

친환경 바이오플라스틱기술 길라잡이

(담수 바이오플라스틱(BFT) 물만들기 매뉴얼)



국립수산과학원
내수면양식연구센터



발 간 사

우리나라 연근해어업의 생산량이 처음으로 2년 연속 100만톤 미만을 기록해 감소하고 있으나 양식어업의 생산량은 매년 꾸준히 증가해 2017년 221만톤으로 수산물 총생산량의 59.4%를 차지하였습니다.

최근 4차 산업혁명이 세간의 화두로 떠오르고 있으며 국내 양식 산업은 4차 산업혁명 시대에 맞추어 생명공학, 환경공학, 정보기술이 결합된 스마트양식 산업을 개발하기 위해 노력하고 있습니다. 친환경 스마트양식은 수온, 염분 등 환경요인을 자동 센서로 실시간 계측하고 어류의 건강 상태와 사료를 먹는 행동을 육상에서 모니터로 관찰하며 이를 스마트폰에서 조절·관리하는 것입니다. 특히 스마트양식을 실현하기 위해서는 무환수로 환경오염이 없고 사료 효율이 높아 최첨단 시설에 적용 가능한 바이오플라기술(BFT, Biofloc Technology)이 중요합니다. 바이오플라를 이용하는 양식시스템은 물고기가 배출하는 배설물 및 사료찌꺼기로 미생물을 이용하여 제거함으로써 사육했던 물을 버리지 않고 다시 사용할 수 있는 친환경 양식 기술입니다.

바이오플라를 이용한 양식시스템의 개발은 1990년대 이스라엘에서 시작되었고 미국, 브라질, 멕시코 등의 국가에서 틸라피아와 흰다리새우를 대상으로 양식산업화 단계에 이르렀습니다. 우리나라에서는 국립수산물과학원 서해수산연구소에서 해수 바이오플라를 이용하여 흰다리새우의 양식 산업화 기술을



개발하여 보급하였으나 담수 바이오플락을 이용한 양식시스템은 기초연구수행 및 양식 산업화를 위해 기술개발 중입니다.

우리나라 내수면 양식 산업은 자유무역협정(FTA) 등 시장 개방화로 인해 수입수산물의 증가와 국내 수산물의 원가 상승 그리고 정부의 수질 환경 규제 강화 등으로 어려움에 직면해 있어 새로운 돌파구가 필요한 시점입니다.

국립수산과학원 내수면양식연구센터에서는 지난 2012년부터 새로운 바이오플락기술을 담수 어류 양식에 적극 활용하고자 기초연구 뿐만 아니라 양식 생물의 특성을 고려한 사육환경 개선 및 고밀도 사육 등 양식 산업화를 위한 시스템 개발에 노력했습니다.

담수 바이오플락 물만들기 매뉴얼은 내수면 양식기술 발전과 산업화를 위한 기술지로 현장의 목소리를 반영하여 이론적인 내용부터 물만들기 과정까지 세부적인 내용까지 담았으며 내수면 양식 생산성 향상과 어업인의 소득 창출에 도움이 되길 기대합니다.

2018년 1월
국립수산과학원장 서 장 우



목 차

1

바이오플라크기술
(BFT, biofloc
technology)이란?

1. 바이오플라크기술의 개요	10
가. 배경	
나. 개념	
다. 필요성	
2. 바이오플라크 양식현황	15
가. 국내·외 현황	
나. 바이오플라크기술 적용 양식품종	
3. 바이오플라크 양식시스템의 원리와 과정	17
가. 바이오플라크기술의 원리	
나. 바이오플라크 양식시스템	
다. 바이오플라크 양식시스템 운영	
4. 바이오플라크 양식시스템	25
가. 지수식 양식 방법	
나. 유수식 양식 방법	
다. 가두리식 양식 방법	
라. 순환여과식 양식 방법	
마. 바이오플라크 양식 방법	

2

바이오플라크
양식시스템

1. 양식 시스템	30
가. 위치 선정	
나. 취·배수	
다. 사육 수조	
2. 사육수 순환	34
가. 에어링 방식	
3. 기타 장비	36
가. 산소발생기	
나. 히트펌프	



3

바이오플락기술 물 만들기

1. 탄소와 질소의 비율(C/N 비)	40
가. 유기탄소(C)	
나. 질소(N)	
다. 적정 C/N 비	
라. 바이오플락 양식시스템에서 당밀 첨가량 계산식	
마. C/N 비 계산법(장 등, 2014)	
바. C/N 비 15를 맞추기 위한 탄수화물량 계산법(장 등, 2014)	
사. 주의사항	
2. 탄소원(C)과 질소원(N)	45
가. 당밀	
나. 포도당	
다. 배합사료	
3. 바이오플락기술을 이용한 물 만들기	48
가. 물 만들기 과정	
나. 물 만들기 방법	
4. 수질 관리	52
가. 수질환경 관리	
나. 수질관리 요약	

4

수질환경 관리

1. 수온	60
2. 용존산소(DO)	61
3. 수소이온농도(pH)	63
4. 알칼리도	66
5. 총암모니아성 질소(TAN)	69



6. 아질산염(NO_2^-)	73
7. 질산염(NO_3^-)	77
8. 총부유물질(TSS)	79

5

바이오플라 양식시스템 양식생물 사육관리

1. 사육수 준비	84
가. 수조 준비 및 물 받기	
나. 단백질원, 탄소원 공급 및 미생물 넣어주기	
다. 배양된 미생물 넣어주기	
2. 양식생물 입식	88
3. 사료 공급	89
4. 사육수 분석 및 관리	90
5. 사육수질 변화와 대처	92
6. 대표 성과	93

1

바이오플락기술 [BFT, biofloc technology)이란?

1. 바이오플락기술의 개요

- 가. 배경
- 나. 개념
- 다. 필요성

2. 바이오플락 양식현황

- 가. 국내·외 현황
- 나. 바이오플락기술 적용 양식품종

3. 바이오플락 양식시스템의 원리와 과정

- 가. 바이오플락기술의 원리
- 나. 바이오플락 양식시스템
- 다. 바이오플락 양식시스템 운영

4. 바이오플락 양식시스템

- 가. 지수식 양식 방법
- 나. 유수식 양식 방법
- 다. 가두리식 양식 방법
- 라. 순환여과식 양식 방법
- 마. 바이오플락 양식 방법



1 • 바이오플라스틱기술의 개요

가 배경

① 인구증가와 식량부족

1만년 전 지구의 인구는 약 530만 명으로 강이나 바닷가 주변에서 생활터전을 형성하였고 주로 수렵을 통해 먹는 문제를 해결하였다. 세계 인구는 1800년대 중반 산업혁명 이후부터 농업 및 제조업 생산력 확대로 급증하기 시작하였다. 1950년 이후 의학의 발달 및 보건 시설의 보급에 따라 인구 성장이 더욱 증가하여 2050년 세계 인구는 약 90억 명에 이를 것으로 전망하고 있다.

지구에서 구할 수 있는 자원은 첫째, 태양에너지, 풍력, 조력, 수력과 같은 영구 자원 둘째, 공기, 물, 토양 등 재생 가능한 자원 셋째, 화석연료, 금속광물 등 재생 불가능한 자원으로 구분할 수 있으며 인류의 입장에서 자원은 인류 생존을 위해 자연으로부터 얻는 필수적인 것들이다(김 등, 2006).

인구증가 문제는 곧 식량, 자원 그리고 환경문제와 서로 얽혀 있다. 빠른 인구증가와 경제성장에도 불구하고 오늘날 지구 인구의 8억 명은 만성적인 기아 상태를 벗어나지 못하고 있으며, 용수 부족과 환경오염 등으로 2030년에는 5억 톤 이상의 식량이 부족할 전망이다.

② 식량문제 대안

인구증가와 더불어 식량자원 중 단백질 공급은 대부분 축산업을 통해 육상에서 육류의 공급으로 이루어졌다. 그러나 축산은 낮은 생산성과 부가가치율, 가축 질병과 가축분뇨 등의 문제점을 동시에 지니고 있다(한국농촌경제연구원, 2011). 이에 최근에는 축산물의 생산 한계를 극복할 자원으로 주목받고 있는 수산물

을 통한 단백질 공급의 역할이 증대되고 있다.

그러나 최근 수산물 생산량 중 어획량은 어획 자원의 남획과 해양 환경오염, 연안 매립 및 개발 등으로 정체 또는 감소되고 있다. 세계식량농업기구(FAO) 보고에 따르면 수산양식 산업은 지난 30년 사이에 모든 식량 산업 중 가장 발전을 보인 분야로 인정받고 있다. 특히 어획 생산(capture fisheries)과 육상축산 육류생산(terrestrial farmed meat production)이 1970년 이후로 연 평균 1.2%와 2.8%씩 성장한 것에 반해 수산양식 생산(aquaculture production)은 약 8.9%의 높은 증가율을 보이고 있는 추세이다(Avnimelech, 2015).

어획 생산은 이미 대부분의 주요한 어획지점이 한계치에 도달했으며 세계식량농업기구의 보고에서는 평균 어류 소비량은 연간 2003년 16.3kg, 2025년 25kg, 2050년에는 30~40kg에 도달할 것으로 예상하고 있다. 이러한 세계적 어류 소비량 요구와 한계에 도달한 어획 생산의 정체는 결국 수산양식을 통해 극복할 수 있을 것으로 기대되고 있다(Wijkstrom, 2003).

③ 수산양식(aquaculture)

수산양식은 일정한 구역이나 시설에서 양식 생물을 번식시키고 성장시켜 자원 조성이나 상품용으로 키워내는 생산 방법으로 수산 동물, 해조류, 다른 생물을 포함하고 있다. 수산양식 방법은 유영동물, 부착 및 포복동물, 해조류 등 대상에 따라 차이점이 있다. 이 중 유영동물은 어류나 새우류와 같이 먹이나 적당한 환경을 찾아 헤엄쳐 다니며 생활하는 종으로, 자연 상태나 인공 시설에서 양식하며 양식방법에는 지수식, 유수식, 순환여과식, 가두리식 양식 등이 있다(교육과학기술학부, 2002).

야외에서 주로 양식하는 방식인 지수식과 유수식 양식은 사육수를 조달하는데 있어 많은 비용과 시간이 발생하며 수질 악화 및 자가 오염, 수산양식 생물의 질병 감염 등의 문제점이 나타나고 있다. 가두리 양식은 태풍, 적조 등 자연재해

에 취약하며, 순환여과식 양식은 물을 한번 채우면 추가 수량이 적어 물 자원이 절약되지만 시설의 유지관리 비용이 크게 발생하는 문제점이 있다.

이에 대규모의 육상노지 양식장은 질병과 환경문제가 부각되면서 도전적인 양식 방법에서 나타나는 문제점을 개선하여 환경에 손상을 입히지 않고 작은 면적에서 고밀도 사육이 가능하며 연중 안정적으로 생산을 높일 수 있는 친환경적인 새로운 양식기술 개발에 대한 요구가 높아졌다.

나 개념

① 바이오플락기술 개발

최근 바이오플락을 이용한 양식기술은 수산양식에 시험 적용되고 있으며, 일부 품종에 대해서는 양식산업화가 진행되고 있다. 수산양식 과정에서 발생하는 배설물이나 남은 사료찌꺼기는 수질을 악화시키고 양식생물의 대사과정에서 생물에게 매우 유해한 암모니아가 발생하게 된다. 바이오플락기술은 수산양식 시스템의 전반적인 이해와 관리의 개념을 바탕으로 양식장 안에 존재하는 유용한 미생물의 활성을 효율적으로 조절하여 이용하는 것이다. 바이오플락기술을 적용한 양식 방법은 1980년대 중반 이스라엘의 스티븐 서플링박사에 의해 ODAS (Organic Detrital Algae Soup)라는 명칭으로 처음 수산양식에 적용되었다. 이스라엘에서는 틸라피아를 대상으로 미국에서는 해수 새우류를 대상으로 바이오플락기술을 이용한 수산양식 시스템의 연구가 진행되고 있다.

② 바이오플락기술의 명칭

바이오플락기술의 명칭은 EFS (Environmetally friendly system), MBA (Microbial-based aquacultrue system), ASM (Activated suspension pond method) 등 다양한 용어로 불리기도 한다. 우리나라에서는 2003년 국립수산물

학원에서 처음 도입하면서 미생물총 기술, 사육수 비교환방식 등으로 불리었으며 최근에는 바이오플락기술, 무환수 양식, 첨단친환경양식기술 등으로 불리고 있다(장 등, 2012).

다 필요성

① 내수면 양식산업의 현황

최근 우리나라 수산업의 생산동향은 연안어업보다 양식어업의 생산량이 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 국내 수산물의 소비 경향은 자유무역협정(FTA) 등 시장 개방으로 수입증가, 국내 수산물의 원가 상승 등 국내외적 요인으로 어려움을 겪고 있는 실정이다.

특히 우리나라 내수면 양식산업은 시설의 노후화와 소규모 운영으로 생산성이 낮고 비용이 상승해 경영 부담이 커지고 있다. 따라서 값싼 외국산 담수 어류의 수입, 정부의 맑은 물 공급정책과 같은 수질환경 규제 강화 등으로 새로운 돌파구가 필요한 시점이다.

② 담수 바이오플락기술 물만들기 매뉴얼

내수면 양식은 메기, 향어, 동자개를 비롯하여 많은 품종을 대상으로 이루어지고 있다. 양식 생산 운영비 중 가장 큰 비중은 사료비로 50% 이상을 차지하고 있어 사료비에 대한 부담이 매우 크다. 또한 대부분의 양식어가는 지수식 노지양식 방법을 이용하고 있어 외부 바이러스 및 질병 유입에 쉽게 노출되어 있다. 최근에는 환경규제가 강화되고 있어 넓은 면적에서 많은 양의 물이 요구되는 노지양식은 제한을 받을 수 밖에 없으며 계절적으로 수온변화가 커 연중 양식은 불가능한 상태이다.

따라서 바이오플락기술을 적용하여 외부 질병 유입으로부터 안전하고 사료

비를 절감할 수 있으며 친환경적 양식기술을 통해 환경 규제로부터 자유로우면서 양식생산성을 최대로 할 수 있는 바이오플라스틱기술을 내수면 양식산업에 적용하고자 한다.

담수 바이오플라스틱 기술 물만들기 매뉴얼은 내수면양식연구센터에서 수행했던 바이오플라스틱을 이용한 양식시스템에 관한 연구 내용을 중심으로 현장에서 바로 활용할 수 있도록 사진자료와 함께 작성하여 우리나라 내수면 양식산업의 고부가가치 창출과 세계자유무역협정(FTA)에 대응할 대외경쟁력 확보, 내수면 양식생산성 향상과 양식인의 소득창출, 귀어귀촌 및 창업에 도움이 될 수 있도록 기술하였다.

2. 바이오플락 양식현황

가 국내·외 현황

바이오플락기술을 적용한 양식산업화 연구는 1990년대 중반 미국의 Waddell Mariculture Center에서 새우를 대상으로 진행되었고 인도네시아, 말레이시아, 호주에서는 대형 새우 농장에 적용되고 있다. 또한 바이오플락기술에 관한 연구는 미국 텍사스의 사모하 박사 연구진에 의해서 많이 이루어졌으며 준 상업형 규모의 그린하우스형 68m^2 와 100m^2 수조를 이용하여 흰다리새우 중간육성 등 다양한 기술을 개발하였고 최대 $8\text{kg}/\text{m}^2$ 의 새우를 생산한 바 있다(장 등, 2012). 어류는 틸라피아를 대상으로 미국의 버진아일랜드 대학교에서 연구가 진행된 바 있다.

우리나라에서는 2003년 국립수산과학원에서 바이오플락 양식시스템을 처음으로 도입하였고 바이오플락기술 혹은 무한수 양식, 첨단친환경양식기술 등으로 불리고 있다. 지난 2003년 이래 국립수산과학원 서해수산연구소에서는 새우를 이용한 바이오플락 양식산업화를 진행해왔고 2014년부터 국립수산과학원 내수면양식연구센터에서 담수 어종을 대상으로 바이오플락 양식산업화를 위한 연구를 수행하고 있다. 2017년에 바이오플락 시스템을 적용하여 향어와 메기의 단위 면적당 생산량은 $19.1\text{kg}/\text{m}^2$, $31.8\text{kg}/\text{m}^2$ 으로 일반 양식장에서의 생산량에 비해 향어는 약 10배, 메기는 약 30배 이상 높은 생산량을 기록하였다고 보고한 바 있다.

나 바이오플라기술 적용 양식품종

현재 바이오플라기술을 적용하여 양식산업화가 진행되는 대표적인 대상종은 새우와 틸라피아이다. 바이오플라 양식시스템의 적용이 가능한 양식생물은 높은 농도의 부유물에 내성이 있고 바이오플라를 섭식하여 사료비 절감효과가 나타날 수 있는 종이어야 한다.

담수어류로는 2014년부터 국립수산과학원 내수면양식연구센터에서 메기, 향어, 동자개, 뱀장어, 미꾸라지 등 다양한 내수면 양식어종을 대상으로 양식 가능성을 시험한 바 있으며 현재 향어, 메기, 미꾸라지와 같은 일부 대상종은 양식산업화를 위한 연구를 수행하고 있다.

3 • 바이오플락 양식시스템의 원리와 과정

가 바이오플락기술의 원리

① 바이오플락이란?

바이오플락(biofloc)은 식물플랑크톤, 사육생물 배설물, 사료찌꺼기, 원생동물 및 세균성미생물 등이 결합된 미세 유기물 덩어리를 의미한다(그림 1). 큰 것은 육안으로 관찰이 가능하지만 대부분은 수 μm 에서 1mm까지 다양하다. 이러한 플락은 세균에 의해 분비되는 점액이나, 분비하는 미생물에 의해 결합되어 느슨한 기질 형태로 함께 형성된다(장 등, 2014; John, 2013).

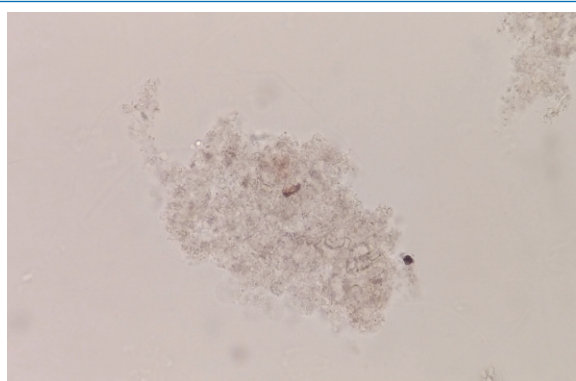


그림 1. 바이오플락 현미경 사진

② 바이오플락의 영양적 역할

바이오플락은 수중에서 암모니아성 질소들을 제거하여 수질을 향상시키는 기능뿐만 아니라 양식생물에게 다시 섭취됨으로써 비타민, 미네랄 특히 인 성분과 같은 영양공급원의 역할도 한다. 바이오플락의 단백질 함량(건조중량)은 25~50% 범위이며, 지방은 1~5%를 함유하고 있다(장 등, 2014; John, 2013).

많은 연구자들이 바이오플라크의 먹이로서의 가치를 평가한 결과 10%의 사료비 절감효과가 있다고 보고하였다(Burford et al., 2004; Azim et al., 2008; Schryver, 2008; Crab et al., 2010).

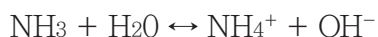
나 바이오플라크 양식시스템

바이오플라크 양식시스템은 생물에게 치명적인 독성을 갖는 사육수 내 암모니아성 질소의 제거 및 관리가 물관리의 핵심이라 할 수 있다.

① 암모니아의 정의

양식과정 중 단백질 대사 산물로 형성되는 암모니아는 정확하게는 총암모니아성 질소(TAN, total ammonia nitrogen)를 의미한다. 총암모니아성 질소는 암모늄(ammonium, NH_4^+)과 암모니아(ammonia, NH_3)로 구성된다. 이 중 양식 생물에게 치명적인 성분은 물속에서 비이온화된 상태로 존재하는 암모니아(NH_3)로서 이온화 상태로 존재하는 암모늄(NH_4^+) 보다 100배 이상의 독성을 가지고 있다.

물속에서는 암모늄과 암모니아가 동시에 존재하며 수질 환경에 따라 암모늄과 암모니아의 상대비율이 변하게 된다. pH 9.4 정도에서 암모늄:암모니아=50:50의 비율로 존재하는 것으로 알려져 있다. pH가 낮아지면 암모늄(NH_4^+)의 비율이 높아지고 pH가 높아지면 암모니아(NH_3)의 비율이 높아지면서 독성은 더 높아지게 되며 수온의 영향도 받는다.



양식장에서 일반적으로 의미하는 암모니아는 비이온화 상태로 존재하며 독성

이 있는 암모니아(NH_3)를 지칭하는 것으로 본 책자에서도 동일한 용어로 기술하였다.

② 암모니아(NH_3) 제거

양식장에서는 사료를 공급하고 입식밀도를 높이면 사료찌꺼기와 배설물에 의해 암모니아(NH_3)가 많아져 수중생물에게 치명적인 중독증상을 가져올 수 있다. 많은 양식장에서는 사료공급 중지, 수질정화제 투여, 사육수 교환, 유용미생물 첨가 등 다양한 방법으로 암모니아 농도를 줄이기 위한 노력을 하고 있다.

수산양식에서 암모니아의 제거는 크게 아래의 3가지 경로이며, 각각은 독립적인 상태가 아닌 복합적인 상태로 진행된다. 이를 바이오플락 양식시스템은 타가영양세균에 의한 질소화합물의 제거율을 높이며 무환수 조건으로 양식하는 방식이다.

첫째, 식물플랑크톤에 의한 광합성 자가영양과정

둘째, 질화세균에 의한 화학적 자가영양과정 : 질산화 과정

셋째, 타가영양세균에 의한 타가영양과정 : 바이오플락 양식시스템

① 식물플랑크톤에 의한 제거

양식장에서 발생하는 사료찌꺼기 및 배설물 등은 단백질에서 암모니아(NH_3)로 전환되고 전환된 무기 영양염은 식물플랑크톤에 의해 빠르게 소비되며 식물플랑크톤의 암모니아 분해는 빛의 강도에 따라 좌우된다. 화창하고 맑은 날씨에서는 식물플랑크톤의 작용이 활발하여 암모니아 분해율이 높지만 흐리고 빛이 약해지면 암모니아 분해율이 떨어지게 된다. 대신 식물플랑크톤의 호흡작용에 의해 수중의 산소가 고갈되고 pH의 변화폭이 커지므로 암모니아 제거를 식물플랑크톤에 의존하는 것은 매우 위험할 수 있다.

② 자가영양세균에 의한 질산화 과정

암모니아(NH₃)가 질산화 미생물(Nitrification bacteria)에 의해 준독성의 아질산염(NO₂⁻)을 거쳐 저독성의 질산염(NO₃⁻)으로 변화되는 과정을 질산화 과정이라 한다. 질산염은 암모니아보다 그 독성이 작지만 환수를 거의 하지 않는 바이오플라 양식시스템에서는 질산화 과정이 매우 중요하며 이 과정이 제대로 이루어져야 수질안정화가 가능하다. 질산화 과정에 관여하는 주요 미생물로는 암모니아를 아질산염으로 전환시키는 아질산세균(nitrosomonas)과 아질산염을 질산염으로 전환시키는 질산세균(nitrobacter)이 있다. 전환된 질산염은 혐기성 조건에서 탈질되어 질소가스로 대기 중에 방출 된다(표 1).

표 1. 자가영양세균에 의한 질산화과정

반응식	미생물
$\text{NH}_4^+ + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	아질산세균
$\text{NO}_2^- + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$	질산세균
$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	전체 화학반응식

③ 타가영양세균에 의한 바이오플라 양식시스템 과정

바이오플라 양식시스템에서 암모니아 제거 과정은 타가영양세균(heterotrophic bacteria)에 의해서 진행되는 경로이다. 타가영양세균이란 세균의 증식을 위해서 유기물의 유기 탄소(organic carbon)를 이용하는 세균이다. 이때 유기탄소와 함께 세균의 증식에 소비되는 것이 암모니아로서 일정 비율의 유기탄소와 암모니아(C/N 비)를 이용하여 세균단백질로 합성시킴으로써 증식이 가능하게 된다.

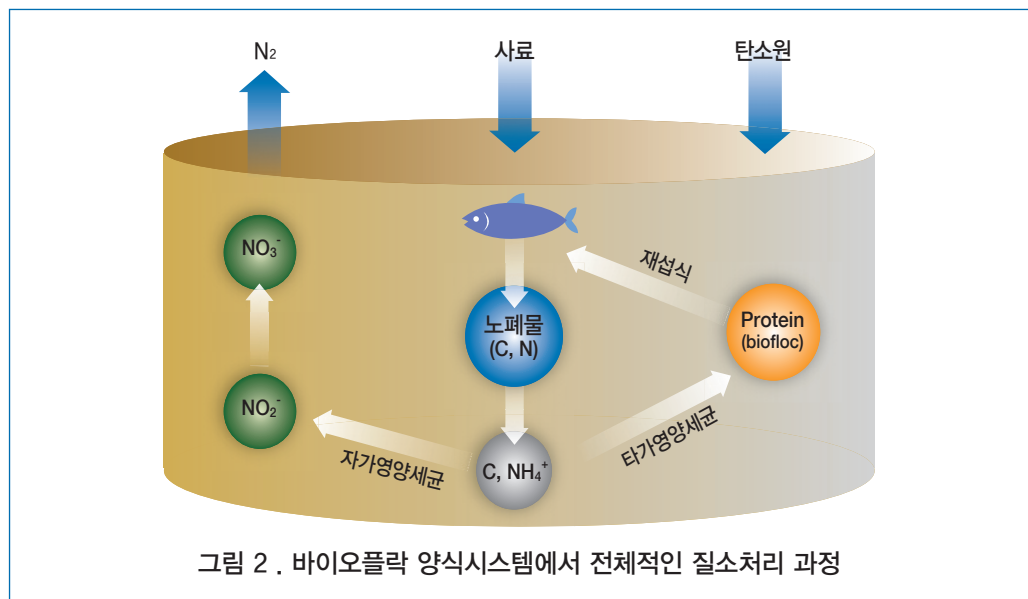
타가영양세균의 증식속도는 자가영양세균이 약 30시간마다 2배 증식하는데 비해 15분마다 2배로 증식하여 훨씬 빠르며 이는 암모니아의 제거율도 훨씬 빠르다는 것을 의미한다. 즉, 양식장에서 생산되는 암모니아는 타가영양세균이 이용할 수 있도록 일정 비율의 유기탄소만 지속적으로 공급하게 된다면 이론상으로는

암모니아는 무한정 제거될 수 있다는 것이다. 이때 타가영양세균의 증식에 제한요인으로 작용하는 유기탄소를 보충하기 위해서 당밀과 같은 탄소원을 공급해주면 된다. 따라서 바이오플락 양식시스템은 타가영양세균이 사료찌꺼기, 플랑크톤, 다른 미생물 등과 결합하면서 계속 바이오플락을 형성하고 생성된 바이오플락은 다시 양식생물에게 섭식되어 추가적인 먹이원으로 공급되면서 사료량을 줄일 수 있는 방식이다.

바이오플락 양식시스템에서 전체적인 질소처리 과정은 다음과 같다(표 2, 그림 2).

표 2. 바이오플락 양식시스템에서 전체적인 질소처리 과정

질소처리 방법	질소처리 기작
광합성 자가영양동화 (photo autotrophic assimilation)	$N(NH_4^+, NO_3^-) \rightarrow \text{Protein}$
자가영양 동화 (autotrophic-nitrification)	$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$
타가영양 동화 (heterotrophic assimilation)	$N(NH_4^+) \rightarrow \text{Protein}$



다 바이오플락 양식시스템 운영

① 탄소/질소 비율(C/N 비)과 유기탄소

C/N 비란 사육수내에 탄소(C)와 질소(N)의 함량 비율을 의미한다. 타가영양 세균이 증식하기 위해서는 일정 비율의 유기탄소와 암모니아가 필요하다. 일반적으로 단백질함량(CP) 35%인 배합사료의 C/N 비는 약 10:1 정도가 되는데 타가 영양세균이 활발하게 증식하기 위해서는 C/N 비가 15:1 정도가 되어야 이상적이다. 그러므로 부족한 유기탄소는 추가적으로 공급해 주어야 한다. 탄소원으로는 밀가루, 미강, 그레이펠렛, 카사바와 같은 다당류보다는 설탕, 당밀과 같은 이당류의 효과가 빠르며 이 중 당밀은 가격이나 편의성 측면에서 가장 보편적으로 이용하는 탄소원이다. 탄소원의 공급량은 종류에 따라 차이가 있으나 일반적으로 단백질함량 35% 배합사료는 사료공급량의 50~100%를 공급하며 공급 기간은 암모니아 농도가 일정하게 유지될 때까지 지속한다.

② 자가영양과 타가영양의 전환 과정

바이오플락 양식시스템에서 완전한 자가영양이나 타가영양을 형성하는 경우는 거의 없으며 복합적인 상태라고 볼 수 있다. 즉 암모니아(NH_3)를 제거하는데 타가영양세균 뿐 아니라 자가영양세균도 증식을 하며 질산화 과정이 수행된다.

바이오플락기술을 적용하여 양식을 하려면 타가영양세균에 의존하여 수질 관리가 이루어지기 때문에 추가적인 탄소원의 공급이 초기에 필요하다. 그러므로 시작 단계에서는 수질을 측정하여 암모니아가 지나치게 올라가지 않는 범위 내에서 당밀이나 설탕 같은 이당류 탄소원을 보충해준다. 이 후 암모니아나 아질산염(NO_2^-)의 측정 수치가 더 이상 올라가지 않으면 탄소원 공급량을 조금씩 줄여나간다. 이 후에도 수질 변화 없이 안정적인 수질이 유지된다면 그때는 수조 내에 자가영양세균이 증식하여 더 이상 탄소원을 공급하지 않아도 되는 상태가

된 것이므로 탄소원을 공급 하지 않아도 된다.

이 상태를 바이오플락 양식시스템에서는 타가영양과 자가영양이 균형을 이루고 있는 상태라고 할 수 있으며 타가영양세균은 사료에 포함되어 있는 탄수화물을 이용하여 암모니아를 제거하고 나머지 암모니아는 자가영양세균이 제거하게 된다. 균형 상태는 양식을 진행하면서 변화가 나타나게 되는데 C/N 비가 조금씩 떨어지면 타가영양보다는 자가영양이 우세한 상태로 변화되는 것으로 탄소원을 다시 공급해야 한다. 또한 자가영양세균의 우세한 상태로의 변화는 알칼리도(alkalinity)의 급격한 변화로도 확인할 수 있는데, 이는 질산화 과정에서 소모하는 알칼리도가 식물플랑크톤이나 타가영양세균에 비해 월등히 많기 때문이다.

③ 수소이온농도(pH)와 알칼리도

알칼리도는 직접적으로 pH를 올리거나 내리는데 관여하지 않지만 급격한 pH 변화를 완충해주는 역할을 한다. 양식 시스템에서는 지속적으로 산(acid)이 형성되어 수질이 산성화 되므로 적절한 농도의 알칼리도를 유지하는 것이 중요하다.

질산화 과정은 많은 양의 알칼리도를 소모하게 되므로 알칼리도가 감소하면 pH도 급격하게 떨어질 수 있다. 낮은 pH 상태는 자가영양세균 뿐 아니라 타가영양세균의 증식 및 기능이 떨어지므로 암모니아 수치가 다시 높아질 수 있다. 그러므로 바이오플락 양식시스템에서는 주기적으로 알칼리도를 측정하여 80~120ppm 정도로 항상 유지해 주고 pH는 7~8정도로 유지되도록 관리해야 한다.

④ 부유물 관리

바이오플락 양식시스템에서는 물을 버리지 않고 양식하기 때문에 사료 찌꺼기, 양식생물의 배설물, 바이오플락 등 많은 부유물이 발생하게 된다. 적당한 양의 부유물은 문제가 없지만 농도가 높아지면 양식 생물이 사료를 잘 먹지 않고 아가미 호흡에 문제가 생길 수 있다.

사육수에 떠다니는 부유물은 주기적으로 총부유물질(TSS, total suspended solids)을 측정하여 과도하지 않도록 주의해야 한다. 총부유물질량의 측정은 별도의 장비나 많은 시간이 소요되기 때문에 양식 현장에서는 측정하기 어렵다. 이에 임호프콘을 이용하여 간단한 방식으로 측정할 수 있다.

임호프콘은 깔때기 모양으로 생긴 원형관으로 일정량의 사육수를 부어 한 시간 후에 바닥에 쌓인 유기물의 양을 보고 부유물질을 측정하는 방식으로 정밀하지 않지만 양식생물에 영향을 줄 수 있는 부유물의 양을 간편하게 측정할 수 있다. 임호프콘으로 측정한 유기물량은 20ml/L 이상을 넘지않도록 관리하여야 한다.

4 • 바이오플락 양식시스템

현재까지 알려진 담수 어류의 양식 방법에는 지수식, 유수식, 가두리식, 순환 여과식 등이 있으며 최근 바이오플락기술을 이용한 친환경·첨단 양식방법이 부각되고 있다.

가 지수식 양식 방법

자연 상태이거나 인공적으로 만든 못에서 양식생물을 사육관리하는 방법으로 못의 물이 줄어들면 그만큼만 새로 물을 보충해 주는 방식이다. 축제식 양식장은 규모가 큰 지수식 양식의 한 형태이며, 야외에서 대규모로 하기 때문에 질병에 쉽게 노출되어 있고 사육 관리에 시간과 노력이 많이 드는 단점이 있다.

나 유수식 양식 방법

사육지로 물이 연속적으로 흘러들고 나가도록 유지하며 양식생물을 사육관리하는 방법이다. 유입되는 물의 양에 비례하여 사육 생물의 수용 밀도를 높여서 키울 수 있는 장점이 있으나 지속적으로 수량이 줄어들지 않도록 많은 양의 물을 공급해줘야 하는 단점이 있다.

다 가두리식 양식 방법

유속이 느린 내만이나 내륙의 인공호 및 자연호소에 가두리 그물을 치고 그 안에서 양식생물을 사육관리하는 방법이다. 그물코를 통하여 가두리 안팎의

물이 자유롭게 소통되어 가두리 속에 많은 어류를 사육할 수 있어 경제적이다. 그러나 자연재해에 매우 취약하고 최근 가두리 양식에 의한 수질 오염이 환경 문제로 크게 대두되고 있으며 내수면에서는 정부의 맑은물 공급 정책으로 인해 가두리 양식은 현재 불가능하게 되었다.

라 순환여과식 양식 방법

사육조와 사육수 처리 장치를 따로 운영하며 양식생물을 사육관리하는 방법이다. 사육수 처리 장치에는 물 순환용 펌프, 침전조, 여과장치, 산소 보충 장치 등이 추가로 필요하기 때문에 초기 시설비가 많이 드는 단점이 있다. 그러나 물을 한번 채우면 그 후 추가적인 유입이 매우 적은 편이므로 물사용을 절약할 수 있다. 배출수 처리가 간편하고 가온 시설을 통해 수온을 가온하면 열대성, 온수성 양식생물을 어느 지역에서나 키울 수 있으며 외부의 유입수 사용에 따른 외부 질병에 대한 노출 가능성을 줄일 수 있다.

마 바이오플라 양식 방법

① 바이오플라 양식시스템의 장점

바이오플라 양식시스템은 다른 양식방법보다 많은 장점을 가지고 있다. 첫째, 물을 거의 환수하지 않고 가둬둔 상태에서 양식생물을 사육하기 때문에 가온비가 적게 든다. 둘째, 타가영양세균에 의해 형성된 바이오플라를 양식생물이 다시 섭식하여 영양분으로 이용되기 때문에 사료비를 절감할 수 있다. 셋째, 많은 물을 사용하지 않기 때문에 물을 끌어오기 위한 전력이나 시설비를 절약할 수 있다. 넷째, 외부로부터 유입되는 병원균이나 바이러스에 대한 노출이 매우 적기 때문에 항생제 및 약제 비용을 절감할 수 있고 안전한 수산물을 생산할 수 있다. 다

첫째, 사육수의 유지 및 관리만 잘되면 암모니아 독성으로부터 안전하기 때문에 기존의 양식법보다 고밀도 사육이 가능하다. 또한, 양식장의 배출수를 최소화하기 때문에 양식장 주변의 환경오염 문제도 줄일 수 있는 장점이 있다.

② 바이오플락 양식시스템의 단점

바이오플락 양식시스템은 기본적으로 바이오플락기술의 이론적 내용, 미생물의 유지 및 관리, 안정적 수질 관리 등에 대한 전반적인 지식과 경험이 요구된다. 그러므로 기존 양식 방법보다 전문적인 학습과 교육 그리고 관리 기술의 숙달 과정이 필요하다. 또한, 바이오플락 양식시스템은 부유물을 제거해 줄 수 있는 장치와 유기물이 바닥에 쌓이지 않도록 사육수를 계속해서 회전시켜주는 시스템의 개발이 필요하다.



2

바이오플락 양식시스템

1. 양식 시스템

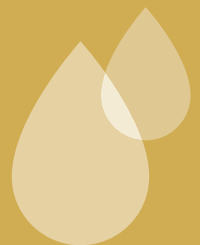
- 가. 위치 선정
- 나. 취배수
- 다. 사육 수조

2. 사육수 순환

- 가. 에어링 방식

3. 기타 장비

- 가. 산소발생기
- 나. 히트펌프



바이오플라 양식시스템을 운영하기 위해서는 사육수질이 안전하게 유지 관리되고 미생물들이 증식할 수 있는 적정 수온으로 유지하기 위한 시설 및 장비가 요구된다. 이에 대한 설명은 국립수산물과학원 중앙내수면연구소 내수면양식연구센터의 시설 및 장비를 토대로 설명하고자 한다.

1 ◦ 양식 시스템

가 위치 선정

담수 바이오플라 양식시스템은 실내에서 활용이 가능하며 사육을 위한 기본적인 시설 및 장비가 요구된다. 실내 양식시설이기 때문에 위치 선정에 대한 제한은 거의 없으며 기존의 실내양식장 시설을 그대로 활용할 수 있다. 이러한 경우에는 새롭게 시설 및 장비를 갖추는데 소요되는 노력과 비용을 줄일 수 있다. 특히 바이오플라 양식시스템은 많은 양의 물이 필요하지 않고 사육수 교환량도 매우 적기 때문에 수량이 충분히 확보 되지 않더라도 시설이 가능하다. 다만 현재까지 야외에서의 바이오플라 양식시스템의 양식산업화는 시험연구 중에 있다.

나 취·배수

바이오플라 양식시스템에서 담수 생물을 사육하기 위해서는 안정된 물 만들기 과정이 매우 중요하다. 사육수의 취수는 지하수를 사용하는 것이 하천수보다



그림 3. 지하수 취수를 위한 심정펌프(좌)와 지하수 저장탱크(우).

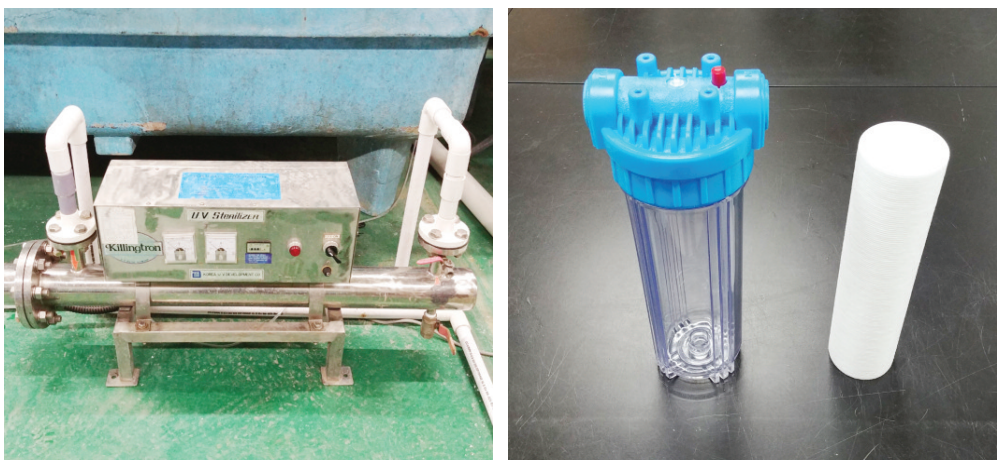


그림 4. 자외선살균장치(좌)와 하우징필터(우).

안전하며 지하수를 이용할 경우에도 자외선 살균장치 및 하우징 필터를 이용하여 최대한 여과된 물을 사용할 수 있도록 철저한 관리가 필요하다(그림 3, 4).

바이오플라크 시스템은 양식생물을 사육하며 배수되는 사육수의 양은 매우 적지

만 바이오플락이 과잉 생성되거나 바닥에 슬러지가 쌓일때에는 제거해 주어야 하므로 배수구가 필요하다. 중앙배수식이 가장 효율적이며 배출수는 실내·외에 수조를 따로 만들어 활용할 수 있다. 실내의 경우에는 배출수를 다른 수조로 옮겨 생물을 사육하는 데 활용할 수 있고 실외의 경우에는 수질정화 기능이 뛰어나고 경관에도 좋은 연, 수련, 물양귀비 등의 수생식물을 심어 활용할 수 있다 (그림 5).



그림 5. 실내 수조 중앙배수구(좌)와 실외 침전조(우).

다 사육 수조

바이오플락 양식시스템의 핵심은 수조 내에서 사육수가 전체적으로 원활하게 회전하여 바닥에 슬러지가 쌓이지 않도록 유지하는 것이다. 바닥에 슬러지가 쌓이면 산소 농도가 낮은 혐기성 상태가 되므로 미생물의 기능이 떨어져 암모니아 (NH_3)의 농도가 올라갈 수 있다. 이에 슬러지가 쌓이지 않게 유기물을 지속적으로 상층으로 부유시켜 주어야 한다.

실내형 바이오플라크 새우양식 시스템에서는 레이스웨이형 수조를 주로 활용하고 있으며 내수면양식연구센터에서는 원형 수조를 이용한 바이오플라크 양식시스템으로 담수 어류를 사육하고 있다. 사각 수조를 이용할 경우에는 가장자리 부분에서 물이 원활하게 회전할 수 있도록 벤츄리나 에어스톤을 활용하여 산소를 공급하여 산소 공급이나 사육수 교환의 사각지대가 생기지 않도록 한다(그림 6).

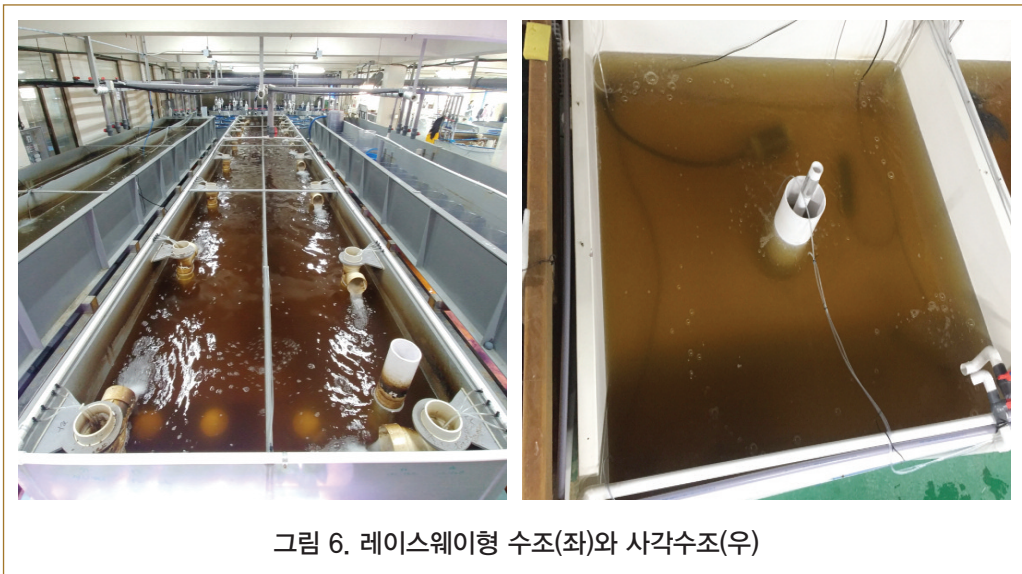


그림 6. 레이스웨이형 수조(좌)와 사각수조(우)

2 • 사육수 순환

바이오플락 양식시스템은 바닥에 슬러지가 쌓이지 않고 용존 산소량이 높게 유지되어야 하며 사육수가 지속적으로 회전할 수 있는 순환 장치가 필요하다.

가 에어링 방식

국립수산과학원 중앙내수면연구소 내수면양식연구센터에서는 에어링 방식이라는 새로운 바이오플락 양식시스템을 개발하여 특허 출원하였다(출원번호 제 10-2017-0050246호). 에어링 방식은 수조 내 사육수 배출구 파이프 하단부에 에어링을 만들어 설치하여 주는 것이다. 동시에 수조 가장자리에는 설치가 간편하고 운영하기 쉬운 수중 펌프를 설치하여 사육수를 시계 방향으로 회전시켜 주게 된다. 사육수 내 유기물은 원심력에 의해 수조 바닥 가운데로 모이게 되며 에어

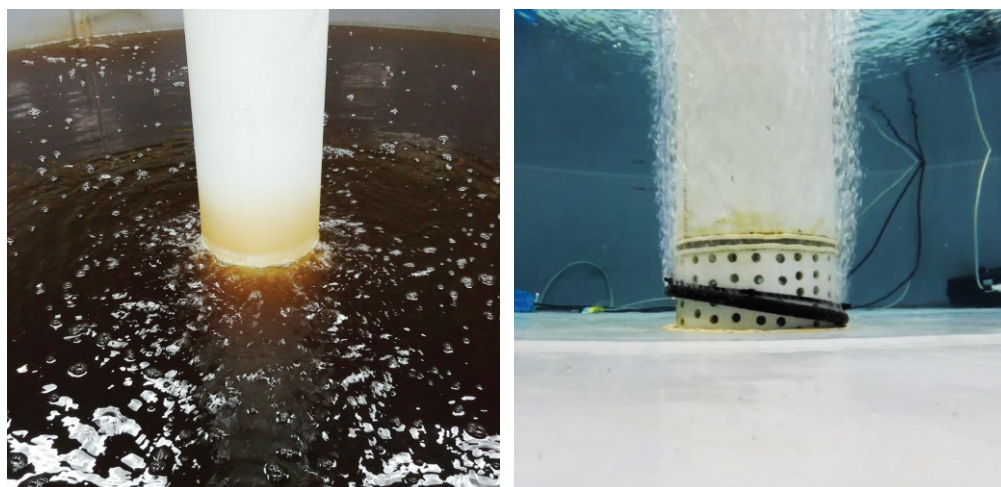
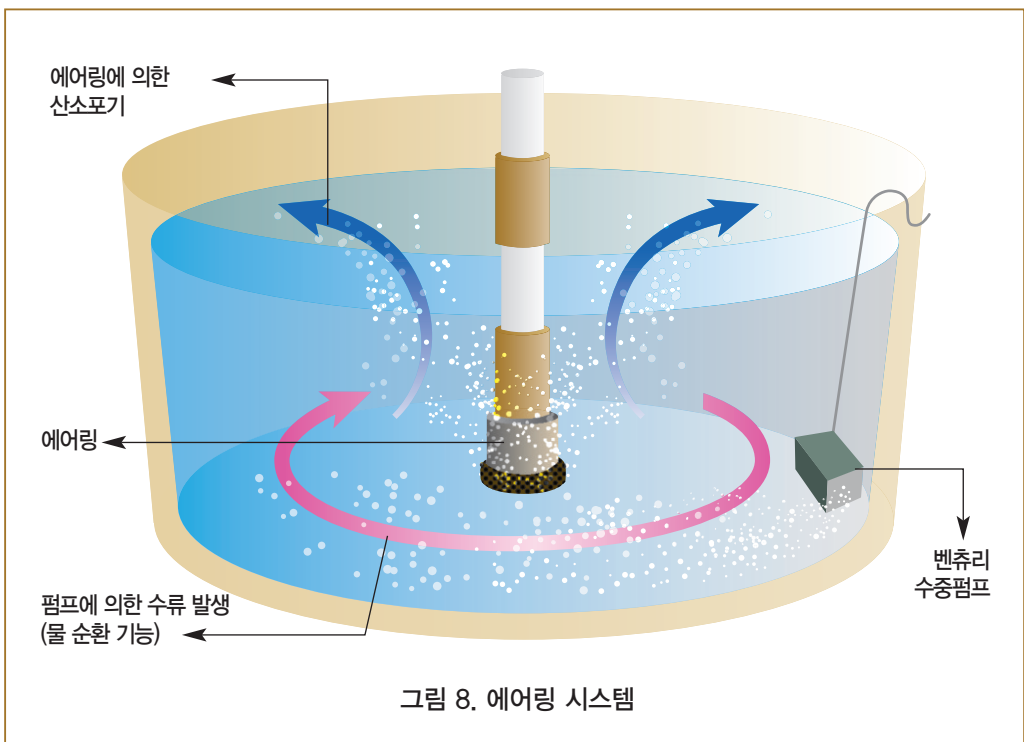


그림 7. 에어링 방식

링의 공기 포기에 의해서 바닥에서 다시 상부로 부유하여 슬러지가 쌓이지 않도록 하는 것이다. 이는 사육수와 유기물이 전반적으로 원활하게 순환되도록 유지하는 방식으로 별도의 에어리프트 관이나 침전조와 같은 시설 추가가 없어 간편하다(그림 7, 8).

에어링 방식은 내수면양식연구센터 내 원형 7톤 수조를 기준으로 수조 배수 파이프 둘레에 에어링 1개와 수조 가장자리에 벤츄리 수중 펌프 1개(90W)의 설치만으로도 사육수의 회전과 에어링에 의한 유기물 순환이 가능하여 바이오플라크 양식시스템의 운영이 가능하다.

이러한 에어링 방식은 기존 실내 수조 시설에서도 배수구 파이프에 에어링을 설치하고 수조 가장자리에 벤츄리 수중 펌프만 설치하면 별도의 시설비 추가 없이 바이오플라크기술을 적용한 양식이 가능하다는 장점이 있다.



3 • 기타 장비

바이오플라 양식시스템에서 중요한 요인은 사육수의 지속적인 회전과 순환을 통해 수질과 바이오플라의 밀도가 안정되게 유지되는 것이다. 이를 위해서는 충분한 산소 공급과 다량의 미생물 증식을 위해 수온이 25℃이상 유지되어야 한다.

가 산소발생기

바이오플라 양식시스템은 다량의 미생물이 양식생물과 사육관리되기 때문에 산소 요구량이 매우 높다. 또한 사료 공급 이후 바이오플라가 과잉 생성되면 산소 요구량은 더욱 높아 진다.

안정적인 용존산소 농도를 유지하기 위해서는 산소발생기의 상태는 매일 확인하고 관리해야 한다. 산소발생기에 문제가 생길 경우 순식간에 대량 폐사가 발생할 수 있으므로 예비용으로 사용할 액화산소를 준비하여야 한다. 액화산소 역시 용존산소량이 부족할 경우 언제라도 사용할 수 있도록 주기적인 점검이 필요하다 (그림 9).



그림 9. 산소발생기(좌)와 액화산소(우)

나

히트펌프



그림 10. 히트펌프

히트펌프는 저온(지하수, 공기, 지열)의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온의 열원에 열을 주는 장치로 보일러나 전기를 이용하여 수온을 가온시켜주는 것에 비해 경제적이다 (그림 10). 바이오플라크 양식시스템에서는 양식생물의 빠른 성장과 미생물의 증식을 위해 23℃이상의 수온을 유지하기 위한 장치로 적당하지만 시설투자비용이 비싸다는 단점이 있다. 이에 정부나 지자체의 지원 사업 등을 활용하여 구비하는 것도 좋은 방법이다.

3

바이오플락기술 물 만들기

1. 탄소와 질소의 비율(C/N 비)

- 가. 유기탄소(C)
- 나. 질소(N)
- 다. 적정 C/N 비
- 라. 바이오플락 양식시스템에서 당밀 첨가량 계산식
- 마. C/N 비 계산법(장 등, 2014)
- 바. C/N 비 15를 맞추기 위한 탄수화물량 계산법(장 등, 2014)
- 사. 주의사항

2. 탄소원(C)과 질소원(N)

- 가. 당밀
- 나. 포도당
- 다. 배합사료

3. 바이오플락기술을 이용한 물 만들기

- 가. 물 만들기 과정
- 나. 물 만들기 방법

4. 수질 관리

- 가. 수질환경 관리
- 나. 수질관리 요약

1 • 탄소와 질소의 비율(C/N 비)

바이오플락 양식시스템에서 탄소/질소의 비율(C/N 비)은 사육수 안에 함유하는 유기탄소(C)와 질소(N)의 비율을 의미한다. 바이오플락 양식시스템에 이용되는 탄소원은 주로 당밀이 이용되며 C/N 비와 사료의 조단백질(CP) 함량에 따라 당밀의 양이 결정된다. 이는 바이오플락 양식시스템에서 타가영양세균이 유기탄소와 질소를 이용하여 세균단백질을 합성하고 증식을 계속하기 때문이다. 즉, 양식장에서 생산되는 암모니아(NH_3)는 유기탄소가 지속적으로 공급된다면 타가영양세균에 의해서 무한정 제거될 수 있다. 일반적인 사료의 C/N 비는 10 정도가 되며 타가영양세균이 활발하게 증식하기 위해서는 15 정도가 되어야 이상적이다. 일반 배합 사료에서 유기탄소의 함량은 약 50% 정도로 알려져 있다.

가 유기탄소(C)

유기탄소란 유기물에 포함되어 있는 모든 탄소 종류를 말한다. 유기탄소는 우리가 주로 이용하는 식물성 재료(곡류, 대두박, 밀가루, 미강 등)에 포함되어 있으며, 다른 탄소원(설탕, 알콜 등)에 비해 비교적 가격이 저렴한 당밀을 주로 사용한다. 그러나 당밀과 같은 액체의 경우 수분함량을 고려해야 하며 당밀의 수분함량은 약 20~30%로 알려져 있다.

나 질소(N)

질소는 단백질의 주요 성분으로 양식장의 생물들이 섭취하지 못한 사료찌꺼기 및 배설물로 인해 암모니아(NH_3), 아질산염(NO_2^-), 질산염(NO_3^-) 과 같은 형태

로 형성된다. 암모니아 및 질산염은 타가영양세균들에 의해 유기탄소와 함께 에너지원으로 이용되어 세균단백질로 합성되며 제거된다. 질소량은 단백질 양의 약 15.5% 정도로 알려져 있다.

다 적정 C/N 비

바이오플락 양식시스템에서 타가영양세균의 증식과 안정된 수질 상태를 유지하기 위해서는 탄소/질소의 비율(C/N 비)이 15 정도 일때가 이상적이다 (표 3). 이론적으로 유기탄소의 양이 많을수록 타가영양세균의 증식이 활발해져 암모니아 및 아질산염은 무한적으로 제거될 수 있다. 그러나 배합사료에 포함된 C/N 비는 15에 미치지 못하기 때문에 추가적으로 유기탄소를 공급해 주어야 한다.

표 3. 사료의 CP 함량에 따른 탄소(C)와 질소(N)의 비율

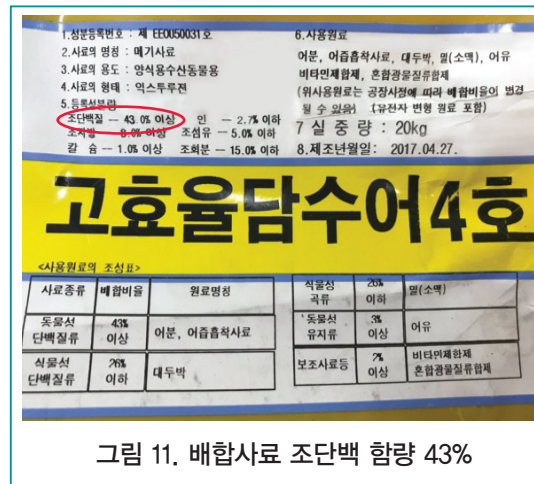
사료의 조단백질 함량	사료 1kg 당 질소의 무게(g)	C/N 비
15%	23.3	21.5
20%	31.0	16.1
25%	38.7	12.9
30%	46.5	10.8
35%	54.0	9.2
40%	62.0	8.1
45%	69.0	7.2

라 바이오플락 양식시스템에서 당밀 첨가량 계산식

- ❶ C/N 비는 15 정도가 적정하므로 바이오플락 양식시스템에서는 추가적인 당밀의 첨가가 요구된다.
- ❷ 사료에서 유기탄소양 = 사료무게/2
- ❸ 사료에서 질소양 = 사료무게 × 조단백질 함량(%) × 15.5%(조단백질에서 질소함량)
- ❹ 당밀에서 유기탄소양 = 당밀무게 × 0.7(수분함량을 제외한 유기탄소양)

마 C/N 비 계산법(장 등, 2014)

- ❶ 조단백질 함량이 40%인 배합사료 1kg에서 C/N 비를 구하면?
- ❷ 유기탄소양은 일반적으로 사료의 50%이므로 사료 1kg에는 유기탄소 500g이 포함되어 있다.
- ❸ 질소양은 사료에서 조단백질 함량의 15.5%이므로 조단백질 함량의 40%인 사료 1kg에는 62g의 질소가 포함되어 있다.
 - 사료에서 질소양 = 1kg(사료양) × 0.4(조단백질 함량) × 0.155(조단백질에서 질소 함량) = 62g
- ❹ C/N 비 = 500g / 62g = 8.06
- ❺ 조단백질 함량이 40%인 배합사료 1kg에서 C/N 비는 8.06이 되며 15정도의 C/N 비가 되려면 추가적인 유기탄소 공급이 필요하다(그림 11).



바 C/N 비 15를 맞추기 위한 탄수화물량 계산법(장 등, 2014)

- ① C/N 비 15를 맞추기 위한 조단백질 함량 35%인 사료 1kg에 추가해야하는 유기탄소량을 구하면?
- ② 조단백질 함량이 35%인 사료 1kg에서 질소량은 54g이 포함되어 있다.
 - 사료에서 질소량 = 1kg(사료량) × 0.35(조단백질 함량) × 0.155(조단백질에서 질소 함량) = 54g
- ③ 유기탄소량은 사료의 일반적으로 50%가 포함되어 있다.
 - C/N 비 = 15 = (사료량 1kg + 유기탄소량(x)) × 0.5(사료에서 유기탄소량 50%) / 0.054(사료에서 질소량)
- ④ 조단백질 함량이 35%인 배합사료 1kg에서 C/N 비 15를 맞추기 위해서는 추가적인 620g의 유기탄소 공급이 필요하다.
 - 유기탄소량(x) = (15(C/N 비) × 0.054(사료에서 질소량)) / 0.5(사료에서 유기탄소량 50%) – 1(사료량 1kg) = 0.62

- 5 당밀을 공급하는 경우 당밀에 포함된 수분 함량이 30%이므로 유기탄소양에 0.3으로 나누어주어야 한다.
 - 당밀양 = $620\text{g} / 0.3(\text{당밀에서 수분 함량}) = 2,066\text{g}$
- 6 C/N 비 15를 맞추기 위한 유기탄소양과 당밀양은 구하는 식은 아래와 같다.
 - 유기탄소양(kg) = $(15 \times \text{사료에서 질소양}) / 0.5 - 1$
 - 당밀양 = $\text{유기탄소양(g)} / 0.3(\text{당밀에서 수분 함량})$

사 주의사항

15 정도의 C/N 비는 타가영양세균의 증식에 영향을 주게 된다. C/N 비가 12 보다 작으면 조류가 우점하여 사육수가 녹색을 띠게 될 수 있고 C/N 비가 15 정도로 유지하면 타가영양세균이 우점하면서 사육수가 갈색을 띠게 된다.

C/N 비가 12 보다 크고 C/N 비가 증가함에 따라 바이오플락의 용량도 증가하게 되기 때문에 15의 적정 C/N 비를 유지한다면 암모니아 및 아질산염의 농도가 낮아지며 많은 바이오플락이 조성되어 안정적인 양식생물의 사육관리가 가능하다.

2 • 탄소원(C)과 질소원(N)

바이오플락 양식시스템에서 타가영양세균을 충분히 증식시키기 위해서는 타가영양세균이 이용하기 쉬운 단백질과 탄수화물이 요구된다. 주 탄소원은 당밀, 포도당, 사료 등이 있다.

외국에서는 탄소원으로 저가의 곡류로 제조한 그레인펠릿을 판매하는데 사료와 같은 펠릿 형태로서 배합사료와 함께 공급하고 있다. 그레인펠릿은 국내 가축용 사료로 판매되고 있으나 영양성분이 첨가된 사료용보다는 순수곡류만으로 제조한 펠릿이 경제적이다.

당밀, 설탕, 알콜 등은 분자량이 작은 저당류이기 때문에 타가영양세균에 의한 분해 작용이 활발히 일어나 효과가 빠르다. 반면 그레인펠릿과 카사바분말 등은 분자량이 큰 다당류로서 분해속도는 느리지만 지속적인 효과를 볼 수 있는 장점이 있어서 대규모 양식장과 같이 효과를 충분히 예측하면서 대량으로 공급해야 할 경우 당밀보다 경제적일 수 있다.

가 당밀

당밀은 사탕수수 혹은 사탕무를 가공할 때 부수적으로 나오는 찌든한 시럽으로 설탕 제조 과정의 부산물이다. 즉 당밀에는 당 성분 뿐만 아니라 각종 무기물들이 응축되어 있으며 이를 이용하여 각종 미생물 발효에 사용된다(그림 12, 표 4).



그림 12. 탄소원 당밀

표 4. 일반적인 당밀 내 무기물 함량

성분	함량
칼륨 (K)	1.96 (%)
나트륨 (Na)	0.12 (%)
칼슘 (Ca)	0.52 (%)
마그네슘 (Mg)	0.20 (%)
알루미늄 (Al)	0.058 (%)
철 (Fe)	0.02 (%)
질산이온 (NO_3^-)	0.071 (%)
암모니아 (NH_3)	0.034 (%)
인산 (P)	0.078 (%)
규산 (SiO_2)	0.43 (%)
염소 (Cl)	0.48 (%)
삼산화황 (SO_3)	0.65 (%)
망간 (Mn)	57 (ppm)
아연 (Zn)	22 (ppm)
구리 (Cu)	35 (ppm)

나 포도당

생물체 내에서 중요한 역할을 하는 단당류로써 전분(옥수수)을 산 또는 효소로 분해한 포도당 제품을 이용하며 순도가 가장 높은 결정상 포도당을 사용한다 (그림 13).

다 배합사료

배합사료는 양식생물의 건강을 유지하고 그 양식생물이 가지고 있는 생산 능력을 발휘시키기 위한 목적으로 먹이원으로 공급된다. 바이오플락 물만들기를 진행할때는 양식생물이 먹이로 이용하고 남은 사료가 타가영양세균의 추가적인 탄소원으로 이용되므로 조단백 함량을 확인하여야 한다.



그림 13. 포도당(좌)과 배합사료(우)

3 • 바이오플락기술을 이용한 물 만들기

바이오플락 양식시스템을 이용하기 위해서는 양식 생물을 입식하기 전 바이오플락기술을 이용하여 물을 미리 만들어 놓아야 한다. 이는 양식생물을 사육하기 위해서는 타가영양세균이 충분히 증식한 안정된 수질 조건이 선행되어야 하기 때문이다.

바이오플락기술을 이용한 물 만들기를 통해 조성된 바이오플락은 식물플랑크톤, 세균 등이 결합된 미세집합체이며 각각의 플락은 암모니아를 제거하여 수질을 향상시키는 기능이 핵심이지만 양식생물에게 섭취됨으로써 추가적인 영양을 공급하는 역할을 담당하므로 사육수를 미리 만드는 것이 가장 중요하다(그림 16).

가 물 만들기 과정

- ① 여과된 물을 바이오플락 물 만들기 수조에 채우기
- ② 단백질원(사료)과 탄소원(당밀, 포도당 등)을 첨가하여 사육수 조성
- ③ 탄소(C)와 질소(N)의 비율인 C/N 비는 15로 조성
- ④ 지속적으로 수질을 측정하고 수질이 안정된 후 양식대상종 입식

나 물 만들기 방법

바이오플락 양식시스템에서는 타가영양세균이 발생하고 증식해야 하는데 3가지 방법이 알려져 있다.



1. 여과된 물을 수조에 채우기



2. 미생물, 영양제, 당밀, 사료 준비



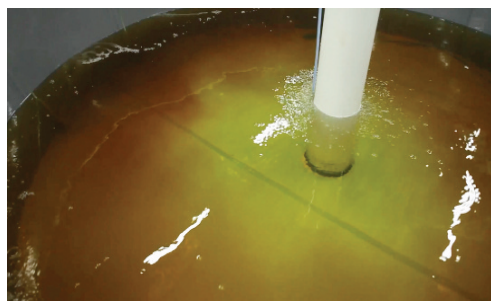
3. 미생물, 영양제 첨가



4. 당밀 첨가



5. 물에 녹인 당밀 수조 첨가



6. 사료 첨가



7. 물만들기 과정 진행



8. 3~4주 후 물만들기 완성

그림 16. 바이오플락기술을 이용한 물 만들기 과정

① 자연 발생법

사육수를 받은 수조에 미생물이 살 수 있도록 긴 기간 동안 물 만들기 과정을 수행하는 것으로 미생물을 자연 발생시키는 방법이다. 대부분 소형관상어 수조 등에 쓰이는 방법이며 미생물의 자연 발생기간이 매우 길어 바이오플라양식 양식시스템에는 부적절하다.

② 미생물 접종법

바이오플라 양식시스템에 사용하는 미생물, 영양제 및 탄소원을 이용하여 미생물을 미리 받아 놓은 사육수의 수조에 바로 투입하는 방법이다(그림 17). 초기에 균이 발생하면 암모니아와 아질산염의 수치가 높게 나타나 양식생물을 사육하기 어려우나 시간이 지나면서 암모니아와 아질산염의 수치가 감소하면 사육수로 이용이 가능하다. 보통 미생물을 접종한 후 수온 25℃ 내외의 조건에서 3~4주 정도 소요된다.



그림 17. 바이오플라양식기술을 이용한 물 만들기에 첨가되는 첨가 미생물, 영양제, 사료

③ 미생물 종균 배양법

미생물 종균배양법은 ‘미생물 접종법’과 비슷하지만 바이오플락기술을 이용한 물 만들기를 통해 소량의 사육수를 먼저 만들어 놓는 것이다. ‘미생물 접종법’으로 만들어진 사육수는 양식생물을 사육할 다른 수조에 일정량만 공급하고 탄소원과 사료를 추가로 첨가해 미생물 종균을 배양하는 방법이다. 물 만들기를 통해 사육수를 미리 만들어 놓음으로써 사육수로 소비할 수 있는 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

4 • 수질 관리

바이오플락 양식시스템에서 수질관리는 일반 양식장의 수질관리와 유사하나 바이오플락과 양식생물의 상태를 유심히 관찰하며 사육관리해야 한다. 특히 수질 변화에 민감하기 때문에 양식생물과 미생물이 모두 안정되게 유지될 수 있도록 용존산소량은 5mg/L 이상, pH는 7~8, 알칼리도는 80~120mg/L이상으로 관리해야 한다.

바이오플락기술을 이용해 만들어진 사육수는 바이오플락을 이루는 적정 미생물량이 확보되어야 하므로 C/N 비는 15정도로 일정하게 유지해야 하는것이 이상적이다. 바이오플락이 충분히 발달하고 암모니아와 아질산염의 농도가 0.1ppm 미만으로 떨어지면 이미 자가영양세균이 충분히 증식하여 암모니아 제거에 기여하고 있다고 판단하면 되며 탄소원의 공급량도 줄여나간다.

암모니아와 아질산염이 축적되지 않는 상태가 지속된다면 자가-타가영양세균의 균형이 이루어졌다고 판단할 수 있으며 안정된 상태가 유지될 수 있도록 사료공급량과 수질 관리에 각별한 주의가 요구된다.

그러나 다시 암모니아와 아질산염의 농도가 상승하면 탄소원을 공급하여 타가영양세균의 증식을 돕는 것이 효과적이다. 양식장의 특성과 환경조건은 양식장마다 다르기 때문에 양식장에서는 수질측정장비를 활용하여 주기적인 수질환경을 관리해 주어야 한다.

가 수질환경 관리

① 수온

바이오플락 양식시스템에서 수온은 사육수 안의 타가영양세균의 증식과 유지

를 위해 매우 중요한 요소로 23°C 내외로 연중 일정하게 유지해야 한다(그림 18).

2 pH

pH는 7~8을 유지하도록 해야 하는데 이 수치는 암모니아 및 아질산염의 독성을 예방하기 위함이다. 즉 암모니아 독성은 pH가 높을수록 강해지며 아질산염의 독성은 pH가 낮을수록 강해지므로 중성의 pH를 유지하여 미생물이 꾸준히 활동할 수 있도록 관리해야 한다. 바이오플락 양식시스템에서 pH가 떨어지는 것을 막기 위해서는 탄산수소나트륨(중조)과 같은 염기성 성분을 사육수에 보충하여 pH를 조절할 수 있다(그림 18).

※탄산수소나트륨은 식약처에 등록되어 식용가능한 제품을 사용하여야 한다.



그림 18. 수온조절기(좌)와 탄산수소나트륨(우)

3 용존산소량(DO)

수중의 용존산소는 양식생물의 생존, 수용밀도와 생산량을 결정하는데 매우 중요한 환경요소이다. 바이오플락 양식시스템에서는 일반적으로 포기(aeration)로 산소를 공급하며 산소를 공급하는 방법은 산소발생기, 액화산소를 이용한다.

안정된 바이오플라 양식시스템에서는 증식된 타가영양세균 및 바이오플라에 의해 산소가 부족해지거나 바닥에 슬러지가 쌓이는 경우에는 황화수소, 메탄가스, 암모니아 등을 발생시킬 수 있고 산소소비량도 일반 양식 시스템보다 월등히 높기 때문에(시간당 산소소비량 : 5~8mg/L) 지속적으로 산소를 공급해야 한다.

④ 총 암모니아성 질소(TAN, total ammonia nitrogen)

총 암모니아성 질소 농도는 0.1ppm 이하를 유지한다. 수중의 암모니아를 제대로 제거하지 않을 경우에는 아질산염의 수치가 급격하게 올라갈 수 있다. 이를 해결하기 위해선 타가영양세균이 작용하는데 이 타가영양세균에 흡수된 암모니아는 탄소원을 이용하여 빠르게 증식하며 암모니아를 제거하고 이 암모니아는 타가영양세균에 섭취되어 단백질로 저장되며 사육생물의 먹이가 된다. 그러나 혐기상태가 되면 흡수된 암모니아가 유출되므로 지속적인 폭기가 필요하다. 암모니아는 높은 pH에서 독성이 증가하므로 pH가 높아지지 않도록 관리해야 한다.

⑤ 아질산염(NO_2^-)

아질산염은 암모니아가 분해된 후 생성되는 불완전한 질소화합물로 질화세균에 의해 전환된다. 그러나 양식생물에게 독성물질로 작용되며 어류의 체내 산소공급을 방해한다. 아질산 수치가 높아지면 호흡곤란을 유발하므로 아질산은 1ppm 이하로 유지하여 아질산염은 낮은 pH에서 독성이 증가하므로 pH가 낮아지지 않도록 관리해야 한다.

⑥ 질산염(NO_3^-)

질산염은 암모니아 또는 아질산염보다는 독성이 매우 낮지만 오랜 기간 고농도에서 사육된다면 양식생물에 치명적인 영향을 미치게 된다. 또한 혐기성 조건에

서만 분해가 가능하며 현재로는 환수가 가장 좋은 방법이다.

⑦ 알칼리도(Alkalinity)

알칼리도는 담수에서 80~120mg/L 이상을 유지해야 하며 알칼리도가 높으면 수온에 따른 pH 변화의 완충 작용을 하게 된다. 알칼리도가 너무 낮을 경우에는 질산화 과정이 제대로 일어나지 않을 수 있으므로 알칼리도가 유지되도록 관리해야 한다.

나

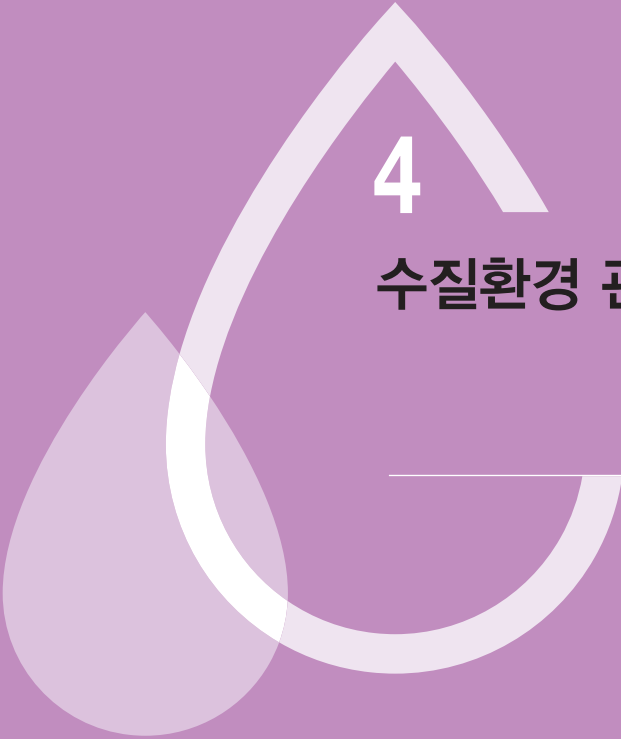
수질관리 요약

① 암모니아가 증가할 경우

암모니아의 증가는 양식생물에게 매우 위험하므로 신속한 대처가 필요하다. 유기탄소원이 부족하거나 사료공급량이 많아지면 암모니아는 증가하게 된다. 이때 당밀을 첨가하여 유기탄소원을 공급하거나 사료공급량을 줄이고 단백질 함량이 보다 적은 사료를 공급한다면 암모니아 수치를 감소시킬 수 있다. 당밀을 공급할 때는 점성이 높으므로 물에 완전히 녹인 후 수조에 첨가해 준다.

② pH가 떨어질 경우(산성화)

pH의 큰 변화는 암모니아 및 아질산염 중독에 의한 양식생물에 큰 피해가 생길 수 있으므로 각별한 관리가 필요하다. pH가 떨어지는 경우에는 탄산수소나트륨(중조)을 넣어주어 pH를 올릴 수 있다. 탄산수소나트륨을 넣을 때는 물에 완전히 녹여 pH를 확인하며 소량씩 첨가한다.



4

수질환경 관리

1. 수온
 2. 용존산소(DO)
 3. 수소이온농도(pH)
 4. 알칼리도
 5. 총암모니아성 질소(TAN)
 6. 아질산염(NO_2^-)
 7. 질산염(NO_3^-)
 8. 총부유물질(TSS)
- 

바이오플락 양식시스템에서는 수질관리가 가장 중요하다고 할 수 있다. 이에 수질측정의 기본원리와 정밀측정방법 그리고 키트를 이용한 간이측정방법으로 구분하여 설명하면 다음과 같다.

바이오플락 양식시스템에서는 화학적 수질오염 지표인 수온, 용존산소(DO), pH, 알칼리도, 총암모니아성 질소(TAN), 아질산염(NO_2^-), 질산염(NO_3^-), 부유 물질 측정을 통해 안정된 수질과 양식생물 사육이 가능하도록 주기적인 확인이 요구된다.

수질 측정 항목 중 수온, DO, pH는 간편하고 많은 수질측정장비가 시중에 있으므로 적절한 것을 선택하여 사용할 수 있다. 측정은 현장에서 2회(오전, 오후)/일에 수행하며 가능하다면 실시간 체크시스템을 설치하여 지속적으로 모니터링 한다면 수질의 급격한 변화를 예방할 수 있다(그림 20).

총암모니아성 질소(이하 암모니아), 아질산염, 질산염, 알칼리도는 정밀측정 또는 키트를 이용한 간이측정방법이 있다. 주 1회는 정밀분석을 실시하여 간이 측정값과 비교하여 관리할 필요가 있다.



그림 20. 수질측정기(좌)와 실시간 수질측정 시스템(우)

수질 측정은 현장에서 물을 채수한 즉시 이루어지는 것이 바람직하나 어려운 경우에는 아래의 시료보존방법을 참고하여 오차가 최소화되도록 준비해두어야 한다(표 5).

표 5. 시료보존방법

항목	시료용기*	보존방법	최대보존기간 (권장보존기간)
암모니아	P, G	4°C 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(7일)
아질산염	P, G	4°C 보관	48시간(즉시)
질산염	P, G	4°C 보관	48시간(즉시)

*P: polyethylene, G: glass

1. 수온

가 수온관리

양식생물이 성장하고 생존하는데 있어서 수온의 급격한 변화는 수중 미생물의 증식과 양식생물의 면역기능을 포함한 생리적 조절 능력에 영향을 미칠 수 있다. 급격한 수온변화에 노출될 경우 어류는 체내 항상성 저하에 따른 생리적 장애로 인해 급격하게 스트레스를 받게 되고 성장이 저하되며 대량폐사로 이어질 수 있다. 수온 측정은 시중에 판매하는 디지털 수온계나 막대 수온계를 이용하여도 가능하다(그림 21).

나 주의사항

바이오플라스틱 양식시스템에서는 미생물의 활동성과 양식생물의 적정 성장 수온을 고려한 관리가 필요하다. 이에 실내외 환경을 비롯한 계절적 수온 변화를 고려하여 여름에는 냉각장치(냉각기)를 이용하거나 겨울에는 가온시스템(히터, 보일러, 히트펌프 등)을 사용하여 수온 23℃ 내외로 안정된 관리가 요구된다.



그림 21. 디지털 수온계

2. 용존산소(DO)

가 용존산소관리

용존산소는 물속에 용해되어 있는 산소를 의미하며, 양식생물의 성장과 생존에 필수요인이다. 바이오플랙 양식시스템에서 생물학적 여과 및 수질관리에 관여하는 미생물 역시 용존산소를 이용하며 배설물 및 사료찌꺼기 제거, 암모니아 및 아질산염 분해 등의 역할을 수행한다.

일반적으로 수중의 산소포화도가 100%일때의 용존산소 농도에 비하여 낮은 상태를 저산소라하며 높은 상태를 고산소라고 정의한다. 저산소 상태에서는 양식생물의 혈중 이산화탄소, 헤모글로빈 등이 상승하게 되며, 이는 먹이섭식, 성장, 사료효율 등의 감소를 초래하고 뇌, 간, 근육의 에너지 대사를 방해하여 폐사에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 바이오플랙 양식시스템에 있어서는 고밀도로 사육이 가능한 만큼 양식생물과 미생물들이 이용할 수 있을 만큼의 충분한 용존산소가 요구되며 5~8mg/L이상 유지해야 한다(그림 22).

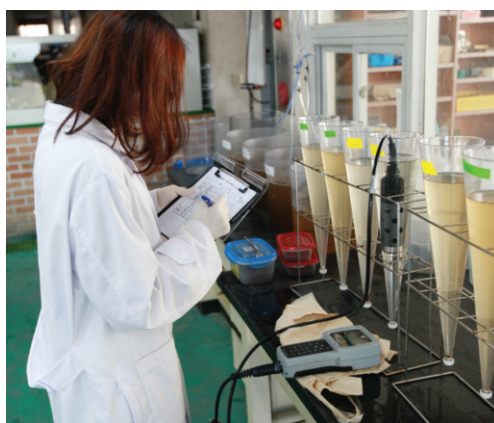


그림 22. 수질측정기 측정(좌)과 수질측정장비 화면(우)

나 측정법

용존산소(DO)의 측정은 수질측정장비 또는 간이수질분석키트를 이용하여 확인할 수 있다. 간이수질분석키트를 이용한 측정은 다음과 같다.

- ① 간이분석키트 내 투명한 시료컵에는 5ml 단위로 눈금표시가 있으며 측정하고자 하는 사육수를 25ml 까지 채운다.
- ② 간이키트 안의 앰플을 꺼내 뾰족한 끝부분을 시료컵에 넣으며 시료컵 가장자리에 밀어 끝을 부러뜨린다.
- ③ 부러진 앰플안으로 사육수가 채워지는데 앰플 내부의 기포가 아래쪽 끝에서 위쪽끝으로 오르내리도록 5~6차례 움직여준다.
- ④ 약 2분간 잘 섞이면 앰플안의 색깔이 변하게 되며 앰플을 간이분석키트에 들어 있는 비색기에 직접 대고 비교해 용존산소 값을 확인한다(그림 23).



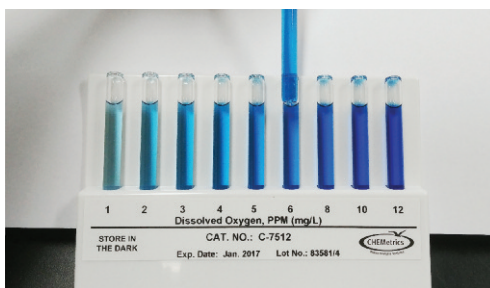
1. 간이키트 전체 모습



2. 시료컵에 시료 채취



3. 시료컵에 앰플 넣기



4. 부러진 앰플의 색깔 비색기와 비교

그림 23. 간이수질분석키트(용존산소)

3 ◦ 수소이온농도(pH)

가 수소이온농도(pH) 관리

물의 산성도를 확인할 수 있는 지수인 pH는 물속의 수소이온농도를 의미하며, pH 7.0인 중성을 기준으로 낮은 경우는 산성, 높은 경우는 염기성이라고 말한다. 그러나 pH의 변화는 암모니아 및 아질산염에 의한 독성이 급격히 증가하게 되어 소량으로도 양식생물에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 특히 pH 1.0의 변화는 수소이온 농도가 10배 차이가 나기 때문에 양식생물의 생리활동에도 큰 영향을 미치게 된다.

바이오플락 시스템에서 물 만들기가 완성된 후에도 사료의 공급과 양식생물의 배설물로 암모니아나 아질산염의 수치가 높아지게 된다. 그러나 안정된 수질에서는 질화세균(아질산세균이나 질산세균)에 의해 암모니아나 아질산염은 독성이 거의 없는 질산염으로 변환되기 때문에 암모니아와 아질산염은 큰 폭으로 증가하지 않고 낮게 유지되며 질산염의 농도만 증가하게 된다.

이 과정에서 수중에 양식생물의 호흡으로 인한 이산화탄소의 증가와 질산화 과정에서 나오는 수소이온농도의 상승은 pH를 낮아지게 하므로 pH가 낮아지는 경향이 보이는 경우 염기성 성분을 추가하여 pH를 중성 상태로 유지관리해야 한다. 탄산수소나트륨(NaHCO_3)은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 염기성분으로 pH를 높여주는 역할을 하기 때문에 pH가 낮아지면 탄산수소나트륨을 첨가하여 pH를 7~8 상태로 유지해야 한다.

나 측정법

pH의 측정은 수질측정장비 또는 간이수질분석키트를 이용하여 확인할 수 있다. 간이수질분석키트를 이용한 측정은 다음과 같다.

- ① 간이분석키트 내 스트립막대를 꺼낸다(젖은 손으로 막대를 잡을 경우 pH의 측정이 달라질 수 있으므로 주의한다).
- ② 측정하고자 하는 사육수에 스트립막대가 충분히 젖도록 약 10초 정도 담가둔다.
- ③ 사육수에서 스트립막대를 꺼내 20초 정도 스트립막대의 색깔이 변하도록 기다린다.
- ④ 간이분석키트 케이스에 있는 색대조표에 스트립막대를 직접 대고 비교해 pH 값을 확인한다(그림 24).



다 주의사항

pH 7~8의 바이오플락 양식시스템에서는 미생물의 활발한 활동과 수질환경을 유지할 수 있으나 낮은 pH에서는 미생물의 활동성이 떨어지고 아질산염의 독성이 높아지게 되며, 높은 pH에서는 암모니아의 독성이 높아질 수 있으므로 주의해야 한다. 수질관리를 위해 첨가한 탄산수소나트륨의 양에 따라 암모니아와 아질산염 및 알칼리도의 농도 변화가 일어나므로 양식생물 pH변화에 따른 탄산수소나트륨의 적정량을 확인해 두어야 한다.

요약하면 암모니아는 급성 독성을 나타내며 pH가 높을수록 독성이 증가한다 (pH ↑ → 암모니아 독성 ↑). 아질산염은 어류에 치명적인 영향을 미치는데 그 독성은 pH가 낮아지면 증가한다 (pH ↓ → 아질산염 독성 ↑).

4 ○ 알칼리도

가 알칼리도 관리

알칼리도는 산을 중화할 수 있는 완충능력의 지표로 수중에 존재하는 수소 이온을 중화시키기 위하여 반응할 수 있는 이온의 총량을 의미하며 pH의 급격한 변화를 막아주는 역할을 한다. 수중에서 알칼리도에 영향을 미치는 물질은 수산화물(OH^-), 중탄산염(HCO_3^-), 탄산염(CO_3^{2-}) 등이 있으며, 산을 중화시킬 수 있는 능력을 측정한 다음 탄산칼슘(CaCO_3)의 형태로 환산하여 mg/L의 단위로 나타낸 것이 알칼리도이다.

나 알칼리도 측정법

알칼리도의 측정은 간이수질분석키트를 이용하여 확인할 수 있으나 pH의 범위에 따라서 사용되는 시약이 달라지므로 주의해야 한다.

pH가 4.3~8.2의 경우에는 R-1시약을 첨가하고 $\text{pH} > 8.2$ 의 경우에는 R-2 시약을 첨가하며 R-3시약은 동일하게 pH에 관계없이 한 방울씩 시료컵에 첨가하며 색깔의 변화를 관찰한다. 간이수질분석키트를 이용한 측정은 다음과 같다(그림 25).

▶ pH가 4.3~8.2의 경우

- 1 측정하고자 하는 사육수의 pH가 4.3~8.2 값인지 확인한다(측정법에 차이가 있으므로 필히 확인한다).
- 2 간이분석키트 내 투명한 시료컵에 표시된 눈금에 맞춰 5ml까지 사육수를 채운다.

- ③ R-2 시약을 시료컵에 두방울 첨가하고 파란색으로 변하도록 10초 정도 기다린다.
- ④ R-3 시약에 10 mmol/L 주사기를 꼽고 기포가 생기지 않도록 하면서 시약을 채운다.
- ⑤ R-3 시약을 주사기로 한 방울씩 시료컵에 첨가하며 색이 변하는 지점의 주사기 눈금을 확인한다.
- ⑥ 주사기 눈금 값[mmol/L] $\times$ 61.02 = 총 알칼리도 [mmol/L·HCO₃⁻]이 알칼리도 측정값이다.

▶ pH > 8.2의 경우

- ① 측정하고자 하는 사육수의 pH가 8.2를 넘는지 미리 확인한다
- ② 시료 컵에 표시된 눈금에 맞춰 5ml까지 사육수를 채운다.
- ③ R-1 시약을 시료컵에 두방울 첨가하고 보라색으로 변하도록 10초 정도 기다린다.
- ④ R-3 시약에 10 mmol/L 주사기를 꼽고 기포가 생기지 않도록 하면서 시약을 채운다.
- ⑤ R-3 시약을 주사기로 한 방울씩 시료컵에 첨가하며 색이 변하는 지점의 주사기 눈금을 확인·기록한다(1).
- ⑥ pH 4.3~8.2일때와 같은 방법으로 사육수를 담고 측정한 주사기 눈금을 확인·기록한다(2).
- ⑦ (주사기 눈금 값(1)[mmol/L] - 주사기 눈금 값(2)[mmol/L]) $\times$ 12.01
= 총무기탄소량 (Total inorganic carbon, TIC)

위와 같은 방법은 간이수질분석키트를 이용하나 정밀한 측정방법이며 스크립 막대를 이용하여 알칼리도를 측정할 수 있는 간이수질분석키트도 있으므로 이를 활용하여 측정할 수 있다.

다 주의사항

알칼리도는 주로 산의 염 및 센 염기들과 관련이 있으며 산을 첨가할 때 pH가 감소되는 것을 억제하는 완충 작용을 한다. 질화세균에 의한 질산화 과정에서 알칼리도의 감소가 타가영양세균에 의한 것보다 빠르게 나타난다.

특히 바이오플락 양식시스템에서는 당밀의 추가적인 공급을 하지 않는 시점에서 질산화과정이 활발히 진행되므로 질화세균에 의한 알칼리도가 급격히 감소하지 않도록 주기적인 측정과 관리가 요구된다. 담수어를 사육할 때 적정 알칼리도는 80~120mg/L이다.



5 • 총암모니아성 질소(TAN)

가 총암모니아성 질소 관리

총암모니아성 질소(TAN, total ammonia nitrogen)는 비이온화 된 암모니아(NH_3)와 이온화된 암모늄(NH_4^+)의 총량을 나타낸다. 일반적인 양식환경에서는 총암모니아성 질소 중 독성이 있는 암모니아(NH_3)의 비율은 약 10%이내로 알려져 있으며 이것은 수온이나 pH에 따라 크게 달라지고 염분에도 다소 영향을 미친다.

이 중 pH의 영향이 가장 크며 pH가 상승하면 암모니아의 비율도 증가하여 독성이 증가한다. 수중에서 암모니아 농도가 증가하면 어류 혈장, 아가미, 뇌 및 근육 조직 등에서 암모니아 농도가 증가하게 된다. 이는 양식생물의 혈액 내 pH가 상승하여 신진대사에 촉매역할을 하는 효소의 기능을 떨어뜨려 아가미, 신장 및 비장이 손상을 받게 된다.

일반적으로 총암모니아성 질소는 암모늄(NH_4^+)을 측정한 후 수온과 pH표를 통해 암모니아(NH_3) 값을 구한 후 더한 값이 된다.

$$\text{※ 총암모니아성 질소(TAN)} = \text{암모늄}(\text{NH}_4^+) + \text{암모니아}(\text{NH}_3)$$

나 인도페놀을 이용한 총암모니아성 질소 정밀 측정법(인도페놀법)

측정법은 암모늄(NH_4^+)이 하이포염소산의 존재하에 페놀과 반응하여 생성하는 인도페놀의 청색을 분광광도계 630nm에서 측정하는 것으로 실험실 수준에서 정밀하게 분석하는 방법이다(그림 26).

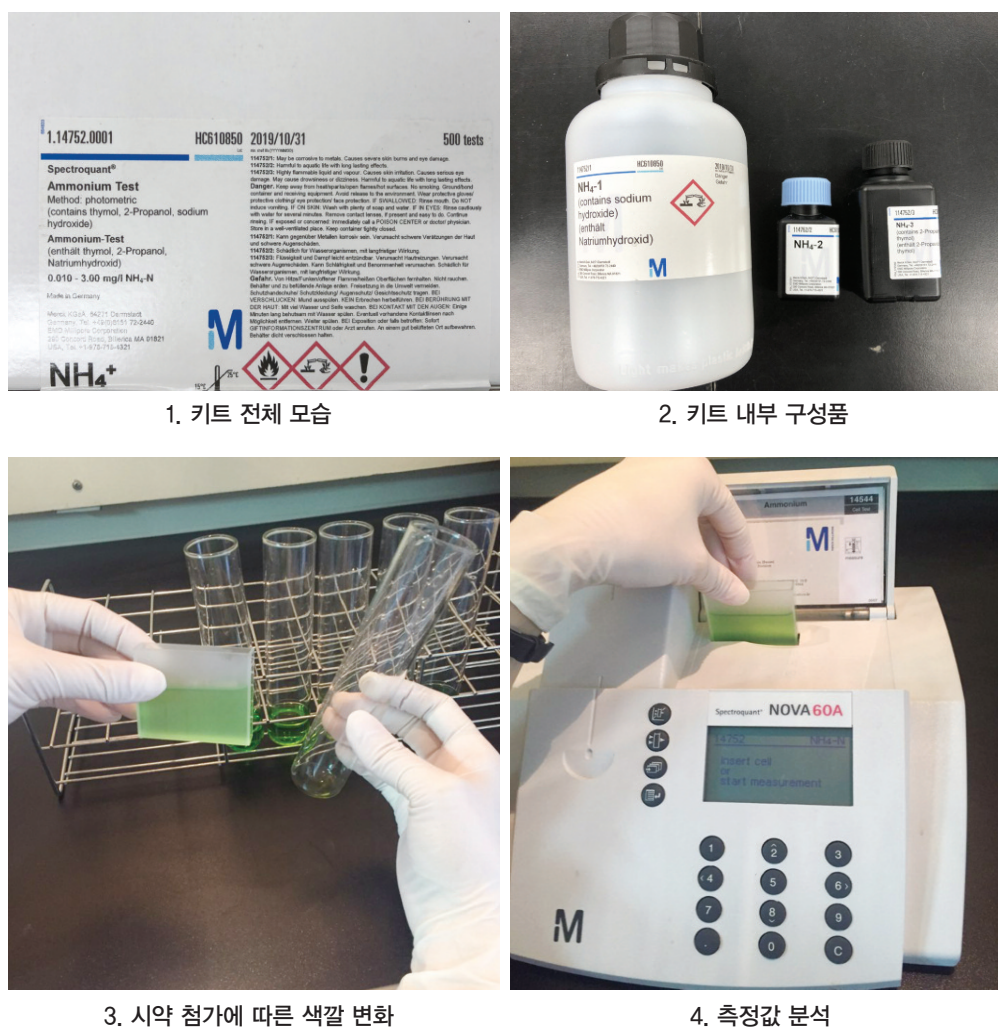


그림 26. 총암모니아성 질소 정밀 측정

다 간이수질분석키트 측정법

암모늄(NH_4^+)의 측정은 간이수질분석키트를 이용하여 확인할 수 있으며 측정법은 다음과 같다.

- 1 간이분석키트 내 투명한 시료컵에 표시된 눈금에 맞춰 5ml까지 측정하고자 하는 사육수를 채운다(사육수의 온도가 15~25℃가 되도록 한다).
- 2 NH_4^+ 시약을 시료컵에 10방울 첨가한 후 섞는다.
- 3 스트립막대를 꺼내 시료컵에 3초간 담근다(젖은 손으로 막대를 잡지 않도록 주의한다).
- 4 스트립막대를 시료컵에서 꺼내 10초 정도 색깔이 변하도록 기다린다.
- 5 스트립막대 외부케이스에 있는 색대조표에 스트립막대를 직접대고 색깔을 비교하여 측정값을 확인한다(그림 27).



라 주의사항

총암모니아성 질소의 측정값은 암모니아 농도가 포함되어 있는 수치이므로 수온과 pH에 따른 비율을 곱한 값으로 보정해 주어야 한다(표 6). 암모니아 수치가 1ppm 이상이 넘지 않도록 관리해주어야 한다.

- 총암모니아성 질소값이 2.0ppm, 수온 25℃, pH 6.8일 경우 암모니아 함유량은?

$$- 2.0\text{ppm} \times 0.358 = 0.716\text{ppm}$$

표 6. 수온과 pH에 따른 암모니아 농도 환산표

수온	pH										
	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2
20	0.062	0.079	0.099	0.125	0.158	0.199	0.250	0.315	0.400	0.498	0.626
21	0.067	0.085	0.107	0.135	0.170	0.214	0.269	0.338	0.425	0.535	0.673
22	0.072	0.091	0.115	0.145	0.183	0.230	0.289	0.364	0.457	0.575	0.723
23	0.078	0.098	0.124	0.156	0.196	0.247	0.310	0.391	0.491	0.618	0.776
24	0.083	0.106	0.133	0.167	0.211	0.265	0.333	0.419	0.527	0.663	0.833
25	0.090	0.113	0.143	0.180	0.226	0.284	0.358	0.450	0.566	0.711	0.894
26	0.096	0.122	0.153	0.193	0.242	0.305	0.384	0.483	0.607	0.763	0.958
27	0.104	0.130	0.164	0.207	0.260	0.327	0.411	0.517	0.651	0.818	1.030
28	0.111	0.140	.0176	0.222	0.279	0.351	0.441	0.555	0.697	0.876	1.100
29	0.119	0.150	0.189	0.237	0.299	0.376	0.472	0.594	0.747	0.938	1.180
30	0.128	0.160	.0202	0.254	0.320	0.402	0.506	0.636	0.799	1.000	1.260

6 ◦ 아질산염(NO_2^-)

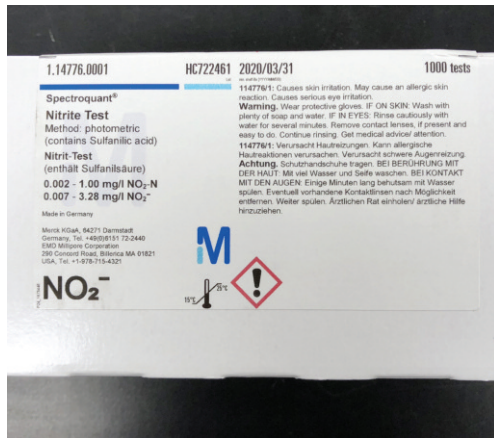
가 아질산염 관리

물 속의 암모니아가 분해되어 무기성 질소로 되는 산화과정에서 생성된 것으로 일반적으로 암모니아성 질소의 산화에 의해 생성된다.

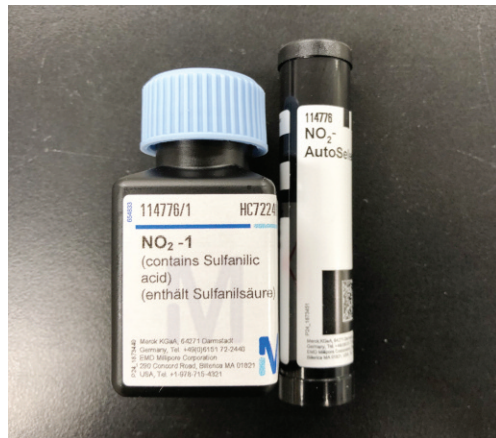
아질산염(NO_2^-)은 양식생물의 아가미를 통해 혈액의 적혈구 내로 유입되면 헤모글로빈이 산소 운반능력과 산소 친화성이 떨어지는 메타헤모글로빈으로 산화되며 양식생물은 산소 결핍 상태가 된다. 메타헤모글로빈 비율이 계속 높아지면 산소 부족 등으로 폐사하게 되고 아질산염 독성은 pH가 낮아지면 증가하므로 주의해야 한다.

나 흡광광도법을 이용한 아질산성염 정밀 측정법(디아조화법)

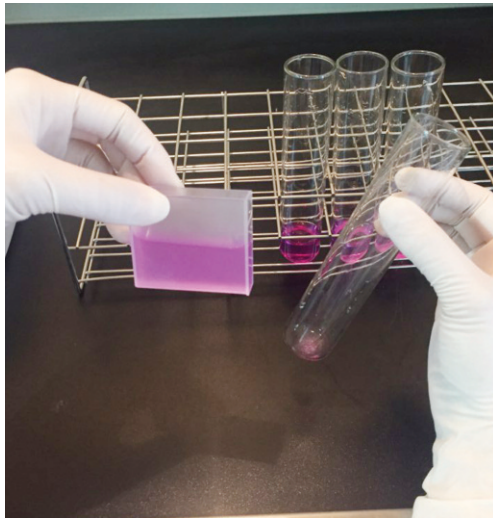
수중의 아질산염(NO_2^-)과 설퍼닐아마이드를 반응시켜 디아조화하고 α -나프틸에 틸렌디아민이염산염과 반응시켜 생성된 디아조화합물을 붉은색의 흡광도 540nm에서 측정하는 것으로 실험실 수준에서 정밀하게 분석하는 방법이다(그림 28).



1. 키트 전체 모습



2. 키트 내부 구성품



3. 시약 첨가에 따른 색깔 변화



4. 측정값 분석

그림 28. 아질산염(NO_2^-) 정밀측정법

다 간이수질분석키트 측정법

아질산염(NO_2^-)의 측정은 간이수질분석키트를 이용하여 확인할 수 있으며 측정법은 다음과 같다.

- 1 간이분석키트 내 투명한 시료컵에 표시된 눈금에 맞춰 5ml까지 측정하고자 하는 사육수를 채운다(사육수의 온도는 15~30℃, pH는 2~12 범위에서 측정할 수 있다).
- 2 스트립막대를 꺼내 시료컵에 1초간 담근다(젖은 손으로 막대를 잡지 않도록 주의한다).
- 3 스트립막대를 시료컵에서 꺼내 30초 정도 색깔이 변하도록 기다린다.
- 4 스트립막대 외부케이스에 있는 색대조표에 스트립막대를 직접대고 비교하여 측정값을 확인한다(그림 29).



나 주의사항

바이오플락 양식시스템에서 아질산염의 감소는 암모니아에 비해 매우 느리게 진행되므로 감소시키기가 어렵다. 일반적으로는 사료공급량을 줄이면서 양식생물의 먹이반응과 수질의 변화양상을 지켜보아야 한다.

아질산염을 제대로 관리하지 못하면 사료공급량을 늘릴 수 없고 양식생물의 성장도 느려지기 때문에 타가영양세균의 증식이 활발하여 아질산염의 수치가 높아지지 않도록 C/N 비 및 유기탄소원 공급 시기 등에 대해 세심한 관찰이 요구된다.

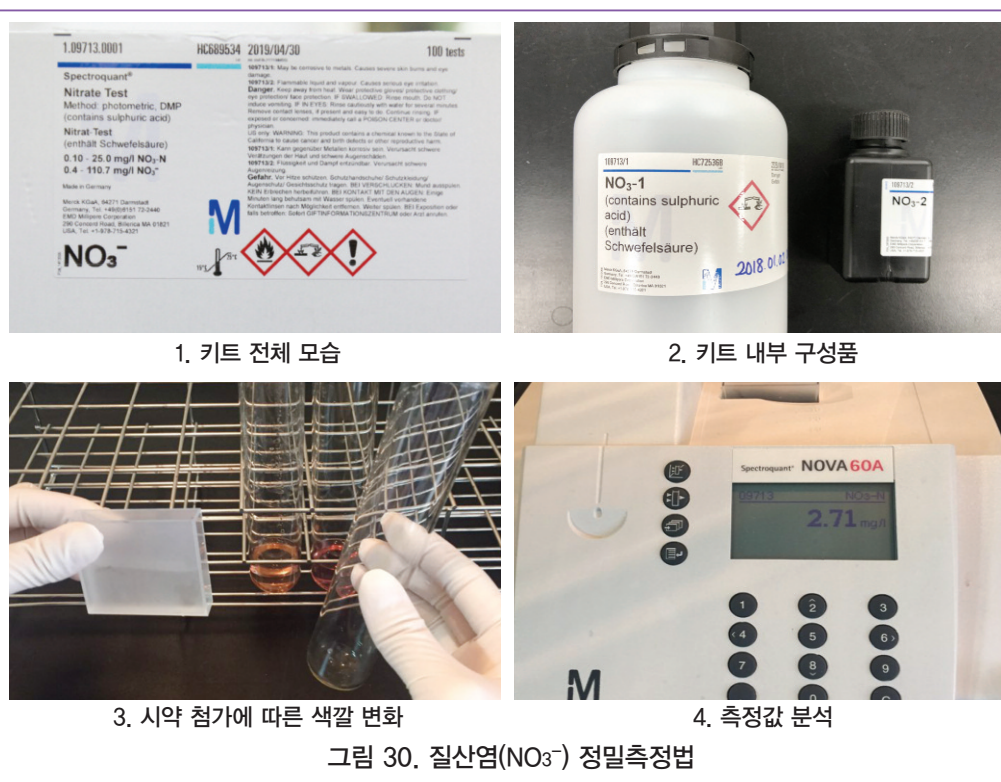
7. 질산염(NO_3^-)

가 질산염 관리

질산염(NO_3^-)은 암모니아의 생물학적 산화의 최종 산물이며 거의 독성이 없는 편이다.

나 흡광광도법을 이용한 질산염 정밀 측정법

황산산성(13N H_2SO_4 용액, 100°C)에서 질산염(NO_3^-)이 부루신과 반응하여 생성된 황색화합물의 흡광도를 410nm에서 측정해 질산염을 측정하는 것으로 실험실 수준에서 정밀하게 분석하는 방법이다(그림 30).



다 간이수질분석키트 측정법

질산염(NO_3^-) 간이수질분석키트에는 스트립막대 끝이 2가지 부위로 구성되어 있는데 윗부분은 아질산염(NO_2^-)의 함량 여부에 대한 측정부위이며 아래쪽은 질산염(NO_3^-)에 대한 측정값을 확인할 수 있는 측정부위이다. 질산염(NO_3^-)의 측정은 간이수질분석키트를 이용하여 확인할 수 있으며 측정법은 다음과 같다.

- 1 간이분석키트 내 투명한 시료컵에 표시된 눈금에 맞춰 5ml까지 측정하고자 하는 사육수를 채운다(사육수의 온도는 15~25℃, pH는 1~12 범위에서 측정할 수 있다).
- 2 스트립막대를 꺼내 시료컵에 1초간 담근다(젖은 손으로 막대를 잡지 않도록 주의한다).
- 3 스트립막대를 시료컵에서 꺼내 1분 정도 색깔이 변하도록 기다린다(물기를 털어 막대 위 측정시트지 간의 색이 변하지 않도록 주의한다).
- 4 스트립막대 외부케이스에 있는 색대조표에 스트립막대를 직접 대고 비교하여 측정값을 확인한다(그림 31).



1. 간이키트 전체 모습



2. 간이키트 내부 구성품



3. 아질산염과 질산염 측정 스트립막대



4. 측정 후 외부케이스 비교표와 비교

그림 31. 질산염(NO_3^-) 간이 측정

8 ◦ 총부유물질(TSS)

가 총부유물질(Total Suspended Solids, TSS) 관리

부유물질이란 여과 또는 원심분리에 의해 분리되는 $0.1\mu\text{m}$ 이상의 입자로 현탁 물질을 의미한다. 부유물질은 사육수 중에 떠 있는 플랑크톤, 유기물 등 미세한 입자들을 총칭하는 것이며 총 부유물질은 사육수를 여과·건조한 물질의 총 중량이다. 총부유물질 농도가 증가하면 암모니아 농도도 증가하는 경향이 있다.

나 유리섬유여지를 이용한 총부유물질 측정 방법

여과·건조 전후의 유리섬유여지(GF/C)의 무게 차이를 계산해 부유물질의 양을 구한다(그림 32).



그림 32. 총부유물질 측정

다 간이 측정 방법

총부유물질 측정은 별도의 시설이 필요하고 시간이 소요되어 일반 양식장에서 측정이 어렵다. 현장에서 간단하게 침전량 또는 플락양을 측정하기 위해 임호프콘을 이용할 수 있다.

침전량이 너무 적으면 바이오플락이 잘 형성되지 않았거나 유기물이 부족한 상태로 생각할 수 있으며 침전량이 너무 많으면 탁도가 증가하여 수질악화로 암모니아의 수치 상승의 원인이 된다.

측정은 수조 내 혼합액 1000ml를 30분간 침전시킨 후 가라앉은 침전물의 양으로 측정한다(그림 33).



그림 33. 임호프콘으로 측정한 침전량

라 주의사항

바이오플락 양식시스템의 적정 총부유물질 농도는 80~120ppm으로 유지해야 하며 임호프콘으로 측정할 경우 20ml/L가 넘지 않도록 관리해야 한다. 일부 환수 및 부유물 여과장치의 방법을 이용하여 적절한 침전량 관리가 필요하다(표 7)

표 7. 바이오플락 양식시스템의 수질 상태

임호프콘(ml/L)	수질 상태
5 이하	플락 미형성
5~20	적정 BFT 유기물
20 이상	부유·침전물 과다



5

바이오플락 양식시스템 양식생물 사육관리

1. 사육수 준비

- 가. 수조 준비 및 물 받기
- 나. 단백질원, 탄소원 공급 및 미생물 넣어주기
- 다. 배양된 미생물 넣어주기

2. 양식생물 입식

3. 사료 공급

4. 사육수 분석 및 관리

5. 사육수질 변화와 대처

6. 대표 성과



1 • 사육수 준비

바이오플라크 양식시스템에서 내수면 양식어류를 사육하기 위해서는 안정적인 물(사육수)을 미리 만들어 주어야 한다. 안정적인 사육수에 조성된 플라크는 식물 플랑크톤, 세균 등이 결합된 미세집합체이며 사료찌꺼기나 어류의 배설물 등에서 생성되는 암모니아를 제거하여 수질을 향상시키는 기능과 어류에게 섭식됨으로써 추가적인 영양공급을 하는 역할을 하므로 물 만들기가 가장 중요하다.

사육수 준비 과정은

- ① 무균의 물(여과된 물)을 바이오플라크 물 만들기를 할 수조에 채우는 것부터 시작한다.
- ② 단백질원 및 탄소원을 공급하는데 유기탄소(C)와 질소(N)의 비율인 C/N 비가 15정도가 되도록 적정량을 계산하여 공급한다.
- ③ 바이오플라크 시스템에 사용하는 생균제 및 영양제를 넣어 타가영양세균이 잘 증식할 수 있도록 준비하며 수온은 23℃ 내외로 유지해 준다.
- ④ 지속적인 수질 측정을 통해 암모니아와 아질산염의 수치가 0.1ppm 이하로 유지되면 어류를 일부 만들어진 사육수에 넣어 5일 정도 확인 후 이상이 없을 경우 사육수를 수조에 분초하고 종묘를 입식한다. 이 때 3~4주 정도 소요된다.

가 수조 준비 및 물 받기

바이오플라크 시스템에서 사용할 수조는 생산량과 사용목적에 따라 다양할 수 있다. 기존의 양어장 시설을 활용할 수 있으며 국립수산물과학원 내수면양식연구센터에서는 원형 수조를 주로 이용하고 있다. 원형 수조는 물의 회전을 가장 용이하게 하며 에어링 시스템을 적용하기 적절하다.

수조의 기본적인 구조는 찌꺼기 및 배설물에 의한 슬러지가 바닥이나 구석에 쌓이지 않도록 잘 회전하고 부유하도록 해야하며 충분한 산소공급이 이루어져야 한다. 센터에는 수면적 28m²(반지름, 3m), 7m²(반지름, 1.5m), 9m²(반지름, 1.7m)의 원형 수조를 이용하고 있다.

물 만들기를 하기 전 수조는 수심 30cm 정도로 채운 후 수산용품 소독제(차아염소산칼슘, 염소 유효농도 20ppm)로 소독해주고 맑은 물로 다시 세척한 후 2~3일 가량 말려 수조내 외부 균이 남아있지 않도록 제거해준다. 물 만들기에 사용할 물은 지하수를 이용하거나 물 저장고에 모아 포기를 시켜놓은 물을 사용할 수 있으며 이때도 외부 균이 유입되지 않도록 자외선차단기나 하우징필터를 설치해 주어 철저한 관리가 요구된다.

물을 수조에 받기 전에 중앙 배수구 부분에는 에어링을 설치하고 수조 벽면에 수중펌프를 설치하여 물이 회전 될 수 있도록 준비한다. 원형 수조 벽면에는 산소가 공급되도록 1m 간격으로 에어호스와 에어스톤을 연결해 준비한다(그림 34).



그림 34. 수조 및 사육수 준비

나 단백질원, 탄소원 공급 및 미생물 넣어주기

바이오플락 양식시스템에서 수조 준비와 물 받기를 마치면 타가영양세균의 충분한 증식을 위해서 단백질원과 탄소원 등 유기물을 공급해야 한다. 일반적으로 배합사료에 포함된 탄소와 질소의 C/N 비는 10정도로 타가영양세균의 증식에 이상적인 15정도가 되지 않기 때문에 추가적으로 탄소원을 공급해 주어야 한다. C/N 비를 15정도 되도록 사료의 조단백질 함량과 당밀의 양을 계산하여 사육수를 준비한다.

물만들기는 5톤의 수용량을 기준으로 사료량(조단백함량 43%)은 2kg을 공급하며 이 때 1kg을 먼저 넣고 다 녹인 후 다시 1kg을 넣어 덩어리 지는 것을 최소화해 준다. 당밀은 3L의 원액을 받고 물에 잘 녹여 수중모터의 흐름대로 풀어 준다.

C/N 비를 맞춘 후 사육수에는 바이오플락 양식시스템의 중요한 요소인 미생물을 넣어주어야 한다. 타가영양세균을 번식시키는 방법은 크게 두 가지로 미생물 접

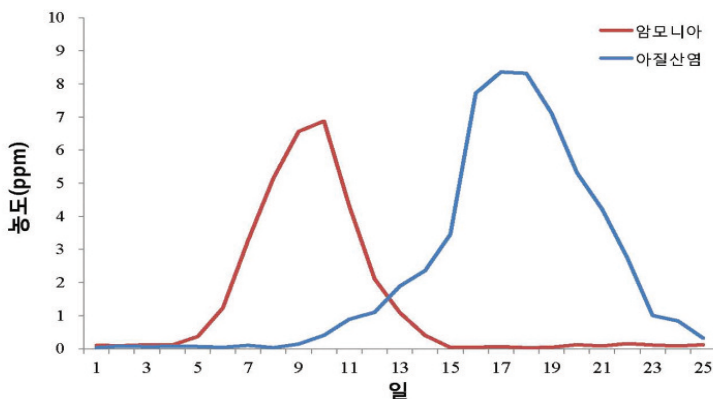


그림 35. 수조 및 사육수 준비

종법과 종균 배양법으로 구분되며 최초 물 만들기에서는 미생물 100ml에 영양제 100ml를 넣어준다. 미생물을 넣어 주면 초기에는 암모니아와 아질산염의 농도가 높아진다. 그러나 3~4주가 지나면서 타가영양세균이 활발히 증식하면 암모니아와 아질산염의 농도가 점차 낮아지며 수질이 안정화 된다(그림 35).

다 배양된 미생물 넣어주기

양식에 사육수가 더 필요한 경우에는 미생물 접종법으로 만들어낸 사육수 중 일정량을 덜어 사육수로 이용할 수 있다. 이때 사육수의 양이 부족하므로 물을 추가로 넣어주고 물이 첨가된 만큼 희석된 타가영양세균의 증식을 위해 단백질원과 탄소원을 더 공급해주면 사육수가 안정되는데 걸리는 시간을 단축시킬 수 있다(그림 36).



그림 36. 수중펌프

2 • 양식생물 입식

바이오플락 시스템을 이용하여 양식가능한 내수면 어류 품종에는 향어, 메기, 동자개, 미꾸라지, 뱀장어, 틸라피아 등이 있다. 바이오플락 양식시스템을 이용한 어류의 생존율 및 성장률의 가능성은 2015년부터 확인하였다.

바이오플락 양식시스템을 이용한 양식생물을 입식하는 방법에는 만들어진 사육수 내에서 자연산란을 유도하거나 인공채란된 수정란을 넣어 수정란 상태부터 바이오플락 시스템에서 사육할 수 있으며, 다른 방법으로는 대량으로 생산된 치어를 안정된 사육수에 입식하는 것이다(그림 37).

수정란 단계부터 바이오플락 양식시스템에 적용해 본 결과 향어, 메기, 미꾸라지, 동자개는 가능하였고 다른 종에 대해서도 지속적으로 확인할 예정이다.

메기 수정란의 경우 수온 23℃의 바이오플락 양식시스템에 수용한 결과 2~3일 후 부화하기 시작하였고 부화 후 남은 알 껍질은 사육수 내 미생물에 의해 분해되어 따로 사이폰을 이용하여 제거하지 않아도 되는 장점이 있었다(그림 37).

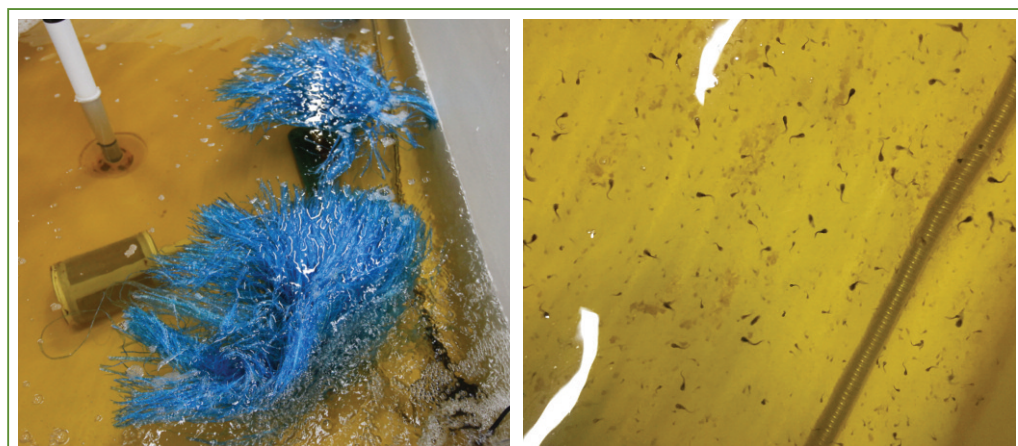


그림 37. 메기 수정란을 바이오플락 양식시스템에 수용

3 • 사료 공급

바이오플락 양식시스템에서 사료의 공급은 일반 양식장과 비슷하다. 수정란부터 사육할 경우 난황 흡수가 완료 되면 알테미아를 부화시켜 미립자 배합사료와 같이 공급한다. 알테미아의 공급은 3일정도 후 중지하며 미립자 배합사료만으로 사육이 가능하다. 특히 자어는 사육수 내 형성된 바이오플락을 섭식하므로 사료 공급 관리가 수월한 장점이 있다.

이 후 양식생물의 입크기에 따라 조금 더 큰 입자의 배합사료만 공급하며 성장함에 따라 사료양은 줄일 수 있다(그림 38).

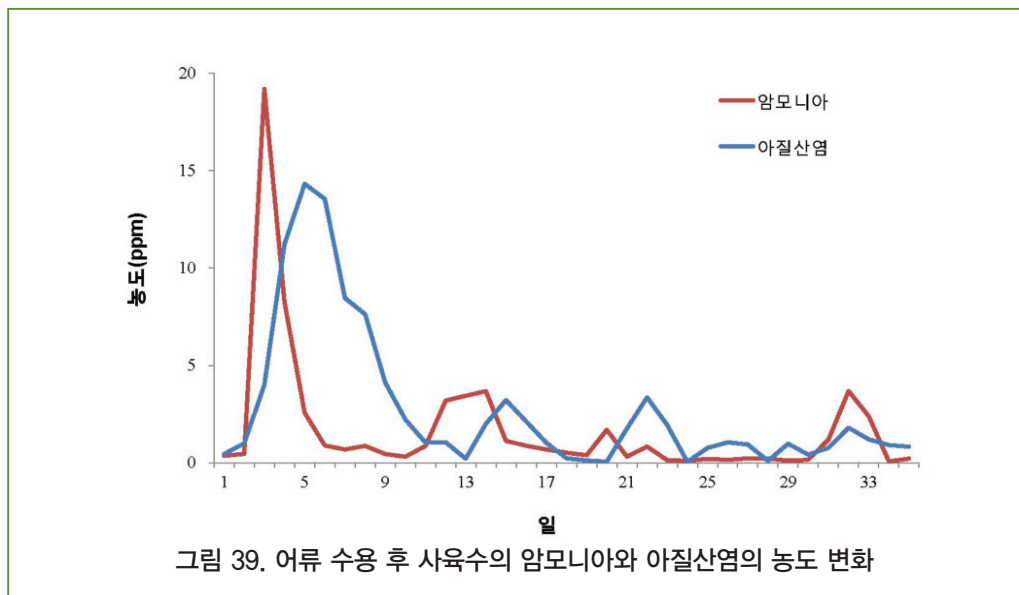


그림 38. 사육 중인 향어(상), 메기(중), 미꾸라지(하)

4 • 사육수 분석 및 관리

바이오플라 양식시스템에서 가장 중요한 점은 바이오플라의 정상적인 작용과 양식생물의 상태를 고려한 수질관리이다. 안정된 물 만들기가 완성된 후 어류를 입식할 경우 공급되는 사료양과 어류 배설물에 의해 암모니아와 아질산염이 발생되므로 주기적인 수질측정이 요구된다. 이를 위해 수온, 용존산소, pH, 암모니아, 아질산염, 질산염, 알칼리도, 부유물질 등을 주기적으로 측정하고 기록하며 그 변화 양상을 살피면서 수질변화에 능동적이고 적절하게 대처해야 한다(그림 39, 표 8).

바이오플라 양식시스템의 사육수를 유지하기 위해서는 수온은 23℃ 내외로 일정하게 유지해 주어야 한다. pH가 너무 낮으면 모든 세균의 증식이 억제되고 수질 정화 능력이 저하되므로 pH 6~8 이상을 유지해 주어야 한다.



바이오플락 양식시스템에서는 물의 교환을 최소화하면서 양식하기 때문에 사육수 내 사료 찌꺼기나 배설물, 바이오플락 등 많은 유기 부유물질이 쌓이게 된다. 이러한 부유물들은 여과기를 설치하여 지속적으로 제거해 급격한 용존산소의 감소 및 호흡 방해로 인한 폐사 등을 예방하도록 관리한다.

표 8. 바이오플락 양식시스템 수질관리 일지

날짜	수조 번호	품종	수온	용존 산소	pH	총암모니아성질소 (TAN)	아질산염 (NO ₂ ⁻)	질산염 (NO ₃ ⁻)	부유 물질	알칼리도

※ 시중에 나온 암모니아성 질소의 측정 키트는 암모니아(NH₃)의 측정이 아닌 암모늄(NH₄⁺)을 측정하는 간이키트가 많으며 암모니아(NH₃) 값은 암모늄(NH₄⁺) 값을 측정 후 추정할 수 있다. 이를 합한 값이 총암모니아성 질소(TAN) 값이다.

$$\text{※ 총암모니아성 질소(TAN)} = \text{암모늄(NH}_4^+) + \text{암모니아(NH}_3)$$

5 • 사육수질 변화와 대처

바이오플락 양식시스템의 수질 측정 항목 중 특히 암모니아의 농도가 증가할 경우에는 신속한 대처가 필요하다. 암모니아는 탄소원이 부족하거나 사료 공급량이 너무 많을 경우 증가하므로 탄소원인 당밀을 첨가하거나 사료 공급량을 줄이고 사료의 단백질 함량을 줄인다(적정 단백질 함량 : 35%).

당밀은 물에 완전히 녹여 오랜 시간에 걸쳐 서서히 공급하며 정기적으로 암모니아 농도를 측정하여 관리해 준다. 아질산염이 높아질 경우에는 용존산소가 적은 부분과 슬러지의 침전 그리고 포기의 위치를 확인하고 탄소원을 첨가하는 것이 우선적인 처리 방법이다.

pH가 올라갈 때 수조 내 부유물질이 적은 경우에는 탄소원을 첨가한다. pH가 내려갈 때는 탄산수소나트륨(중조)을 물에 완전히 녹여 소량씩 첨가해준다. 이외 부유물질 및 슬러지가 바닥에 가라앉지 않도록 물의 순환과 포기가 골고루 이루어지도록 주의하며 물 표면에 거품찌꺼기가 생기면 쌓이지 않도록 제거해 준다.

6 • 대표성과

가 생산량 비교

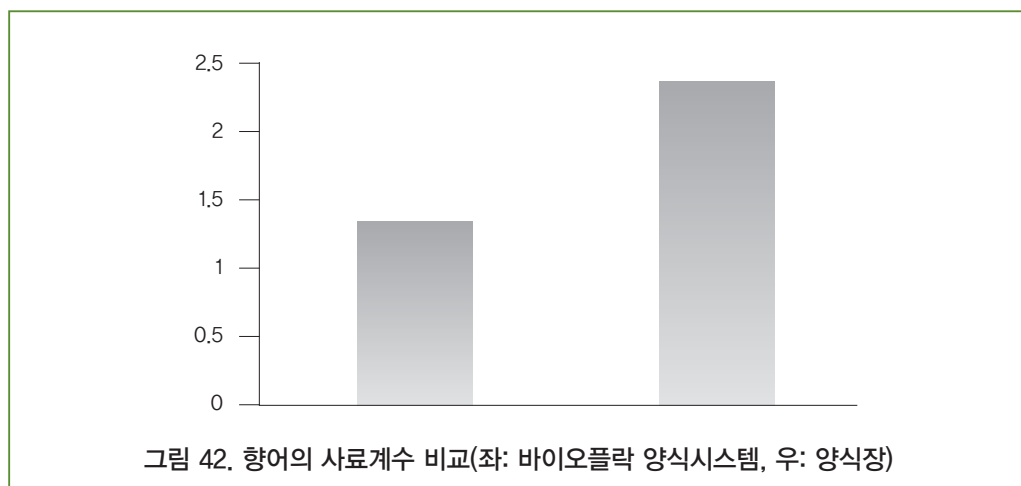
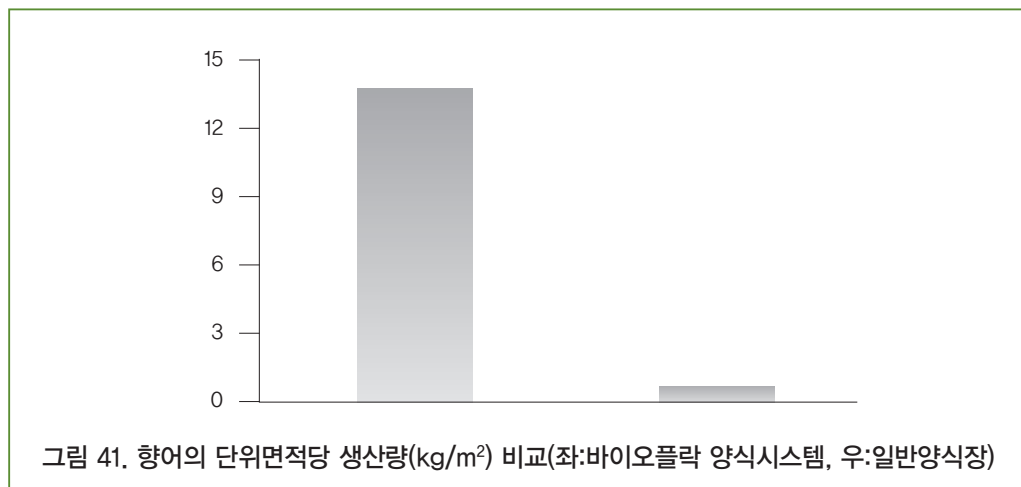
국립수산과학원 내수면양식연구센터에서 바이오플락 양식시스템에서 향어와 메기 사육을 진행하였고 일반 양식장과 생산량을 비교하였다(그림 40).



그림 40. 바이오플락 양식시스템(좌)와 일반양식장(우)

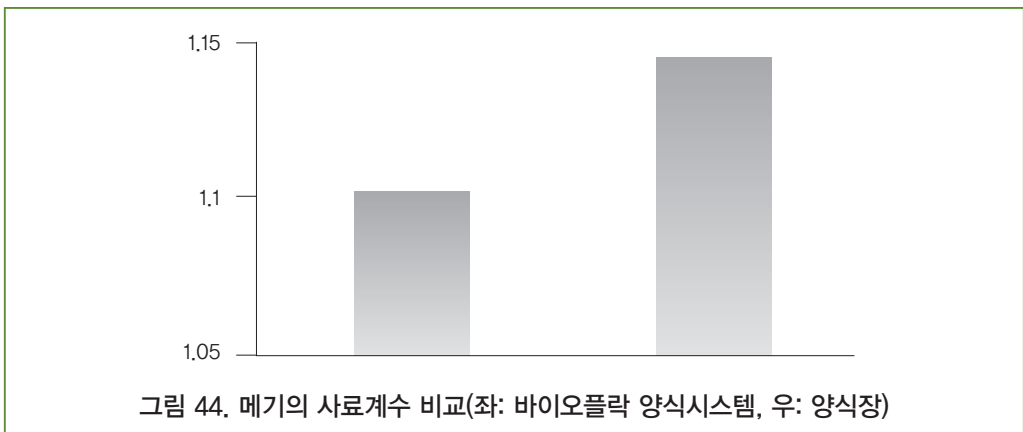
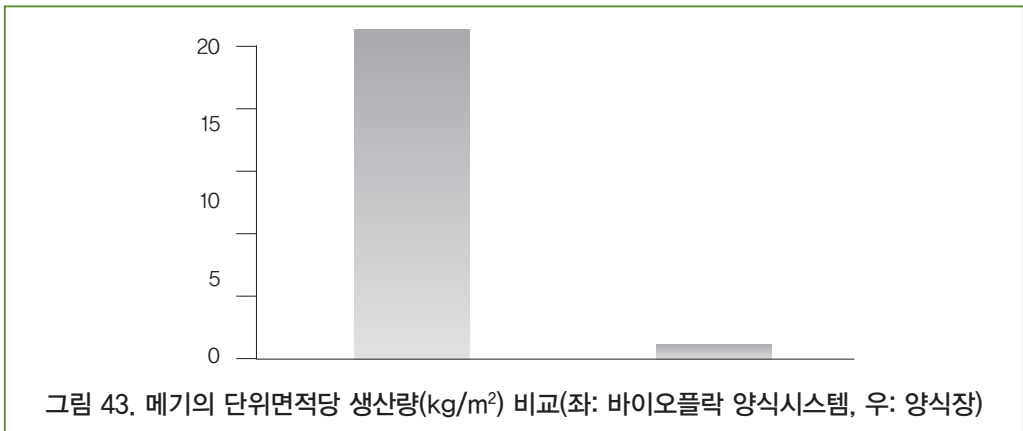
① 향어

바이오플락 양식시스템에서의 향어와 일반양식장에서의 향어 생산량을 비교한 결과 바이오플락 양식시스템에서는 $13.72\text{kg}/\text{m}^2$ 로 나타나 일반양식장의 $0.55\text{kg}/\text{m}^2$ 보다 약 25배 많은 생산량을 보였다. 사료공급량과 체중의 증가량을 비교하는 지수인 사료계수에서는 일반양식장(2.29)에 비해 바이오플락 양식시스템에서(1.36) 낮게 나타나 사료공급의 효율성이 높은 것으로 나타났다(그림 41, 42).



② 메기

바이오플라 양식시스템에서 사육한 메기와 일반양식장에서 사육한 메기의 생산량을 비교한 결과 바이오플라 양식시스템에서는 21.28kg/m^2 의 생산량을 보여 일반양식장의 0.73kg/m^2 보다 약 25배 많은 생산량을 보였다. 사료계수의 경우 큰 차이는 나타나지 않았다(바이오플라 양식시스템: 1.10, 일반양식장: 1.14)(그림 43, 44).



나 고밀도 사육

내수면양식연구센터에서는 바이오플락 양식시스템에서 메기와 향어의 고밀도 사육을 진행하고 있다. 반지름 1.7m의 원형수조에서 90일 동안 사육한 결과 향어의 총 무게는 시작 시 77.36kg에서 90일 후 203.00kg까지 262%가 증가하였고, 밀도는 7.01m²에서 18.88m²까지 269%가 증가하였다. 메기의 총 무게는 시작 시 95.04kg에서 90일 후 336.15kg까지 353%가 증가하였고, 밀도는 8.61m²에서 31.27m²까지 363%가 증가하여 고밀도 사육이 가능하였다(그림 45, 46, 47).

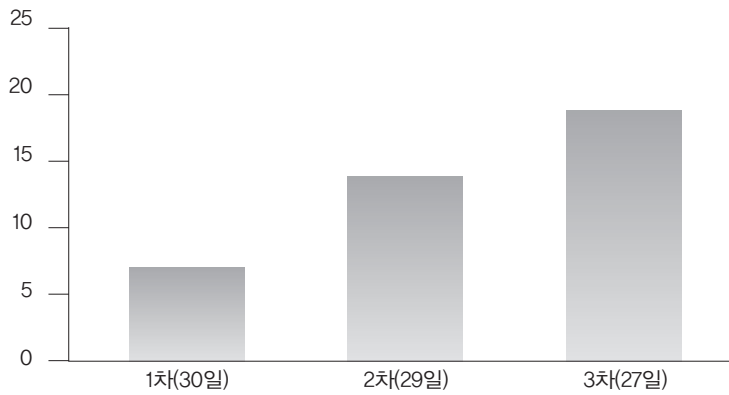


그림 45. 바이오플락 양식시스템 고밀도 사육실험(황어)

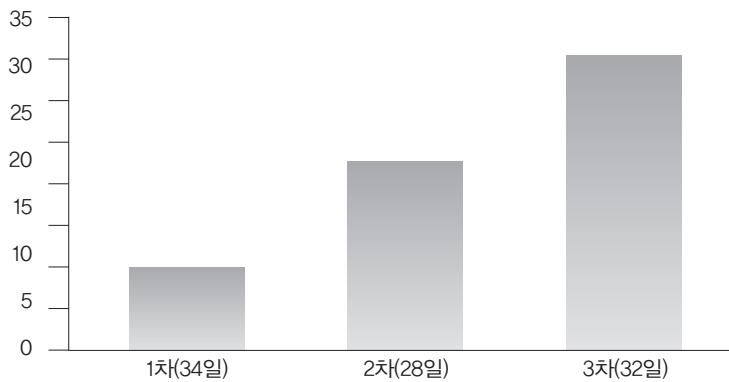


그림 46. 바이오플락 양식시스템 고밀도 사육실험(메기)

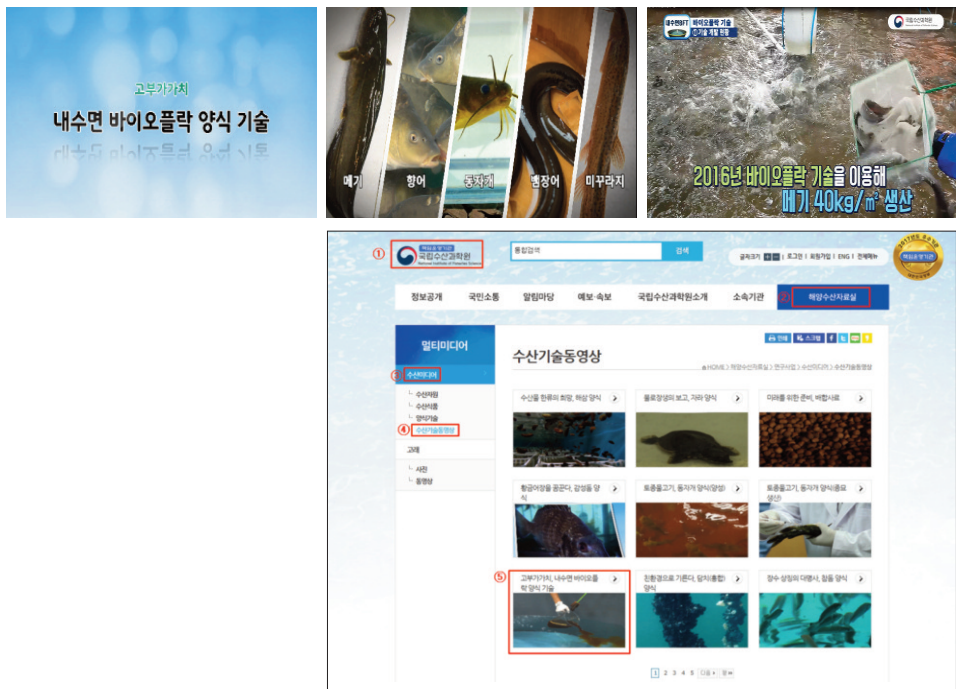


그림 47. 황어(좌)와 메기(우)의 고밀도 사육

다 바이오플랙 양식기술 보급(수산기술동영상)

국립수산과학원에서는 양식창업 및 귀어귀촌 정책지원을 위해 품종별로 수산 기술 동영상을 제작하여 보급하고 있습니다. 예비 양식창업자들의 수산에 대한 이해 증진과 교육자료 활용을 목적으로 제작되었으며 내수면 바이오플랙 양식 기술 동영상은 국립수산과학원 홈페이지를 통해 시청하실 수 있습니다.

- 제목 : 고부가가치, 내수면 바이오플랙 양식기술
- 내용 : 친환경 담수 바이오플랙 양식기술 소개 및 기술 설명(상영시간 19분)
- 시청 및 다운로드 : 국립수산과학원 홈페이지(<http://www.nifs.go.kr>)
- 순서 : ① 국립수산과학원 → ② 해양수산자료실(연구사업) → ③ 수산미디어 → ④ 수산기술동영상 → ⑤ 고부가가치, 내수면바이오플랙 양식기술 클릭



참고문헌 및 자료

- 정민국, 이명기, 황윤재, 김윤희, 김현중, 이용건. 2011. 축산업 선진화 방안 연구. 한국농촌경제연구원, 224pp.
- Avnimelech, Y., M.C.J. Verdegem, M. Kurup and P. Keshavanth. 2008. Sustainable land based aquaculture: rational utilization of water, land and feed resources. *Mediterranean Aquaculture Journal*, 1: 45-55.
- Avnimelech, Y. 2015. *Biofloc Technology – A practical guide book*, 3rd edition. The world aquaculture society, Baton rouge, Louisiana, United States, 258pp.
- Azim, M.E., D.C. Little and J.E. Bron. 2008. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, 99: 3590-3599.
- Burford, M.A., P.J. Thompson, R.P. McIntosh, R.H. Bauman and D.C. Pearson. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high intensity, zero-exchange system. *Aquaculture*, 232: 525-537.
- Crab, R., B. Chielens, M. Wille, P. Bossier and W. Verstrate. 2010. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* post-larvae, *Aquaculture Research*, 41: 559-567.

참고문헌 및 자료

John, A.H. 2013. Biofloc production systems for aquaculture. SRAC, 12pp.

Naylor, R.L., R.J. Goldburg, J.H. Primavera, N. Kautsky, M.C.M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, J. Lubchenco, H. Mooney and M. Troell. 2000. Effects of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405: 1017-1024.

Schryver, P., R. Crab, T. Defroit, N. Boon and W. Verstraete. 2008. The basics of bio-floc technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277: 125-137.

Wijkstrom, U.N. 2003. Short and long-term prospects for consumption of fish. *Veterinary research communications*, pp. 461-468.

교육과학기술부. 2002. 고등학교 수산양식. 교육과학기술부, 297pp.

김기은. 2004. 21세기 환경과학. 아카데미서적, 274pp.

장인권, 김수경^a, 김수경^b, 전제천, 서형철, 조영록. 2014. (새우양식 기술지) 친환경 새우양식을 위한 바이오플락 양식기술. 국립수산과학원 서해수산연구소, 210pp.



친환경 바이오플라스틱기술 길라잡이

발행일 2018년 1월

발행처 해양수산부 국립수산물과학원

발행인 서장우

집필진 국립수산물과학원 이정호, 김형수, 이영식, 차승주, 김봉석, 최혜승

편집·제작 GMK 커뮤니케이션

이 책자는 국립수산물과학원 수산시험연구사업 '어류 바이오플라스틱기술(BFT) 개발'의 결과로서 제작되었습니다.

© 국립수산물과학원 중앙내수면연구소 내수면양식연구센터 2018
이책의 내용과 사진은 서면허가 없이 무단으로 전제 또는 복제할 수 없습니다.

정부발간등록번호 11-1192266-000199-01
과학원 간행물 발간 등록번호 ED-2017-AQ-003