

## 고도정수처리용 대용량 오존발생시스템 개발

이 형호\*, 김 영배, 서 길수, 조 국희  
한국전기연구원

### The Development of Ozone Generation System with High Capacity for Advanced Water Treatment Process

Hyeong-Ho Lee\*, Young-Bae Kim, Kil-Soo Seo, Kook-Hee Cho  
Korea Electrotechnology Research Institute

**ABSTRACT** - Recently the ozone generation system is well used for cleaning the contaminated water by using the strong oxidization effects of ozone.

Ozone generation system is composed of ozone generation device, air or oxygen supply device and high voltage apply device.

In this paper, commercial frequency was applied to the wire typed conductor. The ozone concentration was measured with air or oxygen as a supplied gas, which can be used as basic data for the development of ozonizer system.

#### 1. 서 론

최근에 수질오염, 대기오염 등에 의한 환경악화는, 현 재 증대한 사회문제이므로, 고도한 공해처리기술의 급속 적 개발이 전망되고 있다.

오존은 산화제, 살균제로서 공해처리에 광범위하게 이 용되고, 효과는 염소보다도 우수하지만, 경제적 이유로 그 이용이 한계에 이르고 있다. 그러나 최근 하배수의 오염이 한층 더 가속화되어 고도의 무공해처리기술이 요 구되고 있고, 오존 처리는 그 요청에 매우 적합한 것으 로서 볼 수 있다. 염소처리에서 발생하는 물질 등은 인 체에 유해한 2차 생성물이 생기기 때문에 그 이용이 제 한되는 추세이다.[1][2]

미국에서는 1977년 이래 환경청(EPA)이 중심이 되 어, 유기염소의 사용을 규제하였다. 그 결과 1978년 이 후는 상하수에 오존처리를 추진해, 급속하게 증가하고 있으나 전기요금의 높기 때문에 경제적으로 합당하지 않 은 것이 큰 장애가 되고 있다. 오존의 발생은 통상, 무 성방전(ozonizer 방전)에 의한 방전 반응이 이용되고 있지만, 다량의 전력을 필요로 하고, 그 생성효율이 낮 으며(공기원료의 경우, 약 5%) 개선이 되어 있지 않은 실정이다.

이것은 다음 3가지의 이유 때문이다.

- (i) 무성방전의 방전기구가 복잡
- (ii) 무성방전의 상세한 미 해명
- (iii) (i), (ii)의 연구가, 각각 전문분야에서 개별적으로 행하기 때문이다.

오존 생성효율의 향상, 고효율 오존발생시스템의 개발 은, 환경개선에서 에너지 차원으로 볼 때 큰 기대가 되 고, 사회적 요청이 강해 중요 연구과제 이다.

따라서 본 연구에서는 환경사업의 일환으로 수질에 대 한 민원을 해소하고 국제적 추세에 따라 고도정수처리용 대용량 오존발생시스템의 개발에 대해서 논한다.

#### 2. 국내외 오존발생시스템 개발현황

오존발생시스템의 개발현황을 국내외적으로 분류해서 살펴보면 표 1과 같다.(3)[4] 이와 같이 외국은 오존발

생시스템을 상용화하고 응용기술분야를 연구하고 있는 반면 국내기술은 저조한 실정이다.

표 1. 오존발생장치 개발관련 국내외 기술현황

구분	연구 분야
국외	<p>◆ 다음의 오존발생장치 구성기술에 관한 연구 는 거의 완료되고, 현재는 오존 장치의 용 용기술분야의 연구에 박차</p> <p>(1) 오존발생기(Ozonizer)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 수전해식</li> <li>② 자외선 조사법</li> <li>③ 방사선 조사법</li> <li>④ 무성방전식</li> </ul> <p>(2) 전원장치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① DC( +, - )</li> <li>② Pulse</li> <li>③ AC</li> <li>④ HF</li> </ul> <p>(3) 냉각장치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 수냉식</li> <li>② 공냉식</li> </ul> <p>(4) 원료가스 공급장치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① Blower</li> <li>② Compressor</li> <li>③ PSA : 산소증배(제조)장치 (Pressure Swing Adsorption)</li> </ul>
국내	<p>◆ 오존발생기법에 관한 연구현황</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 고효율/고농도 오존발생기술에 대하여 이 론적으로 미정립 상태임.</li> <li>· 소형오존발생장치(1kg/hr이하)는 국내 일 부업체에서 시작품을 개발하고 있으나 핵 심기술(방전관설계기술등)은 해외기술에 의존하며, 중형이상의 오존발생장치는 전 량 수입하는 실정임</li> </ul> <p>◆ 오존발생장치 개발현황</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 오존수율, 농도, 발생량이 선진국에 비하 여 훨씬 낮아 대형장치는 전부 선진국으 로부터 수입하여 사용</li> </ul>

#### 3. 오존발생시스템의 구성

개발된 오존발생시스템의 외형은 그림 1과 같으며 주 요 구성설비는 기본적으로 다음과 같은 4개항으로 구성 할 수 있다.

- ① 오존발생기
- ② 원료가스 공급장치
- ③ 전원장치
- ④ 냉각장치



그림 1. 오존발생시스템의 외형

### 3.1 오존발생기

본 실험에서 사용한 방전관은 그림 2와 같이 동축 이중원통구조로 3개의 전극( 중심전극, 중간전극, 외부전극 )으로 구성되어 있으며, 스테인레스판 길이 1300 [mm]을 내부유리관( 재질 : 파이렉스 유리, 두께 : 2.5[mm], 직경 : 60[mm], 길이 : 1300[mm] )에 삽입하여 중심전극으로 사용하였으며, 중간전극 스테인레스 와이어( 직경 : 1[mm] )로 피치 5[mm] 간격으로 유지하였고, 내부유전체와 갭 거리는 약 0.4[mm]이내로 유지시켰다. 또한, 외측에 외부 유전체는 파이렉스 유리( 두께 2.5[mm], 직경 70[mm] )이고, 외부전극은 스테인레스 봉으로 하였다. 내부 유전체와 외부 유전체 갭 거리는 2.5[mm]이고, 외부 유전체와 스테인레스 봉의 갭 거리는 1.2[mm]로서 이들 공간에 원료가스가 균일하게 공급되도록 구성하였다. 전체적인 방전관의 시스템은 3전극-3갭으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

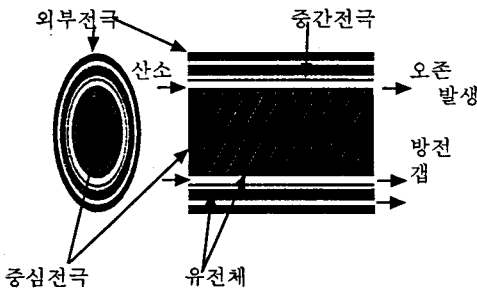


그림 2 오존 발생기의 단면도

### 3.2 원료가스 공급장치

원료가스 공급장치는 공기 및 산소의 원료가스를 오존발생에 효율적인 조건아래서 오존발생장치에 공급된다. 구성기기는 원료가스 보다 크고 다르나 실적에 따라 ① 직접 공기에서 오존을 발생시키는 경우, ② 산소발생장치에서 산소를 생성해 오존을 발생시키는 경우의 두 가지 방식이 있다.

#### (1) 공기원료법

공기원료법의 장치는 원료가스를 송풍하는 공기송풍장치, 공기냉각장치, 건조장치로 구성된다.

#### ① 공기송풍장치

공기송풍장치는 원료가스를 냉각식 제습→흡착식 제습→오존발생장치→반응조로 송풍한다. 장치형식은 공기 압축기(Air Compressor)와 루트송풍기(Roots Blower)로 구별하며 본 연구에서는 공기 압축기로 저장 탱크를 통해 냉각장치로 보내는 구조이다.

#### ② 냉각식 제습장치

냉각식 제습장치는 압축된 원료가스를 냉각시킴으로써 응축수를 제거하고 다음 단계의 건조장치 부하를 줄이기 위함이다.

#### ③ 흡착식 제습장치

흡착식 제습장치는 오존발생장치로 공급되는 원료가스를 항상 고도의 건조상태(이슬점  $-60^{\circ}\text{C}$  : 일본오존협회 인정기준)로 유지시켜 오존발생효율 저하를 방지하기 위함이며 4번의 필터링을 거친다.

흡착식 제습장치는 그 재생방법으로 가열재생법과 비가열 재생법으로 크게 나뉜다.

#### (2) 산소원료법

산소발생장치는 가스압력 차이로 흡착, 탈착을 반복 조작함으로써 소정의 가스를 분리시키는 것이다.

가스압력차에 따라 두 방식으로 나뉘지만 모두 다 최대 90% 산소( $\text{O}_2$ )를 얻는데 가능하다. 표 2에 PSA 산소발생장치의 특징을 나타낸다.

표 2. 산소발생장치(PSA:Pressure Swing Adsorption)의 특징

구 분	특 징
감압형 (減壓型)	· 저압측을 진공펌프로 감압하는 방식. · 산소회수율이 높고 소비전력이 작으나 진공펌프 등 주변 기기가 필요하므로 소규모 처리에는 값이 비싸다.
가압형 (加壓型)	· 고압측을 가압하는 방식. · 산소회수율은 감압형에 비해 낮으나 기기 구성이 간단하므로 소형화이다.

### 3.3 전원장치

전원장치는 전원전류를 오존발생에 적합하도록 조정 및 조절한다. 일반적으로 유도형 전압조정기나 변압기로 승압 및 조절을 실시하나 대용량 설비에는 고주파 변환기(Inverter)를 병용해 발생량을 조절한다. 현재 사용되고 있는 전압 및 주파수에 따른 분류는 표 3과 같이 저주파수 방식, 중주파수 방식, 고주파수 방식으로 분류하며 본 연구에서 사용된 방식은 저주파 방식이다.

표 3 적용전압 및 주파수에 따른 분류

구 분	일 반 적 특 징
저주파수 방식 (Low Frequency type)	50혹은 60Hz, 소요전압이 높아 (10~20KV) 방전공간(Discharge gap)에 민감성이 적고 저압 방식에 적합하며 장치설치면적이 크고 소비 전력이 높으며 대당 오존생산량이 적다. 초기단계의 제품이다.
중주파수 방식 (Medium Frequency type)	60~1000[Hz], 소요전압이 저주파에 비해 낮다.(4~8KV) 저주파에 비하여 방전공간(Discharge gap)에 민감하며 더 높은 압력이 필요하다. 고농도의 오존을 얻을 수 있으므로 대당 오존생산량이 많고, 소비전력이 적다. 장치설치면적도 저주파에 비하여 적다.
고주파수 방식 (High Frequency type)	1000Hz 이상, 소요전압이 낮다. (2~3KV) 소요량이 적합하며, 주로 표백, 접착성 강화 등에 사용되며 정수장에 사용실적은 거의 없다.

### 3.4 냉각시스템

오존은 불안정한 가스로서 가스의 온도가 상승시 오존의 분해 파피가 가속화된다. 그러므로 발생기가 냉각되는 것이 필수적으로 따라야만 하는 중요성이 있다. 또한 가능한 한 냉각 될 수 있는 최고치의 냉각수가 사용되어야 한다. 만약 사용할 냉각수가 다소 따뜻한 상태이고 고농도 생산이 필요시라면 냉각수를 5~10(℃)를 유지하기 위한 냉각기를 설치하는 것이 효율적이다.

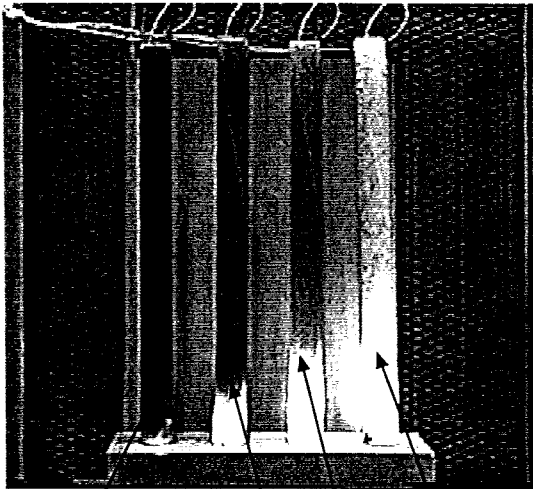
### 4. 결과 및 고찰

그림 1에서 나타난 바와 같이 오존발생기와 원료가스 제습장치 및 온도조절장치를 장착한 오존발생시스템에서의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위해 실험장치의 개략도를 나타낸 것이며, 원료가스는 공기와 산소를 제습장치를 거쳐 유출되는 가스에 대해 유량을 조정하면서 오존발생기 내부로 유입하였다. 제습장치로는 흡착식 및 냉동식을 사용하여 오존생성에 영향을 미치는 수분을 제거하여 오존 농도 및 수율의 향상을 도모하고 오존발생기의 재질을 보호하는 등의 목적으로 사용하였다.

전원장치는 상용주파압기에서 발생되는 교류전원을 사용하였으며, 방전전력은 전력량계를 이용하여 방전시에 소모되는 전력을 측정하였다.

방전시의 오존화가스의 농도는 오존모니터를 사용하여 측정하였다.

그림 3은 본 연구에서 개발된 오존발생시스템으로 탈색해 가는 과정을 시간별로 나타내었다.



오존 투입후 5분경과 10분경과 15분경과 20분경과

그림 3. 탈색 실험 사진(발생량 : 40 g/hr)

그림에서 보는바와 같이 오존발생량 40(g/hr)을 투입 후 시간이 경과함에 따라 탈색되는 것을 볼 수 있다.

3.1절에서 나타난 오존발생기를 가지고 실험한 결과들 그림 4와 그림 5에 보인다.

그림에서와 같이 오존생성농도는 산소원료가스에서 유량이 150(l/min)에서 최대 75.1(g/m<sup>3</sup>)을 얻을 수 있었고, 오존생성효율은 유량 300(l/min)에서 최대 283 (g/kWh)를 얻을 수 있었다. 또한 공기를 원료가스로 사용하였을 때, 최대농도와 효율은 각각 20.5(g/m<sup>3</sup>), 110(g/kWh)를 얻을 수 있었다.

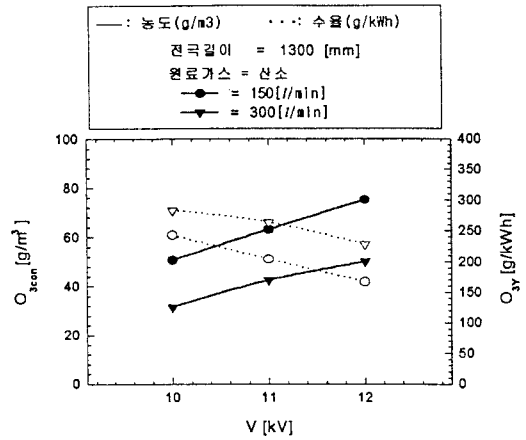


그림 4 오존생성특성(원료가스 : 산소)

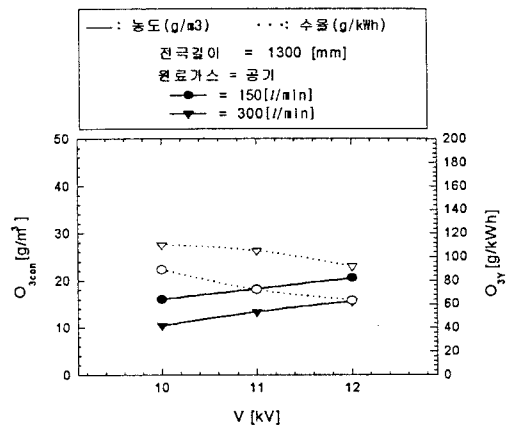


그림 5 오존생성특성(원료가스 : 공기)

### 5. 결론

우리나라에서 적용되고 있는 오존발생장치는 외국수입품이 대부분이며 하자가 많고 장치가격에 비해서 처리기 대치가 낮은 것으로 인식되고 있다. 일반적으로 장치특성과 수처리공법을 이해하여 응용한다면 편리하게 사용할 수 있으며 수질환경을 개선할 수 있으리라 사료되어 본 연구에서는 상용주파방식으로 원통형방전관에 전압을 인가하였고, 원료가스는 공기 또는 산소를 주입하여 측정된 결과 오존농도 및 수율이 우수하여 국내에서 오존발생시스템 개발시 기초자료로 활용이 가능하리라 사료된다.

#### (참고 문헌)

- (1) 井 關昇, "오존나이저における오존 생성機構と今後の課題", 静電氣學會誌, Vol. 7, No. 3, pp.142 ~ 149, 1993
- (2) Moo Been Chang, "Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", Ozone Science and Engineering, Vol.19, pp.241 ~ 254, 1997
- (3) 이형호, 조국희, "중첩방전형 오존발생기의 오존농도와 수율의 관계", 대한전기학회 경남지부 추계학술발표 논문집, pp.67 ~ 70, 1998
- (4) 이형호, 조국희, 이광식, "오존발생기를 이용한 고도정수처리기술 동향 및 전망", 한국조명·전기설비학회 학술발표회 논문집, pp.242 ~ 244, 1998