
	태평양	서대서양	동대서양	
주 산란장	일본 남부부터 필리핀 외해	멕시코만	마요르카섬부터 시치리아섬의 지중해	
산란기	5~7월	5~6월	6~8월	
산란수온	25~30°C(지중해는 20°C 부터라는 보고도 있음)			
성숙	체장 1m 이상 3세어 80%가 성숙	8세	4~5세(130 cm이상)	
산란수	270~300 kg개체가 1시즌에 약 1,000만립	체장 200~250 cm 개 체가 약 3,400만립	가랑이체장 200~250 cm 개체가 2,000~3,800만립	
난경	0.85 mm(성숙란), 0.98~1.02 mm(자연산란 수정란)			
부화자어	전장 약 3 mm			
성장	1세	51.8 cm, 2.9 kg	48 cm	53.4 cm, 3 kg
	2세	78.2 cm, 9.6 kg	74 cm	77.0 cm
	3세	102.0 cm, 20.8 kg	97 cm	98.4 cm, 18~19 kg
	4세	123.5 cm, 36.4 kg	119 cm	118.0 cm
	5세	142.9 cm, 55.6 kg	139 cm	135.8 cm, 45~51 kg
	6세	160.3 cm, 77.7 kg	157 cm	152.1 cm
	7세	176.1 cm, 102.1 kg	174 cm	166.9 cm
	8세	190.3 cm, 127.9 kg	190 cm	180.4 cm
	9세	203.1 cm, 154.6 kg	205 cm	192.7 cm
	10세	214.6 cm, 181.5 kg	218 cm	203.9 cm, 146~176 kg
	11세	225.0 cm, 208.3 kg	231 cm	214.1 cm
	12세	234.3 cm, 234.6 kg	242 cm	223.4 cm
	13세	242.8 cm, 260.2 kg	253 cm	231.9 cm
	15세		272 cm	246.6 cm
	20세		308 cm. 가랑이체장 255 cm 이상 개체 중 60~70%가 수컷	273.5 cm
체장과 관계식	동대서양 : 체중(kg)= $2.95 \times 10^{-5} \times$ 체장(cm) ^{2.898958} 지 중 해 : 체중(kg)= $1.9607 \times 10^{-5} \times$ 체장(cm) ^{3.0092}			
수명	10년 이상 양식산은 23년 이상	20년 이상	25~30년	

나. 태평양 참다랑어 (*Thunnus orientalis*)의 생리, 생태적 특성

(1) 분포

서부태평양은 파라오·마셜군도 등의 적도해역 및 필리핀부터 일본 북해도 근해에 이르는 연안해역(20~40° N, 120~180° E)에 분포한다. 제주도 연안지역은 연중 서식하며, 남해 동부 연안지역은 8~10월에 일부 회유하는 것으로 확인되고 있다.

(2) 산란 및 회유

주 산란장은 일본의 남부(오키나와)부터 필리핀 외해의 서태평양이나 동해에 인접한 일본 남부해역 및 큐슈부터 키이반도에 걸쳐 자치어가 채집되는 것으로부터 적은양이나 일본 남쪽에서도 산란한다는 가능성 높다고 보고되고 있다.

산란기는 5월부터 7월이며, 부화 후 1세어(체장 약 50 cm, 체중 약 3 kg) 정도까지는 일본 및 제주도 연안을 여름철은 북상, 겨울철은 남하하는 계절회유를 한다. 2, 3세어(체장 80~100 cm, 체중 10~20 kg)의 여름철 북상하는 개체 중 일부가 가을철에 북해도 앞 바다를 통과하여 태평양 중부까지 회유한 후 북귀하는 개체도 있다. 또한 일부 개체는 태평양을 횡단하여 캘리포니아 연안에서 남북회유를 하고, 산란군이 되면 서태평양의 산란장으로 회귀하며, 산란 후에는 더욱 남하하거나 쿠로시오 해류를 타고 동부로 이동하는 경우도 있는 것으로 조사되었다.



그림 54. 북태평양 참다랑어의 회유 경로

다. 성숙 및 산란

(1) 친어 사육 지역

일본 와카야마현 쿠시모토 긴키대학수산연구소 오오시마 실험장은 겨울철 최저 수온

은 14℃정도로 우리나라의 제주도 해역과 유사하고, 여름철 냉수대가 발생하며, 적조도 일부 발생하는 지역이다.

아마미 오오시마는 일본의 오키나와에 근접한 지역으로 겨울철 최저 수온은 20℃ 이상을 유지하며, 태풍의 영향을 많이 받고 강우에 의한 토사 유입에 의한 폐사 사례가 있다.

기타지역으로는 나가사키, 고지현 등에서도 친어를 보유하고 있으나 전문적인 친어사육은 이루어지지 않고 있다.



그림 55. 친어용 가두리 및 친어

(2) 성숙

만 3년이 되면 모두 성숙하며, 본격적인 산란은 만 5세가 되면 시작된다. 수컷의 GSI (생식도지수)는 2월에 1% 이하이나 점차 증가하여 7월에 3.3%로 최대치에 도달한다. 암컷의 경우는 2~8월까지 GSI 1% 이하의 개체가 많았으나, 7월에 GSI 4.3%의 개체(체중 21.3 kg)가 출현한다.

난소 내에는 유구 1개를 가진 성숙란이 있으며, 난경은 0.2~1.0 mm, 투명한 성숙란 비율은 전체의 5.6%, 포란수는 784만립 정도이다.

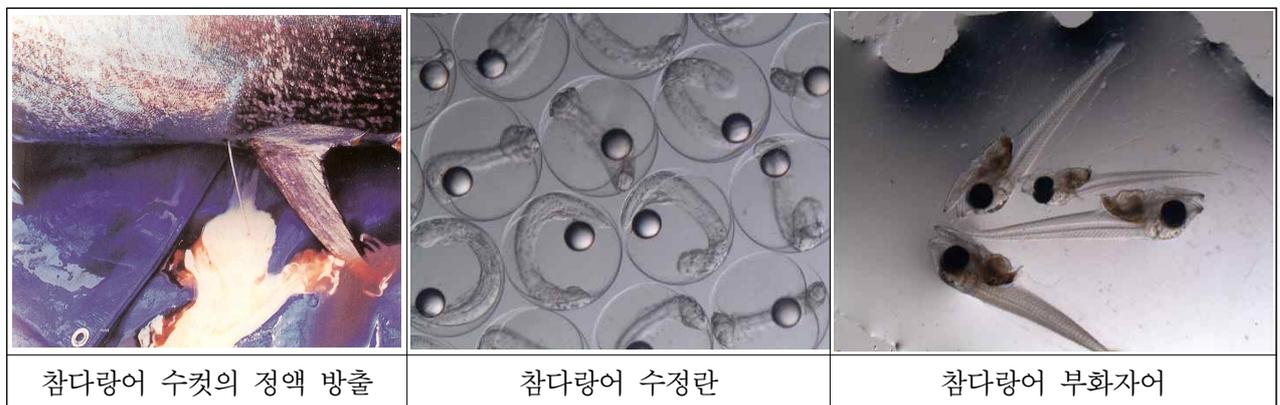


그림 56. 참다랑어의 산란과 부화자어

(3) 산란

현재는 주로 자연산란에 의존하며, 유럽에서 일부 호르몬 투여에 따른 성숙 촉진을 시도한 예가 일부 있다. 산란은 6월 하순부터 8월 중순까지이며, 산란성기는 7월 정도이다. 산란은 다회성 산란으로 1시즌에 5회 정도 산란하는 것으로 추정되고 있으며, 부상란에 대한 발생률은 80% 이상이다.

산란기가 되면 수컷은 검은색이 강해지고 암컷은 청색 빛의 혼인색을 나타낸다. 산란은 일반적으로 일몰시간 전후에 집중되며, 최근 아마미 오오시마의 경우 낮 정오 시간대에 산란하는 경우도 발생하고 있다. 산란행동으로는 암컷 1마리에 수컷 여러마리가 따라가면서 방란 방정이 이루어지고, 산란은 수면 가까운 곳에서 많이 이루어지나 수중에서 흔히 일어난다.

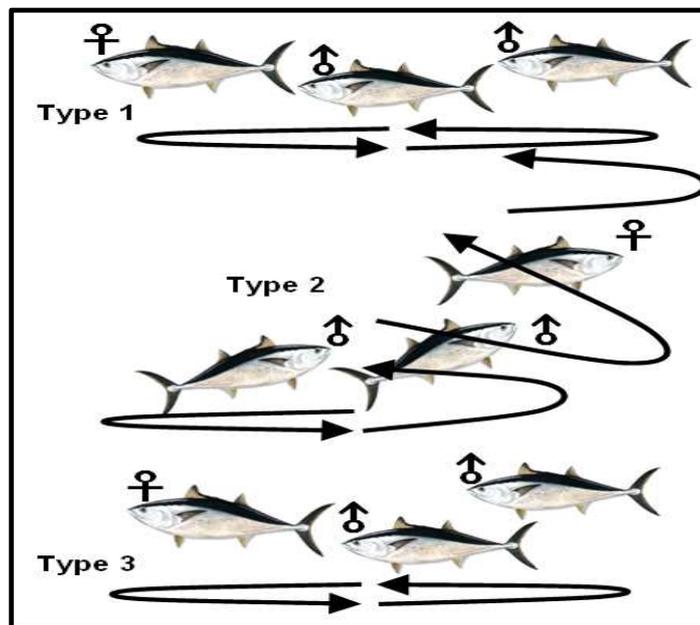


그림 57. 참다랑어의 가두리 내에서의 산란행동

라. 성장

(1) 자치어기 성장

부화자어의 크기는 3 mm 내외이며, 20일 이후 급격한 성장을 하여, 20일째 1 cm, 30일째 3.5 cm 내외로 참돔(1.3 cm 전후), 흑점줄전갱이(1 cm 전후)보다 매우 빠른 성장을 보인다. 30일 이후부터 성장은 더욱 빨라지나 충돌에 의한 폐사 발생으로 생존을 급격한 하락하며, 부화 후 4개월 후면 종묘로서 안정적인 크기가 되며, 이때 전장 35 cm 전후, 어체중 700~1,000 g 내외가 된다.

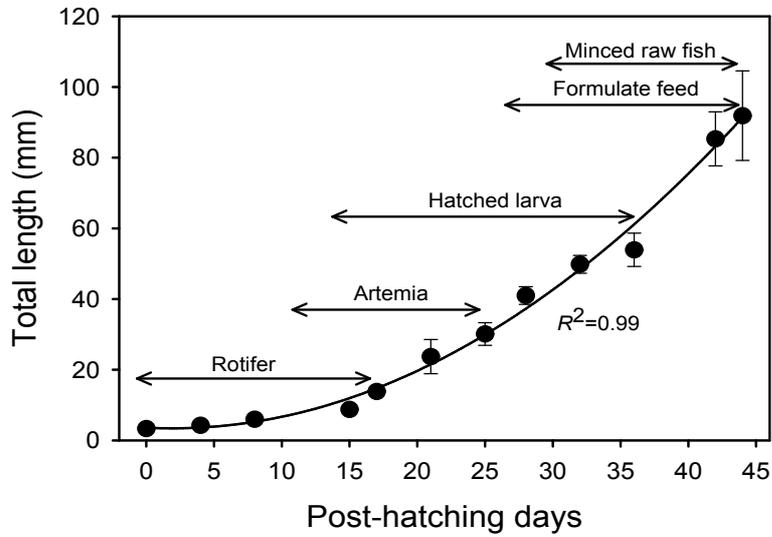


그림 58. 참다랑어 자치어기의 성장 곡선(지 등, 2008)

(2) 성장과 수온과의 관계

참다랑어는 저수온에 견디는 능력이 강하나 수온이 높을수록 성장에 유리하다. 제주도 와 유사한 수온환경인 일본 쿠시모토 지역(최저수온 14℃)의 경우 1년 4 kg, 2년 20 kg, 3년 50 kg 성장하며, 아마미 오오시마는 겨울철 최저수온 20℃ 이상을 유지하며, 1년 15 kg, 2년 45 kg, 3년 85 kg으로 차이를 보인다.

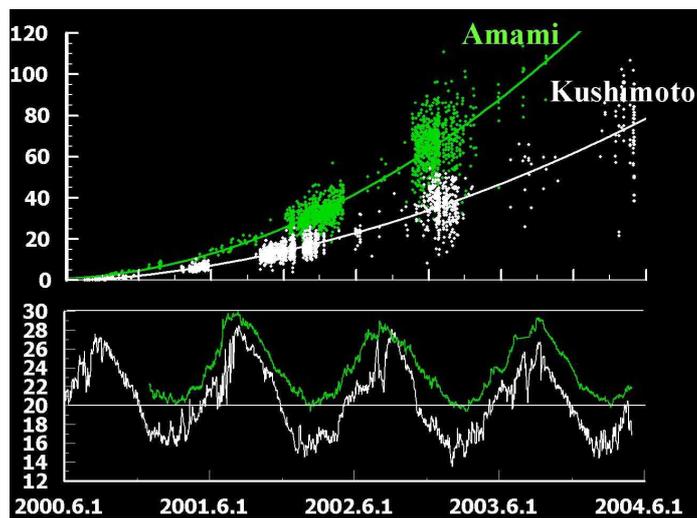


그림 59. 수온과 성장과의 관계

마. 산소소비량

(1) 자치어기 산소소비량

동일한 회유성 어종인 방어보다 3배 이상 높은 산소소비량을 보이며, 치사산소농도는 2.77 mL/L인데 반해 방어는 1.73 mL/L으로 조사되었다.

표 60. 어종별 산소소비량(Miyashita, 2002)

어종	어체중(g)	수온(°C)	산소소비량 (mL/min/kg)
태평양 참다랑어	86.1	26.0	14.96
방어	86.6	26.0	4.96
참돔	200.0	26.6	2.14
자주복	18.3	25.7	3.64
틸라피아	5.6	27.2	4.65
은어	64.3	26.4	3.88
잉어	51.4	26.8	1.19
뱀장어	79.8	26.8	1.08

(2) 다랑어류 산소요구량

다랑어류가 유영속도를 유지할 위한 산소요구량은 체장 50 cm의 경우 눈다랑어, 황다랑어, 날개다랑어 각각 0.5, 1.5, 1.7 mL/L이다. 체장 75 cm의 경우 눈다랑어, 황다랑어, 날개다랑어 각각 0.7, 2.3, 1.4 mL/L이며, 참다랑어의 질식시의 한계 산소농도는 1.0 mL/L이다. 또한 눈다랑어 어장의 서식가능 한계 산소농도는 1.0 mL/L로 조사되었다.

바. 염분 내성

(1) 자치어기 염분내성

부화자어는 염분농도 5 psu와 15 psu에서는 부화 후 24시간 및 5일내에 모두 폐사하나, 자치어기는 30 psu에서 가장 높은 생존율을 나타낸다. 성장은 부화 10일 후 염분농도 25, 30, 35 및 45 psu 실험구에서 전장 각각 5.4, 5.3, 5.1 및 6.1 mm를 나타내었다.

(2) 성어의 염분내성

정확한 실험 결과는 없으나 염분내성은 높은 것으로 추정되며, 장마철 대형하천수의 유입에 따른 염분농도 25 psu 이하로 저하해도 폐사 등의 피해 발생은 없는 것으로 전해진다.

사. 충돌사

(1) 충돌사의 발생

육상수조의 종묘생산과정에서 전장 약 5 cm 이상이 되면 발생하고, 충돌시는 평소 유영속도의 약 40배로 돌진하여 충돌한다. 빛, 진동 등에 예민하게 반응하며, 수조벽에 강하게 충돌하여 사망하거나 척추굴곡, 두부골절 등의 기형 발생한다. 낮 시간보다는 저녁 시간에 발생 빈도가 높고, 성어의 경우도 육상수조의 경우 충돌에 의한 사망이 높는데, 비닐 보호장치를 파손할 정도로 강한 유영력으로 충돌하여 사망한다.

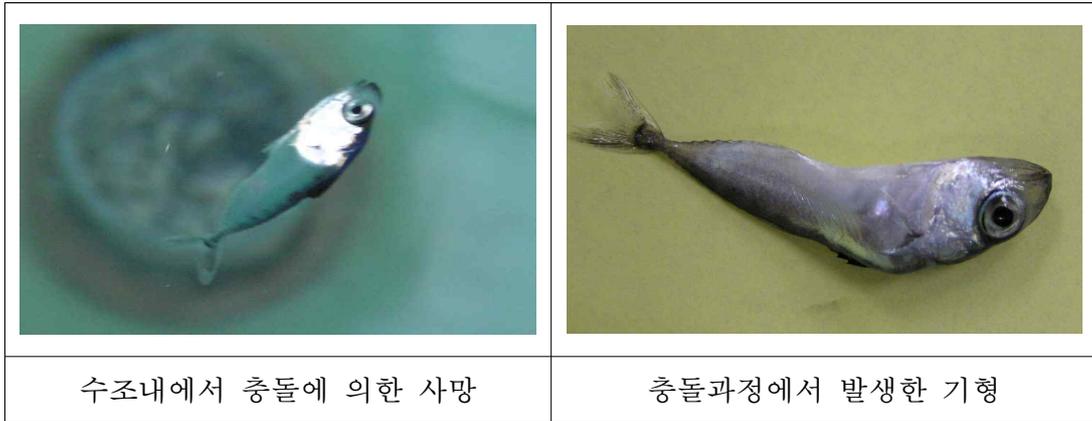


그림 60. 종묘생산과정에서 충돌로 폐사한 치어와 충돌에 의한 척추굴곡

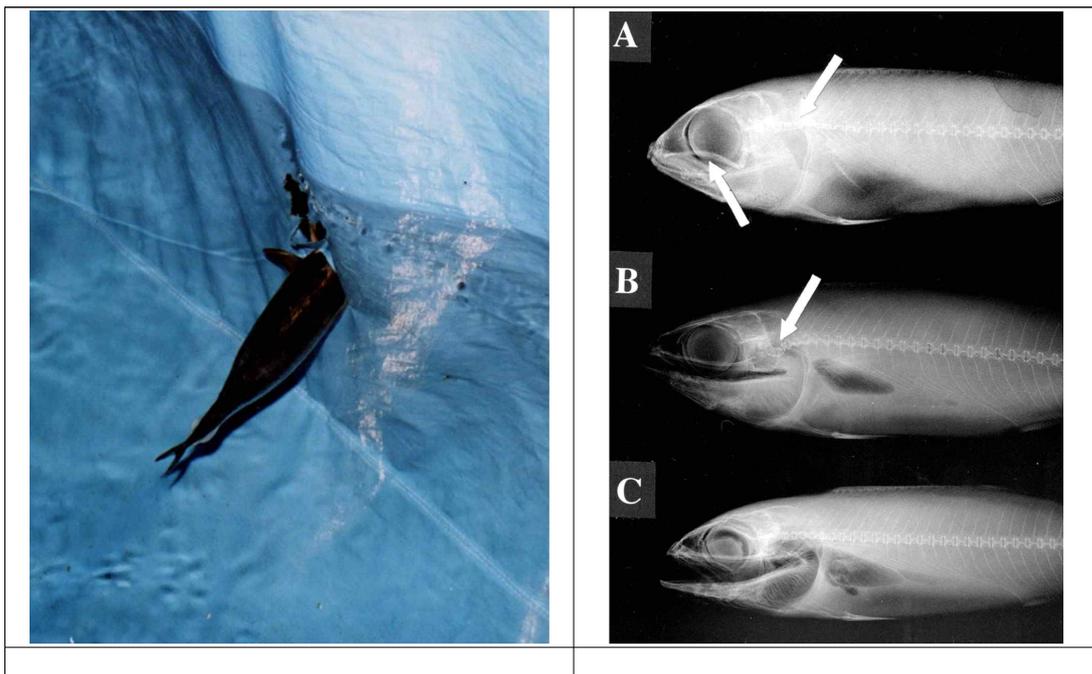


그림 61. 참다랑어 미성어의 충돌 및 충돌에 의한 골격 손상

(2) 피해 원인

치어기의 주요 원인으로는 지느러미의 불균형적 발달이 설득력 있게 보고된다. 유영에 주로 관여하는 꼬리지느러미의 발달 속도보다 방향전환에 관여하는 가슴 및 배지느러미의 발달속도가 현저히 느리다. 동일한 회유성 어종인 고등어와 현격한 차이를 보이며, 시각이 잘 발달되어 빛에 매우 민감하게 반응하는데, 빛의 변화에 망막 조직이 빠르게 적응하지 못함으로써 패닉 현상을 일으켜 충돌을 일으키게 된다.

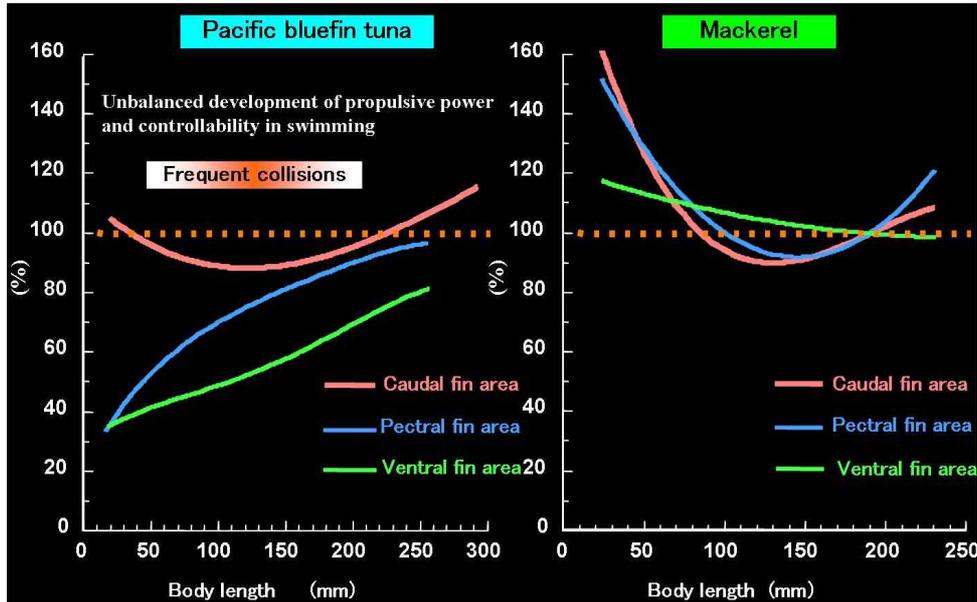


그림 62. 참다랑어와 고등어의 지느러미 발달 비교

(3) 예방

치어기 충돌사를 줄이기 위해 5 cm 전후시 대형 가두리에 수용하여 사육하거나, 저녁 시간대 자동차, 가로등 등의 인위적인 빛을 차단하기 위한 차단막을 설치하기도 한다. 최근 사육수조 및 수송용 수조에 줄(가로 및 세로 라인)을 그려 충돌을 예방하는 연구를 지속하고 있으며, 치어 및 미성어의 수송용 수조나 가두리 그물에도 적용하는 사례가 늘고 있다.

아. 사료

(1) 소화흡수능력

현재 참다랑어 양식과정에서 사용되는 사료는 대부분이 생사료이다. 참다랑어는 어분의 소화흡수 능력이 현저히 저하하여 배합사료의 개발이 이루어지지 않으며, 이는 어분의 열처리 가공 과정에서의 단백질 변성이 원인으로 분석된다. 어분의 효소 처리에 다른 소화흡수 능력 향상이 확인되었으며(일본 특허 출원), 현재 효소처리 어분을 주단백원으로 사용하여 영양요구량 개발이 활발히 진행되고 있다.

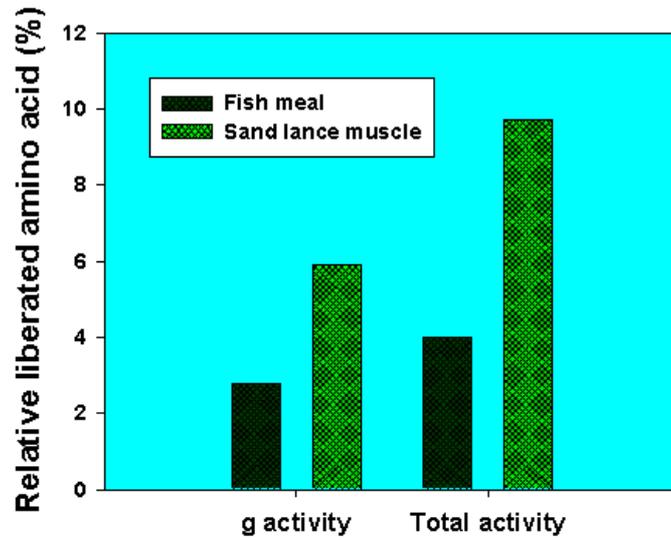
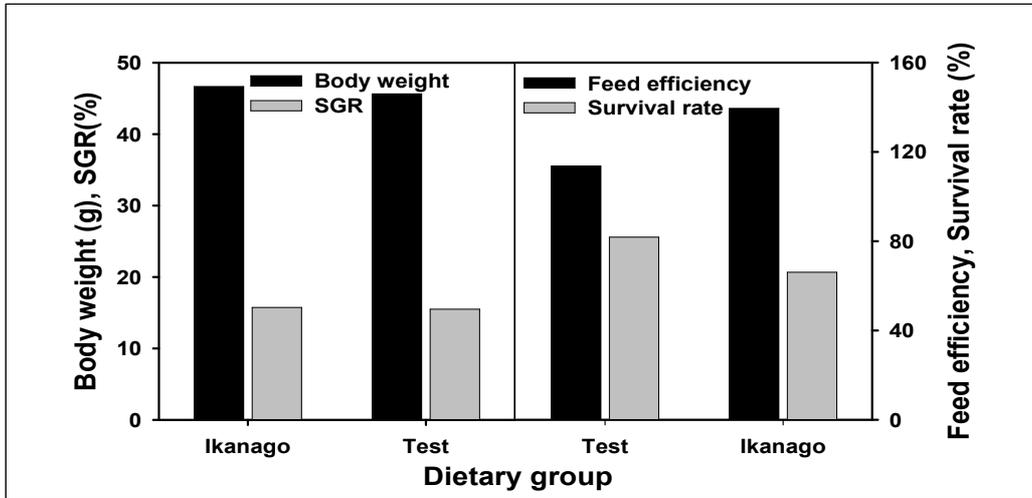


그림 63. 어분 및 생사료 단백질에 대한 트립신 효소의 가수분해 능력 (Takii et al., 2007)

(2) 배합사료 개발

비타민 C의 요구량은 1,000 mg/kg 사료로 타 어종에 비해 높으나, 배합사료내 탄수화물원의 첨가량은 8% 정도로 타 어종에 비해 낮다. 사료내 적정 지질 함량은 약 18% 정도이며 인지질의 요구량이 높다. 2007년 치어용 배합사료 기본 조성이 완성되었으며, 생사료와 비교하여 전혀 성장이 뒤지지 않고 높은 사료효율을 보였다(일본 특허 출원). 현재 육성용 배합사료개발이 활발히 이루어지고 있으며, 빠른 시일내에 가시적인 성과가 있을 것으로 기대되고 있다.



배합사료와 생사료의 성장효과 비교



배합사료로 사육한 참다랑어 치어

그림 64. 배합사료를 이용한 치어사육 및 사육된 참다랑어 치어

자. 기타 생리적 특성

(1) 적조

산소소모량이 높아 저농도의 적조에도 폐사하는 경우가 있는데, 2006년도 유독성 샤토넬라 (*Chattonella globosa*) 저농도 (10 개체/mL)에도 폐사한 예가 있어 주위가 요구된다.

(2) 토사 유입

2004년 태풍에 따른 강우로 참다랑어 양식장 주변(일본 아마미 오오시마)의 산사태가 발생하여 단시간에 토사가 유입되어 대량 질식사한 예가 있다(피해액 약 20억). 참다랑어

는 아가미 뚜껑의 원활한 운동을 통한 불순물 배출에 어려움이 있어 질식사한 것으로 추정하고 있다.



그림 65. 토사유입 피해를 입은 양식장과 폐사한 참다랑어

차. 결론

참치류 중 태평양 참다랑어가 국내 연안을 회유함으로서 종묘 확보가 가능하고, 성장이 빠르고 가격이 높아 적정 양식 대상종으로 평가된다. 하지만, 참다랑어는 성장이 빠르고 유영력이 강해 대규모 사육시설이 필요하며, 조류나 해류의 유통이 원활하여 산소공급이 잘 되어야 할 것이다. 또한 육지로부터의 부유물질이나 토사의 유입의 위험성이 없고 적조 발생에 다른 피해가 없는 지역이 양식적지로 적합할 것으로 판단된다. 참다랑어는 소화흡수 능력이 타 어종과 달라 생사료를 공급하여야 함으로 생사료의 수급이 용이한 지역이 양식지로 유리하며, 참다랑어는 극히 일부를 제외하고 양식용 종묘는 자연산 채포에 의존하고 있어 종묘 확보가 용이한 지역이 유리할 것으로 판단된다. 따라서 참다랑어 양식적지 선정에 위해서는 이러한 생리·생태학적 특징을 고려한 적지 환경조사가 이루어질 필요가 있으며, 상기의 결과에서 참다랑어는 적지선정이 매우 중요하며 수중가두리를 이용한 양식도 가능할 것으로 판단되었다.

2. 적지선정 및 양식시험지 환경영향 분석

가. 조사지역

조사지역은 남해안 3개소(거문도, 통영(육지도), 거제도(구조라)), 동해안 1개소(포항(구룡포)), 제주도 2개소(북제주군(한림), 남제주군(표선))로 총 6개소를 선정하여 조사하였다.

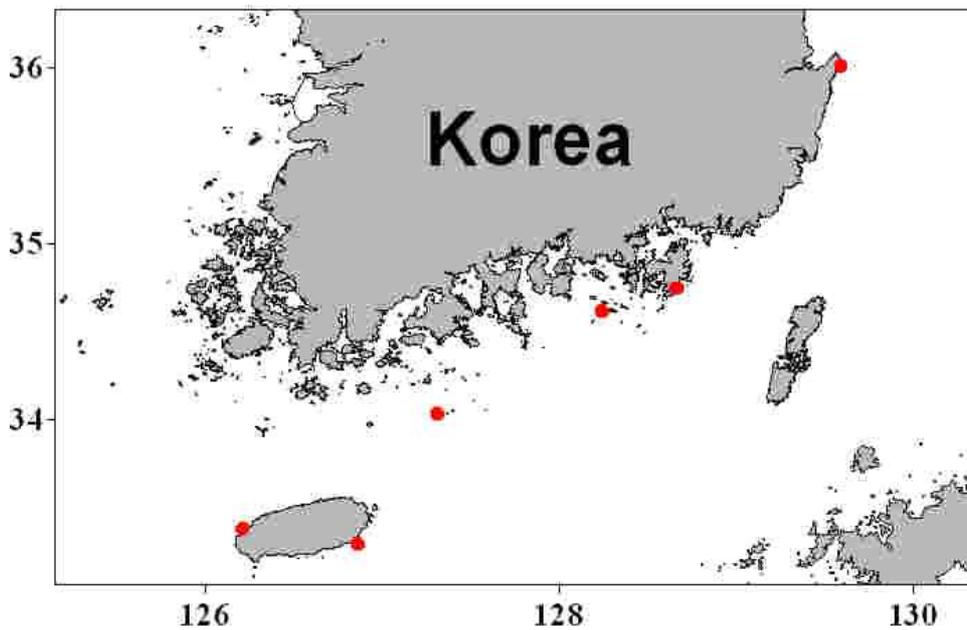


그림 66. 양식적지 환경조사 지역

나. 조사 내용 및 항목

조사는 2007년 12월~2008년 5월까지 총 4회 실시하였다. 해양환경으로는 수온, 염분 농도, 용존산소, 투명도, SS, pH, 영양염류, 수심, 조류, 저질, 하천유입, 적조, 청수대, 냉수대, 태풍 등을 조사하였다. 퇴적물환경으로는 입도, 산소요구량, 황화물, 함수율 및 강열감량 (잠수부 및 중력식 코어 사용)을 조사하였고, 기타 양식환경으로는 종묘 및 사료 확보, 시설의 설치·관리, 외국 사례 등을 검토하였다.

다. 조사 결과

(1) 해양환경

(가) 수온

‘07. 12. 20~’08. 5. 29까지 4회에 걸쳐 조사한 결과, 제주해역을 비롯한 6개 해역 모두 겨울철 수온이 10℃ 이상 유지되며, 특히 제주도 해역은 겨울철 최저 수온이 14℃ 이상 유지되어 양식조건이 타 지역보다 유리한 것으로 나타났다.

제주(표선)의 경우 인근 위미의 2004~2007년 표층 정지관측자료에 따르면 제주 남동부지역의 평균 수온은 19.33℃이며 2월에 평균 14.48℃로 가장 낮은 수온을 보여주었고 하계 8월에 가장 높은 평균 26.65℃를 보였으며, 관측기간 중 최대 수온은 8월에 29.7℃를 나타내었다. 제주(한림)는 2004년도 표층 정지관측자료에 의하면 평균 수온은 18.85℃, 3월에 평균 13.54℃로 가장 낮은 수온을 보여주었고 8월에 26.79℃로 가장 높은 수온을 나타내었다. 연중 최고 수온은 8월에 30.10℃를 나타내었다.

거문도는 1995년부터 2007년까지 평균 17.62℃로 2005년 최대 17.82℃까지 상승하였으며 1995년 이후 지속적으로 증가하는 경향을 보여주었고 연간 0.05℃씩 증가하는 것으로 나타났다. 월별 최소 12.49℃에서 최대 24.91℃ 범위로 나타났다.

통영(욕지도)은 2005년부터 2007년까지 평균 수온은 17.02℃이며, 2월에 9.98℃로 가장 낮은 값을 보이고 8월 25.03℃로 가장 높은 값을 보였다.

거제도(서이말)는 1995년부터 2007년까지 평균수온은 16.40℃이었으며, 인접한 욕지도에 비해 최저수온이 2℃정도 높은 11.97℃를 보였지만 최고수온은 1.5℃ 낮은 23.51℃를 보였다.

포항(구룡포)은 1995년부터 2007년까지 평균 16.06℃를 보여주었으며, 1999년에 최고값을 보이다 다시 감소하는 경향을 보였다. 월별로 2월에 9.37℃로 가장 낮은 값을 보이고 8월에 23.63℃로 가장 높은 값을 보였다. 특히, 최소값은 동계 1.5℃, 최대값은 하계 28.0℃로 큰 차이를 보였다.

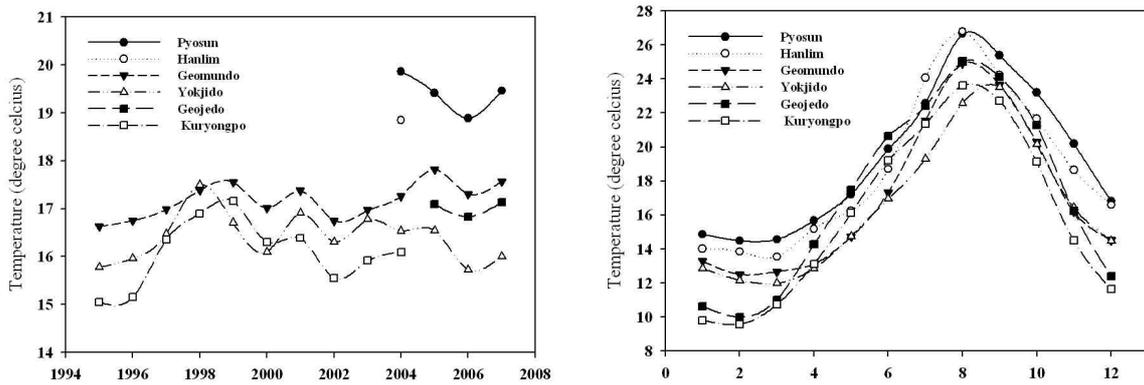


그림 67. 조사정점 주변 연안정지관측 수온 변동

표 61. 연안정지관측 수온 조사결과

관측점 및 적용지역	관측기간	평균	최소	최대
제주(위미) - 표선	2004 ~ 2007	19.38 ± 4.41	14.48 (2월)	26.65 (8월)
제주(한림) - 한림	2004 ~ 2007	18.85 ± 4.59	13.54 (3월)	26.79 (8월)
거문도 - 거문도	1995 ~ 2007	17.17 ± 4.50	12.49 (2월)	24.91 (8월)
통영(산양) - 욕지도	2005 ~ 2007	17.02 ± 5.36	9.98 (2월)	25.03 (8월)
거제도(서이말) - 거제도	1995 ~ 2007	16.40 ± 4.08	11.97 (3월)	23.51 (9월)
포항(장기잡) - 구룡포	1995 ~ 2004	16.06 ± 5.20	9.57 (2월)	23.68 (8월)

저수온기 장기수온은 조사 해역에서 12월부터 4월까지 저수온기에 자동계측기를 이용하여 30분 간격으로 수심 5 m 수온을 계측하였다. 표선해역이 최저 14.3℃로 평균 16.

1°C가 유지되었고, 한림해역이 최저 13.0°C, 평균 15.2°C로 저수온기에도 참치 양식에 적합한 수온으로 나타났다.

통영 육지해역은 최저 10.1°C, 평균 11.7°C로 제주해역에 비하여 3~4°C정도 낮게 나타났으며, 포항 구룡포 해역은 최저 11.3°C, 평균 13.1°C로 나타났다. 거제도 해역의 경우 선박에 의한 수온계 유실로 실측은 불가능 하였으나 육지해역과 유사할 것으로 추정된다.

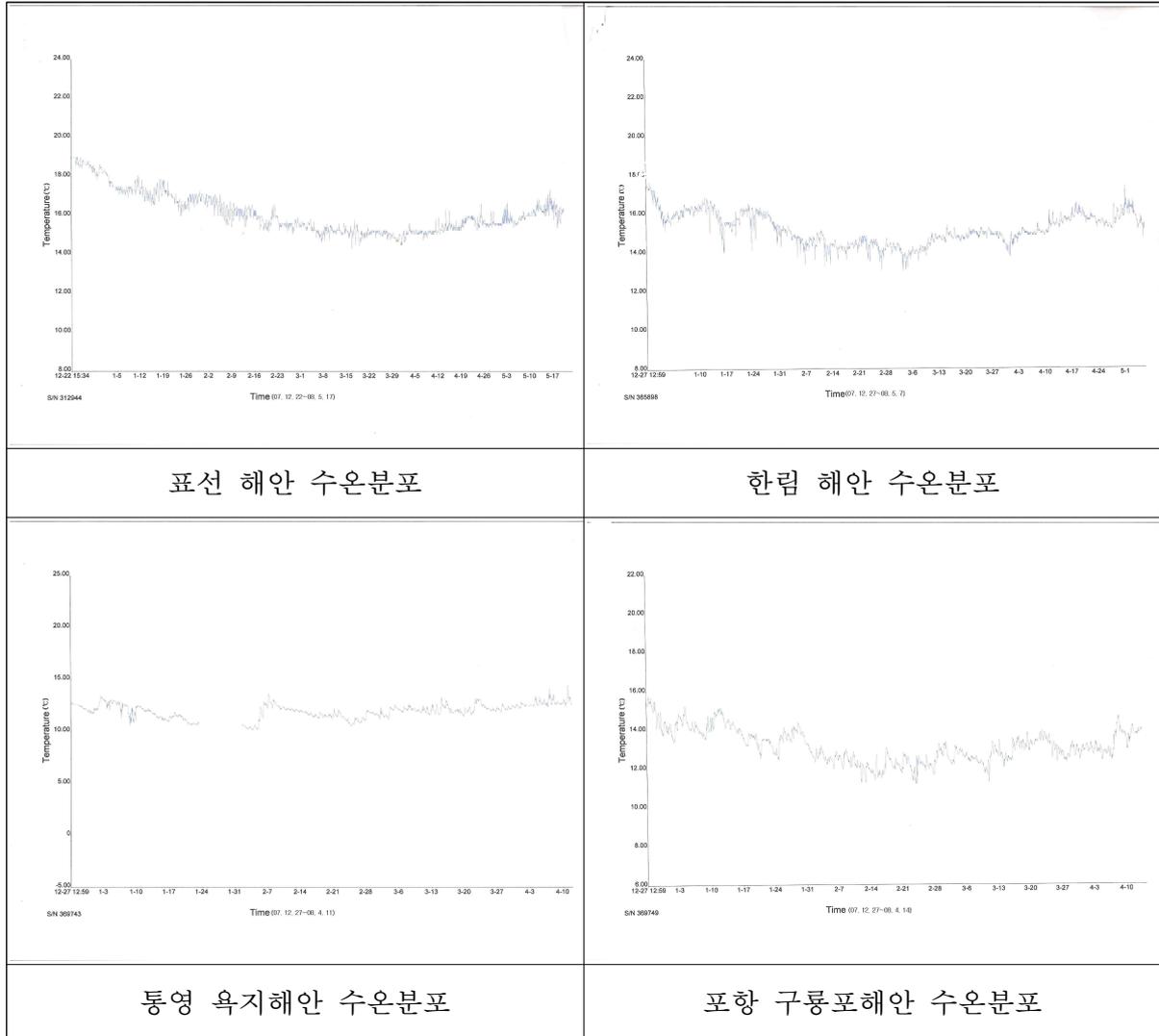


그림 68. 조사 해역의 수심 5 m 실시간 분석 결과

(나) 염분농도

제주(관포, 한림)에서는 동계의 특징인 대만난류의 영향을 생각되는 15°C 이상, 35.00 이상의 염분이 주로 발생하였으며, 남해안 및 동해안 지역의 정점에서는 정점별로 평균 33.52~34.45를 보여 해역별 큰 차이는 없었다.

(다) 용존산소

전 해역에서 평균 8.02mg/L의 적정한 용존산소 분포를 보였고 특히, 표선연안에서 일시적으로 4.30 mg/L 값이 관측됨으로 지속적인 관측 자료를 확보할 필요가 있을 것으로 판단된다.

(라) 투명도

제주(표선, 한림)과 포항에서 평균 10.56~14.07 m로 높은 투과율을 보여주었고 옥지도 및 거제도에서 평균 2.48 m, 3.22 m로 낮은 투과율을 보였다.

표 62. 조사 6개 해역의 수온, 염분 등 해양환경 조사 결과

기 간	지 역	조 사 항 목			
		수온(℃)	염분농도	DO(mg/L)	투명도(m)
1차 (‘07.12.20~ 12.27)	제주(표선)	18.0	34.8	7.4	13~17
	제주(한림)	17.3	34.9	7.2	13~19
	거문도(11.20)	14.1	34.8	10.9	7.0
	거제도	-	-	-	-
	통영(옥지도)	12.5	34.1	-	1.7~2
	포항(구룡포)	15.2	34.7	-	8.5~10
2차 (‘08.01.21~ 02.21)	제주(표선)	16.1	35.2	4.4	11~12
	제주(한림)	14.2	35.2	7.3	14
	거문도	14.6	34.7	9.1	6.0
	거제도	12.9	34.6	7.7	3~4
	통영(옥지도)	10.5	34.3	8.2	1.5~2.5
	포항(구룡포)	-	-	-	-
3차 (‘08.04.03~ 04.14)	제주(표선)	16.3	35.2	8.5	12
	제주(한림)	14.7	35.1	8.8	14
	거문도	13.3	34.6	7.1	7.0
	거제도	13.6	34.9	8.9	3.5
	통영(옥지도)	12.6	35.0	8.8	4.0
	포항(구룡포)	13.7	35.0	8.6	12
4 (‘08.05.06~ 05.29)	제주(표선)	16.2	35.6	8.7	10
	제주(한림)	14.8	35.1	9.5	11
	거문도(6.10)	17.6	35.3	10.9	-
	거제도	16.0	33.7	8.5	2.5
	통영(옥지도)	16.5	33.7	6.9	2.0
	포항(구룡포)	17.1	33.8	8.2	10

(마) 부유물질

육지도 및 거제도에서 가장 높은 2.98, 2.82 mg/L로 나타났으며, 포항에서 1.75 mg/L로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 투명도와 관련하여 동일한 경향을 보였다.

(바) 영양염류

무기질소의 경우 지역별로 0.083~0.107 mg/L로 육지도에서 가장 높은 농도를 보이고 거제도에서 가장 낮은 값을 보였다. 시기별로 1차 조사 시에 가장 높은 값을 보이다 4차 조사 시에 가장 낮은 값을 나타내었다.

총유기질소의 경우 지역별로 0.518~0.736 mg/L로 무기질소와 같이 육지도에서 가장 높고, 거제도에서 가장 낮은 값을 보였으며, 시기별 결과도 같은 경향을 보였다. 전체 조사정점에서 1차 조사시기에 해역등급 3등급을 넘는 높은 값을 보이고 있지만 평균적인 농도는 해역 1등급을 유지하고 있었다.

무기인 및 총유기인의 경우 각각 0.006~0.015 mg/L, 0.012~0.022 mg/L로 육지도에서 가장 높은 값을 보이고 제주(표선, 한림)지역에서 가장 낮은 값을 보였으나, 시기별 변동은 크게 나타나지 않았다.

표 63. 조사지역의 해양환경조사 결과

기간	지역	COD	DIN	T-N	DIP	T-P	SiO ₂	SS	Chl. a
		(mg/L)							(ug/L)
1차 (‘07.12.20 ~12.27)	제주(표선)	0.67	0.125	1.360	0.009	0.014	0.254	2.67	
	제주(한림)	0.86	0.185	1.473	0.014	0.019	0.336	3.18	
	거문도	-	-	-	-	-	-	-	
	거제도(구조라)	-	-	-	-	-	-	-	
	통영(욕지도)	0.89	0.204	1.192	0.021	0.028	0.404	4.00	
	포항(구룡포)	1.31	0.166	1.073	0.017	0.023	0.352	2.50	
2차 (‘08.01.21 ~02.21)	제주(표선)	0.39	0.126	0.950	0.007	0.014	0.315	3.43	
	제주(한림)	0.76	0.118	1.146	0.008	0.016	0.322	3.33	
	거문도	-	-	-	-	-	-	-	
	거제도(구조라)	0.82	0.156	0.863	0.018	0.025	0.360	3.40	
	통영(욕지도)	0.61	0.107	0.867	0.021	0.028	0.388	4.33	
	포항(구룡포)	-	-	-	-	-	-	-	
3차 (‘08.04.03 ~04.14)	제주(표선)	0.90	0.054	0.172	0.005	0.011	0.181	1.80	2.13
	제주(한림)	0.43	0.038	0.210	0.003	0.012	0.164	1.35	0.66
	거문도	-	-	-	-	-	-	-	
	거제도(구조라)	1.38	0.011	0.174	0.002	0.010	0.202	2.23	
	통영(욕지도)	0.16	0.009	0.149	0.002	0.008	0.159	0.60	
	포항(구룡포)	0.81	0.024	0.211	0.003	0.010	0.170	1.00	
4차 (‘08.05.09 ~05.29)	제주(표선)	1.35	0.018	0.162	0.002	0.009	0.172	2.17	1.88
	제주(한림)	1.66	0.084	0.253	0.008	0.014	0.450	2.65	2.31
	거문도	-	-	-	-	-	-	-	
	거제도(구조라)	2.47	0.074	0.206	0.005	0.015	0.482	3.97	
	통영(욕지도)	2.51	0.048	0.154	0.003	0.012	0.546	3.10	
	포항(구룡포)	2.21	0.051	0.155	0.002	0.009	0.441	2.70	

(사) 연안 냉수대

여름철에 남풍계열의 바람이 지속적으로 불어올 경우 동해연안 저층의 냉수가 표층으로 용승하여 주변해역의 표면수온보다 5℃ 이상 낮은 수온대를 형성하는 현상 나타낸다. 여름철 냉수대는 동해연안의 깊은 곳에 10℃ 이하의 냉수가 존재하는 것이 정상 해황이지만 남서풍, 남동 계절풍이 며칠 이상 지속적으로 불게 되면 연안쪽 표층의 더운물이 외해측으로 밀려가고 아래층에 있던 냉수가 표층으로 올라오기 때문에 생기는 자연 현상이다.

냉수대 출현은 바람의 방향과 세기 그리고 바람이 지속되는 시간 및 연안의 형태, 중층의 냉수괴 발달정도에 따라 달라지지만, 하계 동해연안 냉수는 기장, 울산, 감포, 울진,

속초연안 등에서 불규칙적으로 나타나며, 주로 6월말에 시작하여 일시적으로 소멸과 발생을 반복하면서 8월말 경에는 거의 소멸된다

(아) 적조발생

지난 10년간 적조의 발생현황을 보면 주로 남해안 및 동해 전반에 걸쳐 발생하는 것으로 조사되었으며 인근 발해 해역에서는 빈번히 피해가 발생한다. 조사지역인 통영, 거제도, 포항 해역은 매년 적조의 피해를 보는 곳이며, 이에 반해 연안에서 조금 벗어난 거문도 및 제주(표선, 한림)지역에서는 피해사례가 발생하고 있지 않았다.

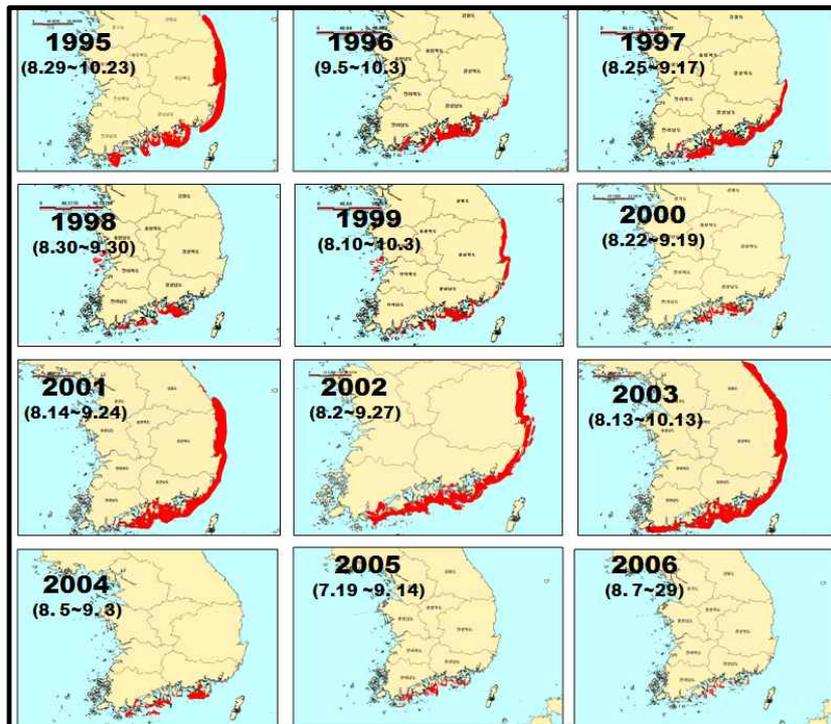


그림 69. 유해적조 (*Coccolodinium polykrykoides*) 발생 해역도

(출처 : 국립수산과학원 홈페이지 <http://nfrdi.re.kr>)

(자) 태풍피해

우리나라에 영향을 주는 태풍은 1년에 1~2개 정도이며, 거의 대부분 제주도를 거쳐 남해안에 상륙하거나 동해안쪽으로 빠져나가는 진로를 보인다. 제주도는 태풍의 길목으로 우리나라에 영향을 주는 태풍의 직간접적인 영향을 항상 받고 있으며, 거문도와 육지도, 거제도도 매년 태풍의 영향권에 있다. 포항의 경우는 2007년 나리 태풍 때 많은 피해가 발생하였으며, 조사 해역의 양식어장에도 피해를 준 것으로 조사되었다. 그러나 직접 영향권으로 육상의 피해가 많았던 제주도는 외해가두리의 시설 및 생물 피해가 없었던 것으로 확인되었다.

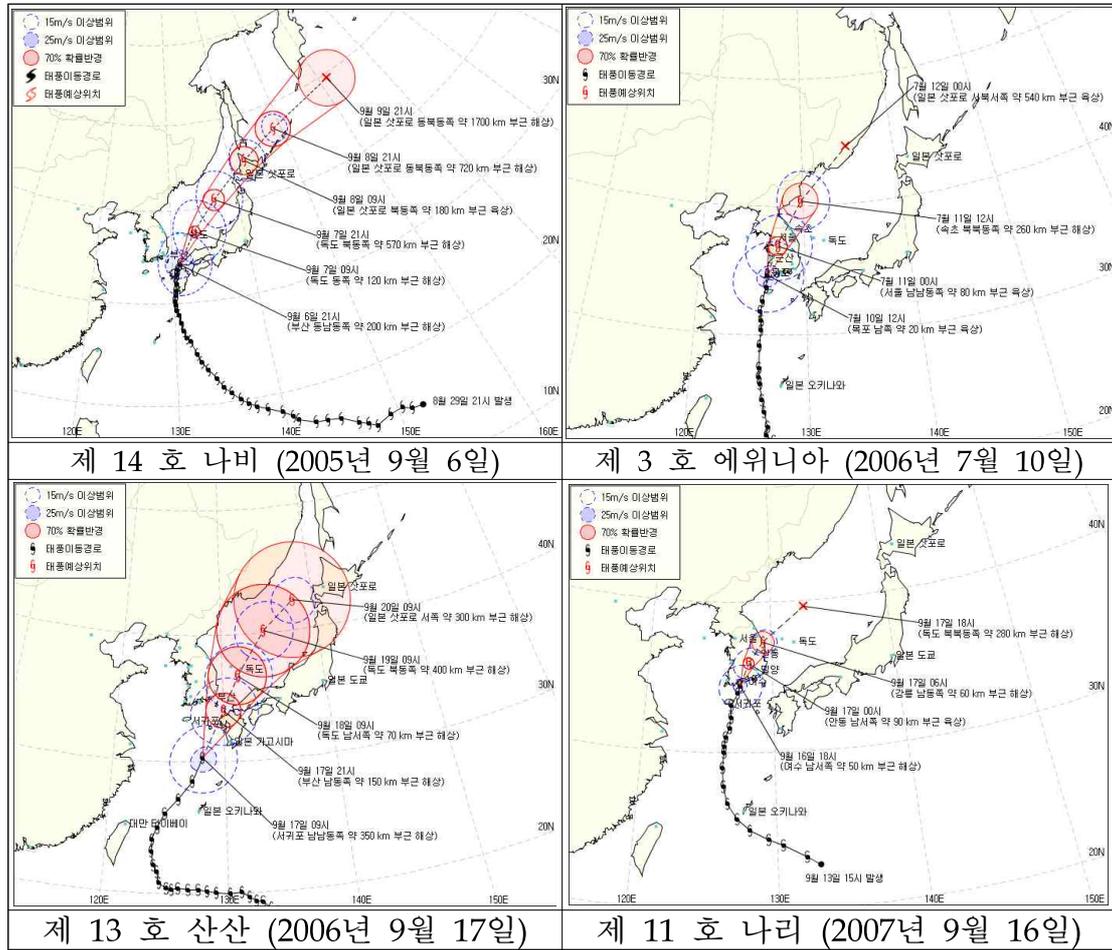


그림 70. 연도별 태풍 발생 현황 및 진로

(2) 퇴적물 환경

제주(표선, 한림)지역과 포항 구룡포의 입도 구성은 사질이 95%이상 포함되어 있는 것으로 나타났으며 육지도 및 거제도는 70% 이상 silt로 구성되어 있었다. 함수율, 강열감량, 화학적산소요구량 및 산취발성황화물 모두에서 포항 구룡포 및 제주(표선, 한림)지역에서 가장 낮은 값을 보이고 육지도 및 거제도에서 가장 높은 값을 보였는데, 이는 입도에서 보여 주는 경향과 유사하였다.

표 64. 조사지역의 퇴적물 환경 조사결과

구분	Gravel (%)	Sand (%)	Cray (%)	Silt (%)	함수율 (%)	강열감량 (%)	COD (mg/gdry)	AVS (mgS/gdry)
표선	4.8	94.2	0.5	0.5	22.55	2.69	1.25	0.00
한림	15.9	82.2	1.1	0.8	26.43	2.86	0.86	0.00
거문도	-	-	-	-	-	-	-	-
육지도	0.0	8.1	20.3	71.6	56.74	8.58	12.72	0.06
거제도	0.0	3.5	21.4	75.1	60.64	7.33	13.71	0.06
포항	4.9	90.3	2.2	1.9	20.65	3.52	1.62	0.00

(3) 저서생물조사

(가) 출현 종수, 개체수 및 생체량

참치 시험양식을 위한 적지조사에서 출현한 대형저서동물은 총 146종, 2,234개체와 28.24 gWWt이었다. 분류군별 출현 종수를 보면, 환형동물문 중 다모류는 106종이 출현하여 전체의 723%를 점유하였고, 다음으로 연체동물문, 절지동물문의 갑각류, 극피동물문 및 기타동물군의 순으로 17종(12%), 10종(7%), 7종(5%) 및 6종(4%)이 채집되었다.

개체수에 있어서도 환형동물문의 다모류는 1,805개체의 밀도를 나타내 전체의 81%를 차지하였고, 절지동물문의 갑각류는 247개체, 11%를 점유하였다. 극피동물문은 71개체, 3%, 기타동물군과 연체동물문은 58개체와 53개체가 채집되어 3%와 2%의 낮은 점유율을 나타내었다.

생체량은 환형동물문 다모류가 10.61 gWWt로 37%를 점유하였고, 패각의 무게를 포함하여 단일 개체의 중량이 상대적으로 높은 연체동물문이 9.78 gWWt을 나타내 35%의 점유율을 보였고, 극피동물문은 6.13 gWWt으로 22%를 차지하였으며, 다음으로 절지동물문의 갑각류와 극피동물문이 1.33 gWWt, 5%와 0.38 gWWt, 1%로 점유율이 매우 낮았다.

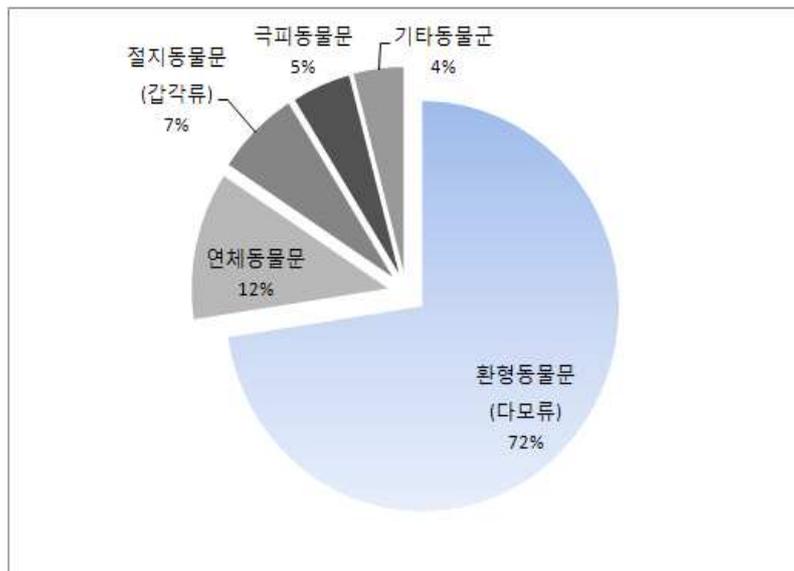


그림 71. 참치 양식어장 조사에서 출현한 대형저서동물의 출현종수(백분율)

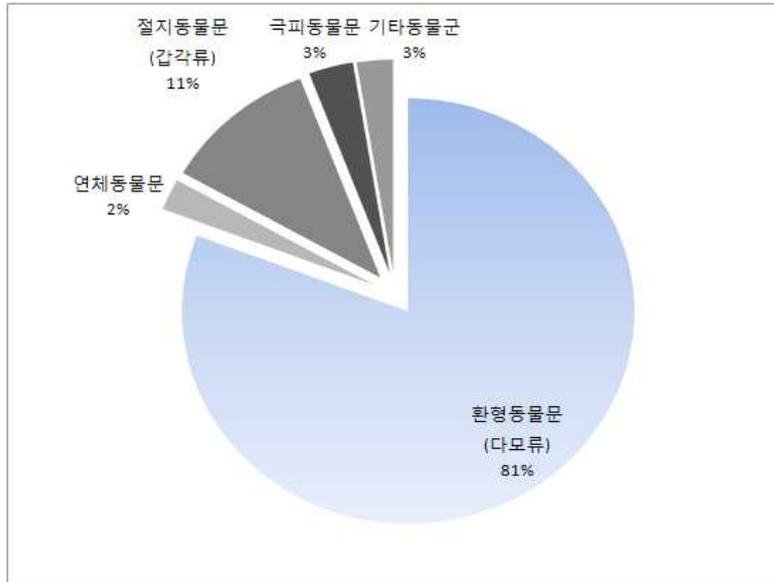


그림 72. 참치 양식어장 조사에서 출현한 대형저서동물의 개체수(백분율)

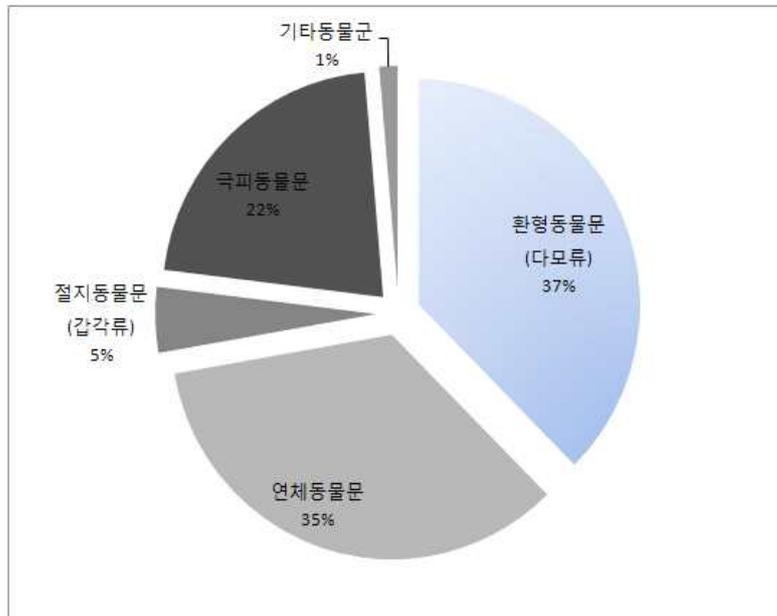


그림 73. 참치 양식어장 조사에서 출현한 대형저서동물의 생체량(백분율)

(나) 조사 권역별 출현 종수, 개체수 및 생체량

참치 양식 가능해역에 대한 각 권역별 조사 개소수를 보면, 총 5개소에서 3개 정점 평균으로 분석하였을 때 권역별 출현 종수에서 제주 한림에서 33종으로 가장 적었고, 통영 욕지에서 75종으로 가장 많았으며, 여수거문도, 거제 구조라 및 포항 구룡포에서 각각 54종, 45종 및 53종이 출현하였다.

개체수에 있어서는 욕지도와 구룡포가 각각 685개체와 730개체가 채집되어 가장 많았고, 한림이 100개체로 가장 적었으며, 거문도와 거제도가 각각 306개체, 413개체로 나타

났다. 생체량에 있어서도 옥지도는 14.66 gWWt으로 가장 높았고, 이 밖에 구룡포, 거문도, 거제도 및 한림의 순으로 6.14 gWWt, 3.03 gWWt, 2.87 gWWt 및 1.54 gWWt을 나타내었다.

이와 같은 조사 권역별 생물다양성 및 생물량(개체수 및 생체량)의 차이는 현재 가두리 시설에 기인하는 결과이기 때문에 직접적인 비교는 무의미하다고 평가된다.

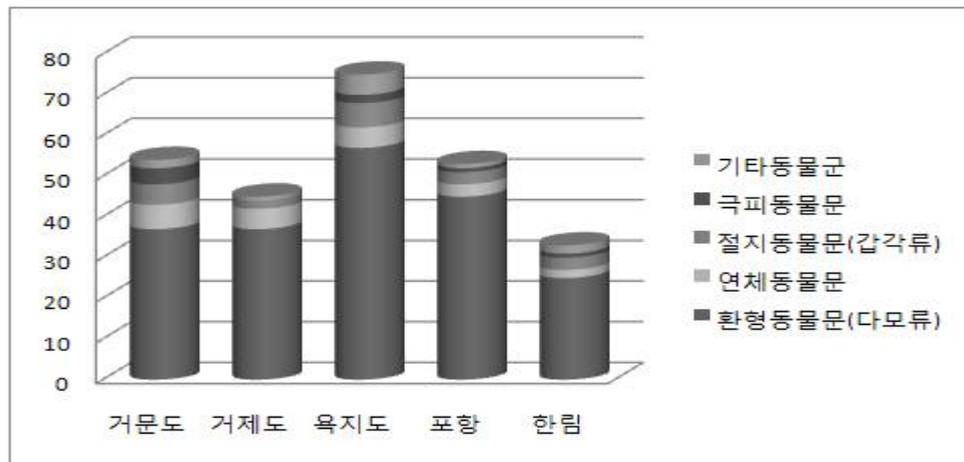


그림 74. 참치 시험양식 후보지에서 출현한 대형저서동물의 권역별 출현 종수

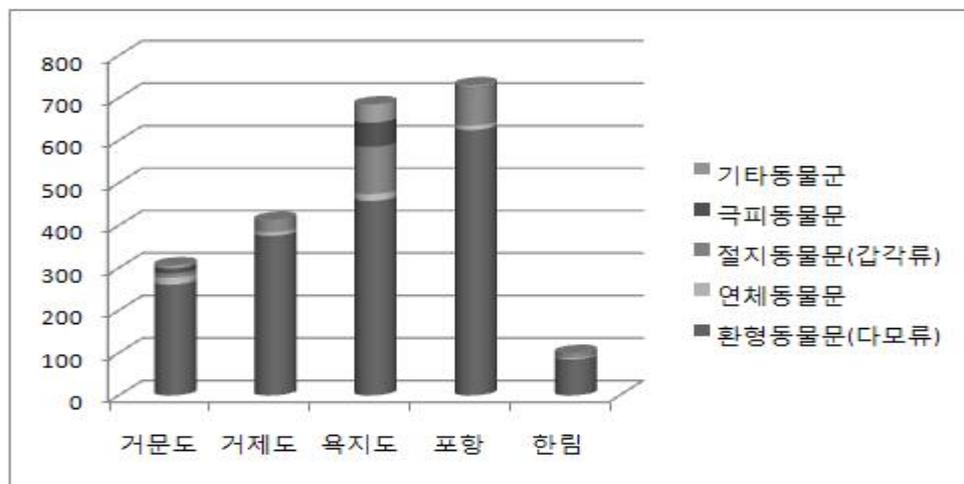


그림 75. 참치 시험양식 후보지조사에서 출현한 대형저서동물의 권역별 출현 개체수

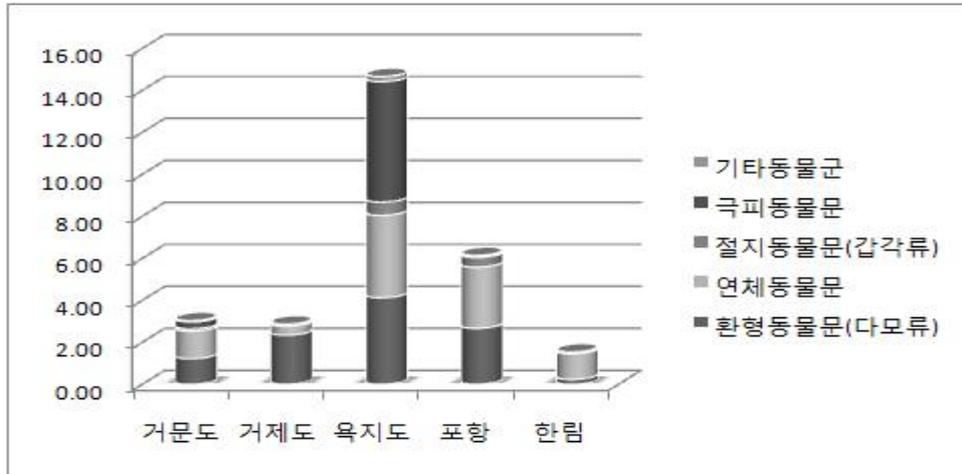


그림 76. 참치 시험양식 후보지에서 출현한 대형저서동물의 권역별 생체량

(4) 조류 측정

해역별 24시간 ADCP를 이용하여 24시간 층별로 측류를 관측의 결과 최강유속은 거문도 해역의 약 777mm/s로 나타나, 표선에서 이전에 측정한 980mm/s에 비해선 작았으며 해역별 강한 유속 출현여부는 장기간의 지속적 측정을 통하여 알 수 있을 것으로 판단된다.

거문도 해역에서 조류 조사결과를 수층별로 미치는 해역을 분석해 보면, 하루 2회의 창·낙조류가 뚜렷이 나타나고 흐름은 남서-북동 방향이 주를 이룬다. 또한 최대 유속 범위는 24~27m 부근에서 평균 64~78cm/s로 발생하였으며, 지속적이지는 못하지만 1m/s (약 2 노트) 정도의 빠른 유속을 보이기도 하였다.

표 65. ADCP를 이용한 해역별 수층별 유속 측정 결과 (mm/s)

수심 (m)	한림	거문도	옥지도	수심 (m)	거제도	포항
3	111	87	51	2	80	60
6	122	99	55	4	90	71
9	123	102	62	6	97	189
12	136	105	65	8	501	
15	287	105	65	10	290	165
18	624	100	464	12	123	232
21	237	99	751	14	124	
24	170	644	148	16	173	
27	181	777	79	18	138	
30	169	247	70	20	332	
33		142	81	22	519	
36		129	82	24	541	
39		122				
42		157				

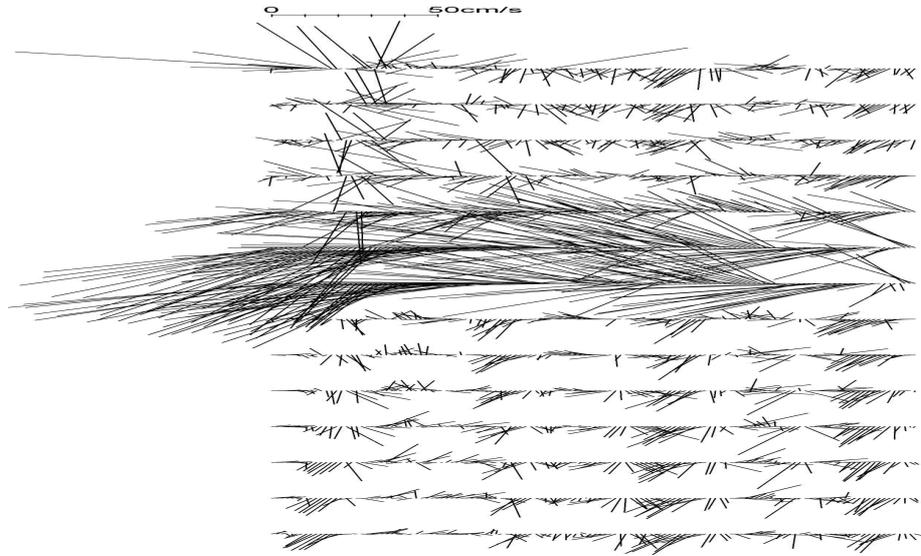


그림 77. ADCP를 이용한 거문도 해역의 유향 및 유속

(5) 기타 양식환경

(가) 종묘 및 사료확보

종묘확보는 포항을 제외한 전 지역에서 채낚기 및 선망을 이용해 가능하고 특히 제주도는 채낚기와 선망을 이용한 안정적 대량 확보에 가장 유리하며, 육지도는 정치망을 이용한 소량 확보가 가능한 것으로 평가되었다. 육지도와 포항 지역은 정치망에 의한 생사료 확보가 상당부분 가능하나 거문도, 제주도 지역이 수송료 부담에 따른 비용 상승이 예상된다.

(나) 시설 안전성

거문도와 제주도가 태풍의 영향으로 시설 안전성에 취약하나 외해가두리가 설치된다면 이러한 문제는 해결될 것으로 판단된다. 육지도는 조류, 포항은 빠른 해류의 영향으로 시설물 설치에 주의를 하여야 하며, 적조 피해를 예방하기 위해서는 외해가두리 설치가 바람직할 것으로 사료된다.

(다) 사회적 환경(접근성 등)

거문도가 기상악화 등에 다른 생산물의 반출 및 육지로부터의 원재료 공급 등에 매우 제한적인 조건을 가지는 반면, 제주도는 관광산업의 활성화로 양식 수산물의 활용 및 소비에 유리한 조건을 가지고 있다.

(라) 외국의 사례

일본의 경우 참치의 생리·생태학적 특성을 고려한 참치양식 가능 해역에 대한 권고

사항이 잘 보급되어 있으며, 우리나라와 유사한 해양환경의 위치에 있어 참고 자료로 활용 가치 높을 것으로 판단된다.

표 66. 생리·생태학적 특성을 고려한 참치양식 해역환경 기준(보고서 및 전문서적 Review)

구 분	주요 세부 항목
시설물 안전성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수심 30 m 이상-그물 수심이 15 m 이상 유지 ○ 조류 2 knot 이하 ○ 태풍의 영향이 적을 것
해양환경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수온 겨울철 10℃ 이상이면 가능하나 15℃ 이상일 때 경제적 ○ 치사 용존산소 농도는 2.77 mg/L ○ 빈산소대, 청수대에 의한 치사가능성이 방어에 2배 ○ 조류 소통이 원활하여 산소의 지속적 공급이 가능 할 것 ○ 방어보다 적조에 취약하며 저밀도 독성 적조에도 폐사 ○ 육상으로부터의 부유물 유입이 적을 것
양식 환경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 종보 확보 및 사료의 원활한 공급 가능 지역 ○ 육상시설물과 해양시설물의 접근 용이성

라. 종합 분석

제주 표선, 한림 해역이 해양환경 및 기타 양식 환경을 조사한 결과 취약성과 위험성이 적은 해역으로 판단되고, 적합한 양식적지로 평가되었다. 참치 양식과정 중 폐사에 직접 영향을 미치는 부유물질, 적조생물, DO결핍 등의 요소에서 제주 해역만 비교적 자유로우며, 다른 해역의 경우 조사해역보다 외해이용이 필요할 것으로 판단된다.

제주(표선, 한림)지역은 겨울철 최저수온이 14℃ 이상으로 양식조건이 타지역에 보다 유리하게 나타났으며, 높은 투명도, 낮은 부유물질, 풍부한 용존산소는 참다랑어 양식에 적합한 지역으로 평가되었다.

퇴적물 환경의 경우 제주(표선, 한림) 지역과 포항 구룡포 지역이 주로 사질로 구성되어 있었으며 오염의 정도가 매우 낮은 것으로 나타났다. 하지만 만으로 구성되어있는 육지도 및 거제도는 퇴적물 COD가 타 지역에 비해 높은 값을 보였다.

통영 육지도, 거제 구조라 해역은 적조에 대한 취약성, 포항 구룡포는 청수대 발생에 대한 위험성, 여수 거문도 해역은 접근성이 떨어지는 것으로 나타났다.

표 67. 조사해역별, 항목별 결과 비교표(양호:○, 보통:△, 위험:×)

조사해역	수온	용존 산소 결핍 요소				기타 양식여건
		DO결핍	적조발생	부유물질	청수대 등	
제주 표선	○	○	○	○	○	○
제주 한림	○	○	○	△	○	○
여수 거문도	△	○	○	○	○	×
통영 욕지	△	○	×	△	○	△
거제 구조라	△	○	×	△	△	○
포항 구룡포	△	○	△	○	×	○

3. 참치용 실용화 외해가두리 선정 검토

가. 국외의 외해양식 및 가두리 개발 현황

최근 세계의 지속가능한 양식 (Sustainable aquaculture)을 위해서 지향하는 목표가 변하고 있다. 즉 그 흐름을 한마디로 표현한다면 production-oriented aquaculture (생산 지향적 양식)에서 environment-oriented aquaculture (환경지향적 양식)로 바뀌었다고 할 수 있다. 즉, 세계 양식은 environment-friendly/ecosystem-based management (친환경적/생태계기반의 관리체계) 및 food-safety product (식품안전한 생산물)에 근간을 두는 양식개발 체제로 바뀌고 있다.

미래의 양식을 걱정하는 몇몇 나라에서는 이제 이러한 개념에 기반을 두지 않고는 존립 자체가 어려운 시점에 이르렀다고 생각하고 있다. 이러한 흐름을 따라가기 위해서는 어류 양식과 같이 연안 오염 유발 가능성이 있는 양식 산업은 외해로 나가야 할 수 밖에 없다고 판단된다. 그러나 세계 여러 나라에서 개발되었거나 개발 중인 외해가두리는 다양한 형태 및 특성을 지니고 있다.

나. 외해가두리에서 참치양식 성공을 위한 요건

첫째, 어떠한 곳을 선정할 것인가?, 수온, 저질, 조류 등을 고려한 해양환경, 적조, 태풍 등의 자연재해에 대한 안전성, 소비자와의 거리, 종묘장, 접안시설, 저장시설 등을 고려한 지리적 입지 조건을 고려한 적지선정이 이루어져야 한다.

둘째, 어떠한 시설을 선택할 것인가?는 조류, 폭풍에 대해서 시설물 안전성의 검증, 구조물, 그물 등 모든 시스템의 완전성, 항해, 조업 등에 대한 지장성, 제품도입에 따른 기술협력, 관리 용이성과 제품가격 등이 고려되어야 할 것이다.

셋째, 어떠한 종을 선택할 것인가?는 경영적 측면(충분한 시장성, 다른 어종과의 경쟁력 등), 사육적 측면(외해 적합성, 안정적인 종묘확보, 성장, 내병성, 배합사료 적응성)을 고려한 종 선택이 이루어져야 한다.

넷째, 투자 및 사업 운영 능력 (자금력, 인력, 팀워크 등), 다섯째, 기타 고려 사항 (제도적 문제, 주민과의 협력 등) 등을 종합한 최적의 적지선정을 위해 다양한 검토가 이루어져야 한다.

다. 세계 각국의 외해양식 추진 현황 및 계획

세계 각국에서 이미 개발되었거나 개발 중인 외해가두리는 하역 보급 중에 있는데 형이나 보급 속도는 각국의 해상 가두리 양식어업의 실태를 감안하여 나라별로 그 특징이 조금씩 다르다.

(1) 유럽

북구 유럽의 양식 강국인 노르웨이를 비롯하여 스웨덴, 아일랜드를 중심으로 외해양식이 발달되었다. 지중해 연안국을 중심으로 1990년대 초반부터 외해 양식기술이 발달해왔고, 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. 주요 목적은 유럽 관련국들의 외해 양식산업 진흥을 위한 기회와 효율성을 연구이며, 연구기관, 양식어업인, 가공, 유통 등이 참여하여 구성되었다.

(2) 미국

미국은 외해양식에 1998년 NOAA 내에 "National Marine Aquaculture Initiative (NMAI)" 팀 구성하고 외해가두리 개발 및 시험에 집중적인 투자가 이루어지고 있다. SeaGrant 사업과 연계한 사업 추진으로 'SeaStation' 개발에 성공하였고, 현재 국립수산과학원과 민간기업(노아외해양식영어법인)이 공동으로 도입하여 제주도에 설치해 두고 시험연구를 추진 중에 있다.

"National Offshore Aquaculture Act of 2007" 국회 계류 중에 있는데, 연방정부가 관할하는 해역인 3마일 외해역에서 생태계기반의 양식을 추진할 수 있는 법적 근거를 마련 중에 있다.

하와이에서는 Cates international Inc과 Kona Blue Water Farms에서 Moi와 잭방어를 대상으로 양식을 시도하고 있으며, 푸에르토리코에서도 Cobia와 돔류(snapper)를 대상으로 시도 중에 있고, 뉴햄프셔에서는 대구를 대상으로 외해가두리 시스템, 자동급이기 등의 개발 시험 중에 있다.

(3) 호주

Inshore와 offshore로 분리하여 각각 주정부와 연방정부에서 관리 추진 중에 있다. "The

Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 (EPBC Act/환경보호 및 생물 다양성 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. 참치 축양을 통한 양식에 성공을 한 후, 실내수조에서 인공종묘 생산에도 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 고정 구조물을 제외시킴으로써 파도나 너울을 이길 수 있도록 개발하여 대형 방어나 참치 양식에 사용해 오고 있다. 와카야마현 쿠시모토 긴키대학수산연구소 오오시마 시험장에서 참치 어미사육을 시작으로 참치 완전양식에 성공하였다.

라. 세계 각국의 외해가두리 개발 현황

(1) 특성에 따른 외해가두리 분류(James Ryan)

현재 개발되었거나 개발 중인 외국의 외해가두리 시스템은 설치 방법에 따라 수면형, 부침형, 잠수형 등으로 다양한 형태로 나눌 수 있으며, 대개 설치 수심은 30-50m, 크기는 1000-5000m³으로 다양하고 계류 방식에 따라 다양한 타입이 있다.

Gravity type은 전통적인 방법으로 현재 개발되어 있는 외해가두리로서 가장 널리 쓰이고 형태로 가두리는 견고한 재질로 이루어지고, 부의와 추를 이용하여 고정한다. 중앙 platform에 연결하는 것이 일반적이며 작업대로 활용하며, 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소, 관찰 등)에 용이하다.

※ 사용 예: Rubber cage (아일랜드), Marine construction (노르웨이), Sadco Shelf (러시아), Farm Ocean Cage (스웨덴)

Anchor-tension type은 앵커를 이용하여 계류하며, 가두리 골조는 유연하거나 약간 견고하다. 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소, 관찰 등)가 용이한 장점이 있다.

※ 사용 예: AquaSpar Fish Pen (Net systems, 미국)

Semi-rigid type은 앵커를 이용한 계류 방식으로서, 가두리 골조는 유연하거나 약간 견고하며, 수중식이 기본으로서 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소 등) 등에 다소 어려움이 있다.

※ 사용 예: SeaStation (Ocean Spar, 미국)

Rigid type은 앵커를 이용한 계류 방식으로서 가두리 골조는 견고하게 구성되었고, 노출식, 부침식, 수중식의 있으며, 입식, 수확, 관리(사료공급, 청소 등) 등이 어려움이 있다.

※ 사용 예: Aquapod Net Pen (Ocean Farm Technology, 미국), Ocean Globe (BYKS, 노르웨이)
Tension-leg type의 가두리 고정 원리는 gravity cage와 유사하지만, 외해의 깊은 곳 시설 가능하다. 가두리와 연결된 링이 고정 역할을 하며, 대형으로 제작이 용이한 장점이 있다.

※ 사용 예: TLS system (RefaMed, 이탈리아)

Modified type

※ 사용 예: Untethered (Net Systems, 미국), Semi-submarine Tuna Ship (IZAR Fene, 스페인)

(2) 참치양식을 위한 가두리 선정 요건

우선 시설물 및 사육생물 안전성이 우선되어야 하며, 참치의 생리, 생태적 특성에 알맞은 부상형 원형 가두리가 적절하지만, 우리나라의 해양환경 특성상 태풍, 폭풍 및 적조 등 시설물 안전성이 우려되는 자연환경 제약 요건이 상존하고 있다. 참치의 성장 특성을 고려하여 가두리 시설은 대형이 유리할 것으로 판단되며, 참치 유영 반경이 매우 크므로 원형을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 이외에 기타 사육관리적인 특성을 고려하여 가두리를 선택해야 할 것으로 판단된다.

4. 양식용 참치종묘 확보방안 마련

가. 국외 어획현황

현재 참치 양식에 사용되는 종묘는 지중해, 호주, 멕시코의 경우 10-15 kg의 참치를 선망으로 채포하여 양성지까지 수송한 후 약 3-6개월 양성하여 판매하는 것이 일반적인 형태이다. 일본의 경우는 5-6월 필리핀 근해에서 산란하여 성장한 치어가 일본 근해로 북상하는 개체(500 g내외)를 8-10월 사이 채낚기로 채포하여 2-3년 양성하여 출하하는 형태이다.

일본 긴키대학 수산연구소는 2002년 완전양식을 달성하여 세계에서 유일하게 인공종묘를 종묘로 사용하고 있으며, 2007년 12월에는 민간양식장에 1,500마리(800 g)의 치어를 분양하여 명실상부한 완전양식의 시대를 열었다. 완전양식에 이르기까지는 양성, 친어관리, 채란, 종묘생산기술, 사료 등의 다양한 기술이 개발 및 관리 되어야 하므로 양식기술 개발 초기 단계에서는 자연산 치어를 채포하여 사육하는 것이 효율적이고 경제적이라고 할 수 있다.

참치 양식의 산업화를 실현하고 안정적이고 지속적인 양식 생산을 위해서는 종묘의 원활한 공급이 필요하며, 다양한 방법을 검토하여 최적의 방법을 개발하는 것이 중요하다고 할 수 있을 것이다.

나. 조사방법

(1) 해외사례 조사

지중해연안, 멕시코, 호주, 일본 등 참치 양식이 행해지고 있는 각국의 참치 종묘의 어획 방법 및 수송방법에 대한 문헌 및 현장 조사를 통해 자료를 수집하여 본 연구의 어획 및 수송방법 결정에 참고하였다.

(2) 참치종묘 채포 방법

기초자료 조사를 통해 최종적으로 채낚기, 선망 그리고 수입에 의한 3가지 방법에 대해 어획 방법, 어획도구 그리고 어획 후 수송방법에 관하여 조사하였다.

(가) 채낚기

2007년 11월부터 2008년 6월까지 제주특별자치도 표선, 중문, 위미 앞바다에서 총 8회 실시하였다. 어선은 5톤 내외의 채낚기 어선을 사용하였으며, 어획 방법은 삼치채포용 줄낚시와 일반 낚시용 릴낚시를 사용하여 어획을 실시하였다.

삼치 채포용 줄낚시는 원줄에 인조미끼를 결합한 40개의 낚시를 매달아 표층에 회유하는 참치를 어획하는데 사용하였다. 릴낚시는 크릴새우를 사용하여 약 100~200 m까지 낚시줄을 조류를 타고 자연스럽게 흘러 표층 및 중층에 회유하는 참치를 어획하였다.

채낚기로 어획된 참치 종묘를 수송하기 위해 1차적으로 직경 1.5 m, 높이 50 cm 의 비닐 수조를 이용하여 수송실험을 실시하고, 2차적으로 이전의 수조를 개량한 직경 2 m, 높이 1.5 m의 FRP수조를 제작하여 수송실험에 사용하였다.



그림 78. 채낚기 방법 및 사용된 미끼

(나) 선망

대형선망에서 어획된 참치를 가두리를 이용하여 수송하는 방법에 대한 가능성을 검토하였다. 선망의 주요 참치 어획 지역은 제주도 서귀포 남방 20~40마일 해역으로 243 및 244해구가 여기에 해당된다.

선망에서 채포된 참치를 수송하기 위해 직경 30 m 폴리에틸렌 파이프를 사용한 가두

리를 준비하였다. 그물은 직경 30 m, 깊이 10 m 크기를 준비하였으며, 수송과정에서 조류와 해류에 그물이 들려 참치에 손상을 주는 것을 방지하기 위해 50 kg 이상의 쇠로 제작한 추를 다수 준비하였다. 또한, 선망에서 수송용 가두리로의 원활한 이동 및 기타 작업의 편의를 위해 가두를 직접 끌 본선(460 톤) 이외에 10톤 규모의 작업선을 별도로 준비하였다.

(다) 도입

인위적인 사육시설에 적응된 대량의 종묘를 확보하여 사육실험을 수행하기 위하여 근접 국가인 일본에서의 종묘 구입 가능성과 구입방법, 수송방법 등에 대하여 검토하였다.

다. 결과

(1) 외국의 양식용 종묘확보 사례

지중해연안, 호주, 멕시코 등의 경우 종묘는 12~3월 선망에 의해 약 10~15 kg의 개체가 어획되며, 어획된 종묘는 선망 그물에서 이동용 가두리(직경 40~60 m)로 이동시켜 양성장으로 수송하는 것으로 조사되었다. 수송기간은 보통 2~4주 정도 소요되며 멕시코의 경우 40일 이상 소요된 경우도 있다.

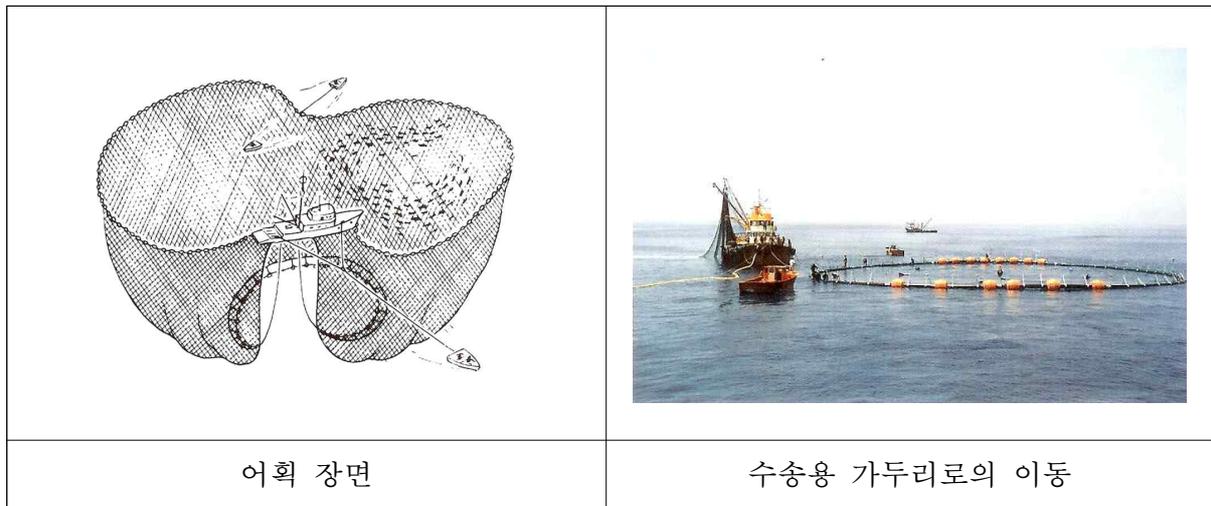


그림 79. 선망을 이용한 종묘 채포 및 수송용 가두리로의 이동

일본은 체중 200~1,000 g 정도의 유어로 생후 3~6개월 정도 경과된 자연산을 채낚기로 채포하여 사용한다. 대부분 대만 동부 해역을 중심으로 한 태평양의 산란장에서 4~6월경에 부화하여 성장하면서 일본 열도 부근으로 북상하는 것을 어획하는데, 어획되는 시기는 태평양 연안의 경우는 6~10월, 나가사키 지역은 9~12월까지이며 어획성기는 7~9월이다. 어획은 대부분 연안에서 이루어지며 소형 채낚기 어선이 인조미끼를 사용한 낚시채비를 이용하여 어획한 후 순치용 가두리에 수용하여 중간육성을 실시한다.



그림 80. 참치 어획사례(일본)

(2) 참치종묘 채포

(가) 채낚기

2007년 11월에서 2008년 6월까지 총 8회 이상의 어획조사를 실시한 결과 2007년 11월에는 총 77마리의 다랑어를 채포하였으며, 표선지역 57마리, 중문 3마리, 위미 17마리로 표선해역에서 가장 많이 어획되었다.

주로 어획된 어종으로는 점다랑어가 34마리로 가장 많았으며, 백다랑어와 가다랑어도 일부 어획되었다. 점다랑어의 평균 체중은 877~2740 g 범위였으며, 백다랑어는 1,700 g 내외의 것이 어획되었고 가다랑어는 742 g으로 가장 소형이었다.

11월에는 어획되지 않았던 참다랑어는 삼치어획을 목적으로 출어한 채낚기 어선들에 의해 3월에 약 15일간 산발적으로 어획되었으며, 참치 어획을 위탁받은 채낚기 어선이 삼치어획 어구로 표선 앞바다에서 1일 7마리를 어획하였다.

어획된 참다랑어는 어체중 1,400 g, 전장 47 cm 이었으며, 전년도 5~6월경에 일본 남부와 필리핀 동부 해역에서 산란되어 성장하면서 북상하여 제주도 부근에 형성된 먹이(멸치)를 쫓아 회유하여 제주도 연안으로 들어온 것으로 추정되었다.

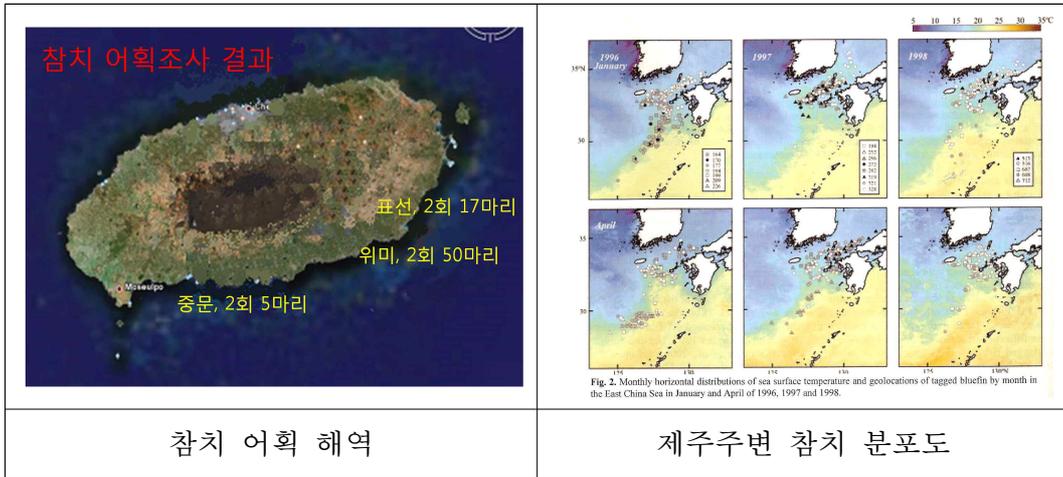


그림 81. 제주 연안에서의 참치 어획 해역 및 어획 실적



그림 82. 제주 연안에서 어획된 참치 종류

표 68. 참치어획 실적 및 어체 측정 결과

일자	지역	종류	조사항목			
			마리수	가랑이 체장 (cm)	체폭(cm)	체중(g)
2007. 11. 7	표선	점다랑어	50	53.2	8.9	2,740
	중문	점다랑어	1	35.6	5.0	619
2007. 11. 8	중문	참다랑어	2	46.5	8.3	1713
		백다랑어	4	45.5	7.3	1,726
2007. 11. 13	위미	점다랑어	5	36.9	5.9	877
		가다랑어	4	35.5	5.7	742
2007. 11. 14	위미	백다랑어	2	45.5	8.1	1,741
		점다랑어	2	52.7	8.0	2,588
2008. 3. 8	표선	참다랑어	7	47.0	-	1,400

어획된 참치는 직경 1.5 m, 높이 50 cm 의 캔버스 수조에 수용하여 활어상태로 수송하여 수송을 시도하였으나 회유성이 강한 참치의 특성 때문에 수조에 충돌하여 폐사하였다. 이는 수송용 수조에 대한 정보 부족으로 수조의 크기 및 높이 기타 참치의 생리적 특성에 접합한 수조 제작이 이루어지지 않은 것이 문제점으로 파악되었다.

점다랑어의 경우 일반 어선의 어창에 수용하여 2시간 정도 활어 상태로 수송하는데 성공하였으며, 이러한 경험으로 볼 때 성공가능성이 매우 높을 것으로 판단되었다.

2008년 하반기 어획 참치 순치를 위하여 여러가지 문제점을 보완한 FRP 수조(Ø 2m) 제작을 완료하였다.

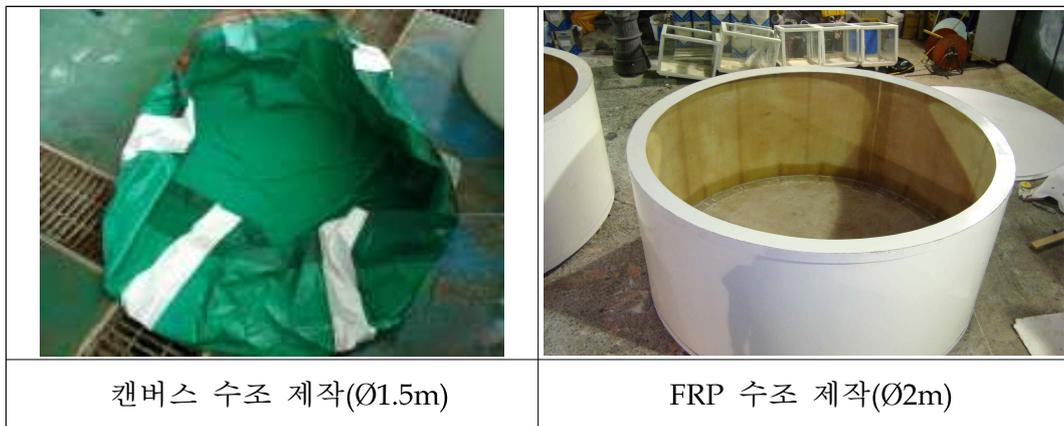


그림 83. 참치 수송에 사용된 캔버스 수조 및 보완 제작한 수조

(나) 전망

① 최근 대형선망에서 참치 어획동향

어획량이 점차적으로 증가하고 있으며, 어획시기도 년중으로 확대되는 추세이다. 제주도 근해와 대마도 부근에서 중점적으로 어획되고 있으며, 2~3 kg의 소형 개체 중심에서 10 kg 이상 및 50~70kg 대형 개체의 어획이 늘어나는 추세이다.



그림 84. 선망에 의한 참다랑어 어획량 및 관련 기사

② 추진 결과

파도가 비교적 낮은 봄~가을에 가능한 방법으로 대형선망 어업에서 참치가 비정기적으로 대량 어획되고 있어, 여기에서 채포되는 종묘를 구입, 수송하는 방법으로 추진하였다. 선망의 참치 어획은 참치가 표층으로 부상하는 일몰 후에 작업이 주로 시작하며, 참치의 어군이 확인되어 어획이 확인된 시점에서 가두리 수송 본선이 가두리를 끌고 어획 장소로 출항하게 된다.

수송을 담당한 개인업체는 대형가두리(직경 30m), 본선(460톤)과 작업선(10톤) 선박, 승무원 5명으로 총 3회 승선하여 출항하였으나 빠른 조류 및 선박항해능력 부족으로 성산항 1 km 지점에서 회항(1 km 항해에 2시간 소요)하였다. 수송가두리 준비는 대체적으로 잘되었으나, 해상에서의 생물 이동을 위한 승무원들의 기술부족 및 활어선의 노후화가 문제점으로 평가되었다.

		
○ 수송용 가두리 - 직경 30m, 깊이 10m	○ 참치운송 보조 작업선 - 10톤, 크레인 완비	○ 운반선 - 460톤 규모

그림 85. 참치 수송용 가두리 및 운반선과 보조 작업선

(다) 일본 양식종묘 구입에 의한 확보

채낚기, 선망으로 종묘의 국내 수집이 여의치 않을 경우를 대비하여 기반 마련을 위해 필요할 것으로 판단된다. 일본 긴키대학 수산연구소와 계속 협의 중에 있으며 가능성 높을 것으로 평가된다. 한·일간 참치 연구를 위한 교류협력 추진이 필요할 것으로 판단되며, 한국의 외해가두리 양식과 일본 참치양식 기술을 접목시키기 위한 참치 종묘 이식과 수정란 확보 방안에 대하여 본원 차원의 상호 연구교류 협정 체결 추진 필요성 있다.

라. 문제점 및 대책

일본의 상업적인 채낚기 기술처럼, 과학적인 채낚기 시험어업이 필요할 것으로 판단되며, 대형선망에서 채포된 종묘를 활어로 운반할 수 있는 수송기술(가두리, 선박), 자금 등

근본적인 문제점 해결이 필요하다. 또한 한·일간 참치 연구를 위한 정부차원의 교류협력 추진도 필요하다.

마. 종합결론

채낚시 ⇒ 선망 ⇒ 수입 순으로 단계별 참치 확보 방안 마련하고자 한다. 채낚기와 선망, 종묘 수입 등 3가지 방법을 병행하여 사업을 수행할 수 있으며 2차년도인 '08년도 사업부터 종묘확보 가능성을 두고 사업을 추진할 계획이다.

종묘확보 방법별 장단점을 비교해 보면, 채낚기는 저렴한 예산으로 가능하며, '07년도에 어획 및 수송 경험으로 볼 때 종묘확보 방안 중 성공가능성이 매우 높고 새로운 어민들의 소득증대 사업으로서도 개발할 충분한 가치가 있는 방법으로 평가된다. 산업화를 위해서는 어획방법에 대한 개발 및 어획된 종묘의 핸들링 기술 보급이 필요할 것으로 판단된다.

선망은 일시적으로 다량의 양식 종묘의 확보가 가능하나 어황에 따른 수급의 불확실성이 높고 경비가 많이 들 뿐만 아니라 전문적인 수송업체가 필요할 것으로 판단된다.

수입 순치된 종묘의 확보가 가능하며 공동연구, 기술제공 등의 부수적인 효과도 있으나 수입과정에서의 예상하지 못한 정치적인 문제 등의 발생 가능성이 있고 비용도 높은 단점이 있다.

표 69. 종묘확보 방법별 장단점 비교

구 분	장 점	단 점
(1)채낚기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저렴한 예산으로 가능 ○ 신규 연안어업 산업 창출 ○ 기술적 검토사항 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어황에 따른 변동 가능성 ○ 수송방법에 대한 연구 필요
(2)선망	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다량 확보 가능 ○ 대형 참치 확보 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어황에 따른 변동 가능성 ○ 경비 과다
(3)수입	<ul style="list-style-type: none"> ○ 순치된 참치 종묘 확보 가능 ○ 수정란 확보 파트너 연결 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수입시 미예상 문제발생 가능성 있음 ○ 경비 과다

5. 양식용 참치종묘 확보

가. 채낚기를 이용한 참치종묘 어획시험

(1) 방법

어획시험은 '09. 8. 18~9. 25일 까지 제주특별자치도 추자도 근해의 사수도 부터 모녀도 연안 해역 사이에서 5~8톤 소형 채낚기 어선을 이용하여 실시하였다. 어획어구는 미늘을 제거한 인조미끼가 부착된 낚시를 사용하고, 일정수심을 유지하기 위해 19 cm 내외

의 잠수관을 부착하였다. 낚시줄의 길이는 15~25 m로 조정하고 어선의 속도는 2~3노트를 유지하였으며, 종묘채포 어선은 5톤 내외로 10 m 내외의 낚시대를 양쪽으로 매달고 한쪽 낚시대에 3개씩의 낚시줄을 매달아 천천히 이동하면서 어획을 실시함. 어획기간 중의 수온은 22~27°C 범위이었다.

어획된 참다랑어는 손을 대지 않고 니퍼나 갈고리를 이용하여 낚시를 제거하였으며, 1차적으로 비닐 및 플라스틱 재질의 소형 용기로 운반하여 선상에 설치된 Ø 1.5 m 원형 수조에 활어상태로 수용 후 수송하여 Ø 15 m의 가두리에서 순치 사육관리하였다.

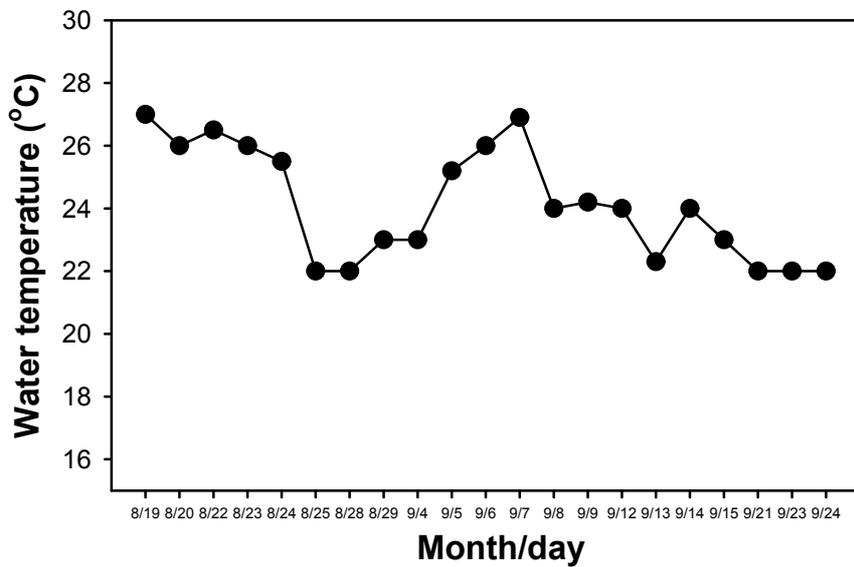


그림 86. 어획지역의 수온변화

<p>참다랑어 끌낚시 어구 모식도</p>	<p>참다랑어 조업구역도</p>
<p>어획용 어구</p>	<p>소형어선 및 수송수조(5톤급)</p>

그림 87. 참다랑어 끌낚시 어구 및 조업지역

(2) 어획시험 결과

(가) 어획량 및 지역

어획시험 결과 총 833마리의 참다랑어를 어획하였으며, 일일 최소 어획량은 3마리, 최대 어획량은 195마리이었으며, 시험어업 조업 기간 중 1척당 일일 평균어획량은 7.15마리이었으며, 최소 어획량은 0.6마리, 최대 어획량은 39마리이었다.

어획초기는 추자도 본도로부터 약 15마일 떨어진 사수도 지역에서 어획되었으나, 9월 초순부터는 점차 추자도 근해에서 어획되어 9월 중순에는 추자도 연안 2~3마일 해역에서 다량 어획되었다. 특히 1일 최대 어획된 해역도 추자도 가장 근접한 해역이었다.

어획 시기는 일본의 남부지방의 6~8월 보다는 다소 늦었으나 우리나라 동해 및 남해안과 인접한 나가사키 지역의 9~12월 시기와는 대체적으로 일치하는 경향을 나타내었다. 따라서 우리나라 제주도 및 남해안에서 어획되는 참다랑어 종묘는 일본 나가사키 지역의 것과 유사한 시기에 산란되어 성장한 계군으로 추정되어진다.

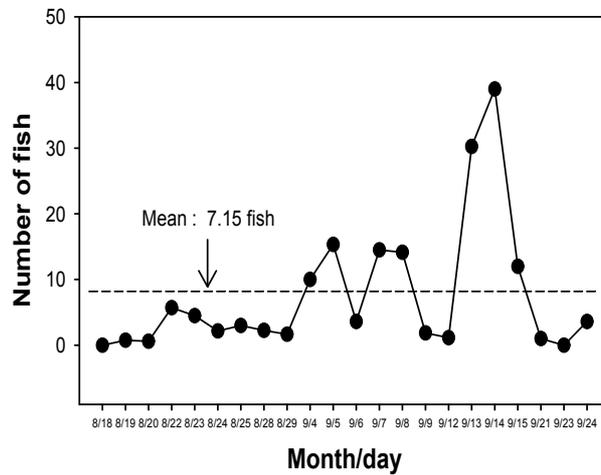
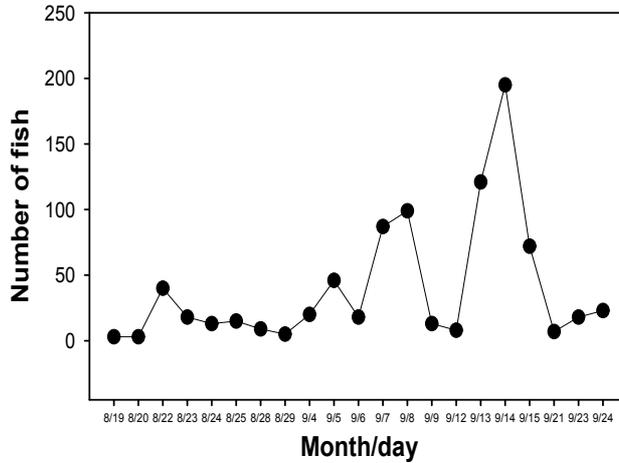


그림 88. 총어획량 및 1척당 평균 어획량 변화

(나) 어획후 생존율

참다랑어는 피부가 약해 접촉시 피부손상에 따른 폐사가 빈번히 발생된다. 따라서 어획 후 직접적인 접촉 없이 낚시바늘의 제거, 이동, 가두리 수용 등이 이루어져야 한다. 어획 후 순치용 가두리 수용까지의 생존율은 최종적으로 68.5%, 순치가두리에서 양성용 가두리 이송시까지 최종 생존율은 44.5% 이었다.

어획량이 평균이하(7.15마리)의 경우는 생존율이 높았으나, 어획량이 많은 경우는 어획 후 순치용 가두리까지 운반 과정에서 높은 폐사율을 나타냈다. 어획 후 폐사의 주된 원인은 어선에 설치된 수송용 수조에 수용된 참다랑어가 벽면에 머리와 몸통 부분을 심하게 마찰시켜 유영하여 죽는 경우가 대부분이었다. 또한 어획 후 빠른 시간내에 수송용 수조에 수용되지 못하거나, 낚시를 깊게 삼켜 안구 및 아가미에 손상을 입은 개체도 거의 폐사하였다.

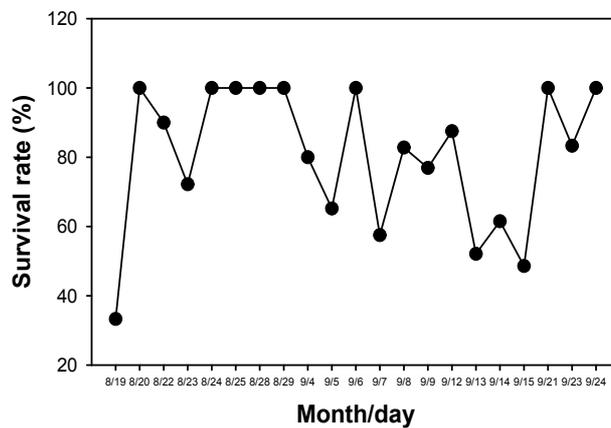
가두리 수용 후 초기 폐사가 높았는데, 초기에 수용했던 신양항의 조류소통 불량에 따

른 수질악화가 원인으로 판단되었다. 이후 순치용 가두리를 예초리 향 인근에 설치하여 사육관리하였으며, 이때의 주된 폐사는 먹이 순치 불량인 개체와 야간 전갱이, 고등어, 멸치 무리가 가두리 안으로 유입되어 이를 먹기 위해 참다랑어가 돌진하여 가두리 그물에 이빨이 걸려 폐사한 개체가 다수 발생하였다.

일본의 경우 참다랑어 종묘 채포시 가두리 수용과정에서의 생존율은 70~80% 정도로 알려져 있으며, 500 g 미만의 개체는 생존율이 90% 이상의 경우도 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 평균체중 1 kg 이상의 개체가 어획되었으나, 생존율은 70% 가까운 값을 보여 대체적으로 높은 생존율로 평가되었다. 또한 가두리 수용후의 주 폐사원인은 가두리 충돌사로 알려져 있는데, 주요원인은 갑작스런 빛이나 소음, 가두리내 먹이 침입에 따른 패닉현상 등이다. 본 연구에서도 가두리내 많은 양의 멸치와 전갱이, 고등어 치어의 침입에 따른 불규칙적인 유영행동에 이은 가두리 충돌로 많은 폐사가 발생하여 침입방지를 위한 기술개발이 필요할 것으로 판단된다.



그림 89. 어획 후 폐사한 개체



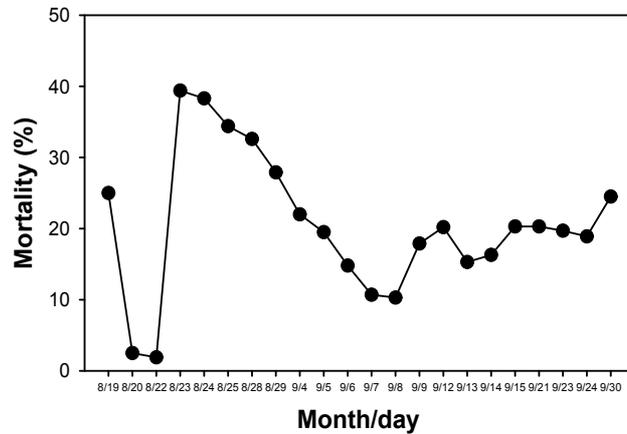


그림 90. 어획후 생존율 및 가두리 수용 후 폐사율 변화

(다) 참다랑어 크기 변화

어획된 참다랑어의 개체당 평균체중은 어획 초기인 8월은 740~850 g, 9월에는 1090~1406g으로 성장하였다. 전장의 경우도 어획초기 35 cm 전후에서 9월말에는 45 cm 전후로 1개월에 약 10 cm의 성장차를 보였다. 단기간에 이러한 성장차이를 보인 이유가 회유하는 계군이 다른 것인지 아니면 동일계군이 먹이 섭취를 증가시키면서 단기간에 빠르게 성장하는지에 대한 향후 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

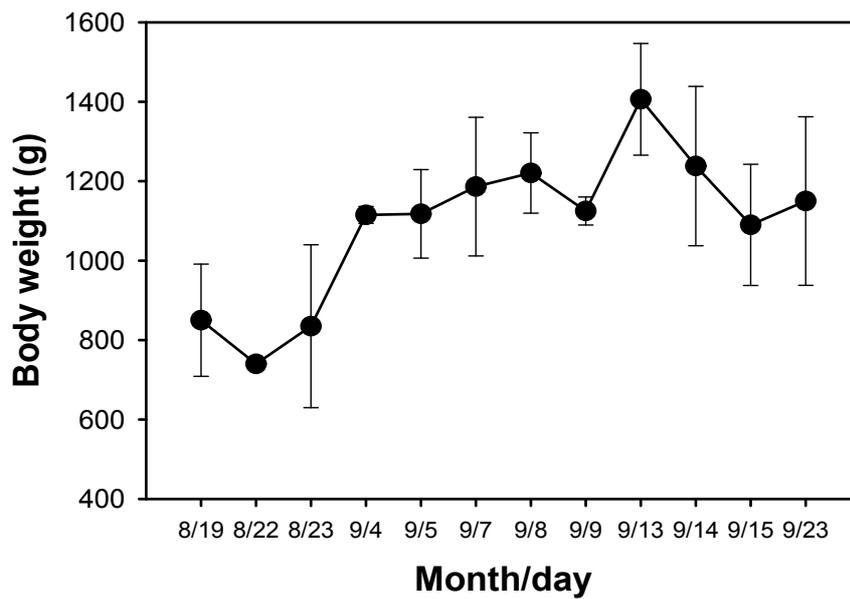


그림 91. 어체중 변화

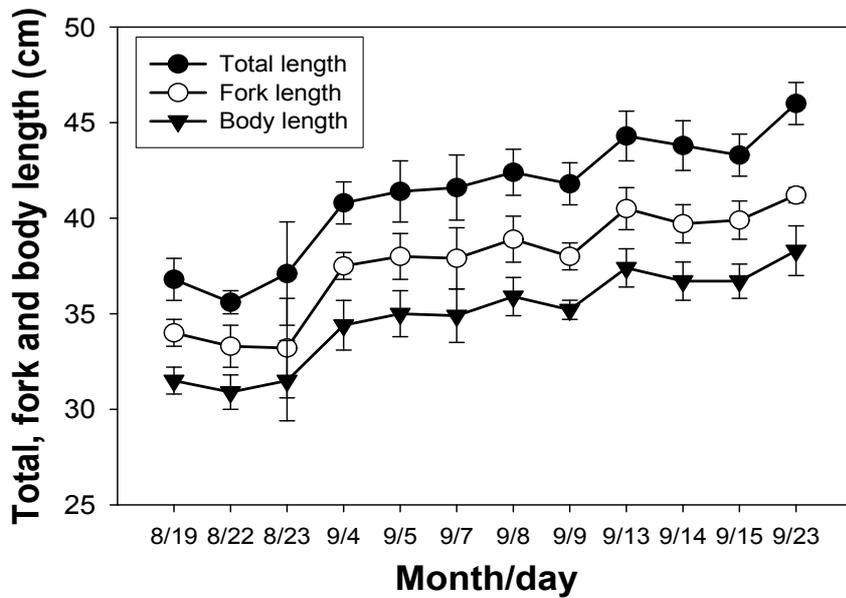


그림 92. 전장, 가랑이체장, 체장변화

(라) 먹이섭취

어획된 참다랑어의 중 폐사개체를 대상으로 위 내용물을 조사한 결과 멸치 비율이 95.5%로 대부분을 차지하였고, 고등어, 소형 오징어, 전갱이가 1.5%로 동일하였다. 또한 먹이를 섭취한 참다랑어 비율은 25~89.5%, 1마리당 섭취한 평균 먹이 개체수는 2.0~6.1마리이었으며, 최대 섭취 개체는 10 cm 내외의 멸치 15마리를 섭취한 것이 확인되었다.

먹이 섭취량과 어획량은 밀접한 상관관계를 보였는데, 참다랑어 1마리당 섭취한 평균 먹이 개체수가 높았던 시기에 1척당 평균 어획량도 10~39마리로 시험기간 중 평균 어획량 7.15마리보다 높은 값을 보였다.

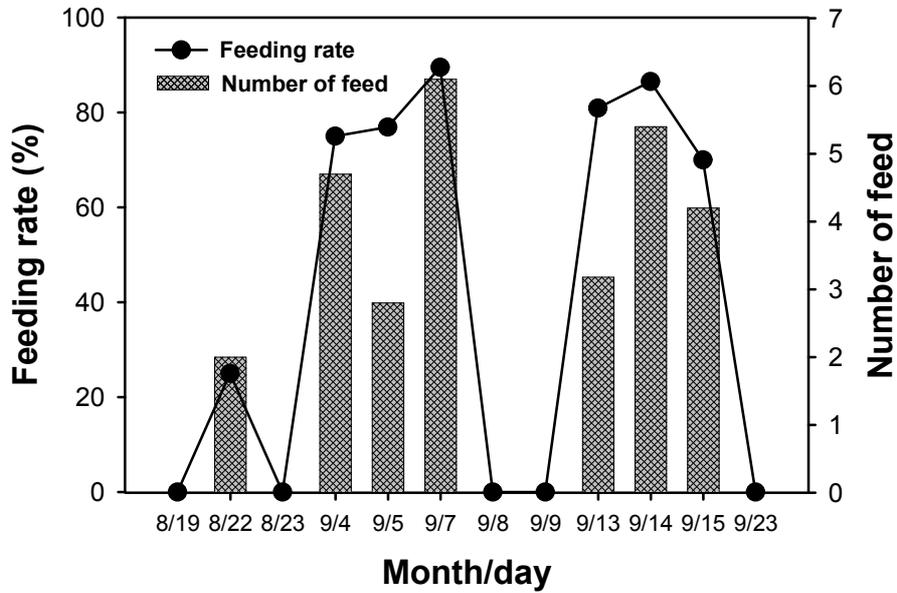


그림 93. 먹이섭취율 및 섭취량 변화

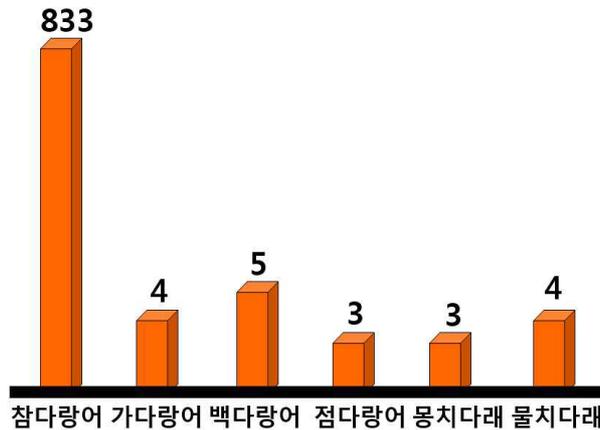
(라) 타 어종 혼획비율

‘07. 11. 7~’08. 6. 20일, 표선, 중문, 위미 5~10마일 해상에 주로 시행된 어획시험에서는 점다랑어의 어획비율이 높았으며, 참다랑어는 9마리만이 어획되었다. ‘09년 하절기(8~9월)에 실시된 어획시험에서는 참다랑어가 주로 어획되고, 타 고등어과 어류의 어획비율은 극히 낮은 값을 보였다. 제주도 연안에는 동절기와 하절기 모두 참다랑어가 서식하는 것이 확인되었으며, 참다랑어가 집중적으로 어획되는 여름철에는 타 어종의 혼획 비율이 낮은 것으로 나타났다.



Squid 1.5%
Mackerel 1.5%
Horse mackerel 1.5%

그림 94. 먹이 종류별 섭취비율



(어획시기 : '07. 11. ~ '08. 6.) (어획시기 : '09. 8. ~ '09. 9.)

그림 95. 타 고등어류과 어류의 혼획 비율(단위 : 마리)

(3) 결론

본 연구결과 제주연안에 당년산 참다랑어가 대량으로 내유하는 사실이 확인되었으며, 양식을 위한 종묘의 대량 확보가 가능할 것으로 판단되었다. 추후 어획 후 생존율 향상 및 어장환경과 어획량과의 연관성에 관한 연구가 필요할 것으로 보이며, 본 연구결과는 참다랑어 양식용 종묘확보, 수송기술, 관리기술개발에 크게 기여할 것으로 기대된다.

나. 수입에 의한 참치종묘 확보

(1) 방법

참다랑어 종묘는 장시간 수송에 어려움이 있어 도입이 가능한 외국은 일본이 유일할 것으로 판단됨. 특히 일본에서의 완전양식 종묘의 도입은 어미화를 통한 안정적인 산란과 수정란 확보로 조속한 양식 산업화와 지속적이고 안정적인 완전양식 달성에 크게 기여할 것으로 판단된다.

국립수산과학원 제주수산연구소는 2008년 8월 6일 일본 긴키대학 수산연구소와 참다랑어 양식기술개발에 관한 학술교류협정 (MOU)를 체결하고 한·일간 참치 연구를 위한

학술교류협력에 합의하였다. 한·일간 “외해가두리를 이용한 참다랑어 양식” 공동연구의 일환으로 10월 말 인공종묘 공급에 최종적으로 합의하였고 12월 6일 일본에서 선적이 실시되었다.

일본에서 선적된 종묘는 249마리였으며, 09년 8월 인공종묘 생산된 3세대로 평균체중은 800 g 이었다. 현지의 종묘가격은 마리당 8,300엔 이었으나 공동연구 추진에 따라 무상증여 형식으로 공급되었다.

일본 와카야마현 긴키대학수산연구소 우라가미 실험장에서 참다랑어 수송전문선(496톤, Kakueimaru)에 선적된 종묘는 제주도 표선 외해양식 해역까지 약 70시간(3일)의 수송시간이 소요되었다.

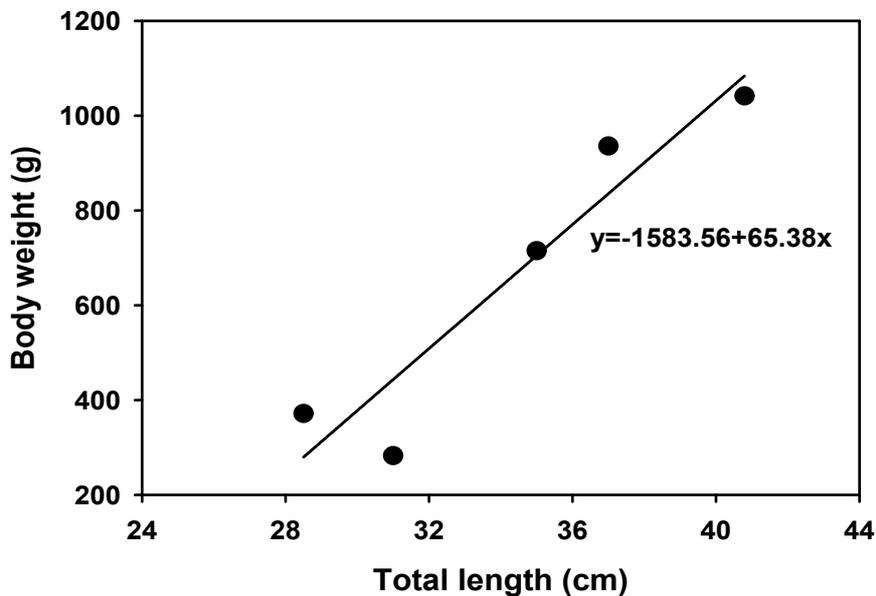


그림 96. 도입된 인공종묘의 전장과 어체중의 상관관계

(2) 수송결과

수송기간 중 10마리가 폐사하여 생존율은 96% (통상 90~95%)로 높았으며, 수송중의 수온은 19.5~23.4℃, 수용당시의 외해양식 해역의 수온은 20.3℃이었다.

수용은 20 m 원형가두리(표선, NOAH영어법인)에 수송선 옆면 수문과 가두리 그물 연결 후 가두리 그물로 종묘를 유도하는 방식으로 수용하였다. 이식종묘의 활력 및 건강상태는 양호하였으며, 스트레스호르몬 cortisol 분석결과 29.5 ug/dL로 타 어류에 비해 약간 높았으나 비교적 안정된 값을 보였다. 본연구진이 수행한 고등어의 평소의 코르티졸 농도보다는 유의하게 높았으나, 고등어의 스트레스 반응에서의 코르티졸 농도보다는 유의하게 낮아 참다랑어의 스트레스 및 수송전후의 스트레스 반응에 대한 연구가 좀더 세심하게 연구될 필요가 있을 것으로 판단된다.

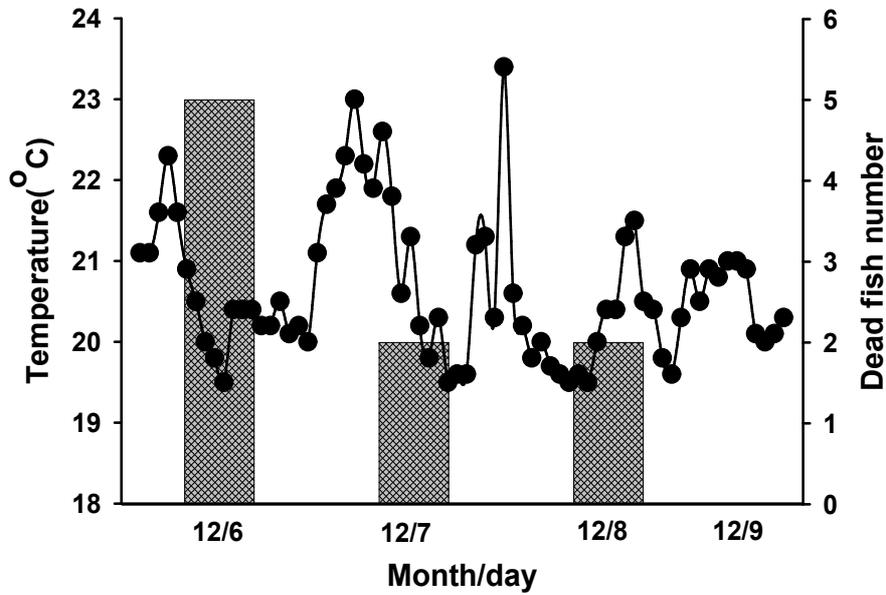


그림 97. 수송기간중의 수온변화 및 폐사개체수

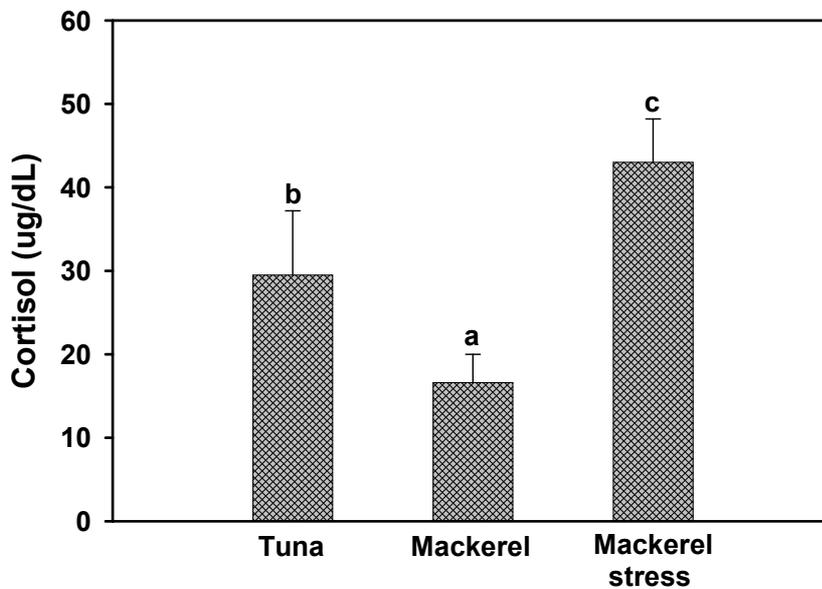


그림 98. 수송 후의 참다랑어 및 고등어의 혈장 코르티졸 농도 비교

수송선에서 가두리로 이동하는 과정에서 종묘가 가두리 그물에 다소 충돌하는 일이 발생하였으며, 이로 인해 표피가 벗겨지고 세균감염에 따른 폐사가 발생하였다. 일본으로부터 3일간의 수송기간이 소요되는 종묘의 운반은 성공적이었으며, 일본에서 수입하여 양식종묘로 활용하는 것은 기술적으로는 충분히 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 일본에서의 종묘도입은 외교적, 문화적인 문제의 충돌이 발생할 가능성이 매우 높아 외교적인 문제 해결에 대한 고려가 충분이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

	
<p>참다랑어 종묘 선적(일본 와카야마)</p>	<p>활어 수송선</p>
	
<p>이식된 참다랑어 종묘</p>	<p>종묘수용 가두리(표선 외해양식 해역)</p>

그림 99. 일본으로부터 참다랑어 인공종묘의 도입과정

(3) 인공종묘의 사육

2009. 12. 9. 일본으로부터 도입된 참다랑어 인공종묘는 순치용 가두리로의 이동과정에서 기술적인 부주의로 그물에 충돌하여 폐사가 발생하였다. 그물에 충돌한 개체는 두부가 손상되거나 피부가 심하게 훼손된 상태를 보였으며, 순치용 가두리에 수용 후 약 2주간 폐사가 지속되었다.

먹이 공급은 수용 후 2일째 실시하였다. 종묘의 크기가 800 g 내외로 입 크기에 맞는 적절한 생사료가 준비되지 못한 관계로 MP(습사료) 사료를 공급하였다. MP 사료는 고등어를 생사료원으로하고 분말배합사료는 넙치용 사료를 사용하였다. 사료 투여시 냉동 MP 사료가 표층에 부상하여 가라앉지 않았으나 참다랑어가 표층으로 부상하여 재빠르게 먹이를 섭취하는 것이 관찰되었다. 사육 해역의 1~3월 수온이 15~17℃ 범위였으나 먹이 섭취는 매우 활발하였다.

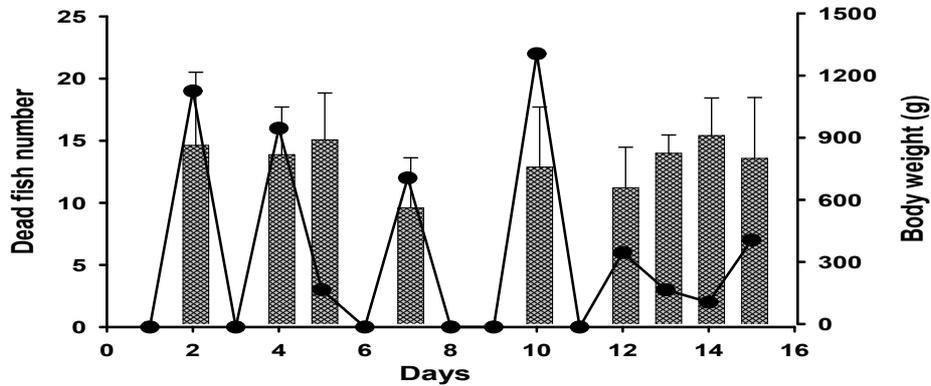


그림 100. 2주간의 폐사개체수 및 폐사개체의 평균 체중 변화



그림 101. 수용 및 순치 과정에서 폐사한 참다랑어 및 먹이 섭취 모습

초기 먹이는 입 크기를 고려해 MP 사료를 공급하였으나, 그 후 고등어를 잘게 잘라 공급하였으나 초기에는 섭취가 활발하지 않았다. 본 참다랑어는 인공종묘로 사육과정에서 배합사료와 MP 사료로 사육되어 MP 사료에의 적응이 초기에 잘 이루어진 것으로 판단된다.

생사료를 지속적으로 공급하면서 생사료에 적응하였고 기간은 3일정도 소요되었다. 생사료에 적응된 참다랑어는 어떤 종류도 잘 먹는 것으로 나타났으며, 1~2 kg의 참다랑어는 입 크기를 고려해서 양미리가 적절한 생사료로 판단되며, 성장함에 따라 전갱이, 고등

어 등을 공급하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

수용 후 약 2주 후 다이버가 확인한 참다랑어는 안정적으로 유영하고 있는 것이 확인되었다. 유영수심은 주로 중층으로 표층에서부터 3~7 m에서 주로 유영하는 것이 관찰되었다. 가두리내에서 천천히 유영할 경우는 가슴지느러미를 펼친 후 유영속도를 조절하는 것이 관찰되었으며, 저면이나 수면위로 불규칙하게 빠르게 이동하는 경우도 자주 관찰되었으나 가두리에 충돌하는 모습은 관찰되지 않았다.

2009. 3월 조사에서는 다이버를 피하거나 경계하는 모습보다는 다이버 매우 가까운 곳까지 접근하는 모습도 관찰되어 인위적인 사육환경에 잘 적응하고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 이후 지속적으로 폐사가 발생하였으며, 잔존개체 41마리는 '09년 10월 21일 자연산 종묘와 함께 외해가두리에 수용하여 사육하였다.

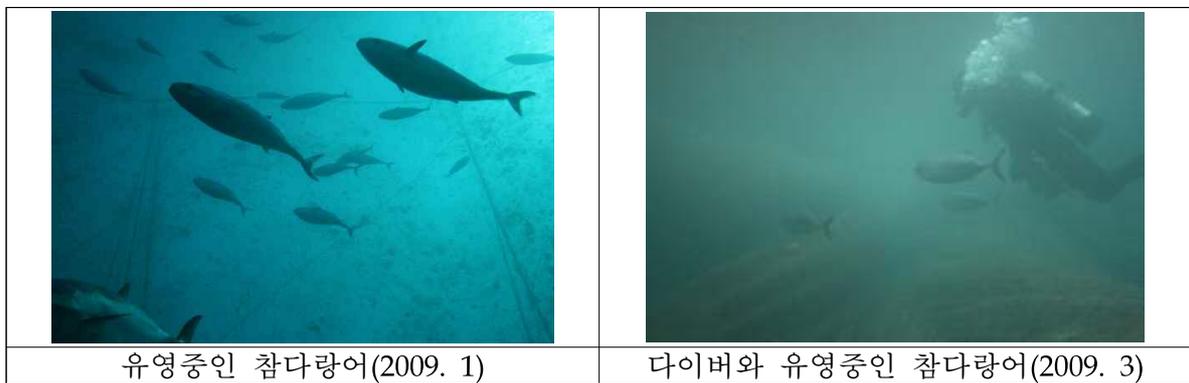


그림 102. 가두리 내에서 유영중인 참다랑어

(4) 결론

일본에서의 종묘도입은 기술적인 문제는 없으나 외교적 마찰, 참다랑어의 국제적인 자원확보를 위한 경쟁 심화에 따른 일본 수산청 등 국가기관의 제약을 근본적으로 해결할 수 있는 지속적인 교류협력 추진이 필요할 것으로 생각된다.

종묘 입식과정에서의 가두리 그물에 부딪히거나 시설물에 충돌을 할 경우 지속적인 누적 폐사가 발생함으로 이에 대한 주의가 필요하며, 종묘입식에 필요한 추가적인 부대경비(수송비, 통관료 등)의 부담이 커 국내산 참다랑어 종묘채포 기술보급 또는 완전양식기술개발을 통한 종묘 국산화가 시급할 것으로 평가되었다.

6. 참치 외해가두리 사육관리기술 개발

가. 참다랑어 종묘의 수송 및 수용

(1) 수송

(가) 선적

어획시험을 통해 어획된 참다랑어는 추자도 예초리 연안의 직경 15 m 가두리에서 순치 사육되었다. 일정기간 순치 사육된 참다랑어는 활어선(300톤급)을 이용하여 운반하였다.

참다랑어는 낚시를 이용해 활어선에 선적하였다. 미늘이 제거된 낚시를 대나무 낚시대 에 연결하여 인조루어와 오징어를 미끼로 사용하여 가두리내의 참다랑어를 어획하여 솟자를 세어 활어선 수조에 수용하였다. 활어선에 선적된 참다랑어는 총 371마리이었으며, 낚시를 이용하여 350마리가 어획되어 94%의 어획률을 보였으며, 나머지 21마리는 가두리 그물을 끌어올려 뜰채를 이용하여 포획하였다. 낚시로 포획되지 않은 21마리는 다른 개체보다 육안상 야위어 있었으며, 유영상태도 불량하였다.

일본의 종묘 수송도 전문 활어선을 이용하는 것이 대부분이며, 선적시 낚시를 이용하는 방법과 최근에는 몰아서 수송선에 선적하는 방법이 많이 사용되고 있다. 낚시의 경우 선적과정에서 정확한 마리수를 계수할 수 있는 장점이 있으며, 생존율도 몰아서 선적하는 것과 크게 차이가 없는 것으로 보고되고 있다

(나) 수송

수송경로는 추자도 예초리 연안 해상가두리로부터 표선 앞바다 외해가두리 양식장까지 총거리는 50마일 정도였다. 수송선은 평균 8노트로 운항하여 6시간 30분 소요되어 밤 10시에 표선 앞바다에 도착하였으며, 표선 연안에서 9시간 30분간 대기한 후 다음날 아침에 임시 가두리에 참다랑어 종묘를 하역하였다.

수송과정에서 폐사한 개체나 비정상적인 유영행동을 보인 개체는 없었으며, 야간 항해 및 표선앞바다 대기 중에는 백열등을 이용하여 수조내의 조도를 조절하였다.

일본의 수송선도 야간 항해시 전등을 사용하는데 이는 야간의 시야확보를 통해 참다랑어가 수조벽에 충돌하여 폐사하는 것을 방지하기 위함이다. 본 연구에서의 백열등은 60W 정도로 백열등의 밝기를 더 높여야 할 것으로 판단되며, 야간에 전등이 갑작스럽게 점멸이 되지 않도록 세심한 배려가 필요할 것으로 판단된다. 또한 일본 활어선의 경우 수조벽에 격자선을 그려 넣어 충돌방지 효과를 높이고 있어, 참다랑어 수송선은 이러한 격자선의 조치도 반드시 고려되어야 할 것이다.

	
종묘선적(가두리→수송선)	종묘수송(추자→제주)
	
수송 경로(추자→제주)	종묘 수용(수송선→임시 가두리)

그림 103. 참다랑어 종묘 수송과정

(나) 임시가두리 수용

활어선 수조에 설치된 출입문과 임시 가두리 사이를 참다랑어 이동할 수 있도록 그물로 통로를 만들어 가두리에 수용하였다. 참다랑어는 일반적인 뜰채를 이용하여 포획 후 가두리에 수용하기에는 피부 손상에 의한 폐사의 위험이 매우 높다. 또한, 유영력이 강한 참다랑어는 일반 그물망을 이용하여 좁은 활어선 출입문으로 몰아넣을 때 그물에 이빨이 걸려서 죽거나 피부에 손상을 입을 수 있다.

몰이망 그물의 피해를 방지하기 위해 배수가 되는 특수천을 이용하여 가로 6 m, 세로 3 m의 특수한 몰이망을 제작하여 참다랑어를 수조 출입문으로 몰아넣는데 사용하였다. 임시가두리 수용과정에서 그물에 부딪히거나 다른 원인에 의해 폐사한 개체없이 성공적으로 전 개체를 안전하게 수용하였다.

		
특수 제작한 참다랑어용 몰이망	활어선에서 임시가두리로 이동	임시가두리에 수용된 참다랑어

그림 104. 참다랑어 임시가두리 수용과정

나. 외해 수증가두리 사육시험

(1) 외해수증가두리 수용

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

가두리 연결이 완료된 후 4명의 다이버가 사전에 제작된 몰이망 망을 펼쳐 임시가두리내 참다랑어를 몰아 연결통로로 유도하였다. 외해가두리 안쪽에서는 1명의 다이버가 오징어를 투여하여 참다랑어의 외해가두리 이동을 유도하였다. 몰이망을 이동통로로 좁히는 과정에서 몰이망 그물에 부딪히거나 두부가 그물에 잠시 걸려서 발버둥치는 개체가 일부 발생하였으나, 폐사개체 없이 전 개체를 외해 수증가두리에 수용하였다. 수용 후 다음날 생사료를 공급하였으며, 먹이섭취 및 유영활동 등이 양호함을 확인하였다.

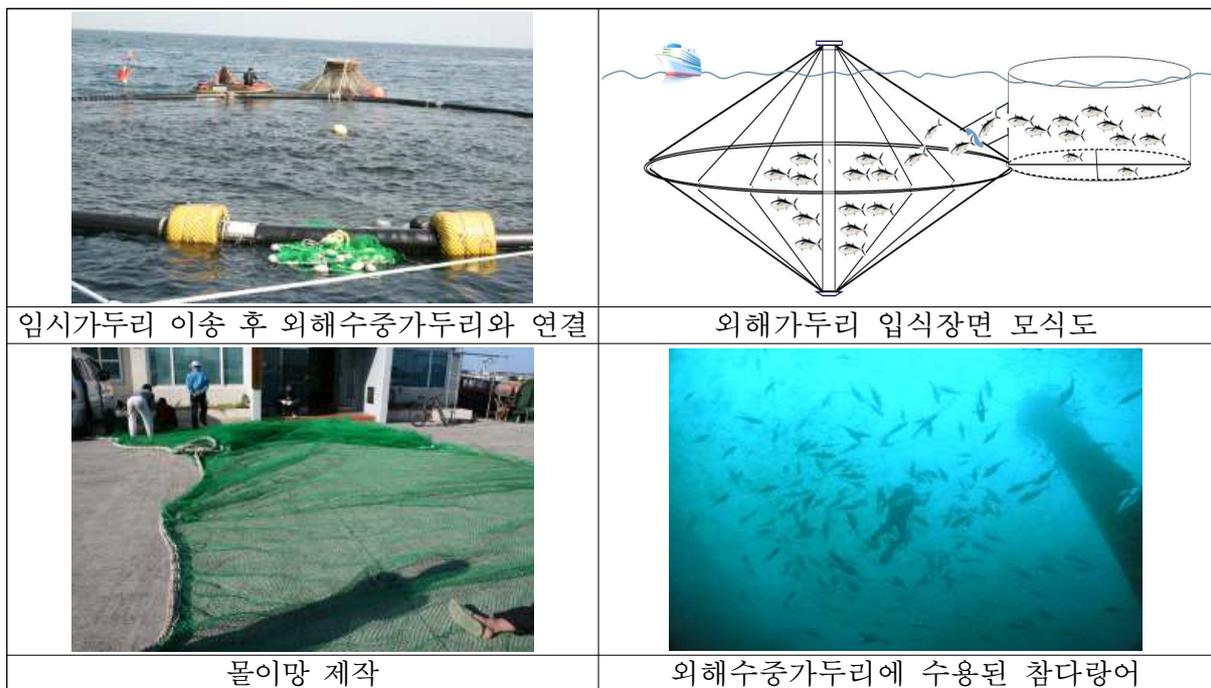


그림 105. 외해수증가두리 수용과정

(2) 외해수증가두리 사육관리

(가) 사육시설

참다랑어가 수용된 시설은 외해수증가두리 형태인 Sea Station™ 3000m³ 모델로 2005년 현재 본 연구의 참여기업인 노아외해양식법인 표선 외해양식어장에 설치되었다.

Spar(중앙기둥)의 높이는 15m, 중간의 림(Rim)의 직경은 25 m이며, 시설물 지지를 위해 25톤의 콘크리트 블록 앵커 4개를 설치하였다. 가두리의 부상과 침하는 Spar와 Rim에 공

기를 주입하거나 제거시키는 방법으로 수행하며, 시설물 관리담당 다이버가 출입할 수 출입구가 가두리 상부에 제작되었다.

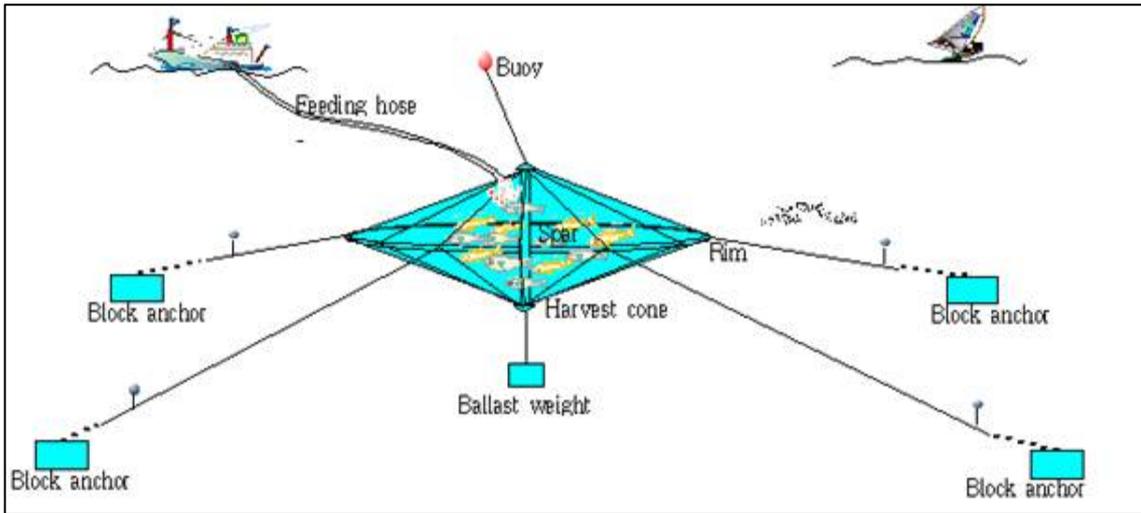


그림 106. 외해수중가두리 설치 모식도

(가) 사육관리

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 107. 참다랑어 먹이 공급 과정

사료 공급시는 매일 수온을 체크하고 폐사개체 발생시 폐사개체를 수거하였으며, 가두리 시설 점검도 함께 실시하였다. 수온은 12월까지 18℃ 이상을 유지하였으며, 겨울철 최저 수온은 14℃를 나타내었다. 수온 14℃는 2월부터 4월까지 약 3개월간 유지되었으며,

이때의 먹이섭취 및 유영상태는 양호하였다. 5월 이후 수온은 단계적으로 상승하여 6월 중순부터 19℃에 도달하여 앞으로 지속적으로 상승할 것으로 판단되며, 추후 최대온도 도달시기 및 유지기간에 대한 조사가 수행되어야 할 것이다.

외해수중가두리에 수용 후 현재 생존율은 91%로 높은 생존율을 나타내고 있다. 아직 사육관리가 8개월밖에 경과하지 않아 직접적인 비교는 어려우나, 일본 연안의 일반 내파성 가두리에서의 출하시까지 평균 생존율인 60%보다 높을 것으로 기대된다. 특히 일본의 경우 종묘 수용 후 이리도 바이러스에 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 않고 있다.

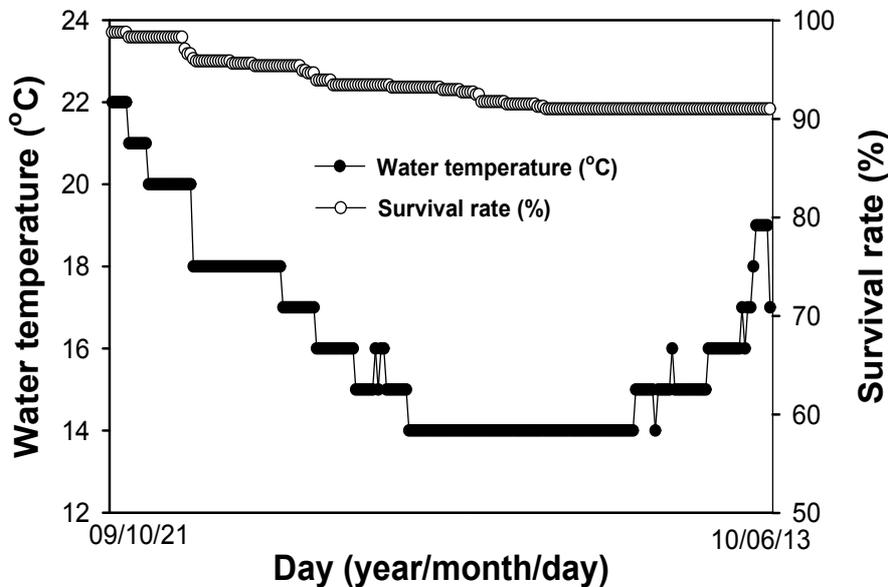


그림 108. 사육기간 중의 수온 및 생존율 변화

다. 성장조사 기법 개발

(1) 음향카메라를 이용한 성장조사

(가) 원리 및 측정방법

사육기간 동안 육안적인 생태 관찰 및 조사는 가능하나 실질적인 성장측정이 이루어지지 못했다. 세계적으로 참다랑어 핸들링 기술이 어느 정도 개발되어 단순한 어체측정 정도는 이루어지고 있으나 항상 폐사의 위험을 감수해야 할 실정이다.

참치는 유영력이 강하고 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 수치화할 수 있는 시스템이다. 이러한 시스템을 참치 양식관리기술에 적용한다면 참치를 채포하지 않고 어체 크기의 측정이 가능할 것으로 기대된다.

○ 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	

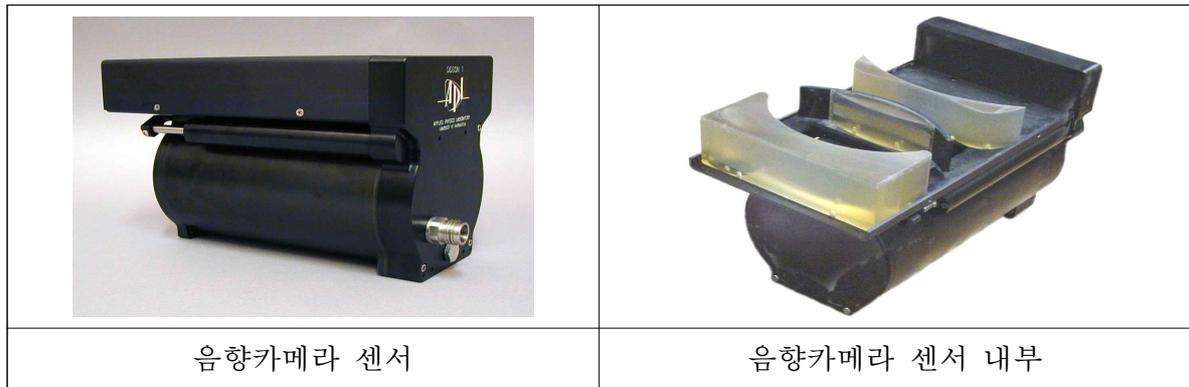


그림 109. 음향카메라 시스템

(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.

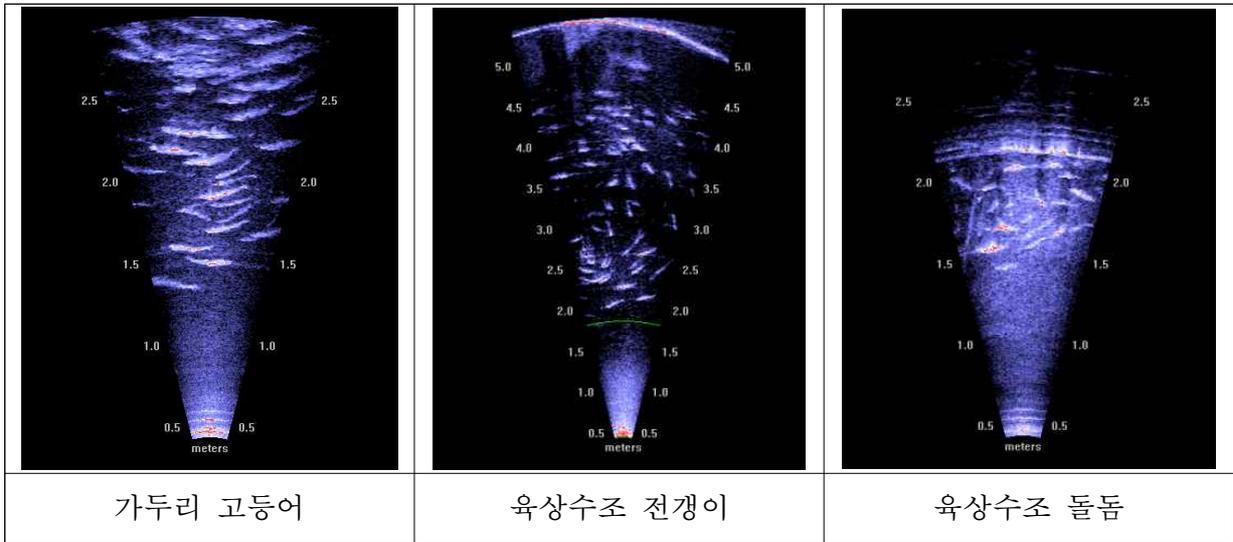


그림 110. 음향카메라 촬영 영상화면

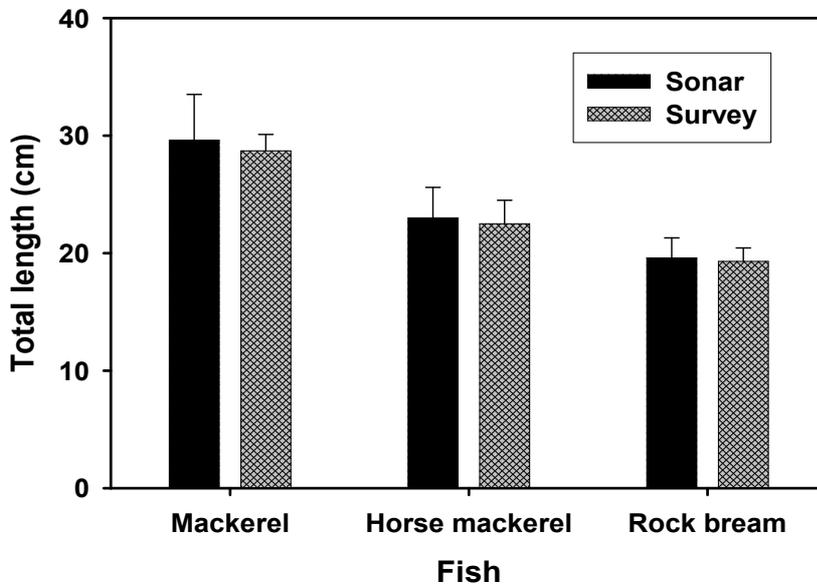


그림 111. 음향카메라 및 실측한 고등어, 전갱이, 돌돔의 전장 비교

(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 장점이 있으나 장비 가격이 고가이고, 전장만이 측정 가능한 점이 단점으로 지적된다.

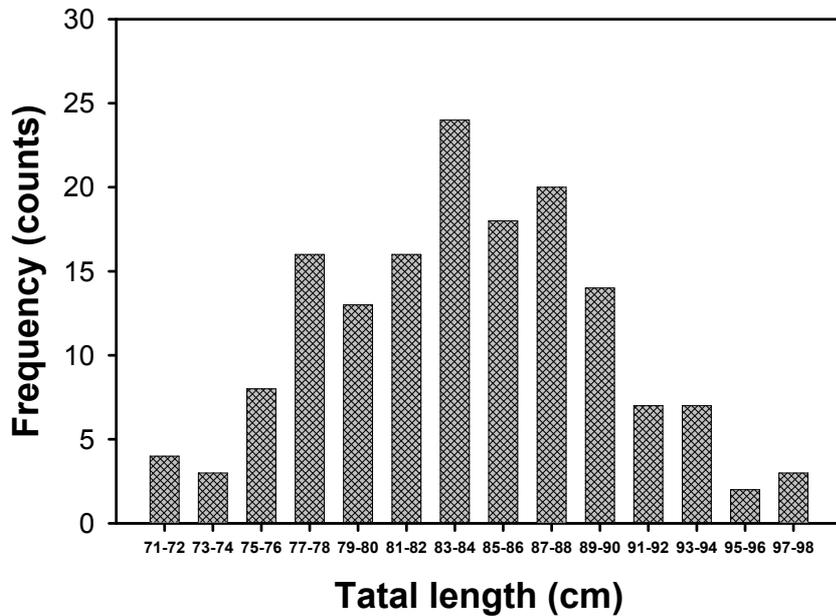


그림 112. 음향카메라를 이용한 참다랑어 실측 결과

(2) 스테레오카메라를 이용한 성장조사

(가) 원리 및 기능

광학시스템을 이용한 대상생물의 크기측정방식은 스테레오 동기화 방식 (Stereo Matching Method)를 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.

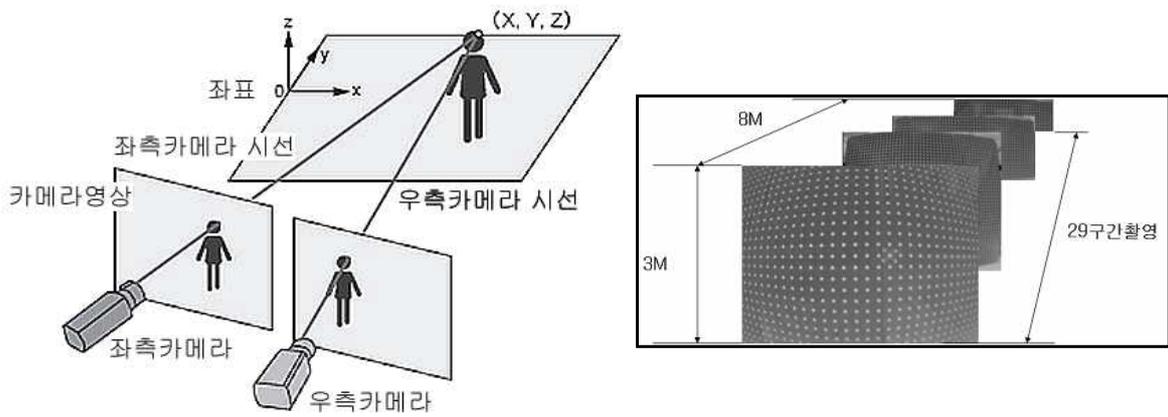


그림 113. 3차원 스테레오 기법 및 광학시스템 교정방식

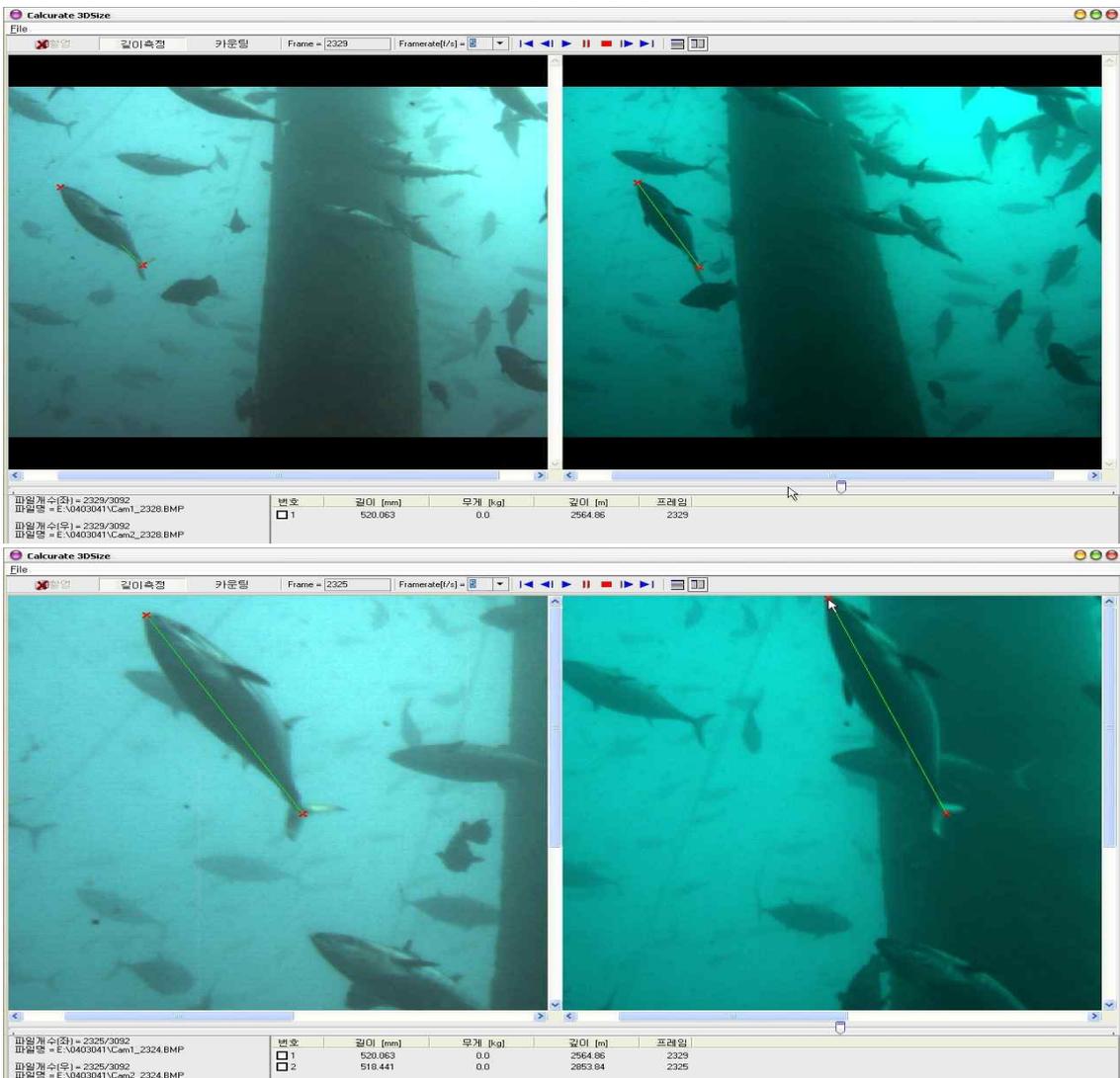


그림 114. 외해 수중가두리내 참다랑어 측정 사례

(나) 참다랑어 측정 결과

‘09년 8월 어획된 1 kg 내외의 참다랑어를 외해가두리에 10. 21일 수용하여 사육하던 것을 ‘10년 3월 30일 측정한 결과 가랑이체장 43~53 cm 범위를 나타내었다. ‘09년 외해 수증가두리 수용 당시의 평균 가랑이체장은 38 cm이었으며, ‘10년 3월 30일 측정시의 평균 가랑이체장은 48 cm로 약 10 cm를 성장한 것으로 나타났다. 특히, 48~51 cm 빈도가 가장 높았으며, 가장 작은 개체는 43 cm급 2마리로 조사되었다.

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

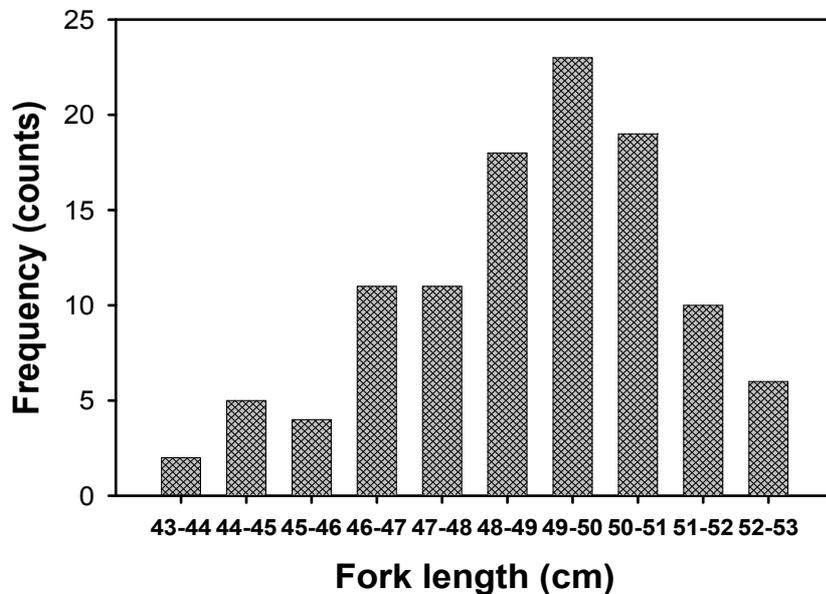


그림 115. ‘09년산 참다랑어 가랑이체장 빈도

‘08년 12월에 일본 자연산 종묘를 수입하여 사육중인 참다랑어를 ‘10년 6월 5일 측정한 결과 평균 가랑이체장 93 cm 이었다. 가랑이체장의 범위는 83~110 cm 이었으며, 95 cm 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.

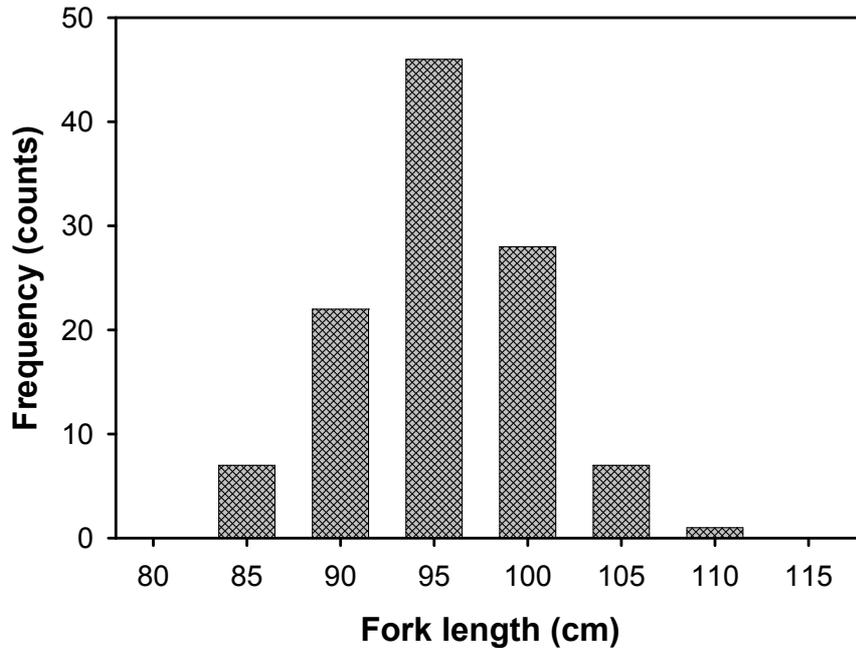


그림 116. '08년산 참다랑어 가랑이체장 빈도

(3) 결론

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 유영특성 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.

라. 가두리내 유영특성

(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 1 m 지점에 로프로 연결하여 바닥을 향해 설치하고, 케이블을 이용하여 컴퓨터에 연결한 후 24시간 모니터링을 실시하였다.

주야간 및 일주 유영특성을 파악하기 위해 컴퓨터에 저장된 데이터를 해질녘, 야간, 해뜰
 녘, 주간으로 구분하고 각각 3시간씩의 자료를 분석하였다.

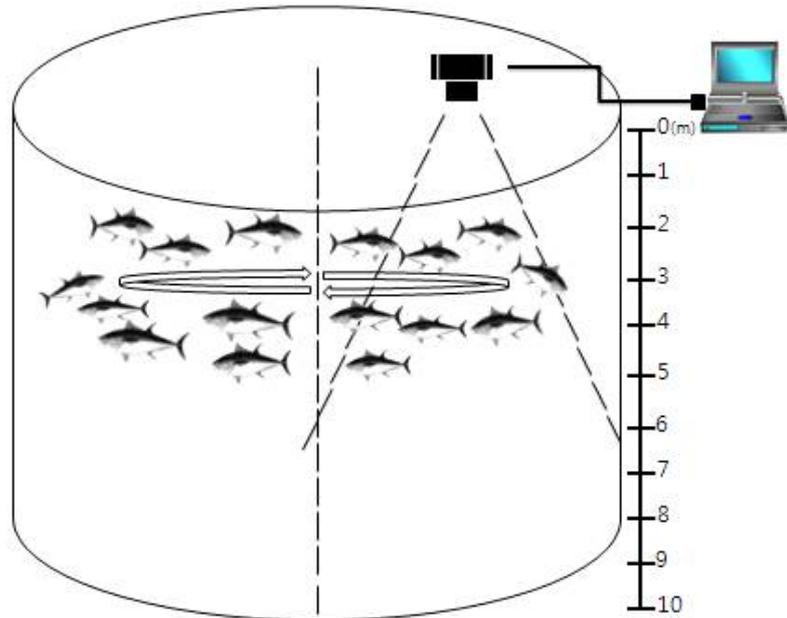


그림 117. 유영특성 조사 모식도

(2) 결과

해질녘 오후 5시부터 8시 사이에 유영수심은 5시경은 수심 4~5 m 부근에서 주로 유영
 하였으나 조사일자인 6월 4일 일몰시간 오후 7시 39분을 전후로 유영수심의 폭이 넓어지
 고 유영수심도 6 m 전후로 깊어졌다.

야간의 유영수심은 8~10 m 수심층에서 주로 유영하였고, 해뜰녘은 6~8 m 수심에서 유
 영하다가 점차 표층으로 이동하여 오전 7시 경에는 3~4 m 수심으로 이동하였다.

주간의 경우는 거의 모든 개체가 표층으로 이동하여 수심 3 m 내외에서 유영하는 것
 이 관찰되었으며, 해뜰녘과 해질녘은 유영수심 폭이 매우 크고 유영수심이 점차적으로
 이 이동하는 것이 관찰되었다.

참다랑어는 가두리내에서 야간에는 저층, 주간에는 표층에서 주로 유영하는 것이 관찰
 되었으며, 일출, 일몰 시간 전후로 유영 수심층의 이동이 관찰되었다. 본 연구결과는 일
 본의 가두리내 참다랑어 유영수심 변화와 동일한 결과를 보였으며, 유영특성 결과를 토
 대로 한 참다랑어 사육 가두리 그물 깊이를 10 m 이상이 적절할 것으로 보고하였다.

또한 유영반경 특성 조사결과, 야간에는 가두리 중심부에서 적은 유영 반경을 보였으
 며, 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 1 m 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.

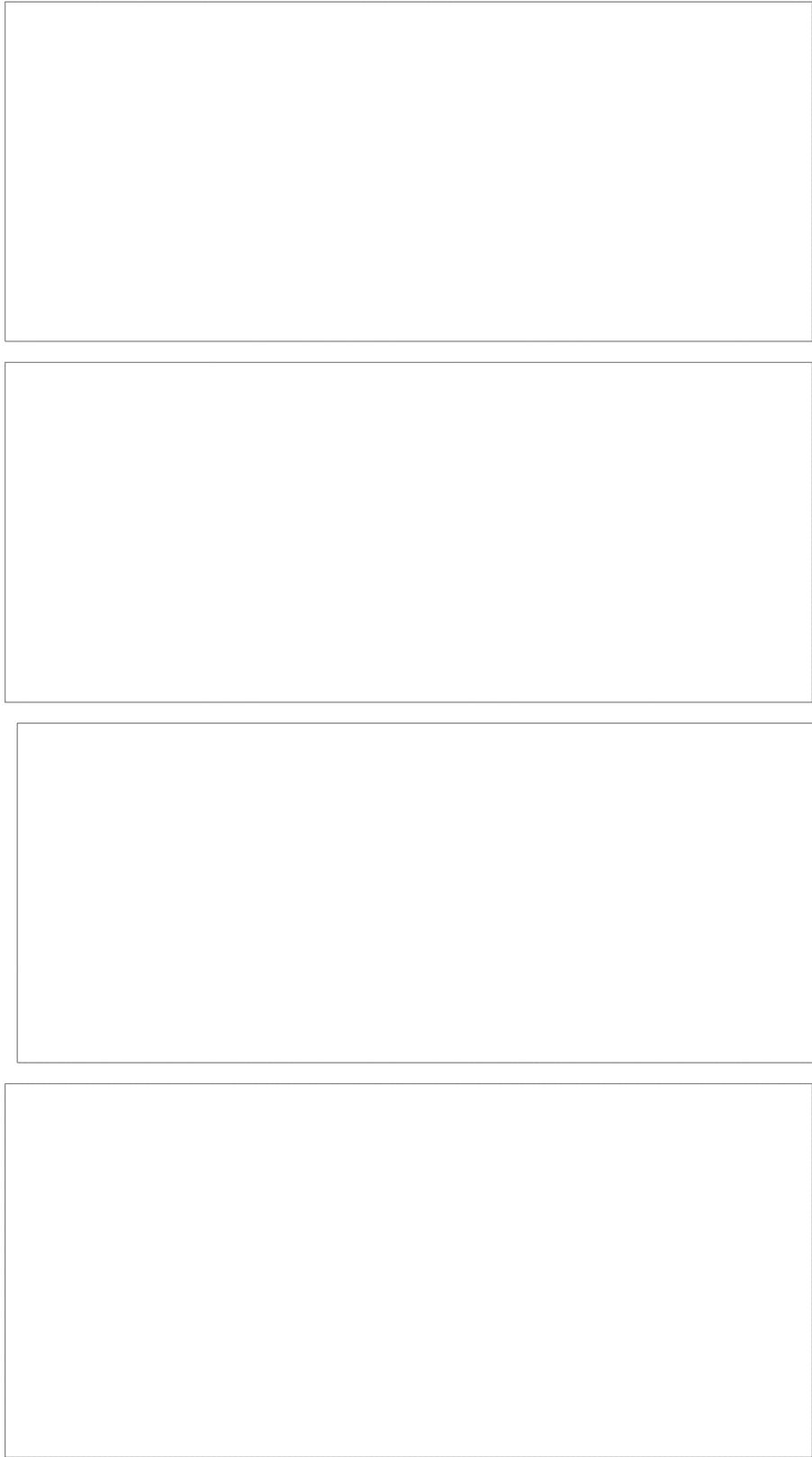
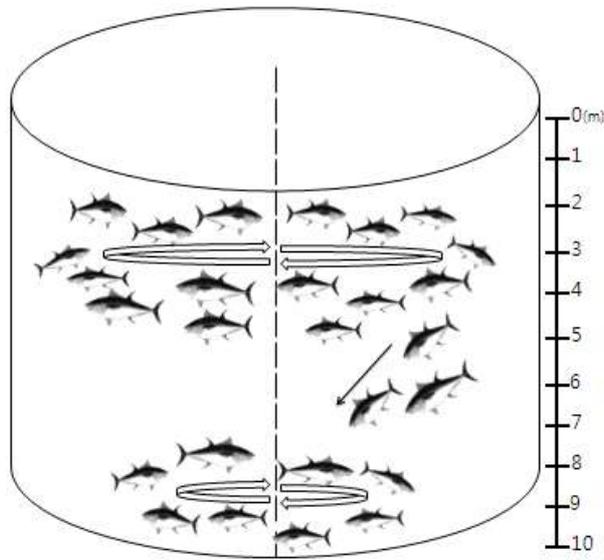
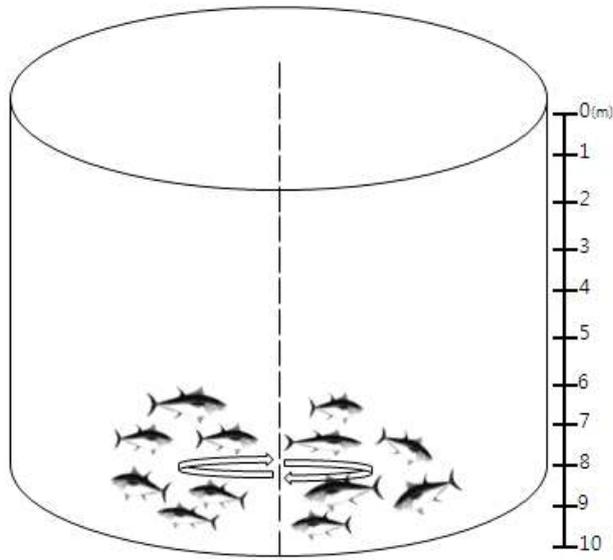


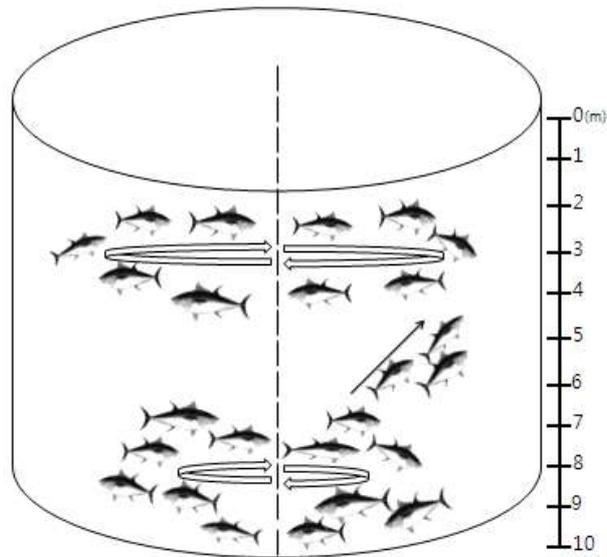
그림 118. 참다랑어의 시간대별 가두리내 유영수심 변화



(해질녘 17:00~20:00)



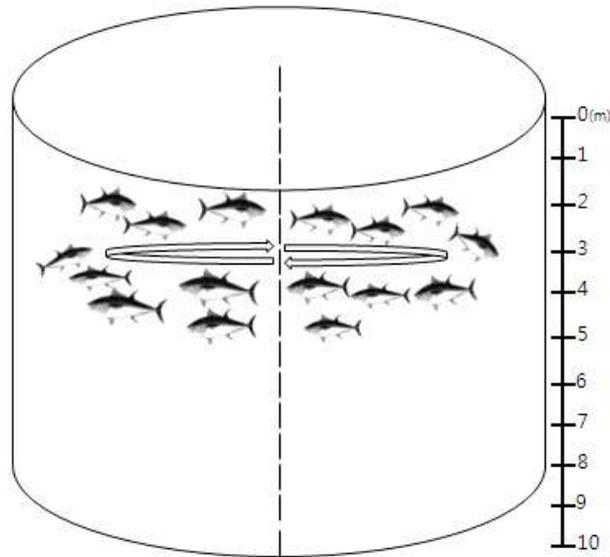
(야간 23:00~02:00)



(해뜰녘 04:00~07:00)

(주간 08:00~11:00)

그림 119. 참다랑어의 유영수심 이동과 유영반경 변화



마. 어체 영양축적 특성

(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 그림 62에 나타낸 것과 같이 등근육과 배근육으로 나누어 각 부위를 다시 3등분하여 각각의 부위에 대해 조지방 함량과 수은 함량을 분석하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 수은은 자동수은분석기를 이용하여 측정하였다.

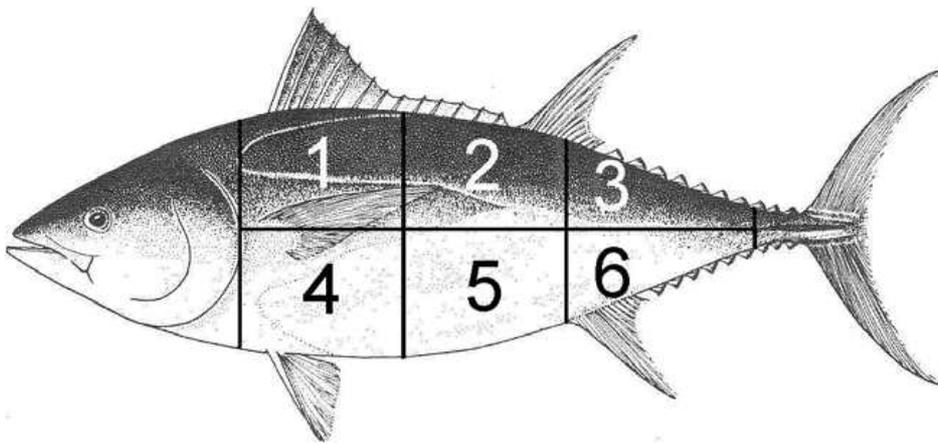


그림 120. 참다랑어 어체 지방, 수은 분석 부위

(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 꼬리부위 (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.

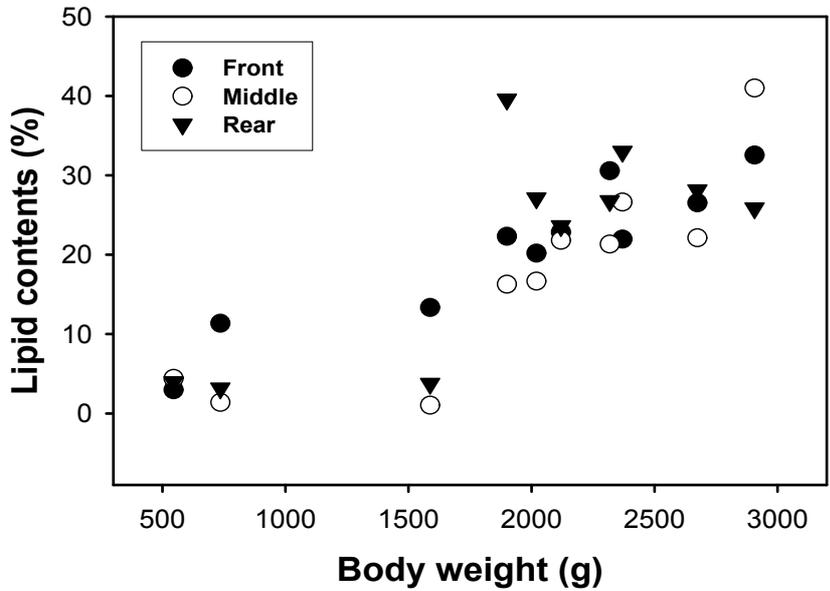


그림 121. 참다랑어 등근육의 조지방 함량 변화

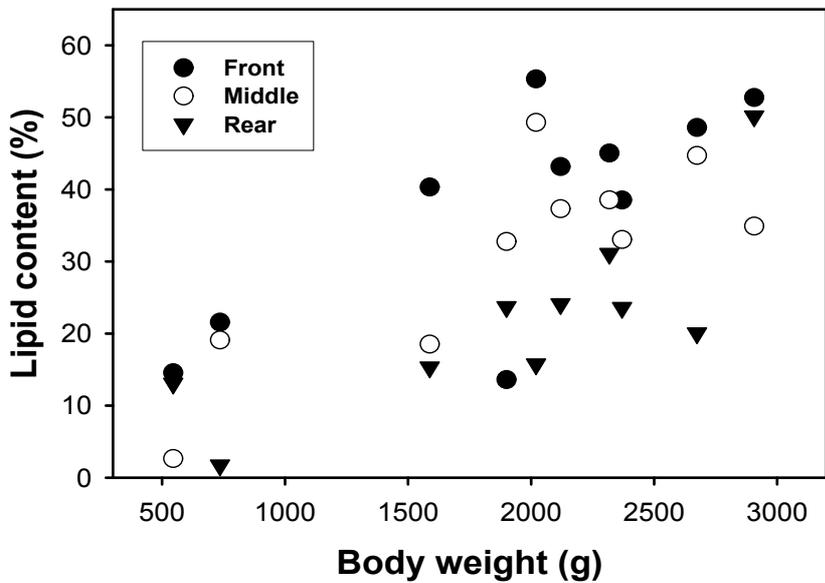


그림 122. 참다랑어 배근육의 조지방 함량 변화

(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 축적

은 보이지 않았다. 출하 크기의 양식산 참다랑어 수은 함량은 0.5 ppm으로 보고되고 있어 이후 출하 크기까지의 수은 축적에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 보인다.

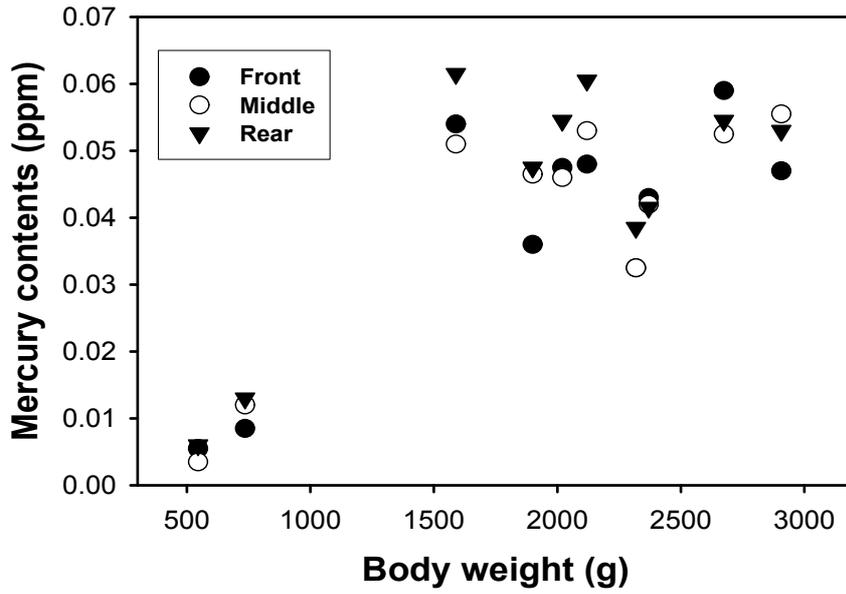


그림 123. 참다랑어 등근육 수은함량

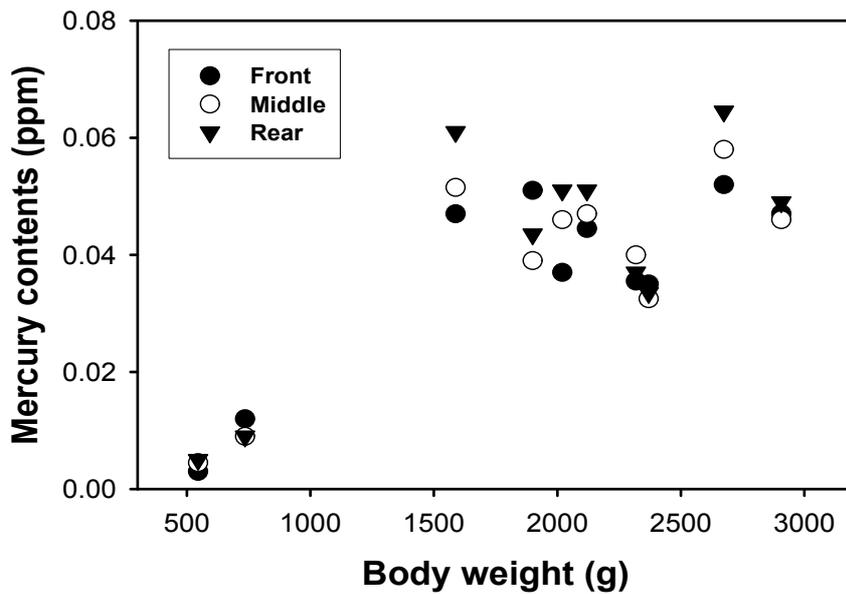


그림 124. 참다랑어 배근육 수은함량

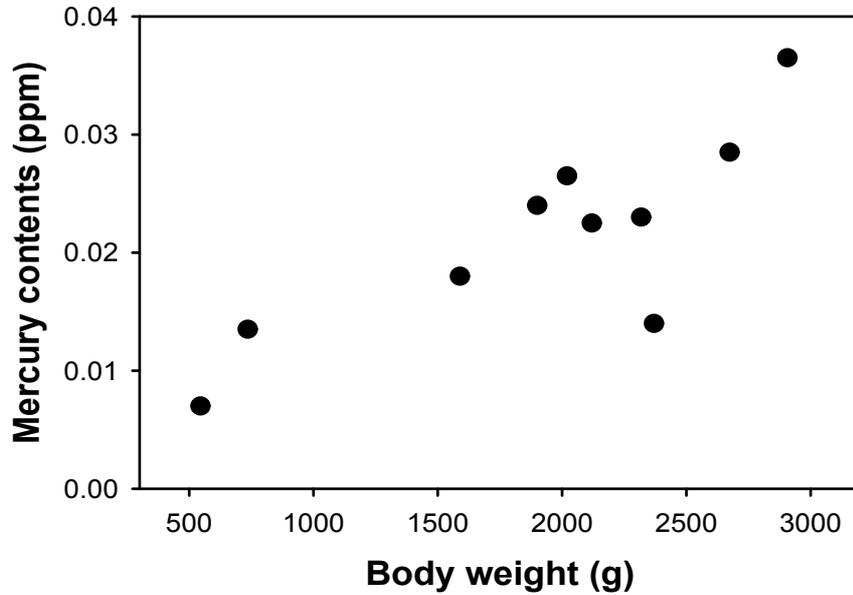


그림 125. 참다랑어 간 수은함량

바. 유전학적 특성

(1) 분석방법

(가) 대상생물 및 조직 적출

‘09년도 참다랑어 종묘 시험어업을 통해 어획된 참다랑어를 이용하여 이로부터 주요 조직을 직접 적출하여 유전자(원) 분리에 사용하였다. 또한 종계통분류학적 분석을 위하여 Genebank에 등록되어 있는 다랑어과 어종에 대한 유전자 염기서열을 이용하였다.

(나) 유전자(원) 분리

각 적출된 조직으로부터 전체 genomic DNA 및 total RNA는 각각 DNeasy Tissue kit (Quagen)과 Trizol solution (Sigma)를 이용하여 추출·분리하였다. 추출한 total RNA로부터 M-MLV RT synthesis kit (Promega)를 이용하여 cDNA를 제작하였고, 그 방법은 제조사의 매뉴얼에 따라 수행하였다.

(다) Primer 설계

대상종에 대한 분자생물 계통학적 분석을 위하여 DNA barcodes로 널리 사용되고 있는 주요 유전자 4개 (Cytochrome oxidase c subunit 1, Cytochrome B, 16S ribosomal RNA, 18S ribosomal RNA)와 생리조절 분자인 성장호르몬 유전자 1개 (Growth hormone, GH)를 선정하였다.

DNA barcode에 의한 생물분류법에서 널리 사용되고 있는 일반적인 염기서열을 기준으로 specific primer들을 제작하였고, 그 염기서열은 다음과 같다(표 70).

표 70. 실험에 사용한 Barcodes와 그 염기서열

name	primer sequence		exp. size
COI	forward	5'-GGT CAA ATC ATA AAG ATA TTG G-3'	~0.7kp
	reverse	5'-TAA ACT GGG TGA CCA AAA AAT CA-3'	
CytB	forward	5'-CAT TCC TCA TCC TTC TCG CCC TAA-3'	~1kb
	reverse	5'-TTA GCC TCC ACA TTT GCG TCC TT-3'	
16S rRNA	forward	5'-CGC CTG TTT ATC AAA AAC AT-3'	~0.6kb
	reverse	5'-CTC CGG TTT GAA CTC AGA TCA-3'	
18S rRNA	forward	5'-AAC CTG TTG ATC CTG CCA CTA G-3'	~1.9kb
	reverse	5'-GAT CCT TCC GCA GGT TCA CCT TAC-3'	
GH	forward	5'-ATG AAC AGA GTC ATC CTC CTG CTG TCA GTC-3'	<0.7kb
	reverse	5'-CTA CAG GGT GCA GTT AGC TTC TGG AAA GAG-3'	

(라) RT-PCR 및 형질전환

PCR 산물은 표준 PCR 수행과정 (precedure scheme)에 따라 Taq polymerase premix (TAKARA)을 이용하여 증폭하였으며, 얻어진 산물은 T&A Cloning kit (Real Biotech)에 삽입하고 대장균 (*E. coli* DH5a stain)에 형질전환 시켰다.

HiYield & plasmid miniprep kit (Real Biotech)를 이용하여 plasmid를 추출하고 이를 염기서열 분석에 사용하였다.

(마) DNA barcode 유전자의 염기서열 분석

목표 유전자의 염기서열 분석은 자동 염기서열 분석기 (Prism 3700 Genetic analyser, ABI)를 이용하여 5-말단과 3-말단 양방향으로 판독하였다. 또한 18S rRNA의 경우와 같이 PCR 산물의 예상크기가 1kb이상으로 판단되는 경우 DNA walking method에 따라 중간 염기서열을 기반으로 primer를 다시 제작하고 순차적 염기서열을 판독하였다.

(바) 유전자 다중배열 및 분자유전 계통수 작성

판독된 염기서열을 이용하여 ClustalW2 (standard condition)를 이용하여 multiple alignment를 실시하였고, 유전적인 거리는 Kimura's method에 따라 계산하였다. 이를 바탕으로 중간 유연관계를 규명하기 위하여 분자유전분류분석 (molecular phylogenetic analysis)은 MEGA v.4.0 과 MegAlign (Lasergene)을 이용하여 bootstrap value를 1000회 반복하고 Neighbor joining (NJ) method로 분석하여 계통수를 작성하였다.

(2) 연구 결과

(가) 참다랑어 분자계통 판별 유전자의 염기서열

염기서열의 분석결과에서 각각 Cytochrome c oxidase subunit I(COI)은 703bp, Cytochrome B(CytB)는 563bp, 16S ribosomal RNA(16S rRNA)는 619bp, 18S ribosomal RNA(18S rRNA)는 460bp로 부분적인 염기서열을 확보하였다.

성장호르몬 (GH) 유전자는 573bp로 구성되어 있으며 6 frame amino acid translation을 통하여 190aa의 단일 ORF를 가지는 것으로 판독되었다.

○ *DNA barcodes based mt DNA*

> **Cytochrome oxidase subunit 1 gene, partial sequence, 703bp**

```
GGTCAAATCATAAAGATATTGGCACCCCTCTATCTAGTATTTCGGTGCATGAGCTGGAATA
GTTGGCACGGCCTTAAGCTTGCTCATCCGAGCTGAACTAAGCCAACCAGGTGCCCTTCT
TGGGGACGACCAGATCTACAATGTAATCGTTACGGCCCATGCCTTCGTAATGATTTTCTT
TATAGTAATACCAATTATGATTGGAGGATTTGGAACTGACTTATTCCTCTAATGATCG
GAGCCCCCGACATGGCATTCCCACGAATGAACAACATGAGCTTCTGACTCCTTCCCCCT
TCTTTCCTTCTGCTCCTAGCTTCTTCAGGAGTTGAGGCTGGAGCCGGAACCGGTTGAACA
GTCTACCCTCCCCTTGCCGGCAACCTAGCCCACGCAGGGGCATCAGTTGACCTAACTAT
TTTCTCACTTCACTTAGCGGGGTTTCCTCAATTCTTGGGGCAATTA ACTTCATCACAAC
AATTATCAATATGAAACCTGCAGCTATTTCTCAGTATCAAACACCACTGTTTGTATGAG
CTGTACTAATTACAGCTGTTCTTCTCCTACTTTCCTTCCAGTCCTTGCCGCTGGTATTAC
AATGCTCCTTACAGACCGAAACCTAAATACAACCTTCTTCGACCCTGCAGGAGGGGGAG
ACCCAATCCTTTACCAACACCTATTCTGATTTTTTGGTCACCCAGTTTA
```

> **Cytochrome B gene, partial sequence, 563bp**

```
CATTCCTCATCCTTCTCGCCCTAACGAAACAGGTTCAAATAATCCAATCGGATTA AACTCAAATGC
AGATAAAATCTCATTCCACCATACTTCTCTTACAAAGACCTCCTTGGTTTCGTGATCCTGCTAGTA
GCACTCGCCTCTCTAGCACTATTCTCCCCTAACCTCCTAGGAGATCCAGACA ACTTCACCCCTGCCA
ACCAATGGTTACTCCACCTCACATTAACCTGAATGATATTTCTATTTGCATACGCAATTCTTCG
GTCCATTCAAACAAACTAGGAGGAGTACTAGCCCTCCTAGCCTCCATCCTTGTACTTATAGTAGTT
CCCTTCTGCACACTTCAAACAGCGAACTCTAACATTCCGACCAGTTTCCAATTCCTATTCTGAA
CCCTTATTGCAGACGTAGCCATTCTTACCTGAATCGGGGGTATGCCAGCAGAACAGCCCTTCATTA
TTATCGGCCAAGTAGCTTCCGTCCTCTACTTCTCCCTATTCCTTGT TTTCTTCCCACTTGCAGGCTGA
GCTGAGAACAAAATCCTTGGATGATCCT
```


> 16S ribosomal RNA gene, partial sequence, 619bp

CGCCTGTTTACCAAAAACATCGCCTCTTGCAAAAACAAAGAATAAGAGGTCCAGCCTGC
CCTGTGACTATATGTTTAAACGGCCGCGGTATTTTAAACCGTGCGAAGGTAGCGCAATCAC
TTGTCTTTTAAATGGAGACCTGTATGAATGGCATTACGAGGGCTTAACTGTCTCCTTTTT
CTAGTCAGTGAAATTGATCTCCCCGTGCAGAAGCGGGGATATAACCATAAGACGAGAA
GACCCTATGGAGCTTTAGACACCAAGGCATATCATGTCAAACACCCCTAAACAAAGGA
CTAAACCAAATGAATCATAACCCCATGTCTTTGGTTGGGGCGACCGCGGGGAAATAAA
AAACCCCCACGTGGAATGGGAGTACTACCTCCTACAACCAAGAGCTGCAGCTCTAAAA
AACAGAATATCTGACCAATAAGATCCGGCAACGCCGATCAACGGACCGAGTTACCCTA
GGGATAACAGCGCAATCCCCTTTTAGAGCCATATCGACAAGGGGGTTTACGACCTCGA
TGTTGGATCAGGACATCCTAATGGTGCAGCCGCTGTAAAGGGTTCGTTTGTCAACGAT
TAAAGTCCTACGTGATCTGAGTTCAGACCGGAG

○ *DNA barcodes based genomic DNA*

> 18S ribosomal RNA gene, partial sequence, 460bp

CGGTCCGCCGCGAGGCGAGCTACCGTCTGTCCCAGCCCCTGCCTATCGGCGCCCCCTCG
ATGCTCTTAACTGAGTGTCCCGCGGGGTCCGAAGCGTTTACTTTGAAAAAATTAGAGTG
TTCAAAGCAGGCCCGGTGCGCTGAATACCGCAGCTAGGAATAATGGAATAGGACTCCG
GTTCTATTTTGTGGGTTTTCTTTCTGAACTGGGGCCATGATTAAGAGGGACGGCCGGGG
GCATTCGTATTGTGCCGCTAGAGGTGAAATTCTTGACCGGCGCAAGACGGACGAAAG
CGAAAGCATTGCGCAAGAATGTTTTTCATTAATCAAGAACGAAAGTCGGAGGTTTCGAAG
ACGATCAGATACCGTCGTAGTTCCGACCATAAACGATGCCAACTAGCGATCCGGCGGC
GTTATTCCCATGACCCGCCGGGCAGCGTCCGGGAAACCAAAGTCTTTGGGT

○ *DNA barcodes based brain cDNA*

> Growth hormone mRNA, complete CDS gene, 573bp

ATGAACAGAGTCATCCTCCTGCTGTCAGTCATGTGTGTGGGCGTGCCTCTCAGCCAATCACAGAG
AACCAGCGCCTGTTCTCCATCGCTGTTGGTCGAGTTCAGTATCTTACCTGGTTGCTAAGAACTCT
TCAGTGACTTTGAGAACTACTACAGTTGGAGGATCAACGTCTTCTCAACAAAATCGCTTCAAAG
AATTTGTCATTAGATAATTTCTTGAGTCCGATCGACAAACACGAGACACAAGGCAGCTCAGTTC
AGAAGCTTTTATCGGTCTCTTATCGATTGATTGAGTCTTGGGAGTTTTTCAGTCGCTTCTGGTCCG
AAGTTTTGCTGTGAGGACCCAGGTTACATCCAACTGTCAGAACTGAAGATGGGTCTCCTGAAGCT
GATAGAGGCCAATCAGGATGGAGCAGGTGGATTCTCTGAGAGTTCGGTGCTCCAGCTCACGCCGT
ATGGAACTCTGAACTGTTGCGCTGCTTTAAGAAGGATATGCACAAGGTGGAGACGTACCTGACCG
TGCCAAATGCCGACTCTTCCAGAAGCTAACTGCACCCTGTAG

> IGF II candidate gene

GTTTCCGTAGCTGTGACCTCAACCTGTTGGAGACTGTGCCAAACCTGCCAAGTCAGAGA
 GGGACGTCCACCTCTCTACAGGTCATCCCCATGGTGCCACACTCAAACAGGATGTCCC
 AAGAAAGCATGTGTCCAAATATGAGGTGTGGCAGAGGAAGGCTGCTCAGCGGCTCCGG
 AGGGGCGTCCCGGCCATCCTCAGGGCCCGGAAGTTCCGGAGGCAGGCGGTGAAGATCA
 AGGCCAAGAGCAGGCGATGTTCCA

(나) 대상 유전자에 대한 다중염기배열

4개의 DNA barcode 유전자에 대한 염기서열 다중배열 결과를 살펴보면 다랑어속 내에 서 COI은 98%, CytB는 95%, 16S rRNA는 100% 로 높은 유사성을 나타내었다. 특히 18S rRNA의 결과에서는 *T. orientalis* 종과 100% 매우 높은 유사성을 나타내었다. 한편 성장 호르몬의 경우는 고등어와 100%의 유사성을 나타내었고 염기서열도 후반부에 42bp정도 길이가 짧게 확인되었다.

○ Multiple alignment of Cytochrome c Oxidase subunit 1 gene

Sequences producing significant alignments:

Accession	Description	Max score	Total score	Query coverage	E value	Max ident
gi 281428546 GU256522.1	Thunnus thynnus mitochondrion, complete genome	1300	1300	98%	0.0	99%
gi 32351881 AB097669.1	Thunnus thynnus thynnus mitochondrial DNA, complete genome	1300	1300	98%	0.0	99%
gi 33622385 AY302574.2	Thunnus thynnus thynnus mitochondrion, complete genome	1294	1294	98%	0.0	99%
gi 294847938 GU256528.1	Thunnus albacares mitochondrion, complete genome	1277	1277	98%	0.0	98%
gi 294847924 GU256523.1	Thunnus maccoyii mitochondrion, complete genome	1275	1275	98%	0.0	98%
gi 297593479 HM071005.1	Thunnus obesus cytochrome oxidase subunit I (COX I) gene, compl	1271	1271	98%	0.0	98%
gi 294847934 GU256525.1	Thunnus obesus mitochondrion, complete genome	1267	1267	98%	0.0	98%
gi 298162680 GU451771.1	Thunnus thynnus isolate JHL424 cytochrome oxidase subunit 1 (cox	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 298162678 GU451770.1	Thunnus thynnus isolate JHL423 cytochrome oxidase subunit 1 (cox	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 298162674 GU451768.1	Thunnus thynnus isolate JHL421 cytochrome oxidase subunit 1 (cox	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 298162672 GU451767.1	Thunnus thynnus isolate JHL420 cytochrome oxidase subunit 1 (cox	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 298162654 GU451758.1	Thunnus thynnus isolate JHL410 cytochrome oxidase subunit 1 (cox	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 290790502 GU799567.1	Thunnus obesus cytochrome c oxidase subunit I gene, complete cds	1260	1260	98%	0.0	98%
gi 255738926 FJ605806.1	Thunnus thynnus voucher JHL567 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738952 FJ605769.1	Thunnus thynnus voucher JHL530 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738942 FJ605764.1	Thunnus thynnus voucher JHL525 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738934 FJ605760.1	Thunnus thynnus voucher JHL521 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738932 FJ605759.1	Thunnus thynnus voucher JHL520 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738930 FJ605758.1	Thunnus thynnus voucher JHL519 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738928 FJ605757.1	Thunnus thynnus voucher JHL518 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738918 FJ605752.1	Thunnus thynnus voucher JHL513 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%
gi 255738914 FJ605750.1	Thunnus thynnus voucher JHL510 cytochrome oxidase subunit I (CC	1260	1260	93%	0.0	100%

○ Multiple alignment of Cytochrome B gene

Sequences producing significant alignments:

Accession	Description	Max score	Total score	Query coverage	E value
gi 281428546 GU256522.1	Thunnus thynnus mitochondrion, complete genome	1038	1038	95%	0.0
gi 154745075 EU036523.1	Thunnus thynnus voucher TunThy-EM-02 cytochrome b (cytb) gene.	1038	1038	95%	0.0
gi 125631289 EF141185.1	Thunnus thynnus cytochrome b (cytb) gene, complete cds; mitoch	1038	1038	95%	0.0
gi 71835163 DQ080270.1	Thunnus thynnus isolate ThuThy9m cytochrome b (Cytb) gene, part	1033	1033	95%	0.0
gi 71835157 DQ080267.1	Thunnus thynnus isolate ThuThyWM2 cytochrome b (Cytb) gene, pa	1033	1033	95%	0.0
gi 154745073 EU036522.1	Thunnus thynnus voucher TunThy-EM-01 cytochrome b (cytb) gene.	1033	1033	95%	0.0
gi 133924426 EF439609.1	Thunnus thynnus voucher BMVP/0963 cytochrome b (cytb) gene, cc	1033	1033	95%	0.0
gi 133924424 EF439608.1	Thunnus thynnus voucher BMVP/0962 cytochrome b (cytb) gene, cc	1033	1033	95%	0.0
gi 133923694 EF439243.1	Thunnus thynnus voucher MMF 35592 cytochrome b (cytb) gene, co	1033	1033	95%	0.0
gi 133923692 EF439242.1	Thunnus thynnus voucher MMF 35591 cytochrome b (cytb) gene, co	1033	1033	95%	0.0
gi 129561793 EF427612.1	Thunnus thynnus voucher BMVP/1185 cytochrome b (cytb) gene, cc	1033	1033	95%	0.0
gi 129561791 EF427611.1	Thunnus thynnus voucher BMVP/1184 cytochrome b (cytb) gene, cc	1033	1033	95%	0.0
gi 33622385 AY302574.2	Thunnus thynnus thynnus mitochondrion, complete genome	1033	1033	95%	0.0
gi 32351881 AB097669.1	Thunnus thynnus thynnus mitochondrial DNA, complete genome	1033	1033	95%	0.0
gi 550138 X81563.1	T.thynnus mitochondrial cyt b gene	1031	1031	95%	0.0
gi 71835161 DQ080269.1	Thunnus thynnus isolate ThuThy1CS cytochrome b (Cytb) gene, pa	1027	1027	95%	0.0
gi 71835159 DQ080268.1	Thunnus thynnus isolate ThuThyMA2 cytochrome b (Cytb) gene, pa	1025	1025	95%	0.0
gi 71835155 DQ080266.1	Thunnus thynnus isolate ThuThyWM1 cytochrome b (Cytb) gene, pa	1010	1010	95%	0.0
gi 125631285 EF141183.1	Thunnus maccoyii cytochrome b (cytb) gene, complete cds; mitoch	1010	1010	95%	0.0
gi 71835197 DQ080287.1	Thunnus albacares isolate ThuAlbCI2 cytochrome b (Cytb) gene, pa	1004	1004	95%	0.0

○ Multiple alignment of 16S ribosomal RNA gene

Sequences producing significant alignments:

Accession	Description	Max score	Total score	Query coverage	E value
gi 294847938 GU256528.1	Thunnus albacares mitochondrion, complete genome	1190	1190	100%	0.0
gi 294847934 GU256525.1	Thunnus obesus mitochondrion, complete genome	1190	1190	100%	0.0
gi 281428546 GU256522.1	Thunnus thynnus mitochondrion, complete genome	1190	1190	100%	0.0
gi 33622385 AY302574.2	Thunnus thynnus thynnus mitochondrion, complete genome	1185	1185	100%	0.0
gi 294847924 GU256523.1	Thunnus maccoyii mitochondrion, complete genome	1181	1181	100%	0.0
gi 281428574 GU256524.1	Thunnus orientalis mitochondrion, complete genome	1173	1173	100%	0.0
gi 284810419 GU325784.1	Thunnus tonqol 16S ribosomal RNA gene, complete sequence; mit	1173	1173	100%	0.0
gi 258445080 GQ461734.1	Thunnus obesus 16S ribosomal RNA gene, partial sequence; mitoch	1173	1173	100%	0.0
gi 115391860 AB185022.1	Thunnus orientalis mitochondrial DNA, complete genome	1173	1173	100%	0.0
gi 297593527 HM071029.1	Thunnus albacares 16S ribosomal RNA gene, partial sequence; mitc	1171	1171	99%	0.0
gi 32351881 AB097669.1	Thunnus thynnus thynnus mitochondrial DNA, complete genome	1169	1169	100%	0.0
gi 40645304 AB101291.1	Thunnus alalunqa mitochondrial DNA, complete genome	1158	1158	100%	0.0
gi 281428602 GU256526.1	Thunnus alalunqa mitochondrion, complete genome	1152	1152	100%	0.0
gi 296784635 HM048877.1	Thunnus albacares voucher AAAant-1 16S ribosomal RNA gene, par	1148	1148	97%	0.0
gi 27597252 AB099716.1	Euthynnus alletteratus mitochondrial DNA, complete genome	1133	1133	100%	0.0
gi 40714127 AB105165.1	Auxis rochei mitochondrial DNA, complete genome, haplotype:II Ec	1127	1127	100%	0.0
gi 40645773 AB103468.1	Auxis rochei mitochondrial DNA, complete genome, haplotype:II Me	1127	1127	100%	0.0
gi 40645759 AB103467.1	Auxis rochei mitochondrial DNA, complete genome, haplotype:I	1127	1127	100%	0.0
gi 281428616 GU256527.1	Katsuwonus pelamis mitochondrion, complete genome	1121	1121	100%	0.0
gi 40645290 AB101290.1	Katsuwonus pelamis mitochondrial DNA, complete genome	1115	1115	100%	0.0
gi 40714141 AB105447.1	Auxis thazard mitochondrial DNA, complete genome	1100	1100	100%	0.0

○ Multiple alignment of 18S ribosomal RNA gene

Sequences producing significant alignments:

Accession	Description	Max score	Total score	Query coverage	E value
gi 51537019 AY695887.1	Thunnus orientalis 18S ribosomal RNA gene, partial sequence	885	885	100%	0.0
gi 62898568 AB193747.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898567 AB193746.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898566 AB193745.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898565 AB193744.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898564 AB193743.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898563 AB193742.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898562 AB193741.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898561 AB193740.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898560 AB193739.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898559 AB193738.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898558 AB193737.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898557 AB193736.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898556 AB193735.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898555 AB193734.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898554 AB193733.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898553 AB193732.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898552 AB193731.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898551 AB193730.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0
gi 62898550 AB193729.1	Auxis rochei genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA	885	885	100%	0.0

○ Multiple alignment of Growth hormone gene

Sequences producing significant alignments:

Accession	Description	Max score	Total score	Query coverage	E value	Max ident
gi 64229 X15055.1	Flounder (Paralichthys olivaceus) mRNA for growth hormone precursor	1102	1102	100%	0.0	100%
gi 213511 M23439.1	Flounder growth hormone (fGH) mRNA, complete cds	1102	1102	100%	0.0	100%
gi 268376534 GU138643.1	Scomber japonicus growth hormone (GH) mRNA, complete cds	1096	1096	100%	0.0	99%
gi 268376536 GU138644.1	Epinephelus bruneus growth hormone (GH) mRNA, complete cds	1090	1090	100%	0.0	99%
gi 64225 X12887.1	Flounder mRNA fragment for growth hormone	1073	1073	97%	0.0	100%
gi 70959161 DQ112550.1	Paralichthys orbignyanus growth hormone precursor, mRNA, complete cds	962	962	99%	0.0	95%
gi 116248455 DQ992535.1	Paralichthys lethostigma growth hormone precursor, mRNA, complete cds	950	950	99%	0.0	95%
gi 116247548 DQ990918.1	Paralichthys lethostigma growth hormone precursor, mRNA, complete cds	950	950	99%	0.0	95%
gi 71845247 DQ136189.1	Paralichthys dentatus growth hormone precursor, mRNA, partial cds	871	871	91%	0.0	95%
gi 74486674 DQ174440.1	Pleuronichthys cornutus growth hormone mRNA, partial cds	706	706	91%	0.0	90%
gi 74486670 DQ174438.1	Cynoqlossus robustus growth hormone mRNA, partial cds	696	696	76%	0.0	94%
gi 262091423 GU004257.1	Platichthys stellatus growth hormone (GH) mRNA, complete cds	694	878	100%	0.0	96%
gi 74486676 DQ174441.1	Zebrias zebra growth hormone mRNA, partial cds	685	685	76%	0.0	93%
gi 3643153 AF086787.1	Verasper variegatus growth hormone precursor (GH) mRNA, complete cds	667	849	100%	0.0	96%
gi 22128353 AB079553.1	Hippoglossus hippoglossus GH mRNA for growth hormone, partial cds	623	806	95%	3e-175	96%
gi 74486668 DQ174437.1	Limanda yokohamae growth hormone mRNA, partial cds	614	791	91%	3e-172	95%
gi 74486672 DQ174439.1	Platichthys bicoloratus growth hormone mRNA, partial cds	602	780	91%	7e-169	95%
gi 74486666 DQ174436.1	Cleisthenes herzensteini growth hormone mRNA, partial cds	483	589	76%	6e-133	91%
gi 1877037 D29737.1	Paralichthys olivaceus gene for growth hormone, complete cds	279	1112	98%	1e-71	100%
gi 149363852 EF467362.1	Scophthalmus maximus growth hormone precursor, mRNA, complete cds	275	275	97%	2e-70	75%
gi 61104878 AY837466.1	Scophthalmus maximus growth hormone mRNA, complete cds	264	264	97%	5e-67	75%

(다) 성장호르몬 유전자에 대한 구조 분석

참다랑어의 GH gene에 대한 구조 기능적 분석 결과를 살펴보면, 성장호르몬 유전자는 190개의 아미노산을 암호화하는 유전자로 생체내에서 생합성된 성장호르몬은 17bp의 신호 아미노산 염기서열(MNRVILLSVMC VGVSS QPI)를 가지고 있는 세포외액성 분비단백질로 확인되었다.

GH의 전체 분자량은 약 21.45283kDa이며, 등전점 (PI)은 8.26 이고, Phosphorylation sites는 Serine 5개, Threonine 2개, Tyrosine 1개를 보유하고 있는 것으로 확인되었다. 더욱이 자바리 GH gene은 S²⁸(0.686), S⁴⁶(0.970), S⁷⁶(0.979), S⁹⁵(0.788), S¹⁰¹(0.659), T¹²⁰(0.838), T¹⁵³(0.664) residue site에서 O-beta-GluNAc 결합을 유도하고, 5개의 시스테인 (Cys) 아미노산 잔기를 보유하는 전형적인 호르몬 유전자임을 재확인하였다.

한편, Insulin-like growth factor II candidate gene은 참다랑어에서 보고된 바가 없어 그 변이가 매우 다양할 것으로 여겨지며, 현재 일부 판독된 염기서열을 기초하여 분석한 결과 경골어류의 IGF II 와 높은 유연관계를 나타내고 있어 후보유전자로 지정하고자 한다.

> Electrophoretic patterns

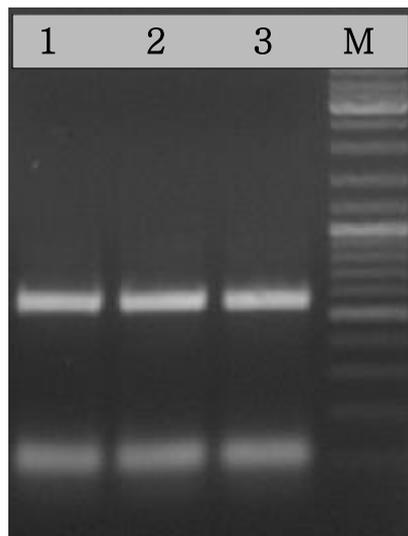


그림 126. Tuna GH expression pattern

Lane 1~3: Tuna GH, M: marker

> Open Reading Frame

MNRVILLLSVMCVGVSSQPITENQRLFSIAVGRVQYLHLVAKKLFSDFENSLQLEDQRLLNK
IASKEFCHSDNFLSPIDKHETQGSSVQKLLSVSYRLIESWEFFSRFLVASFAVRTQVTSKLSEL
KMGLLKLIEANQDGAGGFSESSVLQLTPYGNSELFACFKKDMHKVETYLTVAKCRLFPEAN
CTL*

> Six frame amino acid sequence translation

>/tmp/outseq.input.2880 [Unknown form], frame+3, 190 bases, E5B checksum.

EQSHPPAVSHVCGRVLSANHREPAPVLHRCWSSSVSSPGC*ETLQ*L*ELTTVGGSTSSQQN
RFKRILSFR*FLESDRQTRDTRQLSSEAFIGLLSID*VLGVFQSLPGRKFCCEDPGYIQTVRTED
GSPEADRGQSGWSRWIL*EFGAPAHAVWKL*TVRLL*EGYAQGGDVPDRGQMPTLSRS*LH
PV

>/tmp/outseq.input.2880 [Unknown form], frame+2, 190 bases, F0 checksum.

*TESSCCQSCVWACPLSQSQRTSACSPSLLVEFSIFTWLLRNSSVTLRTHYSWRINVFSTKSL
QKNFVIQIIS*VRSTNTRHKAQAQFRSFYRSLID*LSPGSFSVASWSQVLL*GPRLHPNCQN*RW
VS*S**RPIRMEQVDSLVRCSRRMETLNCSPALRRICTRWRRT*PWPNADSFQKLTAPC

>/tmp/outseq.input.2880 [Unknown form], frame+1, 191 bases, AF8 checksum.

MNRVILLLSVMCVGVSSQPITENQRLFSIAVGRVQYLHLVAKKLFSDFENSLQLEDQRLLNK
IASKEFCHSDNFLSPIDKHETQGSSVQKLLSVSYRLIESWEFFSRFLVASFAVRTQVTSKLSEL
KMGLLKLIEANQDGAGGFSESSVLQLTPYGNSELFACFKKDMHKVETYLTVAKCRLFPEAN
CTL*

>/tmp/outseq.input.2880 [Unknown form], frame-1, 191 bases, 1793 checksum.

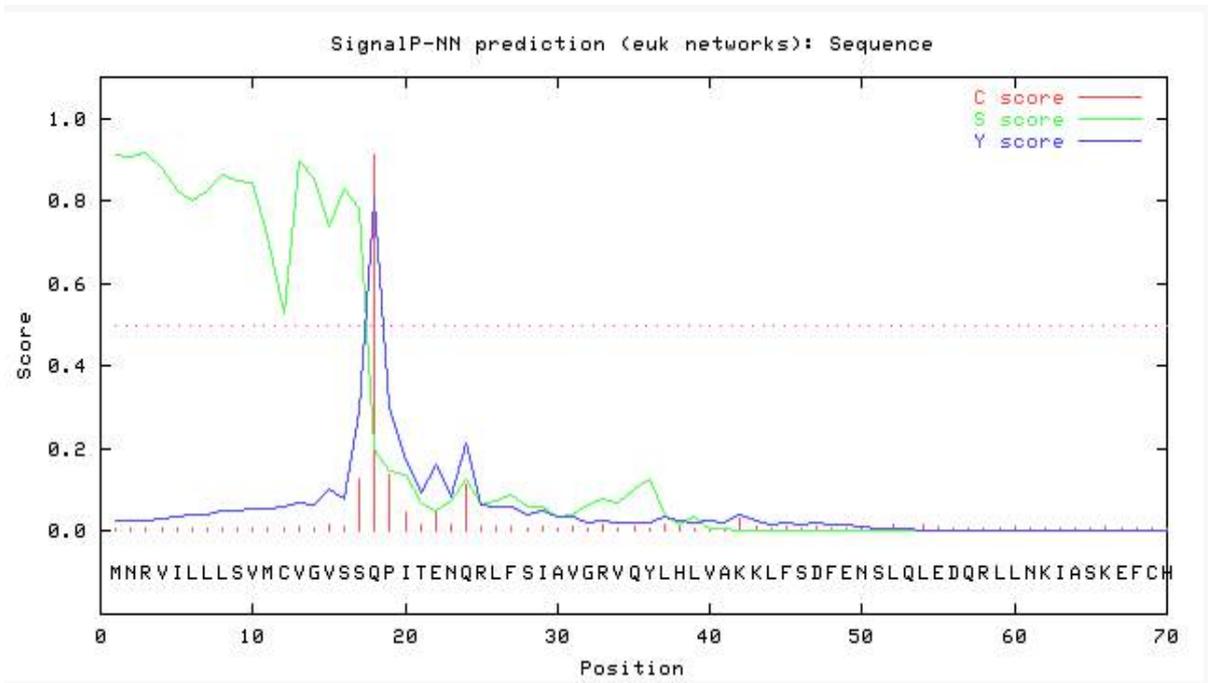
LQGAVSFWKESAFGHGQVRLHLVHILLKAGEQFRVSIRRELEHRTLRESTCSILIGLYQLQET
HLQF*QFGCNLPHSKTCDQEATEKLPGLNQSIRDR*KLLN*AALCLVFVDRTQEII*MTKFF
*SDFVEKTLILQL**VLKVTEEFLSNQVKILNSTNSDGEQALVLCDWLRGHAHTHD*QQEDD
SVH

>/tmp/outseq.input.2880 [Unknown form], frame-2, 190 bases, 408 checksum.

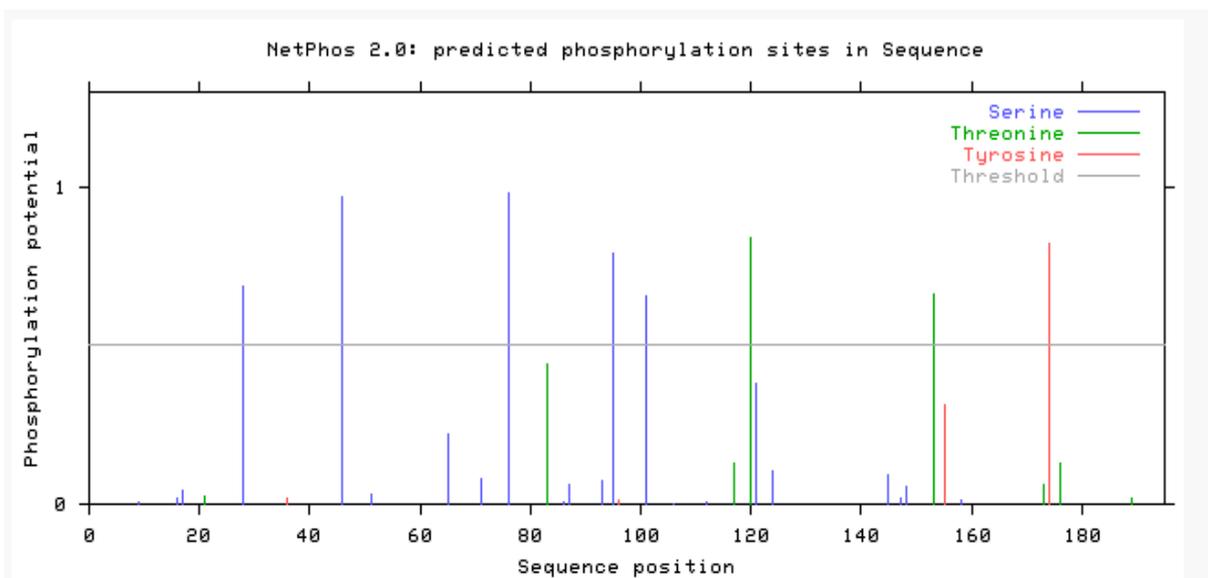
YRVQLASGKSRHLATVRYVSTLCISFLKQANSSEFPYGVSWSTELSENPPAPS*LASISFRRPI
FSSDSLDTWVLTAKLATRKRLKNSQDSINR*ETDKSF*TELPCVSCLSIGLKKLSE*QNSFE
AILLRRR*SSNCSEFSKSLKSFLATR*RY*TRPTAMENRRWFSVIG*EDTPHMTDSRRMTLF

>/tmp/outseq.input.2880 [Unknown form], frame-3, 190 bases, 24EF checksum.

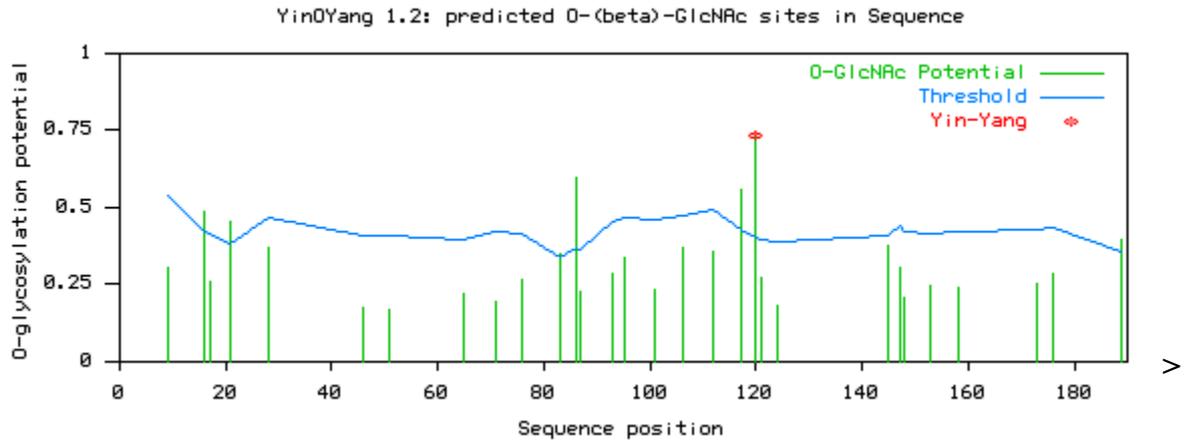
TGCS*LLERVGIWPRSGTSPPCAYPS*SRRTVQSFHTA*AGAPNSQRIHLLHPDWPLSASGDP
SSVLTVWM*PGSSQQNLRPGSD*KTPRTQSIDKRPIKASELSCLVSRVCRSDSRNYLNDKILL
KRFC*EDVDPPTVSSQSH*RVS*QPGEDTELDQQRWRTGAGSL*LAERTRPHT*LTAGG*L
CS



> Signal peptide cleavage prediction



> phosphorylation site prediction



O-(beta)-GlcNAc site prediction

> Insulin-like growth factor II candidate gene

Sequences producing significant alignments:

Accession	Description	Max score	Total score	Query coverage	E value	Max ident
NM_001123647.1	Salmo salar insulin-like growth factor II (LOC100136550), mRNA >c	416	416	100%	4e-113	92%
EZ764266.1	TSA: Oncorhynchus mykiss 932.Onmycontiq mRNA sequence	394	394	100%	1e-106	90%
NM_001124697.1	Oncorhynchus mykiss insulin-like growth factor II (iqf2), mRNA >qt	394	394	100%	1e-106	90%
AY049955.1	Salmo salar insulin-like growth factor II (IGF-II) mRNA, partial cds	352	352	89%	4e-94	90%
AB362310.1	Paqrus auriga iqfII mRNA for preproinsulin-growth factor II, comple	293	293	100%	3e-76	82%
DQ414523.1	Dentex dentex insulin-like growth factor-II mRNA, partial cds	288	288	97%	1e-74	82%
AB362312.2	Diplodus sargus iqfII mRNA for preproinsulin-growth factor II, comp	284	284	100%	2e-73	81%
EF563836.1	Sparus aurata insulin-like growth factor II (IGF-II) mRNA, complete	284	284	100%	2e-73	81%
AY996778.1	Sparus aurata insulin-like growth factor 2 mRNA, complete cds	284	284	100%	2e-73	81%
AY694417.1	Synthetic construct clone SCRI408 SCRI408 (AVGEII) gene, comple	280	280	100%	2e-72	81%
AY941255.1	Umbrina cirrosa insulin-like growth factor II mRNA, partial cds	280	280	100%	2e-72	81%
AF282621.1	Synthetic construct IGFII-GFP fusion protein (GNQI517) mRNA, corr	280	280	100%	2e-72	81%
AF267910.1	Synthetic construct 48 kDa IGF-II fusion protein (fIIIGFII-EGFP) qeni	280	280	100%	2e-72	81%
AF225573.1	Synthetic construct SooQI-507GFP fusion protein (fIIIGFII-EGFP) mR	280	280	100%	2e-72	81%
AF091454.1	Paralichthys olivaceus preproinsulin-like growth factor II (IGF) mRN	280	280	100%	2e-72	81%

(라) NJ method를 이용한 유전자들의 분자계통수

5개 유전자에 대한 분자계통유전학적 분석 결과, 북방참다랑어와 북태평양 참다랑어종과 100%의 유사도를 나타내어 높은 유연관계를 나타내었다.

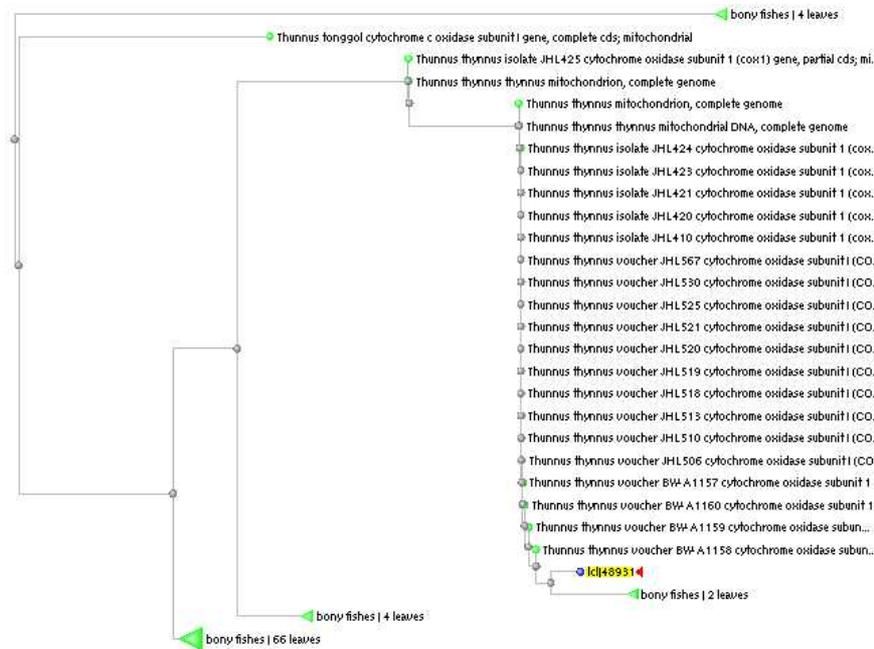
참다랑어의 GH gene의 multiple sequence alignment와 phylogenetic analysis 결과를 비교하여 보면, 참치에 대한 GH gene에 대한 염기서열이 대부분 보고되지 않아 정확히 알 수 없으나, GH gene은 *S. japonicus*와 *P. olivaceus* 종과 높은 유연관계(98%<)가 있는 것으로 확인되었다.

이에 제주에서 어획된 종은 북태평양 지역에 서식하는 종으로 판단된다. 따라서 본 연구에 사용한 5개의 유전자는 동북아시아에 주로 서식하는 참다랑어을 판별하는 대표적인 표지유전자로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

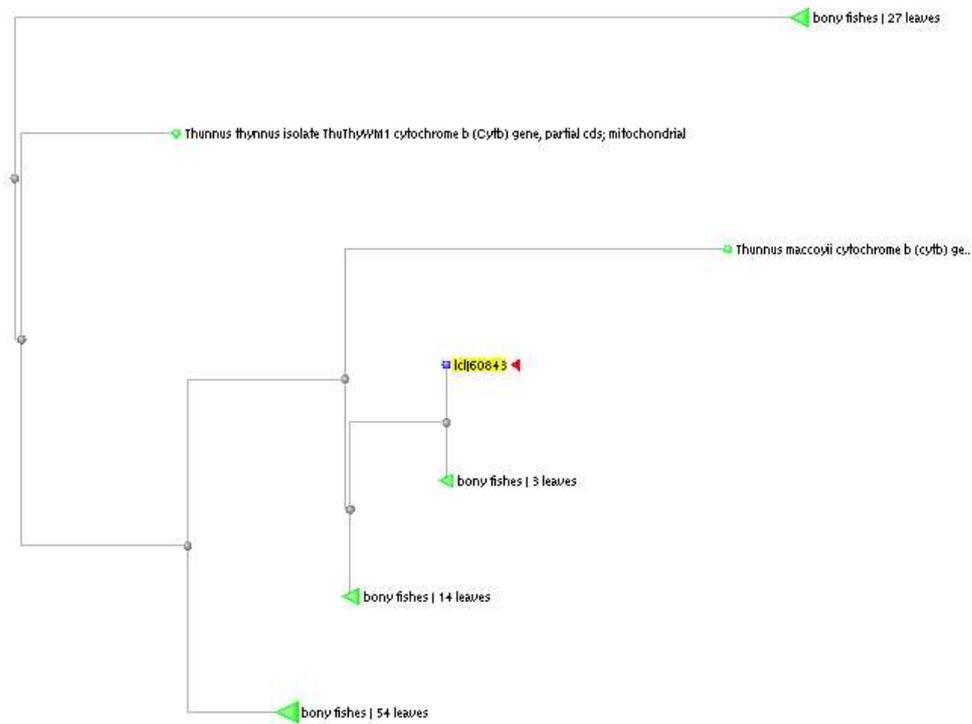
추후 보다 정밀한 연구를 위하여 국내에서 육성되고 있는 양식 참다랑어종의 유전자원에서 DNA barcode 유전자들과 semi-barcode인 GH gene 등의 추가적인 조사가 필요하다.

더욱이 인접국가인 일본을 비롯하여 중국 남동해, 중국 남해, 대만해 등에 서식하는 북태평양종과 근연종으로 알려진 북방참다랑어종에 대한 병행조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

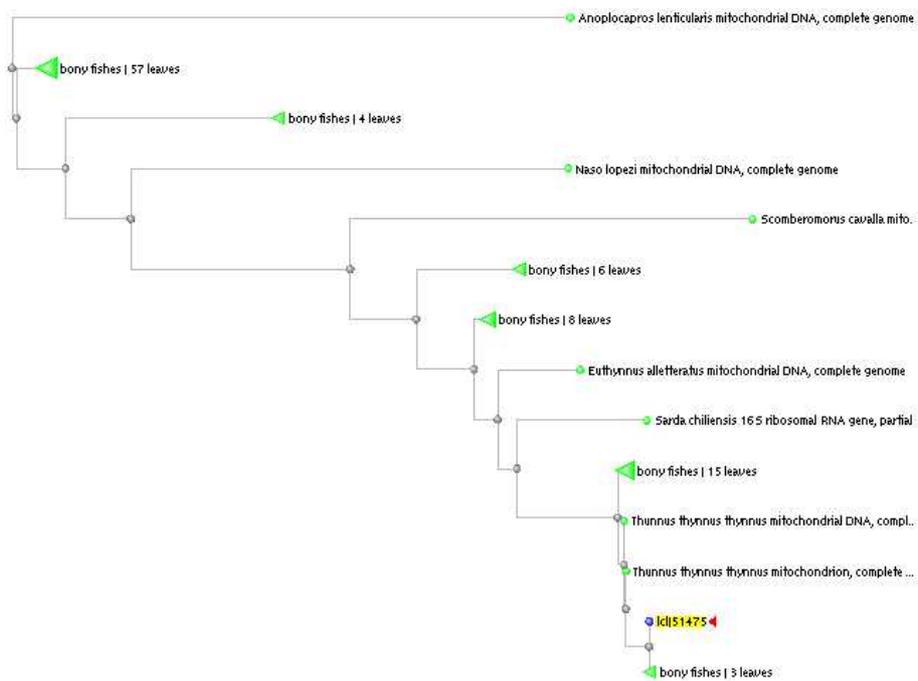
1) phylogenetic tree of Cytochrome c Oxidase subunit 1 gene



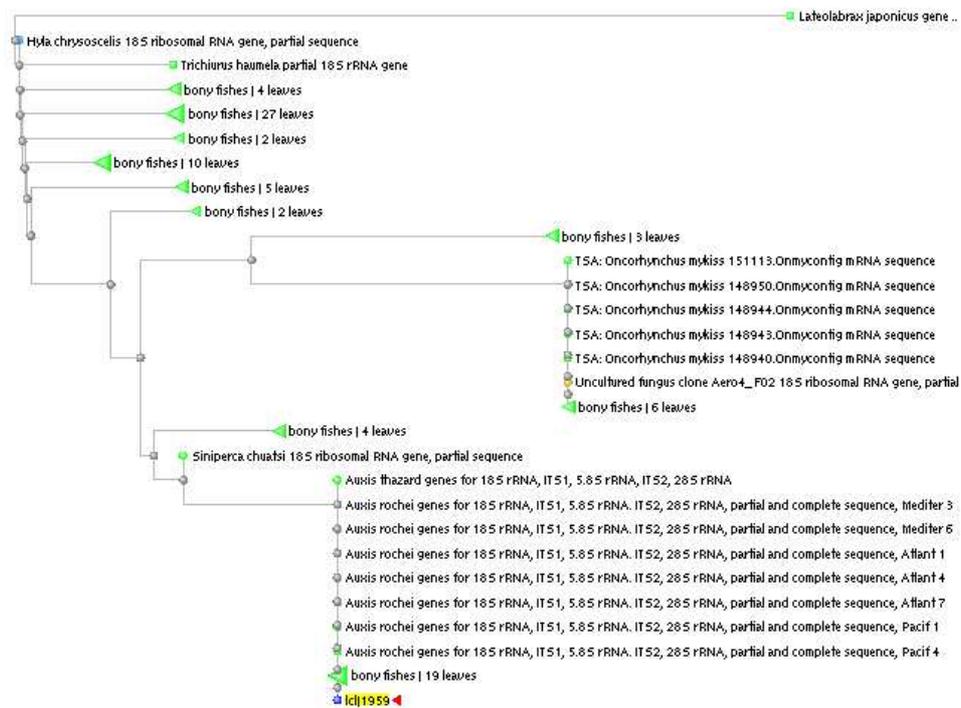
2) phylogenetic tree of Cytochrome B gene



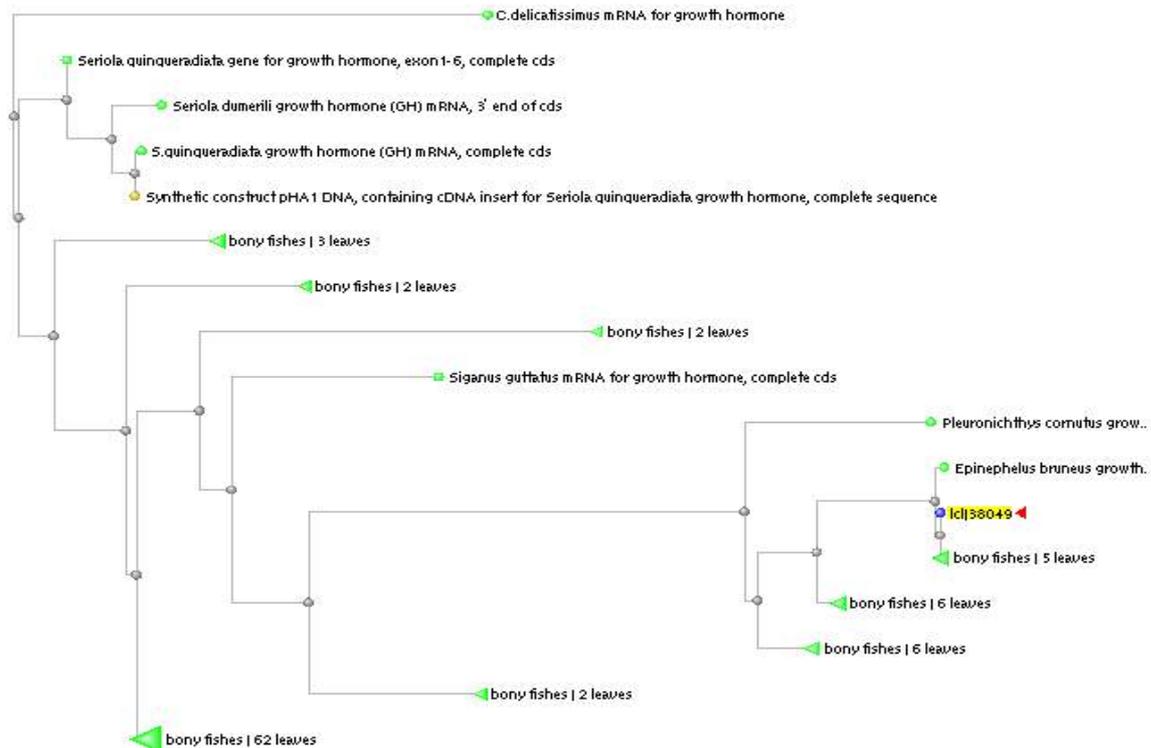
3) phylogenetic tree of 16S rRNA gene



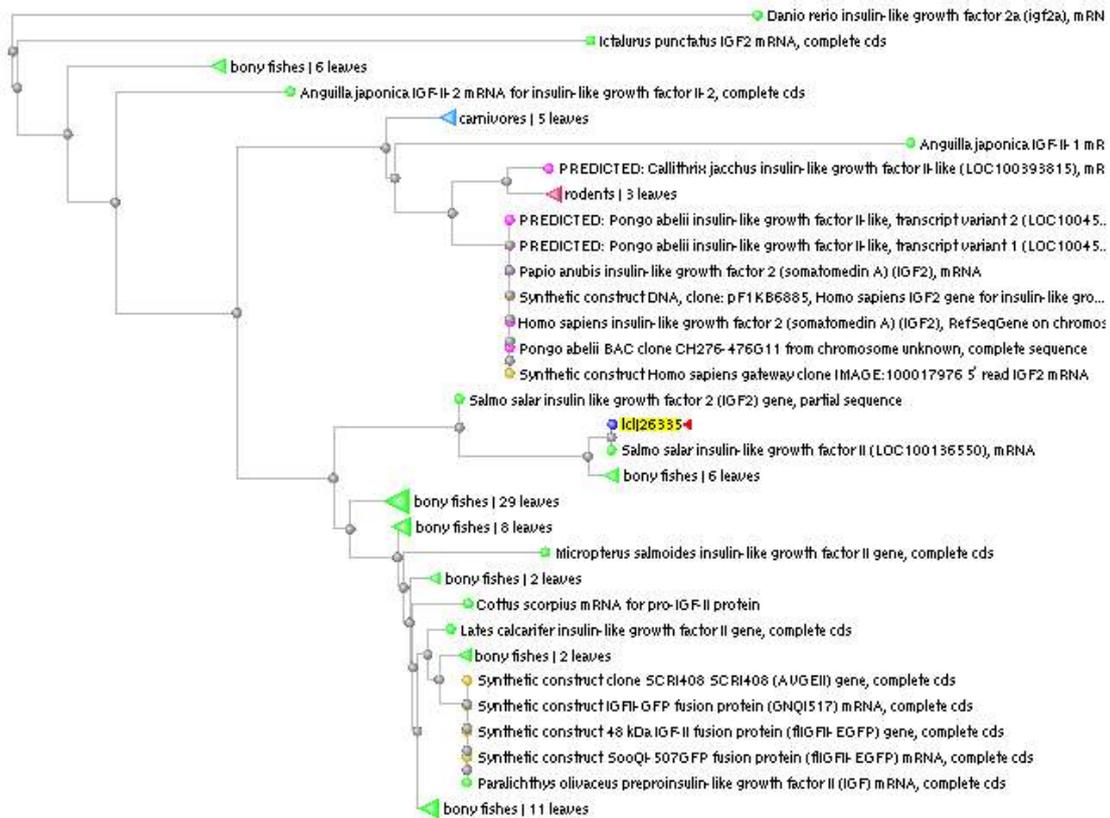
4) phylogenetic tree of 18S rRNA gene



5) phylogenetic tree of GH gene



6) IGF II candidate gene



7. 참치양식장 어장환경 영향 분석

가. 외해가두리 어장환경 평가

(1) 방법

외해가두리 수질환경 조사를 위해 유기물질 및 영양염류 중심으로 분석하였다. 시료는 어류를 양식하고 정상적으로 먹이공급이 되고 있는 가두리를 중심으로 조류 방향으로 0, 100, 200, 500 m 지점과 북쪽 육지방향으로 100, 200 m 지점에서 채수하였다. 또한 각 수층별 수질환경을 조사하기 위해 각 정점별로 표층, 중층, 저층의 시료를 채취하여 비교분석하였다.

(2) 분석결과

(가) 유기물질

COD의 농도는 표층에서 0.18~0.66 mg/l (0.35±0.19 mg/l)이며, 저층에서 0.25~0.64 mg/l (0.35±0.15 mg/l)로 수층별 차이를 보이지 않았다. 조사정점별 차이를 보면 가두리 정

점에서는 낮은 농도를 보이고 있지만 가두리로부터 100m 떨어진 E100 지점에서는 표층에서 가장 높은 농도를 보였으며, 200m 떨어진 E200 지점에서는 중층 및 저층에서 높은 농도를 나타냈다. 하지만 500m 떨어진 E500 지점에서는 표층을 제외한 나머지 수심에서는 가두리 정점과 비슷한 농도 분포를 보였다. 이는 사료의 공급에 의해 가두리로부터 이격거리 100m 까지는 잔류 사료가 부상하여 표층의 농도를 증가시키고 이후 200m 지점에서는 이렇게 잔류한 사료가 침강함으로 인해 중, 저층의 농도를 높이는 것으로 사료되며 500m 지점까지는 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

또한 북쪽으로 100m, 200m 떨어진 N100과 N200에서는 가두리 지점과 유사한 값을 보이고 있어 유속방향이 주로 남북이 아닌 동서방향으로 향하고 있는 것과 관련을 가지고 있음을 알 수 있었다.

Chl.a의 농도는 표층에서 0.45~0.56 ug/l (0.51±0.04 ug/l)이며, 저층에서 0.44~0.60 ug/l (0.50±0.05 ug/l)로 수층별 차이를 보이지 않았다. 조사정점별 차이를 보면 가두리 정점과 기타 다른 지역의 농도가 큰 차이는 없지만, E100 지점의 중층과 E200 지점의 전층에서 다소 높은 경향을 보이고 있다. 이는 영양염의 농도와 상관성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

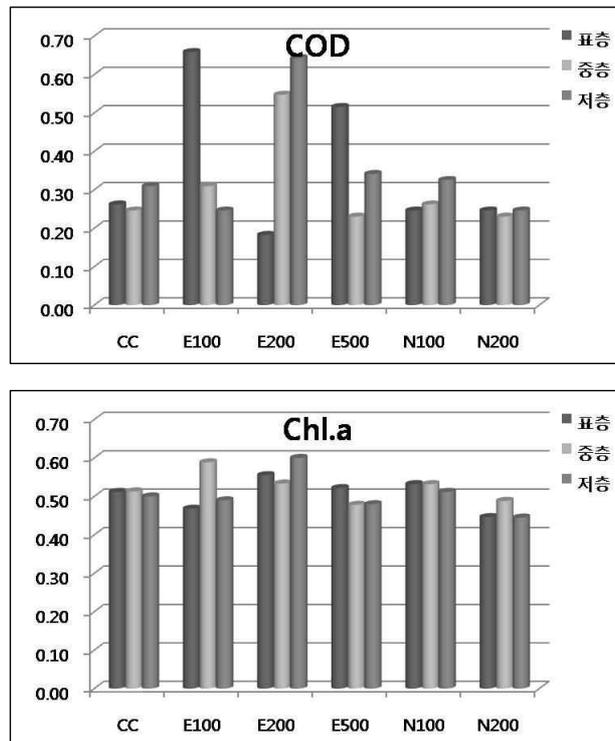


그림 127. 가두리 양식장의 층별 COD 및 Chl. a 분포

(나) 영양염류

NH₄⁺-N 농도는 표층에서 0.005~0.015 mg/l (0.009±0.004 mg/l)이며, 저층에서 0.007~0.011 mg/l (0.009±0.002 mg/l)로 평균값은 차이가 없었다. 하지만 표층에서는 가두리 지점에서 가장 높은 농도를 보이다 가두리로부터 멀어질수록 농도는 감소하는 경향을 보이고, 중층에서는 거리가 멀어질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 사료 공급시 초기에 잔류사료가 부상하여 표층에서 암모니아 질소로 분해되어 가두리 지점에서 높은 농도를 보이다 가두리로부터 멀어질수록 그 농도가 감소하고 중층에서는 직접적으로 투입된 사료는 해류에 의해 가두리로부터 멀리 떨어진 곳으로 이송되고 이송되는 중간에 집중적으로 분해가 진행됨으로 인해 가두리로부터 200m 떨어진 지점에서 높은 값을 보이는 것으로 판단된다.

NO₃⁻-N 농도는 표층에서 0.051~0.067 mg/l (0.059±0.005 mg/l)이며, 저층에서 0.053~0.065 mg/l (0.059±0.004 mg/l)로 평균값은 차이가 없었다. 또한 정점별 차이를 보면 가두리 정점에서 높은 값을 보이고 이격거리가 멀어질수록 감소하는 경향을 나타내었다.

DIN(NH₄⁺+NO₂⁻+NO₃⁻) 농도는 표층에서 0.067~0.088 mg/l (0.079±0.008 mg/l)이며, 저층에서 0.071~0.086 mg/l (0.079±0.005 mg/l)로 평균값은 차이를 보이지 않았다. 조사정점별 가두리 주변에서 높은 농도를 보이고 거리가 멀어질수록 감소하는 경향을 보이고 있으나 암모니아 질소의 영향으로 E200 지점의 중층에서 가장 높은 농도를 나타내었다.

DIP 농도는 표층에서 0.007~0.011 mg/l (0.008±0.002 mg/l)이며, 저층에서 0.008~0.011 mg/l (0.009±0.001 mg/l)로 평균값은 차이를 보이지 않았다. 하지만 표층에서는 E100 지점에서 가장 높은 농도를 보이다 E200 지점에서 감소하는 경향을 보이고 중층에서는 가두리 지점에서 가장 높은 농도를 보이고 있으며 저층에서는 큰 변화를 보이지 않았다.

이처럼 용존 영양염의 경우 이류 및 확산이 용이해 공급된 사료와 같은 유기영양염 성분이 무기화되면서 가두리 양식장으로부터 멀리 떨어진 곳까지 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

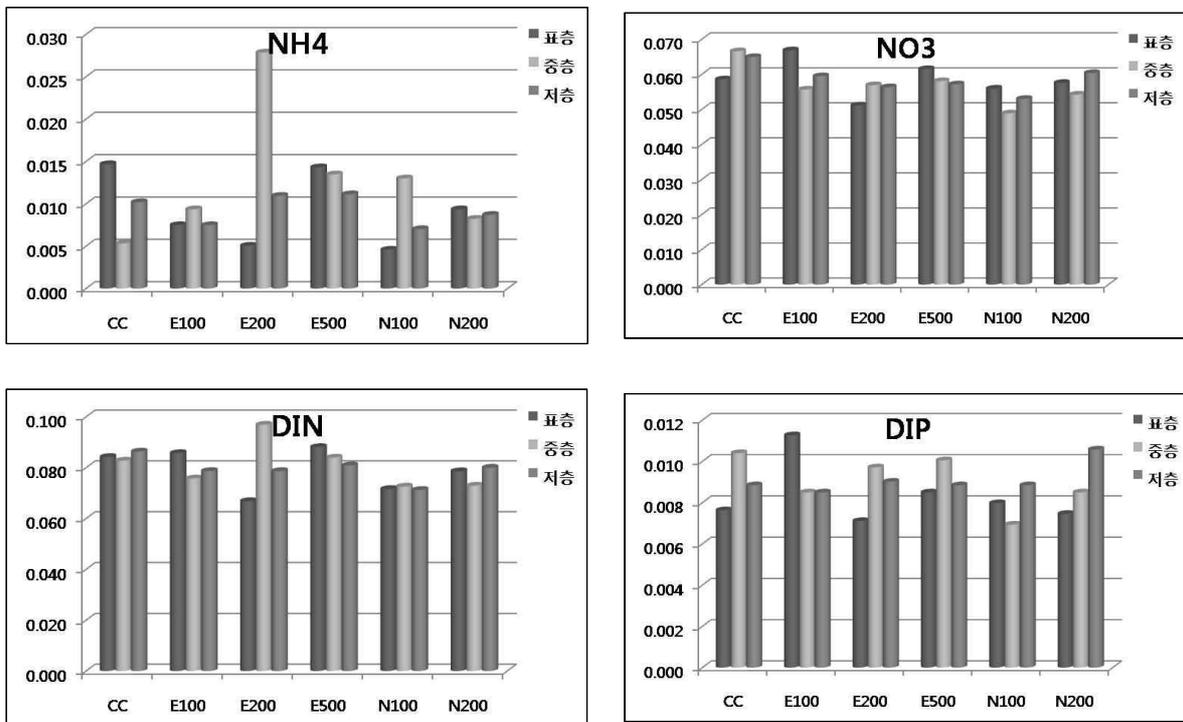


그림 128. 가두리 양식장의 층별 무기영양염류 분포

TN 농도는 표층에서 0.218~0.256 mg/l (0.236 ± 0.016 mg/l)이며, 저층에서 0.225~0.348 mg/l (0.268 ± 0.042 mg/l)로 표층에서보다 저층에서 높은 값을 보였다. 조사 정점별 차이를 보면 가두리 정점에서 가장 높은 값을 보이고 멀어질수록 농도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 특히, 표층의 농도에 비해 중층의 농도가 높은 값을 보였는데, 이는 사료 공급이 중층에서 이루어지고 있기 때문으로 판단된다.

TP 농도는 표층에서 0.013~0.017 mg/l (0.015 ± 0.001 mg/l)이며, 저층에서 0.013~0.018 mg/l (0.015 ± 0.002 mg/l)로 표층과 저층간의 차이를 확인할 수 없었다. 조사정점별로 보면, TN과 마찬가지로 가두리 지점의 중층에서 높은 값을 보이고 있는데 무기영양염과 비교해보면 유기물질을 포함한 입자형태의 영양염은 이류와 확산에 의한 영향을 크게 받지 않아 양식장 지점의 중층에서 머물다 서서히 조류를 타고 인근지역으로 침적하는 것으로 판단된다. 이는 E100 지점에서 높은 농도를 보이는 것과 유사하다.

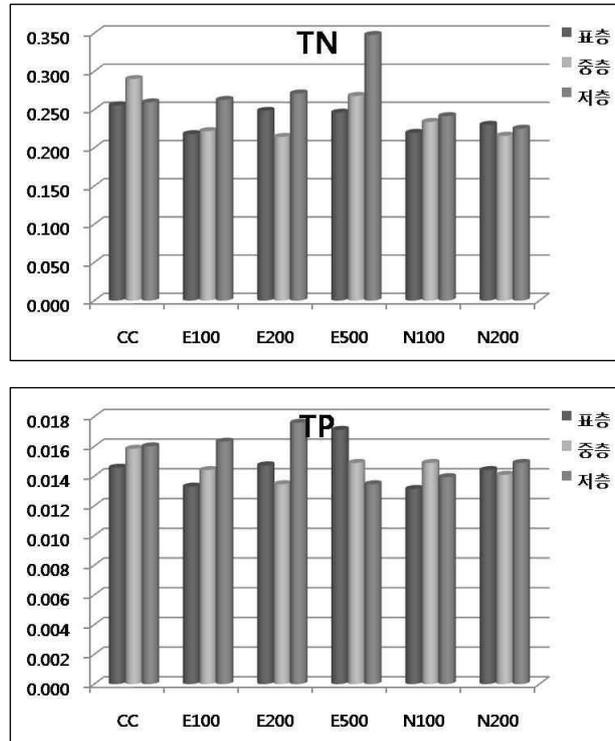


그림 129. 가두리 양식장의 층별 TN, TP 분포

(3) 종합 분석

유기물질은 같은 해 춘계와 하계에 비해 동계에 낮은 농도를 보이고 있으며, 가두리 지점으로부터 100m 떨어진 E100에서 계절에 관계없이 표층과 중층에서 높은 값을 보인다.

영양염은 성분에 따라 계절에 상관없이 유사한 값을 보이거나(DIN), 춘계와 하계에 비해 동계에 높은 값을 보이며(DIP, TN, TP), DIN, DIP는 중층에서, 입자형태를 포함한 TN, TP는 저층에서 높은 농도를 나타내었다.

DIN과 DIP는 이류와 확산이 용이하여 해류의 방향에 따라 그 농도가 증가하여 가두리로부터 이격거리 200m 지점인 E200에서 가장 높은 값을 보이지만, 총질소와 총인산은 가두리 지점의 중층에서 높은 농도를 보이다 조류에 의해 이동, 침강하는 유기물의 축적으로 저층에서는 거리가 멀어질수록 증가하는 경향을 보이고 있다.

나. 외해가두리와 내만가두리 어장환경 특성비교

(1) 방법

내만과 외해양식 어장환경 특성을 비교하기 위해 남해 육지도의 수심 15~35m로 내만 양식장과 외해양식장은 제주 표선연안의 평균수심 45m로 개방형 외해를 선정하였다.

두 양식어장 양식시작 시기가 유사하며 사육하는 주요 어종도 유사한 곳을 선정하였으며, 분석항목은 수질에 대해서 COD, DIN, DIP, TN, TP를, 퇴적물에 대해서는 함수율, 강열감량, 퇴적물 COD, 산화발성 황화물을 측정하였다.

(2) 분석결과

(가) 수질

COD는 연안가두리가 1.10, 외해가두리가 0.60 mg/L로 외해가두리가 약 2배 낮은 값을 보이고, 총질소는 연안가두리가 0.680, 외해가두리가 0.150 mg/L로 연안가두리가 약 4배 이상 높은 값을 보이고 있다. 비록 1회적인 실험에 의한 결과이지만 극명하게 대비되는 결과를 보여주고 있다.

이는 폐쇄되어 있는 내만에서는 영양염 및 유기물의 잔류성이 높아 외부적인 오염원의 유입으로 확산되거나 희석되지 않는 반면 외해가두리는 해류의 흐름이 원활하여 특정 지역에 오염물질이 오랫동안 지속적으로 남아 있지 않고 확산, 희석되는 효과가 강함을 의미한다.

표 71. 외해 및 내만가두리 양식어장 수질특성 비교

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

(나) 퇴적물내 오염특성

함수율은 연안가두리의 경우 평균 49.89%, 외해가두리는 33.75%, 강열감량은 연안가두리에서 7.62%, 외해가두리에서 5.62%로 연안가두리에서 높은 값을 보이고 있다.

퇴적물 COD는 연안가두리에서 1752.26, 외해가두리에서 107.16 mg/kg으로 연안가두리가 외해가두리에 비해 15배 이상 높은 값을 보이고 있으며 특히, 외해가두리 시설지보다 내만에 위치한 외해가두리 대조구의 농도보다 8배 정도 낮은 값을 보여주었다.

산취발성황화물 (AVS)는 연안가두리에서 0.022, 외해가두리는 가두리 바로 밑지점에서 0.001 mgS/g만이 검출되었을 뿐이다. 이는 연안가두리지역이 해수의 소통이 원활하지 못함으로 인해 미세한 입자로 구성되어 있음을 의미하고 퇴적물 상부의 유기물이 침적하기 유리한 곳으로 판단된다.

표 72. 외해 및 내만가두리 양식어장의 퇴적물내 오염특성

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

거리별 퇴적물 내 COD는 연안가두리에서 1374.10-2218.79 mg/kg으로 가두리를 중심으로 큰 차이를 보이고 있지 않았으며 외해가두리에서는 74.64-129.87 mg/kg으로 10m 떨어진 곳에서 가장 높은 값이고 멀어질수록 낮은 값을 보였다.

산취발성황화물(AVS) 경우에서도 COD와 마찬가지로 가두리 아래 10m 지점에서 가장 높은 값을 보이고 멀어질수록 낮은 값을 보여주었다.

COD는 내만가두리 어장이 외해가두리 어장보다 20배 가까이 높은 값을 보였으며, AVS도 내만이 외해보다 0 m지점에서 40배 가까이 높은 값을 보였다. 외해는 100 m 지점부터는 0 값을 나타내었다.

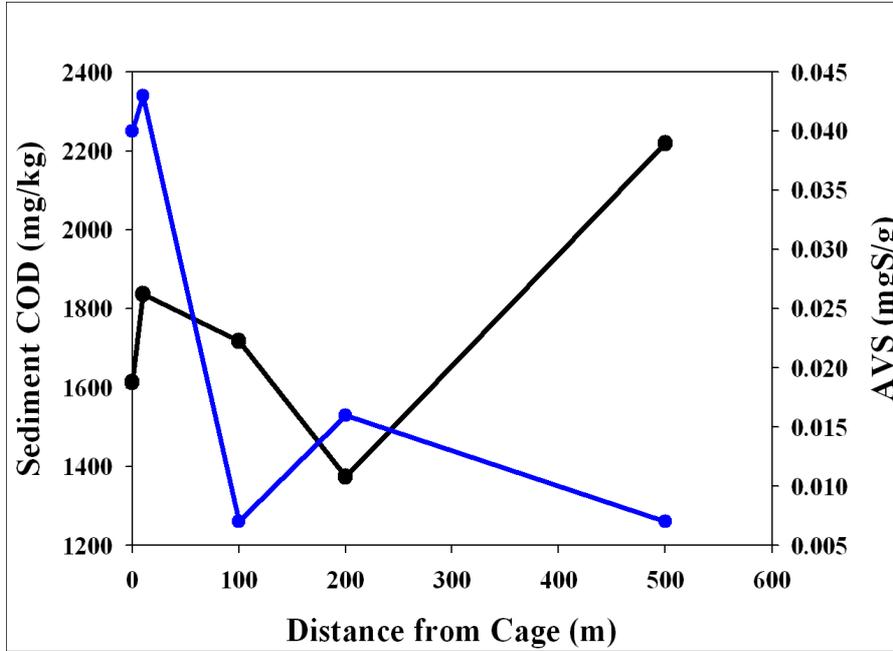


그림 130. 내만가두리 어장의 거리별 COD, AVS 농도 변화

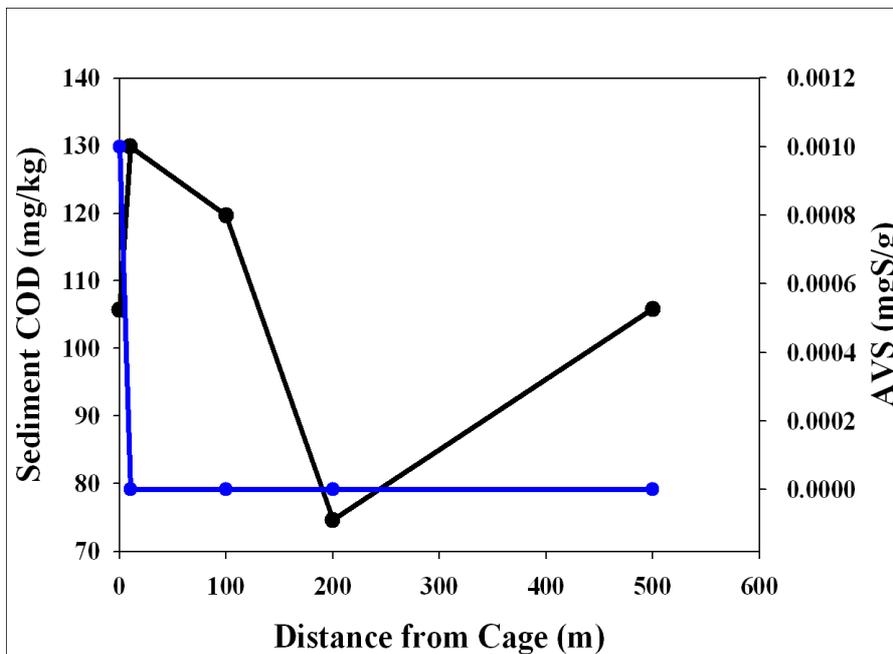


그림 131. 외해가두리 어장의 거리별 COD, AVS 농도 변화

(2) 종합분석

해류의 영향을 받는 개방형 외해양식어장은 육지의 오염물질 영향을 거의 받지 않을 뿐만 아니라 오염물질의 확산과 분해가 빠르게 진행되어 친환경적인 것으로 판단된다. 반면 내만가두리는 육수의 영향을 받을 뿐만 아니라 오염물질이 확산 희석되지 못하고,

또한 배설물 및 찌꺼기가 그대로 양식어장 주변에 퇴적되어 퇴적물의 오염에도 영향이 미치는 것으로 판단되었다.

본 연구는 단기적 1회성 조사이긴 하나 내만과 외해의 오염차이를 단편적으로 보여주었으며, 추후 심도있는 연구와 함께 장기적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

8. 외해 참치양식 경제성 분석

가. 현황

(1) 양식현황 및 업체

(가) 국내

국내에는 참다랑어를 포함한 참치양식을 규모있게 실시하거나 출하를 1번이라도 실시한 업체가 아직까지 없어 경제성 평가를 하기에 매우 어려운 점이 있다. 현재 국내에서 참다랑어 양식에 참여한 업체는 2~3군데가 있으며, 육지도 A업체는 '08년 정치망으로 포획한 200여마리, 제주의 B업체는 '08년 12월 1~2 kg 자연산 종묘 1200마리는 해상가두리에서 '09년 1,300마리를 수입하여 육상에서 사육 중에 있다. 또한 외해수증가두리는 제주도 표선에 본 연구과제의 참여기업인 노아영어조합법인이 371마리를 시험 사육 중에 있다.

이처럼 산업적 규모의 양식은 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 출하가 이루어지지 않아 양식산 참다랑어의 판매 가격이 형성되지 않고, 성장기간, 폐사율 등에 대한 정보가 부족하여 경제성을 평가하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 우리나라와 동일한 태평양 참다랑어 1 kg 내외의 종묘를 채포하여 양식하는 양식형태가 유사한 일본의 자료를 참조하여 경제성 평가에 이용하고자 한다.

표 73. 우리나라 참다랑어 양식업체 및 사육현황

양식지역	양식업체수	입식마리수(어체중)	현재 사육마리수(어체중)
육지도	1	'08년산 250마리(2~3 kg)	'08년산 250마리(20 kg)
		'09년산 960마리(1~2 kg)	'09년산 0마리
제주	2	'08년산 1,200마리(1~2 kg)	'08년산 236마리(25 kg)
		'09년산 1,300마리(1~2 kg)	'09년산 1,000마리(5 kg)
		'09년산(외해) 370마리(1~2 kg)	'09년산(외해) 350마리(5 kg)
계	3	4,080마리	1,836마리

(나) 국외(일본)

일본은 1970년도부터 참다랑어 양식연구가 진행되어 1980년 중반부터 산업적인 양식

이 시작되었다. 2008년 기준 전국적으로 참다랑어 양식만을 전문적으로 하는 업체는 38개업체, 참다랑어와 기타 어류 양식을 병행하는 업체를 포함하면 총 68개 업체가 양식에 참여하고 있다.

양식에 사용되는 종묘의 수는 약 400,000마리가 사용되며, 양식생산량은 2008년 공식적으로 5,700톤 정도로 보고되었으나, 7,00톤 이상을 넘은 것으로 추정되고 있으며, 2009년도는 8,000톤 이상을 생산한 것으로 추정하고 있다. 또한 양식에 새롭게 참여하는 업체 수도 증가하고 있으며, 양식지역도 북쪽으로 많이 확대되고 있는 추세이다.

표 74. 일본의 양식업체 및 양식현황(참다랑어 완전양식, 2010)

	양식량(톤)	입식마리수 (마리)	양식종묘			참치양식 경영체수 (복합참여업체)	
			어획마리수 (마리)	어획량 (톤)	평균체중 (g/마리)		
양 식 현	가고시마	3,200	102,575	3,544	2.5	714	7 (10)
	오키나와	400	13,200	-	-	-	1 (1)
	교 토	150	150	-	-	-	1 (1)
	야마구치	80	3,000	-	-	-	1 (1)
복 합 현	나가사키	850	97,726	{ 48,375	33.6	695	20 (38)
		-	-	{ 13,682	45.0	3,289	-
	미 에	700	40,053	46,103	16.2	351	2 (4)
	와카야마	200	12,456	4,939	0.7	143	2 (4)
	고 지	150	24,959	124,959	-	-	2 (2)
	에 히 메	?	37,852	18,056	3.6	198	2 (6)
종 묘 현	시 마 네	-	-	118,780	53.8	453	-
	돗 도 리	-	-	33,245	146.0	4,368	-
계		5,730	431,971	{ 372,675	111.3	445	38 (68)
				{ 47,107	191.0	4,055	

(2) 양식생산원가

(가) 일본의 참다랑어 양식 원가

일본의 양식산 참다랑어의 출하 크기인 40~50 kg의 경우 2001년에는 4,000엔/kg, 2004년 2,800 엔/kg까지 하락하였으나 최근에는 3,500 엔/kg 전후를 유지하고 있다. 일본의 참다랑어 양식생산 원가와 시장가격을 비교했을 때, 종묘입식수 2,000마리, 3년어 출하, 작업인부 2명, 평균폐사율 40%를 기준으로 생산원가를 계산했을 때 2,100 엔/kg 정도의 생산원가가 발생한다.

기본적으로 2001년, 2004년 모두 이익이 발생하고 2004년의 경우 이익률이 23%로 비

교적 높은 값을 나타내었다. 그러나 시장 가격의 하락에 따른 이익률이 감소되었으며, 이에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 보인다.

표 75. 일본의 참다랑어 양식 생산원가(양식 다랑어 비즈니스 경제분석, 2009)

(엔/kg · %)

항 목		비용 · 가격	원가비율
양 성 비 용	①종묘비	157	(7.3)
	②사료비	1,147	(53.4)
	③인건비	563	(26.2)
	④기타(소모품비, 감가상각비 등)	282	(13.1)
	⑤생산원가(①+②+③+④)	2,149	(100)
	⑥출하시원가(GG :보유 94%)	2,286	
↓2002년 과 2004년도 비교↓		2002년	2004년
⑦시장가격		3,500	2,800
⑩출하경비(⑧+⑨)	⑧운반료	200	
	⑨위탁수수료(⑦*0.055)	193	154
⑪생산자수입(⑦-⑩)		3,108	2,446
⑫이익(⑪-⑥)		821	160
⑬이익율(⑫/⑦*100)		23	6

※ 양식경비는 출하어류(60 kg)의 1 kg당 경비, 원가비율은 생산원가에서 차지하는 각 경비의 비율

※ 입식량은 2,000마리, 폐사율은 1년째 30%, 2·3년째 10%, 3년어의 출하를 기준

※ 주요 양식업자의 설문조사를 기초로하여 작성

참다랑어는 산지의 사육수온에 따라 성장차이가 발생하고 이에 따른 생산원가의 차이가 발생하게 된다. 일본의 와카야마현과 남부 아열대 지역인 아마미오오시마를 비교하면, 와카야마는 출하시 평균체중이 40 kg 내외이나 아마미오오시마는 70 kg 이상까지 성장한다. 이에따른 출하량의 차이가 발생하며, 아마미오오시마의 경우 어체 대형화에 따른 사료비가 와카야마보다 약 70 %정도 증가한다.

이처럼 산지에 따른 양식경비 및 출하량도 생산성에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 제주도와 양식환경이 유사한 일본의 와카야마의 경우 평균 40 kg 개체를 출하할 경우 시장가격이 3,500 엔/kg 일때 이익률이 34.8%, 3,000 엔/kg일 경우 23.9%의 이익률을 보였다. 일본의 경우 시장가격이 3,000 엔/kg 이상이 된다면 양식경쟁력이 충분히 있는 것으로 판단되었다.

일본의 와카야마현은 제주도와 유사한 수온 및 양식환경을 갖추고 있어 경제성 평가에 중요한 참고자료로 활용될 것이다. 본 연구에서도 국내의 참다랑어 양식경제성 평가는 와카야마현의 자료를 중점적으로 참고하여 작성하고자 한다.

표 76. 참다랑어 양성의 산지간 양식생산원가 비교(긴키대학 수산연구소 중간보고서, 2005)

		와카야마	아마미오오시마
시작 (200. 8. 17)	마리수	2,854	1,217
	체중(kg)	0.59	0.59
	총중량(kg)	1,695	723
출하	마리수	1,610	797
	총중량(kg)	27,847	38,622
사망 마리수		1,143	361
행방불명 마리수		251	59
추가 마리수		294	0
종료 (2003. 3. 18)	마리수	144	0
	체중(kg)	39.26	74.66
	총중량(kg)	5,654	0
생존율(%)		51.2	65.5
증중율(%)		6,510	12,469
증육계수(사료계수)		15.6	13.9
사료단가(엔/kg)		68.5	81.3
사료경비		29,759,055	42,726,095

- ※ 와카야마, 아마미오오시마 모두 직경 35 m 원형 가두리 1개를 사용
- ※ 추가 마리수는 다른 가두리에서 사육중인 개체를 추가로 입식
- ※ 생존 마리수는 출하와 종료시의 합계임

표 77. 와카야마 긴키대학 수산연구소 참다랑어 양식 생산원가
(긴키대학 수산연구소 중간보고서, 2005)

판매중량	kg	30,000	30,000
kg당 평균단가	엔/kg	3,500	3,000
1마리당 평균중량	kg/마리	40	40
양식수입	엔	105,000,000(100%)	90,000,000(100%)
양식경비(종묘구입, 사료비, 인건비 감가상각비 등)	엔	68,500,000(65.2%)	68,500,000(76.1%)
양식소득(순이익)	엔	36,500,000(34.8)	21,500,000(23.9%)

표 78. 참다랑어 양성의 산지간 양식생산원가 비교(긴키대학 수산연구소 중간보고서, 2005)

		와카야마	아마미오오시마
시작 (2000. 8. 17)	마리수	2,854	1,217
	체중(kg)	0.59	0.59
	총중량(kg)	1,695	723
출하	마리수	1,610	797
	총중량(kg)	27,847	38,622
사망 마리수		1,143	361
행방불명 마리수		251	59
추가 마리수		294	0
종료 (2003. 3. 18)	마리수	144	0
	체중(kg)	39.26	74.66
	총중량(kg)	5,654	0
생존율(%)		51.2	65.5
증중율(%)		6,510	12,469
증육계수(사료계수)		15.6	13.9
사료단가(엔/kg)		68.5	81.3
사료경비		29,759,055	42,726,095

※ 와카야마, 아마미오오시마 모두 직경 35 m 원형 가두리 1개를 사용

※ 추가 마리수는 다른 가두리에서 사육중인 개체를 추가로 입식

※ 생존 마리수는 출하와 종료시의 합계임

(나) 국내의 참다랑어 양식 원가(추정)

① 종묘비

현재 양식산업화를 위해 종묘 확보가 중요한 요소이다. 국내에서 어획하는 경우 적정 가격이 60,000원/마리로 조사되었으며, 수송비와 기타경비를 포함하면 마리당 종묘가격은 68,000원 정도로 계산되었다.

한편 '08년부터 일부 양식업자로부터 일본에서의 수입이 시도되었으며, 국내에서 종묘의 확보가 여의치 않을 경우 수입에 의존하여야 한다. 수입에의한 종묘 구입원가는 최근 엔화 가치 상승과 수송비, 기타경비에 있어서 통관비용 등이 합하여져 마리당 122,900원이 소요될 것으로 보인다.

표 79. 종묘 구입원가 비교

	종묘가격	수송비	기타경비	총계
국내 자연산	70,000원/마리	7,500원/마리	500원/마리	78,000원/마리
수입(일본)	10,790원/마리 (8,300엔×1,300원)	12,500원/마리	2,500원/마리	122,900원/마리

- ※ 일본 수입종묘가격은 '09년 실 거래가격을 기준으로 함, 국내 자연산 가격은 어민 및 양식업자 설문조사에 의한 적정가격
- ※ 수송비는 2,000마리 구입시 활어선 1회 수송비용 기준
- ※ 기타경비 중 일본수입은 관련여비, 통관비용 등으로 고려하여 산정

② 사료비

사료비는 생산량에 비례하는 함수라고 할 수 있는데 특히 생존율과 사료계수와 밀접한 관련이 있다. 사료비는 참다랑어의 사료계수를 일본의 연구결과에 근거하여 15로 고정하고, 생존율에 따른 비용을 계산하였다. 또한 참다랑어의 출하크기는 40 kg를 기준으로 하고 참다랑어의 사육마리수는 2,000마리를 기준으로 하였다.

$$\text{사료비} = (\text{사료계수 } 15 \times \text{생산량} \times \text{kg당 사료비}) / \text{생산량}$$

사료가격은 현재 사료용 고등어 가격을 기준으로 하였으며, 생존율 50%일 경우 총 사료비는 450,000천원, 생존율 증가에 따라 사료비는 증가하여 80%일 경우 720,000천원으로 나타났다. kg당 사료비는 11,250원으로 계산되었다.

표 80. 생존율에 따른 사료비 비교

생존율(%)	사료가격 (kg/원)	총생산량(kg)	총사료량(kg)	총사료비(천원)
50	750	40,000	600,000	450,000
60	750	48,000	720,000	540,000
70	750	56,000	840,000	630,000
80	750	64,000	960,000	720,000

③ 인건비

2,000마리 사육을 위해서는 상용인력 1명으로 가능하다고 조사되었으며, 특정 기간이나 특별한 작업을 수행할 경우 일용인부를 사용하는 것으로 조사되었다. 인건비의 경우 일반가두리와 외해수중가두리 관에서 다소의 차이를 보이는데 외해가두리의 경우 상용인력 1명은 잠수부를 공용함으로써 일반가두리 인건비 다소 높은 인건비를 보였다.

표 81. 양식형태에 따른 인건비

양식형태	상용인력(명)	일용인력(명)	상용인건비 (천원)	일용인건비 (천원)	총인건비 (천원)
일반가두리	1	100	18,000	7,000	25,000
외해수중가두리	1	100	24,000	7,000	31,000

④ 약품비, 관리비, 감가상각비

약품비의 경우 일반가두리는 입식시 양성초기에 약간의 영양제가 사용되나 조사되었으나 외해수중가두리는 전혀 약품을 사용하지 않는 것으로 조사되었다.

감가상각비는 사육시설과 주요 관리시설인에 관리선, 냉동창고 등에 대한 것으로 외해수중가두리의 초기 시설비가 높은 관계로 외해수중가두리가 일반가두리 보다 감가상각비가 높게 계산되었다. 외해수중가두리의 경우 높은 감가상각비 책정으로 총액에서도 일반가두리의 약 2배가 소요되는 것으로 나타났다.

표 82. 가두리 형태에 따른 약품비, 관리비, 감가상각비

양식형태	약품비	관리비(천원)	감가상각비(천원)	기타비용(천원)	총비용(천원)
일반가두리	1,000	11,340	9,000	5,500	26,840
외해수증가두리	0	16,200	30,000	6,000	52,200

(다) 판매단가

참다랑어 판매 단가는 자연산 어획량 양식생산량 및 경제적 상황 등에 따라 변화하며, 과거 일본의 시장가격을 조사하여 볼 때 최저 2,000엔에서 최고 4,000엔을 돌파하는 경우도 있었다 이를 기준으로 엔화 가치 하락 및 가격 상승등으로 고려하여 1 kg당 가격을 15,000, 25,000, 35,000원으로 구분하여 경제성을 평가하였다.

표 83. 판매단가 시나리오

시나리오	시나리오구분
I	일본 판매시 엔화가치 하락 등을 고려한 최저단가 15,000원 기준
II	현재 일본 및 국내의 도매 가격 평균보다 다소 낮은 20,000원 기준
III	참다랑어 가격의 일반적인 현재까지의 평균가격인 25,000원 기준

나. 양식경제성 비교

(1) 일반가두리와 외해가두리 비교

일반가두리 및 외해가두리 모두 출하시까지 30개월 소요를 기준으로 인건비와 기타경비를 조정하였다. 생존율은 일반가두리의 경우 국내의 경우 관리기술의 부족과 환경악화에 따라 현지조사에서 30~40%로 나타났으나 일본의 일반적인 생존율인 60%를 적용하였다.

외해가두리의 생존율은 70%를 적용하였는데, 보통 1년째의 폐사율이 30%로 보고되었으나 현재 외해가두리의 1년째의 폐사율은 10%정도로 1/3 수준임을 감안하여 70%로 적용하였다.

표 84. 일반가두리와 외해가두리 경제성 비교

항 목		비용(천원)		원가비율(%)	
		일반가두리	외해가두리	일반가두리	외해가두리
양 성 비 용	종묘비	156,000	156,000	18.9	15.7
	사료비	540,000	630,000	65.4	63.4
	인건비	62,500	77,500	7.6	7.8
	기타(관리비, 감가상각비 등)	67,100	130,500	8.1	13.1
	생산원가	825,600	994,000	100	100
시장가격		25			
생산자수입		1,200,000	1,400,000		
이익		374,400	406,000		
이익률(%)		31.2	29.0		

※ 종묘비는 국내에서 구입할 경우 기준가격

※ 일반가두리는 생존율 60%, 외해수중가두리는 생존율 70% 기준

참다랑어 1 kg 평균 판매가격을 25,000원으로 계산하였을 경우 일반가두리 및 외해가두리 모두 이익률이 31.2%와 29.0%로 유사한 값을 보였다. 그러나 국내에서는 일반가두리의 경우 폐사율 증가 및 환경악화에 따른 폐사의 위험성이 높아 안정적인 생산에는 어려움이 있을 것으로 생각된다.

표 85. 판매단가 시나리오별 경제성 분석 -

	이익률(%)		경제성 판단
	내만가두리	외해가두리	
시나리오 I	-12.8%	-15.5%	없음
시나리오 II	16.3%	12.7%	있음
시나리오 III	31.2%	29.0%	있음

(2) 생존율에 따른 외해가두리 경제성 비교

생존율에 따른 원가는 사료비가 점차적으로 상승하여 양식원가의 상승을 주도하였다. 이익률은 큰 폭으로 상승하지 않았으나 24.7~34.8% 범위를 나타내었다.

김 등(2009년)은 외해가두리 참다랑어 양식경제성 평가를 통해 판매 가격을 16,000원으로 기준하였을 때 평균 수익률이 20.9%로 나타났다고 보고하여 시장판매가격을 고려하였을 때 본 연구결과와 유사한 것으로 평가되었다.

표 86. 외해가두리의 생존율에 따른 경제성 비교

항 목		비용(천원)			
		60%	70%	80%	90%
양 성 비 용	종묘비	156,000	156,000	156,000	156,000
	사료비	540,000	630,000	720,000	810,000
	인건비	77,500	77,500	77,500	77,500
	기타(관리비, 감가상각비 등)	130,500	130,500	130,500	130,500
	생산원가	904,000	994,000	1,084,000	1,174,000
시장가격		25			
판매수입		1,200,000	1,400,000	1,600,000	1,800,000
이익		296,000	406,000	516,000	626,000
이익률(%)		24.7	29.0	32.3	34.8

※ 종묘비는 국내에서 구입할 경우 기준가격

(3) 양식어종간 생산성 비교

참다랑어는 노동효율과 생산효율 모두 판매량은 낮은 값을 보이나, 양식수입이나 소득 면에서는 높은 값을 나타내었다. 노동집약도인 1인당 관리면적에서는 참다랑어가 참돔, 방어류의 70% 수준이나 수입과 소득 면에서는 높은 값을 보여 생산효율적인 양식종으로 평가되었다.

표 87. 양식어종간의 양식생산성 비교(양식다랑어 비즈니스 경제분석, 2009)

지 표		단 위	참다랑어	방어류	참돔
노동효율	1인당 판매량	kg/인	7,325.8	43,580.4	20,908.9
	1인당 양식수입	천엔/인	35,496.7	45,263.8	15,134.5
	1인당 양식소득	천엔/인	14,435.8	8,554.0	727.2
생산효율	단위면적당 판매량	kg/m ²	22.5	91.3	44.4
	단위면적당 양식수입	천엔/m ²	108.8	94.8	32.2
	단위면적당 양식소득	천엔/m ²	44.2	17.9	1.5
집약도	1인당 관리면적	m ² /인	326.3	477.5	470.4
경비율	종묘비	%	13.4	23.6	13.1
	사료비	%	46.2	53.0	64.9
	감가상각비	%	3.7	4.1	5.6

(4) 종합평가

참다랑어 외해양식은 일반관리비, 초기 투자비용이 다소 높지만 높은 생존율로 국내에서도 경쟁력이 있는 것으로 평가된다. 양식경비 중 종묘비의 절감을 위해서는 종묘의 국산화가 필요하며, 안정적인 종묘공급을 위해서는 완전양식이 시급한 과제로 생각된다.

외해양식은 일반가두리보다 생존율의 증가에 따른 안정적인 생산과 리스크를 줄일 수 있는 장점이 있으며, 적적, 태풍, 저수온 등의 자연재해에 대비가 가능해 경쟁력이 높은 것으로 판단된다.

사업의 적합성을 파악하기 위한 참다랑어 외해가두리양식에 대하여 SWOT 분석을 해 보면, **강점(Strength)** 외해가두리 양식기술개발과 종묘확보 가능, 시장확대 등을 가지고 있으며, **약점(Weakness)**으로 양식경험부족, 생사료사용에 따른 비효율, 양식적지의 제한 등이 존재하는 것으로 분석되었음.

강 점(Strength)	약 점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 참다랑어 회유 경로에 위치하여 채낚기나 선망에 의한 종묘 수급 가능 ▪ 외해양식 기술 개발로 친환경 양식을 통한 브랜드화 유리 ▪ 세계 최대 소비지인 일본과 근접하고, 최근 소비량이 급증하는 중국과도 인접하여 수출 유리 ▪ 국내 소비층 확산 추세 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 참다랑어 양식 경험 부족 및 남해안의 적조 발생으로 양식적지 제한 ▪ 생사료 사용에 따른 비효율적인 양식 시스템 ▪ 식품 원료가격이 높고, 선어 또는 활어 유통기술 부족 ▪ 해동방법에 따른 품질 향상 연구 부족
기회요인(Opportunity)	위협요인(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최근 제주 및 남해안 해역에서의 정치망 및 선망을 통한 어획량 증가 ▪ 세계적인 소비량 증가 및 어획규제에 따른 가격 상승 ▪ 외해양식기술 개발로 양식적지 확대 ▪ 축양 또는 연근해에서 어획되므로 가공 기술개발 요건 확충 ▪ 기존의 선도유지 및 해동기술 활용 가능성 유리 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세계적인 자연종묘 채포규제 움직임에 따라 안정적, 계획적 양식 생산 어려움 ▪ 생사료의 가격 상승에 따른 생산비용 상승, 시설비 및 종묘확보를 위한 초기 비용 증가 ▪ 전통적이고 우수한 처리기술을 가진 일본으로부터 기술이전 기피 ▪ 자체 개발 연구인력 부족

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표 달성도

표 88. 연도별 연구목표 및 목표대비 결과

구분	연도별 연구목표	목표대비 결과	목표 달성도 (%)	비고	
1년차	외해심층가두리 연구 및 실용화 현황 파악	국외 전문가 활용을 통한 대상어종에 적절한 심층가두리 현황 및 적용성을 자문 받은 자료 분석을 통한 현황 파악	100		
	대상 어종의 생태특성 파악 및 양식 정보 확보	대구의 종묘생산기술 연구결과 및 일본 자료를 중심으로 한 정보 확보 참다랑어의 생태특성 및 국제적 동향 분석	100		
	국내 적지 조사 및 기술 동향 분석	대구는 지방행정장치단체와 협의하여 강원도 해역에서 4개 지역을 대상으로 수행함 참다랑어 양식적지를 위해 6지역을 대상으로 조사를 수행함	100		
	전문위원회 자문을 통한 적지 선정	어종별 지방자치체 공무원, 심층가두리 운영자, 정부 관련자와의 협의체 구성으로 4회에 걸쳐 적지 토론. 대구는 강원도 양양군, 참치는 제주도 표선으로 잠재 선정	100		
	종묘개발을 통한 자원 확보	대구는 경남도립배양장, 일신수산 등 기존 종묘생산업체의 현황자료 분석. 향후 성장별 증식방향 정립. 채낚기, 선망, 수입에 의한 방안 가능성 검토	90		
2년차	대구부화자어의 안정적 사육환경 구명을 위한 기초연구	2009년 생산된 자어를 확보하여 심층수를 통한 하계 생존실험 수행	100		
		수온별 생리적 특성을 조사하고 적정 수온 검정을 통해 여름철 안정적 성장확인	90		
		자어와 15cm급 대구에 EP사료 적응 유도 성공. 냉동크릴을 통한 먹이순치 해결	80		
		수온, 먹이조건에 따른 적정밀도 산정(추가 실험 필요)	80		
	참치 양식 기술 개발	양성용 참치종묘 확보 방안 검토	채낚기를 이용한 어획시험 및 수입을 통한 수송 가능성 확인	100	
		참치의 외해양식 현장 시험	종묘 확보 어려움으로 수입종묘를 대상으로 외해양식어장에서 현장시험 단기간 실시	70	
		참치 양식장 어장환경 영향 분석	참치 양식어장의 거리별, 수층별 오염정도 조사	100	
		참치 실내사육 실험	사육수조 건설을 통한 시설 확보	60	

표 88. 계속

구분	연도별 연구목표	목표대비 결과	목표 달성도 (%)	비고	
3년차	대구양식 기술개발	심층가두리 운영을 통한 동해해역의 적용성 평가	외해 가두리 시스템 점검과 동해 한류성어류의 양식을 위한 외해가두리 환경 설계	100	
		대구생산기술 확립	심층수를 활용한 대구의 관리방안을 마련하고 대구의 생리적 특성을 조사	100	
		어장환경 분석	가두리 주변 환경변화를 분석하고 부착생물의 관리방안 마련	100	
		경제성 평가	대구양식에 외해가두리를 접목할 때 경제성 검토하여 외해가두리 활용 시스템을 분석	100	
	참치양식 기술개발	참치종묘 채포어업 개발 및 보급	채낚기를 이용하여 대량 종묘확보 성공, 조담회 및 직접 시연을 통한 기술 보급 실시	100	
		참치 외해양식기술개발	외해수증가두리 사육시험을 성공적으로 수행하고, 가두리내 행동특성, 영양특성 등 관리기술개발	100	
		참치양식장의 어장환경 영향 분석	내만과 외해양식어장의 환경오염특성 비교 분석	100	
		참치 양식 경제성 평가	참치 양식의 경제성 및 일반가두리 양식과의 비교	100	

제 2 절 기여도

- 강원도 양양군의 외해가두리 적지선정과정은 향후 이 지역에서 외해가두리 선정조건에 있어서 기준으로 제공될 것이며 외해가두리 양식 산업에 기초기술정보를 제공할 것임.
- 대구종묘생산기술 확립을 위해 이 연구에서 대구자어의 생리습성과 적합한 먹이공급 체계와 사육환경조건 구명에 대한 조사를 수행함으로써 어민들의 대구종묘사육에서 기초자료로 활용될 수 있고, 소득증대에도 기여를 할 것임.

- 양식경영적 측면에서 대구의 사육에서 생식한계 수온인 14℃ 이하로 유지해야 하는 점은 우리나라의 환경조건에서 거의 불가능하지만 해양심층수를 이용한 대구사육관리가 이번 연구에서 가능한 것으로 증명됨에 따라 안정적 대구양식 기술확립에 중요한 단서를 제공할 것임.
- 대구의 적정사육밀도와 먹이공급횟수의 기초연구수행으로 적합한 사육환경조성을 위한 기초자료로 제공되어 양식경영적측면에 기여를 할 것임.
- 참치양식 적지조사 및 기준 설정을 통해 농림수산식품부가 주관으로 실시하는 국책사업인 외해참다랑어 시범양식의 적지선정의 기초 자료 제공
- 참다랑어 종묘채포 및 관리기술 개발을 통한 어민 보급으로 현재 제주도, 남해안을 중심으로 새로운 어민 소득사업으로 자리매김함
- 외해수중가두리에서의 성공적인 사육관리로 구외외는 차별화된 기술 우위를 차지
- 외해가두리 고부가가치 양식 산업종 개발로 외해양식 산업화 가속화

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 대구종묘생산기술 : 대구자어의 최적성장과 생존률을 유도할 수 있는 먹이 및 사육환경조건을 검색하였고 안정적인 종묘생산을 위한 기초자료로 활용할 계획임.
- 자연산 대구종묘의 순치사육기술 : 자연산 대구의 순치사육 기간동안의 먹이습성, 사료선택성이 조사되어 향후 자연산 대구의 안정적인 순치사육기술에 있어서 적정성장과 생존률을 위한 사육관리기술 확립에 기초자료로 활용할 계획임.
- 대구사육관리기술 : 대구의 사육에서 생식한계 수온인 14℃ 이하로 유지해야 하는 점은 우리나라의 환경조건에서 불가능한 점이였으나 이 연구에서 해양심층수를 이용한 사육관리방법이 마련되었고, 향후 대구의 안정적인 사육관리기술 확립에 기초자료로 활용할 계획임.
- 대구치어의 생리적특성조사 : 대구치어의 생리적특성이 조사하였고 이결과는 논문으로 출판하여 향후 대구 치어의 안정적 사육환경 조성을 위한 기초자료로 제공할 계획임.
- 대구의 적정사육밀도와 먹이공급횟수 : 대구의 적정성장과 생존률을 고려한 적정사육밀도와 먹이공급횟수의 기준마련에 대한 기초조사가 수행되었고, 이 결과는 논문으로 출판하고, 향후 합리적 사육환경 조성을 위한 기초자료로 활용할 계획임.
- 경제성 평가자료를 이용하여 양식경영적 측면에서 외해가두리를 적용한 대구양식의 수익창출을 위한 자료로 활용할 계획임.
- 참치양식 적지조사 결과 : 국정과제 참치 외해시범양식의 적지선정의 기초 자료로 활용
- 종묘채포기술 : 어민들 새로운 소득창출 산업으로 육성하고, 관련 어구 및 수조 등도 국산화 작업 및 개발을 유도
- 외해가두리 사육관리기술 : 국외와 차별화된 양식기술 개발로 2010년부터 시작되는 참치외해양식 업자를 대상으로 기술보급 및 지도
- 참다랑어 행동특성 연구 결과를 토대로 양식시설의 설계에 적용하고, 지질, 수온 축적 특성 결과는 사료공급 및 사육관리기술에 적용하고 배합사료개발의 기초 자료로 활용
- 환경평가를 통해 외해양식어장이 매만보다 친환경적인 것이 밝혀져 내만 가두리의 외해 이동을 위한 정책자료로 적극 활용
- 경제성 평가자료를 이용하여 추후 참다랑어 양식산업의 경영합리화 및 수익증대를 위한 자료로 적극 활용

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 일본의 긴키대학 수산연구소는 2009년 참다랑어 인공종묘 4만 마리 생산하여 민간 보급
- 호주에서는 2009년 육상시설에서 남방참다랑어 어미를 사육관리하여 수정란 생산 및 소량의 인공종묘 생산 성공
- 일본의 (주)니신마루베니 사료회사는 긴키대학 수산연구소로부터 기술이전을 받아 참다랑어 종묘용 배합사료를 2010년부터 시판예정

제 7 장 참고문헌

- Andrew JW, Page JW (1975) The effects of frequency of feeding on culture of catfish. Trans Am Fish Soc 104:317-321.
- Adams SM, Breck JE (1990) Bioenergetics. In: Schreck CB, Moyle PB (eds) Methods for Fish Biology. American Fisheries Society Bethesda pp 389-415
- Avnimelech Y, Mozes N, Weber B (1992) Effects of aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulated fish ponds. Aquacul Eng **11**:157-169
- Ballestrazzi R, Lanari D, D'Agaro E, Mion A (1994) The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquacult **127**(2-3):197-206
- Beamish FWH, Thomas E (1984) Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Aquacult **41**(4):359-371
- Biswas AK, Endo M, Takeuchi T (2002) Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*: Part I. Fish Sci **68**:465-477
- Biswas AK, Takeuchi T (2002) Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*: Part II. Fish Sci **68**:543-553
- Björnsson BT (1997) The biology of salmon growth hormone: from daylight to dominance. Fish Physiol Biochem **17**:9-24
- Blaxter JHS, Hempel G (1963) The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). J Cons int Explor Mer 28:211-244.
- Braaten B (1983) Status and future prospects: cod and other marine fish as industrial products. Fisk Gang 69: 263-269 (Translated from Norwegian by Can Trans Fish Aquat Sci No. 5022, 1983).
- Brett JR, Groves TDD (1979) Physiological energetics. In: Hoar WH, Randall DJ, Brett JR (eds). Fish Physiology. Academic Press New York pp 279-352
- Brett JR, Zala CA (1975) Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions. J Fish Res Bd Can **32**(12):2479-2486
- Cai YJ, Summerfelt RC (1992) Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. Aquacult **104**(1-2):127-138

- Chua T-E, Teng S-K (1978) Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) culture in floating net-cages. *Aquacult* 14:31-47.
- Chuuy MK (1977). The Fishes of Korea. Iljisa, Seoul, 1-727.
- Clarke ER, Harman JP, Forster JR (1985) Production of metabolic and waste products by intensively farmed rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J Fish Biol* 27(4):381-393
- Cripps SJ (1993) The application of suspended particle characterization techniques to aquaculture system. In: Wang J (ed) Techniques for modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, MI, pp 26-34
- Cui Y, Wootton RJ (1988) Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus*: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion. *J Fish Biol* 33(3): 431-443
- Dalla Via J, Villani P, Gasteiger E, Niederstätter H (1998) Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquacult* 169:303-313
- Davenport J, Kjorsvik E, Haug E (1990) Appetite, gut transit, oxygen uptake and nitrogen excretion in captive Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., and lemon sole, *Microstomus kitt* (Walbaum). *Aquacult* 90:267-277.
- Degani G, Gallagher ML, Meltzer A (1989) The influence of body size and temperature on oxygen consumption of the European eel, *Anguilla anguilla*. *J Fish Biol* 34:19-24
- Delos Reyes AA, Lawson TB (1996) Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. *Aquacult Eng* 15:27-39
- Dosdat A, Servais F, Metailler R, Huelvan C, Desbruyeres E (1996) Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. *Aquacult* 141(1-2):107-127
- El-Sayed AM, Mostafa KA and Mohamma JSA, El-Dehaimi A, Kayid M (1995) Effects of stocking density and feeding levels on growth rate and feed utilization of rabbitfish *Siganus canaliculatus*. *J World Aquacult Soc* 26:212-216.
- Elliot JM, Davison W (1975) Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecologia* 19:195-201
- Farris DA (1960) The effect of three different types of growth curves on estimates of larval fish survival. *J Cons Perm Int Explor Mer* 25:294-306.
- Engin K, Carter CG (2001) Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquacult* 194(1-2):123-136

- Forsberg JA, Summerfelt RC (1992) Effects of temperature on dial ammonia excretion of fingerling walleye. *Aquacult* **102**:115-126
- Fry FEJ (1971) The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Hoar WS, Randall DJ (eds) *Fish Physiology*. Academic Press New York pp 1-98
- Gélineau A, Médale F, Boujard T (1998) Effect of feeding time on postprandial nitrogen excretion and energy expenditure in rainbow trout. *J Fish Biol* **52**(4):655-664
- Hanna SK, Haukenes AH, Foy RJ, Buck CL (2008) Temperature effects on metabolic rate, swimming performance and condition of Pacific cod *Gadus macrocephalus* Tilesius. *J Fish Biol* **72**:1068-1078
- Hawng HK (1999) Biological Studies on Aquaculture of the Rabbitfish, *Siganus canaliculatus* (Park). Ph. D. Thesis, Cheju Univ. 123 pp.
- Holmgren S, Grove DJ, Fletcher DJ (1983) Digestion and control of gastrointestinal motility. In: *Fish Physiology*. Rankin JC, Picher TJ and Dugan RT, Eds. Wiley, New York, NY, USA., 23-40.
- Hosfeld CD, Hammer J, Handeland S, Fivelstad S, Stefansson S (2009) Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult* **294**:236-241.
- Imsland AK, Folkvor A, Stefansson SO (1995) Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different temperatures and photoperiods. *Neth J Sea Res* **34**:149-159
- Jobling M (1981) Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice (*Pleuronectes platessa* L.). *J Fish Biol* **18**(1):87-96
- Jobling M (1982) A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J Fish Biol* **20**:501-516
- Jobling M (1988) A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquacult* **70**:1-19.
- Jonassen TM, Imsland AK, Kadowaki S, Stefansson SO (2000) Interaction of temperature and photoperiod on growth of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* L. *Aquac Res* **31**:219-227
- Kaushik SJ (1980) Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in carp (*Cyprinus carpio* L.) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Reprod Nutr Dev* **20**(6):1751-1765
- Kaushik SJ (1998) Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in

- non-salmonids. *Aqua Liv Res* **11**:211-217
- Kaushik SJ, Cowey CB (1991) Dietary factors affecting nitrogen excretion by fish. In: Cowey CB, Cho CY (eds) *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. University of Guelph, Canada, pp 37-50
- Ketchen KS (1961) Observations on the ecology of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters. *J Fish Res Board Can* **18**(4):513-558.
- Kissil, GW (1972) Experimental growth of *Siganus rivulatus*. *Oceanogr. Limnol. Res. Co.* (Israel) report, 5 pp.
- Kita J, Tsuchida S, Setoguma, T (1996) Temperature preference and tolerance and oxygen consumption of the marbled rock-fish, *Sebastes marmoratus*. *Mar Biol* **125**:467-471
- Kumai, H (1984) Biological studies on culture of the Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. *Bull. Fish. Lab. Kinki Univ.* **2**, pp 5-10.
- Lambert Y, Dutil J-D (2001) Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquacult* **192**:233-247.
- Laurence GC (1978) Comparative growth, respiration and delayed feeding abilities of larval cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) as influenced by temperature during laboratory studies. *Mar Biol* **50**:1-7
- Lee S-M, Cho SH, Kim D-J (2000) Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel). *Aquac Res* **31**:917-921.
- Lee S-M, Kim S-H, Jeon I-G, Kim S-M, Chang Y-J (1996) Effects of Feeding Frequency on Growth, Feed Efficiency and Body Composition of Juvenile Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J Aquacult* **9**(4):385-394.
- Leung KMY, Chu JCW, Wu RSS (1999a) Effects of body weight, water temperature and ration size on ammonia excretion by the areolated grouper (*Epinephelus areolatus*) and mangrove snapper (*Lutjanus argentimaculatus*). *Aquacult* **170**(3-4):215-227
- Leung KMY, Chu JCW, Wu RSS (1999b) Interacting effects of water temperature and dietary protein levels on post-prandial ammonia excretion by the areolated grouper *Epinephelus areolatus* (Forskål). *Aquac Res* **30**(10):793-798
- Lied E, Braaten B (1984) The effect of feeding and starving and different ratios of protein-energy to total-energy in the feed on the excretion of ammonia in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comp Biochem Physiol* **78**(1):49-52

- Lyytikäinen T, Jobling M (1998) The effects of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. *J Fish Biol* **52**:1186-1198
- Meade JW (1985) Allowable ammonia for fish culture. *Prog Fish-Cult* **47**(3): 135-145
- Mihelakakis A, Tsolkas C, Yoshimatsu T (2002) Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata*. *J World Aquacult Soc* **33**: 169-175.
- Miyashita S (2002) Studies on the seedling production of the Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. *Bull. Fish. Lab. Kinki Univ.* **7**:1-171.
- Moore JM, Boyd CE (1984) Comparisons of devices for aerating inflow pipes. *Aquacult* **38**:89-96
- Ng WK, Lu KS, Hashim R, Ali A (2000) Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. *Aquaculture International* **8**:19-20.
- NOAA. 2010. Alaska Fisheries Science Center. Retrieved from http://www.afsc.noaa.gov/species/Pacific_cod.php on March 12.
- North BP, Turnbull JF, Ellis T, Porter MJ, Migaud H, Bron J and Bromage NR (2006) The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacult* **255**:466-479.
- Paul AJ, Paul JM, Smith RL (1988) Respiratory energy requirements of the cod *Gadus macrocephalus* Tilesius relative to body size, food intake, and temperature. *J Exp Mar Biol Ecol* **122**:83-89
- Perera WMK, Carter CG, Houlihan DF (1995) Feed consumption, growth and growth efficiency of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) fed on diets containing bacterial single cell protein. *Br J Nutr* **73**(4):591-603
- Pérez-Casanova JC, Afonso LOB, Johnson SC, Currie S, Gamperl AK (2008) The stress and metabolic responses of juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L. to an acute thermal challenge. *J Fish Biol* **72**:899-916
- Porter CB, Krom MD, Robbins MG, Brickell L, Davidson A (1987) Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquacult* **66**(3-4):287-297
- Porter MJR, Randall CF, Bromage NR, Thorpe JE (1998) The role of melatonin and the pineal gland on development and smoltification of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Aquacult* **168**:139-155

- Rho S, Pyen CK (1986) Mass fry production of rock cod, *Epinephelus fario* and flat fish, *Paralichthys olivaceus*. Rept. Aquacult. Lab. Coll. Mar. Sci. Technol. Cheju Univ. 3: 20-37.
- Ricker WE (1969) Effect of size-selective mortality and sampling bias and estimates of growth, mortality, production and yield. J Fish Res Board Can 26:479-541.
- Ross LG, McKinney RW (1988) Respiratory cycles in *Oreochromis niloticus* (L.) measured using a six-channel microcomputer-operated respirometer. Comp Biochem Physiol 89:637-643
- Ruyet JPL, Mahé K, Le Bayon N, Le Delliou H (2004) Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquacult 237(1-4):269-280
- Rychly J, Marina AB (1977) Ammonia excretion of trout during a 24-hour period. Aquacult 11(2):173-178
- Saunders RL (1963) Respiration of the Atlantic cod. J Fish Res Board Can 20:373-386.
- Schurmann H, Steffensen JF (1997) Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile Atlantic cod. J Fish Biol 50:1166-1180
- Simensen LM, Jonassen TM, Imstrand AK, Stefansson SO (2000) Photoperiod regulation of growth of juvenile Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* L. Aquacult 190:119-128
- SK 2010. Fishery Production Survey from <http://fs.fips.go.kr/main.jsp> on January 22.
- Soofiani NM, Priede IG (1985) Aerobic metabolic scope and swimming performance in juvenile cod, *Gadus morhua* L. J Fish Biol 26:127-138.
- Spanopoulos-Hernández M, Martínez-Palacios CA, Vanegas-Pérez RC, Rosas C, Ross LG (2005) The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). Aquacult 244:341-348
- Strickland JD, Parsons TR (1972) A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull Fish Res Bd Can 167:310
- Takii K, Seoka M, Izumi M, Hosokawa H, Shimeno S, Ukawa M, Kohbara J (2007) Apparent digestibility coefficient and energy partition of juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* and chum mackerel, *Scomber japonicus*. Aquacult Sci 55:571-577.
- Takatsu T (2008) Present state on sea-farming of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Notojima Station. International symposium on stock enhancement and fisheries management of Pacific cod. pp 80~96.
- Tanaka Y, Kadowaki S (1995) Kinetics of nitrogen excretion by cultured flounder *Paralichthys olivaceus*. J World Aquacult Soc 26(2):188-193
- Thomas SL, Piedrahita RH (1998) Apparent ammonia-nitrogen production rates of white

- sturgeon (*Acipenser transmontanus*) in commercial aquaculture system. *Aquacult Eng* **17**(1):45-55
- Tytler P, Calow P (1985) *Fish Energetics: New Perspectives*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 349 p
- Westrheim SJ (1996) On the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in British Columbia waters, and a comparison with Pacific cod elsewhere, and Atlantic cod (*G. morhua*). *Can Tech Res Fish Aquat Sci* **2092**:390
- Wu RSS (1995) The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar Poll Bull* **31**(4-12):159-166
- Wuenschel MJ, Jugovich AR, Hare JA (2005) Metabolic response of juvenile gray snapper (*Lutjanus griseus*) to temperature and salinity: Physiological cost of different environments. *J Exp Mar Biol Ecol* **321**:145-154
- Wuenschel MJ, Werner RG, Hoss DE (2004) Effect of body size, temperature and salinity on the routine metabolism of larval and juvenile spotted seatrout. *J Fish Biol* **64**:1088-1102
- 手塚信弘 (2006) 親魚飼育の具体例—マダラ. 水産総合研究センター研究報告 別冊4: 147-150.
- 국토해양부 (2008) 외해가두리 양식 기술개발사업 기획 추진 방안 연구. 214 pp.
- 박대원 (2008) 대구(*Gadus macricephalus*)의 인공종묘 양산을 위한 연구. 부경대학교 박사 학위논문, pp 51~54.
- 박충열, 곽우석 (2009) 우리나라 연안에 서식하는 대구(*Gadus macrocephalus*)의 위 내용물 비교. *한국어류학회지*. 21:28~37.
- 오승용, 노충환 (2006) 수온과 광주기에 따른 볼락, *Sebastes inermis* 치어의 산소 소비율. *한국양식학회지*. 19:210-215.
- 오승용, 노충환, 홍경표, 김종만 (2004) 한국산 선발계통, 일본산 양식계통 그리고 이들 두 계통간 잡종 계통 참돔 치어의 총 암모니아성 질소 배설률 및 분 배설률을 통한 사료 내 단백질 이용 효율 비교. *Ocean and Polar Res* **26**:415-423
- 오승용, 노충환, 강래선, 명정구 (2006) 돌돔, *Oplegnathus fasciatus* 치어의 절식시 산소 소비율에 미치는 수온과 광주기의 영향. *Ocean and Polar Res* **28**:407-413
- 오승용, 장요순, 노충환, 최희정, 명정구, 김종관 (2009a) 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소 소비율에 미치는 수온과 체중의 영향. *한국어류학회지* **21**:7-14
- 오승용, 장요순, 노충환, 최희정, 명정구, 김종관 (2009b) 강도다리 *Platichthys stellatus* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향. *한국어류학회지* **21**:1-6
- 오승용, 조재운 (2005) 나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 어체중과 사료 내 단백질 함량의 영향. *한국양식학회지* **18**(2):122-129

- 오승용, 최상준 (2009) 불락 *Sebastes inermis* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향. *Ocean and Polar Res* **31**:231-238
- 양식 다랑어 비즈니스 경제분석 (2009) 성산당. 246 pp.
- 서영석, 박무역, 김진각, 이상욱 (2007) 한국 동해계군 대구(*Gadus macricephalus*)의 난발생과 자치어의 성장. *한국수산학회지* **40**:380~386.
- 지승철, 타카오카 오사무, 타키이 켄지, 정관식, 한석중 (2008) 참다랑어 *Thunnus orientalis*의 종묘생산과 치어의 적정 사육수조 및 단백질 검토. *한국양식학회지* **21**:272-277.
- 조재운, 김유희 (1999) 참메기, *Silurus asotus*의 수온과 광주기 변화에 따른 산소 소비량. *한국수산학회지* **32**:56-61
- 제주외해양식 기본계획 (2009) 제주특별자치도. 193 pp.
- 참다랑어 등 어류양식산업지원형 연구거점 중간보고서 (2005) 긴키대학수산연구소. 266 pp.
- 참다랑어 완전양식 (2010) 성산당 228 pp.
- 한국수산회 (2008) 수산연감 pp 262~263.
- 한국해양연구원 (2003) 대구자원의 효율적 증강대책. 한국해양연구원, BSPG353-00-1545-3, 82 pp.

BS
PM
55
35
0
|
22
05
|
3

외해
실험가두리틀
이용한
대구·참치
등
양식기술개발

농림수산식품부