

염소의 상수원 내 조류 이취미 Masking 효과

Masking Effect of Chlorine on Algae-related Taste and Odor in Drinking Water Supplies

김영일¹ · 이유정² · 신희섭³ · 배병욱^{4*}

Kim, Young-il¹ · Lee, Yu-Jeong² · Shin, Heung-Sup³ · Bae, Byung-Uk^{4*}

1 충남발전연구원 충청남도수질총량관리센터, 2 대전보건환경연구원, 3 한국종합엔지니어링, 4 대전대학교 환경공학과

(2007년 10월 12일 접수; 2008년 3월 26일 채택)

Abstract

The masking effect of chlorine on algae-related taste and odor(T&O) compounds has long been an important issue for water suppliers. In this study, masking experiments with chlorine were performed on two kinds of treated water and one of raw water. After adding chlorine(0 to 0.8 mg/L) to water samples, odor intensity was evaluated by a newly developed sensory method(2-out-of-5 odor test) for three days along with the measurement of residual chlorine concentration. Even though the relationship between the residual chlorine concentration and odor reported by the sensory analysts was not always coincident, it was proved that residual chlorine more than a certain concentration could completely mask both added geosmin and naturally occurring T&O compounds. For the sand-filtered water spiked with 10 ng/L of geosmin, 0.12-0.18 mg/L of residual chlorine was necessary to achieve complete masking. In the case of GAC-filtered water, 10 ng/L of spiked geosmin was completely masked by 0.15-0.1 mg/L of residual chlorine. Combined ozone and GAC was not enough to treat raw water spiked with 300 ng/L of geosmin. In this experiment, sensory analysts were able to detect earthy or musty odors from the treated water. From a masking experiment with raw water taken from the Daechung Reservoir, it was found that fishy odor was more difficult to mask with chlorine than earthy odor. As the chlorine residual declined, the analysts began to notice the original odor and the fishy odor was noticed earlier than the earthy odor.

Key words : Algae-related taste and odor, Geosmin, 2-MIB, Chlorine, Masking effect, 2-out-of-5 odor test

주 제 어 : 조류 이취미, Geosmin, 2-MIB, 염소, Masking 효과, 오중이선법

1. 서론

현재까지 조류 이취미(algae-related taste and odor)가 건강에 미치는 영향은 구체적으로 밝혀지지 않았지만, 이취

미는 소비자가 수돗물의 질을 판단하는 일차적인 척도이기 때문에 정수공정에서 반드시 제거되어야 한다. 지표수를 상수원으로 사용하고 있는 정수장에서는 초여름부터 가을까지 조류 이취미로 인해 정수공정에 문제를 겪고 있는데, 이 시

기에 경험하게 되는 냄새는 흙 또는 곰팡이 냄새로 이들 냄새의 원인물질은 조류와 방선균이 분비하는 geosmin과 2-MIB(2-methylisoborneol) 등이다. 정상적인 후각기능을 가진 사람들은 이들 이취미 유발물질이 물 1L에 수 ng만 존재해도 이취미를 감지할 수 있다고 한다(Mallevalle and Suffet, 1987; Dietrich et al., 2004a, 2004b).

한편, 정수공정에서도 이취미 유발물질이 형성될 수 있는데, 염소소독 공정이 대표적이다. 염소(Cl_2)가 물에 녹을 때 생성되는 차아염소산($HOCl$)의 냄새 임계치(odour threshold level)와 맛 임계치(taste threshold level)는 각각 0.28 및 0.24mg/L as Cl_2 이며, 차아염소산이 해리될 때 생성되는 차아염소산이온(OCl^-)의 냄새와 맛 임계치는 각각 0.36 및 0.30mg/L as Cl_2 인 것으로 알려져 있다(Suffet et al., 1995). 이는 사람들이 차아염소산 형태로 존재하는 염소의 맛과 냄새를 더 잘 감지함을 의미한다. 이 외에 염소소독 과정에서 생성되는 알데이드, 페놀과 클로로페놀, 그리고 THM(trihalomethane)과 같은 화합물도 이취미를 유발하는 것으로 알려져 있다.

염소는 음용수의 소독과 급수과정에서의 2차 오염을 방지하기 위하여 투입되는데, 평상시 관말에서 잔류염소 농도는 0.1mg/L 이상 유지되어야 한다(환경부, 2006). 따라서 잔류염소가 존재할 때 소비자들이 조류 이취미를 어떻게 느끼는지에 대한 사항은 수도사업 종사자들에게 중요한 이슈가 되어왔다. 이런 배경에서 본 연구에서는 한강 및 금강수계의 정수와 원수를 대상으로 염소가 조류 이취미를 어느 정도 masking하는지, 그리고 masking 효과가 시간에 따라 어떻게 변하는지를 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험대상 시료

염소의 조류 이취미 masking 효과를 조사하기 위하여 한강 및 금강수계의 정수와 원수를 대상으로 세 종류의 실험을 수행하였다. 첫째, 일반 정수처리공정 처리수에 이취미 물질이 냄새임계치 정도 존재하는 경우, 둘째, 원수에 이취미 물질의 농도가 급증하였을 때 오존+GAC를 이용하여 고도처

리를 한 경우, 그리고 마지막으로 실제 호수수를 대상으로 실험을 수행한 경우에 대해서 조사하였다. 전술한 바와 같이 세 종류의 실험을 수행하기 위해 사용된 각각의 시료들은 한국수자원공사 수지정수장에서 가동되고 있는 pilot plant에서 생산된 정수(모래 여과수, GAC 여과수)에 geosmin과 2-MIB를 강제투입한 시료, 수지정수장 원수에 geosmin을 강제 투입한 후 오존(O_3) 및 GAC 공정으로 처리한 정수, 그리고 대청댐 하류 조정지댐 원수 등이었다. 참고로 Table 1에 본 연구에 사용된 시료를 정리하였으며, 각 시료의 DOC(dissolved organic carbon) 농도와 UV_{254} 를 나타내었다.

2.2. 이취미 물질의 강제투입 및 염소 투입

수지정수장 pilot plant에서 생산된 모래 여과수와 GAC 여과수의 경우, 20L 용기로 운반한 시료에 geosmin(077-01891, 1.0mg/mL, Wako Chemical)을 직접 주입하여 초기 이취미물질의 농도가 10ng/L가 되도록 하였다. 이 실험에서는 국내 대규모 정수장에서 자체적으로 설정하고 있는 이취미물질의 목표 농도가 10ng/L인 점을 고려하여 geosmin의 농도를 10ng/L로 설정하였다. 한편, 고도정수공정이 도입된 정수장에서 원수의 이취미 물질의 농도가 급증한 경우를 조사하기 위하여 수지정수장 원수에 약 300 ng/L의 geosmin을 강제 투입한 다음, 오존(O_3) 및 GAC 공정으로 처리한 정수를 대상으로 masking 효과 실험을 반복 수행하였다. 오존은 1mg/L 농도로 15분간 접촉하였으며, GAC 공정의 EBCT(Empty Bed Contact Time)는 14분이었다. 마지막으로 전염소에 의한 이취미 masking 효과를 조사하기 위하여 대청댐 하류 조정지댐 원수의 TON(threshold odor number) 값과 이취미 물질 농도를 측정하는 다음, 염소 투입에 따른 이취미 masking 효과를 조사하였다.

시료에 염소를 투입한 방법은 다음과 같다. 20L 용기에 담겨져 있던 시료를 5개의 4L 플라스크에 분할한 후, 각각의 플라스크에 일정량의 염소를 투입하여 염소투입량이 0(blank), 0.2, 0.4, 0.6, 그리고 0.8mg/L가 되도록 하였다. 실험에 사용한 염소는 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite, Sigma-Aldrich)으로 원액을 희석하여 유효

Table 1. List of Samples used for this study

Sample	DOC(mg/L)	$UV_{254}(cm^{-1})$	Adding method of geosmin and dose	Sampling location
Sans filtered water	1.8	0.018	Compulsive input to finished water (geosmin 10 ng/L)	Effluent from sand filter at pilot plant
GAC treated water	1.4	0.014	Compulsive input to finished water (geosmin 10 ng/L)	Effluent from GAC filter at pilot plant
O_3 +GAC treated water	-	-	Compulsive input to raw water (geosmin 300 ng/L)	Effluent from O_3 +GAC process at pilot plant
Raw water	2.0	0.040	Naturally occurred (geosmin 7 ng/L)	Regulating reservoir of the Daechung dam

Table 2. Masking effect of chlorine on geosmin spiked into sand filtered water

Chlorine dose (mg/L)	Initial		After 1 day		After 2 days		After 3 days	
	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)
0.0	Earthy(1, 2)	-	Earthy(1, 2)	-	Earthy(2, 2)	-	Earthy(2, 2)	-
0.2	Earthy(1, 1)	0.18	Earthy(1, 2)	0.16	Earthy(1, 1)	0.08	Earthy(1, 1)	0.08
0.4	Chlorinous(2, 2)	0.17	Earthy(1, 1)	0.06	Earthy(1, 2)	0.05	Earthy(1, 2)	0.04
0.6	Chlorinous(2, 2)	0.37	Chlorinous(1, 1)	0.18	Chlorinous(1, 1)	0.12	Chlorinous(1, 1)	0.20
0.8	Chlorinous(3, 3)	0.59	Chlorinous(1, 1)	0.35	Chlorinous(2, 2)	0.26	Chlorinous(1, 2)	0.29

* Descriptions of odor and average intensities measured by two sensory analysts

염소농도가 0.1%(1,000mg/L)인 stock solution을 제조한 다음 각각의 플라스크에 일정량의 염소를 투입하였다. 이와 같은 방법으로 제조된 플라스크로부터 1L씩 시료를 취해서 이취미의 강도와 종류를 최근에 개발된 관능분석법인 오중이선법으로 측정하였다(Bae et al., 2002). 한편, 남은 시료를 햇빛이 차단된 암실에 보관하면서 보관 1일, 2일, 그리고 3일 후의 잔류염소 농도와 이취미를 분석하였다. 이런 과정을 통해 반응시간에 따른 잔류염소의 자연감소를 측정하였고, 잔류염소의 변화에 따른 시료의 냄새변화를 확인하였다.

2.3. 분석방법

염소의 이취미 물질 masking 효과를 조사하기 위하여 최근에 개발된 관능분석법인 오중이선법을 사용하였다.(Dietrich et al., 2004a, 2004b; 김, 2003; Bae et al., 2002; 배와 김, 2001). 먼저, 5개의 플라스크(500 mL 정도) 가운데 2개의 플라스크에는 시험할 시료(test water)를, 나머지 3개에는 냄새가 나지 않는 대조시료(control water)를 각각 200mL씩 넣었으며, 연구에서는 초순수를 대조시료로 사용하였다. 5개의 플라스크를 45°C의 수욕조에서 30분간 가열한 후 관능분석자가 냄새의 종류에 따라 플라스크를 2개와 3개로 분류하게 하였다. 만약, 5개의 플라스크가 정확하게 분류되었다면, 시료의 냄새가 대조시료와 명확히 다르다는 것을 의미하고, 느껴진 냄새의 차이점을 일반적인 냄새 목록을 이용하여 묘사하게 하였다. 오중이선법에서는 결과를 각기 다른 가중치로 나타내었는데, 냄새가 대조시료보다 훨씬 강한(much stronger) 경우에는 3, 약간 강한(slightly higher) 경우에는 2, 그리고 분석시료가 대조시료와 같은 (same) 경우에는 1의 가중치를 두어 평균 강도(intensity)로 나타내었다. 오중이선법은 대조시료를 무엇으로 사용하느냐에 따라 다양한 용도로 사용될 수 있는데, 먼저 정수장에서 원수와 처리수의 냄새를 일상적으로 비교하는데 사용될 수 있고, 또한 정수와 수도물을 비교함으로써 관망에서의 냄새문제를 평가할 수 있다. 마지막으로 정수장에 유입된 원수 내 이취미가 각각의 정수공정에서 얼마나 제거되는지를 평가하는데도 사용될 수 있다.

한편, DOC는 TOC 분석기(Rosemount DC-180,

Dohrmann), UV₂₅₄는 UV/VIS spectrophotometer(UV-1601, Shimadzu)를 이용하여 측정하였다. TON은 Standard Methods의 2150B법, 잔류염소는 DR2010(Hach)을 이용하여 DPD법으로 측정하였다(APHA, 1998). 한편, geosmin는 CLSA(closed-loop stripping analysis)와 GC/MS(Agilent, 6890N GC/5973N MSD)를 이용하여 분석하였다(김, 2003).

3. 결과 및 고찰

3.1. 모래 여과수

Table 2는 수지정수장에 설치된 pilot plant의 혼화, 응집, 침전, 그리고 모래여과 등의 재래식 정수공정에 의해 처리된 정수에 geosmin 10ng/L를 강제 투입한 다음 염소가 이취미 물질의 masking에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 이 실험에서는 2명의 관능분석자가 냄새의 종류와 강도를 평가하였다. Table 2에서 염소를 투입하지 않은 공시체의 경우 초기 분석결과가 '흙냄새(1, 2)'로 나타났는데, 이는 관능분석자 두 명 가운데 한 명은 대조시료(초순수)와 비슷한 정도의 흙냄새를 감지하였고, 나머지 한 명은 대조시료에 비해 약간 강한 정도의 흙냄새를 감지하였음을 의미하는 것이다. 보관 2일과 3일 후 관능분석자 두 명 모두는 동일한 시료에서 대조시료보다 약간 강한 정도의 흙냄새를 감지하였다.

염소를 투입한 경우 잔류염소 농도가 일정농도 이상일 때는 염소 자체의 냄새가 흙냄새를 masking하였다. 염소를 0.6mg/L 이상 투입한 경우에는 3일 동안에 흙냄새를 감지하지 못하였으며, 이 때 최소 잔류염소 농도는 0.12mg/L이었다. 이 실험에서 염소를 0.4mg/L 투입한 시료의 잔류염소가 염소를 0.2mg/L 투입한 경우보다 작게 측정되었는데, 이는 실험상의 오류 때문인 것으로 판단된다. 한편, 염소를 0.2mg/L 투입한 시료의 초기 잔류염소 농도가 0.18mg/L 일 때, 관능분석자들은 흙냄새가 감지된다고 판단하였다. 그러나 염소를 0.6mg/L 투입하고 2일간 보관한 시료의 경우, 잔류염소가 0.12mg/L이었음에도 불구하고 염소냄새가 난다고 판단하였다. 즉, 관능분석법의 결과가 잔류염소 농도와 정확히 일치하지 않음을 알 수 있는데, 이는 관능분석자의

Table 3. Masking effect of chlorine on geosmin spiked into GAC filtered water

Chlorine dose (mg/L)	Initial		After 1 day		After 2 days		After 3 days	
	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)
0.0	Earthy(2), Musty(2)	-	Earthy(2,2)	-	Earthy(2,2)	-	Earthy(1,2)	-
0.2	Chlorinous(2,2)	0.22	Earthy(1,2)	0.17	Earthy(1,2)	0.11	Earthy(1), Musty(1)	0.08
0.4	Chlorinous(2,2)	0.44	Chlorinous(1,2)	0.21	Chlorinous(1,2)	0.15	Earthy(1), Chlorinous(1)	0.08
0.6	Chlorinous(3,3)	0.65	Chlorinous(2,2)	0.47	Chlorinous(1,2)	0.34	Chlorinous(1,1)	0.15
0.8	Chlorinous(3,3)	0.85	Chlorinous(3,2)	0.70	Chlorinous(2,2)	0.49	Chlorinous(2,2)	0.28

* Descriptions of odor and average intensities measured by two sensory analysts

Table 4. Masking effect of chlorine on geosmin treated by ozone and GAC

Chlorine dose (mg/L)	Initial		After 1 day		After 2 days		After 3 days	
	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)
0.0	Earthy(1), Musty(3)	-	Earthy(1), Musty(3)	-	Earthy(2), Musty(2)	-	Earthy(2), Musty(2)	-
0.2	Earthy(1), Chlorinous(1)	0.18	Earthy(1), Musty(2)	0.04	Earthy(1,2)	0.02	Earthy(1,2)	0.01
0.4	Chlorinous(2,3)	0.39	Earthy(1), Chlorinous(1)	0.17	Earthy(2,2)	0.08	Earthy(2,2)	0.05
0.6	Chlorinous(3,3)	0.61	Chlorinous(2,2)	0.43	Chlorinous(2,2)	0.34	Chlorinous(1,2)	0.26
0.8	Chlorinous(3,3)	0.82	Chlorinous(3,2)	0.61	Chlorinous(2,3)	0.48	Chlorinous(2,2)	0.38

* Descriptions of odor and average intensities measured by two sensory analysts

분석능력이 분석당일 컨디션에 따라 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

한편, Pipe loop 장치를 이용한 실험에서 소독제가 곱팡내의 masking에 미치는 영향을 조사한 결과가 보고된 적이 있다(Khiari et al., 2002). 이 실험에 사용된 시료의 곱팡내 강도(intensity)는 FTN(flavor threshold number)으로 3 이었고, 이 곱팡내를 masking하는데 요구되는 유리 잔류염소의 농도는 0.17mg/L이었다. 한편, 결합염소(chloramine)로 동일한 효과를 얻기 위해서는 약 5배 높은 농도가 요구되었는데, 이는 유리염소의 masking 효과가 더 강력함을 의미하는 것이다.

3.2. GAC 여과수

Table 3은 수지정수장 pilot plant의 재래식 정수공정과 GAC 여과지 통해 처리된 정수를 대상으로 염소가 이취미 물질의 masking에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 염소를 투입하지 않은 시료(공시제)를 제외하면, 모든 시료의 잔류염소가 Table 2의 모래 여과수에 비해 높게 유지되었을 뿐만 아니라, 초기 잔류염소의 농도가 투입하고자 했던 목표농도보다 10% 정도 높은 값을 보였다. 이와 같은 결과는 1,000mg/L로 제조한 stock solution의 실제 염소농도가 계산치보다 높았을 뿐만 아니라, 실험에 사용한 GAC 여과수의 염소요구량이 거의 없었기 때문인 것으로 판단된다.

염소투입량이 0.2mg/L일 때 초기 잔류염소는 0.22mg/L이었으며, 이 때 관능분석자 2명 가운데 1명은 대조시료(초순수)에 비해 약간 강한 정도의 염소냄새를 감지하였고 나머지 1명은 대조시료와 비슷하다고 감지하였다. 그러나 보관 1

일 후에는 잔류염소가 0.17mg/L로 감소하였으며, 이 때 관능분석자 2명 모두는 염소냄새 대신에 흙냄새를 감지하였다. 즉, 2명 가운데 1명은 대조시료(초순수)에 비해 약간 강한 정도의 흙냄새를 감지하였고, 나머지 1명은 대조시료와 비슷하다고 감지하였다.

한편, 염소 투입량이 0.4mg/L 이상이었던 시료를 보면 잔류염소가 0.15mg/L 이상일 때 관능분석자들이 염소냄새를 감지하였는데, 이 결과는 geosmin 10ng/L를 masking할 수 있는 염소의 임계농도가 0.15~0.17mg/L 사이에 있음을 의미하는 것이다(Khiari et al., 2002).

3.3. 오존+GAC 여과수

Table 4는 수지정수장 원수에 약 300ng/L의 geosmin을 강제 투입한 후 오존과 GAC로 처리한 시료를 대상으로 염소의 masking 효과를 조사한 결과이다. 전술한 바와 같이 고도정수공정이 도입된 정수장에서 원수의 이취미 물질의 농도가 급증한 경우를 묘사하기 위하여 수지정수장 관계자의 도움을 받아 실험을 수행하였다.

실험실로 운반한 시료를 오중이선법으로 분석하였을 때, 관능분석자 한 명이 흙냄새가 대조시료(초순수)와 거의 같거나 약간 강하다고 하였고, 다른 한 명은 곱팡내가 대조시료보다 약간 강하거나 훨씬 강하다고 판단하였다. 동일한 시료를 기기분석법으로 분석하였을 때 geosmin 농도는 검출한계(< 2ng/L) 미만이었으나, 관능법인 TON(threshold odor number) 결과는 평균 3.5정도의 값을 보였다. 이는 geosmin이 300ng/L 이상으로 검출되는 비정상적인 상황에서서는 오존+GAC로 구성된 고도정수공정도 이취미를 완벽하

게 제거하지 못함을 의미하는 결과이다(한국수자원공사, 2005).

Table 4에서 보는 바와 같이 염소를 0.2mg/L 투입한 시료의 초기 잔류염소가 0.18mg/L 일 때 흙냄새와 염소냄새를 동시에 감지할 수 있었다. 하루 뒤에는 잔류염소가 0.04mg/L로 감소하였고, 흙냄새와 함께 시료에 존재하던 곰팡내가 감지되었다. 그러나 2일 후부터는 곰팡내가 감지되지 않았는데, Table 3의 GAC 여과수 실험에서도 곰팡내가 1회 감지된 것을 고려하면 관능분석에서 곰팡내는 흙냄새에 비해 일시적으로 감지되는 것으로 판단된다. 대체적으로 잔류염소가 0.18mg/L 이하일 때는 geosmin을 완벽하게 masking하지 못하였다. 문헌에 의하면 오존처리에 의해 생성되는 각종 부산물이 또 다른 이취미를 유발하기도 하는데, 가장 자주 보고되는 중간생성물은 과일 혹은 오렌지 향기를 내는 지방족 및 방향족 알데히드이다. 오존산화 과정에서 생성되는 이들 냄새물질은 활성탄 흡착공정에 의해 쉽게 제거된다(Suffet et al., 1995).

3.4. 대청댐 역조정지 원수

Table 5는 대청댐 역조정지 원수를 대상으로 염소가 이취미 물질의 masking에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 실험실로 운반한 원수의 냄새특성을 관능법으로 분석한 원수의 초기 TON 값은 15이었다. 반면, CLSA+GC/MS를 이용하여 조류 이취미 물질을 분석한 결과, geosmin만이 7 ng/L로 검출되었고 2-MIB는 검출되지 않았다. 한편, 오중이선법으로 원수를 분석하였을 때 3명의 관능분석자들은 흙냄새와 비린내를 감지하였고, 염소를 투입하지 않고 3일간 보관하는 동안에 관능분석자가 감지한 냄새에 어느 정도의 변화가 있었다.

대체로 잔류염소 0.11mg/L부터 염소냄새가 감지되었으나, geosmin을 강제 투입한 이전의 실험과 달리 잔류염소 0.38mg/L에서도 비린내를 완전히 masking하지 못하였다. 즉, 잔류염소가 0.11mg/L 이상일 때 흙냄새는 염소냄새에 의해 masking되었으나, 비린내는 잔류염소가 훨씬 높게 유지되었음에도 불구하고 지속적으로 감지되었다. 흥미로운 사실은 잔류염소의 농도가 일정 수준 이하로 감소되면 masking

되었던 이취미가 다시 감지되었는데, 이 경우에도 비린내가 흙냄새보다 먼저 감지되었다. 문헌에 의하면, 비린내는 보통 질소화합물을 포함하는 작용기와 관련이 있고 처리가 어려울 뿐만 아니라 개인별 민감도에 차이가 심한 것으로 알려져 있다(Suffet et al., 1995).

4. 결론

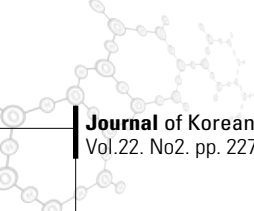
염소가 조류 이취미의 masking에 미치는 영향을 정수와 원수를 대상으로 조사한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 잔류염소의 농도와 관능분석자가 감지한 냄새의 종류가 항상 일치하지는 않았지만, 잔류염소의 농도가 일정 범위 이상일 때 잔류염소는 강제 투입한 geosmin의 냄새 뿐만 아니라 원수에 존재하던 이취미를 masking할 수 있었음을 확인하였다. 그러나 염소로는 소비자들의 심미적인 만족도를 향상시키는데 한계가 있으므로 상수원 관리, 고도정수공정의 도입, 그리고 급수관망의 최적관리와 같은 보다 본질적인 대응방안의 수립이 요구된다.
- 2) 모래 여과수에 geosmin 10ng/L를 강제 투입한 시료의 경우 염소 투입량에 따라 차이는 있었지만, 대체로 잔류염소 0.12~0.18mg/L 이상일 때 geosmin 냄새가 masking되었다. 한편, GAC 여과수에 geosmin 10ng/L를 강제 투입한 경우에는 잔류염소 농도가 0.15~0.17mg/L 일 때 geosmin 냄새가 masking되었다.
- 3) 수지정수장 원수에 약 300 ng/L의 geosmin을 강제 투입한 후 오존과 GAC로 처리한 시료를 대상으로 염소의 masking 효과를 조사한 결과, 대체적으로 잔류염소가 0.18mg/L 이하일 때는 geosmin을 완벽하게 masking하지 못함을 확인하였다. 한편, 오존과 GAC로 처리한 시료에서도 흙냄새와 곰팡내를 감지할 수 있었는데, 이는 고도정수공정으로도 비정상적으로 높은 이취미를 완벽하게 제거하기가 쉽지 않음을 의미한다.
- 4) 흙냄새와 비린내가 감지된 대청댐 역조정지 원수를 대상으로 염소의 masking 효과를 조사한 결과, 흙냄새보다 비린내가 더 masking하기 어렵다는 사실을 확인하

Table 5. Masking effect of chlorine on taste and odor compounds present in raw water of the Daechung Reservoir

Chlorine dose (mg/L)	Initial		After 1 day		After 2 days		After 3 days	
	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)	Odor*	Residual chlorine (mg/L)
0.0	Earthy(2), Fishy(2,2)	-	Earthy(2,2), Fishy(1)	-	Earthy(2), Fishy(1,2)	-	Earthy(1,2), Fishy(3)	-
0.2	Fishy(2,3), Chlorinous(1)	0.20	Earthy(1), Fishy(2,2)	0.09	Earthy(1), Fishy(1,2)	0.06	Earthy(1,2), Fishy(1)	0.02
0.4	Fishy(2), Chlorinous(1,2)	0.38	Fishy(2,2), Chlorinous(1)	0.18	Fishy(1,2), Chlorinous(1)	0.11	Earthy(2), Fishy(1,2)	0.07
0.6	Chlorinous(2,3,3)	0.61	Fishy(1), Chlorinous(1,2)	0.35	Fishy(1), Chlorinous(1,2)	0.24	Fishy(1,2), Chlorinous(1)	0.20
0.8	Chlorinous(2,3,3)	0.79	Chlorinous(2,2,3)	0.60	Fishy(1), Chlorinous(1,2)	0.36	Fishy(1), Chlorinous(1,2)	0.29

* Descriptions of odor and average intensities measured by three sensory analysts



였다. 대체로 잔류염소가 0.11mg/L 이상일 때 흙냄새는 염소냄새에 의해 masking되었으나, 비린내는 잔류염소가 0.38mg/L에서도 지속적으로 감지되었다. 잔류염소의 농도가 일정 수준 이하로 감소되면 masking되었던 이취미가 재감지되었는데, 이 경우에도 비린내가 흙냄새보다 먼저 감지되었다.



사 사

본 연구는 대전환경기술개발센터의 2006년도 연구개발사업(06-2-30-33) 지원에 의해 이루어진 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김영일 (2003) 새로운 이취미 분석법과 최적 PAC 적용을 통한 상수원수의 이취미 제어, 대전대학교 박사학위논문.
2. 배병욱, 김영일 (2001) 상수원수의 조류 이취미 분석을 위한 새로운 실용적인 측정법의 평가, *대한환경공학회지*, 23(12), pp. 2045~2055.
3. 환경부 (2006) 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙 (*환경부령 제223호*).
4. 한국수자원공사 (2005) *한강수계를 중심으로 한 맛·냄새의 효율적 제거(3차년도)*, 한국수자원공사.
5. APHA, AWWA, WEF. (1998) *Standard Methods for*

- the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., American Public Health Association.
6. Bae, B. U., Kim, Y. I., Dugas, D. W., Burlingame, G. A. and Dietrich, A. M. (2002) Demonstration of New Sensory Methods for Drinking Water Taste-and-Odor Control, *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(5~6), pp. 241~247.
7. Dietrich, A. M., Hoehn, R. C., Burlingame, G. A. and Gittleman, T. (2004a) *Practical Taste-and-Odor Methods for Routine Operations: Decision Tree*, American Water Works Association Research Foundation.
8. Dietrich, A. M., Bae, B. U., Kim, Y. I., Johnson, M. and Burlingame, G. A. (2004b) Two-of-Five Odor Test: A Practical Methods for Sensory Analysis, in *Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference*, San Antonio, Texas, USA.
9. Khiari, D., Barret, S. and Chinn, R. (2002) *Distribution Generated Taste-and-Odor Phenomena*, American Water Works Association Research Foundation.
10. Mallevalle, J. and Suffet, I. H. (1987) *Identification and Treatment of Tastes and Odors in Drinking Water*, American Water Works Association Research Foundation.
11. Suffet, I. H., Mallevalle, J. and Kawczynski, E. (1995) *Advances in Taste and Odor Treatment and Control*, American Water Works Association Research Foundation.