

## 국내 정수장의 오존 소독능 평가사례를 통한 정수처리기준 개선방안 연구

### Study on Water Treatment Improvement Measures based on Case Studies of Ozone Disinfection at Domestic Water Treatment Plants

노희수<sup>1</sup> · 이경혁<sup>1</sup> · 왕창근<sup>2</sup> · 손대익<sup>1\*</sup> · 강준원<sup>3</sup>

Noh Hee Su<sup>1</sup> · Lee Kyung Hyuk<sup>1</sup> · Wang Chang Keun<sup>2</sup> · Son Dae Ik<sup>1\*</sup> · Kang Joon Wun<sup>3</sup>

1 한국수자원공사, 2 충남대학교 환경공학부, 3 연세대학교 환경공학부

(2011년 2월 8일 접수 ; 2011년 3월 16일 수정 ; 2011년 3월 21일 채택)

#### Abstract

Ozone process is currently applied in 24 water treatment plants in Korea to control micropollutants and taste & odor compounds. However, one of the chlorine resistant protozoa, *cryptosporidium*, is not being considered as ozone disinfection performance whereas U.S. is already regulate *Cryptosporidium* by ozone disinfection. two ozone plants(PH, UH WTP) operation conditions are investigated for disinfection performance comparing Korea disinfection regulation and U.S. regulation. The ozone plants are unable to get *Cryptosporidium* inactivation credits by Korea disinfection regulation. However, the inactivation credit for *Cryptosporidium* was increased when the U.S. disinfection regulation was applied. The Korea disinfection credit regulation need revision to practical aspects.

**Key words :** Ozone, Disinfection, Protozoa

**주제어 :** 오존, 소독, 원생동물

#### 1. 서론

현재 국내에서는 정수처리 목적으로 전국 24개 정수장에서 오존 공정을 도입 및 계획 중에 있으며, 그 중 16개 정수장에 오존설비가 설치, 가동 중에 있다 [1]. 국내에 도입된 정수장 오존 공정은 대부분 미량 유해물질, 맛냄새 물질 등의 문제를 해결하기 위해 운영되고 있으며, 오존 공정의 특징 중 하나인 소독의 목적으로 운영하지 않고 있는 실정이다. 하지만 향후 염소 내성 원생동물 등에 대한 미생물학적 안전성 확보 차원에서 오존의 소독능 제어는 중요한 문제이

다. 특히 미국의 정수장에서 규제하고 있는 원생동물인 크립토스포리디움의 경우 염소 소독공정으로는 불활성화를 기대할 수 없어 대체 소독공정의 불활성화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다양한 접촉방식을 운영 중인 국내 오존 공정의 운영 데이터를 바탕으로 한국의 소독능 기준을 바탕으로 한 오존 소독능 실태를 분석하고, 향후 크립토스포리디움과 같은 염소 내성 원생동물의 규제시 오존공정에서 소독능 인정에 필요한 문제점 및 개선 방안을 제시하고자 한다.

\* Corresponding author Tel:+82-010-7289-7476, Fax:+82-2-504-2678, E-mail: disohn@kwatr.or.kr(Son, D.I.)

## 2. 국내 정수장 오존공정 운영현황

### 2.1 시설 현황

Table 1에 오존 처리시설을 운영하고 있는 국내 16개 정수장이 위치한 지역 특성과 도입년도, 정수장 시설용량, 오존주입지점, 오존발생방식을 나타내었다 [1].

국내 정수장의 오존처리시설들은 기존 표준정수처리공정에 도입된 형태로서 오존 주입 지점에 따라 전오존, 후오존 공정단계로서 구분되며, 전오존공정은 응집공정 전단부에 위치하고 후오존공정은 모래여과공정 후단부에 위치한다. 전오존, 후오존 처리를 동시에 실시하고 있는 고도정수 시설은 7개 정수장으로 PH, PD, PM, GS, GM, MC, JS정수장이며, 그 외 정수장 중 전오존 공정만 운영 중인 AB정수장을 제외한 8개 정수장은 모두 후오존 처리만을 실시하고 있다. 또한 국내 오존처리공정의 특징으로서 오존처리가 실시되는 모든 정수장에서 후오존 처리 후에 후속공정으로 활성탄공정을 운영하고 있다.

### 2.2 오존 주입량 및 제어방식

오존처리 시 오존가스와 물의 접촉으로 인해서 오존이 물속으로 전달, 용해되므로 오존은 희석개념 (주입량/처리수량 비율)으로 주입농도를 일정하게 제어한다는 것은 어려

운 일이지만, 현재 처리수량 대비 오존주입량으로 주입농도를 산출하는 방법이 일반적으로 사용되는 방법 중 하나이다. 이 경우 평균적인 주입농도만을 알 수 있고, 접촉지내 국소적인 오존농도의 변화는 파악할 수 없다 [2]. 오존의 경우, 수중에 존재하는 유기물 및 무기물과 빠르게 반응하여, 주입된 오존이 순간적으로 소모되는 순간오존소모량 (IOD, Instantaneous ozone demand)이 존재하기 때문에, 평균 주입 오존 농도만으로는 오존 접촉지 내에서의 오존 농도 변화를 예측하기 어렵다. 또한 미생물의 불활성화 정도를 판단하기 위해서 일반적으로 소독능 (CT; disinfectant concentration × Contact time) 값을 사용하는데, 평균 주입 오존 농도만으로 CT값을 계산할 경우, 자칫 실제 CT값보다 CT값이 높게 계산될 우려가 있다. 따라서 차후 정확한 CT값을 산출하기 위해서는 오존 접촉지 chamber 별로 시료채취 지점을 마련하고 잔류용존오존 측정기를 설치하여 지속적으로 접촉지 chamber 별 잔류 용존 오존 농도를 모니터링 할 필요가 있다.

국내 오존처리 시설의 경우 전오존 처리에는 처리 수량비례 오존제어방식이 주류를 이루고 있다. 전오존 처리에서는 유입 수량계로부터 입력 신호를 기준으로 오존생산을 증감하는 방식으로 제어를 한다. 최근 유입원수의 수질 변화가 날로 심해지면서 PH정수장의 경우는 전오존 주입농도를

Table 1. 국내 오존공정 운영 정수장 현황

정수장		운영도입 년 도	시설용량 (m <sup>3</sup> /day)	오존주입 지 점 <sup>1)</sup>	오존발생 방 식
한강 수계(2)	AB	07	190,000	전오존	산소식
	GI	08	350,000	후오존	산소식
낙동강 수계 (14)	PH	89	600,000	전, 후오존	공기식
	PD	02	1,555,000	전, 후오존	공기식
	PM	98	277,000	전, 후오존	공기식
	DS	09	200,000	후오존	공기식
	DG	98	800,000	후오존	공기식
	UH	99	270,000	후오존	공기식
	UC	02	60,000	후오존	산소식
	YU	01	55,000	후오존	공기식
	YB	98	37,500	후오존	공기식
	GS	01	165,000	전, 후오존	공기식
	GM	03	105,000	전, 후오존	산소식
	MC	98	400,000	전, 후오존	공기식
	JS	99	70,000	전, 후오존	공기식
	GG	08	36,000	후오존	산소식

<sup>1)</sup> 모든 정수장 고도시설은 후오존 후속공정으로 활성탄 공정 병행

원수수질변화에 따라서 제어하는 방식을 사용하고 있으나, 갑작스러운 원수수질의 변화가 일어났을 때 즉각적인 대응이 힘들다는 어려움을 갖고 있다.

후오존 처리의 경우, 잔류용존오존 기준제어가 일반적으로 적용되고 있는데, 후오존 접촉지 유출수의 잔류용존오존 농도를 설정값으로 유지하기 위해 피드백(Feedback) 제어를 한다.

### 2.3 오존의 접촉시간 및 접촉 형태

후오존 접촉지는 모두 장방형구조 오존접촉지로서 산기관을 통해서 오존을 주입시키고 있다. 각 정수장의 오존접촉지는 처리용량에 따라서 2~4 지의 접촉지를 운영하고 있다. 전오존 접촉지의 경우 1~3단계의 chamber, 후오존 접촉지의 경우 2~4 단계의 chamber로 구성되어 있다. 각 chamber 사이에는 도류벽과 격벽을 설치하여 층류를 유도하고 있으며, 이 간격은 처리용량에 따라 1~2 m 내외로 시공되었다 [2].

**Table 2**는 정수장 별 후오존공정의 접촉시간 및 접촉형태를 나타내었다. **Table 2**에 나타난 설계 접촉시간 값은 순수하게 chamber의 용량만으로 계산한 접촉시간( $HDT=V/Q$ )이다. 반면에 이는 실제 운영 중인 접촉시간과 상당한 차이를 보이는데, 그 이유는 격벽과 도류벽 사이의 용량, 접촉지 말단 반응조의 용량이 실제 체류시간을 증가시키며, 실제 운영상 처리용량의 변동으로 설계 접촉시간과의 차이가 발생하게 된다. 또한 실제 오존접촉지에서 발생하는 가스에 의한 교반 때문에 설계된 접촉시간보다도 실제 접촉시간이 증가하게 되는 것이다 [2].

PD정수장의 오존접촉지는 2단의 chamber가 위에서 본 형태로 ㄷ자형으로 설계되어 있으며, MC정수장의 후오존 접촉지는 도류벽이 chamber의 중간에 설치되어 있어서 물과 오존가스의 접촉이 향류식(counter-current) 접촉 후 병류식(co-current) 흐름으로 나타난다[5]. 이러한 MC정수장을 제외하면 국내 모든 후오존공정의 접촉형태는 향류식(counter-current)으로 되어 있으며, 산기관에 의한 오존주입 없이 단순히 잔류용존오존과의 접촉으로 체류시간을 두는 반응조(Reactive chamber)가 설치된 정수장은 5곳(PD, DG, UH, MC, JS)이 있다.

### 3. 국내 오존 공정 소독능 개선 방안 분석

국내 정수장의 오존 공정 소독능 실태 분석을 위하여 PH정수장(전오존-후오존 공정 운영)과 UH정수장(후오존 공정)의 운영 현황을 조사 분석하였다. 또한 현장에 설치된 잔류용존 농도계의 데이터를 바탕으로 국내 정수처리기준에 명시된 규정 및 미국 EPA에서 제시한 규정에 따라 오존 소독능을 비교 평가하였다.

조사대상 정수장으로는 국내에서 가장 먼저 오존 처리시설을 도입하여 운영하고 있는 낙동강 수계 지역의 정수장을 중심으로 선정 하였으며, 그 중 PH정수장과 UH정수장을 각각 조사하였다 (**Table 3**) 조사 내용으로는 전체적인 정수장 시설배치 및 처리 계통과 오존 접촉조 형태 및 접촉시간, 그리고 각 공정별 수질 현황과 오존주입농도 및 잔류용존오존농도를 조사하였다. 이를 통해 현 공정에서 만족하고 있는 오존 소독능을 평가하고 향후 오존 소독능 인증 기준

Table 2. 정수장별 후오존공정 접촉시간, 접촉형태 [5]

정수장	시설용량 (m <sup>3</sup> /day)	전체용량 (m <sup>3</sup> )	설계접촉 시간(min)	실제접촉 시간(min)	접촉형태
PH	600,000	4,032	7.3	8~10	향류식
PM	277,000	1,620	8.0	16~20	향류식
PD	1,555,000	8,230	7.5	12~13	향류식+반응조
DG	800,000	-	10.0	12~15	향류식+반응조
UH	270,000	1,632	14.8	15.4	향류식+반응조
MC	400,000	4,050	12.0	15.0	향류·병류+반응조
JS	70,000	1,080	22.0	27.6	향류식+반응조
GS	165,000	680	18.0	18.0	향류식
YB	37,500	275	10.0	10.0	향류식
GM	105,000	1,152	8.0	12	향류식
YS	55,000	432	10.0	25	향류식
UC	60,000	201	16.9	16.5	향류식

Table 3. 현장조사 정수장 현황

정수장	취수원	시설용량 (m <sup>3</sup> /day)	주요공정	오존발생 방식
PH	낙동강 하류 표류수	600,000	전, 후오존+GAC	공기식
UH	저수지 호소수 (갈수기 시 낙동강 하류 표류수)	270,000	후오존+GAC	공기식

Table 4. PH정수장의 전오존처리 현황 (2008년)

월	유입원수온도 (°C)	오존주입농도 (mg/L)	잔류용존오존농도 (mg/L)
1월	3.6	0.8	잔류용존오존 측정기 미설치
2월	3.4	0.8	
3월	9.3	0.8	
4월	15.3	0.8	
5월	20.3	0.8	
6월	22.6	0.8	
7월	27.6	0.8	
8월	26.9	1.0	
9월	25.6	1.0	
10월	19.8	1.0	
11월	12.9	1.0	
12월	5.7	0.8	
평균	16.7	0.9	

수립 시 개선해야할 사항들을 살펴보았다.

### 3.1. PH정수장 오존 소독능 분석

PH정수장의 수처리 공정은 원수 유입 후 바로 전오존 처리공정을 거치며 응집침전지를 거쳐 모래여과 이후에 다시 후오존처리를 거치는 공정으로 이루어져 있다. 우선 전오존 처리 현황을 살펴보면, 오존주입방식은 Immersion aerator type으로 회전하는 프로펠러 형태의 주입기를 통하여 오존이 주입되어 원수와 접촉한 뒤 반응조에서 2분 동안 체류한 후 응집 침전지로 유입되는 형태로 구성되어 있다.

Table 4는 PH정수장의 전오존 공정에서 연간 유입원수의 온도 및 주입 오존 농도를 나타낸 표이다. 2008년 평균 전오존 주입농도는 0.9 mg/L 였으며 유입 수질 성상에 따라 0.8~1.0 mg/L로 주입오존농도를 달리하였다. 전오존 공정의 경우, 후 오존 공정에 비해 유입 원수 내 오존 요구량 (Ozone demand)이 높아 주입된 오존이 빠르게 분해될 수 있다. 일반적으로 전오존 공정은 소독 보다는 조류, 이취미 및 색도 제거 등, 산화 효과와 응집 효과 개선 등을 주목적으로 하여 활용되고 있으나, 동시에, 오존 접촉조 내 잔류용존오존이 존재하는 구간에서는 소독 효과 또한 기대할 수

있다. 오존 공정에서에서는 오존 분자 이외에, 오존 분해의 중간 생성물인 OH 라디칼 또한 미생물 불활성화 효과가 있는 것으로 알려져 있다 [3-4]. 특히 오존 요구량이 큰 전오존 공정 유입원수의 경우, 오존 분해가 빨라 OH 라디칼 생성율이 높고, 이에 따른 소독 효과를 기대할 수 있으나, OH 라디칼은 정량분석이 어려워 실 공정에서 OH 라디칼에 의한 소독 효과를 정량평가 하는데 한계가 있다. 따라서 실 공정에서 전오존 공정의 오존 소독 효과 여부를 평가하기 위해서는 오존 접촉조 (Dissolution chamber) 및 반응조 (Reactive chamber) 내 각 잔류용존오존농도의 변화를 확인하여, 전오존 공정에서의 오존 CT값을 측정하는 것이 중요하다. 그러나 현재 PH정수장을 포함한 대부분의 오존 공정 적용 정수장의 경우, 주입 오존량을 유입 원수의 수질 및 유량에 비례하여 오존을 주입한 후, 잔류 용존오존 측정기가 설치되지 않아, 오존 접촉조 및 반응조 내에서의 잔류용존오존농도 변화를 측정하기 어렵고, 결과적으로 전오존 공정 내 오존 CT값을 산정하기 어려운 실정이다. 장기적으로는 전오존 공정 유입수와 같이, 오존 요구량이 큰 원수에서 소독능을 정량평가 할 수 있는 소독 및 오존 분해 모델에 대한 연구가 필요할 것이다.

Table 5. PH정수장 후오존처리 현황 (2008년)

월	유입 원수 온도 (°C)	오존주입농도 (mg/L)	잔류용존오존농도 (mg/L)
1월	4.6	0.8	0.14
2월	3.8	0.8	0.14
3월	9.3	0.8	0.12
4월	15.1	0.8	0.22
5월	20.3	0.8	0.20
6월	22.8	0.8	0.12
7월	27.6	0.8	0.09
8월	27.8	1.0	0.09
9월	26.0	1.0	0.09
10월	20.8	1.0	0.14
11월	14.0	1.0	0.19
12월	7.13	1.0	0.11
평균	16.6	0.9	0.14

PH정수장 후오존 공정 접촉조는 별개의 반응조 없이 두 개의 오존 접촉조로 이루어져 있으며, 첫 번째 접촉조의 111 개의 산기관과 두 번째 접촉조의 90 개 산기관을 통해 오존이 주입된다. 유입수의 흐름은 두 chamber에서 모두 향류식 (counter-current)으로 접촉이 이루어지며, 전체 접촉시간은 7.3분으로 설계 되었으나 실제 접촉시간은 7~10분으로 변동이 있었다. 이는 격벽과 도류벽 사이의 용량에 의한 실제 접촉시간의 차이와 오존 가스에 의한 교환으로 실제 접촉시간이 증가하기 때문이다[2]. 2008년 평균 후오존 주입농도는 전오존 공정과 마찬가지로 0.9 mg/L 였으며, 이는 잔류용존오존농도에 의해 제어되는 방식이며, 평균 잔류용존오존 농도는 0.14 mg/L 정도였다. (Table 5)

Fig. 1에 PH정수장의 각 공정별 년간 pH변화에 대한 유입원수, 전오존 처리수, 침전지, 모래여과수, 후오존 처리수, 활성탄 흡착지, 정수지 별로 정리하였다. 유입원수 pH는 6.9~8.3 범위로, 월별로 큰 차이가 없었으며, 각 공정별로 처리된 물의 pH도 큰 변화는 발견되지 않았다. 따라서, 잔류오존 농도의 경우 pH의 변화에 의한 영향보다는 수온의 변화가 큰 것을 알 수 있다.

Table 6은 미국법 (LT2ESWTR)에서 제시한 오존 소독을 통한 크립토포리디움 불활성화를 위해 필요한 CT 값을 수온과 목표 log 값을 기준으로 나타낸 표이다. 후오존 공정 원수의 계절 별 수온이 4.6~27.8°C임을 고려한다면, 2 log 불활성화율을 얻기 위해서는 약 4.9~32 mgL<sup>-1</sup>.min의 오존 CT값을 만족하도록 오존 주입 농도 및 접촉시간을 조절해야한다.

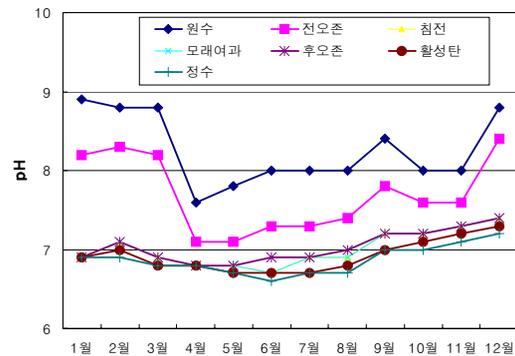


Fig. 1 공정별 월간 pH변화(PH 정수장)

앞서 Table 5에 나타낸 바와 같이, PH정수장 후오존 공정에서의 평균 후오존 주입농도 (2008년 기준)는 0.9 (±0.1) mg/L, 후오존공정 유출수의 평균 잔류용존오존 농도는 0.14 (±0.04) mg/L이며, 처리수가 오존 접촉조 2 chamber를 통해 접촉되는 총 접촉시간은 약 7.3 분이다. 후오존 공정에서 순간 오존소모량 (IOD)이 무시할 정도로 작다고 가정하였을 때, 이론 상 산출된 최대 오존 CT값은 약 3.8 mgL<sup>-1</sup>.min로, 저수온 시기의 수온이 7°C이하 인 경우 크립토포리디움에대한 불활성화율은 인정 받기 어려우며, 7~25°C의 일반적인 정수장 운영 수온에서는 약 0.25 ~ 1.5 log 불활성화율 정도를 인정 받을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 본 조사 결과에서 계산된 최대 오존 CT값은 주입 오존 농도, 유출수의 잔류용존오존농도와 총 접촉시간만을 고려하여 개략적으로 계산한 값으로, 오존접촉조 내 실 잔류용존오존농도의 변화가 고려되지 않아 실

Table 6. CT Values for *Cryptosporidium* Inactivation by Ozone (mg/L · min)<sup>5)</sup>

Log credit	Water Temperature, °C										
	≤0.5	1	2	3	5	7	10	15	20	25	30
0.25	6.0	5.8	5.2	4.8	4.0	3.3	2.5	1.6	1.0	0.6	0.39
0.5	12	12	10	9.5	7.9	6.5	4.9	3.1	2.0	1.2	0.78
1.0	24	23	21	19	16	13	9.9	6.2	3.9	2.5	1.6
1.5	36	35	31	29	24	20	15	9.3	5.9	3.7	2.4
2.0	48	46	42	38	32	26	20	12	7.8	4.9	3.1
2.5	60	58	52	48	40	33	25	16	9.8	6.2	3.9
3.0	72	69	63	57	47	39	30	19	12	7.4	4.7

공정에서의 정확한 오존 CT값 산출이 어렵다.

국내 '정수처리기준 등에 관한 규정'에 따르면, 정수지 유출부에서 측정된 잔류소독제의 농도 값 중 최소값과 소독제 접촉시간을 곱하여 CT값을 산출하도록 하고 있다. 따라서 이 규정에 따라 계산된 PH정수장의 오존 CT값은 약 1.0 mgL<sup>-1</sup>·min로, 이론상 계산된 최대 오존 CT값과 큰 차이를 보이며, 20°C이하의 수온에서는 크립토스포리디움의 불활성화율을 인정 받을 수 없는 것으로 나타났다.

미국의 경우, LT2ESWTR Toolbox Guidance Manual에서 오존 공정에서의 각 오존 chamber 별 잔류용존오존농도를 측정하고, 첫 번째 오존 접촉조는 순간적 오존 요구량(IOD)를 고려하여 오존 CT값 계산에서 제외하며, 오존과 처리수의 흐름에 따라 (i.e. 향류식 또는 병류식) 잔류 용존 오존농도를 다르게 계산하도록 규정하는 등 오존 CT 계산법을 구체적으로 명시하였다 [5]. 그러나 국내의 경우, 잔류 용존오존 측정에 대한 자세한 규정이 없고, 대부분의 오존 공정에서 오존 농도를 주입 오존 농도와 오존공정 유출수의 잔류 용존오존농도만을 측정하기 때문에, 접촉조 내에서의 정확한 잔류 용존오존농도를 측정하여 오존 CT값을 산출하는데 한계가 있다. 따라서 보다 정확한 오존 CT값 산출을 위해서는 잔류 용존오존농도 측정 지점을 늘려 오존 접촉조 내에서 잔류 용존오존 농도 변화를 세밀히 측정할 필요가 있으며, 이를 위해 오존 공정 적용 정수장에서 적용할 수 있도록 잔류 용존오존 농도 측정에 대한 지침 마련이 필요하다.

### 3.2 UH정수장 오존 소독능 분석

UH정수장은 취수원으로 주로 댐 저수지 호소수를 취수원으로 사용하고 있으며, 갈수기 때는 낙동강 하류 표류수를 취수원으로 사용하고 있다. 1999년 고도정수처리시설이 가동되면서 시설용량이 270,000 m<sup>3</sup>/day로 건설되었다. UH정수장의 수처리 계통은 전오존공정 없이 응집지, 침전지, 여과지를 거쳐 후오존처리를 하는 방식으로 운영하고 있다.

오존접촉지는 크게 3단계의 chamber로 구성되어 있

며, 1단과 2단에서 산기관을 통해 오존 주입이 주입되고, 각각의 체류시간은 4분30 초로 운영되고 있다. 마지막 3단 chamber에서는 오존주입 없이 6분 30초 동안 체류 후 처리수를 활성탄 흡착지로 유입시킨다. 따라서 총 오존접촉지의 체류시간은 15분 30초로 이는 실제 접촉시간을 나타낸 값이며, 역시 설계 접촉시간 (14.8분) 보다 약 1분 정도 접촉시간이 증가됨을 알 수 있다. 1, 2 단의 개별 오존 접촉지 이후 마지막 chamber는 전단부 chamber 보다 용량이 40% 크게 설계되어 있으며, 이는 체류시간을 연장하기 위해서 오존주입이 없는 별도의 chamber를 둔 것이다. UH정수장의 오존공정에서는 총 두 지점에서 잔류 용존 오존농도를 모니터링 하고 있었다. 최종 오존접촉 이후 잔류 용존 오존농도는 도입 운영 시부터 측정을 실시하였으나, 최근 2009년 8월 2단 접촉지 이후 부분에 잔류 용존오존 측정기를 설치하여 9월부터 잔류 용존오존 농도를 모니터링하고 있다. 따라서 오존 소비가 많이 일어나는 1단 접촉지를 제외하고 2단, 3단 접촉 이후에 잔류 용존 오존농도를 알 수 있으므로 PH정수장과 비교해 세밀한 오존 CT값 계산이 가능한 시설이라 할 수 있겠다.

Fig. 2에는 2008년 UH정수장의 각 공정별 연간 pH 변화를 나타내었다. 단, 5월 데이터는 정수장 오존 접촉조 청

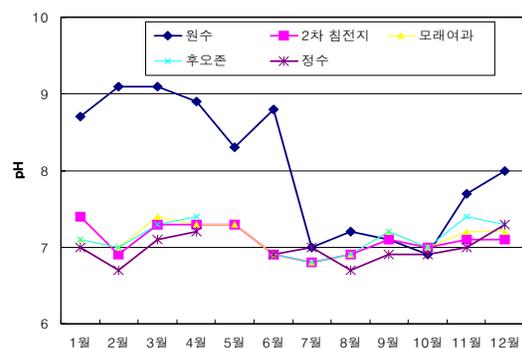


Fig. 2 공정별 월간 pH변화(UH정수장,2008년)

소관계로 고도처리시설 가동이 중단되어 측정하지 못 하였다. 수질 변화에서 pH는 PH정수장과 마찬가지로 월별이나 공정별로 큰 차이가 없었다. 따라서, 국내 정수장 오존 공정의 경우 소독능 평가 측면에서 잔류 오존의 농도를 고려할 때 온도에 따른 잔류 오존 농도의 변화가 중요한 것으로 나타났다.

**Table 7**은 UH정수장의 후오존 공정에서의 주입 및 잔류 용존오존농도 현황을 나타낸 표이다. 원수 온도는 정수장으로 유입되는 원수의 온도이며, 년 평균온도가 약 14.4℃ (최저 2.4℃, 최고 23.4℃)를 나타냈다. 2008년의 오존주입농도는 0.14~0.88 mg/L 까지 다양하였고, 최종 접촉지 이후의 평균 잔류 용존오존농도는 0.05 mg/L로 측정되었다. 특히 하절기 (6월 ~ 10월)에 주입 오존 농도가 다른 계절에 비해 높았는데, 해당 정수장 담당자에 확인한 결과, 이 시기 유입 원수에 2-MIB, Geosmin의 농도가 높았으며, 오존 공정 유출수의 잔류 용존오존농도가 낮았기 때문으로 확인되었다. 2009년 9월 주입오존 농도는 평균 1.6 mg/L로 2008년에 비해 높게 나타났는데, 역시 이 동일한

이유 때문이며, 3단 chamber 유출수의 잔류 용존오존농도가 약 0.017 (±0.009) mg/L로, PH정수장에 비해 후오존 공정에서 오존 소모량이 큰 것으로 나타났다. 또한, UH정수장 경우는 하루 동안 유량변동이 심하여 일일 평균 유량 변동 데이터를 조사하여 이를 토대로 체류시간을 계산해 보았다. 그 결과 최대 유량일 때의 수리학적체류시간은 13.4분 이었으며, 이는 운영 접촉시간 15.5분, 설계 접촉시간 14.8분보다도 작은 값이었다.

현재 2009년 9월부터는 2단 chamber 이후 부분에 추가로 잔류 용존오존 측정기를 설치하여 모니터링을 하고 있다. 따라서 2009년 9월 데이터를 기준으로 UH정수장에서 오존 CT값을 산출하면, 앞서 PH정수장에서 적용한 오존 CT값 계산방식과 같이 주입 오존 농도, 잔류용존오존 농도 및 전체 체류시간만으로 최대 오존 CT값을 산출할 경우, 총 약 12.5 mg·L<sup>-1</sup>·min으로 계산되어 수온 15℃를 기준으로 약 2 log의 크립토스포리디움 불활성화율을 기대할 수 있다. 그러나 국내 ‘정수처리기준 등에 관한 규정’에 따른 산출 방식으로 계산 할 경우 (유출수의 잔류소독제 농

**Table 7.** UH정수장의 후오존처리 현황 (2008년)

월	유입원수온도 (℃)	오존주입농도 (mg/L)	잔류용존오존농도-1 (2단chamber 이후)	잔류용존오존농도-2 (3단chamber 이후)
1월	2.9	0.15	2009년 9월부터 잔류용존오존 측정기 설치운영	0.04
2월	2.4	0.14		0.03
3월	11.4	0.22		0.03
4월	13.7	0.46		0.04
5월	16.0	0.41		0.06
6월	19.0	0.76		0.08
7월	21.8	0.53		0.06
8월	23.4	0.88		0.07
9월	22.8	0.88		0.06
10월	19.5	0.77		0.06
11월	12.8	0.55		0.05
12월	6.7	0.43		0.05
평균	14.4	0.52	-	0.05
'09년 9월	26일	-	1.6	0.014
	27일		1.8	0.015
	28일		1.7	0.015
	29일		1.6	0.032
	30일		1.1	0.007
평균	-	1.6	0.074	0.017

도×접촉시간, 단 이 때 접촉시간은 규정에 따라 수리학적 체류시간에 장폭비 환산계수를 곱한 값을 사용) 오존 CT값이 약  $0.14 \text{ mgL}^{-1}\cdot\text{min}$ 로 최대 오존 CT값과 현저한 편차를 보이며, 이 경우 PH정수장의 경우와 같이 크립토스포리디움에 대한 불활성화율을 전혀 인정 받지 못하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

1. 국내 오존처리 정수장중 PH, UH정수장의 운영 결과를 바탕으로 분석한 오존 소독능의 경우 국내 기준에서 정한 접촉조 유추부의 잔류 오존 농도와 접촉시간을 고려한 오존 소독능으로 인정할 경우 크립토스포리디움 인정 CT값으로 계산할 때, PH정수장의 경우 실제 이론적인 CT값으로 계산한 불활성화율은  $7^{\circ}\text{C}$ 이하의 저수온기에는 크립토스포리디움의 불활성화율을 인정받기 어려우며, 그 밖의 수온에서는  $0.25 \sim 1.25 \text{ Log}$ 의 불활성화 크레딧을 인정받을 수 있을 것으로 나타났다. 하지만 기존의 정수처리 기준에 의한 소독능 계산 방식에서는  $20^{\circ}\text{C}$ 이하의 수온에서는 크립토스포리디움에 대한 불활성화율은 전혀 인정받을 수 없는 것으로 계산되었다.
2. UH정수장의 오존 공정은 접촉조의 두 지점에서 잔류 오존 농도를 측정하고 있어 PH정수장 보다 더 효율적으로 불활성화율을 인정받을 수 있었으며, 수온  $15^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 미국의 인정방식으로 계산할 때 약  $2\text{Log}$ 의 크립토스포리디움 불활성화율을 인정받을 수 있었으나, 반면 국내 기준에 의한 계산방식으로는 불활성화율은 전혀 인정받지 못하는 큰 차이를 나타내었다.
3. 현재 설계 시공되고 있는 상수도 시설의 오존설비의 경우, 오존에 의한 수질개선 및 소독효과를 평가하는 방식으로 오존 주입률과 체류시간을 주요 기준으로 정하고

있다. 그러나 오존 처리의 경우, 오존 주입방식 및 접촉지 형태에 따라 처리 효율이 다르며, 오존 설비를 제공하는 업체의 기술력에 따라 오존에 의한 정수 효율이 크게 달라져 오존 주입률과 체류시간만으로는 안정적인 소독효과를 예측하기 어렵다. 따라서 접촉지 chamber 단위의 잔류 용존 오존농도를 모니터링 하여 정확한 CT값을 산출해야 하나, 현재 국내 정수장에서 운영 중인 오존처리시설 대부분은 오존 처리 이후 최종 유출수의 잔류 용존 오존농도만 측정하고 있는 실정이다. 따라서 향후 오존 소독능의 계산 방식에 있어서, 지금보다 더 이론적인 오존 CT값에 맞도록 기준이 개선되고 현장에서도 이를 위해 오존 접촉조내 여러 지점에서 잔류 오존 농도를 모니터링하여 불활성화율을 인정받을 경우, 현재와 같은 오존 공정 운영 조건에서 더 높은 불활성화율의 인정이 예상된다.

#### 참고문헌

서울시 상수도연구원, 2007, **서울시 고도정수처리 3단계 연구보고서**, 서울시상수도연구원.  
환경부, 2004, **고도정수처리 정책방향에 관한 연구**, 환경부.  
Cho M., Chung H.M., and Yoon J.Y., 2003, Quantitative Evaluation of the Synergistic Sequential inactivation of *Bacillus subtilis* spores with ozone followed by chlorine, *Environ. Sci. Technol.* **37**, 2134-2138.  
Jung Y.J., Oh B.S., and Kang J.W., 2008, Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and UV radiation for the disinfection of *Bacillus subtilis* spores. *Water Res.* **42**, 1613-1621.  
USEPA, 2009, Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule (LT2SWTR) Tool box guidance manual (EPA 815-D-09-001).