

국제 기준에 따른
**황금넙치 종자
생산 관리 매뉴얼**



수산종자사업단
National Agency for Marine Seed Improvement



한국수산물안전연구소
KOREA SEAFOOD SAFETY INSTITUTE

국제 기준에 따른

황금넙치 종자 생산 관리 매뉴얼



2020. 10



수산종자사업단
National Agency for Marine Seed Improvement



한국수산물안전연구소
KOREA SEAFOOD SAFETY INSTITUTE

【일러 두기】

1. 국내의 넙치 종자 생산 기술은 1981년부터 개발한 이후 1984년 인공채란, 1986년 자연 산란에 성공하여 완전 양식의 기반이 조성되었으며, 1988년 조기 산란에 성공하여 산업 발전의 토대가 마련되었다. 황금넙치는 넙치의 돌연변이로 양식 넙치에서도 수 천만 분의 1의 확률로 발생하는 희귀 개체이다. 황금넙치는 황금색의 높은 선호도로 상품성을 월등히 향상시킬 수 있다.
2. 본 매뉴얼은 GSP의 “수산종자 관리 기준 개발 및 인증제 연구”의 일환으로, 전 세계적으로 수산 양식 생산물에 적용되고 있는 외국의 국제적 인증제도(ASC, GAP, BAP 등)를 분석하여 종자 배양장에 적용할 수 있는 공통성(commonality)과 황금넙치의 종자 생산 연구결과 및 문헌 자료로부터 생산 과정별 종자 생산 관리 사항을 도출하고 국내 종자 생산 관리의 현실성을 감안하여 수산종자 관리 기준을 개발하였다. 그리고 점점 기준에 관한 기본적인 자료로서 “황금넙치 종자 생산 관리 매뉴얼”을 개발하여 이론적 근거 자료를 확보함으로써 활용의 토대를 마련하였다.
3. 참고한 주요 자료는 GSP의 1단계 과제에서 수행된 「중국 수출용 황금넙치 종자 개발(2013~2016)」과 2단계 과제 「황금넙치 개발과 산업화(2017~2020)」에서 도출된 연구결과들을 근간으로 하고 이미 발간된 터봇, 붉바리 종자 생산관리 매뉴얼들과 관련한 국내외 종자 생산 관리 자료들의 최근 주요 관리 실무들을 발췌, 정리, 추가하여 매뉴얼의 체계를 보완함으로써 국제 기준에 부합하는 종자 생산 관리 매뉴얼의 토대를 마련하였다.
4. 이번에 작성된 매뉴얼은 현재의 기술 개발 단계에서 정리된 것이므로 앞으로 미흡한 부분과 오류는 지속적으로 수정보완하고, 또 새로이 개발되는 기술들을 추가함으로써 황금넙치 종자 생산 실무에 적용할 수 있는 실용적인 매뉴얼로 계속 활용될 수 있기를 기대한다.

목 차

1. 친어	5
가. 황금넙치 친어의 확보	5
1) 황금넙치 친어의 수집	5
2) 황금넙치 친어의 선발	7
나. 사육 시설	10
1) 친어 사육 시설	10
2) 친어 사육 시설과 장비의 위생 관리	12
다. 사육 관리	16
1) 친어의 입식	16
2) 친어 사육 환경 관리	19
3) 친어 사료 공급 관리	21
라. 질병 관리	24
1) 질병 발생 현황	24
2) 바이러스성 질병	25
3) 세균성 질병	28
4) 기생충성 질병	34
마. 번식 관리	39
1) 친어의 성숙	39

2) 친어의 산란	44
3) 인공 수정	46
2. 먹이생물	53
가. 조류	53
1) 배양 시설과 장비의 위생 관리	53
2) 조류 배양	58
나. 로티퍼	63
1) 로티퍼 배양 시설과 장비의 위생 관리	64
2) 로티퍼 대량 배양 환경 관리	68
3) 로티퍼의 배양	71
4) 로티퍼의 영양 강화	81
다. 알테미아	85
1) 부화 시설과 장비의 위생 관리	86
2) 내구란의 선정	89
3) 내구란의 살균	90
4) 내구란의 부화	91
5) 노플리우스의 수확	93
6) 영양 강화	97
3. 수정란의 수집과 부화	101
가. 수정란의 수집	101

1) 수정란의 수집	101
2) 수정란의 선별	102
3) 수정란의 평가	103
4) 수정란의 살균	105
5) 수정란의 수송	105
 나. 수정란의 배양과 부화	106
1) 난 발생	106
2) 수정란의 배양 시설과 관리	109
3) 수정란의 배양 시설과 장비의 살균	111
4) 수정란의 배양 환경 관리	112
5) 수정란의 부화 관리	115
6) 부화 자어의 평가	116
7) 부화 자어의 이송	117
 4. 자어	119
 가. 사육 시설	119
1) 사육 수조	119
2) 사육수의 공급과 차광 시설	120
 나. 위생 관리	121
1) 자어 사육 체계의 준비	121
2) 자어 사육 시설과 장비의 위생 관리	123
 나. 사육 환경 관리	127

1) 자어 사육 시설 환경 관리	127
2) 자어 사육 수질 환경 관리	138
다. 사육 관리	141
1) 자어의 발육 특성	141
2) 먹이 공급 체계	151
3) 자어 먹이생물 공급	153
4) 자어 인공 사료 전환	160
5) 자어 건강 모니터링	163
6) 자어 질병 관리	166
5. 치어	168
가. 위생 관리	168
1) 치어 사육 시설과 장비의 위생 관리	168
나. 사육 환경 관리	172
1) 치어 사육 시설 환경 관리	172
2) 치어 사육 수질 환경 관리	178
다. 사육 관리	181
1) 자어와 치어의 성장	181
2) 치어 사료 공급 관리	183
3) 치어 건강 모니터링	186
4) 자·치어의 이송 관리	189

라. 질병 관리	191
1) 바이러스성 질병	191
2) 세균성 질병	193
3) 기생충성 질병	197
 6. 종자 수송	 201
가. 종자의 수확과 적재	201
나. 종자의 수송 환경 관리	202
다. 종자의 적하와 입식	206
 참고 문헌	 208

황금넙치 종자 생산 관리 매뉴얼

넙치는 한반도 연안을 비롯하여 북의 사할린에서 남의 남중국해의 말레이와 인도네시아 연안에 걸쳐 북위 62° 에서 1° , 동경 99° 에서 163° 에 분포하는 저서 해양회유 어류이다. 일반적으로 광어(廣魚)로 많이 알려져 있는 넙치의 학명은 *Paralichthys olivaceus*이며, 일명은 히라메(ヒラメ, 平目), 중국명은 헤야핑(Hè yà pīng, 褐牙鲆)이다. 그리고 영명으로 Olive flounder가 사용되나 FAO 일반명은 Bastard halibut이다.

우리나라의 넙치 종자 생산 기술은 1981년 경남 거제군 장목면 외포리의 국립수산물진흥원 거제수산물종묘배양장(현 국립수산물과학원 육종연구센터)에서 “넙치 인공 종묘 생산 시험”으로 처음 연구되기 시작하였다. 1983년에 동 배양장에서 거제 연안 자연산 넙치 친어에서 채란하고, 수정, 부화 및 자치어의 사육 실험을 실시하여 전장 3 cm의 치어 450마리를 생산하였다. 이어서 친어를 배양장의 육상 수조에 수용 관리하여 1984년 성숙 어미로부터 복부 압박에 의한 인공 채란으로 수정란 생산에 성공하였다. 1984년에 생산된 인공 종자를 사육하여 1986년 5~7월에 최초로 자연 산란된 수정란을 확보함으로써 완전 양식의 기반이 조성되었다. 이후 우리나라 자연환경에서 양식에 유리한 조기산 종자를 생산하기 위해 광주기를 조절하며 친어를 관리하여 1988년 2년생 넙치 어미에서 우리나라 최초의 조기산 산란이 이루어짐으로써 넙치 양식 산업 발전의 토대가 마련되었다. 이후 넙치 양식의 지속적인 발전으로 2009년에 54,675톤을 생산하였으나, 세계적으로 빠르게 변하는 사회경제적 환경과 기술 발전의 변화에 대한 적응에 늦어져 점차 어려움이 가중되고 있다.

양식 넙치의 생산은 현재까지 매년 4만 톤 내외를 유지하고 있으나, 넙치 양식은 양식 종자의 열성화와 폐사율의 증가 등으로 생산비는 상승하고, 판매 가격은 하락함으로써 산업 여건은 점차 악화되고 있어, 넙치 양식의 경제성을 높이기 위해서는 기술 개발에 대한 접근 방식의 변화가 필요하다.

이러한 여건에서, 황금넙치는 넙치의 돌연변이로 한국과 일본에서 어부들에 의해 채집되어 마스크에 보고되는 희귀 개체이다. 그리고 양식 넙치에서도 수천만분의 1의 확률로 발생하는 희귀 개체이다. 이러한 황금넙치는 체색이 황금색으로 미관상 탁월한 특색을 지니고 있어, 체색을 중요시하는 활넙치 시장에서 넙치의 상품성을 향상시킬 수 있어, 소비자들의 높은 선호도를 이끌어낼 수 있으며, 특히 황금색을 좋아하는 일본, 대만, 중국 등 아시아권에서의 높은 수요가 기대되므로, 황금넙치를 해외 시장에 진출할 수 있는 경쟁력 있는 글로벌 수출 전략형 품종으로 개발할 수 있는 높은 가능성이 기대되고 있다.

황금넙치는 과거 제주도에서 연중 1억 마리 정도 사육되면서 2~3마리가 발견되었으나, 상품성이 없어 폐사 또는 도태시키는 것이 일반적인 관행이었다. 황금넙치에 관한 학문적 연구는 먼저 일본에서 시작되었으나 지진, 해일에 의해 연구 시설의 파손과 수집된 자원의 유실로 인하여 현재는 연구되지 않는 것으로 알려져 있다. 우리나라에서는 제주도의 영어조합법인 해연에서 양식 넙치에서 2007년부터 황금 넙치를 모집하여 2010년 황금 넙치 간 교배를 통해 종자 생산을 시도하였으나 조기 폐사로 인하여 실패하였으며, 민간연구소에서 오랜 시간 지속적인 선발육종을 시행하는 데에는 자본 등 여러 어려움이 있었으나, 황금넙치 7마리를 수집하여, 사육하고 있었다. 영어조합법인 해연은 2013년 「골든 시드 프로젝트」로 「중국 수출용 황금넙치 종자 개발」 과제를 추진하면서, 제

주도 양식장, 전북 새만금의 자연산 및 완도 양식장 등에서 1년에 2~3마리 정도 발견되는 황금넙치 친어를 추가로 수집하여 2016년 12월에 총 12마리를 수집하여 사육하며, 종자 개발 연구를 계속하였다.

황금넙치의 종자 생산 기술 개발 연구는 「골든 시드 프로젝트」로 2013년부터 1단계로 「중국 수출용 황금넙치 종자 개발」 과제로 추진되었고, 2017년부터 2단계로 「황금넙치 개발과 상업화」 과제로 영어조합법인 해연에 의해 추진되는 연구 개발 과정에 있다. 황금넙치의 종자 생산 기술에 대한 생산 관리 매뉴얼은 현재 계속되는 연구의 수행을 통하여 확보한 최종 연구 결과와 기술 정보에 근간하여 작성되는 것이 합당하다. 그러나 근간이 되는 황금넙치 친어의 선발 및 관리 기술은 대부분 개발되어 황금넙치의 종자가 이미 보급되어 생산되고 있으므로 종자 생산 공정의 적절한 관리를 위하여, 종자 생산 관리 매뉴얼의 작성과 보급이 필요하다. 그러므로 황금넙치 종자 생산 관리 매뉴얼은 국립수산물과학원에서 수행하는 「골든 시드 프로젝트」의 1단계 과제 「중국 수출용 황금넙치 종자 개발(2013~2016)」과 2단계 과제 「황금넙치 개발과 상업화(2017~2020)」에서 현재까지 도출한 연구 결과들을 근간으로 하고, 국립수산물과학원에서 발간한 「넙치 양식 표준 지침서¹⁾」와 「넙치 양식 표준 매뉴얼²⁾」의 주요 실무 내용들을 정리하여 생산 관리의 기본 체계를 세우는 한편, 「국제 기준에 따른 터봇 종자 생산 관리 매뉴얼³⁾」, 「흑해의 터봇 종자 생산 매뉴얼⁴⁾」 및 「유럽 농어와 돔의 종자 생산 매뉴

1) 손맹현, 박민우 등, 2006. 넙치 양식 표준 지침서. 국립수산물과학원, 192 p.

2) 김경길, 황형규, 김현철, 감강웅, 도정완, 정민환, 김응오, 2016. 넙치 양식 표준 매뉴얼. 국립수산물과학원, 103 p.

3) 김태진, 박민우, 전임기, 하현주, 서종표, 김성연, 2019. 국제 기준에 따른 터봇 종자 생산 관리 매뉴얼. (주)한국수산물안전연구소, 159 p.

4) Çiftci, Y., Üstündağ, C., Erteken, A., Özongun, M., Ceylan, B., Haşimoğlu A., Güneş, E., Yoseda, K., Sakamoto, F., Nezaki, G. and Hara, S. (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

열⁵⁾]에서 종자 생산 관리를 위한 주요 관리 실무들을 발췌하여 추가함으로써 관리 매뉴얼의 체계를 보완하였다. 그 외에도 넙치류의 종자 생산 기술에 관련된 여러 참고 문헌들도 작성에 참조하였다.

양식 어류의 종자 생산 기술을 보급하는 목적으로 발간되는 매뉴얼에서, 우리나라에서 발간되어 온 매뉴얼들은 우리나라의 자연환경과 사회 여건에 최적화된 생산 관리 기술들이 축적되어 있다. 그러나 유럽 등 양식 선진국들의 매뉴얼과 비교하여 생산 공정 관리에 대한 접근 방식에 상당한 차이가 있다. 특히 유럽 등 외국 양식 선진국의 매뉴얼에는 생산성을 높이기 위하여 생산 공정에 적용할 수 있는 절차적 세부 실무 기준들이 비교적 명확히 제시되어 있는 편이며, 특히 위생 관리에 대한 세부적인 실무 기준들이 강조되어 있는 점에서 차이가 있다. 그러므로 우리나라에서 개발된 우수한 종자의 수출을 정책적으로 지향하고 있는 현시점에서, 종자 생산 관리 기술을 향상시키고 해외 수출 기반을 공고히 하기 위해서는, 우리나라에서 개발된 우수 종자의 생산 기술을 바탕으로 외국의 우수한 실무 관리 기준을 도입하여 적용해야 한다. 그리고 수산 종자 인증제 도입을 위하여 국제 기준에 부합하는 종자 생산 관리 매뉴얼을 마련하는 것이 필요하다. 이번에 작성된 매뉴얼은 현재의 기술 개발 단계에서 정리된 것이므로 앞으로 지속적으로 미흡하거나 잘못된 내용들을 수정하고, 또 새로이 개발되는 기술들을 추가하여 보완함으로써, 황금넙치 종자 생산 실무에 적용할 수 있는 실용적인 매뉴얼로 계속 활용될 수 있기를 기대한다.

and Rural Affairs, Trabzon, Turkey and Japan International Cooperation Agency: 1-80.

- 5) Moretti, A.; Pedini Fernandez-Criado, M.; Cittolin, G.; Guidastri, R. Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream. Volume 1. Rome, FAO. 1999. 194 p.

1. 친어

가. 황금넙치 친어의 확보

1) 황금넙치 친어의 수집

- 넙치 양식 초기에 수정란은 어획된 야생 넙치로부터 수정란을 확보하거나, 또는 어획 후 어미로 순치 사육하여 수정란을 확보하였다. 그 이후 종자 생산 시설에서 생산된 넙치 종자들 가운데서 선택적으로 사육된 넙치 어미 집단을 확보하여 고품질의 난과 자어를 생산하는 데 사용하여 왔다.
- 황금넙치는 제주도에 연중 1억 마리 정도 사육이 되면서 2~3마리 발견되는 돌연변이의 희귀 개체이다. 체색이 황금색으로 미관상 탁월한 특색을 지니고 있어, 체색을 중요시하는 활넙치 시장에서 소비자들의 높은 선호도와 수요가 예상되므로, 해외 시장에 진출할 수 있는 경쟁력 있는 수출 전략 품종으로의 개발 가능성이 기대되고 있다.
- 황금넙치의 친어는, 개체선발과 가계선발의 두 가지 형태 중에서, 황금 색상의 표현형이나 유전적 잠재력을 가진 개체선발을 통하여 수집한다.
- 영어조합법인 해연은 1단계 사업이 시작된 2013년 이전부터 황금넙치 7마리를 수집하여, 사육하고 있었다.
- 2013년에 사육 중인 황금넙치 가운데 5마리가 폐사하고, 제주도 양식장에서 1마리를 추가 수집하여 3마리(수컷 2마리와 암컷 1마리)를 사육하였다.
- 2014년 5월 말경 전북 새만금에서 최초의 자연산 황금넙치 1마리

를 수집하였다.

- 2015년 3월 제주도와 완도 양식장에서 황금넙치 4마리를 추가로 수집하였다.
- 자연과 양식장에서 1년에 2~3마리 정도 발견되는 황금넙치를 대량 확보하기에는 한계가 있었으며, 사육 과정에 일부 폐사하여 2016년 12월 총 12마리를 수집하여 사육하였다.
- 황금넙치 종자 생산 연구를 위해 2013년 1단계 연구에서부터 2017년 2단계 3차 연도인 2019년 10월까지 자연과 양식 어가에서 수집된 황금넙치 친어는 암컷 9마리, 수컷 3마리, 총 12마리의 황금넙치 친어(GF)가 수집되었다. 그리고 이들 황금넙치 친어로부터 생산된 잡종 제1대를 GF1(Gold first filial generation), 제2대를 GF2, 제3대를 GF3로 명하였으며, GF1(2015년) 458마리, GF2(2016년) 482마리, GF3(2018년) 786마리가 친어 후보군으로 사육되었다.
- 황금넙치의 경우 초기 친어 모집단이 매우 커야 하나, 수집의 어려움으로 소수 집단 내 교배와 전형매 교배를 통해 생산하기 때문에 순종 모집단을 구성할수록 유전적 다양성은 떨어질 수밖에 없고, 유전적 열성화(inbreeding depression)가 발생할 것이며, 이로 인한 여러 가지 표현형의 하향 발현이 일어나므로 유전적 다양성 확보와 열성화를 방지하기 위해서는 지속적인 유전적 다양성 분석 확인과 새로운 황금넙치 친어 모집을 통한 유전적 다양성을 유지 혹은 높이는 것이 반드시 필요하다.
- 황금넙치 친어 집단은 앞으로도 열성화 방지와 유전적 다양성을 확보하기 위하여 자연과 양식장에서 지속적으로 수집하여야 한다. 그리고 기존 발현된 황금넙치 자세대를 포함하여 여러 친어 집단 간 교배를 통해, 황금넙치의 혈통을 순종으로 고정하는 한

편, 황금 체색과 속성장을 대표 형질로 보유한 황금넙치를 개발하기 위하여 선발육종을 계속하여야 한다.

2) 황금넙치 친어의 선발

- 2011년 7월 황금넙치 수컷(GF, ♂)과 일반 넙치 암컷(NF, ♀)을 인공수정 시켜 생산한 잡종 제1 세대(F1)는 제주 하도 어촌계 양식장에서 종자를 생산한 후 2014년 8월에 해연으로 입식하여 관리하였으나, 체색이 발현되지 않아 도태시켰다,
- 2014년 잡종 제1 세대의 F1(♂) × F1(♀)의 전형매 교배로 생산된 F2 세대도 2016년(1단계 연구 기간 4차 연도)까지 발현되지 않아 도태시켰다.
- 2015년 4월 중순 자연 주기에서 성 성숙한 황금넙치 암컷(GF0) 6 개체에 GnRH 호르몬을 500 IU/kg 농도로 투여하고, 일주일 후 복부를 압박하여 채란하고, 황금넙치 수컷(GF0) 2개체에서 채정하여, 수정란 150 cc를 생산하여 GF1 세대 자어를 생산하였다.
- 2015년 8월 중순 광주기 자극으로 성 성숙을 유도하여, 생식소가 발달한 것으로 판단되는 황금넙치 암컷(GF0) 4 개체에 HCG 호르몬을 500 IU/kg 농도로 투여하여 채란하고, 황금넙치 수컷(GF0) 1 개체에서 채정하여 인공수정하고, 부상란 중에서 일부(270 cc)만을 이용하여 GF1 세대 자어를 생산하였다.
- 2015년 4월에 생산된 GF1 세대는 2016년 7월부터 황금색으로 발현되기 시작하였으며, 2016년 12월 GF1 세대에서 약 20% (1,438 마리)의 발현율을 보였으며, 이후에도 소수의 발현 개체가 나타났다.
- 황금넙치 종자 개발 1단계 4차 연도 2016년에 수집된 200마리의 황금넙치 GF1 개체와 2단계 1차 연도 2017년 5월에 표본 추출한

개체 253마리를 이용하여 GF1 친어 모집단을 구성하였다.

- 2016년 8월 GF1 세대에서 황금 체색으로 발현된 개체 중에서 비교적 초기에 체색이 발현한 개체들에서 성 성숙한 개체를 선발하여 전형매 교배를 통하여 수정란 1,200 cc를 확보하고, 황금넙치 친어(GF0) 중 수컷 개체와 GF1 황금넙치와 백크로스 교배를 통하여 수정란 300 cc를 확보한 다음, 부화하여 GF2(황금넙치 잡종 제2 세대)를 생산하였다.
- GF2 종자는 자어 시기에 감모가 일어나 두 그룹을 혼합 사육하였으며, 착저 이후에는 성장을 빠르게 하기 위해 지하 해수(17℃)에 히트펌프의 열수를 투입하여 18.0~18.5℃로 사육하였다.
- GF1 친어 모집단을 이용하여 표현형이 우수한 개체들을 선발하고, 유전형 분석(유전변수, 유전적 거리 계산)을 통해 교배지침을 작성하여 2세대 황금넙치 종자(GF2)를 생산하였다.
- 2016년 8월에 생산된 GF2 세대는 2017년 6월부터 황금색으로 발현되기 시작하여 2018년 12월 1.4 kg으로 성장하고, 64.2%가 발현되었으며, 이후에도 계속 발현되었다.
- 2017년 10월 관능검사를 통해 색상이 양호하며, 외적 형질 등이 우수한 개체 250마리를 친어 후보군으로 선발하고, 선발된 개체는 PIT Chip을 삽입하고 ID와 체장, 체폭, 체중 등의 외적 형질을 측정하여 개체 이력을 관리하였다.
- 2018년 3월 GF2 세대 황금넙치 발현 개체 중 친어 후보군 200개체에 대해서 성별을 확인한 후 PIT Chip을 삽입하고 ID와 체장, 체폭, 체중을 측정하고, 유전자 분석용 지느러미 일부를 채취하여 개체 이력을 관리하였다.
- 2018년 6월 GF2(황금넙치 잡종 제2 세대) 친어 후보군 가운데 암컷 28개체와 수컷 4개체로부터 1,580 cc를 채란하고, 이 중 1,200 cc의 부상란을 확보하여, 부화하고, 사육 관리하여, GF3(황

금넙치 잡종 제3 세대)를 생산하였다.

- GF2 친어 모집단을 이용하여 황금넙치 발현율 증가를 위한 친어 선발 유전자 마커를 제작하고, 황금 체색의 우성 유전형을 선별하여, 교배지침에 적용함으로써 3세대 황금넙치 종자(GF3)를 생산하였다.
- GF2의 교배 지침은 GF2 개체의 발현 우선순위, 체색의 발현 정도, 증체율(체중, 체장), 질병, 기형 유무, 성별 등의 표현형 및 특정 형질에 대하여 추가 개발한 마커의 우성 유전형을 선별하고, 유전변수, 유전적 거리 등을 이용하여 교배지침을 작성하였다.
- 순종 모집단의 구성은 소수 집단 내 교배와 전형매 교배를 통해 목표하는 하나 또는 여러 형질을 유지하는 집단을 만드는 것으로 초기 친어 모집단이 무수히 커야한다.
- 친어 모집단의 크기가 작아지는 순종 모집단을 구성할수록 유전적 다양성이 떨어져 유전적 열성화(inbreeding depression)로 인한 여러 가지 표현형의 하향 발현이 일어나므로, 유전적 다양성 확보와 열성화 방지를 위해서 지속적인 유전적 다양성 분석 확인과 새로운 황금넙치 친어 모집을 통하여 유전적 다양성을 유지 또는 증대가 반드시 필요하다.
- 2018년 6월 생산된 GF3 세대는 8개월령인 2019년 2월 말에 처음으로 9마리가 황금 체색으로 발현되기 시작하였으며(평균 27.4 cm, 230.0 g), 2019년 10월에 발현율은 50.13%이었으며, 황금 체색의 발현은 계속 진행되었다.
- 2019년 8월 GF3 세대 가운데 초기에 황금 체색으로 발현된 그룹 중 성별을 확인한 후 성장이 우수하고 건강한 개체들(암컷 500마리, 수컷 300마리)을 친어 후보군으로 선발한 다음, 개체별 유전정보를 관리하기 위하여 PIT Chip을 삽입하고 ID와 전장, 체중을 측정하였으며, 유전자 분석용 지느러미 일부를 채취하였다.

- GF3 세대의 유전형 분석을 위하여 확보된 8개의 유전자 마커를 이용하여 GF3 세대의 유전형을 분석하고, 분석 결과를 GF4 세대의 교배지침에 활용할 계획이다.
- 황금넙치는 세대별 체색 발현의 첫 시작 시기가 GF1 세대는 15개월(1.05 kg), GF2 세대는 9개월(330 g), GF3 세대는 8개월(280 g)로 세대가 거듭될수록 빨라졌다.
- 세대별 최종 발현율(20개월까지의 발현율)의 경우 GF1 세대는 20.5%, GF2 세대는 42.5%, GF3 세대는 16개월까지 50.1%로 세대가 거듭될수록 발현율도 높아졌다.
- 황금색 최상품인 yellow 45% 이상의 A type은 GF1 세대에서는 65.2%, GF2 세대는 73.6%, GF3 세대는 76.3%로 세대가 거듭될수록 늘어나는 경향을 보였다.
- 황금넙치는 세대가 거듭될수록, 발현 시점이 빨리지고, 발현 크기는 작아지고, 최종 발현율이 높아지며, 상품성이 높은 개체가 증가한다.

나. 사육 시설

1) 친어 사육 시설

가) 친어 사육 수조

- 친어 사육 수조 위치는 주위가 조용하고 사람들의 출입이 최소화 되는 곳이 좋다.
- 수조 형태는 원형, 사각형 또는 둥근 모서리의 직사각형이 있다.
- 수조의 재료는 일반적으로 에폭시 페인트를 칠한 강화 콘크리트 수조, FRP 수조, 폴리에스테르 수조 등이다.

- 일반적으로 산란용 친어의 수조는 외부환경에 의한 스트레스를 최소화하기 위하여 콘크리트 수조를 이용하는 경우가 많다.
- 수조 크기는 20~50 m³ 용량의 원형 또는 8각형이 좋으며, 사육 수심은 깊으면 넙치에게 안정감을 주어 좋으나, 너무 깊으면 사육 관리가 어렵기 때문에 1.2~1.5 m가 적당하다.
- 산란된 넙치 난은 분리 부성란이므로 수정란을 용이하게 수거할 수 있도록 친어 사육 수조 시설 시 수조 벽의 상부에 구멍을 내어 수정란을 수집할 수 있도록 한다.



그림 1. 산란용 친어 수조 및 수정란 수거 장치.

<출처: 김경길 등, 2016>

나) 친어 사육 시설

- 산란 구역은 산란 어미에 대한 심리적 장애와 질병 감염의 가능 위험을 피하기 위하여 주요 배양장 건물로부터 분리하거나 또는 배양장 안의 전용구역에 두어야 한다.
- 산란 수조의 형태와 수심은 어류에 쉽게 접근할 수 있고, 청소, 어류 교체, 먹이 공급, 난 수집과 통제 등과 같은 일상 작업을

용이하게 할 수 있도록 되어야 한다.

- 장기 수용에 적합한 수조를 갖춘 독립 구역이 필요하며, 이 구역은 빛과 수온 조건이 자연 주기와 독립적으로 설정되어야 한다.
- 사육수는 고압 모래 여과조를 통해 여과한다.
- 배양장에서 수온은 유입수와 공기 조절 장치에 의해 조절되며, 필요한 수온을 확보하기 위하여 가온 및 냉각 시스템(히터와 히트 펌프)이 있어야 한다.
- 온도 안정성과 낮은 박테리아 부하로 지하수(철분 제거)가 필요한 경우 질산화 처리 시설의 채택에 대해 검토하여야 한다.
- 자외선 살균등을 배양장 인수로에 설치한다.
- 사육수의 용존산소 농도는 포화 상태에 가까워야 한다.
- 갑작스러운 광도의 변화를 피하고, 황혼 효과를 만들기 위한 조광 스위치가 장착된 타이머 조정 조명 시설을 설치한다.

2) 친어 사육 시설과 장비의 위생 관리

가) 친어 사육 시설

- 친어 사육 시설은 기생충과 질병의 전파 가능성을 예방하기 위하여, 배양장에서 완전히 독립적이며, 격리된 부분이어야 한다.
- 친어 수조는 먼저 하루 동안 적절한 소독제로 소독하여야 하며, 그다음 7일 동안 건조시킨 상태로 두어야 한다.
- 해수는 최소한 80 μm 이하의 여과 능력을 가진 고압 모래 여과조를 통해 여과되어야 한다.
- 여과 해수는 가능한 한 자외선 시스템으로 살균되어야 한다.

나) 개인위생

- 작업을 시작하기 전에 그리고 필요할 때마다 손을 씻어야 한다.

- 어미 사육 구역에 들어가기 전, 그리고 떠나기 전에 장화를 소독하여야 한다.
- 일주일에 한 번 소독조에 담은 소독 용액을 새것으로 바꾸어야 한다.
- 어류를 취급할 때는 면장갑을 착용하여야 한다.
- 위험한 화학 물질을 취급할 때는 비닐장갑, 보안경 및 보호 앞치마를 착용하여야 한다.
- 흡연은 배양장 내부에서 허용되지 않는다.

다) 자외선 살균기

- 와이퍼(wipers)를 사용하여 하루에 두 번 석영 튜브를 청소하거나 또는 UV 출력이 사전 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다.
- 튜브에 와이퍼가 없는 경우, 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 그리고 분해하여 석영 튜브를 손으로 청소해야 한다.
- 정체된 물을 제거하기 위해 하루에 두 번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어야 한다.
- 배양장에서 질병이 발생한 경우 측관을 열어서는 안 된다.
- 점검 창을 한 달에 한 번, 또는 올바르게 작동하지 않을 때마다 청소하여야 한다. 점검창을 분해하고 에탄올로 청소하여야 한다.

라) 운용 수조

- 바닥의 찌꺼기와 침전물을 흡입기 또는 사이펀을 사용하여 제거한다.
- 친어를 불안하게 하는 것을 가능한 한 피하면서, 사료 섭취량을 평가하기 위해 찌꺼기와 침전물을 매일 제거한다.
- 수조 청소 후 다음 수조를 청소하기 전에 청소 공구를 소독하여

야 한다.

- 침전물들이 다시 떠오르지 않도록 사이편을 부드럽게 작동한다.
- 수조마다 소독된 사이편을 사용하여야 한다.
- 사이편을 소독 용액에 보관하고, 그리고 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행구어야 한다.
- 수조 내벽과 수면 접촉면에 유분(greasy)이 축적될 때마다, 수위를 10 cm 낮추고 종이 티슈로 닦아야 한다.
- 절대로 물속에 손을 담그지 않아야 한다.

마) 빈 수조

- 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다.
- 배수망 파이프, 에어 호스 및 에어스톤을 제거한다.
- 아직 젖어 있을 때, 내부 벽, 바닥 및 모든 장비를 세제와 뜨거운 물로 세게 닦아야 한다.
- 적정 소독제로 밤새 행구고, 소독한다.
- 담수 또는 멸균된 해수로 행구고, 그리고 재충전하기 전에 건조시킨다.

바) 난 수집기

- 아침과 저녁에 난을 확인한다.
- 난 수집기를 한번 비운 후에는, 완전히 배출하고, 그리고 담수로 행구어야 한다.
- 난 수집기의 망과 내벽은 소독 용액으로 조심스럽게 세척하고, 담수로 행군 다음, 다시 산란 수조에 연결한다.

사) 배수 스탠드

- 저녁에 조명을 끄기 전에, 언제나 하루에 한 번 깨끗하고 소독된

배수 파이프로 교체한다.

- 주수구를 닫고, 그리고 어류를 불안하게 하는 것과 침전물이 다시 떠오르는 것을 피하면서, 더러워진 배수 파이프를 조심스럽게 제거한다.
- 뜨거운 물 또는 고압의 담수로 씻고, 그리고 적정 소독제로 소독한다. 물로 완전히 행구고, 그리고 말린다.

아) 에어 호스와 에어 스톤

- 일주일에 한 번 각 수조에서 깨끗한 한 벌(비닐 에어 호스+꼭지(tap)+에어 스톤)로 교체한다.
- 유막(greasy film)을 제거하기 위하여, 뜨거운 물과 세제로 씻는다. 그다음 적정 소독제에 담근다.
- 사용 전에 물로 철저히 행구어, 에어 호스와 에어 스톤 내부에 소독 용액이 남아 있지 않도록 한다.

자) 장비(버킷, 항아리, 비커, 피펫 등)

- 하루 중에 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 철저히 행군다.
- 하루 작업 종료 시에 소독 용액에 담근다.
- 야간에는 물로 행구고, 그리고 건조한 상태로 보관한다.

차) 소독 용액 용기

- 일주일에 한 번 소독 용액을 새것으로 교체하고, 그리고 바닥 침전물을 제거하여야 한다.

카) 배양실 바닥

- 일주일에 두 번 먼저 강력한 고압 분사기로 씻고,
- 그다음 적정한 소독 용액으로 씻는다.

- 소독 용액으로 씻은 다음 바닥을 씻어내지 않는다.

타) 온도계, 염분 측정기, 산소 측정기

- 각 수조에서 채취한 표본 사육수를 측정기의 탐침으로 측정한다.
- 절대로 측정 탐침을 수조의 물속에 담그지 않아야 한다.
- 사용 후에는 깨끗한 물로 완전히 씻는다.

파) 재료와 장비의 위생 관리

- 다른 구역 간에 질병이 퍼질 위험을 방지하기 위하여, 배양장의 다른 구역과 재료와 장비를 절대로 교환하지 않아야 한다.
- 사용 중인 재료와 장비가 깨끗하다고 여겨서는 안 된다. 필요할 때마다 스스로 세척해야 한다.
- 모든 소독제의 잔류물은 어류에 치명적인 독이 있으므로, 사용하기 전에 도구와 장비를 철저히 행구어야 한다.

다. 사육 관리

1) 친어의 입식

가) 친어의 수용

- 성별 확인 후, 어류의 성장과 사료 계수를 산정하기 위하여 체중과 체장을 측정한다.
- 양식산은 2살 이상의 수컷과 3살 이상의 암컷을 친어로 사용할 수 있으나, 3~5세가 바람직하며, 적정 크기로는 암컷은 3~4 kg, 수컷 1~2 kg 이다.
- 산란용 친어의 수용밀도는 스트레스 등을 감안하여 m^2 당 1~2마리(2~4 kg)가 적정하다.

- 산란에 관여하는 적절한 암·수 비는 암컷 1마리에 수컷 1~2마리이지만, 수컷이 암컷보다 빨리 성숙하여 정자 방출이 조기에 종료되는 개체가 있으므로 가능한 한 수컷의 수가 암컷보다 2배 정도 많으면 좋다.

나) 친어의 방역

(1) 친어의 취급

- 취급할 때 스트레스를 최소화하는 적합한 도구를 사용한다.
- 수조 등에서 포획할 때는 1회 인망에 적은 수의 친어를 포획하여 조심하여 다룬다.
- 비늘의 탈락을 피하기 위하여 무결절망과 면장갑을 사용한다.
- 친어는 항상 부드럽고, 빠르고 신중하게 취급하여야 한다.
- 단열 처리된 수송 용기를 사용한다.
- 임신 수송과 수송에 피부 찰과상과 기계적 충격을 피하기 위하여 충분한 공간의 원형 수조 또는 원형 모서리를 가진 사각 수조를 사용한다.
- 수송 시 수송 시간과 수온에 반비례하여 어류 밀도를 조절한다.
- 수송 용기에서 100% 산소 포화도를 유지한다.

(2) 친어의 방역

(가) 친어의 방역 기준

- 새로 도입된 친어용 어류는 배양장에 도착 직후 친어 선택 기준에 따라 친어를 선정하며, 잠재적 난 산출량의 자료를 확보할 수 있도록, 친어의 체중을 측정하여 기록한다.
- 필요한 경우 마취제를 사용할 수 있다.
- 친어 선택 후 즉시 방역 수조로 옮겨 질병 예방 조치를 하여 기

생충 또는 세균성 질병의 도입 위험을 차단하고, 취급 스트레스로부터 회복을 용이하게 한다.

- 질병의 오염을 방지하기 위하여, 정기적으로 관찰하여, 질병 관리사의 조언에 따라 치료제의 선택과 약욕 등 질병 예방 조치를 실시한다.
- 약욕 처리에 추가하여, 필요한 경우, 질병이 있는 어미는 회복될 때까지 15~30일마다 비타민 C (100 mg/kg 어류)를 복강 내 주사할 수도 있다(Devauchelle, 1986).
- 수온과 염분의 과도한 조작과 갑작스러운 변화는 피해야 한다.
- 어류를 다루는 데 소독된 면장갑의 사용을 권장한다.
- 절대로 어류를 더럽거나 또는 건조한 손으로 만지지 않아야 하며, 어류를 만지기 전에 손을 잘 씻은 다음, 어류를 수용하고 있는 수조의 물에 손을 담그어 피부를 잘 적셔야 한다.
- 방역 수조는 빠른 청소, 용이한 수확 및 약욕 약제 사용량을 줄이기 위하여 적절한 크기여야 하고, 부드러운 내부 표면을 가져야 한다.

(나) 질병 진단 절차

- 아가미 샘플을 얻기 위해, 아가미가 노출되도록 아가미 뚜껑을 부드럽게 열고, 주걱으로 아가미를 조심스럽게 긁어낸다.
- 피부 샘플의 경우, 점액을 수집하기 위해 주걱으로 어류의 유안 측(ocular side)을 긁어낸다.
- 커버 글라스가 있는 슬라이드에 놓고, 현미경으로 검사한다.
- *Scuticociliata* sp., *Trichodina* sp. 등 원생동물 감염의 경우는 현미경으로 아가미와 피부 샘플을 검사하는 것이 필수적이다.

(다) 친어 방역 시설과 장비의 위생 관리

- 어미 방역 시설의 배수 또는 사용 장비를 분리함으로써, 다른 사육 단위와 접촉하지 않도록 하여야 한다.
- 기생충과 질병의 전파 가능성을 예방하기 위하여 어미 방역 시설은 다른 양식 시설로부터 완전히 격리되어 있어야 한다.
- 방역 수조의 배수는 병원생물을 제거하기 위하여 처리되어야 한다.
- 친어의 이송 후에, 이들 수조는 배수하고, 완전히 살균하여야 한다.

2) 친어 사육 환경 관리

가) 수온

- 넙치 적정 사육 수온은 8~25℃ 이나, 황금넙치 친어는 연중 16~17℃ 에서 사육한다.
- 넙치는 저온에 강하나 상대적으로 고온에 약하며, 고수온(30℃ 이상)이 일정 기간 지속되면 폐사하는 경우가 있으므로, 수온 관리에 주의해야 한다.

나) 용존산소

- 친어 사육 수조 사육수의 용존산소 포화도를 최소 80% 최대 100%로 유지한다.
- 친어 사육 해수의 용존산소 농도가 낮을 때에는 에어 브로워, 액화산소 또는 산소 발생기 등을 설치하여 7~9 ppm을 유지한다.
- 황금넙치에 공급되는 지하 해수의 낮은 용존산소(2 - 5 ppm)를 보완하기 위하여 산소 발생기를 설치하여 7- 9 ppm을 유지한다.

다) 암모니아성 질소

- 넙치와 생태가 유사한 터봇의 성장에 영향을 미치는 암모니아의 농도는 용존산소, pH, 그리고 많은 생물적 요인(어류 크기, 초기

생활사, 건강 상태 등)에 영향을 받으나, 최적 사육 조건에서 암모니아 최저 한계 농도는 pH 7.5에서 총암모니아성 질소(total ammonia) 5-6 mg/L 또는 NH_3 0.2 mg/L이다(Person-Le Ruyet, J., 2002).

라) 빛과 조명

- 넙치는 비교적 어둡고 조용한 곳을 좋아하므로, 사육 수조의 위나 천정에 차광막을 설치하여 직사광선을 차단하는 것이 좋다.
- 수조는 수조의 벽과 바닥의 조류 성장을 초래하는 햇빛을 차단하기 위하여 지붕이 있는 구역 아래에 설치한다.
- 적정 조도에 대한 정확한 수치는 없지만, 너무 밝지 않는 것이 좋다.
- 조도는 산란기 동안 자연 상태의 조도에 유사하게 조절하기 위하여 200~500 Lux 범위에서 조절한다. 넙치와 생태가 유사한 터벗은 20~200 lux의 범위로 유지한다.
- 친어 사육 수조의 조명 시설은 성 성숙을 위한 일광 시간 변화 스케줄에 따라 매일 자동으로 점등과 소등이 되도록 설치한다.
- 점등하고, 소등할 때 급격한 광량 변화로 스트레스를 받으므로 점등과 소등할 때 30분 이상 밝기가 서서히 변하도록 조절한다.

마) 환수

- 수조의 환수율은 포화도의 DO 수준과 1 ppm 이하의 암모늄 질소를 유지할 수 있도록 조절한다.
- 일반적으로 환수율이 1일 15~20회전이면 양호한 수질을 유지하는데 적당하다.
- 정전 등 양수기 고장으로 환수가 중단될 경우를 대비하여 액화산소, 산소 발생기 및 포기(aeration) 시설도 갖추어야 한다.

바) 염분농도

- 염분농도는 수정란의 부력을 향상시킬 수 있는 적정 수준(32~34 psu)을 유지한다.

3) 친어 사료 공급 관리

가) 친어 사료의 선정

(1) 친어의 사료

- 친어의 사료 공급은 산란 후 다음 난 형성(ovogenesis) 기간의 시작까지 공급하는 건강 유지 사료의 공급과, 그 이후 다음 산란기 3-4개월 전부터 적절한 배우자 형성(gametogenesis)에 필요한 필수 영양 요구물을 제공하기 위한 산란 촉진 사료의 공급으로 구분하여 공급한다.
- 친어용 사료는 양성용보다 단백질, 무기질 및 비타민 등의 함량이 높아야 하며 항산화 물질을 첨가하는 것도 좋다.
- 모이스트 펠릿에 필요한 경우, 비타민 C (600 mg/kg 어류)와 비타민 E (80 mg/kg 어류)를 보충하여 공급할 수 있다(Rurangwa et Poelman, 2011).
- 어미용 배합사료는 우수한 난을 확보하기 위하여 연간에 걸쳐 ① 어미의 건강 상태 조절, ② 성숙, ③ 산란, ④ 회복 단계로 구분되는 4개 특정 단계의 각 단계에 적합하게 특화된 사료를 선정하여 공급한다.

(2) 건강 유지 사료

- 친어의 배우자 형성 단계의 시작 전까지 건강 유지를 위한 먹이를 공급한다.

- 생사료 공급 시, 어류, 갑각류, 연체류 등을 포함하여 가능한 한 자연 먹이에 가까운 먹이를 공급하여야 한다.
- 펠릿 건조 사료는 생사료의 대체 사료로 사용하거나, 약품, 영양제 등의 공급 및 자동 먹이 공급기의 사용에 유용하므로, 친어가 펠릿 건조 사료에 익숙하도록 적정하게 공급한다.

(3) 번식기 사료

- 난질은 공급하는 사료에 따라 가장 영향을 많이 받으므로, 계절에 따라 신선한 먹이를 공급하는 것이 중요하다. 난질을 좋게 하기 위해서는 한 종류의 사료만 공급하지 말고 여러 가지를 혼합하여 주는 것이 좋으며, 영양제, 비타민 등을 보충하여 공급하는 것이 일반적이다.
- 배우자 형성기 동안, 암컷 어미가 앞으로 난모세포(oocytes)의 난황으로 저장될 난황 전구 단백질(vitellogenin)을 생산할 수 있도록, 평소보다 단백질과 지방이 더 풍부한 먹이를 공급한다.
- 난황은 배 발생 단계와 생물 먹이를 먹기 시작하기 전까지 초기 자어 단계의 유일한 먹이 원천이기 때문에, 난황의 질과 양은 성공적인 번식을 위한 주요 요소이다.
- 배합사료와 모이스트 펠릿 양쪽 모두 이 시기에 공급된다. 건조 배합사료는 고도불포화지방산과 같은 생존력 있는 자어의 발생에 필수적인 것으로 알려져 있는 모든 영양 요소를 포함하여야 한다.
- 영양 요소 중 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 먹이를 공급하는 경우, 포화지방산이 풍부한 암컷의 내장 주위 지방이 난황 생산에 이용되어, 결과적으로 난의 품질이 빈약해지고 자어의 생존력을 감소하게 된다.
- 어류 양성용으로 배합된 펠릿 사료의 품질을 향상하기 위하여 상

업적으로 이용 가능한 사료 첨가제를 사용할 수 있다.

나) 친어 사료의 공급

- 사료 공급량은 어류의 체중과 수온 및 생리적 상태에 따라 조정한다.
- 사료 공급은 포식 때까지 끈기 있게 조금씩 주어야 한다.
- 손으로 먹이를 주는 것은 빠르게 수질을 악화시키는 먹지 않은 사료가 바닥에 남는 것을 예방하고, 어미의 행동을 관찰할 수 있게 해주기 때문에, 손으로 먹이를 주는 것이 권장된다.
- 먹이 공급량은 사육 수온, 친어 크기, 사육 환경에 따라 다르나 어체중의 1~3% 기준으로 1일 1~2회 공급한다.
- 낚치는 10℃ 이하에서는 거의 먹지 않으므로, 조기 산란을 위하여 월동 사육할 때에는 수온을 최소 12℃ 이상 가온하여 먹이를 공급한다.
- 산란용 친어의 사료로 냉동 생사료를 해동하여 공급하는 경우도 있으며, MP (습사료, moist pellet)를 공급하였으나, 최근에는 배합사료 EP를 주로 공급한다.
- 생사료의 종류는 전갱이, 정어리, 고등어 및 기타 소형 잡어로 냉동된 상태에 따라 신선도의 차이가 있으므로 좋은 품질의 생사료를 구입해야 한다.
- 냉동 생사료를 공급하는 경우, 어류의 크기에 따라 1-2조각으로 자르고, 또 해동하지 않고 친어에 먹인다.
- 지역 어업 등으로부터의 입수 가능성에 따라 확보한 잡어를 공급하는 경우, 오염 부하의 증가에 주의하여야 한다.
- 잡어는, 사료의 원 품질을 유지하기 위하여, 신선한 것을 구입한 다음, 즉시 깨끗이 씻고, 갈아서 급속 냉동한다.
- 먹이 공급은 건조 배합사료의 공급을 주로 하고, 모이스트 펠릿

의 공급을 병행하며, 일요일에는 사료를 공급하지 않는 것이 실용적이다.

- 황금넙치 친어에 공급한 MP는 고등어, 전갱이 등으로 제조한다.

약품 처리 중 및 후의 먹이 공급

- 수확 또는 약품 처리 후 빠른 회복을 위하여, 비타민 C와 불포화 지방산이 풍부한 사료를 먹이는 것이 권장된다.
- 약품을 처리하는 날에는, 치료 또는 예방 목적으로, 친어에게 사료를 주지 않는다.
- 약품 처리한 다음 날부터 일주일 동안, 친어는 보통의 펠릿과 함께 추가적인 영양 강화제(Vitamin C, Vitamin Premix, 어유, 영양제 등)를 공급한다.

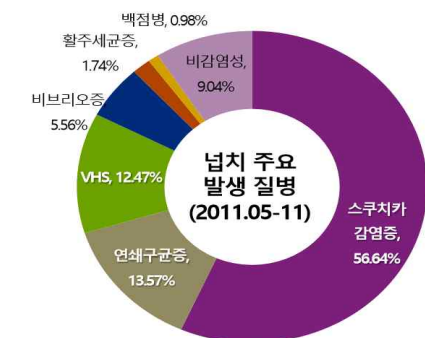
라. 질병 관리

1) 넙치 질병 발생 현황

- 전국 표본 넙치 양식장에서 2011년 5월에서 11월까지 조사한 누적 피해율은 27.9%였다.
- 전체 누적 감모 중 스쿠티카병(Scuticocilliosis)이 56.6%로 가장 피해가 많았으며, 연쇄구균병(Streptococcosis) 13.6%, VHS (Viral hemorrhagic septicemia) 12.5%, 비감염성 원인에 의한 폐사 (Noninfectious loss) 9.0%, 비브리오병(Vibriosis) 5.6%, 활주세균병 (Gliding bacterial disease) 1.7%, 백점병(White spot disease) 1.0% 순으로 피해가 발생하였다.
- 어체 크기별로 100 g 이하의 치어기에는 스쿠티카에 의해 62.0%, VHS virus 감염에 의해 23.2%가 폐사하였으며, 100~300 g

의 중간 단계에서는 스쿠치카에 의해 67.4%가 폐사하였다. 그리고 300~500 g 단계에서는 연쇄구균에 의해 39.3%, 스쿠치카증에 의해 23.9%가 폐사하였다. 500 g 이상의 성어 단계에서는 연쇄구균으로 인한 폐사가 73.5%로 가장 많았다.

국내 넙치 주요 질병 현황*



* 한국 주요 양식종의 수산동물 폐사피해 모니터링, 김진우 외, 한국어병학회지 제25권 제3호 (2012)

넙치에서 어체중 시기 별 주요 폐사원인(%)

질병 원인체	~100g	100~300g	300~500g	500g ~
VHS	23.2	8.8	-	-
활주세균증	4.8	2.2	-	-
연쇄구균증	1.6	6.6	39.3	75.5
에드워드병	-	-	0.9	0.2
스쿠치카증	62.0	67.4	23.9	5.7
비브리오증	2.2	4.8	15.6	6.3
백점병	-	1.6	-	1.7
비감염성	6.2	8.6	20.3	10.6
Cumulative loss	51.0	57.1	16.1	7.3

그림 2. 양식 넙치의 폐사 원인 질병 현황(2015년 5월~11월).

<출처: 김진우 등, 2012; 황금넙치 종자 개발 보고서>

2) 바이러스성 질병

가) 바이러스성 출혈성 패혈증

(1) 증상

- 감염 초기 급속한 폐사를 유발(최고 100% 폐사도 나타난다)한다.
- 주 감염 장기는 심장과 신장이며, 이외에도 비장, 뇌, 근육, 아가미 등이다.
- 발병 수온은 10~13℃로 치어 입식 시기에 피해가 크다.
- 체색이 검어지고, 안구 돌출, 빈혈 증상과 지느러미 기부, 아가

미, 눈, 피부의 출혈이 나타난다.

- 복수로 인한 복부 팽만이 나타나며, 심할 경우 탈장이 일어난다.
- 병어를 해부해 보면 복강에 맑은 복수가 차 있고 간의 충혈 현상이 나타난다.
- 개체에 따라 신장이 종대되어 있거나 회백색으로 퇴색되어 있다.
- 비장은 비정상적으로 종대 되어 있다.

(2) 원인

- 원인체는 Viral hemorrhagic septesemia virus (VHSV)이다.
- 총알 모양(직경 약 70 nm, 길이 약 180 nm)의 단일 가닥 RNA 바이러스이다.

(3) 대책

- 특별한 치료 대책은 없으며, 예방이 최선의 방법이다.
- 양식장에 종자를 입식할 경우 반드시 바이러스 감염 여부를 확인한 이후 입식하여야 한다.
- VHSV는 자외선(UV radiation)처리에도 불활화 되며, 소독제(chlorine, hypochlorite, iodophore)에도 쉽게 불활화 되므로, 양식장에서 기구와 수조를 소독하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다.

나) 버나 바이러스병

(1) 증상

- 치어기에 발생하며, 수온 18~20℃에서 바이러스의 빠른 증식이 일어난다.
- 병어는 일반적으로 힘없이 사육지 가장자리를 유영하거나 바닥에 가라앉는 등 무기력한 개체가 나타나며, 죽기 직전에 발광하여

회전 유영하는 개체도 종종 관찰된다.

- 주로 치어기에 많이 발생하며, 병어는 체색이 검어지고 복부 팽만 증상이 관찰된다.
- 병어를 해부하면 복수가 고여 있거나 간이 퇴색되어 있으며, 뇌에 출혈 및 발적 증상이 나타나는 경우가 있다.

(2) 원인

- 원인체는 Marine Birnavirus이다.
- 버나바이러스는 외막이 없으며, 구형으로 크기가 65 nm이고, 이중가닥 RNA (double strand RNA)을 유전자로 갖는다.

(3) 대책

- 일단 발병하면 특별한 대책이 없다.
- 양식장에 치어를 입식 하기 전에 질병 검사를 하여 바이러스에 감염되지 않은 치어를 입식 하여야 한다.
- 버나바이러스병이 발생한 경우 최대한 치어가 스트레스를 받지 않도록 안정되게 관리하여야 한다.
- 병어에 대해 질병 감염 검사를 하여 바이러스로 확인한 경우 폐사가 완화될 때까지 안정화시켜야 한다.

다) 림포시스티스병

(1) 증상

- 140여 종의 어류에 감염되며, 바이러스에 의한 종양을 형성한다.
- 밀식, 환수율 부족 및 수질 악화 등의 사육 환경이 좋지 않을 경우 발생한다.
- 바이러스에 감염된 넙치는 지느러미, 체표, 입 주위와 내부 장기에 종양을 형성하며, 입 주위와 구강에 종양이 형성될 경우 먹이

를 먹지 못하여 굶어 죽는 경우도 있다.

- 종양이 커질 경우 감염어가 유명하고 움직일 때 상처가 생겨 출혈이 발생하고 빈혈 증상이 나타난다.

(2) 원인

- 원인체는 이리도 바이러스과(Iridoviridae)에 속하는 림포시스티스 바이러스(Lymphocystis virus)이며, 정20면체의 DNA 바이러스이다.

(3) 대책

- 림포시스티스바이러스에 대한 특별한 대책은 없다.
- 사육 환경의 적절한 관리로 피해를 줄일 수 있다.
- 증상이 심할 경우, 감염된 넙치에서 종양을 제거하고, 제거 부위에 난 상처를 소독하여, 상처 부위를 통해 어병 세균 등의 2차 감염이 발생하지 않도록 항생제 약욕 등의 사육 관리가 필요하다.

3) 세균성 질병

가) 연쇄구균병

(1) 증상

- 치어에서 성어에 이르기까지 모든 사육 단계에서 발병한다.
- 고수온기에 주로 발생하며, 수온과 해수 중의 영양분에 의해 균의 생존 기간이 영향을 받는다.
- 연쇄구균은 수온이 낮을수록, 해수 중의 영양분이 많을수록, 오랜 기간 생존한다.

- 감염 경로는 병원균의 오염 사료를 매개로 한 감염이 알려져 있으며, 또한 접촉에 의해 감염되는 경우도 있다.
- 연쇄구균에 감염된 병어는 안구 돌출, 백탁 및 충혈, 아가미뚜껑 출혈, 아가미뚜껑 배 측의 충혈, 점액 분비가 많아진다.
- 내부 증상으로 간의 울혈과 퇴색, 장관의 발적, 복수 발생, 신장 및 비장의 비대, 아가미의 빈혈과 괴사가 나타난다.

(2) 원인

- 원인체는 *Streptococcus iniae*, *S. parauberis*, *Lactococcus garvieae* (그람양성 구균)이다.

(3) 대책

- 사육 환경의 청결 유지와 사육 관리에 주의가 필요하다.
- 죽거나 병든 개체를 빨리 제거하여 수평감염을 줄여야 한다.
- 양질의 사료 공급과 항병력을 높이는 노력이 필요하다.
- 에드워드와 혼합 감염의 경우 연쇄구균병을 먼저 치료하고 에드워드병을 치료하기를 권장한다.
- 치어기의 감염 예방 대책으로 양호한 사육 환경 조건을 만들어 주어야 하고, 당년어의 경우 과밀 사육을 방지하고, 단일 사료의 장기간 공급과 사료의 과잉 공급을 하지 않아야 한다.

나) 비브리오팀

(1) 증상

- 비브리오팀에 감염된 넙치는 사료를 잘 먹지 않으며, 체색이 흑화되어 힘없이 떠다니거나, 수조 바닥에 가만히 붙어 정지해 있는 개체도 볼 수 있다.
- 외부 증상으로 병어는 등 부위의 부분적 발적과 궤양 형성, 복부

측면의 충혈 증상, 지느러미의 충혈, 결손, 붓고 및 기저부의 궤양이 보인다.

- 궤양의 형태는 불규칙적이며 궤양 부위는 표피에 출혈이 나타나면서 서서히 그 면적이 커지고, 중심부는 진피가 붕괴되어 근육이 노출된다. 진행이 빠를 경우에는 궤양이 깊게 나타난다.
- 내부 증상으로 간의 충혈과 퇴색, 복수의 고임, 장의 점상 출혈이 나타난다.

(2) 원인

- 원인체는 *Vibrio* sp., *V. harveyi*, *V. ichthyenteri* (그람 음성 간균)이다. 대부분의 비브리오균은 해수에 상존한다.
- 비브리오는 넙치의 연령에 관계없이 질병을 유발하며, 면역력이 약화 되었을 때 질병을 유발하는 기회성 병원체이다.
- 선별이나 이동할 때 발생하는 상처에 감염되어 발생한다.
- 비브리오균은 0.5%에서 3%까지의 염분농도에서 잘 자란다.

(3) 대책

- 비브리오균은 해수 중에 상존해 있는 세균이지만 단독으로는 질병을 일으키지 않는 기회 감염적 세균으로서 주로 선별이나 이동할 경우 취급 부주의로 인하여 상처가 생기면 그곳을 통하여 감염이 일어나거나, 다른 질병에 의한 2차 감염으로 피해가 발생하게 된다.
- 병의 예방을 위해 사육 관리 시 넙치에 물리적인 스트레스 요인을 조성하지 않도록 주의하여야 한다.
- 병의 예방을 위해 사육 수조 내의 환경을 청결하게 유지하고 비타민이나 면역 증강제 등을 투여하여 항병력을 강화하여야 한다.
- 대책으로 감염된 어체로부터 세균을 분리하여 약제 감수성 시험

을 실시한 후, 적정 항생제를 선정하여 경구투여하면 치료 효과를 충분히 거둘 수 있다.

- 병어의 발견이 늦어져 투약 시기를 놓쳤을 때에는 치료 효과가 나타나지 않는 경우가 있으므로 발병 초기에 치료하는 것이 필요하다.

다) 활주세균병

(1) 증상

- 활주세균은 수온이 상승하기 시작하는 봄부터 고수온기인 여름에 걸쳐 각 양어장이나 종자 생산지에서 자주 발생하여 넙치 자어와 치어에 큰 피해를 일으킨다.
- 사육 환수량이 낮은 육상 수조에서 잘 발생하며, 폐사는 완만하게 진행되지만, 발생 빈도는 높아 장시간 지속적으로 나타나므로 피해가 크다.
- 밀식 사육, 과잉 용존산소량, 그리고 수온 차가 큰 해류 또는 냉수대의 출현 등에 의한 급격한 수온 변화 등이 넙치에 스트레스를 주어 활주세균의 침입이 용이하게 되어 질병 발생이 증가하게 된다.
- 활주세균에 감염된 병어는 체색이 검어지고 사료를 잘 먹지 않는다.
- 연령에 관계없이 발생되며, 연중 발생하는 경향을 보인다. 특히, 수온 변화가 심한 봄과 가을에 질병 발생이 현저하게 높아진다.
- 감염어는 체표면이 회색으로 변하고 체표면에 원형의 상처와 궤양이 형성되며, 지느러미가 부식되어 골격만 남는다.
- 아가미는 흰색으로 변하거나 부분적 부식이 일어난다.
- 전체적으로 체색이 검어지고 힘없이 헤엄치며, 다른 병원성 세균과 기생충의 2차 감염에 의한 폐사가 발생한다.

(2) 원인

- 원인체는 그람음성 장간균인 활주세균(*Flexibacter maritimus*)이다.
- 활주세균은 활주 운동을 하며, 15℃에서는 서서히 자라지만, 20℃ 이상일 때 급격히 증식한다.
- 활주세균은 굴곡 운동을 하고, 균체의 크기는 3~20 μm로, 환경과 배양 조건에 따라 균체의 형태와 크기가 다르다.
- 양식 넙치에서는 활주세균만 단독 검출되는 경우보다 활주세균의 감염 상태에서 비브리오균, 트리코디나, 스쿠티카충 등의 세균 또는 기생충과 혼합 감염되어 있는 경우가 많다.

(3) 대책

- 대책으로 사육밀도를 낮추고 환수량을 높여주며, 치어를 입식 하면 반드시 약욕을 한다. 선별 및 수조 청소를 할 경우 넙치에 상처가 발생하지 않도록 주의하여야 한다.
- 치료 대책으로 항생제 약욕과 경구 투여를 병용하는 것이 효과가 높다.
- 기생충과 혼합감염의 경우에는 기생충 구제를 먼저 한 후 치료하는 것이 바람직하다.

라) 에드워드병

(1) 증상

- 감염어는 먹이를 잘 먹지 못하고 체색이 흑화되어 표층을 힘없이 유영하며, 중앙배수파이프 근처에서 수류를 따라 빙빙 돌거나 배수 파이프에 붙어서 죽기도 한다.
- 외부 증상으로 안구 돌출, 백탁, 농양이 형성되고, 복부가 팽만하며, 발적된 장기가 항문에서 돌출되어 나타나는 것이 많다.

- 해부하면 부패한 냄새가 나는 출혈성 복수가 고여 있으며, 간, 신장, 비장의 비대와 결절이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다.
- 치어에서 성어에 이르기까지 모든 사육 단계에서 발생한다.

(2) 원인

- 원인체는 그람음성 단간균인 *Edwardsiella tarda*이다.
- 넙치 양식장 사육 수온이 25℃를 넘으면 발생율과 피해율이 급격하게 증가한다.
- 장내 세균으로 세포 내에서 성장 분열하기 때문에 치료가 어려우며, 감염되면 만성적으로 폐사가 발생하여 누적 폐사율이 높다.
- 에드워드균의 증식 가능 조건은 수온 15~45℃, 염분농도 0~4 psu, pH 5.5~9.0으로 환경 내성이 강한 편이다.
- 넙치의 성장에 따라 사육밀도가 높아지고 먹이를 많이 주게 되어 수질이 악화되면, 에드워드균이 급격히 증식하여 질병을 유발하게 된다.
- 일단 양식장에서 에드워드병이 발생하면 치료가 어렵고, 장기간에 걸쳐 지속적으로 폐사가 일어난다.
- 넙치에 에드워드병이 잘 발생하는 가장 큰 이유는 밀식하였을 때 배설물과 먹이 찌꺼기가 잘 배출되지 못하여 사육 수조에 많은 세균이 증식하게 되는데, 그중에서 에드워드균은 증식 속도가 빨라 감염의 기회가 높기 때문이다.
- 에드워드병은 주로 수온이 23℃ 이상이 되는 5월에서 10월 사이에 유행되지만, 해수를 가온시키는 순환수조에서는 연중 발생하는 경우도 있다.
- 에드워드병은 만성적으로 발병하기 때문에 장기간에 걸쳐 누적 폐사율이 높으며, 최근에는 연쇄구균증과 합병증으로 발병하는

경우가 많으므로 질병 관리에 주의해야 한다.

(3) 대책

- 대책으로 고수온기 환수율이 낮은 수조에서 발생이 빈발하기 때문에 환수율을 높여주고, 사육 수조의 찌꺼기 제거 등 수조 청소를 주기적으로 하여 사육 환경을 청결하게 한다.
- 사육밀도를 적절하게 조절하여 넙치가 스트레스를 받지 않아야 한다. 사육밀도가 낮으면 에드워드병의 발생과 피해가 극히 적다.

4) 기생충성 질병

가) 스쿠티카 감염증

(1) 증상

- 양식 넙치에서 대부분 표피가 박리되고, 근육층이 노출되는, 궤양증이 발생하며, 종자 배양장에서는 두부나 체표가 하얗게 변하면서 치어가 대량 폐사되는 경우가 많다.
- 감염된 넙치는 다양한 증상을 나타내며 체표 염증, 지느러미 연조와 꼬리자루의 노출, 두부 손상(주둥이 출혈, 안구 백탁 및 돌출, 구강 점막 울혈) 등이 특징적이다.
- 감염 초기에는 체색이 검어지며 체표가 희게 탈색되고, 체표에 출혈성 염증이 나타난다.
- 감염 후기에는 체표에 근육이 노출되는 궤양이 형성되고, 지느러미 출혈과 결손이 나타나며, 내부 장기에서 스쿠티카 충이 확인된다.

(2) 원인

- 원인체는 스쿠티카충(*Miamiensis avidus*)이다.
- 해수나 해면 저질 중에 서식하며 자유 생활을 하는 섬모충으로 방추형 또는 오이씨 모양으로 성충의 크기는 30~45 μm , 자충의 크기는 18~25 μm 이며 번식은 단순한 2분열로 한다.
- 환수가 좋지 못한 사육 수조에 상존하는 스쿠티카충이 감염원으로 작용하여 질병이 발생한다.

(3) 대책

- 종자 배양장에서는 먹이생물 배양조 내의 스쿠티카충의 밀도를 낮추는 것이 중요하므로, 종자 사육 시설의 철저한 소독과 정기적인 청소를 해야 한다.
- 로티퍼를 세척 후 공급한다.
- 착저기 이후에는 환수량을 증대하고, 자어와 치어를 주기적으로 검사해야 한다.
- 양성장의 경우 감염 종자의 입식을 방지하고, 사육수가 정체되지 않도록 최선을 다해야 하며, 중증 감염어는 발견 즉시 수조에서 제거하여야 한다.
- 감염 초기에 담수욕, 과산화수소욕, 수산용 포르말린 약욕으로 감염률을 낮출 수 있으나 근절하지는 못한다.
- 사육수의 환수율은 넉치가 스트레스를 받지 않을 정도로 높여야 한다.
- 사육 밀도에 따라 폐사율에 큰 차이가 있으므로 밀식을 피해야 하고, 양식장의 청결을 유지하여야 한다.

- 뇌를 비롯한 내부 기관에 기생한 스쿠티카충은 유효한 치료 방법이 없으므로, 조기 진단과 조치를 통해 기생충에 감염되지 않도록 하는 것이 중요하다.

나) 백점병

(1) 증상

- 사육 중인 넙치에서 체표와 지느러미에 미세한 흰점이 관찰되며, 심한 경우 아가미뿐만 아니라 안구 등에서도 흰 점이 나타난다.
- 병어는 과도한 점액 분비와 빈혈 증상을 보이며, 경우에 따라서 배 측면 복부에 심한 궤양을 나타내고, 먹이를 잘 먹지 않으며, 서서히 쇠약해져 사육 수조의 가장자리에 힘없이 떠 있는 경우가 많다.
- 영양체(trophont)가 넙치의 아가미, 피부, 지느러미의 상피조직 하층 또는 기저막 사이에 기생한다. 아가미에 기생할 경우 자극으로 인해 상피세포가 과대 증식하고 비후되어 점액이 과다 분비된다.
- 백점충의 기생률이 높을수록 상피조직과 진피조직의 염증이 심해지고, 조직의 괴사로 인해 폐사를 일으킨다.
- 백점충 감염은 넙치의 혈액 성상의 변화를 초래하여, Na⁺, Mg⁺ 농도가 감소하고, K⁺, 요소, 암모니아성 질소의 농도가 높아진다.

(2) 원인

- 원인체는 백점충(*Cryptocaryon irritans*)이며, 병원성 섬모충으로 영양형(trophont)은 구형으로 직경 0.4~0.5 μm 이고, 서로 연결된 구형의 4개 대핵을 가진다.
- 넙치에 기생하였을 때 흰점처럼 보이기 때문에 백점병으로 부른다.

- 광범위한 수온대(7~37℃)에서 생존이 가능하다.
- 넙치에서 백점충의 감염은 사육밀도가 높거나, 지속적인 스트레스를 받는 경우 발생하기 쉽다.
- 백점충의 생활사는, ① 숙주인 어류에 기생하는 성장 단계의 trophont를 지나서 ② 어류에서 해수 중으로 방출되어 protomont이 된 후, ③ 시스트를 형성하고 번식 단계의 tomont이 되며 ④ 시스트에서 방출되어 자유 유영하는 감염 단계의 theront이 되어 다시 숙주 어류에 기생하여 성장하게 된다.

(3) 대책

- 충체가 상피조직 하층 또는 기저막 사이에 기생하기 때문에 구제하기 어렵고, 포자(cyst)를 형성할 때도 구제가 어렵다.
- 기생충이 어류로부터 이탈된 시기에 구제해야 한다.
- 시스트 내에서 분열 이후 자충(tomites)이 수중에 자유 유영하는 시기 또는 감염자충(theront)을 형성하기 전 단계에 백점충으로부터 어류를 격리시키는 것이 구제 방법이다.
- 약욕 방법으로 감염을 경감시킬 수는 있으나 완치는 어렵다.

다)트리코디나병

(1) 증상

- 트리코디나충은 넙치의 아가미나 체표에 기생하며, 스트레스를 받은 넙치의 생체 방어 기능이 떨어질 때 대량 증식이 일어난다.
- 수질이 좋지 못한 양식장에서 감염이 확인되며, 환수량이 부족한 경우에도 발생한다.
- 트리코디나충은 일반 해수 중에서는 장시간 살지 못하나 숙주인 어류가 물리적인 요인 등으로 인해 점액을 과다 분비하게 되거나, 환수가 불량하여 수조 내 사수 구역이 생겨 수질이 악화되면

대량으로 번식하여 질병을 일으킨다.

- 질병 발생은 풍랑이나, 태풍 등의 해상 기상이 좋지 않아 취수구 주변의 물뒤집어짐이 심하거나, 수조 내의 청결 상태가 좋지 않아 수질이 나빠질 경우 발생한다.
- 트리코디나충이 기생하는 넙치는 외관상 아무런 증상이 없으나, 감염이 심한 경우에는 넙치의 표피가 벗겨지거나 궤양이 형성되며, 아가미에 점액이 과다 분비되고, 먹이를 잘 먹지 못한다.
- 트리코디나충의 기생으로 대량폐사 한 사례는 없으나 아가미나 체표에 손상을 주어 2차적인 질병을 유발하며, 먹이를 먹지 못해 행동이 둔해지고 서서히 여위어지게 된다.

(2) 원인

- 원인체는 섬모충문, 소막강 운동목 트리코디나속 트리코디나충 (*Trichodina* sp.)이다.

(3) 대책

- 대량 증식 전 초기 감염 때 치료(수조를 청소한 후 치료)를 해야 한다.
- 발생 수온이 20~22℃ 이므로 고수온기에 사육 관리가 중요하다.
- 트리코디나충이 발견된 양식장에서는 ① 환수량을 최대한 증가시켜 사수 구역이 없도록 하여 주고, ② 수조 바닥을 깨끗이 청소하여 수질이 악화되지 않도록 하며, ③ 넙치에 물리적 스트레스를 최소화시켜 주는 것이 무엇보다 중요하다.
- 치료 방법으로 수산용 포르말린 약욕이 효과적이다.
- 수산용 포르말린 200 ppm 농도로 약욕하면 효과가 있다.
- 사육밀도가 높을수록 기생률이 높기 때문에 사육밀도를 낮추어야 한다.

라. 번식 관리

1) 친어의 성숙

가) 성별 확인

- 넙치는 산란기 외에는 외관상 암수 판별이 어려우며, 수컷의 경우 참돔 수컷 등에서 볼 수 있는 혼인색은 나타나지 않는다.
- 산란기가 되면 암컷의 난소는 성숙하여 복부가 팽만하고 꼬리 방향으로 난소가 발달하며, 생식공은 붉은색을 띠고 둥글게 된다.



성숙한 난소



성숙한 정소

그림 3. 성숙한 황금넙치의 생식소 (왼쪽: 암컷, 오른쪽: 수컷).

<제공: 영어조합법인 해연>



그림 4. 광 투과에 의한 암수 구별(왼쪽: 암컷, 오른쪽: 수컷)

<출처: 골든 시드 프로젝트, 중국 수출용 황금넙치 종자 개발 보고서, 2016>.

- 수컷의 정소는 복강 내에서만 발달하고 꼬리 방향으로 발달되지 않으며, 생식공은 약간 붉으며 조금 돌출되어 있다.
- 생식소의 형성 특성에 따라 성별 결정에 조명을 이용할 수 있다. 넙치의 좌측 등쪽에 강한 광원을 두고 우측 복부 측면의 복강에서 관찰되는 생식선(난소낭)의 테두리가 어류의 뒷부분까지 연장되어 보이면 암컷이다. 그리고 복강에서 생식선이 관찰되면 수컷이다. 그러나 미성숙 수컷을 구별하는 것은 쉽지 않다.
- 성숙한 수컷의 생식선을 측정하는 것은 비교적 용이하다. 대부분의 경우 암컷 생식선은 쉽게 보이는 것을 이용하여, 미성숙 수컷의 성을 추론할 수 있다.
- 성숙한 난소는 옅은 노란색을 띠며, 정소는 하얀색이다.

나) 친어 표지 부착

- 표지 부착은 현장에서 성별 및 연령별로 어류를 개별적으로 식별하고, 그리고 배양장 업무 일지에서 각 어류들의 이력을 쉽게 추적하기 위하여 필요하다.
- 어류의 안전을 위하여, 전자 표지인 수동적 통합 무선 응답 표지(PIT tag, passive integrated transponder tags)가 일반적으로 사용된다.
- 유리 피복 전자 부호 표지는 등지느러미 밑의 피부 아래에 삽입되고, 그리고 그 숫자가 기록된다.
- PIT chip을 이식하여 황금넙치 친어와 친어 후보군의 개체별 유전 정보와 개체 식별 및 성장률, 생존율, 병력 등에 대한 개체 정보를 관리할 수 있다.

다) 성숙 연령과 크기

- 자연에서 넙치의 성숙 연령과 성숙 크기는 지리적인 차이에 따라 다르다. 자연에서의 성숙 시작 연령은 수컷은 1세~3세까지 다양하지만 대부분 2세이고, 암컷은 2세~4세이나 대부분 3세이다.
- 자연산 넙치의 성숙 최소 체장은 수컷이 30 cm (30~40 cm), 암컷은 36 cm (36~45 cm)이다.



그림 5. PIT tag (passive integrated transponder tags)

<Source: Northwest Fisheries Science Center,

<https://www.nwfsc.noaa.gov/research/divisions/fe/instream/cb-biological-questions.cfm> >

라) 생식소의 발달 과정

- 우리나라 남해 동부 해역의 자연산 넙치의 생식소는 가을에서 겨울까지는 미숙 상태로 크기가 작다. 이후 봄(3월)이 되면 암컷의 생식소는 급격하게 비대해져 생식소 지수(생식소지수=생식소중량÷(체중-생식소중량)×1000)가 20을 넘어서게 된다.
- 성숙이 더 진행되어 난소의 일부가 투명해지는 4~5월이 되면 생

식소 지수는 30 이상이나, 6월 이후에는 급격히 작아진다.

- 넙치 암컷의 난소는 6월과 8월에 대부분 주변 인기 난모세포가 관찰되며, 10월부터 12월까지는 6월과 8월에 비해 주변 인기 난모세포가 성장한 난모세포가 관찰된다. 2월의 난소에서는 난황을 축적한 난모세포가 관찰되며, 4월에는 대부분 난황 형성 최종 단계의 난모세포 및 일부 잔존 여포층이 관찰된다.
- 수컷의 정소는 암컷과 같이 4~5월경에 비교적 높은 값을 유지하다가 6월부터 감소한다. 수컷의 생식소는 암컷에 비하여 상대적으로 작으므로 생식소 지수도 암컷보다 작다.
- 넙치 수컷의 정소는 6월과 8월에 정원세포들이 대부분 관찰되며, 10월에는 정모세포들이 일부 관찰되기 시작한다. 12월에는 정모세포와 정세포들이 관찰되고, 2월에는 정세포와 정자가 관찰되기 시작하며, 4월에는 정소 내 대부분에서 정자가 관찰된다.
- 생식소의 미숙 상태에서 난경이 0.3 mm 이하이지만, 난소가 중간 성숙 상태로 되면 난소 내의 난은 0.3 mm 이상으로 된다. 성숙이 더 진행되면 일부 난의 크기는 0.7~0.8 mm로 발달하고, 성숙의 최성기에는 최대 0.9 mm 전후의 투명한 난으로 된다. 성숙이 잘된 투명한 난은 복강 내의 수란관을 거쳐 배란된다.
- 우리나라 남해안 동부 해역의 넙치 산란기는 4~5월로 판단된다. 일반적으로 산란 시기는 남쪽이 빠르고 북쪽으로 갈수록 늦어진다.

마) 성숙 유도

- 자연환경 조건으로 양식산을 사육하면 자연에서와 같이 3~5월에 산란한다. 그러나 양성장에서 종자를 가장 많이 입식하는 시기는 3~6월과 10~11월이므로 이 시기에 필요한 종자를 생산하기 위해서는 수정란 생산 시기를 조절할 필요가 있다.

- 수정란 생산 시기를 조절하기 위해서는 수온과 광주기를 인위적으로 조절하여야 한다.
- 우리나라는 수정란을 연중 생산할 수 있는 시스템이 갖추어져 있으므로 원하는 시기에 수정란 구입이 가능하다.
- 광주기와 수온을 조절함으로써 배우자 형성, 배우자 성숙, 산란을 조절할 수 있으며, 2~3개월의 산란기와 함께 연중 난을 확보할 수 있다(Devauchelle et al., 1988; Forés et al., 1990).

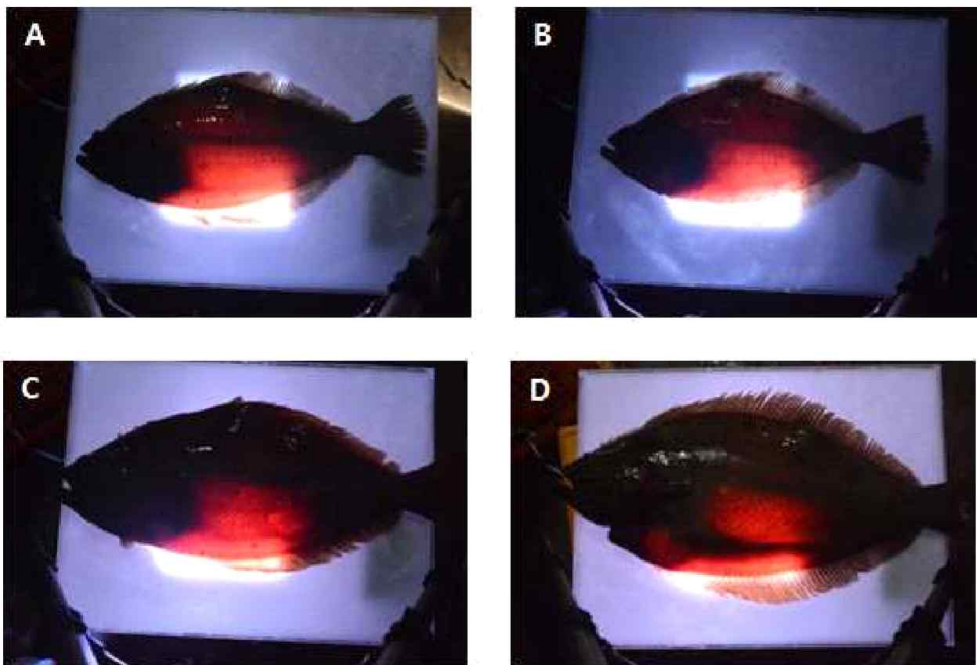


그림 6. 자연 광주기와 14L/10D 광주기 조절(5월-8월)에 의한 성 성숙 유도 후의 생식소 변화(광투과 방법)

A. 자연 광주기 수컷, B. 14L/10D 광주기 수컷, C. 자연 광주기 암컷, D. 14L/10D 광주기 암컷.

<출처: 골든 시드 프로젝트, 중국 수출용 황금넙치 종자 개발 보고서(2016)>.

- 촉진된 광주기로 어류의 성숙을 앞당길 수 있으며, 연장된 광주기 체제로 성숙을 지연시키는 것이 가능하다.
- 사육 수조 수표면의 조도는 북위 35도에서의 자연광에 유사한 300~500 Lux로 조절한 사례(민병서, 1988)를 참조한다.
- 사육 조건 아래서 낚치는 사육 수온이 12℃에서 14~15℃로 상승하고, 광주기가 10L/14D에서 14L/10D로 되는 시기에 성숙하여 산란한다(민병서, 1988).
- 황금넙치는 연중 17℃ 내외인 지하 해수를 사용하여 광주기 제어만으로 성 성숙을 유도하였다.

바) 호르몬 처리

- 황금넙치 수정란 생산은, 성 성숙한 암컷을 선발하여 외인성 호르몬 LHRH, GnRH를 10~20 mg/kg씩 투입하고 36~48시간 후부터 2일간격으로 2~4회 수정란을 생산한다.

2) 친어의 산란

가) 산란 기간과 시기

- 자연환경 조건으로 양식산을 사육하면 자연에서와 같이 3~5월에 산란한다.
- 자연에서 낚치의 산란 기간은 약 2개월 전후로 1마리가 여러 번 산란한다.
- 산란 시간은 5~6시에 가장 활발하고, 대부분 10시 이내에 종료된다.

나) 산란 수온과 광주기

- 산란기의 수온 범위는 11~17℃이며, 산란 성기의 수온은 13~17℃이다.
- 양식산의 경우 사육 수온이 12℃에서 14~15℃로 상승하고 광주기가 10L/14D에서 14L/10D로 되는 시기에 산란이 이루어진다.
- 황금넙치는 연중 17℃ 내외인 지하 해수를 사용하여 광주기 제어만으로 성성숙을 유도하였다.

다) 산란 행동

- 넙치는 배양장의 사육 수조에서 자연 산란하므로 친어의 사육 관리를 통하여 필요한 수정란을 확보할 수 있다.
- 넙치는 수조에서 산란기에 산란이 시작되면 수컷이 암컷을 뒤쫓으며, 바닥과 다양한 깊이에서 헤엄쳐 다니다, 수컷이 수면 가까이에 부상하여 방정하고 바닥에 돌아오면, 같은 곳에 뒤따라 암컷이 방란하고 바닥에 돌아옴으로써 산란이 종료된다. 산란 행동은 약 1분간 진행된다(해양생물환경연구소⁶⁾, 넙치의 번식 행동).

라) 산란량

- 양식산 암컷이 1회 산란하는 난의 수는 전장 45~50 cm는 20~50만 개, 60~70 cm는 40~60만 개다.
- 암컷 친어 한 마리가 1년 동안 산란하는 양은 전장 46~86 cm의 경우 427~3,634만 개로 추정되고 있다.
- 양식산 넙치의 경우 친어 한 마리가 수조 내에서 1일 평균 100만 개를 자연 산란하여 산란 기간(3개월) 동안 총 1,000만~3,630만 개의 난을 확보한 사례가 있다.
- 4세어 양식산 암컷 친어(親魚) 1마리의 산란량은 800~1,150만 개

6) 公益財団法人 海洋生物環境研究所

http://www.kaiseiken.or.jp/aquarium/aquarium03.html#page_top

이다.

3) 인공 수정

- 상업용 넙치 종자 생산은 일반적으로 사육 수조 내에서 자연 산란된 수정란을 이용한다. 그러나 육종 또는 실험 등 특수 목적을 위해서는 인공 수정으로 수정란을 확보한다. 인공 수정은 먼저 정자를 채취하고, 암컷으로부터 난을 받은 후 정자를 섞어 수정시킨다.

가) 성 성숙 조사

(1) 수컷 성 성숙 조사

- 수컷 복부에 부드러운 압박을 몇 번 실시한다.
- 압박은 배지느러미 직전 구역부터 시작하여 비뇨생식공 근처에서 끝낸다.
- 어류가 완전히 성숙하면, 일반적으로 정액(milt)은 비뇨 생식공으로부터 압출된다.
- 만약 정액이 압출되지 않으면, 이 어류는 미성숙이거나 또는 이미 산란하였으므로, 수정 목적으로 사용하지 않는다.

(2) 현미경에 의한 수컷의 성숙 조사

- 정자의 활동을 100배 확대하여 현미경으로 검사한다.
- 처음에 해수 한 방울을 슬라이드 글라스 위에 놓는다.
- 그다음 작은 양의 정액(milt)을 이 한 방울의 해수에 추가한다.
- 그다음 현미경으로 관찰한다.
- 정자의 정상적인 생존 능력은 정액과 해수가 혼합된 후에 선회하는 것 같은 움직임으로 특징지어진다.

(3) 암컷 성 성숙 조사

- 암컷은 어류의 성숙도를 판정하기 위하여 수작업 압출(hand stripping)로 점검하거나, 또는 캐놀러 삽입(cannulation)으로 점검한다.
- 성숙한 암컷의 경우, 부드러운 복부 압박 후 생식공(genital pore)으로부터 난이 쉽게 압출된다.
- 어류가 이미 성숙하였으면, 어류는 즉시 압출되어야 한다.
- 성숙 중인 암컷의 경우는, 복부를 강하게 압착해도 난이 압출되지 않을 수도 있다. 그러므로 생식소 조직을 표본하기 위하여 캐놀러를 사용한다.



그림 7. 생식선 조직 표본을 얻기 위한 친어 캐놀러 삽입

<제공: 영어조합법인 해연>

- 캐놀러 삽입은 50 cm 길이의 가는 폴리에틸렌 튜브(직경 0.7 mm 또는 1.5 mm)를 사용하여 실시한다.

- 캐놀러는 약 20 cm 정도의 간격으로 생식공에 부드럽게 삽입하거나 또는 저항이 느껴질 때까지 부드럽게 삽입한다.
- 난모세포(oocytes)의 샘플은 입을 통해서 튜브에 빨려오게 되고, 그다음 캐놀러를 회수한다.
- 캐놀러에서 샘플을 제거하기 위해, 끝이 평평한 바늘이 달린 1 ml 주사기를 한쪽 끝에 삽입한다.
- 표본은 주사기에서 링거 용액이 채워진 작은 유리병에 사출된다.

(4) 현미경에 의한 암컷의 성숙 조사

- 작은 양의 난을 난경 측정을 위하여 슬라이드 글라스에 옮긴다.
- 측정은 40배율의 현미경으로 할 수 있다.

나) 생식세포(Gamete) 수집 전처리

- 처음에 어미를 성숙 탱크에서 꺼내고, 그리고 수돗물로 어체를 깨끗이 하여 소금을 제거한다.
- 어미를 작업대에 올려놓고, 그다음 어체를 수건으로 조심스럽게 닦는다.
- 그 후에, 친어의 비뇨 생식기(urogenital)와 생식공(genital pores) 주변을 눌러서 요(urine)를 짜낸다.
- 친어의 스트레스를 줄이기 위해 수건으로 머리를 가린다.
- 마취는 필요하지 않다.



그림 8. 염분 제거를 위한 친어의
담수 세척



그림 9. 어미로부터 요의 압출

<제공: 영어조합법인 해연>

다) 정자의 수집

(1) 정액의 요 오염

- 정자의 요(urine) 오염은 정자의 운동 개시를 지연시키고, 운동 속도를 감소시키며, 운동 세포의 수를 감소시킴으로써 정자의 질에 해로운 영향을 미치게 된다. 어미의 복부 압출로 정자를 수집할 때, 정자의 요 오염률이 높아지나, 정자 수집 전에 요관에 카테터를 삽입함으로써, 요 오염은 유의하게 감소할 수 있다.
- 요에 오염된 정자는 저장과 수정 능력도 감소한다. 채정 전에 방광을 비움으로써 정자의 요 오염을 예방할 수 있다(Dreanno et al., 1998).

(2) 정액(Milt)의 수집

- 정액(semen)을 난보다 먼저 수집한다.
- 부드러운 압착이 몇 번 적용되며, 배지느러미의 바로 앞 구역에서부터 시작하여 비뇨생식공(urogenital pore) 근처에서 끝난다.



그림 10. 정액 수집(실리콘 튜브가 달린 1 ml 주사기)



그림 11. 잠시 정액을 보관하는 아이스박스

<제공: 영어조합법인 해연>

- 어류가 완전히 성숙하면, 정액은 일반적으로 비뇨 생식공으로부터 압출된다.
- 만일 정액이 압출되지 않으면, 미숙이거나 또는 방출한 상태다.
- 정액은 비뇨생식공 주위에 복압을 가함으로써 실리콘 튜브(내경 1.5 mm)가 달린 주사기로 수집할 수 있다.
- 이 주사기는 수정 시점까지 아이스박스에 보관한다.

라) 난의 수집

- 배란에 가까운 암컷은 산란기에 매일 점검한다.
- 난은 난소의 위치에서 생식공(genital pore)을 향한 복부 압박에 의해 투명한 난(hyaline eggs)들이 난소로부터 방출되며, 압출로 수집할 수 있다.
- 혈액이 압출된 난에 섞인 경우에는, 난 수집을 중단한다.



그림 12. 황금넙치 친어의 채란(왼쪽)과 채정(오른쪽)

<제공: 영어조합법인 해연>

마) 인공 수정

- 인공 수정 방법은 압출된 정액이 해수와 혼합되기 전에 난 위에 뿌려지는 건식 수정법과 해수에 먼저 희석되는 습식 수정법이 있다.
- 일반적으로 건식법이 새로 배란된 난의 수정을 위해 사용된다.
- 황금넙치는 외형적으로 성 성숙이 일어난 암컷 개체에 대해서 복부 압박을 실시하여 채란하고, 수컷에서 채정하여, 건식법으로 수정을 유도하였다.
- 채란 작업을 하는 동안, 양질의 난을 확보하기 위해서 온도 조절이 필요하며, 그리고 난에 대한 온도와 염분 충격을 피하는 것이 중요하다.
- 정액(semen)은 수생 조류의 깃털을 사용하여 압출된 난과 함께 첨가하고 해수 없이 혼합한다.
- 정자 수정 능력의 지속 시간에 해당하는 시간을 고려하여, 난은 이 혼합 용기에 약 10분 동안 보관한다.



그림 13. 황금넙치(GF2)와 일반넙치 수정란 색상 비교

<출처: 골든 시드 프로젝트, 황금넙치 종자 개발 보고서(2019)>.

- 난은 물에 뜨고, 정상적으로 발생하는 것처럼 보이면 생존 가능한 것으로 분류한다(Bromley et al., 1986).
- 표면에 뜨는 난은 부화 수조에 넣으며, 반면에 가라앉는 난은 제거한다.
- 황금넙치의 수정란과 일반 넙치 수정란의 색을 비교한 결과, 일반 넙치의 수정란이 불투명한 미색에서 2일이 지나면서 다소 녹색변하는 반면, 황금넙치의 수정란은 비슷한 시간에 녹색보다는 노란색을 진하게 나타내었다.

2. 먹이생물

가. 조류

- 식물플랑크톤은 어류 자어 사육할 때 동물 플랑크톤의 먹이생물로 매우 중요하다. 대표적인 종은 클로렐라(chlorella), 난노클로롭시스(Nannochloropsis), 테트라셀미스(Tetraselmis) 등이다.
- 클로렐라는 담수산과 해산이 있다. 보통 해산 클로렐라로 불리는 것은 난노클로롭시스 오큐라타(*Nannochloropsis oculata*)를 말한다.
- 최근에는 담수산 클로렐라뿐만 아니라 해수산 클로렐라도 전문업체에서 고농축으로 배양하여 판매하고 있어 종자 생산을 시작할 때 대부분 이를 구입하여 사용한다.
- 최근의 개발로 인해, 조류 페이스트(algae paste)와 조류 농축물(algae concentrates)은 조류-효모에 의한 로티퍼 배양보다 위생적으로, 경제적으로 효과적이다.
- 조류 페이스트와 농축물이 상업적으로 이용할 수 있게 되어 어류 배양장에서 대부분 미세조류를 생산하지 않게 되었다.

1) 배양 시설과 장비의 위생 관리

가) 개인위생

- 구역에 들어가기 전이나 떠날 때 장화를 소독하여야 한다.
- 작업을 시작하기 전과 그리고 필요할 때마다 손을 씻어야 한다. 특히 원종 배양실 안에서, 그리고 로티퍼를 취급한 후에 손을 씻어야 한다.

- 원종 배양실에서 작업할 때는 알코올로 손을 소독하여야 한다.
- 위험한 화학 물질을 취급할 때는 비닐장갑, 보안경 및 보호 앞치마를 착용하여야 한다.
- 흡연은 배양장 내부에서 허용되지 않는다.

나) 자외선 살균기

- 와이퍼(wipers)를 사용하여 하루에 두 번 석영 튜브를 청소하거나 또는 UV 출력이 사전 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 튜브에 와이퍼가 없는 경우, 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 그리고 분해하여 석영 튜브를 손으로 청소해야 한다.
- 자외선 살균기에 측관(by-pass)이 있는 경우 정체된 물을 제거하기 위해 하루에 두 번(아침과 저녁) 측관을 약 10초 동안 열어 정체된 물을 배출하여야 한다.
- 점검 창을 한 달에 한 번 또는 올바르게 작동하지 않을 때마다 청소하여야 한다. 분해하고 에탄올로 청소하여야 한다.

다) 카트리지 필터

- 카트리지 필터(미세 여과 장치)는 생산자 지침에 따라 정기적으로 점검 및 정비하여야 한다.
- 유속이 사전 설정된 안전 값 아래로 떨어지면 필터를 교체하여야 한다.
- 새로운 또는 소독된 여과 필터만 사용하여야 한다.
- 예비 부품을 충분히 준비하여야 한다.

라) 장비(버킷, 항아리, 비커, 피펫 등)

- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.

- 도구는 소독 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행구고 사용하여야 한다.
- 수중펌프는 매번 사용 후 멸균된 해수로 잘 행구어 주어야 한다.
하루 작업이 끝난 후 폐쇄 회로에서 소독 용액으로 행구어 주어야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 비닐 에어 관은 소독 용액에 보관하여야 한다.
- 로티퍼와 알테미아의 먹이 공급과 영양 강화를 위해 유분 영양 용액을 공급하기 위해 사용된 용기는 사용 후 비누로 세척해야 하며, 그리고 소독 용액에 보관해야 한다. 사용하기 전에 멸균수로 행구어야 한다.
- 비닐 백은 사용 후 폐기하여야 한다.

마) 유리 제품

- 철저하게 세척되고 살균된 유리 제품만 사용한다.
- 사용 후에는, 모든 유리 제품을 수돗물로 행구고 소독 용액에 적정 시간 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 행굼은 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, 유리 제품은 먼지가 들어가지 않게 알루미늄 호일로 개구부를 밀봉하여 보관한다.
- 피펫과 유리관은 소독 용액으로 채워진 원통형 플라스틱 행굼 용기에 적정 시간 동안 두어, 오래된 배양물의 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다. 행굼 순서는 항상 수돗물이 먼저이고, 그

뒤에 증류수로 행군다.

바) 온도계, 염분측정기, 산소측정기

- 조사할 각 수조 또는 용기에서 비커 등으로 채취한 물 시료만 측정하여야 하며, 절대로 탐침(probes)을 수조 또는 용기의 물속에 직접 담그지 않아야 한다. 사용 후에는 깨끗한 물로 완전히 씻는다.

사) 대량 배양 수조와 장비

- 배양 수조의 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다. 에어 호스와 산소 호스 및 에어 스톤을 제거하고, 수중 히터와 플락 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 소독 용액에 밤새 담근다.
- 수조를 담수로 행구고, 소독 용액으로 한 번 더 처리한다.
- 수조를 담수로 행구고, 재충전하기 전에 수조를 건조 시킨다.

아) 소독 용액 용기

- 일주일에 한 번 또는 소독 용액의 함량이 사전 설정된 값 이하가 될 때마다, 소독 용액을 새것으로 교체하고, 그리고 바닥 잔류물을 제거한다.

자) 테이블과 조명 선반

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

차) 소형 용기용 조명 선반

- 모든 표면을 매일 알코올로 세척하고 소독한다.

카) 바닥과 타일 벽

- 먼저 고압 세척기로 씻고, 그다음 소독 용액으로 매일 씻는다. 행 귀내서는 안 된다.

타) 배양 장비와 시설의 살균 절차

- 위생 및 살균 절차의 엄격한 이행이 필요하다.
- 배양 수조의 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 행구고, 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 행군다.
- 수조 벽을 소독 용액으로 씻거나 살포한 다음, 2시간가량 후에 수조의 물을 빼내고 잘 행군다.
- 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다.
- 포기 배관, 배수 밸브, 부유물 제거 매트 등 수조에서 사용되는 부속 장비들을 살균한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 소독 용액으로 살균한다.

파) 먹이생물 배양의 주의 사항

- 조류 배양 과정에 자주 일어나는 로티퍼에 의한 오염 위험을 방지하기 위하여, 조류와 관련된 모든 조작용 로티퍼와 관련된 모든 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 된다. 재료와 장비가 필요할 때마다 작업자 스스로 청소해야 한다.

- 차아염소산염 용액을 사용할 경우, 독성이 높은 염소 가스 (Cl_2)가 생성될 수 있기 때문에, 차아염소산염 용액(hypochlorite solutions)을 자외선에 노출시키거나 또는 염산(HCl)과 혼합해서는 안 된다.
- 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.

2) 조류 배양

가) 조류 대량 배양

- 조류 대량 배양은 일반적으로 실외에 위치한 5 ~ 30 m^3 크기의 FRP 수조 등에서 수행한다.
- 옥외 배양 수조는 양지바른 지역에 배치하며, 또 조류 성장을 촉진하기 위해 서쪽에서 동쪽 위치로 펼쳐놓는다.
- 동물 플랑크톤들이 강한 바람에 의해 조류 배양 수조로 날아갈 수도 있기 때문에, 로티퍼와 원생동물로부터 오염되는 것을 최소화하기 위하여 야외 수조의 위치를 적절히 고려한다.
- 여과된 바닷물과 수돗물은 청소와 충전을 위해 쉽게 접근할 수 있어야 한다.
- 배양 수조의 조류를 잘 휘젓기 위해서 강하게 포기한다.
- 1 m^3 과 5 m^3 수조의 조류 배양물은 각각 5 m^3 과 30 m^3 배양 수조에 접종할 수 있다.



그림 14. 조류 배양 흐름

(Source: Çiftci et al., 2002).

- *Nannochloropsis* 배양에서, 초기 수심은 접종되는 조류의 밀도와 부피로 고려한다.
- 접종 후 조류의 밀도는 $5 \sim 10 \times 10^6$ cells/ml로 설정하고, 그리고 조류의 밀도가 20×10^6 cells/ml에 도달하면, 밀도가 10×10^6 cells/ml가 될 때까지 살균된 해수를 첨가한다.
- *Nannochloropsis*의 밀도는 봄철 1주일에 목표 밀도인 20×10^6 cells/ml에 도달한다.
- 시비의 간격과 용량은 대량 배양 수조에서의 조류 성장에 영향을

미치므로, 표준 비료량의 1/3을 매 3일마다 적용한다.

- 최고 밀도에 도달한 배양된 조류는 로티퍼에 공급되기 전이나 또는 농축되기 전에 온도 조절 수조로 옮긴다.
- 조류는 호스 끝부분에 부착된 45 µm 플랑크톤 망을 통해 거른다.

표 1. *Nannochloropsis*의 대량 배양에 사용되는 화학 물질의 용량

	수조 용량			
	100 L	1 m ³	5 m ³	30 m ³
Initial water volume	100 L	900 L	2 m ³	10 m ³
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 ³	5 m ³
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		3일마다	

(Source: Çiftci et al., 2002)

나) 세포 계수

- 성장과 오염을 조사하기 위해, 각 배양 조류의 밀도를 매일 모니터링하는 것이 권장된다.
- 조류 세포는 혈구 계산기(hemocytometer)를 사용하여 현미경 하에서 계수한다.
- 혈구 계산기에 의한 세포 계수 절차
 - 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 샘플을 커버 글라스의 면에 놓는다.
- 시료가 너무 많아서 홈에 넘치거나, 또는 너무 작아서 챔버(chamber)가 불완전하게 채워지지 않아야 한다.
- 페트리 접시를 준비한다. 샘플의 증발을 방지하기 위해 페트리 접시에 축축한 종이 한 장을 둔다. 세포가 바닥에 가라앉을 때까지 5분 동안 혈구 계산기를 페트리 접시에 남겨둔다.
- 혈구 계산기는 일반적으로 세 가지 유형이 사용된다. 가장 큰 정사각형 크기의 Thoma형은 1 mm x 1 mm, Burker-Turk형은 3 mm x 3 mm이고, Neubauer형은 4 mm x 4mm이다.

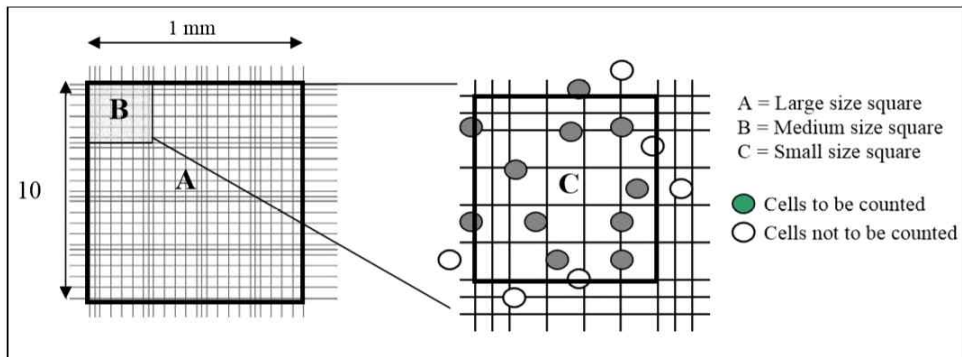


그림 15. 혈구 계산기(hemacytometer)에서 세포 계수

(Source: Çiftci et al., 2002).

다) 오염 방지 대책

- 현미경 관찰 외에, 각 배양 수조의 육안 검사를 매일 수행하여야 한다.
- 수면에 끈적끈적한 녹색 기포 또는 배양 수조 벽면의 오물이 발견되면, 로티퍼 또는 원생동물이 의심되는 오염물질이다. 이 중 어느 하나의 경우, 1 ml의 표본을 입체현미경으로 검사해야 한다.

1 ml 샘플에서 오염의 증거가 발견되지 않으면, 5 L 샘플을 채취하고, 그다음에 이 샘플을 45 µm 플랑크톤 망으로 농축한다. 농축된 샘플을 현미경으로 관찰한다.

- 로티퍼가 농축 표본에서 발견되면, 배양 수조의 배양수를 적절한 소독 용액으로 처리한다. 로티퍼 알은 이 처리로도 생존할 수 있으므로, 같은 처리를 다음 날 새롭게 부화한 로티퍼를 죽이기 위해 반복한다.
- 바람직하지 않은 원생동물이 관찰되면, 적절한 소독 용액으로 처리한다.

라) 농축

- 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 보존될 수 있다.
- 농축된 조류는 강하게 포기될 수 있는 플라스틱 대형 병에 옮겨져, 1~3°C 온도에서 냉장고에 보관한다.
- 또한, 조류는 비닐 백에 포장되어, 지질 함유물의 산화를 방지하기 위해 -30°C 이하의 온도에서 보관할 수 있다.
- 농축된 *Nannochloropsis*의 밀도는 $5 \sim 6 \times 10^9$ cells/ml이다.

나. 로티퍼

- 브라키오누스(*Brachionus*)속의 로티퍼는 어류 및 갑각류의 초기 종자 생산에 가장 널리 이용되는 먹이생물이다.
- 로티퍼는 크게 머리, 목, 몸, 발 등 4개 부분으로 나누며, 몸 전체는 큐우티클 층으로 덮여 있다.
- 해수어 종자 생산에 널리 이용되는 로티퍼는 기수산인 브라키오누스 플리카틸리스(*B. plicatilis*)와 브라키오누스 로툰디포미스(*B. rotundiformis*)이다.
- 브라키오누스 플리카틸리스(*B. plicatilis*) 종의 경우 크기, 피갑(lorica), 앞쪽(anterior)의 모양 등 형태적인 면에서 다양성을 가지고 있다.
- 비교적 대형의 로티퍼를 large (L)형, 소형을 small (S)형, 소형보다 더 작은 크기의 로티퍼를 super small (SS)형으로 부른다.
- 최근의 연구 결과, L형과 S형은 유전적으로 다른 종류라는 것이 밝혀져 학명이 각각 다르게 명명되었다.
- L형과 S형의 형태적 차이는 후두극과 피갑장이다.
- L형과 S형의 생리적 차이는 증식 적정 수온의 차이로 S형은 25℃ 이상의 고수온 조건 하에서 L형보다 높은 증식률을 보이는 반면, L형은 S형에 비하여 비교적 낮은 수온에서 증식이 양호하다.
- 1994년 국제 로티퍼 심포지움에서 S형은 *Brachionus rotundiformis*, L형은 *Brachionus plicatilis*로 정립되었다.
- 시중에서 부르는 SS형(super small)은 소형인 *B. rotundiformis*의 아종(subspecies)일 가능성이 있다.
- L형의 크기는 280 μm 전후(L형 중 수컷은 120 μm 정도), S형의 크기는 180 μm 전후이다.

- 지금은 로티퍼도 해산클로렐라와 마찬가지로 전문 업체에서 고농축으로 판매하고 있으므로, 대부분의 종자 생산업체가 로티퍼를 구입한 후 자체적으로 배양하여 사용한다.

1) 로티퍼 배양 시설과 장비의 위생 관리

가) 개인위생

- 배양 구역에 들어가기 전이나 떠날 때 장화를 소독하여야 한다.
- 작업을 시작하기 전과 그리고 필요할 때마다 손을 씻어야 한다.
- 위험한 화학 물질을 취급할 때는 비닐장갑, 보안경 및 보호 앞치마를 착용하여야 한다.
- 흡연은 배양장 내부에서 허용되지 않는다.

나) 자외선 살균기

- 와이퍼(wipers)를 사용하여 하루에 두 번 석영 튜브(quartz tubes)를 청소하거나, 또는 UV 출력이 사전 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 튜브에 와이퍼가 없는 경우, 자외선 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 분해하여 석영 튜브를 손으로 청소해야 한다.
- 측관(by-pass)이 있으면 정체된 물을 제거하기 위해 하루에 두 번(아침과 저녁) 측관을 약 10초 동안 열어야 한다.
- 점검 창을 한 달에 한 번 또는 올바르게 작동하지 않을 때마다 청소하여야 한다. 분해하고 에탄올로 청소하여야 한다.

다) 카트리지 필터

- 생산자 지침에 따라 정기적으로 점검 및 정비를 하여야 한다.
- 유속이 사전 설정된 안전 값 아래로 떨어지면 필터를 교체하여야

한다.

- 새로운 또는 소독된 여과 필터만 사용하여야 한다.
- 예비 부품을 충분히 준비하여야 한다.

라) 장비(버킷, 항아리, 비커, 피펫 등)

- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.
- 도구는 소독 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행구고 사용하여야 한다.
- 플라스틱 자흡식 펌프(Self-priming plastic pumps)는 사용 후 매번 멸균된 해수로 잘 행구어 주어야 한다. 하루 작업이 끝난 후 폐쇄 회로에서 소독 용액으로 행구어 주어야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 비닐 에어 관은 소독 용액에 보관하여야 한다.
- 로티퍼와 알테미아의 먹이 공급과 영양 강화를 위해 유분 영양 용액을 공급하기 위해 사용된 용기는 사용 후 비누로 세척해야 하며, 그리고 소독 용액에 보관해야 한다. 사용하기 전에 멸균수로 행구어야 한다.
- 사용 후 비닐 백은 폐기하여야 한다.

마) 유리 제품

- 철저하게 세척되고 멸균된 유리 제품만 사용한다.
- 모든 유리 제품을 사용 후에는 수돗물로 행구고 소독 용액에 적정 시간 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 행구는 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, 유리 제품은 먼지가 들어가지 않게 알루미늄 호일로 개구부를 밀봉하여 보관한다.
- 피펫과 유리관은 소독 용액으로 채워진 원통형 플라스틱 행굼 용기에 적정 시간 동안 두어, 오래된 배양물 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다. 행굼 순서는 항상 수돗물이 먼저이고, 그 뒤에 증류수로 행굼다.

바) 온도계, 염분 측정기, 산소 측정기

- 조사할 배양 수조의 각 용기에서 채취한 물 시료만 측정하여야 하며, 절대로 탐침을 용기에 직접 담그지 않아야 한다. 사용 후에는 깨끗한 물로 완전히 씻는다.

사) 대량 배양 수조와 장비

- 배양 수조의 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다. 에어 호스와 산소 호스 및 에어 스톤을 제거하고, 수중 히터와 플락 여과막(floccule traps)을 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 소독 용액에 밤새 담근다.
- 수조를 담수로 행구고, 소독 용액으로 한 번 더 처리한다.
- 수조를 담수로 행구고, 재충전하기 전에 수조를 건조 시킨다.

아) 소독 용액 용기

- 일주일에 한 번 또는 소독 용액의 농도가 사전 설정된 값 이하가

될 때마다, 소독 용액을 새것으로 교체하고, 그리고 바닥 잔류물을 제거한다.

자) 테이블과 조명 선반

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

차) 소형 용기용 조명 선반

- 모든 표면을 매일 알코올로 세척하고 소독한다.

카) 바닥과 타일 벽

- 먼저 고압 세척기로 씻고, 그다음 소독 용액으로 매일 씻는다. 헹귀내서는 안 된다.

타) 배양 장비와 시설의 살균 절차

- 위생과 살균 절차의 엄격한 이행이 필요하다.
- 로티퍼 배양 수조의 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 헹구고, 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 헹군다.
- 수조 벽을 소독 용액으로 씻거나 살포한 다음, 적정 시간 후에 수조의 물을 빼내고 소독 용액의 잔류물이 없어질 때까지 잘 헹군다.
- 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안으로, 수조를 해수로 채우고 소독 용액으로 살균하며, 이후 소독 용액을 완전히 제거한다.
- 포기 배관, 배수 밸브, 부유물 제거 매트 등 수조에서 사용되는 부속 장비들을 살균한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 소독 용액으로 살균한다.

파) 먹이생물 배양의 주의 사항

- 로티퍼 배양 과정에 조류 배양을 오염시킬 위험을 방지하기 위해, 조류와 관련된 모든 조작은 로티퍼와 관련된 조치를 하기 전에 완료되어야 한다.
- 기본 규칙으로 로티퍼를 배양을 하는 데 사용되는 모든 장비는 미세조류에 사용되는 장비와 분리되어 보관되어야 한다.
- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 여겨서는 안 된다. 재료와 장비가 필요할 때마다 작업자 스스로 청소해야 한다.
- 차아염소산염을 사용할 경우 독성이 높은 염소가스(Cl_2)가 생성될 수 있기 때문에, 차아염소산염 용액을 자외선에 노출시키거나 또는 염산(HCl)과 혼합해서는 안 된다.
- 모든 산성 또는 차아염소산염 잔류물(hypochlorite residue)은 어류에 치명적인 독이 있으므로, 사용하기 전에 철저히 행구어졌는지 반드시 확인해야 한다.
- 질병의 확산 위험을 예방하기 위하여, 배양장의 다른 구역과 재료와 장비를 절대로 교환하지 않아야 한다.

2) 로티퍼 대량 배양 환경 관리

가) 수온

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

다.

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 생성물 등은 배양액의 산소를 감소시키는 데 기여한다.
- DO 포화도 80% 이상의 안전 범위 안에 산소 수준을 유지하기 위하여, 강한 포기에 의해 공기를 공급하고, 필요한 경우 비상 산소 공급 시스템에 연결한다.

다) pH

- 허용 범위는 pH 5-9이나, 7.5-8.5로 조절한다.
- 해수의 완충 능력은 pH를 좁은 범위 안에 유지한다.
- 낮은 pH는 유독성 비이온화 암모니아(NH_3)와 이온화 암모니아(NH_4^+) 사이의 균형에 영향을 주어 유독성 암모니아(NH_3) 부분을 감소시킨다.

라) 염분농도

- 로티퍼의 배양 가능 염분 범위는 1~60 psu로 매우 넓으나, 소형과 대형의 두 계통 사이에 차이가 있다.
- 소형 로티퍼 계통(S-type strain)의 적정 염분농도는 18-20 psu이다. 반면에 대형(L-type)은 30 psu에서 더 잘 자란다.

마) NH₃

- 유독성 비이온화 암모니아(NH₃)는 1 mg/L 이하로 한다.

바) 포기

- 로티퍼 배양에 포기하는 것은 산소를 공급하고, 적절한 난류를 조성하여 로티퍼와 먹이생물의 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 배양 수조의 청소

- 원추형 바닥을 가진 원형 수조에서, 바닥 침전물은 포기 없이 10~15분 동안 침전시킴으로써 제거할 수 있다(침전 작업 중에 DO 수준의 점검에 주의를 기울여야 한다).
- 침전한 다음 바닥 밸브를 몇 초간 열었다가, 배출수가 다시 깨끗해졌을 때 밸브를 잠근다. 아침과 저녁, 하루에 두 번 사육 수조 청소 작업을 반복한다.
- 수면이 접촉하는 수조 벽 부위의 수면 접촉면에서 형성되는 기름층을 스펀지 또는 종이 형걸을 사용하여 제거함으로써 청소 과정을 완료한다. 결코 수조의 배양수에 손을 넣지 않아야 한다.
- 로티퍼 수조의 배양수는 부유성 고형물, 배설물 및 섭취되지 않은 먹이로 생긴 솜털 같은 플락(flocks)에 의해서 빠르게 오염될 수 있다. 부유성 침전물, 배설물, 미섭취 먹이, 플락 등의 바닥

침전물의 제거는 과도한 세균 발생을 예방할 수 있으며, 로티퍼가 이용 가능한 산소를 증가시켜 줄 수 있다.

- 로티퍼 배양수의 지속적인 포기는 부분적으로 입자의 침전을 방해하므로, 입자 제거에 입자 여과막(particle traps)을 활용하는 것이 도움이 될 수 있다. 입자 여과막은 최소 하루에 두 번 청소되어야 한다.

3) 로티퍼의 배양

가) 대량 배양 방법

- 로티퍼 배양의 먹이 공급 방법은 2개의 주요 방법이 있으며, 과거의 “조류와 빵 효모의 조합 공급 방법”과 최근의 “완전 인공 사료 공급 방법”이다. 신뢰성과 더 많은 생산량 때문에, 두 번째 방법이 점차 첫 번째 방법을 점진적으로 대체하고 있다.
- 인공 사료는 Belgium의 INVE SA 또는 다른 사료 회사들에서 생산되는 Culture Selco® 등 다양한 유사 제품들이 있다.
- 로티퍼의 대량 배양 체계는 일반적으로 사용되는 두 가지 표준 배양 시스템이 있으며, 한 방법은 “회분식 배양 시스템(batch culture system)”이고 다른 방법은 “이용 배양 시스템(exploitation culture system)” 또는 “반 연속 배양 시스템(semi-continuous culture system)”이다.

나) 대량 배양 시설

- 로티퍼 대량 배양 수조는 1 m³부터 10 m³ 이상의 대형 수조에 이르기까지 다양한 용적을 가지며, 이들 수조는 FRP, PE 또는 PVC 내장 콘크리트 수조 등으로 만들어진다.
- 해수 순환과 입자 침전을 위하여 원추형 바닥을 가진 원형 수조

를 이용한다.

- 로티퍼 대량 생산을 위하여 공기 배분 시스템, 냉난방 장치 해수 가온기 등을 장치한다.
- 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 규준을 엄격하게 적용하여야 한다.
- 위생이 중요하므로 표준 세척 절차를 엄격히 이행해야 한다.

다) 수조 준비 절차

- 로티퍼 배양의 수확 후 새 배양 주기를 시작하기 전에 보통 아래와 같이 수조를 준비한다.
 - 수조에 있는 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 행군다.
 - 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 행군다.
 - 수조 벽을 소독 용액으로 씻거나, 또는 살포한다. 수조의 물을 빼내고 소독 용액의 잔류물을 완전히 제거하기 위하여 잘 세척한다.
 - 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안으로, 수조를 해수로 채우고 소독 용액으로 살균한다.
- 포기 배관, 배수 밸브, 부유 입자 여과막(suspended traps) 등 수조에서 사용되는 장비들에 대한 위생 관리 절차를 반복한다.
- 실용적 위생 관리 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 소독 용액으로 살균한다.

라) 접종 로티퍼

- 접종에 사용하는 로티퍼 개체군은 최소 20% 번식률을 가진 대수

증식기의 중간에 있는 로티퍼여야 한다.

- 번식률은 전체 로티퍼에서 난을 가진 로티퍼의 율(%)로 정한다.
- 제한된 운동성, 낮은 포만도, 알의 부재 등으로 특징되는 이미 최종 단계에 달한 로티퍼를 접종용으로 사용해서는 안 된다.

마) 로티퍼의 접종 밀도

- 로티퍼 접종의 초기 최적 밀도는 150-200 개체/ml 이나, 최소 100 개체/ml 이상이어야 한다.
- 인공 먹이 공급에 의한 고밀도 배양은 500 개체/ml로 증가할 수 있다.
- 초기 밀도 200 개체/ml로 접종될 경우, 일반적으로 로티퍼 밀도는 25°C에서 4~6일 안에 최대 생산 정점에 도달할 수 있다.

바) 반복 접종 횟수

- 로티퍼 배양 수조 접종은 다른 수조의 로티퍼를 사용할 수 있다.
- 접종 로티퍼로 사용하기 위하여 수확되기 하루 전에, 수조 안의 로티퍼에 번식 촉진제를 공급할 수 있다.
- 오염과 배양 실패의 위험을 줄이기 위하여, 수평 증식 배양은 7-8회로 제한하여야 한다.
- 7-8회 수평 증식 배양 이후에는 접종 로티퍼를 새로 다시 가져와야 한다.

사) 번식 촉진제

- 로티퍼 배양에서 대수 증식기의 조류 배양과 인공 사료 첨가 처리 해수 배양의 양쪽 모두에서 로티퍼 배양액에 첨가되는 유일한 영양 강화는, 로티퍼의 생식력 촉진제로서, 비타민 B12의 첨가이다.
- 소량 또는 대량 배양의 두 경우 모두, 비타민 B12를 로티퍼 접종

물과 함께 추가한다.

- 비타민 저장액은 살균된 눈금이 새겨진 1L 파이렉스 병에 비타민 B12 0.1 g을 넣고, 살균된 증류수를 눈금까지 채운 다음, 충분히 녹았을 때 냉장고에 저장한다. 비타민 용액은 결코 살균해서는 안 된다.
- 비타민 투여 용량은 보통 수조의 로티퍼 배양 m^3 당 B12 저장액 100 ml이다. 그러나 적은 용기와 백은 1 ml/L을 투여한다.

아) 배양 절차

- ① 수조를 염분농도 20 psu로 만들기 위하여 수돗물로 희석한 살균된 해수로 채운다. 수돗물의 염소 농도를 점검하여, 만일 염소가 있으면, 티오황산나트륨(sodium thiosulphate)으로 중화하여야 한다. 먹이로 공급될 조류를 위한 충분한 공간(수조 부피의 약 30%)을 남겨두어야 한다.
- ② 에어 스톤을 배치하고 포기를 시작한다.
- ③ 섬모충과 불순물 걸름막을 설치한다.
- ④ 오염을 점검하고, 접종 로티퍼로 사용할 최상의 적정 로티퍼 배양 수조를 선택한다. 반드시 청정 배치(batch)만 사용한다.
- ⑤ 선택된 배치들을 여과한다.
- ⑥ 150-200 개체/ml의 초기 밀도가 되도록 수조에 접종한다. 접종한 날을 일령 0일로 간주한다.
- ⑦ 로티퍼의 초기 먹이로 수조 부피의 20%의 배양 조류를 추가한다. 항상 조류는 대수 증식기에 있는 것이라야 하며, 오염된 것에서 가져오지 않아야 한다, 최근 담수산 클로렐라를 이용하여 로티퍼를 배양하는 경향이 있다.
- ⑧ 다음 날(일령 1일)에 조류 배양물로 남은 10% 용적을 채운다.
- ⑨ 수조 일지에 배양 로티퍼의 성장, 공급된 먹이, 측정된 환경 변수

등에 관한 모든 정보를 기록한다.

⑩ 일령 1일부터 아래의 로티퍼의 밀도에 따라 빵효모를 먹인다.

표 2. 로티퍼의 밀도별 빵 효모의 공급률

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

(Source: Moretti et al, 1999)

- 신선한 효모의 1일 공급량은 4등분 공급량으로 나누고, 오전 2시, 8시, 오후 2시, 8시에 공급한다.
- 효모 먹이는 냉장고에 보관된 효모 덩어리에서 무게를 달아 잘라내고, 100 g/L의 농도로 수돗물을 채운 양동이에 보관한다.
- 부엌용 또는 공업용 믹서(blender)가 효모 세포를 분리하고 물에 현탁될 수 있도록 하는 데 도움을 줄 수 있다.
- 즉시 먹이로 주어야 하고, 남은 것은 전부 폐기하여야 한다. 효모는 매번 먹일 때마다 새로 신선한 것으로 준비해야 한다.

자) 로티퍼(*B. plicatilis*)의 4일 회분식 배양 시스템

- 4일 회분식 배양 시스템(Batch Culture System)은 7개의 750 L 원통-원뿔형 수조 6세트와 온도 조절실에서 수행한다.
- 증유 보일러 시스템에 연결된 라디에이터를 사용하여 온도를 19~23℃로 유지한다.
- 0일
 - 750 L 수조는 20×10^6 세포/ml의 밀도로 250 L의 조류를 채우고,

또 멸균된 해수 250 L로 채운다.

- 수조에 혼합물로 500 L을 채우고, 조류 밀도는 약 10×10^6 세포/ml가 된다. 그런 다음 로티퍼는 100 로티퍼/ml의 밀도로 접종한다.
- 부드럽게 물을 순화시키기 위해서, 에어 스톤 하나를 수조 중앙에 설치한다(포기 7.5 L/min).

○ 1일 아침

- 수조는 20×10^6 세포/ml의 밀도로 조류 250 L을 채워, 수조는 750 L의 수준으로 채운다.
- 물의 오염을 포집하기 위하여, 한 장의 필터(air clean filter, 50×80 cm)를 물에 띄운다.
- 오후에는, 믹서를 사용하여 건조 빵 효모를 수돗물로 균질화한 후 $0.2 \text{ g}/10^6$ 로티퍼의 양으로 먹이로 공급한다.

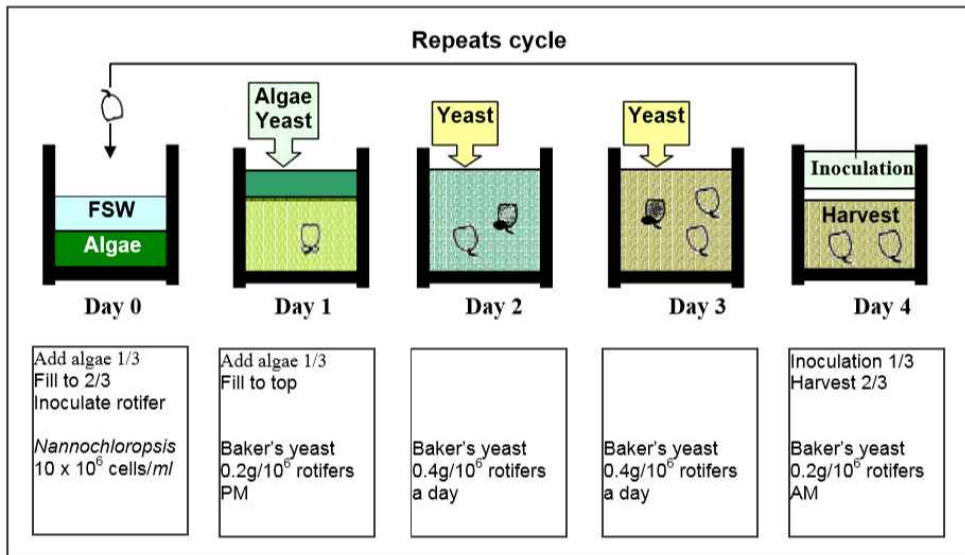


그림 16. 로티퍼(*B. plicatilis*)의 4일 회분식 배양 시스템

(Source: Çiftçi et al., 2002).

○ 2일 - 3일

- 아침과 오후에 균질화된 빵 효모를 $0.2 \text{ g}/10^6$ 로티퍼의 양으로 먹이로 공급한다.
- 필터 재료는 아침에 세척하고, 교체한다.

○ 4일 아침

- 수조에 있는 모든 로티퍼를 수확한다.
- 수확된 로티퍼의 3분의 1은 0일에 기술된 바와 같이 새로 준비된 수조에 접종한다.
- 로티퍼 밀도는 수확 시 $200 \text{ 로티퍼}/\text{ml}$ 이상이 될 것으로 예상된다. 하나의 750 L 수조에서, 접종 로티퍼로 사용될 것을 제외하고, 약 100×10^6 개체의 로티퍼를 매일 생산할 수 있다.

차) 수확

- 중앙 배수 원추형 저면 원형 수조의 수확과 행균 기준
- ① 항상 깨끗하고, 소독 용액으로 살균된 수확 장비를 준비한다.
- ② 로티퍼가 여과 수확 작업에 안전하게 견딜 수 있는 산소 과포화 매질(용존산소 10 ppm)을 만들기 위하여 10-15분 동안 수확될 수조에 순수 산소를 주입한다.
- ③ 10-15분 동안 에어레이션을 중지하고, 바닥 침전물을 제거한다.
- ④ 중앙 배수구에 배수구로부터 15 cm 에 구멍들이 있는 PVC 배수 파이프를 끼우고 5분간 기다린다.
- ⑤ 수조 바닥 배수 밸브에 연성 호스(flex hose)를 끼우고 다른 끝을 수확할 장치에 둔다.
- ⑥ 밸브를 열고 $80 \mu\text{m}$ 나일론 망을 사용하여 여과 수확을 시작한다.
- ⑦ 물의 흐름을 조절하여 필터가 막히거나 배양수가 넘치지 않게 한다. $100 \text{ L}/\text{min.}$ 을 넘지 않게 한다.

- ⑧ 로티퍼 농축액의 넘침을 피하기 위하여, 필요할 때마다 물의 흐름을 멈추고, 막힌 이전 필터를 청소한다.
- ⑨ 수확하는 동안, 비커 또는 페트리 접시를 가지고 약간의 여과수의 표본에 의해 여과망을 통과하는 로티퍼의 손실 가능량을 점검한다.
- ⑩ 여과의 끝에, 밸브를 잠그고, 원 사육 수조와 같은 온도에서 여과 살균된 해수로 10-15분 로티퍼를 행군다. 수확된 로티퍼를 어류에 먹이로 주거나 새 수조에 접종 로티퍼로 사용하기 전에 여과하고 행군다.

카) 로티퍼의 계수

- 각 수조의 샘플은 밀도, 번식력, 일반 배양 상태를 측정하기 위하여 40배 입체현미경으로 매일 관찰한다.
- 최소 1ml의 샘플을 동물 플랑크톤 계수 챔버에 펼치고, 섬모충류, 선충류 또 원생동물과 같은 오염물질을 먼저 조사한다.
- 로티퍼와 원생동물을 죽이기 위해 루골 용액이나 포르말린 한 방울을 샘플에 첨가한다.
- 포란 로티퍼의 수는 번식률을 산정하기 위하여 로티퍼의 총 마리수로 나눈다.
- 1일간의 배양은 번식률이 30 ~ 40%로 높으며, 배양의 지속 기간에 따라 점차 감소한다. 일반적으로 번식률이 10% 미만인 배양은 개체군 수의 회복에 어려움을 겪는다.

타) 로티퍼의 난 분리

- 섬모충류는 자어와 성어의 사망률을 높이는 가장 심각한 기생충 중의 하나이다. 배양 수조에 섬모충류의 오염이 관찰되면, 배양을 새로 하는 것이 좋다. 대량 난 분리 기술은 단기간에 로티퍼

배양을 회복하는 데 효과적일 수 있다.

- 로티퍼의 알을 몸에서 분리하기 위해 다음 절차를 수행한다.
 - 약 200 L의 로티퍼를 120 μ m 수확 주머니 망을 통해 농축하고, 그리고는 믹서(blender)에 넣는다.
 - 로티퍼를 갈고 또 로티퍼로부터 알을 분리하기 위하여, 로티퍼는 10초 동안 균질화한다.
 - 균질화된 로티퍼는 두 층의 필터 망을 통해 분리된다. 위 망목(120 μ m)은 남아 있는 일부 로티퍼를 거르게 된다. 알은 아래 망목(80 μ m)에 의해 수집된다.
 - 알은 멸균된 해수로 잘 씻어낸다.
 - 일부 로티퍼는 여전히 살아있으며, 이 로티퍼들이 알을 오염시킬 수 있다. 모든 로티퍼가 죽었다는 것을 확실히 하기 위하여, 80 μ m 여과망 위의 알을 10초 동안 한 번 더 균질화한다.

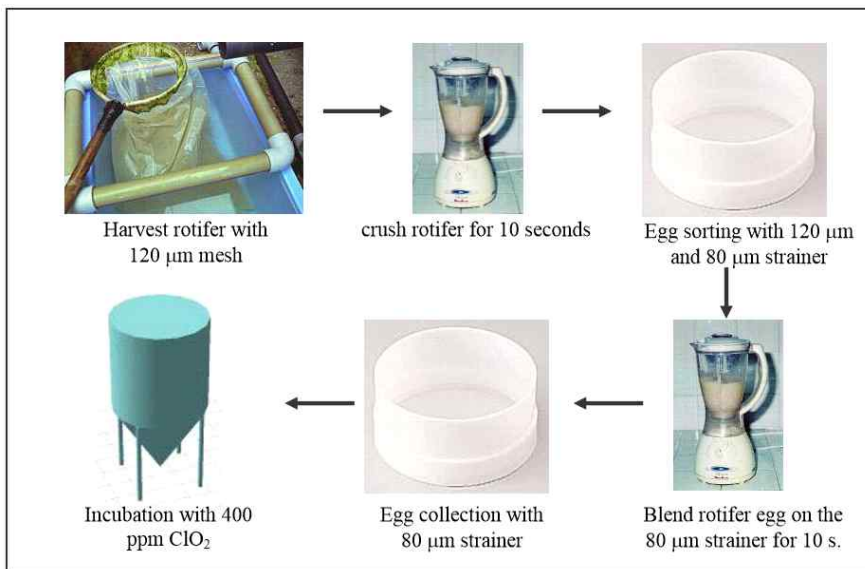


그림 17. 로티퍼(*B. plicatilis*) 난 분리 과정의 흐름

(Source: Çiftci et al., 2002).

- 분리된 알을 멸균된 해수로 다시 세척한다. 이 분리된 난은 100 L의 해수와 적정한 살균 용액이나 또는 이산화염소(chlorine-dioxide, 400 ppm)가 함유된 신선한 조류를 채운 원추 원통형 수조에서 배양한다.

파) 로티퍼의 살균

- 로티퍼 배양은 위생 관리가 필요하다. 로티퍼 배양은 유입수의 살균, 그리고 수조와 유지 관리 자재의 살균(UV 또는 염소)에 의하여 병원생물의 유입으로부터 보호되어야 한다.
- 과거에 먹이생물은 조합된 항생제를 사용하여 살균하였다. 그러나 이것은 약물 내성 세균 균주의 발생을 예방하기 위하여 더 이상 권장되지 않는다.
- 로티퍼가 1 mm 깊이의 액체층에서 38 mW/cm² 에너지 강도의 자외선 조사에 노출되면, 2분 이내에 로티퍼의 박테리아 부하가 90% 이상 감소하였으며, 생존력에는 영향을 미치지 않았다. 그리고 자외선 조사는 로티퍼의 세균 부하를 감소함으로써 생존율이 증가하였다(Munro et al., 1999).
- 먹이생물의 세균 부하는 특히 영양 강화 후에 담수 수조에서 잘 세척함으로써 부분적으로 감소시킬 수 있다.
- 세척에 더하여 영양 강화 전에 단기간의 단식이 로티퍼에 적용될 수 있다. 단식에 의해 로티퍼는 장을 비우게 되어 세균 부하가 감소하게 된다(Planas, M. and Cunha, I., 1999).
- 위생 상태가 불량한 경우, 미세 조류와 먹이생물은 주로 *Vibrios*, *Aeromonas* 및 *Pseudomonas* 등으로 인한 높은 세균 부하를 가지게 된다.

하) 로티퍼의 양적·질적 평가

(1) 배양 로티퍼의 평가

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

(2) 양적 평가 기준

- ml당 로티퍼의 총 마리 수
- ml당 난의 총 개수
- 총 로티퍼 수에 대한 총 난 수의 %로 산정한 번식률

(3) 질적 평가 기준

- 개체당 평균 난의 개수(추산)
- 포식률(위의 먹이 유무)(공복: 0, 중복: +, 만복: ++)
- 운동성(활발: ++, 비활발: +, 없음: 0)
- 먹이 여과(섬모관의 활동성)
- 배양조 표면의 거품 유무 또는 배양 용기의 벽과 바닥의 침전물
- 원생동물, 곰팡이, 세균, 충 등 기타 미생물의 유무 및 동정과 빈도(무: 0, 중간 오염: +, 대규모 오염: ++)

4) 로티퍼의 영양 강화

가) 로티퍼의 영양 강화

- 넙치 등 해산 어류는 양호한 성장과 생존을 위해 필수 영양소인

ω 3 고도 불포화 지방산(ω 3 HUFA)을 요구한다.

- 로티퍼의 지방산 조성은 이들의 먹이에 따라 크게 좌우된다. 로티퍼는 현재 대부분 담수산 클로렐라를 이용하여 개체를 증식시킨다.
- 로티퍼 영양 강화에 소요되는 시간은 최소 3시간에서 최대 12시간이다. 일반적으로 영양 강화 시간은 6-12시간 사이이다.
- 로티퍼 영양 강화는 현재 주로 특별히 제조된 영양 강화제를 사용하며, 조류만을 사용할 때는 불가능한 높은 수준의 EPA, DHA 및 비타민 C를 로티퍼가 함유할 수 있게 해준다. 그리고 노동, 시간, 투자 및 유지비를 절약할 수 있게 한다.
- 배양 과정 중에 배양 수조 안에서의 영양 강화는 전체 배양 기간 동안에 연속적이기 때문에, 조직의 영양 강화를 가져온다. 획득된 지방산 비축물은 더 안정적이며, 굶주림 도중에 영양가의 빠른 감소가 지연될 수 있다. 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 수조가 필요하다.
- 영양 강화 제품에 의한 영양 강화는 제조사가 제공한 설명서에 따라 영양 강화를 진행한다.
- 영양 강화 과정 중에 자주 로티퍼의 사망률과 용존산소의 양을 점검하여야 한다.
- 용존산소는 영양 강화 절차를 통해 80% 포화율 또는 4 ppm 이상이 유지되어야 한다. 필요할 경우 순수 산소를 첨가한다.
- 영양 강화제의 건조 제품은 생산 수조에서 직접 사용할 수 있으나, 반면에 기름이 함유된 제품은 단지 영양 강화 수조에서 사용하여야 한다.

- 거품의 집적에 의한 로티퍼의 손실을 방지하기 위하여, 필요할 때 영양 강화 중에 거품 방지제를 사용할 수도 있다.
- 대량 배양된 로티퍼의 영양가는 자어에게 영양적으로 부족하며, 특히 고도 불포화 지방산(HUFA)이 부족하다. 가자미류 자어 생산 시, 안구 불완전 색소 침착의 발생이 먹이생물의 품질에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로, 로티퍼의 영양 강화가 필요하다.
- 영양 강화제는 상업화된 다양한 제품들이 공급되고 있으므로, 이들을 사용할 때에는 편리성, 영양 강화 효과, 경제성 등을 고려하여, 로티퍼 배양 목적에 따라 신중히 선정하여 공급한다.
- 황금넙치의 초기 먹이는 부화 후 3일부터 농축 클로렐라로 배양한 로티퍼(Rotifer, *Brachionus rotundiformis*)를 수산 클로렐라와 영양강화제 에스프레소로 10~12시간 영양 강화한 후 세척하고, 하루 2~3회 공급한다.

나) 로티퍼의 영양 강화 절차

- 농축된 로티퍼를 해수가 채워진 원통-원추형 수조로 옮긴다. 필요한 경우 소독 용액(예, 400 ppm의 이산화염소(chlorine dioxide))을 추가한다.
- 로티퍼는 500 마리/ml 이하의 밀도로 저장하며, 그리고 추가 먹이 없이 중간 정도로 포기(7.5 l/min)되는 수조에 보관한다.
- 굵은 4시간 후, 로티퍼를 위한 영양 강화 배지를 넣는다. 농축된 미세 조류와 HUFA가 풍부한 어유(0.15 g/10⁶로티퍼)를 수조에 첨가한다.
- 로티퍼에서 자어에 도입되는 박테리아 부하를 최소화하기 위하여, 필요할 때 살균을 위한 적정 소독 용액을 첨가한다.
- 영양 강화 시작 16시간 후에, 같은 양의 HUFA가 풍부한 오일을

첨가한다.

- 영양 강화된 로티퍼의 수확은 영양 강화 시작 17시간 후에 이루어진다.

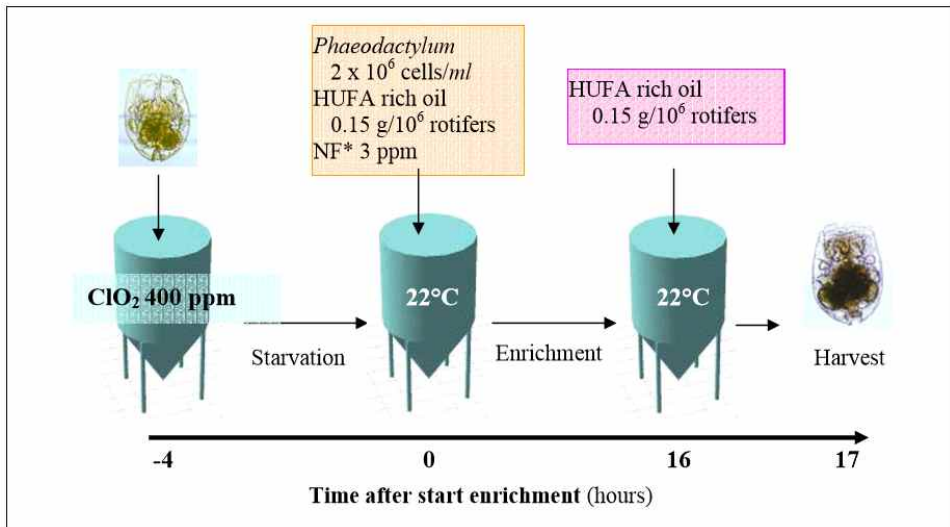


그림 18. 로티퍼(*B. plicatilis*)의 영양 강화(* NF, Sodium nystereinate acid)

(Source: Çiftci et al., 2002).

다) 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. 로티퍼의 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 단일 수조와 아이스 백 등에 의해 5-10°C 사이를 유지해야 한다.

- 로티퍼 저장 밀도는 2,500-3,000 개체/ml를 초과하지 않아야 한다.
- 로티퍼 저장의 산소 수준은 4 ppm 이상 되어야 한다.

다. 알테미아

- 알테미아(Artemia) 속의 영명은 브라인슈림프(brine shimp)이며, 일반적으로 암수가 교미하여 다음 세대를 만드는 유성생식을 한다.
- 출산은 암컷 육아낭의 생식공으로 부터 직접 노우플리우스로 태어나는 난태생형과 내구란의 형태로서 체외로 방출되는 난생형이 있다.
- 알테미아 속은 남극과 북극을 제외한 전 세계의 함수역에 분포한다.
- 알테미아는 염전과 같이 염분농도가 높은 곳에서 발견이 되며, 이런 곳에서는 여러 종의 알테미아가 함께 서식하기도 한다.
- 알테미아 속은 서식 환경에 따라 형태적으로 변이가 크다.
- 부화 유생의 크기는 보통 전장 0.45 mm, 폭 0.17 mm이다.
- 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 의존성 감소를 목표로 하고 있다.
- 알테미아와 관련된 생산 비용과 자어에 유해한 박테리아 이동의 재발 위험성을 줄이기 위하여, 어류 사료 회사들은 최근 미립자 사료 형태로 알테미아 대체 사료를 제공하고 있다(Rurangwa et Poelman, 2011).

1) 부화 시설과 장비의 위생 관리

가) 개인위생

- 배양 구역에 들어가기 전이나 떠날 때 장화를 소독하여야 한다.
- 작업을 시작하기 전과 그리고 필요할 때마다 손을 씻어야 한다.
- 위험한 화학 물질을 취급할 때는 비닐장갑, 보안경 및 보호 앞치마를 착용하여야 한다.
- 흡연은 배양장 내부에서 허용되지 않는다.

나) 자외선 살균기

- 와이퍼(wipers)를 사용하여 하루에 두 번 석영관을 청소하거나 또는 UV 출력이 사전 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 석영관에 와이퍼가 없는 경우, 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 분해하여 석영관을 손으로 청소해야 한다.
- 정제된 물을 제거하기 위해 하루에 두 번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어야 한다.
- 점검 창을 한 달에 한 번 또는 올바르게 작동하지 않을 때마다 청소하여야 한다. 분해하고 에탄올로 청소하여야 한다.

다) 카트리지 필터

- 생산자 지침에 따라 정기적으로 점검과 정비를 하여야 한다.
- 유속이 사전 설정된 안전 값 아래로 떨어지면 필터를 교체하여야 한다.
- 새로운 또는 소독된 여과 필터만 사용하여야 한다.
- 예비 부품을 충분히 준비하여야 한다.

라) 장비(버킷, 항아리, 비커, 피펫 등)

- 항상 깨끗하고 소독된 장비를 사용하여야 한다.
- 도구는 소독 용액에 담가 두어야 한다.
- 필요할 때 도구를 꺼내어 잘 행구고 사용하여야 한다.
- 자흡수 플라스틱 펌프(Self-priming plastic pumps)는 매번 사용 후 멸균된 해수로 잘 행구어 주어야 한다. 하루 작업이 끝난 후 폐쇄 회로에서 소독 용액으로 소독하여야 한다. 호스를 소독 용기에 보관하여야 한다.
- 비닐 에어 관은 소독 용액에 보관하여야 한다.
- 로티퍼와 알테미아의 먹이 공급과 영양 강화로 유분 영양 용액을 공급하기 위해 사용된 용기는 사용 후 비누로 세척해야 하며, 그리고 소독 용액에 보관해야 한다. 사용하기 전에 멸균 수로 행구어야 한다.

마) 유리 제품

- 철저히 세척되고 멸균된 유리 제품만 사용한다.
- 사용 후에는, 모든 유리 제품을 수돗물로 행구고 소독 용액에 담가 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 행굼은 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, 유리 제품은 먼지가 들어가지 않게 알루미늄 호일로 개구부를 밀봉하여 보관한다.
- 피펫과 유리관은 소독 용액으로 채워진 원통형 플라스틱 행굼 용기에 적정 시간 두어, 오래된 배양물의 유기 잔류물을 쉽게 제거할 수 있도록 한다. 행굼 순서는 항상 수돗물이 먼저이고, 그 뒤

에 증류수로 행군다.

바) 온도계, 염분 측정기, 산소 측정기

- 조사할 각 수조에서 세척된 용기로 채취한 물 시료만을 측정하여야 하며, 절대로 탐침(probes)을 수조의 물속에 직접 담그지 않아야 한다. 사용 후에는 깨끗한 물로 완전히 씻는다.

사) 대량 배양 수조와 장비

- 배양 수조의 사용이 끝나면, 바닥 밸브를 열고 완전히 배수한다. 에어 호스와 산소 호스 및 에어 스톤을 제거하고, 수중 히터와 플락 여과막(floccule traps)을 제거한다.
- 젖어 있을 때, 수조와 모든 장비를 담수로 행구하고, 그런 다음 수조 내벽, 바닥 및 모든 장비를 세제와 뜨거운 물로 솔 등을 사용하여 문지른다.
- 모든 장비를 담수로 행구하고, 그리고 소독 용액에 밤새 담근다.
- 수조를 담수로 행구하고, 소독 용액으로 한 번 더 처리한다.
- 수조를 담수로 행구하고, 재충전하기 전에 수조를 건조 시킨다.

아) 소독 용액 용기

- 일주일에 한 번 또는 소독 용액의 함량이 사전 설정된 값 이하가 될 때마다, 소독 용액을 새것으로 교체하고, 그리고 바닥 잔류물을 제거한다.

자) 바닥과 타일 벽

- 먼저 고압 세척기로 세척한 다음 소독 용액으로 매일 씻는다. 행귀내서는 안 된다.

차) 배양 장비와 시설의 살균 절차

- 위생 및 살균 절차의 엄격한 이행이 필요하다.
- 알테미아 부화 수조의 유기물 찌꺼기의 덩어리를 제거하기 위하여 수돗물로 행구고, 솔과 세제로 완전히 씻고 다시 행군다.
- 수조 벽을 소독 용액으로 씻거나 살포한 다음, 적정 시간 후에 수조의 물을 빼내고 소독 용액의 잔류물이 없어질 때까지 잘 행군다.
- 수조를 건조하며, 필요할 때는 살균 가온 해수로 채운다. 대안으로, 수조를 해수로 채우고 소독 용액으로 살균한다.
- 포기 배관, 배수 밸브, 부유물 제거 매트 등 수조에서 사용되는 부속 장비들을 살균한다. 실용적 절차로 모든 소형 장비들을 새 수조에 넣고, 해수를 채운 다음 소독 용액으로 살균한다.

카) 먹이생물 배양의 주의 사항

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 여겨서는 안 된다. 재료와 장비가 필요할 때마다 작업자 스스로 청소해야 한다.
- 차아염소산염 용액을 사용할 경우, 독성이 높은 염소 가스(Cl_2)가 생성될 수 있기 때문에, 차아염소산염 용액을 자외선에 노출시키거나 또는 염산(HCl)과 혼합해서는 안 된다.
- 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.

2) 내구란의 선정

- 세계 각지의 알테미아 서식지에서 대량 채집된 내구란은 일정한 처리공정을 거쳐 통조림 모양으로 판매되고 있다.

- 세계의 여러 다른 지역에서 생산한 많은 종류의 브라인 쉬림프 내구란이 판매되고 있으며, 각기 다른 노플리우스 유생 크기와 영양가 및 부화 특성을 가지고 있다.
- 알테미아 내구란의 계통을 구별하는 특성은 g당 내구란의 수와 부화 효율(내구란 g당 생산된 노플리우스 수)이다.
- 최상 계통의 내구란은 부화된 내구란 1g당 29-30만 노플리우스를 생산할 수 있으며, 95%에 가까운 부화율을 가진다.
- 알테미아의 난(cyst)은 부화율에 따라 등급이 다르며, 가격 차이도 많다. 일반적으로 부화율 90% 이상을 프리미엄 등급(premium grade)이라고 한다.
- 품질이 좋은 내구란을 선정하여, 24시간 생산 주기의 동기화를 유도한다.

3) 내구란의 살균

- 알테미아 내구란의 난각은 일반적으로 세균, 곰팡이의 포자 및 기타 미세 생물에 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 살균되어야 한다.
- 내구란의 살균은 소독 용액에 침지하여 할 수 있으며, 처리 시간은 소독 용액에 따라 변한다.
- 상업용 표백제의 경우, 염소 농도는 5~15%의 범위이므로, 사용할 표백제의 실제 염소 농도를 점검하여 사용하는 것은 필수적이다. 실제 농도는 희석 또는 굴절률에 의해서 점검할 수 있다.

4) 내구란의 부화

가) 부화 수조

- 수조 형태는 일반적으로 원추형 바닥을 가진 원형 수조이다.
- 수조 내부는 백색 젤 코팅이 되어 있고, 수확을 위하여 원추 끝 가까이에 반투명 창을 가지고 있다.
- 밸브 달린 배수관이 원추 끝에 설치되어 있다.
- 부화는 일반적으로 200~1,000 L 크기의 용기를 사용하나, 대량으로 부화시킬 때에는 이보다 큰 수조를 사용한다.
- 부화 방법은 500~2,500 g의 알테미아 내구란을 해수가 담긴 배양 용기에 수용한 후 포기시킨다.

나) 부화 환경

- 부화는 알테미아 난을 해수에 담구어 수분이 난막을 통하여 흡수 되는 광화학적 반응을 거쳐야 가능하다.

(1) 수온

- 적정 부화 수온은 28-30℃이다.
- 부화는 수온 28~30℃에서 20~24시간이 지나면 이루어진다.

(2) 염분농도

- 부화는 일반 해수의 1/4~3배의 염분농도에서 가능하지만, 일반 해수보다 염분농도가 높을수록 부화에 소요되는 시간은 길어진다. 그러므로 난을 빨리 부화시키기 위해서는 담수를 30% 정도 채워주는 것이 좋다.
- 부화는 여과 살균 해수를 사용한다.
- 알테미아 난은 수온 30℃ 전후, pH 7~9, 염분농도 30‰ 이상의

조건에서 가장 빨리 부화한다.

(3) 용존산소

- 용존산소는 4 ppm 이상을 유지한다.

(4) pH

- pH 8 이상을 유지하며, 필요할 경우 중탄산나트륨(sodium bicarbonate, NaHCO_3)을 L당 약 1g(미리 녹임)의 비율로 첨가한다.

(5) 조도

- 첫 배양 시간 동안에 수면에서 2,000 lux의 강한 조명을 한다.

(6) 포기

- 내구란이 떠있을 수 있도록 강한 물의 교란을 일으키기 위하여 수조 바닥 가까이에서 강하게 포기한다.

(7) 내구란의 배양 밀도

- 내구란의 배양 밀도는 L당 2.5 g이다.

(8) 부화율 평가

- 부화 결과를 평가하는 두 주요 기준은 부화율과 부화 효율이다.
- 부화율은 내구란 100개당 부화한 노플리우스의 수이다. 좋은 집단 은 약 90-95%의 부화율을 가진다.
- 알테미아 1g을 부화시키면 보통 노우플리우스 유생 25~28만 마리가 부화된다.
- 부화 효율은 내구란 g당 생산된 노플리우스의 수로 나타낸다. 최

상급 품질의 내구란은 g당 약 30만 마리의 유생을 수확할 수 있다.

5) 노플리우스의 수확

가) 수확 시기

- 부화는 수온 28~30℃에서 20~24시간이 지나면 이루어진다.
- 알테미아 노플리우스는 부화 직후 에너지가 풍부한 I령 유생 단계에서 수확하여야 한다.
- 적정 수확 시간을 알기 위하여 5 ml 피펫으로 배양수를 표본하여 노플리우스와 부화 직후의 난각이 붙어있는 노플리우스 단계(umbrella stages)를 현미경 하에서 점검하여 수확한다.

나) 수확 절차

- 몇 초 동안 배수 밸브를 열어 원추형 수조 바닥에 가라앉은 부화되지 않은 내구란을 제거한다.
- 내구란을 부화시킨 후 자어에게 공급할 때 부화 유생(노우플리우스)과 부화되지 않은 난을 분리하여야 한다. 부화되지 않은 난과 부화 유생을 함께 자어에게 공급할 경우 자어는 부화 유생과 함께 난을 먹어 소화 장애를 일으키는 경우가 있다.
- 주름관 호스를 배수 밸브에 채우고, 다른 입구에 여과기를 설치하고, 해수로 채워진 용기에 둔다.
- 포기를 멈추고, 수조 위 전등을 끄고, 수조 차광 뚜껑을 덮고 바닥 쪽에 있는 창에 광원을 둔다. 빈 난각은 떠오르고, 미부화 난은 가라앉는다.
- 10분 정도 기다리면 유생이 빈 난각에서 분리되므로, 필터로 배수함으로써 전부 또는 부분적으로 수조의 수확을 시작한다.

- 완전히 수확되지 않으면, 다시 10분 뒤에 두 번째 수확을 한다.
- 수조 안에 떠 있는 빈 난각을 남겨두기 위하여 완전히 배수해서는 안 된다.
- 망의 막힘과 물의 넘침을 피하기 위하여 물의 흐름을 조정하여야 한다.
- 침전 시간 동안 용존 산소가 2 ppm 이하로 내려가지 않도록 하고, 원추형 바닥의 끝에 유생이 과도하게 밀집되지 않도록 한다.
- 필요한 경우 수확 전에 순수 산소를 배양 수조에 10~15분 동안 주입하여, 10 ppm 이상으로 용존산소 농도를 올려야 한다.
- 부화 찌꺼기들을 씻어내기 위하여, 가급적 담수로 노플리우스를 약 15분 동안 완전히 행군다.
- 행군 노플리우스를 알고 있는 양의 여과 및 살균 해수를 채운 임시 용기에 넣고, 계수한다.
- 유생을 살균 해수를 채운 저장 수조로 옮기고, 수량을 조정하여 L당 4백만 노플리우스의 최대 밀도가 되도록 한다.
- 수조 원추 끝으로부터 적당한 포기를 하고, 높은 수온에서 노플리우스의 영양가는 빠르게 감소하기 때문에, 가능한 한 수온을 5-10℃로 유지한다.
- 가능할 경우 저온 저장 수조나 냉동고를 이용한다.
- 노플리우스 유생을 영양 강화하면, 노플리우스를 사전에 준비한 영양 강화 수조로 옮긴다.

다) 알테미아 노플리우스의 계수와 평가

(1) 알테미아 노플리우스의 계수

- 부화 결과를 평가하고, 설정된 밀도로 자어 사육 수조에 공급하기 위하여, 알테미아 노플리우스를 계수하여야 한다.
- 알테미아 노플리우스의 계수 방법은 배양 수조에 있을 때의 일반

적인 계수, 수확 후와 저온 저장 수조에서 높은 밀도의 노플리우스의 계수 그리고 어류 사육 수조 안에 있는 낮은 노플리우스의 밀도 계수로 나눌 수 있다.

(2) 배양 수조에서 노플리우스 표본 계수

- 계수할 개체군에서 시험관으로 50 ml 표본을 취한다.
- 0.1 ml 자동 피펫으로 3개의 소표본을 취한다.
- 각 소 표본을, 바닥이 5 mm 격자로 나누어져 있는, 3 cm 페트리 접시로 옮긴다.
- 고정용 루골 용액 몇 방울을 각 페트리 접시에 첨가하고, 모든 노플리우스가 움직이지 않고 완전히 염색될 때까지 기다린다.
- 페트리 접시의 전 표면에 노플리우스가 고르게 분포하도록 물을 추가한다.
- 각 0.1 ml 표본에 있는 노플리우스를 계수한다.
- 계수한 3개의 합을 3으로 나눔으로써 ml당 노플리우스의 평균 숫자를 계산한다.
- L당 노플리우스 밀도는, ml당 노플리우스의 마리수를 구하기 위하여 노플리우스 평균 마리 수에 10을 곱하고, 끝으로 L당 최종 밀도를 구하기 위하여 1,000을 곱함으로써 구한다.

(3) 수확 후 및 저장 고밀도 노플리우스 표본의 계수

- 계수할 개체군의 10 ml을 표본 한다.
- 100 ml의 표본 수량을 만들기 위하여 해수 90 ml을 추가하여 노플리우스 농도를 희석한다.
- 흡입 공기 방울을 피하면서 1 ml 피펫으로 3개의 소표본을 취한다.
- 각 소 표본을 페트리 접시로 옮긴다.

- 고정 염색을 위한 루골 용액 몇 방울을 각 페트리 접시에 넣고, 노플리우스가 움직이지 않으며 완전히 염색될 때까지 기다린다.
- 물을 첨가하여 3개 페트리 접시의 전 표면에 노플리우스가 분포하도록 한다.
- 격자 위에 페트리 접시를 놓고, 각 1 ml 소표본 안에 나타나는 노플리우스를 계수한다.
- 3개의 페트리 접시에서 계수한 전체 노플리우스를 3으로 나누어 ml당 평균 노플리우스의 수를 계산한다.
- L당 노플리우스 밀도는 희석되지 않은 ml당 노플리우스의 마리수를 나타내기 위하여 10을 곱한 ml당 노플리우스의 평균 숫자에 의해서 주어지며, 끝으로 L당 최종 밀도를 얻기 위하여 1,000을 곱한다.

(4) 사육 수조의 저밀도 노플리우스 표본의 계수

- 50 ml 또는 100 ml의 눈금이 있는 메스실린더를 이용하여 3개의 50 ml 또는 100 ml 표본을 만든다.
- 각 표본을 큰 페트리 접시에 옮긴다.
- 몇 방울의 루골 용액을 각 표본에 첨가하고, 노플리우스가 움직이지 않고 완전히 염색될 때까지 기다린다.
- 각 페트리 접시를 격자에 두고 각 표본에 있는 노플리우스를 계수한다.
- 표본에 있는 노플리우스의 평균 마리수를 계산한다.
- 50 ml 표본에는 20을 곱하고, 10 ml 표본에는 100을 곱하여 L당 노플리우스 밀도를 계산한다.

(5) 부화 결과의 평가 기준

- 부화율은 내구란 100개당 부화한 노플리우스의 수이며, 좋은 집

단은 약 90-95%의 부화율을 가진다.

- 부화 효율은 내구란 g당 생산된 노플리우스의 수이다. 최상급 품질의 내구란의 수확은 약 30만 노플리우스/g이다.

라) 알테미아 노플리우스의 소독

- 항생제를 사용한 먹이생물의 소독은 약물 내성 세균 균주의 발생을 예방하기 위하여 권장되지 않는다.
- 먹이생물의 박테리아 부하를 저감하기 위하여, 영양 강화 전에 먹이생물의 장을 비우기 위한 짧은 단식과 특히 영양 강화 후 담수 수조에서의 철저한 세척이 권장된다(Planas and Cunha, 1999).

6) 영양 강화

가) 영양 강화 기준

- 넙치 등 해산어류는 양호한 성장과 생존을 위해 필수영양소인 ω 3 고도불포화지방산(ω 3 HUFA)을 요구한다.
- 알테미아는 생산지 또는 생산 연도에 따라 지방산 조성이 다르고, 알테미아 노플리우스 유생은 불포화 지방산(22:6 ω 3)이 없거나 극히 미량이다. 따라서 이들 먹이생물을 넙치에게 공급할 때에는 영양 강화를 하여야 한다.
- 영양 강화를 하지 않고 넙치 자어에게 장기간 단독으로 공급할 경우 넙치가 허약하게 되어 폐사하는 경우도 있고, 색소 이상(백화) 개체의 비율도 높아진다(산지에 따라 차이가 있다).
- 최근 영양 강화제가 많이 개발되어 판매되고 있으므로, 영양 강화제는 편리성, 강화 효과, 경제성 등을 고려하여 신중히 선택한다.

- 알테미아의 메타노플리우스(metanauplius)는 전형적으로 후기 자어의 먹이로 이용된다. 그러나 메타노플리우스는 낮은 영양가로 인하여 필수적인 n-3 HUFA가 풍부한 전용의 영양 강화 먹이에 의해서 영양 강화되어야 한다.
- 알테미아의 첫 먹이 섭취는 II령 단계(second Instar stage)로의 탈피와 일치한다. II령 단계는 I령보다 크고, 위장관이 있기 때문에 II령 단계의 출현은 쉽게 발견할 수 있다. 영양 강화는 첫 II령 단계가 나타나자마자 시작하여야 한다.
- 알테미아 부화 유생의 입이 보통 6~8시간 전후에 열리므로, 입이 열린 후 영양 강화를 하여야 하며, 영양 강화 시간은 12시간 전후이다.
- 최상의 결과는 부화 시간과 탈피 속도를 관찰함으로써 영양 강화의 시작 시간을 결정할 수 있다.
- 영양 강화 과정의 기간은 요구되는 HUFA의 함량에 달려있다. 완전한 영양 강화는 24시간이 걸리고, 영양 강화 유화액의 투여량은 0시와 12시간 후 두 번 투여한다. 단기 영양 강화는 12시간이 걸리고, 단지 초기 투여량만 공급한다.
- 영양 강화 초기 노플리우스 밀도는 15만-30만 개체/L이다.
- 노플리우스를 부유시키기 위한 강한 물의 교반과 전 영양 강화 기간 동안에 4 ppm 이상의 용존산소를 유지하기 위한 순수 산소가 필요하다.
- 조명은 필요 없다.
- 생산자에 의해서 특화된 영양 강화 먹이를 준비하고, 각 먹이에 대해 새 영양 강화 유화액을 준비하는 것을 확실히 해야 한다.
- 영양 강화 시간의 끝에, 메타노플리우스를 수확하고 기름기가 있는 유화액이 밖으로 배수되는 물에서 감지되지 않을 때까지 완전히 해수로 행군다.

나) 알테미아 노플리우스의 영양 강화 절차

- 수조의 해수를 소독 용액으로 살균 처리한다.
- 영양 강화를 위해, 미세조류와 HUFA가 풍부한 영양 강화제를 수조에 공급한다.
- 영양 강화 시작 17시간 후, 다음 날 아침 동일한 양의 HUFA가 풍부한 영양 강화제를 노플리우스에 공급한다.
- 19시간 이상 영양 강화된 노플리우스를 수확하고, 그리고 담수로 행구고, 자어 수조에 분배한다.

다) 메타노플리우스의 저장

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

라) 영양 강화제의 선정

- 먹이생물은 적절한 영양 강화제를 사용하여 자어에게 영양분과 기타 보호 화합물의 운반체로 사용될 수 있다.
- 알테미아 노플리우스의 영양 강화 재료로는 고도 불포화 지방산 유화제(HUFA emulsions) 외에 조류, 비타민, 단백질, 황생균(probiotics), 프리바이오틱스(prebiotics) 등이 포함된다(Rurangwa et Poelman, 2011).
- 자어의 건강을 증진시키기 위하여, HUFA, 단백질, 비타민 등의 함량을 높이고, 면역 촉진제, 항산화제, 무기물 등을 강화한 로티

퍼와 알테미아의 영양 강화제로서 여러 회사로부터 상업화된 다양한 제품들이 개발되어 있으므로, 생산자의 목적에 따라 적절히 선정하여 활용할 수 있다.

- 황금넙치는 부화 후 10일부터 부화시킨 알테미아 유생 5억 개체당 A1 DHA SELCO® (INVE Aquaculture) 셀코 500~600 g을 혼합하여 12시간 영양 강화 후 세척하고 공급한다.

3. 수정란의 수집과 부화

가. 수정란의 수집

1) 수정란의 수집

- 해산어류의 난은 분리 부성란으로 가라앉으면, 물리적 스트레스와 세균학적 감염의 위험이 발생하게 되므로, 난이 가라앉지 않도록 적정 염분농도를 유지하여야 하며, 필요한 경우 포기하여 난이 가라앉는 것을 방지하여야 한다.
- 채란 시 자주 점검하여 망의 막힘, 기계적 충격 등에 의한 스트레스에 주의한다.
- 산란으로 생긴 폐기물 때문에 채란망이 막히지 않도록 하기 위하여 채란망은 매일 청소하고, 살균하여 교체하여야 한다.
- 산란 수조에서 채란망으로 흐르는 물의 흐름은 기계적 충격이 없도록 부드럽게 조절한다.
- 산란 수조와 채란망 수조의 수위 차이는 불과 몇 cm가 되도록 함으로써 낙차에 의하여 난이 받는 충격을 최소화한다.
- 채란망에 수집된 난은 물의 흐름과 부드러운 포기에 의해서 계속 부유하게 한다.
- 채란 시 나타나는 물리적 자극(결렬한 물흐름, 진동, 각반 현상, 그리고 기타 이물질 제거를 위한 자극)이 결국 부화율, 사망률 및 기형 발생의 원인이 된다고 알려져 있다(한국해양연구소, 1993).
- 넙치 수정란의 크기는 0.86 ~ 0.98 mm (860~980 μ m)이므로 실내 수조에서 수정란을 수집할 때 채집망은 400 μ m 정도가 적당하다. 망목의 크기가 너무 작으면 채집망에 찌꺼기 등이 막혀 수정란 수집이 곤란하다.
- 산란된 난의 수집은 산란 후 2~3시간 이내에 이루어지는 것이 좋다.



그림 19. 자연 산란된 넙치 수정란 부상란(위)과 침하란(아래).

<출처: 김경길 등, 2016>

2) 수정란의 선별

- 채란망에서 난을 꺼내기 위하여 포기와 물의 흐름을 한동안 중지한다.
- 정지한 물에서 사란은 가라앉으므로, 생존 가능한 부유란을 분리 채집하여, 부상란만을 자어 생산에 이용한다.
- 비포기 상태에서 저질 난은 더 깊이 뜨므로, 표면 가까이 뜬 난만을 수집한다.
- 어떤 경우에도 산소 결핍을 피하기 위해 포기를 10분 이상 중지하지 않아야 한다.
- 수표면에서 살균된 용기로 난을 떠서, 바로 임시 저장 용기로 옮긴다.
- 살균된 난 수용 용기는 사전에 같은 수온과 염분농도의 살균 해수로 채워져 있어야 하고, 미세 에어 스톤으로 부드럽게 포기되어야 한다.
- 용기 표면에 떠 있는 난의 두께가 1cm보다 더 두껍게 쌓여, 집적된 난 내부층에 산소 공급이 부족해지는 것을 피해야 한다.
- 난의 질, 수, 발생 단계를 평가하여, 비정상 난이 20% 이상 되면

폐기를 고려하여야 한다.

- 난의 계량 시 적정 시간 동안 살균(예: 활성 요드 50 ppm/l, 10분)한다.

3) 수정란의 평가

가) 넙치 난의 특성

- 넙치 수정란의 크기는 0.86 ~0.98 mm (860~980 μ m)이다.
- 유구(0.15~0.20 mm)가 1개 있으며,
- 부드럽고, 구형이며,
- 비점착성이고 투명하며,
- 부유성이다(해양수산연구소, 1993; 김정길 등, 2016).

나) 난질 평가

(1) 난질에 영향을 미치는 요소

- 난질에 영향을 미치는 요소는 난 자체의 내재적 특성과 난의 수정 및 배양 과정의 환경에 의해 결정된다(Brooks et al., 1997).
- 난질에 영향을 미치는 구성 요소로는 어미의 나이, 어미의 먹이, 난소에서 난모세포가 성장하는 동안의 내분비 상태, 난모세포에 비축된 영양물의 보충물 그리고 산란과 난의 압출 이후 배양되는 사육수의 물리 화학적 상태가 포함된다. 또한 어미를 취급하는 사육 관리 실무 또한 난질에 영향을 주는 주요한 요인이 될 수 있다(Brooks et al., 1997).
- 좋은 품질의 부유란은 일반적으로 품질이 낮은 품질의 난보다 더 부력이 있으며, 부화율이 더 높고, 정상적 발생을 한다.
- 난의 품질은 산란 직후와 수정 후의 두 다른 단계에서 결정될 수 있다.

(2) 산란 후 양질 난의 지표

- 부력이 높아 수면에 떠있는 부유란의 비율이 더 높다(Forés et al., 1990).
- 생존 능력의 초기 지표인 투명성이 높다(Fernández-Palaicos et al., 1995).
- 난의 형태가 일정하며, 불규칙한 형태와 유착된 난황(coalescent yolk)을 가진 난이 적다.

(3) 수정란의 계수와 수정률의 산정

- 수정률과 총 난수를 산정하기 위해, 3개의 50 ml 표본을 부드럽게 포기되는 부화 해수에서 비커로 채취한다.
- 난 표본을 현미경 아래서 검사하고, 계수한다.
- 중량으로 계수할 경우, 수집된 수정란을 깨끗하게 씻은 후 부상난을 수거하여 중량을 측정한다. 중량 측정 시에는 반드시 현미경으로 수정 상태를 파악하고 물을 제거해야 한다.
- 넙치 난은 일반적으로 수정란 1g당 개수는 알의 크기에 따라 차이는 있으나 1,300~1,600개이며, 수분을 완전히 제거하면 약 2,000개가 된다.

- 부화 수조의 총 난의 수는 3반복×50 ml 표본의 평균 난 수에 의해 계산된 부화 해수의 용적에 기초하여 추정한다.

$$\text{총란수(TNE)} = (\text{계수된 총 난의 평균 수/표본 부피(50 ml)}) \times \text{부화 수조의 해수 용적}$$

- 수정률은 산란 후 8~32세포 단계에서 정상 세포의 분열 비율로 평가할 수 있다(Kjørsvik et al, 2003).
- 수정률(%) = (계수된 수정란의 평균 수/총란수) × 100

4) 수정란의 살균

- 어류 난 표면의 착생 세균상에 기회 감염균들이 있을 수 있으므로, 난은 어미로부터 종자에 그리고 생산 시설 사이에서 질병 전염의 중요한 매체가 될 수 있다(Salvesen and Vadstein, 1995).
- 난 살균은 난의 부화와 생존을 향상시키고 그리고 배양장 내와 배양장 사이에서 병원균의 전염 위험을 감소시킨다(Salvesen and Vadstein, 1995).
- 어류 난의 표면 살균에 사용되는 약제에는 글루타르알데히드 (glutaraldehyde), 요오드포(iodophors), 자외선, 오존, 과산화수소, 차아염소산 나트륨(sodium hypochlorite), 항균 펩티드 및 항생제 등이 있다(Salvesen and Vadstein, 1995; Salvesen et al., 1997).
- 항생제는 내성이 생길 수 있기 때문에 권장되지 않는다.

5) 수정란의 수송

- 수정란을 배양장으로 수송하기 위해서는 비닐포대(50×70 cm)에 해수를 60~70% 넣고 알을 수용한 후 산소를 주입한다.
- 수용 밀도는 비닐포대(해수 용량 15~18 L 기준) 1개당 수정란 15~20만 개가 적당하며, 이동 시 기온이나 거리를 감안하여 수정란의 수량을 조절할 필요가 있다.
- 보통 수송 중 수온 상승을 방지하기 위하여 수정란이 담긴 비닐포대를 스티로폼 박스에 넣은 후 박스 내부에 얼음을 넣는다.
- 수송 시간은 당일 산란한 수정란의 경우 15~20시간 정도면 문제는 없지만, 산란 후 1~2일 경과한 난은 장시간 수송하면 도중에 부화하여 폐사하는 경우도 있으며, 살아있더라도 기형의 비율이 높기 때문에 장시간 수송은 피하는 것이 좋다.
- 또한, 제주도에서 항공기를 이용하여 육지로 수정란을 수송할 때에는 공항에서 X-ray를 통과하지 않도록 해야 한다. X-ray를 통

과한 수정란은 부화 후 일정 시간이 지나면 전량 폐사한다.

나. 수정란의 배양과 부화

1) 난 발생

- 넙치 수정란은 구형이며, 부유 및 비점착성 난이고, 단일 유구가 있다.
- 난은 직경 0.94~0.97 mm 크기이다.
- 부화 가능 수온은 10~24℃ 이지만 적정 수온은 15~19℃ 이고, 부화 최적 수온은 15℃ 전후이다.
- 14~ 16℃ 에서는 80~90시간 경과 하면, 부화 되고 부화율도 좋으며 기형률도 낮다.
- 수온에 따른 기형 부화율은 13~19℃ 에서는 거의 차이가 없고, 20℃ 이상에서는 수온이 높을수록 기형률이 높다.

- 넙치 난의 수정 후 부화까지의 발생(수온 $19.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)
 - 수정 6시간 경과: 상실기,
 - 수정 17시간 후: 낭배기,
 - 수정 18시간 후: 배체기,
 - 수정 29시간 후: 안포 형성,
 - 수정 40시간 후: 심장이 박동 시작,
 - 수정 46시간 후: 부화 시작.

- 넙치의 부화 시간(T)과 수온(t)과의 관계
 - 12℃ 와 20℃ 에서 변곡점을 보인다.
 - 수온 12~20℃ 에서, $\log T = 2.704 - 0.059 t$,

- 수온 20~24℃ 에서, $\log T = 1.791 - 0.013 t$ 이다.
- 넙치의 부화 적산 수온(T_0)과 수온(t)의 관계
 - 부화 적산 수온은 부화 시간과 수온의 관계처럼 12℃ 와 20℃ 에서 변곡점을 보인다.
 - 수온 12~20℃ 에서, $\log T_0 = 3.39 - 0.03 t$ 이다.
- 넙치 수정란의 부화와 염분과의 관계
 - 기준 염분을 1(비중 1.025, salinity 33.8, pH 8.2)로 했을 때 1/2~1/8 해수 및 2배 해수에서는 포배 후기에서 발생이 정지되어 모두 폐사한다.
- 황금넙치 난의 수정 후 부화까지의 발생(수온 17℃)
 - 수정 후 1시간 경과: 제1 분열으로 2세포기,
 - 수정 후 1시간 30분: 제2 분열으로 4세포기,
 - 수정 후 2시간 경과: 8세포기,
 - 수정 후 3시간 경과: 상실기,
 - 수정 후 12시간 경과: 포배기,
 - 수정 후 15시간 후: 낭배기,
 - 수정 후 24시간 후: 배체 형성 시작,
 - 수정 후 28시간 후: 배체 분화, kupffer 출현, 안포와 근절 형성.
 - 수정 후 30시간: 안포가 거의 완성되어 렌즈가 분화되고, 꼬리 부분의 kupffer가 소실 되면 이석이 형성되기 시작.
 - 수정 후 36시간 후: 배체에 약간의 색소포가 나타나며, 심장이 분화하기 시작하고, 근절이 뚜렷이 관찰됨,
 - 수정 후 52시간부터: 부화 시작,
 - 수정 후 56시간 후: 부화 완료.

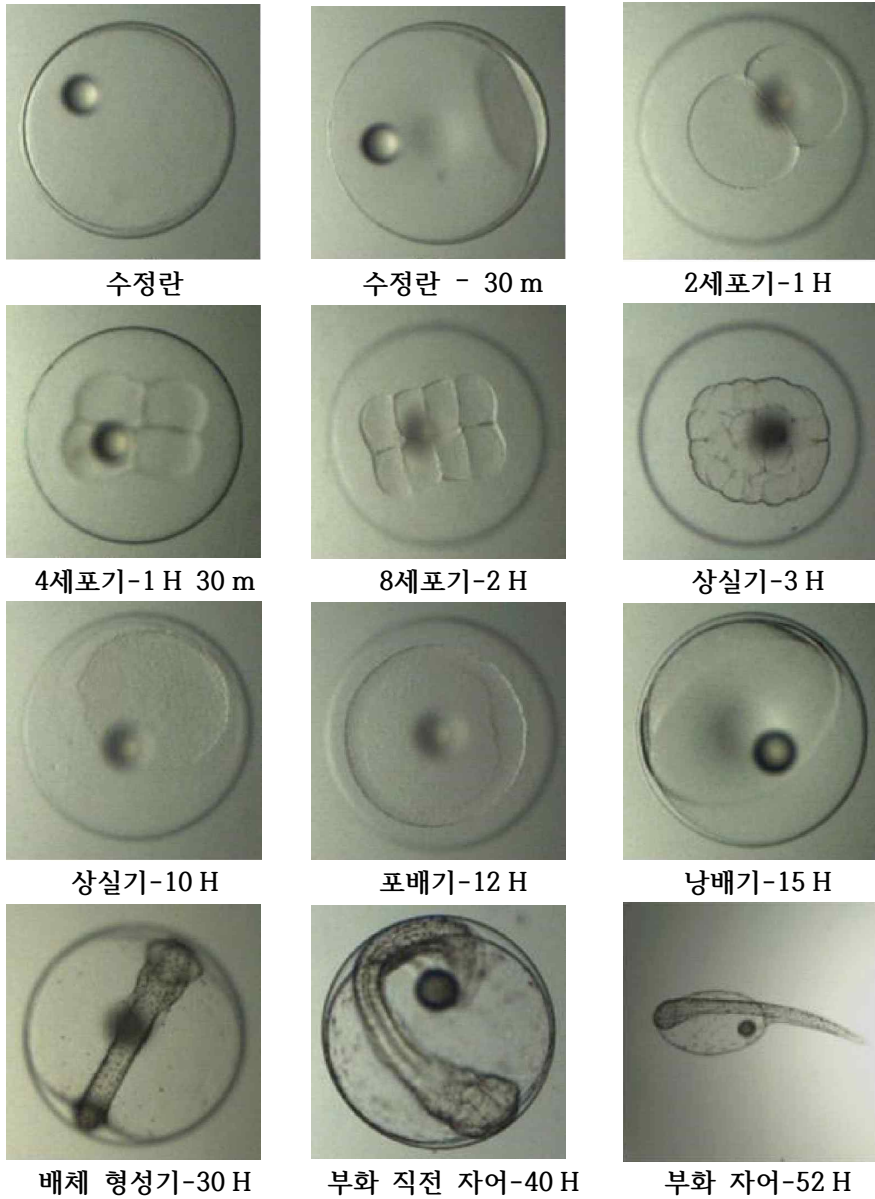


그림 20. 황금넙치의 단계별 발생(17°C).

<출처: 골든 시드 프로젝트, 중국 수출용 황금넙치 종자 개발 보고서(2016)>.

2) 수정란의 배양 시설과 관리

- 난의 부화는 자어 사육 시설로부터 분리된 별도의 배양 시설에서 부화하는 것이 권장된다.
- 수정란을 수용할 때에는 산란된 알에서 미수정된 알과 죽은 알을 제거한 후 정상적인 수정란만을 선별하여 수용해야 한다.
- 수정란 배양 중에 죽어서 가라앉은 알은 주수와 포기를 중지하고 가능한 한 빨리 제거하여야 한다. 침하란을 방지할 경우 수생균이 발생하므로 주의해야 한다.
- 수정란을 해수에서 배양 관리하는 방법은 사육 수조 내 부화망의 난 배양, 사육 수조의 난 배양, 부화 수조의 난 배양의 세 가지가 있다.
- 황금넙치의 수정란은 유수식 수조에서 16.5℃의 해수에 2일 배양하며, 1일 1회 수조의 물을 정체시킨 후 바닥으로 가라앉은 사란을 제거한다.

가) 사육 수조 내 부화망의 난 배양

- 자어 사육 수조 내 부화망은 수정란의 직경이 900~1,000 μm 이므로 400 μm 망목의 필터가재 또는 나일론 망을 사용하여 부화망(예: 직경 40~85 cm)을 제작한다.
- 부화망의 난 수용 밀도는 사육 수조와 부화망의 환수율에 따라 조절한다.
- 부화망에 적정량의 수정란(예: 1,000~3,000 난/L)을 수용한 후 부화 직전까지 관리한다.
- 네트에 수용한 수정란의 경우 여과 해수를 네트 내에 직접 주입하고 포기시켜 준다.
- 사육 수조 안에 설치한 가두리 망에 난을 수용하는 방법은 자어 사육 수조 전체를 이용하는 것보다 더 잘 통제할 수 있다.

- 부화망 안에는 난들의 부드러운 움직임을 위하여 미세 에어스톤으로 만든 포기 장치를 둘 수도 있다.
- 사육 수조 안의 해수 순환은, 부화망의 내부 전체를 통해 부드러운 흐름을 제공하기 위하여 조절되어야 한다.
- 부화 후 난황을 가진 자어를 계수하고 나서 부화망을 부드럽게 기울여 부화 자어를 사육 수조에 놓아 준다. 자어를 풀어주는 것을 용이하게 하기 위하여 포기를 중지하여야 한다.

나) 사육 수조의 난 배양

- 수정란을 배양하기 위하여 사육 수조에 톤당 1.5~4만 개(15~40 난/L)의 수정란을 직접 수용한다.
- 사육 수조에 직접 수정란을 수용할 때에는 부화 직전의 알을 사용하는 것이 좋다.
- 난이 자어 사육 수조에 직접 수용되어 있으면, 약간 강한 공기 흐름으로 난이 계속 부유할 수 있도록 한다.
- 자어 사육 수조에 직접 난을 수용하는 방법은 후속 조치가 쉽고, 추가 장비도 필요하지 않다. 그러나 부화 후 수조 바닥의 청소에 인력과 시간이 소모되며, 부화가 성공적이지 못하면 수조 전체를 세척하고, 살균하고 또 새로 채워야 하는 단점이 있다.

다) 부화 수조의 난 배양

- 부화 수조는 일반적으로 원추형 바닥에 여과망을 부착한 중앙 배수 스탠드가 설치되어 있는 원통형 수조이다.
- 부화 수조의 크기와 용적은 부화하는 난의 양에 따라 적절히 결정한다.
- 난과 새로 부화된 자어에 손상을 주지 않도록, 내면이 매끄러운 원추 저면 플라스틱 또는 FRP 원형 수조가 일반적으로 사용된

다.

- 부화 수조의 수량은 배수 수위 스탠드 또는 배수 호스의 위치를 조절하여 원하는 수위로 유지한다.
- 중앙 배수 스탠드는 여과망을 통해 난이 통과하지 못하도록 하기 위하여 폴리에틸렌 망(망목: 8 mm)과 플랑크톤 망(망목: 520 μm)으로 덮인 PVC 파이프를 만든다.



그림 21. 터봇의 난 배양기

(Source: Çiftci et al., 2002).

- 부화 수조의 난 배양은 작은 용적에서 집약적으로 관리할 수 있기 때문에 환경 관리가 용이하여 사육 수조나 부화망에 비해 더 고밀도로 난을 배양하고 부화할 수 있다.

3) 수정란 배양 시설과 장비의 살균

- 부화망, 사육 수조, 부화 수조, 주배수 파이프, 에어 스톤, 장비 등을 난 수용 전에 소독한다.
- 세제를 사용하는 일반적인 청소 후, 부화망, 사육 수조, 부화 수조는 수돗물로 채우고, 소독 용액을 추가하여, 하루 이상 놔둔다.

- 염소를 사용한 경우, 다음 날 염소를 제거하기 위하여 염소화된 물을 몇 시간 동안 포기한다.
- 사용 전에 사육 수조와 부화 수조의 물을 버리고, 수돗물로 행군다.
- 사육 수조와 부화 수조를 다시 해수로 여러 번 행군다.
- 피펫, 관, 통, 매스실린더 등의 장비들을 살균 용액에 밤새 담근다. 그리고 사용하기 전에 수돗물로 행군다.

4) 수정란의 배양 환경 관리

가) 부화 해수

- 부화 해수는 1 μ m 필터로 여과하고, UV으로 살균한다.
- 유수식으로 주수하는 해수의 수온과 염분을 산란 수조와 같게 조절한다.
- 부화 부산물과 난과 관련이 있는 잠재적 위험 미생물을 제거하기 위하여, 한번 사용한 물은 여과한 물이라도 재사용하지 않는다.

나) 수온

- 수정란의 부화 적수온 범위는 14~19℃이며, 최적 수온은 17.5℃ 전후이다.

다) 염분

- 수정란은 염분농도 18 psu 이하이면 침강하므로, 수정란을 부유 상태로 두려면 염분농도를 19 psu 이상으로 유지시키는 것이 필요하다.
- 수정란 부화를 위한 적정 염분 범위는 34 psu 내외이다.

라) 수용 밀도

- 사육 수조 내의 부화망에는 톤당 100~300만 개의 수정란(1,000~3,000 난/L)을 수용한다.
- 사육 수조에는 톤당 1,0~1.5만 개의 수정란(10~15 난/L)을 수용한다.
- 넙치와 유사한 생태의 터봇 난을 부화 수조에 수용하는 적정 수용 밀도는 14℃에서 5,000 난/L 이하이다(FAO, Cultured Aquatic Species - fact sheets, *Psetta maxima*).

마) 수정란 관리

- 보통 희끄무레한 색의 가라앉은 난은, 비록 살아있는 알이 일부 섞여 있다 하더라도, 죽은 것으로 간주한다.
- 생존 가능한 난은 수면 또는 물속 중층에 부유한다.
- 중층 부유란이라도 투명하지 않고 백탁의 난은 급속히 난질이 변하여 결국 사란이 된다.
- 죽은 난을 제거하기 위하여, 몇 분 동안 포기와 물 공급을 중단한다.
- 가라앉은 죽은 난들에 의한 박테리아와 원생동물의 번식을 최소화하기 위하여 사이펀으로 제거한다.

바) 환수율

- 환수율은 부유하는 난이 부화망이나 배수 스탠드의 망에 밀집되지 않으면서, 용존산소를 충분히 공급(포화도 100%)할 수 있도록 조절한다.
- 난 배양 기간 중의 환수율은 부화 동안과 부화 직후에 더 높인다.

사) 포기

- 포기과 환수율을 조절하여 부화 수조의 용존 산소를 100% 포화도에 가깝게 유지한다.
- 포기는 배양수 속에서 난을 부유시킬 수 있어야 한다.
- 강한 포기 또는 높은 환수율은 부화망과 수조 벽 또는 중앙 배수 스탠드에 설치된 망과의 접촉을 통해 난을 손상시킬 수 있으므로 포기과 환수율을 적정하게 조절하여야 한다.
- 에어스톤을 사육 수조 원주 바닥의 끝 가까이에 배치하여, 물의 순환을 양호하게 하고, 생존 불가능한 난과 부화 찌꺼기를 잘 분리해 낼 수 있게 한다.
- 수조의 바닥에서 추가적으로 포기하여, 주로 난과 자어를 부유하게 하고 배양수의 성층화를 방지한다.
- 원주-원추형 수조는 물의 순환과 난 분포를 양호하게 하기 위하여 수조 중앙에서 부드럽게 포기하도록 에어 스톤을 설치한다.

아) 조명

- 조명은 부화실에서 자연 조건하에 두며, 주간 약 100럭스이다.
- 광주기는 자어 사육 구역에 적용된 광주기와 같다.

자) 배수 스탠드

- 배수 스탠드는 교체할 수 있는 400 μ m 망목의 나일론 망으로 씌운다.
- 배수 스탠드 주위에 지속적으로 포기하여 부드러운 흐름을 만들어서, 밖으로 흐르는 배출수에 의해 밀리는 난과 자어로 망이 막히는 것을 방지할 수 있다.

차) 찌꺼기 제거

- 사란과 부화 잔해를 바닥에 가라앉혀 제거하기 위하여 매일 일정 시간 해수와 공기 공급을 멈추고, 찌꺼기를 제거한다.

카) 외부 충격

- 수정란의 배양 중, 난은 부화 전에 다양한 배아 발생이 일어나게 되므로 기계적 충격과 열 충격은 최소화되어야 한다(Devauchelle et al., 1988; Rurangwa et Poelman, 2011).

5) 수정란의 부화 관리

가) 수정란의 부화 환경 관리

(1) 환수 조절

- 난 배양 기간 중의 환수율은 배양 환경을 고려하여 적정하게 조절(예: 시간당 1회)하고, 추정 부화 시간 몇 시간 전부터 시작하여, 부화 동안과 부화 직후에 환수율을 높인다.
- 난이 배수 스탠드 망에 막히지 않도록 주의를 기울인다.

(2) 환경 변수의 조정

- 부화가 시작되면 곧 수온, 염분, 용존산소, 총질소, 조도 등 난 배양 수조의 환경 변수들을 적정 범위로 재조정하여야 한다.

(3) 부화 부산물의 제거

- 부화 부산물 중 난각이 열릴 때 작용하는 단백질 분해효소는 난막(chorion)에 의해 보호받을 수 없는 막 부화한 자어에 손상을 줄 수 있다. 부화 찌꺼기와 부산물을 제거하여야 한다.

- 사육 수조에서 직접 난을 부화한 경우, 부화가 종료되면 바로 사이펀으로 조심스럽게 부화 찌꺼기를 제거하고 포기과 환수를 부화 자어에 맞게 조정한다.

나) 부화율의 추정

- 부화율은 계수된 총 난 수와 부화된 자어의 비율에 기초하여 추정한다.
- 3개의 50 ml 표본을 비커를 사용하여 부드럽게 포기된 부화 사육수에서 채취한다.
- 표본의 부화 자어는 입체 현미경으로 계수한다.
- 수조에서 부화된 자어의 총수는 50 ml 시료 3반복에서 부화된 자어의 ml당 자어 평균수에 수조 내 사육수의 용적을 곱하여 추정한다.
 - 총 부화 자어 수 = (계수된 자어의 평균수/표본 부피(50 ml)) × 부화 수조의 해수 용적
- 부화율은 다음 식을 사용한다.
 - 부화율(%) = (부화 자어의 총 수/총 난 수 × 100

6) 부화 자어의 평가

가) 부화 자어의 평가

- 부화된 자어는 부화 1일 후 형태와 행동에 관한 평가 기준에 따라 생존력과 상태를 점검하여야 한다.
- 생존력이 높은 자어를 선택하며, 생존력이 낮은 자어 그룹은 가급적 폐기한다.
- 부화 그룹별 10~20마리의 표본을 채집하여 시계 접시에 두고 입체

현미경으로 5-10배의 저배율로 기준에 따라 정상 상태 여부를 관찰한다.

나) 부화 자어의 형태 평가 기준

- 전반적인 형태와 크기,
- 자어 지느러미의 완전성(기형이나 결손이 있어서는 안 된다.),
- 외부 기생충(없어야 한다),
- 내장 기관의 배치,
- 정상적인 색소.

다) 부화 자어의 행동 평가 기준

- 부화 첫날의 자어는 특유의 전형적인 행동을 보이며, 그 관찰은 생존력의 평가에 도움이 된다(투명 용기에 50마리 정도를 표본 조사).
- 부화 후 점차 성장하면서 지느러미가 발달함에 따라 물의 흐름에 거슬러 수영하는 수영 행동과 먹이생물의 포식 행동 등에서 보이는 넙치 자어 특유의 행동들을 세심히 관찰하여야 한다.
- 완전 수동적이거나, 또는 과잉 활동적인 다른 양상을 보이는 자어는 낮은 생존력을 나타내는 것일 수 있다.
- 같은 비정상적 양상이 생산 자어의 몇 그룹에서 연이어 관찰되면, 오염 문제의 신호일 가능성에 대해 검토, 조치하여야 한다.

7) 부화 자어의 이송

부화 자어의 이송 절차

- 발생하지 않은 난과 유기물 잔해들을 배양 수조의 바닥으로 가라

얕히고, 그리고 자어 또는 난들을 물 표면으로 부유시키기 위해서, 사육 수조로 부화 자어를 옮기기 직전에, 부화 수조에서 짧은 시간(예: 10-15분) 동안 포기를 중단한다.

- 바닥에 가라앉은 발생되지 않은 난과 유기물 잔해들을 사이펀이나 배양기 바닥에 연결된 호스를 통해 제거한다.
- 자어는 비커 또는 통을 사용하여 사육 수조로 부드럽게 옮긴다.
- 사육 수조에 자어를 옮긴 이후, 부화 수조를 비우고, 세척하고, 소독하며, 그리고 다음 난 배치의 부화 배양을 위하여 다시 채운다. 만일 더 이상의 부화가 예상되지 않으면, 사용된 시설을 분해하고 소독한다.
- 넙치와 생태가 유사한 터봇의 경우, 자어는 집약적 사육 시스템에서 15-20 자어/L, 그리고 반집약적 사육 수조에서는 2-5 자어/L의 수용 밀도로 입식한다(Danancher and Garcia-Vazquez, 2006).

4. 자어

가. 사육 시설

1) 사육 수조

가) 사육 수조의 재질과 색

- 사육 수조의 재질로는 콘크리트, FRP, 캔버스 시트, PP 등이 있다.
- 과거에는 주로 콘크리트로 만든 수조가 많았으나, 최근에는 PP 수조도 이용된다.
- 콘크리트 수조를 사용할 때에는 콘크리트 자체가 알칼리성이기 때문에 바로 사용하면 폐사가 발생하므로, 사용하기 전에 중화제를 이용하여 알칼리도를 낮추어야 한다.
- 알칼리화를 방지하기 위하여 이전에는 에폭시 페인트나 FRP로 수조 내면을 코팅하였으나, 최근에는 전용 도료가 개발되어 이를 사용하는 경우도 있다.
- 특히 자치어용 사육 수조의 색은 넙치의 성비 및 체색 이상에 영향을 줄 수 있는 경우도 있으므로, 신중하게 선택해야 한다.

나) 사육 수조의 크기와 형태

- 사육 수조의 크기는 생산 규모와 사육 방법에 따라 결정되며, 일반적으로 사육 방법에는 두 가지가 있다.
 - 첫째, 소형 수조에서 고밀도로 사육하다가 변태 전후에 수조 수를 늘리거나 대형 수조로 옮겨 사육하는 방법.
 - 둘째, 처음부터 대형 수조에서 전장 20~30 mm 크기까

지 계속하여 사육하는 방법.

- 소형 수조 고밀도 사육 시 수조 크기는 사육 환경과 관리 등을 고려하여, 5~10톤이 적당하다.
- 대형 수조에서 부화 자어부터 20~30 mm 크기까지 계속하여 사육할 때의 수조 크기는 40~50톤이 적당하다.
- 수조의 형태는 원형, 팔각형, 장방형, 사각형(모서리를 완만하게 만든 것) 등 여러 가지가 있으나, 물의 흐름, 교환율 및 침전물 제거 등을 고려하면 중앙배수가 가능한 원형과 팔각형이 좋다.
- 넙치는 변태 후에 착저하기 때문에 저면적이 넓은 편이 좋다.

다) 수조의 높이와 수심

- 수조의 높이는 0.8~1.2 m 범위이지만 1 m 전후가 많다.
- 수심은 일반적으로 40~80 cm이다.

라) 수조 저면의 구배

- 넙치는 변태 후 착저하여 생활하므로 바닥 면적을 최대한 크게 하고 수조 바닥의 구배가 없는 것이 좋으나, 이럴 경우 배설물과 사료 찌꺼기 등이 원활하게 배수되지 않기 때문에 어느 정도의 완만한 기울기는 필요하다.

2) 사육수의 공급과 차광 시설

가) 사육수의 주수와 배수

- 주수관은 수조의 크기나 형태에 따라 직경 20~65 mm의 관을

2~4개소에 설치하여 사육수를 회전시킬 수 있도록 한다.

- **주수관**은 물의 흐름을 고려하여 수를 조절한다.
- 배수관은 수조의 모양에 따라 수조 가운데에 설치하며, 직경은 40~150 mm이고, 배수구는 1~2곳이다.
- 자어 사육 시 사육수의 배수 방법으로, 대형 수조에서는 배수관에 구멍을 낸 후 적당한 망목의 망으로 배수관을 싸는 방법으로 배수한다.
- 소형 수조에서는 수조 내에 망으로 둘러싼 배수관을 넣은 후, 배수관의 내부에 호스를 설치하여 사이펀 하는 방법을 사용한다. 어느 방법이나 배수망의 면적을 넓게 하여 배출수의 유속을 늦추어 유영능력이 약한 자어가 망에 걸리지 않아야 한다.

나) 차광 시설

- 실내에서 사육 시 조명을 하기 때문에 별도의 차광 시설은 필요 없다.
- 실외 수조의 경우 채광이 지나치면 용존산소 과포화로 인한 가스병 때문에 폐사가 발생하고, 수조 저면 및 측면에 해조류 등이 번식하여 관리가 어렵기 때문에 수조 위에 차광 시설을 하는 것이 좋다.

나. 위생 관리

1) 자어 사육 체계의 준비

- 배양장의 자어 사육 환경은 종종 연약한 자어에게는 해로운 환경이다. 그러므로 배양장의 위생 상태의 완전한 통제가 고려되어야 하고, 또 적절한 절차에 따라 시행되어야만 한다.

- 해산 어류 자어의 건강 상태는 주로 잘 계획된 예방에 달려있다. 예방을 위하여 사육 해수의 처리와 엄격한 청소 일과를 준수하여야 한다.
- 생산 시기가 시작되기 전에, 배관, 수조, 필터, 살균 체계, 공기 공급 체계, 장비 등 완전한 자어 사육 체계를 적절하게 설치하여야 한다.
- 모든 생산 설비는 세제로 완전히 세척하여야 하고, 소독 용액으로 살균하여야 한다.
- 사육 수조와 배관 등의 살균과 세척의 실용적 방법은, 수조와 설비 등을 소독 용액으로 채우고 2~3일 동안 수조의 물을 순환시키거나 또는 가만히 두는 것이다.
- 사육 기간의 종료 시에도, 수조나 설비에 찌꺼기가 달라붙는 것을 방지하기 위하여 세척 작업을 반드시 수행해야 한다.
- 생산 기간 중에, 한 그룹의 자어가 치어 사육 시설로 이송된 뒤에도, 사육 수조와 배수 배관 등을 소독 용액으로 살균하여야 한다. 배수 배관 체계는 해체하여 하룻밤 동안 소독 용액에 담가두어야 한다.
- 사육 시스템에 생물 여과조가 있으면, 질소 여과 미생물의 여과재 착생을 위하여 자어 사육이 시작되기 전 최소 한 달 전에 가동을 시작하여야 한다. 생물 여과조 부품의 살균은 훨씬 전에 실시한다.
- 첫 자어 수용 훨씬 전에, 전체 사육 시스템을 조립하여, 총용량으로 가동되는지 점검하여야 한다. 설비에 대한 어떤 문제도 미리 고치거나, 또는 교체하여 사전에 해결하여야 한다.
- 자어 사육 수조의 내면은 위생 관리 측면에서 매끄러워야 한다.

2) 자어 사육 시설과 장비의 위생 관리

가) 자외선 살균기

- 청소 와이퍼(wipers)를 사용하여 하루에 두 번 석영관을 청소하거나, 또는 UV 출력이 사전 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 석영관에 청소 와이퍼가 없는 경우, 자외선 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 그리고 분해하여 석영관을 손으로 청소해야 한다.
- 자외선 살균기에 측관(by-pass)이 있는 경우, 정체된 물을 제거하기 위해 하루에 두 번(아침과 저녁) 측관을 약 10초 동안 열어야 한다. 배양장에 질병이 발생한 경우에는 측관을 열지 않아야 한다.
- 점검 창을 한 달에 한 번 또는 올바르게 작동하지 않을 때마다 청소하여야 한다. 분해하고 에탄올로 청소하여야 한다.

나) 생물 여과조

- 여과조의 벽에 오물이 쌓일 때마다 종이 티슈로 없애야 하며, 작업 시 물에 손을 담그지 않아야 한다.
- 생물 여과조 집수조 바닥의 잔해를 배출하기 위하여 사이펀으로 오물을 제거한다. 침전된 잔해가 다시 떠오르는 것을 피하기 위하여 사이펀을 부드럽게 작동한다. 항상 깨끗하고 소독된 사이펀을 사용한다. 사이펀을 소독 용액에 담그고, 그리고 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행군다.
- 매일 아침 생물 여과조 입구의 먹이생물 여과막을 청소하고, 완전히 씻은 다음, 여과막을 제자리에 설치하기 전에, 소독 용액에 담가 두어 소독한다. 여과막에 걸린 먹이생물을 제거한다.
- 일반 배수구 홈통은 기계식 필터를 우회하여 솔로 한 달에 두 번

청소한다. 각 과정의 끝에 소독 용액을 사용하여 세척하고 소독한다.

다) 운용 중인 자어 사육 수조

- 운용 중인 자어 사육 수조와 원추형 부화 수조는 하루 중 바닥 표면적의 최소 절반을 사이펀으로 오물을 제거하여야 한다.
- 사이펀으로 오물을 제거할 때 침전된 잔해가 다시 떠오르지 않도록 부드럽게 작동하여야 한다.
- 각 수조마다 소독된 사이펀을 사용하여야 한다.
- 미세 조류가 수조에 추가되기 전에 사이펀 하여야 한다.
- 사이펀을 소독 용액에 보관하고 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행구어야 한다.
- 수조 내벽과 수면 접촉 부위(meniscus)에 오물이 쌓일 때마다 종이 티슈로 닦아내야 한다. 수조 물에 손을 담그지 않아야 한다.
- 원형-원추형 사육 수조는 하루에 아침과 저녁 두 번 포기를 중지하고, 하단 밸브를 열어 수조 바닥 끝부분에 쌓인 물을 배출한다.
- 배수 스탠드의 망에 걸린 폐사어는 어떤 건강 문제의 시작을 나타내는 것일 수 있기 때문에, 사육 첫날 배수 스탠드의 망에 걸린 자어로 사육수 상태를 점검하고, 이후 폐사한 후기 자어와 치어를 점검하여야 한다.

라) 운용 종료 후의 자어 사육 수조

- 각 자어 그룹의 사육 주기가 종료되면 바닥 밸브를 열어 사육수를 완전히 배수한다.
- 배수 스탠드와 배관, 에어 호스와 에어 스톤, 바닥 마개 및 밸브를 떼어 낸다.
- 아직 젖어 있을 때, 세제와 뜨거운 물로 수조 내벽, 바닥 및 모

든 관련 장비를 솔로 문지른다.

- 행구고 나서, 소독 용액으로 밤새 소독한다.
- 담수로 행구고, 그리고 다시 채우기 전에 공기로 말린다.

마) 유막 제거기

- 정기적으로(약 4시간마다) 종이 티슈로 부유 잔해와 유막 제거기(skimmers)에 의해 수집된 기름 막을 제거한다.
- 로티퍼와 알테미아를 공급한 후에는 더 자주 제거한다.
- 부레가 활성화되는 때인 자어 사육 초기의 약 10일 동안은 특별한 주의가 필요하다.

바) 배수 스탠드

- 아침과 저녁 조명을 끄기 전에 매일의 일과로서 하루에 두 번 깨끗하고 소독된 배수 스탠드로 교체하여야 한다. 만일 망 막힘의 위험이 있는 경우에는 낮에 더 자주 교체하여야 한다.
- 사육수의 급수를 멈추고, 그리고 어린 자어를 방해하지 않으면서 또 배수 스탠드에 붙은 더러운 오물이 다시 떠오르는 것을 피하면서 더러운 배수 스탠드를 조심스럽게 제거한다.
- 사용한 배수 스탠드를 뜨거운 물 또는 담수의 고압 세척수로 씻고 소독 용액에 담근다.
- 소독 용액에서 꺼낸 배수 스탠드를 물로 완전히 행구고, 그리고 수조 가까이 보관한다. 수조 주변 통로의 난간은 작업 활동을 방해하지 않는 경우 보관에 적절한 장소이다.

사) 에어 호스와 에어 스톤

- 일주일에 한 번 각 수조에서 깨끗한 세트(비닐 호스+에어 꼭지(tap)+에어 스톤)로 교체하여야 한다.

- 기름기가 많은 유막(greasy film)을 제거하기 위하여 뜨거운 물과 세제로 씻어낸다. 그다음 소독 용액에 담근다.
- 에어 호스와 에어 스톤을 사용하기 전에 물로 철저히 행구어, 내부에 소독 용액이 남아 있지 않도록 주의한다.

아) 장비(양동이, 항아리, 비커, 피펫 등)

- 하루 동안 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 철저히 행군다.
- 하루 작업 종료 시에 소독 용액에 담근다.
- 야간에는 물로 행구고, 그리고 건조 상태로 보관한다.

자) 소독 용액 용기

- 일주일에 한 번 소독 용액을 새것으로 교체하고, 그리고 바닥 침전물을 제거하여야 한다.

차) 일간 먹이생물의 저장 용기

- 매일 마지막 먹이생물 공급 후, 저장 용기의 내벽, 바닥, 뚜껑, 에어 호스 및 에어 스톤을 세제와 뜨거운 물로 문지른다.
- 소독 용액으로 소독한다.
- 다음날 먹이생물 공급을 준비하기 위하여, 담수로 씻어낸 다음, 공기 중에 말린다.

카) 사육실 바닥

- 일주일에 두 번, 먼저 강력한 고압 분사기로 씻고, 그다음 소독 용액으로 씻는다. 소독 용액으로 씻은 바닥을 씻어내지 않는다.

타) 작업자 위생 관리 주의 사항

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 가정해서는 안 된다. 필요

할 때마다 작업자 스스로 청소해야 한다.

- 모든 소독 용액은 자어에 치명적인 독성(예, 산성 또는 염소 잔류물 등)이 있을 수 있으므로, 사용하기 전에 장비를 철저히 헹구어야 한다.
- 질병 확산의 위험을 피하기 위하여, 배양장의 다른 구역들과 재료와 장비를 교환하지 않아야 한다.
- 개인위생으로 작업자는 손을 깨끗하게 유지하여야 하고, 배양장에 들어가기 전에 소독조에 발을 담궈야 하며, 배양장 안에서 담배를 피워서는 안 된다.

다. 사육 환경 관리

1) 자어 사육 시설 환경 관리

가) 자어 사육 수조

- 모든 사육 수조는 실내에 배치한다.
- 수조의 형태는 원형, 정사각형 또는 물의 흐름이 중요한 경우는 수로형(raceway) 등으로 다양하다.
- 자어 사육 수조의 크기는 생산 목표에 따라 다양하다.

나) 사육 해수

- 자어 사육용 해수는 모래여과기를 통과시킨 후 자외선이나 오존 장치 등으로 살균하여 사용하는 것이 좋다.
- 적절한 자어 사육 조건을 유지하기 위해, 물은 카트리지 필터(5 μm)로 여과하고, 그다음 UV으로 살균한다.
- 사육수의 가온을 위해서는 주로 히트펌프, 보일러, 열교환기를 이용한다.

다) 자어 수용밀도

- 부화 자어의 초기 수용밀도는 사육 방법에 따라 다르나, 고밀도 사육에는 톤당 3만 마리 이상으로 수용한다. 고밀도 사육 방법으로 사육하면서 일정 수용밀도 이상이 되면 여러 개의 수조로 분조한다.
- 적정 사육 밀도에 관한 명확한 기준은 없지만, 부유 자어기 즉 착저 이전(전장 8 mm)까지는 톤당 5~10만 마리의 고밀도 사육이 가능하며, 이 시기의 생존율은 60~95%이다.
- 한편, 부화 자어부터 전장 20~30 mm까지 한 수조에서 계속하여 사육할 때 적정 사육밀도는 톤당 1~3만 마리이며, 이때까지의 생존율은 특별한 하자가 없으면 70% 이상이다.
- 종자 생산 현장에서는 안정적인 생산을 위하여, 자어의 적정 사육밀도를 톤당 1만 마리 이내로 조정하여 사육하는 것이 일반적이다.
- 적정 사육밀도 범위 내에서 자어 수용밀도는 먹이 공급이 충분하면 수조 크기에 따른 성장 차이는 크지 않다.

라) 자어 입식

- 난 또는 새로 부화한 자어를 사육 수조에 옮기기 전에, 사육 수조의 수온을 산란 및 부화 수조와 같은 정도로 설정한다.
- 난 또는 부화된 자어를 사육 수조에 옮기기 바로 직전에, 미발생 난과 잔류물을 부화 수조의 바닥에 가라앉히고, 자어 또는 난은 수면에 부유할 수 있게 하기 위하여 잠시동안 포기를 중단한다.
- 포기 중단 후 미발생 난과 찌꺼기를 사이펀이나 부화기 바닥에 연결된 호스를 통해 제거한다.
- 그리고 난 또는 자어는 비커 또는 통을 사용하여 사육 수조로 부

드럽게 옮긴다.

마) 주수

- 자어 입식 초기에 사육수의 강한 주수는 척추 변형을 유발하며, 포식 행동의 시작을 방해하므로 주수를 적절히 조절하여야 한다.
- 초기 자어 사육 수조에서 과도한 교란은 부레의 팽창을 억제함으로써, 골격 기형에 이르게 할 수 있다.
- 수조 주변부에서 유속은 2 cm/sec 이내를 권장하며, 10 cm/sec 이상의 위험 유속을 피하기 위하여 주의해서 주수구를 설치한다.
- 가급적 주수구는 수조 주변부에 있어야 하고, 수평 접선 방향의 주수를 피한다.
- 사육 수조 내의 사육수가 성층화되지 않는 방법으로 주수하여야 한다.
- 자어가 사육수 중의 작은 공기 입자를 우연히 삼켰을 때 폐사를 초래할 수 있으므로, 각 주수구에 작은 공기 입자의 발생과 부유를 없애기 위한 장치를 설치하는 것이 권장된다.

바) 배수 스탠드

- 자어는 시각적 포식자이기 때문에, 주로 낮에 포식하고, 밤에는 충분히 먹이를 포식하기 어렵게 된다. 그러므로 먹이생물은 낮에 공급된 후, 밤이 되어 시간이 갈수록 영양가를 잃어버리게 된다.
- 자어에 먹이생물을 공급하는 동안, 밤에 영양가가 없어진 먹이생물을 수조 밖으로 배출하기 위하여 어두워지기 직전에 500 μ m 망목을 가진 배수 스탠드로 교체한다.
- 빛이 있는 낮의 먹이 공급 동안에 환수가 필요하면, 수조 안에 먹이생물을 보전하기 위하여 로티퍼는 100 μ m, 알테미아 노플리우스는 250 μ m 망이 부착된 배수 스탠드를 사용한다.

- 난이 직접 자어 사육 수조에 수용되면, 배양과 부화 동안에 400 μm 망의 배수 스탠드를 사용하여야 한다.
- 배수 스탠드는 망목 부분의 면적을 넓게 하여, 배출수의 유속을 늦춤으로써 유영 능력이 약한 자어가 망에 걸리지 않도록 하여야 한다.
- 배수 스탠드의 망에 죽은 자어는 발생 가능한 문제의 조기 경고 일 수 있으므로, 배수 스탠드의 망에 죽은 자어를 점검한다.
- 배수 스탠드는 사용 후, 고압분사기로 오물을 제거하여 세척하고, 살균한 다음 담수로 완전히 행궤야 한다.
- 배수 스탠드는 수조 가까이 건조한 곳에 망목이 다른 한 벌의 예비 배수 스탠드를 비치하여 즉시 교체할 수 있도록 한다.

사) 환수

(1) 대형 수조 내 연속 사육

- 사육수의 환수는 처음에는 지수식으로 하다가 성장과 함께 유수식으로 전환시킨다.
- 지수식 사육은 사육 수온과 관리 방법에 따라 다르나, 지수식 사육 기간은 보통 5~15일간이다.
- 지수 사육을 하더라도 수질 상태에 따라서 일부 환수를 하는 경우가 있으며, 환수량은 1일 사육수의 20~50%이다.
- 유수식 사육의 사육수 교환율은 전반기에는 1일 0.3~1회전, 후반기에는 1.0~3.5회전으로 증가시킨다.
- 유수식 환수의 시기와 교환율은 자어의 유영력, 사료의 섭취 상태, 수온, 수질을 고려하여 결정한다. 현장에서는 이러한 상황을 참고하여 대부분 사육자가 경험적으로 유수 여부와 교환율을 정하고 있다.
- 난이 자어 사육 수조에 직접 수용된 경우에는 난의 배양 동안 1일

1-2회 환수하고, 부화 중에는 3-6회 환수한다.

(2) 소형 수조 고밀도 사육

- 난의 부화 후 자어는 3일까지 사육수를 환수하지 않는다.
- 부화 후 4일에 사육수는 적당한 로티퍼의 밀도를 유지하고, 사육수의 악화를 방지하기 위해 0.3 회/일의 환수율로 처음 환수한다.
- 환수율은 부화 후 10일에 1.0 회/일로 점진적으로 증가하며, 이후 성장에 따라 환수율을 증가한다.
- 초기 단계에서, 자어의 유영 기능은 잘 발달되어 있지 않으므로, 물의 교란을 최소화하여야 한다.
- 자어는 활동적으로 유영할 수 없으므로, 강한 물의 흐름에 거슬러 가는 것은 불가능하다. 물의 흐름이 강하면 자어들은 배수 스탠드의 망 표면에 달라붙게 되고, 대량 폐사를 초래할 수 있다.
- 어류가 성장함에 따라, 배수 스탠드의 폴리에틸렌 배수망의 망목은 더 커져야 한다.
- 첫 섭이 시기에 밝을 때(명기)는 환수하지 않고, 필요시 어두울 때(암기) 적정하게 환수한다(수조 총 수량의 0.5~1을 환수).
- 변태까지 환수량을 지속적으로 증가하여야 하므로, 규칙적으로 모니터링하여 수질을 확인하고, 실제 필요에 따라 환수량을 조절한다.

아) 포기

- 포기(aeration)와 순환(circulation)은 자어 사육에서 가장 중요한 두 가지 문제이다. 포기와 순환은 일반적으로 잘 설계된 장치에 의해 동시에 수행된다.
- 수조의 포기는 후기 자어와 먹이생물을 부유할 수 있게 하고, 수조의 물을 적절하게 혼합해준다.

- 수조 형태, 수심 및 주·배수구의 위치에 따라서, 포기는 수조 전체 사육수의 적절한 수직 혼합을 위한 느린 용승류를 만들어 내게 낸다.
- 자어 초기에 수면에서 자어가 공기를 삼키는 것은 자어의 부레 팽창을 활성화하여 정상 기능의 부레를 만들기 위하여 필요하다. 자어의 부레 형성 기간 동안에 과도한 물의 움직임은 자어가 수면에서 공기 방울을 삼키는 것을 더 어렵게 만들 수 있다.
- 사육 수조에서의 과도한 교란은 부레의 팽창을 억제함으로써, 골격 기형을 유발할 수 있다. 과도한 교란을 하지 않아야 한다.
- 포기는 스트레스가 많은 난류를 피하기 위하여 조절되어야 한다.
- 자어는 수조에서 강한 포기를 지탱하지 못하므로 교란 없이 부드럽게 포기하여야 한다.
- 후기 자어의 첫 섭식 기간 동안에 과도한 물의 움직임은 포식 활동을 방해한다.
- 소수의 에어 스톤을 사용하여 강하게 포기하는 것보다, 다수의 에어 스톤 사용하여 부드러운 포기(예, 2.5 L/min/air stone)를 제공하여야 한다.
- 원형 수조에서 오물과 잔해들이 가라앉고 축적되어 용이하게 청소할 수 있도록, 원추 수조 바닥에서 20 cm 위에 에어 스톤을 설치한다,
- 에어 스톤의 선택이 자어의 생존율에 영향을 줄 수 있다. 자어가 작은 기포를 로티퍼로 착각하고 많이 삼키게 되면, 심할 경우 자어는 수 표면에 뜨게 되고 결국 폐사하게 된다. 그러므로 자어의 부화 후 첫 주 동안에 작은 기포(air bubble)가 폐사율의 증가를 유발 할 수 있다. 이를 피하기 위하여 사전에 산소를 주입하던지, 또는 더 큰 기포를 만들 수 있는 에어 스톤을 선택하는 것이 권장된다(Dhert et al., 1998).

- 에어스톤을 이용하여 포기(aeration)하며, 3~56 m³ 수조 크기에는 1~9개 정도 설치한다. 저면적 비율로 보면 0.6~5.4 m²마다 1개이다.
- 포기 세기는 자어일 때는 약하게 하고 성장과 함께 점차 증가시킨다.

자) 미세조류의 첨가

- 자어 사육 시 미세조류의 첨가는 먹이원으로 로티퍼의 높은 영양가를 유지하게 하고, 용해된 암모니아의 수준을 낮추는 수질 정화 작용을 통하여 수질을 향상함으로써, 자어의 생존율과 크기의 균질성 및 성장을 향상시킨다.
- 자어의 집약적 사육 환경에서 미세조류의 첨가는 미생물상을 안정화하여 세균 발육을 억제하고, 자어의 공격적 행동을 감소하는 음영 효과가 있다.
- 미세조류를 수조에 첨가하면 사육수가 흐려져 바닥을 관찰할 수 없어지므로, 첨가 전에 반드시 수조 청소를 완전히 하여야 한다.
- 식물플랑크톤을 첨가하는 기간은 5~20일간이며, 지수 기간에는 대부분 첨가하고 유수 사육에서도 초기에는 첨가하는 경우가 있다.
- 미세조류의 첨가 농도는 ml 당 20~100만 세포이지만, 보통 20~50만 세포를 첨가한다.
- 미세조류의 첨가 시 지나치게 밝으면 미세조류의 탄소동화작용에 의해 용존산소의 과포화로 가스병이 발생하고, pH 상승을 일으킬 수 있으며, 지나치게 어두우면 대사 생리 기능의 저하를 초래하게 된다.
- 미세조류의 미첨가 시 밝으면 수조의 바닥과 측면에 해조류의 번무가 생기므로 적당한 조도 조절(50~500 lux)이 필요하다.

차) 유막 제거

- 집약적 사육 수조의 수면에 유막(oily film)이 형성되는 것은 흔히 기름진 유화제(oily emulsions)로 영양 강화된 먹이생물 때문에 발생한다.
- 수면에서 로티퍼 껍질, 기름 및 단백질 찌꺼기와 같은 잔해들의 제거는 중요한 일상 업무로 시행되어야 한다.
- 유막 제거는 공기-물 계면 사이의 산소 교환을 촉진하고, 박테리아 성장을 촉진시키는 찌꺼기들을 제거하며, 그리고 자어의 부레 발생을 위하여 중요한 행동인 공기 삼킴 능력을 촉진하여 부레의 팽창률을 향상시킬 수 있다.



그림 22. 수면의 유막 제거기(Skimmer)

(Source: Çiftci et al., 2002).

카) 조명과 광주기

- 빛의 강도, 주기 및 색은 중요한 생태적 요인으로 작용한다.
- 빛은 자어의 먹이 공급 동안에 먹이 섭취의 중대한 결정적 요인 중의 하나이다(Person-Le Ruyet, J., 2002).

- 온도가 높을수록 증가된 자어의 활동과 성장률에 맞추어 조명 시간을 연장한다.
- 일정 사육 조건에서, 밝은 시간이 길수록 어류는 먹이 포식을 확대하고, 성장이 증가할 수 있다.
- 직접적인 태양광은 광이 너무 강하고 또 인공적인 환경에 간섭을 일으키기 때문에 자어 사육 시설에 태양의 직사 일광은 피한다.
- 자어 사육 시설은 200~500 lux의 강도로 조명한다.
- 조도가 과도하게 높거나 낮아지는 것을 피한다.
- 자어가 먹이를 먹을 수 있는 수조의 수면 임계 조도는 18~25 lux이다.
- 20 lux 이하의 조도에서 사육하면 변태는 하지만 비정상적으로 흑색 세포가 발달한 넙치가 많아지고, 변태 완료 후 10일 이내에 폐사하는 개체가 많기 때문에 변태기가 가까워지면 어느 정도의 조도는 필요하다.
- 넙치와 생태가 유사한 터봇은 완전한 암흑 상태에서 섭이량이 감소하나 중지하지는 않는다. 그러나 비정상적으로 강한 빛은 행동 장애(disturbance)로 인하여 먹이 섭취가 중단될 수 있다 (Person-Le Ruyet, J., 2002).
- 넙치와 생태가 유사한 터봇에서 먹이 공급이 제한되지 않고, 빛의 강도가 적정한 200 lux인 경우, 광주기를 8시간부터 16시간 사이에 각기 다르게 변화를 주어도 먹이 섭취와 성장에 유의한 차이가 없었다(Person-Le Ruyet, J., 2002).
- 자동적으로 조도와 광주기를 설정하기 위하여, 타이머 조광 스위치를 설치한다.
- 전원을 켜고 끌 때는 타이머에 의해서 조정되는 조광 스위치(dimmer switch)를 이용하여 황혼 효과를 10~15분으로 지속한다.
- 해산 클로렐라를 첨가하여 사육할 때 너무 밝게 하면 클로렐라의

탄소동화작용에 의한 용존산소의 상승으로 과포화에 의한 가스병이 발생하며 pH도 상승된다. 반대로 너무 어두우면 해산 클로렐라의 대사 생리 기능이 저하된다.

- 해산 클로렐라 무침가로 인하여 사육 수조가 너무 밝으면 수조 저면과 측면에 규조류와 같은 식물성 플랑크톤이 번식하며, 심할 경우에는 넙치에 나쁜 영향을 미치므로 적절한 차광 시설을 해야 한다.
- 그린 워터(green water) 사육 시스템을 적용하면, 연속 조명(24시간)을 할 수도 있다.
- 조도와 성장과의 관계는 주야 연속 조명하에서 성장이 빨라진다는 보고가 있어 기술개발 초기에는 연속 조명을 하는 경우도 있었으나, 최근에는 야간에 거의 조명하지 않는다.

타) 기온

- 기온 변동은 1℃ 이내로 조정하고, 특히 밤에 기온 변화에 의한 수온 변화를 방지한다.
- 사육수의 교환이 없거나 또는 매우 적을 때 특히 기온 변화에 주의를 기울여야 한다.

파) 선별

- 포식을 최소화하고 효율적인 먹이 공급을 위하여 어류의 크기를 분류한다.
- 자치어의 공식은 전장 20 mm 내외에서 치어의 활력 차이, 공간 경쟁과 먹이 경쟁 등으로 인하여 일어나므로 선별하여야 한다.
- 어류는 플라스틱 또는 나일론 자재로 만들어진 선별기를 이용하여 선별한다.
- 수조의 수면과 모서리에 군집을 이루는 어류들을 양동으로 퍼서,

새 수조 안의 선별기 세트에 부어 선별한다.

하) 바닥 청소

- 사육 수조에서 직접 난을 부화한 경우, 부화가 종료되면 바로 사이펀으로 조심스럽게 막 부화한 자어에 손상을 줄 수 있는 난각과 부화 찌꺼기 등 부화 부산물을 제거하고 포기와 환수를 부화 자어에 맞게 조정한다.
- 수조 바닥은 부화 후 5일부터 청소하며, 고밀도 사육 시에 1~3일에 1회 청소한다.
- 저밀도 사육 시에는 착저기 이전 사육 전체 기간 동안 1~3회 바닥을 청소한다. 그리고 착저가 완료되면 청소가 곤란해지므로, 착저 직전에 최소 1회 바닥을 청소한다.
- 청소는 사이펀 바닥 소제기로 질병의 온상이 될 수 있는 폐사어, 미섭취 먹이, 배설물, 찌꺼기 등을 제거한다.

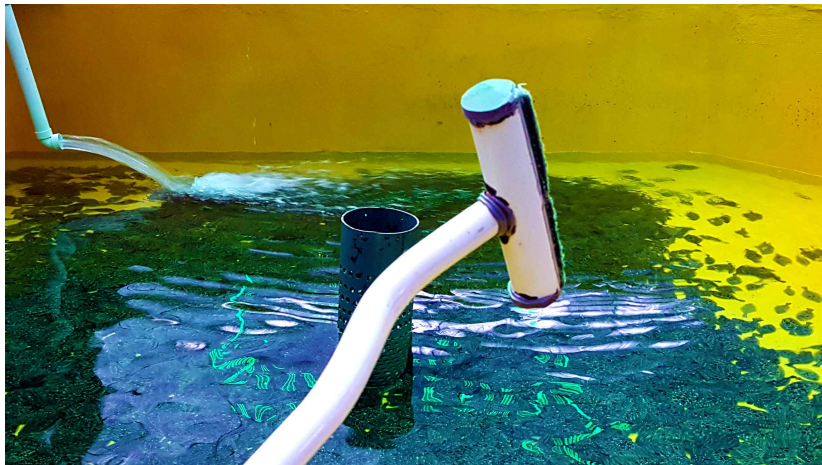


그림 23. 사이펀 청소기

<제공: 영어조합법인 해연>

- 포기는 사이펀으로 청소하는 동안 중단한다.
- 사이펀으로 청소할 때 수조 바닥의 유기 물질을 휘저어 부유시키지 않도록 주의를 기울여야 한다.
- 사이펀으로 청소할 때 수조 바닥 가까이에서 유영하는 자어를 사이펀으로 뽑아내지 않도록 주의해야 한다.
- 황금넙치는 사육 과정에 수질 안정과 부유 물질을 없애려고 부화 후 9일부터 숯가루(300 mesh) 살포하며, 그 후 2~3일에 한 번씩 사이펀으로 바닥을 청소한다.

2) 자어 사육 수질 환경 관리

가) 수온

- 난이나 새로 부화된 자어의 수송 과정에, 난과 자어 출처의 수온과 입식될 장소의 사육 수조의 수온을 같게 하는 것이 대단히 중요하다.
- 난황 흡수까지 친어 사육 수조의 수온과 동일하게 유지한다.
- 자어 사육 기간의 초기 수온 유지에 특별한 주의를 기울여야 한다.
- 자어는 초기 단계의 수온 변화에 내성이 적은 것으로 추정되므로, 초기 사육 기간의 수온 변동은 최소화되어야 한다.
- 난황 흡수 동안, 섭식 시작의 준비로 수온을 초기의 난 배양 수온 수준으로부터 점진적으로 높여준다.
- 자어의 사육 적수온 범위는 18~20℃ 이다.
- 부화 직후에는 수정란 관리 수온과 동일하게 15~16℃로 하고, 그 이후부터 매일 0.5~1℃씩 상승시켜 부화 후 3~7일째부터 적정 사육 수온인 18~20℃를 유지한다.

- 사육 시 수온이 낮은 지역에서는 가온을 한다.
- 수온이 자어의 성장에 미치는 영향으로, 먹이 공급량을 동일하게 하면 적정 수온 범위 내에서는 수온이 높을수록 성장이 좋다.
- 수온의 적산 값과 전장과의 관계를 보면, 사육 수온이 달라도 그 수온의 적산 값이 동일하면 성장 차이는 거의 없다.

나) 용존산소

- 자어 사육 수조의 용존산소 포화도를 최소 80% 최대 100%로 유지한다.
- 자어 수조 안의 사육수 교환이 필요한 경우 밤에 교환한다. 밤에 사육수를 교환하는 것은 이화 대사산물을 제거하고, 산소가 가장 필요할 때(명기의 종반부) 산소를 공급하기 위한 것이다.
- 어느 경우에도 예상외로 갑자기 발생할 수 있는 무산소 상태의 위험에 대처하기 위한 비상 산소 공급 장치를 설치하여야 한다.
- 조명 상태에서 환수가 없거나, 또는 용존산소(DO)가 감소되는 동안에, 미세조류를 첨가하는 것은 용존산소의 농도를 안정화하는데 도움이 될 수 있다.
- 일반적으로, 먹이 전환 치어 사육 기간 동안에 미세조류의 첨가가 DO 농도의 안정화에 중요하기는 하지만, 먹이 공급 후에는 DO 수준을 점검하여 낮아지는 경우에 대비해야 한다.
- 조류는 밤에 산소를 소비하기 때문에, 밤에 사육수를 환수하지 않으면서 과도한 양의 미세조류가 있을 경우, 밤중과 새벽에 DO 수준을 점검하여야 한다.
- 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.
- 넙치와 유사한 생태의 터봇은 DO 3 mg/L에서 먹이 섭취를 중지하

고, 0.75-1.3 mg/L에서 폐사한다(Person-Le Ruyet, J., 2002).

- 넙치와 유사한 생태의 터봇은 용존산소 포화 상태에서 성장이 향상되었으며, 147%와 223%의 과포화 상태에서는 먹이 섭취와 사료전환 효율 및 성장에 영향이 없었으나, 지방 축적이 증가하였다(Person-Le Ruyet, J., 2002).

다) 수소이온농도(pH)

- 자어 사육 해수의 pH는 7.7~8.4 범위이다.
- 자어 사육 해수의 pH는 식물과 동물의 생리 작용에 의하여 다소 변화한다. 야간에는 식물 플랑크톤의 호흡에 의하여 탄산가스가 증가하므로 pH가 낮아지며, 주간에는 동화작용이 왕성하여 pH가 상승한다.

라) 염분농도

- 자어의 초기 사육 기간 동안 산란 시의 염분농도를 유지한다.
- 넙치 자어 사육 시 해수의 염분농도는 보통 27~36‰ 범위이다.
- 자어의 사육수로선 원 해수를 사용하는 것이 가장 좋고 성장도 양호하다. 그러나 해수 염분이 낮아도 자어에 미치는 영향은 크지 않다.
- 염분이 다소 낮아지면, 생물 먹이의 침전이 증가하고, 염분 변화에 의한 스트레스가 증가하게 된다.

마) 총질소(total ammonia)

- 자어 사육 과정에는 일반적으로 총 생체량이 적어 총질소는 주요 문제가 되지 않는다.
- 넙치와 생태가 유사한 터봇의 경우, 총암모니아성 질소가 2-3 mg/L 이하의 농도에서는 안전한 수준으로 간주되고 있다

(Person-Le Ruyet, J., 2002).

- 넙치와 생태가 유사한 터봇의 성장에 영향을 미치는 암모니아의 농도는 용존산소, pH, 그리고 많은 생물적 요인(어류 크기, 초기 생활사, 건강 상태 등)에 영향을 받으나, 최적 사육 조건에서 암모니아 최저 한계 농도는 pH 7.5에서 총암모니아성 질소(total ammonia) 5-6 mg/L 또는 NH_3 0.2 mg/L이다(Person-Le Ruyet, J., 2002).

다. 사육 관리

1) 자어의 발육 특성⁷⁾

가) 전기 자어기(Pre-larval stage)

(1) 부화 직후

- 수온 20℃ 전후에서 부화 직후 자어의 전장은 2.65 ± 0.12 mm이다.
- 자어는 형태가 대칭이고, 그리고 난황낭(yolk sac)과 유구(oil globule)가 있다.
- 입은 미분화 단계이고, 항문은 아직 형성되어 있지 않다.
- 안구가 확실히 분화하였고, 꼬리 부분의 세열을 확인할 수 있다.
- 부화 직후 자어의 눈은 착색되지 않았고 기능하지 않는다.
- 소화관은 확인 가능하지만, 입과 연결은 명확하지 않다.
- 자어는 난황 흡수에 따라 빠르게 성장한다. 그러나 먹이 섭식과 섭식 행동은 관찰되지 않는다.

7) 자어의 발육 특성은 『넙치 종묘 대량 생산 기술 개발(한국해양연구소, 1993)』의 「자어의 성장과 변태」를 기반으로 하여 작성하였다.

(2) 부화 후 2일

- 난황은 다소 흡수된다.
- 유구는 앞쪽으로 이동하여 소화관과 연결되어 있다.
- 소화관은 항문으로 향하여 구부러진 부분에 잘록한 부분이 생긴다.

(3) 부화 후 3일(전장: 3.5 ± 0.15 mm)

- 난황의 흡수가 진행된다.
- 뇌의 분화가 일어난다.
- 안구가 발달하고 흑색세포가 다량 출현한다.
- 소화관의 형성이 진전되어 장의 후부에 잘록한 부분이 확실해져 두 부분으로 나뉠 수 있고, 그 앞쪽은 휘어지기 시작한다.
- 입이 열리기 시작한다.
- 눈이 뒤에서부터 착색되어 검어진다.
- 유구가 빠르게 소모되어 크기는 전보다 축소한다.
- 난황 기간 동안, 소화관의 분화와, 심장 조직(4개의 강(cavity)), 부레 팽창 및 전신의 분화가 일어난다.

나) 후기 자어기(Post-larval stage)

(1) 부화 후 4-5일(전장: 3.8 ± 0.15 mm)

- 자어의 난황 물질은 유구와 함께 4일째 소멸된다.
- 5일째부터 외인성 먹이 섭취가 시작되어 초기 먹이인 윤충을 섭이한다.
- 두부의 뇌와 척색이 발달한다.
- 입이 열리고 윤충 섭이가 활발해짐에 따라, 소화관의 형태를 확실히 확인할 수 있으며, 내벽의 주름도 관찰할 수 있다.
- 체표면에는 흑색세포와 노란색 반점을 해부 현미경 하에서 확인

할 수 있다.

(2) 부화 후 6-일

- 체장은 다소 감소하고, 체폭은 증가하는 넓치 자어에서만 볼 수 있는 성장 유형을 보인다.
- 그 후 10일째부터 다시 성장하기 시작한다.

(3) 부화 후 10일(전장: 5.0 ± 0.41 mm)

- 아가미의 새엽이 분화된다.
- 뇌와 척추 사이에 기조 원기가 화산의 분화구 모양으로 발달되기 시작한다.
- 소화관이 이 시기부터 loop형으로 회전하는 개체가 확인된다.

(4) 부화 후 13일

- 윤충과 함께 알테미아 유생을 급이하기 시작하는 이 시기에 전장 5.2 ± 0.29 mm로 성장한다.

(5) 부화 후 15일(전장: 6.7 ± 0.32 mm)

- 소화관이 완전히 회전하였고, 세포 발달이 현저히 나타난다.
- 기조가 형성되어 3개의 돌기가 닭벼슬 모양 돌출한다.
- 가슴지느러미의 형성이 관찰된다.
- 흑색세포의 착색이 관찰된다.
- 척색의 발달로 굽기가 증가한다.

(6) 부화 후 20일(전장: 7.9 ± 0.63 mm)

- 기조가 4-5개 형성된다.
- 머리 부분에 흑색 세포가 산재해 있다.

- 입에 치아 발달이 시작된다.
- 꼬리지느러미 원기가 발달하기 시작한다.
- 척색의 말단 부분이 직선형으로 발달되어 왔으나, 이 시기부터 다소 위쪽으로 향하여 구부러지기 시작한다.
- 알테미아를 본격적으로 공급하는 20일 이후부터는 다소 성장이 빨라진다.

(7) 부화 후 25일(전장: 9.0 ± 0.8 mm)

- 기조는 6-7개가 형성된다.
- 척추 말단 부분은 완전히 위쪽으로 전환되며, 꼬리지느러미의 형태를 갖춘다.
- 복부의 배지느러미, 등쪽의 등지느러미, 가슴지느러미의 기조들이 형태를 갖추기 시작한다.
- 안구는 완전한 형태로 분화되어 각각 좌우에 대칭을 이룬다.
- 포식 행동은 자주 발생하지 않으나, 25일경에 더 큰 개체는 더 작은 개체를 공격하기 시작하는 것이 관찰된다.

(8) 부화 후 28일(전장: 12.4 ± 0.92 mm)

- 등 및 배지느러미가 꼬리지느러미와 완전히 분리되어 넙치류의 지느러미 형태를 완전히 갖춘다.
- 안구의 이동이 시작된다.
- 안구 직경의 10-20% 정도 머리 좌측 상단부로 이동한다.
- 이 시기부터 착저와 유영 동작을 병행하는 개체가 증가하며, 치어기로 들어간다.

(9) 부화 후 30일(전장: 13.3 ± 1.1 mm)

- 체형의 측편화와 평편화가 계속 진행되며, 치어기의 개체에 가까

운 형태가 된다.

- 지느러미는 등지느러미 줄기와 같은 정도의 길이로 축소된다.
- 안구는 직경의 50% 이상 이동한다.

(10) 부화 후 33일(전장: 15.7 ± 1.8 mm)

- 안구는 렌즈 부분을 포함하여 유안 측으로 기울어지며, 이동이 종료되면, 미성어기의 개체와 비슷해진다.
- 닭벼슬 같은 지느러미는 퇴화되다가 등지느러미와 나란하게 되어 식별이 점차 어렵게 된다.

다) 변태기(Metamorphosis stage)

- 통상 10일 경과 후부터 변태를 시작하여 약 35일경까지 변태 완료 후 40일 이내에 착저기에 들어가며 치어가 된다.
- 넙치는 부유 생활을 하는 후기 자어까지는 좌우 상칭이지만, 착저 생활을 시작하기 전에 일반적으로 우측 눈이 머리를 돌아 좌측으로 모이게 된다.
- 눈의 이동 현상과 함께 두개골도 비틀어지고, 한쪽 코의 위치, 턱의 형태, 새궁(鰓弓), 체측근(體側筋), 비늘 등 많은 부분에서 좌우 비대칭이 나타난다.
- 착저 후에는 눈이 있는 쪽을 위로하여 생활한다.
- 어류의 변태기에는 막(膜)지느러미의 소실과 지느러미의 분화, 척추를 비롯한 주요한 골격계의 형성, 초기 아가미 형성 등 플랑크톤 생활에서 벗어나 치어의 체계로 변한다. 특히, 호흡계, 순환계, 감각계, 소화계, 내분비계 등에서 다양한 변화가 나타난다. 넙치에는 이러한 변화 외에 등지느러미 신장, 기조(鰭條)의 소실, 유생형 가슴지느러미의 퇴축과 성어 유형의 가슴지느러미의 생성, 오른쪽 눈의 이동 등 최종적으로 몸 구조가 좌우 비대칭으로

되는 “구조적 변태”가 완성된다.

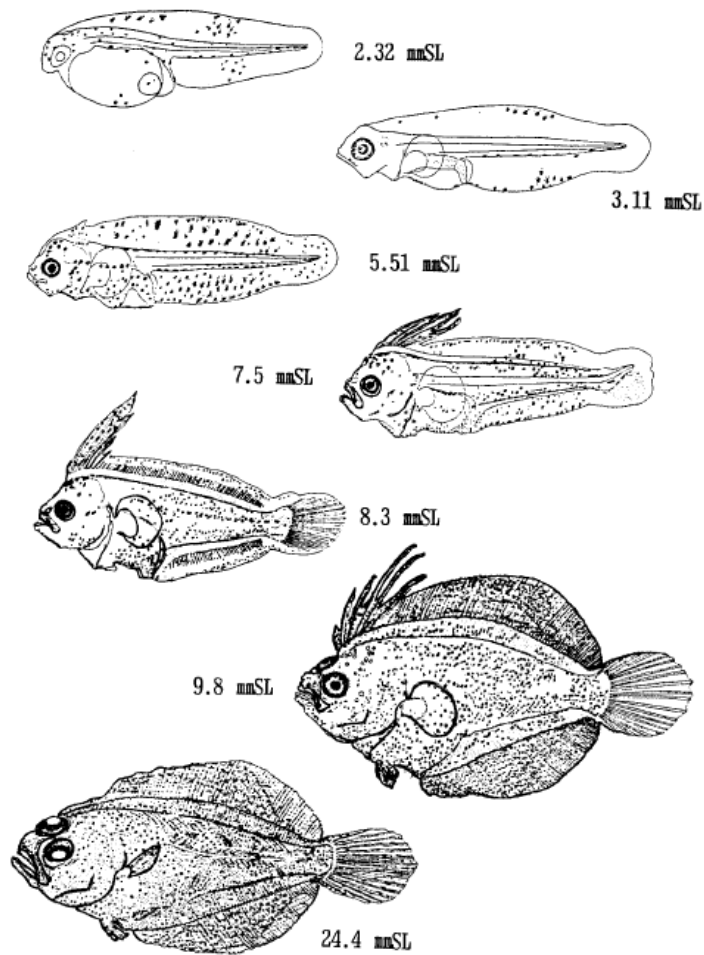


그림 24. 넙치 자어의 형태적 발달(수온 20°C 전후)

< 출처: 한국해양연구소(1993) >

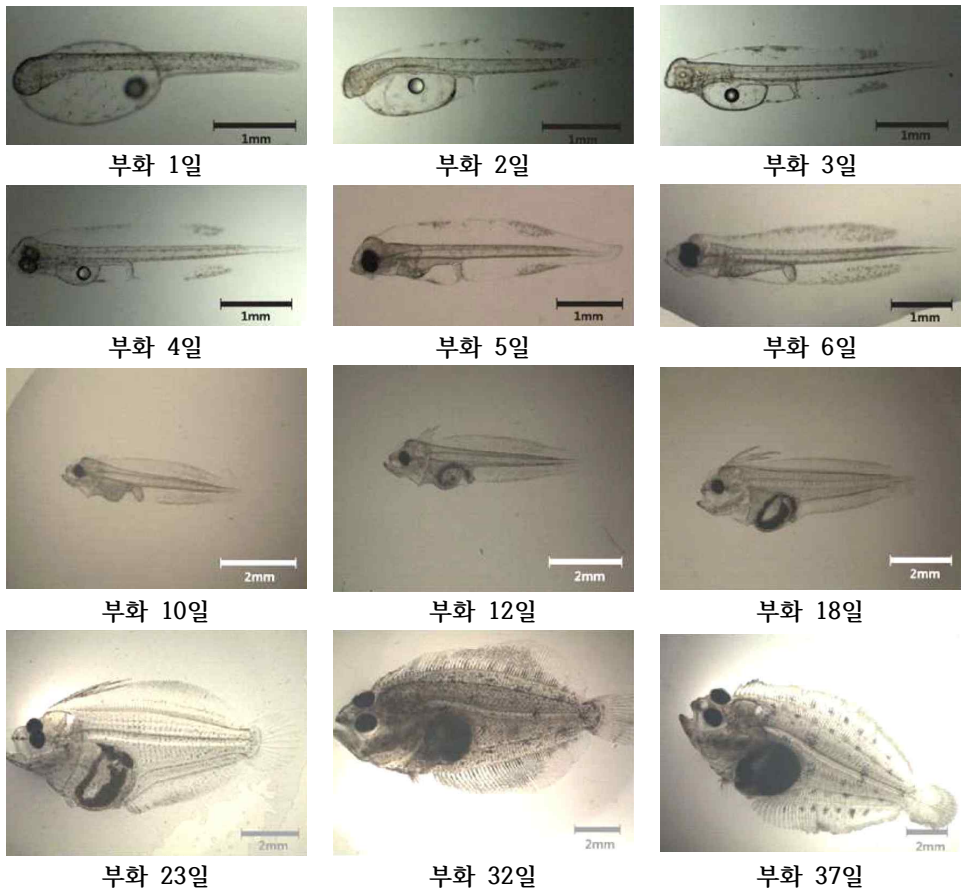


그림 25. 황금넙치 부화 자어의 형태적 발달(16.5°C)

<출처: 골든 시드 프로젝트, 중국 수출용 황금넙치 종자 개발 보고서(2016)>.

- 변태기의 구조적 변화는 필연적으로 감각, 호흡, 소화 흡수, 삼투압 조절, 내분비 등 생리적으로 큰 변화를 유발한다. 이러한 구

조와 기능의 종합적인 전환이 나타나는 것은 생존을 위하여, 새로운 생활 양식에 적응하기 위한 생태적 전환이다.

라) 형태학적 기형

- 넙치류의 인공 종자 생산 과정에 형태학적 기형 개체가 발생하는 것을 흔히 관찰할 수 있으며, 이러한 기형은 변태와 관련된 비대칭 변화와 조직 분화 기간 동안 발생하는 것으로 추정되고 있다(Rurangwa et Poelman, 2011).
- 형태학적 기형으로 체색 이상(malpigmentation), 척추골의 이상, 눈의 위치 반대 또는 눈의 이동 실패, 아래턱이 짧은 비정상적 턱, 배지느러미의 일부 결실 등이 있으며, 이러한 기형들은 상호 관련이 있는 경향이 있다(Rurangwa et Poelman, 2011).
- 형태학적 기형들은 사료(지방산, 비타민), 조명, 개체군 밀도와 같은 배양장에서의 환경 요인에 기인하는 것으로 여겨져 왔다(Rurangwa et Poelman, 2011).
- 형태적 기형의 유전성 요인으로 추골이 짧은 계통, 추골만곡증이 있다. 비유전성 요인으로서는 난형성 과정의 장애, 중금속 및 방사선 노출, 사육 환경(극한 상황과 급격한 변화), 영양결핍 등이 있다.
- 형태적 이상은 일반적으로 유전적 요인보다는 환경적 요인이 강하게 작용하므로, 종자 생산 시 사육 환경 및 기술에 따라 기형의 출현에 차이가 있다.

(1) 사육 환경 요인

- 자어의 형태학적 이상을 유발하는 사육 환경 요인은 난 관리 시 용존산소의 부족 및 수온의 적정 범위 이탈 등이 있다. 사육수 중의 용존 산소량 부족은 기관조직의 호흡 저해로 세포 분열을 감소시켜 자·치어기의 형태 이상을 일으킨다.

- 그 외 사육 환경 요인으로서는 빛의 유무, 사육밀도, 수온, 수질, 수조의 색 등이다.

(2) 사료(영양) 요인

- 형태 기형을 유발하는 사료(영양) 요인은 고도불포화산(EPA, DHA), 지용성비타민(비타민 A, E, D), 인지질(PC, PI), 비타민 B2, 미량원소(Zn, Cu, Fe) 등의 부족과 먹이생물로 사용되는 알테미아의 생산지 등이다.
- n-3 PUFA가 결핍된 먹이는 터봇의 색소 결핍증의 발생뿐만 아니라 변태에도 장애를 초래한다(Estévez et Kanazawa, 1995).

(3) 친어의 요인

- 친어의 요인으로서는 형질, 연령, 산란 시기, 사료 등이다.

마) 체색 이상

- 어류는 종마다 특유의 체색을 가지며, 특히 넙치나 가자미류는 주변의 환경에 따라 체색을 변화시킬 수 있다.
- 어류의 체색은 피부 진피층에 존재하는 색소세포의 양과 색소세포의 확산 또는 수축 상태에 의하여 결정된다.
- 넙치를 포함해서 가자미목 어류의 종자를 인공적으로 생산하는 경우에 체색 이상 현상이 많이 출현한다.
- 넙치의 체색 이상은 2가지가 있다. 체색이 흑갈색인 눈이 있는 쪽의 일부분에 백색이 나타나는 것을 백화(albinism)라 한다.
- 체색이 백색인 눈이 없는 쪽의 일부 또는 전부가 착색되는 것을 양면 유색(ambicoloration, malpimentation)이라 하며, 양면 유색을 흑화(hypermelanosis)라고 부른다.
- 백화나 흑화는 몸체 중에서 체색 이상을 일으키기 쉬운 부위와

그렇지 않은 부위가 있다.

- 넙치의 체색 이상은 색소세포의 종류와 양의 이상으로 발생되며 변태 완료 후에 나타난다.
- 흑화나 백화는 질병은 아니므로 식용으로는 문제 되지 않는다.

(1) 백화

- 백화는 가자미목 어류가 인공적으로 사육된 시기부터 주목되어 왔다.
- 넙치의 백화는 유전적으로 흑색세포의 멜라닌 생합성 능력이 결핍되는 알비노(albino)는 아니기 때문에, 슈도알비노(psuedoalbino) 혹은 하이포멜라노시스(hypomelanosis)라고 한다. 이는 포유류에서 나타나는 백반 현상과 유사하다. 백화는 유안 측의 부분적 이상 형질로서 눈의 색소상피세포에는 멜라닌이 형성되고, 또 변태 완료 시에는 거의 백화인 개체가 성장하면서 정상 반문이라고 할 수는 없지만 유안 측에 착색이 서서히 진행되기 때문이다
- 넙치의 백화 현상은 변태기의 유안 측에 발생할 색소아세포가 흑색세포로 발달하지 못하고 원래의 몸 바탕에 있는 백색세포가 강하게 나타나 흰색으로 보이는 현상이다.
- 백화는 변태 말기까지의 성장과 발육에 관한 요인들과 관련이 있다. 백화 개체의 출현율은 넙치 자어기에 공급하는 먹이생물 및 배합사료 중의 DHA와 비타민A의 양에 따라 달라진다.
- 백화는 인공 종자 생산 과정에서 빈번히 발생하지만 자연 개체에서는 지극히 드문 현상이다.
- 백화는 종자 생산 시 공급하는 먹이의 질에 따라 큰 영향을 받으며, 백화가 나타나는 시기는 부화 후 14~20일의 변태 시작 시점이다.
- 알테미아 노플리우스에 존재하거나 결핍된 일부 영양 요인들은

변형된 조직 환경(tissue environment)을 통한 성어형 흑색소포의 발생을 방해할 수 있다(Seikai et al., 1987).

- 넙치의 색소 결핍증은 난 배양 중의 조명 조건, 자어 단계에서의 먹이 수준, 사육 수조에서의 밀도 등에 기인하는 것으로 여겨진다(Seikai, 1985).
- n-3 PUFA가 결핍된 먹이는 넙치와 유사한 터봇의 경우 색소 결핍증의 발생뿐만 아니라 변태에도 장애를 초래하였다(Estévez et Kanazawa, 1995)

(2) 흑화

- 흑화는 2가지 형이 있다. 하나는 완전 양면 유색어로 변태가 완료될 때 발현하는 것이고, 다른 하나는 착색형 양면 유색어로 변태기 이후 성장과 함께 발현하는 것이다.
- 완전 양면 유색 개체에서는 유안측 피부에 나타나는 반문이 무안측 피부에도 출현하고, 소형의 흑색소포 외 황색소포와 홍색소포도 발현된다.
- 반면에 착색형 양면 유색은 거의 모든 양식산 넙치에서 나타나는 현상으로 무안 측 주변부에 소형의 흑색소포와 황색소포가 발현되어 점차 지느러미에서 중심부 쪽으로 착색이 진행된다.
- 흑화는 여러 가지 환경 요인에 의하여 영향을 받는다. 예를 들면, 영양, 자외선, 사육밀도, 사육 수조의 색, 사육 시 수조 바닥의 저질(모래) 유무 등이나, 흑화의 유전 여부에 대해서는 확실하지 않다.

2) 먹이 공급 체계

- 넙치 자어에 3종류의 먹이가 공급되며, 로티퍼(*B. plicatilis*), 알테미아 노플리우스 그리고 인공 사료(artificial diet)이다.

- 넙치 자어는 난황 낭(yolk sac)의 흡수 이후, 생물 먹이인 로티퍼를 공급하고, 다음에는 알테미아를 공급하며, 이후 비활성의 배합사료를 공급한다.

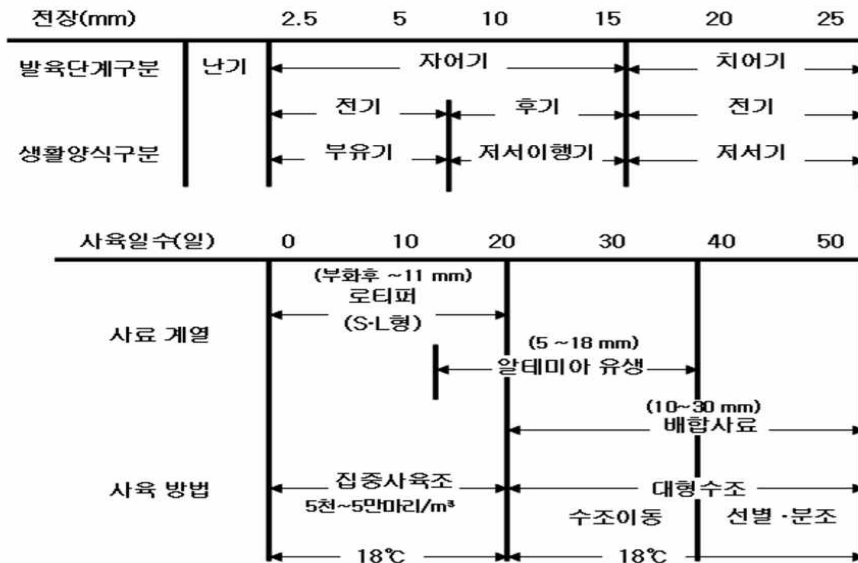


그림 26. 넙치의 발육 단계 및 사육 일수에 따른 먹이 공급 체계

<출처: 넙치 양식 표준 지침서(손맹현, 박민우 외, 2006)>.

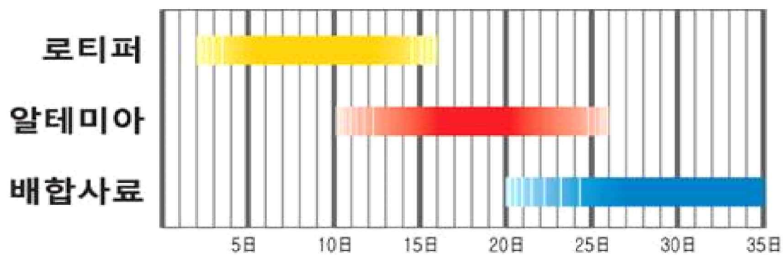


그림 27. 황금넙치 먹이 공급 체계

<출처: 골든 시드 프로젝트, 중국 수출용 황금넙치 종자 개발 보고서(2016)>.

3) 자어 먹이생물 공급

가) 자어의 초기 먹이 공급

- 부화 직후의 자어는 유영 능력이 없고, 내인성 먹이(endogenous feed)인 난황을 영양원으로 흡수하여 생활하므로 외부 먹이를 공급할 필요가 없다.
- 부화 후 3일이 지나면 눈이 발달하고, 입이 열리며, 소화관도 형성되어, 외인성 먹이(exogenous feeds)인 로티퍼 등의 먹이생물을 포식하기 시작한다.
- 자어의 외인성 먹이에 대한 조기 적응은 자어의 건강과 생존율에 중요한 영향을 미치므로, 자어가 로티퍼(*Brachiomus plicatilis*)의 포식에 조기 적응할 수 있도록 세심하게 관리 하여야 한다.
- 로티퍼의 공급은 입이 열리기 하루 전인 부화 후 2~3일째부터 시작하여야 한다.
- 먹이 공급 시작 후 최소 첫 10일 동안, 자어가 로티퍼 또는 알테미아 노플리우스에 접근하고, 포식하는 기회를 증가시킴으로써, 자어의 생존율을 향상하기 위하여 고밀도로 공급한다.
- 조명이 켜져 있는 동안, 후속 먹이 분포를 상황에 따라 조절하기 위하여 기간 내내 정기적으로 점검하여야 한다.
- 첫 먹이 공급의 적절한 관리를 위해, 각 수조에서 매일 표본을 수집하고, 현미경으로 포식률과 자어당 먹이생물의 수를 조사하는 것을 권장한다.
- 포식률은 위 속에 먹이생물을 가지고 있는 자어의 백분율이다.
- 먹이 공급의 첫 주의 끝에 건강한 개체군에서 표본된 어류의 거의 100%가 소화관 안에 약간의 먹이들을 보여야 한다.
- 먹이 공급 기록지에 모든 먹이 공급 자료를 기록하여야 한다.

나) 로티퍼 공급

(1) 공급 시기와 공급량

- 로티퍼의 공급은 입이 열리기 하루 전인 부화 후 2~3일째부터 시작하여야 한다.
- 최초 로티퍼 공급량은 사육수 ml 당 2~3마리로 하며, 성장함에 따라 밀도를 늘려 12일째에는 ml 당 10~12개체를 공급한다.
- 로티퍼는 하루에 여러 번 자어에 먹이며, 그리고 공급 빈도는 자어가 자람에 따라 증가하게 된다.
- 자어 사육 수조의 로티퍼 밀도는 하루에 두 번 10시와 14시에 점검한다.
- 로티퍼의 밀도가 유지되도록 정해진 밀도보다 낮을 때 로티퍼를 추가로 공급한다.
- 넙치와 생태가 유사한 터봇의 최근 연구에서, 비정상 착색 어류를 감소하기 위하여, 로티퍼 공급의 조기 종료와 영양 강화 알테미아의 조기 공급이 권장된다.
- 자어 사육 수조에서 미세조류는 로티퍼에게 먹이가 되며, 녹조류인 *Nannochloropsis*는 사육 수조에서 일반적으로 0.5×10^6 세포/ml로 유지한다.
- 황금넙치의 초기 먹이는 부화 후 3일부터 농축 클로렐라로 배양한 로티퍼를 수산 클로렐라와 영양 강화제 에스프레소로 10~12 시간 영양 강화 후 세척하고 하루 2~3회 공급한다.

(2) 먹이생물 섭취 수

- 넙치 자어가 섭취하여 소화관 내 있는 로티퍼의 개체 수는 체장 증가에 따라 지수적으로 상승한다.
- 넙치 자어가 먹은 로티퍼 평균 마리 수는 사육 환경에 따라 차이는 있지만 대략 부화 후 6일째 2개체, 13일째 7개체, 20일째 29개

체, 25일째 70개체이다.

(3) 공복에서 포식까지의 소요 시간

- 넙치 자어가 먹이생물을 섭취한 후 소화관 내의 로티퍼의 수를 세어 보면 사육 일수에 관계 없이 15~20분에 만복 상태에 도달한다.
- 사육 수조 내에 먹이생물이 있을 때에는 만복 이후에도 동일하게 계속하여 만복 상태를 유지한다.
- 공복 상태에서 로티퍼의 섭취 후 포식에 이르는 시간은 자어 크기에 따라 공급 후 40~60분이 소요된다,
- 일단 포식 상태에 도달한 후에도 먹이가 사육수에 있으면 계속하여 포식 상태를 유지한다.

(4) 먹이생물 섭취 후 소화 소요 시간

- 넙치 자어가 로티퍼를 먹은 후 소화 소요되는 시간은 부화 후 10일까지는 4시간, 15일에는 2.5시간, 25일에는 1.5시간 전후이며, 종합적으로 로티퍼 평균 소화 소요 시간은 2시간 전후이다.
- 로티퍼는 자어 크기(전장 5.7~9.9 mm)에 상관없이 소화관 내 포식 상태에서 완전히 소화되어 소화관에 로티퍼가 없어질 때까지의 소요시간은 150분이다.

다) 알테미아 노우플리우스 유생 공급

(1) 공급 시기와 공급량

- 사육 수온 18℃ 기준으로 부화 후 10~13일째 자어는 알테미아 노우플리우스 유생을 먹기 시작한다.
- 넙치와 생태가 유사한 터봇의 경우 자어 부화 후 12일에서 15일 사이에 알테미아 노플리우스를 공급하기 시작하였으나, 최근에는

부화 후 8일에서 12일까지 새로 부화한 알테미아의 노플리우스 유생을 자어에게 조기에 공급하여, 점차적으로 로티퍼를 대체하는 노플리우스의 공급이 빨라지고 있다(Çiftci et al., 2002; Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011).

- 알테미아 노플리우스 유생을 처음에는 ml당 0.1~3개체 범위에서 공급하고, 이후 성장과 함께 공급 밀도를 늘려가되, 바로 전에 공급한 먹이가 가급적 수조 안에 남아 있지 않아야 하므로 적은 양을 자주 주어야 한다.
- 알테미아 유생을 먹이로 공급하는 초기에는 알테미아를 단독 공급하면 영양분의 섭취가 충분치 못하여 대량 폐사의 원인이 되기도 하므로 일정 기간 로티퍼도 함께 주는 것이 바람직하다. 로티퍼를 공급하고 약 30분 후에 알테미아 유생을 준다.
- 갓 부화한 알테미아 유생은 부화 후 3~4시간 지나면 대체로 영양 가치가 낮아지기 때문에, 영양 강화를 하지 않을 때에는 난각 분리 후 가능한 한 바로 공급하여야 한다.
- 알테미아 노플리우스 유생은 수조에 먹고 남은 유생이 남아 있지 않도록 적당량을 공급해 주어야 한다.
- 로티퍼와 알테미아의 공급량과 공급 횟수는 수조 내에 남아 있는 먹이생물의 양을 기준으로 하여 관리자가 경험적으로 공급하는 경우가 많다.
- 영양 강화된 알테미아는 과거 부화 후 40일까지 공급하였으나, 점차 조기에 종료하는 경향이 있다.
- 영양 강화된 알테미아 메타노플리우스 유생을 건조 배합사료로 먹이 길들이기 전에 사용한다.
- 미립자사료(micro-diets)가 시장에 출현한 이후, 먹이생물로부터 미립자사료의 조기 먹이 길들이기가 점차 선호되는 경향이 나타나고 있으며, 앞으로 배양장에서 알테미아가 사라질 가능성이 높

아지고 있다(Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011).

- 황금넙치는 부화 후 10일부터 부화시킨 알테미아 유생 5억 개체 당 A1 DHA SELCO® (INVE Aquaculture) 셀코 500~600 g을 혼합하여 12시간 영양 강화 후 세척하고 공급한다.

(2) 먹이생물 섭취 수

- 넙치 자어가 섭취하여 소화관 내에 있는 알테미아 유생의 개체 수는 체장 증가에 따라 지수적으로 상승한다.
- 넙치가 알테미아 노우플리우스 유생을 먹은 평균 마릿수는 보통 부화 후 18일째 12개체, 26일째 39개체, 38일째 155개체, 48일째 498개체이다.

(3) 공복에서 포식까지의 소요 시간

- 넙치 자어가 먹이생물을 섭취한 후 소화관 내의 알테미아 수를 세어 보면 사육 일수에 관계 없이 15~20분에 만복 상태에 도달한다.
- 사육 수조 내에 먹이생물이 있을 때에는 만복 이후에도 동일하게 계속하여 만복 상태를 유지한다.
- 공복 상태에서 알테미아를 섭취 후 포식에 이르는 시간은 자어 크기에 따라 60~70분이 소요된다.
- 일단 포식 상태에 도달한 후에도 먹이가 사육수에 있으면 계속하여 포식 상태를 유지한다.

(4) 먹이생물 섭취 후 소화 소요 시간

- 넙치 자어가 알테미아를 먹은 후 소화 소요되는 시간은 부화 후 20일에는 5~8시간, 25일에는 4시간, 30일~40일에는 3시간 전후로 성장함에 따라 소화 시간이 점차 단축된다. 종합적으로 보

면 알테미아 유생의 평균 소화 소요 시간은 3.5시간 전후이다.

- 알테미아 유생은 포식 상태에서 완전 소화까지의 소요 시간은 전장 5.7 mm 넓치 자어는 300분, 7.1 mm는 240분, 9.9 mm는 210분으로 자어 크기가 크면 소화까지의 소요 시간이 짧다.

라) 먹이생물 공급 방법

(1) 먹이생물 공급

- 자어 1마리당 필요한 먹이생물의 일일 공급량을 추정하기는 어렵지만, 자어의 먹이 공급 부족과 먹이지 않은 먹이생물의 영양가의 저하 양쪽을 모두 피하여야 한다(Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011).
- 자어는 밤사이 굶주렸으므로 첫 먹이는 가급적 이른 아침에 빨리 공급하며, 이후 낮 동안의 공급량보다 일정 비율의 더 많은 양을 공급한다.
- 로티퍼와 알테미아 유생은 밀도가 낮은 수조의 수면에 비이커 등을 이용하여 손으로 공급한다.
- 먹이생물의 최적 분산 상태를 유지하기 위하여 수조 가운데서 수면에 떠오르는 기포 위에 먹이생물을 부드럽게 부어 공급한다.
- 먹이생물 공급에 의한 자어의 스트레스를 감소하기 위하여 물의 침병거림, 파동, 흐름 등을 조심해서 피하여야 한다.
- 알테미아 노플리우스 유생이 섭식되면 소화관이 담황색이 되므로, 규칙적으로 비커로 표본하고, 소화관을 관찰하여 자어의 알테미아 섭식 상태를 점검한다.
- 밀도를 조절하여 먹이 과식 또는 부족함을 피하기 위하여, 하루의 첫 먹이 공급 후 다음 공급 전에 먹이생물의 밀도 점검을 권장한다.
- 수조의 각기 다른 지점에서 2-3개의 표본을 1 ml 피펫으로 추출

하여, 로티퍼와 알테미아의 수를 맨눈 또는 휴대용 렌즈를 이용하여 점검한다.

- 공급된 먹이의 90%는 24시간 이내에 반드시 섭취되어야 한다.

(2) 먹이생물의 섭취 가능 조도

- 수조 위 조도가 0 lux이면 먹이생물의 섭취가 관찰되지 않으나, 1일 중 연속 조명(조도 18~25 lux)하에서 넙치 자어의 소화관 내 먹이생물이 출현하는 것은 거의 일정하므로 소화관 내에 하루종일 먹이생물이 관찰되며, 비어 있는 개체는 없다. 그러므로 먹이생물 섭취에는 어느 정도의 조도가 필요하다.
- 자어는 시각적 포식자이므로, 이른 새벽의 시각이라도 일정 수준의 조도(예: 18~25 lux)에 이르면 먹이생물의 포식 활동을 시작하는 것으로 추정할 수 있다.

(3) 먹이생물 1일 섭취량

- 넙치 자어의 일일 먹이생물 섭취량은 아침에 가장 많다.
- 넙치 자어는 알테미아를 한꺼번에 많이 먹는 습성이 있고, 로티퍼의 경우에는 알테미아 만큼 극단적인 섭취는 하지 않지만, 항상 먹은 상태를 유지한다.
- 1회에 포식한 먹이생물이 소화되어 배설한 후 다시 섭취한다고 가정할 때의 1일 섭취 먹이생물의 수
- 1마리당 일간 섭취 먹이생물 마릿수 = 섭취 1회당 포식 마릿수 × (1일 섭취 가능 시간/소화 시간).

4) 자어 인공 사료 전환

가) 인공 사료 전환 시기

- 어류 자어 생산을 위해 자어의 성장에 따라 로티퍼와 알테미아 노플리우스 및 영양 강화된 메타노플리우스 유생을 공급한 이후 인공 배합사료인 미립자 사료를 공급하여 왔다.
- 자어용 배합사료의 최초 공급 시기는 대체적으로 변태를 시작하기 이전(부화 후 15~20일)이며, 넙치가 성장함에 따라 배합사료의 입자 크기를 조절해야 한다.
- 자어용 배합사료의 공급을 시작할 때에는 알테미아와 함께 공급하다가 완전히 배합사료로 순치가 되는 시점(변태를 완료하여 저서생활로 이행)에는 단독으로 공급하는 것이 일반적이다.
- 생물 먹이의 섭취 기간은 종, 수온, 사육 수칙 및 자어 사육 관리자의 의견에 따라 달라진다.
- 어류가 인공 미립자 사료로 옮겨가는 것이 빠를수록, 노동력, 총 비용 및 시간이 절약될 수 있다.
- 사료 조성과 비타민 및 면역 촉진제 등을 포함한 잘 만들어진 미립자 사료 덕분에 첫 건조 먹이 공급의 시기 선택은 최근 계속 앞당겨져 왔다. 미립자 사료는 사료 조성, 크기, 부력 및 풍미 면에서 자어의 요구에 더 잘 맞는다.
- 미립자 사료는 특별 가공 기술로 고품질 성분을 미세 입자에 혼합할 수 있으며, 이들 미세 입자는 물에 우수한 안정성을 보여주고, 침강률이 느리며, 자어를 더 끌어들인다.
- 미립자 사료가 시장에 출현한 이후, 먹이생물로부터 조기 먹이 길들이기가 더 선호되고 있다. 그리고 최근 어류 미립자 사료의 발전으로 공급 시기가 점점 더 앞당겨지고 있어, 앞으로 알테미아가 배양장에서 점차 사라질 것으로 예상되고 있다(Rurangwa,

E. and Poelman, M., 2011).

- 황금넙치는 부화 20일째부터 초기 배합사료를 공급한다.

나) 인공 사료 길들이기

- 자어가 알테미아와 미립자 사료를 사육 수 중에서 이용할 수 있는 경우, 자어는 미립자 사료보다 먹이생물을 선호하므로, 자어들을 인공 미립자 사료에 길들이는 것이 어렵게 된다. 그러므로 소화관이 비어 있을 때 배합사료를 먼저 공급하고 일정 시간 후 알테미아를 준다.
- 미립자 사료 적응을 위해 먹이생물을 초과 공급하지 않는 것이 권장된다.
- 먹이 붙임이 어느 정도 이루어지면 배합사료 위주로 공급하고 알테미아를 보조 먹이로 사용한다.
- 자어용 배합사료를 처음 공급할 때에는 1일 2~3회, 먹이 붙임이 완료되면 6~8회 준다.
- 인공 사료 길들이기 과정이 적절하게 수행되지 못하면 자어 폐사율의 주요 요인 중의 하나로 작용하게 된다.
- 먹이 전환을 처음 시작할 때, 비활성 인공 사료인 새 먹이의 맛에 자어가 익숙해지도록 부화 후 15~20일경부터 매일 적은 양으로 뿌려준다.
- 먹이 소비를 촉진하기 위하여, 밤새 끓은 자어에게, 생물 먹이가 공급되기 바로 전, 아침에 비활성의 먹이의 공급을 시작한다.
- 점진적으로 인공 사료에 길들이기 위해, 배합사료는 지속적으로 공급하면서, 알테미아 공급은 인공 사료로 길들이기 시작한 이후 3일부터 5일 사이에 아침에서 저녁으로 공급 시간을 옮긴다 (Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011).
- 배합사료를 과다 공급하면, 먹지 못한 배합사료가 수조 바닥에

쌓여 수질 악화에 의한 폐사가 발생하므로, 반드시 먹은 상태를 관찰하면서 수조 전면에 소량씩 적절한 양으로 골고루 뿌려주어야 한다. 어떤 경우에도 섭취율을 자세히 관찰하여야 한다.

- 인공 사료의 잔류는 금전 손실뿐만 아니라, 사육 수조의 사육수를 심하게 오염시킬 수 있기 때문에, 인공 먹이의 잔류는 반드시 피하여야 한다.
- 인공 사료 길들이기 사료는 이노신(inosine)(건조 중량 0.6-1%)과 같은 식품 자극제를 함유하고 부드러운 질감을 가짐으로써, 어류를 유인할 수 있으며, 또한 맛이 좋아야 한다. 이것은 확장된 재수화 가능 내수성 펠릿(expanded rehydratable, water stable pellets)에 의해 달성될 수 있다(Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011).

다) 인공 미립자 사료의 선택 조건

- 인공 사료의 품질이 자어 생존율과 성장에 영향을 미치기 때문에 미립자 사료는 품질 측면을 기반으로 하여 선택하여야 한다.
- 자어의 영양 요구량을 충족하여야 한다.
- 몇 분 동안 수중(water column)에 떠 있을 수 있어야 한다.
- 사료의 영양소는 물에 용해되어 나와서는 안 된다. 결합제는 수용성 영양소의 누출을 저감할 수 있어야 한다.
- 물속에서 적절한 안정성을 보인다.

라) 먹이 전환 환경 관리

- 자어 사육 관리 관점에서, 인공 사료를 자어에 먹이는 것은 사육 환경에 일련의 변화를 수반하게 되므로, 사육 환경을 적정 수준으로 관리하여야 한다.
- 불활성의 인공 사료를 부유시키기 위해서, 포기를 약간 증가하여

야 한다.

- 배설물과 먹지 않은 사료 입자를 제거하고, 암모니아를 희석하며, 증가된 대사 요구량과 관련하여 더 많은 산소를 공급하기 위해서, 환수를 점진적으로 증가하여야 한다.
- 더 많은 찌꺼기를 제거하고 관련 세균들을 최소의 상태로 유지하기 위하여, 사육 수조의 바닥 청소 빈도를 증가하여야 한다.

마) 미립자 사료의 종류

- 미립자 사료는 제조 공정과 특성에 따라 미세 캡슐 사료(microencapsulated diet), 미세 결속 사료(microbound diet), 미세 코팅 사료(micro-coated diet)의 3가지 유형으로 분류할 수 있다.
- 자어 먹이 길들이기 인공 사료(weaning feeds)는 알테미아 대체 사료로서 자어의 인공 사료 조기 적응을 위한 미립자 사료, 그리고 먹이 길들이기 이후의 빠른 성장을 위한 미립자 사료 등의 다양한 제품이 여러 사료 회사에 의해 개발 보급되고 있다.

5) 자어 건강 모니터링

가) 자어의 생존율

- 자어 사육 수조와 먹이생물 시설 내의 위생, 세균 부하 및 세균 유형은 더 높은 생존율을 얻기 위한 핵심 요소이다(Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011).
- 자어 배양의 성공률이 매년 생산할 때마다 변화하는 예측할 수 없는 불안정한 자어 생산의 주요 이유 중의 하나는 난과 자어의 필수 영양소의 변화에서 비롯되는 난과 자어의 질의 불안정한 변화이다(Lavens et al., 1999).

- 자어기의 생존율을 높이기 위해서는 수정란의 부화율이 높고 자어의 기형이 없어야 하며, 사육 시에는 자어의 상태를 보면서 환수량을 적기에 조절해 주어야 한다.
- 부화 자어부터 변태 후 착저까지의 생존율에는 3번의 큰 변화가 있다. 즉 ① 부화 후 감모, ② 부화 후 10일부터 변태 이전까지의 감모, ③ 변태 완료 전후의 감모이다.
- 부화 후 자어 감모의 요인은 난질, 난의 채란과 이송 중의 취급 불량 또는 초기 부화 자어를 사육 수조에 옮기는 동안의 이송 스트레스에 기인하여 폐사가 일어나는 것으로 추정된다.
- 부화 후 10일부터 변태 이전까지의 감모는 자어의 초기 먹이 적응과 사료 전환에 실패하거나 또는 세균, 수질 문제 등에 의하여 일어날 수 있다.
- 변태기에 감모가 일어나는 중요한 요인은 생리 및 먹이 섭취 행동의 급격한 변화 때문이다. 따라서 자어 사육의 생존율을 높이기 위해서는 변태기를 효과적으로 빨리 넘기는 것이 중요하다.
- 최근에는 사육 기술의 향상으로 부화 후 20일까지는 감모가 없으며, 변태 완료 전후에 일부 감모가 발생한다.

나) 자어 섭이 능력의 양적 평가

- 섭이한 먹이의 존재 여부와 양은 어류 건강 상태의 매우 명확한 징후를 준다.
- 어류의 건강 상태는 자어 사육의 첫 10일 동안에 수행되어야 할 가장 중요한 관리 사항들 중의 하나이다.
- 먹이 섭이 활동을 정확히 평가하기 위하여, 각 사육 수조에서 자어 30-50마리를 표본 하여 현미경으로 매일 조사한다.
- 먹이 공급 첫날은 표본을 더 많이 한다.
- 피펫으로 슬라이드에 자어를 놓고, 여분의 물을 제거한 다음, 커

버 글라스를 덮지 않고, 취급의 부주의로 생긴 것을 제외한 자어 몸의 기형을 찾는다.

- 커버 글라스를 덮고, 여분의 물을 필터 페이퍼로 제거한 다음, 현미경에서 100배율로 장의 내용물을 관찰한다.
- 전체 로티퍼를 찾거나 또는 저작기, 껍질, 난과 같은 신체의 부분들을 찾고, 저작기의 수를 기록한다.
- 다른 섭취 물질들을 찾는다. 만약 있으면, 내부, 외부의 기생충을 찾는다.
- 모든 발견 사항을 정해진 양식에 기록한다.
- 먹이생물 양의 관찰은 자어 행동의 평가와 같이 해야 한다.
- 알테미아 노플리우스 유생 조사는 투명한 자어의 피부를 통해 짙은 주황색 노플리우스를 소화관에서 확인할 수 있다.
- 100 ml 투명 비커로 자어를 표본하고, 소화관에서 먹은 유생을 시각적으로 평가하여, 먹은 자어의 백분율을 섭취물로 표시한다.

다) 자어 스트레스의 질적 평가

(1) 자어의 스트레스

- 자어의 스트레스는 감지할 수 있는 형태적, 행동적 변화를 유도한다.
- 스트레스에 의한 형태와 행동의 변화는 사육 조건의 개선 또는 저질 자어의 대체 기준이 된다.
- 스트레스의 유도 요인을 개선할 수 있는 대처 대책이 없을 때에는 부실한 자어 개체군을 폐기할 시기를 고려하고, 새 자어의 사육을 빨리 시작하는 것을 신중히 검토하여야 한다.

(2) 굶주림

- 굶주림은 생산 과정에 무엇이 잘못되고 있다는 분명한 징후이다.

- 굶주림은 스트레스의 일반적인 반응으로, 급성 중독을 제외하고는, 단독 또는 여러 원인의 연계에 의해서 일어난다.
- 굶은 자어는 오래 살아남을 가능성이 낮아, 첫 먹이 섭이의 시작을 모니터하는 것은 대단히 중요하다.

(3) 수동적 행동

- 활동적인 유영과 먹이 포식을 하지 않는 후기 자어가 많이 나타나는 것은 자어의 스트레스를 보여주는 다른 변수이다.
- 물이 흐르는 대로 떠내려가는 자어는 수동적인 행동으로 살아있는 먹이의 효과적인 포식을 할 수 없게 된다.
- 비정상적인 행동을 하는 자어가 있는지 관찰한다.
- 건강에 해로운 사육 환경은 가능한 선천적 요인과 함께 스트레스를 일으키는 가장 가능성 있는 요인으로 간주된다.

라) 생존율 추정

- 자어 개체군의 생존율은 자어가 부유하고, 사육수 중에 균일하게 분포되어있을 때, 어두운 동안 추정한다.
- 시료 채취기는 수조 수층 전체의 자어를 채취할 수 있게 제작한다(예, 직경 50 mm PVC 파이프 활용).
- 수조의 각기 다른 장소에서 채취된 5개의 표본을 통에 넣는다.
- 시료 채취기로 바닥에서 시료를 채취하지만, 수조 바닥에는 닿지 않게 한다. 그리고 약 2~3 L의 표본 해수를 수집하여 생존율을 계산한다.

6) 자어 질병 관리

- 자어의 질병 발생의 예방을 위하여 사육 환경을 관리하여 양호하게 유지하고, 신선한 먹이를 공급하여야 한다.

- 자어는 기생충과 질병에 감수성이 매우 높다.
- 병원성 기생충 *Scuticociliata*, *Tricodina* 등은 종종 수조 바닥에서 채취된 죽은 어류 또는 유기 퇴적물에서 관찰된다.
- 로티퍼의 잔해와 배설물을 제거하기 위하여 일상적으로 수조 바닥의 찌꺼기 등을 사이펀으로 뽑아낸다.
- 사육 수조에서 수질 악화를 촉진하는 포식되지 않은 굼주린 로티퍼를 제거하기 위하여 환수율을 높인다.
- *Scuticociliata*와 같은 원생동물이 로티퍼를 통하여 유입되는 것이 의심되기 때문에, 로티퍼는 영양 강화 과정에 약육으로 살균한다.
- 사육 수조에서의 원생동물의 증식을 점검하기 위하여, 으깨어진 자어 표본과 수조 바닥의 유기 퇴적물을 현미경으로 관찰한다. 주로 섬모충류인 원생동물이 자어의 내부 또는 외부에서 발견되거나 원생동물의 밀도가 유기 퇴적물에서 증가할 때, 자어는 적절한 소독 용액으로 약육 처리한다.
- 모든 교차 오염을 방지하기 위하여, 모든 배양장 자재는 적합한 소독 용액으로 소독하여야 한다.

5. 치어

가. 위생 관리

1) 치어 사육 시설과 장비의 위생 관리

가) 자외선 살균기

- 설치되어있는 와이퍼(wipers)를 사용하여 하루에 두 번 석영관을 청소하거나, 또는 UV 출력이 사전 설정된 최소 수준보다 낮아질 때마다 청소하여야 한다. 튜브에 와이퍼가 없는 경우, 살균기에서 전기와 물의 순환을 끊고, 그리고 분해하여 석영관을 손으로 청소해야 한다.
- 정체된 물을 제거하기 위해 하루에 두 번(아침과 저녁) 측관(by-pass)을 약 10초 동안 열어야 한다. 배양장에 질병이 발생한 경우에는 측관을 열지 않아야 한다.
- 점검 창을 한 달에 한 번 또는 올바르게 작동하지 않을 때마다 청소하여야 한다. 분해하고 에탄올로 청소하여야 한다.

나) 생물 여과조

- 여과조의 벽은 오물이 쌓일 때마다 종이 티슈로 없애야 한다. 물속에 손을 담그지 않아야 한다.
- 집수조 바닥의 잔해를 배출하기 위하여, 사이펀으로 오물을 제거한다. 침전된 잔해(debris)가 다시 떠오르는 것을 피하기 위하여 사이펀을 부드럽게 작동한다. 항상 깨끗하고 소독된 사이펀을 사용한다. 사이펀을 소독 용액에 담그고, 그리고 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 행군다.
- 매일 아침과 저녁에 생물 여과조의 주수구에서 기계식 필터의 역세척을 점검한다. 일주일에 한 번 세제와 뜨거운 물로 기계식 필터

터의 구성 부분들을 씻는다. 그런 다음 교체하기 전에 소독 용액에 담가 소독한다.

- 생물 여과조의 배수구 홈통은 기계식 필터를 우회하여 솔로 한 달에 두 번 청소한다. 각 과정의 끝에 소독 용액을 사용하여 세척하고 소독한다.

다) 운용 사육 수조

- 수조 바닥의 밸브를 통해 하루에 두 번 침전물을 없앴으로써 대부분의 침전물을 제거한다(배출되는 물이 깨끗해질 때까지 몇 초 동안 연다).
- 매일 전체 표면을 사이펀으로 남아 있는 오물을 뽑아내어 제거하여야 한다.
- 수조 청소기를 사용하여 침전된 찌꺼기를 빨아들인다. 다른 수조로 옮기기 전에 사이펀을 소독하여야 한다. 사이펀을 소독 용액에 보관하였다가, 사용 직전에 담수 또는 해수로 잘 잘 행구어야 한다.
- 수조 내벽과 수면 접촉 부위는 오물이 쌓일 때마다 종이 티슈로 닦아내야 한다. 작업을 돕기 위해 수면을 10 cm 낮춘다. 물속에 손을 담그지 않아야 한다.

라) 빈 사육 수조

- 더이상 사용하지 않을 때, 바닥 밸브를 열고, 그리고 완전히 배수한다. 배수 필터(outlet filter)와 파이프, 에어 호스 및 에어 스톤, 그리고 밸브를 제거한다.
- 아직 젖어 있을 때, 세제와 뜨거운 물로 내벽, 바닥 그리고 모든 장비를 닦는다.
- 행구고 나서, 그리고 소독 용액으로 밤새 소독한다.

- 다음날 아침 담수로 행구고, 그리고 다시 물을 채우기 전에 공기 중에서 말린다.

마) 유막 제거기

- 유막 제거기(skimmers)에 걸러진 부유 잔해와 유막(oily film)이 제거기에 쌓일 때마다 종이 티슈로 제거하여야 한다. 특히 물을 오염시킬 수 있는 습식 사료를 공급할 때 수면을 청소하기 위하여 유막 제거기를 사용하여야 한다.

바) 배수 스탠드

- 배수 스탠드(outlet filters)는 하루에 두 번 아침과 저녁 조명을 끄기 전에 깨끗한 필터와 소독된 필터로 정기적으로 교체하여야 한다. 만일 막힐 위험이 있는 경우, 더 자주 교체해야 한다.
- 물의 흐름을 멈추고, 그리고 오물(dirt)이 다시 떠오르는 것을 피하도록 노력하면서, 더러워진 배수 스탠드를 조심스럽게 제거한다.
- 수조에서 꺼낸 배수 스탠드를 뜨거운 물 또는 고압의 담수로 씻고, 그런 다음 소독 용액에 담근 다음, 물로 철저히 행구고, 그리고 수조 가까이에 보관한다.
- 만일 배수 스탠드가 작업을 방해하지 않는 경우, 수조 주위 통로의 난간은 배수 스탠드를 보관하기 적합한 장소이다.

사) 에어 호스와 에어 스톤

- 일주일에 한 번 각 수조에서 깨끗한 한 세트(플라스틱 호스 + 에어 꼭지(tap) + 에어 스톤)로 교체하여야 한다.
- 기름기가 많은 유막(greasy film)을 제거하기 위하여 뜨거운 물과 세제로 씻어낸다. 그런 다음 소독 용액에 담근다. 사용 전에 물

로 철저히 행구어, 호스와 스톤 내부에 소독 용액 또는 산성 용액이 남아 있지 않도록 주의하여야 한다.

아) 자동 사료 공급기

- 매일 살포되지 않은 사료와 먼지(dust)를 제거하여야 한다.
- 상업용 에탄올과 종이 티슈로, 일주일에 한 번 용기와 공급 장치를 청소하여야 한다.

자) 장비(양동이, 항아리, 비커, 피펫 등)

- 하루 중 항상 사용하기 전과 후에 뜨거운 물로 완전히 행군다.
- 하루 작업 종료 후에는 소독 용액에 담근다.
- 밤에는 물로 행구고, 그리고 건조한 상태로 보관한다.

차) 소독 용액 용기

- 일주일에 한 번 소독 용액을 새것으로 교체하고, 그리고 바닥 침전물을 제거하여야 한다.

카) 먹이생물의 일일 저장 용기

- 마지막 공급 후, 세제와 뜨거운 물로 내벽, 바닥, 뚜껑, 에어 호스 및 에어 스톤을 문질러 닦아낸다.
- 소독 용액으로 소독한다.
- 담수로 행구고, 다음 날을 준비하기 위해 공기 중에 말린다.

타) 사육실 바닥

- 일주일에 두 번, 먼저 강력한 고압 분사기로 씻고, 그 다음 소독 용액으로 씻는다. 행귀내지 않아야 한다,

파) 치어 사육 위생 관리 주의 사항

- 사용하려는 재료와 장비가 깨끗하다고 가정해서는 안 된다. 필요할 때마다 작업자 스스로 청소해야 한다.
- 모든 소독 용액의 잔류물(예, 산성 또는 차아염소산염의 잔류물(hypochlorite residue))은 치어에 치명적인 독이 있으므로 사용하기 전에 장비를 철저히 행구어야 한다.
- 질병 확산의 위험을 피하기 위하여, 배양장의 다른 구역들과 재료와 장비를 교환하지 않아야 한다.
- 개인위생으로, 손을 깨끗하게 유지하여야 하고, 배양장에 들어가기 전에 소독조에 발을 담가야 하며, 배양장 안에서 담배를 피워서는 안 된다.

나. 사육 환경 관리

1) 치어 사육 시설 환경 관리

가) 치어 사육 수조

(1) 치어 사육 수조

- 변태 완료 후, 저서 생활로 들어간 크기부터 양식용 종자(전장 5~7 cm 정도)까지의 사육은 일반적으로 육상 수조에서 이루어진다.
- 수조는 원형, 정사각형 또는 수로형 수조(raceways) 등이 사용될 수 있다.
- 수조는 물의 순환에 의한 구심력을 활용하여, 사육수의 폐기물과 수조 바닥의 잔유물이 배수될 수 있도록 잘 설계되어야 한다.
- 치어 사육은 자어 사육 수조를 계속해서 이용하거나, 또는 치어를 새로운 수조로 이송하여 사육한다.
- 소형 수조(저면적 10 m² 이하)에서의 자어 사육은 바닥 청소, 먹

이 공급, 치어의 관찰이 용이한 장점이 있지만, 사육밀도가 과다하게 높아질 수 있어 공식과 수질 악화를 초래할 수도 있다.



그림 28. 넙치 치어 사육수조

(왼쪽: 콘크리트 수조, 오른쪽: PP 수조),

<출처: 김경길 등, 2016>.



그림 29. 착처 후 치어 사육 방법

(왼쪽: 가두리 사육, 오른쪽: 수조 바닥에서 사육),

<출처: 김경길 등, 2016>.

- 중형 수조(50 m² 전후)와 대형 수조(100~200 m²)에서의 자어 사육은 소형 수조 만큼 고밀도로 사육하지 않기 때문에 단위 면적당 먹이 공급량이 적어 수질 악화에 의한 문제가 적은 장점이 있으나, 자치어의 관찰이 어렵고, 관리 면적이 넓기 때문에 관리 작업에 필요한 인원과 시간이 더 많이 소요되는 단점이 있다.
- 대형 수조의 단점을 보완하기 위하여 일부에서는 사각 수조 내에 소형 가두리를 설치하면, 선별 또는 수확 시 채포가 용이하고, 바닥 청소와 분조 작업이 편리한 장점이 있지만, 어체가 성장함에 따라 망목 크기의 조절이 필요하고, 7~10일마다 망 교체가 필요하며, 가두리가 오히려 사육수의 흐름을 방해하여 수질 악화와 질병이 발생할 가능성이 있으므로, 최근에는 이 방법을 사용하는 경우는 많지 않다.
- 대형 수조 내에 가두리를 설치하면 바닥에서 사육하는 경우보다 치어의 사육밀도가 1/2 정도로 줄어들기 때문에 효율적이지 않다.

(2) 치어 사육 시설

- 사육수의 주수는 물 순환을 향상시키기 위하여, PVC 파이프로 만들어진 사육수 확산기(water diffuser)를 통해 공급된다. 가장 단순한 주수구는 주수구의 출구 끝부분에 5 mm 개구(opening)가 있는 납작하게 만든 PVC 파이프로 만들 수 있다.
- 사육수는 PVC 파이프로 된 바깥쪽의 구멍이 있는 파이프와 안쪽의 스탠드 파이프의 두 부분을 통해 배출된다.
- 사육 수조는 수조의 벽과 중앙에 배치된 적정 수의 에어 스톤으로 포기된다.
- 조명은 적정 시간 동안 사육 수조 위에 설치된 형광등으로 200-500 lux로 유지한다.

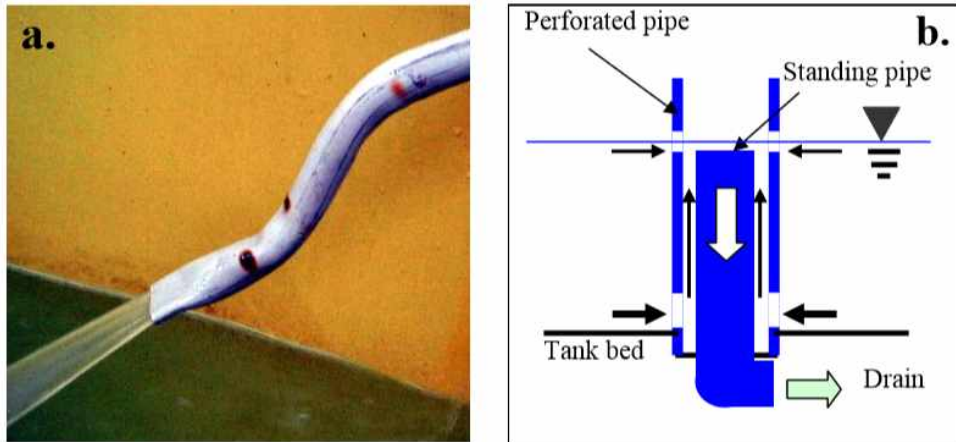


그림 30. 해수 공급 주수구(diffuser, a)와 배수 PVC 스탠드(b)

(Source: Çiftci et al., 2002).

나) 치어 수용 밀도

- 넙치 전장 13~15 mm 착저기 치어는 m^2 당 0.3~3만 마리 범위에서 사육하나, 보통은 m^2 당 5,000마리가 적합하다.
- 넙치 전장 30 mm 크기에서는 m^2 당 1,000~2,000마리가 적합하다.
- 넙치 전장 30 mm부터는 공식이 특히 격렬하게 일어나므로 고밀도 양식에서는 생존율이 낮아진다. 따라서 치어가 성장함에 따라 사육 밀도를 낮추고 환수율도 높여주어야 한다.
- 육상 수조에서의 치어 사육 시기에 수용 밀도가 지나치게 높아 사육 환경이 악화되고, 먹이가 부족하게 되면, 성장이 느린 개체는 체색이 흑색으로 변하고 수면 위를 힘없이 유영하며, 공식에 의한 폐사도 높아져 생존율이 낮아진다. 그러므로 적정 사육밀도 유지와 함께 충분한 먹이를 공급해야 하며, 크기 선별도 대단히 중요하다.

다) 배수 스탠드의 망목

- 배수 스탠드의 여과망 망목은 치어 수용 시에 1mm로 설치한다. 그리고 증가된 물의 흐름과 찌꺼기에 견디기 위해서, 가능한 한 빨리 2, 3mm의 망으로 교체하여야 한다.

라) 환수

- 적정 환수율은 수조의 형태, 주수 방법, 사료의 종류와 양, 사육 밀도 등 사육 시스템과 수온, 용존산소 등 사육 환경 조건에 따라 달라진다.
- 치어는 인공 배합사료를 섭취하고, 그리고 사료 섭취율이 성장에 따라 증가하며, 또한 생체량이 증가하기 때문에, 사육수 수질의 저하 가능성이 높아진다. 따라서 적정 수질을 유지할 수 있는 정도로 환수율을 높여야 한다.
- 넙치 치어 사육 시 전장 12~18mm에서는 환수율을 3~5회전까지 높여준다.
- 전장 50mm 이상이 되면 환수율을 10회전 이상으로 하지만, 공급하는 먹이의 종류와 양에 따라 조절할 필요가 있다. 이 시기에는 배합사료를 본격적으로 공급하는 시기이므로 사육수의 적정 환수에 특별히 신경을 써야 한다.

마) 포기

- 치어 사육 동안의 바닥 포기는 더이상 사육어를 분산시키는 것을 의도하지는 않는다. 그러나 그 중요성이 저평가되어서는 안 된다.
- 적절하게 배치된 포기 에어 스톤은 단지 사육수에 산소를 공급할 뿐만 아니라, 최적 유체역학 조건을 만드는 데에도 기여한다.
- 정사각 또는 직사각형 수조는 죽은 모서리(dead corners)의 형성

을 방지하기 위하여 특별한 주의를 요한다. 죽은 모서리에서 남은 먹이와 배설물이 쌓이게 되고 사육수의 수질을 악화시키게 된다.

바) 빛

- 빛(조도, 광주기, 색)은 먹이 공급 동안에 먹이 섭취의 중대한 결정적 요인 중의 하나이다(Person-Le Ruyet, J., 2002).
- 사육 수조의 천장에는 차광막을 설치하여 조도를 낮추어 주는 것이 스트레스 방지를 위해 필요하며, 치어의 체색 발현에도 유효하다.
- 온도가 높을수록 증가된 활동과 성장률에 맞추어 조명 시간을 연장한다.
- 특정 사육 조건하에서는, 긴 광주기가 섭식 활동을 자극하기 위해서 사용될 수 있다(Person-Le Ruyet et al., 2002).
- 넙치와 유사한 생태의 터봇은 완전한 암흑 상태에서 섭이량이 감소하나 중지하지는 않는다. 그러나 비정상적으로 강한 빛은 행동 장애로 인하여 먹이 섭취가 중단될 수 있다(Person-Le Ruyet, J., 2002).
- 넙치와 유사한 생태의 터봇에서 먹이 공급이 제한되지 않고, 빛의 강도가 적정한 200 lux인 경우, 광주기를 8시간부터 16시간 사이에 각기 다르게 변화를 주어도 먹이 섭취와 성장에 유의한 차이가 없었다(Person-Le Ruyet, J., 2002).

사) 선별

- 치어기의 선별 목적은, 공식 예방을 위한 어체 크기의 분류, 비정상 착색 또는 기형 치어의 제거, 정확한 사육 어류의 계수, 수조 청소 등이다.

- 공식은 착저 후 치어 개체 간의 활력 차이에 의하여 발생하며, 개체 간에 성장의 차이가 생기는 전장 23~25 mm 이후에 빈번하게 일어나며, 전장 50 mm 전후까지는 공식의 피해가 계속된다.
- 공식에 의한 폐사는 대부분은 대형 개체로부터 공격받는 소형 개체에서 일어난다.
- 공격받은 소형 개체의 대부분은 수면 부근에 힘없이 유영하고 지느러미가 손상되어 결국 폐사하므로 비록 생존하여도 정상적인 성장이 어렵게 된다.
- 공식이 심하면 선별을 하여 공식에 의한 생존율 저하를 막을 필요가 있다.
- 선별할 때는 넙치 어체에 상처가 생겨 질병으로 진행될 수 있으므로 조심해야 한다. 그리고 잦은 선별은 어체에 상해를 입히기 때문에 선별은 최소화하여야 한다.

아) 수조 바닥 청소

- 치어는 인공 배합사료를 섭취하고, 그리고 사료 섭취율은 어류의 성장에 따라 증가하기 때문에, 사육수 수질의 저하 가능성이 매우 높다. 따라서 하루 두 번, 아침과 오후에 바닥을 청소하는 것이 권장된다.

2) 치어 사육 수질 환경 관리

가) 수온

- 넙치 자어의 착저 이전에는 18~20℃가 적정 수온이지만, 변태 후 치어기에는 10℃ 이하의 저온에는 약한 반면 20℃ 이상의 고온에 비교적 강하기 때문에 보통 18~22℃로 관리한다.

- 적정 수온 범위에서 수온이 높을수록 성장이 잘 된다. 그러나 병원 세균의 성장과 어류 대사율이 증가하기 때문에, 결과적으로 산소 소비와 총 암모니아 질소 생산 역시 증가하게 된다.
- 높은 수온 범위는 공식과 같은 부정적 형태의 어류 행동을 유도하게 될 수도 있다.
- 환수와 산소 공급의 증대 방안 없이, 사육 수온을 올리는 것은 관리 문제를 더 증대시킬 수도 있다.

나) 용존산소

- 사육 수조의 용존산소 포화도를 최소 80% 최대 100%로 유지한다.
- 용존 산소량이 감소할수록 사료 섭취량과 성장이 감소하게 된다.
- 어느 경우에도 예상외로 갑자기 발생할 수 있는 무산소 상태의 위험에 대처하기 위한 비상 산소 공급 장치를 설치하여야 한다.
- 주수 배관에 순수 산소를 주입하여 수조 도달 전에 물과 산소의 접촉 시간을 연장하는 방법이 산소 기포를 만들어 공급하는 방법보다 더 효과적일 수 있다.
- 넙치와 유사한 생태의 터봇은 용존산소 3mg/L에서 먹이 섭취를 중지하고, 0.75-1.3 mg/L에서 폐사한다.
- 넙치와 유사한 생태의 터봇이 반복적인 심한 빈산소 충격(포화도 75-100%에서 20%로 감소)에 노출되었을 때, 사료 섭취량이 감소하고 사료 효율이 낮아져서 성장이 저하하게 된다.
- 넙치와 유사한 생태의 터봇은 용존산소 포화 상태에서 성장이 향상되었으며, 147%와 223%의 과포화 상태에서는 먹이 섭취와 사료전환효율 및 성장에 영향이 없었으나, 지방 축적이 증가하였다 (Person-Le Ruyet, J., 2002).

다) 염분농도

- 넙치 치어는 체장이 증가함에 따라 저염분에 대한 내성이 강해져 착저한 치어에서는 20% 해수(염분 6.7‰)까지, 전장 25~30 mm에서는 5% 해수(염분 1.8‰)까지 내성이 있어 이들 농도에서 24시간까지의 생존율이 100%이며 먹이도 잘 섭취한다.
- 자어의 전장 12.5~70 mm 크기의 경우 50~75% 해수에서도 성장하므로 담수 영향이 다소 있는 곳이라도 사육에는 문제가 되지 않는다.
- 염분이 다소 낮아지면, 생물 먹이의 침전이 증가하고, 염분 변화에 의한 스트레스가 증가하게 된다.

라) 암모니아

- 넙치의 성장에 영향을 미치는 암모니아의 최저 한계 농도는 용존 산소, pH, 그리고 많은 생물적 요인(어류 크기, 초기 생활사, 건강 상태 등)에 영향을 받는다.
- 넙치와 유사한 생태의 터봇의 최적 사육 조건에서, 암모니아 최저 한계 농도는 pH 7.5에서 총암모니아성 질소 5-6 mg/L 또는 0.2 mg/L NH_3 이다(Person-Le Ruyet, J., 2002).
- 넙치와 유사한 생태의 터봇에서 2-3 mg/L 이하의 총암모니아 농도는 안전한 것으로 간주된다(Person-Le Ruyet, 2002).
- 총암모니아 질소(TAN)는 NH_3 와 NH_4^+ 의 합이고, ppm으로 표시하며, 가급적 1 ppm 이하로 유지되어야 하고, 2 ppm을 초과하지 않도록 한다.
- TAN의 유독성 부분인 비이온화 암모니아질소(N-NH_3)는 pH와 염분을 알면, 관련 표로 계산할 수 있다.
- 순수 산소 주입은 N-NH_3 을 무독성 NO_2^- 과 NO_3^- 으로 부분적으로 전환할 수 있다.
- 사육수의 pH 감소는 유독성 암모니아의 부분 감소를 가져온다.

다. 사육 관리

1) 자어와 치어의 성장

- 부화 자어의 전장은 수온에 따라 차이가 있으나 보통 2.1~2.6 mm이다.
- 난황의 길이(장경)는 1.0 mm 전후, 유구 크기는 0.13~0.18 mm이다.
- 난황 흡수까지는 3~4일이 소요된다.
- 자어의 성장에 영향을 미치는 요인은 수온, 수조 크기, 수용 밀도, 조도, 수질 등이다. 같은 사육 환경에서는 먹이의 품질, 먹이량, 먹이 공급 시기 등에 따라 성장이 다르다.
- 대략적인 성장을 보면 보통 20~25일에 변태가 진행되어, 30~40일에는 변태가 완료된다. 변태 완료 후에는 착저기에 들어간다.
- 변태 기간 동안 자어의 형태 변화는 안구의 이동, 몸의 측편화, 배지느러미 연조의 성장 등이다.
- 부화 자어는 난황 흡수 후 먹이생물을 섭취하면서 성장이 시작되나, 배합사료를 섭취한 후부터는 성장이 빨라진다.
- 착저(전장 12 mm 전후)가 시작되면 최대 크기 개체와 최소 크기 개체의 차이는 3 mm 정도로 성장 차이가 뚜렷해지고, 수조의 바닥 또는 벽면에 착저와 부상을 반복하는 개체의 비율이 높아진다.
- 변태 개체가 나타난 이후 모든 개체가 변태 완료될 때까지의 소요 기간은 수온에 따라 다르나 5~12일이다.
- 변태 완료 개체의 크기는 양식산은 보통 13 mm 전후이다.
- 일간 성장률은 부화 후 10일에는 10% 전후, 30일에는 2~4%이다. 이러한 성장률의 변화는 체형의 변화와 관련이 있다. 즉 부화 후 10일까지는 길이 성장을 주로 하지만 변태 전후(부화 후

25~30일 전후)에는 길이 성장보다는 체고 성장을 주로 한다.

- 착저 이후부터 부화 후 40~50일까지는 전장 위주의 성장을 보이나, 50일 이후는 체중 성장 위주로 바뀌어, 70일 이후부터는 급격한 체중 성장을 보인다.
- 배합사료로 먹이 전환이 완전히 이루어지면 성장이 급격히 빨라져 부화 후 60일째는 전장 50~60 mm 내외로 성장한다.
- 부화 후 70일째는 전장 70~80 mm로 성장하여 양성용 종자로 이용 가능하다.

표 3. 넙치 자치어의 사육일수에 따른 성장(사육수온 19.5±0.5℃ 기준)

부화후 사육일수	10	20	30	40	50	60	70	80
전장(cm)	0.6	0.8~0.9	1.5~2.0	3~3.5	4~4.5	5.5~6.5	7.5~8.5	9~10
체중(g)	-	-	0.03~0.05	0.2~0.35	0.5~0.8	1.3~3.0	4.0~6.0	7~10

<출처: 김경길 등, 2016>

표 4. 넙치 자치어의 전장과 체중과의 관계

전장(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8
평균체중(g)	0.007	0.054	0.2	0.5	1.0	1.8	3.0	4.5

<출처: 김경길 등, 2016>

- 성장과 생존율에 영향을 주는 요인으로는 수온, 수용 밀도, 먹이, 수질, 질병 등이다.
- 치어 사육의 적정 사육 수온은 18~24℃ 범위이지만, 성장은 20~23℃가 바람직하다.
- 수질 악화에 의한 대량 폐사는 생존율을 현저히 낮추는 경우가

많다. 특히 하절기 고수온에서 관리에 각별히 주의하여야 하므로, 항상 수조를 청결히 관리하고, 먹이 섭취 및 유영 상태를 자세히 관찰하여야 한다.

- 종자 생산을 시작할 때에는 사육 수조와 사육수 인입 배관의 소독 등에 주의하여야 하며, 자외선 등을 이용한 사육수의 관리 시스템도 갖추어야 한다.

2) 치어 사료 공급 관리

가) 사료 공급 체계

- 사료의 공급 부족에 의한 소식(小食)은 공식과 어류 크기 범위의 확대를 촉발하고, 과잉 공급에 의한 과식(過食)은 건강 문제를 초래하며, 빠르게 수조 안의 암모니아 수준을 증가하게 한다. 사료의 소식과 과식 양쪽 다 예방하기 위하여, 사료 섭취 행동을 면밀히 관찰하고 통제하여야 한다.
- 사료 공급은 일정한 시간 간격에서 수행되어야 하며, 먹이를 전체 수면에 골고루 뿌려준다.
- 오염과 공식을 줄이고, 어류를 건조 사료에 더 잘 적응시키기 위하여, 건조 사료 1일 공급량의 60%는 아침에 뿌려주며, 나머지 40%는 오후와 이른 저녁에 준다.
- 1 mm 직경 전후의 크럼블 펠릿(crumbled pellet)은 치어 사육 개시기에 공급하며, 어류가 자람에 따라, 점진적으로 펠릿 사료(pelletized diet)로 대체한다.
- 치어에 의해 섭취된 사료의 양은 사료의 크기에 영향을 받는 경향이 있다. 크기가 너무 작거나 너무 크면, 먹이 섭취량이 적어진다.
- 반복 상태의 포식은 치어의 자발적인 먹이 섭취 활동의 종료에

의해 결정된다.

- 치어의 먹이 공급률은 전장 약 30 mm에서 체중의 약 4%로 시작하여, 전장 약 80 mm에서 체중의 2%~3% 사이로 점차적으로 감소한다.
- 전장 20~50 mm의 어류는 하루에 4-6회 먹이를 공급한다.
- 어류가 전장 50 mm로 자라면 먹이 공급 횟수가 포만될 때까지 하루에 3-4회로 줄인다.
- 자치어의 먹이 공급량과 공급 횟수는 1회 공급량이 남지 않을 정도로 자주 주는 것이 효과적이다.
- 배합사료 공급 시 고수온기에는 수질 악화로 인한 치어기의 대량 폐사가 일어나기 쉽기 때문에 치어의 유영 상태와 먹이 섭취 상태를 고려하여 공급량을 조절한다.

표 5. 넙치 치어(1만마리 기준)의 전장에 따른 배합사료 크기 및 사료 공급률

전장(mm)	배합사료 크기(mm)	사료 공급률(%)	사료 공급량(g)
30	1.0	4	120
40	1.5	3	240
50	1.9	2~3	300~450
60	2.4	2~3	520~780
70	2.8	2~3	820~1,230
80	3.3	2~3	1,220~1,830

<출처: 김경길 등, 2016>

나) 사료 1일 공급량 산정

- 사료 공급은 처음에는 이론적으로 결정되나, 후에는 어류의 행동과 성장률에 따라서 미세 조정한다.

- 사육 수조의 치어의 평균 개체 중량과 숫자를 평가한 후에 실제 생체량에 맞추어 사료 공급량을 조정한다.
- 항상 실제 먹이 소비율, 수조 바닥에 잔류 사료의 존재 여부 및 일반적 어류 행동을 점검하여 1일 공급량을 산정한다.

다) 사료 공급자

- 사료 공급량의 과부족을 피하고 공급률의 기록을 유지하기 위하여, 각 수조는 건조 사료의 1일 공급량을 담는 각각의 플라스틱 용기를 가지고 있어야 한다.
- 남은 사료는 항상 사육 수조의 사육 관리 파일에 기록되어야 한다.
- 사료 공급 시 나타나는 어류의 행동과 요구를 알아내는 데 필요한 경험을 얻기 위해서, 항상 같은 직원이 정해진 수조에 책임지고 사료를 공급하여야 한다.

라) 배합사료의 선정

- 사료의 품질이 생존, 성장 및 사료 효율에 직접적으로 영향을 미치며, 그리고 궁극적으로 경제적 수익에 영향을 미치기 때문에, 치어에게 공급되는 배합사료는 신중히 선정되어야 한다.
- 배합사료는 부력이 있으면서 물에 뜨지 않는 펠릿이 선호되며, 그리고 바닥으로의 느린 하강 중에 섭취되어야 한다.
- 사료의 단백질 요구량은 55%의 높은 수준이다.
- 사료의 지질 수준의 요구량은 15% 이하로 추정된다.
- 사료의 pH는 7.1에서 7.5 사이로 조정하는 것이 권장된다.
- 사료는 단가뿐만 아니라 그 품질에도 근거하여 평가되어야 한다.
- 사료의 품질은 생존율, 성장률 및 사료계수 측면에서 평가되어야 한다,

- 생존율(%) = (최종 어류 수/ 초기 어류 수)×100
- 성장률(mm/day) = (최종 전장(mm) - 초기 전장(mm))/일
- 사료계수(FCR) = 사료 총량/(최종 총 체중 - 초기 총 체중)

3) 치어 건강 모니터링

가) 어류의 행동 점검

(1) 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 무리의 밀집

(2) 어류 행동의 변화

- 사육 수조 안의 환경 조건의 변화로 문제가 발생하면, 대량 폐사와 같은 명백한 신호가 시작되기 전에, 어류의 행동에 먼저 영향을 주게 된다.
- 경험 있는 직원의 일상적 감시로도 만일 무엇이 잘못되고 있는지 알 수 있다.
- 어류의 행동을 매일 관찰하여야 한다.

나) 성장

- 치어의 성장은 사육 환경 조건, 사료의 품질과 공급 조건, 입식된 치어의 사육 환경 적응 능력 등에 영향을 받는다.

- 치어의 성장은 직선 회귀로 나타나며, 육안적인 성장의 관찰과 더불어 치어의 체중과 체장을 정기적으로 측정해야 한다.
- 치어의 성장이 정체되는 경향이 있는 경우, 사육 조건과 어류 조건을 점검해야 한다.

다) 성장률의 조사

(1) 조사 시기

- 치어의 성장을 대표할 수 있는 표본은 정기적으로 선별하고 분산 수용할 때 실시한다.
- 사육의 성과는 2주에 한 번 평가하는 것을 권장하고, 가능하면 어류 선별 때 같이 평가하도록 한다.
- 선별하지 않을 경우에는 한정된 표본을 수집하여 체중과 체장을 측정한다.

(2) 조사 표본

- 치어 표본의 수는 일반적으로 사육 초기에는 100마리가 적당한 표본이 될 수 있으나, 사육 후기로 갈수록 더 많은 표본을 한다.

(3) 조사 방법

- 치어는 점검하기 전에 폐사와 질병을 피하기 위하여 마취되어야 한다.
- 체중은 해수 300 ml이 든 1 L 비커에 치어를 넣고, 저울에서 무게를 잰 다음, 물과 비커의 무게를 빼서 치어의 체중을 측정한다.
- 치어를 모은 양동이에 100마리가 되면 개체의 평균 체중을 계산한다.
- 체장은 표본한 치어를 깨끗한 유리에 두고, 유리 아래에 둔 밀리미터 용지로 mm 단위로 체장을 측정한다.

- 각 개체에 대해서 형태적 이상을 기록한다.

(4) 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 재수용되어야 한다.

라) 치어의 선별

(1) 공식 저감 방안

- 사육 수조의 조도 저하
- 사육수의 주수량과 사료 공급 회수의 증가
- 같은 크기의 그룹으로 만들기 위한 빈번한 선별(최선의 해결책).

(2) 선별 기준

- 주기적 개체군의 체중 점검에서 큰 변동성이 보였을 때 선별한다.
- 사육 치어의 가장 작은 것과 가장 큰 것 사이의 체중 차이가 10% 이상 되면 선별하여야 한다.

(3) 선별 방법

- 치어 선별은 치어를 망목이 작은 선별기 위에 큰 선별기를 포개어 설치한 일련의 선별기를 통과시켜 수행하며, 선별기는 수조 안에 띄웠을 때 바닥이 물속에 있게 한다.
- 적당한 선별기를 선택하기 위하여, 100마리의 치어 표본으로 예비 시험을 해야 한다. 그리고 크기에 따른 치어의 분산은 예비선별 시험 후에 결정한다.

- 쪽대 그물로 어류를 채집해서 겹쳐진 선별기에 조심스럽게 붓고, 선별기의 망목을 통과하는 치어를 돕기 위하여 선별기를 조심스럽게 움직인다.

(4) 질병 예방

- 항스트레스 먹이 공급과 신중한 관리 작업으로 세균 감염의 위험을 최소화 한다.
- 선별 과정의 과도한 취급 또는 기타 원인에 의해 초래된 세균 감염의 위험을 최소화하는 것이 필요할 경우, 선별 후에 예방적 약품 처리를 할 수 있다.

4) 자·치어의 이송 관리

가) 수조와 장비의 준비

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

- 비타민 C는 항스트레스 특성을 가지고 있으므로, 이송 3-4일 전에

증가된 양의 비타민 C(사료 kg 당 10,000 mg까지)가 들어 있는 먹이를 공급한다.

- 이송 전 먹이를 주지 않아야 한다.
- 이송 후 치어가 새 수조에 배치되었을 때, 공식을 피하고, 조속한 회복을 위하여 가능한 한 빨리 먹이를 공급한다.

다) 수온과 염분

- 옮겨갈 수조의 수온과 염분은 자치어 사육 수조의 수온, 염분과 서로 같아야 한다.

라) 자·치어 취급

- 어류에 직접 손대지 않도록 노력한다.
- 어류가 물 밖으로 튀어 나가거나, 물 밖에 있지 않도록 한다.
- 작은 용기에 너무 많은 어류를 밀집시키지 않는다.
- 더러운 물이 자치어 사육 수조에 들어가지 않도록 한다.
- 자치어를 수용하는 사육 수조에 자치어를 넣기 전에 자치어 운반 용기가 바닥에 닿는 것을 피한다.
- 자치어가 포기와 환수 없이 있는 시간을 가능한 한 최단시간이 되도록 노력한다.
- 유연성 자어는 주간의 군영 행동을 이용하여 양동으로 옮겨질 수 있다.
- 자어는 주광성이기 때문에 야간에 수조의 조명된 모서리에 자어가 모일 때 직경 50 mm의 유연성 호스를 이용하여 사이편 하여 양동으로 옮겨질 수 있다.

마) 질병 예방

- 이송 전후에, 이송으로 스트레스를 받은 어류의 질병 발생의 위

험을 저감하기 위해서, 예방적 세균 발육 억제 조치를 때때로 적용한다.

- 예방적 세균 발육 억제 처치는, 약물 내성 세균의 출현을 유발할 수 있기 때문에, 항스트레스 먹이와 신중한 관리 작업으로 대체하는 것이 권장된다.
- 과도한 취급 또는 연약한 자어에 의해 초래된 세균 감염의 위험을 최소화하는 것이 필요할 경우, 이송 전후에 예방적 약품 처치를 검토할 수 있다.

라. 질병 관리

1) 바이러스성 질병

가) 바이러스성 출혈성 패혈증

(1) 증상

- 발병 수온은 10~13℃로 치어 입식 시기에 피해가 크다.
- 체색이 검어지고, 안구 돌출, 빈혈 증상과 지느러미 기부, 아가미, 눈, 피부의 출혈이 나타난다.
- 감염 초기 급속한 폐사를 유발(최고 100% 폐사도 나타난다)한다.
- 주 감염 장기는 심장과 신장이며, 이외에도 비장, 뇌, 근육, 아가미 등이다.
- 복수로 인한 복부 팽만이 나타나며, 심할 경우 탈장이 일어난다.
- 병어를 해부해 보면 복강에 맑은 복수가 차 있고 간의 충혈 현상이 나타난다.
- 개체에 따라 신장이 종대되어 있거나 회백색으로 퇴색되어 있다.
- 비장은 비정상적으로 종대 되어 있다.

(2) 원인

- 원인체는 Viral hemorrhagic septesemia virus (VHSV)이다.
- 총알 모양(직경 약 70 nm, 길이 약 180 nm)의 단일 가닥 RNA 바이러스이다.

(3) 대책

- 특별한 치료 대책은 없으며, 예방이 최선의 방법이다.
- 양식장에 종자를 입식할 경우 반드시 바이러스의 감염 여부를 확인한 이후 입식하여야 한다.
- VHSV는 자외선(UV radiation)처리에도 불활화되며, 소독제(chlorine, hypochlorite, iodophore)에도 쉽게 불활화되므로, 양식장에서 기구와 수조를 소독하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다.

나) 버나 바이러스병

(1) 증상

- 주로 치어기에 발생하며, 수온 18~20℃에서 바이러스의 빠른 증식이 일어난다.
- 병어는 체색이 검어지고 복부 팽만 증상이 관찰된다.
- 병어는 일반적으로 힘없이 사육지 가장자리를 유영하거나 바닥에 가라앉는 등 무기력한 개체가 나타나며, 죽기 직전에 발광하여 회전 유영하는 개체도 종종 관찰된다.
- 병어를 해부하면 복수가 고여 있거나 간이 퇴색되어 있으며, 뇌에 출혈 및 발적 증상이 나타나는 경우가 있다.

(2) 원인

- 원인체는 Marine Birnavirus이다.

- 버나바이러스는 외막이 없으며, 구형으로 크기가 65 nm이고, 이중가닥 RNA (double strand RNA)을 유전자로 갖는다.

(3) 대책

- 일단 발병하면 특별한 대책이 없다.
- 양식장에 치어를 입식하기 전에 질병 검사를 하여 바이러스에 감염되지 않은 치어를 입식하여야 한다.
- 버나바이러스병이 발생한 경우 최대한 치어가 스트레스를 받지 않도록 안정되게 관리하여야 한다.
- 병어에 대해 질병 감염 검사를 하여 바이러스를 확인한 경우 폐사가 완화될 때까지 안정화시켜야 한다.

2) 세균성 질병

가) 활주세균병

(1) 증상

- 활주세균은 수온이 상승하기 시작하는 봄부터 고수온기인 여름에 걸쳐 각 양어장이나 종자 생산지에서 자주 발생하여 넙치 자어와 치어에 큰 피해를 일으킨다.
- 사육 환수량이 낮은 육상 수조에서 잘 발생하며, 폐사는 완만하게 진행되지만, 발생 빈도는 높아 장시간 지속적으로 나타나므로 피해가 크다.
- 밀식 사육, 과잉 용존산소량 및 수온 차가 큰 해류 또는 냉수대의 출현에 의한 급격한 수온 변화 등이 넙치에 스트레스를 주어 활주세균의 침입이 용이하게 되어 질병 발생이 증가하게 된다.
- 병어는 체색이 검어지고 사료를 잘 먹지 않는다.
- 연령에 관계없이 발생되며, 연중 발생하는 경향을 보인다. 특히,

수온 변화가 심한 봄과 가을에 질병 발생이 현저하게 높아진다.

- 감염어는 체표면이 회색으로 변하고 체표면에 원형의 상처 및 궤양이 형성되며, 지느러미가 부식되어 골격만 남는다.
- 아가미는 흰색으로 변하거나 부분적 부식이 일어난다.
- 전체적으로 체색이 검어지고 힘없이 헤엄치며, 다른 병원성 세균과 기생충의 2차 감염에 의한 폐사가 발생한다.

(2) 원인

- 원인체는 그람음성 장간균인 활주세균(*Flexibacter maritimus*)이다.
- 활주세균은 활주 운동을 하며, 15℃에서는 서서히 자라지만, 20℃ 이상일 때 급격히 증식한다.
- 활주세균은 굴곡 운동을 하고 군체의 크기는 3~20 μm로 환경과 배양 조건에 따라 군체의 형태와 크기가 다르다.
- 양식 넙치에서는 활주세균만 단독 검출되는 경우보다 활주세균의 감염 상태에서 비브리오균, 트리코디나, 스쿠티카충 등의 세균 또는 기생충과 혼합 감염되어 있는 경우가 많다.

(3) 대책

- 대책으로 사육밀도를 낮추고 환수량을 높여주며, 치어를 입식 하면 반드시 약욕을 한다. 선별 및 수조 청소를 할 경우 넙치에 상처가 발생하지 않도록 하여야 한다.
- 치료 대책으로 항생제 약욕과 경구 투여를 병용하는 것이 효과가 높다.
- 기생충과 혼합감염의 경우에는 기생충 구제를 먼저 한 후 치료하는 것이 바람직하다.

나) 연쇄구균병

(1) 증상

- 치어에서 성어에 이르기까지 모든 사육 단계에서 발병한다.
- 고수온기에 주로 발생하며, 수온과 해수 중의 영양분에 의해 균의 생존 기간이 영향을 받는다.
- 연쇄구균은 수온이 낮을수록, 해수 중의 영양분이 많을수록, 오랜 기간 생존한다.
- 감염경로는 병원균의 오염 사료를 매개로 한 감염이 알려져 있으며, 또한 접촉에 의해 감염되는 경우도 있다.
- 연쇄구균에 감염된 병어는 안구 돌출, 백탁 및 충혈, 아가미뚜껑 출혈, 아가미뚜껑 배 측의 충혈, 점액 분비가 많아진다.
- 내부 증상으로 간의 울혈과 퇴색, 장관의 발적, 복수 발생, 신장 및 비장의 비대, 아가미의 빈혈과 괴사가 나타난다.

(2) 원인

- 원인체는 *Streptococcus iniae*, *S. parauberis*, *Lactococcus garvieae* (그람양성 구균)이다.

(3) 대책

- 대책으로 사육 환경의 청결 유지와 사육 관리에 주의가 필요하다.
- 죽거나 병든 개체를 빨리 제거하여 수평감염을 줄여야 한다.
- 양질의 사료 공급과 항병력을 높이는 노력이 필요하다.
- 에드워드와 혼합 감염의 경우 연쇄구균병을 먼저 치료하고 에드워드병을 치료하기를 권장한다.
- 치어기의 감염 예방 대책으로 양호한 사육 환경 조건을 만들어 주어야 하고, 당년어의 경우 과밀 사육을 방지하고, 단일 사료의

장기간 공급과 사료의 과잉 공급을 하지 않아야 한다.

다) 비브리오병

(1) 증상

- 비브리오병에 감염된 넙치는 사료를 잘 먹지 않으며, 체색이 흑화되어 힘없이 떠다니거나, 수조 바닥에 가만히 붙어 정지해 있는 개체도 볼 수 있다.
- 외부 증상으로 병어는 등 부위의 부분적 발적과 궤양 형성, 복부 측면의 충혈 증상, 지느러미의 충혈, 결손, 붓고 및 기저부의 궤양이 보인다.
- 궤양의 형태는 불규칙적이며 궤양 부위는 표피에 출혈이 나타나면서 서서히 그 면적이 커지고, 중심부는 진피가 붓고되어 근육이 노출된다. 진행이 빠를 경우에는 궤양이 깊게 나타난다.
- 내부증상으로 간의 충혈과 퇴색, 복수의 고임, 장의 점상 출혈이 나타난다.

(2) 원인

- 원인체는 *Vibrio* sp., *V. harveyi*, *V. ichthyenteri* (그람 음성 간균)이다. 대부분의 비브리오균은 해수에 상존한다.
- 비브리오는 넙치의 연령에 관계없이 질병을 유발하며, 면역력이 약화되었을 때 질병을 유발하는 기회성 병원체이다.
- 선별이나 이동 시 발생하는 상처에 감염되어 발생한다.
- 비브리오균은 0.5%에서 3%까지의 염분농도에서 잘 자란다.

(3) 대책

- 비브리오균은 해수 중에 상존해 있는 세균이지만 단독으로는 질병을 일으키지 않는 기회 감염적 세균으로서 주로 선별이나 이동

할 경우 취급 부주의로 인하여 상처가 생기면 그곳을 통하여 감염이 일어나거나, 다른 질병에 의한 2차 감염으로 피해가 발생하게 된다.

- 병의 예방을 위해 사육 관리 시 넙치에 물리적인 스트레스 요인을 조성하지 않도록 주의하여야 한다.
- 병의 예방을 위해 사육 수조 내의 환경을 청결하게 유지하고 비타민이나 면역 증강제 등을 투여하여 항병력을 강화하여야 한다.
- 대책으로 감염된 어체로부터 세균을 분리하여 약제 감수성 시험을 실시한 후, 적정 항생제를 선정하여 경구투여하면 치료 효과를 충분히 거둘 수 있다.
- 병어의 발견이 늦어져 투약 시기를 놓친 경우에는 치료 효과가 나타나지 않는 경우가 있으므로 발병 초기에 치료하는 것이 필요하다.

3) 기생충성 질병

가) 스쿠티카 감염증

(1) 증상

- 양식 넙치에서 대부분 표피가 박리되고 근육층이 노출되는 궤양증이 발생하며, 종자 배양장에서는 두부나 체표가 하얗게 변하면서 치어가 대량 폐사되는 경우가 많다.
- 감염된 넙치는 다양한 증상을 나타내며 체표 염증, 지느러미 연조와 꼬리자루의 노출, 두부 손상(주둥이 출혈, 안구 백탁 및 돌출, 구강 점막 울혈) 등이 특징적이다.
- 감염 초기에는 체색이 검어지며 체표가 희게 탈색되고, 체표에 출혈성 염증이 나타난다.
- 감염 후기에는 체표에 근육이 노출되는 궤양이 형성되고, 지느러

미 출혈 및 결손이 나타나며, 내부 장기에서 스쿠티카충이 확인된다.

(2) 원인

- 원인체는 스쿠티카충(*Miamiensis avidus*)이다.
- 해수나 해면 저질 중에 서식하며 자유 생활을 하는 섬모충으로 방추형 또는 오이씨 모양으로 성충의 크기는 30~45 μm , 자충의 크기는 18~25 μm 이며 번식은 단순한 2분열로 한다.
- 환수가 좋지 못한 사육 수조에 상존하는 스쿠티카충이 감염원으로 작용하여 질병이 발생한다.

(3) 대책

- 종자 배양장에서는 먹이생물 배양조 내의 스쿠티카충의 밀도를 낮추는 것이 중요하므로, 종자 사육 시설의 철저한 소독과 정기적인 청소를 해야 한다.
- 로티퍼를 세척 후 공급한다.
- 착저기 이후에는 환수량의 증대 및 자어와 치어의 주기적 검사가 필요하다.
- 양성장의 경우 감염 종자의 입식을 방지하고, 사육수가 정체되지 않도록 최선을 다해야 하며, 중증 감염어는 발견 즉시 수조에서 제거하여야 한다.
- 감염 초기에 담수욕, 과산화수소욕, 수산용 포르말린 약욕으로 감염률을 낮출 수 있으나 근절하지는 못한다.
- 사육수의 환수율은 넉치가 스트레스를 받지 않을 정도로 높여야 한다.
- 사육 밀도에 따라 폐사율에 큰 차이가 있으므로 밀식을 피해야 하고, 양식장의 청결을 유지하여야 한다.

- 뇌를 비롯한 내부 기관에 기생한 스쿠티카충은 유효한 치료 방법이 없으므로, 조기 진단과 조치를 통해 기생충에 감염되지 않도록 하는 것이 중요하다.

나) 백점병

(1) 증상

- 사육 중인 넙치에서 체표와 지느러미에 미세한 흰점이 관찰되며, 심한 경우 아가미뿐만 아니라 안구 등에서도 흰 점이 나타난다.
- 병어는 과도한 점액 분비와 빈혈 증상을 보이며, 경우에 따라서 배 측면 복부에 심한 궤양을 나타내고, 먹이를 잘 먹지 않으며, 서서히 쇠약해져 사육 수조의 가장자리에 힘없이 떠 있는 경우가 많다.
- 스쿠티카충의 영양체(trophont)가 넙치의 아가미, 피부, 지느러미의 상피조직 하층 또는 기저막 사이에 감염한다.
- 아가미에 기생할 경우 자극으로 인해 상피세포가 과대 증식하고 비후되어 점액이 과다 분비된다.
- 백점충의 기생률이 높을수록 상피조직과 진피조직의 염증이 심해지고, 조직의 괴사로 인해 폐사를 일으킨다.
- 백점충 감염은 넙치의 혈액 성상의 변화를 초래하여, Na⁺, Mg⁺ 농도가 감소하고, K⁺, 요소, 암모니아성 질소의 농도가 높아진다.

(2) 원인

- 원인체는 백점충(*Cryptocaryon irritans*)이며, 병원성 섬모충으로 영양형(trophont)은 구형으로 직경 0.4~0.5 μm이고, 서로 연결된 구형의 4개 대핵을 가진다.
- 넙치에 기생하였을 때 흰점처럼 보이기 때문에 백점병으로 부른다.

- 광범위한 수온대(7~37℃)에서 생존이 가능하다.
- 넙치에서 백점충의 감염은 사육밀도가 높거나, 지속적인 스트레스를 받는 경우 발생하기 쉽다.
- 백점충의 생활사는, ① 숙주인 어류에 기생하는 성장 단계의 trophont를 지나서 ② 어류에서 해수 중으로 방출되어 protomont이 된 후, ③ 시스트를 형성한 번식 단계의 tomont되며 ④ 시스트에서 방출되어 자유 유영하는 감염 단계의 theront이 되어 다시 숙주 어류에 기생하여 성장하게 된다.

(3) 대책

- 충체가 상피조직 하층 또는 기저막 사이에 기생하기 때문에 구제하기 어렵고, 포자(cyst)를 형성할 때도 구제가 어렵다.
- 기생충이 어류로부터 이탈된 시기에 구제해야 한다.
- 시스트 내에서 분열 이후 자충(tomites)이 수중에 자유 유영하는 시기 또는 감염자충(theront)을 형성하기 전 단계에 백점충으로부터 어류를 격리시키는 것이 구제 방법이다.
- 약욕 방법으로 감염을 경감시킬 수는 있으나 완치는 어렵다.

6. 종자 수송

가. 종자의 수확과 적재

1) 수확

- 수확 시의 치어는 어느 정도 취급에 내성이 있으므로, 사육수의 수위를 낮춘 후에, 뜰채로 수확할 수 있다.
- 치어들은 정상 어류, 이상 어류, 이상 색소 침착 어류의 세 그룹으로 다시 한번 더 선별한다.
- 치어들은 이송하기 적어도 24시간 전에 사료를 공급해서는 안 된다.

2) 적재

- 치어 수송 수조의 해수는 배양장의 해수를 채우는 것이 권장된다.
- 치어를 싣는 동안 치어가 취급당하게 되는 충격과 심한 스트레스 때문에, 치어들은 활동 과잉이 되고, 호흡률과 신진대사의 배설이 증가한다.
- 치어 수송 차량의 수송 수조에 적재가 끝났을 때, 실을 때 들어간 오염물(오물, 거품, 점액, 배변)의 부하를 제거하기 위하여 산소가 충분한 물로 완전히 환수한다.
- 낮은 온도가 바람직할 경우 얼음주머니를 이용할 수 있다.
- 수송 수조에서 치어들의 산소 소비와 암모니아 배설을 최소화하고, 배설물과 토한 사료의 양을 줄이기 위하여, 치어는 보통 수송 차량에 싣기 적어도 24시간 전에 굶긴다.
- 수송 중에 치어의 포식 행동을 통제할 수 있을 경우에 한해서 수송 전 굶길 수 있다.

나. 종자의 수송 환경 관리

1) 수송 시설과 장비

- 지방 또는 장거리 운송의 경우, 대형 수조가 사용될 수 있으며, 수조의 물을 잘 교반하기 위하여, 산소 공급, 포기 시설 그리고 수온 조절을 위하여 냉장 시설을 활용할 수 있다.

2) 수송 수조의 해수

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

3) 수송 밀도

- 수송 밀도는 어류의 크기에 달려있다. 일반적으로 전장 50 mm 치어는 5,000 마리/m³ 밀도로 수용하고, 그리고 전장 100 mm인 치어는 1,500 마리/m³ 밀도로 수용한다.

4) 수온

- 수온은 어류의 산소 소비에 강하게 영향을 준다.
- 수송 해수의 낮은 온도에 의해 어류 대사가 감소하여 호흡이 감소하게 되고, 결과적으로 산소 요구량과 암모니아 배설도 감소하게 되므로, 가능한 한 낮은 온도에서 수송하여 수질 변화와 산소 소비를 최소화한다.
- 물의 산소 용해도는 낮은 온도에서 더 높아진다.
- 치어 수송 용기의 단열은 어떤 경우든 필요한 예방 조치이다.

- 수송 해수의 수온은 배양장 환경의 수온과 크게 달라서는 안 되며, 필요시 스트레스를 줄이기 위하여 1시간에 1℃로 점진적으로 조정할 수 있다.
- 온도 변동을 최소화하기 위하여 여름에는 밤에 움직이는 것이 더 좋으며, 반대로 겨울에는 주간 수송이 권장된다.

5) 용존산소

- 용존산소(DO)는 살아 있는 어류의 수송에서 가장 중요한 변수로서, 150-200%의 포화도 수준을 유지하기 위하여 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(NH₃)의 독성 형태를 비독성 산물로 산화하는 데 기여한다.

6) 염분농도

- 수송 해수의 염분농도는 치어의 스트레스를 줄이기 위하여 치어가 길들여진 배양장 염분농도와 같아야 한다.
- 수송 시 20-25 psu의 저염분 해수는 치어의 삼투압 조절 에너지가 감소되고, 산소 용해도가 증가하여 수송 치어의 스트레스가 감소할 것으로 추정할 수 있으나, 적용 시 사전 시험과 적용이 필요하다.

7) pH

- 수송 중 해수와 기수에서 pH는 일반적으로 크게 문제가 되는 변수는 아니다.

- 호흡에 의한 이산화탄소의 증가는 수송 해수를 산성화한다. 그러나 해수의 완충 능력이 pH 변화를 완화한다.
- pH의 수준은 독성 비이온화 암모니아(NH_3)의 균형에 직접적으로 영향을 준다. pH가 낮을수록 암모니아 질소의 독성 부분은 감소한다.
- pH가 낮고 이산화탄소가 많으면 헤모글로빈의 산소 결합력이 저하하게 된다.

8) 암모니아

- 암모니아는 아가미를 통해서 배설되며, 어류의 주요 대사산물이다.
- 수송 수조의 환수 없이 치어를 운반할 때, 어류의 대사산물인 암모니아가 해수에 축적되게 된다.
- 물에서 비이온화 암모니아(NH_3)와 암모늄 이온(NH_4^+) 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 행동을 통제할 수 있으면, 치어의 배설물을 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.

9) 이산화탄소

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

10) 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.

11) 수면의 거품

- 수송 수조 해수 표면의 오물과 거품은 장거리에 실려 가는 많은 수의 치어에서 생기는 과도한 점액으로 만들어진다.
- 거품은 공기와 물의 경계면에서 산소와 이산화탄소의 이동을 방해하며, 또한 어류를 관찰하기 어렵게 만든다.
- 트럭의 치어 수송자는 뜰채로 거품을 쉽게 제거할 수 있으나, 수송 시간을 연장하게 된다.
- 치어를 수송 수단에 적재할 때 치어 적재 후 수조의 전체 해수를 완전히 환수하거나 또는 수송 중에 환수하여 거품 발생의 요인 또는 거품을 효과적으로 제거하여야 한다.

12) 환수

- 장거리 운행의 경우, 수조의 물은 삼투압과 온도 변화의 결과로 충격을 주지 않도록 환수되어야 한다.

13) 포식 예방

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

14) 수송 중의 모니터링

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

다. 종자의 적하와 입식

1) 종자의 적하

- 양식장에 도착 후 종자가 갑작스러운 수온과 염분의 변화 쇼크에 노출되지 않도록 필요한 조치를 한다.
- 양식장에 도착 후 수송 수조의 물을 천천히 배수하고 종자 입식 수조의 물을 재충전함으로써, 수송 수조 물의 수온과 염분 농도는 종자 입식 수조의 물 수온과 염분농도와 같아지게 하여야 한다.

다.

- 나쁜 수송 조건에 심하게 시달린 경우, 수용 시설에 가능한 한 빨리 이송한다.

2) 종자의 입식

- 수조 수용 직후, 오래 끓은 치어들의 공식 발생 가능성이 있는지 또는 사료 공급이 바람직하지 않은 어체 상태인지를 점검하여 사료 공급 여부를 결정하여야 한다.
- 폐사어는 조심스럽게 제거하고, 또 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.

참고 문헌

- 김경길, 황형규, 김현철, 김강웅, 도정완, 정민환. 2016. 넙치 양식 표준 매뉴얼, 국립수산물과학원, pp. 104.
- 김진우, 이한나, 지보영, 우승호, 김영재, 이무근, 2012. 한국 주요 양식종의 수산동물 폐사 피해 모니터링. 한국어병학회지, 25(3): 271~277.
- 김태진, 박민우, 전임기, 하현주, 서종표, 김성연, 2019. 국제 기준에 따른 터봇 종자 생산 관리 매뉴얼. (주)한국수산물안전연구소, 159 p.
- 민병서, 1988. 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 종묘 생산에 관한 연구. 한국양식학회지 1(1): 25~39.
- 손맹현, 박민우, 김응오, 임한규, 김대중, 안철민, 엄기혁, 김성길, 조용철, 이창훈, 황형규, 윤성중, 한석중, 최낙중, 박영병, 어윤양, 2006. 넙치 양식 표준 지침서. 국립수산물과학원, 192 p.
- 한국해양연구소, 1993. 넙치 종묘 대량 생산 기술 개발. 한국해양연구소, pp. 168.
- Agh, N. and Sorgeloos, P. (eds), 2005. Handbook of Protocols and Guidelines for Culture and Enrichment of Live Food for Use in Larviculture. Artemia & Aquatic Animals Research Center Urmia University, Iran, pp. 52.
- Bromley, P.J., Sykes, P.A. and Howell, B.R., 1986. Egg production of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) spawning in tank conditions. Aquaculture 53, 287-294.
- Brooks, S., Tyler, C.R. and Sumpter, J.P. 1997. Egg quality in fish: what makes a good egg?. Reviews in Fish Biology and Fisheries 7, 387-416.
- Çiftci, Y., Üstündağ, C., Erteken, A., Özongun, M., Ceylan, B., Haşimoğlu

- A., Güneş, E., Yoseda, K., Sakamoto, F., Nezaki, G. and Hara, S., 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 International Cooperation Agency, 1-80.
- Danancher D and Garcia-Vazquez E., 2006. Turbot - *Scophthalmus maximus*. In: "Genetic effects of domestication, culture and breeding of fish and shellfish, and their impacts on wild populations." D. Crosetti, S. Lapègue, I. Olesen, T. Svaasand (eds). GENIMPACT project: Evaluation of genetic impact of aquaculture activities on native populations. A European network. WP1 workshop "Genetics of domestication, breeding and enhancement of performance of fish and shellfish" , Viterbo, Italy, 12-17th June, 2006, pp. 6.
- https://www.imr.no/genimpact/filarkiv/2006/01/turbot_leaflet.pdf/en
- Devauchelle N., 1986. Ponte en captivite et incubation de quatre poissons marine eleves en Europe. Conférence MEDRAP (FAO) : Production contrôlée d'alevins en Europe - Zadar/Pula (Yougoslavie, 10-28 février 1986), pp. 47.
- <https://archimer.ifremer.fr/doc/00044/15570/12967.pdf>
- Devauchelle, N. Alexandre, J.C., Le Corre, N. and Letty, Y., 1988. Spawning of turbot (*Scophthalmus maximus*) in captivity. Aquaculture, 69, 159-184.
- Dhert, Ph., Divanach, P., Kentouri, M. and Sorgeloos, P., 1998. Rearing techniques for difficult marine fish larvae. World Aquacult. 29(1), 48-55.
- Dreanno, C., Suquet, M., Desbruyères, E., Cosson, J., Le Delliou, H. and

- Billard, R., 1998. Effect of urine on semen quality in turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 169(3-4), 247-262.
- Estévez, A. and Kanazawa, A., 1995. Effect of (n-3) PUFA and vitamin A Artemia enrichment on pigmentation success of turbot, *Scophthalmus maximus* (L). *Aquaculture Nutrition* 1(3), 159-168.
- FAO, 2019. Cultured Aquatic Species Information Programme, *Psetta maxima* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome.
- Fernandez-Palacios, H., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Valencia, A., Salhi, M. and Vergara, J.M., 1995. Effect of n-3 HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture* 132, 325-337.
- Forés, R., Iglesias, J., Olmedo, M., Sánchez, F.J. and Peleteiro, J.B., 1990. Induction of spawning in turbot (*Scophthalmus maximus* L.) by a sudden change in the photoperiod. *Aquacultural Engineering*, 9(5), 357-366.
- Kjørsvik, E., Hoehne-Reitan, K. and Reitan, K.I., 2003. Egg and larval quality criteria as predictive measures for juvenile production in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 227, 9-20.
- Lavens, P., Lebegue, E., Jaunet, H., Brunel, A., Dhert, Ph. and Sorgeloos, P., 1999. Effect of dietary essential fatty acids and vitamins on egg quality in turbot broodstocks. *Aquaculture International*, 7. 225-240.
- McEvoy, L.A., 1984. Ovulatory rhythms and over-ripening of eggs in cultivated turbot, *Scophthalmus maximus* L. *Journal of Fish Biology* 24, 437-448.
- Moretti, A.; Pedini Fernandez-Criado, M.; Cittolin, G.; Guidastri, R.

- Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream. Volume 1. Rome, FAO. 1999. 194 p.
- Munro, P.D., Henderson, R.J, Barbour, A. and Birbeck, T.H., 1999. Partial decontamination of rotifers with ultraviolet radiation: the effect of changes in the bacterial load and flora of rotifers on mortalities in start-feeding larval turbot. *Aquaculture*, 170, 229-244.
- Person-Le Ruyet, J., 2002. Turbot grow-out in Europe. Practices, Results and Prospects. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2, 29-39.
- Planas, M. and Cunha, I., 1999. Larviculture of marine fish: problems and perspectives. *Aquaculture*, 177(1-4), 171-190.
- Rurangwa, E. and Poelman, M., 2011. Hatchery manual for broodstock management and larval production of turbot (*Psetta maxima*). IMARES (Report / IMARES Wageningen UR C150/11). pp. 52.
- Salvesen, I. and Vadstein, O., 1995. Surface disinfection of eggs from marine fish: evaluation of four chemicals. *Aquaculture International* 3, 155-171.
- Salvesen, I., Øie, G. and Vadstein, O., 1997. Surface disinfection of Atlantic halibut and turbot eggs with glutaraldehyde: evaluation of concentrations and contact times. *Aquacult. Int.* 5, 249-258.
- Seikai, T., 1985. Influence of feeding periods of brazilian *Artemia* during larval development of hatchery-reared flounder *Paralichthys olivaceus* on the appearance of albinism. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 51, 521-527.
- Seikai, T., Matsumoto, J., Shimokazi, M., Oikawa, A. and Akiyama, T., 1987. An association of melanophores appearing at metamorphosis as vehicles of asymmetric skin color formation with pigment

anomalies developed under hatchery conditions in the japanese flounder, *Paralichthys olivaceous*. Pigment Cell Res., 1, 143-151.



저 자

김태진 박민우 전임기 하현주 김성연 서종표 이우재

국제 기준에 따른 황금넙치 종자 생산관리 매뉴얼

발행일 2020년 10월 1일

발행인 김 태 진

발행처 주)한국수산식품안전연구소

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

전화 (051)783-0198 / 팩스(051)-505-0197



수산종자사업단
National Agency for Marine Seed Improvement



한국수산물안전연구소
KOREA SEAFOOD SAFETY INSTITUTE