



대하천 녹조문제 해결 녹조 저감...녹조 발생단계 맞춰 적정 기술 적용

매년 여름 낙동강 및 영산강에 녹조가 발생하여 언론매체에서는 녹색을 띠고 있는 물을 보여 주었다. 그것을 보면서 우리 국민은 어떤 생각을 했을까? 필자는 출연(연)에 근무하고 있는 연구자로서 녹조 현상에 관심을 가지고 국민의 불안감을 어느 정도 해소하고자 대하천 녹조 방제 관련 연구를 수행하고 있다.

녹조 유발 주요 원인 '인' 제어 중요

녹조는 수중에 살고 있는 조류 중에서도 남조류가 급격히 증가하는 것을 말한다. 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.

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 한다. 따라서 연구자로서



글_김석구
한국건설기술연구원
환경연구실 연구위원
sgkim@kict.re.kr

글쓴이는 강원대학교 환경학과 졸업 후, 서울대학교에서 석사학위를, 교토대학교에서 박사학위를 받았다. 현재 과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과 교수를 겸임하고 있다.

접근할 수 있는 제어 가능한 조건은 영양염류라고 할 수 있다. 하천으로 유입하는 영양염류를 줄이기 위해서는 적지 않은 비용이 투입된다. 육수에서는 영양염류 중 제한인자인 인 제어가 중요하게 다루어져 왔으나, 최근에는 질소도 제어해야 한다는 의견도 제기되고 있다.

우리나라 대하천의 경우, 겨울철을 제외하고는 총인 농도가 0.03mg/L (0.03 mg/L 이하면 녹조 현상 발생이 쉽지 않음)를 초과하고 있어 하천으로 유입하는 인을 줄이는 것이 중요하다. 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 수중생태계 전반에 대한 관심을 가져야 한다.

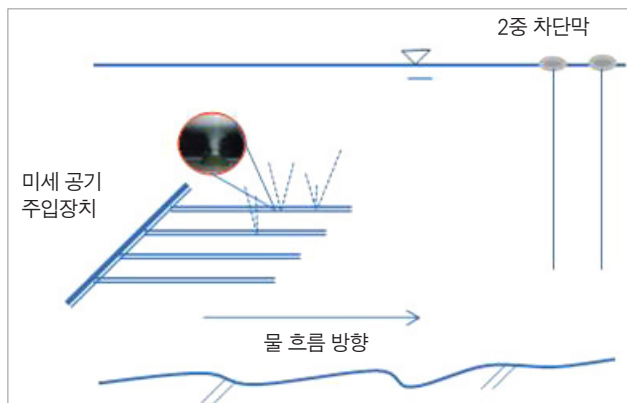
녹조 발생 단계 고려후 기술 적용 필요

대하천 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 저감률도 낮은 것으로 나타나고 있다. 특히, 대하천 녹조는 규모가 크고 물 흐름이 어느 정도 있어 호소 녹조 방제와는 다른 개념에서 접근해야 해결할 수 있다.

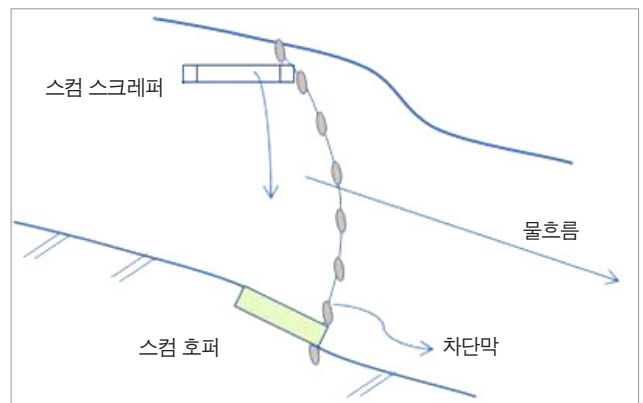
녹조 저감률의 목표 설정은 60% 정도가 적절한 것으로 판단된다. 호소와 같이 80% 이상으로 설정하면, 목표 달성도 쉽지 않고 많은 돈이 필요하기 때문이다. 녹조는 극히 자연적인 현상이다. 이·취미 물질을 생성하는 조류의 대량 증식이 문제가 된다. 이 문제는 먹는 물과 관계가 있어 우선 해결이 필요하며, 기술적으로 어렵지 않게 해결할 수 있다. 따라서 대하천에서 발생한 녹조를 저감시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 제안 기술은 기존의 부상분리방법의 처리용량과 경제성을 향상시킨 것이다.

‘부상분리법’에 의한 녹조 저감 기술

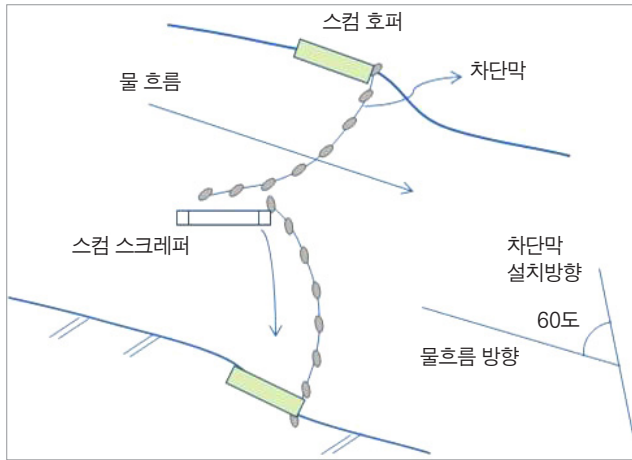
종래의 녹조 저감 기술은 응집제와 같은 화학물질에 의한 응집침전을 분리시키거나 오존, 산화제의 투입으로 조류를 사멸시키는 화학적 기술, 생물체에 의해 조류를 포식 제거하는 생물학적 기술, 수중에 미세기포를 주입하여 조류를 부상시킨 후 제거하거나 초음파에 의한 진



▶▶ 1. 하천에서의 부상분리 단위 공정도



▶▶ 2. 차단막 설치 및 스킴 포집 방법



▶ 3. 양방향 차단막 설치 및 스크 포집 방법

동으로 조류의 성장을 억제시키는 물리적 기술 그리고 위의 기술 들을 조합한 물리화학적 기술 등이 있다. 이와 같은 녹조저감 기술들은 호소와 같은 정체수역의 녹조 저감에 효과적인 것으로 보고되고 있으나, 물 흐름이 있는 대규모 하천을 대상으로 녹조 저감에 적용된 기술은 거의 없는 실정이다.

기존의 초음파 처리기술이나, 살조제와 산화제 등에 의한 조류제거 기술 등은 정체수역이며 소규모 호소 등에서는 매우 효과적이다. 대규모 하천에서는 처리효율에 한계가 있으며, 물의 흐름으로 녹조 저감에 어려움이 있다. 최근 들어 녹조 저감방법으로 수중의 조류를 응집 후 부상시켜 처리하는 부상분리법이 실용화되고 있다.

부상분리법의 경우, 초기에는 하천부지에 설치된 부상분리장치로 펌핑하여 녹조를 저감시켰으나 최근에는 수중에 부상분리장치를 설치하여 하상에서 미세기포를 발생시킨 후 부상된 스크를 일정 규모의 구조체 내부로 수집하며, 스크 스크레퍼에 의해 분리, 포집시키는 방법이 적용되고 있다. 이러한 개량된 방법은 기존의 하천부지로 펌핑하여 녹조를 제거하는 방법에 비해 처리속도를 증가시키는 장점이 있으나 여전히 일일 처리량과 처리비용에 한계가 있어 대규모 하천을 대상으로 한 녹조저감에는 어려움이 있다.

대규모 하천의 녹조 저감 기술 개발

하천의 수심, 수면적, 유속 등의 특성이나 조류의 종류에 따라 서식특성이 다르지만, 조류는 통상 하천의 수면에 부상하여 증식하므로 대규모의 녹조 저감을 위한 방법으로 부상분리방법이 많이 적용되고 있다. 그러나 부상분리방법의 경우, 처리유량이 한정적이어서 대규모의 녹조저감에 어려움이 있다. 제안 기술은 대하천과 같이 물의 흐름이 있으면서 대규모의 녹조저감을 위해 기존의 부상분리방법의 처리용량과 경제성을 향상시킨 방법이다.

대하천에 친환경 응집제와 미세 기포를 투입하여 수중의 조류를 응집 후 부상시키고, 부상된 조류 스크를 비구조체의 차단막 내부로 포집하여 고무보트 등을 이용하여 한쪽 방향 또는 양방향의 하천부지에 설치된 스크 호퍼로 슬러지를 분리, 수집하는 방법이다. 기존의 부상분리기술에서 부상된 스크 분리 및 포집 단위공정을 개선하여 녹조저감 속도를 향상시켜 대규모 하천에서 녹조 저감이 가능하도록 개량한 기술이다.

하천 수면에 부상된 스크를 포집하기 위해 비구조체의 차단막과 스크 호퍼를 설치한다. 이때, 하천이나 강의 수심(미세기포 설치 깊이), 유속 그리고 미세공기와 접촉 후 부상되는 스크의 부상속도를 고려하여 하류방향에 포집장치를 설치한다. 통상 하천의 수심 2~3m 깊이에서 복수의 미세기포 발생장치를 이용하여 미세기포를 발생시킬 경우, 하류방향으로 30~40m 지점에 차단막을 설치한다(그림 1).

차단막의 설치 방향은 물의 흐름과 직각이 아닌 $\angle 45\sim 60^\circ$ 비스듬히 설치하여 부상된 스크가 하천의 한쪽 또는 양쪽 부지방향으로의 모임을 용이하게 한다(그림 2). 하천 폭이 100m

- 기존 녹조 저감 기술의 종류는 물리적 기술, 화학적 기술, 생물학적 기술 및 복합적 기술 등을 포함하여 30개 이상 존재
- 실험실 규모에서는 녹조 저감 효율이 우수하나 현장 적용시 비용 및 효율 등의 측면에서 실용성 확보가 어려운 실정
- 녹조 발생 진행 단계에 따라 체계적이고 적시에 현장 적용할 수 있는 저비용 고효율의 현장맞춤형 녹조 저감 기술의 실용화 필요
- 30개 이상의 다양한 기술 중 **녹조 발생 단계를 초기, 중기, 후기로 구분하여 단계별 대응기술**을 선정하여 실용화
- 선정 사유: 동일 기술 대비 저비용, 녹조 진행 단계에 따른 녹조 저감 효율 극대화, 실용성이 우수하고 국산화가 가능한 기술

초기 대응 기술

• 녹조 발생 초기 대응 기술

- 조류발생 초기:조류 주의보(클로로필 -a 농도:15~25, 남조류 세포수 500~5,000)
- 초음파 기반 / 천적생물 기반 녹조 저감 시스템
- 생물 상호작용 규명 및 녹조 발생 예측 기술 활용

중기 대응 기술

• 녹조 발생 중기 대응 기술

- 조류발생 중기:조류 경보(클로로필 -a 농도:25~50, 남조류 세포수 5,000~5만)
- 천연 응집제 기반 녹조 저감 시스템
- 황토에 비해 효율 우수, 비용은 황토와 동일 수준, 2차 환경문제 없음

후기 대응 기술

• 녹조 발생 후기 대응 기술

- 조류발생 후기:조류 경보(클로로필 -a 농도:50 이상, 남조류 세포수 5만 이상)
- 부상분리 기반 녹조 저감 시스템
- 천연 응집제 투입 시 효율 향상, 녹조 수집 시스템과 연계 시 자원화 가능

* 클로로필 -a 농도 단위:mg/m³, 남조류 세포수 단위:세포/ml

* 수치는 연구를 진행하면서 향후 최종 결정

▶ 4. 녹조 발생 단계별 대응기술 제안

미만일 경우, 하천 폭 전체를 차단할 수 있도록 일자형의 단일 차단막을 설치한다. 하천 폭이 100m 이상일 경우, 하천 흐름 방향과 ‘<’형태를 유지하도록 차단막을 설치한다. 단일 차단막을 설치한 경우, 한쪽 방향으로, 양쪽방향으로 차단막을 설치한 경우, 각 방향으로의 스킴 스크레퍼를 이동시켜 스킴 호퍼로 포집한다(그림 3). 하천의 흐름으로 차단막이 쓸려가거나 유실되지 않도록 하천부지와 하상에 앵커를 이용하거나 고정시키면 된다.

한국형 조류 예보 모델 개발돼야

대하천의 녹조를 저감시키기 위해서는 앞에서 제안한 방법과 함께 녹조 발생단계에 따른 적정 기술을 적용해야 한다. <그림 4>와 같이 녹조 발생 단계에 따른 기술을 적용하기 위해서는 녹조 발생 단계를 어떻게 정의하고 구분할지에 대한 연구도 필요하다. 또한, 녹조 발생 단계에 따른 적정 대응기술을 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 적절하게 적용하면, 조류 경보 전 단계까지는 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

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. **ST**