정수장 조류(藻類) 대응 가이드라인



2017. 5.

환경부 · 국립환경과학원

수온 상승 등 환경 변화로 인해 상수원 조류 발생이 빈번해짐에 따라 정수장 유입조류로 인한 수처리 장애와 수돗물 맛·냄새 및 조류 독소 발생에 대한 우려가 커지고 있습니다.

특히, 고도처리시설을 갖추지 못한 정수장은 맛·냄새 물질이 고농도로 유입 될 경우 적정 정수청리에 어려움을 겪고 있는 실정입니다.

「정수장 조류(藻類) 대응 가이드라인」에는 정수장 관계자와 운영자들이 조류 발생시 효과적으로 대응하는데 필요한 초기대응요령, 정수처리 공정별 조치요령, 분말활성탄 선택 및 적정 투입량 산정방법, 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템 활용방법 등이 포함되어 있습니다.

정수장 운영자는 가이드라인에서 예시하고 있는 대응절차와 조치사항 등을 참고하고 개별 정수장 상황에 맞도록 적용하여 조류에 의한 정수처리 장애에 효과적으로 대응하는데 활용하시길 바랍니다.

목 차

Ⅰ. 배경 및 목적 ····· 1

Ⅱ. 정수처리 공정별 조치요령(예시) ····· 2

1. 조치 기준 ····· 2

2. 평상시 조치 요령 ····· 2

3. 조류 대량 발생시 조치 요령 ····· 3

Ⅲ. 조류의 장애 및 처리 ····· 6

1. 조류의 주요 정수처리 장애 ····· 6

2. 맛 냄새물질 및 조류독소 처리 ····· 6

3. 여과장애 저감 방법 ····· 12

참고 1. 조류(algae)의 발생 및 영향 ····· 15

2. 제거방법별 정수처리 원리 ····· 28

3. 맛·냄새물질 제거용 활성탄 선택 및 투입 가이드라인 ····· 40

4. 남조류 유입시 전염소 적정 투입량 산정 시험 ····· 52

5. 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템 활용 ····· 55

6. 유관기관 비상연락망 ····· 61

Ⅰ. 배경 및 목적

1. 배 경

○ 기후변화에 따른 하천·호소 내 조류 발생 가능성 증대

- 상수원의 안정적 확보를 위해 그간 국내 주요 수계에는 다수의 댐 및 보가 건설되어 상수원의 체류시간이 증가
- 체류시간 등 하천의 수리·수문환경 변화와 기후 온난화로 조류의 대량증식 발생 가능성 증대

※ 최근 한강 및 낙동강에 남조류 및 맛·냄새물질 대량 발생 (Geosmin: '14년 1,539 ng/L, 2-MIB: '16년 430 ng/L)

○ 조류발생에 따른 정수처리 장애 및 수돗물 이용저해

- 조류 대량 발생시 정수장에서 여과지 막힘 등 정수처리 장애 및 조류 부산물인 Geosmin, 2-MIB 등 맛·냄새물질로 인한 수돗물 이용 제한
- 고도처리시설(시설용량 기준 '16년 현재 약 44%)은 맛·냄새물질의 대응에 큰 어려움이 없으나, 일반처리시설은 맛·냄새물질 발생 시 효과적인 대응방법 숙지와 공정운영이 매우 중요

○ 조류와 조류기인물질(독소, 맛·냄새물질)에 대한 최근의 효과적인 제어방안 연구결과 등을 정수장에 전파 필요

2. 목 적

○ 조류 발생 정도 및 단계별 조치사항을 체계화하여 조류발생시 신속히 대응함으로써 그 피해를 최소화하고 안정적인 정수생산이 가능하도록 하기 위함

II. 정수처리 공정별 조치요령 (예시)

1. 조치 기준

구분	평상시	조류 대량 발생시
기준	원수 지오스민, 2-MIB < 20 ng/L 마이크로시스틴-LR < 1 ㎍/L	원수 지오스민, 2-MIB ≥ 20 ng/L, 마이크로시스틴-LR ≥ 1㎍/L 또는 수처리 장애 발생시

* 수처리 장애 : 맛·냄새 민원 대량 발생, 여과지 막힘 현상 대량 발생 등

2. 평상시 조치 요령

○ 유역환경청, 물환경연구소, 상·하류 구간의 취·정수장, 지자체 등 유관기관과의 비상연락체계 정비

○ 수질계측기, 어류관찰수조 등 수질경보시스템 설치·점검

○ 정수약품(분말활성탄, 응집제 등) 적정량 보유

○ 원·정수에 대한 주기적인 수질모니터링(pH, 조류, 맛·냄새물질 등)

○ 간헐운전 설비(분말활성탄, 중염소, 오존 등)의 정기점검 및 상시 가동준비 유지

○ 상류 지점 수질이상시 하류구간 영향 분석

○ 정수처리 공정에 대한 성능진단 및 시설개선 실시

- 고pH 원수 유입에 대비한 pH 조정설비 설치
- 중염소 주입설비 설치
- 분말활성탄 투입시설 설치 및 적정 접촉시간 확보(취수장, 도수관로 투입 등)
- 적합한 활성탄 선정/구매 및 적정 용량 확보(※ 참고3 활성탄 선택 및 투입 가이드라인 참조)
- 냄새 농도 및 빈도가 높을 경우 고도정수처리공정 도입
- 여과지 폐색 조류(*synedra* 등) 출현빈도가 높을 경우 다층여과지 도입

○ 취·정수장간 연계운영 가능한 곳은 주기적인 설비점검 실시

3. 조류 대량 발생시 조치 요령

< 남조류 대량 발생 시 초기대응 >

대응기준 (취수원수)	■ **(후각검사)** 흙냄새 또는 곰팡이 냄새 인지 ■ **(육안관찰)** 녹색의 실모양 입자 또는 녹색의 알갱이 대량 관찰 ■ **(현미경관찰)** *Anabaena, Microcystis* 등 남조류 대량 관찰 ■ **(기기분석)** 지오스민, 2-MIB 또는 마이크로시스틴 조치기준 초과

- **(분말활성탄)** 건량기준 10 mg/L 내외 우선 투입
  (※ 참고3 적합한 활성탄 선택 시험방법 참조)
- **(전염소)** 전염소 감소, 중염소 전환
- **(pH 조절)** 사용하는 응집제의 적합한 pH 범위로 조절
- **(응집제)** 응집제 최적 주입, 응집보조제 사용 등 응집·침전공정 운영 강화

○ 남조류(맛·냄새물질, 조류독소)의 효과적인 처리방법

구 분	입자 (조류세포 內)	용존 (조류세포 外)
처리공정	응집-침전-여과	활성탄, 오존
공정운전	전염소↓, 중염소↑ 최적 pH 조절 응집제 최적 주입 침전슬러지 회수주기 단축	분말활성탄 최적 주입 (주입지점, 주입량 등) 오존/입상활성탄 적정 운영
제거효율	G/M 약 100% (※ G: 지오스민, M: 2-MIB)	분말활성탄-G 약70%, M 약50%, 오존&입상활성탄 G/M 약100%

※ 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템(참고5) 등을 이용 조류세포 內外 분포비율과 농도를 신속히 측정하여 공정운영에 활용 권장

※ 마이크로시스틴은 약100% 제거(입자성은 응집-침전-여과, 용존성은 활성탄,염소,오존) 가능

취수장	< 맛·냄새 모니터링 강화 > ▪ 취수장 맛·냄새 모니터링 강화 ▪ 조류 증가 및 맛·냄새 발생 상황 전파 < 취수장 대책 > ▪ 선택취수 가능시 취수지점 변경 ▪ 취수시설 주변 조류차단막 설치 ▪ 세포內의 조류독소 및 맛·냄새물질 비율이 높을 경우 전염소 주입량 감소(※ 참고4 전염소 적정 주입량 산정방법 참조) ▪ 분말활성탄 적량 주입(※ 참고3 투입량 가이드라인 참조)
착수정 · 혼화지	< 공통 > ▪ 원수 수질조사 강화 ▪ 수질계측기, 어류관찰수조 등 수질감시장치 관리 강화 < 맛·냄새 발생시 > ▪ 규조류에 의한 비린내 발생시 전염소 처리 강화 ▪ 남조류에 의한 흙/곰팡이 냄새 발생시 분말활성탄 투입 - 분말활성탄 투입시 전염소 주입 최소화 (가급적 중지 권장) - 적정 주입률 결정을 위한 Jar-test 실시 - 분말활성탄은 가급적 접촉시간이 많이 확보되는 지점 (취수장, 도수관로, 착수정 전단 등)에 투입 - 착수정 운영지수 최대화 (전체지수 가동) - 분말활성탄이 여과지에 유출되지 않도록 응집공정 강화 - 응집제는 분말활성탄과 가급적 시차를 크게 하여 주입 ▪ 배출수계통(침전슬러지, 역세척배출수)으로부터 회수 중지 고려 < 여과지속시간 감소시 > ▪ 규조류에 의한 여과지 폐색시 응집제 주입률 상향 조정 - 적정 pH를 고려하여 원수특성에 적합한 응집제 사용 ▪ 응집보조제(폴리아민 등) 사용 검토 ▪ 오염물질 농축이 발생하는 경우, 여과지 역세척수 회수 중지 고려 < pH 상승시 > ▪ 원수 pH 상승시 pH 조절 설비(황산, CO_2) 가동

응집지 · 침전지	< 맛·냄새 발생시 > ▪ 분말활성탄 누출 최소화를 위한 응집·침전공정 운영 강화 - 필요시 응집지 G값 변경 ▪ 침전슬러지 회수 주기 단축 < pH 상승시 > ▪ 원수 pH 상승시 침전수 pH 모니터링 실시 - 측정값은 pH 조절제 주입률 결정을 위해 Feedback
여과지	< 맛·냄새 발생시 > ▪ 여과수 중 분말활성탄 누출 유무 점검 - 여과지별 탁도 및 입자계수기 운영 강화 < 여과지속시간 감소시 > ▪ 여과보조제(폴리아민 등) 사용 검토 ▪ 필요시, 여과지 표층 삭취 및 머드볼 제거 ▪ 역세척 시간 단축 및 표면세척 시간 연장 ▪ 필요시, 단일여재의 경우 상부에 안트라사이트 긴급 포설 ▪ 응집제 과량 주입시, 잔류 알루미늄 모니터링 < pH 상승시 > ▪ 원수 pH 상승시 잔류 알루미늄 모니터링
정수지	< 맛·냄새 발생시 > ▪ 전염소 주입 감소시, 후염소 관리 강화 ▪ 수질감시항목(지오스민, 2-MIB) 기준 초과시, 주민공지 실시 < pH 상승시 > ▪ 적정 소독능 유지를 위한 정수지 고수위 유지

* 조류 대량 발생시 방류수 수질(SS 등) 모니터링 강화

Ⅲ. 조류의 장애 및 처리

1. 조류의 주요 정수처리 장애

구 분	주요 정수처리 장애	비 고
남조류	– 맛·냄새물질(2-MIB, Geosmin 등) · 일반처리공정 처리에 한계, 수돗물 수질저하 영향 – 독소(마이크로시스틴-LR 등) · 일반처리공정 정상운영으로 거의 100% 제거 가능 – 탁질(남조류 입자)	조류입자(탁질)에 맛·냄새물질/독소가 포함되어 있는 경우, 조류입자는 응집-침전-여과를 통해 거의 100% 제거되므로 입자에 포함된 맛·냄새물질/독소도 함께 제거됨.
규조류	– 여과장애(*Synedra, Aulacoseira* 등) · 수돗물 수질영향 없으나, 정수공정운영 어려움 – 탁질(규조류 입자)	
녹조류	– 탁질(녹조류 입자)	

2. 맛·냄새물질 및 조류독소 처리

◈ 남조류(*Anabaena, Microcystis* 등)는 증식·사멸과정에서 흙냄새 및 곰팡이 냄새를 유발하는 Geosmin과 2-MIB 배출

* 수질기준 : 20 ng/L (국내, 감시항목), 10 ng/L (일본, 수질기준)

◈ 대량 발생시에는 Anatoxin, Microcystin 등의 독소 생성 가능

* Microcystin 수질기준 : 1.0 μg/L (WHO), 0.8 μg/L (일본), 1.5 μg/L (캐나다)

○ 분말활성탄에 의한 제거

- 분말활성탄 주입률은 최소 5㎎/L에서 유입 남조류의 개체수 및 맛·냄새물질 발생에 따라 여과지 누출여부를 고려하여 통상 최대 25~30㎎/L까지 증가 주입

- 적정 주입률 결정 등 처리조건은 실제 원수 대상으로 Jar-test에 의한 제거시험을 실시하여 결정(※ 참고3 참조)

※ 예시) 분말활성탄에 의한 제거 효과

구 분	원수특성			제거효율(%)	
	탁도	DOC	UV_{254}	활성탄-A	활성탄-B
Geosmin	98.8	8.4	0.1645	94.6	93.1
	1.8	1.7	0.0378	98.7	98.1
2-MIB	98.8	8.4	0.1645	79.2	68.0
	1.8	1.7	0.0378	93.5	90.9

* Jar-시험 결과임(분말활성탄 20 mg/L, 접촉시간 20분, 응집제 20 mg/L)

- 주입지점은 혼화, 접촉이 충분히 이루어지고 또한 전염소처리 등에 지장을 일으키지 않도록 선정하며, 접촉시간은 적어도 20분 이상을 확보

  · 취수장에서 주입하는 것이 접촉시간 확보에 가장 유리하며, 필요에 따라 접촉지를 별도로 신설하거나 도수관로에 주입시설 설치

  · 전염소 주입부에 근접할 경우 활성탄의 염소 흡착에 의한 손실이 발생(활성탄 1mg은 염소 0.2~0.25mg 정도 소비)하므로 주의

  · 전염소 주입 시 *Anabaena*를 비롯한 남조류의 경우 산화로 인하여 세포질 누출 및 맛·냄새물질 증가가 우려되므로 중간염소 주입으로 전환 운영하되 응집·침전효율 저하 및 조류 세포파괴가 발생하지 않도록 전염소 주입(※ 참고4 남조류 유입 시 전염소 적정 투입량 산정방법 참조)

※ 중간염소는 침전지 유출측에 혼화가 잘 되는 곳을 선택하여 주입

다만, 암모니아성질소, 철 또는 망간이 고농도 유입시에는 전염소를 중

단할 경우 정수처리 과정에서 완전 제거가 어려우므로 염소소비량을 고려하여 전염소 주입율 저감하여 운영

<전염소 및 중염소 주입위치>



- 분말활성탄은 미세한 분말이므로 급속여과의 역세척 주기가 길어질 경우, 여과수 중에 활성탄이 누출될 수 있으며 특히 겨울철의 저수온시에는 응집효과가 떨어지므로 폴리염화알루미늄이나 응집보조제의 사용 또는 여과지 전에서의 2단응집 등으로 응집효과를 높여야 함.

  · 분말활성탄 누출 유무는 10배율 현미경으로 확인 가능하므로 수시로 점검하고 입자계수기 등 상시 감시체계 구축 고려

  · 침전슬러지 및 역세척배출수는 분말활성탄과 맛·냄새물질을 농축하고 있으므로 착수정으로 회수 중단 고려

○ 오존 및 입상활성탄에 의한 제거

- 기존 정수처리공정에서 긴급 대응 방법

  · 이중여재(모래+안트라사이트)로 구성된 경우, 상층부 안트라사이트를 입상활성탄으로 대체하여 F/A 공정으로 전환 가능

    * 단일여재(모래)는 역세척시 유실될 우려가 높으므로 F/A 개량 지양

- 고도정수처리시설 도입

  · (오존·입상활성탄 처리) 오존산화-활성탄흡착 공정을 급속여과의 고도정수처리 공정으로 도입하여 강력한 산화력과 흡착력을 동시에 만족하는 방안

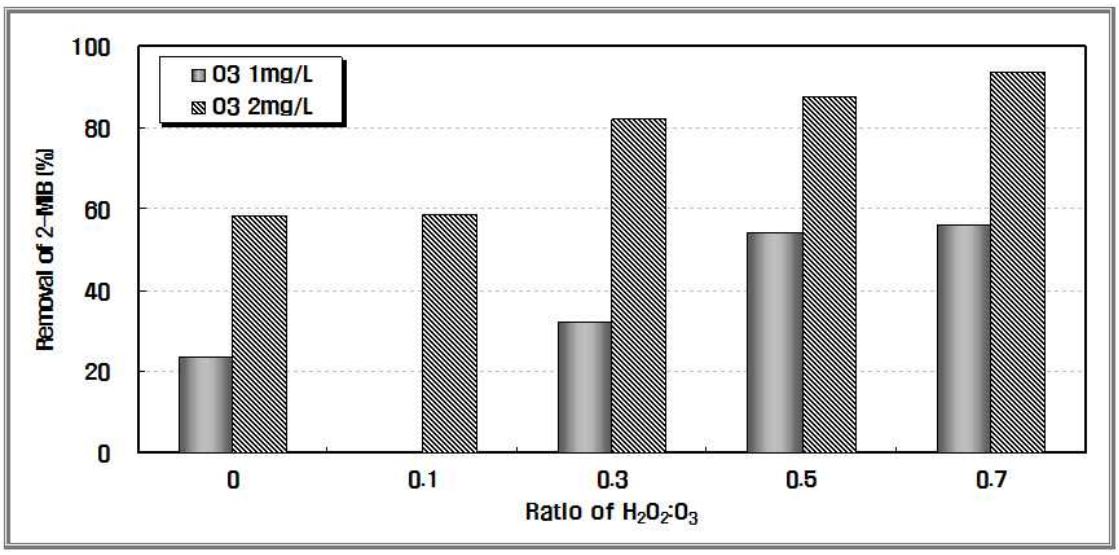
<오존・입상활성탄 처리시 Geosmin, 2-MIB 제거효율>

구 분	오 존	입상활성탄	오존 + 입상활성탄
Geosmin	99~100%	91~93%	약 100%
2-MIB	83~88%	96~97%	약 100%

출처: 서울시 상수도연구원, Geosmin 유입농도 71.5～126.1 ng/L, 2-MIB 유입농도 108.7～176.6 ng/L, 오존 주입률 1 ㎎/L 및 접촉시간 30분, 입상활성탄 EBCT 15분 및 Bed Volume 67,000, 수온 25℃, 팔당호

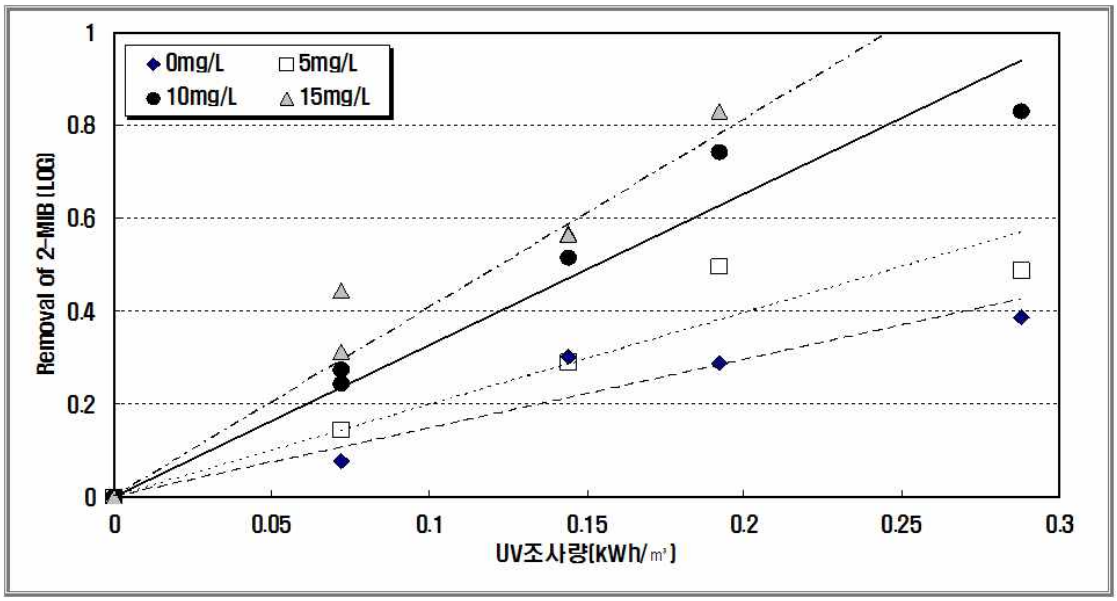
・(고도산화(AOP, Advanced Oxidation Process)) "오존+과산화수소(H_2O_2)" 또는 "UV+과산화수소(H_2O_2)"으로 구성된 고도산화(AOP) 공정은 오존 단독처리보다 맛・냄새물질 제거효율을 향상시킴

< 오존 및 과산화수소 주입률별 2-MIB 제거율 >



출처: 한국수자원공사 K-water 연구원(2010.4), 오존 공정에서 2-MIB의 처리효율은 오존 1 mg/L 주입시 약 26%에서 과산화수소 투입비율(H_2O_2/O_3) 0.5에서 약 56%로 상승, 오존 2 mgL 주입시 약 60%에서 과산화수소 투입비율이 0.5～0.7 범위 일 경우 제거율은 약 94%까지 증가

< UV 조사동력 및 과수주입농도에 따른 2-MIB 제거율 >

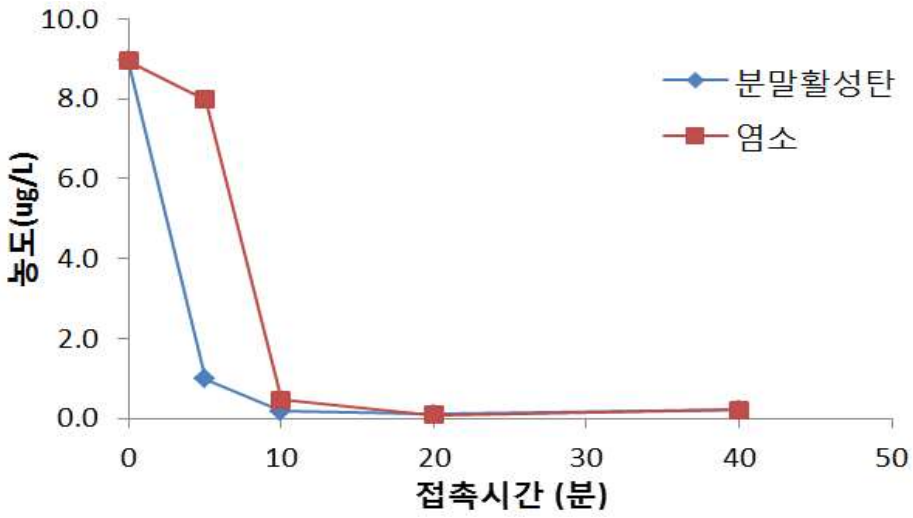


출처: 한국수자원공사 K-water 연구원(2010.4)

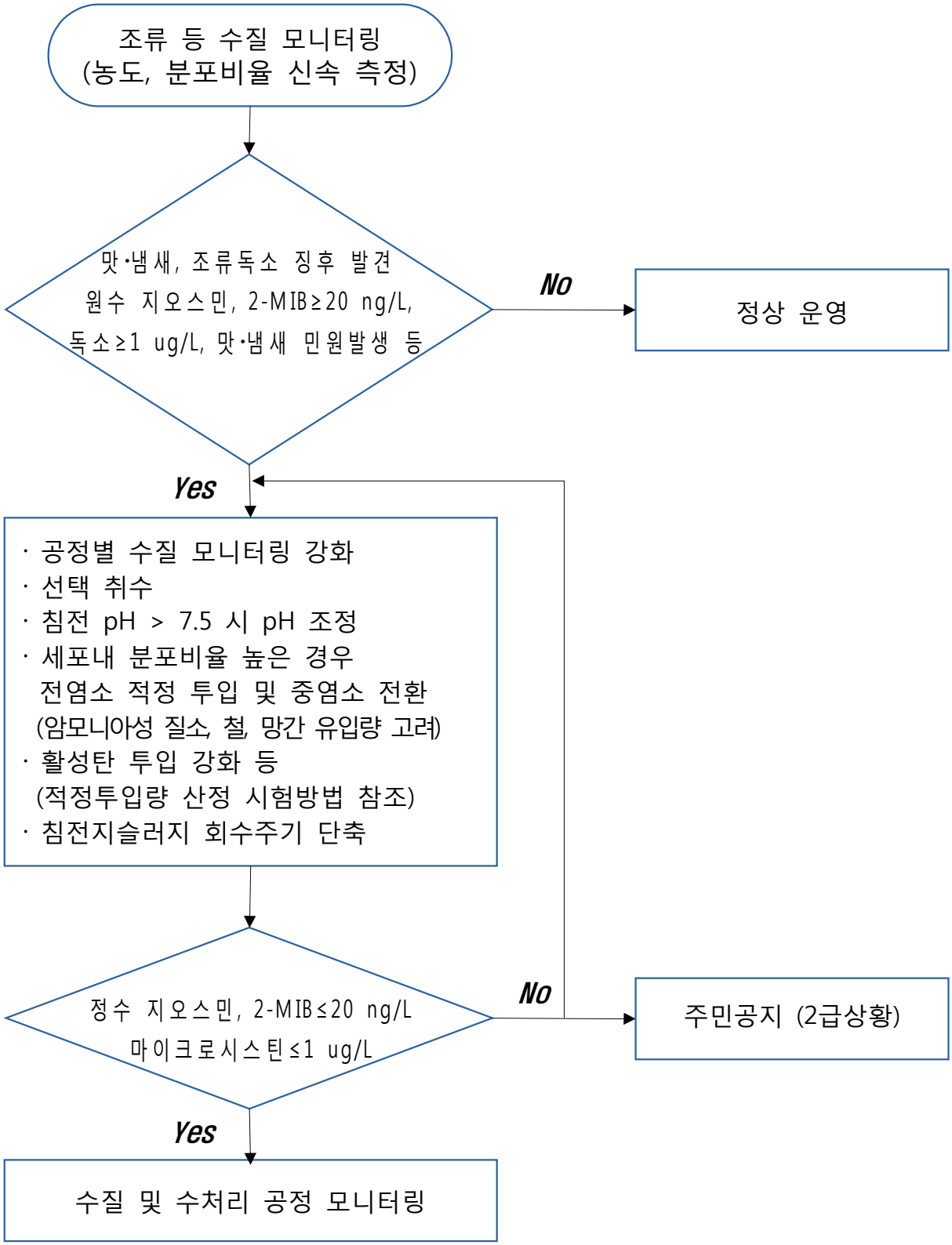
<분말활성탄과 염소 처리시 마이크로시스틴-LR 제거효율>

접촉시간(분)	분말활성탄	전염소	비 고
40	98%	98%	- 분말활성탄 20 mg/L - 염소 1 mg/L

출처: 국립환경과학원, 한강원수에 마이크로시스틴-LR을 첨가(10 ug/L), jar-test



○ 처리흐름도


조류 등 수질 모니터링
(농도, 분포비율 신속 측정)
맛·냄새, 조류독소 징후 발견
원수 지오스민, 2-MIB≥20 ng/L,
독소≥1 ug/L, 맛·냄새 민원발생 등
No
정상 운영
Yes
· 공정별 수질 모니터링 강화
· 선택 취수
· 침전 pH > 7.5 시 pH 조정
· 세포내 분포비율 높은 경우
전염소 적정 투입 및 중염소 전환
(암모니아성 질소, 철, 망간 유입량 고려)
· 활성탄 투입 강화 등
(적정투입량 산정 시험방법 참조)
· 침전지슬러지 회수주기 단축
정수 지오스민, 2-MIB≤20 ng/L
마이크로시스틴≤1 ug/L
No
주민공지 (2급상황)
Yes
수질 및 수처리 공정 모니터링

3. 여과장애 저감방법

◈ 규조류는 정수처리 공정 내에서 응집·침강효율 저하 및 비린내 등을 유발하는 n-hexanal, n-heptanal 물질을 생성하여 맛·냄새를 발생시키며, 특히 여과지 폐색을 일으킴.

* *Synedra*와 같은 막대 형상의 규조류는 여과지의 표층에서 대부분 제거됨에 따라 여과지속시간을 급격히 감소시킴

○ 전염소 및 전오존 주입률 상향 조정

- 규조류는 저농도 염소 주입에 의한 산화·제거율이 낮음
- 따라서 조류의 산화를 위하여 전염소 주입률을 염소소비량보다 높게 주입하여 침강효율 개선

○ 응집제 적정 주입

- pH 등 원수특성을 고려하여 적정 응집제 선택·주입하여 침전지에서의 규조류 제거율을 높임으로서 여과지 유입 농도 저감
- 일반 응집제의 적정 주입률 범위를 초과할 경우 pH 저하 및 잔류 탁도 상승하는 문제 주의
- 여과장애 원인이 되는 조류종 출현 시기에 적정 응집제 사전 확보 필요

○ 응집보조제 및 여과보조제(폴리아민 등) 주입

- 응집·침전 효율 증가 및 여과지속시간 증가 효과

○ 배출수 회수(재이용) 중지 고려

- 침전슬러지 및 역세척 배출수 중에는 원수 보다 높은 농도의 규조류가 농축되어 함유되어 있음

○ 여과지 표층 삭취

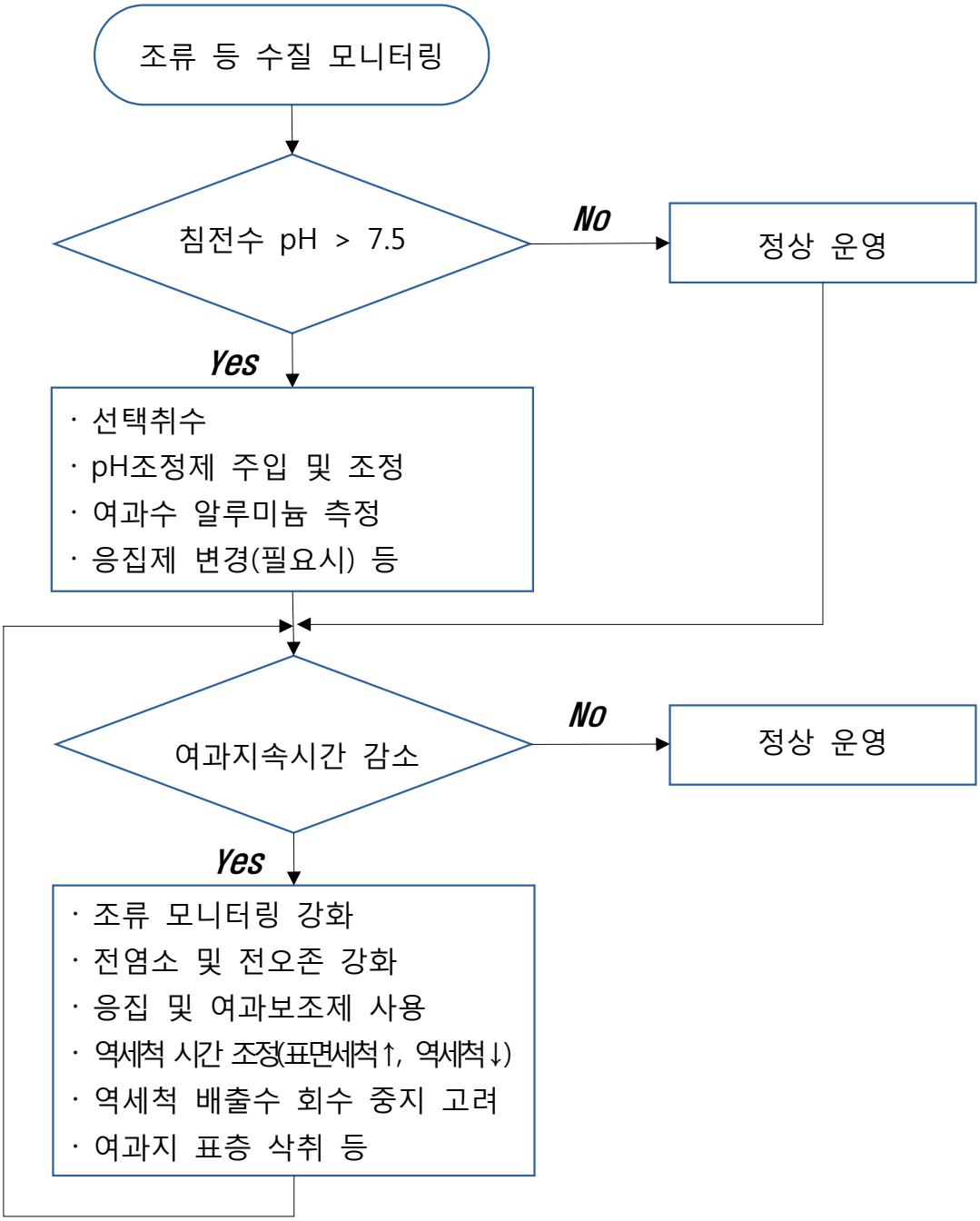
- 여층 구성상 유효경이 작은 여재가 분포되어 있는 표층 부분을

일부 삭취하고, 필요시 유효경이 큰 여재로 보충

○ 다층여과

- 여과지폐쇄 장애를 방지하기 위해 밀도와 입경이 다른 여러 종류의 여재를 사용하여 수류방향에서 큰 입경으로부터 작은 입경으로 구성된 역입도의 여과층을 구성함
- 응급시에는 모래 단층여과지의 표층 일부를 안트라사이트로 교체할 경우, 여과지속시간이 길어질 수 있음

❍ 처리흐름도


조류 등 수질 모니터링
침전수 pH > 7.5
No
정상 운영
Yes
· 선택취수
· pH조정제 주입 및 조정
· 여과수 알루미늄 측정
· 응집제 변경(필요시) 등
여과지속시간 감소
No
정상 운영
Yes
· 조류 모니터링 강화
· 전염소 및 전오존 강화
· 응집 및 여과보조제 사용
· 역세척 시간 조정(표면세척↑, 역세척↓)
· 역세척 배출수 회수 중지 고려
· 여과지 표층 삭취 등

참고 1 조류(algae)의 발생 및 영향

1. 우리나라 조류발생의 특징

□ 계절별 특징

○ 우리나라에서는 연중 조류가 발생하며, 계절별 특징은 겨울~봄과 가을에 규조류, 여름~가을에 남조류, 봄과 가을에 녹조류의 발생이 많음

○ 일반적으로 겨울~봄에 우점하는 냉수성 규조류는 5~6월로 접어들면서 녹조류가 증가하고 남조류가 출현

○ 수온이 20℃ 가까이 상승하고 일사량이 증가하는 늦봄부터 남조류가 증가하기 시작하며 여름에 대량증식하여 녹조현상 유발

○ 늦은 가을부터 남조류가 감소하고 녹조류와 규조류 증가

□ 강우에 따른 특징

○ 장마나 태풍 등 많은 비가 내리면 유역으로부터 유입된 큰 물로 희석되는 효과와 함께 흙탕물로 인한 햇빛의 차단으로 조류의 농도는 급격히 감소

○ 강우로 인해 수온이 20℃ 이내로 급격히 감소하면서 그동안 발생했던 남조류에서 냉수성 규조류나 녹조류로 변화

○ 수온이 높은 여름~가을에는 강우 이후 유입된 영양물질과 일조량의 증가로 다시 남조류가 대량증식 하는 특징을 보임

계 절	수온	주요증식 조류군	비고
겨 울	<10℃	규조류	*Cyclotella, Stephanodiscuss*
봄	≤15℃	규조류>녹조류>편모조류	*Aulacoseira, Chlamydomonas, Peridinium*
초여름	<20℃	녹조류>남조류	*Chlamydomonas, Anabaena*
여 름	>20℃	남조류>녹조류	*Microcystis, Pediastrum*
장마철	≤20℃	규조류>녹조류	*Aulacoseira, Chlamydomonas*
초가을	>25℃	남조류>녹조류	*Microcystis, Chlamydomonas*
가 을	<20℃	녹조류>남조류>규조류	*Chlamydomonas, Microcystis, Aphanizomenon, Asterionella*

2. 조류의 종류

가. 남조류(Cyanophyta)

□ 특징

○ 남세균(cyanobacteria)이라고도 하며 원핵생물(prokaryote)이면서 고등식물과 마찬가지로 두개의 광합성 시스템을 갖는 지구상 최초의 조류로서 광합성을 통한 산소의 생성으로 지구 대기환경을 바꾸어 놓은 생물임

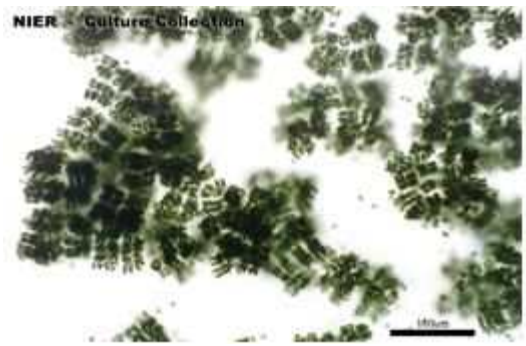
○ 수중생태계에서 1차생산자로서 먹이사슬의 기본이 되는 중요한 기능을 수행하고 있으며, 대기 중의 질소가스를 고정하여 생물이 이용가능한 질소로 전환(질소고정, nitrogen fixation)하는 중요한 기능을 수행

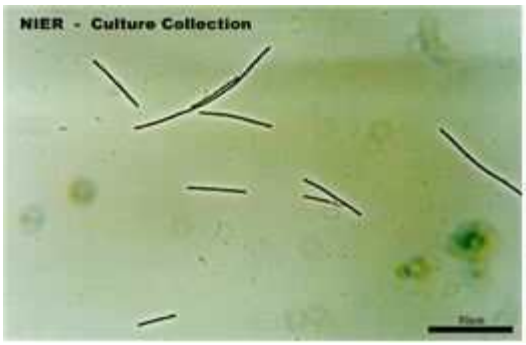
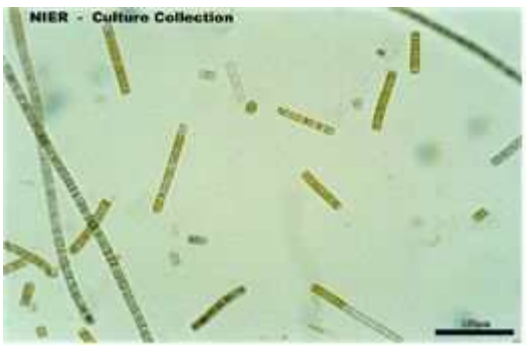
○ 남조류는 편모를 갖고 있지 않으나 체내에 기포(gas vesicle)를 갖고 있어 물의 표면에 부유하는 특성을 갖고 있으며, 콜로니(colony)나 사상체(trichome)를 형성

○ 최근 우리나라에서는 강과 호소 등에 서식환경이 좋아지면서 대량증식으로 인한 “녹조현상(cyanobacterial blooming)"이 발생하면서 남조류가 생산하는 독성물질 또는 맛·냄새물질의 정수처리 주의 필요

□ 종류

Microcystis aeruginosa	
- 초여름부터 가을까지 부영양화된 수역에서 녹조현상을 유발하는 대표적인 남조류 - 불규칙한 둥근모양의 콜로니를 형성하고 간독소(microcystin)를 생성	

Microcystis viridis	
- 초여름부터 가을까지 출현하는 녹조현상 원인 남조류 - 간독소를 생성하는 하는 종으로 4개의 세포가 규칙적인 배열을 하여 콜로니를 형성	
Microcystis itchioblabe	
- 초여름부터 가을까지 출현하는 녹조현상 원인 남조류 - 간독소를 생성하기도 하며, 다른 Microcystis에 비해 세포의 크기가 작고 불규칙한 콜로니를 형성	
Anabaena flos-aquae	
- 주로 봄과 가을에 출현하며, 신경독소(anatoxin)를 생성하기도 함. - 둥근 세포가 일렬로 배열하는 긴 사슬모양의 trichome을 형성하고 수표면에 부상하여 성장.	
Anabaena macrospora	
- 주로 봄과 가을에 출현하며 신경독소(anatoxin)를 생성하며, 둥근 세포가 직선으로 배열하는 사슬모양의 trichome을 형성. - 질소고정을 하는 heterocyst(이형세포)는 원형으로 영양세포의 중간에 위치하고 좀 떨어진 위치에 타원형의 휴면포자인 akinet가 위치.	
Anabaena spiroides	
- 주로 봄과 가을에 출현하며 신경독소(anatoxin)를 생성 - 둥근 세포가 규칙적인 간격으로 일정한 방향으로 회전하는 나선형의 trichome을 형성	

Anabaena circinalis	
- 주로 봄과 가을에 출현하며 신경독소(anatoxin)를 생성 - 둥근 세포가 불규칙적인 방향과 간격으로 꼬인 trichome을 형성	
Aphanizomenon flos-aquae	
- 우리나라에서 녹조현상을 유발하는 종류 중의 하나로 가을철에 주로 발생하고 심한 경우 겨울까지도 지속 - 여러 개의 세포가 일렬로 배열한 한 가닥의 trichome이 다발로 묶인 모인 모양의 콜로니를 형성하고 물의 표면에 scum을 형성 - 간독소를 생성하기도 함	
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 부유하거나 바닥에 mat를 형성 - Gliding으로 스스로 움직일 수 있음	

나. 녹조류

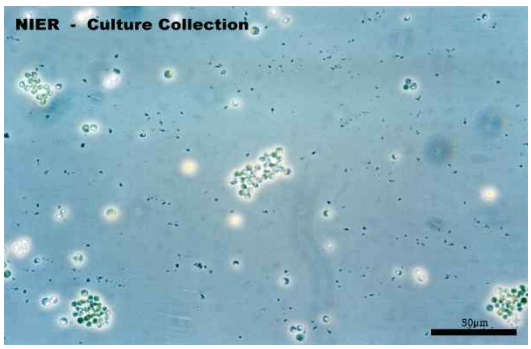
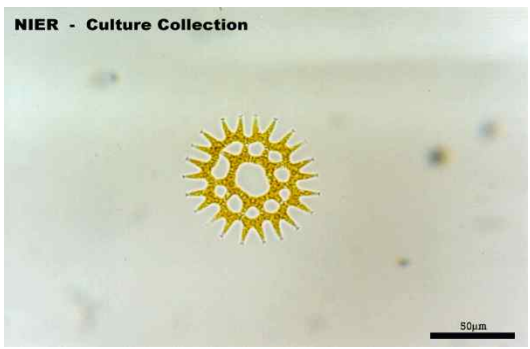
□ 특징

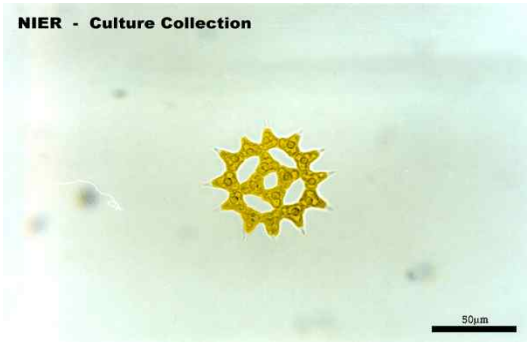
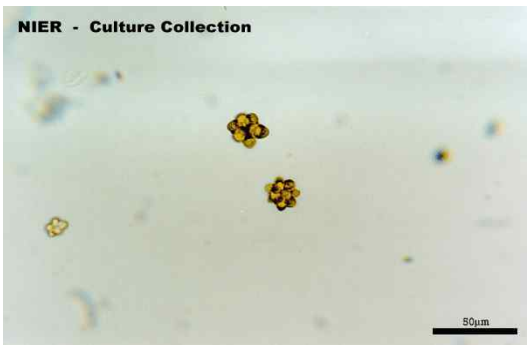
○ 녹조류는 전형적인 녹색을 띠는 조류로 클로로필 a와 b를 이용하여 광합성을 하고 저장물질로 전분(starch)을 생산하며, 담수와 해수에 모두 분포하지만 주로 담수에 분포

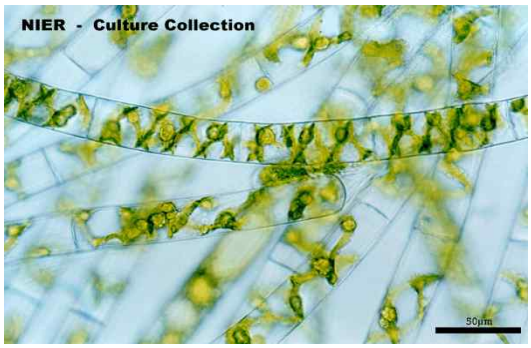
○ 형태와 크기가 아주 다양하여 별모양, 훈장모양, 실모양, 장구모양, 초승달모양 등 우리나라에서도 아주 다양한 녹조류가 발견

○ 녹조류의 이상증식으로 비린내 유발 시 정수처리 주의

□ 종류

Chlamydomonas pulsatilla	
- 우리나라 전역에서 흔히 볼 수 있는 녹조류로 대량으로 증식하면 수표면에 기름띠와 같은 막을 형성 - 두개의 편모를 이용하여 움직이며, 유전학적 연구 등에 재료로 이용	
Scenedesmus sp	
- 우리나라 전역에서 흔히 볼 수 있는 녹조류로 주로 4개의 세포가 옆으로 배열하며, 8개, 16개 등 많은 수의 세포가 배열하기도 함	
Pediastrum duplex	
- 주로 호수나 저수지에 봄부터 가을까지 출현한다. 세포는 16, 32, 64, 128개의 별이나 훈장과 같은 특징적인 배열의 콜로니를 만들며, 가장자리 세포는 중아에서 분화되기도 하고 coenobium을 형성하여 딸세포 콜로니로 방출	

Pediastrum simplex	
- 호수나 저수지에 출현하는 종으로 가장자리 세포의 돌기가 1개인 것이 특징이다.	
Starurastrum sp.	
- 봄부터 가을까지 주로 호수와 저수지에 출현하는 조류로 세포의 끝은 3~5개의 방사형 돌기가 뻗어 있음 - 보는 각도에 따라 다른 형태로 관찰	
Coelastrum sp.	
- 호수나 저수지에서 봄부터 가을까지 출현하는 부유성 조류 - 세포는 구형에 가깝고 8, 16개가 구형으로 배열하는 군집을 이룬다. 세포와 세포는 다리나 세포벽을 통해 서로 연결	
Closterium sp	
- 주로 봄부터 여름철에 출현하는 부유성 조류로 세포는 가장자리로 갈수록 점차 가늘어짐 - 세포의 가운데에는 둥근 피레노이드(pyrenoid)가 일렬로 배열	
Eudorina elegance	
- 봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 조류로 대량으로 증식하여 녹조현상을 유발 - 16, 32 또는 64개의 세포가 한천질의 피막에 싸여 있으며 개개의 세포는 2개의 편모를 갖고 있어 운동성이 있음	

Eudorina elegance	
- 성장 상태에 따라 다양한 크기와 형태.	
Spirogyra sp.	
- 주로 하천이나 호수에 출현하는 종으로 세포는 분지하지 않는 직선으로 증식 - 막대형세포내의 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 등 - 단독으로 존재하는 종과 4~14개의 세포가 다발로 꼬이는 콜로니를 형성하는 종도 있음	
Stichococcus	
- 주름말과에 속하며, 하천과 호소에 출현하는 선상 녹조류 - 원주형의 각각의 세포는 일렬로 배열하여 사상체를 형성하고 분지하지 않는다. 엽록체는 한 개이며 토양에서도 서식	
Microspora sp	
- 하천이나 호소에 출현하는 선상녹조류이다. 세포벽은 H상 구조로 되어 있고 과립형의 엽록체는 세포전체에 퍼져있음 - 원주형 또는 정방형의 세포가 일렬로 배열하며 분지하지 않음	

다. 규조류

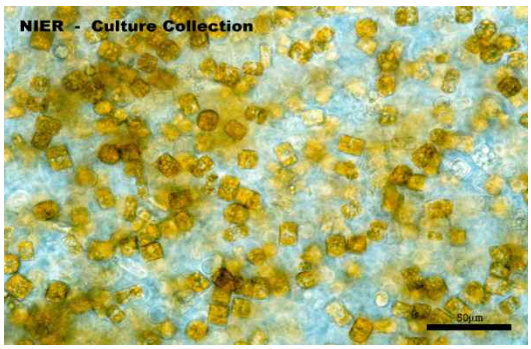
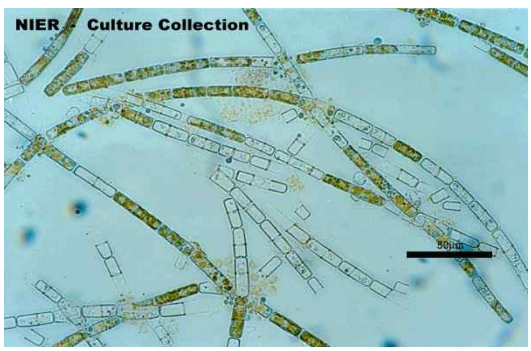
□ 특징

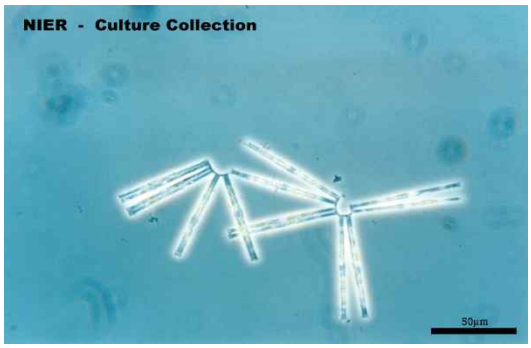
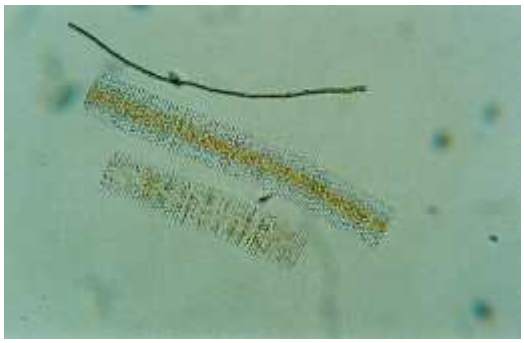
○ 규조류는 규조질의 세포벽(siliceous frustule)을 갖는 단세포성 조류로 해양과 담수에 서식하고 수중에 부유하거나 여러 매질에 부착하여 단독형, 연결형, 작은 군체형 등의 형태로 성장

○ 수중생태계의 생산자로서 그리고 어패류의 먹이로도 중요한 역할을 하는 규조류는 몸 속에는 많은 세포액이 있으며, 색소체로는 엽록소와 규조소(diatomin)가 있고, 동화산물은 녹말이 아니고 지방과 볼루틴(volutin)이라는 다당류가 있음

○ 규조류는 무성생식 2분법으로 번식하다가 크기가 작아지면 증대포자를 이루어 원래의 크기로 회복하며, 규조류의 패각으로 만들어진 규조토는 여과기의 여과장치, 제당(製糖)의 정제와 다이너마이트의 흡착제, 연마제, 내화벽돌의 원료 등으로 사용

□ 종류

Cyclotella sp	
- 호수, 저수지와 하천 등에 출현하는 조류로 주로 수온이 낮은 가을부터 봄까지 많이 나타남 - 원반형의 세포는 단독으로 존재하거나 점액질을 분비하여 콜로니를 형성하기도 한고 부유하기도하며, 다른 기질에 부착하기도 함	
Mellosira sp.	
- 주로 봄과 가을에 호수나 저수지 등에 출현하는 조류로 원통형의 세포가 일렬로 배열하여 사슬을 만들고 부유하거나 부착하여 성장 - 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	

Aulacoseira sp	
- 호수나 연못에서 흔히 볼 수 있는 뷰유성 규조류로 원통형의 세포가 긴 사슬을 만들고 그 말단에 침상 돌기를 형성 - 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	
Astreionella sp	
- 호수나 저수지에 출현하는 부유성 규조류로 여러개의 세포가 별모양의 군체를 형성 - 주로 봄철과 가을철에 많이 출현하며, 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	
Fragilaria sp	
- 호수나 저수지에 출현하는 부유성 규조류로 개개의 세포는 침형 또는 선형으로 옆으로 길게 늘어선 벨트모양의 군체를 이룸 - 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	
Nitzschia sp	
- 호수나 저수지에 출현하는 규조류로 피침형의 모양을 갖고 있으며, 부유 또는 부착하여 성장 - 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	
Synedra sp	
- 호수나 저수지에 봄과 가을에 출현하는 규조류로 피침형으로 주로 단복으로 부유하여 성장하고 종류마다 20~250㎛로 길이가 다양 - 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	

라. 기타

□ 특징

○ 남조류, 녹조류와 규조류 이외에 우리나라에 주로 출현하는 조류는 쌍(와)편모조류, 황금편모조류, 갈색편모조류와 유글레나류 등

○ 대부분 편모를 갖고 있어 운동성이 있는 단세포성이나 황금편모조류 중 *Dinobryon*와 *Synura* 같이 집합체를 형성하는 종류도 있으며, 이들은 상수원에서 맛·냄새 발생 등 정수처리 장애의 원인이 되기도 함

○ Dinophyta에 속하는 쌍편모조류(Dinoflagellates)는 와편모조류라고 부르기도 하며, 담수와 해양 모두 분포

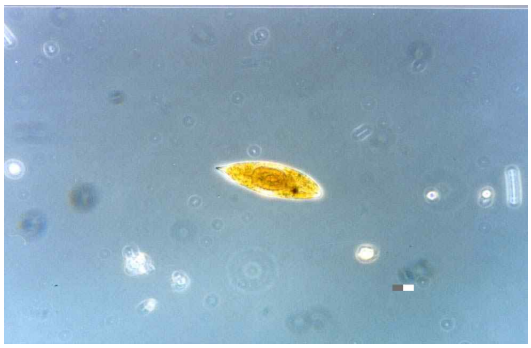
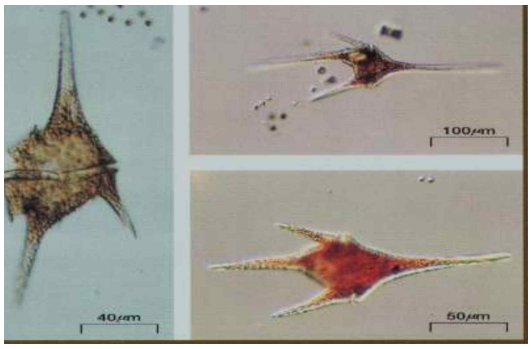
○ 해양에서 *Cochlodinium*, *Gymnodinium*, *Alexandrium*, *Akashiwo* 등에 의한 적조현상(red tide)이 유발되고 있으며, 일부 독성을 나타내는 종류 때문에 물고기 양식에 큰 피해를 주기도 함

○ 담수에서는 *Peridinium*과 *Ceratium*에 의한 담수적조를 유발하지만 독성이 있는 것으로 보고되지는 않고 있음

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

□ 종류

Peridinium sp	
- 주로 봄과 가을에 호수나 저수지에 출현하는 조류로 대량으로 증식하여 담수적조를 유발 - 세포는 상추(epicone) 하추(hypocone)로 되어 있고 조체의 허리를 감싸는 횡편모와 종편모 2개의 편모를 갖고 있음 - 정수처리시 이취미 발생과 여과지 폐쇄 등의 피해를 줌	

Euglena sp	
- 봄부터 가을까지 호수나 저수지 등에 출현하며, 대량으로 증식하여 물의 표면에 막을 형성 - 가늘고 긴 방추형에서 원통형까지 형태가 다양하며 모양은 변형하기 쉬우며 편모를 갖고 있어 운동성이 있음	
Ceratium sp	
- 봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 부유성 조류로 정각은 선단쪽으로 가면서 가늘고 길어지며, 후각의 길이는 서로 다름 - 피각에는 망목상의 무늬가 있고 조체는 길이가 200㎛ 정도	
Cryptomonas sp	
- 봄부터 가을까지 호수나 저수지에 출현하는 조류로 2개의 편모를 이용해 운동	

3. 조류에 의한 맛·냄새 발생

가. 발생시기 및 특징

○ 조류 군집은 계절에 따른 천이를 보여주는데 규조류는 겨울~봄과 가을에, 녹조류는 봄과 가을, 그리고 남조류는 여름~가을에 주로 발생

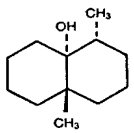
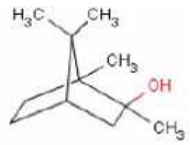
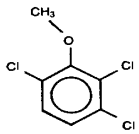
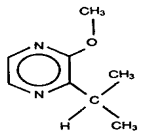
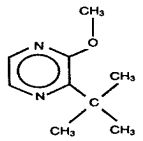
○ 정수장에서 가장 빈번하게 장애를 일으키는 조류는 남조류와 규조류로 주로 수처리 과정에서 응집침전 효율을 저하시키고, 여과지를 폐색시키며, 최근에는 맛·냄새를 야기하여 소비자들의 수돗물에 대한 불신감을 조성함

❍ 맛·냄새물질은 1965년 Gerber 등에 의해 Geosmin이 발견된 이래, 남조류가 생성하는 대표적인 맛·냄새물질로 2-MIB(2-methyl iso borneol)와 Geosmin (trans-1,10-dimethyl-trans-9-decalol) 등이 확인되었으며 곰팡이냄새와 흙냄새를 유발하는 것으로 알려짐

- 2-MIB 생산 : *Oscillatoria, Phormidium* 등
- Geosmin 생산 : *Anabaena, Oscillatoria, Phormidium*, 방선균 등
- 최저감지농도 : 10 ng/L 정도(개인별 차이)

※ 간 독소(Microcystin) : *Microcystis*

❍ 조류와 관련된 주요 맛·냄새 물질의 특성

분자구조	일반명	화학명	분자량	화학식	발생냄새
	Geosmin	trans-1,10-dimethyl trans-9-decalol	182	$C_{12}H_{22}O$	흙냄새 곰팡이냄새
	2-MIB	2-methyl isoborneol	168	$C_{11}H_{20}O$	흙냄새 곰팡이냄새
	TCA	2,3,6-trichloro anisole	212	$C_7H_5OCl_3$	곰팡이냄새
	IPMP	2-isopropyl 3-methoxy pyrazine	152	$C_8H_{12}ON_2$	흙냄새 곰팡이냄새
	IBMP	2-isobutyl 3-methoxy pyrazine	166	$C_9H_{14}ON_2$	흙냄새 곰팡이냄새 풀냄새

나. 조류에 의한 맛 ·냄새

<조류종에 의한 냄새 종류 및 발취농도>

구분	조류종		냄새발생 조류수/mL		맛냄새
			세포수	군체수	
방향취	규조강	*Asterionella*	3,000		방향취→약미취→비린내
		Cyclotella	2,200		방향취→비린내
		Diatoma			방향취
		Fragilaria		100~300	방향취→곰팡내
		Melosira		3,000	방향취→곰팡내
풀냄새	남조강	*Anabaena*	5,300	200	풀냄새→곰팡내→돼지우리냄새
		Ahanizomenon	6,600	200	풀냄새→곰팡내→부패냄새
		Nostoc			풀냄새→곰팡내→부패냄새
		Oscillatoria	53,000	3,000	풀냄새→곰팡내→약미취
		Microcystis	35,000		풀냄새→곰팡내
	규조강	*Synedra*	3,000		풀냄새→곰팡내
	녹조강	*Actinastrum*			풀냄새→곰팡내
		Closterium	200	80	풀냄새
		Cosmarium			풀냄새
		Pediastrum			풀냄새→오이냄새→비린내
		Scenedesmus			풀냄새→곰팡내
		Spirogyra			풀냄새
		Ulothrix			풀냄새
비린내	규조강	*Tabellaria*	750		비린내
	녹조강	*Chlamydomonas*	3,600		곰팡내→비린내, 부패냄새
		Dictyosphaerium			풀냄새→비린내
		Eudorina	200		비린내
		Pandorina			비린내
		Volvox			비린내
	황금편모조강	*Dinobryon*	3,000		제비꽃냄새→비린내
		Mallomonas	450		방향취→제비꽃냄새→비린내
		Synura		1	약미취,오이냄새→메론향→비린내
		Uroglenopsis			간유취→오이냄새→비린내
	와편모조강	*Ceratium*	200		비린내→부패냄새
		Glenodinium			비린내
		Peridinium			오이냄새→비린내
	갈색편모조강	*Cryptomonas*	1,200		비린내

참고 2 제거방법별 정수처리 원리

1. 분말활성탄 주입

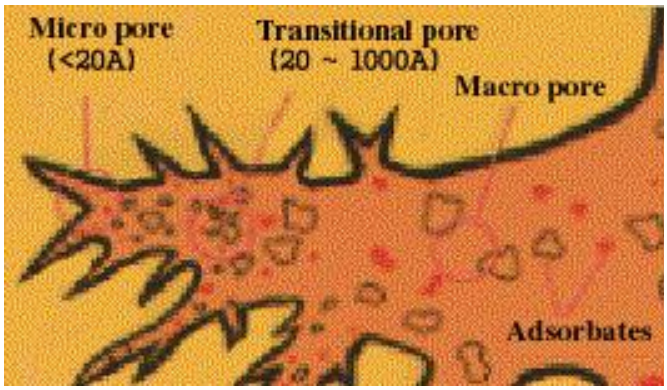
가. 개요

○ 활성탄 : 숯을 가스 또는 약품으로 활성화시킨 흑색 다공성의 탄소질 물질

○ 나무, 톱밥, 야자껍질, 석탄 등 가연성 물질을 약 500℃의 탄화와 약 900℃의 활성화 과정(정수처리용 활성탄은 고온에서 수증기로 처리하는 수증기 활성화법 사용)을 거치면 세공이 발달되므로 내부표면적이 커 흡착성능이 뛰어남.

○ 활성탄 내부는 2 ㎚이하의 미세공(micropore), 2~50 ㎚의 중간세공(mesopore), 50 ㎚이상의 대세공(macropore)들로 구성되어, 내부표면적이 700~1,400 ㎡/g으로 매우 커서 흡착성능이 좋음.

<활성탄 내 세공 분류>



<석탄계 활성탄 현미경사진>



○ 비상시 또는 단기간 사용할 경우 적합하며, 기존 정수공정에 주입시설 및 저장시설을 갖추어 주입하므로 접촉시설 등 추가 구조물의 증설에 요구되는 비용을 절약할 수 있음. 다만, 탄분에 의한 흑수 누출현상이 여과지 이후에서 일어날 수 있으므로 운영에 주의를 요함.

나. 분말활성탄 규격기준

○ 분말활성탄은 지름이 1~20 ㎚인 경우가 많으며, 특히 석탄계 활성탄은 3 ㎚에서부터 약간 큰 세공까지 폭넓게 분포하므로 비표면적은 야자계 활성탄에 비해 적지만 세공은 크기 때문에 비교적 큰 분자량의 물질이 흡착되기 쉬워 수처리용으로 많이 사용되고 있음. 공극률, 비표면적, 세공용적, 세공크기의 분포에 따라 처리특성이 다름.

○ 규격기준 : 아래의 규격기준을 만족하여야 함(법적 강제 규정).

<분말활성탄 규격기준(수처리제의 기준과 규격 및 표시기준)>

구 분	규격 기준
성 상	이 품목은 흑색의 분말이다.
확인시험	확인시험법에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.
pH	4.0~11.0
체잔류물	KS 200호체(74 μm)의 체잔류물 10 % 이하
건조감량	50 % 이하
염 화 물	0.5 % 이하
비소(As)	2 mg/kg 이하
납(Pb)	10 mg/kg 이하
카드뮴(Cd)	1 mg/kg 이하
아연(Zn)	50 mg/kg 이하
페놀가	25 이하
ABS가	50 이하
메틸렌블루탈색력	150 mL/g 이상
요오드흡착력	950 mg/g 이상

다. 활성탄 선택

○ 「수처리제의 기준과 규격 및 표시기준」에서 정하고 있는 규격 기준을 만족하면서 활성탄의 사용목적에 따라 처리대상물질, 원수 특성, 정수처리공정 등을 고려한 실험을 통하여 가장 적합한 활성탄을 선택하는 것이 바람직함.

○ 맛·냄새물질 제거용 활성탄 품질기준 가이드라인 및 활성탄 선택방법 참조(참고3)

라. 처리대상

○ 조류에서 기인하는 맛・냄새물질 및 조류독소 제거에 효과적

구 분		분말활성탄 (mg/L)	제거효율 (%)	비 고
맛·냄새물질	Geosmin	10	84	- 국내 정수장('14) - 응집,침전,여과에 의한 제거 포함
	Geosmin	15	92	
	2-MIB	8	61	
조류독소	Microcystin	-	>85	WHO, 1999

마. 주입방식 및 주입율 결정

○ 응집, 침전 및 여과 등 정수처리 공정과 조합하여 운영하며, 분말활성탄이 처리수에 누출되지 않도록 함

○ 주입방식

- 건식은 활성탄을 분말상태로 분말계량기에 의하여 연속적으로 계량하여 주입하며 혼합조에서 물과 혼합하여 슬러리액을 만들어 인젝터나 펌프 등으로 주입하는 방법
- 습식은 물과 정량(포대, 컨테이너백 등)의 분말활성탄(습식탄)을

슬러리조에서 혼합하여 일정농도의 슬러리액을 만든 다음 계량장치를 거쳐 인젝터나 펌프 등으로 주입하는 방법

- 주입방법을 선정할 때에는 제어성과 작업성 등을 고려하여 결정해야 하지만, 일반적으로 주입의 정밀도가 좋고 분진발생 등에 대한 작업성이 좋은 습식이 많이 사용됨.
- 슬러리액 농도 : 2.5 ~ 5%(건조중량 환산값)

○ 주입율 결정

- 주입율은 자-테스트(jar-test)를 통해 제거효과를 조사한 다음에 결정
- 미리 제거대상물질의 농도와 적정주입률의 관계도를 작성해 두면 유용함.
- 맛·냄새물질을 처리의 경우 보통 10~30mg/L 투입(건조중량)

바. 주입지점

○ 분말활성탄 주입지점은 혼화, 접촉이 충분히 이루어지고 또한 전염소처리 등에 지장을 일으키지 않는 지점이 바람직함.

○ 분말활성탄의 접촉시간은 적어도 20분 이상으로 하며 처리효과를 충분히 얻기 위해서는 1시간 정도가 바람직함.

○ 접촉지가 없는 기존 정수시설에서는 취수장, 도수관로, 착수정, 혼화지 등 되도록 장기간 접촉할 수 있는 장소에서 주입.

- 취수 직후에 주입하여 도수시설을 통과하는 사이에 접촉시키는 방식도 좋은 방법임.
- 활성탄과 염소를 동시에 주입하면 활성탄이 염소와 반응함으로써 손실량이 많아지기 때문에 염소를 주입하는 지점까지의 사이에 필요한 접촉시간을 둘 필요가 있음.

<주입지점 선정시 고려사항>

- 분말활성탄과 원수간의 충분한 접촉과 교반이 가능하도록 함

- 오염물질이 충분히 흡착할 수 있도록 충분한 접촉시간 유지 (20분~1시간)
- 다른 수처리제에 의한 간섭 최소화
- 여과지의 활성탄 누출 등 수질악화 차단
- 흡착효과가 최대가 될 수 있도록 수처리제의 주입순서 최적화

주입지점	장 점	단 점
취수장	- 긴 접촉시간 및 양호한 혼합	- 응집제에 의해 제거 가능한 유기물도 흡착되므로 PAC주입량이 증가
급 속 혼화지	- 급속혼화와 플럭형성 중 양호한 혼합 - 적절한 접촉시간	- 응집제의 간섭으로 인한 흡착속도 감소 - 몇몇 오염물질의 경우 흡착평형에 도달하는데 필요한 접촉시간 부족 - 응집에 의해 제거 가능한 물질에 의한 경쟁흡착 발생
여과지전	- PAC의 효과적 사용	- 정수지와 배수계로 PAC의 유실가능성
분 말 접촉조	- 설계 접촉시간 동안 매우 양호한 혼합 - 응집제에 의한 간섭배제 - 응집지와 침전지에서 추가적인 접촉시간 연장 가능	- 별도의 접촉조와 혼화기 설치 - 응집에 의해 제거 가능한 물질에 의한 경쟁흡착 발생

사. 흑수 발생 방지

○ 응집, 침전 등 전처리 및 역세척 불량, 과도한 여과속도 및 여과지속시간 등으로 흑수가 발생할 수 있으므로,

○ 현미경 및 입자계수기를 이용하여 활성탄 입자 누출정도를 상시 확인하도록 함.

- 분말활성탄 누출 유무는 10배율 현미경으로 확인 가능

2. 염소 처리

가. 개요

○ 염소는 통상 소독목적으로 여과 후에 주입(후염소처리)하지만, 소독이나 살조작용과 함께 강력한 산화력을 가지고 있기 때문에 오염된 원수에 대한 정수처리대책의 일환으로 응집·침전 이전의 처리과정에서 주입하는 경우와, 침전지와 여과지 사이에서 주입하는 경우가 있음. 전자를 전염소처리, 후자를 중간염소처리라고 함.

나. 처리방법

○ 전염소처리 : 전염소처리는 염소제를 침전지 이전에 주입하는 방법으로 응집하기 어려운 규조류인 멜로시라(*Melosira*), 시네드라(*Synedra*) 발생시 전염소를 강화하여 충분한 살조 처리한 다음에 응집침전 처리함.

○ 중간염소처리 : 중간염소처리는 침전지와 여과지 사이에서 염소제를 주입하는 방식으로 이 방식은 주로 트리할로메탄의 전구물질(부식질 등), 흙·곰팡내의 원인물질을 수중에 방출하는 남조류인 아나베나(*Anabaena*)나 포르미디움(*Phormidium*) 등, 전염소처리를 하면 군체가 깨져서 세포가 분산되어 여과수에 누출될 우려가 있는 남조류인 마이크로시스티스(*Microcystis*) 등을 응집·침전으로 어느 정도 제거한 다음에 염소처리를 함으로써 트리할로메탄과 흙·곰팡내의 생성을 최소화하기 위하여 채택함.

○ 후염소처리 : 조류에 의한 맛·냄새물질, 조류독소를 효과적으로 처리하기 위해 전염소 감소, 중염소 전환 등 염소처리 공정의 운영을 변경한 경우, 배급수 과정에서 미생물 재성장을 방지하기 위해 후염소 관리 강화

다. 기타

○ 주입지점에 염소혼화지를 설치하는 방식이 바람직하나, 새로 염소혼화지를 설치하는 것이 불가능한 경우에는 주입한 염소제가 잘 혼화되는 장소를 선정해야 함.

○ 분말활성탄을 투여하는 경우 전염소를 분말활성탄 투입과 간격을 두어야 함(활성탄 1㎎/L는 염소 0.2~0.25㎎/L 정도를 소비). 유리염소 및 결합염소가 활성탄과 접촉할 때 활성탄 표면을 산화시키게 되며, 이 과정에서 다른 생성물로 변화함.

$$C^* + HOCl \rightarrow C^*O + H^+ + Cl^-$$

$$C^* + OCl^- \rightarrow C^*O + Cl^-$$

○ 유리염소는 활성탄의 흡착부위를 상실시켜 흡착효율을 감소시키는 것으로 알려져 있어 분말활성탄과 염소의 주입시기에 간격을 두는 것이 맛·냄새물질의 제거율 향상에 도움을 줄 수 있음.

○ 중간염소처리를 기본으로 하는 경우, 원수에 용해성 망간이 일정농도 이상 존재할 때 망간모래에 의한 접촉산화만으로는 제거하기 곤란하고 장애가 발생할 우려가 있을 때 전염소처리로 바꾸거나 이산화염소나 오존 등의 산화제를 주입할 필요가 있음.

○ 수온이 낮은 시기에 하천·호소의 미생물 활동 저해로 인하여 암모니아성 질소의 유입이 증가될 때 중간염소 만으로 완전한 처리가 어려운 경우가 있으므로 전염소처리 강화

○ 염소처리는 다양한 냄새의 제거와 마스킹(masking)에 효과가 있지만, 흙·곰팡이 냄새의 제거에는 효과가 없는 것으로 알려져 있음.

○ 남조류 발생에 의한 Geosmin 증가 시에는 전염소 농도를 최소화하고 중간염소 주입 실시.

3. 다층여과

가. 개요

○ *Synedra*와 같은 막대 형상의 규조류는 여과지의 표층에서 대부분 제거됨에 따라 여과지속시간을 급격히 감소시킴.

○ 밀도와 입경이 다른 여러 종류의 여재를 수류방향에서 큰 입경으로부터 작은 입경으로 구성된 역입도의 다층여과지를 구성하면 여과지속시간을 크게 향상시킬 수 있음.

나. 여재 구성

○ 다층여과지의 여재에는 모래(비중 2.55~2.65), 안트라사이트(무연탄, 비중 1.4~1.6), 인공경량사(비중 1.75~1.82), 석류석(garnet, 비중 3.15~4.3), 일메나이트(티타늄철광, 비중 4.5~5) 등이 있음.

○ 안트라사이트는 기존 모래여과지 상부에 포설하기 편리하여 긴급 사용이 가능함.

항 목	안트라사이트 권장규격
외관	먼지, 쇄석, 토탄질 등 불순물 및 미분탄, 세장(細長), 편평(扁平) 등의 파쇄물이 적을 것.
비중	1.40 이상일 것.(상한은 여과모래의 입도, 밀도 및 역세척 조건(속도) 등과 관계있으므로 1.60)
마모율	3% 이하일 것.
염산가용률	6.0% 이하(가능한 한 작은 것이 바람직)일 것.
공극률	50% 이상일 것.
유효경	0.7~1.5㎜의 범위에 있을 것.
균등계수	1.5 이하일 것.
최대입경	2.8㎜ 이하일 것.
최소입경	0.5㎜ 이상일 것.

<표준적인 여과층 구성의 예(2층여과지의 예)>

(단위 : mm)

구분	안트라사이트		여과모래		총여과층 두께
	여과층 두께	유효경	여과층 두께	유효경	
경우 1	200~300	0.9~1.4	300~400	0.45~0.6	600
경우 2	200~400		300~500		700
경우 3	300~500		300~500		800

다. 처리 방법

○ 응집·침전으로 제거하기 어려운 조류(*Synedra*, *Melosira*, *Microcystis*)가 발생하거나 조류 유입량이 많아서 응집·침전으로 제거하는 것이 불충분하여 여과지폐색 또는 여과수에 조류가 유출하는 경우에 모래여과층의 상부에 안트라사이트를 15~25cm 두께로 포설하여 장애를 경감시킬 수 있음.

○ 총 여과층의 두께는 상층의 안트라사이트층에 정밀한 탁질 제거 기능을 기대하기 어려우므로 모래단층여과지의 경우보다 두껍게 함. 실례로서 60~80㎝로 하고 있고 이를 표준으로 함.

- 모래층 표면을 20㎝ 안트라사이트로 변경한 경우, 모래 단층여과와 비교하여 여과지속시간이 4~10배 길어짐. 또 응급시의 대책으로 모래 여과지 표면에 안트라사이트(유효경 0.99㎜, 균등계수 1.73)를 2~2.5㎝ 고르게 포설하는 것만으로도 여과 지속시간은 대폭 증가함.
- 다만, 여층구성, 여과지 세척방법, 여과수 수질에 대한 충분한 실험 후 도입이 필요함.

○ 여과지에서의 부하를 경감시키기 위해 응집·침전효율을 향상시키는 처리방안이 요구됨. 기존의 응집제(황산알루미늄 또는 PAC), 고염기성 응집제 및 고분자 응집제 등 원수특성에 적합한 응집제 선택 필요. 조류 발생을 염두에 두고 응집제 및 응집보조제를 2종류 이상 확보하도록 하며, 조류 발생 시 원수 특성에 따

른 Jar-test를 실시하여 최적 주입

○ 여과 전처리시설(마이크로스트레이너, 섬유여과장치) : 정수처리공정으로 조류의 제어가 어려운 경우, 취수장 또는 정수장 착수정 이전에서 조류의 군체를 원수와 분리 제거하는 전처리를 시행할 수 있음. 마이크로스트레이너(수중의 조류 등을 회전하는 드럼의 외부 둘레의 스테인레스강의 미세한 망에 의해 기계적으로 제거하는 장치)나 섬유사를 이용한 여과장치를 활용하여 조류를 배제할 수 있음.

4. 오존 및 입상활성탄

가. 개요

○ 오존처리는 소독부산물의 전구물질을 저감시키는 전처리산화제로는 물론이고 염소보다 훨씬 강력한 산화력을 이용한 대체소독제로서 소독과 함께 맛·냄새물질, 색도 등의 제거를 목적으로 함.

○ 입상활성탄 처리방법에는 흡착효과를 주체로 하는 입상활성탄 방식과 생물활성탄 방식이 있음. 기본적으로 잘 발달된 활성탄 내부세공 표면에 오염물질이 이동하여 흡착됨으로써 액상의 용존상태에서 고체상의 흡착상태로 상을 변환시켜 오염물질을 제거하는 공정임.

○ 입상활성탄 및 오존산화 공정을 단일공정으로 운영하는 것보다 오존산화 이후에 입상활성탄 흡착공정을 순차적으로 통과하는 것이 Geosmin, 2-MIB 등의 맛·냄새물질 제거에 효과적임.

* 처리대상 : 맛·냄새물질, 소독부산물의 전구물질, 색도 등 미량유기물질

나. 처리 방법

○ 오존은 강한 산화력을 가지고 있어 이론적으로는 유기물을 완전 분해시키지만, Geosmin 및 2-MIB와 같은 포화탄화수소와 반응이 느린 단점을 보완하기 위해 오존과 산화제를 동시에 반응시켜 OH라디칼의 생성을 가속화하여 유기물을 처리하는 고도산화법(오존/high pH, 오존/H_2O_2, 오존/UV 등)을 이용하기도 함.

○ 오존 및 고도산화 공정에서는 유기물과 반응하여 부산물을 생성하므로 활성탄 처리를 병행하여야 하며, 입상활성탄 흡착설비는 흡착탑 또는 흡착지에 입상활성탄을 충전하고 여기에 처리할 물을 통과시켜 오염물질을 흡착하는 데 활용함.

○ 오존 주입 위치에 따라 전오존(원수), 중오존(침전수), 후오존(여과수)로 나뉠 수 있으며, 원수에 주입하는 전오존 처리는 색도 성분이 많은 경우에 적합하나, 현탁물질에 의한 오존소비량이 많아짐. 일반적으로 중오존 또는 후오존으로 주입하는 사례가 많음.

○ 생물활성탄 방식은 활성탄의 흡착작용과 함께 활성탄층 내의 미생물에 의한 유기물 분해작용을 이용함으로써 활성탄의 흡착기능을 보다 오래 지속시키는 방식임. 이 경우 생물활동을 방해하지 않도록 염소처리를 하지 않음.

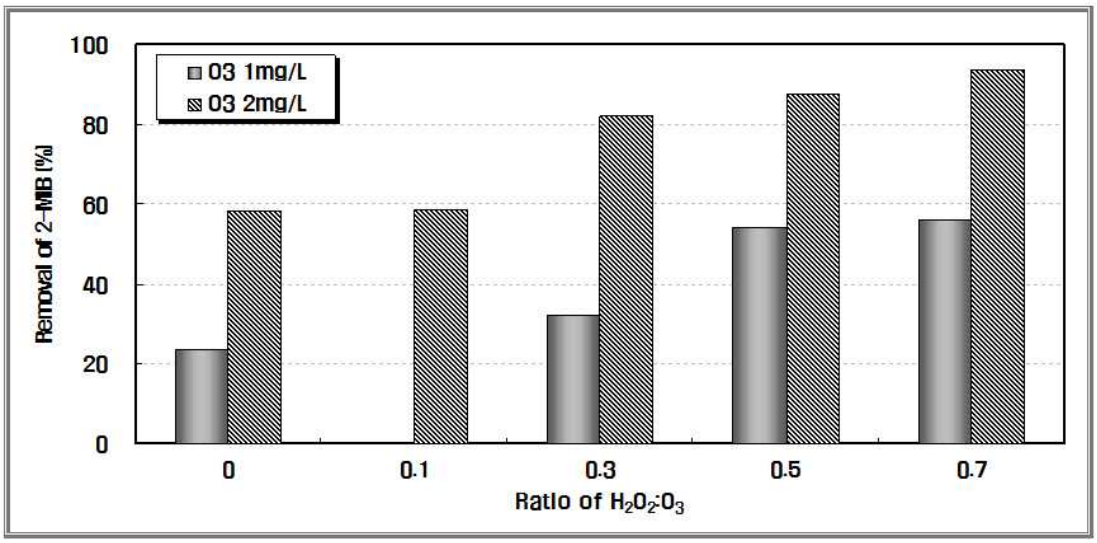
<오존・입상활성탄처리시 Geosmin, 2-MIB 제거효율>

구 분	입상활성탄	오 존	오존 + 입상활성탄
Geosmin	91~93%	99~100%	약 100%
2-MIB	96~97%	83~88%	약 100%

출처: 서울시 상수도연구원, Geosmin 유입농도 71.5～126.1ng/L, 2-MIB 유입농도 108.7～176.6ng/L, 오존 주입률 1㎎/L 및 접촉시간 30분, 입상활성탄 EBCT 15분 및 Bed Volume 67,000, 수온 25℃, 팔당호

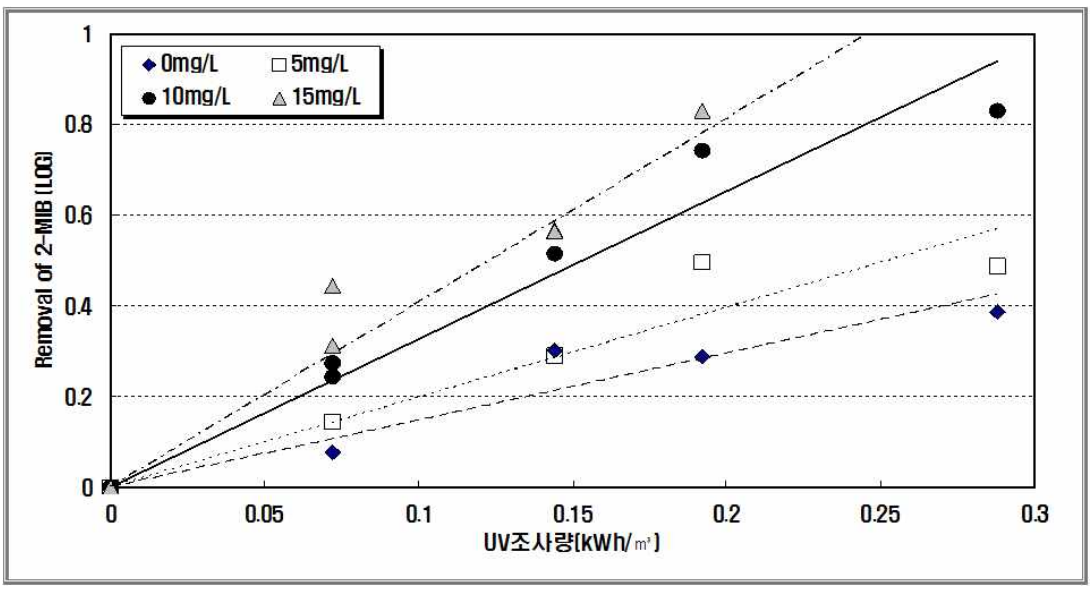
- (고도산화(AOP, Advanced Oxidation Process)) "오존+과산화수소(H_2O_2)" 또는 "UV+과산화수소(H_2O_2)"으로 구성된 고도산화(AOP) 공정은 오존 단독처리보다 맛·냄새물질 제거효율을 향상시킴

< 오존 및 과산화수소 주입률별 2-MIB 제거율 >



출처: 한국수자원공사 K-water 연구원(2010.4), 오존 공정에서 2-MIB의 처리효율은 오존 1mg/L 주입시 약 26%에서 과산화수소 투입비율(H_2O_2/O_3) 0.5에서 약 56%로 상승,오존 2mgL 주입시 약 60%에서 과산화수소 투입비율이 0.5~0.7 범위 일 경우 제거율은 약 94%까지 증가

< UV 조사동력 및 과수주입농도에 따른 2-MIB 제거율 >



출처: 한국수자원공사 K-water 연구원(2010.4)

참고 3 맛냄새물질 제거용 활성탄 선택 및 투입 가이드라인

1. 활성탄 품질기준 가이드라인

가. 배경 및 필요성

○ 우리나라의 경우 정수처리용 활성탄은 주로 맛·냄새물질을 제거할 목적으로 사용되고 있음

○ 활성탄은 해당 정수장에서 처리대상물질, 원수특성, 정수처리공정 등을 고려하여 실험을 통해 가장 적합한 것을 선택해야 하지만 우리나라 정수장 실정상 어려움이 있음

○ 맛·냄새물질 제거효율을 높이고, 비용효과적인 활성탄 생산 및 사용을 유도하기 위해 맛·냄새물질 제거용 활성탄 품질기준 가이드 필요

나. 목적

○ 맛·냄새물질 제거 목적으로 활성탄을 구매할 때 참고할 품질기준(흡착성능지표)을 가이드하기 위함

※ 여건이 허락하는 정수장에서는 2항을 참고하여 가장 적합한 활성탄 선정

다. 적용범위

○ 맛·냄새물질 중 지오스민와 2-MIB 제거용 활성탄에 적용

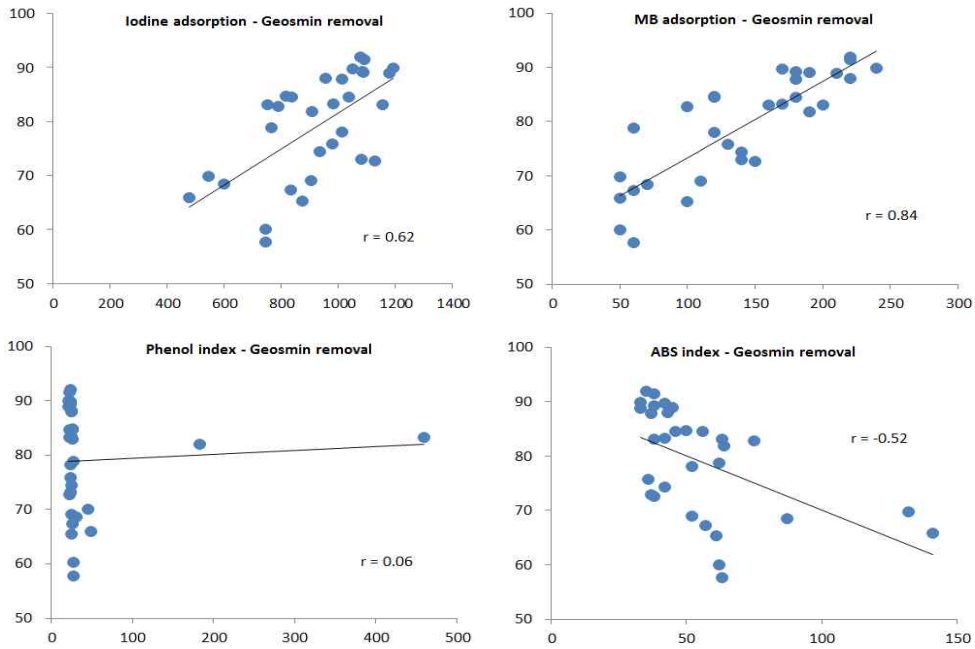
※ 정수처리공정상 분말활성탄 접촉시간이 1시간을 훨씬 초과하는 경우에는 해당원수를 대상으로 2항을 참고하여 재평가 필요

라. 맛·냄새물질 제거용 품질기준 가이드라인

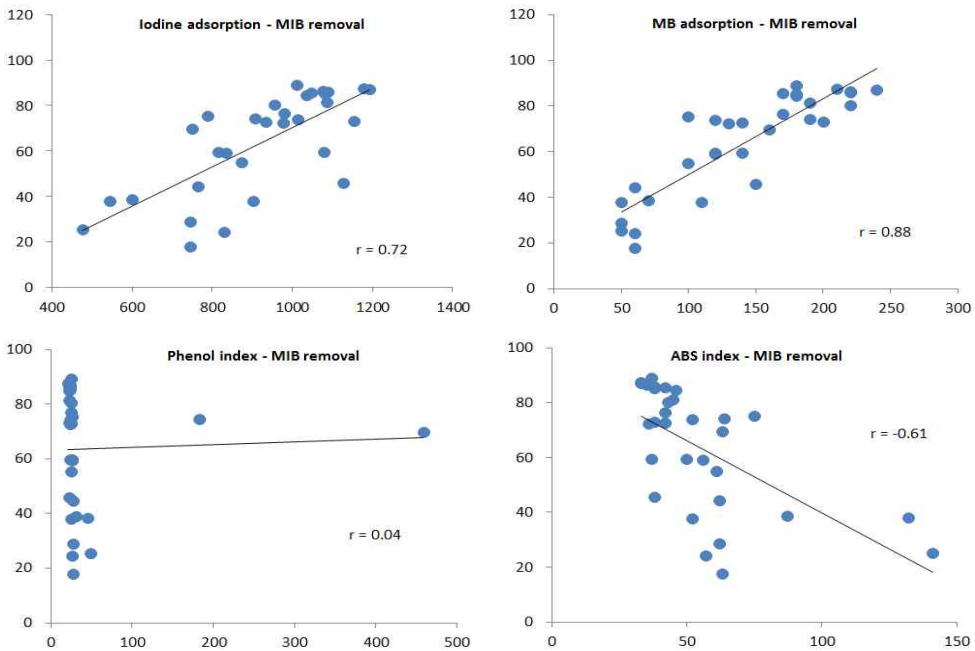
구 분	현행 규격기준	맛·냄새물질용	비 고
페놀가	25 이하	25 이하	< 보조지표 > ·External surface area(600m^2/g 이상) ·Pore volume(1.2 cc/g 이상) ·Average pore diameter(40 Å 이상)
ABS가	50 이하	50 이하	
메틸렌블루탈색력	150 mL/g 이상	**180 mL/g 이상** (200 이상 권장)	
요오드흡착력	950 mg/g 이상	950 mg/g 이상	

마. 관련 연구결과

○ 맛·냄새물질 제거효율과 활성탄 품질기준(흡착성능지표)의 상관성 분석결과, 메틸렌블루탈색력이 가장 상관성이 높은 것으로 나타남.



< 지오스민 제거율과 흡착성능지표의 상관성 >



< 2-MIB 제거율과 흡착성능지표의 상관성 >

2. 활성탄 선택 및 투입량 산정 시험

가. 배경 및 필요성

○ 활성탄은 처리대상물질, 원수특성, 정수처리공정 등을 고려하여 실험을 통해 가장 적합한 것을 선택하는 것이 좋음.

○ 정수장에서 활성탄을 비용 효과적으로 사용함으로써 예산절감 뿐만아니라 처리대상물질(맛·냄새물질 등)의 제거효율 향상 필요

나. 목적

○ 처리대상물질의 제거 목적에 적합한 활성탄을 선택하고 적정 처리에 필요한 분말활성탄 투입량을 결정하는 방법을 제공하기 위함

다. 적용범위

○ 실제 취수원수에 포함되어 있는 처리대상물질(2-MIB, 지오스민, 마이크로시스틴, 기타 미량유해물질 등)에 대한 정수처리용 분말활성탄의 흡착성능을 평가할 때 이용

☞ 아래의 시험방법은 주요 처리대상물질인 맛·냄새물질에 대해 설명

라. 시험방법

○ 시험원수 및 시약

- **(시험원수)** 정수장에 유입되는 취수원수 20L(15L 이상)를 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 용기에 정확하게 채취한다.

  ※ 아래 내용은 20L 기준이며, 채취량이 다를 경우는 양에 맞게 적용해야함.

- 취수원수에 맛·냄새물질이 충분히(용해성 50 ng/L 이상) 있는 것으로 확인되었다면 취수원수를 그대로 시험용액으로 사용할 수 있다. 그렇지 않다면 적당한 농도가 포함되도록 준비한다.

- 맛·냄새물질을 첨가하기 위해서는 채취한 취수원수에 2-MIB/지오스민 표준용액(100 ㎍/mL) 20 ㎕를 주입하고 1시간 정도

교반시킨다(여기에서는 100 ng/L 첨가 기준으로 설명함).

- **(활성탄)** 오븐(105℃)에서 4시간 이상 건조된 분말활성탄 1.0g을 시약용 정제수 100mL에 넣고 교반하여 10,000mg/L 분말활성탄 슬러리를 준비한다. Jar-시험 직전에 조제하고 시험에 사용할 때는 잘 교반한다. 용기는 마개가 있는 유리병을 사용한다.

  ※ 시험 또는 계산에 사용하는 활성탄의 양은 건량기준으로 함.

- **(응집제)** 응집제(PAC등) 5.0g을 시약용 정제수 500mL에 넣고 교반하여 10,000mg/L 응집제 stock sol'n을 준비한다. 마개가 있는 갈색유리병에 넣어 직사광선을 피하여 서늘한 곳에 보관하고 시험에 사용할 때는 5분 정도 교반한다.

- 정수처리과정에 다른 수처리제(pH조절제, 염소 등)가 주입된다면 필요에 맞게 준비한다.

○ 장비 및 기구

- Jar-tester, 타이머, 0.45㎛ 여지, 여과기 등을 준비한다.

○ 시험절차

- 실제 처리과정을 모사할 수 있도록 각 공정의 체류시간과 수처리제의 투입위치를 고려하여 jar-tester 운전조건을 설정한다.

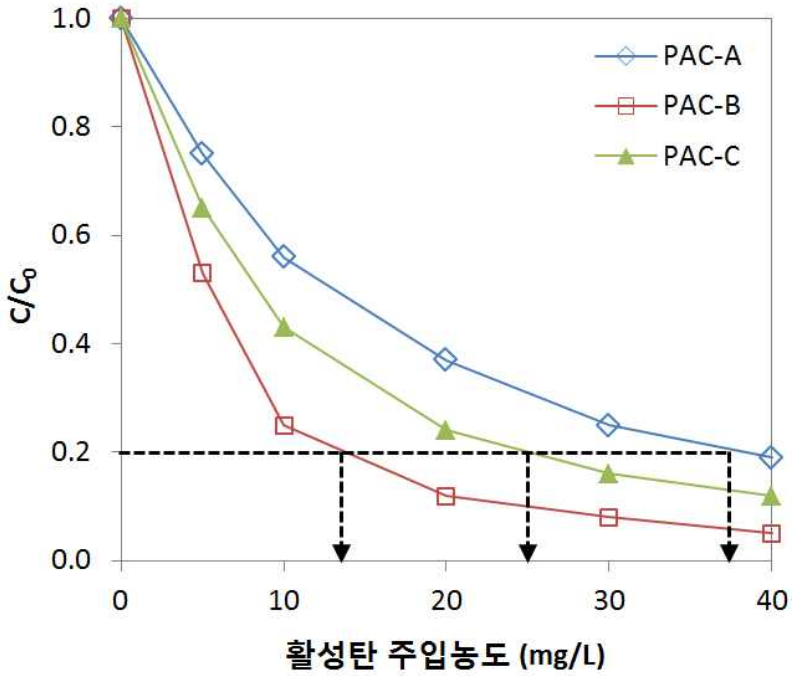
<운전조건 예>

구 분	교반속도(rpm)	시간(min)
도수	80	30
혼화·응집	150	1
	60	15
	30	15
침전	0	20

- 시험용액 2L를 각 jar에 담는다.
- 설정한 운전조건대로 jar-tester를 작동시킨다.
- 각 jar에 분말활성탄 농도가 0, 5, 10, 20, 30, 40mg/L가 되도록 슬러리를 주입한다(※ 정수장 실정에 맞게 조정 가능).
- 각 jar에 응집제 등의 수처리제를 실제 처리과정을 모사할 수 있도록 주입한다.
- Jar-tester의 운전이 끝난 뒤 각 jar의 상등액을 여과하여 맛·냄새물질을 분석한다.

❍ 활성탄 선정 및 투입량 결정

- **(투입량 결정)** 맛·냄새물질 측정값을 이용하여 각 분말활성탄 주입량에 상응하는 맛·냄새물질 잔류비(C/C_0=시료농도/대조시료농도)를 구한다.
- 활성탄 농도(x축)와 맛·냄새물질 잔류비(y축)를 그래프로 나타낸다.
- 맛·냄새물질의 목표제거율을 설정한다(※여기에서는 80%로 설정).
- 그림의 y축에서 목표제거율(80%)에 상응하는 맛·냄새물질 잔류비(C/C_0) 0.2를 찾아 x축과 수평선을 긋는다.
- 각 곡선과의 교차점에서 수직선을 그려 x축과 만나는 점을 찾는다. 이에 해당하는 농도가 목표제거율 달성을 위해 투입해야할 활성탄 농도가 된다.
- 목표제거율 달성에 필요한 활성탄 주입농도는 PAC-A 37mg/L, PAC-B 13mg/L, PAC-C 25 mg/L가 된다.



- **(활성탄 선정)** 비용 효과적인 적합한 활성탄을 선정하기 위해 아래와 같은 방법을 이용할 수 있다.
- 맛·냄새물질 목표제거율 달성에 가장 우수한 활성탄 주입농도로 각 활성탄 주입농도를 나누어 흡착성능을 반영한 성능계수를 구한다.
- 건량기준의 활성탄 비용에 성능계수를 곱하여 맛·냄새물질 흡착성능이 고려된 비용을 산출한다.
- 아래 표와 같이 맛·냄새물질 제거에 적합한 활성탄 선정시 흡착성능이 반영된 비용(E)을 고려하여 활성탄 선정 및 구매에 활용할 수 있다.

<흡착성능이 반영된 비용 산출 예>

구 분	비 용 (만원/톤)	성능계수	흡착성능 반영된 비용(E) (만원/톤)
활성탄-A	100	2.846 (37/13)	284.6
활성탄-B	170	1.000 (13/13)	170.0
활성탄-C	120	1.923 (25/13)	230.8

3. 활성탄 투입량 가이드라인

가. 배경 및 필요성

○ 경험이 부족하고 연구 여건 등이 어려운 중소규모 정수장의 경우, 기초적인 자료가 부족하여 맛·냄새물질 유입시 투입량을 결정하는데 어려움을 겪고 있음.

○ 자료가 부족한 정수장에서 맛·냄새물질 유입시 신속하게 개략적인 분말활성탄 투입량을 결정하여 대응할 수 있도록 가이드 필요

나. 목적

○ 활성탄 투입량 산정시험을 수행하기 어렵거나 자료가 부족하여 투입량을 결정하는데 어려움이 있는 정수장에서 빠르게 활용할 수 있는 분말활성탄 투입량 조견표를 제공하기 위함

다. 적용범위

○ 맛·냄새물질(2-MIB, Geosmin) 유입시 신속하게 분말활성탄의 투입량을 결정할 때 이용

○ 투입량은 별도의 접촉조(완전혼합)가 있는 경우를 모사한 것이므로 정수장 상황에 맞게 수정하여 적용

※ 실질적인 접촉시간이 20분 이상이 될 수 있도록 하는 것이 중요함(아래 그래프 참조). 분말활성탄 접촉조가 별도로 없는 정수장의 경우에는 분말활성탄 투입지점에서 침전지까지 혼합의 정도와 활성탄이 바닥에 가라앉는 등 실질적으로 흡착에 이용되지 못하는 정도를 고려하여 개별 정수장에서의 적용계수(scale-up factor)를 구하여 이용하는 것이 바람직함(아래 '바'항 참조).

라. 분말활성탄 투입량 조견표

○ 처리목표농도가 20 ng/L이며, 용존성 맛·냄새물질만 고려한 것임.

※ 세포성 맛·냄새물질은 활성탄의 흡착에 의해 제거되지 않으므로 응집·침전·여과공정으로 제거

<2-MIB>

2-MIB (ng/L)	UV_{254}	활성탄 특성	활성탄 투입량 (mg/L)		
			접촉시간 20분	접촉시간 40분	접촉시간 60분
200	0.045	요오드흡착력 1089 mg/g MB탈색력 220 mL/g	23	19	17
100			17	14	11
50			9	8	7
200	0.065		25	21	19
100			18	15	13
50			11	10	9
200	0.165		35	31	30
100			27	24	22
50			15	13	12
200	0.045	요오드흡착력 1087 mg/g MB탈색력 190 mL/g	32	26	22
100			24	18	16
50			14	11	9
200	0.065		35	30	28
100			25	20	18
50			16	14	12
200	0.165		38	35	33
100			29	27	25
50			18	16	14

<Geosmin>

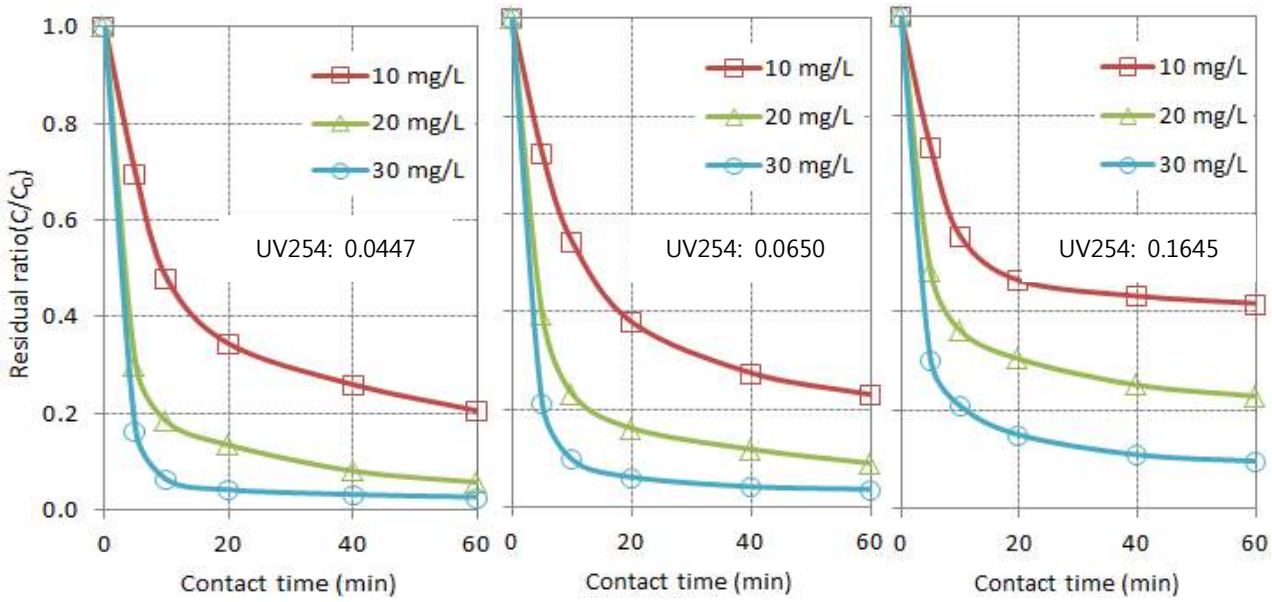
2-MIB (ng/L)	UV_{254}	활성탄 특성	활성탄 투입량 (mg/L)		
			접촉시간 20분	접촉시간 40분	접촉시간 60분
200	0.045	요오드흡착력 1089 mg/g MB탈색력 220 mL/g	15	12	10
100			10	8	7
50			8	6	5
200	0.065		18	14	12
100			12	10	8
50			10	8	7
200	0.165		23	20	18
100			15	13	11
50			12	10	9
200	0.045	요오드흡착력 1087 mg/g MB탈색력 190 mL/g	20	17	15
100			15	12	10
50			10	8	6
200	0.065		22	19	17
100			17	14	12
50			12	10	8
200	0.165		25	22	20
100			19	16	14
50			14	12	10

※ 개별 정수장에서는 유입원수의 특성(맛·냄새물질, UV254 등), 분말활성탄 품질특성, 맛·냄새물질의 처리효율 등에 대한 데이터의 피드백을 통해 투입량 조견표를 보완하여 사용

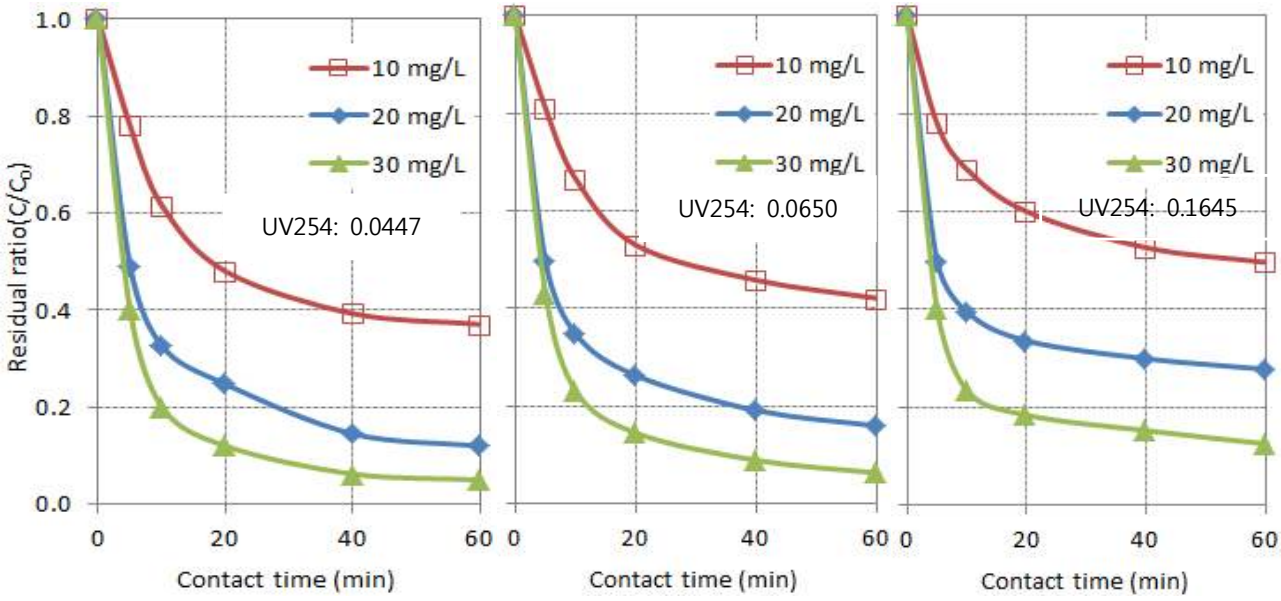
마. 분말활성탄 투입량 산정 그래프

<2-MIB>

활성탄: 요오드흡착력 1089, MB탈색력 220

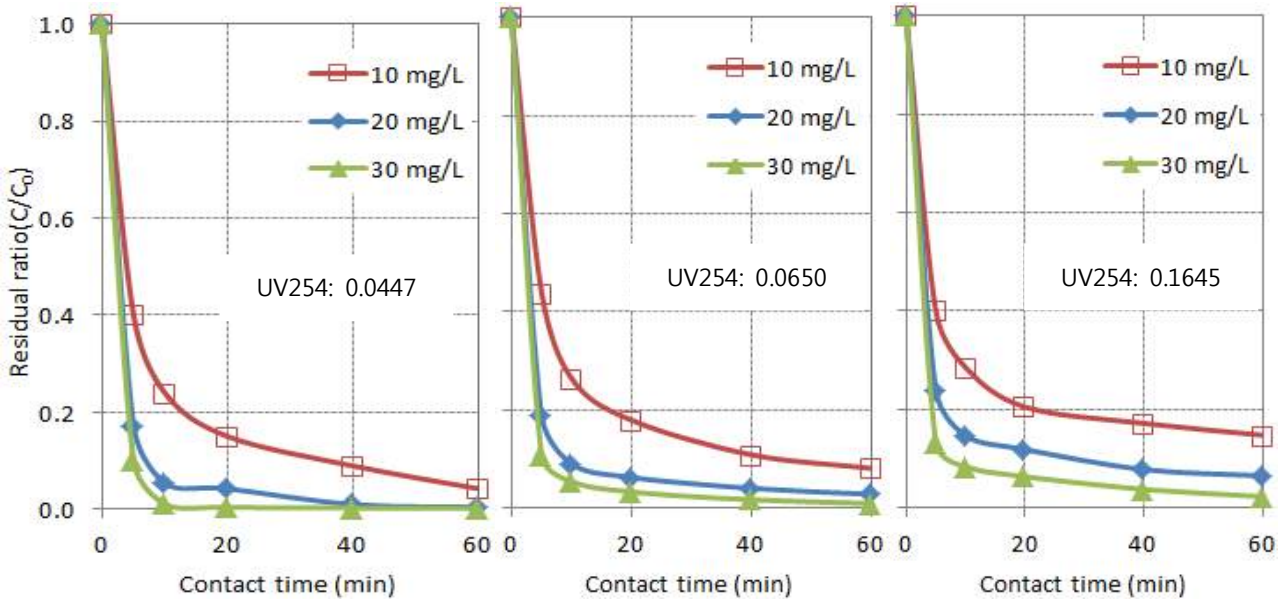


활성탄: 요오드흡착력 1087, MB탈색력 190

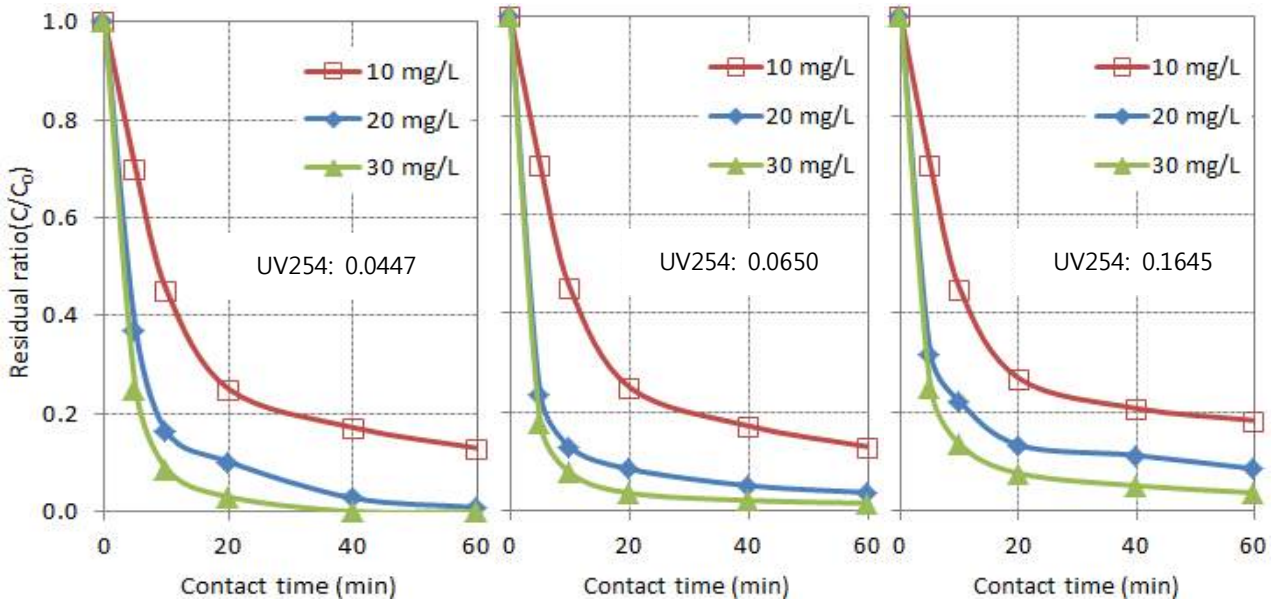


<Geosmin>

활성탄특성: 요오드흡착력 1089, MB탈색력 220



활성탄특성: 요오드흡착력 1087, MB탈색력 190



바. 분말활성탄 투입량 및 접촉시간에 대한 적용계수 산정방법 예

○ 접촉시간과 투입량에 대한 적용계수를 각각 구하고 그래프를 이용하여 정수장 상황을 고려한 투입조견표를 산정할 수 있다.

○ 분말활성탄 투입량 산정시 용존성 이취미물질만을 대상으로 한다.

○ 활성탄흡착은 수온, pH, 염소 등에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로 이에 따른 차이를 인지하고 고려한다.

○ 적용계수 산정방법(예)

(1) 고농도 이취미물질이 유입하는 시기 중 용존성 비율이 100%에 가까울 때, 실제 정수공정에서 분말활성탄 투입농도를 정확히 측정한다.

(2) 투입지점에서 침전지까지 처리공정 단계별(취수장, 착수정, 혼화지, 응집지, 침전지)로 시료를 채취한다. 이때 활성탄이 투입되지 않은 원수시료도 함께 채취한다.

(3) 시료를 유리섬유여과지로 거른 후 450 ℃에서 2시간 이상 태운 다음, 타고 남은 잔류분을 이용해 활성탄량을 구하여 투입량에 대한 적용계수를 산정한다.

(4) 적용계수를 적용한 투입량을 사용하여 jar-test를 실시하고 실공정의 제거효율과 비교하여 접촉시간에 대한 적용계수를 구한다.

☞ 정수장의 시설과 공정을 진단하여 가능한한 실질적인 접촉시간이 20분 이상 확보될 수 있도록 하고, 적용계수를 적용하여 투입량 조견표를 보정하여 사용

참고 4 남조류 유입시 전염소 적정 투입량 산정 시험

1. 배경 및 필요성

○ 취수시점에서 맛·냄새물질과 조류독소는 남조류 세포내에 분포하는 경우가 많음

○ 맛·냄새물질과 조류독소의 효과적인 제거를 위해 전염소공정을 최적화하여 운영할 필요가 있음

2. 목적

○ 조류세포 내에 존재하는 맛·냄새물질과 조류독소를 효과적으로 제거하기 위해 적정한 전염소 투입량을 결정하는 방법을 제공하기 위함

3. 적용범위

○ 실제 취수원수의 조류세포 내에 포함되어 있는 맛·냄새물질(2-MIB, 지오스민)과 조류독소를 누출시키지 않고 응집·침전 효율을 최적으로 유지할 수 있는 전염소 투입량을 평가할 때 이용

4. 시험방법

○ 시험원수 및 시약

- **(시험원수)** 정수장에 유입되는 취수원수 20L(15L 이상)를 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 용기에 정확하게 채취한다.
- **(염소)** 유리잔류염소 2,000mg/L의 농도가 되도록 차아염소산나트륨 용액을 준비한다. 마개가 있는 유리병에 냉장보관하고 사용 직전에 잔류염소 농도를 확인한다.
- **(응집제)** 응집제(PAC등) 5.0g을 시약용 정제수 500mL에 넣고 교반하여 10,000mg/L 응집제 stock sol'n을 준비한다. 마개가 있는 갈색유리병에 넣어 직사광선을 피하여 서늘한 곳에 보관하고

시험에 사용할 때는 5분 정도 교반한다.

- 정수처리과정에 다른 수처리제(pH조절제 등)가 주입된다면 필요에 맞게 준비한다(분말활성탄은 제외).

○ 장비 및 기구

- Jar-tester, 타이머, 0.45㎛ 여지, 여과기 등을 준비한다.

○ 시험절차

- 실제 처리과정을 모사할 수 있도록 각 공정의 체류시간과 수처리제의 투입위치를 고려하여 jar-tester 운전조건을 설정한다.

<운전조건 예>

구 분	교반속도(rpm)	시간(min)
도수	80	30
혼화·응집	150	1
	60	15
	30	15
침전	0	20

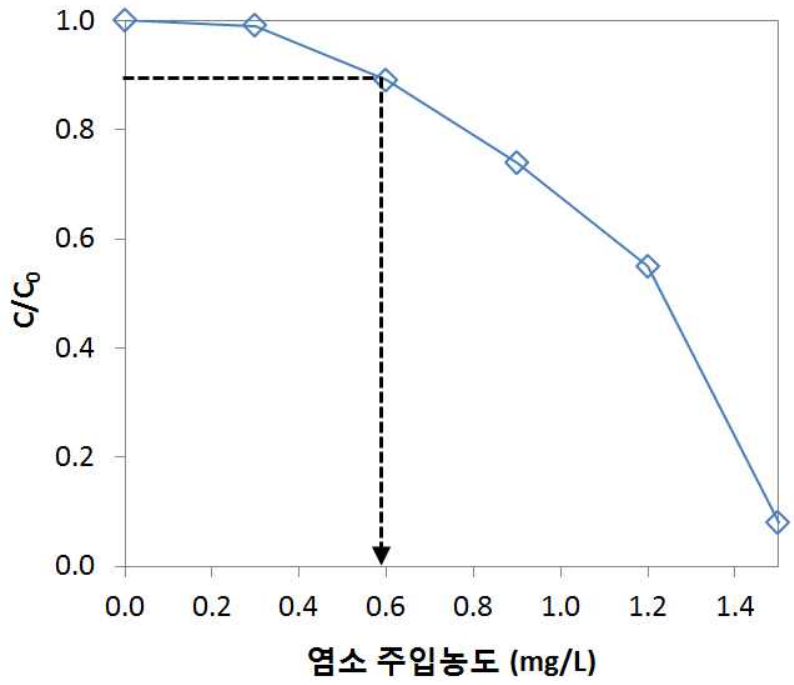
- 시험용액 2L를 각 jar에 담는다.
- 설정한 운전조건대로 jar-tester를 작동시킨다.
- 각 jar에 염소 농도가 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mg/L가 되도록 주입한다(※ 정수장 실정에 맞게 조정 가능).
- 각 jar에 응집제 등의 수처리제를 실제 처리과정을 모사할 수 있도록 주입한다.
- Jar-tester의 운전이 끝난 뒤 교반하면서 각 jar의 시료를 채취한 다음 여과하지 않은 시료와 여과한 시료의 맛·냄새물질을 분석한다.

○ 전염소 투입량 결정

- 맛·냄새물질 측정값을 이용하여 각 염소 주입량에 상응하는 세

포성 맛·냄새물질 잔류비(C/C_0=시료농도/대조시료농도)를 구한다.

- 염소 주입농도(x축)와 세포성 맛·냄새물질 잔류비(y축)를 그래프로 나타낸다.
- 맛·냄새물질의 목표누출율을 10% 이하의 값으로 설정한다(※ 아래 예에서는 10%로 설정).
- 그림의 y축에서 목표누출율(10%)에 상응하는 맛·냄새물질 잔류비(C/C0) 0.9를 찾아 x축과 수평선을 긋는다.
- 각 곡선과의 교차점에서 수직선을 그려 x축과 만나는 점을 찾는다. 이에 해당하는 농도가 목표누출율 달성을 위해 투입해야할 염소 농도가 된다.
- 목표누출율 달성을 위해 염소 주입농도는 0.6mg/L 이하여야 한다.



※ 조류독소(마이크로시스틴)에 대해서도 활용할 수 있으며, 이 시험방법은 정수장 상황에 맞게 적용 가능하다.

참고 5 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템 활용

1. 배경 및 필요성

○ 정수장에 맛·냄새물질 유입시 정수처리과정에서 효과적으로 제거하기 위해서는 유입농도를 신속하게 측정하여 공정운영(약품투입방법, 투입량 등)에 활용하는 것이 중요

○ 또한, 조류세포 內外의 맛·냄새물질 농도를 분석하여 활용하는 것이 가장 효과적이며 처리비용을 절감할 수 있음(아래 표 참조)

○ 신속하고 유용한 데이터를 얻을 수 있으며, 수처리제(활성탄, 염소, 오존 등)의 사용을 최적화함으로써 예산절감이 가능한 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템의 활용 권장

2. 목적

○ 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템 활용법을 가이드하기 위함

※ 기타 휘발성 유기오염물질(페놀, 농약, 소독부산물 등)의 모니터링도 가능함

3. 활용방법

○ 실시간 자동분석시스템을 이용하여 1시간 1회 이상 조류세포 內外의 2-MIB와 지오스민 농도를 각각 모니터링하고 아래의 효과적인 처리방법을 참고하여 정수장 상황에 맞게 처리공정 최적 운영

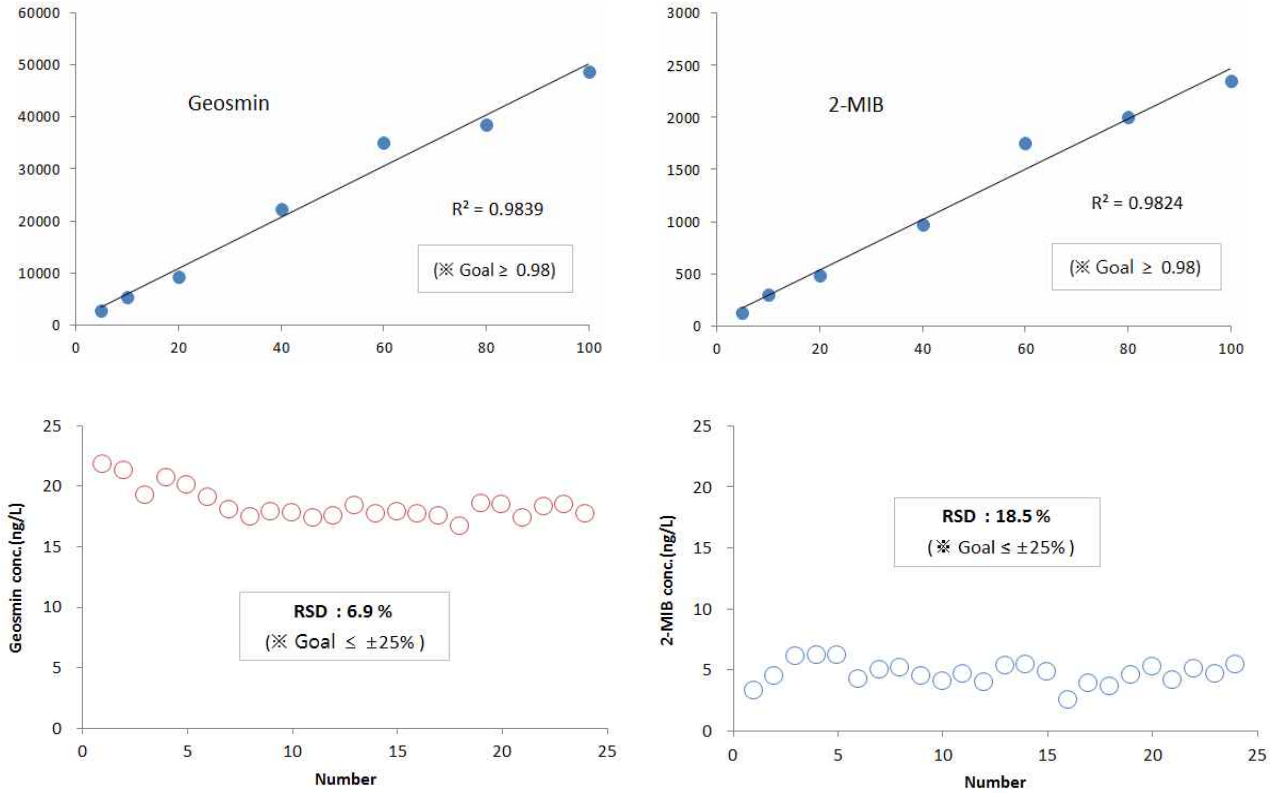
4. 맛·냄새물질의 효과적인 처리방법(⇒수처리제 및 공정운영 최적화)

구 분	입자 (조류세포 內)	용존 (조류세포 外)
처리공정	응집-침전-여과	활성탄, 오존
공정운전	전염소↓, 중염소↑ 최적 pH 조절 응집제 최적 주입 침전슬러지 회수주기 단축	분말활성탄 최적 주입 (주입지점, 주입량 등) 오존/입상활성탄 적정 운영
제거효율	G/M 약 100% (※ G: 지오스민, M: 2-MIB)	분말활성탄-G 약70%, M 약50%, 오존&입상활성탄 G/M 약100%

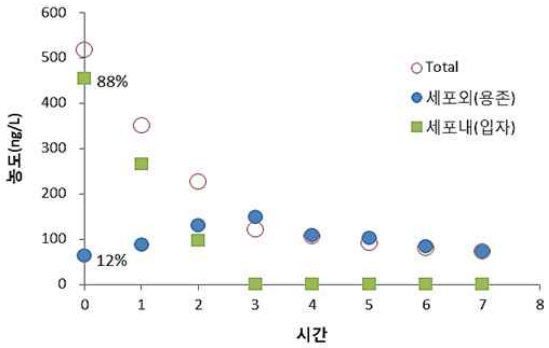
5. 맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템(예) 연구결과

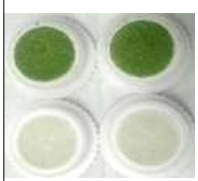
○ 현장 시범적용 성능평가 결과

- **(정도보증/정도관리)** 검정곡선 R^2 0.98 이상, 반복성 RSD 20% 이하, 검출한계 3 ng/L를 보였음.



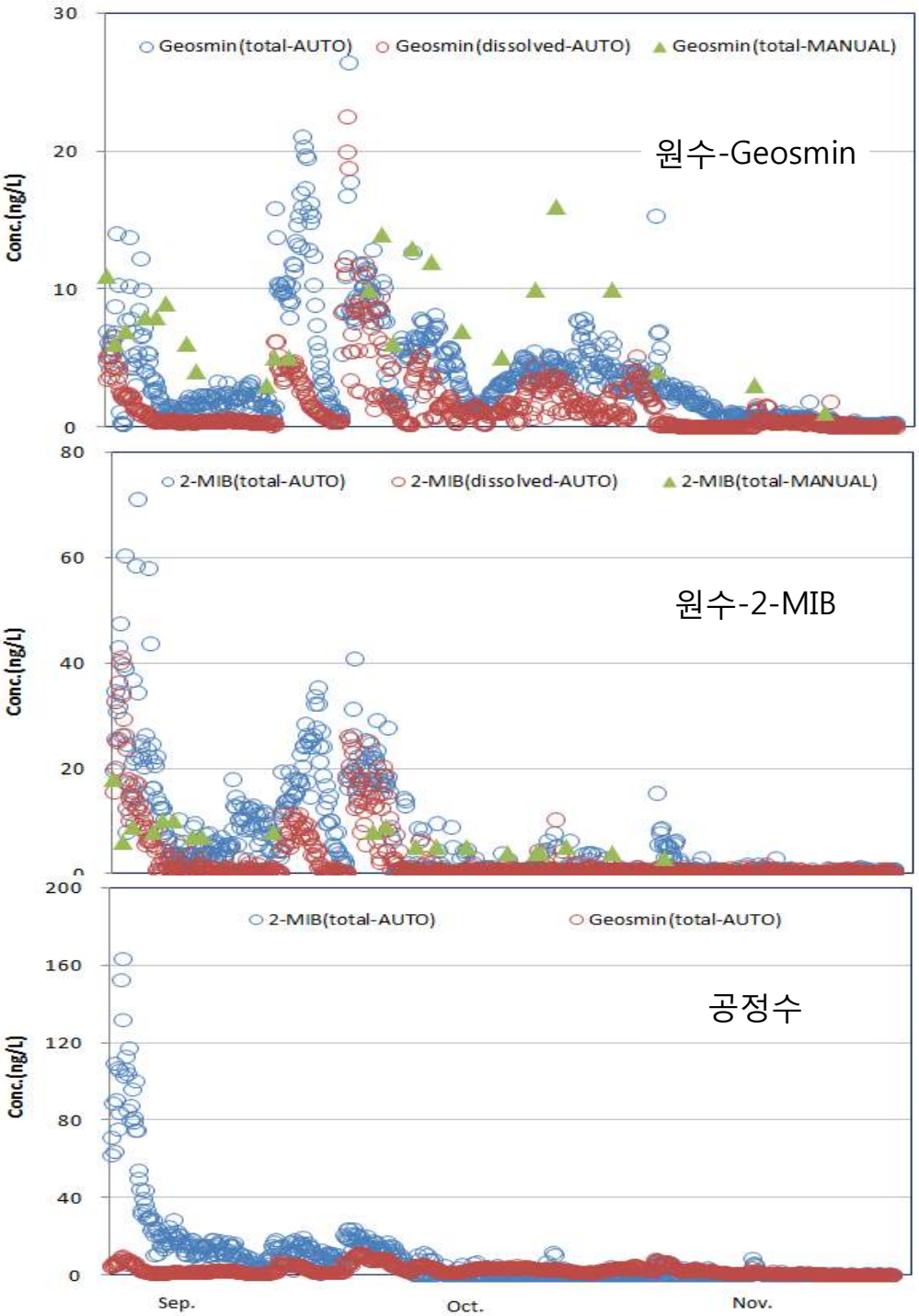
- **(조류세포 內外 분석성능)** 입자(세포)의 분획성능이 97%로서 조류세포 내외의 맛·냄새물질 농도를 구분하여 분석하는 성능이 양호하였음.



	지오스민 (ng/L)	클로로필-a (ug/L)	분획 성능	비 고
합계	517.5	127.7	97%	
세포外	62.6	4.4		
세포內	454.9	123.3		

○ 현장 시범적용 실시간 측정 결과

- 1회/시간 이상 조류세포 內外의 농도를 구분하여 안정적 측정가능



❍ 기존의 분석방법과 실시간 자동분석시스템 비교

구 분	기존 수동 분석시스템	**자동분석시스템(예)**
분석 주기	1~2회/일	**30~50회/일**
야간 모니터링	제한적	**가능**
데이터 활용성	작다	**크다** (신속, 세포/용존 데이터)
검출한계	1~2 ng/L	**3 ng/L**
약품사용	YES	**NO**

<맛·냄새물질 실시간 자동분석시스템 예>



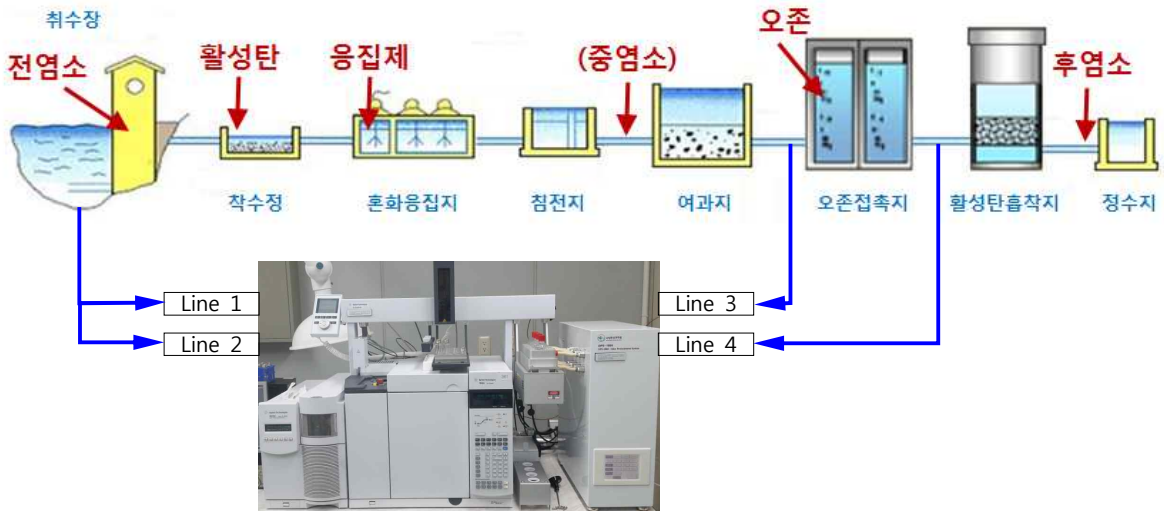






○ 실시간 자동분석시스템의 정수처리 활용 예

- 4개의 라인으로 원수, 여과수, 오존 유출수를 도입하여 실시간 분석



구 분	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4
측정시료	취수원수		여과수	오존 유출수
확보 데이터	세포성 농도	용존성 농도	여과수 농도	유출수 농도
공정운영 의사결정	세포성 ⇓ 전염소↓,중염소↑ ⇓ 응집·침전·여과공정 최적화	용존성 ⇓ 활성탄 최적 투입 (투입조견표이용) ⇓ 오존-입상활성탄 공정 최적운영	활성탄 투입 농도 결정 등에 피드백	오존 투입농도 결정
	슬러지 회수주기 단축			

○ 실시간 자동분석시스템 사용시 비용절감액 추산

- 수돗물 생산량 1일 1,000,000 m^3 기준, 10년간 약 57억원 절감

	비 용	비 고
실시간 자동분석시스템	1.5억원/10년	– 구입비용 : 50,000,000원/대 (※ SPME-GC/MS와 함께 구입시 약2억원) – 운영비용 : 100,000,000원/10년 – 사용년수 : 10년
분말활성탄	54억원/10년	1,000,000m^3/일×20mg/L×90일/년×1,500,000원/톤×10^3L/m^3×ton/10^9mg×20% = 540,000,000원/년
오존	4.5억원/10년	1,000,000m^3/일×2.5원/m^3×90일/년×20% = 45,000,000원/년
합계	57억원/10년	5,850,000,000원/10년-150,000,000원/10년 = 5,700,000,000원/10년

– 산출근거

정수장 현황 (가정)	산출근거
– 정수용량 : 1,000,000 m^3/일 (※전국 총용량: 27,000,000 m^3/일) – 처리공정: 일반+분말활성탄+오존 – 분말활성탄 투입량 : 20 mg/L – 오존 투입량 : 1 mg/L – 맛·냄새물질 발생 기간 : 90일/년	– 실시간자동분석장치 비용 : 50,000천원 – 분말활성탄 단가 : 1,500천원/톤$_{활성탄}$ – 오존 비용 : 2.5원/$m^3{}_{정수}$ – 분말활성탄 투입량 절감 : 20% 가정 – 오존 투입량 절감 : 20% 가정

참고 6 유관기관 비상연락망

□ 환경부

기 관 명	부 서 명	전화번호	
		일 반	FAX
환경부	당 직 실	044-201-7440	044-201-7442
	수도정책과	044-201-7116	044-201-7189
	정책홍보팀	044-201-6041	044-201-6050
국립환경과학원	당 직 실	032-560-7025	032-568-2031
	상하수도연구과	032-560-8341	032-563-7085
	물환경평가연구과	032-560-7470	032-568-2053
한강물환경연구소	당 직 실	031-770-7200	031-773-2268
	물환경화학연구과	031-770-7250	031-773-2268
낙동강물환경연구소	당 직 실	054-950-9709	054-950-9707
	물환경화학연구과	054-950-9721	054-950-9775
금강물환경연구소	당 직 실	043-730-5600	043-733-9408
	물환경화학연구과	043-730-5641	043-733-9408
영산강물환경연구소	당 직 실	062-970-3987	062-970-3999
	물환경화학연구과	062-970-3941	062-970-3999
한강유역환경청	당 직 실	031-790-2590	031-790-2600
	상수원관리과	031-790-2474	031-790-2479
낙동강유역환경청	당 직 실	055-211-1789	055-211-1706
	상수원관리과	055-211-1740	055-211-1706
금강유역환경청	당 직 실	042-865-0700	042-865-0726
	상수원관리과	042-865-0785	042-865-0789
영산강유역환경청	당 직 실	062-410-5115	062-410-5153
	상수원관리과	062-410-5352	062-410-5399
원주지방환경청	당 직 실	033-760-6000	033-764-0388
	환경관리과	033-760-6041	033-765-0129
대구지방환경청	당 직 실	053-230-6600	053-643-7796
	환경관리과	053-230-6430	053-761-0128
새만금지방환경청	당 직 실	063-238-8888	063-238-8889
	환경관리과	063-238-8830	063-238-8839

□ 지방자치단체

지자체명	부 서 명	전화번호	
		일 반	FAX
서울특별시 상수도사업본부	수질과	02-3146-1321	02-3146-1319
부산광역시 상수도사업본부	시설부(수질팀)	051-669-4411	051-669-4419
대구광역시 상수도사업본부	수질관리과	053-670-2230	053-670-2219
인천광역시 상수도사업본부	급수부	032-720-2120	032-720-2129
광주광역시 상수도사업본부	시설과	062-613-6081	062-613-6079
대전광역시 상수도사업본부	수질관리과	042-715-6138	042-715-6149
울산광역시 상수도사업본부	급수부	052-229-5540	052-211-3286
세종특별자치시	상하수도과	044-300-4521	044-300-4519
경 기 도	상하수과	031-8008-6996	031-767-4336
강 원 도	수질보전과	033-249-2584	033-249-4036
충청북도	수질관리과	043-220-4062	043-220-4069
충청남도	물관리정책과	041-635-4472	041-635-3066
전라북도	물환경관리과	063-280-3553	063-280-3559
전라남도	환경관리과	061-286-7110	061-286-4796
경상북도	물산업과	053-950-3525	053-950-3559
경상남도	수질관리과	055-211-4241	055-211-4219
제 주 도	상수도생산관리과	064-750-7831	064-750-7888

□ 한국환경공단

기 관 명	전화번호		주요업무
	일 반	FAX	
한국환경공단 상수도처	(032)590-5500	590-5506	수도시설 기술진단, 기술지원
물환경관리처 수질측정망팀	(032)590-3920	590-3930	국가수질측정망 운영
물환경관리처 수질오염방제팀	(032)590-3901	590-3919	수질오염 방제지원 총괄
수도권동부지역본부 수질관리팀	(031)776-5111	701-9227	수도권 수질오염 방제지원
충청권지역본부 수질관리팀	(042)939-2250	939-2280	충청권 수질오염 방제지원
호남권지역본부 수질관리팀	(062)949-0720	944-9605	호남권 수질오염 방제지원
대구경북지역본부 수질관리팀	(053)280-3850	280-3849	영남권 수질오염 방제지원

□ 한국수자원공사

기 관 명	전화번호		주요업무
	일 반	FAX	
녹조기술센터(본사)	(042)629-2782	629-2799	댐・보 수질관리
수도관리처(본사)	(042)629-2832	629-2859	수도시설 공정관리
한강권역본부	(02)2150-0351	2150-0390	수도권권역 댐 및 수도시설 공정관리
강원지역지사	(033)260-3733	260-3747	강원지역 댐 및 수도시설 공정관리
낙동강권역본부	(053)668-1307	629-4910	경북지역 댐 및 수도시설 공정관리
경남부산지역지사	(055)268-7151	268-7237	경남지역 댐 및 수도시설 공정관리
금·영·섬권역본부	(063)260-4311	260-4234	전북지역 댐 및 수도시설 공정관리
충청지역지사	(043)230-4281	230-4298	충청지역 댐 및 수도시설 공정관리
광주전남지역지사	(062)370-1311	370-1232	전남지역 댐 및 수도시설 공정관리


MINISTRY OF ENVIRONMENT
환 경 부