

GSP 공든시드프로젝트  
GOLDEN SEED PROJECT

국제 기준에 따른  
붉바리 종자 생산 관리 매뉴얼

국제 기준에 따른  
**붉바리 종자  
생산 관리 매뉴얼**



수산종자사업단  
수산물안전연구소  
KOREA SEAFOOD SAFETY INSTITUTE

GSP 공든시드프로젝트  
수산물안전연구소

수산종자사업단  
수산물안전연구소  
KOREA SEAFOOD SAFETY INSTITUTE

# 국제 기준에 따른 붉바리 종자 생산 관리 매뉴얼



## - 목 차 -

처음에 .....	1
1. 친어 .....	4
가. 친어의 확보 .....	4
1) 친어의 선택 .....	4
2) 친어의 포획과 수송 .....	6
3) 친어의 입식 .....	7
4) 친어의 질병 예방 .....	8
나. 사육 시설 .....	12
1) 친어의 사육 시설 .....	12
다. 사육 관리 .....	13
1) 친어 사육 환경 관리 .....	13
2) 친어 사료 공급 관리 .....	17
라. 번식 관리 .....	18
1) 친어의 산란 유도 .....	18
2) 난과 정자의 수집 .....	25
2. 떡이 생물 .....	27
가. 조류 배양 .....	27

1) 조류 대량 배양 .....	27
나. 로티퍼 .....	32
1) 대량 배양 환경 관리 .....	32
2) 로티퍼의 배양 .....	34
3) 로티퍼의 영양 강화 .....	41
4) 영양 강화 로티퍼의 저장 .....	43
5) 로티퍼의 양적·질적 평가 .....	44
다. 알테미아 .....	45
1) 내구란의 선정 .....	45
2) 내구란의 살균 .....	45
3) 내구란의 부화 .....	46
4) 노플리우스의 수확 .....	47
5) 영양 강화 .....	48
3. 수정과 부화 .....	51
가. 난의 수정 .....	51
1) 난의 수정 .....	51
2) 수정란의 평가 .....	51
3) 난의 살균 .....	55
4) 난의 수용 .....	57
5) 난의 수송 .....	58
나. 수정란의 부화 .....	58

1) 수정란의 부화 관리 .....	58
2) 부화 자어의 평가 .....	61
4. 자어 .....	63
가. 사육 환경 관리 .....	63
1) 자어 사육 환경 관리 .....	63
나. 사육 관리 .....	66
1) 자어의 발육 특성 .....	66
2) 초기먹이 공급 .....	70
3) 자어 먹이 공급 .....	72
4) 부화 자어의 성장 .....	74
5) 초기의 생산 .....	77
6) 초기 감도와 대응 .....	80
5. 치어 .....	92
가. 사육 환경 관리 .....	92
1) 치어 사육 환경 관리 .....	92
나. 사육 관리 .....	98
1) 치어의 사육 밀도 .....	98
2) 치어 사료 공급 관리 .....	100
3) 치어 사육의 생물학적 변수 관리 .....	100
4) 자치어의 이송 관리 .....	104

다. 질병 관리 .....	106
1) 수처리 시스템 .....	106
2) 부화장을 위한 생물학적 안전 .....	108
6. 종자 수송 .....	110
가. 수질 관리 .....	110
1) 수송 밀도 .....	110
2) 종자 수송해수의 수질 관리 .....	110
나. 수송 관리 .....	114
1) 종자의 수송 관리 .....	114
부록 .....	117
가. 부화 시설과 장비의 위생 관리 .....	117
나. 친어, 자치어 사육 시설과 장비의 위생 관리 .....	123
다. 수질 측정 기기의 관리 .....	129
참고문헌 .....	130

## 붉바리 종자 생산관리 매뉴얼

전 세계적으로 바리과 어류에 관한 연구는 일본, 중국, 대만, 필리핀 등 동남아시아 국가를 중심으로 어미관리와 성 성숙 유도 및 종묘생산 연구가 수행되고 있다.

일본의 바리류 종묘 생산 연구는 일본재배어업협회를 비롯하여 1960년대 후반부터 이미 관심을 갖고 붉바리(*Epinephelus akaara*)를 시작으로 자바리(*E. moara*), 능성어(*E. septemfasciatus*), 홍바리(*E. fasciatus*), 무늬바리(*Plectropomus leopardus*) 등에 대해서 인공 사육이 시도되어 왔다.

1979년에 일본재배어업협회 하쿠호지마(伯方島) 사업장 및 타마노(玉野) 사업장에서, 그 후 1982~1984년 사이에 에히메(愛媛), 카가와(香川), 도쿠시마(徳島), 나가사키(長崎), 오카야마(岡山), 그리고 히로시마(広島) 수산시험장에서도 시작되었다. 또한 1988년에는 국고 보조에 의한 지역 특산종 증식 기술 개발 사업이 시작되어 종묘생산, 중간육성, 자원 생태 및 방류 기술의 일관된 증식 기술 개발이 진행되었다. 그러나 종자의 생산은 현재까지 궤도에 올랐다고 말하기 어렵게 성적은 좋지 않다.

대만은 상품크기의 바리류의 주요 생산국 일뿐만 아니라 아시아 전역의 국가에 공급되는 바리류 종자의 주요 생산국이다. 대만은 1980년도 중반에 인공종자생산에 성공, 1990년 중반에 대량양산 체제를 구축하였다. 대만의 유생 사육기술은 '육외' 유생 사육 시스템의 사용과 유생 사육에 있어서 요각류의 비교적 흔한 사용의 두 가지 측면에서 아시아의 다른 곳에서 사용되는 기술과 다르다.

중국에서는 종자에 대한 실질적인 수요를 충족시키기 위해 대만과 다른 동남아시아 국가들로부터 부화장과 야생에서 포획된 종자를 모두 수

입하고 있다.

인도네시아는 강력한 바리류 양식산업을 가지고 있으며, 대만과 함께 아시아-태평양 지역의 바리류 종자의 중요한 공급원이다. 바리류 종자는 주로 발리 북부, 동부 자바, 수마트라의 Lampung의 부화장에서 생산된다. 다양한 바리류 종에 대한 부화장 기술의 개발은 Institute for Mariculture Research and Development Gondol에 의해 수행되었고, 많은 연구 개발 노력이 일본 및 호주 연구 기관과 협력하여 수행되었다.

중국, 인도네시아, 말레이시아는 바리류 간 교잡을 통한 잡종 종자를 선호하는 경향이 강하다. 잡종 바리류는 성장이 우수하고 사육환경에 대한 적응능력이 강하여 질병에 잘 걸리지 않아서 생존율이 높으나, 생산량 증가에 따른 시장 가격이 하락하는 경향을 보이고 있다.

최근 분자생물학적 기법의 적용으로 육종 기법을 더욱 고도화·다양화하고 있으며, 산업적 적용 가능성은 날로 높아지고 있다. 그러나 이들 기법의 적용 이전에 선발 방법과 계통간 교배 방법을 통한 육종은 오래전부터 양식 어류에 적용되고 있으며, 현재 산업적으로 이용되고 있다.

국내에서는 국립수산물과학원에서 1991년에 붉바리와 자바리를 대상으로 능성어류 종묘 생산 기술 개발을 위한 생태 조사와 어미 사육을 하였으며, 1994~2011년에는 능성어, 붉바리의 종 보존 및 양식 대상 종 연구, 1996~1998년에는 붉바리 종묘 생산 기초 연구를 하였다.

바리과 어류의 번식생리에 관한 연구는 제주대학교의 이영돈 교수팀이 1993년도부터 지속적으로 시도하였고, 최근에 정부의 GSP (Golden Seed Project)사업으로 붉바리, 자바리, 능성어 등 바리과 어류에 대한 상용화 기술 연구가 진행되고 있다. 이외 자치어의 성장과정에서 발달장애 개체의 출현을 저감을 위한 적응생리이용 기술에 대한 연구가 진행 중이다.

유전자원 기초 및 안정성 연구는 2012년 최고 기술 보유국 대비 기술 수준은 37.1%, 기술격차는 7년으로 가장 낮은 수준에서 붉바리 GSP사업을 수행하면서 붉바리의 유전체 해독 등 최고 기술보유국에 90%로 기술

격차가 거의 없는 수준에 달하였다. 붉바리 GSP 사업전 전체 기술수준은 최고 기술 보유국 대비 47.1%로 기술격차는 5년 정도, 종자생산 기술은 최고 기술 보유국 대비 기술수준 69.6%로 기술격차는 4년 정도였으나, 붉바리 GSP사업을 수행하면서 붉바리 최초 1년어의 puberty 유도, 사육환경에 적응하는 성숙관련 인자 특성 분석, 상시 수정란 생산, F0, F1, F2 가계유지, 친자확인 시스템 구축 등 최고 기술국 수준에 근접한 상태에 달하였다. 앞으로 아시아 시장에서 주요 수출대상 어류로 주목을 받고 있는 붉바리에 대한 상용화 사육 시스템개발 및 시스템 운영 및 경영평가 등이 필요하다.

본 매뉴얼은 GSP의 “수산종자 관리기준 개발 및 인증제 연구”의 일환으로 붉바리의 “수산종자인증제 평가 체크리스트” 준수사항 및 기준과 관련하여 국내 및 국외의 연구논문, 보고서, 기타 자료 등을 참고로 하여 작성하였다. 이중에 국내 자료로서는 주로 백혜자 등(2017)의 “수출용 붉바리 종자 번식기술 개발 건강지침서”, 이영돈 등(2017)의 “수출용 붉바리 종자 개발”과 박종연(2016)의 “붉바리(*Epinephelus akaara*) 인공종묘생산에 관한 연구”를 기반으로 하여 작성하였다. 국외 자료로서는 山口県水産振興課(2012)의 栽培漁業のてびき(改訂版) 7. キジハタ를 주로 참고하였다.

붉바리에 관한 연구는 주로 일본이나 중국에 한정되어 연구 개발되었으며, 우리나라에 있어서도 학술연구 위주로 발표되었기 때문에 종묘 생산의 전 과정에 걸친 본 매뉴얼의 작성에 상당한 어려움이 있었으며, 그와 함께 현장 작업과의 불일치, 수록 내용상의 오류 등이 있을 것으로 우려된다. 그러나 본 매뉴얼이 처음으로 발간됨으로서 앞으로 이에 대한 수정과 보완을 할 수 있는 바탕을 마련하였다는데 의미를 두고 많은 의견과 활용을 부탁드립니다.

## 1. 친어

### 가. 친어의 확보

처음에 붉바리의 친어는 야생 어류를 수집하거나 구매하여 얻을 수 있다. 성숙한 수컷과 암컷의 친어는 외적으로 구별 할 수 없기 때문에 다양한 크기의 개체를 얻을 필요가 있다. 친어를 획득하는 또 다른 방법은 부화장에서 생산된 개체를 기르는 것이다. 가두리 또는 수조에서 양식된 어류는 이미 양식 조건에 익숙하여 적절한 친어로 자라기 쉽다.

### 1) 친어의 선택

#### 가) 친어의 성

- 붉바리는 참바리아과(Epinephelinae) 어류와 마찬가지로 자성선성숙의 자웅동체(protogynous hermaphrodites)로 즉, 처음에는 암컷으로 성숙한 다음 나중에 수컷으로 성을 바꾼다,
- 자연에서 어획된 붉바리 중 성숙한 수컷의 출현빈도가 아주 낮기 때문에, 인공중자 생산시 필요한 정액 확보를 위한 수컷의 확보가 종자생산에 있어 중요한 문제이다.
- 전장 30 cm 전후에 수컷으로 성전환이 일어나며, 전장 30~32 cm 이상에서 수컷의 비중이 50% 이상에 이른다.
- 그러나 같은 크기의 무리를 양성하면 30 cm이하의 천연 어획어에서도, 또 인공 생산어의 성숙 첫 해에도 수컷의 비중이 커지는 것으로 나타났다. 성비가 1대 1에도 암수의 크기가 비슷하다면 암컷에서 수컷으로 성 전환이 일어나지만, 수컷의 크기가 암컷보다 큰 군은 성 전환이 억제되어 암컷의 평균 전장이 32 cm 이상이 된다. 또한 수컷만의 군을 1년간 양성하면, 작지만 암컷으로 성 전환이 보였다. 그러므로 일정한 크기에 달하면 성전환이 일

어나는 것이 아니라, 무리들의 구성도 성의 결정에 크게 관여하고 있는 것으로 추정된다.

- 생식소가 퇴축하고 다시 성숙으로 향하는 시기 (1~5월)에 난소 조직과 정소 조직이 모자이크상으로 발달하는 간성(間性)이 나타나는 것에 의해 본 종의 성전환은 겨울에서 봄에 걸친 기간이 중요하다고 생각된다.
- 친어 양성의 과제로서 암컷의 확보(암컷의 성전환 억제)는 가을까지 암컷의 무리와 전장이 겹치지 않는 정도의 큰 수컷 군을 넣어서 암수비 1대 1로 한 군을 월동시키면, 어느 정도의 크기까지는 성 전환의 억제를 기대할 수 있다.  
※ 일본 재배 어업 협회 타마노(玉野) 사업장에서 산란 종료 후에 생존 개체 70마리에 대한 캐놀라(cannula)에 의한 성별 조사 결과, 암수 비율은 ♀:♂=35:35이며, 암컷의 평균 전장 및 체중은 32.0 cm (27.2~37.0), 561 g (285~825), 수컷의 평균 전장 및 체중은 36.7 cm (27.4~39.6), 818 g (320~980)이었다.

#### 나) 친어의 크기

- 암컷 친어는 600 g 이상의 크기를 사용하는 것이 수정률과 부화율의 측면에서 유리하다. 그러나 장기간 사육에 의한 사용을 위해서는 어획된 천연어중 200~300 g의 소형어만을 구입하여 3년간 사용한다. 이러한 개체는 압도적으로 암컷의 비율이 많지만 성장해 1 kg 가까이 되면 대부분이 암컷에서 수컷으로 성전환하기 때문으로 즉, 대형어를 많이 구입하면 수컷만 되고 암컷의 비율이 줄어 난의 채취량도 줄어들기 때문이다.

#### 다) 행동 반응

- 먹이 분포에 대한 양호한 반응, 빠른 유영, 물속에서의 위치를 유지하기 위한 부력 조절과 같은 정상적인 행동

#### 라) 성장률과 사료 전환 효율

- 동일 연령 그룹 안에서 최상의 성장률과 사료 전환 효율을 가지고 있어야 한다.

마) 기타

- 정상 체형과 체색: 골격의 기형이 없어야 하며, 상업적 선호 체색과 형태를 지녀야 한다.
- 건강 상태: 큰 상처, 내부 출혈, 감염, 기생충 및 피사가 없어야 한다.
- 선택 후 체중, 체장 및 성별과 같은 초기 생물학적 데이터를 기록한다.

2) 친어의 포획과 수송

- 자연에서 포획 시 어살(魚箭), 통발 등 스트레스를 최소화하는 적합 어구를 사용한다.
- 가두리 및 수조에서 포획 시 1회 인망에 적은 수의 친어를 어획하여 조심하여 다룬다.
- 비늘의 탈락을 피하기 위하여 취급시 무결절망과 먼장갑을 사용한다.
- 수송할 어류는 배설물과 역류된 사료가 수송 용수를 오염시키지 않도록 사전에 최소 24시간 먹이를 먹여서는 안 된다.
- 입시 수용과 수송 용기에 어류가 포획된 장소로부터 가져온 해수를 사용하여야 한다.
- 입시 수용과 수송에 피부 찰과상과 기계적 충격을 피하기 위하여 충분한 공간의 원형 수조 또는 원형 모서리의 사각 수조를 사용한다.
- 수송 시 수송 시간과 수온에 반비례하여 어류 밀도를 조절하고 단열 처리된 수송 용기를 사용한다.
- 친어는 스트레스를 줄이기 위해 포기하거나 산소 처리된 물이 담

긴 어두운 색상의 탱크에 수송해야 한다. 용존 산소량은 항상 75% 이상의 포화 상태를 유지해야 한다.

3) 친어의 입식

- 친어용 어류가 배양장에 도착하자마자, 성별 확인 후 선택 기준에 따라 친어를 선정하며 식별을 위해 개별적으로 표지한다. 친어의 취급시에는 마취는 하지 않고 눈을 가리고, 성장과 사료 계수를 산정하기 위하여 체장과 체중 등을 측정하여 기록한다.
- 표지 부착(tagging)은 현장에서 성별 및 연령별로 어류를 개별적으로 식별하는 것과 그리고 배양장 업무 일지에서 각 어류들의 이력(history)을 쉽게 추적하는 데 이상적이다.
- 친어 관리에는 수동 집적 무선 응답기(PIT, passive integrated transponder)라고 하는 전자 표지(electronic markers)가 선호되며, 전용 판독기(portable reader)로 태그를 적출하지 않고 코드를 읽을 수 있는 매립식 표지로 어류의 안전을 위해 가장 일반적으로 사용한다. 원통형의 바이오 적합성이 있는 유리 용기에 전자 코일, 동조 콘덴서, 마이크로 칩이 들어있는 수동 무선 주파 표지이다. 규격은 1.25×7 mm, 1.4×8 mm, 2.12×8 mm, 2.12×12 mm, 3×15 mm, 4×32 mm 등이 있으며, 큰 개체에서는 대형의 태그를 사용하는 것이 감도가 양호하다(그림 1).



그림 1. 수동 집적 무선 응답기 (PIT)

#### 4) 친어의 질병 예방

##### 가) 질병 예방

- 친어를 친어 탱크에 입식하기 전에 기생충이나 질병을 기존에 있던 어류에 전염시킬 기회를 줄이기 위해 이들을 격리하는 것이 바람직하다. 이 과정은 일반적으로 1~4 주 정도 소요되며, 작은 탱크(0.5~2 m<sup>3</sup>)에 수용하는 것이 환수와 어류의 취급이 쉽다.
- 격리 기간 동안 친어 관리는 어류의 기생충 부하를 줄이기 위해 정기적으로 5분간 담수욕조에 넣어 피부흡충(*Benedenia* spp., *Neobenedenia* spp.), 원생동물(예: 백점충 *Cryptocaryon irritans*) 및 기생성 요각류(예: *Caligus* spp.)와 같은 기생충을 제거하는데 초점을 맞춘다.
- 질병 예방 조치는 질병 관리사의 조언에 따라 약육을 실시한다.
- 수온과 염분의 갑작스러운 변화는 피해야 한다. 만일 친어수조의 수질(특히 수온과 염분)이 이전의 수용 환경과 아주 다른 경우, 친어는 수조에 수용하기 전에 최대 1시간 동안 순응시켜야 한다.
- 어류를 취급시에는 면장갑의 사용을 권장하며, 어류를 들어 올릴 때는 한 손은 머리 아래에, 다른 손은 항문 아래에서 두 손바닥을 사용하여 어류의 아래 몸으로부터 들어 올림으로써, 어미와 접촉할 때는 항상 부드럽게 작업해야 한다.
- 절대로 어류를 더럽거나 또는 건조한 손으로 만지지 않아야 하며, 어류를 만지기 전에 손을 잘 씻은 다음, 어류를 수용하고 있는 수조의 물에 손을 담귀 피부를 잘 적셔야 한다.
- 어미 방역 시설의 배수 또는 사용 장비를 분리함으로써 다른 사육 단위와 접촉하지 않도록 하여야 한다. 방역 수조의 배수는 병원생물을 제거하기 위하여 처리되어야 한다.
- 기생충과 질병의 전파 가능성을 예방하기 위하여 어미 방역 시설은 다른 양식 시설로부터 완전히 격리되어 있어야 한다.

- 친어의 이송 후에, 이들 수조는 배수하고, 500 ppm 차아염소산염(hypochlorite (NaOCl)) 용액으로 완전히 살균하여야 한다.
- 원생동물 감염의 경우 현미경으로 아가미와 피부 샘플을 검사하는 것이 필수적이다. 아가미 샘플을 얻기 위해, 아가미 뚜껑(operculum)을 부드럽게 열고, 주걱(spatula)으로 아가미를 조심스럽게 긁어낸다. 피부 샘플의 경우, 점액을 수집하기 위해 주걱으로 어류의 체표를 긁어낸다. 그런 다음 슬라이드에 놓고 커버 글라스(cover glass)로 덮어 현미경으로 검사한다.

##### 나) 친어의 질병과 치료

###### (1) 바이러스성 신경괴사증(VNN: Viral nervous necrosis)

- VNN은 해산 어류 부화장에서 흔히 볼 수 있는 질병으로 바리류틀 포함한 대부분의 양식 해산어류에 영향을 미친다. VNN은 수직적으로(어미에서 난자와 정자를 통해) 또는 수평으로(수조 내에 도입된 물이나 또는 먹이생물 배양에서) 전달될 수 있다.
- VNN의 방제 대책으로서, 친어로부터의 수직 감염을 끊으려고 nested PCR(이중 중합효소 연쇄반응)법으로 검사한 바이러스 음성 개체만을 산란용 친어로 사용한다.
- 그러나 바이러스 음성의 친어도 인위적 사육환경 하에서 장기간 사육하면 스트레스로 인한 VNN 원인 바이러스를 보유할 위험성이 있기 때문에, 구입년도로부터 3년간 경과한 개체는 바이러스를 보유하고 있지 않은 천연 개체로 대체할 필요가 있다.
- 해수에서 자치어로의 수평 감염을 방제하기 위해서 사육수는 자외선 살균처리 해수를 사용하는 것이 바람직하지만 현재로서는 근본적인 대책 방법은 없고 살처분하고, 처분 후 시설을 소독한다.
- VNN은 7~9월의 수온 24°C~28°C에서 VNN 바이러스에 의해 발생하며, VNN의 가장 명백한 증상은 '나선형' 패턴으로 헤엄치는

- 어류의 방향 감각 상실이다. 이것은 종종 체색의 변화를 수반하며, 일반적으로 체색이 어두워진다.
- 증상의 발견 즉시 수산질병관리사의 진단을 받아 적절한 조치를 받아야 한다. VNN의 발병은 며칠 내에 심각한 사망률을 초래할 수 있으며, 최악의 경우 생산량 전체를 소실시킬 것이다.
  - VNN의 명확한 진단은 조직 병리학적 검사와 PCR 검사로 할 수 있다. PCR 테스트만으로는 바이러스의 존재만 확인되며, 질병이 VNN인지 확인하기 위해서는 추가적인 조직학적 검사가 필요하다. 조직학적 검사는 눈, 뇌 및 척수에 초점을 맞추어야 한다. VNN은 망막, 뇌 및 척수 조직의 심각한 공포형성으로 나타난다.
  - 광학 현미경하에서 바이러스에 의해 유발된 신경 시스템에서의 광범위한 공포조직이 사육 유생의 망막에서 관찰되는데, 대부분 초기 단계의 공포 조직은 14일령의 유생에서 관찰한다. 신경계의 공포조직은 각 사육에 있어 초기 단계의 유생에서 발생했다.
  - VNN이 발생하면 해당 탱크를 엄격히 격리하고 영향을 받는 탱크와 영향을 받지 않는 탱크 사이에 어류 또는 장비를 옮기지 않도록 한다. 감염된 어류에 접근하는 직원은 감염되지 않은 지역에 접근하기 전에 손과 신발을 소독하고 옷을 갈아입어야 한다.
  - 발병이 심각하여 탱크에서 대부분의 어류가 손실 될 가능성이 있는 경우, 다른 탱크로 확산될 가능성을 줄이기 위해 해당 탱크의 어류를 죽이고 탱크뿐만 아니라 관련 장비 (그물, 양동이, 에어스톤, 에어라인 등)를 소독하는 것이 좋다. 발병이 경미한 경우, 죽었거나 빈사상태의 유생을 정기적으로 (하루에 여러 번) 제거하고 염소 또는 유사한 소독제를 사용하여 폐기하기 전에 유생을 살처분/소독한다. 각 탱크 점검 후에 그물과 기타 장비를 소독한다.

## (2) 기생충에 의한 질병

- 붉바리의 친어 양성 기간 중에 주로 발생하는 질병으로는 백점병과 오디니움병(*Oodinium* sp.)이 알려져 있다.
- **백점병**: 해산 백점충(*Cryptocaryon irritans*)이 체표나 아가미에 기생에 의한 것으로 여름철에 발생하는 경우가 많지만 수온 하강기(발생 예는 10월, 22°C에서이다)에도 발생하는 경우도 있다.
  - 증상은 수면을 휘청휘청 유명하거나, 바닥에 모로 누워 있다. 체색이 희게 보이며, 체표나 지느러미의 출혈이 있다.
  - 대책으로는 정기적으로 5분간 담수 욕조에 넣어 구제한다. 단 한번의 담수욕으로 백점충과 같은 원생동물 기생충이 완전히 제거되지는 않는다는 점에 유의해야 한다. 담수욕으로 눈에 보이는 유영기 단계(theront stage)는 제거할 수 있지만, 영양기 단계(trophont stage)는 상피 속에 침투하여 담수 노출의 영향을 받지 않으므로 새로 입수한 어류가 친어 탱크에 방양되기 전에 격리 및 반복적인 담수 처리가 필요하다.
- **오디니움병(oodinium disease)**: 원생동물 편모충의 일종인 *Oodinium ocellatum*이 해산어의 피부, 아가미, 지느러미 및 구강 내벽 등에 기생해서 흰 점이 생기는 병으로 일본 타마노(玉野) 사업장에서는 산란기 이후(8월)에 오디니움병으로 친어 1군(146마리)을 폐사시킨 적이 있다.
  - 예방을 위하여 한 수조에서 장기간 양성을 하지 않도록 하고, 오디니움병의 발생이 예상되는 고수온기에는 섭이량의 변화에 유의하고 산란이 끝나는 대로 친어를 다른 수조에 수용한다.
  - 섭이량이 감소한 경우, 친어를 잡아 올려 백점충이나 오디니움의 기생을 조사한다. 그 때 기생이 인정되는 경우에는 포르말린 150 ppm에서 30분간의 약욕을 하는 등의 대책을 강구한다.



그림 2. *Oodinium* sp.

(Source: <https://www.youtube.com/watch?v=uLXJGOo4RPg>)

- **베네데니아충:** 붉바리의 체표에는 작은 벌레(*Benedenia seriola*)가 기생하고 있어, 방치해 두면 짐차 수가 늘어나 친어의 몸에 상처를 내거나 질병의 원인이 될 수 있으므로 체표의 기생충을 약 5분의 담수욕(수돗물)으로 제거한다.

## 나. 사육 시설

### 1) 친어의 사육 시설

- 산란 구역은 산란 어미의 심리적 장애와 질병 감염의 위험을 피하기 위하여 주요 배양장 건물로부터 분리하거나 또는 배양장 안의 전용구역에 두어야 한다.
- 친어수조는 사육과 유지뿐만 아니라 산란에도 사용된다. 수조는 원형, 사각형 또는 둥근 모서리가 있는 직사각형으로, 수조의 색상으로는 중간 정도의 청색, 녹색 또는 회색이 선호되며, 매우 밝거나 매우 어두운 색조는 아니다.
- 난과 정자를 방출하면서 수조 바닥에서 위쪽으로 헤엄치는 붉바

리의 쌍 또는 그룹의 산란 행동을 위한 충분한 공간을 확보하기 위해서는 수조의 깊이는 2.0m 이상이어야 한다.

- 각 탱크에는 난의 수집을 위해 그물이 설치된 오버플로(overflow) 파이프가 있다.
- 친어 수조는 난의 수집을 어렵게 하고 기생충 감염의 위험을 높이는 수조 벽면의 조류의 성장을 줄이기 위해 지붕이 되어 있는 것이 좋다.
- 더러운 탱크는 친어에 스트레스를 유발하여 산란 실패를 초래하거나 산란된 난의 질을 떨어뜨릴 수 있으므로 자주 청소한다.
- 장기수용에 적합한 수조를 갖춘 독립 구역이 필요하며, 이 구역은 빛과 수온조건이 자연 주기와 독립적으로 설정될 수 있어야 한다.
- 갑작스러운 광도의 변화를 피하고 황혼 효과를 만들기 위한 조광 스위치가 있는 타이머-조정 조명시설이 필요하다.

## 다. 사육 관리

### 1) 친어 사육 환경 관리

- 친어의 양성은 50 m<sup>3</sup> 원형 수조에서 하고, 여과 해수를 1일 3~5회전이 되도록 주수하고, 차광은 차광률 90%의 차광막을 이중으로 한다.
- 사육환경 조절을 통한 상시 성 성숙을 유도하기 위해 10월, 11월에 열 이용 순환여과 사육시스템을 적용하여 수온을 18℃에서 점차적으로 상승시켜 22±0.1℃ 유지시켜 주며 광주기는 12L:12D에서 14L:10D 조건으로 유지한다(표 1).
- 어병 발생에 의한 친어의 폐사를 방지하기 위해 동 발생기(동 이온 발생장치)와 모래여과기를 이용하여 최적 사육환경 조성 (DO:

7.5±0.5 mg/L, pH: 8.1±0.2, 환수율: 100%/일)을 하고, 먹이는 영양강화 배합사료(EP)와 영양강화 생사료(고등어, 전갱이, 오징어)를 혼합하여 2회/일 공급한다.

표 1. 인위 성 성숙 유도를 위한 환경제어 조건 (이영돈 등, 2017)

구 분	환경 조건		비 고
	수온(°C)	광주기	
대조구	13-18(자연수온)	자연 광주기	자연 해수
실험구	18-22	광주기 조절 (14L:10D)	순환여과 해수

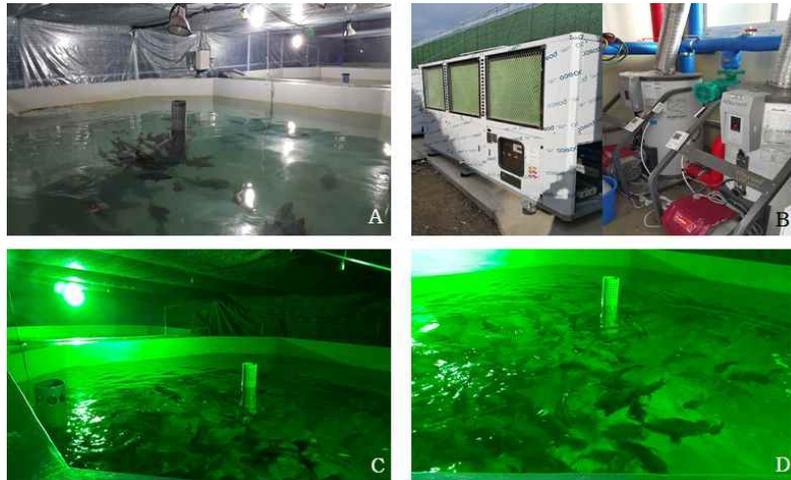


그림 3. 붉바리 성 성숙 유도에 따른 사육수온과 광주기 조절 시설 (A: 대조구, B: 사육수온 제어용 히트펌프 및 보일러, C: 실험구, D: 수조내 실험어) (백혜자 등, 2017)

- 사육환경 조절에 따른 생식소중량지수(GSI) 변화는 그림 4와 같이 3개월 후에 사육환경 조절구에서 GSI의 급격한 증가를 보였다. 특히 1차년도인 2014년 11월부터 다음해 2월에 걸쳐 성성숙 유도한 경우에 GSI가 5.18로 10월부터 다음해 1월까지 성성숙 유도한 경우의 GSI 보다 높았다.

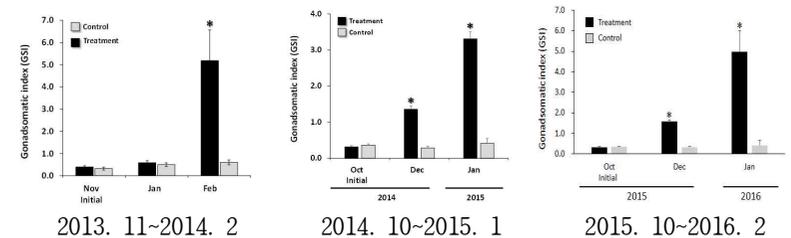


그림 4. 생식소 중량지수(GSI)의 변화 (이영돈 등, 2017)

- 미성숙단계의 생식소를 가진 붉바리는 광주기 처리 9주 후, 40~70 μm, 150~170 μm, 그리고 360~400 μm의 난모세포들이 혼재되어 발달하는 초기 성숙단계로 발달하였다. 광주기 처리 12주 후, 자연광주기인 대조구는 미성숙단계였으나 광주기 처리구의 생식소는 난경 400 μm 이상의 난황구기 난모세포가 대부분을 차지하는 성숙단계로 발달하였다.
- 수온은 갑작스러운 변화가 일어나지 않도록 하며, 최적의 산란수온 범위 안에서 유지한다. 염분농도는 수정란의 부력을 향상시킬 수 있는 적정 수준을 유지한다.
- 친어 수조에는 매일 200-300%의 환수율로 신선한 해수를 지속적으로 공급한다. 친어 수조에 사용되는 해수는 안정된 염분과 수온으로 여과되고 깨끗해야 한다.

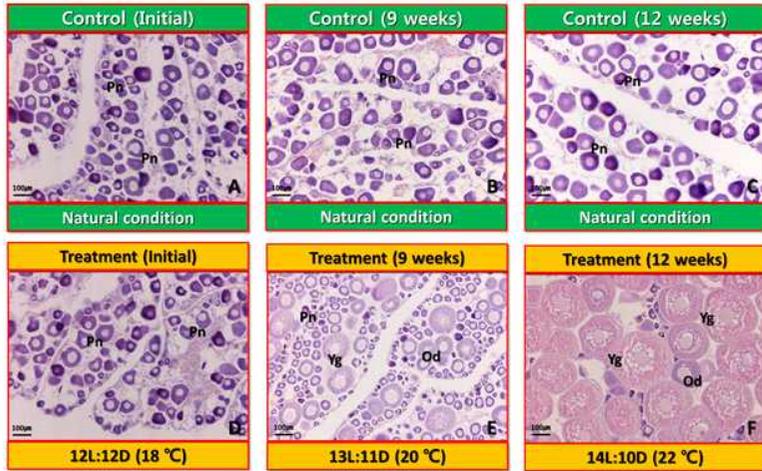


그림 5. 사육환경 조절에 따른 생식소 변화 (이영돈 등, 2017)  
(Od, oil-droplet stage; Pn, peri-nucleolus stage; Yg, yolk globule stage)

- 수조 바닥에 쌓인 대변과 과량의 사료는 수질 악화를 방지하기 위해 주기적으로 사이펀으로 제거한다. 산란 완료 후 사육수를 썩고 오염시키는 남은 알이나 죽은 알을 제거하기 위해 어미 수조를 청소하는 것이 좋다. 기생충 침입의 발생을 줄이기 위해, 친어는 수조 청소 중에 5~7분 동안 민물에서 담수욕을 한다.
- 화학적 오염: 광범위한 화학물질, 심지어 비누도 어류의 난과 유생을 죽일 수 있다. 수조의 물에 접촉하기 전에 작업자는 피부에 자외선 차단제(sun cream)나 방충제와 같은 화학물질이 없는지 확인하고 제거해야 한다. 수조에서 난이나 유생의 샘플링에 사용되는 장비는 사용하기 전에 소독하고 서로 다른 수조에서 사용하는 사이에 소독하여 질병이 전이될 가능성을 줄이도록 한다.

## 2) 친어 사료 공급 관리

- 배우자 형성기 동안, 암컷은 난모세포(oocytes)의 난황으로 저장될 난황 전구 단백질(vitellogenin)의 생산을 위하여 평소보다 단백질과 지방이 풍부한 먹이가 필요하다.
- 난황은 배 발생과 생물 먹이를 먹기 시작하는 초기 자어 단계를 위한 유일한 먹이원이기 때문에 난황의 질과 양은 성공적인 번식을 위한 주요 요소이다.
- 건조 사료와 습사료 모두 이 시기에 공급한다. 건조 사료는 고도 불포화지방산과 같은 자어의 발생에 필수적인 모든 영양요소를 포함하여야 한다. 특히 EHA (20:5 ω 3)와 DHA (20:6 ω 3)는 어류의 신진대사에 의해 생산될 수 없기 때문에 먹이와 함께 공급되어야 한다.
- 빈약한 먹이의 경우, 포화지방산이 풍부한 암컷의 내장 주위 지방이 난황 생산에 이용되어, 결과적으로 난의 품질이 빈약해지고 자어의 생존력을 감소하게 한다.

표 2. 붉바리 친어 양성에 사용한 먹이와 그 조성의 예 (野上·福永, 1990)

종 류	비 율	비 고
냉동 남극 크릴	20.0	
냉동 오징어	20.0	Argentina산 살오징어 大洋漁業
냉동 전갱이	15.0	
냉동 민꽃게	5.0	
배합사료	34.0	タイモイストマツツ 中部飼料製
종합 비타민제	2.4	ニッチク藥品製
사료 첨가제	2.0	マリンメイト ニッチク藥品製
lecithin	1.0	ツルーレシチン 工業製
비타민 E	0.5	新日本餌料製
β-carotene	0.1	日本ロッシュ製

- 친어용 먹이로는 까나리, 오징어, 크릴새우, 게 등의 생먹이 외에도 이들을 반죽 먹이로 하여 난의 질을 향상시키기 위해 비타민류나  $\beta$ -카로틴 등의 영양제, 대두 레시틴, 피드오일 등을 첨가한 것을 준다. 또, 시판의 다공질 펠렛에 종합 비타민제 등을 흡착시킨 것을 주어서 좋은 채란 결과를 얻은 사례도 있다.
- 급이는 산란기까지는 주 3회 포식할 때까지 그 이후는 매일 실시한다.

## 라. 번식 관리

### 1) 친어의 산란 유도

#### 가) 암수 감별 및 성 성숙 측정

- 붓바리가 산란기에 들어가면 수정율이 높은 난을 얻기 위해서 산란용 수조에 수용하는 암수의 수를 조정할 필요가 있으므로 친어의 성별 판정을 한다. 붓바리는 성장에 따라 암컷에서 수컷으로 성전환하는 특성이 있으므로 매년 암수를 조사하여야 한다. 성 전환에 따른 수컷화가 진행되어 안정적인 채란이 어려워질 수도 있다.
- 각 개체의 성별은 신체검사를 통해서만 확인할 수 있다. 붓바리를 손상시키지 않도록 발포합성고무(urethane foam) 위에서 검사한다. 성별을 확인하기 위해 친어의 복부를 머리에서 꼬리 방향으로 부드럽게 마사지한다.
- 암컷은 어류의 성숙도를 판정하기 위하여 수작업 압출에 의해 점검하거나 또는 캐놀라 삽입(cannulation)으로 점검한다.
  - 난소의 발달 단계를 평가하기 위해 난 샘플을 얻으려면 암컷 생식공(genital pore)에서의 캐놀레이션(cannulation)이 필요하다. 그

러나 생식문(生殖門, genital orifice)이 완전히 닫히거나 접근하기가 어렵기 때문에 어류가 산란 상태에 있지 않으면 암컷의 캐놀레이션이 어려울 수 있다.

- 성숙한 암컷의 경우, 부드러운 복부 압박 후 생식공으로부터 난이 쉽게 압출된다. 성숙 중인 암컷의 경우는, 복부를 강하게 압착해도 난이 압출되지 않을 수도 있다. 그러므로 생식소 조직을 표본하기 위하여 캐놀라를 사용한다.
- 캐놀라(cannula)는 40~50 cm 길이의 깨끗하고 유연한 플라스틱 관(외경 3 mm, 내경 1.2 mm)으로 수컷의 비뇨생식공 및 암컷의 난관에 삽입한다.
- 캐놀라를 삽입할 붓바리를 마취시키거나 젖은 천이나 수건을 눈 위에 두어 진정시킨다. 캐놀라는 6~7 cm 정도 길이로 넣어 캐놀라의 다른 끝 부분에서 흡입한다.
- 캐놀라를 빼낸 후, 캐놀라 내의 샘플은 즉각적인 검사를 위해 현미경 슬라이드에 옮기거나 또는 나중에 난 직경 측정을 위해 1%의 중성 완충 포르말린(neutral buffered formalin)이 들어 있는 유리병(vial)에 넣는다. 암컷의 성숙 정도는 난을 슬라이드 글라스에 옮겨 40배율의 현미경으로 검경한다. 일반적으로 산란 상태의 암컷은 직경 400-500  $\mu$ m 이상의 난모세포를 갖는다.
- 성숙한 수컷의 친어를 배지느러미 직전 구역부터 시작하여 비뇨생식공(urogenital pore) 근처까지 부드럽게 압착하면 비뇨생식공에서 엄청난 정액(milt)이 밀려 나온다. 만약 정액이 압출되지 않으면 미정숙이거나 또는 이미 방정하였거나 암컷이다.
  - 수컷은 배를 누르는 것만으로 정액이 생식공에서 나오는 경우가 있지만 그렇지 않은 경우는 캐놀라를 생식공에 삽입하여 관의 반대편을 가볍게 흡입하면 생식선의 내용물이 조금 나오므로 이것으로 암수 판정과 성숙도를 판별한다.

- 정자의 활동을 현미경으로 100배 확대하여 검사한다. 해수 한 방울을 슬라이드 글라스 위에 놓고, 작은 양의 정액을 한 방울의 해수에 추가하여 현미경으로 관찰한다. 정상적인 정자는 정액과 해수가 혼합된 후에 선회하는 움직임을 보인다.



그림 6. Cannulation 방법을 이용한 붉바리 어미 난모세포 채취와 성숙도 조사 (이영돈 등, 2017)

#### 나) 자연산란

- 최근에는 자연 산란에 의해 안정적으로 수정란을 얻는 것이 가능해지고 있다. 2세어의 일부에서 산란이 시작되지만, 많은 암컷이 산란을 시작하는 것은 3세부터이다.
- 산란에는 5~80 kl의 콘크리트 수조를 사용하고 수용은 1kl당 4마리 이하로 한다. 친어의 암수 비율은 1 : 1을 기준으로 한다.

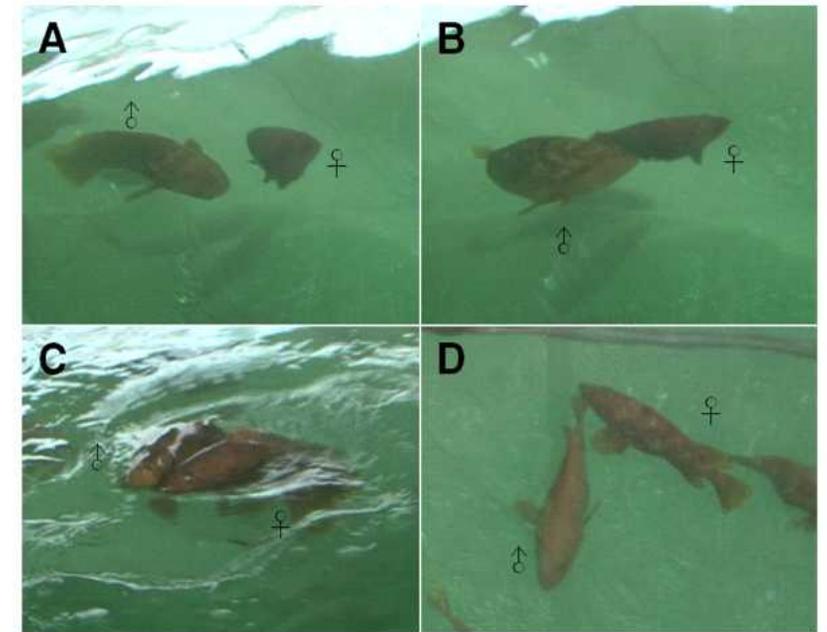


그림 7. 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 산란 행동 (Park et al., 2016)

A : 암컷을 쫓는 혼인색의 수컷. B : 수컷은 머리를 사용하여 암컷의 복부를 계속해서 자극한다. C : 수컷과 암컷은 몸을 서로 겹쳐 수면으로 올라가고 동시에 산란과 사정이 일어난다. D : 산란을 마친 수컷과 암컷은 떨어져서 다시 산란을 반복한다.

- 산란기 전의 친어는 모든 개체가 은신처(shelter) 안에 들어가 서로 겹쳐 있지만, 산란기가 가까워질수록 점차 수컷들이 세력권을 형성해 은신처를 잃은 개체가 늘어난다.
- 산란은 저녁 5시경부터 10시경까지 1대 1의 짝으로 이루어진다. 산란 시각에는 수컷에 명료한 얼룩무늬(斑紋)가 나타나고, 1개의

은신처를 독점하게 된다. 오후 3시경부터 이러한 수컷이 암컷에 추미(追尾) 행동을 한다. 산란은 표면 근처에서 2마리가 겹쳐 진행되며 몇 초간 계속된다(그림 7).

다) 배란 유도

- 일반적으로 바리과와 같이 자연 산란이 어려운 어류의 수정란 생산을 위해서는 호르몬 처리를 통해 수정란 생산을 하고 있다.

<HCG 주사>

- 캐놀레이션하여 조사한 400 μm 이상 난모세포를 가진 친어에 태반성 성선자극호르몬 (HCG) 500 IU/kg BW 농도로 1회 근육주사하고 48시간 후에 복부를 압박하여 인위적으로 배란을 유도한다.

<LHRHa 주사>

- 해상가두리에서 양성된 붉바리 암컷 어미의 배란 유도 시 적정 호르몬을 조사한 결과, 개체별 평균 채란량은 LHRHa 100 μg/kg 농도로 처리한 구간에서 176.0±4.47ml가 채란되었고, 부상률은 약 91%였다. 다음으로 LHRHa-Pimozide (LHRHa 100 μg/kg + Pimozide 1,000 μg/kg)를 처리한 구간에서는 155.8±6.9ml가 채란되었고, 부상률은 약 88%였다. Ovaprim 0.5 ml/kg 농도로 처리한 구간에서는 143.8±10.3ml로 그 중 부상률은 약 50%였고, HCG 500 IU/kg 농도로 처리한 구간에서는 채란량은 가장 많았으나 부상률은 약 39%로 양질의 난을 안정적으로 확보하는 방법으로는 비효율적이었다.
- 난의 부화율은 LHRHa는 87.5±3.3%이었고, LHRHa-Pimozide는 약 85%, Ovaprim은 약 66%, HCG는 약 54%로 LHRHa 처리 실험구가 가장 높았다.

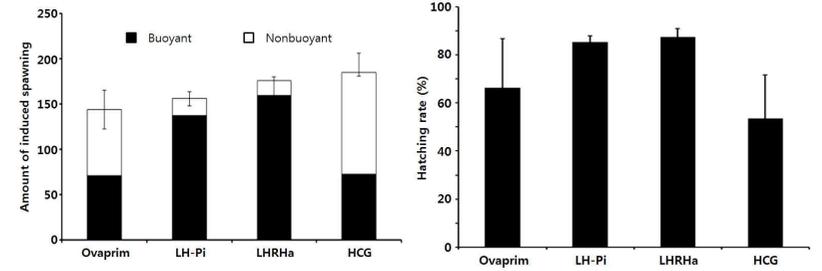


그림 8. 배란 유도 호르몬별 채란량 그림 9. 배란 유도 호르몬별 부화율 (박종연, 2016)

- 인위적인 성숙유도 및 채란에 적절한 호르몬으로 LHRHa를 100 μg/kg 농도로 어체의 제1극조 하부의 등근육에 주사하고 48시간 경과 시점에 비노생식공 주위를 복부압박법으로 채정, 채란하여 건식법으로 수정시킨 것이 부상률과 부화율이 높았다.

<사육 수온에 의한 Puberty 유도>

- 환경제어를 통한 조기 puberty(사춘기) 유도를 위해 부화 후 110일령 붉바리 치어(전장 7.25±0.5 cm, 체중 6.45±1.5 g)를 대상으로 8개월(2014. 11~2015. 7)간 자연수온 처리구(대조구)와 사육수온 처리구 (20±0.5℃, 24±0.5℃, 28±0.5℃)로 구분하여 처리하였고, 광주기는 자연 광주기를 유지하였다.
- 실험 종료시 대조구의 실험어는 전장 12.2±1.0 cm (체중 28.5±11.5 g), 20±0.5℃ 처리구의 실험어는 전장 15.2±2.3 cm (체중 54.3±15.0 g)으로 성장하였으나, 생식소는 어린난모세포만 관찰되는 미성숙 단계로 FSH β와 LH β mRNA 발현이 낮았다.
  - ※ FSH: follicle stimulating hormone, 여포자극호르몬
  - LH: luteinizing hormone, 황체형성호르몬

- 24±0.5℃ 처리구의 실험어는 전장 18.1±1.0 cm (체중 89.0±24.0 g), 28±0.5℃ 처리구의 실험어는 전장 20.1±2.0 cm (체중 131.4±39.0 g)으로 성장하였으며, 생식소는 400 μm 이상의 난황구기 난모세포들이 관찰되는 성숙단계로 발달하였고, FSHβ와 LHβ mRNA 발현이 급격히 증가하였다.
- 그러므로 조기 puberty 유도를 위해서는 24~28℃ 정도의 수온에서 사육이 필요하다.

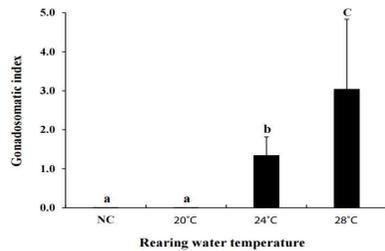


그림 10. 사육수온별 생식소 중량 지수 (Oh et al., 2018)

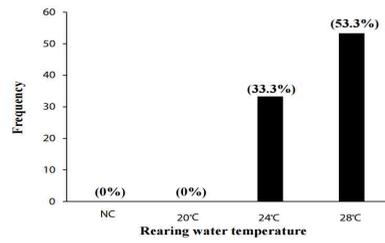


그림 11. 사육 수온별 성숙 어류 비율 (Oh et al., 2018)

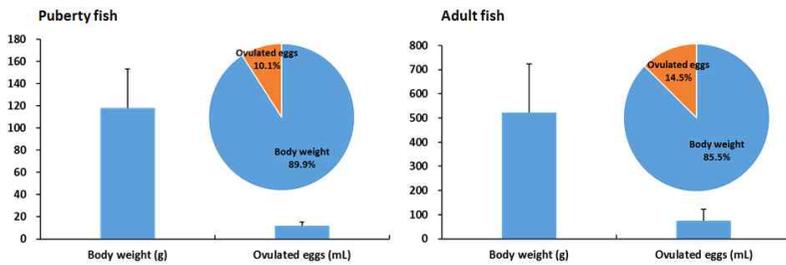


그림 12. 1년생 붕바리와 어미 붕바리 배란량 비교 (이영돈 등, 2017)

- 조기 Puberty를 유도한 개체를 대상으로 인공 수정란의 생산 결과, 성숙한 붕바리 1년생 암컷의 배란량은 6~10 mL 이었고, 성숙한 어미의 배란량은 50~200 mL로 모두 어체중의 약 10~14%를 배란하였다. 그리고 이들에서 생산한 난과 정자를 이용하여 수정시킨 결과 수정율 95%, 부화율 97%이었다.

## 라) 산란

- 산란은 수온 20℃ 전후가 되는 6월 상순부터 8월 하순까지의 약 3 개월간에 걸쳐 일어난다. 부상란 비율은 산란 초기에 비교적 높고, 점차 감소하는 경향을 보인다. 산란 초기와 중기에는 부화율은 낮고, 기형율이 높다.
- 산란은 저녁부터 심야에 걸쳐서 일어난다. 오버플로어(over flow) 구조의 배수구에 설치한 채란망으로 유출되는 난을 수거하여 다음날 아침 9시경에 채집한다.
- 난은 지름 약 0.7~0.8mm의 부성난으로 채집 후 표층에 부상하는 수정란과 저층에 침하하는 불량란을 분리하여 수정란만 종자 생산에 이용한다.
- 산란일수 및 총채란수는 추정연령 10~15세의 고령군이 78일, 59,660천립, 추정연령 3~5세의 약령군이 72일, 64,020천립이었다. 암컷 1마리당의 채란수는 고령군이 2,480천립, 약령군이 1,390천립으로 고령군이 많았으며, 평균 부상란율도 고령군이 46.7%로 약령군의 27.3%보다 높았다.
- 평균 난경은 고령군이 0.81~0.77 mm, 약령군이 0.83~0.80 mm였다. 기형률은 경과일수와 함께 증가해 고령군이 높은 값을 나타냈다.

## 2) 난과 정자의 수집

### 가) 난과 정자의 수집

### <생식세포(gamete) 수집 전 친어에 필요한 처리>

- 친어를 성숙 탱크에서 꺼내어 수돗물로 어체를 깨끗이 하여 소금기를 제거한다.
- 친어를 작업대에 올려놓고, 어체를 수건으로 조심스럽게 닦는다.
- 그 후에, 친어의 비뇨 생식기(urogenital)와 생식공(genital pores) 주변을 눌러서 소변을 짜낸다.
- 친어의 스트레스를 줄이기 위해 수건으로 머리를 가린다.
- 마취는 필요하지 않다.

### <정액(milt)의 수집>

- 정액의 수집은 난의 수집보다 앞서 실시한다.
- 정액은 비뇨생식공 주위에 압력을 가하여 실리콘 튜브(내경 1.5 mm)가 달린 주사기로 수집하고, 수정 시점까지 아이스박스에 보관한다.

### <난의 수집>

- 난은 생식공(genital pore)을 향한 복부 압박으로 얻어진다.
- 혈액이 압출된 난(stripped eggs)이 섞인 경우에는 난 수집을 중단한다.
- 배란이 일어나는지 관찰하기 위해 때때로 암컷 복부를 압박하는 것이 필요하며, 첫 번째 배란 후 매일 난이 수집될 수 있다.

### 나) 인공 수정

- 건식법(dry method)으로 수정을 한다.
- 난은 건조된 플라스틱 용기(0.6 L)에 압출한다.
- 정액(semen)은 수생 조류의 깃털을 사용하여 압출된 난과 함께 첨가하여 혼합한다.

## 2. 먹이 생물

해산 어류 자어의 생산을 위해 먹이생물인 미세조류(microalgae), 로티퍼(rotifers), 알테미아(artemia)의 생산과 자어의 성장에 따라 영양의 질을 개선하기 위한 일부 영양 강화를 한다.

갈색등근바리(*Epinephelus coioides*, green grouper)의 유생은 적절한 발달을 위하여 불포화 지방산인 EPA(20 : 5n-3), 아라키돈산(ARA 또는 20 : 4n-6) 및 DHA(22 : 6n-3)의 높은 지방 함량을 필요로 하며, 이들 지방산의 공급은 유생사육에 사용되는 먹이생물에의 결합을 통하여 유생과 종자의 생존율과 성장 그리고 색소 침착을 개선한다.

이런 이유로 붉바리 유생사육에 사용되는 먹이 생물은 필수 지방산의 수준을 높이기 위해 처리해야 한다. 로티퍼와 알테미아의 영양을 향상시키기 위해 다양한 상업적 조제용 물질이 개발되어 있다. 바리류는 DHA에 대한 요구가 매우 높으며 특히 알테미아는 장쇄 지방산(long-chain fatty acids)을 단쇄 지방산으로 역 변환하여 DHA와 같은 필수 지방산의 수준을 낮추기 때문에 DHA가 높은 제품을 사용하는 것이 좋다. 이러한 영양 보충 제품은 액체 또는 분무 건조 제품으로 포장된다.

일반적인 준비는 필요한 양을 측정하고, 재료에 수화시키거나(분무 건조제품을 위하여), 유화(액체 제품을 위하여)시켜 혼합한 다음 먹이생물 배양 탱크에 적용한다. 특히 중요한 것은 적용 기간(일반적으로 <12 시간) 동안 배양 탱크에서 높은 용존산소 수준을 유지해야 하며, 먹이생물이 고밀도인 경우에는 순수 산소 또는 산소 보충 공기가 필요하다.

### 가. 조류 배양

#### 1) 조류 대량 배양

- 최근의 개발로 인해, 조류 페이스트(algae paste)와 조류 농축물

(예: *Chlorella* sp., 10-12 g/L)은 조류-효모 배양(algae-yeast cultures)보다 위생적이며 경제적으로 가장 효과적이라는 것이 입증되었다. 조류 페이스트와 농축물은 상업적으로 이용 가능하며 배양장에서 곧 더 이상 생산하지 않게 될 것이다.

- 그러므로 여기에서는 조류 배양에 있어 시험관 배양→ 200 ml 배양→ 5 L 플라스크 배양→ 100 L~1 m<sup>3</sup> 배양에 이르는 스케일 업 배양(scale-up culture)에 대한 배양방법에 생략하고 대량 배양(Mass Culture)에 대해서만 기술한다.

### <조류 대량 배양>

- 조류 대량 배양은 실외에서 5~30 m<sup>3</sup> FRP 수조를 이용한다.
- 옥외 배양 수조는 양지바른 곳에서, 또 조류 성장을 촉진하기 위해 서쪽에서 동쪽 위치로 벌려놓는다.
- 야외 수조의 위치는 로티퍼와 원생동물로부터 오염되는 것을 최소화하기 위하여 고려되어야 한다. 이들 동물 플랑크톤이 강한 바람에 의해 조류 배양 수조로 날아갈 수 있기 때문이다.
- 여과된 바닷물과 수돗물은 청소와 충전을 위해 쉽게 접근할 수 있어야 한다.
- 강한 포기로 조류를 잘 교반할 수 있어야 한다.
- *Nannochloropsis* 배양에서, 초기 수심은 접종되는 조류의 밀도와 부피로 고려한다.
- 접종 후 조류의 밀도는 5~10 x 10<sup>6</sup> cells/ml로 설정하고, 조류의 밀도가 20 x 10<sup>6</sup> cells/ml에 도달하면, 밀도가 10 x 10<sup>6</sup> cells/ml가 될 때까지 살균된 해수를 첨가한다.
- *Nannochloropsis*의 밀도는 봄철에 1주일에 목표 밀도인 20 x 10<sup>6</sup> 세포/ml에 도달한다.
- 시비의 간격과 용량은 대량 배양조에서의 조류 성장에 영향을 미

치므로, 표 3과 같이 표준 비료 양의 1/3이 매 3일마다 적용한다.

- 최고 밀도에 도달한 배양된 조류는 로티퍼에 공급되기 전이나 또는 농축되기 전에 온도 조절 수조로 옮긴다.
- 조류는 호스 끝 부분에 부착된 45 μm 플랑크톤 백 그물(plankton bag net)을 통해 거른다.

표 3. *Nannochloropsis*의 대량 배양에 사용되는 화학제품의 투여량

	수조 용량			
	100 l	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>
Initial water volume	100 l	900 l	2 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>
Bleach(12% sodium hypochlorite)	20 ml	180 ml	400 ml	2 l
10% Sodium thiosulfate solution	2 ml	18 ml	40 ml	200 ml
Inoculation	5 l	100 l	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
21-0-0(ammonium sulfate)	10 g	100 g	100 g	500 g
42-44-0(ammonium phosphate)	0.8 g	8 g	8 g	40 g
46-0-0(urea)	10 g	10 g	10 g	50 g
Fe-EDTA	0.5 g	5 g	5 g	15 g
시비의 간격	1회		3일 마다	

(Source: Çiftci et al., 2002)

### <세포 계수(Cell Counting)>

- 성장과 오염을 조사하기 위해 각 배양 조류의 밀도를 매일 모니터링 한다.
- 조류 세포의 수는 혈구 계산기(hemocytometer)를 사용하여 현미경 하에서 모니터 한다.
- 혈구 계산기(hemocytometer)에 의한 세포 계수
  - 혈구 계산기와 커버 글라스를 90% 알코올로 닦는다. 먼지와 지질이 없어야 한다.

- 커버 글라스를 혈구 계산기의 패션 부분 중앙에 놓는다.
- 커버 글라스를 단단히 밀고 가볍게 비틀어, 카버 글라스와 혈구 계산기 사이에 뉴턴 환(Newton's ring)을 형성한다.
- 한 방울의 샘플이 커버 글라스의 면에 놓여진다.
- 시료가 너무 많아서 홈에 넘치거나 또는 너무 작아서 챔버가 불완전하게 채워지지 않아야 한다.
- 페트리 디쉬(petridish)를 준비한다. 샘플의 증발을 방지하기 위해 페트리 디쉬에 축축한 종이 한 장을 둔다. 세포가 바닥에 가라앉을 때까지 5분 동안 혈구 계산기를 페트리 디쉬에 남겨 둔다.
- 혈구 계산기는 일반적으로 세 가지 유형이 사용한다. 가장 큰 Thoma형은 1 mm x 1 mm, Burkner-Turk형은 3 mm x 3 mm이고, Neubauer형은 4 mm x 4mm이다.

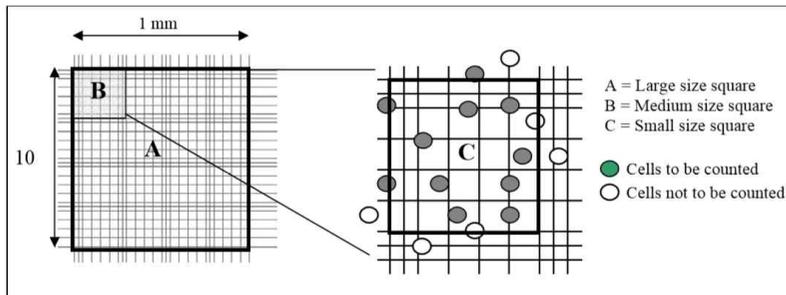


그림 13. 혈구 계산기에 의한 세포 계수(Source: Çiftci et al., 2002).

#### <오염 방지 대책>

- 현미경 관찰 외에 각 배양 수조의 육안 검사를 매일 해야 한다.
- 수면에 끈적끈적한 녹색 거품 또는 배양 수조 벽면의 오물이 발

견되면, 로티퍼 또는 원생동물이 의심된다. 이 중 어느 하나의 경우, 1ml의 표본을 입체 현미경으로 검사 한다. 1ml 샘플에서 오염의 증거가 발견되지 않으면, 5L 샘플을 채취하고, 그 다음에 이 샘플을 45 μm 플랑크톤 망으로 농축하여 농축 된 샘플을 현미경으로 관찰한다.

- 로티퍼가 농축 표본에서 발견되면, 액체 표백제(liquid bleach)를 15 ppm (15 ml/m<sup>3</sup>)의 농도로 30분 동안 배양 조에 첨가한 후 티오황산나트륨(1.5 ppm = 1.5 g/m<sup>3</sup>)으로 중화시킨다. 로티퍼 알은 이 치료로도 생존 할 수 있으므로, 같은 처리를 다음날 새롭게 부화한 로티퍼를 죽이기 위해 반복한다.
- 바람직하지 않은 원생동물이 관찰되면, 액체 표백제를 50 ppm (50 ml/m<sup>3</sup>)의 농도로 30분 동안 배양 수에 첨가하고, 그리고 나서 티오황산나트륨(5 ppm = 5 g/m<sup>3</sup>)으로 중화시킨다.

#### <농축(Concentration)>

- 종자 생산 기간 동안 인력을 최소화하고, 또 비수기에 기존 재고를 확보하고, 또한 대량 배양을 위한 비상 공급원으로서, 수확된 조류의 일부 또는 전부를 폴리에틸렌 중공사막(polyethylene hollow fiber membrane, 개방 직경 0.1 μm)을 통해 농축한다.
- 농축 조류는 액체 또는 냉동 형태로 보존한다. 이들 해조류는 품질이 현저하게 저하되지 않으면서 1년 이상 보존할 수 있다.
- 농축된 조류는 강한 포기가 제공되는 플라스틱 대형 병에 옮겨져서, 1~3°C 에서 냉장고에 보관한다.
- 또한 조류는 비닐 백에 포장하여, 지질 함유물의 산화를 방지하기 위해 -30°C 이하의 온도에서 보관할 수 있다.
- 농축 *Nannochloropsis*의 밀도는 5 ~ 6 x 10<sup>9</sup> cells/ml이고, *Phaeodactylum*의 경우 0.5 ~ 1 x 10<sup>9</sup> cells/ml이다.

## 나. 로티퍼

### 1) 대량 배양 환경 관리

#### 가) 수온

- 30℃의 높은 온도에서도 대량 배양할 수 있으나 높은 수온에서는 세균과 다른 오염물질도 증가할 수 있으므로, 일반적으로 관리가 용이한 20~25℃에서 배양한다.
- *Brachionus plicatilis*(평균 240 μm)의 최적 성장 온도는 일반적으로 20 ~ 25℃ 이고, 반면에 *B. rotundiformis* (평균 160 μm)는 약 30℃이다.

#### 나) DO

- 조류 용기 안에서의 로티퍼의 증식 단계 동안에, 로티퍼의 산소 요구량은 미세조류의 광합성 활동에 의해서 필요한 산소량이 채워진다.
- 로티퍼의 대량 배양에서 인공 사료, 영양 강화 촉진제, 높은 밀도 및 대사 생성물은 배양액의 산소를 감소시킨다.
- DO 포화도 80% 이상의 안전 범위 안에 산소 수준을 유지하기 위하여, 강한 포기에 의해 공기를 공급하고, 필요시 비상 산소 공급 시스템에 연결한다.

#### 다) pH

- 허용범위는 pH 5-9이나, 7.5-8.5로 조절한다.
- 낮은 pH는 유독성 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 이온화 암모니아(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 사이의 균형에 영향을 주어 유독성 암모니아(NH<sub>3</sub>) 부분을 감소시킨다.

#### 라) 염분농도

- 로티퍼의 배양 가능 염분은 1-60 ppt로 매우 넓으나, 소형 로티퍼 계통(S-type strain)의 적정 염분농도는 18-20 ppt이며, 반면에 대형(L-type)은 30 ppt에서 더 잘 자란다.

#### 마) NH<sub>3</sub>

- 유독성 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 1 mg/l 이하로 한다.

#### 바) 포기(aeration)

- 로티퍼 배양에 포기하는 것은 산소를 공급하고, 적절한 난류를 조성하여 로티퍼와 먹이 생물의 부유를 유지하는 것과 또한 수조의 청결을 최적화하는 데 필수적이다.
- 포기율과 에어 스톤의 위치 설정은 조심스럽게 조정되어야 한다.
- 적절히 강한 포기는 큰 공기 거품이 없이 수면에 평탄하게 퍼져 있는 물의 난류(water turbulence)에 의해서 감지할 수 있다.
- 에어 스톤의 숫자와 배치는 수조의 형태와 부피에 달려있다. 그러나 모든 경우에 침전물의 재부유를 막기 위하여, 에어 스톤은 수조 바닥으로부터 약 15 cm 위에 떠 있어야 한다.

#### 사) 로티퍼 배양수조의 청소

- 원추형 바닥을 가진 원형수조에서, 바닥 침전물은 포기 없이 10-15분 동안 침전시켜 제거할 수 있다(침전 작업 중에 DO 수준의 점검에 주의가 필요하다).
- 침전한 다음 바닥 밸브를 몇 초간 열었다가, 배출수가 다시 깨끗해졌을 때 밸브를 잠근다. 아침과 저녁, 하루에 두 번 사육수조 청소 작업을 반복한다.
- 수면이 접촉하는 수조벽 부위의 수면 접촉면에 형성되는 기름 층

을 스폰지 또는 종이 형식으로 제거하여 청소를 완료한다. 결코 손을 물에 넣지 않아야 한다.

- 로티퍼 수조의 사육수는 부유성 고형물, 배설물 및 섭취되지 않은 먹이로 생긴 슴털 같은 플락(flocks)에 의해서 빠르게 오염될 수 있다. 부유성 침전물, 배설물, 미섭취 먹이, 플락 등의 바닥 침전물의 제거는 과도한 세균 발생의 예방과 로티퍼가 이용 가능한 산소를 증가시켜 준다.
- 로티퍼 배양수의 지속적인 포기는 부분적으로 입자의 침전을 방지한다. 입자의 제거는 입자 여과막(particle traps)을 활용하는 것이 편리하며, 효과적으로 사용하기 위하여 하루에 최소 두 번 청소한다.

## 2) 로티퍼의 배양

### 가) 대량 배양 방법

- 로티퍼의 대량 배양에 일반적으로 사용되는 두 가지 표준 배양 시스템은 “회분식 배양 시스템(batch culture system)”과 “이용 배양 시스템(exploitation culture system, 또는 반 연속 배양 시스템)”이다.
- 로티퍼 배양의 먹이 공급은 2개의 주요 방법이 있으며, 과거의 “조류와 빵 효모의 조합 공급”과 최근의 “인공 사료 공급”이다. 신뢰성과 더 많은 생산량 때문에 두 번째 방법이 점차 첫 번째 방법을 점진적으로 대체하고 있다.
- 조류/효모에 의한 대량 배양은 혼하고 쉽게 이용할 수 있는 먹이 상품인 빵효모(*Saccaromyces cerevisiae*)를 이용하는 것이다. 빵효모는 노력과 경비를 절약할 수 있는 먹이나, 효모에 관련된 세균을 먹는 로티퍼에게 효모는 영양가가 없다.

- 인공 사료에 비교해서, 이 방법은 수확량이 적고, 일반적으로 하루 더 많은 시간을 요한다. 로티퍼는 높은 수준의 n-3 HUFA와 비타민으로 영양을 강화하여야 한다.

### 나) 대량 배양 시설

- 로티퍼 대량 배양 수조는 1~10 m<sup>3</sup>의 용적으로, 이들 수조는 FRP, PE 또는 PVC 내장 콘크리트 수조 등으로 만들어진다.
- 해수 순환과 입자 침전을 위하여 원추형 바닥을 가진 원형 수조를 이용한다.
- 로티퍼 대량 생산을 위하여 공기 배분 시스템, 냉난방 장치, 해수 가온기 등을 설치한다.
- 조류가 먹이로 이용되는 단계를 제외하고는, 로티퍼의 대량 배양은 빛이 필요 없기 때문에 일반적인 조명 시스템을 설치한다.
- 로티퍼 대량 배양은 고밀도 때문에, 엄격한 위생 상태를 유지하기 위한 사육 절차와 기준이 엄격하게 적용되어야 한다.
- 위생이 중요하기 때문에 표준 세척 절차를 엄격히 실천해야 한다.

### 다) 수조 준비

- 로티퍼 배양의 수확 후, 새 배양 주기를 시작하기 전, 아래와 같이 수조를 준비한다.
  - 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 헹군다.
  - 술과 세제로 완전히 씻고 다시 헹군다.
  - 수조 벽을 500 ppm 활성 염소 용액으로 씻거나 또는 살포한다. 2시간가량 후에 수조의 물을 빼내고 염소 냄새가 없어질 때까지 잘 헹군다.
  - 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안

으로, 수조를 해수로 채우고 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균하며, 이후 잔류 염소는 티오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화한다.

- 포기 배관, 배수 밸브, 부유입자 여과막(suspended traps) 등 수조에서 사용되는 장비들에 대한 절차를 반복한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균한다.

#### 라) 로티퍼의 접종

- 접종 로티퍼로 사용하는 로티퍼 개체군은 최소 20% 번식률(전체 로티퍼에서 난을 가진 로티퍼의 비율)을 가진 대수 증식기(log-phase)의 중간에 있어야 한다.
- 제한된 운동성, 낮은 포만도, 알의 부재 등으로 특징되는 이미 최종 단계에 달한 로티퍼를 접종용으로 사용해서는 안 한다.
- 로티퍼 접종 초기 최적 밀도는 150-200 개체/ml 이나, 최소 100 개체/ml 이상이어야 한다.
- 인공 먹이 공급에 의한 고밀도 배양은 500 개체/ml로 증가하는 것이 필요하다.
- 초기 밀도 200 개체/ml로 접종될 경우, 일반적으로 로티퍼 밀도는 25°C에서 4~6일 안에 최대 생산 정점에 도달할 수 있다.
- 로티퍼 배양 수조 접종은 다른 수조의 로티퍼를 사용할 수 있다.
- 접종 로티퍼로 사용하기 위하여 수확하기 하루 전에 수조 안의 로티퍼에 번식 촉진제를 먹여야 한다.
- 오염과 배양 실패 위험을 줄이기 위하여, 수평 증식 배양은 7-8 회로 제한 한다.
- 7-8회 수평 증식배양 후에는 접종 로티퍼를 다시 가져와야 한다.

#### 마) 번식 촉진제

- 조류 배양 또는 인공 사료 배양 모두 로티퍼 배양액에 번식 촉진제로 vitamin B<sub>12</sub>를 첨가한다.
- B<sub>12</sub> 저장액은 살균된 눈금이 새겨진 1L 파이렉스 병에 비타민 B<sub>12</sub> 0.1g을 넣고, 살균된 증류수를 눈금까지 채우고, 충분히 녹았을 때, 냉장고에 저장한다. 비타민 용액을 살균해서는 안 한다.
- 투여량은 보통 수조의 로티퍼 배양 m<sup>3</sup>당 B<sub>12</sub> 저장액 100 ml이다. 그러나 적은 용기와 비닐 백 등에는 1 ml/L을 투여한다.
- 비타민 B<sub>12</sub>는 접종 로티퍼와 함께 배양 수조에 투여한다.

#### 바) 로티퍼의 배양 절차

- 수조를 염분농도 20 ppt로 만들기 위하여 수돗물로 희석한 살균된 해수로 채운다. 수돗물의 염소 농도를 점검하여, 만일 염소가 있으면 초과량의 티오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화하여야 한다. 먹이로 공급될 조류 배양을 위한 충분한 공간(수조 부피의 약 30%)을 남겨두어야 한다.
- 에어 스톤을 배치하고 포기를 한다.
- 섬모층과 불순물 걸름망을 설치한다.
- 오염을 점검하고, 접종 로티퍼로 사용할 최상의 적정 로티퍼 배양 백(rotifer bags)을 선택한다.
- 선택된 집단(batches) 또는 집단들을 여과한다.
- 150-200 개체/ml의 초기 밀도가 되도록 수조에 접종한다. 접종한 날을 일령으로 0일로 한다.
- 로티퍼의 초기 먹이로 수조 부피의 20%만큼 배양 조류를 추가한다. 배양 조류는 대수 증식기에 있어야 하며, 오염된 것에서 가져오지 않아야 한다.
- 다음 날(일령 1일)에 배양 조류로 남은 10% 용적을 채운다.

- 수조 일지에 배양 로티퍼의 성장, 공급된 먹이 및 측정된 환경 항목에 관한 모든 정보를 기록한다.
- 일령 1일부터 기록된 로티퍼의 밀도에 따라 표 4의 비율로 빵효모(bakers' yeast)를 공급한다.
- 신선한 효모의 1일 공급량은 4등분으로 나누어, 오전 2시, 8시, 오후 2시, 10시에 공급한다.

표 4. 로티퍼의 밀도별 빵효모의 공급률

로티퍼의 밀도(No./ml)	일일 먹이 공급률 (효모g/백만 로티퍼)
50 이하	3
50 ~ 100	2
100 이상	1

- 각 효모 먹이는 냉장고에 보관된 효모 덩어리에서 무게를 달아 잘라내고, 100 g/L의 농도로 수돗물을 채운 플라스틱 양동이에 보관한다.
- 부엌용 또는 공업용 믹서(blender)로 효모 세포를 분리하여 물에 현탁한다.
- 즉시 먹이로 주어야 하고, 남은 것은 전부 폐기하여야 한다. 효모는 매번 먹일 때마다 새로 신선한 것으로 준비해야 한다.

사) 수확

- 로티퍼는 어류에 먹이로 주어지거나 새 수조에 접종 로티퍼로 사용되기 전에 여과하고 행군다.
- 필터의 용량은 완전 수확과 행군에 필요한 시간 동안 전체 로티퍼 개체군을 안전하게 유지하기에 충분한 크기가 되어야 한다.

- 필터의 내측을 따라서 부드러운 기포를 만드는 것은 필터가 막히지 않도록 유지하는 데 도움이 된다.
- 중앙 배수 원추형 저면 원형수조의 수확과 행군 기준
  - 항상 깨끗하고 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균된 수확 장비를 준비한다.
  - 로티퍼가 여과 작업에 안전하게 견딜 수 있는 산소 과포화 매질(용존산소 10 ppm)을 만들기 위하여 10~15분 동안 수확될 수조에 순수 산소를 주입한다.
  - 10~15분 동안 에어레이션을 중지하고, 바닥 침전물을 제거한다.
  - 중앙 배수구에 배수구로부터 15 cm에 구멍들이 있는 PVC 배수 파이프를 끼우고 5분간 기다린다.
  - 수조 바닥 배수 밸브에 연성 호스를 끼우고 다른 끝을 수확할 장치에 둔다.
  - 밸브를 열고 80 µm 나일론 망을 사용하여 여과 수확을 시작한다.
  - 물의 흐름을 조절하여 필터가 막히거나 사육수가 넘치지 않게 한다. 100 L/min.을 넘지 않게 한다.
  - 로티퍼 농축액이 남치지 않도록 필요할 때마다 물의 흐름을 멈추고, 막힌 이전 필터를 청소한다.
  - 수확하는 동안, 비커 또는 페트리 디쉬(petri dish)를 가지고 약간의 여과수의 표본에 의해 여과망을 통과하는 로티퍼의 손실 여부를 점검한다.
  - 여과의 끝에, 밸브를 잠그고, 원 사육수조와 같은 온도에서 여과 살균된 해수로 10-15분 로티퍼를 행군다.

아) 로티퍼의 난 분리

- 로티퍼 알을 몸에서 분리하기 위해 그림 14의 절차로 수행한다.
  - 약 200 L의 로티퍼가 120 µm 수확 주머니 망(bag net)을 통해 농

축하고, 그리고는 믹서에 넣는다.

- 로티퍼를 분쇄하고 또 로티퍼로부터 알을 분리하기 위하여, 로티퍼는 10초 동안 균질화 한다.
- 균질화된 로티퍼는 두 층의 필터 스크린을 통해 분리한다. 위 망목(120 μm)은 일부 로티퍼를 거르고, 알은 아래 망목(80 μm)에서 수집한다.
- 알은 멸균된 해수로 잘 씻어 낸다. 일부 로티퍼는 여전히 살아 있어, 이 로티퍼들이 알을 오염시킬 수 있다. 모든 로티퍼가 죽었다는 것을 확실히 하기 위하여, 80 μm 여과기망 위의 알을 10초 동안 한번 더 균질화 한다.
- o 분리된 알은 멸균된 해수로 다시 세척한다. 이 분리된 난은 100 L의 해수와 이산화염소(chlorine-dioxide, 400 ppm)가 함유된 신선한 조류를 채운 원통형-원추형 수조에서 배양한다.

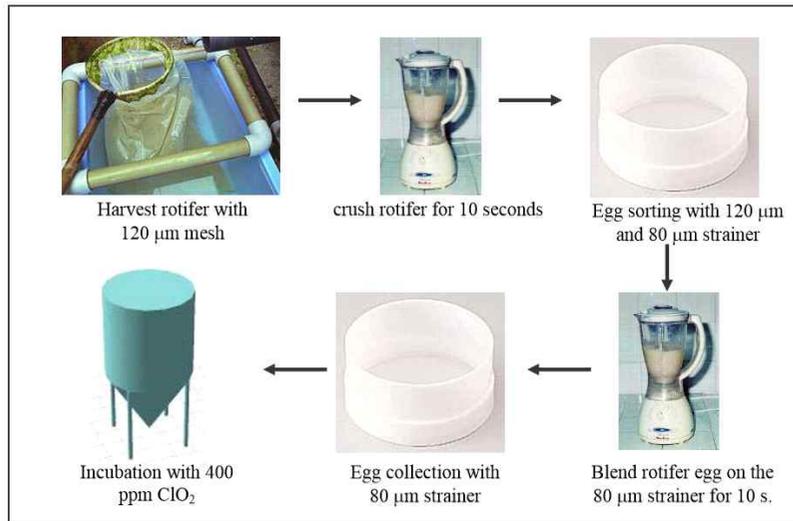


그림 14. 로티퍼(*B. plicatilis*) 난 분리 기술의 흐름(Source: Çiftci et al., 2002)

### 자) 로티퍼의 살균

- o 어류 자어에 대한 세균의 대량 유입은 먹이생물 사슬을 통해 일어난다. 그러므로 로티퍼 배양은 위생 관리가 필요하며, 위생 상태가 불량한 경우 Vibrios, Aeromonas 및 Pseudomonas 등으로 인한 높은 세균 부하를 받는다.
- o 유입수 및 수조와 유지 관리 자재의 살균(UV 또는 염소)에 의하여 병원균의 유입으로부터 보호되어야 한다.
- o 과거에 먹이생물은 항생제를 조합하여 살균하였다. 그러나 약물 내성 세균 균주의 발생을 예방하기 위하여 더 이상 권장되지 않는다.
- o UV 조사(38 mW/cm<sup>2</sup>)에 대한 로티퍼의 노출은 2분 이내에 세균 부하를 약 90% 이상 감소시켜, 생존율을 향상 시키는 데도 효과적이다.
- o 먹이 생물에 대한 세균 부하는 먹이생물의 장을 비우기 위하여 영양 강화 전의 짧은 단식과 그리고 특히 영양 강화 후 담수조에서의 철저한 세척에 의해서 감소된다.

### 3) 로티퍼의 영양 강화

#### 가) 로티퍼의 영양 강화

- o 현재 영양 강화는 주로 특별히 제조된 영양 강화제를 사용하며, 조류만을 사용할 때는 불가능한 높은 수준의 EPA, DHA 및 vitamin C를 로티퍼가 함유할 수 있게 해준다.
- o 로티퍼는 대량 배양 과정 중의 수조에서 또는 수확 후 전용 영양 강화 수조에서 영양 강화할 수 있다.
- 배양 과정 중에 배양 수조 안에서의 영양 강화는 전체 배양 기간 동안에 연속적이기 때문에, 조직의 영양 강화를 가져 온다. 획득된 지방산 비축물은 더 안정적이며, 굶주림 도중에 영양가

의 빠른 감소에 적게 노출한다. 이 방법은 시간을 절약하고 취급 손실을 감소시킨다.

- 수확 후 전용 영양 강화 수조 안에서의 영양 강화는 단기간의 영양 강화이며, 소화관의 영양 강화라고 할 수 있다. 이것은 수확과 행균, 그리고 별도의 분리된 영양 강화 수조의 준비가 필요하다.
- 영양 강화제품에 의한 영양 강화는 제조사가 제공한 설명서에 따라 영양 강화를 진행한다.
- 영양 강화는 6-12시간 사이에 해야 한다.
- 영양 강화 과정 중에 자주 로티퍼의 사망률과 용존산소 양을 점검하여야 한다. 용존산소는 80% 포화율 또는 4 ppm 이상이 유지되어야 한다. 필요할 경우 순수 산소를 첨가한다.
- 영양 강화제의 건조 제품은 생산 수조에서 직접 사용할 수 있으나, 기름이 함유된 제품은 단지 영양 강화 수조에서 사용하여야 한다.
- 거품의 집적에 의한 로티퍼의 손실을 방지하기 위하여, 필요시 영양 강화 중에 거품 방지제를 사용할 수 있다.

#### 나) 로티퍼의 영양 강화 절차

- 농축된 로티퍼를 해수가 채워진 원통-원추형 수조로 옮긴다. 필요시 소독 용액(예, 400 ppm의 이산화염소)을 추가한다.
- 로티퍼는 500 마리/ml 이하의 밀도로 저장하며, 그리고 추가 먹이 없이 중간 정도로 포기(7.5 l/min)되는 수조에 보관한다.
- 굶은 4시간 후, 로티퍼를 위한 영양 강화 배지를 넣는다. 농축된 미세조류와 HUFA가 풍부한 어유(0.15 g/10<sup>6</sup>로티퍼)를 수조에 첨가한다.
- 필요시, 로티퍼에서 자어에 도입되는 박테리아 부하를 최소화하기 위하여, 살균을 위한 적정 소독 용액을 첨가한다.

- 로티퍼가 기름과 기포에 응집되는 것을 피하기 위하여, 포기는 엄격하게 통제하여야 한다.
- 영양 강화 시작 16시간 후에, 같은 양의 HUFA가 풍부한 오일을 첨가한다.
- 영양 강화된 로티퍼의 수확은 영양 강화 시작 17시간 후에 이루어진다.

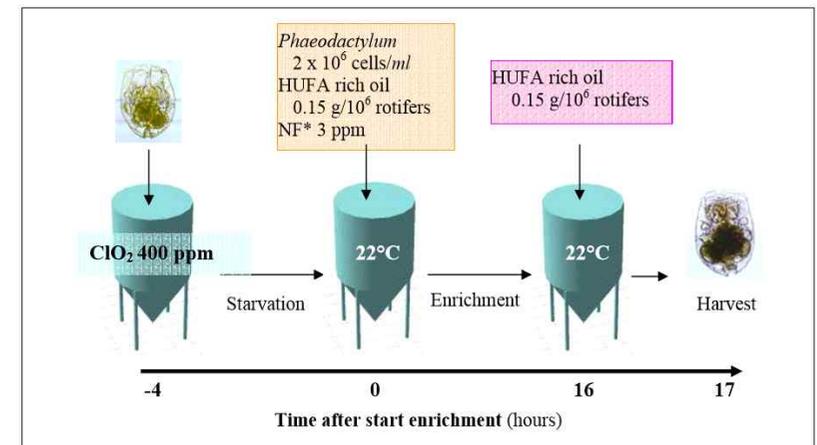


그림 15. 로티퍼(*B. plicatilis*)의 영양 강화(\* NF, Sodium nyfurstyrenate acid) (Source: Çiftci et al., 2002)

#### 4) 영양 강화 로티퍼의 저장

- 어류 자어에 의해 즉시 소비되지 않은 로티퍼의 영양분 함량은 빠르게 감소한다. 굶은 로티퍼의 경우, 총 PUFA량의 손실은 18°C에서 6시간 후에 60%에 이른다. 미세조류가 있는 green water에서조차, 로티퍼의 PUFA량의 손실은 6시간 후에 약 40%에 달한다.
- 영양 품질의 저하를 방지하기 위하여, 어류에 즉시 먹이지 않은

영양 강화된 로티퍼는 저온 저장고에 저장하여야 한다.

- 소비하고 남은 영양 강화 로티퍼는 저장 시 영양 손실을 방지하기 위하여 저장 시간이 14시간을 초과해서는 안 된다.
- 저장 온도는 단열 수조와 아이스 백 등에 의해 5~10℃ 사이를 유지해야 한다.
- 로티퍼의 저장 밀도는 2,500~3,000 개체/ml를 초과하지 않아야 하며, 로티퍼 저장의 산소는 4 ppm 이상 되어야 한다.

### 5) 로티퍼의 양적·질적 평가

- 배양하는 모든 로티퍼 개체군의 양적, 질적 평가를 위해 매일 점검한다.
- 각 용기, 플라스크, 백 및 수조로부터 1 ml 표본을 하고, 입체현미경(stereoscopic microscope) 아래서 관찰한다.
- 모든 배양 정보는 각 배양에 대한 개별 파일에 기록되어야 한다.

표 5. 로티퍼의 평가 기준

양적 평가 기준	질적 평가 기준
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ml당 로티퍼의 총 마리 수</li> <li>○ ml당 난의 총 개수</li> <li>○ 총 로티퍼 수에 대한 총 난수의 %로 산정한 번식률</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개체당 평균 난 수(추산)</li> <li>○ 포식률(위의 먹이 유무)(공복: 0, 중복: +, 만복: ++)</li> <li>○ 운동성(활발: ++, 비활발: +, 없음: 0)</li> <li>○ 먹이 여과(섬모관의 활동성)</li> <li>○ 배양조 표면의 거품의 유무 또는 배양 용기의 벽과 바닥의 침전물</li> <li>○ 원생동물, 곰팡이, 세균총 등 기타 미생물의 유무 및 동정과 빈도(무: 0, 중간 오염: +, 대규모 오염: ++)</li> </ul>

## 다. 알테미아

- 알테미아(artemia)가 박테리아, 바이러스 및 기타 원하지 않는 미생물, 그리고 때로는 살충제와 중금속을 보유하고 있기 때문에, 현대 배양장과 자어 사료 제조업체는 미립자 사료의 조기 먹이 길들이기로 알테미아에 대한 의존성을 줄이려고 한다.
- 알테미아와 관련된 생산 비용과 자어에 유해한 박테리아 이동의 재발 위험성을 줄이기 위하여, 어류 사료 회사들은 최근 미립자 사료 형태로 알테미아 대체 사료를 제공하고 있다.

### 1) 내구란의 선정

- 세계의 여러 다른 지역에서 생산한 많은 종류의 브라인 쉬림프 내구란이 판매되고 있으며, 각기 다른 nauplius 유생 크기와 영양가 및 부화 특성을 가지고 있다.
- 알테미아 내구란의 계통을 구별하는 특성은 g당 내구란의 수와 부화 효율(내구란 g당 생산된 nauplius 수)이다.
- 최상 계통의 내구란은 부화된 내구란의 g당 29~30만 노플리우스를 생산할 수 있으며, 95%에 가까운 부화율을 가진다.
- 품질이 좋은 내구란을 선정하여 24시간 생산주기의 동기화를 유도한다.

### 2) 내구란의 살균

- 알테미아 내구란의 난각은 일반적으로 세균, 곰팡이의 포자 및 기타 미세생물에 의해 오염되어 있다.
- 어류의 자어는 처리되지 않은 빈 난각, 미부화 내구란 또는 내구란 부화액 잔류물 등이 자어 사육 수조에 유입되었을 때 감염될 수 있다. 그러므로 내구란은 접종 전에 살균하여야 한다.

- 내구란의 살균은 최대밀도 50 g/L에서 차아염소산염 용액 (hypochlorite solution)에 침지하여 할 수 있으며, 처리 시간은 활성 염소의 농도에 따라 변한다(예: 200 ppm 염소 용액에서 20분, 또는 10,000 ppm 용액에서 1분).
- 125 μm 망목의 체로 내구란을 건지고, 충분한 담수로 행군다. 행구어진 내구란을 배양 수조로 옮긴다.
- 상업용 표백제의 경우, 염소 농도는 5-15%의 범위이며, 사용될 표백제의 실제 염소 농도를 점검하는 것은 필수적이다.

### 3) 내구란의 부화

#### 가) 부화 수조

- 수조 형태는 일반적으로 원추형 바닥을 가진 원형수조이다.
- 수조 내부는 백색 젤 코팅이 되어 있고, 수확을 위하여 원추 끝 가까이 반투명 창을 가지고 있다.
- 밸브 달린 배수관이 원추 끝에 설치되어 있다.
- 부화는 200~1,000 l 크기의 용기를 사용하나, 대량으로 부화시킬 때에는 이보다 큰 수조를 사용한다.
- 내구란이 떠있을 수 있도록 심한 물의 요동을 일으키기 위하여 수조 바닥 가까이에서 강하게 포기한다.

#### 나) 부화 조건

- 적정 부화 수온: 28-30℃
- 염분: 염분농도 35 ppt의 여과 살균 해수를 사용한다. 내구란을 빨리 부화시키기 위해서는 담수를 30% 정도 채워주는 것이 좋다.
- 용존산소: 4 ppm 이상
- pH: 8 이상을 유지하며, 필요하면 중탄산나트륨(sodium

- bicarbonate, NaHCO<sub>3</sub>)을 1당 약 1g(미리 녹임)의 비율로 첨가
- 조도: 첫 배양 시간 동안 수면에서 2,000 lux의 강한 조명을 한다.
- 내구란의 배양 밀도: L당 2.5 g

### 4) 노플리우스의 수확

#### 가) 수확 시기

- 부화는 수온 28~30℃에서 20~24시간이 지나면 이루어진다.
- 알테미아 노플리우스는 부화 직후 에너지가 풍부한 I령 유생 단계에서 수확되어야 한다.
- 적정 수확 시간을 예측하기 위하여 5 ml 피펫으로 배양수를 표본하여 노플리우스와 부화직후의 난각이 아직 붙어있는 배아(umbrella stages)를 현미경으로 점검한다.
- 수확 전에 포기를 멈추고, 10분 동안 방치하여 부화되지 않은 내구란을 가라앉히고, 빈 난각을 부유시킨다. 그런 다음, 배수관의 정체된 물과 부화되지 않은 내구란을 배출시킨다.
- 난각과 노플리우스 유생을 분리하기 위해서는 높은 염분의 바닷물(45 psu)을 사용하는 것이 좋다.
- 부화한 노플리우스는 밸브를 열어 114 μm 나일론 주머니 망(30 x 60 cm)을 사용하여 농축하고, 농축된 노플리우스 유생을 수돗물로 씻어낸다.

#### 나) 부화율 평가

- 부화 결과를 평가하는 두 주요 기준은 부화율(hatching rate)과 부화 효율(hatching efficiency)이다.
- 부화율은 내구란 100개당 부화한 노플리우스의 수이다. 좋은 집단 은 약 90-95%의 부화율을 가진다.

- 부화 효율은 내구란 g당 생산된 노플리우스의 수이다. 최상급 품질의 내구란은 g당 약 30만 마리의 유생을 수확할 수 있다.

#### 다) 알테미아 노플리우스의 살균

- 어류 자어에 대한 세균(bacteria)의 대량 유입은 먹이생물 사슬을 통해 일어난다. 위생 상태가 불량한 경우, Vibrios, Aeromonas 및 Pseudomonas 등으로 인한 높은 세균 부하를 겪는다.
- 과거에 먹이생물은 항생제의 조합을 사용하여 살균하였으나, 더 이상 약물 내성 세균 균주의 발생을 예방하기 위하여 더 이상 권장되지 않는다.
- 먹이 생물의 세균 부하를 줄이기 위하여, 영양 강화 전에 먹이생물의 장을 비우기 위한 짧은 단식과 영양 강화 후 담수조에서의 철저한 세척을 한다.

### 5) 영양 강화

#### 가) 영양 강화

- 알테미아 노플리우스 유생은 불포화지방산(22:6 ω3)이 없거나 극히 미량이므로 먹이생물을 치어에 공급할 때에 영양 강화를 하여야 한다.
- 알테미아 부화 유생의 입은 보통 6~8시간 전후에 열리므로, 입이 열린 후 영양 강화를 하여야 하며, 영양 강화 시간은 12시간 전후이다.
- 알테미아의 메타노플리우스(metanauplii)는 전형적으로 후기 자어의 먹이로 이용된다. 그러나 메타노플리우스는 낮은 영양가로 인하여 필수적인 n-3 HUFA가 풍부한 전용의 영양 강화 먹이에 의해서 향상되어야 한다.
- 그러한 먹이는 II령(instar II)과 III령(instar III)의 유생 단계 동안

알테미아가 활발히 먹을 때에만 주어질 수 있다. 알테미아의 첫 먹이 섭취는 실제로 II령 단계로의 탈피와 일치한다.

- 최상의 결과는 부화 시간과 탈피 속도를 정확히 알 때 얻어진다. 영양 강화의 시작은 관찰에 의해 쉽게 결정될 수 있다. 첫 18시간 후, 매 시간 소 표본을 만들어 현미경 아래서 점검한다. II령 단계의 출현은 I령보다 크고, 위장관(gastrointestinal tract)이 있기 때문에 쉽게 발견할 수 있다. 영양 강화는 첫 II령 단계가 나타나자마자 시작하여야 한다.
  - 영양 강화 과정의 기간은 요구되는 HUFA의 함량에 달려 있다. 완전한 영양 강화는 24시간이 걸리고, 영양 강화 유화액의 투여량은 0시와 12시간 후 두 번 투여한다. 단기 영양 강화는 12시간이 걸리고 단지 초기 투여량만 공급한다.
  - 적정 영양 강화 조건
    - 초기 노플리우스 밀도: 150,000-300,000 nauplii/L 이다.
    - 노플리우스를 부유시키기 위한 강한 물의 교반과 전 영양 강화 기간 동안에 4 ppm 이상의 용존산소를 유지하기 위한 산소의 공급이 필요하다.
  - 생산자에 의해서 특화된 영양 강화 먹이를 준비하고, 각 먹이에 대해 새 영양 강화 유화액을 준비해야 한다. 영양 강화 시간의 끝에, 메타노플리우스를 수확하고 기름기가 있는 유화액이 배수되는 물에서 감지되지 않을 때까지 완전히 해수로 행군다.
- #### 나) 알테미아 노플리우스의 영양 강화 작업
- 해수를 중화시킨 후, 400 ppm의 이산화염소를 첨가하고 그리고 노플리우스를 수조로 옮긴다.
  - 영양 강화를 위해, 미세조류와 상업용 HUFA가 풍부한 오일을 수조에 공급한다.
  - 영양 강화 시작 17시간 후, 다음날 아침 동일한 양의 HUFA가 풍

부한 오일을 노플리우스에 공급한다.

- 19시간 이상 영양 강화된 노플리우스를 수확하고, 그리고 담수로 헹구고, 자어 수조에 분배한다.

#### 다) 메타노플리우스의 저장

- 영양 강화된 메타노플리우스는 로티퍼의 경우와 마찬가지로, 4-10℃의 저온 해수에 저장되지 않는 한, 실온에서 빠르게 영양가를 잃게 한다.
- 영양 강화된 메타노플리우스의 저장 밀도는 L당 4백만 개체 이하를 유지해야 한다.

### 3. 수정과 부화

수정 및 부화율은 난질의 지표가 될 수 있으며, 바리류의 경우, 수정율과 부화율은 모두 50% 이상, 바람직하게는 80% 이상이어야 한다. 수정 및 부화율 (<30%)이 낮은 난의 집단에서 유생은 일반적으로 낮은 생존율과 기형 및 기타 건강상의 문제가 많이 발생한다. 이러한 집단은 일반적으로 폐기하여야 한다. 특히 연간 기준으로 친어의 성과와 산란의 성공을 평가할 수 있도록 수정 및 부화율의 기록을 유지해야 한다.

수정 및 부화율을 산정하기 위해, 대략 100개의 난 및 / 또는 유생을 포함하는 10개의 샘플을 하여 추정을 하는 것이 정확하다.

#### 가. 난의 수정

##### 1) 난의 수정

- 붉바리의 채란된 난의 평균 난경은 770 μm (811~729 μm)이며, 난경은 산란 초기에 크고, 산란 후기에 작아지는 경향을 보인다.
- 채란 직후 수컷 개체에서 채정한 정액을 난 100만립당 약 0.2~0.5 cc 비율로 골고루 뿌린 후 해수를 조금씩 첨가하면서 인공수정 한다.
- 붉바리의 수정란은 무색투명한 분리 부성란으로 평균 약 750 μm 정도이며 1개의 유구를 가지고 있다.
- 수정란은 1g당 3,200립으로 계산하고, 수정률은 약 30~40%이다. 통상 수온 25℃ 전후에서는 수정 후 약 24시간 후에 부화한다.

##### 2) 수정란의 평가

- 인공 수정된 수정란을 비커로 옮긴 후 상층, 중층, 하층에 있는 수정란들을 각각 1,500개씩 다른 비커에 분리하여 수용하고, 수

은 19℃에서 각 층별 수정란의 생존율을 관찰한 결과, 하층의 수정란은 수정 직후 전량 폐사하였으며, 상층과 중층의 수정란은 포배기 단계에서부터 생존율 차이가 발생하여, 배체형성기에서 상층란은 97.7%, 중층란은 65.2% 생존하였고, 부화직전 상층란은 94.5%, 중층란은 32.4% 생존하였다.



그림 16. 붉바리 수정란 생산 과정 (백혜자 등, 2017)  
(A: 채란, B: 개체별 수정, C: 세란, D: 수정란(분리부상란), E, F: 수정란 수용)

- 수정란을 현미경 (10배 또는 20배 확대)으로 다음 사항에 대해 검사한다.
  - 난은 형태가 규칙적이어야 한다.
  - 배 발달 초기 단계에서 개별 세포는 일정한 크기여야 한다.
  - 난과 배는 어두운 부분이 없이 완전히 투명해야 한다.
  - 난각(chorions)에는 기생충이나 오손생물이 없어야 한다.
- 불규칙적인 모양, 어둡거나 배아 발달이 비정상적인 난이 적다면 부화장에서 사용할 수 있는데, 비정상적인 특성 (> 10%)을 나타내는 수정란의 비율이 높으면 일괄적으로 버려야 한다.
- 난에 기생충이나 오손 생물이 있는 경우 병원균을 부화장에 옮길 확률 때문에 버려야 한다. 폐기 후에는 모든 탱크와 장비를 세척하고 소독해야 한다.

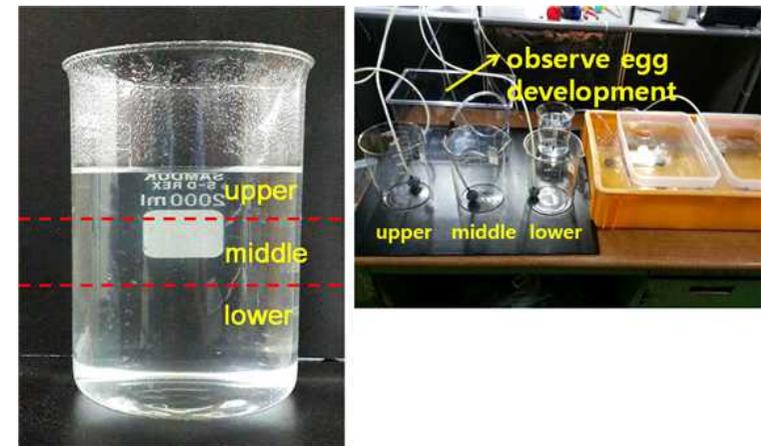


그림 17. 부상층별 붉바리 수정란 발생관찰 (이영돈 등, 2017)

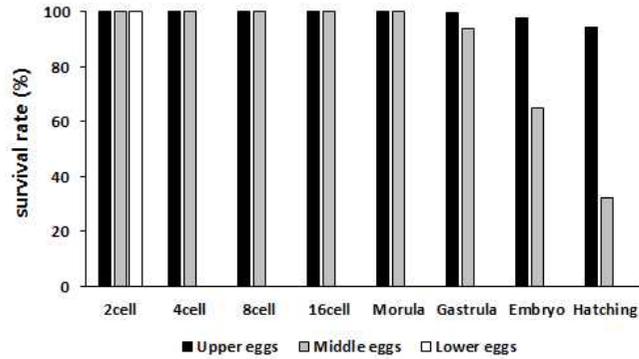


그림 18. 붉바리 수정란의 부상력에 따른 생존률 (이영돈 등, 2017)

- 수정율의 산정은 수정이 일어난 후 수 시간 후와 배 발달로 쉽게 수정란을 식별할 수 있는 부화 훨씬 전에 수행한다. 붉바리의 난은 25~27°C에서 수정 후 23~25시간에 부화한다. 수정율을 성공적으로 측정하려면 미수정 된 난에서 수정란을 구별 할 수 있어야 한다. 이것은 초기 발달 단계에서 수정란을 식별하기 위해 좋은 현미경과 약간의 경험이 필요하다.
- 수정률 계산: 수정률을 계산하기 위해 현미경으로 난의 대표적인 샘플을 검사한다. 수정란 수와 미수정란 수를 세어 본다.  

$$\text{수정란 수} + \text{미수정란 수} = \text{표본의 총 난수}$$

$$\text{수정률(\%)} = \frac{\text{수정란수}}{\text{표본의 총 난수}} \times 100$$
- 예로서 난 10개를 조사한 결과 1,215개가 수정되었고 103개가 수정되지 않은 것으로 나타났다. 수정란수 = 1,215 및 표본의 총 난수 = 1,318 수정율 = 92%

### 3) 난의 살균

- 난은 난 표면에 있는 기회 감염균(opportunistic pathogens)를 운반 할 수 있으며, 그리고 어미로부터 새끼에게 그리고 배양장 사이에 질병을 옮길 수 있다.
- 난 살균은 난의 부화와 생존을 향상시키고 그리고 배양장 내외 배양장 사이에서 병원세균의 전염 위험을 감소시킨다.
- 어류 난의 표면 살균에 사용되는 약제에는 글루타르알데히드(glutaraldehyde), 요오드포(iodophors), 자외선(ultraviolet), 오존, 과산화수소(hydrogen peroxide), 차아염소산 나트륨(sodium hypochlorite), 항균 펩티드(antimicrobial peptides) 및 항생제 등이 포함한다.

#### 가) 요오드 처리(Iodine Treatment)

- 난에 의해 도입된 세균 또는 바이러스 오염을 방지하기 위해 난은 요오드 용액으로 소독한다.
- 수정 10분 후에 나일론 망(망목 220 μm)으로 수집된 난은 남아 있는 정자, 체액 및 점액을 제거하기 위하여 해수로 행군다.
- 그 다음 난은 50 ppm PVP 요오드(PVP iodine) 용액이 담긴 버킷(bucket)에 알을 옮겨 5분간 담군다.
- 그 후, 이 용액을 제거하기 위하여 멸균 해수를 사용하여 난이 다시 부드럽게 행군다.
- 난은 약 0.6 L/min으로 약하게 포기된 부화수조로 옮긴다.

#### 나) 옥시단트 해수 처리(Oxidant Treatment)

- 배체 형성단계 수정란을 0.5 ppm 옥시단트 해수에 약 1분간 소독 후 수용한다.

## 옥시단트 해수

- 해수에 오존을 불어 넣거나 전류를 흘려 산화 물질이 생성된 해수. 강력한 살균 작용이 있어 VNN (viral nervous necrosis) 바이러스에 감염된 친어에서 산출된 난에 부착한 바이러스의 감염력을 잃게 할 수 있다.
- 해수에 오존을 접촉시키면 주로 해수중의  $\text{Br}^-$  (bromine 이온, 臭素)이온이  $\text{BrO}^-$  (hypobromite ion) 이온으로 산화된다.  $\text{BrO}^-$ 는 해수의 pH에 의해  $\text{HBrO}$ 의 형태를 취한다. 예로는 pH 7일때  $\text{BrO}^-$ 와  $\text{HBrO}$ 의 존재 비율은 2 : 98이며, pH 10일때 95 : 5이다. 또 해수의 pH에 가까운 pH에서는 17 : 83이다. 따라서 해수 중에는  $\text{BrO}^-$ 와  $\text{HBrO}$ 의 2개의 형태로 생체에 작용한다고 생각된다. 이와 같이 해수에 오존 등을 접촉시켜서 생성되는 옥시단트를 일반적으로 잔류 옥시단트(total residual oxidants, TROs)나 ozone-produced oxidants(OPO)로 부른다. 오존에 의해서 생성된 옥시단트라는 점을 명확히 하기 위해서 OPO로 부른다.
- 강한 산화력에 의한 바이러스 불활화 효과를 가진다. 최근에 VNN 등의 어병의 수직감염 방지, 또 해수로부터의 어병 침입의 방지책으로서 어란의 오존처리해수에 의한 살균이 유망시되어 오존 이용의 연구도 시작되고 있다.
- 흑점줄전갱이(*Pseudocaranx dentex*)의 VNN 원인 바이러스는 옥시단트 농도를 0.1 mg/L 및 0.5 mg/L로 조제한 해수에 각각 2.5 분간, 0.5분간 폭로하는 것으로 불활화되는 것이 실험적으로 확인되어 흑점줄전갱이 종자생산 현장에서는 수정란에 대해서 옥시단트 농도 0.5 mg/L에서 1분간의 소독을 하고 있다.

## 다) 오존 처리(ozone treatment)

- VNN의 수직 감염의 가능성을 최소화하기 위해 해산어류 종의 수정란을 오존으로 처리하고 이는 바리류의 난에도 권장된다.
- 오존( $\text{O}_3$ )은 유기물을 산화시키고 물속의 박테리아와 다른 병원체를 죽이는 데 사용된다. 오존은 어류에 매우 독성이 강하고 인체의 건강에 극도로 위험하다.
- 처리(치료) 탱크는 환기가 잘 되는 장소의 밀폐된 방 외부에 있어야 한다. 직원들은 오존 사용에 대해 교육을 받아야 하며, 오존 시스템을 사용할 때는 장갑과 호흡 마스크를 착용해야 한다. 오존은 빠르게 분해되는데 반감기는 15분이다.
- 난의 처리는 농도 × 노출 시간 (CT) 점수가 약 1.0이 되어야 한다. 즉 1 분간 1 mg/L 또는 동등한 농도 (예, 1.25분 동안 0.8 mg/L)로 오존 처리해야 한다.

## 4) 난의 수용

- 불바리는 부화자어의 취급이 어렵기 때문에 사육수조에 수정란을 직접 수용하고, 부화는 사육수조에서 한다. 사육 수조에의 수용은 하루 또는 2일 간 한다.
- 난은 산란일 다음 날에 채란조에서 집란, 분리하여 그 중 부상란을 미세 유수, 미세 통기 한 그물에 수용하고, 도중에 침하란을 여러 차례 제거하고 오후에 사육수조에 수용한다. 그 때, 채란수조와 사육수조의 수온차가 큰 경우에는 수온 조절을 한다. 부화하는 난 수용일의 16~22시에 한다.
- 사육 수조에 난의 수용 수는 100만립으로 하고 부화 자어수로 60만마리(kl당 수용 미수 1만마리)을 얻는 것을 목표로 한다.

### 5) 난의 수송

- 난은 초기 발달 단계에서 취급에 민감하며, 발안란 단계에서 안포(optic vesicles)가 발달한 경우에만 처리해야 하며, 이 단계 이전에 알을 처리하면 사망률이 증가하고 기형 발생률이 높아진다.
- 난과 해수 60~70%를 비닐 포대에 수용 후 산소를 주입하고, 수온 상승 방지를 위해 얼음과 함께 스티로폼 박스에 넣어 수송한다.
- 수정란은 비닐 포대(해수 용량 15~18L 기준) 1개당 15~20만 개를 수용하며, 이동 시의 기온이나 거리를 감안하여 수정란 수를 조절한다.
- 항공기로 수송하기 위하여 X-ray를 통과하면 수정란은 부화 후 일정 시간이 지나면 전량 폐사한다.

### 나. 수정란의 부화

#### 1) 수정란의 부화 관리

##### 가) 난 발생

- 불바리의 자연 산출란으로 난 발생 및 부화에 미치는 수온의 영향을 조사한 결과, 28.1°C에서는 수정 후 23시간 만에 부화했다. 부화율은 25°C가 가장 높고 기형율도 낮았지만, 15°C에서는 난 발생이 중지하고 34°C에서는 정상적인 부화 자어를 얻지 못하였다.
- 부화율이 높고, 기형률이 낮은 부화 적수온은 25~30°C(최적 수온 26°C)이며, 적정 염분농도는 24~30‰이다.
- 부화까지의 경과시간은 수온과 보고자에 따라 달라 수온 22°C에서 수정 후 약 42시간에 부화하고, 부화 자어의 전장은 약 1.69 mm이었다. 25.1~27.0°C에서는 수정 후 23~25시간에 부화하고, 부화 자어의 전장은 1.45~1.56 mm로 매우 작았다.

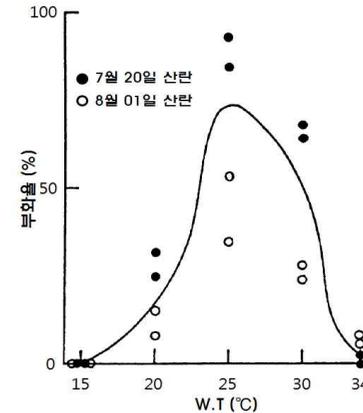


그림 19. 수온과 부화율 (荳野·尾田, 1991)

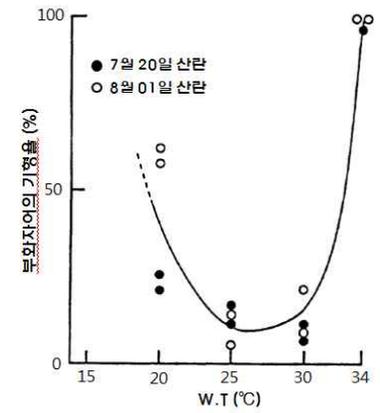


그림 20. 수온과 부화자어의 기형율 (荳野·尾田, 1991)

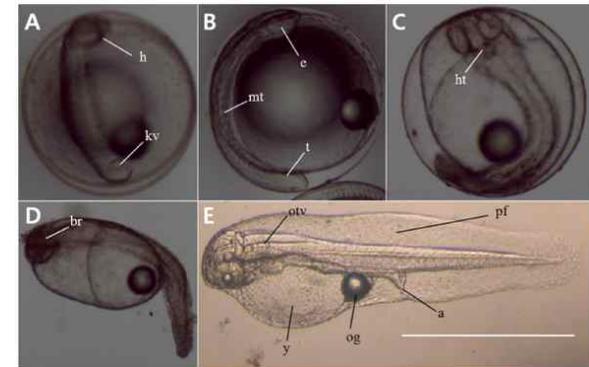


그림 21. 불바리의 난 발생 (Park et al., 2016)

A : 배아(Embryo)와 쿠퍼씨 소수포(Kupffer's vesicle) 형성, 12시간; B : 발달 중의 막지느러미, 20 시간; C : 심장 박동, 25 시간; D-E : 부화 유생, 27 h. Scale bar = 1.0mm. a-항문; br-뇌; e-눈; H-머리; ht-심장; kv-Kupffer 's vesicle; mt-근육분절(myotomes); og-유구(oil globule); otv-귀 소포 (otic vesicle); pf-막지느러미(primitive fin); t-꼬리; y- 난황

- 草加 등(2005)은 붉바리의 종자 생산은 19.0~21.0°C에서의 조기 산출란으로 23.0°C 이하에서의 완만한 배발생과 부화 및 초기발육 후 승온하는 것이 초기생산을 안정시키는 기본이라고 하였다.

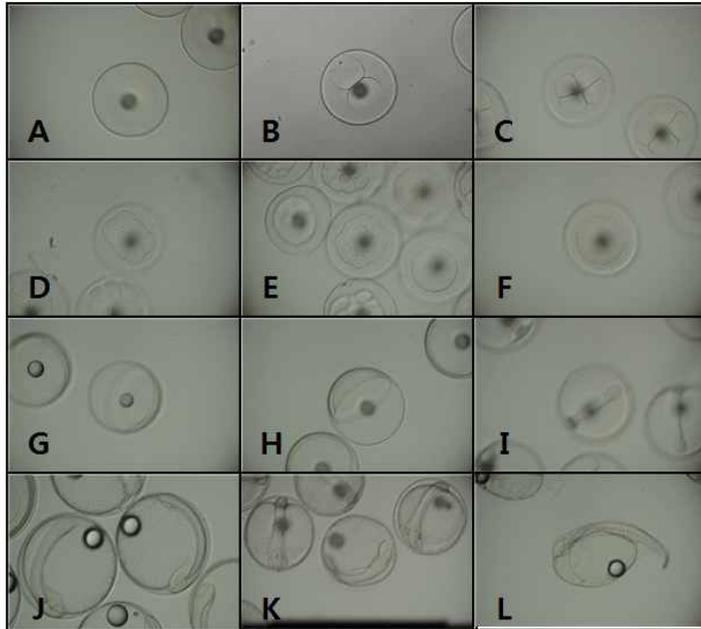


그림 22. 붉바리의 난발생 (이영돈 등, 2017)

- A - 수정란 (난경 : 700~800 $\mu$ m, 유구경 : 100~170 $\mu$ m)
- B - 2세포기 (수정 후 1시간 경과)
- C - 4세포기 (수정 후 1시간 30분 경과)
- D - 8세포기 (수정 후 2시간 경과)
- E - 16세포기 (수정 후 2시간 30분 경과)
- F - 상실기 (수정 후 3시간 경과)
- G - 포배기 (수정 후 8시간 경과)
- H - 낭배기 (수정 후 13시간 경과)
- I - 원구가 함입되면서 배순 형성 (수정 후 16시간 경과)
- J - 안포 형성과 Kuffer's vesicle 출현 (수정 후 18시간 경과)
- K - 안구와 이포형성, 근절 17~20개 (수정 후 22시간 경과)
- L - 부화 시작 (수정 후 31시간 경과)

## 2) 부화 자어의 평가

### 가) 부화 자어의 평가

- 부화된 자어는 부화 1일 후 사육수조에 수용되기 전에, 형태와 행동에 관한 평가 기준에 따라 생존력과 상태를 점검하여야 한다.
- 부화 그룹별 10-20마리의 표본을 채집하여 시계 접시에 두고 입체 현미경으로 5-10배의 저배율로 기준에 따라 정상 상태 여부를 관찰한다.

### 나) 부화 자어의 형태

- 부화 자어를 형태 평가 기준에 따라 평가한다.
  - 전반적인 형태와 크기,
  - 자어 지느러미의 완전성(기형이나 결손이 있어서는 안 한다.),
  - 외부 기생충(없어야 한다),
  - 내장 기관의 배치,
  - 정상적인 색소.

### 다) 부화율

- 죽은 알과 살아있는 알 그리고 부화한 유생은 탱크 내에 다르게 분포하기 때문에 부화율을 계산하기 위해 난과 유생을 표본으로 추출하기 전에 손으로 수조를 휘저어 난과 유생을 혼합 한다. 휘젓는 것은 난과 유생을 완전히 섞기에 충분해야 하지만 새로 부화한 유생을 손상시킬 정도로 강하게해서는 안 된다. 비커 또는 작은 용기와 같은 장비를 사용하는 경우 사용하기 전에 소독했는지 확인하여야 한다.
- 바리류의 난은 부화하기 전에 유생 사육 탱크에 직접 방양하기 때문에, 부화율은 일반적으로 유생 사육을 위한 것이 아닌 별도

의 유생 샘플에서 계산한다. 부화가 완료되면 부화율의 산정을 해야 한다. 부화까지의 시간과 부화 기간은 온도에 따라 달라진다.

- 부화율 계산
  - 부화율을 계산하려면 부화유생의 수와 발달 중인 유생이 있는 부화되지 않은 난의 수를 계산한다. 부화되지 않은 난수 + 부화유생수 = 표본의 총 난 수, 부화율(%)은 부화유생수/표본의 총 난수 × 100이다.
  - 예로서 부화 후 난과 유생의 표본 10개를 검사한 결과 988마리의 유생이 부화했고, 122개의 난은 부화되지 않은 발생중의 배아(embryos), 15개의 난이 수정이 되지 않거나 미발달된 것으로 나타났다. (수정률의 산정에는 15개의 미수정란이 고려되었으므로 부화율 산정에는 포함되지 않는다.) 부화 유생수 = 988 및 총 난수 = 1,110 부화율 = 89%

라) 유생사육 탱크 방양

- 일반적으로 바리류의 난은 부화되기 전 발안 단계에서 유생사육 수조로 옮긴다. 왜냐하면 이 단계에서는 새로 부화한 유생보다 더 튼튼하기 때문이다. 새로 부화 한 유생은 물리적 충격이나 수질 변화에 매우 민감하여 유생 사육 탱크로 이동하면 높은 사망률을 초래할 수 있다.
- 부화율은 난이 유생 사육 탱크에 방양되기 전에 알 수 없기 때문에 방양되어야 할 난의 수는 부화장에서의 과거의 부화율을 이용하여 산정할 필요가 있다.
- 만일 부화율이 낮으면 유생 사육 탱크의 유생을 폐기하고 탱크를 청소하고 소독해야한다.

4. 자어

가. 사육 환경 관리

1) 자어 사육 환경 관리

가) 종자 사육환경

- 사육 수조에는 차광률 90%의 차광막으로 포장을 한 야외 60 m<sup>3</sup> 콘크리트 수조를 이용한다. 통기는 에어 스톤 5개로 하고, 통기량은 부화 후 10일째 전후까지 0.5~1L/분이며, 그 후는 적절히 증가한다. 붉바리 자어는 사육초기에는 물리적 교반에 취약하여, 통기나 주수 등은 가능한 한 자극을 주지 않도록 하는 것이 바람직하다.
- 사육 수조 저면의 수질안정을 위하여 질산화 세균을 투입할 수 있다.

나) 사육수 관리

- 사육수온
  - 부화 자어의 사육 적수온은 25~28℃이다.
  - 사육수로는 모래 여과 해수를 이용하고, 수온은 25℃ 이상 되도록 유의한다. 난의 수용에서 개구까지의 사육 수온이 25℃ 이하의 경우에는, 그 간의 생존률은 극단적으로 저하하므로 초기의 사육 수온에 신경 쓸 필요가 있다.
- 염분
  - 붉바리는 하천수의 영향을 거의 받지 않는 암초 지역에서 산란한다고 할 수 있으므로, 저염분의 사육수는 순치에 적합하지 않다. 그러나 난 및 부화 자어의 염분 적응 범위는 넓어, 이러한 염분 내성이 자연 해역에 있어서 생존 전략의 하나로 보인다.

- 자연산출 부상관을 이용해 수온 23.4℃에서 염분별 부화 시험 결과, 부화 적염분역은 24 psu 이상에서 84.7% 이상의 부화율을 보였으며, 기형율은 24 psu 이상에서 낮고 21 psu 이하에서 급격히 높으며, 9 psu 이하에서는 정상부화하지 않았다.
- 부화 자어의 사육 적정 염분 농도는 29~30 psu이다.
- 용존산소
  - 자어 사육수조의 용존산소 포화도를 최소 80% 최대 100%로 유지한다. 부화자어의 사육 적정 용존산소(DO) 농도는 7.0~8.0 mg/l이다.
  - 자어 수조의 사육수를 밤에 교환한다. 밤에 사육수를 교환하는 것은 이화대사산물을 제거하고, 산소가 가장 필요할 때(명기의 중반부) 산소를 공급하기 위한 것이다.
  - 밤에 사육수를 환수하지 않으면서 과도한 양의 미세조류가 있을 경우, DO 수준의 점검이 바람직하다. 조류는 밤에 순수한 산소 소비자이기 때문이다.
  - 미세 분산기를 통하여 주입된 순수 산소는 위로 움직이는 산소 거품으로 인하여 잠재적으로 해로운 물의 흐름이 될 수 있다. 주수 배관에 순수 산소를 주입하여 수조 도달 전에 물과 산소의 접촉 시간을 연장하는 방법이 산소 기포를 만들어 공급하는 방법보다 더 효과적이며 산소를 절감할 수 있다.
  - 갑자기 발생할 수 있는 무산소 상태의 위험에 대처하기 위한 비상 산소 공급 장치를 설치하는 것이 필요하다.
- 조도
  - 조도는 부화 직후부터 일령 9일까지는 24시간 연속 점등하며, 일령 10일부터는 오전 6시~오후 9시까지 점등하여 사육수조 수 표면의 조도를 500~800 lux가 되도록 한다.

- 환수
  - 적절한 자어 사육 조건의 유지를 위해 사육수는 5 μm으로 여과하여 UV로 살균한다.
  - 사육수는 난의 수용일에 수조 용량의 2/3정도를 목표로 저수하고, 난의 수용 후는 적절히 주수하여 만수로 하고 부화 후 12일째 전후부터 환수를 시작한다. 환수율은 부화 후 20일째 전후에서 하루에 100%, 부화 후 30일째 전후에서 150%, 부화 후 35~40일째 전후에서 200%, 취양 전에 300~350%로 한다.
- 식물플랑크톤
  - 조명 상태에서, 환수가 없거나 또는 감소되는 동안에, 미세조류를 고밀도로 첨가하는 것은 DO 농도를 안정화 하는 데 도움이 한다. 그러나 먹이 공급 후에는 DO 수준을 점검하여야 한다.
  - 부화 직후부터 사육수조 내에 수질안정 및 로티퍼의 먹이를 제공하기 위하여 시판용 농축 *Nannochloropsis*와 *Pavlova*를 각각 30만 cells/ml과 20만 cells/ml 농도로 매일 2회 첨가한다.
- 바닥 청소
  - 부화 후 10일째 전후부터 자동 바닥 청소기로 최소 하루 1회 실시한다.
- 사육 탱크의 색상
  - 인도네시아의 The Research Institute for Mariculture (RIM)에서는 여러 종의 바리류 유생을 사육한 경험에 의해, 유생 사육탱크의 바람직한 색상은 밝은 노란색 또는 옅은 파란색으로 이러한 색상은 바리류 유생이 먹이 (로티퍼 및 알테미아)를 보다 쉽게 식별할 수 있게 하고 탱크 관리, 특히 청소를 쉽게 할 수 있게 해준다고 하였다.

### 그린 워터 자어 사육

- 일부 배양장에서는 사육 수조에 자어를 입식하기 전에 “그린 워터(green-water)” 시스템을 만들기 위하여 순수 배양 조류(axenic algae)를 사육 수중에 추가한다.
- 자어 사육수에 미세조류의 첨가는 로티퍼의 영양 품질을 유지하고, 양식 시스템에서 용해된 암모니아의 수준을 줄임으로써 자어의 성장과 생존을 개선한다.
- 미세조류는 수질, 자어의 영양 및 미생물 관리를 안정화시키는 역할을 한다. 미세조류의 첨가는 로티퍼가 높은 영양가를 유지하는 것 외에도, 자어의 집약적 사육 환경에서 세균 발육 저지 능력과 자어의 공격적 행동을 감소시키는 음영 효과가 있다.
- *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis suvicica*, *Isochrysis galbana*와 같은 미세조류는 로티퍼의 양식에 사용되는 가장 일반적인 조류이다. *Dunaliella tertiolecta*, *Pavlova lutheri*, *Chlorella* sp. 및 *Stichococcus* sp.를 포함한 다른 미세 조류들도 로티퍼 배양용 먹이로 사용되어 왔다.
- 로티퍼를 자어에 먹일 때, 매일 미세조류를 수조에 첨가하여 50만-80만 cell/L를 유지한다.
- 미세조류를 수조에 첨가 시 사육수가 흐려져 바닥을 관찰할 수 없으므로, 첨가 전에 반드시 수조 청소를 완전히 하여야 한다.

## 나. 사육 관리

### 1) 자어의 발육 특성

- **부화~3일**: 부화자어는 부화 직후 수조 내에 넓게 분포하다가 부화 후 3일째부터 수면위로 부상을 시작하고, 자어의 복부에 흑색

소포가 선명하게 나타나 개체식별이 가능하게 되며, 성장이 빠른 개체에서는 개구가 시작된다. 부화 후 3일째에 섭식행동이 처음 관찰되고, 이 후 소화관 위쪽으로 흑색소포가 짙게 침적된다.

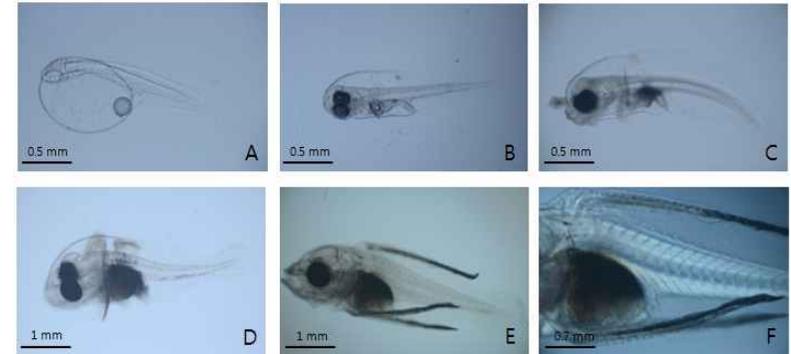


그림 23. 자치어의 형태발달 (이영돈 등, 2017)

- A** - 부화 후 0~1일: 몸의 대부분을 난황이 차지하고 있으며, 유구는 항문과 인접 난황 끝부분에 위치
- B** - 부화 후 3~6일: 난황과 유구가 완전히 흡수됨. 안구의 형태 관찰 가능. 항문과 입이 개구됨. 복측 소화관에 흑색소포의 출현 시작
- C, D** - 부화 후 6~9일: 등지느러미 제 2극과 가슴지느러미 극이 돌출되어 출현하기 시작. 소화관의 흑색 소포가 소화관 전반부까지 확산
- E** - 부화 후 9~22일: 등지느러미와 가슴지느러미 극조가 꼬리지느러미 부근까지 확대
- F** - 부화 후 22~30일: 꼬리지느러미는 성체의 형태를 갖추. 꼬리지느러미와 두부에 흑색소포가 침적됨

- **부화후 5~33일**: 부화 5일후부터 자어는 수표면 바로 아래에 군집을 형성하면서 넓게 분포하기 시작한다. 이 시기 자어의 전장은 2.45 mm이다. 붉바리의 등지느러미 제 2극은 부화 후 7일째부터 형성되기 시작하며 성장할수록 가슴과 등지느러미의 제 2극은

길게 신장한다. 부화 후 30일째 전장 16.2 mm로 성장하며, 부화 후 33일부터 등지느러 제2극 분화가 완료된 개체가 나타난다.

- **부화후 40~50일:** 부화 후 40일부터 급격한 성장을 하며, 붉바리 성어의 체표 무늬와 동일한 체색을 나타내는 변태 완료 개체가 나타나기 시작하여 소형개체를 잡아먹는 공식현상이 일어나며 50일에는 전장 35.9 mm로 거의 모든 개체에서 변태가 완료된다.

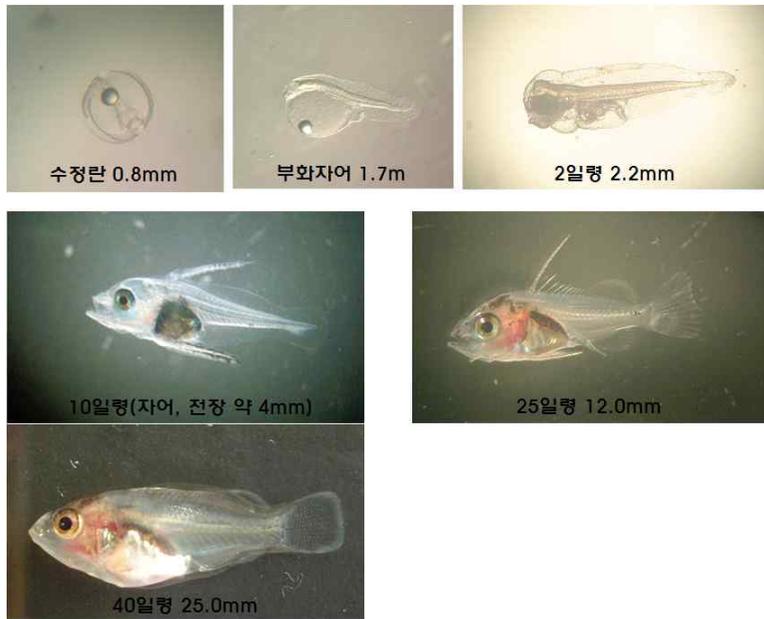


그림 24. 부화에서 종자까지의 형태 변화 (山口県 水産振興課, 2012)

- 부화 직후 전기자어(Pre-larvae)는 전장 평균  $2.10 \pm 0.11$  mm로 입과 항문은 열리지 않았고 몸 전체는 막지느러미로 덮여 있으며, 부화 15일 후 후기자어(Post-larvae)는 전장 평균  $3.98 \pm 0.13$  mm로

2개의 지느러미 기조를 가진 배지느러미와 꼬리지느러미에 8개의 지느러미 기조가, 부화 후 55일에 형성된 치어는 전장 평균  $33.6 \pm 2.33$  mm로, 붉은 색이 몸 전체에 침착되고 얼룩무늬에 검은 색소포체가 퇴적했다. 지느러미 기조수, 체색 및 형태는 성어와 동일하다(그림 25, 26).

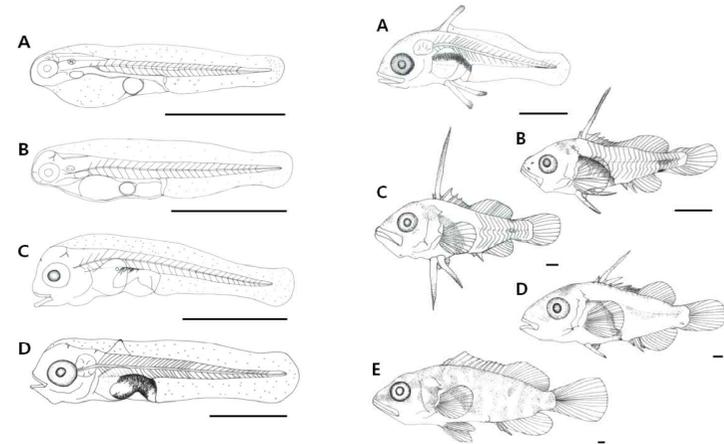


그림 25. 붉바리의 유생 발달

A : 새로 부화한 pre-larvae, 구경 2.10 mm이고 항문은 아직 열리지 않았다. B : 부화 2일째 2.26 mm의 Pre-larvae, 항문이 열렸다. C : 부화 4일째 2.49 mm의 Pre-larvae, 입이 열려 있고 등근 가슴지느러미가 형성되었다. D : 부화 9일째의 Post-larvae, 크기는 3.44 mm이고, 등지느러미에 1개의 지느러미 기조가 형성 되었다. (Park et al., 2016)

그림 26. 붉바리의 유생과 치어의 발달

A : 부화 후 15일째 3.98 mm의 Post-larvae, 배지느러미에 2개의 지느러미 기조가 형성. B : 부화 후 25일째 Post-larvae, 크기 5.22 mm, 두 번째 등지느러미에 1개의 지느러미 기조가 뻗어 있다. C : 부화 후 34일째의 Post-larvae, 크기는 14.9 mm이며, 막 모양의 지느러미의 각 부분이 나눠져 있다. D : 부화 후 46일째의 Post-larvae, 20.9 mm로 제2 등지느러미의 지느러미 기조가 연장되고 제1 배지느러미의 길이가 감소. E : 부화 후 55일째 Post-larvae, 크기가 33.6 mm고 지느러미의 기조, 체색과 형태는 성어와 유사하다. (Park et al., 2016)

## 2) 초기먹이 공급

### 가) 먹이의 공급 시기

- 일반적인 바리과 어류는 난의 크기가 다른 해산 어류에 비해 매우 작을 뿐만 아니라 부화 후 입의 크기도 매우 작기 때문에 *Brachionus plicatilis* (140~320  $\mu\text{m}$ , L-type)와 *B. rotundiformis* (100~240  $\mu\text{m}$ , S-type 및 SS-type)를 정상적으로 섭취하는데 있어 많은 어려움이 있으며 이로 인해 인공 종자생산과정에서 자어에게 공급할 먹이 생물 확보에 어려움을 겪고 있다.
- 붉바리는 부화 후 2일째에 개구하여 섭이를 개시하므로 부화 후 2일부터 35일까지 갖 부화한 SS type rotifer, *Branchionus rotundiformis*를 20개체/mL 밀도로 공급한다. 사육수조내 rotifer의 영양강화를 위해 시판용 *Nannochloropsis oculata* (농도  $3 \times 10^5$  cell/mL)와 시판용 *Isochrysis galbana* (농도  $2 \times 10^5$  cell/mL) 그리고 super V12클로렐라(로티퍼 배양용, 비타민 B12를 다량 함유)를 각각 5 ppm씩 매일 2회 공급한다.
- 동시에 자어가 먹이를 인식하기 쉽게 천장 창문으로 채광 이외에 인공조명을 병용하면서 수면 조도가 1만 lux이상으로 된 밝은 환경을 조성한다. 또한 자어가 섭이하게 쉽게 통기 등을 조정하여 수류를 약하게 하고, 부화 후 4일째부터 8일째의 야간은 자어가 특히 침강하기 쉬우므로 수류를 강화하여 침강 방지를 도모한다.
- 태국산 ss-rotifer의 급이는 부화 자어의 개구일의 오전 중에 5개체/mL가 되도록 한번만 하고 있다. 이 로티퍼는 증식률이 높고, 자어의 섭이량도 적기 때문에 수조내에서 증식하는 경우가 많다. 따라서 S형 로티퍼의 급이는 태국산 로티퍼의 밀도가 환수에 의해 감소하기 시작하는 부화 후 10일 전후에 5~10개체/mL를 유지하도록 한다.

- 萱野(1995)는 개구에서 부화 후 10일경까지 태국산의 소형 로티퍼를 사육수 중의 먹이생물 밀도가 10개체/mL 이상이 되도록 급이하고, 자치어의 성장에 따라 S형 로티퍼, 알테미아 유생, 배합사료를 급이하는데 각종 먹이생물의 급이 기간 또는 급이량에 대해서는 아직 표준화되어 있지 않다고 하였다. 그러나 먹이생물만으로 사육된 치어는 활력이 낮아 거두어들일 때 쇼크사하는 경우가 있는데 어떠한 영양 결핍증에 의한 것으로 추정하였다.
- 즉, 정상어와 쇠약어에서는 지방산에서 차지하는 DHA 함량에 차이가 나며, 또한 거두어들일 때 쇼크사한 치어에서는 정상어에 비해 중성 지질 함량, 특히 중성지방(트리글리세리드, TG) 함량이 적고, 지방산 중에 차지하는 EPA, DHA 함량이 적은 경향이 있어 붉바리 자치어는 고도 불포화 지방산에 대한 영양 요구가 매우 높은 어종의 하나라고 보고하였다.
- 사육수조 내 로티퍼의 영양강화로 불포화 지방산이 풍부한 영양강화제와 환경미생물을 사용함으로써 초기 감도와 이형 현상을 저감시킬 수 있다. 붉바리는 부화 시 상대적으로 입의 크기가 작아 섭이할 수 있는 로티퍼의 크기가 제한되는데, 이 때 충분한 먹이를 먹을 수 있도록 환경을 조성해주어야 한다. 로티퍼 공급은 부화 후 50일령까지 알테미아와 배합사료 먹이 불입시기를 병행하면서 지속시킨다.

### 나) 기아시 장의 생리 특성

- 기아시 붉바리 장의 생리특성을 알아보기 위해, 부화후 3일부터 5일 동안 자어의 성장 및 간세포핵 크기 변화 등을 조사한 결과, 자어의 전장 변화는 부화후 4일째까지는 먹이 공급구 및 기아구에 있어서 큰 차이가 없었으나, 부화후 5일째에는 먹이공급구의 경우 전장이 급격히 증가되었고, 자어의 생존율은 부화후 3-5일

동안 비교적 안정되었으나, 기아구의 경우는 부화 후 4일째부터 생존율이 급격히 감소되기 시작해 부화후 5일째에는 대부분의 자어가 사망하였다.

- 붉바리 자어의 간세포핵의 형태적인 변화는 먹이공급구의 경우 부화후 3~5일 동안 형태적으로 서로 큰 차이점이 발견되지 않았다. 그러나 기아구의 경우는 부화후 4일째부터 간세포핵의 크기가 축소되고 핵의 분포 밀도가 높았으며 형태가 불규칙하게 나타났다. 부화후 5일째에는 이러한 현상이 더욱 심화되었다.
- 따라서 이러한 결과를 종합적으로 고려해 볼 때 붉바리 자어의 생존을 위해서는 최소한 부화후 4일 이전에 먹이섭취가 가능하도록 해야 한다.

### 3) 자어 먹이 공급

- 사육 조건하에서 붉바리의 섭이 일주기와 소화관내 먹이생물의 배설물과의 관계에서 로티퍼, 알테미아 유생의 일간 섭이량을 추정했다. 자어의 성장은 6일령까지 완만했지만, 그 후 일령의 증가와 함께 일간 성장량은 증가했다(표 5).

표 6. 붉바리 자치어의 일간 섭이율(萱野, 2009)

일령(일)	먹이생물 종류	평균전장 (mm)	평균체중 (mg)	일간 섭이수(개)	일간 섭이량 (mg)	일간 섭이율(%)
6	로티퍼	2.76	0.36	102	0.102	28.3
11	로티퍼	4.62	1.57	472	0.708	45.1
16	로티퍼	8.15	7.89	3,631	5.446	69.0
24	로티퍼	11.27	21.34	10,424	15.64	73.3
31	알테미아	15.35	59.50	4,554	91.08	153.1

- 자치어의 소화관내 먹이생물 수의 변화에는 일주성을 볼 수 있어 이른 아침과 저녁이 많고, 12시간마다의 명암 조건하에서는 야간은 전혀 섭이를 하지 않았다. 또한 소화관내 먹이생물 수는 일령의 증가와 함께 증가했다. 붉바리 자치어기의 일간 섭이량을 Elliott and Persson의 방법으로 추정해, 어체 습중량에 대한 일간 섭이율을 산출한 결과, 28.3~153.1%가 되었다.

#### ○ 알테미아(Artemia)

- 알테미아 유생은 부화 후 20일부터 초기 5일간(부화 25일) 영양강화 없이 갓 부화한 난황흡수 전 알테미아를 0.5개체/mL로 공급하며, 부화 후 28일부터 영양강화된 알테미아를 2회 공급하고, 부화 50일 이후부터 알테미아 급이를 중단하고 배합사료만 급이한다.
- 알테미아는 박테리아, 바이러스 및 기타 미생물 때로는 살충제와 중금속을 함유하고 있기 때문에 배양장과 자어 사료 제조업체는 미립자 사료(micro-diets)의 조기 먹이 길들이기로 알테미아에 대한 의존성을 줄일려고 하고 있다.
- 오성립 등(2009)은 알테미아 유생을 부화 후 14일부터 45일까지 유화오일을 사용하여 영양강화시킨 개체를 사육수조에 0.5~2개체/ml 되도록 공급하였으며, 아울러 부화 후 20일부터 250 µm 이하의 어류용 초기 인공사료를 로티퍼 및 알테미아 유생과 함께 공급하였고, 이후 자어의 성장에 따라 인공사료의 크기를 증가시켰다.

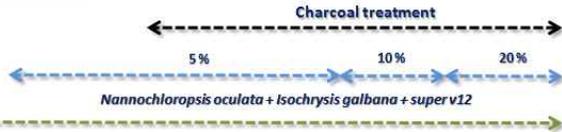
#### ○ 배합 사료

- 붉바리의 종자 생산에서 배합 사료의 공급은 전장 5~8 mm의 시기부터 실시하고, 전장 15 mm에서의 감모 방지에는 없어서는

안 되는 급이가 되고 있다.

- 부화 17일 이후부터 100 μm 초미립자 사료를 초기에는 1회 급이를 시작으로 점차 횟수를 늘려 일일 12회 급이한다.

#### ■ Water management



#### ■ Feeding scheme

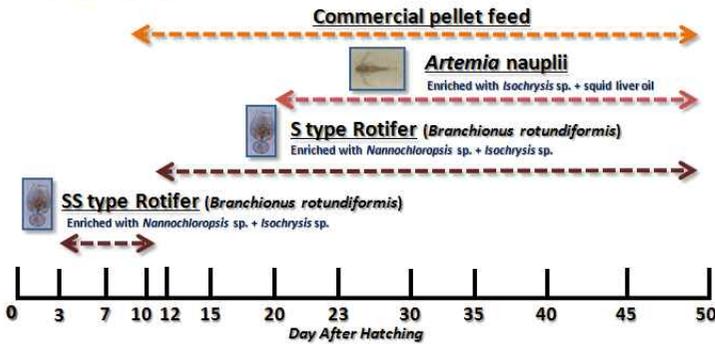


그림 27. 붕바리 자치어의 사육 환경 및 먹이생물 (백혜자 등, 2017)

#### 4) 부화 자어의 성장

- 사육 기간 중의 수온 25.1~27.1°C 에서 부화 후 25일에서 전장 10 mm, 전장 10 mm 이후로는 하루에 1 mm씩 성장하여 부화 후 40~41일에서 25 mm 전후이며, 부화 후 45일째에는 전장 30 mm에 달한다.
- 萱野(1995)는 자치어는 부화 후 10일에 전장 3~4 mm, 20일에 7~10 mm, 30일에 12~15 mm, 그리고 40일에 20~30 mm로 성장하며, 종자 생산 과정에서의 생존율은 아주 낮아 대부분의 사례가

0~10%였다. 주요 감모요인은 부화 후 5~10일까지 발생하는 난질 또는 사육 환경의 미비에 의한 초기 감모, 부화 후 20~30일경에 발생하는 자어 후기에서 치어기에 걸친 감모, 게다가 전장 20 mm 이상에서 생기는 공식이라고 하였다.

- 그리고 萱野(2009)은 사육수온 24~29°C 에서 자치어기(전장 2~28 mm)의 전장과 체중의 관계식을 그림 28에 나타내었다.

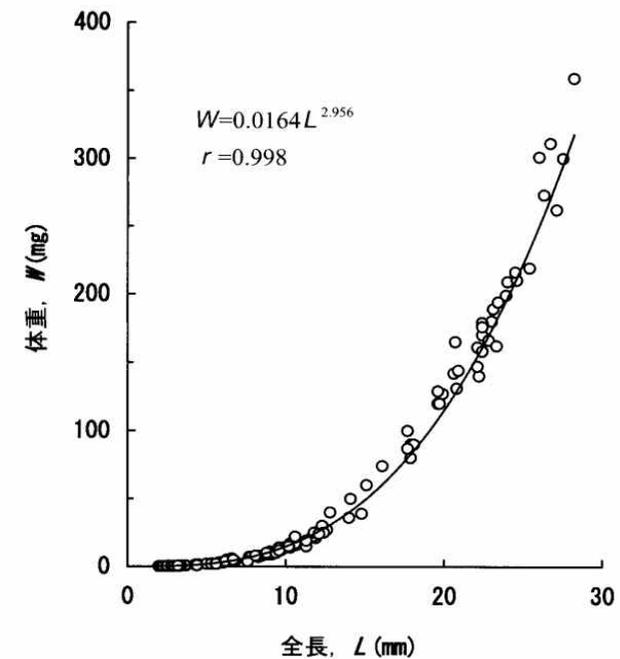


그림 28. 붕바리 자치어의 전장과 체중 관계(萱野, 2009)

- 이창규·허성범(1998)은 6톤 수조에서 부화자어의 수용밀도를 40,000마리로 하여 53일간 사육한 결과 부화 후 10일까지의 자

어 생존율은 6.3%, 총 사육기간 중의 자치어 생존률은 0.2%로 부화후 53일째 치어의 평균 전장은 29.5mm라 하였다.

- 이영돈 등(2017)은 부화일 경과에 따른 부화자어의 성장을 Gompertz curve을 이용하여 그림과 같이 추정하였다.

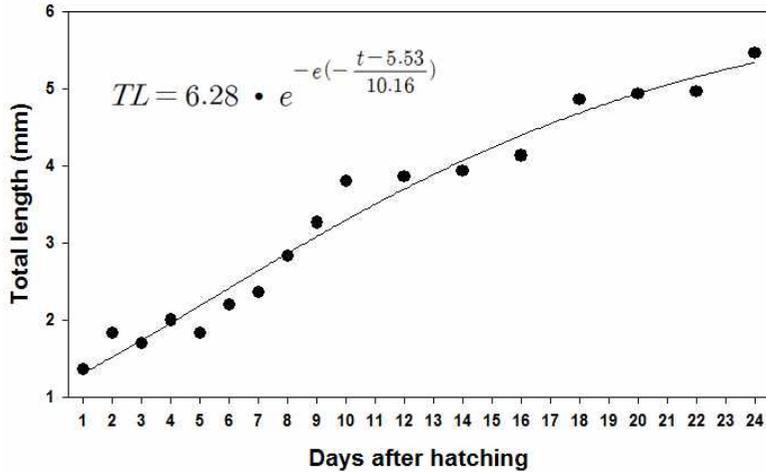


그림 29, 부화일 경과에 따른 부화자어의 성장 (이영돈 등, 2017)  
TL: 전장(mm), t: 경과 부화일



그림 30. 붉바리 자치어 사육수조 및 샘플링 모습 (이영돈 등, 2017)

### 5) 초기의 생존

부화 자어에서 생존율은 25~50%로 감모 상황도 각 사육 예에서 다소 차이가 있다(표 7). 여기에서는 사육 기간을 초기, 중기, 후기로 나누어 각 기의 감소 요인에 대해 기술한다.

표 7. 붉바리 사육시험 결과 (野上·福永, 1990)

사육 예	난 수용일	취양일	사육 일수 (일)	수용 난수 (만립)	부화 자어수 (만마리)	부화율 (%) <sup>*1</sup>	취양 마리수	생존율 (%) <sup>*2</sup>	당 생산량 (마리)	평균전 장 (mm)
1	7. 18	9. 5	50	34	16	47.2	79,600	49.7	1,326	32.70
2	7. 19, 20	9. 4	48	88	40	45.5	122,600	30.6	2,043	28.44
3	7. 21	9. 5	47	33	22	66.7	100,300	45.6	1,672	30.14
4	7. 22, 23	9. 4	45	100	40	40	100,400	25.1	1,673	25.52
합계				255	118		402,900			
평균						46.3	100,700	34.1	1,678	29.45

※ 1 다음날 아침에 수조내에서 측정된 부화율 ※ 2 부화자어와 취양 마리수와 의 생존율

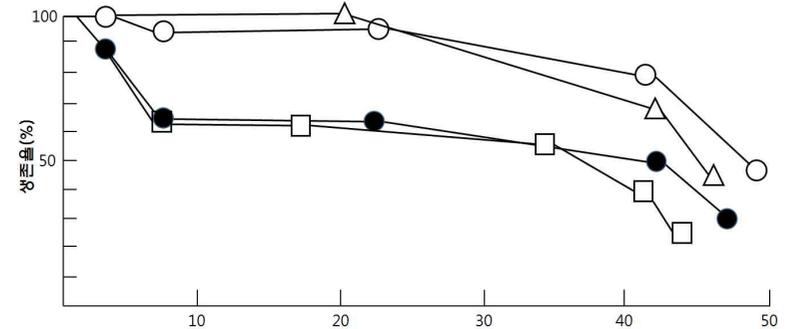


그림 31. 1989년 사육시험에서의 각 사육 예의 생존(野上·福永, 1990)  
(○ 사육 예 1, ● 사육 예 2, △ 사육 예 3, □ 사육 예 4)

가) 사육초기(난 수용~개구후 10일째 전후)

- **부화직후의 감모:** 부화 직후에 부화 자어가 폐사하는 데 따른 감모이다. 이와 관련하여 사육에 이용한 부화 자어의 SAI (Survival Activity Index, 무급이 생존지수)값을 구한 결과, SAI치와 부화율(겉보기의 부화율)에는 정의 상관관계( $r=0.721$ )를 보였다(그림 32). 이것은 부화 직후의 감모가 난질과 관련되어 있을 가능성이 높다는 것을 시사하고 있다.

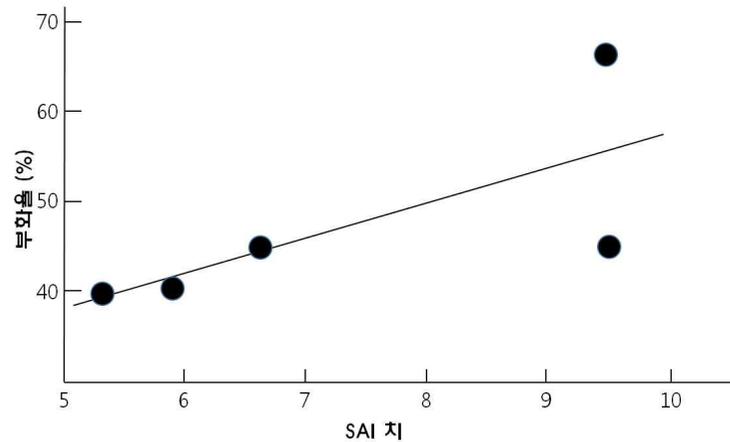


그림 32. 1989년에 측정된 수용란에서 득한 부화유생의 SAI치와 외관상의 부화율(野上·福永, 1990)  
주: 사육 예 2, 3, 4만 측정

- **개구 전후의 감모:** 저수온, 교반 등의 외부 자극 요인에 의한 것으로 생각되는 감모이다. 이에 대해서는 사육 수조에의 해수나 *Nannochloropsis*의 주수 방법의 개선, 통기량의 저하 등 물리적 자극의 경감에 의해, 또 사육 수온에 대해서도 25℃ 이상이 바람

직한 것 등이 밝혀졌다.

- **개구후의 부상폐사에 의한 감모:** 개구 전후 전기 자어의 체표에서 분비되는 점액은 유생이 위에서 나오는 빛에 의해 수표면으로 부상할 때 접촉제 역할을 하여 유생이 수면에 달라붙어 폐사를 초래한다.
- **수질 악화에 의한 감모:** 참굴 유생을 초기 먹이생물에 이용한 경우에 급이 방법에 따라 DO의 저하를 초래했고, 이로 인해 대량 감모가 종종 일어나고 있었다. 그러나 소형의 로티퍼인 태국산 로티퍼를 참굴 유생의 대체 초기 먹이생물로서 이용해 양호한 사육 결과도 얻을 수 있게 되어, 초기 생물 먹이생물의 문제가 크게 개선되었다.

나) 사육 중기(~전장 20mm 전후까지)

- 이 시기의 감모는 영양질환으로 생각된다. 소위 '쇼크사'라고 불리는 폐사에 의한 감모가 크다. 그러나 점차 급이 횟수를 증가시키고, 항상 사육 수중에 먹이생물이 있는 상태를 만드는 등의 개량으로 감소시킬 수 있다.
- 앞으로 더욱 배합 사료의 내용의 개량과 투여 방법의 개선 등을 하여 쇼크사의 경감을 도모하는 동시에, 쇼크사를 일으키는 요인을 규명해야 한다.

다) 사육 후기(전장 20mm~전장30mm 전후까지)

(1) 공식(carnibalism)

- 유생 사육의 후기 단계 동안의 감모는 공식에 의한 것이 많다. 공식의 방지에는 조기 취양에 의한 선별이 효과적으로 가능한 자주 선별할 필요가 있다. 그러나 선별방법, 노력 등의 점에서 간단하지는 않다.

- 공식은 여러 가지 요인에 의해 발생하지만 성장의 차이, 사육밀도에 의한 영향이 클 것으로 생각되어 사육밀도의 검토, 성장차를 없애는 사육기술 개발이 필요하다.
- 일반적으로 공식을 줄이기 위해 다음과 같이 한다:
  - 매일 아침 동이 트자마자 유생에 먹이를 준다. 미립자(펠렛) 사료를 사용하는 경우, 매일 첫 번째 급이는 동이 틀 무렵 즉시 한다. 먹이생물을 사용하는 경우, 동이 틀 무렵에 먹이생물의 밀도가 높거나 매일 새벽 직전에 먹이를 먹도록 한다.
  - 미립자 사료를 빈번히, 즉 1-2 시간마다 공급한다.
  - 후기 단계의 유생에 약 600 렉스의 광도를 유지한다.
  - 완전히 비늘을 가지고 튼튼한 변태(보통 전장 2.0-2.5 cm)에 이르기까지 선별하지 않는다.

(2) 쇼크 증후군(Shock syndrome)

- 바리류 유생 사육에서 나타나는 또 다른 문제점은 '쇼크 증후군'이다. 이것은 일반적으로 약 20 DAH에서 발생하며 약 25 DAH에서 유병률이 증가한다.
- 유생에 먹이는 먹이생물의 영양성분을 개선하면 특히 DHA가 많이 함유된 영양 보충제를 사용하면 유생 집단의 '쇼크 증후군'의 발생률과 심각성을 줄일 수 있다.

6) 초기 감도와 대응

- 바리류의 부화 자어는 형태적, 생태적 특수성 때문에 초기 감도가 심하다. 일본에서는 10일령까지 생존율 40% 이상을 초기 사육의 성공 기준으로, 그 후 수질 및 조도의 급변을 피하고, 위집 방지에 유의하면서 최종 생산 밀도 1,000마리 이상/kl 및 생존율 10% 이상을 달성하는 것을 종자 생산의 목표로 삼고 있다.

- 붉바리의 종자 생산에서 가장 큰 문제가 되는 초기의 주요 감도 요인은 세 가지로 붉바리의 종자 생산은 부화 후 10일 동안 부화자어의 수표면 부상에 따른 표면장력에 의한 사망, 최초 먹이의 섭이 불량으로 인한 사망 및 자어의 침강으로 인한 사망이 발생하여 대량 감모하기 때문에 이 기간의 사육이 가장 중요하다(그림 33).

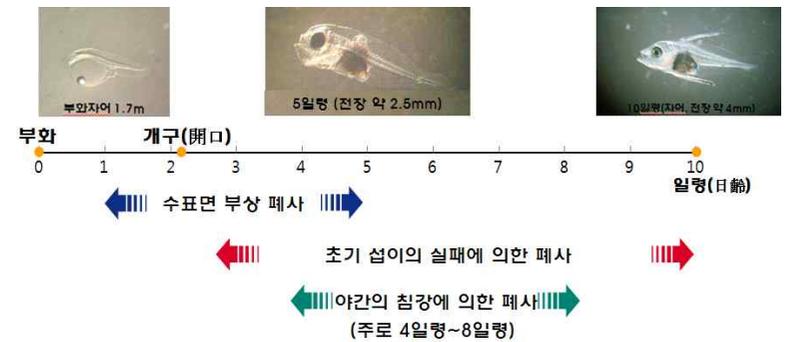


그림 33. 부화자어의 10일령까지의 주요 감모요인(南部, 2012. 수정)

가) 부상 폐사의 방지(Surface aggregation mortality)

- 고수온기에 태어나는 붉바리의 자어는 섭이 가능해진 후 회생 불가능 시점(PNR)까지의 시간이 6시간으로 상당히 짧아 자어가 섭이 가능해지는 시각이 밤이 된 경우에도 섭이를 할 수 있는 밝은 환경을 제공할 필요가 있다.
- 그러나 야간에 조명을 하면, 자어의 습성으로 인하여 조명 기구의 바로 아래의 수면에 위집(蝟集)하는 일이 많다.
- 개구 전후 전기 자어의 체표에서 분비되는 점액은 유생이 위에서 나오는 빛에 의해 수표면으로 부상할 때 접착제 역할을 하여 유

생이 수면에 달라붙어 폐사를 초래한다. 또한 유생의 집단이 서로의 가시에 얽히는 결과를 초래한다. 두 가지 문제 모두 초기 단계의 유생 사이에 심각한 사망률을 초래한다.

(1) 유막(oil film)

- 표면 장력 폐사(surface tension death)를 방지하기 위해 부화 후 1~5일에서 오일을 매일 2회(약 0.2 mL/m<sup>2</sup>) 탱크에 첨가하여 박막을 형성할 수 있다.
- 2000Lux와 암흑 조건에서 유막의 존재에 따른 붉바리의 전기 자어기 유생의 부상폐사의 조사 결과, 조도와 관계없이 유막이 있는 경우 부상폐사가 없었으나, 유막이 없고 조도가 있는 경우 부상 폐사가 암흑 조건보다 많았다. 수 표면의 유막이 붉바리 전기 자어기 유생의 표층 대량폐사를 방지했음을 보여 주었다.

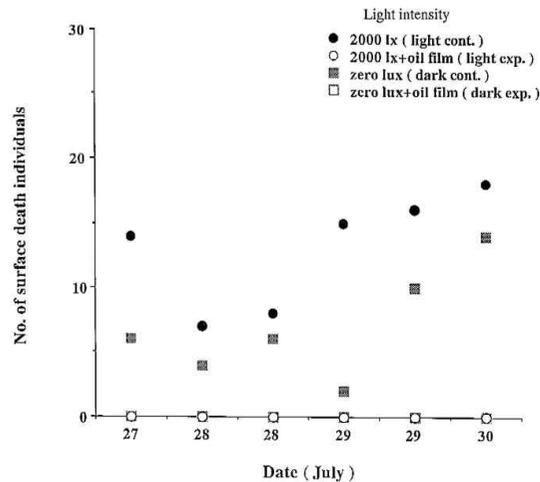


그림 34. 유막(oil film)과 조도에 따른 표층 폐사 (Yamaoka et al., 2000)

- 부화 후 2~7일의 자어에 대해서 조도에 따른 수면에 유막이 있는 경우와 없는 경우의 평균 부상폐사 개체수를 조사한 결과 (Setiadi 등, 2002), 유막이 없는 경우에 부상 폐사 개체는 부화 후 2일째부터 출현하여 10,000lx와 1,000 및 500lx 사이에 빛이 강한 만큼 부상 폐사 개체수는 유의하게 증가하였다. 유막이 있는 경우에는 부화 후 2~7일의 사이에 모든 실험구에서 부상 폐사는 일어나지 않았다.

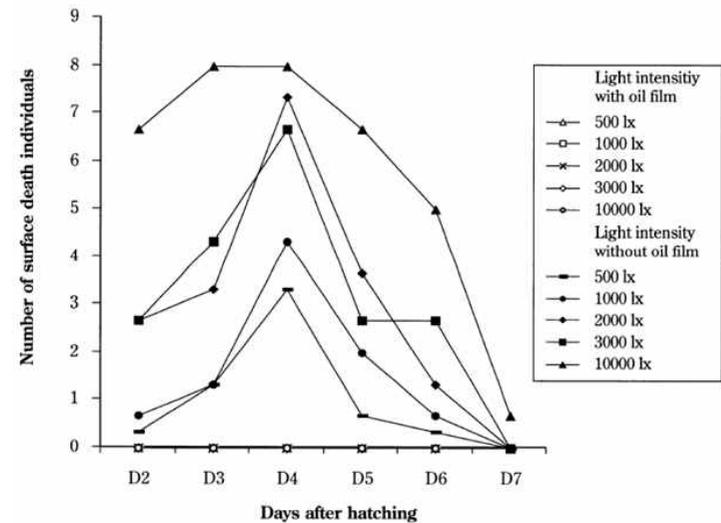


그림 35. 유막의 유무에 따른 조도별 평균 부상폐사 개체수 (Setiadi et al., 2002)

- 유막은 표면 장력을 수 표면에서 빼앗는데, 이는 바리류의 전기 자어기에서 표층 대량폐사의 발생을 방지하는 열쇠이다. 유막의 사용은 부레(swim bladder) 팽창을 하기 전에 중단해야 한다.

(2) 난백 첨가

- 바리류의 부상 폐사를 방지하기 위해 피드 오일(feed oil)을 사용하여 수면에 유막을 형성하는 방법이 실제로 사용되었으나 취급의 어려움 등 단점도 있다.
- 계란흰자(鷄卵卵白)의 첨가에 의한 수면에서의 막 형성은 Kaji et al. (2003)이 2L~30L의 수조를 이용한 실험에서 줄삼치 등의 부상 폐사의 방지에 효과적인 것으로 보고되어, 그 후 비슷한 실험에서 자바리, 능성어에서도 부상 폐사의 방지 효과가 입증되었다.
- 계란은 입수가 용이하고, 1개당 난백(달걀 흰자위)가 약 30g 정도 되는 점을 감안하면 매우 저렴하고, 수면에 형성되는 난백막(卵白膜)은 안정성도 높아 수조의 오염을 일으키지 않는다.

(3) 수류

- 수류의 존재가 붐바리의 부화가 완료된 후 전기 자어기의 폐사율을 줄여 주는데, 이것은 수면의 표면장력(surface tension)이 표층 폐사의 발생에 있어서 주요 환경 요인임을 시사한다.

(4) 명암 조건과 사육수의 색채

- 명암 조건
  - 붐바리의 부화에서 섭이 개시까지의 기간(부화 후 0~4일째)의 명암조건에 따른 생존율은 부화후 3일째 전후의 섭이 개시기에 암조건으로 했을 때에 현저하게 낮았다.
  - 회생 불능 시점(PNR)이 개구에서 23~29시간으로 짧은 붐바리 자어의 초기 섭이 기회의 증가를 위하여 기능적 개구가 야간에 이루어지는 경우에는 점등을 하여 초기 섭이의 촉진을 도모하는 것이 유효하다.

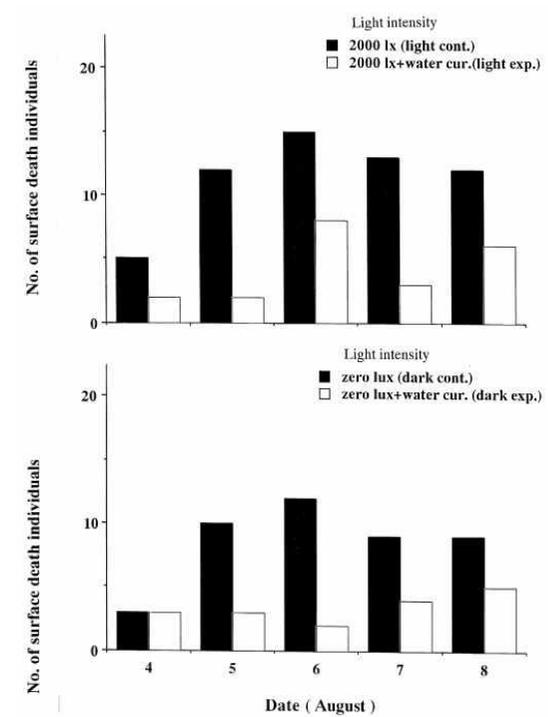


그림 36. 표층 폐사에 미치는 수류의 영향 (Yamaoka et al., 2000).

- 사육수의 색채
  - 사육수가 적색인 경우에, 노란색이나 그린색의 경우보다도 부상 폐사 개체 수가 유의하게 감소했다. 사육수의 색깔과 빛의 강도 사이에는 사망 개체수에 관해서 관련은 없었다.
  - 유막을 치지 않고 붐바리의 종자 생산을 하는 경우에는 사육환경을 최대한 어둡게 함과 동시에 사육수가 적색인 경우 생존을 높이는 인자일 가능성이 있다.

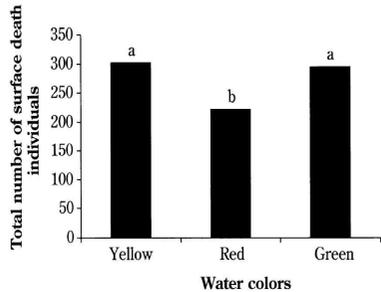


그림 37. 사육수 색체별 총 부상 폐사 개체수의 평균(Setiadi et al., 2002)

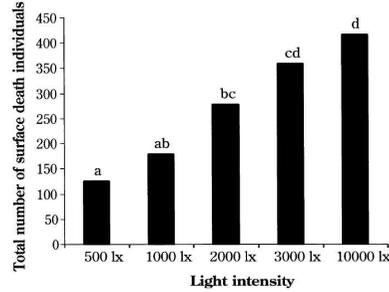


그림 38. 조도별 총 부상 폐사 개체수의 평균 (Setiadi et al., 2002)

#### 나) SS형 로티퍼(윤충)의 급이

##### (1) 붉바리의 구경과 로티퍼의 크기

- 붉바리 부화유생에서 첫 번째로 발생하는 감모는 초기 섭이의 실패로 인한 것으로 초기 감모가 개구 시기와 거의 일치한다. 종자 생산에 있어서 초기 먹이생물의 크기가, 또 개구 후 단시간에 내부 영양이 흡수되기 때문에 외부 영양으로의 전환 시기가 자어의 생존에 큰 영향을 미친다.
- 붉바리의 부화 자어는 돛류나 넙치 등 타 어종에 비해 매우 작고, 개구 직후(2일령)의 자어도 전장 약 2.2mm 밖에 되지 않는다. 또한 바리류 자어의 섭이 개시시의 전장은 능성어 2.6 mm, 무늬바리가 2.7 mm이지만, 붉바리는 2.39 mm(부화 후 3일째)로 가장 작아, 섭이 개시시의 구경이 78~102 μm로 작기 때문에 특히 소형의 초기 먹이생물이 필요하다.
- 통상의 S형 로티퍼는 초기 먹이생물로 크기 때문에 섭이하지 못하고 아사하게 된다. 그러므로 태국산 소형 로티퍼, *Brachionus rotundiformis* (155 μm 이하), 이른바 SS형 로티퍼의 새끼를 급이하는 것이 초기 섭이의 촉진과 감모의 경감에 효과적이다.

- 수중의 로티퍼 밀도는 20개체/ml 전후로 높게 유지한다. 섭이 개시시의 먹이가 너무 크거나 섭이 환경이 부적합한 경우에 개구(2일령) 후의 6~12시간 이내에 섭이에 성공하지 않으면, 섭이를 하지 못한 개체의 대부분은 10일령까지 사망해 버린다.
- 초기 먹이를 먹을 때 (부화 후 3일) 유생 샘플을 현미경으로 검사하여 제공된 로티퍼를 먹고 있는지 확인해야 한다. 유생이 먹이를 먹지 않는다면, 먹이생물의 크기와 밀도를 확인하여 유생에 적절한 크기의 먹이가 충분하도록 한다.
  - 초기 먹이를 먹을 때 (부화 후 3일)의 붉바리 자어의 소화관내에 드러난 로티퍼의 최대 피갑장(被甲長)은 0.15 mm로, 4일째도 마찬가지로 0.16 mm 이상의 로티퍼를 기피한다. 섭이개시시의 개구율을 50%로 하는 구경은 0.148 mm로, 이 시기에 섭이한 로티퍼의 최대 피갑장과 잘 일치한다. 붉바리의 개구 자어의 경우, 구경이 먹이생물의 크기의 상한을 규정한다. 부화 후 3일째의 자어(평균전장 2.39 mm)의 구폭은 0.226 mm로 섭이된 로티퍼의 최대 크기는 구폭의 약 66%에 해당한다.
  - 한편, 부화 후 5일째 이후(전장 2.48 mm이상)의 붉바리 자어에서는 성장·구경의 확대와 함께 섭이 가능한 로티퍼의 크기가 0.18 mm 이상으로 대형화되지만, 피갑장 0.15 mm이하의 작은 로티퍼를 섭이하는 경향이 여전히 강하다. 그러므로 붉바리 종자 생산에서는 통상 부화 후 10일경까지 태국산 로티퍼를 고밀도로 급이한다.
  - 그러나 해산 자치어의 종자 생산에 널리 이용되는 S형 로티퍼도 충분히 섭이 가능하므로 급이 작업의 간소화 및 생력화를 위해, 태국산 소형 로티퍼의 급이 기간을 개구 후 2일 간으로 한정할 수도 있다.

(2) 회생 불능 시점(PNR, point of no return)

- 자어의 주 사망 시기인 부화 직후부터 약 일주일간 자어의 난황 흡수 및 먹이와 관련한 생존 특성의 조사 결과, 난황 및 유구의 흡수 시간은 수온이 높을수록 짧아져 수온 23~25℃에서 99% 이상의 난황 및 유구가 흡수된 시점은 부화 후 각각 84, 96시간, 27℃에서는 각각 72, 84시간, 29~31℃에서는 공히 부화 후 60시간으로 나타났다.
- 자어의 소화관에서 처음 rotifer가 발견된 때는 99% 이상의 난황을 흡수한 시점이다.
- 자어의 개구는 부화후 56시간에, 또 섭이 개시는 부화 후 71시간에 관찰되었다. 섭이 개시시 자어의 난황은 부화시에 비해 체적으로 1.3%, 유구는 3.8%로 약간이나마 잔존하고 있었다.
- 섭이에 성공하지 않으면 돌이킬 수 없는 죽음에 이르는 시기, 이른바 PNR(회생 불능 시점)를 특정할 수 없지만, 붉바리의 서식 수온이 비교적 높고, 난황 및 유구가 적어 흡수가 빠르며, 더욱이 무급이어의 생존율이 개구 후 2일째 이내에 급감하기 때문에 개구 후 매우 빠른 시기에 PNR이 존재하는 것으로 추정된다.
- 첫 먹이 공급시기 지연에 따른 자어의 생존률은 부화후 84시간 이전까지는 첫 먹이공급 시기를 빨리할수록 생존율이 높았으나, 부화후 96시간에 첫 먹이를 공급한 경우는 부화후 120시간째까지 모든 자어가 사망하였다.
- 개구시에 로티퍼를 20개체/mL의 기준으로 주고, 섭이 상황을 조사한 결과, 3일령의 17시(섭이개시 0시간: 0HAOF)에 자어의 섭이율이 50%이상에 도달했기 때문에, 섭이 개시시간으로 정의하였다. 섭이개시의 시간에 로티퍼를 준 시험구를 대조구로, 섭이 개시 시간 6시간 후, 12시간 후, 18시간 후에 로티퍼를 주어 붉바리 자어의 회복 가능한 절식 내성 시간을 조사한 결과, 시험 중

료시의 평균 전장은 섭이 개시 시간에 로티퍼를 주었을 때 유의하게 컸다. 또한 평균 생존율도 20.3%로 6시간 후의 6.3%, 12시간 후의 7.9%, 18 시간 후의 2.6% 보다 높아 첫 회 섭이 시간의 지연에 따라 성장 정체와 생존율의 저하가 뚜렷하였다.

- 그러므로 붉바리 자어에서는 섭이개시에서 6시간 사이가 회복 가능한 절식 내성 시간이다.
- 즉, 바리류의 초기 사육이 어려운 것은 자어의 먹이생물 결핍에 따른 회복 가능한 기아 내성 시간이 지극히 짧은 것에 의한 것으로, 종자 생산에서 부적절한 사육 조건에 의해 자어가 첫회 섭이에 실패하면, 성장과 생존에 크게 반영되어 초기 감도가 생긴다. 그러므로 이 시기에 얼마나 효율적으로 섭이할 수 있는 사육 환경을 제공하느냐가 붉바리 사육의 가장 중요한 포인트이다.

(3) 소형화한 S형 로티퍼의 사용

- SS형 로티퍼와 고밀도 연속 배양으로 소형화한 S형 로티퍼의 먹이생물 효과의 검토 결과, 성장과 생존이 차이가 없어 소형화한 S형 로티퍼로도 SS형 로티퍼의 대용이 가능하였다(그림 39, 40)

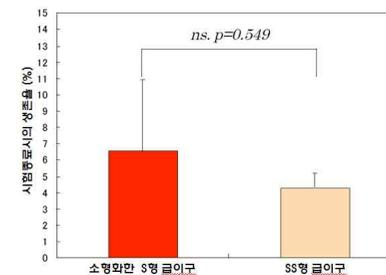


그림 39. 로티퍼의 종류가 붉바리 자어의 초기생존에 미치는 영향 (御堂岡, 2008)

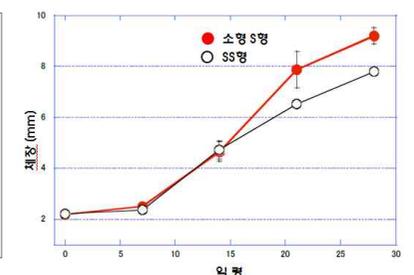


그림 40. 로티퍼의 종류가 붉바리 자어의 성장에 미치는 영향 (御堂岡, 2008)

(4) 기타(로티퍼의 굵이 환경)

- **수류 환경**: 자어에 확실하게 공급한 로티퍼를 먹이기 위해서는 안정된 자세를 취할 수 있는 수류 환경이 필요하다, 개구 직후의 자어는 유연력이 약하기 때문에 펌프나 통기의 강약을 조정하여 수류를 완만하게 조정함으로써, 안정된 섭이행동이 가능하게 하여 자어가 섭이 행동을 하는지 관찰한다.
- **조도**: 개구 직후 자어의 먹이생물에 대한 가시적 시인성(視認性)을 높이기 위해서 수면 조도 1만 LUX 이상의 밝은 환경을 확보한다. 그러한 환경을 정비한 다음, 자어의 소화관 내를 조사해, 로티퍼가 확실히 섭이되고 있는지 확인한다.
- 많은 시험 결과에서 10일령으로의 생존율 40%이상을 달성하기 위해서는, 개구 직후의 자어 1마리당의 로티퍼 섭이 개수는 5개 이상이 필요하고, 한편, 수조 내의 자어의 80% 이상이 섭이해야 하는 것으로 나타났다.

다) 침강 폐사의 방지

- 개구 후, 섭이를 시작한 붉바리의 자어는 체중의 증가에 따라 물에 대한 비중이 무거워져 야간에 잠든 자어가 수조 바닥에 침강하면 악화된 저질 환경으로 사망하는 경우가 많다. 붉바리의 경우 4일령에서 8일령의 야간에 걸쳐서 극심한 침강이 확인되는데 자어를 가라앉히지 않는 것이 중요하다.
- 4일령에서는 약간 저층에의 분포비율(침강비율)이 높지만 4-8일령의 야간의 침강 비율은 대체로 20% 이내로 하는 것이 “침강 대책 성공”의 기준이 한다.
- 즉, 개구 직후에는 먹이생물 크기나 조도 환경, 수류 환경에 의해 섭이를 성공시키고, 4일령 이후는 소형수조에서 통기는 하

지 않고 욕조 펌프(bath pump)로 수조 바닥에 설치한 구멍을 뚫은 PVC 파이프로 물을 뿜어내어 수조 바닥에 수류를 발생시켜 침강을 방지한다. 30톤 정도의 큰 수조에서는 1수조 당 욕조 펌프 3~5개를 사용한다.

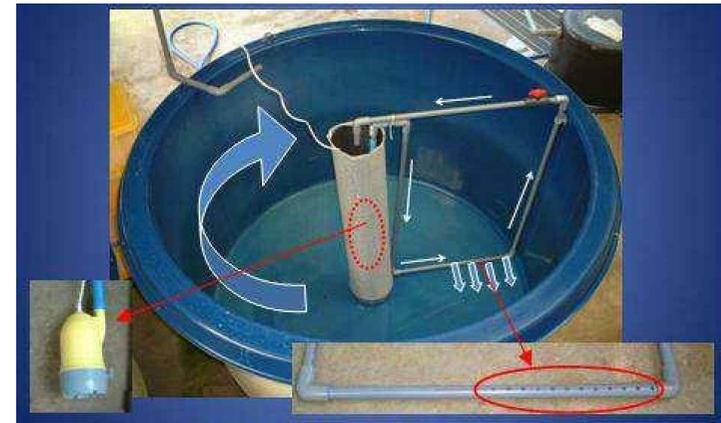


그림 41. 욕조 펌프(bath pump)를 사용한 침강대책(南部, 2012)

라) T3 욕에 의한 자어의 초기감모 경감

- 붉바리 자어에서 3일령 때 거의 반드시 발생하는 초기 감모의 방제를 목적으로, 갑상선 호르몬(thyroid hormone)의 1종인 3,3',5-triiodothyronine (T3)을 100 ng/ml 함유한 해수에 부화 전날의 부상란을 5시간 침적한 결과, 부화율과 무급이하에서의 자어의 생존율 향상의 효과는 없었으나, 부화 당일에 부화 자어의 사육수에 T3를 첨가하면 자어의 생존이 최고 20~30배까지 개선되었다.

## 5. 치어

### 가. 사육 환경 관리

#### 1) 치어 사육 환경 관리

##### 가) 수온

- 사육 수온이 높을수록 성장이 잘 되나 병원 세균의 성장과 어류 대사율이 증가하기 때문에, 결과적으로 산소 소비와 총 암모니아 질소 생산 역시 증가하게 한다. 또한, 높은 온도 범위는 공식과 같은 부정적 형태의 어류 행동을 유도한다.
- 환수와 산소 공급의 증대 방안 없이, 사육 수온을 올리는 것은 관리 문제를 더 키우는 것과 같다.

##### (1) 사육 수온별 성장

- 붉바리 전장  $7.2 \pm 0.1 \text{cm}$  의 치어를 수온 20, 24, 28°C 그리고 32°C 실험구에 각각 6주 동안 노출시켜 전장과 체중의 성장률의 조사 결과, 수온 24°C와 28°C 실험구에서 높은 성장률을 보인 반면, 20°C와 32°C 구간에서 낮은 성장률을 보였다.

##### (2) 수온에 따른 스트레스 반응

- 수온 노출에 따른 생리적 반응으로서 스트레스의 1차 지표인 혈장 cortisol 농도, 체내 세포활성도(특히 간세포)를 판단할 수 있는 효소인 GOT와 GPT 농도를 측정하였다.
- 실험 개시 전 20°C에서 순치하였으며, 6주 노출 후 cortisol 농도는 다른 실험구에 비해 32°C에서 높은 값을 보였다. 혈중 GOT와 GPT 농도도 32°C 실험구에서 높게 나타나 수온 32°C에서 스트레스를 받는 것으로 나타났다.

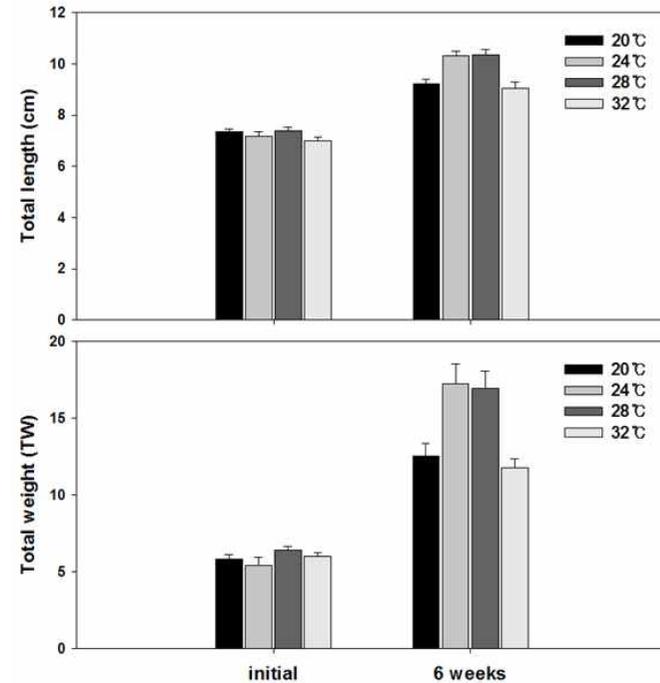


그림 42. 사육수온에 따른 붉바리 치어의 성장(이영돈 등, 2017)

##### (3) 수온에 따른 먹이 섭취율

- 수온 노출 6주 후의 먹이 섭취율은 20°C에서 가장 낮았으며, 24°C에서는 5주째까지 증가현상을 보이다가 6주째에 다른 실험구에 비해 높은 섭취율을 보였다. 28°C에서는 2주째까지 가장 높은 먹이 섭취율을 보인 후 비슷한 수치를 유지하였다. 32°C 실험구에서는 노출 5주째까지 점차 증가하다가 6주째에는 24°C와 28°C에 비해 급격히 감소하였다.

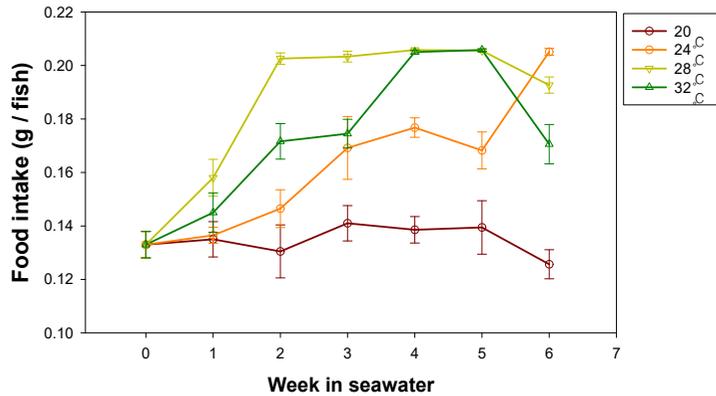


그림 43. 사육수온 별 먹이섭취율 (이영돈 등, 2017)

(4) 적정 사육 수온

- 붉바리가 효율적으로 성장하는 수온을 파악하기 위해, 소형 수조에서 16~31°C의 수온에서 사육하여 성장과 사료 효율을 조사한 결과, 성장은 31°C가 가장 좋고, 먹이생물 효율은 25°C가 가장 높았다.

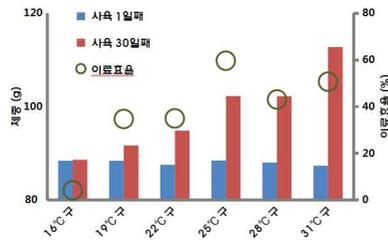


그림 44. 사육수온에 따른 성장과 먹이생물 효율의 비교(森田, 2014)

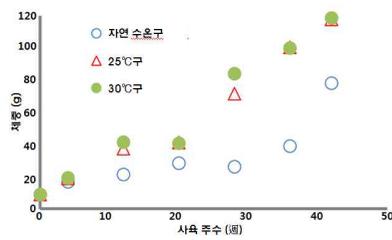


그림 45. 대형수조에서의 사육 수온에 따른 성장 비교(森田, 2014)

- 이 결과를 바탕으로 대형 수조에서 사육하였는데, 자연 수온구와 비교해 25°C, 30°C 구는 동등하게 성장하였지만, 먹이생물 효율은 25°C에서 높은 것이 재현되었다.
- 수온 조절에 필요한 연료비는 25°C에서 30°C의 약 1/3이 되어 25°C에서 사육하는 것이 가장 효율적이었다.

나) 염분

- 바리와 어류처럼 어린 시기에 연안이나 강 하구에 서식하다가 성장하면서 외해로 이동하는 어류들은 어린 시기에 염분에 대한 내성이 강하다가 성장하면서 점점 내성이 약해진다.
- 해산 어류는 염분농도가 약간 낮은 경우, 삼투압 조절 에너지 감소 효과로 사료 전환 효율과 생존율이 약간 향상될 수도 있다.

(1) 치어 사육의 적정 염분

- 붉바리가 효율적으로 성장하는 염분을 파악하기 위해, 소형수조를 이용해서 6~38 psu로 사육한 결과, 13~26 psu에서 잘 성장하였다.
- 그 결과에 따라 대형수조를 이용해 19, 26, 32 psu의 염분으로 90일간 사육해 성장을 비교한 결과, 19, 26 psu에서는 성장차이는 없었지만, 32 psu보다 성장이 빨랐다.
- 이러한 결과에 의해 저염분으로 사육하는 것으로 약 0.5년 양식 기간의 단축이 가능할 것으로 추정되었다.
- 임상구 등(2016)은 붉바리의 치어시기에는 자연 해수(32 psu)보다 16 psu 전후의 저염분에서 증중률, 일간성장률, 사료효율 등이 높았으며, 또한 염분(16 psu, 24 psu, 32 psu)에 따른 cortisol 농도의 차이가 없었고, 염분별 생존율은 8 psu에서 전량 폐사한 것을 제외하곤 염분에 의한 폐사가 관찰되지 않았다고 하였다.

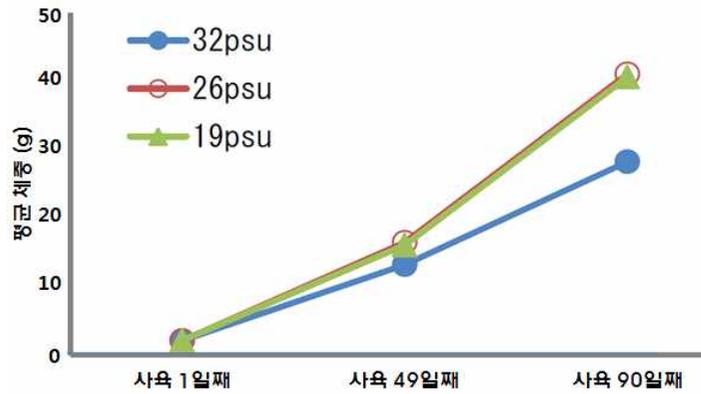


그림 46. 염분의 차이에 따른 붕바리의 성장 비교(森田, 2014)

(2) 저염분 사육의 유효성

- 저염분에 대한 내성은 발달 단계에 따라 달라서 부화후 15일째 이후에 발생하는 대량 감모기에 저염분 사육이 유효하다는 것이 밝혀졌다(그림 47).

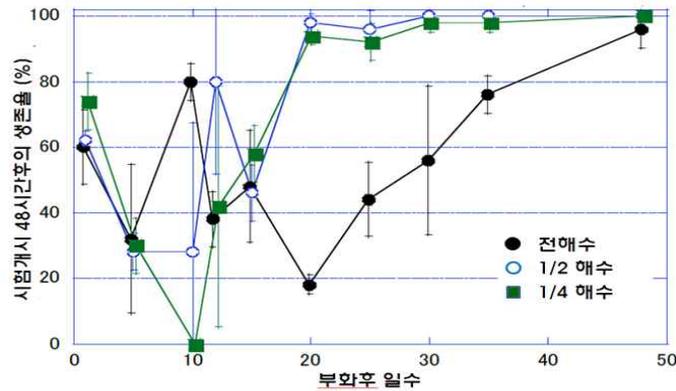


그림 47. 붕바리 자어의 생존율에 미치는 저염분 사육의 영향 (御堂岡, 2008)

- 또 염분농도에 대해서는 1/2해수(16%)와 1/4해수(8%)에 유의한 차이를 얻지 못한 것으로부터 체액의 삼투압과 동등한 1/4해수가 아니라도 1/2해수에서 충분히 효과를 얻었다(그림 48).

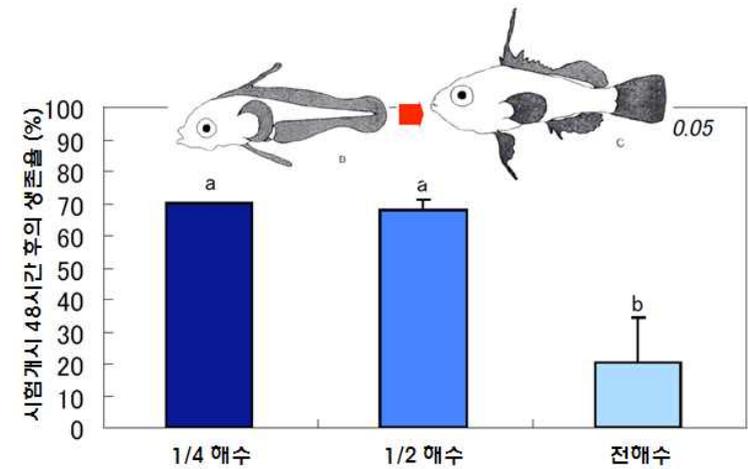


그림 48. 변태기에 발생하는 폐사에 대한 저염분 사육 효과 (御堂岡, 2008)

- 실용규모 수조(5톤)에 있어서 실증시험에서도 저염분 사육(1/2해수)의 영향에 의한 성장 정체 등은 없었고, 변태시기의 감모를 경감하는 것으로 수조 1톤당의 생산량을 종래의 3배(전장 약 20 mm의 종자)로 향상시킬 수 있었다(그림 49).

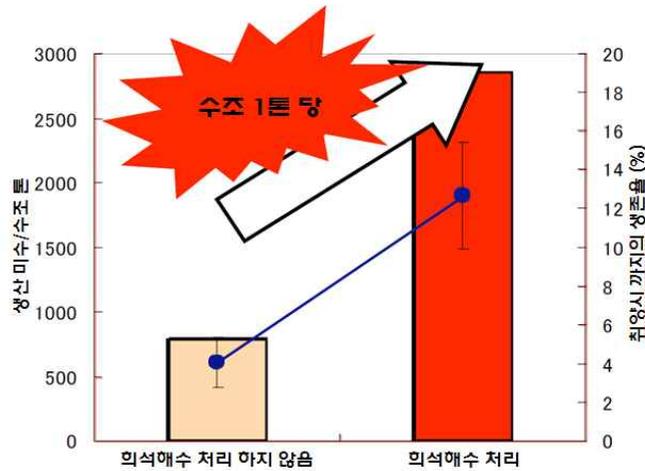


그림 49. 저염분 사육의 양산화 실증시험 (御堂岡, 2008)

## 나. 사육 관리

### 1) 치어의 사육 밀도

#### 가) 치어 입식

- 부화 후 약 40~45일째에 평균 전장 25~30 mm이상의 치어를 수조내의 수량을 낮추고 울타리 망으로 모아 피시 펌프(fish pump)로 흡인하여 중간 육성용 수조 내에 설치한 선별망 내에 옮긴다. 선별망에 남은 대형 개체는 다른 수조에 옮겨 중간 육성한다.
- 치어의 계수는 피시 카운터(fish counter)를 사용하지만 사전에 샘플 1,000 마리를 사용하여 실제 수치와 카운터 합계 수치의 오차를 확인하여 계수치를 보정한다.
- 수송 호스 안을 치어가 통과하는 속도는 0.5 m이내/sec라면 치어에 손상이 없다.

#### 나) 사육 밀도

- 치어의 중간 육성은 육상 수조 내에 설치한 구획망(망목 150경)에서 하며, 환수량은 2~4회전/일로 사육수가 충분히 교반되게 통기량을 조정한다.
- 종자의 밀도를 달리하여 15톤 원형수조에 설치한 소형 가두리에서 21주간 사육한 결과, 고밀도(10.5 kg/m<sup>3</sup>) 사육구는 평균 무게가 약 37 g이었으며, 중밀도(7.0 kg/m<sup>3</sup>) 사육구는 약 35 g, 저밀도(3.5 kg/m<sup>3</sup>) 사육구는 약 29 g으로 고밀도 사육구가 가장 성장이 빨랐고, 생존율에도 큰 차이가 없었다(표 8).
- 고밀도 사육구의 증체율 및 일일성장률도 저밀도 사육구 비해 통계적으로 유의하게 높아, 어체의 크기가 작을수록 고밀도에서 성장이 빠른 사례(Wallace et al., 1988)와 유사한 결과를 보였다.

표 8. 붕바리 밀도별 실험구의 성장 양상 (이영돈 등, 2017)

밀도별	항목	최초	21주후	증체율 (%)	일일성장률 (%)	생존율 (%)
저밀도 (3.5kg/m <sup>3</sup> )	체장(mm)	6.45±0.04	10.2±0.74	390.2±4.53 <sup>a</sup>	0.93±0.006 <sup>a</sup>	96.7
	무게(g)	7.43±0.16	29.0±5.72			
	비만도	2.7±0.06	2.7±0.28			
중밀도 (7.0kg/m <sup>3</sup> )	체장(mm)	6.65±0.05	10.8±0.83	446.1±48.72 <sup>ab</sup>	1.02±0.061 <sup>a</sup>	93.3
	무게(g)	7.80±0.34	34.8±6.95			
	비만도	2.6±0.08	2.7±0.34			
고밀도 (10.5kg/m <sup>3</sup> )	체장(mm)	7.35±0.47	11.0±0.89	501.1±43.23 <sup>a</sup>	1.10±0.048 <sup>b</sup>	94.1
	무게(g)	6.53±0.14	36.7±8.21			
	비만도	2.6±0.06	2.8±0.29			

\* 동일 열에 다른 문자는 Tukey test 결과 통계적으로 유의한 차이를 보임을 의미

- 池田·家接(2005)은 붕바리를 섭이가 활발한 어종과 적정한 비율로 혼합 사육하면 단독 사육과 비교해 섭이 행동이 활발해져 사육 조건에 따라서는 성장을 촉진할 수 있는 것으로 보고하였다.

여기서, 붉바리 단독구의 성장량을 1로 했을 경우, 참돔과의 혼합 사육이 최고 약 1.15배 촉진되고, 또한 혼합 사육에 이용한 참돔에 대해서도 같은 효과를 기대할 수 있다고 하였다.

## 2) 치어 사료 공급 관리

- 먹이 공급은 표 9과 같이 배합사료만을 사용하며, 이때 주의할 점으로서는 크기 차이가 생기지 않도록 구석구석의 개체까지 먹이를 고루 준다. 급이량의 기준은 개체의 비만도(비만도=(체중)/(체장)<sup>3</sup>×10<sup>3</sup>)를 25 전후로 유지하는 것이다.
- 사망어 및 쇠약어의 제거는 급이시에 아울러 4회/일, 블로어를 정지하고 구석구석까지 잘 확인한다.

표 9. 종자의 크기와 사육관리(1만미당)

전장 (mm)	체장 (mm)	체중 (g)	급이량 (g/일)	배합사료 입경(mm)	급이 횟수 (회/일)
30	24	0.4	450	1.0~2.0	4
40	32	0.9	450	1.0~2.0	4
50	41	1.8	900	1.0~2.0	4

(山口県 水産振興課, 2012)

## 3) 치어 사육의 생물학적 변수 관리

### 가) 어류의 행동 점검

- 어류의 정상 행동
  - 유영 활동의 완전한 통제
  - 성공적인 먹이 섭식/포식 활동(어느 정도의 공식도 포함)

- 갑작스러운 자극에 빠른 반응(전형적으로 수조 위에서 손을 흔드는 것 등)
- 적절한 색(흑색 대신 고유색)
- 먹이 공급에 자어 무리의 밀집
- 어류 행동의 변화
  - 사육 수조 안의 환경 조건의 변화로 문제가 발생하면, 대량 폐사와 같은 명백한 신호가 시작되기 전에 어류의 행동에 먼저 영향을 주게 한다.
  - 경험 있는 직원의 일상적 감시로도 무엇이 잘못되고 있는지 알 수 있다.
  - 어류의 행동을 매일 관찰하여야 한다.

### 나) 성장률과 기형률의 조사

- 조사 시기
  - 치어의 성장과 기형률을 대표할 수 있는 표본은 정기적으로 선별하고, 분산 수용할 때 실시한다.
  - 사육의 성과는 2주에 한번 평가하는 것을 권장하고, 가능하면 어류 선별 때 같이 평가하도록 한다.
  - 선별하지 않을 경우에는 한정된 표본을 수집하여 체중과 체장을 측정한다.
- 조사 표본
  - 치어 표본의 수는 일반적으로 사육 초기에는 100마리가 적당한 표본이 될 수 있으나, 사육 후기로 갈수록 더 많은 표본을 한다.
- 조사 방법
  - 치어는 점검을 하기 전에 폐사와 질병을 피하기 위하여 마취되어야 한다.

- 체중은 해수 300 mL 든 1L 비커에 넣고, 저울에서 무게를 잰 다음, 물과 비커의 무게를 빼서 치어의 체중을 측정한다.
- 치어를 모은 양동이에 100마리가 되면 개체의 평균 체중을 계산한다.
- 체장은 표본된 치어를 깨끗한 유리에 어류를 두고, 유리 아래에 둔 밀리미터 용지로 mm 단위로 체장을 측정한다.
- 각 개체에 대해서 형태적 이상을 기록한다.
- 유리 글라스 아래에 강한 광원을 둠으로써, 부레의 존재 여부를 조사한다.
- 후속 조치
  - 마취된 치어는 가능한 한 빨리 포기되고 깨끗한 해수가 있는 회복 양동이에 되돌려 놓는다.
  - 회복 중인 치어는 반드시 다른 치어의 공격을 피할 수 있게 완전히 회복된 이후에 사육 수조에 재수용 되어야 한다.

#### 다) 치어의 선별

- 공식 저감 방안으로는 ① 수조의 조도 저하, ② 미세조류의 침가에 의한 사육수의 투명도 감소, ③ 사육수의 주수량과 공급 회수의 증가로 공급량의 확대, ④ 같은 크기의 그룹으로 만들기 위한 빈번한 선별이 있다. 이중 선별이 최대의 해결책이라고 할 수 있다.
- 바리류는 크기의 차이를 줄여 공식을 감소시키기 위해 정기적으로 선별을 한다. 선별은 선별 크기 사이에 전장의 차이가 30% 미만인 되도록 선별해야 한다. 예를 들어 어류의 등급이 전장 약 50 mm인 경우에 등급의 크기 범위는 전장 45-59 mm이어야 한다. 정기적으로 선별을 하는 것은 크기 분포를 감소시키지만, 이것은 또한 어류의 취급과 신체적인 손상으로 인한 스트레스를 유

발하여 질병 발생을 초래할 수 있다.

- 일부 중간 육성장에서는 3-4일 간격으로 수시로 선별을 한다. 다른 중간 육성장에서는 선별로 인한 부정적인 건강상 영향을 줄이기 위해 선별 사이에 더 긴 기간 (1주 이상)을 두는 것을 선호한다.
- 붉바리는 전장 30 mm부터 50 mm에 이르기까지는 공식이 심하여 가능하면 1주에 1회의 크기 선별이 바람직하다. 공식의 경우는 삼키지 않고 양측이 질식사하는 경우와 도중에 토해 낸 사망 개체 및 쇠약 개체가 확인되는 경우가 많다. 크기 선별을 하지 않고 사육한 경우, 혹은 충분히 크기 선별을 못 했을 경우 중간 육성 기간 생존률은 대체로 55~70%이다.
- 선별 후 어류의 건강 상태를 모니터링 한다.
- 선별기
  - 2가지 유형의 선별기가 사용된다: 일련의 평행 막대가 있는 봉상 선별기(bar graders)와 정사각형 그물망이 있는 망상 선별기(mesh graders)이다.
  - 매우 작은 어류 (1 cm 미만)의 경우 망상 선별기가 선호되는 반면, 봉상 선별기는 선별하는 동안 어류의 피부에 피해를 덜 주기 때문에 전장 1cm 이상의 어류에서 망상 선별기 보다 더 선호된다.
- 선별 방법
  - 선별은 얇은 플라스틱 접시 또는 작은 탱크에서 수행한다. 깨끗한 해수 공급이 이루어져야 하고, 선별 중에 용존산소 수준이 높게 유지되도록 포기한다.
  - 선별은 고밀도로 어류를 모아서 생기는 스트레스 때문에 가장 적은 수의 어류를 사용하여 가능한 빨리해야 한다. 치어가 선별기에서 능동적으로 움직일 수 있도록 선별은 바닥에만 국한되

지 않고 충분한 수면을 확보해야 한다.

- 몇 가지 다른 크기의 선별기를 중첩하여 한 번에 여러 개의 크기 그룹을 선별하여 선별과정을 줄일 수 있다.
- 선별 후 적은 수의 아주 작거나 매우 큰 고기가 남아 있는 것이 일반적이는데, 이것들은 탱크나 못의 작은 가두리에 보관할 수 있다.
- 선별 과정의 과도한 취급 또는 기타 원인에 의해 초래된 세균 감염의 위험을 최소화하는 것이 필요할 경우, 선별 후에 예방적 약품 처치를 할 수 있다.

#### 4) 자치어의 이송 관리

- 취양 때에는  $\phi 100$  mm의 배수 밸브의 외측에 저수조를 놓고 그 가운데 망목 약 2.2 mm의 모지망에 붉바리를 받는다. 다만, 종자가 약할 경우에는 폐사하는 개체가 나오므로, 취양 전에 종자의 질을 검토해 둘 필요가 있다.
- 취양한 종자는 4.5 mm 폭의 슬릿(slit)식 선별기와 모지망(망목 약 3.5 mm, 망목 약 4.5 mm, 망목 약 5.3 mm)에서 선별을 하고, 평균 전장 30 mm에서 취양하는 경우에는 선별기와 망목 약 5.3 mm 지름의 모지망에서 3단계로 실시한다. 이때 선별된 종자의 평균 전장은 선별기에 남은 개체 37.4 mm, 망목 약 5.3 mm의 모지망에 남은 개체 32.7 mm, 그 모지망을 빠져 나간 개체 23.7 mm였다. 붉바리는 40 mm전후까지는 공식이 활발하여 선별을 하지 않으면 감도가 크다.

#### 가) 수조와 장비의 준비

- 어린 후기 자어 단계는 대단히 연약하며, 이송 작업은 어류에게 크게 스트레스를 주는 일이기 때문에 하루 전에 모든 장비를 준

비하여, 잘 세척하고 살균하여야 한다.

- 수송은 가능하면 아침 일찍 이송을 준비한다.
- 어린 어류를 조심스럽게 다룰 수확과 이송 방법을 선택한다.
- 예상하지 못한 작업 지연이 발생하는 경우에 즉시 쓸 수 있는 비상 산소 공급 장치를 준비한다.
- 이송 매체의 오염을 피하기 위하여, 자어 사육 수조의 바닥을 완전히 청소한다.

#### 나) 먹이 공급

- 3-4일 전에 어류는 증가된 양의 비타민 C(사료 kg 당 10,000 mg까지)가 들어 있는 먹이를 공급한다. 비타민 C는 항 스트레스 특성을 가지고 있기 때문이다.
- 이송 전 먹이를 주지 않아야 한다.
- 치어가 새 수조에 배치되었을 때, 공식을 피하기 위하여, 가능한 빨리 먹이를 공급한다.
- 이송 후에 조속한 회복을 위하여, 즉시 충분한 양의 생물 먹이를 공급한다.

#### 다) 수온과 염분

- 옮겨갈 수조의 수온과 염분은 자어 사육수조의 수온, 염분과 서로 같아야 한다.

#### 라) 자·치어 취급

- 절대로 어류에 직접 손대지 않도록 노력한다.
- 어류가 결코 물 밖으로 튀어 나가거나 또는 물 밖에 있지 않도록 한다.
- 절대로 작은 용기에 너무 많은 어류를 밀집시키지 않는다.

- 절대로 더러운 물이 치어사육 수조에 들어가지 않도록 한다.
- 치어를 받는 사육 수조에 치어를 부어 넣기 전에 치어 운반 용기가 바닥에 닿는 것을 피한다.
- 치어가 포기과 환수 없이 있는 시간을 가능한 한 최단시간이 되도록 노력한다.
- 과도한 취급 또는 연약한 자어에 의해 세균 감염의 위험을 최소화하는 것이 필요할 경우, 이송 전후에 예방적 약품 처치를 할 수 있다.

## 다. 질병 관리

### 1) 수처리 시스템

- 자연취수원수를 3단계 이상 여과 및 살균시스템을 이용하여 사육 수조에 공급한다.

#### 가) 1차 여과

- 해수(원수)에 포함되어 있는 퇴적물, 유기물, 파래, 모래, 흙과 같은 20  $\mu\text{m}$  이상의 입자를 화이버 글라스 모래여과장치(Fiber-Glass Sand filter)로 여과하여 원수의 탁도를 현저히 줄여 2차 여과효율을 높여 준다.
- 모래여과장치에 20  $\mu\text{m}$  이상의 입자들의 유입량이 많을 경우 여과수량이 급격히 감소하므로 해상의 기상 악화시 1일 5회 이상 역세척을 실시하고 평시에는 1일 1회 이상 역세척을 실시하여 여과처리 적정 수준인 유입수 압력을 0.7 bar로 조절한다.

#### 나) 2차 여과

- 1차(모래여과기) 여과에서 걸러내지 못한 20  $\mu\text{m}$  이하의 분진 및

미세입자, 원생동물들을 여과하기 위해 10  $\mu\text{m}$  이하의 여과필터(백필터)를 이용하여 2차 여과한다.

- 최적의 사육수 관리를 위해 담수 고압세척·살균 건조된 백필터를 2회/일(09시, 18시) 교체한다.

#### 다) 3차 여과

- 2차 여과 후 10  $\mu\text{m}$  이하의 세균 및 기생충성 원생동물의 유입을 차단하기 위해 1  $\mu\text{m}$  하우스징 필터로 여과하여 사육원수로 사용한다. 하우스징 필터에 사용하는 카트리리지 필터는 1회/일 정기적으로 교체한다. 사용한 카트리리지 필터는 담수 고압세척 후 염소 소독과 중화과정을 거쳐 재사용하고, 3회 사용한 필터는 폐기한다.

#### 라) 살균

- **UV 살균기:** 3차 여과 후 1  $\mu\text{m}$  이하의 바이러스 및 세균에 사멸을 위해 최종적으로 UV로 살균 처리하여 사육수로 사용한다. 원수 사용량이 적은 종자생산 초기단계에는 UV 1개를 사용하고, 원수 사용량이 증가하는 종자생산 중기단계 이후부터는 UV 2개를 병렬 연결하여 사용한다.
- **동이온 발생기:** 유수식 형태의 사육관리 방법을 적용한 중간육성 단계에서 레지오넬라균, 대장균, 바이러스 및 기생충에 의한 폐사를 예방하기 위해 동이온(copper ion)의 살균효과를 이용하여 사육수로 사용한다. 동이온이 발생하는 동판부의 표면이 전기분해작용으로 70%이상 부식되면 새로운 동판부로 교체하여 사육수에 적정수준의 동이온 농도인 0.01 ppm이 유지될 수 있도록 조절한다.

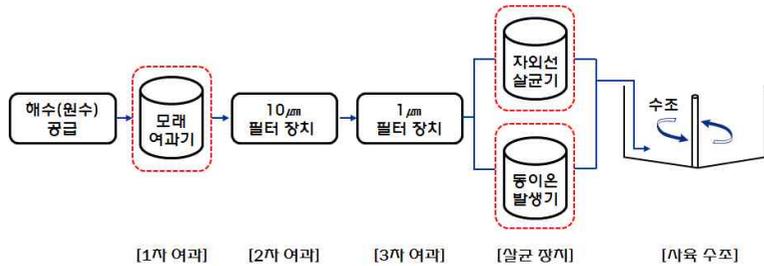


그림 50. 수처리 여과사육시스템 (이영돈 등, 2017)



그림 51. 수처리 시스템 장치 (이영돈 등, 2017)

(A: 모래여과기, B: 10 µm 백필터, C: 1 µm 하우스 필터, D: UV 살균기, E: 동이온 발생기)

## 2) 부화장을 위한 생물학적 안전(biosecurity)

- 생물안전성을 더욱 지원하고 질병 발생률을 줄이려면 부화장을 다른 양식 시설, 특히 다른 부화장, 중간육성장과 양성 작업으로부터의 배출수로부터 떨어져 있어야 한다.

- 다양한 기능 영역 (친어, 먹이생물 생산, 유생 사육 등)을 분리한다.
- 병원균의 유입위험을 줄이기 위해 필수 인력만의 제한된 부화장 출입과 출입 지점에는 족욕대(footbath) 및 세수대(handwash)를 설치하여 운영한다.
- 사용 전 및 구역 간 이동시 수질 모니터링 장비, 그물, 대야 등 모든 장비의 소독 및 철저한 세척
- 새로운 어류 (친어, 유생 또는 치어)의 격리
- batches 간 부화장의 소독 및 건조로 유생의 'Batch' 생산
- 생물 보안 및 건강관리의 직원 교육
- 질병을 보이는 어류 batch에 대한 엄격한 격리
- 병원균 및 질병에 대한 일상적인 모니터링 및 질병 발생시 신속한 진단
- 유생의 전반적인 건강과 저항력을 향상시키기 위해 수질과 영양을 최적화.

## 6. 종자 수송

### 가. 수질 관리

#### 1) 수송 밀도

- 7월 중순에 종자 생산을 시작한 경우 9월 중하순에 전장 약 50~60 mm로 성장한 개체를 수확한다. 수확 당일은 먹이를 주지 않고, 출하시에 중량법으로 마리수를 산출한다.
- 활어 수조로 수송할 경우는 산소 통기와 브로워 통기를 병용하고, 수송밀도는 10 kg이내/kL로 한다.

#### 2) 종자 수송해수의 수질 관리

- 치어 수송 수조의 해수는 배양장에서 치어에 사용된 해수와 같은 해수를 사용한다.
- 보충 해수는 부유 현탁물을 제거하기 위하여 기계적으로 여과한다.

#### 가) 수송 수온

- 수온은 어류의 산소 소비에 강하게 영향을 준다. 낮은 온도에서 수송하면 어류의 대사 저하로 호흡이 감소하여, 결과적으로 산소 소비와 암모니아 배설도 감소한다. 해수의 산소 용해도는 낮은 온도에서 더 높아진다.
- 수송 해수 수온은 배양장 환경의 수온과 크게 달라서는 안 되며, 스트레스를 줄이기 위하여 1시간에 1°C로 점진적으로 조정한다.
- 치어 수송 용기는 단열이 되는 용기를 사용한다.
- 온도 변동을 최소화하기 위하여 여름에는 밤에 수송하는 것이 더 좋으며, 반대로 겨울에는 주간 수송을 권장한다.

- 붉바리는 고수온에 비교적 강하여 이 시기의 자연 수온(26~28°C)이면 2~3시간의 수송은 문제없지만 반드시 도중에 종자의 상태 및 통기 상황을 확인하면서 수면으로 코를 내미는 등의 산소 결핍 증세가 나타나는 경우에는 산소 공급, 브로워 통기량을 증가시킨다.
- 붉바리 종자(평균 전장 11.3±1.5 cm, 체중 53.4±5.4 g)의 장거리 수송 시 대사활동과 스트레스를 최소화하는 수온을 조사하고자, 수온별(9°C, 12°C, 15°C, 18°C 및 21°C)로 48시간 동안 어체를 노출시켜 행동 변화, 생존 및 혈액생리학적 반응을 확인하였다.
  - 9°C에 노출된 붉바리 종자는 48시간 만에 전량 폐사하였지만, 이외의 수온에서는 모두 생존하였다. 그러나 12°C에 노출시킨 붉바리 종자는 유영없이 수조 바닥에 가라앉아 있었으며 15°C, 18°C 및 21°C에서는 정상적인 유영활동을 보였다.

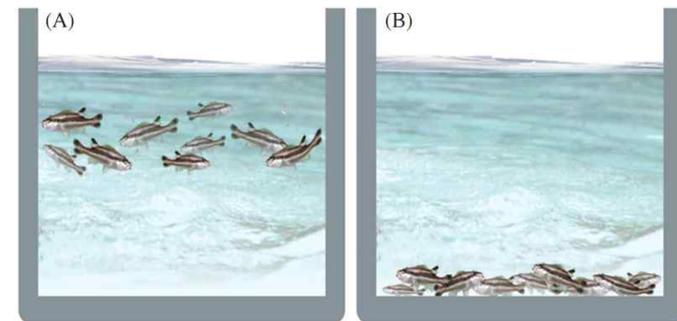


그림 52. 붉바리의 수온별(A: 15, 18, 21°C, B: 12°C) 유영 행동 (박형준 등, 2017)

- 혈장 코티졸 농도와 글루코스는 다른 실험구보다 12°C에 노출시킨 붉바리에서 더 유의하게 높았다(P<0.05). 스트레스의 2차적

반응으로 나타나는 혈액학적 항목인 Ht (hematocrit), Hb (hemoglobin)의 변화는 12°C 및 15°C 그룹은 18°C 및 21°C 보다 유의한 차이를 보였다.

- 이러한 결과로 볼 때, 붉바리 종자의 장거리 수송을 위한 적정 수온은 15°C 라고 할 수 있다.

#### 나) 용존산소

- 용존산소(DO)는 살아있는 어류의 수송에서 가장 중요한 변수로서, 포기 등으로 충분한 산소를 공급하여야 한다.
- 수송 중의 산소 소비량은 첫 1시간 동안에 최대가 되므로, 수송 해수는 치어의 수송 시작 전에 과포화가 되어야 하고, 수송 첫 1시간 동안 DO를 주의 깊게 조절하여야 한다.
- 순수 산소의 첨가는 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 독성 형태를 비독성 산물로 산화하는 데 기여한다.

#### 다) 염분농도

- 수송 해수의 염분농도는 치어의 스트레스를 줄이기 위하여 치어가 길들여진 배양장 염분농도와 같아야 한다.

#### 라) pH

- 수송 중 해수의 pH는 일반적으로 크게 문제가 되는 변수는 아니다. 호흡에 의한 이산화탄소의 증가는 수송 해수를 산성화한다. 그러나 해수의 완충능력이 pH 변화를 완화한다.
- pH의 수준은 독성 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 균형에 직접적으로 영향을 준다. pH가 낮을수록 암모니아 질소의 독성 부분도 감소한다.

#### 마) 암모니아

- 암모니아는 아가미를 통해서 배설되며, 어류의 주요 대사산물이다.
- 수송 수조의 환수 없이 치어를 운반할 때, 어류의 대사산물인 암모니아가 해수에 축적되게 한다.
- 물에서 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 사이에는 화학적 평형이 존재한다.
- 비이온화 암모니아는 낮은 농도에서도 어류에 독성이 대단히 강하다. 치어 수송 수조의 비이온화 암모니아의 관리를 위하여 수송 전 먹이 공급을 중지하여야 한다.
- 치어의 공식 행동이 통제될 수 있으면, 치어의 배설량을 감소하기 위하여 수송 전 최소 24-48시간 먹이를 주지 않는다.
- 어류에 영향을 주지 않으면서 신진대사를 감소하고 유독 비이온화 암모니아의 백분율을 감소하기 위하여, 수온을 가능한 한 낮게 유지한다.
- 장거리 수송 동안에는 필요시 부분적 또는 전체를 환수한다.

#### 바) 이산화탄소

- 호흡에 의해 생산되는 이산화탄소는 어류 혈액의 산소 수송 용량을 감소시키기 때문에 적절한 산소 수준에 있을 때조차도 어류에 위험하다.
- 이산화탄소는 포기와 환기에 의해서 제거되며, 통풍구를 통해 배출한다.
- 밀폐된 수조는 이산화탄소의 위험한 증가 상태로 만들 수 있다. 치어 수송 수조 안의 암모니아와 이산화탄소의 축적을 방지하기 위하여, 수송 수조의 뚜껑 또는 통풍구는 부분적으로 개방한다.

- 수표면의 거품은 물과 공기의 가스 교환을 감소시킨다.

#### 사) 탁도

- 탁도를 감소하기 위한 현탁 물질의 제거는 어류 관찰을 용이하게 하고, 아가미가 막히는 위험, 산소 결핍 및 세균 증가를 감소한다. 깨끗하고 여과된 해수로 채워야 한다.

#### 아) 수면의 거품

- 수송 수조 해수 표면의 오물과 거품은 장거리 수송중인 많은 수의 치어에서 생기는 과도한 점액으로 만들어 진다.
- 거품은 공기/물 경계면에서 산소와 이산화탄소의 이동을 방해하며, 또한 어류를 관찰하기 어렵게 만든다.
- 트럭의 치어 수송자는 뜰채로 거품을 제거함으로써 수송 시간을 연장하게 한다.

### 나. 수송 관리

#### 1) 종자의 수송 관리

##### 가) 수송 수조에 치어 적재

- 치어 수송 수조의 해수는 배양장의 해수를 채우는 것을 권장한다.
- 치어 수송 차량의 수조에 적재가 끝났을 때, 실을 때 들어간 오염물(오물, 거품, 점액, 배변)을 제거하기 위하여 산소가 충분한 물로 완전히 환수한다.
- 낮은 온도가 바람직할 경우 얼음주머니를 이용할 수도 있다.
- 치어를 싣는 동안 치어가 취급당하게 되는 충격과 심한 스트레스 때문에, 치어들은 활동 과잉이 되고, 호흡률과 신진대사의 배설

이 증가한다.

- 수송 수조에서 치어들의 산소 소비와 암모니아 배설을 최소화하고, 변과 토한 사료 양을 감소하기 위하여, 치어는 보통 수송 차량에 싣기 전에 적어도 24시간 굶긴다.
- 수송 중에 치어의 공식 행동이 통제될 수 있을 경우에 한해서 수송 전 굶길 수 있다.

#### 나) 포식 예방

- 어렵게 하거나, 탁도를 증가하는 것은 포식을 제한하는 효과가 있다.
- 소량의 안정제 또는 마취제의 사용도 검토될 수 있다.

#### 다) 수송 중의 모니터링

- 치어 수송 중에 주기적으로 해수의 산소와 거품 그리고 폐사어를 점검하여야 한다.
- 수온, DO, pH 및 염분농도의 변화를 모니터링하고 적정 범위에서 유지한다.
- 어류의 행동과 산소 첨가 상태를 점검하기 위한 첫 번째 정차 점검은 보통 출발 후 약 1.5시간 뒤에 하고, 이후 규칙적인 간격으로 자주 점검한다.

#### 라) 치어의 하역

- 도착 시 수송 수조의 해수 온도와 염분농도를 가능한 한 수용 시설의 수온과 염분농도 수준에 맞추어야 한다.
- 치어가 갑작스러운 온도와 염분의 변화 쇼크에 노출되지 않는 것이 매우 중요하다
- 만일 필요하다면, 하역 전에 수용될 수조의 수온과 염분농도에 어

류를 적용시키기 위해 양동이 또는 펌프를 사용하여 수용 수조의 해수를 천천히 수송 수조에 추가한다.

- 나쁜 수송 조건에 심하게 시달린 경우, 수용 시설에 가능한 한 빨리 이송한다.
- 수조 수용 직후, 오래 굶은 치어들의 공식 출현을 예방하기 위하여 건조 배합사료를 즉시 먹여야 한다.
- 폐사어는 조심스럽게 제거하고, 빈사 상태의 어류도 제거한다.
- 예방 목적의 항생제 투여는 내성 세균의 출현 가능성 때문에 권장하지 않는다.
- 항생제의 사용은 허약하거나 또는 스트레스를 받은 개체군에 대해 실제 질병 발생을 치료하는 데 제한되어야 한다.

## 부 록

### 가. 부화 시설과 장비의 위생 관리

#### **소독 용액(Disinfecting solutions)**

- 차아염소산염(Hypochlorite) = 500 ppm 활성 염소 용액(active chlorine solution)
- 염산(Hydrochloric acid) = 10% v/v 용액

#### **개인위생(Personal hygiene)**

- 작업을 시작하기 전에 그리고 필요할 때마다 손을 씻어야 한다.
- 순수 계통 배양실(pure-strain culture room) 안에서 작업할 때는 알코올로 손을 소독하여야 한다.
- 구역에 들어가기 전, 그리고 떠나기 전에 장화를 소독하여야 한다(일주일에 한 번 담금통에 담은 소독 용액을 새 것으로 바꾸어야 한다).
- 어류를 취급할 때는 면장갑을 착용하여야 한다.
- 위험한 화학 물질을 취급 할 때는 플라스틱 장갑, 보안경 및 보호 앞치마를 착용하여야 한다.
- 흡연은 배양장 내부에서 허용되지 않는다.

#### **자외선 살균기(UV-light sterilizer)**

- 석영 등의 청소: 설치되어 있는 자동세척기를 사용하여 하루에 2번 석영관을 청소하거나 또는 자외선 산출량이 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 자동 세척기가 없는 자외선등은 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 분해하여 석영관을 손으로 세척하여야 한다.

- 우회 배관의 환수: 자외선 살균기의 우회 배관의 정제된 물을 제거하기 위하여 하루에 2번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어 배관 내의 물을 배수한다. 경고: 배양장에서 질병이 발생한 경우 측관을 열어서는 안 한다.
- 자외선 살균등의 점검 창을 한 달에 한 번, 또는 잘 보이지 않을 때마다 분해하고 에탄올로 청소한다.

#### 미세 여과 장치(Fine filtration devices)

- 생산자 지침에 따라 정기적으로 점검 및 정비하여야 한다.
- 유속이 사전 설정된 안전 값 아래로 떨어지면 필터 요소를 교체하여야 한다.
- 새로운 또는 소독된 여과 요소만 사용하여야 한다.
- 예비 부품을 충분히 준비하여야 한다.

#### 장비(버킷(buckets), 항아리(jugs), 비커, 피펫 등)

- 하루 동안: 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 철저히 행군다.
- 하루 작업 종료 시: 500 ppm 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)에 담근다.
- 야간: 밤에는 물로 행군고, 그리고 건조한 상태로 보관한다.
- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.
- 도구는 500 ppm의 차아염소산염 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행군고 사용하여야 한다.
- 자급식 플라스틱 펌프(Self-priming plastic pumps): 매번 사용 후 멸균된 해수로 잘 행군어 주어야 한다. 하루 작업이 끝난 후 10 분 동안 폐쇄 회로(closed circuit)에서 차아염소산염 용액으로 행군어 주어야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 플라스틱 에어 관은 10% HCl 용액에 보관하여야 한다.

- 로티퍼와 알테미아의 먹이 공급과 영양 강화를 위해 유분 영양 용액(oily nutrient solutions)을 공급하기 위해 사용된 용기는 사용 후 비누로 세척해야하며, 그리고 차아염소산염 용액에 보관해야 한다. 사용하기 전에 멸균 수로 행군어야 한다.
- 사용 후 폴리에틸렌 백은 폐기하여야 한다.

#### 유리 제품(Glassware)

- 철저히 세척되고 멸균된 유리 제품만 사용한다.
- 사용 후에는, 모든 유리 제품을 수돗물로 행군고 10% 염산 용액에 1시간 동안 담가 두어 오랜 배양의 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다.
- 기름기가 많거나 또는 두꺼운 침전물이 있으면, 세제와 솔로 씻는다. 모든 무기물 침전물을 피할 필요가 있는 경우, 마지막 행군은 증류수로 해야 한다.
- 세척하여 젖은 유리 제품은 적절한 선반에 매달아 건조 시키거나, 또는 여과된 해수로 즉시 채워서, 살균 과정을 준비한다. 일단 건조되고 나면, 즉시 사용하지 않을 경우, 먼지가 들어가지 않게 알루미늄 호일로 개구부를 밀봉하여 보관한다.
- 피펫과 유리관은 10% 염산 용액(hydrochloric acid solution)으로 채워진 원통형 플라스틱 행군기(plastic rinsers)에 적어도 1시간 동안 두어, 오래된 배양물의 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다. 행군 순서는 항상 수돗물이 먼저이고, 그 뒤에 증류수로 행군다.

#### 온도계(Thermometer) / 염분측정기(Salinometer) / 산소측정기(Oxymeter)

- 분석할 각 용기에서 채취한 물 시료만 측정하여야 하며, 절대로

탐침(probes)을 용기에 직접 담그지 않아야 한다. 사용 후에는 깨끗한 물로 완전히 씻는다.

### 대량 배양 수조와 장비

- 배양 수조의 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다. 에어 호스와 산소 호스 및 확산기(diffusers)를 제거하고, 수중 히터와 플라크 포집기(floccule traps)를 제거한다.
- 젖어 있을 때, 수조와 모든 장비를 담수로 행구고, 그런 다음 수조 내벽, 바닥 및 모든 장비를 세제와 뜨거운 물로 솔 등을 사용하여 문지른다.
- 모든 장비를 담수로 행구고, 그리고 500 ppm 차아염소산염 용액에 밤새 담근다.
- 수조를 담수로 행구고, 그리고 차아염소산염 용액으로 한 번 더 처리한다.
- 수조를 담수로 행구고, 그리고 재충전하기 전에 수조를 건조시킨다.

### 살균 용액 용기

- 일주일에 한 번 또는 활성 염소 함량이 사전 설정된 값 이하가 될 때마다, 소독 용액을 새 것으로 교체하고, 그리고 바닥 잔류물을 제거한다.

### 테이블과 조명 선반(light shelves)

- 작업을 시작하기 전에, 모든 표면을 알코올로 소독한다.
- 하루 일과가 끝나면 세제로 씻고, 수돗물로 행구고 말린다.

### 소형 용기용 조명 선반(Light shelves)

- 모든 표면을 매일 알코올로 세척하고 소독한다.

### 바닥과 타일 벽

- 먼저 고압 세척기로 그런 다음 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)으로 매일 씻는다. 행귀내서는 안 한다.

### 배양 장비와 시설의 살균: 배양 장비와 시설의 살균 절차

- 위생 및 살균 절차의 엄격한 이행이 필요하다.
- 로티퍼 배양 수조의 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 행구고, 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 행군다.
- 수조 벽을 500 ppm 활성 염소 용액(active chlorine solution)으로 씻거나 살포한 다음, 2시간가량 후에 수조의 물을 빼내고 염소 냄새가 없어질 때까지 잘 행군다.
- 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안으로, 수조를 해수로 채우고 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균하며, 이후 잔류 염소는 디오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화한다.
- 포기 배관, 배수 밸브, 부유물 제거 매트 등 수조에서 사용되는 부속 장비들을 살균한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 차아염소산염으로 살균한다.

### 먹이 생물 배양의 주의 사항

- 항상 있는 일로, 로티퍼로 조류 배양을 오염시킬 위험을 방지하기 위해, 조류와 관련된 모든 조작용 로티퍼와 관련된 조치를 하기 전에 완료되어야 한다.
- 기본 규칙으로, 조류 배양을 하는 데 사용되는 모든 장비는 로티퍼에게 사용되는 장비와 분리되어 보관되어야 한다.

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 여겨서는 안 한다. 재료와 장비가 필요할 때마다 당신 자신이 스스로 청소해야 한다.
- 독성이 높은 염소 가스 (Cl<sub>2</sub>)가 생성될 수 있기 때문에, 차아염소산염 용액을 자외선에 노출시키거나 또는 염산(HCl)과 혼합해서는 안 한다.
- 모든 산성 또는 차아염소산염 잔류물은 어류에 치명적인 독이 있으므로, 사용하기 전에 철저히 행구어졌는지 확인해야 한다.
- 질병의 확산 위험을 예방하기 위하여, 배양장의 다른 구역과 재료와 장비를 절대로 교환하지 않아야 한다.

## 나. 친어, 자치어 사육 시설과 장비의 위생 관리 기준

### **자외선 살균기(UV-light sterilizer)**

- 석영 등의 청소: 설치되어 있는 자동세척기를 사용하여 하루에 2번 석영관을 청소하거나 또는 자외선 산출량이 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 자동 세척기가 없는 자외선등은 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 분해하여 석영관을 손으로 세척하여야 한다.
- 우회 배관의 환수: 자외선 살균기의 우회 배관의 정체된 물을 제거하기 위하여 하루에 2번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어 배관 내의 물을 배수한다. 경고: 배양장에서 질병이 발생한 경우 측관을 열어서는 안 한다.
- 자외선 살균등의 점검 창을 한 달에 한 번, 또는 잘 보이지 않을 때마다 분해하고 에탄올로 청소한다.

### **생물여과조(Biofilter)**

- 벽(walls): 오물이 쌓일 때마다 종이 티슈로 없애야 한다. 물에 손을 담그지 않아야 한다.
- 집수조 바닥 잔해 배출(Pump sump bottom): 사이펀으로 오물을 제거한다. 침전된 잔해(debris)를 재부유시키는 것을 피하기 위하여 사이펀을 부드럽게 작동한다. 항상 깨끗하고 소독된 사이펀을 사용한다. 사이펀을 500 ppm 차아염소산 용액에 담그고 그리고 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행군다.
- 매일 아침 생물여과조의 주수구에서 알테미아 트랩을 청소하고, 완전히 씻은 다음, 트랩을 제자리에 놓기 전에, 500 ppm 차아염소산염 용액에 30분 담가 두어 소독한다. 트랩에 걸린 알테미아를 제거한다.

- 매일 아침과 저녁에 생물여과조의 주수구에서 기계식 필터의 역세척을 점검한다. 일주일에 한 번 세제와 뜨거운 물로 기계식 필터의 구성 부분들을 씻는다. 그런 다음 교체하기 전에 차아염소산염 용액 500 ppm에 30분 동안 담가 소독한다.
- 일반 배수구 홈통(outlet gutter): 기계식 필터를 우회하여 (by-passing) 솔로 한 달에 두 번 청소한다. 각 과정의 끝에 차아염소산염 500 ppm으로 세척하고 소독한다.

#### 운용 수조(Working tanks)

- 바닥: 진공청소기, 진흙 흡입기 또는 사이편을 사용하여 하루에 두 번 침전물을 제거한다.
  - 가능한 한 친어를 불안하게 하는 것을 피하면서, 사료 섭취량을 평가하기 위해 매일 제거한다.
  - 다음 수조를 청소하기 전에 청소 공구를 소독하여야 한다.
  - 침전물들이 다시 떠오르지 않도록 사이편을 부드럽게 작동한다.
  - 수조마다 소독된 사이편을 사용하여야 한다.
  - 사이편을 500 ppm 차아염소산염 용액에 보관하였다가 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행구어야 한다.
- 수조 내벽과 수면 접촉면: 유분이나 오물이 쌓일 때마다 수위를 10 cm 낮추고 종이 티슈로 닦아야 한다. 절대로 물에 손을 담그지 않아야 한다.

#### 빈 수조(Empty tanks)

- 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다.
- 배수망과 파이프, 에어 호스 및 에어스톤, 그리고 밸브를 제거한다.
- 아직 젖어있을 때: 내벽, 바닥 및 모든 장비를 세제와 뜨거운 물

로 세게 닦아야 한다.

- 행구고 나서, 그리고 500 ppm 차아염소산염 용액으로 밤새 소독한다.
- 다음날 아침 담수로 행구고, 그리고 다시 채우기 전에 공기 중에서 말린다.

#### 유막 제거기(Skimmers)

- 물을 오염시킬 수 있는 습식 먹이를 공급할 때 수면을 청소하기 위하여 스키머를 사용하여야 한다.
- 스키머에 의해 걸러진 부유 잔해와 유막이 스키머에 쌓일 때마다 종이 티슈로 제거하여야 한다. 로티퍼와 알테미아를 공급한 후에는 필요한 경우 더 자주 제거한다. 특히 부레가 활성화되는 때인 자어 사육의 첫 10일 동안은 특별한 주의가 필요하다.

#### 배수 필터(Outlet filters)

- 아침과 저녁 조명을 끄기 전에 일과로서 하루에 두 번 깨끗하고 소독된 필터로 교체하여야 한다. 만일 필터 막힘의 위험이 있는 경우에는 낮에 더 자주 교체하여야 한다.
- 사육수의 급수를 멈추고, 그리고 어린 자어를 방해하지 않으면서 또 필터에 붙은 더러운 오물이 재부유되는 것을 피하면서 더러운 필터를 조심스럽게 제거한다.
- 제거된 필터를 뜨거운 물 또는 담수의 고압 세척수로 씻고, 그리고 나서 30분 동안 차아염소산염 용액에 담근다. 필터를 물로 완전히 행구고, 말려서 수조 가까이에 보관한다..
- 필터를 교체 할 때, 새 필터 안에 자치어가 갇혀 있지 않도록 확인하여야 한다.

### 에어 호스(Air hoses)와 확산기(diffusers)

- 일주일에 한 번 각 수조에서 깨끗한 세트(플라스틱 호스 + 에어 꼭지(tap) + 에어 스톤)로 교체한다.
- 유막을 제거하기 위하여, 뜨거운 물과 세제로 씻는다. 그 다음 10% 염산(hydrochloric acid)에 담근다. 사용 전에 물로 철저히 행구어, 에어 호스와 에어 스톤 내부에 산성 용액이 남아 있지 않도록 주의하여야 한다.

### 주수 연성 호스(Water inlet flexible hose)

- 일주일에 한 번 깨끗한 것으로 교체한다. 위에 공기 호스에 대해 표시된 대로 처리하여야 한다.

### 장비(버킷(buckets), 항아리(jugs), 비커, 피펫 등)

- 하루 동안: 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 철저히 행군다.
- 하루 작업 종료 시: 500 ppm 차아염소산염 용액에 담근다.
- 야간: 밤에는 물로 행구고, 그리고 건조한 상태로 보관한다.
- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.
- 도구는 500 ppm의 차아염소산염 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행구고 사용하여야 한다.
- 자급식 플라스틱 펌프: 매번 사용 후 멸균된 해수로 잘 행구어 주어야 한다. 하루 작업이 끝난 후 10분 동안 폐쇄 회로(closed circuit)에서 차아염소산염 용액으로 행구어 주어야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 플라스틱 에어 관은 10% HCl 용액에 보관하여야 한다.
- 로티퍼와 아르테미아의 먹이 공급과 영양 강화를 위해 유분 영양 용액(oily nutrient solutions)을 공급하기 위해 사용된 용기(Jug)는 사용 후 비누로 세척해야하며, 그리고 차아염소산염 용액에 보관

해야 한다. 사용하기 전에 멸균 수로 행구어야 한다.

- 사용 후 폴리에틸렌 백은 폐기하여야 한다.

### 살균 용액 용기

- 일주일에 한 번 소독 용액을 새 것으로 교체하고, 그리고 바닥 침전물을 제거하여야 한다.
- 소독 용액은 차아염소산염(Hypochlorite) = 500 ppm 활성 염소 용액(active chlorine solution), 염산(Hydrochloric acid) = 10% v/v 용액이다.

### 먹이생물의 일일 저장 용기

- 마지막 먹이생물 공급 후, 세제와 뜨거운 물로 저장용기의 내벽, 바닥, 뚜껑, 에어 호스 및 에어 스톤을 문질러 닦아낸다.
- 500 ppm의 차아염소산염 용액으로 소독한다.
- 다음날 먹이생물 공급을 준비하기 위하여, 담수로 씻어 내고, 그리고 공기 중에 말린다.

### 사육실 바닥

- 일주일에 두 번, 먼저 강력한 고압 분사기(strong water jet)로 씻고, 그 다음 500 ppm 차아염소산염(hypochlorite)으로 씻는다. 행귀내지 않아야 한다,

### 난 수집기(Egg collectors)

- 아침과 저녁에 난을 확인한다.
- 난 수집기를 한번 비운 후에는, 완전히 배출하고, 그리고 담수로 행구어야 한다.
- 난 수집기의 망과 내벽은 차아염소산염 용액으로 조심스럽게 세

척하고, 담수로 평균 다음, 다시 산란수조(spawning tank.)에 연결한다.

#### 자동 사료 공급기(Automatic feeders)

- 매일 먼지(dust)와 살포되지 않은 사료를 제거하여야 한다.
- 상업용 에탄올(ethano)과 종이 티슈로, 일주일에 한 번 용기와 공급 장치를 청소하여야 한다.

#### 아르테미아 공급 통(Artemia dropping buckets)

- 매일 아르테미아 공급이 완료되었을 때, 세제와 뜨거운 물로 청소하여야 한다. 그런 다음 30분간 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)에 담근다. 아르테미아 공급 호스(delivering hose)와 꼭지(tap)가 막히지 않았는지 확인하여야 한다.

#### 작업자 위생 관리 주의 사항

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 가정해서는 안 한다. 필요할 때마다 자신 스스로 청소해야 한다.
- 모든 산성 또는 차아염소산염의 잔류물은 치어에 치명적인 독이 있으므로 사용하기 전에 장비를 철저히 행구어야 한다.
- 질병 확산의 위험을 피하기 위하여, 배양장의 다른 구역들과 재료와 장비를 교환하지 않아야 한다.
- 개인위생
  - 손을 깨끗하게 유지하여야 한다.
  - 배양장에 들어가기 전에 소독조에 발을 담가야 한다.
  - 배양장 안에서 담배를 피워서는 안 한다.

#### 다. 수질 측정 기기의 관리

- 좋은 수질을 유지하는 것은 어류의 건강을 유지하고 성장과 생존을 극대화하는데 중요하다. 일반적으로 종자 생산장이나 양식장에서 사육생물의 수질을 측정하는데 필요한 기기는 아래와 같다.
  - 온도; 아날로그 온도계 또는 염분 또는 용존산소 측정기와 통합된 디지털 온도계
  - 염분; 굴절계(refractometer) 또는 가급적 염분 측정기
  - 용존 산소(DO); 디지털 DO 미터
  - pH; pH 미터 또는 pH 테스트 키트
  - 암모니아-질소(NH<sub>3</sub>-N); 암모니아 테스트 키트
- 최상의 수질 모니터링을 위해서는:
  - 양질의 장비 구입
  - 제조사의 권장 사항에 따라 계기 및 장비 유지 관리를 해야 한다. 예를 들어, pH 미터는 정기적으로 전극 용액을 교체해야 하며, DO 미터는 정기적으로 전극 멤브레인을 교체해야 한다.
  - 소모품 (예 : DO probe membranes, 교정 표준) 및 필수 예비 부품의 재고 유지
  - 사용 설명서는 복사하고 원본은 참조용으로 보관한다. 설명서의 사본은 직원에게 제공해야 하며 사용 중에 분실하거나 손상된 사본을 대체 할 수 있게 여분의 사본이 있어야 한다.
  - 측정기는 제조사의 지침에 따라 보정해야 하며, 특히 pH와 DO 미터는 매일 보정해야 한다.
  - 기술직원은 수질 검사 장비의 교정, 사용 및 유지 관리에 대한 교육을 받아야 한다.
  - 수질을 정기적으로 모니터링하고 기록한다. 특히 질병 문제를 일으킬 수 있는 변화를 확인하기 위해 수질 데이터를 기록하는 것이 중요하다.

## 참고문헌

- Çiftçi, Y., Üstündag, C., Erteken, A., Özongun, M., Ceylan, B., Hasimoglu, A., Günes, E., Yoseda, K., Sakamoto, F., Nezaki, G., Shiro, H., 2002. Manual for the Seed Production of Turbot, *Psetta maxima* in the Black Sea. Special Publication No. 2, Central Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Trabzon, Turkey and Japan Cooperation Agency, pp. 80.
- Ismi, S., T. Sutarmat, N.A. Giri, M.A. Rimmer, R.M.J. Knuckey, A.C. Berding, and K. Sugama. 2012. Nursery management of grouper: a best-practice manual. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). pp. 44.
- Kaji T, Kodama M, Arai H, Tanaka M and Tagawa M., 2003, Prevention of surface death of marine fish larvae by the addition of egg white into rearing water. *Aquaculture*, 224, 313-322.
- Ketut Sugama, Michael A. Rimmer, Suko Ismi, Isti Koesharyani, Ketut Suwiryana, N.A. Giri and Veronica R. Alava. 2012. Hatchery management of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*)-a best-practice manual. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) MONOGRAPH SERIES, pp. 66.
- Oh, S. B., Lee, C.H. and Lee, Y.D., 2018. Induction of Puberty in Red Spotted Grouper, *Epinephelus akaara* By Water Temperature. *J. Aquac. Res. Development*, 9(5), 1-7.
- Moretti, A., Pedini Fernandez-Criado, M., Cittolin, G. and Guidastri, R. 1999. Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream, Rome, FAO, Vol 1. pp. 194.
- Park, J.Y., Cho, J.K., Son, M.H., Kim, K.M., Han, K.H. and Park, J.M., 2016. Artificial Spawning Behavior and Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the Red Spotted Grouper, *Epinephelus akaara* in Korea. *Dev. Reprod.* 20(1), 31-40.
- Rurangwa, E. and Poelman, M. 2011. Hatchery manual for broodstock management and larval production of turbot (*Psetta maxima*). pp. 52.
- Setiadi E., Tsumura S. and Yamaoka K., 2002. Effects of Water Color and Light Intensity on Water Surface Tension-Related Deaths in Larval Stage of the Red-Spotted Grouper, *Epinephelus akaara*. *SUISANZOSHOKU* 51(1), 81-85.
- The IUCN Red List of Threatened Species-*Epinephelus akaara*, Hong Kong Grouper. <https://www.iucnredlist.org/species/43974/100459934>
- Yamaoka K., Nanbu T., Miyagawa M., Isshiki T., and A., Kusaka, 2000. Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture* 189, 165-176.
- 南部智秀, 2012. 高級魚キジハタの栽培漁業推進に関する研究. 平成24年度 全国水試場長会会長賞, [www.fishexp.hro.or.jp/cont/jochokai/.../H24\\_07\\_koen2.pdf](http://www.fishexp.hro.or.jp/cont/jochokai/.../H24_07_koen2.pdf)
- 南部智秀, 2014. 高級魚による栽培漁業の推進-やまぐちのキジハタ. 豊かな海 No.32, 40-42.
- 馬久地隆幸, 1992. キジハタ種苗生産時のウイルス性疾病. 広島県水産試験場研究報告 17, 45-49.
- 明石英幹, 安部享利, 2011. キジハタ人工種苗に多発する頭後部陥没を症徴

とする形態異常魚の放流標識としての可能性. 香水試研報 12, 13-18.

박종연, 2016. 붉바리(*Epinephelus akaara*) 인공종묘생산에 관한 연구. 전남대학교 대학원 수산과학과 이학박사 학위논문, pp. 119.

박형준, 민병화, 김성연, 2017. 수온별 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 행동, 생존율 및 혈액생리학적 반응. Korean J. Environ. Biol. 35(2), 128-133.

백혜자, 김형배, 이영돈, 김성연, 이치훈, 윤낙진, 2017. 수출용 붉바리 종자 번식기술 개발 건강지침서. pp. 62.

山口県 水産振興課, 2012. 栽培漁業のてびき(改訂版) 7. キジハタ. 44-51.

山口県栽培漁業公社 外海第二生産部 »키지하타, <https://yamasaikou.jimdo.com/>

山野井英夫·近藤正美·藤井義弘·田川正朋, 1999. トリヨードチロニン浴によるキジハタ仔魚の初期減耗の軽減. 水産増殖47(4),589-593.

森田哲男, 2014. 循環システムを用いた키지하타陸上養殖の可能性. 瀬戸内海区水産研究所 研究成果発表会 要旨集, 7-8.

植木範行, 2002. 明暗条件が키지하타의卵及びふ화仔魚に与える影響について. 岡山水試報 17, 77-80.

오성립, 고경민, 양병규, 송진선, 홍행연, 2009. 붉바리, *Epinephelus akaara* 종묘생산. 제주특별자치도 해양수산자원연구소, 2009. 2007-2008 연구사업보고서, 61-65.

御堂岡あにせ, 2008. 低塩分飼育による키지하타의種苗生産技術開発について. 広島県総合技術研究所水産海洋技術センター研究発表要旨集. <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/41671.pdf>

野上欣也, 福永恭平, 1990. 栽培漁業と新養成技術 ㉓ 키지하타의種苗生

産. 水産の研究 9(6), 103-109.

與世田兼三, 照屋和久, 菅谷琢磨, 関谷幸生, 2006. 初回摂餌の遅れが키지하타 *Epinephelus akaara* 仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. 日本水産学会誌 72(4), 702-709.

與世田兼三. 2008. ハタ類3種(ヤイトハタ *Epinephelus malabaricus*, 키지하타 *Epinephelus akaara*, 스킨라 *Plectropomus leopardus*)의初期減耗要因の解明に関する研究. 水研センター研報, 23, 91-144.

이영돈, 백혜자, 노충환, 2017. 수출용 붉바리 종자 개발. Golden Seed 프로젝트 사업 연구보고서, pp. 310.

이창규, 허성범, 박 승, 김병균, 1997. 산란기간 중의 붉바리 난질 변화. 한국양식학회지 10(4), 463-472.

이창규, 허성범, 1997. 붉바리 자어의 난황흡수 및 첫 먹이 섭취시기와 관련한 생존특성. 한국양식학회지 10(4), 473-483.

이창규, 박인석, 허성범, 1998. 기아시 붉바리 자어의 간세포핵 변화. 한국양식학회지 11(1), 11-17.

이창규, 허성범, 1998. 먹이생물과 수온이 붉바리 자어의 생존에 미치는 영향. 한국양식학회지 11(4), 565-572.

이창규, 허성범, 고태승, 박승, 1998. 붉바리의 성숙과 성비 및 성전환. 한국양식학회지 11(4), 573-580.

이태원, 이창규, 1996. 한반도 서남 연안 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 연령과 성장. 韓魚誌 8(2), 16-22.

임상규, 한상범, 임한규, 2016. 염분변화에 따른 붉바리(*Epinephelus akaara*)와 대왕붉바리(*E. bruneus*♀×*E. lanceolatus*♂)의 스트레스 반응. 한국수산과학회지 49(5), 612-619.

田中秀樹, 広瀬慶二, 野上欣也, 服部圭太, 石橋矩久, 1990. キジハタの性成熟と性転換. 養殖研報 17, 1-15.

池田茂則, 家接直人, 2005. マダイとの混合飼育によるキジハタの成長促進効果. 福井県水産試験場報告(平成15年度), 129-131.

草加耕司, 藤井義弘, 増成伸文, 2005. キジハタ仔魚期の減耗軽減のための種苗生産試験. 岡山水試報 20, 45-48.

八木秀志. キジハタ種苗生産について.

황성일, 이영돈, 송춘복, 노섭, 1998. 붉바리, *Epinephelus akaara*의 생식소 발달과  $17\alpha$ -methyltestosterone 처리효과. 한국양식학회지 11(2), 173-182.

栩野元秀, 植田 豊, 三木勝洋, 2006. キジハタの飼育初期における鶏卵卵白の添加と夜間照明の併用. 香水試研報 7, 19-23.

萱野泰久・尾田正, 1991. キジハタ卵の発生に及ぼす水温の影響について. 水産増殖 39(3), 309-313.

萱野泰久, 1992. キジハタ稚魚の摂餌量および胃食塊の経時変化. 水産増殖, 40(4), 377-381.

萱野泰久, 水戸鼓, 1993. キジハタの卵発生及びふ化仔魚の生残に及ぼす塩分の影響. 栽培技研, 22(1), 35-38.

萱野泰久, 尾田 正, 1994. 人工生産したキジハタの成長と産卵. 水産増殖 42(3), 419-425.

萱野泰久, 1995. キジハタ. 水産増殖 43(2), 269-272.

萱野泰久, 何玉環, 1997. キジハタ仔魚の初期摂餌と成長. 水産増殖 45(2), 213-218.

萱野泰久, 何玉環, 原 隆, 福永丈人, 1998. 年齢組成の異なるキジハタ親魚群の自然産出卵の卵質. 水産増殖 46(2), 213-218.

萱野泰久, 2001. 人工魚礁域に蝸集するキジハタの食性. Suisanzoshoku 49(1), 15-21.

萱野泰久, 2009. 飼育条件下におけるキジハタ仔稚魚期の摂餌生態と成長の変化. 水産総合研究センター 水産技術 2(1), 31-38.



## 저 자

김태진 박민우 전임기 하헌주 김성연

## 국제 기준에 따른 붉바리 종자 생산 관리 매뉴얼

발행일 2019년 9월 1일

발행인 김 태 진

발행처 (주)한국수산식품안전연구소

부산시 해운대구 센텀동로99, 1502호 (재송동 벽산e-센텀클래스원)

전화 (051)783-0198 / 팩스(051)-505-0197

# 국제 기준에 따른 붉바리 종자 생산 관리 매뉴얼



## - 목 차 -

처음에 .....	1
1. 친어 .....	4
가. 친어의 확보 .....	4
1) 친어의 선택 .....	4
2) 친어의 포획과 수송 .....	6
3) 친어의 입식 .....	7
4) 친어의 질병 예방 .....	8
나. 사육 시설 .....	12
1) 친어의 사육 시설 .....	12
다. 사육 관리 .....	13
1) 친어 사육 환경 관리 .....	13
2) 친어 사료 공급 관리 .....	17
라. 번식 관리 .....	18
1) 친어의 산란 유도 .....	18
2) 난과 정자의 수집 .....	25
2. 먹이 생물 .....	27
가. 조류 배양 .....	27

1) 조류 대량 배양 .....	27
나. 로티퍼 .....	32
1) 대량 배양 환경 관리 .....	32
2) 로티퍼의 배양 .....	34
3) 로티퍼의 영양 강화 .....	41
4) 영양 강화 로티퍼의 저장 .....	43
5) 로티퍼의 양적·질적 평가 .....	44
다. 알테미아 .....	45
1) 내구란의 선정 .....	45
2) 내구란의 살균 .....	45
3) 내구란의 부화 .....	46
4) 노플리우스의 수확 .....	47
5) 영양 강화 .....	48
3. 수정과 부화 .....	51
가. 난의 수정 .....	51
1) 난의 수정 .....	51
2) 수정란의 평가 .....	51
3) 난의 살균 .....	55
4) 난의 수용 .....	57
5) 난의 수송 .....	58
나. 수정란의 부화 .....	58

1) 수정란의 부화 관리 .....	58
2) 부화 자어의 평가 .....	61
4. 자어 .....	63
가. 사육 환경 관리 .....	63
1) 자어 사육 환경 관리 .....	63
나. 사육 관리 .....	66
1) 자어의 발육 특성 .....	66
2) 초기먹이 공급 .....	70
3) 자어 먹이 공급 .....	72
4) 부화 자어의 성장 .....	74
5) 초기의 생잔 .....	77
6) 초기 감모와 대응 .....	80
5. 치어 .....	92
가. 사육 환경 관리 .....	92
1) 치어 사육 환경 관리 .....	92
나. 사육 관리 .....	98
1) 치어의 사육 밀도 .....	98
2) 치어 사료 공급 관리 .....	100
3) 치어 사육의 생물학적 변수 관리 .....	100
4) 자치어의 이송 관리 .....	104

다. 질병 관리 .....	106
1) 수처리 시스템 .....	106
2) 부화장을 위한 생물학적 안전 .....	108
<b>6. 종자 수송 .....</b>	<b>110</b>
가. 수질 관리 .....	110
1) 수송 밀도 .....	110
2) 종자 수송해수의 수질 관리 .....	110
나. 수송 관리 .....	114
1) 종자의 수송 관리 .....	114
<b>부록 .....</b>	<b>117</b>
가. 부화 시설과 장비의 위생 관리 .....	117
나. 친어, 자치어 사육 시설과 장비의 위생 관리 .....	123
다. 수질 측정 기기의 관리 .....	129
<b>참고문헌 .....</b>	<b>130</b>

## 붉바리 종자 생산관리 매뉴얼

전 세계적으로 바리과 어류에 관한 연구는 일본, 중국, 대만, 필리핀 등 동남아시아 국가를 중심으로 어미관리와 성 성숙 유도 및 종묘생산 연구가 수행되고 있다.

일본의 바리류 종묘 생산 연구는 일본제배어업협회를 비롯하여 1960년대 후반부터 이미 관심을 갖고 붉바리(*Epinephelus akaara*)를 시작으로 자바리(*E. moara*), 능성어(*E. septemfasciatus*), 홍바리(*E. fasciatus*), 무늬바리(*Plectropomus leopardus*) 등에 대해서 인공 사육이 시도되어 왔다.

1979년에 일본제배어업협회 하쿠호지마(伯方島) 사업장 및 타마노(玉野) 사업장에서, 그 후 1982~1984년 사이에 에히메(愛媛), 카가와(香川), 도쿠시마(徳島), 나가사키(長崎), 오카야마(岡山), 그리고 히로시마(広島) 수산시험장에서도 시작되었다. 또한 1988년에는 국고 보조에 의한 지역 특산종 증식 기술 개발 사업이 시작되어 종묘생산, 중간육성, 자원 생태 및 방류 기술의 일관된 증식 기술 개발이 진행되었다. 그러나 종자의 생산은 현재까지 궤도에 올랐다고 말하기 어렵게 성적은 좋지 않다.

대만은 상프크기의 바리류의 주요 생산국 일뿐만 아니라 아시아 전역의 국가에 공급되는 바리류 종자의 주요 생산국이다. 대만은 1980년도 중반에 인공종자생산에 성공, 1990년 중반에 대량양산 체계를 구축하였다. 대만의 유생 사육기술은 '육외' 유생 사육 시스템의 사용과 유생 사육에 있어서 요각류의 비교적 흔한 사용의 두 가지 측면에서 아시아의 다른 곳에서 사용되는 기술과 다르다.

중국에서는 종자에 대한 실질적인 수요를 충족시키기 위해 대만과 다른 동남아시아 국가들로부터 부화장과 야생에서 포획된 종자를 모두 수

입하고 있다.

인도네시아는 강력한 바리류 양식산업을 가지고 있으며, 대만과 함께 아시아-태평양 지역의 바리류 종자의 중요한 공급원이다. 바리류 종자는 주로 발리 북부, 동부 자바, 수마트라의 Lampung의 부화장에서 생산된다. 다양한 바리류 종에 대한 부화장 기술의 개발은 Institute for Mariculture Research and Development Gondol에 의해 수행되었고, 많은 연구 개발 노력이 일본 및 호주 연구 기관과 협력하여 수행되었다.

중국, 인도네시아, 말레이시아는 바리류 간 교잡을 통한 잡종 종자를 선호하는 경향이 강하다. 잡종 바리류는 성장이 우수하고 사육환경에 대한 적응능력이 강하여 질병에 잘 걸리지 않아서 생존율이 높으나, 생산량 증가에 따른 시장 가격이 하락하는 경향을 보이고 있다.

최근 분자생물학적 기법의 적용으로 육종 기법을 더욱 고도화·다양화하고 있으며, 산업적 적용 가능성은 날로 높아지고 있다. 그러나 이들 기법의 적용 이전에 선발 방법과 계통간 교배 방법을 통한 육종은 오래 전부터 양식 어류에 적용되고 있으며, 현재 산업적으로 이용되고 있다.

국내에서는 국립수산물시험원에서 1991년에 붉바리와 자바리를 대상으로 능성어류 종묘 생산 기술 개발을 위한 생태 조사와 어미 사육을 하였으며, 1994~2011년에는 능성어, 붉바리의 종 보존 및 양식 대상 종 연구, 1996~1998에는 붉바리 종묘 생산 기초 연구를 하였다.

바리와 어류의 번식생리에 관한 연구는 제주대학교의 이영돈 교수팀이 1993년도부터 지속적으로 시도하였고, 최근에 정부의 GSP (Golden Seed Project)사업으로 붉바리, 자바리, 능성어 등 바리와 어류에 대한 상용화 기술 연구가 진행되고 있다. 이외 자치어의 성장과정에서 발달장에 개체의 출현율 저감을 위한 적응생리이용 기술에 대한 연구가 진행 중이다.

유전자원 기초 및 안정성 연구는 2012년 최고 기술 보유국 대비 기술 수준은 37.1%, 기술격차는 7년으로 가장 낮은 수준에서 붉바리 GSP사업을 수행하면서 붉바리의 유전체 해독 등 최고 기술보유국에 90%로 기술

격차가 거의 없는 수준에 달하였다. 붉바리 GSP 사업전 전체 기술수준은 최고 기술 보유국 대비 47.1%로 기술격차는 5년 정도, 종자생산 기술은 최고 기술 보유국 대비 기술수준 69.6%로 기술격차는 4년 정도였으나, 붉바리 GSP사업을 수행하면서 붉바리 최초 1년어의 puberty 유도, 사육환경에 적용하는 성숙관련 인자 특성 분석, 상시 수정란 생산, F0, F1, F2 가계유지, 친자확인 시스템 구축 등 최고 기술국 수준에 근접한 상태에 달하였다. 앞으로 아시아 시장에서 주요 수출대상 어류로 주목을 받고 있는 붉바리에 대한 상용화 사육 시스템개발 및 시스템 운영 및 경영평가 등이 필요하다.

본 매뉴얼은 GSP의 “수산종자 관리기준 개발 및 인증제 연구”의 일환으로 붉바리의 “수산종자인증제 평가 체크리스트” 준수사항 및 기준과 관련하여 국내 및 국외의 연구논문, 보고서, 기타 자료 등을 참고로 하여 작성하였다. 이중에 국내 자료로서는 주로 백혜자 등(2017)의 “수출용 붉바리 종자 번식기술 개발 건강지침서”, 이영돈 등(2017)의 “수출용 붉바리 종자 개발”과 박중연(2016)의 “붉바리(*Epinephelus akaara*) 인공종묘생산에 관한 연구”를 기반으로 하여 작성하였다. 국외 자료로서는 山口県水産振興課(2012)의 栽培漁業のてびき(改訂版) 7. キジハタ를 주로 참고하였다.

붉바리에 관한 연구는 주로 일본이나 중국에 한정되어 연구 개발되었으며, 우리나라에 있어서도 학술연구 위주로 발표되었기 때문에 종묘 생산의 전 과정에 걸친 본 매뉴얼의 작성에 상당한 어려움이 있었으며, 그와 함께 현장 작업과의 불일치, 수록 내용상의 오류 등이 있을 것으로 우려된다. 그러나 본 매뉴얼이 처음으로 발간됨으로서 앞으로 이에 대한 수정과 보완을 할 수 있는 바탕을 마련하였다는데 의미를 두고 많은 의견과 활용을 부탁드립니다.

## 1. 친어

### 가. 친어의 확보

처음에 불바리의 친어는 야생 어류를 수집하거나 구매하여 얻을 수 있다. 성숙한 수컷과 암컷의 친어는 외적으로 구별 할 수 없기 때문에 다양한 크기의 개체를 얻을 필요가 있다. 친어를 획득하는 또 다른 방법은 부화장에서 생산된 개체를 기르는 것이다. 가두리 또는 수조에서 양식된 어류는 이미 양식 조건에 익숙하여 적절한 친어로 자라기 쉽다.

### 1) 친어의 선택

#### 가) 친어의 성

- 불바리는 참바리아과(Epinephelinae) 어류와 마찬가지로 자성선성숙의 자동동체(protogynous hermaphrodites)로 즉, 처음에는 암컷으로 성숙한 다음 나중에 수컷으로 성을 바꾼다,
- 자연에서 어획된 불바리 중 성숙한 수컷의 출현빈도가 아주 낮기 때문에, 인공종자 생산시 필요한 정액 확보를 위한 수컷의 확보가 종자생산에 있어 중요한 문제이다.
- 전장 30 cm 전후에 수컷으로 성전환이 일어나며, 전장 30~32 cm 이상에서 수컷의 비중이 50% 이상에 이른다.
- 그러나 같은 크기의 무리를 양성하면 30 cm이하의 천연 어획어에서도, 또 인공 생산어의 성숙 첫 해에도 수컷의 비중이 커지는 것으로 나타났다. 성비가 1대 1에도 암수의 크기가 비슷하다면 암컷에서 수컷으로 성 전환이 일어나지만, 수컷의 크기가 암컷보다 큰 군은 성 전환이 억제되어 암컷의 평균 전장이 32 cm 이상이 된다. 또한 수컷만의 군을 1년간 양성하면, 작지만 암컷으로 성 전환이 보였다. 그러므로 일정한 크기에 달하면 성전환이 일

어나는 것이 아니라, 무리들의 구성도 성의 결정에 크게 관여하고 있는 것으로 추정된다.

- 생식소가 퇴축하고 다시 성숙으로 향하는 시기 (1~5월)에 난소 조직과 정소 조직이 모자이크상으로 발달하는 간성(間性)이 나타나는 것에 의해 본 종의 성전환은 겨울에서 봄에 걸친 기간이 중요하다고 생각된다.
- 친어 양성의 과제로서 암컷의 확보(암컷의 성전환 억제)는 가을까지 암컷의 무리와 전장이 겹치지 않는 정도의 큰 수컷 군을 넣어서 암수비 1대 1로 한 군을 월동시키면, 어느 정도의 크기까지는 성 전환의 억제를 기대할 수 있다.
  - ※ 일본 재배 어업 협회 타마노(玉野) 사업장에서 산란 종료 후에 생존 개체 70마리에 대한 캐놀라(cannula)에 의한 성별 조사 결과, 암수 비율은 우:♂=35:35이며, 암컷의 평균 전장 및 체중은 32.0 cm (27.2~37.0), 561 g (285~825), 수컷의 평균 전장 및 체중은 36.7 cm (27.4~39.6), 818 g (320~980)이었다.

#### 나) 친어의 크기

- 암컷 친어는 600 g 이상의 크기를 사용하는 것이 수정률과 부화율의 측면에서 유리하다. 그러나 장기간 사육에 의한 사육을 위해서는 어획된 천연어중 200~300 g의 소형어만을 구입하여 3년간 사용한다. 이러한 개체는 압도적으로 암컷의 비율이 많지만 성장해 1 kg 가까이가 되면 대부분이 암컷에서 수컷으로 성전환하기 때문으로 즉, 대형어를 많이 구입하면 수컷만 되고 암컷의 비율이 줄어 난의 채취량도 줄어들기 때문이다.

#### 다) 행동 반응

- 먹이 분포에 대한 양호한 반응, 빠른 유영, 물속에서의 위치를 유지하기 위한 부력 조절과 같은 정상적인 행동

#### 라) 성장률과 사료 전환 효율

- 동일 연령 그룹 안에서 최상의 성장률과 사료 전환 효율을 가지고 있어야 한다.

마) 기타

- 정상 체형과 체색: 골격의 기형이 없어야 하며, 상업적 선호 체색과 형태를 지녀야 한다.
- 건강 상태: 큰 상처, 내부 출혈, 감염, 기생충 및 피사가 없어야 한다.
- 선택 후 체중, 체장 및 성별과 같은 초기 생물학적 데이터를 기록한다.

**2) 친어의 포획과 수송**

- 자연에서 포획 시 어살(魚筋), 통발 등 스트레스를 최소화하는 적합한 어구를 사용한다.
- 가두리 및 수조에서 포획 시 1회 인망에 적은 수의 친어를 어획하여 조심하여 다룬다.
- 비늘의 탈락을 피하기 위하여 취급시 무결질망과 면장갑을 사용한다.
- 수송할 어류는 배설물과 역류된 사료가 수송 용수를 오염시키지 않도록 사전에 최소 24시간 먹이를 먹여서는 안 된다.
- 임시 수용과 수송 용기에 어류가 포획된 장소로부터 가져온 해수를 사용하여야 한다.
- 임시 수용과 수송에 피부 찰과상과 기계적 충격을 피하기 위하여 충분한 공간의 원형 수조 또는 원형 모서리의 사각 수조를 사용한다.
- 수송 시 수송 시간과 수온에 반비례하여 어류 밀도를 조절하고 단열 처리된 수송 용기를 사용한다.
- 친어는 스트레스를 줄이기 위해 포기하거나 산소 처리된 물이 담긴

긴 어두운 색상의 탱크에 수송해야 한다. 용존 산소량은 항상 75% 이상의 포화 상태를 유지해야 한다.

**3) 친어의 입식**

- 친어용 어류가 배양장에 도착하자마자, 성별 확인 후 선택 기준에 따라 친어를 선정하며 식별을 위해 개별적으로 표지한다. 친어의 취급시에는 마취는 하지 않고 눈을 가리고, 성장과 사료 계수를 산정하기 위하여 체장과 체중 등을 측정하여 기록한다.
- 표지 부착(tagging)은 현장에서 성별 및 연령별로 어류를 개별적으로 식별하는 것과 그리고 배양장 업무 일지에서 각 어류들의 이력(history)을 쉽게 추적하는 데 이상적이다.
- 친어 관리에는 수동 집적 무선 응답기(PIT, passive integrated transponder)라고 하는 전자 표지(electronic markers)가 선호되며, 전용 판독기(portable reader)로 태그를 적출하지 않고 코드를 읽을 수 있는 매립식 표지로 어류의 안전을 위해 가장 일반적으로 사용한다. 원통형의 바이오 적합성이 있는 유리 용기에 전자 코일, 동조 콘덴서, 마이크로 칩이 들어있는 수동 무선 주파 표지이다. 규격은 1.25×7 mm, 1.4×8 mm, 2.12×8 mm, 2.12×12 mm, 3×15 mm, 4×32 mm 등이 있으며, 큰 개체에서는 대형의 태그를 사용하는 것이 감도가 양호하다(그림 1).



그림 1. 수동 집적 무선 응답기 (PIT)

#### 4) 친어의 질병 예방

##### 가) 질병 예방

- 친어를 친어 탱크에 입식하기 전에 기생충이나 질병을 기증에 있던 어류에 전염시킬 기회를 줄이기 위해 이들을 격리하는 것이 바람직하다. 이 과정은 일반적으로 1~4 주 정도 소요되며, 작은 탱크(0.5~2 m<sup>3</sup>)에 수용하는 것이 환수와 어류의 취급이 쉽다.
- 격리 기간 동안 친어 관리는 어류의 기생충 부하를 줄이기 위해 정기적으로 5분간 담수욕조에 넣어 피부흡충(*Benedenia* spp., *Neobenedenia* spp.), 원생동물(예: 백점충 *Cryptocaryon irritans*) 및 기생성 요각류(예: *Caligus* spp.)와 같은 기생충을 제거하는데 초점을 맞춘다.
- 질병 예방 조치는 질병 관리사의 조언에 따라 약육을 실시한다.
- 수온과 염분의 갑작스러운 변화는 피해야 한다. 만일 친어수조의 수질(특히 수온과 염분)이 이전의 수용 환경과 아주 다른 경우, 친어는 수조에 수용하기 전에 최대 1시간 동안 순응시켜야 한다.
- 어류를 취급시에는 면장갑의 사용을 권장하며, 어류를 들어 올릴 때는 한 손은 머리 아래에, 다른 손은 항문 아래에서 두 손바닥을 사용하여 어류의 아래 몸으로부터 들어 올림으로써, 어미와 접촉할 때는 항상 부드럽게 작업해야 한다.
- 절대로 어류를 더럽거나 또는 건조한 손으로 만지지 않아야 하며, 어류를 만지기 전에 손을 잘 씻은 다음, 어류를 수용하고 있는 수조의 물에 손을 담귀 피부를 잘 적셔야 한다.
- 어미 방역 시설의 배수 또는 사용 장비를 분리함으로써 다른 사육 단위와 접촉하지 않도록 하여야 한다. 방역 수조의 배수는 병원생물을 제거하기 위하여 처리되어야 한다.
- 기생충과 질병의 전파 가능성을 예방하기 위하여 어미 방역 시설은 다른 양식 시설로부터 완전히 격리되어 있어야 한다.

- 친어의 이송 후에, 이들 수조는 배수하고, 500 ppm 차아염소산염(hypochlorite (NaOCl) 용액으로 완전히 살균하여야 한다.
- 원생동물 감염의 경우 현미경으로 아가미와 피부 샘플을 검사하는 것이 필수적이다. 아가미 샘플을 얻기 위해, 아가미 뚜껑(operculum)을 부드럽게 열고, 주걱(spatula)으로 아가미를 조심스럽게 긁어낸다. 피부 샘플의 경우, 점액을 수집하기 위해 주걱으로 어류의 체표를 긁어낸다. 그런 다음 슬라이드에 놓고 커버 글라스(cover glass)로 덮어 현미경으로 검사한다.

##### 나) 친어의 질병과 치료

###### (1) 바이러스성 신경괴사증(VNN: Viral nervous necrosis)

- VNN은 해산 어류 부화장에서 흔히 볼 수 있는 질병으로 바리류틀 포함한 대부분의 양식 해산어류에 영향을 미친다. VNN은 수직적으로 (어미에서 난자와 정자를 통해) 또는 수평으로 (수조 내에 도입된 물이나 또는 먹이생물 배양에서) 전달될 수 있다.
- VNN의 방제 대책으로서, 친어로부터의 수직 감염을 끊으려고 nested PCR(이중 증합효소 연쇄반응)법으로 검사한 바이러스 음성 개체만을 산란용 친어로 사용한다.
- 그러나 바이러스 음성의 친어도 인위적 사육환경 하에서 장기간 사육하면 스트레스로 인한 VNN 원인 바이러스를 보유할 위험성이 있기 때문에, 구입년도로부터 3년간 경과한 개체는 바이러스를 보유하고 있지 않은 천연 개체로 대체할 필요가 있다.
- 해수에서 자치어로의 수평 감염을 방제하기 위해서 사육수는 자외선 살균처리 해수를 사용하는 것이 바람직하지만 현재로서는 근본적인 대책 방법은 없고 살처분하고, 처분 후 시설을 소독한다.
- VNN은 7~9월의 수온 24°C~28°C에서 VNN 바이러스에 의해 발생하며, VNN의 가장 명백한 증상은 '나선형' 패턴으로 헤엄치는

- 어류의 방향 감각 상실이다. 이것은 종종 체색의 변화를 수반하며, 일반적으로 체색이 어두워진다.
- 증상의 발견 즉시 수산질병관리사의 진단을 받아 적절한 조치를 받아야 한다. VNN의 발병은 며칠 내에 심각한 사망률을 초래할 수 있으며, 최악의 경우 생산량 전체를 소실시킬 것이다.
  - VNN의 명확한 진단은 조직 병리학적 검사와 PCR 검사로 할 수 있다. PCR 테스트만으로는 바이러스의 존재만 확인되며, 질병이 VNN인지 확인하기 위해서는 추가적인 조직학적 검사가 필요하다. 조직학적 검사는 눈, 뇌 및 척수에 초점을 맞추어야 한다. VNN은 망막, 뇌 및 척수 조직의 심각한 공포형성으로 나타난다.
  - 광학 현미경하에서 바이러스에 의해 유발된 신경 시스템에서의 광범위한 공포조직이 사육 유생의 망막에서 관찰되는데, 대부분 초기 단계의 공포 조직은 14일령의 유생에서 관찰한다. 신경계의 공포조직은 각 사육에 있어 초기 단계의 유생에서 발생했다.
  - VNN이 발생하면 해당 탱크를 엄격히 격리하고 영향을 받는 탱크와 영향을 받지 않는 탱크 사이에 어류 또는 장비를 옮기지 않도록 한다. 감염된 어류에 접근하는 직원은 감염되지 않은 지역에 접근하기 전에 손과 신발을 소독하고 옷을 갈아입어야 한다.
  - 발병이 심각하여 탱크에서 대부분의 어류가 손실 될 가능성이 있는 경우, 다른 탱크로 확산될 가능성을 줄이기 위해 해당 탱크의 어류를 죽이고 탱크뿐만 아니라 관련 장비(그물, 양동이, 에어스톤, 에어라인 등)를 소독하는 것이 좋다. 발병이 경미한 경우, 죽었거나 빈사상태의 유생을 정기적으로 (하루에 여러 번) 제거하고 염소 또는 유사한 소독제를 사용하여 폐기하기 전에 유생을 살처분/소독한다. 각 탱크 점검 후에 그물과 기타 장비를 소독한다.

## (2) 기생충에 의한 질병

- 붉바리의 친어 양성 기간 중에 주로 발생하는 질병으로는 백점병과 오디니움병(*Oodinium* sp.)이 알려져 있다.
- **백점병**: 해산 백점충(*Cryptocaryon irritans*)이 체표나 아가미에 기생에 의한 것으로 여름철에 발생하는 경우가 많지만 수온 하강기(발생 예는 10월, 22°C 에서이다)에도 발생하는 경우도 있다.
  - 증상은 수면을 휘청휘청 유명하거나, 바닥에 모로 누워 있다. 체색이 희게 보이며, 체표나 지느러미의 출혈이 있다.
  - 대책으로는 정기적으로 5분간 담수 욕조에 넣어 구제한다. 단 한번의 담수욕으로 백점충과 같은 원생동물 기생충이 완전히 제거되지는 않는다는 점에 유의해야 한다. 담수욕으로 눈에 보이는 유영기 단계(theront stage)는 제거할 수 있지만, 영양기 단계(trophont stage)는 상피 속에 침투하여 담수 노출의 영향을 받지 않으므로 새로 입수한 어류가 친어 탱크에 방양되기 전에 격리 및 반복적인 담수 처리가 필요하다.
- **오디니움병(odinium disease)**: 원생동물 편모충의 일종인 *Oodinium ocellatum*이 해산어의 피부, 아가미, 지느러미 및 구강 내벽 등에 기생해서 흰 점이 생기는 병으로 일본 타마노(玉野) 사업장에서는 산란기 이후(8월)에 오디니움병으로 친어 1군(146마리)을 폐사시킨 적이 있다.
  - 예방을 위하여 한 수조에서 장기간 양성을 하지 않도록 하고, 오디니움병의 발생이 예상되는 고수온기에는 섭이량의 변화에 유의하고 산란이 끝나는 대로 친어를 다른 수조에 수용한다.
  - 섭이량이 감소한 경우, 친어를 잡아 올려 백점충이나 오디니움의 기생을 조사한다. 그 때 기생이 인정되는 경우에는 포르말린 150 ppm에서 30분간의 약욕을 하는 등의 대책을 강구한다.



그림 2. *Oodinium* sp.

(Source: <https://www.youtube.com/watch?v=uLXJGOo4RPg>)

- **베네데니아충:** 붓바리의 체표에는 작은 벌레(*Benedenia seriola*)가 기생하고 있어, 방치해 두면 점차 수가 늘어나 친어의 몸에 상처를 내거나 질병의 원인이 될 수 있으므로 체표의 기생충을 약 5분의 담수욕(수돗물)으로 제거한다.

## 나. 사육 시설

### 1) 친어의 사육 시설

- 산란 구역은 산란 어미의 심리적 장애와 질병 감염의 위험을 피하기 위하여 주요 배양장 건물로부터 분리하거나 또는 배양장 안의 전용구역에 두어야 한다.
- 친어수조는 사육과 유지뿐만 아니라 산란에도 사용된다. 수조는 원형, 사각형 또는 둥근 모서리가 있는 직사각형으로, 수조의 색상으로는 중간정도의 청색, 녹색 또는 회색이 선호되며, 매우 밝거나 매우 어두운 색조는 아니다.
- 난과 정자를 방출하면서 수조 바닥에서 위쪽으로 헤엄치는 붓바

리의 쌍 또는 그룹의 산란 행동을 위한 충분한 공간을 확보하기 위해서는 수조의 깊이는 2.0 m 이상이어야 한다.

- 각 탱크에는 난의 수집을 위해 그물이 설치된 오버플로(overflow) 파이프가 있다.
- 친어 수조는 난의 수집을 어렵게 하고 기생충 감염의 위험을 높이는 수조 벽면의 조류의 성장을 줄이기 위해 지붕이 되어 있는 것이 좋다.
- 더러운 탱크는 친어에 스트레스를 유발하여 산란 실패를 초래하거나 산란된 난의 질을 떨어뜨릴 수 있으므로 자주 청소한다.
- 장기수용에 적합한 수조를 갖춘 독립 구역이 필요하며, 이 구역은 빛과 수온조건이 자연 주기와 독립적으로 설정될 수 있어야 한다.
- 갑작스러운 광도의 변화를 피하고 황혼 효과를 만들기 위한 조광 스위치가 있는 타이머-조정 조명시설이 필요하다.

## 다. 사육 관리

### 1) 친어 사육 환경 관리

- 친어의 양성은 50 m<sup>3</sup> 원형 수조에서 하고, 여과 해수를 1일 3-5회 전이 되도록 주수하고, 차광은 차광률 90%의 차광막을 이중으로 한다.
- 사육환경 조절을 통한 상시 성 성숙을 유도하기 위해 10월, 11월에 열 이용 순환여과 사육시스템을 적용하여 수온을 18°C에서 점차적으로 상승시켜 22±0.1°C 유지시켜 주며 광주기는 12L:12D에서 14L:10D 조건으로 유지한다(표 1).
- 어병 발생에 의한 친어의 폐사를 방지하기 위해 동 발생기(동 이온 발생장치)와 모래여과기를 이용하여 최적 사육환경 조성 (DO:

7.5±0.5 mg/L, pH: 8.1±0.2, 환수율: 100%/일)을 하고, 먹이는 영양강화 배합사료(EP)와 영양강화 생사료(고등어, 전갱이, 오징어)를 혼합하여 2회/일 공급한다.

표 1. 인위 성 성숙 유도를 위한 환경제어 조건 (이영돈 등, 2017)

구 분	환경 조건		비 고
	수온(℃)	광주기	
대조구	13-18(자연수온)	자연 광주기	자연 해수
실험구	18-22	광주기 조절 (14L:10D)	순환여과 해수

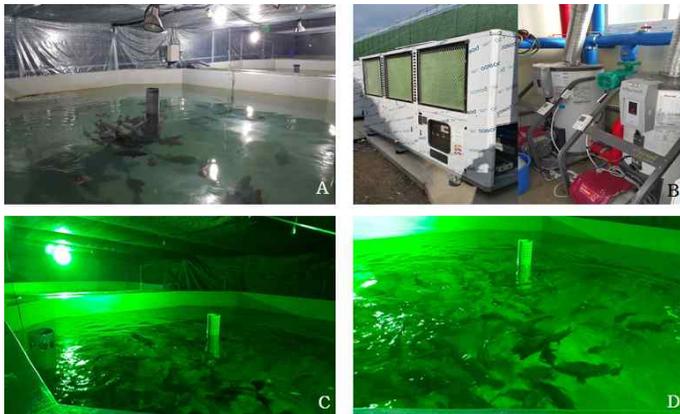


그림 3. 북바리 성 성숙 유도에 따른 사육수온과 광주기 조절 시설 (A: 대조구, B: 사육수온 제어용 히트펌프 및 보일러, C: 실험구, D: 수조내 실험어) (백혜자 등, 2017)

- 사육환경 조절에 따른 생식소중량지수(GSI) 변화는 그림 4와 같이 3개월 후에 사육환경 조절구에서 GSI의 급격한 증가를 보였다. 특히 1차년도의 11월부터 다음해 2월에 걸쳐 성성숙 유도한 경우에 GSI가 5.18로 10월부터 다음해 1월까지 성성숙 유도한 경우의 GSI 보다 높았다.

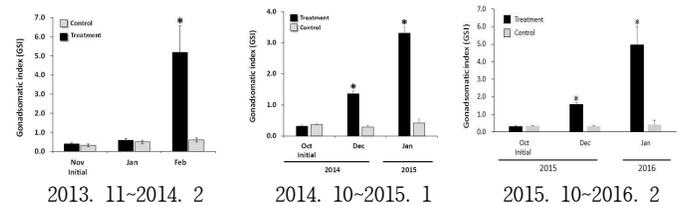


그림 4. 생식소 중량지수(GSI)의 변화 (이영돈 등, 2017)

- 미성숙단계의 생식소를 가진 북바리는 광주기 처리 9주 후, 40~70 μm, 150~170 μm, 그리고 360~400 μm의 난모세포들이 혼재되어 발달하는 초기 성숙단계로 발달하였다. 광주기 처리 12주 후, 자연광주기인 대조구는 미성숙단계였으나 광주기 처리구의 생식소는 난경 400 μm 이상의 난황주기 난모세포가 대부분을 차지하는 성숙단계로 발달하였다.
- 수온은 갑작스러운 변화가 일어나지 않도록 하며, 최적의 산란수온 범위 안에서 유지한다. 염분농도는 수정란의 부력을 향상시킬 수 있는 적정 수준을 유지한다.
- 친어 수조에는 매일 200~300%의 환수율로 신선한 해수를 지속적으로 공급한다. 친어 수조에 사용되는 해수는 안정된 염분과 수온으로 여과되고 깨끗해야 한다.

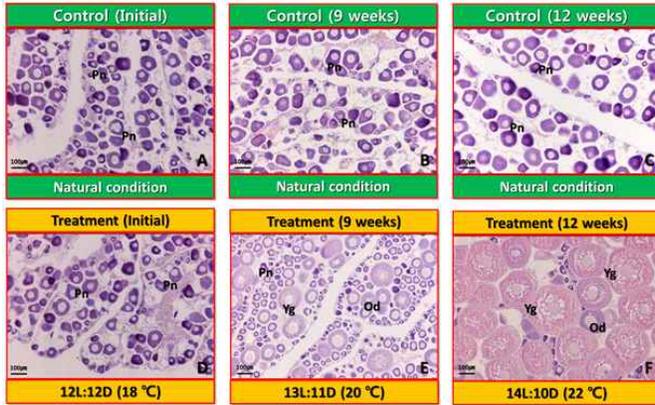


그림 5. 사육환경 조절에 따른 생식소 변화 (이영돈 등, 2017)  
(Od, oil-droplet stage; Pn, peri-nucleolus stage; Yg, yolk globule stage)

- 수조 바닥에 쌓인 대변과 과량의 사료는 수질 악화를 방지하기 위해 주기적으로 사이펀으로 제거한다. 산란 완료 후 사육수를 썩고 오염시키는 남은 알이나 죽은 알을 제거하기 위해 어미 수조를 청소하는 것이 좋다. 기생충 침입의 발생을 줄이기 위해, 친어는 수조 청소 중에 5-7분 동안 민물에서 담수욕을 한다.
- 화학적 오염: 광범위한 화학물질, 심지어 비누도 어류의 난과 유생을 죽일 수 있다. 수조의 물에 접촉하기 전에 작업자는 피부에 자외선 차단제(sun cream)나 방충제와 같은 화학물질이 없는지 확인하고 제거해야 한다. 수조에서 난이나 유생의 샘플링에 사용되는 장비는 사용하기 전에 소독하고 서로 다른 수조에서 사용하는 사이에 소독하여 질병이 전이될 가능성을 줄이도록 한다.

## 2) 친어 사료 공급 관리

- 배우자 형성기 동안, 암컷은 난모세포(oocytes)의 난황으로 저장될 난황 전구 단백질(vitellogenin)의 생산을 위하여 평소보다 단백질과 지방이 풍부한 먹이가 필요하다.
- 난황은 배 발생과 생물 먹이를 먹기 시작하는 초기 자어 단계를 위한 유일한 먹이원이기 때문에 난황의 질과 양은 성공적인 번식을 위한 주요 요소이다.
- 건조 사료와 습사료 모두 이 시기에 공급한다. 건조 사료는 고도 불포화지방산과 같은 자어의 발생에 필수적인 모든 영양요소를 포함하여야 한다. 특히 EHA (20:5 ω 3)와 DHA (20:6 ω 3)는 어류의 신진대사에 의해 생산될 수 없기 때문에 먹이와 함께 공급되어야 한다.
- 빈약한 먹이의 경우, 포화지방산이 풍부한 암컷의 내장 주위 지방이 난황 생산에 이용되어, 결과적으로 난의 품질이 빈약해지고 자어의 생존력을 감소하게 한다.

표 2. 붕바리 친어 양성에 사용한 먹이와 그 조성의 예 (野上福永, 1990)

종 류	비 율	비 고
냉동 남극 크릴	20.0	Argentina산 살오징어 大洋漁業
냉동 오징어	20.0	
냉동 전갱이	15.0	
냉동 민꽃게	5.0	
배합사료	34.0	タイモイストマツユ 中部飼料製
중합 비타민제	2.4	ニッチク藥品製
사료 첨가제	2.0	マリンメイト ニッチク藥品製
lecithin	1.0	ツルレーシチン 工業製
비타민 E	0.5	新日本餌料製
β-carotene	0.1	日本ロッシュ製

- 친어용 먹이로는 까나리, 오징어, 크릴새우, 게 등의 생먹이 외에도 이들을 반죽 먹이로 하여 난의 질을 향상시키기 위해 비타민류나  $\beta$ -카로틴 등의 영양제, 대두 레시틴, 피드오일 등을 첨가한 것을 준다. 또, 시판의 다공질 펠릿에 종합 비타민제 등을 혼합시킨 것을 주어서 좋은 체란 결과를 얻은 사례도 있다.
- 굵이는 산란기까지는 주 3회 포식할 때까지 그 이후는 매일 실시한다.

## 라. 번식 관리

### 1) 친어의 산란 유도

#### 가) 암수 감별 및 성 성숙 측정

- 불바리가 산란기에 들어가면 수정율이 높은 난을 얻기 위해서 산란용 수조에 수용하는 암수의 수를 조정할 필요가 있으므로 친어의 성별 판정을 한다. 불바리는 성장에 따라 암컷에서 수컷으로 성전환하는 특성이 있으므로 매년 암수를 조사하여야 한다. 성 전환에 따른 수컷화가 진행되어 안정적인 체란이 어려워질 수도 있다.
- 각 개체의 성별은 신체검사를 통해서만 확인할 수 있다. 불바리를 손상시키지 않도록 발포합성고무(urethane foam) 위에서 검사한다. 성별을 확인하기 위해 친어의 복부를 머리에서 꼬리 방향으로 부드럽게 마사지한다.
- 암컷은 어류의 성숙도를 판정하기 위하여 수작업 압출에 의해 점검하거나 또는 캐놀라 삽입(cannulation)으로 점검한다.
  - 난소의 발달 단계를 평가하기 위해 난 샘플을 얻으려면 암컷 생식공(genital pore)에서의 캐놀레이션(cannulation)이 필요하다. 그

러나 생식문(生殖門, genital orifice)이 완전히 닫혀거나 접근하기가 어렵기 때문에 어류가 산란 상태에 있지 않으면 암컷의 캐놀레이션이 어려울 수 있다.

- 성숙한 암컷의 경우, 부드러운 복부 압박 후 생식공으로부터 난이 쉽게 압출된다. 성숙 중인 암컷의 경우는, 복부를 강하게 압착해도 난이 압출되지 않을 수도 있다. 그러므로 생식소 조직을 표본하기 위하여 캐놀라를 사용한다.
- 캐놀라(cannula)는 40~50 cm 길이의 깨끗하고 유연한 플라스틱 관(외경 3 mm, 내경 1.2 mm)으로 수컷의 비뇨생식공 및 암컷의 난관에 삽입한다.
- 캐놀라를 삽입할 불바리를 마취시키거나 젖은 천이나 수건을 눈 위에 두어 진정시킨다. 캐놀라는 6~7 cm 정도 길이로 넣어 캐놀라의 다른 끝 부분에서 흡입한다.
- 캐놀라를 빼낸 후, 캐놀라 내의 샘플은 즉각적인 검사를 위해 현미경 슬라이드에 옮기거나 또는 나중에 난 직경 측정을 위해 1%의 중성 완충 포르말린(neutral buffered formalin)이 들어 있는 유리병(vial)에 넣는다. 암컷의 성숙 정도는 난을 슬라이드 글라스에 옮겨 40배율의 현미경으로 검경한다. 일반적으로 산란 상태의 암컷은 직경 400~500  $\mu\text{m}$  이상의 난모세포를 갖는다.
- 성숙한 수컷의 친어를 베지너리미 직전 구역부터 시작하여 비뇨생식공(urogenital pore) 근처까지 부드럽게 압착하면 비뇨생식공에서 엄청난 정액(milt)이 밀려 나온다. 만약 정액이 압출되지 않으면 미성숙이거나 또는 이미 방정하였거나 암컷이다.
- 수컷은 배를 누르는 것만으로 정액이 생식공에서 나오는 경우가 있지만 그렇지 않은 경우는 캐놀라를 생식공에 삽입하여 관의 반대편을 가볍게 흡입하면 생식선의 내용물이 조금 나오므로 이것으로 암수 판정과 성숙도를 판별한다.

- 정자의 활동을 현미경으로 100배 확대하여 검사한다. 해수 한 방울을 슬라이드 글라스 위에 놓고, 작은 양의 정액을 한 방울의 해수에 추가하여 현미경으로 관찰한다. 정상적인 정자는 정액과 해수가 혼합된 후에 선회하는 움직임을 보인다.



그림 6. Cannulation 방법을 이용한 붉바리 어미 난모세포 채취와 성숙도 조사 (이영돈 등, 2017)

#### 나) 자연산란

- 최근에는 자연 산란에 의해 안정적으로 수정란을 얻는 것이 가능해지고 있다. 2세어의 일부에서 산란이 시작되지만, 많은 암컷이 산란을 시작하는 것은 3세부터이다.
- 산란에는 5-80 키의 콘크리트 수조를 사용하고 수용은 1키당 4마리 이하로 한다. 친어의 암수 비율은 1 : 1을 기준으로 한다.

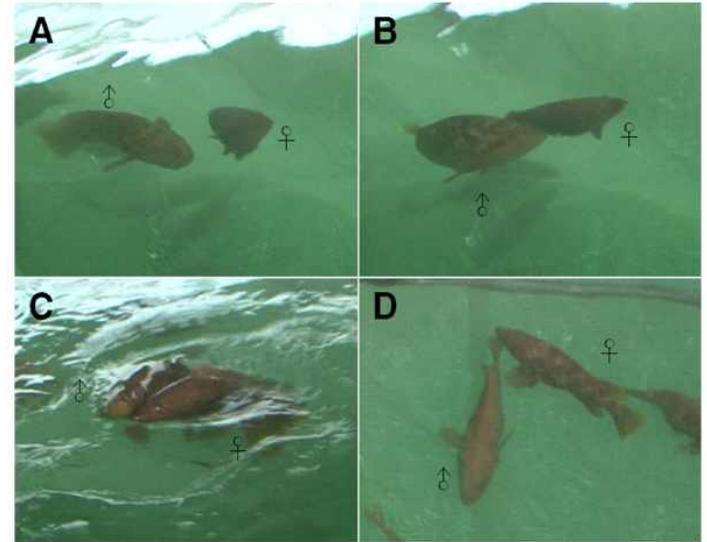


그림 7. 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 산란 행동 (Park et al., 2016)

A : 암컷을 쫓는 흰색의 수컷. B : 수컷은 머리를 사용하여 암컷의 복부를 계속해서 자극한다. C : 수컷과 암컷은 몸을 서로 겹쳐 수면으로 올라가고 동시에 산란과 사정이 일어난다. D : 산란을 마친 수컷과 암컷은 떨어져서 다시 산란을 반복한다.

- 산란기 전의 친어는 모든 개체가 은신처(shelter) 안에 들어가 서로 겹쳐 있지만, 산란기가 가까워질수록 점차 수컷들이 세력권을 형성해 은신처를 잃은 개체가 늘어난다.
- 산란은 저녁 5시경부터 10시경까지 1대 1의 짝으로 이루어진다. 산란 시각에는 수컷에 명료한 얼룩무늬(斑紋)가 나타나고, 1개의

은신처를 독점하게 된다. 오후 3시경부터 이러한 수컷이 암컷에 추미(追尾) 행동을 한다. 산란은 표면 근처에서 2마리가 겹쳐 진 행되며 몇 초간 계속된다(그림 7).

다) 배란 유도

- 일반적으로 바리과와 같이 자연 산란이 어려운 어류의 수정란 생산을 위해서는 호르몬 처리를 통해 수정란 생산을 하고 있다.

<HCG 주사>

- 캐놀레이션하여 조사한 400 μm 이상 난모세포를 가진 친어에 태반성 성선자극호르몬 (HCG) 500 IU/kg BW 농도로 1회 근육주사하고 48시간 후에 복부를 압박하여 인위적으로 배란을 유도한다.

<LHRHa 주사>

- 해상가두리에서 양성된 붉바리 암컷 어미의 배란 유도 시 적정 호르몬을 조사한 결과, 개체별 평균 채란량은 LHRHa 100 μg/kg 농도로 처리한 구간에서 176.0±4.47ml가 채란되었고, 부상률은 약 91%였다. 다음으로 LHRHa-Pimozide (LHRHa 100 μg/kg + Pimozide 1,000 μg/kg)를 처리한 구간에서는 155.8±6.9ml가 채란되었고, 부상률은 약 88%였다. Ovaprim 0.5 ml/kg 농도로 처리한 구간에서는 143.8±10.3ml로 그 중 부상률은 약 50%였고, HCG 500 IU/kg 농도로 처리한 구간에서는 채란량은 가장 많았으나 부상률은 약 39%로 양질의 난을 안정적으로 확보하는 방법으로는 비효율적이었다.
- 난의 부화율은 LHRHa는 87.5±3.3%이었고, LHRHa-Pimozide는 약 85%, Ovaprim은 약 66%, HCG는 약 54%로 LHRHa 처리 실험구가 가장 높았다.

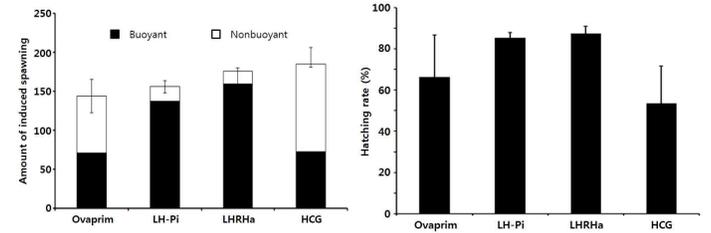


그림 8. 배란 유도 호르몬별 채란량 그림 9. 배란 유도 호르몬별 부화율 (박종연, 2016)

- 인위적인 성성숙유도 및 채란에 적절한 호르몬으로 LHRHa를 100 μg/kg 농도로 어체의 제1극조 하부의 등근육에 주사하고 48시간 경과 시점에 비노생식공 주위를 복부압박법으로 채정, 채란하여 건식법으로 수정시킨 것이 부상률과 부화율이 높았다.

<사육 수온에 의한 Puberty 유도>

- 환경제어를 통한 조기 puberty(사춘기) 유도를 위해 부화 후 110일령 붉바리 치어(전장 7.25±0.5 cm, 체중 6.45±1.5 g)를 대상으로 8개월(2014. 11~2015. 7)간 자연수온 처리구(대조구)와 사육수온 처리구 (20±0.5°C, 24±0.5°C, 28±0.5°C)로 구분하여 처리하였고, 광주기는 자연 광주기를 유지하였다.
- 실험 종료시 대조구의 실험어는 전장 12.2±1.0 cm (체중 28.5±11.5 g), 20±0.5°C 처리구의 실험어는 전장 15.2±2.3 cm (체중 54.3±15.0 g)으로 성장하였으나, 생식소는 어린난모세포만 관찰되는 미성숙 단계로 FSHβ와 LHβ mRNA 발현이 낮았다.
  - ※ FSH: follicle stimulating hormone, 여포자극호르몬
  - LH: luteinizing hormone, 황체형성호르몬

- 24±0.5℃ 처리구의 실험어는 전장 18.1±1.0 cm (체중 89.0±24.0 g), 28±0.5℃ 처리구의 실험어는 전장 20.1±2.0 cm (체중 131.4±39.0 g)으로 성장하였으며, 생식소는 400 μm 이상의 난황구기 난모세포들이 관찰되는 성숙단계로 발달하였고, FSH β와 LH β mRNA 발현이 급격히 증가하였다.
- 그러므로 조기 puberty 유도를 위해서는 24-28℃ 정도의 수온에서 사육이 필요하다.

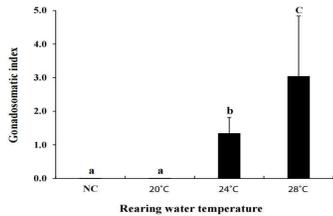


그림 10. 사육수온별 생식소 중량 지수 (Oh et al., 2018)

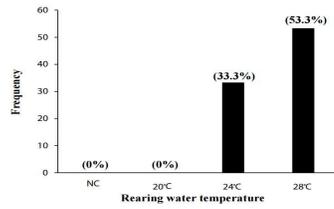


그림 11. 사육 수온별 성숙 어류 비율 (Oh et al., 2018)

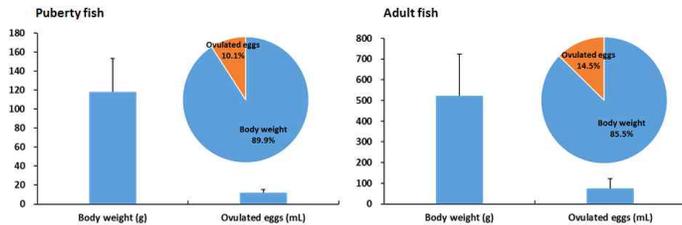


그림 12. 1년생 붉바리와 어미 붉바리 배란량 비교 (이영돈 등, 2017)

- 조기 Puberty를 유도한 개체를 대상으로 인공 수정란의 생산 결과, 성숙한 붉바리 1년생 암컷의 배란량은 6~10 mL 이었고, 성숙한 어미의 배란량은 50~200 mL로 모두 어체중의 약 10~14%를 배란하였다. 그리고 이들에게 생산한 난과 정자를 이용하여 수정시킨 결과 수정율 95%, 부화율 97%이었다.

## 라) 산란

- 산란은 수온 20℃ 전후가 되는 6월 상순부터 8월 하순까지의 약 3 개월간에 걸쳐 일어난다. 부상란 비율은 산란 초기에 비교적 높고, 점차 감소하는 경향을 보인다. 산란 초기와 중기에는 부화율은 낮고, 기형율이 높다.
- 산란은 저녁부터 심야에 걸쳐서 일어난다. 오버플로어(over flow) 구조의 배수구에 설치한 채란망으로 유출되는 난을 수거하여 다음날 아침 9시경에 채집한다.
- 난은 지름 약 0.7~0.8 mm의 부성난으로 채집 후 표층에 부상하는 수정란과 저층에 침하하는 불량란을 분리하여 수정란만 종자 생산에 이용한다.
- 산란일수 및 총채란수는 추정연령 10~15세의 고령군이 78일, 59,660천립, 추정연령 3~5세의 약령군이 72일, 64,020천립이었다. 암컷 1마리당의 채란수는 고령군이 2,480천립, 약령군이 1,390천립으로 고령군이 많았으며, 평균 부상란율도 고령군이 46.7%로 약령군의 27.3%보다 높았다.
- 평균 난경은 고령군이 0.81-0.77 mm, 약령군이 0.83-0.80 mm였다. 기형률은 경과일수와 함께 증가해 고령군이 높은 값을 나타냈다.

## 2) 난과 정자의 수집

### 가) 난과 정자의 수집

### <생식세포(gamete) 수집 전 친어에 필요한 처리>

- 친어를 성숙 탱크에서 꺼내어 수돗물로 어체를 깨끗이 하여 소금기를 제거한다.
- 친어를 작업대에 올려놓고, 어체를 수건으로 조심스럽게 닦는다.
- 그 후에, 친어의 비뇨 생식기(urogenital)와 생식공(genital pores) 주변을 눌러서 소변을 짜낸다.
- 친어의 스트레스를 줄이기 위해 수건으로 머리를 가린다.
- 마취는 필요하지 않다.

### <정액(milt)의 수집>

- 정액의 수집은 난의 수집보다 앞서 실시한다.
- 정액은 비뇨생식공 주위에 압력을 가하여 실리콘 튜브(내경 1.5 mm)가 달린 주사기로 수집하고, 수정 시점까지 아이스박스에 보관한다.

### <난의 수집>

- 난은 생식공(genital pore)을 향한 복부 압박으로 얻어진다.
- 혈액이 압출된 난(stripped eggs)이 섞인 경우에는 난 수집을 중단한다.
- 배란이 일어나는지 관찰하기 위해 때때로 암컷 복부를 압박하는 것이 필요하며, 첫 번째 배란 후 매일 난이 수집될 수 있다.

### 나) 인공 수정

- 건식법(dry method)으로 수정을 한다.
- 난은 건조된 플라스틱 용기(0.6 L)에 압출한다.
- 정액(semen)은 수생 조류의 깃털을 사용하여 압출된 난과 함께 첨가하여 혼합한다.

## 2. 먹이 생물

해산 어류 자어의 생산을 위해 먹이생물인 미세조류(microalgae), 로티퍼(rotifers), 알테미아(artemia)의 생산과 자어의 성장에 따라 영양의 질을 개선하기 위한 일부 영양 강화를 한다.

갈색등근바리(*Epinephelus coioides*, green grouper)의 유생은 적절한 발달을 위하여 불포화 지방산인 EPA(20 : 5n-3), 아라키돈산(ARA 또는 20 : 4n-6) 및 DHA(22 : 6n-3)의 높은 지방 함량을 필요로 하며, 이들 지방산의 공급은 유생사육에 사용되는 먹이생물체의 결합을 통하여 유생과 종자의 생존율과 성장 그리고 색소 침착을 개선한다.

이런 이유로 붉바리 유생사육에 사용되는 먹이 생물은 필수 지방산의 수준을 높이기 위해 처리해야 한다. 로티퍼와 알테미아의 영양을 향상시키기 위해 다양한 상업적 조제용 물질이 개발되어 있다. 바리류는 DHA에 대한 요구가 매우 높으며 특히 알테미아는 장쇄 지방산(long-chain fatty acids)을 단쇄 지방산으로 역 변환하여 DHA와 같은 필수 지방산의 수준을 낮추기 때문에 DHA가 높은 제품을 사용하는 것이 좋다. 이러한 영양 보충 제품은 액체 또는 분무 건조 제품으로 포장된다.

일반적인 준비는 필요한 양을 측정하고, 재료에 수화시키거나(분무 건조제품을 위하여), 유화(액체 제품을 위하여)시켜 혼합한 다음 먹이생물 배양 탱크에 적용한다. 특히 중요한 것은 적용 기간(일반적으로 <12 시간) 동안 배양 탱크에서 높은 용존산소 수준을 유지해야 하며, 먹이생물이 고밀도인 경우에는 순수 산소 또는 산소 보충 공기가 필요하다.

### 가. 조류 배양

#### 1) 조류 대량 배양

- 최근의 개발로 인해, 조류 페이스트(algae paste)와 조류 농축물

(예: *Chlorella* sp., 10-12 g/L)은 조류-효모 배양(algae-yeast cultures)보다 위생적이며 경제적으로 가장 효과적이라는 것이 입증되었다. 조류 페이스트와 농축물은 상업적으로 이용 가능하여 배양장에서 곧 더 이상 생산하지 않게 될 것이다.

- 그러므로 여기에서는 조류 배양에 있어 시험관 배양→ 200 ml 배양→ 5 L 플라스크 배양→ 100 L ~ 1 m<sup>3</sup> 배양에 이르는 스케일 업 배양(scale-up culture)에 대한 배양방법에 생략하고 대량 배양(Mass Culture)에 대해서만 기술한다.

### <조류 대량 배양>

- 조류 대량 배양은 실외에서 5 ~ 30 m<sup>3</sup> FRP 수조를 이용한다.
- 옥외 배양 수조는 양지바른 곳에서, 또 조류 성장을 촉진하기 위해 서쪽에서 동쪽 위치로 벌러놓는다.
- 야외 수조의 위치는 로티퍼와 원생동물로부터 오염되는 것을 최소화하기 위하여 고려되어야 한다. 이들 동물 플랑크톤이 강한 바람에 의해 조류 배양 수조로 날아갈 수 있기 때문이다.
- 여과된 바닷물과 수돗물은 청소와 충전을 위해 쉽게 접근할 수 있어야 한다.
- 강한 포기로 조류를 잘 교반할 수 있어야 한다.
- *Nannochloropsis* 배양에서, 초기 수심은 접종되는 조류의 밀도와 부피로 고려한다.
- 접종 후 조류의 밀도는 5 ~ 10 x 10<sup>6</sup> cells/ml로 설정하고, 조류의 밀도가 20 x 10<sup>6</sup> cells/ml에 도달하면, 밀도가 10 x 10<sup>6</sup> cells/ml가 될 때까지 살균된 해수를 첨가한다.
- *Nannochloropsis*의 밀도는 봄철에 1주일에 목표 밀도인 20 x 10<sup>6</sup> 세포/ml에 도달한다.
- 시비의 간격과 용량은 대량 배양조에서의 조류 성장에 영향을 미

치므로, 표 3과 같이 표준 비료 양의 1/3이 매 3일마다 적용한다.

- 최고 밀도에 도달한 배양된 조류는 로티퍼에 공급되기 전이나 또는 농축되기 전에 온도 조절 수조로 옮긴다.
- 조류는 호스 끝 부분에 부착된 45 μm 플랑크톤 백 그물(plankton bag net)을 통해 거른다.

표 3. *Nannochloropsis*의 대량 배양에 사용되는 화학제품의 투여량

	수조 용량			
	100 l	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>
Initial water volume	100 l	900 l	2 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>
Bleach(12% sodium hypochlorite)	20 ml	180 ml	400 ml	2 l
10% Sodium thiosulfate solution	2 ml	18 ml	40 ml	200 ml
Inoculation	5 l	100 l	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
21-0-0(ammonium sulfate)	10 g	100 g	100 g	500 g
42-44-0(ammonium phosphate)	0.8 g	8 g	8 g	40 g
46-0-0(urea)	10 g	10 g	10 g	50 g
Fe-EDTA	0.5 g	5 g	5 g	15 g
시비의 간격	1회		3일 마다	

(Source: Çiftci et al., 2002)

### <세포 계수(Cell Counting)>

- 성장과 오염을 조사하기 위해 각 배양 조류의 밀도를 매일 모니터링 한다.
- 조류 세포의 수는 혈구 계산기(hemocytometer)를 사용하여 현미경 하에서 모니터링 한다.
- 혈구 계산기(hemocytometer)에 의한 세포 계수
  - 혈구 계산기와 커버 글라스를 90% 알코올로 닦는다. 먼지와 지질이 없어야 한다.

- 커버 글라스를 혈구 계산기의 패선 부분 중앙에 놓는다.
- 커버 글라스를 단단히 밀고 가볍게 비틀어, 커버 글라스와 혈구 계산기 사이에 뉴턴 환(Newton's ring)을 형성한다.
- 한 방울의 샘플이 커버 글라스의 면에 놓여진다.
- 시료가 너무 많아서 홈에 넘치거나 또는 너무 작아서 챔버가 불완전하게 채워지지 않아야 한다.
- 페트리 디쉬(petridish)를 준비한다. 샘플의 증발을 방지하기 위해 페트리 디쉬에 축축한 종이 한 장을 둔다. 세포가 바닥에 가라앉을 때까지 5분 동안 혈구 계산기를 페트리 디쉬에 남겨 둔다.
- 혈구 계산기는 일반적으로 세 가지 유형이 사용한다. 가장 큰 Thoma형은 1 mm x 1 mm, Burker-Turk형은 3 mm x 3 mm이고, Neubauer형은 4 mm x 4mm이다.

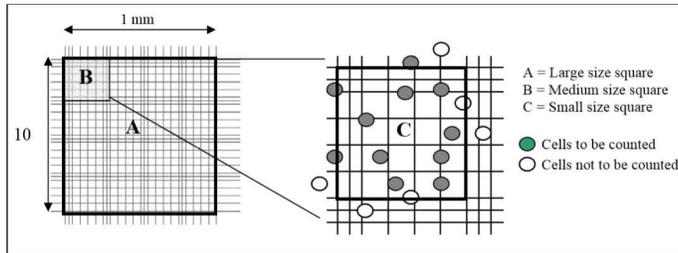


그림 13. 혈구 계산기에 의한 세포 계수(Source: Çiftci et al., 2002).

#### <오염 방지 대책>

- 현미경 관찰 외에 각 배양 수조의 육안 검사를 매일 해야 한다.
- 수면에 끈적끈적한 녹색 거품 또는 배양 수조 벽면의 오염이 발

견되면, 로티퍼 또는 원생동물이 의심된다. 이 중 어느 하나의 경우, 1ml의 표본을 입체 현미경으로 검사 한다. 1ml 샘플에서 오염의 증거가 발견되지 않으면, 5L 샘플을 채취하고, 그 다음에 이 샘플을 45 μm 플랑크톤 망으로 농축하여 농축 된 샘플을 현미경으로 관찰한다.

- 로티퍼가 농축 표본에서 발견되면, 액체 표백제(liquid bleach)를 15 ppm (15 ml/m<sup>3</sup>)의 농도로 30분 동안 배양 조에 첨가한 후 티오황산나트륨(1.5 ppm = 1.5 g/m<sup>3</sup>)으로 중화시킨다. 로티퍼 알은 이 치료로도 생존 할 수 있으므로, 같은 처리를 다음날 새롭게 부화한 로티퍼를 죽이기 위해 반복한다.
- 바람직하지 않은 원생동물이 관찰되면, 액체 표백제를 50 ppm (50 ml/m<sup>3</sup>)의 농도로 30분 동안 배양 수에 첨가하고, 그리고 나서 티오황산나트륨(5 ppm = 5 g/m<sup>3</sup>)으로 중화시킨다.

#### <농축(Concentration)>

- 종자 생산 기간 동안 인력을 최소화하고, 또 비수기에 기존 재고를 확보하고, 또한 대량 배양을 위한 비상 공급원으로서, 수확된 조류의 일부 또는 전부를 폴리에틸렌 중공사막(polyethylene hollow fiber membrane, 개방 직경 0.1 μm)을 통해 농축한다.
- 농축 조류는 액체 또는 냉동 형태로 보존한다. 이들 해조류는 품질이 현저하게 저하되지 않으면서 1년 이상 보존할 수 있다.
- 농축된 조류는 강한 포기가 제거되는 플라스틱 대형 병에 옮겨져서, 1~3°C에서 냉장고에 보관한다.
- 또한 조류는 비닐 백에 포장하여, 지질 함유물의 산화를 방지하기 위해 -30°C 이하의 온도에서 보관할 수 있다.
- 농축 *Nannochloropsis*의 밀도는 5~6 x 10<sup>9</sup> cells/ml이고, *Phaeodactylum*의 경우 0.5~1 x 10<sup>9</sup> cells/ml이다.

## 나. 로티퍼

### 1) 대량 배양 환경 관리

#### 가) 수온

- 30°C의 높은 온도에서도 대량 배양할 수 있으나 높은 수온에서는 세균과 다른 오염물질도 증가할 수 있으므로, 일반적으로 관리가 용이한 20~25°C에서 배양한다.
- *Brachionus plicatilis*(평균 240 μm)의 최적 성장 온도는 일반적으로 20~25°C이고, 반면에 *B. rotundiformis*(평균 160 μm)는 약 30°C이다.

#### 나) DO

- 조류 용기 안에서의 로티퍼의 증식 단계 동안에, 로티퍼의 산소 요구량은 미세조류의 광합성 활동에 의해서 필요한 산소량이 채워진다.
- 로티퍼의 대량 배양에서 인공 사료, 영양 강화 촉진제, 높은 밀도 및 대사 생성물은 배양액의 산소를 감소시킨다.
- DO 포화도 80% 이상의 안전 범위 안에 산소 수준을 유지하기 위하여, 강한 포기에 의해 공기를 공급하고, 필요시 비상 산소 공급 시스템에 연결한다.

#### 다) pH

- 허용범위는 pH 5-9이나, 7.5-8.5로 조절한다.
- 낮은 pH는 유독성 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 이온화 암모니아(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 사이의 균형에 영향을 주어 유독성 암모니아(NH<sub>3</sub>) 부분을 감소시킨다.

#### 라) 염분농도

- 로티퍼의 배양 가능 염분은 1-60 ppt로 매우 넓으나, 소형 로티퍼 계통(S-type strain)의 적정 염분농도는 18-20 ppt이며, 반면에 대형(L-type)은 30 ppt에서 더 잘 자란다.

#### 마) NH<sub>3</sub>

- 유독성 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 1 mg/l 이하로 한다.

#### 바) 포기(aeration)

- 로티퍼 배양에 포기하는 것은 산소를 공급하고, 적절한 난류를 조성하여 로티퍼와 먹이 생물의 부유를 유지하는 것과 또한 수조의 청결을 최적화하는 데 필수적이다.
- 포기율과 에어 스톤의 위치 설정은 조심스럽게 조정되어야 한다.
- 적절히 강한 포기는 큰 공기 거품이 없이 수면에 평탄하게 퍼져 있는 물의 난류(water turbulence)에 의해서 감지할 수 있다.
- 에어 스톤의 숫자와 배치는 수조의 형태와 부피에 달려있다. 그러나 모든 경우에 침전물의 재부유를 막기 위하여, 에어 스톤은 수조 바닥으로부터 약 15 cm 위에 떠 있어야 한다.

#### 사) 로티퍼 배양수조의 청소

- 원추형 바닥을 가진 원형수조에서, 바닥 침전물은 포기 없이 10-15분 동안 침전시켜 제거할 수 있다(침전 작업 중에 DO 수준의 점검에 주의가 필요하다).
- 침전한 다음 바닥 밸브를 몇 초간 열었다가, 배출수가 다시 깨끗해졌을 때 밸브를 잠근다. 아침과 저녁, 하루에 두 번 사육수조 청소 작업을 반복한다.
- 수면이 접촉하는 수조벽 부위의 수면 접촉면에 형성되는 기름 층

을 스폰지 또는 종이 형식으로 제거하여 청소를 완료한다. 결코 손을 물에 넣지 않아야 한다.

- 로티퍼 수조의 사육수는 부유성 고형물, 배설물 및 섭취되지 않은 먹이로 생긴 슉털 같은 플라크(flocks)에 의해서 빠르게 오염될 수 있다. 부유성 침전물, 배설물, 미섭취 먹이, 플라크 등의 바닥 침전물의 제거는 과도한 세균 발생의 예방과 로티퍼가 이용 가능한 산소를 증가시켜 준다.
- 로티퍼 배양수의 지속적인 포기는 부분적으로 입자의 침전을 방지한다. 입자의 제거는 입자 여과막(particle traps)을 활용하는 것이 편리하며, 효과적으로 사용하기 위하여 하루에 최소 두 번 청소한다.

## 2) 로티퍼의 배양

### 가) 대량 배양 방법

- 로티퍼의 대량 배양에 일반적으로 사용되는 두 가지 표준 배양 시스템은 “회분식 배양 시스템(batch culture system)”과 “이용 배양 시스템(exploitation culture system, 또는 반 연속 배양 시스템)”이다.
- 로티퍼 배양의 먹이 공급은 2개의 주요 방법이 있으며, 과거의 “조류와 빵 효모의 조합 공급”과 최근의 “인공 사료 공급”이다. 신뢰성과 더 많은 생산량 때문에 두 번째 방법이 점차 첫 번째 방법을 점진적으로 대체하고 있다.
- 조류/효모에 의한 대량 배양은 혼하고 쉽게 이용할 수 있는 먹이 상품인 빵효모(*Saccharomyces cerevisiae*)를 이용하는 것이다. 빵효모는 노력과 경비를 절약할 수 있는 먹이나, 효모에 관련된 세균을 먹는 로티퍼에게 효모는 영양가가 없다.

- 인공 사료에 비교해서, 이 방법은 수확량이 적고, 일반적으로 하루 더 많은 시간을 요한다. 로티퍼는 높은 수준의 n-3 HUFA와 비타민으로 영양을 강화하여야 한다.

### 나) 대량 배양 시설

- 로티퍼 대량 배양 수조는 1-10 m<sup>3</sup>의 용적으로, 이들 수조는 FRP, PE 또는 PVC 내장 콘크리트 수조 등으로 만들어진다.
- 해수 순환과 입자 침전을 위하여 원추형 바닥을 가진 원형 수조를 이용한다.
- 로티퍼 대량 생산을 위하여 공기 배분 시스템, 냉난방 장치, 해수 가온기 등을 설치한다.
- 조류가 먹이로 이용되는 단계를 제외하고는, 로티퍼의 대량 배양은 빛이 필요 없기 때문에 일반적인 조명 시스템을 설치한다.
- 로티퍼 대량 배양은 고밀도 때문에, 엄격한 위생 상태를 유지하기 위한 사육 절차와 기준이 엄격하게 적용되어야 한다.
- 위생이 중요하기 때문에 표준 세척 절차를 엄격히 실천해야 한다.

### 다) 수조 준비

- 로티퍼 배양의 수확 후, 새 배양 주기를 시작하기 전, 아래와 같이 수조를 준비한다.
- 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 행군다.
- 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 행군다.
- 수조 벽을 500 ppm 활성 염소 용액으로 씻거나 또는 살포한다. 2시간가량 후에 수조의 물을 빼내고 염소 냄새가 없어질 때까지 잘 행군다.
- 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안

으로, 수조를 해수로 채우고 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균하며, 이후 잔류 염소는 티오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화한다.

- 포기 배관, 배수 밸브, 부유입자 여과막(suspended traps) 등 수조에서 사용되는 장비들에 대한 절차를 반복한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균한다.

#### 라) 로티퍼의 접종

- 접종 로티퍼로 사용하는 로티퍼 개체군은 최소 20% 번식률(전체 로티퍼에서 난을 가진 로티퍼의 비율)을 가진 대수 증식기(log-phase)의 중간에 있어야 한다.
- 제한된 운동성, 낮은 포만도, 알의 부재 등으로 특징되는 이미 최종 단계에 달한 로티퍼를 접종용으로 사용해서는 안 한다.
- 로티퍼 접종 초기 최적 밀도는 150-200 개체/ml 이나, 최소 100 개체/ml 이상이어야 한다.
- 인공 먹이 공급에 의한 고밀도 배양은 500 개체/ml로 증가하는 것이 필요하다.
- 초기 밀도 200 개체/ml로 접종될 경우, 일반적으로 로티퍼 밀도는 25°C에서 4-6일 안에 최대 생산 정점에 도달할 수 있다.
- 로티퍼 배양 수조 접종은 다른 수조의 로티퍼를 사용할 수 있다.
- 접종 로티퍼로 사용하기 위하여 수확하기 하루 전에 수조 안의 로티퍼에 번식 촉진제를 먹여야 한다.
- 오염과 배양 실패 위험을 줄이기 위하여, 수평 증식 배양은 7-8회로 제한 한다.
- 7-8회 수평 증식배양 후에는 접종 로티퍼를 다시 가져와야 한다.

#### 마) 번식 촉진제

- 조류 배양 또는 인공 사료 배양 모두 로티퍼 배양액에 번식 촉진제로 vitamin B<sub>12</sub>를 첨가한다.
- B<sub>12</sub> 저장액은 살균된 눈금이 새겨진 1L 파이렉스 병에 비타민 B<sub>12</sub> 0.1g을 넣고, 살균된 증류수를 눈금까지 채우고, 충분히 녹았을 때, 냉장고에 저장한다. 비타민 용액을 살균해서는 안 한다.
- 투여량은 보통 수조의 로티퍼 배양 m<sup>3</sup>당 B<sub>12</sub> 저장액 100 ml이다. 그러나 적은 용기와 비닐 백 등에는 1 ml/L을 투여한다.
- 비타민 B<sub>12</sub>는 접종 로티퍼와 함께 배양 수조에 투여한다.

#### 바) 로티퍼의 배양 절차

- 수조를 염분농도 20 ppt로 만들기 위하여 수돗물로 희석한 살균된 해수로 채운다. 수돗물의 염소 농도를 점검하여, 만일 염소가 있으면 초과량의 티오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화하여야 한다. 먹이로 공급될 조류 배양을 위한 충분한 공간(수조 부피의 약 30%)을 남겨두어야 한다.
- 에어 스톤을 배치하고 포기를 한다.
- 섬모충과 불순물 걸름망을 설치한다.
- 오염을 점검하고, 접종 로티퍼로 사용할 최상의 적정 로티퍼 배양 백(rotifer bags)을 선택한다.
- 선택된 집단(batches) 또는 집단들을 여과한다.
- 150-200 개체/ml의 초기 밀도가 되도록 수조에 접종한다. 접종한 날을 일령으로 0일로 한다.
- 로티퍼의 초기 먹이로 수조 부피의 20%만큼 배양 조류를 추가한다. 배양 조류는 대수 증식기에 있어야 하며, 오염된 것에서 가져오지 않아야 한다.
- 다음 날(일령 1일)에 배양 조류로 남은 10% 용적을 채운다.

- 수조 일지에 배양 로티퍼의 성장, 공급된 먹이 및 측정된 환경 항목에 관한 모든 정보를 기록한다.
- 일령 1일부터 기록된 로티퍼의 밀도에 따라 표 4의 비율로 빵효모(bakers' yeast)를 공급한다.
- 신선한 효모의 1일 공급량은 4등분으로 나누어, 오전 2시, 8시, 오후 2시, 10시에 공급한다.

표 4. 로티퍼의 밀도별 빵효모의 공급률

로티퍼의 밀도(No./ml)	일일 먹이 공급률 (효모g/백만 로티퍼)
50 이하	3
50 ~ 100	2
100 이상	1

- 각 효모 먹이는 냉장고에 보관된 효모 덩어리에서 무게를 달아 잘라내고, 100 g/L의 농도로 수돗물을 채운 플라스틱 양동이에 보관한다.
- 부엌용 또는 공업용 믹서(blender)로 효모 세포를 분리하여 물에 현탁한다.
- 즉시 먹이로 주어야 하고, 남은 것은 전부 폐기하여야 한다. 효모는 매번 먹일 때마다 새로 신선한 것으로 준비해야 한다.

사) 수확

- 로티퍼는 어류에 먹이로 주어지거나 새 수조에 접종 로티퍼로 사용되기 전에 여과하고 행군다.
- 필터의 용량은 완전 수확과 행군에 필요한 시간 동안 전체 로티퍼 개체군을 안전하게 유지하기에 충분한 크기가 되어야 한다.

- 필터의 내측을 따라서 부드러운 기포를 만드는 것은 필터가 막히지 않도록 유지하는 데 도움이 된다.
- 중앙 배수 원추형 저면 원형수조의 수확과 행군 기준
  - 항상 깨끗하고 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균된 수확 장비를 준비한다.
  - 로티퍼가 여과 작업에 안전하게 견딜 수 있는 산소 과포화 매질(용존산소 10 ppm)을 만들기 위하여 10~15분 동안 수확될 수조에 순수 산소를 주입한다.
  - 10~15분 동안 에어레이션을 중지하고, 바닥 침전물을 제거한다.
  - 중앙 배수구에 배수구로부터 15 cm에 구멍들이 있는 PVC 배수 파이프를 끼우고 5분간 기다린다.
  - 수조 바닥 배수 밸브에 연성 호스를 끼우고 다른 끝을 수확할 장치에 둔다.
  - 밸브를 열고 80 µm 나일론 망을 사용하여 여과 수확을 시작한다.
  - 물의 흐름을 조절하여 필터가 막히거나 사육수가 넘치지 않게 한다. 100 L/min.을 넘지 않게 한다.
  - 로티퍼 농축액이 남치지 않도록 필요할 때마다 물의 흐름을 멈추고, 막힌 이전 필터를 청소한다.
  - 수확하는 동안, 비커 또는 페트리 디쉬(petri dish)를 가지고 약간의 여과수의 표본에 의해 여과망을 통과하는 로티퍼의 손실 여부를 점검한다.
  - 여과의 끝에, 밸브를 잠그고, 원 사육수조와 같은 온도에서 여과 살균된 해수로 10-15분 로티퍼를 행군다.

아) 로티퍼의 난 분리

- 로티퍼 알을 몸에서 분리하기 위해 그림 14의 절차로 수행한다.
  - 약 200 L의 로티퍼가 120 µm 수확 주머니 망(bag net)을 통해 농

축하고, 그리고는 믹서에 넣는다.

- 로티퍼를 분쇄하고 또 로티퍼로부터 알을 분리하기 위하여, 로티퍼는 10초 동안 균질화 한다.
- 균질화된 로티퍼는 두 층의 필터 스크린을 통해 분리한다. 위 망목(120 µm)은 일부 로티퍼를 거르고, 알은 아래 망목(80 µm)에서 수집한다.
- 알은 멸균된 해수로 잘 씻어 낸다. 일부 로티퍼는 여전히 살아있어, 이 로티퍼들이 알을 오염시킬 수 있다. 모든 로티퍼가 죽었다는 것을 확실히 하기 위하여, 80 µm 여과기망 위의 알을 10초 동안 한번 더 균질화 한다.
- o 분리된 알은 멸균된 해수로 다시 세척한다. 이 분리된 알은 100 L의 해수와 이산화염소(chlorine-dioxide, 400 ppm)가 함유된 신선한 조류를 채운 원통형-원추형 수조에서 배양한다.

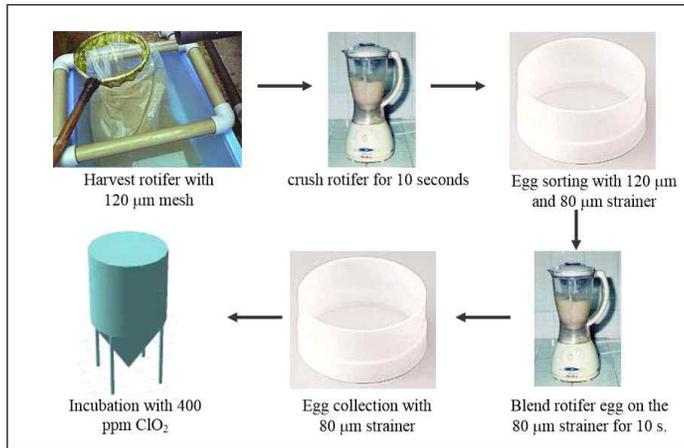


그림 14. 로티퍼(*B. plicatilis*) 난 분리 기술의 흐름(Source: Çiftci et al., 2002)

자) 로티퍼의 살균

- o 어류 자어에 대한 세균의 대량 유입은 먹이생물 사슬을 통해 일어난다. 그러므로 로티퍼 배양은 위생 관리가 필요하며, 위생 상태가 불량한 경우 *Vibrios*, *Aeromonas* 및 *Pseudomonas* 등으로 인한 높은 세균 부하를 받는다.
- o 유입수 및 수조와 유지 관리 자재의 살균(UV 또는 염소)에 의하여 병원균의 유입으로부터 보호되어야 한다.
- o 과거에 먹이생물은 항생제를 조합하여 살균하였다. 그러나 약물 내성 세균 균주의 발생을 예방하기 위하여 더 이상 권장되지 않는다.
- o UV 조사(38 mW/cm<sup>2</sup>)에 대한 로티퍼의 노출은 2분 이내에 세균 부하를 약 90% 이상 감소시켜, 생존율을 향상 시키는 데도 효과적이다.
- o 먹이 생물에 대한 세균 부하는 먹이생물의 장을 비우기 위하여 영양 강화 전의 짧은 단식과 그리고 특히 영양 강화 후 담수조에서의 철저한 세척에 의해서 감소된다.

### 3) 로티퍼의 영양 강화

가) 로티퍼의 영양 강화

- o 현재 영양 강화는 주로 특별히 제조된 영양 강화제를 사용하며, 조류만을 사용할 때는 불가능한 높은 수준의 EPA, DHA 및 vitamin C를 로티퍼가 함유할 수 있게 해준다.
- o 로티퍼는 대량 배양 과정 중의 수조에서 또는 수확 후 전용 영양 강화 수조에서 영양 강화할 수 있다.
- 배양 과정 중에 배양 수조 안에서의 영양 강화는 전체 배양 기간 동안에 연속적이기 때문에, 조직의 영양 강화를 가져 온다. 획득된 지방산 비축물은 더 안정적이며, 굶주림 도중에 영양가

의 빠른 감소에 적게 노출한다. 이 방법은 시간을 절약하고 취급 손실을 감소시킨다.

- 수확 후 전용 영양 강화 수조 안에서의 영양 강화는 단기간의 영양 강화이며, 소화관의 영양 강화라고 할 수 있다. 이것은 수확과 행균, 그리고 별도의 분리된 영양 강화 수조의 준비가 필요하다.
- 영양 강화제품에 의한 영양 강화는 제조사가 제공한 설명서에 따라 영양 강화를 진행한다.
- 영양 강화는 6-12시간 사이에 해야 한다.
- 영양 강화 과정 중에 자주 로티퍼의 사망률과 용존산소 양을 점검하여야 한다. 용존산소는 80% 포화율 또는 4 ppm 이상이 유지되어야 한다. 필요할 경우 순수 산소를 첨가한다.
- 영양 강화제의 건조 제품은 생산 수조에서 직접 사용할 수 있으나, 기름이 함유된 제품은 단지 영양 강화 수조에서 사용하여야 한다.
- 거품의 집적에 의한 로티퍼의 손실을 방지하기 위하여, 필요시 영양 강화 중에 거품 방지제를 사용할 수 있다.

#### 나) 로티퍼의 영양 강화 절차

- 농축된 로티퍼를 해수가 채워진 원통-원추형 수조로 옮긴다. 필요시 소독 용액(예, 400 ppm의 이산화염소)을 추가한다.
- 로티퍼는 500 마리/ml 이하의 밀도로 저장하며, 그리고 추가 먹이 없이 중간 정도로 포기(7.5 l/min)되는 수조에 보관한다.
- 굶은 4시간 후, 로티퍼를 위한 영양 강화 배지를 넣는다. 농축된 미세조류와 HUFA가 풍부한 어유(0.15 g/10<sup>6</sup>로티퍼)를 수조에 첨가한다.
- 필요시, 로티퍼에서 자어에 도입되는 박테리아 부하를 최소화하기 위하여, 살균을 위한 적정 소독 용액을 첨가한다.

- 로티퍼가 기름과 기포에 응집되는 것을 피하기 위하여, 포기는 엄격하게 통제하여야 한다.
- 영양 강화 시작 16시간 후에, 같은 양의 HUFA가 풍부한 오일을 첨가한다.
- 영양 강화된 로티퍼의 수확은 영양 강화 시작 17시간 후에 이루어진다.

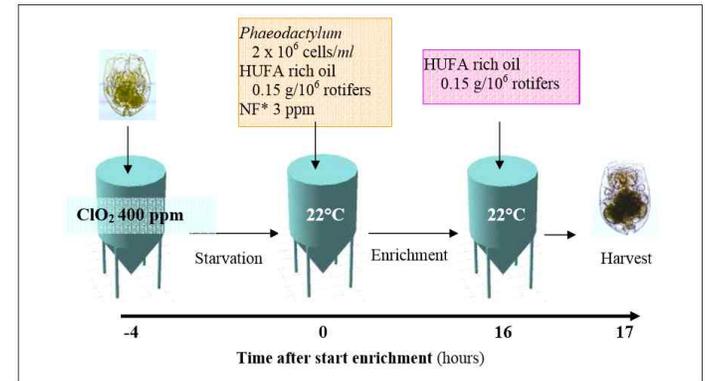


그림 15. 로티퍼(*B. plicatilis*)의 영양 강화(\* NF, Sodium nifurstyrenate acid) (Source: Çiftci et al., 2002)

#### 4) 영양 강화 로티퍼의 저장

- 어류 자어에 의해 즉시 소비되지 않은 로티퍼의 영양분 함량은 빠르게 감소한다. 굶은 로티퍼의 경우, 총 PUFA량의 손실은 18°C에서 6시간 후에 60%에 이른다. 미세조류가 있는 green water에서조차, 로티퍼의 PUFA량의 손실은 6시간 후에 약 40%에 달한다.
- 영양 품질의 저하를 방지하기 위하여, 어류에 즉시 먹이지 않은

영양 강화된 로티퍼는 저온 저장고에 저장하여야 한다.

- 소비하고 남은 영양 강화 로티퍼는 저장 시 영양 손실을 방지하기 위하여 저장 시간이 14시간을 초과해서는 안 된다.
- 저장 온도는 단열 수조와 아이스 백 등에 의해 5~10°C 사이를 유지해야 한다.
- 로티퍼의 저장 밀도는 2,500-3,000 개체/ml를 초과하지 않아야 하며, 로티퍼 저장의 산소는 4 ppm 이상 되어야 한다.

### 5) 로티퍼의 양적·질적 평가

- 배양하는 모든 로티퍼 개체군의 양적, 질적 평가를 위해 매일 점검한다.
- 각 용기, 플라스크, 백 및 수조로부터 1 ml 표본을 하고, 입체현미경(stereoscopic microscope) 아래서 관찰한다.
- 모든 배양 정보는 각 배양에 대한 개별 파일에 기록되어야 한다.

표 5. 로티퍼의 평가 기준

양적 평가 기준	질적 평가 기준
○ ml당 로티퍼의 총 마리 수	○ 개체당 평균 난 수(추산)
○ ml당 난의 총 개수	○ 포식물(위의 먹이 유무)(공복: 0, 중 복: +, 만복: ++)
○ 총 로티퍼 수에 대한 총 난 수의 %로 산정한 번식률	○ 운동성(활발: ++, 비활발: +, 없음: 0)
	○ 먹이 여과(섬모관의 활동성)
	○ 배양조 표면의 거품의 유무 또는 배 양 용기의 벽과 바닥의 침전물
	○ 원생동물, 곰팡이, 세균총 등 기타 미생물의 유무 및 동정과 빈도 (무: 0, 중간 오염: +, 대규모 오염: ++)

## 다. 알테미아

- 알테미아(artemia)가 박테리아, 바이러스 및 기타 원하지 않는 미생물, 그리고 때로는 살충제와 중금속을 보유하고 있기 때문에, 현대 배양장과 자어 사료 제조업체는 미립자 사료의 조기 먹이 길들이기로 알테미아에 대한 의존성을 줄이려고 한다.
- 알테미아와 관련된 생산 비용과 자어에 유해한 박테리아 이동의 제발 위험성을 줄이기 위하여, 어류 사료 회사들은 최근 미립자 사료 형태로 알테미아 대체 사료를 제공하고 있다.

### 1) 내구란의 선정

- 세계의 여러 다른 지역에서 생산한 많은 종류의 브라인 쉬림프 내구란이 판매되고 있으며, 각각 다른 nauplius 유생 크기와 영양가 및 부화 특성을 가지고 있다.
- 알테미아 내구란의 계통을 구별하는 특성은 g당 내구란의 수와 부화 효율(내구란 g당 생산된 nauplius 수)이다.
- 최상 계통의 내구란은 부화된 내구란의 g당 29-30만 노플리우스를 생산할 수 있으며, 95%에 가까운 부화율을 가진다.
- 품질이 좋은 내구란을 선정하여 24시간 생산주기의 동기화를 유도한다.

### 2) 내구란의 살균

- 알테미아 내구란의 난각은 일반적으로 세균, 곰팡이의 포자 및 기타 미세생물에 의해 오염되어 있다.
- 어류의 자어는 처리되지 않은 빈 난각, 미부화 내구란 또는 내구란 부화액 잔류물 등이 자어 사육 수조에 유입되었을 때 감염될 수 있다. 그러므로 내구란은 접종 전에 살균하여야 한다.

- 내구란의 살균은 최대밀도 50 g/L에서 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)에 침지하여 할 수 있으며, 처리 시간은 활성 염소의 농도에 따라 변한다(예: 200 ppm 염소 용액에서 20분, 또는 10,000 ppm 용액에서 1분).
- 125 μm 망목의 체로 내구란을 건지고, 충분한 담수로 행군다. 행군어진 내구란을 배양 수조로 옮긴다.
- 상업용 표백제의 경우, 염소 농도는 5-15%의 범위이며, 사용될 표백제의 실제 염소 농도를 점검하는 것은 필수적이다.

### 3) 내구란의 부화

#### 가) 부화 수조

- 수조 형태는 일반적으로 원추형 바닥을 가진 원형수조이다.
- 수조 내부는 백색 젤 코팅이 되어 있고, 수확을 위하여 원추 끝 가까이에 반투명 창을 가지고 있다.
- 밸브 달린 배수관이 원추 끝에 설치되어 있다.
- 부화는 200~1,000l 크기의 용기를 사용하나, 대량으로 부화시킬 때에는 이보다 큰 수조를 사용한다.
- 내구란이 떠있을 수 있도록 심한 물의 요동을 일으키기 위하여 수조 바닥 가까이에서 강하게 포기한다.

#### 나) 부화 조건

- 적정 부화 수온: 28-30°C
- 염분: 염분농도 35 ppt의 여과 살균 해수를 사용한다. 내구란을 빨리 부화시키기 위해서는 담수를 30% 정도 채워주는 것이 좋다.
- 용존산소: 4 ppm 이상
- pH: 8 이상을 유지하며, 필요하면 중탄산나트륨(sodium

- bicarbonate, NaHCO<sub>3</sub>)을 1당 약 1g(미리 녹임)의 비율로 첨가
- 조도: 첫 배양 시간 동안 수면에서 2,000 lux의 강한 조명을 한다.
- 내구란의 배양 밀도: L당 2.5 g

### 4) 노플리우스의 수확

#### 가) 수확 시기

- 부화는 수온 28-30°C에서 20~24시간이 지나면 이루어진다.
- 알테미아 노플리우스는 부화 직후 에너지가 풍부한 1령 유생 단계에서 수확되어야 한다.
- 적정 수확 시간을 예측하기 위하여 5 ml 피펫으로 배양수를 표본하여 노플리우스와 부화직후의 난각이 아직 붙어있는 배아(umbrella stages)를 현미경으로 점검한다.
- 수확 전에 포기를 멈추고, 10분 동안 방치하여 부화되지 않은 내구란을 가라앉히고, 빈 난각을 부유시킨다. 그런 다음, 배수관의 정체된 물과 부화되지 않은 내구란을 배출시킨다.
- 난각과 노플리우스 유생을 분리하기 위해서는 높은 염분의 바닷물(45 psu)을 사용하는 것이 좋다.
- 부화한 노플리우스는 밸브를 열어 114 μm 나일론 주머니 망(30 x 60 cm)을 사용하여 농축하고, 농축된 노플리우스 유생을 수돗물로 씻어낸다.

#### 나) 부화율 평가

- 부화 결과를 평가하는 두 주요 기준은 부화율(hatching rate)과 부화 효율(hatching efficiency)이다.
- 부화율은 내구란 100개당 부화한 노플리우스의 수이다. 좋은 집단은 약 90-95%의 부화율을 가진다.

- 부화 효율은 내구란 g당 생산된 노플리우스의 수이다. 최상급 품질의 내구란은 g당 약 30만 마리의 유생을 수확할 수 있다.

#### 다) 알테미아 노플리우스의 살균

- 어류 자어에 대한 세균(bacteria)의 대량 유입은 먹이생물 사슬을 통해 일어난다. 위생 상태가 불량한 경우, Vibrios, Aeromonas 및 Pseudomonas 등으로 인한 높은 세균 부하를 겪는다.
- 과거에 먹이생물은 항생제의 조합을 사용하여 살균하였으나, 더 이상 약물 내성 세균 균주의 발생을 예방하기 위하여 더 이상 권장되지 않는다.
- 먹이 생물의 세균 부하를 줄이기 위하여, 영양 강화 전에 먹이생물의 장을 비우기 위한 짧은 단식과 영양 강화 후 담수조에서의 철저한 세척을 한다.

### 5) 영양 강화

#### 가) 영양 강화

- 알테미아 노플리우스 유생은 불포화지방산(22:6 $\omega$ 3)이 없거나 극히 미량이므로 먹이생물을 치어에 공급할 때에 영양 강화를 하여야 한다.
- 알테미아 부화 유생의 입은 보통 6-8시간 전후에 열리므로, 입이 열린 후 영양 강화를 하여야 하며, 영양 강화 시간은 12시간 전후이다.
- 알테미아의 메타노플리우스(metanauplii)는 전형적으로 후기 자어의 먹이로 이용된다. 그러나 메타노플리우스는 낮은 영양가로 인하여 필수적인 n-3 HUFA가 풍부한 전용의 영양 강화 먹이에 의해서 향상되어야 한다.
- 그러한 먹이는 II령(instar II)과 III령(instar III)의 유생 단계 동안

알테미아가 활발히 먹을 때에만 주어질 수 있다. 알테미아의 첫 먹이 섭취는 실제로 II령 단계로의 탈피와 일치한다.

- 최상의 결과는 부화 시간과 탈피 속도를 정확히 알 때 얻어진다. 영양 강화의 시작은 관찰에 의해 쉽게 결정될 수 있다. 첫 18시간 후, 매 시간 소 표본을 만들어 현미경 아래서 점검한다. II령 단계의 출현은 I령보다 크고, 위장관(gastrointestinal tract)이 있기 때문에 쉽게 발견할 수 있다. 영양 강화는 첫 II령 단계가 나타나자마자 시작하여야 한다.
- 영양 강화 과정의 기간은 요구되는 HUFA의 함량에 달려 있다. 완전한 영양 강화는 24시간이 걸리고, 영양 강화 유효액의 투여량은 0시와 12시간 후 두 번 투여한다. 단기 영양 강화는 12시간이 걸리고 단지 초기 투여량만 공급한다.

#### ○ 적정 영양 강화 조건

- 초기 노플리우스 밀도: 150,000-300,000 nauplii/L 이다.
- 노플리우스를 부유시키기 위한 강한 물의 교반과 전 영양 강화 기간 동안에 4 ppm 이상의 용존산소를 유지하기 위한 산소의 공급이 필요하다.

- 생산자에 의해서 특화된 영양 강화 먹이를 준비하고, 각 먹이에 대해 새 영양 강화 유효액을 준비해야 한다. 영양 강화 시간의 끝에, 메타노플리우스를 수확하고 기름기가 있는 유효액이 배수되는 물에서 감지되지 않을 때까지 완전히 해수로 행군다.

#### 나) 알테미아 노플리우스의 영양 강화 작업

- 해수를 중화시킨 후, 400 ppm의 이산화염소를 첨가하고 그리고 노플리우스를 수조로 옮긴다.
- 영양 강화를 위해, 미세조류와 상업용 HUFA가 풍부한 오일을 수조에 공급한다.
- 영양 강화 시작 17시간 후, 다음날 아침 동일한 양의 HUFA가 품

부한 오일을 노플리우스에 공급한다.

- 19시간 이상 영양 강화된 노플리우스를 수확하고, 그리고 담수로 헹구고, 자어 수조에 분배한다.

#### 다) 메타노플리우스의 저장

- 영양 강화된 메타노플리우스는 로티퍼의 경우와 마찬가지로, 4-10°C의 저온 해수에 저장되지 않는 한, 실온에서 빠르게 영양가를 잃게 한다.
- 영양 강화된 메타노플리우스의 저장 밀도는 L당 4백만 개체 이하를 유지해야 한다.

### 3. 수정과 부화

수정 및 부화율은 난질의 지표가 될 수 있으며, 바리류의 경우, 수정율과 부화율은 모두 50% 이상, 바람직하게는 80% 이상이어야 한다. 수정 및 부화율 (<30%)이 낮은 난의 집단에서 유생은 일반적으로 낮은 생존율과 기형 및 기타 건강상의 문제가 많이 발생한다. 이러한 집단은 일반적으로 폐기하여야 한다. 특히 연간 기준으로 친어의 성과와 산란의 성공을 평가할 수 있도록 수정 및 부화율의 기록을 유지해야 한다.

수정 및 부화율을 산정하기 위해, 대략 100개의 난 및 / 또는 유생을 포함하는 10개의 샘플을 하여 추정을 하는 것이 정확하다.

#### 가. 난의 수정

##### 1) 난의 수정

- 붉바리의 채란된 난의 평균 난경은 770 μm (811~729 μm)이며, 난경은 산란 초기에 크고, 산란 후기에 작아지는 경향을 보인다.
- 채란 직후 수컷 개체에서 채정한 정액을 난 100만립당 약 0.2~0.5 cc 비율로 골고루 뿌린 후 해수를 조금씩 첨가하면서 인공수정 한다.
- 붉바리의 수정란은 무색투명한 분리 부성란으로 평균 약 750 μm 정도이며 1개의 유구를 가지고 있다.
- 수정란은 1g당 3,200립으로 계산하고, 수정률은 약 30~40%이다. 통상 수온 25°C 전후에서는 수정 후 약 24시간 후에 부화한다.

##### 2) 수정란의 평가

- 인공 수정된 수정란을 비커로 옮긴 후 상층, 중층, 하층에 있는 수정란들을 각각 1,500개씩 다른 비커에 분리하여 수용하고, 수

은 19°C에서 각 층별 수정란의 생존율을 관찰한 결과, 하층의 수정란은 수정 직후 전량 폐사하였으며, 상층과 중층의 수정란은 포배기 단계에서부터 생존율 차이가 발생하여, 배체형성기에서 상층란은 97.7%, 중층란은 65.2% 생존하였고, 부화직전 상층란은 94.5%, 중층란은 32.4% 생존하였다.

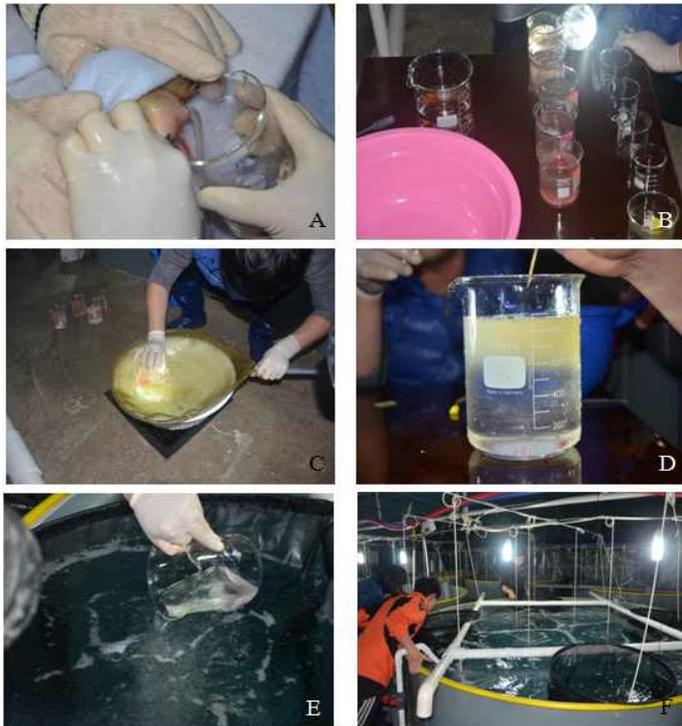


그림 16. 붕바리 수정란 생산 과정 (백혜자 등, 2017)

(A: 채란, B: 개체별 수정, C: 세란, D: 수정란(분리부상란), E, F: 수정란 수용)

- 수정란을 현미경 (10배 또는 20배 확대)으로 다음 사항에 대해 검사한다.
  - 난은 형태가 규칙적이어야 한다.
  - 배 발달 초기 단계에서 개별 세포는 일정한 크기여야 한다.
  - 난과 배는 어두운 부분이 없이 완전히 투명해야 한다.
  - 난각(chorions)에는 기생충이나 오손생물이 없어야 한다.
- 불규칙적인 모양, 어둡거나 배아 발달이 비정상적인 난이 적다면 부화장에서 사용할 수 있는데, 비정상적인 특성 (> 10%)을 나타내는 수정란의 비율이 높으면 일괄적으로 버려야 한다.
- 난에 기생충이나 오손 생물이 있는 경우 병원균을 부화장에 옮길 확률 때문에 버려야 한다. 폐기 후에는 모든 탱크와 장비를 세척하고 소독해야 한다.

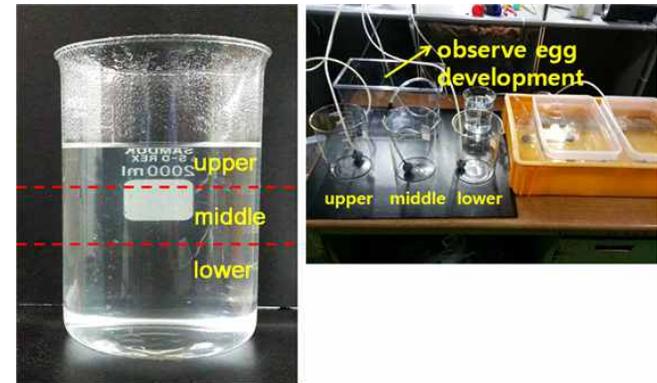


그림 17. 부상층별 붕바리 수정란 발생관찰 (이영돈 등, 2017)

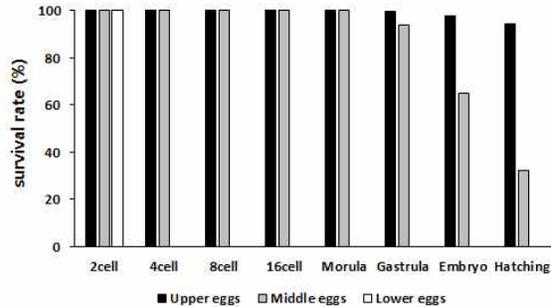


그림 18. 불바리 수정란의 부상력에 따른 생존률 (이영돈 등, 2017)

- 수정율의 산정은 수정이 일어난 후 수 시간 후와 배 발달로 쉽게 수정란을 식별할 수 있는 부화 훨씬 전에 수행한다. 불바리의 난은 25~27°C에서 수정 후 23~25시간에 부화한다. 수정율을 성공적으로 측정하려면 미수정 된 난에서 수정란을 구별 할 수 있어야 한다. 이것은 초기 발달 단계에서 수정란을 식별하기 위해 좋은 현미경과 약간의 경험이 필요하다.
  - 수정률 계산: 수정률을 계산하기 위해 현미경으로 난의 대표적인 샘플을 검사한다. 수정란 수와 미수정란 수를 세어 본다.
 
$$\text{수정란 수} + \text{미수정란 수} = \text{표본의 총 난수}$$

$$\text{수정률(\%)} = \frac{\text{수정란수}}{\text{표본의 총 난수}} \times 100 \text{이다.}$$
  - 예로서 난 10개를 조사한 결과 1,215개가 수정되었고 103개가 수정되지 않은 것으로 나타났다. 수정란수 = 1,215 및 표본의 총 난수 = 1,318 수정율 = 92%

### 3) 난의 살균

- 난은 난 표면에 있는 기회 감염균(opportunistic pathogens)을 운반 할 수 있으며, 그리고 어미로부터 새끼에게 그리고 배양장 사이에 질병을 옮길 수 있다.
- 난 살균은 난의 부화와 생존을 향상시키고 그리고 배양장 내와 배양장 사이에서 병원세균의 전염 위험을 감소시킨다.
- 어류 난의 표면 살균에 사용되는 약제에는 글루타르알데히드(glutaraldehyde), 요오드포(iodophors), 자외선(ultraviolet), 오존, 과산화수소(hydrogen peroxide), 차아염소산 나트륨(sodium hypochlorite), 항균 펩티드(antimicrobial peptides) 및 항생제 등이 포함한다.

#### 가) 요오드 처리(Iodine Treatment)

- 난에 의해 도입된 세균 또는 바이러스 오염을 방지하기 위해 난은 요오드 용액으로 소독한다.
- 수정 10분 후에 나일론 망(망목 220 μm)으로 수집된 난은 남아 있는 정자, 체액 및 점액을 제거하기 위하여 해수로 행군다.
- 그 다음 난은 50 ppm PVP 요오드(PVP iodine) 용액이 담긴 버킷(bucket)에 알을 옮겨 5분간 담군다.
- 그 후, 이 용액을 제거하기 위하여 멸균 해수를 사용하여 난이 다시 부드럽게 행군다.
- 난은 약 0.6 L/min으로 약하게 포기된 부화수조로 옮긴다.

#### 나) 옥시탄트 해수 처리(Oxidant Treatment)

- 배체 형성단계 수정란을 0.5 ppm 옥시탄트 해수에 약 1분간 소독 후 수용한다.

## 옥시단트 해수

- 해수에 오존을 불어 넣거나 전류를 흘려 산화 물질이 생성된 해수. 강력한 살균 작용이 있어 VNN (viral nervous necrosis) 바이러스에 감염된 친어에서 산출된 난에 부착한 바이러스의 감염력을 잃게 할 수 있다.
- 해수에 오존을 접촉시키면 주로 해수중의  $\text{Br}^-$  (bromine, 臭素)이온이  $\text{BrO}^-$  (hypobromite ion) 이온으로 산화된다.  $\text{BrO}^-$ 는 해수의 pH에 의해  $\text{HBrO}$ 의 형태를 취한다. 예로는 pH 7일때  $\text{BrO}^-$ 와  $\text{HBrO}$ 의 존재 비율은 2 : 98이며, pH 10일때 95 : 5이다. 또 해수의 pH에 가까운 pH에서는 17 : 83이다. 따라서 해수 중에는  $\text{BrO}^-$ 와  $\text{HBrO}$ 의 2개의 형태로 생체에 작용한다고 생각된다. 이와 같이 해수에 오존 등을 접촉시켜서 생성되는 옥시단트를 일반적으로 잔류 옥시단트(total residual oxidants, TROs)나 ozone-produced oxidants(OPO)로 부른다. 오존에 의해서 생성된 옥시단트라는 점을 명확히 하기 위해서 OPO로 부른다.
- 강한 산화력에 의한 바이러스 불활화 효과를 가진다. 최근에 VNN 등의 어병의 수직감염 방지, 또 해수로부터의 어병 침입의 방지책으로서 어란의 오존처리해수에 의한 살균이 유행되어 오존 이용의 연구도 시작되고 있다.
- 흑점줄전갱이(*Pseudocaranx dentex*)의 VNN 원인 바이러스는 옥시단트 농도를 0.1 mg/L 및 0.5 mg/L로 조제한 해수에 각각 2.5 분간, 0.5분간 폭로하는 것으로 불활화되는 것이 실험적으로 확인되어 흑점줄전갱이 종자생산 현장에서는 수정란에 대해서 옥시단트 농도 0.5 mg/L에서 1분간의 소독을 하고 있다.

## 다) 오존 처리(ozone treatment)

- VNN의 수직 감염의 가능성을 최소화하기 위해 해산어류 종의 수정란을 오존으로 처리하고 이는 바리류의 난에도 권장된다.
- 오존( $\text{O}_3$ )은 유기물을 산화시키고 물속의 박테리아와 다른 병원체를 죽이는 데 사용된다. 오존은 어류에 매우 독성이 강하고 인체의 건강에 극도로 위협하다.
- 처리(치료) 탱크는 환기가 잘 되는 장소의 밀폐된 방 외부에 있어야 한다. 직원들은 오존 사용에 대해 교육을 받아야 하며, 오존 시스템을 사용할 때는 장갑과 호흡 마스크를 착용해야 한다. 오존은 빠르게 분해되는데 반감기는 15분이다.
- 난의 처리는 농도 × 노출 시간 (CT) 점수가 약 1.0이 되어야 한다. 즉 1 분간 1 mg/L 또는 동등한 농도 (예, 1.25분 동안 0.8 mg/L)로 오존 처리해야 한다.

## 4) 난의 수용

- 붉바리는 부화자의 취급이 어렵기 때문에 사육수조에 수정란을 직접 수용하고, 부화는 사육수조에서 한다. 사육 수조의 수용은 하루 또는 2일 간 한다.
- 난은 산란일 다음 날에 체란조에서 집란, 분리하여 그 중 부상란을 미세 유수, 미세 통기 한 그물에 수용하고, 도중에 침하란을 여러 차례 제거하고 오후에 사육수조에 수용한다. 그 때, 체란수조와 사육수조의 수온차가 큰 경우에는 수온 조절을 한다. 부화는 난 수용일의 16-22시에 한다.
- 사육 수조에 난의 수용 수는 100만립으로 하고 부화 자어수로 60만마리(kl당 수용 미수 1만마리)을 얻는 것을 목표로 한다.

## 5) 난의 수송

- 난은 초기 발달 단계에서 취급에 민감하며, 발안란 단계에서 안포(optic vesicles)가 발달한 경우에만 처리해야 하며, 이 단계 이전에 알을 처리하면 사망률이 증가하고 기형 발생률이 높아진다.
- 난과 해수 60~70%를 비닐 포대에 수용 후 산소를 주입하고, 수온 상승 방지를 위해 얼음과 함께 스티로폼 박스에 넣어 수송한다.
- 수정란은 비닐 포대(해수 용량 15~18L 기준) 1개당 15~20만 개를 수용하며, 이동 시의 기온이나 거리를 감안하여 수정란 수를 조절한다.
- 항공기로 수송하기 위하여 X-ray를 통과하면 수정란은 부화 후 일정 시간이 지나면 전량 폐사한다.

## 나. 수정란의 부화

### 1) 수정란의 부화 관리

#### 가) 난 발생

- 붉바리의 자연 산출란으로 난 발생 및 부화에 미치는 수온의 영향을 조사한 결과, 28.1℃에서는 수정 후 23시간 만에 부화했다. 부화율은 25℃가 가장 높고 기형율도 낮았지만, 15℃에서는 난 발생이 중지하고 34℃에서는 정상적인 부화 자어를 얻지 못하였다.
- 부화율이 높고, 기형률이 낮은 부화 적수온은 25~30℃(최적 수온 26℃)이며, 적정 염분농도는 24~30‰이다.
- 부화까지의 경과시간은 수온과 보고자에 따라 달라 수온 22℃에서 수정 후 약 42시간에 부화하고, 부화 자어의 전장은 약 1.69 mm이었다. 25.1~27.0℃에서는 수정 후 23~25시간에 부화하고, 부화 자어의 전장은 1.45~1.56 mm로 매우 작았다.

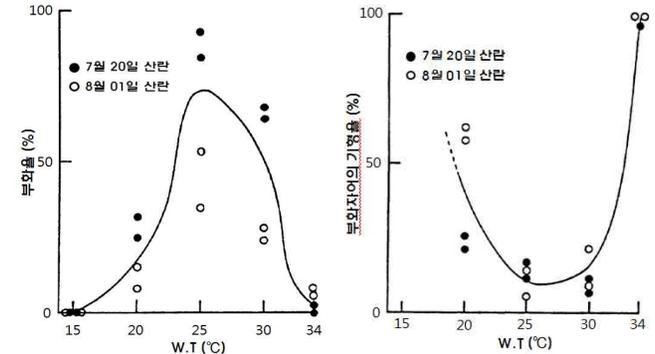


그림 19. 수온과 부화율 (荳野·尾田, 1991)

그림 20. 수온과 부화자어의 기형율 (荳野·尾田, 1991)

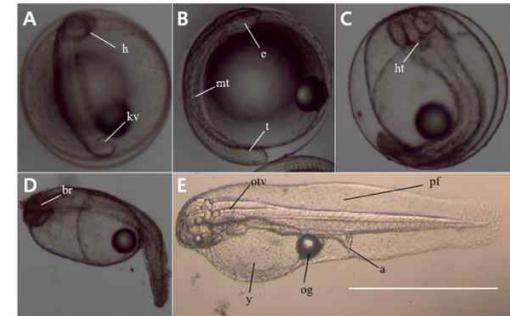


그림 21. 붉바리의 난 발생 (Park et al., 2016)

A : 배아(Embryo)와 쿠퍼씨 소수포(Kupffer's vesicle) 형성, 12시간; B : 발달 중의 막지느러미, 20 시간; C : 심장 박동, 25 시간; D-E : 부화 유생, 27 h. Scale bar = 1.0mm. a-항문; br-뇌; e-눈; H-머리; ht-심장; kv-Kupffer's vesicle; mt-근육분절(myotomes); og-유구(oil globule); otv-귀 소포(otic vesicle); pf-막지느러미(primitive fin); t-꼬리; y- 난황

- 草加 등(2005)은 붉바리의 종자 생산은 19.0~21.0℃에서의 조기 산출란으로 23.0℃ 이하에서의 완전한 배발생과 부화 및 초기발육 후 승온하는 것이 초기생산을 안정시키는 기본이라고 하였다.

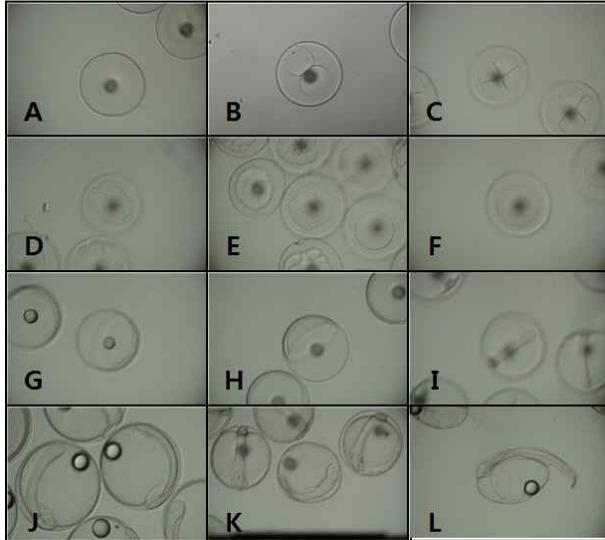


그림 22. 붉바리의 난발생 (이영돈 등, 2017)

- A - 수정란 (난경 : 700~800 $\mu$ m, 유구경 : 100~170 $\mu$ m)
- B - 2세포기 (수정 후 1시간 경과)
- C - 4세포기 (수정 후 1시간 30분 경과)
- D - 8세포기 (수정 후 2시간 경과)
- E - 16세포기 (수정 후 2시간 30분 경과)
- F - 상실기 (수정 후 3시간 경과)
- G - 포배기 (수정 후 8시간 경과)
- H - 낭배기 (수정 후 13시간 경과)
- I - 원구가 함입되면서 배순 형성 (수정 후 16시간 경과)
- J - 안포 형성과 Kuffer's vesicle 출현 (수정 후 18시간 경과)
- K - 안구와 이포형성, 근절 17~20개 (수정 후 22시간 경과)
- L - 부화 시작 (수정 후 31시간 경과)

## 2) 부화 자어의 평가

### 가) 부화 자어의 평가

- 부화된 자어는 부화 1일 후 사육수조에 수용되기 전에, 형태와 행동에 관한 평가 기준에 따라 생존력과 상태를 점검하여야 한다.
- 부화 그룹별 10-20마리의 표본을 채집하여 시계 접시에 두고 입체현미경으로 5-10배의 저배율로 기준에 따라 정상 상태 여부를 관찰한다.

### 나) 부화 자어의 형태

- 부화 자어를 형태 평가 기준에 따라 평가한다.
  - 전반적인 형태와 크기,
  - 자어 지느러미의 완전성(기형이나 결손이 있어서는 안 한다.),
  - 외부 기생충(없어야 한다),
  - 내장 기관의 배치,
  - 정상적인 색소.

### 다) 부화율

- 죽은 알과 살아있는 알 그리고 부화한 유생은 탱크 내에 다르게 분포하기 때문에 부화율을 계산하기 위해 난과 유생을 표본으로 추출하기 전에 손으로 수조를 휘저어 난과 유생을 혼합 한다. 휘젓는 것은 난과 유생을 완전히 섞기에 충분해야 하지만 새로 부화한 유생을 손상시킬 정도로 강하게 해서는 안 된다. 비커 또는 작은 용기와 같은 장비를 사용하는 경우 사용하기 전에 소독했는지 확인하여야 한다.
- 바리류의 난은 부화하기 전에 유생 사육 탱크에 직접 방양하기 때문에, 부화율은 일반적으로 유생 사육을 위한 것이 아닌 별도

의 유생 샘플에서 계산한다. 부화가 완료되면 부화율의 산정을 해야 한다. 부화까지의 시간과 부화 기간은 온도에 따라 달라진다.

○ 부화율 계산

- 부화율을 계산하려면 부화유생의 수와 발달 중인 유생이 있는 부화되지 않은 난의 수를 계산한다. 부화되지 않은 난수 + 부화유생수 = 표본의 총 난 수, 부화율(%)은 부화유생수/표본의 총 난수 × 100이다.
- 예로서 부화 후 난과 유생의 표본 10개를 검사한 결과 988마리의 유생이 부화했고, 122개의 난은 부화되지 않은 발생중의 배아(embryos), 15개의 난이 수정이 되지 않거나 미발달된 것으로 나타났다. (수정률의 산정에는 15개의 미수정란이 고려되었으므로 부화율 산정에는 포함되지 않는다.) 부화 유생수 = 988 및 총 난수 = 1,110 부화율 = 89%

라) 유생사육 탱크 방안

- 일반적으로 바리류의 난은 부화되기 전 발안 단계에서 유생사육 수조로 옮긴다. 왜냐하면 이 단계에서는 새로 부화한 유생보다 더 튼튼하기 때문이다. 새로 부화 한 유생은 물리적 충격이나 수질 변화에 매우 민감하여 유생 사육 탱크로 이동하면 높은 사망률을 초래할 수 있다.
- 부화율은 난이 유생 사육 탱크에 방양되기 전에 알 수 없기 때문에 방양되어야 할 난의 수는 부화장에서의 과거의 부화율을 이용하여 산정할 필요가 있다.
- 만일 부화율이 낮으면 유생 사육 탱크의 유생을 폐기하고 탱크를 청소하고 소독해야한다.

## 4. 자어

### 가. 사육 환경 관리

#### 1) 자어 사육 환경 관리

가) 종자 사육환경

- 사육 수조에는 차광률 90%의 차광막으로 포장을 한 야외 60 m<sup>3</sup> 콘크리트 수조를 이용한다. 통기는 에어 스톤 5개로 하고, 통기량은 부화 후 10일째 전후까지 0.5~1L/분이며, 그 후는 적절히 증가한다. 불바리 자어는 사육초기에는 물리적 교반에 취약하여, 통기나 주수 등은 가능한 한 자극을 주지 않도록 하는 것이 바람직하다.
- 사육 수조 저면의 수질안정을 위하여 질산화 세균을 투입할 수 있다.

나) 사육수 관리

○ 사육수온

- 부화 자어의 사육 적수온은 25~28℃이다.
- 사육수로는 모래 여과 해수를 이용하고, 수온은 25℃ 이상 되도록 유의한다. 난의 수용에서 개구까지의 사육 수온이 25℃ 이하의 경우에는, 그 간의 생존률은 극단적으로 저하하므로 초기의 사육 수온에 신경 쓸 필요가 있다.

○ 염분

- 불바리는 하천수의 영향을 거의 받지 않는 암초 지역에서 산란한다고 할 수 있으므로, 저염분의 사육수는 순치에 적합하지 않다. 그러나 난 및 부화 자어의 염분 적응 범위는 넓어, 이러한 염분 내성이 자연 해역에 있어서 생존 전략의 하나로 보인다.

- 자연산출 부상란을 이용해 수온 23.4℃에서 염분별 부화 시험 결과, 부화 적염분역은 24 psu 이상에서 84.7% 이상의 부화율을 보였으며, 기형율은 24 psu 이상에서 낮고 21 psu 이하에서 급격히 높으며, 9 psu 이하에서는 정상부화하지 않았다.
- 부화 자어의 사육 적정 염분 농도는 29~30 psu이다.
- 용존산소
  - 자어 사육수조의 용존산소 포화도를 최소 80% 최대 100%로 유지한다. 부화자어의 사육 적정 용존산소(DO) 농도는 7.0~8.0 mg/l이다.
  - 자어 수조의 사육수를 밤에 교환한다. 밤에 사육수를 교환하는 것은 이화대사산물을 제거하고, 산소가 가장 필요할 때(명기의 중반부) 산소를 공급하기 위한 것이다.
  - 밤에 사육수를 환수하지 않으면서 과도한 양의 미세조류가 있을 경우, DO 수준의 점검이 바람직하다. 조류는 밤에 순수한 산소 소비자이기 때문이다.
  - 미세 분산기를 통하여 주입된 순수 산소는 위로 움직이는 산소 거품으로 인하여 잠재적으로 해로운 물의 흐름이 될 수 있다. 주수 배관에 순수 산소를 주입하여 수조 도달 전에 물과 산소의 접촉 시간을 연장하는 방법이 산소 기포를 만들어 공급하는 방법보다 더 효과적이며 산소를 절감할 수 있다.
  - 갑자기 발생할 수 있는 무산소 상태의 위험에 대처하기 위한 비상 산소 공급 장치를 설치하는 것이 필요하다.
- 조도
  - 조도는 부화 직후부터 일령 9일까지는 24시간 연속 점등하며, 일령 10일부터는 오전 6시~오후 9시까지 점등하여 사육수조 수 표면의 조도를 500~800 lux가 되도록 한다.

- 환수
  - 적절한 자어 사육 조건의 유지를 위해 사육수는 5 μm으로 여과하여 UV로 살균한다.
  - 사육수는 난의 수용일에 수조 용량의 2/3정도를 목표로 저수하고, 난의 수용 후는 적절히 주수하여 만수로 하고 부화 후 12일째 전후부터 환수를 시작한다. 환수율은 부화 후 20일째 전후에서 하루에 100%, 부화 후 30일째 전후에서 150%, 부화 후 35~40일째 전후에서 200%, 취양 전에 300~350%로 한다.
- 식물플랑크톤
  - 조명 상태에서, 환수가 없거나 또는 감소되는 동안에, 미세조류를 고밀도로 첨가하는 것은 DO 농도를 안정화 하는 데 도움이 한다. 그러나 먹이 공급 후에는 DO 수준을 점검하여야 한다.
  - 부화 직후부터 사육수조 내에 수질안정 및 로티퍼의 먹이를 제공하기 위하여 시판용 농축 *Nannochloropsis*와 *Pavlova*를 각각 30만 cells/ml과 20만 cells/ml 농도로 매일 2회 첨가한다.
- 바닥 청소
  - 부화 후 10일째 전후부터 자동 바닥 청소기로 최소 하루 1회 실시한다.
- 사육 탱크의 색상
  - 인도네시아의 The Research Institute for Mariculture (RIM)에서는 여러 종의 바리류 유생을 사육한 경험에 의해, 유생 사육탱크의 바람직한 색상은 밝은 노란색 또는 옅은 파란색으로 이러한 색상은 바리류 유생이 먹이(로티퍼 및 알테미아)를 보다 쉽게 식별할 수 있게 하고 탱크 관리, 특히 청소를 쉽게 할 수 있게 해준다고 하였다.

### 그린 워터 자어 사육

- 일부 배양장에서는 사육 수조에 자어를 입식하기 전에 “그린 워터(green-water)” 시스템을 만들기 위하여 순수 배양 조류(axenic algae)를 사육 수중에 추가한다.
- 자어 사육수에 미세조류의 첨가는 로티퍼의 영양 품질을 유지하고, 양식 시스템에서 용해된 암모니아의 수준을 줄임으로써 자어의 성장과 생존을 개선한다.
- 미세조류는 수질, 자어의 영양 및 미생물 관리를 안정화시키는 역할을 한다. 미세조류의 첨가는 로티퍼가 높은 영양가를 유지하는 것 외에도, 자어의 집약적 사육 환경에서 세균 발육 저지 능력과 자어의 공격적 행동을 감소시키는 음영 효과가 있다.
- *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis suicica*, *Isochrysis galbana*와 같은 미세조류는 로티퍼의 양식에 사용되는 가장 일반적인 조류이다. *Dunaliella tertiolecta*, *Pavlova lutheri*, *Chlorella* sp. 및 *Stichococcus* sp.를 포함한 다른 미세 조류들도 로티퍼 배양용 먹이로 사용되어 왔다.
- 로티퍼를 자어에 먹일 때, 매일 미세조류를 수조에 첨가하여 50만~80만 cell/L를 유지한다.
- 미세조류를 수조에 첨가 시 사육수가 흐려져 바닥을 관찰할 수 없어지므로, 첨가 전에 반드시 수조 청소를 완전히 하여야 한다.

## 나. 사육 관리

### 1) 자어의 발육 특성

- **부화~3일**: 부화자어는 부화 직후 수조 내에 넓게 분포하다가 부화 후 3일째부터 수면위로 부상을 시작하고, 자어의 복부에 흑색

소포가 선명하게 나타나 개체식별이 가능하게 되며, 성장이 빠른 개체에서는 개구가 시작된다. 부화 후 3일째에 섭식행동이 처음 관찰되고, 이 후 소화관 위쪽으로 흑색소포가 짙게 침적된다.

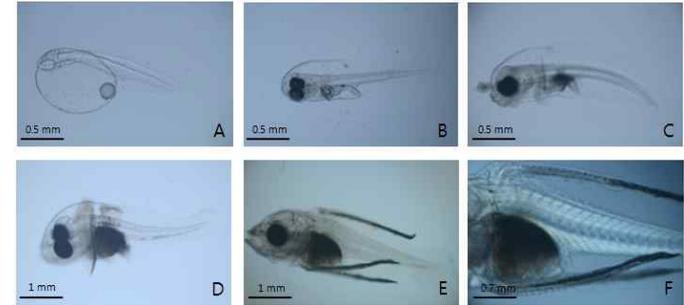


그림 23. 자치어의 형태발달 (이영돈 등, 2017)

- A - 부화 후 0~1일: 몸의 대부분을 난황이 차지하고 있으며, 유구는 항문과 인접 난황 끝부분에 위치
- B - 부화 후 3~6일: 난황과 유구가 완전히 흡수됨. 안구의 형태 관찰 가능. 항문과 입이 개구됨. 복측 소화관에 흑색소포의 출현 시작
- C, D - 부화 후 6~9일: 등지느러미 제 2극과 가슴지느러미 극이 돌출되어 출현하기 시작. 소화관의 흑색 소포가 소화관 전반부까지 확산
- E - 부화 후 9~22일: 등지느러미와 가슴지느러미 극조가 꼬리지느러미 부근까지 확대
- F - 부화 후 22~30일: 꼬리지느러미는 성체의 형태를 갖추. 꼬리지느러미와 두부에 흑색소포가 침적됨

- **부화후 5~33일**: 부화 5일후부터 자어는 수표면 바로 아래에 군집을 형성하면서 넓게 분포하기 시작한다. 이 시기 자어의 전장은 2.45 mm이다. 붉바리의 등지느러미 제 2극은 부화 후 7일째부터 형성되기 시작하며 성장할수록 가슴과 등지느러미의 제 2극은

길게 신장한다. 부화 후 30일째 전장 16.2mm로 성장하며, 부화 후 33일부터 등지느러 제2극 분화가 완료된 개체가 나타난다.

- **부화후 40~50일:** 부화 후 40일부터 급격한 성장을 하며, 붉바리 성어의 체표 무늬와 동일한 체색을 나타내는 변태 완료 개체가 나타나기 시작하여 소형개체를 잡아먹는 공식현상이 일어나며 50일에는 전장 35.9 mm로 거의 모든 개체에서 변태가 완료된다.



그림 24. 부화에서 종자까지의 형태 변화 (山口県 水産振興課, 2012)

- 부화 직후 전기자어(prelarvae)는 전장 평균 2.10±0.11 mm로 입과 항문은 열리지 않았고 몸 전체는 막지느러미로 덮여 있으며, 부화 15일 후 후기자어(postlarvae)는 전장 평균 3.98±0.13 mm로

2개의 지느러미 기조를 가진 배지느러미와 꼬리지느러미에 8개의 지느러미 기조가, 부화 후 55일에 형성된 치어는 전장 평균 33.6±2.33 mm로, 붉은 색이 몸 전체에 침착되고 얼룩무늬에 검은 색소포체가 퇴적했다. 지느러미 기조수, 체색 및 형태는 성어와 동일하다(그림 25, 26).

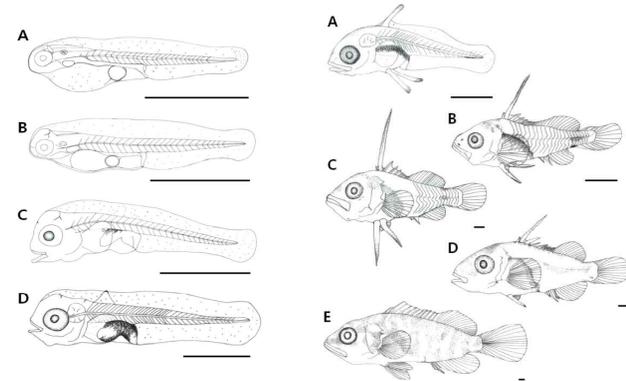


그림 25. 붉바리의 유생 발달

A : 새로 부화한 pre-larvae, 구경 2.10 mm이고 항문은 아직 열리지 않았다. B : 부화 후 2일째 2.26 mm의 Pre-larvae, 두 번째 등지느러미에 1개의 지느러미 항문이 열렸다. C : 부화 4일째 2.49 mm의 Pre-larvae, 입이 열려 있고 등근 가슴지느러미가 형성되었다. D : 부화 9일째의 Post-larvae, 크기는 3.44 mm이고, 등지느러미에 1개의 지느러미 기조가 형성 되었다. (Park et al., 2016)

그림 26. 붉바리의 유생과 치어의 발달

A : 부화 후 15일째 3.98 mm의 Post-larvae, 배지느러미에 2개의 지느러미 기조가 형성. B : 부화 후 25일째 Post-larvae, 크기 5.22 mm, 두 번째 등지느러미에 1개의 지느러미 기조가 생겨 있다. C : 부화 후 34일째의 Post-larvae, 크기는 14.9 mm이며, 막 모양의 지느러미의 각 부분이 나뉘져 있다. D : 부화 후 46일째의 Post-larvae, 20.9 mm로 제2 등지느러미의 지느러미 기조가 연장되고 제1 배지느러미의 길이가 감소. E : 부화 후 55일째 Post-larvae, 크기가 33.6 mm고 지느러미의 기조, 체색과 형태는 성어와 유사하다. (Park et al., 2016)

## 2) 초기먹이 공급

### 가) 먹이의 공급 시기

- 일반적인 바리과 어류는 난의 크기가 다른 해산 어류에 비해 매우 작을 뿐만 아니라 부화 후 입의 크기도 매우 작기 때문에 *Brachionus plicatilis* (140~320  $\mu\text{m}$ , L-type)와 *B. rotundiformis* (100~240  $\mu\text{m}$ , S-type 및 SS-type)를 정상적으로 섭취하는데 있어 많은 어려움이 있으며 이로 인해 인공 증자생산과정에서 자어에게 공급할 먹이 생물 확보에 어려움을 겪고 있다.
- 붉바리는 부화 후 2일째에 개구하여 섭이를 개시하므로 부화 후 2일부터 35일까지 갖 부화한 SS type rotifer, *Branchionus rotundiformis*를 20개체/mL 밀도로 공급한다. 사육수조내 rotifer의 영양강화를 위해 시판용 *Nannochloropsis oculata* (농도  $3 \times 10^5$  cell/mL)와 시판용 *Isochrysis galbano* (농도  $2 \times 10^5$  cell/mL) 그리고 super V12클로렐라(로티퍼 배양용, 비타민 B12를 다량 함유)를 각각 5 ppm씩 매일 2회 공급한다.
- 동시에 자어가 먹이를 인식하기 쉽게 천장 창문으로 채광 이외에 인공조명을 병용하면서 수면 조도가 1만 lux 이상으로 된 밝은 환경을 조성한다. 또한 자어가 섭이하게 쉽게 통기 등을 조정하여 수류를 약하게 하고, 부화 후 4일째부터 8일째의 야간은 자어가 특히 침강하기 쉬우므로 수류를 강화하여 침강 방지를 도모한다.
- 태국산 ss-rotifer의 급이는 부화 자어의 개구일의 오전 중에 5개체/mL가 되도록 한번만 하고 있다. 이 로티퍼는 증식률이 높고, 자어의 섭이량도 적기 때문에 수조내에서 증식하는 경우가 많다. 따라서 S형 로티퍼의 급이는 태국산 로티퍼의 밀도가 환수에 의해 감소하기 시작하는 부화 후 10일 전후에 5~10개체/mL를 유지하도록 한다.

- 萱野(1995)는 개구에서 부화 후 10일경까지 태국산의 소형 로티퍼를 사육수 중의 먹이생물 밀도가 10개체/mL 이상이 되도록 급이하고, 자치어의 성장에 따라 S형 로티퍼, 알테미아 유생, 배합 사료를 급이하는데 각종 먹이생물의 급이 기간 또는 급이량에 대해서는 아직 표준화되어 있지 않다고 하였다. 그러나 먹이생물만으로 사육된 치어는 활력이 낮아 거두어들일 때 쇼크사하는 경우가 있는데 어떠한 영양 결핍증에 의한 것으로 추정하였다.
- 즉, 정상어와 쇠약어에서는 지방산에서 차지하는 DHA 함량에 차이가 나며, 또한 거두어들일 때에 쇼크사한 치어에서는 정상어에 비해 중성 지질 함량, 특히 중성지방(트리글리세리드, TG) 함량이 적고, 지방산 중에 차지하는 EPA, DHA 함량이 적은 경향이 있어 붉바리 차지어는 고도 불포화 지방산에 대한 영양 요구가 매우 높은 어종의 하나라고 보고하였다.
- 사육수조 내 로티퍼의 영양강화로 불포화 지방산이 풍부한 영양강화제와 환경미생물을 사용함으로써 초기 감모와 이형 현상을 저감시킬 수 있다. 붉바리는 부화 시 상대적으로 입의 크기가 작아 섭이할 수 있는 로티퍼의 크기가 제한되는데, 이 때 충분한 먹이를 먹을 수 있도록 환경을 조성해주어야 한다. 로티퍼 공급은 부화 후 50일령까지 알테미아와 배합사료 먹이 투입시기를 병행하면서 지속시킨다.

### 나) 기아시 장의 생리 특성

- 기아시 붉바리 장의 생리특성을 알아보기 위해, 부화후 3일부터 5일 동안 자어의 성장 및 간세포핵 크기 변화 등을 조사한 결과, 자어의 전장 변화는 부화후 4일째까지는 먹이 공급구 및 기아구에 있어서 큰 차이가 없었으나, 부화후 5일째에는 먹이공급구의 경우 전장이 급격히 증가되었고, 자어의 생존율은 부화후 3~5일

동안 비교적 안정되었으나, 기아구의 경우는 부화 후 4일째부터 생존율이 급격히 감소되기 시작해 부화후 5일째에는 대부분의 자어가 사망하였다.

- 붕바리 자어의 간세포핵의 형태적인 변화는 먹이공급구의 경우 부화후 3~5일 동안 형태적으로 서로 큰 차이점이 발견되지 않았다. 그러나 기아구의 경우는 부화후 4일째부터 간세포핵의 크기가 축소되고 핵의 분포 밀도가 높았으며 형태가 불규칙하게 나타났다. 부화후 5일째에는 이러한 현상이 더욱 심화되었다.
- 따라서 이러한 결과를 종합적으로 고려해 볼 때 붕바리 자어의 생존을 위해서는 최소한 부화후 4일 이전에 먹이섭취가 가능하도록 해야 한다.

### 3) 자어 먹이 공급

- 사육 조건하에서 붕바리의 섭이 일주기와 소화관내 먹이생물의 배설율과의 관계에서 로티퍼, 알테미아 유생의 일간 섭이량을 추정했다. 자어의 성장은 6일령까지 완만했지만, 그 후 일령의 증가와 함께 일간 성장량은 증가했다(표 5).

표 6. 붕바리 자치어의 일간 섭이율(萱野, 2009)

일령(일)	먹이생물 종류	평균전장 (mm)	평균체중 (mg)	일간 섭이수(개)	일간 섭이량 (mg)	일간 섭이율(%)
6	로티퍼	2.76	0.36	102	0.102	28.3
11	로티퍼	4.62	1.57	472	0.708	45.1
16	로티퍼	8.15	7.89	3,631	5.446	69.0
24	로티퍼	11.27	21.34	10,424	15.64	73.3
31	알테미아	15.35	59.50	4,554	91.08	153.1

- 자치어의 소화관내 먹이생물 수의 변화에는 일주성을 볼 수 있어 이른 아침과 저녁이 많고, 12시간마다의 명암 조건하에서는 약간은 전혀 섭이를 하지 않았다. 또한 소화관내 먹이생물 수는 일령의 증가와 함께 증가했다. 붕바리 자치어기의 일간 섭이량을 Elliott and Persson의 방법으로 추정해, 어체 습중량에 대한 일간 섭이율을 산출한 결과, 28.3~153.1%가 되었다.

### ○ 알테미아(Artemia)

- 알테미아 유생은 부화 후 20일부터 초기 5일간(부화 25일) 영양강화 없이 갖 부화한 난황흡수 전 알테미아를 0.5개체/mL로 공급하며, 부화 후 28일부터 영양강화된 알테미아를 2회 공급하고, 부화 50일 이후부터 알테미아 급이를 중단하고 배합사료만 급이한다.

- 알테미아는 박테리아, 바이러스 및 기타 미생물 때로는 살충제와 중금속을 함유하고 있기 때문에 배양장과 자어 사료 제조업체는 미립자 사료(micro-diets)의 조기 먹이 길들이기로 알테미아에 대한 의존성을 줄일려고 하고 있다.

- 오성립 등(2009)은 알테미아 유생을 부화 후 14일부터 45일까지 유헤오일을 사용하여 영양강화시킨 개체를 사육수조에 0.5~2개체/ml 되도록 공급하였으며, 아울러 부화 후 20일부터 250 μm 이하의 어류용 초기 인공사료를 로티퍼 및 알테미아 유생과 함께 공급하였고, 이후 자어의 성장에 따라 인공사료의 크기를 증가시켰다.

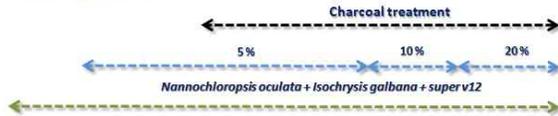
### ○ 배합 사료

- 붕바리의 종자 생산에서 배합 사료의 공급은 전장 5~8 mm의 시기부터 실시하고, 전장 15 mm에서의 감모 방지에는 없어서는

안 되는 급이가 되고 있다.

- 부화 17일 이후부터 100 μm 초미립자 사료를 초기에는 1회 급이를 시작으로 점차 횟수를 늘려 일일 12회 급이한다.

#### Water management



#### Feeding scheme

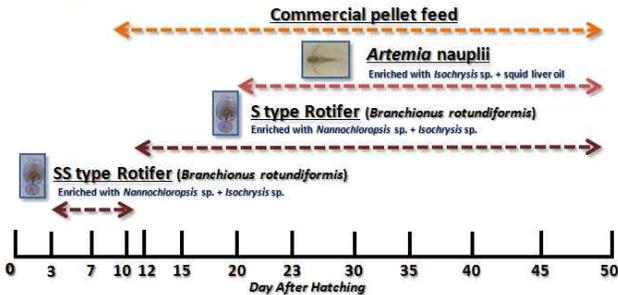


그림 27. 붉바리 자치어의 사육 환경 및 먹이생물 (백혜자 등, 2017)

#### 4) 부화 자어의 성장

- 사육 기간 중의 수온 25.1~27.1℃에서 부화 후 25일에서 전장 10 mm, 전장 10 mm 이후로는 하루에 1 mm씩 성장하여 부화 후 40~41일에서 25 mm 전후이며, 부화 후 45일째에는 전장 30 mm에 달한다.
- 萱野(1995)는 자치어는 부화 후 10일에 전장 3~4 mm, 20일에 7~10 mm, 30일에 12~15 mm, 그리고 40일에 20~30 mm로 성장하며, 종자 생산 과정에서의 생존율은 아주 낮아 대부분의 사레가

0~10%였다. 주요 감모요인은 부화 후 5~10일까지 발생하는 난질 또는 사육 환경의 미비에 의한 초기 감모, 부화 후 20~30일경에 발생하는 자어 후기에서 치어기에 걸친 감모, 게다가 전장 20 mm 이상에서 생기는 공식이라고 하였다.

- 그리고 萱野(2009)은 사육수온 24~29℃에서 자치어기(전장 2~28 mm)의 전장과 체중의 관계식을 그림 28에 나타내었다.

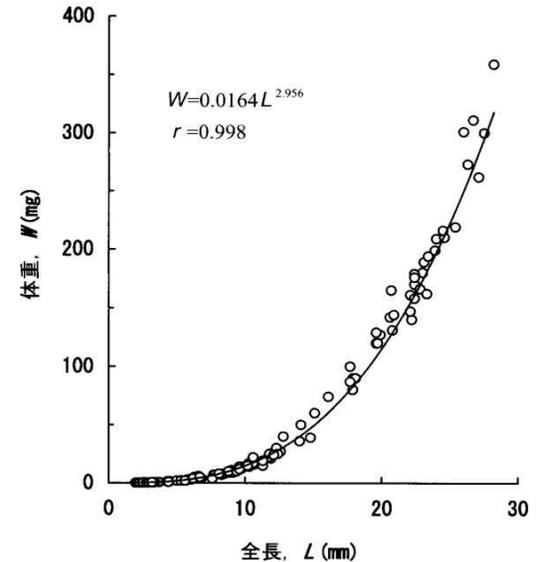


그림 28. 붉바리 자치어의 전장과 체중 관계(萱野, 2009)

- 이창규·허성범(1998)은 6톤 수조에서 부화자치어의 수용밀도를 40,000마리로 하여 53일간 사육한 결과 부화 후 10일까지의 자

어 생존율은 6.3%, 총 사육기간 중의 자치어 생존률은 0.2%로 부화후 53일째 치어의 평균 전장은 29.5mm라 하였다.

- 이영돈 등(2017)은 부화일 경과에 따른 부화자어의 성장을 Gompertz curve을 이용하여 그림과 같이 추정하였다.

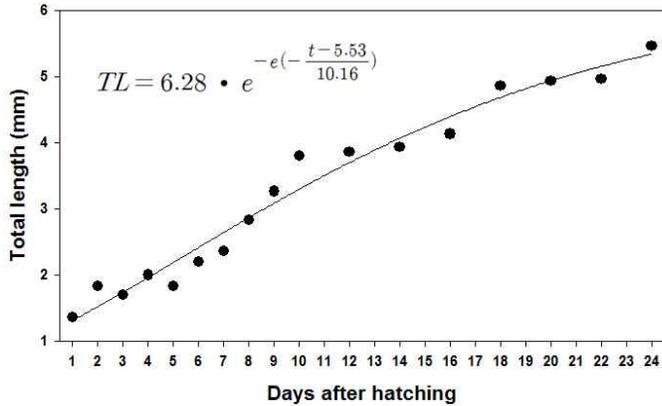


그림 29, 부화일 경과에 따른 부화자어의 성장 (이영돈 등, 2017)  
TL: 전장(mm), t: 경과 부화일



그림 30. 붉바리 자치어 사육수조 및 샘플링 모습 (이영돈 등, 2017)

### 5) 초기의 생잔

부화 자어에서 생존율은 25-50%로 감모 상황도 각 사육 예에서 다소 차이가 있다(표 7). 여기에서는 사육 기간을 초기, 중기, 후기로 나누어 각 기의 감소 요인에 대해 기술한다.

표 7. 붉바리 사육시험 결과 (野上福永, 1990)

사육 예	난 수용일	취양일	사육 일수 (일)	수용 난수 (만립)	부화 자어수 (만마리)	부화율 (%) <sup>*1</sup>	취양 마리수	생존율 (%) <sup>*2</sup>	당 생산량 (마리)	평균전장 (mm)
1	7. 18	9. 5	50	34	16	47.2	79,600	49.7	1,326	32.70
2	7. 19, 20	9. 4	48	88	40	45.5	122,600	30.6	2,043	28.44
3	7. 21	9. 5	47	33	22	66.7	100,300	45.6	1,672	30.14
4	7. 22, 23	9. 4	45	100	40	40	100,400	25.1	1,673	25.52
합계				255	118		402,900			
평균						46.3	100,700	34.1	1,678	29.45

※ 1 다음날 아침에 수조내에서 측정된 부화율 ※ 2 부화자어와 취양 마리수와 의 생존율

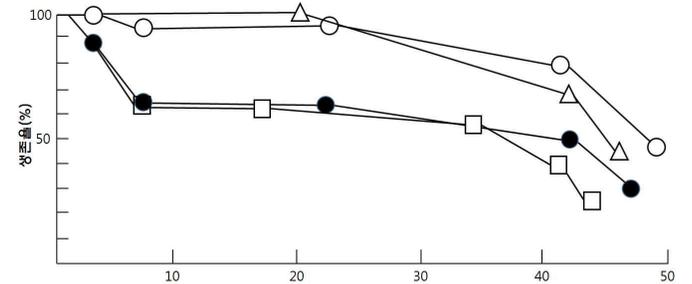


그림 31. 1989년 사육시험에서의 각 사육 예의 생잔(野上福永, 1990)  
(○ 사육 예 1, ● 사육 예 2, △ 사육 예 3, □ 사육 예 4)

가) 사육초기(난 수용~개구후 10일째 전후)

- **부화직후의 감모:** 부화 직후에 부화 자어가 폐사하는 데 따른 감모이다. 이와 관련하여 사육에 이용한 부화 자어의 SAI (Survival Activity Index, 무급이 생존지수)값을 구한 결과, SAI치와 부화율(겉보기의 부화율)에는 정의 상관관계( $r=0.721$ )를 보였다(그림 32). 이것은 부화 직후의 감모가 난질과 관련되어 있을 가능성이 높다는 것을 시사하고 있다.

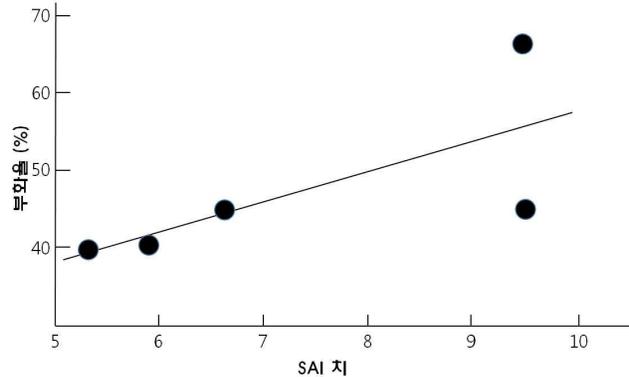


그림 32. 1989년에 측정된 수용란에서 득한 부화유생의 SAI치와 외관상의 부화율(野上·福永, 1990)  
주: 사육 예 2, 3, 4만 측정

- **개구 전후의 감모:** 저수온, 교반 등의 외부 자극 요인에 의한 것으로 생각되는 감모이다. 이에 대해서는 사육 수조에의 해수나 *Nannochloropsis*의 주수 방법의 개선, 통기량의 저하 등 물리적 자극의 경감을 의해, 또 사육 수온에 대해서도 25℃ 이상이 바람

직한 것 등이 밝혀졌다.

- **개구후의 부상폐사에 의한 감모:** 개구 전후 전기 자어의 체표에서 분비되는 점액은 유생이 위에서 나오는 빛에 의해 수표면으로 부상할 때 접촉제 역할을 하여 유생이 수면에 달라붙어 폐사를 초래한다.
- **수질 악화에 의한 감모:** 참굴 유생을 초기 먹이생물에 이용한 경우에 급이 방법에 따라 DO의 저하를 초래했고, 이로 인해 대량 감모가 종종 일어나고 있었다. 그러나 소형의 로티퍼인 태국산 로티퍼를 참굴 유생의 대체 초기 먹이생물로서 이용해 양호한 사육 결과도 얻을 수 있게 되어, 초기 생물 먹이생물의 문제가 크게 개선되었다.

나) 사육 중기(~전장 20mm 전후까지)

- 이 시기의 감모는 영양질환으로 생각된다. 소위 '쇼크사'라고 불리는 폐사에 의한 감모가 크다. 그러나 점차 급이 횟수를 증가시키고, 항상 사육 수중에 먹이생물이 있는 상태를 만드는 등의 개량으로 감소시킬 수 있다.
- 앞으로 더욱 배합 사료의 내용의 개량과 투여 방법의 개선 등을 하여 쇼크사의 경감을 도모하는 동시에, 쇼크사를 일으키는 요인을 규명해야 한다.

다) 사육 후기(전장 20mm~전장30mm 전후까지)

(1) 공식(carnibalism)

- 유생 사육의 후기 단계 동안의 감모는 공식에 의한 것이 많다. 공식의 방지에는 조기 취양에 의한 선별이 효과적으로 가능한 자주 선별할 필요가 있다. 그러나 선별방법, 노력 등의 점에서 간단하지는 않다.

- 공식은 여러 가지 요인에 의해 발생하지만 성장의 차이, 사육밀도에 의한 영향이 클 것으로 생각되어 사육밀도의 검토, 성장자를 없애는 사육기술 개발이 필요하다.
- 일반적으로 공식을 줄이기 위해 다음과 같이 한다.
  - 매일 아침 동이 트자마자 유생에 먹이를 준다. 미립자(펠렛) 사료를 사용하는 경우, 매일 첫 번째 급이는 동이 틀 무렵 즉시 한다. 먹이생물을 사용하는 경우, 동이 틀 무렵에 먹이생물의 밀도가 높거나 매일 새벽 직전에 먹이를 먹도록 한다.
  - 미립자 사료를 빈번히, 즉 1-2 시간마다 공급한다.
  - 후기 단계의 유생에 약 600 렉스의 광도를 유지한다.
  - 완전히 비늘을 가지고 튼튼한 변태(보통 전장 2.0-2.5 cm)에 이르기까지 선별하지 않는다.

(2) 쇼크 증후군(Shock syndrome)

- 바리류 유생 사육에서 나타나는 또 다른 문제점은 '쇼크 증후군'이다. 이것은 일반적으로 약 20 DAH에서 발생하며 약 25 DAH에서 유행률이 증가한다.
- 유생에 먹이는 먹이생물의 영양성분을 개선하면 특히 DHA가 많이 함유된 영양 보충제를 사용하면 유생 집단의 '쇼크 증후군'의 발생률과 심각성을 줄일 수 있다.

6) 초기 감모와 대응

- 바리류의 부화 자어는 형태적, 생태적 특수성 때문에 초기 감모가 심하다. 일본에서는 10일령까지 생존율 40%이상을 초기 사육의 성공 기준으로, 그 후 수질 및 조도의 급변을 피하고, 위집 방지에 유의하면서 최종 생산 밀도 1,000마리 이상/kl 및 생존율 10% 이상을 달성하는 것을 종자 생산의 목표로 삼고 있다.

- 불바리의 종자 생산에서 가장 큰 문제가 되는 초기의 주요 감모 요인은 세 가지로 불바리의 종자 생산은 부화 후 10일 동안 부화자어의 수표면 부상에 따른 표면장력에 의한 사망, 최초 먹이의 섭이 불량으로 인한 사망 및 자어의 침강으로 인한 사망이 발생하여 대량 감모하기 때문에 이 기간의 사육이 가장 중요하다(그림 33).

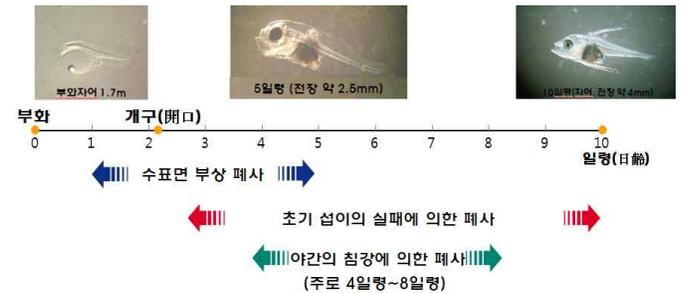


그림 33. 부화자어의 10일령까지의 주요 감모요인(南部, 2012. 수정)

가) 부상 폐사의 방지(Surface aggregation mortality)

- 고수온기에 태어나는 불바리의 자어는 섭이 가능해진 후 회생 불능 시점(PNR)까지의 시간이 6시간으로 상당히 짧아 자어가 섭이 가능해지는 시각이 밤이 된 경우에도 섭이를 할 수 있는 밝은 환경을 제공할 필요가 있다.
- 그러나 야간에 조명을 하면, 자어의 습성으로 인하여 조명 기구의 바로 아래의 수면에 위집(蟻集)하는 일이 많다.
- 개구 전후 전기 자어의 체표에서 분비되는 점액은 유생이 위에서 나오는 빛에 의해 수표면으로 부상할 때 접착제 역할을 하여 유

생이 수면에 달라붙어 폐사를 초래한다. 또한 유생의 집단이 서로의 가시에 얽히는 결과를 초래한다. 두 가지 문제 모두 초기 단계의 유생 사이에 심각한 사망률을 초래한다.

(1) 유막(oil film)

- 표면 장력 폐사(surface tension death)를 방지하기 위해 부화 후 1~5일에서 오일을 매일 2회(약 0.2 mL/m<sup>2</sup>) 탱크에 첨가하여 박막을 형성할 수 있다.
- 2000Lux와 암흑 조건에서 유막의 존재에 따른 붉바리의 전기 자어기 유생의 부상폐사의 조사 결과, 조도와 관계없이 유막이 있는 경우 부상폐사가 없었으나, 유막이 없고 조도가 있는 경우 부상 폐사가 암흑 조건보다 많았다. 수 표면의 유막이 붉바리 전기 자어기 유생의 표층 대량폐사를 방지했음을 보여 주었다.

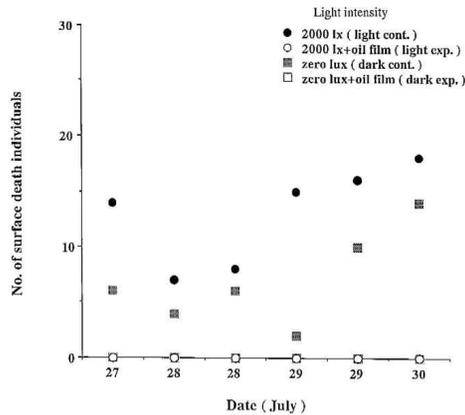


그림 34. 유막(oil film)과 조도에 따른 표층 폐사 (Yamaoka et al., 2000)

- 부화 후 2~7일의 자어에 대해서 조도에 따른 수면에 유막이 있는 경우와 없는 경우의 평균 부상폐사 개체수를 조사한 결과 (Setiadi 등, 2002), 유막이 없는 경우에 부상 폐사 개체는 부화 후 2일째부터 출현하여 10,000lx와 1,000 및 500lx 사이에 빛이 강한 만큼 부상 폐사 개체수는 유의하게 증가하였다. 유막이 있는 경우에는 부화 후 2~7일의 사이에 모든 실험구에서 부상 폐사는 일어나지 않았다.

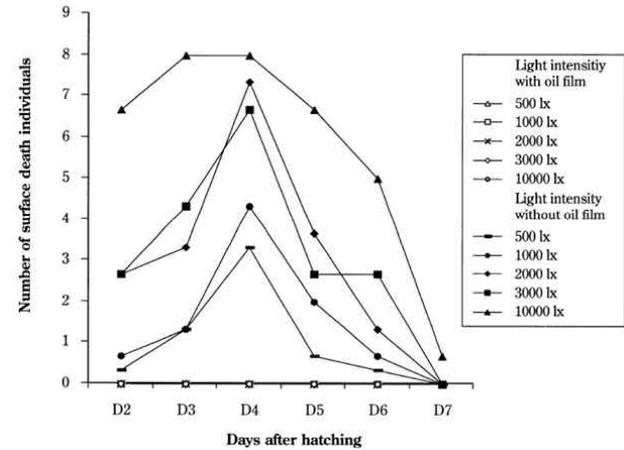


그림 35. 유막의 유무에 따른 조도별 평균 부상폐사 개체수 (Setiadi et al., 2002)

- 유막은 표면 장력을 수 표면에서 빼앗는데, 이는 바리류의 전기 자어기에서 표층 대량폐사의 발생을 방지하는 열쇠이다. 유막의 사용은 부레(swim bladder) 팽창을 하기 전에 중단해야 한다.

(2) 난백 첨가

- 바리류의 부상 폐사를 방지하기 위해 피드 오일(feed oil)을 사용하여 수면에 유막을 형성하는 방법이 실제로 사용되었으나 취급의 어려움 등 단점도 있다.
- 계란흰자(鷄卵卵白)의 첨가에 의한 수면에서의 막 형성은 Kaji et al. (2003)이 2L~30L의 수조를 이용한 실험에서 줄삼치 등의 부상 폐사의 방지에 효과적인 것으로 보고되어, 그 후 비슷한 실험에서 자바리, 능성어에서도 부상 폐사의 방지 효과가 입증되었다.
- 계란은 입수가 용이하고, 1개당 난백(달걀 흰자위)가 약 30g 정도 되는 점을 감안하면 매우 저렴하고, 수면에 형성되는 난백막(卵白膜)은 안정성도 높아 수조의 오염을 일으키지 않는다.

(3) 수류

- 수류의 존재가 붐바리의 부화가 완료된 후 전기 자어기의 폐사율을 줄여 주는데, 이것은 수면의 표면장력(surface tension)이 표층 폐사의 발생에 있어서 주요 환경 요인임을 시사한다.

(4) 명암 조건과 사육수의 색채

- 명암 조건
  - 붐바리의 부화에서 섭이 개시까지의 기간(부화 후 0~4일째)의 명암조건에 따른 생존율은 부화후 3일째 전후의 섭이 개시기에 암조건으로 했을 때에 현저하게 낮았다.
  - 회생 불능 시점(PNR)이 개구에서 23-29시간으로 짧은 붐바리 자어의 초기 섭이 기회의 증가를 위하여 기능적 개구가 야간에 이루어지는 경우에는 점등을 하여 초기 섭이의 촉진을 도모하는 것이 유효하다.

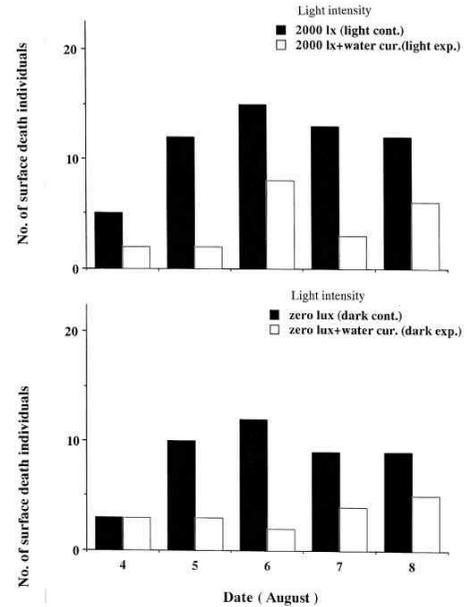


그림 36. 표층 폐사에 미치는 수류의 영향 (Yamaoka et al., 2000).

○ 사육수의 색채

- 사육수가 적색인 경우에, 노란색이나 그린색의 경우보다도 부상 폐사 개체 수가 유의하게 감소했다. 사육수의 색깔과 빛의 강도 사이에는 사망 개체수에 관해서 관련은 없었다.
- 유막을 치지 않고 붐바리의 종자 생산을 하는 경우에는 사육환경을 최대한 어둡게 함과 동시에 사육수가 적색인 경우 생존을 높이는 인자일 가능성이 있다.

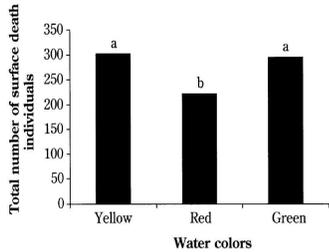


그림 37. 사육수 색체별 총 부상 폐사 개체수의 평균(Setiadi et al., 2002)

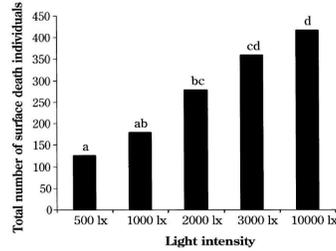


그림 38. 조도별 총 부상 폐사 개체수의 평균 (Setiadi et al., 2002)

#### 나) SS형 로티퍼(윤충)의 급이

##### (1) 붉바리의 구경과 로티퍼의 크기

- 붉바리 부화유생에서 첫 번째로 발생하는 감모는 초기 섭이의 실패로 인한 것으로 초기 감모가 개구 시기와 거의 일치한다. 중자 생산에 있어서 초기 먹이생물의 크기가, 또 개구 후 단시간에 내부 영양이 흡수되기 때문에 외부 영양으로의 전환 시기가 자어의 생존에 큰 영향을 미친다.
- 붉바리의 부화 자어는 돌류나 낚치 등 타 어종에 비해 매우 작고, 개구 직후(2일령)의 자어도 전장 약 2.2mm 밖에 되지 않는다. 또한 바리류 자어의 섭이 개시시의 전장은 능성어 2.6mm, 무늬바리가 2.7mm이지만, 붉바리는 2.39mm(부화 후 3일째)로 가장 작아, 섭이 개시시의 구경이 78-102 μm로 작기 때문에 특히 소형의 초기 먹이생물이 필요하다.
- 통상의 S형 로티퍼는 초기 먹이생물로 크기 때문에 섭이하지 못하고 아사하게 된다. 그러므로 태국산 소형 로티퍼, *Brachionus rotundiformis* (155 μm 이하), 이른바 SS형 로티퍼의 새끼를 급이하는 것이 초기 섭이의 촉진과 감모의 경감에 효과적이다.

- 수중의 로티퍼 밀도는 20개체/ml 전후로 높게 유지한다. 섭이 개시시의 먹이가 너무 크거나 섭이 환경이 부적합한 경우에 개구(2일령) 후의 6~12시간 이내에 섭이에 성공하지 않으면, 섭이를 하지 못한 개체의 대부분은 10일령까지 사망해 버린다.
- 초기 먹이를 먹을 때 (부화 후 3일) 유생 샘플을 현미경으로 검사하여 제공된 로티퍼를 먹고 있는지 확인해야 한다. 유생이 먹이를 먹지 않는다면, 먹이생물의 크기와 밀도를 확인하여 유생에 적절한 크기의 먹이가 충분하도록 한다.
  - 초기 먹이를 먹을 때 (부화 후 3일)의 붉바리 자어의 소화관내에 드러난 로티퍼의 최대 피갑장(被甲長)은 0.15mm로, 4일째도 마찬가지로 0.16mm 이상의 로티퍼를 기피한다. 섭이개시시의 개구율을 50%로 하는 구경은 0.148mm로, 이 시기에 섭이한 로티퍼의 최대 피갑장과 잘 일치한다. 붉바리의 개구 자어의 경우, 구경이 먹이생물의 크기의 상한을 규정한다. 부화 후 3일째의 자어(평균전장 2.39mm)의 구폭은 0.226mm로 섭이된 로티퍼의 최대 크기는 구폭의 약 66%에 해당한다.
  - 한편, 부화 후 5일째 이후(전장 2.48mm 이상)의 붉바리 자어에서는 성장·구경의 확대와 함께 섭이 가능한 로티퍼의 크기가 0.18mm 이상으로 대형화되지만, 피갑장 0.15mm이하의 작은 로티퍼를 섭이하는 경향이 여전히 강하다. 그러므로 붉바리 중자 생산에서는 통상 부화 후 10일경까지 태국산 로티퍼를 고밀도로 급이한다.
  - 그러나 해산 자치어의 중자 생산에 널리 이용되는 S형 로티퍼도 충분히 섭이 가능하므로 급이 작업의 간소화 및 생력화를 위해, 태국산 소형 로티퍼의 급이 기간을 개구 후 2일 간으로 한정할 수도 있다.

(2) 회생 불능 시점(PNR, point of no return)

- 자어의 주 사망 시기인 부화 직후부터 약 일주일간 자어의 난황 흡수 및 먹이와 관련한 생존 특성의 조사 결과, 난황 및 유구의 흡수 시간은 수온이 높을수록 짧아져 수온 23~25℃에서 99% 이상의 난황 및 유구가 흡수된 시점은 부화 후 각각 84, 96시간, 27℃에서는 각각 72, 84시간, 29~31℃에서는 공히 부화 후 60시간으로 나타났다.
- 자어의 소화관에서 처음 rotifer가 발견된 때는 99% 이상의 난황을 흡수한 시점이다.
- 자어의 개구는 부화후 56시간에, 또 섭이 개시는 부화 후 71시간에 관찰되었다. 섭이 개시시 자어의 난황은 부화시에 비해 체적으로 1.3%, 유구는 3.8%로 약간이나마 잔존하고 있었다.
- 섭이에 성공하지 않으면 돌이킬 수 없는 죽음에 이르는 시기, 이른바 PNR(회생 불능 시점)를 특정할 수 없지만, 붉바리의 서식 수온이 비교적 높고, 난황 및 유구가 적어 흡수가 빠르며, 더욱이 무급이어의 생존율이 개구 후 2일째 이내에 급감하기 때문에 개구 후 매우 빠른 시기에 PNR이 존재하는 것으로 추정된다.
- 첫 먹이 공급시기 지연에 따른 자어의 생존률은 부화후 84시간 이전까지는 첫 먹이공급 시기를 빨리할수록 생존율이 높았으나, 부화후 96시간에 첫 먹이를 공급한 경우는 부화후 120시간째까지 모든 자어가 사망하였다.
- 개구시에 로티퍼를 20개체/mL의 기준으로 주고, 섭이 상황을 조사한 결과, 3일령의 17시(섭이개시 0시간; 0HAOF)에 자어의 섭이율이 50%이상에 도달했기 때문에, 섭이 개시시간으로 정의하였다. 섭이개시의 시간에 로티퍼를 준 시험구를 대조구로, 섭이 개시 시간 6시간 후, 12시간 후, 18시간 후에 로티퍼를 주어 붉바리 자어의 회복 가능한 절식 내성 시간을 조사한 결과, 시험 중

료시의 평균 전장은 섭이 개시 시간에 로티퍼를 주었을 때 유의하게 컸다. 또한 평균 생존율도 20.3%로 6시간 후의 6.3%, 12시간 후의 7.9%, 18 시간 후의 2.6% 보다 높아 첫 회 섭이 시간의 지연에 따라 성장 정체와 생존율의 저하가 뚜렷하였다.

- 그러므로 붉바리 자어에서는 섭이개시에서 6시간 사이가 회복 가능한 절식 내성 시간이다.
- 즉, 바리류의 초기 사육이 어려운 것은 자어의 먹이생물 결핍에 따른 회복 가능한 기아 내성 시간이 지극히 짧은 것에 의한 것으로, 종자 생산에서 부적절한 사육 조건에 의해 자어가 첫회 섭이에 실패하면, 성장과 생존에 크게 반영되어 초기 감모가 생긴다. 그러므로 이 시기에 얼마나 효율적으로 섭이할 수 있는 사육 환경을 제공하느냐가 붉바리 사육의 가장 중요한 포인트이다.

(3) 소형화된 S형 로티퍼의 사용

- SS형 로티퍼와 고밀도 연속 배양으로 소형화된 S형 로티퍼의 먹이생물 효과의 검토 결과, 성장과 생존이 차이가 없어 소형화된 S형 로티퍼로도 SS형 로티퍼의 대용이 가능하였다(그림 39, 40)

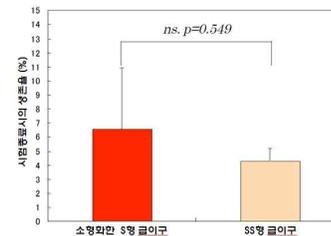


그림 39. 로티퍼의 종류가 붉바리 자어의 초기생존에 미치는 영향 (御堂岡, 2008)

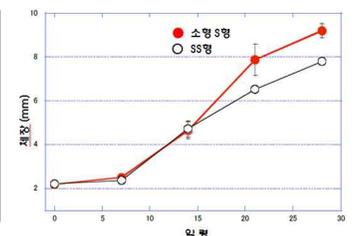


그림 40. 로티퍼의 종류가 붉바리 자어의 성장에 미치는 영향 (御堂岡, 2008)

(4) 기타(로티퍼의 급이 환경)

- **수류 환경:** 자어에 확실하게 공급한 로티퍼를 먹이기 위해서는 안정된 자세를 취할 수 있는 수류 환경이 필요하다. 개구 직후의 자어는 유영력이 약하기 때문에 펌프나 통기의 강약을 조정하여 수류를 완만하게 조정함으로써, 안정된 섭이행동이 가능하게 하여 자어가 섭이 행동을 하는지 관찰한다.
- **조도:** 개구 직후 자어의 먹이생물에 대한 가시적 시인성(視認性)을 높이기 위해서 수면 조도 1만 LUX 이상의 밝은 환경을 확보한다. 그러한 환경을 정비한 다음, 자어의 소화관 내를 조사해, 로티퍼가 확실히 섭이되고 있는지 확인한다.
- 많은 시험 결과에서 10일령으로의 생존율 40%이상을 달성하기 위해서는, 개구 직후의 자어 1마리당의 로티퍼 섭이 개수는 5개 이상이 필요하고, 한편, 수조 내의 자어의 80% 이상이 섭이해야 하는 것으로 나타났다.

다) 침강 폐사의 방지

- 개구 후, 섭이를 시작한 붉바리의 자어는 체중의 증가에 따라 물에 대한 비중이 무거워져 야간에 잠든 자어가 수조 바닥에 침강하면 악화된 저질 환경으로 사망하는 경우가 많다. 붉바리의 경우 4일령에서 8일령의 야간에 걸쳐서 극심한 침강이 확인되는데 자어를 가라앉히지 않는 것이 중요하다.
- 4일령에서는 약간 저층에의 분포비율(침강비율)이 높지만 4-8일령의 야간의 침강 비율은 대체로 20% 이내로 하는 것이 “침강 대책 성공”의 기준이 된다.
- 즉, 개구 직후에는 먹이생물 크기나 조도 환경, 수류 환경에 유의해 섭이를 성공시키고, 4일령 이후는 소형수조에서 통기는 하

지 않고 육조 펌프(bath pump)로 수조 바닥에 설치한 구멍을 뚫은 PVC 파이프로 물을 뿜어내어 수조 바닥에 수류를 발생시켜 침강을 방지한다. 30톤 정도의 큰 수조에서는 1수조 당 육조 펌프 3-5개를 사용한다.

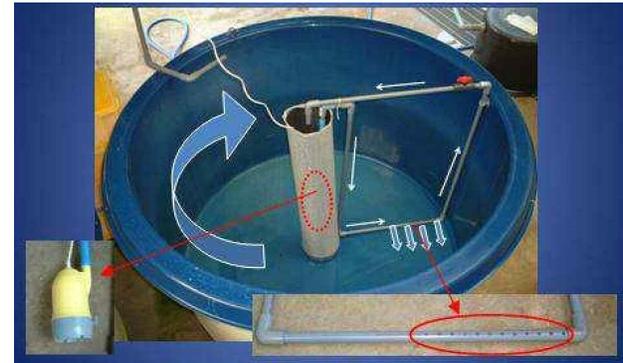


그림 41. 육조 펌프(bath pump)를 사용한 침강대책(南部, 2012)

라) T3 육에 의한 자어의 초기감모 경감

- 붉바리 자어에서 3일령 때 거의 반드시 발생하는 초기 감모의 방제를 목적으로, 갑상선 호르몬(thyroid hormone)의 1종인 3,3',5-triiodothyronine (T3)을 100 ng/ml 함유한 해수에 부화 전날의 부상란을 5시간 침적한 결과, 부화율과 무급이하에서의 자어의 생존율 향상의 효과는 없었으나, 부화 당일에 부화 자어의 사육수에 T3를 첨가하면 자어의 생존이 최고 20~30배까지 개선되었다.

## 5. 치어

### 가. 사육 환경 관리

#### 1) 치어 사육 환경 관리

##### 가) 수온

- 사육 수온이 높을수록 성장이 잘 되나 병원 세균의 성장과 어류 대사율이 증가하기 때문에, 결과적으로 산소 소비와 총 암모니아 질소 생산 역시 증가하게 한다. 또한, 높은 온도 범위는 공식과 같은 부정적 형태의 어류 행동을 유도한다.
- 환수와 산소 공급의 증대 방안 없이, 사육 수온을 올리는 것은 관리 문제를 더 키우는 것과 같다.

##### (1) 사육 수온별 성장

- 붉바리 전장  $7.2 \pm 0.1 \text{cm}$  의 치어를 수온 20, 24, 28°C 그리고 32°C 실험구에 각각 6주 동안 노출시켜 전장과 체중의 성장률의 조사 결과, 수온 24°C와 28°C 실험구에서 높은 성장률을 보인 반면, 20°C와 32°C 구간에서 낮은 성장률을 보였다.

##### (2) 수온에 따른 스트레스 반응

- 수온 노출에 따른 생리적 반응으로서 스트레스의 1차 지표인 혈장 cortisol 농도, 체내 세포활성도(특히 간세포)를 판단할 수 있는 효소인 GOT와 GPT 농도를 측정하였다.
- 실험 개시 전 20°C에서 순치하였으며, 6주 노출 후 cortisol 농도는 다른 실험구에 비해 32°C에서 높은 값을 보였다. 혈중 GOT와 GPT 농도도 32°C 실험구에서 높게 나타나 수온 32°C에서 스트레스를 받는 것으로 나타났다.

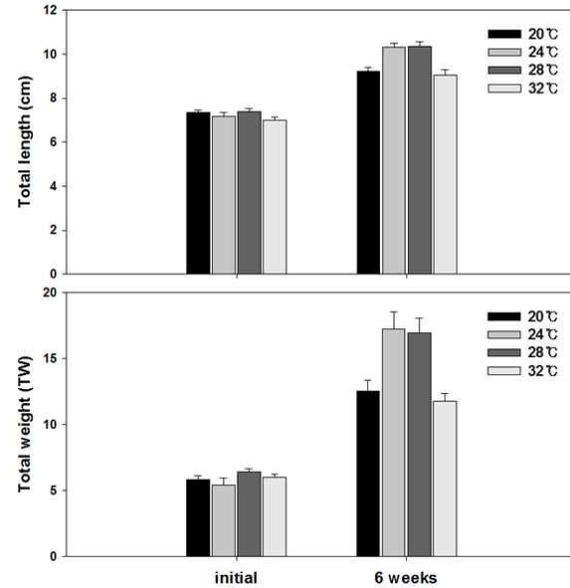


그림 42. 사육수온에 따른 붉바리 치어의 성장(이영돈 등, 2017)

##### (3) 수온에 따른 먹이 섭취율

- 수온 노출 6주 후의 먹이 섭취율은 20°C에서 가장 낮았으며, 24°C에서는 5주째까지 증가현상을 보이다가 6주째에 다른 실험구에 비해 높은 섭취율을 보였다. 28°C에서는 2주째까지 가장 높은 먹이 섭취율을 보인 후 비슷한 수치를 유지하였다. 32°C 실험구에서는 노출 5주째까지 점차 증가하다가 6주째에는 24°C와 28°C에 비해 급격히 감소하였다.

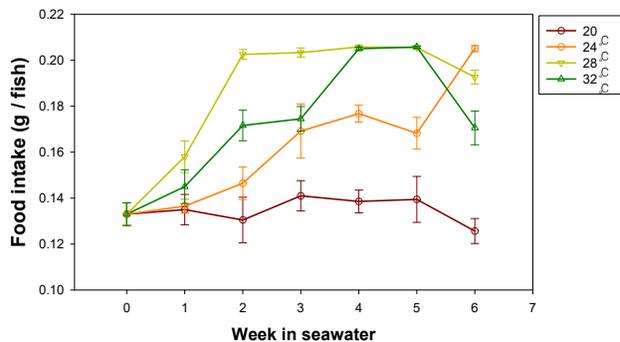


그림 43. 사육수온 별 먹이섭취율 (이영돈 등, 2017)

#### (4) 적정 사육 수온

- 붕바리가 효율적으로 성장하는 수온을 파악하기 위해, 소형 수조에서 16~31°C의 수온에서 사육하여 성장과 사료 효율을 조사한 결과, 성장은 31°C가 가장 좋고, 먹이생물 효율은 25°C가 가장 높았다.

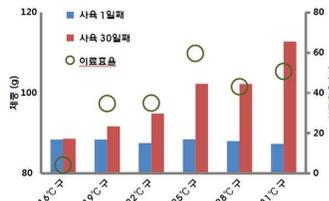


그림 44. 사육수온에 따른 성장과 먹이생물 효율의 비교(森田, 2014)

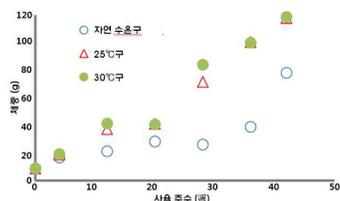


그림 45. 대형수조에서의 사육 수온에 따른 성장 비교(森田, 2014)

- 이 결과를 바탕으로 대형 수조에서 사육하였는데, 자연 수온구와 비교해 25°C, 30°C 구는 동등하게 성장하였지만, 먹이생물 효율은 25°C에서 높은 것이 재현되었다.
- 수온 조정에 필요한 연료비는 25°C에서 30°C의 약 1/3이 되어 25°C에서 사육하는 것이 가장 효율적이었다.

#### 나) 염분

- 바리과 어류처럼 어린 시기에 연안이나 강 하구에 서식하다가 성장하면서 외해로 이동하는 어류들은 어린 시기에 염분에 대한 내성이 강하다가 성장하면서 점점 내성이 약해진다.
- 해산 어류는 염분농도가 약간 낮은 경우, 삼투압 조절 에너지 감소 효과로 사료 전환 효율과 생존율이 약간 향상될 수도 있다.

#### (1) 치어 사육의 적정 염분

- 붕바리가 효율적으로 성장하는 염분을 파악하기 위해, 소형수조를 이용해서 6-38 psu로 사육한 결과, 13-26 psu에서 잘 성장하였다.
- 그 결과에 따라 대형수조를 이용해 19, 26, 32 psu의 염분으로 90일간 사육해 성장을 비교한 결과, 19, 26 psu에서는 성장차이는 없었지만, 32 psu보다 성장이 빨랐다.
- 이러한 결과에 의해 저염분으로 사육하는 것으로 약 0.5년 양식 기간의 단축이 가능할 것으로 추정되었다.
- 임상구 등(2016)은 붕바리의 치어시기에는 자연 해수(32 psu)보다 16 psu 전후의 저염분에서 증중률, 일간성장률, 사료효율 등이 높았으며, 또한 염분(16 psu, 24 psu, 32 psu)에 따른 cortisol 농도의 차이가 없었고, 염분별 생존율은 8 psu에서 전량 폐사한 것을 제외하곤 염분에 의한 폐사가 관찰되지 않았다고 하였다.

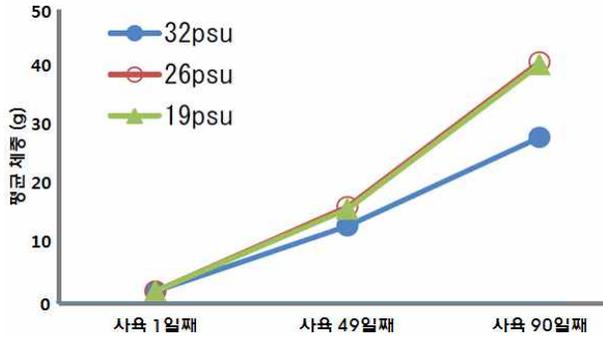


그림 46. 염분의 차이에 따른 붉바리의 성장 비교(森田, 2014)

(2) 저염분 사육의 유효성

- 저염분에 대한 내성은 발달 단계에 따라 달라서 부화후 15일째 이후에 발생하는 대량 감모기에 저염분 사육이 유효하다는 것이 밝혀졌다(그림 47).

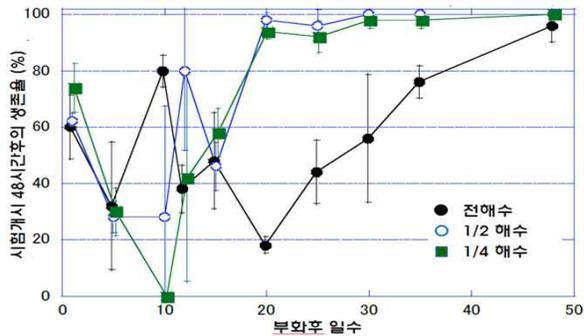


그림 47. 붉바리 자어의 생존율에 미치는 저염분 사육의 영향 (御堂岡, 2008)

- 또 염분농도에 대해서는 1/2해수(16%)와 1/4해수(8%)에 유의한 차이를 얻지 못한 것으로부터 체액의 삼투압과 동등한 1/4해수가 아니라도 1/2해수에서 충분히 효과를 얻었다(그림 48).

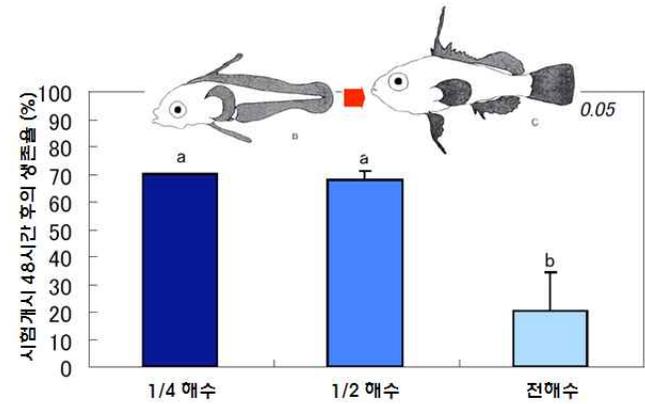


그림 48. 변태기에 발생하는 폐사에 대한 저염분 사육 효과 (御堂岡, 2008)

- 실용규모 수조(5톤)에 있어서 실증시험에서도 저염분 사육(1/2해수)의 영향에 의한 성장 정체 등은 없었고, 변태시기의 감모를 경감하는 것으로 수조 1톤당의 생산량을 종래의 3배(전장 약 20 mm의 종자)로 향상시킬 수 있었다(그림 49).

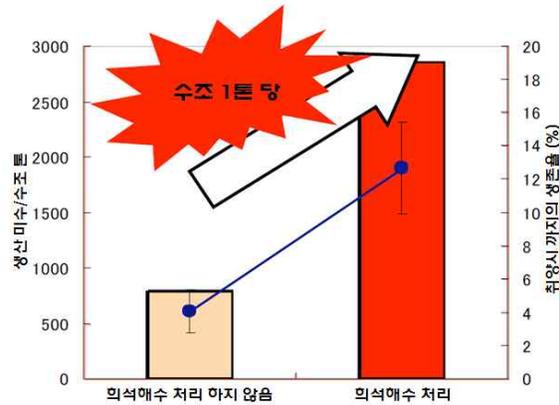


그림 49. 저염분 사육의 양산화 실증시험 (御堂岡, 2008)

## 나. 사육 관리

### 1) 치어의 사육 밀도

#### 가) 치어 입식

- 부화 후 약 40~45일째에 평균 전장 25~30 mm이상의 치어를 수조내의 수량을 낮추고 울타리 망으로 모아 피시 펌프(fish pump)로 흡인하여 중간 육성용 수조 내에 설치한 선별망 내에 옮긴다. 선별망에 남은 대형 개체는 다른 수조에 옮겨 중간 육성한다.
- 치어의 계수는 피시 카운터(fish counter)를 사용하지만 사전에 샘플 1,000 마리를 사용하여 실제 수치와 카운터 합계 수치의 오차를 확인하여 계수치를 보정한다.
- 수송 호스 안을 치어가 통과하는 속도는 0.5 m이내/sec라면 치어에 손상이 없다.

#### 나) 사육 밀도

- 치어의 중간 육성은 육상 수조 내에 설치한 구획망(망목 150경)에서 하며, 환수량은 2~4회전/일로 사육수가 충분히 교반되게 통기량을 조정한다.
- 종자의 밀도를 달리하여 15톤 원형수조에 설치한 소형 가두리에서 21주간 사육한 결과, 고밀도(10.5 kg/m<sup>3</sup>) 사육구는 평균 무게가 약 37 g이었으며, 중밀도(7.0 kg/m<sup>3</sup>) 사육구는 약 35 g, 저밀도(3.5 kg/m<sup>3</sup>) 사육구는 약 29 g으로 고밀도 사육구가 가장 성장이 빨랐고, 생존율에도 큰 차이가 없었다(표 8).
- 고밀도 사육구의 증체율 및 일일성장률도 저밀도 사육구 비례 통계적으로 유의하게 높아, 어체의 크기가 작을수록 고밀도에서 성장이 빠른 사례(Wallace et al., 1988)와 유사한 결과를 보였다.

표 8. 붕바리 밀도별 실험구의 성장 양상 (이영돈 등, 2017)

밀도별	항목	최초	21주후	증체율 (%)	일일성장률 (%)	생존율 (%)
저밀도 (3.5kg/m <sup>3</sup> )	체장(mm)	6.45±0.04	10.2±0.74			
	무게(g)	7.43±0.16	29.0±5.72	390.2±4.53 <sup>a</sup>	0.93±0.006 <sup>a</sup>	96.7
	비만도	2.7±0.06	2.7±0.28			
중밀도 (7.0kg/m <sup>3</sup> )	체장(mm)	6.65±0.05	10.8±0.83			
	무게(g)	7.80±0.34	34.8±6.95	446.1±48.72 <sup>ab</sup>	1.02±0.061 <sup>a</sup>	93.3
	비만도	2.6±0.08	2.7±0.34			
고밀도 (10.5kg/m <sup>3</sup> )	체장(mm)	7.35±0.47	11.0±0.89			
	무게(g)	6.53±0.14	36.7±8.21	501.1±43.23 <sup>a</sup>	1.10±0.048 <sup>a</sup>	94.1
	비만도	2.6±0.06	2.8±0.29			

\* 동일 열에 다른 문자는 Tukey test 결과 통계적으로 유의한 차이를 보임을 의미

- 池田·家接(2005)은 붕바리를 섭이가 활발한 어종과 적정한 비율로 혼합 사육하면 단독 사육과 비교해 섭이 행동이 활발해져 사육 조건에 따라서는 성장을 촉진할 수 있는 것으로 보고하였다.

여기서, 붕바리 단독구의 성장량을 1로 했을 경우, 참돔과의 혼합 사육이 최고 약 1.15배 촉진되고, 또한 혼합 사육에 이용한 참돔에 대해서도 같은 효과를 기대할 수 있다고 하였다.

## 2) 치어 사료 공급 관리

- 먹이 공급은 표 8과 같이 배합사료만을 사용하며, 이때 주의할 점으로서는 크기 차이가 생기지 않도록 구석구석의 개체까지 먹이를 고루 준다. 급이량의 기준은 개체의 비만도(비만도=(체중)/(체장)<sup>3</sup>×10<sup>3</sup>)를 25 전후로 유지하는 것이다.
- 사망어 및 쇠약어의 제거는 급이시에 아울러 4회/일, 블로어를 정지하고 구석구석까지 잘 확인한다.

표 9. 종자의 크기와 사육관리(1만미당)

전장 (mm)	체장 (mm)	체중 (g)	급이량 (g/일)	배합사료 입경(mm)	급이 횟수 (회/일)
30	24	0.4	450	1.0~2.0	4
40	32	0.9	450	1.0~2.0	4
50	41	1.8	900	1.0~2.0	4

(山口県 水産振興課, 2012)

## 3) 치어 사육의 생물학적 변수 관리

### 가) 어류의 행동 점검

- 어류의 정상 행동
  - 유영 활동의 완전한 통제
  - 성공적인 먹이 섭식/포식 활동(어느 정도의 공식도 포함)

- 갑작스러운 자극에 빠른 반응(전형적으로 수조 위에서 손을 흔드는 것 등)
- 적절한 색(흑색 대신 고유색)
- 먹이 공급에 자어 무리의 밀집
- 어류 행동의 변화
  - 사육 수조 안의 환경 조건의 변화로 문제가 발생하면, 대량 폐사와 같은 명백한 신호가 시작되기 전에 어류의 행동에 먼저 영향을 주게 한다.
  - 경험 있는 직원의 일상적 감시로도 무엇이 잘못되고 있는지 알 수 있다.
  - 어류의 행동을 매일 관찰하여야 한다.

### 나) 성장률과 기형률의 조사

- 조사 시기
  - 치어의 성장과 기형률을 대표할 수 있는 표본은 정기적으로 선별하고, 분산 수용할 때 실시한다.
  - 사육의 성과는 2주에 한번 평가하는 것을 권장하고, 가능한한 어류 선별 때 같이 평가하도록 한다.
  - 선별하지 않을 경우에는 한정된 표본을 수집하여 체중과 체장을 측정한다.
- 조사 방법
  - 치어 표본의 수는 일반적으로 사육 초기에는 100마리가 적당한 표본이 될 수 있으나, 사육 후기로 갈수록 더 많은 표본을 한다.
  - 조사 방법
    - 치어는 점검을 하기 전에 폐사와 질병을 피하기 위하여 마취되어야 한다.

- 체중은 해수 300 mL 든 1L 비커에 넣고, 저울에서 무게를 잴 다음, 물과 비커의 무게를 빼서 치어의 체중을 측정한다.
- 치어를 모은 양동이에 100마리가 되면 개체의 평균 체중을 계산한다.
- 체장은 표본된 치어를 깨끗한 유리에 어류를 두고, 유리 아래에 둔 밀리미터 용지로 mm 단위로 체장을 측정한다.
- 각 개체에 대해서 형태적 이상을 기록한다.
- 유리 글라스 아래에 강한 광원을 둬으로써, 부레의 존재 여부를 조사한다.
- 후속 조치
  - 마취된 치어는 가능한 한 빨리 포기되고 깨끗한 해수가 있는 회복 양동이에 되돌려 놓는다.
  - 회복 중인 치어는 반드시 다른 치어의 공격을 피할 수 있게 완전히 회복된 이후에 사육 수조에 재수용 되어야 한다.

#### 다) 치어의 선별

- 공식 저감 방안으로는 ① 수조의 조도 저하, ② 미세조류의 첨가에 의한 사육수의 투명도 감소, ③ 사육수의 주수량과 공급 회수의 증가로 공급량의 확대, ④ 같은 크기의 그룹으로 만들기 위한 빈번한 선별이 있다. 이중 선별이 최대의 해결책이라고 할 수 있다.
- 바리류는 크기의 차이를 줄여 공식을 감소시키기 위해 정기적으로 선별을 한다. 선별은 선별 크기 사이에 전장의 차이가 30% 미만인 되도록 선별해야 한다. 예를 들어 어류의 등급이 전장 약 50mm인 경우에 등급의 크기 범위는 전장 45-59 mm이어야 한다. 정기적으로 선별을 하는 것은 크기 분포를 감소시키지만, 이것은 또한 어류의 취급과 신체적인 손상으로 인한 스트레스를 유

- 발하여 질병 발생을 초래할 수 있다.
- 일부 중간 육성장에서는 3-4일 간격으로 수시로 선별을 한다. 다른 중간 육성장에서는 선별로 인한 부정적인 건강상 영향을 줄이기 위해 선별 사이에 더 긴 기간 (1주 이상)을 두는 것을 선호한다.
- 붉바리는 전장 30 mm부터 50 mm에 이르기까지는 공식이 심하여 가능하면 1주에 1회의 크기 선별이 바람직하다. 공식의 경우는 삼키지 않고 양측이 질식사하는 경우와 도중에 토해 낸 사망 개체 및 쇠약 개체가 확인되는 경우가 많다. 크기 선별을 하지 않고 사육한 경우, 혹은 충분히 크기 선별을 못 했을 경우 중간 육성 기간 생존률은 대체로 55~70%이다.
- 선별 후 어류의 건강 상태를 모니터링 한다.
- 선별기
  - 2가지 유형의 선별기가 사용된다: 일련의 평행 막대가 있는 봉상 선별기(bar graders)와 정사각형 그물망이 있는 망상 선별기(mesh graders)이다.
  - 매우 작은 어류 (1cm 미만)의 경우 망상 선별기가 선호되는 반면, 봉상 선별기는 선별하는 동안 어류의 피부에 피해를 덜 주기 때문에 전장 1cm 이상의 어류에서 망상 선별기 보다 더 선호된다.
- 선별 방법
  - 선별은 얇은 플라스틱 접시 또는 작은 탱크에서 수행한다. 깨끗한 해수 공급이 이루어져야 하고, 선별 중에 용존산소 수준이 높게 유지되도록 포기한다.
  - 선별은 고밀도로 어류를 모아서 생기는 스트레스 때문에 가장 적은 수의 어류를 사용하여 가능한 빨리해야 한다. 치어가 선별기에서 능동적으로 움직일 수 있도록 선별은 바닥에만 국한되

지 않고 충분한 수면을 확보해야 한다.

- 몇 가지 다른 크기의 선별기를 중첩하여 한 번에 여러 개의 크기 그룹을 선별하여 선별과정을 줄일 수 있다.
- 선별 후 적은 수의 아주 작거나 매우 큰 고기가 남아 있는 것이 일반적인데, 이것들은 탱크나 못의 작은 가두리에 보관할 수 있다.
- 선별 과정의 과도한 취급 또는 기타 원인에 의해 초래된 세균 감염의 위험을 최소화하는 것이 필요할 경우, 선별 후에 예방적 약품 처치를 할 수 있다.

#### 4) 자치어의 이송 관리

- 취양 때에는  $\phi$  100 mm의 배수 밸브의 외측에 저수조를 놓고 그 가운데 망목 약 2.2mm의 모지망에 붉바리를 받는다. 다만, 종자가 약할 경우에는 폐사하는 개체가 나오므로, 취양 전에 종자의 질을 검토해 둘 필요가 있다.
- 취양한 종자는 4.5 mm 폭의 슬릿(slot)식 선별기와 모지망(망목 약 3.5 mm, 망목 약 4.5 mm, 망목 약 5.3 mm)에서 선별을 하고, 평균 전장 30 mm에서 취양하는 경우에는 선별기와 망목 약 5.3 mm 지름의 모지망에서 3단계로 실시한다. 이때 선별된 종자의 평균 전장은 선별기에 남은 개체 37.4 mm, 망목 약 5.3 mm의 모지망에 남은 개체 32.7 mm, 그 모지망을 빠져 나간 개체 23.7 mm였다. 붉바리는 40 mm 전후까지는 공식이 활발하여 선별을 하지 않으면 감도가 크다.

#### 가) 수조와 장비의 준비

- 어린 후기 자어 단계는 대단히 연약하며, 이송 작업은 어류에게 크게 스트레스를 주는 일이기 때문에 하루 전에 모든 장비를 준

비하여, 잘 세척하고 살균하여야 한다.

- 수송은 가능하면 아침 일찍 이송을 준비한다.
- 어린 어류를 조심스럽게 다룰 수확과 이송 방법을 선택한다.
- 예상하지 못한 작업 지연이 발생하는 경우에 즉시 쓸 수 있는 비상 산소 공급 장치를 준비한다.
- 이송 매체의 오염을 피하기 위하여, 자어 사육 수조의 바닥을 완전히 청소한다.

#### 나) 먹이 공급

- 3-4일 전에 어류는 증가된 양의 비타민 C(사료 kg 당 10,000 mg까지)가 들어 있는 먹이를 공급한다. 비타민 C는 항 스트레스 특성을 가지고 있기 때문이다.
- 이송 전 먹이를 주지 않아야 한다.
- 치어가 새 수조에 배치되었을 때, 공식을 피하기 위하여, 가능한 한 빨리 먹이를 공급한다.
- 이송 후에 조속한 회복을 위하여, 즉시 충분한 양의 생물 먹이를 공급한다.

#### 다) 수온과 염분

- 옮겨갈 수조의 수온과 염분은 자어 사육수조의 수온, 염분과 서로 같아야 한다.

#### 라) 자·치어 취급

- 절대로 어류에 직접 손대지 않도록 노력한다.
- 어류가 결코 물 밖으로 튀어 나가거나 또는 물 밖에 있지 않도록 한다.
- 절대로 작은 용기에 너무 많은 어류를 밀집시키지 않는다.

- 절대로 더러운 물이 치어사육 수조에 들어가지 않도록 한다.
- 치어를 받는 사육 수조에 치어를 부어 넣기 전에 치어 운반 용기가 바닥에 닿는 것을 피한다.
- 치어가 포기와 환수 없이 있는 시간을 가능한 한 최대한으로 노력한다.
- 과도한 취급 또는 연약한 자어에 의해 세균 감염의 위험을 최소화하는 것이 필요할 경우, 이송 전후에 예방적 약품 처치를 할 수 있다.

## 다. 질병 관리

### 1) 수처리 시스템

- 자연취수원수를 3단계 이상 여과 및 살균시스템을 이용하여 사육 수조에 공급한다.

#### 가) 1차 여과

- 해수(원수)에 포함되어 있는 퇴적물, 유기물, 파래, 모래, 흙과 같은 20  $\mu\text{m}$  이상의 입자를 화이버 글라스 모래여과장치(Fiber-Glass Sand filter)로 여과하여 원수의 탁도를 현저히 줄여 2차 여과효율을 높여 준다.
- 모래여과장치에 20  $\mu\text{m}$  이상의 입자들의 유입량이 많을 경우 여과수량이 급격히 감소함으로써 해상의 기상 악화시 1일 5회 이상 역세척을 실시하고 평시에는 1일 1회 이상 역세척을 실시하여 여과처리 적정 수준인 유입수 압력을 0.7 bar로 조절한다.

#### 나) 2차 여과

- 1차(모래여과기) 여과에서 걸러내지 못한 20  $\mu\text{m}$  이하의 분진 및

미세입자, 원생동물들을 여과하기 위해 10  $\mu\text{m}$  이하의 여과필터(백필터)를 이용하여 2차 여과한다.

- 최적의 사육수 관리를 위해 담수 고압세척·살균 건조된 백필터를 2회/일(09시, 18시) 교체한다.

#### 다) 3차 여과

- 2차 여과 후 10  $\mu\text{m}$  이하의 세균 및 기생충성 원생동물의 유입을 차단하기 위해 1  $\mu\text{m}$  하우징 필터로 여과하여 사육원수로 사용한다. 하우징 필터에 사용하는 카트리리지 필터는 1회/일 정기적으로 교체한다. 사용한 카트리리지 필터는 담수 고압세척 후 염소 소독과 중화과정을 거쳐 재사용하고, 3회 사용한 필터는 폐기한다.

#### 라) 살균

- **UV 살균기:** 3차 여과 후 1  $\mu\text{m}$  이하의 바이러스 및 세균에 사멸을 위해 최종적으로 UV로 살균 처리하여 사육수로 사용한다. 원수 사용량이 적은 종자생산 초기단계에는 UV 1개를 사용하고, 원수 사용량이 증가하는 종자생산 중기단계 이후부터는 UV 2개를 병렬 연결하여 사용한다.
- **동이온 발생기:** 유수식 형태의 사육관리 방법을 적용한 중간육성 단계에서 레지오넬라균, 대장균, 바이러스 및 기생충에 의한 폐사를 예방하기 위해 동이온(copper ion)의 살균효과를 이용하여 사육수로 사용한다. 동이온이 발생되는 동판부의 표면이 전기분해작용으로 70%이상 부식되면 새로운 동판부로 교체하여 사육수에 적정수준의 동이온 농도인 0.01 ppm이 유지될 수 있도록 조절한다.

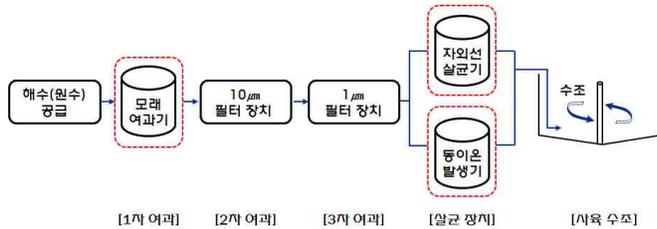


그림 50. 수처리 여과사육시스템 (이영돈 등, 2017)



그림 51. 수처리 시스템 장치 (이영돈 등, 2017)

(A: 모래여과기, B: 10 µm 백필터, C: 1 µm 하우징 필터, D: UV 살균기, E: 동이온 발생기)

## 2) 부화장을 위한 생물학적 안전(biosecurity)

- 생물안전성을 더욱 지원하고 질병 발생률을 줄이려면 부화장을 다른 양식 시설, 특히 다른 부화장, 중간육성장과 양성 작업으로 부터의 배출수로부터 떨어져 있어야 한다.

- 다양한 기능 영역 (친어, 먹이생물 생산, 유생 사육 등)을 분리한다.
- 병원균의 유입위험을 줄이기 위해 필수 인력만의 제한된 부화장 출입과 출입 지점에는 족욕대(footbath) 및 세수대(handwash)를 설치하여 운영한다.
- 사용 전 및 구역 간 이동시 수질 모니터링 장비, 그물, 대야 등 모든 장비의 소독 및 철저한 세척
- 새로운 어류 (친어, 유생 또는 치어)의 격리
- batches 간 부화장의 소독 및 건조로 유생의 'Batch' 생산
- 생물 보안 및 건강관리의 직원 교육
- 질병을 보이는 어류 batch에 대한 엄격한 격리
- 병원균 및 질병에 대한 일상적인 모니터링 및 질병 발생시 신속한 진단
- 유생의 전반적인 건강과 저항력을 향상시키기 위해 수질과 영양을 최적화.

## 6. 종자 수송

### 가. 수질관리

#### 1) 수송 밀도

- 7월 중순에 종자 생산을 시작한 경우 9월 중하순에 전장 약 50~60 mm로 성장한 개체를 수확한다. 수확 당일은 먹이를 주지 않고, 출하시에 증량법으로 마리수를 산출한다.
- 활어 수조로 수송할 경우는 산소 통기와 브로워 통기를 병용하고, 수송밀도는 10 kg이내/kL로 한다.

#### 2) 종자 수송해수의 수질 관리

- 치어 수송 수조의 해수는 배양장에서 치어에 사용된 해수와 같은 해수를 사용한다.
- 보충 해수는 부유 현탁물을 제거하기 위하여 기계적으로 여과한다.

#### 가) 수송 수온

- 수온은 어류의 산소 소비에 강하게 영향을 준다. 낮은 온도에서 수송하면 어류의 대사 저하로 호흡이 감소하여, 결과적으로 산소 소비와 암모니아 배설도 감소한다. 해수의 산소 용해도는 낮은 온도에서 더 높아진다.
- 수송 해수 수온은 배양장 환경의 수온과 크게 달라서는 안 되며, 스트레스를 줄이기 위하여 1시간에 1℃로 점진적으로 조정한다.
- 치어 수송 용기는 단열이 되는 용기를 사용한다.
- 온도 변동을 최소화하기 위하여 여름에는 밤에 수송하는 것이 더 좋으며, 반대로 겨울에는 주간 수송을 권장한다.

- 붉바리는 고수온에 비교적 강하여 이 시기의 자연 수온(26~28℃)이면 2~3시간의 수송은 문제없지만 반드시 도중에 종자의 상태 및 통기 상황을 확인하면서 수면으로 코를 내미는 등의 산소 결핍 증세가 나타나는 경우에는 산소 공급, 브로워 통기량을 증가시킨다.
- 붉바리 종자(평균 전장 11.3±1.5 cm, 체중 53.4±5.4 g)의 장거리 수송 시 대사활동과 스트레스를 최소화하는 수온을 조사하고자, 수온별(9℃, 12℃, 15℃, 18℃ 및 21℃)로 48시간 동안 어체를 노출시켜 행동 변화, 생존 및 혈액생리학적 반응을 확인하였다.
  - 9℃에 노출된 붉바리 종자는 48시간 만에 전량 폐사하였지만, 이외의 수온에서는 모두 생존하였다. 그러나 12℃에 노출시킨 붉바리 종자는 유영없이 수조 바닥에 가라앉아 있었으며 15℃, 18℃ 및 21℃에서는 정상적인 유영활동을 보였다.

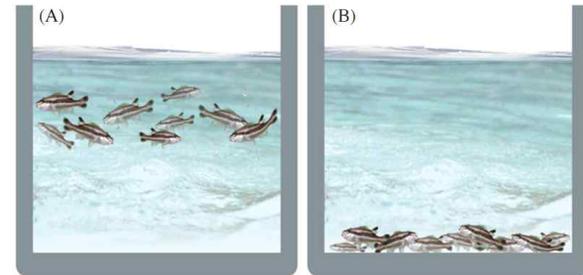


그림 52. 붉바리의 수온별(A: 15, 18, 21℃, B: 12℃) 유영 행동 (박형준 등, 2017)

- 혈장 코티졸 농도와 글루코스는 다른 실험구보다 12℃에 노출시킨 붉바리에서 더 유의하게 높았다(P<0.05). 스트레스의 2차적

반응으로 나타나는 혈액학적 항목인 Ht (hematocrit), Hb (hemoglobin)의 변화는 12℃ 및 15℃ 그룹은 18℃ 및 21℃보다 유의한 차이를 보였다.

- 이러한 결과로 볼 때, 붉바리 종자의 장거리 수송을 위한 적정 수온은 15℃라고 할 수 있다.

#### 나) 용존산소

- 용존산소(DO)는 살아있는 어류의 수송에서 가장 중요한 변수로서, 포기 등으로 충분한 산소를 공급하여야 한다.
- 수송 중의 산소 소비량은 첫 1시간 동안에 최대가 되므로, 수송 해수는 치어의 수송 시작 전에 과포화가 되어야 하고, 수송 첫 1시간 동안 DO를 주의 깊게 조절하여야 한다.
- 순수 산소의 첨가는 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 독성 형태를 비독성 산물로 산화하는 데 기여한다.

#### 다) 염분농도

- 수송 해수의 염분농도는 치어의 스트레스를 줄이기 위하여 치어가 길들여진 배양장 염분농도와 같아야 한다.

#### 라) pH

- 수송 중 해수의 pH는 일반적으로 크게 문제가 되는 변수는 아니다. 호흡에 의한 이산화탄소의 증가는 수송 해수를 산성화한다. 그러나 해수의 완충능력이 pH 변화를 완화한다.
- pH의 수준은 독성 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 균형에 직접적으로 영향을 준다. pH가 낮을수록 암모니아 질소의 독성 부분도 감소한다.

#### 마) 암모니아

- 암모니아는 아가미를 통해서 배설되며, 어류의 주요 대사산물이 다.
- 수송 수조의 환수 없이 치어를 운반할 때, 어류의 대사산물인 암모니아가 해수에 축적되게 한다.
- 물에서 비이온화 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 사이에는 화학적 평형이 존재한다.
- 비이온화 암모니아는 낮은 농도에서도 어류에 독성이 대단히 강하다. 치어 수송 수조의 비이온화 암모니아의 관리를 위하여 수송 전 먹이 공급을 중지하여야 한다.
- 치어의 공식 행동이 통제될 수 있으면, 치어의 배설량을 감소하기 위하여 수송 전 최소 24-48시간 먹이를 주지 않는다.
- 어류에 영향을 주지 않으면서 진진대사를 감소하고 유독 비이온화 암모니아의 백분율을 감소하기 위하여, 수온을 가능한 한 낮게 유지한다.
- 장거리 수송 동안에는 필요시 부분적 또는 전체를 환수한다.

#### 바) 이산화탄소

- 호흡에 의해 생산되는 이산화탄소는 어류 혈액의 산소 수송 용량을 감소시키기 때문에 적절한 산소 수준에 있을 때조차도 어류에 위험하다.
- 이산화탄소는 포기와 환기에 의해서 제거되며, 통풍구를 통해 배출한다.
- 밀폐된 수조는 이산화탄소의 위험한 증가 상태로 만들 수 있다. 치어 수송 수조 안의 암모니아와 이산화탄소의 축적을 방지하기 위하여, 수송 수조의 뚜껑 또는 통풍구는 부분적으로 개방한다.

- 수표면의 거품은 물과 공기의 가스 교환을 감소시킨다.

#### 사) 탁도

- 탁도를 감소하기 위한 현탁 물질의 제거는 어류 관찰을 용이하게 하고, 아가미가 막히는 위험, 산소 결핍 및 세균 증가를 감소한다. 깨끗하고 여과된 해수로 채워야 한다.

#### 아) 수면의 거품

- 수송 수조 해수 표면의 오물과 거품은 장거리 수송중인 많은 수의 치어에서 생기는 과도한 점액으로 만들어 진다.
- 거품은 공기/물 경계면에서 산소와 이산화탄소의 이동을 방해하며, 또한 어류를 관찰하기 어렵게 만든다.
- 트럭의 치어 수송자는 뜰채로 거품을 제거함으로써 수송 시간을 연장하게 한다.

### 나. 수송 관리

#### 1) 종자의 수송 관리

##### 가) 수송 수조에 치어 적재

- 치어 수송 수조의 해수는 배양장의 해수를 채우는 것을 권장한다.
- 치어 수송 차량의 수조에 적재가 끝났을 때, 실을 때 들어간 오염물(오물, 거품, 점액, 배변)을 제거하기 위하여 산소가 충분한 물로 완전히 환수한다.
- 낮은 온도가 바람직할 경우 얼음주머니를 이용할 수도 있다.
- 치어를 실는 동안 치어가 취급당하게 되는 충격과 심한 스트레스 때문에, 치어들은 활동 과잉이 되고, 호흡률과 신진대사의 배설

이 증가한다.

- 수송 수조에서 치어들의 산소 소비와 암모니아 배설을 최소화하고, 변과 토한 사료 양을 감소하기 위하여, 치어는 보통 수송 차량에 실기 전에 적어도 24시간 굶긴다.
- 수송 중에 치어의 공식 행동이 통제될 수 있을 경우에 한해서 수송 전 굶길 수 있다.

#### 나) 포식 예방

- 어둡게 하거나, 탁도를 증가하는 것은 포식을 제한하는 효과가 있다.
- 소량의 안정제 또는 마취제의 사용도 검토될 수 있다.

#### 다) 수송 중의 모니터링

- 치어 수송 중에 주기적으로 해수의 산소와 거품 그리고 폐사어를 점검하여야 한다.
- 수온, DO, pH 및 염분농도의 변화를 모니터링하고 적정 범위에서 유지한다.
- 어류의 행동과 산소 첨가 상태를 점검하기 위한 첫 번째 정차 점검은 보통 출발 후 약 1.5시간 뒤에 하고, 이후 규칙적인 간격으로 자주 점검한다.

#### 라) 치어의 하역

- 도착 시 수송 수조의 해수 온도와 염분농도를 가능한 한 수용 시설의 수온과 염분농도 수준에 맞추어야 한다.
- 치어가 갑작스러운 온도와 염분의 변화 쇼크에 노출되지 않는 것이 매우 중요하다
- 만일 필요하다면, 하역 전에 수용될 수조의 수온과 염분농도에 어

- 류를 적용시키기 위해 양동이 또는 펌프를 사용하여 수용 수조의 해수를 천천히 수송 수조에 추가한다.
- 나쁜 수송 조건에 심하게 시달린 경우, 수용 시설에 가능한 한 빨리 이송한다.
  - 수조 수용 직후, 오래 끓은 치어들의 공식 출현을 예방하기 위하여 건조 배합사료를 즉시 먹여야 한다.
  - 폐사어는 조심스럽게 제거하고, 빈사 상태의 어류도 제거한다.
  - 예방 목적의 항생제 투여는 내성 세균의 출현 가능성 때문에 권장하지 않는다.
  - 항생제의 사용은 허약하거나 또는 스트레스를 받은 개체군에 대해 실제 질병 발생을 치료하는 데 제한되어야 한다.

## 부 록

### 가. 부화 시설과 장비의 위생 관리

#### **소독 용액(Disinfecting solutions)**

- 차아염소산염(Hypochlorite) = 500 ppm 활성 염소 용액(active chlorine solution)
- 염산(Hydrochloric acid) = 10% v/v 용액

#### **개인위생(Personal hygiene)**

- 작업을 시작하기 전에 그리고 필요할 때마다 손을 씻어야 한다.
- 순수 계통 배양실(pure-strain culture room) 안에서 작업할 때는 알코올로 손을 소독하여야 한다.
- 구역에 들어가기 전, 그리고 떠나기 전에 장화를 소독하여야 한다(일주일에 한 번 담금통에 담은 소독 용액을 새 것으로 바꾸어야 한다).
- 어류를 취급할 때는 면장갑을 착용하여야 한다.
- 위험한 화학 물질을 취급 할 때는 플라스틱 장갑, 보안경 및 보호 앞치마를 착용하여야 한다.
- 흡연은 배양장 내부에서 허용되지 않는다.

#### **자외선 살균기(UV-light sterilizer)**

- 석영 등의 청소: 설치되어 있는 자동세척기를 사용하여 하루에 2 번 석영관을 청소하거나 또는 자외선 산출량이 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 자동 세척기가 없는 자외선등은 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 분해하여 석영관을 손으로 세척하여야 한다.

- 우회 배관의 환수: 자외선 살균기의 우회 배관의 정체된 물을 제거하기 위하여 하루에 2번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어 배관 내의 물을 배수한다. 경고: 배양장에서 질병이 발생한 경우 측관을 열어서는 안 한다.
- 자외선 살균등의 점검 창을 한 달에 한 번, 또는 잘 보이지 않을 때마다 분해하고 에탄올로 청소한다.

#### 미세 여과 장치(Fine filtration devices)

- 생산자 지침에 따라 정기적으로 점검 및 정비하여야 한다.
- 유속이 사전 설정된 안전 값 아래로 떨어지면 필터 요소를 교체하여야 한다.
- 새로운 또는 소독된 여과 요소만 사용하여야 한다.
- 예비 부품을 충분히 준비하여야 한다.

#### 장비(버킷(buckets), 항아리(jugs), 비커, 피펫 등)

- 하루 동안: 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 철저히 행군다.
- 하루 작업 종료 시: 500 ppm 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)에 담군다.
- 야간: 밤에는 물로 행구고, 그리고 건조한 상태로 보관한다.
- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.
- 도구는 500 ppm의 차아염소산염 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행구고 사용하여야 한다.
- 자급식 플라스틱 펌프(Self-priming plastic pumps): 매번 사용 후 멸균된 해수로 잘 행구어 주어야 한다. 하루 작업이 끝난 후 10분 동안 폐쇄 회로(closed circuit)에서 차아염소산염 용액으로 행구어 주어야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 플라스틱 에어 관은 10% HCl 용액에 보관하여야 한다.

- 로티퍼와 알테미아의 먹이 공급과 영양 강화를 위해 유분 영양 용액(oily nutrient solutions)을 공급하기 위해 사용된 용기는 사용 후 비누로 세척해야하며, 그리고 차아염소산염 용액에 보관해야 한다. 사용하기 전에 멸균 수로 행구어야 한다.
- 사용 후 폴리에틸렌 백은 폐기하여야 한다.

#### 유리 제품(Glassware)

- 철저히 세척되고 멸균된 유리 제품만 사용한다.
- 사용 후에는, 모든 유리 제품을 수돗물로 행구고 10% 염산 용액에 1시간 동안 담가 두어 오랜 배양의 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다.
- 기름기가 많거나 또는 두꺼운 침전물이 있으면, 세제와 솔로 씻는다. 모든 무기물 침전물을 피할 필요가 있는 경우, 마지막 행군은 증류수로 해야 한다.
- 세척하여 젖은 유리 제품은 적절한 선반에 매달아 건조 시키거나, 또는 여과된 해수로 즉시 채워서, 살균 과정을 준비한다. 일단 건조되고 나면, 즉시 사용하지 않을 경우, 먼지가 들어가지 않게 알루미늄 호일로 개구부를 밀봉하여 보관한다.
- 피펫과 유리관은 10% 염산 용액(hydrochloric acid solution)으로 채워진 원통형 플라스틱 행굼기(plastic rinsers)에 적어도 1시간 동안 두어, 오래된 배양물의 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다. 행굼 순서는 항상 수돗물이 먼저이고, 그 뒤에 증류수로 행군다.

#### 온도계(Thermometer) / 염분측정기(Salinometer) / 산소측정기(Oxymeter)

- 분석할 각 용기에서 채취한 물 시료만 측정하여야 하며, 절대로

탐침(probes)을 용기에 직접 담그지 않아야 한다. 사용 후에는 깨끗한 물로 완전히 씻는다.

#### 대량 배양 수조와 장비

- 배양 수조의 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다. 에어 호스와 산소 호스 및 확산기(diffusers)를 제거하고, 수중 히터와 플라크 포집기(floccule traps)를 제거한다.
- 젖어 있을 때, 수조와 모든 장비를 담수로 행구고, 그런 다음 수조 내벽, 바닥 및 모든 장비를 세제와 뜨거운 물로 솔 등을 사용하여 문지른다.
- 모든 장비를 담수로 행구고, 그리고 500 ppm 차아염소산염 용액에 밤새 담근다.
- 수조를 담수로 행구고, 그리고 차아염소산염 용액으로 한 번 더 처리한다.
- 수조를 담수로 행구고, 그리고 재충전하기 전에 수조를 건조시킨다.

#### 살균 용액 용기

- 일주일에 한 번 또는 활성 염소 함량이 사전 설정된 값 이하가 될 때마다, 소독 용액을 새 것으로 교체하고, 그리고 바닥 잔류물을 제거한다.

#### 테이블과 조명 선반(light shelves)

- 작업을 시작하기 전에, 모든 표면을 알코올로 소독한다.
- 하루 일과가 끝나면 세제로 씻고, 수돗물로 행구고 말린다.

#### 소형 용기용 조명 선반(Light shelves)

- 모든 표면을 매일 알코올로 세척하고 소독한다.

#### 바닥과 타일 벽

- 먼저 고압 세척기로 그런 다음 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)으로 매일 씻는다. 행귀내서는 안 한다.

#### 배양 장비와 시설의 살균: 배양 장비와 시설의 살균 절차

- 위생 및 살균 절차의 엄격한 이행이 필요하다.
- 로티퍼 배양 수조의 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 행구고, 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 행군다.
- 수조 벽을 500 ppm 활성 염소 용액(active chlorine solution)으로 씻거나 살포한 다음, 2시간가량 후에 수조의 물을 빼내고 염소 냄새가 없어질 때까지 잘 행군다.
- 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안으로, 수조를 해수로 채우고 차아염소산염(hypochlorite)으로 살균하며, 이후 잔류 염소는 디오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화한다.
- 포기 배관, 배수 밸브, 부유물 제거 매트 등 수조에서 사용되는 부속 장비들을 살균한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 차아염소산염으로 살균한다.

#### 먹이 생물 배양의 주의 사항

- 항상 있는 일로, 로티퍼로 조류 배양을 오염시킬 위험을 방지하기 위해, 조류와 관련된 모든 조작은 로티퍼와 관련된 조치를 하기 전에 완료되어야 한다.
- 기본 규칙으로, 조류 배양을 하는 데 사용되는 모든 장비는 로티퍼에게 사용되는 장비와 분리되어 보관되어야 한다.

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 여겨서는 안 한다. 재료와 장비가 필요할 때마다 당신 자신이 스스로 청소해야 한다.
- 독성이 높은 염소 가스 ( $Cl_2$ )가 생성될 수 있기 때문에, 차아염소산염 용액을 자외선에 노출시키거나 또는 염산(HCl)과 혼합해서는 안 한다.
- 모든 산성 또는 차아염소산염 잔류물은 어류에 치명적인 독이 있으므로, 사용하기 전에 철저히 행구어졌는지 확인해야 한다.
- 질병의 확산 위험을 예방하기 위하여, 배양장의 다른 구역과 재료와 장비를 절대로 교환하지 않아야 한다.

## 나. 친어, 자치어 사육 시설과 장비의 위생 관리 기준

### **자외선 살균기(UV-light sterilizer)**

- 석영 등의 청소: 설치되어 있는 자동세척기를 사용하여 하루에 2번 석영관을 청소하거나 또는 자외선 산출량이 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 자동 세척기가 없는 자외선등은 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 분해하여 석영관을 손으로 세척하여야 한다.
- 우회 배관의 환수: 자외선 살균기의 우회 배관의 정체된 물을 제거하기 위하여 하루에 2번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어 배관 내의 물을 배수한다. 경고: 배양장에서 질병이 발생한 경우 측관을 열어서는 안 한다.
- 자외선 살균등의 점검 창을 한 달에 한 번, 또는 잘 보이지 않을 때마다 분해하고 에탄올로 청소한다.

### **생물여과조(Biofilter)**

- 벽(walls): 오물이 쌓일 때마다 종이 티슈로 없애야 한다. 물에 손을 담그지 않아야 한다.
- 집수조 바닥 잔해 배출(Pump sump bottom): 사이펀으로 오물을 제거한다. 침전된 잔해(debris)를 재부유시키는 것을 피하기 위하여 사이펀을 부드럽게 작동한다. 항상 깨끗하고 소독된 사이펀을 사용한다. 사이펀을 500 ppm 차아염소산 용액에 담그고 그리고 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행군다.
- 매일 아침 생물여과조의 주수구에서 알테미아 트랩을 청소하고, 완전히 씻은 다음, 트랩을 제자리에 놓기 전에, 500 ppm 차아염소산염 용액에 30분 담가 두어 소독한다. 트랩에 걸린 알테미아를 제거한다.

- 매일 아침과 저녁에 생물여과조의 주수구에서 기계식 필터의 역세척을 점검한다. 일주일에 한 번 세제와 뜨거운 물로 기계식 필터의 구성 부분들을 씻는다. 그런 다음 교체하기 전에 차아염소산염 용액 500 ppm에 30분 동안 담가 소독한다.
- 일반 배수구 홈통(outlet gutter): 기계식 필터를 우회하여 (by-passing) 솔로 한 달에 두 번 청소한다. 각 과정의 끝에 차아염소산염 500 ppm으로 세척하고 소독한다.

#### 운용 수조(Working tanks)

- 바닥: 진공청소기, 진흙 흡입기 또는 사이펀을 사용하여 하루에 두 번 침전물을 제거한다.
  - 가능한 한 친어를 불안하게 하는 것을 피하면서, 사료 섭취량을 평가하기 위해 매일 제거한다.
  - 다음 수조를 청소하기 전에 청소 공구를 소독하여야 한다.
  - 침전물들이 다시 떠오르지 않도록 사이펀을 부드럽게 작동한다.
  - 수조마다 소독된 사이펀을 사용하여야 한다.
  - 사이펀을 500 ppm 차아염소산염 용액에 보관하였다가 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행구어야 한다.
- 수조 내벽과 수면 접촉면: 유분이나 오물이 쌓일 때마다 수위를 10 cm 낮추고 종이 티슈로 닦아야 한다. 절대로 물에 손을 담그지 않아야 한다.

#### 빈 수조(Empty tanks)

- 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다.
- 배수망과 파이프, 에어 호스 및 에어스톤, 그리고 밸브를 제거한다.
- 아직 젖어있을 때: 내벽, 바닥 및 모든 장비를 세제와 뜨거운 물

로 세게 닦아야 한다.

- 행구고 나서, 그리고 500 ppm 차아염소산염 용액으로 밤새 소독한다.
- 다음날 아침 담수로 행구고, 그리고 다시 채우기 전에 공기 중에서 말린다.

#### 유막 제거기(Skimmers)

- 물을 오염시킬 수 있는 습식 먹이를 공급할 때 수면을 청소하기 위하여 스키머를 사용하여야 한다.
- 스키머에 의해 걸러진 부유 잔해와 유막이 스키머에 쌓일 때마다 종이 티슈로 제거하여야 한다. 로티퍼와 알테미아를 공급한 후에는 필요한 경우 더 자주 제거한다. 특히 부레가 활성화되는 때인 자어 사육의 첫 10일 동안은 특별한 주의가 필요하다.

#### 배수 필터(Outlet filters)

- 아침과 저녁 조명을 끄기 전에 일과로서 하루에 두 번 깨끗하고 소독된 필터로 교체하여야 한다. 만일 필터 막힘의 위험이 있는 경우에는 낮에 더 자주 교체하여야 한다.
- 사육수의 급수를 멈추고, 그리고 어린 자어를 방해하지 않으면서 또 필터에 붙은 더러운 오물이 재부유되는 것을 피하면서 더러운 필터를 조심스럽게 제거한다.
- 제거된 필터를 뜨거운 물 또는 담수의 고압 세척수로 씻고, 그리고 나서 30분 동안 차아염소산염 용액에 담근다. 필터를 물로 완전히 행구고, 말려서 수조 가까이 보관한다..
- 필터를 교체 할 때, 새 필터 안에 차이어가 갇혀 있지 않도록 확인하여야 한다.

### 에어 호스(Air hoses)와 확산기(diffusers)

- 일주일에 한 번 각 수조에서 깨끗한 세트(플라스틱 호스 + 에어 꼭지(tap) + 에어 스톤)로 교체한다.
- 유막을 제거하기 위하여, 뜨거운 물과 세제로 씻는다. 그 다음 10% 염산(hydrochloric acid)에 담근다. 사용 전에 물로 철저히 행구어, 에어 호스와 에어 스톤 내부에 산성 용액이 남아 있지 않도록 주의하여야 한다.

### 주수 연성 호스(Water inlet flexible hose)

- 일주일에 한 번 깨끗한 것으로 교체한다. 위에 공기 호스에 대해 표시된 대로 처리하여야 한다.

### 장비(bucket), 항아리(jugs), 비커, 피펫 등)

- 하루 동안: 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 철저히 행군다.
- 하루 작업 종료 시: 500 ppm 차아염소산염 용액에 담근다.
- 야간: 밤에는 물로 행구고, 그리고 건조한 상태로 보관한다.
- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.
- 도구는 500 ppm의 차아염소산염 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행구고 사용하여야 한다.
- 자급식 플라스틱 펌프: 매번 사용 후 멸균된 해수로 잘 행구어 주어야 한다. 하루 작업이 끝난 후 10분 동안 폐쇄 회로(closed circuit)에서 차아염소산염 용액으로 행구어 주어야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 플라스틱 에어 관은 10% HCl 용액에 보관하여야 한다.
- 로티퍼와 아르테미아의 먹이 공급과 영양 강화를 위해 유분 영양 용액(oily nutrient solutions)을 공급하기 위해 사용된 용기(Jug)는 사용 후 비누로 세척해야하며, 그리고 차아염소산염 용액에 보관

해야 한다. 사용하기 전에 멸균수로 행구어야 한다.

- 사용 후 폴리에틸렌 백은 폐기하여야 한다.

### 살균 용액 용기

- 일주일에 한 번 소독 용액을 새 것으로 교체하고, 그리고 바닥 침전물을 제거하여야 한다.
- 소독 용액은 차아염소산염(Hypochlorite) = 500 ppm 활성 염소 용액(active chlorine solution), 염산(Hydrochloric acid) = 10% v/v 용액이다.

### 먹이생물의 일일 저장 용기

- 마지막 먹이생물 공급 후, 세제와 뜨거운 물로 저장용기의 내벽, 바닥, 뚜껑, 에어 호스 및 에어 스톤을 문질러 닦아낸다.
- 500 ppm의 차아염소산염 용액으로 소독한다.
- 다음날 먹이생물 공급을 준비하기 위하여, 담수로 씻어 내고, 그리고 공기 중에 말린다.

### 사육실 바닥

- 일주일에 두 번, 먼저 강력한 고압 분사기(strong water jet)로 씻고, 그 다음 500 ppm 차아염소산염(hypochlorite)으로 씻는다. 행구이지 않아야 한다,

### 난 수집기(Egg collectors)

- 아침과 저녁에 난을 확인한다.
- 난 수집기를 한번 비운 후에는, 완전히 배출하고, 그리고 담수로 행구어야 한다.
- 난 수집기의 망과 내벽은 차아염소산염 용액으로 조심스럽게 세

척하고, 담수로 평균 다음, 다시 산란수조(spawning tank.)에 연결한다.

#### 자동 사료 공급기(Automatic feeders)

- 매일 먼지(dust)와 살포되지 않은 사료를 제거하여야 한다.
- 상업용 에탄올(ethano)과 종이 티슈로, 일주일에 한 번 용기와 공급 장치를 청소하여야 한다.

#### 아르테미아 공급 통(Artemia dropping buckets)

- 매일 아르테미아 공급이 완료되었을 때, 세제와 뜨거운 물로 청소하여야 한다. 그런 다음 30분간 차아염소산염 용액(hypochlorite solution)에 담근다. 아르테미아 공급 호스(delivering hose)와 꼭지(tap)가 막히지 않았는지 확인하여야 한다.

#### 작업자 위생 관리 주의 사항

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 가정해서는 안 한다. 필요할 때마다 자신 스스로 청소해야 한다.
- 모든 산성 또는 차아염소산염의 잔류물은 치어에 치명적인 독이 있으므로 사용하기 전에 장비를 철저히 행구어야 한다.
- 질병 확산의 위험을 피하기 위하여, 배양장의 다른 구역들과 재료와 장비를 교환하지 않아야 한다.
- 개인위생
  - 손을 깨끗하게 유지하여야 한다.
  - 배양장에 들어가기 전에 소독조에 발을 담가야 한다.
  - 배양장 안에서 담배를 피워서는 안 한다.

#### 다. 수질 측정 기기의 관리

- 좋은 수질을 유지하는 것은 어류의 건강을 유지하고 성장과 생존을 극대화하는데 중요하다. 일반적으로 종자 생산장이나 양식장에서 사육생물의 수질을 측정하는데 필요한 기기는 아래와 같다.
  - 온도; 아날로그 온도계 또는 염분 또는 용존산소 측정기와 통합된 디지털 온도계
  - 염분; 굴절계(refractometer) 또는 가급적 염분 측정기
  - 용존 산소(DO); 디지털 DO 미터
  - pH; pH 미터 또는 pH 테스트 키트
  - 암모니아-질소(NH<sub>3</sub>-N); 암모니아 테스트 키트
- 최상의 수질 모니터링을 위해서는:
  - 양질의 장비 구입
  - 제조사의 권장 사항에 따라 계기 및 장비 유지 관리를 해야 한다. 예를 들어, pH 미터는 정기적으로 전극 용액을 교체해야 하며, DO 미터는 정기적으로 전극 멤브레인을 교체해야 한다.
  - 소모품 (예 : DO probe membranes, 교정 표준) 및 필수 예비 부품의 재고 유지
  - 사용 설명서는 복사하고 원본은 참조용으로 보관한다. 설명서의 사본은 직원에게 제공해야 하며 사용 중에 분실하거나 손상된 사본을 대체 할 수 있게 여분의 사본이 있어야 한다.
  - 측정기는 제조사의 지침에 따라 보정해야 하며, 특히 pH와 DO 미터는 매일 보정해야 한다.
  - 기술직원은 수질 검사 장비의 교정, 사용 및 유지 관리에 대한 교육을 받아야 한다.
  - 수질을 정기적으로 모니터링하고 기록한다. 특히 질병 문제를 일으킬 수 있는 변화를 확인하기 위해 수질 데이터를 기록하는 것이 중요하다.

## 참고문헌

- Çiftçi, Y., Üstündağ, C., Erteken, A., Özongun, M., Ceylan, B., Hasimoglu, A., Günes, E., Yoseda, K., Sakamoto, F., Nezaki, G., Shiro, H., 2002. Manual for the Seed Production of Turbot, *Psetta maxima* in the Black Sea. Special Publication No. 2, Central Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Trabzon, Turkey and Japan Cooperation Agency, pp. 80.
- Ismi, S., T. Sutarmat, N.A. Giri, M.A. Rimmer, R.M.J. Knuckey, A.C. Berding, and K. Sugama. 2012. Nursery management of grouper: a best-practice manual. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). pp. 44.
- Kaji T, Kodama M, Arai H, Tanaka M and Tagawa M., 2003, Prevention of surface death of marine fish larvae by the addition of egg white into rearing water. *Aquaculture*, 224, 313-322.
- Ketut Sugama, Michael A. Rimmer, Suko Ismi, Isti Koesharyani, Ketut Suwirya, N.A. Giri and Veronica R. Alava. 2012. Hatchery management of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*)-a best-practice manual. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) MONOGRAPH SERIES, pp. 66.
- Oh, S. B., Lee, C.H. and Lee, Y.D., 2018. Induction of Puberty in Red Spotted Grouper, *Epinephelus akaara* By Water Temperature. *J. Aquac. Res. Development*, 9(5), 1-7.
- Moretti, A., Pedini Fernandez-Criado, M., Cittolin, G. and Guidastrri, R. 1999. Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream, Rome, FAO, Vol 1. pp. 194.
- Park, J.Y., Cho, J.K., Son, M.H., Kim, K.M., Han, K.H. and Park, J.M., 2016. Artificial Spawning Behavior and Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the Red Spotted Grouper, *Epinephelus akaara* in Korea. *Dev. Reprod.* 20(1), 31-40.
- Rurangwa, E. and Poelman, M. 2011. Hatchery manual for broodstock management and larval production of turbot (*Psetta maxima*). pp. 52.
- Setiadi E., Tsumura S. and Yamaoka K., 2002. Effects of Water Color and Light Intensity on Water Surface Tension-Related Deaths in Larval Stage of the Red-Spotted Grouper, *Epinephelus akaara*. *SUISANZOSHOKU* 51(1), 81-85.
- The IUCN Red List of Threatened Species-*Epinephelus akaara*, Hong Kong Grouper. <https://www.iucnredlist.org/species/43974/100459934>
- Yamaoka K., Nanbu T., Miyagawa M., Isshiki T., and A., Kusaka, 2000. Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture* 189, 165-176.
- 南部智秀, 2012. 高級魚キジハタの栽培漁業推進に関する研究. 平成24年度 全国水試場長会会長賞, [www.fishexp.hro.or.jp/cont/jochokai/.../H24\\_07\\_koen2.pdf](http://www.fishexp.hro.or.jp/cont/jochokai/.../H24_07_koen2.pdf)
- 南部智秀, 2014. 高級魚による栽培漁業の推進-やまぐちのキジハタ. 豊かな海 No.32, 40-42.
- 馬久地隆幸, 1992. キジハタ種苗生産時のウイルス性疾病. 広島県水産試験場研究報告 17, 45-49.
- 明石英幹, 安部享利, 2011. キジハタ人工種苗に多発する頭後部陥没を症徴

とする形態異常魚の放流標識としての可能性. 香水試報 12, 13-18.

박종연, 2016. 붉바리(*Epinephelus akaara*) 인공종묘생산에 관한 연구. 전남대학교 대학원 수산과학과 이학박사 학위논문, pp. 119.

박형준, 민병화, 김성연, 2017. 수온별 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 행동, 생존율 및 혈액생리학적 반응. Korean J. Environ. Biol. 35(2), 128-133.

백혜자, 김형배, 이영돈, 김성연, 이치훈, 윤낙진, 2017. 수출용 붉바리 종자 번식기술 개발 건강지침서. pp. 62.

山口県 水産振興課, 2012. 栽培漁業のてびき(改訂版) 7. キジハタ. 44-51.

山口県栽培漁業公社 外海第二生産部 »キジハタ, <https://yamasaikou.jimdo.com/>

山野井英夫・近藤正美・藤井義弘・田川正朋, 1999. トリヨードクロニン浴によるキジハタ仔魚の初期減耗の軽減. 水産増殖47(4),589-593.

森田哲男, 2014. 循環システムを用いたキジハタ陸上養殖の可能性. 瀬戸内海区水産研究所 研究成果発表会 要旨集, 7-8.

植木範行, 2002. 明暗条件がキジハタの卵及びふ化仔魚に与える影響について. 岡山水試報 17, 77-80.

오성립, 고경민, 양병규, 송진선, 홍행연, 2009. 붉바리, *Epinephelus akaara* 종묘생산. 제주특별자치도 해양수산자원연구소, 2009. 2007-2008 연구사업보고서, 61-65.

御堂岡あにせ, 2008. 低塩分飼育によるキジハタの種苗生産技術開発について. 広島県総合技術研究所水産海洋技術センター研究発表要旨集. <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/41671.pdf>

野上欣也, 福永恭平, 1990. 栽培漁業と新養成技術 ㉑ キジハタの種苗生

産. 水産の研究 9(6), 103-109.

與世田兼三, 照屋和久, 菅谷琢磨, 関谷幸生, 2006. 初回摂餌の遅れがキジハタ *Epinephelus akaara* 仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. 日本水産学会誌 72(4), 702-709.

與世田兼三. 2008. ハタ類3種(ヤイトハタ *Epinephelus malabaricus*, キジハタ *Epinephelus akaara*, スジアラ *Plectropomus leopardus*) の初期減耗要因の解明に関する研究. 水研センター研報, 23, 91-144.

이영돈, 백혜자, 노충환, 2017. 수출용 붉바리 종자 개발. Golden Seed 프로젝트 사업 연구보고서, pp. 310.

이창규, 허성범, 박 승, 김병균, 1997. 산란기간 중의 붉바리 난질 변화. 한국양식학회지 10(4), 463-472.

이창규, 허성범, 1997. 붉바리 자어의 난황흡수 및 첫 먹이 섭취시기와 관련된 생존특성. 한국양식학회지 10(4), 473-483.

이창규, 박인석, 허성범, 1998. 기아시 붉바리 자어의 간세포핵 변화. 한국양식학회지 11(1), 11-17.

이창규, 허성범, 1998. 먹이생물과 수온이 붉바리 자어의 생존에 미치는 영향. 한국양식학회지 11(4), 565-572.

이창규, 허성범, 고태승, 박승, 1998. 붉바리의 성숙과 성비 및 성전환. 한국양식학회지 11(4), 573-580.

이태원, 이창규, 1996. 한반도 서남 연안 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 연령과 성장. 韓魚誌 8(2), 16-22.

임상규, 한상범, 임한규, 2016. 염분변화에 따른 붉바리(*Epinephelus akaara*)와 대왕붉바리(*E. bruneus*♀ × *E. lanceolatus*♂)의 스트레스 반응. 한국수산과학회지 49(5), 612-619.

田中秀樹, 広瀬慶二, 野上欣也, 服部圭太, 石橋矩久, 1990. キジハタの性成熟と性転換. 養殖研報 17, 1-15.

池田茂則, 家接直人, 2005. マダイとの混合飼育によるキジハタの成長促進効果. 福井県水産試験場報告(平成15年度), 129-131.

草加耕司, 藤井義弘, 増成伸文, 2005. キジハタ仔魚期の減耗軽減のための種苗生産試験. 岡山水試報 20, 45-48.

八木秀志. キジハタ種苗生産について.

황성일, 이영돈, 송춘복, 노섬, 1998. 붉마리, *Epinephelus akaara*의 생식소 발달과 17 $\alpha$ -methyltestosterone 처리효과. 한국양식학회지 11(2), 173-182.

棚野元秀, 植田 豊, 三木勝洋, 2006. キジハタの飼育初期における鶏卵卵白の添加と夜間照明の併用. 香水試研報 7, 19-23.

萱野泰久・尾田正, 1991. キジハタ卵の発生に及ぼす水温の影響について. 水産増殖 39(3), 309-313.

萱野泰久, 1992. キジハタ稚魚の摂餌量および胃食塊の経時変化. 水産増殖, 40(4), 377-381.

萱野泰久, 水戸鼓, 1993. キジハタの卵発生及びふ化仔魚の生残に及ぼす塩分の影響. 栽培技研, 22(1), 35-38.

萱野泰久, 尾田 正, 1994. 人工生産したキジハタの成長と産卵. 水産増殖 42(3), 419-425.

萱野泰久, 1995. キジハタ. 水産増殖 43(2), 269-272.

萱野泰久, 何玉環, 1997. キジハタ仔魚の初期摂餌と成長. 水産増殖 45(2), 213-218.

萱野泰久, 何 玉環, 原 隆, 福永丈人, 1998. 年齢組成の異なるキジハタ親魚群の自然産出卵の卵質. 水産増殖 46(2), 213-218.

萱野泰久, 2001. 人工魚礁域に蠕集するキジハタの食性. Suisanzoshoku 49(1), 15-21.

萱野泰久, 2009. 飼育条件下におけるキジハタ仔稚魚期の摂餌生態と成長の変化. 水産総合研究センター 水産技術 2(1), 31-38.



## 저 자

김태진 박민우 전임기 하현주 김성연

## 국제 기준에 따른 불바리 종자 생산 관리 매뉴얼

발행일 2019년 9월 1일

발행인 김 태 진

발행처 (주)한국수산식품안전연구소

부산시 해운대구 센텀동로99, 1502호 (재송동 벽산e-센텀플레이스원)

전화 (051)783-0198 / 팩스(051)-505-0197