

11.2 녹조대응 T/F
제도개선 보고서

국가 조류관리 제도개선(안)

2012. 11. 2.



국립환경과학원

National Institute of Environmental Research

||| 목 차 |||

I. 조류관리제도 개선(안)	1
II. 보(淤) 구간 조류경보제 시행검토	12
III. 건의 사항	14

검토배경 및 목적

- (배경) 기후변화와 4대강 사업 등 물환경 여건 변화에 의한 공공수역에서의 조류발생시 효과적으로 대처하기 위한 조류 관리기준 정립 및 제도 개선 요구
 - '98년부터 상수원 호수를 대상으로 운영되고 있는 「조류경보제」 발령기준의 경우, 외국의 기준을 준용하여 사용하고 있으며, 국내 실정에 맞는 과학적인 기준마련 필요
 - '12년부터는 하천(보구간)을 대상으로 친수활동 증가에 따른 사전예방적 수질관리를 목적으로 수질예보제가 운영되고 있음
 - ※ 「조류경보제」의 남조류 관리기준을 준용하고 있어 혼선 야기
- (목적) 그간 운영상 문제점 보완 및 제도개선을 통해 우리나라 수계에 적합한 조류관리 체계 구축
 - 상수원의 안정성 확보를 위한 유해조류 관리 기반 마련

1

국내외 조류관리 기준 검토

□ 외국의 조류관리 현황

○ 국제보건기구(WHO)

- (친수용수) 인체에 피해를 일으키는 유해남조류 종을 지정하고 클로로필-a 농도와 유해남조류 세포수를 기준으로 단계별 발령기준과 이에 따른 조치에 대한 가이드라인 제시

- 1단계(주의) : 남조류 우점시 클로로필 a 10 mg/m³ 또는 남조류 20,000 cells/ml
- 2단계(권고) : 남조류 우점시 클로로필 a 50 mg/m³ 또는 남조류 100,000 cells/ml
- 2단계(금지) : 스킵 발생

- (먹는물) 남조류 독성물질인 microcystin LR 1ppb

○ 호주

- (뉴사우스웨일즈 주) 조류발생시 3단계의 조류정보에 따라 구체적인 대처방법을 제시하고 물 이용자와 관련기관 정보 공유

※ Low단계 : 남조류 500~2,000 cells/ml

Medium단계 : 냄새물질 또는 남조류 2,000~15,000 cells/ml

High단계 : 정체수역에서 스킵 발생(물 녹색), 남조류 15,000 cells/ml 이상

- (빅토리아주) 친수용수와 먹는물 기준을 설정하고, 조류모니터링 체제를 유지, 대응체제를 마련하여 남조류 발생시 관련 기관 및 지역주민에게 정보 전달

※ 먹는물 : Total microcystin 1.3 ppb 또는 남조류세포수(Microcystis aeruginosa) 5,000 cells/ml 또는 유해남조류 총생체량 0.4 mm³/L, 총남조류 생체량 10 mm³/L

친수용수 : 남조류세포수(Microcystis aeruginosa) 50,000 cells/ml 또는 유해남조류 총생체량 4 mm³/L, 총남조류 생체량 10 mm³/L

- 그 외, '98년~'03년까지 부영양화 관리프로그램(NEMP*)을 실시하고 조류번식의 원인과 발생기작, 조류 독성에 관한 분야 내용을 중점적으로 한 기초 연구 수행

○ 미국

- Harmful Algal Bloom Observing System(HABSOS) 프로그램을 실시하여 멕시코만 지역에 대해 지속적인 모니터링을 실시하고, 수집된 정보를 GIS를 이용하여 분석, 홈페이지에 공개하는 등 지속적인 조류관리 시행 중

- Ecology and Oceanography of Toxic Algal Blooms(ECOHAB)와 같은 조류관련 기초과학 연구지원 프로그램 운영을 통한 조류 발생의 기초 연구와 조류대책 등에 대한 직접적인 지원 실시

□ 국내 조류관리 현황

○ 주요 상수원 호소를 대상으로 조류경보제 운영

- 법적근거 : 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조(수질오염경보제)
- 조사주기 : 매년 4~12월, 주 1회(조류경보 발령시 주 2회)
- 측정항목 : 수온, pH, DO, 클로로필 a, 남조류 세포수
- 조류경보제 발령 및 해제 기준

구 분	조류주의보	조류경보	조류대발생
chl-a 농도(mg/m ³)	15이상	25이상	100이상
남조류 세포수(세포/ml)	500이상	5,000이상	1,000,000이상

※ 2회 연속 채취시 Chl-a 농도가 15mg/m³ 미만이거나, 남조류 세포수 500세포/ml 미만인 경우 발령 해제

○ 수질예보제 운영을 위해 보 구간 조류 모니터링

- 법적근거 : 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제3조, 제19조의 2 (수질 및 수생태계 보전조치 권고) 및 제21조(수질오염경보제)
- 조사주기 : 매년 1~12월, 주 1회(수질예보 발령시 주2회 이상)
- 측정항목 : 수온, pH, DO, 클로로필 a, 우점종, 남조류 세포수

- 수질관리 단계

수질관리 단계		남조류 세포수(세포/ml)		
		500미만	500이상	5000이상
관심	수질관리 강화기준(70mg/m ³)을 초과하고 초과한 날 이후 전반적으로 뚜렷한 농도 상승 예상	관심 단계 유지	주의 단계로 조정	경계 단계로 조정
주의	수질관리 강화기준을 50% 초과(105mg/m ³)하고 7일 중 4일 이상 유지	수질관리 강화기준을 70%초과(120mg/m ³)하고 7일 중 4일 이상 유지	경계 단계로 조정	심각 단계로 조정
경계	수질관리 강화기준을 100% 초과(140mg/m ³)하고 7일 중 4일 이상 유지	수질관리 강화기준을 130%초과(160mg/m ³)하고 7일 중 4일 이상 유지	심각 단계로 조정	심각 단계로 조정
심각	수질관리 강화기준을 150% 초과(175mg/m ³)하고 7일 중 4일 이상 유지	수질관리 강화기준을 185%초과(200mg/m ³)하고 7일 중 4일 이상 유지	심각 단계 유지	심각 단계 유지

※ 관심단계의 수질관리 강화기준(70ppb)을 초과하지 않았지만, 남조류 세포수가 500(세포/ml)을 초과하는 경우 관련기관은 관심단계에 준하여 관리

- 발령절차

- 1단계(수질예보 발령) : 클로로필-a 농도 예측결과, 수질예보 관리기준 초과 비율과 지속기간에 따라 관심~심각 단계 발령
- 2단계 : 남조류 세포수 실측조사
- 3단계(예보단계 조정) : 세포수 500(세포/ml) 이상일 경우 수질예보 1단계 강화, 5000(세포/ml) 이상은 2단계 강화

※ 500 미만일 경우, 수질예보 단계 완화

□ 조류세포수와 클로로필-a 농도 기준간의 상관성

- 현행 조류경보제의 발령기준은 외국의 기준을 준용하여 클로로필-a 농도 및 유독 남조류 세포수를 대상으로 운영하고 있음
 - 조류경보제 대상호소(팔당호 등 5개)에서 조류주의보 이상 발령시 남조류 세포수와 클로로필 a 상관관계 분석결과,
 - 대청호와 영천호의 경우, 남조류 우점도가 높은 정보수준에서 유의한 상관도를 보였으나, 그 외 호소는 상관도 낮음

< 조류예보 발령시 남조류세포수와 클로로필 a의 상관관계>

	팔당호 (‘98~’07)	대청호 (‘98~07)	주암호 (‘03~07)	영천호 (‘99~08)	운문호 (‘99~08)
조류주의보	-0.106 (59)	0.248** (255)	-0.126 (205)	0.472** (45)	0.047 (44)
조류경보	-0.098 (14)	0.608** (171)	0.395** (93)	0.818** (43)	0.551 (4)

※ 「조류예보제 발령기준 적정화 방안연구(Ⅰ)」(2008, 국립환경과학원)

※ 세포수/클로로필 a 상관계수(샘플수), ** : 99% 신뢰수준, * : 95% 신뢰수준

- 조류는 종에 따라 세포 크기, 생체량 등의 차이가 크며, 여러 종이 혼재할 경우, 클로로필 a와 세포수의 상관성이 낮아짐
 - 클로로필-a 농도는 전체 조류량에 대한 기준으로 남조류 이외에도 규조류, 녹조류, 기타조류를 포함한 지표

※ 클로로필-a 는 조류생체량의 지표로 이용되며, 조류 건조량의 평균 1.5%를 차지함

□ 남조류 독소 관리기준 마련 필요

- 우리나라 실정에 맞는 남조류 독소 관리기준이 설정되어 있지 않음
 - 환경조건 및 생리·생태학적 여건에 따라 남조류 독소함량의 차이가 크며, 우리나라 실정에 맞는 독소 관리기준 마련이 필요
 - '97년 WHO에서 정한 남조류 독소 마이크로시스틴(LR)의 먹는물 가이드라인은 1 ppb이며, 이를 남조류 세포수로 환산할 경우 약 5,000cells/ml 임
 - 응집, 여과, 침전, 소독의 일반 정수처리시설을 갖추고 있는 정수장에서 원수를 처리할 경우, 약 90% 이상의 조류가 제거되는 것으로 알려져 있음(참고 2)

※ WHO 가이드라인(먹는물기준 1ppb)을 적용할 경우, 원수 중에 10 ppb의 남조류 독소(마이크로시스틴 LR)가 존재할 경우에 해당되며, 이를 남조류 세포수로 환산하면 50,000 cells/ml 수준임

□ 조류특성을 고려한 기준 설정 표준화 필요

- 수중에서 주로 군체 또는 사상형으로 존재하고 있는 남조류를 세포단위로 계수하는데 어려움이 있어 분석법(계수법)의 개선 요구
 - 남조류 세포 발생 초기에는 군체를 형성하지 않아 검출이 쉽지 않고 군체 형성 후에는 계수가 용이하지 않음
 - 따라서 세포수 보다는 군체 또는 사상체 수나 세포부피로 개선이 바람직함

※ 예를들어, 군체형 남조류인 Microcystis 의 경우, oo 군체/ml, 사상형 남조류인 Anabaena, Aphanizomenon, Oscillatoria, Phormodium는 oo 사상체/ml

3

조류관리제도 개선(안)

□ 조류관리제도 적용 대상별 발령단계 이원화

○ 유관기관(수면관리기관 등)을 대상으로 한 예방단계(출현알림)와 대국민 전파가 포함된 경보단계(경보, 대발생)로 구분

- 기준이 보다 강화된 예방단계를 신설하여 사전대처기능을 강화하고, 대국민대상 전파는 용수 이용에 문제가 발생할 수 있는 경보 단계부터 발령

※ 예방단계(출현알림)단계에서는 유관기관(수면관리기관 등)에만 통보되며, 해당기관들은 녹조발생에 대비한 적절한 예방대책을 적극적으로 시행

시 사 점

현행 조류주의보, 경보, 대발생, 해제로 되어있는 기준을 출현알림, 경보, 대발생, 해제의 기준으로 전환

⇒ 상수원에 대한 대국민 불신과 불안 해소효과

□ 조류경보제 발령기준 강화 및 구체화

○ 조류독소 중심의 발령기준 전환

- 조류경보제는 상수원의 안전성 확보를 위한 제도로 간접지표 항목(클로로필-a 농도) 보다 조류 독소 중심의 발령기준으로 전환 필요

- “남조류세포수”를 발령기준으로 하고, 향후 조류 독소 분석 기반 확충 후, “조류독성농도”를 발령기준 항목으로 설정

※ 단, 조류독성농도 분석장비인 LC/MS/MS 확보 이전에는 ELISA 등 간이법에 의한 분석 실시

- 독성 남조류 종별로 기준(안)을 신설하여 현행 남조류 전체 세포수 기준에서 **개별종 기준으로 전환**하여 기준을 구체화
 - ※ 「조류예보제 발령기준 적정화방안연구II」('08~'09년, 국립환경과학원) 참고
- 외국의 권고기준 보다 훨씬 강화된 발령기준 적용
 - ※ WHO 먹는물 기준은 Microcystins(LR) $1\mu\text{g}/\ell$ 을 기준으로 하나, 개선(안)에서는 경보단계 기준을 Microcystins(LR, YR, LA, RR) $1\mu\text{g}/\ell$ 으로 함
- WHO 권고기준인 Microcystin 농도, 남조류 세포수는 먹는물 기준과 달리 적용하는 방법 검토
 - ※ 먹는물 기준은 정수처리 후 적용되는 기준으로 원수의 기준과는 달리 적용해야 하며, 추후 기준설정에 관한 연구를 통해 조류 독소 발령기준 설정
 - ※ Microcystins(LR) $1\mu\text{g}/\ell$ 을 먹는물 수질감시항목으로 기 설정('12.9.3)

○ **클로로필-a 농도는 장기적으로 참고항목으로 변경**

- 클로로필-a 농도는 남조류세포수 및 독성농도와 상관성이 낮으며, 정수처리 과정에서의 여과기능 저하를 대비하기 위한 분석항목
- 남조류로부터의 피해 최소화라는 경보제 시행목적과 관련성이 적은 클로로필-a 농도는 발령기준이 아닌 **참고항목으로 관리 전환 필요**
- 향후 독소 분석기반(인력 및 장비) 구축 및 시범운영 등 충분한 검토 후, 클로로필-a 농도는 참고항목으로 전환

시 사 점

독소와 관련성 적은 클로로필-a 농도에 의한 조류경보제 발령으로
막연한 국민 불안감 조성

⇒ 조류독소 중심의 관리제도로 전환

□ 남조류 독성물질 분석 표준화 방안

- 남조류 독소 중 상대적으로 독성이 강하고, 수계 검출가능성이 높은 **Microcystin-LR**을 우선 대상으로 한 기기분석법 확립
 - 먹는물 감시항목 권고기준인 $1\mu\text{g/L}$ 이하의 농도를 측정할 수 있는 LC/MS/MS법 적용
 - ※ 먹는물 감시항목 운영지침에 따라 시설규모 50,000톤/일 이상 정수장에서는 Microcystin-LR에 대해 2013.1.1부터 1회/주 ~ 3회/주 검사
 - ※ 조류경보제 경보이상 발령시 Microcystin을 분석하며, 기존에 적용하고 있는 HPLC법은 먹는물 감시항목 권고기준($1\mu\text{g/L}$) 이하의 농도를 검출하기 어려움
- Microcystins(LR, RR, YR, LA), Anatoxins, Saxitoxin, Nodularin 등 남조류 독소의 LC/MS/MS를 이용한 **동시분석법** 제안
 - 세포파쇄, 추출, 농축, 정제 등 전처리 단계별 최적조건 검토
 - LC/MS/MS를 이용한 분석조건 및 정도관리 목표값 제시
 - ※ 동시분석법 제시를 위한 추가 연구 필요

시 사 점

조류 독성물질의 분석 표준화를 통해 유해 조류의 위해성에 대한 과학적, 사전 예방적 관리기반 마련

발령단계별 단기 기준개선(案)

항목		유해 남조류 세포수	클로로필 a (mg/m ³)	마이크로 시스틴 농도 (참고항목)
발령단계				
예방 단계	출현알림	<ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Anabaena</i> : 5 filaments 이상/ml ○ <i>Aphanizomenon</i> : 5 filaments 이상/ml ○ <i>Microcystis</i> : 1 colony 이상/ml ○ <i>Oscillatoria</i> : 5 filaments 이상/ml ※ 위의 조건 중 1개 이상 만족할 경우 	15 이상	—
경보 단계	경보	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유해 남조류 2속 이상 동시 출현할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 총 유해남조류 10,000 cell/ml 이상 ○ 단일 속이 95% 이상 우점할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - <i>Anabaena</i> 40,000 cells/ml 이상 - <i>Aphanizomenon</i> 80,000 cells/ml 이상 - <i>Microcystis</i> 10,000 cells/ml 이상 - <i>Oscillatoria</i> 20,000 cells/ml 이상 	25 이상	Microcystins 1 µg/L 이상
	대발생	총 유해 남조류 500,000 cells/ml 이상	100 이상	Microcystins 50 µg/L 이상
해제 단계	경보해제	경보기준 미만	25 이하	Microcystins 불검출
	출현해제	유해 남조류 군체 미검출	15 이하	—

※ 유해 남조류 속은 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속으로 함

※ Microcystins는 총 microcystins(LR, YR, RR, LA) 농도로 함

※ 출현알림 단계에서는 1회 측정 결과 유해 남조류 군체 발견 시 적용

※ 단기적 개선(안) : 경보단계에서는 2회 연속 측정 결과, 유해 남조류 세포수 기준과 클로로필 a 기준을 동시에 초과할 경우 발령, 마이크로시스틴 농도는 참고

※ 해제단계에서는 2회 연속 유해 남조류 세포수 기준과 클로로필 a 기준 모두 해제 단계 기준에 해당할 경우 해제

발령단계별 장기 기준개선(案)

항목 발령단계		유해 남조류 세포수	마이크로 시스틴 농도	클로로필 a (mg/m ³) (참고항목)
예방 단계	출현알림	<ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Anabaena</i> : 5 filaments 이상/ml ○ <i>Aphanizomenon</i> : 5 filaments 이상/ml ○ <i>Microcystis</i> : 1 colony 이상/ml ○ <i>Oscillatoria</i> : 5 filaments 이상/ml ※ 위의 조건 중 1개 이상 만족할 경우 	—	15 이상
경보 단계	경보	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유해 남조류 2속 이상 동시 출현할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 총 유해남조류 10,000 cell/ml 이상 ○ 단일 속이 95% 이상 우점할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - <i>Anabaena</i> 40,000 cells/ml 이상 - <i>Aphanizomenon</i> 80,000 cells/ml 이상 - <i>Microcystis</i> 10,000 cells/ml 이상 - <i>Oscillatoria</i> 20,000 cells/ml 이상 	Microcystins 1 µg/L 이상	25 이상
	대발생	총 유해 남조류 500,000 cells/ml 이상	Microcystins 50 µg/L 이상	100 이상
해제 단계	경보해제	경보기준 미만	Microcystins 불검출	25 이하
	출현해제	유해 남조류 군체 미검출	—	15 이하

※ 유해 남조류 속은 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속으로 함

※ Microcystins는 총 microcystins(LR, YR, RR, LA) 농도로 함

※ 출현알림 단계에서는 1회 측정 결과 유해 남조류 군체 발견 시 적용

※ 장기적 개선(안) : 남조류 세포수 기준 또는 마이크로시스틴 농도 기준 중에서 1개 이상 해당할 경우 발령, 클로로필 a 농도는 참고항목으로 전환

※ 해제단계에서는 2회 연속 유해 남조류 세포수 기준과 마이크로시스틴 농도기준 모두 해제단계 기준에 해당할 경우 해제

검 토 배 경

- 낙동강본류는 취수원으로 이용되고 있는 수역이 있으며, 현재까지 조류경보제가 적용되지 않아 녹조발생 대응에 미흡하다는 주장 제기
- 상수원수의 안전성 확보를 위해 상수원 이용 보(洑) 구간을 대상으로 조류경보제를 시범적으로 확대 운영하는 방안 검토
 - 적용구간, 시기 및 발령기준을 구체적으로 마련

1

낙동강 보(洑) 구간 조류경보제 시범운영 방안

□ 보 구간 조류경보제 시범운영 대상지점 선정

- 낙동강수계 8개 보(洑) 중 상수원 취수구 상류 수역
 - 저수기 기준 유하(체류)시간, 취수구 위치, 시료 채수~분석 완료까지의 시간을 고려한 지점 선정
 - 대상지점 : 칠곡보 상류 22km 지점, 강정고령보 상류 7km 지점, 창녕함안보 상류 12km 지점
- ※ 취수구 위치 : 구미광역(칠곡보 상류 20km), 고령광역(강정고령보 상류 5km), 창원칠서(창녕함안보 상류 8km)
- ※ 시료채수 ~ 분석완료 후 취정수장 통보까지 시간 1.5일로 산정

<4대강사업 후 낙동강 본류 구간별 체류시간 예측결과>

구 간	거리 (km)	체류시간(일)		
		저수량 ¹⁾ 기준		평수량 ²⁾ 기준
		증고저수지 및 신설댐 미방류	증고저수지 및 신설댐 방류	
구미보 - 칠곡보	27.3	24.45	17.81	15.50
칠곡보 - 강정보	25.1	26.67	19.60	17.10
합천보 - 함안보	42.9	17.24	12.74	11.44

※ 수문자료의 공인 및 저장·배포·활용은 국토해양부 소관이며, 상기 수치는 수질예측 모델링을 위해 예측된 값으로 공인된 자료가 아님

※ 1), 2)는 '06년 기준

- 기존 수질예보제 운영과는 별도로 泐 구간 중 상수원 취수구가 있는 수역에 대해서는 조류경보제 동시 (시범)운영
 - 낙동강수계 보 구간 중 수질예보제 대상지점과 조류경보제 지점이 겹치는 경우는 없음

□ 시범운영 기간 및 조사항목

- (조사기간) '13년 1~12월, 주1회 이상

※ 조류경보 발령시 「예보발령 단계별 관계기관 대응요령」에 따라 조사 빈도 확대

- (조사항목) 수온, pH, DO, 클로로필-a, 남조류 세포수 등

- (발령기준) chl-a, 남조류 세포수, 독성농도(간이법 또는 LC/MS/MS)

※ 발령기준치는 기존 조류경보제 기준치 적용

※ LC/MS/MS는 장비 도입 후 분석실시

시 사 점

- 하천(보) 구간에 대한 조류경보제 적용 검토
- 수질예보제와의 이원화 운영에 따른 조류관리제도 보완

□ 필요성

- 조류 대발생의 효율적·선제적 대응을 위하여 국가에서 체계적으로 관리할 필요가 있음
 - 외국의 경우, 수생태 관리 부서에서 조류관련 연구를 집중적으로 수행 중임
 - 물환경연구소 등에서 독립적으로 수행해오던 조류관련 연구를 국가조류연구센터로 기능을 집중하여 강화 필요
- ※ 그간 조류현안에 대한 R&D 예산이나 조직이 별도로 마련되어 있지 않아 산발적인 연구를 수행. 따라서 조류로 인한 현안문제 대처에 매우 취약함

□ 주요기능

- (조류평가연구) 조류발생제어를 위한 생리·생태적 연구를 통한 조류발생 원인 평가 및 조류종 지표 개발 등 연구
 - 하천·호소별, 유역별 특성에 따른 조류 발생현황 및 발생 메커니즘 규명 연구
 - 조류와 수중생태계 구성생물(먹이사슬)간 경쟁관계 및 환경인자와의 상호관계 파악을 통한 수질지표종 개발 연구

- 국내 실정에 맞는 수생태 모델링 기법을 개발 적용함으로써 기후변화 등 환경변화에 따른 조류발생 예측기술 확보
- (조류제어연구) 조류에 의한 독소물질과 이취미물질 발생 메카니즘 규명 및 제어, 친환경적 조류제거 방안 등 피해 최소화 연구
 - 조류 독소 및 이취미 물질 발생 메커니즘 규명과 제어방안 마련
 - 조류 발생량과 독소 생성량 등 위해인자 간의 상관관계 규명
 - 조류와 방선균 등에 의한 이취미물질 생성량 간의 상관관계 규명
 - 친환경적 조류제거 방안 및 현장 적용성 연구
- (조류자원화연구) 조류의 광합성 특성을 이용한 자원화 및 이산화탄소 포집 등 지구온난화 유발물질 저감기술 등 경제적 활용방안 연구
 - 유용 조류종 분리기술 및 생체량 증식기술을 이용한 바이오 에너지 생산 원천기술 기초 연구
 - 지구온난화 유발물질 저감기술 적용을 위한 조류의 자원화 연구
 - 조류를 활용한 기능성 물질 및 융합물질 생산 기초 모델 개발 등 경제적 활용가치 증대방안 탐색 연구

기능	필요인력
국가조류연구센터	연구관 7, 연구사 17 (5급 1, 6·7급 1, 8·9급 1)
센터장	연구관 1
(조류평가연구) - 조류발생제어를 위한 생리·생태적 연구를 통한 발생원인 평가 및 조류종 지표 개발 연구 - 수중생태계 모델링 기법 도입을 통한 조류피해 사전 예방 기술 연구	연구관 1, 연구사 3 연구관 1, 연구사 2
행정지원	(5급 1, 6·7급 1, 8·9급 1)
(조류제어연구) - 조류 독소물질과 이취미 유발물질 발생 메카니즘 규명 및 제어방안 연구 - 친환경적 조류제거 방안 및 피해 최소화를 위한 현장 적용성 평가 연구	연구관 1, 연구사 3 연구관 1, 연구사 2
(조류자원화연구) - 유용 조류종 분리기술 및 생체량 증식기술을 이용한 바이오에너지 생산 원천기술 기초연구 - 지구온난화 유발물질 저감기술 활용방안 연구 - 조류의 다양한 기능성 물질 생산능 탐색 연구	연구관 1, 연구사 3 연구관 1, 연구사 2 연구사 2
(4대강물환경연구소) - 4대강 수계, 주요 호소의 조류 군집분포 및 수중생태계 등 물환경인자 관련 기초연구 - 조류 유발 독소물질과 이취미 물질의 발생패턴 및 분석기술의 표준화	연구관 4, 연구사 8

□ 조류 모니터링 및 독성분석 기반 구축

- (배경) 조류 측정·조사 인력 부족(담당자 4명)으로 신속한 조류 측정·분석 및 과학적인 원인 규명 등에 한계
- (추진방안) 4대강 물환경연구소 장비 및 인력 보강
 - (분석장비) 조류독성 분석능력 제고를 위해 LC/MS/MS 1대 (본원) 및 전처리 장비 5대(4대강 및 본원) 도입 필요
 - * LC/MS/MS 2대(금강, 영산강)는 '13년 예산에 기 반영
 - (전문인력) 조류 분석·연구 인력 보강
 - * 국립환경과학원내 전문인력 확충 또는 재배치하고, 중장기적으로 총원 방안 마련
- (소요예산) 15억원
 - (자산취득비) 액체크로마토그래피/MS/MS(LC/MS/MS) 1대, on-Line SPE 5대 등 : 10억원 등
 - (운영비) 낙동강 보구간 조류경보제 시범운영 및 제도개선 기초연구 등 : 5억원

참고 1

외국의 남조류 관리기준 및 현황

국가	분야	감시항목	기준치	비고
WHO	레크레이션	클로로필-a, 유독남조류 세포수	클로로필-a 농도 10ppb 혹은 유독남조류 세포수 20,000 cell/mL(주의)	
			클로로필-a 농도 50ppb 혹은 유독남조류 세포수 100,000cell/mL(수영금지 권고)	
			skum 형성(수영금지)	
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1ppb	
호주	하천	클로로필-a	클로로필-a 농도 2~10ppb(지역마다 다름)	
	레크레이션	유독남조류 세포수, 유독남조류 생물량, Microcystin	유독남조류 세포수 500이상 5,000cell/mL미만 혹은 총남조류생물량 0.04ppb초과 0.4ppb미만 (감시단계: 주1회 분석)	유독남조류 <i>Microcystis aeruginosa</i> 로 명시
			유독남조류 세포수 5,000이상 50,000cell/mL미만, 혹은 유독남조류생물량 0.4ppb이상 4ppb미만 혹은 총남조류생물량 0.4ppb1 0ppb미만 (경보단계: 주2회 분석, 독성평가)	
			Microcystin 10ppb, 혹은 총유독남조류 생물량 4ppb 이상, 혹은 총남조류 생물량 10ppb, 혹은 남조류 scum 형성(행동단계: 물놀이금지, 모니터링 지점 확대)	
먹는물	microcystin	microcystin 1.3ppb	자체규정	
뉴질랜드	레크레이션	유독남조류 세포수, 유독남조류 생물량, Microcystin	유독남조류 세포수 500이상 5,000cell/mL미만 혹은 총남조류생물량 0.04ppb초과 0.4ppb미만 (감시단계: 주1회 분석)	호주와 상동
			유독남조류 세포수 5,000이상 50,000cell/mL미만, 혹은 유독남조류생물량 0.4ppb이상 4ppb미만 혹은 총남조류생물량 0.4ppb1 0ppb미만 (경보단계: 주2회 분석, 독성평가)	
			Microcystin 10ppb, 혹은 총유독남조류 생물량 4ppb 이상, 혹은 총남조류 생물량 10ppb, 혹은 남조류 scum 형성(행동단계: 물놀이금지, 모니터링 지점 확대)	
	먹는물	Microcystin, anatoxin anatoxin-s, Cylindrospermopsin, Nodularin, Saxitoxin	Microcystin 1.0ppb, Anatoxin 6.0ppb, Anatoxin-s 1.0ppb, Cylindrospermopsin 1.0ppb, Nodularin 1.0ppb, Saxitoxin 1.0ppb	자체규정

국가	분야	감시항목	기준치	비고
미국	하천	클로로필-a	15ppb(North Carolina, Oregon주 해당, 주마다 클로로필-a 농도 별도 모니터링)	EPA기준없음
	먹는물	기준없음		microcystin 감시항목 후보
캐나다	수생 생물 보호	클로로필-a	최대 클로로필-a 100mg/m2	British Columbia 주정부
	레크레이션	클로로필-a	최대 클로로필-a 50mg/m2	
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.5ppb	자체 규정
브라질	레크레이션	남조류 세포수 및 총남조류 생물량	남조류 세포수 10,000cell/mL, 총남조류 생물량 1ppb(매월 분석)	
			남조류 세포수 10,000~20,000cell/mL, 총남조류 생물량 1ppb(매주 분석, 마우스생물독성분석)	
	먹는물	Microcystin, Saxitoxin, Cylindrospermopsin	Microcystin 1.0ppb, Saxitoxin 3.0ppb, Cylindrospermopsin 15ppb	자체 규정
프랑스	레크레이션	유독남조류 세포수, Microcystin	유독남조류 세포수 20,000cell/mL (레크레이션 허용 단계: 모니터링 강화)	
			유독남조류 20,000~100,000cell/mL, Microcystin 25ppb(수영금지단계: 보트 및 특수레저 허용)	
			유독남조류 scum 형성(모든 수상활동 금지단계)	
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	자체 규정
덴마크	레크레이션	클로로필-a, 유독남조류 수	클로로필-a 농도 10ppb 혹은 유독남조류 세포수 20,000cell/mL(주의)	WHO 기준따름
			클로로필-a 농도 50ppb 혹은 유독남조류 세포수 100,000cell/mL(수영금지 권고)	
			skum 형성시(수영금지)	
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1ppb	WHO 기준따름
핀란드	호소	유독남조류	<ul style="list-style-type: none"> - 조류없음, 투명도 정상 (Level 0) - 조류 관찰, 수체는 녹색, 연안가에 좁은 띠 형성, 투명도감소 (Level 1) - 조류풍부, 녹색수체 확산, 일부 수면에 scum 형성, 연안가 유독남조류 군집 관찰 (Level2) - 조류 대발생, 두껍고 넓은 면적의 scum 형성, 연안가 유독남조류 군집 대발생 (Level 3) 	매해 여름 보건국에서 모니터링, 조류대 발생시 350지점 매주 모니터링, 인터넷 등 보도

국가	분야	감시항목	기준치	비고
독일	레크레이션	클로로필-a, Microcystin	클로로필-a 농도 40ppb, Microcystin <10ppb (감시: 14일간 유독남조류 감시 및 모니터링)	자체 규정
			Microcystin >10ppb, <100ppb (경고: 경고조치 발령, 수영금지, 발생지역 일시폐쇄 권고)	
			microcystin >100ppb, 유독남조류 scum 형성 (폐쇄: 경고조치 발령, 수영금지, 조류 발생지역 임시폐쇄)	
남아프리카공화국	건강기준	남조류 세포수	남조류세포수 50 cell/mL(건강영향 없음)	자체 규정
			50~14,000cell/mL(장시간 노출시 건강 영향있음)	
			14,000~42,000 cell/mL(급성독성)	
			>42,000 cell/mL(급성 및 만성독성)	
	먹는물	Microcystin	Microcystin 0~0.8ppb	자체 규정
체코	호소	기준없음	유독남조류 및 Microcystin 농도 모니터링	유독남조류 및 독성센터설립 (2005)
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	WHO 기준따름
이탈리아	레크레이션	유독남조류 세포수, Microcystin	유독남조류 세포수 5,000cell/mL, Microcystin 0.84ppb,	자체 규정
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	WHO 기준따름
일본	레크레이션	기준없음		자체 규정
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	WHO 기준따름
중국	레크레이션	기준없음		자체 규정
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	WHO 기준따름
노르웨이	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	WHO 기준따름
폴란드	레크레이션	기준없음	남조류 및 색, 탁도, 냄새 등 수체 모니터링	자체 규정
	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	자체 규정
스페인	먹는물	Microcystin	Microcystin 1.0ppb	자체 규정

참고 2

정수처리에 따른 조류 및 독소제거 사례

□ 응집제와 분말활성탄을 이용한 조류독소제거

- 응집제인 PAC(Poly Aluminium Chloride, 17%) 투여량에 따라,
 - *Microcystis aeruginosa*는 PAC 농도 12 mg/L에서 98% 이상의 조류제거 효과
- 응집보조제로 분말활성탄 투여량에 따라,
 - *Microcystis aeruginosa*는 활성탄 12~15 mg/L에서 99%이상의 조류제거 효과
- 응집제인 PAC와 분말활성탄 투여 후 분자유전학적방법인 PCR 방법으로 남조류 독소(Microcystin) 분석 결과
 - 응집제인 PAC만 투여한 경우보다, 보조 응집제인 분말활성탄을 같이 투여한 경우 남조류 독소(Microcystin)가 제거되어 분말활성탄이 조류독소를 제거하는 것으로 나타남.

※ 「조류의 효율적인 응집제거에 관한 연구」 참고(2007, 대전시 상수도사업본부)

□ 오존처리에 따른 조류 및 조류독소 제거 사례

- 오존처리에 따른 남조류 독소 제거 효율

남조류 독소 Microcystin-LR($\mu\text{g/L}$)	오존 투여량(mg/L)	지속시간(min)	감소율(%)
21	1.2	5	73
9	1.0	5	50
500	0.2	4	99
500	0.5	10	50
≤ 200	1.0	5	100
15	1.0-1.5	30	50
50	1.0-1.5	30	90
10	0.5-1.5	9	90-100
50-100	0.5-1.5	9	0-100

○ 오존처리에 따른 남조류 세포내 독소 제거 효율

<i>Microcystis aeruginosa</i> (cells/ml)	오존 투여량(mg/L)	지속시간(min)	감소율(%)
1.63×10 ⁶	3.7	5	36
2.05×10⁶	2.5	12	100
1×10 ⁴	0.8	10	60
1×10 ^{5a}	1.3	10	65
1×10⁵	1.0-1.5	9	50-100
5×10 ⁵	1.0-1.5	9	30-75

※ 「Cyanobacterial Toxins: Removal during Drinking Water Treatment, and Human Risk Assessment」 참고(2000, Bettina C. et al. *Health Perspect*)

참고 3

낙동강본류 취·정수장 현황

○ 취수장 18개소(상류7 하류11), 정수장 21개소(상류7, 하류14)

- 고도정수처리 13개소, 일반정수처리 4개소, 강변여과시설 4개소

< 낙동강 사업구간 취·정수장 현황 >

일련 번호	취수장					정수장				비고
	시군	명칭	수원	시설용량 (천m ³ /일)	위 치	수도사 업자	명칭	정수능력 (천m ³ /일)	고도처리 시설	
1	예천	지보	복류수	1	예천군 지보면 마전리	예천	지보	1	-	
2	예천	풍양	복류수	1	예천군 풍양면 낙상리	예천	풍양	1	-	상주보 (상류 10km)
3	상주	도남	복류수	18	상주시 도남동	상주	도남	18	-	낙단보 (상주보 하류 500m)
4	구미 (수공)	구미 광역	하천수	464	구미시 해평면 문량리	수공	구미 광 역	400	-	칠곡보 (상류 20km)
5	고령 (수공)	고령 광역	하천수	44	고령군 다산면 노곡리	수공	고령권 수도관리단	44	오존, 활성탄	강정고령보 (상류 5km)
6	대구	문산	하천수	210	달성군 다사읍 문산리	대구	문산	200	오존, 활성탄	강정고령보 (상류 3.5km)
7	대구	매곡	하천수	880	달성군 다사읍 매곡리	대구	매곡	800	오존, 활성탄	강정고령보 (상류 1.5km)
8	창원	창원 칠서	하천수	440	함안군 칠서면 개내리	창원	창원 칠서	400	오존, 활성탄	창녕함안보 (상류 8km)
9	함안	함안칠 서	강변 여과수	22	함안군 칠서면 용성리	함안	함안칠 서	20	-	
10	창원	북면	강변 여과수	10	창원시 북면 하천리	창원	북면	10	-	
11	창원	대산	강변 여과수	60	창원시 대산면 갈전리	창원	대산	60	-	
12	창원	대산	강변 여과수	10	창원시 대산면 갈전리	창원	대산	10	-	
13	수공	본포	하천수	285	창원시 동읍 본포리	수공	반송	120	활성탄	
						창원	석동	70	오존, 활성탄	
14	김해	창암	하천수 (강변 여과수)	270	김해시 생림면 마사리	김해	삼계	165	"	
						김해	명동	105	"	
15	부산	매리	하천수	1,725	김해시 상동면 매리	부산	덕산	1,555	"	
16	수공	원동	하천수	1,275	양산시 원동면 화제리	양산	웅상	55	"	
17	부산	물금	하천수	840	양산시 물금읍 물금리	부산	화명	600	"	
18	양산	신도시	하천수	41.8	양산시 물금읍 물금리	양산	범어	50	"	
						양산	신도시	38	"	

※ 김해 창암취수장은 '12년 말부터 취수원을 강변여과수로 전환할 예정

참고 4

낙동강유역 현황도(취수장, 보, 댐)



참고 5

낙동강 보 구간의 클로로필 a/남조류 세포수

(단위 : ppb, 세포/ml)

월	주차	낙동강															
		상주보		낙단보		구미보		칠곡보		강정고령보		달성보		합천청녕보		창녕함안보	
		Chl-a	남조류	Chl-a	남조류	Chl-a	남조류	Chl-a	남조류	Chl-a	남조류	Chl-a	남조류	Chl-a	남조류	Chl-a	남조류
1	1주차	3.4	-	6.9	-	1.5	-	2.0	-	2.3	-	4.9	-	37.0	-	58.6	-
	2주차	4.4	-	2.2	-	1.3	-	2.2	-	2.4	-	5.3	-	16.0	-	51.0	0
	3주차	2.0	-	2.3	-	1.5	-	3.6	-	4.7	-	11.5	-	57.1	83	99.1	97
	4주차	4.6	-	1.8	-	1.3	-	3.0	-	8.6	-	31.9	-	77.4	-	110.2	0
	5주차	1.9	-	1.0	-	0.8	-	4.3	-	13.8	-	30.3	-	81.7	0	108.7	0
2	1주차	3.1	-	2.0	-	4.1	-	2.8	-	46.1	-	109.4	0	44.0	101	106.8	0
	2주차	2.7	-	2.7	-	1.5	-	2.4	-	27.3	-	100.3	0	46.4	0	128.9	0
	3주차	1.9	-	3.2	-	2.1	-	3.4	-	21.7	-	128.2	0	71.5	0	134.4	0
	4주차	2.7	-	2.4	-	3.1	-	8.4	-	34.9	-	87.8	0	144.9	0	80.4	0
3	1주차	4.1	300	4.4	0	7.1	30	14.2	0	88.5	0	108.1	0	108.0	67	92.5	294
	2주차	2.7	0	2.9	0	10.9	0	28.2	0	81.6	0	132.3	0	129.1	0	119.1	28
	3주차	8.0	-	23.6	-	20.5	-	59.3	-	81.6	0	122.9	0	75.5	0	61.4	0
	4주차	36.6	0	44.2	128	10.5	0	68.0	0	54.7	0	48.3	0	13.9	235	13.8	144
4	1주차	8.3	0	18.5	136	36.3	0	37.9	74	38.9	61	58.2	34	8.4	0	8.6	68
	2주차	8.0	-	19.1	-	25.3	-	31.9	-	43.6	-	33.2	-	31.3	-	47.7	-
	3주차	15.2	0	17.7	20	15.5	0	47.2	0	19.4	0	23.7	0	20.2	0	25.3	0
	4주차	7.9	101	25.0	288	14.4	160	28.6	296	27.9	0	28.1	322	15.2	109	14.5	89
	5주차	8.0	336	34.5	383	30.9	390	52.8	1203	41.7	2291	56.4	1485	51.8	146	28.5	180
5	1주차	20.8	402	17.5	311	14.3	625	18.2	946	20.8	1816	34.6	1766	44.1	187	55.8	644
	2주차	27.2	106	31.3	470	31.5	53	40.2	78	26.8	314	64.4	856	24.3	0	16.9	52
	3주차	20.3	71	8.9	0	11.2	46	6.1	96	8.7	22	8.2	288	6.4	361	25.5	56
	4주차	8.2	0	3.3	44	2.3	44	2.0	42	4.2	40	3.3	165	5.7	48	3.6	180
6	1주차	11.5	51	4.4	56	3.6	427	4.7	605	11.0	1928	8.9	1190	10.8	1051	19.9	1273
	2주차	22.9	0	7.8	50	13.2	245	6.6	84	8.1	725	7.6	295	24.5	440	20.7	1985
	3주차	4.6	0	7.9	1659	8.7	607	8.1	2165	13.0	652	8.5	1103	58.6	11308	17.9	17672
	4주차	19.5	123	11.3	717	7.6	774	7.8	3810	6.3	1924	9	1550	42.9	6054	42	29431
7	1주차	8.1	738	12.5	1305	10.2	5146	27.2	10980	14.1	6603	12.8	3885	50.5	18738	59.9	91840
	2주차	4.7	228	24.6	92	13.6	308	6.2	1072	16.5	1704	20.1	2500	14.3	3664	16	8152
	3주차	6.4	552	5.5	185	8.5	676	11.2	607	7.8	47	14.7	277	16.4	343	14.6	636
	4주차	12.7	553	48	1848	39.1	2008	47.6	3007	20.4	3031	29.6	1867	22.3	960	21.7	1034
	5주차	13.2	860	20.6	8561	17.2	9624	23.2	12557	30.3	8145	14.2	3612	10.1	4939	13.7	5603
8	1주차	10.9	1994	33	69882	18.9	38526	29.4	40650	31.9	50838	19.3	9971	80.8	66586	6.3	2626
	2주차	40.4	1216	31.9	2528	11.4	17674	8.6	5292	6.4	104	13.2	3628	25	48939	26.5	2824
	3주차	4.5	488	31.7	1000	30.9	200	12.2	1848	6.3	648	54.7	664	34.5	848	26	1904
	4주차	3.6	760	12.5	504	4.7	1624	27.2	880	21.5	784	32.1	1248	11.6	1672	7.4	512

- 주 1) 클로로필-a농도 조류주의보 기준(15 초과) , 조류경보 기준(25 초과), 조류대발생 기준(100 초과)
- 주 2) 남조류 세포수 조류주의보 기준(500 초과) , 조류경보 기준(5,000 초과), 조류대발생 기준(10⁶ 초과)
- 주 3) 조류경보 발령 대상, 실제 수질예보 발령 기간, 조류경보와 수질예보 발령 동시 해당
- 주 4) “-” : 분석 결과 없음, 남조류세포수는 수질예보 발령 관심단계(가장 낮은 단계) 이상 발령 시 분석