

하천 녹조 저감 기술



김 석 구 ●●●●

한국건설기술연구원 환경·플랜트연구소
선임연구위원
sgkim@kict.re.kr

1. 서론

기후변화와 하천 환경 변화로 매년 하천 녹조 현상이 발생하고 있다. 녹조 또는 녹조현상은 수중에 살고 있는 조류(藻類, Algae) 중에서도 남조류가 급

격히 증가하는 것을 말한다(그림 1). 2012년에는 ‘녹조라떼’ 라는 신조어가 등장하였다. 육상생태계에서 1차생산자는 식물이다. 식물이 없으면 육상생태계는 유지되기 어렵다. 수중생태계에서 1차생산자는 조류다. 조류는 광합성을 하면서 유기물과 산소를 수중에 공급한다. 육상생태계와 마찬가지로 조류가 없으면 수중생태계도 유지되기 어렵다. 식물과 함께 조류의 존재는 생태계에 반드시 필요한 존재이다. 적절한 양이 유지되면 문제가 없는데 필요 이상으로 많으면 수질오염 문제가 된다. 조류 자체가 유기물이기에 그렇다.

✓ 녹조 또는 녹조현상
조류 중에서 남조류가 급격히 증가하는 현상

✓ 수중 조류 : 남조류, 녹조류, 규조류 등

✓ 주종 : *Microcystis sp.*, *Anabena sp.*



Microcystis



Anabena






녹조라떼

조류 대량 증식으로 인한 피해

- 수돗물 맛·냄새 유발 (수돗물 불신 가중 및 고도정수처리 도입 필요)
- 정수장의 여과장치 기능 저하
- 수체 내 산소고갈로 인한 어·패류 질식사 (수생태계 악영향)
- 남조류 독소생성으로 인한 건강상 피해 등

그림 1. 녹조현상과 녹조현상으로 인한 피해



녹조는 햇빛이 있고, 적절한 수온에 영양염류(질소, 인)가 있으면서 일정한 체류시간이 유지되면 발생한다. 4가지 조건 중 한 가지 조건이라도 부족하면 녹조는 발생하지 않는다. 정체수역에서 녹조를 방지하기 위해서는 4가지 조건 중 그나마 제어 가능한 것이 영양염류와 체류시간이다. 체류시간 제어는 환경, 사회 여건 등 다양한 사항을 고려해야 하므로 그나마 제어 가능한 조건은 영양염류라고 할 수 있다. 하천으로 유입하는 영양염류를 줄이기 위해서는 적지 않은 비용이 투입된다. 육수(陸水)에서는 영양염류 중 총인(T-P, Total phosphorus)이 제한인자로 총인 제어가 중요하다. 우리나라 하천의 경우, 겨울철을 제외하고는 총인 농도가 0.03 mg/L(0.03 mg/L 이하면 녹조 현상 발생이 쉽지 않음)를 초과하고 있어 하천으로 유입하는 인을 줄이는 것이 중요하다. 그것도 점오염원과 함께 비점오염원에 포함되어 있는 인을 줄여야 한다. 하천으로 유입하는 비점오염계 인의 양이 시간이 갈수록 증가하기에 더욱 그렇다. 또한, 수중생태계에서 1차생산자인 조류를 섭취하는 생물 중 물벼룩이 있다. 물벼룩은 먹이로 주로 조류를 섭취하면서 서식한다. 조류의 천적생물인 물벼룩의 역할과 함께 물고기를 포함한 수중생태계에 전반에 관한 관심을 가져보기도 하다¹⁾.

하천 녹조 방제 관련 연구를 수행하면서 국내에 30개 이상의 녹조 방제 기술이 있는 것으로 조사되었다. 그러나 녹조 발생 단계를 고려하지 않고 기술을 적용하다 보니 현장 적용성이 낮고 조류 제거율도 낮은 것으로 나타나고 있다. 녹조 발생 단계에 따른 기술을 적용하기 위해서는 녹조 발생 단계를 어떻게 정의하고 구분할지에 대한 연구가 필요하다. 또한, 녹조 발생 단계에 따른 적정 대응기술을 적용하기 위한 한국형 조류 예보 모델도 개발되어야 한다. 매년 되풀이 되고 있는 녹조현상은 자연현상이기는 하나 인 제어와 함께 녹조 발생 단계에 따른 대

응기술을 적절하게 적용하면, 조류 경보 전단계까지는 유지할 수 있을 것으로 기대된다. 조류는 육상생태계의 식물과 같아 일정한 조류양이 유지되어야 수중생태계를 유지할 수 있다. 일정한 양의 조류를 유지할 수 있는 기술 적용이 필요한 이유다. 이에 본고에서는 하천에 적용할 수 있는 녹조 저감 기술에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 녹조 저감 기술 동향

부영양 호소 또는 하천에서 조류 증식으로 증가된 수중 내 유기물질을 제어하는 것은 양질의 수자원 확보를 위한 필수 조건이며, 대응 기술 역시 경제성이 높고 생태계 혼란이 적은 친환경적인 기술이어야 한다. 기존의 녹조 저감 기술(황토, 황산구리, 클로린 등의 화학물질을 수계에 직접 살포하는 방법이나 심층포기, 강제순환, UV, 초음파 등)은 그 효과는 있으나 비용이 많이 소요되고 일시적이며, 생물에 대한 독성을 나타내거나 화학물질에 의한 2차 환경오염 등을 유발하기도 한다. 적용 수계의 규모와 환경에 따라 적용이 어려운 경우도 있다.

국내 녹조 발생 조류는 표 1에서 알 수 있듯이 남조류, 녹조류, 규조류 등이 있다. 실제로는 녹조류와 규조류에 의한 녹조보다는 남조류의 과다출현이 큰 원인으로 나타나고 있다²⁾.

그림 2에서 알 수 있듯이 녹조 저감 기술은 물리적, 화학적, 생물학적 기술 등 크게 3가지로 분류할 수 있으며, 물리적 기술은 사전 및 사후 처리기술에 공통적으로 이용될 수 있으나, 화학 및 생물학적 기술은 주로 사후처리에 해당한다고 할 수 있다. 물리적 기술의 문제점으로는 고비용, 비경제성, 화학적 기술은 2차 오염문제 발생, 생물학적 기술은 낮은 실용성 등을 들 수 있다³⁾.

1) 하나자토 다카유키 글 / 이종훈 옮김 (2007), 물벼룩은 위대하다. 푸른나무.
 2) 한국환경공단 (2012), 수생태 안전성 향상을 위한 조류저감기술.
 3) 신재기 (2013), 하천의 조류관리기술, 한국수자원공사 K-water연구원.

표 1. 국내 녹조 발생 조류

분류	주요 발생조류	활성시기	물 색깔	특성
남조류	<i>Microcystis, Anabaena, Aphanizomenon, Oscillatoria</i> 등	초여름, 가을	남색, 짙은 녹색	독소생성이 · 취미
녹조류	<i>Chlamydomonas, Clostridium, Scenedesmus</i> 등	봄 ~ 가을	짙은 녹색	이 · 취미
편모조류, 유글레나	<i>Ceratium, Peridinium, Euglena</i> 등	봄, 늦가을	갈색, 적갈색	독소생성이 · 취미
규조류	<i>Fragilaria, Melssira, Synedra, Asterionella, Aulacoseira</i> 등	늦가을 ~ 봄	갈색	이 · 취미 정수장애



그림 2. 녹조 저감 기술

3. 하천의 녹조 발생 단계별 대응기술

녹조 방제 관련 연구를 수행하면서 국내에 30개 이상의 녹조 방제 기술이 있는 것으로 조사되었다.

그러나 녹조 발생 단계를 고려하지 않고 기술을 적용하다 보니 현장 적용성이 낮고 녹조 저감률도 낮은 것으로 나타나고 있다. 특히, 대하천 녹조는 규모가 크고 물 흐름이 어느 정도 있어 호소 녹조 방제와는 다른 개념에서 접근하여야 해결할 수 있다. 녹조 저감률의 목표 설정은 60% 정도가 적절한 것으

로 판단된다. 호소와 같이 80% 이상으로 설정하면, 목표 달성도 쉽지 않고 많은 돈이 필요하기에 그렇다. 녹조는 자연 현상이다. 이·취미 물질을 생성하는 조류의 대량 증식이 문제가 된다. 이 문제는 먹는 물과 관계가 있어 우선 해결이 필요하며, 기술적으로 어렵지 않게 해결할 수 있다.

대부분의 녹조 저감 기술은 호소와 같은 정체수역의 녹조 저감에 효과적인 것으로 나타나고 있으나, 물 흐름이 있는 대규모 하천을 대상으로 녹조 저감에 적용된 기술은 거의 없는 실정이다. 대하천의 녹조를 저감하기 위해서는 녹조 발생단계에 따른 적정 기술을 적용하여야 한다. 그림 3과 같이 녹조 발생 단계에 따른 기술을 적용하기 위해서는 녹조 발생 단계를 어떻게 정의하고 구분할지에 대한 연구도 필요하다⁴⁾. 또한, 녹조 발생 단계에 따른 적정 대응기

술을 적용하기 위한 한국형 조류 예보 모델도 개발되어야 한다. 매년 되풀이 되고 있는 녹조현상은 자연현상이기는 하나 인과 질소와 같은 영양염류 제어와 함께 녹조 발생 단계에 따른 대응기술을 적정하게 적용하면, 조류 경보 전 단계까지는 유지할 수 있을 것으로 기대된다. 그림 4는 조류 달력⁵⁾에 그림 3의 내용을 포함하여 나타낸 것이다.

현재 정부에서는 조류제거기술 공모를 통해 9개 우수기술(육상처리 5개, 수상처리 2개, 살포 2개)을 선정하여 상습적으로 조류가 발생하는 상수원 등에 효과가 입증된 조류제거시설을 설치하여 운영하고 있으나 아직까지 하천에 적용 가능한 기술 실용화는 미미한 실정이다.

한국과학기술연구원과 한국건설기술연구원에서는 2013년부터 하천의 녹조 저감을 위해 천연무기

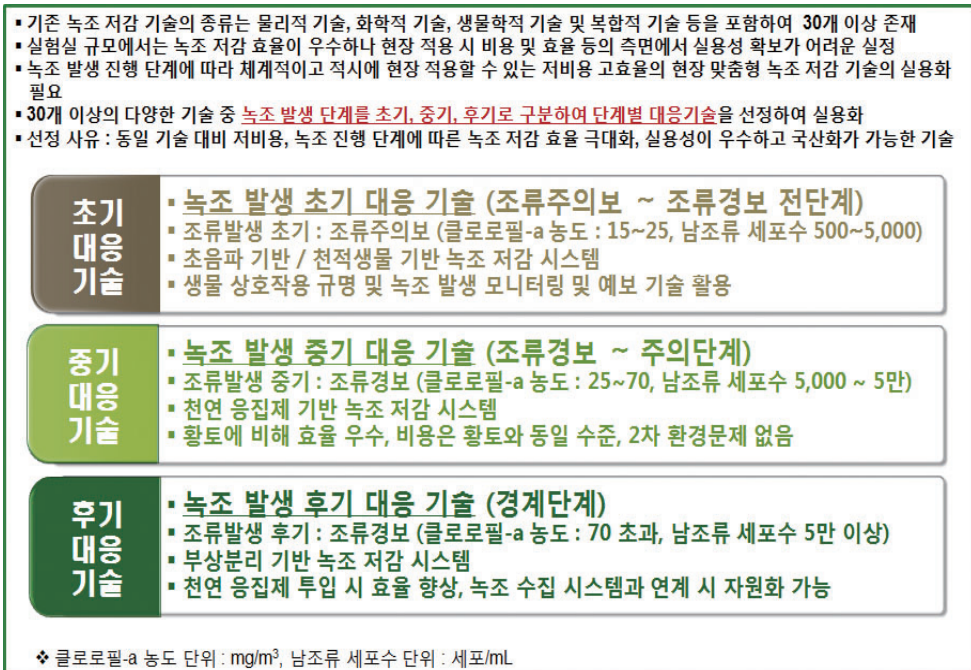


그림 3. 하천의 녹조 발생 단계별 대응기술

4) KIST ORP (open research program) (2013), 통합형 녹조 제거 기술 개발.

5) 신재기 (2013), 하천의 조류관리기술, 한국수자원공사 K-water연구원.

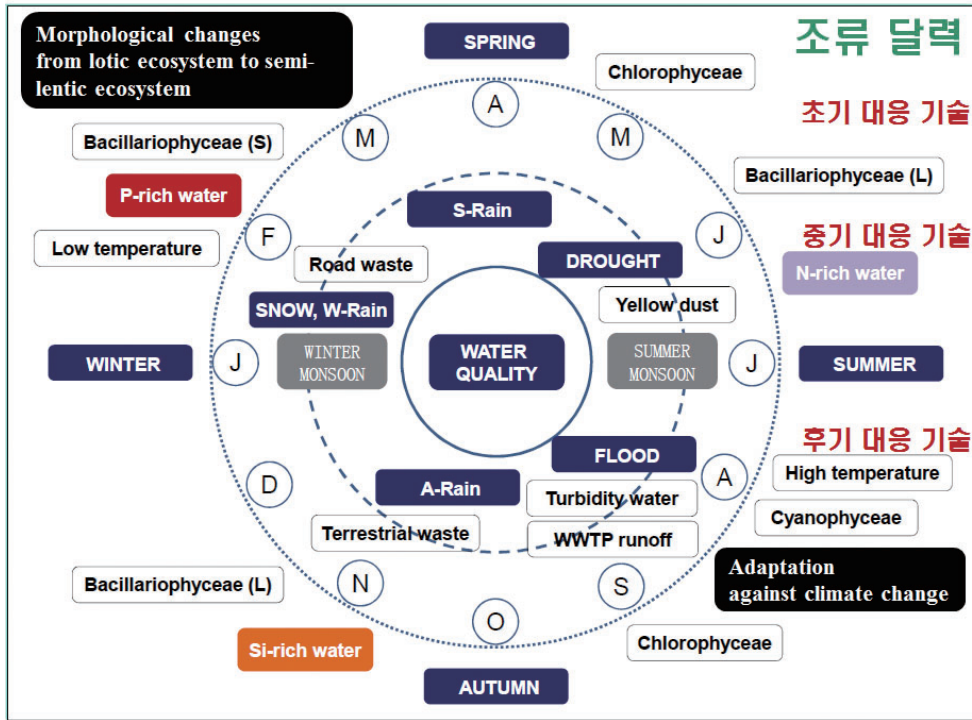


그림 4. 조류 달력으로 나타난 녹조 발생 단계별 대응기술



그림 5. 낙동강 테스트베드

응집제 및 미세기포를 이용한 부상 분리 기술을 개발하여, 녹조현상이 빈번한 낙동강을 대상으로 테스트베드를 구축하였다⁶⁾. 현장 적용 지역은 낙동강 남지교 하류 좌안(창녕함안보 8.1 km 상류)로 선정하였다(그림 5). 이 지역은 좌안에 둔치가 발달하여 접

근이 용이한 장점을 갖고 있으며, 녹조 발생이 빈번한 지역으로 테스트베드 설치에 적합한 지역으로 판단하였다.

그림 6은 하천 둔치에 설치하여 운영한 하천 녹조 저감 기술을 나타낸 것이다. 기술은 응집제 자동 살

6) KIST ORP (open research program) (2013), 통합형 녹조 제거 기술 개발.

포시스템, 차량용 부상분리 시스템, 조류수거 시스템으로 구성되어 있다. 수중 조류의 경우, 계절에 따라 우점하는 조류의 종과 특성이 달라 광물질 및 미세탈염을 주원료로 하여, 조류와 강한 응집력을 갖

는 천연응집제를 개발하였다. 개발한 천연응집제를 포함한 미세기포를 수중에 분사하여 수중 미세조류의 응집을 유도하고 미세기포에 의한 부상 분리 원리를 이용하여 조류를 제거, 수거하는 기술이다.

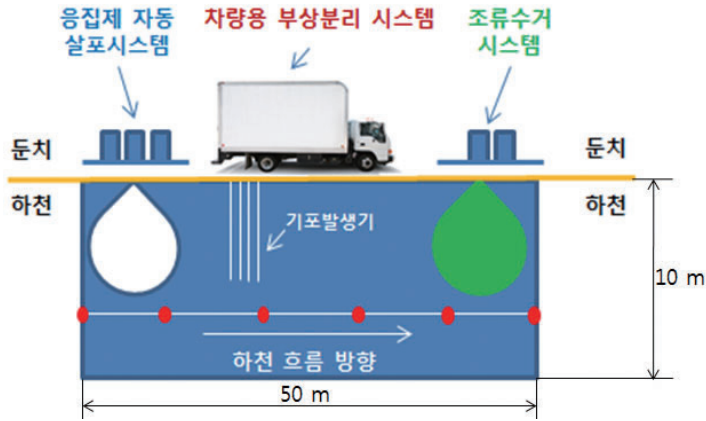


그림 6. 하천 둔치 설치형 하천 녹조 저감 기술

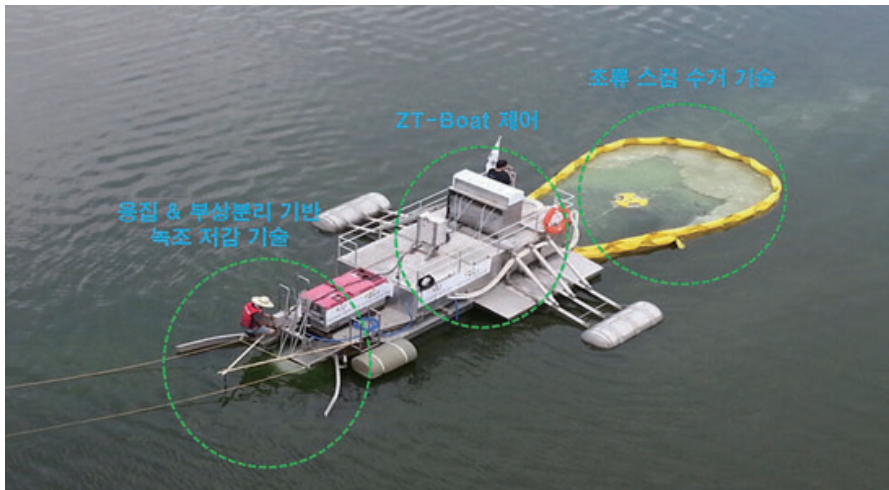


그림 7. 조류제거선 형태의 하천 녹조 저감 기술(ZT-Boat) 현장 사진

그림 7은 조류제거선 형태로 낙동강 테스트베드에 설치 운영 중인 하천 녹조 저감 기술(ZT-Boat)의 현장 사진이다. 그림 8은 하천의 녹조 저감 기술 적용 효과를 나타낸 것으로 적용 후의 Chl-a(글로

로필-a)농도가 적용 전의 Chl-a 농도에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타나고 있어 응집 부상 효과가 우수한 것을 알 수 있다.

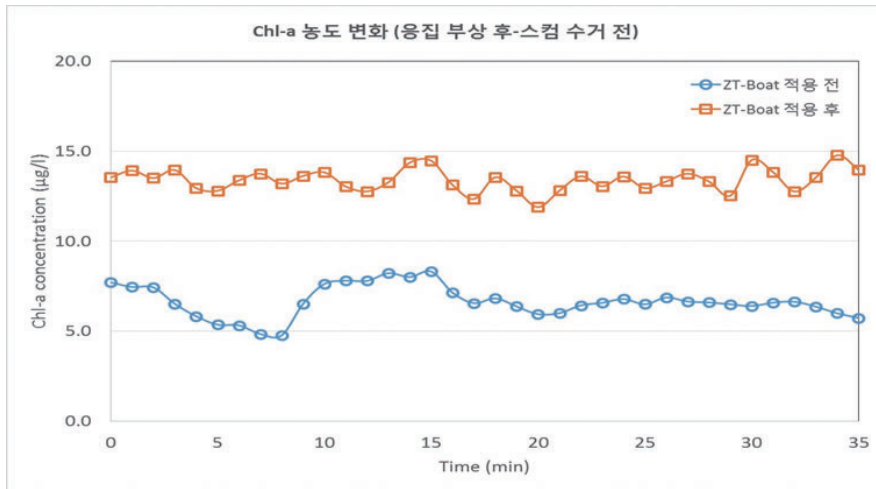


그림 8. 조류제거선 형태의 하천 녹조 저감 기술(ZT-Boat) 적용 효과

4. 맺음말

하천 녹조는 호소 녹조와 다르게 물의 흐름이 있는 것이 특징이다. 호소 녹조 저감 기술과는 다른 기술을 적용하여야 하천 녹조를 적절히 관리할 수 있다. 녹조 또는 녹조현상은 조류 중에서도 남조류가 대량 증식하는 것을 말한다. 녹조 관리는 조류 관리

이다.

조류는 육상생태계의 식물과 같아 일정한 조류양이 유지되어야 수중생태계를 유지할 수 있다. 일정한 양의 조류를 유지할 수 있는 기술 적용이 필요하다. 조류는 고운 정과 미운 정, 둘 다 가지고 있다. 인류가 존재하는 한 조류와 공존해야 하는 이유다.