

Ozoflotation 공정의 정수처리 적용에 관한 연구

강태희 · 오병수 · 이 훈* · 변규식* · 권순범* · 손병용** · 안효원* · 강준원*

연세대학교 환경공학과

*한국수자원공사 국제상하수도연구소

**한국수자원공사 황성권 관리단

A Study on the Ozoflotation Process for Drinking Water Treatment

Tae Hee Kang · Byung Soo Oh · Hoon Lee* · Kyu Sik Byun* · Soon Buhm Kwon*

Byeong Yong Sohn** · Hyo Won Ann* · 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

(Received 20 May 2005, Accepted 15 June 2005)

Abstract

Ozone, a powerful oxidant, is widely used to remove microorganisms, pesticides, taste and odor compounds effectively. Dissolved air flotation (DAF) has been known as an economical process for treating algae and low turbid water quality. An ozoflotation system, combining ozone and DAF processes, has a merit which can operate the ozonation and flotation process simultaneously in a single compartment. This study investigated the application of the ozoflotation process for advanced water treatment by carrying out the pilot-plant experiment. During the test, ozone microbubbles were generated through a DAF pump and many kinds of parameters were evaluated under several conditions, such as raw water flow rate and ozone dose. As a result of the test, the optimum operating conditions of ozoflotation were decided to be 1.2 mg/L ozone dose and about 34 minute Hydraulic retention time (HRT). Finally, it could be demonstrated that the ozoflotation system can effectively improve the drinking water quality.

keywords : Ozone, Dissolved air flotation, Ozoflotation, Advanced water treatment, Dissolved air flotation (DAF) pump

1. 서 론

최근에 우리나라는 급격한 인구증가, 도시화 및 산업화와 같은 사회변화를 겪었으며, 국민 생활수준의 향상으로 깨끗하고 맛있는 물에 대한 욕구가 점점 높아지게 되었다. 따라서 사람들의 기호에 맞는 안전하고 위생적인 물을 생산할 수 있는 정수처리 시설을 적극 도입해야 하는 상황을 맞이하게 되었다(이, 1994). 한편 국내에서 가동 중인 정수장은 지표수를 원수로 사용하는 경우가 대부분이며, 일반적으로 약품투입에 의한 혼화, 응집/침전 및 모래여과 공정을 기반으로 하고 있다. 이와 같은 기존의 정수처리 공정은 수질이 비교적 양호한 원수를 사용하는 경우에만 적합하므로, 염소소독에 의한 소독부산물 생성, 환경오염 및 수질악화로 인한 유독성 미량유해물질의 유입, 조류 발생 등의 문제를 해결하기 위해서는 고도처리 시설을 반드시 도입하여 활용해야 한다(정 등, 1999).

오존은 강력한 산화력(전위차: 2.07 V)을 바탕으로 수중

에 존재하는 유독성 미량유해물질 및 농약류, 맛·냄새물질을 제거하는데 효과적이며(강, 1993), 침전공정의 대체공정으로 개발된 용존공기부상법(Dissolved air flotation: DAF)은 조류 및 저탁도 수질에 대한 처리효율이나 경제성 측면에서 우수한 것으로 알려져 있다(정 등, 1999). 따라서 단일조 내에서 오존처리와 부상처리를 동시에 수행할 수 있는 ozoflotation 공정을 정수처리에 적용할 경우(牧豊, 1994), 오존의 산화 및 소독능과 DAF의 탁질제거 효과를 하나의 단위공정에서 기대할 수 있는 효과적인 고도정수처리 공정으로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 DAF와 ozoflotation 공정을 동시에 평가할 수 있는 pilot-plant를 제작하여 원수 대비 수질개선 효과 및 각 공정에 대한 비교평가를 실시하였다. 또한 DAF 펌프를 이용하여 일반 미세기포와 거의 흡사한 조건으로 오존 미세기포를 직접 생산하여 실험하였다. 이것은 기존의 연구들(Faivre et al., 1991; Wilson et al., 1993)이 공기 포화수와 오존기포를 별도로 주입하는 방법을 이용하여 실험을 진행했던 것과 비교하여, 보다 향상된 ozoflotation 실험 방법으로 평가할 수 있을 것이다.

† To whom correspondence should be addressed.

jwkang@dragon.yonsei.ac.kr

2. 재료 및 방법

2.1. Pilot-plant 설치

본 연구에서는 DAF 공정을 도입하여 운영하고 있는 강원도 W시 소재 S정수장의 DAF동 현장에 pilot-plant를 직접 설치하여, ozoflotation 공정의 정수처리 적용에 관한 보다 실질적인 평가가 이루어질 수 있도록 하였다. Pilot-plant는 크게 원수 유입부, 혼화·응집지 2지 및 부상조 등으로 구성되었으며, 처리용량은 20 m³/day, 부상조만의 체적은 약 480 L이었다. 원수는 실제 공정에서 DAF 처리를 위하여 급속혼화지로 유입되는 공정수를 펌프로 끌어들이어서 사용하였으며, pilot-plant의 혼화·응집지에서 hydrofoil을 이용하여 급속 및 완속교반 후 ozoflotation 반응조로 유입되었다. 또한 기존의 DAF 반응조는 부상조가 개방되어 있는 반면에, 본 연구에서는 오존주입 실험을 위하여 부상조에 뚜껑을 설치하여 오존가스의 누출을 방지하였다.

한편 실제 DAF 공정에서는 포화수를 제조하기 위해서 포화기(saturator)를 약 5 kg/cm²의 압력조건으로 운전하고 있으나, 본 연구에서는 DAF 펌프(EB2U, EDUR사)를 이용하여 미세기포를 생성시켰다. DAF 펌프의 용량은 약 20 L/min이며, 약 5 kg/cm²의 압력조건에서 일정량의 공기와 반응수를 흡입하여 실제 공정과 유사한 조건의 포화수를 생산하였다. 또한 DAF 펌프는 공기 대신에 오존가스를 주입하여 오존미세기포를 생성시킬 수 있는 장점이 있으며, 오존에 의한 부식을 방지하기 위해 stainless steel로 제작되었다.

포화수를 만드는 데 필요한 반응수는 실제 공정의 DAF 처리수를 사용하였으며, ozoflotation 실험에 필요한 포화수 유량은 DAF 펌프의 용량에 비하여 매우 적으므로 대부분의 포화수는 drain 되도록 설계하였다. 본 연구에서 활용한 pilot-plant와 DAF 펌프의 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2. Pilot-plant 운전 조건

본 연구에서는 ozoflotation 공정을 운영하기 위한 최적의 조건을 찾기 위하여 다양한 오존주입농도 및 유입수 유량에 따른 실험을 진행하였으며, 이에 따른 pilot-plant와 DAF의 운전조건을 Table 1에 나타내었다. 원수의 유입유량은 각각 14, 20, 27 L/min으로 조절하였으며, 부상조로 주입되는 포화수의 반응비(=포화수 유량/유입수 유량)는 실제 DAF 공정의 운전조건인 10%로 고정하였다. 응집제는 실공정에서 Polyaluminium hydrogen chloride silicate (PAHCS)를 10 mg/L 주입하여 플러클을 생성시키도록 하였으며, 응집제가 주입된 원수는 pilot-plant로 유입되어 급속 혼화지 및 응집지 1, 2에서 Table 1과 같은 다양한 G값으로 교반되었다. 또한 압력조건이 미세기포의 크기 및 발생량을 좌우하므로(한 등, 2001), DAF 펌프는 실제 공정과 유사한 조건인 약 5 kg/cm²로 운전하였다. DAF 펌프로 유입되는 공기 및 오존가스의 유량은 펌프 운전조건에 의하여 2.5 L/min으로 고정하였다.

2.3. 실험 및 분석 방법

본 연구에서는 탁질제거 평가를 위해 탁도와 시료 1 mL

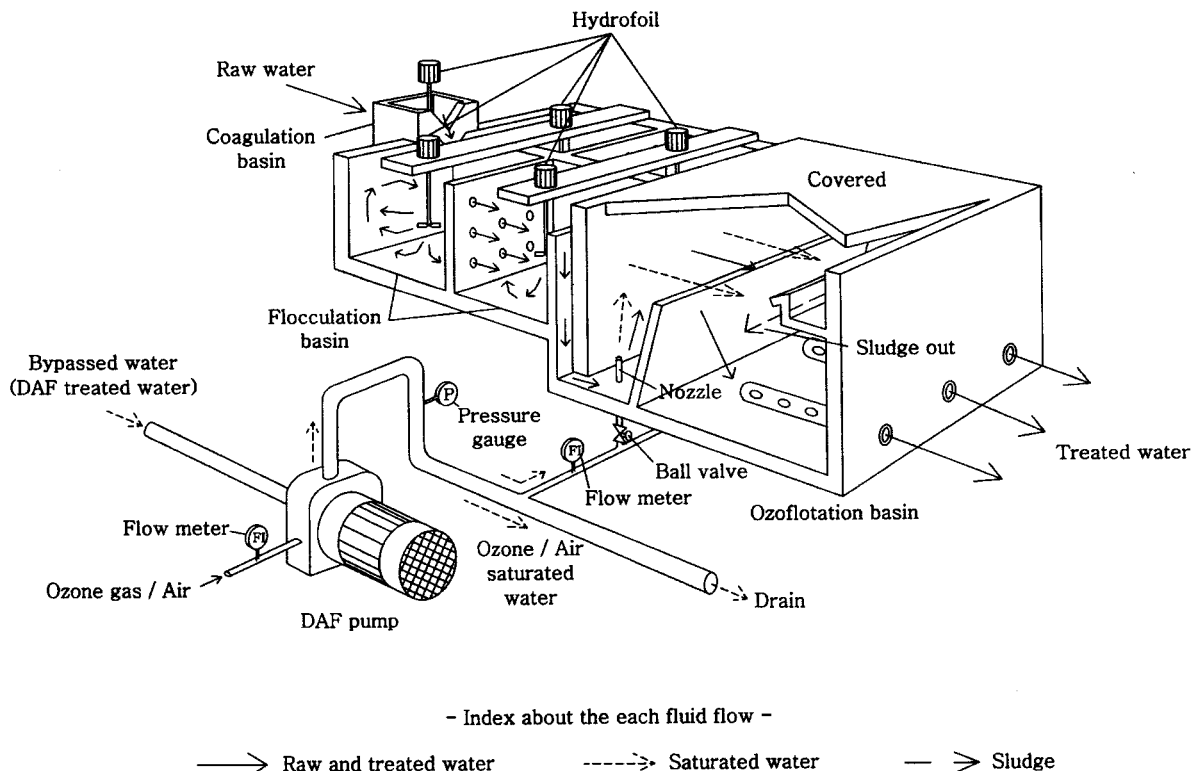


Fig. 1. Schematic diagram of the pilot-plant and DAF pump.

Table 1. Technical specification for the pilot-plant and DAF pump

	Processes	Parameters		Conditions			
Pilot plant	Raw water flow rate (L/min)			14	20	27	
	Bypass water flow rate (L/min)			1.4	2.0	2.7	
	Coagulation	Coagulant (mg/L)			10		
		HRT (min)			0.69	0.48	0.36
		Mixing speed (rpm)			385		
		G-value (sec ⁻¹)			264		
	Flocculation 1st / 2nd	HRT (min)			9.6	6.7	5.0
		Mixing speed (rpm)			90 / 65		
		G-value (sec ⁻¹)			57 / 32		
	DAF / Ozoflotation	Ozone dose (mg/L)			0.5, 1.2, 1.5		
HRT (min)				34	24	17.8	
Recycle ratio (%)				10			
DAF pump	Flow rate (L/min)	20	Operating pressure (kg/cm ²)		5.0		
	Gas flow rate (L/min)	2.5	Pump material		Stainless steel		

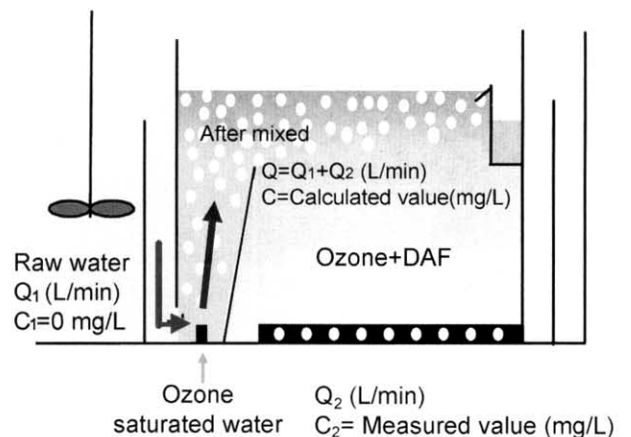
당 입자 개수를 측정하였으며, 유기물 제거효율을 평가하기 위하여 UV₂₅₄, 할로초산 전구물질(HAACP) 및 DOC를 분석하였다. 또한 기존의 정수처리 공정에서는 처리하기 어려운 것으로 알려져 있는(Ho et al., 2002) 맛·냄새물질의 제거 경향을 알아보기 위해, Geosmin과 2-MIB를 표준물질로 선정하여 각각 DAF와 ozoflotation 공정에서 강제주입(spiking) 실험을 실시하였다.

탁도와 입자수는 각각 탁도계(2100N laboratory turbidimeter, HACH사)와 입자계수기(WGS267 portable particle counter, HACH사)를 이용하여 측정하였으며, UV₂₅₄와 DOC는 시료를 사전에 pore size 0.45 μm membrane filter로 필터링 한 후 각각 UV/Vis spectrophotometer(Cary 50, Varian사)와 TOC analyzer(Phoenix 8000, DOHRMANN사)로 분석하였다. HAAFP는 시료에 30 mg/L의 과량의 염소를 주입한 후 24시간 동안 25°C에서 반응시켜서 제조하였으며, LLE(Liquid-liquid extraction)법을 이용하여 시료를 전처리한 후 DB-1701 컬럼(0.25 mm I.D. × 30 m)이 장착된 GC-ECD(HP 5890 series II, HP사)로 정성 및 정량분석을 실시하였다(김 등, 2004). 맛·냄새물질은 Geosmin과 2-MIB(standard 20 mg, Wako사)를 이용하여 고농도의 stock solution(=1 mg/L) 5 L를 제조한 후 정량펌프를 사용하여 유입원수에 일정하게 주입하였으며, 한편 stock solution은 원수와 충분히 섞일 수 있도록 pilot-plant의 원수 유입부분에서 주입하였다. 실험 후 시료는 각각 원수 및 처리수를 10 mL씩 채취하여 baked NaCl 3 g과 함께 SPME 용기에 넣고 세계 흔들어 완전히 녹인 후 분석하였다.

Ozoflotation 실험을 위한 오존주입농도는 indigo method(Bader et al., 1981)를 이용하여 흡광도 600 nm에서 측정하였으며, 최종적으로 유입원수와 포화수가 섞인 후의 오존농도는 식 (1)을 이용하여 간접적으로 계산하였다. 유입원수의 유량을 Q₁, 유입원수의 오존농도를 C₁(=0 mg/L), 포화수의 유량을 Q₂, indigo 용액을 이용하여 측정 한 고농도 오존포화수의 오존농도를 C₂라고 하면, 유입원수와 포화수가 혼합되는 지점의 오존농도 C를 식 (1)로부터 계산할 수 있다.

$$C(\text{mg/L}) = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (1)$$

한편 ozoflotation 부상조의 오존 mass balance를 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있으며, 식 (1)과 Fig. 2의 개념을 이용하여 본 실험조건에서 최종적으로 계산된 오존주입농도 조건은 각각 0.5, 1.2, 1.5 mg/L이었다.

**Fig. 2.** Mass balance about ozone concentration in ozoflotation basin.

또한 본 연구에서 수행한 모든 실험은 연속식으로 진행되었으며, ozoflotation 반응조가 안정화되는 시간 이후부터 일정한 시간 간격마다 시료를 채취한 후 결과를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원수의 성상 및 특성

실험이 진행된 2005년 1월부터 3월까지 S정수장으로 유입된 원수의 수질특성에 관하여 Table 2에 나타내었다. 원수는 상수원수로서 비교적 양호한 수질을 유지하고 있었으며, 실험을 진행하는 동안 탁도가 0.7 NTU에서 1.4 NTU

Table 2. Characteristics of raw water

Parameters	Values
Temperature (°C)	5 ± 0.5
pH	7.0 ~ 7.5
Alkalinity (mg/L)	20 ~ 25
Turbidity (NTU)	0.7 ~ 1.4
Particle (counts/mL)	3408 ~ 8698
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.0258 ~ 0.0357
DOC (mg/L)	1.29 ~ 2.92

까지 상승하는 등 수질이 다소 변화하는 경향을 확인할 수 있었다.

3.2. Ozoflotation 운전인자 도출을 위한 유입수 유량 별 평가

본 실험에서는 유입수 유량에 따른 각 수질인자에 대한 평가를 실시하여, pilot-plant의 최적 유량조건과 부상조의 체류시간을 결정하고자 하였다. 따라서 우선 오존을 주입하지 않은 조건에서 유입수 유량을 14, 20, 27 L/min으로 변화시키고 이에 따른 반송유량은 각각 1.4, 2.0, 2.7 L/min으로 하여(반송비 10%), S정수장의 실제 DAF 공정과 동일한 운전조건으로 실험을 진행하였다. 유입수 유량이 14 L/min 일 때 원수의 탁도는 0.73 NTU, 원수 1 mL 당 입자수는 약 3700개로 측정되었으나, 유량을 20, 27 L/min으로 증가시켜 실험을 진행한 날은 탁도가 1.4 NTU로 증가하였고 입자수도 약 8600개로 증가하는 등 원수의 수질변화가 발생하였다.

실험 결과, Fig. 3의 (a), (b)와 같이 탁도는 DAF 처리 후에는 세 공정 모두 초기 탁도와 상관없이 0.3 NTU 이하로 안정적으로 감소되었으며, 입자수는 원수 대비 90% 이상의 유사한 제거효율을 나타내었다. 한편, 유입수 유량을 14 L/min에서 20, 27 L/min으로 증가시켰을 때 탁도 제거효율은 약 70%에서 80%까지 약간 상승하였다. 이것은 유입수의 유량이 증가하여 효율이 상승된 것이 아니라, 원수의 초기 탁도가 0.7 NTU에서 1.4 NTU로 증가했기 때문에 상대적으로 효율이 상승된 것으로 사료된다. 따라서 유량을 변화시켜도 반송비를 동일하게 유지할 경우, 탁도 제거효율은 유량 및 체류시간에 상관없이 거의 일정할 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 원수 대비 DAF 처리수의 유기물 제거효율을 나타낸 그래프이며, UV₂₅₄, DOC 및 HAAFP를 대상으로 평가하였다. 한편 각 실험조건별 UV₂₅₄의 초기값은 0.0272~0.0342 cm⁻¹, DOC는 1.29~2.76 mg/L, HAAFP는 82.4~110.6 µg/L로 측정되었다.

UV₂₅₄의 제거효율은 유입수의 유량이 14 L/min 일 때 약 60%로 가장 높았으며, 유량이 20, 27 L/min으로 증가됨에 따라 각각 38%와 41%로 감소하는 경향을 나타내었다. DOC의 제거효율은 세 공정 모두 15~20%로 유사하였으며, HAAFP의 제거효율은 유량 20 L/min에서는 다소 낮았으나 14, 27 L/min에서 약 40%까지 증가하였다. 한편 Table 3에서 보는 바와 같이, 유량조건이 14 L/min인 pilot-

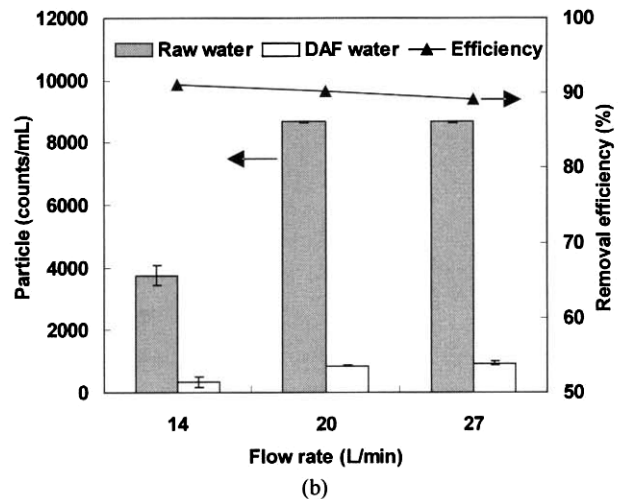
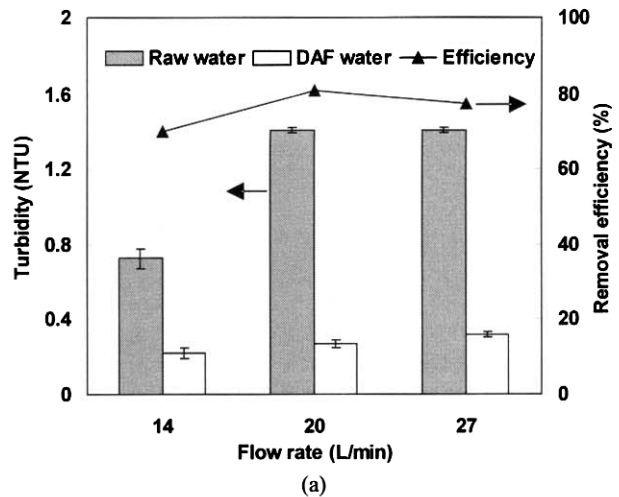


Fig. 3. Removal efficiency of turbidity and particle in variable flow rate conditions, (a) turbidity, (b) particle.

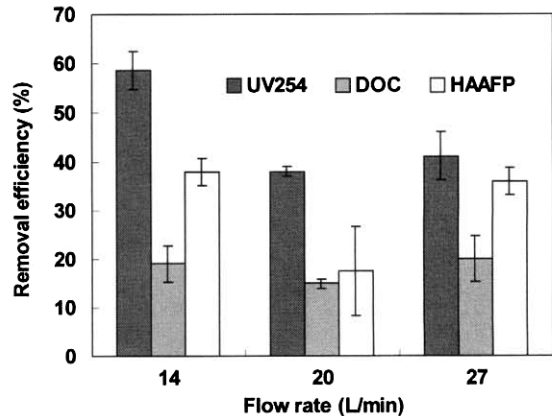


Fig. 4. Removal efficiency of UV₂₅₄, DOC and HAAFP in variable flow rate conditions.

plant 실험결과가 2004년 9월부터 11월까지 측정되었던 S정수장 실제 DAF 공정의 처리효율과 유사한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 pilot-plant의 실험결과를 바탕으로 실제 공정의 처리효율을 예측하는 것은 타당성이 있을 것으로

Table 3. Experimental period and removal efficiency of each organic parameter about DAF process and pilot-plant

	DAF	Pilot-plant
Experimental period	2004. 9~11	2005. 1~3
Parameters	Removal efficiency(%)	
UV ₂₅₄	68%	59%
DOC	18%	20%
HAAFP	40%	38%

생각되었다.

결론적으로 DAF 공정에서 탁질 및 유기물을 제거하기 위하여 유입수 유량변화에 따라 반송비를 적절하게 유지하는 것이 중요할 것으로 판단되었다. 또한 S정수장 실제 DAF 운전조건인 부상조내 체류시간 약 30분과 반송비 10% 조건으로 pilot-plant를 운전하였을 때 UV₂₅₄를 비롯한 유기물의 제거효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 따라서 유입수 유량 14 L/min과 이에 따른 반송유량 1.4 L/min(반송비 10%) 조건을 ozoflotation 공정의 주 운전조건으로 결정하였다.

3.3. 오존주입농도에 따른 ozoflotation 공정의 처리효율 비교평가

앞에서 도출한 조건을 바탕으로 오존주입농도를 0.5, 1.2, 1.5 mg/L로 조절하여 ozoflotation 실험을 진행하였다. 각각의 오존주입농도는 식 (1)과 Fig. 2에서 설명한 mass balance 개념을 바탕으로 계산된 값을 적용하였다.

실험 결과, Fig. 5의 (a)에서 보는 바와 같이 DAF 공정과 오존주입농도 0.5, 1.2 mg/L인 ozoflotation 공정에서 탁도는 원수 대비 약 70%가 제거되었으며, 오존주입농도 1.5 mg/L인 공정에서는 약 78%까지 제거효율이 상승하였다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 유량이나 오존주입량을 변화시켰기 때문에 효율이 증가한 것이 아니라, 원수의 탁도가 증가하여 상대적으로 처리효율이 상승했기 때문인 것으로 사료된다. 또한 오존주입농도가 증가하여도 유입원수의 탁도와 상관없이 처리수의 탁도는 모든 공정에서 약 0.2~0.25 NTU의 유사한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 같은 압력조건에서 미세기포를 생성시킬 경우, 공기나 오존농도에 상관없이 미세기포가 플락(floc)을 부상 제거하는 능력은 서로 비슷할 것으로 예상되었다.

Fig. 5의 (b)를 살펴보았을 때, 입자수는 DAF 및 모든 ozoflotation 공정에서 약 90%의 제거효율을 나타내었다. 따라서 수질변화에 상관없이 공기 대신 오존가스를 사용하여도 DAF 공정 수준으로 탁질을 제거하는데 문제가 없는 것으로 판단되었으나, 오존주입농도를 증가시켜도 탁질 제거효율은 더 이상 증가하지 않을 것으로 예상되었다.

본 실험을 진행하는 동안 측정된 각 조건별 UV₂₅₄의 초기값은 0.0258~0.0357 cm⁻¹, DOC는 1.29~2.92 mg/L, HAAFP는 82.4~105.0 µg/L이었다. 오존주입농도별 유기물 제거실험을 실시한 결과, Fig. 6과 같이 UV₂₅₄의 제거효율은 DAF 공정에서 원수 대비 약 60%였으나 오존을 1.2

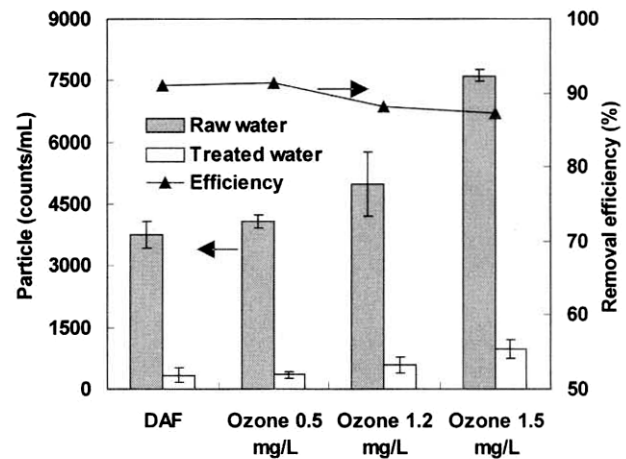
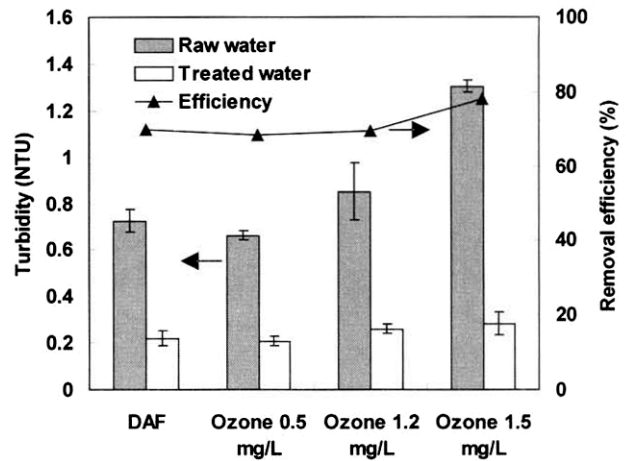


Fig. 5. Removal efficiency of turbidity and particle in variable ozone dose conditions compared with DAF process, (a) turbidity, (b) particle.

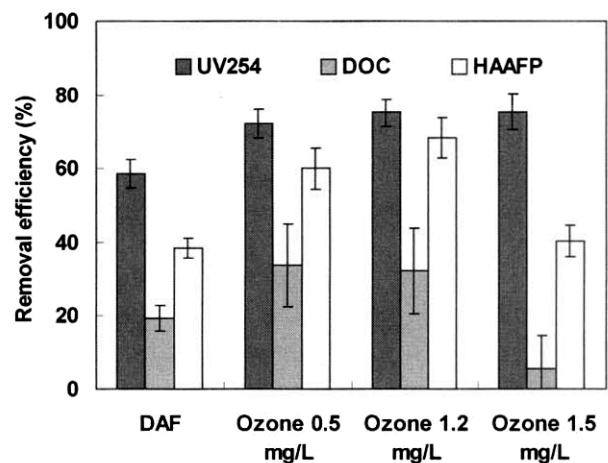


Fig. 6. Removal efficiency of UV₂₅₄, DOC and HAAFP in variable ozone dose conditions compared with DAF process.

mg/L 주입한 ozoflotation 공정에서 75%까지 증가하였으며, 고농도의 오존을 주입하여도 더 이상 제거효율은 증가하지 않을 것으로 예상되었다. DOC는 DAF 공정에서 원수 대비

20%가 제거되었으며, 오존주입농도 0.5, 1.2 mg/L 조건에서 각각 34%와 32%까지 제거효율이 증가하였다. HAAFP의 제거효율은 DAF 공정에서 약 40%였으나 ozoflotation 공정에서 각각 60%와 69%까지 증가하여, DAF 공정에 비하여 제거효율이 각각 20% 및 29% 정도 향상되었다. 그러나 1.5 mg/L의 오존을 주입한 경우 오히려 제거효율이 감소하였는데, 이것은 Glaze 등(1982)의 연구에 의하여 적정농도 이상의 오존이 주입되어 비전구물질이 전구물질화 되는 반응이 복합적으로 일어난 것으로 예상할 수 있다. 따라서 ozoflotation 공정을 이용하여 유기물을 제어할 경우, 최적 오존주입농도는 1.2 mg/L인 것으로 판단되었다.

3.4. 맛·냄새물질 처리효율 비교평가

맛·냄새 표준물질로 선정된 Geosmin과 2-MIB를 DAF 및 ozoflotation 공정을 이용하여 제거실험을 실시한 결과는 Fig. 7과 같다. 우선 표준물질을 강제 주입한 후 원수의 Geosmin과 2-MIB 초기농도를 측정한 결과, 각 실험조건에서 Geosmin은 223.6~468.7 ng/L, 2-MIB는 206.5~479.5 ng/L로 나타났으며 S정수장 유입원수 내에서는 검출되지 않았다.

실험 결과, DAF 공정에서 Geosmin의 제거효율은 0%, 2-MIB는 약 6% 정도로 측정되어, DAF 공정에 의한 맛·냄새물질 제거효율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 오존을 1.5 mg/L 주입하였을 때 Geosmin과 2-MIB의 제거효율은 각각 65%와 40%까지 증가하였으며, 고농도의 오존을 주입할수록 제거효율이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 한편 Geosmin과 2-MIB는 오존과의 반응성은 거의 없으나 OH 라디칼과는 매우 높은 것으로 알려져 있으며 (Geosmin: $k_{O_3} < 10 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$, $k_{OH} = 8.2 \times 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$; 2-MIB: $k_{O_3} < 10 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$, $k_{OH} = 3.0 \times 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) (Glaze et al., 1990), 실제로 Fig. 7에서 보는 바와 같이 Geosmin의 제거효율이 2-MIB보다 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험에서 도출한 맛·냄새물질의 제거효율은 오존 분해

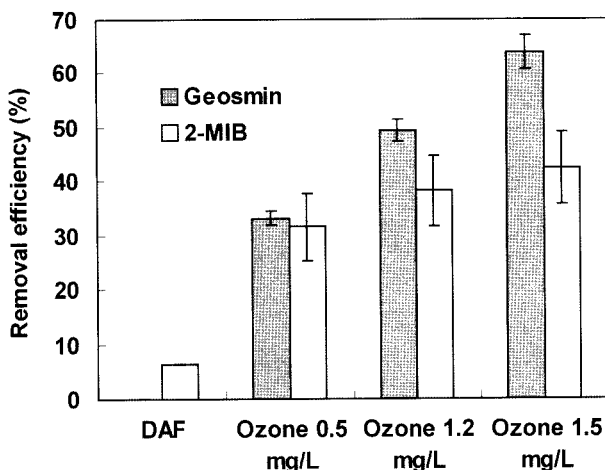


Fig. 7. Removal efficiency of Geosmin and 2-MIB in variable ozone dose conditions compared with DAF process.

과정에서 발생된 OH 라디칼에 의해 결정되었으며, 실제로 ozoflotation 공정에서도 OH 라디칼 생성효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다. 한편 오존주입농도 1.2 mg/L 조건에서 Geosmin과 2-MIB의 제거효율이 각각 50%, 38%로 나타났는데, OH 라디칼의 생성효과를 보다 극대화시키기 위하여 과산화수소를 주입하는 등 고도산화공정(Advanced oxidation process: AOP)을 도입한다면, 맛·냄새물질 뿐만 아니라 미량유해물질 등의 처리효율을 더욱 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

Ozoflotation 공정의 정수처리 적용에 관한 연구를 위하여 pilot-plant를 이용하여 다양한 조건에서 실험을 진행하였으며, 최적의 운전조건 및 정수처리 효율에 관한 결론은 다음과 같다.

- 1) Ozoflotation 공정의 최적 유량조건과 부상조 체류시간을 도출하기 위한 유입수 유량별 실험을 실시한 결과, 탁도는 0.3 NTU 이하로 안정적으로 제거되었으며, 입자수는 원수 대비 90% 이상의 유사한 제거효율을 나타내었다. 따라서 반송비를 10%로 동일하게 조절할 경우 탁질은 유량 및 체류시간에 상관없이 일정한 처리효율을 유지할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 유기물의 제거효율은 유입수의 유량이 14 L/min, 즉 부상조의 체류시간이 약 30분일 때 가장 높았다.
- 2) 오존주입농도를 각각 0.5, 1.2, 1.5 mg/L로 조절하여 ozoflotation 실험을 실시한 결과, 공기 대신 오존가스를 사용하여도 DAF 공정 수준으로 탁질을 제거할 수 있었으나 오존주입농도를 증가시켜도 탁질 제거효율은 더 이상 증가하지 않았다. 오존을 1.2 mg/L 주입하였을 때 UV₂₅₄와 DOC는 각각 원수 대비 75%와 32%까지 제거되었으며 HAAFP의 제거효율은 DAF 공정 대비 29%까지 증가하였으나, 고농도의 오존을 주입하여도 제거효율은 더 이상 증가하지 않았다. 따라서 ozoflotation 공정에서 유기물 제어를 위한 최적의 오존주입농도는 1.2 mg/L인 것으로 조사되었다.
- 3) Geosmin과 2-MIB는 DAF 공정에서 거의 제거되지 않았으나, ozoflotation 공정에서는 오존을 고농도로 주입할수록 제거효율이 증가하였다. 이것은 ozoflotation 공정 중에 생성된 OH 라디칼에 의한 효과임을 확인할 수 있었으며, 따라서 본 공정은 기존의 정수처리 공정에서는 처리하기 어려운 맛·냄새물질 등에 대해서도 효과적으로 대응할 수 있는 고도정수처리 공정의 하나로서 적용 가능할 것으로 판단되었다.

사 사

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

참고문헌

- 강준원, 오존, 과산화수소, UV를 이용한 고급산화처리 공정의 kinetic에 관한 연구(I), *대한환경공학회지*, **15**(2), pp. 501-510 (1993).
- 김경숙, 오병수, 주설, 강준원, 염소주입량과 반응시간에 따른 HAAs 생성과 고도산화처리에 의한 전구물질 제거 경향, *한국물환경학회지*, **20**(2), pp. 145-150 (2004).
- 이상은, 상수고도처리의 현황과 전망, *첨단환경기술 5월호*, pp. 11-19 (1994).
- 정문경, 차지은, 최준석, 오현재, 노재일, 전용성, Ozoflotation 공정의 운전특성 연구, *대한환경공학회 '99추계 학술연구발표회 논문집(I)*, pp. 307-308 (1999).
- 한무영, 박용효, 이준, DAF에서 압력이 미세기포의 크기분포에 미치는 영향, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동춘계 학술발표회 논문집*, pp. 147-150 (2001).
- 牧豊, 용수에서의 오존응용, *첨단환경기술 1월호*, pp. 37-48 (1994).
- Bader, H. and Hoigne, J., Determination of Ozone in Water by the Indigo Method, *Water Res.*, **15**, pp. 449-456 (1981).
- Faivre, M., Delaye, M., Tournier, J. C., Butte, J. N. and Perrot, J. Y., Ozoflotation: Putting into Operation of the La Pape Plant Lyons Metropolitan Authority (COURLY), in *proc. 10th Ozone World Congress(Paris, France: Intl. Ozone Assoc.)*, **2**, pp. 371-383 (1991).
- Glaze, W. H., Peyton, G. R., Lin, S., Huang, R. Y. and Bursleson, J. L., Destruction of Pollutants in Water with Ozone in Combination with Ultraviolet Radiation. 2. Natural Trihalomethane Precursors, *Environ. Sci. Technol.*, **16**(8), pp. 454-458 (1982).
- Glaze, W. H., Schep, R., Chauncey, W., Ruth, E. C., Zarnoch, J. J., Aieta, E. M., Tate, C. H. and McGuire, M. J., Evaluating Oxidants for the Removal of Model Taste and Odor Compounds from a Municipal Water Supply, *J. AWWA*, **87**(5), pp. 79-84 (1990).
- Ho, L., Newcombe, G. and Croue, J-P., Influence of the Character of NOM on the Ozonation of MIB and Geosmin, *Water Res.*, **36**, pp. 511-518 (2002).
- Wilson, D., Lewis, J., Noguera, F., Faivre, M. and Boisdon, V., The Use of Ozoflotation for the Removal of Algae and Pesticides from a Stored Lowland Water, *Ozone Sci. Eng.*, **15**, pp. 481-496 (1993).