

## 고효율 오존장치를 이용한 NOM 제거 및 Bromate 생성 특성

송기주<sup>†</sup> · 최일환 · 백경희 · 이상태

한국수자원공사 수돗물분석연구센터

### Investigation on Bromate Formation and Removal of NOM during Ozonation in Super Ozone Mass Transfer Reactor

Ki-Ju Song<sup>†</sup> · Il-Hwan Choi · Kyoung-Hee Back · Sang-Tae Lee

Water Analysis and Research Center, Korea Water Resources Corporation

(Received 8 September 2006, Accepted 24 October 2006)

#### Abstract

In this study we investigated the removal characteristics of NOM and bromate formation characteristics in SOMT reactor. The system was recently developed as a novel ozone reactor and installed in SJ pilot plant. DOC values were decreased within 3% after treatment of 0.5~2.0 mg/L ozone dosage in SOMT reactor while the UV<sub>254</sub> value was 69% decreased at 2.0 mg/L ozone dosage. The composition of NOM was analysed by LC-OCD (Organic Carbon Detector) after ozone treatment in SOMT reactor to elucidate the variation of NOM character. Polysaccharide (more than 20,000 g/mol) fraction of NOM was decomposed while building blocks (350~500 g/mol) and neutral (less than 350 g/mol) fraction increased. Spiked bromide reacted with 0.5~2.0 mg/L ozone dosage in the SOMT reactor. The bromate formation was proportional to the ozone dosage ( $R^2 = 0.978$ ) but not proportional to reaction time. The maximum concentration of formed bromate was not exceeded to 10% of spiked bromide concentration.

**keywords** : Natural organic matter, Ozonation, Super ozone mass transfer (SOMT)

## 1. 서론

수질 오염에 취약한 하천 표류수를 수원으로 하는 우리의 상수원수는 다양한 형태의 오염물질을 포함하고 있어 모래여과와 염소소독을 근간으로 하는 표준정수방법으로는 처리에 한계가 있다. 또한 염소 소독 후 생성되는 THMs는 인체에 심각한 독소로 작용하기 때문에 대체소독의 필요성이 요구되고 있다(Yoon et al., 2005). 이러한 정수처리의 한계 때문에 미량유기물질의 제거를 위한 오존·생물활성탄공정과 같은 고도 정수처리 기술이 도입되어 이용되고 있다. 이때 사용되는 오존의 특징은 강한 산화력을 갖는 물질로 세포의 원형질에 직접 작용하여 세포를 파괴하고 고분자의 생물학적 난분해성 유기물을 저분자의 생분해성 유기물로 분해한다. 또한 유입수에 존재하는 병원성 미생물을 살균하고 용존 산소의 농도를 증가시키며, 금속이온과 무기물질을 산화한다. 초기의 오존사용은 살균만을 이용한 것이었으나, 생물학적 처리 공정과 병합하여, 조류나 중금속, 시안 및 질화물 제거에 응용되고 있다. 현재 우리나라에서는 18개의 고도 정수처리 시설이 운영 중인데(노 등, 2002), 안전한 수돗물을 공급하기 위해서는 앞으로 고도 정수처리 시설의 사용이 계속 늘어날 것으로 예상된다(Baron

et al., 1997). 그러나 오존 전달율이 낮은 경우 경제적인 오존처리를 어렵게 하여, 오존 전달효율을 향상시키기 위한 방안이 계속적으로 요구되고 있으며, 다양한 오존 전달 장치와 오존반응기들이 꾸준히 연구되고 생산되고 있다(Wright et al., 1998).

본 연구에서는 한강 수계 SJ 정수장 내 pilot plant로 설치되어 운영 중인 고효율 오존 전달 반응기를 이용하여 오존 전달율과 이용률을 조사하고, 한강수계를 대상으로 오존 처리에 의한 자연유기물질의 제거 특성 및 대표적인 소독 부산물인 bromate의 생성특성을 조사하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

본 실험에 적용한 오존반응 시스템은 Fig. 1과 같이 제작되었다. 저장용량 3 m<sup>3</sup>의 저장조에 저장된 원수와 여과수는 펌프와 유량계를 통하여 유량이 조절되어 관으로 유입되며, 오존은 산소발생기에서 생산된 산소를 이용하여 코로나 방전식의 오존 발생기(AZCOZON)로 발생시켜 Injector 방식으로 주입관에 흡입시키는 방법을 사용했다. 주입된 오존가스는 전단력(sharing force)과 이중격막 원리에 기초를 둔 G.O.Tech社의 독자적인 방식인 SOMT 반응기 안에서 물리적으로 매질인 물에 거의 완전 용해되어 대상 물질과

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
94kjsong@hanmail.net

반응하였다. 오존 농도 조절은 오존 발생기에 부착된 운영 단계(0~10단계)에 의해 0.5~2.0 mg/L까지 조절하였다. 반응기를 통과한 시료는 관을 따라 흐르며 지속적으로 반응이 일어나며, 특정 시간대별로 시료를 채취할 수 있도록 관에 일정 간격으로 포트들을 설치하여 채수하였다. 실험에 사용된 모든 재질들은 산화에 의한 부식을 방지하기 위하여 stainless steel 재질로 제작하였으며 한강 수계 SJ정수장에 pilot plant로 설치되었다. 전 오존처리에 사용한 상수원수와 후 오존처리에 사용한 모래여과수의 수질 특성은 Table 1에 정리하였다.

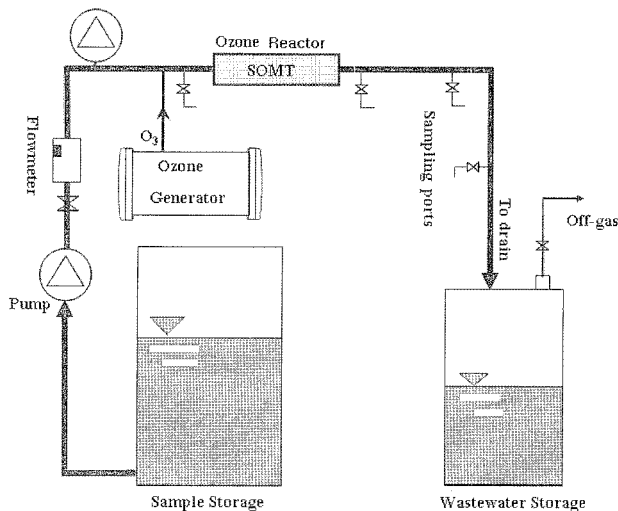


Fig. 1. Schematic diagram of the SOMT.

Table 1. Main characteristics of Paldang reservoir raw water

Main characteristics	Raw water	Sand filtered water
pH	8.6~7.1	6.9~6.5
Temperature (°C)	20~23	20~23
Bromide (µg/L)	0.1, 1.0	0.1
DOC (mg/L)	1.6~2.2	1.0~1.5
UV <sub>254</sub> (m <sup>-1</sup> )	5.0~3.5	2.0~1.0
Turbidity (NTU)	34.14~17.00	0.08~0.04
Alkalinity (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	33~26	28~18

2.2. 분석방법

2.2.1. 수질분석

수질분석은 먹는 물 수질공정시험법에 준하여 다음과 같이 분석하였다(환경부, 2002). 잔류오존 및 배오존은 Iodometric method에 준하여 분석하였으며, 배오존은 2%-KI용액에 배출되는 배오존을 포집한 후 시료로 사용하였다. DOC (Dissolved Organic Carbon)는 시료를 0.2 µm membrane filter로 여과한 후에 TOC Analyzer(Phoenix 8000, TEKMAR-DOHRMAN)를 이용하여 분석하였으며, UV<sub>254</sub> 흡광도는 시료를 GF/C로 여과한 후에 UV/VIS Spectrophotometer(Varian Cary-200)을 사용하여 254 nm에서 분석하였다.

2.2.2. 오존 접촉조 내 오존 물질수지

오존주입농도는 오존화 공기를 2 L/min으로 일정하게 주

입하면서 오존발생장치의 인가전압으로 조절하여 0.5, 1.0, 2.0 mg/L가 되도록 하였다. 오존 접촉조의 총 접촉시간은 110 초이고, 배오존은 110 초에서 나오는 유출수를 이용하여 측정하였으며, 반응시간 10, 30, 50, 70, 90, 110 초에 대한 잔류오존농도를 측정하여 오존 이용율을 계산하였다.

2.2.3. Bromide와 Bromate 농도 측정

Bromide와 bromate의 농도는 IC를 이용하여 측정하였으며 분석을 위한 측정조건을 Table 2에 나타내었다. 본 실험 당시 한강수계 원수에서는 bromide가 검출되지 않아 KBr을 대상원수에 용해시키고 주입농도를 0.1과 1.0 mg/L로 유지시켜 반응시간 0, 10, 30, 50, 70, 90, 110, 300 초 동안 각각의 농도변화를 관찰하였다. 시료의 전처리에는 GF/C filter로 1차 여과하고, 0.45 µm PVDF syringe filter로 2차 여과를 수행하였다.

Table 2. Operation conditions of IC system for analysis of bromide and bromate

IC System	DX-300(Dionex)
Pump	Isocratic
Column	AS-9 HC 4.0 × 250
Eluent	9 mM Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Flow rate	1.0 ml/min
Suppressor	45 mA
Detector	Conductivity
Detection limit	1.0 µg/L

2.2.4. LC-OCD 측정

LC-OCD 분석을 위한 시료는 100 mL 유리병에 시료를 채수하여 독일 DOC-LABOR에 의뢰하여 분석하였다(Stefan, 1998). 유기오염물로 부터의 오염을 막기 위하여 시료 채수 전 유리병은 80°C에서 10분간 가열된 뒤 데시케이터에서 식힌 뒤 HCl과 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (pH 2) 각각 0.01N에서 24시간동안 정치시켰다. 정치된 유리병은 NaOH (pH 13) 용액에 24시간, 마지막으로 증류수에서 같은 시간동안 정치한 후 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 오존 접촉조 내 오존 물질 수지

오존 물질수지는 오존 접촉조의 오존 전달율과 오존 이용율을 조사하여 유입수 성상에 따른 오존 접촉조 기본 운전조건의 적합성 여부를 검토하는 방법으로 이용되고 있다. 오존 전달율은 기체상태의 오존이 배오존으로 배출되지 않고 액체상태의 오존으로 전환되는 비율을 나타내며, 오존 이용율은 주입된 오존이 유입수에 존재하는 오존 요구량 유발 물질과 충분히 반응할 수 있는 오존의 비율을 말하는 것으로 아래 식에 의해 산출된다(조 등, 2002).

$$\text{오존전달율} = \frac{\text{주입오존량} - \text{배오존량}}{\text{주입오존량}} \times 100$$

$$\text{오존이용률} = \frac{\text{주입오존량} - \text{배오존량} - \text{잔류오존량}}{\text{주입오존량}} \times 100$$

두류정수장 원수를 대상으로 한 오존처리 효율 실험에서 접촉시간 10분, 오존 주입농도 0.5 및 1.0 mg/L 일 때 오존 이용률이 각각 80% 및 75%로 나타나 시간이 경과함에 따라 수중에서 오존과 반응할 수 있는 DOC 성분이 줄어들어 소비되는 오존이 적어지고 용존 오존농도가 포화치에 가까워짐으로서 오존 전달율과 이용률이 점점 낮아진다고 보고하고 있다(Lee et al., 1998).

본 연구에서 오존 주입농도와 접촉시간에 따른 오존 전달율과 이용률을 측정된 결과 오존 주입 농도에 따른 배오존 농도는 오존농도 0.5, 1.0, 2.0 mg/L, 접촉시간 110초로 하였을 때 각각 0.014, 0.027, 0.031 mg/L로 나타났다. 오존 주입 농도 0.5, 1.0, 2.0 mg/L인 경우 수중 유기물질과 반응 후 남아 있는 잔류오존의 농도는 각각 0.009, 0.029, 0.512 mg/L이었고, 오존 전달율은 97.2, 97.3, 98.5%로 조사되어 주입오존 농도가 증가할수록 오존 전달율이 다소 증가하는 양상을 보였다(Table 3). 오존 전달율의 상승은 SOMT 반응기가 전단력과 이중격막 원리를 이용하여 물리적으로 오존 가스를 매질인 물에 완전 용해시켜 배오존이 주입오존의 증가분만큼 발생되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

오존 이용률은 반응시간 10~110초 동안 0.5 mg/L의 농도에서 71.4~95.2%로 증가하였고, 1.0 mg/L에서 51.2~94.3%로, 2.0 mg/L 에서 38.0~72.9%로서 반응시간이 증가할수록 증가하고 주입 농도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 오존 이용률은 원수 속에 포함된 자연 유기물질과 깊은 상관성을 갖으며, 시간에 따른 이용률의 증가는 오존과 유기물질간의 반응으로 오존이 소모되었기 때

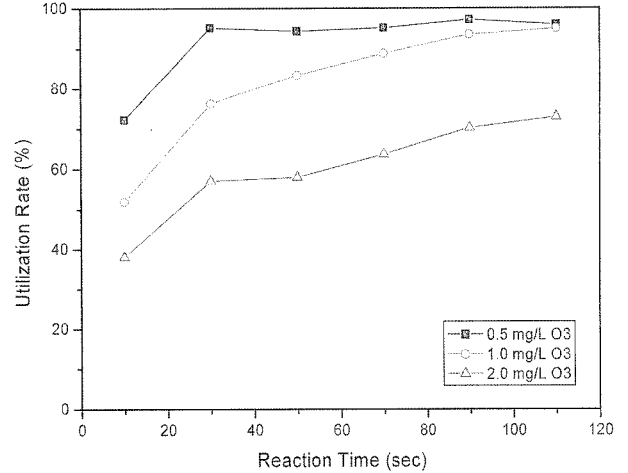


Fig. 2. Utilization rate of ozone in SOMT.

문인 것으로 판단된다.

### 3.2. DOC 제거특성

자연 유기물질의 오존 산화에 의한 제거 특성은 오존 접촉시간과 농도증가에 따라 유기물질의 완전산화를 통해 30~40%의 제거율을 보이거나(Glaze et al., 1982) 난분해성 유기물질과 고분자 유기물질의 존재로 인해 CO<sub>2</sub>로 완전 산화되는 유기물질 보다 완전산화가 되지 않는 유기물질이 많아 낮은 제거율(약 3%)을 보이는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 1998). 본 연구에서 오존 주입에 따른 DOC의 농도 변화는 오존 농도 증가에 따라 증감현상을 보이나 전체 DOC 농도 변화에는 큰 영향을 주지 못하였다(Fig. 3). 오존 주입 농도 변화에 따른 DOC 농도변화는 최초 1.695 mg/L 에서, 오존 농도변화에 따라 1.656, 1.696, 1.648 mg/L로 약 3%의 낮은 제거율을 보였는데 이는 오존 처리에 의해 완전

Table 3. Ozone transfer rate and utilization rate of SOMT

Ozone dosage (mg/L)	Reaction time (sec)	Residual ozone (mg/L)	Utilization rate (%)	Ozone off gas (mg/L)	Transfer rate (%)
0.5	10	0.129	71.4	0.014	97.2
	30	0.014	94.4		
	50	0.018	93.6		
	70	0.014	94.4		
	90	0.004	96.4		
	110	0.009	95.2		
1.0	10	0.461	51.2	0.027	97.3
	30	0.217	75.6		
	50	0.146	82.7		
	70	0.092	88.0		
	90	0.044	92.8		
	110	0.029	94.3		
2.0	10	1.208	38.0	0.031	98.5
	30	0.827	57.0		
	50	0.809	57.9		
	70	0.696	63.6		
	90	0.565	70.2		
	110	0.512	72.9		

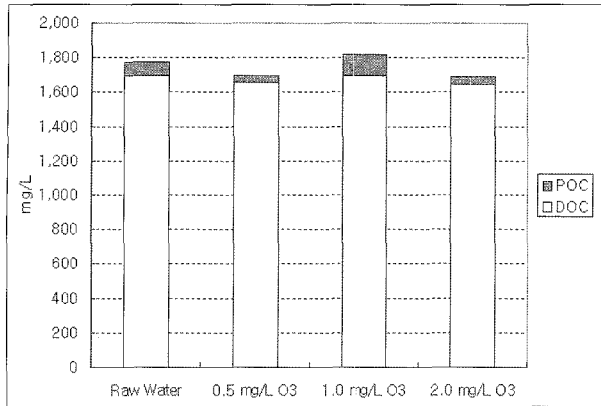


Fig. 3. Change of DOC, POC concentration according to the ozone dosage.

산화되어 제거되는 유기물보다 제거되지 않는 고분자 유기 물질이 많이 존재하였기 때문인 것으로 판단된다.

3.3. NOM fractionation and LC-OCD analysis

LC-OCD를 이용하여 오존 투입 농도에 따른 자연 유기 물질의 특성변화를 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 원수를 관로를 통하여 주입하고 SOMT 반응기 전에 0.5~2.0 mg/L 농도의 오존을 주입하여 SOMT 반응기 안에서 최대의 용존과 반응이 일어나도록 하였다. TOC 값은 원수에 대비하여 약 2~5% 범위 안에서 변하는 것으로 나타났고, 오존 주입농도에 따라 CDOC(Chromatographic DOC) fraction 이 증가하는 것으로 나타났다. Biopolymer와 Building block 이 증가하고, Humic Substance가 감소하는 것으로 확인되었다. Biopolymer (Polysaccharide)는 주로 식물플랑크톤 등에서 유래하기 때문에 오존처리 후 Biopolymer의 증가는 원수 중에 존재하는 식물플랑크톤이 오존에 의하여 분해되기 때문인 것으로 판단된다.

3.4. UV<sub>254</sub> 제거 특성

접촉시간에 따른 UV<sub>254</sub> 흡광도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. UV<sub>254</sub>는 시료 중에 존재하는 이중 결합 이상의 불포화 탄화수소 결합을 나타내는 간접적인 지표로 사용된다. 오존은 이러한 이중 결합 이상의 불포화 탄화수소와 반응하여 단일결합 화합물로 변화시키거나 완전산화에 의해 제거하는 것으로 알려져 있다(김 등, 2004). 전 오존 처리의 경우 원수의 UV<sub>254</sub> 흡광도는 평균 0.035 mAU로 나타났다. 오존 농도와 접촉시간에 따른 변화를 조사한 결과 오존주입농도 0.5 mg/L에서는 접촉시간에 따라 0.025~0.023 mAU로 흡

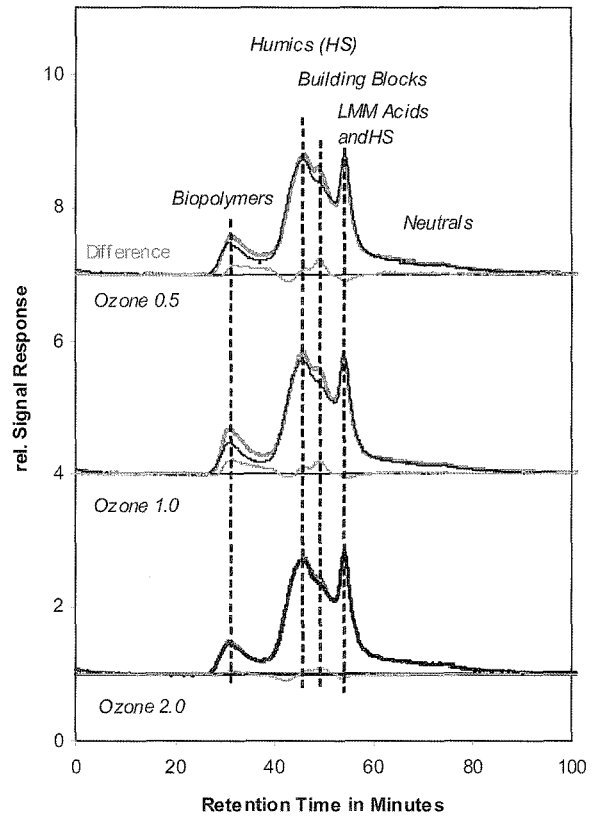


Fig. 4. LC-OCD analysis for NOM fraction of Lake Paldang water.

광도가 감소하였고, 오존주입농도 1.0 mg/L에서는 0.018~0.015 mAU로, 오존주입농도 2.0 mg/L에서는 0.017~0.013 mAU로 각각 흡광도가 감소함을 보였다. 이는 원수중의 유기물질이 주입오존과 접촉 후 초기 흡광도대비 각각 35%, 58%, 64% 감소됨을 의미한다. 반응시간별로는 초기 10초 안에 급격한 흡광도의 감소를 보이다 이후 반응 종료시까지 낮은 감소율을 보이며 안정 상태를 보였다. 여과수를 대상으로 한 후 오존 처리의 경우 초기 UV<sub>254</sub> 흡광도의 평균값이 0.011 mAU로 원수의 약 30% 수준으로 나타났다. 오존농도와 접촉시간에 따른 변화를 조사한 결과 오존주입농도 0.5 mg/L에서는 접촉시간에 따라 0.009~0.008 mAU로 흡광도가 감소하였고, 오존주입농도 1.0 mg/L에서는 0.006~0.003 mAU로, 오존주입농도 2.0 mg/L에서는 0.005~0.003 mAU로 각각 흡광도가 감소함을 보였다. 이는 여과수의 유기물질이 주입오존과 접촉 후 초기 흡광도대비 각각 29%, 67%, 69% 감소됨을 의미한다. 원수를 대상으로 한 전오존 처리와 같이 반응시간별로는 초기 10초 안에 급

Table 4. The variation of NOM factionation after ozone treatment (measured by LC-OCD)

	TOC	POC	DOC	HOC	CDOC	Polysaccharide (µg/L)	Humic Sub.	Building block	Neutrals	Acids
Raw Water	1,775	80	1,695	344	1,351	144	714	252	230	11
0.5 mg/L O <sub>3</sub>	1,699	42	1,656	312	1,344	153	670	262	222	38
1.0 mg/L O <sub>3</sub>	1,818	122	1,696	219	1,477	212	743	242	267	13
2.0 mg/L O <sub>3</sub>	1,690	42	1,648	262	1,387	182	731	229	235	10

격한 흡광도의 감소를 보이다 이후 반응 종료시까지 낮은 감소율을 보이며 안정 상태를 보였다. 낙동강 상수원수를 대상으로 조사한 조 등(2002)의 보고에 따르면 전 오존 처리에 비하여 후 오존 처리시 UV<sub>254</sub> 제거율은 오존주입농도와 접촉시간이 증가할수록 빠르게 감소하고, 접촉시간에 따라서도 감소폭이 뚜렷하게 나타난다고 하여 본 실험에서와 같은 양상을 보임을 알 수 있었다. 오존과 접촉시간에 따른 제거율은 접촉시간 15분, 후오존 농도를 1 mg/L와 5 mg/L로 처리했을 때 그 처리효율은 각각 24%와 55%로 나타났다고 보고하고 있어 SOMT를 이용하여 오존 농도 1 mg/L, 반응시간 110초의 조건을 유지할 경우 기존의 보고된 결과보다 제거율이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 오존 처리 효율을 나타내는 C (농도) × T (접촉시간) rule에 적용하여 특정 오존농도에서 짧은 반응시간 안에 대상물질이 제거된다면 주입오존 농도를 낮추고 반응시간을 길게 해도 같은 효과를 보이므로 보다 경제적인 공정 운영이 가능하게 될 것으로 기대된다.

3.5. Bromate 생성특성

본 실험에서 사용된 원수에서는 bromide가 검출되지 않아 실험 당시 원수와 여과수에 각각 spiking 실험을 수행하였다. 농도는 국내 원수에서 bromide 검출 수준이 0.1 mg/L 이하인 것을 고려하여(서 등, 1999; 오 등, 2004) 여과수에는 0.1 mg/L의 농도를 투여하였으며, 원수에는 0.1 mg/L 과 1.0 mg/L를 spiking하여 실험하였다. 해안가에 위치한 국내 원수의 경우 bromide 농도가 0.1 mg/L 이상 검출되는 것으로 나타나 1.0 mg/L의 bromide를 투여하여 과량의 bromide가 함유된 원수에서의 bromate 생성특성을 조사하고자 하였다. 일반적으로 bromate생성은 수온이 20°C 인 경우 pH가 산성영역이나 중성영역보다는 알칼리성 영역에서 보다 많이 생성되는 것으로 알려져 있다(이 등, 2004). 실험 당시 원수의 pH가 8.0 이상으로 알칼리성에 가까워 자연 상태에서 소독부산물인 가장 잘 생성될 수 있는 조건임을 알 수 있다.

본 연구에서 확인된 bromate 생성특성은 자연유기물질의 영향을 덜 받는 여과수에서 원수보다 bromate가 잘 생성되는 것으로 나타났다. 여과수의 경우 반응시간 50초까지 bromate는 전혀 생성되지 않았으며, 반응시간 70초 이후 오존 농도 2.0 mg/L에서 bromate가 생성되기 시작하였고, 반응시간 90초 이후에는 1.0 mg/L의 오존에서도 bromate가 생성되기 시작하였다(Fig. 6). 반면 원수의 경우 오존 농도 0.5와 1.0 mg/L에서는 반응시간 300초까지 bromate가 전혀 생성되지 않았으나 오존 농도 2.0 mg/L에서 반응시간 10초 후부터 bromate가 생성되기 시작하여 반응시간 50초 이후엔 안정한 상태를 유지하여 더 이상 증가하지 않았다(Fig. 7).

이러한 결과는 DOC, ammonia가 bromate 생성을 억제하는 인자로 작용한다는 기존 연구 결과와도 일치하였다(Bernard et al., 2004). Fig. 8은 원수에서 bromide농도와 오존 농도에 따른 bromate 생성 특성을 보여주고 있다. 0.1 mg/L bromide 농도에서는 뚜렷한 경향성을 파악할 수 없었으나 1.0 mg/L의 경우 주입 오존 농도에 따라 일차 함수적으로 비례하여 증가하는 양상을 보였다( $R^2 = 0.978$ ). 또한 반응시간에 따른 bromate 생성 특성은 오존 접촉 시간이 증가하더라도 계속적으로 증가하지 않고 일정시간이 지난 후 안정된 상태를 유지하는 것으로 나타났으며(Fig. 9), bromate 최대 생성 농도는 초기 bromide 농도의 10% 내외인 것으로 나타났다(Fig. 8). 이 등(2004)의 연구 결과에서도 bromate 생성은 반응시간 20분까지 선형적인 증가를 보이다가 이후의 반응시간에서 bromate 농도의 증가는 둔화되는 것으로 나타났다. SOMT와의 비교실험을 위해 상향류 인젝터 타입의 전오존 장치로 실험한 결과 2.0 mg/L 오존 농도 주입에도 불구하고 bromate 생성이 낮았는데(약 0.006 µg/L) 이는 낮은 오존 전달율과 낮은 잔류오존 농도로 인하여 bromate와의 반응이 충분하지 못한 결과로 해석된다.

결과적으로 SOMT를 이용한 오존 처리시 전오존으로 사용 시에는 1.0 mg/L로, 후 오존으로 사용 시에는 0.5 mg/L 이하의 농도로 주입할 경우 bromate 생성을 최소화할 수

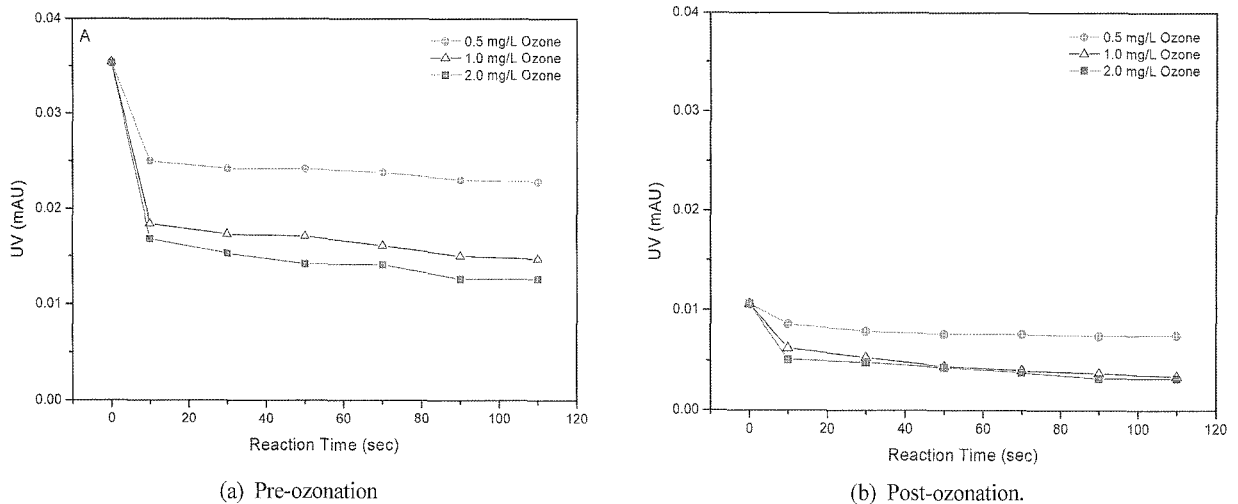


Fig. 5. Effects of ozone dosage and contact time on UV<sub>254</sub> absorbance.

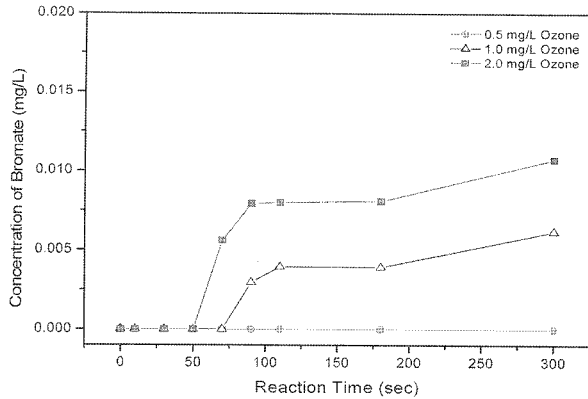


Fig. 6. Variation of bromate formation with different reaction time in filtered water (initial pH 8.43,  $CO_{3,in} = 0.5, 1.0, 2.0$  mg/L).

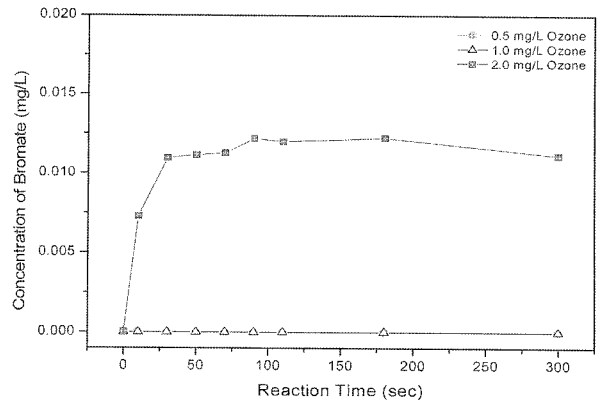


Fig. 7. Variation of bromate formation with different reaction time in raw water (initial pH 8.43,  $CO_{3,in} = 0.5, 1.0, 2.0$  mg/L).

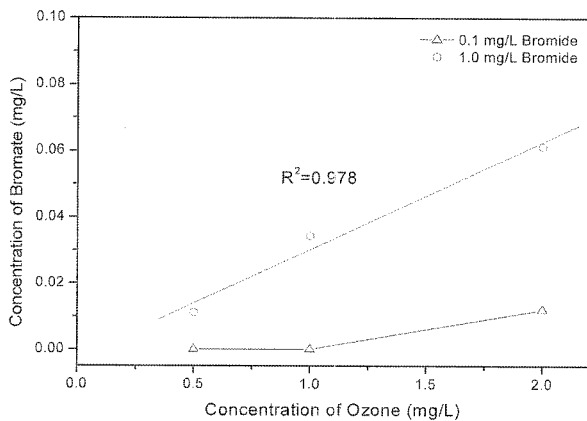


Fig. 8. The relation of ozone dosage and formation of bromate (initial pH 8.43,  $CO_{3,in} = 0.5, 1.0, 2.0$  mg/L).

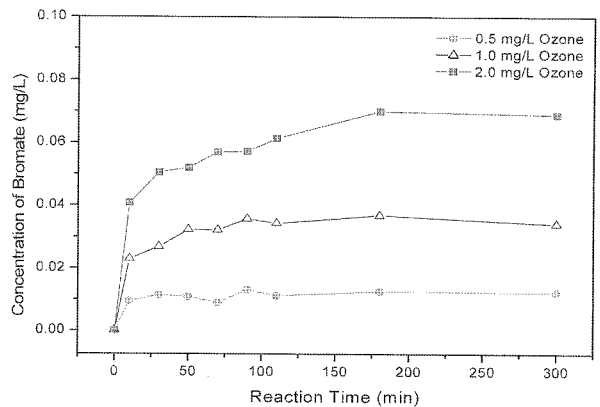


Fig. 9. Effect of reaction time on bromate formation during ozonation in raw water (initial pH 8.43,  $CO_{3,in} = 0.5, 1.0, 2.0$  mg/L).

있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 한강수계 원수와 여과수를 대상으로 2005년 7월부터 2006년 7월까지 고효율 오존 전달 장치를 이용한 수 처리시 NOM의 특성 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

오존 처리에 따른 DOC의 제거 특성은 오존 농도 증가에 따라 증감현상을 보이거나 전체 DOC 농도 변화에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 이는 오존 처리에 의해 완전 산화되어 제거되는 유기물보다 제거되지 않는 고분자 유기물이 많이 존재하였기 때문으로 판단된다. UV<sub>254</sub> 파장을 흡수하는 방향족 및 불포화 탄화수소 화합물들의 제거 특성은 전 오존 처리보다 후 오존으로 이용할 경우 제거율이 높았으며, 후 오존 이용시 1.0 mg/L의 오존 농도를 110 초 동안 접촉시킬 경우 기준에 보고된 제거율을 만족하는 것으로 나타났다. 오존 처리시 발생하는 대표적인 소독부산물인 bromate의 생성특성은 자연 유기물질의 영향을 덜 받는 여과수에서 원수보다 잘 생성되는 것으로 나타났으며,

오존 농도에 따른 bromate 생성 특성은 일차 함수적으로 증가하는 양상을 보였고, 상관계수  $R^2$ 은 0.978의 값을 보였다. 또한 접촉시간에 따른 bromate 생성은 오존과의 접촉시간이 증가하더라도 bromate 생성이 계속적으로 증가하지 않고 일정시간 경과 후 안정한 상태를 유지하였으며, bromate 최대 생성농도는 초기 bromide 농도의 10% 내외인 것으로 나타났다. 결과적으로 SOMT를 이용한 전 오존으로 사용 시에는 1.0 mg/L로, 후 오존으로 사용 시에는 1.0 mg/L 이하의 농도로 주입할 경우 bromate 생성을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 김현철, 유명진, 천연유기물질의 구조 및 화학적 특성이 오존소비속도에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 26(12), pp. 1304-1311 (2004).
- 노재순, 손희종, 박은주, 황영도, 신판세, 강임석, 주기재, 고도정수처리 공정에서의 천연유기물질 특성변화 및 소독부산물 전구물질의 제거특성 평가, *대한환경공학회지*, 24(12), pp. 2075-2087 (2002).
- 서재승, 정진홍, 김원재, 오현제, 오존/AOP산화공정에서의

- 브로메이트 생성특성 연구, *대한환경공학회 '99추계 학술 연구발표회 논문집*, B-46 (1999).
- 오문성, 이종민, 손진식, 국내 오존처리 정수장에서 브로마이드 및 브로메이트 생성에 관한 조사연구, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동추계 학술발표회 논문집*, B-14 (2004).
- 이무강, 김영철, 최종원, 오존처리시 Bromate생성에 미치는 온도 및 pH의 영향, *한국환경과학회지*, 13(7), pp. 667~674 (2004).
- 조주식, 임영성, 이홍재, 허종수, 낙동강 상수원수의 오존처리효과, II. 회분식 오존 처리에 의한 수처리 효과, *한국환경과학회지*, 11(12), pp. 1267-1274 (2002).
- 환경부, 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙, 2002. 6. (2002).
- Baron, J., Martin, I. N., Puznava, N., Fargeas, P. and Peraudeau, M., The Flottazone Process to Combine Flotation and Ozonation in the Same Reactor, *Proceedings of the 13th Ozone World Congress, Kyoto*, 1, pp. 43-48 (1997).
- Bernard, L., Bernard, P., Karine, G., Florence, B. and Jean, P. C., Modeling of Bromate Formation by Ozonation of Surface Waters in Drinking Water Treatment, *Water Research*, 38, pp. 2185-2195 (2004).
- Glaze, W. H., Dickson, K. L., Wilcox, D. P., Johansson, K. R., Chang, E. and Buseh, A. W., Evaluation of Biological Activated Carbon for Removal of Trihalomethane Precursor, *Reports to the U.S. Environmental Protection Agency*, (1982).
- Lee, S. H., Lee, C. H. and Park, Y. K., Upgrade of Drinking Water Quality from the Nakdong River Water by Advanced Water Treatment Processes, *Environmental Research*, 18(1), pp. 150-163 (1998).
- Stefan, A. Huber., Evidence for Membrane Fouling by Specific TOC Constituents, *Desalination*, 119, pp. 229-234 (1998).
- Wright, P. C., Meeyoo, V. and Soh, W. K., A Study of Ozone Mass Transfer in a Cocurrent Downflow Jet Pump Contactor, *Ozone Sci & Eng*, 20, pp. 17-33 (1998).
- Yoon, T. K., Lee, G. C., Noh, B. G., Decomposition of Organic Matters by Ozonation in Advanced Water Treatment Process, *Journal of the Environmental Sciences*, 14(3), pp. 327-333 (2005).