

DAF를 이용한 정수처리 공정에서의 오존 적용성 평가

강태희 · 오병수 · 정연정 · 권순범* · 손병용** · 강준원†

연세대학교 환경공학과 · *한국수자원공사 국제상하수도연구소 · **한국수자원공사 황성권 관리단

(2004년 11월 24일 접수, 2005년 5월 26일 채택)

Evaluation of Ozone Application for Drinking Water Treatment Process Using DAF

Tae Hee Kang · Byung Soo Oh · Youn Cheong Cheong ·
Soon Buhm Kwon* · Byeong Yong Sohn** · Joon-Wun Kang†

Department of Environmental Engineering, Yonsei University · *International Institute for Water and Wastewater, Korea Water Resources Corporation · **Hoengseong Regional Office, Korea Water Resources Corporation

ABSTRACT : In this study, a lab-scale test was performed to apply the ozone process in drinking water treatment plant using dissolved air flotation(DAF). The kinetic study on the ozone decay and hydroxyl(OH) radical formation was investigated by several parameters, such as I.D(Instantaneous ozone demand), k_d (ozone decomposition rate), ozone-Ct and OH radical-Ct. Ozonation of several target waters, such as raw water, DAF treated water and filtrate, was conducted to select the optimum position and dosage of ozone process. The highest value of Ozone-Ct and OH radical-Ct was observed at DAF treated water at initial run time(0~30 min). From the results of ozonation, the intermediate ozonation was proposed as the optimum position and the effective dose of ozone was determined to be 1~2 mg/L.

Key Words : Ozone, DAF, Drinking Water, Ozone-Ct, OH Radical-Ct

요약 : 본 연구에서는 용존공기부상법(DAF)을 이용한 정수처리 공정에 오존을 도입하기 위하여 실험실 규모의 실험이 수행되었다. 오존의 수처리 적용시 공정제어 인자로 활용할 수 있는 I.D, k_d , 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct 등에 대한 반응속도론적 연구를 실시하였다. 또한 원수, DAF 처리수 및 여과수에 대한 오존처리 실험을 실시하여 오존공정의 최적 위치 및 주입량을 도출하였다. 실험 결과, 오존-Ct와 OH 라디칼-Ct는 DAF 처리수에서 가장 높게 측정되었으며, DAF 공정의 체류시간인 30분 이후에도 계속적으로 유지되었다. 또한 각 공정수에 대한 오존처리 실험을 실시한 결과, 중오존이 전·후오존에 비해 높은 효율을 기대할 수 있을 것으로 나타났다. 최적 오존주입농도는 1~2 mg/L로 판단되었다. 이러한 결과로부터 중오존 / DAF(ozoflotation) 공정 도입을 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

주제어 : 오존, 용존공기부상법, 정수처리, 오존-Ct, OH 라디칼-Ct

1. 서론

기존의 정수처리 공정은 일반적으로 약품투입에 의한 혼화, 응집/침전 및 모래여과 공정을 기반으로 하며, 탁도 및 병원성 세균의 제거를 주목적으로 운영되고 있다. 그러나 염소의 투입으로 인한 소독부산물 생성과 환경오염 및 수질악화로 인한 유독성 미량유해물질, 조류 등을 제거하기 위해 기존의 정수처리 공정으로는 한계가 있다. 침전공정의 대체 공정으로 개발된 용존공기부상(Dissolved Air Flotation; DAF) 공정은 조사결과 조류 및 저탁도 수질에 대한 처리 효율 및 경제성 측면에서 우수한 것으로 나타나고 있으며,^{1,2)} 최근 수처리 분야에서 각광받고 있는 오존은 강력한 산화력(전위차 : 2.07 V)을 바탕으로 수중에 존재하는 유독

성 미량유해물질 및 농약류, 맛·냄새 유발물질에 대한 탁월한 제거효과가 있는 것으로 알려져 있다.^{3,4)}

본 연구에서는 DAF와 오존의 장점을 동시에 기대할 수 있는 ozoflotation 공정을 도입하기 위해, DAF를 이용한 정수처리 공정에 대한 오존의 적용성 평가를 실시하였다. 따라서 DAF를 정수처리에 활용하고 있는 강원도 W시 소재 S 정수장의 공정수에 대한 순간오존요구량(Instantaneous ozone demand; I.D) 및 오존분해속도(Ozone decomposition rate; k_d) 측정을 통한 오존-Ct와 OH 라디칼-Ct를 도출하여, 오존의 정수처리 적용시 활용할 수 있는 수질특성 인자들에 대한 평가를 실시하였다. 또한 오존공정 도입 최적지 및 주입량을 도출하고자 원수, DAF 처리수, 여과수에 대한 별도의 오존처리 실험을 실시하여 전오존, 중오존, 후오존의 개념으로 각 공정을 비교평가 하였다. 평가인자로는 UV₂₅₄, 할로초산 전구물질(HAAFP), 오존산화 부산물인 aldehydes를 선정하여 기존의 정수처리 공정 대비 수질개선 효과를 제시하고자 하였으며, 중오존/DAF 공정(ozoflotation)을 도입하기

† Corresponding author

E-mail: jwkang@dragon.yonsei.ac.kr

Tel: 033-760-2494

Fax: 033-763-5224

위한 평가 자료로서 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 순간오존요구량(I.D), 오존분해속도(k_c) 측정

일반적으로 오존을 수중에 주입하면 수질특성에 따라 수 초 내에 일정량의 오존이 빠르게 소모되는데 이것을 I.D로 정의할 수 있다. 또한 I.D 구간 이후 잔류된 오존은 1차 반응으로 감소되는데 이 구간에서 오존의 감소속도를 k_c 로 규정할 수 있다. 수중에 휴믹물질과 같은 용존유기물(DOC) 농도가 높을수록 I.D, k_c 값이 증가하는 경향이 있고, 오존 주입농도가 증가할수록 I.D는 증가하나 k_c 는 급격하게 감소하는 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 따라서 I.D와 k_c 는 고정된 값으로 해석할 수 없으며, $I.D, k_c = f \{ [O_3]_t, [DOC]_t, \dots \}$ 의 개념으로 정리해 볼 수 있다. 이와 같이 오존의 수처리 적용 시 I.D와 k_c 를 오존산화처리 제어에 필요한 공정인자로 활용할 수 있다.⁵⁾

본 연구에서는 흐름주입분석(Flow injection analysis; FIA) 방법에 기초하여 제작된 오존분해속도 측정 자동화장치를 사용하여 공정수별 I.D와 k_c 를 측정하였다. 실험장치는 Fig. 1과 같이 오존발생기로부터 발생된 오존가스를 오존 포화기에서 초순수에 과포화 시킨 다음 공정수 100 mL가 들어있는 pyrex 재질의 반응기에 초기오존농도가 일정하도록 주입한 후, 오존분해속도 측정 자동화장치를 통해 측정되도록 구성되었다. 오존농도는 수중의 잔류오존농도를 측정할 때 사용하는 indigo 시약을 이용하여 측정하였으며, 공정수와 일정비율로 섞인 후 장치로 유입되도록 하였다.⁶⁾ 오존은 순도 99.9%의 산소를 이용하여 오존발생기(CFS-1, OZONIA 사)를 사용하여 발생시켰으며, 모든 실험은 대상수의 온도가 약 13°C인 조건에서 실시하였다.

2.2. 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct의 도출

오존이 물속에서 분해되는 속도를 측정하여 시간에 따른 오존의 잔류농도 감소로부터 오존-Ct를 산출할 수 있으며 OH 라디칼-Ct의 측정 또한 가능하다. 따라서 오존을 수처리에 적용할 경우 살균, 소독을 위한 오존-Ct와, 유기물 제거를 위한 OH 라디칼-Ct를 모두 이용할 수 있다.

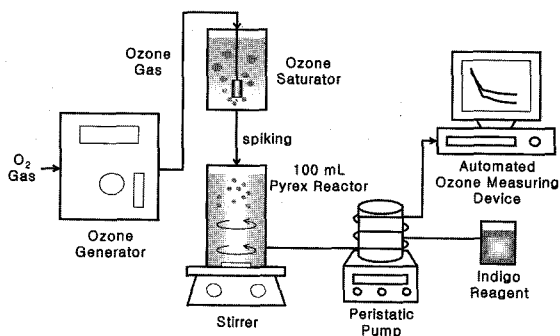


Fig. 1. Schematic diagram of the ozone decay rate measuring device.

오존 물질전달이 일어난 후 접촉시간 0부터 t까지의 오존-Ct에 관한 수식을 나타내면 식 (1)과 같이 정리할 수 있으며,⁷⁾ 여기서 k_c 는 측정된 오존분해속도, $[O_3]_0$ 는 초기오존농도, $[O_3]_t$ 는 t시간에서의 오존농도를 나타낸다.

$$\int_0^t [O_3]_t dt = \frac{[O_3]_0}{k_c} (1 - e^{-k_c t}) \quad (1)$$

OH 라디칼-Ct를 산출하기 위한 pCBA의 제거속도에 관한 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.⁷⁾ OH 라디칼과 pCBA의 반응속도를 $k_{OH \cdot, pCBA}$ 라고 할 때,

$$\ln \frac{[pCBA]_t}{[pCBA]_0} = -k_{OH \cdot, pCBA} \int_0^t [OH \cdot] dt \quad (2)$$

여기서 $\int [OH \cdot] dt$ 는 OH 라디칼-Ct를 나타내며, OH 라디칼-Ct와 오존-Ct의 비를 R_{ct} 라고 설정하면 식 (3)과 같이 정리할 수 있다. 따라서 pCBA의 제거속도와 오존-Ct로부터 기울기를 구하여 R_{ct} 를 실험적으로 구할 수 있다.⁷⁾

$$\ln \frac{[pCBA]_t}{[pCBA]_0} = -k_{OH \cdot, pCBA} R_{ct} \int_0^t [O_3] dt \quad (3)$$

OH 라디칼 probe compound인 pCBA(parachlorobenzoic acid)는 오존과의 반응속도가 $1 \times 10^{-1} M^{-1} s^{-1}$ 이하로 매우 느리지만,^{7,8)} OH 라디칼과의 반응속도는 $5.0 \times 10^9 M^{-1} s^{-1}$ 로 매우 빠른 특성을 가지고 있다.^{7,9)} 본 연구에서는 수중의 OH 라디칼의 농도를 간접적으로 측정하기 위하여 100 mL 공정수에 pCBA를 2 μM 농도로 주입하고 여기에 1.5 mg/L의 오존을 주입한 후 pCBA의 제거경향을 HPLC(UV-VIS 151, Gilson사)로 분석하였다. DOC는 TOC analyzer(phoenix 8000, TEKMAR DOHRMANN사)로 분석하였다.

2.3. 각 공정수별 오존처리 실험

본 정수처리 공정에 대한 오존의 적용성 평가를 위해서 원수, DAF 처리수, 여과수를 대상으로 별도의 오존처리 실험을 실시하였으며, 궁극적으로 오존공정의 최적 도입지 및 주입량을 도출하고자 하였다. 실험은 2.1절과 동일한 온도 조건에서 실시하였으며, 평가인자로 UV₂₅₄, HAAFP 및 aldehydes의 경향을 파악하였고, 반응기는 Fig. 2와 같이 pyrex 재질의 6 L semi-batch reactor를 사용하였다. 오존발생기로부터 발생된 오존은 반응기 하부로 주입되었으며, impeller를 통해 오존과 공정수가 고르게 교반되도록 하였다. 반응기 외부로 배출되는 배오존 가스는 KI trap으로 포집하여 반응에 소모된 오존량을 측정하였다. UV₂₅₄는 UV/Vis Spectrophotometer(Cary 50, Varian사)를 사용하여 254 nm 파장에서 측정하였으며, HAAFP 분석은 US EPA Method 552.2를 응용한 LLE(Liquid-liquid extraction)를 이용하여 GC-ECD(5890 seriesII, HP사)로 정성 및 정량분석을 실시하였다. HAAFP는 샘플에 30 mg/L의 과량의 염소를 주입

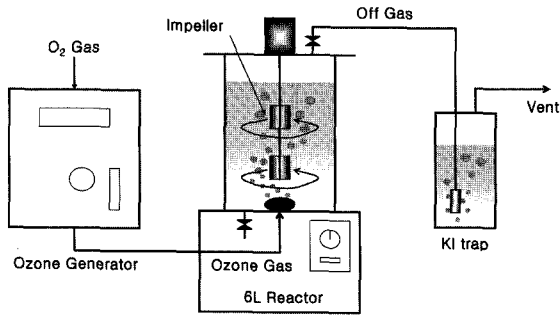


Fig. 2. Schematic diagram of the 6 L semi-batch reactor.

한 후 24시간 동안 25°C 조건에서 반응하여 제조하였다.¹⁰⁾ Aldehydes는 발암성, 유전독성 및 돌연변이성을 나타내는 formaldehyde, acetaldehyde, glyoxal, methyl glyoxal 등 4종에 관하여 분석하였으며, 시료 5 mL에 PFBOA(o-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl)-hydroxylamine hydrochloride)를 첨가하여 유도체화 시킨 후, I.S.(decafluorobiphenyl)가 400 µg/L 첨가된 hexane으로 추출하여 GC-MS(Saturn 3300, Varian사)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 공정수별 I.D 및 k_c 특성

S정수장은 원수, 분배조, DAF조, 여과 및 정수의 순서로 구성되어 있다. Fig. 3의 (a), (b)와 같이 초기오존농도를 0.5, 1, 1.5 mg/L로 고정하여 각 공정수별 I.D 및 k_c의 경향을 파악해 본 결과 오존주입농도가 증가할수록 I.D는 증가하였으며, k_c는 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 DAF 처리를 거치면서 I.D와 k_c가 전반적으로 감소하였는데, 이것은 수중에 오존을 소모하는 물질이 DAF 공정에서 상당수 제거되었기 때문이며, 정수처리 공정중의 DOC 농도 변화와도 유사한 것으로 판단되었다. 또한 유기물의 농도가 낮은 여과수나 정수는 I.D와 k_c의 변화폭이 점차 감소되어 그 변화를 유발하는 수질구성 인자가 점차 감소되므로,⁵⁾ 오존주입농도에 따른 명확한 k_c 경향이 나타나지 않은 것으로 사료된다. 이러한 결과로부터 과도한 양의 오존이 급격하게 소모되는 전오존 공정에서는 동일한 오존-Ct를 유지하기 위해서 증오존이나 후오존 공정보다 상대적으로 높은 오존주입농도가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 전오존보다 증오존이나 후오존 공정을 도입하여 산화능 및 소독능을 제어하는 것이 보다 유리할 것으로 판단되었다.⁵⁾

3.2. 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct 도출

원수, DAF 처리수, 여과수를 대상으로 각 공정수에 대한 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct를 측정하였다. 초기 오존주입농도는 1.5 mg/L로 동일하게 주입하였으며, 각 공정수의 I.D는 Table 1에 나타난 바와 같이 원수에서 0.67 mg/L로 가장 높았으며 후속공정으로 갈수록 감소하였다. 그러나 k_c는 원수에서 3.2×10⁻³ sec⁻¹로 가장 높았으며 DAF 처리수에서

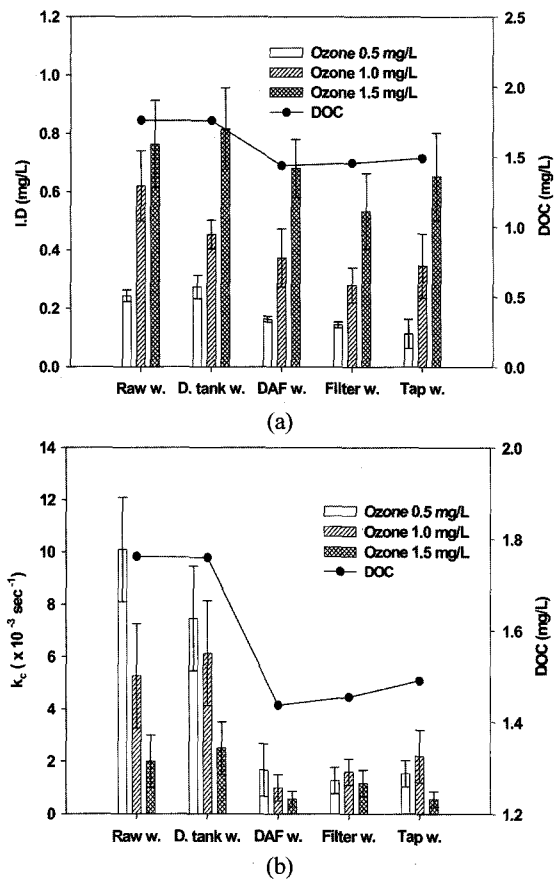


Fig. 3. Characteristics of each treated water in variable ozone dose ; (a) I.D and DOC, (b) k_c and DOC.

0.9×10⁻³ sec⁻¹로 가장 낮게 측정되었다. I.D 이후의 초기 오존농도를 [O₃]₀으로 결정한 후, 식 (1)을 이용하여 오존-Ct를 산출하였다.

OH 라디칼-Ct를 구하기 위해서 2 µM pCBA를 각 공정수 100 mL에 주입한 후 오존 1.5 mg/L를 주입하여 pCBA의 제거경향을 파악하였으며, 식 (3)을 이용하여 pCBA와 오존-Ct의 관계를 나타내었다. 그 결과, Fig. 4와 같이 기울기가 k_{OH}·pCBA(=5×10⁹ M⁻¹s⁻¹)와 R_{ct}의 곱의 형태인 그래프로 표현할 수 있었으며, 그래프로부터 얻은 각 공정수별 기울기 값과 k_{OH}·pCBA으로부터 R_{ct} 값을 계산해 낼 수 있었다. 각 공정수별 산출 결과를 Table 1에 나타내었다.

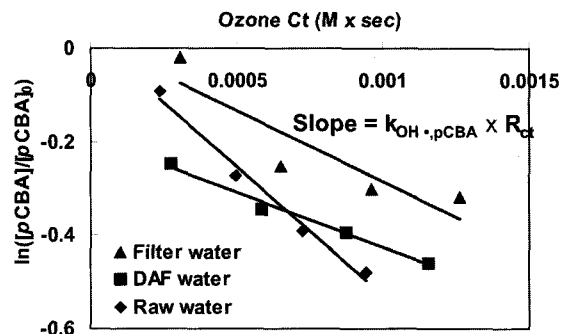


Fig. 4. Relationship between ozone-Ct and R_{ct} value.

Table 1. Measurement of I.D, k_c , slope and R_{ct} about each treated water

	Raw water	DAF water	Filter water
I.D (mg/L)	0.67	0.55	0.43
k_c (sec ⁻¹)	3.2×10^{-3}	0.9×10^{-3}	1.9×10^{-3}
slope (M ⁻¹ s ⁻¹)	547.4	235.38	302.16
R_{ct}	1.1×10^{-7}	4.7×10^{-8}	6.0×10^{-8}

최종적으로 식 (2)를 이용하여 OH 라디칼-Ct를 계산할 수 있으며, 각 공정수별 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct를 비교하여 시간에 따른 누적 값을 Fig. 5에 나타내었다. DAF 처리수의 경우 잔류오존이 4,500초(약 75분)까지 존재하여 Fig. 5의 (a)와 같이 오존-Ct는 접촉시간에 따라 계속 증가하였으나, 원수 및 여과수의 잔류오존은 거의 소모되어 각각 1,000초와 2,000초 이후에는 누적 Ct값이 더 이상 증가하지 않았다. Fig. 5의 (b)에서 OH 라디칼-Ct는 초기에 높은 k_c 에 의해 원수에서 빠르게 증가하였으나, 잔류오존의 양이 감소되면서 접촉시간 1,000초 경과 후 더 이상 증가하지 않았다. DAF 처리수의 경우 초기의 낮은 k_c 에 의해 여과수보다 OH 라디칼-Ct가 낮게 나타났으나, 약 1,000초 이후 잔류오존에 의한 OH 라디칼 생성이 지속되어 여과수에 비하여 증가하는 경향을 나타내었다.

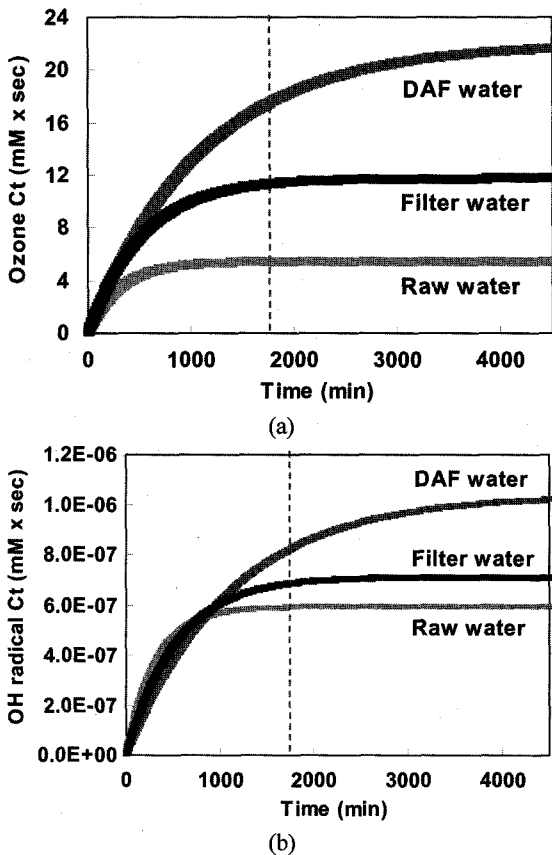


Fig. 5. Ct value of each treated water ; (a) Ozone-Ct, (b) OH radical-Ct. (Initial ozone dose = 1.5 mg/L)

Table 2. Comparison of Ozone-Ct and OH radical-Ct in variable contact time (unit : mM×sec)

	Contact time	Raw water	DAF water	Filter water
Ozone-Ct	complete consumption	5.4	21.6	11.7
	5 min	3.3	5.2	5.1
	30 min	5.4	17.6	11.3
	60 min	5.4	21.1	11.7
OH radical-Ct	complete consumption	5.9×10^{-7}	10.0×10^{-7}	7.1×10^{-7}
	5 min	3.7×10^{-7}	2.5×10^{-7}	3.1×10^{-7}
	30 min	5.9×10^{-7}	8.3×10^{-7}	6.9×10^{-7}
	60 min	5.9×10^{-7}	10.0×10^{-7}	7.1×10^{-7}

오존산화 공정에서는 오존이 완전히 소멸될 때까지 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct를 사용할 수는 없으므로, Table 2에 각 접촉시간별 예상 Ct 값을 나타내어 보았다. 오존이 완전히 소멸될 때까지의 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct는 DAF 처리수에서 각각 21.6, 10.0×10^{-7} mM×sec으로 가장 높게 측정되었다. 접촉시간을 5분으로 제한하였을 경우에는 오존-Ct는 DAF 처리수와 여과수에서 유사하게 나타났으나, OH 라디칼-Ct는 원수에서 3.7×10^{-7} mM×sec으로 가장 높았다. 이러한 결과는 접촉시간 5분의 운전조건에서 오존의 소독능은 DAF 처리수, 산화능은 원수에서 제어하기가 다소 유리하다는 것을 말해주는 것이다. 그러나 DAF조에서 체류시간이 약 30분으로 운전되는 점을 감안하였을 때, DAF 처리수의 OH 라디칼-Ct는 점차 증가하여 접촉시간 30분에서는 8.3×10^{-7} mM×sec으로 가장 높았으며 그 이후로 계속 증가하였다. 이것은 중오존/DAF 공정의 효율성을 뒷받침하는 자료가 될 수 있으며, DAF조 내에서 오존의 소독능 및 유기물에 대한 산화능도 유리하게 제어할 수 있을 것으로 판단되었다.

3.3. 오존공정 도입 최적지 및 주입량 도출

원수, DAF 처리수 및 여과수를 대상으로 각각 오존처리 실험을 실시한 결과, Fig. 6과 같이 오존주입농도 0.5~1.5 mg/L에서 원수의 UV₂₅₄는 초기 값보다 약 40%, DAF 처리수와 여과수에서는 최대 20%까지 감소되었다. 이것은 원수 내에 난분해성 유기물질의 초기농도가 상대적으로 높기 때문이며, 이에 비례하여 반응에 의해 제거되는 물질의 비율이 높기 때문인 것으로 판단되었다.

Aldehydes는 오존산화의 주요 부산물이며, 수중의 유기물질이 산화되어 고분자 유기물질이 저분자화 되면서 생성되는 중간생성물질로 알려져 있다.¹¹⁾ 따라서 수중에 다량의 유기물질이 존재할수록 aldehydes의 잠재적인 생성농도 높아질 것으로 예상할 수 있다. 본 연구에서 수행한 원수, DAF 처리수, 여과수에 대한 오존처리 실험 결과, Fig. 7과 같이 DAF 처리수와 여과수를 제외한 원수에서 aldehydes가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 원수 내에 오존처리

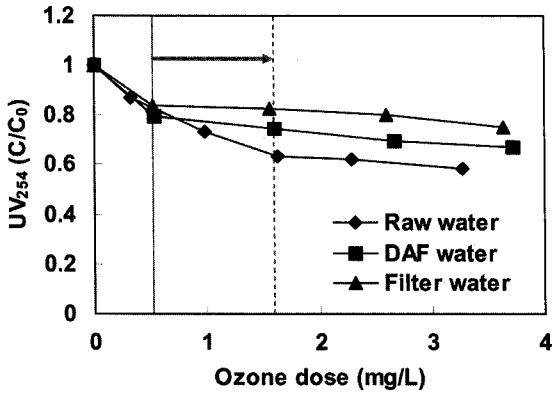


Fig. 6. Removal efficiency of UV₂₅₄ according to each treated water by ozonation. (Initial value of UV₂₅₄ : Raw water = 0.0498 cm⁻¹, DAF water = 0.0179 cm⁻¹, Filter water = 0.0137 cm⁻¹)

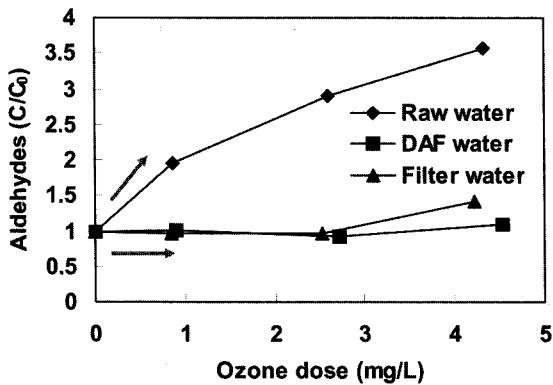


Fig. 7. Formation of aldehydes according to each treated water by ozonation. (Initial value of aldehydes : Raw water = 4.5 µg/L, DAF water = 8.8 µg/L, Filter water = 8.2 µg/L)

에 의해 aldehydes로 전환될 수 있는 물질이 다량 함유되어 있다는 것을 증명하는 것이며, aldehydes의 제어 측면에서 살펴볼 때 원수에 대한 오존처리는 부정적인 것으로 판단되었다.

HAAFP는 오존처리시 수중에서 다음과 같은 세 가지 메커니즘을 갖는 것으로 알려져 있다. (1), (2)와 같이 전구물질 혹은 비전구물질이 오존에 의해서 분해되거나, (3)과 같이 비전구물질이 오히려 전구물질화 되는 것이다.¹²⁾

- (1) precursors + ozone → products
- (2) non-precursors + ozone → products
- (3) non-precursors + ozone → precursors

Fig. 8에서 보는 바와 같이 오존 주입농도를 약 2.5 mg/L 까지 주입하였을 때 반응 초기에는 (1)의 메커니즘에 의해 오존이 전구물질을 제거하여 HAAFP의 농도가 감소하였으나, 오존 주입농도 2.5 mg/L 이상에서는 (3)의 메커니즘이 우세한 경향을 나타내어 HAAFP의 농도가 증가하는 것으로 예상되었다. 원수 및 DAF 처리수에서 HAAFP의 제거효율

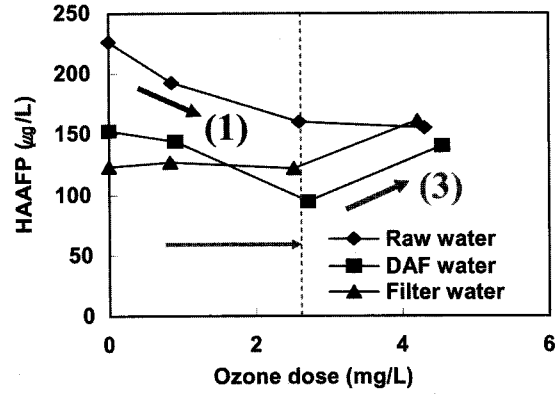


Fig. 8. Removal tendency of HAAFP according to each treated water by ozonation.

은 최고 30%까지 나타났으며, 2.5 mg/L 이상의 오존주입은 HAAFP 제어 측면에서 불필요할 것으로 판단되었다.

위와 같이 실험을 실시한 결과, DAF 처리수의 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct가 공정수 중에서 가장 높게 측정되었으므로, 증오존 개념으로 오존의 소독능과 산화능을 제어하는 것이 가장 유리한 것으로 판단되었다. 또한 UV₂₅₄ 제거를 위한 최적 오존주입농도는 원수나 DAF 처리수를 대상으로 0.5~1.5 mg/L 범위였으며, HAAFP를 제어하기 위한 최적 공정은 원수나 DAF 처리수에 대해서 2.5 mg/L 이하로 오존을 주입하는 것이 적절할 것으로 판단되었다. 그러나 원수를 오존처리 할 경우 aldehydes가 생성되는 경향을 감안한다면, 본 정수처리 공정에 알맞은 오존공정은 증오존, 주입량은 약 1~2 mg/L 범위에서 운전하는 것이 가장 타당할 것으로 사료된다.

4. 결론

DAF를 적용한 정수처리 공정에서 오존의 수처리 적용시 활용할 수 있는 다양한 인자들에 대해서 알아보았으며, 각 공정수에 대한 오존처리 실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 각 공정수에 대한 오존-Ct, OH 라디칼-Ct 및 R_{ct}에 대해서 반응속도론적인 접근을 시도한 결과, 각 공정수 중에서 DAF 처리수의 오존-Ct 및 OH 라디칼-Ct가 가장 높은 값을 나타내었으며, 접촉시간 약 30분 이후에도 계속 유지되었다. 이것은 증오존/DAF 공정 적용시 체류시간에 따른 오존의 소독 및 산화능 평가에 활용할 수 있을 것이다.

2) 원수, DAF 처리수, 여과수에 대한 오존처리 실험을 실시한 결과, 오존주입농도 1.5 mg/L에서 UV₂₅₄의 제거효율은 원수에서 40%, DAF 처리수와 여과수에서는 약 20% 까지 증가하였다. 반면에 aldehydes는 원수에서 오존주입농도가 높아질수록 증가하였으며, 나머지 공정수에서는 증가하지 않았다. 또한 오존주입농도 2.5 mg/L 이하에서 원수 및 DAF 처리수의 HAAFP 제거효율이 약 30%까지 관찰되었다.

3) 각 공정수에 대한 반응속도론적 접근법에 의한 연구 결과와 오존처리 실험 결과를 종합하였을 때, 본 정수처리 공정에 오존을 적용하기 위한 최적위치 및 주입농도는 중 오존에서 1~2 mg/L인 것으로 판단되었으며, 이는 향후 중 오존/DAF 공정(ozoflotation) 도입의 타당성을 제시해주는 결과로 해석할 수 있었다.

사 사

본 연구는 2004년 한국수자원공사 'DAF 공정을 적용한 고도정수 Hybrid System의 타당성 평가' 사업 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 정문경, 차지은, 최준석, 오현제, 노재일, 전용성, "Ozoflotation 공정의 운전특성 연구," 대한환경공학회 '99추계학술연구발표회 논문집(I), pp. 307~308(1999).
- 권순범, "상수처리에 있어 가압공기부상법을 이용한 조류(Algae)제거에 관한 연구," 연세대학교 보건대학원 환경관리학과 대학원 석사논문(1996).
- 강준원, "오존, 과산화수소, UV를 이용한 고급산화처리 공정의 kinetic에 관한 연구(I)," 대한환경공학회지, **15**(2), 501~510(1993).
- 강준원, "고도산화기술(AOT: Advanced Oxidation Technology)의 수처리 응용," 첨단환경기술, **39**(6), pp. 35~42(1999).
- 박훈수, "오존처리 적용을 위한 상수원수 특성인자로서 오존분해속도에 관한 연구," 연세대학교 대학원 박사논문(1999).
- Bader, H. and Hoigne, J., "Determination of ozone in water by the indigo method," *Water Res.*, **15**(4), 449~456(1981).
- Elovitz, M. S. and Urs von Gunten, "Hydroxyl radical/ozone ratios during ozonation process. I. The R_{α} concept," *Ozone Sci. & Eng.*, **21**, 239~260(1999).
- Yao, C. C. D. and Haag, W. R., "Rate constant for direct reactions of ozone with several drinking water contaminants," *Water Res.*, **25**(7), 761~773(1991).
- Neta, P. and Dorfman, L. M., "Pulse radiolysis studies. XIII : Rate constant for the reaction of hydroxyl radicals with aromatic compounds in aqueous solutions," *Adv. Chem. Ser.*, **81**, 222~230(1968).
- 김경숙, 오병수, 주철, 강준원, "염소주입량과 반응시간에 따른 HAA's 생성과 고도산화처리에 의한 전구물질 제거 경향," 한국물환경학회지, **20**(2), 145~150(2004).
- Paode, R. D., Amy, G. L., Krasner, S. W., Summers, R. S., and Rice, E. W., "Predicting the formation of aldehydes and BOM," *J.- Am. Water Works Assoc.*, **89**(6), 79~93(1997).
- Glaze, W. H., Peyton, G. R., Lin, S., Huang, R. Y., and Burleson, J. L., "Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 2. Natural trihalomethane precursors," *Environ. Sci. Technol.*, **16**(8), 454~458(1982).