

수돗물중 소독부산물(DBPs)의 생성 및 분포특성에 관한 연구

인치경[†], 이중호^{*}, 이인숙, 방은옥, 송현실, 윤선진^{**}

^{*}충청남도보건환경연구원 수질보전검사과, ^{**}대전대학교 환경생명공학과

Occurrence and Distribution of Disinfection of By-Products in Drinking Water

C, k, In, J, H, Lee, I, S, Lee, E, O, Bang, H, S, Song, S, J, Yoon,

*Department of Water Quality Preservation Analysis, Institute of Health and Environment,
Dept. Environmental Life Engineering Daejeon University*

Abstract

Chlorine disinfection has been used in drinking water supply to disinfect the water-borne microbial disease which may cause to serious human disease. It is still the least costly, relatively easy to use, Chlorination is the primary means to disinfect portable water supplies and control bacterial growth in the distribution system. However, chlorine reacts with natural organic matter(NOM), that presents in nearly all water sources, and then produces disinfection by-products(DBPs), that have adverse health effects. Although the existent DBPs have been reported in drinking water supplies, it is not feasible to predict the levels of the various DBPs due to the complex chemistry reaction involved.

1. The objectives of this study is to investigate seasonal variation difference concentration of DBPs in the plant to tap water. The average concentration of THMs was 20.04 $\mu\text{g}/\ell$, HAAs 8-15 $\mu\text{g}/\ell$, HANs 2-4.5 $\mu\text{g}/\ell$ respectively.
2. Distant variation of DBPs formation by the distance is that THMs concentration increased by 17% at 2km point from the plant and by 28% at 7km and HAAs, HANs also increase each by 16%, 32% at 2 km from the plant and 35%, 56% at 7 km. DBPs increase in water supply pipe continually.
3. The seasonal occurrence of DBPs is that in May and August DBPs concentration is very higher than in March, in May DBPs concentration is highest. The temperature is main factor of DBPs formation, precursor also.
4. Precursor which was accumulated for winter flowed into the raw water by flooding in spring and summer and produced DBPs.
5. Therefore for the supply of secure drinking water, it is required to protect precursor of

flowing into raw water and to add to BCAA and DBAA to drinking water standards.

Keywords: Drinking water, DBPs, THMs, HAAs, HANs

I. 서론

수돗물은 대부분의 현대인이 도시에서 생활하면서 단 하루도 빼놓지 않고 가장 많이 섭취하는 물질이다. 그러나 인구의 증가와 생활의 풍요로움은 환경오염뿐만 아니라 급기야는 생명의 적줄인 상수원까지도 위협하고 있는 실정에 이르렀다. 수돗물 중 병원성 미생물의 불활성화를 위해 정수처리 시 실시하는 염소소독은 가장 경제적이고 비교적 사용하기에 편리하기 때문에 가장 선호하는 수처리제 중의 하나이다. 그러나 소독제는 대부분의 수원에 존재하는 수중의 오염물질, 특히 천연유기물질(Natural Organic Material ; NOM)과 반응하여 건강에 악영향을 미치는 소독부산물을 형성 시킨다.

본 연구에서는 실제로 수돗물을 생산하고 있는 3개의 정수장에 대하여 계절변화가 소독부산물발생에 미치는 영향과 소독부산물을 종류별로 구분하여 검출율을 산출하여 보았으며, 정수장에서 발생한 소독부산물농도와 수용가에서 검출된 소독부산물간의 농도차이를 관찰함으로써 수돗물 안정성향상과 소독부산물 저감방안을 위한 연구기초 자료로 활용코자 하였다.

II. 조사 및 방법

1. 조사지점 및 기간

충청남도 내에 위치한 3개의 정수장을 대상으로 소독부산물의 계절적 요인과 송수거리에 따른 발생량을 규명하기 위하여 정수장내의 정수와 정수장과의 거리가 약 2 km와 7 km되는 수용가의 수도꼭지에서 2004년 3월, 5월, 8월과 2005년 1월에 각각 2~3회씩 채수하였다.

2. 조사항목 및 분석방법

시료 채취는 300 mL 유리용기에 정수한 물을 가득 채운 다음 10% 아비산나트륨과 5N 염산을 넣어 밀봉하고 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. 소독부산물 분석을 위한 시료의 전처리는 24시간 이내에 실시하여, 「먹는물공정시험방법」¹⁾과 「먹는물수질감시항목시험방법」²⁾을 적용하여 분석하였으며, THMs은 GC-ECD(Perkin-Elmer)를 사용하였고, HANs(Haloacetonitrile)과 HAAs(Haloacetic acid)는 GC/MS(Agilent)를 사용하여 SIM mode로 분석하였다. 컬럼은 THMs의 경우 HP-5(30 m×0.53 mm×1.8 μm)를 그리고 HANs와 HAAs는 CP-87(30 m×0.32 mm×1.0 μm)을 사용하여 분석하였다.

Table 1. Analytical conditions of Gas Chromatograph

Item	DBPs	THMs	HAAs, HANs
Carrier gas		N ₂ (99.999%)	N ₂ (99.999%)
Column flow		8.5 ml/min	1.0 ml/min
Column		HP-5(30 m×0.53 mm×1.8 μm)	CP-87(30 m×0.32 m×1.0 μm)
Model of GC		Agilent 6890N(ECD)	Perkin-elmer Autosystem(ECD)
Injection temp.		210 ℃	220 ℃
Detection temp.		290 ℃	290 ℃
Oven Condition		Initial temp 40 ℃, 2.0 min 4 ℃/min to 60 ℃, 0.0 min 8 ℃/min to 120 ℃, 2.0 min 15 ℃/min to 200 ℃, 0.5 min	Initial temp. 90 ℃, 6.0 min 5 ℃/min to 160 ℃, 1.0 min 12 ℃/min to 195 ℃, 0.0 min

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 소독부산물의 생성인자와 종류

소독부산물은 미생물의 불활성화를 위해 사용된 소독제가 물속의 유기·무기물질과 반응하여 생성된다. 이산화염소는 chlorite와 chlorate를 생성하고, 오존은 물속에 bromide가 존재할 경우 bromate를 생성한다. 처리하는 동안 생성된 소독부산물의 형태와 양은 사용되어진 소독제의 형태와 양 뿐만 아니라 수질, 처리방식, 온도, pH, 접촉시간 등의 환경적 인자에 따라 달라진다.

염소는 소독효과가 뛰어나고 경제적이기 때문에 가장 일반적으로 사용하고 있는 소독제이며, 천연유기물질과 같은 전구물질과 반응하여 THMs, HAAs, HANs, Haloketon 등과 같은 할로젠 화합물을 생성한다³⁾. 먹는물 소독에 의해 생성되는 주요 소독부산물은 Table 2와 같이 THMs 등 7개 부류로 정리할 수 있으며 수돗물에서 주로 검출되는 소독부산물은 THMs, HAAs, HANs, Chloral hydrate 등이 있다.

Table 2. Major DBPs in drinking water

DBPs Class	Individual DBPs	Structural Formular
THMs	Chloroform(TCM) Bromodichloromethane(DCBM) Dibromochloromethane(CDBM) Bromoform(TBM)	CHCl ₃ CHCl ₂ Br CHClBr CHBr ₃
Haloacetic acide	Monochloroacetic acid(MCAA) Dichloroacetic acid(DCAA) Trichloroacetic acid(TCAA) Bromochloroacetic acid(BCAA) Bromodichloroacetic acid(BDCAA) Dibromochloroacetic acid(DBCAA)	CH ₂ ClCOOH CHCl ₂ COOH CCl ₃ COOH CHBrClCOOH CBrCl ₂ COOH CBr ₂ ClCOOH

	Monobromoacetic acid(MBAA) Dibromoacetic acid(DBAA) Tribromoacetic(TBAA)	CH ₂ BrCOOH CHBr ₂ COOH CBr ₃ COOH
Haloacetonitrile	Trichloroacetonitrile(TCAN) Dichloroacetonitrile(DCAN) Bromochloroacetonitrile(BCAN) Dibromoacetonitrile(DBAN)	CCL ₃ C≡N CHCL ₂ C≡N CHBrCl CHBr ₂ C≡N
Haloketones	1.1-Dichloropropanone 1.1.1-Trichloropropanone	CHCl ₂ COCH ₃ CCl ₃ COCH ₃
Aldehydes	Formaldehyde Acetaldehyde Glyoxal Methyl glyoxal	HCHO CH ₃ CHO OHCCHO CH ₃ COCHO
Aldoketo acids	Glyoxylic acid Pyruvic acid Ketomalonic acid	OHCCOOH CH ₃ COCOOH HOCCOCOO
Other Halogenated by products	Chloral Hydrate Chloropicrine	CCl ₃ CH(OH) ₂ CCl ₃ NO ₂

2. DBPs 생성에 영향을 주는 인자

1) 천연유기물질(NOM)

휴믹물질(Humic substances)과 비휴믹물질의 혼합체인 NOM은 먹는물의 소독부산물 전구물질 단계에 영향을 준다. 물속의 TOC(총유기탄소, Total Organic Carbon)농도는 THMs과 DBPs 전구물질의 좋은 지표이다. UV흡광도(cm^{-1})를 100으로 곱해 DOC(Dissolved Organic Carbon) 농도(mg/ℓ)로 나눈 값인 SUVA는 물속의 휴믹물질 함유량을 나타내는 좋은 지표이다. Table 3. 에서 휴믹물질은 비휴믹 물질에 비해 더 높은 SUVA와 더 높은 DBPFP(Disinfection by production formation potential)를 갖는다.

휴믹물질은 휴믹산(Humic acids)과 펄빅산(Fulvic acids)으로 구분할 수 있으며 휴믹산의 원자질량은 1,000~10,000 AMW이고 펄빅산은 500~2,000 AMW 이다. 수원에서 펄빅산은 휴믹물질의 약 90%이상을 차지함에도 불구하고 휴믹산이 염소와 쉽게 반응하기 때문에 소독부산물 생성능에 대한 상대적인 기여도는 펄빅산보다 크다.

Table 3. Reactivity between surface and chlorine⁴⁾

Site	SUVA($\ell/\text{mg}\cdot\text{m}$)	THMEP/C(mol/mol)
Mandeville Island drainage	5.0	0.91%
State Project water(SPW)	3.0	0.80%
Scramento river water	2.2	0.75%
Colorado river water	1.5	0.50%

2) 온도와 계절변화

Stevens(1996)⁵⁾ 등은 Ohio강에서 전구물질 반응을 상에서 온도변화가 소독부산물 생성에

미치는 영향에 대해 연구하였는데, pH 7에서 96시간 경과 후 3, 25, 40℃에서의 Chloroform 생성 값은 각각 $50 \mu\text{g}/\ell$, $100 \mu\text{g}/\ell$, 그리고 $200 \mu\text{g}/\ell$ 이었다. 또한 35개 시설의 소독부산물 연구에서는 THMs 생성량은 여름이 가장 높았고 겨울이 가장 낮았다. 계절의 변화는 온도의 변화뿐만 아니라 소독부산물 전구물질의 농도 변화를 일으키기 때문에 고온범위(24~31℃)그룹의 THMs 중간 값은 다른 온도범위 그룹의 THMs 중간 값보다 비교적 높았다. Haloketones을 제외한 다른 대부분의 소독부산물도 THMs의 경향과 유사하였다. 1,1,1-TCA를 온도 범위별로 정리했을 때 저온(1.1~8.5℃)그룹에서의 중간값($1.4 \mu\text{g}/\ell$)이 고온(16~23℃)그룹에서의 중간값($0.2 \mu\text{g}/\ell$)보다 더 높은 것으로 볼 때 이 소독부산물은 안정한 최종부산물이라기보다는 반응의 중간체라고 보아야 한다. 겨울의 낮은 온도에서는 반응성도 낮고 최종 부산물도 낮은 생성율을 갖고 있으며, 계절변화는 또한 성분의 변화를 일으키는 유기 전구물질의 성질을 고려해야 한다.

3) 염소 주입량과 잔류염소의 영향

DBPs 분포와 생성율 및 생성량은 염소 주입량과 잔류염소에 영향을 받는다. 예를 들어 염소의 주입량이 높거나 잔류염소농도가 높으면 THMs보다는 HAAs 생성에 더 유리하다. 또한 높은 염소주입량은 di-, mono-에 비해 높은 trihalogenated계의 HAAs 생성을 가져온다. Reckhow Singer⁴⁾는 염소 주입량을 늘리면 DCAA보다는 TCAA가 더 증가하며, 또한 염소 주입량을 증가시키면 1,1,1-TCA와 DCAN의 농도는 감소하고 더욱더 염소 주입량을 증가시키면 브롬 치환종이 적어지는 방향으로 소독부산물이 생성되는 것을 관찰하였다.

4) 계절변화에 따른 소독부산물 농도변화

우리나라는 4계절의 기후환경과 자연환경 변화가 뚜렷하여 이에 따라 소독부산물의 생성인자인 염소투입량, 수온 그리고 전구물질 등에 영향을 미쳐 발생량과 구성비가 계절에 따른 차이를 보일 수 있다. 대상정수장의 채수시기에 따른 수온의 차이를 살펴보면 3월에 채수한 시료의 수온은 8~13℃이었으며, 5월의 수온은 17~21℃ 정도였다. 또한 여름철인 8월에 채취한 시료의 수온은 25℃를 초과하고 있었다. Fig. 2는 계절변화에 따른 소독부산물의 발생량을 그림으로 표시한 것으로, THMs은 TCM, DCBM, CDBM, TBM 4종류를 합한 값이며, HAAs는 DCAA, BCAA, TCAA, DBAA 4종류, HANs는 DCAN, BCAN, DBAN 3종류 등 가장 많이 검출되는 물질만을 합한 값이다. Fig. 1의 A는 고도정수처리를 하는 정수장에서 계절에 따라 발생하는 소독부산물의 발생량을 도식화하였으며, B는 활성탄처리시설이 없는 정수장 그리고 C는 완속여과처리 후 소독하여 급수하는 정수장에서 채수하여 분석한 자료이다. 소독부산물 발생량은 계절변화에 의해 뚜렷한 차이를 보이고 있었다. Table 4.에서와 같이 각 정수장에 따라 다소 차이는 있으나 초여름인 5월에 채수한 시료에서 가장 높게 검출되고 있었으며 수온이 가장 높은 8월에는 A 정수장의 경우는 최고농도의 94%, B, C 정수장은 각각 5월에 검출된 농도의 60%와 66%로 비교적 높게 검출되고 있었다. 또한 3월에는 A 정수장에서는 최고농도의 70%가 검출되었으나 B, C 정수장에서는 모두 35% 내외로 비교적 낮은 검출율을 보이고 있었다. 한겨울인 1월에는 A 정수장에서 53%, B 정수장

에서 67%, C 정수장에서는 최고농도의 23%가 검출되어 가장 낮은 발생율을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 원수의 수질이나 pH 그리고 염소투입량 등을 동일한 조건으로 하여 온도를 5℃에서 20℃로 증가함에 따라 관찰했을 때 소독부산물의 농도가 증가하며, 여름에 가장 많이 생성되고 다음으로는 가을, 봄에 생성이 줄어들며 겨울에 가장 적게 발생된다고 발표한 Krasner 등^{6,7)}의 자료와는 다소간의 차이가 있었으나, 본 연구는 실제 공급중인 정수장에서 측정된 자료로써 겨울철 지표면에 축적되어 있던 소독부산물 전구물질이 봄철과 초여름 강수로 인해 상수원수로 유입되어 소독부산물의 생성에 많은 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4. The seasonal variation of DBPs concentration (unit : $\mu\text{g}/\ell$)

Month	Item	A		B		C	
		DBPs	Variation(%)	DBPs	Variation(%)	DBPs	Variation(%)
2004. 3		27.3	69.9	10.3	33	23.7	39.7
2004. 5		39.1	99.9	31.2	100	59.7	100
2004. 8		37	94.7	20.8	66.8	35.9	60.2
2005. 1		20.7	52.9	19.6	62.7	13.6	22.8

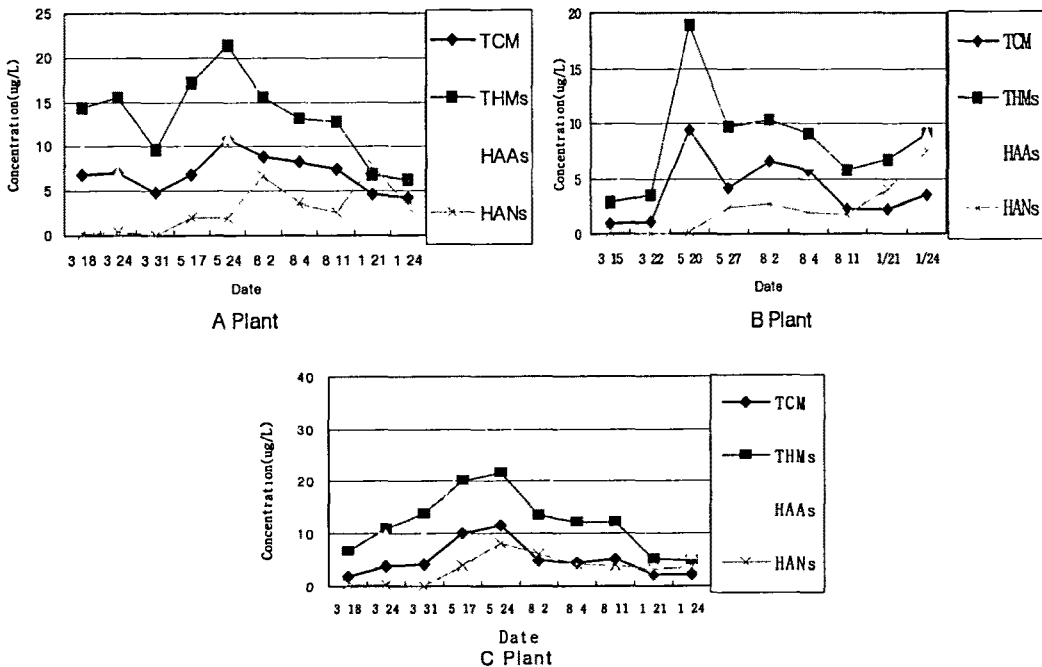


Fig. 1. The seasonal variation of DBPs concentration.

Table 5. Distribution of DBPs constituent

(unit : $\mu\text{g}/\ell$)

Site	THMs					HAAs					HANs			
	TCM	DCB M	CDB M	TBM	THMs	DCAA	BCAA	TCAA	DBAA	HAAs	DCAN	BCAN	DBAN	HANs
A Plant	6.94	4.76	1.51	0.06	13.30	4.38	3.08	2.62	0.97	11.00	1.70	0.99	0.18	2.87
2 km	9.15	5.94	1.84	0.11	17.00	5.11	3.79	2.88	1.58	13.40	2.08	1.36	0.35	3.78
7 km	10.10	6.39	1.99	0.21	18.70	6.44	4.11	3.50	1.51	15.60	2.64	1.49	0.37	4.49
B Plant	3.97	2.37	1.78	0.30	8.42	2.82	1.81	2.07	1.42	8.12	1.03	0.95	0.33	2.27
2 km	5.30	4.66	3.35	0.80	14.10	4.25	2.86	3.32	2.38	12.80	1.52	1.55	0.87	3.93
7 km	8.19	5.94	4.00	0.74	18.9	3.28	2.29	2.18	1.71	9.45	1.95	1.55	0.8	4.30
C Plant	4.90	4.12	2.39	0.48	11.90	6.20	3.89	3.42	2.25	15.80	1.46	1.26	0.53	3.20
2 km	5.17	4.14	2.28	0.20	11.80	6.69	3.92	3.83	2.29	16.70	1.54	1.3	0.39	3.23
7 km	6.75	5.37	2.78	0.26	15.20	9.23	5.47	4.85	2.53	22.10	1.89	1.56	0.33	3.78

5) DBPs의 종류별 분포

소독부산물은 사용되어지는 소독제에 따라서 그 종류도 다양하게 생성된다. 이 중에서 염소소독에 의해 생성되는 소독부산물은 주로 염소계 화합물들이며 원수 중에 Bromide가 존재할 경우 브롬화합물이 생성된다. 염소소독에 의해 생성되는 소독부산물의 종류는 Trihalomethanes, Haloaceticacids, Halo-nitriles이 주로 생성되어지며, WHO 등 세계 여러 나라와 우리나라에서는 주로 이들 물질들에 대하여 검사기준을 설정하고 규제하고 있다. 이외에도 염소소독에 의해 생성되는 물질들로는 Halo-ketones, Halo-Acetates, Halo-aldehydes 등이 있다.⁵⁾ 1989년 미국 35개 정수장을 대상으로 Krasner 등이 조사한 결과에 의하면 THMs이 평균 $39 \mu\text{g}/\ell$, HAAs가 $19 \mu\text{g}/\ell$ 이었고, 높은 pH에서 HANs, HKs, Chloral hydrate의 생성이 감소되는 현상을 관찰하였다.⁶⁾ Nieminski 등의 조사에 따르면 소독부산물의 종류별 발생비율은 THMs 64%, HAAs 30%, HANs 3%, HKs 2%가 발생하는 것으로 조사한 바 있다.⁷⁾

Table 5.는 3개 정수장 및 각각의 수도꼭지에서 1년 동안 검사하여 검출된 소독부산물의 평균농도를 나타낸 것이다. 소독부산물 농도는 THMs > HAAs > HANs 순서로 생성되고 있었고 THMs 경우는 보통 $14.4 \mu\text{g}/\ell$ (45.3%), HAAs 4종류를 합한 값이 $13.9 \mu\text{g}/\ell$ (43.7%) 그리고 HANs $3.5 \mu\text{g}/\ell$ (11%) 정도로 검출되고 있었다.

THMs은 TCM > DCBM > CDBM > TBM 순서로 검출되었으며 이 중에서 염소계화합물인 TCM은 THMs의 37~67%로 대부분을 차지하고 있는 반면 브롬계 화합물인 TBM은 $0.2 \sim 0.8 \mu\text{g}/\ell$ 로 매우 낮았다. HAAs의 발생은 DCAA > BCAA > TCAA > DBAA의 순으로 검출되고 있었으며 가장 많이 검출되는 DCAA는 전체의 35~42%, BCAA 및 TCAA는 각각 23~25% 그리고 DBAA는 $1 \sim 2 \mu\text{g}/\ell$ 가 검출되고 있어 먹는물 수질기준에서 제외되어있는 BCAA 및 DBAA의 추가가 필요한 것으로 나타났다. HANs 또한 HAAs와 비슷한 경향으로 염소계화합물인 DCAN이 가장 높았고 DBAN이 가장 낮게 생성되는 것으로 나타났다.

6) 거리변화에 따른 소독부산물의 발생

소독부산물의 생성반응은 염소주입 후 즉시 완료되는 것은 아니며 수처리공정에서 일어나는 다른 반응과 비교하면 느린 편이다. 주입된 염소는 잔류량이 완전히 소멸될 때까지 전구물질과 반응을 계속하게 되며 그 결과 소독부산물의 농도는 계속 증가하게 된다.⁷⁾ 소독부산물은 염소투여 후 빠른 비율로 생성되다가 6시간 이후에는 생성비율이 낮아지지만 1~2일 후까지도 지속적으로 생성된다.⁸⁾

Fig. 2. 은 3개 정수장에서 염소와 반응하는 시간 변화에 따라 발생하는 소독부산물의 농도를 측정하기 위하여 수도꼭지 채취지점을 달리하여 시료를 채취 분석한 자료이다. 시료의 채취는 정수장과 수도관의 중간지점, 그리고 수도관의 끝 지점에 있는 수도꼭지에서 채수하였다. 또한 정수장에서 채취된 시료를 0 km로 표시하였고, 정수장과 2~3 km 지점 채수하였으며 수도관의 끝 지점은 6~7 km 정도이었다. A 정수장의 소독부산물 생성량은 THMs의 경우 2 km 지점에서 17% 관말인 7 km 지점에서는 28%가 증가하는 등 시간이 경과하면서도 그 생성반응은 계속 되고 있었다. HAAs의 경우도 2 km 지점에서 16%, 7 km 지점에서 35%가 증가하였고 HANs 또한 각각 32%, 56%가 증가하였다. 또한 B 정수장의 경우는 C 정수장과 같이 거리에 따라서 계속증가 하고 있었고 그 발생량의 차이는 더 큰 것으로 나타났다. 다만 C 정수장의 소독부산물 발생량은 2 km 지점에서 거의 변화가 없었으며 7 km 지점에서는 각각 20~40%의 증가량을 보이는 등 접촉시간이 늘어나면서 소독부산물의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있었다.

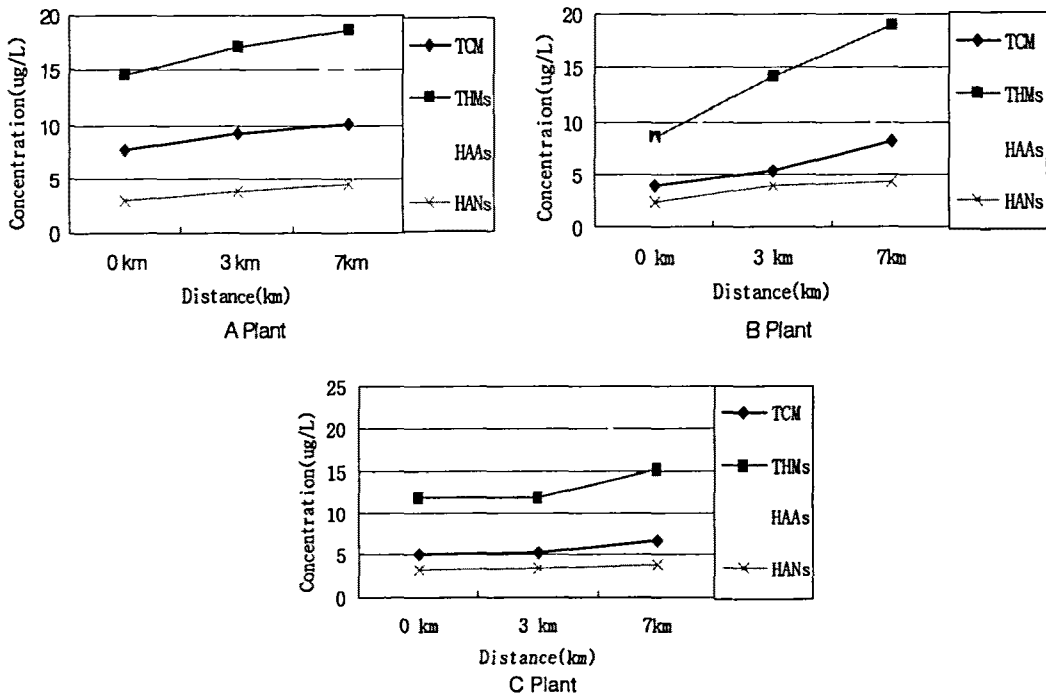


Fig. 2. Variation of DBPs concentration according to distance.

IV. 결 론

소독부산물의 생성과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려진 접촉시간 및 계절변화에 따른 농도변화를 파악하기 위하여, 충청남도내에 위치한 3개정수장을 대상으로 하여 정수장내의 정수와 정수장에서 약 2 km, 7 km 지점의 수도꼭지에서 2004년 3월, 5월, 8월과 2005년 1월에 각각 2~3회씩 시료를 채수하여 소독부산물의 농도를 분석하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소독부산물의 생성은 계절에 따라 큰 차이를 보였는데 수온이 높아지기 시작하는 5월과 수온이 가장 높은 8월의 소독부산물 농도가 A정수장은 각각 $39.1\mu\text{g}/\ell$ 와 $37.0\mu\text{g}/\ell$, B정수장은 $31.2\mu\text{g}/\ell$ 와 $20.8\mu\text{g}/\ell$, C정수장은 $59.7\mu\text{g}/\ell$, $35.9\mu\text{g}/\ell$ 로 비교적 높게 검출되었으며, 수온이 가장 낮은 1월에는 A정수장이 $20.7\mu\text{g}/\ell$, B정수장 $19.6\mu\text{g}/\ell$, C정수장 $13.6\mu\text{g}/\ell$ 로 가장 낮은 농도가 검출되었다. 특히 소독부산물이 가장 높게 검출된 시기는 5월로 소독부산물의 생성은 수온뿐만 아니라 겨울철 지표면에 축적되어있던 전구물질이 봄철 강수로 인해 상수원으로 유입되어 소독부산물의 생성에 영향을 주기 때문이다.
2. 천연유기물질에 의한 소독부산물의 생성은 비휴믹물질보다 휴믹물질에서 더 높게 생성되며, 분자량이 작은 펠빅산보다는 분자량이 큰 휴믹산에서 더 높은 생성율을 보인다.
3. 소독부산물 농도는 THMs > HAAs > HANs 순서로 생성되고 있었고 THMs 경우는 보통 $14.4\mu\text{g}/\ell$ (45.3%), HAAs 4종류를 합한 값이 $13.9\mu\text{g}/\ell$ (43.7%) 그리고 HANs $3.5\mu\text{g}/\ell$ (11%) 정도로 검출되었다.
4. THMs의 검출량은 TCM > DCBM > CDBM > TBM 순이었으며, 염소계 화합물인 TCM은 전체의 37~67%로 대부분을 차지하고 있었다. HAAs의 발생은 DCAA > BCAA > TCAA > DBAA의 순이었고, DCAA(35~42%), BCAA 및 TCAA는 각각 23~25%가 검출되었다. HANs 또한 HAAs와 비슷한 경향으로 염소계 화합물인 DCAN이 가장 높았다.
5. 시간변화에 따른 소독부산물 생성량은 THMs의 경우 2km 지점에서 17%, 관말인 7 km 지점에서는 28%가 증가하였고, HAAs와 HANs 또한 2 km 지점에서 각각 16%와 32% 그리고 7 km 지점에서는 각각 35%, 56%가 증가하는 등 시간이 경과하면서도 그 생성반응은 계속 되고 있었다.

따라서 안전한 수돗물 공급을 위해서는 겨울철에 축적된 전구물질의 상수원 유입을 최소화하여야 하며, 현 수질검사기준에 설정된 항목이외에도 많이 검출되고 있는 BCAA와 DBAA의 추가 먹는물 기준설정이 요구된다.

참고문헌

- 1) 환경부 : 먹는물 공정시험방법, 1997.
- 2) 환경부 : 먹는물 수질감시항목 시험방법, 1998.
- 3) Peters C. J., Yong R. J. and Perry R. : Factors influencing the formation of haloform in the chlorination of humic materials, *J. Environ. sci & Tech*, Vol. 14, 1391-1395, 1979.
- 4) Singer P. C. : Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water, AWWA Research

- Foundation and America Water Works Association, 1999.
- 5) Stevens A. A. : Formation and control of non-trihalomethane Disinfection By -Products, *J WA*, Vol. October 54-60, 1989.
 - 6) Kransner S. W., McGuire M. J., and Jacangelo J. G, et. al. : The occurrence of disinfection by-products in us drinking water, *J AWWA*, Vol. 8, 41-53, 1989.
 - 7) Nieminski E. C., Chaudhuri S., and Lamoreaux T. : The occurrence of DBPs in Utah drinking water. *J AWWA*, Vol. 9, 98-105, 1993.
 - 8) 최윤호 : 상수중 염소 소독부산물의 생성인자와 발생특성에 관한 연구, 연세대학교 대학원 박사학위 논문, 1999.