

# 농업용저수지의 녹조제어를 위한 수환경 특성과 포식성 천적생물의 분리 및 효과분석

## Property of Water Environment and Evaluation of Zooplankton as Predators for the Control of Algal Bloom in the Agricultural Reservoir

남 귀 숙\*      송 영 희\*\*      이 의 행\*\*\*

Nam, Gui Sook · Song, Young Hee · Lee, Eui Haeng

홍 대 벽\*\*\*\*      한 명 수\*\*\*\*\*

Hong, Dae Byuk · Han, Myung Soo

### Abstract

Jundae reservoir has basin area of 234ha, average depth of 3.77m and total storage of  $619 \times 10^3 \text{ m}^3$ , and is located in Dangin-gun, Chungcheongnam-do. The water quality of Jundae reservoir exceeded the IV grade of water quality standard as available for irrigation water in COD, TN, TP, Chl-a. COD and Chl-a were higher in spring season, because the algal bloom by phytoplankton increased. And the algal blooms in October by inflow non-point pollution during summer rainy season. The most dominant zooplankton was rotifers during study period at all stations. Dominant species were *Keratella cochlearis*, *Polyarthra* spp., and *Trichocerca* spp. We successfully established 2 isolated clone cultures as predator. One is Rotifer, *Euchlanis* sp. and another is cladocerans, *Bosmina* sp. To test the removal rate of 2 cultures against *Microcystis aeruginosa*, we inoculated *Euchlanis* sp. and *Bosmina* sp. separately when the abundance reached at  $1.0 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ . *Euchlanis* sp. removed *M. aeruginosa* around 98.9% and *Bosmina* sp. removed it around 98.4%. They are useful grazers for controlling algae blooms, *Euchlanis* sp. and *Bosmina* sp. feeding on *M. aeruginosa* highly.

\*한국농어촌공사 농어촌연구원 (nguisook@hanmail.net)

\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 (songyh@ekr.or.kr)

\*\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 (end220@ekr.or.kr)

\*\*\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 (db\_hong@ekr.or.kr)

\*\*\*\*\*한양대학교 생명공학전공 (hanms@hanyang.ac.kr)

키워드 : algal bloom, water quality improvement,  
agricultural reservoir

## I. 서론

농업용수 공급을 위해 체계적으로 관리되고 있는 중규모 이상의 농업용 저수지와 담수호는 826 개소이며, 농림수산식품부와 한국농어촌공사는 농업용저수지와 담수호 대부분 시설에 대한 시설관리주체(일부는 환경부, 지자체)로서 매년 4회 이상의 수질측정망 조사를 시행하고 수질현황과 관리에 필요한 정책 추진과 조치를 취하고 있다.

2009년 농업용수 수질측정망 보고서(농식품부, 2009)에 나타난 농업용저수지 또는 담수호의 수질오염 특성을 보면 전체 조사대상 저수지 및 담수호(826개소)의 20.0%가 농업용수 수질기준인 COD IV등급을 초과하고 있으며, 권역별로는 금강(평균COD 7.1mg/L, 초과율 24.5%)이 가장 높은 수준을 보여주고 있다. 또한, Vollenweider (1976)의 총 인과 총 질소농도 기준으로 분류한 부영양화도는 전체 시설 중 38.5%가 중부영양호 이상의 부영양화 단계에 접어들고 있는 수준으로 녹조발생에 취약한 중부영양상태 이상의 저수지에 대한 적극적인 녹조관리 기술 개발이 필요한 실정이다.

농업용 저수지와 담수호의 주요 수질오염 원인으로 유역의 토지이용과 활동에 따라 유역에서 유입되는 오염물질과 장기간의 물질 퇴적으로 인한 호소내 퇴적층의 오염 용출량 증가를 들 수 있지만, 그보다 더 큰 원인은 수중 오염물질을 이용하여 유기물을 생산하는 식물플랑크톤의 과다 번식, 즉 정체수역인 저수지에서의 왕성한 내부생산성이다. 이러한 상황이 진전되면 COD가 급증하고, 녹조발생 피해가 발생하게 된다.

녹조현상이란 부영양화 된 호소나 유속이 느린 하천에서 수중 영양물질을 이용하여 부유성의 조류(식물플랑크톤)가 대량 증식하여 수면의 색깔을 현저하게 녹색으로 변화시키는 현상을 말한다. 농업용저수지에서 녹조를 일으키는 주요 원인종은 남조류(Cyanophyta)로서 우리나라에서 가장 빈번하게 발생하는 종은 *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* 속 (Genus)에 속하는 종들이다. 녹조현상에 의해 유발되는 문제점 중에서 최근 가장 큰 주목을 받고 있고 수이용상 문제가 되는 것이 바로 유독 남조류가 생산하는 독소이다. 이외에도 무산소화에 의한 어패류 폐사, 정수과정에서 여과막 손상, 냄새유발 등에 의한 정수 비용증가 등이 있다.

부영양 호소의 전반적인 수처리나 관리기술(특히, 공학적 처리부분)에 대한 세계적 수준은 이미 기업화단계와 기술의 안정화 단계로 들어섰다고 평가된다. 북미와 유럽 그리고 일본을 포함하는 선진국에서는 호소관리를 위해 다양한 기술들이 이미 기업화 혹은 상품화되어 보편적으로 적용되고 있다.

그러나, 자연정화기능을 이용한 생태공학적 수질개선 기법은 아직도 다양한 시도들이 연구 개발 과정에 있으며, 특히, 호소생태계를 대상으로 생물조절을 이용한 생태공학기술들은 인공습지, 인공부도 등의 기술 수준에 비해 상대적으로 미흡하며, 또한 단편적인 측면으로 치우쳐 왔다.

생물조절(Biomanipulation)이론은 1960년대 초 유럽에서 호소의 먹이연쇄에 있어 Top-down 조절이라는 개념이 태동된 이후(Hrbacek et al., 1961), 미국을 중심으로 1970년대 이후에 활발한 연구가 진행되었다(Shapiro, 1978).

먹이연쇄나 생물조절을 이용하는 방법은 어류를 조절하여 Top-down 효과를 창출하여 동물플랑크톤으로 하여금 조류를 제어하거나 또는 직접 조류를 섭식하는 어류를 도입하는 방법, 동물플랑크톤의 포식압을 증가시키는 방법 등이 있다.

생태계 내에는 녹조 원인생물인 식물플랑크톤의 자연적인 포식자 또는 경쟁자(천적생물)가 항상 공존하고 있는데, 세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물과 동물플랑크톤 같은 원생생물, 조개류, 어류 등이 그것이다. 이 중에서 특히, 포식에 의해 식물플랑크톤을 제거하는 생물군을 포식성 천적생물이라 칭하였으며, 가장 효과적인 포식자로 동물플랑크톤에 주목하였다.

호소생태계에서 자연적으로 이루어지는 먹이연쇄(Food Web)의 구조를 보면 물속의 영양물질을 이용하여 생산자인 식물플랑크톤(Phytoplankton)이 성장하게 되고, 이 식물플랑크톤은 일부분이 어류에게, 대부분은 동물플랑크톤(Zooplankton)의 주요 먹이원이 된다. 동물플랑크톤은 크고 작은 어류의 먹이원이 되어 생태계 순환이 이루어진다.

본 연구는 녹조가 발생하는 수역에서 이들

천적생물을 분리하여 그 개체수를 선택적으로 증가시켜 녹조원인 생물인 식물플랑크톤을 포식하여 식물플랑크톤이 과도하게 번식할 수 없도록 초기 성장을 억제하여 제어하는 방안으로 녹조발생이 빈번한 농업용저수지에서 수환경과 녹조발생 특성을 파악하고, 수역내에 존재하는 포식성 천적생물 중 동물플랑크톤을 자연 분리하여 녹조제어에 효과적인 종주확보 및 제어효과를 분석하여 현장적용 가능성을 평가하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지 현황

연구대상지는 녹조발생이 심각한 소규모 농업용저수지로서 충남 당진군 송악읍 전대리에 위치한 전대저수지이다. 전대저수지는 초대천 수계로서, 금곡리에서 유입되는 2개의 소하천이 주 유입하천이며, 유역면적 234ha, 만수면적 15.58ha, 수혜면적 105ha, 제당높이 7.8m (15.6EL.m), 총저수량은  $619 \times 10^3 \text{ m}^3$ (유효

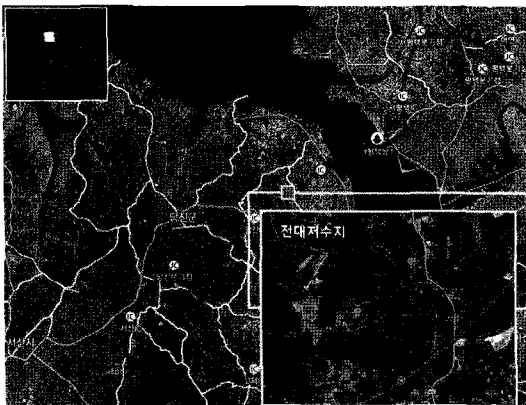


Fig. 1. Location of Jundae Reservoir

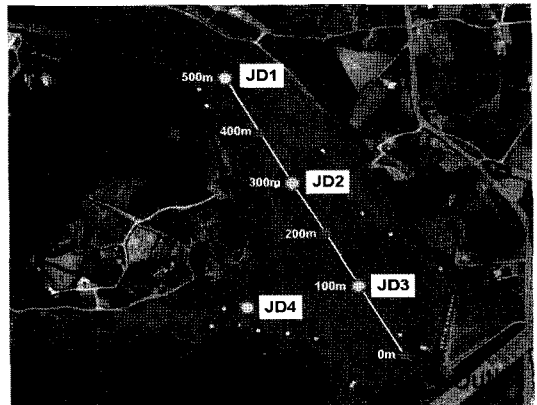


Fig. 2. Description of Study Site

Table 1. Time Schedules and Parameters of Water Monitoring

조사일	선행강우(7일 이내)	분석항목
4/21	9.1mm	수심(Depth), 투명도(SD), 수온(W.temp.), 용존산소량(DO), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 총질소(TN), 총인(TP), 인산염인(SRP), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 엽록소 a(Chl-a), 식물플랑크톤(phyto.), 동물플랑크톤(Zoo.)
6/16	36.5mm	
9/29	15.5mm	
10/21	0.0mm	

저수량:  $587 \times 10^3 \text{ m}^3$ )이다. 주요염원은 축산계이며, 저수지 내수면은 목적인 용도로 유류 낚시가 이루어져 추가적인 오염원으로 작용을 하고 있다.

2. 수환경 및 녹조발생 특성

수질환경 및 녹조발생특성 조사는 2010년 4월~10월 중 강우기인 7, 8월을 제외한 4월, 6월, 9월, 10월 4차례에 걸쳐 이루어졌다. 각 조사시기 전 7일 이내에 내린 선행강우량과 분석항목은 Table 1과 같으며, 조사지점은 Fig. 2와 같다.

세부조사지점은 유입부와 유출부를 기준하여 거리별 녹조발생 및 수환경 특성을 살펴보고자 유입부인 제방시점부터 직선거리 500m 지점을 JD1, 저수지 중앙부인 300m지점을 JD2, 유출부로서 100m지점을 JD3으로 선정하였으며, 유입수계를 달리하는 지점으로 JD3에서 150m 거리의 지점에 JD4를 선정하였다.

수환경조사는 현장에서 수심측정기(SPEED TECH, SM-5)를 이용하여 수심(depth, m)을 측정하였고, Secchi disk를 이용하여 투명도(SD, m)를 측정하였으며, 종합수질측정기(Hydrolab, Quanta-Z)를 이용하여, 수온(W.temp., °C), 용존산소량(DO, mg/L), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )를 측

정하였다. 수질 분석 시료는 각 정점 표층에서 채수한 시료를 세척한 1L 폴리에틸렌 병에 저장하였고, 용존물질 분석시료는 현장에서 유리섬유여과지(GF/C)로 여과한 후 저온보관하여 실내 분석하였다. 수온, pH, EC, DO, BOD<sub>5</sub>, CODMn, SS, TN, TP, SRP, Chl-a의 항목들을 수질오염공정시험법(환경부, 2008)과 Standard Method (APHA, 2005)에 의거 분석하였다.

식물플랑크톤(Phyto., cells/ml)은 현장수를 500ml 채수통에 직접 담아 lugol's solution으로 2%가 되게 고정하였으며, 동물플랑크톤(Zoo., inds/L)은 10L의 현장수를 플랑크톤네트(망목 64 $\mu\text{m}$ )에 걸러 정량채집한 후 현장에서 5% 포르말린으로 고정하여 실내분석을 실시하였다.

강우특성을 알아보기 위하여 강수량 자료는

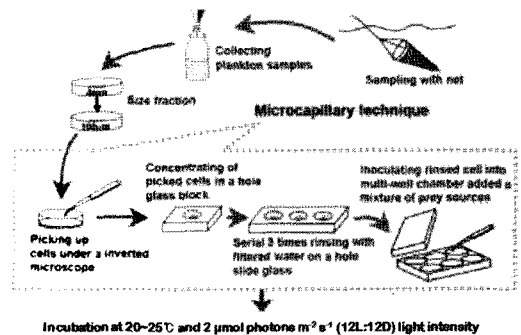


Fig. 3. Isolation Process of Useful Zooplankton as an Effective Predator

기상청(<http://www.kma.go.kr/>) 자료 중 서산기상대 자료(2010년 1월~11월)를 이용하였다.

### 3. 천적생물 분리 및 종주확보

포식성 천적생물로서 동물플랑크톤을 분리하고, 종주를 확보하기 위해 플랑크톤 네트(망목의 크기 64 $\mu$ m)로 수직 예인한 시료를 포르말린(최종농도 4%)으로 고정하여 실험실로 운반하였으며, 시료 채집 시기는 2010년 6월, 9월, 10월 세 차례에 걸쳐 이루어졌다. 실험실로 운반된 시료는 김 등(2004)의 방법으로 종주분리 및 확보 실험을 진행하였다. mesh를 이용하여 일차적으로 크기별 분획하였고, 천적생물 후보종의 손상을 최소화하기 위해 플라스틱 재질의 미세소관을 이용하여 해부현미경 하에서 천적생물 후보종을 한 개체씩 분리하였다.

### 4. 녹조제어 효과분석

포식성 천적생물로서 동물플랑크톤의 녹조제어 효과를 검토하기 위해 분리된 천적생물을 대상으로 대표적 녹조원인 생물인 남조류 *Microcystis Aeruginosa*에 대한 섭식제거 효과분석을 김 등(2004)의 방법으로 시행하였다.

*M. Aeruginosa*는 실험실에서 보관중인 일본 국립환경연구소(NIES, National Institute Environmental Studies) 분양종을 이용하였으며 대수성장기의 세포들을 13,000rpm으로 20분 동안 원심분리한 후 배지를 제거하여, GF/F filter로 여과된 현장 여과수를 기본배지로 채운 배양용기(6 Well Culture Plates, 3046, Falcon, USA)에 10<sup>6</sup>cells/ml의 농도로

접종하였다. 실험 2일전부터 먹이를 주지 않은 천적생물을 각각 5개체씩 접종시키고 20 $^{\circ}$ C, 2  $\mu$ E/m<sup>2</sup>/s(12L:12D)의 광 조건에서 5일 동안 배양하여 매일 개체수의 변화를 관찰하였다. 모든 실험은 2회씩 반복하여 수행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 전대저수지의 수질 및 녹조발생 특성

연구기간인 2010년 1월~11월까지 누적 강수량은 2,105.4mm로 강우기인 7~9월 (7월: 447.1mm, 8월: 707.0mm, 9월: 402.0mm)에 전체강우의 약 74%가 집중한 것으로 나타났다. 이러한 집중강우는 영양염 농도변이 및 오염물질 유입, 수층의 불안정 및 탁수발생으로 인한 광 투과도 감소 등 이화학적 요인의 변화를 유발한다(정 등, 2005).

전대저수지의 투명도(SD)는 0.2~0.6m (평균 0.3m)의 범위로 나타났으며, 특히 4월과 9월에 0.2m로 낮은 투명도를 보였다. 이와 같은 투명도 감소는 과도한 영양염류에 의해 부영양화가 가속화되어 식물플랑크톤(유기물)이 대번성하거나, 집중강우에 의해 발생한 무기성 부유물질에 의한 광 제한으로 결정되는데(공 등, 2009), 전대저수지는 이러한 특성을 모두 보이는 것으로 나타났다. 특히, 10월 경우 강우 이후 지점별 혼탁정도와 안정화속도의 차이로 인해 수온(W.temp.)은 지점별 평균 18.1~18.8 $^{\circ}$ C, 시기별 평균은 12.3~25.2 $^{\circ}$ C로 계절적 영향을 크게 받고 있었다. 용존산소량(DO)은 지점별 평균 10.5~11.1mg/L로 지점별 차이가 크지 않았으며, 수소이온농도(pH)는

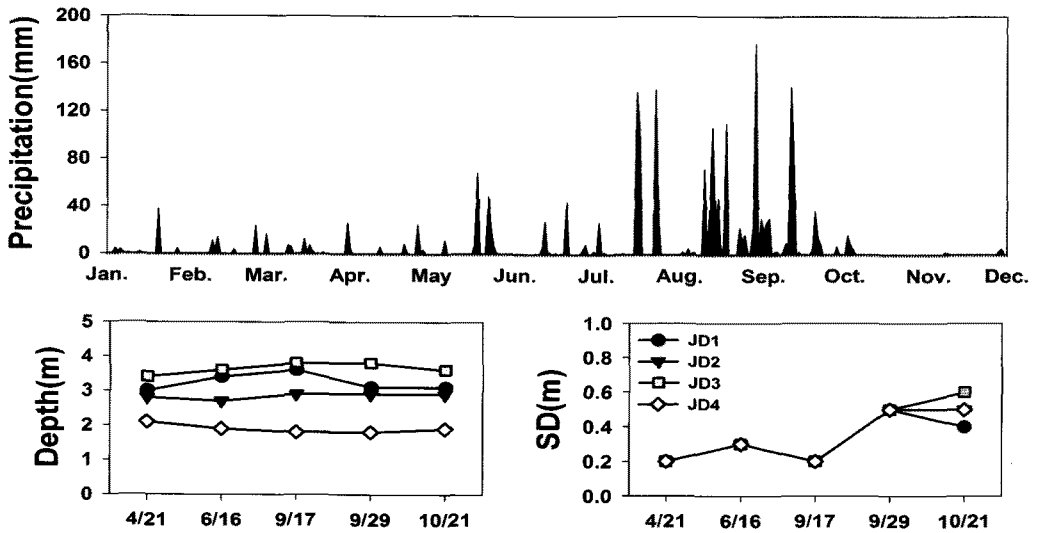


Fig. 4. Isolation Process of Useful Zooplankton as an Effective Predator

지점별 평균 8.8~9.0의 범위로 역시 차이가 나지 않았다. 강우의 영향을 받고 있는 9월에 pH의 감소는 강우로 인한 식물플랑크톤의 광합성 량 감소와 강우에 유입된 유기물의 산화에 의한 효과로 판단되었다(안과 신, 2005).

전기전도도(EC)는 평균 240 $\mu$ S/cm로 6월까지 300 $\mu$ S/cm 내외에서 강우이후 9월에 161 $\mu$ S/cm로 감소하여 강우 희석효과를 관찰할 수 있었다.

총질소(TN)는 평균 2.432mg/L로 농업용수 수질기준인 IV등급(TN < 1.0mg/L)을 초과하였으며, 총인(TP)은 평균 0.156mg/L로 농업용수 수질기준인 IV등급(TP < 0.1mg/L)을 초과하였다. TN과 TP는 4~6월에 최저치를 강우기 직후인 9월에 최고치를 보여주고 있어 강우시 유입되는 영양물질의 오염부하가 큰 것을 알 수 있었다.

수체 내 유기물 오염지표로 이용되는 화학적 산소요구량(COD)은 14.4~28.8mg/L(평균 18.6 mg/L)의 범위로 나타나 농업용수 수질기준인

IV등급(COD < 8mg/L)을 초과하여 유기물 오염도가 높게 나타났다. 지점별로는 유입부인 JD1에서 평균 19.1mg/L로 가장 높게 나타났으며, 저수지 증상으로 갈수록 영양염 감소와 함께 감소하는 경향(JD2: 18.6mg/L, JD3: 18.5mg/L)을 보였다. 시기별로는 4월에 평균 24.2mg/L로 최대치를 보였으며, 이 후 점차 감소하여 10월(평균 15.5mg/L)에 최소치를 보였으나 전 조사시기에서 수질기준 VI등급이상의 높은 수준을 유지하였다.

부유물질(SS)은 11.2~40.4mg/L(평균 26.5 mg/L)의 범위로 나타났으며, 4월에 38.8mg/L로 최대치를, 10월에 15.9mg/L로 감소하여 COD와 유사한 변화를 보였다.

부영양화 및 녹조발생 특성을 가장 잘 반영하는 간접지표(Kimmel and Groeger, 1984)인 Chl-a는 38.8~164.0mg/m<sup>3</sup>로 농업용수 수질기준인 IV등급(Chl-a < 35mg/m<sup>3</sup>)을 초과하는 것은 물론 평균값은 101.4mg/m<sup>3</sup>로 환경부에서 관리하는 조류대발생 경보기준인 100mg/m<sup>3</sup>

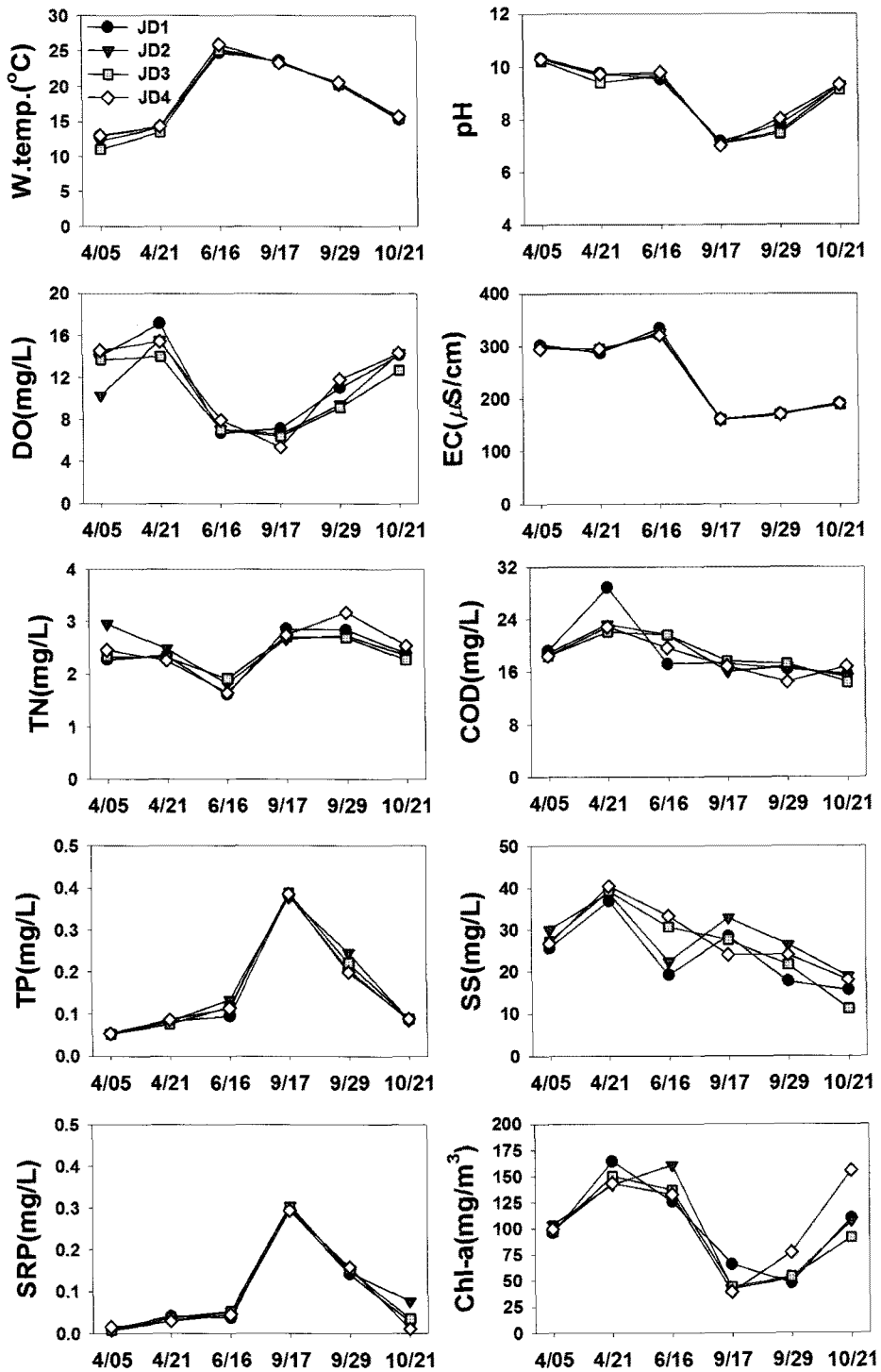


Fig. 5. Seasonal Variations on Water Parameters

보다 높아 심각한 녹조 발생수준을 보이는 것으로 나타났다. 시기별로는 4월에 평균 149.8 mg/m<sup>3</sup>로 최대치를, 강우 이후인 9월에 평균 47.6mg/m<sup>3</sup>으로 최소치를 나타내었다. 이후, 수체가 안정됨에 따라 10월에는 100mg/m<sup>3</sup> 내외의 높은 농도로 급격히 증가하여 강우기를 제외한 모든 시기에 높은 수준을 보여주었다.

2. 천적생물 현존량 변화 및 분포특성

동물플랑크톤의 현존량은 6월 1,690~3,850 inds./L, 9월 4,880~6,520inds./L, 10월 1,080~3,640inds./L의 현존량을 나타냈다 <Fig. 6>. 현존량 변화를 지점별로 살펴보면 JD1과 JD3에서는 9월에 현존량이 가장 높게 관찰되었고, 6월에 가장 낮게 관찰되었으며, JD2와 JD4에서는 9월에 가장 높고 10월에 가장 낮은 개체수를 보였다. 이러한 지점별 양상은 준설로 인해 영양물질이 유입되는 유입부 JD1지점이 중앙부지점인 JD2 지점보다 수심이 깊고, 또한 JD2 지점은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 수심이 얕아 마름 군랑의 습지대가 저수지를 가로질러 대상(帶狀)으로 형성되어

있어 JD2지점과 수초대가 발달한 JD4 지점이 유사한 특성을 보이고 있으며, JD1은 JD3과 오히려 유사한 특성을 보여주고 있으나, JD3은 JD1 보다 비교적 안정한 수체의 특성을 보여주는 등 지점별 동물플랑크톤 서식특성이 차별화되어 나타났다.

시기별 현존량 변화는 집중강우로 저수지의 영양상태가 증가했던 9월에 모든 지점에서 가장 높은 현존량을 보여 동물플랑크톤 현존량이 지점별 차이보다 시기별 차이가 더 크게 나타나 지점별 영향보다는 시기별 영향을 더 크게 받는 것으로 사료되었다<Fig. 6>.

전대저수지의 각 지점에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성은 Fig. 6과 같이 윤충류(Rotifera) 8속, 지각류(Cladocera) 2속, 그리고 요각류(Copepoda) 3속으로 조사되어 6, 9, 10월 모두 전 지점에서 윤충류가 지각류와 요각류에 비해 높은 종 다양성과 개체 밀도를 나타냈다. 요각류의 경우 개체수가 현저히 낮게 관찰되었으며, Nauplius의 비율이 다른 종에 비해 높아 지점별 종 분포도 크게 다르지 않는 것으로 나타났다.

각 지점별 동물플랑크톤의 종 조성과 우점 종의 변화를 살펴보면, JD1에 출현한 동물플랑크톤 군집은 총 9종으로 윤충류 6종, 지각류 1종, 요각류 2종이 출현하였다. 우점 종으로는 6월과 9월에 윤충류 *Keratella Cochlearis*가 각각 76.9%, 75.5%로 높게 나타났으며, 10월에는 *K. Cochlearis*, *Polyarthra* spp., *Trichocerca* spp. 가 각각 28.0%, 24.0%, 24.0%로 다른 종에 비해 높게 관찰되었다.

JD2에서는 조사기간 동안 윤충류 11종, 지각류 1종, 요각류 2종으로 총 14종이 출현하였으며, 우점 종으로는 JD1과 유사하게 6월과

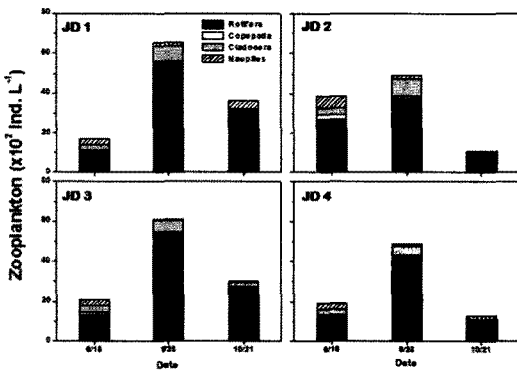


Fig. 6. Variations on the Abundance of Zooplankton



9월에 윤충류 *Keratella Cochlearis*가 각각 89.3%, 40.4%로 높게 나타났으며, 10월에는 *Polyarthra* spp., *K. Cochlearis*가 각각 총 현존량의 25.9%, 22.0%로 우점하였다.

JD3에서는 윤충류 15종, 지각류 1종, 요각류 1종으로 총 17종이 출현하여 다른 지점에 비해 높은 종 다양성을 보였다. 우점종으로는 6월에 윤충류 *Keratella Cochlearis*가 89.6%로 다른 종에 비해 월등히 높게 관찰되었고 9월과 10월에는 윤충류 *Polyarthra* spp. 가 각각 35.8%, 14.2%로 높게 출현하였다.

JD4에서 6월부터 10월까지 출현한 동물플랑크톤 군집은 총 11종으로 윤충류 9종, 지각류 1종, 요각류 1종이 출현하였으며, 6월과 9월에 윤충류 *Keratella Cochlearis*가 각각 총 현존량의 81.0%, 54.4%로 우점하였다. 10월에는 *P. Vulgaris*가 34.4%로 다른 종에 비해 높게 관찰되었다.

전반적으로 모든 지점에서 윤충류가 높은 개체수로 관찰되었고, 우점종으로는 *K. Cochlearis*와 *Polyarthra* spp., *Trichocerca* spp. 등이 주로 출현하였다. 요각류의 경우 출현 종수 및 개체수가 다른 개체군에 비해 현저히 낮았고 어린 유생(Nauplius)의 비율이 높게 관찰되었다.

수서생태계를 구성하는 먹이망의 중요한

구성원 중 하나인 동물플랑크톤은 식물플랑크톤에서 비롯된 1차 생산을 고차생산 단계에 있는 생물(어류)에 연결하여 준다. 담수생태계에 있어 동물플랑크톤의 주요 분류군은 윤충류, 지각류, 요각류로 구분되어지는데 일반적으로 온대지역에서는 동계에 요각류, 춘계에 윤충류, 하계에 지각류 그리고 추계에 지각류와 윤충류가 우점하는 뚜렷한 천이현상을 보인다(Reynold, 1984).

본 연구기간 동안 전대저수지에서는 요각류, 지각류 보다는 윤충류가 많이 출현하였다. 윤충류는 조사 기간 동안 모든 지점에서 높은 개체수를 유지하였으나, 지각류 및 요각류는 출현 종수 및 개체수가 낮게 관찰되었다. 지각류의 경우 *Asplanchna* spp.와 *Bosmina Longirostris*가 출현하였고, 요각류의 경우 *Diaphanosoma Brachyurum*, *Cyclops* sp., *Microcyclops* sp. 등이 낮은 개체수를 유지하였으며 어린 유생(Nauplius)의 비율이 높게 관찰되었다.

### 3. 천적생물 분리배양 및 종주확보

녹조원인종의 효과적인 제어를 위한 천적생물 분리를 위해 2010년 6월, 9월, 10월 세 차례

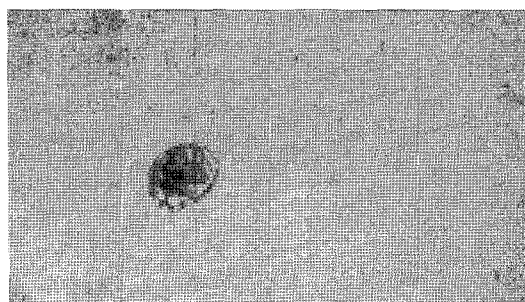


Fig. 7. Microscopic Photographs of *Euchlanis* sp. (L) and *Bosmina* sp. (R)

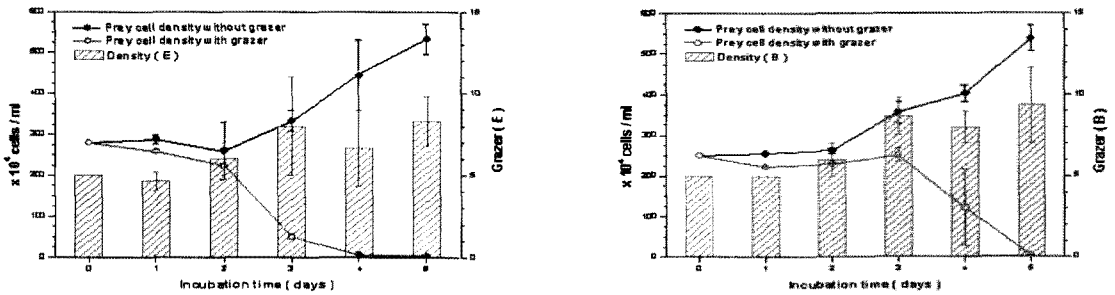


Fig. 8. Predation Effects by *Euchlanis sp.* and *Bosmina sp.* on *Microcystis Aeruginosa*

전대저수지에서 현장수를 채수하여 포식성 천적생물의 분리를 시도한 결과, 동물플랑크톤 4종(*Keratella Cochlearis*, *Polyarthra sp.*, *Euchlanis sp.*, *Alona sp.*)을 분리하는데 성공하였으며, 최종적으로 분리된 천적생물의 후보종주는 윤충류인 *Euchlanis sp.*와 지각류 *Bosmina sp.*이다.

윤충류 *Euchlanis sp.*의 광학현미경 관찰결과, 세포는 난원형이며, 등쪽 앞 가장자리는 넓은 V자형으로 움푹 패어있고, 다리는 짧고 2절로 되어있는 특징을 가지고 있다. 지각류 *Bosmina sp.*의 광학현미경 관찰결과, 각(殼)은 높고 배연(背緣)은 둥근 편이며, 신장하여 가시모양의 돌기로 되어 있고, 입 끝의 제 1촉각이 길며 약간 안쪽으로 구부러져 있다(Fig. 7).

#### 4. 녹조제어 효과

농업용 저수지의 녹조발생 주요 원인 생물인 *Microcystis Aeruginosa*를 이용하여 본 연구에서 확보한 천적생물의 녹조제어 효과분석을 실시하였다.

윤충류인 *Euchlanis sp.*는 녹조원인 생물인 *M. Aeruginosa*에 대해 활발한 섭식능을 보였다.

*M. Aeruginosa*의 개체수는 *Euchlanis sp.*의 섭식에 의해 지속적으로 감소하여 배양 최종일(5일)에는  $3.3 \times 10^4$  cells/ml로 초기 개체수에 비해 98.9%의 높은 감소율을 보였다(Fig. 8).

지각류인 *Bosmina sp.*는 배양 3일까지는 조류의 생물량에 큰 변화가 없다가 3일 이후 크게 감소하기 시작하여 배양 최종일에는  $4.0 \times 10^4$  cells/mL로 초기 개체수에 비해 98.4%의 감소율을 보였다(Fig. 9).

본 연구에서 분리한 천적생물 후보종주 2종은 *M. Aeruginosa*에 대해 98%이상의 우수한 섭식능을 보여 녹조제어 수역 살포시 효과적인 제어를 보여 줄 수 있을 것으로 판단되었다.

#### IV. 요약 및 결론

충남 당진군 송악면 전대리에 위치한 전대저수지는 유역면적 234ha, 만수면적 15.58 ha, 수해면적 105ha, 제당높이 7.8m(15.6 EL.m), 평균수심 3.77m, 총저수량  $619 \times 10^8$  m<sup>3</sup>(유효저수량:  $587 \times 10^8$  m<sup>3</sup>)의 소규모 농업용 저수지이다. 전반적으로 5m 이내의 낮은 수심을 보임에 따라 녹조발생에 상당히 취약한

물리적 구조를 가진 것으로 판단되었다.

전대저수지는 COD, TN, TP, Chl-a 등 수질환경의 오염기준을 나타내는 모든 항목에서 농업용수 수질기준을 초과하는 오염수준을 보여주었다. 시기별로는 봄철(4, 6월) 식물플랑크톤의 과다번식으로 녹조 발생이 이루어져 COD, Chl-a 등이 매우 높게 나타났으며, 강우기동안 유입된 다량의 오염 영양물질로 인해 10월에 다시 증가하였다.

농업용수원의 천적생물로서 동물플랑크톤의 분포특성을 살펴본 결과, 6월에 최저량을, 9월에 최대량을 보였으며, 전반적으로 모든 지점에서 윤충류가 높은 개체수로 관찰되었고, 우점종으로는 *K. Cochlearis*와 *Polyarthra* spp., *Trichocerca* spp. 등이 주로 출현하였다.

저수지에 분포하는 천적생물 중 최적의 포식효과를 보이는 천적생물을 분리한 결과, 천적생물 후보종으로 윤충류 *Euchlanis* sp.와 지각류 *Bosmina* sp. 2종을 확보하였으며, 이들은 저수지의 주요 녹조원인 조류인 *Microcystis Aeruginosa*를  $1.0 \times 10^6$  cells/ml의 농도로 접종하였을 때 각각 98.9%, 98.4%의 높은 제거율을 보여주어 녹조방지를 위한 천적생물로서의 가능성을 보여주었다.

따라서, 본 연구에서 분리한 포식성 천적생물 *Euchlanis* sp.와 *Bosmina* sp.는 녹조가 발생된 수역에서 녹조 제어에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단되었으며, 향후 이들 종주의 현장적용을 위한 시스템 구축이 필요할 것으로 사료되었다.

## 참고문헌

1. 공건화, 이재훈, 안광국, 2009, 우리나라 주요 인공호의 투명도에 대한 수질 및 수중 부유물 영향 분석. 한국하천호수학회지 42(2), pp. 223~231.
2. 김백호, 가순규, 한명수, 2004, 살조세균과 초식성 섭식자의 혼합배양에 의한 녹조제어효과, 대한위생학회지 19(2), pp. 23~29.
3. 농림수산식품부, 2009, 2009 농업용수 수질측정망 조사 보고서.
4. 안광국, 신인철, 2005, 산간 계류성 하천의 계절적 수질변동에 대한 몬순강우의 영향. 한국육수학회지 38(1), pp. 54~62.
5. 정승현, 안치용, 최애란, 장감용, 오희목, 2005, 대청호에서 강우와 식물플랑크톤 군집의 관계. 한국환경생물학회지 23(1), pp. 57~63.
6. 환경부, 2008, 수질오염공정시험기준. 환경부고시 제2008-99호.
7. APHA, 2005, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed., American Public Health Association, Washington, USA.
8. Hrbacek, J., M. Dvorakova, V. Korinek, and L. Prochazkova, 1961, Demonstration of the effect of the fish-stock on the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of whole plankton association, Verh. Int. CVR. Limnol. 14, pp. 192~195.
9. Kimmel, B.L. and A.W. Groeger, 1984, Factors Controlling Phytoplankton Production in Lake and Reservoirs, U.S.EPA 440/5/84-001, pp. 277~281
10. Reynolds, C. S., 1984, Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. Freshwater Biol., 14, pp. 111~142.
11. Shapiro, J., 1978, The need for more biology in lake restoration. Contribution No 183 from the Limnological Research Center, University of Minnesota, Minneapolis, pp. 1~20.
12. Vollenweider, R. A., 1976, Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication, Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 33, pp. 53~83.