



부소담악의 여름 (이선애 작품)

녹조(綠潮), 녹조현상은 무엇인가?

2016. 5

여름의 불청객 녹조(綠潮)

식물플랑크톤인 남조류는 가장 오래된 생물중 하나로
인간을 포함한 생물의 기원이 되었습니다.

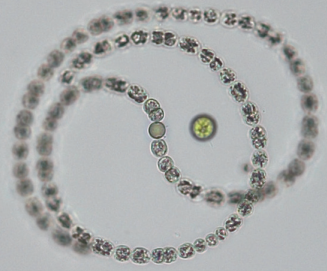
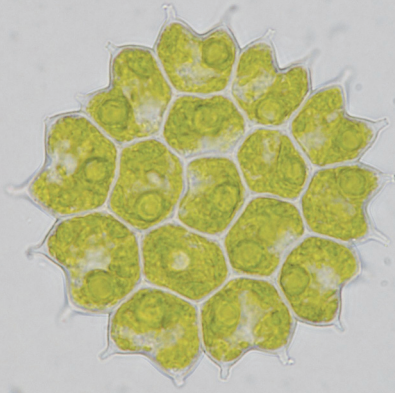
이러한 남조류가 자라서 녹조현상을 일으키는 것을 알고 있나요?
녹조는 왜 생기며, 우리 생활과 환경에 어떤 영향을 줄까요?
그리고, 건강하고 깨끗한 물을 위해서는 어떻게 해야 할까요?

이 소책자는 이러한 궁금증을 풀어드리기 위해 만들었습니다.



목차

I. 녹조란 무엇인가?	4
1. 조류(藻類)란 무엇인가?	5
2. 남조류 과다증식, 녹조현상	8
3. 남조류, 최초의 광합성 생물	9
4. 왜 남조류가 문제인가?	11
II. 녹조현상, 왜 생기나?	13
1. 녹조현상을 일으키는 원인	14
2. 부영양화와 녹조현상의 관계	17
3. 녹조현상의 발생 모습	19
4. 외국의 녹조현상	21
III. 녹조는 어떤 영향을 주나?	24
1. 우리 생활에 미치는 영향	25
2. 생태계에 미치는 영향	27
3. 농작물과 수산업에 미치는 영향	28
IV. 녹조, 할 말 있어요!	29
1. 조류는 수생태계에 꼭 필요해요	30
2. 큰빛이끼벌레는 독성이 없어요	31
3. 칠국보 강준치는 기생충 감염으로 죽었어요	33
4. 조류 속 독소는 안심해요	34
V. 녹조대응, 이렇게 해요!	35
1. 녹조 발생과정을 과학적으로 밝혀요	36
2. 녹조 발생 원인별로 오염물질을 줄여요	37
3. 정제된 물을 순환시켜요	41
4. 녹조가 생기면 조류경보를 발령해요	42
5. 수돗물을 철저히 관리해요	47
[부록]	
1. 녹조 바로알기 Q&A	53
2. 외국의 조류관리기준 현황	56
3. 녹조저감기술 소개	57



현미경으로 본 여러가지 조류의 모습

녹조란 무엇인가?

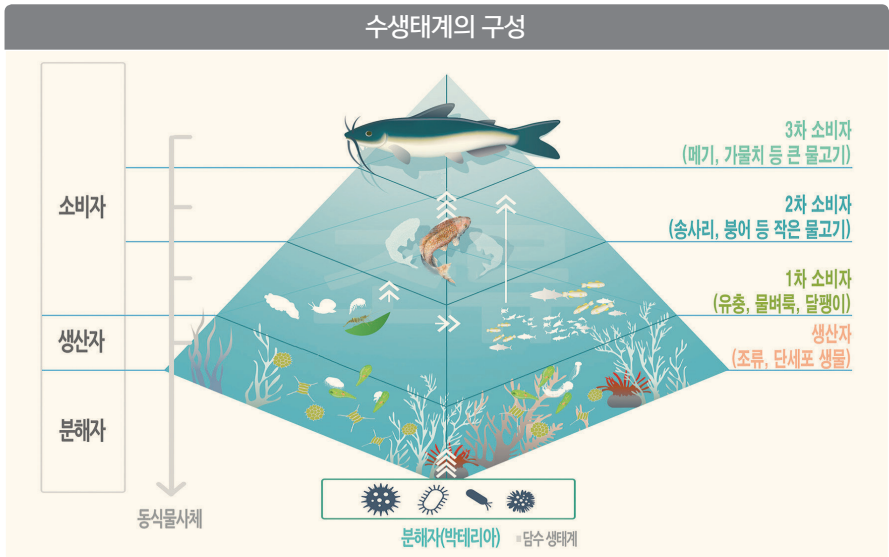
1. 조류(藻類)란 무엇인가?

물 속의 식물 ‘조류’

조류(algae, 藻類)는 강이나 바다, 호수, 연못과 같은 물 속에 사는 작은 생물이다. 엽록소를 가지고 있어 햇빛과 이산화탄소를 이용해 산소와 유기물을 만들어 내는 광합성 작용을 한다. 물벼룩과 같은 1차 소비자의 먹이가 되어 수생태계에서 에너지를 공급하는 중요한 역할을 한다.

조류는 사는 곳에 따라 바다의 해조류(marine algae)와 민물의 담수조류(freshwater algae)로 나뉜다. 서식방법에 따라서는 수중의 암석이나 자갈, 인공구조물 등에 붙어서 생활하는 부착조류와 물에 떠서 생활하는 부유조류로 나뉜다.

부유조류는 식물플랑크톤에 해당된다. 바다나 강·호수에 떠다니면서 대량으로 증식할 경우 물 빛깔을 변화시켜 적조나 녹조현상을 일으킬 수 있다.

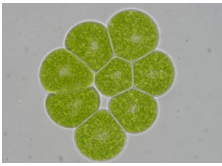






담수조류의 종류와 특징

담수조류가 서식하는 강이나 호수는 상수원으로 이용되므로 깨끗하고 안전한 먹는물 공급을 위해 담수조류에 대한 이해와 관리가 필요하다.

담수조류는 대부분 매우 작은 부유성 미세조류로서 엽록소라는 광합성 색소를 가지고 있고, 규조류, 녹조류, 남조류, 기타 조류로 구분된다. 규조류는 갈색, 녹조류는 옅은 녹색, 남조류는 남색을 띠는 색소를 많이 가지고 있다.

각각은 영양물질의 양이나 햇빛, 수온 등에 따라 최적 성장조건이 다르다. 일반적으로 수온이 10°C이하인 겨울~봄철에는 규조류가, 10~20°C인 봄~초여름철에는 녹조류가, 20°C이상이 되는 여름철에는 남조류가 주로 증식한다.

국내 담수조류의 특징			
구분	규조류	녹조류	남조류
현미경사진			
주 발생 시기			
최적 성장수온	10°C 이하	10°C~20°C	20°C~30°C
물빛 색깔	 갈색	 옅은녹색	 진한녹색



우리생활에서 유용하게 이용되는 조류

우리가 흔히 먹고 있는 김, 미역, 다시마 등은 해조류이면서 부착조류에 속한다. 또, 단백질 등이 풍부하여 건강식품 보조제로 식품과 의약품에 널리 이용되는 클로렐라와 스피룰리나는 담수조류로서 각각 녹조류와 남조류의 일종이다.

1965년 일본과 대만에서 클로렐라를 건강보조식품으로 만들어 상업적으로 이용하기 시작하였고, 1965년 프랑스에서 스피룰리나를 단백질원으로 개발하고자 대량배양을 시작하였다.

조류는 바이오연료로 활용되기도 한다. 조류는 생장조건이 까다롭지 않아 햇빛, 물, 이산화탄소만 있으면 어디서나 재배할 수 있고, 번식력이 뛰어나며, 오일함량도 높다. 이러한 특성을 활용하여 조류를 대량으로 배양해, 디젤이나 에탄올과 같은 바이오연료로 개발하여 산업분야에서 유용하게 이용한다.

해조류



김



미역



매생이

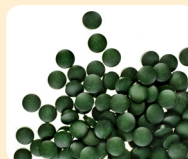


파래

담수조류



클로렐라



스피룰리나



2. 남조류 과다증식, 녹조현상

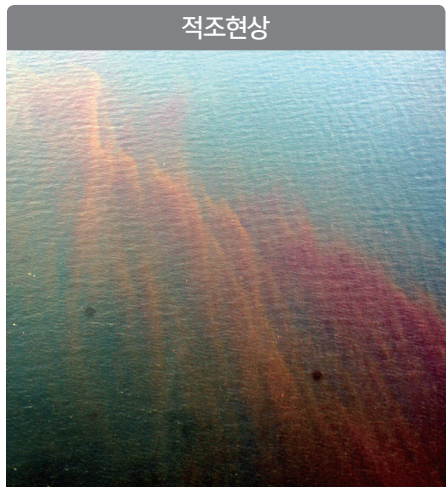
녹조현상

녹조(綠潮, algal bloom)란 강이나 호수에 남조류(藍藻類)가 과도하게 성장하여 물의 색깔이 짙은 녹색으로 변하는 현상을 말한다. 갈색을 띠는 규조류나 와편모조류가 번성하여 바다가 붉게 물드는 현상을 적조(赤潮, red tide)라 부르는 것과 대비해서 통용되기 시작하였다.

담수조류의 일종으로서 엷은 녹색을 띠는 녹조(綠藻, green algae)와 구별하기 위해 통상적으로 녹조(綠潮)를 녹조현상이라고 한다.

적조는 주로 해안가 양식장에 영향을 미쳐 재산 상 피해를 끼치지만, 녹조는 상수원으로 이용되는 강이나 호수에 발생하여 먹는 물에 영향을 줄 수 있다.

녹조현상은 우리나라에서만 나타나는 현상은 아니다. 세계 대부분의 지역에서 남조류 발생에 의한 녹조현상이 보고 되고 있다.



3. 남조류, 최초의 광합성 생물

남조류의 기원

조류 중 가장 오래된 남조류는 약 35억년 전에 지구상에 출현했다고 알려져 있다. 남조류가 장기간 퇴적하여 형성된 ‘스트로마톨라이트’라고 하는 화석이 이 시기의 지층에서 발견되어 이때부터 지구상에 존재했던 것으로 추측한다.

남조류는 광합성을 위한 색소가 세포 전체에 흩어져 있으며, 세균류와 같이 세포 내에 핵이 없어 남세균(Cyanobacteria)이라 부르기도 한다. 크기는 1~50 μm 정도로 가장 큰 것이 사람의 머리카락 지름(50~70 μm) 정도이며, 무성생식이나 포자로 증식한다.

가장 오래된 스트로마톨라이트는 호주에서 발견되었는데, 남조류와 같이 세포 속에 핵이 따로 없고 엽록소를 가지고 있는 것으로 조사되었다. 그 밖의 다양한 화석기록은 시간이 경과함에 따라 남세균의 구조적·생식적 복잡성이 증가하였음을 보여준다.

남조류는 햇빛을 이용하여 물과 이산화탄소를 영양분으로 만든 최초의 광합성 생물이며, 이 과정에서 산소를 발생시켰다. 대기중에 산소가 풍부해지면서 원시동물이 탄생하는 계기가 되었고, 하등동물에서 고등동물로 진화를 거듭하면서 현재에 이르게 되었다.



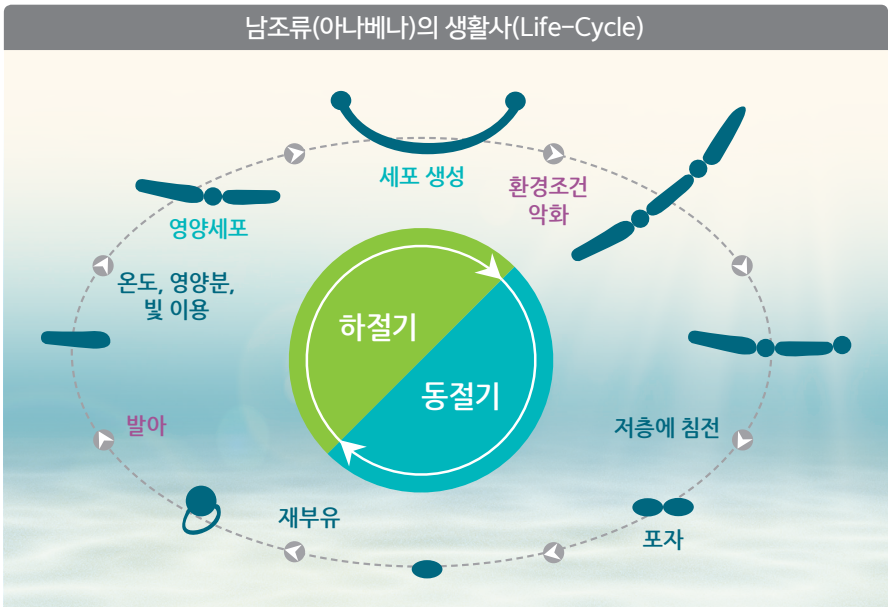
* 사진제공 : 국립생물자원관

남조류의 뛰어난 적응력

남조류는 광합성을 하여 지구상에 산소를 발생시킨 최초의 생물로 알려져 있다. 그 오랜 역사가 말해주듯이 환경변화에 뛰어난 적응력을 가지고 있다.

일부 남조류는 대기중의 질소가스를 유기질소로 전환하여 저장하는 질소고정 능력이 있어, 질소가 부족한 환경에서도 생존할 수 있다. 또, 생존에 불리한 환경에서 포자를 형성하여 퇴적층에 가라앉아 있다가 환경이 좋아지면 발아하여 다시 성장하기도 한다.

대부분의 남조류는 세포 내에 공기주머니를 갖고 있어 상하로 수직이동을 한다. 이를 통해 성장에 필요한 양의 햇빛을 얻고, 영양물질이 많은 곳으로 이동할 수도 있다. 일부 남조류는 독소와 냄새물질을 생성하고 분비함으로써 다른 조류의 성장을 방해하고, 동물플랑크톤이나 어패류 등 포식자를 회피하기도 한다.



4. 왜 남조류가 문제인가?

남조류의 냄새물질과 독소

일부 남조류는 생명활동에 필요한 물질을 합성하고 분해하는 대사작용의 결과로 미량의 냄새물질과 독소를 생성한다.

냄새물질은 인체에 영향을 주지 않으나, 수돗물의 맛을 떨어뜨리고 불쾌감을 유발한다. 물에서 나는 흙냄새나 곰팡이 냄새의 원인물질인 지오스민(Geosmin)과 메틸이소보르네올(2-MIB)은 몇몇 남조류가 엽록소를 합성하는 과정에서 생성된다.

환경부에서는 독성물질을 배출하여 유해한 영향을 줄 수 있는 남조류 4종을 유해남조류로 지정하여 관리하고 있다. 유해남조류는 마이크로시스틴(Microcystins), 아나톡신(Anatoxin), 삭시톡신(Saxitoxins) 등의 독소를 생성한다.

조류독소 중에는 마이크로시스틴이 가장 대표적이다. 70여 가지의 변종이 있으나 마이크로시스틴-LR의 독성이 가장 강한 것으로 알려져 있다. 이러한 조류독소를 포유류가 흡수할 경우 간세포나 신경계에 영향을 받을 수 있다.

그러나, 평상시에는 독소를 세포 안에 가지고 있을 뿐 배출하지 않는다. 다만, 죽거나 포식자로부터 공격을 받을 때, 그리고 다른 조류와 경쟁을 할 때에만 독소를 배출하는 것으로 알려져 있다.



유해남조류 4종

구분	마이크로시스티스	아나베나	오실라토리아	아파니조메논
현미경 사진				
단위세포 형태	길이 4~8 μm 구형 혹은 타원형	길이 7~15 μm 구형 혹은 타원형	직경 4~6 μm , 길이 2.5~4 μm 원통형	직경 4~6 μm , 길이 5~15 μm 원통형
군체 형태	수백~천여개의 단위 세포가 모여 군체를 형성	세포가 염주형태로 직선, 혹은 나선형으로 연결	단위세포가 실모양으로 일렬로 연결	단위세포가 실모양으로 일렬로 연결, 군체 형성
생활상	세포내에 공기주머니가 있어 수표면에 부유하면서 성장	세포내에 공기주머니가 있어 수표면에 부유하면서 성장	세포내에 공기주머니가 있어 수표면 혹은 수중에 부유	세포내에 공기주머니가 있어 수표면에 부유
최적 성장온도	25°C~35°C(고온성)	20°C~25°C	20°C 이하	20°C 전후
발생시기	늦봄~늦가을	봄, 초여름, 가을	봄~가을	봄, 가을, 초가을
독성물질	마이크로시스틴 (Microcystins)	마이크로시스틴 (Microcystins) 아나톡신 (Anatoxin)	마이크로시스틴 (Microcystins) 아나톡신 (Anatoxin)	삭시톡신 (Saxitoxins)
영향	간독소, 곰팡이냄새·흙냄새	간독소·신경독소 곰팡이냄새·흙냄새	간독소·신경독소 곰팡이냄새·흙냄새	신경독소 곰팡이냄새·흙냄새



홍제천(오른쪽)에서 흘러내리는 맑은 물과 짙은 녹색으로 변한 한강물

녹조현상, 왜 생기나?

1. 녹조현상을 일으키는 원인

조류의 세포조직을 이루는 주요 원소는 탄소, 산소, 수소, 질소, 인 등이다. 탄소, 산소, 수소는 공기와 물에서 충분히 공급받지만 질소, 인 등은 한정되어 있어 조류의 성장속도를 결정하는 요소가 될 수 있다.

오염물질의 유입으로 물 속의 질소와 인이 풍부해지고, 일사량이 많아 광합성이 활발해지면 조류세포가 만들어지는데 좋은 조건이 된다. 또, 조류의 성장과 활동이 활발해지는 온도조건과 물의 정체현상도 조류가 빠르게 증식하는데 도움이 된다.

오염물질의 유입

조류의 성장에 필수적인 요소는 질소와 인 등의 영양물질이다. 녹조현상의 가장 큰 원인은 수계로 유입되는 과도한 영양물질이다. 이들은 부영양화를 일으켜 조류의 과도한 성장을 유발한다.

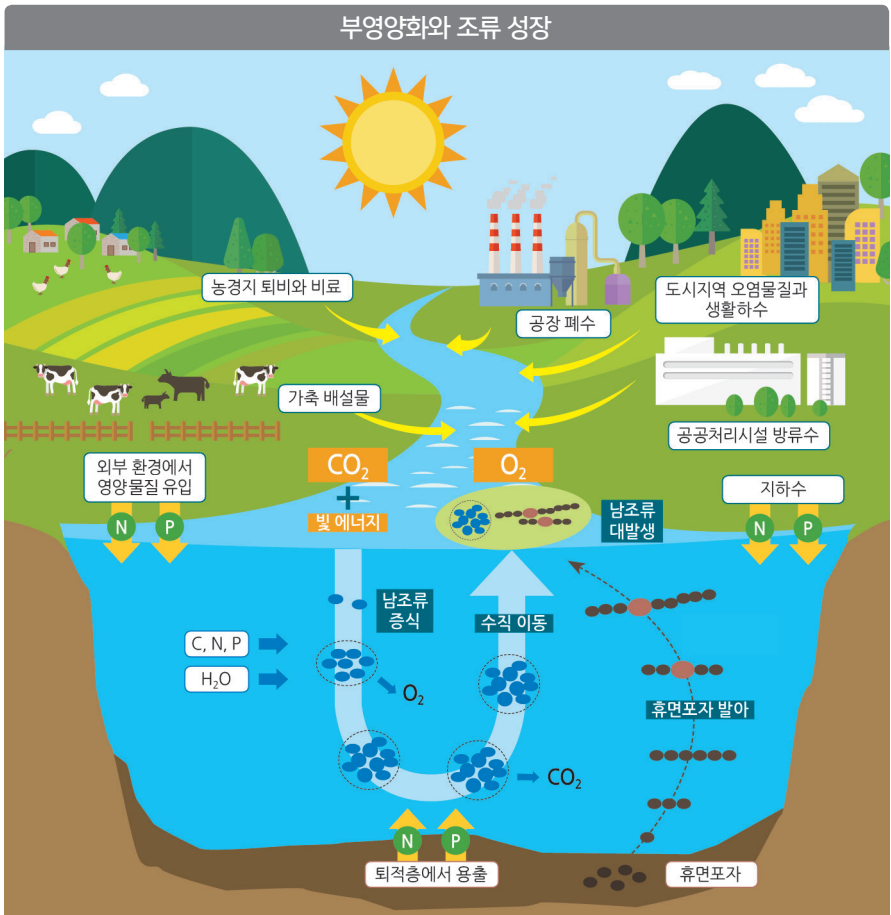
가정에서 배출되는 각종 세제류가 섞인 생활하수와 산업단지나 개별 공장에서 배출되는 산업폐수, 그리고 비가 올 때 빗물과 함께 흘러내리는 각종 쓰레기와 농경지의 비료와 퇴비에는 질소와 인을 포함한 여러 오염물질이 들어있다. 오염물질이 강이나 호수로 흘러 들어가면 물 속에는 질소와 인 등의 영양물질이 풍부해져 ‘부영양화’가 일어난다. 조류가 영양물질을 이용하여 대량으로 증식하게 되면 녹조현상이 발생한다.

인간의 활동에 의해 배출된 오염물질이 강이나 호수로 흘러들어가 생기는 인위적인 부영양화는 매우 빠른 속도로 진행된다. 자연상태에서도 부영양화가 일어나는데 이 경우에는 비교적 서서히 진행된다.

수온과 일사량

햇빛은 조류의 광합성을 위해 필수적 요소이며, 수온은 조류의 최적성장을 좌우하는 요인이다. 남조류는 20~30°C의 수온에서 가장 왕성하게 성장하며, 햇빛을 많이 받을수록 잘 자란다. 반면, 너무 강한 햇빛은 오히려 성장을 방해하기도 한다.

우리나라는 사계절이 뚜렷하여 계절에 따라 남조류의 성장속도가 달라진다. 일반적으로 수온과 일사량이 증가하는 여름철에 성장하기 좋은 환경이 만들어진다.

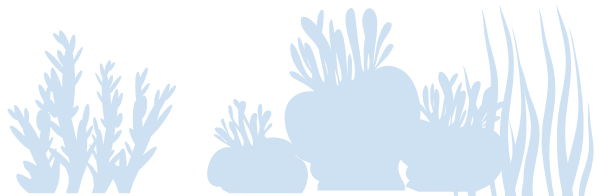
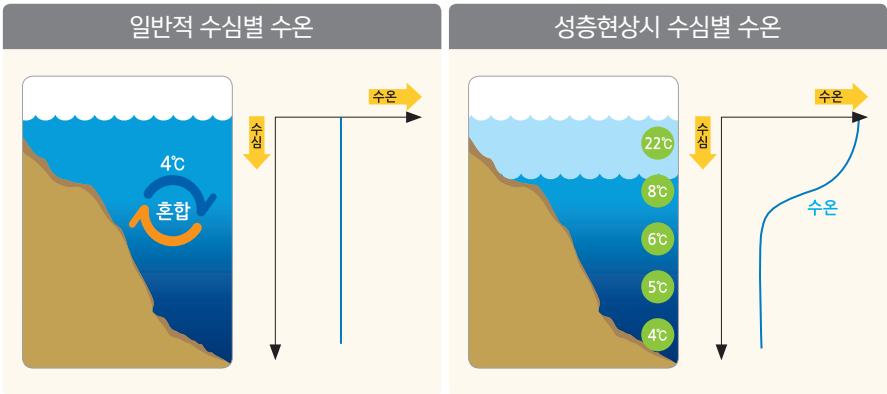


* C(탄소), O(산소), N(질소), P(인)

물 순환 정체

물의 흐름이 약하거나 정체되어 있으면 남조류가 더 많이 증식할 수 있는 환경이 조성된다. 유속이 빠르면 물표면에 떠다니는 남조류가 아래로 쓸려 내려가기 때문에 대량으로 증식되기 어렵다.

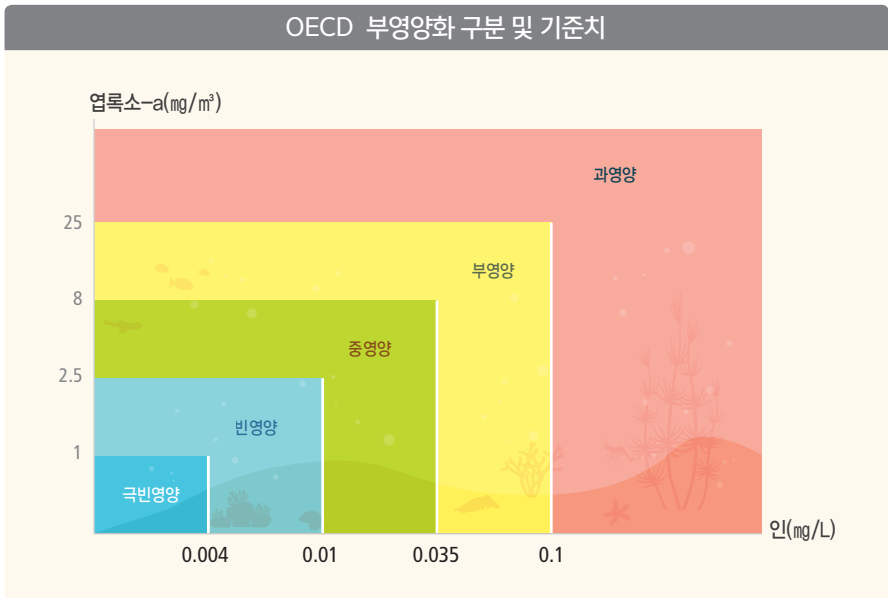
수심이 깊고 흐름이 정체된 강이나 호수에서는 여름철에 성층현상이 나타난다. 성층현상이란 따뜻하고 밀도가 낮은 물이 위에 놓이고 차갑고 밀도가 높은 물이 아래에 놓여 밀도 차에 의해 수층이 분리되면서 물이 수직으로 이동하지 않는 현상을 말한다. 물이 잘 섞이지 않으면 수면의 온도가 더욱 올라가게 되어 남조류가 성장하기 더 좋은 여건이 만들어진다.



2. 부영양화와 녹조현상의 관계

인간의 활동으로 배출된 오염물질로 인해 매우 빠르게 진행되는 부영양화가 녹조현상을 일으키게 된다.

부영양화는 녹조현상을 일으키는 주된 원인이므로 국제기구와 여러 국가에서는 부영양화 정도를 지속적으로 관리하고 있다. 국제연합(UN)과 경제협력개발기구(OECD) 등 국제기구에서는 질소나 인 등 영양물질과 엽록소-a¹⁾ 농도로 물의 영양상태를 구분하고 수질관리 기준을 정하여 관리하고 있다.



1) 엽록소-a는 엽록소를 구성하는 주된 색소로 광합성 작용에서 빛을 흡수하는 필수적인 요소이다. 물속의 식물플랑크톤 세포에 가장 많고 보편적으로 분포하는 색소로 질소나 인 등의 화학적 성분과 함께 부영양화의 지표가 된다.

우리나라는 인과 엽록소-a에 대한 수질환경기준을 설정하고, 유해남조류 세포수를 주기적으로 모니터링하여 부영양화 정도를 관리하고 있다. 강의 경우 인 농도가 0.1 mg/L 이하, 호수의 경우 인 농도 0.03 mg/L 이하이고, 엽록소-a 농도 14 mg/m³ 이하일 때 좋은 물로 판단한다.

우리나라의 수계는 크게 한강, 낙동강, 금강, 영산강의 4개 권역으로 구분되고, 이는 다시 114개의 작은 권역으로 나뉘어 관리된다. 2015년 기준으로 전체 중권역의 83.3%에 이르는 95개 중권역이 좋은 물로 평가되었다. 전국 주요 호수의 경우 전체 49개소 중 65.3%인 32개의 호수가 좋은 물에 해당되는 것으로 조사되었다.



부영양화와 빈영양화

‘부영양화’(富營養化, Eutrophication)라는 용어는 ‘영양분이 풍부하게 공급되었다’는 뜻으로 그리스어에서 유래되었다. 강이나 바다 등 수중생태계에 생활하수, 산업폐수, 가축 배설물 등의 오염물질이 유입되면 질소, 인과 같은 영양물질이 많아진다. 이를 ‘부영양화’라고 하는데 이 경우 조류의 광합성량이 급격히 증가하여 성장과 번식이 매우 빠르게 진행되고 대량 증식으로 이어진다.

일반적으로 호수나 연못이 처음 생길 때는 물 속의 영양물질이 충분하지 않고 조류가 잘 성장하지 못하여 빈영양화(貧營養化, Oligotrophy)가 일어난다. 그러나 육지로부터 낙엽, 나뭇가지 등의 유기물이 점차 유입되고, 수중생물의 사체가 분해되는 과정에서 적은 양이지만 무기성 영양물질이 생성된다.

수중생물이 영양물질을 흡수하고 이용하는 순환과정이 이루어져 조류의 증식이 활발해진다. 이로 인해 조류를 먹이로 하는 동물 플랑크톤이나 수중생물이 증가하게 되며, 각종 수중생물의 사체가 바닥에 쌓이게 되면서 점차 부영양화 상태로 변한다.

3. 녹조현상의 발생 모습

계절별·지역별 차이

조류는 질소나 인과 같은 영양물질, 햇빛, 수온 등의 성장조건에 따라 주로 나타나는 종류가 다르다. 녹조현상의 원인이 되는 남조류는 최적 성장 수온이 20~30℃로서 고온에서 최대로 성장하므로, 녹조현상은 주로 여름철에 발생하는 계절적 현상으로 볼 수 있다.

또, 성장조건에 따라 지역이나 지점별로 발생정도에 상당한 차이가 있다. 같은 수계내에서도 질소나 인과 같은 영양물질이 많이 유입된 지역에서 집중적으로 발생한다. 물줄기가 굽이쳐 흐르거나 지류가 모이는 곳과 같이 물의 흐름이 정체된 수역에서도 자주 발생한다.

조류는 광합성을 하기 때문에 햇빛이 잘 드는 표층에 떠 있는데, 과도하게 성장하는 경우에는 표면에 떠를 형성하기도 한다.



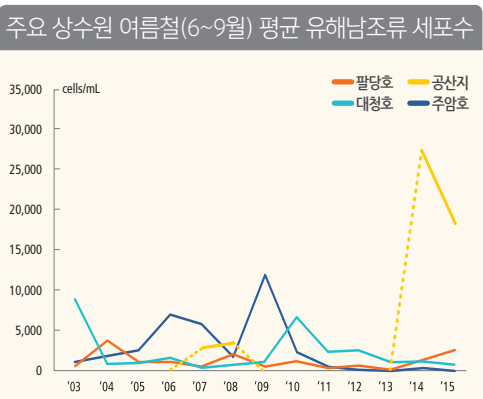
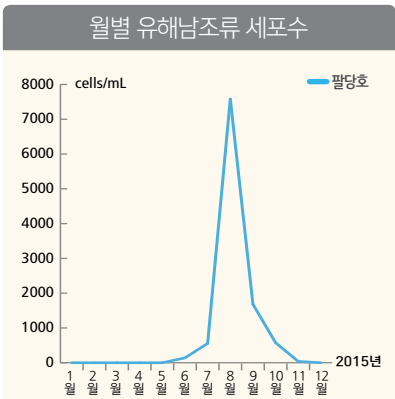
계절별 · 지역별 농도변화

유해남조류 측정자료를 보면 계절과 지역에 따라 큰 편차를 보인다. 여름철인 6월과 9월 사이에 집중적으로 출현하고 봄철과 겨울철에는 거의 나타나지 않는다. 지역별로는 낙동강의 수치가 높다.

팔당호는 강수량이나 수온의 영향으로 주기적으로 조류가 발생한다. 2015년 한강 하류에서는 가뭄으로 유량이 감소한 상황에서 인을 많이 포함한 하수처리장 방류수가 지속적으로 유입되어 예년보다 많은 조류가 발생하였다.

낙동강은 경사가 완만하고 유속이 느리며 주변에 도시지역과 산업단지가 많아 다른 강에 비해 녹조가 발생하기 좋은 조건이다. 공산지에서는 최근 여름철 유해남조류 세포수 평균이 3만 cells/mL 정도로 나타나 다른 지역에 비해 높은 편이다. 최근의 가뭄과 기온상승으로 인한 수온 증가, 보 설치와 준설에 따른 체류시간 증가 등의 영향을 받은 것으로 분석된다.

대청호는 여름철 집중호우 이후에 조류가 급증하는 경향을 보인다. 빗물에 의해 많은 양의 오염물질이 흘러들고, 구불구불한 지형과 느린 유속으로 영양물질이 머무는 시간이 길어지기 때문이다. 주암호 유역에는 대도시나 산업시설이 적고, 농경지나 소규모 축산시설에서 유출되는 오염물질이 많다. 또한, 집중호우나 상류의 방류량이 증가함에 따라 조류가 많이 증식하는 경향이 있다.



※ 공산지의 경우 공사로 인한 정수시설 운영 중단 등으로 일부 기간 측정자료 없음

4. 외국의 녹조현상

외국의 강이나 호수, 해안에서도 조류가 발생한다. 각국 정부는 이를 줄이기 위해 여러 가지 노력을 하고 있다. 그러나 전 세계적으로 인구증가와 산업화에 따라 오염물질의 유입이 증가하고, 기후변화로 수온이 상승함에 따라 녹조현상은 더욱 빈번히 발생할 것으로 전망된다.

미국 이리호 (Lake Erie)

미국 오대호 중 하나인 이리호는 남쪽으로 미국 오하이오 주, 펜실베이니아 주, 뉴욕 주와 서쪽으로는 미시간 주와 닿아 있으며, 인근지역 1,100만명의 상수원으로 이용된다. 주변지역에서는 주로 과수농사와 와인용 포도재배가 이루어지고 있다.

이리호는 1970년대부터 녹조현상과 수질 악화, 수생태계 오염 문제를 겪어 왔다. 이에 이리호로 유입되는 하·폐수의 방류수 중 인의 농도를 1 mg/L로 정하고 엄격히 규제하였다. 그 결과 1990년대 들어 수질이 개선되고 녹조현상이 자취를 감춘 듯 했으나, 2011년과 2014년에 다시 발생하였다.

2014년에 발생한 녹조현상은 농경지의 과도한 비료사용이 원인으로 조사되어, 오하이오 주에서는 비료사용을 제한하는 법률을 만들었다.



중국 태호 (太湖)

중국 정부는 강과 호수, 해안에 대량으로 성장한 조류를 관리하기 위해 여러 수질개선 활동을 추진하고 있다. 각종 오염원을 철저히 관리하고, 강이나 호수 주변에 수생식물을 심는 등 수질을 개선하는 기술개발에 힘쓰고 있다.

중국 강소성과 절강성에 걸쳐있는 태호는 주변 8개 도시의 상수원으로 활용된다. 1980년 이후 태호 주변지역의 급속한 산업화와 도시화로 부영양화와 수생태계의 불균형이 초래되었다. 2000년 이후 심각한 녹조현상으로 인해 수산양식이 중단되고 생활용수 공급에까지 영향을 주기도 하였다.

태호의 수질악화는 주변지역의 하수나 처리되지 않은 공장폐수 등이 흘러들었기 때문인 것으로 분석되었다. 이에 중국 정부는 오염물질을 많이 배출하는 사업장을 폐쇄하거나 이전시키는 등 오염원을 줄이기 위한 강력한 대책을 추진하고 있다.

태호 주변의 소규모 유역을 중심으로 오염원 관리를 집중적으로 실시하고, 2020년까지의 목표수질을 설정하는 등 수질개선을 위해 노력중이다.



일본 비와호 (琵琶湖)

일본에서는 1970년대 강과 호수의 투명도가 낮아지고 색깔이 변하며 정수처리 과정에서 장애가 생기기도 하였다. 먹는 물에서 냄새가 나기도 하고, 어패류가 폐사하는 등 수질오염으로 인한 여러가지 문제가 발생하였다.

일본 최대최고(最大最古)의 호수인 비와호는 나고야, 오사카, 교토 등 1,400만 시민의 식수원으로 이용된다. 이와 동시에 시가현과 교토 일부의 생활하수와 공장폐수를 비롯하여 주변 460개 하천이 흘러드는 곳이기도 하여 수질관리가 어려운 지역이었다.

1977년에 조류의 대량 발생으로 호수가 적갈색으로 변하는 담수적조가 발생하였는데, 그 원인은 주로 생활하수에 포함된 인에 의한 것으로 확인되었다. 이를 해결하기 위해 시민들은 가정의 생활하수를 줄이기 위한 수질정화 운동을 전개하고, 지방정부에서는 하수도 설치를 확대하고 농수로를 개량하였다. 또한, 공장폐수의 방류기준을 다른 지역보다 10배 정도 엄격하게 관리하였다.

수질개선 노력을 지속한 결과, 비와호는 1급수 수질을 달성하였다. 일본은 현재 세계에서 가장 우수한 하수처리기술을 보유하고 있다.

비와호의 현재 모습





녹조는 어떤 영향을 주나?

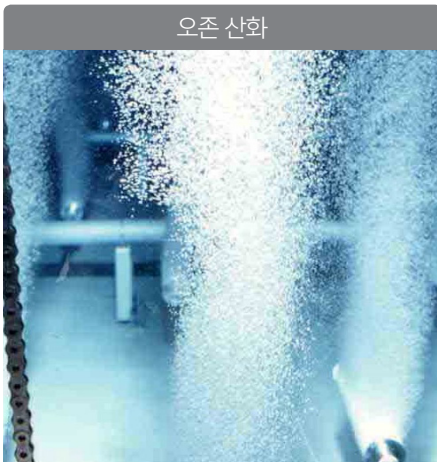
1. 우리 생활에 미치는 영향

수돗물 생산비용 증가

강이나 호수에 녹조현상이 발생하면 수돗물 마시기를 꺼리기 쉽다. 녹조현상을 일으키는 일부 남조류가 미량의 냄새물질과 독소를 생산하는 것으로 알려져 불안감도 생긴다.

물속의 흙냄새와 곰팡이 냄새의 원인물질은 조류의 대사과정에서 부산물로 생성된다. 이 물질들은 인체에 영향을 주지 않으나 익숙하지 않은 맛과 냄새를 유발하여 불쾌감을 준다. 또, 취수된 물속의 조류를 제거하는 과정에서 정수처리비용이 증가하기도 한다.

국내 상수원수에서 남조류 독소물질은 거의 검출되지 않으며, 검출되더라도 평균농도가 $0.5 \mu\text{g/L}$ 수준으로 낮다. 상수원수에서 냄새물질과 독소가 나타나더라도 정수처리 단계에서 99% 이상 제거되어 아직까지 우리나라 수돗물에서 독성물질이 검출된 사례는 없다.



세계보건기구(WHO)는 먹는 물의 조류독소 농도를 1 $\mu\text{g/L}$ 이하로 권고하고 있다. 이는 60kg 성인이 평생 1일 2L를 섭취해도 건강에 유해한 영향이 나타나지 않을 정도로 매우 낮은 수준이다.

먹는물 수질관리 기준(조류독소)						
국가명	WHO	한국	호주	캐나다	덴마크	프랑스
기준치	1.0 $\mu\text{g/L}$	1.0 $\mu\text{g/L}$	1.3 $\mu\text{g/L}$	1.5 $\mu\text{g/L}$	1.0 $\mu\text{g/L}$	1.0 $\mu\text{g/L}$

※ 조류독소 마이크로시스틴(microcystin-LR) 농도, 1 $\mu\text{g/L}$ = 10억분의 1

수영·낚시 등 친수활동 제한

녹조현상이 발생하면 물 색깔이 변하고 탁해지며 수면에 찌꺼기가 생기고 악취가 발생해 불쾌감을 줄 수 있다. 따라서 수영, 낚시, 수상스키 등 수상 여가 활동을 즐기기에 적합하지 않은 상태가 된다.

녹조현상을 일으키는 일부 남조류는 미량의 냄새물질과 독소를 생산하여 심미적 또는 건강상 해를 끼칠 우려가 있으므로, 신체적인 접촉이나 어패류의 섭취를 자제하는 것이 좋다.



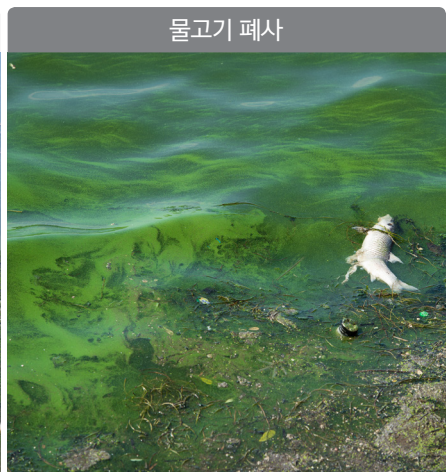
2. 생태계에 미치는 영향

조류는 수생태계를 유지하는데 필수적인 역할을 하는 자연의 구성원이다. 하지만, 과다하게 증식되면 수생태계에 나쁜 영향을 미친다.

조류가 대량으로 증식하려면 질소나 인과 같은 영양물질이 풍부한 환경이 필요하다. 이러한 환경에서 조류가 번성하면 물 색깔이 변하고 탁해진다. 또, 표면을 뒤덮은 조류가 햇빛을 차단하여 깊은 물속에 사는 수생식물은 광합성을 방해받게 된다. 광합성을 하지 못하는 수생식물이 호흡을 하면 물속의 산소 소비량이 많아져 동식물이 산소부족으로 폐사하기도 한다.

그러므로, 녹조가 발생한 곳에서 물고기가 폐사한 경우는 수중의 오염물질 증가와 산소부족 등이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 볼 수 있다.

폐사한 동식물들의 사체가 부패할 때 더 많은 산소가 소비된다. 산소가 부족한 환경에서 유기물이 부패할 경우 악취가 발생하고, 수생생물간 먹이와 공간에 대한 경쟁이 심화되어 생태계의 균형이 깨지기 쉽다.



3. 농작물과 수산업에 미치는 영향

녹조현상에 의해 농작물에 영향을 주거나, 내수면 양식장에서 피해가 발생한 사례는 현재까지 알려진 바가 없다.

농업용수 이용과 농작물

조류는 질소와 인을 영양분으로 섭취하고 성장하기 때문에 조류가 대발생한 물 속에는 질소나 인이 많이 포함되어 있기 마련이다. 질소와 인은 비료의 주요 성분으로 조류가 발생한 물을 논·밭 용수로 사용하는 경우 비료사용량을 줄이는 효과가 있다.

다만, 유해남조류가 대량으로 발생한 물을 농업용수로 사용하는 경우에는 농작물에 영향을 줄 수도 있다. 그러나 용수의 이송과 저류 과정에서 독성물질이 분해될 가능성이 매우 높고, 식물에 흡수되기도 어려워 농작물에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 보인다. 이에 대한 보다 과학적이고 구체적인 연구가 진행중이다.

수산양식업

바다에 적조현상이 발생하는 경우에는 물속의 산소가 부족해지고 조류에서 발생한 점액물질이 어패류 아가미의 기능을 떨어뜨린다. 이로 인해 어패류가 폐사에 이르게 되며, 양식장에 막대한 피해를 끼친다. 내수면 양식업의 경우에는 상수원 주변이나 주요 수역에 입지를 제한하는 등의 수질개선 대책을 추진하고 있어 피해사례가 알려지지 않고 있다.





녹조, 할 말 있어요!

1. 조류는 수생태계에 꼭 필요해요

식물은 엽록소를 가지고 있어 햇빛과 물, 이산화탄소와 영양분 등을 이용해 잎, 줄기, 열매를 만들어 낸다. 이 과정에서 모든 생명체에 꼭 필요한 산소도 만들어 진다. 식물의 잎과 열매는 동물들의 에너지 공급원이 되어 생명을 이어갈 수 있도록 해준다.

물속에서는 조류가 식물의 역할을 한다. 엽록소를 이용해 광합성을 하고 유기물을 만들어 물속의 다른 생물들에게 에너지를 공급한다. 조류는 물벼룩과 같은 작은 동물의 먹이가 되고, 물벼룩은 붕어와 같은 물고기의 먹이가 된다.

이처럼 조류는 물속 먹이사슬에서 생산자 역할을 하므로 수생태계에서 없어서는 안 될 구성원이다. 물고기, 조개, 해조류와 같이 우리가 물에서 얻는 수산자원들은 조류의 생명활동에서 생기는 것들이다. 조류가 한정된 공간에 너무 많이 있으면 문제가 되지만 너무 적어도 수생태계의 균형이 깨지게 되므로 적절한 양이 유지되도록 관리하여야 한다.



2. 큰빛이끼벌레는 독성이 없어요

2014년 여름 4대강 유역에서 큰빛이끼벌레가 자주 발견되었다.

큰빛이끼벌레는 무척추동물이자 태형동물의 일종으로 1mm 정도 크기의 각 개체들이 젤라틴성 물질을 분비하여 덩어리를 형성한다. 이렇게 형성된 덩어리는 수중의 바위나 수초, 나뭇가지 등의 표면에 달라붙어 살아간다.

2014년 환경부의 분포실태 조사결과에 따르면, 큰빛이끼벌레는 4대강 본류와 지류, 저수지 등 다양한 수역(Ib에서 IV등급 수질)에 서식한다. 특히, 물의 흐름이 느리고 주변에 부착하기 쉬운 나뭇가지나 구조물 등이 있는 곳에서 번성한다. 강우에 매우 약하여 40~50 mm/일 이상의 강우 시에 70~90%가 떠내려가며, 약 15°C 이하의 수온에서는 약 1개월 정도에 걸쳐 천천히 사멸하는 것으로 조사되었다.

큰빛이끼벌레가 물고기 등 수중생물에 미치는 영향에 대해 현장실험과 실험실 실험을 병행한 결과, 유해성이나 생태독성은 없는 것으로 확인되었다. 또한, 녹조 발생과는 별개로 여러 지역에서 서식하는 것으로 알려져 있다. 태형동물 분야의 세계적인 권위자인 티모시 우드 박사는 큰빛이끼벌레는 수질이나 생태계에 영향이 미미하여 크게 문제가 되지 않는다고 밝혔다.

큰빛이끼벌레 서식 모습





태형동물과 큰빛이끼벌레

태형동물(栉形動物, Bryozoa, Moss animal)

태형동물 또는 이끼벌레류는 촉수를 가지며 군체를 형성하고 고착생활을 하는 생물종의 한 종류이다. 전 세계적으로 약 3,500~5,000여종이 분포하는 것으로 알려져 있는데, 대부분 바다에서 서식하고 약 100여종만이 민물에서 서식하는 것으로 밝혀진 바 있다.

우리나라 민물에 서식하는 태형동물은 1928년 최초로 보고된 1종과 1941년에 확인된 9종, 그리고 최근에 발견된 1종을 포함하여 총 11종이 분포하는 것으로 보고되어 있다.

큰빛이끼벌레

큰빛이끼벌레는 5~6월경 수온이 16~20℃로 상승했을 때 휴면아가 발아한다. 여러 개체가 합쳐지면서 젤리와 같은 물질이 내부에 쌓이고 둥근 럭비공 형태로 성장한다. 군체는 99% 이상이 수분으로 구성되어 있으며, 0.3%만이 유기물로 구성되어 있다.

박테리아, 담수조류, 동물플랑크톤, 원생동물 등을 먹고 생활한다. 편형동물, 지렁이류, 달팽이류, 갈따구류 등 여러 무척추동물이나 어류의 먹이가 된다.



큰빛이끼벌레 개체



큰빛이끼벌레 휴면아

* 사진제공 : 영산강물환경연구소

3. 칠곡보 강준치는 기생충 감염으로 죽었어요

2016년 2월 칠곡보 하류 구간에서 폐사한 강준치 500여 마리가 발견되었다. 폐사한 강준치는 대부분 배 부위나 아가미 뒤에 구멍이 나 있거나, 뱃속에 기생충이 들어차 있는 채로 발견되었다.

2016년 2월말 대구지방환경청에서는 폐사원인을 밝히기 위한 전문가회의를 개최하였다. 민간 전문가들은 폐사의 직접적인 원인이 뱃속의 리굴라 촌충 (*Ligula intestinalis*)에 의한 장기 압박이나 손상이라고 결론을 내렸다.

리굴라 촌충은 강준치와 같은 잉어과 어류를 중간숙주로 삼아 기생한다. 국내에서 어류의 리굴라 촌충 감염사례는 수차례 발견되었으나, 포유류나 사람을 숙주로 하지 않기 때문에 인체에는 감염되지 않는 것으로 확인되었다.

어류 질병과 독성물질에 대한 검사결과, 특이사항이 없는 것으로 나타났다. 수질분석 결과도 전년도와 사고 발생 전·후가 모두 유사하게 나타나 수질의 영향은 아닌 것으로 보고 있다.

강준치 폐사 현황



강준치의 생태 특성

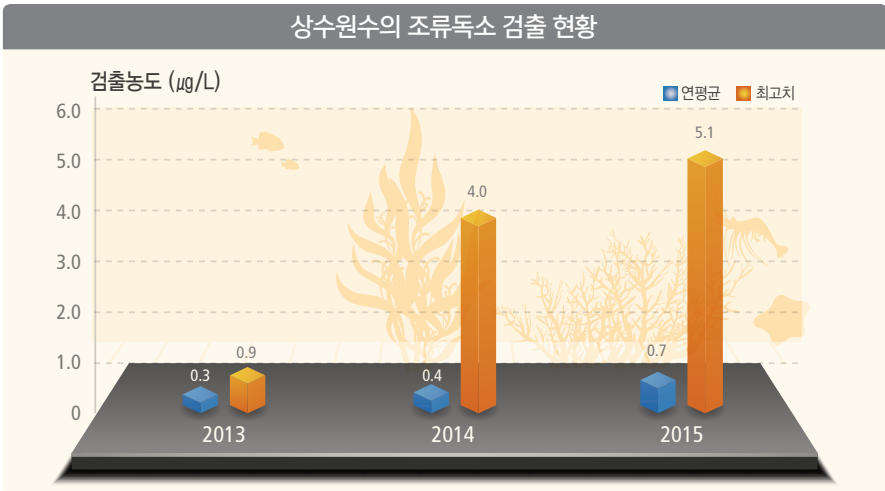
외형·성장특성	잉어목 잉어과, 몸은 길고 옆으로 납작하며, 입은 위쪽을 향함, 크기는 40~50cm 정도
서식처	유속이 완만하고 수량이 많은 강 하류의 평탄한 곳
먹이습성	치어, 갑각류, 수서곤충, 날벌레 등
활동영역	표층 부근에서 무리지어 이동하거나 먹이활동
산란습성	5~7월, 수심 1m 이내의 수초가 자라는 곳

4. 조류 속 독소는 안심해요

우리나라에서 녹조현상을 일으키는 유해남조류는 주로 마이크로시스티스이며, 이는 독성물질인 마이크로시스틴(Microcystin-LR)을 생성한다. 마이크로시스틴은 먹는물 수질 감시항목의 하나로, 주기적인 검사와 정수처리를 거쳐 먹는물 수질기준($1 \mu\text{g/L}$) 이하가 되도록 관리하고 있다.

2013~2015년 전국 주요 정수장 원수에서 검출된 마이크로시스틴의 평균농도는 $0.53 \mu\text{g/L}$ 이고 최고치는 $5.1 \mu\text{g/L}$ 이다. 현재까지 정수처리를 거친 물에서 조류독소가 검출된 사례는 없다.

조류독소는 분말활성탄과 소독처리가 포함된 일반적인 정수처리 과정에서도 99% 이상 제거될 수 있다.



※ 조류독소는 남조류 세포수가 1,000 cells/mL 이상일 때 검사를 실시하며, 연평균은 조류독소가 불검출된 경우를 제외한 수치임



녹조 대응, 이렇게 해요!

1. 녹조 발생과정을 과학적으로 밝혀요

생태계는 다양한 생물종과 무생물 환경이 복합적으로 작용하기 때문에 자연상태에서 조류의 발생양상을 예측하거나 정확한 발생 과정을 규명하는 것은 상당히 어려운 일이다. 하지만, 녹조현상에 대한 과학적이고 근원적인 관리대책을 마련하기 위해서는 조류의 발생, 성장, 사멸 과정이 어떻게 전개되는지 밝힐 필요가 있다.

환경부는 남조류의 증식에 영향을 미치는 인자들의 상호관계를 과학적으로 규명하기 위해 4대강 수계에서 조류가 발생하는 주요 구간에 현장 실험시설인 메조코즘(Mesocosm)²⁾을 설치하였다. 이 시설은 실제 현장의 환경과 유사한 조건에서 조류의 발생 과정을 규명하는 연구에 활용된다.

현재와 같이 강이나 호수의 특정 지점에서 측정된 수질 정보로는 수역의 전반적인 조류 발생현황을 파악하는데 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 항공기에서 촬영한 초분광영상(Hyperspectral Imagery)을 활용하여 전 수체의 조류 분포 상황과 이동특성 등을 파악할 수 있는 면(面)단위 원격모니터링 기법도 개발하고 있다.



2) 하천의 일부를 차단하여 하천환경을 유지할 수 있도록 만든 현장 시설로 인위적인 조절을 통해 녹조 발생 메커니즘을 이해하는 실험시설

2. 녹조 발생 원인별로 오염물질을 줄여요

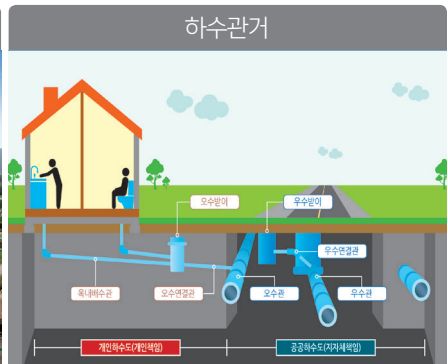
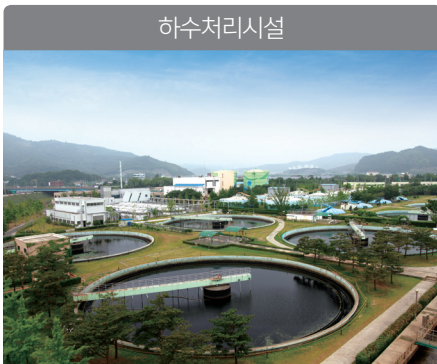
조류가 강이나 호수에 대량으로 발생한 이후에 이를 제거하려면 많은 비용이 들고 효율성이 떨어진다. 따라서, 오염물질의 유입을 최소화할 수 있는 예방조치가 매우 중요하다. 오염물질을 줄이기 위해서는 가정하수나 공장폐수를 깨끗하게 처리하고, 농경지나 도시지역에서 발생한 오염물질이 빗물과 함께 강으로 흘러드는 것을 줄여야 한다.

오염물질 처리시설 설치

환경부에서는 하·폐수처리시설, 가축분뇨처리시설과 같은 공공처리시설을 설치하고 배수관로를 정비해 오고 있다. 이를 통해 오염물질이 적정한 처리를 거쳐 강이나 호수로 배출되도록 하고 있다.

공공처리시설에서는 가정이나 공장 등에서 배출되는 생활하수와 산업폐수를 모아서 처리한다. 주로 조류의 먹이가 되는 질소와 인이 포함된 오염물질을 처리하는데, 방류수에 대해 엄격한 수질기준을 적용하여 부영양화를 막고 수질을 개선하게 된다.

실험에 의하면 조류가 가장 잘 성장할 수 있는 인의 농도는 0.5~1 mg/L로 알려져 있다. 녹조현상의 주요 원인물질인 인을 줄이기 위해 2012년에 공공처리시설 방류수 수질기준을 최대 10배까지 강화하여 0.2 mg/L 이하로 설정하였다.



농경지 오염물질과 가축 배설물 관리

축산폐수나 퇴비, 비료 중에 포함된 질소와 인은 비가 올 때 강이나 호수로 흘러들어 녹조현상의 원인이 된다. 이러한 오염물질은 배출지점이 일정하지 않고, 강우량에 따라 배출량이 크게 달라지므로 빗물에 씻겨 내려가기 전에 철저히 관리할 필요가 있다.

환경부는 가축분뇨 공공처리시설을 설치하여 농가에서 발생한 가축분뇨를 처리하고 경제적으로 자원화 하는 방법을 지원하고 있다. 또한, 농경지의 오염물질이 빗물을 타고 주변으로 유출되는 것을 줄이기 위해 고랑의 방향 또는 경사도를 조절하거나 옹벽과 식생대 등을 조성하도록 권장한다.



미국, 유럽 등 주요 선진국에서는 가축 배설물을 자원화하는 정책과 함께 가축분뇨의 이동거리 제한을 두어 발생지역 내에서 처리되도록 유도하고 있다. 또, 미국에서는 강우가 예상되는 시각에서 24시간 이내에는 비료나 거름 사용을 제한하기도 한다.

도시지역 빗물 유출 줄이기

도시화로 인해 아스팔트, 콘크리트 등과 같이 물이 통과하기 어려운 면적이 늘어나면 빗물이 지하로 스며들지 못하여 일차적인 정화과정을 거치지 못하게

된다. 이로 인해, 도심지역의 다양한 오염물질과 각종 쓰레기가 포함된 빗물이 한꺼번에 강으로 흘러들어 수질을 악화시키게 된다.

자연적인 물 순환 기능을 최대한 유지하면서 빗물관리가 가능하도록 도시계획 단계에서부터 저영향개발(LID : Low Impact Development) 기법을 적용하는 것이 바람직하다.

저영향개발에는 빗물정원, 옥상 녹화, 식생수로, 투수보도블럭, 식생저류지 등 다양한 기법이 있다. 도로나 주택, 상업용지 등 토지이용 목적별로 도시의 물 순환 흐름을 고려하여 적절한 기법을 적용할 수 있다.

도시주민의 생활 속 실천도 매우 중요하다. 주택의 옥상을 녹화하거나 화단을 설치하여 빗물이 침투할 수 있는 면적을 확대할 수 있다. 비가 오기 전에 집과 상가 주변을 청소하여 오염물질이 빗물과 함께 강으로 흘러들지 않도록 할 수 있다.



생활 속 오염물질 줄이기

일상생활 속에서 오염물질을 줄이는 생활습관을 실천하여 수질오염을 막고 녹조현상을 예방할 수 있다.

가정에서 세탁이나 설거지를 할 때 적절한 양의 합성세제를 사용한다. 식기의 기름은 미리 닦아 따로 버리고 음식물 쓰레기는 분리 배출하여 하수구를 거쳐 강이나 호수로 흘러 들어가는 오염물질의 양을 줄일 수 있다. 여름철 캠핑이나 낚시활동을 하는 경우에는 생활쓰레기와 음식물 찌꺼기, 낚시용 떡밥 등은 지정된 곳에 버리거나 되가져와야 하며, 물가에서는 세차를 하지 않아야 한다.

농가에서는 농경지에 적절한 양의 퇴비나 비료를 사용하는 것이 중요하다. 비가 오기 전에는 퇴비나 비료 사용을 자제하여 오염물질이 빗물과 함께 주변 하천으로 흘러들어가지 않도록 주의한다. 축산농가에서 퇴비를 보관할 때에는 덮개를 덮어 비가 올 때 씻겨 내려가지 않도록 한다. 정화조와 가축분뇨처리시설을 수시로 점검하여 제대로 처리되지 않은 생활하수나 축산폐수가 배출되지 않도록 관리해야 한다.

가정에서의 친환경 생활습관



세제사용 줄이기!

환경마크인증 획득한 친환경제품 사용



음식물쓰레기 줄이기!

별도로 분리배출,
기름기 등은 닦아서 배출



비오기전 퇴비사용 자제!

축산농가에서는 퇴비(비료)
사용을 자제



오폐수 하천에 유입금지!

오폐수가 하천에 유입되지
않게 관리

3. 정체된 물을 순환시켜요

규모가 큰 강이나 호수에 조류가 대량으로 발생했을 때에는 댐이나 보, 저수지 등에 확보된 물을 방류(Flushing)하여 효과적으로 녹조현상을 줄일 수 있다. 이 방법은 정체된 물을 교란시키고 조류를 하류로 씻겨 보내는 효과가 있다.

댐, 보, 저수지의 관리업무는 여러 기관에 나뉘어져 있어 수질개선을 위해 수량을 활용하려면 기관 간의 협력이 필수적이다. 이를 위해 2014년 환경부, 국토교통부, 농림축산식품부가 합동으로 「수질·녹조 대비 댐·보·저수지 운영기준」을 마련하여 운영해 오고 있다. 운영기준에 따라, 수질이 일정 수준으로 되거나 녹조가 대량으로 발생할 경우, 환경부에서는 방류를 요청한다. 관리기관에서는 이용가능한 수량과 기상상황 등을 고려하여 방류를 결정한다.

확보된 수량에 여유가 있을 때 방류를 할 수 있어 가뭄과 동시에 녹조현상이 발생하는 때에는 활용이 어려울 수 있다. 따라서 다양한 방법으로 여름철 현장에서 직접 방류를 실시해보고, 댐·보·저수지를 가장 효과적으로 연계하여 운영하는 방안을 찾을 예정이다.



4. 녹조가 생기면 조류경보를 발령해요

조류경보 발령

조류경보제는 조류가 발생했을 때에도 안전한 수돗물을 공급하고 국민들의 친수활동을 보호하기 위해 조류발생 상황에 따라 경보를 발령하는 제도이다.

조류경보제는 상수원이나 친수활동으로 이용되는 강과 호수를 대상으로 한다. 유해남조류 세포수를 매주 모니터링하여 그 결과가 2회 연속으로 단계별 기준을 초과할 때 발령하게 된다. 상수원 구간에서는 ‘관심 → 경계 → 조류대발생’의 3단계로, 친수활동 구간에서는 ‘관심 → 경계’의 2단계로 발령한다.

경보가 발령되면 취·정수장과 강이나 호수를 관리하는 기관에서는 정수처리를 강화하고 조류를 제거한다. 또한, 오염물질을 배출하는 사업장을 단속하고, 수질 상황에 대한 모니터링을 강화하는 등 조류경보 단계별로 적절히 대응하고 있다.





상수원 구간 조류경보 발령시 기관별 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
관심	한강·낙동강·금강·영산강 (이하 '4대강') 물환경연구소장	주 1회 이상 시료 채취·분석(남조류 세포수, 엽록소-a) 하고, 결과를 발령기관에 통보
	수면관리자	취수구에 차단막 설치 등 조류 제거 조치
	취수장·정수장 관리자	정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리)
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	관심경보 발령, 주변오염원 지도·단속
	홍수통제소장, 한국수자원공사 사장	댐·보 여유량 확인·통보
	한국환경공단이사장	환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 실시, 조류 예방·제거 지원
경계	4대강 물환경연구소장	주 2회 이상 시료 채취·분석(남조류 세포수, 클로로필-a, 냄새물질, 독소)하고, 결과를 발령기관에 통보
	수면관리자	취수구에 차단막 설치 등 조류 제거 조치
	취수장·정수장 관리자	조류증식 수심 이하로 취수구 이동, 정수처리 강화 (활성탄처리, 오존처리), 정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	경계경보 발령 및 홍보, 주변오염원 단속 강화, 친수활동·어패류 식용·가축방목 등 자제 권고 및 공지
	홍수통제소장, 한국수자원공사사장	기상상황, 하천수문 등을 고려한 방류량 산정
	한국환경공단이사장	환경기초시설 및 폐수배출사업장 합동점검 지원, 조류 제거 지원, 환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 강화
조류 대 발생	4대강 물환경연구소장	주 2회 이상 시료 채취·분석(남조류 세포수, 엽록소-a, 냄새물질, 독소)하고, 결과를 발령기관에 통보
	수면관리자	취수구에 차단막 설치, 황포 등 조류제거물질 살포, 조류 제거선 운영 등 조류 제거 조치
	취수장·정수장 관리자	조류증식 수심 이하로 취수구 이동, 정수처리 강화 (활성탄처리, 오존처리), 정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	경계경보 발령 및 홍보, 주변오염원 단속 강화, 친수활동·어패류 식용·가축방목 등 자제 권고 및 공지

단계	관계 기관	조치사항
	홍수통제소장, 한국수자원공사사장	댐, 보 방류량 조정
	한국환경공단이사장	환경기초시설 및 폐수배출사업장 합동점검 지원, 조류 제거 지원, 환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 강화
해제	4대강 물환경연구소장	시험분석 결과를 발령기관에 통보
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	각종 경보 해제 및 대중매체 등을 통한 홍보



친수활동 구간 조류경보 발령시 기관별 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
관심	4대강 물환경연구소장	주 1회 이상 시료 채취·분석(남조류 세포수, 엽록소-a, 냄새물질, 독소)하고, 결과를 발령기관에 통보
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	관심경보 발령, 친수활동·어패류 식용·가축방목 등 자제 권고 및 공지, 필요시 조류제거물질 살포 등 조류 제거
경계	4대강 물환경연구소장	주 2회 이상 시료 채취·분석(남조류 세포수, 엽록소-a, 냄새물질, 독소)하고, 결과를 발령기관에 통보
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	경계경보 발령, 친수활동·어패류 식용·가축방목 등 자제 권고 및 공지, 필요시 조류제거물질 살포 등 조류 제거
해제	4대강 물환경연구소장	시험분석 결과를 발령기관에 통보
	유역·지방환경청장 또는 시·도지사	각종 경보 해제 및 대중매체 등을 통한 홍보



조류경보 발령 시 행동요령

조류경보가 ‘경계’ 또는 ‘조류대발생’ 단계로 발령되면 유역·지방환경청장과 자치단체장은 언론보도를 통해 경보발령 사실을 국민들에게 알리게 된다. 이때 낚시·수영 등 친수활동과 어패류 어획·식용에 대한 주의사항도 함께 알려야 한다.

조류가 대량으로 발생하면 물 색깔이 변하고 탁해지며 악취가 발생하여 수상 여가활동을 하기에 적합하지 않은 상태가 되므로, 친수활동을 하지 않는 것이 좋다.

조류가 대량으로 발생한 물이 피부에 닿았다면 깨끗한 물로 씻어야 한다. 애완동물이나 가축도 조류가 대량으로 발생한 물에 들어가거나 그러한 물을 마시지 않도록 하여야 한다.

수중으로 배출된 조류독소는 어패류에 섭취된 후 대부분 분해되지만 미량이 남아있을 가능성이 있으므로, 조류가 대량으로 발생한 곳에서 잡은 어패류는 먹지 않는 것이 좋다.

수상레저, 수영, 낚시 자제



조류발생의 확인

조류가 일정 수준 이상 발생하면 관할 유역·지방환경청장과 자치단체장은 조류정보를 발령하고 언론을 통해 알리게 되므로, 언론보도에 관심을 가지고 있어야 한다.

환경부에서는 국민들이 녹조에 대한 정보를 쉽게 알 수 있도록 조류 측정자료와 녹조현상에 대한 기본정보를 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)을 통해 공개하고 있다. 또, 물환경에 대한 전문정보, 각종 수질측정망 자료 등도 제공하고 있다.

물환경정보시스템 녹조 자료 조회

물환경정보시스템
(water.nier.go.kr)

조류정보방

측정자료조회

‘수돗물 안심확인제’로 안전한 수돗물 마시기

환경부는 지방자치단체와 함께 ‘우리집 수돗물 안심확인제’를 운영하고 있다. 수돗물 수질에 대해 갖고 있는 막연한 불안감을 해소하기 위해 국민들에게 수질검사 서비스를 제공하는 제도이다. 온라인 홈페이지와 전화를 통해 신청이 가능하며 ‘물사랑홈페이지’(<http://www.ilovewater.or.kr>)에서 신청하거나, 각 지역의 상수도 사업본부나 지자체에 전화로 문의하면 된다.

5. 수돗물을 철저히 관리해요

상수원으로 이용되는 강이나 호수에서 조류가 증식하는 경우에는, 조류가 취수구를 통해 정수장으로 흘러 들어갈 수 있다. 이와 같이 유입된 경우라 하더라도 고도정수처리를 거치거나 일반 정수과정에 활성탄 여과 공정을 추가하면 조류의 냄새와 독성물질을 완벽하게 제거할 수 있다.

취수장 유입 방지

수면에 떠다니는 조류가 물의 흐름을 타고 취수장으로 흘러 들어갈 수 있다. 조류의 유입으로 상수원수가 오염되는 것을 방지하기 위해 취수장 주변에 조류차단막을 설치한다.

녹조 띠가 형성되는 등 녹조현상이 심한 구간에는 조류차단막을 설치하여 하류나 주변지역으로 확산을 방지하기도 한다.

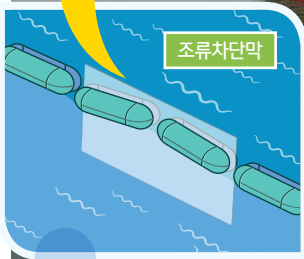
선택 취수

선택취수는 높이가 다른 여러 개의 취수구를 가진 취수탑을 이용하여 환경변화에 따라 적절한 취수 수심을 선택하여 취수하는 방법이다.

녹조현상이 발생하였거나 수질오염사고에 의해 수면에 오염물질이 떠 있는 경우에는 표면의 물을 취수하는 것보다 수심 5~6 m에 이르는 깊은 곳에서 취수하는 것이 좋다. 깊은 수심에서는 조류나 오염물질이 유입될 가능성이 낮기 때문이다.

다양한 위치에 취수구를 설치하여 수질이나 환경의 변화, 취수량의 변화에 따라 취수구를 탄력적으로 운영하도록 하고 있다.

조류차단막과 선택취수탑 구조



표준정수처리

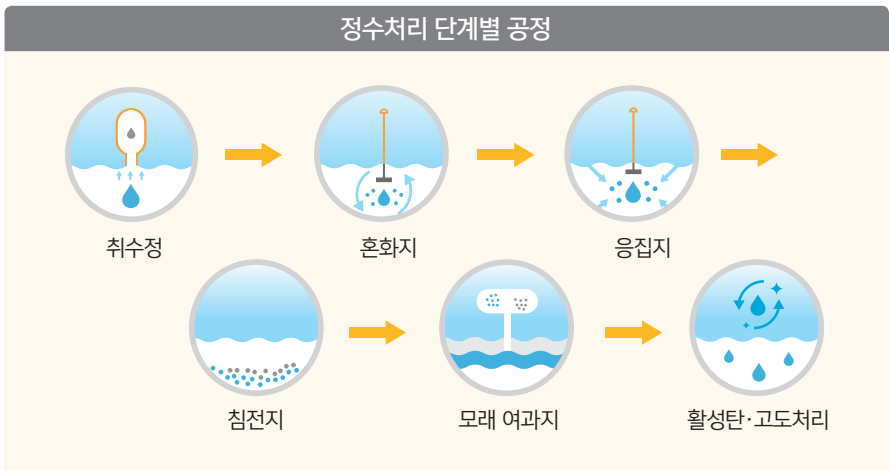
표준정수처리는 응집, 침전, 여과 등과 같이 세계적으로 널리 사용되는 정수처리 공정을 활용하여 물속의 오염물질을 제거하는 방법이다.

응집제를 사용하여 조류나 오염물질을 작은 덩어리로 만들면 그 무게에 의해 바닥으로 가라앉는다. 이렇게 침전된 오염물질들은 물리적 방법으로 쉽게 제거할 수 있다.

조류가 정수장에 유입되었을 때에는 분말활성탄의 투입량을 늘리고, 여과효율을 높혀 안전한 수돗물을 생산하게 된다. 조류가 심각하게 발생할 때 생성될 수 있는 조류독소는 분말활성탄 투입과 소독처리 과정에서 충분히 제거할 수 있다.

고도정수처리

고도정수처리는 오존산화, 입상활성탄 흡착과 같은 추가적인 공정을 이용해 오염물질을 더욱 철저히 제거하는 방법이다. 고도정수처리를 거치면 조류의 독소물질뿐만 아니라 미량의 냄새물질까지도 제거할 수 있다.

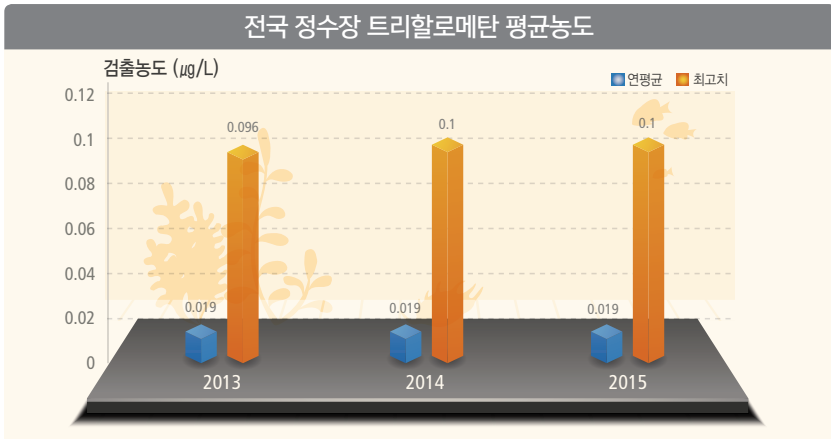


염소소독 부산물 관리

먹는 물의 정수처리에 사용되는 소독제와 물속의 유기물이 반응하면 소독부산물³⁾이 생성될 수 있다. 염소소독으로 인해 생성되는 물질이 총트리할로메탄³⁾(THMs :Trihalomethanes)이다.

2013~2015년 전국 주요 정수장의 총트리할로메탄(THMs) 평균 농도는 0.019 mg/L로 먹는물 수질기준(0.1 mg/L)의 1/5 수준이다. 그러나 수질기준에 근접하는 경우가 간혹 발생하므로 모니터링을 강화하면서 철저히 대응하고 있다.

총트리할로메탄의 양은 유기물의 양과 소독에 사용된 염소의 양에 따라 결정되므로, 유기물을 많이 제거할수록 총트리할로메탄도 적게 생성된다. 정수처리 과정에 중염소처리, 전오존처리, 활성탄 흡착 등의 과정을 도입하면 유기물의 제거효율이 높아진다. 고도정수처리를 거치는 과정에서도 총트리할로메탄은 충분히 제거된다.



3) 트리할로메탄은 메탄(CH_4)의 수소원자 3개가 염소, 브롬, 요오드 등 할로겐 원소로 치환된 물질이다. 수돗물 염소소독에 의해 클로로포름, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 브로모포름이 주로 생성되며, 이 4가지 물질을 총칭하여 총트리할로메탄이라 한다.



소독부산물과 총트리할로메탄(THMs)

염소는 1900년대부터 이질, 콜레라, 장티푸스 등 수인성 전염병을 막기 위해 박테리아나 바이러스를 처리하는 소독제로 사용되었다.

염소, 클로라민, 오존, 브롬과 같은 소독제는 원수에 존재하는 유기물과 반응하여 또 다른 물질을 만들어 낸다. 즉, 소독부산물은 소독제가 물속의 유기물인 유기탄소와 반응하여 생성되는 것이다. 대표적인 소독부산물에는 총트리할로메탄(THMs)과 할로아세트산(HAAs)이 있다.

아직까지 소독부산물이 건강에 미치는 영향은 명확하지 않다. 어떤 연구결과에서는 건강에 미치는 영향이 없다고 하고, 또 다른 연구결과에서는 암에 걸릴 가능성이 약간 높아진다고 보고하고 있다. 소독부산물에 의해 급성 질병은 일어나지 않는다.

총트리할로메탄은 휘발성이 강하기 때문에 냉장고에 넣기 전에 실온에서 뚜껑을 열어 놓은 채 몇 시간 동안 놓아두거나 끓이면 농도가 급격하게 줄어든다. 실험결과에 따르면 수돗물을 5분간 끓일 경우 총트리할로메탄의 91.3%가 제거되는 것으로 나타났다. 따라서, 집에서도 얼마든지 제거할 수 있는 물질이다.

총트리할로메탄(THMs) 먹는물 수질기준 비교

구분	한국	미국	일본	영국	캐나다
기준(mg/L)	0.1	0.08	0.1	0.1	0.1



부록



1. 녹조 바로알기 Q&A
2. 외국의 조류관리기준 현황
3. 녹조저감기술 소개



Q.1

녹조는 왜 발생하나요?

Q.2

녹조는 우리나라에서만 생기나요?

Q.3

녹조는 모두 나쁘고 해로운가요?

Q.4

깨끗한 물에서는 녹조가 안생기나요?

Q.5

보를 설치해 물의 흐름이 느려져 녹조현상이 생긴다는게 맞나요?

Q.6

녹조가 생겼는데 왜 빨리 제거하지 않나요?

Q.7

녹조가 낀 물에서 물고기가 살 수 있나요?

Q.8

녹조가 생겼을 때 수돗물을 마셔도 괜찮은가요?

Q.9

녹조가 낀 물에서 잡은 물고기와 조개를 먹어도 되나요?

A.1

녹조현상은 여러 가지 요인에 의해 발생하지만 대표적으로 질소나 인과 같은 영양물질의 유입과 수온상승, 일사량 증가, 정체된 물의 흐름이 주된 요인입니다. 오염물질이 강이나 호수로 흘러 들어가면 물 속에는 질소와 인 등의 영양물질이 풍부해져 부영양화가 일어나는데, 조류가 이러한 영양물질을 이용하여 대량으로 증식하게 되면 녹조현상이 발생합니다.

A.2

미국, 일본, 중국, 호주 등 세계 여러 나라에서도 강이나 호수에 녹조현상이 발생합니다. 전 세계적으로 인구증가와 산업화에 따른 오염물질 증가와 기후변화에 따른 수온상승으로 녹조현상이 더욱 빈번하게 발생할 것으로 전망됩니다.

A.3

녹조현상은 조류가 대량으로 증식했을 때 발생합니다. 조류는 광합성을 하여 수중에 산소와 에너지를 공급하므로 수생태계에 꼭 필요한 생명체입니다. 그러나, 조류가 과다하게 증식하는 경우에는, 수생식물의 광합성을 방해하고 산소부족을 일으키는 등 수생태계에 나쁜 영향을 줄 수 있습니다. 그러므로, 조류가 적정수준이 되도록 관리하는 것이 중요합니다.

A.4

깨끗한 물에서는 영양물질이 매우 적기 때문에 조류가 대량으로 증식하기는 어렵습니다. 그러나 낙엽, 나뭇가지와 같은 유기물이 유입되거나, 수중생물들이 죽어 분해되는 과정에서 영양물질이 생기며, 이를 흡수·이용하는 과정이 장시간에 걸쳐 진행될 경우 녹조가 발생하기도 합니다. 녹조는 자연생태계에서 영양물질의 순환에 따라 자연적으로 발생할 수 있는 현상입니다.

A.5

녹조현상은 여러 가지 원인에 의하여 발생합니다. 조류가 성장하는데 필요한 질소, 인 등의 영양물질이 많고, 수온이 25℃ 이상으로 높으며, 물 흐름이 느려진 상태라면 남조류가 대량으로 증식하여 녹조가 발생합니다. 보를 설치하여 물의 흐름이 느려지는 것도 조류의 증식에 영향을 주는 원인 중의 하나라고 할 수 있습니다.



A.6

녹조는 영양물질, 일사량, 수온, 물의 정체 등 성장에 적합한 여건이 갖추어지면 발생하였다가, 한 가지 여건이라도 맞지 않으면 자연적으로 소멸됩니다. 살조제나 응집제 등 조류제거물질을 무분별하게 살포할 경우에는 수중의 산소가 고갈되거나 유해물질이 침전되어 다시 용출되는 등 먹는 물과 수생태계에 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로, 미리 충분한 검토를 거쳐 사용하는 것이 바람직합니다.

A.7

녹조가 낀 물에서도 물고기는 살 수 있습니다. 물고기가 죽는 이유는 오염물질의 급격한 증가로 조류가 번성하기 좋은 부영양화 된 여건이 조성되고, 조류의 과다증식으로 인한 산소부족 때문입니다. 대부분의 물고기는 이러한 극단적 환경이 조성된 지역을 벗어날 수 있으나 일부 물고기는 그렇지 못한 경우가 있습니다.

A.8

강이나 호수에 녹조가 발생하면 수돗물도 독성이나 냄새물질에 오염된다고 생각할 수 있으나, 여러 단계의 정수처리 공정을 거치고 나면 독성이나 냄새물질이 완벽하게 제거되므로 수돗물을 안심하고 마셔도 됩니다.

A.9

남조류의 독성물질은 물고기와 같은 수중생물의 체내에 들어가면 분해가 되기 때문에 생물농축이 일어나지 않는 것으로 알려져 있습니다. 그러나 아주 작은 양이 수중생물의 체내에 남아 있을 가능성이 있으므로 남조류가 대량 발생하는 기간에는 물고기나 조개류 등의 섭취를 자제하는 것이 좋습니다.



국가	세부기준	권고(주의)사항
세계보건 기구 (WHO)	1단계 : 남조류 세포수 20,000 cells/mL 이상, 남조류 우점시 Chl-a 10 $\mu\text{g/L}$ 이상	인체 영향 적은 단계
	2단계 : 남조류 세포수 100,000 cells/mL 이상, 남조류 우점시 Chl-a 50 $\mu\text{g/L}$ 이상	성인 2L 이상 섭취시 질병 발병 가능
	3단계 : 수면에 부유물 발생	소량으로도 치명적
호주	1단계 : 마이크로시스티스 500-5,000 cells/mL, 총남조류 부피 0.04-0.4 mm^3/L	일상적 수준 모니터링
	2단계 : 마이크로시스티스 5,000-50,000 cells/mL, 총남조류부피 0.4-4 mm^3/L (독성조류 우점)	샘플링 횟수 증가
	3-1단계 : 마이크로시스틴 10 $\mu\text{g/L}$ 이상, 마이크로시스티스 50,000 cells/mL 이상, 총남조류 부피 4 mm^3/L 이상(독성조류 우점) 3-2단계 : 총남조류 부피 10 mm^3/L 이상(독성 조류 없음), 남조류 부유물 발생	친수활동에 적합하지 않음을 경고
독일	1단계 : 마이크로시스틴-LR 10 $\mu\text{g/L}$ 미만	지속적으로 모니터링
	2단계 : 마이크로시스틴-LR 10-100 $\mu\text{g/L}$	경고 발령, 일시적인 수영접근 차단 고려
	3단계 : 마이크로시스틴-LR 100 $\mu\text{g/L}$ 이상	입수 비관장 및 수영 차단 추천
네덜란드	1단계 : 마이크로시스틴-LR 10 $\mu\text{g/L}$ 미만	특별한 조치 없음
	2단계 : 마이크로시스틴-LR 10-20 $\mu\text{g/L}$	경고 발령
	3단계 : 마이크로시스틴-LR 20 $\mu\text{g/L}$ 이상, 수면에 부유물 발생	수영 금지
프랑스	1단계 : 남조류 세포수 20,000 cells/mL 이상	여가활동 가능
	2단계 : 남조류 세포수 20,000-100,000 cells/mL, 마이크로시스틴-LR 25 $\mu\text{g/L}$ 이상	수영 등 접촉 많은 활동 금지, 보트 운행은 가능
	3단계 : 남조류 부유물 발생	모든 친수활동 금지
미국 (오하이오)	1단계 : 마이크로시스틴 6 $\mu\text{g/L}$, 아나톡신-a 80 $\mu\text{g/L}$, 삭시톡신 0.8 $\mu\text{g/L}$, 실린드로스퍼몹신 5 $\mu\text{g/L}$	수영 등 권장하지 않으며, 물을 마시거나 스킴 접촉 등 금지 권고
	2단계 : 마이크로시스틴 20 $\mu\text{g/L}$, 아나톡신-a 300 $\mu\text{g/L}$, 삭시톡신 3 $\mu\text{g/L}$, 실린드로스퍼몹신 20 $\mu\text{g/L}$	물과의 모든 접촉 금지 권고

녹조저감기술은 대부분 사후적인 접근방법으로 국내외에서 다양한 기술이 개발·적용되고 있다. 이러한 기술들은 현장여건과 상황에 따라 효과가 나타나는데 한계가 있으므로 현장 특성에 적합한 기술을 이용하는 것이 바람직하다.

구분	저감 기술		특성·한계
물 리 적 방 법	조류감시·제거선		- 조류 직접 제거수거 - 국지적·일시적 효과
	저층수방류		- 저층의 물을 인위적으로 방류하여 물의 정체 방지 및 조류 희석 - 충분한 가용수량 확보 전제
	물순환설비		- 물 흐름 형성으로 상층부 수온 감소 및 조류증식 억제 - 국지적·일시적 효과
	조류유입방지막		- 취수탑 등 주요지점에서의 조류유입 차단 - 국지적 효과
	조류유입방지 살수장치		- 표층부 수온저하·교란으로 조류유입 방지 - 국지적·일시적 효과
	마이크로버블		- 수중 미세기포 발생으로 조류 부상·교란 - 국지적·일시적 효과

구분	저감 기술		특성·한계
	차광공투입		<ul style="list-style-type: none"> - 햇빛을 차단해 조류의 광합성 방해 - 국지적 효과, 관리 어려움
화 학 적 방 법	황토살포		<ul style="list-style-type: none"> - 조류를 응집·침강시켜 제거 - 퇴적물에 의한 생태계 영향 우려
	살조제살포		<ul style="list-style-type: none"> - 산화제의 살균효과 등 활용 - 어류 등에 생태독성 우려
	인 흡착		<ul style="list-style-type: none"> - 규산질다공체를 활용하여 인 흡착·제거 - 국지적 효과, 생태계 영향 우려
	천연응집제		<ul style="list-style-type: none"> - 조류를 응집·부상시켜 제거 - 국지적·일시적 효과
생 물 학 적 방 법	아쿠아매트		<ul style="list-style-type: none"> - 미생물 활동을 최대화하여 질소, 인 등 제거 - 관리 어려움, 효과발생에 장기간 소요
	수생식물식재 (인공수초섬)		<ul style="list-style-type: none"> - 질소, 인 등을 수생식물이 흡수, 햇빛 차단 - 관리 어려움, 효과발생에 장기간 소요





발 행 : 환경부 대변인실(044-201-6061)
(우) 30103 세종특별자치시 도움6로 11
정책담당 : 환경부 수질관리과(044-201-7062)

이 발행물은 국민들에게 환경정책을 알리고 정책의 발전을
함께 고민하고자 하는 목적으로 발행한 홍보물입니다.