

D 정수처리장에서 소독부산물 발생 및 종분포 특성

김성준 · 김종민 · 전용태 · 박종은 · 원찬희[†]

전북대학교 환경공학과

The Characteristics of Disinfection by-products Occurrence and Speciation in D Water Treatment Processes

Sung-Joon Kim · Jong-Min Kim · Yong-Tae Jeon · Jong-Eun Park · Chan-Hee Won[†]

Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University
(Received 20 October 2009, Revised 7 April 2010, Accepted 13 April 2010)

Abstract

Concentrations and speciations of Trihalomethanes (THMs) and Haloacetic acids (HAA₅) that can be formed during chlorine disinfection by-product (DBPs) in full-scale drinking water treatment plants were investigated. Jeon-ju D water treatment plant that adopted conventional water treatment processes was chosen for investigation. SUVA values according to water treatment process changes were observed from 1.3 to 2.1. The process average concentrations of THMs was 7.4 ppb, 9.0 ppb and 14.7 ppb respectively, while the average concentrations of HAA₅ by each process which are precipitation water, filterater water, treated water, were 15.5 ppb, 14.9 ppb and 25.8 ppb respectively. DBPs concentrations was lower in the winter than summer. The major species of THMs was chloroform and the second highest was bromodichloromethane (BDCM) and the third highest was dibromochloromethane (DBCM). In case of HAA₅, the rate of trichloroacetic acid (TCAA) was detected. The species distribution of THMs is related to the change of SUVA and species distribution of HAA₅ is related to the concentrations of bromine and injection position of chlorine and injection quantity.

keywords : Drinking water treatment plant, HAA₅, Speciation, SUVA, THMs

1. 서론

국내 정수장에서는 안전한 수돗물 생산을 위해 염소계 소독제를 주로 사용하고 있다. 염소계 소독제는 수중의 미생물과 반응하여 병원성 미생물의 사멸 혹은 불활성화라는 긍정적인 효과를 주고있는 반면, 인체에 유해한 물질을 포함하는 Disinfection by products(DBPs)을 생성한다. DBPs에는 Trihalomethane(THMs)을 비롯하여 Haloacetic acids(HAAs), Haloacetonitriles(HANs), Chloralhydrate(CH) 등이 있다. THMs는 일반적으로 Chloroform, Bromoform, Bromodichloromethane(BDCM), Dibromochloromethane(DBCM)의 4종류가 있으며, 이들의 합을 총트리할로메탄(TTHMs, total trihalomethanes)이라고 한다. 한편, HAAs는 모두 9종류가 발생가능하며, 미국에서는 이중 Monochloroaceticacid(MCAA), Dichloroaceticacid(DCAA), Trichloroaceticacid(TCAA), Monobromoaceticacid(MBAA)와 Dibromoaceticacid(DBAA)의 5가지의 합(HAA₅)을 법적으로 규제하고 있으며, 국내에서는 DCAA와 TCAA 2가지 합(HAA₂)을 법적인 기준농도로 설정하고 운영하고 있다(신초롱 등, 2007; 이동석 등, 2004). 이러한 소독부산물의 생성인자로는 수온, pH, 천연유기물

질(NOM; natural organic matters)농도, 소독제 농도 등이 있으며, 이러한 인자에 영향을 받아 소독부산물의 농도 및 종분포가 달라지게 된다. NOM 중 입자성 또는 소수성 유기물질은 정수처리공정에서 제거가 용이하나, 저분자 또는 친수성 유기물질은 제거가 어려워 정수 중에 남게 되고, 이 유기물질이 배급수계통에서 잔류염소와 계속 반응함에 따라 소독부산물 농도 증가 원인이 되고 있다. 따라서, HAAs나 THMs 생성 전구물질로 작용하는 원수의 NOM 특성 및 정수처리공정에서 변화를 정확히 파악하여 이를 저감하는 방법을 모색하여야 한다. 이때 유기물질 농도와 성상을 평가하는 지표항목으로 UV₂₅₄, DOC, TOC 및 SUVA 등이 주로 사용되고 있다(Pomes et al., 1999).

기존의 연구자들의 연구내용은 정수처리공정별 소독부산물에 대한 발생 및 종분포 특성에 대하여 실험실 규모에서 연구하거나 DBPFP를 측정하여 실제 규모에 대한 예측 정도의 성과밖에 내지 못했다. 실제 규모의 정수장에서 소독부산물의 발생 및 종분포 특성에 대한 예측이 아닌 특성을 규명하여 실제 공정운영 및 소독부산물 제어에 이용할 필요성이 있다.

본 연구의 목적은 우리나라 지자체에서 운영하는 정수장에서 발생하는 염소소독부산물 중 가장 농도가 높은 THMs와 HAAs의 정수처리공정별 발생농도 경향과 종별 구성 원

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksjduck@empal.com

인을 full-scale에서 규명하고 적절한 제어 방안을 제시하는데 있다. 이를 위해 침전수, 여과수, 정수수를 각각 채수하고 2007년 11월부터 2008년 10월까지 주 1회 실측 농도를 분석하여 정수처리공정별 THMs, HAAs의 종분포 및 발생비 변화원인을 규명하였으며 더 나아가 선택취수를 통해 소독 부산물을 능동적으로 제어하고자 이 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구를 수행하기 위해 우리나라 중소규모 전형적인 염소소독 정수장인 J시 D정수장을 선택하였다. 본 정수장은 방수리 취수장(하천수)과 상관 저수지(호소수)에서 1일 4만톤을 취수하여 정수처리공정을 거친 후 62만 시민들 중에 10만명(17%)에게 공공용수로서 수도물을 공급하고 있다. 정수처리공정은 일반적인 정수처리공정으로서 전염소투입, 응집 침전, 여과, 후염소투입의 공정으로 이루어져 있다. 분석 주기는 매주 1회이고 1년 동안 분석하였다. 공정별 분석항목이 Table 1과 같다.

소독부산물은 THMs 4개 항목, HAAs 5개 항목, 총 9개 항목을 측정하였다. THMs, HAAs는 먹는물 수질공정시험법에 규정한 방법에 준하여 측정하였다. 분석과정과 분석조건은 Table 2, 3과 같이 THMs는 Tekmar 3000 concen-

trator purge & trap으로 전처리하여 Varian 3800 GC에 Saturn 2200 mass selective detector가 장착된 GC/MS로 분석하였으며, HAAs는 HP5972 GC/ECD를 사용하여 분석하였다. 각 항목의 분석은 우리나라의 먹는물수질기준과 먹는물관리법에 따른 수질관리지침의 정량한계값(detection limit)을 기준으로 하였으며, 먹는물 공정시험방법에 준하여 분석하였다.

HACH 2100A Turbidimeter를 이용하여 탁도를 측정하였으며, 대상 원수의 경우 잔류염소, 수온, 알칼리도, 응집제 투입량 등을 고려하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정수처리공정별 SUVA값의 변화 특성

Fig. 1은 정수처리공정별 SUVA 평균값의 변화를 나타내었다. SUVA값이 높은 경우는(>4) ALUM 계열의 응집 약품을 사용하면 응집, 침전을 거치고 나면 SUVA값이 낮아지는 것으로 보고되고 있다(Karanfil et al., 2002). 하지만 D 정수장의 경우 원수보다 침전지 말단에서 채수한 침전수가 SUVA값이 1.8에서 2.1로 약간 높아지고 있다. 이는 응집, 침전에 의하여 SUVA값이 낮아진다는 연구결과와는 상반되고 있다. 그러한 연구결과는 원수의 SUVA값이 4이

Table 1. DS WTP water quality analysis items

Process	Items	Measured items
Raw water	8	Turbidity, pH, Temp, Alkalinity, TOC, DOC, UVA254, KMnO ₄ consumption
Precipitated water	12	Turbidity, pH, Temp, Alkalinity, TOC, DOC, UVA254, KMnO ₄ consumption, THMs, CHCl ₃ , HAA ₅ , Free Chloride
Filtred water	12	Turbidity, pH, Temp, Alkalinity, TOC, DOC, UVA254, KMnO ₄ consumption, THMs, CHCl ₃ , HAA ₅ , Free Chloride
Treated water	12	Turbidity, pH, Temp, Alkalinity, TOC, DOC, UVA254, KMnO ₄ consumption, THMs, CHCl ₃ , HAA ₅ , Free Chloride, Contact time

Table 2. Operation conditions of GC-MS for THMs analysis

◦ Column : DB-624 (60 m × 0.32 mm I.D × 1.8 μm film thickness)			
◦ Carrier gas flow : He, 1.0 mL/min		◦ Retention time : 35 min	
◦ Detector temp : 280oC		◦ SIS mode(Solvent delay : 4 min)	
◦ Column oven temp program :			
init. temp. (°C)	init. time (min)	rate (°C/min)	Total
30	3		
50	0	5	
180	2	8	25.25(min)

Table 3. Operating conditions of GC/ECD for HAAs

◦ Column : DB-624 (30 m × 0.25 mm I.D × 0.25 μm, film thickness)				
◦ Carrier gas flow : N ₂ , 1.0 mL/min				
◦ Splitless injection wuth 30 seconf delay at 35°C				
◦ Injection port temp : 260°C		◦ Retention time : 52 min		
◦ Column oven temp. program :				
init. temp. (°C)	init. time (min)	rate (°C/min)	final temp. (°C)	final time (min)
35	10	5	75	15
		5	100	5
		5	100	2

상인 경우인데, D 정수장 원수의 경우 유기물질의 특성이 친수성이기 때문에 소수성의 유기물질의 원수에서 조사된 결과와 다른 것으로 판단되며, DOC의 특성변화는 거의 없는 것으로 판단된다. 침전수와 여과수는 2.1로 같게 나타나고 있어 여과공정에서의 유기물질의 특성은 변화가 없었다. 소독공정에서의 SUVA값의 변화가 2.1에서 1.3으로 0.8 정도 감소하고 있다. 이러한 변화는 소독공정에서 유기물질이 염소와 결합하여 친수성의 특성으로 현저하게 변하고 있기 때문이다.

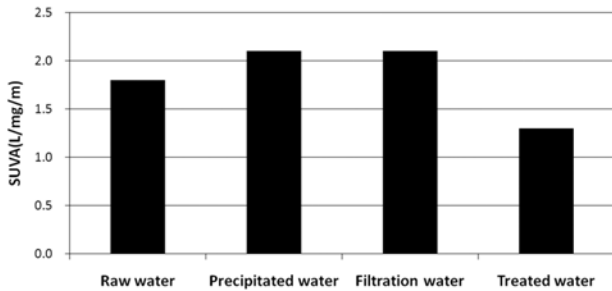


Fig. 1. Variations of SUVA in DS WTP.

3.2. 정수처리공정별 THMs 및 HAAs 발생현황

2007년 11월부터 2008년 10월까지 주당 1회 THMs의 농도를 3개지점에 대하여 실측하고 공정별 최대, 최소, 평균값을 Table 4에 나타내었다. 정수처리공정 중 소독공정을 거치고 난 후의 최대값이 가장 높게 나타나고 있다. 최소값은 전염소 투입이 없을 경우에 침전수에서 THMs 농도가 불검출로 나타나고 있고, 그때의 여과수의 THMs 농도도 불검출로 나타났다. 정수에서의 최소값은 2.8 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었다. 최대값과 최소값의 정수처리공정별 경향성과 마찬가지로 평균값도 공정별로 7.4 $\mu\text{g/L}$ (체류시간 약 2.5 h), 9.0 $\mu\text{g/L}$ (체류시간 약 2.0 m), 14.7 $\mu\text{g/L}$ (체류시간 약 2.5 h)로 증가하는 경향성을 나타내고 있다. 이는 정수처리공정을 거치면서 THMs 농도가 제거되거나 소멸되는 농도보다 생성되는 농도가 더 높다는 것을 알 수 있다.

Table 4. Measurement results of THMs in DS WTP

	Concentrations of TTHM ($\mu\text{g/L}$)		
	Max	Min	Mean
Precipitated water	42.1	0.0	7.4
Filtred water	44.3	0.0	9.0
Treated water	52.3	2.8	14.7

Fig. 2에서는 조사대상 기간동안의 정수처리공정별 THMs 농도를 나타내 주고 있다. 전반적으로 THMs 발생농도가 동절기에는 낮게 나타나고 있고, 하절기에는 높은 것으로 나타났다. 최대 농도는 하절기의 정수에서의 농도로 52.3 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나고 있는데 법정기준치인 100 $\mu\text{g/L}$ 의 절반정도로 나타나고 있다. 그러므로 D 정수장의 THMs의 관리 는 잘되고 있는 것으로 판단된다.

조사 대상기간 동안의 HAAs 공정별 최대, 최소, 평균값 이 Table 5에 나타나 있다. HAAs 발생농도의 최대값은 침 전수, 여과수, 정수 각각 46.5 $\mu\text{g/L}$, 44.2 $\mu\text{g/L}$, 60.2 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었다. THMs의 발생농도와 마찬가지로 정수의 HAA₅ 발생농도가 가장 컸다. 최소값은 전염소의 처리가 없는 경우에 불검출로 나타나고 있으며, 여과공정에서 별도의 소독제를 투입하지 않기 때문에 그때의 여과수의 HAA₅ 농도도 불검출 되었다. 정수에서는 최소값이 4.3 $\mu\text{g/L}$ 이였다. 평균값은 침전수, 여과수, 정수에서 각각 15.5 $\mu\text{g/L}$, 14.9 $\mu\text{g/L}$, 25.8 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었는데 여과공정에서 HAA₅의 발생농도 보다 소멸이나 제거되는 농도가 약간 높게 나타났었다. HAA₅의 생성속도는 빨라서 전염소 처리에 의한 발생은 응집, 침전 공정에서 이미 이루어지며, 전염소 투입에 의한 잔류염소 또한 여과공정에서는 거의 존재하지 않는다. 이러한 이유로 여과공정에서의 HAA₅의 생성은 없는 것으로 판단된다. 또한 여과공정에서 HAA₅의 분해가 미생 물에 의해 이루어지는 것으로 판단된다(Zhou and Xie, 2002). 소독공정에서의 염소 투입에 의해 다시 HAA₅의 발생이 일어나고 있으며, 그것으로 인하여 발생농도가 증가하고 있다.

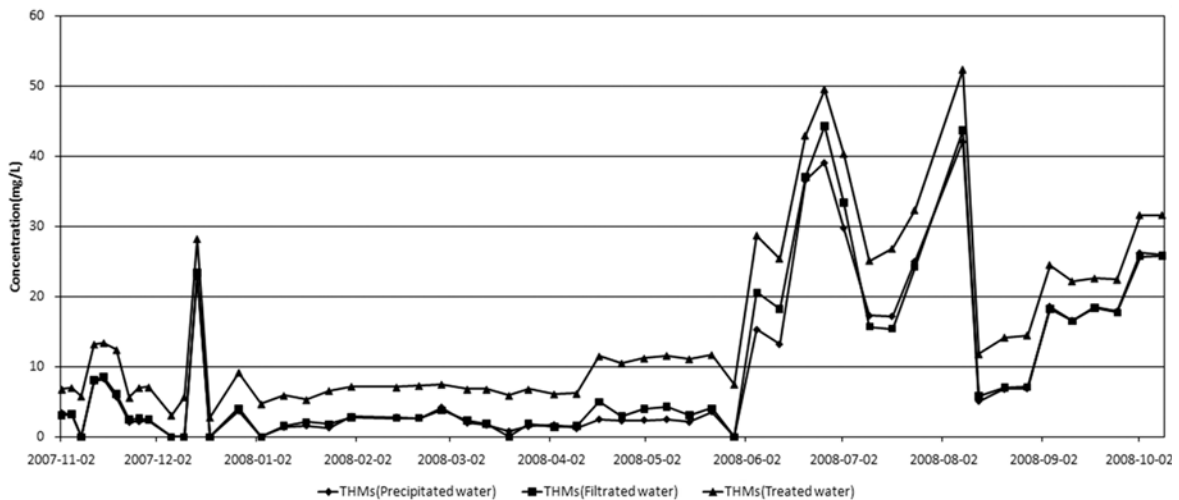


Fig. 2. Variations of TTHM concentrations in DS WTP.

Table 5. Measurement results of HAA₅ in DS WTP

	Concentrations of HAA ₅ (μg/L)		
	Max	Min	Mean
Precipitated water	46.5	0.0	15.5
Filtred water	44.2	0.0	14.9
Treated water	60.2	4.3	25.8

Fig. 3에서는 조사대상 기간동안의 정수처리공정별 HAA₅ 농도를 나타내 주고 있다. THMs의 발생농도의 경향성과 같이 하절기의 HAA₅ 발생농도가 60.2 μg/L의 최대값을 나

타내고 있다. 연중 THMs와 HAA₅의 생성량 변화에 수온의 영향이 가장 크다는 것을 보여주고 있다. 또한, THMs의 농도와 비교했을 때 전체적으로 HAA₅의 농도가 높게 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 1과 같이 SUVA 값이 2 이하로 나타나고 있는데 기인한다고 판단된다.

원수의 SUVA, DOC, 수온과 정수에서의 THMs 및 HAA₅의 관계를 조사해본 결과 원수의 SUVA 및 DOC와 정수의 THMs 및 HAA₅의 발생량은 상관성이 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 하지만 원수의 수온과 정수의 THMs 및 HAA₅의 발생량 사이에 일부 상관성이 있는 것으로 나타났다.

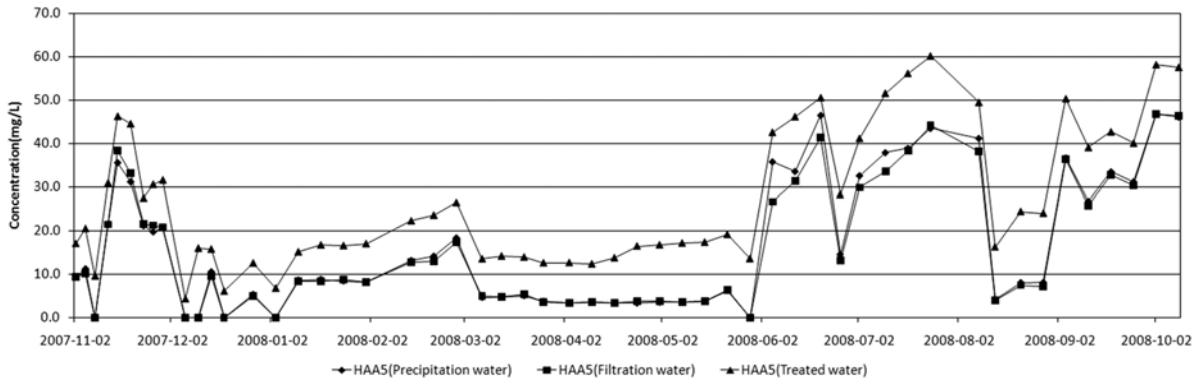


Fig. 3. Variations of HAA₅ concentrations in DS WTP.

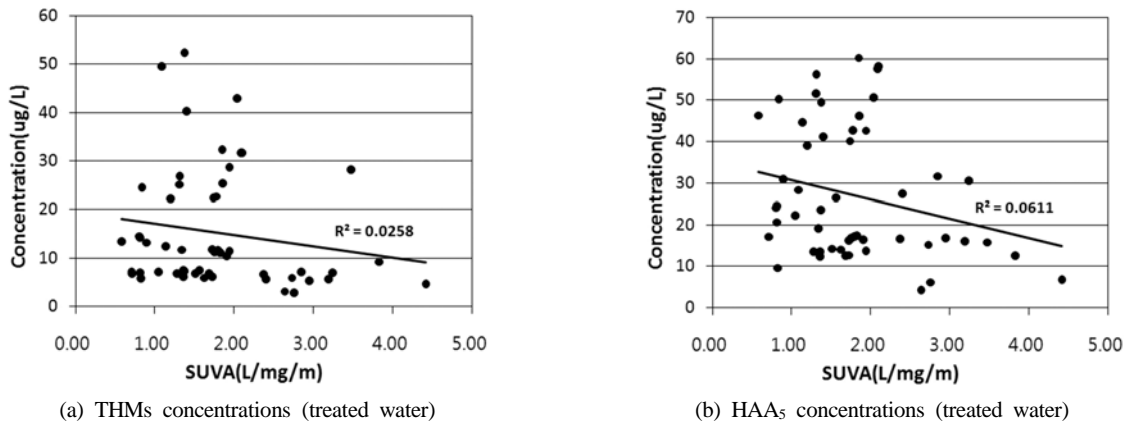


Fig. 4. Relationship between SUVA (raw water) with THMs and HAA₅ concentrations (treated water).

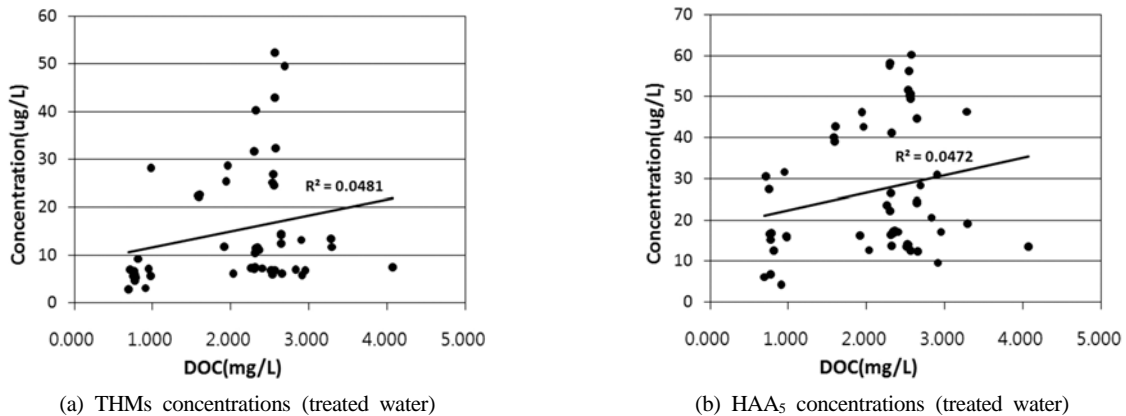


Fig. 5. Relationship between DOC (raw water) with THMs and HAA₅ concentrations (treated water).

3.3. 정수처리공정별 THMs의 종분포

Fig. 6은 조사기간 동안의 THMs 공정별 평균 구성비율을 나타내고 있다. 침전수, 여과수, 정수 모두 브로모포름은 검출되지 않았다. 침전수, 여과수, 정수 각각의 THMs 중 클로로포름 비율은 88.3%, 87.1%, 73.2%로 나타나고 있다. BDCM 비율은 9.9%, 11.0%, 17.9%로 각각 나타났으며, DBCM의 비율은 1.8%, 1.8%, 8.9%로 각각 나타났다. 침전수, 여과수, 정수 모두 클로로포름 > BDCM > DBCM 순으로 나타났다. 하지만 구성비율은 공정을 거치면서 변화가 있었다. 클로로포름의 경우 공정을 거치면서 구성비율이 줄어 들고 있고 브롬계 소독부산물인 BDCM과 DBCM이 상대적으로 여과공정과 소독공정에서 많이 발생하고 있음을 보여주고 있다. 특히 소독공정에서의 구성비율이 많이 증가하고 있다. 이는 응집, 침전공정에서 잘 제거되지 않는 브롬이온이 소독공정에서 THMs 발생에 기여하거나, 소독제에 불순물로 들어 있는 브롬의 영향일 수도 있을 것으로 판단된다. 또한, NOM이 친수성일 경우에는 브롬계 THMs 발생이 많아진다는 타연구 결과(Chang et al., 2001)와 같은 결과를 나타내고 있다.

3.4. 정수처리공정별 HAAs 종분포 특성

Fig. 7에서는 정수처리공정별 HAA₅ 개별 비율을 나타내고 있다. 모든 공정에서 TCAA > DCAA > DBAA 순으로 구성비가 나타나고 있고, MCAA와 MBAA는 불검출로 조사되었다. 한편 우리나라의 먹는물수질기준은 HAA₂인데 HAA₂의 HAA₅에 대한 공정별 비율은 침전수, 여과수, 정수가 각각 85.0%, 85.1%, 90.8%로 나타나고 있다. 공정을 거치면서 HAA₂의 비율이 여과공정에서는 거의 변화가 없고 소독공정에서 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이것은 높은 농도의 염소 소독을 할 경우 TCAA가 주로 많이 발생된다고 보고되고 있는데(김태규, 2007) 소독제를 주로 정수수에 투입하기 때문에 나타난 결과로 판단된다. Fig. 8에서는 조사기간 동안의 정수의 HAA₂/HAA₅ 분율을 나타내고 있다. HAA₂/HAA₅의 평균 비율이 90.4%로 높게 조사되었으나 2007년 11월부터 2008년 4월까지의 비율은 낮게 나타나고 있다. 이것은 DBAA의 증가에 의한 것이다. 이러

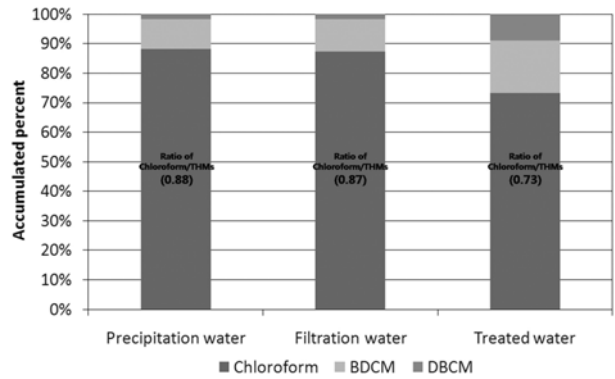


Fig. 7. Speciation of THMs in DS WTP.

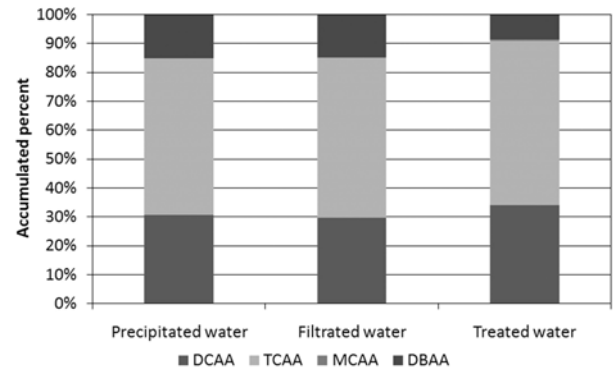
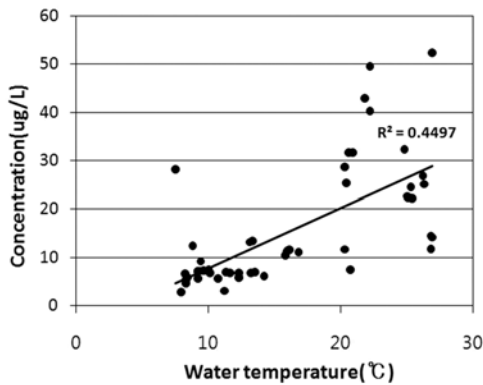


Fig. 8. Speciation of HAAs in DS WTP.

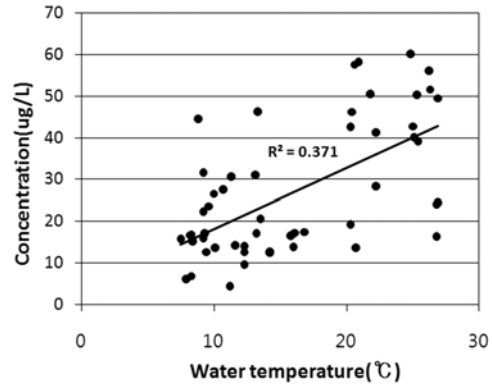
한 경우에는 DBAA를 포함시켜 HAAs를 관리할 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. DBAA의 발생은 원수의 브롬에 의한 것으로서 판단되며, 그 시기는 동절기에 발생비율이 높은 것으로 나타나고 있다. 원수중의 브롬이온 농도는 수온이 낮아지면서 높아지는 것으로 판단된다.

3.5. 소독부산물의 능동적 제어

D 정수장 원수의 경우 하천수와 호소수의 두개의 수원을 갖고 있는 특징을 이용하여 혼합정도에 따라 NOM의 특성을 변화시킬 수 있다. 그러한 변화특성을 이용하여 이장에서는 THMs/HAA₅의 발생비의 변화 특성 및 발생량에 대하여 고찰하였다. D 정수장의 유입 원수는 평상시 하천수인



(a) THMs concentrations (treated water)



(b) HAA₅ concentrations (treated water)

Fig. 6. Relationship between water temperature (raw water) with THMs and HAA₅ concentrations (treated water).

Table 6. Measurement results of SUVA by the Bin/Tin in raw water

Bin/Tin	SUVA (L/mg/m)		
	Max	Min	Mean
1	4.42	2.73	3.33
0.5	2.37	0.71	1.41

cf) Bin/Tin = Bangsuri diversion requirement / Total diversion requirement

방수리 취수량과 호소수인 상관 취수량이 6:4~5:5의 비율로 취수되고 있다. 소독부산물의 종분포 특성을 조사한 1년 동안의 기간에 2007년 12월에서 2008년 1월 중반까지 상관저수지의 취수량이 없었다. 이 기간 동안의 SUVA 값의 최대, 최소, 평균값을 조사하였고, NOM이 계절적 특성을 나타낼 것을 감안하여 1월부터 2월까지의(비교대상의 수온과 염소투입량의 차이는 없다) SUVA 값과의 비교하기 위하여 조사한 SUVA 값을 Table 6에 나타내었다.

Bin/Tin 값이 1인 경우 즉 유입 원수를 전부 방수리에서 취수하였을 경우의 SUVA 값의 최대, 최소, 평균값은 각각 4.42, 2.73, 3.33으로 조사되었다. 유입 원수를 상관 취수량과 방수리 취수량의 비가 반절인 경우의 SUVA 값의 최대, 최소, 평균값은 2.37, 0.71, 1.41로 각각 조사되었다. 상관 취수량이 없는 경우에 SUVA 값의 평균은 3.33으로 조사되어 전체 취수량에서 상관취수량이 0.5 비율일 때의 평균값인 1.41에 비하여 두배 이상 SUVA 값이 높았다. 이것은 하천수인 방수리 원수에는 호소수인 상관 원수보다 자연적인 발생에 의한 humic 물질이 더 많이 존재하고 있다는 것을 뜻한다. 즉, 하천수인 방수리 원수가 호소수인 상관 원수보다 인위적인 오염원이 적다는 것을 뜻한다.

Fig. 9는 취수량의 변화에 따른 원수의 SUVA 값의 변화와 THMs/HAA₅ 비를 나타내고 있다. 하천수인 방수리 취수량이 많을 경우 SUVA 값이 높아지는데 이는 방수리 원수가 소수성과 친수성의 중간적인 성질을 나타내고 있기 때문이다. 상관 취수량이 없지 원수의 SUVA 값이 상승했는데 이때 정수에서의 THMs/HAA₅의 비는 0.52로 나타나고 있으며, 상관 취수량과 방수리 취수량이 절반 비율로 섞였을 때는 THMs/HAA₅의 비는 0.35로 나타나고 있다. 두 가지 경우 모두 HAA₅가 THMs 보다 상당히 많긴 하지만 두가지 경우를 비교했을 때 그 비율은 상당한 차이를 보이고 있다. 즉, 방수리 취수량을 늘렸을 경우에 SUVA 값이 상승 하며 정수에서의 THMs/HAA₅의 비도 상승한다. Fig. 10은 취수량 변화에 따른 정수에서의 THMs 및 HAA₅의 발생 농도를 나타내었다. 상관 취수량이 전체 취수량의 절반일 경우에 THMs와 HAA₅ 모두 발생 농도가 방수리 취수량이 전체 취수량일 경우보다 높게 나타나고 있다. 또한, 그 증가정도는 HAA₅가 두배 정도의 증가를 보여주고 있다. 이는 여러 가지 소독부산물 생성인자를 같은 조건으로 하고 SUVA 값을 증가시키면 THMs와 HAA₅ 발생 농도는 증가하고 THMs/HAA₅ 비율은 감소하는 것으로 나타났다.

따라서, 원수가 친수성일 경우에 하천수인 방수리 취수량을 늘리고 공정 운영을 하면 THMs/HAA₅ 비율이 상승하고

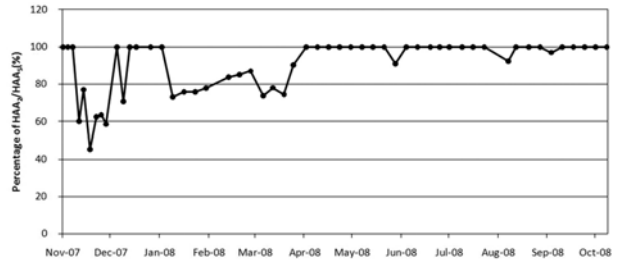


Fig. 9. Percentage of HAA₂/HAA₅ in treated water.

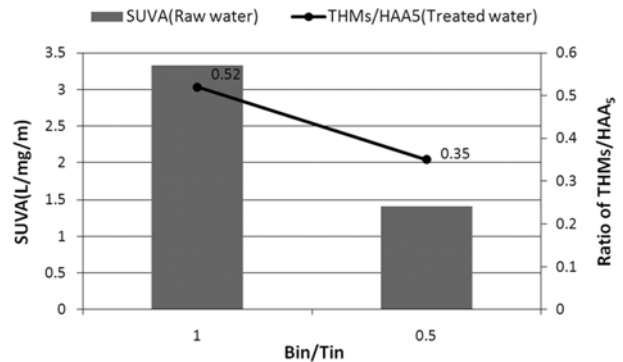


Fig. 10. Variation of SUVA by the Bin/Tin in raw water and ratio of THMs/HAA₅ in treated water.

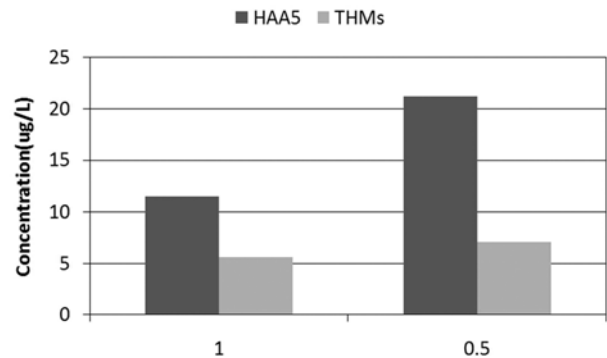


Fig. 11. Variations of THMs and HAA₅ concentrations by the Bin/Tin in raw water.

전체적인 소독부산물의 발생농도 또한 줄어들 것으로 판단된다. 줄어드는 소독부산물의 대부분은 HAA₅의 농도일 것으로 판단되며, THMs가 HAA₅보다 상대적으로 발암성이 낮으므로 방수리 취수량을 늘림으로써 줄어드는 발암 위험성은 더욱 현저하게 나타날 것이다. 따라서, 하천수 취수량과 호소수의 취수량을 조절함으로써 소독부산물의 THMs/HAA₅의 비율 및 소독부산물 발생농도를 능동적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

연구대상 정수장의 정수처리공정은 전염소 투입, 약품투입, 응집, 침전, 모래여과, 염소소독의 과정으로 이루어진다. 연구대상 정수장의 소독부산물의 주종을 이루고 있는 THMs와 HAA₅의 공정별 종분포와 발생농도의 특성을 2007년

11월부터 2008년 10월까지 주 1회 정도 실측분석 하였으며, 능동적 제어 방안에 대하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공정별 평균 SUVA값은 원수, 침전수, 여과수, 정수가 각각 1.8, 2.1, 2.1, 1.3으로 조사되었으며 이에 반비례하여 THMs의 공정별 평균 발생농도는 응집, 침전, 여과, 소독과정을 거치면서 농도가 증가하고 있다. 계절적으로는 하절기에 수온증가로 인해 THMs의 농도가 높게 나타났다.
- 2) HAA₅의 공정별 평균 발생농도는 침전수, 여과수, 정수가 각각 15.5 µg/L, 14.9 µg/L, 25.8 µg/L로 조사되었다. 여과공정에서 HAA₅가 약간 줄어들었는데 이는 주로 잔류염소에 기인한 것으로 판단된다. 계절적으로는 수온이 높은 하절기에 HAA₅ 농도가 가장 높았다.
- 3) 모든 공정에서 THMs 중 Chloroform > DBCM > DBCM의 농도 분포를 보이고 있으며, bromoform은 불검출로 조사되었다. THMs 중 Chloroform의 비율은 침전수, 여과수, 정수가 각각 0.88, 0.87, 0.73으로 조사되었으며 나머지 브롬계 THMs의 비율은 소독공정(정수)에서 0.27로 나타났는데 SUVA값의 저하에 기인한 것이다. 정수에서의 THMs/HAA₅ 비는 0.57이며 HAA₅가 THMs의 두배 정도 발생하고 있다.
- 4) 모든 공정에서 HAA₅ 중 TCAA > DCAA > DBAA 농도 분포를 나타내었고 MCAA와 MBAA는 불검출이었다. 정수에서의 HAA₅ 중 HAA₂의 분포 비율은 평균 90.4%로 높게 나타났으나 경우에 따라서는 비율이 50% 이하로 낮아지기도 하므로 HAA₅의 소독부산물관리는 DBAA를 추가하여야 할 것으로 판단된다.
- 5) 원수의 DOC 농도, SUVA, 수온과 정수의 THMs 및 HAA₅ 발생농도와의 연중변화를 full-scale에서 조사한 결과 원수의 DOC 농도 및 SUVA와 정수의 THMs 및 HAA₅ 발생농도 사이에는 뚜렷한 관련성이 없었으며, 원수의 수온과 THMs 및 HAA₅ 발생농도 사이에는 약한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다.
- 6) THMs의 종분포는 원수의 SUVA 및 수온보다 공정상의 SUVA값의 변화와 관련이 있는 것으로 판단되며, HAA₅의 종분포는 원수의 브롬농도 및 염소의 투입위치 및 투입량과 관련이 있는 것으로 판단된다.
- 7) 인위적인 오염원이 적은 하천수의 경우에 호소수보다 SUVA 값이 높으며, 그때의 정수에서의 THMs/HAA₅ 비율은 높아지고 발생량은 THMs와 HAA₅ 모두 줄어드는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 하천수의 취수비율을 높임으로써 소독부산물을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김태규(2007). 팔당댐 원수를 이용하는 정수장의 클로랄하이드레이트 생성특성. 석사학위논문, 서울시립대학교.
- 신초롱, 손진식, 정창호, 한지희(2007). 국내 정수장 유출수 소독부산물(THMs와 HAA₅)의 상관관계 연구. *공동추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 202-208.
- 이동석, 민병섭, 박선구, 김정화, 류재근(2004). 정수장에서 소독부산물의 생성특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **20**(1), pp. 55-62.
- Chang, E. E., Ching, P. C., Ko, Y. W., and Lan, W. H. (2001). Characteristics of organic precursors and their relationship with disinfection by-products. *Chemosphere*, **44**(5), pp. 1231-1236.
- Karanfil, T., Schlautman, M. A., and Erdogen, I. (2002). Survey of DOC and UV measurement practices with implications for SUVA determination. *J. of AWWA*, **94**(12), pp. 68-80.
- Pomes, M. L., Green, W. R., Thurman, E. M., Orem, W. H., and Lerch, H. E. (1999). DBP formation potential of aquatic humic substances. *J. of AWWA*, **91**(3), pp. 103-115.
- Zhou, H. and Xie, Y. F. F. (2002). Using BAC for HAA removal-part I : Batch study. *J. Am. Water works Assoc.*, **94**(4), pp. 194-200.