

정수처리공정별 THMs 발생특성과 저감방안에 대한 연구

가길현 · 배민호 · 이준호 · 안치화 · 한인섭^{†,*} · 민병대*

서울시 영등포아리수정수센터 · *서울시립대학교 환경공학부

(2008년 2월 4일 접수, 2008년 6월 30일 채택)

A Study on Characterization of Formation and Reduction of THMs in Water Treatment Process

Gilhyun Ka · Minho Bae · Junho Lee · Chihwa Ahn · Ihnsup Han^{†,*} · Byungdae Min*

Yeongdeungpo Water Supply Office · *Department of Environmental Engineering, University of Seoul

ABSTRACT : DBPs(Disinfection By-Products) are most formed through the reactions between chlorine and NOM(Natural Organic Matter) in water treatment. In this study, occurrence of DBPs including THMs(Trihalomethanes) is evaluated. Also, influencing factors by the seasons and raw water quality were investigated for correlation among them and the characteristics of THMs formation by prechlorination process. This study investigated the operation condition for THMs removal depending on raw water quality. Water treatment plant from intake station to gauging well flows for about 10 hours in Y Water Supply Office. It is limited to control of THMs formation because of excessive reaction time between chlorine and THMs precursors in the intake station. Therefore, as multi-points prechlorination from intake station to gauging well, THMs formation was decreased in the water treatment, and it was willing to prevent overdosage of chlorine. The concentration of THMs was 0.021 mg/L in the summer, 0.015 mg/L in the winter, respectively. Also, THMs formation showed that 0.013 mg/L in the water of gauging well after prechlorination, 0.014 mg/L in the flocculation/sedimentation/filtration, 0.016 mg/L in the water after postchlorination, respectively. THMFP(Trihalomethane Formation Potential) removed 42.7% and 50% through the flocculation/sedimentation and filtration, respectively, and it is similar TOC removal efficiency. In this study, multi-points prechlorination from intake station to gauging well decreases in contact time and concentrations of NOM and chlorine. Also, it decreases in THMs and amount of chlorine used. In the result of multi-points prechlorination in the summer, the concentration of THMs was 0.013mg/L in the treated water. In view of these facts, THMs formation can be decreased approximately 50%.

Key Words : THMs, NOM, Residual Chlorine, DBPs, Multi-points Prechlorination

요약 : 정수처리과정 중 염소처리로 발생하는 소독부산물(DBPs) 발생현황을 파악하고 저감방안을 제시하기 위해 대표적인 염소 소독부산물인 트리할로메탄(THMs)의 공정별 발생현황을 조사하였다. 또한, 계절별 · 수질별 영향인자와의 상관관계를 분석하고, 공정에서 전 염소 다단투입을 통하여 THMs 생성현황을 파악하고, 원수 수질에 따라 THMs를 저감시킬 수 있는 최적의 운영방안을 고찰하고자 하였다. Y 정수센터는 취수장과 착수정간의 도수시간이 평균 10시간이 소요되어 취수장에서 전염소 처리 시 염소와 THMs 전구물질간의 충분한 반응시간을 제공함으로써, THMs 발생을 억제하는데 한계를 가지고 있다. 따라서, 도수관로상의 THMs 생성을 억제하고 염소 과잉투입을 방지하기 위하여 전염소를 취수장과 착수정에 동시에 투입하여 정수중 THMs 발생을 저감시키고자 하였다. 계절별 정수의 THMs 발생량은 저수온기(겨울철)에 0.015 mg/L 이하로 적게 생성되었고, 고수온기(여름철)에는 평균 0.021 mg/L 이상 생성되어 수온상승에 따라 증가하였다. 공정별 THMs 발생량은 전염소 처리 후 착수정 원수에서 평균 0.013 mg/L, 응집/침전/여과 공정에서 0.014 mg/L, 후염소 처리 후 정수에서 평균 0.016 mg/L로 정수처리과정 시 착수정 원수에서 대부분의 THMs이 발생하였다. 정수처리 공정에서 트리할로메탄생성능(THMFP)은 응집 · 침전공정 후 42.7%가 제거되었고, 여과공정 후 약 50%가 제거되어 공정에서 TOC 제거율과 비슷한 추세를 보였다. 전염소 다단투입은 취수장과 착수정에 염소를 분할하여 투입함으로써 유기물질과 염소와의 접촉시간(T) 및 농도(C)를 감소시키고, 염소투입량을 최적화하여 도수관로에서 생성되는 THMs를 억제시키고 염소사용량을 저감시킬 수 있었다. 수온이 높은 하절기에 전염소 다단 투입을 실시한 결과, 정수에서 THMs 농도는 평균 0.013 mg/L이 생성되어 취수장 단독 전염소 처리 시기에 발생된 정수 THMs 농도 대비 약 50%를 저감시킬 수 있었다.

주제어 : 트리할로메탄, 천연유기물질, 잔류염소, 소독부산물, 다단전염소처리

1. 서론

정수처리공정에서 소독제로 사용되고 있는 염소는 살균

력이 뛰어나며, 잔류소독능이 있고 가격이 매우 저렴하여 흔히 사용되고 있는 수처리제이다. 정수장에서는 전 염소 처리를 통해 원수에 존재하는 암모니아, 철, 망간 등의 유 · 무기물을 산화시키고 있으며, 후 염소처리를 통해 인체에 유해한 수중 미생물(세균 및 바이러스 등)을 사멸시키거나 불활성화시켜 수돗물을 안전하게 공급하고 있다.

[†] Corresponding author
E-mail: ishan@uos.ac.kr
Tel: 02-2210-2418

Fax: 02-2210-2245

그러나, 원수 중에 존재하는 천연유기물질(NOM ; Natural Organic Matter)과 소독제인 염소가 반응하여 소독부산물(DBPs ; Disinfection By-Products)을 생성시키는 문제점을^{1,2)} 가지고 있어 정수처리 과정에서 소독제와 소독부산물의 상관관계를 동시에 고려할 필요성이 있다.³⁾ 염소와 유기물질과 반응하여 생성되는 소독부산물로는 트리할로메탄(THMs ; Trihalomethanes), 할로아세트에시드(HAAs ; Haloacetic Acids), 할로아세틱니트릴(HANs ; Haloacetonitriles), 할로케톤(HKs ; Haloketones), 클로랄하이드레이트(CH ; Chloral Hydrate) 등이 있으며,³⁾ 국·내외적으로 소독부산물에 대한 규제를 마련하고 점차 강화해 나가고 있는 추세이다.^{4~6)}

우리나라의 경우, 먹는물 수질기준에 트리할로메탄(THMs), 할로아세트에시드(HAAs) 등의 염소소독부산물 7종에 대하여 수질기준이 마련되어 있으며,^{7,8)} THMs 항목인 브로모디클로로메탄(BDCM ; Dichlorobromomethane)과 디브로모클로로메탄(DBCM ; Dibromochloromethane)에 대한 항목 기준을 0.03 mg/L와 0.1 mg/L로 신설하여 2009년 1월부터 적용하도록 입법예고(환경부공고 제2007-257호) 하였다.

현재 서울시 정수센터 수처리 공정에서 생성되는 THMs의 연평균 농도는 먹는물 수질기준 0.1 mg/L의 1/5 이하로 매우 낮은 수준이나,⁹⁾ 장래(2012년 목표) 먹는물 수질기준 1/10 수준까지 낮추기 위해 서울시 6개 정수센터에서는 지속적으로 수질관리를 강화해 나가고 있다.

Y 정수센터에서는 전염소처리, 혼화, 응집, 침전, 모래여과, 소독(후염소처리)의 일반적인 정수처리과정을^{10,11)} 거쳐 수돗물을 생산하고 있으나, 취수장에서 전염소처리 시 취수장과 착수정간의 긴 도수거리(약 23 km)로 인하여 유기물질과 염소와의 충분한 접촉시간을 제공함으로써 소독부산물을 제어하는데 불리한 여건을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 정수처리과정 중 염소처리로 발생되어지는 소독부산물 발생현황을 파악하고 저감방안을^{12,13)} 마련하기 위해 대표적인 염소 소독부산물인 THMs의 공정별 발생현황을 조사한 후, 계절별·공정별 영향인자와의 상관관계를 분석했다. 또한, 염소 단투입을 통하여 THMs 생성현황을 파악한 후, 원수 수질에 따라 THMs를 저감시킬 수 있는 최적의 운영방안을 제시하고자 하였다.^{14~18)}

2. 연구방법

2.1. 연구범위 및 내용

본 연구는 정수처리과정 중 염소처리에 의해 생성되어지는 소독부산물을 효과적으로 제어하기 위하여 대표적인 염소 소독부산물인 THMs의 생성량을 계절별·공정별로 조사하고 생성영향인자와의 관계를 Lab 실험을 통하여 비교·분석한 후, THMs 저감을 위한 현장실험을 진행하였으며, 원수 및 공정수의 수질변동 및 전·후염소 처리 현황, 계절별·공정별 THMs 발생현황, THMs 생성영향인자와의 관계 분석(TOC, 수온, pH), THMs 생성 저감을 위한 공정 실험(전염소 단투입에 의한 THMs 생성 저감 실험)을 하였다.

2.2. 분석대상 및 방법

2007년 2월부터 2007년 11월까지 P 취수장 원수 및 Y 정수센터 공정수(원수, 침전수, 여과수, 정수)를 대상으로 수온, 탁도, pH, TOC(Total Organic Carbon), THMs, THMFP 등을 일 1회 이상 분석하였다.

본 실험의 분석은 먹는물 수질공정시험방법과 수질오염공정시험법, Standard Methods 등을 준하여 분석하였으며, 분석항목 및 분석기기는 Table 1과 같다. THMs 분석 시 전처리 장치로는 Tekmar 3000 concentrator Purge & Trap을 사용하였으며, 40 mL vial에 시료를 채운 후 Ascorbic Acid 25 mg과 HCl(1+1)을 이용하여 pH를 2로 조정후 Purge & Trap 하였고, GC/MSD의 분석조건은 Table 2와 같다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 원수의 수질변동 및 전·후염소 처리 현황

3.1.1. 원수의 수질변동

Y 정수센터 정수처리공정에 이용된 원수의 탁도, pH, 수온, 조류 개체수, TOC에 대하여 계절별로 조사한 연평균 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 1. Analytical items and the instruments

Item	Analytical Instrument
Temp.	Thermometer, TES-1300
Turbidity(NTU)	Tubidimeter, HACH, Model-2100N
pH	pH meter, Orion, Model 520A
TOC	TOC Analyzer, Sievers, Sievers 900
THMs	GC/MS, Agilent, Technologies, HP 6890 - MSD 5975

Table 2. Operating condition of GC/MSD for THMs

Item	Condition
Column	HP-5MS(30 m × 0.25 mm I.D × 0.25 μm film thickness)
Carrier gas flow	He at 0.8 mL/min
Injection port temp.	200 °C
MSD transfer line temp.	280 °C
Retention time	11.5 min
Oven temperature	Init. : 5 min 35 °C step 1 : 10 °C/min to 120 °C step 2 : 10 °C/min to 210 °C

Table 3. Raw water quality(Y water supply office)

Year	Turbidity (NTU)	pH	Temp. (°C)	Algae (number/mL)	TOC (mg/L)	
2006	Maximum	461.9	9.0	26.2	130,910	4.16
	Minimum	2.1	6.6	2.0	60	1.46
	Average	20.9	7.8	15.3	14,151	2.50
2007	Maximum	125.0	8.7	24.9	51,350	3.92
	Minimum	3.1	7.0	3.3	130	1.48
	Average	13.3	7.8	15.5	9,150	2.39

2007년도 원수 탁도는 평균 13.3 NTU로 전반적으로 낮은 탁도를 나타내었으나, 8~9월 강우기에 최고 125.0 NTU를 나타내었다. pH의 경우 최소 7.0, 최대 8.7로 2006년에 비해 큰 변동은 나타나지 않았으나, 조류 증식시기에 다소 높아지는 경향을 나타내는 경향을 볼 수 있다. 조류의 농도는 최대 51,350개체수/mL에서 최소 130개체수/mL까지 변동폭이 크게 나타났으나, 주로 2~4월 갈수기에 걸쳐 높게 나타났다. 전반적으로 강우가 적은 갈수기와 조류가 대량으로 증식하는 봄철에 TOC의 농도가 크게 증가하였다.

3.1.2. 전·후염소 처리현황

전염소처리는 원수에 존재하는 조류, 병원성 미생물 등을 사멸시키거나, 도수 관로의 어패류 성장 방지 및 원수에 유입되는 암모니아, 철, 망간 등을 산화시켜 후속공정에서 잔류염소가 안정적으로 유지되도록 하고, pH 상승시기인 갈수기에 원수 pH를 저감시켜 응집제 최적주입 및 응집효율을 향상시켜 주는 등 일반 정수처리공정에서 중요한 역할을 해주고 있다. 그러나, 전염소 처리 시 유기물질(THMs 전구물질)과 염소가 반응하여 THMs 등의 소독부산물을 발생시키는 부작용을 가지고 있어 원수 수질에 따라 염소가 적정하게 투입되도록 관리해주는 것이 필요하다. Y 정수센터의 전염소처리는 유량·농도 비례 제어방식으로 착수정 잔류염소 0.1 mg/L 이상 되도록 피드백하여 2007년 상반기까지 운영하여 왔다. Fig. 1은 정수처리 공정 중 전·후염소 주입지점을 나타낸 것이다.

2007년 11월까지 Y 정수센터의 전·후염소 주입현황과 원수의 NH₃-N 농도 자료를 분기별로 정리하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Concentration of prechlorine, postchlorine and NH₃-N (2007.1~2007. 11.)

quarter		NH ₃ -N (mg/L)	Prechlorination (mg/L)	Postchlorination (mg/L)
1/4	Average	0.12	2.85	0.77
	Maximum	0.31	5.07	1.25
	Minimum	0.03	1.13	0.65
2/4	Average	0.05	2.12	0.89
	Maximum	0.11	3.42	1.09
	Minimum	0.03	1.36	0.68
3/4	Average	0.05	1.57	1.00
	Maximum	0.14	3.40	1.42
	Minimum	0.03	0.39	0.75
4/4	Average	0.04	0.48	0.83
	Maximum	0.07	0.92	1.10
	Minimum	0.02	0.29	0.62
2007	Average	0.07	1.92	0.88

원수 중 NH₃-N의 농도는 1/4분기 0.12 mg/L를 제외하고 평균 0.05 mg/L 이하의 낮은 농도로 유입되었고, 파과점 염소처리를 위해 전염소가 연평균 1.92 mg/L 주입되었으며, 소독 및 송수 잔류염소 유지를 위해 후염소가 0.88 mg/L 이 주입되었다.

3.2. THMs 발생현황 분석 결과

3.2.1. 계절별 THMs 분석결과

정수처리과정에서 염소소독부산물의 시기별 발생현황을 파악하기 위해 2월부터 11월까지 대표적으로 THMs을 분석하고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.



Fig. 1. Prechlorine and postchlorine injection points of water treatment process.

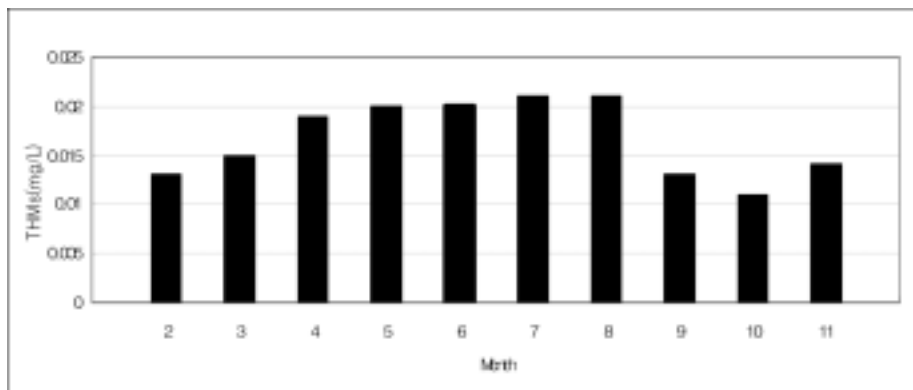


Fig. 2. Monthly THMs concentration change of treated water.

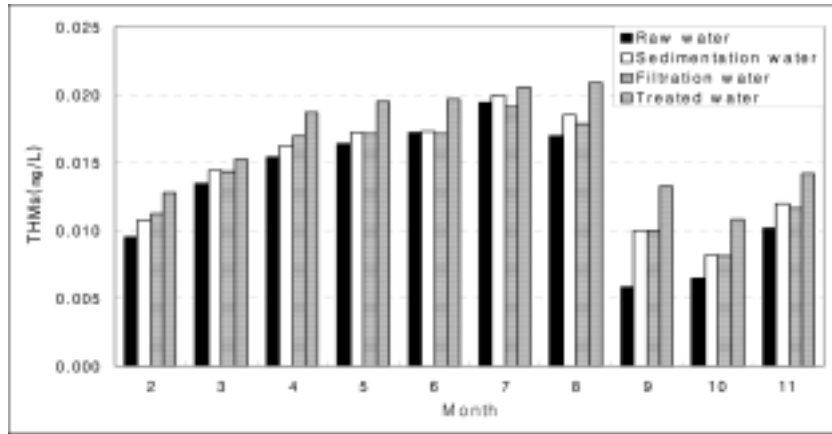


Fig. 3. THMs concentration at each process.

계절별로 정수 THMs 발생농도는 고수온기인 7월과 8월에 평균 0.021 mg/L로 높게 생성되었으며, 저수온기에는 0.015 mg/L 이하를 나타냈다. 연평균 정수 THMs 농도는 0.016 mg/L이었으며 최대 0.029 mg/L, 최소 0.007 mg/L로 분석되었다. 저수온기(1월~3월)의 경우, 암모니아성 질소 및 조류 등 유기물질의 영향 등으로 타 시기에 비해 전염소 처리량이 많았으나, 공정에서 THMs 농도는 0.015 mg/L 이하로 낮게 발생되어지는 특징을 보이고 있다.

3.2.2. 공정별 THMs 분석결과

Fig. 3과 Table 5에 정수처리공정별 THMs 발생 거동을 나타내었다. 한강 원수에서는 THMs의 농도가 검출한계 이하였으며, 전염소처리를 한 원수에서 평균 0.013 mg/L가 생성되었고, 응집/침전/여과공정에서는 0.014 mg/L, 후염소처리를 한 정수에서 평균 0.016 mg/L가 생성되었다. 정수장 내에서 발생되어지는 THMs의 생성비율은 전염소 처리 후 81.3%, 응집/침전/여과 공정에서 6.3%, 후염소 처리 후 12.5%로 전염소처리 공정이 THMs 발생에 주로 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

3.3. THMs 생성영향인자와의 상관관계 고찰

소독부산물 생성영향인자인 유기물질농도(TOC), 수온, pH 등의 계절별 변동과 정수처리과정에서 생성된 THMs 농도와의 상관관계를 고찰하고 THMs를 저감시킬 수 있는 운영방안을 검토하고자 하였다.

Table 5. THMs formation at each process(2~11 month)

	Raw water (gauging well)	Sedimentation water	Filtration water	Treated water
Average (mg/L)	0.013	0.014	0.014	0.016
Maximum (mg/L)	0.028	0.029	0.027	0.029
Minimum (mg/L)	0.000	0.004	0.004	0.007

3.3.1. TOC 변동의 영향

수중에 존재하는 휴믹물질은 소독부산물의 전구물질로서 휴믹물질의 계절별 변동에 따라 THMs 생성에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 풍납 원수 및 공정수를 대상으로 Lab 실험을 실시하여 THMF의 거동을 파악한 후, 정수처리과정에서의 TOC와 THMs의 거동을 비교하였다. THMF 실험은 P 취수장 원수와 공정수를 대상으로 TOC 농도의 3배의 염소를 주입하여 실시하였고 실험시간은 48시간 동안 진행하였다. 실험에 이용된 원수 수질은 탁도 8.0 NTU, 수온 13°C, TOC 2.0 mg/L이었다.

Fig. 4는 원수를 대상으로 THMF 분석을 3회 수행한 결과이고, Fig. 5는 원수 및 공정수를 대상으로 THMF 실험을 실시하고 공정에서 THMs 생성능의 제거효율을 나타내었다.

THMF 실험 결과, Fig. 4와 같이 반응시간 초기인 3시간부터 12시간까지 THMs 생성이 급격히 증가하다가 완만해지는 변화추세를 보였으며, 전구물질과 주입된 염소간 반응초기에 빠른 반응이 발생되어 12시간까지의 THMs 생성농도가 48시간 후에 생성된 THMs 농도의 약 86%를 차지하였다. 정수처리공정에서 THMF은 응집·침전공정 후 42.7%로 제거되었고, 여과공정을 거친 후 약 50%가 제거되었다. 이것은 소독부산물의 전구물질의 유기물 지표로 이용되고 있는 TOC가 공정에서 제거되는 추세와 일치하는

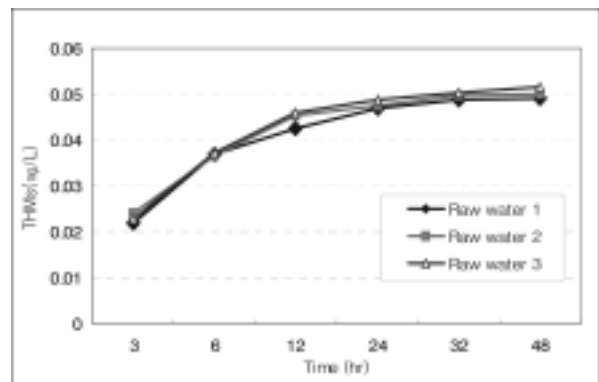


Fig. 4. THMF depending on the contact time.

Table 6. TOC removal in process units in 2007

Month	TOC(mg/L)			TOC Removal Efficiency of Coagulation and Sedimentation(%)	TOC Removal Efficiency of Treated Water(%)
	Raw water(RW)	Sedimentation water(SW)	Treated water(TW)	(RW - SW) / RW	(RW - TW) / RW
1	2.09	1.26	1.00	40	52
2	2.76	1.56	1.35	44	51
3	3.08	1.82	1.59	41	48
4	2.98	1.70	1.40	43	53
5	2.74	1.48	1.27	46	54
6	2.36	1.38	1.23	42	48
7	2.26	1.30	1.21	42	46
8	2.21	1.04	0.93	53	58
9	2.12	1.21	1.09	43	49
10	1.89	1.23	1.00	35	47
11	2.14	1.40	1.13	35	47
Average	2.42	1.40	1.20	42	50

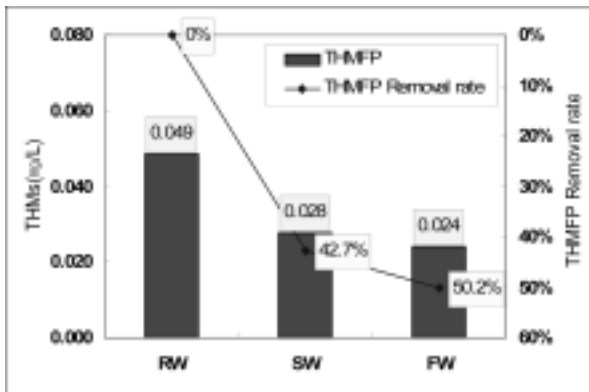


Fig. 5. THMFP removal efficiency at process.

경향을 보였다. 정수처리공정에서 TOC 현황 및 제거율을 Table 6에 정리하였다.

공정에서 발생하는 THMs 생성량과 전구물질인 유기물질간의 관련성을 알아보기 위해 일간 원수 중의 TOC와 정수의 THMs의 변동현황을 조사하여 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6과 같이 정수처리공정에서 TOC 농도에 따른 THMs

발생량은 대략적으로 일치함을 보였으며, TOC 농도에 따른 THMs의 생성량을 추정할 수 있다.

3.3.2. 수온 변동의 영향

THMs 생성특성에 있어 수온은 전구물질과 염소와의 반응속도를 좌우하는 영향인자로 정수장에서 THMs 발생량은 계절에 따라 여름철에는 증가하고 수온이 낮은 겨울철 저수온기에는 감소하는 추세를 반복적으로 나타내고 있다. 따라서, 수온변화가 THMs 생성에 미치는 영향을 알아보기로 하자 실험실(Lab)에서 원수를 대상으로 일정수온에서 THMFP 실험을 실시하였다. 수온에 따른 THMs 생성능 실험에 사용된 원수의 수질현황은 Table 7과 같다.

수온에 따른 THMFP 실험 결과는 Fig. 7에 정리하였다.

Fig. 7에서와 같이 48시간 후의 THMs 생성량을 수온에 따라 비교해보면 10℃에서는 3℃의 THMs 생성량의 1.2 배로 큰 증가폭을 나타내지 않았으나, 23℃에서는 2배차로 THMs 생성량이 증가하였다. 반응시간 초기에도 3℃와 23℃의 THMs 생성량 비는 1.8배(6시간), 2.1배(12시간)로 큰 차이를 나타냈다.

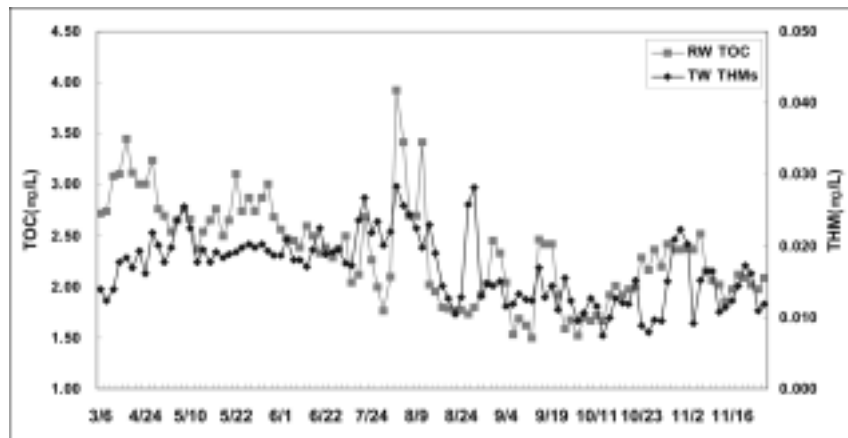


Fig. 6. Daily change of RW TOC and TW THMs.

Table 7. Water quality used in THMFP experiment

Raw water quality				
Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (CaCO ₃ as mg/L)	TOC (mg/L)	Conductivity (μs/cm)
4.2	8.2	43	1.8	144

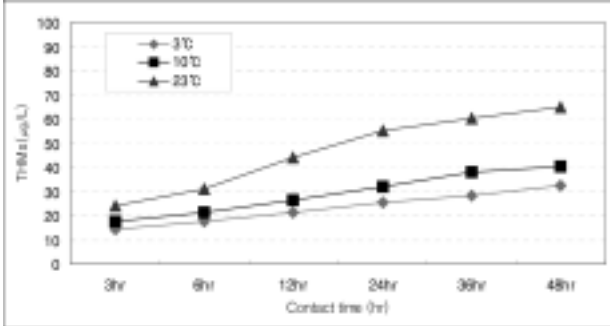


Fig. 7. THMFP depending on temperature change.

2007년 정수장에 유입된 원수의 수온은 최대 24.9°C, 최소 3.3°C로 변동폭이 약 22°C였으며 연평균 15.5°C로 조사되었다. 수온과 정수 THMs 변동현황은 Fig. 8과 같으며 수온과 정수 THMs 생성량과의 상관관계(Fig. 9)는 R² = 0.51이었다.

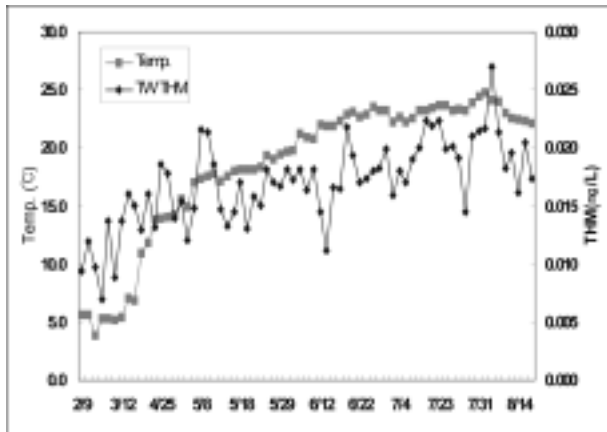


Fig. 8. Daily change of temperature and TW THMs.

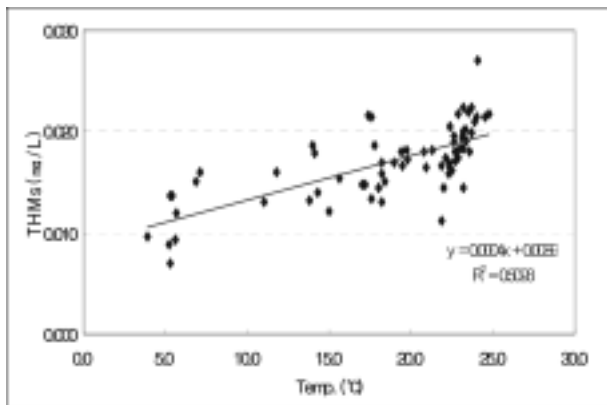


Fig. 9. Relationship of temperature and TW THMs.

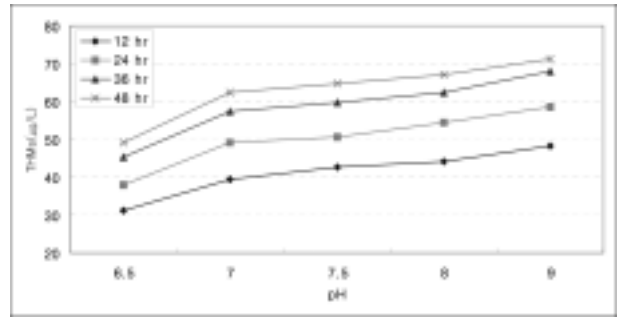


Fig. 10. Trend of THMFP depending on pH change.

3.3.3. pH 변동의 영향

한강의 경우, 봄·가을철 갈수기에 조류번식 등으로 인하여 pH가 8.0 이상 높이 상승하여 정수처리공정의 효율을 저하시키고 있으며, 이 시기에 응집효율을 상승시키기 위하여 정수장에서는 응집제주입 및 염소투입을 강화시켜 운영하고 있는 실정이다. pH가 THMs 생성에 미치는 영향을 확인하기 위해 한강 원수를 대상으로 NaOH와 H₂SO₄으로 pH를 조정하고 THMFP 실험을 실시하였다. 실험 결과는 Fig. 10과 같다.

pH 조정에 따른 THMFP는 pH가 낮아질수록 THMs 생성량이 감소하였으며, pH 6.5의 원수의 THMFP는 pH 9.0의 THMFP보다 약 1.5배 낮았다.

3.4. THMs 생성저감을 위한 공정실험

3.4.1. 전염소 다단계투입에 의한 THMs 생성저감 실험결과
Y 정수센터는 취수장과 착수정간의 도수관로의 길이가 23.3 km로 도수하는데 평균 10시간이 소요되어, 취수장에서 전염소 처리 시 염소와 THMs 전구물질간의 충분한 반응시간을 제공함으로써 THMs 발생을 억제시키는데 한계를 가지고 있었다. 또한, 파과점 염소처리를 위해 착수정 잔류염소 목표값 0.1 mg/L 이상 유지하도록 전염소 처리를 함으로써 염소과잉투입과 소독부산물인 THMs가 과다 발생하였다. 따라서, 염소과잉투입을 방지하고 도수관로상의 THMs 생성을 억제하기 위하여 전염소를 취수장과 착수정에서 다단계로 투입하여 정수 THMs 발생을 저감시키고자 하였다.

공정실험기간의 원수 수질현황은 Table 8과 같으며 전염소 투입 지점을 취수장, 취수장+착수정(다단계 투입), 착수정 순으로 변경하여 염소사용량 및 THMs 발생량을 비교하여 최적 운영조건을 검토하였다.

공정실험 결과는 Table 9에 정리하였으며 일간 변동추세는 Fig. 11에 나타났다.

Table 8. Raw water quality inflowing the treatment plant by multi-points prechlorination(8.1~9.14)

Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (CaCO ₃ as mg/L)	TOC (mg/L)	Temperature (°C)
35.7	7.4	36	2.16	22.7

Table 9. Chlorine injection rate and THMs formation for change of prechlorine injection point

Prechlorine injection point	Term		Prechlorine injection rate(mg/L)		THMs(mg/L)	
			Intake station	Gauging well	Raw Water (Gauging well)	Treated Water
Intake station	8.1~8.17	Average	1.61	0	0.021	0.024
	8.25~8.28	Average	1.41	0	0.025	0.026
Intake station+ Gauging well	8.20~8.24	Average	0.5	0.5	0.005	0.013
	9.04~9.11	Average	0.5	0.6	0.003	0.013
Gauging well	9.12~9.14	Average	0.0	0.7	0	0.012

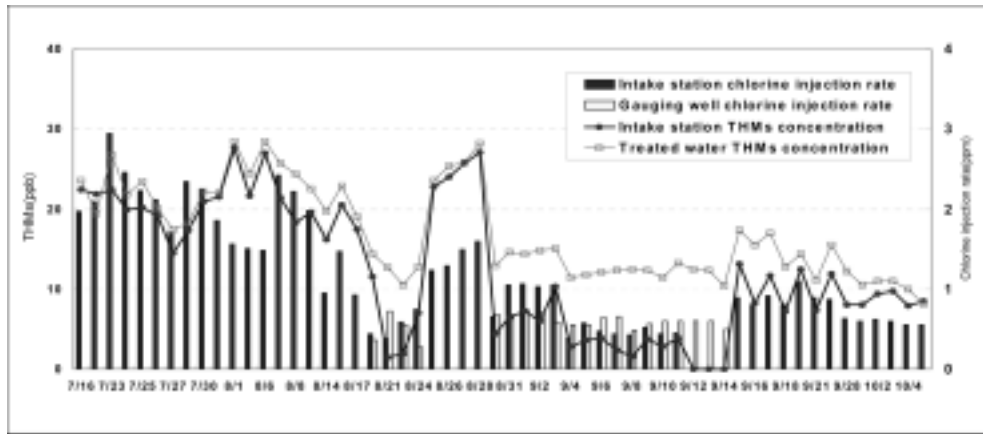


Fig. 11. Chlorine injection rate and daily change of THMs.

전염소 다단투입 공정실험 결과, 취수장 단독 전염소처리 (기존방식) 시 정수 THMs 발생량이 전년도 동기간에 발생된 THMs 농도 0.024 mg/L와 비슷한 약 0.025 mg/L로 높게 생성되었다. 취수장+착수정 동시 전염소 처리 시에는 도수관로에서 발생하는 THMs 농도를 억제하고 염소투입량을 미세 조정하여 정수 THMs 농도가 평균 0.013 mg/L로 취수장 염소투입 시기보다 THMs 발생량이 약 50% 저감되었다. 착수정 단독 염소처리 시에는 염소투입량 및 THMs 발생량이 가장 적었으나, 착수정 염소투입설비가 수동으로 유량변동에 실시간으로 대응을 하지 못하는 문제점을 가지고 있었다. 따라서 전염소 투입지점 변경 실험을 종합하여 판단해 볼 때, 취수장에서 최소 염소요구량만큼 전염소처리를 한 다음 착수정에서 추가로 염소처리를 실시하는 것이 THMs 생성을 억제시키고 염소사용량을 저감시킬 수 있는 방법이라고 판단된다. 전염소 다단 투입 시, 암모니아성 질소가 대량 유입되는 봄철 저수온기에는 관로상에서 THMs 생성량이 많지 않으므로 취수장에서 전염소처리 비율을 높여주고, 수온이 높은 하절기에는 착수정 전염소처리 비중을 높여주는 것이 바람직한 방법이라고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 현장 실험을 통해 실제 자연수계에 존재하는 용존물질을 모델로 하여 THMs의 발생을 억제 하였고, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 계절별 정수의 THMs 발생량은 저수온기(겨울철)에 0.015 mg/L 이하로 낮게 생성되었고, 고수온기(여름철)에는 평균 0.021 mg/L 이상 높게 생성되어 수온상승에 따라 증가하였으며, 공정에서 수온변화에 따른 정수 THMs 생성량과의 상관관계는 $R^2 = 0.51$ 이었다.
- 2) 공정별 THMs 농도는 전염소 처리 후 착수정 원수에서 평균 0.013 mg/L, 응집/침전/여과 공정에서 0.014 mg/L, 후염소 처리 후 정수에서 평균 0.016 mg/L로 발생량의 81.3%가 도수관로에서 생성되는 것으로 나타났다.
- 3) 정수처리공정에서 THMFp은 응집·침전공정 후 42.7%, 여과공정 후 약 50%가 제거되어 공정에서 TOC 제거율과 비슷한 추세를 보였다.
- 4) 한강(풍납) 원수를 대상으로 유기물질과 염소접촉시간에 따른 THMFp 실험을 실시한 결과, 접촉시간 증가에 따라 THMFp이 증가하였으며, 반응초기인 12시간까지 THMs 농도가 48시간 후 생성된 THMs 농도의 약 86%를 차지하였다.
- 5) 수온을 각각 3℃, 10℃, 23℃로 향온시키고 THMFp 실험을 실시한 결과, 수온 증가에 따라 THMs 농도가 0.0328 mg/L, 0.0405 mg/L, 0.0650 mg/L로 높게 생성되었으며, 3℃와 23℃의 수온 차이에서 약 2배의 THMFp 차이를 보였다. pH에 따른 THMFp은 pH를 낮게 조정할 시료일수록 THMFp이 감소하였으며, pH 6.5로 조정할 시료가 pH 9.0으로 조정할 시료보다 약 1.5배 낮았다.
- 6) 수온이 높은 하절기에 전염소 다단 투입을 실시한 결과, 정수에서 THMs 농도는 평균 0.013 mg/L이 생성되어

취수장 단독 전염소 처리시기에 발생된 정수 THMs 농도 대비 약 50%를 저감시킬 수 있었다.

참고 문헌

1. 유순주, 황종연, 하성룡, 권오덕, 김창수, 이준배, “상수원수 유기물 특성과 염소소독부산물 생성능,” 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, 공동추계학술발표회 논문집, 안성, pp. 105~108(2003).
2. 박 현, 장현성, 정의선, 유명진, 이수원, 한선희, “정수처리공정에서 천연유기물질과 염소소독부산물 생성능 변화,” 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, 대구, pp. 64~99(2006).
3. 2005 수질조사분석보고서, 서울특별시 상수도연구소, pp. 499~528(2005).
4. Yoon, J., Choi, Y., Cho, S., and Lee, D., “Low trihalomethane formation in Korean drinking water,” *Science of the Total Environment*, **302**, 157~166(2003).
5. Musikavong, C., Wattanachira, S., Marhaba, T., and Pavanant, P., “Reduction of organic matter and trihalomethane formation potential in reclaimed water from treated industrial estate wastewater by coagulation,” *J. Hazard. Mater.*, **B127**, 48~57(2005).
6. Rodrigues, P.M.S.M., Eseves, J.S.G.E., Antines, M.C.G., “Factorial analysis of the trihalomethane formation in water disinfection using chlorine,” *Anal. Chim. Acta*, **595**, 266~274(2007).
7. 윤제용, 송명석, “기존 정수처리 공정에서 트리할로메탄 생성 및 제거 특성에 관한 연구,” 한국수질보전학회지, **12**(2), 159~166(1996).
8. 김상은, 구윤희, 유명진, 장현성, 이수원, 한선희, “정수처리공정에서 NOM 거동과 소독부산물 발생특성,” 상하수도학회지, **21**(4), 395~407(2007).
9. 2006 상수도 연구집, 서울특별시 상수도연구원, pp. 127~160(2006).
10. 김상은, 유명진, 노방식, 장현성, 허영봉, 이수원, 한선희, “하절기 상수도계통에서 소독부산물 분포 특성에 관한 연구,” 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, 대구, pp. 355~360(2006).
11. 남숙현, 오현제, 최윤정, 황태문, “정수장 유입원수의 소독부산물 영향인자 및 제어에 관한연구,” 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, 수원, pp. 1106~1110(2004).
12. Kim, I., Hong, S., Hwang, I., Kwon, D., Kwon, J., and Huang, C.P., “TOC and THMFP reduction by ultrasonic irradiation in wastewater effluent,” *Desalination*, **202**, 9~15(2007).
13. Yuefeng, F.X., “Disinfection Byproducts in Drinking Water,” Lewis publishers, London, pp. 7~21(2004).
14. 오순미, 김승현, 이민규, 허미란, 감상규, “상수원수의 유기물특성에 따른 염소처리 시 THMs 및 HAAs의 생성특성,” 한국환경과학회지, **15**(8), 785~797(2006).
15. 정팔진, 임봉수, 김영철, 김영규, “상수원수중의 THMs 전구물질과 상수중의 THMs 제거에 관한 연구,” J. KSWPRC Feb, pp. 8~14(1992).
16. 최윤정, 오현제, 남숙현, 김주원, “한강수계 정수장 유입원수의 소독부산물 발생특성 및 제어방안,” 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, 서울, pp. 621~624(2004).
17. 이성우, 이현동, 한명호, 광동희, 김충환, “고도상수처리 - 원리 및 응용,” 동화기술, pp. 541~661(2004).
18. Wong, H., Mok, K.M., and Fan, X.J., “Natural organic matter and formation of trihalomethanes in two water treatment processes,” *Desalination*, **210**, 41~51(2007).