

서울시 상수원의 조류(藻類) 관리방안

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. 상수원의 조류 관리 필요성 | 4. 한강수계기금 활용과 조류예보제의 개선 |
| 2. 서울시 상수원의 조류 출현과 조류예보제의 문제점 | 5. 정책제언 |
| 3. 상수원에 조류 출현 시 대응방안 | |

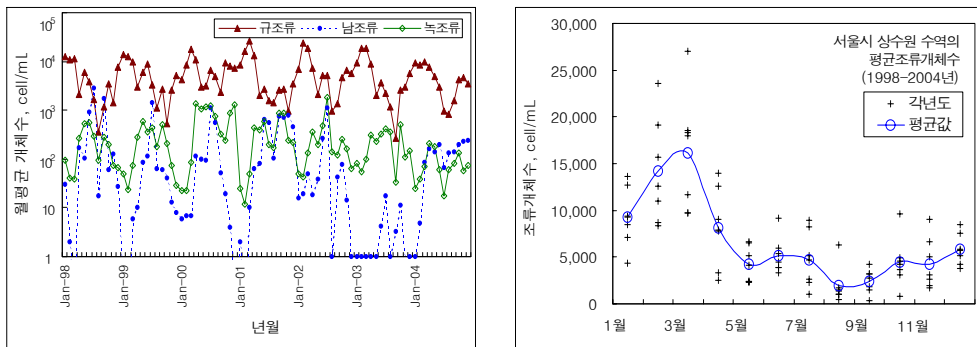
1. 상수원의 조류 관리 필요성

- 조류로 인한 상수원 수질 저하
 - 여름철에 다량의 영양물질이 빗물과 함께 상수원 수역으로 유입되어 조류가 빈번하게 발생함에 따라 pH 변화와 용존산소 고갈 등의 수질저하가 발생함.
 - 1996년 대청호를 시작으로 1998년부터 본격적으로 조류예보제를 실시해 왔으나 실효성은 아직 미약함.
- 잠실상수원의 조류 발생 증가와 독성조류 출현 가능성 잠재
 - 팔당댐으로부터 잠실상수원보호구역까지의 유역에는 남양주시, 구리시, 하남시 등의 지방 자치단체가 인접하여 있고 이들 지역의 개발이 상수원 수질에 직·간접적인 영향을 미쳐 팔당호와 한강의 조류농도는 개선되지 않고 있음.
 - 서울시민에게 양질의 수돗물을 안정적으로 공급하기 위해서는 한강상수원에 조류가 과도하게 증식할 경우에 대비하여 대응책을 마련할 필요가 있음.
 - 독성 남조류 출현 가능성도 상존함.

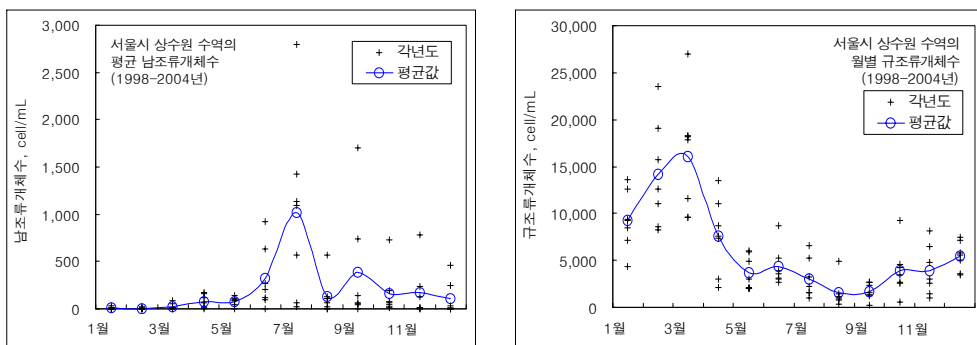
2. 서울시 상수원의 조류 출현과 조류예보제의 문제점

○ 서울시 상수원의 조류 발생 현황

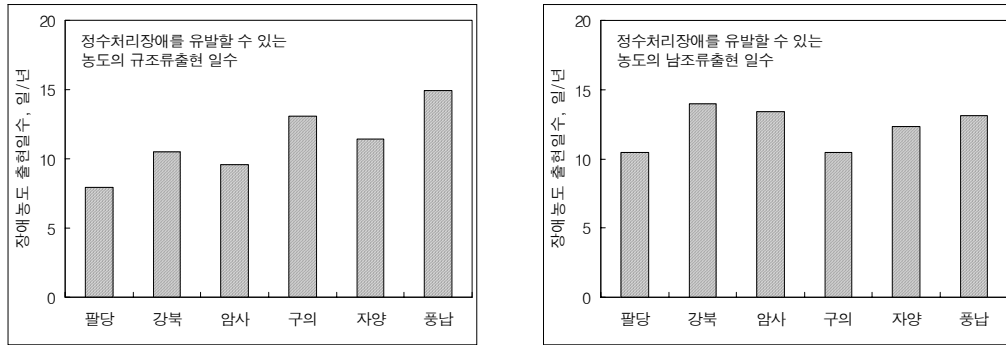
- 상수원에서 조류 발생의 문제점으로는 수돗물에서의 맛·냄새 발생, 정수장에서의 장애 등이며, 남조류가 15,000cells/mL 이상이면 독성을 나타낸다는 점임.
- 팔당호에 출현하는 조류의 종수는 해마다 차이가 있으나 남조류가 6~7종, 규조류가 4~6종, 그리고 녹조류가 11~18종으로 총 30여 종 내외임.
- 한강의 조류는 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보임.
- 남조류는 4~5월에 간헐적으로 출현하다가 7월에 급격히 증가하며, 조류 세포수가 1mL당 1,000 개체 이상이면 맛·냄새를 유발함.
- 규조류는 봄과 가을에 발생하며, 5,000cells/mL 이상이면 여과장애를 유발함.



[그림 1] 서울시 상수원 수역의 조류의 총개체수 변화 추이(1998-2004)



[그림 2] 서울시 상수원 수역의 월별 남조류 및 규조류 개체수변화(1998-2004)



[그림 3] 취수원별 남조류 및 규조류의 정수처리장애 유발농도 출현일수

○ 서울시의 조류예보제

- 서울시 조류예보 발령 기준은 <표 1>과 같음.

<표 1> 서울시 조류예보 발령 기준

구 분	조류 주의보	조류 경보	조류 대발생
Chl-a농도(mg/m ³) 남조류세포수(세포/mL)	15이상 500이상	25이상 5,000이상	100이상 10 ⁶ 이상

- 서울시 조류예보 발령구간은 <표 2>와 같음.

<표 2> 서울시 조류예보 발령 구간

구 분	조류측정 지점	해당 자치구
1구간 (강동대교~잠실대교)	강북, 암사, 구의, 자양, 풍납취수장	광진, 강동, 송파구
2구간 (잠실대교~동작대교)	성수대교 한남대교	종로, 중구, 성동, 동대문, 중랑, 성북, 강북, 도봉, 노원, 강남, 서초구
3구간 (동작대교~양화대교)	한강대교 마포대교	용산, 서대문, 구로, 금천, 영등포, 동작, 관악구
4구간 (양화대교~행주대교)	성산대교	은평, 마포, 양천, 강서구

- 조류예보 발령시 서울시 주요 대응내용은 <표 3>과 같음.

<표 3> 조류예보 발령시 주요 대응내용

구 분	관 련 기 관(부서)	대 응 내 용
주의보	서울시(수질과)	주의보 발령, 상황실 설치 운영
	상수도연구소 보건환경연구원	주 1회이상 시료채취 및 분석 실험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	한강시민공원사업소	취수구 지역에 펜스설치 등 조류제거 조치
경 보	서울시(수질과)	경보 발령, 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 자제 권고, 어패류 어획 및 식용자제
	상수도사업본부	취수구를 하류로 이동, 정수의 독소분석
	상수도연구소 보건환경연구원	주 2회 이상 시료채취 및 분석 실험분석결과를 관계기관에 통보
	한강시민공원사업소	취수구지역에 펜스설치, 조류제거 조치
대발생	서울시(수질과)	조류대발생 발령, 이하 경보발령 시와 동일
	치 수 과	팔당댐 방류량 증가요청
	상수도연구소 보건환경연구원	주 2회 이상 수질분석, 원수의 취기(관능검사) 및 독소분석, 실험분석결과를 관계기관에 통보
	한강시민공원사업소	항토, 차광흡착제 살포, 조류제거선 및 마이크로스트레이너를 이용한 스크제거 등 조류제거조치
	자 치 구	하천순찰 및 폐수배출업소 단속강화

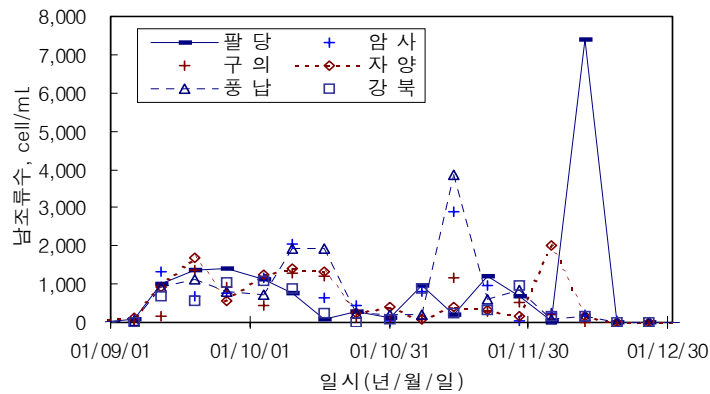
- 참고로 호주의 조류경보제는 <표 4>와 같이 남조류 농도에 따라 3단계로 발령하며 단계별로 시민의 행동요령을 홍보하고 있음.

○ 서울시 조류예보제의 문제점

- 급격한 조류농도 변화를 감지할 수 있는 감시 시스템이 미흡함. 남조류의 농도가 1주일 사이에 150cells/mL에서 7,400cells/mL로 급격하게 증가한 사례가 있음에도 불구하고 상수원의 조류농도는 주1회 분석에 그치고 있는 형편임.
- 조류예보 발령기준이 지나치게 높게 설정되었음.

<표 4> 호주의 조류경보제

경고단계	의미	대처방법
3단계경보 (High Alerts)	<ul style="list-style-type: none"> “수화(Bloom)” 상태에 해당. 물은 녹색의 색조를 띠며 곰팡이냄새 혹은 흙냄새가 남. 정체된 물 속의 스킴이 표면으로 형태를 이루고 연안선 방향으로 이동. 강한 바람 조건에서 조류는 물에 섞이게 되고 볼 수 없게 될 수도 있음. 보통 15,000 cells/mL 이상의 남조류가 나타남. 조류는 인간과 동물 모두에게 유독할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 오염지역에서는 처리되지 않는 물이나 끓이지 않은 물은 마시지 말 것. 대체 급수를 공급 물의 접촉 혹은 사용을 피할 것. 조류 덩어리가 있는 곳에서 낚시하지 말 것. 홍합, 가재 또는 새우를 먹지 말 것. 개와 가축은 특별한 위험이 있고, 그들에게 영향을 미칠 수 있는 지역에서 멀리하며, 대체 급수를 공급할 것.
2단계경보 (Medium Alerts)	<ul style="list-style-type: none"> 보통의 곰팡이 냄새와 흙냄새. 남조류가 녹색 덩어리로 양동이 또는 유리병에서 육안으로 구별됨. 물에 2,000~15,000 cells/mL 포함. 현재 충분히 남조류 개체군 급증상태임 물, 온도 그리고 운동성이 조류성장에 적당한 조건이고 그것이 유지되면 2~3일내에 고경보가 일어날 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 인간과 동물을 위해 대체 음용수나 활성 탄소로 처리한 처리수를 사용할 것. 생선은 내장을 전부 제거하고 깨끗이 씻을 것. 작은 가재, 홍합 또는 조개를 먹지 말 것. 어떠한 목적을 위해 물을 채취할 때에는 스킴을 걸어낼 것. 수체에 영향을 주는 바람부는 연안가를 피해서 가축을 보관할 것. 만일 당신이 조류에 민감하다면 물과의 직접적인 피부접촉을 피할 것. 애완동물은 조류 독성에 민감할 수 있음. 토지·물 관리과 혹은 지역 의회에 공공 수로 내의 남조류를 보고할 것.
1단계경보 (Low Alerts)	<ul style="list-style-type: none"> 남조류 발생 상태가 수화 단계는 아님. 그러나 개체수로는 충분하고(500~2,000 cells/mL) 환경 조건이 충족되면 조류 성장이 빨라짐. 어떤 종은 적은 개체수로 맛과 냄새의 문제를 일으킬 수 있음. 영향을 받은 물에 양동이 혹은 병 내의 밝은 녹색 조각(조류덩어리)이 있고 그것이 강해지면 2단계경보를 의미함. 	<ul style="list-style-type: none"> 몇 주내 2단계경보에 대하여 준비해야 하고 가능하다면 대체 급수를 사용할 것. 인간 혹은 가축이 영향을 받은 물을 마시면 병(구토, 위장염)의 증상을 주시할 것. 단기적으로 더 이상의 수화를 막기 위해서 농장 독에 화학적 처리가 가능할 수 있음. 향후 수화의 피해를 막기 위해서는 전문가의 충고를 들을 것.



[그림 4] 급격한 남조류 농도증가 사례

3. 상수원에 조류 출현 시 대응방안

1) 정수장의 대응

- 남조류 발생에 따른 정수장의 대응
 - Anabaena 맛·냄새를 유발하는 조류 출현시 조류의 세포가 파괴되지 않도록 전염소를 1ppm 이하로 투입하고 중간염소를 강화함.
 - 적정 pH와 응집제 최적 투여량을 점검하여 적정 응집조건으로 운전하며, 황산 등의 산을 투입해 적정 pH를 유지함(pH 조절시설 설치가 필요함).
 - 활성탄 투입량을 증가함.
- 규조류 발생에 따른 정수장의 대응
 - 전염소 처리를 강화함. 다만 소독부산물 발생하면 전염소를 줄이고 응집제 투여량을 높임. 활성탄 투입량도 증가함.
 - 응집조건을 최적화하여 여과지로 유입되는 조류세포수를 최소화함(pH 조절 시설 설치 필요).
 - 여과지의 구조 개선을 통해 여과 장애를 극복함. 기존 모래 여과지에 안트라사이트 등과 함께 복층으로 구성하여 조류의 이상증식에 대응함.

2) 수면관리자의 대응

- 살조제를 이용한 수면에서의 조류 제거
 - 약품(살조제)으로서 황산동을 이용함. 황산동 살포는 최종 생산된 수돗물에서 맛·냄새가 심하게 날 때만 제한적으로 적용함.
 - 출현 조류의 종류에 따라 주입량(0.1~0.7mg/L)을 결정함.
 - 눈에 자극을 주므로 살포시 유의하여야 함. 연속용해 살포법을 적용함.
 - 어류에 영향을 미치므로 과량이 살포되지 않도록 유의함.
 - 수돗물 생산에 심각한 장애를 초래하는 경우에만 적용 가능함.
- 황토를 이용한 수면에서의 조류 제거
 - 황토는 천연재료이며 독성이 없음.
 - 응집침전 및 햇빛차단 효과로 조류의 제거와 예방효과가 있음.
 - 조류 출현시 수면에 1~2g/L의 농도로 살포함.

- 부상분리공법을 이용한 조류 제거
 - 조류를 수면위로 부상시켜 제거함으로써 조류세포를 수계 밖으로 배출함.
 - 소규모 수역에서 효과가 탁월하였으며, 경안천에서 효과가 입증됨.
 - 조류 및 오염물질 제거 효과가 탁월함.
 - 소규모 시설로서도 적용 가능함.
 - 상수원의 용존 산소농도를 증가시키고, 냄새물질 제거효과도 있음.
 - 약품은 수돗물 생산과정에서 투입되는 응집제로서 독성이 없음.
 - 현재까지 적용사례에서 물고기 폐사는 없었음.

- 팔당댐 방류량 증가
 - 조류가 과도하게 번식할 경우 팔당의 방류량을 증가시켜 한강의 유속을 빠르게 함으로써 조류를 하류로 이송시키고 또한 조류가 증식할 시간적 여유를 주지 않는 방법임.
 - 팔당댐의 규모가 작기 때문에 효과를 얻을 수 있을 만큼의 유량을 확보하려면, 북한강 및 남한강에 설치된 댐과 함께 연계 운영하여 효과를 극대화할 필요가 있음.

4. 한강수계기금 활용과 조류예보제의 개선

- 조류예보 발령기준 강화
 - 선진국 수준의 조류예보 기준을 설정함.
 - 정수장에서의 장애는 규조류에 의해 발생하므로 규조류 개체수 20,000cells/mL 이상인 경우도 관련분야에 제한적으로 조류주의보를 발령함.

- 정수장의 조류계측결과 활용
 - 각 정수장의 1일 측정결과를 상수도연구소에서 종합 분석하여 조류증식 상황을 파악함.
 - 상수도연구소에 조류정보시스템을 구축하여 종합관리함.

- 한강수계기금 활용과 시민협력
 - 수면의 조류제거 사업에 소용되는 비용을 한강수계기금에서 지원 확대할 수 있도록 관련 지자체간 협력을 강화함.

- 시민에 대한 홍보를 강화하고 시민참여를 유도하여 조류발생과 오염물질배출 등을 감시할 수 있도록 함.

5. 정책제언

○ 조류정보시스템 구축

- 서울시상수도연구소와 각 정수장에서는 주기적으로 조류를 조사하고 조류에 관한 기록을 체계화함.
- 기상, 수문, 수질, 조류, 정수장 운영상황 등을 종합관리할 수 있는 정보시스템을 구축하여 향후 유사한 문제 발생시 신속하고 효과적으로 대응할 수 있도록 함.

○ 조류예보제의 개선

- 조류예보제의 명칭을 조류경보제로 변경하고 기준을 강화함. 조류대발생 발령 기준을 현재 호주의 67배 수준에서 호주의 2배 수준인 남조류 세포수 30,000 cell/mL로 대폭 강화함.

○ 조류예측시스템 개발

- 기상, 수문, 수질, 조류 등 다양한 정보를 분석하여 조류 발생을 예측할 수 있는 시스템 개발사업을 추진함.

○ 수면에서의 조류제거 사업 실시

- 조류 발생 예방도 중요하지만, 조류 발생에 따른 조류 제거도 중요함.
- 향후 조류 발생에 대비하여 황토살포 훈련 및 시범사업을 실시함.
- 한강수계관리기금을 지원받아 왕숙천 유입부 등에서 부상분리공법 적용 시범사업을 실시하고 그 효과를 분석함.
- 조류를 분해하는 미생물을 활용하는 기술 등을 포함하여 조류 이상증식의 방지 및 조류 제거 방법에 대한 기술개발을 지원함.

조항문 | 서울시정개발연구원 연구위원
02-2149-1158
chohm@sdi.re.kr