

ORIGINAL ARTICLE

## 정수처리에서 미량유해물질 제거를 위한 Peroxone 공정의 적용성 및 경제성 평가

손희종\* · 김상구 · 염훈식 · 최진택  
부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

## Evaluation of Applicability and Economical Efficiency of Peroxone Process for Removal of Micropollutants in Drinking Water Treatment

Hee-Jong Son\*, Sang-Goo Kim, Hoon-Sik Yeom, Jin-Taek Choi  
*Water Quality Institute, Busan Water Authority, Kimhae 621-813, Korea*

### Abstract

We compared the applicability and economical efficiency of peroxone process with those of ozone process in the existing water treatment plant on downstream of Nakdong River. After comparing the peroxone process for removing geosmin with the ozone process in lab scale test, peroxone process showed much higher removal efficiency than the ozone process at the same ozone dosage. Proper range of  $H_2O_2/O_3$  ratio were 0.5~1.0 and the half-life of geosmin was about 5.5~6.8 min when the  $H_2O_2/O_3$  ratio was set to 0.5 during 1~2 mg/L of ozone dosage. Peroxone process could reduce the ozone dosage about 50 to maximum 30% for the same geosmin removal efficiency compared to the ozone process in the pilot scale test. In case of 1,4-dioxane treatment, peroxone process could have 3~4 times higher efficiency than ozone process at the same ozone dosage. The results of estimating the economical efficiency of ozone and peroxone process for treating geosmin and 1,4-dioxane by using pilot scale test, in case of the removal target was set to 85% for these two materials, the cost of peroxane process could be reduced about 1.5 times compared to ozone process, and in the same production cost peroxone process could have 2~3 times higher removal efficiency than ozone process. The removal efficiency by peroxone process showed a large difference depending on the physicochemical characteristics of target materials and raw water, therefore detailed examination should be carried out before applying peroxone process.

**Key words** : Peroxone process, Geosmin, 1,4-dioxane, Drinking water treatment, Economical efficiency

### 1. 서론

정수처리 공정에서 염소와 오존 같은 산화제는 바 이러스나 원생동물의 불활성화 및 수중의 난분해성 물질의 산화목적으로 사용되어져 오고 있다(Dodd와 Huang, 2004; Son 등, 2006a). 산업의 발전과 생활수 준의 향상으로 우리가 제조하여 사용하는 합성 유기물

질들은 엄청난 증가 추세를 보이고 있으며(Veriansyah 와 Kim, 2007), 이러한 합성 유기물질들은 대부분이 난분해성으로 환경에 심각한 위해성을 나타낸다. 이 런 물질들은 하폐수 처리장 유출수 및 침출수 등에서 완전히 제거되지 못하고 상수원으로 유입되어 우리들 의 건강을 위협한다(Bandala 등, 2008; Lin 등, 2008; Petrović 등, Schrank 등, 2004). 난분해성 오염물질들

Received 31 February, 2013; Revised 15 March, 2013;

Accepted 4 April, 2013

\*Corresponding author : Hee-Jong Son, Water Quality Institute, Busan Water Authority, Kimhae 621-813, Korea  
Phone: +82-669-4797  
E-mail: menuturk@hanmail.net

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은 농약류, 합성세제, 색도 유발물질, 의약품질들 및 내분비계 장애물질들 등으로 염소나 오존을 이용해서 이러한 물질들을 효과적으로 산화 제거하기에는 한계가 있다(Esplugas 등, 2007; Klavarioti 등, 2009). 산화 효율 증진을 위해 과다한 염소의 투입은 트리할로메탄과 같은 소독부산물물을 과다하게 생성시키며 또한, 과다한 오존투입의 경우도 비경제적이다.

최근 낙동강에서는 1,4-dioxane 등과 같은 짙은 오염사고로 인해 고도 산화공정(advanced oxidation process, AOP)의 도입을 추진하는 분위기가 조성되고 있다(Son 등, 2006a). 낙동강에 위치한 대규모 정수장의 경우 오존과 활성탄 공정을 갖춘 고도 정수처리 공정을 운전하고 있기 때문에 오존공정과 연계가 쉬운 AOP를 모색 중에 있고, 가장 적용이 용이한 AOP로 peroxone ( $O_3/H_2O_2$ ) 공정이 주목받고 있다(Stachelin 와 Hoigné, 1982).

Peroxone 공정은 1970년대에 하폐수 처리공정의 효율 증진을 위하여 연구되기 시작하였으며(Nakayama 등, 1979), 1980년대부터는 정수처리의 효율 증진 목적으로 연구되기 시작하여(Brunet 등, 1984; Duguet 등, 1985; Glaze 등, 1987), 당시 정수처리에서 문제시 되던 geosmin과 2-MIB 같은 이취물질, 잔류 농약과 trihalomethane (THMs)과 같은 염소 소독부산물들의 산화 제거 목적으로 도입이 되었다(Ferguson 등, 1990; Roche 등, 1994). 또한, 지하수 중에 함유된 trichloroethylene (TCE)와 perchloroethylene (PCE)과 같은 염소계 유기화합물질들의 산화 제거 용도로도 도입이 되었다(Glaze와 Gang, 1988; Aieta 등, 1988).

Peroxone 공정은 강력한 산화력을 가진 OH 라디칼의 생성을 유도하여 산화 효율을 높이는 공정으로 OH 라디칼은 친전자체 (electrophiles)이기 때문에 거의 모든 유기물들과 비선택적으로 매우 빠르게 반응한다. 수중의 유기 오염물질과 OH 라디칼은 수중에서 반응하여 중간 생성물들을 형성하고, 중간 생성물들과 OH 라디칼은 다시 반응하여 물과 이산화탄소로 최종 분해된다(Marhaba와 Bengraïne, 2003).

본 연구에서는 대표적인 이취미 물질인 geosmin과 난분해성 물질로 알려져 있는 1,4-dioxane에 대해 ozone 공정 및 peroxone 공정에서의 처리효율 비교를 통하여 정수처리에서의 peroxone 공정의 적용성 및

경제성을 평가하고자 lab scale 및 pilot scale의 peroxone 실험을 수행하였다. Lab scale 실험에서는 적정 오존/과산화수소 주입비 선정과 이에 따른 반응 동력학을 평가하였다. 또한, Pilot scale 실험을 통하여 lab scale 실험에서 선정된 오존/과산화수소 주입비에 서의 geosmin과 1,4-dioxane에 대한 제거효율 검증과 함께 peroxone 공정 도입에 따른 경제성 평가를 수행하여 정수처리 공정의 효율 향상과 처리 원가의 절감을 모색하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

본 실험은 순도 99% 이상의 geosmin과 1,4-dioxane 특급물질(Sigma-aldrich, USA)을 사용하여 급속 모래여과 처리수에 투입하여 적정 농도로 조제한 후 lab scale과 pilot scale로 나누어 peroxone 실험을 진행하였다.

Lab scale 실험의 경우는 급속모래여과 처리수를 채수하여 geosmin을 500 ng/L의 농도로 투입·조제한 후 회분식 lab scale 오존접촉조에 투입하여 실험하였으며, pilot scale 실험의 경우는 급속 모래여과 처리수가 후오존 접촉조로 이송되는 배관에 geosmin과 1,4-dioxane을 투입하여 후오존 접촉조로 유입되는 geosmin과 1,4-dioxane의 농도가 각각 372 ng/L와 30 µg/L가 되도록 하여 실험하였다. Table 1에는 실험에 사용된 pilot-plant의 급속 모래여과 처리수의 성상을 나타내었다.

**Table 1.** Characteristics of rapid sand-filtered water samples used in this study

	Item	Sand Filtered Water
DOC	(mg/L)	1.55~1.63
UV-254	( $cm^{-1}$ )	0.0191~0.0197
Temp.	( $^{\circ}C$ )	18~21
Turbidity	(NTU)	0.12~0.15
Alkalinity	(mg/L $CaCO_3$ )	32~36
pH	(-)	7.1~7.4

### 2.2. 실험 방법

2.2.1. Lab scale 및 Pilot scale Peroxone 실험  
실험에 사용된 lab scale과 pilot scale 오존접촉조

의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. Lab scale 오존접촉조는 10 L 용량의 아크릴 재질로 시료수를 채운 후 오존과 과산화수소수를 연속적으로 공급하는 semi-batch 식이다. 접촉조는 직경 10 cm, 높이 150 cm이며, 하부에 원형 diffuser를 설치하여 주입되는 오존을 효과적으로 용해시켰다. 오존 발생장치는 OZAT<sup>®</sup> CFS-1A (Ozonia, Switzerland)를 이용하였으며, 오존 투입농도를 측정하기 위하여 오존 모니터(PCI Ozone & Control System Inc., USA)를 설치하였다. 접촉조로 유입되는 가스유량은 1 L/min으로 일정하게 주입하였으며, 과산화수소는 정량펌프를 이용하여 5 mL/min 유속으로 주입되도록 설치하였고, 실험조건에 따라 과산화수소 용액의 농도를 조절하였다. 오존/과산화수소 접촉실험은 20분으로 고정하여 실험하였다.

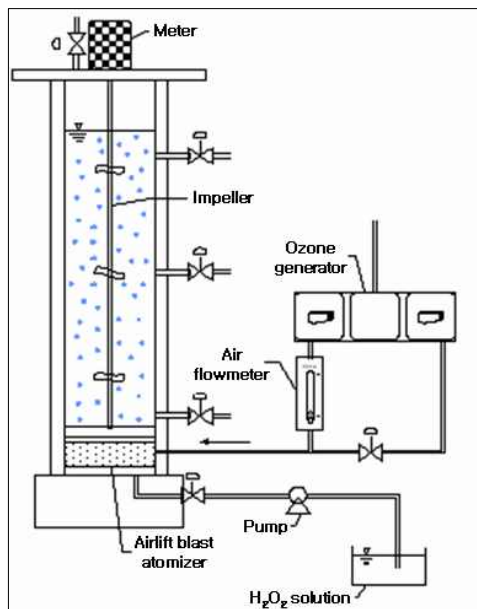
Pilot scale 오존접촉조는 1일 최대 100 m<sup>3</sup> 처리용량이며, 3단으로 구성되어 있으며, 재질은 스테인레스 재질이다. 접촉시간은 20분이며, 오존과 시료수는 count current 방식으로 접촉하도록 제작되었다. Geosmin과 1,4-dioxane 및 과산화수소의 주입은 급속 모래여과 처리수가 후오존 접촉조로 이송되는 배관에 직접 투

입하였으며, 투입 후 혼합이 용이하도록 in-line mixer를 설치하였다. 오존 발생장치는 OZAT<sup>®</sup> CFS-1A (Ozonia, Switzerland)를 이용하였으며, 오존 투입농도를 측정하기 위하여 오존 모니터(PCI Ozone & Control System Inc., USA)를 설치하였다.

분석에 사용된 시료수는 채수 후 수중의 잔류오존을 제거하기 위해 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Junsei Chemical, Japan)를 20 mg/L 이하의 농도가 되도록 투입하였으며, 또한 잔존하는 과산화수소의 활성을 방지하기 위해 0.5% catalase (79% protein, Sigma-Aldrich, USA)를 시료 1 L에 0.5 mL를 주입하여 과산화수소의 활성을 방지하였다 (Suh와 Mohseni, 2004).

2.2.2. Geosmin 및 1,4-dioxane 분석

Geosmin 분석은 polydimethylsiloxane (PDMS)이 코팅되어 있는 교반막대(Twister<sup>™</sup>, Gerstel, Germany)에 geosmin을 흡착시켜 수중에서 분리하는 교반막대 흡착추출법(stir bar sorptive extraction, SBSE)을 전처리 방법으로 사용하여 GC/MSD (6890N, Agilent, USA/5973N, Agilent, USA)로 분석하였다(Lee와 Gang, 2009). 1,4-dioxane 분석은 purge & trap 농축



(a) Lab scale ozone contactor



(b) Pilot scale ozone contactor

Fig. 1. Schematic diagram and photograph of lab- and pilot-scale contactors.

Table 2. Analytical conditions of the GC/MSD

Geosmin	1,4-dioxane
GC	GC
- Column HP-5MS, 30 m (L)×0.25 mm (ID)×0.25 μm (film thickness)	- Column DB-624, 60 m (L)×0.32 mm (ID)×1.8 μm (film thickness)
- Oven Temperature Initial Temp. 50°C, Hold 1.6 min, 1st rate: 20°C to 100°C, 2nd rate: 10°C to 140°C, 3rd rate: 5°C to 160°C	- Oven Temperature Initial Temp. 40°C, Hold 5 min, 1st rate: 10°C to 230°C, Hold 5 min
MSD	MSD
- SIM mode	- SIM mode
- Selected ion: 111, 112, 125	- Selected ion: 58, 64, 88, 96

장치가 부착된 GC/MSD (6890N, Agilent, USA/5973N, Agilent, USA)를 이용하였다(Son 등, 2006b). Table 2에 geosmin과 1,4-dioxane 분석을 위해 사용된 GC/MSD의 분석조건을 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. Lab scale에서의 오존/과산화수소 주입비 선정

급속 모래여과 처리수에 인위적으로 500 ng/L의 농도로 투입한 geosmin에 대해 오존과 과산화수소 주입농도에 따른 제거특성 조사결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서와 같이 오존 단독공정에서 오존 0.5 mg/L 주입시 geosmin 제거율이 14% 정도로 나타났으며, 오존 투입농도가 1, 2, 5 및 10 mg/L로 증가할수록 geosmin 제거율 또한 각각 27%, 31%, 44% 및 48% 정도로 상승하였다. 일반적으로 정수장에서의 설계용량상 최대 오존 투입농도는 설계용량으로 볼 때 2.5 mg/L를 초과하지 않는다. 따라서 5 mg/L 및 10 mg/L와 같은 고농도의 오존 투입실험은 사실상 정수장에 적용하기 어렵다. 본 연구에서는 단지 geosmin에 대한 제거율 및 경제성 평가를 위해 10 mg/L의 고농도 오존 투입농도까지 실험을 수행하였다.

또한, 오존과 함께 과산화수소를 투입한 peroxone 공정의 경우 오존 투입농도 0.5 mg/L일 때 과산화수소 투입농도를 0.2~1.0 mg/L로 변화시켜 주입하였을 경우, geosmin 제거율은 67%~77% 정도의 제거율을 나타내었다. 오존 투입농도가 1.0 mg/L 및 2.0 mg/L일 때 과산화수소 투입농도를 0.2~1.0 mg/L로 변화시켜 주입하였을 경우, geosmin 제거율은 69%~89%

정도의 제거율을 나타내었으며, 특히 과산화수소 투입농도/오존 투입농도가 0.5 (mg/L)/1.0 (mg/L)일 때와 1.0 (mg/L)/2.0 (mg/L)일 때의 geosmin 제거율이 각각 88.7%와 89.3%로 최대 제거율을 보여 과산화수소/오존 투입비율이 0.5 부근에서 최대 제거율을 나타내었다. 또한, 오존 투입농도가 5 mg/L 이상에서는 과산화수소/오존 투입비율 1 부근에서 99%~100%의 제거율을 나타내어 최대 제거율을 보였다.

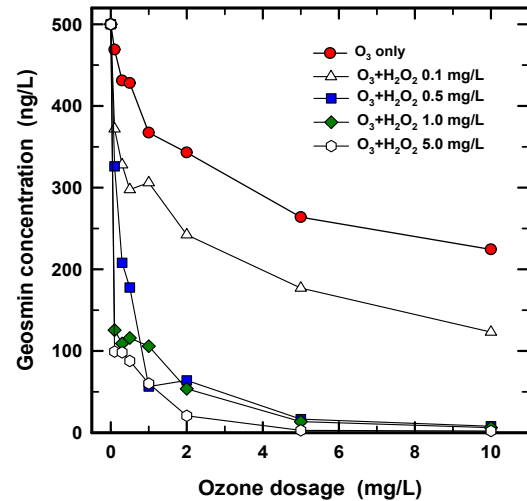


Fig. 2. Influence of ozone and hydrogen peroxide concentration on geosmin oxidation by lab scale ozone and peroxone process.

Fig. 2에 나타낸 다양한 오존과 과산화수소 투입농도별 실험결과를 회귀분석하여 속도상수  $k$ 를 구하기 위해 식 (1)을 이용하여 geosmin에 대해 오존 투입농

도 0.5~2.0 mg/L에서의 오존과 과산화수소 주입비율 ( $H_2O_2/O_3$ )에 따른 각각의 반응 속도상수  $k$ 를 Fig. 3에 나타내었다. 또한, 각각의 반응조건에 따른 geosmin의 50% 제거시점인 반감기( $t_{1/2}$ )를 식 (2)로 구하였으며, Table 3에 오존 투입농도별로 과산화수소 투입농도에 대한 geosmin의 반감기를 나타내었다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 오존 주입량과 오존대비 과산화수소의 주입비율이 증가할수록 반응 속도상수  $k$ 가 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며, 오존과 과산화수소의 비율이 과산화수소와 오존 비율( $H_2O_2/O_3$ )의 경우 1 이상에서는 반응 속도상수( $k$ )의 의미있는 증가는 없었다.

$$C/C_0 = \exp(-k \cdot t) \quad (1)$$

$$t_{1/2} = 0.693 / k \quad (2)$$

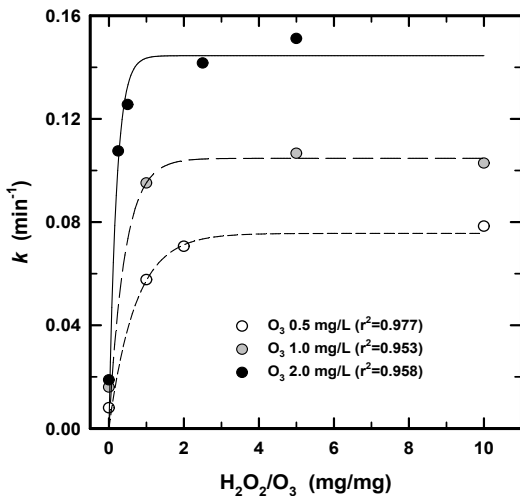


Fig. 3. Geosmin removal rate constants ( $k$ ) as a function of various hydrogen peroxide/ozone ratios.

오존 주입농도별(0.5~2 mg/L)로 과산화수소 주입농도(0~5 mg/L)에 대한 geosmin이 제거되는 반감기 ( $t_{1/2}$ )를 Table 3에 나타내었다. 오존 0.5~10 mg/L로 투입하였을 경우 geosmin의 반감기는 86.8~15.6 min으로 나타난 반면 오존 농도와 과산화수소 투입농도가 증가할수록 geosmin의 반감기는 급격히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 오존만 2 mg/L 투입하여 geosmin

을 산화시킨 경우보다 오존 2 mg/L와 과산화수소 1 mg/L를 함께 투입한 경우가 반감기가 38.9분에서 5.5분으로 7.1배 정도 감소되는 것으로 나타났다.

Table 3.  $t_{1/2}$  values of geosmin for various experimental conditions

O <sub>3</sub> dosage (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dosage (mg/L)				
	0	0.5	1.0	5.0	10.0 mg/L
0.5	86.8 min	12.0 min	9.8 min	8.8 min	9.5 min
1.0	43.3 min	6.8 min	7.3 min	6.5 min	6.7 min
2.0	36.9 min	6.4 min	5.5 min	4.9 min	4.6 min
5.0	19.5 min	4.4 min	4.0 min	3.6 min	3.1 min
10.0	15.6 min	3.5 min	3.2 min	2.9 min	2.5 min

### 3.2. Pilot scale에서의 peroxone 공정의 경제성 평가

낙동강 원수를 정수처리하는 pilot-plant를 이용하여 정수장에서 peroxone 공정의 적용성 및 경제성을 평가하기 위해 다양한 오존 및 과산화수소 투입농도에서 geosmin과 1,4-dioxane의 제거 특성을 살펴본 것을 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 후오존 공정에서 geosmin의 초기 농도를 372 ng/L로 하여 오존 투입농도별(1~7.5 mg/L) 과산화수소/오존 투입비를 0.5로 고정하여 실험한 결과를 나타낸 Fig. 4를 보면 오존만 투입한 경우에 geosmin을 20% 제거하기 위해서는 후오존 접촉시간 20분 동안 오존을 0.5 mg/L의 농도로 투입해야만 하며, 50% 및 85% 제거를 위해서는 1.5 mg/L 및 6.4 mg/L의 농도로 오존을 투입해야만 가능하다. 반면 과산화수소/오존 투입비를 0.5로 고정한 peroxone 공정의 경우는 각각 0.2 mg/L, 0.65 mg/L 및 1.9 mg/L의 농도로 오존을 투입할 경우 20%, 50% 및 85%의 geosmin의 제거가 가능한 것으로 나타났다.

또한, 후오존 공정에서 1,4-dioxane의 초기 농도를 30 µg/L로 하여 오존만 1~3 mg/L의 농도로 처리한 경우와 오존 투입농도를 1 mg/L로 고정하여 과산화수소 투입농도를 0.35~1 mg/L로 변화시킨 peroxone 공정에서의 1,4-dioxane 제거율을 나타낸 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5를 보면 오존 투입농도 1~3 mg/L로 투입한 오존 단독공정에서의 1,4-dioxane 제거율은 21%~41%로 나타났으나, 오존 투입농도를 1 mg/L로 고정하여 과산화수소 투입농도를 0.35~1 mg/L로

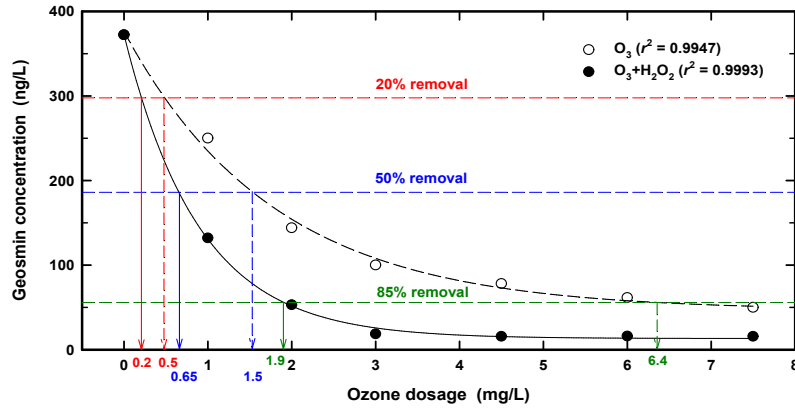


Fig. 4. Influence of ozone and hydrogen peroxide concentration on geosmin oxidation by pilot scale ozone and peroxone process (Initial geosmin conc.: 372 ng/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>=0.5).

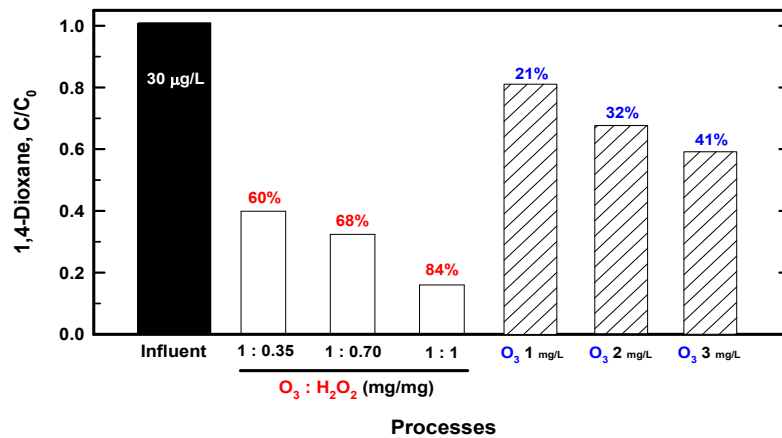


Fig. 5. Influence of ozone and hydrogen peroxide concentration on geosmin oxidation by pilot scale ozone and peroxone process.

변화시킨 peroxone 공정에서의 1,4-dioxane 제거율은 60%~84%의 제거율을 나타내어 Fig. 4에 나타낸 geosmin의 경우와 마찬가지로 오존 단독공정에 비해 peroxone 공정을 적용한 경우가 보다 적은 양의 오존 투입으로도 월등히 높은 제거율을 보였다.

Geosmin과 1,4-dioxane의 제거를 위해 pilot-plant를 이용하여 오존 단독공정과 peroxone 공정의 경제성을 평가한 것을 Table 4 (a)와 (b)에 나타내었다. 경제성 평가를 위해 부산의 D 정수장의 생산량과 오존 발생용 전력비를 이용하여 후오존 처리공정에서의 생산량 1 m<sup>3</sup> 당 1 mg/L의 농도로 오존 투입에 필요한 전

력비를 산정한 결과 0.70원으로 조사되었고, 과산화수소수의 경우 구입비와 생산량을 고려하여 생산량 1 m<sup>3</sup> 당 1 mg/L의 농도로 과산화수소 투입에 필요한 경비를 산정한 결과 1.71원으로 조사되었다.

Table 4 (a)에는 Fig. 4에 나타낸 pilot-plant를 이용하여 후오존 공정에서 geosmin 제거시 오존 단독공정과 peroxone 공정을 적용한 경우의 geosmin 제거율 및 오존과 과산화수소 투입에 따른 생산단가를 비교하여 나타내었다. 50% 이하의 제거율에서의 생산단가를 비교해보면 오존 단독공정의 경우 0.35원(20% 제거)과 1.05원(50% 제거)으로 나타났으며, peroxone

**Table 4.** Evaluation of economical efficiency of ozone and peroxone process

(a) Geosmin removal

	O <sub>3</sub> process			Peroxone process			
		20% removal	50% removal	85% removal	20% removal	50% removal	85% removal
Dosage (mg/L)	O <sub>3</sub>	0.5	1.5	6.4	0.2	0.65	1.9
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0	0	0	0.1	0.325	0.95
Cost (Won/m <sup>3</sup> )		0.35	1.05	4.48	0.31	1.01	2.95

※ O<sub>3</sub> 1 mg/L : 0.70 Won/m<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1 mg/L : 1.71 Won/m<sup>3</sup>

(b) 1,4-dioxane removal

	O <sub>3</sub> process		Peroxone process		
Dosage (mg/L)	O <sub>3</sub>	1.0	2.0	1.0	1.0
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0	0	0.35	0.7
Removal efficiency		21%	32%	60%	68%
Cost (Won/m <sup>3</sup> )		0.7	1.4	1.3	1.9

※ O<sub>3</sub> 1mg/L : 0.70 Won/m<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1mg/L : 1.71 Won/m<sup>3</sup>

공정을 적용한 경우에는 0.31원(20% 제거)과 1.01원(50% 제거)으로 나타나 큰 차이가 없었으나, geosmin을 85% 제거하기 위한 경우에는 오존 단독공정의 생산단가가 4.48원인 경우에 비해 peroxone 공정을 적용한 경우에는 2.95원으로 나타나 peroxone 공정이 오존 단독공정에 비해 1.5배 정도의 생산단가가 절감되는 것으로 나타났다. 또한, 1,4-dioxane 제거를 위해 오존 단독공정과 peroxone 공정의 생산단가를 비교한 Table 4 (b)에서는 오존 단독공정의 경우 생산량(m<sup>3</sup>)당 0.7원과 1.4원을 소비하더라도 각각 1,4-dioxane 제거율이 각각 21%와 32%인 반면 peroxone 공정을 적용할 경우 1.3원의 생산단가로도 유입되는 1,4-dioxane을 60% 정도 제거가 가능한 것으로 나타나 오존 단독공정에 비해 훨씬 효율적인 것으로 나타났다.

Pisarenko 등의 연구결과(2012)에서는 지표수 중에 함유된 유기성 미량오염물질 제거를 위해 오존 공정과 peroxone 공정의 미량유해물질들의 제거율과 에너지 소비량에 대한 평가에서 nitrosodimethylamine (NDMA)을 비롯한 몇몇 물질들에 대해서만 오존 공정에 비해 peroxone 공정이 유리한 것으로 보고하고 있다. 따라서 peroxone 공정 적용시 target 물질에 대한 면밀한 검토가 반드시 수행되어야 한다. 또한, peroxone 공정의 적용시에는 pH와 알칼리도(중탄산

염 및 탄산염)와 같은 수질인자들이 많은 영향을 미치며, 특히, 유입수의 알칼리도가 높은 경우는 수중에 존재하는 중탄산염과 탄산염이 오존과 과산화수소가 반응하여 생성되는 OH 라디칼의 scavenger로 작용하기 때문에 원수 성상에 대한 면밀한 검토도 수행되어야 한다(Son 등, 2010).

#### 4. 결론

낙동강 하류에 위치한 정수장에서 미량유해물질 제거를 위한 peroxone 공정의 적용성 및 경제성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Lab scale 실험에서 geosmin 제거를 위해 오존 공정과 peroxone 공정의 제거효율을 비교해 본 결과, peroxone 공정을 적용한 경우가 오존 공정에 비해 동일한 오존 투입농도에서 월등히 높은 제거율을 나타내었으며, 또한, 적정 과산화수소/오존비는 0.5~1이었으며, 오존 투입농도 1~2 mg/L에서 과산화수소/오존비는 0.5로 하여 geosmin을 처리할 경우, geosmin의 반감기(t<sub>1/2</sub>)가 5.5~6.8 min으로 나타났다.

2. Pilot scale 실험에서 geosmin 제거를 위해 peroxone 공정을 적용하였을 경우 오존 공정에 비해

오존 투입농도를 50%에서 최대 30%까지 줄이더라도 동일한 제거율을 얻을 수 있었으며, 1,4-dioxane 제거 시에는 동일한 오존 투입농도에서 오존 공정보다 peroxone 공정을 적용하였을 경우가 3~4배 정도 제거효율을 상승시킬 수 있었다.

3. Pilot scale 실험을 이용하여 geosmin과 1,4-dioxane에 대해 오존 공정과 peroxone 공정의 경제성을 평가해 본 결과, 이들 물질들에 대해 85% 정도의 높은 제거율을 목표로 할 경우에 peroxone 공정이 오존 공정에 비해 1.5배 정도 생산단가가 절감되었고, 동일한 생산단가에서의 제거율은 peroxone 공정을 적용한 경우가 2~3배 정도 높은 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

- Aieta, E. M., Reagan, K. M., Lang, J. S., McReynolds, L., Kang, J. W., Glaze, W. H., 1988, Advanced oxidation processes for treating groundwater contaminated with TCE and PCE: pilot-scale evaluations, *J. AWWA*, 80(5), 64-72.
- Bandala, E. R., Peláez, M. A., García-López, J., Salgado, M. J., and Moeller, G., 2008, Photocatalytic decolourisation of synthetic and real textile wastewater containing benzidine-based azo dyes, *Chem Eng. Processing*, 47, 169-176.
- Brunet, R., Bourbigot, M. M., Doré, M., 1984, Oxidation of organic compounds through the combination ozone-hydrogen peroxide, *Ozone Sci. Eng.*, 6, 163.
- Dodd, M C., Huang, C. H., 2004, Transformation of the antibacterial agent sulfamethoxazole in reactions with chlorine: kinetics, mechanism and pathways, *Environ. Sci. Technol.*, 38, 5607-5615.
- Duguet, J. P., Brodard, E., Dussert, B., Mallevialle, J., 1985, Improvement in the effectiveness of ozonation of drinking water through the use of hydrogen peroxide, *Ozone Sci. Eng.*, 7, 241-258.
- Esplugas, S., Bila, D. M., Krause, L. G. T., Dezotti, M., 2007, Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents, *J. Hazard. Mater.*, 149, 631-642.
- Ferguson, D. W., McGuire, M. J., Koch, B., Wolfe, R. L., Aieta, E. M., 1990, Comparing peroxone and ozone for controlling taste and odor compounds, disinfection by-products, and microorganisms, *J. AWWA*, 82(4), 181-191.
- Glaze, W. H., Kang, J. W., Chapin, D. H., 1987, The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, *Ozone Sci. Eng.*, 9(4), 335-352.
- Glaze, W. H. and Kang, J. W., 1988, Advanced oxidation processes for treating groundwater contaminated with TCE and PCE: laboratory studies, *J. AWWA*, 80(5), 57-63.
- Klavarioti, M., Mantzavinos, D., Kassinos, D., 2009, Removal of residual pharmaceuticals from aqueous system by advanced oxidation processes, *Environ. Int.*, 35, 402-417.
- Lee, H. J., Gang, L. S., 2009, Analysis of geosmin and 2-MIB in water by stir bar sorptive extraction (SBSE) and GC/MS, *J. of KSEE*, 31(1), 64-69.
- Lin, A. Y. C., Yu, T. H., Lin, C. F., 2008, Pharmaceutical contamination in residual, industrial, and agricultural waste streams: risk to aqueous environments in Taiwan, *Chemosphere*, 74, 131-141.
- Marhaba, T. F., Bengraïne, K., 2003, Review of strategies for minimizing bromate formation resulting from drinking water ozonation, *Clean Technol. Environ. Policy*, 5, 101-112.
- Nakayama, S., Esaki, K., Namba, K., Taniguchi, N., Tabata, N., 1979, Improved ozonation in aqueous systems, *Ozone Sci. Eng.*, 1, 119.
- Petrović, M., Gonzalez, S., Barceló, D., 2003, Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water, *Trends Anal. Chem.*, 22(10), 685-696.
- Pisarenko, A. N., Stanford, B. D., Yan, D., Gerrity, D., Snyder, S. A., 2012, Effects of ozone and ozone/peroxide on trace organic contaminants and NDMA in drinking water and water reuse applications, *Water Res.*, 46, 316-326.
- Roche, P., Volk, C., Carbonnier, F., Paillard, H., 1994, Water oxidation by ozone/hydrogen peroxide using the 'Ozotest' or 'Peroxotest' methods, *Ozone Sci. Eng.*, 16(2) 135-155.
- Son, H. J., Choi, Y. I., Bae, S. D., Jung, C. W., 2006a, Removal of 1,4-dioxane in ozone and activated carbon process, *J. of KSEE*, 28(12), 1280-1286.



- Son, H. S., Choi, S. B., Khan, E., and Zoh, K. D., 2006b, Removal of 1,4-dioxane from water using sonication: effect of adding oxidants on the degradation kinetics, *Water Res.*, 40, 692-698.
- Son, H. J., Yeom, H. S., Bin, J. H., 2010, Peroxone ( $O_3/H_2O_2$ ) process in drinking water treatment, *J. of KSEE*, 32(3), 296-308.
- Stahelin, J., Hoigné, J., 1982, Decomposition of ozone in water: rate of initiation by hydroxide ions and hydrogen peroxide, *Environ. Sci. Technol.*, 16, 676-681.
- Suh, J. H. and Mohseni, M., 2004, A study on the relationship between biodegradability enhancement and oxidation of 1,4-dioxane using ozone and hydrogen peroxide, *Water Res.*, 38, 2596-2604.