

## 상수원수 수질개선을 위한 취수장 전염소 투입에 관한 연구

김대현 · 황수옥 · 정은재 · 신창수 · 유영범\* · 홍승관†

한국수자원공사

\*한국과학기술연구원

\*\*고려대학교 건축사회환경공학부

## Prechlorination at Water Intake for the Quality Improvement of Raw Water

Daehyun Kim · Suok Hwang · Eunjae Jeong · Changsoo Shin · Youngbeom Yu\* · Seungkwan Hong†

K-water

\*Korea Institute of Science and Technology

\*\*School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

(Received 12 November 2009, Revised 17 January 2011, Accepted 27 January 2011)

### Abstract

In this paper, in order to eliminate *Limnoperna fortunei* inhabiting the water conduction pipeline, prechlorination at the intake station was employed to improve the degradation of water quality due to the high pH of raw water taken at the downstream of Paldang Dam, algal growth, etc.. With the prechlorination concentration of 1.0mg/L at the intake station, the pH in the water well at the treatment plant decreased by 0.4, and with 1.5mg/L, by 0.6. Also, it eliminated Chlorophyll-a by about 95%, and the population of algae by about 49%. Such disinfection by-products (DBPs) as Trihalomethanes (THMs), Haloacetic Acids (HAAs), and Chloral Hydrate (CH) were under the quality standard for potable water, showing no change by the prechlorination, while raising the prechlorination rate from 1.0 up to 1.5mg/L, the DBPs in the water well increased by 1.5 to 3.1 times. As a consequence of testing Kyungan Stream, a branch stream flowing into Lake Paldang, the prechlorination (0.57mg/L, 1.14mg/L, 1.71mg/L) had no effect of eliminating the taste and odor compounds and total organic carbon (TOC) which is the DBPs precursor. As for the efficiency of Geosmin elimination by the rates of prechlorination and powder activated carbonation (PAC), it was found that the higher the concentration of PAC was (30ppm>20ppm>10ppm), the higher the efficiency was; the higher the rate of prechlorination was, the lower the efficiency by PAC was. Therefore, when taste and odor occur from raw water, suspending prechlorination at the intake or lowering the rate was proved to be more effective in eliminating the taste and odor compounds by PAC.

**keywords** : DBPs, Geosmin, Prechlorination, 2-MIB

## 1. 서론

팔당호 및 팔당댐 하류의 취수장과 정수장 사이의 도수관로 상에는 민물담치가 서식하여 용수관의 용적을 감소시키고 용수관을 통한 원수의 흐름을 감속시키고 있다. 팔당댐 직하류에 위치한 D취수장은 정상적인 용수 공급에 막대한 지장을 초래하는 민물담치의 대량증식을 방지하고 이를 제거하기 위해 2~3년에 한 번씩 간헐적으로 취수장에서 전염소를 투입하고 있다. D취수장으로부터 한강 원수를 취수하여 수돗물을 생산하고 있는 정수장에서는 봄·가을철 갈수기에 원수의 pH 상승과 조류발생으로 인하여 정수처리공정상 응집침전장해, 여과지 폐쇄로 인한 처리수질이 저하되고 맛·냄새가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 응집제 투입량을 조정하고 염소처리를 강화하고 있지만 소

독부산물 등이 증가하여 수질관리에 어려움이 있다. 한강 원수의 경우, pH 8.0 이상 발생하는 기간이 연간 약 160일 정도로, 조류가 대량 번성하는 2~5월 사이에는 원수 pH가 9.0 이상을 넘어서는 기간도 발생하는데(가길현 등, 2008), 조류의 광합성으로 수중의 CO<sub>2</sub>가 소비되어 pH가 증가하는 이 시기에 원수 수질저하로 인한 문제를 해결할 근본적인 방안이 필요하다.

일반적으로 화학적 특성에 대해서는 염소 투입량이 증가할수록 염소의 접촉시간이 길수록 pH가 높을수록 온도가 높을수록 반응 후 THMs의 농도가 증가된다(Mohamed and Rizka, 1994). 또한 계절적 특성에 대해서는 겨울철보다 여름철에 THMs 및 HAAs의 농도가 증가된다(Jinkeun, 2009). 염소는 수중의 아미노산과 반응하여 냄새 유발물질인 Chloroaldimines을 발생시키며 온도가 낮을수록 Chloroaldimines의 반감기가 급격히 증가된다. 수중의 아미노산에 대하여 약 35% 정도의 Chloroaldimines이 발생된다(Ingrid et al., 2005). 염소와 독성물질 반응에 의한 Chlorination disin-

† To whom correspondence should be addressed.

skhong21@korea.ac.kr

fection by-products(CDBPs) 발생은 수중의 pH의 영향이 다른 어떠한 영향보다 중요하게 반응한다(Fei et al., 2006). 즉, 수중에 존재하는 유기물, 독성물질과 같은 오염물질의 존재 유무와 pH, 온도와 같은 수중 환경조건과 계절적 조건에 의하여 냄새유발 물질 및 DBPs가 크게 반응한다.

본 연구에서는 팔당호의 원수 pH가 9.0 이상이고 조류발생이 증가되는 갈수기에 한강을 수원으로 하는 정수장을 대상으로 취수장에 전염소를 투입하여 pH 저감 등의 수질개선 효과와 소독부산물 발생을 조사하였다. 수질개선 효과를 분석하기 위해 취수구의 원수, 취수장에서 전염소를 투입한 원수, 정수장에서 정수처리공정별 수질을 비교하였다. 그리고 실험실에서 Jar-Test를 통해 전염소와 전염소+분말활성탄 투입에 따른 Geosmin과 2-Methyl isoborneol(2-MIB) 등 맛·냄새 유발물질과 TOC의 저감효과를 평가하였다. 본 연구를 통해 팔당호를 비롯한 한강을 상수원으로 하는 정수장에서 취수장의 전염소 투입이 상수원수의 수질 개선을 위한 방안이 될 수 있음을 모색하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 취수장 전염소 투입에 대한 수질조사

염소의 기화 특성을 고려하여 효과적인 실험값을 얻기 위해 한국수자원공사의 한강수계 취수장 중에서 정수장과의 도수거리가 가장 짧은 곳을 대상으로 하였으며, 취수장에 투입한 염소는 액화염소를 사용하였다. 염소 투입농도를 결정하기 위해 실험실에서 Jar-Test를 통해 염소 소비속도를 분석하였다. 취수장 전염소 투입에 대한 수질조사 분석 항목은 pH, 잔류염소, 클로로필-a, 조류, Geosmin, 2-MIB, THMs, HAA<sub>2</sub>(Dichloroacetic acid (DCAA) and Trichloroacetic acid (TCAA)) 그리고 CH이었다. 자료 분석 대상기간은 2009년 3월 10일부터 30일까지였다. 시료의 채취는 취수구, 착수정, 침전지, 여과지, 정수지를 대상으로 시료를 1일 1회 채취하여 취수장 전염소 투입에 대한 공정별 수질변화를 비교분석하였다. 취수장에 전염소를 투입하기 전에 각 공정별 수질을 조사하였다. 취수장에서의 전염소 투입은 1.0, 1.5 mg/L의 두 가지 농도에 대하여 실시하였고 총 염소 투입량은 4,000 kg이었다. 염소 투입공정을 비교하면 기존에는 전염소(착수정), 중염소처리를, 실험기간 동안에는 전염소(취수장), 후염소처리를 하였다.

pH와 잔류염소는 현장에서 휴대용 pH계(HM-21P, DKK-TOA), 잔류염소계(Pocket ColorimeterII, HACH)를 이용하여 시료 채취와 동시에 측정하여 오차를 줄였다. 클로로필-a 및 조류는 환경부 수질오염공정시험방법에 준하여 분석을 실시하였다. Geosmin과 2-MIB의 분석은 Manual SPME(Solid Phase Micro-Extraction) 방법을 이용하였으며 SPME fiber에 흡착시켜 GC/MS로 정성 및 정량 분석하였다. THMs는 EPA 502.2 분석방법을 이용하여 GC(Varian star 3600)를 통해 분석하였고, HAA<sub>2</sub>는 EPA 552.2의 분석방법을 참고로 하였으며 수중에 존재하는 HAA<sub>2</sub>의 추출 방법으로는 LLE(Liquid-Liquid-Extraction, 액액추출법)법을 이용하

였다. 또한 염색효과를 위해 염화나트륨이나 무수황산나트륨을 가하여 MTBE를 이용하여 추출한 뒤 마지막으로 Methylation을 통해 휘발성 있는 물질로 유도체화 한 후에 GC/ECD 및 GC/MSD(Varain star 3800)를 이용하여 분석하였다. CH의 분석방법은 EPA 551.1을 참고하였다. 사용된 전처리 방법은 MTBE 용매를 사용한 액액추출법을 이용하였으며 분석은 할로젠화합물에 대한 감도가 뛰어난 GC/ECD(Varain CP-3800)를 통해 정량 분석하였다.

### 2.2. 맛·냄새 유발물질의 저감효과에 대한 평가

취수장의 전염소 투입으로 인한 맛·냄새 유발물질(Geosmin, 2-MIB)에 대한 저감효과를 분석하기 위해 맛·냄새 유발물질이 존재하는 시료를 채수하여 실험실에서 전염소와 전염소+분말활성탄 투입에 따른 맛·냄새 유발물질(Geosmin, 2-MIB)의 저감효과를 평가하였다. 시료는 팔당호로 유입하는 지천의 하나인 경안천에서 채수하였으며, 실험방법은 NaClO(Sodium Hypochlorite)과 분말활성탄(PAC)을 사용하여 원수에 전염소를 투입했을 경우와 전염소+분말활성탄을 투입했을 경우로 나누어 투입률에 따라 Jar-Test를 실시하였다. 분말활성탄의 투입 농도는 10, 20, 30 mg/L로 하였고, Jar-Test 후 상정수를 GF/C 여과지로 여과 후 분석하였다. 접촉시간은 팔당호의 취수장에서 근거리에서 정수장까지의 원수 도달시간으로 산정하여 6시간으로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 염소 투입농도 결정을 위한 조사

취수장에서의 염소 투입농도 결정을 위해 전염소 투입대상인 D취수장의 원수를 채수하여 NaClO 용액으로 실험하였다. 염소 소비속도 관련인자인 pH, 탁도에 대하여 염소 투입농도는 0.5, 1.0, 1.5 mg/L의 3단계로 구분하였다(Table 1). 염소 투입농도별 소비속도를 분석한 후, 불검출 되는 시간을 결정하였다. 취수장의 원수는 수온 6°C, 전기전도도 172 μS/cm, 알칼리도 51 mg/L이었다. 염소 투입농도에 따른 Jar-Test를 실시한 수질을 비교하면 염소 투입시 원수의 pH는 0.2, 탁도는 0.1~0.2 NTU 저감되었다. 염소 투입률에 따라 약간의 차이를 보이나 실험개시 5분 이내 약 0.45 mg/L의 염소가 소비되는 것으로 Fig. 1에 나타났다. 0.5 mg/L 투입시 투입과 동시에 대부분의 염소가 소비되어, 취수장의 0.5 mg/L 전염소 투입시 효과가 없을 것으로 판단되었다. 1.0 mg/L 투입시 2시간, 1.5 mg/L 투입시 4시간 경과 후 염소가 전부 소비되는 것으로 나타났으며, 따라서 취수장에서 전염소 투입시 투입농도는 1.0, 1.5 mg/L로 결정하였다.

**Table 1.** Jar-Test results for determining chlorine injection rate

Item	Raw water	Prechlorination concentration (mg/L)		
		0.5	1.0	1.5
pH	8.82	8.61	8.60	8.63
Turbidity (NTU)	4.03	3.89	3.86	3.65

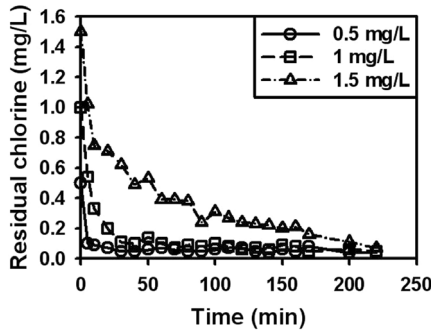


Fig. 1. Chlorine consumption velocity.

3.2. 전염소 처리에 따른 잔류염소, pH, 클로로필-a, 조류 변화 분석

수온은 6~10°C로 공정별 차이가 없었다. 착수정의 잔류염소는 취수장에서 전염소 1.0 mg/L 투입시 약 0.3 mg/L, 1.5 mg/L 투입시 약 0.5 mg/L 정도로 나타났다. 취수장에서 전염소 1.0 mg/L 투입시 약 69%, 1.5 mg/L 투입시 약 66%의 염소가 착수정에 도달하기 전에 소비되었음을 알 수 있었다. 취수장 전염소 투입에 따른 취수구와 착수정의 pH 변화는 취수장에서 원수 pH가 9.25였는데 1.0 mg/L의 염소 투입 후 착수정에 도달한 원수의 pH는 8.75였다. 취수장 전염소 1.0 mg/L 투입시 착수정의 pH가 취수구보다 평균 0.4정도 감소, 1.5 mg/L 투입시 평균 0.6정도 감소하였다. 염소 투입 종료 후 착수정의 pH는 다시 상승하여 취수구에서의 값과 거의 유사하게 나타났다. 취수장 전염소 투입기간 동안 취수구와 착수정의 클로로필-a 농도를 비교해 본 결과, 전염소 1.0 mg/L 투입시 클로로필-a 제거율은 약 93%, 1.5 mg/L 투입시 약 98%로서 취수장 전염소 투입으로 인해 원수의 클로로필-a가 95%로 저감됨을 알 수 있었다. 취수장 전염소 투입기간 동안 취수구와 착수정의 조류 개체수를 비교해 본 결과 조류제거율은 평균 49%로 전염소 투입으로 인한 조류개체수 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 조사기간 동안 원수에서는 *Cyclotella*가 가장 많았으며 그 다음으로 *Stephanodiscus*가 많이 출현하였다.

3.3. 전염소 처리에 따른 맛·냄새 유발물질 및 소독 부산물 변화 분석

조사기간 동안 Geosmin 및 2-MIB는 모두 불검출(검출한계 10 ng/L)되었으며, 취수장 전염소 투입으로 인한 제거효율은 살펴 볼 수 없었다. 취수장 전염소 투입의 영향보다는 원수내 냄새 유발물질 존재여부에 따라 값이 달라질 것으로 사료된다. 취수장 전염소 1.0 mg/L 투입시 착수정에서 THMs가 9.8~10.1 µg/L를 나타냈으며, 1.5 mg/L 투입시 15.3 µg/L를 나타냈다. 취수장에서의 전염소 투입은 착수정에서 THMs를 생성시키며, 염소 투입량을 1.0에서 1.5 mg/L로 높였을 때 THMs의 농도도 1.5배 정도 증가함을 알 수 있었다. 그러나 생성된 THMs의 농도는 먹는물 수질기준인 0.1 mg/L를 만족시키는 농도였다. 취수장 전염소 1.0 mg/L 투입시 착수정에서 HAA<sub>2</sub>는 7.9~9.7 µg/L, 1.5 mg/L 투입시 14.1 µg/L를 나타냈다. 염소 투입량을 1.0에서 1.5 mg/L

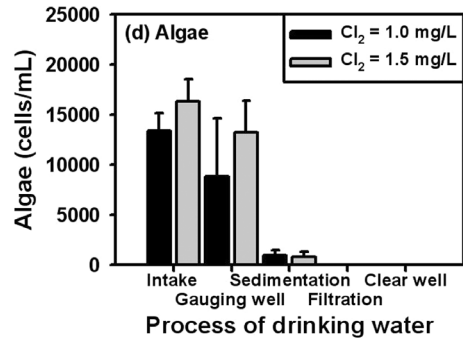
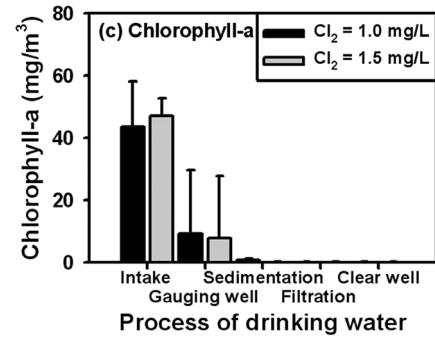
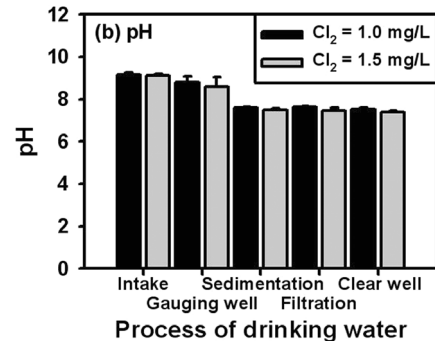
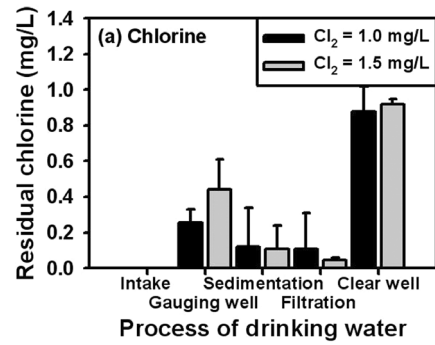


Fig. 2. Variations of water quality for the prechlorination at water intake.

로 높이면 착수정에서 HAA<sub>2</sub>의 농도가 1.6배 정도 증가함을 알 수 있었다. 이는 먹는물 수질기준인 0.1 mg/L를 만족시키는 농도였다. 취수장 전염소 1.0 mg/L 투입시 착수정에서 CH가 0.52~0.76 µg/L, 1.5 mg/L 투입시 1.98 µg/L를 나타냈다. 취수장 전염소 투입에 의해 착수정에서 CH의 농도가 증가하였으며, 염소 투입량을 1.0에서 1.5 mg/L로 높이면 CH의 농도가 3.1배 정도 증가함을 알 수 있었고, 이는 먹는물 수질기준인 0.03 mg/L 이하로 나타났다.

3.4. 전염소 투입에 따른 맛·냄새 유발물질의 저감 효과 평가

취수장 전염소 투입에 따른 맛·냄새 유발물질(Geosmin, 2-MIB) 저감효과를 평가하기 위해 맛·냄새 유발물질이 상당량 존재하는 시료를 팔당호로 유입하는 지천인 경안천에서 채취하였다. 채수 당시 경안천 원수의 수질은 Geosmin 107 ng/L, 2-MIB 불검출, TOC 3.64 mg/L, 클로로필-a 27.9 mg/m<sup>3</sup> 이었다. 염소 투입율이 증가될수록 클로로필-a 농도는 감소되는 것으로 조사되었고 염소 투입율이 0.57 mg/L씩 증가될수록 클로로필-a는 39.8, 64.2, 78.1%의 제거율을 나타냈다(Table 2).

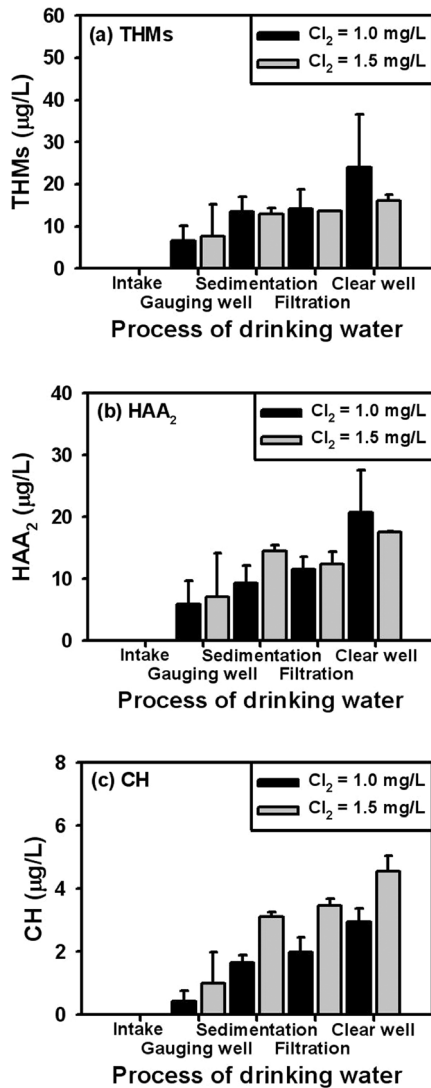


Fig. 3. Variations of DBPs for the prechlorination at water intake.

3.5. 전염소+분말활성탄 투입에 의한 맛·냄새 유발물질 저감효과

전염소와 분말활성탄 투입에 의한 맛·냄새 유발물질의 저감효과는 Table 3 및 Fig. 4와 같다. 분말활성탄 투입률별 Geosmin 제거효율은 분말활성탄 투입률이 증가할수록 증가되었으며 전염소 투입률별 Geosmin 제거효율은 전염소 투입률이 증가할수록 오히려 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 수중의 잔류염소가 분말활성탄의 흡착용량을 감소시킨 것이다(김성진 등, 2005). 취수장의 전염소 투입은 클로로필-a 제거에는 효과적이거나 맛·냄새 유발물질과 소독부산물 전구물질인 TOC 제거효과는 없었다. 팔당 상수원수에서 맛·

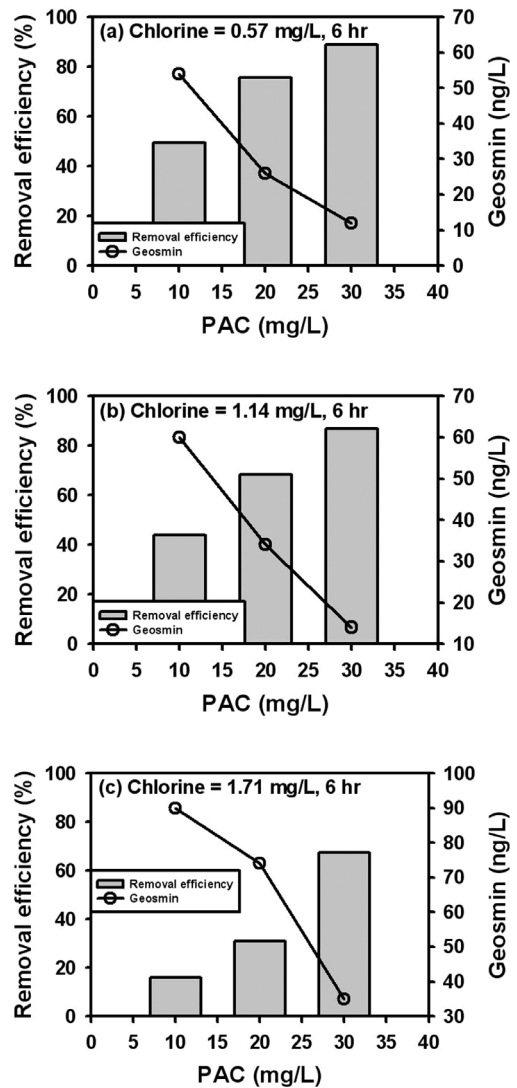


Fig. 4. Removal efficiency of geosmin at various prechlorination concentrations.

Table 2. Variation of concentrations of geosmin and TOC under prechlorination

Raw water	Contact time (hr)	Prechlorination concentration (mg/L)	Geosmin (ng/L)	TOC (mg/L)	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )
Kyungan Stream	6	0.57	105	3.76	16.8
		1.14	110	3.75	10.0
		1.71	121	3.79	6.1

**Table 3.** Removal efficiency of geosmin at various prechlorination concentrations

Prechlorination (mg/L)	PAC (mg/L)	Geosmin (ng/L)	Removal efficiency (%)
0.57	10	54	49.5
	20	26	75.7
	30	12	88.8
1.14	10	60	43.9
	20	34	68.2
	30	14	86.9
1.71	10	90	15.9
	20	74	30.8
	30	35	67.3

냄새가 발생 시 수중의 잔류염소로 인해 분말활성탄 투입에 의한 맛·냄새 유발물질 제거효율이 감소되므로 맛·냄새의 효율적 제거를 위해서는 취수장 전염소 투입을 중단하거나 투입량을 낮추는 것이 오히려 효율적으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 팔당호 및 한강을 취수원으로 하는 정수장을 대상으로 취수장에 전염소를 투입하여 pH 저감 등의 수질개선에 대한 효율조사를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 취수장에서 전염소 투입량을 1.0, 1.5 mg/L로 구분하여 연구 분석을 실시한 결과, 착수정에서의 pH는 1.0 mg/L 투입시 0.4, 1.5 mg/L 투입시 0.6 정도 저감되었으며, 클로로필-a는 약 95%, 조류개체수는 약 49% 제거되는 효과가 있었다.
- 2) THMs, HAA<sub>2</sub>, CH와 같은 소독부산물은 먹는물 수질기준 이하로 취수장 전염소 투입으로 인한 변화는 거의 나타나

지 않았으나, 염소 투입량을 1.0에서 1.5 mg/L로 높일 경우 착수정에서 소독부산물이 1.5~3.1배 증가하였다.

- 3) 팔당호와 같이 연중 높은 pH를 나타내고 있는 상수원수를 사용하는 취수장에서는 취수장에서의 전염소 투입이 원수 pH 저감과 조류 및 클로로필-a 제거에 효과가 있음을 알 수 있었다.

## 사 사

수질분석에 도움을 주신 한국수자원공사 수도권지역본부 수질관리팀에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 가길현, 김윤용, 이준호, 안치화, 한인섭, 민병대(2008). 갈수기 정수장운영관리 사례-갈수기 pH저감제(황산)투입에 의한 정수처리효율 향상. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(4), pp. 415-422.
- 김성진, 홍성호, 민달기(2005). SPME를 이용한 Geosmin과 2-MIB 분석 시 잔류염소의 영향에 관한 연구. *상하수도학회지*, **19**(6), pp. 713-719.
- Fei, G., Lizhong, Z., and Hairong, C. (2006). Effects of pH on the chlorination process of phenols in drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, **133**, pp. 99-105.
- Ingrid, F., Stephan, B., Alain, L., Dominique, T., and Jacques, C. (2005). Effect of chlorination on the formation of odorous disinfection by-products. *Water Research*, **39**, pp. 2636-2642.
- Jinkeun, K. (2009). Fate of THMs and HAAs in low TOC surface water. *Environmental Research*, **109**, pp. 158-165.
- Mohamed, A. E. and Rizka, K. A. (1994). THMs Formation during chlorination of raw Nile river water. *Water Research*, **29**(1), pp. 375-378.