

## 관망에서의 소독부산물 변화와 관련 영향인자들의 상관관계 분석

# Variation of Disinfection-by-Product in Distribution System and Evaluation of Correlation between Disinfection-by-Product and Physico-Chemical Parameters

송영일 · 안수나 · 안성윤 · 서대근 · 조혁진 · 이재성 · 최일환 · 신창수 · 이희숙<sup>†</sup>  
Young Il Song · Suna Ann · Seoungyun Ann · Daeguen Seo · Hyukjin Cho  
Jaesung Lee · Ilwhan Choi · Changsoo Shin · Hee Suk Lee<sup>†</sup>

한국수자원공사  
K-water

(Received September 3, 2015; Revised October 21, 2015; Accepted February 17, 2016)

**Abstract :** The distributed systems managed by K-water were surveyed to study the characteristic of disinfection-by-product (Trihalomethans & Haloacetic acids) formation and the correlations between the concentrations of disinfection-by-product and physico-chemical parameters. Five distributed system were selected according to their water ages and the degree of deterioration of their pipelines. Total seven items including Trihalomethans (THMs), Haloacetic acids (HAAs), BDOC, DOC, pH, chlorine residual, and temperature were analysed in monthly basis. The concentration of organic matter were increased according to water age and pipeline deterioration in this study. The coefficient of determination between the decline of residual chlorine and the increase of water age was revealed as high. Also, the coefficient of determination between the decline rate of residual chlorine and the increase of the Trihalomethans concentration were studied as high. Furthermore the longer water age is the bigger the effect on Trihalomethans formation and temperature. However, the coefficient of determination between the concentration of Haloacetic acid and water age, residual chlorine, and temperature were revealed as low in this study.

**Key Words :** Trihalomethans (THMs), Haloacetic Acids (HAAs), Residual Chlorine, Residence Time of Water (Water Age)

**요약 :** 수도물 공급과정에서의 소독부산물 발생현황과 이와 관련된 수질 인자와의 상관성을 조사하여 소독부산물 발생특성을 규명하고자 K-water에서 관리하는 정수장의 수도물 공급과정 5개 계통에 대하여 조사를 실시하였다. 수도물 공급과정에서의 공급계통별 Water age 및 노후관 공급계통을 구분하여 조사대상을 선정하였으며, 소독부산물인 트리할로메탄 (THMs) 및 할로아세트에시드 (HAAs), 유기물 항목으로서 BDOC 및 DOC를 포함하여 7개 항목에 대해 월 1회 조사하였다. 조사결과 노후관계통 및 Water age가 길수록 공급과정 내 유기물 농도가 높아지는 경향성을 확인할 수 있었다. 소독부산물과 관련 영향인자들의 상관관계를 분석한 결과 계통별 잔류염소 감소와 Water age간 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 Water age와 THMs 생성간의 결정계수값이 매우 높아 THMs 생성에 Water age가 중요한 인자임을 알 수 있었다. 잔류염소 감소율이 THMs 증가에 미치는 영향 또한 매우 높게 나타났으며, Water age가 길어질수록 수온과 THMs 생성에 미치는 영향은 증가하는 것으로 나타났다. 이와 반면 HAAs는 THMs와는 달리 Water age, 잔류염소, 수온과의 상관관계 조사결과 결정계수 값이 낮게 나타났다.

**주제어 :** 총트리할로메탄, 할로아세트에시드, 잔류염소, 체류시간

## 1. 서론

우리나라 정수장에서 생산되는 정수의 품질은 세계 최고의 수준으로 향상되었고, 정수장 정수의 품질을 높이기 위해 고도 정수처리 도입, 기존 정수처리 공정에 대한 개선, 먹는 물 수질 기준의 강화 등, 다각적인 노력이 이루어지고 있다. 그럼에도 불구하고 수도물의 음용률은 세계적으로 낮은 수준에 머물러 있는 실정이고 수도물에 대한 불신도 상당히 높다. 대다수의 국민은 정수장에서 생산되는 정수는 깨끗하고 안전하다고 생각하나 급수과정을 통해 각 가정으로 공급되는 수도물에 대해서는 막연한 불안감을 가지고 있다. 또한, 수도꼭지에서 검출되기도 하는 이물질, 녹물, 냄새 등 다양한 수질문제로 인해 안심하고 수도물을 음용하는데 걸림돌로 작용하고 있는 실정이다. 또한 수도물을 마

시지 않는 이유로 조사대상 30% 이상이 물탱크나 낡은 수도관 문제, 이물질 등 공급과정의 수질오염 우려로 조사되기도 하였다(수도물 만족도 조사, 환경부, 2013).

정수장에서 생산되는 정수가 각 가정의 소비자 수도꼭지까지 도달하기 위해서는 배수지, 가압장 등 다양한 시설물을 거치고, 배·급수 관로의 유지관리방법이나 운전조건에 따라 수도물의 수질에 다양한 영향을 줄 수 있다. 그러나 현행 관망에서의 수질 관리는 배수지를 중심으로 법정 기준의 단순이행 수준으로 제한적인 관리가 이루어지고 있으며, 수도꼭지에서 발생하는 수질 문제와 발생 원인에 대한 종합적인 관리 및 실태파악은 미흡한 수준이다. 더욱이 수온이 높은 하절기에는 수도물 공급과정 중 잔류염소 농도 저하로 인한 미생물의 재성장 및 수온 상승에 따른 소독부산물의 증가로 인한 공급과정 및<sup>1-3)</sup> 수도꼭지<sup>4-7)</sup>에서의 수질

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: lovealga@kwater.or.kr Tel: 042-629-2031 Fax: 042-629-2079

저하 문제가 발생하고 있음에도 불구하고 공급과정에 대한 체계적인 수질조사가 미미하여 수질문제가 발생하였을 경우 이에 대한 해결을 위해 단편적으로 접근하여 왔다. 일부 연구에서는 소독부산물의 시, 공간적 거동 특성 분석을 통하여 이의 효율적인 제어방안에 대한 연구를 진행하였고, 그 결과 수도물 공급과정 별 체류시간에 따른 소독부산물의 증가 및 수온이 높은 하절기에 소독부산물이 증가하는 경향성을 보여 주기도 하였다.<sup>8-11)</sup> 또한, 여름철 고농도의 조류 발생과 더불어 야기되는 이취미 문제를 해결하고자 고도정수처리가 도입이 되었고, 이에 따른 소독부산물의 발생 특성을 조사하여 고도정수처리가 소독부산물의 발생에 미치는 영향을 조사하여 효율적인 정수처리 방안에 대한 연구를 진행하기도 하였다.<sup>12-14)</sup>

특히, 원수 중의 존재하는 유기물질과 정수처리 과정에 주입되는 소독제와의 반응으로 인해 생성되는 소독부산물은 인체에 위해성이 있는 것으로 알려져 있어<sup>15,16)</sup> 수도물 중 소독부산물의 생성을 최소화하기 위한 연구가 진행되기도 하였다.<sup>17,18)</sup> 또한, 상수원수에서의 소독부산물 생성능 평가를 통하여 유기물과의 상관관계를 고찰하여 소독부산물 저감을 위한 정수처리 공정 도입의 기초 자료로 활용하고자 하였으며,<sup>19)</sup> 소독부산물 생성과 관련된 수질의 물리화학적 인자에 대한 연구가 진행하여 이와의 상관성을 조사하여 소독부산물 생성 저감방안을 강구하기도 하였다.<sup>11,18,20)</sup>

본 연구에서는 K-water에서 관리하는 정수장의 수도물 공급과정에서의 공급계통별 체류시간에 따른 수도물 공급계통과 노후관을 중심으로 5개 공급 계통을 조사 대상지역으로 선정하였으며, 이에 대한 공급과정 수질 변화특성 및 소독부산물 발생과 관련한 영향인자를 조사하였다. 공급과정 별 소독부산물 발생 현황 및 이와 관련된 수질 인자와의 상관성을 조사하여 소독부산물 생성 특성을 규명하고자 하였으며, 이를 통하여 소독부산물 저감을 위한 정수처리 공정 개선 및 신규 정수처리 공정을 도입을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 조사지점

조사대상지는 수도물 공급지역 계통 총 5개 계통으로, Water age 72 hr 이내의 A광역, Water age가 72시간 이상의 급수계통인 D광역, F2광역, 20년 이상 노후관 계통으로 F1광역, J광역을 조사 대상지로 선정하였다. 각 계통별 송수관로, 배수지, 저수조, 옥내배관으로 조사 지점을 선정하였으며, A광역 및 D광역의 경우 7개 지점, F1광역과 J광역은 8개 지점을 선정하였고, F2광역의 경우 9개 지점을 조사지점으로 선정하였으며, 선정한 조사지점은 Table 1과 같다. F1광역의 배수관로는 배수지 이후 재염소 투입시설을 운영하고 있어 추가로 조사지점으로 선정하였다.

Table 1. Surveyed sites and water age (hr) of each site (\*WA: Water Age)

Classification			Clean water	Water supply	Pressure tank	Reservoir	Drain-age	Water tank	Interior piping	
A system	Line 1	Site	A1	-	A2	A3	A5	-	-	
							36,7	-	-	
	Line 2	WA*	0,0	-	2,0	12,0	22,9	-	24,4	69,3
D system	Line 1	Site	D1	-	D2	D3	D5	D6	D7	
							53,3	75,3	76,3	
	Line 2	WA	0,0	-	8,4	-	33,5	-	-	
FII system	Line 1	Site	FII1	FII2	FII3	FII4	FII6	FII7	FII9	
										30,3
	Line 2	WA	0,0	8,5	28,1	65,0	-	-	67,8	
FI system	Line 1	Site	FI1	FI2	FI3	-	FI4	-	FI6	FI8
							13,8	-	14,8	86,8
	Line 2	WA	0,0	5,6	6,9	-	-	25,0	-	49,0
J system	Line 1	Site	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J8	
							20,9	72,4	73,4	
	Line 2	WA	0,0	6,7	8,1	20,2	-	-	69,7	

### 2.2. 항목 및 조사 주기

조사 항목은 물리화학적 항목 등 총 7개 항목(DOC, BDOC, pH, 알칼리도, 잔류염소, 총트리할로메탄(THMs), 할로아세틱에시드(HAAs))에 대하여 조사를 실시하였다. 시료의 채수는 2014년 4월~10월까지 수행되었으며, 월 1회 빈도로 조사를 실시하였다. 시료의 채수는 무균채수병과 유리병을 이용하여 실시하였다. 소독부산물 분석 시료는 채수 시 전처리 시약을 투입하였다. 총트리할로메탄 분석의 경우 잔류염소 제거를 위한 아스코르빈산 또는 티오황산나트륨을 25 mg/40 mL, 할로아세틱에시드의 경우 염화암모늄 100 mg/L가 되도록 전처리 시약을 넣은 후 공간이 없도록 유리병에 채취하였다.

### 2.3. 분석방법

유기물(DOC) 조사는 기존 수처리 공정 및 고도처리공정에서 NOM의 분자크기 분포 변화에 따라 Direction injection mode를 이용한 Size Exclusion Chromatography (SEC)와 고감도의 유기탄소 검출기를 장착한 LC-OCD를 이용하여 분석하였다. 또한 BDOC 분석은 시료 100 mL에 원수 시료 1 mL을 접종한 뒤 13일간 반응시킨 후 반응시간 t=0와 t=13의 차이를 계산하여 농도로 환산하였다. pH는 시료를 비이커에 100 mL 분취하고 교반기로 혼합하여 주면서 pH meter의 유리전극을 충분히 잠기게 한 후 측정된 값을 기록하였다(먹는물 수질공정시험기준 ES 05306.1b). 알칼리도는 시료 100 mL를 삼각플라스크에 넣고 MR혼합지시약 수방

울을 가한 후 0.02N-황산용액으로 청색에서 적색으로 될 때까지 적정하였다. 잔류염소는 시료 10 mL을 분취하고 DPD 시약을 넣어 녹인 후 잔류염소측정기에 넣어 수치를 측정하였다(먹는물 수질공정시험기준 ES 05310.1a). THMs은 먹는물 수질공정시험방법 2011-21호 ES 05601.a 시험방법에 준하여 분석장비 GC (HP GC)로 분석하였으며, HAAs는 먹는물 수질공정시험방법 ES 05552.1에 준하여 분석장비 GC Varian CP-3800로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 물리화학적 항목

##### 3.1.1. 수소이온농도

정수처리공정에서 염소소독은 수중에서 HOCl과 OCl<sup>-</sup>를 생성하는데, 이와 관련하여 수도물의 pH가 8 이상 높아지면, OCl<sup>-</sup>의 농도가 증가해서 소독능이 저하되기 때문에 수도물의 pH를 5.8~8.5의 범위로 관리가 필요하다. 또한 pH는 관부식, 소독부산물의 생성, 맛·냄새에 영향을 끼칠 수 있으며, 공급과정 상의 금속부식, 시멘트관련 물질용출, 질산화, 무기물 침전 등의 물리·화학적 반응이 일어날 경우 pH에 영향을 미치므로 지속적인 감시가 필요한 항목이다. 노후관계통의 pH 조사결과는 6.3~7.6의 적정범위로 나타났다. J광역의 경우 하절기(6월~8월) 때 배수지를 비롯한 공급과정에서 6.3~6.8로 pH 값이 다소 낮아진 경향을 나타내었다. 그러나 전반적인 급수과정에서는 증감의 경향성을 나타내지 않았다.

##### 3.1.2. 알칼리도

계통별 알칼리도의 평균값은 F1광역은 25 mg/L, J광역은 26 mg/L으로 나타나는 등 원수 수질에 따른 변화를 보여 주었으며, 공급과정에서의 변화폭은 적은 것으로 나타났다.

##### 3.1.3. 유기물 농도(BDOC 및 DOC)

5개 광역에 대한 BDOC를 조사한 결과 검출범위는 평균 39~78 µg/L(정량한계: 50 µg/L)로 나타났으며 전반적으로 낮은 농도로 검출이 되었으며, 계통별 또는 급수과정 별 특이적인 경향성을 파악하기 어려웠다. 용존 유기탄소인 DOC 조사결과는 982~1,223 µg/L로 나타났으며, A광역은 평균 1,011 µg/L, D광역 및 F2광역은 1,056 µg/L, J광역과 F1광역은 1,163 µg/L로 나타났다. 각각의 계통에 대한 지점별 평균값으로서 노후관 계통(J광역 및 F1광역)보다 다소 높게 검출이 되었으며, Water age가 72시간 이상인 계통(D광역 및 F2광역)이 72시간 이하인 계통(A광역) 보다 높은 농도로 검출이 되어, 노후관일수록 그리고 체류시간이 길수록 공급과정 내 유기물 농도가 높은 경향성을 확인할 수 있었다. 그러나, 급수과정별 또는 시기별 조사결과에 대한 특이적인 경향성은 확인할 수 없었다.

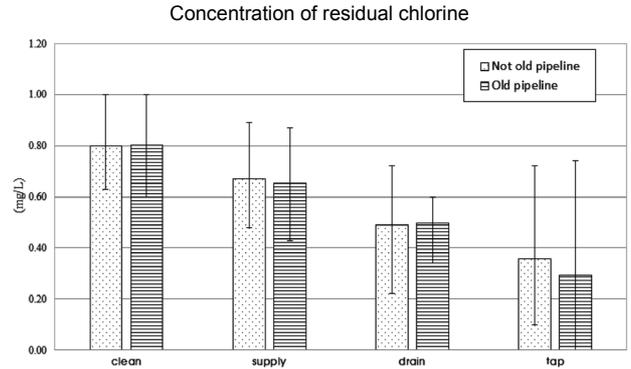


Fig. 1. Variation of the concentration of residual chlorine in distributed system. Dotted box: recently installed pipeline, lined box: old pipeline. Line bar shows standard deviation.

#### 3.2. 잔류염소

잔류염소는 염소처리 결과 수중에 잔류하는 유효염소를 말하며, 차아염소산 등의 유리형 유효염소(유리잔류염소)와 클로라민과 같은 결합형 유효염소(결합잔류염소)로 구분된다. 염소소독은 수중의 병원균 살균으로 수인성 질병을 예방하는 효과가 뛰어나고 가격이 저렴하여 소독제로 널리 사용되고 있으나, 염소 냄새, 소독부산물 최소화, 적정 소독능 유지를 위하여 관리가 필요한 항목이다. 수질 법정기준은 정수장 4.0 mg/L 이하, 수도꼭지 0.1 mg/L 이상이다.

4월부터 10월까지 매월 1회씩 총 7회에 걸쳐 분석한 데이터를 토대로 정수장부터 수도꼭지까지 잔류염소 변화 요인 및 특성, 관리수준을 파악하는 등의 수질조사를 실시하였다. 정수지 유출측 정수의 유리 잔류염소 농도조사 결과 A, D, F1광역은 평균 0.80 mg/L, 노후관 계통인 F2, J광역 또한 평균 0.80 mg/L으로 유사하지만, 공급과정상의 유리잔류염소 농도를 비교해보면 Fig. 1과 같이 노후관 계통의 관말에서 잔류염소 농도가 타 조사계통에 비하여 더 감소하는 경향을 나타냈다.

Table 2와 Fig. 2에서 Water age가 잔류염소 감소에 미치는 영향을 조사한 결과 결정계수가 0.818~0.972의 범위로 나타나 잔류염소 감소와 Water age간의 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났다. 또한, 4개의 광역상수도 관망에서의 시간당 잔류염소감소율은 -0.0061~-0.0208 mg/L·hr로 나타났다. 4개의 광역상수도 중에서 노후관에 해당하는 J광역의 관말 잔류염소농도가 타 광역보다 현저히 낮아 이송과정

Table 2. Reduction ratio of residual chlorine and coefficient of determination between residual and water age (R<sup>2</sup>)

Distribution system	Reduction ratio of the concentration residual chlorine (mg/L/hr)	Coefficient of determination: residual chlorine · water age (R <sup>2</sup> )
A system	-0.0208	0.961
D system	-0.0107	0.818
F2 system	-0.0061	0.915
J system	-0.019	0.972

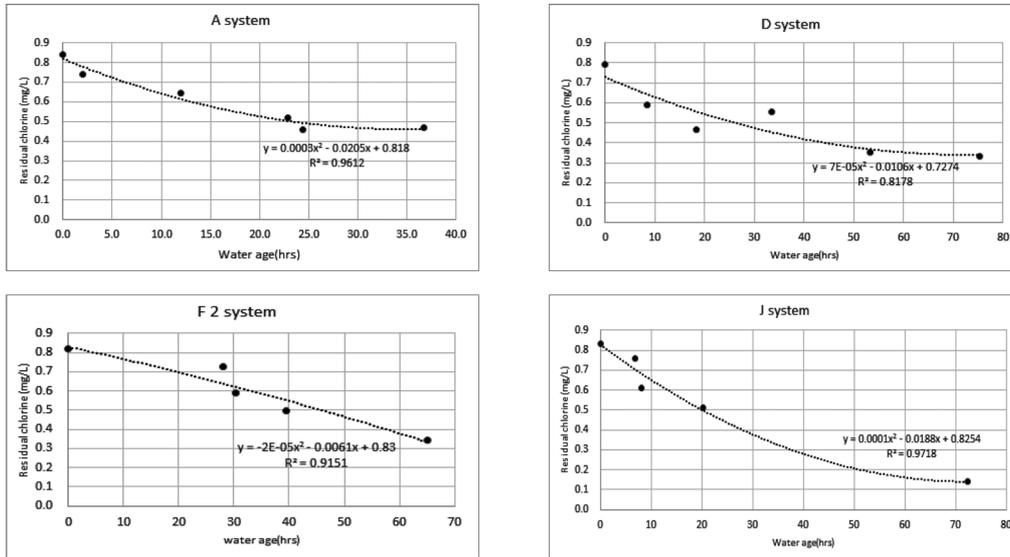


Fig. 2. Variation of the concentration of residual chlorine according to the water age in each system (A, D, F2, J). Dotted line shows trend line, and  $R^2$  shows coefficient of determination.

상에서의 잔류염소 소비가 높음을 알 수 있었다. 이는 정수장 유출 잔류염소농도가 0.8 mg/L로 동일 수준을 고려할 때, 4개의 광역상수도 관망에 사용된 관의 종류 및 매설년도 등에 따라 관벽감소계수 차이 그리고 처리된 물에 남아 있는 유기물농도 등에 따른 수체반응계수 차이 등의 영향으로 잔류염소감소율의 차이가 나타난 것으로 판단된다.

### 3.3. 소독부산물 THMs

#### 3.3.1. 총트리할로메탄(THMs)

염소의 잔류성은 음용수의 소독제로서 강력한 산화력을 갖는 오존보다 오랜 기간 널리 사용되어 온 이유이기도 하지만, 상수원수에 포함되어 있는 천연 유기물질과 반응하여 인체에 유해한 다양한 소독부산물을 생성시킨다. 그 중 클로로포름,

브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 브로모포름 네 가지의 화합물을 총칭하여 총트리할로메탄(Total Trihalomethanes, THMs)이라 하며 인체 발암성을 고려하여 정해진 수질항목으로써, 법적 수질기준은 0.1 mg/L 이하로 설정되어 있다. THMs의 생성정도는 반응시간이 길수록, pH가 높을수록, 유기물의 농도가 높을수록, 체류시간이 길수록 높아지므로, 수질에 영향을 미칠 수 있는 배수관망의 운영관리가 필요하다.<sup>18-20)</sup> 조사대상 지점의 Water age에 따른 THMs 조사결과 정수장에서는 평균 0.021 mg/L, 공급과정에서의 THMs은 0.010~0.062 mg/L 범위로 검출되었다. 관망로 갈수록 THMs이 다소 증가되는 경향을 보였으나 법적 기준에는 모두 적합하였다.

#### 3.3.1.1. Water age가 THMs 생성에 미치는 영향

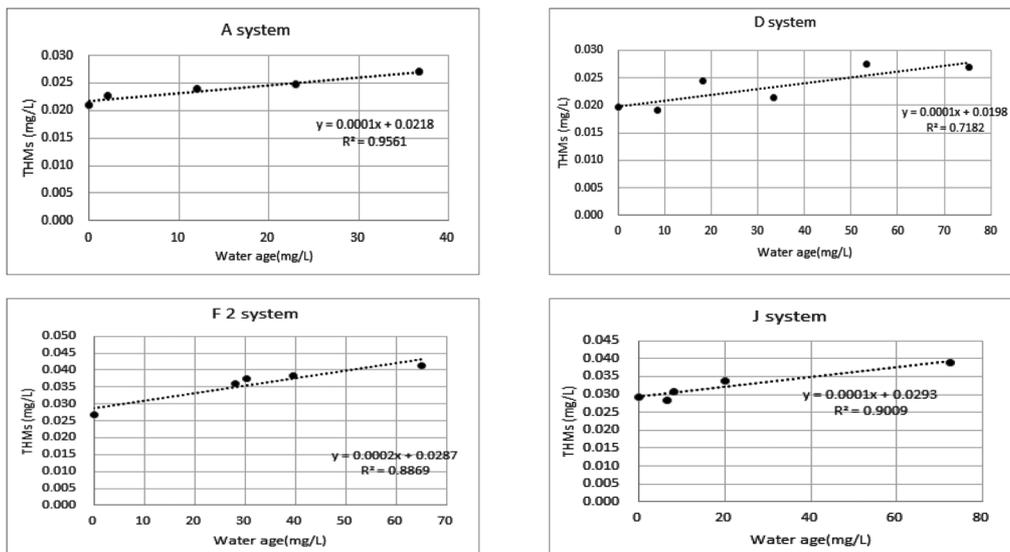


Fig. 3. Variation of THMs concentration according to water age in each system (A, D, F2, J). Dotted line shows trend line, and  $R^2$  shows coefficient of determination.

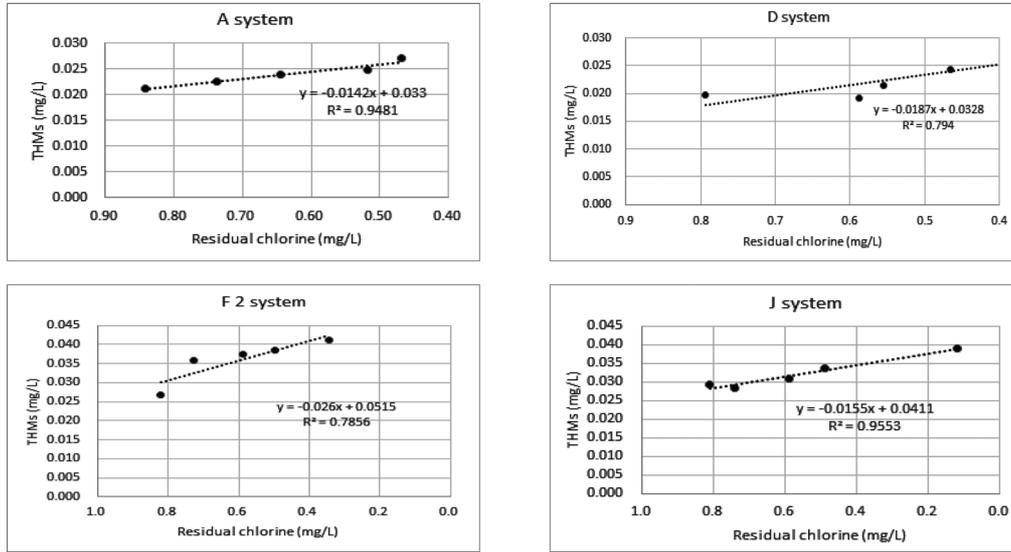


Fig. 4. Variation of the THMs concentration according to the variation of the residual chlorine. Dotted line shows trend line, and  $R^2$  shows coefficient of determination.

4개 광역상수도에서 Water age가 1시간 증가할 때마다 THMs 증가율은 0.0001~0.0002 mg/L로 거의 유사하게 나타났다 (Fig. 3). Water age와 THMs 생성간의 결정계수값이 0.718~0.956으로 매우 높아 THMs 생성에 Water age가 매우 중요 인자임을 알 수 있었다. Water age가 72시간 이내인 A계통이 Water age가 72시간 이상인 F2계통 및 노후관 계통인 J계통보다 관망에서의 농도가 낮은 것으로 조사되었다.

### 3.3.1.2. 잔류염소가 THMs 생성에 미치는 영향

잔류염소농도가 0.1 mg/L 감소할 때마다 THMs 증가율 범위는 0.00142~0.00260 mg/L로 조사되었다. 또한 잔류염소 감소율이 THMs 증가에 미치는 영향을 나타내는 결정계수 값의 범위는 0.786~0.948로 매우 높게 나타났다(Fig. 4).

특히 F2광역의 THMs 증가율은 다른 광역상수도에 비해 약 28~45%로 더 높게 나타나 체류시간 증가에 따른 THMs 증가율과 동일한 현상을 보여주었다. 이는 F2광역 정수의 유기물농도가 다른 계통보다 높은 것에서 기인하였을 것으로 사료된다. 또한, Water age와 잔류염소와 관련된 4개 광역상수도의 평균 결정계수값이 각각 0.866, 0.871로 두 값이 유사하게 나타나 THMs 생성에 미치는 영향이 거의 동일한 수준인 것으로 나타났다. Amy<sup>21)</sup>에서 제안한 DOC 기반의 예측모델식에 따르면 염소와 체류시간의 계수값이 각각 0.261, 0.264로 THMs에 미치는 정도가 유사하게 조사되었다. 또한 EPA<sup>21)</sup>에서 제시한 DOC/UVA기반의 예측모델식에서 염소와 체류시간의 계수값이 각각 0.225, 0.264로 유사하게 나타나 이를 뒷받침해주고 있다.

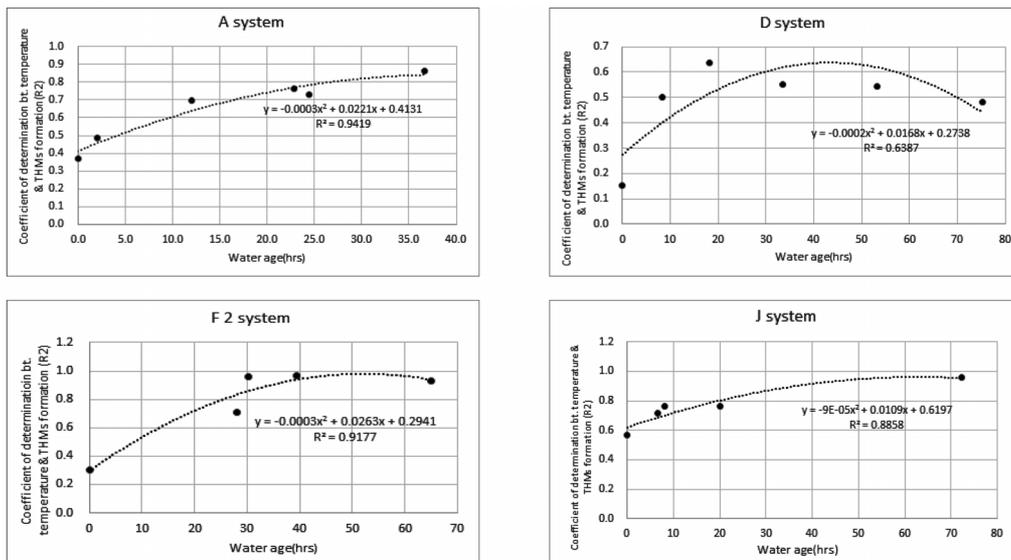


Fig. 5. Variation of the coefficient determination between water temperature and THMs formation according to water age. Dotted line shows trend line, and  $R^2$  shows coefficient of determination.

**Table 3.** Coefficient of determination between water temperature and THMs formation in each site of A, D, F2, J system

(a) A system

Sites	Residence time (hr)	Residual chlorine (mg/L)	Coefficient of determination ( $R^2$ )
A-St1	0.0	0.84	0.3675
A-St2	2.0	0.74	0.4856
A-St3	12.0	0.65	0.6958
A-St4	36.7	0.47	0.8623
A-St5	22.9	0.52	0.7602
A-St6	24.4	0.46	0.7274

(b) D system

Sites	Residence time (hr)	Residual chlorine (mg/L)	Coefficient of determination ( $R^2$ )
D-St1	0.0	0.79	0.154
D-St2	8.4	0.59	0.500
D-St3	33.5	0.56	0.5502
D-St4	18.3	0.47	0.638
D-St5	53.3	0.35	0.545
D-St6	75.3	0.33	0.482

(c) F2 system

Sites	Residence time (hr)	Residual chlorine (mg/L)	Coefficient of determination ( $R^2$ )
F2-St1	0	0.82	0.3021
F2-St2	28.1	0.73	0.7094
F2-St3	30.3	0.59	0.9609
F2-St4	39.5	0.50	0.9639
F2-St5	65	0.35	0.9308

(d) J system

Sites	Residence time (hr)	Residual chlorine (mg/L)	Coefficient of determination ( $R^2$ )
J-St1	0	0.830	0.5711
J-St2	6.7	0.760	0.713
J-St3	8.1	0.610	0.7653
J-St4	20.2	0.510	0.7622
J-St5	72.4	0.140	0.9562

### 3.3.1.3. 체류시간과 수온의 영향

수온과 THMs 생성의 상관관계에 Water age가 미치는 영향을 조사한 결과, Water age가 길어질수록 수온이 THMs 생성에 미치는 영향은 증가하였으며 Water age와 수온 · THMs 생성결정계수 간의 결정계수 범위는 0.639~0.942(평균: 0.847)로 매우 높게 나타났다(Fig. 5). 이러한 현상은 관로가 Plug flow 흐름으로 시간이 지나면서 수류적 안정성이 증가하고 잔류염소농도 감소로 인하여 THMs 생성에 미치는 영향이 상대적으로 감소함에 따라 수온의 영향이 커진 것으로 판단된다. 특히, Water age가 40시간까지는 지속적으로 수온이 THMs에 미치는 영향이 증가하다가 40시간 이후부터는 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 Water age가 12시간 이상이 되면  $R^2$  값이 0.6 이상으로 나타나 12시간 이상에서는 수온이 THMs 생성에 미치는 영향이 커지는 것을 알 수 있었다(Table 3).

정수지 유출지점(Water age "0")에서 수온 · THMs 생성 결정계수값이 A 및 J광역이 상대적으로 D 및 F2광역보다 높게 나타난 것은 정수지 수류 혼화조건이 더 양호한 것에서 기인한 것으로 판단된다.

### 3.3.2. 할로아세틱에시드(HAAs)

소독부산물 중 할로아세틱에시드(HAAs)는 디클로로아세트산, 트리클로로아세트산, 디브로모아세트산 등 3종이 합해져 지정되어 있으며, 법적 수질기준은 0.1 mg/L 이하로 설정되어 있다. 할로아세틱에시드는 총트리할로메탄과는 달리 공급과정에 따른 증가 현상은 찾을 수 없었으며, 계통별로 값의 차이가 다소 있었다. 이는 상수원수에 존재하는 유기물을 정수처리 공정에서 제거하거나 분획화 정도에 따라 정수에서의 값의 차이가 발생한 것으로 사료된다.

### 3.3.2.1. Water age가 HAAs 생성에 미치는 영향

Water age가 HAAs 생성에 미치는 영향을 조사한 결과 Water age와 HAAs 농도 간의 결정계수 값이 0.476, 0.232로 낮아 Water age를 통해 HAAs농도 증가 경향성을 정량적으로 예측하기는 어려운 것으로 사료된다(Fig. 6(a), (b)). Water age와 HAAs농도 증가간의 상관성이 낮게 나타나는 이유는 공급과정 잔류염소 농도 범위가 0.2~0.8 mg/L로 나타나는 관망에서는 HAAs 생성과 생분해가 유사한 속도로 진행되어 Water age 증가하더라도 HAAs가 증가하거나 감소하는 경향성을 갖지 않은 것으로 판단된다.<sup>22)</sup>

### 3.3.2.2. 잔류염소가 HAAs 생성에 미치는 영향

잔류염소 농도가 HAAs 생성에 미치는 영향을 조사한 결과, 잔류염소 감소량과 HAAs 농도 증가 간의 결정계수가 0.325, 0.466으로 Water age의 영향과 유사한 것으로 조사되었으며 THMs 농도 증가에 비해 낮게 나타났다(Fig. 6(c), (d)). 상관성이 낮은 이유는 3.3.2.1에 언급한 사유와 동일한 것으로 판단된다.

### 3.3.2.3. 체류시간과 수온의 영향

수온과 HAAs 농도간의 결정계수 값이 THMs과 달리 낮고 Water age가 증가하면서 감소하다 다시 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 6(e), (f)). 수온과 HAAs 생성 간에 결정계수는 낮게 나온 반면 Water age와 수온 · HAAs생성결정계수간의 상관성은 높게 나타났다. J광역의 경우, THMs과 같이 정수지 유출부에서 수온 · HAAs 생성결정계수 값이 높게 나타나고 있다. 또한 Water age가 40시간 정도에서 THMs 생성은 둔화되는 반면 HAAs은 다시 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서, 향후 Water age · 수온에 의해 THMs와 HAAs 농도변화에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

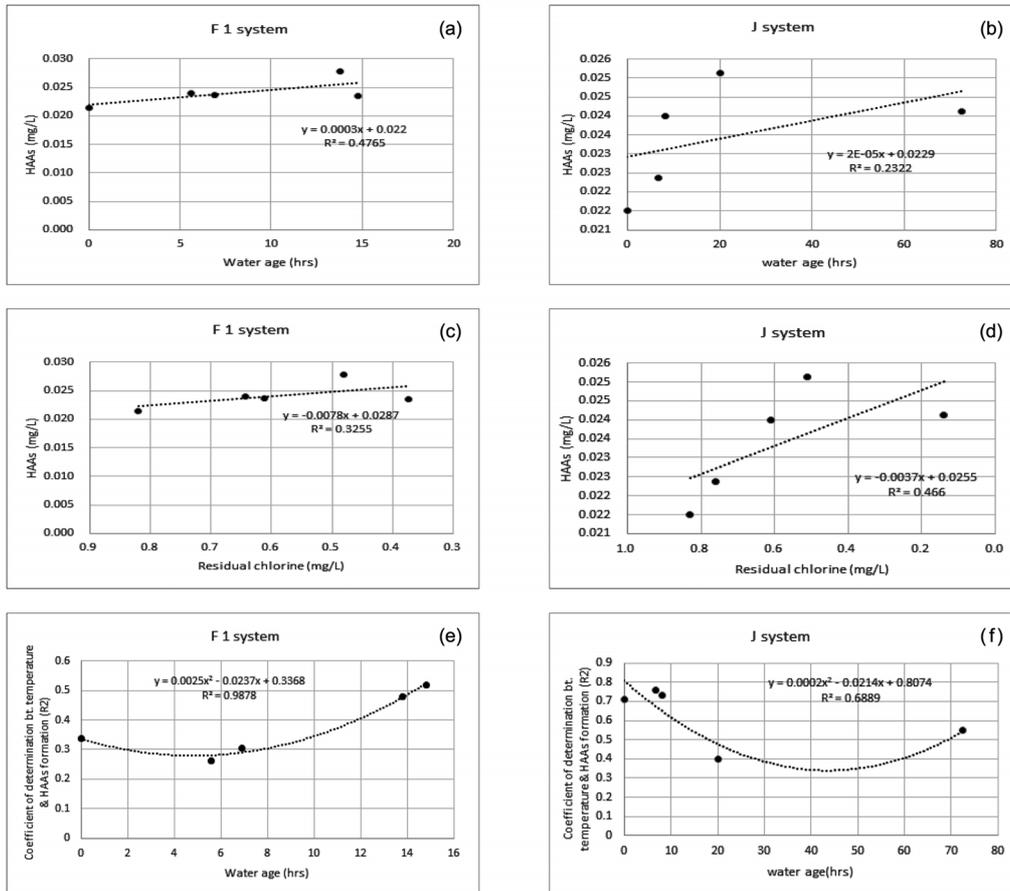


Fig. 6. The variation of HAA5 according to water age in F1 and J system (a, b), the variation of HAA5 concentration according to residual chlorine in F1 and J system (c, d), the variation of coefficient determination between temperature and HAA5 formation according to water age (e, f). Dotted line shows trend line, and  $R^2$  shows coefficient of determination.

Table 4. The coefficient of determination between water temperature and HAA5 formation

(a) F1 system

Sites	Residence time (hr)	Residual chlorine (mg/L)	Coefficient of determination ( $R^2$ )
F1-St1	0	0.82	0.3391
F1-St2	5.6	0.64	0.2630
F1-St3	6.9	0.61	0.3062
F1-St4	13.8	0.48	0.4806
F1-St5	14.8	0.37	0.5199

(b) J system

Sites	Residence time (hr)	Residual chlorine (mg/L)	Coefficient of determination ( $R^2$ )
J-St1	0	0.830	0.7109
J-St2	6.7	0.760	0.7597
J-St3	8.1	0.610	0.7344
J-St4	20.2	0.510	0.3972
J-St5	72.4	0.140	0.5469

#### 4. 결론

- 1) 노후관계통 및 Water age가 길수록 공급과정 내 유기물 농도가 높아지는 경향성을 확인하였다.
- 2) 조사한 5개 광역상수도 계통별 잔류염소 감소와 Water age간 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났다.
- 3) Water age와 THMs 생성간의 결정계수값이 높아 THMs 생성에 Water age가 중요한 인자임을 알 수 있었다.
- 4) 잔류염소 감소율이 THMs 증가에 미치는 영향도 매우 높았고, Water age가 길어질수록 수온과 THMs 생성간에 미치는 영향이 증가하였다.

5) HAA5는 Water age, 잔류염소, 수온과의 상관관계 조사결과 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

KSEE

#### References

1. Jung, C. H. and Sohn, J. S., "A study on disinfection by-product THMs, HAA5) formation & predicted modeling in water distribution system," in proceeding of the annual meeting of Korean Society on Water Quality, EXCO, Daegu, pp. 1143~1150(2006).

2. Chang, H. S., Lee, D. W., Kim, C. M., Lee, I. S., Lee, S. W. and Park, H., "Characteristics of Disinfection By-products in Tap Water of Seoul," *Korean Chem. Eng. Res.*, **44**(2), 216~226(2006).
3. Lee, S. H. and Kim H. G., "Variation of the Concentrations of Disinfection By-Products in a Municipal Water Supply System," in proceeding of the annual meeting of Korean Society on Water Quality, Korea University, Seoul, pp. 133~136(1999).
4. Shin, D. C., Chung, Y., Choi, Y. H., Kim, J. S., Park, Y. S., Kum, H. J. and Jeon, H. K., "Assessment of Disinfection By-Products in Drinking Water in Korea," *Korean Environ. Toxicol.*, **16**(1), 1~8(2001).
5. Chang, H. S., Lee, D. W., Kim, C. M., Lee, I. S. and Park, H., "Characteristics of Disinfected Byproducts in Tap Water of Seoul," *J. Inst. Ind. Technol.*, **12**, 97~102(2004).
6. Lee, J., Kim, E. S., Kim, K. R., Chung, S. N., Lee, M. H., Eom, S. W. and Zoh, K. D., "Characteristic of Occurrence of Disinfection Byproducts (DBPs) in Tap Water Supplies in Seoul," in proceeding of the annual meeting of Korean Society on Water Quality, Songdo Convensia, Incheon, pp. 483~484(2009).
7. Williams, D. T., LeBel G. L. and Benoit, F. M., "Disinfection By-Products in Canadian Drinking Water," *Chemosphere*, **34**(2), 299~316(1997).
8. LeBel, G. L., Benoit, F. M. and Williams, D. T., "A One-Year Survey of Hlogenated Disinfection By-Products in The Distribution System of Treatment Plants Using Three Different Disinfection Processes," *Chemosphere*, **34**(11), 2301~2317(1997).
9. Rodriguez, M. J., Serodes J. B. and Levallois, P., "Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system," *Water Res.*, **38**, 4376~4382(2004).
10. Wei, J., Ye, B., Wang, W., Yang, L., Tao, J. and Hamg, Z., "Spatial and temporal evaluations of disinfection by-products in drinking water distribution systems in Beijing, China," *Sci. Total Environ.*, **408**, 4600~4606(2010).
11. Rodriguez, M. J. and Serodes, J., "Spatial and Temporal Evolution of Trihalomethanes in Three Water Distribution Systems," *Wat. Res.*, **35**(6), 1572~1586(2001).
12. Park, H. A., Lee, D. J., Kim, Y. I., Kim, J. H. and Kim, S. S., "Variation of Residual Chlorine Decay and THM Formation by Characteristic Change of Organic Matters in Advanced Treatment Process," in proceeding of the annual meeting of Korean Society on Water Quality, EXCO, Deagu, p. 96~105(2006).
13. Kim, J. S., Choi, Y. W. and Chung, Y., "DBPs Variation by Chlorination and Preozonation in Drinking Water," *J. Korean Soc. Water Qual.*, **21**(6), 676~681(2005).
14. Park, J. H., Lee, J. B., Park, S. M., Lee, Y. H. and Ahn, K. H., "Occurance Characteristic of DBPs in Major Water Treatment Plants," In proceeding of the annual meeting of Korean Society on Water Quality, EHRD, Incheon, pp. 573~574(2011).
15. Chung, Y., Shin, D. C., Yang, J. Y., Park, Y. S. and Kim, J. S., "Health Risk Assessment of Disinfection By-products by Chlorination In Tap Water Ingestion," *Korean J. Environ. Toxicol.*, **12**(3-4), 31~41(1997).
16. Hwang, S. H., Kwon, W. Y., Kim, H. K., Kim, T. S., Kim, S. K., Choi, J. H. and Pyo, H. S., "Monitoring and Risk Assessment of Disinfection By-products Found in Chlorinated Drinking Water in Korea," *J. Korean Soc. Environ. Anal.*, **13**(1), 11~20(2010).
17. Ka, G. H., Bae, M. H., Lee, J. H., Ahn, C. H., Han, I. S. and Min, B. D., "A Study on Characterization of Formation and Reduction of THMs in Water Treatment Process," *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **30**(7), 721~728(2008).
18. Lee, D. A., Lee, H. H., Yang S. I., Kim, K. S., Kim, Y. G., Lee, J. I. and Heo, N. C., "A Study to Minimize Chlorination Disinfection By-products in Tap Water," in proceeding of the annual meeting of Korean Society on Water Quality, Kimdaejung Convention Center, Gwangju, pp. 130~139(2005).
19. Cho, S. J., Peung, J. I., Jung, K. Y., ahm, D. H. and Shim, M. J., "Evaluation on Trihalomethanes (THMs) Formation Potential in Raw Water," *J. Korea Soc. Environ. Admin.*, **15**(1), 7~15(2009).
20. Chung, Y. and Kim, J. S., "The Effect of Physical Chemistry Factors on Formation of Disinfection by-products," *Korean J. Environ.*, **14**(10), 965~972(2005).
21. Amy, T., Siddiqui M., Ozekin K. and Zhu, H. W., Empirically based models for predicting chlorination and ozonation by-product, USEPA Office of Groundwater and Drinking water, Cincinnati, OH(1998).
22. Baribeau, H., Boulos, L., Hailelessie, H., Crozes, G., Singer, P., Nichols, C., Schelsinger, S., Gullick, R., Williams, S., Williams, R., Fountleroy, L., Andrews, S. and Moffat, E., Formation and Decay of disinfection by-products in the distribution system, AwwaRF & EPA(2006).