

조류전문가 포럼 운영을 통한  
조류관리제도 개선방안 연구  
최종보고서

2014.12



환경부



조류전문가 포럼 운영을 통한  
조류관리제도 개선방안 연구  
최종보고서

2014.12





## 제 출 문

환경부장관 귀하

본 보고서를 “조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

2014.12

연구기관: (사)한국물환경학회

연구수행기간: 2014.4.11~2014.12.31

책임연구원: 공동수(경기대학교)

연 구 원: 오희목(한국생명공학연구원)

이학영(전남대학교)

최지용(서울대학교)

황순진(건국대학교)

연구보조원: 김진영(경기대학교)

김필재(경기대학교)

김아름(경기대학교)

권용주(경기대학교)



# 목 차

요약문 .....	i
제1장 과업개요 .....	1
제1절 목적 .....	1
제2절 과업내용 .....	1
제3절 추진방법 .....	2
제2장 포럼 운영 및 결과 .....	3
제1절 제13차 포럼 .....	3
1. 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선 연구 방향 .....	13
2. 조류경보제 대상지역 확대 방향 .....	27
제2절 제14차 포럼 .....	41
1. 조류경보제 지표개발 -대청호 연구 및 국외 사례 중심- .....	51
2. 조류경보제 발령기준 개선방안 .....	71
3. 조류경보제 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항 .....	89
제3절 제15차 포럼 .....	118
1. 조류경보제 개선방안 .....	127
제4절 제16차 포럼(공청회) .....	167
1. 조류경보제 개선방안 .....	171

## 〈요 약 문〉

### I . 조류전문가 포럼 운영 결과

포럼 차수	일자	장소	주제발표	주요 논의 사항
13차	2014.5.21	대전광역시 (대림호텔 컨벤션홀)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선 연구 방향 (경기대 공동수 교수)</li> <li>- 조류경보제 대상지역 확대 방안 (건국대 황순진 교수)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대상지역의 확대는 인력과 예산을 검토하여 추진해야 함</li> <li>- 농업용 저수지까지 확대하는 것은 차후 단계적으로 진행</li> <li>- 기준은 남조류 세포수로 하되 등급 수치를 현실화 하는 것이 필요</li> </ul>
14차	2014.9.19	생명공학 연구원 (나눔관 대회의실)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류경보제 지표개발 (생명공학연구원 오희목 박사)</li> <li>- 조류경보제 발령기준 개선방안 (전남대 이학영 교수)</li> <li>- 조류경보 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항 (서울대 최지용 교수)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수질예보제와 조류경보제를 목적에 따라 분리 운영</li> <li>* 수질예보제: 수질관리</li> <li>조류경보제: 먹는물의 안정성과 쾌적성 관리</li> <li>- 남조류 생체량 지표 개선(예: phycocyanin) 필요</li> <li>- 독성(Microcystin-LR)과 냄새물질 기준 검토 필요</li> </ul>
15차	2014.11.7	대전광역시 (대림호텔 컨벤션홀)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류경보제 개선안 발표 (경기대 공동수 교수)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상수원과 친수용 구간을 분리하여 제도 운영</li> <li>- 발령지표는 유해남조류 세포수로 일원화</li> <li>- 대상지역 확대는 필요하나 인력과 예산 확충 필요</li> </ul>
16차 (공청회)	2014.12.5	생명공학 연구원 (본관동 대회의실)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류경보제 개선방안 발표 (경기대 공동수 교수)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 별도 정리(ii~vii쪽)</li> </ul>

## Ⅱ. 대국민 공청회 결과

### 1. 공청회 개요

- 일시/장소 : 12. 5(금) 14:00~16:30, 한국생명공학연구원 대회의실
- 참석인원 : 학계, 관계기관, 시민단체, 지역주민 등 150여명
- 지정토론자 : 각계 대표 8명
  - (학 계) 황순진 건국대 교수(좌장), 공동수 경기대 교수, 이학영 전남대 교수 등 3명
  - (관계기관) 이영기 물환경정책과장, 이재관 한강물환경연구소장, 최정한 대구광역시 물관리과장 등 3명
  - (기 타) 박은호 조선일보 차장, 양홍모 녹색연합 사무처장 등 2명
- 주요내용 : ‘한국물환경학회’에서 마련한 “조류경보제 개선방안” 발표·토의 및 의견수렴

#### <개선방안 주요내용>

항 목		현 행	개 선(안)
대상 지역	상수	- 22개 주요 호소 (팔당호, 대청호, 주암호, 충주호 등)	- 현행과 동일
		< 추 가 >	- 2개 호소(의암호, 청평호 추가) - 4개 보(강천보, 칠곡보, 강정보, 함안보) - 낙동강 하구언
	친수	< 신 설 >	- 시·도지사가 필요시 지정·운영
경보지표		- Chl.a 농도 + 남조류세포수	- 남조류세포수
단계별 발령 기준	주의	- Chl.a 15mg/m <sup>3</sup> + 남조류 500 cells/ml	- 남조류 1,000 cells/ml
	경보	- Chl.a 25mg/m <sup>3</sup> + 남조류 5,000 cells/ml	- 남조류 10,000 cells/ml
	대발생	- Chl.a 100mg/m <sup>3</sup> + 남조류 100만 cells/ml	- 남조류 100만 cells/ml
친수용 발령 기준	관심	< 신 설 >	- 남조류 20,000 cells/ml
	경계	< 신 설 >	- 남조류 100,000 cells/ml
친수 조치사항		< 신 설 >	- (관심) 친수활동, 어패류 어획·식용 자제 - (경계) 친수활동, 어패류 어획·식용 금지

□ 공청회 세부 일정

시 간	내 용	비 고
13:30~14:00	등록	
14:00~14:10	인사말씀	조류전문가포럼 회장 (황순진 교수) 환경부 물환경정책국장
14:10~14:40	조류정보제 개선방안 주제발표	경기대학교 공동수 교수
14:40~15:30	지정 토론 · 황 순 진 건국대학교 교수/포럼 회장 · 공 동 수 경기대학교 교수/한국물환경학회 · 이 학 영 전남대학교 교수/한국하천호수학회 · 양 홍 모 녹색연합 대전·충남 사무처장 · 박 은 호 조선일보 차장 · 최 정 한 대구광역시 수질관리과장 · 이 영 기 환경부 물환경정책과장 · 이 재 관 한강물환경연구소 소장	포럼 회장 진행
15:30~16:00	자유 토론 (방청석 질의·응답 등)	포럼 회장 진행
16:00~	종합 정리 및 폐회	포럼 회장

## 2. 공청회 결과

### □ 총괄

- ◆ 조류경보제 개선방향에는 대부분 동의
- ◆ 대상지역 확대와 발령기준 조정에 대해서는 토론자간 의견 상충
  - (대상지역 확대) 학계·관계기관은 상수원 구간까지만 확대, 언론·민간단체는 4대강 본류구간 전체 확대
  - (발령기준) 학계는 발령일수 증가 우려, 민간단체는 남조류세포수 조정(5백→1천cells/mL)은 기준완화라고 주장, 수자원공사는 기준 완화 건의

### □ 참석자 주요의견

#### [대상지역 확대관련]

- 상수원 안전성 확보라는 제도의 취지를 고려할 경우 상수원 구간까지 확대가 바람직(이학영 교수, 이재관 소장 등)
- 4대강 호소화 및 친수활동 증대 등을 고려할 경우 4대강 본류구간 전체에 조류경보제 도입 필요(박은호 차장, 양홍모 처장)

#### [경보지표 단일화 관련]

- 종전 경보지표에서 클로로필-a를 삭제하고 남조류세포수로 단일화한 것은 바람직(참석자 모두)
- 조류독소에 대한 우려가 많으므로 독소를 경보지표에 추가할 필요(양홍모 처장, 박은호 차장)
- 남조류세포수는 분석자간 편차가 심하므로 분석결과의 신뢰도를 높일 수 있는 방안 강구(K-water 관계자)

## [발령기준 조정관련]

- 2009년 과학원 연구결과로 발령기준을 조정하였는데, 보설치 등 최근 변화된 하천환경에 대한 추가연구 후 발령기준 조정(박은호 차장)
- 남조류 세포수 발령기준 조정(주의보 : 5백→1천cells/mL)은 기준을 완화하는 것으로 보여짐(양홍모 처장)
  - 개선안을 적용하면 현재 사회문제가 되고 있는 낙동강 중류지역은 주의보 발령일수가 떨어져 예방 및 관리에 어려움 있음(양홍모 처장)
- 발령기준 조정으로 호소의 발령일수가 대폭 증가하므로 호소수의 주의보 기준은 추가조정(1천 → 2천cells/mL)이 필요(K-water 관계자)
  - 일례로 황성호는 개선안 적용 시 현행기준 적용 시에 비해 주의보 발령일수가 크게 증가하는데 Microcystin 함량이 낮은 *Aphanizomenon*이 우점하는 경우 위험도에 비해 과다한 발령을 초래할 수 있음
- 개선안에 따라 발령일수가 증가함에 따라 매우 낮은 독성 위험이 과장될 가능성 있음(이학영 교수)
- 제1안(주의보: 1,000 cells/mL 이상, 경보 10,000 cells/mL 이상, 대발생 100만 cells/mL)보다는 제2안(주의보: 2,000 cells/mL 이상, 경보 20,000 cells/mL 이상, 대발생 100만 cells/mL)이 보다 현실적임(황순진 교수)
- 조류경보제 시행 시 정수장 시설의 조류제거 및 처리능력별 차등 적용(최정한 과장)

## [친수 조류경보제 도입관련]

- 친수용 조류경보제 도입 및 발령기준은 바람직함(참석자 모두)
- 친수용 발령기준은 동의하나, 상수·친수구역에 모두 조류 경보제를 도입 하되 친수구역에 별도의 규정을 두는 것이 합리적임(박은호 차장)
- 친수용 조류경보제를 시·도지사에게 맡길 경우 제도의 유명무실이 우려됨(박은호 차장)

## [기타 의견]

- 녹조발생 시 수질·수량관리기관간 댐·보 방류로 인한 논쟁이 발생하고 있으므로 **조류경보제 개선 시 댐방류 명문화**(최정한 과장)
- 하천 퇴적물로 인한 조류발생 영향이 우려되므로 **퇴적층에 대한 연구가 필요**(최정한 과장)
- 친수 조치사항은 조금 더 적극적으로 국민에게 홍보하는 것이 필요(박은호 차장, 양홍모 처장)
- 2회 연속 채수를 할 때 채수 시기, 횟수 등 검토가 필요할 것으로 판단(박은호 차장)
- 조류측정 결과에 대한 신뢰도 제고를 위해서는 시료 채수 지점·방법·주기 등의 **구체화** 필요(이재관 소장, 대구시 관계자)
- 개선안 적용 시 발령일수가 증대함에 따른 **인력과 예산 확보** 필요(공동수 교수, 이학영 교수)

### Ⅲ. 공청회 주요 의견에 대한 검토

#### 1. 대상지역 확대관련

- 조류경보제를 하천까지 확대하되 법률의 취지인 물 이용의 목적에 따라 상수원 구간과 친수용 구간으로 구분하여 제도 운영을 이원화 하는 것이 합리적임
  - ※ 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조(수질오염 경보제)  
환경부장관 또는 시·도지사는 수질오염으로 하천·호소의 물의 이용에 중대한 피해를 가져올 우려가 있거나 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정될 때에는 해당 하천·호소에 대하여 수질오염 경보를 발령할 수 있다.
- 개선안에서 청평댐은 상수원 구간이 아니므로 원칙과 일관성에 입각하여 환경부장관이 관리하는 상수원 구간의 조류경보제 대상 지역에서는 제외하는 것이 합리적임

#### 2. 경보지표 단일화 관련

- 식수의 안전성과 쾌적성 확보에 우선을 두어 남조류 세포수를 주요 지표로 하고 조류기인성 냄새물질을 보조 지표 항목으로 적용하는 것이 타당함
  - 상수원은 정수처리 이전의 원수로서 정수기준인 조류 독소로 관리하는 것은 불합리하고 조류 독소의 잠재적 발생가능성과 그 변화를 판단할 수 있는 남조류 세포수로 관리하는 것이 바람직함
  - ※ 조류독소는 새포내 독소로서 정수장에서 대부분 제거되기 때문에 외국에서도 조류독소는 먹는 물과 위락용 기준만 있을 뿐 상수원 기준은 없음

### 3. 발령기준 조정관련

#### [최근의 현황에 대한 연구 결과 반영 관련]

- 영양염류 농도가 증가할수록 유해 남조류의 단위세포 당 독소함량이 증가할 수 있는데, 최근 환경기초시설의 화학적 인 처리로 공공수역의 총인 농도가 크게 감소하였음을 감안하면 남조류의 독성 위험은 과거에 비해 상대적으로 낮아진 것으로 평가할 수 있음
  - ※ 4대강 사업 이전('08~'09년) 낙동강 본류의 화원나루 지점(금호강 합류 직 하 지점)의 평균 총인 농도 0.310 mg/L → 4대강 사업 이후('12~'13년) 평균 총인 농도 0.068 mg/L
- 영양염류 농도에 따라 차등한 기준을 적용할 경우 대상 지역 또는 시기에 따라 기준이 달라지기 때문에 제도 운영 상 어려움이 따름
  - ※ 외국에서도 일률적인 기준으로 조류경보제 운영
- 남조류의 종류가 단기간에 새로이 진화하여 분기하는 것은 아니기 때문에 현재까지 가용한 최신 자료로 발령기준을 설정하는 것이 현실적임
  - ※ 향후 지속적인 연구를 통한 발령기준의 검토는 필요

#### [남조류 세포수 발령기준 완화 지적 관련]

- '98년에 현행 기준을 설정할 때 남조류 세포수 등급치는 호주의 사례를 참조하여 구분된 것이나 그 이후 국내의 연구결과('08~'09 국립환경과학원)에 따른 남조류 세포 당 독소 함량(호주의 1/2 수준)과 독성의 강도까지 고려(호주의 1/4 수준)할 때 등급치 조정 필요
  - '11~'13년을 기준으로 개선안을 적용할 경우 조류경보 대상 호소 22개(지점평균)의 연간 발령일수 합계는 주의보 3.9배, 경보 3.0배, 주의보 이상은 3.8배 상승하기 때문에 개선안은 현행 대비 대폭 강화되는 수준임
  - '13~'14년을 기준으로 개선안을 적용할 경우 낙동강 3개 보(지점평균)는 현행 대비 주의보 수준의 사상이 경보 수준으로 격상되는 것이지 완화되는 것이 아님
  - ※ 현행 기준 지점 당 연간 발령일수 합계: 주의보 48.2일, 경보 20.5일, 주의보 이상 68.7일 → 개선안: 45.8일, 경보 23.5일, 주의보 이상 69.3일

## [남조류 세포수 발령기준 추가적 완화 건의 관련]

- 제2안 적용 시 총 발령해당 일수는 현행 기준 적용 시에 비해 1.6배 증가(22개 호소+ 낙동강 보)하나, 적극적 대응이 필요한 경보단계의 발령일수는 0.4배로 감소하여 남조류 관리의 약화를 초래할 수 있음
  - ※ 제2안(주의보: 2,000 cells/mL 이상, 경보 20,000 cells/mL 이상, 대발생 100만 cells/mL)
- 남조류 종류별 세포크기의 차이에 따른 단위세포 당 독소 함량과 물의 투명도 및 생태계에 미치는 영향이 다르기 때문에 우점 남조류에 따른 발령기준의 차별화는 합리적인 것으로 판단됨
  - 남조류 중 대체로 저온성 조류인 *Aphanizomenon*은 위도와 고도가 높은 지역의 호수(예로 황성호)에서 우점하는 시기가 길어질 수 있음
  - *Aphanizomenon*은 Microcystin 함량은 낮지만 신경독소인 알칼로이드 계열의 Anatoxin Cylindrospermopsins, Saxitoxin을 주로 함유하고 있어 Microcystis와 같은 수준에서 관리할 필요가 있음
  - 남조류 종류별 세포크기의 차이와 그에 따른 단위세포 당 독소 함량의 차이는 물론 생태적 영향도 다르기 때문에 향후 남조류 생체량에 대한 정량적 지표(남조류 biovolume, 담수 조류 중 주로 남조류만 가지는 phycocyanin 색소)에 대한 연구 및 발령지표 포함 필요

## [정수시설의 처리 능력을 고려한 발령기준의 차등화 관련]

- 상수원수의 발령 기준은 정수처리시설의 상시적 처리 공법 및 능력과 관계없이 잠재적 유해성을 경고하는 것이므로 일률적인 기준의 설정이 합리적임

## 4. 친수 조류경보제 도입관련

- 친수용 조류경보제는 지역별 친수활동과 해당 지역 생태계의 유형에 따라 필요성의 정도가 다르기 때문에 국가가 획일적으로 대상지역을 정하는 것보다는 광역자치단체장에게 위임하는 것이 합리적임
  - 현행 법률 상 조류경보제 대상지역 22개 호소 중에도 시·도지사가 관리

하는 호소는 5개 호소

- 국가는 친수용 구간에 대한 발령기준을 정하고 시·도지사에게 대상 지역의 설정을 위임하되, 국가가 공공수역의 관리를 위해 필요하다고 판단되는 지역은 법 시행령으로 지정하여 시·도지사가 관리할 수 있도록 하는 제도적 장치 필요

## 5. 기타 의견 관련

### [조류경보 발령 시 댐방류 명문화 관련]

- 현행 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조」 관련 시행령 별표 2의 비고 3에서 '수면관리자'의 조류제어를 위한 방류량 증가와 관련된 조항이 있으나 물 이용의 다목적성을 고려할 때 그 주체와 강제성에 대한 사회적 합의가 필요
- ※ 시행령 [별표 2] 수질오염경보의 종류별·경보단계별 조치사항 비고 3. 조류주의보, 조류경보 또는 조류대발생경보를 발령하기 전이라도 수면 관리자는 수온상승 등으로 조류발생 가능성이 증가할 경우에는 일정 기간 방류량의 증가 조치 등 조류에 따른 피해를 최소화하기 위한 방안을 마련하여 추진할 수 있다.

### [친수 조치사항 적극적 홍보 관련]

- 친수기준 신설에 따라 수상스키, 수영, 낚시 등의 친수활동 및 가축방목 자제 권고·금지; 갑각류, 어·패류 등 어획 및 식용 자제 권고·금지에 대한 팻말, 현수막, 마스크 공지 강화 필요

### [경보 대응 신속화 관련]

- 발령상태의 변동에 따른 조치 요령의 혼란을 피하기 위하여 연속 2회 기준 초과 시 발령 형식은 유지하되, 경보에 신속한 대응을 위한 모니터링 횟수의 조정은 관련 기관의 대응 인프라를 고려하여 행정적으로 판단할 사항임

## IV. 조류경보제 개선 최종안

### 1. 대상지역

구 분	조류경보제	
	상수구간	친수구간
적용지역	- 상수원으로 이용되는 보·댐·하구언 ※ 4개보[칠곡보·강정고령보·창녕함안보(낙동강), 강천보(한강)], 1개댐(의암댐), 낙동강하구언 포함 6개소 추가	- 시·도지사가 필요에 의거 지정
운영권자	환경부장관	시·도지사
경보발령 시 조치사항	- 모니터링 강화, 조류제거, 취·정수장 운영강화 등	- 친수활동 및 갑각류, 어패류 어획 자제·금지 공지

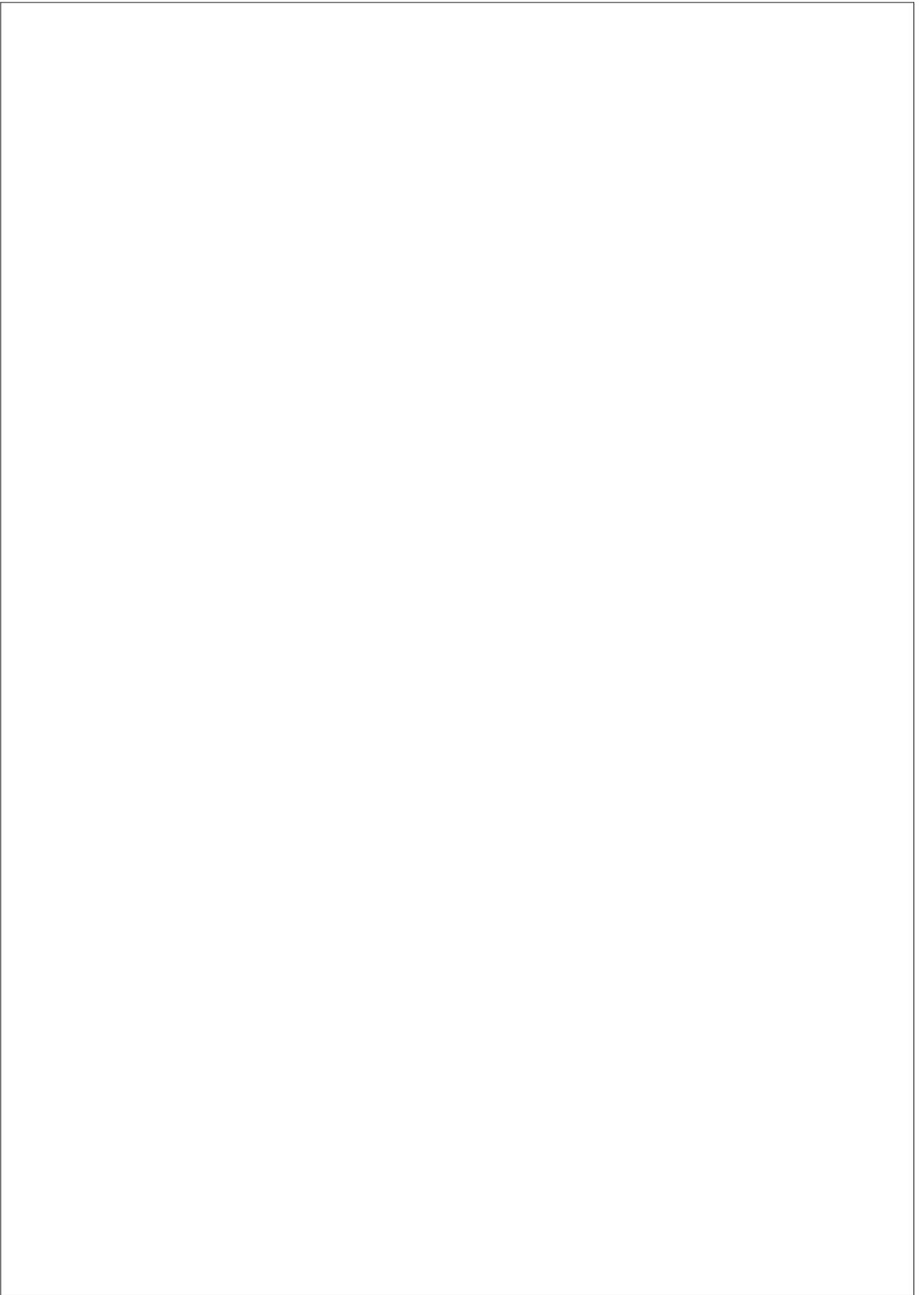
### 2. 경보단계별 발령기준

상수원 구간		친수용 구간	
단계	발령·해제기준	단계	발령·해제기준
주의보	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000세포/mL 이상인 경우	관심	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 20,000세포/mL 이상인 경우
경보	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 10,000세포/mL 이상인 경우	경계	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 100,000세포/mL 이상인 경우
대발생	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000,000세포/mL 이상인 경우	-	-
해제	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000세포/mL 미만인 경우		2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 20,000세포/mL 미만인 경우

비고 1. 상수원 구역에서는 1회 채취 시 Geosmin과 2-MIB가 각각 20ng/L 이상인 경우  
발령권자는 발령단계와 관계없이 정수장 관리자에게 해당 사항을 통보한다.

### 3. 친수구간 발령 시 조치 사항

단계	조치사항
관심	- 수상스키, 수영, 낚시 등의 친수활동 및 가축방목 자제 권고 - 갑각류, 어패류 등 수산물 어획 및 식용 자제 권고
경계	- 수상스키, 수영, 낚시 등의 친수활동 및 가축방목 금지 - 갑각류, 어패류 등 수산물 어획 및 식용 금지



# 제1장 과업 개요

## 제1절 목적

- 현행 조류경보제의 지표(클로로필-a와 남조류 세포수)와 발령기준에 대한 적정성을 분석하여 개선 방안을 제시
  - 조류경보 발령 시 관계기관 및 대국민 조치사항에 대한 적정 방안 마련
- 과업수행기간: 4월 11일~12월 31일(약 8개월)

## 제2절 과업 내용

- 조류경보제 대상지역 확대 방안 제시
  - 현행 상수원 호소에 적용하고 있는 조류경보제를 보·하구언 등 하천까지 확대하는 방안 제시
  - ✓ 조류경보제 대상지역의 확대 범위, 상수원 구역과 친수용 구역에 대한 일률 또는 차등 적용 여부 도출
- 조류경보제 발령지표 개선방안 제시
  - 현행 지표인 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 지표성, 지표간 상관성을 분석하여 개선방안 제시
  - ✓ 조류 기인성 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 등 발령 지표 확대 여부에 대한 검토 포함
- 조류경보제 발령기준 개선방안 제시
  - 외국의 사례 분석, 국내 조사결과에 대한 정밀 분석을 통해 적정한 단계별 발령 체계 및 기준 제시
  - ✓ 남조류 독소에 대한 음용수의 안전성, 원수의 친수성 등을 고려하여 합리적인 기준 마련
  - ✓ 수질예보제와의 연계에 대한 검토 및 적정 방안 제시

- 조류경보 발령시 조치사항 개선방안 제시
  - 경보 단계별로 환경관서, 분석기관, 수면관리 및 정수처리 담당 기관, 지자체 등이 조치하여야 할 사항에 대한 규정 검토 및 개선방안 마련
  - ✓ 녹조발생 시 대국민 공지, 국민들의 대응 사항에 대한 가이드라인 제시

### 제3절 추진 방법

- 조류전문가 포럼 주제별 세션 구성 및 운영
  - 제2기 조류전문가 포럼위원을 중심으로 관계공무원 및 산·학계의 수생태, 호소관리, 수처리 등 관련 전문가 위주로 40인 내외로 구성
    - 필요에 따라 연구진 이외 관계 전문가를 참여하도록 함
  - 제2기 조류전문가 포럼위원 중심으로 연구과업 수행, 관련전문가 의견 수렴 실시 등
- 조류전문가 포럼 개최
  - 연 4회 개최하는 것을 원칙으로 하되 필요시 수시 개최
    - 수계별로 순회하며 워크숍 개최(필요시 지역별 포럼과 연계 추진)
  - 과제별로 연구내용에 대한 주제발표 및 패널토의 진행
- 세부과제별 연구수행
  - 수계별 세부 책임연구원을 지정하고, 과제별로 연구내용에 대한 주제발표 및 패널토의 진행
  - 세부과제별 연구책임자가 연구결과를 작성하고 총괄책임자가 포럼결과를 취합하여 보고서 작성

## 제2장 포럼 운영 및 결과

### 제1절 제13차 포럼

#### □ 회의개요

- 사업명 : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구
- 일시 : 2014. 5. 21(수) 15:00 ~ 18:00
- 장소 : 대전광역시 대림호텔 컨벤션홀
- 참석대상 : 조류포럼 위원 및 관계전문가
- 참석자 : 총 24명

-회 장 1명	건국대학교	황순진	교수
-당연직 6명	환경부	이영기	물환경정책과장
	한강물환경연구소	이재관	소 장
	낙동강물환경연구소	천세억	소 장
	금강물환경연구소	이수형	소 장
	국립환경과학원	이재안	팀 장
	낙동강유역환경청	최동호	유역관리국장
	영산강유역환경청	주홍봉	유역관리국장
	대구지방환경청	강복규	기획과장
-위촉직 9명	한국농어촌공사	남귀숙	박 사
	K-water수자원연구소	신재기	수석연구원
	한국수자원공사	황수옥	수석위원
	한국환경공단	김순흠	센터장
	한국생명공학연구소	오희목	책임연구원
	경기대학교	공동수	교 수
	서울대학교	최지용	교 수
	충북대학교	정세웅	교 수
	에코프리즈	전숙례	연구소장
-그 외 8명			

□ 발제

- 제1주제 : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류정보제 개선 연구 방향  
(경기대학교 공동수 교수)
- 제2주제 : 조류정보제 대상지역 확대 방안  
(건국대학교 황순진 교수)

□ 포럼 일정표

시 간	내 용	사회 및 발표자
15:00 ~ 15:05	참석자 소개	제2기 회장
15:05 ~ 15:10	인사말씀	물환경정책과장 포럼 회장
15:10 ~ 15:20	제3기 회장 선출	제2기 회장
15:20 ~ 15:40	제1주제 : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류정보제 개선 연구 방향	경기대학교 공동수 교수
15:40 ~ 16:20	제2주제 : 조류정보제 대상지역 확대 방안	건국대학교 황순진 교수
16:20 ~ 16:30	휴식	
16:30 ~ 17:50	발표내용 토론	제3기 회장
17:50 ~ 18:00	종합 정리 및 폐회	제3기 회장

□ 포럼주요내용

○ 제1주제 : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선 연구 방향

(경기대학교 공동수 교수)

- 과업 목적
- 과업 내용
- 현황 및 문제점
- 주요 분석사항
- 추진 방법

○ 제2주제 : 조류경보제 대상지역 확대방안

(건국대학교 황순진 교수)

- 4대강 조류발생 현황
- 조류경보제 운영현황
- 조류경보제 대상지역 확대방안

□ 회의록

회 의 록

<b>제 목</b>	조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구	
<b>일시 및 장소</b>	2014. 5. 21(수) 15:00 ~ 18:00	
<b>장 소</b>	대전광역시 대림호텔 컨벤션홀	
<b>발표자</b>	경기대학교 공동수 교수 건국대학교 황순진 교수	
<b>참석자</b>	환경부	이영기
	한강물환경연구소	이재관
	낙동강물환경연구소	천세억
	금강물환경연구소	이수형
	국립환경과학원	이재안
	낙동강유역환경청	최동호
	영산강유역환경청	주홍봉
	대구지방환경청	강복규
	한국농어촌공사	남귀숙
	K-water수자원연구소	신재기
	한국수자원공사	황수옥
	한국환경공단	김순흠
	한국생명공학연구소	오희목
	경기대학교	공동수
	서울대학교	최지용
	건국대학교	황순진
	충북대학교	정세웅
	에코프리즘	전숙례
	그 외 7명	

<최지용 서울대학교 교수>

- 수질예보제와 조류경보제를 “수질예·경보제”로 통합하여 추진하여야 할 것
- 조류의 위해성에 따라 관리가 되도록 “확대지역, 항목, 기준” 등이 제시 되도록 고려
- ✓ 꼭 필요한 지역에 필요한 항목으로 국한시키고, 경보대상자도 이해관계자 중심으로 하며, 단계적으로 확대방안 제안 고려
- 상수원은 독성 중심으로 항목과 기준을 설정하고, 대상은 일정량 이상의 취수량을 가진 지역을 대상으로 할 필요가 있음
- 위락은 하천의 경우, 과연 어느 정도 이용자가 있는지를 검토하고 실제 우리나라 4대강에 위락 활동이 일어나는 지역에 대해 일정 사용자가 확인된 지역을 대상으로 하여야 할 것임
- 전반적으로 조류경보제는 국가에서 관리 가능한 수준으로 운영하고, 불필요하게 국민에게 불안을 심화시키지 않도록 고려하되, 국민의 요구 수준도 고려해야 함

<공동수 경기대학교 교수>

- 수질예보제와 조류경보제를 통합하여 “수질예·경보제”로 추진하는 것에 대한 검토 필요
- 대상지역의 확대는 인력과 예산을 검토하여 추진해야 함
- 수자원공사, 농어촌연구원의 조류관련 인력을 활용하여 구간별 조사 고려
- 농업용 저수지까지 확대하는 것은 차후 단계적으로 진행해야 함
- 기준은 <Chl.a and 남조류 세포수>를 <Chl.a or 남조류 세포수>로 기준하는 것을 검토 및 등급 수치를 현실화 하는 것이 필요

### <황순진 건국대학교 교수>

- 지역 확대는 원칙적으로 바람직하다고 판단되나 현수준에서 인력과 예산 및 대국민 정서와 후속관리 수단 등이 고려되지 않고 시행하는 것은 혼란과 어려움을 줄 가능성이 큼
- ✓ 단계적인 지역 확대를 고려하고 기준과 지표 설정 내용과 연계하여 추진함이 바람직
- 현재 조류 정책을 지원할 수 있는 조사, 연구의 체계가 미흡하다고 판단됨
- ✓ 4대강 수계의 유역과 수체, 토지이용, 오염원 분포에 따라 조류발생의 특성이 다르므로 4대강 유역에서 지역특이적인 조사·연구에 대한 장기적인 로드맵을 수립하고 이에 따라 추진하는 것이 바람직
- 현재 조류 R&D의 한계는 실제 정책에 효용이 적은 처리 기술 위주인 것에 있으므로 향후 개선 고려 요

### <오희목 한국생명공학연구원 책임연구원>

- 조류경보제 개선시 고려사항
- ✓ 최종 수요자인 국민이 원하는 것이 무엇인가?
  - 정수장에서 정수된 상수의 안전성 확보
- ✓ 확대적용범위는 예산, 인력 등을 고려하여 판단할 것
- ✓ 선진외국의 사례를 면밀히 조사하여 적절한 수준의 기준 설정 필요
- 개선의 기본 방향 제안
- ✓ 단순화(남조류 세포, Chl.a), 필요한 경우에 독소(Microcystin, Anatoxin), 취기(Geosmin, 2-MIB) 포함
- ✓ 조류경보제 개선에는 많은 연구자, 실무자, 정책입안자, 국민 등의 다양한 의견 수렴 필요
- ✓ 정책연구과제 발주 필요
- 국가차원에서 녹조문제의 근본적 해결을 위해서는 “녹조저감 국가 매뉴얼” 작성 등 총체적 계획 수립 필요

### <전세용 충북대학교 교수>

- 대상지역은 현행 상수원 호소(22)에서 보, 하구로 확대가 필요하나, 예산, 인력, 실효성 있는 대책을 고려하여 연차별로 확대하는 로드맵 개발 필요
- ✓ 상수원 보 구간 우선 시행 바람직
- 발령지표는 현행 Chl.a 그리고 남조류세포수 대신 위해성의 판단 기준 항목으로 변경하는 방안 모색 필요
- 모니터링-모델링-사후분석 기술개발을 위한 인력 확보 필요
- ✓ 조류경보제는 모니터링->경보발령이 주를 이루고 있는 실정이나 향후 예보·예측 기술의 개발이 요구됨
- ✓ 4대강 보에 대한 조류경보제 운영을 위해서는 수질예보제와 연계가 필요
- ✓ 예측기술은 조류경보 발령의 원인 해석, 경보 지속기간 예보, 수화 발생 가능성, 사후분석에 활용가능
- 국가 조류예측 모델의 입력자료 처리, 종별 천이 모델링 알고리즘, 매개변수, 생애주기 모델링, 이취미 물질 발생에 대한 예측기술 개선 필요

### <신재기 한국수자원공사 수석연구원>

- 조류경보제는 법적사항이므로 개선한다면 과학적 연구결과를 통해 그 기반으로 객관적, 탄력적인 적용이 될 수 있도록 해야 함
- “조류경보제 대상지역 확대방안” 과제에서 기존 측정망의 타당성 검토가 선행 되어야 하며 비취수 수역은 사전 예방적 녹조관리, 취수와 직접 관련되는 수역은 선제적 녹조관리 형태로 접근되어야 함
- ✓ 수역을 확대하는 것은 바람직하나 다소 부담이 되는 부분이 많아 녹조대응관리 측면에서 우선순위가 적극 고려되어야 함
- 기존 제도 기준의 타당성 재검토와 제도적 안정성 필요

### <김순흠 한국환경공단 센터장>

- 조류경보제 대상지역 확대의 필요성
- ✓ 현재는 물환경연구소에서 채수·분석하여 경보를 발령하고 있으나, 대상지역이 확대될 경우 인력에 의한 채수·분석에는 한계가 있을 것으로 판단됨
- ✓ 모니터링 시스템의 사용이 필연적일 것이나, 현재의 Chl.a 측정기의 정도, 남조류 세포수 측정 결과의 수분석과의 차이에 대한 극복이 관건
- 상수용과 친수용 구분
- ✓ 상수용과 친수용은 구분되어야 할 것이며, 친수용일 경우 일정농도 이상일 경우 친수활동의 금지 조치 등이 필요
- 대상지역 확대의 필요성은 있으나, 과연 경보제 운영 등의 용이성, 실효성 등에 대하여는 심도 깊은 고민이 필요할 것임
- 조류에 대한 대국민 인식 전환 등도 필요하므로 조류 관련 홍보자료 등의 배포, 언론을 통한 홍보도 병행 필요

### <황수옥 수자원공사 수석위원>

- 불합리하거나 비현실적인 기준을 바탕으로 한 조류경보제 대상지역 확대 및 정보의 국민제공은 국민에게 물에 대한 신뢰도 저하의 원인이 되므로 신중하게 검토되어야 함
- 수계별로 오염도 차이, 녹조 발생의 차이가 크므로 향후는 지역별 차등 적용을 하는 것이 바람직함
- 조류경보제는 조류로 인한 피해 최소화 및 먹는 물 안정성 확보가 운영의 목적이므로 상수원에 초점을 맞추어 운영할 필요가 있으며, 운영항목은 Chl.a와 남조류 세포수를 Chl.a 또는 남조류 세포수로 최소한으로 조정할 필요가 있음
- 조류를 남조류만 대상으로 할 것인지? 규조류까지 포함하여 운영할 것인지 검토가 필요하며 이취미, 독소까지 포함하여 운영할 필요가 있음
- 수자원(하천, 호소)과 수도(먹는물)와의 연계운영 필요

## <남귀속 한국농어촌공사 박사>

- 상수원 구간과 친수용 구역의 통합관리 체계 도입 필요
- ✓ 조류경보제는 주요 목적인 상수원수에 대한 안전성 확보를 위주로 운영
- ✓ 식수원의 안전성과 함께 생태적 안전성, 건강성에 대한 관심 증가로 친수 구간에 대한 관리 목적도 달성할 필요 있음
- 녹조의 효율적 관리를 위한 총체적 관리 시스템 확보
- ✓ 녹조의 사전 예방, 관리를 위한 효율적 관리체계가 필요
- ✓ 조류경보제와 비상수원의 녹조 사전관리를 위한 관리체계를 아우르는 기준체제 정립 필요
- ✓ 국가 전반의 조류관리가 가능한(대응가능한 수준의) 관리목표 방안 정립
- ✓ 농업용저수지의 녹조관리를 위한 체계적 기준이 없어 개선방안 필요
- 농업용 저수지 확대방안 검토
- ✓ 농업용저수지의 이수목적은 농업용수 사용이나 최근의 동향은 친수공간으로의 개념확대 진행
- ✓ 농업용 저수지의 지리적 분포특성 고려 시 주요 저수지에 대한 확대는 불가피 할 것으로 생각됨

## <전숙례 에코프리즘 연구소장>

- 온라인 측정가능한 장치, 시스템 활용가능한 기준, 지침 마련필요
- ✓ 수분석 대비 장치 측정 범위와 최적 기준, 연관성 연구 필요
- ✓ 인력의 효율적 활용, 상시 모니터링 체제 구축에 필요
- 지역확대 필요성 동의함(하천포함, 하천흐름의 연속성 고려)
- ✓ 지역적 발생 특성, 기후, 유역환경이 다르므로 조류 발생 특성을 연구, 고려하여(기초연구 데이터 분석, 생활사 고려) 장기적으로는 차별화된 지역별 기준 적용 필요
- 목적에 따른 조류경보제 실시
- 장기 로드맵에 따른 순차적 정책발전 방향 제시 필요

### <박혜경 연구관>

- 낙동강 모니터링 요구가 많은 상황으로 대상 확대는 인력면에서 현실적으로 불가능한 부분이 많아 장기적 진행 필요
- 조류경보제 장기적 로드맵으로 진행 필요, 실질적, 목적을 명확하게 진행 필요

### <이병철 연구사>

- 대상지역 확대 보류(원인규명 혹은 다른 사항 고려), 확대기준 명확히 할 필요

### <장윤현 과장>

- 국민 불안감을 고려하여 합리적이고 현실적인 먹는 물(정수장)에 대한 정보 제공 필요
- 목적에 맞게 DB활용 필요

### <나길 주무관>

- 인력예산 확대 방안 고려
- R&D 기초 사업 필요에 대한 방안 강구
- 조류포럼 제안에 대한 전문가들의 검토 및 의견 필요

# 1

## 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선 연구 방향

2014.05.21.

공동수 (경기대학교 교수)



---

# 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선 연구 방향

---

2014.05.19

---

경기대학교  
공동수

## 목 차

- I. 목적
- II. 과업 내용
- III. 현황 및 문제점
- IV. 주요 분석사항
- V. 추진 방법

## I

### 목적

- ❖ 조류경보제의 문제점을 분석하고 개선 방안을 도출하여 국민 건강보호와 쾌적한 생활환경 조성에 기여
- 조류경보제의 지표(클로로필-a와 남조류 세포수)와 발령기준에 대한 적정성을 분석하여 개선 방안을 제시하고,
- 조류경보 발령 시 관계기관 및 대국민 조치사항에 대한 적정 방안 마련

## II

### 과업 내용

#### [제1과제] 조류경보제 대상지역 확대 방안 제시

- 현행 상수원 호소에 적용하고 있는 조류경보제를 보. 하구연 등 하천까지 확대하는 방안 제시
- 조류경보제 대상지역의 확대 범위, 상수원 구역과 친수용 구역에 대한 일률 또는 차등 적용 여부 도출

#### [제2과제] 조류경보제 발령지표 개선방안 제시

- 현행 지표인 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 지표성, 지표간 상관성을 분석하여 개선방안 제시
- 조류 기인성 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 등 발령 지표 확대 여부에 대한 검토 포함

#### [제3과제] 조류경보제 발령기준 개선방안 제시

- 제외국의 사례 분석, 국내 조사결과에 대한 정밀 분석을 통해 적절한 단계별 발령 체계 및 기준 제시
- 남조류 독소에 대한 음용수의 안전성, 원수의 친수성 등을 고려하여 합리적인 기준 마련
- 수질예보제와의 연계에 대한 검토 및 적정 방안 제시

#### [제4과제] 조류경보 발령시 조치사항 개선방안 제시

- 경보 단계별로 환경관서, 분석기관, 수면관리 및 정수처리 담당 기관, 지자체 등이 조치하여야 할 사항에 대한 규정 검토 및 개선방안 마련
- 녹조발생 시 대국민 공지, 국민들의 대응 사항에 대한 가이드라인 제시

### Ⅲ

## 현황 및 문제점

### [제1과제] 조류경보제 대상지역 확대 방안 제시

- “수질 및 수생태법”(제21조)에 의거 하천·호소에서 조류경보제 운영이 가능하나, 시행령에서는 호소로 한정
- 동 제도는 1998년부터 시작, 현재 환경부, 시·도지사가 관리하는 178개 호소(환경부 90개, 시·도지사 88개) 중 상수원으로 이용되는 주요 호소 22개소(환경부 17개, 시·도지사 5개)를 대상으로 시행 중

<조류경보제 운영 연혁>

연도	내역
1996	금강환경관리청에서 대청호 대상으로 조류발생예보제 시범실시
1998	대청호, 팔당호 조류예보제 실시(충주, 주암호 시범실시)
2003	상수원 호소의 조류관리대책 수립 (조류예보제의 단계적 확대 추진 등 기본추진방안 수립)
2004	조류예보제 운영강화계획 수립 [대상호소 확대: 8개소('04) → 10개소('05)]
2006	조류예보제 운영 지자체로 확대
2006~2010	조류예보제 연도별 단계적 확대 운영 [10개소('05) → 16개소('06) → 17개소('07) → 20개소('08) → 22개소('09) → 현재]
2011	조류예보제 → 조류경보제(명칭 변경)

### Ⅲ

## 현황 및 문제점

### [제1과제] 조류경보제 대상지역 확대 방안 제시

- 기후변화와 인위적인 하천환경 변화 등으로 조류 발생 가능성 증가
  - '12년 7~8월에 낙동강수계에 녹조가 발생하여 국회, 언론, 환경단체 등에서 조류경보제를 하천으로 확대하여 시행할 필요성 제기
  - 감사원에서는 상수원으로 이용되는 하천 일부구간까지 조류경보제를 확대·시행할 것을 권고('12. 10)
- 환경부는 '13년부터 낙동강 수계의 하천수 취수(복류수 취수 제외) 3개 보 구간(칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보)에 대해 조류경보제 시범운영('13.2~12)
  - 8월에서 10월 까지 '조류주의보' 이상이 지속적으로 발령
  - 안전한 상수원수 확보를 위해 하천에서의 유해 남조류 관리 필요성 증대
- 특히, 하천은 주민들이 생활하는 공간으로서 상수원 영향뿐만 아니라 시각적·위생적 영향까지 함께 고려 요구
  - 쾌적한 친수공간 확보를 위해 4대강 수계 전 구간에서 체계적인 녹조관리 필요

**참고 1 4대강 수계의 상수원 및 친수용 구역 모식도**

[한강]		[낙동강]	
<b>준천 오</b>		<b>안동댐</b>	
용신(58.3)		<b>상주보</b>	
<b>의암댐</b>		<b>낙단보</b>	
		<b>구미보</b>	해평(64) 해평(광역)(400) 왜관(4.5)
<b>청평댐</b>		<b>질곡보</b>	공단(28) 매곡(880) 문산(210) 고령(44)
금남(55) 양서(5)		<b>강경고령보</b>	
		<b>달성보</b>	
		<b>압전정령보</b>	철서(마산)(440)
		<b>창평암안보</b>	보포(285) 창암(270) 원동(825) 매리(1,725) 물금(부산)(840) 물금(양산)(74)
		<b>낙동강하구인</b>	
	팔당(12,600) 팔당2(2,855) 팔당3(2,200) 광주용인(330) 광주(26.4)		
	<b>팔당댐</b>		
	하남(60) 덕소(200) 도곡(18) 강북(1,050) 토평(63) 말사(1,710) 구의(960) 한강(314) 홍남(인천)(700) 홍남(서울)(700) 자양(월산)(250) 자양(서울)(1,450)		
	<b>잠실수중보</b>		
	<b>신곡수중보</b>		

※ 취수량(취수량 천톤/일)

### Ⅲ 현황 및 문제점

#### [제2과제] 조류경보제 발령지표 개선방안 제시

- 클로로필-a 농도와 남조류 세포수를 동시 초과하는 조건으로 경보지표 설정·운영
- ※ WHO 등 해외 : 상수원은 남조류 세포수 중심, 레크레이션은 조류독소 중심으로 경보지표 설정·운영

**<조류경보의 종류별 경보단계 및 그 단계별 발령·해제기준>**

경보단계	발령·해제기준
주의	2회 연속 채취 시 Chl.-a 농도 15mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 500세포/mL 이상인 경우
경보	2회 연속 채취 시 Chl.-a 농도 25mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 5,000세포/mL 이상인 경우
대발생	2회 연속 채취 시 Chl.-a 농도 100mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 1,000,000세포/mL 이상인 경우
해제	2회 연속 채취 시 Chl.-a 농도 15mg/m <sup>3</sup> 미만이거나 남조류의 세포 수가 500세포/mL 미만인 경우

- 실제 운영과정에서 남조류 세포수는 유해 남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*속 세포수의 합으로 정하고 있음
- 각 경보단계는 WHO에서 먹는물 가이드라인으로 설정한 1µg Microcystin-LR/L에 해당되는 유해남조류 세포수인 약 5,000 Cells/mL를 경보 기준으로 하고, 그보다 10배 적은 500 Cells/mL를 주의 기준으로 한 것이었음

### III

## 현황 및 문제점

### [제2과제] 조류경보제 발령지표 개선방안 제시

- 클로로필-a 농도는 남조류 세포수와 상관관계가 낮아 동시 초과항목으로 부적합
  - 최근 10년간 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 상관관계를 분석한 결과, 0.5 이하의 낮은 상관계수를 나타내는 것으로 확인
  - 하천형 호수에서는 오히려 규조류가 번식하는 봄, 가을에 클로로필-a 농도가 높게 나타나 규조류와 상관관계가 높은 것으로 조사

< 최근 10년간 클로로필-a와 남조류세포수의 상관관계 분석결과 >

구분	팔당호 ('98~'07)	대청호 ('98~'07)	주암호 ('98~'07)	영천호 ('98~'07)	운문호 ('98~'07)
조류주의보	-0.106	0.248	-0.126	0.472	0.047

- 북한강 수계의 남조류(*Anabaena*) 번식으로 인한 냄새물질(지오스민, 2-MIB)로 수도권 수돗물에서 이취미 발생('11.11, '12.8)
  - 이로 인해 서울시는 '13년부터 자체적으로 냄새물질에 대한 조류경보제 운영

구분	예비주의보	주의보	경보	대발생
지오스민( $\mu\text{g}/\ell$ )	10	20	100	500
2-MIB( $\mu\text{g}/\ell$ )	10	20	100	500

\* 냄새물질에 대한 먹는 물 권 고기준 20 $\mu\text{g}/\ell$ 를 주의보로 설정

### III

## 현황 및 문제점

### [제3과제] 조류경보제 발령기준 개선방안 제시

- '98년 제도도입 당시 설정한 단계별 발령기준을 현재까지 그대로 적용
  - 실질적으로 조류관리가 필요한 경보 기준\*을 우선 설정하고, 주의보는 경보의 1/10 수준, 대발생은 스킴이 발생하는 100만cells/ml로 설정
  - \* 경보기준 : WHO·호주 등에서 적용하고 있는 조류독소 1ppb에 상응한 남조류 세포수(5,000cells/ml)로 설정
- 2013년부터 취. 정수장 등 물 관련기관에서 수질오염에 선제적으로 대응할 수 있도록 장래 수질을 예측·발표하는 수질예보제 시행
  - 클로로필-a 농도와 수온을 1주일 2회 예측하여 발표
  - 동 제도는 전지구적 기후변화 및 4대강 사업 이후 하천환경 변화의 여건에 부합하여 과학적 수질예측을 기반으로 한 선제적/사전예방적 수질관리를 하기 위한 것으로 주요 목적은 수생태계 보호와 친수활동의 안전성을 확보하는데 있음
  - 조류예보제의 예보단계 및 단계별 발령·해제기준과 조치사항은 법적으로 규정된 사항은 아니며 수질예보시스템을 운영하는 국립환경과학원에서 정한 기준에 따름
  - 현행 절차는 오염원, 수질, 유량, 기상 등 물환경관련 자료와 첨단 수질예측기술을 결합하여 예보시점으로부터 향후 7일간의 수질(Chl.a 와 수온) 변화를 예보하고, 예보결과에 따라 필요시 관계기관이 댐과 보의 비상방류 등 선제적 대응조치를 취하도록 하고 있음

### Ⅲ

## 현황 및 문제점



< 수질예보제 운영 절차 >

### Ⅲ

## 현황 및 문제점

### [제3과제] 조류경보제 발령기준 개선방안 제시

< 수질예보의 예보단계 및 그 단계별 발령·해제기준 >

Chl.-a 예측 농도 (mg/m <sup>3</sup> )	남조류세포수 (Cells/mL)			
	10,000 미만 <sup>1)</sup>	10,000 이상	50,000 이상	2×10 <sup>5</sup> 이상
35mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	-	관심단계 <sup>2)</sup>	주의단계	경계단계
70mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	관심단계	주의단계	경계단계	심각단계
105mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	주의단계	경계단계	심각단계	심각단계
140mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	경계단계	심각단계	심각단계	심각단계
175mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	심각단계	심각단계	심각단계	심각단계

- 남조류 세포수가 10,000 미만일 경우, 수질관리 단계 발령을 위한 Chl.-a 농도 기준은 각각 70 mg/m<sup>3</sup>, 120 mg/m<sup>3</sup>, 160 mg/m<sup>3</sup>, 200 mg/m<sup>3</sup> 초과 시로 완화한다.
- 남조류 세포수가 10,000 초과 시에는 Chl.-a 예측 농도 값과 관계없이 "관심"단계를 발령한다.
  - 남조류 세포수는 유해남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속 세포수의 합으로 한다.
  - Chl.-a 농도가 70 mg/m<sup>3</sup>을 초과하여 수질관리단계 최초 발령 시에는 기준을 초과한 날 이후 전반적으로 농도 상승이 예상될 경우 발령한다.
  - 남조류세포수 기준 초과에 따라 단계 발령시에는 Chl.-a 농도가 기준 미만(35mg/m<sup>3</sup> 4일 이상 유지) & 남조류세포수가 연속 2회 1만 미만일 경우 관심단계 해제한다. .

### Ⅲ 현황 및 문제점

#### [제3과제] 조류경보제 발령기준 개선방안 제시

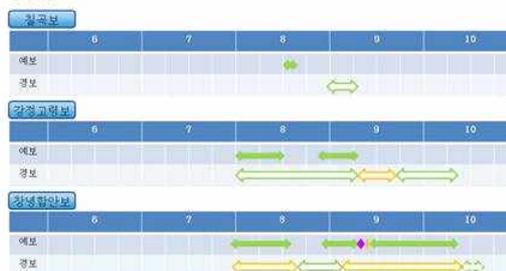
< 낙동강수계 보 구간의 수질예보제와 조류경보제 운영 개요 >

구분	수질예보제		조류경보제	
시행일	'12년~		'13년~	
목적	수생태계 보호 및 친수활동 안전 보장		상수원수 안전성 보호	
성격	사전예방		사후관리	
발령권자	국립환경과학원장		유역(지방)청장	
대상지역 (측정지점)	8개 보 직상류 500m 지점		3개 보 구간 (철곡보 상류 22km, 강정고령보 상류 7km, 창녕함안보 상류 12km 지점)	
측정자료	Chl.a 농도(예측), 남조류세포수(실측)		Chl.a 농도(실측), 남조류세포수(실측)	
발령기준	관심	Chl. 예측농도 70mg/m <sup>3</sup> , 또는 남조류 1만세포/mL	주의	Chl. 농도 15mg/m <sup>3</sup> & 남조류 500세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	주의	Chl. 예측농도 105mg/m <sup>3</sup> , 남조류 5만세포/mL & Chl. 35mg/m <sup>3</sup>	경보	Chl. 농도 25mg/m <sup>3</sup> & 남조류 5,000세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	경계	Chl. 예측농도 140mg/m <sup>3</sup> , 남조류 20만세포/mL & Chl. 35mg/m <sup>3</sup>	대발생	Chl. 농도 100mg/m <sup>3</sup> & 남조류 100만세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	심각	Chl. 예측농도 175mg/m <sup>3</sup> , Chl. 70mg/m <sup>3</sup> & 남조류 20만세포/mL		

### Ⅲ 현황 및 문제점

#### [제3과제] 조류경보제 발령기준 개선방안 제시

- (경보기준 조정필요) 국립환경과학원의 연구결과, 경보기준인 조류독소 1ppb에 상응한 국내출현 남조류 세포수는 2,348 ~ 67백만cells/mL로서 현행 5,000cells/mL과 크게 차이
- (친수용 기준 설정필요) 조류경보제를 하천까지 확대하고, 상수원과 기타구역으로 구분함에 따라 친수목적의 발령기준 필요
  - \* WHO·호주 등에서도 상수원 기준과 친수용 기준을 구분하여 차등 적용
- 조류경보제는 실측값, 수질예보제는 예측값을 기준으로 하나 유사한 발령단계를 적용하고 있어 운영상 혼란 초래
  - 실제 낙동강 수계 3개보를 대상으로 조류경보제를 시범운영한 결과, 상이한 발령기준으로 인한 문제점 발생



<'13년 낙동강 3개 보 구간에서 수질예보와 조류경보의 발령 현황 >

### III 현황 및 문제점

#### [제4과제] 조류경보 발령시 조치사항 개선방안 제시

○ 현행 조류경보제는 녹조발생 상황에 따라 수면관리자, 취·정수장 등 물 관련 기관에서 취해야 할 조치사항 위주로 운영

단계	관계 기관	조치사항
조류주의보	4대강(금강, 낙동강, 영산강, 섬진강, 한강을 말한다. 이하 같다) 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 수면관리자(수면관리자) 취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자) 유역·지방환경청장(시·도지사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주 1회 이상 시료 채취 및 분석</li> <li>· 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> <li>· 취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시</li> <li>· 정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리)</li> <li>· 조류주의보 발령</li> <li>· 주변오염원에 대한 철저한 지도·단속</li> </ul>
	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 수면관리자(수면관리자) 취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자) 유역·지방환경청장(시·도지사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주 2회 이상 시료 채취·분석(Chl-a, 남조류 세포수, 취기, 독소)</li> <li>· 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> <li>· 취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시</li> <li>· 조류증식 수심 이하로 취수구 이동</li> <li>· 정수처리 강화(활성탄처리, 오존처리)</li> <li>· 정수의 독소분석 실시</li> <li>· 조류경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보</li> <li>· 주변오염원에 대한 단속 강화</li> <li>· 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 자제 권고</li> <li>· 어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 자제 권고</li> </ul>
조류경보	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 수면관리자(수면관리자) 취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자) 유역·지방환경청장(시·도지사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주 2회 이상 시료 채취·분석(Chl-a, 남조류 세포수, 취기, 독소)</li> <li>· 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> <li>· 취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시</li> <li>· 활동 등 휴격적 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거조치 실시</li> <li>· 조류증식 수심 이하로 취수구 이동</li> <li>· 정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리)</li> <li>· 정수의 독소분석 실시</li> <li>· 조류대발생경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보</li> <li>· 주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화</li> <li>· 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 금지</li> <li>· 어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 금지</li> </ul>
	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 수면관리자(수면관리자) 취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자) 유역·지방환경청장(시·도지사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> <li>· 각종 경보 해제 및 대중매체를 통한 홍보</li> </ul>
조류대발생경보	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 수면관리자(수면관리자) 취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자) 유역·지방환경청장(시·도지사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주 2회 이상 시료 채취·분석(Chl-a, 남조류 세포수, 취기, 독소)</li> <li>· 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> <li>· 취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시</li> <li>· 활동 등 휴격적 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거조치 실시</li> <li>· 조류증식 수심 이하로 취수구 이동</li> <li>· 정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리)</li> <li>· 정수의 독소분석 실시</li> <li>· 조류대발생경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보</li> <li>· 주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화</li> <li>· 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 금지</li> <li>· 어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 금지</li> </ul>
해제	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 유역·지방환경청장(시·도지사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> <li>· 각종 경보 해제 및 대중매체를 통한 홍보</li> </ul>

### IV 주요 분석사항

#### [제1과제] 조류경보제 대상지역 확대 방안 제시

- 이수목적, 수질 및 수생태, 친수성에 대한 조류의 영향도, 행정적·경제적 부담을 종합적으로 검토하여 설정
- 전국의 조류 우심 수체) 이수목적을 고려하지 않고 조류 발생도가 일정 기준을 초과하는 모든 수체를 대상
    - 이 경우 하천, 호수 및 내륙에 위치한 크고 작은 다수의 농업용 저수지와 더불어 방조제를 막아 형성된 연안의 담수호가 그 대상에 포함
    - 객관성과 형평성이 보장되지만 과도한 행정적, 경제적 부담 초래
  - 조류 우심 상수원 수체) 상수원 수체만을 대상
    - 농업용수 등 기타 이수목적의 수체, 주요 강의 중하류 수체와 하구호가 제외 (상수원이 상류에 위치한 금강의 대청호 하류와 한강의 팔당호 하류, 섬진강의 주암호 하류, 낙동강의 물금취수원 아래에 위치한 낙동강하구언이 제외, 상수원을 타 유역에 의존하는 영산강 본류 전체가 제외)
    - 최근 4대강 사업으로 축조된 보의 조류관리가 이슈화되는 상황에서 시의적으로 부합되지 않음
    - 국내의 많은 대도시가 대단위 강의 중하류에 위치해 있으며 친수활동이 증가하고 있는 지리적, 사회적 여건에도 부합되지 않음
  - 조류 우심 상수원 및 주요 강의 본류 수체) 상수원 수체와 주요 강의 본류 수체를 대상으로 함으로써 식수의 안전성과 수생태계의 건강성 및 친수성을 제고하기 위한 안으로 사회경제적 여건을 감안한 안

## IV

### 주요 분석사항

#### [제1과제] 조류경보제 대상지역 확대 방안 제시

- 조류경보제 대상지역의 기준 항목은 이수목적과 수생태계의 건강성 확보 등을 고려
  - 1) Chl.a 농도) 수중에 존재하는 조류의 총량 지표 기준
    - 수체에 따라서 유해남조류의 세포수가 매우 큼에도 불구하고 Chl.a 농도가 낮은 경우가 있으므로 상수원 관리를 위해서는 한계
  - 2) 유해남조류 세포수) 식수의 안전성에 중점
    - 규조류 대량 발생 시 정수장의 여과지 폐색으로 처리비용 증대, 수체의 pH 상승으로 수중동물의 생육 지장, 물이 갈색으로 변색되어 친수성 저하, 유기물 내부생산 증가
    - 수생태계의 건강성과 안정적인 물이용을 위해서는 규조류 관리 역시 필요
  - 3) Chl.a 농도 또는 유해남조류 세포수)
    - 식수의 안전성은 물론 수생태계의 건강성과 친수성을 모두 고려
  - 4) 남조류 독소)
    - 정수처리로 먹는 물 기준으로 문제가 되지 않는 남조류 독소에 대하여 대국민의 지나친 정서적 불안감을 조장하여 사회경제적 여파를 야기할 가능성 있음
- 조류경보제 확대지역의 비용효과적인 적용 방안 도출
  - 1) 일률적용) 상수원 구역과 친수용 구역을 구분하지 않고 동일한 기준, 모니터링, 조치 사항 적용
    - 하류에 상수원이 있는 한강과 낙동강의 경우 상류에 위치한 보와 하천 구간에 대해 상수원과 동일한 수준으로 관리할 필요성이 있음
  - 2) 차등적용) 인력과 예산을 고려하여 상수원 구역과 친수용 구역을 구분하여 차등의 기준, 모니터링, 조치 사항 적용

## IV

### 주요 분석사항

#### [제2과제] 조류경보제 발령지표 개선 방안 제시

- 현행 지표인 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 지표성, 지표간 상관성을 분석하여 개선 방안 제시
- 외국의 사례와 비교분석하여 적절한 국내 지표 설정
- 조류 기인성 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 등 발령 지표 확대 여부에 대한 검토

## IV

### 주요 분석사항

#### [제3과제] 조류경보제 발령기준 개선 방안 제시

- 제외국의 사례 분석, 국내 조사결과에 대한 정밀 분석을 통해 적절한 단계별 발령 체계 및 기준 제시
  - 남조류 독소에 대한 음용수의 안전성, 원수의 친수성 등을 고려, 합리적 기준 마련
  - \* WHO의 독소 기준은 Microcystin-LR을 기준으로 하고 있으나 우리나라에서는 독성이 낮은 Microcystin-RR이 많이 검출되고 있으므로 외국의 독소기준으로 남조류 세포수를 결정할 경우 우리의 기준은 외국에 비해 약 2배 정도로 강화되는 결과 초래
  - \* 합리성을 바탕으로 한다면 정수처리장의 처리효율을 고려하여 현행 조류경보제의 경보단계에 해당하는 남조류세포수 기준은 수배에서 수십배 수준으로 강화되어야 함
  - \* 현재까지 적용되어 온 경보 기준을 대폭 완화할 경우 조류관리에 대한 정책적 의지가 부족한 것으로 비쳐지고 대국민 불신을 야기할 수 있으므로 우리나라 남조류와 독성 특성만 고려하여 적절한 기준을 제안
- 수질예보제와의 연계에 대한 검토 및 적정 방안 제시
  - 수질예보제는 단기간(현재는 1주내)에 예상되는 조류발생으로 인한 수생태계의 건강성과 친수성의 저하를 예방하기 위한 제도로써 단기적으로는 댐과 보의 수문조절이나 공공 하폐수처리장의 관리 강화, 정수처리장의 사전 대비와 같은 공공적인 수단외에는 실효적인 후속 수단이 없음
  - 현행 기준에는 예보시점의 남조류에 대한 실측치를 고려하고 있으나 이는 예보라고 볼 수 없으며, 또한 남조류의 발생에 따른 친수활동의 제약 사항은 이미 조류경보제의 조치사항에도 포함되어 있는 만큼 수질예보제에서 남조류 세포수를 고려하는 것은 혼선만 초래

## V

### 추진 방법

#### 과업의 추진방법

##### 조류전문가 포럼 주제별 세션 구성 및 운영 방안

- 기존 조류전문가 포럼위원을 중심으로 관계공무원 및 산·학·연계의 수생태, 호소관리, 수처리 등 관련 전문가 위주 40인 내외구성
- 필요에 따라 포럼위원 이외 관계 전문가를 참여하도록 함

##### 조류전문가 포럼 개최

- 분기별 1회 개최하는 것을 원칙으로 하되, 필요 시 수시 개최
- 세부과제별 책임연구원을 지정하고, 과제별로 연구내용에 대한 주제발표 및 패널토의 진행
- 용역수행기관은 전체포럼을 운영하며, 매포럼 개최마다 발표 및 논의사항을 종합하여 5일 이내 보고서 제출

##### 세부과제별 연구수행

- 세부과제별로 연구책임자가 해당 분야의 연구를 수행
- 총괄책임자가 연구결과 및 포럼결과를 취합하여 보고서 작성

# V

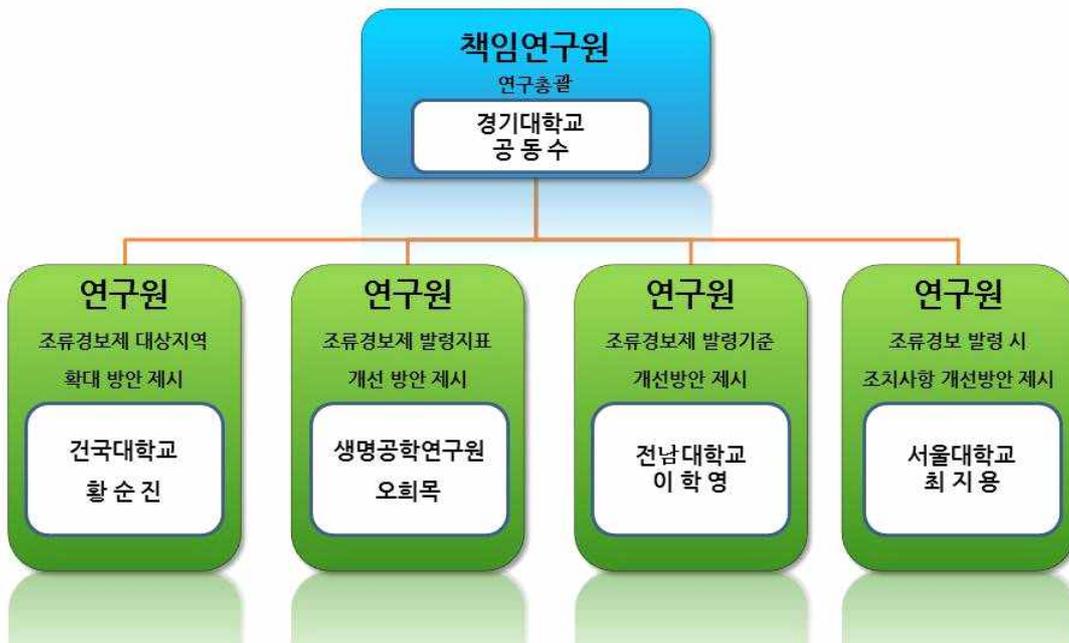
## 추진 방법 월별 정기 포럼 계획

월	포럼 순차	포럼 주제	참석범위
5	13차	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선 연구 방향</li> <li>조류경보제 대상지역 확대 방안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류전문가 포럼 위원</li> <li>- 발표자: 과업세부책임자, 포럼 위원</li> </ul>
7	14차	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류경보제 발령지표 개선 방안</li> <li>조류경보제 발령기준 개선 방안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류전문가 포럼 위원</li> <li>- 발표자: 과업세부책임자, 포럼위원</li> </ul>
9	15차	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류경보 발령시 조치사항 개선 방안</li> <li>분야별 조류경보제 개선 최종 방안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류전문가 포럼 위원</li> <li>- 발표자: 과업세부책임자, 포럼위원</li> </ul>
11	16차	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류경보제 개선 토론회</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중앙부처(환경부 등)</li> <li>자치단체(물관리부서, 상수도사업본부)</li> <li>수자원공사, 농어촌공사 등 유관기관</li> <li>조류전문가 포럼 위원,</li> <li>국·공·사립 연구기관</li> <li>- 발표자: 과업총괄책임자</li> </ul>

# V

## 추진 방법 업무분장

- 책임연구원: 1명
- 연구원: 4명
- 연구보조원: 4명





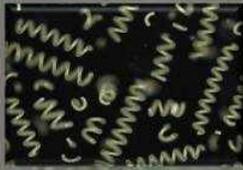
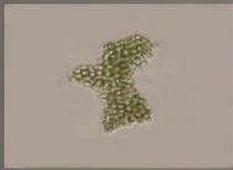
# 2

## 조류경보제 대상지역 확대 방안

2014.05.21.

황순진 (건국대학교 교수)





2014 조류전문가 포럼

# 조류경보제 대상지역 확대방안

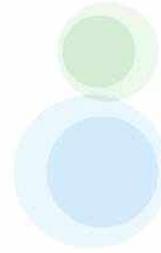
2014. 5. 21

건국대학교 환경과학과  
황 순 진



## 목 차

1. 4대강 조류발생 현황
2. 조류경보제 운영현황
3. 조류경보제 대상지역 확대방안



# 4대강 조류발생 현황

## 북한강 녹조현황



양수리 팔당호 (2011.11.28)



춘천 의암호 (2011.11.29)



북한강 (2012.7.17)

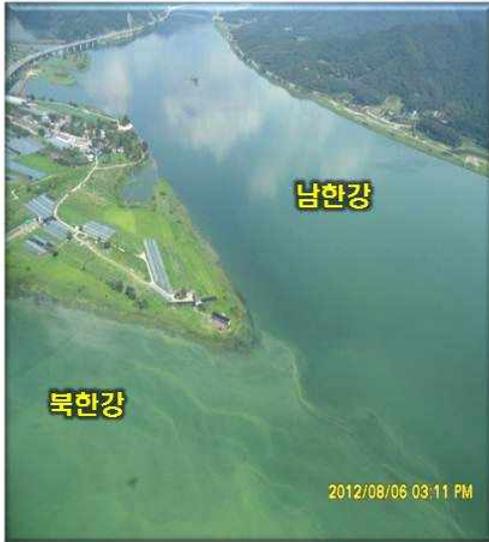


양수리 팔당호 (2012.7.27)



양수리 팔당호 (2012.8.6)

# 북한강 녹조현황



북한강과 남한강의 확연한 차이  
"북한강 수계 발생한 녹조"  
양수리 두물머리 합류지점

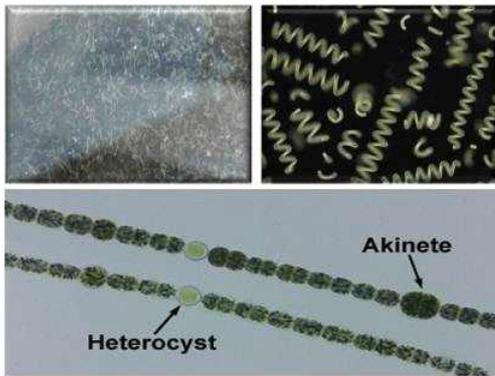


경기도 남양주시 화도하수처리장  
"15년 무단 방류". 목현천과 북한강 합류  
지점

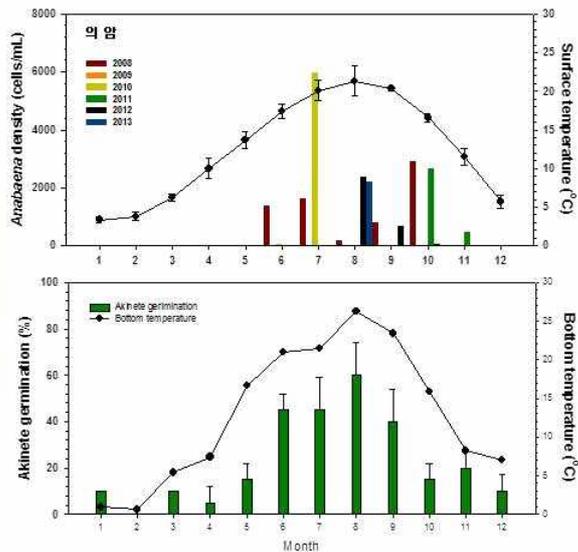
- 5 -

자료: 국립환경과학원

# 북한강 녹조 주요 원인종



- *Anabaena circinalis*
- 발생시기: 봄, 초여름, 가을
- 장애종류: 이취미유발(Geosmin)  
독소생성(Anatoxin)



자료: 한강수계관리위 (2014)

- *Anabaena*가 분비하는 대사물질 Geosmin에 의해 수돗물에서 냄새 발생
  - ✓ 휴면포자 생성
  - ✓ (심층) 수온 15도(5월 이후) 전후하여 발아율 상승

- 6 -

# 낙동강 녹조발생 현황

■ 2012년 7~8월

■ 2012년 12월

- ▶ 낙동강 녹조 원인종 남조류 마이크로시스티스(*Microcystis*)가 일으킨 문제
- ▶ 남조류 독소 마이크로시스틴(Microcystin)에 의한 생물, 인체 위해 여부 논란

- 7 -

자료: 국립환경과학원

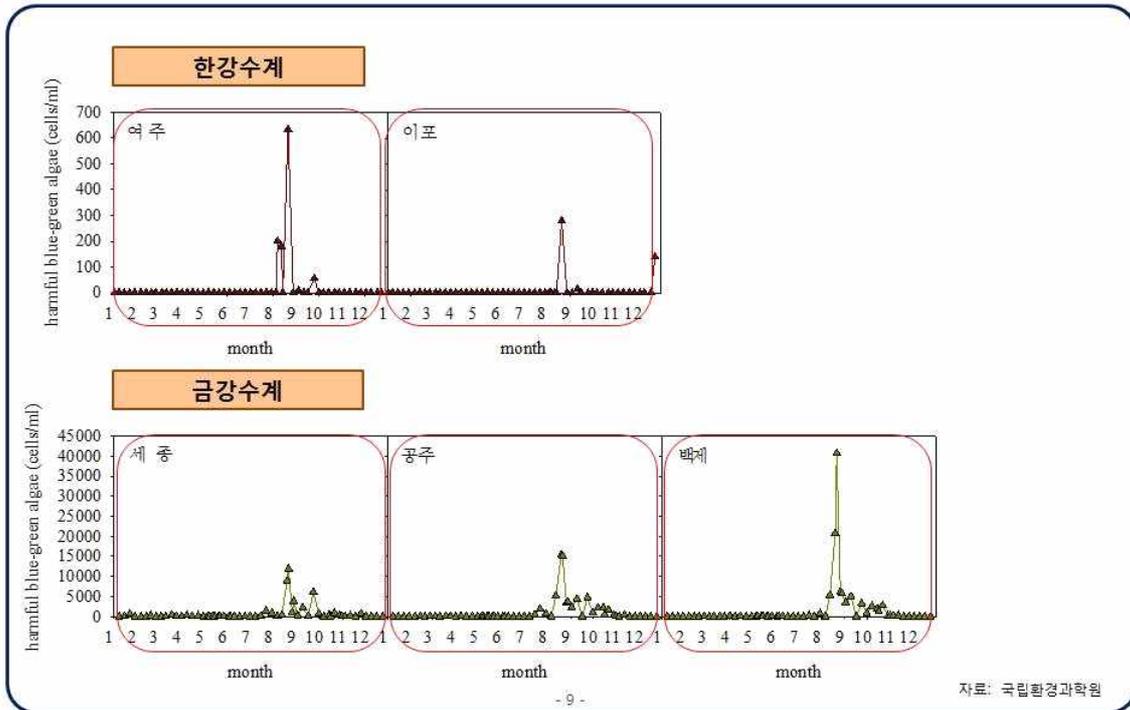
# 낙동강 하류 보구간 녹조발생 현황(2012)

20.4km      29.0km

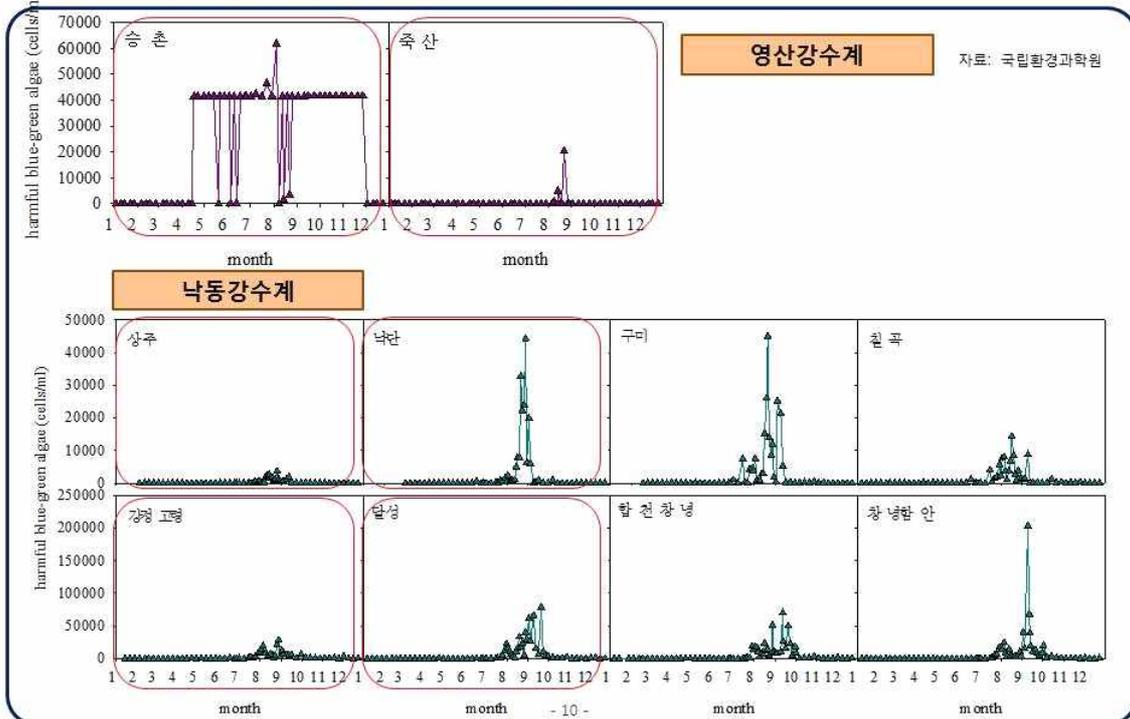
사문진교      고령교      박석진교      도동서원      우곡교

자료: 국립환경과학원  
(낙동강물환경연구소, 2012)

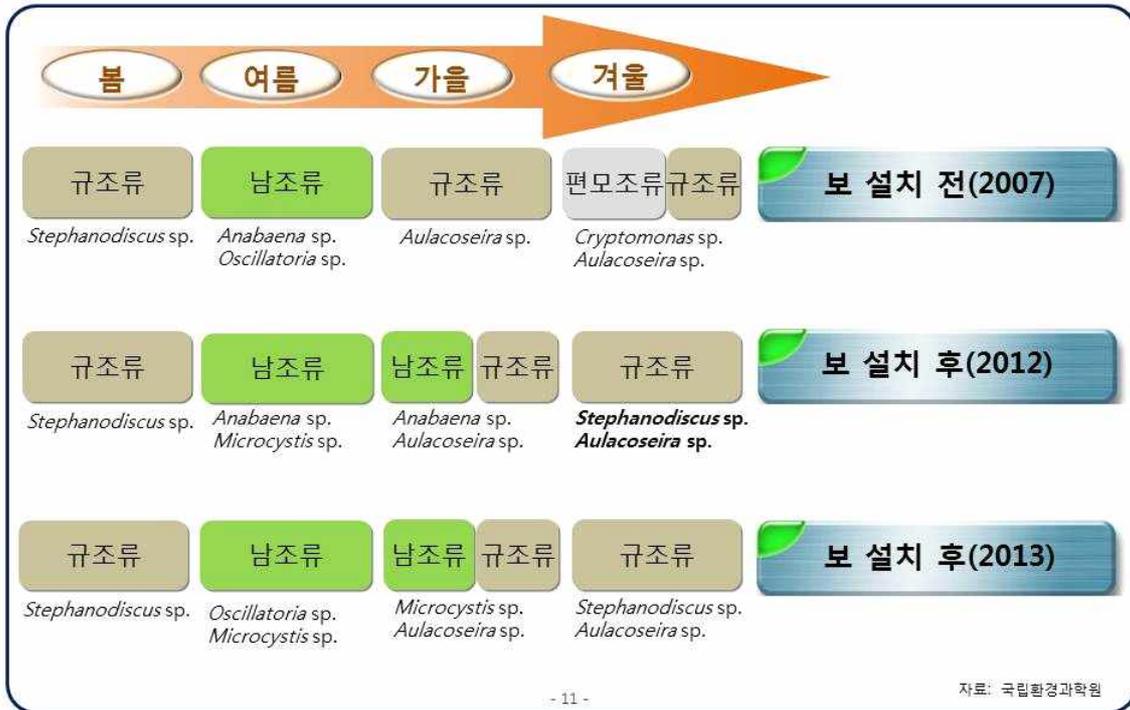
# 한강 및 낙동강 수계 친수역 구역(보구간) 남조류 발생현황(2013)



# 영산강 및 낙동강 수계 친수역(보) 구역 남조류 발생현황(2013)



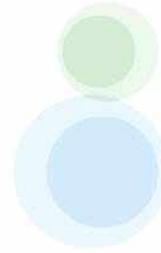
# 낙동강 수계 계절별 우점조류 변화



# 외국 하천에서의 남조류 대발생 사례

- 최근 기후변화(고온, 건조) 및 하천 유량 감소로 하천에서도 발생
- 외국의 경우 호주(Murray강)와 미국(Ohio강) 등에서 다수의 남조류 대발생

대상지역 (호주)	발생 시기	우점 남조류 및 발생 정도	피해보고	발생현황사진
Darling-Barwon River (1,000km 확산)	1991~1992	<i>Anabaena circinalis</i> (>15,000 cells/ml)	-	
Murray River downstream of Hume Dam	2009.04	Cyanobacteria ( <i>Anabaena circinalis</i> , <i>Microcystis flos-aquae</i> 등) Red Alert (>4 ug/L toxin)	-	
Murray River	2010.06	<i>Anabaena circinalis</i>	-	



# 조류경보제 운영 현황

## 조류경보제 운영 현황

- 발령권자: 유역(지방)환경청자, 시,도지사
- 발령기준: 클로로필 a 농도, 남조류 세포수

지표 / 기준	주의보	경보	대발생
클로로필-a 농도(mg/m <sup>3</sup> )	15 이상	25 이상	100 이상
남조류 세포수(세포/mL)	500 이상	5,000 이상	1,000,000 이상

- \* 남조류 세포수는 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속 세포수 합
- \* 2회 연속 chl-a 농도와 남조류 세포수 모두가 기준에 해당될 때 발령
- \* 각 경보단계는 WHO에서 먹는물 가이드라인으로 설정한 1 $\mu$ g Microcystin-LR/L에 해당되는 남조류 세포수인 약 5,000 Cells/mL를 경보 기준으로 하고, 그보다 10배 적은 500 Cells/mL를 주의기준 설정

- 해제: 2회 연속채취 시 클로로필-a 15mg/m<sup>3</sup>미만  
또는 남조류세포수 500cells/mL미만인 경우  
(발령권자가 해제)

## 조류경보제 대상 지역 현황

- "수질 및 수생태법"(제21조)에 의거
  - ✓ 하천·호소에서 조류경보제 운영이 가능하나, 시행령에서는 호소로 한정
- 조류경보제는 1998년부터 시작
  - ✓ 현재 환경부, 시·도지사가 관리하는 178개 호소(환경부 90개, 시·도지사 88개) 중 상수원으로 이용되는 주요 호소 22개소(환경부 17개, 시·도지사 5개)를 대상으로 시행 중
- 현행 조류경보제는 4대강 하천, 보 등 조류 발생으로 인해 문제가 될 수 있는 수역 관리에 어려움

조류경보제 운영 연혁

연도	내역
1996	• 금강환경관리청에서 대청호 대상으로 조류발생예보제 시범실시
1998	• 대청호, 팔당호 조류예보제 실시(충주호, 주암호 시범실시)
2003	• 상수원 호소의 조류관리대책 수립 (조류예보제의 단계적 확대 추진 등 기본추진방안 수립)
2004	• 조류예보제 운영강화계획 수립 [대상호소 확대: 8개소('04) → 10개소('05)]
2006	• 조류예보제 운영 지자체로 확대
2006~2010	• 조류예보제 연도별 단계적 확대 운영 [10개소('05) → 16개소('06) → 17개소('07) → 20개소('08) → 22개소('09) → 현재]
2011	• 조류예보제 → 조류경보제(명칭 변경)

- 15 -

## 보구간(낙동강) 조류경보제 시범 시행

### 조류경보제 시행 배경

- ▶ '12년 7~8월 낙동강수계 녹조 발생: 상수원에 조류관리 강화 요구 증가
  - ✓ 국회, 감사원, 언론, 환경단체 등에서 하천 대상 조류경보제 시행 요구 제기
- ▶ 감사원 지적사항('12.10):
  - ✓ 상수원으로 이용되는 하천 일부구간까지 조류경보제를 확대·시행
- ➔ 낙동강 상수원 이용 보 구간 조류경보제 시범적용 후, 4대강 상수원 이용 보 구간으로 확대하는 방안 검토

### 경보기준 14배 초과

구분('12.8.9)	낙단보	구미보	칠곡보	강정고령보	합천창녕보
클로로필-a (mg/m <sup>3</sup> )	33.0	18.9	29.4	31.9	80.8
남조류 세포수 (cells/ml)	69,882	38,526	40,650	50,838	66,586

- 16 -

자료: 국립환경과학원

## 보구간 조류경보제 개요

- 대상 지역
  - ▶ 하천수를 직접 원수로 취수하는 3개 보 구간 (칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보), 복류수 취수 제외
  - ※ 상수원 이용 보 구간: 한강 1개소(이포보), 낙동강 5개소(상주보, 낙단보, 칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보), 금강 및 영산강은 없음
- 측정 지점
  - ▶ 취수구로부터 상류 2~4km 선정(취·정수장 대응시간 고려)
  - ※ 칠곡보 상류 22km, 강정고령보 상류 7km, 창녕함안보 상류 12km 지점
- 발령 단계
  - ▶ 예방단계(출현알림), 경보단계(경보, 대발생) 로 이원화 (경보 단계부터 대국민 전파)
- 발령 기준
  - ▶ 남조류 세포수, 클로로필 a (기존 조류경보제 적용)
  - ※ 참고항목: 조류 독소 농도(Microcystin 기준)

- 17 -

자료: 국립환경과학원

## 조류경보제 대상지역 확대 방안

# 조류경보제 관련 정책 개선 내용

<p><b>1. 조류경보제 대상 지역 확대방안</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현행 상수원 호소에 적용하고 있는 조류경보제를 보.하구연 등 하천까지 확대하는 방안</li> <li>✓ 조류경보제 대상지역의 확대 범위 제시</li> <li>✓ 상수원 구역과 친수용 구역에 대한 일률 또는 차등 적용성 검토</li> </ul>	<p><b>2. 조류경보제 발령지표 개선방안</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현행 지표인 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 지표성, 지표간 상관성을 분석하여 개선방안 제시</li> <li>✓ 조류 기인성 냄새물질 (Geosmin, 2-MIB) 등 지표 확대 여부</li> </ul>
<p><b>3. 조류경보제 발령기준 개선방안</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 적절한 단계별 발령체계 및 기준 제시</li> <li>✓ 남조류 독소에 대한 응용수의 안전성, 원수의 친수성 등을 고려하여 합리적인 기준 마련</li> <li>✓ 수질예보제와의 연계에 대한 검토 및 적정 방안 제시</li> </ul>	<p><b>4. 조류경보 발령시 조치사항 및 개선방안</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 경보 단계별로 환경관서, 분석기관, 수면관리 및 정수처리 담당 기관, 지자체 등이 조치하여야 할 사항에 대한 규정 검토 및 개선방안 마련</li> <li>✓ 녹조발생 시 대국민 공지, 국민들의 대응 사항에 대한 가이드라인 제시</li> </ul>

- 19 -

# 조류경보제 대상 지역 확대 필요성

- (1) 기후변화와 인위적인 하천환경 변화 등으로 조류 발생 가능성 증가 및 **녹조에 대한 사회적 인식 증대**

  - '12년 7~8월에 낙동강수계에 녹조가 발생하여 국회, 언론, 환경단체 등에서 조류경보제를 하천으로 확대하여 시행할 필요성 제기
  - 감사원에서는 상수원으로 이용되는 하천 일부 구간까지 조류경보제를 확대 시행할 것을 권고('12. 10)
- (2) **안전한 상수원수 확보**를 위해 하천에서의 유해 남조류 관리 필요성 증대

  - 8월에서 10월 까지 '조류주의보' 이상이 지속적으로 발령
  - 환경부는 '13년부터 낙동강 수계의 하천수 취수(복류수 취수 제외) 3개 구간(칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보)에 대해 조류경보제 시범운영 ('13.2 ~ 12)
- (3) **쾌적한 친수공간 확보**를 위해 4대강 수계 전 구간에서 체계적인 녹조관리 필요성 제기

  - 특히, 하천은 주민들이 생활하는 공간으로서 상수원 영향뿐만 아니라 시각적·위생적 영향까지 함께 고려 요구

- 20 -

# 조류경보제 대상 지역 확대 기본방향 및 방안

기본방향: 이수목적, 수질 및 수생태, 친수성에 대한 조류의 영향도, 행정적·경제적 부담을 종합적으로 검토하여 설정함이 바람직

## 전국적 조류 우심 수체 대상

- 이수목적을 고려하지 않고 조류 발생도가 일정 기준을 초과하는 모든 수체를 대상
- 이 경우 하천, 호수 및 내륙에 위치한 크고 작은 다수의 농업용 저수지와 더불어 방조제를 막아 형성된 연안의 담수호가 그 대상에 포함
- 객관성과 형평성이 보장되지만 과도한 행정적, 경제적 부담 초래

## 조류 우심 상수원 수체 대상

- 상수원 수체만을 대상
- 농업용수 등 기타 이수목적의 수체, 주요 강의 중하류 수체와 하구호가 제외
  - 상수원이 상류에 위치한 금강의 대청호 하류와 한강의 팔당호 하류, 섬진강의 주암호 하류, 낙동강의 물금취수원 아래에 위치한 낙동강하구연이 제외, 상수원을 타 유역에 의존하는 영산강 본류 전체가 제외
- 최근 4대강 사업으로 축소된 보의 조류관리가 이슈화되는 상황에서 시의적으로 부합되지 않음
- 국내의 많은 대도시가 대단위 강의 중하류에 위치해 있으며 친수활동이 증가하고 있는 지리적, 사회적 여건에도 부합되지 않음

## 조류 우심 상수원 및 주요 강 본류 수체 대상

- 상수원 수체와 주요 강의 본류 수체를 대상
- 식수의 안전성과 수생태계의 건강성 및 친수성을 제고하기 위한 안으로 사회경제적 여건을 감안

- 21 -

# 조류경보제 확대지역 적용방향

## 비용 효과적, 관리효과적 적용방안 고려

### ● 전체 지역에 대한 일률적용

- ✓ 상수원 구역과 친수용 구역을 구분하지 않고 동일한 기준, 모니터링, 조치 사항 적용
- ✓ 하류에 상수원이 있는 한강과 낙동강의 경우 상류에 위치한 보와 하천 구간에 대해 상수원과 동일한 수준으로 관리할 필요성이 있음

### ● 지역(구역별) 차등적용

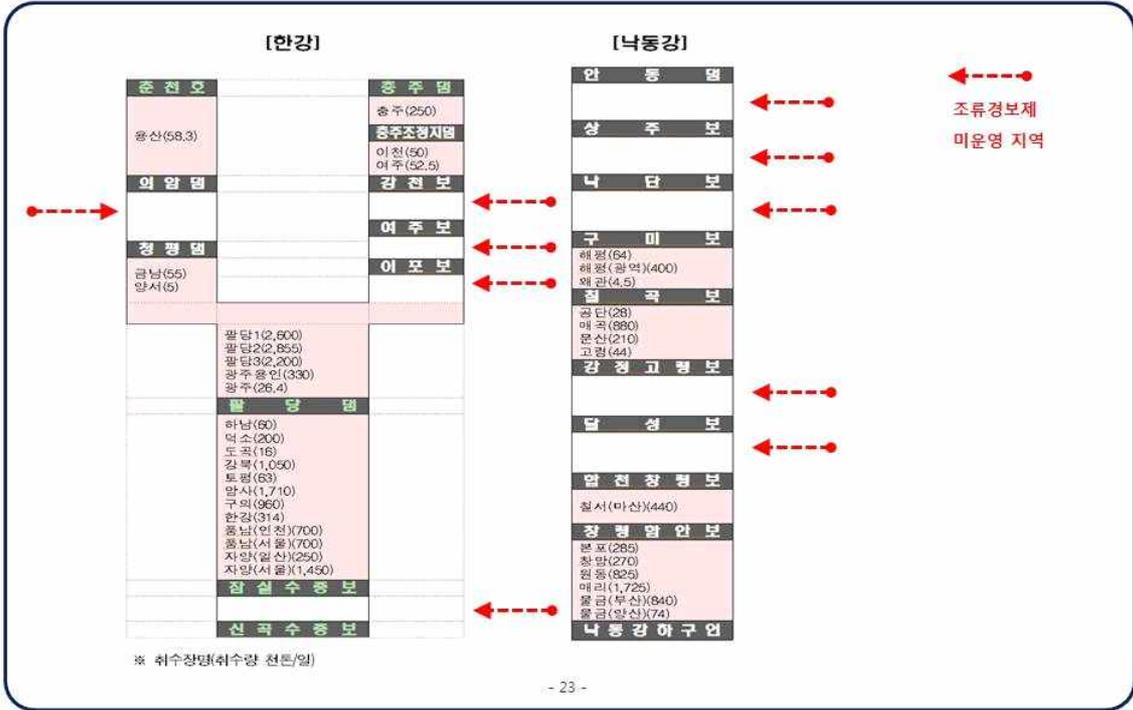
- ✓ 인력과 예산을 고려하여 상수원 구역과 친수용 구역을 구분하여 차등의 기준, 모니터링, 조치 사항 적용

### < 상수원 구역과 친수용 구역 비교 >

구분	구역분류	대상지역
상수원 구역	- 취수용량 1만톤/일 이상의 취수시설이 위치한 구역	강천보, 칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보, 낙동강하구연, 잠실수중보 등 6개 구역
친수용 구역	- 상수원 구역 외의 구역	그 외 14개 보·하구연

- 22 -

# 한강 및 낙동강수계 상수원 및 친수역구역 모식도



## 조류경보제 대상 지역의 문제점 및 개선방안

### 문제점

- 현재 운영지역이 호소/ 상수원에 국한
- 기후변화 및 하천환경 변화(보건설)로 인한 하천에서의 조류발생 잠재성 증대
- 하천구간이 상수원구역과 친수구역으로 연결되어 관리상 분리 어려움  
: 구역별 일률적 적용의 효율성 저하

### 개선방안 : 조류경보제 대상지역 확대 및 그에 따른 기준 적용 필요

- ✓ 조류경보제 하천구간으로 확대(하구언 호소 추가)  
: 장기적으로 주요 대형 농업용 저수지 추가 검토  
(하천 본류 구간에 영향을 주는 저수지 대상)  
: 하천구간에서 상수용과 친수용으로 구분

- ✓ 구역별 차등기준 검토  
: 조류경보제 지표개선과 연계 검토  
: 상수원구역과 친수용구역의 상하류간 연결에 따른 기준 적용의 차별성 문제 고려

## 제2절 제14차 포럼

### □ 회의개요

- 사업명 : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구
- 일시 : 2014. 9. 19(금) 15:00~18:00
- 장소 : 생명공학연구원(대전) 나눔관 대회의실
- 참석대상 : 조류포럼 위원 및 관계전문가
- 참석자 : 총 31명

-회 장 1명	건국대학교	황순진	교수
-당연직 10명	환경부	이영기	물환경정책과장
	한강물환경연구소	이재관	소 장
	낙동강물환경연구소	천세억	소 장
	금강물환경연구소	이수형	소 장
	영산강물환경연구소	이형진	소 장
	국립환경과학원	이재안	팀 장
	낙동강유역환경청	최동호	유역관리국장
	금강유역환경청	강선종	유역관리국장
	영산강유역환경청	주홍봉	유역관리국장
	대구지방환경청	강복규	기획과장
-위촉직 12명	한국수자원공사	황수옥	수석위원
	KIST	이상협	책임연구원
	건국대학교	황순진	교수
	한국생명공학연구원	오희목	책임연구원
	경기대학교	공동수	교 수
	서울대학교	최지용	교 수
	충북대학교	정세웅	교 수
	전남대학교	이학영	교 수
	충북대학교	조영철	교 수
	목포해양대학교	신용식	교 수
	충남대학교	안광국	교 수
-그 외 9명	에코프리즘	전숙례	연구소장

□ 발제

- 제1주제 : 조류경보제 지표개발  
(생명공학연구원 오희목 책임연구원)
- 제2주제 : 조류경보제 발령기준 개선방안  
(전남대학교 이학영 교수)
- 제3주제 : 조류경보 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항  
(서울대학교 최지용 교수)

□ 포럼 일정표

시 간	소요 (분)	내 용	사회 및 발표자
15:00 ~15:05	5	참석자 소개	경기대학교 공동수 교수
15:05 ~15:10	5	인사말씀	포럼 회장 물환경정책국장
15:10 ~15:40	30	제1주제 : 조류경보제 지표개발	생명공학연구원 오희목 책임연구원
15:40 ~16:10	30	제2주제 : 조류경보제 발령기준 개선방안	전남대학교 이학영 교수
16:10 ~16:40	30	제3주제 : 조류경보 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항	서울대학교 최지용 교수
16:40 ~16:50	10	휴식	
16:50 ~17:50	60	발표내용 토론	포럼 회장
17:50 ~18:00	10	종합 정리 및 폐회	포럼 회장

□ 포럼주요내용

○ 제1주제 : 조류경보제 지표개발

(생명공학연구원 오희목 책임연구원)

- 조류경보제의 개요 및 개선점
- 남조류 모니터링 연구(대청호)
- 국외 사례
- 조류경보제 개선(안)제안
- 기타 제언

○ 제2주제 : 조류경보제 발령기준 개선방안

(전남대학교 이학영 교수)

- 조류경보제란?
- 조류경보제의 목적
- 추진경과
- 발령과 해제
- 발령과 대응체계
- 조류발령의 현황
- 조류경보제의 문제점
- 조류경보제와 수질예보제
- 조류경보제 발령기준 개선안

○ 제3주제 : 조류경보 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항

(서울대학교 최지용 교수)

- 서론
- 관리실태
- 개선방안
- 결론

□ 회의록

회 의 록

<b>제 목</b>	조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구	
<b>일시 및 장소</b>	2014. 9. 19(금) 15:00 ~ 18:00	
<b>장 소</b>	대전광역시 생명공학연구원(대전) 나눔관 대회의실	
<b>발표자</b>	생명공학연구원 오희목 책임연구원 전남대학교 이학영 교수 서울대학교 최지용 교수	
<b>참석자</b>	환경부	이영기
	한강물환경연구소	이재관
	낙동강물환경연구소	천세억
	금강물환경연구소	이수형
	영산강물환경연구소	이형진
	국립환경과학원	이재안
	낙동강유역환경청	최동호
	금강유역환경청	강선종
	영산강유역환경청	주홍봉
	대구지방환경청	강복규
	한국수자원공사	황수옥
	KIST	이상협
	경기대학교	공동수
	충북대학교	정세웅
	충북대학교	조영철
	목포해양대학교	신용식
	충남대학교	안광국
	건국대학교	황순진
	에코프리즘	진숙례
	그 외 9명	

<최지용 서울대학교 교수>

- 지표와 발령기준 합리화 필요
- ✓ 상수원과 위락 등 조류영향 요소 기준
- 독성/냄새 물질 기준으로 운영
- 대응조치 현실화 필요
- 정보는 상시관리가 아닌 위기 관리시 발령되도록 고려
- 우리나라 먹는 물 문제, 국민설득, 낙동강과 같이 지역 특성, 행정적 운영 문제, 법 개정 문제 등 종합적 고려 필요

<공동수 경기대학교 교수>

- 수질예보제와 조류경보제를 목적을 나눠서 분리
- ✓ 수질예보제 - 상수원 수질관리
- ✓ 조류경보제 - 먹는물의 안정성과 쾌적성 관리
- ✓ phycocyanin 측정과 독성(Microcystin-LR) 및 냄새물질 기준 검토
- 개정안을 제시해 집중적으로 10월 중 포럼 위원과 논의 필요

<이학영 전남대학교 교수>

- 조류경보제 지표
- ✓ 현행 남조류 세포수와 Chl.a 농도로 독성을 비롯한 먹는 물 안정성 구축의 지표를 설정하는데 문제가 있음
- ✓ Cyanobacteria가 가진 phycocyanin이 적합한 물질
- 발령기준
- ✓ 현행 주의보 기준 너무 강화되어 있음 -> 1,000cell/ml 이상으로
- ✓ 궁극적으로 남조류 독소로 기준화할 필요

### <오희목 한국생명공학연구원 책임연구원>

- 본 개정은 향후 녹조 모니터링을 위해 장기간, 널리 사용 될 것을 감안하여, 전문가, 수질전문가, 정책결정자 등 다양한 분야의 의견 수렴을 거쳐, 완성도 높은 조류경보제 개선 안이 마련되어야 함
- 유럽, 호주, 미국 등 관련국의 자료를 널리 수집, 참고하여 국제수준에 견줄 수 있는 Cost-effective 한 개선안 마련이 필요
- 남조류 bloom은 결국 독소, 이취미 발생에 대한 염려가 크므로, 경보, 대발생 단계에서는 이에 대한 단계별 심화 정보 제공도 필요

### <이상협 KIST 책임연구원>

- 경보 및 모니터링 시스템을 적용하는 경우, 단순히 관리물질, 농도에 대하여 일률적으로 적용하는 것은 현실성이 많이 떨어지는 것으로 생각 함
- ✓ 취수구 주변과 수변공간의 경우 녹조로 인한 위험도, 심각성은 매우 다른 것으로 생각함. 따라서 주변환경, 위치의 중요성 등 다양한 변수가 반영된 적절한 기준, 모니터링 시스템 구축이 필요
- 기준이 Chl.a, 남조류 개체수로 한정하는 것은 많은 무리가 있는 것으로 생각 함

### <정세웅 충북대학교 교수>

- 경보제 지표는 현재 Chl.a, 남조류세포수를 모니터링의 용이성을 위해 phycocyanin을 제안 한 사항은 남조변성시기에 국한하고 충분한 검증을 통해 도입 가능 할 것으로 사료
- Chl.a는 정수처리 공정에 문제가 되는 규조류와 높은 상관성이 있으므로 규조류 우점시기에 포함해야 할 것으로 사료
- 발령기준은 실제 위해성을 고려하여 항목 추가가 필요할 것으로 판단되나, 기준을 상향조정하여 실제 위해성이 있을 경우 독소 및 냄새물질 포함 가능
- Chl.a 발령기준은 규조류, 남조류 등 우점종에 따른 다른 기준값 적용 필요
- 지표항목은 수질예측모델링 등 수질예보와 연계하여 검토 필요

### <조영철 충북대학교 교수>

- 조류독소에 대한 기본 사항에 대한 모니터링 및 R&D 결과가 부족한 현실에서 조류경보제에 조류독소를 추가하는 것은 부적절함
- 조류경보제의 기준완화 또는 지표 도입을 위해서는 과학적 근거의 확보가 필요함
- 현재 과학원에서 조류경보제 대상지역의 조류독소(Microcystin)의 농도를 공개하고 있으나 이는 수체 중 농도 결과임.
- ✓ 하지만 WHO 기준은 cell-bound&free-Microcystin으로 규정하고 있으므로, 만일 WHO 기준으로 Microcystin 농도를 지표로 사용하기 위해서는 cell에 포함된 Microcystin을 측정하여야함
- 현재 일부 수역에서는 cell-bound Microcystin의 농도가 1 $\mu$ m/L를 상회하는 경우가 다수 발생하므로 Microcystin 농도를 지표로 도입하는 것은 시중하게 결정 되어야함

### <안광국 충남대학교 교수>

- 조류경보제 기준에서 조류주의보시 Chl.a 농도가 너무 낮고, 조류대발생시 농도는 너무 높음 조정 필요
- 남조류세포수 대신 phycocyanin을 제시하였는데, Chl.a와 상관관계를 회귀식을 이용하면 phycocyanin 측정 없이 Chl.a로 환산, 남조류세포수를 예측 가능 할 것으로 판단됨
- 수체별 특성을 고려하여 회귀식을 만들어 이용하면 수체별 관리에 도움이 될것으로 판단됨
- 우리나라 생태계에 맞는 유해성 평가, 독성평가를 위한 추가적인 기초 연구가 필요

### <전속레 에코프리즘 연구소장>

- Chl.a 및 남조류 측정시 수분석 외 현장모니터링용으로 휴대 또는 고정형 조류형광측정기 및 세포계수기들이 활용되고 있음.
- ✓ 측정 및 정도 기준 확립 및 수분석과의 비교 분석을 통해 현장 활용에 대한 지침 및 활용성에 대한 연구, 조사기법 확립 필요.
- ✓ 수분석에 비해 온라인, 현장에서 즉시 측정, 시계열 분석 가능하므로 변화추이 예측에 큰 장점 있음
- ✓ 국내 사용중인 국내외 제품, 연구시제품에 대한 성능 평가 기준 미비 -> 향후 연구로 지침 마련 및 법적, 제도적 적용, 근거 동시 마련 필요
- 대상 및 목적에 따른 방법론 적용 고려
- ✓ 비용 효율성 향상, 인력절감, 국내 개발기술 적용
- ✓ 상수, 취수원(먹는 물) 관리 -> 정밀분석
- ✓ 하천-> 모니터링(휴대용 strip, 광학분석장비, 카운터)
- ✓ 상시모니터링 : 추이분석(온라인장비)
- ✓ 대발생시 : 정밀분석

### <황수옥 수자원공사 수석위원>

- 조류경보제의 운영목적은 조류로 인한 피해 최소화 및 먹는 물 안전성 확보임.
- ✓ 조류로 인한 피해물질은 이취미물질과 독소이며 독소는 정수에서 문제가 되는 물질이 아니므로 조류경보제 운영항목 도입 시 충분한 검토가 필요함
- 조류경보제 운영항목에 현 Chl.a와 남조류세포수가 있으나, 기타 조류로 인한 피해는 반영되어 있지 않으므로 이에 대한 검토가 필요
- 지표 변경은 필요하며 조사지침(조사방법, 조사수심 등) 개선도 필요

## <황순진 건국대학교 교수>

- 남조독소를 이용한 남조류 생물량 모니터링 방안은 과학기술적 측면에서 시도할 필요성은 인정되나 국가지표와 기준으로 이용하는 방안은 좀 더 신중을 기하는 것이 필요
- ✓ 외국에서 이용사례나 활용성 등에 대한 사전 검토가 반드시 필요함
- 지오스민 항목에 대해 조류관리 지표로 사용하는 방안은 필요하다고 판단됨
- ✓ 독소지표와 기준은 국민적 정서와 언론에 의한 호도 가능성 등을 감안할 때 좀 더 신중한 접근이 필요하다고 판단 됨
- 조류경보제는 정책적 내용이며, 실제 정책의 실효성을 위해서는 관리 대책과 반드시 연동되어야함
- ✓ 현실적으로 조류대발생의 관리는 정수장에서 이루어지므로 취정수장의 대처(정수처리/고도) 전략이 우선적으로 갖추어 져야 하며, 정책적으로 필요한 목표지향적 연구의 추진이 시급함
- 조류경보 발생시 대처방안 및 대국민 조치사항에 대한 발제(최지용 교수) 내용 중, 조류재해라는 표현을 사용하는 것은 부적절하다고 사료됨
- ✓ 조류대발생(녹조)을 재해로 간주할 경우, 조류문제는 재난관리 차원에서 다루어야하기 때문
- 향후 조류경보제 개선에 대한 방향으로, 우선고려 할 사항은 지나치게 단계별, 지역별(적용수역)로 차등을 두어 세분화 하는 것은 바람직하지 않다고 판단됨
- ✓ 정책수행에 너무 과도한 부담이 되기 때문에 경보제 단계는 가능한 줄이고 너무 낮거나 비현실적으로 높은 농도(Chl.a와 남조류세포수)는 배제하고 국내현실에 맞는 농도 혹은 수준으로 구체화 하는 것이 바람직함



# 1

## 조류경보제 지표개발

-대청호 연구 및 국외 사례 중심-

2014.09.19.

오희목 (생명공학연구원 박사)



조류전문가 포럼 2014년 3차회의  
한국생명공학연구원 나눔관 대회의실

## 조류경보제 지표개발 - 대청호 연구 및 국외 사례 중심 -

2014. 9. 19.

### 오 희 목



## 목 차

1. 조류경보제의 개요 및 개선점
2. 남조류 모니터링 연구 (대청호)
  - Phycocyanin 모니터링
  - 분자적 모니터링
  - 남조류 및 독소 검출용 DNA Chip
3. 국외 사례
4. 조류경보제 개선(안) 제안
5. 기타 제언

# 1. 조류경보제의 개요 및 개선점

## 조류경보제 개요

- ◆ 조류가 대량으로 발생 → 정수처리 과정에서 여과장치의 기능이 저하, 호소 내 산소고갈로 인해 어·패류 질식사, 여름철에 주로 발생하는 남조류 일부는 독소를 생성, 건강상 피해를 유발할 가능성 → 사전 대응의 필요
- ◆ 1998년부터 주요 상수원으로 이용되고 있는 팔당호·대청호·충주호·주암호 등 4개 호소를 대상으로 조류경보제를 시행하기 시작하였고, 2012년말 현재 22개 호소에서 조류경보제를 실시
- ◆ 2012년부터 하천[보구간] 수질예보제, 2013년 이후 연중 매주 조사 실시
- ◆ 참고로, 2012년말 현재 우리나라에는 17,629개의 호소가 있으며 이들 대부분은 댐 등을 건설하여 조성된 인공호소로서 농업용 저수지가 대부분

## 수질예보제 및 조류경보제 채수방법

- ◆ 수질예, 경보제 측정을 위해 채수지점의 좌, 중, 우에서 각각 수표면이 포함되도록하여 50 cm 이내의 표층을 채수한 뒤 혼합하여 사용
- ◆ 수질측정망 운영을 위해서는 하천의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 좌우로 수면폭을 2등분한 지점의 수면으로부터 수심의 1/3 및 1/3에서 각각 채수

## 조류경보제는 엽록소 및 세포수에 기반

- ◆ Started in 1997, Weekly monitoring
- ◆ Model case: Daechung Reservoir
- ◆ Three levels in alert system
- ◆ Declare the alert system when Chl-a & cyanobacterial cell density exceed the criteria consecutively 2 times

Level	Caution	Warning	Outbreak
Chl-a (µg/l)	≥ 15	≥ 25	≥ 100
Cyanobacteria (cells/ml)	≥ 500	≥ 5,000	≥ 1,000,000

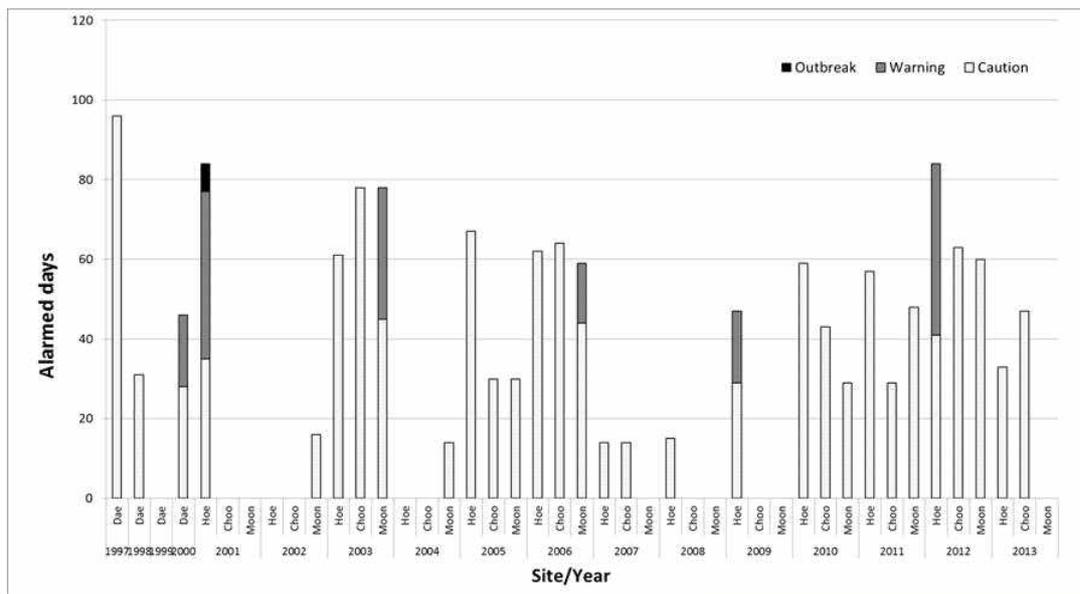


## 조류경보제의 개선 필요성

- 현미경 동정, 계수 → 전문가, 인력 및 시간 소요, 정확도 미흡 (간편성)
- 독성과 비독성 구분 불가 → 독성 및 이취미 정보 부재 (독성정보)
- 예보(Prediction) 기능 부재 → 이화학 수질과 연계 분석 (예보성)
- 제한적 비용, 인력 등으로 일부 지역에 국한 실시 (확장성)
- 시료채취의 표준화 (표준화)
- 조류경보제와 수질예보제의 2원화 (단일화)
- 국제기준과 호환성 (국제화)
- 최신 분석법 활용 (첨단화)

## 2. 남조류 모니터링 연구 (대청호)

### 대청호 조류대책위원회(1998-), 금강유역환경청



이 등, 2013. 환경생물 31: 233-242.

# 2-1. Phycocyanin 모니터링

## Algal pigments

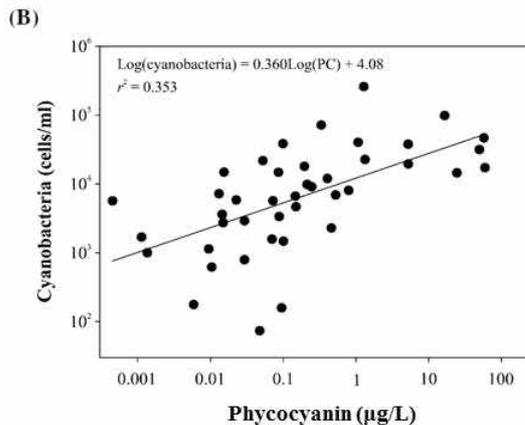
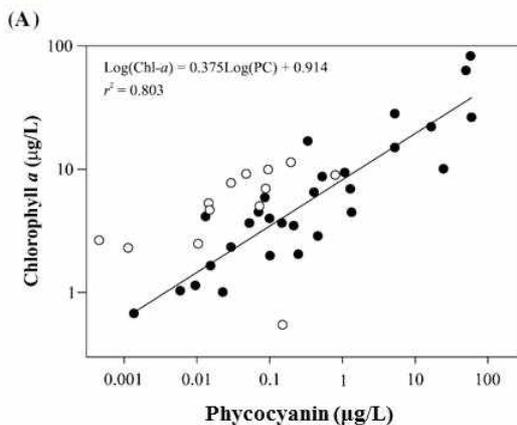
	Cyanophyta	Prochlorophyta	Glaucophyta	Rhodophyta	Heterokontophyta/Chrysophyceae	Heterokontophyta/Xanthophyceae	Heterokontophyta/Eustigmatophyceae	Heterokontophyta/Bacillariophyceae	Heterokontophyta/Raphidophyceae	Heterokontophyta/Dicryochophyceae	Heterokontophyta/Phaeophyceae	Haptophyta	Cryptophyta	Dinophyta I	Dinophyta II	Euglenophyta	Chlorarachniophyta	Chlorophyta	
<b>Chlorophylls</b>																			
chlorophyll a	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
chlorophyll b		⊕																	
chlorophyll c <sub>1</sub>					⊕	+	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕							⊕
chlorophyll c <sub>2</sub>					⊕	+	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕							⊕
chlorophyll c <sub>3</sub>					+		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕							⊕
<b>Phycobilins</b>																			
phycocyanin	⊕		⊕	⊕									⊕						
allophycocyanin	⊕		⊕																
phycocerythrin	⊕		⊕										⊕						
phycobilisomes	⊕		⊕	⊕															
<b>Carotenenes</b>																			
α-carotene					⊕	+						+	⊕						±
β-carotene	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	±	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
γ-carotene																			±
ε-carotene					+		+			+		±							±
<b>Xanthophylls</b>																			
zeaxanthin	⊕	⊕	⊕	⊕	+		±	+	±	±	±	+	+						+
echinenone	⊕	+						+				+							±
canthaxanthin	⊕							+	+			+							±
myxoxanthophyll	⊕																		
oscillaxanthin	⊕																		
α-cryptoxanthin					±	+		±				+							
β-cryptoxanthin	+	+	+	±			±	±											±
isocryptoxanthin	+	+																	
mutachrome	+	+																	

Van den Hoek, et al. 1995. Algae: An introduction to phycology. Cambridge Univ. Press.

## 기존 기준치와의 상관도

### ◆ Phycocyanin as an alternative indicator

- Unique pigment to cyanobacteria
- Measurement is simple and easy.

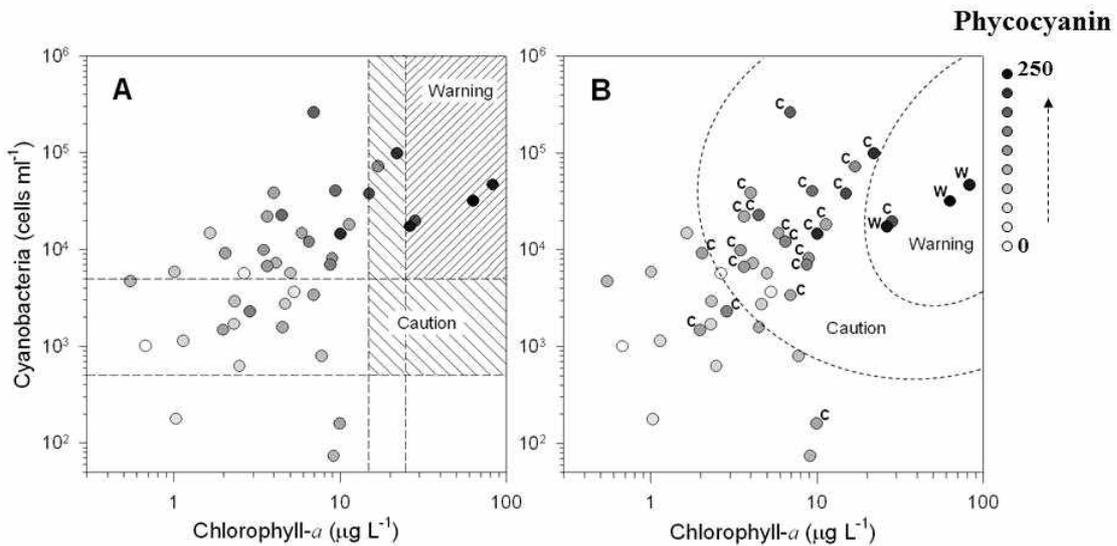


Ahn et al., 2007. J. Microbiol. 45: 98-104.

## Present system vs. Suggested system

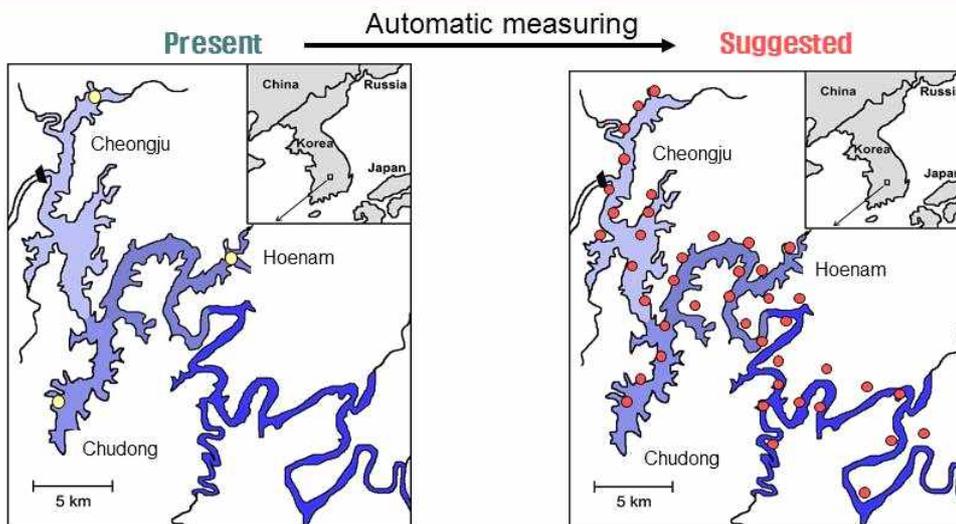
Present system

Suggested system:  
Caution > 0.1  $\mu\text{g/L}$  PC, Warning > 30, Outbreak > 700



## Merit of the suggested alert system based on PC concentration

- ◆ Simple: only PC measurement without Chl-a and cyanobacterial cell counting
- ◆ Easy and fast: convenient measurement with a fluorometer
- ◆ It can be applied to a big reservoir for on-line monitoring (with a lot of simple sensors)



## 2-2. 분자적 모니터링

### 분자적 Microcystin 분석법

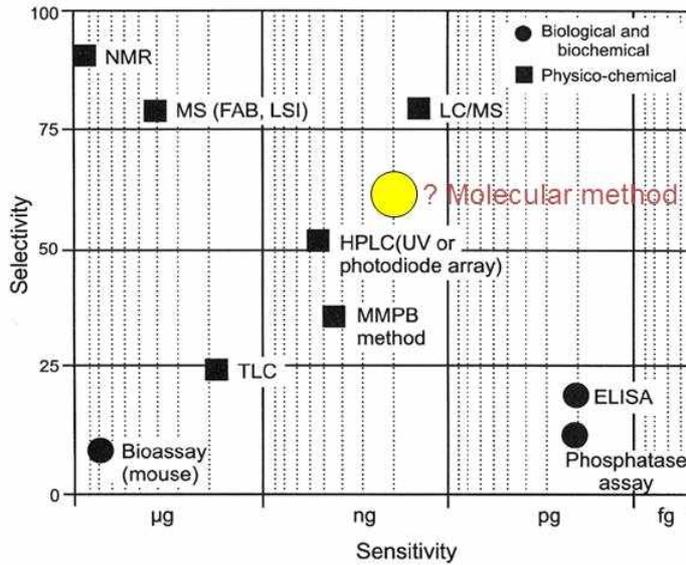


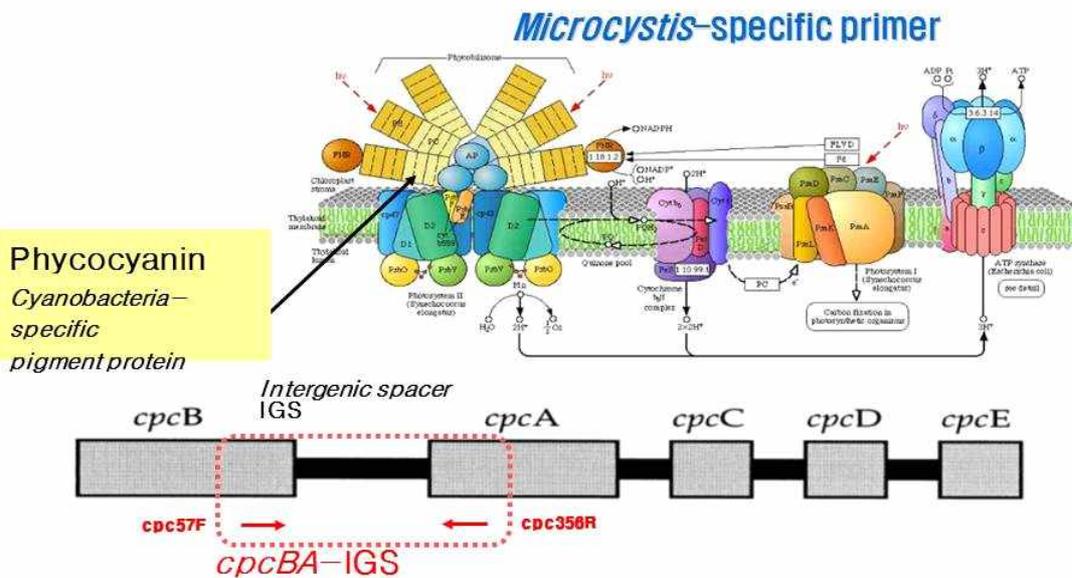
Figure 13.1 Relationship between sensitivity and selectivity of analytical methods for microcystins (see text for explanation of methods)

◆ There are several analytical methods such as mouse bioassay, HPLC, ELISA, etc.

◆ But, they are not easy to be used and are still in shortage of either sensitivity or selectivity.

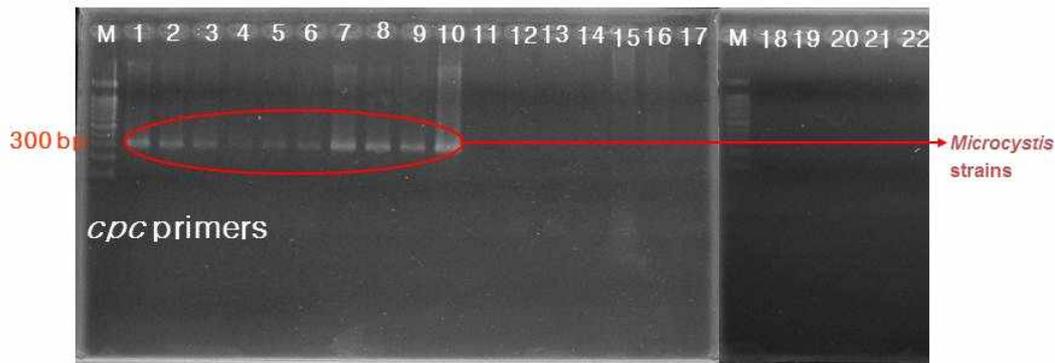
(Chorus & Bartram. 1999)

### 1) 남조류 분자적 동정



- ◆ Target region: phycocyanin region of *Microcystis* spp.
- ◆ Alignment: Sequence databases of 138 *Microcystis* strains and 226 other cyanobacterial strains (obtained from the NCBI, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>).
- ◆ Product size: about 300 bp

## Detection of *Microcystis* spp. by using *cpc* primers



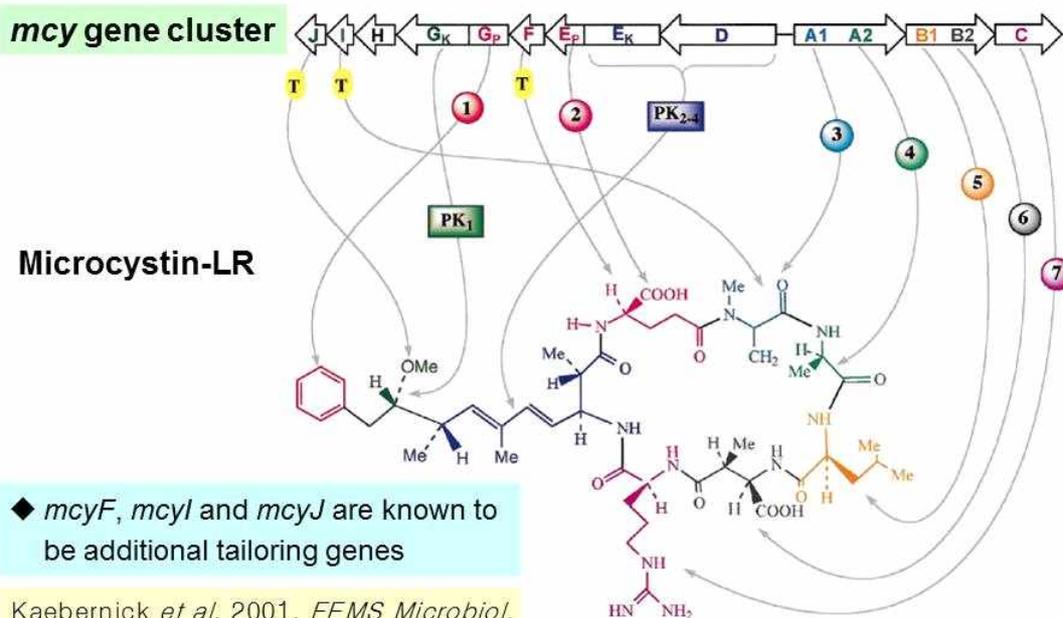
Lane 1, *Microcystis aeruginosa* UTEX 2388  
 Lane 2, *M. aeruginosa* PCC 7806  
 Lane 3, *M. aeruginosa* UTEX 2666  
 Lane 4, *M. aeruginosa* NIES 90  
 Lane 5, *M. viridis* NIES 102  
 Lane 6, *M. wesenbergii* NIES 107  
 Lane 7, *M. viridis* NIES 1058  
 Lane 8, *M. wesenbergii* NIES 1065  
 Lane 9, *M. aeruginosa* NIES 1075  
 Lane 10, *M. aeruginosa* NIES 1182

Lane 11, *Oscillatoria tenuis* NIES 33  
 Lane 12, *Anabaena flos-aquae* UTEX 2557  
 Lane 13, *Nodularia spumigena* UTEX 2092  
 Lane 14, *Nostoc* sp. PCC 7120  
 Lane 15, *Synechocystis* sp. PCC 6803  
 Lane 16, *Lyngbya hieronymusii* KCTC  
 Lane 17, *Merismopedia tenuissima* NIES 230  
 Lane 18, *Synechococcus leopoliensis* UTEX 625  
 Lane 19, *Spirulina platensis* NIES 39  
 Lane 20, *Anabaena flos-aquae* NIVA 83-1  
 Lane 21, *Planktothrix* sp. NIVA 126  
 Lane 22, *Planktothrix* sp. NIVA 127

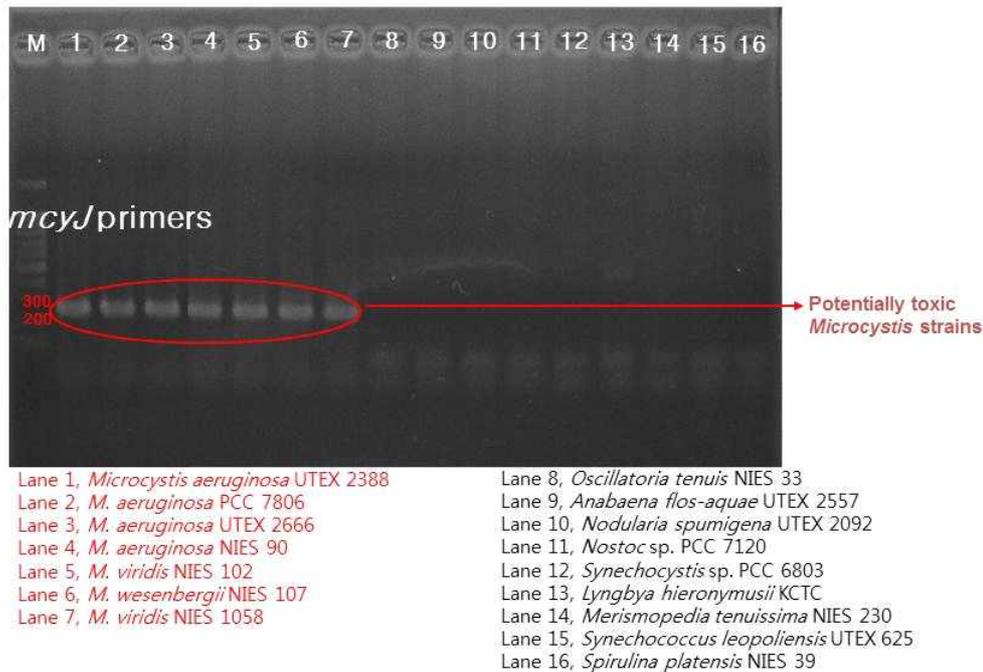
Kim *et al.* 2006. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 3252-3258.

## 2) 남조류 독소 검출

### Microcystin synthetase-specific primer



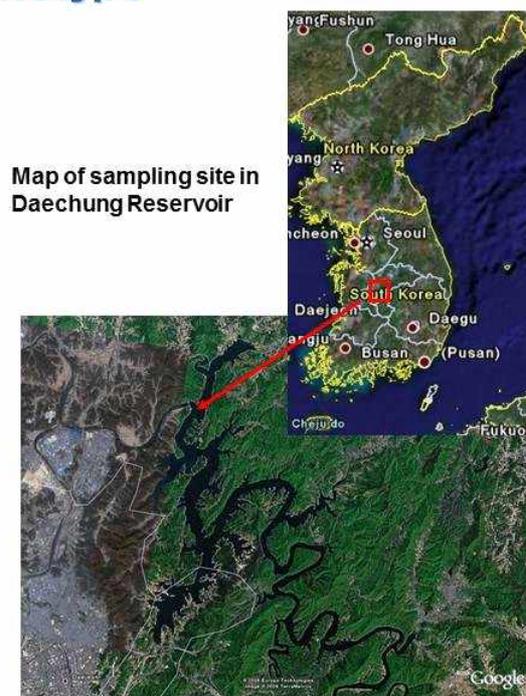
## Detection of toxic *Microcystis* by using *mcyJ* primers



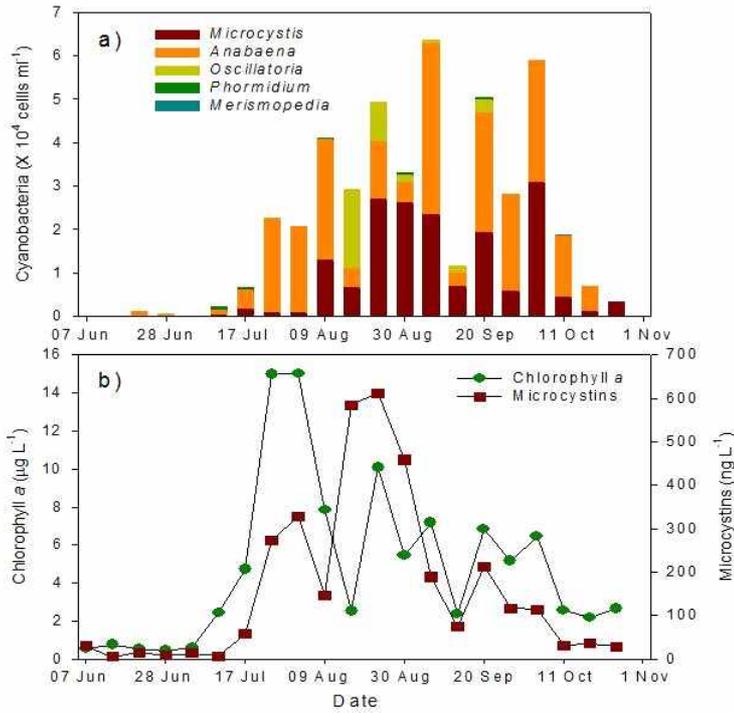
Kim *et al.* 2010. *FEMS Microbiol. Ecol.* 74: 93-102.

### 3) Toxic *Microcystis* genotype

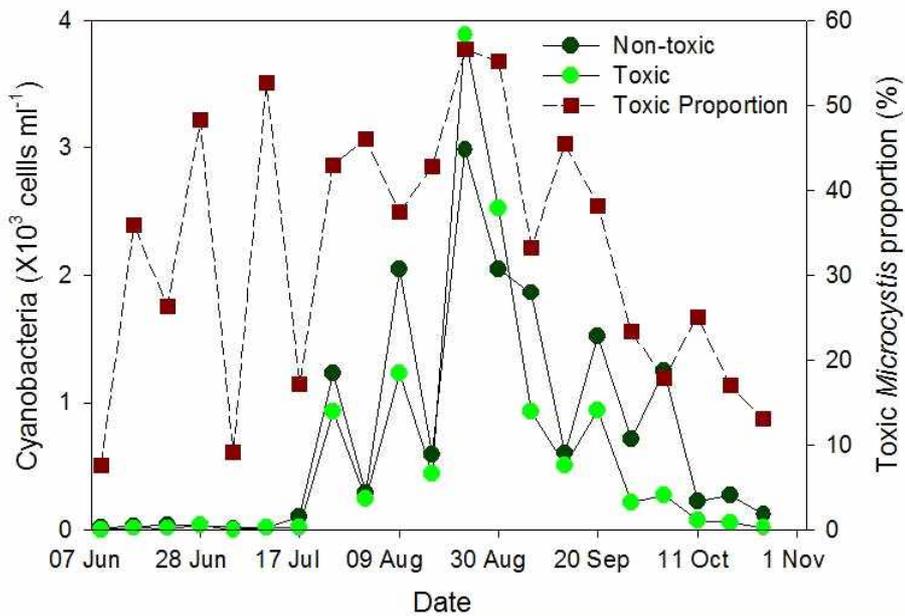
- ◆ Sampling site & period
  - Daechung Reservoir
  - Surface water at Dam Site
  - June 3 - October 25, 2006
  - Total 21 times with an interval of 1 week
- ◆ The *cpcBA*-IGS and *mcyJ* genes were used to determine the total *Microcystis* and potentially toxic genotypes, respectively.
- ◆ The proportion of toxic *Microcystis* genotypes was quantified using a real-time PCR.



## Cyanobacteria, Chlorophyll & Microcystin



## 대청호 독성 *Microcystis* 비율의 변화 (RT-PCR)



Joung *et al.* 2011. *Harmful Algae* 10: 188-193.

# 2-3, 남조류 및 독소 검출용 DNA Chip

## 남조류의 탐침(probe) 결정(정성분석)

유전자 염기서열 특이적 부위 비교

탐침 염기서열 결정 및 합성

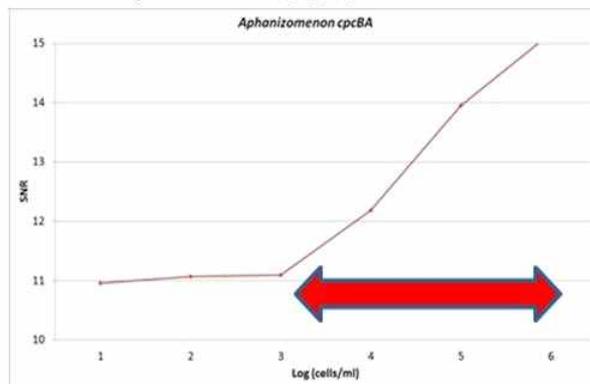
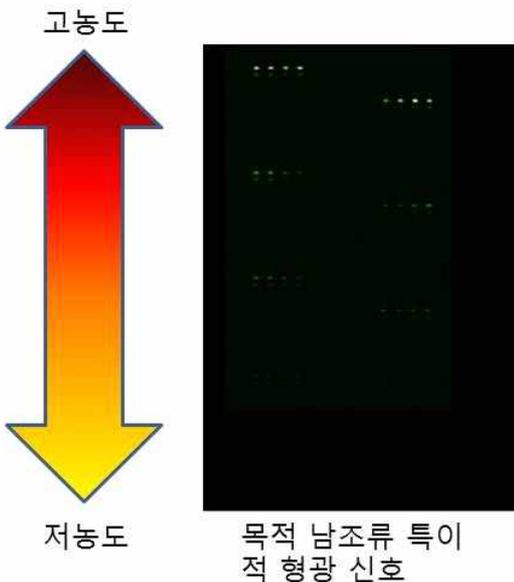
탐침	염기서열	목표 유전자
Aphcpc1	AATCCCTTACAC	<i>Aphanizomenon</i> cpBA
	CACATCTACACCA	
	GGTAATCAATACG	
Aphcpc2	CATCCGAT	<i>Aphanizomenon</i> cpBA
	CTAGTGTCTTGA	
	TGACCGTTGCTTA	
Aphcpc3	AATGGTTGCGCG	<i>Aphanizomenon</i> cpBA
	AAACATAC	
	GCCTAACAATTAC	
Aphcpc3	AAATAGCTCGAAT	<i>Aphanizomenon</i> cpBA
	CTTAATTGAGCTT	
	CTTCCAAC	

- 남조류 5종 대상  
*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Phormidium*
- 5가지 독성, 비독성 유전자 대상
- 탐침 3개/유전자 → 총 75개의 탐침 결정

## 정량성 평가

예) 아파니조메논 (*Aphanizomenon*)

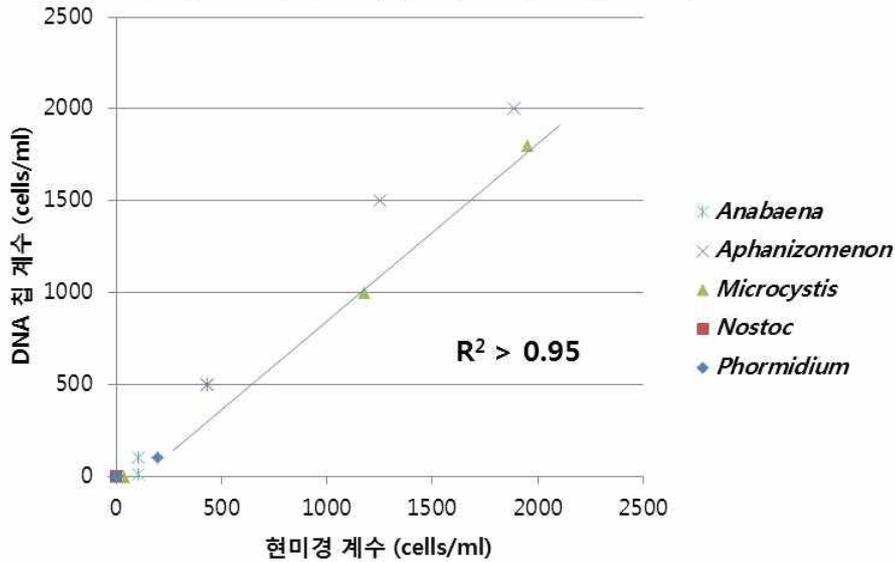
정량성



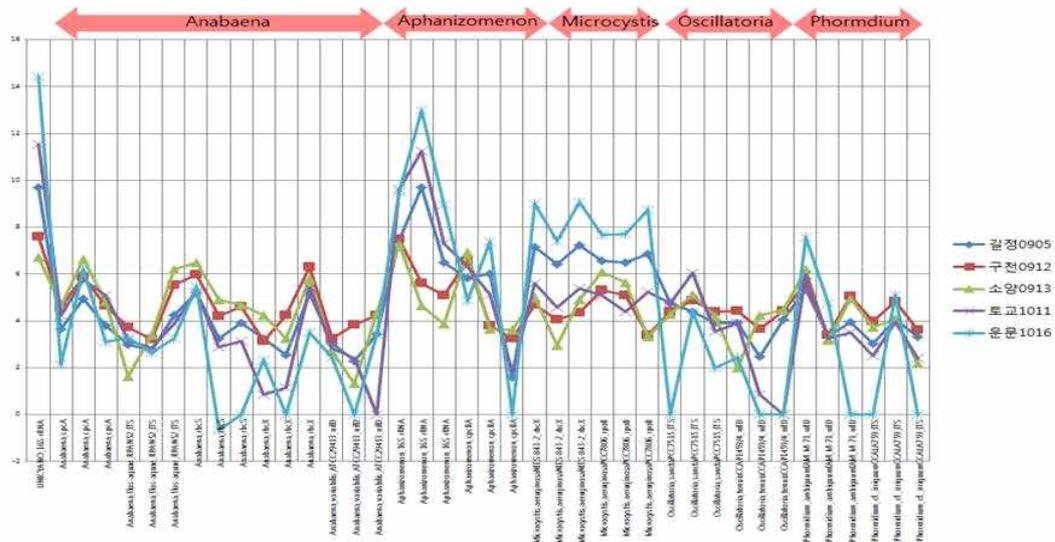
- $10^3 \sim 10^6$  cells/ml 농도 구간에서 *Aphanizomenon*의 농도가 증가함에 따라 칩의 신호값도 비례적으로 증가
- 양의 상관관계 ( $R^2 > 0.99$ )
- *Aphanizomenon*  $10^3 \sim 10^6$  cells/ml 정량분석

# 1) 기존 제품대비 성능비교

## ➤ DNA 칩과 현미경 계수의 현장 시료 테스트

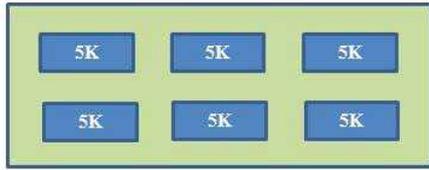


# 2) 현장시료 적용성 결과



- 다섯 개 호수 시료에서 *Aphanizomenon*, *Microcystis* 우점
- 읍문호, 길정호 *Microcystis* 우점
- 읍문호, 토교호, 길정호 *Aphanizomenon* 우점

### 3) DNA Chip의 파급성 (응용성 등)



Microarray Format:  
5,000 spots x 6 samples

- 녹조 정성, 정량 분석용
  - ✓ 남조류 5종 X 유전자 5종 X Probes 3개 X 10 반복 = 750 spots
  - ✓ 정량용 표준화 구역 100 spots
- 녹조 유래 독소, 이취미 검출
  - ✓ 남조류 독소, 이취미 물질 합성 유전자 등의 추가 가능
- 수중 병원성 미생물
- 미생물, 미세조류 군집분석

환경부 Eco-STAR 수생태과제 → 신기술(NET) 인증:  
"DNA 칩을 이용한 위해성 남조류 검출기술" (Koita), 2014. 8. 20.

#### 남조류 검출의 신, 구 기술 비교



# 3. 국외 사례

## WHO & Other countries

**Table 1: Examples of guidance values or standards and other national regulations or recommendations for managing cyanotoxins in drinking-water**

(from individual country contributions in this booklet and its 1<sup>st</sup> edition from 2005)

\* RMF: risk management framework (e.g. WSP, HACCP, PHRMP); \*\*S: Standard, (P)GV: (provisional) guidance value, (P)MAV / (P)MAC: (provisional) maximum value or concentration; HAV: health alert level

Country /source document	RMF* required	Cyanotoxins and/ or Cyanobacteria explicitly regulated	S, (P)GV, (P)MAV, (P)MAC or HAL**	Comments; specific action in case of derogation
WHO	√	Microcystin-LR	PGV: 1 µg/L	Depends on setting; strong emphasis on assessing cyanotoxin risks in relation to other risks
Argentina		Requirements neither for Risk Management Framework nor for cyanotoxin surveillance, but some water utilities have implemented either or both; these refer to the provisional guideline by WHO for Microcystin-LR of 1 µg/L.		
Australia	√	Microcystin (toxicity equivalents of MCYST-LR); equivalent to 6500 cells/mL or a biovolume of 0.6 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> of a highly toxic strain of <i>Microcystis aeruginosa</i>	GV: 1.3 µg/L	The Australian Drinking Water Guidelines (2011) are a set of national guidelines which include fact sheets with information on key cyanotoxins; Health Alert can be triggered by the toxin concentrations or the equivalent cell or biovolume concentrations. Trigger levels for each of the 4 key toxin-producing species are also provided for immediate notification to the health authority; Individual states/territories use the national framework as the basis for their specific regulatory requirements.
	Nodularin HAL at 40 000 cells mL <sup>-1</sup> or a biovolume of 9.1 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> of a highly toxic strain of <i>Nodularia spumigena</i>	No value		
	Cylindrospermopsin equivalent to 15 000 – 20 000 cells mL <sup>-1</sup> or a biovolume of 0.6 – 0.8 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> of <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	HAL: 1 µg/L		
	Saxitoxins (toxicity equivalents to STX); equivalent to 20,000 cells mL <sup>-1</sup> or a biovolume of 5 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> of a highly toxic strain of <i>A. circinalis</i>	HAL: 3 µg/L		
Brazil (2005)		Cyanobacteria	GV: 10 000 – 20 000 cells/ml or 1 mm <sup>3</sup> /L biovolume	at >10 000 cells/ml weekly monitoring is required; at > 20 000 cells/ml toxicity testing and/or quantitative cyanotoxin analysis in drinking-water are required
	Microcystins	S: 1 µg/L		
	Cylindrospermopsin	GV: 15 µg/L		
	Saxitoxin	GV: 3 µg/L (STX equiv.)		

**Table 2: Examples of national regulations or recommendations for managing cyanotoxins in water-bodies used for recreation**

Country /source document	Management framework required or other comments	Parameter regulated	Values	Actions taken / consequences of derogations
World Health Organization		Cells or Chlorophyll-a with dominance of cyanobacteria	20 000 cells / mL or 10 µg/L Chl -a 100 000 cells / mL or 50 µg/L Chl -a	Information to site users and to relevant authorities
		Scum	Observation in bathing area	Information to site users and to relevant authorities; watch for scums; restrict bathing and further investigate the hazard
				Action to prevent scum contact; possible prohibition of swimming and other water contact activities; public health follow-up investigation; information of relevant authorities
European Union	Bathing Water Directive (EU BWD)	Requires 'bathing water profiles' indicating – among other parameters – the potential of the site for cyanobacterial proliferation; monitoring based on the bathing water's history and regional climatic conditions, conformity as a matter of appropriate management measures and quality assurance, not merely of measuring and calculation. Applies to any element of surface water where a large number of people to practice bathing and bathing is not prohibited or advised against (termed "bathing water"). Article 8: 1) When the bathing water profile indicates a potential for cyanobacterial proliferation, appropriate monitoring shall be carried out to enable timely identification of health risks. 2) When cyanobacterial proliferation occurs and a health risk has been identified or presumed, adequate management measures shall be taken immediately to prevent exposure, including information to the public.		

Chorus. 2012. Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries.

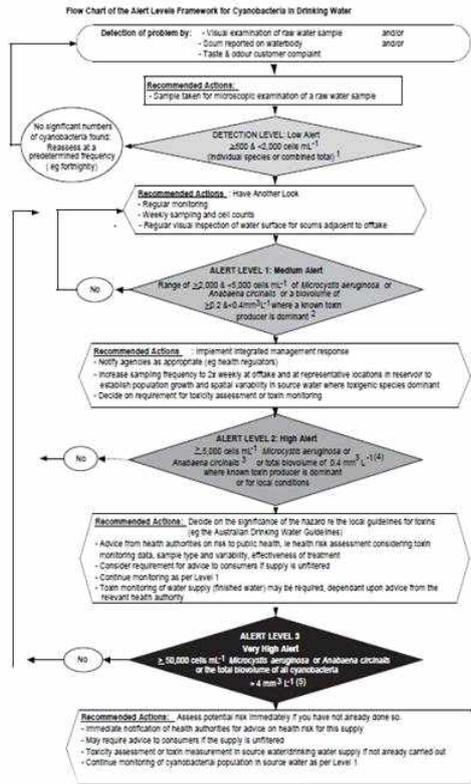


Figure 10 Flow Chart on the Alert Levels Framework for Cyanobacteria in Drinking Water.

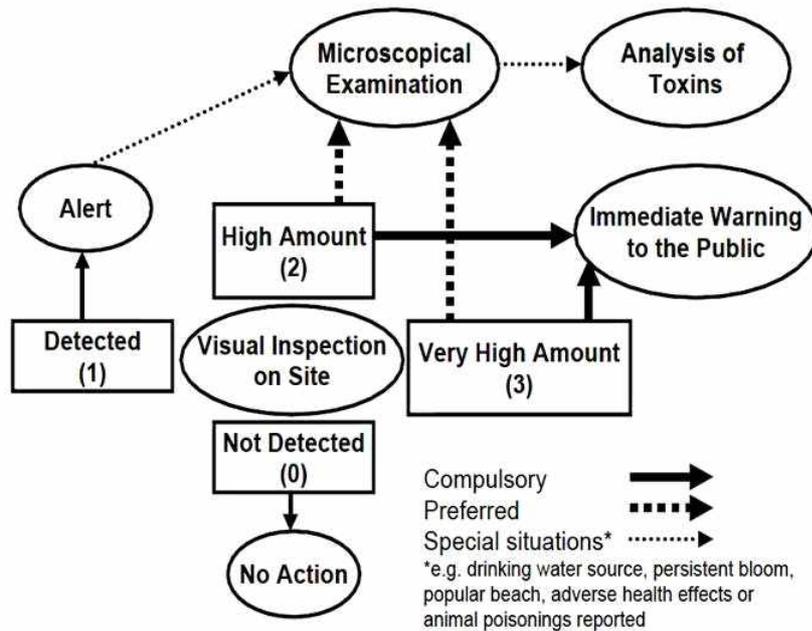
CRC (The Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment. 2006. Cyanobacteria.

Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality

Table 3: Cyanotoxic recreational guideline levels triggering action

Green level Surveillance mode	Amber level Alert mode	Red level Action mode
<p><math>\geq 500</math> to <math>&lt; 5\,000</math> cells mL<sup>-1</sup> <i>M. aeruginosa</i> or biovolume equivalent of <math>&gt; 0.04</math> to <math>&lt; 0.4</math> mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> for the combined total of all cyanobacteria.</p>	<p><math>\geq 5\,000</math> to <math>&lt; 50\,000</math> cells mL<sup>-1</sup> <i>M. aeruginosa</i> or biovolume equivalent of <math>\geq 0.4</math> to <math>&lt; 4</math> mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> for the combined total of all cyanobacteria where a known toxin producer is dominant in the total biovolume<sup>a</sup>. or<sup>b</sup> <math>\geq 0.4</math> to <math>&lt; 10</math> mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> for the combined total of all cyanobacteria where known toxin producers are not present.</p>	<p>Level 1 guideline: <math>\geq 10</math> µg L<sup>-1</sup> total microcystins or <math>\geq 50\,000</math> cells mL<sup>-1</sup> toxic <i>M. aeruginosa</i> or biovolume equivalent of <math>\geq 4</math> mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> for the combined total of all cyanobacteria where a known toxin producer is dominant in the total biovolume. or<sup>b</sup> Level 2 guideline: <math>\geq 10</math> mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> for total biovolume of all cyanobacterial material where known toxins are not present. or cyanobacterial scums are consistently present<sup>c</sup>.</p>

## FILAND: Guidelines for monitoring of cyanobacteria and their toxins



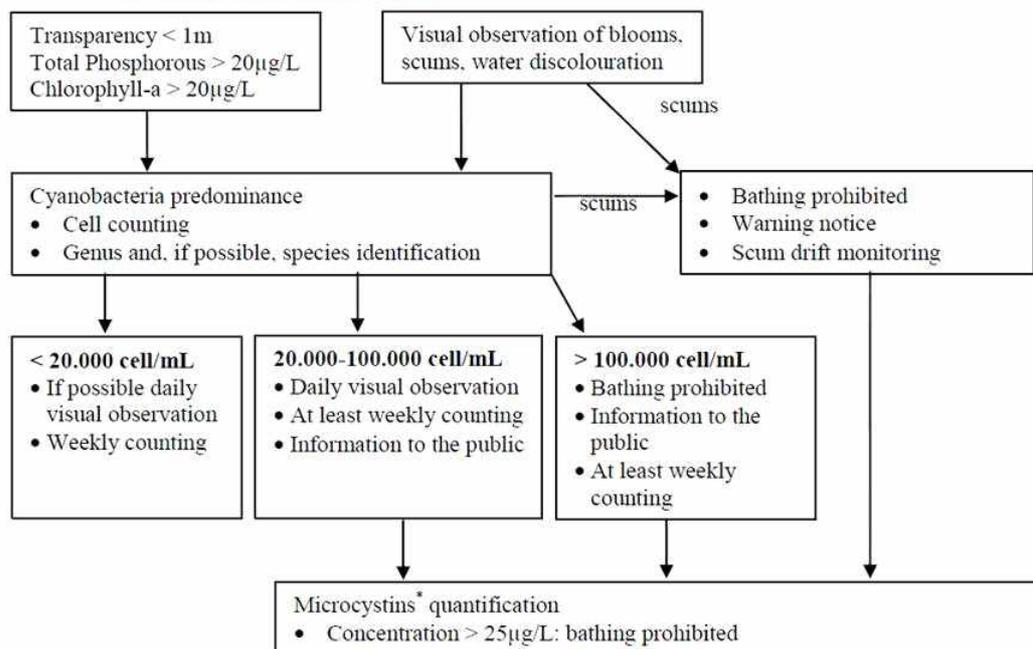
- Visual monitoring of cyanobacteria in water bodies allows a cost-effective, rapid and sufficiently reliable warning of water users for risk management purposes.

- In Finland, a cost-effective monitoring network has been developed.

Chorus. 2012.

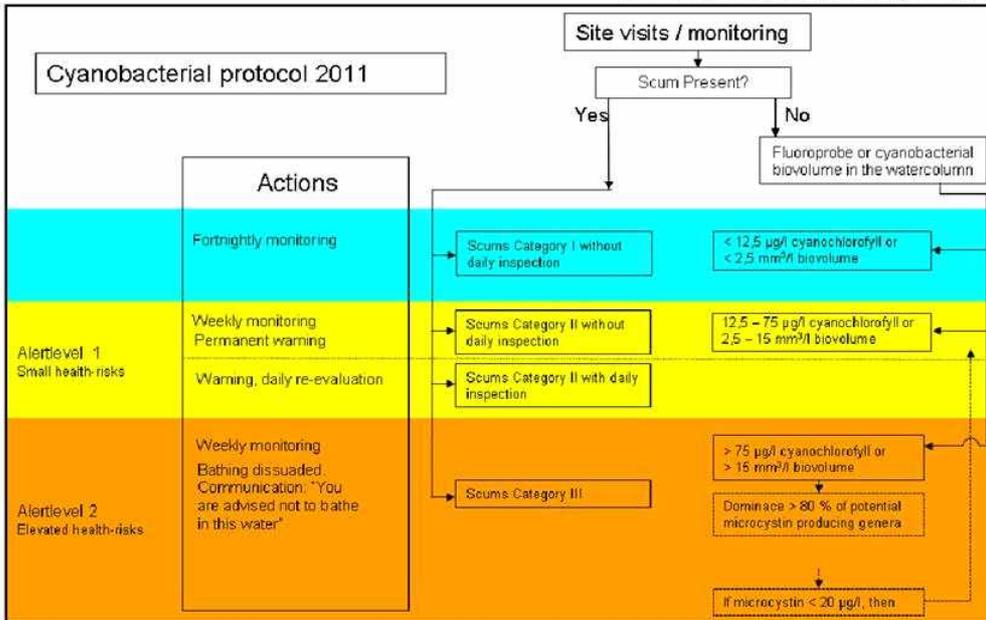
Fig. 3. Monitoring of cyanobacteria in bathing waters and in raw water supplies for drinking water.

## ITALY: Management of potential toxic cyanobacteria in recreational water



Chorus. 2012.

# NETHERLANDS: EU Bathing Water Directive

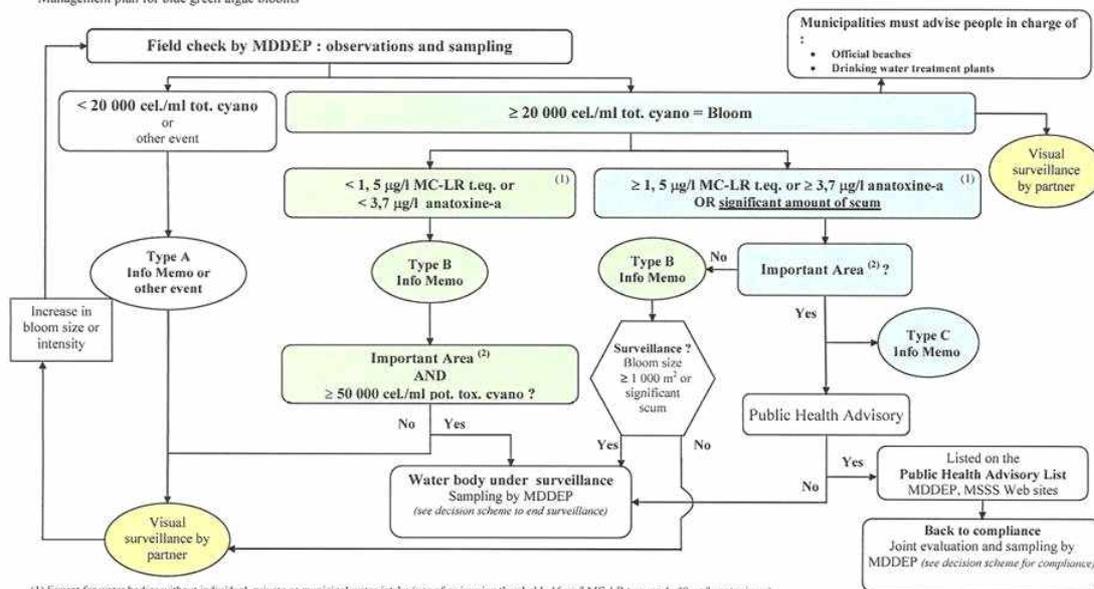


Chorus. 2012.

# CANADA

## Appendix D: Decision support flow chart for cyanobacterial management in Québec.

2009 General decision scheme (May 1st version)  
Management plan for blue green algae blooms



(1) Except for water bodies without individual, private or municipal water intake (use of swimming thresholds 16 µg/l MC-LR t.eq. or 40 µg/l anatoxine-a)  
 (2) See the document « Notion de secteur important » for information on blooms size, affected uses and exposed or potentially exposed populations

NSW Office of Water. 2010. Observations on the management of cyanobacterial blooms in Canada.

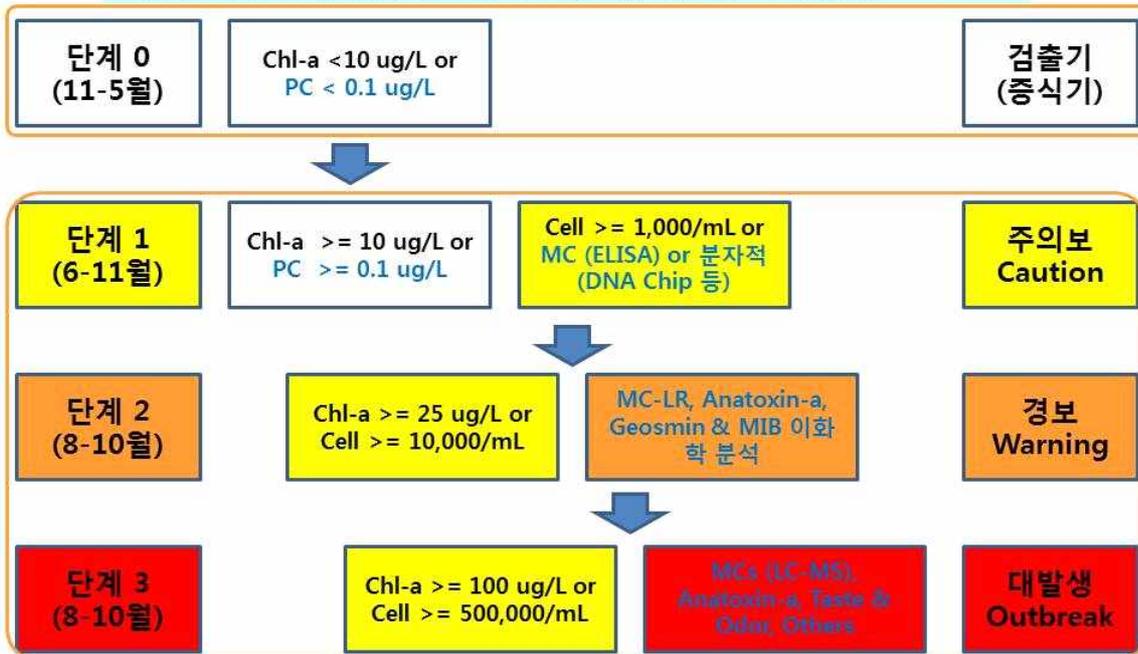
## 4. 조류경보제 개선(안) 제안

### 1) 조류경보제 개선 시 주요 사항

1. 조류경보제: 조류 + 남조류 → 엽록소 or 남조류
2. 조류경보제 이전 조류증식기 (조류검출기) → 간편 분석
3. 남조류 분석 → 세포수, Phycocyanin, 분자적 검출
4. 남조류, 남조류 독소, 이취미 분석 → 분자적, 이화학적
5. 남조류 독소, 이취미 정보 → 대발생 등의 필요 시 분석 항목 추가 및 정밀 분석 실시

### 2) 조류경보제 개선(안)

- 조류경보제 발령현황: 1998-2012년 총 2288일,
- 주의보 1938일(85%), 경보 343일(15%), 대발생 7일(0.3%)



## 5. 기타 제언

### 1) 조류경보제 구성요소 결정을 위한 의견수렴(안)

항목	중요도	시간	인력	장비	경제성	정보량	합계
엽록소 a							
남조류 #							
Colony #							
Phycocyanin							
RT-PCR							
DNA Chip							
Microcystin							
Anatoxin							
Geosmin							
MIB							
기타							
점수: 0-3	중요 3	짧음 3	적음 3	적음 3	경제적 3	많음 3	

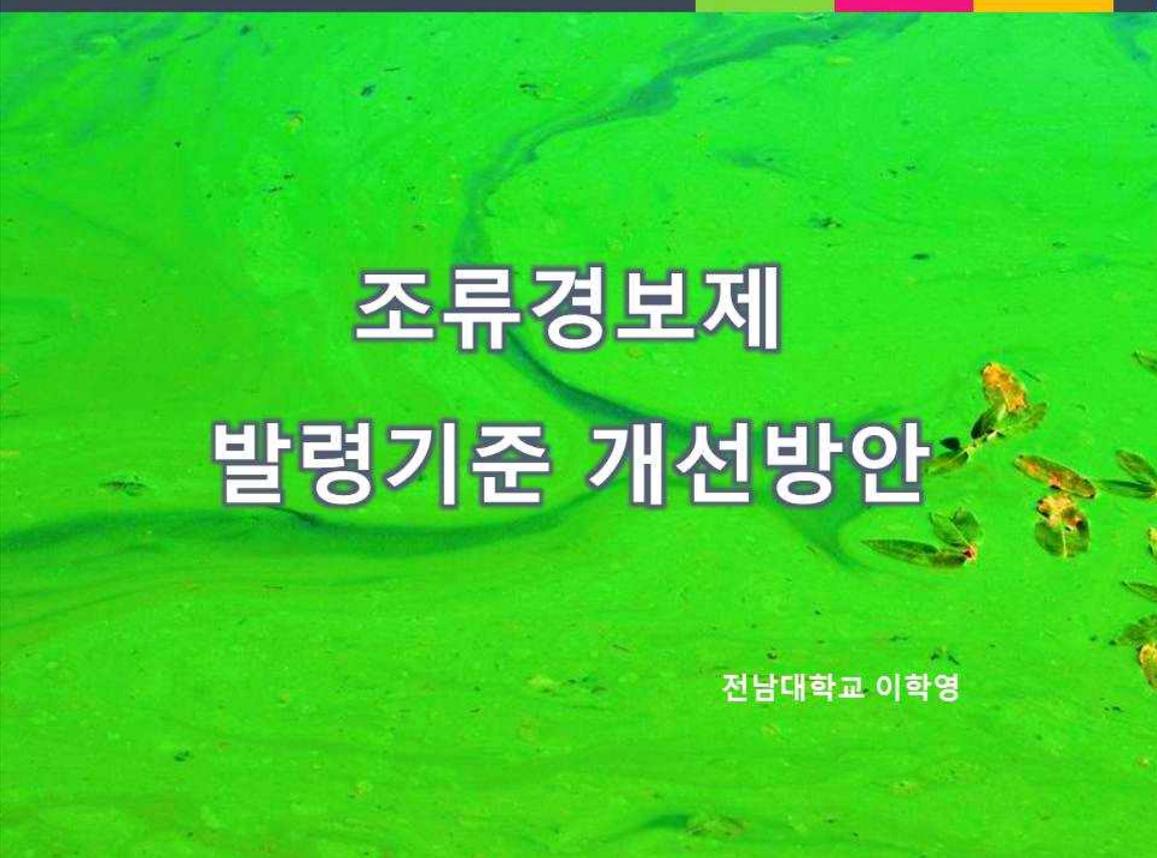
# 2

## 조류경보제 발령기준 개선방안

2014.09.19.

이학영 (전남대학교 교수)

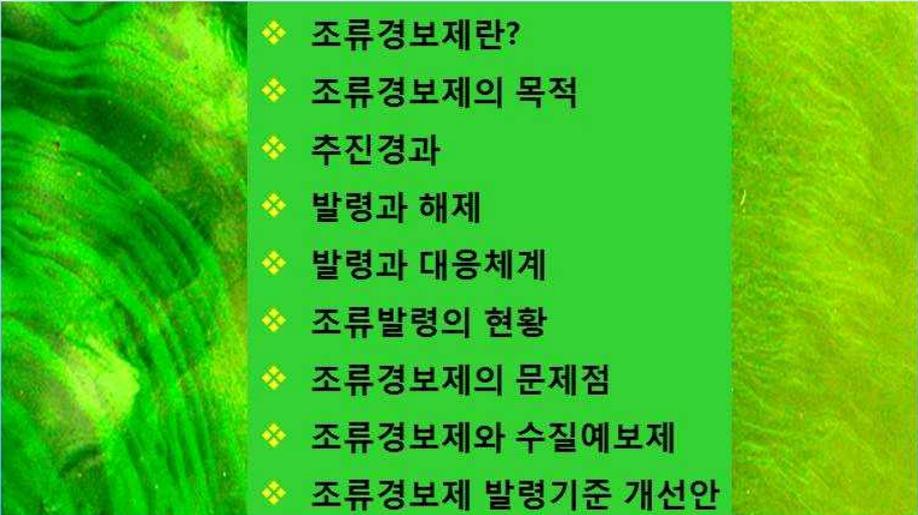




# 조류경보제 발령기준 개선방안

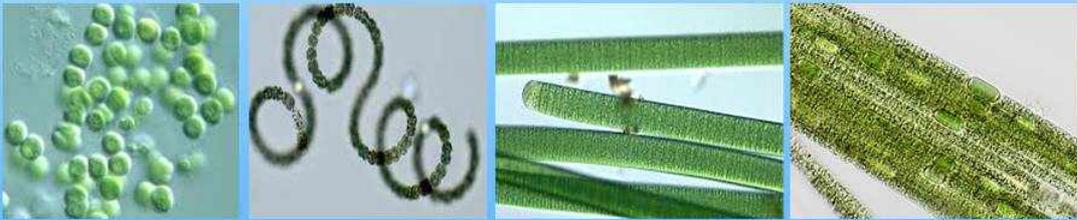
전남대학교 이학영

## CONTENTS

- 
- ❖ 조류경보제란?
  - ❖ 조류경보제의 목적
  - ❖ 추진경과
  - ❖ 발령과 해제
  - ❖ 발령과 대응체계
  - ❖ 조류발령의 현황
  - ❖ 조류경보제의 문제점
  - ❖ 조류경보제와 수질예보제
  - ❖ 조류경보제 발령기준 개선안

## 조류경보제란?

- I. 상수원수의 안정성을 확보하기 위해 독성 남조류 발생을 쉽게 판별할 수 있는 클로로필-*a*의 농도와 독성 남조류의 세포수를 정기적으로 모니터링하여 농도와 세포수의 정도에 따라 1) 주의보, 2) 경보, 3) 대발생, 4) 해제의 4단계로 발령
- II. 각 단계의 발령을 취수장과 정수장 등 관계기관에 신속하게 전파하여 효과적인 대응을 하도록 하는 제도



## 조류경보제의 목적

- 법적근거:
  - 국무총리지시 제 98-19호
  - 『수질및수생태계보전에관한법률』 제21조 (수질오염경보제)
- 녹조피해방지대책
- 조류 대량발생의 사전 전파
- 조류발생 피해의 최소화와 식수의 안전성 확보

[수질및수생태계보전에관한법률]

제21조(수질오염 경보제) ① 환경부장관 또는 시·도지사는 수질오염으로 하천·호소의 물의 이용에 중대한 피해를 가져올 우려가 있거나 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정될 때에는 해당 하천·호소에 대하여 수질오염 경보를 발령할 수 있다.

<개정 2013.7.30.>

## 추진 경과

- 1996년 2년간 대청호에서 시범시행



## 추진 경과

- 1998년: 4개 호소(팔당, 대청, 충주, 주암)를 대상으로 최초 시행
- 2003.10 : 상수원 호소의 조류관리대책 수립
  - 조류예보제의 단계적 확대 추진 등 기본추진방안 수립
- 2004. 1 : 조류예보제 운영강화계획 수립
  - 대상호소 확대(8개소 → 10개소) 및 지자체로 관리기관 확대 방침 등
- 2006. 2 ~ : 조류예보제 연도별 단계적 확대 운영
  - 10개소('05년) → 16개소('06년) → 17개소('07년) → 20개소('08년)
- 2011년: 조류예보제 → 조류경보제(명칭 변경)

'96	'97	'98	'99	'03	'04	'05	'06	'07	'08
대청호	팔당호 대청호	팔당호 대청호 충주호 주암호	운문호	용담호	영천호 동북호	남강호 안계호	공산댐 광교지 춘천호 옥정호 진전지 한강(10)	사연호	회야호 동호 담진호

### 조류경보제 대상 호수의 대표 측정 지점

시행년도	호소명(지점)	대표 측정 지점	관리기관
'98	팔당호(2)	팔당댐2(댐앞), 3(월계사앞)	한 강 청
	대청호(3)	대청댐1(추동), 3(청주취수장), 5(회남대교)	금 강 청
	충주호(3)	충주댐1(댐앞), 2(청풍교), 3(황강나루)	원 주 청
	주암호(2)	주암호1(댐앞), 2(신평교)	영산강청
'99	운문호(2)	운문호1(댐앞), 3(대천리)	대 구 청
'03	용담호(3)	용담댐 1(댐앞), 3(모정리), 4(항동리)	전 주 청
'04	동북호(2)	동북호 1(댐앞), 2(중류지점)	영산강청
	영천호(1)	영천호 1(성곡리)	대 구 청
'05	남강호(2)	판문지점, 내동지점	낙동강청
	안계호(1)	안계호 취수탑	대 구 청

### 조류경보제 대상 호수의 대표 측정 지점

'06	공산댐(1)	공산댐 취수탑	대구광역시
	광교지(1)	광교지 취수탑	경 기 도
	춘천호(2)	용산취수장 앞, 춘천댐 상류	강 원 도
	섬진강댐(2)	옥정호 사승나루터앞, 운암도선장	전 주 청
	진전지(1)	진전지 취수탑	경상북도
	한강(10)	강북, 암사, 구의, 자양, 풍납취수장앞 성수대교(성수동), 한남대교(한남동) 한강대교(본동), 마포대교(마포동) 성산대교(양평동)	서 울 시
'07	사연호(2)	사연댐 취수탑, 언양읍 반연리	낙동강청
'08	회야호(2)	회야호 1(취수탑), 2(방류구)	낙동강청
	덕동호(1)	댐앞(보문취수탑)	대 구 청
	탐진호(2)	탐진호 1(댐앞), 2(유치천 합류지점)	영산강청

## 발령과 해제

### ➤ 발령기준

- 클로로필-a(chl-a) 농도와 남조류 세포수를 기준
- 조류주의보, 조류경보, 조류대발생으로 구분하여 발령
- 대상호수 2~3개 지점을 선정하여 주 1회 이상 측정
- 2회 연속 chl-a 농도와 남조류 세포수가 발령기준에 해당될 때 발령
- 조류예보 발령기준

구분	조류 주의보	조류 경보	조류 대발생
chl-a 농도(mg/m <sup>3</sup> )	15이상	25이상	100이상
남조류세포수(cells/mL)	500이상	5,000이상	100만 이상

### ➤ 해제기준

- 2회 chl-a 농도 15 mg/m<sup>3</sup>미만이거나, 남조류 세포수 500 cells/mL 미만인 경우

## 발령과 해제

구분	발령 기준
조류주의보	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2회 연속 채취 시 클로로필a 농도 15~25 mg/m<sup>3</sup> 미만</li> <li>○ 남조류 세포수 500~5,000 cells/mL 미만</li> <li>※ 이상의 조건에 모두 해당 시</li> </ul>
조류경보	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2회 연속 채취 시 클로로필a 농도 25 mg/m<sup>3</sup> 이상</li> <li>○ 남조류 세포수 5,000 cells/mL 이상</li> <li>※ 이상의 조건에 모두 해당 시</li> </ul>
조류대발생	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2회 연속 채취 시 클로로필a 농도 100 mg/m<sup>3</sup> 이상</li> <li>○ 남조류 세포수 10<sup>6</sup>cells/mL 이상</li> <li>※ 이상의 조건에 모두 해당 시</li> </ul>
해제	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2회 연속 채취 시 클로로필a 농도 15 mg/m<sup>3</sup> 미만</li> <li>○ 남조류 세포수 500cells/mL 미만</li> <li>※ 이상의 조건 중 하나 해당 시</li> </ul>

## 발령기준의 의미

- 기준항목 : 클로로필  $a$  농도와 남조류 세포수
  - 클로로필  $a$  농도: 조류의 생물량
  - 남조류 세포수: 유독성 남조류의 양(세포수)
- 세포수의 의미: microcystin의 급성독성 농도인  $1 \mu\text{g/L}$ 에 해당하는 *Microcystis*의 세포수 약 5,000 cells/mL를 조류경보로 정함
- 클로로필  $a$  농도의 의미: 독소의 농도와 관련
- ※ WHO도 음용수가이드라인을 microcystin-LR  $1 \mu\text{g/L}$ 로 함



## 발령과 대응의 체제



## 예보발령 단계별 관계기관 대응요령

단계	관계기관	대응 내용
조류 주의보	수질검사기관	·주 1회 이상 시료채취 및 분석. 시험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	수면관리자	·취수구 및 조류우심지역에 펜스설치 등 조류제거 조치 ※ 수온상승 등으로 인한 조류발생 가능성이 증가할 경우 일정기간 방류량 증가 및 조류로 인한 피해 최소화 방안을 사전에 마련·추진
	취·정수장	·정수처리강화(활성탄처리, 오존처리)
	환경청, 지자체	·주변오염원에 대한 단속 및 환경기초시설 운영·관리철저
조류 경보	수질검사기관	·주 2회 이상 시료채취 및 분석. 시험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	수면관리자	·취수구 및 조류우심지역에 펜스설치 등 조류제거 조치
	취·정수장	·조류중식 수심이하로 취수구 이동. 정수처리강화(활성탄처리, 오존처리) ·정수의 독소분석 실시
	환경청, 지자체	·주변오염원에 대한 단속강화. 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 자제 권고. ·어패류 어획 및 식용 자제, 가축방양 자제 권고
조류 대발생	수질검사기관	·주 2회 이상 수질검사 및 분석 실시, 원수의 취기(관능검사) 및 독소분석 ·시험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	수면관리자	·차광흡착제 살포, 마이크로스트레이터를 이용한 스크 제거 등 조류 제거 조치
	취·정수장	·조류중식 수심이하로 취수구 이동. 정수처리강화(활성탄처리, 오존) 강화 ·정수의 독소분석
	환경청, 지자체	·주변오염원에 대한 지속적인 단속강화. 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 금지 ·어패류 어획 및 식용 금지, 가축방양 금지

## 조류 예보 발령현황

·'98 - '10년: 총 2,000일 이상의 주의보와 300일 이상의 경보와 대발생 경보

호소명	구분	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
합계	주의보	31	-	56	79	93	260	97	378	393	101	95	233	236
	경보+대발생	-	-	18	49	-	33	-	-	34	97	19	43	14
팔당호	주의보	-	-	23	12	20	-	14	15	21	-	36	23	43
대청호	주의보	31	-	28	회남:35 문의:16	문의:16	회남:61 추동:78 문의:45	문의:16	회남:67 추동:30 문의:30	회남:62 추동:64 문의:44	회남:14 추동:14	회남:15	회남:29	회남:59 추동:43 문의:29
	경보	-	-	18	회남:42	-	문의:33	-	-	문의:15	-	-	회남:18	-
	대발생	-	-	-	회남:7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
주암호	주의보	-	-	-	-	57	76	14	-	-	19일	-	담양:14 신평:34	신평:37
	경보	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	담양:25	-
동북호	주의보	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	41	-
한강 (10)	주의보	-	-	강동:5	강동:32	-	-	-	-	강동:31 잠실~ 행주:9	-	강동:11	-	-

## 조류경보제의 문제점

### 독성이냐 수화냐?

- 우리나라 조류의 발생특성

계절	수온	주요종식 조류군	비고
겨울	<10℃	규조류	<i>Cydotella, Stephanodiscus</i>
봄	≤15℃	규조류>녹조류>편모조류	<i>Aulacoseira, Chlamydomonas, Peridinium</i>
초여름	<20℃	녹조류>남조류	<i>Chlamydomonas, Eudorina, Anabaena</i>
여름	>20℃	남조류>녹조류	<i>Microcystis, Pediastrum</i>
장마철	≤20℃	규조류>녹조류	<i>Aulacoseira, Chlamydomonas</i>
초가을	>25℃	남조류>녹조류	<i>Microcystis, Chlamydomonas</i>
가을	<20℃	녹조류>남조류>규조류	<i>Chlamydomonas, Microcystis, Aphanizomenon, Asterionella</i>

## 조류경보제의 문제점

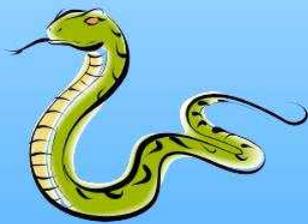
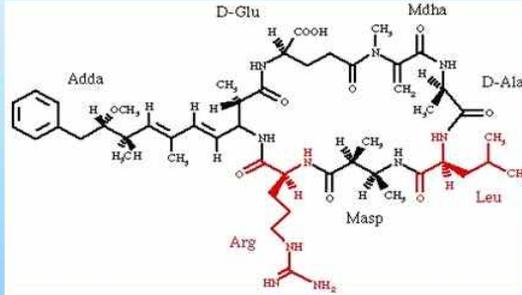
국내 출현 주요 남조류와 독소

Structure	Toxin	Target organ	Cyanobacteria genera
Cyclic Peptides	Microcystins	Liver	<i>Microcystis, Anabaena, Oscillatoria, Nostoc</i>
	Nodularins	Liver	<i>Nodularia</i>
Alkaloids	Anatoxin-a	Nerve synapse	<i>Anabaena, Oscillatoria, Aphanizomenon</i>
	Anatoxin-a(S)	Nerve synapse	<i>Anabaena</i>
	Cylindrospermopsins	Liver	<i>Aphanizomenon</i>
	Lyngbyatoxin-a	Skin, gastro-intestinal tract	<i>Lyngbya</i>
	Saxitoxins	Nerve axons	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya,</i>
	Lipopolysaccharides	affects any exposed tissue	All
Polyketides	Aplysiatoxins	Skin	<i>Lyngbya, Schizothrix, Oscillatoria</i>

## 독성의 강도

### Ex. Microcystins

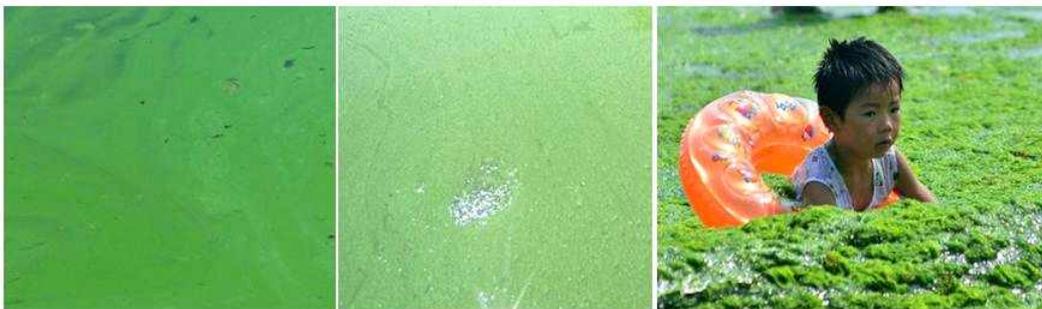
- Lethal dose (LD-50) of microcystin = 25 - 150  $\mu\text{g}/\text{kg}$  of body weight  
**(0.025 - 0.150 mg/kg)**
- Compared with some of the most venomous snakes in the world



Common Name	LD-50 (mg/kg)
타이판(맹독바다뱀)	0.009
살모사	<b>0.02</b>
맹독코브라	0.08
인도코브라	0.089
바다뱀	0.107

## 조류경보제의 문제점

- **과다한 발령으로 경보제의 의미 퇴색**
  - 지난 12년간 총 2,000일 이상의 주의보와 300일 이상의 경보와 대발생 경보
  - 실질적 피해 크지 않았고 따라서 예방의 효과도 거의 없음
  - 조류 세포수와 클로로필 농도가 독성의 농도를 대변하지 못함



중?

강?

약

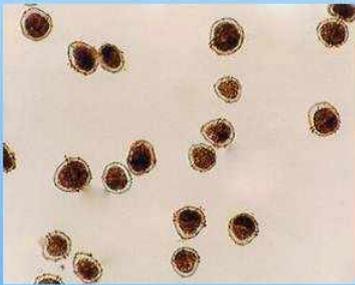
독성의 정도

## 조류경보제의 문제점

- 우리나라에서 클로로필-*a* 농도와 남조류 세포수의 상관관계는 낮음

최근 10년간 클로로필-*a*와 남조류세포수의 상관관계

구 분	팔당호 ('98~'07)	대청호 ('98~'07)	주암호 ('98~'07)	영천호 ('98~'07)	운문호 ('98~'07)
조류주의보	-0.106	0.248	-0.126	0.472	0.047



### 2002년 이전 주암호 조류경보제 운영결과

#### 1998~2001년

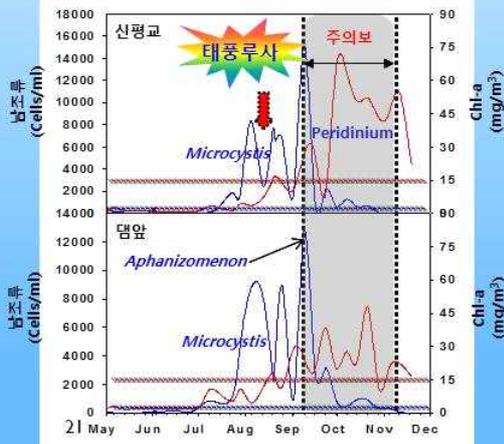
- 남조류의 경우 1999년을 제외하고는 대부분 조류주의보 기준 (>500cells/ml) 상회
- Chl-*a*의 경우 1999년 9월 20일(15.2 mg/m<sup>3</sup>)을 제외하고는 대부분 조류주의보 기준(15mg/m<sup>3</sup>) 이하로 나타남



## 2002~2003년 주암호 조류발생 특성

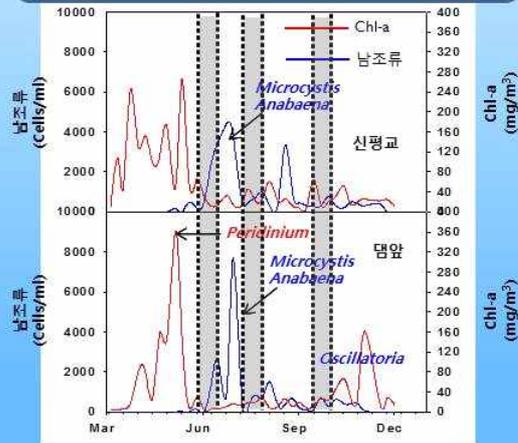
### 2002년

- 9월9일~11월4일까지 8주간 조류주의보 발령
- 8월 집중강우 및 8월말 태풍루사(2002.7~9 강우 1,217mm)로 동북호에서 높은 밀도로 *Peridinium*(3000 cells/ml)이 주암호로 유입
- 남조류에 의해 시작되었으나 동북호에서 열류한 *Peridinium*에 의한 조류주의보 발령 지속



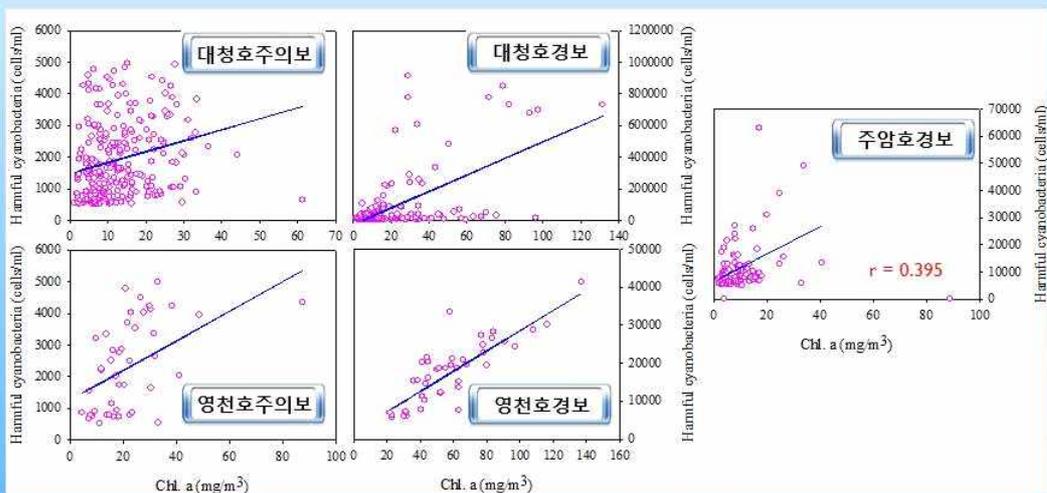
### 2003년

- 봄철 *Peridinium*에 의해 Chl-a 362 mg/m<sup>3</sup>까지 상승
- 초기 남조류 발생은 작지만, 6월 청수기 이후 *Peridinium* 감소하는 대신 남조류가 큰폭 (최대 7700 cells/ml)으로 증가
- 조류주의보 3차례 76일간 발령



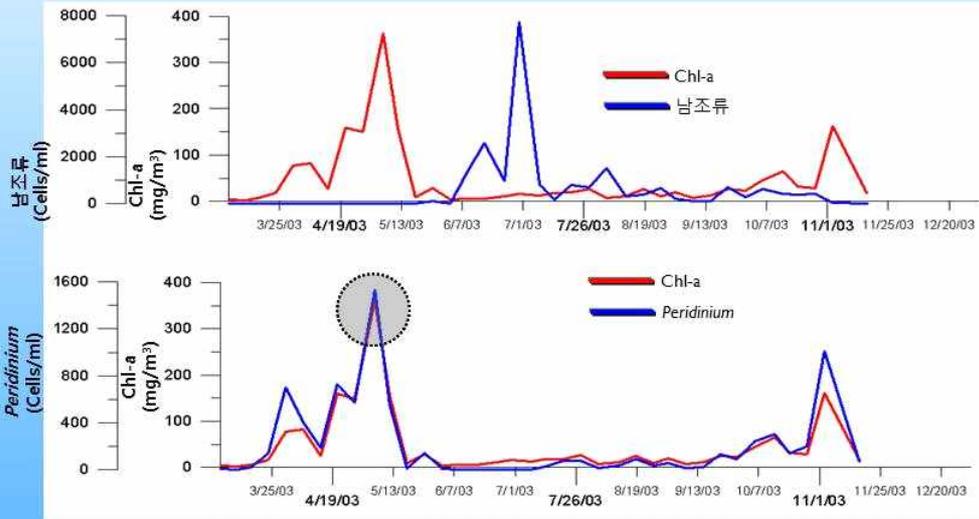
## 조류경보제의 문제점

- 우리나라에서 클로로필-*a* 농도와 남조류 세포수의 상관관계는 낮음



## 조류경보제의 문제점

- 우리나라에서 클로로필-*a* 농도와 남조류 세포수의 상관관계는 낮음



## 조류경보제의 문제점

### ❖ 대상지역 확대 - 하천 구간까지 확대

- 우리나라의 대부분 하천은 상수원수의 취수원
- 기후변화, 인위적인 하천환경 변화 등으로 하천구간에서도 조류 발생 가능성 증가
- 낙동강의 보구간에 녹조가 발생하여 조류경보제를 확대하여 시행할 필요성 제기
- 감사원에서 하천 일부구간까지 조류경보제를 확대 시행할 것을 권고('12. 10)
- 2013년 낙동강의 3개 보 구간(칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보)에 조류경보제 시범운영(2013. 2 ~ 12): 2013년 8월 ~ 10월까지 '조류주의보' 이상의 단계가 지속 발령됨

▶ 하천구간의 높은 발령빈도로 조류경보의 위해성에 피로감

## 조류경보제와 수질예보제

구 분	수질예보제		조류경보제	
목적	수생태계 보호 및 친수활동 안전 보장		상수원수 안전성 보호	
측정자료	Chl.a 농도, 남조류세포수(실측)		Chl.a 농도(실측), 남조류세포수(실측)	
발령기준	관심	Chl. 농도 70mg/m <sup>3</sup> , 또는 남조류 1만세포/mL	주의	Chl. 농도 15mg/m <sup>3</sup> & 남조류 500세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	주의	Chl. 농도 105mg/m <sup>3</sup> , 남조류 5만세포/mL & Chl. 35mg/m <sup>3</sup>	경보	Chl. 농도 25mg/m <sup>3</sup> & 남조류 5,000세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	경계	Chl. 농도 140mg/m <sup>3</sup> , 남조류 20만세포/mL & Chl. 35mg/m <sup>3</sup>	대발생	Chl. 농도 100mg/m <sup>3</sup> & 남조류 100만세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	심각	Chl. 농도 175mg/m <sup>3</sup> , Chl. 70mg/m <sup>3</sup> & 남조류 20만세포/mL		

## 조류경보제와 수질예보제    클로로필 a 기준의 비교

조류경보제	클로로필 a 농도 (mg/m <sup>3</sup> )	수질예보제
대발생	175	심각
	140	경계
	105	주의
	110	
	100	관심
70		
경보	25	
	15	
주의	0	

## 조류경보제 발령기준의 개선안

### ❖ 조류경보제 발령지표 개선

- 현행 지표인 클로로필-*a* 농도와 조류독소(위해도)의 낮은 상관성
- 현행 남조류 세포수와 조류독소의 낮은 상관성
- ▶ 지표간 상관성을 분석하여 개선해야 하나 조류 특성상 위해도의 변이가 커 기준설정이 어려움
- ▶ 조류독소 1ppb에 해당하는 남조류의 세포수와 클로로필의 양은 범위가 매우 넓음
- ▶ 그런데 먹는물의 수질지표는 완화하기 어려움
- ▶ 이러한 상황을 고려하면 현 기준을 유지하거나 국제적으로 통용될 수 있는 WHO기준을 준용하는 것이 타당함(우리나라 기준과 microcystins 농도동일)

## 조류경보제 발령기준의 개선안

### ❖ 이취미 항목 추가

- 조류 기인 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 발령 기준 추가 필요
- ▶ 이취미는 먹는물에서 매우 중요한 지표
- ▶ 독성기준 완화에 따른 냄새문제 해소
- 2011년 북한강 수계에서 *Anabaena*로 인한 냄새물질로 수도권 수돗물에서 이취미 발생('11.11, '12.8) 이후 서울시는 자체적으로 냄새물질에 대한 조류경보제 운영

구 분	예비주의보	주의보	경 보	대발생
Geosmin( $\mu\text{g/l}$ )	10	20	100	500
2-MIB( $\mu\text{g/l}$ )	10	20	100	500

## 조류경보제 발령기준의 개선안

### ❖ 조류경보제와 수질예보제 발령기준 혼란 해소

- 두 기준의 불일치에 따른 국민혼란해소 필요
- 두 기준이 공통으로 적용되는 수역에서의 논란 해소 필요
- ▶ 상수원수에 대한 기준은 엄격하게, 친수공간에 대한 기준은 합리적으로 - 기준완화에 대한 이해증진에 노력
- ▶ 명칭, 용어 변경을 통한 혼란해소
- ▶ 상수원수로 이용되고 있는 하천구간에서는 조류경보제 적용이 타당하나 낙동강 수계의 경우 조류경보제구간과 수질예보제구간의 혼재로 혼란 - 명칭변경 절실
- ▶ 수질예보제를 가칭 '친수I, II, III, IV, V 등급' 등으로 표현  
(물금의 예, 조류경보 상황이면서 친수 III등급)

## 외국의 가이드라인

- 조류 양을 대변하는 클로로필 $a$  양과 잠재적 독소생성 남조류의 개체수
- 일정간격으로 모니터링하여 남조류 대량 증식의 가능성을 사전에 예측
- 먹는 물의 남조류 독소 농도에 대한 가이드라인의 예

국가명	가이드라인(먹는물)
WHO	microcystins 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
호 주	microcystins 1.3 $\mu\text{g}/\text{L}$
브라질	microcystins 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ , saxitoxin 3 $\mu\text{g}/\text{L}$ , cylindrospermopsin 15 $\mu\text{g}/\text{L}$ 10,000 cells/mL (1 $\text{mm}^3/\text{L}$ )
캐나다	microcystin-LR 1.5 $\mu\text{g}/\text{L}$
체코	microcystin-LR 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
덴마크	microcystin 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$
프랑스	microcystin-LR 1 $\mu\text{g}/\text{L}$
독 일	microcystins 1 $\mu\text{g}/\text{L}$

(Ingrid Chorus, Federal Environmental Agency, 2005)

## 향후 논의의 참고

### ❖ 남조류 독소에 대한 합리적 기준 마련

- WHO의 독소 기준은 Microcystin-LR을 기준
- 우리나라에서는 독성이 낮은 Microcystin-RR이 많이 검출
- 따라서 세포수를 기준으로 결정할 경우 외국의 2배 정도 강한 기준
- 그러나 현재의 기준을 완화할 경우 정책적 후퇴로 비춰질 가능성
- 하천에서 조류의 발생이 지극히 자연적인 현상인 것을 홍보



# 3

## 조류경보제 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항

2014.09.19.

최지용 (서울대학교 교수)



# 조류경보 발령시 관계기관 및 대국민 조치사항

2014. 09. 19.

서울대학교  
교수 최 지 용

## 목 차

---

- 1 서론
- 2 관리실태
- 3 개선방안
- 4 결론

# 1 서론

2 관리실태

3 개선방안

4 결론

## 연구 목표

### 1. 서론



## □ 통합적 조류경보 체계



4/52

- 인지** 조류 피해 **위험잠재능 평가** 및 대책, 개선방안 제시
- 확인** 모니터링, 실측 등 **확인 및 계측 플랫폼 구축**
- 경보** 조류재해 **경보체계 개선, 경보시스템 가동**
- 대응** 조류재해 **대응 및 조치(안) 제시**

5/52

1 서론

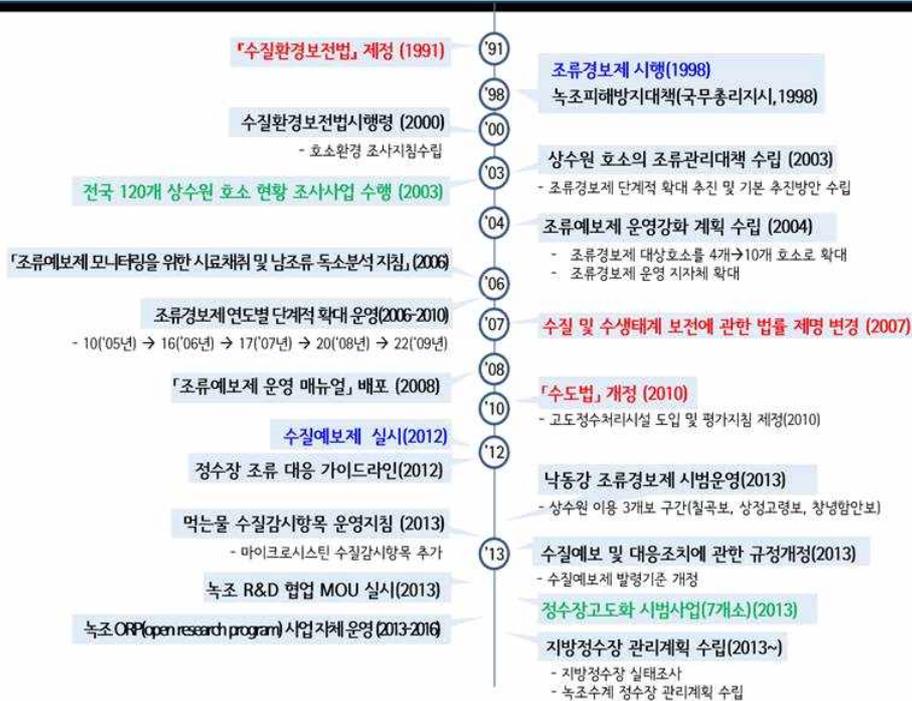
2 관리실태

3 개선방안

4 결론

# 조류 관리제도 발전

## 2. 관리실태



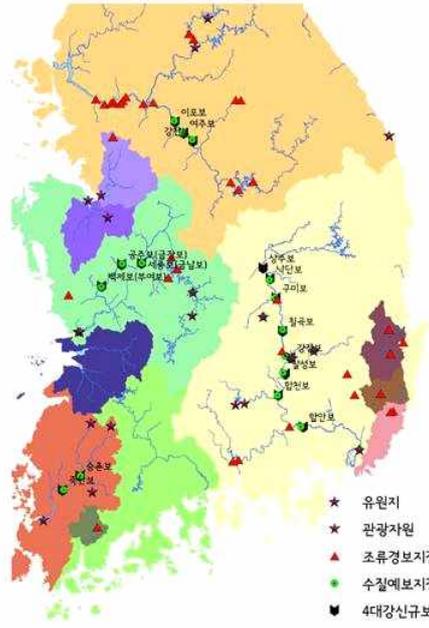
# 수환경 예보정책

## 2. 관리실태

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 :  
→ 하천·호소에서 조류경보제 운영 가능

- 최근 기후변화 등으로 가뭄, 이상 고온 현상이 빈번하게 발생
- 4대강 보 일부 지역에서는 체류 시간이 10배 이상 증가
- 하천에서 녹조현상이 빈번하게 발생, 발생 강도도 심화

수질관리의 선제적 대응을 위한 조류경보제 대상지역, 항목, 대응 방안 등 개선방안을 검토 중



8/52

# 조류경보제와 수질예보제 비교

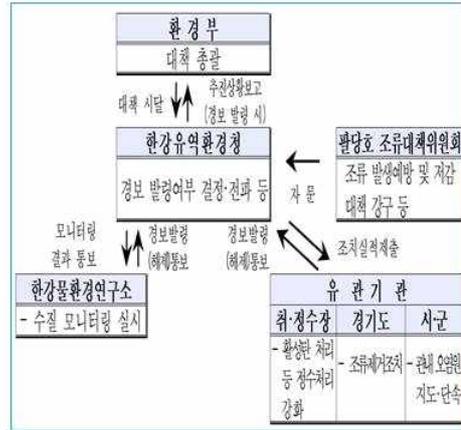
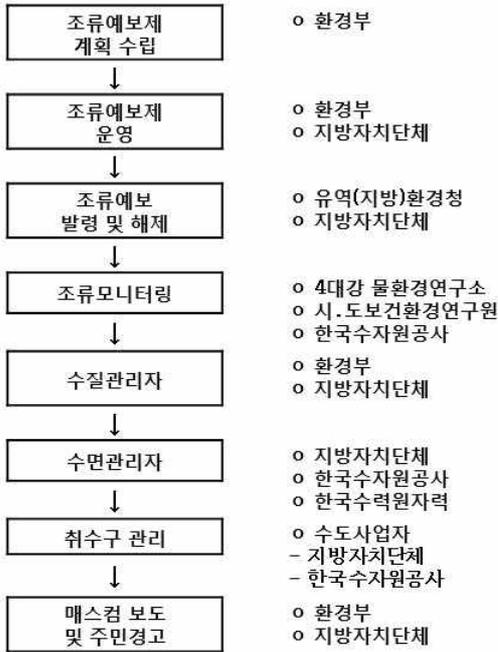
## 2. 관리실태

구분	수질예보제(하천)	조류경보제(호소)
시행일	'12년~'19년	'98년~
목적	수생태계 보호 및 친수활동 안전 보장	상수원수 안전성 보호
법적근거	수질예보 및 대응조치에 관한 규정 (환경부 훈령, 제 1053호)	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제 21조 (수질오염경보제)
발령권자	국립환경과학원장	유역(지방)청장, 시도지사
협의기관	수질관리협의회 (수계별로 설치 운영)	조류대책위원회(유역(지방)청별 운영되어있지만 법령과 별개의 조직)
대상지역	4대강 16개 보 구간	주요 상수원 호소(22개소)
측정자료	Chl-a 농도(예측), 남조류 세포수(실측)	Chl-a 농도(실측), 남조류 세포수(실측)
발령기준	관심 Chl-a 예측농도 70mg/m <sup>3</sup> , or 남조류 1만세포/mL	주의보 Chl-a 농도 15mg/m <sup>3</sup> and 남조류 500세포/mL (2회 연속 동시 초과)  경보 Chl-a 농도 25mg/m <sup>3</sup> and 남조류 5,000세포/mL (2회 연속 동시 초과)  대발생 Chl-a 농도 100mg/m <sup>3</sup> and 남조류 100만세포/mL (2회 연속 동시 초과)
	주의 Chl-a 예측농도 105mg/m <sup>3</sup> , Chl-a 35mg/m <sup>3</sup> and 남조류 5만세포/mL	
	경계 Chl-a 예측농도 140mg/m <sup>3</sup> , Chl-a 35mg/m <sup>3</sup> and 남조류 20만세포/mL	
	심각 Chl-a 예측농도 175mg/m <sup>3</sup> , Chl-a 70mg/m <sup>3</sup> and 남조류 20만세포/mL	
단계별 주요 조치사항	관심 ·수질예보 주기 확대(매일) ·수질관리협의회 운영 ·취·정수장 관리강화 ·기초시설 방류수질 강화 ·폐수 다량배출시설 등 주변 오염원 관리 강화	조류 주의보 ·주1회 모니터링(지자체, 취·정수장 통보) ·정수처리강화 ·주변 오염원 단속
	주의 ·유량조절 사전협의 ·사업장 방류수질 강화 운영 ·상수도위기관리및예비조치 ·방류 가능량 산정 ·폐수 다량배출시설 등 주변 오염원 관리 강화	조류 경보 ·주2회 모니터링 ·정수처리 강화 ·정수 독소분석 실시 ·취수구 이동 ·주변 오염원 단속 강화 ·대국민 상황 전파(수질현황, 주민 협조요청사항 등)
	경계 심각 ·수질개선방안 수립 및 수질효과분석(시나리오) ·상수도시스템 위기상황 대응 시행 ·유량조절 요청 및 협의 ·방류량 조정, 조류 제거	조류 대발생 ·주2회 모니터링 ·정수처리 강화 ·정수 독소분석 실시 ·조류제거 조치 ·주변 오염원 지속적인 단속 강화 ·대국민 상황 전파(수질현황, 주민 협조요청사항 등)

9/52

# 전반적 조류예보제 운영체계

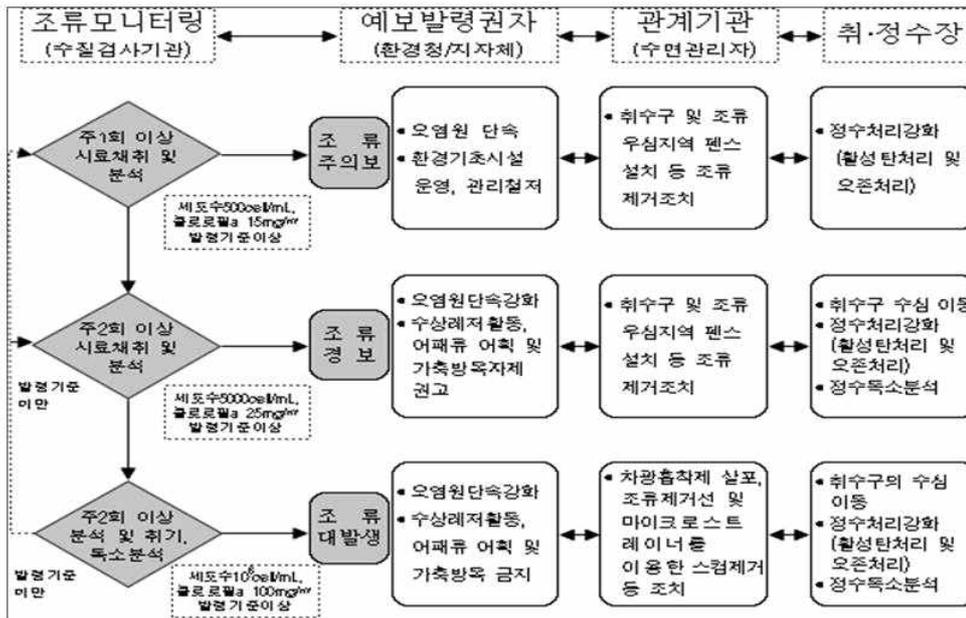
## 2. 관리실태



10/52

# 유해 조류 위험관리체제

## 2. 관리실태



11/52

# 조류경보제 대응체제

2. 관리실태

## <주의보>

관 계 기 관	조 치 사 항
4대강 물환경연구소, 보건환경연구원장 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주 1회 이상 시료채취 및 분석</li> <li>○ 발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한 통보</li> </ul>
수면관리자 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류제거 조치 실시</li> </ul>
취·정수장 관리자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정수처리 강화(활성탄처리, 오존처리)</li> </ul>
유역(지방)환경청장 또는 시·도지사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조류주의보 발령</li> <li>○ 주변오염원에 대한 철저한 지도·단속</li> </ul>

12/52

# 조류경보제 대응체제

2. 관리실태

## <경 보>

관 계 기 관	조 치 사 항
4대강 물환경연구소, 보건환경연구원장 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주 2회 이상 시료채취·분석(클로로필a, 남조류 세포수, 취기, 독소)</li> <li>○ 발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보</li> </ul>
수면관리자 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류제거 조치 실시</li> </ul>
취·정수장 관리자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조류증식 수심 이하로 취수구 이동</li> <li>○ 정수처리강화(활성탄처리, 오존처리)</li> <li>○ 정수의 독소분석 실시</li> </ul>
유역(지방)환경청장 또는 시·도지사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조류경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보</li> <li>○ 주변오염원에 대한 단속강화</li> <li>○ 수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 자제 권고</li> <li>○ 어패류어획·식용 및 가축방목의 자제 권고</li> </ul>

13/52

# 조류경보제 대응체제

2. 관리실태

## <대발생>

관 계 기 관	조 치 사 항
4대강 물환경연구소, 보건환경연구원장 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주 2회 이상 시료채취·분석(클로로필a, 남조류 세포수, 취기, 독소)</li> <li>○ 발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한 통보</li> </ul>
수면관리자 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류제거 조치 실시</li> <li>○ 황토 등 흡착제 살포, 조류제거선 등을 이용한 조류 제거 조치 실시</li> </ul>
취·정수장 관리자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조류증식 수심 이하로 취수구 이동</li> <li>○ 정수처리강화(활성탄처리, 오존)</li> <li>○ 정수의 독소분석</li> </ul>
유역(지방)환경청장 또는 시·도지사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조류대발생 경보의 발령 및 대중매체를 통한 홍보</li> <li>○ 주변오염원에 대한 지속적인 단속강화</li> <li>○ 수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 금지</li> <li>○ 어패류 어획·식용 및 가축방목의 금지</li> </ul>

14/52

# 조류경보제 대응체제

2. 관리실태

## <해 제>

관 계 기 관	조 치 사 항
4대강 물환경연구소, 보건환경연구원장 또는 수도사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한 통보</li> </ul>
유역(지방)환경청장 또는 시·도지사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 각종 경보의 해제 및 대중매체를 통한 홍보</li> </ul>

15/52

### □ 국내 유사제도

- ✓ 수질예보
- ✓ 수질경보
- ✓ 적조경보

법률명	소관부처	주요내용
재난 및 안전관리기본법	행정안전부	재난관련 기본법
자연재해대책법	소방방재청	사전재해영향성검토 협의 등 근원적 재해예방·복구제도
수질 및 수생태법	환경부	수질감시경보 / 조류경보
수질예보 및 대응조치 지침	환경부	4대강 보 지점에 대한 4단계 예보
적조경보 및 대응조치 지침	해양수산부	바다의 적조에 대한 수산물 피해 등 관리

16/52

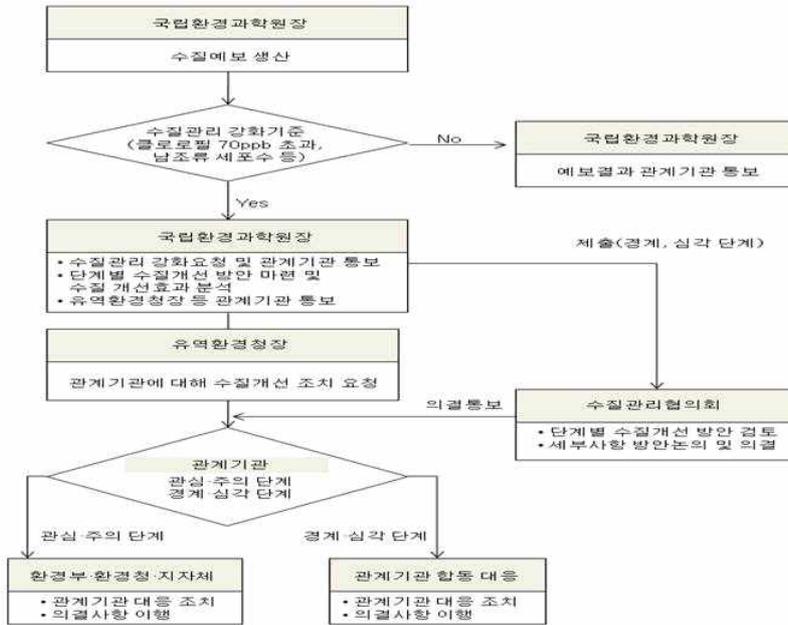
수질오염 예경보의 종류별 발령 대상, 발령 주체 및 대상 수질오염물질

경보의 종류	대상 수질오염물질	발령대상	발령주체
수질오염 예보	조류경보 및 수질오염감시경보 대상물질 중 예측모델링 가능 물질	법 제9조에 따른 측정망 중 실시간으로 수질오염도가 측정되는 지점에서 환경부장관이 지정하는 수체	환경부 장관
조류경보	클로로필-a 남조류 세포수	제30조제1항에 따라 환경부장관이 조사·측정하는 호소 제30조제2항에 따라 시·도지사가 조사·측정하는 호소	환경부 장관 시·도지사
수질오염 감시경보	수소이온농도, 용존산소, 총 질소, 총 인, 전기전도도, 총유기탄소, 휘발성유기화합물, 페놀, 중금속 (구리, 납, 아연, 카드뮴 등), 클로로필-a, 생물감시	법 제9조에 따른 측정망 중 실시간으로 수질오염도가 측정되는 하천 호소	환경부 장관

17/52

# 수질예보제 대응체제

## 2. 관리실태



18/52

# 수질예보제 대응체제

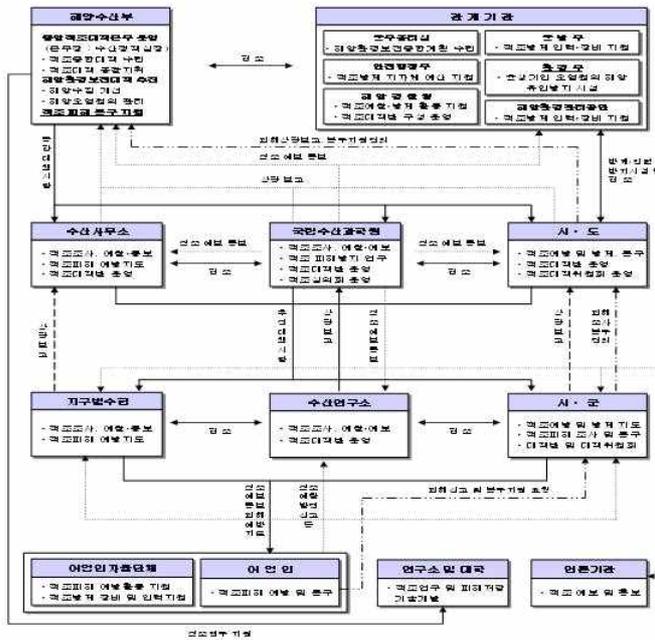
## 2. 관리실태

단계	관계 기관
관심	한국환경공단이사장, 수면관리자, 취수장 · 정수장 관리자, 유역 · 지방환경청장
주의	한국환경공단이사장, 수면관리자, 취수장 · 정수장 관리자, 물환경연구소장, 유역 · 지방환경청장
경계	한국환경공단이사장, 수면관리자, 취수장 · 정수장 관리자, 물환경연구소장, 유역 · 지방환경청장
심각	한국환경공단이사장, 수면관리자, 취 · 정수장 관리자, 물환경연구소장, 유역 · 지방환경청장, 국립환경과학원장, 환경부장관
해제	한국환경공단이사장, 유역 · 지방환경청장

19/52

# 적조예보제 대응체제

## 2. 관리실태



20/52

# 적조예보제 대응체제

## 2. 관리실태

관계기관	주요 구성
중앙적조대책본부	1) 대책본부장 : 해양수산부 수산정책실장 2) 지휘총괄 : 어촌양식정책관 3) 실무반장 : 양식산업과장
국립수산물품질관리원 적조 대책반	1) 반 장 : 기반연구부장 2) 실무반장 : 수산해양종합 정보과장
시·도 대책반	1) 반 장 : 부시장 또는 부지사 2) 실무반장 : 담당국(과, 수산기술사업소)장 등
시·군·구 대책반	1) 반 장 : 부시장, 부군수 또는 부구청장 2) 실무반장 : 담당과(국)장
수협 대책반	1) 반 장 : 담당이사 (상임이사) 2) 실무반장 : 담당부장(지도상무, 과장)
해경청 적조대책 지원반	1) 반 장 : 담당국장 2) 실무반장 : 담당과장

21/52

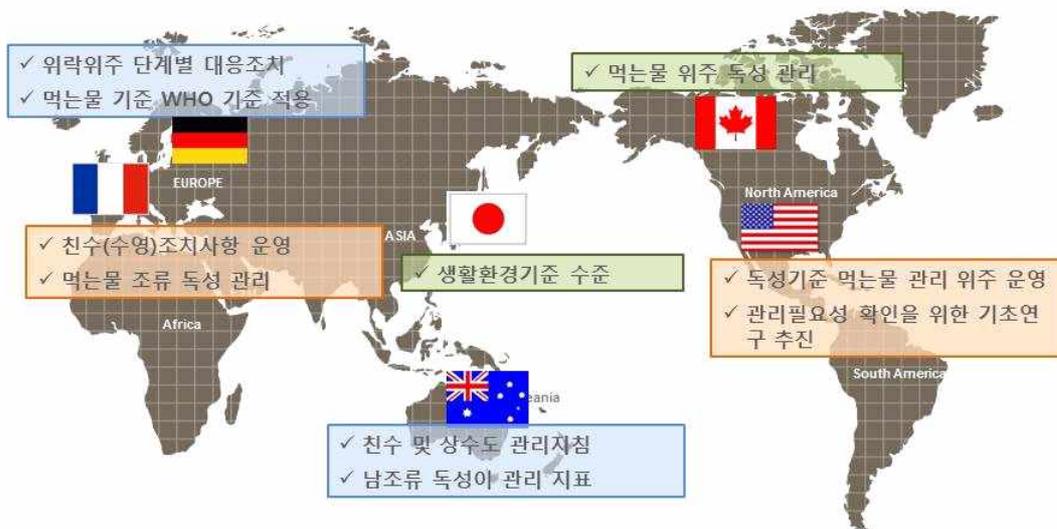
### □ 국외 조류 관련 예경보 제도

- ✓ 먹는물 관리
- ✓ 친수 /위락 관리

국가 및 기관	관리항목	주요내용
WHO	먹는물/위락	먹는물과 친수기준 제시
미국	-	예비 후보지정 및 위해성 측면 관리
캐나다	-	위해성 측면 관리 시작 단계
호주	먹는물/위락	각 부문별 관리지침
프랑스	먹는물/위락	위락위주 대응조치, 먹는물 기준 적용
독일	위락	위락위주 대응조치

22/52

# 각국의 관리수준



23/52

# 미국과 프랑스 대응조치 사례

2. 관리실태



인디애나 주의 경우 Microcystin-LR와 Cylindrospermopsis를 대상항목으로 4단계로 제시

- Level 1 : Microcystin-LR < 4 µg/L, 위험정도가 매우 낮거나 없음
- Level 2 : Microcystin-LR 4-20 µg/L, 위험정도는 낮음에서 보통, 친수활동 줄임
- Level 3 : Microcystin-LR > 20 µg/L, 심각한 위험정도. 독소에 대한 위험이 감소되는 수준까지 물접촉 피함
- **Level 4 : 경고** Cylindrospermopsis : 5ppb, 독소에 대한 위험이 감소되는 level까지 물에 대한 접촉을 피함



프랑스는 전국을 대상으로 단일 지침을 3단계로 제시

- Level 1 : < 20000cells/ml ± 20% 이며, 휴양활동 허용, 격주마다 샘플링과 중의 식별에 대한 **모니터링**
- Level 2 : 20,000~100,000cells/ml 사이에는 microcystin이 **분석**되고, LR-equivalents의 농도가 25µg/l 이상이면 수영이 **금지**. 조정과 같이 최소한의 접촉을 하는 스포츠 **허용**
- Level 3 : **남조류 scum**이 발생하면 **수영 금지**

24/52

# 국제기구 관련 지침

2. 관리실태



5단계(극빈영양(ultra-oligotrophic), 빈영양(Oligotrophic), 중영양(Mesotrophic), 부영양(Eutrophic), 과영양(Hypertrophic))

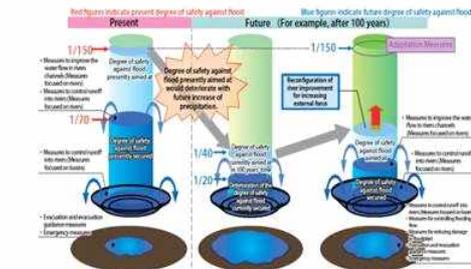


	기준	의미 혹은 권장조치
Level 1	20,000 cell/mL (남조류가 우점종이며 Chl-a농도가 10 µg/L 이상)	인체에 비교적 적은 영향을 끼치는 단계
Level 2	100,000 cell/mL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인체에 영향을 끼치는 단계</li> <li>• 60kg의 성인이 2L 이상 섭취한 경우 관련 질병이 발병 가능</li> <li>• 15kg의 어린이의 경우 250 mL 섭취시 악영향이 일어날 가능성이 있음</li> </ul>
Level 3	100,000 cell/mL 이상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인체에 높은 영향을 끼치는 단계</li> <li>• 스킴발생</li> <li>• 소량으로도 치명적인 해를 입을 수 있음</li> </ul>

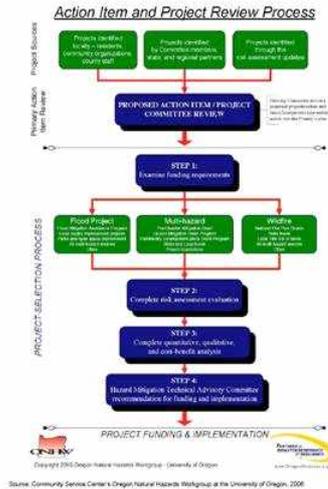
25/52

### □ 국외 재해대책 사례 조사

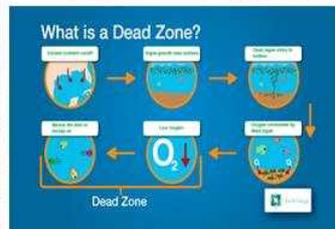
- ✓ 미국
  - 재해경감계획수립 가이드
  - 통합관리방식의 재난관리체계
  
- ✓ 일본
  - 재해발생 시 대응전략 및 관련기술 개발



<일본의 적응정책 이행방안>



<미국 방재사업 결정과정>





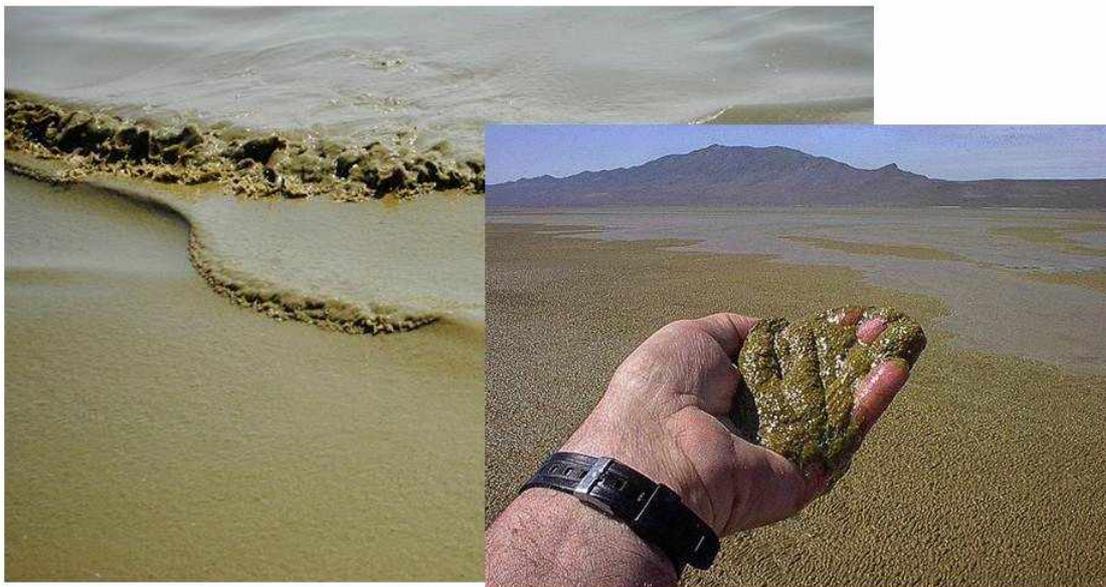
28/52



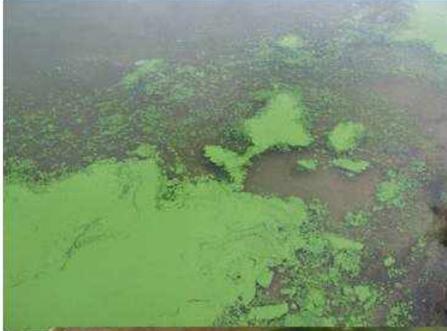
29/52



30/52



31/52



32/52

- 1 서론
- 2 관리실태
- 3 개선방안**
- 4 결론

33/52



크로마닌

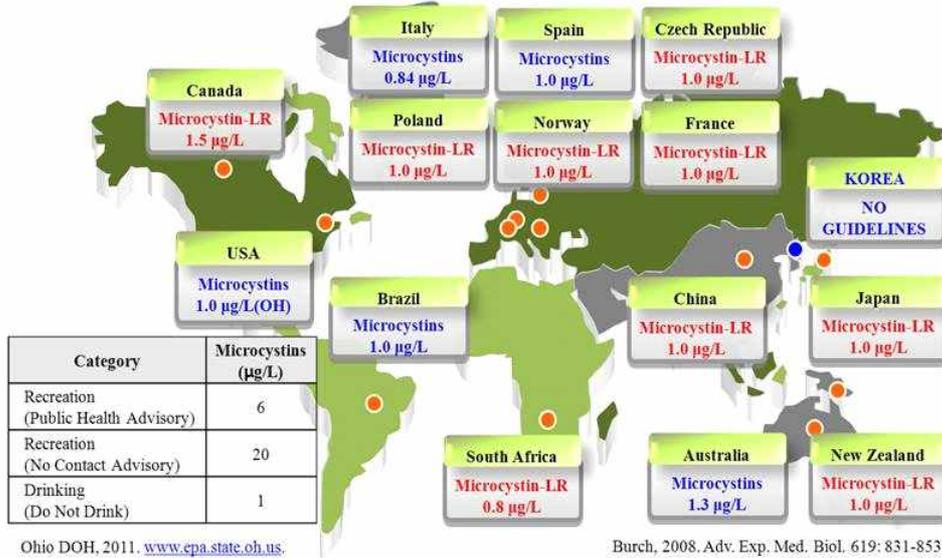
34/52

국가	년도	독소의 종류	원인	희생자 수
USA	1930	Undefined	음용수	8,000-10,000명 치료
Canada	1959	Undefined	수영	13명 입원
USA	1975	Undefined	음용수	주민 62%가 치료받음
Australia	1979	Cylindrospermopsin	음용수	140명 아동/10명 어른 치료
Australia	1981	Microcystin-YM	음용수	다수
Brazil	1988	Microcystin	음용수	2,000명 위장염, 88명 사망
UK	1989	Undefined	수영	10명 군인 치료
Brazil	1996	5Microcystin-LR	신장 투석	117명 환자, 47명 사망

35/52

# 조류 관리방향(먹는물/위락)의 설정

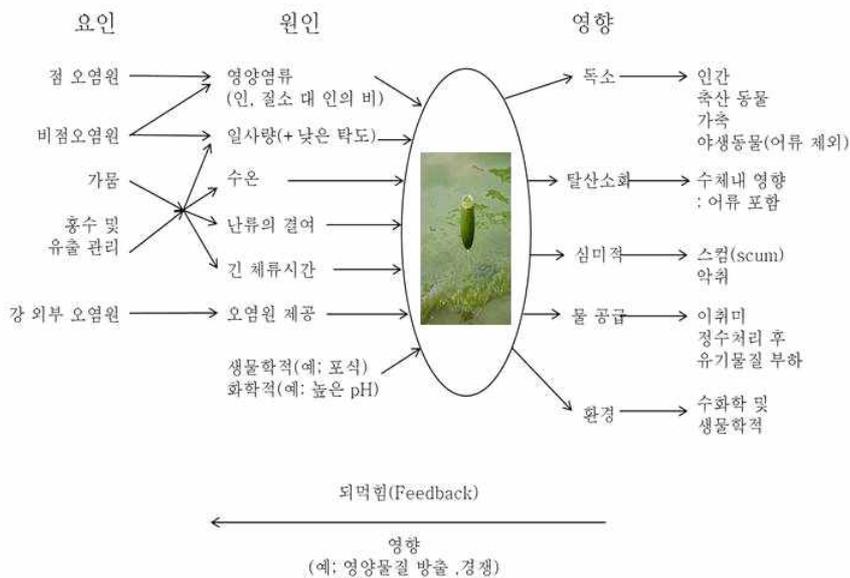
3. 개선방안



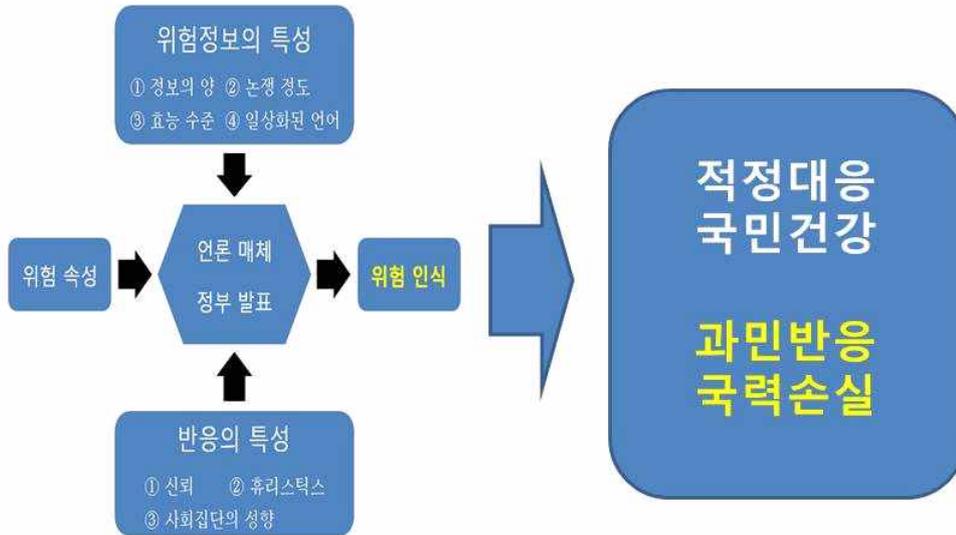
36/52

# 관리체제 구축을 위한 인과분석

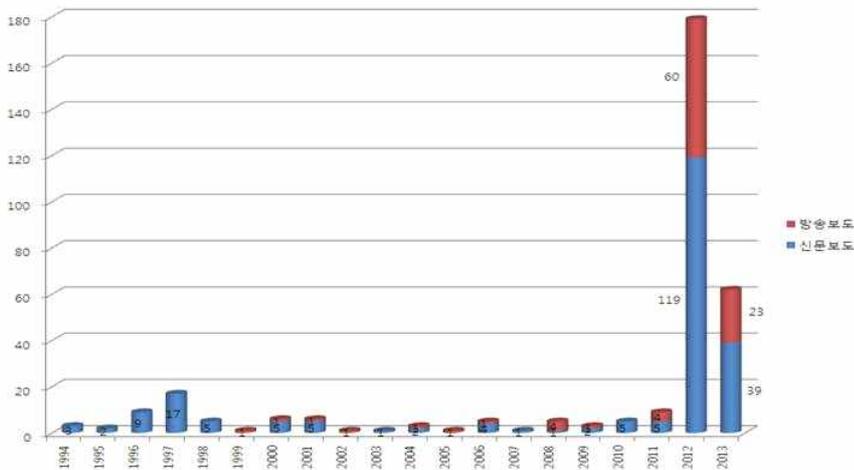
3. 개선방안



37/52



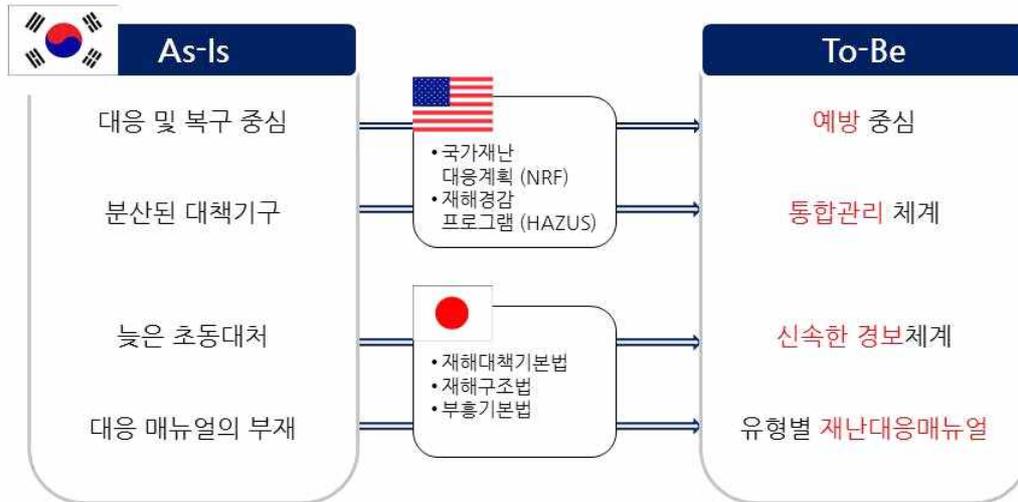
38/52



<http://www.kinds.or.kr/>

39/52

### □ 대응정책 방향성 제시



40/52

# 유해 조류 위험관리체제

	발생	탐지 및 모니터링	관리	수처리	
실 태	기술	점오염관리는 적절하나, 비점오염원 관리는 적용성 미비	환경부의 수질예보 Chl-a 구간별 적중률은 시행 첫 해('12) 70% 수준 양호	<ul style="list-style-type: none"> <li>•공공수역 적용 가능한 기술 부재</li> <li>•한시적으로 발생하는 녹조 관리 비용이 매우 높게 소요</li> </ul>	조류로 인한 맛, 냄새, 독성은 고도처리공정에서 제거가 가능하나 높은 설치 및 운영비용 발생
	법/제도	녹조 발생 자체는 자연현상이나 급증함에 따라 이슈 및 기사화	조류로 인한 맛, 냄새, 독성 등 실질적인 탐지제도 미흡	<ul style="list-style-type: none"> <li>•정확한 정보전달에 대한 제도미흡</li> <li>•과도한 위기조장에 대한 적정조치 미흡</li> </ul>	원수관리와 정수관리를 위한 적절한 수질개선을 위한 예산 고려
	인프라	사전 억제시스템은 점오염원 중심	현재 물환경 정보시스템을 통해 연계중이며 수질예보에 반영중	사전예방을 위한 주민 참여 미비 발생후 관리 중심	일부 수처리기관의 경우 일반처리시설 설치 및 운영조차 미비, 수처리기관별 정수처리의 편차 발생
조치사항 수요	발생원 관리 등 규제합리화 비용효과적인 중진 저감 기술 적용과 참여	기구축 되어있는 시스템과 조직을 활용 및 보완 남조류 독소 측정센서 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>•오염원인자 및 이해당사자 참여 촉진</li> <li>•기술의 개발/적용과 함께 비구조적 대책 동시 추진</li> <li>•적재/적소/적정 예-경보</li> </ul>	수처리 시설의 공급 및 인프라 확충, 고도처리공정 기술 개발	

41/52

### 기존 대응시스템의 연계 / 활용

구분	업무 내용	관계 기관
① 수질악화 조류발생	<ul style="list-style-type: none"> <li>수질모니터링 및 전망, 정보제공</li> <li>기상, 수위, 무렵, 저수량, 물사용 현황</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유역·지방환경청</li> <li>홍수통제소</li> </ul>
↓		
② 수질모니터링 강화 원상 조동 조치	<ul style="list-style-type: none"> <li>수질모니터링 강화(주1→주2)</li> <li>현장 조치 실시</li> <li>환경부 모명업 유입 저감 조치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유역·지방환경청</li> <li>홍수통제소, 시설관리자</li> <li>유역·지방환경청</li> </ul>
↓		
③ 저수량 활용계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>담·보·저수지 여유량 요청</li> <li>담·보·저수지 여유량 제공</li> <li>수질개선 효과 분석 및 제공</li> <li>기상, 저류량, 물수급, 수질전망 등을 고려하여 활용계획 수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유역·지방환경청</li> <li>홍수통제소, 시설관리자</li> <li>유역·지방환경청</li> <li>홍수통제소</li> </ul>
↓		
④ 연계운영협의회 의결 활용수량 방류	<ul style="list-style-type: none"> <li>③에서 결정된 저수량 활용계획을 수계별 연계운영협의회에서 의결</li> <li>홍수통제소장 의견사항에 따른 방류 지시</li> <li>시설관리자 활용계획에 따라 방류 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연계운영협의회</li> <li>홍수통제소</li> <li>시설관리자</li> </ul>
↓		
⑤ 수질 개선상황 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>수질개선효과 분석 및 통보</li> <li>추가방류가 필요한 경우 ④과징 제수행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유역·지방환경청</li> </ul>

< 담저수지 연계 운영절차 >

■ 수질악화, 조류 발생에 대응한 담·보·저수지의 저수량을 활용한 비상방류 시 담·저수지 및 본류수위 저하로 인한 하천관리에 지장이 발생하는 제약사항을 검토하여 운영원칙을 설정

■ 저수량 활용계획을 수립, 연계운영협의회의 의사결정, 비상방류를 실시, 제약사항에 대해 충분히 협의

◎ 기본방향: 수질을 경계\*단계 이하로 유지하는 것을 목표  
주간단위의 대표지점 모니터링, 수질전망 및 대응 실시

\* 수질예보기준: 관심(70mg/m<sup>3</sup>)-주의(105)-경계(140)

◎ 운영기준: 수질악화 및 조류발생에 따라 담·보·저수지 연계운영을 통한 선제적 방류 실시

42/52

# 단순/명확/적재/적정 관리체제

### ○ 국내 유독남조류 특성을 고려한 친수활동 보호 기준을 산정

- 우선, WHO 레크레이션 용수 기준 Microcystin-LR 20µg/l을 바탕으로 국내 출현 남조류의 독성 물질 발생 특성을 반영
- 우리나라에 적합한 수영 등 친수활동 중단 권고 기준은 유독남조류 세포수 200,000cells/ml 또는 유독남조류 우점시 약 180mg 클로로필-a/m<sup>3</sup>

남조류 세포수(세포/mL)	10,000 이상	30,000 이상	50,000 이상	1×10 <sup>5</sup> 이상
클로로필-a 예측 농도(mg/m <sup>3</sup> )				
70mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	안내단계 (준비단계)			
105mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지		주의단계 (준비단계)		
140mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지			어린이금지 (관리단계)	
175mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지				성인금지 (관리단계)

43/52

# 단순/명확/적재/적정 관리체제

## 3. 개선방안

용어 자체가 과도한 불안 조성의 경우, 순화 필요

클로로필-a 농도 (mg/m <sup>3</sup> )	유해남조류 세포수 (세포/mL)			
	5000 미만	5000 이상	50,000 이상	2×10 <sup>5</sup> 이상
35mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	-	관심	주의	경계
70mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	관심	주의	경계	심각
105mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	주의	경계	심각	심각
140mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	경계	심각	심각(준) (어린이 수영금지)	심각(준)
175mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	심각	심각	심각(준)	심각 (성인 수영금지)

44/52

# 단순/명확/적재/적정 관리체제

## 3. 개선방안

수질관리 단계

클로로필-a 예측 농도(mg/m <sup>3</sup> )	남조류 세포수(세포/mL)			
	10,000 미만 <sup>1)</sup>	10,000 이상	50,000 이상	2×10 <sup>5</sup> 이상
35mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	-	관심단계 <sup>2)</sup>	주의단계	경계단계
70mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	관심단계	주의단계	경계단계	심각단계
105mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	주의단계	경계단계	심각단계	심각단계
140mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	경계단계	심각단계	준 경보단계	준 경보단계
175mg/m <sup>3</sup> 을 초과하고 7일 중 4일 이상 유지	심각단계	심각단계	준 경보단계	경보단계

대외 발표 수준

	예방단계	경보단계
수질관리단계	관심, 주의, 경계	심각, 경보
발표대상	환경부 자체	심각/준경보: 관련기관 경보: 국민 대상

45/42

### 경보 기간, 항목, 지역, 대상 등 구분으로 적정시스템 유지

- 경보기간 : 상수용(년중)/위락용(물접촉 기간)
- 경보항목 : 수질관련기준(먹는물 기준 등) 고려
- 경보지역 : 상수원, 위락지역 구분
- 경보대상 : 경보를 통한 실질적 조치 유도 및 적정 관리(불필요한 과다정보=혼란 초래)

### 경보 수준별 대응방안

경보 수준	대응방안
감시 모드(녹색 표시)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 물리적, 미생물학적, 조류에 의한 오염도를 측정하기 위해 정기적으로 샘플 채집</li> </ul>
조사 모드(황색 표시)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염도가 상승한 원인에 대한 조사 수행</li> <li>• 용수 이용객들에 미치는 위험에 관한 보다 정확한 평가를 위해 조사 강화</li> </ul>
조치 모드(적색 표시)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일정기간 후 용수 목적 사용 부적합 경보 발령 및 각 기관별 조치사항 하달</li> </ul>
<b>경보 및 대응</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>단순/명확/적재/적소/적정 발령 및 기관별 분명한 임무 부여</b></li> </ul>

46/52

# 제도개선 방안

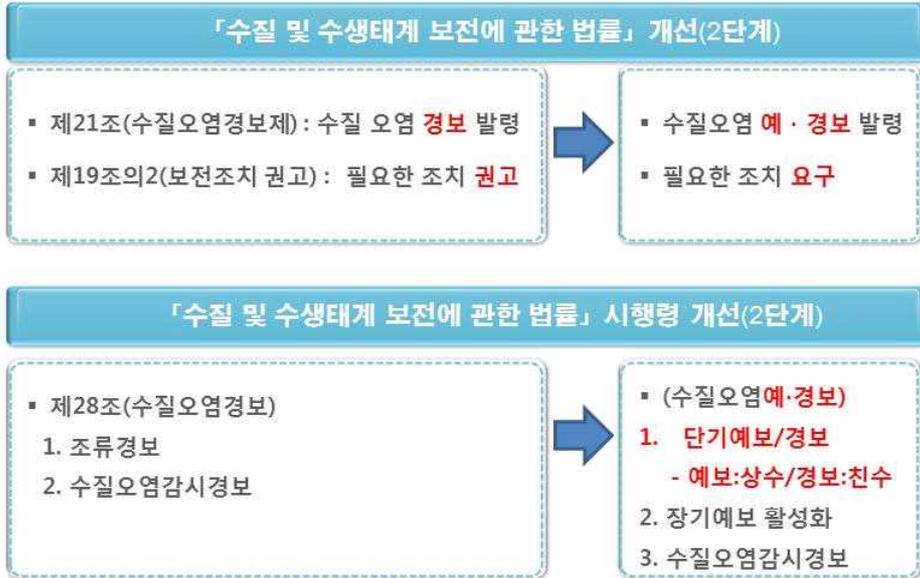
### 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 개선(1단계)

- |                                                                                                                               |   |                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제21조(수질오염경보제) : 수질 오염 <b>경보</b> 발령</li> <li>▪ 제19조의2(보전조치 권고) : 필요한 조치 권고</li> </ul> | ➔ | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 수질오염 (<b>예·경보</b>) 발령</li> <li>▪ 필요한 조치 권고(요구)</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 시행령 개선(1단계)

- |                                                                                                        |   |                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제28조(수질오염경보)</li> <li>1. 조류경보</li> <li>2. 수질오염감시경보</li> </ul> | ➔ | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (수질오염<b>예·경보</b>)</li> <li>1. 수질오염<b>예보</b></li> <li>2. 조류경보</li> <li>3. 수질오염감시경보</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

47/52



48/52



주요 표

구분	내용
환경부/환경과학원	- 조류관리 강화 통보 및 조류관리 강화 조치, 단계별 관리장안 제시 - 유역내 수질관리 강화기준 초과 원인 및 실태조사
유역·지방환경청장	- 주요 오염원에 대한 장기 거동 조사 - 수조류리 단계별 대응조치 총괄 및 관계기관 대응조치사항 점검 - 주요 오염원 수질관리강화 협조 요청
지방자치단체	- 주요오염원 변화 점검강화 - 신규 오염원 입지지역 오염발생 저감 추진 - TOC, T-N, T-P 다량배출사업장 점검
관계기관	- 주요 오염원 증감에 대한 정보 교류 - 오염저감을 위한 상호 협조체계 구축 - 오염원 증감에 대한 감시 및 관리강화

49/52

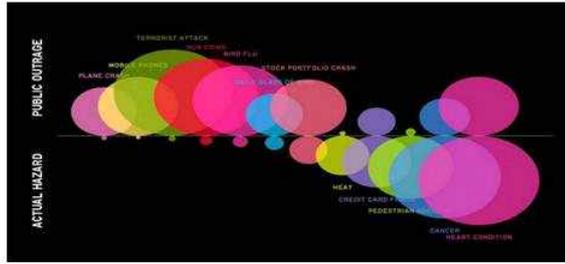
구분	내 용	
경보	환경부/국립환경과학원장	- 수질 악화 원인 파악 및 확인, 단계별 관리방안 제시 - 조치사항 통보를 위한 기초자료 수집
	유역·지방 환경청장	- 관계기관 대응조치사항 파악 및 점검 - 주요 오염원 점검 강화 - 오염원에 대한 지자체 등과 관계기관 합동점검 실시 및 지원
	지방자치단체	- 수질악화 원인 확인 및 조치 - 수질악화방지를 위한 조치사항에 우선순위 선정 및 집행 - 원인파악, 조치 등을 위한 관계기관 합동점검 지원
	관계기관	- 자체적인 위기평가 및 예방조치 시행 - 관계기관 합동점검 지원

구분	내 용	
대발생 / 대외공포	환경부/국립환경과학원장	- 대책시행 및 수질개선효과 분석 및 단계별 관리방안 지시 - 과학적인 자료 분석을 통한 장기 대응방안 등 제안
	유역·지방 환경청장	- 대응방안 수행 및 추진독려 - 오염저감 대책의 추진상황 점검과 개발허가 연계 - 관계기관에 필요 대책 요청 및 협의
	지방자치단체	- 오염원 관리 및 저감을 위한 조치사항 이행 - 물관리 시스템 위기상황 대응 준비 - <b>위락지역 대외 경보 발령</b>
	관계기관	- 자체적인 저감방안 실시 - 위기 평가에 따른 조치 시행 및 평가 - 위기 해소를 위한 사항 제안

50/52

- 1 서론
- 2 관리실태
- 3 개선방안
- 4 결론**

51/52



Likelihood ↑	Very likely	Acceptable risk Medium 2	Unacceptable risk High 3	Unacceptable risk Extreme 5
	Likely	Acceptable risk Low 1	Acceptable risk Medium 2	Unacceptable risk High 3
	Unlikely	Acceptable risk Low 1	Acceptable risk Low 1	Acceptable risk Medium 2
	What is the chance it will happen?	Minor	Moderate	Major
		Impact → How serious is the risk?		

52/52



### 제3절 제15차 포럼

#### □ 회의개요

- 사업명 : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구
- 일시 : 2014. 11. 7(금) 15:00~18:00
- 장소 : 대전 대림호텔 컨벤션홀
- 참석대상 : 조류포럼 위원 및 관계전문가
- 참석자 : 총 36명

-회 장 1명	건국대학교	황순진	교수
-당연직 11명	환경부	이영기	물환경정책과장
	한강유역환경청	이인기	유역관리국장
	낙동강유역환경청	최동호	유역관리국장
	금강유역환경청	강선종	유역관리국장
	영산강유역환경청	주홍봉	유역관리국장
	대구지방환경청	장운현	수질관리과장
	국립환경과학원	이재안	팀장
	한강물환경연구소	이재관	소장
	낙동강물환경연구소	천세억	소장
	금강물환경연구소	이수형	소장
	영산강물환경연구소	이형진	소장
-위촉직 13명	한국농어촌공사	남귀숙	박사
	한국환경공단	김순흠	센터장
	한국수자원공사	황수옥	수석위원
	K-Water수자원연구소	신재기	박사
	한국생명공학연구원	오희목	책임연구원
	경기대 생명과학과	공동수	교수
	서울대학교	최지용	교수
	대진대 생명과학과	김용재	교수
	상명대 생명과학부	이진환	교수
	충북대 환경공학과	정세웅	교수
	전남대 생명과학부	이학영	교수
	충북대 환경공학과	조영철	교수
	한국바이오시스템	전숙례	박사
-그 외 11명			

□ 발제

- 제1주제 : 조류경보제 개선안 발표  
(경기대학교 공동수 교수)

□ 포럼 일정표

시 간	소요 (분)	내 용	사회 및 발표자
15:00 ~15:05	5	참석자 소개	경기대학교 공동수 교수
15:05 ~15:10	5	인사말씀	포럼 회장
15:10 ~15:50	40	조류경보제 개선안 발표	경기대학교 공동수 교수
15:50 ~16:00	10	휴식	
16:00 ~17:50	110	토론	포럼 회장
17:50 ~18:00	10	종합 정리 및 폐회	포럼 회장

□ 회의록

회 의 록

<b>제 목</b>	조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구	
<b>일시 및 장소</b>	2014. 11. 7(금) 15:00 ~ 18:00	
<b>장 소</b>	대전 대림호텔 컨벤션홀	
<b>발표자</b>	경기대학교 공동수 교수	
<b>참석자</b>	환경부	이영기
	한강유역환경청	이인기
	낙동강유역환경청	최동호
	금강유역환경청	강선종
	영산강유역환경청	주홍봉
	대구지방환경청	장운현
	국립환경과학원	이재안
	한강물환경연구소	이재관
	낙동강물환경연구소	천세억
	금강물환경연구소	이수형
	영산강물환경연구소	이형진
	한국농어촌공사	남귀숙
	한국환경공단	김순흠
	한국수자원공사	황수옥
	K-Water수자원연구소	신재기
	한국생명공학연구원	오희목
	건국대학교	황순진
	서울대학교	최지용
	대진대 생명과학과	김용재
	상명대 생명과학부	이진환
	충북대 환경공학과	정세웅
	전남대 생명과학부	이학영
	충북대환경공학과	조영철
	한국바이오시스템	전숙례
	이외 11명	

## 1. 대상 지역 확대

### <최지용 서울대학교 교수>

- 대상지역은 상수원 중심으로 추진하고, 확대는 행정적, 기술적 관리 가능성도 고려하여 추진

### <이학영 전남대학교 교수>

- 취수와 직접 관련이 있는 지역으로 한정

### <남귀숙 한국농어촌공사 책임연구원>

- 조류경보제의 경우 상수원수의 식수 안정성에 근거하여 일률적 관리가 이루어지는게 바람직함

### <김순흠 한국환경공단 센터장>

- 달성보 합천 창녕보는 재검토 필요
- 대상지역 확대시 채수 지점의 확정 필요
- ✓ 상수원 보호 및 취수장 운영과 연계 되므로 취수장 인근으로 검토
- 상수원 발형지표는 유해남조류 세포수가 타당할 것이나 친수용 기준인 경우에는 조류 독소에 대한 부분의 추가가 필요할 것임

### <조영철 충북대학교 교수>

- 개선안은 조류경보제 대상지역 확대 및 Chl.a와 유해남조류 세포수의 불일치성 문제 등의 사회적 요구를 충분히 반영한 것으로 보임. 하지만 개선안을 관철시키기 위해서는 과학적 설득 논리가 필요한 것으로 보임

### <이진환 상명대학교 교수>

- 대상지역확대 여부는 2안으로 하되, 장기적으로 친수용 구역과 저수지를 추가해야 함
- ✓ 환경부에서는 일선에서 data를 생산하는 4대강 물환경연구소에 전문 인력 보장이 필요함

### <신재기 한국수자원공사 수석연구원>

- 조류경보제 적용수역의 확대 및 기준 개선행은 매우 객관적이고 바람직한 연구성과 내용으로 볼 수 있음
- 이와 함께 현행 조류경보제 적용 측정말 지점의 타당성 검토가 필요함
- ✓ 대표지점과 취수지점으로 구분하여 운영하는 것이 필요
- 적용 기간도 내용에 명시되어 포함되었으면 함

### <황수옥 수자원공사 수석위원>

- 조류경보제는 상수원 구역과 친수구역이 분리되어 운영되어야 함이 바람직함
- 조류경보제는 현 운영목적에 맞게 상수원 수질의 안정성확보를 목적으로 운영할 필요가 있음

### <박혜경 낙동강물환경연구소 연구관>

- 달성보, 창녕보는 상수원의 안전성 확보 등 이익이 없이, 인력이 낭비되기 때문에 추가는 필요없을 것으로 판단됨

### <최동호 낙동강유역환경청 유역관리국장>

- 상수원을 고려한다면 하구원도 제외대상으로 고려되어야 함

## 2. 발령지표 개선 방안

### <최지용 서울대학교 교수>

- 녹조 발생 상황과 독소 영향 등을 종합적으로 대변 가능한 “유해남조류 세포수”가 적정

### <오희목 한국생명공학연구원 책임연구원>

- 제시된 발령지표, 발령기준은 대체로 적합한 것으로 사료
- ✓ 수심이 깊고, 정체 수역으로 수층이 안정되어 남조류가 상층에 분포하는 대청호와 팔당호 등과 하천의 보에서 수심이 낮고 상하 혼합에 의해 남조류가 비교적 균질 분포함. 따라서 동일한 기준적용은 무리가 있다.
- ✓ 수체 균질분포항목인 용존 독소, 이취미 물질 등의 분자적 검출이 고려되어야 함

### <남귀숙 한국농어촌공사 책임연구원>

- 독성자료에 근거한 “유해남조류 세포수”가 적정

### <조영철 충북대학교 교수>

- 조류경보제의 발령기준에서 경보기준을 완화하는 것에 대한 적절할 설득논리가 필요함
- ✓ 남조류세포수를 단일 기준으로 하였을 때, 현장에서 남조류 세포수 계수의 정확성에 문제가 있으므로 정도관리 방안이 마련되어야 함
- ✓ 개선된 안에서는 조류관심단계부터 조류독소를 분석하여야 하며, 조류독소 분석 자료를 가지고 있을 경우, 언론 및 국회에서 자료제시 요구 시 국민에게 공지되어 불안감을 가중시킬 우려가 있음

### <전숙례 에코프리즘 연구소장>

- 남조류 세포수 계수의 오차범위가 방법, 개인에 따라 크게 나타나므로 측정 방법론에 대한 공정시험법 마련 중요
- 조류관련 지표에 대해서는 조류경보제로 통합

### 3. 발령단계의 등급명 검토안

#### <최지용 서울대학교 교수>

- 조류경보제를 “조류안내제”로 수정고려, 단계는 “관심”, “주의”, “경계”로 수정고려

#### <남귀숙 한국농어촌공사 책임연구원>

- “관심”, “경계”, “대발생”이 국민체감으로 완화에 적정한 것으로 판단
- 조류경보제의 명칭은 단계별 등급에 “경보”라는 의미가 없으므로 “조류관리제”로 순화하는 것이 좋을듯함

#### <이진환 상명대학교 교수>

- 관심-주의-경보로 하는 것 타당함

#### <신재기 한국수자원공사 수석연구원>

- 관심-주의-경보로 하였으면 함

#### <전숙례 에코프리즘 연구소장>

- 관심-주의-경보로 하는 것으로 제시

#### <황수옥 수자원공사 수석위원>

- 등급명의 용어 순화 필요 : 관심-주의-경계

#### 4. 상수원, 친수용 경보 발령·해제 기준 개선안

##### <최지용 서울대학교 교수>

- 각 단계별로 독소기준 남조류 수로 하고, 관심=2,000cell/mL, 주의=10,000cell/mL, 경계=1,000,000cell/mL 고려

##### <이학영 전남대학교 교수>

- 남조류 세포수 기준, 2,000cell/mL, 10,000cell/mL, 1,000,000cell/mL

##### <남귀숙 한국농어촌공사 책임연구원>

- 상수원 구역과 친수구간의 등급명은 차별화하는 것이 국민적 혼란이 없을 것으로 판단됨
- 친수용 기준의 경우에는 구조류도 감안되어야 할 듯함
- 채취방법에 대해서는 현실적 여건을 감안하여 대처할 필요가 있음

##### <김순흠 한국환경공단 센터장>

- 상수원 발령지표는 유해남조류 세포수가 타당할 것이나 친수용 기준인 경우에는 조류 독소에 대한 부분의 추가가 필요할 것임

##### <이진환 상명대학교 교수>

- 조류경보제 발령지표는 유해남조류 세포수
- 상수원 및 친수역은 동일한 등급을 적용하는 것이 좋음

##### <황수옥 수자원공사 수석위원>

- 관리항목인 Geosmin, 2-MIB의 농도는 200ng/L가 아닌 먹는물 감시항목 농도인 20ng/L로 변경할 필요가 있음
- 발령지표인 유해남조류 세포수를 분석하는 것에 어려움이 있으므로 수질오염공정시험 기준에 분석 방법을 명확히 제시할 필요있음
- 조류경보제 운영기준이 변경될 경우, 먹는물 감시항목에 조류관련 항목의 조사주기가 연동되어 변경되어야 함

## 5. 경보 및 대발생 발령시점 장·단점 검토결과

### <황수옥 수자원공사 수석위원>

- 발령시점은 제1안이 바람직함

### <박혜경 낙동강물환경연구소 연구관>

- 인력, 경제적 부담으로 현행으로 하는 것이 바람직함

### <이형진 영산강물환경연구소 소장>

- 환경부의 지원으로 물환경연구소에 예산, 조류전문인력 등의 확대가 필요

# 1

## 조류경보제 개선방안

2014.11.07.

공동수 (경기대학교 교수)

# 차 례

I. 관계 법령 .....	1
II. 그간 추진경과 .....	3
III. 제기된 주요 문제점 .....	4
IV. 개선방안 .....	5
참고 1. 조류경보제 발령기준 적정화 방안연구(요약) ...	19
2. 조류경보제 낙동강 시범운영 결과 .....	21
3. 각 발령기준안별 발령단계 해당 표본수 비율 ...	24
4. 해외의 조류경보제 운영 현황 .....	24

# I. 관계 법령

## □ 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조(수질오염 경보제)

- ① 환경부장관 또는 시·도지사는 수질오염으로 하천·호소의 물의 이용에 중대한 피해를 가져올 우려가 있거나 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정될 때에는 해당 하천·호소에 대하여 수질오염 경보를 발령할 수 있다

## □ 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행령 제28조(수질오염경보)

[별표 2] <개정 2014.1.28>

### 수질오염경보의 종류별 발령 대상, 발령 주체 및 대상 수질오염물질(제28조제2항 관련)

경보의 종류	대상 수질오염물질	발령대상	발령주체
조류경보	클로로필-a 남조류 세포수	법 제9조제1항 또는 이 영 제30조 제1항에 따라 환경부장관이 조사·측정하는 호소 중 환경부장관이 발령대상으로 고시한 호소	환경부 장관
		법 제9조제3항 또는 이 영 제30조 제2항에 따라 시·도지사가 조사·측정하는 호소 중 환경부장관이 발령대상으로 고시한 호소	시·도지사

[별표 3] <개정 2012.1.17>

수질오염경보의 종류별 경보단계 및 그 단계별 발령·해제기준(제28조제3항 관련)

#### 1. 조류경보

경보단계	발령·해제기준
조류 주의보	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 15 mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 500 세포/mL 이상인 경우
조류 경보	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 25 mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 5,000 세포/mL 이상인 경우
조류 대발생	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 100 mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 1,000,000 세포/mL 이상인 경우
해제	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 15 mg/m <sup>3</sup> 미만이거나 남조류의 세포 수가 500 세포/mL 미만인 경우

[별표 4] <개정 2010.2.18>

수질오염경보의 종류별·경보단계별 조치사항(제28조제4항 관련)

1. 조류경보

단계	관계 기관	조치사항
조류 대발 생경 보	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포수, 취기, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자 (수면관리자)	○취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시 ○황토 등 흡착제 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	○조류증식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리) ○정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장 (시·도지사)	○조류대발생경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 금지 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 금지
해제	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	유역·지방환경청장 (시·도지사)	○각종 경보 해제 및 대중매체를 통한 홍보

- 비고: 1. 위 표의 관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류예보를 발령하는 경우에 관계되는 기관을 말한다.  
 2. 관계 기관은 위 표의 조치사항 외에도 현지 실정에 맞게 탄력적으로 적절한 조치를 실시할 수 있다.  
 3. 조류주의보, 조류경보 또는 조류대발생경보를 발령하기 전이라도 수면관리자는 수온 상승 등으로 조류발생 가능성이 증가할 경우에는 일정 기간 방류량의 증가 조치 등 조류에 따른 피해를 최소화하기 위한 방안을 마련하여 추진할 수 있다.

[별표 4] <개정 2010.2.18>

수질오염경보의 종류별·경보단계별 조치사항(제28조제4항 관련)

1. 조류경보

단계	관계 기관	조치사항
조류 주의 보	4대강(금강, 낙동강, 영산강·섬진강, 한강을 말한다. 이하 같다) 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 1회 이상 시료 채취 및 분석 ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자 (수면관리자)	○취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	○정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리)
	유역·지방환경청장 (시·도지사)	○조류주의보 발령 ○주변오염원에 대한 철저한 지도·단속
조류 경보	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포 수, 취기, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자 (수면관리자)	○취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	○조류중식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수처리 강화(활성탄처리, 오존처리) ○정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장 (시·도지사)	○조류경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 자제 권고 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 자제 권고
조류 대발 생경 보	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포수, 취기, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자 (수면관리자)	○취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거 조치 실시 ○황토 등 흡착제 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	○조류중식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리) ○정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장 (시·도지사)	○조류대발생경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 금지 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 금지
해제	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	유역·지방환경청장 (시·도지사)	○각종 경보 해제 및 대중매체를 통한 홍보

- 비고: 1. 위 표의 관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류예보를 발령하는 경우에 관계되는 기관을 말한다.  
 2. 관계 기관은 위 표의 조치사항 외에도 현지 실정에 맞게 탄력적으로 적절한 조치를 실시할 수 있다.  
 3. 조류주의보, 조류경보 또는 조류대발생경보를 발령하기 전이라도 수면관리자는 수온 상승 등으로 조류발생 가능성이 증가할 경우에는 일정 기간 방류량의 증가 조치 등 조류에 따른 피해를 최소화하기 위한 방안을 마련하여 추진할 수 있다.

## II. 그간 추진경과

- '98년 ~ : 상수원 호소를 중심으로 “조류경보제” 운영
  - 13년말 기준, 팔당호·대청호 등 22개 호소를 대상으로 운영
- '12년 ~ : 4대강 16개 보를 대상으로 “수질예보제” 운영
  - 단기예보(주 2회) 및 장기예보(분기별)로 운영
- '13.2~ : 낙동강 3개보를 대상으로 “조류경보제” 시범운영

### <낙동강 3개 보 조류경보제 시범운영 결과(요약)>

- (경보발령) 강정고령보와 창녕함안보는 8월~10월 기간중 “주의보” 이상의 경보발령이 지속
- (기타) 클로로필-a와 유해남조류, 유해남조류와 조류독소의 상관관계는 매우 낮은 것으로 조사

- '13. 12. 27 : 수질 예·경보제 개선관련 전문가 회의 개최
  - (조류경보제 개선) 발령기준 개선이 필요하다는 것이 전문가 대부분의 의견
    - 다만, 조류독소를 발령기준으로 설정하는 것은 국민 불안을 초래할 수 있으므로 바람직하지 않다는 입장
  - (예·경보제 통합문제) 제도의 목적, 정책 고객 등이 상이하므로 제도의 특성을 살려 현행 제도를 개선·유지하는 것이 바람직
- '14. 4. ~ : 조류전문가 포럼 운영을 통한 조류경보제 개선방안 연구('14.4.11~'14.12.31)
- '14. 10. 17 : 조류경보제 개선방안 관련 관계자 회의 개최
- '14. 10. 29 : 조류경보제 개선방안 관련 관계자 회의 개최

### Ⅲ. 제기된 주요 문제점

#### □ 4대강의 녹조현상 심화

- 이상 고온현상, 체류시간 증가 등으로 4대강 보와 하구언에서의 녹조현상이 심화
  - 낙동강 유해남조류 1만 cells/ml 이상 일수가 '12년 63일 → '13년 167일(8개보의 초과일 수 합)로 크게 증가

#### □ 조류경보제 발령기준 현실성 미흡

- 클로로필-a와 남조류 세포수를 동시초과 기준으로 운영하고 있으나, 두 지표간 상관관계가 낮아 함께 사용하는 것은 부적합
  - 남조류가 대량 번식하여도 클로로필-a 농도가 초과되지 않아 조류경보가 발령되지 않는 사례 빈번
    - \* 감사원의 4대강 감사에서 현행 조류경보제 발령기준의 부적절을 지적

#### □ 조류경보제와 수질예보제 동시 운영에 따른 혼선 초래(낙동강)

- 동일한 구간(낙동강 3개보)에 조류경보제와 수질예보제를 동시 운영함에 따라 상이한 예·경보가 발령되는 등 혼선 초래('13년 국감시 지적)

< 조류경보제와 수질예보제 발령기준 비교 >

구 분	관리항목	발령단계
조류경보제	클로로필-a, 남조류세포수	주의보 → 경보 → 대발생 → 해제
수질예보제	"	관심 → 주의 → 경계 → 심각단계

#### □ 녹조발생시 국민 행동요령 부재

- 4대강 사업이후 하천에서의 친수활동이 늘어나면서 녹조발생에 대한 국민들의 관심이 증대
  - 반면, 현행 조류경보제는 녹조발생 상황에 적의 대처할 수 있는 행동요령을 공지하고 있지 않아 국민들이 효과적으로 대응하기 곤란

## IV. 개선방안

### 1 조류경보제 개선

#### 1) 대상지역 확대(호소 → 호소 + 보·하구인)

##### □ 현 황

- “수질 및 수생태법”(제21조)에 의거 하천·호소에서 조류경보제 운영이 가능하나, 시행령에서는 호소로 한정
  - 현재 팔당호, 대청호 등 22개 호소에서 운영(환경부 17, 시·도 5)

##### □ 확대 필요성

- 낙동강 3개보를 대상으로 조류경보제를 시범운영(‘13.2~12)한 결과 8월에서 10월까지 ‘조류주의보’ 이상이 지속적으로 발령
  - 안전한 상수원수 확보를 위해 하천에서의 유해 남조류 관리 필요성 증대
- 특히, 하천은 주민들이 생활하는 공간으로서 상수원 영향뿐만 아니라 시각적·위생적 영향까지 함께 고려
  - 쾌적한 친수공간 확보를 위해 4대강 수계 전 구간에서 체계적인 녹조관리 필요

##### □ 확대방안

- 현행 상수원 호소에 적용하고 있는 조류경보제를 하천까지 확대
  - 하천·호소의 물의 이용에 중대한 피해를 가져올 우려가 있는 경우(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조 제1항)
  - 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정되는 경우(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조 제1항)
- 이수(용수, 친수)의 안전성과 쾌적성 확보를 위해 하천까지 확대하되 상수원 구역과 위락용 구역으로 구분하여 관리

## 조류경보제 대상 지역 확대안의 장·단점 검토결과

< 조류경보제 대상 지역 확대안의 장·단점 비교 >

각안	장점	단점	선정(안)
1안	조류우심 상수원 및 주요 강의 댐·보·하구언 식수 안전성, 중하류 친수성, 생태성 보장	행정적·경제적 부담, 농업용저수지 제외, 친수구역 기준 연구 미흡	●
2안	현 대상지역과 상수취수량 1만톤/일 이상의 보·하구언 식수 안전성 보장	중하류 친수성과 생태성 미보장, 농업용저수지 제외	

- ※ 각 안에서 취수형식이 강변여과인 지역과 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조 제1항에 해당하지 않는 수역은 상수원 구역에서 제외
- ※ 장기적으로 위락용 구역과 하천 본류 구간에 영향을 주는 대형 농업용 저수지 추가 검토

- 1안 선정 시 조류경보제에 추가로 편입되는 구역은 상수원 구역 4개, 위락용 구역 16개 보·하구언

< 1안 선정 시 추가되는 대상 구역 >

구 분	구역 분류	대상 구역
상수원 구역	- 상수 취수시설이 위치한 지역 중 조류발생도가 높은 주요 강의 보·하구언	칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보, 낙동강하구언(4개 구역)
위락용 구역	- 상수원 구역 외 주요 강의 댐·보·하구언	16개 댐·보·하구언

- ※ 조류발생도가 낮은 강천보는 상수원 구역에서 제외하고 위락용 구역에 편입

- 2안 선정 시 조류경보제에 추가로 편입되는 구역은 낙동강의 5개보와 낙동강하구언

< 2안 선정 시 추가되는 대상 구역 >

구 분	구역 분류	대상 구역
상수원 구역	- 상수 취수시설이 위치한 지역 중 조류발생도가 높은 구역	칠곡보, 강정고령보, 달성보, 합천창녕보, 창녕함안보, 낙동강하구언 등 6개 수역

- ※ 조류발생도가 낮은 강천보는 상수원 구역에서 제외

# 한강과 낙동강의 상수원 및 위락용 구역 모식도

## [한강]

<b>준천호</b>		<b>총주댐</b>
용산(58.3)		총주(250)
<b>의암댐</b>		<b>총주조정지댐</b>
		이천(50) 여주(52.5)
<b>청평댐</b>		<b>강천보</b>
금남(55) 양서(5)		
		<b>여주보</b>
		<b>이포보</b>
	팔당1(2,600) 팔당2(2,855) 팔당3(2,200) 광주용인(330) 광주(26.4)	
	<b>팔당댐</b>	
	하남(60) 덕소(200) 도곡(16) 강북(1,050) 토평(63) 암사(1,710) 구의(960) 한강(314) 풍납(인천)(700) 풍납(서울)(700) 자양(일산)(250) 자양(서울)(1,450)	
	<b>잡실수정보</b>	
	<b>신곡수정보</b>	

## [낙동강]

<b>안동댐</b>
<b>상주보</b>
<b>낙단보</b>
<b>구미보</b>
해평(64) 해평(광역)(400) 왜관(4.5)
<b>철곡보</b>
공단(28) 매곡(880) 문산(210) 고령(44)
<b>강정고령보</b>
<b>달성보</b>
<b>합천장령보</b>
칠서(마산)(440)
<b>장령함안보</b>
본포(285) 창암(270) 원동(825) 매리(1,725) 물금(부산)(840) 물금(양산)(74)
<b>낙동강하구언</b>

※ 취수장명(취수량 천톤/일)

- 2안 선정 시 위락용 구역의 조류관리 방안
    - 위락용 구역의 조류관리 기준에 대한 연구를 통해 관리기준을 정립하고, 수질예보제를 통해 사전예방적으로 관리
    - 식수의 안전성과 쾌적성 확보를 목적으로 하는 조류경보제와 달리 사전예방적 수질관리를 목적으로 하는 수질예보제는 별도의 방식으로 운영(수질예보제의 예보 발령단계는 폐지하고 예보치는 관계기관에 통지)
  - 1안 선정 시 상수원 구역과 위락용 구역에 대한 조류경보제의 적용 범위 (관리항목, 발령기준, 모니터링 등 조치사항)에 대한 일률 적용 또는 차등 적용에 대한 선정
    - 해당 구역의 물 이용 목적에 부합하는 관리, 과도한 대국민 불안 유발 불식, 행정적·경제적 부담 경감을 위해 차등 적용이 바람직
- ※ 조류경보제는 조류 발생 시 사후관리를 목적으로 한 제도이므로 상수원 관리를 위한 일반적인 사전예방 대책 또는 제도와는 성격상 차이가 있음

< 상수원 구역과 위락용 구역의 조류경보제 적용범위 장·단점 비교 >

각안		장점	단점	선정(안)
1안	차등 적용	- 이수목적 맞춤 관리 - 행정적, 경제적 부담 경감	- 하루 상수원 조류 발생 사전예방 미흡	●
2안	일률 적용	- 상수원 관리 강화	- 행정적, 경제적 부담 - 과도한 대국민 불안 유발	

- 조류경보제 대상지역 확대 시 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행령 별표 2 개정 사항

**수질오염경보의 종류별 발령 대상, 발령 주체 및 대상 수질오염물질(제28조제2항 관련)**

경보의 종류	대상 수질오염물질	발령대상	발령주체
조류경보	클로로필-a 남조류 세포수	법 제9조제1항 또는 이 영 제30조제1항에 따라 환경부장관이 조사·측정하는 호소 중 환경부장관이 발령대상으로 고시한 하천·호소	환경부 장관
		법 제9조제3항 또는 이 영 제30조제2항에 따라 시·도지사가 조사·측정하는 호소 중 환경부장관이 발령대상으로 고시한 하천·호소	시·도지사

## 2) 경보 발령지표 개선 (남조류 중심)

### □ 현 황

- 클로로필-a 농도와 남조류 세포수를 동시 초과하는 조건으로 경보지표 설정·운영

※ WHO 등 해외 : 상수원은 남조류 세포수 중심, 레크레이션은 조류독소 중심으로 경보지표 설정·운영

- 북한강 수계의 남조류(*Anabaena*) 번식으로 인한 냄새물질(지오스민, 2-MIB)로 수도권 수돗물에서 이취미 발생('11.11, '12.8)
  - 이로 인해 서울시는 '13년부터 자체적으로 냄새물질에 대한 조류경보제 운영

구 분	예비주의보	주의보	경 보	대발생
지오스민(ng/L)	10	20	100	500
2-MIB(ng/L)	10	20	100	500

\* 냄새물질에 대한 먹는 물 권고기준 20ng/L를 주의보로 설정

### □ 문제점

- 클로로필-a 농도는 남조류 세포수와 상관관계가 낮아 동시 초과항목으로 부적합
  - 최근 10년간 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 상관관계를 분석한 결과, 0.5 이하의 낮은 상관계수를 나타내는 것으로 확인

< 최근 10년간 클로로필-a와 남조류세포수의 상관관계 분석결과 >

구 분	팔당호 ('98~'07)	대청호 ('98~'07)	주암호 ('98~'07)	영천호 ('98~'07)	운문호 ('98~'07)
조류주의보	-0.106	0.248	-0.126	0.472	0.047

- 오히려 규조류가 번식하는 봄·가을에 클로로필-a 농도가 높게 나타나 규조류와 상관관계가 높은 것으로 조사

- ※ 수심이 깊고 체류시간이 긴 외국의 부영양 자연호나 우리나라의 호소형 인공호는 여름철에 남조류 발생, 우리나라의 하천형 인공호는 주로 봄, 가을에 규조류 발생
- ※ 남조류라 하더라도 종류 및 환경조건에 따라 세포 크기 및 클로로필-a 함량이 크게 달라 세포수와 클로로필-a 함량간에 뚜렷한 상관도를 보이지 않는 경우가 많음
- 냄새물질은 정수장으로 유입되기 전에 감지하여 대응하여야 하나 **현행 조류경보체계로는 사전 감지 곤란**
  - 수돗물 이취미 발생을 예방하기 위해서는 **하천에서부터 냄새물질 감시 필요**

## □ 개선방안

- **클로로필-a 농도, 남조류 세포수, 남조류 독소, 조류유발 냄새물질에 대한 발령지표 개선을 통해 합리적인 제도 운영**
  - 남조류 세포수를 주요 지표로 하고 조류기인성 냄새물질을 보조 지표 항목으로 하여 식수의 안전성과 쾌적성 확보
  - ※ 독성이 없는 규조류는 유관기관간 내부적인 행정 업무체계를 바탕으로 정수 관리
  - ※ 상수원은 정수처리 이전의 원수로서 정수기준인 조류 독소로 관리하는 것은 불합리하고 조류 독소의 잠재적 발생가능성과 그 변화를 판단할 수 있는 남조류 세포수로 관리하는 것이 바람직(조류독소는 세포내 독소로서 세포가 파괴되지 않은 상태에서는 정수장에서 대부분 제거되기 때문에 외국에서도 조류독소는 먹는 물과 위락용 기준만 있을 뿐 상수원 기준은 없음)
  - ※ 남조류의 종류별 크기가 다르기 때문에 남조류가 주로 함유하고 있는 Phycocyanin에 대한 시범 조사를 통하여 남조류 양에 대한 지표로 적용하는 방안을 검토

## 상수원 구역 발령지표 개선방안별 장·단점 검토결과

	각안	장점	단점	선정(안)
1안	유해남조류 세포수만 지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 녹조발생 상황을 정확히 반영 - 유해남조류 관리로 먹는 물 안전성과 쾌적성 확보 가능	- 남조류 외에 규조류 등 관리 미흡 - 현 발령기준 적용 시 경보 발령 횟수 증가	●
2안	조류 독소를 발령지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 조류독소 관리로 먹는 물 안전성 확보 가능	- 남조류 외에 규조류 등 관리 미흡 - 조류독소 발표 시 국민 불안 우려	
3안	클로로필-a와 남조류 세포수 각각을 발령지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 남조류 외에 규조류 등 관리 가능 - 외국의 기준과 부합	- 현 발령기준 적용 시 잦은 경보발령 우려 - 녹조현상이 발생하지 않는 겨울, 봄, 가을 경보 발령 우려	
4안	클로로필-a와 조류 독소 각각을 발령지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 남조류 외에 규조류 등 관리 가능 - 조류독소 관리로 먹는 물 안전성 확보 가능	- 현 발령기준 적용 시 잦은 경보발령 우려 - 조류독소 발표 시 국민 불안 우려	

※ 남조류 세포수와 냄새물질로만 항목을 설정할 경우 Chl.a는 감시항목으로, 독소는 조치항목으로 운영하여 분석결과 관계기관 통보

※ '05~'06년간 연구...범조사를 통해 phycocyanin 항목 추가 여부 검토

## 위락용 구역 발령지표 설정방안별 장·단점 검토결과

	각안	장점	단점	선정(안)
1안	유해남조류 세포수만 발령지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 친수 안전성 간접적 확보	- 남조류 종류에 따라 안전성 과소, 과도 관리 가능성 있음	●
2안	유해남조류 세포수와 유해남조류 우점 시 클로로필-a 각각을 발령지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 친수 안전성 간접적 확보	- 독소 미생성 조류로 인한 잦은 발령 우려	
3안	조류 독소만 발령지표로 설정(냄새물질은 단일 기준의 관리항목으로 추가)	- 친수 안전성 직접적 확보	- 친수 장애와 관련된 조류 독소 기준의 국내 연구 부재	

### 3) 발령기준 개선 (국내 연구사례를 바탕으로 합리화)

#### □ 현 황

- '98년 제도도입 당시 설정한 단계별(주의보·경보·대발생) 발령기준을 현재까지 그대로 적용
  - 실질적 조류관리가 필요한 경보 기준\*을 우선 설정하고, 주의보는 경보의 1/10 수준, 대발생은 스킴이 발생하는 100만 cells/ml로 설정
    - \* 경보기준 : WHO·호주 등에서 적용하고 있는 조류독소 1 ppb에 상응한 남조류 세포수(5,000 cells/ml)로 설정

#### □ 문제점

- (경보기준 조정필요) 국립환경과학원의 연구결과, 경보기준인 조류독소 1 ppb에 상응한 국내출현 남조류 세포수는 2,348~67백만 cells/ml로서 현행 5,000 cells/ml과 크게 차이
  - ※ 국립환경과학원 “조류경보제 발령기준 적정화 방안연구” : [참고 1]
  - \* 국내출현 남조류의 독소 함량은 호주 등에서 출현하는 남조류의 1/2 수준이며, WHO의 독소 기준은 독성이 높은 Microcystin-LR을 기준으로 하고 있으나 우리나라에서는 독성이 낮은 Microcystin-RR이 많이 검출
- (위락용 기준 설정필요) 조류경보제를 하천까지 확대하고, 상수원과 위락용 구역으로 구분함에 따라 친수목적의 발령기준 필요
  - \* WHO·호주 등 해외에서도 거의 대부분 상수원 기준과 위락용 기준을 구분하여 차등 적용
- (발령 단계의 용어 변경필요) 실질적인 위해도를 고려할 때 조류경보제의 단계별 등급명의 순화 필요
  - ※ 해외에서도 경계 수준 이전의 낮은 남조류 발생 단계는 상수원 구역의 경우 감시(Vigilance: WHO) 또는 검출(Detection: 호주)이란 용어를 사용하고 있으며, 위락용 구역도 감시(Surveillance)라는 용어를 사용하고 있으며 기준 초과 시 관계기관간 통보가 있을 뿐 대중에 발령하지는 않음

## □ 개선방안

### ◆ 발령단계의 등급명 순화 방안

#### 발령단계의 등급명 검토안

구분	각안	Level 1	Level 2	Level 2	선정(안)
상수원 구역+ 위락용 구역	현행	주의보	경보	조류대발생	
	1안	감시	경계	조류대발생	●
	2안	출현알림	경계	조류대발생	
	3안	1단계	2단계	3단계	

### ◆ 상수원 기준과 위락용 기준으로 구분하여 차등화

- (상수원 기준) 실질적 녹조관리 단계인 경계기준을 먼저 정하고, 감시기준 등 단계별 기준 설정
  - (경 계) 국립환경과학원의 연구결과를 토대로 **Microcystin-LR 1ppb에 상응한 남조류 세포수 10,000 cells/ml(1안) 또는 20,000 cells/ml(2안)을 검토**
    - \* 국내출현 남조류는 *Microcystis*를 기준으로 할 때 총 독소로 1  $\mu\text{g/L}$ 에 상응하는 세포수가 10,000 cells/mL로 총 독소량으로 하여도 호주 등에서 출현하는 남조류의 1/2 수준임(호주는 먹는 물 가이드라인인 Microcystin-LR 1.3  $\mu\text{g/L}$ 에 상응하는 남조류세포수 6,500 cells/mL를 경계기준으로 설정하고 있음; Microcystin-LR 1  $\mu\text{g/L}$ 에 상응하는 남조류 세포수는 5,000 cells/mL)
    - \* 아울러 국내출현 남조류 독소는 독성이 약한 Microcystin-RR도 많이 검출되고 있으므로 독성이 강한 Microcystin-LR을 대상으로 정한 WHO나 호주의 먹는 물 기준에 상응하는 독성을 보이는 남조류 세포수는 더욱 낮음
  - (감 시) 남조류가 경계 수준으로 가는 것을 감시하는 단계로서 조류의 배가시간을 2일로 선정(조류의 지수증가율 0.35/d 적용) 하여 7일 이내에 감시단계에서 경계단계에 이를 수 있는 수준

(1,000cells/ml 또는 2,000cells/ml )으로 설정

- \* WHO(1999)의 상수원 남조류 경보체계 관련 보고서에서는 기온이 높은 자연수체에서 남조류의 배가시간이 2일 수준(조류의 지수증가율 0.35/d 적용)에 이를 수 있다고 보고하고 있음
- \* 호주는 남조류 경보단계인 경계 2단계의 기준(남조류 세포수 6,500 cells/mL)을 우선 설정하고 이 단계에 4~6일만에 달할 수 있는 성장률을 가정하여 경계 1단계의 기준을 설정

- (대발생) 현행 기준인 100만cells/ml 설정

- 냄새물질은 남조류 세포수와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않으므로 발령단계를 구분하지 않고 먹는 물의 단일 관리기준으로 설정, 또한 냄새물질은 식수의 안전성이 아니라 쾌적성과 관련되고 정수장에서 대부분 처리 가능하기 때문에 대국민 발령 없이 발령권자가 정수장 관리자에게 통보·조치토록 함

- (위락용 기준) 위락용 기준에 대한 국내 연구사례가 없어 WHO의 위락용수 남조류 세포수 권고기준을 채택하는 안(1안)과 우리나라 남조류의 독소 함량이 낮은 점을 고려하여 2배 완화하는 안(2안)을 검토

**조류경보 발령·해제 기준 개선안 검토 결과**

[2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수(cells/mL) 기준]

경보단계	발령·해제기준			
	상수원 구역		친수용 구역	
	1안	2안	1안	2안
조류 감시	≥1,000	≥2,000	≥20,000	≥40,000
조류 경계	≥10,000	≥20,000	≥100,000	≥200,000
조류 대발생	≥1,000,000	≥1,000,000	조류가 전 수면에 스킴을 이룬 경우	조류가 전 수면에 스킴을 이룬 경우
해제	<2,000	<2,000	<20,000	<40,000
남조류 관리	현행대비 다소강화	현행대비 완화	적정	국외 기준에 비해 크게 완화
행정적·경제적 부담	현행대비 증가	현행대비 감소	다소 큼	적음
선정안	●		●	

## 조류경보 발령·해제 기준 개선안

경보단계	발령·해제기준	
	상수원 구역	친수용 구역
조류 감시	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000 세포/mL 이상인 경우	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 20,000 세포/mL 이상인 경우
조류 경계	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 10,000 세포/mL 이상인 경우	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 100,000 세포/mL 이상인 경우
조류 대발생	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000,000 세포/mL 이상인 경우	조류가 전 수면에 스킴을 이룬 경우
해제	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 2,000 세포/mL 미만인 경우	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 20,000 세포/mL 미만인 경우

비고 1. 상수원 구역에서는 1회 채취 시 Geosmin과 2-MIB가 각각 20ng/L 이상인 경우 발령권자는 발령단계와 관계없이 정수장 관리자에게 해당 사항을 통보한다.

## 각 발령기준안별 발령단계 해당 표본수 비율 (단일시료 기준)

수역	지점	모니터링 기간	표본수	각안	해당 표본수 비율 (%)				
					주의보 (관심)	경보 (경계)	대발생	합계	
팔당호	월계사, 팔당댐앞, 삼봉리	2001.6~ 2013.6	880	현행	8.3	1.4	0	9.7	-
				현행 기준에서 Chl.a와 유해남조류 세포수 각각 적용	24.9	29.5	0.001	54.4	↑ 5.6배
				현행 기준에서 유해남조류 세포수만 적용	9.9	2.3	0	12.2	↑ 1.3배
				개선안(1안)	7.6	0.7	0	8.3	↓ 0.9배
				개선안(2안)	4.9	0	0	4.9	↓ 0.5배
낙동강 상수원보	칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보	2013.7~ 2014.10	187	현행	31.6	21.4	0	52.9	
				현행 기준에서 Chl.a와 유해남조류 세포수 각각 적용	21.9	55.6	0	77.5	↑ 1.5배
				현행 기준에서 유해남조류 세포수만 적용	31.0	33.2	0	64.2	↑ 1.2배
				개선안(1안)	36.4	19.8	0	56.1	↑ 1.1배
				개선안(2안)	40.1	10.2	0	50.3	↓ 0.9배

## 각 발령기준안별 발령일수 비교 (연속 2회 시료 기준)

수역	지점	모니터링 기간	각안	발령 일수				
				주의보 (관심)	경보 (경계)	대발생	합계	
대청호	추동, 문의, 회남	2012~ 2013	현행	27	0	0	27	-
			개선안(1안)	98	0	0	98	↑ 3.6배
			개선안(2안)	69	0	0	69	↑ 2.6배
낙동강 상수원보	칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보	2012~ 2013	현행	208	85	0	333	
			개선안(1안)	300	65	0	365	↑ 1.1배
			개선안(2안)	234	14	0	248	↓ 0.7배

※ '12~'13년간 팔당호와 한강 하류는 발령 대상 사례 없었음

- (발령시점) 현행과 같이 2회 연속 초과할 경우 발령하되, 주의보(감시)는 2주간 측정자료(주 1회 측정), 경보는 1주간 측정자료(주 2회 측정)로 발령

※ 조류경보 시 1회 초과 시 발령하는 방안 추가 검토 요

## 경보(경계) 및 대발생 발령시점 장·단점 검토결과

각안		장점	단점	선정(안)
현행	주 2회 연속채취 결과 기준 초과 시 발령	- 행정적, 경제적 부담 적음	- 조류 대응 지연	
1안	1회 기준초과 시 주 2회 채취 2회 연속 기준 초과 시 발령	- 조류 대응 단축	- 행정적, 경제적 부담 증가	
2안	1회 기준초과 시 발령	- 조류 대응 신속	- 잦은 발령 및 해제로 과도한 행정적, 경제적 부담	

## 4) 녹조발생시 대응조치 실효화 (국민 공지 개선)

### □ 현 황

- 현행 조류경보제는 녹조발생 상황에 따라 수면관리자, 취·정수장 등 물 관련 기관에서 취해야 할 조치사항 위주로 운영
  - 주의보·경보 발령 시 조류 모니터링, 정수처리 및 주변 오염원 단속 강화가 조치사항의 핵심 내용

### □ 문제점

- 녹조발생 시 대국민 공지시스템 부재, 국민들이 대응해야 할 사항이 미흡한 등 조류경보제 운영에서 일반국민은 배제
  - '조류경보제에 국민들이 없다'는 문제를 국회 등에서 지적

### □ 개선방안

- (대국민 공지 강화) 녹조발생 상황을 국민들이 실질적으로 인지할 수 있도록 대국민 공지시스템 강화
  - 경보(경계) 발령 시는 유역환경청, 수면관리자 등 조류관리 기관의 대국민 공지(팻말·현수막 설치, 언론보도 등) 의무화
- (냄새물질 관리 강화) 조류로 인한 민원은 주로 수돗물 냄새발생으로 제기되는 바, 원수 및 정수의 냄새물질 분석 등 관리 강화
  - 수질오염경보의 종류별·경보단계별 조치사항 개선안

단계	관계 기관	조치사항
조류 감시	4대강(금강, 낙동강, 영산강·섬진강, 한강을 말한다. 이하 같다) 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 1회 이상 시료 채취 및 분석(클로로필-a, 남조류 세포 수, Geosmin, 2-MIB, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자(수면관리자)	○취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시
	취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자)	○정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리) ○정수의 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 분석 실시
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○조류감시 단계 관계기관 알림 ○주변오염원에 대한 철저한 지도·단속
조류 경계	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포 수, Geosmin, 2-MIB, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자(수면관리자)	○취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자)	○조류증식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수처리 강화(활성탄처리, 오존처리) ○정수의 독소분석 실시 ○정수의 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 분석 실시
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○조류경계 단계 발령 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 자제 권고 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 자제 권고
조류 대발생	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포 수, Geosmin, 2-MIB, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	수면관리자(수면관리자)	○취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시 ○황토 등 흡착제 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자)	○조류증식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리) ○정수의 독소분석 실시 ○정수의 냄새물질(Geosmin, 2-MIB) 분석 실시
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○조류대발생 단계 발령, 팻말·현수막 설치 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 금지 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 금지
해제	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○발령기관에 대한 시험분석 결과의 신속한 통보
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○각종 경보 해제 및 대중매체를 통한 홍보

- 비고: 1. 위 표의 관계 기관관의 괄호는 시·도지사가 조류예보를 발령하는 경우에 관계되는 기관을 말한다.  
2. 관계 기관은 위 표의 조치사항 외에도 현지 실정에 맞게 탄력적으로 적절한 조치를 실시할 수 있다.  
3. 조류감시, 조류경계 또는 조류대발생 경보를 발령하기 전이라도 수면관리자는 수온상승 등으로 조류발생 가능성이 증가할 경우에는 일정 기간 방류량의 증가 조치 등 조류에 따른 피해를 최소화하기 위한 방안을 마련하여 추진할 수 있다.  
4. 위락용 구역에 대한 발령 시 정수장 관리자는 관계기관 및 조치사항에서 제외한다.

**참고 1****조류경보제 발령기준 적정화 방안 연구(요약)**

## □ 연구개요

- (목 적) 우리나라 출현 남조류 실측조사를 통해 현행 발령기준의 적정성을 평가하여 조류경보제 개선 추진
- (연구내용) 남조류 발생패턴, 발령기준 항목간 상관관계 조사 등
  - 국내 주요 상수원 호수의 남조류 발생패턴 조사
  - 현행 조류경보제 발령기준의 타당성 검토 및 항목간 상관관계 분석
  - 국내 출현 유해 남조류의 독성물질 종류 및 생산량 조사 등

## □ 1차년도 연구결과(2008년)

- 남조류 발생 영향인자 및 발생패턴 규명
  - 팔당호는 강우량이 적고 체류시간이 길어질수록 남조류의 발생이 촉진되었으나,
  - 대청호·주암호는 여름철 집중강우기에 남조류 발생 및 확산이 크게 영향을 받는 것으로 조사
- 현행 조류경보제 발령기준의 타당성 검토
  - 남조류세포수와 클로로필-a의 상관관계를 분석한 결과, 팔당호·주암호·운문호는 상관관계가 없는 것으로 나타났으며,
  - 대청호와 영천호는 조류경보 수준에서 유의한 상관관계를 나타내었음
  - 남조류 세포수 2,348~67백만cells/ml, 클로로필-a 5.1~62mg/m<sup>3</sup>로 매우 넓은 범위를 보이고 있어 현행 조류경보제 기준은 국내에서 출현하는 유해남조류의 특성을 반영하지 못하는 것으로 나타남

< 최근 10년간 남조류세포수와 클로로필-a의 상관관계 >

구 분	팔당호 (‘98~’07)	대청호 (‘98~’07)	주암호 (‘98~’07)	영천호 (‘98~’07)	운문호 (‘98~’07)
조류주의보	-0.106	0.248	-0.126	0.472	0.047
조류경보	-0.098	0.608	0.395	0.818	0.551

## □ 2차년도 연구결과(2009년)

### ○ 조류독소와 남조류세포수 상관관계 조사

- '06~'09 기간중 유해남조류세포수, 클로로필-a 농도 및 조류독소(마이크로시스티스) 생산량을 조사한 결과 세계 각국에서 조사된 결과에 비해 우리나라의 유해남조류의 조류독소 함량은 낮은 수준
- 조류경보 기준이 되는 조류독소 1ppb에 해당하는 유해남조류 세포수는 2,348~67천만cells/ml, 클로로필-a는 5.1~62천mg/m<sup>3</sup>로서 기준과 큰 편차를 보임
- 기하평균값으로 볼 때 조류독소 1ppb에 해당하는 남조류세포수는 기준에 비해 최고 10배 이상을 나타내기도 함
- 기하평균값으로 남조류 속별 경보발령기준을 재산정한 결과, 최소 2배에서 최대 16배 수준으로 산정되었음

< 경보기준(조류독소 1ppb) 상응한 남조류세포수(cells/ml) 재산정 결과 >

현행기준	마이크로시스티스	오실라토리아	아나베나	아파니조메논
5,000	10,000	20,000	40,000	80,000

### ○ 조류경보제 기준 개선(안)

- 경보의 발령기준은 마이크로시스티스 속의 기준인 10,000cells/ml를 적용하는 것이 타당
- 발령단계를 이원화하여 예방단계(출현알림)와 대국민 전파 단계(경보, 대발생)로 구분하여 운영하는 것이 효율적으로 판단
- 남조류세포수 및 조류독소와 상관관계가 낮은 클로로필-a 농도를 발령지표에서 삭제하고, 남조류 독소를 지표로 설정하는 방안 검토

## 참고 2

## 낙동강수계 조류경보제 시범운영 결과

### □ 조류 발생현황

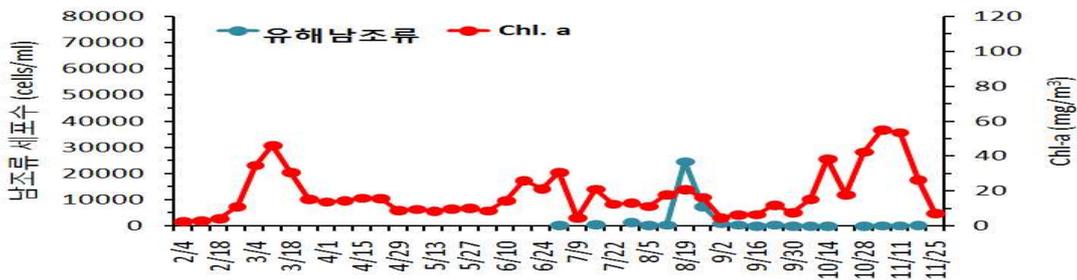
- 유해 남조류는 7월부터 본격 출현하여 9월 초에 최대값을 보이며, 전체 조류 중 유해 남조류 점유율 및 발생량이 하류로 갈수록 증가

※ 유해 남조류 점유율 : 칠곡보 14%, 강정고령보 26%, 창녕함안보 31%

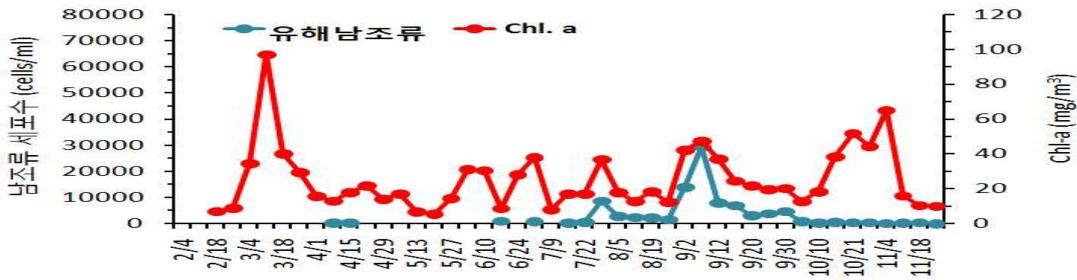
- 클로로필-a 농도는 규조류가 우점하는 봄·가을에 최대를 보였으며, 유해 남조류와의 상관관계는 매우 낮은 것으로 조사됨

- 두 항목간 상관계수는 '출현알림'시 0.241, '조류경보'시 0.290

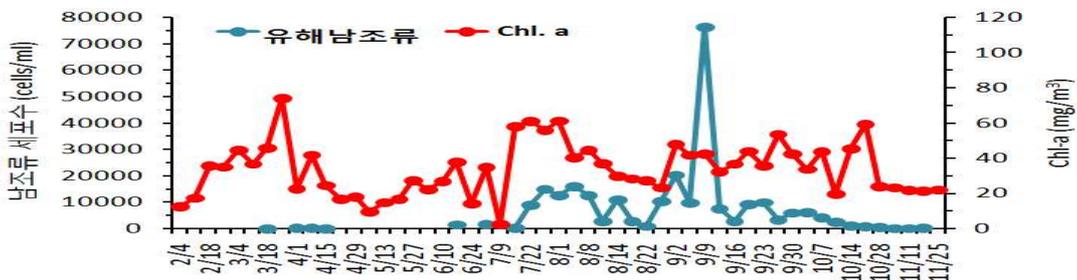
#### < 칠곡보 조류발생 현황 >



#### < 강정고령보 조류발생 현황 >



#### < 창녕함안보 조류발생 현황 >



- 조류독소(Microcystins)는 먹는 물 권고기준( $1\mu\text{g/L}$ )을 연중 1회 초과( $1\sim 2\mu\text{g/L}$ )하였으며, 유해 남조류 세포수와의 상관관계는 불명확

< 창녕함안보 조류독소 검출 현황 >

측정일시	8.26	9.2	9.4	9.9	9.12
유해 남조류(cells/mL)	10,344	<b>20,364</b>	9,856	<b>76,328</b>	7,476
조류독소( $\mu\text{g/L}$ )	1 미만	<b>1~2*</b>	1 미만	<b>불검출</b>	불검출

\* ELISA Kit를 이용한 간이 측정(정량분석 불가)으로 측정값이 구간으로 표시됨

□ 경보 발령현황

- 강정고령보 등 2개 구간에서 녹조 현상이 발생한 8월에서 10월 까지 '주의보' 이상 경보가 지속적으로 발령

- 연중 클로로필-a 농도가 높아 유해 남조류 세포수에 따라 경보 발령

※ 7~10월 Chl-a 평균 농도( $\text{mg/m}^3$ ) : 칠곡보 16.7, 고령보 26.5, 함안보 39.6

칠곡보		주의보	
		8.28~9.10	
강정고령보	주의보	조류 경보	주의보
	7.30~9.9	9.10~9.20	9.21~10.10
창녕함안보	조류 경보	주의보	조류 경보
	7.30~8.22	8.23~9.4	9.5~10.10
			주의보
			10.11~11.5

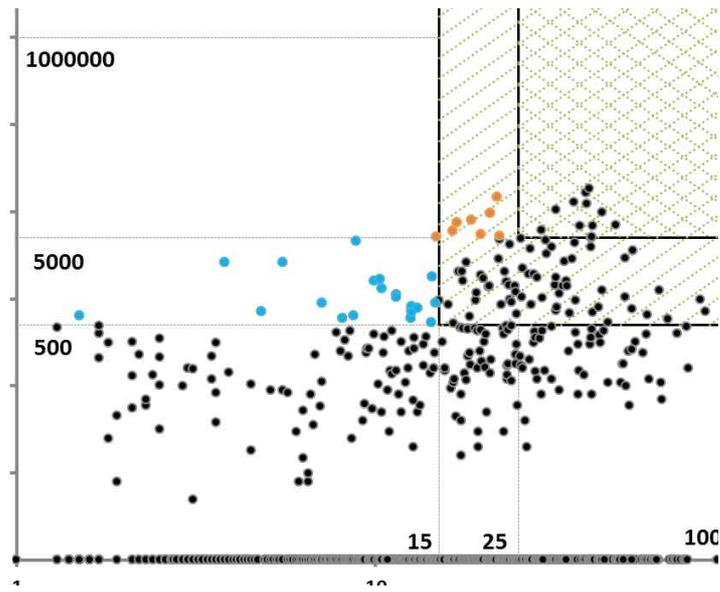
□ 각 경보 발령기준안별 발령 모의 (‘14.10.30일 기준)

구 분	년도		발령 일수	출현알림	조류경보	조류대 발생
칠곡보	2013	기존	14일	8.27~9.9(14일)		
		1안				
		2안				
	2014	기존	21일	7.29~8.11(14일) 10.24~(7일)		
		1안				
		2안				
강정 고령보	2013	기존	73일	7.30~9.9(42일) 9.21~10.10(20일)	9.10~9.20(11일)	
		1안				
		2안				
	2014	기존	36일	8.5~8.19(15일) 9.16~10.6(21일)		
		1안				
		2안				
창녕 함안보	2013	기존	98일	8.23~9.4(13일) 10.11~11.4(25일)	7.30~8.22(24일) 9.5~10.10(36일)	
		1안				
		2안				
	2014	기존	132	6.3~16(14일), 8.22~28(7일) 9.16~(45일)	6.17~8.21(66일)	
		1안				
		2안				

**참고 3**

**각 발령기준안별 발령단계 해당 표본수 비율 (단일시료 기준)**

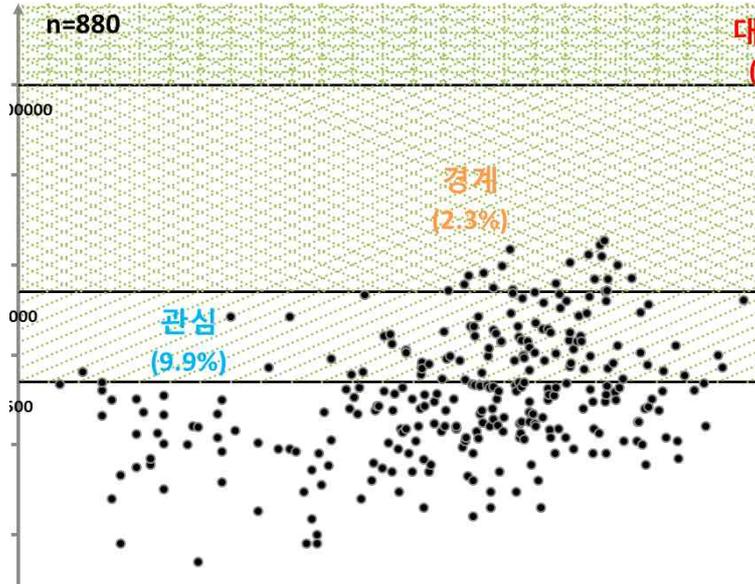
팔당호 3개 지점의 2001.6~2013.6 자료 분석  
(현행 기준)



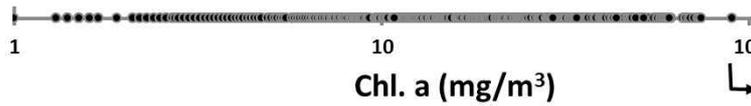
팔당호 3개 지점의 2001.6~2013.6 자료 분석  
(현행 기준에서 Chl.a와 유해남조류 세포수 각각 적용)

Chl. a (mg/m<sup>3</sup>)

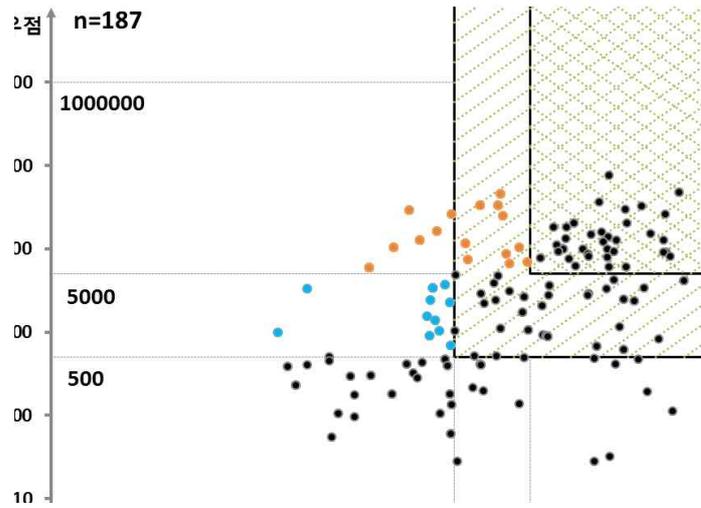
팔당호 3개 지점의 2001.6~2013.6 자료 분석  
(현행 기준에서 유해남조류 세포수만 적용)



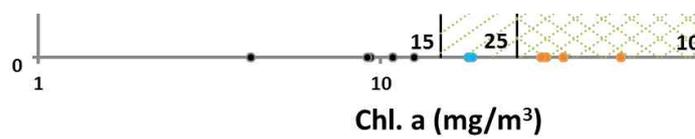
팔당호 3개 지점의 2001.6~2013.6 자료 분석  
(유해남조류 세포수만 적용: 1안)



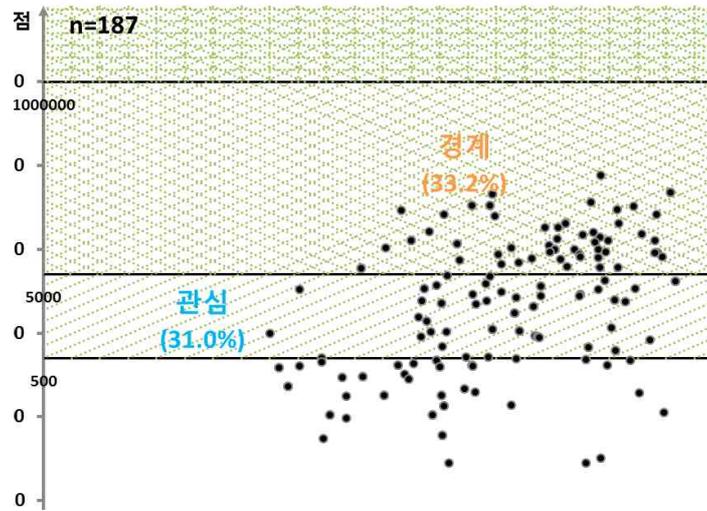
낙동강 3개 상수원보(칠곡, 강정, 창녕)의 2013.7~2014.10 자료 분석  
(현행 기준)



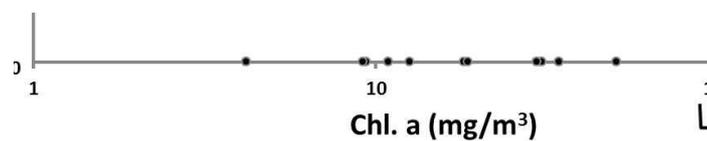
낙동강 3개 상수원보(칠곡, 강정, 창녕)의 2013.7~2014.10 자료 분석  
(현행 기준에서 Chl.a와 유해남조류 세포수 각각 적용)



낙동강 3개 상수원보(칠곡, 강정, 창녕)의 2013.7~2014.10 자료 분석  
(현행 기준에서 유해남조류 세포수만 적용)



낙동강 3개 상수원보(칠곡, 강정, 창녕)의 2013.7~2014.10 자료 분석  
(유해남조류 세포수만 적용: 1안)



## 해외의 상수원수 남조류 경보 체계

국가/ 기구	관리기준	대응 조치
WHO	남조류 군체 $\geq 1$ colony/mL 또는 $\geq 5$ filaments/mL	감시단계(Vigilance level) ·정기 모니터링 - 매주 1회 이상 모니터링 권고 - 취수구 정기적 시찰
	남조류 세포수 $\geq 2,000$ cells/mL <sup>1)</sup> 또는 남조류 생체량 $\geq 0.2$ mm <sup>3</sup> /L 또는 남조류 우점 시 Chl.a $\geq 1$ µg/L	경계단계 1(Alert level 1) ·위해성 평가, ·정기 모니터링 지속
	남조류 세포수 $\geq 100,000$ cells/mL 또는 남조류 생체량 $\geq 10$ mm <sup>3</sup> /L 또는 남조류 우점 시 Chl.a $\geq 50$ µg/L	경계단계 2(Alert level 2) ·위해성 평가 ·정기 모니터링 지속
호주	<i>M. aeruginosa</i> $\geq 500 \sim < 2,000$ cells/mL <sup>1)</sup> 또는 총 남조류 생체량 $\geq 0.05 \sim < 0.2$ mm <sup>3</sup> /L	검출단계(Detection level) ·정기 모니터링 ·매주 시료 채취 및 세포수 계수 ·취수시설 인접 수면의 스킴 정기 시찰
	<i>M. aeruginosa</i> $\geq 2,000 \sim < 6,500$ cells/mL 또는 총 남조류 생체량 $\geq 0.2 \sim < 0.6$ mm <sup>3</sup> /L	경계단계 1(Alert level 1) ·관계당국에 통보 ·취수구 및 수체의 조류 변화를 대표할 수 있는 지점에서 주 2회 시료 채취 ·대표성 있는 채수 시기 결정 ·독성평가 또는 독소 모니터링 여부 결정
	<i>M. aeruginosa</i> $\geq 6,500$ <sup>2)</sup> cells/mL 또는 총 남조류 생체량 $\geq 0.6$ mm <sup>3</sup> /L	경계단계 2(Alert level 2) ·공중 위생의 위해에 관한 관계당국의 권고 ·여과시설을 거치지 않고 물을 공급받는 사람들에게 위해에 관한 권고 고려 ·경계단계 1 수준으로 모니터링 지속 ·관계당국의 권고가 있을 때 정수에 대한 남조류 독소 모니터링
	<i>M. aeruginosa</i> $\geq 65,000$ cells/mL 또는 총 남조류 생체량 $\geq 6$ mm <sup>3</sup> /L	경계단계 3(Alert level 3) ·경계단계 1 또는 경계단계 2에서 해당 기준을 초과 시 관계당국에 즉시 통보 ·여과시설을 거치지 않고 물을 공급받는 사람들에게 위해에 관한 권고 ·원수와 정수에 대한 독성평가 또는 독소 분석(기 수행되지 않고 있을 경우) ·경계단계 1 또는 경계단계 수준으로 모니터링 지속 ·처리시설이 부재하거나 건강 위해성이 나타나면 비상 대체 용수 공급 필요 ·세포수가 유의하게 감소한 경우라도 독소가 나타나지 않을 때까지 독소 모니터링 지속

- 1) 먹는 물 기준 microcystin-LR 1 µg/L에 상당하는 세포수( 가장 높은 독소 함량을 가진 남조류의 세포수 기준)
- 2) 7일 이내에 경계단계 수준으로 증가할 수 있는 수준(배가 시간 4일 즉 조류 성장률 0.17/d 기준)
- 3) 독성 *M. aeruginosa* 6,500 cells/mL는 먹는 물 기준 총 microcystin 1.3 µg/L(microcystin-LR 독성 근거치)에 상당

국가/기구	관리기준	대응 조치
체코	남조류 군체 $\geq 1$ colony/mL 또는 $\geq 5$ filaments/mL	감시단계(Vigilance level) ·정기 모니터링 - 매주 1회 이상 모니터링 권고 - 취수구 정기적 시찰
	남조류 $\geq 2,000$ cells/mL 또는 남조류 생체량 $\geq 0.2$ mm <sup>3</sup> /L 또는 남조류 우점 시 Chl.a $\geq 1$ µg/L	경계단계 1(Alert level 1) ·취수 수심 변경(가능하지 않은 경우 처리 강화), 필요 시 독소 분석
	남조류 $\geq 100,000$ cells/mL 또는 남조류 생체량 $\geq 10$ mm <sup>3</sup> /L 또는 남조류 우점 시 Chl.a $\geq 10$ µg/L	경계단계 2(Alert level 2) ·처리 및 microcystin 모니터링 강화
쿠바	식물플랑크톤 <20,000 cells/mL	매월 감시 및 연간 적어도 4개월은 시료 채취
	남조류 <1,500 cells/mL(또는 단지 약간 상회)	
	식물플랑크톤 20,000~100,000 cells/mL이고 남조류 세포수의 비율이 50%를 초과 시	경계: 시료채취 빈도 증대(매주 및 더 많은 지점); 매일 감시; 보건당국과 지역관리자에게 통보; 지방 정부에 보고; 대중 경보
	알려진 독소생성 남조류가 적어도 한 종이라도 존재 시	적색경계 대응: 경계 단계의 조치 및 대중매체를 통한 대중 경보 강화
	사람과 다른 동물에 독성 영향이 보고될 경우	
지속적으로 스크림이 존재할 경우		
핀란드	잠재적 독성 남조류 >5,000 cells/mL 또는 잠재적 독성 남조류 생체량 >1 mg/L	microcystin 모니터링; 정수처리 강화
	잠재적 독성 남조류 >100,000 cells/mL 또는 잠재적 독성 남조류 생체량 >20 mg/L 또는 Microcystins >1 µg/L	취수지점 변경 그리고/또는 물이용 제한; 물 이용자에게 공지(특히 정수에서 microcystin 검출 시)
	정수에서 Microcystins >1 µg/L	물 이용 제한
	정수에서 Microcystin >10 µg/L	물 이용 금지
아르헨티나  *국가 기준은 없으나 몇몇 물 관련 시설들이 운영	남조류 $\geq 500$ cells/mL	감시단계(Surveillance level) ·매주 모니터링
	남조류 $\geq 5,000$ cells/mL	경계단계 1(Alert level 1) ·매주 모니터링, 격주로 독소 분석, 염소소독 강화, 정수장의 슬러지 제거, 여과지 세척 빈도 증대, 관계당국에 공지
	남조류 $\geq 10,000$ cells/mL	경계단계 2(Alert level 2) ·주 2회 원수와 정수의 조류 분석, 매주 독소 분석, 염소소독 및 정수처리 강화, 펌프 압력 <10 atm으로 조절, 필터 압력 조절, 취수 깊이 변경, 대체 수원 강구, 관계당국은 물 이용자에게 공지
	남조류 $\geq 20,000$ cells/mL 또는 남조류 독소가 권고기준(microcystin 1 µg/L) 초과 시	경계단계 3(Alert level 3) ·주 3회 조류 분석, 매주 독소 분석, 상수원수에 살조제 투입 금지, 고도 정수처리, 관계당국 및 물 이용자에게 공지
	독소와 냄새물질 제거 효과가 없을 때	먹는 물의 독소 수준이 권고기준 아래로 낮아질 때까지 용수 공급시설 폐쇄, 비상용수 공급, 관계당국 및 물 이용자에게 공지

## 해외의 위락용수 남조류 경보 체계

국가/기구	관리체계 또는 기타	관리지표	관리기준	대응 조치
세계 보건 기구 (WHO)		남조류 세포수 또는 남조류 우점 시 Chl.a	≤20,000 cells/mL 또는 Chl.a ≤10 µg/L ≤100,000 cells/mL 또는 Chl.a ≤ 50 µg/L	해당지역 이용자와 관계당국에 공지 해당지역 이용자와 관계당국에 공지; 스킴 감시, 수영 제한 및 유해성 조사
		스킴(Scum)	수영지역에서 관찰됨	스킴 접촉 금지 조치; 가급적 수영 및 기타 물 접촉행위 금지; 공중 보건 후속 조사; 관계당국의 공지
EU	수영용수 지침(EU BWD)	1단계: 수영용수에서 남조류 번성의 징후가 나타날 때 확인이 가능하도록 적절한 모니터링 수행 2단계: 남조류가 번성하였거나 그 위해성이 확인되거나 추정될 때 대중 공지와 아울러 물에 대한 노출을 금지하기 위한 관리수단 강구		건강에 대한 위해성에 대한
호주		남조류 세포수 또는 남조류 생체량	<i>M. aeruginosa</i> ≥500~<5,000 cells/mL <b>또는</b> 총 남조류 생체량 >0.04~<0.4 mm <sup>3</sup> /L	녹색단계 감시상태 (Green level Surveillance mode) ·정기 모니터링
			<i>M. aeruginosa</i> ≥5000~<50,000 cells/mL <b>또는</b> 알려진 독소 생성 남조류 우점 시 총 남조류 생체량 >0.4~<4 mm <sup>3</sup> /L <b>또는</b> 알려진 독소 생성 남조류가 없을 때 총 남조류 생체량 >0.4 ~<10 mm <sup>3</sup> /L	황색단계 경계상태 (Amber level Alert mode) ·관계기관에 통보 ·시료채취 빈도 증대 ·수면의 스킴에 대한 정기적 시찰 ·독성 평가 또는 독소 모니터링 여부 결정
			총 마이크로시스틴 ≥10 µg/L <b>또는</b> 독성 <i>M. aeruginosa</i> ≥50,000 cells/mL <b>또는</b> 알려진 독소 생성 남조류 우점 시 총 남조류 ≥4 mm <sup>3</sup> /L <b>또는</b> 알려진 독소 생성 남조류가 없을 때 총 남조류 ≥10 mm <sup>3</sup> /L <b>또는</b> 남조류 스킴이 지속적으로 존재 할 때	적색단계 대응상태 (Red level Action mode) ·경계상태에서 모니터링 지속 ·위해성에 대한 권고를 위해 보건당국에 즉시 통보 ·독성 평가 또는 독소 분석(그 이전에 수행되지 않은 경우) ·보건당국은 공중위생의 위해성에 대한 대중 경보

국가/기구	관리체계 또는 기타	관리지표	관리기준	대응 조치
독일	EU BWD의 국가 실행  기준설정 시 총인농도(>20~40 µg/L), 투명도 고려	투명도와 남조류 우점 시 Chl.a 또는 조류 생체량 또는 Microcystins	투명도 >1m이고 Chl.a <40 µg/L <b>또는</b> 조류 생체량 <1 mm <sup>3</sup> /L <b>또는</b> Microcystins <10 µg/L	남조류 증식에 대한 모니터링
			투명도 <1m이고 Chl.a >40 µg/L <b>또는</b> 조류 생체량 >1 mm <sup>3</sup> /L <b>또는</b> Microcystins >10 µg/L	대중 경보, 수영 자제 권고, 수영 지역 일시적 폐쇄 고려
		스킵 그리고/또는 Microcystins	심한 스킵 관찰 그리고/또는 Microcystins > 100 µg/L	대중 경보, 수영 자제 권고, 수영 지역 일시적 폐쇄 권고
프랑스	EU BWD의 국가 실행	시찰	조류발생 감지, 스킵, 물 색깔의 변화	현미경 점검. 남조류 부채 시 추가 조치 없음. 남조류 존재 시 세포수 계수 및 속 단위 동정
		남조류	<20,000 cells/mL±20%	매일 모니터링, 적어도 매주 단위로 세포수 계수, 정상적인 위락활동
			20,000~100,000 cells/mL±20%	매일 모니터링, 적어도 매주 단위로 세포수 계수, 위락활동 여전히 허용, 포스터를 부착하여 대중 공지
		남조류; Microcystin-LR	남조류 세포수 >100,000 cells/mL±10%. 마이크로시스틴-LR >25µg/L±5%.	마이크로시스틴-LR <25µg/L이면 수영 및 물놀이 제한, 마이크로시스틴-LR >25µg/L이면 수영 및 위락 금지 * 각 경우에 대중 공지
스킵과 거품	수영과 위락 지역에서 발견	물에서의 모든 활동 금지. 이러한 제한이 반드시 모든 위락지역에 필수적으로 적용되는 것은 아니며 스킵이 없는 지역은 개방 가능		
이태리	EU BWD의 국가 실행  기준설정 시 투명도(<1m), 총인(>20 µg/L), Chl.a(>20 µg/L) 고려	속 단위 또는 종 단위 동정으로 얻어진 세포수	<20,000 cells/mL	가급적 매일 시찰; 매주 세포수 계수
			20,000~100,000 cells/mL	매일 시찰; 적어도 매주 세포수 계수; 대중 공지; microcystin 정량 분석
			>100,000 cells/mL	microcystin 정량 분석 시까지 수영 금지; 대중 공지; 적어도 매주 세포수 계수
		스킵	존재	microcystin 정량 분석 시까지 수영 금지; 경보 공지; 스킵 이동 모니터링
	Microcystins	>25 µg/L	수영 금지	

국가/기구	관리체계 또는 기타	관리지표	관리기준	대응 조치
네덜란드	EU BWD의 국가 실행	수표면 스컴 강도 그리고/또는 생체량 또는 남조류 Chl.a	스컴 범주 1: 남조류 Chl.a <12.5 µg/L 또는 남조류 생체량 <2.5 mm <sup>3</sup> /L	감시 단계: 격주 모니터링
			스컴 범주 2: 남조류 Chl.a 12.5~75 µg/L 또는 남조류 생체량 2.5~15 mm <sup>3</sup> /L	경계 단계 1: 매주 모니터링 및 그 주에 수영지역 관리자는 경계 알림("독성 남조류. 피부 자극 또는 배탈"). 일상 시찰의 경우 매일 단위로 발령에 대한 재평가
			스컴 범주 3: 남조류 Chl.a >75 µg/L 또는 남조류 생체량 >15 mm <sup>3</sup> /L, 만일 Microcystin 생성 남조류의 우점율이 <80%이고 Microcystin <20 µg/L이면 경계단계 1단계로 전환	경계 단계 2: 매주 모니터링 및 보건당국은 수영 자제 권고("이 물에서는 수영을 자제하도록 권고함"), 차지단체에 의한 수영 금지도 가능
핀란드	EU BWD의 국가 실행	시찰: 훈련된 지원자 포함	수면 또는 수변에 조류 없음. 조류로 투명도가 영향 받지 않음	0단계(Level 0): 미발견
			녹색의 파편이 물에서 발견되거나 투명 용기에 취해질 때 또는 수변에 가는 조류 띠가 형성되었을 때. 투명도가 조류에 의해 감소되었을 때	1단계(Level 1): 발견 ·유명 휴양지이거나 건강 영향 또는 동물치사와 같은 악영향에 대한 보고가 있을 경우 가급적 현미경 검경 및 독소 분석
			물이 조류로 채색, 수표면의 작은 스컴 또는 수변에서 남조류 덩어리가 발견될 때	2단계(Level 1): 많은 양 ·되도록 현미경 검경; 독소 분석; 대중 경보 의무
			광범위한 수표면에 심한 스컴 또는 수변에서 남조류 집적이 발견될 때	3단계(Level 1): 매우 많은 양 ·되도록 현미경 검경; 독소 분석; 대중 경보 의무
스페인	EU BWD의 국가 실행	남조류 번성 가능성	낮은 가능성 보통의 가능성 높은 가능성	건강 위해성 기준과 대응은 지역적으로 설정되어 있음; 일부 건강당국은 WHO 기준을 채택, 다른 지역은 기타 지표(이용객의 수, 이용의 유형) 포함; 남조류의 양에 따라 간헐적으로 위락 폐쇄

국가/기구	관리체계 또는 기타	관리지표	관리기준	대응 조치
헝가리	EU BWD의 국가 실행	남조류 우점 시 Chl.a 또는 남조류 세포수 또는Microcystin-LR	Chl.a <10 µg/L 또는 남조류 세포수 <20,000 cells/mL 또는 Microcystin-LR <4 µg/L	최상(excellent)
			Chl.a <25 µg/L 또는 남조류 세포수 <50,000 cells/mL 또는 Microcystin-LR <10 µg/L	양호(good)
			Chl.a <50 µg/L 또는 남조류 세포수 <100,000 cells/mL 또는 Microcystin-LR <20 µg/L	보통(acceptable)
			Chl.a >50 µg/L 또는 남조류 세포수 >100,000 cells/mL 또는 Microcystin-LR >20 µg/L	부적합(unacceptable)
덴마크	EU BWD의 국가 실행	시찰	수영지역에서의 스킵	관계당국은 보고 접수, 관계당국은 대중 공지 시점 및 방법 결정, 대중 경보는 표지, 매체, 이용자 면담 등
		남조류 검경과 Chl.a	>50 µg/L Chl.-a이고 남조류 우점 시	
		독소 함량	일부 지역은 독소 분석 수행 및 위해성 평가	
캐나다	일부 지역 조류발생 위해성 관리 프로그램	Microcystin-LR 또는 남조류 세포수	Microcystin-LR ≤ 20 µg/L 또는 남조류 세포수 ≤ 100,000 cells/mL	관리기준을 초과하면 관계당국은 수영 여부에 관한 권고를 할 수 있으며, 관계당국의 자체 조치가 있을 경우 권고가 해제될 때까지 물에 접촉 지양
쿠바	규정은 없으나 관리체계 시범운영 중	식물플랑크톤 세포수	<1,500 cells/mL	매월 감시 및 연간 적어도 4개월은 시료 채취 경계: 시료채취 빈도 증대(매주 및 더 많은 지점); 매일 감시; 보건당국과 지역관리자에게 통보; 지방 정부에 보고; 대중 경보 적색경계 대응: 경계 단계의 조치 및 대중매체를 통한 대중 경보 강화
		남조류 세포수	<500 cells/mL(또는 단지 약간 상회)	
		식물플랑크톤 세포수와 남조류 비율	식물플랑크톤이 20,000~100,000 cells/mL이고 남조류 세포수의 비율이 50%를 초과 시	
		알려진 독소생성 남조류	적어도 한 종이라도 존재 시	
		사람과 다른 동물에 독성 영향이 보고될 경우 지속적으로 스킵이 존재할 경우		
하상 기질	특히 부착 남조류가 탈리되어 스킵으로 집적되는 곳에서 하상 표면의 남조류 피복도가 40% 미만일 때(1단계), 독성 남조류 피복도가 20% 초과할 때(2단계), 잠재적 독성 남조류의 피복도가 50% 초과할 때(3단계) 대응조치는 식물플랑크톤의 단계별 대응과 유사			

국가/기구	관리체계 또는 기타	관리지표	관리기준	대응 조치
체코	위락용 지점의 70%가 조류 다량 발생	남조류 세포수 그리고/또는 Chl.a	남조류 세포수 >20,000 cells/mL	1단계 경보
			남조류 세포수 >100,000 cells/mL	2단계 경보: 대중 위락 중지
뉴질랜드		남조류 세포수	<500 cells/mL	감시(Surveillance): 봄과 가을 사이에 남조류가 번성하고 있는 지역이 알려진 곳에서 매주 또는 격주로 시찰 및 시료 채취
		남조류 생체량	잠재적 독성 남조류 0.5~<1.8 mm <sup>3</sup> /L 또는 모든 남조류의 총 생체량 0.5~<10 mm <sup>3</sup> /L	경계(Alert): 조사 지점 확대를 포함하여 시찰 강화 및 매주 시료 채취; 보건 관계기관에 통지
		Microcystins 또는 남조류 생체량 또는 스크립	총 Microcystins ≥ 12 µg/L 또는 잠재적 독성 남조류의 생체량 ≥1.8 mm <sup>3</sup> /L 또는 모든 남조류의 총 생체량 ≥10 mm <sup>3</sup> /L 또는 스크립의 지속적 존재	대응(Action): 경계를 위한 모니터링 지속; 잠재적 독성 분류군이 존재하면 남조류 독소 검사 고려; 건강에 대한 잠재적 위해성 대중 공지
		하상 기질	유량에 의해 저서성 남조류가 탈리될 수 있음을 고려하여 하상 표면의 남조류 피복도가 <20%일 때(감시 단계), 20~50%일 때(경계 단계), >50%일 때(대응 단계) 대응조치는 식물플랑크톤의 단계별 대응과 유사	
폴란드	EU BWD의 국가 실행	수영지역에서 계절당 4회 이상 시료 채취(시료 채취 간격은 한 달을 초과해서는 안됨) 및 남조류 다량 발생이 관찰되면	대응	
싱가폴		Chl.a	3년 기간의 95% 값으로 ≤50 µg/L	위락 지역의 상태는 매년 재평가됨. 부적합한 경우 대중 공지
터키	2014년에 시행 예정	남조류 세포수 또는 Microcystin-LR 또는 남조류 우점 시 Chl.a	남조류 <20,000 cells/mL 또는 Microcystin-LR <10 µg/L 또는 Chl.a <10 µg/L	1단계: 위락행위 지속 및 포스터 공지. 격주 모니터링
		세포수 또는 Microcystin-LR	세포수 20,000~100,000 cells/mL 또는 Microcystin-LR >25 µg/L	2단계: 세포수가 20,000 cells/mL 초과 시 microcystin 분석. Microcystin-LR이 25 µg/L 초과 시 관계 당국과 대중에게 즉시 공지. 해당 지역에 수영과 기타 물 접촉 행위 자체 권고문 표시
		수영지역에서 스크립	시찰	3단계: 물에서의 모든 행위가 금지될 수 있음

국가/ 기구	관리체계 또는 기타	관리지표	관리기준	대응 조치
미국	오하이오주	Microcystins Anatoxin Cylindrospermopsin Saxitoxin	Microcystins $\geq 6 \mu\text{g/L}$ Anatoxin $\geq 80 \mu\text{g/L}$ Cylindrospermopsin $\geq 5 \mu\text{g/L}$ Saxitoxin $\geq 0.8 \mu\text{g/L}$	
			Microcystins $\geq 20 \mu\text{g/L}$ Anatoxin $\geq 300 \mu\text{g/L}$ Cylindrospermopsin $\geq 20 \mu\text{g/L}$ Saxitoxin $\geq 3 \mu\text{g/L}$	
	위스콘신주	특정 남조류	$\geq 100,000 \text{ cells/mL}$	
	위싱턴주	Microcystins	주의단계 $\leq 6 \mu\text{g/L}$ 경계단계 $> 6 \mu\text{g/L}$ 위험단계 $> 6 \mu\text{g/L} + \text{고독성}$	
		Anatoxin-a	주의단계 $\leq 1 \mu\text{g/L}$ 경계단계 $> 1 \mu\text{g/L}$ 위험단계 $> 1 \mu\text{g/L} + \text{고독성}$	
	오레곤주	총 남조류 세포수	남조류 $\geq 100,000 \text{ cells/mL}$	
		<i>Microcystis</i> 또는 <i>Planktothrix</i> 세포수	$\geq 40,000 \text{ cells/mL}$	
		Anatoxin-a	$20 \mu\text{g/L}$	
		Cylindrospermopsin	$6 \mu\text{g/L}$	
		Microcystins Saxitoxin	$8 \mu\text{g/L}$ $100 \mu\text{g/L}$	
	오클라호마주	총 남조류 세포수	$100,000 \text{ cells/mL}$	
		Microcystins	$20 \mu\text{g/L}$	
	캔사스주	총 남조류 세포수	권고단계 $\geq 20,000 \text{ cells/mL}$ 경계단계 $\geq 100,000 \text{ cells/mL}$	
		Microcystins	권고단계 $\geq 4 \mu\text{g/L}$ 경계단계 $\geq 20 \mu\text{g/L}$	
	인디애나주	Microcystins	매우 낮거나 위해 없음 $< 4 \mu\text{g/L}$	
			중간 정도의 위해 $4 \sim 20 \mu\text{g/L}$	
			매우 위험 $\geq 20 \mu\text{g/L}$	



## 제4절 제15차 포럼(공청회)

### □ 공청회 개요

- 일시/장소 : 12. 5(금) 14:00 ~ 16:30, 한국생명공학연구원 대회의실
- 참석인원 : 학계, 관계기관, 시민단체, 지역주민 등 150여명
- 지정토론자 : 각계 대표 8명
  - (학 계) 황순진 건국대 교수(좌장), 공동수 경기대 교수, 이학영 전남대 교수 등 3명
  - (관계기관) 이영기 물환경정책과장, 이재관 한강물환경연구소장, 최정한 대구광역시 물관리과장 등 3명
  - (기 타) 박은호 조선일보 차장, 양홍모 녹색연합 사무처장 등 2명
- 주요내용 : ‘한국물환경학회’에서 마련한 “조류경보제 개선방안” 발표·토의 및 의견수렴

#### <개선방안 주요내용>

항 목		현 행	개 선(안)
대상 지역	상수	- 22개 주요 호소 (팔당호, 대청호, 주암호, 충주호 등)	- 현행과 동일
		< 추 가 >	- 2개 호소(의암호, 청평호 추가) - 4개 보(강천보, 칠곡보, 강정보, 함안보) - 낙동강 하구언
	친수	< 신 설 >	- 시·도지사가 필요시 지정·운영
경보지표		- Chl.a 농도 + 남조류세포수	- 남조류세포수
단계별 발령 기준	주의	- Chl.a 15mg/m <sup>3</sup> + 남조류 500 cells/ml	- 남조류 1,000 cells/ml
	경보	- Chl.a 25mg/m <sup>3</sup> + 남조류 5,000 cells/ml	- 남조류 10,000 cells/ml
	대발생	- Chl.a 100mg/m <sup>3</sup> + 남조류 100만 cells/ml	- 남조류 100만 cells/ml
친수용 발령 기준	관심	< 신 설 >	- 남조류 20,000 cells/ml
	경계		- 남조류 100,000 cells/ml
친수 조치사항		< 신 설 >	- (관심) 친수활동, 어패류 어획·식용 자제 - (경계) 친수활동, 어패류 어획·식용 금지

□ 공청회 세부 일정

시 간	내 용	비 고
13:30~14:00	등록	
14:00~14:10	인사말씀	조류전문가포럼 회장 (황순진 교수) 환경부 물환경정책국장
14:10~14:40	조류정보제 개선방안 주제발표	경기대학교 공동수 교수
14:40~15:30	지정 토론 · 황 순 진 건국대학교 교수/포럼 회장 · 공 동 수 경기대학교 교수/한국물환경학회 · 이 학 영 전남대학교 교수/한국하천호수학회 · 양 흥 모 녹색연합 대전·충남 사무처장 · 박 은 호 조선일보 차장 · 최 정 한 대구광역시 수질관리과장 · 이 영 기 환경부 물환경정책과장 · 이 재 관 한강물환경연구소 소장	포럼 회장 진행
15:30~16:00	자유 토론 (방청석 질의·응답 등)	포럼 회장 진행
16:00~	종합 정리 및 폐회	포럼 회장

[붙임]

## 조류경보제 개선방안 공청회 전경사진



조류경보제 개선방안 공청회 전경 1



조류경보제 개선방안 공청회 전경 2



# 1

## 조류경보제 개선방안

2014.12.05.

제3기 조류전문가 포럼 / 한국물환경학회  
(발표 : 경기대학교 공동수 / 한국물환경학회 부회장)

---

# 조류경보제 개선방안

---

1

## 목 차

---

- I. 현행 법령 검토
- II. 제기된 주요 문제점
- III. 개선방안 도출 경과
- IV. 개선방안
  - 1. 대상지역 확대
  - 2. 경보지표 조정
  - 3. 단계별 발령기준 개선
  - 4. 경보발령에 따른 조치사항 보완

## I. 현행 법령 검토

❖ **수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조(수질오염 경보제)**

- ① **환경부장관 또는 시·도지사는 수질오염으로 하천·호소의 물의 이용에 중대한 피해를 가져올 우려가 있거나 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정될 때에는 해당 하천·호소에 대하여 수질오염 경보를 발령할 수 있다**

시행령 [별표 2] <개정 2014.1.28>

**수질오염경보의 종류별 발령대상, 발령주체 및 대상 수질오염물질(제28조제2항 관련)**

경보의 종류	대상 수질오염물질	발령대상	발령주체
조류경보	클로로필-a 남조류 세포수	법 제9조제1항 또는 이 영 제30조제1항에 따라 환경부장관이 조사·측정하는 호소 중 환경부장관이 발령대상으로 고시한 호소	환경부 장관
		법 제9조제3항 또는 이 영 제30조제2항에 따라 시·도지사가 조사·측정하는 호소 중 환경부장관이 발령대상으로 고시한 호소	시·도지사

## I. 현행 법령 검토

시행령 [별표 3] <개정 2012.1.17>

**수질오염경보의 종류별 경보단계 및 그 단계별 발령·해제기준(제28조제3항 관련)**

### 1. 조류경보

경보단계	발령·해제기준
조류 주의보	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 15mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 500세포/mL 이상인 경우
조류 경보	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 25mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 5,000세포/mL 이상인 경우
조류 대발생	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 100mg/m <sup>3</sup> 이상이고 남조류의 세포 수가 1,000,000세포/mL 이상인 경우
해제	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 15mg/m <sup>3</sup> 미만이거나 남조류의 세포 수가 500세포/mL 미만인 경우

## I. 현행 법령 검토

[별표 4] <개정 2010.2.18>

### 수질오염경보의 종류별·경보단계별 조치사항(제28조제4항 관련)

#### 1. 조류경보

단계	관계 기관	조치사항
조류주의보	4대강(금강, 낙동강, 영산강, 섬진강, 한강을 말한다. 이하 같다) 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 1회 이상 시료 채취 및 분석 ○발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한통보
	수면관리자(수면관리자)	○취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시
	취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자)	○정수 처리 강화(활성탄처리, 오존처리)
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○조류주의보 발령 ○주변오염원에 대한 철저한지도·단속
조류경보	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포수, 취기, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한통보
	수면관리자(수면관리자)	○취수구와 조류가 심한 지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자)	○조류중식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수 처리 강화(활성탄처리, 오존처리) ○정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○조류경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 자제 권고 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 자제 권고

5

## I. 현행 법령 검토

단계	관계 기관	조치사항
조류대발생경보	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○주 2회 이상 시료 채취·분석(클로로필-a, 남조류 세포수, 취기, 독소) ○발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한통보
	수면관리자(수면관리자)	○취수구와 조류 우심지역에 대한 방어막 설치 등 조류 제거조치 실시 ○황토 등 흡착제 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거조치 실시
	취수장·정수장 관리자(취수장·정수장 관리자)	○조류중식 수심 이하로 취수구 이동 ○정수 처리 강화(활성탄처리, 오존처리) ○정수의 독소분석 실시
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○조류대발생경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 ○주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화 ○수상스키·수영·낚시·취사 등의 활동 금지 ○어패류 어획, 식용 및 가축 방목의 금지
해제	4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	○발령기관에 대한 시험분석결과의 신속한통보
	유역·지방환경청장(시·도지사)	○각종 경보 해제 및 대중매체를 통한 홍보

- 비고: 1. 위 표의 관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류예보를 발령하는 경우에 관계되는 기관을 말한다.  
2. 관계 기관은 위 표의 조치사항외에도 현지 실정에 맞게 탄력적으로 적절한 조치를 실시할 수 있다.  
3. 조류주의보, 조류경보 또는 조류대발생경보를 발령하기 전이라도 수면관리자는 수온상승 등으로 조류발생 가능성이 증가할 경우에는 일정 기간 방류량의 증가 조치 등 조류에 따른 피해를 최소화하기 위한 방안을 마련하여 추진할 수 있다.

## Ⅱ. 제기된 주요 문제점

- 하천구간 녹조현상 발생
  - 낙동강 중류 하천 구간에서는 하절기에 남조류 번식으로 인한 녹조현상이 발생하여 지역주민, 언론 및 민간단체 등에서 녹조를 사회적 문제로 인식
- 조류경보제 발령기준 현실성 미흡
  - 클로로필-a와 남조류 세포수의 동시초과 기준으로 운영하고 있으나, 두 지표간 상관관계가 낮아 함께 사용하는 것은 부적합
  - 남조류 세포수가 경보기준을 초과하여도 클로로필-a 농도가 초과되지 않아 경보가 발령되지 않는 사례 빈번
- 녹조발생시 국민 행동요령 공지 미흡
  - 하천에서의 친수활동이 증가함에 따라 녹조발생 시 지역주민 대처요령 등에 대한 공지 필요

## Ⅲ. 개선방안 도출 경과

- '14. 4. 11 : 환경부-한국물환경학회 조류경보제 개선방안 연구계약 체결(연구수행: 조류전문가포럼 수행, 연구기간: '14.4.11~'14.12.31)
- '14. 5.21 ~ : 조류경보제 개선방안 연구를 위한 제3기 조류전문가 포럼 출범
  - 전문가 15명, 연구기관 연구원 6명, 환경부·국립환경과학원 등 총 35명으로 구성
- “조류전문가 포럼” 개최(5.21, 9.19, 11.7, 총 3회)
  - 조류경보제 대상지역 확대, 경보지표 조정, 발령기준 개선, 대국민 조치사항 추가 등 총 4개 개선과제 도출

## IV. 조류경보제 개선방안

### IV-1. 대상지역 확대(호소 → 호소+하천)

#### 1 현황 및 문제점

- “수질 및 수생태법”(제21조)에 의거 하천·호소에서 조류경보제 운영이 가능하나, 시행령에서는 호소로 한정
- 동 제도는 1998년부터 시작, 현재 환경부, 시·도지사가 관리하는 178개 호소(환경부 90개, 시·도지사 88개) 중 상수원으로 이용되는 주요 호소 22개소(환경부 17개, 시·도지사 5개)를 대상으로 시행 중

#### <조류경보제 운영 연혁>

연도	내역
1996	금강환경관리청에서 대청호 대상으로 조류발생예보제 시범실시
1998	대청호, 팔당호 조류예보제 실시(충주, 주암호 시범실시)
2003	상수원 호소의 조류관리대책 수립 (조류예보제의 단계적 확대 추진 등 기본추진방안 수립)
2004	조류예보제 운영강화계획 수립 [대상호소 확대: 8개소('04) → 10개소('05)]
2006	조류예보제 운영 지자체로 확대
2006~2010	조류예보제 연도별 단계적 확대 운영 [10개소('05) → 16개소('06) → 17개소('07) → 20개소('08) → 22개소('09) → 현재]
2011	조류예보제 → 조류경보제(명칭 변경)

## IV-1. 대상지역 확대(호소 → 호소+하천)

### 1 현황 및 문제점

- 하천환경 변화와 기상변동에 따라 일부 하천 구간에서 조류 발생 가능성 증가
  - '12년 7~8월에 낙동강수계에 녹조가 발생하여 국회, 언론, 환경단체 등에서 조류경보제를 하천으로 확대하여 시행할 필요성 제기
- 환경부는 '13년부터 낙동강 수계의 하천수 취수(복류수 취수 제외) 3개 보 구간(칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보)에 대해 조류경보제 시범운영 ('13.2~)
  - 창녕함안보의 경우 6월에서 10월까지 '조류주의보' 이상이 지속적으로 발령
  - 안전한 상수원수 확보를 위해 하천에서의 유해 남조류 관리 필요성 증대
- 특히, 하천은 주민들이 생활하는 공간으로서 상수원 영향뿐만 아니라 시각적·위생적 영향까지 함께 고려 요구
  - 쾌적한 친수공간 확보를 위해 친수활동이 이루어지고 있는 구간에 대한 조류관리 필요

## IV-1. 대상지역 확대(호소 → 호소+하천)

### 2 개선 방안 검토

- 현행 상수원 호소에 적용하고 있는 조류경보제를 하천까지 확대하되 대상 범위를 기준으로 2개안으로 검토
  - (1안) 상수원으로 이용되고 있는 보·댐·하구연 구간에만 적용(4개보, 2개댐, 낙동강하구연)
  - (2안) 4대강 본류 전 구간 적용. 다만, 상수(7개)와 친수(12개)구간으로 구분하여 차등화
    - 상수구간 : 상수원 이용 4개보(강천·칠곡·강정고령·창녕함안보), 2개댐(의암·청평댐), 낙동강하구연 등 7개 구간
    - 친수구간 : 상수구간 외의 4대강 본류 12개보

< 조류경보제 대상 지역 확대안의 장·단점 비교 >

구분	장점	단점
1안	- 안전한 상수원 확보라는 당초 조류경보제 취지에 부합	- 상수원이 없는 금강, 영산강 조류관리 부재 - 친수구간에 대한 대국민 서비스 미흡
2안	- 친수활동 지원으로 대국민 서비스 확대	- 상수원이 없는 구간에서 잦은 경보발령 - 행정력 과다 소요

## IV-1. 대상지역 확대(호소 → 호소+하천)

### 3 개선 방안

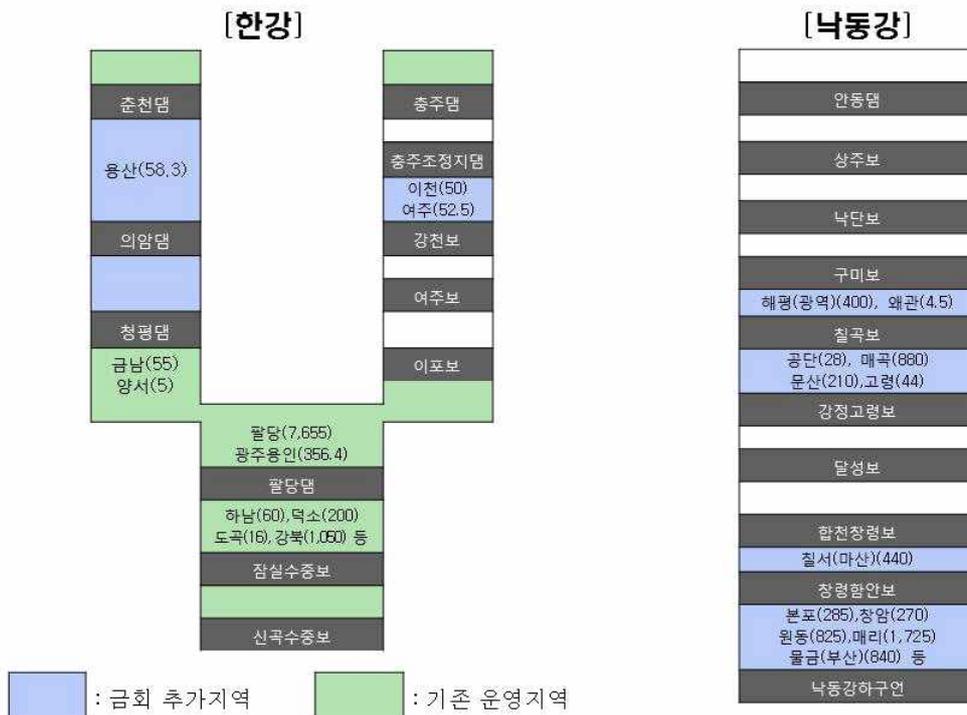
○ 1안으로 검토하되, 단점을 보완하는 방안 별도 강구

- (금강·영산강 조류관리 부재문제) 현행 수질예보제를 통해 금강·영산강 조류발생 상황 모니터링 및 대응
  - ※ 조류경보제는 조류가 발생한 현상만을 관리하는 제도로서 사전예방을 목적으로 하는 수질예보제와 별도 관리 필요
- (친수활동 지원 미흡문제) 시·도지사가 필요에 의거 친수구간을 지정하고, 조류발생 상황을 모니터링하여 친수활동 지원

#### < 하천구간 조류 예·경보제 적용방안 >

구 분	조류경보제		수질예보제
	상수구간	친수구간	
적용지역	- 상수원으로 이용되는 보댐하구연 (추가: 4개보, 2개댐, 낙동강하구연)	- 시·도지사가 필요에 의거 지정	- 4대강 본류구간 전체 (현행과 동일)
운영권자	환경부장관	시·도지사	국립환경과학원
운영방법	발생상황 관리	발생상황 관리	사전예방 조치
경보발령시 조치사항	- 모니터링 강화, 조류제거, 취·정수장 운영강화 등	- 친수활동 및 어패류 어획 자제, 금지 요청	- 사전 준비, 조치(활성탄 확보, 비상방류 등)

#### 한강 및 낙동강 조류경보제 대상지역 모식도



## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

### 1 현황 및 문제점

- 클로로필-a 농도와 남조류 세포수를 동시 초과하는 조건으로 경보지표 설정·운영
  - ※ WHO 등 해외 : 상수원은 남조류 세포수 또는 남조류 생물량 중심, 레크레이션은 남조류 세포수, 남조류 생물량 또는 조류독소 중심으로 경보지표 설정·운영
- 북한강 수계의 남조류(*Anabaena*) 번식으로 인한 냄새물질(지오스민, 2-MIB)로 수도권 수돗물에서 이취미 발생('11.11, '12.8)
  - 냄새물질은 정수장으로 유입되기 전에 감지하여 대응하여야 하나 현행 조류경보 체계로는 사전 감지 곤란

## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

### 1 현황 및 문제점

- 클로로필-a 농도는 남조류 세포수와 상관관계가 낮아 동시 초과항목으로 부적합
  - 과거 10년간 클로로필-a 농도와 남조류 세포수의 상관관계를 분석한 결과, 0.5 이하의 낮은 상관계수를 나타내는 것으로 확인(국립환경과학원, 2008)
  - 하천형 호수에서는 규조류가 번식하는 봄, 가을에 클로로필-a 농도가 높게 나타나 규조류가 클로로필-a 농도를 좌우
  - ※ 수심이 깊고 체류시간이 긴 외국의 부영양 자연호나 우리나라의 호소형 인공호는 여름철에 남조류 발생, 우리나라의 하천형 인공호는 주로 봄, 가을에 규조류 발생
  - ※ 남조류라 하더라도 종류 및 환경조건에 따라 세포 크기 및 클로로필-a 함량이 크게 달라 세포수와 클로로필-a 함량간에 뚜렷한 상관도를 보이지 않는 경우가 많음

< 과거 10년간 클로로필-a와 남조류세포수의 상관관계 분석결과 >

구 분	팔당호 ( '98~'07)	대청호 ( '98~'07)	주암호 ( '98~'07)	영천호 ( '98~'07)	운문호 ( '98~'07)
조류주의보	-0.106	0.248	-0.126	0.472	0.047

## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

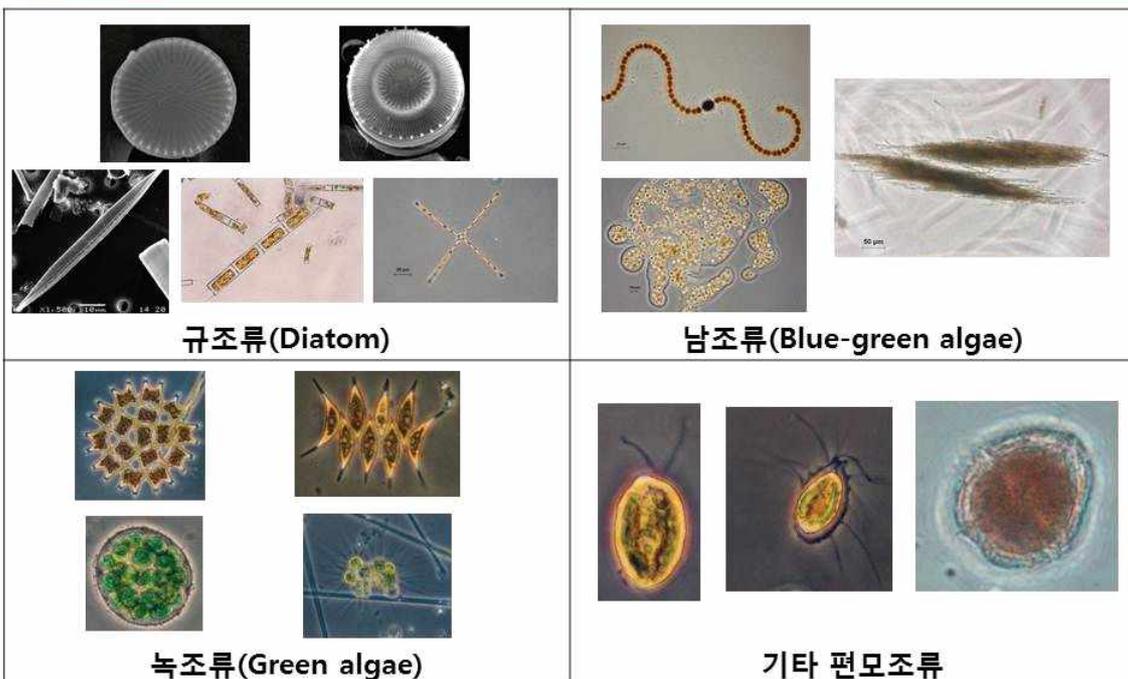
### 2 개선 방안 검토

○ 먹는물 안전성과 친수의 쾌적성을 확보할 수 있는 방안으로 3가지 안 검토

< 경보지표 조정안 >

현행	개선안	
"남조류세포수 + 클로로필-a 농도" 동시 적용	1안	남조류세포수(냄새물질은 보조지표로 사용)
	2안	남조류세포수 또는 클로로필-a 농도 개별 적용
	3안	남조류세포수 또는 조류독소 개별 적용

## 경보지표의 대상 조류는?



사진출처: 팔당호 생물상 사진집(한강물환경연구소, 2007)

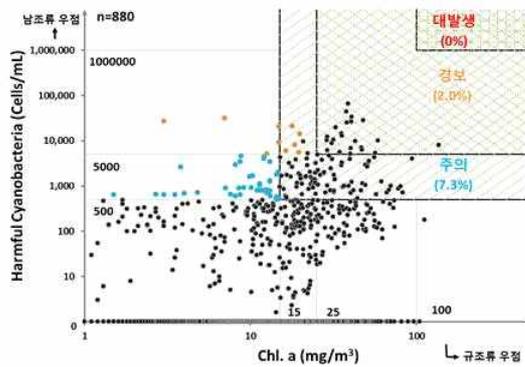
## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

### 2 개선 방안 검토

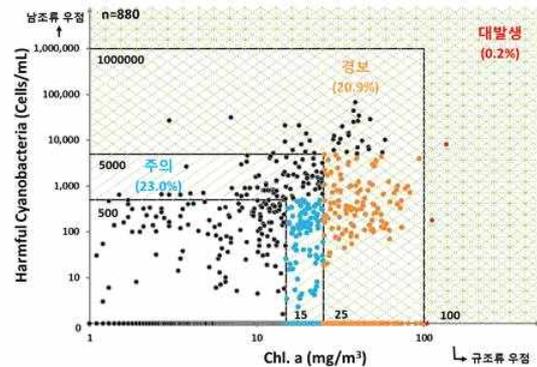
- 조류경보제는 독소와 이취미를 유발하는 남조류 중심으로 운영할 필요
  - Chl.a는 감시항목으로 지정하여 정수장에 통보토록 조치

<참고 : 남조류 세포수와 Chl.a를 각각 적용 시 문제점>

<팔당호: 현행 기준(Chl.a와 남조류 동시 적용)>



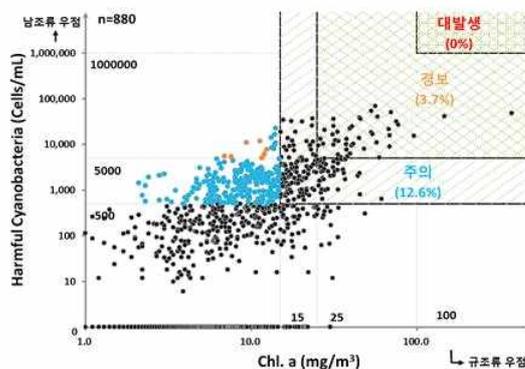
<팔당호: Chl.a와 남조류 각각 적용>



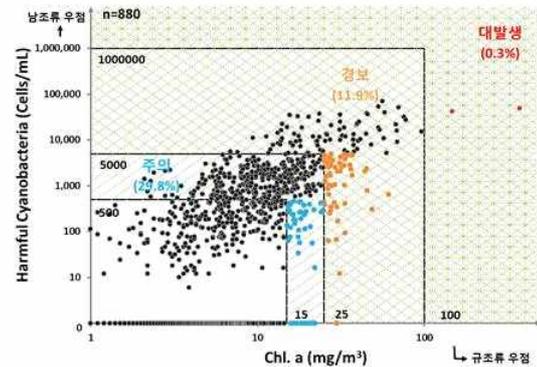
## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

### 2 개선 방안 검토

<대청호: 현행 기준(Chl.a와 남조류 동시 적용)>



<대청호: Chl.a와 남조류 각각 적용>

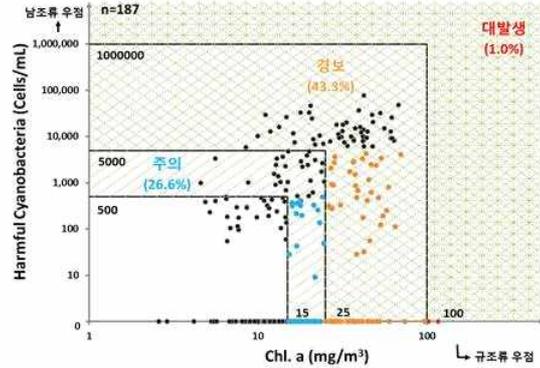
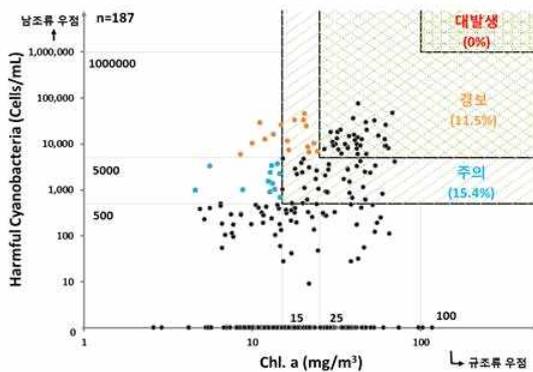


## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

### 2 개선 방안 검토

<낙동강: 현행 기준(Chl.a와 남조류 동시 적용)>

<낙동강: Chl.a와 남조류 각각 적용>



## IV-2. 경보지표 조정(남조류 중심)

### 3 개선 방안

- 식수의 안전성과 쾌적성 확보에 우선을 두어 1안(남조류 세포수를 주요 지표로 하고 조류기인성 냄새물질을 보조 지표 항목으로 적용)으로 선정
  - ※ 독성이 없는 규조류는 유관기관간 내부적인 행정 업무체계를 바탕으로 정수 관리
  - ※ 상수원은 정수처리 이전의 원수로서 정수기준인 조류 독소로 관리하는 것은 불합리하고 조류 독소의 잠재적 발생가능성과 그 변화를 판단할 수 있는 남조류 세포수로 관리하는 것이 바람직(조류독소는 세포내 독소로서 정수장에서 대부분 제거되기 때문에 외국에서도 조류독소는 먹는 물과 위락용 기준만 있을 뿐 상수원 기준은 없음)

< 개선안별 장단점 비교 >

구분	장점	단점
1안	- 녹조발생 상황을 정확하게 반영 - 유해남조류 중심 관리로 상수원 안전성 확보	- 겨울철 규조류 발생 모니터링 곤란 * 클로로필-a를 감시항목으로 관리하여 겨울철 조류발생 모니터링
2안	- 규조류도 조류경보대상에 포함	- 남조류세포수와 클로로필-a의 개별적용으로 녹조현상이 없는 겨울철에도 조류경보 발령
3안	- 조류독소 관리로 정수장의 독성물질 사전대응 가능	- 원수중 독소농도에 대한 국제적 기준 부재 * 독소는 정수처리 기준으로 관리

## IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 1 현황 및 문제점

- '98년 제도 도입 당시 설정한 단계별 발령기준을 현재까지 그대로 적용
  - 실질적으로 조류관리가 필요한 경보 기준\*을 우선 설정하고, 주의보는 경보의 1/10 수준, 대발생은 스컴이 발생하는 100만 cells/mL로 설정
  - \* 경보기준 : 당시 호주 등에서 적용하고 있는 조류독소(Microcystin-LR) 1 µg/L(먹는물 권고기준)에 상응한 남조류 세포수(5,000 cells/mL)로 설정
- (상수원 경보기준 조정필요)
  - 국내출현 유해남조류의 독소함량은 해외출현 조류에 비해 적음
  - \* 조류독소(총 Microcystin) 1ppb에 상응하는 세포수는 2,348 ~ 67백만cells/mL(*Microcystis* 기준의 상응치는 10,000 cells/mL (국립환경과학원, '08 ~ '09년)
  - WHO나 호주의 독소 기준은 독성이 높은 Microcystin-LR을 기준으로 하고 있는데 우리나라에서 검출된 총 Microcystin 중에는 독성이 낮은 Microcystin-RR(57%)이 많이 검출
- (친수용 기준 설정필요) 조류경보제를 하천까지 확대하고, 시·도지사가 필요 시 친수용 조류경보제를 운영하도록 함에 따라 친수목적의 발령기준 필요
  - \* WHO·호주 등 해외에서도 거의 대부분 상수원 기준과 위락용 기준을 구분하여 차등 적용

## IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 2 해외 동향(상수원수)

국가/기구	관리기준	대응 조치
WHO	남조류 군체 $\geq 1$ colony/mL 또는 $\geq 5$ filaments/mL	<b>감시단계(Vigilance level)</b> · 정기 모니터링 - 매주 1회 이상 모니터링 권고 - 취수구 정기적 시찰
	남조류 세포수 $\geq 2,000$ cells/mL <sup>1)</sup> 또는 남조류 생체량 $\geq 0.2$ mg/L 또는 남조류 우점 시 Chl.a $\geq 1$ µg/L	<b>경계단계 1(Alert level 1)</b> · 위해성 평가 · 정기 모니터링 지속
	남조류 세포수 $\geq 100,000$ cells/mL 또는 남조류 생체량 $\geq 10$ mg/L 또는 남조류 우점 시 Chl.a $\geq 50$ µg/L	<b>경계단계 2(Alert level 2)</b> · 위해성 평가 · 정기 모니터링 지속

1) 먹는 물 기준 microcystin-LR 1 µg/L에 상당하는 세포수(가장 높은 독소 함량을 가진 남조류의 세포수 기준)

국가/기구	관리기준	대응 조치
호주	<i>M. aeruginosa</i> ≥500~<2,000 cells/mL <sup>1)</sup> 또는 총 남조류 생체량 ≥0.05~<0.2 mg/L	검출단계(Detection level) ·정기 모니터링 ·매주 시료 채취 및 세포수 계수 ·취수시설 인접 수면의 스크 정기 시찰
	<i>M. aeruginosa</i> ≥2,000~<6,500 cells/mL 또는 총 남조류 생체량 ≥0.2~<0.6 mg/L	경계단계 1(Alert level 1) ·관계당국에 통보 ·취수구 및 수체의 조류 변화를 대표할 수 있는 지점에서 주 2회 시료 채취 ·대표성 있는 채수 시기 결정 ·독성평가 또는 독소 모니터링 여부 결정
	<i>M. aeruginosa</i> ≥6,500 <sup>2)</sup> cells/mL 또는 총 남조류 생체량 ≥0.6 mg/L	경계단계 2(Alert level 2) ·정수처리 등 공중 위생의 위해에 관한 관계당국의 권고 ·여과시설을 거치지 않고 물을 공급받는 사람들에게 위해에 관한 권고 고려 ·경계단계 1 수준으로 모니터링 지속 ·관계당국의 권고가 있을 때 정수에 대한 남조류 독소 모니터링
	<i>M. aeruginosa</i> ≥65,000 cells/mL 또는 총 남조류 생체량 ≥6 mg/L	경계단계 3(Alert level 3) ·경계단계 1 또는 경계단계 2에서 해당 기준을 초과 시 관계당국에 즉시 통보 ·여과시설을 거치지 않고 물을 공급받는 사람들에게 위해에 관한 권고 ·원수와 정수에 대한 독성평가 또는 독소 분석(기 수행되지 않고 있을 경우) ·경계단계 1 또는 경계단계 수준으로 모니터링 지속 ·처리시설이 부재하거나 건강 위해성이 나타나면 비상 대체 용수 공급 필요 ·세포수가 유의하게 감소한 경우라도 독소가 나타나지 않을 때까지 독소 모니터링 지속

2) 7일 이내에 경계단계 수준으로 증가할 수 있는 수준(배가 시간 4일 즉 조류 성장률 0.17/d 기준)  
 3) 독성 *M. aeruginosa* 6,500 cells/mL는 먹는 물 기준 총 microcystin 1.3 µg/L(microcystin-LR 독성 근거치)에 상당

### IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

#### 2 해외 동향(위락용수)

국가/기구	관리지표	관리기준	대응 조치
세계 보건 기구 (WHO)	남조류 세포수 또는 남조류 우점 시 Chl.a	≥20,000 cells/mL 또는 Chl.a ≥10 µg/L ≥100,000 cells/mL 또는 Chl.a ≥50 µg/L	해당지역 이용자와 관계당국에 공지 해당지역 이용자와 관계당국에 공지; 스크 감시, 수영 제한 및 유해성 조사
	스컴(Scum)	수영지역에서 관찰됨	스컴 접촉 금지 조치; 가급적 수영 및 기타 물 접촉행위 금지; 공중 보건 후속 조사; 관계당국의 공지

국가/기구	관리지표	관리기준	대응 조치
호주	남조류 세포수 또는 남조류 생체량	<i>M. aeruginosa</i> ≥500~<5,000 cells/mL 또는 총 남조류 생체량 >0.04~<0.4 $\mu\text{m}^3/\text{L}$	녹색단계 감시상태 (Green level Surveillance mode) ·정기 모니터링
		<i>M. aeruginosa</i> ≥5000~<50,000 cells/mL 또는 알려진 독소 생성 남조류 우점 시 총 남조류 생체량 >0.4~<4 $\mu\text{m}^3/\text{L}$ 또는 알려진 독소 생성 남조류가 없을 때 총 남조류 생체량 >0.4 ~<10 $\mu\text{m}^3/\text{L}$	황색단계 경계상태 (Amber level Alert mode) ·관계기관에 통보 ·치료채취 빈도 증대 ·수면의 스크에 대한 정기적 시찰 ·독성 평가 또는 독소 모니터링 여부 결정
		총 마이크로시스틴 ≥10 $\mu\text{g}/\text{L}$ 또는 독성 <i>M. aeruginosa</i> ≥50,000 cells/mL 또는 알려진 독소 생성 남조류 우점 시 총 남조류 ≥4 $\mu\text{m}^3/\text{L}$ 또는 알려진 독소 생성 남조류가 없을 때 총 남조류 ≥10 $\mu\text{m}^3/\text{L}$ 또는 남조류 스크이 지속적으로 존재 할 때	적색단계 대응상태 (Red level Action mode) ·경계상태에서 모니터링 지속 ·위해성에 대한 권고를 위해 보건당국에 즉시 통보 ·독성 평가 또는 독소 분석(그 이전에 수행되지 않은 경우) ·보건당국은 공중위생의 위해성에 대한 대중 공지

국가/기구	관리지표	관리기준	대응 조치
독일	투명도와 남조류 우점 시 Chl.a 또는 조류 생체량 또는 Microcystins	투명도 >1m이고 Chl.a <40 $\mu\text{g}/\text{L}$ 또는 조류 생체량 <1 $\mu\text{m}^3/\text{L}$ 또는 Microcystins <10 $\mu\text{g}/\text{L}$	남조류 증식에 대한 모니터링
	스름 그리고/또는 Microcystins	투명도 <1m이고 Chl.a >40 $\mu\text{g}/\text{L}$ 또는 조류 생체량 >1 $\mu\text{m}^3/\text{L}$ 또는 Microcystins >10 $\mu\text{g}/\text{L}$	대중 경보, 수영 자제 권고, 수영 지역 일시적 폐쇄 고려
	심한 스크 관찰 그리고/또는 Microcystins > 100 $\mu\text{g}/\text{L}$	대중 경보, 수영 자제 권고, 수영 지역 일시적 폐쇄 권고	
프랑스	시찰	조류발생 감지, 스크, 물 색깔의 변화	현미경 검경, 남조류 부재 시 추가 조치 없음, 남조류 존재 시 세포수 계수 및 속 단위 동정
	남조류	<20,000 cells/mL±20%	매일 모니터링, 적어도 매주 단위로 세포수 계수, 정상적인 위락활동
	남조류; Microcystin-LR	20,000~100,000 cells/mL±20%	매일 모니터링, 적어도 매주 단위로 세포수 계수, 위락활동 여전히 허용, 포스터를 부착하여 대중 공지
	스름과 거품	남조류 세포수 >100,000 cells/mL±10%, 마이크로시스틴-LR >25 $\mu\text{g}/\text{L}$ ±5%.	마이클로시스틴-LR <25 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이면 수영 및 물놀이 제한, 마이크로시스틴-LR >25 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이면 수영 및 위락 금지 * 각 경우에 대중 공지
이태리	속 단위 또는 종 단위 동정으로 얻어진 세포수	수영과 위락 지역에서 발견	물에서의 모든 활동 금지, 이러한 제한이 반드시 모든 위락지역에 필수적으로 적용되는 것은 아니며 스크이 없는 지역은 개방 가능
	속 단위 또는 종 단위 동정으로 얻어진 세포수	<20,000 cells/mL	가급적 매일 시찰; 매주 세포수 계수
	속 단위 또는 종 단위 동정으로 얻어진 세포수	20,000~100,000 cells/mL	매일 시찰; 적어도 매주 세포수 계수; 대중 공지; microcystin 정량 분석
	속 단위 또는 종 단위 동정으로 얻어진 세포수	>100,000 cells/mL	microcystin 정량 분석 시까지 수영 금지; 대중 공지; 적어도 매주 세포수 계수
스름	존재	microcystin 정량 분석 시까지 수영 금지; 경보 공지; 스크 이동 모니터링	
Microcystins	>25 $\mu\text{g}/\text{L}$	수영 금지	

## IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 3 개선 방안 검토

- (상수원 경보 기준) 국내출현 유해남조류의 독소함량과 독성강도를 고려하여 2가지 안 검토
  - (1안) 국내출현 남조류의 독소함량이 외국에 비해 낮은 점을 감안, 1/2로 조정
    - \* 국내출현 남조류는 *Microcystis*를 기준으로 할 때 총 Microcystin 1 µg/L에 상응하는 세포수 10,000 cells/ mL
  - (2안) 독소함량과 독성강도 모두가 낮은 점을 감안, 1/4로 조정
    - \* 우리나라의 먹은물 감시항목 권고기준은 WHO와 동일한 Microcystin-LR 1 µg/L(2012.10.30)
    - \* 국내출현 남조류 독소는 독성이 약한 Microcystin-RR(57%)이 많이 검출되고 있으므로 이를 감안한 Microcystin-LR 1 µg/L에 상응하는 *Microcystis* 세포수 약 20,000 cells/mL
- (상수원 주의보 기준) 남조류가 경계 수준으로 가는 것을 감시하는 단계로서 조류의 배가시간을 2일로 선정(지수증가율 0.35/d 적용)하여 7일 이내에 주의보 단계에서 경보 단계에 이를 수 있는 수준 (1안: 1,000 cells/ mL, 2안 2,000 cells/mL )으로 설정
  - \* WHO(1999)의 상수원 남조류 경보체계 관련 보고서에서는 기온이 높은 자연수체에서 남조류의 배가시간이 2일 수준(조류의 지수증가율 0.35/d 적용)에 이를 수 있다고 보고하고 있음

### <참고 : 국립환경과학원 조류독소 연구결과('08-'09)>

#### □ 조사개요

- 조사수계 : 팔당호를 비롯한 국내 주요 13개 호수 및 3개 하천 하류
- 조사기간 및 녹조시료건수 : 2005년 ~ 2009년, 44건

#### □ 조류경보제 발령기준 산정 결과

- 총마이크로시스틴 1µg/L에 해당하는 세포수 전체 범위 : **2,348 ~ 66,980,638 cells/ml**
- 유해남조류 단일 속이 80% 이상 우점한 시료를 대상으로 선별 기하평균방식으로 **조류경보기준 산정 ≥ 10,000 cells/ml**

\* 전체시료의 최저, 최고 범위가 약 30,000배로 넓어 전체기하평균값으로 산출하여 먹은물 안전성 확보차원에서 독소함량이 높은 상위 약 50%에 해당하는 세포수를 경보기준으로 산정

<참고> 이번 개선안에서는 나머지 50%의 관리를 위해 주의보 단계를 1,000 cells/ml로 설정·관리

<총마이크로시스틴 1µg/L에 해당하는 *Microcystis* 기하평균 세포수 검토결과>

시료건수	선별 기하평균(cells/ml)	적용시료건수 비율	유해 남조류 속	시료 건수	전체 기하평균 (cells/ml)	선별 기하평균 (시료수비율) (cells/ml)	경보 기준(안) (cells/ml)
27	40,221	100 %	Total	44	53,957	13,570 (58%)	10,000
25	23,829	93 %	<i>Microcystis</i>	27	40,221	9,444 (56%)	10,000
23	16,086	85 %	<i>Anabaena</i>	6	116,875	45,852 (50%)	40,000
19	13,570	70 %	<i>Aphanizomenon</i>	4	231,503	82,703 (50%)	80,000
15	9,444	56 %	<i>Oscillatoria</i>	1	26,865	-	20,000
5	4,175	19 %					

## IV-4. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 3 개선 방안 검토

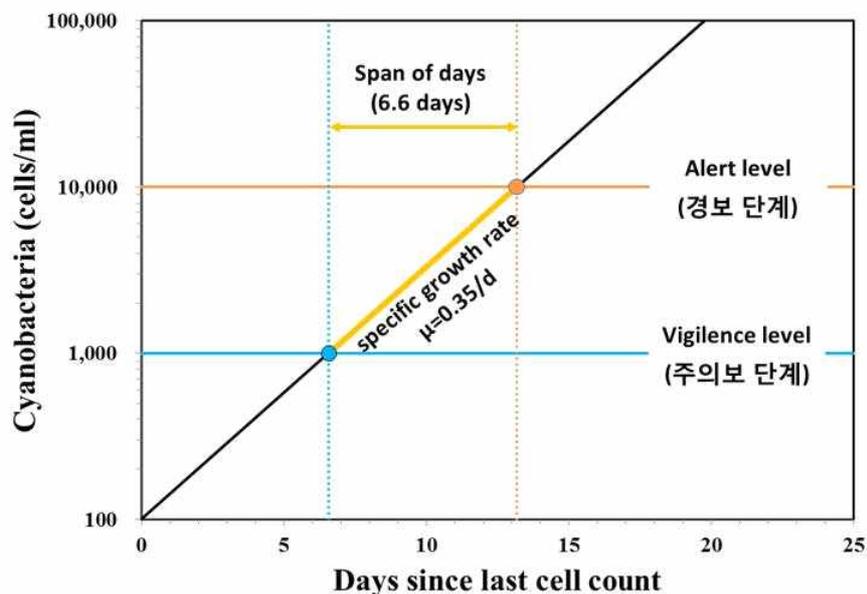
< 단계별 발령기준 개선안 비교(남조류세포수 cells/ml) >

발령단계	현행	개선안	
		제1안	제2안
주의보	500 (+ Chl.a 15mg/m <sup>3</sup> )	1,000	2,000
경보	5,000 (+ Chl.a 25mg/m <sup>3</sup> )	10,000	20,000
조류 대발생	1,000,000 (+ Chl.a 100mg/m <sup>3</sup> )	1,000,000	1,000,000

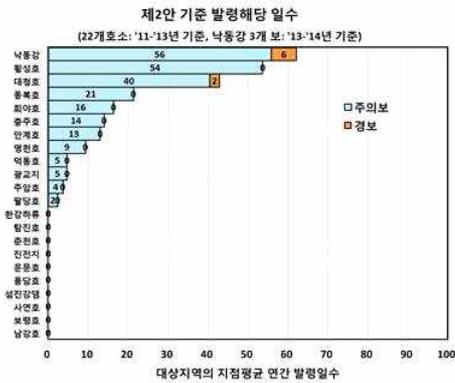
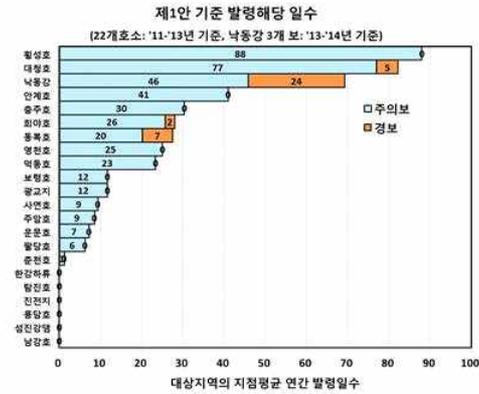
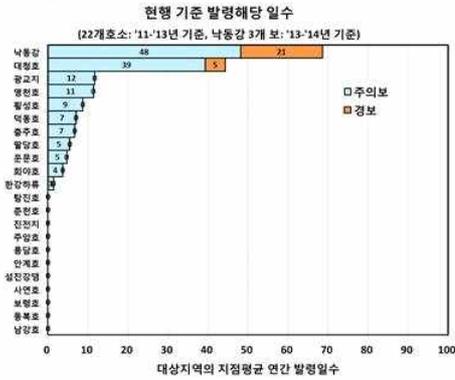
- (냄새물질) 냄새물질은 남조류 세포수와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않으므로 발령단계를 구분하지 않고 먹는 물의 단일 관리기준으로 설정, 또한 냄새물질은 식수의 안전성이 아니라 쾌적성과 관련되고 정수장에서 대부분 처리 가능하기 때문에 발령권자가 정수장 관리자에게 관련 데이터를 통보·조치토록 함
- (친수기준 신설) 시·도지사가 친수구간에 대한 조류경보제를 시행할 경우 이에 적용할 친수목적의 발령기준 신설 필요
  - 국내에는 친수기준에 대한 연구사례가 없어 WHO의 기준을 준용

## IV-4. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 3 개선 방안 검토



### 3 개선 방안 검토



자료: 22개 호소('11~'13년), 낙동강('13~'14년)

#### 지점평균 연간 발령일수 모의 결과

- ① 1안은 주의보와 경보 단계 모두 현행 기준에 비해 발령일수 증가
  - 황성호와 대청호의 발령 최대
- ② 2안은 발령 총계는 증가하나 경보 단계 발령은 감소
  - 경보 단계에 대한 대응 조치 약화 우려

## IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 3 개선 방안 검토

- '11~'13년 기준, 22개 호소별(지점평균) 연간 발령일수의 합계의 평균치 모의 결과
  - 현행) 주의보 300일, 경보 15일, 총계 315일
  - 1안) 주의보 1,159일(3.9배 ↑), 경보 45일(3.0배 ↑), 총계 1,203일(3.8배 ↑)
  - 2안) 주의보 550일(1.8배 ↑), 경보 7일(0.5배 ↓), 총계 558일(1.8배 ↑)

< 22개 호소(지점평균) 연간 발령해당 일수의 합계 >

년도	각안	주의보		경보		총계	
		일수	증감비	일수	증감비	일수	증감비
2011	현행	123		0		123	
	제1안	518	4.2(↑)	0	-	518	4.2(↑)
	제2안	233	1.9(↑)	0	-	233	1.9(↑)
2012	현행	124		15		139	
	제1안	322	2.6(↑)	23	1.5(↑)	345	2.5(↑)
	제2안	162	1.3(↑)	7	0.5(↓)	170	1.2(↑)
2013	현행	53		0		53	
	제1안	319	6.0(↑)	22	↑	341	6.4(↑)
	제2안	155	2.9(↑)	0	-	155	2.9(↑)
평균	현행	300		15		315	
	제1안	1159	3.9(↑)	45	3.0(↑)	1203	3.8(↑)
	제2안	550	1.8(↑)	7	0.5(↓)	558	1.8(↑)



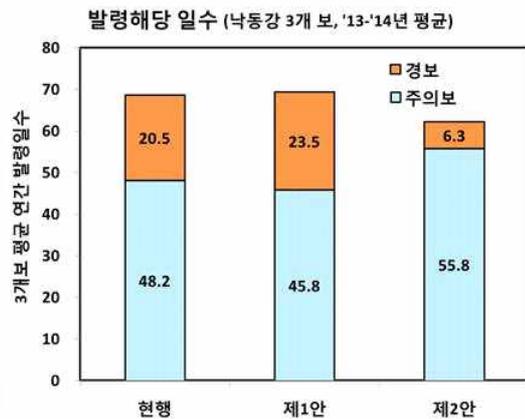
### IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

#### 3 개선 방안 검토

- '13~'14년 시범운영, 낙동강(3개보 평균) 연간 발령일수의 평균치 모의 결과
  - 현행) 주의보 48.2일, 경보 20.5일, 총계 68.7일
  - 1안) 주의보 45.8일(1.0배 ↓), 경보 23.5일(1.1배 ↑), 총계 69.3일(1.0배 ↑)
  - 2안) 주의보 55.8일(1.2배 ↑), 경보 6.3일(0.3배 ↓), 총계 62.2일(0.9배 ↓)

< 낙동강(3개보 평균) 연간 발령해당 일수 >

년도	각안	주의보		경보		총계	
		일수	증감비	일수	증감비	일수	증감비
2013	현행	44.7		23.7		68.3	
	제1안	43.0	1.0(↓)	14.0	0.6(↓)	57.0	0.8(↓)
	제2안	54.7	1.2(↑)	0.0	0.0(↓)	54.7	0.8(↓)
2014	현행	51.7		17.3		69.0	
	제1안	48.7	0.9(↓)	33.0	1.9(↑)	81.7	1.2(↑)
	제2안	57.0	1.1(↑)	12.7	0.7(↓)	69.7	1.0(↑)
평균	현행	48.2		20.5		68.7	
	제1안	45.8	1.0(↓)	23.5	1.1(↑)	69.3	1.0(↑)
	제2안	55.8	1.2(↑)	6.3	0.3(↓)	62.2	0.9(↓)



### IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

#### 3 개선 방안 검토

- 호소 22개소('11~'13년 기준)와 낙동강('13~'14년 기준) (지점평균) 연간 발령일수의 합계의 평균치 모의 결과
  - 현행) 주의보 348일, 경보 36일, 총계 383일
  - 1안) 주의보 1,205일(3.5배 ↑), 경보 68일(1.9배 ↑), 총계 1,273일(3.3배 ↑)
  - 2안) 주의보 606일(1.7배 ↑), 경보 14일(0.4배 ↓), 총계 620일(1.6배 ↑)

<대상지역(22개 호소+낙동강의 지점평균) 연간 발령해당 일수의 합계 >

각안	주의보		경보		총계	
	일수	증감비	일수	증감비	일수	증감비
현행	348		36		383	
제1안	1,205	3.5(↑)	68	1.9(↑)	1,273	3.3(↑)
제2안	606	1.7(↑)	14	0.4(↓)	620	1.6(↑)



## IV-3. 단계별 발령기준 개선(국내 연구사례 반영 합리화)

### 4 개선 방안

- 개선안 제1안과 제2안 적용 시 총 발령해당 일수는 모두 현행 기준 적용 시에 비해 비해 증가하나, 제2안의 경우 적극적 대응이 필요한 경계단계의 발령일수가 감소하여 남조류 관리의 약화를 초래할 수 있으므로 제1안으로 검토
- \* 낙동강을 포함한 현행 전체 조류경보제 대상지역에서 제1안의 기준 적용 시 현행기준 적용 시에 비해 주의보 단계의 발령일수는 3.5배, 경보 단계의 발령일수는 1.9배, 총발령일수는 3.3배 증가하므로 **모니터링 인력을 포함한 예산 확보 필요**

#### < 조류경보 발령·해제 기준 개선안 >

경보단계	발령·해제기준	
	상수원 구간	친수 구간
주의보	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000세포/mL 이상인 경우	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 20,000세포/mL 이상인 경우
경보	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 10,000세포/mL 이상인 경우	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 100,000세포/mL 이상인 경우
조류 대발생	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000,000세포/mL 이상인 경우	-
해제	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 1,000세포/mL 미만인 경우	2회 연속 채취 시 남조류의 세포 수가 20,000세포/mL 미만인 경우

비고 1. 상수원 구역에서는 1회 채취 시 Geosmin과 2-MIB가 각각 20ng/L 이상인 경우 발령권자는 발령단계와 관계없이 정수장 관리자에게 해당 사항을 통보한다.

## IV-4. 경보발령에 따른 조치사항 보완(대국민 공지 개선)

### 1 현황 및 문제점

- 현행 조류경보제는 녹조발생 상황에 따라 수면관리자, 취·정수장 등 물 관련 기관에서 취해야 할 조치사항 위주로 운영
  - 주의보·경보 발령 시 조류 모니터링, 정수처리 및 주변 오염원 단속 강화가 핵심 내용
- 녹조발생 시 대국민 공지시스템 부재, 국민들이 대응해야 할 사항이 미흡한 점 등 조류경보제에 의한 대국민 서비스 미흡

### 2 개선 방안

- 친수기준 신설에 따라 친수용 대국민 조치사항 추가

단계	조치사항
친수 주의보	- 수상스키, 수영, 낚시 등의 친수활동 및 가축방목 자제 권고 - 갑각류, 어·패류 등 어획 및 식용 자제 권고
친수 경보	- 수상스키, 수영, 낚시 등의 친수활동 및 가축방목 금지 - 갑각류, 어·패류 등 어획 및 식용 금지

## <조류경보제 개선방안(총괄)>

항 목	현 행	개 선(안)	비 고
대상 지역	상수 (팔당호, 대청호, 주암호, 충주호 등) <추 가>	- 좌 동  - 2개 호소(의암호, 청평호 추가) - 4개 보(강천보, 칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보) - 낙동강 하구언	
	친수 <신 설>	- 시·도지사가 필요 시 지정·운영	
경보지표	- 클로로필-a + 남조류세포수	- 남조류세포수	지표 단일화
상수용 단계별 발령 기준	주의보 - Chl.a 15mg/m <sup>3</sup> + 남조류 500 cells/ml	- 남조류 1,000 cells/ml	국내 연구사례 반영 할리화
	경보 - Chl.a 25mg/m <sup>3</sup> + 남조류 5,000 cells/ml	- 남조류 10,000 cells/ml	
	대발생 - Chl.a 100mg/m <sup>3</sup> + 남조류 100만 cells/ml	- 남조류 100만 cells/ml	
친수용 발령 기준	주의보	- 남조류 20,000 cells/ml	WHO 기준 준용
	경보 <신 설>	- 남조류 100,000 cells/ml	
친수 조치사항 보완	<신 설>	- (관심) 친수활동, 어패류 어획, 식용 자제  - (경계) 친수활동, 어패류 어획, 식용 금지 • 현행은 조류경보 발령 시 언론 등을 통해 친수활동, 어패류 식용 자제 등을 홍보	친수용 대국민 행동요령 신설

# 감사합니다!

## [추가 논의 사항] 단계별 발령용어 적정화 (대국민 인식에 맞는 용어로 적용)

### 1 현황 및 문제점

- 태풍경보, 공습경보와 같이 막대한 인적, 물적 피해를 유발하는 위험에 사용하는 '경보' 용어는 대국민의 과도한 불안 초래 우려



< 대청호 녹조 >

< 2002년 태풍 루사 >

< 2010년 연평도 공습 >

## [추가 논의 사항] 단계별 발령용어 적정화 (대국민 인식에 맞는 용어로 적용)

### 2 개선 방안

- 현행 발령단계의 용어(주의보, 경보)는 과도한 국민 불안 조성의 우려가 있으므로 조류발생 상황을 정확하게 알려주는 용어로 개선
- ※ 해외에서도 경계(Alert) 수준 이전의 낮은 남조류 발생 단계는 상수원 구역의 경우 감시(Vigilance: WHO) 또는 검출(Detection: 호주)이란 용어를 사용하고 있으며, 위락용 구역도 감시(Surveillance: 호주)라는 용어를 사용하고 있으며, 조류 위해성에 대한 대국민 공지는 최고 수준의 단계에서 실행(호주의 경우 상수원: 경계단계 3, 위락용: 적색경계 단계)

< 단계별 발령용어 개선(안) >

구분	현행	개선(안)
상수	조류주의보 → 조류경보 → 조류대발생	관심단계 → 경계단계 → 조류대발생 (또는 주의단계)
친수	<신설>	친수 관심단계 → 친수 경계단계