

## 정수장의 무성방전형 오존발생기 최적활용방안에 관한 연구

(A Study on the Optimal Use of Silent Discharge Type Ozonizer in Purification Plant)

신흥섭\* · 박현미 · 권영학 · 송현직 · 박원주\*\*

(Hong-Sub Shin · Hyun-Mi Park · Young-Hak Kwon · Hyun-Gig Song · Won-Joo Park)

### Abstract

There are 5 purification plants with the adopted advanced water purification treatment process in Korea. Annual operating costs were 8,990 million won including purchase cost of oxygen and power usage charges. We need research to optimize, in the future, when considering the direction of domestic water treatment continues to adopt advanced water treatment process. In this paper, calculate the optimal operating costs by injected the oxygen gas, used power cost. approximately 25% of the operating costs can be reduced when injected the ozone gas is 1.0ppm than 2.0ppm, the necessary amount of oxygen is increased then power is lower. so operating costs are decided according to oxygen costs. On the other hand, high ozone concentration 2.0ppm, the necessary power is increased then amount of oxygen is lower. Therefore, in the case of G purification plant, the controlling factor of the input ozone concentration 2ppm, PID control operation by setting the concentration of over 10Wt% is efficient. The installed capacity is the more little the more better when considering on Ozone injection rate in the process of water treatment.

Key Words : Ozone, Silent Discharge, Advanced Water Purification

### 1. 서 론

최근 산업사회의 고도성장으로 대기, 토양 및 수질 오염 등의 환경오염이 심해지고 이로 인해 사람의 건강과 환경에 피해가 계속해서 늘어나고 있다. 특히 최

근 우리나라에는 수돗물 공급과정에서 유독성 물질인 페놀이 검출되는 사고가 수차례 발생되고 있고, 이러한 크고 작은 수질 문제들은 암모니아성 질소 등 기존의 전통적인 정수처리 모델로는 처리가 힘든 난분해성물질의 유입에 의한 수질사고들이라 할 수 있다[1].

이에 한국수자원공사(K-water)에서는 표준정수처리기술로는 처리가 곤란한 맛, 냄새 등을 포함하여 염소처리 시 발생하는 미량 유기오염물질, 합성유기화합물, 휘발성 유기물질 등을 처리할 수 있는 고도정수처리시설을 점차 확대 설치하고 있다. 정수처리공정에서 주로 활용되는 고도정수처리 공정기술은 오존처리

\* Main author : K-water (Korea Water Resources Corporation)

\*\* Corresponding author : Professor of Electrical Engineering at Yeungnam university

Tel : 042-629-2829, Fax : 042-629-2859

E-mail : shin\_hs@kwater.or.kr

Received : 2014. 10. 29

Accepted : 2015. 1. 9

로 오존은 전기적 방전현상을 이용하여 손쉽게 얻을 수 있고 오존가스의 강력한 산화력을 이용할 수 있어 그 활용성이 커지고 있다[2].

특히 정수처리 공정에서 오존처리가 주목 받는 이유는 오존이 산소로 구성되기 때문에 분해되어도 원래의 산소로 분해되어 염소계 산화제 같은 유해한 반응생성물을 잔류시키지 않는 점이다. 이제까지는 정수처리에서 값이 싸고 잔류성이 있는 염소가 유해물질의 산화제로써 각광받아왔으나 근래에는 염소의 소독부산물인 THMs(Tri-Halo Methanes)이 발암물질로 규명되는 등 염소사용의 다양한 문제들로 인하여 오존소독 공정이 더욱 관심을 받고 있다[3-6].

오존을 수처리에 적용하려는 시도는 1886년 프랑스에서 시작되었다. 그 후 1906년 니스의 Bon Voyage (1.9만톤/일)의 정수장에 실용화되어 오늘날까지 발달되었다. 세계적으로 오존발생기가 설치된 정수처리 시설을 조사한 자료에 의하면 1,000개 중 50% 이상이 프랑스에 있으며 오존의 이용목적으로 구분해 보면 소독 등의 목적으로 활용이 30%, 탈색, 탈취, 철과 망간의 산화를 목적으로 활용되는 비중이 70%이다 [7-11].

오존은 수 처리에서 철, 망간 등을 보다 용이하게 산화시켜 응집 침전효과를 증대할 수 있으며(전 오존공정) 합성세제와 발암물질인 트리할로메탄, 탁도 등을 감소시킨다(후 오존공정). 그 외에도 식품의 부패 및 변질방지, 탈취, 탈색, 실내공기정화 뿐만 아니라 최근에는 암모니아 제조, NO<sub>x</sub> 제거, 플라스틱 재료의 열화 시험, 반도체 디바이스의 고집적화에 따른 미세가공이나 박막성형기술, 오존치료, 양식분야 등에 이용되어 그 중요도가 한층 증대되고 있다[12-15].

2013년 기준 K-water에서 오존설비를 통하여 고도정수처리하고 있는 사업장은 반월정수장 등 총 5개소로 처리 물량은 1,024,000m<sup>3</sup>/일이다. 연간 운영비는 산소와 전력사용료를 포함하여 8,990백만원에 달하며 향후 국내 정수처리의 방향이 고도정수처리(오존, UV)를 지속적으로 개발해 나가는 방향임을 고려했을 때 방전 및 오존생성에 영향을 미치는 원료가스의 종류, 온도 및 습도 등의 인자에 관한 연구를 통해 오존농도 및 수율을 향상시키는 것이 필수이다[16].

오존의 발생은 주로 산소에 물리, 화학적인 자극으로 에너지를 가해 오존으로 변화시키는 것인데 무성방전법, 전해법, 광화학법, 고주파 전계법, 방사선 조사법 등이 있으나, 그 중에서도 산업용으로는 1857년 W.Von Siemens에 의해 개발된 무성방전방식이 성능의 안정성, 조작 및 제어의 편리성으로 가장 널리 이용되고 있다. 하지만 무성방전형 오존발생기는 효율이 좋지 못한 단점이 있어 운영인자를 고려하여 효율을 극대화시킬 수 있는 방법을 고려하여야 한다[17-19].

이에 본 논문에서는 무성방전형 오존발생기가 설치된 G정수장의 실제 플랜트의 최적화된 운영을 위하여 주요 인자에 대한 오존 생성특성 및 전달효율에 관한 연구를 수행하였다. 또한 앞으로 고도정수처리시설에서 설치될 무성방전형 오존발생기의 용량선정 기준을 제안하였다.

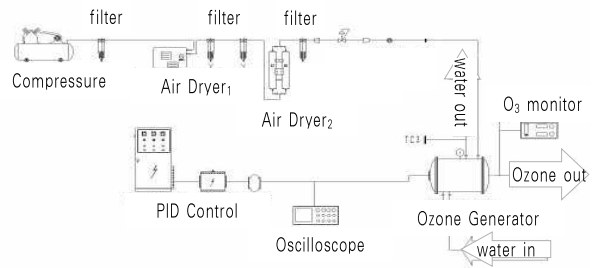


그림 1. 실험장치 구성도  
Fig. 1. Test Equipment Configuration

## 2. 본 문

### 2.1. 실험장치

본 실험에 사용된 장치의 구성도를 그림 1에 나타내었다. 이 장치는 용량 1.25kg/hr의 오존발생기(Ozone Generator) 2대, Air preparation 시스템, PID 제어시스템으로 구성되어 있다. 원료가스로는 유지관리가 용이한 액체산소공급시스템을 사용하였다.

G정수장에 활용되는 오존주입설비는 그림 2와 같은 Side Stream Injection방식으로 처리유량 일부를 Injector에 압송하여 오존가스를 흡입, 이송하고 Mixing Nozzle을 이용하여 유입관로에 분사하여 용

해하는 방식이다. 사용압력은 1.5kg/cm<sup>2</sup>로 오존흡수율은 이론적으로 97%이상이다. 오존흡수율이 높아 경제적이며 PID(Proportional Integral Differential)제어가 용이하다.

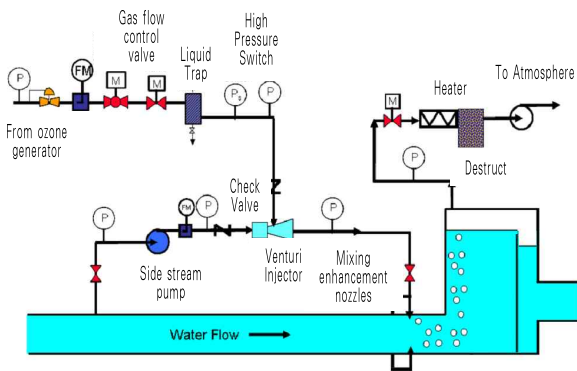


그림 2. 오존주입방식  
Fig. 2. Ozone Injection(Side stream injection) System

PID자동제어를 통하여 발생오존농도(wt%)와 정수장 접촉조의 오존 투입농도ppm를 설정 후 산소량과 전력량을 제어할 수 있도록 하였다. PID제어기는 생산오존량 PID, 용존 오존 PID 및 오존제어밸브 PID제어가 될 수 있게 하였다.

## 2.2 실험방법

효율적 오존발생장치의 운영을 위하여 산소가스양 별 발생오존의 농도 특성을 분석한 후, 발생오존농도와 전력량을 비교하여 총 비용이 적게 드는 경제적 오존발생기 운전점을 평가하였으며 발생오존의 농도 대비 전달효율을 실험함으로써 최적의 운전조건을 찾는 실험을 수행하였다. 원료가스로는 하였다.

접촉조에 오존 투입농도는 본 연구가 정수처리 설비의 효율적인 운영을 위한 실험임을 감안하여 오존 정수처리가 필요한 갈수기(2월~5월)에 투입되는 농도인 1.0, 1.5, 2.0ppm로 조정하면서 실험하였다. 오존농도의 측정은 발생기 후단의 오존농도 측정기를 통하여 측정하였으며, 발생기에 인가되는 DC전류 및 사용 전력은 전력분석기(HIOKI 3196)를 이용하여 연속으

로 측정하였다.

### 2.2.1 입력전력량과 발생오존의 농도의 변화 특성 실험

입력전력량과 오존농도의 특성을 실험하기 위하여 오존농도를 1.0, 1.5, 2.0ppm로 발생오존농도(wt%)를 조정하면서 산소가스양(m<sup>3</sup>/hr) 및 사용전력량(kWh)를 비교하였다. 정수처리를 위한 유량은 470~500m<sup>3</sup>/hr로 선정하였고 설비의 최저 필요 산소가스양은 7.70m<sup>3</sup>/hr로 고정하여 산소가스양의 저하에 따른 PSU(Power Supply Unit)의 무리한 운전을 방지하였다.

### 2.2.2 G정수장의 경제적 오존발생 활용방안

발생오존농도(wt%)에 따른 산소가스의 구매비용과 사용전력량의 전력비용을 검토하여 효율적인 오존발생기의 활용방안에 대해 연구한다. 산소비용은 G정수장에 2009~2013년까지 단일 요금으로 사용 중인 170원/kg을 단가로 선정하였으며, 전력요금은 한국전력 전기요금표를 분석하여 평균 93.65원/kWh로 선정하였다.

### 2.2.3 오존 전달효율 특성평가

오존농도 및 접촉시간에 따른 전달효율 특성을 알아보기 위하여 오존접촉조를 1개조에서 2개조로 변경하고 발생오존농도(wt%)는 4~12%로 변경하면서 실험하였다. 전달효율은 식 1을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{전달효율}(\%) &= \frac{(\text{주입 오존량}) - (\text{배출 오존량})}{(\text{주입 오존량})} \times 100 \\ &= \frac{\text{배출오존과괴기 전단오존가스농도}(g/m^3)}{\text{오존발생기 주입농도}(g/m^3)} \times 100 \quad (1) \end{aligned}$$

활용 접촉조 변경을 통하여 접촉시간을 조정한다. 1개조 접촉 시 접촉시간은 12분 내외이며, 2개조 사용 시 접촉시간은 25분 내외이다. 배출오존과괴기 전단의 오존가스 농도와 오존발생기의 주입농도를 측정하였다.

### 2.2.4 고도정수처리 오존발생기 용량선정 기준 제안

시기별 상수도 오존주입률을 실제 설계용역사의 계산방법에 따라 계산 후 최적의 용량을 제안하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 사용전력량과 오존농도의 변화특성

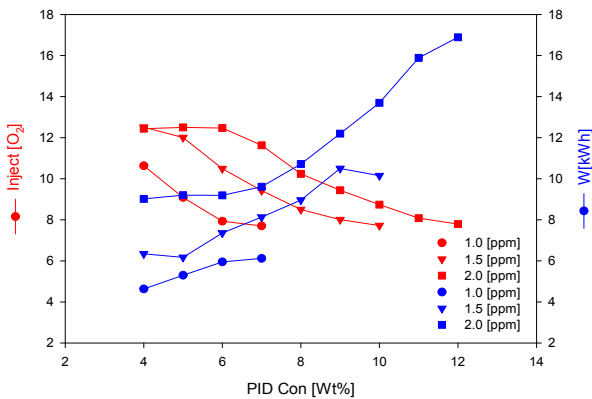


그림 3. Wt/%에 따른 오존발생기 사용전력량과 산소유량  
Fig. 3. O<sub>2</sub> flow and Power according to Wt/%

투입 오존농도별 및 유량을 470~490m<sup>3</sup>/hr으로 고정한 상태에서 발생오존농도(wt%)를 변경하여 산소가스양 및 사용전력량의 변화특성을 그림 3에 나타내었다. 투입되는 산소가스량은 계산 값과 유량계의 값이 일정한 차이를 보였으나 이는 계측기와 실험값의 차이이며 동일한 경향으로 계측오차로 볼 수 있다.

그 결과 발생오존농도(wt%)가 높아짐에 따라 산소가스양이 줄어들고 사용전력량은 늘어났다. 이는 입력전력량이 높을수록 강한 전계로 인해 전자와 산소간의 충돌확률이 높아져 오존발생량이 증가하고 산소유량이 줄어들수록 공급압력이 낮아져 산소분자가 방전 공간 내에 체류하는 시간이 길어짐으로 인해 방전가능성이 많아진 것으로 사료된다. 또한 산소가스양과 전력사용량의 변화하는 기울기를 비교하였을 경우 전반적으로 산소가스양이 사용전력량에 비해 변화추이가 완만함을 알 수 있

으며 고농도로 갈수록 사용전력량이 가파르게 상승함을 알 수 있다. 이는 오존발생농도에 영향을 미치는 인자는 저농도의 경우 산소가스양이며 고농도일 경우 사용전력량에 영향을 많이 받기 때문으로 사료된다.

### 3.2 G정수장의 경제적 오존발생 활용방안

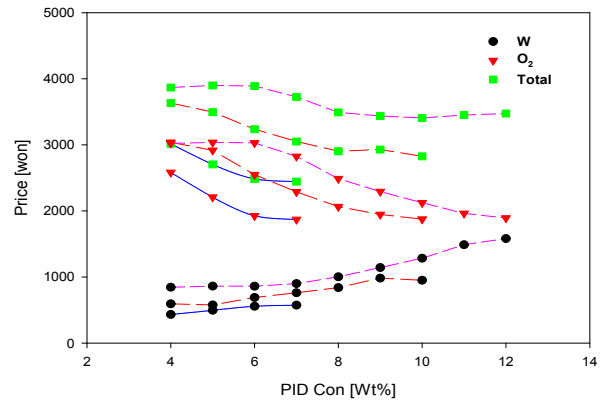


그림 4. 발생오존농도에 따른 운영비용(투입오존농도 1.0, 1.5, 2.0ppm)  
Fig. 4. Operating costs according to the PID O<sub>3</sub> concentration(1.0, 1.5, 2.0ppm)

사용전력량과 오존농도 특성 분석과 병행하여 산소가스 구매비용과 사용전력량의 전력비용을 검토하여 최적의 운영비용 계산치를 그림 4에 나타내었다. 접촉조에 투입되는 오존농도 2ppm으로 설정했을 경우, 발생오존농도 4Wt%로 운영시 총 운영비용은 시간당 3,867원이며 10Wt%는 3,406원으로 4Wt%와 비교하여 약 12% 정도 효율이 좋은 것으로 나타났다. 하지만 8Wt%의 중농도로 운영 시와는 차이는 약 2.6%로 중농도와 고농도의 차이는 크지 않다. 이는 저농도 생성에서 고농도 생성으로 이동하면서 산소소비량이 크게 줄어들어 총 운영비용이 줄어드는 경향을 보이지만 오히려 10Wt% 이상인 경우는 전력비용의 증가가 산소소비량이 줄어드는 것에 비해 크게 영향을 미쳐 오존발생기의 운영비용이 증가하기 때문으로 판단된다. 따라서 8Wt% 이상으로 운영 시 총 운영비용이 줄어들어 경제적으로 운영될 수 있음을 알 수 있다.

### 3.3 오존농도 및 오존접촉시간에 따른 특성평가

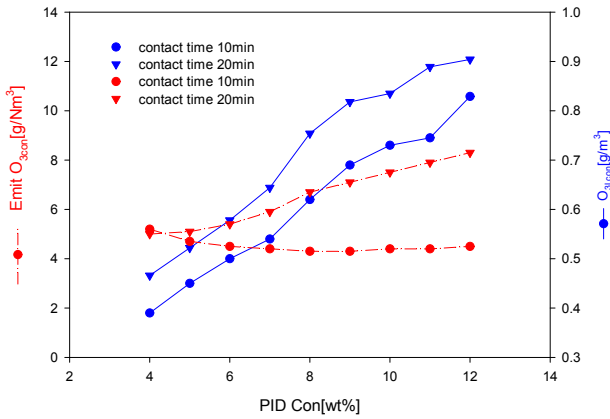


그림 5. 접촉시간 변화에 따른 용존 오존농도 변화  
Fig. 5. The dissolved ozone concentration by changing contact time

그림 5는 접촉시간을 10~20분으로 변경시 발생오존농도에 따른 용존오존농도(O<sub>3Lcon</sub>)와 배출오존농도(Emit O<sub>3con</sub>)를 비교한 그래프이다. 같은 발생오존농도일 경우 오존접촉시간이 길수록 용존오존농도가 높음을 알 수 있으며 특히 발생오존농도가 8Wt%시 접촉시간 10분에 비해 20분일 때 21.6% 정도 용존오존농도가 늘어나고 전체적인 효율은 약 20% 정도 증가하였다. 또한 경제적인 측면을 고려한다면 오존가스 생성 비용에는 10Wt%로 운전이 효율적이었으나 용존오존농도까지 고려한다면 12Wt%로 운전하는 것이 더욱 효율적이다. 왜냐하면 용존오존농도의 경우 10Wt%에 비해 약 20% 정도 높고 전달효율은 약 210% 증가하기 때문이다.

배출오존농도의 경우 접촉시간 10분일 때는 고농도의 오존을 투입할수록 배출오존농도가 낮아지고 포화되는 경향을 보이지만 20분일 경우는 고농도로 투입시 배출오존농도가 상승하는 경향을 보인다. 이는 고농도일 경우 용존오존농도도 높아지지만 그만큼 배출되는 오존농도 역시 높아지고 공기 중의 오존이 빨리 분해되지 못하고 누적되는 되는 값으로 사료된다. 따라서 고농도의 오존을 주입할 경우 추가적인 배출오존설비 제어가 필요할 것이다.

### 3.4 무성방전형 오존발생기 용량 선정

표 1은 정수처리공정에서 주로 사용하는 오존주입률에 대한 표로써 정수처리 공정에서는 일반적으로 산업용으로 사용되는 오존주입률과는 달리 평상시에는 0.3~0.5ppm로 투입하며 염소로는 제거할 수 없는 미세유지물질들을 제거한다. 또한 갑작스럽게 발생할 수 있는 있는 조류나, 맛, 냄새 물질을 모니터링하는 용도로만 사용되고 있다. 반면 갈수기에는 냄새물질인 2-methyl isoborneol(2-MIB) 및 유기물을 대상으로 오존농도를 1.0~1.5ppm으로 높여 평균 4개월 정도 처리한다[1,16].

그러나 G정수장에 설치된 오존발생기의 용량은 1.25kg/h로 정수처리공정에서 주로 사용되는 0.3~0.5ppm 투입시에 필요한 발생농도의 제어가 불가능하다. 따라서 정수처리공정에서는 하수나 공업용과는 다른 설계기준이 필요하다.

표 1. 상수도에서 시기별 오존주입률(mg/ℓ)  
Table 1. Ozone injection rate in the water treatment process

구 분	시 기	오존주입률	제거대상	비 고
갈수기	2월~5월	1.0~1.5mg/ℓ	MIB 50ng/L	4개월/년
평상시	6월~12월, 1월	0.3~0.5mg/ℓ	-	8개월/년
비상시	7월~9월	2.5~3.0mg/ℓ	GM 500ng/L	1개월/3년빈도

표 2에서는 실제로 현재 설계용역사 등에서 설계하는 방법으로 용량을 선정한 경우와 경제적 운영을 위해 본 연구에서 제시한 방법으로 용량을 선정한 경우를 비교하였다.

현재 G정수장에는 설비용량이 1.25kg/h인 오존발생기 2대가 설치되어 있으며 평상시에는 12~30%의 가동율(농도)로 운전되고 있어 비효율적으로 운영되고 있다. 앞서 실험했던 데이터를 기초로 설비를 재설계한다면 설비용량 0.3kg/h 7대로 선정하는 것이 적절하며 현재 설치되어 있는 오존발생기 대비 운영비를 20% 이상 줄일 수 있을 것이다. 또한 예비호기의 증가로 보수비를 줄이는 효과도 얻을 수 있다. 특히 설비용량이 클수록 기본 오존발생량이 많아지므로 공정

중 후단 활성탄여과지에 용해되지 않은 오존가스로 인한 배출오존처리의 문제가 생긴다. 따라서 정확한 용량선정으로 설비용량을 줄일 경우 배출오존설비의 문제를 줄일 수 있는 부가적인 효과도 가지게 될 것으로 사료된다.

**표 2. 운영효율 향상 위한 오존발생기 용량, 댓수선정**  
**Table 2. Number of ozone generators and capacity decisions for improving the operating efficiency**

오존 주입률	처리수량		오존 주입량 (kg/h)	오존발생기 용량별 가동률		
	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /h		0.3kg/h×7EA	0.8kg/h×4EA	1.25kg/h×2EA
0.3ppm	11,845	494	0.1	49%×1EA	19%×1EA	12%×1EA
	18,000	750	0.2	75%×1EA	28%×1EA	18%×1EA
0.5ppm	11,845	494	0.2	82%×1EA	31%×1EA	20%×1EA
	18,000	750	0.4	63%×2EA	47%×1EA	30%×1EA
0.67ppm	11,845	494	0.3	55%×2EA	41%×1EA	26%×1EA
	18,000	750	0.5	84%×2EA	63%×1EA	40%×1EA
1.0ppm	11,845	494	0.5	82%×2EA	62%×1EA	40%×1EA
	18,000	750	0.8	83%×3EA	47%×2EA	60%×1EA
1.5ppm	11,845	494	0.7	82%×3EA	46%×2EA	59%×1EA
	18,000	750	1.1	75%×5EA	70%×2EA	45%×2EA
2.0ppm	11,845	494	1.0	82%×4EA	62%×2EA	79%×1EA
	18,000	750	1.5	83%×6EA	63%×3EA	60%×2EA
3.0ppm	11,845	494	1.5	82%×6EA	62%×3EA	59%×2EA
	18,000	750	2.3	54%×7EA	70%×4EA	60%×3EA
선택				◎		

#### 4. 결 론

본 연구에서는 실제 G정수장의 정수처리공정에서 무성방전형 오존발생기 활용 시 운영인자인 산소가스양, 전력사용량, 투입오존량 등의 변경을 통하여 오존발생기의 효율적 이용 방안에 대한 연구를 수행하였다.

1. 발생오존농도를 높일수록 산소사용량이 크게 줄어드는 경향을 나타냈다. 이를 경제적인 면에서 판단할 경우 저농도의 오존 발생시에는 산소구입량에 의해서, 고농도의 경우 전력사용량에 의해

2. 오존의 전달효율 평가 실험에서는 고농도의 오존을 주입할수록 효율이 높아졌다. 전달효율을 고려하지 않고 단순히 투입량 제어를 하는 경우는 운영비용의 경제성을 고려하여 발생농도를 8~10Wt%에서 운전이 적절하지만 오존의 전달효율을 고려할 경우 12Wt%에서 최적운영이 가능할 것으로 판단된다.
3. 오존발생기의 운영효율을 높이기 위해서는 대용량의 오존발생기를 설계하기 보다는 사용량의 오존발생기 댓수를 많게 설계하는 것이 운영비 및 보수비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 바탕으로 하수 및 산업용이 아닌 정수처리공정에서의 효율적으로 오존발생기를 사용하기 위한 무성방전형 오존발생기 설계 및 운영기준 수립이 필요하다고 사료된다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2014년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수논문으로 선정된 논문임.

#### References

- [1] Ozone and advanced oxidation operating manual, K-water (2010).
- [2] Ozone(1985)/ M. Horvath [Elsevier].
- [3] Handbook of Ozone Technology and Application/ Rip. G. Rice [Butter Worth Publishers].
- [4] B.Eliasson, I.Kogelschatz, "Modeling and Applications of Silent Discharge Plasmas", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol 19, No.2, pp309~323, 1991.
- [5] A Jawored, A Krupa and T Czech, "Back-corona generated plasme for decomposition of hydrocarbon gaseous contaminants", J. Phys. D:Appl. Phys. Vol 29, pp.2439~2446, 1996.
- [6] Muaffaq A. Jani, K. Takaki, and T. Fujiwara, "Low-voltage operation of a plasma reactor for exhaust gas treatment by dielectric barrier discharge", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, Vol 69, No.4, pp. 1847~1849, 1998.
- [7] R.H.Amirov, J. O. Chae, Y. N. Dessiaterik, E.A. Filimonova and MB. "Remmoval of NOx and SO2 from Air Excited by Streamer Corona : Experimental Results and Modeling", Jpn. J. Appt. Phys. Vol 37, No.6A, pp. 3521~3529, 1998.
- [8] R. Peyrous, "The Effect Of Relative Humidity On Ozone Production By Corona Discharge In Oxygen or Air" Ozone Science and Engineering, Vol.12 pp.19~40, 1990.

[9] Kwang-Sik Lee, Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, Ozone generation characteristics of a piled plate-type ozonizer Vol.21C, No.1, pp.33~37, FEB 2002 KIEE.

[10] LEE, MOON-KEE, PARK INGL, RYU KIWON, LEE SUNGGAP, LEE YOUNGHIE "A Study on the Microwave Dielectric Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics Resonator added with Impurities", KIEEME pp.64~67, 1997.

[11] Fayzur Rahman, Byung-Joon Chun, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee "Effect of temperature on the performance characteristics of a pin-cylinder discharge type ozonizer Vol.2-C, No.4, pp.201~207, AUG 2002, KIEE.

[12] Byung-Joon Chun, Sang-Keun Lee, Kwang-Sik Lee, "Ozone Generation Characteristics of a Piled Plate-Type Ozonize", KIEE Intertional Trans. on EA, 12C, No.1, pp.33~37, 2002.

[13] Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, Kwang-Sik Lee, Temperature Dependent Characteristics Combined Discharge Type Ozonizer(CDO) Vol.3-C, No.3, pp.106~112, AUG 2003, KIEE.

[14] Kwang-Sik Lee, Sang-Keun Lee, Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, "The Characteristics of Ozone Generation in Superposed Discharge type Ozonizer", Proceedings of 1998 Korea-Japan Joint symposium on ED and HVE, pp.99~102, 1998.

[15] Kyung-Su Mun, "The Characteristics of Showering Discha Type Ozonizer System for NO<sub>x</sub> Remova" Youngnam Univ. 2000.

[16] Advanced water treatment operating costs, K-water, (2013).

[17] Moo Been Chang, "Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", Ozone Science and Engineering, Vol.19, pp.241~254, 1997.

[18] Schweckendiek, J., and Stiehl, H. H. : Characteristic and performance of high-yield ozonizers, 10th Ozone World Congress, proceedings, Vol 2, 207-208(1991).

[19] Ozonation Manual for Water & Wastewater (1982) W.J.Masschelein [Jhon Wiley & Sons].

◇ 저자소개 ◇



**신홍섭 (申弘燮)**

1981년 5월 5일생. 2007년 8월 경북대학교 전자전기공학부 졸업. 2014년 8월 영남대학교 공학대학원 전기전자공학부 졸업(석사). 현재 한국수자원공사(K-water) 재직 중.



**박현미 (朴現美)**

1982년 1월 6일생. 2003년 8월 경일대학교 전기공학과 졸업. 2005년 8월 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 영남대학교 대학원 전기공학과 박사 수료. 현재 (주)메디스윙 대표.



**권영학 (權泳學)**

1962년 2월 13일생. 2011년 2월 숭실사이버대학교 소방방재학과 졸업. 2013년 8월 영남대학교 공학대학원 산업안전학과 졸업(석사). 2015년~현재 영남대학교 대학원 스마트산업안전학과 박사 재학. 현재 한국농어촌공사 재직 중.



**송현직 (宋炫直)**

1968년 7월 30일생. 1991년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년~현재 영남이공대학 전자기동화과 부교수. 현재 한국조명전기설비학회 대구경북지회



**박원주 (朴元住)**

1954년 3월 14일생. 1978년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1980년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 3월 큐우슈대학 대학원 졸업(박사). 1994년~현재 영남대학교 전기공학과 교수. 현재 본 학회 감사.