

## 녹조와 조류경보제



김석구

한국건설기술연구원 환경·플랜트연구소장  
sgkim@kict.re.kr

### 1. 서론

매년 여름 호소나 하천에서 녹조(綠潮) 현상이 발생하고 있다. 기후 변화와 물환경 변화로 매년 되풀이 되는 녹조 현상, 과학적인 방법으로 억제할 수는 없는 것일까? 한 마디로 말하면 쉽지 않다. 자연 현상이라 더욱 그렇다. 이미 영양염류가 풍부한 우리나라 4대강의 정체수역에 여름철 수온이 상승하기 시작하면 녹조 현상은 피할 수 없다. 그렇다고 마냥 손을 놓고 있을 수만은 없다. 우리나라 물환경에 맞는 녹조 문제의 진단 및 대책 마련이 필요하다. 녹조 현상을 일으키는 대표종인 유해 남조류에는 마이크로시스틴이라는 독성물질이 포함되어 있다. 물론, 수돗물의 안전성 확보를 위해 정부는 취수원에 녹조가 발생하면 정수고도처리를 시행하고 있다.

정부는 2017년 6월 1일 4대강 16개 보(沓) 중에서 6개를 우선 개방하였다. 녹조로 인한 수질악화를 개

선하지는 취지로 향후 상시 개방하겠다는 것이 정부의 설명이다. 정부는 그동안 보 수문을 시험적으로 모의 연계 운영해 본 결과, 조류가 20~30% 감소한 것으로 발표했다. 녹조 저감을 위해 보의 수문을 열어 물을 소통하는 것은 단기적 대책이다. 중장기적으로 4대강에 설치한 보의 운영문제 등을 고민해 보아야 한다. 보의 환경성, 기술성, 경제성, 사회성을 통합 검토할 조직 설치도 필요하다.

우리나라는 2012년 녹조 라떼라는 신조어가 생길 만큼 녹조 문제에 대한 시민단체와 국민의 관심도가 높다. 녹조와 관련하여 정부는 1998년부터 조류경보제를 시행해 오고 있다. 1998년 시작한 조류경보제는 조류발생에 따른 정수장 기능 저하 및 일부 남조류의 독성피해를 최소화하기 위하여 조류경보제를 시행하였으며, 조류경보제 운영을 위한 관계기관별 추진체계를 구축하여 상수원의 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다. 개정 전의 조류경보제는 호주의 기준을 준용하여 국내 실정에 맞지 않아 효과적인 대응에 한계가 있었다. 정부는 최근 하천에 녹조가 발생하고 녹조에 대한 국민 관심이 증대되고 있어, 조류경보제 시행지역을 하천으로 확대할 필요가 있어 조류경보제를 2015년 12월 10일 개정하였다.

이에 보고에서는 국민의 관심이 높은 녹조와 관련이 있는 국내 조류경보제 현황을 살펴보고, 그의 개선방안을 제안하고자 한다.

## 2. 녹조(綠潮)

### 2.1 녹조 또는 녹조 현상

녹조 또는 녹조 현상은 수중에 살고 있는 조류(藻類, Algae) 중에서도 남조류가 대량 증식하는 것을 말한다. 미세먼지와 함께 우리나라의 뜨거운 사회문제로 자리 잡았다. 육상생태계에서 1차생산자는 식물이다. 식물이 없으면 육상생태계는 유지되기 어렵다. 수중생태계에서 1차생산자는 조류다. 조류는 광합성을 하면서 유기물과 산소를 수중에 공급한다. 육상생태계와 마찬가지로 조류가 없으면 수중생태계도 유지되지 못한다. 식물과 함께 조류의 존재는 생태계에 반드시 필요한 존재이다. 적절한 양이 유지되면 문제가 없는데 필요 이상으로 많으면 수질오염 문제가 된다. 조류 자체가 유기물이기에 그렇다.

우리나라 4대강은 영양염류가 이미 풍부하다. 정체수역도 늘어났다. 여름철 수온이 상승하기 시작하면 녹조 현상은 피할 수 없다. 조류가 대량 증식할 수 있는 최적 조건이다. 조류가 대량 증식하면 1) 수돗물의 맛·냄새 유발, 2) 정수장의 여과장치 기능저하, 3) 수체 내 산소고갈로 인한 어패류 질식사,

4) 남조류 독소에 의한 건강 피해 등을 일으킬 수 있다. 녹조를 억제해야 하는 이유이기도 하다. 우리나라 물환경에 맞는 녹조 문제의 진단 및 대책 마련이 필요하다.

### 2.2 녹조와 녹조 라떼의 관심도 변화

시간에 따른 녹조와 녹조 라떼의 관심도를 알아보기 위하여 구글 트렌드 자료를 활용하였다(<https://trends.google.co.kr>). 시간에 따른 녹조와 녹조 라떼의 관심도 변화는 그림 1과 그림 2에 나타내었다. X축은 2014.01.01.부터 2017.07.09.까지의 시간이며, Y축은 검색어의 관심도[(검색수/최고 검색수)×100]이다. 기간 내 녹조와 녹조 라떼의 최대 관심도는 2012.08.이며, 이 시기는 4대강 살리기 사업의 마무리 단계로 4대강 살리기 사업기간의 마지막 여름 시기이다. 특히, 그림 2에서 알 수 있듯이 녹조 라떼는 2012.6.까지는 관심이 없다(2017.07. 녹조 라떼라는 신조어가 처음 등장)가 2012.8. 최대 관심도를 보인 것으로 나타나고 있다. 녹조와 녹조 라떼의 최대 관심도 이후 녹조 라떼의 관심도가 녹조보다는 상대적으로 높은 것으로 나타나고 있어 녹조 라떼

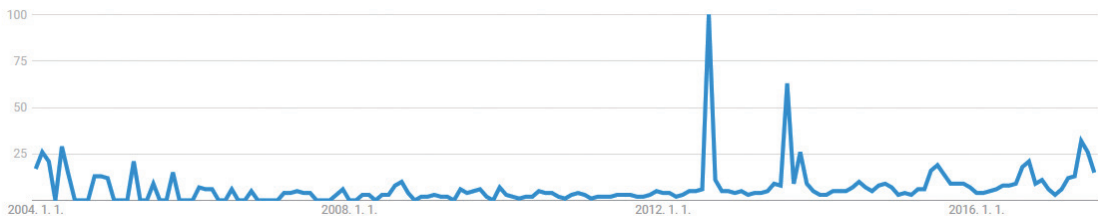


그림 1. 시간(X축)에 따른 관심도(Y축) 변화(검색어 : 녹조)



그림 2. 시간(X축)에 따른 관심도(Y축) 변화(검색어 : 녹조 라떼)

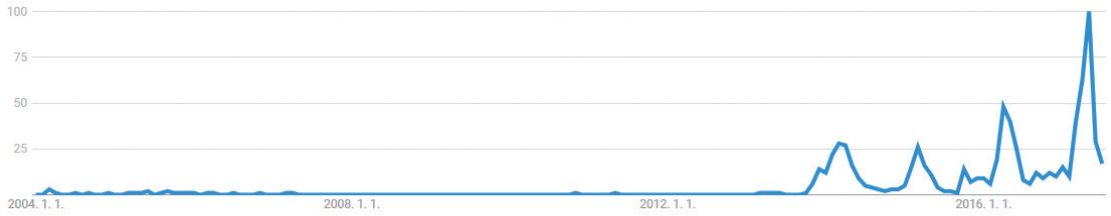


그림 3. 시간(X축)에 따른 관심도(Y축) 변화[검색어 : 미세먼지]



그림 4. 시간(X축)에 따른 관심도(Y축) 변화[검색어 : 미세먼지(푸른색), 녹조(빨간색)]

에 대한 국민의 관심도가 높다는 것을 알 수 있다.

녹조와 함께 최근 사회적 이슈로 떠오른 미세먼지의 관심도가 급증하여 미세먼지의 관심도를 살펴본 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 2013.09. 이후 관심도가 증가하다가 2017.05. 최대 관심도를 나타내고 있다. 미세먼지와 녹조의 상대 관심도를 살펴본다. 그림 4에서 알 수 있듯이 2013.08. 이전에는 녹조가 미세먼지에 비해 관심도가 높았으나, 2013.10. 이후에는 녹조보다는 미세먼지의 관심도가 높은 것으로 나타나고 있다. 특히, 최근 국민의 관심도는 녹조보다는 미세먼지가 훨씬 높은 것을 알 수 있다.

### 3. 조류경보제

#### 3.1 국내 조류경보제 현황

녹조와 조류경보제는 분리하여 생각할 수 없다. 녹조로 인해 조류경보제가 시행되었다. 정부는 1998년 조류발생에 따른 정수장 기능 저하 및 일부 남조류의 독성피해를 최소화하기 위하여 조류경보

제를 시행하였으며, 조류경보제 운영을 위한 관계기 관별 추진체계를 구축하여 상수원의 안정성을 확보하고자 하였다. 이 조류경보제는 호주의 기준을 준용하여 국내 실정에 맞지 않아 효과적인 대응에 한계가 있었다. 최근 하천에 녹조가 발생하고 녹조에 대한 국민 관심이 증대되고 있어, 조류경보제 시행 지역을 하천으로 확대할 필요가 있어 조류경보제를 2015년 12월 10일 개정하였다.

조류경보제 개정 이후 발령기준 비교표는 표 1과 같다. 클로로필-a와 남조류 세포수 간 상관관계가 낮아 녹조 발생 시 효과적인 대응에 한계가 있으며, 국내 출현 남조류의 특성을 반영하기에 미흡하여, 유해 남조류 세포수로 지표를 단일화하고 국내 출현 남조류의 특성을 고려하여 경보발령 기준을 5천 cells/mL에서 1만 cells/mL로 상향 조정하였다. 남조류 세포수는 발령기준을 초과하였으나 클로로필-a 농도가 기준 이내이어서 주의보가 발령되지 않은 사례가 2014년 낙동강 3개보 기준 12회 발생한 사례가 있는 것을 반영한 것이다.

조류경보제 개정 이후 총괄표는 표 2와 같다. 표

표 1. 조류경보제 개정(2016년 시행) 전후 발령기준 비교표

구분	클로로필-a (mg/m <sup>3</sup> )		남조류 세포수 (cells/mL)	
	개정 전	개정 후	개정 전	개정 후
주의보(→관심)	15	삭제	500	1,000
경보(→경계)	25		5,000	10,000
대발생	100		1,000,000	1,000,000

표 2. 조류경보제 개정(2016년 시행) 전후 총괄표

항목		개정 전	개정 후
대상 지역	상수	- 22개 주요 호소 (팔당호, 대청소, 주암호, 충주호 등)	- 좌동
		〈추가〉	- 1개 호소(의암호 추가) - 4개 보(강천보, 칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보)
	친수	〈신설〉	- 환경부장관이 정하여 고시하는 하천·호소
경보지표		- 클로로필-a 농도 + 남조류 세포수	- 남조류 세포수
단계별 발령 기준	관심	- Chl.a 15 mg/m <sup>3</sup> + 남조류 500 cells/mL	- 남조류 1,000 cells/mL
	경계	- Chl.a 25 mg/m <sup>3</sup> + 남조류 5,000 cells/mL	- 남조류 10,000 cells/mL
	대발생	- Chl.a 100 mg/m <sup>3</sup> + 남조류 100만 cells/mL	- 남조류 100만 cells/mL
친수용 발령 기준	관심	〈신설〉	- 남조류 20,000 cells/mL
	경계		- 남조류 100,000 cells/mL
발령용어		- 조류주의보→조류경보→조류대발생	- 관심→경계→조류대발생
친수 조치사항 보완		〈신설〉	- (관심) 친수활동, 어패류 어획·식용 자제 권고 - (경계) 친수활동, 어패류 어획·식용 금지

2에서 알 수 있듯이 주요 개정내용은 1) 조류경보제 대상지역 추가(1개 호소, 4개 보), 2) 경보지표 및 발령기준 변경, 3) 친수용 조류경보제 신설, 4) 발령용어 변경(국민 불안을 과도하게 조성할 우려가 있어 주의보는 관심, 경보는 경계로 변경) 등이 있다.

### 3.2 조류경보제 개선방안

조류경보제는 조류발생 상황을 주기적으로 모니터링하여 일정 수준 이상의 조류가 발생할 경우 정보를 발령하여 필요한 조치를 취함으로써 수돗물을

안정적으로 공급하고, 친수활동 시 조류독성으로부터 국민의 안전을 도모하는 위하여 1998년부터 시행하였으며, 2016년부터 개정 시행하고 있다. 수질예보제는 2012년부터 4대강의 16개 보 중 조류경보제 시행 4개 보(표 2 참조, 2016년부터 시행)를 제외한 12개 보를 대상으로 시행하고 있는데 사전예방적 수질관리를 위하여 수질변화를 예측하고 있다. 수질예보제는 조류경보제와 다르게 발령지표로 남조류 세포수와 함께 클로로필-a 지표를 지속적으로 사용하고 있다. 2015년 조류경보제 개정이 되어 수질예보제의

발령지표와 발령기준을 재검토할 필요성이 있다.

현행 조류경보제 역시 조류발생 상황을 있는 사실 그대로 반영하여 발령할 수 있도록 개선할 필요성이 있다.

1) 남조류 세포수의 계측 주기 조정이 필요하다. 남조류 세포수는 주 1회 계측하고 있으나, 조류경보제 경계 단계 이상 발령 시에는 주 2회 계측하고 있다. 남조류 세포수를 매일 계측하는 것이 아니라서 조류 발생 상황을 반영하는데 한계가 있다. 현재 남조류 세포수 계측은 현미경으로 계수하여 노동집약적이다. 계수 오차는 40% 정도이다. 정확도가 높으며 현장에 적용할 수 있는 계측법 개발이 필요하다. 유해 남조류 세포수의 계수와 남조류 양의 계측 정확도가 향상되면 유해 남조류에 의한 위해성 평가도 도움이 될 것이다.

2) 남조류 세포수 조정 또는 남조류 양의 도입 검토도 필요하다. 개정한 조류경보제에서 클로로필-a 지표를 제외한 것은 적절하나, 남조류 세포수 상향 조정은 국내에 출현하는 남조류의 특성을 고려하여 상향 조정하였다고 한다. 개정 전의 남조류 세포수를 유지하면서 우리나라 기후변화 및 물환경 변화에 따른 남조류 특성을 장기 모니터링 한 후 조정 여부를 결정했으면 하는 아쉬움이 남는다. 조류독소 농도와 남조류 세포수가 관련이 있어 남조류 세포수 상향 조정은 좀 더 신중했어야 했다. 남조류 세포수

의 현미경 계수 오차는 40% 정도로 알려져 있어 남조류 양의 도입도 적극 검토하여야 한다.

3) 조류경보제의 운영체계 전환이 필요하다. 현재는 경보체계로만 운영되고 있어 국민 불안을 조성할 수 있다. 발령용어를 변경했다고 하더라도 조류경보제이다. 조류경보제를 조류출현단계와 조류경보단계로 구분할 필요가 있다.

#### 4. 맺음말

미세먼지와 함께 녹조는 국민의 관심사이다. 녹조는 매년 우리를 찾아온다. 기온은 상승하고 있다. 조류가 대량 증식하기에 최적 조건이다. 녹조 현상 진단 및 대책이 필요하다. 정부는 수돗물의 안정적인 공급과 남조류 독성으로부터 국민을 보호하기 위하여 조류경보제를 시행해 오고 있다. 현행 조류경보제가 본래의 목적을 달성하기 위하여 조류 발생 상황을 그대로 반영하여 발령할 수 있는 조류경보제로 성장하길 기대해 본다.

#### 사사

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(20170080-001)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.



#### 참고문헌

- 1) 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행령.
- 2) 환경부 (2017), 2016년 조류(녹조) 발생과 대응 연차보고서.
- 3) 김석구 (2015), 하천 녹조 저감 기술, 물과 미래, Vol. 48, No. 10, pp. 22-28.
- 4) 박창근 (2015), 4대강 녹조발생 위협성과 정부대응의 문제점, 물과 미래, Vol. 48, No. 10, pp. 34-42.
- 5) 이상협, 최재우 (2015), 미세 조류 제거 후의 인 제거 기술, 물과 미래, Vol. 48, No. 10, pp. 8-13.
- 6) 조선일보 (2017.6.2.), [기고] 泫 개방, 장마 시작 후 해도 안 늦어.
- 7) 구글 트렌트 (2017.7.9.), <https://trends.google.co.kr>.