

정부간행물 발간등록번호
11-1480523-004075-01

NIER : NIER-GP2020-019

ISBN : 978-89-6558-509-1

조류경보제 운영 매뉴얼(2020)

2020. 6



환경부
국립환경과학원

I 서론

II 조류경보제 개요

1. 시행 목적	3
2. 법적 근거	3
3. 추진 경위	4
4. 적용 대상	5
5. 발령 현황	6
5.1 한강 수계	14
5.2 낙동강 수계	15
5.3 금강 수계	16
5.4 영산강·섬진강 수계	17

III 조류경보제 운영

1. 운영 체계	19
1.1 조사 기관	19
1.2 조사 지점	28
1.3 발령 기준	31
1.4 경보단계별 조치사항	32
2. 시료 채취	39
2.1 고려 사항	39
2.2 채수위치 선정	40
2.3 조사 시기 및 주기	41
2.4 준비물	41

2.5 시료채취 방법	42
2.6 운반 및 보관	47
3. 분석 방법	48
3.1 식물플랑크톤(조류)	48
3.2 클로로필 <i>a</i> (chlorophyll <i>a</i>)	56
3.3 마이크로시스틴 : 액체크로마토그래프-텐덤질량분석법	61
3.4 냄새물질(지오스민 및 2-MIB)	76
4. 측정자료 관리	103
4.1 자료 입력	103
4.2 자료 공개	104
4.3 보고 및 기록유지	105
<서식 1> 조류경보 발령(해제)통보	107
<서식 2> 수질 관찰·조사 기록부	108

부 록

1. 주요 조류 사진 및 특성	111
2. 우리나라의 조류발생 특성	125
3. 외국의 남조류 관리기준	126
4. 국내 출현하는 독성 남조류	130
5. 남조류가 생산하는 독성물질	132
6. 조류 종에 따른 취기의 종류 및 발취농도	136
7. 녹조유발 조류 및 녹조현상 제어방법	137

I 서론

녹조현상은 부영양화, 체류시간, 수온, 광도 등 여러 가지 요인의 복합적인 작용으로 상수원 전용댐, 저수지 및 하천 등에서 발생하는 계절적 현상이다. 녹조를 일으키는 남조류는 잠재적인 독성을 지니고 있으며, 인간이나 동물에게 직·간접적인 위협물질로 노출될 수 있다. 남조류의 대량증식은 경제적(정수처리 비용의 증가), 사회적(위락행위 제한) 및 환경생태학적(생물다양성)으로 영향을 미친다.

상수원에서 남조류 대발생에 의한 독성물질 문제는 물을 공급받는 해당지역의 전문기관에서 조사하여 그 상황에 따르는 대응지침을 통해 관련기관이 유기적으로 행동해야 한다. 이런 대응을 위한 남조류의 모니터링과 독성물질의 확인을 위해서는 약 5일 정도의 시간이 소요되며, 관련기관은 피해 감소를 위한 시간 단축을 위해 체계적인 남조류 모니터링 시스템을 구축해야 한다.

독성 남조류의 발생이 우려될 때에는 환경부 등 당국에서 관련기관으로 신속하고 적절한 대응 방안을 제시해 주는 것이 중요하다. 또한 이러한 현상의 정확한 정보를 검증하여 국민들에게 제공하기 위해서는 해당 지자체의 관련기관과 지역 사회, 정수처리 관련기관 사이에서 책임과 역할이 명확하게 구분되는 것도 매우 중요한 일이다. 신속하고 체계적인 대응은 잠재적인 남조류 독성의 문제를 감소시켜 사회적 혼란과 경제적 손실을 방지할 수 있을 것이다.

조류 발생은 강수량 등 기상조건과 영양염류 그리고 체류시간 등의 물리적 상황에 따라 지역 또는 시기별(연도별, 계절별)로 매우 다양한 양상을 나타낼 수 있다. 최근 기후변화 등에 따른 하천·호소의 물리적 환경(체류시간 등)이 급변하여 조류 발생양상도 함께 다양화 되고 있다. 이에 우리나라는 1998년 팔당호, 대

청호, 충주호, 주암호 주요 4개 호소에 대하여 조류경보제를 처음 도입한 이후 현재까지 전국 29개 하천·호소를 대상으로 운영하고 있으며, 2020년 5월부터 16개 보 대표지점을 관찰지점으로 운영·관리하고 있다.

본 매뉴얼은 환경부에서 매년 수립하고 있는 조류경보제 운영계획에 따라 조류발생시 필요한 각 기관별 대응절차 등을 규정하여 취·정수장 및 수질분석기관 등 관련기관에서 활용토록 작성하였다.

II

조류경보제 개요

1. 시행 목적

우리나라는 해마다 수온이 20℃ 이상 올라가는 여름철부터 초가을에 녹조가 주로 발생하고 있으며, 1997년 팔당호와 대청호 등 전국 하천과 담수호에서 녹조가 발생한 사례가 있다. 이에 환경부에서는 1998년부터 녹조 발생 시 안전한 먹는물 공급을 위하여 환경부, 시·도지사가 관리하는 하천·호소 중 상수원으로 이용되는 주요 하천·호소에 대하여 조류경보제를 실시하고 있으며, 2016년부터는 친수활동 보호를 위한 구간까지 확대하여 운영하고 있다.

조류경보제는 상수원으로 사용하는 하천과 호소에 조류가 대량 증식하는 경우 정수처리 여과장치의 기능저하 및 일부 남조류에 의한 독성물질 발생 가능성이 있어 남조류 상시모니터링을 통해 사전에 조류발생 현황을 파악하고 관계기관에 통보함으로써 조류발생에 따른 피해를 최소화하고, 조류경보제 운영을 위한 관계기관별 추진체계를 구축하여 상수원의 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다.

2. 법적 근거

- 『물환경보전법』 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.

- 『물환경보전법 시행령』 제28조 (수질오염경보)
 - 수질오염경보에는 ‘조류경보’와 ‘수질오염감시경보’가 있다.
- 조류경보 발령대상 및 발령주체 (시행령 별표2)

구분	대상 수질오염물질	발령대상	발령주체
상수원 구간	남조류 세포수	법 제9조에 따라 환경부장관 또는 시·도지사가 조사·측정하는 하천·호소 중 상수원의 수질보호를 위하여 환경부장관이 정하여 고시하는 하천·호소	환경부장관 또는 시·도지사
친수 활동 구간	남조류 세포수	법 제9조에 따라 환경부장관 또는 시·도지사가 조사·측정하는 하천·호소 중 수영, 수상스키, 낚시 등 친수활동의 보호를 위하여 환경부장관이 정하여 고시하는 하천·호소	

3. 추진 경위

- 1) 1998 : 4개 호소(팔당, 대청, 충주, 주암)를 대상으로 최초 시행
- 2) 2003.10 : 상수원 호소의 조류관리대책 수립
 - 조류예보제의 단계적 확대 추진 등 기본추진방안 수립
- 3) 2004.01 : 조류예보제 운영강화계획 수립
 - 대상호소 확대 : 8개소 (2004)→10개소 (2005)
 - 2006년부터 조류예보제 운영을 지자체로 확대 등
- 4) 2005.07 : 조류예보제 지자체 확대를 위한 관계기관 회의
 - 조류예보제 운영을 위한 지자체 17개 상수원 시범사업 실시
- 5) 2006.04 : 조류 시료채취 방법 및 남조류 독소 분석 지침 시달
 - 환경청, 지자체, 수자원공사 등 관련 기관에 지침 배포
- 6) 2006~2010 : 조류예보제 연도별 단계적 확대 운영
 - 10개소(2005) → 16개소(2006) → 17개소(2007) → 20개소(2008) → 22개소(2009)
- 7) 2007.11.30 : 조류예보제 → 조류경보제로 명칭 변경

- 8) 2013.02 ~ 2015.12 : 낙동강 조류경보제 시범운영
 - 상수원 이용 3개 보 구간(칠곡보, 강정고령보, 창녕함안보)
- 9) 2014.09 : 한강 1구간 구의취수장 폐쇄(5→4지점으로 변경)
- 10) 2014.04~12 : “조류포럼”구성·운영을 통한 조류경보제 개선안 마련
- 11) 2015.03 ~ : 물환경정보시스템 조류정보방을 통한 측정자료 관리·보고 및 대국민공개
- 12) 2015.12 : 『물환경보전법』 시행령 개정
 - 발령·해제 기준(납조류 세포수 단일화) 변경, 조류경보 발령 대상에 하천 추가, 친수활동 보호를 위한 구간까지 확대(하천·호소28개소)
- 13) 2015.12 : 조류경보제 대상 호소·하천 지정 고시 제정(제2015-246호)
- 14) 2016.04 : 채수방법 변경(상수원: 층별 통합채수, 친수활동: 표층채수), 분석항목에 투명도·탁도 추가
- 15) 2017.02 : 조류경보제 운영 매뉴얼 개정
- 16) 2018.01 : 조류경보제 대상 호소·하천 지정 고시 일부 개정(제2018-6호)
 - 남강호→진양호 조사지점명 변경
- 17) 2020.05 : 조류경보제 대상 호소·하천 지정 고시 일부 개정(제2020-98호)
 - 경보 발령지점 : 총 29개소(기존 경보 운영 28개 지점 + 물금·매리 시범운영)
 - 관찰지점 : 총 16개소(수질예보지점 12, 조류경보제 중복 보 지점 4)

4. 적용 대상

전국의 일정규모 이상인 상수원 하천과 호소는 모두 조류경보제 대상이 될 수 있으나, 우선 국가가 관리하는 대형 호소를 대상으로 시작되었다. 조류발생의 문제가 지자체가 관리하는 하천과 호소에서도 빈번히 발생됨에 따라 2006년 이후에는 지자체가 관리하는 하천과 호소를 포함하는 등 조류경보제 운영 지점을 단계적으로 확대해 나가고 있다. 2016년부터는 친수활동 보호를 위한 구간까지 확

대 운영하고 있다. 2020년부터 낙동강(물금·매리)을 신규 포함하여 전국 29개 하천·호소를 경보 발령지점으로 운영하고 있으며, 수질예보 지점(조류경보제 중복 4개보 포함)을 경보제에 편입시켜 '관찰지점("조류 경보 발령 미 실시")'으로 분류하여 운영하고 있다.

5. 발령 현황

1998년부터 2019년까지 조류경보제 지점별 발령현황을 살펴보면(표 1), 대청호의 경우 거의 매년 조류경보가 발령되고 있는데, 주로 여름철에 발생한 녹조가 늦가을까지 지속되는 경우가 자주 발생하고 있다. 수도권 상수원으로 이용하고 있는 팔당호의 경우 '관심' 수준의 낮은 단계의 녹조현상이 발생하여 2014년과 2018년에는 각각 23일과 22일 간 '관심' 발령이 있었으며, 2015년에는 43일로 발령일수가 가장 길었다. 2011년, 2013, 2016년, 2017년, 2019년에는 발령이 되지 않았다. 2016년부터 조류경보제 지점으로 운영 중인 낙동강 상수원 하천 3개 지점(해평(구 칠곡), 강정·고령, 칠서(구 창녕·함안))은 매년 경보가 발령되고 있다. 2017년은 강수량(평균강수량 : 1,311 mm ('16)→962 mm ('17)→1,451 mm ('18)→1,239 mm ('19))의 감소로 324일 간 경보가 발령되었고, 2016년과 2018년은 발령일수가 200일 미만으로 각각 181일과 157일이었다. 2019년에는 230일 간 조류경보가 발령되었다.

최근 5년간 4대강 수계에서 발생한 조류경보일수('관심'단계와 '경계'단계 총합 일수)는 608일(2015년, 25개 지점) → 404일(2016년, 28개 지점) → 643일(2017년, 28개 지점) → 552일(2018년, 28개 지점) → 492일(2019년, 28개 지점)로 나타났다. 2019년에는 전국 28개 지점 중 7개 지점에서 492일간("관심" 417일, "경계" 75일) 조류경보가 발령되어 지난해 대비 총 발령구간(11→7개소) 및 발령일수(552→492일)가 감소하였으며, 최근 3년 중 최저 발령일수를 기록했다. 2019년에 발령일수가 감소한 원인은 전년대비 훨씬 덜한 폭염일수(31.4일→13.3일), 누적 강수량의 감소(약 70% 수준, 8월 기준 1,008.2 mm →

700.1 mm), 오염원 특별점검('19.6월~) 및 적은 강수량으로 인한 오염물질의 유입 감소, 낮은 평균기온(21.3℃~30.5℃→20.2℃~28.9℃) 및 짧은 일조시간(695.2시간 → 631.8시간) 등으로 추정된다.

그 외 과거에 녹조현상이 많이 발생했던 호소로는 영천호, 주암호, 용담호, 한강(팔당댐 하류) 등을 들 수 있는데, 한강(팔당댐 하류)을 제외하고 2011년 이후에는 발령일수가 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 한강(팔당댐 하류)은 2015년 발령일수가 크게 증가하였다. 남조류 세포수는 조사대상 하천 및 호소에 따라 매우 큰 편차를 보이고 있으며 '15년 조사결과 한강하류 성산대교 지점에서 150,500 세포/mL ('15.7.6)로 가장 높은 값을 보였다.

표 1 지점별 발령내역(1998~2004) (단위 : 일)

하천·호소명	구분	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
팔당호	관심	-	-	23	12	20	-	14
	관심	31	-	28	35 (회남)	16 (문의)	<78일> 61 (회남) 78 (추동) 45 (문의)	14 (문의)
대청호	경계	-	-	18	42 (회남)	-	33 (문의)	-
	대발생	-	-	-	7 (회남)	-	-	-
주암호	관심	-	-	-	-	57	76	14
동북호	관심	-	-	-	-	-	-	15
영천호	관심	-	-	-	-	-	-	40

표 1(계속) 지점별 발령내역(2005~2009)

수계	하천·호소명	구분	'05	'06	'07	'08	'09
한강	팔당호	관심	<15일> 9.9~9.23 (15일)	<21일> 10.20~11.9 (21일)	-	<36일> 6.10~6.27 (18일) 7.11~7.28 (18일)	<23일> 6.25~7.17 (23일)

수계	하천·호소명	구분	'05	'06	'07	'08	'09
한강	광고지	관심	-	-	<12일> 9.20~10.1 (12일)	-	-
	한강 (9개 지점)	관심	-	<31일> 강동대교 10.11~11.10 (31일) 잠실~행주대교 11.2~11.10 (9일)	-	<11일> 강동대교 7.15~25 (11일)	-
낙동강	영천호	관심	<86일> 8.11~11.4 (86일)	<81일> 8.10~10.11 (63일) 10.31~11.17 (18일)	<42일> 6.27~7.11 (15일) 10.12~11.7 (27일)	<18일> 9.4~9.10 (7일) 9.30~10.10 (11일)	-
		경계	-	<19일> 10.12~10.30 (19일)	<97일> 6.22~6.26 (5일) 7.12~10.11 (92일)	<19일> 9.11~9.29 (19일)	-
	안계호	관심	<53일> 8.19~10.10 (53일)	<43일> 8.18~9.29 (43일)	-	-	-
	진양호	관심	<17일> 8.10~8.26 (17일)	-	-	<15일> 7.9~7.23 (15일)	<51일> 8.12~10.1 (51일)
	회야호	관심	-	-	-	-	<41일> 5.20~6.29 (41일)
금강	대청호	관심	<67일> 회남 8.2~10.7 (67일) 추동 9.1~9.30 (30일) 문의 9.1~9.30 (30일)	<78일> 회남 8.4~10.4 (62일) 추동 8.18~10.20 (64일) 문의 9.7~10.20 (44일)	<14일> 회남 10.6~10.19 (14일) 추동 10.6~10.19 (14일)	<15일> 회남 7.25~8.8 (15일)	<29일> 회남 8.6~8.20 (15일) 9.8~9.21 (14일)
		경계	-	<15일> 문의 8.4~8.18 (15일)	-	-	<18일> 회남 8.21~9.7 (18일)
	용담호	관심	<80일> 8.9~10.27 (80일)	<39일> 7.28~9.4 (39일)	-	-	-
영산강	주암호	관심	-	-	<19일> 10.1~19 (19일)	-	<41일> 담양 8.21~9.3 (14일) 신평교 8.27~9.30 (35일)
		경계	-	-	-	-	<25일> 담양 9.4~9.28 (25일)

수계	하천·호소명	구분	'05	'06	'07	'08	'09
영산강	탐진호	관심	-	-	-	-	-
	동복호	관심	-	-	<14일> 7.20~8.3 (14일)	-	<41일> 8.21~9.30 (41일)

* 발령일자에 해제일은 포함하지 않음

표 1(계속) 지점별 발령내역(2010~2014)

수계	하천·호소명	구분	'10	'11	'12	'13	'14
한강	팔당호	관심	<42일> 7.16~8.26 (42일)	-	<28일> 담양 8.3~8.23 (21일) 삼봉 7.27~8.23 (28일)	-	<23일> 8.5~8.27 (23일)
	횡성호	관심	-	-	-	<35일> 8.13~9.16 (35일)	-
	광고지	관심	-	-	<35일> 8.8~9.11 (35일)	-	-
	한강 (9개 지점)	관심	-	-	<14일> 강동~잠실대교 8.9~8.22 (14일)	-	<24일> 강동~잠실대교 8.5~8.28 (24일) 잠실~행주대교 8.12~8.28 (17일)
낙동강	영천호	관심	-	<36일> 6.23~7.28 (36일)	-	-	-
	안계호	관심	-	<16일> 7.28~8.12 (16일)	-	-	-
	덕동호	관심	-	<22일> 7.28~8.18 (22일)	-	-	-
	공산지	관심	-	-	-	-	<111일> 6.12~6.26 (15일) 8.7~11.10 (96일)
		경계	-	-	-	-	<7일> 6.5~6.11 (7일)

수계	하천·호소명	구분	'10	'11	'12	'13	'14
낙동강	해평	관심	-	-	-	<13일> 8.28~9.9 (13일)	<28일> 7.29~8.11 (14일) 10.21~11.3 (14일)
		강정·고령	-	-	-	<62일> 7.30~9.9 (42일) 9.21~10.10 (20일)	<36일> 8.5~8.19 (15일) 9.16~10.6 (21일)
	칠서	관심	-	-	-	<38일> 8.23~9.4 (13일) 10.11~11.4 (25일)	<78일> 6.3~6.17 (15일) 8.22~8.28 (7일) 9.16~11.10 (56일)
		경계	-	-	-	<60일> 7.30~8.22 (24일) 9.5~10.10 (36일)	<65일> 6.18~8.21 (65일)
	대청호	관심	<59일> 회남 7.7~7.22 (16일), 9.2~10.14 (43일) 추동 9.2~10.14 (43일) 문의 9.16~10.14 (29일)	<57일> 회남 8.12~10.7 (57일) 추동 8.12~9.9 (29일) 문의 8.12~9.28 (48일)	<84일> 회남 8.9~8.22 (14일), 10.5~10.30 (26일) 추동 9.6~11.6 (62일) 문의 8.29~9.19 (22일), 10.5~10.30 (26일)	<47일> 회남 10.4~11.5 (33일) 추동 7.25~8.7 (14일) 10.4~11.5 (33일)	-
		경계	-	-	<43일> 회남 8.23~10.4 (43일)	-	-
금강	용담호	관심	<20일> 9.24~10.13 (20일)	-	-	-	-
	보령호	관심	<5일> 7.2~7.6 (5일)	-	-	-	-
		경계	<14일> 6.18~7.1 (14일)	-	-	-	-
영산강	주암호	관심	<37일> 신평교 9.9~10.15 (37일)	-	-	-	-

* 발령일자에 해제일은 포함하지 않음

* : 낙동강(해평, 강정·고령, 칠서) 시범운영('13.2 ~ '15.12)

표 1(계속) 지점별 발령내역(2015~2019)

수계	하천·호소명	구분	'15	'16	'17	'18	'19
한강	팔당호	관심	<43일> 댐앞 8.19~9.30 (43일) 부용사앞 8.26~9.15 (21일) 삼봉 8.19~9.8 (21일)	-	-	<22일> 삼봉 8.14~9.4 (22일)	-
	충주호	관심	-	-	-	<13일> 댐앞 10.4~10.16 (13일)	-
	광교지	관심	<28일> 8.26~9.22 (28일)	-	-	<77일> 8.21~11.5 (77일)	<97일> 8.21~11.25 (97일)
	한강 (9개 지점)	관심	<96일> 잠실~동작대교 6.30~7.6 (7일) 강동~잠실대교 7.7~7.30 (24일) 8.18~8.27 (10일) 9.15~10.19 (35일) 잠실~행주대교 8.18~9.1 (15일) 10.14~11.3 (21일)	-	-	-	-
	경계	<78일> 잠실~동작대교 7.7~7.30 (24일) 동작~양화대교 7.3~7.30 (28일) 양화~행주대교 6.30~7.30 (31일) 잠실~행주대교 9.2~10.13 (42일) 강동~잠실대교 8.28~9.14 (18일)	-	-	-	-	
낙동강	영천호	관심	-	-	-	<59일> 7.30~8.28 (30일) 9.12~10.10 (29일)	<13일> 8.29~9.10 (13일)
	안계호	관심	-	<15일> 9.13~9.27 (15일)	-	<40일> 8.8~8.28 (21일) 9.12~9.30 (19일)	-

수계	하천·호소명	구분	'15	'16	'17	'18	'19
낙동강	운문호	관심	-	-	-	<42일> 담양 8.8~9.18 (42일) 취수탑2 8.8~9.18 (42일)	-
	진양호	관심	-	<26일> 8.18~9.12 (26일)	<130일> 판문 7.27~11.1 (98일) 11.16~11.29 (14일) 12.14~12.27 (14일) 내동 8.3~11.1 (91일) 12.14~12.31 (18일)	<48일> 판문 6.28~7.10 (13일) 8.31~9.4 (5일) 10.4~10.16 (13일) 내동 1.1~1.3 (3일) 10.4~10.16 (13일) 11.1~11.14 (14일)	<35일> 판문 9.11~10.1 (21일) 내동 9.11~10.15 (35일)
		경계	-	-	<42일> 판문 11.2~11.15 (14일) 11.30~12.13 (14일) 내동 11.2~12.13 (42일)	<17일> 판문 8.14~8.30 (17일)	-
	공산지	관심	<56일> 7.14~7.27 (14일) 9.1~10.12 (42일)	<62일> 6.14~7.18 (35일) 8.17~9.12 (27일)	-	-	-
		경계	<35일> 7.28~8.31 (35일)	-	-	-	-
	사연호	관심	-	<29일> 취수탑 8.10~8.29 (20일) 반연리 8.10~9.7 (29일)	-	-	-
	해평	관심	<35일> 9.22~10.26 (35일)	-	<28일> 6.21~7.18 (28일)	<28일> 8.8~9.4 (28일)	<34일> 8.8~9.10 (34일)
	강정·고령	관심	<77일> 6.30~7.13 (14일) 9.1~10.19 (49일) 12.8~12.21 (14일)	<69일> 6.8~7.11 (34일) 8.9~9.12 (35일)	<81일> 6.7~6.13 (7일) 7.17~7.25 (9일) 8.9~8.22 (14일) 10.2~11.21 (51일)	<39일> 6.27~7.10 (14일) 7.30~7.31 (2일) 8.20~9.11 (23일)	<84일> 6.27~8.21 (56일) 9.4~10.1 (28일)
경계		-	-	<33일> 6.14~7.16 (33일)	<19일> 8.1~8.19 (19일)	<13일> 8.22~9.3 (13일)	

수계	하천·호소명	구분	'15	'16	'17	'18	'19
낙동강	칠서	관심	<161일> 6.2~7.6 (35일) 7.28~11.9 (105일) 11.24~12.14 (21일)	<81일> 5.31~6.21 (22일) 7.6~7.11 (6일) 8.2~8.22 (21일) 9.9~9.26 (18일) 12.6~12.19 (14일)	<114일> 6.14~7.4 (21일) 8.7~10.24 (79일) 11.29~12.12 (14일)	<28일> 6.14~6.27 (14일) 7.30~7.31 (2일) 8.31~9.11 (12일)	<37일> 6.20~7.17 (28일) 8.5~8.13 (9일)
		경계	<10일> 7.7~7.16 (10일)	<31일> 6.22~7.5 (14일) 8.23~9.8 (17일)	<68일> 7.5~8.6 (33일) 10.25~11.28 (35일)	<43일> 6.28~7.10 (13일) 8.1~8.30 (30일)	<62일> 7.18~8.4 (18일) 8.14~9.26 (44일)
금강	대청호	관심	<54일> 회남 7.29~8.11 (14일) 추동 10.2~11.10 (40일) 문의 10.28~11.10 (14일)	<91일> 회남 8.3~10.5 (64일) 추동 8.3~10.25 (84일) 문의 8.3~11.1 (91일)	<119일> 회남 7.26~8.8 (14일) 9.13~10.17 (35일) 문의 8.9~10.11 (64일) 추동 8.23~11.21 (91일)	<77일> 회남 8.16~9.11 (27일) 9.21~10.23 (33일) 문의 8.8~10.23 (77일) 추동 8.22~10.23 (63일)	<117일> 문의 8.29~9.10 (13일) 회남 9.11~10.22 (42일) 추동 10.2~12.23 (83일)
		경계	-	-	<35일> 회남 8.9~9.12 (35일)	<9일> 회남 9.12~9.20 (9일)	-
	보령호	관심	-	-	<42일> 5.17~6.27 (42일)	-	-

* 발령일자에 해제일은 포함하지 않음

* : 낙동강(해평, 강정·고령, 칠서) 시범운영('13.2 ~ '15.12)

5.1 한강 수계

2011년 12월 팔당호에서는 겨울임에도 불구하고 이례적으로 남조류(*Anabaena*)로 인한 수돗물 냄새 문제가 발생하였는데, 이는 이상고온현상으로 북한강의 수온이 3~4°C가 증가하였고, 청평지역 9~11월 강수량이 평년보다 409 mm 정도 감소하였기 때문에 분석된다.

2015년 6월에는 한강하류 구간에서 조류경보제 운영 이후 처음으로 ‘경계’ 단계가 발령되었다(6.30). 이는 2015년 극심한 가뭄으로 인한 팔당댐 방류량의 감소(전년대비 38%) 및 한강하류구간(잠실~신곡수중보)의 유량 감소(전년대비 46%) 등으로 인해, 한강하류구간에 위치하고 있는 4개(탄천, 중랑, 난지, 서남) 하수처리장 방류수 비중이 약 2배 증가(22→45%)하여 총인의 상대적인 증가가 조류 발생에 영향을 미친 것으로 판단된다.

2016년과 2017년에는 한강 전 구간에서 조류경보가 발령되지 않았다. 2016년에 팔당댐은 남조류 첫 출현(6.7)이 2015년(6.15)에 비하여 빠르게 나타났으나, 7월 집중 강우로 인한 체류시간 감소로 8월 폭염에도 유해 남조류가 크게 증가하지 않았으며, 한강상류 구간은 팔당댐 방류량의 증가로 2015년 대비 남조류 발생이 감소한 것으로 추정된다. 2017년에 팔당댐 남조류 첫 출현(8.7)이 2016년(6.7)에 비하여 느리게 나타났다.

2018년에는 삼봉, 광교지, 충주호에서 ‘관심’ 단계가 발령되었으며, 그 외 구간에서는 경보가 발령되지 않았다. 팔당호(삼봉)와 광교지는 2015년 이후 첫 경보가 발령되었고, 충주호는 조류경보제 운영 이래 첫 조류경보 발령(13일)을 기록했다.

2019년 광교지(97일)를 제외한 전 구간에서 조류경보가 발령되지 않았다. 광교지는 2018년과 동일한 일자에 첫 ‘관심’ 발령(8.21)이 났으며, 발령일수는 2018년 대비 26.0% 증가(77→97일)하였다.

5.2 낙동강 수계

대구시 상수원으로 이용되고 있는 공산댐의 경우 ‘경계’ 단계 발령일수는 2014년 7일, 2015년 35일을 나타냈다.

낙동강 조류경보제 시범운영 지점이었던 낙동강(해평, 구 칠곡)은 2013~2015년까지 ‘경계’ 단계가 발령되지 않았으며, 2015년에는 9월 22일에 최초 ‘관심’ 단계가 발령되어 2014년에 비하여 약 2달 이상 늦게 발령되었다. 낙동강(강정·고령)은 2013년에 ‘경계’ 단계가 11일(9.10~9.20)이 발령되었다. 2014년과 2015년에는 ‘관심’ 단계만 발령되었으며, 2015년은 2014년과 비교하여 약 1달 이상 빠른 2015년 6월 30일에 최초로 발령되었다. 낙동강(칠서, 구 창녕·함안)은 2013년과 2014년 대비 ‘경계’ 단계 발령일수가 감소하였으며, ‘관심’ 단계의 최초 발령일은 2014년(6월3일)과 2015년(6월2일)로 거의 동일하였다.

2016년 낙동강(강정·고령), 낙동강(칠서) 및 공산지는 2015년 대비 조류경보 발령일수가 감소하였으나, 2010~2015년 미발령이었던 안계호·진양호·사연호는 ‘관심’ 단계가 발령되었다. 낙동강(강정·고령)과 낙동강(칠서)은 6월 안동댐 방류량의 감소로 전년 대비 발령시기가 빨라졌으나, 8월 이후 방류량의 증가로 연중 발령일수는 2015년 대비 감소하였으며, 낙동강(칠곡)은 미발령이었다. 공산지 발령일수(‘관심’ 56→62일, ‘경계’ 35→0일)는 2015년 대비 감소하였고, 안계호·진양호·사연호는 30일 이내로 ‘관심’ 단계가 발령되었다

2017년에는 전년 대비 해평(관심 0→28일), 강정·고령(관심 69→81일, 경계 0→33일), 칠서(관심 81→114일, 경계 31→68일), 진양호(관심 26→130일, 경계 0→42일)에서 조류경보 발령일수가 증가하였으며, 그 외 지점에서는 경보가 발령되지 않았다. 공산지의 발령일수(관심 62→0일)는 전년 대비 감소하였다. 낙동강 수계에서 저온 성장이 가능한 *Aphanizomenon*의 증식으로 2015~2017년 동안 연속 ‘겨울녹조’ 현상이 발생하였다.

2018년에는 해평(관심 28→28일), 강정·고령(관심 81→39일, 경계 33→19

일), 칠서(관심 114→28일, 경계 68→43일)은 강수량 증가로 전년 대비 발령일수가 감소하였다. 영천호와 운문호는 2011년 이후, 안계호는 2016년 이후 첫 ‘관심’ 단계가 발령되었다. 진양호(관심 130→48일, 경계 42→17일)는 2017년에 이례적으로 적은 강우량과 긴 체류시간으로 인해 남조류가 많이 발생하였으나, 강우량 증가 등으로 전년대비 발령일수가 감소하였으며, 공산지는 2016년 이후 경보가 발령되지 않았다.

2019년에는 하천 3개 지점(해평, 강정·고령, 칠서)·호소 2개 지점(영천호, 진양호)에서 조류경보가 발령되었다. 해평(관심 28→34일), 강정·고령(관심 39→84일, 경계 19→13일), 칠서(관심 28→37일, 경계 43→62일)은 전년 대비 발령일수가 증가하였으며, 진양호(관심 48→35일, 경계 17→0일)와 영천호(관심 59→13일)는 전년 대비 발령일수가 감소하였다. 그 외 호소는 경보가 발령되지 않았으며, 덕동호는 2011년 이후 경보가 발령되지 않았다.

5.3 금강 수계

금강 수계의 주요 상수원인 대청호는 성층이 형성되는 여름철에 표층에서 남조류가 번성하는 경향을 보이며, 특히 여름철 집중강우 이후 하천(소옥천 등)이 유입되는 전이대(추소리)에서 남조류가 발생하여 호수 중하류로 이동하며 수온이 내려가고 성층이 약화되는 11월에 소강상태를 나타낸다.

1998년 조류경보제 시행이후 2001년에 국내에서 처음으로 ‘조류대발생’(유해 남조류 세포수 1백만 세포/mL 이상) 단계가 발령되는 등 대청호는 상류 하천 유입구간이 구불구불하고 유속이 느려 체류시간이 길어지는 등 녹조발생 조건을 두루 갖춘 특징을 가지고 있다. 이후 ‘경계’는 2006년(15일), 2009년(18일), 2012년(43일)에 발령되었다.

2016년에 대청호는 8월부터 91일간(8.3~11.1) ‘관심’ 단계를 유지하였으며, 2015년 대비 발령일수가 증가하였다(54→91일). 이는 7월초 집중강우(7.1~7,330 mm)시 비점오염물질들이 유입되어 장기간 체류하면서 남조류가 성장하

기에 좋은 조건을 형성하였기 때문인 것으로 추정되며, 대청호는 최근('11~'13, '15년)에도 5~6월에 출현한 남조류가 여름철 집중강우 후 대량증식하여 11월 초까지 발령이 지속되는 경향을 보이고 있다. 보령호는 최근 3년간 미발령을 유지하였다.

2017년 대청호는 7월말 “관심” 발령 이후 119일간(7.26~11.21), 8월초 “경계” 발령 이후 35일간(8.9~9.12) 발령을 유지하였고, 전년 대비 발령일수가 증가(91→119일)하였다. 전년 대비 8월 강우량 및 방류량이 증가하였으나, 7월 집중강우(7월 누적강우량 434.5 mm)가 유입된 것에 비해 방류량이 적어 수체 내 남조류가 성장하기 좋은 비점오염물질이 다량 유입되었을 것으로 추정된다. 대청호는 12월을 제외하고 매달 남조류가 출현한 것으로 나타났고, 1~6월은 *Aphanizomenon*이 우점, 7~11월은 *Microcystis*와 *Oscillatoria*가 우점하는 경향을 보였다. 보령호는 5~6월 “관심” 발령(5.17~6.27)으로 전년 대비 발령일수가 증가(0→42일)하였다.

2018년에 대청호는 전년대비 발령일수가 감소하였다. 대청호의 첫 발령일은 2017년(7.26) 대비 2018년(8.8)에 늦어졌으며, 8월 이후 수온이 상승하기는 했으나 강우량과 방류량의 증가 및 체류시간의 감소 등으로 인해 남조류가 감소한 것으로 추정된다.

2019년 대청호는 전년대비 발령일수가 증가하였는데, 특히 추동(83일, 10.2~12.23)은 만곡부 형태의 정체수역으로 9월 이후 유입된 영양물질의 장기간 체류 등으로 조류 증식 여건이 지속되면서 동절기인 12월에도 조류경보 발령을 유지하였다. 보령호는 2018년에 이어 2019년에도 경보가 발령되지 않았다.

5.4 영산강·섬진강 수계

영산강·섬진강 수계의 주요 상수원인 동북호와 주암호는 타수계의 주요 상수원 호소에 비해 녹조현상이 자주 발생하지 않고 있다.

최근 10년간 주암호의 경우 2009년 ‘경계’(25일)가 발령되었으며, 2007년,

2009년, 2010년에 ‘관심’이 발령된 이래 최근 5년 동안에는 ‘관심’ 이상이 발령되지 않았다. 동북호의 경우에도 2007년(14일), 2009년(41일) ‘관심’이 발령된 이래 녹조현상이 발생하고 있지 않다. 주암호의 조류발생 빈도가 대청호, 팔당호 등 다른 주요 상수원과 비교하여 적은 것은 상류유역의 인구 등 오염원 분포가 상대적으로 적기 때문인 것으로 보인다.

III

조류경보제 운영

1. 운영 체계

1.1 조사 기관

조류경보제 관련 담당기관 및 수행체계도를 (표 2, 3)와 (그림 1)에 나타내었다. 환경부는 국립환경과학원 및 관계기관, 전문가 등의 의견을 수렴하여 매년 조류경보제 대상호소 선정 및 운영계획을 수립하고, 환경부 소속기관인 유역(지방)환경청장 및 시·도지사는 조류경보 발령권자로서 관리대상 하천·호소의 조류경보제 시행 및 관리를 책임지고 있다.

환경부 관리대상 하천·호소의 경우 국립환경과학원의 소속기관인 한강·금강·낙동강·영산강의 4대강 물환경연구소 및 유역(지방)환경청(측정분석과)에서 정기적인 조류의 모니터링과 원수의 납조류 독소 분석을 담당한다. 조류 모니터링 분석결과는 조류경보 발령권자인 유역(지방)환경청과 관련기관으로 보고한다.

시·도지사가 관리하는 하천·호소의 경우 각 지방자치단체는 매년 환경부의 조류경보제 시행계획에 따라 해당기관별로 운영계획을 수립하여 관리하고 조류 모니터링은 시·도 보건환경연구원 또는 수면관리자가 분석하여 그 결과를 발령기관으로 신속하게 보고한다.

수면관리자는 취수구와 조류가 심한 지역에 대한 차단막 설치 등 조류 제거 조치를 실시하고, 취·정수장 관리자는 정수 처리(활성탄 처리, 오존 처리)를 강화한다. 홍수통제소 및 한국수자원공사는 댐, 보 여유량 확인·통보 및 기상상황, 하

천수문 등을 고려한 방류량 산정 등의 조치를 하고 있으며, 한국환경공단은 환경기초시설 및 폐수배출사업장 합동점검 지원, 하천구간 조류 제거 사항 지원, 환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 강화 등의 업무를 담당한다.

표 2 조류경보제 관련 담당기관

구 분	지 점 명 (호소·하천명)	채수위치	주 소	TM좌표	상대위치	관리기관	조사기관	측정결과 입력·보고	분류번호
상수원 구간 (29)	팔당호	(담앞)	경기 남양주시 조안면 능내리 (담앞)	127°17'00.02"/37°31'17.02"	취수구 400m	한강청	한강물연구소	한강물연구소	1017G20
		(부용사앞)	경기 양평군 양서면 신원리 (부용사앞)	127°22'3.48"/37°31'35.14"	취수구 10km				1017G21
		(삼봉)	경기 남양주시 조안면 삼봉리	127°20'28.7"/37°35'39.21"	취수구 13km				1017G22
	의암호	(신연교)	강원 춘천시 신동면 의암리	127°40'33.22"/37°50'15.2"	취수구 13km	원주청	한강물연구소	한강물연구소	1011G50
	충주호	(담앞)	충북 충주시 종민동	127°59'47.39"/37°0'2.52"	취수구 1km	원주청	원주청	원주청	1003G40
		(칭풍교)	충북 제천시 칭풍면 교리	128°10'16.36"/37°0'54.89"	취수구 20km				1003G20
	횡성호	(취수탑)	강원 횡성군 갑천면 대관대리	128°1'49.14"/37°32'43.29"	취수구 앞				
	광교지	(취수탑)	경기 수원시 장안구 하광교동	127°1'44.16"/37°18'13.03"	취수구 앞	경기도	경기도 보건환경연구원	경기도 보건환경연구원	1101G10
	춘천호	(춘천댐 상류)	춘천시 서면 오월리 22	127°40'19.07"/37°58'20.00"	취수구 4km	강원도	강원도 보건환경연구원 (춘천시청)	춘천시청	1010G60
		(용산취수장)	춘천시 신북읍 용산리 산105	127°42'07.01"/37°56'51.05"	취수구 앞				1010G50

구 분	지 점 명 (호소·하천명)	채수위치	주 소	TM좌표	상대위치	관리기관	조사기관	측정결과 입력·보고	분류번호
상수원 구간 (29)	덕동호	(댐앞)	경북 경주시 천군동 (댐앞)	129°18'38.7"/35°50'03.5"	취수구 20m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	2101G31
	영천호	(취수탑)	경북 영천시 자양면 성곡리(댐앞)	129°1'18.2"/36°4'12.69"	취수구 50m	대구청	수자원공사 포항권관리단	대구청	2012G20
	안계호	(취수탑)	경북 경주시 강동면 안계리(취수탑)	129°16'3.88"/36°0'36.79"	취수구 앞				2101G30
	운문호	(댐앞)	경북 청도군 운문면 대천리 (댐앞)	128°55'00.2"/35°43'24.7"	취수구 50m		수자원공사 운문권관리단		2021G20
		(취수탑2)	경북 청도군 운문면 대천리(상류취수탑앞)	128°54'56.0"/35°43'49.7"	취수구 50m				2021G10
	진양호	(관문)	경남 진주시 판문동1071(진주시 취수구앞)	128°01'45.38"/35°09'03.82"	취수구 10m	낙동강청	수자원공사 남강댐관리단	낙동강청	2018G30
		(내동)	경남 진주시 내동면 내평리135 (남강광역 취수구앞)	128°01'12.01"/35°08'57.62"	취수구 20m				2018G20
	공산지	(중양부)	대구광역시 동구 팔공로 510번지(취수탑 인근)	128°39'07.5"/35°56'33.6"	취수구 200m	대구광역시	대구 상수도사업본부	대구 상수도사업본부	2012G55
		(취수탑)	대구광역시 동구 팔공로 510번지(취수탑앞)	128°38'56.47"/35°56'31.40"	취수구 1m				2012G56
	진전지	(상류)	포항시 남구 오천읍 진전리(진전교앞)	129°23'51.53"/35°53'17.39"	취수구 1.5km	경상북도	경북 보건환경연구원	경북 보건환경연구원	2101G70
(하류)		포항시 남구 오천읍 진전리(제방앞)	129°24'14.64"/35°53'59.82"	취수구 앞	2101G71				

구 분	지 점 명 (호소·하천명)	채수위치	주 소	TM좌표	상대위치	관리기관	조사기관	측정결과 입력·보고	분류번호
상수원 구간 (29)	사연호	(취수탑)	울산 울주군 범서면 사연리(댐앞)	129°11'41.97"/35°34'51.20"	취수구 100m	낙동강청	수자원공사 울산권관리단	낙동강청	2201G40
		(반연리)	울산 울주군 언양읍 반연리	129°11'11.38"/35°35'12.08"	취수구 1.5Km				2201G30
	화야호	(취수탑)	울산광역시 울주군 청량면(취수탑)	129°16'54.48"/35°28'21.43"	취수구 앞	낙동강청	울산 상수도사업본부	울산 상수도사업본부	2301G20
		(여수로)	울산광역시 울주군 청량면(여수로)	129°16'24.98"/35°28.18.17"	취수구 640m				2301G10
	대청호	(추동)	대전 동구 용계동 155	127°29'32.45"/36°22'29.52"	취수구 1km	금강청	금강물연구소	금강물연구소	3008G40
		(문의)	충북 청주시 상당구 문의면 문산리 129	127°30'07.11"/36°30'28.83"	취수구 1km				3008G50
		(회남)	충북 보은군 회남면 사음리 127	127°33'08.76"/36°25'54.54"	취수구 14km				3008G30
	보령호	(취수탑)	충남 보령시 미산면 용수리 2-4	126°39'14.80"/36°14'42.13"	취수구 1km				3203G20
	용담호	(댐앞)	전북 진안군 안천면삼락리 산25	127°31'39.53"/35°56'37.20"	취수구 앞	전북청	전북청	전북청	3001G40
		(취수탑)	전북 진안군 용담면수천리 558-1	127°28'52.32"/35°56'12.09"	취수구 앞				3001G20
	주암호	(댐앞)	전남 순천시 주암면 대광리	127°14'26.74"/35°3'23.78"	취수구 300m	영산강청	영산강물연구소	영산강물연구소	4007G70
		(신평교)	전남 순천시 송광면 신평리	127°13'59.11"/35°0'50.37"	취수구 7.5km				4007G40
	탐진호	(댐앞)	전남 장흥군 유치면 대리	126°52'52.1"/34°45'07.9"	취수구 200m	영산강청	영산강물연구소	영산강물연구소	5101G35
		(유치천 합류)	전남 장흥군 유치면 송정리	126°52'11.82"/34°46'02.99"	취수구 4.5km				5101G40

구 분	지 점 명 (호소·하천명)	채수위치	주 소	TM좌표	상대위치	관리기관	조사기관	측정결과 입력·보고	분류번호
상수원 구간 (29)	동북호	(취수탑)	전라남도 화순군 이서면 월산리	127°5'56.1"/35°5'28.2"	취수구 500m	영산강청	광주 상수도사업본부	광주 상수도사업본부	4007G60
		(중류)	전라남도 화순군 이서면 보산리	127°6'34.8"/35°6'23.5"	취수구 2.5km				4007G50
	옥정호	(철보취수구)	전북 정읍시 칠보면 시산리 430-2	126°59'46.05"/35°35'58.18"	취수구 앞	전북청	전북청	전북청	4002G10
	한강 (강동대교~ 잠실대교)	(미사대교)	경기도 하남시 선동 410	127°11'39.6"/37°35'14.7"	대교 인근	서울시	서울물연구원	서울물연구원	1018G01
		(강동대교)	경기도 구리시 토평동 954	127°09'42.0"/37°34'41.0"	대교 인근				1018G02
		(광진교)	서울특별시 강동구 천호동 527-2	127°06'47.3"/37°32'41.9"	대교 인근				1018G05
		(잠실철교)	서울특별시 송파구 신천동 254	127°05'56.2"/37°31'44.8"	대교 인근				1018G04
	한강 (이천)	-	경기 여주시 여주읍 단현리	127°41'12.9"/37°16'21.1"	취수구 500m (보상류 400m)	한강청	한강물연구소	한강물연구소	1007G20
	낙동강 (해평)	-	경북 구미시 해평면(송선대교)	128°21'54.76"/36°11'41.65"	취수구 2km (보상류 22km)	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	2011G26
	낙동강 (강정·고령)	-	대구광역시 달성군 하빈면	128°23'06"/35°51'58"	취수구 2km (보상류 7km)				2011G56
	낙동강 (칠서)	-	경남 창원군 남지읍	128°26'56"/35°23'07"	취수구 4km (보상류 12km)	낙동강청			2020G33
	낙동강 (물금·매리)	-	경남 김해시 상동면 감노리	128°56'0.47"/35°20'53.77"	취수구 3km	낙동강청	부산상수도사업소	부산상수도사업소	2022G05

구 분	지 점 명 (호소·하천명)	채수위치	주 소	TM좌표	상대위치	관리기관	조사기관	측정결과 입력·보고	분류번호
천수활동 구간 (1)	한강 (잠실대교 ~ 행주대교)	(성수대교)	서울 성동구 옥수동 484	127°2'3.11"/37°32'13.65"	대교 인근	서울시	서울시 보건환경연구원	서울시 보건환경연구원	1018G06
		(한남대교)	서울 강남구 신사동 490	127°00'36.38"/37°31'34.33"	대교 인근				1018G07
		(한강대교)	서울 용산구 이촌동 327	126°57'27.68"/37°30'57.00"	대교 인근				1018G08
		(마포대교)	서울 영등포구 여의도동 85-2	126°55'59.56"/37°31'58.83"	대교 인근				1018G09
		(성산대교)	서울 영등포구 양화동178	126°53'31.66"/37°33'05.35"	대교 인근				1018G10

※ 조류경보 발령은 '하천·호소명'을 대상으로 한다.

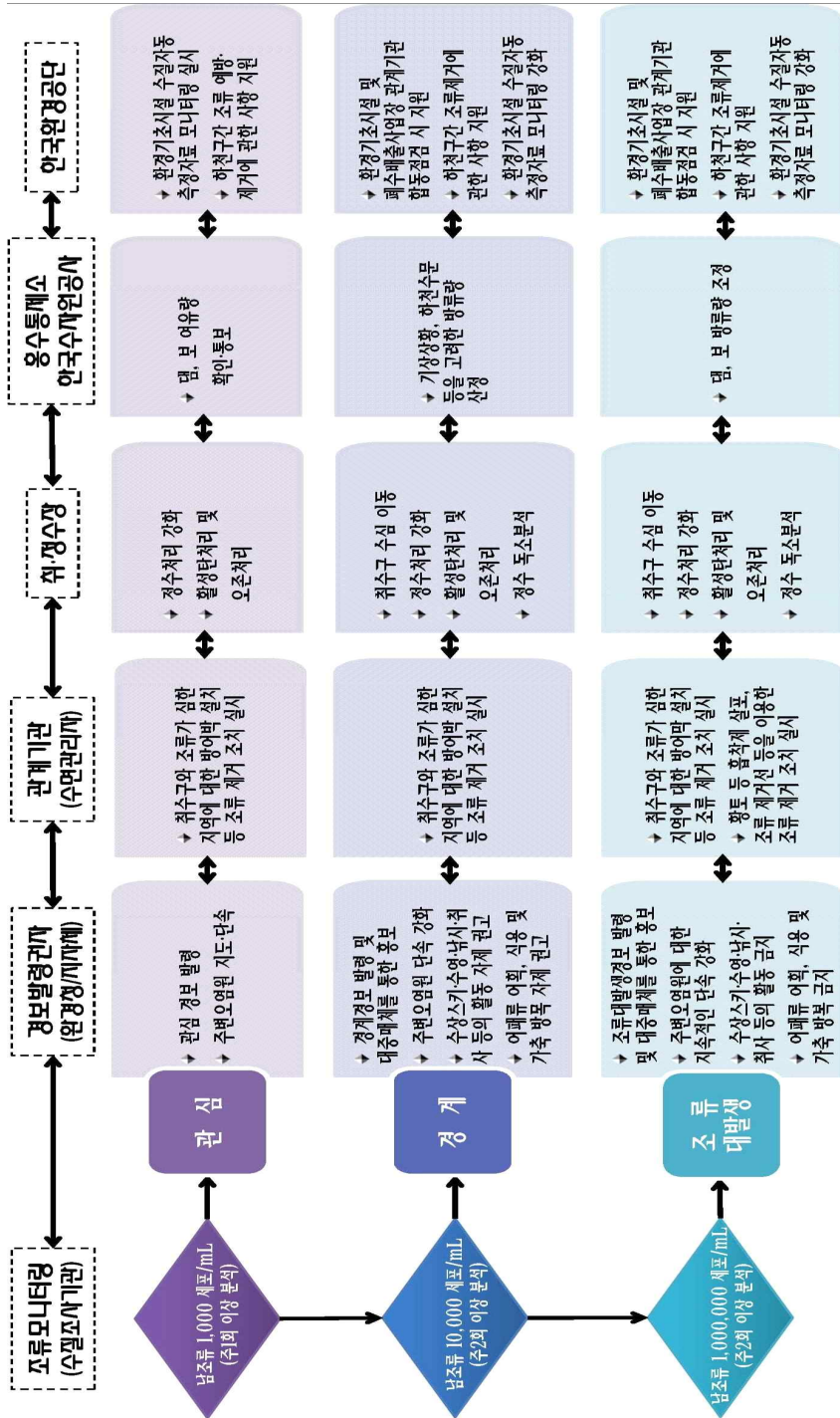
※ 지점명 변경 : ① 한강(강천) → 한강(이천), ② 낙동강(칠곡) → 낙동강(해평), ③ 낙동강(창녕·함안) → 낙동강(칠서)

※ 낙동강(물금·매리) 지점은 신규 추가(20.5~21.4 시범운영)

표 3 조류관찰지점 관련 담당기관

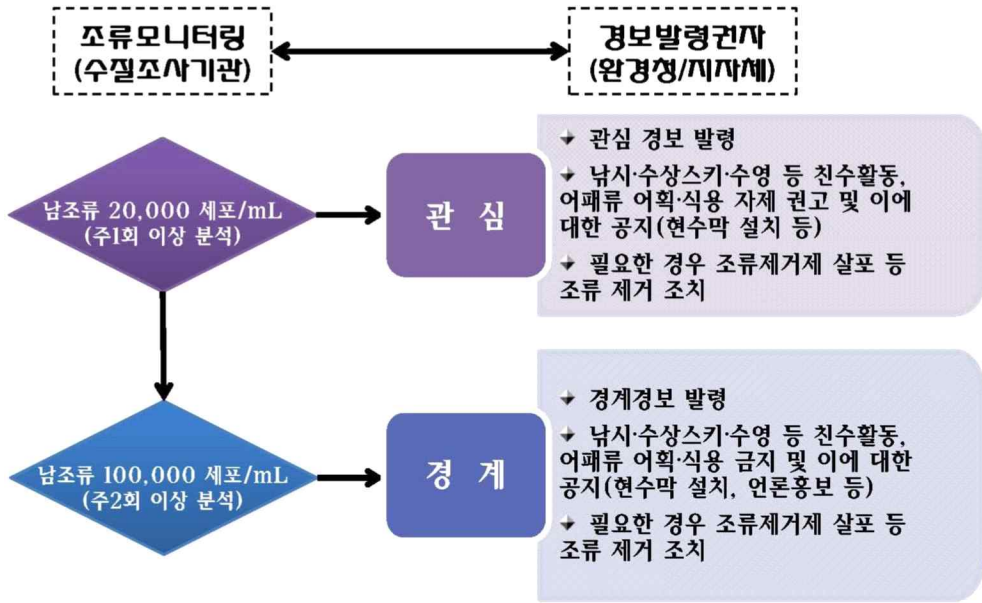
구분	지점명 (호수·하천명)	주소	TM좌표	상대위치	관리 기관	조사기관	측정결과 입력·보고	수질측정망 인근 지점명	취수장명	수심 (m)	인근 조류경보제 지점명	분류 번호	
보구간 (16)	한강	강천보	경기도 여주시 단현동 (강천보상류400m)	127°41'8"/37°16'25"	보 상류 400m	한강청	한강물연구소	한강물연구소	강천	-	-	1007A20	
		여주보	경기도 여주시 대신면 (여주보상류500m)	127°36'47.7"/37°19'20.8"	보 상류 500m				대신	-	-	1007A27	
		이포보	경기도 여주시 대신면 천서리 (이포대교,이포보상류300m)	127°32'21.9/37°23'57.3"	보 상류 300m				이포 (한강E)	-	-	1007A60	
	낙동강	상주보	경상북도 상주시 도남동(상주보상류500m)	128°15'13.7"/36°26'04.29"	보 상류 500m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	도남	-	-	2007A25	
		낙단보	경상북도 상주시 낙동면 낙단리(낙단보상류500m)	128°18'28.48"/36°21'40.27"	보 상류 500m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	낙단	-	-	2009A05	
		구미보	경상북도 구미시 선산읍 독동리(구미보상류500m)	128°20'38.11"/36°14'19.75"	보 상류 500m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	선산	-	-	2009A30	
		철곡보	경상북도 철곡군 석적읍 중지리(철곡보상류500m)	128°23'52.16"/36°01'06.80"	보 상류 500m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	철곡	-	-	2011A25	
		강정고령보	대구광역시 달성군 다사읍 죽곡리(강정고령보상류500m)	128°27'24.97"/35°50'33.83"	보 상류 500m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	다사	-	-	2011A55	
		달성보	대구광역시 달성군 논공읍 하리(달성보상류500m)	128°24'50.48"/35°44'08.90"	보 상류 500m	대구청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	논공	-	-	2014A25	
		합천창녕보	경상남도 합천군 덕곡면 울지리(합천창녕보상류500m)	128°21'19.80"/35°35'36.12"	보 상류 500m	낙동강청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	덕곡	-	-	2014A70	
		창녕함안보	경상남도 함안군 칠북면 이령리(창녕함안보상류300m)	128°32'55.62"/35°22'50.27"	보 상류 300m	낙동강청	낙동강물연구소	낙동강물연구소	함안	-	-	2020A32	
		금강	세종보	세종특별자치시 연기면 나성리 (금남교)(세종보상류1.1Km)	127°16'14.3"/36°28'41.8"	보 상류 1100m	금강청	금강물연구소	금강물연구소	연기 (금본너,남면)	-	-	-
	공주보		충청남도 공주시 우성면 평목리(공주보상류500m)	127°06'02.6"/36°27'55.3"	보 상류 500m	금강청	금강물연구소	금강물연구소	금강	-	-	-	3012A32
	백제보		충청남도 부여군 부여읍 자왕리(백제보상류500m)	126°56'38.1"/36°19'17.2"	보 상류 500m	금강청	금강물연구소	금강물연구소	부여 (부여)	-	-	-	3012A42
	영산강	승촌보	전라남도 나주시 노안면 학산리(승촌교)(승촌보상류1km)	126°46'34.09"/35°04'13.90"	보 상류 1000m	영산강청	영산강물연구소	영산강물연구소	광산 (영본B)	-	-	-	5004A10
죽산보		전라남도 나주시 다시면 죽산리(죽산교)(죽산보상류800m)	126°37'58.00"/34°58'36.03"	보 상류 800m	영산강청	영산강물연구소	영산강물연구소	죽산 (나주)	-	-	-	5004A35	

그림 1 조류경보제(상수원 구간) 수행체계도



※ 발령: 2회 연속 남조류 세포수 기준 초과시
 ※ 해제: 2회 연속 남조류 세포수 1,000 세포/mL 미만인 경우

그림 1(계속) 조류경보제(친수활동 구간) 수행체계도



※ **발령:** 2회 연속 남조류 세포수 기준 초과시
 ※ **해제:** 2회 연속 남조류 세포수 20,000 세포/mL 미만인 경우

1.2 조사 지점

우리나라는 1998년 팔당·대청·충주·주암호를 대상으로 최초로 조류경보제를 시행한 이후 2003년 6개 호소로, 2006년에는 16개 호소로, 2008년에는 20개 호소로 점진적으로 확대해 왔다. 2015년에 22개 호소를 대상으로 운영하였으며, 2016년부터는 전국 28개 하천·호소로 대상 지점을 확대하였다. 2020년에는 낙동강(물금·매리) 지점을 추가하여 전국 29개 하천호소를 대상으로 운영하고 있다(표 4). 또한, 4대강 16개 보 지점을 경보제에 편입시켜 2020년 5월부터 조류경보 ‘관찰지점(“조류 경보 발령 미실시”)’으로 분류하여 운영하고 있다(표 5).

표 4 조류경보제 운영지점

순 번	시행 년도	하천·호소명 (지점수)	대표 조사 지점	관리기관
1	'98	팔당호(3)	댐앞, 부용사앞, 삼봉	한 강 청
2		대청호(3)	추동, 문의, 회남	금 강 청
3		충주호(2)	댐앞, 청풍교	원 주 청
4		주암호(2)	댐앞, 신평교	영산강청
5	'99	운문호(2)	댐앞, 취수탑2	대 구 청
6	'03	용담호(2)	댐앞, 취수탑	전 북 청
7	'04	동북호(2)	취수탑, 중류	영산강청
8		영천호(1)	취수탑	대 구 청
9	'05	진양호(2)	판문, 내동	낙동강청
10		안계호(1)	취수탑	대 구 청
11	'06	공산지(2)	중앙부, 취수탑	대구광역시
12		광교지(1)	취수탑	경기도청
13		춘천호(2)	춘천댐 상류, 용산취수장	강원도청
14		옥정호(1)	철보취수구	전 북 청
15	'06	진전지(2)	상류, 하류	경상북도청
16		한강(4) (강동대교~잠실대교)	미사대교, 강동대교, 광진교, 잠실철교	서울시청
17	한강(5)* (잠실대교~행주대교)	성수대교, 한남대교, 한강대교, 마포대교, 성산대교		
18	'07	사연호(2)	취수탑, 반연리	낙동강청
19	'08	회야호(2)	취수탑, 여수로	낙동강청
20		덕동호(1)	댐앞	대 구 청
21		탐진호(2)	댐앞, 유치천 합류	영산강청
22	'09	보령호(1)	취수탑	금 강 청
23		횡성호(1)	취수탑	원 주 청
24	'16	낙동강(3) (시범 '13~'15)	해평(구 칠곡)	대 구 청
25			강정·고령	대 구 청
26			철서(구 창녕·함안)	낙동강청
27		한강(1)	이천(구 강천)	한 강 청
28		의암호(1)	신연교	원 주 청
29	'20	낙동강(1)	물금·매리	낙동강청

* 2016년부터 친수활동 구간 운영

표 5 조류관찰지점 운영지점

순 번	시행 년도	수계명 (지점수)	대표 조사 지점	관리기관
1	'20	한강(3)	강천보, 여주보, 이포보	한 강 청
2		낙동강(3)	상주보, 낙단보, 구미보, 칠곡보, 강정고령보, 달성보	대 구 청
			합천창녕보, 창녕함안보	낙동강청
3		금강(3)	세종보, 공주보, 백제보	금 강 청
4	영산강(2)	승촌보, 죽산보	영산강청	

1.3 발령 기준

1.3.1 기준항목 : 남조류¹⁾ 세포수

※ 남조류 세포수는 마이크로시스티스(*Microcystis*), 아나베나(*Anabaena*), 아파니조메논(*Aphanizomenon*), 오실라토리아(*Oscillatoria*) 속(屬) 세포수의 합을 말한다.

1.3.2 단계별 발령기준

2회 연속 측정하여 남조류 세포수가 아래 단계별 기준에 해당될 때 발령하고, 2회 연속채취 시 남조류 세포수가 1,000 세포/mL미만인 경우 해제한다. 구간별(상수원·친수활동 구간) 조류발령 기준(표 6)과 조류경보 발령 및 대응체계(그림 2)는 아래와 같다.

표 6 단계별 조류경보 발령기준

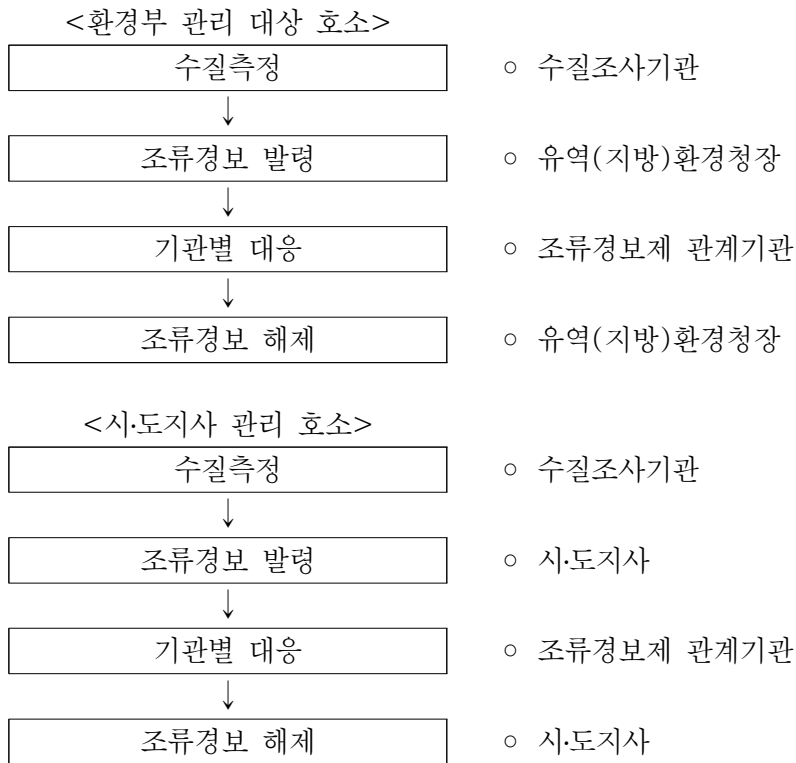
경보단계		발령·해제 기준
상수원 구간	관심	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 1,000 세포/mL 이상 10,000 세포/mL 미만인 경우
	경계	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 10,000 세포/mL 이상 1,000,000 세포/mL 미만인 경우
	조류 대발생	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 1,000,000 세포/mL 이상인 경우
	해제	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 1,000 세포/mL 미만인 경우
친수활동 구간	관심	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 20,000 세포/mL 이상 100,000 세포/mL 미만인 경우
	경계	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 100,000 세포/mL 이상인 경우
	해제	2회 연속 채취 시 남조류 세포수가 20,000 세포/mL 미만인 경우

비고: 1) 발령주체는 위 표의 발령·해제 기준에 도달하는 경우에도 강우 예보 등 기상상황을 고려하여 조류경보를 발령·해제하지 않을 수 있다.

1) 남조류는 하절기 주로 부영양화된 수역에서 많이 발생되며 독성물질(마이크로시스틴 등)을 생산하는 종이 다수 포함되어 있다. 따라서 유해 남조류가 생산하는 독성 물질이 상수원수에 포함될 경우 미칠 수 있는 건강 위해성을 사전에 방지하기 위함이다.

- 2) 남조류 세포수는 마이크로시스티스(*Microcystis*), 아나베나(*Anabaena*), 아파니조메논(*Aphanizomenon*), 오실라토리아(*Oscillatoria*) 속(屬) 세포수의 합을 말한다.
- 3) 조류경보 발령은 지점명(하천·호소명)을 대상으로 하며, 발령일자에 해제일은 포함하지 않는다.

그림 2 조류경보 발령 및 대응체계



1.4 경보단계별 조치사항

조류 모니터링은 연중 실시하며 경보발령이 없는 평상시에는 모니터링을 주 1회 실시하여 남조류 출현여부를 감시한다.

이후 남조류 세포가 증식하여 구간별(상수원·친수활동 구간)로 '경계' 단계 이

상 발령되면 모니터링을 주 2회 이상으로 강화하고 각 단계에 따른 적절한 조치를 신속히 취하여야 한다.

1.4.1 상수원 구간

1.4.1.1 관심 단계

평상시 조류 모니터링 중 연속하여 2번 이상 ‘관심’ 단계 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 조류 ‘관심’ 단계를 발령하고 주변 오염원 단속을 강화한다.

‘관심’ 단계가 발령되면 각 조사기관은 조류모니터링을 주 1회 이상 실시하고, 수면관리자와 취·정수장 관리자 등은 단계별 조치사항에 따라 신속하게 대응하여야 한다. 홍수통제소와 한국수자원공사는 댐, 보 여유 수량을 확인·통보하고, 한국환경공단은 수질자동 측정자료 모니터링을 실시하고, 하천구간 조류예방·제거 등을 지원한다(표 7).

표 7 상수원 구간 조류 ‘관심’ 단계 발령에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
관심	4대강(한강, 낙동강, 금강, 영산강을 말한다. 이하 같다) 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	1) 주 1회 이상 시료 채취 및 분석(납·조류 세포수, 클로로필 <i>a</i>) 2) 시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	수면관리자 (수면관리자)	취수구와 조류가 심한 지역에 대한 차단막 설치 등 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리)
	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	1) 관심경보 발령 2) 주변오염원에 대한 지도·단속
	홍수통제소장, 한국수자원공사사장 (홍수통제소장, 한국수자원공사사장)	댐, 보 여유량 확인·통보
	한국환경공단이사장 (한국환경공단이사장)	1) 환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 실시 2) 하천구간 조류 예방·제거에 관한 사항 지원

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

1.4.1.2 경계 단계

평상시 조류모니터링 또는 ‘관심’ 발령 중 연속하여 2번 이상 조류 ‘경계’ 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 신속히 조류 ‘경계’ 단계를 발령하고 발령 상황을 대중매체를 통해 알려야 한다. 또한 유역(지방)환경청장과 시·도지사는 주변 오염원 단속을 강화하는 한편 위락행위(수영, 수상레저활동, 낚시 및 취사 등) 및 어패류 어획과 가축방목 등의 자제를 권고하고, 이에 대한 공지(현수막 설치 등)를 한다.

각 조사기관은 주 2회 이상으로 조류 모니터링을 강화하고 남조류 독소분석을 실시한다. 수면관리자와 취·정수장 관리자는 취수구에 대한 조류 유입 방지를 위한 활동과 활성탄처리 등 정수처리를 강화한다. 홍수통제소와 한국수자원공사는 기상상황, 하천수문 등을 고려한 방류량을 산정하고, 한국환경공단은 환경기초 시설 및 폐수배출사업장 합동 점검 및 하천구간 조류 제거 등에 관한 업무를 지원하고, 수질자동 측정자료 모니터링을 강화한다(표 8).

표 8 상수원 구간 조류 ‘경계’ 단계 발령에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
경계	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	1) 주 2회 이상 시료 채취분석(남조류 세포수, 클로로필 <i>a</i> , 냄새물질, 독소) 2) 시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	수면관리자 (수면관리자)	취수구와 조류가 심한 지역에 대한 차단막 설치 등 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	1) 조류증식 수심 이하로 취수구 이동 2) 정수처리 강화(활성탄처리, 오존처리) 3) 정수의 독소분석 실시

단계	관계 기관	조치사항
경계	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	1) 경계경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 2) 주변오염원에 대한 단속 강화 3) 낚시·수상스키·수영 등 친수활동, 어패류 어획·식용, 가축 방목 등의 자제 권고 및 이에 대한 공지(현수막 설치 등)
	홍수통제소장, 한국수자원공사사장 (홍수통제소장, 한국수자원공사사장)	기상상황, 하천수문 등을 고려한 방류량 산정
	한국환경공단이사장 (한국환경공단이사장)	1) 환경기초시설 및 폐수배출사업장 관계기관 합동 점검 시 지원 2) 하천구간 조류 제거에 관한 사항 지원 3) 환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 강화

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

1.4.1.3 조류대발생 단계

상수원 구간에서 평상시 조류모니터링, 조류 ‘관심’ 발령 중 또는 조류 ‘경계’ 발령 중 연속하여 2번 이상 ‘조류대발생’ 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 신속히 ‘조류대발생’ 단계를 발령하고 경보발령 상황을 대중매체를 통해 알려야 한다. 또한 유역(지방)환경청장과 시·도지사는 주변 오염원 단속을 보다 강화하는 한편 위락행위(수영, 수상레저활동, 낚시 및 취사 등) 및 어패류 어획과 가축 방목 등의 행위를 금지 및 이에 대한 공지(현수막 설치 등)를 한다.

각 조사기관은 주 2회 이상으로 조류 모니터링을 강화하고 남조류 독소분석을 실시한다. 수면관리자와 취·정수장 관리자는 취수구에 대한 조류유입 방지를 위한 활동과 활성탄처리 등 정수처리를 더욱 강화한다. 홍수통제소와 한국수자원 공사는 댐, 보 방류량을 조정하고, 한국환경공단은 환경기초시설 및 폐수배출사업장 합동 점검 및 하천구간 조류 제거 등에 관한 업무를 지원하고 수질자동 측정자료 모니터링을 강화한다(표 9).

표 9 상수원 구간 ‘조류대발생’ 발령에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
조류 대발생	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면 관리자)	1) 주 2회 이상 시료 채취분석(남조류 세포수, 클로 로필 <i>a</i> , 냄새물질, 독소) 2) 시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	수면관리자 (수면관리자)	1) 취수구와 조류가 심한 지역에 대한 차단막 설치 등 조류 제거 조치 실시 2) 황토 등 조류제거물질 살포, 조류 제거선 등을 이용한 조류 제거 조치 실시
	취수장·정수장 관리자 (취수장·정수장 관리자)	1) 조류증식 수심 이하로 취수구 이동 2) 정수 처리 강화(활성탄 처리, 오존 처리) 3) 정수의 독소분석 실시
	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	1) 조류대발생 경보 발령 및 대중매체를 통한 홍보 2) 주변오염원에 대한 지속적인 단속 강화 3) 낚시·수상스키·수영 등 친수활동, 어패류 어획 · 식용, 가축 방목 등의 금지 및 이에 대한 공지 (현수막 설치 등)
	홍수통제소장, 한국수자원공사사장 (홍수통제소장, 한국수자원공사사장)	댐, 보 방류량 조정
	한국환경공단이사장 (한국환경공단이사장)	1) 환경기초시설 및 폐수배출사업장 관계기관 합동 점검 시 지원 2) 하천구간 조류 제거에 관한 사항 지원 3) 환경기초시설 수질자동측정자료 모니터링 강화

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

1.4.1.4 경보 해제

조류 ‘관심’, ‘경계’ 및 ‘조류대발생’ 발령 중 2번 이상 연속하여 하위단계 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 그 기준에 맞는 조류경보(관심, 경계, 해제)를 발령한다.

4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 및 유역·지방 환경청장(시·도지사)은 각 단계별 조치사항을 수행한다(표 10).

표 10 상수원 구간 조류경보 해제에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
해제	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수 면관리자)	시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	각종 경보 해제 및 대중매체 등을 통한 홍보

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

1.4.2 친수활동 구간

1.4.2.1 관심 단계

평상시 조류모니터링 중 연속하여 2번 이상 ‘관심’ 단계 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 조류 ‘관심’ 단계를 발령하고 주변 오염원 단속을 강화한다.

‘관심’ 단계가 발령되면 각 조사기관은 조류모니터링을 주 1회 이상 실시하고, 수면관리자와 취·정수장 관리자 등은 단계별 조치사항에 따라 신속하게 대응하여야 한다(표 11).

표 11 친수활동 구간 조류 ‘관심’ 단계 발령에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
관심	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수 면관리자)	1) 주 1회 이상 조류발생 상황 분석(남조류 세포수, 클로로필 <i>a</i> , 냄새물질, 독소) 2) 시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	1) 관심경보 발령 2) 낚시수상스키·수영 등 친수활동, 어패류 어획·식용 등의 자제 권고 및 이에 대한 공지(현수막 설치 등) 3) 필요한 경우 조류제거물질 살포 등 조류 제거 조치

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

1.4.2.2 경계 단계

평상시 조류모니터링 또는 ‘관심’ 발령 중 연속하여 2번 이상 조류 ‘경계’ 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 신속히 조류 ‘경계’ 단계를 발령하고, 낚시·수상스키·수영 등 친수활동, 어패류 어획·식용 등의 금지 및 현수막 설치 등을 통해 이에 대한 공지를 실시한다. 필요한 경우 조류제거물질 살포 등의 조치를 통해 조류를 제거한다.

각 조사기관은 주 2회 이상으로 조류모니터링을 강화하고 남조류 독소분석을 실시한다(표 12).

표 12 친수활동 구간 조류 ‘경계’ 단계 발령에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
경계	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자)	1) 주 2회 이상 조류발생 상황 분석(남조류 세포수, 클로로필 a, 냄새물질, 독소) 2) 시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	1) 경계경보 발령 2) 낚시·수상스키·수영 등 친수활동, 어패류 어획·식용 등의 금지 및 이에 대한 공지(현수막 설치 등) 3) 필요한 경우 조류제거물질 살포 등 조류 제거 조치

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

1.4.2.3 경보 해제

조류 관심, 경계 발령 중 연속하여 2번 이상 하위단계 기준에 해당되면 조류경보 발령권자는 그 기준에 맞는 조류경보(관심, 해제)를 발령한다.

4대강 물환경연구소장(시·도 보건환경연구원장 또는 수면관리자) 및 유역·지방 환경청장(시·도지사)은 각 단계별 조치사항을 수행한다(표 13).

표 13 친수활동 구간 조류경보 해제에 따른 조치사항

단계	관계 기관	조치사항
해제	4대강 물환경연구소장 (시·도 보건환경연구원장 또는 수 면관리자)	시험분석 결과를 발령기관으로 신속하게 통보
	유역·지방 환경청장 (시·도지사)	각종 경보 해제 및 대중매체 등을 통한 홍보

*관계 기관란의 괄호는 시·도지사가 조류경보를 발령하는 경우의 관계기관을 말한다.

2. 시료 채취

2.1 고려 사항

남조류는 상황에 따라 불규칙한 분포를 나타내므로 일관성 있는 결과의 도출과 해석을 위해서는 통일된 방법에 의한 시료채취가 필요하다. 남조류 시료채취 시 고려해야할 사항은 다음과 같다.

- 1) 시료채취자는 채취방법에 대한 사전 교육을 받는다.
- 2) 가능한 한 동일한 시간에 동일한 사람이 채취하고 현장상황을 알 수 있도록 수질 관찰·조사 기록부를 작성한다.
- 3) 가능하면 보트를 이용하여 채취하며 강풍, 강우 등 기상조건이 좋지 않은 날은 피한다.
- 4) 육안 관찰을 통해 남조류 발생상황을 파악한다.
- 5) 시료채취 시 장갑을 착용하여 스킴에 직접 접촉하지 않도록 하며 시료채취 후에도 개인위생을 철저히 한다.

2.2 채수위치 선정

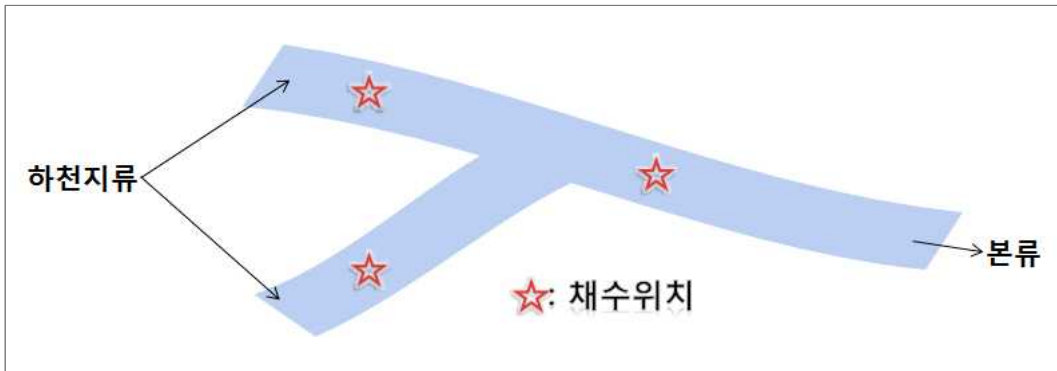
2.2.1 호소

시료 채수위치는 대상 호소의 수심과 만입부(정체지역) 등 구조적 특성, 취수구 또는 댐의 위치, 영양물질의 유입지점, 사람이나 가축의 접촉이 많은 지역(위락시설 등), 바람의 방향(상시풍이 부는 경우 등) 및 물의 흐름방향 등을 고려하여 다음과 같은 지점 중에서 선정한다.

- 1) 상수원수 취수구 주변은 반드시 포함한다.
- 2) 호소의 구조 등 특성을 파악하여 대표성이 있는 지점을 선정한다(정체 또는 유속이 빠른 곳은 피한다).
- 3) 바람의 방향이나 물의 흐름방향으로 보아 남조류가 몰리는 곳은 피한다.
- 4) 영양물질이 유입되는 지점은 남조류 발생이 시작되어 확산될 수 있으므로 참고지점으로 선정할 수 있다.
- 5) 사람 또는 가축이 많이 접하는 위락지역 등은 필요에 따라 선택적으로 모니터링지점으로 포함할 수 있다.
- 6) 가능하면 부표를 설치하거나 GPS를 이용하여 동일한 지점에서 시료가 채취되도록 한다.

2.2.2 하천

하천수의 오염 및 용수의 목적에 따라 채수위치를 선정하며 하천 분류와 지류가 합류하는 경우에는 아래 그림과 같이 합류이전의 각 지점과 합류이후 충분히 혼합된 지점에서 각각 채수한다.



2.3 조사 시기 및 주기

조사 시기는 조류경보제 시행계획에 준하고 경보발령기관과 협의하여 정하며, 주 1회 조사하는 경우 시료를 채취하기에 적당하지 않다고 판단될 때(강풍, 강우, 결빙기 등)를 제외하고는 매주 동일한 요일에 채취하는 것을 원칙으로 한다.

주 2회 시료를 채취하는 경우에는 일주일 중 채취일의 간격이 일정하게 되도록 하고 특별한 사유가 없는 한 같은 요일에 시료를 채취한다.

남조류는 일주기로 수직이동을 하므로 채수 시간을 일정하게 한다.²⁾

2.4 준비물

- ① 반돈(Van Dorn) 채수기
- ② 보호장갑
- ③ 아이스박스

2) 남조류는 낮에 광합성을 통해 조체 내에 영양물질을 저장하여 무게가 늘어나면서 점차 하강하다가 밤에 저장된 영양물질을 소모하여 아침에 다시 수표면으로 부상하는 수직이동을 한다. 이로 인해 시간별 수직분포가 달라지기 때문에 채수 시간과 수심을 모두 고려해야 한다.

- ④ 수질 관찰·조사 기록부
- ⑤ 현장수질 측정기(pH, DO, 수온, 전기전도도 등)
- ⑥ 포르말린용액 또는 루골용액(Lugol's 용액)
- ⑦ 피펫
- ⑧ 시료통
- ⑨ 플라스틱 비이커 등

2.5 시료채취 방법

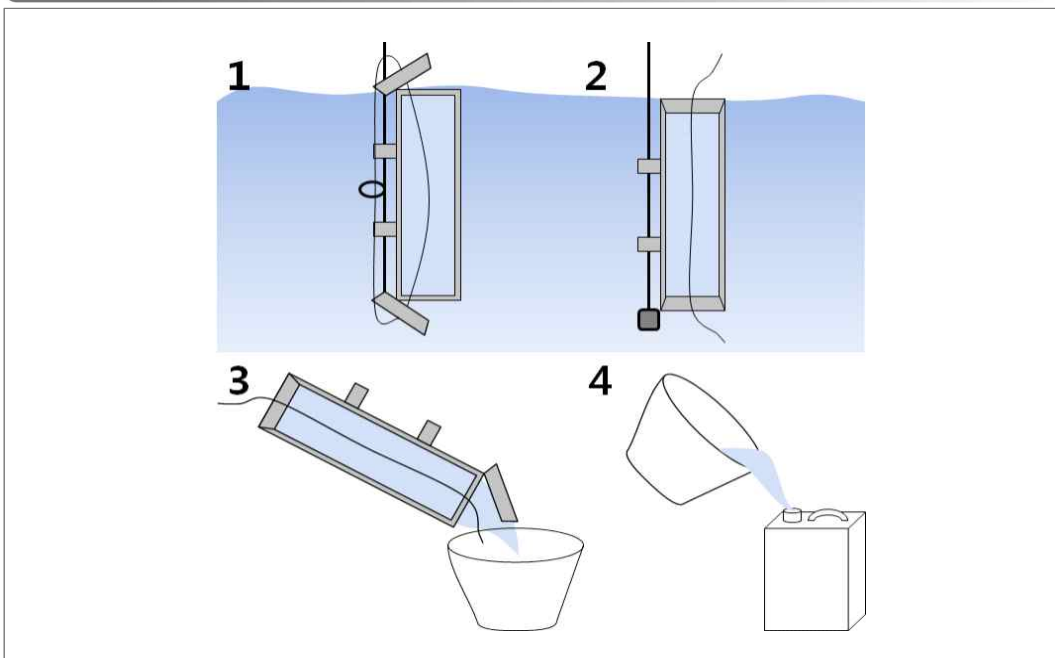
시료는 조류 동정을 위한 조류분석용, 클로로필 *a* 등 수질측정용, 남조류 독성 물질(마이크로시스틴) 및 냄새물질 분석용으로 구분되나, 시료 채취방법은 동일하다.

시료는 보트를 이용하여 채취하는 것을 원칙으로 하고, 다음 사항을 주의하여 채취한다.

- 1) 보트 주변의 물이 안정된 후 시료를 채취하고(뱃머리를 상류 또는 바람이 부는 쪽으로 향하게 하고 보트의 앞에서 채취), 가장자리에서 채취하는 것을 피하고 가능하면 하천과 호소의 안쪽에서 시료를 채취한다.
 ※ 시료를 채취하는 경우에는 남조류가 피부에 직접 닿지 않도록 고무장갑 등을 착용하고 남조류 스킴 등이 얼굴이나 옷에 튀지 않도록 한다.
- 2) 보트의 뱃머리 쪽에서 그림 3과 같이 반돈 채수기를 이용하여 해당 수심에서 채수하고, 상층수는 항상 상부가 수표면을 포함하도록 살며시 수직으로 집어넣은 후 마개를 닫는다.
- 3) 채수기를 천천히 끌어 올린 후 채수기의 한쪽 마개를 열고 플라스틱 큰 비이커로 옮긴 후 잘 섞는다.

- 4) 큰 비이커의 시료를 시료통의 윗부분에 약 25 mm 정도 공간이 생기도록 따르고 마개를 닫는다.
- 5) 시료통에 시료명 등을 기입하고 수질 관찰·조사 기록부를 작성한 후 아이스 박스에 보관한다.
- 6) 조류 세포수 정량용 고정시료는 100 mL 플라스틱 시료통에 큰 비이커로부터 시료를 따른 후 현장에서 수질오염공정시험방법 ES 04705. 1b 식물플랑크톤(조류)에 명시된 시료의 보존 방법과 같이 포르말린용액을 3~5 % 첨가하거나 루골용액을 1~2 %되게 첨가하여 고정한다.
- 7) 표층에 육안으로 현저한 수준의 조류가 분포할 때에는 평균 수질자료를 얻을 수 있도록 채수지점을 증가할 수 있다.

그림 3 반돈(Van Dorn) 채수기를 이용한 시료채취 방법(상층수)



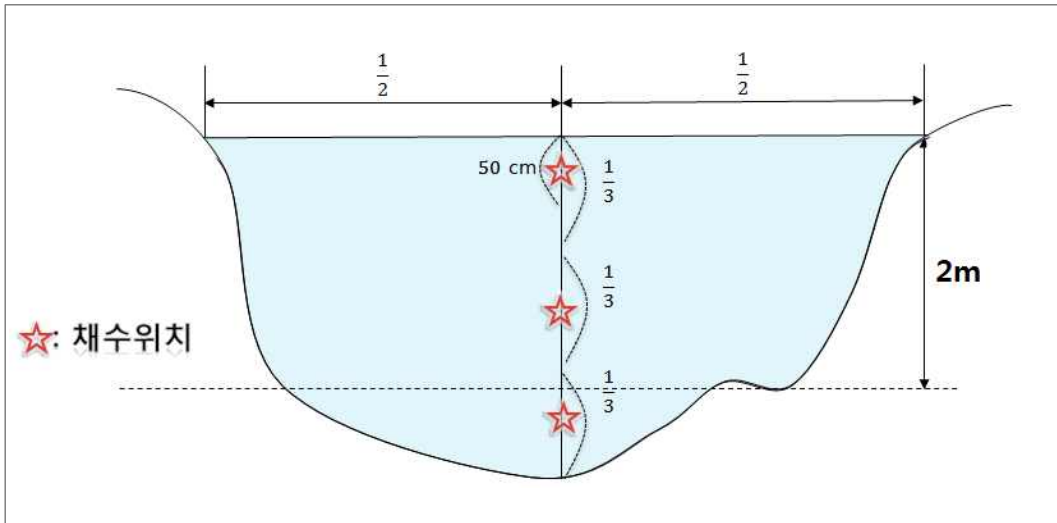
2.5.1 조류경보제 지점

2.5.1.1 상수원 구간

2.5.1.1.1 하천

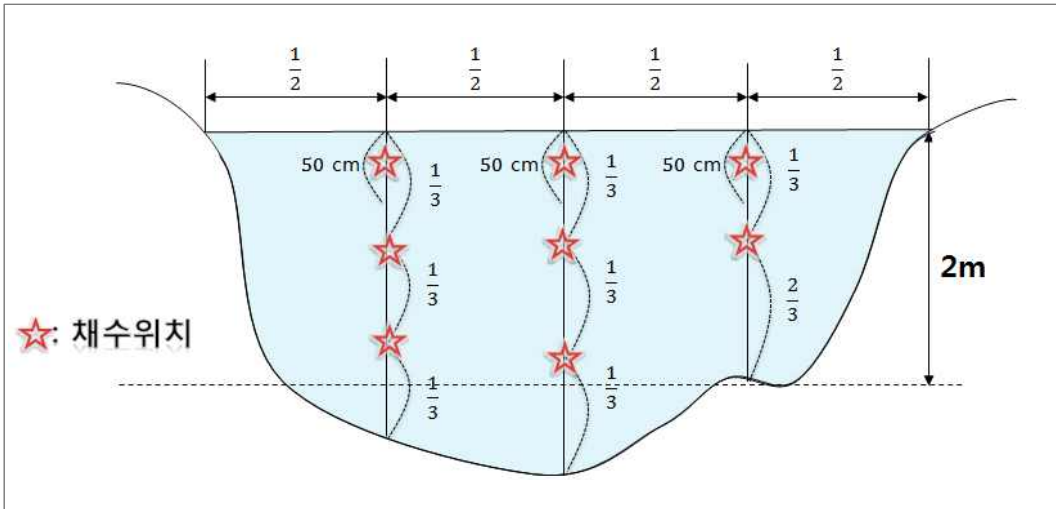
평상시(“관심” 단계 포함)에는 하천의 단면 중 수심이 가장 깊은 수면에서 그림 4와 같이 상층(수표면을 포함하여 수심 50 cm 이내)과 수심의 1/3 및 2/3에서 각각 채수한 후 혼합한다. 단, 수심이 2 m 미만일 때에는 상층과 수심의 1/3에서 채수한 시료를 혼합한다.

그림 4 평상시 시료채취 방법



발령단계가 “경계” 이상일 경우, 그림 5와 같이 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 좌우로 수면폭을 2등분한 각각의 지점(좌·중·우)에서 수심별(상·중·하층)로 채수한 후 혼합한다.

그림 5 “경계” 발령 이상일 경우 시료채취 방법

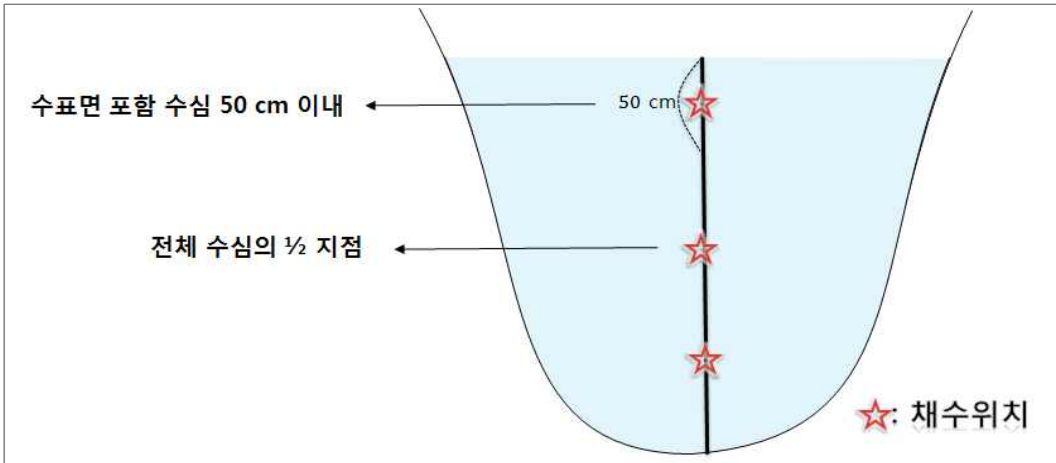


2.5.1.1.2 호소

호소의 경우 대표지점을 선정하여 아래와 같이 채수한다(그림 6). 단, 최저수심이 5 m 이하인 지점에서는 수표면을 포함하여 수심 50 cm 이내만 채수한다.

- 1) 최저수심이 5 m를 초과하고 10 m 이하인 지점은 상층수는 수표면을 포함하여 수심 50 cm 이내, 중층수는 전체 수심의 1/2에 해당되는 수심, 저층수는 호소바닥으로부터 전체 수심의 1/2에 해당되는 수심 사이에서 각각 채수한 후 시료를 혼합한다.
- 2) 최저수심이 10 m를 넘는 지점은 상층수는 수표면을 포함하여 수심 50 cm 이내, 중층수는 전체 수심의 1/2에 해당되는 수심, 저층수는 호소바닥으로부터 위로 5 m 사이에서 각각 채수한 후 시료를 혼합한다.

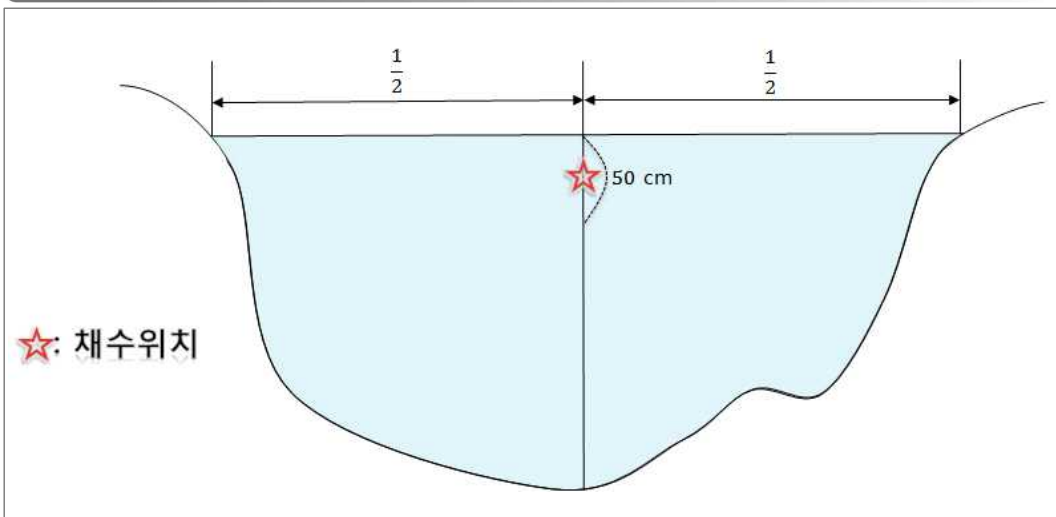
그림 6 호소 시료채취 방법



2.5.1.2 친수활동 구간

채수수심은 반돈채수기를 사용하거나 비이커를 사용하는 경우 모두 수표면이 포함되도록 하여 “수심 50 cm” 이내에서 채수한다(그림 7).

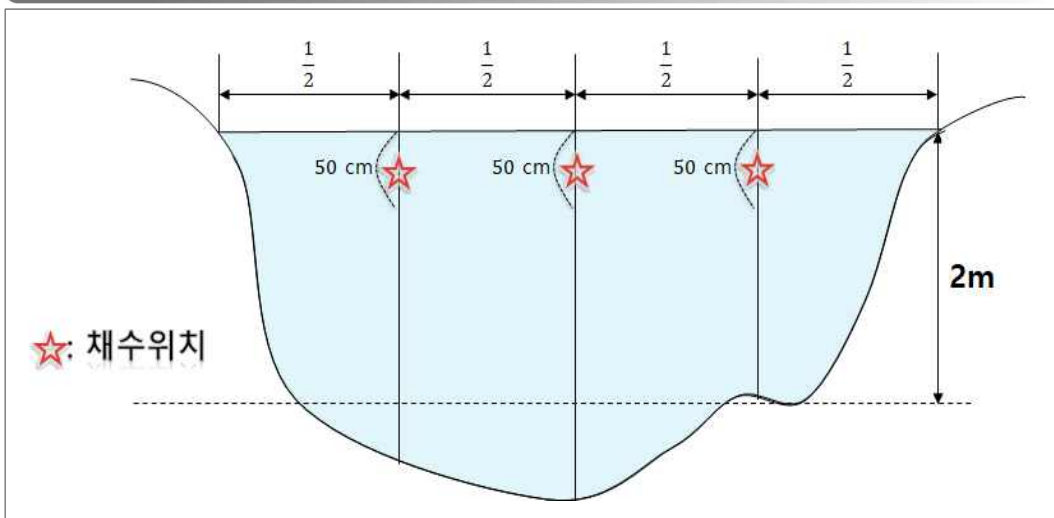
그림 7 친수활동 구간 시료채취 방법



2.5.1.3 조류관찰지점

그림 8과 같이 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 좌우로 수면폭을 2등분한 각각의 지점(좌·중·우)에서 “수심 50 cm” 이내에서 채수한 후 혼합한다.

그림 8 조류관찰지점 시료채취 방법



2.6 운반 및 보관

- 1) 채취된 시료는 시료명 등을 표기한 후 바로 얼음 팩이 채워진 아이스박스에 담아 차갑고 어두운 상태로 실험실로 운반한다(시료가 얼지 않도록 한다). 실험실에 도착한 시료는 수질 관찰·조사 기록부와 함께 실험자에게 인계한다.
- 2) 24시간 이내에 분석하지 못하는 경우 0~4℃에서 냉장보관 한다.
- 3) 농축된 시료를 즉시 분석할 수 없는 경우 -5℃ 이하에서 냉동보관 한다.

3. 분석 방법

3.1 식물플랑크톤(조류)-현미경계수법

- 수질오염공정시험기준 ES 04705. 1b 참고

3.1.1 개요

3.1.1.1 목적

이 시험기준은 물속의 부유생물인 식물플랑크톤을 현미경계수법을 이용하여 개체수를 조사하는 정량분석 방법이다.

3.1.1.2 적용범위

이 시험기준은 지표수에 적용할 수 있다.

3.1.1.3 간섭물질

“내용 없음”

3.1.2 용어정의

3.1.2.1 식물플랑크톤

식물플랑크톤은 운동력이 없거나 극히 적어 수체의 유동에 따라 수체 내에 부유하면서 생활하는 단일 개체, 집락성, 선상형태의 광합성 생물을 총칭한다.

3.1.3 분석기기 및 기구

3.1.3.1 광학현미경 혹은 위상차현미경

1,000배율 까지 확대 가능한 현미경을 사용한다.

3.1.3.2 대물마이크로미터 (stage micrometer)

눈금이 새겨져 있는 평평한 판으로, 현미경으로 물체의 길이를 측정하고자 할 때 쓰는 도구로 접안마이크로미터 한 눈금의 길이를 계산하는데 사용한다.

3.1.3.3 세즈윅-라프터 (Sedgwick-Rafter) 챔버

길이 50 mm 폭 20 mm, 깊이 1 mm이며 부피 1 mL인 챔버를 사용한다.

3.1.3.4 접안마이크로미터(ocular micrometer)

동근 유리에 새겨진 눈금으로 접안렌즈에 부착하여 사용한다. 현미경으로 물체의 길이를 측정할 때 사용한다.

3.1.3.5 커버글라스

길이 55 mm, 폭 24 mm 또는 길이 21 mm, 폭 21 mm를 사용한다.

3.1.3.6 팔머-말로니 (Palmer-Maloney) 챔버

직경 17 mm, 깊이 0.4 mm이며 부피 0.1 mL인 챔버를 사용한다.

3.1.3.7 혈구계수기

슬라이드글라스의 중앙에 격자모양의 계수 구역이 상하 2개로 구분되어 있으며,

계수 구역에는 격자모양으로 구분이 되어 있어 각 격자 구역 내의 침전된 조류를 계수한 후 mL 당 총 세포수를 환산 한다.

3.1.4 시약 및 표준용액

3.1.4.1 루골 용액

요오드화칼륨 (potassium iodide, KI, 분자량 : 166.00) 20 g을 정제수 200 mL ~ 300 mL에 녹이고 여기에 요오드 (iodine, I, 분자량 : 126.90) 10 g을 넣어 녹인 다음 정제수로 1 L로 한다. 이 용액을 사용하기 수일 전에 아세트산 (acetic acid, CH₃COOH, 분자량 : 60.05) 20 mL를 넣어 갈색 시약병에 보존한다.

3.1.4.2 포르말린 용액

폼알데하이드(formaldehyde, H₂CO, 분자량 : 30.03, 35.0 % ~ 38.0 % 함유)에 탄산수소나트륨(sodium hydrogen carbonate, NaHCO₃, 분자량 : 84.01)을 넣어 pH를 7로 조정하여 사용하거나 폼알데하이드 함량이 8 %인 중성완충폼알데하이드용액(조식고정용)을 사용한다.

3.1.4.3 글루타르알데하이드 (glutaraldehyde, CH₂(CH₂CHO)₂, 분자량 : 100.12)

3.1.5 시료채취 및 관리

수질오염공정시험기준 ES 04130.1c 시료의 채취 및 보존 방법에 따른다.

3.1.6 정도보증/정도관리(QA/QC)

“내용 없음”

3.1.7 분석절차

3.1.7.1 일반사항

시료의 개체수는 계수면적당 10 ~ 40 정도가 되도록 희석 또는 농축한다.

[주 1] 계수면적: 현미경 시야에서 계수하기 위하여 계수 챔버 내부 혹은 접안 마이크로미터에 의하여 설정된 스트립 혹은 격자의 크기로 한다.

3.1.7.2 시료 희석

시료가 육안으로 녹색이나 갈색으로 보일 경우 정제수로 적절한 농도로 희석한다.

3.1.7.3 시료 농축

3.1.7.3.1 원심분리방법

3.1.7.3.1.1 일정량의 시료를 원심침전관에 넣고 $1,000 \times g$ 로 20분정도 원심분리하여 일정배율로 농축한다.

3.1.7.3.1.2 미세조류의 경우는 $1,500 \times g$ 에서 30분정도 원심분리를 행한다. 침강성이 좋지 않은 남조류가 많은 시료는 루골용액으로 고정한 후 농축하거나 일정량을 플랑크톤 넷트 또는 핸드 넷트로 걸러 일정배율로 농축한다.

3.1.7.3.2 자연침전법

3.1.7.3.2.1 일정시료에 포르말린용액을 1 % 또는 루골용액을 (1 ~ 2) % 가하여 플랑크톤을 고정시켜 실린더 용기에 넣고 일정시간 정치 후(0.5 h/mm) 싸이폰을 이용하여 상층액을 따라 내어 일정량으로 농축한다.

[주 2] 침전 용기는 얇고 투명한 유리 실린더를 사용한다.

3.1.7.3.2.2 직경이 작은 실린더로 옮겨 2회~3회 반복한다.

3.1.7.4 정성시험

정성시험의 목적은 식물플랑크톤의 종류를 조사하는 것으로 검경배율 100배 ~ 1,000배 시야에서 세포의 형태와 내부구조 등의 미세한 사항을 관찰하면서 종 분류표에 따라 식물플랑크톤 종을 확인하여 계수일지에 기재한다.(수질오염공정 시험기준의 부록 담수조류 분류표 및 그림 참조)

3.1.7.5 정량시험

식물플랑크톤의 계수는 정확성과 편리성을 위하여 일정 부피를 갖는 계수용 챔버를 사용한다. 식물플랑크톤의 동정에는 고배율이 많이 이용되지만 계수에는 저 ~ 중배율이 많이 이용된다. 계수시 식물플랑크톤의 종류에 따라 요구되는 배율이 달라지므로 아래 방법 중 하나를 이용한다.

3.1.7.5.1 저배율 방법(200배율 이하)

3.1.7.5.1.1 스트립 이용 계수

세즈윅-라프터 챔버에 커버글라스를 비스듬히 걸쳐 놓고 챔버 내의 모서리에 기포가 생성되지 않도록 하면서 잘 혼합된 시료를 조심스럽게 피펫으로 채운다. 계수하기 전에 플랑크톤을 침전시키기 위하여 15분 정도 방치시킨다. 세즈윅-라프터 챔버 내부를 일정한 길이와 넓이(strip)로 구획하여 10스트립 이상 반복 계수하고 다음 계산식으로부터 1 mL의 개체수를 산출한다.

$$\text{개체수 / mL} = \frac{C}{L \times D \times W \times N} \times 1,000 \quad (\text{식 1})$$

여기서, C = 계수된 개체수의 합

L = 검경구획의 길이 (mm)

W = 검경구획의 폭 (mm)

D = 검경구획의 깊이 (세즈윅-라프터 챔버 깊이, 1 mm)

N = 검경한 시야의 횟수

3.1.7.5.1.2 격자 이용 계수

세즈웁-라프터 챔버에서 격자를 사용할 경우 계수챔버 내에서 일정한 크기의 격자를 무작위로 10회 이상 반복 계수하며 다음 계산식으로부터 1 mL의 개체수를 산출한다.

$$\text{개체수 / mL} = \frac{C}{A \times D \times N} \times 1,000 \quad (\text{식 2})$$

여기서, C = 계수된 개체수의 합

A = 격자의 면적 (mm²)

D = 검경한 격자의 깊이 (세즈웁-라프터 챔버 깊이, 1 mm)

N = 검경한 시야의 횟수

[주 3] 세즈웁-라프터 챔버는 조작이 편리하고 재현성이 높은 반면 중배울 이상에서는 관찰이 어렵기 때문에 미소 플랑크톤 (nano plankton)의 검경에는 적절하지 않음.

[주 4] 시료를 챔버에 채울 때 피펫은 입구가 넓은 것을 사용하는 것이 좋음.

[주 5] 정체시간이 짧을 경우 충분히 침전되지 않은 개체가 계수시 제외되어 오차 유발 요인이 됨.

[주 6] 검경시야의 크기의 설정은 세즈웁-라프터 챔버 내부를 구획하거나, 격자 혹은 스트립상의 접안 마이크로미터를 사용함. 이 때 접안 마이크로미터의 크기는 현미경상의 계수배율에 따라 변동되기 때문에 대물 마이크로미터를 이용하여 각 계수배율에서의 스트립 혹은 격자의 크기를 측정하여야 함.

[주 7] 계수시 스트립을 이용할 경우, 양쪽 경계 면에 걸린 개체는 하나의 경계면에 대해서만 계수함.

[주 8] 계수시 격자의 경우 격자 경계면에 걸린 개체는 격자의 4면 중 2면에 걸린 개체는 계수하고 나머지 2면에 들어온 개체는 계수하지 않음.

[주 9] 시료가 희석되거나 농축되었을 경우 개체수 계산시 보정계수를 산출하여 적용함.

3.1.7.5.2 중배울 방법 (200배율 ~ 500배율 이하)

3.1.7.5.2.1 팔머-말로니 챔버 이용 계수

팔머-말로니 챔버에 커버글라스를 덮고 조심스럽게 시료를 피펫으로 채운 후

15분 정도 정치시킨 다음 계수한다. 계수는 팔머-말로니 챔버 내에서 일정 격자 크기를 무작위로 10회 이상 반복하여 계수하고 1 mL내의 개체수는 다음 식으로 계산한다.

$$\text{개체수 / mL} = \frac{C}{A \times D \times N} \times 1,000 \quad (\text{식 3})$$

여기서, C = 계수된 개체수의 합

A = 격자의 면적 (mm²)

D = 검경한 격자의 깊이 (팔머-말로니 챔버의 깊이 0.4 mm)

N = 검경한 시야의 횡수

3.1.7.5.2.2 혈구계수기 이용 계수

혈구계수기에 커버글라스를 덮고 조심스럽게 시료용액을 주입시킨다. 5분 정도 정치시킨 다음 혈구계수기 격자상의 개체수를 계수한다. 이때 혈구계수기는 5회 이상 반복한다. 1 mL내의 개체 수는 다음 식으로 계산한다.

$$\text{개체수 / mL} = \frac{C}{A \times D \times N} \times 1,000 \quad (\text{식 4})$$

여기서, C = 계수된 개체수의 합

A = 혈구계수기 면적(mm²)

D = 혈구계수기 깊이(mm)

N = 검경한 시야의 횡수

[주 10] 팔머-말로니 챔버는 마이크로시스티스 같은 미소 플랑크톤 (nano plankton)의 계수에 적절함.

[주 11] 집락을 형성하는 조류들은 필요에 따라 단일세포로 분리한 후 고르게 현탁하여 시료로 함.

[주 12] 시료를 챔버에 채울 때 피펫은 입구가 넓은 것을 사용하는 것이 좋음.

- [주 13] 검경시야의 설정은 팔머-말로니 챔버 내부를 구획하거나, 격자상의 접안 마이크로미터를 사용함. 이 때 접안 마이크로미터의 크기는 현미경상의 계수배율에 따라 변동되기 때문에 대물 마이크로미터를 이용하여 각 계수배율 하에서 스트립 혹은 격자의 크기를 측정하여야 함.
- [주 14] 혈구계수기의 경우는 가장 큰 격자 크기가 1 mm × 1 mm인 것을 이용함.
- [주 15] 정체시간이 짧을 경우 충분히 침전되지 않은 개체가 계수시 제외되어 오차유발 요인이 될 수 있음.
- [주 16] 계수시 격자의 경우 격자 경계 면에 걸린 개체는 격자의 4면 중 2면에 걸린 개체는 계수하고 나머지 2면에 들어온 개체는 계수하지 않음.
- [주 17] 시료가 희석되거나 농축되었을 경우는 개체수 계산시 보정계수를 산출하여 적용함.

3.1.8 결과보고

측정결과는 ‘식물플랑크톤 계수일지’에 기입하여 보고한다.

- [주 18] 수질오염공정시험기준 담수조류 분류표 및 식물플랑크톤 계수일지 : 부록 참조

3.1.9 참고자료

3.1.9.1 American Public Health Association(APHA), American Water Works Association, and Water Environment Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed. “10200-Plankton. Azide Modification”, Washington, DC., (2005).

3.1.9.2 한국담수조류도감, 아카데미서적, 1993

3.2 클로로필 *a* (chlorophyll *a*)

– 수질오염공정시험기준 ES 04312. 1a 참고

3.2.1 개요

3.2.1.1 목적

이 시험기준은 물속의 클로로필 *a*의 양을 측정하는 방법으로 아세톤 용액을 이용하여 시료를 여과한 여과지로부터 클로로필 색소를 추출하고, 추출액의 흡광도를 663 nm, 645 nm, 630 nm 및 750 nm에서 측정하여 클로로필 *a*의 양을 계산하는 방법이다.

3.2.1.2 적용범위

이 시험기준은 지표수, 폐수 등에 적용할 수 있다.

3.2.1.3 간섭물질

3.2.1.3.1 여과지 또는 실험실에서 기인하는 오염물질들이 630 nm ~ 665 nm 파장의 빛을 흡수하여 측정을 방해할 수 있다. 750 nm에서의 흡광도 측정은 시료 안의 탁도를 평가하기 위해 시행되며, 663 nm, 645 nm 및 630 nm에서의 시료 흡광도 값에서 750 nm에서의 흡광도 값을 뺀 후 실제 클로로필의 양을 측정한다. 측정 전에 시료를 원심분리 또는 여과하여 불순물을 제거한다.

3.2.1.3.2 색소에 대한 정확도와 회수는 여과된 시료의 충분한 불림과 추출 용매 내에서 불린 시간에 관계한다.

3.2.1.3.3 클로로필 *a*, *b*, *c*의 상대적인 양은 식물플랑크톤의 분류군에 따라 차이가 있다. 클로로필과 페오포티바이드 *a* (Pheophytin *a*), 페오포이틴 *a* (Pheophytin *a*)의 스펙트럼 겹침 때문에 이 모든 색소를 가지는 용액의 측정값

은 증가 또는 감소한다.

3.2.1.3.4 모든 광합성 색소들은 빛과 온도에 민감하다.

3.2.2 용어정의

3.2.2.1 클로로필 *a*

클로로필 *a*는 모든 조류에 존재하는 녹색 색소로써 유기물 건조량의 1 % ~ 2 %를 차지하고 있으며, 조류의 생물량을 평가하기 위한 유력한 지표이다.

[주 1] 클로로필 *b*, *c* 등 기타 클로로필량은 조류의 분류학적 조성의 지표이다.

3.2.3 분석기기 및 기구

3.2.3.1 조직 마쇄기 (tissue grinder)

원추형 디자인의 그라인딩 튜브와 막자를 가지는 조직 마쇄기 안에서 유리섬유 여과지를 추출하는 것은 어려우므로 유리 또는 폴리테트라플루오로에틸렌 (PTFE, polytetrafluoroethylene)의 재질로 흠이 있는 둥근바닥 그라인드 튜브를 사용한다.

3.2.4 시약 및 표준용액

3.2.4.1 시약

3.2.4.1.1 아세톤(9 + 1)

아세톤 (acetone, CH_3COCH_3 , 분자량 : 58.08) 90 mL에 정제수 10 mL를 혼합한다.

3.2.5 시료채취 및 관리

수질오염공정시험기준 ES 04130.1c 시료의 채취 및 보존 방법에 따른다.

3.2.6 정도보증/정도관리 (QA/QC)

“내용 없음”

3.2.7 분석절차

3.2.7.1 전처리

3.2.7.1.1 시료 적당량 (100 mL ~ 2,000 mL)을 유리섬유여과지 (GF/F, 47 mm)로 여과 한다.

[주 2] GF/F (0.7 μm) 대응으로 GF/B (1.0 μm), GF/C (1.2 μm), Gelman AE (1.0 μm) 등을 사용할 수 있다.

[주 3] 시료 여과시 여과압이 20 kPa을 초과하거나 오랜 시간(10분 이상)동안 여과를 하면, 세포를 손상시켜 클로로필의 손실을 일으킬 수 있다.

3.2.7.1.2 여과지와 아세톤(9 + 1) 적당량 (5 mL ~ 10 mL)을 조직마쇄기에 함께 넣고 마쇄한다.

3.2.7.1.3 마쇄한 시료를 마개 있는 원심분리관에 넣고 밀봉하여 4 °C 어두운 곳에서 하룻밤 방치한다.

3.2.7.1.4 하룻밤 방치한 시료를 500 g의 원심력으로 20분간 원심분리하거나 혹은 용매-저항 (solvent-resistance)주사기를 이용하여 여과한다.

[주 4] 원심력 (g)의 계산방법

$$\text{상대원심력 (g)} = 0.00001118 \times r \times N^2$$

여기서, 상대원심력 (RCF, relative centrifugal force) : 중력에 대한 비율로 표시될 때의 원심력 (g)

r : 원심분리기 로터 (rotor)의 반지름 (cm)

N : 회전속도 (rpm)

3.2.7.1.5 원심 분리한 시료의 상층액을 시료로 한다.

3.2.7.2 분석방법

3.2.7.2.1 전처리한 시료 적당량을 취하여 증장 10 mm 흡수셀에 옮겨 시료로 한다.

3.2.7.2.2 아세톤(9 + 1)을 대조용액으로 하여 663 nm, 645 nm, 630 nm, 및 750 nm에서 시료용액의 흡광도를 측정한다.

3.2.8 결과보고

3.2.8.1 클로로필 *a* 양의 계산

$$\text{클로로필 } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{(11.64X_1 - 2.16X_2 + 0.10X_3) \times V_1}{V_2}$$

여기서, X1 : OD663 - OD750

X2 : OD645 - OD750

X3 : OD630 - OD750

OD : 흡광도 (optical density)

V1 = 상층액의 양 (mL)

V2 = 여과한 시료의 양 (L)

3.2.8.2 결과보고

소수점 첫째자리까지 보고한다.

3.2.9 참고자료

3.2.9.1 APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed, 10200 H. "Chlorophyll", (2005)

3.2.9.2 EPA 446.0, "In Vitro Determination of Chlorophylls *a*, *b*, c_1+c_2 and Pheopigments in Marine And Freshwater Algae by Visible Spectrophotometry", EPA, (1997)

3.2.9.3 EPA, "Guide to method Flexibility and Approval of EPA Water Methods", Analytical Methods Staff Engineering and Analysis Division(4303) Office of Science and Technology Office of Water, Washington, DC, (1996)

3.2.10 부록

“내용 없음”

3.3 마이크로시스틴 : 액체크로마토그래프-텐덤질량분석법

- 먹는물 수질감시항목 운영 등에 관한 고시(제2019-81호) p.84 참고

3.3.1 개요

이 시험방법은 먹는물 중에 마이크로시스틴의 측정방법으로서, 먹는물 중에 마이크로시스틴을 고상추출하여 고성능액체크로마토그래프로 분리한 다음 텐덤 질량분석기로 분석하는 방법이다.

3.3.2 적용범위

이 시험방법은 먹는물 중 마이크로시스틴-LR, -YR, -RR, -LA 측정에 적용한다.

3.3.3 분석기기 및 기구

3.3.3.1 고성능액체크로마토그래프

3.3.3.1.1 컬럼은 안지름 2.1 mm ~ 4.6 mm, 길이 10 cm ~ 15 cm의 스테인레스관에 옥타데실실릴기(ODS)를 화학결합시킨 실리카겔(입경 5 μm)을 충전한 것 또는 이와 동등의 분리능을 갖는 것을 택하여 시험한다.

3.3.3.1.2 이동상은 10 mM 아세트산암모늄과 0.1 % 개미산을 혼합한 용액과 아세트나이트릴을 사용하고 유속은 0.3 mL/min ~ 0.8 mL/min으로 사용한다.

3.3.3.1.3 고성능액체크로마토그래프의 조건은 표 14와 같이 수행할 수 있다.

3.3.3.2 질량분석기

3.3.3.2.1 이온화 방식은 전자분무이온화법(ESI, electrospray ionization)을 사용한다.

3.3.3.2.2 질량분석기는 tandem quadrupole 형태의 MS/MS 또는 동등 성능 이상의 시스템을 사용한다.

3.3.3.2.3 정량분석에는 MRM (multiple reaction monitoring)을 이용하는 것이 바람직하며, 선택하는 이온들은 표 15의 이온을 사용할 수 있다.

3.3.3.2.4 질량분석기의 조건은 표 16과 같이 수행할 수 있다.

3.3.3.3 초음파분쇄기

남조류 군체와 세포를 파쇄하여 조체로부터 마이크로시스틴을 추출할 수 있는 성능을 가진 것을 사용한다.

3.3.3.4 현미경

3.3.3.5 여과지

GF/C(직경 47 mm, 공극 1.2 μm)를 사용한다.

3.3.3.6 고상 카트리지

옥타데실기를 화학결합시킨 실리카겔(C_{18}) 또는 동등이상의 성능을 갖고 있는 것으로 500 mg ~ 10 g 채운 것을 사용한다.

3.3.3.7 건조기

일정한 온도를 유지할 수 있는 것을 사용한다.

3.3.3.8 원심분리기

3.3.3.9 진공농축기

3.3.3.10 SPE 추출장치

일반적으로 SPE 추출에 사용하는 매뉴얼 타입의 매니폴드(manifold)를 사용하거나, 자동화된 SPE 추출기 또는 LC/MS/MS에 on-line SPE 시스템을 장착하여 사용 할 수 있다.

3.3.4 시약 및 표준용액

3.3.4.1 시약

3.3.4.1.1 정제수

액체크로마토그래프용 정제수를 사용하며, 바탕시험 할 때 표준물질의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.3.4.1.2 메탄올(methanol, CH₃OH, 분자량 : 32.04)

액체크로마토그래프용 시약을 사용하며, 바탕시험 할 때 표준물질의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.3.4.1.3 메탄올 20 %

정제수 80 mL와 메탄올 20 mL를 섞는다.

3.3.4.1.4 아세트산용액 5 %

정제수 950 mL와 아세트산(acetic acid, C₂H₄O₂, 분자량 : 60.05) 50 mL를 섞는다.

3.3.4.1.5 TFA/메탄올용액 0.1 %

트리플루오르아세트산(trifluoroacetic acid, TFA, $C_2HF_3O_2$, 분자량 : 114.02) 100 μ L를 정확히 취하여 100 mL 부피플라스크에 넣고 메탄올을 넣어 전량 100 mL로 한다.

3.3.4.1.6 아세트산암모늄 10 mM + 개미산 0.1 %

아세트산암모늄(ammonium acetate, $C_2H_7NO_2$, 분자량 : 77.08) 0.3854 g을 정제수에 녹이고, 개미산(formic acid, CH_2O_2 , 분자량 : 46.02) 500 μ L를 넣어 전량 500 mL로 한다. 사용할 때 만든다. 이동상으로 사용하기 전 여과지를 이용하여 여과한 후 사용한다.

[주 1] 여과지는 polytetrafluoroethylene (PTFE)이나 polycarbonate (PC) 또는 이와 동등한 재질로 공극 크기 0.1 μ m 이하의 것을 사용한다.

3.3.4.1.7 아세토나이트릴(acetonitrile, C_2H_3N , 분자량 : 41.05)

액체크로마토그래프용 시약을 사용하며, 바탕시험 할 때 표준물질의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다. 이동상으로 사용하기 전 여과지를 이용하여 여과한 후 사용한다.

[주 2] 여과지는 polytetrafluoroethylene (PTFE)이나 polycarbonate (PC) 또는 이와 동등한 재질로 공극 크기 0.1 μ m 이하의 것을 사용한다.

3.3.4.2 표준용액

3.3.4.2.1 마이크로시스틴 혼합표준원액(200 mg/L)

마이크로시스틴-LR (microcystin-LR, $C_{49}H_{74}N_{10}O_{12}$, 분자량 : 995.17), 마이크로시스틴-YR (microcystin-YR, $C_{52}H_{72}N_{10}O_{13}$, 분자량 : 1045.29), 마이크로시스틴-RR (microcystin-RR, $C_{49}H_{75}N_{13}O_{12}$, 분자량 : 1038.20), 마이크로시스틴-LA (microcystin-LA, $C_{46}H_{67}N_7O_{12}$, 분자량 : 910.07) 각각 200 μ g을 정확히 취하여 메탄올 1000 μ L에 용해시킨다. 이 용액 1 mL는 마이크로시스틴을 각

각 200 µg 함유한다.

3.3.4.2.2 마이크로시스틴 혼합표준용액(1 mg/L)

200 mL 부피플라스크에 마이크로시스틴 혼합표준원액(200 mg/L) 1 mL를 넣고 메탄올을 넣어 200 mL로 한다. 이 용액 1 mL는 마이크로시스틴을 각각 1 µg 함유한다.

3.3.4.3 내부표준용액

3.3.4.3.1 내부표준물질원액(200 mg/L)

그라미시딘-S (gramicidin-S, $C_{60}H_{92}N_{12}O_{10}$, 분자량 : 1141.45) 200 µg을 정확히 취하여 메탄올 1000 µL에 용해시킨다. 이 용액 1 mL는 그라미시딘-S 200 µg을 함유한다.

3.3.4.3.2 내부표준물질용액(1 mg/L)

200 mL 부피플라스크에 내부표준물질원액(200 mg/L) 1 mL를 넣고 메탄올을 넣어 200 mL로 한다. 이 용액 1 mL는 그라미시딘-S 1 µg을 함유한다.

3.3.5 시료채취 및 관리

3.3.5.1 모든 시료는 시료채취 즉시 차갑고 어두운 상태로 보관되어 운반한다.

3.3.5.2 24시간 이내에 분석하지 못하는 경우 0 °C ~ 4 °C에서 냉장보관한다.

3.3.5.3 농축된 시료를 즉시 분석할 수 없는 경우, -5 °C 이하에서 냉동보관한다.

3.3.6 정도보증/정도관리(QA/QC)

3.3.6.1 방법검출한계 및 정량한계

3.3.6.1.1 방법검출한계(method detection limit) 및 정량한계(minimum quantitation limit)는 정제수에 정량한계 부근의 농도가 되도록 첨가한 7개의 시료를 준비하고 3.3.7항의 실험절차와 동일하게 분석하여 표준편차를 구한다.

3.3.6.1.2 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정된 방법검출한계는 시험방법에서 제시한 정량한계 이하이어야 한다.

3.3.6.2 방법바탕시료의 측정

시료군마다 1개의 방법바탕시료(method blank)를 측정한다. 방법바탕시료는 정제수를 사용하여 3.3.7항의 실험절차와 동일하게 전처리·측정하며 측정값은 방법검출한계 이하이어야 한다.

3.3.6.3 검정곡선의 작성 및 검증

3.3.6.3.1 정량범위 내 5개의 농도에 대해 검정곡선을 작성하고 얻어진 검정곡선의 결정계수(R^2)가 0.98 이상 또는 감응계수의 상대표준편차가 25 % 이내이어야 하며 결정계수나 감응계수의 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성한다.

3.3.6.3.2 검정곡선의 직선성을 검증하기 위하여 검정곡선을 작성할 때에는 정량범위를 0.1 $\mu\text{g/L}$ ~ 1.0 $\mu\text{g/L}$ 로 한다. 그러나 측정값이 이 농도범위를 벗어날 경우에는 시료를 묽혀서 다시 분석한다.

3.3.6.3.3 검정곡선의 감응계수를 검증하기 위하여 검정곡선의 중간 농도에서

한 농도를 선택하여 감응계수를 구하여 그 값의 변화가 25 % 이내에서 일치하여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성 한다.

3.3.6.4 정확도 및 정밀도

3.3.6.4.1 정밀도(precision) 및 정확도(accuracy)의 측정은 먹는물수질공정 시험기준 ES 05001.a 정도보증/정도관리에 따른다. 정제수에 정량한계 농도의 10배가 되도록 동일하게 표준물질을 첨가한 시료 4개 이상 준비하고, 3.3.7항의 실험절차와 동일하게 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

3.3.6.4.2 정확도는 인증시료를 확보할 수 있는 경우 인증표준물질을 분석한 결과값과 인증값과의 상대백분율로 나타내고, 인증시료를 확보할 수 없는 경우 이를 정확한 농도로 첨가한 시료로 대체한다. 이 때 정확도는 첨가시료를 분석한 농도와 첨가하지 않은 시료를 분석한 농도와의 차이에 대한 첨가농도의 상대백분율로서 나타내며 그 값이 75 % ~ 125 % 이내이어야 한다.

3.3.6.4.3 정밀도는 측정값의 상대표준편차(RSD)로 계산하며 측정값이 25 % 이내이어야 한다.

3.3.6.5 현장 이중시료의 측정

현장 이중시료(field duplicate sample)는 동일한 장소에서 동일한 조건으로 중복 채취한 시료로서 한 조사팀이 하루에 20개 이하를 채취할 경우에는 1개를 그리고 그 이상을 채취할 때에는 시료 20개당 1개를 추가로 채취한다. 동일한 조건의 두 시료간의 측정값의 편차는 25 % 이하이어야 한다.

3.3.6.6 내부정도관리 주기 및 목표

3.3.6.6.1 방법검출한계, 정량한계, 정밀도 및 정확도는 연 1회 이상 산정하는 것을 원칙으로 하며, 분석자의 교체, 분석 장비의 수리 및 이동 등의 주요 변동사

향이 생길 경우에는 다시 실시한다. 단, 장비의 청소, 컬럼 교체 시와 측정 장비의 감도가 의심될 때에는 언제든지 측정하여 확인하여야 한다.

3.3.6.6.2 검정곡선 검증 및 시약바탕시료의 분석은 각 시료군마다 실시하며, 고농도의 시료 다음에는 시약바탕시료를 측정하여 오염여부를 점검한다.

3.3.6.6.3 각 정도관리 항목에 대한 정도관리 목표 값은 표 17과 같다.

3.3.7 분석절차

3.3.7.1 전처리

3.3.7.1.1 상수원수

3.3.7.1.1.1 조제 내의 농도를 별도로 구하고자 할 경우

3.3.7.1.1.1.1 40 °C의 건조기에서 GF/C 여지를 건조시키고 데시케이터에 식힌 후 일정한 양(c)의 시료를 여과한다.

3.3.7.1.1.1.2 여과한 여지는 3.3.7.1.1.1.3에 따라, 여과한 여과액은 3.3.7.1.1.2.5에 따른다.

3.3.7.1.1.1.3 여과한 여지는 건조기를 이용하여 건조시킨다. 이 때, 건조기는 50 °C 이하로 유지하도록 한다.

3.3.7.1.1.1.4 건조시킨 여지를 데시케이터에서 식힌 후 작은 조각으로 자른다. 그리고 5 % 아세트산용액 20 mL 넣고 초음파분쇄기로 파쇄한다. 파쇄 시간은 총 30분으로 하되, 연속 파쇄 시 시료의 급격한 온도 상승이 발생되므로 4분 30초 파쇄 후 30초 방치를 반복한다.

[주 3] 여지를 자를 때 가위나 장갑에 의해 오염되지 않도록 주의한다.

3.3.7.1.1.1.5 파쇄가 끝난 시료는 원심분리기(2000 rpm, 10분)를 이용하여 분리한 후 상등액을 취한다.

3.3.7.1.1.1.6 다시 5 % 아세트산용액 20 mL를 넣고 원심분리 후 상등액을 취

하고 이와 같은 과정을 반복하여 최종 100 mL가 되도록 한다.

3.3.7.1.1.1.7 최종액 100 mL에 내부표준물질용액(1 mg/L)을 정확히 40 μ L 취하여 시료에 첨가한다.

3.3.7.1.1.1.8 이하 추출은 3.3.7.1.1.2.6에 따른다.

3.3.7.1.1.2 조체와 물 속 용존 농도를 구분하지 않고 구하고자 할 경우

3.3.7.1.1.2.1 시료 일정량을 바이알에 분취하여 초음파분쇄기에 넣고 얼음 또는 차가운 물로 중탕하면서 조체를 파쇄 시킨다.

3.3.7.1.1.2.2 파쇄 시간은 총 30분으로 하되, 연속 파쇄 시 시료의 급격한 온도 상승이 발생되므로 4분 30초 파쇄 후 30초 방치를 반복한다.

3.3.7.1.1.2.3 파쇄가 끝난 후 현미경으로 세포의 완전 파쇄를 확인한다. 완전 파쇄가 이루어지지 않은 경우 파쇄 과정을 반복한다.

3.3.7.1.1.2.4 조체가 모두 파쇄된 시료를 GF/C 여지를 사용하여 여과한다.

3.3.7.1.1.2.5 여과한 시료 100 mL를 취하고, 내부표준물질용액(1 mg/L)을 정확히 40 μ L 취하여 시료에 첨가한다.

3.3.7.1.1.2.6 고상 카트리지를 활성화시키기 위해 메탄올 10 mL를 흘려준다. 활성화된 카트리지에 정제수 10 mL를 통과시켜 메탄올이 완전히 제거되도록 한다.

3.3.7.1.1.2.7 활성화된 고상 카트리지의 건조되기 전에 3.3.7.1.1.2.5의 시료를 카트리지에 10 mL/min 이하의 속도로 흘려준다.

3.3.7.1.1.2.8 20 % 메탄올 5 mL를 통과시켜 고상 카트리지의 불순물을 제거한다.

3.3.7.1.1.2.9 0.1 % TFA/메탄올용액 5 mL를 천천히 통과시켜 고상 카트리지 내에 흡착되어 있는 마이크로시스틴을 용출시켜 작은 유리수기에 받는다.

3.3.7.1.1.2.10 최종 용출용매 5 mL를 진공농축기 또는 질소가스를 이용하여 완전히 건조시킨다.

3.3.7.1.1.2.11 최종액이 200 μL ~ 1,000 μL 가 되도록 메탄올로 건조된 마이크로시스틴을 용해시킨다. 이 때 메탄올을 3번에 나누어 분주하면서 벽에 묻은 마이크로시스틴이 모두 녹을 수 있도록 한다.

3.3.7.1.1.2.12 마이크로시스틴을 용해시킨 최종액을 시험용액으로 한다.

3.3.7.2 검정곡선의 작성

3.3.7.2.1 정제수 90 mL를 취하여 100 mL 부피플라스크에 넣은 후 마이크로시스틴 혼합표준용액(1 mg/L) 0, 10, 20, 40, 80, 100 μL 를 단계적으로 취하여 정제수로 표선까지 채운다. 이후 내부표준물질용액(1 mg/L)을 정확히 40 μL 취하여 첨가한다. 제조한 검정곡선용 표준용액의 농도는 마이크로시스틴 각각 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0 $\mu\text{g/L}$ 이다. 필요에 따라 사용하는 표준용액의 양과 농도는 달리 할 수 있다.

[주 4] 시료분석결과 이 검정곡선 농도범위를 벗어나면 시료를 묽혀서 재분석하여야 한다.

3.3.7.2.2 이하 추출은 3.3.7.1.1.2.6 ~ 3.3.7.1.1.2.12에 따른다.

3.3.7.2.3 마이크로시스틴 각 분석화합물의 농도(C_x)를 취하여 가로축(x 축)에, 각 분석화합물의 피크 면적(A_x)과 내부표준물질의 피크면적(A_i)과의 비(A_x/A_i)를 세로축(y 축)에 취하여 검정곡선을 작성한다.

3.3.7.3 측정법

3.3.7.3.1 추출액 100 μL 를 취하여 액체크로마토그래프에 주입하여 분석한다.

3.3.7.3.2 크로마토그램으로부터 얻은 각 분석성분 및 내부표준물질의 피크면적을 측정하여 분석성분의 피크면적(A_x)과 내부표준물질의 피크면적(A_i)과의 비(A_x/A_i)를 구한다.

3.3.8 결과보고

3.3.8.1 계산

3.3.8.1.1 내부표준물질법

3.3.8.1.1.1 상수원수

3.3.8.1.1.1.1 조체 내의 농도를 별도로 구한 경우

조체 내 마이크로시스틴 각 분석물질별 농도(C_c , $\mu\text{g/L}$)를 구하고 (식 2)에 따라 물 속의 용존 농도를 구하여 각각 합한 것을 최종 농도로 한다.

$$C_c(\mu\text{g/L}) = \frac{100}{c} \times C_x \quad (\text{식 1})$$

여기서, c : 여과한 시료양 (mL)

C_x : (식 3)과 같이 계산하여 조체 내 분석물질의 농도 ($\mu\text{g/L}$)

C_c : 조체 내 분석물질의 농도 ($\mu\text{g/L}$)

$$C_t(\mu\text{g/L}) = C_c + C_s \quad (\text{식 2})$$

여기서, C_c : (식 1)에 의해 계산된 조체 내 분석물질의 농도 ($\mu\text{g/L}$)

C_s : (식 3)에 의해 계산된 용존 상태의 분석물질 농도 ($\mu\text{g/L}$)

C_t : 분석물질의 총 농도 ($\mu\text{g/L}$)

3.3.8.1.1.1.2 조체와 물 속 용존 농도를 구분하지 않고 구한 경우

마이크로시스틴 각 분석물질별로 내부표준물질에 대한 면적 비(A_x/A_i)를 구한 다음 검정곡선식의 $y(i)$ 값에 대입하여 $x(i)$ 값을 계산하면 분석물질의 농도

(Cs, µg/L)를 구할 수 있다.

$$Cs (ug/L) = \frac{\frac{Ax}{Ai} - b}{a} \quad (\text{식 3})$$

여기서, Ax/Ai : 분석물질과 내부표준물질의 피크 면적 비

a : 검정곡선의 기울기

b : 검정곡선의 절편 값

Cs : 분석물질의 총 농도 (µg/L)

3.3.8.1.2 절대검정곡선법

3.3.8.1.2.1 상수원수

3.3.8.1.2.1.1 조체 내의 농도를 별도로 구한 경우

조체 내 마이크로시스틴 각 분석물질별 농도(Cc, µg/L)를 구하고 (식 5)에 따라 물 속의 용존 농도를 구하여 각각 합한 것을 최종 농도로 한다.

$$Cc (ug/L) = \frac{100}{c} \times Cx \quad (\text{식 4})$$

여기서, c : 여과한 시료양 (mL)

Cx : (식 6)과 같이 계산하여 조체 내 분석물질의 농도 (µg/L)

Cc : 조체 내 분석물질의 농도 (µg/L)

$$A (ug/L) = Cc + Cs \quad (\text{식 5})$$

여기서, Cc : (식 4)에 의해 계산된 조체 내 분석물질의 농도 (µg/L)

C_s : (식 6)에 의해 계산된 용존 상태의 분석물질 농도 ($\mu\text{g/L}$)

C_t : 분석물질의 총 농도 ($\mu\text{g/L}$)

3.3.8.1.2.1.2 조체와 물 속 용존 농도를 구분하지 않고 구한 경우

마이크로시스틴 각 분석물질별로 피크 면적(A_x)을 구한 다음 검정곡선식의 $y(i)$ 값에 대입하여 $x(i)$ 값을 계산하면 분석물질의 농도(C_s , $\mu\text{g/L}$)를 구할 수 있다.

$$C_s (\mu\text{g/L}) = \frac{A_x - b}{a} \quad (\text{식 6})$$

여기서, A_x : 분석물질의 피크 면적

a : 검정곡선의 기울기

b : 검정곡선의 절편 값

C_s : 분석물질의 총 농도 ($\mu\text{g/L}$)

3.3.8.2 결과보고

시험결과 표시한계는 0.0001 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.0000 mg/L 이다.

3.3.9 참고자료

3.3.9.1 WHO, 1999, Toxic Cyanobacteria in Water : A guide to their public health consequences, monitoring and management, Chapter 13. Laboratory analysis of cyanotoxins

3.3.9.2 환경부, 조류예보제 운영 매뉴얼(2008), 제3장 마이크로시스틴 분석방법

3.3.10 부록

표 14 마이크로시스틴의 고성능액체크로마토그래프 실험조건(예)

항 목	조 건		
컬럼	ODS C18 (4.6 mm × 150 mm, 5 μm)		
컬럼 온도	40 °C		
이동상	A : 10 mM Ammonium acetate + 0.1 % Formic acid B : Acetonitrile		
	Time	이동상 A	이동상 B
	1	95	5
	2	70	30
	6	10	90
	8	10	90
	8.1	95	5
	14	95	5
유속	0.8 mL/min		
주입량	100 μL		

표 15 마이크로시스틴의 각 물질별 선택이온

물질명	분자량	모분자 이온	자분자 이온
마이크로시스틴-LR	995.17	995.6	135.1
마이크로시스틴-YR	1045.29	1045.5	135.1
마이크로시스틴-RR	1038.20	519.8	135.1
마이크로시스틴-LA	910.07	910.5	135.1

표 16 마이크로시스틴의 텐덤 질량분석기 실험조건(예)

항 목	조 건
Source	ESI (electrospray ionization)
Ion mode	Positive
Capillary voltage (V)	4000
Nebulizer (psi)	50
Drying gas temp. (°C)	200
Drying gas flowrate (L/min)	6
Sheath gas temp. (°C)	360
Sheath gas flowrate (L/min)	11
Collision energy (V)	10 ~ 80
Fragmentor voltage (V)	100 ~ 250

표 17 정도관리 목표 값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.1 µg/L
검정곡선	결정계수(R^2) \geq 0.98 또는 감응계수(RF)의 상대표준편차 \leq 25 %
정밀도	상대표준편차가 \pm 25 % 이내
정확도	75 % ~ 125 %
현장이중시료	상대편차백분율이 \pm 25 % 이내

3.4 냄새물질(지오스민 및 2-MIB)

- 먹는물 수질감시항목 운영 등에 관한 고시(제2019-81호) p.171 참고

3.4.1 용매추출/기체크로마토그래프-질량분석법

3.4.1.1 개요

이 시험방법은 먹는물 중 조류에 기인하여 발생하는 주요 냄새물질인 지오스민, 2-MIB를 n-Hexane으로 추출·농축한 후 기체크로마토그래프/질량분석기로 분석하는 방법이다.

3.4.1.2 적용범위

이 시험방법은 먹는물 중 지오스민, 2-MIB의 측정에 적용한다.

3.4.1.3 분석기기 및 기구

3.4.1.3.1 기체크로마토그래프

3.4.1.3.1.1 컬럼은 안지름 0.20 mm ~ 0.35 mm, 필름두께 0.1 μ m ~ 0.50 μ m, 길이 15 m ~ 60 m의 cross-linked methylsilicon (DB-1, HP-1 등) 또는 cross-linked 5 % phenylmethylsilicon (DB-5, HP-5 등) 등의 모세관이나 동등한 분리성능을 가진 모세관으로 대상 분석 물질의 분리가 양호한 것을 택하여 시험한다.

3.4.1.3.1.2 운반기체는 부피백분을 99.999 % 이상의 헬륨 또는 질소로서 유량은 0.5 mL/min ~ 4 mL/min, 시료도입부 온도는 200 $^{\circ}$ C ~ 250 $^{\circ}$ C, 컬럼온도는 40 $^{\circ}$ C ~ 280 $^{\circ}$ C로 승온조작하여 사용한다.

3.4.1.3.1.3 기체크로마토그래프의 조건은 표 18과 같이 수행할 수 있다.

3.4.1.3.2 질량분석기(mass spectrometer)

3.4.1.3.2.1 이온화방식은 전자충격법(EI, electron impact)을 사용하며 이온

화에너지는 35 eV ~ 70 eV를 사용한다.

3.4.1.3.2.2 질량분석기는 자기장형(magnetic sector), 사중극자형(quadrupole) 및 이온트랩형(ion trap) 등의 성능을 가진 것을 사용한다.

3.4.1.3.2.3 정량분석에는 선택이온검출법(SIM, selected ion monitoring)을 이용하는 것이 바람직하다. 선택하는 이온들은 표 19의 이온을 사용할 수 있다.

3.4.1.4 시약 및 표준용액

3.4.1.4.1 시약

3.4.1.4.1.1 정제수

시약용 정제수를 사용하거나, 순수제조장치로 정제된 물을 사용한다. 단, 바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.1.4.1.2 메탄올(methanol, CH₃OH, 분자량 : 32.04)

바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.1.4.1.3 무수황산나트륨(sodium sulfate, Na₂SO₄, 분자량 : 58.44)

순도 98 % 이상의 시약용을 사용하며 사용하기 전에 300 °C에서 하루 밤 구워서 사용한다.

3.4.1.4.1.4 염화나트륨(sodium chloride, NaCl, 분자량 : 58.44)

바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.1.4.1.5 n-헥산 : HPLC 급

n-헥산(n-Hexane, C₆H₁₄, 분자량 : 86.17)은 바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.1.4.1.6 아스코르빈산나트륨(sodium L-ascorbate, C₆H₇NaO₆, 분자량 : 198.10)

3.4.1.4.2 표준용액

3.4.1.4.2.1 지오스민, 2-MIB 혼합표준원액(1,000 mg/L)

지오스민, 2-MIB 표준물질 10 mg을 정확히 취하여 메탄올 10 mL에 녹인다. 이 용액은 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 4 °C

에서 냉장보관하고, 4주일 이내에 사용한다. 시판하는 표준용액을 사용할 수 있다.

3.4.1.4.2.2 지오스민, 2-MIB 혼합표준용액(100 mg/L)

지오스민, 2-MIB 혼합표준원액(1,000 mg/L) 1 mL를 10 mL 부피플라스크에 넣고 메탄올로 표선까지 채운다.

3.4.1.4.2.3 내부표준용액(1 mg/L)

1,2-디클로로벤젠-d₄ 10 mg을 10 mL의 메탄올에 녹인 다음 1,000 배 희석하여 사용한다.

3.4.1.5 시료채취 및 관리

3.4.1.5.1 시료는 미리 질산 및 증류수로 씻은 유리병에 기포가 발생하지 않게 가득 채워서 밀봉하고 가능한 빨리 실험한다.

3.4.1.5.2 즉시 시험이 가능하지 않은 경우는 냉장 보관하여야 하며, 잔류염소를 포함하고 있는 경우는 아스코르빈산나트륨을 0.01 g ~ 0.02 g을 넣어 잔류염소를 제거하도록 한다.

3.4.1.6 정도보증/정도관리(QA/QC)

3.4.1.6.1 방법검출한계 및 정량한계

3.4.1.6.1.1 방법검출한계(method detection limit) 및 정량한계(minimum quantitation limit)는 정제수에 정량한계 부근의 농도가 되도록 첨가한 7개의 시료를 준비하고 3.4.1.7항의 실험절차와 동일하게 분석하여 표준편차를 구한다.

3.4.1.6.1.2 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정된 방법검출한계는 시험방법에서 제시한 정량한계 이하이어야 한다.

3.4.1.6.2 방법바탕시료의 측정

시료군마다 1개의 방법바탕시료(method blank)를 측정한다. 방법바탕시료는

정제수를 사용하여 3.4.1.7항의 실험절차와 동일하게 전처리·측정하며 측정값은 방법검출한계 이하이어야 한다.

3.4.1.6.3 검정곡선의 작성 및 검증

3.4.1.6.3.1 정량범위 내 5개의 농도에 대해 검정곡선을 작성하고 얻어진 검정곡선의 결정계수(R^2)가 0.98 이상 또는 감응계수의 상대표준편차가 25 % 이내이어야 하며 결정계수나 감응계수의 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성한다.

3.4.1.6.3.2 검정곡선의 직선성을 검증하기 위하여 검정곡선을 작성할 때에는 정량범위를 0.001 $\mu\text{g/L}$ ~ 0.02 $\mu\text{g/L}$ 로 한다. 그러나 측정값이 이 농도범위를 벗어날 경우에는 시료를 묽혀서 다시 분석한다.

3.4.1.6.3.3 검정곡선의 감응계수를 검증하기 위하여 검정곡선의 중간 농도에서 한 농도를 선택하여 감응계수를 구하여 그 값의 변화가 25 % 이내에서 일치하여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성한다.

3.4.1.6.4 정확도 및 정밀도

3.4.1.6.4.1 정밀도(precision) 및 정확도(accuracy)의 측정은 먹는물수질공정시험기준 ES 05001.a 정도보증/정도관리에 따른다. 정제수에 정량한계 농도의 10배가 되도록 동일하게 표준물질을 첨가한 시료 4개 이상 준비하고, 3.4.1.7항의 절차와 동일하게 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

3.4.1.6.4.2 정확도는 인증시료를 확보할 수 있는 경우 인증표준물질을 분석한 결과값과 인증값과의 상대백분율로 나타내고, 인증시료를 확보할 수 없는 경우 이를 정확한 농도로 첨가한 시료로 대체한다. 이 때 정확도는 첨가시료를 분석한 농도와 첨가하지 않은 시료를 분석한 농도와의 차이에 대한 첨가농도의 상대백분율로서 나타내며 그 값이 75 % ~ 125 % 이내이어야 한다.

3.4.1.6.4.3 정밀도는 측정값의 상대표준편차(RSD)로 계산하며 측정값이 25 % 이내이어야 한다.

3.4.1.6.5 현장 이중시료의 측정

현장 이중시료(field duplicate sample)는 동일한 장소에서 동일한 조건으로

중복 채취한 시료로서 한 조사팀이 하루에 20개 이하를 채취할 경우에는 1개를 그리고 그 이상을 채취할 때에는 시료 20개당 1개를 추가로 채취한다. 동일한 조건의 두 시료간의 측정값의 편차는 25 % 이하이어야 한다.

3.4.1.6.6 내부정도관리 주기 및 목표

3.4.1.6.6.1 방법검출한계, 정량한계, 정밀도 및 정확도는 연 1회 이상 산정하는 것을 원칙으로 하며, 분석자의 교체, 분석 장비의 수리 및 이동 등의 주요 변동사항이 생길 경우에는 다시 실시한다. 단, 장비의 청소, 컬럼 교체 시와 측정 장비의 감도가 의심될 때에는 언제든지 측정하여 확인하여야 한다.

3.4.1.6.6.2 검정곡선 검증 및 시약바탕시료의 분석은 각 시료군마다 실시하며, 고농도의 시료 다음에는 시약바탕시료를 측정하여 오염여부를 점검한다.

3.4.1.6.6.3 각 정도관리 항목에 대한 정도관리 목표 값은 표 20과 같다.

3.4.1.7 분석절차

3.4.1.7.1 전처리

3.4.1.7.1.1 시료와 표준용액을 냉장고에서 꺼내어 상온에서 방치한다.

3.4.1.7.1.2 시료 100 mL를 취하여 250 mL 분액 깔대기에 넣은 후 내부표준용액 10 μ L를 넣는다.

3.4.1.7.1.3 염석효과를 위해 염화나트륨 40 g을 넣고 흔들어 녹인 후 n-헥산 5 mL를 넣고 약 2분간 격렬히 흔들어서 두 층이 분리되면 물 층을 버리고 n-헥산 층을 취한다.

3.4.1.7.1.4 n-헥산에 무수황산나트륨 약 1 g을 넣어 수분을 제거한다.

3.4.1.7.1.5 회전증발농축기를 사용하여 500 μ L까지 농축하여 이를 시험용액으로 한다.

3.4.1.7.2 검정곡선의 작성

3.4.1.7.2.1 정제수 100 mL를 취하여 250 mL 분액 깔대기에 넣은 후 지오스민, 2-MIB 혼합표준용액(100 mg/L)을 0.002 μ g/L ~ 0.02 μ g/L까지 단계적으

로 첨가하고, 내부표준용액(1 mg/L)을 정확히 10 μ L를 취하여 첨가한다. 필요에 따라 사용하는 표준용액의 농도와 배수를 달리 할 수 있다.

3.4.1.7.2.2 이하추출 방법은 3.4.1.7.1.2 ~ 3.4.1.7.1.5에 따른다.

3.4.1.7.2.3 지오스민, 2-MIB 각각의 농도(C_x)를 취하여 가로축(x 축)에, 각 분석화합물의 피크 면적(A_x)과 내부표준물질의 피크면적(A_i)과의 비(A_x/A_i)를 세로축(y 축)에 취하여 검정곡선을 작성한다.

[주 1] 피크의 면적 대신 피크의 높이를 사용할 수 있으나 피크 면적을 사용하는 것이 바람직하다.

3.4.1.7.3 측정법

3.4.1.7.3.1 추출액 2 μ L를 취하여 기체크로마토그래프에 주입하여 분석한다.

3.4.1.7.3.2 기체크로마토그래프/질량분석기로부터 얻은 크로마토그램에서 각 분석성분 및 내부표준물질의 머무름 시간에 해당하는 위치의 피크들로부터 피크의 면적을 구한다.

3.4.1.8 결과보고

Geosmin의 시험결과 표시한계는 0.000001 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.000000 mg/L 이다. 2-MIB의 시험결과 표시한계는 0.000002 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.000000 mg/L 이다.

3.4.1.9 참고자료

3.4.1.9.1 국립환경과학원, 2006, 먹는물 중 지오스민, 2-MIB의 관리방안 연구 (I)

3.4.1.9.2 서울시상수도사업본부, 2001, 맛·냄새 물질의 표준분석법 개발에 관한 연구

3.4.1.9.3 일본수도협회, 2002, 상수시험방법

3.4.1.10 부록

표 18 지오스민, 2-MIB의 기체크로마토그래피 실험조건(예)

항 목	조 건				
컬럼	Ultra-2 (Cross-linked 5 % Phenylmethylsilicon, 25 m × 0.2 mm I.D × 0.33 μm, film thickness)				
운반기체 (유속)	헬륨 (0.9 mL/min)				
분획비	5 : 1				
주입구 온도	280 °C				
검출기 온도	280 °C				
오븐 온도	초기온도 (°C)	초기시간 (min)	승온속도 (°C/min)	최종온도 (°C)	시간 (min)
	40	5	15	65	5
			15	215	0
			30	300	3

표 19 지오스민, 2-MIB의 각 물질별 특성이온

물질명	분자량	제1선택이온 (m/z)	제2선택이온 (m/z)
Geosmin	182.31	112	125, 97
2-Methylisoborneol	168.00	95	108, 135

표 20 정도관리 목표 값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.001 μg/L ~ 0.002 μg/L
검정곡선	결정계수(R ²) ≥ 0.98 또는 감응계수(RF)의 상대표준편차 ≤ 25 %
정밀도	상대표준편차가 ± 25 % 이내
정확도	75 % ~ 125 %
현장이중시료	상대표차백분율이 ± 25 % 이내

그림 9 지오스민, 2-MIB의 GC-MS 크로마토그램(예)

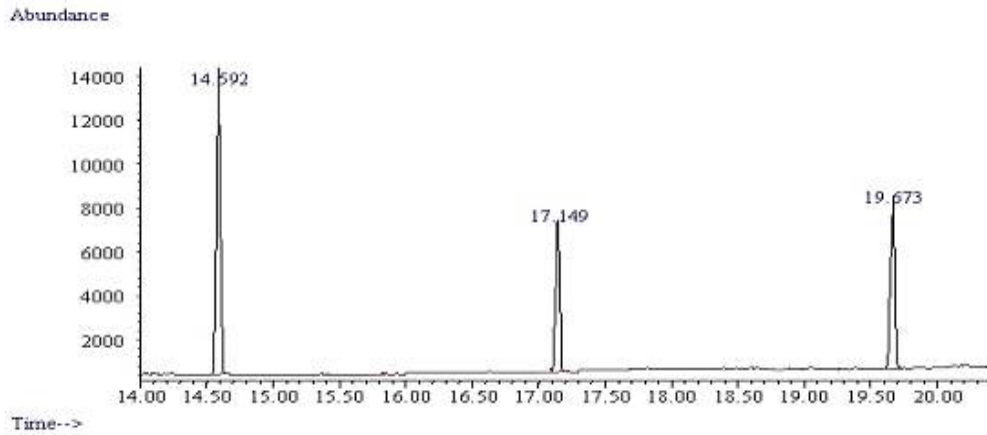
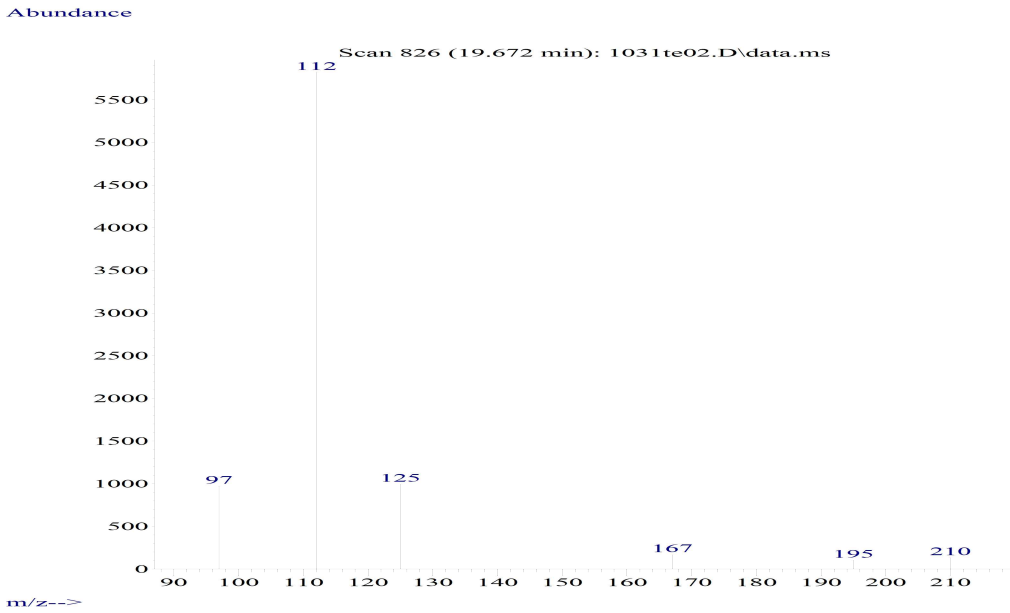


표 21 지오스민, 2-MIB의 머무름 시간(예)

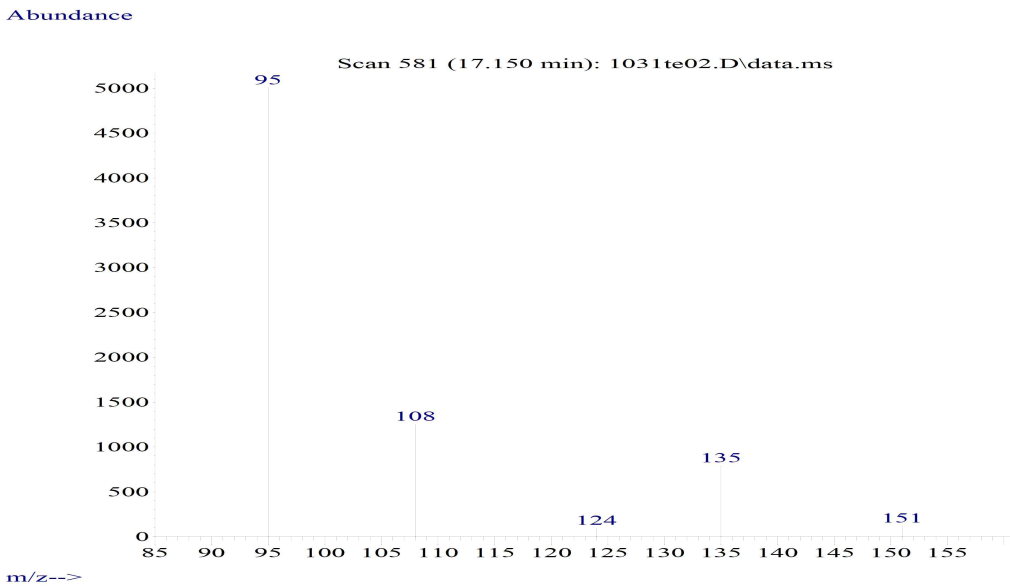
물질명	분 (min)
지오스민	19.67
2-MIB	17.15
내부표준물질	14.59

그림 10 지오스민, 2-MIB의 질량스펙트럼

지오스민



2-MIB



3.4.2 고상추출/기체크로마토그래프-질량분석법

3.4.2.1 개요

이 시험방법은 먹는물 중 조류에 기인하여 발생하는 주요 냄새물질인 지오스민, 2-MIB를 고상으로 충전된 흡착제에 흡착시킨 후 적절한 추출용매를 사용하여 성분을 용출하고 불순성분들을 제거하여 용출농축한 후 기체크로마토그래프/질량분석기로 분석하는 방법이다.

3.4.2.2 적용범위

이 시험방법은 먹는물 중 지오스민, 2-MIB의 측정에 적용한다.

3.4.2.3 분석기기 및 기구

3.4.2.3.1 기체크로마토그래프

3.4.2.3.1.1 컬럼은 안지름 0.20 mm ~ 0.35 mm, 필름두께 0.1 μm ~ 0.50 μm, 길이 15 m ~ 60 m의 cross-linked methylsilicon (DB-1, HP-1 등) 또는 cross-linked 5 % phenylmethylsilicon (DB-5, HP-5 등) 등의 모세관이나 동등한 분리성능을 가진 모세관으로 대상 분석 물질의 분리가 양호한 것을 택하여 시험한다.

3.4.2.3.1.2 운반기체는 부피백분율 99.999 % 이상의 헬륨 또는 질소로서 유량은 0.5 mL/min ~ 4 mL/min, 시료도입부 온도는 200 °C ~ 250 °C, 컬럼온도는 40 °C ~ 280 °C로 승온조작하여 사용한다.

3.4.2.3.1.3 기체크로마토그래프의 조건은 표 22와 같이 수행할 수 있다.

3.4.2.3.2 질량분석기(mass spectrometer)

3.4.2.3.2.1 이온화방식은 전자충격법(EI, electron impact)을 사용하며 이온화에너지는 35 eV ~ 70 eV를 사용한다.

3.4.2.3.2.2 질량분석기는 자기장형(magnetic sector), 사중극자형(quadrupole) 및 이온트랩형(ion trap) 등의 성능을 가진 것을 사용한다.

3.4.2.3.2.3 정량분석에는 선택이온검출법(SIM, selected ion monitoring)을 이용하는 것이 바람직하다. 선택하는 이온들은 표 23의 이온을 사용할 수 있다.

3.4.2.3.3 고상분리관

Sep-Pack C18(옥타데실기를 화학결합 시킨 실리카겔 충전, 500 mg) 고상분리관 또는 이와 동등 이상의 성능을 지닌 것을 사용한다.

3.4.2.4 시약 및 표준용액

3.4.2.4.1 시약

3.4.2.4.1.1 정제수

시약용 정제수를 사용하거나, 순수제조장치로 정제된 물을 사용한다. 단, 바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.2.4.1.2 디클로로메탄(dichloromethane, CH_2Cl_2 , 분자량 : 84.94)

바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.2.4.1.3 메탄올(methanol, CH_3OH , 분자량 : 32.04)

바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.2.4.1.4 아스코르빈산나트륨(sodium L-ascorbate, $\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6$, 분자량 : 198.10)

3.4.2.4.2 표준용액

3.4.2.4.2.1 지오스민, 2-MIB 혼합표준원액(1,000 mg/L)

지오스민, 2-MIB 표준물질 10 mg을 정확히 취하여 메탄올 10 mL에 녹인다. 이 용액은 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 4 °C에서 냉장보관하고, 4주일 이내에 사용한다. 시판하는 표준용액을 사용할 수 있다.

3.4.2.4.2.2 지오스민, 2-MIB 혼합표준용액(100 mg/L)

지오스민, 2-MIB 혼합표준원액(1,000 mg/L) 1 mL를 10 mL 부피플라스크에 넣고 메탄올로 표선까지 채운다.

3.4.2.4.2.3 내부표준용액(1 mg/L)

1,2-디클로로벤젠-d₄ 10 mg을 10 mL의 메탄올에 녹인 다음 1,000 배 희석하여 사용한다.

3.4.2.5 시료채취 및 관리

3.4.2.5.1 시료는 미리 질산 및 증류수로 씻은 유리병에 기포가 발생하지 않게 가득 채워서 밀봉하고 가능한 빨리 실험한다.

3.4.2.5.2 즉시 시험이 가능하지 않은 경우는 냉장 보관하여야 하며, 잔류염소를 포함하고 있는 경우는 아스코르빈산나트륨을 0.01 g ~ 0.02 g을 넣어 잔류염소를 제거하도록 한다.

3.4.2.6 정도보증/정도관리(QA/QC)

3.4.2.6.1 방법검출한계 및 정량한계

3.4.2.6.1.1 방법검출한계(method detection limit) 및 정량한계(minimum quantitation limit)는 정제수에 정량한계 부근의 농도가 되도록 첨가한 7개의 시료를 준비하고 3.4.2.7항의 실험절차와 동일하게 분석하여 표준편차를 구한다.

3.4.2.6.1.2 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정된 방법검출한계는 시험방법에서 제시한 정량한계 이하이어야 한다.

3.4.2.6.2 방법바탕시료의 측정

시료군마다 1개의 방법바탕시료(method blank)를 측정한다. 방법바탕시료는

정제수를 사용하여 3.4.2.7항의 실험절차와 동일하게 전처리·측정하며 측정값은 방법검출한계 이하이어야 한다.

3.4.2.6.3 검정곡선의 작성 및 검증

3.4.2.6.3.1 정량범위 내 5개의 농도에 대해 검정곡선을 작성하고 얻어진 검정곡선의 결정계수(R^2)가 0.98 이상 또는 감응계수의 상대표준편차가 25 % 이내이어야 하며 결정계수나 감응계수의 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성한다.

3.4.2.6.3.2 검정곡선의 직선성을 검증하기 위하여 검정곡선을 작성할 때에는 정량범위를 0.001 $\mu\text{g/L}$ ~ 0.02 $\mu\text{g/L}$ 로 한다. 그러나 측정값이 이 농도범위를 벗어날 경우에는 시료를 묽혀서 다시 분석한다.

3.4.2.6.3.3 검정곡선의 감응계수를 검증하기 위하여 검정곡선의 중간 농도에서 한 농도를 선택하여 감응계수를 구하여 그 값의 변화가 25 % 이내에서 일치하여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성한다.

3.4.2.6.4 정확도 및 정밀도

3.4.2.6.4.1 정밀도(precision) 및 정확도(accuracy)의 측정은 먹는물수질공정시험기준 ES 05001.a 정도보증/정도관리에 따른다. 정제수에 정량한계 농도의 10배가 되도록 동일하게 표준물질을 첨가한 시료 4개 이상 준비하고, 3.4.2.7항의 절차와 동일하게 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

3.4.2.6.4.2 정확도는 인증시료를 확보할 수 있는 경우 인증표준물질을 분석한 결과값과 인증값과의 상대백분율로 나타내고, 인증시료를 확보할 수 없는 경우 이를 정확한 농도로 첨가한 시료로 대체한다. 이 때 정확도는 첨가시료를 분석한 농도와 첨가하지 않은 시료를 분석한 농도와의 차이에 대한 첨가농도의 상대백분율로서 나타내며 그 값이 75 % ~ 125 % 이내이어야 한다.

3.4.2.6.4.3 정밀도는 측정값의 상대표준편차(RSD)로 계산하며 측정값이 25 % 이내이어야 한다.

3.4.2.6.5 현장 이중시료의 측정

현장 이중시료(field duplicate sample)는 동일한 장소에서 동일한 조건으로 중복 채취한 시료로서 한 조사팀이 하루에 20개 이하를 채취할 경우에는 1개를 그리고 그 이상을 채취할 때에는 시료 20개당 1개를 추가로 채취한다. 동일한 조건의 두 시료간의 측정값의 편차는 25 % 이하이어야 한다.

3.4.2.6.6 내부정도관리 주기 및 목표

3.4.2.6.6.1 방법검출한계, 정량한계, 정밀도 및 정확도는 연 1회 이상 산정하는 것을 원칙으로 하며, 분석자의 교체, 분석 장비의 수리 및 이동 등의 주요 변동사항이 생길 경우에는 다시 실시한다. 단, 장비의 청소, 컬럼 교체 시와 측정 장비의 감도가 의심될 때에는 언제든지 측정하여 확인하여야 한다.

3.4.2.6.6.2 검정곡선 검증 및 시약바탕시료의 분석은 각 시료군마다 실시하며, 고농도의 시료 다음에는 시약바탕시료를 측정하여 오염여부를 점검한다.

3.4.2.6.6.3 각 정도관리 항목에 대한 정도관리 목표 값은 표 24와 같다.

3.4.2.7 분석절차

3.4.2.7.1 전처리

3.4.2.7.1.1 고상분리관에 디클로로메탄 5 mL, 메탄올 5 mL와 증류수 5 mL를 순차적으로 가압·주입하여 고상분리관을 활성화 시킨다.

3.4.2.7.1.2 시료 500 mL에 내부표준용액(1 mg/L) 50 μ L를 주입한 다음 매 분 10 mL ~ 20 mL의 유속으로 흘러보낸 후, 원심분리에 의해 남아있는 고상컬럼의 수분을 제거한다.

3.4.2.7.1.3 고상분리관 건조 후 디클로로메탄 2 mL를 사용하여 목적성분을 추출한 다음 질소가스로 서서히 0.5 mL 이하까지 농축하여 시험용액으로 사용한다.

3.4.2.7.2 검정곡선의 작성

3.4.2.7.2.1 지오스민과 2-MIB 혼합표준용액(100 mg/L)을 증류수 500 mL에 0.002 $\mu\text{g/L}$ ~ 0.02 $\mu\text{g/L}$ 까지 단계적으로 첨가하고, 내부표준용액(1 mg/L)을 50 μL 첨가하여 3.4.2.7.1.2 ~ 3.4.2.7.1.3의 방법으로 분석한다.

3.4.2.7.2.2 지오스민, 2-MIB 각각의 농도(C_x)를 취하여 가로축(x 축)에, 각 분석화합물의 피크 면적(A_x)과 내부표준물질의 피크면적(A_i)과의 비(A_x/A_i)를 세로축(y 축)에 취하여 검정곡선을 작성한다.

[주 1] 피크의 면적 대신 피크의 높이를 사용할 수 있으나 피크 면적을 사용하는 것이 바람직하다.

3.4.2.7.3 측정법

3.4.2.7.3.1 추출액 2 μL 를 취하여 기체크로마토그래프에 주입하여 분석한다.

3.4.2.7.3.2 기체크로마토그래프/질량분석기로부터 얻은 크로마토그램에서 각 분석성분 및 내부표준물질의 머무름 시간에 해당하는 위치의 피크들로부터 피크의 면적을 구한다.

3.4.2.8 결과보고

Geosmin의 시험결과 표시한계는 0.000001 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.000000 mg/L 이다. 2-MIB의 시험결과 표시한계는 0.000002 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.000000 mg/L 이다.

3.4.2.9 참고자료

3.4.2.9.1 국립환경과학원, 2006, 먹는물 중 지오스민, 2-MIB의 관리방안 연구 (I)

3.4.2.9.2 서울시상수도사업본부, 2001, 맛·냄새 물질의 표준분석법 개발에 관한 연구

3.4.2.9.3 일본수도협회, 2002, 상수시험방법

3.4.2.10 부록

표 22 지오스민, 2-MIB의 기체크로마토그래피 실험조건(예)

항 목	조 건				
컬럼	Ultra-2 (Cross-linked 5 % Phenylmethylsilicon, 25 m × 0.2 mm I.D × 0.33 μm, film thickness)				
운반기체 (유속)	헬륨 (0.9 mL/min)				
분획비	5 : 1				
주입구 온도	280 °C				
검출기 온도	280 °C				
오븐 온도	초기온도 (°C)	초기시간 (min)	승온속도 (°C/min)	최종온도 (°C)	시간 (min)
	40	5	15	65	5
			15	215	0
			30	300	3

표 23 지오스민, 2-MIB의 각 물질별 특성이온

물질명	분자량	제1선택이온 (m/z)	제2선택이온 (m/z)
Geosmin	182.31	112	125, 97
2-Methylisoborneol	168.00	95	108, 135

표 24 정도관리 목표 값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.001 μg/L ~ 0.002 μg/L
검정곡선	결정계수(R ²) ≥ 0.98 또는 감응계수(RF)의 상대표준편차 ≤ 25 %
정밀도	상대표준편차가 ± 25 % 이내
정확도	75 % ~ 125 %
현장이중시료	상대표준편차가 ± 25 % 이내

그림 11 지오스민, 2-MIB의 GC-MS 크로마토그램(예)

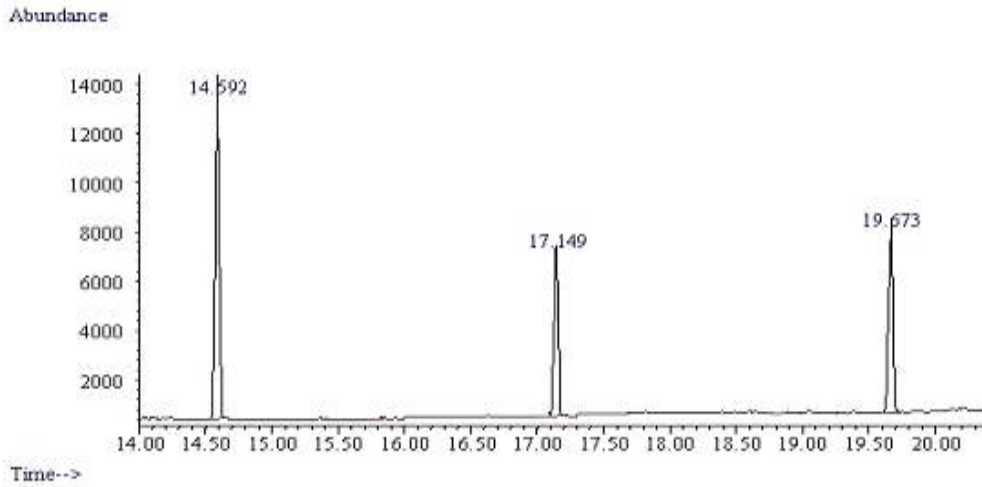
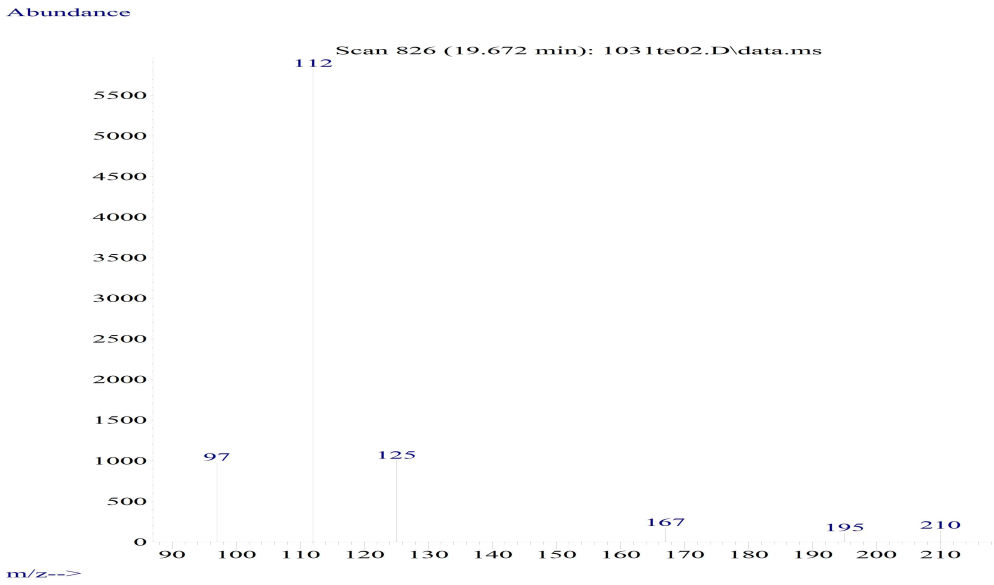


표 25 지오스민, 2-MIB의 머무름 시간(예)

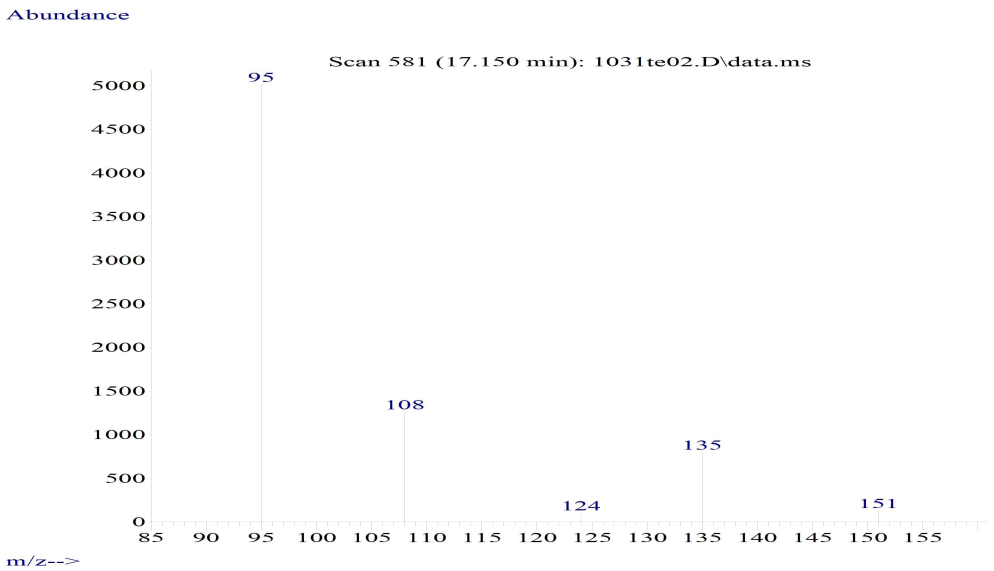
물질명	분 (min)
지오스민	19.67
2-MIB	17.15
내부표준물질	14.59

그림 12 그림 2. 지오스민, 2-MIB의 질량스펙트럼

지오스민



2-MIB



3.4.3 HS-SPME/기체크로마토그래프-질량분석법

3.4.3.1 개요

이 시험방법은 HS-SPME법을 사용하여 시료를 추출하고 화이버를 직접 기체 크로마토그래프에 주입하여 열 탈착시켜 분석하는 방법이다. 즉, 시료 추출, 정제와 농축이 동시에 이루어지고 직접 기체크로마토그래프로 주입되기 때문에 자동화가 용이하여 기존의 전처리방법에 비해 상대적으로 높은 감도와 분석 조작성이 간단한 특징이 있다.

3.4.3.2 적용범위

이 시험방법은 먹는물 중 지오스민, 2-MIB의 측정에 적용한다.

3.4.3.3 분석기기 및 기구

3.4.3.3.1 기체크로마토그래프

3.4.3.3.1.1 컬럼은 안지름 0.20 mm ~ 0.35 mm, 필름두께 0.1 μ m ~ 0.50 μ m, 길이 15 m ~ 60 m의 cross-linked methylsilicon (DB-1, HP-1 등) 또는 cross-linked 5 % phenylmethylsilicon (DB-5, HP-5 등) 등의 모세관이나 동등한 분리성능을 가진 모세관으로 대상 분석 물질의 분리가 양호한 것을 택하여 시험한다.

3.4.3.3.1.2 운반기체는 부피백분율 99.999 % 이상의 헬륨 또는 질소로서 유량은 0.5 mL/min ~ 4 mL/min, 시료도입부 온도는 120 $^{\circ}$ C ~ 250 $^{\circ}$ C, 컬럼온도는 30 $^{\circ}$ C ~ 250 $^{\circ}$ C로 승온조작하여 사용한다.

3.4.3.3.2 질량분석기(mass spectrometer)

3.4.3.3.2.1 이온화방식은 전자충격법(EI, electron impact)을 사용하며 이온화에너지는 35 eV ~ 70 eV를 사용한다.

3.4.3.3.2.2 질량분석기는 자기장형(magnetic sector), 사중극자형(quadrupole) 및 이온트랩형(ion trap) 등의 성능을 가진 것을 사용한다.

3.4.3.3.2.3 정량분석에는 선택이온검출법(SIM, selected ion monitoring)을 이용하는 것이 바람직하다. 선택하는 이온들은 표 26의 이온을 사용할 수 있다.

3.4.3.3.3 SPME (Solid Phase Micro Extraction)

화이버는 2 cm - 50/30 μm DVB/Carboxen/PDMS 또는 이와 동등 이상의 성능을 지닌 것을 사용한다.

3.4.3.4 시약 및 표준용액

3.4.3.4.1 시약

3.4.3.4.1.1 정제수

시약용 정제수를 사용하거나, 순수제조장치로 정제된 물을 사용한다. 단, 바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.3.4.1.2 메탄올(methanol, CH_3OH , 분자량 : 32.04)

바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.3.4.1.3 염화나트륨

염화나트륨(sodium chloride, NaCl , 분자량 : 58.44)은 450 $^{\circ}\text{C}$ 전기로에서 4시간 ~ 5시간 구운 것을 사용하며, 바탕시험 할 때 분석화합물의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

3.4.3.4.1.4 아스코르빈산나트륨(sodium L-ascorbate, $\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6$, 분자량 : 198.10)

3.4.3.4.2 표준용액

3.4.3.4.2.1 지오스민, 2-MIB 혼합표준원액(1,000 mg/L)

지오스민, 2-MIB 표준물질 10 mg을 정확히 취하여 메탄올 10 mL에 녹인다. 이 용액은 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여

4 °C에서 냉장보관하고, 4주일 이내에 사용한다. 시판하는 표준용액을 사용할 수 있다.

3.4.3.4.2.2 지오스민, 2-MIB 혼합표준용액(10 mg/L)

지오스민, 2-MIB 혼합표준원액(1,000 mg/L) 1 mL를 100 mL 부피플라스크에 넣고 메탄올로 표선까지 채운다.

3.4.3.4.2.3 내부표준용액 (0.01 mg/L)

1,2-디클로로벤젠-d4 10 mg을 10 mL의 메탄올에 녹여 1,000 mg/L의 내부표준용액을 만든 다음 단계적으로 희석하여 0.01 mg/L가 되도록 내부표준용액을 만든다.

3.4.3.5 시료채취 및 관리

3.4.3.5.1 시료는 미리 질산 및 증류수로 씻은 유리병에 기포가 발생하지 않게 가득 채워서 밀봉하고 가능한 빨리 실험한다.

3.4.3.5.2 즉시 시험이 가능하지 않은 경우는 냉장 보관하여야 하며, 잔류염소를 포함하고 있는 경우는 아스코르빈산나트륨을 0.01 g ~ 0.02 g을 넣어 잔류염소를 제거하도록 한다.

3.4.3.6 정도보증/정도관리(QA/QC)

3.4.3.6.1 방법검출한계 및 정량한계

3.4.3.6.1.1 방법검출한계(method detection limit) 및 정량한계(minimum quantitation limit)는 정제수에 정량한계 부근의 농도가 되도록 첨가한 7개의 시료를 준비하고 3.4.3.7항의 실험절차와 동일하게 분석하여 표준편차를 구한다.

3.4.3.6.1.2 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정된 방법검출한계는 시험방법에서 제시한 정량한계 이하이어야 한다.

3.4.3.6.2 방법바탕시료의 측정

시료군마다 1개의 방법바탕시료(method blank)를 측정한다. 방법바탕시료는 정제수를 사용하여 3.4.3.7 항의 실험절차와 동일하게 전처리·측정하며 측정값은 방법검출한계 이하이어야 한다.

3.4.3.6.3 검정곡선의 작성 및 검증

3.4.3.6.3.1 정량범위 내 5개의 농도에 대해 검정곡선을 작성하고 얻어진 검정곡선의 결정계수(R^2)가 0.98 이상 또는 감응계수의 상대표준편차가 25 % 이내이어야 하며 결정계수나 감응계수의 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성한다.

3.4.3.6.3.2 검정곡선의 직선성을 검증하기 위하여 검정곡선을 작성할 때에는 정량범위를 0.001 $\mu\text{g/L}$ ~ 0.02 $\mu\text{g/L}$ 로 한다. 그러나 측정값이 이 농도범위를 벗어날 경우에는 시료를 묽혀서 다시 분석한다.

3.4.3.6.3.3 검정곡선의 감응계수를 검증하기 위하여 검정곡선의 중간 농도에서 한 농도를 선택하여 감응계수를 구하여 그 값의 변화가 25 % 이내에서 일치하여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성한다.

3.4.3.6.4 정확도 및 정밀도

3.4.3.6.4.1 정밀도(precision) 및 정확도(accuracy)의 측정은 먹는물수질공정시험기준 ES 05001.a 정도보증/정도관리에 따른다. 정제수에 정량한계 농도의 10배가 되도록 동일하게 표준물질을 첨가한 시료 4개 이상 준비하고, 3.4.3.7 항의 절차와 동일하게 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

3.4.3.6.4.2 정확도는 인증시료를 확보할 수 있는 경우 인증표준물질을 분석한 결과값과 인증값과의 상대백분율로 나타내고, 인증시료를 확보할 수 없는 경우 이를 정확한 농도로 첨가한 시료로 대체한다. 이 때 정확도는 첨가시료를 분석한 농도와 첨가하지 않은 시료를 분석한 농도와의 차이에 대한 첨가농도의 상대백분율로서 나타내며 그 값이 75 % ~ 125 % 이내이어야 한다.

3.4.3.6.4.3 정밀도는 측정값의 상대표준편차(RSD)로 계산하며 측정값이 25 % 이내이어야 한다.

3.4.3.6.5 현장 이중시료의 측정

현장 이중시료(field duplicate sample)는 동일한 장소에서 동일한 조건으로 중복 채취한 시료로서 한 조사팀이 하루에 20개 이하를 채취할 경우에는 1개를 그리고 그 이상을 채취할 때에는 시료 20개당 1개를 추가로 채취한다. 동일한 조건의 두 시료간의 측정값의 편차는 25 % 이하이어야 한다.

3.4.3.6.6 내부정도관리 주기 및 목표

3.4.3.6.6.1 방법검출한계, 정량한계, 정밀도 및 정확도는 연 1회 이상 산정하는 것을 원칙으로 하며, 분석자의 교체, 분석 장비의 수리 및 이동 등의 주요 변동사항이 생길 경우에는 다시 실시한다. 단, 장비의 청소, 컬럼 교체 시와 측정 장비의 감도가 의심될 때에는 언제든지 측정하여 확인하여야 한다.

3.4.3.6.6.2 검정곡선 검증 및 시약바탕시료의 분석은 각 시료군마다 실시하며, 고농도의 시료 다음에는 시약바탕시료를 측정하여 오염여부를 점검한다.

3.4.3.6.6.3 각 정도관리 항목에 대한 정도관리 목표 값은 표 27과 같다.

3.4.3.7 분석절차

3.4.3.7.1 전처리

3.4.3.7.1.1 화이버를 270 °C에서 1 시간 이상 헬륨가스를 흘려 활성화한다.

3.4.3.7.1.2 20 mL 바이알에 시료 10 mL와 정제된 염화나트륨 3 g을 넣는다.

3.4.3.7.1.3 시료에 내부표준용액(0.01 mg/L) 50 µL를 첨가한 후 70 °C, 400 rpm으로 교반하면서 SPME 화이버에 30분간 흡착시킨다.

3.4.3.7.2 검정곡선의 작성

3.4.3.7.2.1 정제수 10 mL에 지오스민과 2-MIB 혼합표준용액(10 mg/L)을 0.002 µg/L ~ 0.02 µg/L까지 단계적으로 첨가하고 내부표준용액(0.01 mg/L) 50 µL를 첨가한다.

3.4.3.7.2.2 이하 추출방법은 3.4.3.7.1.1~3.4.3.7.1.3에 따른다.

3.4.3.7.2.3 지오스민, 2-MIB 각각의 농도(C_x)를 취하여 가로축(x 축)에, 각 분석화합물의 피크 면적(A_x)과 내부표준물질의 피크면적(A_i)과의 비(A_x/A_i)를 세로축(y 축)에 취하여 검정곡선을 작성한다.

[주 1] 피크의 면적 대신 피크의 높이를 사용할 수 있으나 피크 면적을 사용하는 것이 바람직하다.

3.4.3.7.3 측정법

3.4.3.7.3.1 흡착시킨 시료를 270 °C, 4분간 탈착시켜 기체크로마토그래프/질량분석기로 분석한다.

3.4.3.7.3.2 기체크로마토그래프/질량분석기로부터 얻은 크로마토그램에서 각 분석성분 및 내부표준물질의 머무름 시간에 해당하는 위치의 피크들로부터 피크의 면적을 구한다.

3.4.3.8 결과보고

Geosmin의 시험결과 표시한계는 0.000001 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.000000 mg/L 이다. 2-MIB의 시험결과 표시한계는 0.000002 mg/L 이며, 시험결과 표시자리수는 0.000000 mg/L 이다.

3.4.3.9 참고자료

3.4.2.9.1 Steven W. Lloyd et al. "Rapid analysis of Geosmin and 2-methylisobornal in water using solid phase micro extraction procedures", Water Research vol 32, NO.7(1998), 2140-2146

3.4.2.9.2 Tsair-Fuh Lin et al. "Effect of residual chlorine on the analysis of Geosmin, 2-MIB and MTBE in drinking water using the SPME technique", Water Research vol 37 (2003) 21-26.

3.4.2.9.3 국립환경과학원, 2006, 먹는물 중 지오스민, 2-MIB의 관리방안 연구 (I)

3.4.2.9.4 서울시상수도사업본부, 2001, 맛냄새 물질의 표준분석법 개발에 관한 연구

3.4.3.9.5 일본수도협회, 2002, 상수시험방법

3.4.3.10 부록

표 26 지오스민, 2-MIB의 각 물질별 특성이온

물질명	분자량	제1선택이온 (m/z)	제2선택이온 (m/z)
Geosmin	182.31	112	125, 97
2-Methylisoborneol	168.00	95	108, 135

표 27 정도관리 목표 값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.001 µg/L ~ 0.002 µg/L
검정곡선	결정계수(R ²) ≥ 0.98 또는 감응계수(RF)의 상대표준편차 ≤ 25 %
정밀도	상대표준편차가 ± 25 % 이내
정확도	75 % ~ 125 %
현장이중시료	상대편차백분율이 ± 25 % 이내

그림 13 지오스민, 2-MIB의 GC-MS 크로마토그램(예)

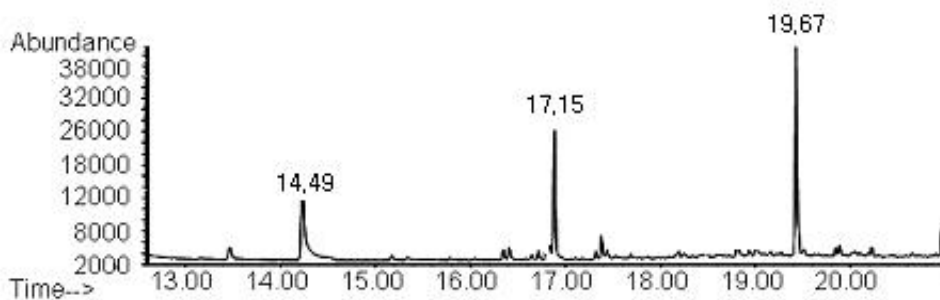


표 28 지오스민, 2-MIB의 기체크로마토그래피 실험조건(예)

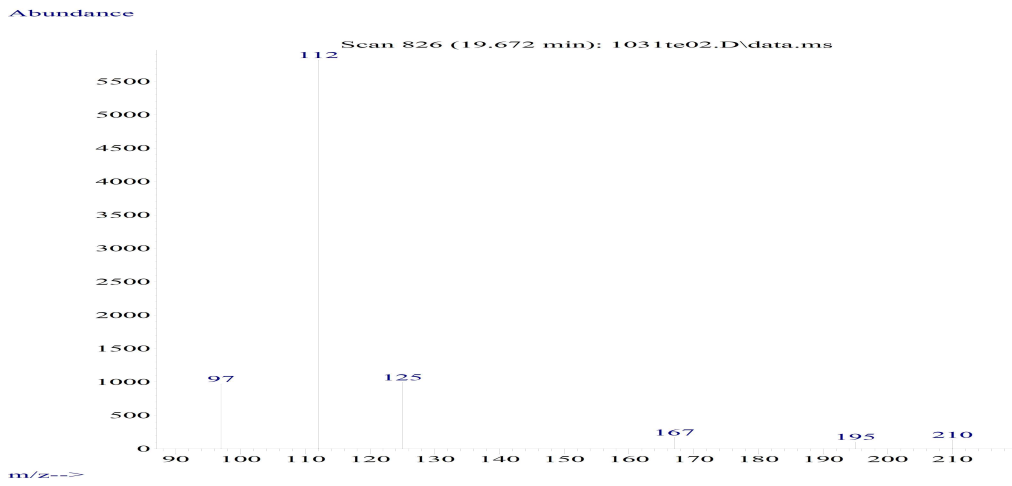
항 목	조 건				
컬럼	Ultra-2 (Cross-linked 5 % Phenylmethylsilicon, 25 m × 0.2 mm I.D × 0.33 μm, film thickness)				
운반기체 (유속)	헬륨 (0.9 mL/min)				
분획비	10 : 1				
주입구 온도	270 °C				
검출기 온도	280 °C				
오븐 온도	초기온도 (°C)	초기시간 (min)	승온속도 (°C/min)	최종온도 (°C)	시간 (min)
	40	5	15	65	5
			15	215	0
			30	300	3

표 29 지오스민, 2-MIB의 머무름 시간(예)

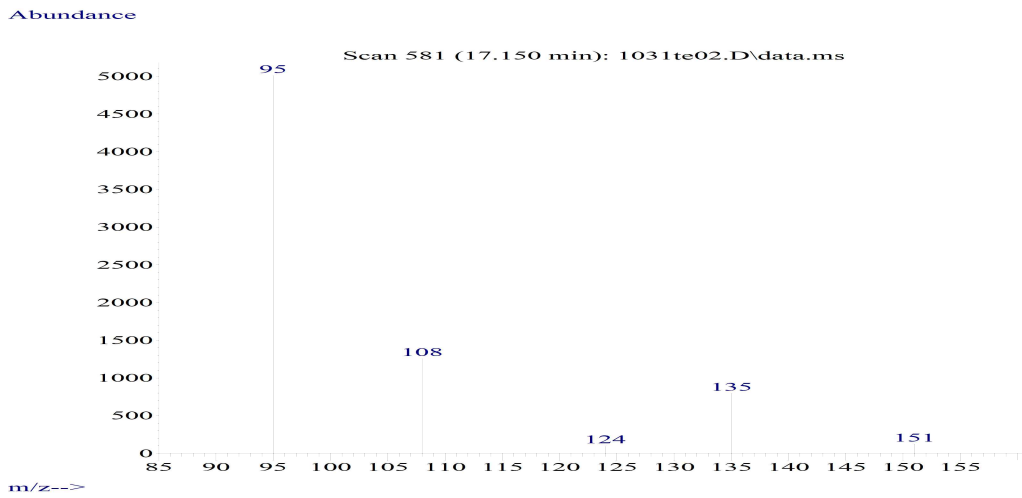
물질명	분 (min)
지오스민	19.67
2-MIB	17.15
내부표준물질	14.59

그림 14 지오스민, 2-MIB의 질량스펙트럼

지오스민



2-MIB



4. 측정자료 관리

4.1 자료 입력

조류경보제 측정기관에서 측정결과를 확정하여 당해 주간 측정결과를 당해 주간 수요일까지 물환경정보시스템에 입력한다.

※ 신속한 결과보고를 통한 원활한 업무 추진을 위해 분석기관은 측정결과 생산을 위한 소요시간을 고려하여 보고시기를 채수일 포함 최소 3일 이내로 통일한다.

1) 매주 목요일 기준으로 측정회차를 결정한다.

※ (근거) 국가기술표준원(KATS)의 '한국산업표준(KS X ISO 8601)'을 따른다.

예시		<2015년 5월 달력>						
일	월	화	수	목	금	토	해당 주간	
26	27	28	29	30	1	2	4월 5주	▶ 금요일이 1일로 시작하는 경우 3일의 날이 포함(금, 토, 일)되며, 목요일을 포함하지 않으므로 4~10일이 5월 1주가 된다.
3	4	5	6	7	8	9	5월 1주	
10	11	12	13	14	15	16	5월 2주	
17	18	19	20	21	22	23	5월 3주	
24	25	26	27	28	29	30	5월 4주	
31							6월 1주	

		<2015년 10월 달력>						
일	월	화	수	목	금	토	해당 주간	
27	28	29	30	1	2	3	10월 1주	▶ 목요일이 1일로 시작하는 경우 4일의 날이 포함(목 금 토 일)되며, 목요일을 포함하므로 9월28일~10월4일이 10월 1주가 된다.
4	5	6	7	8	9	10	10월 2주	
11	12	13	14	15	16	17	10월 3주	
18	19	20	21	22	23	24	10월 4주	
25	26	27	28	29	30	31	10월 5주	

2) 조류경보제 운영을 위해 반드시 입력해야 하는 경보발령 기준 등 필수 항목과 조류발생 상황을 파악하기 위한 권고항목을 입력한다.

구 분	측정 항목
필수 항목	수온, pH, DO, 투명도, 탁도, 클로로필 a, 유해남조류 세포수, 유해남조류 우점종 및 세포수(속별), 냄새물질(지오스민, 2-MIB), 조류독소(총 Microcystin-LR) ※ 냄새물질, 조류독소는 평시에는 권고항목
권고 항목	총조류세포수, 전체우점종, 분류군별(규조류, 남조류, 녹조류, 기타조류) 우점종 및 세포수 등 ※ 각 측정기관에서 기 시행중이거나 여건에 맞게 최대한 입력 가능한 항목을 입력

※ 조류경보 미발령 지점인 '조류관찰지점'의 경우, 필수항목인 냄새물질과 조류독소 항목이 권고항목에 포함

4.2 자료 공개

측정결과는 아래의 확정·공개절차에 따라 시스템 관리기관(과학원)에 측정자료를 통보한다. 측정결과 승인 후 국민이 알 수 있도록 수온, 클로로필 a, 유해남조류 세포수 등 필수항목을 홈페이지에 공개한다. 필수항목 이외의 항목은 조류 관련 연구개발, 자료 공동이용을 위해 활용한다.

물환경 정보시스템 조류정보방	결과입력 (측정기관)	결과승인		대국민공개	
		기 간	부 서	기 간	요 청
조류경보제 측정결과	수요일	목요일	조류생태연구팀	금요일	조류생태연구팀 ↓ 물환경평가연구과

- 측정기관 : 측정결과 확정 및 자료 입력
 - ※ 물환경정보시스템 내부망(<http://10.101.95.200>) 접속 → 자료입력 → 조류모니터링 → 입력자료관리 → 측정결과 업로드 → 제출
- 국립환경과학원(물환경평가연구과, 조류생태연구팀) : 측정결과 입력 확인 및 승인, 승인된 측정자료 대국민 공개

4.3 보고 및 기록유지

- 1) 조류경보제 자료관리시스템에 자료 입력을 위한 권한을 신청한다.
 - ※ 물환경정보시스템 기존 아이디로 입력 권한 획득 가능(신규 권한 요청은 과학원 조류생태 연구팀으로 문의)
- 2) 각 조사기관에서는 조류경보제 측정결과를 확정하여 시스템에 엑셀입력 표준 템플릿을 당해 주간 수요일까지 업로드, 발령권자 등 관계기관에 공문을 시행한다.

※ 유의사항

- 문서 수신처에 해당 관리기관, 환경부 수질관리과, 국립환경과학원 물환경평가연구과를 추가하고, 측정결과(엑셀입력 표준템플릿 양식) 첨부
- 미측정시 엑셀 양식의 '특이사항'란에 미측정 사유 기재
- 측정결과가 승인된 이후에는 국립환경과학원(물환경평가연구과)에 문서 또는 메모 보고로 자료수정 요청
- 수자원공사 측정호소는 해당 관리기관(낙동강청, 대구청 등)에서 입력(정부 보안규정에 따라 관리시스템 접속제한)

3) 조류발생 상황 보고

유역(지방)환경청장 및 시·도지사는 수질 분석결과, 경보발령 현황 및 해제 상황, 조류발생 상태, 피해경감 대책 추진상황과 조치계획 및 결과 등을 보고 서식에 따라 환경부에 보고한다.

4) 수질 관찰·조사 기록부 유지

수질 조사기관은 수질 관찰·조사 기록부에 따라 조류 모니터링을 실시한다. 또한 조사기관은 모니터링 결과를 조류경보 발령권자인 유역(지방)환경청장, 시·도지사에게 보고하여 남조류의 개체수가 높게 관찰되는 등 특이사항 발견 시 수면관리자 및 취·정수장 등 관련기관으로 통보하여 사전에 대응할 수 있도록 하며, 모든 보고자료와 기록부는 1년간 보관한다.

<서식 1> 조류경보 발령(해제)통보

환경부 및 관계기관
보고(통보)서식

조류경보 발령(해제) 통보

1. 발령단계 :
2. 발령(해제)일시 :
3. 조사지점 :
4. 조사결과
 - 가. 조사(시료채취) 일자 :
 - 나. 조사결과

지점명						
시료채취일자						
남조류세포수 (세포/mL)						
조류경보 발령단계						

5. 조류발생 현황 및 전망
6. 관계기관 협조사항
7. 기타 특이사항

<서식 2> 수질관찰·조사 기록부

수질 관찰·조사 기록부

수질 관찰·조사 기록부							결 재
관찰·조사지점							
관찰·조사일자				날	씨		
관찰·조사자	소 속	직 급	성 명				
관찰·조사시간				시	료	채	취
관찰결과	색 도			탁 도			
	조류발생						
	관찰의견						
조사결과	수 온	℃		pH			
	DO	mg/L		투명도	m		
	탁도	NTU		남조류	세포/mL		
	클로로필 <i>a</i>	mg/m ³		우점 남조류			
	독소	μg/L	μg/L	냄새 물질			ng/L
							ng/L
조사의견							
종합의견							

* 남조류 세포수는 유해남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속 세포수의 합으로 함

부 록

녹조현상의 특성

1. 주요 조류 사진 및 특성
2. 우리나라의 조류발생 특성
3. 외국의 남조류 관리기준
4. 국내 출현하는 독성 남조류
5. 남조류가 생산하는 독성물질
6. 조류 종에 따른 취기의 종류 및 발취농도
7. 녹조유발 조류 및 녹조현상 제어방법

1. 주요 조류 사진 및 특성

1.1 남조류(Cyanophyta)

남조류는 원핵생물(prokaryote)이면서도 고등식물과 마찬가지로 두개의 광합성 시스템을 갖는 지구상의 최초의 조류이다. 광합성을 통한 산소의 생성으로 지구 대기환경을 바꾸어 놓은 것은 물론이고 영양물질의 농도가 낮은 바다에서 유기물의 1차생산자로서 먹이사슬의 기본이 되는 중요한 기능을 하고 있으며, 또한 대기 중의 질소가스를 고정하여 생물이 이용할 수 있는 형태의 질소로 전환하는 질소고정(nitrogen fixation)을 하는 중요한 기능을 수행한다. 남조류는 편모를 갖고 있지 않으나 체내에 기포(gas vesicle)를 갖고 있어 물의 표면에 부유하는 특성을 갖고 있으며, 군체(colony)나 사상체(trichome)를 형성한다.

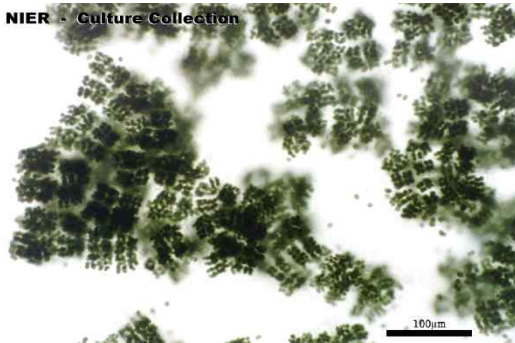
최근 우리나라에서는 호수나 저수지 등에 영양물질의 농도가 높아지면서 남조류의 대량증식으로 인한 “녹조현상(cyanobacterial blooming)”이 발생하면서 정수처리 장애나 남조류가 생산하는 독성물질에 대한 피해가 우려되고 있다.



Microcystis aeruginosa

초여름부터 가을까지 부영양화된 수역에서 녹조현상을 유발하는 대표적인 남조류

불규칙한 등근모양의 군체를 형성하고 간독소(microcystin)를 생성하기도 함



Microcystis viridis

초여름부터 가을까지 출현하는 녹조 현상 원인 남조류

간독소를 생성하는 종으로 4개의 세포가 규칙적인 배열을 하여 군체를 형성



Microcystis ichthyoblabe

초여름부터 가을까지 출현하는 녹조 현상 원인 남조류

간독소를 생성하기도 하며, 다른 *Microcystis*에 비해 세포의 크기가 작고 불규칙한 군체를 형성



Anabaena flos-aquae

주로 봄과 가을에 출현하며, 신경독소 (anatoxin)를 생성하기도 함

등근 세포가 일렬로 배열하는 긴 사슬 모양의 trichome을 형성하고 수표면에 부상하여 성장



Anabaena macrospora

주로 봄과 가을에 출현하며 신경독소 (anatoxin)를 생성하기도 함

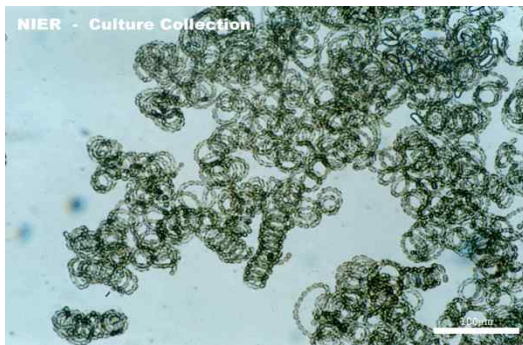
등근 세포가 직선으로 배열하는 사슬 모양의 trichome을 형성

질소고정을 하는 heterocyst(이형 세포)는 원형으로 영양세포의 중간에 위치하고 좀 떨어진 위치에 타원형의 휴면포자인 akinete가 위치



Anabaena spiroides

주로 봄과 가을에 출현하며 신경독소 (anatoxin)를 생성하기도 함
 등근 세포가 규칙적인 간격으로 일정한 방향으로 회전하는 나선형의 trichome을 형성



Anabaena circinalis

주로 봄과 가을에 출현하며 신경독소 (anatoxin)를 생성하기도 함
 등근 세포가 불규칙적인 방향과 간격으로 꼬인 trichome을 형성



Aphanizomenon flos-aquae

우리나라에서 녹조현상을 유발하는 종류 중의 하나로 가을철에 주로 발생하고 심한 경우 겨울까지도 지속됨
 여러 개의 세포가 일렬로 배열한 한 가닥의 trichome이 다발로 묶인 모인모양의 군체를 형성하고 물의 표면에 scum을 형성



Phormidium sp.

우리나라 대부분의 수역에서 발견되는 남조류로 봄부터 가을까지 출현
 직선으로 배열된 trichome을 형성하며 다른 남조류에 비해 크기가 작으며, 부유하거나 바닥이나 돌 등에 부착하여 자라기도 함



Oscillatoria sp.

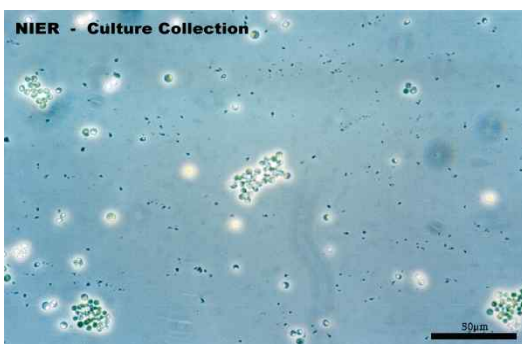
주로 봄과 가을에 녹조현상을 유발하는
종으로 간독소를 생산하기도 함

납작한 영양세포가 일렬로 배열하여
trichome을 형성하고 수표면에 부유
하거나 바닥에 mat를 형성

Gliding으로 스스로 움직일 수 있음

1.2 녹조류

녹조류는 전형적인 녹색을 띠는 조류로 클로로필 *a*와 *b*를 이용하여 광합성을 하고 저장물질로 전분(starch)을 생산한다. 담수와 해수에 모두 분포하지만 주로 담수에 분포한다. 녹조류는 형태와 크기가 아주 다양하여 별모양, 훈장모양, 실모양, 장구모양, 초승달모양 등 현미경으로 관찰해 보면 아주 화려한 것을 볼 수 있다. 우리나라에서도 아주 다양한 녹조류가 발견되며, 녹조류의 이상증식으로 비린내 유발 등 정수처리에 피해를 주기도 한다.



Chlamydomonas pulsatilla

우리나라 전역에서 흔히 볼 수 있는
녹조류로 대량 증식하면 수표면에 기름
띠와 같은 막을 형성

두개의 편모를 이용하여 움직이며 유
전학적 연구 등에 재료로 이용



Scenedesmus sp.

우리나라 전역에서 흔히 볼 수 있는 녹조류로 주로 4개의 세포가 옆으로 배열하며 8, 16개 등 많은 수의 세포가 배열



Pediastrum duplex

주로 호수나 저수지에 봄부터 가을까지 출현한다. 세포는 16, 32, 64, 128개의 별이나 훈장과 같은 특징적인 배열의 군체를 만들며, 가장자리 세포는 중앙에서 분화되기도 하고 coenobium을 형성하여 딸세포 군체로 방출되기도 함



가장자리 세포의 돌기수에 따라 2개의 돌기는 *P. duplex*, 한 개는 *P. simplex*로 분류

*Pediastrum duplex*의 전자현미경 사진(X 2,000)



Pediastrum simplex

호수나 저수지에 출현하는 종으로 가장자리 세포의 돌기가 1개인 것이 특징



Staurastrum sp.

봄부터 가을까지 주로 호수와 저수지에 출현하는 조류로 세포의 끝은 3~5개의 방사형 돌기가 뻗어 있음



Staurastrum sp.

정면에서 본 모양으로 3개의 방사형 돌기가 뻗어 나와 있음



*Staurastrum*의 전자현미경 사진 (X 1,500)



Coelastrum sp.

호수나 저수지에서 봄부터 가을까지 출현하는 부유성 조류

세포는 구형에 가깝고 8, 16개가 구형으로 배열하는 군집을 이룸

세포와 세포는 다리나 세포벽을 통해서로 연결



Closterium sp.

주로 봄부터 여름철에 출현하는 부유성 조류로 세포는 가장자리로 갈수록 점차 가늘어짐

세포의 가운데에는 둥근 피레노이드 (pyrenoid)가 일렬로 배열



Eudorina elegans

봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 조류로 대량 증식하여 녹조 현상을 유발하기도 함

16, 32 또는 64개의 세포가 한천질의 피막에 싸여 있으며 개개의 세포는 2개의 편모를 갖고 있어 운동성이 있음



Eudorina elegans

성장 상태에 따라 다양한 크기와 형태를 볼 수 있음



Spirogyra sp.

주로 하천이나 호수에 출현하는 종으로 세포는 분지하지 않는 직선으로 증식

막대형 세포내의 엽록체는 나선형으로 회전하여 꼬여있으며, 두 세포가 H자 모양으로 서로 접해 접합관 (conjugation tube)을 형성하여 번식



Ankistrodesmus spiralis

주로 봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 조류로 세포는 가늘고 긴 침모양, 반달모양, 방추모양 등이 있음
단독으로 존재하는 종과 4~14개의 세포가 다발로 꼬이는 군체를 형성하는 종도 있음



Stichococcus sp.

주름말과에 속하며 하천과 호소에 출현하는 선상 녹조류
원주형의 각각의 세포는 일렬로 배열하여 사상체를 형성하고 분지하지 않으며, 엽록체는 한 개이며 토양에서 서식하기도 함



*Stichococcus*의 확대 사진



Microspora sp.

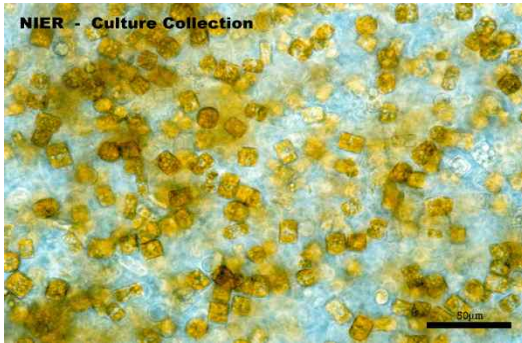
하천이나 호소에 출현하는 선상 녹조류, 세포벽은 H상 구조로 되어 있고 과립형의 엽록체는 세포 전체에 퍼져 있음
원주형 또는 정방형의 세포가 일렬로 배열하며 분지하지 않음

1.3 규조류

해양과 담수에 서식하는 규조류는 부유하거나 여러 매질에 부착하는 단세포성 조류이다. 단독형, 연결형, 작은 군체형 등의 형태로 성장하며 규산질의 세포벽(siliceous frustule)을 갖기 때문에 규조류라고 불린다. 수중생태계의 생산자로서 그리고 어패류의 먹이로도 중요한 역할을 하는 규조류의 몸속에는 많은 세포액이 있으며, 색소체로는 엽록소와 규조소(diatomin)가 있고, 동화산물은 녹말이 아니고 지방과 볼루틴(volutin)이라는 다당류이다.

규조류의 패각(frustule)은 두개의 판(valve)과 girdle band로 구성되어 있다. 다시 valve는 외판(epivalve)과 내판(hypovalve)로 되어 있으며 외판이 내판보다 더 크다. Girdle band는 silica로 된 고리 형태로 2개의 판사이를 연결하여 준다. 규조류는 이러한 판의 구조와 반문(markings)으로 구분하는데 반문의 대칭 구조에 따라 방사형의 중심목(centric diatoms)과 바늘모양의 우상목(pennate diatoms) 2가지로 분류한다. 우상목은 다시 판(valve)의 긴축을 가로지르는 raphe라는 틈의 유무에 따라 raphid와 araphid로 구분한다.

생식은 무성생식으로서 2분법으로 번식하는데 그 방법이 특이하다. 처음 원형질이 둘로 나뉘어 위껍질과 아래껍질로 들어가고 난 뒤 위·아래의 껍질이 떨어져 나가며, 각각 새로운 껍질이 본래 껍질의 안쪽에 생긴다. 껍질은 자라지 않기 때문에 이러한 분열을 계속하면 크기가 점점 작은 개체들이 나온다. 작아진 개체들은 때로 세포 안의 원형질이 껍질을 벗어나 밖으로 나와 자란 뒤, 껍질을 다시 만들어 원래의 크기대로 회복된다. 이런 경우 새로운 껍질을 쓰기 전에 탈출한 원형질은 보통의 형태와는 다른데, 이것을 증대포자(auxospore)라고 한다. 이와 같이 규조류는 2분법으로 번식하다가 크기가 작아지면 증대포자를 이루어 원래의 크기로 회복한다. 규조류의 패각으로 만들어진 규조토는 여과기의 여과장치, 제당(製糖)의 정제와 다이어마이트의 흡착제, 연마제, 내화벽돌의 원료 등으로 쓴다. 돌말의 규칙적 무늬는 현미경 렌즈의 성능을 감별하기 위한 천연 검사판으로 사용되었다.



Cyclotella sp.

호수, 저수지와 하천 등에 출현하는 조류로 주로 수온이 낮은 가을부터 봄까지 많이 나타남

원반형의 세포는 단독으로 존재하거나 점액질을 분비하여 군체를 형성하기도 하고, 부유하기도 하며 다른 기질에 부착하기도 함



정수처리 과정에서 비린내를 유발하며 크기가 작아 여과지를 그대로 통과하기도 함

*Cyclotella*의 상각면(epivalve) 전자현미경사진(X 8,000)



Melosira sp.

주로 봄과 가을에 호수나 저수지 등에 출현하는 조류

원통형의 세포가 일렬로 배열하여 사슬을 만들고 부유하거나 부착하여 성장

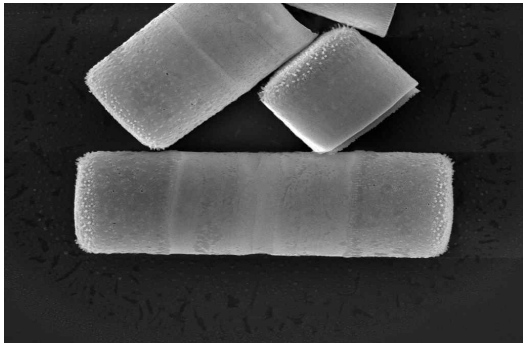
정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



Melosira sp.

원통형의 세포가 일렬로 배열하면서 원형의 사슬을 형성하는 종류도 있음

정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



*Melosira*의 전자현미경 사진(X 2,000)

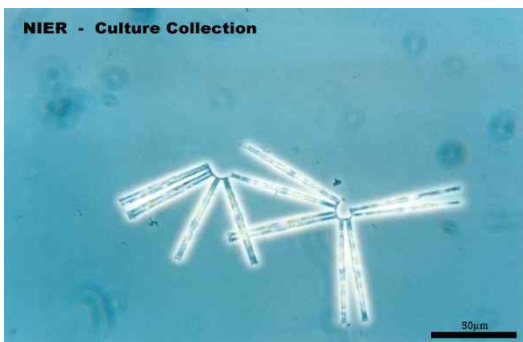
상각(epitheca)과 하각(hypotheca)이 보이며 그 중간에 각대(girdle band)가 보임



Aulacoseira sp.

호수나 연못에서 흔히 볼 수 있는 부유성 규조류로 원통형의 세포가 긴 사슬을 만들고 그 말단에 침상 돌기를 형성하기도 함

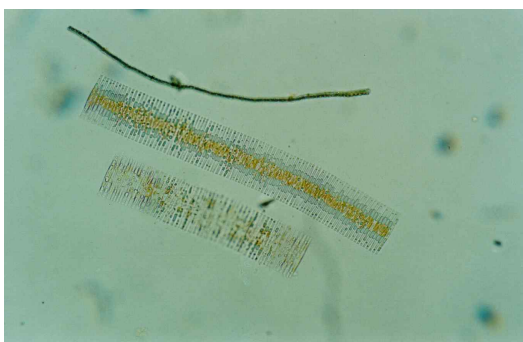
정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



Asterionella sp.

호수나 저수지에 출현하는 부유성 규조류로 여러 개의 세포가 별모양의 군체를 형성

주로 봄철과 가을철에 많이 출현하며, 정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



Fragilaria sp.

호수나 저수지에 출현하는 부유성 규조류로 개개의 세포는 침형 또는 선형으로 옆으로 길게 늘어선 벨트모양의 군체를 이룸

정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



Nitzschia sp.

호수나 저수지에 출현하는 규조류로 피침형의 모양을 갖고 있으며, 부유 또는 부착하여 성장

정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌

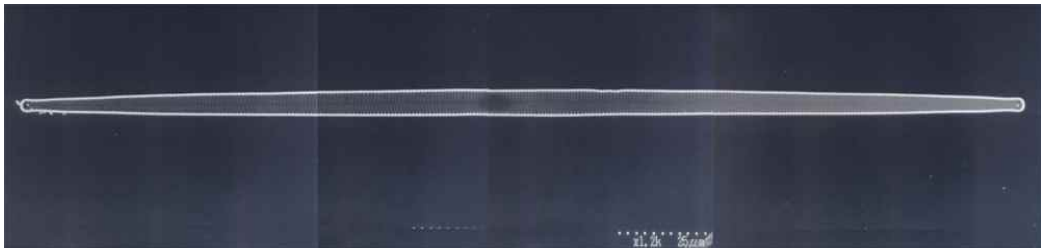


Synedra sp.

호수나 저수지에 봄과 가을에 출현하는 규조류

피침형으로 주로 단독으로 부유하여 성장하고 종류마다 20~250µm로 길이가 다양

정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



*Synedra*의 전자현미경사진(X 1,200)

1.4 기타 조류

남조류, 녹조류와 규조류 이외에 우리나라에 주로 출현하는 조류는 쌍(와)편모조류, 황금편모조류, 갈색편모조류와 유글레나류가 있다. 이들은 대부분 편모를 갖고 있어 운동성이 있는 단세포성이나 황금편모조류 중 *Dinobryon*와 *Synura* 같이 집합체를 형성하는 종류도 있으며, 우리나라 호수나 저수지에서 담

수적조를 유발하기도 하는 이들은 상수원에서 냄새물질 발생 등 정수처리 장애의 원인이 되기도 한다.

Dinophyta에 속하는 쌍편모조류(Dinoflagellates)는 와편모조류라고 부르기도 하며, 담수와 해양에 모두 분포한다. 해양에서 *Cochlodinium*, *Gymnodinium*, *Alexandrium*, *Akashiwo* 등에 의한 적조현상(red tide)이 유발되고 있으며, 일부 독성을 나타내는 종류 때문에 물고기 양식에 큰 피해를 주기도 한다. 담수에서는 *Peridinium*과 *Ceratium*에 의한 담수적조를 유발하지만 독성이 있는 것으로 보고되지는 않고 있다.

갈색편모조류인 *Cryptomonas*는 우리나라 호수와 저수지 등에 일반적으로 나타나는 종류이고, Euglenophyta에 속하는 유글레나는 비교적 작은 연못이나 저수지에 대량으로 증식하여 녹색이나 갈색의 층을 형성하여 담수적조를 유발하기도 한다.



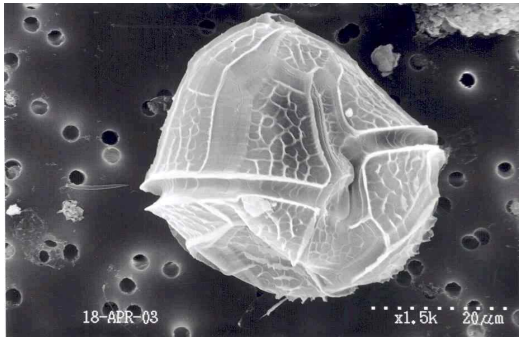
Peridinium sp.

주로 봄과 가을에 호수나 저수지에 출현하는 조류로 대량 증식하여 담수적조를 유발하기도 한다. 세포는 상추(epicone)와 하추(hypocone)로 되어 있고 조체의 허리를 감싸는 횡편모와 종편모 2개의 편모를 갖고 있음

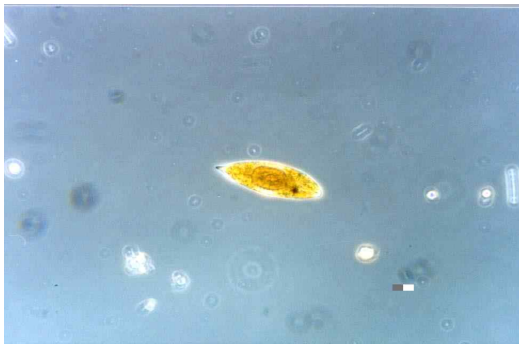
정수처리 시 냄새물질 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌



*Peridinium*이 사멸하고 남은 피각



*Peridinium*의 전자현미경 사진(X 1,500)으로 중심을 가르는 횡구와 동정에 필수적인 상추 및 하추의 각편과 자상돌기의 모양을 볼 수 있음



Euglena sp.

봄부터 가을까지 호수나 저수지 등에 출현하며, 대량 증식하여 물의 표면에 막을 형성하기도 함

가늘고 긴 방추형에서 원통형까지 형태가 다양하며 모양은 변형하기 쉬우며 편모를 갖고 있어 운동성이 있음



Ceratium sp.

봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 부유성 조류로 정각은 선단 쪽으로 가면서 가늘고 길어지며, 후각의 길이는 서로 다르다. 피각에는 망목상의 무늬가 있고 조체는 길이가 200 µm 정도로 큼



Cryptomonas sp.

봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 조류로 2개의 편모를 이용해 운동

2. 우리나라의 조류발생 특성

우리나라에서는 주로 수온이 상승하는 봄철부터 조류가 발생하기 시작하여 늦은 가을까지 성장한다. 또한 조류는 계절별로 기상 및 수질조건에 따라 계속하여 출현종의 천이가 이루어진다. 일반적으로 냉수성 규조류가 3~5월인 봄철에 주로 증식하며, 수온이 상승하는 5~6월로 접어들면서 녹조류로 천이가 이루어진다. 녹조류의 증식으로 인해 물속의 pH가 상승하고 일사량이 증가하는 초여름이 되면, 남조류로 천이가 이루어지고 이 남조류는 한번 증식하면 수일 내로 대량 증식하여 녹조현상을 유발하게 된다.

장마나 태풍 등 집중 강우가 상수원 조류발생에 큰 영향을 미친다. 즉, 많은 비가 내리면 유역으로부터 유입된 큰 물로 희석되는 효과와 함께 흙탕물로 인한 햇빛의 차단으로 조류의 농도는 급격히 감소한다. 한편 강우로 인해 수온이 20℃ 이내로 급격히 감소하면서 그동안 발생했던 남조류에서 냉수성 규조류나 녹조류로 천이가 일어난다. 그러나 강우 이후 유입된 영양물질과 일사량의 증가로 다시 남조류의 대량 증식이 급속히 일어나는 특징을 갖고 있다.

우리나라의 계절별 조류발생 특성

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

3. 외국의 남조류 관리기준

외국의 남조류 관리기준

국가	구분	단 계	기 준	
세계보건 기구 (WHO)	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)	
	상수 원수	경계단계	남조류 (1군체/mL 또는 5사상체/mL)	
		단계 1	남조류 세포수 (2,000 cells/mL) 또는 생체량 (0.2 mm/L) 또는 Chl-a (1 µg/L)	
		단계 2	남조류 세포수 (100,000 cells/mL) 또는 생체량 (10 mm/L) 또는 Chl-a (50 µg/L)	
		단계 1	남조류 세포수 (<20,000 cells/mL) 또는 남조류 우점상황에서 Chl-a (10 µg/L)	
	친수 용수	단계 2	남조류 세포수 (20,000~100,000 cells/mL) 또는 남조류 우점상황에서 Chl-a (10~50 µg/L)	
		단계 3	남조류 세포수 (>100,000 cells/mL) (스킵 존재)	
		먹는물		마이크로시스틴-LR (1.3 µg/L, 등가값)
	호주 정부 NHMRC (국립보 건의료연 구위원회)	상수 원수	감지단계	<i>Microcystis aeruginosa</i> (500~2,000 cells/mL) 또는 총 남조류 생체량 (0.05~0.2 mm/L)
			단계 1	<i>M. aeruginosa</i> (2,000~6,500 cells/mL) 또는 총 남조류 생체량(0.2~0.6 mm/L)
단계 2			<i>M. aeruginosa</i> (6,500 cells/mL 이상) 또는 총 남조류 생체량 (0.6 mm/L 이상)	
단계 3			<i>M. aeruginosa</i> (65,000 cells/mL 이상) 또는 총 남조류 생체량 (6 mm/L 이상)	
친수 용수		단계 1	감시 단계(Green): <i>M. aeruginosa</i> (500~<5,000 cells/mL) 또는 총 남조류 생체량 (0.04<~<0.4 mm/L)	
		단계 2	경보 단계(Amber): <i>M. aeruginosa</i> (5,000~<50,000 cells/mL) 또는 독소생성 남조류 우점시 총 남조류 생체량 (0.4~<4 mm/L) 또는 독소생성 남조류로 알려지지 않은 총 남조류 생체량 (0.4~<10 mm/L)	
		단계 3	조치 단계(Red): 총 마이크로시스틴 (≥10µg/L) 또는 독성 <i>M. aeruginosa</i> (≥50,000 cells/mL) 또는 독소생성 남조류 우점시 총 남조류 생체량 (≥4 mm/L) 또는 독소생성 남조류로 알려지지 않은 총 남조류 생체량 (≥10 mm/L) 또는 지속적 스킵 존재	

국가	구분	단 계	기 준
뉴질랜드	먹는물		총 마이크로시스틴(1 μ g/L, MC-LR 등가값), 신린드로스페롭신(1 μ g/L), 노둘라린(1 μ g/L), 삭시토신(3 μ g/L, STX 등가값), 아나톡신-a(6 μ g/L), 아나톡신-a(s)(1 μ g/L), 호모아나톡신-a(2 μ g/L)
		단계 1	감시단계: 남조류 세포수 (<500cells/mL)
		단계 2	경보단계: 독성남조류 생체량 (0.5-1.8 mm/L) 또는 총 남조류 생체량 (0.5-10 mm/L)
		단계 3	조치단계: 총 마이크로시스틴 (\geq 12 μ g/L) 또는 독성남조류 생체량 (\geq 1.8 mm/L) 또는 총 남조류 생체량 (\geq 10 mm/L) 또는 지속적 스킴 발생
	친수 용수	저서성 남조류	저서성 남조류 분포에 따른 3단계 관리 기준 (<20%, 20-50%, >50%)
프랑스	먹는물		총 마이크로시스틴-LR (1 μ g/L)
		단계 1	남조류 세포수 (<20,000 cells/mL \pm 20%)
		단계 2	남조류 세포수 (20,000~100,000 cells/mL \pm 20%) 마이크로시스틴 LR<25 μ g/L(목욕, 레크레이션 활동 제한) 마이크로시스틴 LR>25 μ g/L(목욕금지, 레크레이션 활동 제한)
	친수 용수	단계 3	남조류 스킴 발생 시 목욕금지, 모든 레크레이션 금지(모든 활동 금지)
캐나다	먹는물		마이크로시스틴-LR (1.5 μ g/L) 아나톡신-a(3.7 μ g/L) (아나톡신은 퀘백 관리항목)
		친수용수	총 남조류(\leq 100,000 cells/mL) 또는 마이크로시스틴-LR (\leq 20 μ g/L)
독일	친수 용수	단계 1	투명도(>1m), Chl-a(<40 μ g/L) 또는 생체량(<1mm/L) 또는 총 마이크로시스틴(<10 μ g/L)
		단계 2	투명도(<1m), Chl-a(>40 μ g/L) 또는 생체량(>1mm/L) 또는 총 마이크로시스틴(10~100 μ g/L)
		단계 3	심한 스킴 발생, 총 마이크로시스틴(>100 μ g/L)
이탈리아	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 μ g/L)
		관찰단계	투명도 (<1m), 총인 (>20 μ g/L), Chl-a (>20 μ g/L)
		1단계	남조류 세포수 (<20,000 cells/mL)
		2단계	남조류 세포수 (20,000~100,000 cells/mL)
	친수 용수	3단계	남조류 세포수 (>100,000 cells/mL) 총 마이크로시스틴 (>25 μ g/L 목욕금지)

국가	구분	단 계	기 준
네덜란드	먹는물		총 마이크로시스틴(1µg/L), 남조류 세포수(<4,700 cells/mL)
	친수 용수	감시단계	총마이크로시스틴(<10 µg/L) 남조류 Chl-a (<12.5 µg/L) 또는 남조류 생체량 (<2.5 mm/L)
		단계 1	총마이크로시스틴(10~20 µg/L) 남조류 Chl-a (12.5~75 µg/L) 또는 남조류 생체량 (2.5~15 mm/L)
		단계 2	총마이크로시스틴(>20 µg/L) 남조류 Chl-a (>75 µg/L) 또는 남조류 생체량 (>15 mm/L) (마이크로시스틴-생성 남조류가 80% 우점하고 <20 µg/L인 경우 경보단계 1에 해당)
브라질	먹는물		남조류(10,000~20,000 cells/mL) 또는 남조류 생체량(1mm/L) 마이크로시스틴(1 µg/L), 삭시토신(3 µg/L, 등가값), 실린드로스퍼몹신(15 µg/L)
체코	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)
	상수 원수	경계단계	남조류 (≥1군체/mL 또는 ≥5사상체/mL)
		단계 1	남조류 세포수 (≥2,000cells/mL) 또는 생체량 (≥0.2mm/L) 또는 Chl-a (≥1µg/L)
		단계 2	남조류 세포수 (≥100,000 cells/mL) 또는 생체량 (≥10mm/L) 또는 Chl-a (≥10 µg/L)
	친수 용수	단계 1	남조류 세포수 (>20,000 cells/mL)
		단계 2	남조류 세포수 (>100,000 cells/mL)
핀란드	먹는물		총 마이크로시스틴 (>10 µg/L)
	상수 원수	단계 1	독성 남조류(>5,000 cells/mL) 또는 생체량 (>1 mg/L)
		단계 2	독성 남조류(>100,000 cells/mL) 또는 생체량 (>20 mg/L) 총 마이크로시스틴 (>1 µg/L)
	친수 용수	관찰단계	수표면 조류 미관찰, 투명도에 조류의 영향 없음
		단계 1	녹색의 부유물, 조류에 의한 투명도 감소
		단계 2	물빛 녹색, 수표면 일부 스킴, 물가에 남조류 집중 발생
단계 3		수표면에 대량 스킴 발생, 물가에 대량 스킴 발생	
스페인	먹는물		총 마이크로시스틴 (1 µg/L)

국가	구분	단 계	기 준
덴마크	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)
싱가포르	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)
헝가리	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)
일본	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)
중국	먹는물		마이크로시스틴-LR (1 µg/L)

4. 국내 출현하는 독성 남조류

남조류는 원핵생물(prokaryote)이면서도 고등식물과 마찬가지로 두개의 광합성 시스템을 갖는 지구상의 최초의 조류이다. 광합성을 통한 산소의 생성으로 지구 대기환경을 바꾸어 놓은 것은 물론이고 영양물질의 농도가 낮은 바다에서 유기물의 1차 생산자로서 먹이사슬의 기본이 되는 중요한 기능을 하고 있으며, 또한 대기 중의 질소가스를 고정하여 생물이 이용할 수 있는 형태의 질소로 전환하는 질소고정(nitrogen fixation)을 하는 중요한 기능을 수행한다. 남조류는 편모를 가지고 있지 않으나 체내에 기포(gas vesicle)가 있어 물의 표면에 부유하는 특성을 지니며 군체(colony)나 사상체(trichome)를 형성한다.

최근 우리나라에서는 호수나 저수지 등에 영양물질의 농도가 높아지면서 남조류의 대량 증식으로 인한 “녹조현상(cyanobacterial blooming)”이 발생하면서 정수처리 장애나 남조류가 생산하는 독성물질에 대한 피해가 우려되고 있다. 조류 발생정도는 각각의 개체수나 조류가 공통으로 세포속에 갖고 있는 클로로필 *a*의 양으로 측정이 가능하며, 광학 현미경을 통해 남조류와 녹조류 등 종간구분(동정)이 가능하다. 그러나 국내에 출현하는 남조류 중 *Microcystis* spp., *Anabaena* spp., *Aphanizomenon* spp. 및 *Planktothrix*(*Oscillatoria*) spp. 등 일부 종류는 독성물질을 생성하는 것으로 알려져 있으며, 이 중 독성유전자를 갖고 있거나 독성물질을 생성하는 종을 현미경으로 직접 구분하는 것은 불가능하다.

국내에 주로 출현하는 남조류와 생성하는 독소의 종류는 다음과 같다.

- *Microcystis* : hepatoxin(microcystins) 간독소
- *Anabaena* : neurotoxin(anatoxins) 신경독소, hepatotoxin 간독소
- *Aphanizomenon* : hepatotoxin 간독소
- *Planktothrix*(*Oscillatoria*) : hepatotoxin 간독소

남조류가 생성하는 독소 중 잘 알려져 있는 마이크로시스틴(microcystins)은 hepatotoxin(간독소)으로 다양한 남조류가 생성할 수 있다. 남조류가 독소를 생성하기 위해서는 독소생성 유전자(*mcy* gene)를 갖고 있어야 하지만 독성 유전자를 가지고 있다고 해서 모두 독소를 생성하는 것은 아니다. 독성유전자를 가지고 있으면 잠재적 독소생성 남조류(potential microcystin producer)로 구분하며, 이들은 환경조건에 따라 독소를 생성할 수 있기 때문에 남조류 발생 초기에 이들을 검출해 내는 것이 중요하다.

5. 남조류가 생산하는 독성물질

남조류 중 *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia* 등의 일부는 가축과 사람의 효소활동을 저해하여 간암을 유발하거나 신경계통에 독성을 나타내는 물질을 생산하는 것으로 알려져 있다. 그러나 모든 남조류가 독성물질을 생성하지는 않으며, 생성량과 종류는 같은 종이라고 할지라도 환경요인에 따라 그 차이가 매우 크다. 남조류가 독성물질을 생산하는 이유는 아직 정확하게 밝혀지지 않았지만 포식자에 대한 일종의 저항이나 다른 조류와의 경쟁을 위한 작용이라는 의견이 일반적이다.

남조류가 생산하는 것으로 알려진 microcystin의 경우 두 개의 치환기에 오는 아미노산의 종류에 따라 현재까지 약 90여 가지의 변종(variants)이 있으며 그 중 microcystin-LR의 독성이 가장 높은 것으로 알려져 있다. 세계보건기구(WHO)에서는 간 독소인 microcystin-LR에 대해 1.0 $\mu\text{g/L}$ 를 먹는물의 관리기준으로 정하고 있다. 우리나라도 2013년부터 microcystin-LR을 먹는물 수질감시항목으로 지정해 조류 발생 시 상수원수와 정수에 대한 모니터링을 강화하는 등 수돗물 수질관리를 강화하고 있으며, 세계보건기구(WHO)의 기준과 동일한 수준을 적용하고 있다.

Microcystins를 분석하기 위한 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

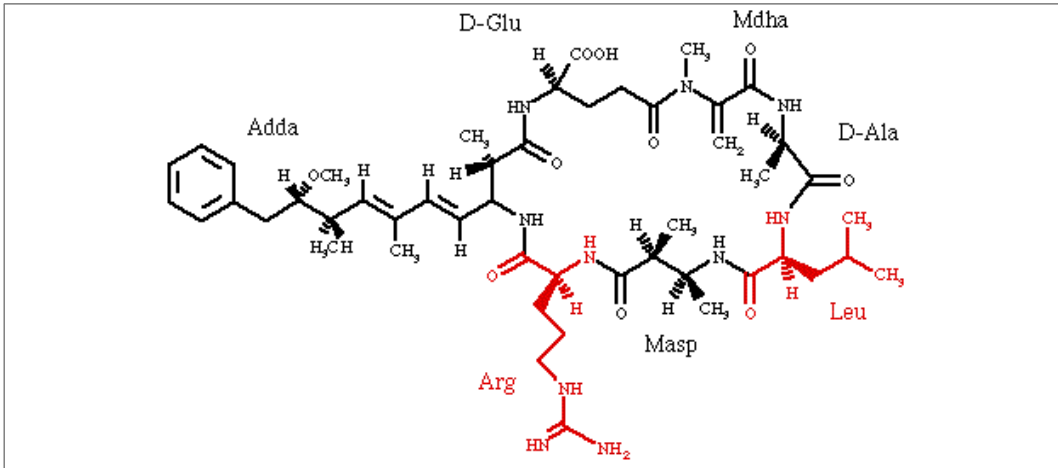
- 액체크로마토그래프-탠덤질량분석법(LC/MS/MS, high performance liquid chromatograph-tandem mass spectrometry) : 먹는물 중에 마이크로시스틴을 분석하는 표준 시험방법으로서, 마이크로시스틴을 고상추출하여 고성능액체크로마토그래프로 분리한 다음 텐덤 질량분석기로 분석하는 방법이다.
- 고속액체원심분리기(HPLC, high performance liquid chromatography) : Toxin의 분리와 동정에 가장 일반적으로 사용되는 방법으로 감도가 낮다.
- 분자구조 특성 분석방법(molecular characterization method) : 1984년 영국의 Botes 등에 의해 처음으로 microcystin의 구조를 밝힌 방법으로 NMR

(nuclear magnetic resonance)을 사용한다.

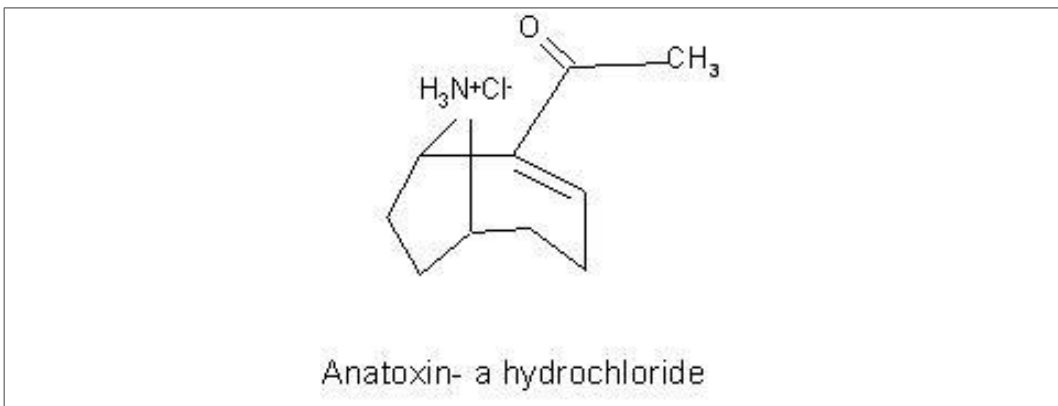
- 생물학적 검정(bioassay) : 쥐나 돼지 등에 직접 투여하여 반치사량 등을 조사하는 방법으로 생물학적 독성을 직접 반영한다.
- 효소반응 억제법 : Microcystin의 환상 펩타이드(cyclic peptide)가 세포의 phosphatase를 억제하는 기작을 이용하여 phosphatase 억제능을 분석하는 방법으로 감도가 높다.
- 면역학적 방법(immunoassay) : Microcystins 변종에 공통으로 나타나는 독성발현부위(Adda)를 항원으로 한 항체를 이용하여 ELISA(enzyme linked immunosorbent assay) 방법으로 분석하는 방법으로 감도는 높지만 정성분석이 되지 않는다.

남조류가 만들어 내는 독성물질의 종류

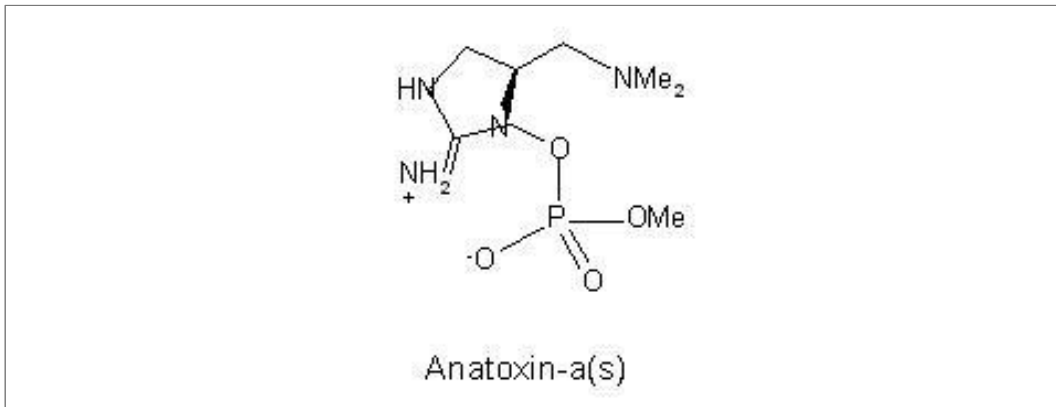
독성물질의 종류	작용하는 대상기관 (포유류)	남조류 종류(genus)
Microcystins	간(liver)	<i>Microcystis</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i> , <i>Nodularia</i> , <i>Hapalosiphon</i> , <i>Anabaenopsis</i> ,
Nodularin	간(liver)	<i>Nodularia</i>
Anatoxin-a	Nerve synapse	<i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix</i> (<i>Oscillatoria</i>), <i>Aphanizomenon</i>
Anatoxin-a(s)	Nerve synapse	<i>Anabaena</i>
Aplysiatoxin	피부	<i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i>
Cylindrospermopsins	간(liver)	<i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Umezakia</i> , <i>Lyngbya</i>
Lyngbyatoxin-a	피부, 소화기계	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxins	Nerve axons	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i>
Lipopolysaccharides (LPS)	접촉하는 조직 자극	모든 남조류



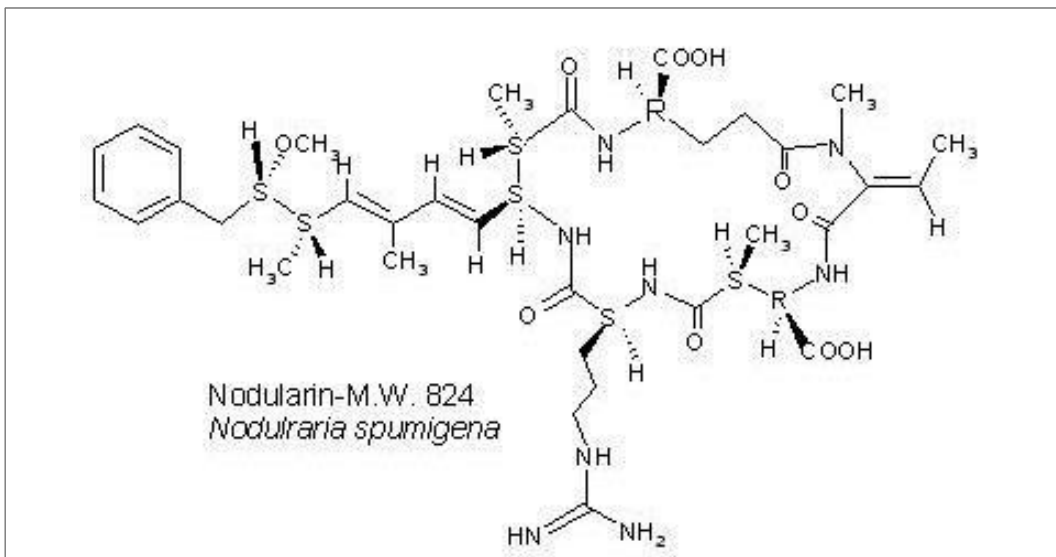
마이크로시스틴의 구조 : *Microcystis*에서 처음 분리되어 microcystin으로 명명되었으며, 붉은색으로 표시된 두개의 치환기에 결합하는 아미노산 종류에 따라 50여종 이상의 변이체가 있는 것으로 알려져 있다. 그림 왼쪽의 Adda기가 독성을 나타내는 작용기이다.



아나톡신-a의 구조 : *Anabaena* 등 일부 남조류가 생산하는 독성물질로 주로 신경계통에 작용한다.



아나톡신-a(s)의 구조 : 남조류 중 *Anabaena*에 의해서만 만들어지며, 주로 아나톡신과 마찬가지로 신경계통에 작용을 하는데 침샘(salivary)을 자극하기 때문에 아나톡신-a(s)로 불린다.



노듈라린(Nodularin)의 구조 : 마이크로시스틴과 유사한 구조와 간독성을 나타내는 물질로 주로 기수역에서 성장하는 *Nodularia*에 의해서 만들어진다.

6. 조류 종에 따른 취기의 종류 및 발취농도

구분	조류	발취 조류수(세포/mL)		취기
		세포수	군체수	
방향취	<i>Asterionella</i>	3,000		방향취→약미취→비린내
	<i>Cyclotella</i>	2,200		방향취→비린내
	<i>Diatoma</i>			방향취
	<i>Fragilaria</i>		100~300	방향취→곰팡내
	<i>Melosira</i>		3,000	방향취→곰팡내
남조류	<i>Anabaena</i>	5,300	200	풀냄새→곰팡내→돼지우리냄새
	<i>Ahanizomenon</i>	6,600	200	풀냄새→곰팡내→부패취
	<i>Nostoc</i>			풀냄새→곰팡내→부패취
	<i>Oscillatoria</i>	53,000	3,000	풀냄새→곰팡내→약미취
	<i>Microcystis</i>	35,000		풀냄새→곰팡내
청초취	규조류 <i>Synedra</i>	3,000		풀냄새→곰팡내
	<i>Actinastrum</i>			풀냄새→곰팡내
	<i>Closterium</i>	200	80	풀냄새
	<i>Cosmarium</i>			풀냄새
	녹조류 <i>Pediastrum</i>			풀냄새→오이냄새→비린내
	<i>Scenedesmus</i>			풀냄새→곰팡내
	<i>Spirogyra</i> <i>Ulothrix</i>			풀냄새 풀냄새
규조류 <i>Tabellaria</i>	750		비린내	
비린내	<i>Chlamydomonas</i>	3,600		곰팡내→비린내, 부패취
	<i>Dictyosphaerium</i>			풀냄새→비린내
	녹조류 <i>Eudorina</i>			비린내
	<i>Pandorina</i>	200		비린내
	<i>Volvox</i>			비린내
황금조류	<i>Dinobryon</i>	3,000		제비꽃냄새→비린내
	<i>Mallomonas</i>	450		방향취→제비꽃냄새→비린내
	<i>Synura</i>		1	약미취, 오이냄새→메론향→비린내
	<i>Uroglenopsis</i>			간유취→오이냄새→비린내
편모조류	<i>Ceratium</i>	200		비린내→부패취
	<i>Glenodinium</i>			비린내
	<i>Peridinium</i>			오이냄새→비린내
	<i>Cryptomonas</i>	1,200		비린내

7. 녹조유발 조류 및 녹조현상 제어방법

우리나라 녹조유발 조류 및 녹조 발생 특성

조류 종류	녹조 발생 특성
남조류 <i>Microcystis, Anabaena,</i> <i>Oscillatoria, Aphanizomenon</i>	여름과 가을에 짙은 녹색의 scum을 형성하여 “녹조현상” 이라고도 불리며, 물이 정체된 호수 등에서 주로발생 한다.
규조류 <i>Synedra, Asterionella,</i> <i>Cyclotella, Aulacoseira</i>	늦가을부터 봄까지 수온이 낮을 때 주로 발생하며, 물을 갈색으로 물들인다. 정수처리 시 여과지를 폐쇄하는 장애를 유발한다.
녹조류 <i>Closterium, Pediastrum,</i> <i>Botrycoccus, Scenedesmus,</i> <i>Chlamydomonas</i>	남조류가 발생하기 전후에 주로 나타나며, 짙은 녹색을 띠고 얇은 녹색의 막을 형성하기도 한다.
유글레나조류 <i>Euglena, Trachelomonas</i>	초여름과 가을철에 적갈색이나 녹색의 막을 형성한다. 주로 얇은 연못이나 저수지에서 발생한다.
와편모조류 <i>Peridinium, Ceratium,</i> <i>Gymnodinium</i>	봄부터 여름철에 황갈색이나 적갈색의 띠를 형성하고 일부 대형호소에서 담수적조를 유발한다.
황녹색조류 <i>Uroglena</i>	봄부터 초여름에 황색의 띠모양을 형성하고 부영양화 초기의 호소에서 발생한다.

녹조현상 제어 방법

구분	처리 방법
영양염류 불활성화	<ul style="list-style-type: none"> - 호수 내 또는 유입 지천에 철 또는 알루미늄 염을 첨가하여 인산염을 침전시키는 방법 - 첨가제가 생물에게 독성을 나타낼 수 있음
교환율 높임	<ul style="list-style-type: none"> - 영양염류의 농도가 낮은 물을 호수로 끌어 들여 교환율을 높이고 체류시간을 짧게 함으로써 생물체의 호수 내 생성 및 축적을 억제 - 방출수를 호수 밑바닥에서 빼면 더욱 더 효과가 있으며 다량의 물이 필요
심층폭기	<ul style="list-style-type: none"> - 수온약층 아래에 있는 심층부에 산소 또는 공기를 불어 넣는 방법 - 산소가 많아지면 저질토로부터의 인 유출량이 줄어들고 철과 망간과 같은 환원물질의 양도 감소됨 - 수중 폭기가 중단되면 다시 원상으로 돌아감
강제 순환	<ul style="list-style-type: none"> - 심층폭기와 유사한 방법이나 수온약층을 파괴하는 것이 주 목적임
심층수 방류	<ul style="list-style-type: none"> - 영양염류의 농도가 높은 심층수를 방출시켜 영양염류의 체류시간을 짧게 하는 효과가 있음 - 수심이 깊은 호수에 매우 효과적임
호수 수위 낮추기	<ul style="list-style-type: none"> - 호수 수위를 낮추어 저질토가 드러나게 함으로써 저질토에 퇴적된 오염물질을 산화시키는 방법 - 준설 또는 저질토 도포방법을 사용할 때 전 과정으로 사용하기도 함 - 연안대의 다른 생물상을 파괴하는 단점이 있음
저질토 도포	<ul style="list-style-type: none"> - 저질토를 합성수지 등으로 도포하여 저질토에서 나오는 물질을 차단하는 방법 - 저서 생물에 영향을 주고 비용이 많이 들어감
준 설	<ul style="list-style-type: none"> - 저질토에는 물보다 10,000~1,000,000배 정도의 인이 녹아 있으므로 이를 준설하여 호수내의 인을 제거하는 방법 - 저질토에 영양염류가 농축되어 있는 곳에 매우 효과적임 - 처리비용이 비싸고 생물상에 미치는 영향이 크며 준설하여 나온 저질토의 처리가 문제로 남음
생물체 걷어내기	<ul style="list-style-type: none"> - 수체로 부터 수초와 부착 조류를 걷어내는 방법 - 즉시 효과가 나타나나 새로운 생물체가 다시 자라기 때문에 반복 작업이 필요함(예; 팔당호의 수초제거선) - 수초는 영양염류를 많이 함유하고 있으므로 일부러 유입수 부근에서 키워 주기적으로 수확하면 수질개선을 기대할 수 있음
생물학적 제어	<ul style="list-style-type: none"> - 조류의 성장을 먹이 연쇄와 기생 관계가 있는 다른 생물을 이용하여 제거하는 방법 - 초어를 이용한 수초 제거와 동물 플랑크톤을 이용한 조류의 제거 등 - 새로운 종을 이식할 때에는 사전에 충분한 검토가 있어야 함
화학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 수초와 조류를 죽이는 화학물질을 수체에 직접 뿌리는 방법 - 수초를 없애기 위한 제초제 살포, 식물플랑크톤 제거를 위한 황산구리 살포 등이 있음 - 가격이 비싼 반면 일시적인 효과뿐이며 다른 생물체들에게 독성을 나타낼 수 있음

※ 위의 모든 제어방법이 권장되는 것은 아니며, 제거물질 살포 등을 하려는 경우에는 “조류제거시설 설치·운영 및 살포용 조류제거물질 사용지침 [예규 제483호]”을 따른다.

조류경보제 운영 매뉴얼(2020)

발행처 국립환경과학원 물환경연구부 조류생태연구팀
환경부 물환경정책국 수질관리과

발행일 2020년 6월

편집인 신유나, 윤성애, 박상숙, 이재윤, 강윤희, 임병진,
이재관, 송인준, 오정금

주소 (22689) 인천광역시 서구 환경로 42
(경서동 종합환경연구단지)

전화번호 Tel. 032-560-7460 / Fax. 032-568-2051
