

충남 남부지역 A 호소의 녹조 관리 방안¹⁾

강창수 · 배찬열²⁾

호서대학교 대학원 생화학과

서 론

우리나라의 많은 강과 호소에서는 계절적으로 여름철이 되면 수온 상승과 함께 수중 식물성 플랑크톤의 대량 증식으로 인한 녹조 현상이 나타난다. 녹조가 발생되면 햇빛이 물속을 투과하지 못하여 광합성작용을 저해하면서 용존산소의 부족으로 유기물 및 조류 등 수중생물이 사멸하여 부패하게 된다. 또한 악취가 발생하여 식수로서 뿐만이 아니라, 수중 퇴적층으로 인한 무산소층 형성과 수중 생태계의 위협으로 생태계 파괴 및 자연 경관 보전 저해 등 위해 요소가 되며, 낚시, 수영 및 수상스키 등 수상 레저활동을 금하게 되면서 지역경제에 손실 또한 야기 시킨다. 따라서 이러한 현상을 초래하는 주 원인인 녹조류의 대량 발생을 억제하기 위해서는 호소에서의 녹조류 발생 원인을 다각적으로 분석하고 이의 관리방안을 모색할 필요성을 가지게 되었다.

녹조의 원인

녹조는 부영양화된 물속의 질소나 인 등을 영양분으로 흡수하여 증식되며 영양물질 외에 햇빛, 수온, 유속 등 환경적 요인에 의하여 성장 속도에 차이를 갖게 된다. 이러한 녹조들은 겨울철에도 증식 가능하지만 낮은 수온 때문에 분열 속도가 느리므로 그리 큰 문제를 일으키지는 않는다. 또한 유입수량이 많다면 증식하더라도 흩어지기 때문에 물을 녹색으로 만들지 않는다. 그러나 호소수의 경우 여름철 장마가 시작되기 전에 가뭄이 심하여 유입수량이 줄어들고 기온은 높은 수온상승으로 이어져 질소와 인이 풍부한 우리나라 호소의 경우 녹조가 대량 증식하기에 좋은 조건을 갖추게 된다.

녹조현상을 일으키는 남조류의 경우 군체를 형성하기 때문에 동물성 플랑크톤에 의해 쉽게 포식되지 않으며, 세포내 기포를 지니고 있어 햇빛이 부족할 경우 수표면에 부상하고 충족을 할 경우 다시 증충

1)Management of blue-green algae in the lake of southern Chungnam

2)KANG, Chang Soo · BAE, Chan Ryul, Dept. of Biochemistry, Hoseo University,

E-mai: cskang@hoseo.edu

으로 하강하는 조절이 가능하여 다른 조류보다 빠르게 증식을 할 수 있다. 특히 녹조가 대량 증식하는 동안 유입수가 충분치 않을 경우 수명이 다하고 사멸한 녹조 집단은 부패하기 시작하며, 이산화탄소 및 메탄가스를 대량 발생시킨다. 이때 나온 이산화탄소와 메탄가스는 물에 녹아 있는 산소를 내쫓기 때문에 수중 용존 산소량이 감소하게 된다. 또한 용존산소량 감소에 따라 물고기 등 수중생물이 사멸하면서 부패하여 악취를 유발하게 된다.

녹조 제거의 일반적 방법

일반적으로 녹조의 발생 원인은 축산폐수, 생활하수, 공장폐수, 농경지의 유출수 등으로 인하여 영양염류의 과다투입 때문이라고 보며, 조류의 급속한 성장으로 발생된다고 한다. 이렇게 녹조가 발생하면 일반적으로 수중폭기, 차광막, 초음파, 준설킨 같은 물리적 제어방법과 응집제 및 살조제(황산동, 염소, 구연산동 등), 오존 등을 이용한 화학적 제어방법 그리고 미생물, 수중식물 등을 이용한 생물학적 방법으로 녹조제거 방안을 마련한다.

우선 물리적 방법인 수중폭기는 혐기상태를 이루고 있는 수온약층 아래에 공기를 인공적으로 넣어주는 방법으로 퇴적물에서 인(P) 및 철, 망간등의 환원물질의 용출이 감소하게 되나, 시설 및 유지비가 많이 들어간다. 차광막 역시 광합성을 못하도록 하는 방법으로 대규모의 호소에는 적용이 불가능 하다. 초음파를 이용한 기술은 남조류의 미세소기관인 기낭을 파괴하여 부력 조절능력을 제거하는 방법으로 호

소바닥에 가라앉은 조류의 광합성을 차단하여 남조류 성장을 억제하는 방법이나 사전예방적 차원에서의 효과가 크다. 준설킨 호소의 퇴적층을 준설킨하여 저니에 녹아있는 영양염류를 제거하는 방법이나 처리비용이 많이 들고 수중 생태계에 영향을 미칠 수 있으며, 준설킨 저니를 다시 처리해야 하는 등 문제점이 있다.

화학적 제거 방법 중 응집제 사용은 전기적인 방법으로 음전하를 띤 응집제를 투여하여 수중 부유물질과 조류 등을 응집시켜 바닥에 가라앉히는 방법이다. 이는 일시적으로 조류를 제거하는 방법으로 효과가 큰 것처럼 보이나, 반복 사용을 하게 되어 어류독성, 저니층 증가, 용존산소 고갈 등 호소 생태계에 악영향을 미치게 된다. 또한 살조제의 경우 약 3~24시간 후 조류세포에서 독소가 나오므로, 살조제를 세포 밀도가 낮을 때 사용하여 독소의 대량 배출을 막아야 하며, 최후의 수단으로써 사용하여야 한다.

생물학적 방법인 미생물을 이용하는 방법은 미생물이 N, P 등의 영양염류를 기질로 이용하여 수질 및 퇴적층의 오염농도를 낮추는 방법이다. 이는 2014년 A호소에 직접 적용하여 녹조 및 악취 제거, 수질개선의 효과를 입증하였으나, 한번의 미생물 투여로 끝나는 것이 아니라 사후 관리 및 사전예방적 차원에서 지속적인 관리가 필요하다. 수중식물을 이용한 방법은 미나리, 개구리밥, 부레옥잠, 부들, 갈대 등을 이용하는 방법으로 경관 상 유리하나, 수심이 낮은 곳에만 한정적으로 이용할 수가 있다.

우리나라의 조류 관리

호소수의 부영양화에 의한 녹조 발생이 전국적으로 문제화되면서 1998년부터 주요 상수원으로 이용되고 있는 팔당호·대청호·충주호·주암호 등 4개 호소를 대상으로 시작하여 현재 22개 호소에서 조류예보제를 실시하고 있다.

조류예보제는 녹조가 발생이 되면 정수처리장의 기능이 저하되는데 남조류에서 발생되는 독성물질의 피해를 최소화하기 위한 고도의 처리공정을 도입하여 먹는물의 안전성 확보를 위해 실시한다. 발령방법은 클로로필-a와 남조류의 세포수를 기준으로 주 1회 실측하여 2회 연속 2항목 모두 기준을 초과할 경우 발령하는 것으로, 충청남도에는 보령호(취수탑)가 포함되어 있다.

또한 4대강 16보 구간에 chl-a(예측) 및 유해 남조류 세포수(실측)에 대하여 향후 7일간의 chl-a 농도에 대하여 예보를 하는

수질예보제를 실시하는데 충청남도에 소재한 보는 공주보(금강), 세종보(금남), 백제보(부여)가 있다.

연구 방법

대상지 선정

충청남도에 소재한 호소 중 2014년 녹조가 발생되었던 호소를 대상으로 사전답사 후 규모와 녹조발생 정도, 호소수 수질 현황 등을 토대로 대상지를 선정하였다.

행정구역상 충청남도 남부지역에 위치한 A 호소는 면적 약 21만³m³에 수심 약 2 m, 저수용량 약 30,000톤에 달하는 크기의 인공호소로서 자연경관이 우수하여 지역축제 개최장소로 이용되고 있는 심신의 휴식처이자 관광지로서의 역할을 하고 있다. A 호소는 하수종말처리시설의 처리수(방류수)가 유입수의 대부분을 차지하고 있어 유입수량이 매우 적은 정체성 수역이며, 주

표 1. 조류예보제

구분	조류주의보	조류경보	조류대발생	비고
chl-a (mg/m ³)	15 이상	25 이상	100 이상	
남조류 (세포/mL)	500 이상	5,000 이상	1,000,000 이상	

표 2. 수질예보제

chl-a 예측농도 (mg/m ³)	유해 남조류 세포수 기준 (세포/mL)			
	10,000 미만	10,000 이상	50,000 이상	2*10 ⁵ 이상
35 mg/m ³ 초과하고 7일중 4일 이상 유지	-	관심단계	주의단계	경계단계
70 mg/m ³ 초과하고 7일중 4일 이상 유지	관심단계	주의단계	경계단계	심각단계
105 mg/m ³ 초과하고 7일중 4일 이상 유지	주의단계	경계단계	심각단계	심각단계
140 mg/m ³ 초과하고 7일중 4일 이상 유지	경계단계	심각단계	심각단계	심각단계
175 mg/m ³ 초과하고 7일중 4일 이상 유지	심각단계	심각단계	심각단계	심각단계

변에 연밭이 위치하고 있어 이를 관리하기 위해 별도의 퇴비 등을 투입하고 있어 녹조 성장에 영향을 줄 수 있는 영양염류인 질소와 인 등 유기영양염류가 다량 유입되는 특징을 지닌다. 따라서 여름철 수온 상승시 녹조가 대량 발생하고 있고, 수심이 얇고 퇴적물이 많이 형성되어 악취가 발생될 수 있는 구조이다.

따라서 녹조발생에 대비한 수질과 오염도 개선방법, 생물학적 처리와 관련된 제반 문제점을 제시할 수 있는 기초를 제공하는데 적합하다고 판단하여 선정하였다.

분석방법

호소에 유입되는 유입수에 대하여 2014년 6월~2014년 7월까지 일주일 단위로 분석을 하였다. 이때 현장에서 수온, DO, pH에 대하여 측정을 하고 그 외 COD, SS, T-N, T-P 등의 항목은 무균채수병에 채수하여 실험실에서 수질오염물질 공정시험기준에 의하여 분석하였다.

호소의 본수에는 먼저 수질 현황을 파악한 후 자연환경에 영향을 거의 미치지 않는 생물학적 처리방법 중 미생물을 이용

한 방법을 택하여 친환경 미생물을 투입한 후 수질 현황을 파악하였으며, 수질시료에 대한 분석방법은 유입수와 같다.

연구 결과

2014년 5월 녹조가 발생한 A호소에 대하여 생물학적 방법인 친환경 미생물을 투입하여 녹조 제거 및 수질개선 효과를 살펴보았다.

친환경 미생물을 투입하기 전 유입 및 호소 본수에 대하여 수질오염도를 알아보았다. 6월 초 A호소가 위치한 지역의 평균기온은 19.3°C였으나, A호소의 수온은 23.1°C로 수온이 높은 편이었으며, 당시의 pH는 9.44였다. A호소로 유입되는 유입수의 DO는 4.5 mg/L, COD 10.1 mg/L, SS 25.4 mg/L, T-N 2.2 mg/L, T-P 0.6 mg/L로 호소수 수질기준으로는 DO를 제외한 항목에서 매우 나쁨(VI) 단계였다. 또한 호소 본수의 수질은 DO 2.3 mg/L, COD 21.6 mg/L, SS 31.0 mg/L, T-N 2.7 mg/L, T-P 0.4 mg/L로 호소수 수질기준으로는 전 항목이 매우 나쁨(VI) 단계였다.

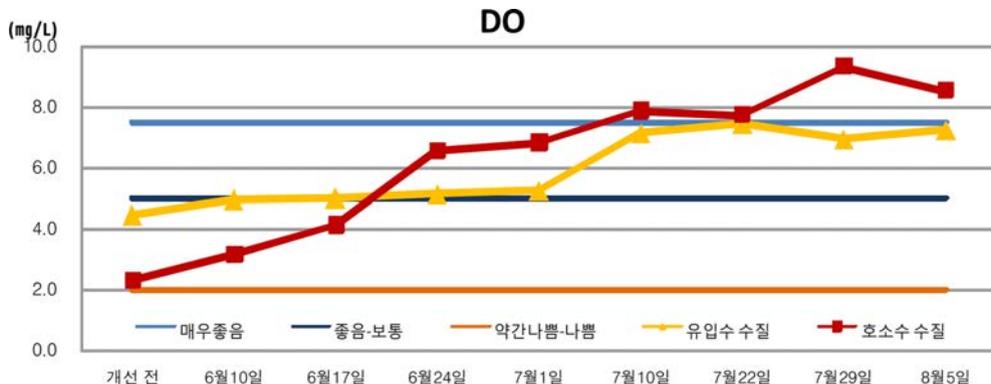


그림 1. A호소의 DO 변화추이 그래프

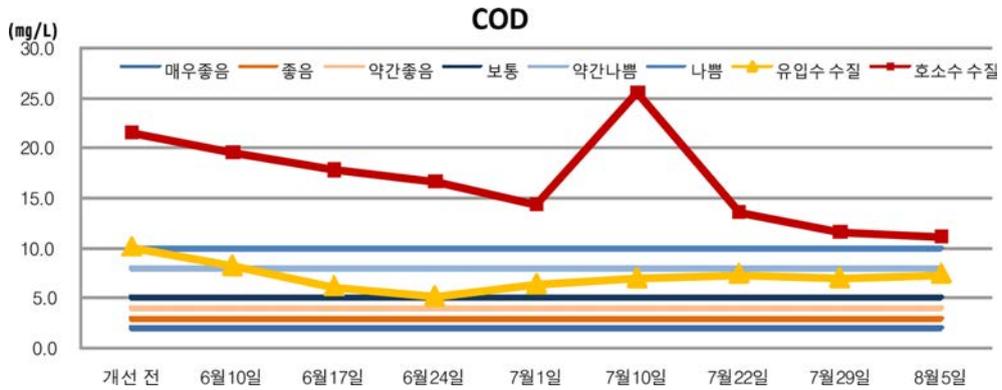


그림 2. A호소의 COD 변화추이 그래프

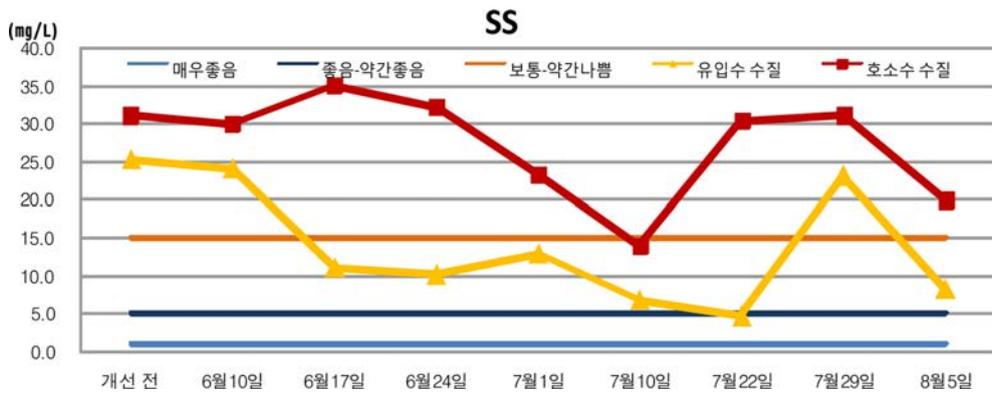


그림 3. A호소의 SS 변화추이 그래프

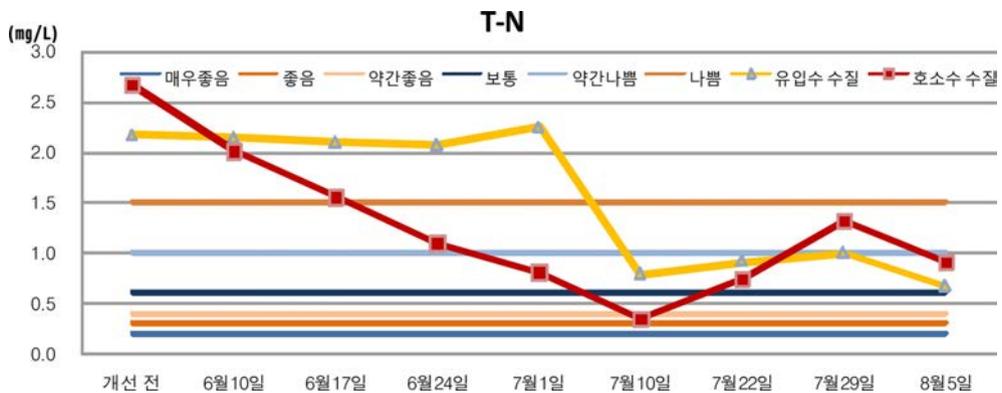


그림 4. A호소의 T-N 변화추이 그래프

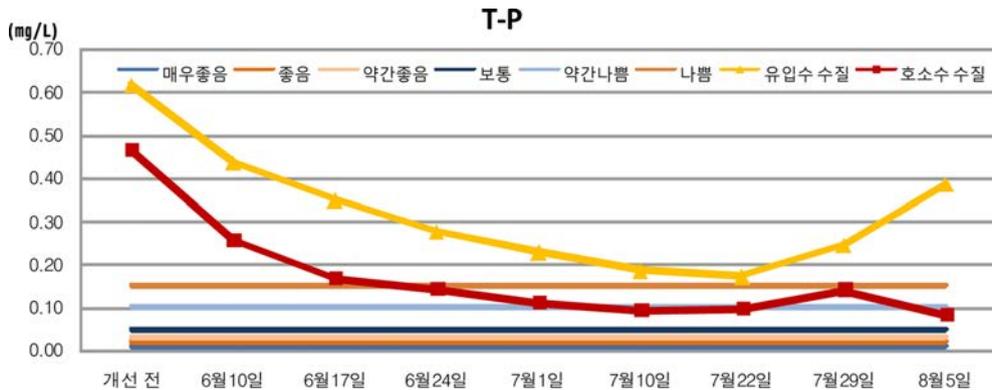


그림 5. A호소의 T-P 변화추이 그래프

DO의 경우 2.3 mg/L에서 8주 후 8.5 mg/L로 약 70% 이상의 개선을 보여 환경 기준상으로 매우좋은 단계이며, COD의 경우 21.6 mg/L에서 8주 후 11.2 mg/L로 환경기준 상으로는 매우 나쁨 단계이지만 약 10.4 mg/L의 농도저감(약 48%의 저감률)을 보였다. SS의 경우 31.0 mg/L에서 20 mg/L의 농도를 보였으며, 초반에는 미생물제제의 영향때문인지 SS항목의 농도가 증가하는 경향을 나타내다가 3주가 지나면서 감소하고, 2차 미생물제제를 투입하면서 다시 증가하는 경향을 나타내었다. T-N의 경우 2.7 mg/L에서 0.9 mg/L로 약 60% 이상의 개선률을 보였으며, T-P의 경우 0.4 mg/L에서 0.08 mg/L로 약 80% 이상의 개선률을 보였다.

이는 유입수 자체의 수질개선과, A 호소에 혐기성·호기성 및 통성혐기성의 친환경 미생물을 투입하여 수중 유기합성물을 분해하면서 이 두가지 요인으로 수질이 개선이 이루어진 것으로 판단된다. 또한, 친환경 미생물을 투입 후 4~5주차의 수질개선률이 두드러지게 나타났으며 악취 또한

저감되었다.

결론

지구 온난화에 의하여 앞으로도 계속 수온 상승, 대기중 CO₂ 농도 증가 등이 예상되므로 녹조의 발생도 현재보다 증가할 것으로 판단된다. 이에 녹조발생을 저감시키며, 발생된 녹조를 친환경적인 방법으로 제거할 수 있는 방안을 미리 모색하여 관리방안을 마련해야 할 것이다.

아래의 그림은 A호소가 위치한 수계의 오염원 분포를 보여준다. 그림에서 보듯이 점오염원 및 비점오염원에서 발생하는 오염물질이 수계를 따라 하천 및 호소에 유입이 되면서 부영양화를 일으킬 수 있는 우려가 크다. 비점오염원의 경우 친환경농업의 확대 및 농업용폐기물 처리방안 모색 등과 점오염원의 경우 폐수처리시설의 증설 및 방류수의 수질 강화 등 영양염류가 최대한 적게 유입될 수 있는 방안을 모색하여야 한다.

본 연구에서 친환경미생물을 이용하여 8



출처 : 국립환경과학원, 4대강 수계 중권역 단위수계 현황, 2014

그림 6. A호소가 위치한 수계의 오염원 분포도

주후 나타난 결과를 보면 DO의 경우 약 70% 이상의 저감율을 보여주었고, COD의 경우 약 48%의 저감률을 보였다. SS의 경우 초반 미생물제제의 영향으로 농도가 증가하는 경향을 나타내다가 3주가 지나면서 감소하고, 2차 미생물제제를 투입하면서 다시 증가하는 경향을 나타내었다. T-N의 경우 약 60%, T-P의 경우 약 80% 이상의 개선률을 보였다.

A호소의 경우 하수종말처리장의 방류수가 대부분의 유입수를 차지하므로 호소의 호소수는 정체되어 있을 수 밖에 없으며, 영양염류가 다량 포함되어 있을 수 있다. 또한 연밭 유지에 사용되는 퇴비 등으로 인한 영양염류와 처리시설을 거치지 않은 생활하수가 유입되어 부영양화를 일으킬 수 밖에 없는 구조이다. 유입수의 수질이 현재보다 개선이 된다 하여도 유입수량이 현재와 같이 적다면 호소수의 수질개선에

미칠수 있는 영향은 아마도 미미할 것이다. 이에 친환경미생물을 이용하여 녹조가 발생하는 호소에 적용시 녹조저감에 큰 역할을 할 것으로 기대되며, 녹조발생에 따른 2차 오염유발을 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 본 연구대상인 호소에 설치되어 있는 수중 폭기시설을 이용하여 용존산소 함유량을 증가시켜 주고 이와 함께 유입수량을 증가시켜 호소수의 체류시간을 단축시켜 호소수 자체의 자정능력을 증가시킬 수 있는 방안을 마련한다면 현재보다 녹조 발생률은 감소될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 사전예방적 차원 뿐 아니라 사후관리 차원으로 친환경적인 생물학적 방법을 이용하여 지속적으로 수질관리를 해준다면 개선된 수질과 함께 악취가 저감이 되면서 사시사철 이용 가능한 호소로서의 역할을 충분히 할 수 있을 것으로

로 사료된다.

참고문헌

1. 녹조발생 수환경 관리 및 대응기술, 한국환경산업기술원, 2012
2. 부영양화와 건강, 금강수계관리위원회, 2014
3. 4대강 수계현황도, 국립환경과학원, 2014
4. 하천·호소 녹조현상, 환경부, 2014
5. 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)
6. 녹조 발생 현황과 적정 관리 방안, 유경아; 이수형
7. 팔당호 방류량과 조류발생요인들의 상관성, 유효식·이병희·이승희
8. 농업용 저수지 수질개선을 위한 녹조제거장치 개발, 정광근·송현구·김하집·이용직
9. 경상도에 위치한 저수지 늪에 출현하는 부유성 녹조류, 박종근·이정훈
10. 베이지안 추정을 이용한 팔당호 유역의 계절별 클로로필a 예측 및 오염특성 연구, 김미아·신유나·김경현·허태영·유문규·이수웅
11. 한국형 부영양화 지수를 이용한 저수지 수질평가, 김응석·심규범·김상단·최현일
12. 남한강 3개 인공보의 식물플랑크톤 군집 변동과 수질평가, 신현주·이옥민
13. 담수수계에서 남조류 증식억제의 기술적, 전략적 접근, 이창수·안치용·나현준·이상협, 오희목
14. 녹조현상, 박혜경