

원수 pH 조정에 의한 정수 수질 개선

Improvement of Quality in Treated Water by the pH Adjustment of Raw Water

정관조[†] · 이경우 · 김현희 · 정의선 · 박 현 · 한선희

Gwanjo Jeong[†] · Kyeongwoo Lee · Hyunhee Kim · Euisun Jeong · Hyeon Park · Sunhee Han

서울특별시 상수도연구원

Waterworks Research Institute, Seoul Metropolitan Government

(2009년 12월 29일 접수, 2010년 5월 19일 채택)

ABSTRACT : The purpose of the study is to find ways to decrease turbidity and residual aluminum by improving the efficiency of coagulation process through controlling the pH of the source water with CO₂ when the pH increases by algal bloom or by the characteristics of the source water. Water quality parameters were monitored before and after CO₂ addition in February, March, April, and December, when the pH of the source water is over 8.0 and constant regardless of day and night. Water quality parameters closely related with evaluation of treated drinking water quality were monitored in detail, e.g. aluminum, turbidity, particle counts, TOC, THMs, 2-MIB, and geosmin. According to the results, inorganic water quality parameters such as turbidity, particle counts, and aluminum were decreased due to improved efficiency of the coagulation process. It was concluded that the pH of the water in the arrival basin must be controlled below 7.4 by adding CO₂ when the pH of the source water increasing. By controlling pH with CO₂, the water quality could be maintained within the drinking water quality goal of Seoul City (<30 particle/mL of particle count, <0.05 NTU of turbidity and <0.02 mg/L of aluminum). The change of the pH could not affect the concentrations of DBP's (e.g., THMs, CH, and HAAs) and taste/odor causing compounds (e.g., 2-MIB and geosmin). 2-MIB and geosmin were affected more by their initial concentrations in the source water.

Key Words : Carbon dioxide, Treated water, PH, Water treatment process

요약 : 상수원수의 특성 변화와 갈수기 조류 발생으로 인한 원수 pH 상승 시기에 이산화탄소(CO₂)를 주입하여 원수 pH를 조정함으로써 혼화·응집지의 응집 효율을 향상시켜 생산 정수 중의 잔류알루미늄, 탁도, 입자수 등의 농도를 낮추는 방법을 조사하고자 본 연구를 실시하였다. 원수 pH 8.0 이상이며 밤·낮의 pH 변화가 크지 않은 2월, 3월, 4월, 12월 중에 이산화탄소 주입 전·후의 정수 수질 변화를 고찰하였으며, 정수처리 공정수를 대상으로 정수 수질평가와 밀접한 관련이 있는 알루미늄, 탁도, 입자수, TOC, THMs, 2-MIB, geosmin 등의 농도 변화를 조사하였다. 조사결과, 혼화·응집지의 응집 효율 향상으로 입자수, 탁도, 알루미늄과 같은 입자성 물질과 무기물질은 감소하였으며 서울시 정수 목표수질값인 입자수 30개/mL 이하, 탁도 0.05 NTU 이하, 알루미늄 0.02 mg/L 이하의 양호한 정수 수질을 유지하기 위해서는 원수 pH 상승시기 이산화탄소를 주입하여 착수정원수 pH를 7.4 이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다. 또한 THMs, CH, HAAs, HANs 등 소독부산물과 이취미 유발물질인 2-MIB, geosmin 농도는 원수 pH 변화와 무관함을 알 수 있었으며, 특히 이취미 유발물질인 2-MIB, geosmin은 pH 변화보다는 원수 중의 2-MIB, geosmin 농도가 정수 중의 농도 결정에 주요한 영향을 주는 것으로 나타났다.

주제어 : 이산화탄소, 정수, pH, 정수처리공정

1. 서론

응집제로는 poly aluminumchloride (PACl), poly aluminum chlorosilicate (PACS), poly aluminum hydroxylchlorosulfate (PAHCS) 등이 있으며 우리나라의 경우, 알루미늄계-무기고분자응집제인 PACl과 PACS를 주로 사용하고 있다. 이러한 정수약품을 이용한 정수처리에서

의 혼화·응집 효율은 원수 pH에 변화에 크게 영향을 받으며 원수 pH가 7.0 부근에서 높은 응집 효율을 나타낸다.^{1,2)} 그러나 봄, 겨울철 갈수기 조류 발생으로 인한 원수 pH 상승 시기에는 응집 효율 저하로 최종 생산수인 정수에서 탁도, 잔류알루미늄, 입자수의 증가를 가져온다.³⁾ 이에 원수 pH를 응집에 적합한 적정 수준으로 조정하고자 전 염소처리 강화 및 정수약품 투입량 증가 등의 조치를 취하나 총트리할로메

[†]Corresponding author : E-mail : jgi730@seoul.go.kr Tel : 02-3146-1755 Fax : 02-3146-1874

탄(total trihalomethanes, THMs)과 같은 소독부산물 증가와 잔류알루미늄 농도 증가 등의 수질저하를 초래했다. 따라서 원수 pH 상승시기 정수 수질개선을 위한 새로운 정수처리기술이 요구되었으며 혼화방식, 응집제의 종류 및 주입량 등 다양한 정수처리기술이 검토되었다. 그 결과, 가장 적절한 방법으로 황산(H₂SO₄)이나 이산화탄소(CO₂)를 사용하여 원수 pH를 7.0 부근으로 조정한 후 정수처리를 행하는 것이 정수 중 알루미늄 농도 뿐 만 아니라 탁도, 입자수 등을 낮추는 적절한 방법으로 보고되고 있다.⁴⁾ 이와 관련된 연구로 강⁴⁾ 등은 원수 pH 조정제로 황산과 이산화탄소를 이용한 응집효율을 실험하였으며, 이⁵⁾ 등은 이산화탄소를 이용하여 원수 pH 조정에 따른 탁도, THMs, 잔류알루미늄과 같은 수질인자의 제거효율 실험을 실시하였다. 그러나 실제로 정수처리공정에 이산화탄소 발생시설을 도입하여 원수 pH 상승시기 혼화·응집 효율을 향상시켜 고품질의 정수를 생산하기 위한 정수장 운영조건을 제시하지는 못했다.

서울시에서는 1998년 12월 이후 양질의 정수를 생산하고자 자체 정수 목표수질값을 정하여 관리하고 있다. 즉, 먹는물 수질기준항목과 별개로 정수 수질과 밀접한 관련이 있다고 판단되는 탁도, pH, 알루미늄, THMs, 잔류염소, 과망간산칼륨(KMnO₄)소비량 등의 수질항목을 선정하여 법적기준(먹는물 수질기준)보다 엄격한 기준을 두어 관리해 왔다. 또한 해마다 자체 심사를 통해 수질관리항목을 변경, 선정하였으며 그 목표치를 강화해 왔다. 2008년 이후에는 탁도는 0.05 NTU이하, 입자수는 30 개/mL 이하, 잔류염소는 총수 잔류염소 목표값 대비 ± 0.04 mg/L 이하, 알루미늄은 0.02 mg/L 이하, THMs 0.01 mg/L 이하, 총유기탄소(total organic carbon, TOC) 0.9 mg/L 이하, 2-methylisoborneol (2-MIB) 5 ng/L 이하, geosmin 5 ng/L 이하 등 총 8개 항목을 선정하여 관리하고 있다. 그러나 봄, 겨울철 갈수기에는 원수 pH 상승으로 인한 응집 효율 저하로 생산 정수 중의 잔류알루미늄, 입자수 등의 증가로 정수 목표수질값 관리에 어려움이 있어 이에 대한 대책이 요구되었다.

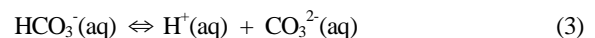
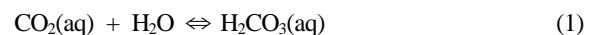
이에 본 연구는 서울의 G-아리수정수센터(이하, G-정수센터)에 이산화탄소 발생설비를 도입하여 갈수기 원수 pH 상승 시기에 이산화탄소를 원수 pH 조정제로 사용함으로써 혼화·응집에서의 응집 효율을 향상시켜 생산 정수 중에 탁도, TOC, THMs, 입자수 등의 농도를 낮추는 방법을 조사하여 고품질의 정수를 생산하고, 서울시 전체 정수센터에 이산화탄소 도입에 따른 운영을 효율적으로 추진하고자 본 연구를 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

서울의 G-정수센터는 시설용량 100만 m³/day로서 25만 m³/day, 4계열로 구성되어 있고 팔당 하루 한강원수를 취수하여 원수로 사용하며 현재 약 70만 m³/day를 생산, 용량대비 약 70%의 가동률을 나타내고 있다. 정수약품으로는 1-1, 1-2계열은 PACS, 2-1, 2-2계열은 PACI를 사용하고 있다.

2.1. 이산화탄소(CO₂) 주입설비

이산화탄소 주입설비는 2008년 1월에 G-정수센터에 설치된 것으로 저장용량(CO₂)이 총 60톤으로 30톤, 2기 저장탱크로 구성되어 있다. 최대 투입용량은 400 kg/hr로 70만 m³를 12.0 mg/L로 조정할 수 있는 용량을 기준으로 설계되었으며, 원수 pH를 9.2에서 7.3까지 조정가능하다. Fig. 1에 G-정수센터 이산화탄소 주입시설 계통도를 도시하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 액화이산화탄소는 항온조를 지나면서 이산화탄소로 기화되고 가압되어 연결된 관으로 들어오는 침전수와 가압용액식주입장치에서 혼합된다. 혼합수는 착수정으로 유입되는 도수관로(2,600 mm)에 역방향으로 디퓨저를 이용하여 원수에 주입되며, 혼합수 중의 탄산은 아래식 (1)-(3)과 같이 물속에서 수소이온을 해리시켜 중탄산염 및 탄산염을 생성하고 이때 해리된 수소이온은 pH를 낮춘다.



이산화탄소 주입량은 원수 pH와 착수정에 설치된 pH 측정값 차이에 따라 비례-적분-미분제어기(proportional integral derivative control, PID)에 의해 자동으로 조정되며 원수 pH나 유량변동에 큰 영향 없이 항상 설정된 pH 값으로 조정이 가능하다.

2.2. 실험방법

본 연구는 2008년 1~12월까지 G-정수센터 정수처리 공정수를 대상으로 원수 pH가 8.0 이상이며 밤낮의 pH 변화(±0.3 이내)가 크지 않은 시기에 기존의 정수처리 공정수와 이산화탄소를 원수에 주입하여 pH를 7.6 이하로 조정된 후 생산한 공정수의 수질을 비교, 평가하였다. 2008년 G-정수센터 원수의 연간 pH 8.0 이상은 170일(46.5%, 연간대비)로

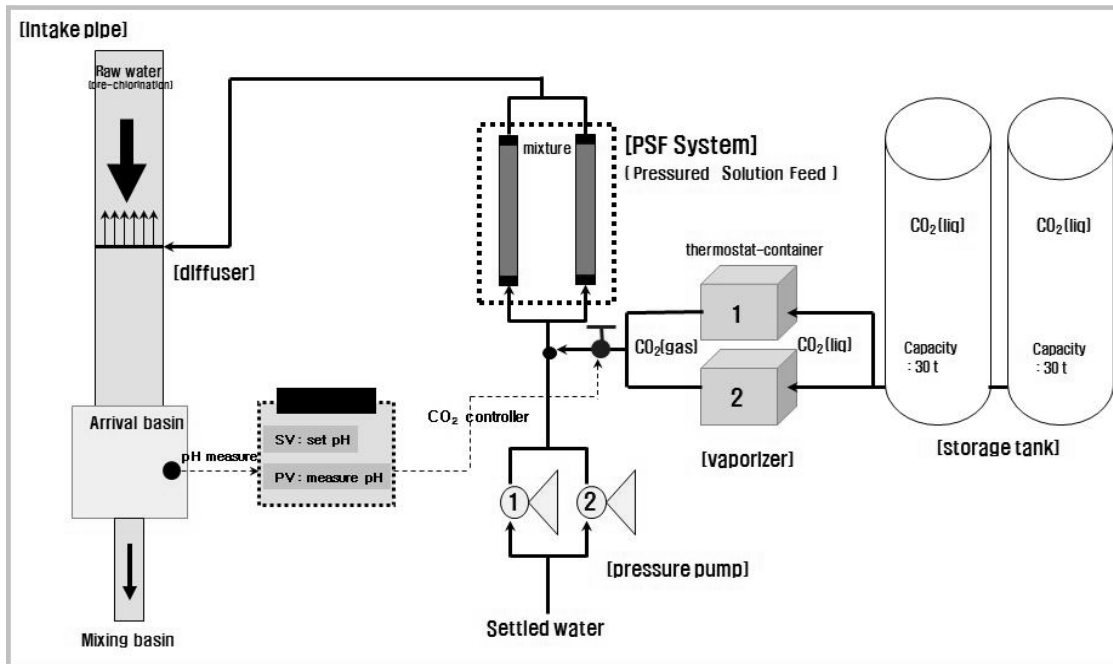


Fig. 1. Schematic diagram of CO₂ injection facilities.

1월 중순에서 4월 말에 약 110일, 11월 중순에서 12월 말에 약 40일로 발생기간의 약 90%가 봄과 겨울철에 집중되어 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구를 실시하기 위해서는 원수 pH가 8.0 이상일 때 이산화탄소를 주입하여 착수 정원수의 pH를 7.6 이하로 조정하고 정수처리공정의 체류 시간과 분석 자료의 신뢰성을 위해 24시간이 지난 이후 시료를 채취해야 했으며 이러한 실험조건 만족을 위한 원수 pH ± 0.3 이하의 변화가 없는 조건은 연간 15회(30일) 이내였다. 따라서 원수 pH 변화에 따른 다양한 조건에서의 정수 수질 변화를 측정하는 실험을 행하는 데는 한계가 있었다.

분석항목으로는 Table 1에 나타낸 바와 같이 알루미늄, 탁도, 입자수, TOC, THMs, 2-MIB, geosmin 등 총 14항목을 선정하였다.

Table 1. Items analyzed

Items
Turbidity, Particle count, Aluminum, TOC, 2-MIB, Geosmin, THMs, HAAs, HANs, CH, THMsFP, HAAsFP, HANsFP, CHFP
* HAAs (haloacetic acids), HANs (haloaceto nitriles), CH (chloral hydrate), FP (formation potential)

알루미늄은 inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (ICP/AES, Jobin Yvon, Activa-M)를 이용하여 측정하였으며, TOC는 TOC-analyzer (Sievers, TOC-820), 탁도는 turbidimeter(Hach, 2100N), THMs와 THMsFP는 gas chromatography mass spectrometer (GC/MS, Agilent, 5975)를 이용하여 분석하였다. 또한 HAAs, HANs, CH, HAAsFP, HANsFP, CHFP는 gas chromatography electron capture detector (GC/ECD,

Varian, CP3800/Agilent, 6890), 2-MIB 및 Geosmin는 gas chromatography mass spectrometer (GC/MS, Varian, CP3800)를 이용하여 측정하였고, 입자수는 입자측정기(PAMAS, SBSS)를 이용하여 2 μm 이상의 입자를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

원수 pH가 8.0 이상 상승한 2월(B1), 3월(B2, B3, B4), 4월(B5, B6), 12월(B7, B8) 중에 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 7.6 이하로 조정 후 생산된 정수를 채취하여 이산화탄소 주입 전·후의 정수 수질변화를 고찰하였으며, 이산화탄소 주입 전·후의 pH 변화는 Table 2에 나타내었다.

실험기간 중 원수 pH는 봄, 겨울철 조류발생과 갈수기의 영향으로 8.70~9.10으로 높은 pH를 유지하였으며, 원수에

Table 2. Variation of pH before and after injection of CO₂

Samples	CO ₂ injection	pH		Treated Water
		Raw Water (before injection of CO ₂)	Raw water in the arrival basin ^a (after injection of CO ₂)	
B1	no	9.10	8.99 ^a	7.52
B2	injection	8.70	8.40 ^a	7.50
B3	injection	9.07	7.56	7.13
B4		8.70	7.45	7.20
B5		8.80	7.31	7.15
B6		9.07	7.31	7.12
B7		8.70	7.10	7.05
B8		8.96	6.96	6.84

* ^a : carbon dioxide (CO₂) not injected, ^b : raw water + pre-chlorination

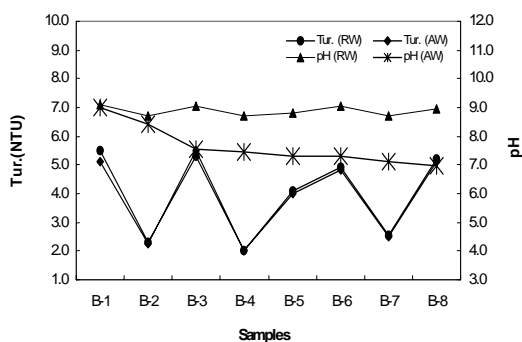


Fig. 2. Turbidity of RW by pH of RW.

이산화탄소를 주입하여 pH를 7.56~6.96으로 조정하면서 pH 변화에 따른 정수 수질 변화를 고찰하였다. 실험기간 중 응집제 주입량은 10.3~12.5 mg/L이었으며, 취수원수에 염소를 주입한(전염소처리) 착수정원수의 잔류염소농도는 0.08~0.16 mg/L로 큰 변화는 없었다.

3.1. 입자성 및 무기물질 농도 변화

Fig. 2와 같이 원수 탁도는 2.32~5.50 NTU로 원수 pH 변화에 따른 영향은 없는 것으로 나타났으며, Fig. 3에 나타난 바와 같이 정수 탁도는 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 7.6 이하로 조정 후 B3~B8의 탁도가 0.04~0.06 NTU로 이산화탄소를 주입하지 않은 B1, B2 정수 탁도 0.07~0.08 NTU보다 양호한 탁도를 나타냈다. 이는 이산화탄소를 주입하여 혼화·응집에서의 응집에 적합한 원수 pH 조정에 따른 영향으로 판단된다. 또한 봄겨울철 pH 상승시기 탁도 0.05 NTU 이하의 양호한 정수 수질을 유지하기 위해서는 원수에 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 7.4 이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다.

입자측정은 정수공정에서 병원성 미생물 감시를 위해 처음 적용된 이후 정수처리공정의 효율 향상에 다양하게 이용되고 있으며 국내의 경우, 다수의 정수장에서 응집, 침전, 여과공정 등의 운전 특성 평가에 활용되고 있다.⁶⁾ 본 연구에서는 수중에 존재하는 크기 2 μm 이상의 입자의 수를 측정하는 것으로 연구결과, 이산화탄소를 주입하지 않은 B1, B2 정수의 입자수는 39~111 개/mL로 다소 높게 나타났으며, 이산화탄소를 주입하여 pH를 조정 후 B3~B8 정수의 입자수는 7~34개/mL로 원수 pH 상승시기에 매우 양호한 결과를 나타냈다. 또한 Fig. 4, 5와 같이, 서울시 정수 수질관리 입

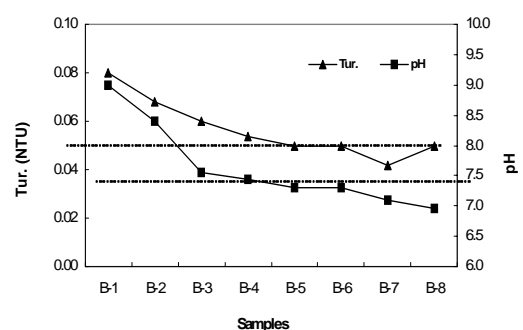


Fig. 3. Turbidity of FW by pH of AW.

『RW : raw water, AW : arrival basin raw water, FW : finished water or treated water.』

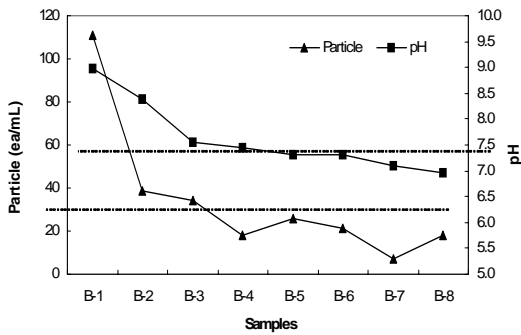


Fig. 4. Particle count of FW by pH of AW.

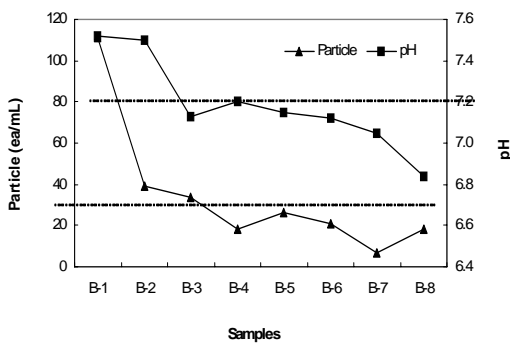


Fig. 5. Particle count of FW by pH of FW.

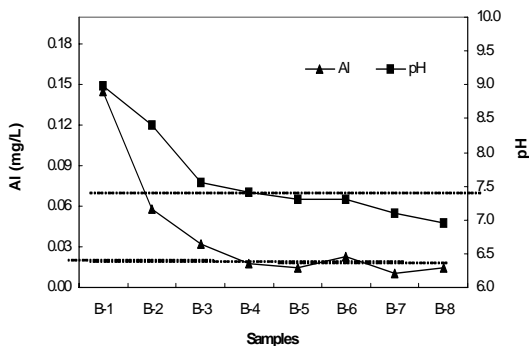


Fig. 6. Aluminum of FW by pH of AW.

자수 목표기준인 30 개/mL 이하의 양호한 정수 수질을 유지하기 위해서는 원수 pH 상승시기 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 7.4 이하로 유지하여 처리해야함을 확인할 수 있었다.

물속에 존재하는 알루미늄은 물리적인 측면에서 크게 입자성과 용존성 알루미늄으로 나누어진다. 원수 중의 알루미늄 농도는 주로 입자성 알루미늄에 의존하지만 정수에 존재하는 알루미늄은 97% 이상이 용존성 알루미늄으로 존재하는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 연구결과, 이산화탄소를 주입하지 않은 B1, B2 정수의 알루미늄 농도는 0.058~0.149 mg/L로

높은 농도를 나타냈으며, 이산화탄소를 주입하여 pH를 7.6 이하로 조정된 B3~B8 정수의 알루미늄은 0.010~0.032 mg/L로 먹는물 수질기준 0.2 mg/L 이하의 약 1/10 수준으로 매우 양호한 수질을 나타냈다. 또한, Fig. 6에 나타낸 바와 같이 서울시 정수 알루미늄 농도 목표수질인 0.02 mg/L 이하의 양호한 수질을 유지하기 위해서는 원수 pH 상승시기 이산화탄소를 주입하여 착수정원수 pH를 7.4 이하로 유지해야 하며, 본 연구의 실험조건하에서는 원수 pH가 낮을수록 정수 알루미늄 농도도 낮게 나타났다.

3.2. 유기물 및 이취미 물질 농도 변화

TOC는 수중에 존재하는 유기탄소의 총량으로 Fig. 7에서 보듯이 이산화탄소를 주입하지 않은 B1~B8 원수 TOC 농도는 1.53~1.89 mg/L로 원수 pH 변화와 TOC 농도 사이에 일정한 상관성은 없는 것으로 나타났다. 그러나 정수의 경우, 이산화탄소를 주입하지 않은 B1, B2의 TOC 농도는 각각 1.13, 1.11 mg/L로 나타났으며, 이산화탄소를 주입하여 pH를 조정된 B3~B8의 TOC 농도는 0.88~0.95 mg/L로 서울시 정수 수질관리 TOC 목표기준인 0.9 mg/L 수준의 양호한 수질을 유지했다. 또한 원수 pH 상승시기 정수 TOC 농도를 0.9 mg/L 이하로 유지하기 위해서는 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 7.4 이하로 유지해야 함을 확인할 수 있었으며 착수정원수 pH가 7.3 이하의 경우, 정수 TOC 농도 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

일반적으로 알려진 이취미 유발물질은 흙냄새를 유발하는 geosmin과 곰팡내를 유발하는 2-MIB로 알려져 있으며, 이외에도 TCA (2,3,6-trichloroanisole), IBMP (2-isobutyl-3-methoxypyrazine), 그리고 IPMP (2-isopropyl-3-methoxypyrazine) 등도 각기 독특한 이취미를 유발하는 것으로 보고되고 있다.⁸⁾ 특히 남조류와 방선균의 대사산물로 흙곰팡이 냄새를 유발하는 geosmin과 2-MIB은 물성이

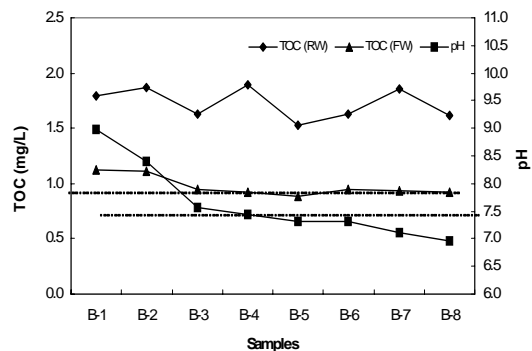


Fig. 7. TOC of FW and RW by pH of AW.

비극성물질로 응집, 침전, 여과와 같은 표준정수처리공정에서의 제거능이 아주 낮은 것으로 알려져 있다.⁹⁾ 따라서 geosmin과 2-MIB를 제어하기 위해 분말활성탄(powdered activated carbon, PAC)을 이용한 흡착, 오존(O₃) 또는 O₃/H₂O₂ 조합공정을 이용한 산화제거, 활성탄/오존 조합공정을 이용한 흡착-산화방법 등 다양한 연구가 진행되고 있으며 O₃/H₂O₂ 조합공정과 활성탄/오존 조합공정이 가장 제거효율이 우수한 것으로 보고되고 있다.^{10~12)}

본 연구에서는 표준정수처리공정에서 원수 pH 조정에 따른 geosmin과 2-MIB의 제거 효율을 실험하였다. 실험결과, 2-MIB의 원수 농도는 6.6~35.6 ng/L, 정수는 5.4~28.1 ng/L로 나타났으며 geosmin는 원수 농도는 1.6~3.3 ng/L, 정수는 1.1~2.2 ng/L로 제거율은 각각 8~24%, 11~40%로 나타났다. 또한 Fig. 8, 9에서 보듯이 원수, 정수의 pH 변화와 2-MIB, geosmin 제거율 사이에는 유의한 상관성은 없는 것으로 나타났다. 이는 2-MIB, geosmin 모두 비극성물질로 제거율이 pH 변화에 따른 혼화·응집 효율에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었으며 원수 중의 2-MIB, geosmin 농도가 정수 2-MIB, geosmin 농도 결정에 주요한 영향을 주는 것으로 나타났다.

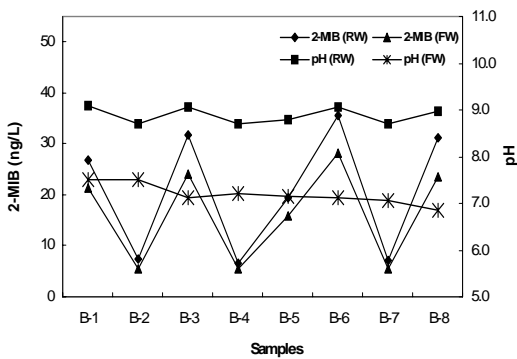


Fig. 8. Variation of 2-MIB by pH of RW and FW.

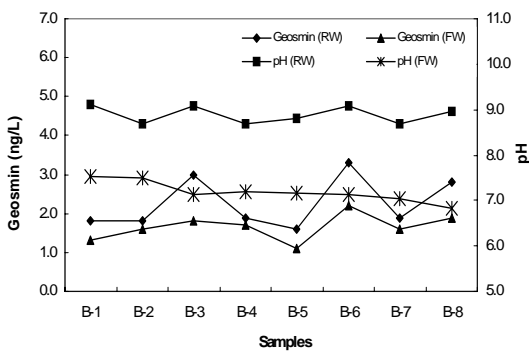


Fig. 9. Variation of geosmin by pH of RW and FW.

3.3. 소독부산물 농도 변화

소독부산물은 물속에 존재하는 휴믹산과 펠빅산 등의 유기물질과 조류유래 유기물질이 염소 소독제와 반응하여 생성되는 부산물로 대표적인 염소소독부산물은 트리할로메탄 (THMs), 할로아세트에시드(HAAs), 할로아세토니트릴 (HANs), 클로로하이드레이트(CH) 등이 있다.^{13,14)} 일반적으로 소독부산물 생성에 영향을 미치는 주요인자로는 수온, 접촉시간, pH, 소독제 및 전구물질 농도 등으로 알려져 있다.^{15~17)} Krasner¹⁸⁾ 등은 원수 pH 변화가 소독부산물 생성에 미치는 영향을 연구하였는데 대부분의 소독부산물 농도는 pH가 높아짐에 따라 감소하였으나 THMs의 경우만 pH가 높아질수록 증가하는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 이산화탄소를 원수에 주입하여 원수 pH 변화가 정수 중의 소독부산물 생성에 미치는 영향을 실험하였으며 실험결과, Fig. 10에서 보듯이 이미 보고된 연구결과처럼 원수 pH가 높을수록 THMs 생성은 다소 증가하는 경향을 보였으며 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 낮출수록 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 CH, HAAs 그리고 HANs 계열 중 dichloroacetonitrile (DCAN)는 Krasner¹⁸⁾ 등의 연구결과와 다르게 원수 pH가 8.99~6.96 사이로 변할 때

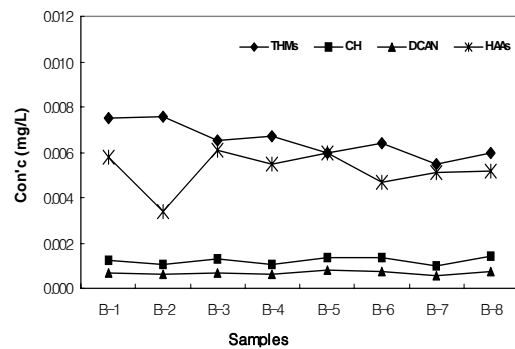


Fig. 10. Variation of disinfection by-products by pH.

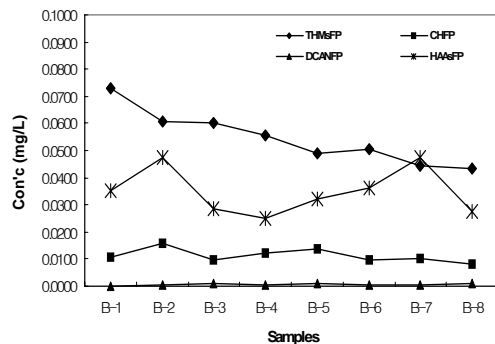


Fig. 11. Variation of disinfection (FP) by-products by pH.

정수 중의 생성 농도에 영향은 미치지 않은 것으로 나타났다. 또한 소독부산물의 최대 생성 가능성을 조사하기 위해 원수 pH 변화에 따른 정수 중의 THMsFP, HAAsFP, HANsFP, CHFP 시험을 실시하였으며 시험결과, Fig. 11과 같이 THMsFP는 B1, B2는 각각 0.0732 mg/L, 0.0606 mg/L, B3~B8은 0.0432~0.0601 mg/L로 원수 pH가 낮을 수록 THMsFP 생성이 다소 감소하는 것으로 나타났으며, CHFP는 0.00834~0.01565 mg/L, DCANFP는 0.00000~0.00101 mg/L, HAAsFP는 0.0250~0.0476 mg/L로 원수 pH 변화가 정수 중의 소독부산물 생성 농도에 영향은 미치지 않은 것으로 나타났다.

4. 결론

원수 pH 상승시기 이산화탄소를 주입하여 원수 pH를 조절 후 정수 수질을 고찰한 결과, 혼화·응집시의 응집 효율 향상으로 입자수, 탁도, 알루미늄과 같은 입자성물질과 무기물질은 감소하는 것으로 나타났으며 2-MIB, geosmin, 소독부산물과 같은 유기성물질의 농도 변화는 없는 것으로 나타났다. 특히, 입자수 30 개/mL 이하, 탁도 0.05 NTU 이하, 알루미늄 0.02 mg/L 이하, TOC 0.9 mg/L 이하의 양호한 정수 수질을 유지하기 위해서는 원수 pH 상승시기 이산화탄소를 주입하여 착수정원수 pH를 7.4 이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다. 또한 CH (FP), HAAs (FP), DCAN (FP) 및 이취미 유발물질인 2-MIB, geosmin의 제거율은 원수 pH 변화와 무관함을 알 수 있었으며, 특히 2-MIB, geosmin는 원수 pH 변화보다는 원수 중의 2-MIB, geosmin 농도가 정수 중의 농도 결정에 주요한 영향을 주는 것으로 나타났다.

KSEE

참고문헌

1. 임재철, 김진근, “염화알루미늄 과량 주입에 의한 고(高) pH 원수의 수처리효율 개선,” 대한상하수도학회지, **23**(1), 39~46 (2009).
2. Reiber, S., Kukull, W., and Standish-Lee, P., “Drinking water aluminum and bioavailability,” *J. Am. Water Works Assoc.*, **87**(5), 86~100(1995).
3. 정정조, “응집침전공정에서 무기고분자응집제를 이용한 미세조

- 류의 제거,” 대한환경공학회지, **30**(1), 85~89(2007).
4. 강병수, 김종숙, 김정희, 유정희, “pH 조절을 통한 최적응집에 관한 연구,” 대한상하수도학회·한국물환경학회 2004공동 추계학술 발표회 논문집, B6~B13(2004).
5. 이영기, 이태용, 김대수, 김윤하, 유명인, 유병조, “CO₂를 이용한 원수 pH 조절으로 수돗물 품질 개선,” 대한상하수도학회·한국물 환경학회 2006공동 추계학술발표회 논문집, D177~D185(2006).
6. 문성용, 최성민, 김승현, 윤조희, “입자계수기를 이용한 정수처리 공정 평가,” 대한환경공학회지, **25**(4), 421~425(2002).
7. Van Benschoten, J. E., and Edzwald, J. K., “Measuring aluminum during water treatment : methodology and application,” *J. Am. Water Works Assoc.*, **82**(2), 71~78(1990).
8. Wnorowski, A. U., “Tastes and odors in the aquatic environment : a review,” *Water SA.*, **18**(3), 203~214(1992).
9. Graham, M., najim, I., Simpson, M., MacLeod, B., Summers, S., and Cummings, L., Optimization of powdered activated carbon application for geosmin and MIB removal, Report of American Water Works Association Research Foundation(2000).
10. 이화자, 손희중, 노재순, 이상원, 지기원, 유평중, “오존과 과산화수소를 이용한 Geosmin과 2-MIB 산화 : 동력학적 평가,” 대한환경공학회지, **29**(7), 826~832(2007).
11. Cook, D., Newcombe, G., and Sztajn bok, P., “The application of powdered activated carbon for MIB and geosmin removal : Predicting PAC doses in four raw waters,” *Water Res.*, **35**(5), 1325~1333(2001).
12. Meili, M., “Sources, concentration and characteristics of organic matter in softwater lakes and streams of the Swedish forest region,” *Hydrobiol.*, **229**, 23~41(1992).
13. Thurman, E. M., and Malcolm, R. L., “Preparative isolation of aquatic humic substance,” *Environ. Sci. Technol.*, **15**, 463~466(1981).
14. Reckhow, D. A., Singer, P. C., and Malcolm, R. L., “Chlorination of humic materials ; By-product formation and chemical interpretations,” *Environ. Sci. Technol.*, **24**, 1655~1664(1998).
15. Chang, E. E., Lim, Y. O., and Chiang, P. C., “Effects of bromide on the formation of THMs and HAAs,” *Chemosphere*, **43**, 1029~1034(2001).
16. Gang, D., Clevenger, T. E., and Banerji, S. K., “Relationship of chlorine decay and THMs formation to NOM size,” *J. Hazard.*

- Mater.*, **3909**(1-12), 1~12(2002).
17. Galapate, R. P., Baes, A. U., and Okada, M., "Trihalomethane formation potential prediction using some chemical functional groups and bulk parameters," *Water Res.*, **33**(11), 2555~2560 (1999).
18. Krasner, S. W., Formation and control of disinfection by-products in drinking water : Chemistry of disinfection by-products formation, *AWWA*, 27~52(1999).