한국환경보건학회지, 제32권 제4호(2006)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 32, No. 4, pp 262~267(2006)

음용수에서 소독부산물과 이취미 유발물질의 끓임 효과

김창모† · 최인철* · 장현성* · 박 현* · 한선희*
서울특별시 보건환경연구원, *서울특별시 상수도연구소

The Effect of Boiling Water on DBPs and Taste-and-Odor Compounds in Drinking Water

Chang Mo Kim† · In Cheol Choi* · Hyun Seong Chang* · Hyeon Park* · Sun Hee Han*
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
**Waterworks Research Institute, Seoul Metropolitan Government*
(Received April 17, 2006/Accepted August 13, 2006)

ABSTRACT

DBPs and T&O(taste-and-odor) compounds in drinking water is one of main source to deteriorate water quality. So, these compounds can cause adverse health effects and result in many consumer complaints aesthetically. This experiments carried out to investigate the effect of boiling water on DBPs and T&O compounds in the tap water. THMs and TCM concentration were reduced by 91.3%, 88.9% after 5 min of boiling, respectively. It is certainly resulted from volatilization of TCM. TCAA concentration decreased when the water was boiled, too. By contrast, the concentration of DCAA was increased with duration time from boiling-point. The reduction of TCAA from the boiled water can be attributed to chemical transformation like decarboxylation. T&O compounds such as geosmin and 2-MIB was effectively removed by boiling of water, resulting in the removal efficiency of 97.1%, 94.4% after 5 min of boiling, respectively.

Keywords: DBPs, T&O(taste-and-odor) compounds, effect of boiling water

I. 서 론

음용수에 소독부산물(DBPs, disinfection by-products)과 이취미 유발물질이 존재하면 건강에 영향을 미치거나 소비자에게 심미적인 불쾌감을 유발시킬 수 있다.[1,2] 따라서, 음용수의 품질을 향상시키기 위하여 이러한 물질들을 저감시켜야 하지만, DBPs가 소독으로 인해 필연적으로 발생하는 부산물이고 이취미 유발물질이 일반적인 정수처리 공정에서 쉽게 제거가 되지 않는 점을 고려하면 어려운 실정이다.[2,3]

일반적으로 DBPs나 이취미 유발물질을 제거하기 위하여 흡착이나 산화공정을 이용하지만 비교적 휘발성이 강하고 열에 약한 특성을 이용하여 물을 끓이는 것과 같은 단순한 방법으로 줄일 수 있다. 이와 관련하여 여러 연구자들에 의해 연구가 수행되었는 데, Wu 등[4]은 수돗물 등을 가열하고 끓였을 때 DBPs의 형성과 거동에 미치는 영향을 조사하였고 Krasner 등[5]은 브롬(bromide)을 함유한 염소화된 물 등에서 DBPs에 대한 끓임의 영향을 고찰하여 TXAAs (TXAA, trihalogenated haloacetic acids), THMs 등은 감소하고 DXAAs(DXAAs, dihalogenated haloacetic acids)는 증가되었다고 보고하였다. 국내에서도 김 등[6]이 조리시에 DBPs의 농도 변화 및 인체의 섭취 및 노출 등에 대하여 고찰한 연구 사례가 있다. geosmin과 2-MIB(2-methyisoborneol)와 같은 이취미 유발물질의 경우 탈기(air stripping)에 관련된 사례는 보고되었으나[7] 일본수도협회에서 발간한 지침서[8]에 자비(煮沸)에 대하여 간단하게 언급된 점을 제외하고는 관련된 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 수돗물과 같은 음용수에서 주로 검출되고 있는 DBPs 중에서 인체 위해도가 비교적 높은 것으로 알려져 있는 THMs, TCM(chloroform), DCAA(dichloroacetic acid), TCAA(trichloroacetic acid)를 함유하고 있는 수돗물을 대상으로 끓였을 때 나타나는 영향을 평가하고자 하였다. 또한, geosmin과 2-MIB에 대해서는 분석 방법[9]이나 입상활성탄이나 오존

†Corresponding author : Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
Tel: 82-2-570-3137, Fax: 82-2-570-3350
E-mail : kcmdasol@hanmail.net

등에 의한 제거 방법에 관한 연구[2,10] 등은 활발히 수행되었지만 이의 자비 효과에 대해서는 전무하므로 이에 관한 기초 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험항목 및 시약

실험 항목은 DBPs의 경우 THMs, TCM, DCAA 및 TCAA 4종으로 선정하였고 이취미 항목은 geosmin과 2-MIB 2종으로 선정하였다.

THMs과 TCM은 200 μg/ml stock solution(Supelco, USA)를 사용하였고 DCAA와 TCAA의 표준시약은 각각의 농도가 60 μg/ml, 20 μg/ml인 stock solution (Accustandard, USA)를 구매하여 사용하였다. geosmin과 2-MIB의 표준시약은 0.1 mg/ml stock solution (Wako, Japan)을 methnol으로 단계적으로 희석하여 사용하였다. 그리고 실험에 사용된 모든 시약은 analytical grade 이상을 사용하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용된 시험액은 G 정수장에서 생산된 수돗물(잔류염소 농도: 0.45~0.75 mg/l)을 수도꼭지에서 채취하여 1시간 정도 방치하여 안정시킨 후 사용하였다. DBPs중 THMs, TCM에 관련된 시험에서는 본 시험액을 그대로 사용하였고 DCAA, TCAA, geosmin 및 2-MIB의 시험에 사용된 시험액은 바탕농도(blank)가 낮은 점을 고려하여 수돗물에 대상 표준물질을 인위적으로 spiking하여 사용하였다. 실험은 끓이는 시간 경과에 따라 DBPs와 이취미 유발물질의 농도 변화를 알아보는 방식으로 진행되었으며 상온에서도 시간이 경과함에 따른 DBPs와 이취미 유발물질의 농도 변화를 알아보기 위하여 별도의 대조 표준 실험(control sample)을 실시하였다.

시험액의 가열 조작은 시험액 1 l를 각각의 스텐레스 재질의 비이커에 넣고 뚜껑이 없는 개방된 상태에서 자연적으로 증기가 배출되도록 한 후 도시가스를 연료로 사용하는 가스레인지를 이용하여 이루어졌다. 시험액이 끓기 시작하면 설정된 시간에 맞추어서 가스레인지를 끄고 상온까지 냉각시킨 후 시료를 채취하였다. 채취가 끝난 시료는 THMs와 TCM의 경우 (1+1) HCl을 넣은 후 purge & trap법으로 전처리하여 GC/MS로 분석하였고[11] DCAA와 TCAA는 산성 상태에서 methanol로 유도체화시킨 후 ECD가 장착된 GC로 분석하였다.[12] geosmin과 2-MIB는 SPME fiber(DVD/Carboxen/PDMS stableflex)를 사용하여 GC/MS로 분석하였다.[13]

III. 결과 및 고찰

1. 대상물질 고찰

대상물질에 대한 국내 및 미국과 일본의 수질기준, 발암등급 및 주요 특성이 Table 1에 제시되어 있다. 국내에서는 THMs과 HAAs를 규제하고 있는 데 THMs중에는 TCM을 HAAs는 DCAA와 TCAA 2종의 합인 HAA_2로 규제하고 있다. 미국에서는 THMs에 대해서는 4종의 합으로 규제하고 있고 HAAs는 5종의 합으로 규제하고 있다. 이에 반하여 일본은 THMs와 이를 구성하는 4종 각각의 THM에 대하여 수질기준이 설정되어 있고 DCAA와 TCAA에 대하여 개별적으로 규제하고 있다. 대표적인 이취미 유발물질인 geosmin과 2-MIB의 경우 인체에 무해한 심미적 물질로 분류되고 역치가 주관적일 수 있기 때문에 국내와 미국에서는 수질기준으로 설정이 되어 있지 않다. 다만 필라델피아 수도국에서는 수돗물에 대한 고객의 심미적 불만을 고려하여 자체 처리목표치를 설정하여 관리하고 있는 것

Table 1. Class, drinking water quality standards and cancer group of DBPs and taste-and odor compounds

Compound	Class	Drinking Water Quality Standards (μg/l)			Cancer group[3]
		Korea	USA	Japan	
THMs	CBP[4]	100	80	100	
Chloroform	"	80		60	B2
Dichloroacetic acid	"	100(HAA_2[1])	60(HAA_5[2])	40	B2
Trichloroacetic acid	"			200	C
Geosmin	earthy-odorant			0.01	
2-methylisoborneol	musty-odorant			0.01	

[1]: HAA_2 = (DCAA conc. + TCAA conc.)$_{sum}$
[2]: HAA_5 = (MCAA conc. + MBAA conc. + DCAA conc. + TCAA conc. + DBAA conc.)$_{sum}$
[3]: Group B: Probable human carcinogen(B2: Sufficient evidence from animal studies); Group C; Possible human carcinogen
[4]: chlorination by-product

으로 알려져 있다.[14] 그러나, 일본에서는 geosmin과 2-MIB에 대하여 수질기준을 각각 10 ng/l로 설정하여 관리하고 있다. 발암도 등급을 살펴보면 DBPs 중에서 TCM과 DCAA는 B2 그룹으로 설정되어 있고 TCAA는 C 그룹으로 설정되어 모두 발암성 물질로 분류되고 있다. 반면 geosmin과 2-MIB는 동물실험에서의 발암성과 상관이 있는 Ames test와 Umu test에서 모두 변이원성이 없었으며 포유동물의 배양세포를 이용한 염색체 이상실험에서도 염색체이상을 유발하지 않았다고 보고[8]되는 등 주로 건강에 무해한 심미적 영향물질로 분류되고 있다.

Table 2에서는 DBPs와 이취미 유발물질에 대한 특성들을 제시하였다. 끓였을 때 용존된 일부 물질이 제거되는 것은 각 물질의 휘발작용(volatilization)과 관련이 있다. 각 물질의 휘발성은 헨리상수(Henry's law constant), 분자량(MW, molecular weight), 끓는점(BP, boiling point) 등과 같은 인자에 영향을 받으며[15] 특히, 헨리상수는 온도에 따라서 비례하며 이 수치가 높을수록 헨리상수가 낮은 물질보다 높은 휘발성을 띤다고 할 수 있다. Smith 등[16]은 헨리상수가 0.47 kPa-m^3/mol(4.64×10^{-3} atm-m^3/mol)보다 클 때 휘발성이 강한 물질로, 헨리상수가 0.00133 kPa-m^3/mol(1.31×10^{-5} atm-m^3/mol)보다 작을 때 휘발성이 낮은 물질로 분류하였는 데 이를 기준으로 판단하면 TCM을 제외하고는 다른 대상물질은 비교적 휘발성이 낮은 것으로 추정할 수 있다(Table 2). 여기에서 DBPs에 관련된 헨리상수는 US EPA(미국 환경청)에서 개발된 HENRYWIN 프로그램을 이용하여 구한 Krasner 등[5]의 자료를 인용하였으며 이취미 유발물질은 Pirbazari 등[17]의 논문에서 발췌하였다.

DBPs와 이취미 유발물질이 함유된 시험액을 끓였을 때 경과시간 별로 각 물질의 농도 추이를 알아본 결과 DCAA를 제외한 모든 물질의 농도가 시간이 경과함에 따라 감소하였다(Fig. 1). 이취미 유발물질인 Geosmin과 2-MIB의 농도는 각각 5분, 10분 후에 다 제거되었다. DBPs중 THMs와 TCM도 이와 유사한 경향을 보였다. TCAA도 시간이 경과됨에 따라 점차적으로 감소하였으나 대표적 휘발성유기화합물인 TCM보다는 감소정도가 낮았다. 반면 DCAA의 농도는 30분을 끓일 때까지 계속적으로 증가하였다.

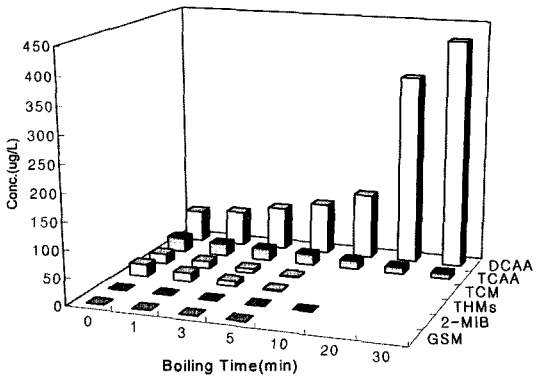

Fig. 1. The effects of boiling water on the concentrations of DBPs and T&O compounds.

2. DBPs의 제거 경향

상온에서 방치한 시험액(control sample)과 끓인 시험액에서의 THMs와 TCM의 농도를 비교하였다(Table 3). 상온에서 방치한 시험액은 시간이 경과함에 따라 잔류염소와 유기물이 반응하면서 THMs와 TCM이 각각 23.0~27.4 μg/l, 18.0~21.2 μg/l로 미량 증가하는 추세를 나타냈다. 반면 끓인 시험액은 끓이는 시간의 경과에 따라 농도가 낮아지는 경향을 보여 5분을 끓였을 경우 THMs와 TCM이 91.3%까지 제거되었다. Krasner 등[5]의 연구에서는 염소화된 물을 1분 동안 끓였을 경우 TCM이 34% 감소하였고 5분 동안 끓였을 경우 97%까지 감소하였다고 보고하였다. 또한, 1분 동안은 수중의 잔류염소와 DBP 전구물질이 반응할 가능성이 있어 TCM의 형성과 휘발이 동시에 일어나지만 1분 이후에는 휘발 작용이 우세하게 작용하는 것으로 고찰하였

Table 2. Properties of the studied DBPs and taste-and-odor compounds

Class	Compound	Abbreviation	BP (°C)	Henry's Law Constant (atm-m^3/mol)	MW
DBPs	Trihalomethanes	THMs			
	Chloroform	TCM	62	3.67×10^{-3}	119.37
	Dichloroacetic acid	DCAA	194	3.52×10^{-7}	128.93
	Trichloroacetic acid	TCAA	197	1.35×10^{-8}	163.38
T&O*	Geosmin	GSM	270	6.66×10^{-5}	182.31
	2-methylisoborneol	2-MIB	197	5.76×10^{-5}	168.28

*: taste-and-odor compounds

Table 3. Comparison of THMs and TCM concentrations (μg/*l*) between the non-boiled sample (control sample) and the boiled sample (tap water)

Duration (min)	Control sample		Tap water	
	THMs	TCM	THMs	TCM
0	23.0	18.0	23.0	18.0
1	-	-	16.0(-30.4%)	13.0(-27.8%)
3	-	-	9.0(-60.9%)	8.0(-65.2%)
5	-	-	2.0(-91.3%)	2.0(-88.9%)
10	25.0	18.7	ND*	ND
20	-	-	ND	ND
30	27.4	21.2	ND	ND

*: ND=not detected, -: are not experimented

다. 이와 같이 시험액을 끓임에 따라 THMs 및 TCM의 농도가 낮아진 것은 THMs중 대부분을 차지하는 TCM의 헨리상수가 커서 휘발성 물질로 분류되는 TCM[18]이 공기중으로 휘발되어 수중에서 제거되었기 때문으로 판단된다.

시험액을 끓였을 때 DCAA와 TCAA는 THMs과 TCM과는 다른 양상을 나타냈다(Table 4). DCAA는 끓이는 시간이 경과할수록 농도가 증가하여 30분간 끓인 후에는 420.7 μg/*l*를 나타냈다. 그러나, TCAA는 끓이는 시간이 경과할수록 농도가 감소하여 30분간 끓인 후에는 9.3 μg/*l*로 낮아졌다. 즉, DCAA는 3~30분의 끓임 시간 동안 11.0~635.5%로 증가하였고 TCAA는 14.8%~65.7%로 감소하였다. 반면 상온에서 방치한 시험액 중의 DCAA와 TCAA 농도는 각각 53.5~63.5 μg/*l*, 25.2~28.7 μg/*l* 범위를 보이며 유의한 경향을 보이지 않았다. 특히 DCAA는 시험액을 끓이는 시간이 경과할수록 농도가 높아지는 경향을 보였는 데, 이는 시험액의 가열 후 물 중의 잔류염소와 DBPs 전구물질간의 반응에 의한 DCAA의 생성량 증가, 시험액의 부피

Table 4. Comparison of DCAA and TCAA concentrations (μg/*l*) between the non-boiled sample (control sample) and the boiled sample (spiked tap water)

Duration (min)	Control sample		Spiked tap water	
	DCAA	TCAA	DCAA	TCAA
0	57.2	27.1	57.2	27.1
1	-	-	63.5(11.0%)*	23.1(-14.8%)
3	-	-	78.4(37.1%)	21.5(-20.7%)
5	-	-	94.1(64.5%)	19.9(-26.6%)
10	53.5	25.2	120.3(110.3%)	15.3(-43.5%)
20	-	-	350.0(511.9%)	12.0(-55.7%)
30	62.2	28.7	420.7(635.5%)	9.3(-65.7%)

*: (%) = cumulative percent change (from time 0)

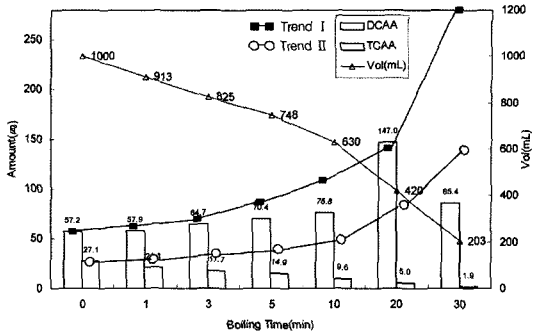

Fig. 2. A plot of the amount of DCAA,TCAA vs. boiling time.

감소에 따른 농축과 더불어 휘발성이 낮고 열에 분해가 잘 되지 않는 DCAA의 특성에 기인하는 것으로 판단된다. Krasner 등[5]의 연구에서도 DCAA가 1분 끓이는 동안 59%가 증가하였다고 제시하면서 물 중의 잔류염소와 DBPs 전구물질과의 가열 반응에 의해 추가적으로 생성된 DCAA가 휘발이 잘 안되고 끓임 조작에도 잘 분해가 안될 수 있음을 강조하였다. 반면 TCAA는 5분 끓이는 동안 30%까지 감소하였다고 보고하였는 데, 이는 본 연구의 결과와 비슷하였다. 위와 같이 TCAA가 감소한 점은 열적인 *decarboxylation*에 의해 TCM으로 전이[5,6]되어 휘발되었기 때문으로 사료된다.

Fig. 2에서는 시험액의 끓임 시간 경과에 따라 증기로 배출되어 감소한 부피를 고려한 DCAA와 TCAA의 절대적인 양을 나타내었다. 만일 DCAA와 TCAA의 농도가 시간이 경과하면서 생성되거나 분해되지 않고 단순히 감소한 시험액의 부피에 비례하여 농축된다고 가정하면 DCAA와 TCAA의 절대량의 추이는 각각 추세선 I과 추세선 II를 예측할 수 있다. 그러나 실제 DCAA의 양은 끓이는 시간의 경과에 따라 초기 57.2 μg에서 20분 후에 최고 147.0 μg까지 증가하다가 그 이후에 낮아지는 경향을 나타냈으며 TCAA의 양은 초기 27.1 μg에서 30분 경과 후에 1.9 μg으로 계속 낮아지는 추이를 보였다. 따라서 각 물질을 끓일 경우 DCAA는 휘발이나 열에 의해 분해가 잘 되지 않고 다소 농축되는 경향을 보였고, 반면 TCAA는 열에 분해되는 것으로 나타났다.

3. 이취미 유발물질의 제거 경향

geosmin과 2-MIB가 함유되어 있는 물을 끓이면 제거가 가능한 지 확인하고자 실험을 진행하였다(Table 5). 상온에서 방치한 시험액은 시간이 경과함에 따라 geosmin과 2-MIB가 각각 102~104 ng/*l*, 125~134 ng/

Table 5. Comparison of Geosmin and 2-MIB concentrations (*ng/l*) between the non-boiled sample (control sample) and the boiled sample (spiked tap water)

Duration (min)	Control sample		Spiked tap water	
	Geosmin	2-MIB	Geosmin	2-MIB
0	103	125	103	125
1	-	-	32(–68.9%)	42(–66.4%)
3	-	-	12(–88.3%)	17(–86.4%)
5	-	-	3(–97.1%)	7(–94.4%)
10	104	134	ND	2(–98.4%)
20	-	-	ND	ND
30	102	131	ND	ND

*l*로 거의 변화가 없었다. 반면 끓인 시험액은 시간 경과에 따라 농도가 낮아지는 경향을 보여 geosmin은 5분 후에 97.1%가 제거되었으며 2-MIB는 10분 후에 98.4%가 제거되었다. 실제로 실험 도중에 대조 표준 실험 및 시험액에 대해 상온에서는 냄새를 감지할 수 없었으나, 시험액이 끓기 시작하면서 후각적으로 감지되었다. 따라서 geosmin과 2-MIB가 산화 분해 등이 잘 안되는 3차 알코올 구조를 갖는 특성을 띠고 휘발성이 있는 테르펜류(terpenoids)임[19]을 감안할 때 가열에 의해 다른 물질로 변환되어 분해되었기 보다는 대기중으로 휘발되어 제거되었음을 추정할 수 있다. 또한, geosmin과 2-MIB가 통상적인 휘발성유기물질의 범주에 들지 않음[18]에도 불구하고 온도의 상승과 함께 헨리 상수가 증가하는 점[20]도 geosmin과 2-MIB의 휘발작용에 기여하였을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 DBPs나 geosmin과 2-MIB과 같은 이취미 유발물질이 비교적 휘발성이 강하고 열에 약한 점에 착안하여 위의 물질들을 함유하고 있는 시험액을 대상으로 끓였을 때 나타나는 영향 및 효과를 알아보고자 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) DBPs중 THMs와 TCM 농도는 휘발작용에 의해 시험액을 5분간 끓인 후에 각각 91.3%, 88.9%가 제거되었다.

2) 반면 DCAA는 끓이는 시간이 경과함에 따라 시험액의 부피가 감소됨과 동시에 농도가 상승하는 경향을 보여 30분 경과 후에 420.7 μg/l(635.5% 증가)까지 증가하였으나 TCAA의 경우 30분 경과 후에 9.3 μg/l로 65.7%가 감소되는 효과를 나타냈다.

3) Geosmin과 2-MIB을 함유한 시험액을 5분간 끓인 후에 각각 97.1%, 94.4%가 감소되어 자비에 의해 휘발되어 제거가 잘 되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 황갑수, 김강주, 이영남, 여성구, 김진삼 : 군산시 호소수에서의 수질특성과 THMs생성에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **27**(1), 44-50, 2001.
2. 김영일, 배병욱, 김규형, 홍현수, Westerhoff, P. : ^{14}C-radiolabeled MIB와 HSDM을 이용한 최적 PAC 투입량 예측프로그램의 개발. 대한환경공학회지, **27**(10), 1123-1128, 2005.
3. 신호상, 안혜실 : 정수장에서 조류기인 냄새물질의 처리효율 조사연구. 한국환경위생학회지, **29**(5), 27-33, 2003.
4. Wu, W. W., Benjamin, M. M. and Korshin, G. V. : Effects of thermal treatment on halogenated disinfection by-products in drinking water. *Water Research*, **35**(15), 3545-3550, 2001.
5. Krasner, S. W. and Wright, J. M. : The effect of boiling water on disinfection by-product exposure. *Water Research*, **39**, 855-864, 2005.
6. 김희갑, 이수형 : 조리시 가열에 따른 수돗물 중 염소소독부산물의 농도 변화와 인체 섭취 노출. *Korean Journal of Environmental Toxicology*, **14**, 35-43, 1999.
7. Hand, D. W., Crittenden, J. C., Gehin, J. L. and Lykins Jr, B. W. : Design and evaluation of an air-stripping tower for removing VOCs from groundwater. *Journal of American Water Works Association*, **78**, 87-97, 1986.
8. 일본수도협회 : 生物起因の異臭味水對策の指針. 1999.
9. 김성진, 홍성호, 민달기 : SPME를 이용한 Geosmin과 2-MIB 분석시 잔류염소의 영향에 관한 연구. 대한상하수도학회, **19**(6), 713-719, 2005.
10. 전대영, 이현주, 홍성호, 윤제용 : PAC를 이용한 2-MIB와 geosmin의 흡착특성과 제거에 관한 연구. 대한상하수도학회, **22**(11), 2097-2104, 2000.
11. EPA Method 524.2, Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/mass Spectrometry, Revision 4.1, 1995.
12. EPA Method 552.2, Determination of Haloacetic Acids and Dalapon in Drinking Water by Liquid-liquid Extraction, Derivatization and Gas Chromatography with Electron-capture Detection, Methods for the Determination of Organic Compounds in Drinking Water(Supplement III), 1995b.
13. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition, 2005.
14. AWWA water quality division taste and odor committee : Options for a taste and odor standard. *Journal of American Water Works Association*, **94**(6), 80-87, 2002.
15. Lee, C. K., Chao, H. P. and Lee, J. F. : Effects of organic solutes properties on the volatilization processes from water solutions. *Water Research*, **38**, 365-374, 2004.

16. Smith, J. H., Bomberger, D. C. and Haynes, D. L. : Prediction of the volatilization rates of high-volatility chemicals from natural water bodies. *Environmental Science & Technology*, **14**(11), 1332-1337, 1980.
17. Pirbazari, M., Borow, H. S., Craig, S., Ravindran, V. and McGuire, M. J. : Physical chemical characterization of five earthy-musty-smelling compounds. *Water Science & Technology*, **25**(2), 81-88, 1992.
18. 박수진, 박소진 : 휘발성 유기 화합물의 헨리상수 결정 및 추산 방법 비교. 공업화학, **15**(8), 967-975, 2004.
19. Hu, Q., Sommerfeld, M., Baker, L. and Westerhoff, P. : Canal wall brushing-a control measure for taste and odour problems in drinking water supplies in arid environments. *Journal of Water Supply:Research and Technology-AQUA*, **52**(8), 545-554, 2003.
20. Ömur-özbek, P. and Dietrich, A. M. : Determination of temperature-dependent Henry's law constants of odorous contaminants and their application to human perception. *Environmental Science & Technology*, **39**(11), 3957-3963, 2005.