

Determination of geosmin and 2-MIB in Nakdong River using headspace solid phase microextraction and GC-MS

Injung Lee[★], Kyoung-Lak Lee, Tae-Hyo Lim, Jeong-Ja Park and Seuk Cheon

*Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,
Gyeongbuk 717-873, Korea*

(Received April 30, 2013; Revised September 9, 2013; Accepted September 30, 2013)

HS-SPME-GC/MS를 이용한 낙동강 수계 하천수 중 조류기원성 냄새물질 분석

이인정[★] · 이경락 · 임태효 · 박정자 · 천세억

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

(2013. 4. 30. 접수, 2013. 9. 9. 수정, 2013. 9. 30. 승인)

Abstract: Geosmin and 2-methylisoborneol (2-MIB) are volatile organic compounds responsible for the majority of unpleasant taste and odor events in drinking water. Geosmin and 2-MIB are byproducts of blue-green algae (cyanobacteria) with musty and earthy odors. These compounds have odor threshold concentration at ng/L levels. It is needed to develop a sensitive method for determination of geosmin and 2-MIB to control the quality of drinking water. In this study, geosmin and 2-MIB in water samples were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with headspace-solid phase microextraction (HS-SMPE). The detection limits of this method were 1.072 ng/L and 1.021 ng/L for geosmin and 2-MIB, respectively. Good accuracy and precision was also obtained by this method. Concentrations of the two compounds were measured in raw waters from Nakdong River in the cyanobacterial blooming season. Water bloom formed by cyanobacteria has been occurred currently in Nakdong River. It is needed to investigate the concentrations of geosmin and 2-MIB to control the quality of drinking water from Nakdong River. Both geosmin and 2-MIB were detected in raw waters from Nakdong River at concentrations ranging from 4 to 24 ng/L and 6 to 16 ng/L, respectively.

요약: Geosmin과 2-methyl isoborneol (2-MIB)는 먹는물에서 불쾌한 맛과 냄새를 일으키는 대표적인 물질이며, 남조류의 대사산물로 흙 냄새나 곰팡이 냄새를 내는 것으로 알려져 있다. 이들 물질의 최소감지 농도는 수 ng/L 수준으로, 먹는물의 질을 관리하기 위해서는 극미량까지 분석할 수 있는 분석방법이 요구된다. 본 연구에서는 물시료 중의 geosmin과 2-MIB를 headspace-solid phase microextraction (HS-SMPE) 법과 기체크로마토그래프/질량분석기 (gas chromatograph/mass spectrometer, GC/MS)를 이용하여 분석하였다. 방법검출한계는 geosmin과 2-MIB에 대하여 각각 1.072 ng/L, 1.021 ng/L 값을 구할 수 있었으며, 정확도와 정밀도에서도 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 최근 낙동강에서는 남조류에 의한 수화현상이 종종

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)54-950-9721 Fax : +82-(0)54-950-9775

E-mail : ijlee@me.go.kr

발생하고 있어, 낙동강을 상수원수로 하는 먹는물의 안정성을 확보하기 위하여 geosmin과 2-MIB의 농도를 조사할 필요성이 대두되고 있다. 남조류가 번성한 시기에 낙동강 원수에 대하여 geosmin과 2-MIB의 농도를 조사한 결과, 각각 4~24 ng/L, 6~16 ng/L의 농도로 검출되었다.

Key words: geosmin, 2-MIB, musty and earth odor, Nakdong River, HS-SMPE, GC-MS

1. 서 론

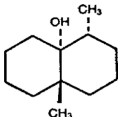
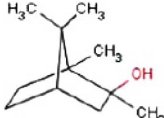
최근 팔당호를 비롯한 북한강 및 낙동강 수계를 비롯한 여러 지역의 수돗물에서 조류 번식에 의한 악취로 인해 잦은 민원이 발생하고 있으며, 2011년에는 동절기인 11월에 북한강 수계에서 남조류 증식에 따른 이취미 물질이 대량 발생하였다. 과거 조류에 의한 이취미 물질은 주로 여름철에 발생하였으나, 최근에는 지구 온난화에 따른 기온상승과 강수량 부족 등의 원인이 복합적으로 작용하여 동절기에도 조류에 의한 이취미 물질이 발생하고 있다. 또한 상수원의 안정적 확보를 위해 그간 국내 주요 수계에는 다수의 댐 및 보가 건설되어 상수원의 체류시간이 증가하는 등 하천의 수리, 수문환경 변화로 조류의 대량 발생 가능성이 더욱 증가하고 있다.

상수원에서 조류의 대량 발생 시 이취미를 유발하는 물질로는 geosmin (trans-1,10-dimethyl-trans-9-decalol)과 2-MIB (2-methyl isoborneol)가 가장 널리 알려져 있는데, 이들 물질은 남조류(cyanobacteria)나 방선균(actinomycetes)의 대사산물로서 흙 냄새나 곰팡이 냄새를 유발하는 것으로 알려져 있다(Table 1).¹⁻³ Geosmin과 2-MIB의 냄새최소감지농도(odor threshold concentration)는 사람마다 편차가 있으나 일반적으로 4~20 ng/L인 것으로 알려져 있다.¹⁻³ 일본의 경우 먹는물 기준에 geosmin과 2-MIB의 농도를 10 ng/L로 규정하고 있

며, 우리나라에서는 현재 먹는물 수질감시항목의 권고 기준으로 20 ng/L로 규정하고 있다. 이처럼 이들 물질의 냄새 감지농도는 매우 낮기 때문에 상수원과 수돗물에 매우 낮은 농도로 함유되어 있어도 민원을 유발한다. 따라서 상수원수 및 수돗물에서 발생하는 이취미 문제를 방지하고, 효과적인 대처를 위해서는 극미량까지 정확하고 빨리 분석할 수 있는 분석방법이 요구된다.

물속에 극미량으로 존재하고 있는 분석물질을 검출하기 위해서는 방해물질을 제거하면서 분석물질을 농축시키는 전처리 과정이 매우 중요하다. 일반적으로 수질시료에서 휘발성(volatile) 또는 반휘발성(semi-volatile) 유기화합물질의 전처리에는 액액 추출법(liquid-liquid extraction, LLE)이 이전부터 주로 사용되어 왔으나,^{2,4} 비교적 최근에는 카트리지형 또는 디스크형의 고체상 추출법(solid phase extraction, SPE) 등 다양한 전처리 방법이 많이 사용되고 있다.^{3,5-7} LLE법의 경우 추출과정에서 많은 양의 유기용매가 사용되며, 시간과 노동력이 많이 요구되는 반면에 SPE법의 경우 액-액 추출법에 비해 사용되는 유기용매의 양이 적고, 비교적 간편하여 광범위하게 이용되고 있다. 하지만 최근에는 유기용매를 사용하지 않으며, 보다 신속하고 간편하게 극미량의 농도를 분석할 수 있는 고체상 미량 추출법(solid phase microextraction, SPME)이 많이 사용되고 있다.⁸⁻¹⁰ SPME법은 fiber를 이용하여 분석대상

Table 1. Characteristics of geosmin and 2-MIB

Compounds	Structure	Chemical name	M.W.	Molecular formula	Odorant
Geosmin		trans-1,10-dimethyl trans-9-decalol	182	C ₁₂ H ₂₂ O	Earthy
2-MIB		2-methyl isoborneol	168	C ₁₁ H ₂₀ O	Musty

물질을 선택적으로 흡착시킨 후 분석하는 방법으로 fiber의 종류에 따라 다양한 물질을 분석할 수 있다. SPME법 중에서 헤드스페이스-고체상 미량추출법(head space-SPME, HS-SPME)은 휘발성 유기화합물질(volatile organic compounds, VOCs)의 미량분석에 주로 이용되는 방법으로 감도를 낮추는데 도움이 된다.

1980년대 후반에서 90년대 초반까지 2-MIB와 geosmin의 분석에는 주로 액액 추출법과 퍼지엔트랩(purge and trap, P&T) 등의 방법이 이용되었다.^{1,2,4,11} 국내에서 액액 추출법으로 2-MIB와 geosmin을 분석한 결과 0.1 ng/L 수준의 검출한계를 얻을 수 있었으나, 많은 양(500 mL~1 L)의 시료와 유기용매가 사용되고 농축과정을 포함하여 시간과 노동력이 많이 소요되며, 특히 농축과정에서 휘발성인 분석물질이 손실될 가능성이 커 주의가 요구된다.^{2,4} 퍼지엔트랩 방법으로 2-MIB와 geosmin을 분석하기 위해서는 시료를 퍼징하는데 가열장치가 필요하는 등 장치가 복잡하며, ng/L 수준의 검출한계를 얻기가 어려웠다.¹¹ 1996년에 SPME 방법이 휘발성 유기화합물질의 분석에 이용되기 시작하였는데, 용매를 사용하지 않으며 분석과정이 단순하고 빠른 시간내에 분석이 가능하며 또한 fiber를 반복하여 사용할 수 있는 등 여러 가지 장점을 나타내었다.¹ 음용수나 하천수와 같은 물속에 존재하는 2-MIB와 geosmin을 분석하는 데에도 SPME 방법이 이용되기 시작하였으며, 분석조건과 감도를 최적화하기 위한 많은 연구가 그동안 국내외에서 수행되어 왔다.^{8,11} SPME 방법에는 fiber를 시료에 직접 접촉시키는 방법과 시료를 가열하여 헤드 스페이스(head space)로 휘발된 분석물질을 fiber에 흡착시키는 HS-SPME방법이 있는데, 휘발성 물질은 주로 HS-SPME 방법을 적용하며, 이 경우 시료에 존재하는 방해물질의 영향을 거의 받지 않으며 더 좋은 감도를 얻을 수 있다. HS-SPME 방법과 퍼지엔트랩 방법으로 분석하였을 때 정밀도와 검출한계를 비교한 결과 SPME 방법이 더 적은양의 시료로 신속한 분석이 가능하였다.¹¹ 최근 몇 년간 더 견고하고 감도를 높인 여러 종류의 fiber들이 개발되었으며, 최근의 연구에서 2-MIB와 geosmin에 대하여 2 ng/L 정도의 낮은 농도의 방법검출한계(MDL)를 제시하였다.¹⁰

본 연구에서는 geosmin과 2-MIB의 미량분석을 위해 HS-SPME법과 기체크로마토그래프/질량분석기(gas chromatograph-mass spectrometer, GC-MS)를 이용한 분석방법을 확립하고, 낙동강 수계 보를 중심으로 한 8 개 지점에 대하여 2012년 남조류가 출현한 시기를 중심으로 조사를 실시하였다.

2. 실험방법

2.1. 시약 및 기구

용매는 Merck (Darmstadt, Germany) 잔류농약 분석용 및 크로마토그래피 등급 시약을 사용하였으며, 내부표준물질(internal standard, IS)을 포함한 각종 표준물질은 Supelco (Bellefonte, PA, USA) 고농도 표준용액을 희석하여 사용하였다. SPME fiber로는 Supelco 50/30 μm DVB/Carboxen/PDMS fiber를 사용하였다. 증류수는 Milli-Q system (Millipore, Milford, MA, USA)을 통과한 3 차 증류수를 이용하였으며, 유리기구 및 유리 채수용기는 3 차 증류수로 세척한 후 180 °C에서 2 시간 건조시켜 사용하였다.

2.2. 시료채취

하천수 조사지점은 환경부 수질측정망 운영지점¹² 중 낙동강 수계 8 개 보 대표지점 대하여 '12년 8월 11일부터 9월 10일까지 남조류가 출현한 시기를 중심으로 주 3 회 이상 총 21 일간 조사하였다(Fig. 1). 시료는 100 mL 유리병에 기포가 생기지 않도록 헤드 스페이스 없이 채취하였으며, 채취 당일 분석하였다.

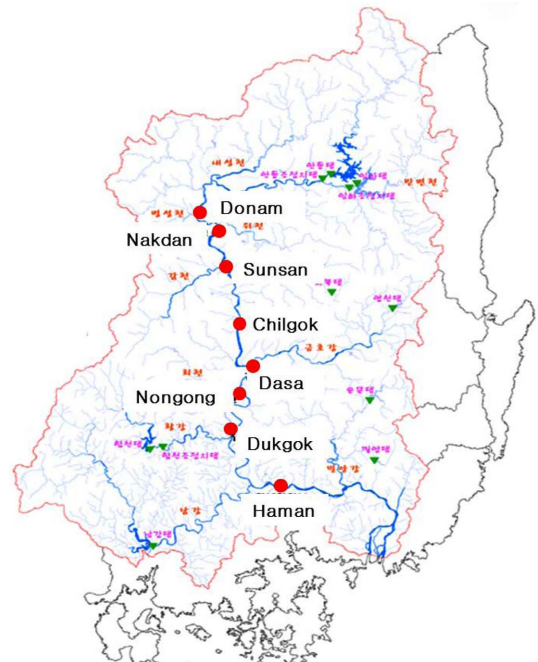


Fig. 1. Description of sampling sites in the Nakdong River.

2.3. HS-SPME

HS-SPME로는 CombiPAL SPME system (CTC, USA) 을 사용하여 분석하였다. 시료 10 mL를 SPME 바이알에 취하여 내부표준물질(1, 2-dichlorobenzene-d4)을 첨가한 뒤 50/30 μm DVB/Carboxen/PDMS fiber로 추출하였다. 상용화되어 시판되고 있는 SPME fiber는 그 극성에 따라 여러 가지가 있지만 그 중에서 50/30 μm DVB/Carboxen/PDMS fiber는 주로 분자량 40~275 범위의 휘발성(volatile)이나 반휘발성(semivolatile) 물질의 분석에 이용되며, 중간 정도의 극성을 가진다. Fiber는 사용하기 전 270 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1 시간 동안 컨디셔닝하여 사용하였으며, SPME의 추출조건은 Table 2에 나타내었다.

2.4. GC/MS 분석

GC/MS는 Agilent (Santa Clara, CA, USA) 7890A GC와 5975C MSD를 사용하여 분석하였다. 컬럼은 DB-5MS (60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm)를 사용하였으며, 운반기체는 순도 99.999% He를 사용하였고, 유속은 1.0 mL/min로 일정하게 유지하였다. 시료는 split (20:1) mode로 주입하였으며, 주입구 온도는 250 $^{\circ}\text{C}$, 컬럼 온도는 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 동안 유지시킨 후 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로 승온시켜 280 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 동안 유지시켜 분석하였다. Scan 모드와 SIM (selected ion monitoring) 모드에서 분석이 동시에 이루어지도록 하여 scan모드에서 각 물질의 질량스펙트럼을 확인한 다음 SIM모드로 정량분석 하였다. 정량분석에 사용한 SIM이온으로

는 geosmin (m/z 112, 125, 97), 2-MIB (m/z 95, 108, 135)을 사용하였으며, 내부표준물질로는 1,2-dichlorobenzene-d4 (m/z 150)을 사용하였다(Table 2).

3. 결과 및 고찰

3.1. 분석 정도관리

분석방법의 유효화(method validation)를 위한 직선성, 방법검출한계, 정량한계, 정확도 및 정밀도 실험은 환경부에서 고시한 수질오염공정시험기준의 정도보증/정도관리(QA/QC) 방법에 따라 수행하였다.¹³ 정제수에 분석물질별로 5~100 ng/L 범위의 농도가 되도록 표준물질을 첨가한 5 개의 시료를 분석하여 검정곡선을 작성하였으며, 전 항목에서 r^2 값이 0.99 이상으로 직선성을 얻을 수 있었다(Table 3). 정제수에 정량한계 부근의 농도가 되도록 표준물질을 동일하게 첨가한 7 개 시료를 분석하여 표준편차에 3.14 (7회 반복분석에 대한 99% 신뢰구간에서의 t 값)를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 계산한 결과, 2-MIB와 geosmin의 방법검출한계는 각각 1.021, 1.072 ng/L, 정량한계는 각각 3.253, 3.414 ng/L의 값을 구할 수 있었다(Table 4). 정제수에 정량한계 농도의 10 배 정도가 되도록 표준물질을 첨가하여 정확도 및 정밀도를 구한 결과, 2-MIB와 geosmin의 정확도는 각각 103.4, 99.3%, 정밀도는 각각 12.4, 12.9%의 값을 얻을 수 있었다(Table 5). 분석방법의 직선성, 정확도, 정밀도에서 모두 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, 방법검출한계와 정량한계도 목표값 부근의 농도를 구할 수 있

Table 2. Conditions of HS-SPME and GC/MS

Parameters	Conditions
Pre Incubation Time	10 s
Extraction Temp.	70 $^{\circ}\text{C}$
Agitator Speed	500 rpm
Vial Penetration	31 mm
Extraction Time	30 min
Injection Penetration	54 mm
Desorption Time	10 min
Carrier gas flow	He at 1.0 mL/min
Injection mode	Split (20:1)
Injection temp.	250 $^{\circ}\text{C}$
Transferline temp.	280 $^{\circ}\text{C}$
Oven temp.	100 $^{\circ}\text{C}$ (5 min) \rightarrow 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ \rightarrow 280 $^{\circ}\text{C}$ (5 min)
Ion mode	EI
SIM	2-MIB: 95, 108, 135, geosmin: 112, 125, 97 1,4-dichlorobenzene-d4: 150

Table 3. The calibration curves and linearities of 2-MIB and geosmin

Compounds	Conc. range (ng/L)	Calibration curves (Y=aX+b)		Linearity (r^2)
		a	b	
2-MIB	5~100	4.425	12.678	0.9986
Geosmin	5~100	5.896	-0.562	0.9994

Table 4. The method detection limits and limit of quantitation of 2-MIB and geosmin

Compounds	Spiked Conc. (ng/L)	n	MDL* (ng/L)	LOQ** (ng/L)
2-MIB	2	7	1.02	3.25
Geosmin	2	7	1.07	3.41

*MDL : method detection limit (SD*3.14),

**LOQ : limit of quantitation (SD*10)

Table 5. The accuracy and precision results for the analysis of 2-MIB and geosmin

Compounds	Spiked Conc. (ng/L)	Calculated Conc.					Accuracy (%)	Precision (RSD, %)
		18.5	19.0	24.1	22.8	19.1		
2-MIB	20	18.5	19.0	24.1	22.8	19.1	103.4	12.4
Geosmin	20	17.7	17.9	22.7	22.6	18.4	99.3	12.9

었다.¹³

3.2. 낙동강 수계 하천수 분석결과

낙동강은 유역 주민들이 상수원으로 이용하고 있는 하천으로 낙동강을 중심으로 도시 및 공단이 형성되어 있다. 이러한 낙동강은 1970년대 이후 급속하게 진행된 산업화로 인하여 환경오염의 대명사가 되었지만, '91년 페놀오염사고를 계기로 수질에 관심이 집중되기 시작하면서 수질개선 대책이 집중적으로 수행되었다. 다양한 수질개선의 노력으로 낙동강의 전반적인 수질은 1990년대 이후 상당히 개선되었지만, 디클로로메탄

(’94년), 1,4-다이옥산(’04년, ’09년), 퍼클로레이트(’06년), 페놀(’08년) 등 유해물질에 의한 수질오염사고가 계속 발생하고 있어 수돗물의 안전성에 대한 관심과 우려가 어느 지역 보다 크다고 할 수 있다. 특히 수돗물에서 이취미가 발생할 경우 지역주민들은 민감하게 반응하며, 인체에 대한 위해성 유무를 떠나 수돗물 전체에 대한 불안감과 불신이 커질 수 있다.

최근 4대강 사업의 일환으로 환경기초시설 내 총인 처리시설의 설치로 영양염류의 농도는 이전보다 많이 낮아졌지만,¹² 여전히 하천에서 인의 농도는 부영양 상태를 나타내고 있어 적절한 수온, 일사량, 유속 등 환경요건이 갖춰진다면 조류의 대량 발생 가능성이 크며, 조류 번식에 따른 상수원에서 이취미 물질의 발생은 심각한 사회적 문제를 일으킬 수 있다.

2012년도 7, 8월의 하절기에는 이상고온과 가뭄으로 인한 수온상승, 일조량 증가 및 보의 완공으로 인한 정체수역의 증가 등으로 ‘녹조라떼’ 라고 불릴 정도로 조류가 크게 발생하였다. 낙동강 수계 8 개 보 대표지점 대하여 2012년 8월 11일부터 9월 10일까지 남조류가 출현한 시기를 중심으로 시료를 채취하여 분석하였으며, 분석 크로마토그램을 Fig. 2에 나타내었다. 낙동강 수계 8 개 지점에 대하여 각 21 회를 조사한 결과, geosmin의 경우 지점별로 3~6 회 검출되는 등 전 지점

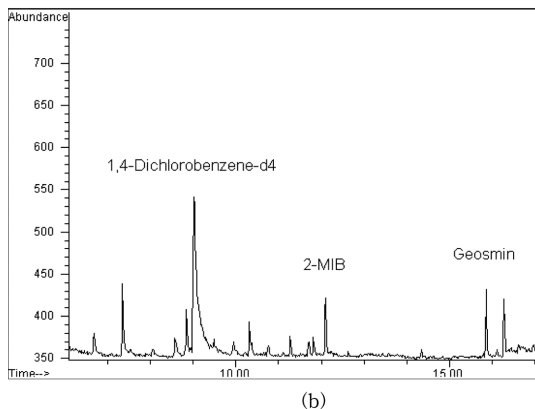
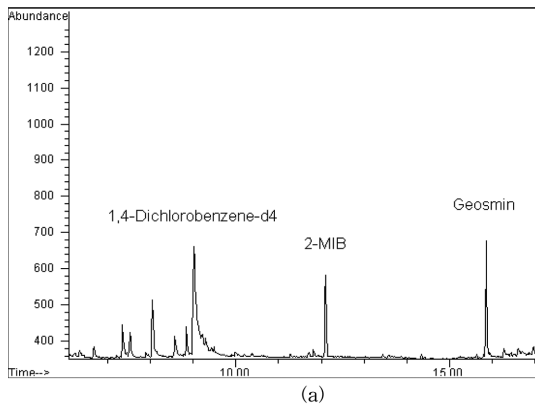


Fig. 2. GC-MS selected ion chromatograms for (a) water samples spiked in the concentration of 20 ng/L and (b) raw water samples from Nakdong River.

Table 6. Concentrations of geosmin and 2-MIB in raw water samples from Nakdong River (ng/L)

Sampling sites	Geosmin		2-MIB	
	N _{detected} /N _{total}	Conc.	N _{detected} /N _{total}	Conc.
Donam	3/21	10~17	0/21	-
Nakdan	3/21	14~24	0/21	-
Sunsan	4/21	8~12	0/21	-
Chilgok	5/21	11~16	0/21	-
Dasa	5/21	9~15	1/21	15
Nongong	6/21	4~13	1/21	15
Dukgok	5/21	5~7	2/21	11~16
Haman	3/21	7~13	1/21	6

*Dominant genus: *Aphanocapsa*, *Merismopedia*, *Phormidium*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*

에서 총 34 회, 4~24 ng/L의 농도로 검출되었으며, 2-MIB는 중하류 지역의 4 개 지점에서 1~2 회 검출되는 등 총 5 회, 6~16 ng/L의 농도로 검출되었다(Table 6). Geosmin의 검출농도가 먹는물 수질감시항목의 권고기준인 20 ng/L를 1 회 초과한 경우를 제외하고는 모두 먹는물 수질 감시항목 권고기준 이내로 미량 검출되었다.

수중 이취미 물질은 일반적으로 조류 분류군 중에서 남조류에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다. 조류에 의한 이취미 물질 중 가장 일반적으로 보고되고 있는 geosmin과 2-MIB는 남조류가 미량으로 생산하는 이차대사물질로 남조류 중에서도 이를 생산하는 종이 있고 비생산종이 있다. 일반적으로 geosmin을 생산하는 남조류로는 *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* 등이 있으며, 2-MIB를 생산하는 남조류로는 *Oscillatoria* 등이 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 실제 수생태계에서는 이취미 물질을 생산하는 종이라 하더라도 생육 조건이나 환경요인에 따라 생산여부와 생산량에 차이가 있다.^{14,15}

분석결과, geosmin과 2-MIB가 검출된 시기에는 주로 *Aphanocapsa*, *Merismopedia*, *Phormidium*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*와 같은 남조류가 우점한 것으로 조사되었다. 2 가지 조사대상 물질 중 geosmin이 주로 검출되었으며, 검출된 농도가 높지 않은 것으로 보아 조사 시기에 낙동강 수계에서 우점한 남조류 종은 이취미 물질을 많이 생산하는 종이 아닌 것으로 판단된다.

4. 결 론

상수원수와 수돗물에 존재하는 이취미 물질은 대부분 인체에 직접적인 위해성을 나타내지는 않지만, 불쾌한 냄새로 심미적인 악영향을 미쳐 수돗물에 대한 불신을 갖게 하는 주된 요인이 된다. 이러한 이취미 물질 중 흡과 곱팡이 냄새를 유발하는 geosmin과 2-MIB가 가장 널리 알려져 있는데, 이들 물질은 하천 및 호소에서 주로 조류(특히 남조류)와 방선균의 대사산물로 생성되며, 매우 낮은 농도에서도 불쾌한 냄새를 유발하는 것으로 알려져 있다.

최근 이상고온, 가뭄 등 기후변화와 체류시간 증가 등 하천의 수리, 수문환경의 변화로 조류의 대량발생 가능성은 더욱 커지고 있어 조류로 인한 상수원의 이취미 물질 및 독성물질로 인한 위험성이 증가하고 있다.

Geosmin과 2-MIB는 미량으로도 상수원수 및 수돗물에서 불쾌한 냄새를 유발하므로, 상수원수 및 수돗

물에서 발생하는 이취미 문제를 방지하고, 효과적인 대처를 위해서는 미량까지 정확하고 빨리 분석할 수 있는 분석방법이 요구된다.

Geosmin과 2-MIB의 분석에 HS-SPME-GC/MS방법을 적용한 결과 각각 방법검출한계는 1.021, 1.072 ng/L, 정량한계는 3.253, 3.414 ng/L의 값을 구할 수 있었으며, 정확도 103.4, 99.3%, 정밀도 12.4, 12.9%의 값을 구하는 등 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

낙동강 수계 8 개 지점 대하여 남조류가 출현한 시기를 중심으로 시료를 채취하여 분석한 결과, geosmin의 경우 8 개 전 지점에서 4~24 ng/L의 농도로 검출되었으며, 2-MIB는 중하류 지역의 4 개 지점에서만 6~16 ng/L의 농도로 검출되었다. Geosmin의 검출농도가 먹는물 수질감시항목의 권고기준인 20 ng/L를 1 회 초과한 경우를 제외하고는 모두 먹는물 수질 감시항목 권고기준 이내로 미량 검출되었다.

이들 이취미 물질들은 응집, 침전 및 여과와 같은 기존의 정수처리공정에서는 제대로 제거가 힘들며, 안전한 수돗물을 위한 완벽한 제거를 위해서는 오존처리와 같은 산화공정이나 활성탄을 이용한 흡착공정을 이용한 고도정수처리 시설이 요구된다.^{16,17}

참고문헌

1. R. Srinivasan and G. A. Sorial, *J. Environ. Sci.*, **23**(1), 1-13 (2011).
2. H. S. Shin and H. S. Ahn, *Kor. J. Env. Hlth.*, **29**(5), 27-33 (2003).
3. H.-J. Lee and L.-S. Kang, *J. KSEE*, **31**(1), 64-69 (2009).
4. T.-J. Kim, B.-J. Kim, H.-Y. So and H. Kwang, *Anal. Sci. Technol.*, **15**(6), 534-539 (2002).
5. J.-P. F. P. Palmentier, V. Y. Taguchi, S. W. D. Jenkins, D. T. Wang, K.-P. NGO and D. Robinson, *Wat. Res.*, **32**(2), 287-294 (1998).
6. M. Durrer, U. Zimmermann and F. Juttner, *Wat. Res.*, **33**(17), 3628-3636 (1999).
7. B.-U. Bae, Y.-I. Kim, H.-Y. Kim and G.-N. Kim, *J. KSWQ*, **15**(4), 479-487 (1999).
8. J. M. Park, T. H. Lim, S. Y. Yang, J. J. Yoo and S. H. Jun, *J. Korean. Soc. Environ. Anal.*, **2**(4), 303-307 (1999).
9. S. B. Watson, B. Brownlee, T. Satchwill and E. E. Hargesheimer, *Wat. Res.*, **34**(10), 2818-2828 (2000).
10. S. Nakamura and S. Daishima, *Analytica. Chimica*

Acta, **548**, 79-85 (2005).

11. S. W. Lloyd, J. M. Lea, P. V. Zimba and C. C. Grimm, *Wat. Res.*, **32**(7), 2140-2146 (1998).
12. Ministry of Environment, Korea, 'Water quaility monitoring', 2012.
13. Ministry of Environment, Korea, 'Korean standard method of water pollutants', 2011.
14. I. M. K. Saadoun, K. K. Schrader and W. T. Blevins, *Wat. Res.*, **35**(5), 1209-1218 (2001).
15. K. K. schrader and W. T. Blevins, *J. Microbiol.*, **37**(3), 159-167 (1999).
16. D.-M. Son, H.-J. Son, H.-J. Lee and L.-S. Kang, *J. Kor. Soc. Water and Wastewater*, **23**(2), 189-198 (2009).
17. Y. W. Ham, Y. G. Ju, H. K. Oh, B. W. Lee, H. K. Kim and D. G. Kim and S. K. Hong, *J. Kor. Soc. Water and Wastewater*, **26**(2), 237-247 (2012).