

별책부록

# 농업용수원의 녹조방지를 위한 천적생물 현장적용 매뉴얼

2012. 12





# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	1
제1절 배경 및 목적 .....	3
제2절 적용범위 및 주의사항 .....	4
<b>제2장 천적생물 적용개념 및 배양장치 개요</b> .....	7
제1절 녹조 발생원인과 특성, 적용가능한 녹조제어 기술 .....	9
제2절 천적생물을 이용한 녹조제어 개념 .....	18
제3절 천적생물 배양장치의 개념 .....	25
제4절 관련기술에 대한 지적재산권 .....	27
<b>제3장 천적생물 배양장치 기본구상 및 계획수립</b> .....	31
제1절 천적생물 배양장치 기본구상 .....	33
제2절 천적생물 배양장치 기본계획수립 .....	34
<b>제4장 천적생물 배양장치 설계</b> .....	43
제1절 천적생물 배양장치 설계인자 및 설계조건 .....	45
제2절 천적생물 배양장치의 세부 설계 .....	48
<b>제5장 천적생물 배양장치 운영 및 유지관리</b> .....	53
제1절 천적생물 배양장치 운영 .....	55
제2절 천적생물 배양장치 유지관리 .....	69
<b>제6장 천적생물 배양장치 모니터링 및 운영체계 평가</b> .....	77
제1절 천적생물 배양장치 및 녹조제어 효과 모니터링 .....	79
제2절 천적생물 배양장치 운영체계 평가 .....	83
<b>참고문헌</b> .....	85
<b>참여자 명단</b> .....	86

# 표 목 차

표 1. 농업용저수지에 적용가능한 녹조관리기술 .....	14
표 2. 최근 도입되고 있는 녹조제거기술 .....	15
표 3. 자연수역에 분포하는 천적생물 가능 종 .....	23
표 4. 녹조발생 시 적용가능한 동물플랑크톤 종류 및 특징 .....	23
표 5. 단위 면적당 일정 클로로필 저감 시 필요 천적생물 개체수 .....	38
표 6. 배양장치 규모에 따른 천적생물 살포량 및 녹조제어범위 .....	38
표 7. 저수지 규모 및 녹조발생 정도에 따른 배양장치 규모*제어목표 .....	39
표 8. 천적생물 현장적용 장치의 특성 및 기능 .....	40
표 9. 천적생물 배양장치의 설치비 분석 .....	41
표 10. 유지관리비 산출내역 .....	42
표 11. 녹조제어를 위한 천적생물 투입개체수 결정을 위한 설계인자 .....	45
표 12. 각 부분의 명칭 및 설계요소 .....	47
표 13. 유입펌프 설계요소 .....	48
표 14. 원수분리조 설계요소 및 사양 .....	49
표 15. 식물플랑크톤 배양조 설계요소 및 사양 .....	50
표 16. 동물플랑크톤 배양조 설계요소 및 사양 .....	50
표 17. cage 설계조건과 사진 .....	52
표 18. 녹조발생 시기와 배양장치 운영방안 .....	56
표 19. 녹조발생전 초기제어 운영조건 .....	57
표 20. 녹조발생시 긴급방제 운영조건 .....	58
표 21. 시운전시 고려 및 점검사항 .....	60
표 22. 천적생물 배양장치 운영조건 .....	61
표 23. 녹조발생 정도에 따른 배양장치 운전조건 변화 .....	62
표 24. 천적생물 종주의 유지배양, 실내배양, 현장배양조건 .....	64
표 25. 최적의 배양기간에 따른 살포 가능한 천적생물 개체수 .....	65
표 26. 천적생물 배양시설 유지관리 점검사항 .....	70
표 27. 천적생물 배양시설 현장점검표 .....	74
표 28. 천적생물 배양시설 일일 근무 일지 .....	75
표 29. 효과적 운영을 위해 최소한으로 요구되는 모니터링 .....	79
표 30. 천적생물을 이용한 녹조제어 체계의 운영체계 평가 .....	83



# 그림 목 차

그림 1. 평균수심, 유역면적/만수면적, 제당높이/제당길이 비 등에 따른 녹조발생 특성	10
그림 2. 농업용저수지 등 호소의 녹조발생원인	11
그림 3. 농업용수원의 월별 Chl-a 초과율	12
그림 4. 농업용수 측정망 지구의 수질인자별 녹조발생 특성	13
그림 5. 포식성 천적생물과 호소생태계 먹이망	18
그림 6. 윤충류	19
그림 7. 지각류	21
그림 8. 요각류	22
그림 9. 건강한 생태계와 부영양화 생태계의 플랑크톤 먹이망	24
그림 10. 천적생물 배양장치 적용개념	25
그림 11. 천적생물 배양장치 배치단면도	26
그림 12. 육상형 천적생물 배양장치 운영모습	26
그림 13. 설계기준 장치	40
그림 14. 배양장치 설계도	46
그림 15. 원수분리조 구조	49
그림 16. 동물플랑크톤 배양조 구조	51
그림 17. 유량분배계획	52
그림 18. 초기제어 운영방안 및 적용가능한 자연분리 천적생물	57
그림 19. 녹조제어 운영방안 및 적용가능한 천적생물 종주들	59
그림 20. 대량살포 유출구 밸브	67
그림 21. 점살포와 면살포 방식	68



# 제 **1** 장

## 서 론

제1절 배경 및 목적

제2절 적용범위 및 주의사항



# 제1장 서론

## 제1절 배경 및 목적

### 가. 배경

- 본 매뉴얼은 농림수산식품부에서 지원한 『농업용수원에서 녹조방지를 위한 천적생물 적용기술 개발(2010 ~ 2012)』과제의 결과를 바탕으로 하였다.
- 최근 기후변화에 따른 온난화와 극단화가 점차 가중되는 가운데 농업용수원의 부영양화도가 지속적으로 증가하고 있어 저수지와 담수호 등 농업용수원에서의 녹조발생이 점차 심화될 것으로 추정하고 있다.
- 녹조는 수중의 생산자인 식물플랑크톤, 특히 남조류에 의해 발생되며, 수온, 햇빛, 영양염류 등 조건이 충족되면 쉽게 대발생하지만, 그동안 단편적이고, 일시적인 방제효과를 가진 물리적, 화학적 공법의 적용으로 효과적인 관리가 이루어지지 못한 실정이다.
- 녹조가 발생하면, 수질오염, 독성물질 생산, 물고기폐사 등 용수의 질적 저하는 물론, 수생태 건강성을 저해하므로, 수생태적으로 안전하고, 효과 지속성을 가지고, 특히, 녹조발생시 효과적인 방제는 물론 사전에 예방할 수 있는 기능을 가진 녹조 제어기술의 개발과 활용을 위한 가이드라인 필요하게 되었다.
- 본 기술은 녹조원인생물을 효과적으로 포식하는 천적생물로서 동물플랑크톤의 군집을 인위적으로 도입하고, 활성화하여 녹조생물을 사전에 억제하고 제어하는 기술로 기존의 저수지가 가진 생태학적 조절기능을 강화하여 생태계 먹이망을 동적 평형상태로 안정화시키는 역할을 한다.
- 다시말해, 오랜 부영양화로 인해 비정상적 변형으로 녹조가 빈발하는 농업용수원의 체질을 개선하여 수생태계를 정상화시킴으로써 자연스레 녹조를 제어하는 차세대 친환경 미래기술이다.
- 본 매뉴얼은 녹조발생이 심각한 농업용저수지와 담수호에서 녹조를 효과적으로 제어하는데 쉽게 활용할 수 있는 토대를 마련하고자 하였다.

## 나. 목적

- 본 매뉴얼은 우리공사의 농업용수 유지관리 담당자들이 농업용저수지와 담수호의 녹조발생에 효과적으로 대처하고, 사전에 제어할 수 있도록 천적생물 배양장치의 설계, 운영, 유지관리 등 현장 적용시 쉽고, 정확한 정보와 기술을 제공하고자 한다.
- 본 매뉴얼은 생물학, 생태학, 생태공학 등 생물에 대한 충분한 지식을 갖추고 있지 않은 담당자들이 손쉽게 적용할 수 있도록 가급적 쉽고, 단순화된 적용 방안을 제시하고자 한다.

## 제2절 적용범위 및 주의사항

### 가. 적용범위

- 본 매뉴얼은 농업용저수지와 담수호 등 정체수역에서 남조류 등에 의한 녹조 발생(algal bloom)을 사전에 예방하고 방제하기 위한 제어방안으로 적용한다.
- 본 매뉴얼은 천적생물 배양장치의 설계, 현장설치 및 운영, 유지관리에 관한 내용을 포함하며, 홍만수면 부지를 활용한 육상형 배양장치 적용을 전제한다. 단, 필요에 따라 수면에 띄우는 수상형 장치 적용이 불가피할 경우 주관연구기관이 농어촌연구원 또는 협동연구기관인 (주) 아섬에 별도 문의하여 방안을 협의한다.

### 나. 주의사항

- 저수지의 물리구조적 특성, 오염특성 등 녹조발생 원인에 따라 적용조건이 달라지므로 대상수역의 여건을 충분히 감안하여 적용하여야 한다.
- 본 매뉴얼에 제시한 천적생물 배양장치 적용시 적용가능 조건을 충분히 감안하고, 사전 조사를 통해 적정규모를 산정하여 적용해야하며, 효과의 상승을 위해 물순환장치와 같은 물리적 장치의 병행 도입을 권장한다.
- 본 매뉴얼은 10 ~ 30 m<sup>2</sup> 규모의 소규모 현장플랜트 실험결과를 바탕으로 작성되었기 때문에 대규모 적용 시 규모화에 따른 보정을 반드시 실시하여야 한다.

- 천적생물 배양장치의 계획, 설계, 시공 및 유지 관리 시에는 예기치 못한 현상이 발생할 수도 있으므로 관련전문가 및 자문위원단을 구성하여 현장여건에 적절한 대응이 이루어지도록 하여야 한다.
- 본 매뉴얼의 천적생물 배양장치는 생물을 대상으로 먹이망을 활용한 생태공학적 기술로 기상여건(저수온기, 강우기)을 고려하고, 봄, 가을 운영을 권장하며, 수역에 주요 포식자인 블루길, 배스 등이 많을 경우 그에 대한 적절한 대책을 마련하는 것이 바람직하다.
- 배양장치 적용 후 녹조제어 효과가 충분히 발휘되기 위해서는 배양장치의 적절한 운영과 지속적인 유지관리가 필수적이다.
- 또한, 본 기술은 생태계 먹이망을 강화하여 건강성을 회복시키는 생물배양기술로 대상수역에 완전 정착되고 안정화되는데 인공습지처럼 수개월에서 2~3년이 소요될 수 있으므로 장기적 대책으로 적용해야한다.
- 이 매뉴얼에서 제시하지 못하고 있는 부분은 보고서의 본문을 참고하고, 본서에서 제시하고 있는 내용에 대한 이론적인 근거는 “참고문헌”을 통해서 얻도록 한다.





# 제 2 장

## 천적생물 적용개념 및 배양장치 개요

제1절 녹조발생원인과 특성, 적용가능한 녹조제어 기술

제2절 천적생물을 이용한 녹조제어 개념

제3절 천적생물 배양장치의 개념

제4절 관련기술에 대한 지적재산권



## 제2장 천적생물 적용개념 및 배양장치 개요

### 제1절 녹조 발생원인과 특성, 적용가능한 녹조제어 기술

#### 가. 녹조발생 원인과 식물플랑크톤 특성

- 녹조를 일으키는 원인 생물은 식물플랑크톤이라는 원시 식물체로 햇빛, 수온, 영양물질, 물의 정체 등 일정 조건만 맞으면 단시간에 급성장하는 매우 효율 좋은 생물공장이기 때문에 이들 녹조, 적조의 성장속도를 인간의 기술이 따라잡지 못하는 한계를 보이고 있는 것이 사실이다.
- 녹조, 즉, 식물플랑크톤이 대발생하는 환경적 요인으로는 이들의 성장을 최적화 할 수 있는 충분한 일조량(태양에너지), 적정수온, 질소, 인 등의 영양물질, 그리고, 부유성의 식물플랑크톤이 안정적으로 광합성 할 수 있을 정도의 낮은 유속(체류시간) 등이 그것이다. 이 중에서 일조량과 수온은 자연적 특성으로 어찌할 수 없는 조건이며, 농업용수원의 특성상 체류시간도 변경하기가 힘든 상황이다.
- 따라서, 많은 농업용 저수지와 담수호들 중에서 녹조가 발생이 이루어지는 호소의 경우, 유역으로 부터 유입되는 질소, 인과 같은 영양염류의 양이 녹조를 유발하는 직접적인 요인이며, 특히, 인의 농도가 제한인자로 작용하는 이유로 인의 유입이 가장 주요한 원인이라 할 수 있다.
- 또한, 저수지, 담수호, 댐호 등의 호수내 생태계에서 먹이망 구조 역시 녹조발생의 한 원인이 될 수 있다. 즉, 녹조원인 식물플랑크톤을 포식하는 1차 소비자, 즉 동물플랑크톤의 군집이 클 경우 녹조가 억제되는 반면, 동물플랑크톤의 군집 규모가 상대적으로 작으면 포식자의 부재로 인해 녹조발생이 가중될 수 있다. 녹조발생 빈도가 높은 대부분 농업용저수지의 경우 식물플랑크톤을 효과적으로 포식하는 동물플랑크톤이 없거나 거의 존재하지 않는 것으로 알려져 있다.
- 추가적으로 녹조발생 원인으로 농업용수원의 물리구조적 특성을 들수 있는데, 평균수심, 유역면적/만수면적 비, 제당높이/제당길이 등의 수치는 녹조발생 정도를 예측할 수 있는 좋은 지표로 사용된다.

- 평균수심은 유효저수량을 만수면적으로 나눈 유효수심으로 수심 4m 이하에서 클로로필 a(Chl-a)와 화학적산소요구량(COD) 농도가 급증하여 수질 기준을 초과하고 있어 수심이 4m 이하일 때 녹조발생 위험이 높다.
- 유역면적/만수면적 비는 강수 등에 의한 물의 저수지 유입유출량을 의미하여 체류시간과 연계된다. 유역면적/만수면적 비가 클수록 유역으로부터 유출되는 수량이 증가하여 저수지의 체류시간이 짧아지므로 Chl-a 농도가 안정적으로 나타나고 있는 것을 알 수 있으며, 유역면적/만수면적비가 20 이하일 때 Chl-a의 급격한 증가가 나타나 20이하의 유역면적/만수면적비가 녹조발생에 유리한 조건을 제공하고 있음을 알 수 있다.
- 제당높이/제당길이의 비는 저수지의 형상을 나타내는 지표이다. 다시말해 저수지의 형상을 물그릇에 비유하면, 제당높이가 높을수록 물그릇은 깊은 사발형태가 되고, 제당길이가 길어지면 폭이 넓은 접시 형태가 되는 것으로, 제당높이가 낮을수록, 제당길이가 길수록, 즉 지수가 낮을수록 납작한 접시에 가까워져 녹조발생에 유리한 저수지 형상이 되는 것이다. 몇몇 복잡한 형태의 저수지가 있지만 단순화한 형태로 가정하였을 때 적용가능한 지수이다. 농업용수 수질측정망 지구의 제당높이/제당길이에 따른 수질 평균값은 도시한 결과 0.04이하에서 급격히 증가하고 있어 제당높이/제당길이의 비가 0.04이하일 때 녹조발생 가능성이 높아지는 것으로 나타났다.

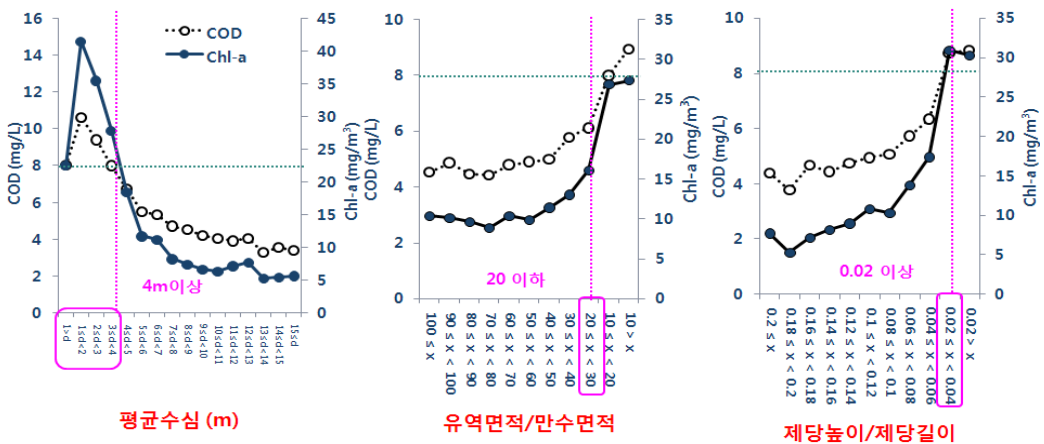


그림 1. 평균수심(유효저수량/만수면적 비), 유역면적/만수면적, 제당높이/제당길이 비 등에 따른 녹조발생 특성

- 농업용저수지 등에서 주로 많이 발생하는 남조류는 *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*속이며 그 특성은 다음과 같다.

- 비교적 고온성이기 때문에 여름철에 주로 발생한다.
- 점액질을 내거나 기포를 가진 종이 많아 쉽게 침강되지 않고 수표면에 집적하여 대발생하는 경우 물을 청녹색으로 물들이고 scum을 형성한다.
- 정수장에서 여과지를 폐색시켜 수돗물 생산을 어렵게 하는 경우가 많다.
- 많이 발생하면 취기를 발생하여 민원의 대상이 된다.
- 일부 남조류는 독성을 가지고 있어 동물플랑크톤에 쉽게 섭식되지 않는다.



그림 2. 농업용저수지 등 호소의 녹조발생원인

## 나. 농업용수원의 녹조 발생특성

- 농업용수 수질측정망(2008년~2010년) 지구의 녹조발생(Chl-a 농도)은 월별로 어떤 특성을 보이는 지 살펴보았다.
  - 농업용수 수질기준인 환경기준 IV등급(Chl-a 35 mg/m<sup>3</sup>) 초과율은 1월에 1.4%로 최소값을 보인 후 점차 증가하여 6월~12월동안 10.5~12.9%로 녹조 발생 가능시기에는 10%를 초과하고 있다(그림 3). 특히, 8월과 9월에 최고 초과율을 보이고 있으며, 저수온기인 12월에도 11%의 높은 초과율을 유지하여 녹조성장이 결빙기 이전까지 계속되고 있음을 보여주었다.
  - 녹조발생기준(조류대발생)인 Chl-a 100 mg/m<sup>3</sup> 초과율은 결빙기인 1월과 3월, 강우기인 7, 8월을 제외하면 1% 이상의 수준을 보였으며, 9월에 최고 수준을 보여주었다.

- 결과적으로 농업용저수지의 녹조발생현황은 농업용수 기준 Chl-a 35 mg/m<sup>3</sup> 적용시 전체 측정망지구의 약 10 %, 조류 대발생 기준인 100 mg/m<sup>3</sup> 적용시 약 1%에 해당하는 지구가 녹조발생에 취약하다 할 수 있다.

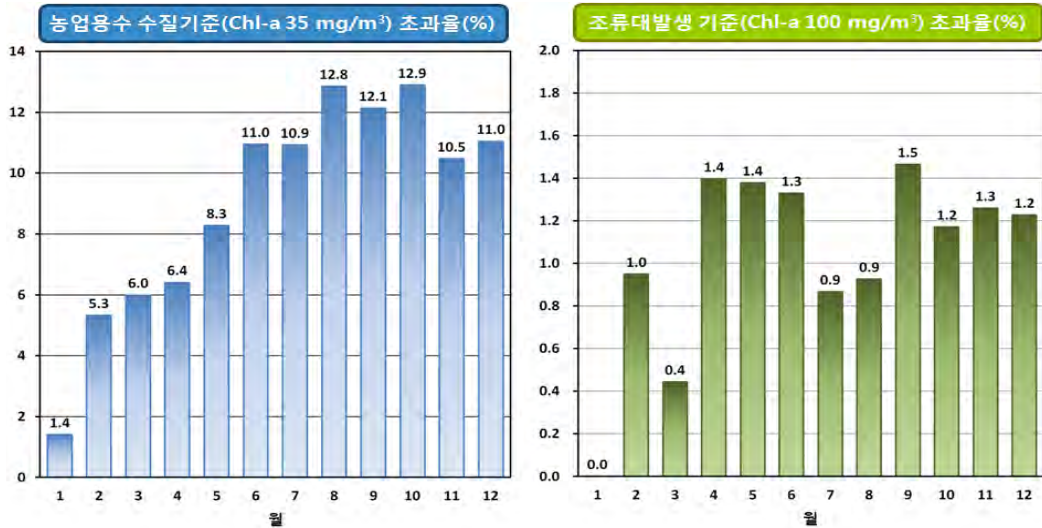


그림 3. 농업용수원의 월별 Chl-a 초과율

- 농업용수 수질측정망 조사결과(영산강, 1999년 ~ 2011년)를 토대로 수온, COD, 총인(TP), 질소/인 비율(N/P 비)에 따른 녹조발생(Chl-a) 특성을 분석하였다.

- 수온변화에 따른 Chl-a 증가 특성을 보면 수온 18 ~ 20 °C 전후로 가장 높은 수준을 보이고 있으며, 녹조발생 기준인 100 mg/m<sup>3</sup>이상 조건의 수온 범위를 보면 3 ~ 32 °C로 상당히 광범위하게 나타나 녹조발생이 불가능할 것으로 보이는 저수온 3 °C에서도 녹조가 발생하고 있다.
- COD는 식물플랑크톤에 의한 내부생산으로 발생하는 유기물과 밀접한 연관성을 보여 Chl-a 농도와 높은 상관관계( $R^2=0.512$ ,  $p<0.05$ )를 보이고 있다. 그러나 녹조발생 기준인 Chl-a 100 mg/m<sup>3</sup>이상의 수준에서 COD 분포 범위를 보면 4 ~ 28 mg/L로 COD와 Chl-a 의 관계가 정확히 일치하지 않았다.
- TP는 식물플랑크톤 성장의 주요 제한 인자로서 녹조발생과 밀접한 연관성이 있다. 녹조발생(Chl-a >100 mg/m<sup>3</sup>) 수준에서의 TP 범위를 보면 0.03 mg/L ~ 0.45 mg/L로 수온, COD와 같이 상당히 넓게 분포하고 있으며, 특히, TP 0.03 mg/L 수준에서도 녹조가 발생할 수 있음을 보여주어 녹조방지를 위한 인 제거에 더 많은 노력이 필요함을 시사하였다.

- 녹조발생 수역의 N/P비에 따라 선호하는 식물플랑크톤 종이 변화하는데, 이는 종마다 선호하는 N/P비가 있기 때문이다. 측정망 지구의 N/P비는 1.4~595로 매우 광범위하게 나타나지만 N/P비가 증가할수록 P(인)가 제한인자로 작용하기 때문에 높은 N/P비는 녹조발생과 무관해진다. 녹조발생 구간인 Chl-a 100mg/m<sup>3</sup>이상에서 N/P비를 보면 5~36범위를 보이고 있어 5 < N/P비 < 7 (중량비) 구간에서는 TN(질소)이 제한인자로 그 외 구간에서는 TP(인)가 제한인자로 작용하여 녹조를 유발하는 것으로 나타났다.

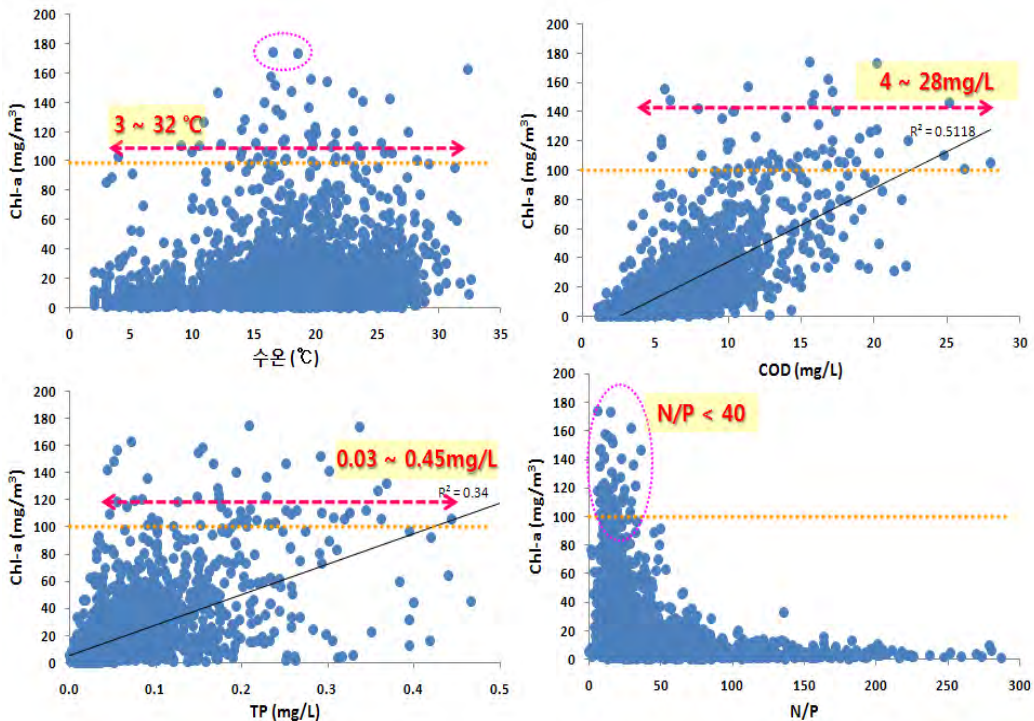


그림 4. 농업용수 측정망 지구(영산강수계)의 수질인자별 녹조발생 특성

#### 다. 적용가능한 녹조제어 기술

- 농업용수원에 적용가능한 녹조관리기술의 종류와 적용조건, 단기 및 장기효과, 비용 분석결과를 표 1에 나타내었으며, 이외에도 미생물의 생리활성을 이용한 수처리제로써 다양한 미생물제제, 천연물질을 이용한 응집처리, 화학적 산화제로써 수산화마그네슘, 이산화염소, 차아염소산 나트륨 등이 최근 도입되고 있다.

표 1. 농업용저수지에 적용가능한 녹조관리기술 (농식품부, 2009)

처리방법	단기 효과	장기 효과	비용	조건
생물조절 (Biomanipulation)	G-P	E	L	.단독적용보다는 다른공법과의 연계적용시 효과 상승 .생물서식처의 확보와 동시에 고려되어야함 .생태계구조와 기능에 대한 사전조사가 선행되어야함 .경제성이 높고 친환경적 .물리.화학적 방법에 비해 효과 발현에 장시간 필요
생물수확	E	F	H	.부영양상태의 외부부하가 적은 저수지에 적용가능 .수생식물은 수질에 미치는 긍정적 효과와 부정적 효과에 대한 검토 후, 수확시기 등을 결정하여 적용 .수확된 생물의 처리방법이 수립되어야 함
인불활성화	E	F	L	.내부부하가 큰 부영양 저수지에 적용가능 .국내기후 여건상 적용이 어려움
유로변경	E	F	H	.외부부하가 크고, 유로거리 짧은 저수지에 적용가능
희석	E	E	H	.희석수 사용가능한 수원이 인근에 위치한 경우 적용
폭기 (물순환)	P	F	H	.수심이 깊고 규모가 작은 저수지에 적용가능 .심층폭기는 심층무산소층이 형성되고 내부부하가 큰 저수지에 적용가능 .전층폭기는 내부부하보다는 외부부하가 크고 수심이 깊은 저수지에 적용가능
응집부상	E	P-G	H	.부영양화와 녹조발생이 심한 저수지에 적용가능 .단기간내에 큰 효과를 기대하는데 유리 .효과지속성은 낮음
선택적방류	E	E	H	.내부부하가 큰 저수지에 적용가능하며 도수관 설치가 용이한 저수지에 설치가능
준설	E	E	H	.수심이 얕고 내부부하가 큰 저수지
수위저하	G	F	L	.수량의 유지가 용이하고, 수생식물의 피복도가 높아 수질에 문제가 되는 저수지
퇴적물피복	E	F	H	.내부부하가 큰 저수지 .비용이 많이 들고 유지보수가 어려워 적용이 어려움

(주)E=Excellent, F=Fair, G=Good, P=Poor, H=High, L=Low

● 표 2는 최근 도입되고 있는 녹조제거 기술을 정리하여 나타내었다.

- 녹조발생수역에서 조류를 응집 부상시켜 제거하는 응집부상처리 및 천연 물질 처리는 호수외로 많은 양의 조류를 제거하여 폐기하는 방법으로 처리량에 따라 녹조제거에 효과적이라 할 수 있으나, 수거되지 못한 일부의 양이 호내 퇴적물에 침강하여 재 부유 할 수 있는 문제점이 있으며, 특히, 화학적 응집제를 처리하는 경우 생태계에 독성을 남길 수 있다.
- 미생물 제재의 경우 7~8월 같이 수온이 높아 미생물의 활성을 최적화 할



수 있는 조건에서는 효과를 보이지만, 녹조가 주로 발생하는 3~5월, 9~10월 수온이 높지 않은 시기에는 효과가 크지 않은 것으로 나타나 녹조발생 시기와 잘 맞지 않아 비효율적이다.

- 초음파, 오존, 살조세균 등의 기술은 녹조를 호내에서 사멸시키는 방법으로 사멸된 녹조로부터 영양염류가 재용출되어 재발생을 유도하므로 일시적 효과는 있으나 장기적으로는 문제가 되는 기술로 판단된다.

**표 2. 최근 도입되고 있는 녹조제거기술**

구 분	공 법 특 징
응집부상처리	.개요 : 미세기포 또는 미세기포와 응집제 등을 혼합.분사하여 녹조와 수중, 호저 부니층의 오염물질을 수면위로 부상.제거하여 수질을 개선하는 공법 .처리범위 : 호소 전수역의 수층, 부니층 .적용제한 : 유효수심 1.5~3m범위의 저수심 지역 .적용시기 : 녹조 대발생 초기 또는 대발생후 .문제점 : 응집제의 수중 잔류 및 퇴적층의 오염농도 증가
미생물처리	.개요 : 미생물 단독 또는 미생물과 보조재를 이용하여 오염물질을 분해.제거하거나 수생태계의 생물활성도를 높여 오염물질을 생물이 흡수.제거함으로써 수질을 개선하는 공법 .처리범위 : 호소 전수역의 수중, 부니층 .적용제한 : 없음(장마.동절기 제외) .문제점 : 수온, pH, 용존산소 등 환경제약이 크고, 안정화에 소요되는 기간이 2개월 정도로 긴 편임
천연물질처리	.개요 : 식물 또는 천연광물의 성분을 이용하여 녹조발생억제, 발생한 녹조와 수중오염물질을 제거하여 수질을 개선하는 공법 .처리범위 : 호소 전수역의 수층, 부니층 .적용시기 : 녹조 발생시기 또는 수질오염도 증가시기 .문제점 : 응집부상원리로 제거되므로 잔존물질 침전, 재부유됨
물리적 순환처리 (물순환장치)	.개요 : 폭기 또는 임펠러를 이용해 저층까지 산소를 공급하여 수직·수평으로 물의 순환을 유도함으로써 수중 및 부니층의 오염물질의 분해제거등 작용을 통해 수질을 개선하는 공법 .처리범위 : 유효수심 1.5~3m범위의 저수심 지역 .적용시기 : 녹조 발생시기 또는 수질오염도 증가시기 .문제점 : 작용범위가 예상 보다 좁고, 수심이 낮은 경우 퇴적층을 교란하여 녹조발생이 가중될 수 있음
전기적처리	.개요 : 초음파, UV, 오존 등 전기 이용, 또는 그 형태를 변경하여 녹조발생을 억제하거나, 사멸시켜 수질을 개선하는 공법 .처리범위 : 호소 전수역의 표층 .적용시기 : 녹조 대발생 초기부터(적용제한 없음) .문제점 : 사멸된 녹조의 영양염류 재용출로 녹조재발 가속화

- 물순환 장치는 성층이 형성되는 6m이하의 저수지에서는 효과가 있을 수 있으나 녹조발생 저수지 대부분이 평균 수심 4m이하에 분포하고 있어 퇴적물 교란에 따른 녹조발생 촉진으로 녹조 발생 저수지에의 적용은 문제가 있다.
- 따라서, 녹조발생의 특성과 녹조빈발 저수지의 특성을 모두 감안한 효과적인 녹조제거 공법의 적용이 필요하다.

## 라. 생물을 이용한 녹조제어 기술

- 편모충/섬모충/후생동물 플랑크톤을 이용한 제어
  - 녹조발생 조류의 섭식을 통해 제어하는 기법으로 포식성의 편모충, 섬모충, 후생 동물플랑크톤 등 천적생물을 수계에 살포하여 제어한다.
  - 일본에서는 소규모 호수에서 물고기를 모두 제거한 후 인공적으로 배양한 동물플랑크톤을 살포하여 시간경과에 따라 녹조가 제어됨을 확인하였으나 규모가 작고 제한적이었다.
  - 국내에서도 마산만의 적조를 대상으로 실험실에서 대량배양한 천적생물을 냉장차로 운반하여 살포한 실험을 통해 적조제어 기능을 확인하였으나, 비용과 규모의 제약이 컸다.
  - 지금까지의 기술은 실내에서 이상적 조건으로 대량 배양한 후 녹조 또는 적조발생수역까지 운반하여 적용한 사례로써 운반비용이 높고, 운반과 살포과정에서 치사율이 증가하여 효율이 높지 않은 문제가 있었다.
  - 한국농어촌공사에서 개발한 천적생물 적용기술은 위의 문제점을 해결하고자 녹조발생수역에서 천적생물을 대량 배양할 수 있는 현장배양장치를 개발하였으며, 그 성공으로 인해 비용경제적이며, 효과적인 녹조제어 기술로 소개할 수 있게 되었다.
  - 천적생물을 분리하고 효과를 입증하기 위한 과정이 까다롭고, 많은 시간과 노동력이 소요되지만, 친환경적인 제어기법으로 발전가능성은 크다. 또한, 대량생산 시설 설치를 위해 초기비용이 높고, 천적생물 안정화에 시간이 다소 소요되지만, 장기간 저비용의 유지관리를 통해 지속가능한 방법이며, 시범사업을 통해 적정규모수준의 실용화단계에 도달할 것으로 기대한다.
- 패류/어류를 이용한 녹조제어
  - 녹조원인 조류를 섭식하는 어패류를 확보하여 대량 배양하여 녹조발생 지

역에 적용해 녹조를 제거하는 방법으로 식용 재첩이나 말조개 등을 사육하여 식량생산과 수질개선을 동시에 추구하는 방법도 시도되었다.

- 백연어(silver carp)는 식물플랑크톤을 먹는 어류로서 남조류 제거에 효과가 있다는 보고도 있으며, 우리나라에서 자연번식이 되지 않으므로 생태계 교란의 위험 없이 사용할 수 있으나 아직 효과를 검증하는 단계이다.

● 살조 세균/곰팡이/바이러스를 이용한 녹조 제어

- 수계 내 존재하는 미생물을 활용하는 기법으로 녹조 원인 생물에 효과적인 미생물을 직접 녹조발생 지역에 살포하여 녹조를 제어하며, 미생물(세균, 곰팡이, 바이러스 등)은 직, 간접적으로 특정 조류의 세포수를 감소시키거나 증가시킬 수 있다는 것이 보고되고 있다.
- 주로 연못, 저수지 등의 소규모 수계에 적용되고 있으며, 국내에서는 최근 살조세균에서 유해한 살조물질을 분리하여 상용화에 성공하였으나 분해된 조류가 재성장 할 수 있으므로 원천적 제어방법으로는 한계를 가진다.

● 인공식물섬을 이용한 녹조제어

- 수생식물이 식재된 미디어를 호소 수면에 띄워 영양염을 흡수 제거하고, 피음효과에 의해 녹조발생을 미연에 방지하기 위한 목적으로 이용되었으며, 생물학적 제어기법 중 생태복원사업과 병행하여 가장 많이 사용되어 왔으나, 녹조제어 효과에 대해서는 직접적인 규명이 어려울 정도로 수치화 되지 못하고 있다.
- 전국 하수처리 시설을 포함한 대청호, 송도 야조공원 유원지, 화천 파로호, 충남 마산저수지, 경기도 탄천, 군포시 당정천 외 다수에서 인공식물섬을 적용하고 있으며, 생물의 활성이 떨어지는 동절기에는 제거효율이 저하되는 단점을 가지고 있어, 직접적인 제어방법으로는 한계가 있다.

## 제2절 천적생물을 이용한 녹조제어 개념

### 가. 포식성 천적생물이란

- 농업용수원에서 녹조 제어에 적용하는 천적생물이란, 호소 생태계 먹이망에서 녹조원인 생물인 식물플랑크톤을 직접 잡아먹는 물고기, 패류, 동물플랑크톤을 말하며, 이외에 식물플랑크톤의 성장을 저해하는 곰팡이, 세균, 바이러스 등이 있다. 이 중에서 식물플랑크톤을 직접 잡아먹어 녹조를 제어하는 물고기, 패류, 동물플랑크톤을 포식성 천적생물이라 하며, 본 기술에서는 특히, 동물플랑크톤을 대상으로 하고 있다.
- 본 매뉴얼에서 말하는 포식성 천적생물은 녹조원인생물인 식물플랑크톤을 직접 포식하는 동물플랑크톤을 말한다.



그림 5. 포식성 천적생물과 호소생태계 먹이망

### 나. 동물플랑크톤의 특성

- 동물플랑크톤은 광합성을 하지 못하고 운동성을 가지며, 생산자인 식물플랑

크톤(phytoplankton)이나 일부 박테리아를 포식하는 1차 소비자역할을 하는 플랑크톤을 말하며, 그 특성은 다음과 같다.

- 담수동물플랑크톤에는 윤충류(Rotifera), 지각류(Cladocera), 요각류(Copepoda) 등이 주종을 이룬다.
- 동물플랑크톤은 전 수역에 분포하며 주야수직이동(diurnal vertical migration)을 한다.
- 동물플랑크톤은 부유하는 습성 때문에 물의 흐름에 따라 쉽게 옮겨질 수 있으며, 동물플랑크톤의 분포를 제한하는 주된 요인은 수온이 그 원인 중 하나이다.

● 윤충류(Rotifera)

- 윤충류는 주로 담수에 살고, 육상의 습지와 바다에도 약간 살고 있으며, 또 윤충류 일부는 갑각류에 외부기생하고, 부유하는 것, 수초(水草)에 붙어 사는 것, 헤엄치는 것 등이 있다. 크기의 범위는  $40\ \mu\text{m} \sim 2.5\ \text{mm}$ 이나 보통  $100 \sim 500\ \mu\text{m}$  정도의 크기를 갖는다.

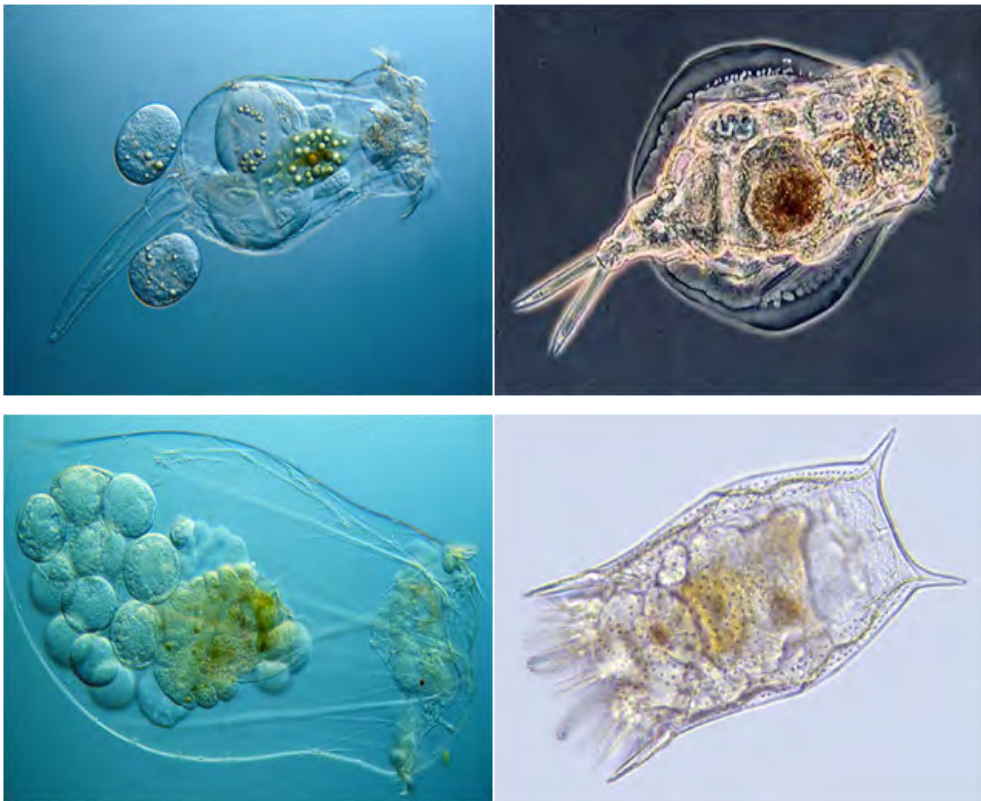


그림 6. 윤충류

- 전 세계적으로 2,000여 종이 알려져 있으며, 바위 위에 고인 물, 비온 후 형성된 웅덩이, 도랑과 같은 일시적인 수역에서부터 늪, 호수, 연못, 강, 기수호, 논, 유속이 완만한 계류 등의 수역까지 다양한 담수역에서 높은 밀도로 살아가면서 원생동물, 박테리아, 수초의 체액, 미소갑각류, 다른 유행 동물, 부니질(detritus) 등을 먹고, 동시에 다른 수서 무척추동물 및 소형척추동물의 먹이가 되므로 먹이그물의 중요한 연결고리가 되고 있다.

● 지각류(Cladocera)

- 지각류는 분류상으로는 절지동물문 새각아강에 속하는 소형 갑각류로서 *Daphnia*속에 속하는 물벼룩류가 많아 물벼룩류로 통칭하기도 한다. 주로 담수에 서식하며, 세계적으로 약 1,000종이 알려져 있다. 크기는 0.5 ~ 5 mm로 아주 작다.
- 포식성 지각류를 제외하고는 대부분 물에 뜨거나 가라앉은 채로 미세한 유기물을 먹고 산다. 번식은 주변 환경이 좋을 때는 수컷의 정자 없이도 단위생식(單爲生殖:처녀생식)으로 번식하고, 환경이 나쁠 경우에 한해 유성생식(有性生殖)을 한다.
- 호수·연못·강 등 거의 모든 담수에 서식하며, 일부는 바다에서도 발견된다. 어류의 중요한 먹이원이며, 육수 생태계에서 매우 중요한 위치를 차지한다. 수온이 높은 여름에는 암컷이 낳은 30개 이상의 알이 수정을 거치지 않고 가슴 윗면과 갑각 사이에서 발생한 뒤 유생이 되어 나온다. 이렇게 암컷은 수컷 없이 단위생식을 하는데, 이런 알을 여름알이라고 한다.
- 수온이 낮아지면 암컷은 2개의 큰 알을 낳고 이 가운데 1개가 발생하여 수컷이 된 뒤 양성생식을 한다. 수정란은 두껍고 질긴 난막으로 싸이고 모체가 탈피한 껍데기에 덮여 지내는데, 이 알을 겨울알이라고 한다. 겨울알은 이듬해 봄에 깨어나 단위생식을 하는 암컷이 된다.
- 보통 태어난 후 5 ~ 9일 정도 지나 성체가 된 다음 보통 이틀 간격으로 어미의 건강상태나 온도, 광조건등의 환경요인에 따라 다르지만 한 번에 많으면 30마리 이상 새끼를 낳기도 하며, *Daphnia magna*의 경우 1마리당 평균 358마리의 새끼를 출산하였다는 기록이 있다. 평균 수명은 *D. magna*가 50일로 가장 길고 평균 30 ~ 40일 정도로 알려져 있다.

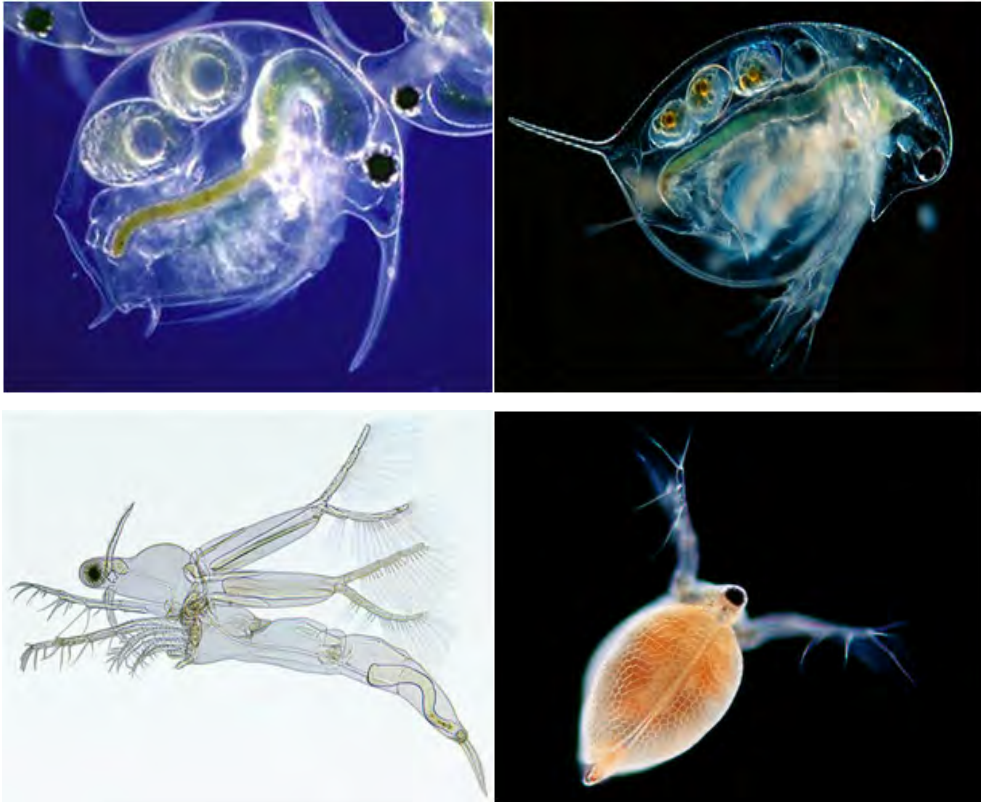


그림 7. 지각류

● 요각류(Copepoda)

- 요각류는 절지동물문 갑각강에 속하며, 현서종이 10,000종 이상 기재되어 있다. 많은 수가 해산이며, 담수산, 그리고 이끼틈 등에 서식하는 종류도 있다. 플랑크톤성인 것은 수중생물의 먹이연쇄에 매우 중요한 역할을 한다. 부유성인 것과 저서성인 것 모두 종이 매우 다양하며, 크기는 대부분 몸길이가 1 mm 이내에서부터 수 mm에 이른다.
- 담수플랑크톤성 요각류는 조류 등 물속에 떠다니는 입자들을 걸러먹고 살며, 물속에서 단속적으로 매우 빠르게 튀듯 움직인다.



그림 8. 요각류

#### 다. 천적생물을 이용한 녹조제어 개념





- 포식성 천적생물을 이용한 녹조제어의 기본 원리는 다음과 같다.
  - 생태계 내에는 생태계 먹이망에 따라 녹조발생 원인생물인 식물플랑크톤의 자연적인 포식자 또는 경쟁자(천적생물)가 항상 공존하고 있다.
  - 부영양화 수역의 경우 영양분이 많아 녹조원인 생물이 과도하게 번식할 수 있는 비정상적인 조건을 제공하는 반면, 이들 식물플랑크톤을 포식하는 동물플랑크톤은 남조류의 독성과 물고기에 의한 포식압으로 상대적으로 제한적으로 존재하게 되어 기능을 상실한 상태를 보여준다.
  - 따라서, 녹조발생 수역에서 자연분리한 포식성 천적생물(동물플랑크톤) 또는 우수한 포식능을 가진 Daphnia속 천적생물을 인위적으로 배양하여 녹조생물에 대한 포식압을 증가시킴으로써 1차 소비자로서의 기능을 강화하고, 생태계 내 평형관계를 유지하게 한다.
  - 이렇게 되면, 비정상적인 생태계 먹이망이 정상화 됨과 동시에 녹조원인 식물플랑크톤의 초기 성장을 억제하여 궁극적으로 녹조를 제어하게 된다.
- 저수지 같은 호수생태계에 존재하는 동물플랑크톤은 종류가 다양하지만, 녹조 제어에 활용할 수 있는 높은 섭식 능력을 가진 종은 제한적이다. 녹조발생시 적용가능한 동물플랑크톤 종류와 특성은 표 3, 4와 같다.



표 3. 자연수역에 분포하는 천적생물 가능 종

구분	천적생물 활용도 낮은 종	천적생물 활용도 높은 종
특징	개체별 녹조 섭식능력은 낮으나 높은 개체군 밀도형성 시 녹조 저감 효과를 가짐. 크기 1 mm 미만	크기가 크고 개체별 섭식능력 높으나 어류포식 등으로 현장 적용 제한 요인 존재. 크기 1 mm 이상
종류	윤충류 <i>Brachionus calyciflorus</i> <i>Brachionus rubens</i> <i>Brachionus ulceolaris</i> <i>Euchlanis</i> spp. <i>Mytilina</i> spp. <i>Asplanchna</i> spp. 지각류 <i>Bosmina</i> spp. <i>Bosminopsis deitersi</i> <i>Scaphoreberis</i> spp. <i>Alona</i> spp. <i>Chydorus</i> spp. <i>Diaphanosoma</i> spp. <i>Cerodaphnia</i> spp.	지각류 <i>Moina</i> spp. <i>Simocephalus</i> spp. <i>Sida crystallina</i> <i>Daphnia similoides</i> <i>Daphnia ambigua</i> <i>Daphnia galeata</i> 요각류 <i>Calanoid copepoda</i> <i>Eodiaptomus</i> spp.

표 4. 녹조발생 시 적용가능한 동물플랑크톤 종류 및 특징

종류	형태	몸 크기	특성	분리방법
<i>Daphnia similoides</i>		1.5~2.5mm	대형으로 녹조 섭식 능력이 뛰어나나 일반 수계에서 서식하지 않음	확보된 종주를 실내에서 증식시켜 사용
<i>Daphnia pulex</i>		1.5~2.0mm		
<i>Daphnia galeata</i>		1.0~1.5mm	하천 및 호수에 많이 서식하는 지각류로 초봄 및 가을에 높은 개체군 밀도를 보이는 경우가 많음	현장 원수에서 분리하여 증식 가능
<i>Moina</i> 속		1.0~1.5mm		

- 천적생물을 이용한 녹조제어는 자연수계에 존재하는 동물플랑크톤 천적생물을 선택적으로 분리, 대량배양하거나 녹조제거에 효과적인 천적생물 종주를 대량 배양하여 녹조발생 수역에 투입하여 녹조원인 생물을 포식하여 제거함으로써 녹조를 제어하는 방법이다.
- 녹조원인 생물인 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 정상적인 피식-포식관계의 형성이 녹조를 방지한다.
  - 실제 건강한 생태계에서는 녹조생물인 식물플랑크톤과 1차 소비자인 동물플랑크톤의 포식-피식관계가 정상적으로 이루어져 식물플랑크톤 군집의 크기가 작고 일정하게 유지되고 있어 녹조가 발생하지 않는다.
  - 반면, 부영양화가 이루어진 녹조발생 수역에서는 지속적이고 과도한 스트레스로 인해 식물플랑크톤을 포식하는 천적생물로서의 기능을 가지는 동물플랑크톤이 매우 적게 분포하거나 존재하지 않아 식물플랑크톤 군집의 크기가 비정상적으로 커지면서 녹조가 빈발한다.



그림 9. 건강한 생태계와 부영양화 생태계의 플랑크톤 먹이망

### 제3절 천적생물 배양장치의 개념

#### 가. 배양장치의 개념

- 천적생물 배양장치는 녹조발생 수역에서 포식성 천적생물을 분리, 배양하여 녹조발생수역에 적용하기 위한 목적으로 조성된 장치이다.
- 포식성 천적생물 배양장치의 개념은 다음과 같다.
  - 천적생물 배양장치는 대상수역의 물을 유입시켜 유입수 내 식물플랑크톤과 천적생물인 동물플랑크톤을 여과막을 통해 분리된 식물플랑크톤은 먹이생물배양조인 식물플랑크톤 배양조로, 천적생물은 천적생물 배양조로 이동시킨 후 먹이생물 배양조인 식물플랑크톤 배양조에서 배양한 수역의 식물플랑크톤을 포식하며 천적생물이 대량배양된다.
  - 대량배양한 천적생물은 주기적 또는 일시에 녹조발생 수역으로 방류되어 수역의 녹조원인 생물을 포식하며 녹조를 제어하게 된다.



그림 10. 천적생물 배양장치 적용개념

- 포식성 천적생물 배양장치의 구성은 다음과 같다.
  - 천적생물배양장치는 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 분리하기 위한 원수 분리조, 식물플랑크톤 배양조(먹이생물 공급조), 동물플랑크톤 배양조(천적생물 배양조)로 구분하였으며, 본 연구에서는 하천 수면에 직접 적용한 수면부상형으로 설치하였으나, 이를 패키지형태로 구조를 단순화하여 소요부지를 감소시켜 비용절감 효과를 유도하는 육상형 시설이 더 안전하다.
  - 천적생물 배양장치는 원수분리조 1식, 식물플랑크톤 배양조와 동물플랑크톤배양조가 병합된 형태로 3식~5식으로 구성할 수 있으며, 천적생물 배양

장치 규모는 천적생물 배양조의 용량을 기준으로 각 10톤의 단위규모로 구성하는 것이 좋다.

- 배치단면도

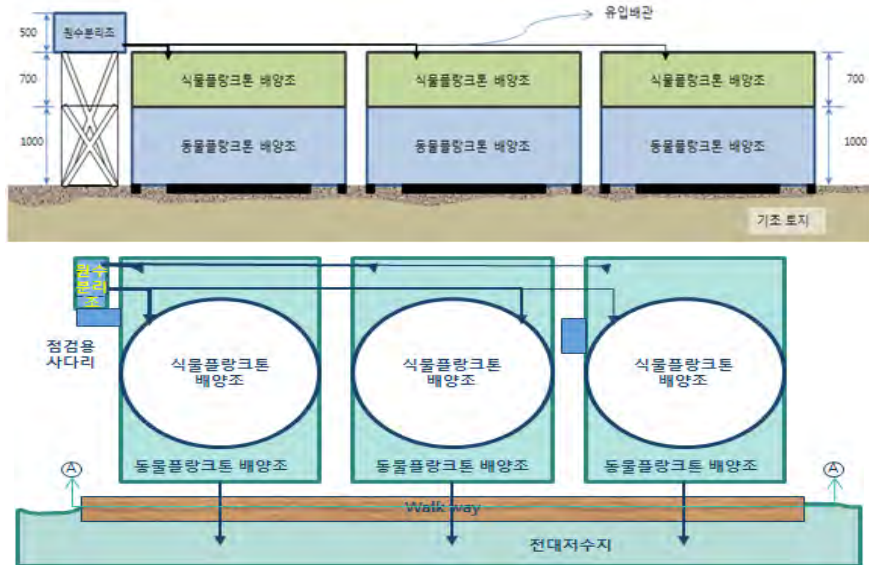



그림 11. 천적생물 배양장치 배치단면도



그림 12. 육상형 천적생물 배양장치 운영모습(2011년 설치, 전대저수지)

## 제4절 관련기술에 대한 지적재산권

### 가. 천적생물 배양장치 기술 특허 (2009)



**특 허 증**  
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-0903691 호 (PATENT NUMBER)	출원번호 (APPLICATION NUMBER)	제 2008-0090338 호
	출원일 (FILING DATE:YY/MM/DD)	2008년 09월 12일
	등록일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	2009년 06월 11일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)  
적조 및 녹조원인생물 및 이들을 포식할 수 있는 원생생물성 포식자의 배양 장치

특허권자 (PATENTEE)  
한국농어촌공사( 135271-0\*\*\*\*\* )  
경기 의왕시 포일동 487번지

발명자 (INVENTOR)  
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 의하여 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.  
(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2009년 06월 11일




특 허 청

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE





## 나. 육상형 천적생물 배양장치 실용신안 (2011)



# 실용신안등록증

CERTIFICATE OF UTILITY MODEL REGISTRATION

등록 제 20-0453403 호 (PATENT NUMBER)	출원번호 (APPLICATION NUMBER)	제 2009-0016647 호
	출원일 (FILING DATE:YY/MM/DD)	2009년 12월 22일
	등록일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	2011년 04월 21일


고안의 명칭 (TITLE OF THE DEVICE)  
식물성 플랑크톤 및 동물성 플랑크톤의 배양조를 상하부에 컵  
팩트하게 구비한 플랑크톤 배양장치

실용신안권자 (OWNER OF THE UTILITY MODEL RIGHT)  
등록사항란에 기재


고안자 (DEVISER)  
등록사항란에 기재

위의 고안은 「실용신안법」에 따라 실용신안등록원부에  
등록되었음을 증명합니다.  
(THIS IS TO CERTIFY THAT THE DEVICE IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN  
INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2011년 04월 21일



특 허 청  
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



연차등록료 납부일은 실정등록일 이후 4년차부터 매년 04월 21일까지이며 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

다. 수상형 천적생물 배양장치 실용신안 (2011)



# 실용신안등록증

CERTIFICATE OF UTILITY MODEL REGISTRATION

등록 제 20-0455558 호 (PATENT NUMBER)	출원번호 (APPLICATION NUMBER)	제 2010-0012526 호
	출원일 (FILING DATE:YY/MM/DD)	2010년 12월 03일
	등록일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	2011년 09월 05일

고안의 명칭 (TITLE OF THE DEVICE)  
호소 내 부유형 플랑크톤 배양장치

실용신안권자 (OWNER OF THE UTILITY MODEL RIGHT)  
등록사항관에 기재

고안자 (DEVISER)  
등록사항관에 기재

위의 고안은 「실용신안법」에 따라 실용신안등록원부에  
등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE DEVICE IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN  
INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2011년 09월 05일



특 허 청

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



인차등록료 납부일은 설정등록일 이후 4년차부터 매년 09월 05일까지이며 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.





# 제 3 장

## 천적생물 기본 구상 및 계획수립

제1절 천적생물 배양장치 기본구상

제2절 천적생물 배양장치 기본계획수립



## 제3장 천적생물 배양장치 기본구상 및 계획수립

### 제1절 천적생물 배양장치 기본구상

#### 가. 도입 목적

- 천적생물 배양장치는 녹조 발생수역에서 천적생물을 이용한 녹조제어효과를 높이기 위한 장치이다.
- 평상시 대상수역에 자연 분포하는 천적생물의 분리·배양과 살포를 통해 녹조현상의 발생을 미연에 방지하고, 대발생시 선택 배양한 종주를 대량 배양하여 살포함으로써 녹조 발생시 즉각적인 대응이 가능하도록 현장에 설치하여 운영하는 것이 목적이다.

#### 나. 목표 설정

- 천적생물을 이용한 녹조제어 목표 종은 남조류이다.
  - 농업용저수지의 녹조발생은 대부분 남조류에 의해 발생하며, *Microcystis* spp.는 대발생시 군체를 형성하여 제어 효과가 낮으므로, 발생 초기에 제어하는 것으로 목표로 한다.
- 천적생물을 이용한 녹조제어 목표 시기는 3 ~ 6월, 9 ~ 11월 이다.
  - 녹조발생이 빈번한 부영양 농업용저수지의 경우 결빙기 이후 해빙과 함께 녹조발생이 시작될 수 있으므로 2월 말부터 녹조발생에 대비하여야 하며, 본격적으로 3월부터 녹조 제어 체계에 돌입해야 한다.
  - 집중강우기인 7~8월을 제외한 대부분의 시기에 녹조 발생이 예상되므로 3~6월, 9~11월 까지 천적생물 배양장치를 운영하여 녹조제어가 이루어질 수 있도록 한다.
- 천적생물을 이용한 녹조제어 목표 기준은 Chl-a 35 mg/m<sup>3</sup>이하로 한다.
  - 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서 제시하고 있는 호소의 생활환경 기준 IV등급을 농업용수 사용가능 등급으로 규정하고 있으므로 IV등급 기준의 Chl-a 35mg/m<sup>3</sup>이하를 녹조제어 목표로 한다.

## 제2절 천적생물 배양장치 기본계획수립

### 가. 대상지 환경조사

#### (1) 녹조발생 원인 및 특성 분석

(가) 저수지의 물리구조적 특성과 유역의 오염발생 특성 분석

- 저수지의 물리구조적 특성은 녹조발생을 추정할 수 있는 좋은 정보를 제공해준다.
  - 평균수심 : 유효저수량/만수면적, 수심 4m 이하에서 녹조발생 위험 증가
  - 유역면적/만수면적 비 : 저수지의 체류시간과 연계, 20이하일 때 녹조발생 위험 증가
  - 제당높이/제당길이 비 : 저수지의 형상지표, 0.04이하일 때 녹조발생 가능성 증가
  - 생산층/분해층 비 : (투명도 x 2) / (수심-(투명도 x 2)), 0.5보다 클 때 녹조발생 위험 증가
- 저수지에 유입되는 영양염류의 농도가 녹조발생 위험을 증가시킨다.
  - 총인(TP)농도가 0.06 mg/L 이상일 때 녹조발생 위험 증가
  - 대부분의 저수지가 TP 농도에 의존하여 녹조가 발생함
- 이상과 같은 물리 구조적인자와 오염특성을 고려해 대상저수지의 녹조발생 원인을 추정한 후 적절한 대책을 병행 적용하면 더욱 효과적일 수 있다.

(나) 저수지의 수환경 특성과 녹조발생 특성 분석

- 천적생물 배양장치의 적용 전, 대상 저수지의 수환경 특성과 녹조발생시기, 녹조발생 정도, 녹조원인 생물 등에 대한 사전 조사를 통해 배양장치의 규모 및 적용방안을 수립할 수 있다.
  - 수환경 특성은 투명도(SD), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 용존산소량(DO), COD, 부유물질(SS), TN, TP, Chl-a를 분석하며, 현재의 특성을 바탕으로 녹조발생원인과 대책을 수립하는데 중요한 자료를 제공한다.
  - 주요 녹조발생시기와 녹조발생정도(Chl-a), 녹조원인생물에 대한 정보를 통해 천적생물 배양장치의 규모와 적용방안 및 운영방안을 수립할 수 있다.

#### (다) 녹조발생 원인 및 적용성 평가

- 농업용저수지의 녹조발생원인은 주로 낮은 수심과 지속적인 오염원 유입이 대부분을 차지한다.
  - 천적생물인 동물플랑크톤은 포식자인 물고기를 피하기 위해 낮에는 어두운 수심 깊은 곳에 있다가 밤에 물고기를 피해 주로 식물플랑크톤을 포식한다.
  - 따라서, 동물플랑크톤인 천적생물이 녹조발생 수역에서 녹조제어의 기능을 보이기 위해서는 3m 이상의 수심이 필요하다.
  - 또한, 지속적인 오염원 유입시 저수지가 마치 미세조류 배양장의 역할을 하여 천적생물적용효과가 높지 않으므로 지속적인 하수, 오폐수가 유입되는 저수지의 경우 유입 오염원에 대한 대책수립이 선행되어야 한다.
- 녹조 원인종은 대부분 *Microcystis*, *Anabaena*, *Ocillatoria* 속의 식물플랑크톤이다.
  - 이들 남조류의 녹조 원인종은 천적생물에 의해 제어가 가능하며, 규조류와 와편모조류의 식물플랑크톤 역시 천적생물에 의해 제어가 가능하다.

#### (2) 동물플랑크톤 분포 특성 및 자연분리 천적생물 유무 평가

- 녹조발생 저수지의 동물플랑크톤 분포 특성을 사전에 조사하여, 적용가능한 천적생물 존재여부를 파악한다.
  - 자연분리 천적생물로 활용가능한 종이 있다면, 천적생물 배양장치 운영시 이들 자연분리 천적생물을 최대한 배양하여 군집크기를 키움으로 인한 포식압 증가를 유도한다.
  - 자연분리 천적생물로 활용할 수 있는 종이 없다면, 초기부터 천적생물 종주를 도입하여 종주배양 방법으로 적용하도록 계획한다.

#### (3) 부지 확보 및 선정

- 천적생물 배양장치는 육상형 배양장치를 우선 검토하여 적용하며 육상형 배양장치 도입이 어려울 경우 수상형 배양장치 도입을 검토한다.
- 육상형 배양장치 입지조건
  - 녹조발생 수역 내 홍만수면 부지를 활용함
  - 수변부지가 항상 침수되지 않음

- 지반이 단단하고 침하가 일어나지 않음
- 접근이 용이하고 차량이동이 가능함
- 수면에 비해 부지가 높아 자연유하 살포에 유리해야 함
- 10톤 용량의 천적생물 배양장치 규격은 길이 5m, 폭 2.5m, 높이 2.6m이며 관리를 위한 공간을 감안하면 7m x 4.5m(31.5m<sup>2</sup>)의 부지가 필요하다.
  - 배양장치를 수개의 계열로 설치할 경우 관리공간은 중첩될 수 있으므로 소요부지는 6m x 4.5m(27m<sup>2</sup>)가 필요하다.
  - 예를 들어 10톤 배양장치 10세트를 병렬로 설치할 경우 필요 부지면적은 270m<sup>2</sup>이다.
- 육상형 배양장치를 설치함에 있어 부지가 충분하지 않을 경우 다음의 방안을 검토하여 선정한다.
  - 배양장치의 일부를 수상형으로 설치
  - 수변 부지와 수면에 걸쳐 기초 공사를 시행하고 그 위에 배양장치 설치

## 나. 적용성 평가

- 천적생물 배양장치 현장적용시 사전에 최근 3년간 녹조발생 시기 및 발생 농도, 발생지점 등을 분석하고, 녹조발생 원인종에 대한 자료를 확보하여 천적생물 규모, 적용위치, 운영방안 등 적용성 평가 후 전략을 수립하여 적용한다.
- 천적생물 배양장치 적용 타당성이 높은 저수지의 조건
  - 최근 3년간 Chl-a 평균농도가 지속적으로 높은 저수지
  - 평균수심 3.0m 이상 저수지 (=유효저수량(m<sup>3</sup>) ÷ 수표면적(m<sup>2</sup>))
  - 지속적인 외부오염원(예, 유료낙시터, 점오염원 등)이 없는 저수지
  - 광산폐수, 중금속 등 생물 독성 물질 유입이 없는 저수지
  - 특히, 급경사의 산간형 저수지와 같이 수생태 건강성이 낮아 생물상이 빈약한 저수지
  - 전기공급 가능성, 유지관리 용이성, 시설안전성 등 운영 및 유지관리가 용이한 곳
  - 천적생물 배양장치를 도입할 적정 홍만수면 부지가 있는 곳

● 천적생물 배양장치 적용 위치

- 저수지 유입부, 제방 등 저수지 형상과 바람의 방향에 따라 녹조생물이 집적되는 곳
- 저수지의 홍만수면 부지 활용 : 홍만수면 부지의 경우 이른봄 저수율 100%일 때 물에 잠겨 접근이 불가능할 수 있으므로 시설 설치시 바닥을 1 m이상 높이는 것이 좋음.
- 수초대가 발달한 경우 천적생물 포식자의 공격을 받을 수 있으므로 천적생물은 수초대를 벗어난 호 중앙에 살포하는 것이 좋음(살포지점에 인공식물섬 적용시 천적생물의 은신처 역할로 어류 포식으로부터 천적생물을 보호함, 야간에 적정 위치로 이동).
- 100톤 이상 규모의 천적생물 적용시 50톤 단위로 분산 적용하는 것이 유리함.

**다. 배양장치 규모산정**

**(1) 천적생물 살포량 및 녹조제어 범위**

- 녹조발생 수역( $\text{Chl-a } 100 \text{ mg/m}^3$ )에서 천적생물을 적용하여 농업용수 수질기준( $35 \text{ mg/m}^3$ ) 이하로 저감 시킬 경우 배양장치 규모에 따른 천적생물 살포량과 녹조제어범위는 남조류(Microcystis)를 대상으로 한 천적생물 개체당 조류 저감량을 토대로 산술 계산하였다.
  - 제어범위( $\text{m}^2$ , 수심 1m 유광층) = [(천적생물 살포량) × (배양장치 규모)] / [천적생물 필요량]
  - 천적생물 필요량 (단위 면적당 저감 목표 클로로필 양) = 목표 저감치 (클로로필,  $65 \text{ mg/m}^3$ ) / 천적생물 개체 당 저감량(Daphnia similoides =  $0.68 \text{ mg/m}^3/\text{ind.}$ )
  - 산출시 사용 수치 : 천적생물 농도[육상배양장치 최고 밀도  $354,000 \text{ inds./m}^3$ ], 생물 개체 당 저감량 Daphnia similoides,  $0.68 \text{ mg/m}^3$
- 녹조발생 수역에 살포 후 천적생물이 녹조원인 생물을 포식하면서 추가 증식하는 부분을 고려한다면 계산식의 값보다 넓은 제어범위를 보일 수 있다(배양장치 내 증식 속도는 10개체/일로 증식, 12일간 1개체→120개체 증식).
- 전대저수지 현장에 살포한 천적생물의 영향 범위를 보면, 10톤의 수상배

양장치와 30톤의 육상배양장치를 이용한 일시살포(2/3살포, 27톤)시 하류방향 205~330 m까지 살포한 천적생물이 출현하였으며, 녹조제어 효과도 일부 보이고 있어 살포수역 81,415 m<sup>2</sup>에 영향을 미치고 있음을 확인하였으나 제어목표 수준까지는 감소하지 못하였다.

**표 5. 단위 면적당 일정 클로로필 저감 시 필요 천적생물 개체수**

천적생물	대상조류 (실험대상)	조류농도 (µg/ml)	개체당 조류 저감량 (µg/l/ind/ day)	제거 소요 시간*	필요천적 생물밀도	100톤 대상 최적살포량 (10톤배양 천적생물 밀도)
중형물벼룩 ( <i>Daphnia pulex</i> )	남조류 ( <i>Microcystis</i> )	30	0.16	48시간	♯당 100개체	10,000,000개체 (♯당 1000개체)
대형물벼룩 ( <i>Daphnia similoides</i> )			0.68			

- 따라서 천적생물 개체당 조류저감량을 토대로 계산한 식의 녹조제어 범위에 비증식 속도(k) 10을 곱하여 계산하는 것이 현실적일 것으로 사료되었다.

- 최종제어범위(m<sup>2</sup>, 수심 1m 유광층) = [(천적생물 살포량)×(배양장치 규모)]/[천적생물 필요량]×k(=10)

**표 6. 배양장치 규모에 따른 천적생물 살포량 및 녹조제어범위(Chl-a 100 → 35 mg/m)**

배양장치 규모	20톤	30톤	50톤	100톤	200톤
천적생물 살포량(개체수)	7 × 10 <sup>6</sup>	11 × 10 <sup>6</sup>	18 × 10 <sup>6</sup>	35 × 10 <sup>6</sup>	71 × 10 <sup>6</sup>
녹조제어범위(m <sup>2</sup> )	740	1,110	1,850	3,700	7,400

**(2) 저수지 규모 및 녹조발생 정도에 따른 배양장치 규모산정법**

- 저수지규모와 녹조발생 정도에 따른 천적생물 배양장치의 규모를 아래 식과 같이 산정하였다.

- 규모산정식=[저감 Chl-a에 따른 필요 천적생물 개체수 × 호수용량(유광층)] / [천적생물 살포량(비증식속도 10× 감안)]

- 규모산정식 = [ (저수지 평균 Chl-a 농도 - 35) × 호수용량 ] ÷ 48,144

- 천적생물 배양장치 규모산정은 필요로 하는 Chl-a 저감에 필요한 천적생물 개체수에 호수의 유광층(부영양 호수의 경우 보통 수심의 1/5에 해



당, 투명도(SD)의 2~2.5배량만을 감안하여 전수역을 대상으로 한 계산한 결과로 다소 가감이 있을 수 있다.

- 천적생물 배양장치를 이용한 천적생물 적용기술은 녹조 발생초기부터 사전 제어하여 예방하는 기능을 강조하고, 주 1회로 연속살포를 제안하므로 실제 필요한 배양장치 규모는 제시한 것보다 축소해도 될 것이다.

**표 7. 저수지 규모 및 녹조발생 정도에 따른 배양장치 규모(m<sup>2</sup>) \*제어목표 35 mg/m<sup>3</sup>**

저수지 규모 녹조발생정도(Chl-a)	50만톤	70만톤	100만톤	200만톤	300만톤
50 mg/m <sup>3</sup>	52	73	104	208	312
70 mg/m <sup>3</sup>	156	218	312	623	935
100 mg/m <sup>3</sup>	363	509	727	1,454	2,181
150 mg/m <sup>3</sup>	675	945	1,350	2,700	4,050
200 mg/m <sup>3</sup>	1,194	1,672	2,389	4,777	7,166

### 라. 적용방안

- 배양장치의 규모와 현장여건을 고려하여 수상형과 육상형 배양장치 중 시설 안정성과 내구성을 감안하여 가급적 육상형 배양장치를 선택한다.
- 수상형 배양장치는 대상수역에 접근이 용이하여 녹조발생시 살포가 쉽게 이루어질 수 있는 반면, 물 위에 시설물이 떠있어 항상 무게 균형을 맞추어야 하고, 태풍 등 자연 재해에 시설 안정성이 떨어지며, 내구연한이 3년 정도로 짧다.
- 육상형 배양장치는 시설이 안전하고, 견고하게 설치할 수 있으나 대상수역과 거리가 멀어 관로가 길어지면 녹조발생 지점까지 천적생물을 살포하는데 어려움이 있고, 시간이 지연될 수 있다.
- 천적생물의 보호와 살포효과를 높이는 방법으로 인공식물섬과 cage를 병행하여 사용할 수 있다.
- 각 장치의 특성과 기능을 표 8에 나타내었다.

표 8. 천적생물 현장적용 장치의 특성 및 기능

구분	적용목적	규 모 (천적생물량)	장점	단점	적용성
수상형 장치	녹조발생지점에서 천적생물 배양, 살포	10톤 (5톤×2조)	녹조발생 수역 바로 적용가능	태풍 등에 안전성 낮음 부력체 비용이 높고, 내구연한은 3년 정도로 짧음	낮음
육상형 장치	수변 녹조집적구간에서 천적생물 배양, 살포	30톤 (10톤×2조)	시설안정성이 높고, 유지관리 접근성이 좋음	호중양 국소지역 녹조발생시 접근성이 낮음	높음
cage	천적생물의 물고기포식 방지용 보호장치 제공 및 천적생물의 추가 증식 장치로 활용	72톤 (36톤×2조)	천적생물이 물고기 포식되지 않고 장기유지 가능, 추가배양 장치로 저비용 적용가능	500 $\mu$ m의 플랑크톤 네트를 사용하므로 주기적인 네트관리(청소, 교체) 요구	높음

### 마. 비용분석

- 비용분석은 육상형 천적생물 배양장치 10m<sup>3</sup> 규모를 설치한다고 가정하여 산출한 것으로 현장여건에 맞추어 세부 설계시 별도로 계상하여 적용하여야 하며, 개략적인 참고만 하도록 한다.
- 10톤의 천적생물 배양장치와 인공식물섬, cage를 설치하는 것으로 한다.

#### (1) 산출기준 배양장치

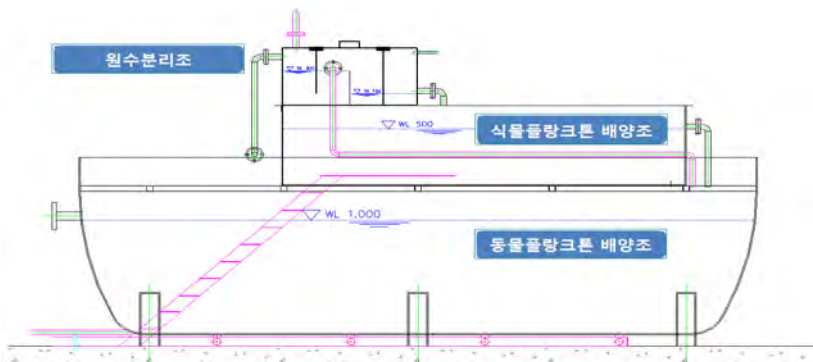


그림 13. 설계기준 장치

## (2) 시설설치비

- 천적생물 배양장치의 상기 구성요소와 설계기준을 적용하여 10톤 규모의 천적생물 배양장치와 100톤 규모의 천적생물 배양장치를 설치한다고 가정할 경우 예상되는 시설 설치비는 표 9와 같다.

표 9. 천적생물 배양장치의 설치비 분석

구 분	배양장치 10톤		배양장치 100톤	
	규 격	금 액	규 격	금 액
천적생물 배양장치	배양용량 10톤 1계열	40,000,000	배양용량 20톤 5계열	400,000,000
인공식물섬	25m <sup>2</sup>	6,000,000	25m <sup>2</sup> x 2set	12,000,000
케이지	4m x 4m x 1.5m 1set	8,000,000	4m x 4m x 1.5m 2set	16,000,000
배관공사	지지철물, 유출입배관	5,000,000	지지철물, 유출입배관	35,000,000
자동화 및 전기공사	컨트롤 판넬 및 전기배선	5,000,000	컨트롤 판넬 및 전기배선	20,000,000
합 계		64,000,000		483,000,000

- 토지매입, 기초 토목공사, 1차 전기공사 제외이며 육상형 제작 설치기준임.
- 천적생물 배양장치는 원수분리조, 식물플랑크톤 배양조, 동물플랑크톤 배양조를 1set로 하며 기계장비(원수펌프, Blower, 수중교반기, 역세척펌프)류 포함
- 배양장치 10톤의 살포구역은 1개소로 하고 방류부에는 인공식물섬과 cage 각 1set 적용
- 배양장치 100톤의 살포구역은 2개소로 가정하고 방류부에는 인공식물섬과 cage 각 1set 적용
- 인공식물섬 : 식생기반제, 수생식물 식재 및 고정용 계류장치(각 4개소) 포함
- 케이지 : 부력제 제작설치 및 고정용 계류장치, 인양장치 포함
- 배관공사 : 유입펌프(수심 1m 유지), 유입배관, drain 배관, 방류배관 연장 및 식물섬(cage) 연결, 관리용 Walkway 제작 설치, 기타 지지철물 설치
- 자동화 및 전기공사 : 원수분리조 밸브 순차 제어, 판넬 구성 및 제작설치, 기계장비 배선공사 포함
- 설치 대수가 증가하면 천적생물 배양장치 외에 인공식물섬, 케이지, 배관

공사 및 전기공사 부분은 기준 단가가 낮아질 수 있으므로 상기 사항은 개략적인 참고만 하고 세부설계시에 별도로 계상하여 적용한다.

### (3) 유지관리비

- 운영, 유지관리비는 배양장치 100톤 운영기준으로 배양장치를 연간 10개월(2월 중순~12월 중순) 운영하고, 현장관리인 1인을 두어 1일 4시간씩 월 26일 근무하는 조건으로 산출하였다.
- 연간 소요되는 운영, 유지관리비는 인건비, 전기료, 소모품비만 포함했을 때 금12,655,200원 정도 발생되며 여기에 보조인부 사용, 주요 부품 교체 등 예상치 못한 운영 장애에 대비하기 위해 예비비 20%를 포함했을 때 최종 연간 15,155,200원이 소요 될 것으로 추정된다.

**표 10. 유지관리비 산출내역**

연간 유지관리비	현장관리인 인건비	전기료	소모품비	예비비
15,155,200원	10,000,000원	1,655,200원	1,000,000원	2,500,000원

- 천적생물 배양장치 100톤 기준
- 운영기간 : 2월 15일(해빙 직후) ~ 12월 14일(결빙시작 전) : 10개월
- 인건비 : 1,000,000원/월 × 10개월 = 10,000,000원
- 전력비 : 3kW × 24hr/일 × 300일 × 76.63원/kWh = 1,655,200원(산업용 기준)
- 운영비(비품, 소모품 포함) : 100,000원/월 × 10개월 = 1,000,000원
- 유지관리비 합계 = (인건비+전력비+운영비) = 12,655,200원
- 연간 유지관리비 (예비비 20% 가산) = 15,155,200원
- 예비비는 cage 청소 등 현장관리인 1인 작업 불가시 보조인부 사용, 주요 부품 교체비 등 포함

# 제 4 장

## 천적생물 배양장치 설계

제1절 천적생물 배양장치 설계인자 및 설계조건

제2절 천적생물 배양장치의 세부 설계



## 제4장 천적생물 배양장치 설계

### 제1절 천적생물 배양장치 설계인자 및 설계조건

#### 가. 설계인자

- 천적생물 배양장치를 설계할 때 배양장치의 규모는 각 대상수역의 입지 여건에 따라 달라지기 때문에 본 매뉴얼에서는 10m<sup>3</sup>배양장치를 기준으로 하여 설계 값을 제시한다.
- 원수분리조는 체류시간 10min 이상 확보할 수 있는 용량으로 하고 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 분리하여 각 배양조로 이송할 수 있는 구조로 한다. 또한 일정량을 이송할 수 있도록 유량조절 밸브가 설치되어야 한다.
- 식물플랑크톤 배양조는 체류시간 2.5일로 하며 충분한 일조량을 확보할 수 있는 구조로 한다.
- 동물플랑크톤 배양조는 체류시간 4일로 하며 수면적의 50%는 직사광선을 피할 수 있는 구조로 한다. 유출구에 75 $\mu$ m 메쉬망을 설치하여 동물플랑크톤 배양기간동안 천적생물의 유출을 막을 수 있어야 하고 산소공급장치를 설치하여 미세기포를 공급하며 천적생물 대량살포를 위한 별도의 방류구를 설치하여야 한다.
- 배양장치의 방류구는 배관을 통해 대상 수역 내에 설치하는 인공식물섬과 cage에 선택적으로 살포할 수 있도록 구성한다.

표 11. 녹조제어를 위한 천적생물 투입개체수 결정을 위한 설계인자

식물플랑크톤 성장 인자		
최대 비증식속도	2.000	/d
비사멸속도	0.025	/d
비호흡속도	0.100	/d
동물플랑크톤 성장 인자		
최대 비섭식속도	1.50	/d
먹이가 충분할 때의 최대 비호흡속도	0.22	/d
먹이가 부족할 때의 최대 비호흡속도	0.08	/d

## 나. 설계조건

- 천적생물 배양장치를 설계하여 현장에 적용할 경우 적용대상 저수지의 형상, 입지조건, 접근성 등을 고려하여 면밀히 검토하여야 하며, 본 매뉴얼에서 제시하고 있는 배양장치 설계인자는 다음 항목을 전제조건으로 하여 제시한다.
  - 배양장치 규모 : 10m<sup>3</sup>
  - 배양장치 형태 : 육상형 (Package type)
  - 설치위치 : 대상 저수지의 홍.만수면 부지
- 그림 14에 천적생물 배양장치 설계도를 나타내었다. 원수분리조, 식물플랑크톤 배양조 및 동물플랑크톤 배양조를 일체형으로 구성한 육상형 배양장치로 각 설계요소는 다음과 같다.

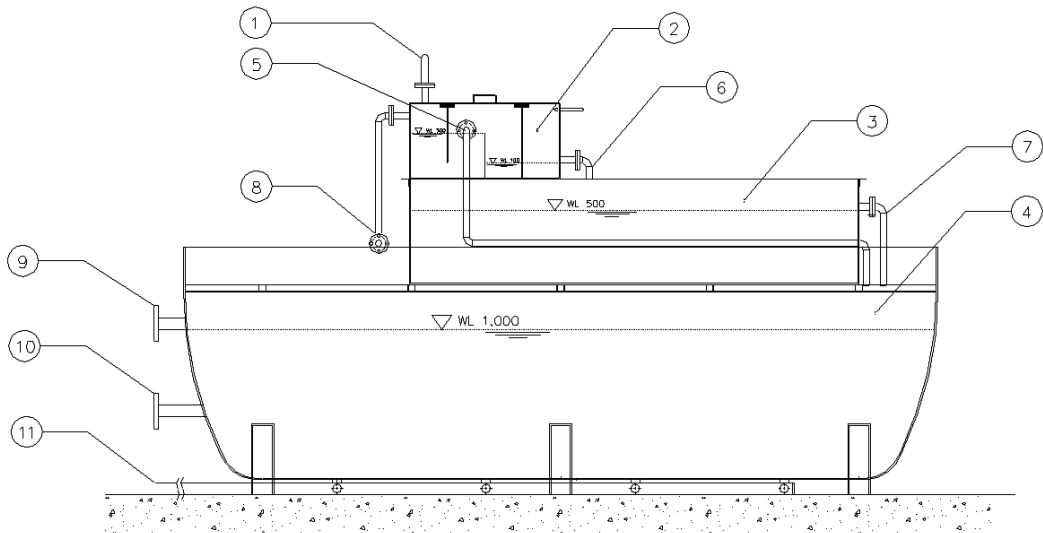


그림 14. 배양장치 설계도 (10톤 기준)



표 12. 각 부분의 명칭 및 설계요소

No.	명 칭	설계요소	비 고
①	유입관	유입펌프	
②	원수분리조	규격, 배관구성	
③	식물플랑크톤 배양조	체류시간, 구조	
④	동물플랑크톤 배양조	체류시간, 구조, 산소공급장치	
⑤	동물배양조 이송관	-	
⑥	식물배양조 이송관	-	
⑦	이송관(식물→동물)	-	
⑧	월류관	-	
⑨	유출관	-	
⑩	대량살포 방류관	-	
⑪	DRAIN	-	

## 제2절 천적생물 배양장치의 세부 설계

### 가. 유입펌프

- 각 배양조의 적정 체류시간 확보와 원수펌프의 사양을 결정하기 위해 유입 유량을 결정하고 유입펌프사양을 선정한다.

표 13. 유입펌프 설계요소

구 분	설 계 조 건	비 고
총 유입유량	2.5 m <sup>3</sup> /day = 1.74 l/min	
계산근거	유입유량 = 장치용량 ÷ 체류시간 = 10m <sup>3</sup> ÷ 4 day	

- 유입펌프는 결정한 유입유량 이상의 수중펌프를 선정하여 적용한다.

### 나. 천적생물 분리조(원수분리조)

- 원수분리조의 체류시간은 10분 이상으로 하며 유입수 중 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 분리할 수 있는 구조로 한다.
- 동·식물 플랑크톤의 분리를 위해 25 $\mu$ m의 메쉬망을 사용하는데, 메쉬망의 청소는 자동 세척이 될 수 있도록 메쉬망 전면부에 역세척 노즐과 역세척 펌프를 설치하여 timer에 의한 자동운전으로 운영한다.
- 또한 동·식물플랑크톤 배양조로의 이송관에는 각각 밸브를 설치하여 정확하게 유량을 조절할 수 있어야 한다.

표 14. 원수분리조 설계요소 및 사양

구 분	설 계 조 건	비 고
유입유량	2.5 m <sup>3</sup> /day = 1.74 ℓ/min	
체류시간	10 min 이상	
필요용량	0.02 m <sup>3</sup> 이상	
규 격	1.0 mW x 1.0 mL x 0.5 mH	
원수펌프	25A x 1.75ℓ/min x 0.29kw x 7MH	
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유입 배관 32A</li> <li>- 동물배양조 이송관 32A</li> <li>- 식물배양조 이송관 32A</li> <li>- 역세척수 공급관 15A</li> <li>- DRAIN 및 OverFlow 50A</li> <li>- 분리망 25μm (By-pass 부 75μm)</li> </ul>	

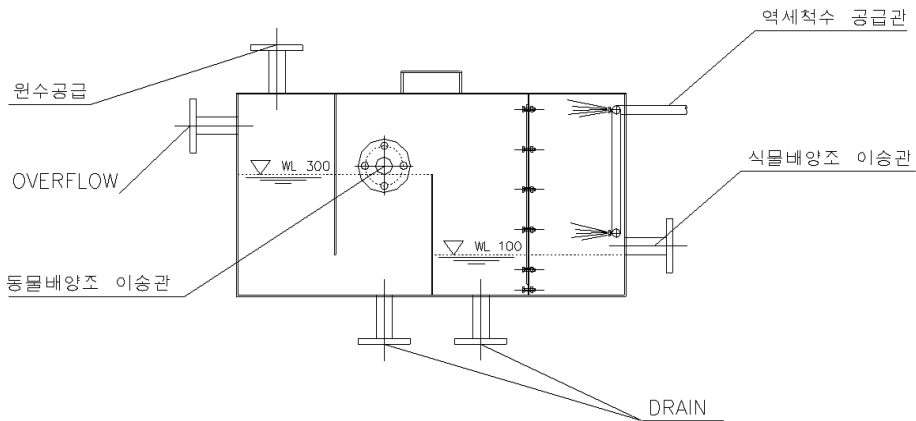


그림 15. 원수분리조 구조 (측단면도)

**다. 먹이생물 배양조(식물플랑크톤 배양조)**

- 식물플랑크톤 배양조는 설계기준 체류시간이 2.5일로서 식물플랑크톤의 성장조건을 고려하여 유효수심을 0.5m 이내로 낮게 유지하고 충분한 일조량을 확보할 수 있도록 상부 개방형 구조로 한다.

**표 15. 식물플랑크톤 배양조 설계요소 및 사양**

구 분	설 계 조 건	비 고
유입유량	1.25 m <sup>3</sup> /day = 0.87 l/min	총 유입유량의 50%
체류시간	2.5 day	
필요용량	3.125 m <sup>3</sup> 이상	
규 격	2.0 mW x 3.0 mL x 0.7 mH	유효수심 0.55m
부대시설	- 유출 배관 32A - 수중 교반기(0.29kw 수중펌프 사용)	

**라. 천적생물 배양조**

- 배양장치 규모를 결정하는 요소로서 동물플랑크톤 배양조 용량은 체류시간 4일로 한다.
- 유효수심은 1m 이상으로 하며 50%의 수면적은 햇빛에 직접적인 노출이 되지 않도록 한다.
- 산소공급을 위해 수심 1/2지점에 Ceramic 산기관을 설치하고 배양조 바닥면에 경사를 주어 배양조 운영상 발생하는 이물질 등의 배출이 용이한 구조로 한다.

**표 16. 동물플랑크톤 배양조 설계요소 및 사양**

구 분	설 계 조 건	비 고
유입유량	2.5 m <sup>3</sup> /day = 1.74 l/min	
체류시간	4.0 day	
필요용량	10.0 m <sup>3</sup> 이상	
규 격	2.5 mW x 5.0 mL x 1.3 mH	반 원통형
부대시설	- 평시 유출관 65A - 대량살포 유출관 65A - 산소공급용 BLOWER - CERAMIC 산기관 3개	

- 또한 천적생물의 대량 방류를 위해 수심의 1/3지점에 별도의 방류구를 설치하여 운영할 수 있어야 한다.

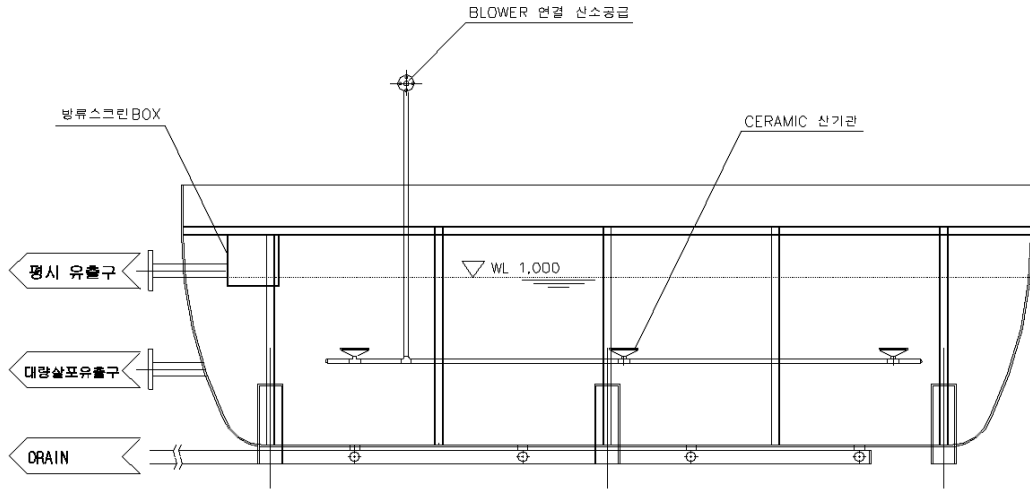


그림 16. 동물플랑크톤 배양조 구조(측단면도)

#### 마. 방류부 (인공식물섬 포함)


- 대상수역에 살포한 천적생물의 생존율을 높이고 녹조제어효과를 지속시키기 위해 방류구 말단은 수역에 설치한 인공식물섬 중앙부에 연결한다. 인공식물섬은 노랑꽃창포 등 수생식물이 식재되어 수면에 조성된 부도(浮島, Floating Island)로서 하부에 뿌리가 잘 발달되어 있기 때문에 물고기로부터 천적생물의 은신처 역할을 한다.
- 인공식물섬의 설치는 방류 지점당 1개소를 설치하고 1개소의 규모는 25 m<sup>2</sup>(5m x 5m)로 하며, 이동 방지를 위해 수중계류를 설치하여 고정하고 방류구는 인공식물섬의 정 중앙에 천적생물 배양액이 투입될 수 있도록 연결한다.

#### 바. 천적생물 보호용 cage

- 천적생물 배양장치에서 배양한 천적생물을 수역에 살포하는 방법으로는 녹조발생 전 초기제어 목적으로 운영할 경우 인공식물섬에 직방류하는 방법을, 녹조가 발생하거나, 물고기의 포식압이 높을 경우에는 인공식물섬 직방류와 cage 방류를 병행하는 방법을 사용한다.
- 이를 위해 인공식물섬 옆에 cage를 설치하며 인공식물섬과 동일하게 방

류 지점당 1개소를 설치하고 그 규격은 표 17과 같다.

표 17. cage 설계조건과 사진

구 분	설 계 조 건	비 고	
규 격	4 mW x 4 mL x 1 mH	장방형	
Mesh	500 μm		
부대시설	- cage 인양장치 - 부력체		

### 사. 유량분배계획

- 대상수역에서 양수한 물을 천적생물 배양장치에 정량 공급하여 각 배양조의 체류시간을 최적의 조건에 맞게 유지하여야 한다.
- 상기 각 요소별 설계조건에 예시한 유량을 도식화 하면 그림 17과 같다.

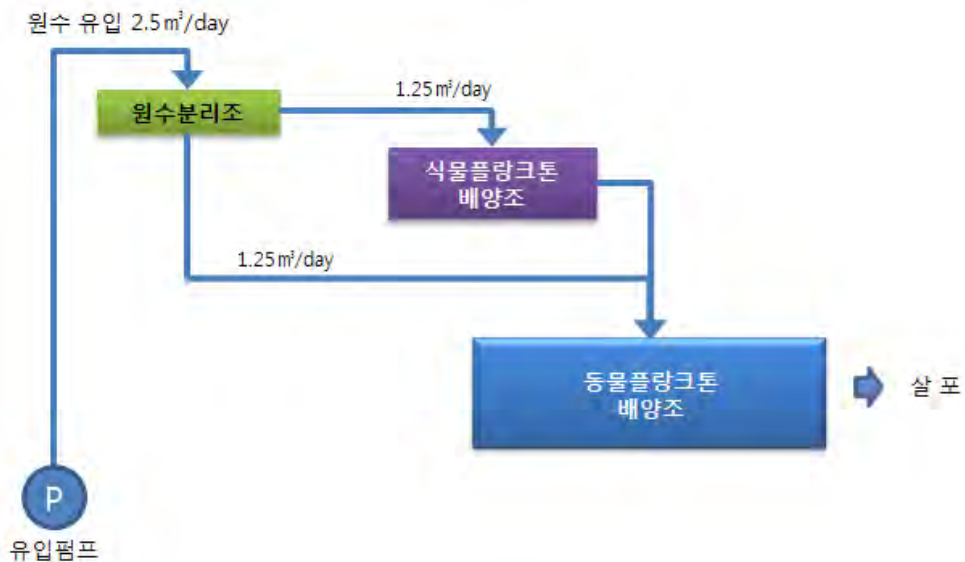


그림 17. 유량분배계획

# 제 5 장

## 천적생물 배양장치 운영 및 유지관리

제1절 천적생물 배양장치 운영

제2절 천적생물 배양장치 유지관리





## 제5장 천적생물 배양장치 운영 및 유지관리

### 제1절 천적생물 배양장치 운영

#### 가. 천적생물 배양장치 운영시 예상되는 문제점

- 천적생물 배양장치를 이용한 천적생물 배양시 예상되는 문제점은 다음과 같다.
  - 수중에 공존하는 조류와 천적생물 중 인위적으로 천적생물의 초기 개체수를 증가시키면 다소 불안정한 생태계(부영양화수역)라 하더라도 천적생물의 경쟁적 우위를 확보할 수 있지만, 현장배양이라는 개방적 상황에서 일부 문제점이 발생할 수도 있다.
  - 목적생물 이외의 생물 혼재로 인한 영향으로 실내에서 시행되는 단일종 배양(순수배양)과는 달리 현장배양은 다양한 종류와 많은 개체의 목적 외 생물이 혼재(혼합배양)될 가능성이 있다. 목적 생물의 안정 배양이나 고밀도 배양을 방해하는 요인으로서 작용할 수도 있다.
  - 일부 동물플랑크톤의 경우, 같은 종일지라도 적용지역에 따라 배양 환경이 달라지거나, 증식의 정도가 다를 수 있으므로, 각 현장마다의 환경적 특성을 충분히 고려하여 배양할 필요가 있다.
  - 혼재세균으로 인한 감염으로 일부 동물플랑크톤의 증식에 저해를 받을 수 있으며 가능하다면 치명적 세균성 질병의 확산을 미연에 방지할 수 있어야 한다.
- 천적생물 배양장치 운영초기 천적생물의 안정화까지 많은 시간이 소요될 수 있다.
  - 천적생물 초기 배양시에는 천적생물 개체군이 배양장치내에 안정화될 때까지 약 1~2개월 정도 배양적응기간이 요구될 수 있다.
  - 특히, 장치 제작 후 6개월 정도는 장치의 재질로부터 유출되는 독성에 의해 천적생물 성장이 제한될 수 있으므로 충분한 수세와 독성제거를 위한 주의가 필요하다.
- 천적생물 특성상 강우기(7~8월)와 동절기(11~2월)에는 성장에 제약이 있다.



- 녹조생물에 대한 포식압을 증가시켜 녹조발생을 초기에 억제하고 제어한다.
  - 저수지의 물이 녹은 후 바로 녹조발생이 가능하므로 2월 말 부터 강우기 직전인 6월 말까지 녹조가 대발생 하지 않는 한 계속 운영하는 것이 좋다.



그림 18. 초기제어 운영방안 및 적용가능한 자연분리 천적생물

표 19. 녹조발생전 초기제어 운영조건

구 분	체류시간		적용 천적생물	살포방법
	식물플랑크톤배양조	동물플랑크톤배양조		
운영조건	3일	4일	자연분리	식물섬 직방류

## (2) 녹조제어(종주배양)

- *Daphnia similoides* 등 우수한 녹조제어능력을 가진 천적생물 종주를 선택적으로 고농도 배양하여 살포함으로써 녹조발생 시 신속하게 진화, 대응하는 방법이다.
  - 천적생물 배양장치에서 먹이생물 배양조를 통해 들어오는 자연분리 천적생물과 녹조제어에 효과적인 천적생물종주를 별도 투입하여 대량배양한다.
  - 이때 천적생물 배양장치에서는 *Daphnia similoides*가 잘 성장할 수 있도록 충분한 먹이생물 공급이 이루어 질수 있도록 한다. 사실, 녹조발생시기에 적용하는 방안으로 유입 원수에 포함된 식물플랑크톤 만으로도 충분한 먹이생물 공급이 이루어지므로 크게 신경쓰지 않아도 된다.
  - 단, 자연분리 천적생물에 비해 조류섭식능이 높아 천적생물 배양장치에서 먹이양이 부족하여 성장장애를 일으키는 경우가 종종 관찰되기 때문에 배양장치의 체류시간을 짧게 조정하여 천적생물 배양장치의 먹이공급량을

늘리고, 배양장치에서 녹조제거율이 90 % 이상 높으므로 배양장치를 녹조 제거장치로 활용할 수도 있다.

- 이럴 경우 먹이생물 공급량을 인위적으로 늘여준다.
- 초기제어에도 불구하고 Chl-a를 기준으로 한 농업용수기준인 35 mg/m<sup>3</sup>이 상으로 증가될 때 *Daphnia similoides*를 이용한 천적생물 종주배양 체계로 배양방법을 전환해야 한다.
- 녹조발생 징후 포착시 또는 녹조가 이미 발생한 경우 조속한 녹조제어를 위한 긴급방제 운영을 해야 할 경우 천적생물 배양장치는 체류시간을 단축하여 식물플랑크톤배양기능을 축소하고 전체 장치를 천적생물 배양조로 운영하여 배양효율과 녹조제거율을 향상시킨다.

**표 20. 녹조발생시 긴급방제 운영조건**

구 분	체류시간		적용 천적생물	살포방법
	식물플랑크톤배양조 (1차 천적배양조)	동물플랑크톤배양조 (2차 천적배양조)		
운영조건	0.5일	2.5일	<i>Daphnia</i> spp.	식물섬+cage 방류

- Chl-a 농도가 35 mg/m<sup>3</sup> 이상 초과하기 시작하면 녹조발생 시기를 대비하여 천적생물 종주인 *Daphnia* spp.와 자연분리 천적생물을 함께 대량 배양한 후 주기적으로 현장에 살포하며, Chl-a 농도가 100 mg/m<sup>3</sup> 이상으로 초과할 경우 cage 살포를 병행하여 천적생물 양을 추가 증식하여 활용한다.
- 이때 천적생물 배양조 안에서 대량배양한 자연분리 천적생물을 일시에 살포하는 1차 대응조치를 취하고, 배양액 살포 직후 *Daphnia similoides*로 구성된 천적생물 종주를 대량 배양하여 2차 대응조치로서 *Daphnia similoides*를 대량 살포함으로써 녹조를 완전 제어한다.
- 천적생물 종주배양액은 주 1회 배양장치의 2/3 량 씩 주기적으로 살포하고, 남은 1/3 배양액에 원수를 다시 채워 다음 살포를 위해 재배양하는 방법으로 종주를 유지한다.
- 주 1회 Chl-a 측정을 통해 Chl-a 농도가 35 mg/m<sup>3</sup>이하로 감소하면 다시 초기제어 방안으로 회귀한다.



그림 19. 녹조제어 운영방안 및 적용가능한 천적생물 종주들

## 다. 천적생물 배양장치 운전

### (1) 초기 운전방법

(가) 천적생물 배양장치 운영(배양) 전 시운전시 점검사항

- 천적생물 배양장치의 설치가 완료되면 정상 가동에 앞서 설계도면과 현장 설치상황을 비교 점검한 후 우선 전원이 들어와 있는지 확인한다.
- 전원이 들어와 있으면 각각의 스위치를 돌려가면서 각 장비가 정확히 기동하는지 확인한다.(스위치의 명판과 기계장비의 일치여부 확인)
- 충수 Test를 위해 밸브를 모두 열어놓은 상태에서 유입펌프를 가동하여 배양장치에 물을 채우고 동시에 배관의 누수여부, 각 배양조의 누수여부, 기계장비의 작동상태를 점검한다.
- 이상의 상태가 모두 완료되면 정상가동을 위해 밸브를 조절하여 유입유량을 맞추고 각 배양조로 이송되는 유량을 조절한다.
- timer 설정을 마친 후 timer 동작에 따라 각 장비가 자동운전되는지 확인한다.
- 천적생물 배양장치에 대한 정확한 설계와 시공은 녹조제어의 가장 기본적인 요소이다. 기기의 오작동 및 부정확한 시공은 정상적인 천적생물 배양이 이루어 질수 없기 때문에 운영 전 면밀한 점검이 필요하다.
  - 배양장치 운영 전 고려 및 점검사항에 따라 본 가동 전에 배양장치에서 발생가능한 모든 문제점을 해결하고 정상여부를 확인하여야 한다.
- 천적생물 배양장치에 대한 정확한 설계와 시공은 녹조제어의 가장 기본적인 요소이다. 기기의 오작동 및 부정확한 시공은 정상적인 천적생물

배양이 이루어 질수 없기 때문에 운영 전 면밀한 점검이 필요하다.

- 배양장치 운영 전 고려 및 점검사항에 따라 본 가동 전에 배양장치에서 발생가능한 모든 문제점을 해결하고 정상여부를 확인하여야 한다.

**표 21. 시운전시 고려 및 점검사항**

항목	시운전시 고려 및 점검사항
비상대책	- 시운전시 배양장치 설비착오로 인한 재해 발생 대책 마련 - 배양성능이 예상과 달리 나타날 때는 문제해결을 위해 관련 전문가 협조나 비상 보수업체를 확보할 수 있는 체제를 구축함
안전사고	- 수상형 장치이거나 시설물이 수면에 인접해 있는 경우 방문객들의 안전사고에 대비할 수 있는 시설이 시운전 중에 검토되어야 함
주민홍보	- 공사시작부터 지역주민에 대한 홍보를 통해 천적생물을 이용한 녹조제어에 대한 이해와 관심을 높이도록 함 - 장기운영 시 지역주민 참여와 협조를 유도할 수 있는 기회가 될 수 있음
전문가 참여유도	- 학계나 민간으로부터의 전문가가 시운전에 참여하여 개선사항을 제안할 수 있도록 함
기술적 사항	- 수위 및 유량 - 배양장치 내외부 주변환경 확인 - 수질 - 단위장치 및 기기의 작동여부 - 강우량 등의 기상자료 - 대량살포장치 및 보완장치의 적정 설치여부 확인 - 모니터링장비 운전
시운전 자료의 관리	- 시운전 자료는 장기적으로 배양장치의 운영/유지관리를 위한 근거자료로 활용됨 - 따라서 유지관리상의 비용절감과 효율을 증대시키기 위해서는 시운전 자료의 철저한 관리와 분석이 요구됨

(나) 운전방법

- 배양장치의 운전은 콘트롤 패널을 이용하여 유입펌프 기동, 교반용 펌프의 가동시간 세팅, 산소공급용 Blower의 가동시간을 세팅하여 운전한다.
- 각 부분별 가동 및 운전상태는 다음과 같다.
  - 유입 펌프 : 24시간 연속운전 (스위치 수동, ON상태)
  - 교반용 펌프 : 10분 가동 30분 정지 (스위치 자동, timer 설정)
  - Blower : 24시간 연속운전(스위치 수동, ON 상태)
- 원수분리조를 거쳐 각 배양조로 이송되는 유량은 각 배관에 설치되어 있는 밸브를 이용하여 조정한다.

- 10톤 기준 총 유입유량 : 2.5m<sup>3</sup>/day (1.74ℓ/min)
- 원수분리조 → 식물플랑크톤 배양조 : 1.25m<sup>3</sup>/day (0.87ℓ/min)
- 원수분리조 → 동물플랑크톤 배양조 : 1.25m<sup>3</sup>/day (0.87ℓ/min)

**(2) 천적생물 배양장치 최적 운전조건**

- 천적생물 배양장치의 최적 운전조건은 표 22와 같다.
  - 체류시간은 식물플랑크톤 배양조 3일, 동물플랑크톤 배양조 4일, 천적생물의 먹이공급량은 원수에서 50%, 식물플랑크톤 배양조에서 배양한 먹이원 50% 공급이 적절하다.
  - 인공식물섬은 동물플랑크톤 배양조에서 피복율 40%로 적용하고, 나머지는 차광막을 이용하여 강한 일사광선을 차폐한다.
  - 배양방식은 연속배양으로 하고 유출부에 80μm의 여과망을 적용하여 개체 크기가 큰 천적생물은 집적한다.
  - 동물플랑크톤 배양조에서 천적생물의 최적 생육환경을 조성하기 위해 세라믹 판을 이용한 미세기포로 공기를 연속 공급하고, 배양조 바닥은 경사를 주어 천적생물 살포시 분비물 및 패각, 쇄설물 등을 함께 배제할 수 있도록 한다.

**표 22. 천적생물 배양장치 운영조건**

구 분	식물플랑크톤 배양조	동물플랑크톤 배양조
체 류 시 간	3일	4일
먹이공급량	-	50%
교 반 장 치	수중펌프	-
인공식물섬	-	40%
배 양 방 식	연속배양	연속배양(배양액만 배출)
공 기 공 급	-	산기관으로 연속공급

- 녹조발생시기에는 천적생물 배양장치의 운영조건을 적절하게 변경할 수 있다.
  - 천적생물 배양장치의 체류시간은 당초 식물배양조와 동물배양조의 기능을 가장 잘 발휘하는 조건을 분석하여 최적 결정하였으며, 녹조발생전 사전에

방을 위한 운영의 경우에는 수역의 식물플랑크톤의 농도가 낮은 상태이므로 당초 조건을 그대로 이용한다.

- 반면, 녹조 발생수역의 경우 이미 유입수에 많은 양의 식물플랑크톤(먹이 생물)이 존재하므로 천적생물인 동물플랑크톤의 배양기능 만을 부각하여 식물플랑크톤 배양조와 동물플랑크톤 배양조의 체류시간을 대폭 단축하여 물순환율을 높임으로 인해 식물플랑크톤 배양조를 1차 배양장치, 동물플랑크톤 배양조를 2차 배양장치로 활용, 천적생물의 배양성능을 높이고, 앞서 언급한 배양장치 자체가 가지는 녹조제어기능을 향상시킨다.
- 또한, 녹조발생수역의 경우 상대적으로 증가되는 시설규모를 체류시간 감소로 짧은 방류주기를 확보하여 축소할 수 있는 효과가 있다.

**표 23. 녹조발생 정도에 따른 배양장치 운전조건 변화**

구 분		운전조건		비 고
		녹조초기제어 (사전예방시)	녹조발생수역 (녹조진화시)	
체류시간	식물플랑크톤배양조	3일	0.5일	
	동물플랑크톤배양조	4일	2.5일	

- 천적생물 배양장치 배양시기는 대상수역의 특성에 따라 달라질수 있다.
  - 녹조발생을 초기제어하기 위해 천적생물 배양장치를 운영하는 경우 배양시기는 2월말부터 시험가동을 하고 3월부터 본격적인 운영을 통해 다량의 천적생물을 방류할 수 있도록 해야 한다.
  - 녹조발생을 대비해서 조류를 제어할 경우 천적생물 배양장치의 운영 시기는 대상수역의 시기별로 특성 지어지는 녹조발생 원인생물을 사전 모니터링 하여 그에 대응하는 천적생물의 종주를 보관하고 있다가 모니터링 결과에 따라 적절한 시기에 종주배양을 시작하여 천적생물을 대량배양한 후 현장에 살포하는 과정으로 진행되어야 한다.
  - 녹조발생을 제어하기 위한 천적생물의 적용방법은 농업용수 기준인 Chl-a 35 mg/m<sup>3</sup>이상의 농도수준에 도달했을 때 천적생물 종주배양을 실시하여 대량살포가 이루어질 수 있도록 한다.



### (3) 천적생물 *Daphnia similoides*와 *Daphnia pulex* 종주배양

#### (가) 천적생물 종주보관

- 천적생물 종주의 보관은 다음과 같다.
  - 천적생물 보관은 종주은행 또는 인근 환경연구원, 또는 농어촌연구원에서 장기보관 하고 유사 시기에는 몇개 천적생물 종주에 대해 1차 종주배양을 실시하고 있어야 한다.

#### (나) 실내 고밀도 배양

- 실내 고밀도 배양은 50 ~ 100 L 수조에서 배양하며 다음 조건을 고려하여 배양한다.
  - 배양수조 초기 투입 천적생물의 밀도와 증가 속도 : 초기 투입 천적생물의 밀도에 의해 증가 속도가 달라지며, 초기 100개체 투입 시(1 inds./L), 수조 내 개체군 밀도가 100 inds./L를 초과하는 고밀도에 도달하는데 약 10일이 소요된다(증가율  $r = 0.46$ ). 초기 투입 개체수가 많으면 많을수록 단시간 내에 고밀도에 달하며 지속적인 먹이 공급으로 개체군 밀도를 유지할 수 있다.
  - 수온 : 20 ~ 25 °C 유지
  - 급수 : 수돗물을 24시간 에어레이션 시킨후 사용(미생물 증가억제를 위해 배지사용 지양)
  - 에어레이션 : 표면에 약한 산소 공급
  - 먹이 : 시판용 클로렐라  $1 \sim 5 \times 10^5$  cells/mL을 1일 2회 급수(2 L 급수 시 먹이를 섞어서 주입)
  - 급수 및 물 교환 : 배양수조 설계 시 배수 장치를 설치, 급수한 용량만큼 배수(1일 전체 물 양의 5% 이내로 물 교환- 체류시간 10일)
- *Daphnia similoides*를 천적생물 종주로 사용할 경우 종주 유지배양 및 실내 고밀도 배양, 천적생물 배양장치 내 대량배양 과정과 방법을 요약하였다.

표 24. 천적생물 종주(*Daphnia similoides*)의 유지배양, 실내배양, 현장배양조건

배양목적	기본 배양조건	배양조건 및 유의사항
종주 유지 배양	<ul style="list-style-type: none"> <li>●적정배양크기: 1 L</li> <li>●배양수 : 24시간 이상 산소공급하며 저장해 둔 수돗물 또는 조류 배양 용 배지</li> <li>●수온: 20 ~ 25 °C</li> <li>●먹이: 클로렐라</li> <li>●산소공급: 불필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●온도조절이 되는 배양기 또는 실험실내 배양</li> <li>●클로렐라 <math>5 \times 10^5</math> cells/ml가 되도록 매일 1회 공급</li> <li>●찌꺼기가 생기면 물교환 (월 1회, 채를 이용해 <i>Daphnia similoides</i>를 새로운 비커로 이동)</li> </ul>
실내 대량 배양	<ul style="list-style-type: none"> <li>●적정배양크기: 50~100 L</li> <li>●배양수: 24시간이상 산소공급하며 저장해 둔 수돗물</li> <li>●수온: 20 ~ 25 °C</li> <li>●먹이: 클로렐라</li> <li>●산소공급: 표면에 에어레이션</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●비커에서 배양한 천적생물 <i>D. similoides</i>를 대형 배양용기에 100개체 이상 되도록 투입하여 배양 시작</li> <li>●온도조절이 되는 실내에서 배양</li> <li>●클로렐라 <math>1 \times 10^5</math> cells/ml가 되도록 하여 1일 2회 공급</li> <li>●50 L 수조 기준으로, 먹이는 2 L 원수에 클로렐라를 섞어 공급하여, 먹이 공급 시 수조 저층물 교환(1일 교환율 10% 이하가 되도록 조절)</li> <li>●불필요한 미생물의 증가를 막기 위해 영양분이 들어간 배양용 배지 사용 지양</li> <li>●주기적으로 저층의 찌꺼기 펌프를 이용하여 배출(월 1회)</li> <li>●산소 공급은 수조 내 강한 물 흐름이 생기지 않도록 주의</li> </ul>
실외 대량 배양	<ul style="list-style-type: none"> <li>●배양수조: 1 m<sup>3</sup> 이상</li> <li>●수온: 실외에서 30 °C 넘지 않도록 주의</li> <li>●먹이: 적용대상 하천 또는 저수지의 원수 필터 후 공급</li> <li>●산소공급: 약한 에어레이션 공급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●실내 대량배양한 천적생물 <i>Daphnia similoides</i>를 1,000개체 이상 천적생물 배양조에 투입하여 배양 시작</li> <li>●수온이 30 °C가 넘지 않도록 필요한 경우 천막 등으로 직사광선 차단 필요</li> <li>●먹이를 포함한 원수 유입과 스크리닝한 원수 유출로 물 교환(인공섬 살포시설 수조 참고)</li> <li>●산소 공급 시 수조 내의 강한 물 흐름이 생기지 않도록 주의</li> <li>●유입되는 먹이원이 와편모조류 등 섭식이 곤란하거나 독성 플랑크톤일 경우 주의</li> <li>●포식성 수서곤충의 증가로 인한 개체수 감소 주의</li> </ul>

(나) 천적생물 배양장치에서의 대량배양

- 천적생물 배양장치의 운영 시 천적생물의 개체군 밀도 확보는, 실내 배양과 동일하게 초기 투입개체수가 중요하며, 10 m<sup>3</sup> 수조의 경우 5,000개체 이상 고밀도로 투입하고, 개체군 밀도 증가가 확인되기 전까지 2 ~ 3일 간격 반복투입을 실시한다. 개체군 밀도가 안정적으로 증가하기 시

작하면, 1 ind./L에서 100 inds./L 이상 고밀도가 되기까지 평균 8일이 소요된다(평균증가율,  $r = 0.58$ ).

- 천적생물 배양장치의 운영 시 초기 안정화 기간이 필요하며, 고밀도 배양 후에는 1주일 주기로 배양조의 2/3를 방류한다.
  - 배양액의 방류시기인 7일은 장기간의 실험결과와 경험수치이며, 현장에서 가능하다면 동물플랑크톤의 개체수를 조사하여 100 inds./L 이상일 때 방류하는 것이 효과적이다.
  - 방류 시 배양조의 1/3을 남긴 후 2/3의 신선한 호소수를 배양조에 채워 재증식 시킬 경우 천적생물의 배양시간이 짧아지는 효과를 기대할 수 있다.
  - 대상수역에 따라서는 2/3 일괄방류보다 지속적인 방류(유입량=방류량)를 실시할 수도 있다.
- 살포가능 수준의 대량배양목표 개체수 제시
  - 실험결과 초기 유입농도가 높을수록 살포 가능한 개체수의 확보가 유리하다.

**표 25. 최적의 배양기간에 따른 살포 가능한 천적생물 개체수(inds./L)**

	자연분리 천적생물	<i>Daphnia</i> 천적생물
3일 배양	5,400	80
5일 배양	8,000	100
7일 배양	10,000	120

**(4) 자연분리 천적생물 분리 및 대량배양**

- 자연분리 천적생물은 수역에 자연 서식하는 천적생물을 원수분리조에서 분리하여 천적생물 배양조로 집적시킨 후 고밀도 배양을 수행한다.
- 배양장치의 운영 시 천적생물의 개체군 밀도 확보는, 수역에 분포하는 천적생물 기능 동물플랑크톤의 군집 특성에 의존하며, 초기 투입개체수를 증가시키기 위해 원수분리조에서 배양조로 이송되는 물보다 많은 양의 물을 여과한 후 여과수는 바이패스로 방류한다. 초기 안정화에 다소 시간이 소요되지만 안정화 이후 L당 4,000개체 이상의 밀도를 유지한다.
- 천적생물 종주 배양과 마찬가지로 고밀도 배양 후에는 1주일 주기로 배

양조의 2/3를 방류한다.

- 배양액의 방류시기인 7일은 장기간의 실험결과와 경험수치이며, 현장에서 가능하다면 동물플랑크톤의 개체수를 조사하여 4,000 inds./L 이상일 때 방류하는 것이 효과적이다.
- 방류 시 배양조의 1/3을 남긴 후 2/3의 신선한 호소수를 배양조에 채워 재증식 시킬 경우 천적생물의 배양시간이 짧아지는 효과를 기대할 수 있다.
- 대상수역에 따라서는 2/3 일괄방류보다 지속적인 방류(유입량=방류량)를 실시할 수도 있다.

## 라. 천적생물 배양액 현장살포

### (1) 살포방법

- 대량배양한 천적생물 배양액을 녹조 발생 수역에 적용하여 방제 효과를 얻기 위해서는 효과적 살포방법의 구상이 필요하며, 그중에서 최적의 방안으로 살포할 수 있도록 해야 한다.
- 천적생물 배양장치를 지속적으로 운영하기 위한 최적의 살포조건으로 확립한 방법은 1회 살포시 천적생물 배양장치 배양액의 2/3살포, 1/3은 천적생물의 재증식에 활용하는 것으로 1주일 주기 살포시 배양장치 내 남은 1/3 분량의 천적생물이 다음 살포 전 최대 증식량으로 회복한다.
- 천적생물을 배양한 후 녹조발생수역에 배양액을 살포하는 몇 가지 방안을 검토한 결과, 크게 2가지 방법을 추천한다.
  - 평시유하 방식 : 동물플랑크톤 배양조 유출부에서 유입되는 유량만큼 상등수가 월류되어 나가는 방식을 들 수 있는데, 이는 평상시 수역의 천적생물 분포 밀도를 높여 녹조발생을 미연에 방지하는 초기 성장 억제방안으로 이용될 수 있다.
  - 대량살포 방식 : 수역에 녹조발생이 이루어졌을 때 대량배양한 천적생물 배양액을 일시에 방류하는 경우 사용하며, 동물플랑크톤 배양조의 하부 유출 밸브를 통해 배양액 전체가 일시에 살포되는 방법이다.
- 동물플랑크톤 배양조에서 천적생물이 배양되는 동안 지속적으로 원수의 유입은 이루어지며 때문에 방류스크린 BOX에 스크린 망을 제거하여 운

영할 경우 평시 유하방식의 운영이 되며 방류스크린 BOX에 스크린 망을 설치하여 운영할 경우 대량살포 방식의 배양이 이루어진다

- 배양액 대량살포는 수두차에 의한 자연유하방식을 이용하며 그림에 보는 바와 같이 대량살포 유출구 밸브를 열어 살포할 수 있다.

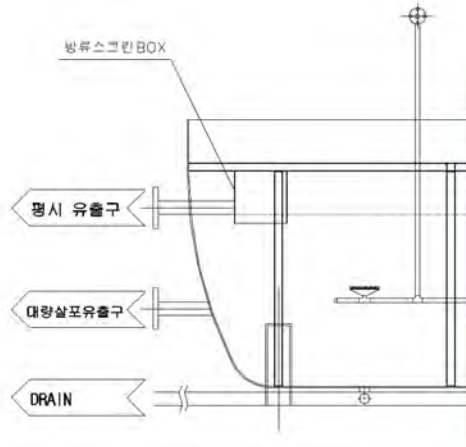


그림 20. 대량살포 유출구 밸브

- 또한, 천적생물 배양장치에서 배양한 천적생물을 수역에 살포하는 방법의 경우 인공식물섬 중앙으로 직방류와 천적생물 보호용 cage에 방류하여 보호 및 추가증식 유도 후 살포 방법이 있다.
  - cage 살포는 500  $\mu\text{m}$  cage 망의 청결상태가 천적생물 증식에 영향을 크게 주어 천적생물 성장 변이가 큰 편이므로 녹조발생전이나 어류의 포식압이 크지 않은 조건에서는 사용하지 않는 것이 좋다.
  - 따라서, 녹조발생 전 초기제어 목적으로 운영할 경우 인공식물섬에 직방류하는 방법을, 녹조가 발생하거나, 물고기의 포식압이 높을 경우에는 인공식물섬 직방류와 cage방류를 병행하는 방법을 사용하는 것이 바람직하다.
- 천적생물 배양장치에서 천적생물을 살포할 경우 점 살포방식과 면 살포방식 중 한 가지를 선택해서 적용한다.

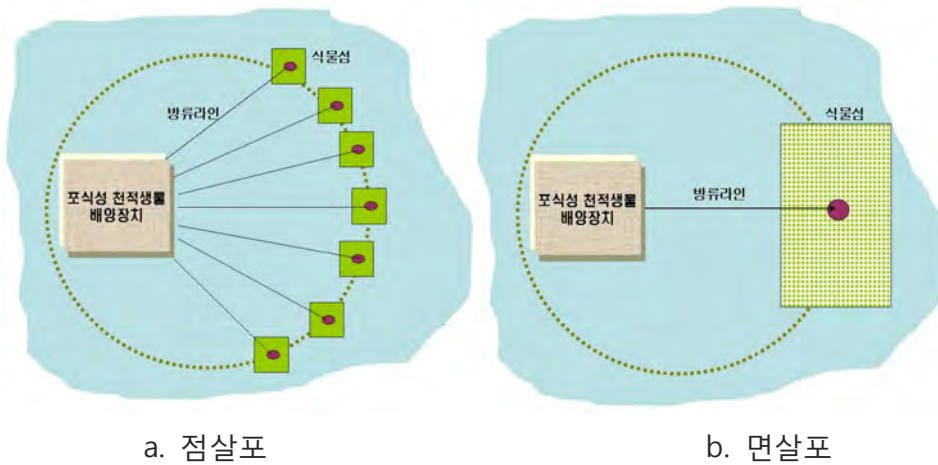


그림 21. 점살포와 면살포 방식

- 점살포의 경우 광범위한 수역에 적용하기 용이한 방법이며, 면살포는 넓은 면적의 식물섬을 이용하여 살포하므로 녹조발생이 빈번한 특정수역에 적용하기 용이할 것으로 판단된다. 경제성은 점살포가 유리할 것이나, 유지관리는 면살포가 용이할 것으로 판단되므로 대상수역의 특성을 고려하여 적용하는 것이 필요하다.
- 점살포와 면살포 방식 둘 다 식물섬을 병행하여 적용하고 있는데 이는 포식성 천적생물 배양장치에서 대량배양한 천적생물의 현장 살포이후 가장 문제시 되는 어류의 포식작용에 대한 피신처의 역할과 배양장치와 수역간의 환경변화에 대한 완충지대로서의 역할을 통해 천적생물의 생존율과 활동시간을 늘려주기 위함이다.
- 인공식물섬 같은 수초섬은 식생의 유지관리가 필요하지만, 피신공간뿐만 아니라 생물서식공간으로 충분한 기능을 가지고 있는 것이 이미 밝혀진바 있으며, 또한 살포된 동물플랑크톤이 추가 성장할 수 있는 여건을 조성해 주어 녹조의 추가억제 기능을 가진다.

## 제2절 천적생물 배양장치 유지관리

### 가. 유지관리 기본 방향

- 천적생물 배양장치의 최적 운영을 위해서는 안정적인 유지관리 계획의 수립이 필수적이다.
  - 특히 자연환경에서 미소생물을 배양하는 것은 상당히 까다롭고, 많은 변수를 가지고 있기 때문에 더욱 중요하다 하겠다.
  - 적용 저수지에 따라 시기별로 운영방향이 달라지기 때문에 각 구역의 특성을 잘 반영한 유지관리방안이 적절히 수립되어야만 목적에 따른 기능을 발휘할 수 있을 것이다.
  - 최적의 유지관리를 위해 필요한 사항은 시설운영의 기간이 장기화되면서 시행착오를 통해 수정 보완되어질 것이므로, 본 연구에서 검토한 사항 외에도 유지관리를 위해 필요한 사항이 증가할 수 있다.
- 천적생물 배양장치가 정상적으로 잘 운영되기 위해서는 지속적인 관리를 요하며, 다음과 같은 사항에 초점을 맞추어야 한다.
  - 원수분리조에서 동물플랑크톤과 식물플랑크톤이 잘 분리될 수 있도록 해야 한다. 그러기 위해서는 분리막이 찢어지거나 훼손되지 않았는지 항상 체크를 해야 하며, 분리조에서 분배되는 각 유량의 양이 적합한지 관리하여야 한다.
  - 동물플랑크톤 배양조의 수중교반량과 먹이생물 공급비율, 먹이생물의 질 등을 항상 관찰하고, 관리하여야 한다.
  - 먹이생물의 질적 관리를 위해 식물플랑크톤 배양조에서 배양상태 등을 꼼꼼히 체크해야 한다.
  - 대량배양한 천적생물의 살포과정에서 중요한 살포장치의 상태를 항상 점검하여 시의 적절하게 현장살포 할 수 있도록 관리해야 한다.

### 나. 운영 및 유지관리 점검 사항

- 천적생물 배양장치를 운영함에 있어서 가장 중요한 부분은 각 배양장치의 배양조건을 유지하는 것으로 중요 Check Point는 다음과 같다.

- 각 배양조의 최적 체류시간 확보 : 이는 유입량조절을 통해 이루어지는데 밸브 조작이나 배관에 이물질이 유입 등으로 인해 유입량이 변할 수 있으므로 정기적으로 확인하여 정해진 유량이 유입될 수 있도록 한다.
- 산소공급 : Blower와 산기관을 통해 동물플랑크톤 배양조에 산소를 공급하는데 공기방울 사이즈가 크면 천적생물 배양 및 증식에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 산소 공급은 수면에 잔잔한 여울이 생기는 정도로 미세하게 조절하여 주입한다.
- 분리망 : 원수분리조에 설치된 분리망의 상태를 정기적으로 점검하여 막힘 현상에 의해 유입된 원수가 분리망을 넘어가는 현상이 나타나지 않도록 분리망 청소를 실시하고 안정적으로 원수가 공급될 수 있도록 한다.
- 천적생물 배양시스템의 효과적인 유지관리를 위해 다음과 같은 사항들이 지속적으로 점검되어야 한다.

**표 26. 천적생물 배양시설 유지관리 점검사항**

점검사항	점검내용	점검시기
양수설비	- 수중펌프의 이물질부착여부	- 수시점검
시스템작동 판넬	- 배양시설 시스템의 오작동	- 전기가 들어오지 않거나 펌프가 작동하지 않을 때
누수점검	- 배관 및 배양조의 누수여부	- 적정유량이 유지되지 않을 때
누적오염물질의 제거	- 배양조 내 슬러지 청소	- 1회/월
플랑크톤 분리장치	- 분리막의 폐쇄여부 및 청소	- 수시점검
동절기 관리	- 배관, 배양조의 결빙현상 발생여부	- 동절기 수시점검

**(1) 양수설비**

- 양수설비는 대상수체에서 배양시설내부로 물을 유입시키는 수중펌프와 연결배관이 해당된다.
- 수중펌프점검은 운전 전, 운전 중, 운전 후의 작동상태를 확인하며 작동이 안 될 시에는 펌프임펠러부분에 이물질부착여부, 전선의 피복파손 및 누전여부를 조사하며 모터가 손상되었을 경우 즉시 교체한다.
- 연결배관은 지상 쪽에서는 물리적인 충격, 자외선 등에 손상될 수 있으



며 수중에서는 지속적으로 가해지는 펌프압력에 의해 누수가 발생하거나 연결부위가 해체될 수 있으므로 유입유량이 적거나 나오지 않을 때 점검하며 손상되었을 경우 교체한다.

- 원수펌프의 위치는 하천 본류구간의 0.5 ~ 1.0 m 사이에 설치되어 있어야하고, 마름 등 식생대 안에 갇히지 않도록 주의해야 하며, 부표의 유실이나 펌프지지선의 이상으로 해당 위치를 벗어나지 않았는지 확인한다.

### (2) 시스템작동 판넬

- 시스템 작동 판넬은 동절기온도, 비바람, 자외선 등에 영향이 없도록 스테인레스박스 안에 안전하게 설치한다.
- 수중 pump나 교반기를 제어하는 판넬은 정상작동하지 않을 경우 배양시스템이 정지되며 식물 및 동물플랑크톤이 배양되지 못하고 사멸할 가능성이 있으므로 점검 시 주의 깊게 관찰해야한다.

### (3) 누수점검

- 집수조, 식물플랑크톤 배양조, 동물플랑크톤 배양조는 각각 FRP 재질의 배관에 의해 연결되어 있으며, 동파 또는 햇빛에 파손 또는 부식이 되기 쉬우므로 누수가 발생하지 않는지 꼼꼼히 살펴야한다.
- 누수여부는 수시점검해서 파악하며 균열이 발생한 곳이 있다면 길이, 방향, 깊이를 진단하여 마감재로 보수한다.

### (4) 누적오염물질의 제거

- 배양 중 생성되는 동물플랑크톤 사체와 탈피 잔재물 등의 유기성 물질이 침강되어 바닥에 쌓이게 되면 동물플랑크톤의 생육환경이 나빠지므로 시스템이 원활한 기능을 발휘하지 못한다.
- 따라서 월 1회 청소를 실시하며 장마기 탁수의 유입이 심각할 경우 양수를 일시중지하고 연속배양이 아닌 회분배양으로 전환하여 각종 오염물질로부터 시스템을 보호할 수 있다.

### (5) 원수분리조 점검

- 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 분리하는 중요한 장치로 25  $\mu\text{m}$ 의 분리

막이 폐쇄될 수 있는 가능성도 매우 높다.

- 따라서 주기적으로 청소되어야 한다. 청소주기는 유입수의 성상에 따라 다르기 때문에 관리인의 운전경험과 현장 여건에 따라 정하며 만약 플랑크톤 분리장치가 마모나 부식 등의 이유로 파손된 경우에는 즉시 교체한다.

#### (6) 동절기 관리

- 동절기에 온도가 내려가면 정체되어있던 물에 결빙현상이 발생하여 배관이나 배양조를 파손시킬 가능성이 있다. 따라서 동절기에 시스템을 운영하지 않을 시에는 배양조의 drain밸브를 이용하여 물을 모두 배출한 뒤 건조시키며 불가피하게 운영을 해야 할 시에는 얼음이 얼지 않을 정도의 유량을 연속으로 통과시키며 배관에는 열선 등을 이용하여 보온한다.

#### (7) 현장관리인의 관리

- 포식성 천적생물 배양장치의 효과적인 관리를 위해서는 현장에서 상시관리 하는 현장관리인의 관리가 무엇보다 중요하다. 현장관리인을 운영할 경우 다음 사항에 대해 기본지식을 갖추 수 있도록 최소 6개월마다 정기적으로 교육을 실시해야 한다.
  - 시설물 정상가동 상태를 판단할 수 있는 능력 배양
  - 문제발생시 긴급 대처요령 숙지

#### (8) 전문가에 의한 정기 점검 및 지도

- 주기적으로 동식물플랑크톤 배양에 지식이 어느 정도 있는 전문가에 의한 정기 관리 및 현장관리인 지도가 이루어 져야하며, 필요시 전문가로 구성된 자문단을 결성하여 시설운영 및 녹조제어에 관한 정기적 점검을 한다.

### 다. 정기적 체크사항 및 비상시 관리사항

#### (1) 정기적 관리 및 체크 사항

- 포식성 천적생물 배양장치의 유지관리는 크게 정기적 관리와 비상시 관리로 구분하여 수행한다.
- 정기적 관리는 현장관리인이 현장점검일지에 작성되어 있는 항목을 중심

으로 각각의 check list의 정상 여부를 확인, 점검하고, 양수장 가동, 시설청소, 여과막 및 유입구의 청소 등 정기적 소모품 관리, 청소, 교체 등의 관리업무를 말하며, 이상발생 시에는 즉각 보고할 수 있도록 하여야 한다.

- 표 27과 표 28은 천적생물 배양시설 현장점검표와 천적생물 배양시설 현장관리인 점검일지로서, 현장점검표는 현장 세부시설에 대한 정상가동 여부만을 확인하는 체크리스트이며 크게 실내시험실, 식물플랑크톤 배양조, 동물플랑크톤 배양조, 배양지 양수 및 저장조(원수분리조), 살포장치(메스코즘 포함), 부체 및 접근교 등 주변시설로 구분하여 각 세부 점검사항을 열거하였다.
- 현장관리인 점검일지는 현장시설의 정상가동 여부 확인이외에 별도의 작업지시 또는 별도의 유지관리업무내용을 기입하여 보고하는 서식으로 주간 보고하도록 한다.

## (2) 비상시 관리

- 비상시 관리는 미처 생각지 못한 문제발생시 또는 문제발생이 예상될 경우 이루어지는 관리이다.
  - 갑작스런 폭우나 강풍에 따른 시설 파손, 유실 위험 등에 대한 대책마련, 또는 부체, 부교 등 외곽 시설에 대한 손상 방지 작업 등이 그것이다.
  - 또한 동절기 배관의 파손 또는 시설운영에 따른 시간경과로 햇빛에 노출된 FRP 파이프 또는 모래주머니 등의 부식에 따른 손상에 대비한 일련의 작업들과 교체, 보강작업 등이 비정기적 관리에 포함되어야 한다.
  - 또한, 시설운영조건 변경, 즉, 자연분리방법에 의해 가동하다가 종주배양방법으로 전환 시 각 장치의 점검 및 수조 내부청소 등이 그것에 해당된다.
  - 비상시 관리는 현장관리인의 정기적 업무 외에 발생하는 것으로 관리자의 별도지시에 의해 이루어지고, 또한 단시간에 많은 업무량이 요구되기도 하므로 추가 발생하는 노동력 또는 장비, 재료비 등에 대한 별도의 지원예산이 마련되어 있어야 한다.
  - 실제 발생한 비정기적 유지관리 업무로는 9월에 집중된 태풍과 폭우, 강풍에 따른 실시간 상황보고 및 보강, 보수작업, 파손시설 폐기물 정리, 강우에 밀려온 통나무 등 잡쓰레기 제거 작업, 시설 유입 도로 확보, 운영조건 변경이 마다 수조 청소 작업, 실내시험실 등 주변 환경미화 작업 등이다.

표 27. 천적생물 배양시설 현장점검표(예시)

구분	점검사항 (기록사항은 일일근무일지에 기록)	2011년 ( )월 유지관리 점검사항 √체크																																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
실내시 험실	○시험실 실내점검 및 시건확인																																			
	○시험실 아간순찰																																			
	○냉난방기 이상유무확인																																			
	○시료보관시설 작동여부확인																																			
	○실내정결여부 확인 및 청소																																			
	○배양조정상기등(유출입, 수위확인)																																			
배양지 양수 및 저장조	○취수부 스크린 부작물 제거																																			
	○모터 가동시 운전상황 점검																																			
	○전기시설의 이상유무 확인																																			
	○저장조 수위확인																																			
	○저장조 온도조절장치 이상 확인																																			
	○탱크 및 배관 누수 확인																																			
식물플 랑크톤 배양조	○유입부의 유량균등유입 확인.조지																																			
	○여과막 이상유무확인, 이물질제거																																			
	○각 수조의 수위 및 정상흐름 확인																																			
	○각 배관의 밸브 조정 및 이상확인																																			
	○배관 및 수조의 누수확인 및 조치																																			
	○수조주변장치(교반기 등) 이상유무																																			
천적생 물 배양조	○수조 내 협잡물제거																																			
	○유입부의 유량균등유입 확인.조지																																			
	○여과막 이상유무확인, 이물질제거																																			
	○각 수조의 수위 및 정상흐름 확인																																			
	○각 배관의 밸브 조정 및 이상확인																																			
	○배관 및 수조의 누수확인 및 조치																																			
유출부	○수조주변장치 이상유무																																			
	○수조 내 협잡물제거																																			
	○유입부의 유량균등유입 확인.조지																																			
	○여과막 이상유무확인, 이물질제거																																			
	○각 수조의 수위 및 정상흐름 확인																																			
	○각 배관의 밸브 조정 및 이상확인																																			
기타시 설	○배관 및 수조의 누수확인 및 조치																																			
	○수조주변장치 이상유무																																			
	○수조 내 협잡물제거																																			
	○유출배관의 정상위지 확인																																			
	○유출부 주변 이물질 제거																																			
	○유출부 경광등정상작동 확인.조지																																			

표 28. 천적생물 배양시설 일일 근무 일지(예시)

일 자	일일보고시간		확 인		점검내용기록 및 특이사항 조치결과
	출 근	퇴 근	관리인	담당자	
월 일 (요일)					
월 일 (요일)					
월 일 (요일)					
월 일 (요일)					
월 일 (요일)					
월 일 (요일)					
월 일 (요일)					



# 제 6 장

## 모니터링 및 운영체계 평가

제1절 천적생물 배양장치 및 녹조제어 효과 모니터링

제2절 천적생물 배양장치 운영체계 평가





## 제6장 모니터링 및 운영체제 평가

### 제1절 천적생물 배양장치 및 녹조제어 효과 모니터링

#### 가. 천적생물 배양장치 모니터링

- 시설의 전체적인 운전상황과 시스템의 문제점을 분석하고 더 효과적인 운영관리를 위해 정기적인 모니터링을 실시한다.
  - 모니터링 결과를 바탕으로 운영체제를 개선 할 수 있으며, 현 체제의 문제점 도출 및 해결방안을 모색하게 해준다.
  - 천적생물 배양장치를 이용한 녹조제어 효과 분석결과를 토대로 공법의 실효성에 대한 기초자료를 제공한다.
- 모니터링 항목은 표 29와 같이 목적에 맞게 실시해야하며, 모니터링 결과는 바로바로 분석하고 공유하여 녹조발생에 대한 신속한 대응이 이루어 질수 있도록 한다.

표 29. 효과적 운영을 위해 최소한으로 요구되는 모니터링

모니터링 항목	채수 지점	채수빈도
천적생물 배양장치		
유입 유량	각 배양조 유입부	주 1 회
수온, DO, pH, EC, Turbidity	유입수, 식물플랑크톤 배양조, 동물플랑크톤 배양조	매일
TN, TP, Chl-a		주 2 회
식물플랑크톤, 동물플랑크톤		자연분리 : 주 1회 Daphnia : 투입직후 1주간 매일 이후 주 1회
녹조제어 대상수역		
수온, DO, pH, EC, SD, Chl-a	대표 1 지점	매일(자동측정기 이용가능) 주 2회
TN, TP		평상시 주 2회 녹조발생 시 또는 천적생물 살포시 격일 조사
식물플랑크톤, 동물플랑크톤		
어류상 조사(위내용물 분석 포함)		최초 1회 정량조사(6월) 반기 1회(6월, 9월)

- 모니터링은 크게 천적생물 배양장치 내 모니터링과 녹조제어 대상 수역으로 구분한다.
- 천적생물 배양장치 내에서는 천적생물의 대량배양 성능 유지와 안정적인 환경조성을 위해 필요한 항목으로 최소 빈도를 제시하였다.
- 천적생물 배양장치에서는 천적생물 배양조에서 먹이생물(Chl-a)과 영양염류의 충분한 공급이 이루어져야 하므로 TN, TP, Chl-a는 주 2회 분석하여 운영에 참고한다.
- 수온, pH, DO 등 생육환경의 영향과 영양염류(TN, TP) 고갈 등 환경조건 변화를 살펴보고자 배양기간 동안 수환경 모니터링을 주 1회 실시한다.
- 천적생물의 먹이생물 고갈여부를 판단하기 위해 Chl-a 분석을 주 1회 실시한다.
- 모니터링 지점은 유입(Inflow), 식물플랑크톤 배양장치(A-p, B-p..), 동물플랑크톤 배양장치(A-z, B-z..) 등으로 구분한다.
- 배양장치 운영 중 동물플랑크톤 배양조의 천적생물 성장특성과 종분포, 군집밀도를 확인하기 위해 주 1회 이상의 모니터링을 실시한다.
  - 동물플랑크톤 분석을 위해 플랑크톤네트(망목 63  $\mu\text{m}$ )를 바닥부터 수직 예인하여 동물플랑크톤을 분리하고 포르말린으로 고정한다.
  - 고정된 시료는 광학현미경을 통해, 속 또는 종 수준으로 동정, 계수하여 군집조성과 개체군 밀도를 분석한다.

## 나. 녹조제어 효과 분석

### (1) 녹조원인 생물의 분석

- 녹조발생 수준 및 제어효과를 분석하기 위해서는 Chl-a, 식물플랑크톤 현존량 분석을 병행하거나 개별 분석 해야한다.
  - (가) Chl-a 분석
- 녹조발생 수준 및 제어효과를 분석하기 위한 가장 간편한 방법이 Chl-a 분석이다. Chl-a는 수역의 물을 250ml ~1l 정도를 채수하여 GF/C filter에 여과 후 공정시험법(흡광광도법, 아세톤 추출)에 따라 분석한다.
  - (나) 식물플랑크톤 현존량 분석
- 녹조발생 수역에서 녹조원인 식물플랑크톤에 대한 정량조사와 정성조사를

실시한다. 정량시료는 Van Dorn 채수기를 사용하여 폴리에틸렌병에 채집하고, 정성시료는 플랑크톤 네트(mesh size 20  $\mu\text{m}$ )를 사용하여 수직 및 수평으로 예망하여 채집한다.

- 채집된 시료는 현장에서 즉시 포르말린이나 Lugol's solution으로 고정한다. 식물플랑크톤의 순수분리 및 배양을 위한 시료는 4  $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하며 실험실로 운반한다.
- 정량분석은 Sedgwick-Rafter chamber로 세포수를 계수하여 현존량을 산출한다. 광학현미경 및 위상차현미경(Olympus DX5060)을 사용하여 200 ~ 1,000배로 검경한다. 규조류의 경우 세정(Cleaning)과 봉입(Mounting) 과정을 거쳐 영구표본을 만들어 검경한다.
- 각종 도감 및 분류 논문을 활용하여 동정한다.

## (2) 녹조제어 효과분석

- 녹조제어 대상 수역에서는 녹조발생과 녹조제어 성능 평가를 위해 Chl-*a* 항목을 매일 분석한다. 분석은 실시간 분석결과를 얻기 위해 자동 측정 장치를 이용할 수 있다.
- 녹조 제어 효과(%)를 도출하는 계산식은 다음과 같다  
-  $\{[(\text{대조구 Chl-}a \text{ 농도}) - (\text{살포수역 Chl-}a \text{ 농도})] \div \text{대조구 Chl-}a \text{ 농도}\} \times 100$

## (3) 천적생물의 녹조원인 생물 포식능력 확인

- 녹조발생 수역에서 천적생물을 살포한 뒤 일정 시간별로 조사를 실시한다. 조사는 녹조 발생구간에 관측부표를 띄워놓고 최소 3지점의 조사지점을 선정하여 이루어져야한다. 천적생물 채집은 조사지의 수심에 따라 동물플랑크톤 네트를 수직으로 끌어올리거나 정량 플라스틱 통을 이용하여 채수한 후 플랑크톤 네트(망목 63  $\mu\text{m}$ )에 거르는 작업을 반복하여 총 10 L를 정량채집을 한다. 채집된 시료는 모두 현장에서 5% 포르말린으로 고정한다.
- 시료는 실험실에서 1/10을 취하여 동물 플랑크톤 계수판에 넣고 40 ~ 144배의 고배율 해부현미경을 사용하여 종별로 계수하였고, 그 후 L당 개체수를 환산하였다. 세부 종 동정을 위해 100 ~ 1000배의 광학현미경

을 이용하여 충분히 관찰하고 다음 관련 전문문헌과 도감을 통해 분류한다. 동정이 끝난 종은 해부현미경 하에서 Digital Camera를 이용하여 사진을 찍어 기록을 남긴다. 분석된 동물플랑크톤의 현존량과 종 분석을 통해 주요 이동방향과 범위에 따른 녹조제거 효과를 분석한다.

#### (4) 천적생물 포식자 관리

- 녹조발생수역에 천적생물 살포시 포식어류에 대한 영향이 크므로 천적생물 적용 전 최초 1회에 어류의 정량조사와 위내용물 조사가 이루어져야 하며, 그 결과를 이용하여 천적생물의 최적 적용방안을 수립한다.
- 녹조제어를 위한 천적생물로서 동물플랑크톤을 적용하나 동물플랑크톤의 천적생물인 어류에 대한 피신처 마련(예, cage, 인공식물섬)과 동물플랑크톤 섭식 어류를 포식하는 쏘가리, 메기 등의 어식성 어류의 도입 등이 본 공법의 효율을 향상시킨다.

## 제2절 천적생물 배양장치 운영체계 평가

- 모니터링 및 운영체계평가는 전체적인 운전상황과 녹조제어효과를 모니터링 하여 시스템의 문제점을 분석하고 더 효과적인 운영관리 체계를 수립하기 위해 실시한다.
- 천적생물을 이용한 배양장치의 배양성능 및 녹조제어 능력의 평가는 대상수역의 녹조생물 농도(Chl-a) 에 근거하여 실시한다.
- 녹조제어 체계에 대한 평가는 효과의 지속성, 연속성, 안정성 등이 종합적으로 평가되어야 한다.
  - 녹조제어 목표를 얼마나 지속적으로, 안정하게 달성하고 있는가 평가한다.
  - 운영 중인 녹조제어체계의 문제점과 개선방안을 제시하고 평가결과를 연간운영리포트로 제시한다.
  - 녹조제어 체계 평가 및 개선방안 검토는 별도로 구성된 전문가 자문단의 자문을 통해 이루어지며, 자문의견을 충분히 반영하여 향상방안을 리포트에 반영하도록 한다.

표 30. 천적생물을 이용한 녹조제어 체계의 운영체계 평가

항목		평가내용	비 고
제어효과		Chl-a 감소율	운영 전 또는 대조구의 녹조량(Chl-a 또는 식물플랑크톤 현존량)에 대한 운영 후의 녹조량 비율
		제어목표 달성율(%)(Chl-a 농도기준)	운영기간동안 녹조제어 목표를 만족한 일수의 비율
		동물플랑크톤 개체 수 증가율(%)	운영 전 또는 대조구의 동물플랑크톤 현존량(inds./L) 대비 운영 후의 동물플랑크톤 현존량 증가율
기타	지속성	장기간의 효율유지	장기간 효율의 유지
	연속성	운영체계변경에 따른 연계성	초기제어와 선택제어의 체계변경에 따른 효율의 연속성
	안정성	효율의 안정적 유지	현장의 여건변화에 따른 변화율



## 참고문헌

Lampert, W. 1981. Inhibitory and toxic effects of blue-green algae on Daphnia. Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr. 66(3):285-298

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2008), 농업용수 수질측정망 조사보고서

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2009), 농업용수 수질측정망 조사보고서

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2010), 농업용수 수질측정망 조사보고서

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2011), 농업용수 수질측정망 조사보고서

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2008), 새만금수역 적녹조대책 현장적용 시험(Ⅱ) 보고서

농림수산식품부(2009), 생물조절(먹이연쇄)을 통한 농업용저수지 수질관리 기법개발 보고서

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2010), 농업용수원의 녹조방지를 위한 천적생물 적용기술 개발 보고서

농림수산식품부, 한국농어촌공사 (2011), 농업용수원의 녹조방지를 위한 천적생물 적용기술 개발 보고서

국토해양부(2010), 포식성 천적생물을 이용한 녹조방지기술 개발 보고서(1)

국토해양부(2011), 포식성 천적생물을 이용한 녹조방지기술 개발 보고서(2)

## 참여자 명단

구 분	전공	성 명	직 위	담당분야	경 력
한국농어촌공사 농어촌연구원	미생물학	<b>남귀숙</b>	주임연구원 (총괄)	배양장치 운영 및 유지관리, 평가	박 사
	생명과학	이의행	연구원	규모산정	석 사
경희대학교	생태학	장광현	조교수 (환경학 및 환경공학과)	천적생물 종주배양	박 사
(주)아섬	환경공학	김민규	연구소 부장	배양장치 설계	석 사



## ■ 발 행 처

농업용수원의 녹조제어를 위한 천적생물 배양장치 현장적용 매뉴얼	
발 행 일	2012. 12
발 행 인	정 해 창
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지
	전 화 031 - 400 - 1700
	FAX 031 - 409 - 6055
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	