서울시 정수장의 THMs 생성과 관련된 한강 원수의 주요 수질 특성 조사 Characteristics of Water Quality Parameters of Han River Related to THMs Formation in Water Treatment Plants in Seoul

이진호 · 이기선* · 황동연* · 이만호* · 한선희* · 박용상* · 이목영** · 이진숙*** · 구자용†

Jinhyo Lee · Kiseon Lee* · Donghyun Hwang* · Manho Lee* · Sunhee Han*

Yongsang Park* · Mokyoung Lee** · Jinsook Lee*** · Jayong Koo†

서울시립대학교 환경공학과 · *서울특별시 상수도연구원

서울특별시 보건환경연구원 · *인천광역시 보건환경연구원

Department of Environmental Engineering, University of Seoul

*Waterworks Research Institute, Seoul Metropolitan Government

**Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

***Institute of Public Health and Environment, Incheon Metropolitan City

(2011년 8월 26일 접수, 2011년 12월 30일 채택)

Abstract : In a study on THMs formation at the distribution facilities in Seoul water supply for past 3 years from 2007 to 2009, THMs production was increased from inlet to outlet during the process in water treatment plant. However, such increased THMs amount was very small compared to THMs production formed after pre-chlorination and post chlorination. Accordingly, this study is aimed to investigate the characteristics of water quality parameters of Han River related to THMs formation in 6 water treatment plants in Seoul. The results showed that THMs and other factors such as temperature ($r = 0.539 \sim 0.846$) and turbidity ($r = 0.421 \sim 0.863$) had positive correlation while THMs had negative correlation with pH ($r = -0.613 \sim -0.800$) and algae ($r = -0.582 \sim -0.901$). There is no correlation between THMs and $\text{NH}_3\text{-N}$. According to the factor analysis, generally metabolite and organic matter factor X_1 (pH, BOD, algae), and seasonal and natural factor X_2 (temperature, turbidity) played an important role in the formation of THMs. Multiple regression analysis for THMs formation showed significance of regression appeared in most water systems.

Key Words : Distribution, THMs, Correlation Analysis, Factor Analysis, Han River

요약 : 2007년에서 2009년까지 3년간 서울시 급수과정별 시설에서의 THMs 생성특성 조사에서, 정수장 이후의 급수과정별 시설 즉, 배수지 전·후, 유입부, 가압장, 관말지역으로 갈수록 THMs 생성량은 증가하였지만 그 증가량은 전염소처리 및 후염소처리 후 정수지 체류과정에서 이미 생성된 THMs량에 비해 작은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 서울시 6개 정수장의 THMs 생성 특성 및 영향인자인 정수장 송수관류염소, 한강 원수의 여러 수질항목 특성을 조사하였다. 6개 정수장 전체자료($n = 72$)에 대하여 THMs와 다른 항목간의 상관성 분석결과, 수온($r = 0.539 \sim 0.846$), 탁도($r = 0.421 \sim 0.863$)는 양(+)의 상관성을, pH ($r = -0.613 \sim -0.800$), 조류($r = -0.582 \sim -0.901$)는 음(-)의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, 원수의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 THMs와의 상관성이 크게 없는 것으로 나타났다. 또한 요인분석을 실시한 결과, 전반적으로 물질대사 및 유기물 관련 요인 X_1 (pH, BOD, 조류), 계절적·자연적 변동요인 X_2 (수온, 탁도)가 다른 항목들에 비해 정수장에서의 THMs 생성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 THMs에 대한 다중회귀분석을 실시한 결과, 일부 수계를 제외한 다른 모든 수계에서 회귀식의 유의성을 확인할 수 있었다.

주제어 : 급수과정, THMs, 상관분석, 요인분석, 한강

1. 서론

상수원수는 수계의 지리적인 조건이나 주위 환경과 갈수기, 홍수기 등 계절적인 영향에 따라 다양한 특성을 갖는다. 정수장에서는 원수수질 변화에 따라 응집·여과, 활성탄 흡착, 전염소처리, 염소소독, 고도처리 등 정수처리를 탄력적으로 운영함으로써 수돗물의 안전한 수질관리 및 고급화에 힘쓰고 있다. 특히 정수처리 최종 단계에서 실시하는 소독공정을 통해 병원성 미생물을 불활성화하고 수인성 전염병을 예방하고 있다. 하지만 소독공정의 대표적인 염소소독은 수중의 유기물과 반응하여 발암성 물질인 소독부산물(DBPs)

을 생성시키는 등 부차적인 문제가 있다. 대표적인 소독부산물인 THMs는 비노기계와 소화계통 암의 발생과 관련이 높은 것으로 알려지고 있으며, USEPA는 인간에게 발암가능성이 있는 물질로 분류하였다(IARC, 2008; USEPA, 1999). 이러한 소독부산물 THMs에 대한 각국의 규제나 권위 있는 기관의 가이드라인 값을 살펴보면, 국내는 THMs에 대하여 $100 \mu\text{g/L}$ 의 기준 값을 가지고 있고(환경부, 2002), 미국에서는 THMs이 $80 \mu\text{g/L}$ 의 기준 값을 가지고 있다. WHO는 THM 총합에 대해서는 각각의 가이드라인 값 비율의 합이 1을 넘지 않도록 하고 Chloroform 0.2 mg/L , Bromoform 0.1 mg/L , DBCM 0.1 mg/L , BDCM 0.06 mg/L 로 각각에 대해

† Corresponding author E-mail: co90mp@seoul.go.kr Tel: 02-570-3175 Fax: 02-570-3177

서 기준을 설정하였다(WHO, 2004). 이처럼 소독부산물에 대한 설정 기준은 각 지역이나 국가의 소독부산물 발생현황, 위해성 평가 결과, 처리능력 등에 따라 다양한 기준 값을 가지고 관리하고 있다.

한편 서울시에서는 “먹는물 관리법 제5조” 및 “먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 제4조”에 의거하여, 잔류염소, 탁도, THMs 등 총 11개 항목에 대해서 주배수지 단위로 급수과정별 시설에서의 수질검사를 실시하고 있다.¹⁾ 이는 정수장에서 생산된 수돗물이 배수지, 가압장을 거쳐 관말 수도꼭지까지 공급되는 과정에서 수질변화를 감시 및 추적함으로써 서울시 수돗물의 안전한 수질관리 및 수질관리 최적화를 위한 필수적인 과정이다. 이에 따라 2007년에서 2009년까지 3년간 서울시 급수과정별 시설에서의 THMs 생성 특성을 살펴보면, 정수장 이후의 급수과정별 시설 즉, 배수지 전·후, 유입부, 가압장, 관말지역으로 갈수록 THMs 생성량은 증가하였지만 그 증가량은 전염소처리 및 후염소처리 후 정수지 체류과정에서 이미 생성된 THMs량에 비해 작은 것으로 나타났다.²⁾

따라서 본 연구에서는 대부분의 THMs는 이미 정수장에서 원수 수질에 따른 전염소처리, 응집, 후염소처리 등 송수 이전의 과정에서 생성되는 것으로 판단하여, 서울시 6개 정수장에서의 THMs 생성 및 이에 영향을 주는 정수장 송수잔류염소, 한강 원수의 여러 수질항목 특성을 분석하고, 이를 통해 각 정수장에서 생성된 THMs와 여러 항목간의 상관관계를 연구하여³⁻⁶⁾ 향후 THMs를 저감하기 위한 수질관리에 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

본 연구의 대상지역인 서울시 전체 급수현황을 살펴보면,

2008년을 기준으로 서울시 전체 급수인구는 10,456,034명, 연간 급수사용량 1,111,690,000 m³, 일일급수량은 3,252,788 m³/일이고, 1인1일당 급수량은 311 L이었다. 또한 상수도관 관련 연장길이는 총 13,943 km로 도수관 56 km, 송수관 532 km, 배수관 9,870 km, 급수관 3,485 km으로 이루어져 있다 (Table 1). 한편 서울시 수돗물 생산은 강북아리수정수센터 등 6개 정수센터에서 담당하고 있으며, 연구기간 동안의 생산량은 각각 1,219,226,000 m³, 1,210,624,000 m³, 1,194,291,000 m³으로 조사되었다(Fig. 1, Table 1 and 2).

본 연구에서는 한강 6개 수계의 취수장 및 정수장을 대상으로, 2007년에서 2009년까지 3년간의 취수장 자료는 서울시 워터나우(Seoul Water-NOW 2.0)를, 정수장 자료는 수질 검사팀이 분기별로 직접 채수한 결과값을 이용하였다(Fig. 2 and 3).

Fig. 1. The location and productions of 6 water treatment plants.

Table 1. The waterworks status of Seoul (2008)

Item	Population (person)	Serviced population (person)	Water supply rate (%)	Amount of water supplied (m ³ /d)	Water supply amount (1,000 m ³)	Lpcd (L)	Number of faucets (ea)	Public water pipe (km)
Status	10,456,034	10,456,034	100	3,252,788	1,111,690	311	1,958,085	13,943

Table 2. The waterworks capacity and actual output by water treatment plants (2007~2009)

	Year	Total	Gwangnam	Gangbuk	Amsa	Guui	Ttukdo	Yeongdeungpo
2007	Capacity (m ³)	5,100,000	800,000	1,000,000	1,600,000	650,000	750,000	300,000
	Intake (m ³ /d)	3,415,962	226,930	699,932	1,105,848	530,569	515,286	337,531
	Production (m ³ /d)	3,340,377	221,658	695,952	1,089,711	507,910	500,042	325,104
2008	Capacity (m ³)	5,100,000	800,000	1,000,000	1,600,000	650,000	750,000	300,000
	Intake (m ³ /d)	3,383,496	230,813	726,209	1,158,233	532,478	496,576	239,186
	Production (m ³ /d)	3,307,715	224,873	721,502	1,139,312	502,473	483,548	236,008
2009	Capacity (m ³)	5,100,000	800,000	1,000,000	1,600,000	650,000	750,000	300,000
	Intake (m ³ /d)	3,360,154	234,674	738,997	1,143,301	513,650	485,739	243,793
	Production (m ³ /d)	3,271,431	220,649	732,291	1,119,715	482,813	476,060	239,904

Fig. 2. The service area of 6 WTPs.

Fig. 3. The Configuration of SWN 2.0.

2.2. 조사내용

수질조사항목은 2007~2009년 3년 동안의 서울시 6개 정수장에 대한 송수잔류염소, 서울시 급수과정인 정수장으로부터 주배수지를 기준으로 한 주배수지 전·후, 주배수지 배수구역 유입부, 급수구역 내 가압장 및 관말수도꼭지를 대상으로 급수과정에서의 수질변화를 추적한 THMs, 또한 한강수계 상수원 6지점에 대한 탁도, pH, 수온, BOD, TOC, $\text{NH}_3\text{-N}$, 조류 등 9항목을 조사하였다. 서울시 급수과정별 시설은 Fig. 4에 보여주고 있다.

본 자료 분석을 위하여 SPSS 12.0 프로그램을 이용하여 정

Fig. 4. The distribution facilities in seoul water supply.

Table 3. THMs concentration at the distribution facilities in Seoul water supply (Unit: mg/L)

	Water treatment plant	Reservoir (Inflow)	Reservoir (Outflow)	Tap-1	Tap-2
Gwangam	0.020	0.023	0.024	0.024	0.026
Gangbuk	0.012	0.016	0.017	0.018	0.019
Amsa	0.016	0.018	0.020	0.021	0.023
Guui	0.018	0.019	0.021	0.023	0.026
Ttukdo	0.016	0.017	0.018	0.021	0.023
Yeongdeungpo	0.019	0.023	0.023	0.023	0.025
Total	0.017	0.019	0.021	0.022	0.024

수장 송수잔류염소 및 한강 원수의 여러 수질항목간의 상관관계를 파악하고, 또한 상관성이 높은 항목들을 토대로 잠재된 새로운 항목(Latent Variable)의 요인분석(Factor Analysis)을 실시하였다. 즉, 요인분석을 통해서 입력변수들의 상관성을 파악하여, 데이터를 축소시키고 새로운 변수를 생성함으로써 이를 통해 더 좋은 분석 결과를 도출하고자 하였다.

또한 모든 항목들을 수계별로 정규성 검정을 위해 비모수검정(Nonparametric Test)을 실시하고, THMs에 대한 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 실시하였다. 요인추출 방법으로는 주성분분석법(Principle Component Analysis)을 사용하였으며, 요인해석으로는 요인 적재치의 단순화를 위하여 직각회전(Orthogonal Rotation) 중 베리맥스(VariMax) 방법을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 서울시 급수과정별 시설에서의 THMs 변화추이

2007~2009년 3년간 조사된 서울시 급수과정별 시설에서의 THMs 결과는 Table 3, Fig. 5와 같다. 정수장(평균 0.017 mg/L)에서 관말 수도꼭지(평균 0.024 mg/L)로 갈수록 증가하는 경향은 있었지만 모두 먹는물 수질기준(0.1 mg/L)을 초과한

Fig. 5. Cl_2 and THMs concentrations at the water treatment plants.

경우는 없었으며, 그 증가량(평균 0.007 mg/L) 또한 송수 이전의 과정에서 생성된 양보다 작은 것으로 나타났다. 따라서 수돗물의 THMs 발생량을 줄이기 위해서는 무엇보다 송수 이전 정수장에서의 전·후염소처리 공정에 대한 개선 노력이 주요할 것으로 판단되었다.

반면 급수과정별 잔류염소는 맛있는 물의 잔류염소 조건인 0.1~0.4 mg/L 달성을 위해 각 정수센터에서 송수 잔류염소를 지속적으로 하향 조정한 결과 2007년에 비해 모든 공급단계에서 잔류염소가 뚜렷하게 낮아진 특성을 보였다(Fig. 6). 이러한 결과는 정수센터의 송수 잔류염소 조정 노력이 최종 수요가에서의 수돗물 염소냄새 및 물맛 개선에 좋은 효과를 거두고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

Fig. 6. Cl₂ concentration at the distribution facilities.

3.2. 통계적 분석 결과

본 연구에서 사용된 6개 정수장 전체자료(n = 72)에 대한 측정항목간의 상관관계는 아래 Table 4와 같고, 계절변동인자인 수온은 조류(r = -0.815), pH (r = -0.781)와 높은 음(-)의 상관성을, THMs는 수온(r = 0.643), 탁도(r = 0.519)와 높은 양(+)의 상관성을 나타내었다.

또한 소독부산물인 THMs의 생성 특성을 알아보기 위해 한강 원수의 주요 수질항목들과의 상관성 분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 일반적으로 소독부산물 생성에 영향을 미치는 주요한 요인으로는 염소 소모물질량, 수온, 접촉시간, pH 등을 들 수 있으며, 이 중 수온의 영향이 가장 높은 것으로 알려져 있다.⁷⁻¹³⁾

THMs와 다른 항목간의 상관성 분석결과, 수온(r = 0.539~0.846), 탁도(r = 0.421~0.863)는 양(+)의 상관성을, pH (r = -0.613~-0.800), 조류(r = -0.582~-0.901)는 음(-)의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, 원수의 NH₃-N는 THMs와의 상관성이 크게 없는 것으로 나타났다. pH의 경우, 일반적으로 pH가 높을수록 THMs 생성량은 증가하지만 이러한 이론은 일반적으로 pH를 제외한 다른 수질 조건을 동일하게 조정 한 상태에서 pH와 THMs와의 상관성을 분석한 것이며, 본 연구와 같이 연구대상지역의 실제 시료의 경우에는 THMs 생성에 미치는 영향인자는 pH 이외에 우점적으로 작용하는 다양한 인자들에 의해 지배되어 이론적 결과와는 상반된 결과가 나왔다고 판단된다.¹⁴⁾ 이러한 결과는 AWWA에 의한 실제 관로의 물을 대상으로 한 실험결과¹⁵⁾, pH가 8.0 이상이

Table 4. Pearson correlation matrix between the environment factors

Factors	Turbidity	pH	Temp (°C)	BOD	TOC	NH ₃ -N	Algae	Chlorine	THMs
Turbidity	1.000								
pH	-0.604**	1.000							
Temp (°C)	0.666**	-0.781**	1.000						
BOD	-0.424**	0.729**	-0.460**	1.000					
TOC	0.052	0.219	-0.048	0.288*	1.000				
NH ₃ -N	-0.258*	0.382**	-0.361**	0.396**	0.198	1.000			
Algae	-0.410**	0.782**	-0.815**	0.669**	0.162	0.384**	1.000		
Chlorine	0.376**	-0.335**	0.241*	-0.354**	-0.149	0.140	-0.104	1.000	
THMs	0.519**	-0.576**	0.643**	-0.414**	0.000	-0.306**	-0.582**	0.064	1.000

* Correlation Coefficient Significance Level : 0.05 (both sides)

** Correlation Coefficient Significance Level : 0.01 (both sides)

Table 5. The results for correlation analysis between THMs and raw water quality factors

Water treatment plants	Turbidity	pH	Temp (°C)	BOD	TOC	NH ₃ -N	Algae	Chlorine
Gwangam	0.863**	-0.613*	0.661*	-0.311	0.195	-0.213	-0.582*	0.689*
Gangbuk	0.714**	-0.624*	0.766**	-0.268	0.596*	0.215	-0.659*	0.170
Amsa	0.428	-0.692*	0.846**	-0.357	-0.370	-0.614*	-0.760**	-0.382
Guui	0.556	-0.800**	0.760**	-0.751**	-0.438	-0.494	-0.683*	0.388
Ttukdo	0.429	-0.626*	0.539	-0.742**	-0.287	-0.413	-0.667*	0.305
Yeongdeungpo	0.421	-0.701*	0.786**	-0.701*	-0.011	-0.276	-0.901**	0.320

* Correlation Coefficient Significance Level : 0.05 (both sides)

** Correlation Coefficient Significance Level : 0.01 (both sides)

되면 THMs 증가추세가 둔화된다는 연구결과¹⁶⁾와도 일치하였다. 몇몇 일부 수계의 경우 송수잔류염소, 원수의 BOD, TOC가 THMs와의 상관성이 어느 정도 있는 것으로 나타났지만 기대와는 달리 상관성이 작았는데 이는 한강 원수의 BOD, TOC가 일정하게 미량 존재하는 결과로 판단된다. 또한 송수잔류염소 역시 THMs 생성에 어느 정도 영향을 주지만 절대적으로 선형적인 관계가 없었는데, 송수잔류염소 농도변화가 낮은 범위 내에서 일정함으로 THMs 생성에 절대적 인자로 작용하지 않은 결과이며, 이는 2007년에서 2009년으로 갈수록 송수잔류염소는 줄어들고 있음에도 불구하고 정수장에서의 THMs 생성량은 줄어들고 있지 않고 있다는 결과와 일치한다(Fig. 5).

SPSS 12.0 프로그램을 이용하여 6개 수계별로 한강 원수의 수질항목(탁도, pH, 수온, BOD, TOC, NH₃-N, 조류)과 정수장의 송수잔류염소에 대한 요인분석 및 THMs에 대한 다중회귀분석을 실시하였다. 우선 주성분분석을 통해 수질항목 중 상관성이 높은 항목들을 묶어 요인을 추출하였다. 추출된 각 요인과 수질변수와의 관계를 살펴보면, 요인 X₁은 pH, BOD, 조류와 높은 상관성을 나타내는 등 물질대사 및

유기물 관련 인자로 볼 수 있으며, 요인 X₂는 계절적·자연적 변동요인으로 볼 수 있는 수온, 탁도와 높은 양(+)의 상관성을 보였다. 나머지 항목들은 기타요인 X₃으로 제시하는 등 크게 3요인(X₁, X₂, X₃)으로 제시하였으며, 이를 토대로 한 모형식 추정 결과는 Fig. 7~12, Table 6과 같다.

주성분분석을 통해 추출된 2개의 요인 X₁, X₂로 각 정수장에서 생성되는 THMs 생성 특성을 약 65.0~77.7% 정도 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 X₁, X₂ 요인에 해당되는 항목들에 대한 주의가 필요할 것으로 생각되며, 특히 장기적으로 볼 때 지구온난화로 인한 수온상승에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다. 동시에 THMs 생성 억제를 위한 수질제어는 수질조건에 따른 여러 요인들을 고려하고, 동시에 상호간의 미치는 영향들도 파악해야 할 것으로 판단된다.

그리고 요인분석을 통해 추출된 주성분 X₁, X₂, X₃에 대한 비모수검정(일표본 Kolmogorov-Smirnov 검정) 결과, 모든 수계에서 근사 유의확률(양측)이 유의수준 0.05보다 크게 나타나서 정규분포를 따르는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 다중회귀분석을 실시한 결과(Table 6), 일부 수계를 제외한 다른 모든 수계에서 회귀식의 유의성을 확인할 수 있었다.

Fig. 7. Factor plot of rotation spatial (Gwangam).

Fig. 8. Factor plot of rotation spatial (Gangbuk).

Fig. 9. Factor plot of rotation spatial (Amsa).

Fig. 10. Factor plot of rotation spatial (Guui).

Fig. 11. Factor plot of rotation spatial (Ttukdo).

Fig. 12. Factor plot of rotation spatial (Yeongdeungpo).

Table 6. The results for factor analysis and multiple regression analysis

Water treatment plants	Multiple Regression Analysis Equation	R ₂	F	p-value	Standard Error
Gwangam	$Y = 0.008 X_1 + 0.005 X_3 + 0.020$	0.730	7.203	0.012	0.0063982
Gangbuk	$Y = -0.003 X_1 + 0.002 X_2 + 0.012$	0.480	4.155	0.053	0.0044287
Amsa	$Y = -0.003 X_1 - 0.002 X_2 + 0.016$	0.666	8.975	0.007	0.0030420
Guui	$Y = -0.006 X_1 + 0.004 X_2 + 0.018$	0.626	7.529	0.012	0.0065385
Ttukdo	$Y = -0.005 X_1 - 0.002 X_2 - 0.002 X_3 + 0.016$	0.546	3.209	0.083	0.0057497
Yeongdeungpo	$Y = -0.006 X_1 - 0.002 X_2 + 0.019$	0.666	5.323	0.026	0.0049833

4. 결론

본 연구에서는 서울시 6개 정수장에서의 THMs 생성 특성 및 이에 영향을 주는 정수장 송수잔류염소, 한강 원수의 여러 수질항목간의 상관성을 파악하였다.

1) 전반적으로 서울시 급수과정별 시설에서의 THMs는 정수장에서 관말 수도꼭지로 갈수록 증가하였지만 모두 먹는 물 수질기준(0.1 mg/L)을 초과한 경우는 없었으며, 급수과정에서 THMs 생성량이 정수처리공정에서 생성된 양보다 작다는 것을 볼 수 있었다.

2) 6개 정수장 전체자료(n=72)에 대한 측정항목간의 상관관계를 살펴보면, 계절별동인자인 수온은 조류(r=-0.815), pH (r=-0.781)와 높은 음(-)의 상관성을, THMs는 수온(r=0.643), 탁도(r=0.519)와 높은 양(+)의 상관성을 나타내었다. 또한 THMs와 다른 항목간의 상관성 분석결과, 수온(r=0.539~0.846), 탁도(r=0.421~0.863)는 양(+)의 상관성을, pH (r=-0.613~-0.800), 조류(r=-0.582~-0.901)는 음(-)의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, 원수의 NH₃-N는 THMs와의 상관성이 크게 없는 것으로 나타났다.

3) 6개 수계별로 한강 원수의 수질항목(탁도, pH, 수온, BOD, TOC, NH₃-N, 조류), 정수장의 송수잔류염소에 대한 요인분석 실시 결과, 전반적으로 물질대사 및 유기물 관련 요인 X₁ (pH, BOD, 조류), 계절적·자연적 변동요인 X₂(수온, 탁도)가 다른 항목들에 비해 정수장에서의 THMs 생성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 THMs에 대한 다중

회귀분석을 실시한 결과, 강북수계, 독도수계를 제외한 다른 모든 수계에서 회귀식의 유의성을 확인할 수 있었다.

결론적으로 서울시 급수과정별 시설에서의 THMs는 먹는 물 수질기준(0.1 mg/L) 이하로 미량 검출되어 정수 및 수돗물의 안정성을 확인할 수 있었다.

향후 더욱 낮은 수준의 THMs 저감방안을 검토한다면 적절한 전 염소처리 및 정수지 잔류염소 농도 유지 등 송수 이전의 정수처리공정에서의 저감방안을 고려할 수 있으며, 또한 탁도, TOC 등 유기물 감소를 위한 지속적인 상수원관리 뿐만 아니라 막여과, 활성탄흡착, 강화응집(Enhanced Coagulation) 등 소독부산물 전구물질 제어방안과 지구온난화로 인한 수온상승에 따른 대비책을 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다.

KSEE

참고문헌

- 이옥재, 이기선, 이정기, 이은숙, 정의선, 김상은, 장현성, 이경우, 임희야, 최예덕, 이목영, 한선희, “2007년도 서울시 급수과정별 시설에서의 수질검사,” 2007 수질조사분석보고서, 서울특별시 상수도연구원, pp. 575~600(2008).
- 이진효, 이옥재, 이기선, 황동연, 이은숙, 김세철, 이목영, 한선희, 박용상, “서울시 수돗물 급수과정별 시설에서의 수질 특성,” 2010 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문요약집, p. 231(2010).
- 이경희, 허유정, 황동진, 최훈근, “통계 분석법을 이용한 황

- 룽강 유역의 수질특성분석,” 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2009 공동추계학술발표회 논문집, pp. 631~632(2009).
4. Mi-Ah Kim, Jae-kwan Lee, and Kyun-Duk Zoh, “Evaluation of the geum river by multivariate analysis: principal component analysis and factor analysis,” *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **23**(1), 161~168(2007).
 5. 박성현, 김성수, 통계패키지 II-SPSS, 1판, 한국방송대학교 출판부, 서울, pp. 168~187(2004).
 6. Lee, Chang-Hyung and Moon, Kyung-Sook, “Statistical analysis of sewage plant operation,” *J. Environ. Sci.*, **11**(1), 63~68(2002).
 7. Cowman, G. A. and Singer, P. C., “Effect of Bromide Ion on Haloacetic Acid Speciation Resulting from Chlorination and Chloramination of Aquatic Humic Substances,” *Environ. Sci. Technol.*, **30**(1), 16~124(1995).
 8. 송영상, 조성렬, 임경미, 민필기, 박덕규, 김학성, “수온과 pH가 THMs의 생성에 미치는 영향,” 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2010 공동추계학술발표회 논문집, pp. 447~448(2010).
 9. Stuart W. Krasner, and J. Michael Wright., “The effect of boiling water on disinfection by-product exposure,” *Water Res.*, **39**, 855~864(2005).
 10. Richardson, S. D., “Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water,” *Trends Anal. Chem.*, **22**(10), 666~684(2003).
 11. Toroz, I. and Uyak, V., “Seasonal variations of THMs in water distribution networks of Istanbul City,” *Desalination*, **176**, 127~141(2005).
 12. Lee, K. J., Kim, B. H., Hong, J. E., Pyo, H. S., Park, S. J., and Lee, D. W., “A study on the distribution of chlorination by-products in treated water in Korea,” *Water Res.*, **35**(12), 2861~2872(2001).
 13. Krasner, S. W., Chemistry of disinfection by-product formation. Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water, Singer, P. C.(Ed), AWWA, pp. 27~52(1999).
 14. 오정우, 윤재홍, “상수도 관로내에서의 THMs 생성특성,” 한국물환경학회지, **14**(2), 223~228(1998).
 15. AWWA, “Disinfection/Disinfection By-products Database and Model Project,”(1993).
 16. 손희중, 노재순, 배상대, 최영익, 정철우, “낙동강 원수에서 추출한 Humic Acid에서의 염소처리에 의한 THM 생성 특성 평가,” 대한환경공학회지, **29**(4), 412~418(2007).