

방전공간 구성에 따른 오존나이저 특성

조 국희, 김 영배, 서 길수, 이 형호
한국전기연구소

Variation of Ozone Generation with change of Discharge Space Length

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

Abstract - In this research, a ozone generation using a combined discharge method, in which a surface and a silent discharges are occur in discharge region simultaneously, is investigated experimentally. On our experiments, the combined discharge was confirmed, and the characteristics of the ozone generation were obtained. In this paper, the typical results about the ozone generation are described.

1. 서 론

하수의 고도처리는 수질환경기준 달성, 부영양화 방지, 수도수원 대책을 주목적으로 이루어지고 있다. 향후, 방류처의 수질기준이 더욱 강화되고 고도처리 요구가 점점 증가하리라 예상된다. 한편 최근에 대도시 유역 등으로 중심으로 물 수요가 급증하는 지역에 있어 그에 따른 대응책으로 하수처리수 재이용의 중요성이 높아지고 있다. 이러한 하수처리수 재이용, 방류처의 수질기준 강화에 대응키 위해서는 하수 특유의 냄새나 색도 제거가 필요하고 종래의 염소소독으로는 트리할로메탄(THM)등의 유해 부산생성물이 생성되므로 염소소독에 대체할 소독기술의 검토가 필요 하는 등 요구되는 용도에 따른 고도처리가 필수 불가결하다. 이와 같은 배경아래 염소소독의 THM등 유해 부산 생성물이 생성되지 않고 소독과 동시에 탈색, 탈취, COD 분해등 다양한 기능을 가지고 요구되는 수질에 따라 복합처리가 가능한 오존(O₃)에 의한 하수의 고도처리 수요가 높아져서 채택도 증가하고 있다. 오존은 그리아이오로 「냄새나다」에서 유래된 것으로 특이한 냄새를 가진 엷은 청색의 기체로서 18세기말에 발견되었다. 오존은 산소원자 3개로 결합된 산소의 동소체로서 O₃로 나타낸다. 오존에 의한 산화반응은 오존분자에 의한 직접반응과 오존이 수중분해가 가능한 자유기(Free Radical) HO에 의한 간접반응이 있다. 오존분자의 산화환원전위는 볼소 다음으로 크고 오존이 수중에서 분해될 때 생성되는 자유기 HO의 산화환원 전위는 오존분자보다 크다. 즉, 오존의 산화반응에 관여하는 오존분자 및 자유기 HO의 산화력은 매우 강력하다고 알려져 있다.

따라서, 본 연구에서는 고농도의 오존나이저를 개발할 목적으로 오존방전관의 구조를 변형시켜 측정하였다. 구조는 면적과 방전갭 차이에 대한 것으로 발생량에 대해서도 비교치를 조사하였다. 이에 대한 수치는 앞으로의 오존방전관 개발에 중요한 자료로서 활용될 수 있으리라 사료된다.

2. 본 론

2.1 오존의 용도

오존은 산화력을 이용해 소독, 바이러스(Virus)나 미생물 등 불활성화에 이용되는 반면 사람의 생체에도 독성을 나타낸다. 그 반응론적인 상세한 설명은 생체막,

조직을 구성하는 지질, 단백질, 핵산(DNA, RNA)등에도 오존에 영향을 받으며, 인체에 대한 반응은 표 1과 같다. 따라서 수중에서는 pH나 온도상승에 따라 급속히 분해되는 오존도 대기중에서는 비교적 안정되어 잔존성이 있으므로 오존을 이용할 때는 배오존을 0.1ppm이하로 분해, 제거시킬 필요가 있다.

표 1. 오존의 인체반응

오존농도(ppm)	작 용
0.01~0.02	다소의 취기를 느낀다. (얼마 안있어 사라진다.)
0.1	분명한 취기가 있고 코로 자극을 감지한다.
0.2~0.4	3~6시간 폭로로 시각이 저하한다.
0.5	분명한 상부기도에 자극을 감지한다.
1~2	2시간 폭로로 두통, 흉부통, 상부기도에 목마름이 있고 폭로가 반복되면 만성증상에 이른다.
5~10	맥박증가, 체통, 마비증상이 나타나고 폭로가 길어지면 폐수종을 초래한다.
15~30	작은 동물은 2시간 이내에 사망한다.
50	사람은 1시간에 생명이 위험한 상태로 된다.

수환경보전 및 자원으로 처리수의 활용에 대한 의식이 높아지면서 수처리에 대한 새로운 요구가 나타나고 있다.

소독방법으로서 오존, 염소 및 자외선 방법의 비교를 표 2에 나타냈다. 오존소독의 특징은 직접 세균의 세포막과 핵산을 파괴하거나 바이러스의 핵산을 파괴시켜 불활성화 시키기 위해 소독효과가 높은 반응을 빠르게 하는 것이다.

표 2. 소독방법의 비교

구 분	오 존	염 소	자외선(UV)
소독기능	세포막과 핵산을 직접 파괴	대사계 효소의 불활성화	DNA의 염기에 영향
조작성	주입량의 비례제어가 용이	처리장의 제거가 어려움	기본적으로 제어할 수 없음
확실성	소독력은 병원성 원충의 불활성화도 기대	병원성 원충의 불활성화 기대 어려움	병원성 원충의 불활성화 기대 어려움
방류수역의 영향	수산자원의 영향 없음	과잉 주입이 생기면 수산 자원에 영향	수산자원의 영향 없음
비교	공존물질에 의한 소비가 있음	효과의 잔류성 있음	대상수의 투시도에 따라 효과

2.2 오존의 이용

방류수역의 수질, 미관보전을 위해 색도나 냄새제거, 재이용 수질의 안전성, 쾌적성 확보를 위한 소독, 색도, 취기, 발포성 물질 제거등을 필요로 하는 사례가 늘고 있어 이러한 경우 오존이 지닌 처리기능이 유효 적절하다. 수처리시 오존의 강력한 산화력을 이용하면 소독, 탈색, 탈취 및 산화분해를 할 수 있으며, 복합적인 처리효과를 기대할 수 있는 이점이 있으며 오존의 구체적인 이용목적과 처리특성을 표 3에 나타냈다.

표 3. 이용목적과 처리특성

이용목적	처리특성
소독	<ol style="list-style-type: none"> ① 미생물 세포막이나 DNA, RNA를 직접 파괴시키므로 효과가 크다. ② 단시간에 소독이 강하다. ③ 보통 조작조건으로 병원성 원충의 불활성화가 가능하다. ④ 잔류성은 없고 방류처에서 수생생물에 대한 영향이 없다.
탈색	<ol style="list-style-type: none"> ① 착색물질의 발색부(강한 2중결합 및 3중결합)를 저분자화 한다. ② 반응속도가 매우 크다. ③ 염색계 폐수의 탈색도 가능하다. ④ 투명도가 향상된다.
탈취	<ol style="list-style-type: none"> ① 취기물질을 산화 분해시킨다. ② 기체상태보다도 반응속도가 크다.
유기물 분해	<ol style="list-style-type: none"> ① 2중결합을 가진 물질이나 구형핵류와의 반응성이 높다. ② 저분자가 주체이다. ③ 물과 탄산가스까지의 분해에는 이르지 못한다. ④ COD, TOC는 감소하나 BOD는 약간 증가함(생분해 용이)
발포성 물질제거	<ol style="list-style-type: none"> ① 음이온 계면 활성제의 저감효과가 있다.

수처리시 오존의 이용은 고도처리로서 처리수의 적용이 중심이 되며 가동실적도 해마다 급속히 증가되고 있는 실정이다. 현재 이용되는 오존처리의 주요용도는 크게 방류와 처리수 재이용으로 분류할 수 있다. 방류에서는 소독과 탈색이 주목적이며, 탈색은 염색계 공장폐수를 포함한 경우에 적용하는 것이 많다. 이 경우에는 2차 처리수의 색도가 100도 이상이어야 하고 처리능력, 경제성으로 볼 때 오존처리가 가장 적합하다. 처리수는 많은 용도로 쓰이고 있으나 주로 수경용수, 친수용수 및 수세면소용수 등에 적용한다.

2.3 실험장치 및 방법

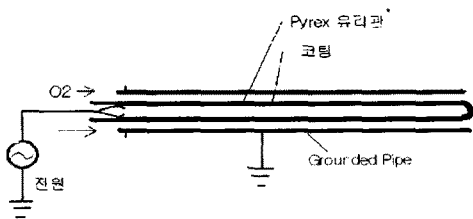


그림 1. 오존 방전관 구조

그림 1은 2Electrodes-1Gap 전극구조로서 본 연구를 위해 설계된 방전관으로 2개의 전극(내부전극, 외부전극)과 1개의 유전체로 구성되어 있는 무성방전형 오존 방전관으로 2가지 형태(A형, B형)를 제작하였다.

A형과 B형의 비교하면 A형은 내부전극을 스테인레스 판으로 유전체 내부에 삽입하여 전압인가용 전극인 내부전극으로 사용한 것이며, B형은 직경 1.6(mm)의 스테인레스 와이어로 피치 5(mm) 간격으로 유지하여 내부전극으로 사용하였다. 외부전극은 오존의 강력한 산화력에 견딜 수 있는 스테인레스 파이프를 접지용 전극으로 이용하였다. 유전체와 외부전극의 갭 거리는 1.3(mm)이며 이 공간에 원료가스가 균일하게 공급되도록 구성하였다.

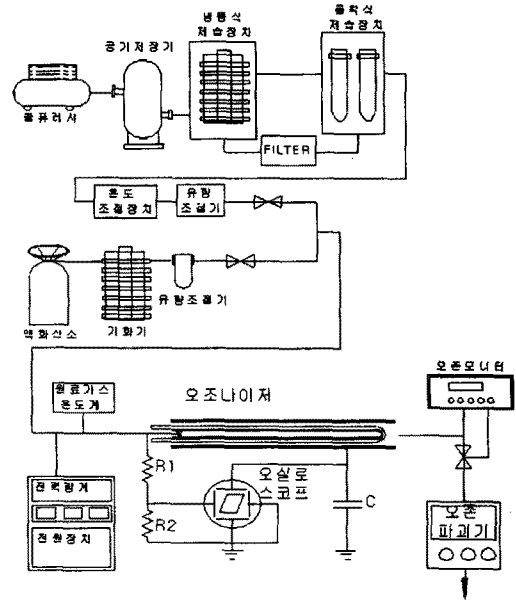


그림 2 실험장치의 개략도

그림 2는 무성방전형 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 원료가스인 공기는 오존생성에 영향을 미치는 수분 제거와 오존 농도 및 효율의 향상을 도모하고, 오존발생기의 수명을 위해 제습장치를 이용하였다. 원료가스의 유량은 flowmeter(0~25[l/min])로 조절하면서 오존발생기 내부로 유입하였다. 전원장치(15[kV])는 상용주파 교류전원으로 원료가스 온도와 전력을 측정할 수 있도록 구성되어 있다. 방전전력은 리사쥬 도형을 이용하여 오존발생 전 전체회로에 소모되는 전력을 오실로스코프로 관측하여 측정하였다. 오존생성농도를 정확하게 측정하기 위해 오존발생기내에서 발생한 오존화 가스를 매 실험마다 0.5[l/min]으로 샘플링 하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존 모니터로 측정하였고, 유량 및 방전전력의 변화에 따른 오존생성농도와 오존생성수율을 측정 및 계산하였다.

2.4 실험결과 및 고찰

그림 3(a)(b)는 무성방전형 전극구조에서 원료가스 산소 및 공기일때의 유량과 인가전압의 변화에 따른 전압-농도의 그래프를 나타낸 것이다.

측정된 그래프와 같이 유량은 적을수록 농도가 상승하는 것은 유량이 증가함에 따라 방전공간 내에서 오존의 생성에 영향을 미치는 여기산소분자의 수는 증가하지만, 산소분자가 방전영역에서 체류하는 시간이 짧아지면 전자와의 접촉시간 감소로 인하여 충돌확률이 작아져 오존농도의 상승률이 떨어진 것이다.

인가전압 12[kV]에서 유량 2[l/min] 및 15[l/min]의 농도는 52.5[g/m³] 및 6.9[g/m³]으로 대략 7.5배의 차이가 나며, 원료가스인 산소와 공기를 비교하면 52.5[g/m³] 및 22.4[g/m³]으로 대략 2.3배의 차이를 나타냈다. 그리고 유량이 작고, 방전을 발생시킬

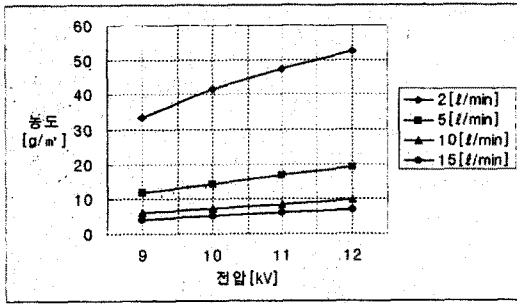


그림 3(a). Type-A 오존농도특성(원료가스:산소)

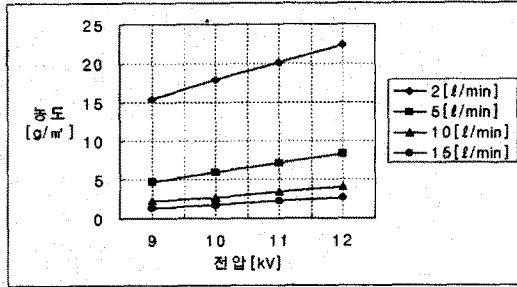


그림 3(b). Type-A 오존농도특성(원료가스:공기)
수 있는 전압이 일정이상이면 오존농도가 계속 상승하는 것이 아니라 포화상태에 도달하여 최적오존생성이 결정된다고 볼 수 있다.

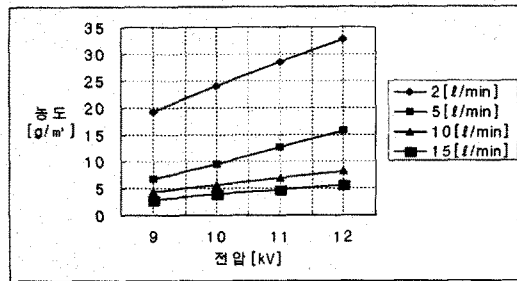


그림 4(a). Type-B 오존농도특성(원료가스:산소)

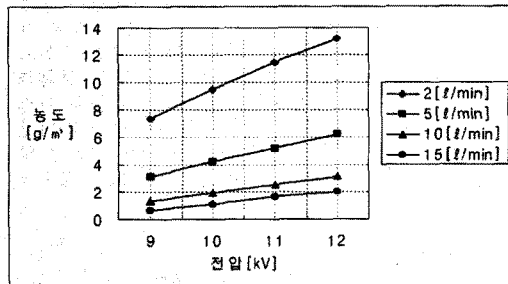


그림 4(b). Type-B 오존농도특성(원료가스:공기)

그림 4(a)(b)도 그림 3과 같이 Type B에 대한 전압-농도의 그래프를 나타냈다.

측정된 그래프와 같이 그림 4는 그림 3과 같은 경향을 보였다. 인가전압 12[kV]에서 유량 2[l/min] 및 15[l/min]의 농도는 32.8[g/m³] 및 5.6[g/m³]으로 대략 5.8배의 차이가 났으며, 원료가스인 산소와 공기를 비교하면 32.8[g/m³] 및 13.2[g/m³]으로 대략 2.5배의 차이가 나타났다. 원료가스가 산소인 Type A와 B를 비교하면 52.5[g/m³] 및 32.8[g/m³]로 대략 1.6배의 차이를 나타냈다. 따라서, 오존농도는 원료가스 종류와 유량에 상당히 의존하고 있음을 알 수 있었다.

표 4. 전극형태, 인가전압 및 유량에 따른 발생량 비교

형태	전압[kV]				유량 [l/min]
	9	10	11	12	
Type A 원료가스:산소	3.0	4.0	4.7	5.3	2
	3.6	4.3	5.0	5.7	5
	3.6	4.3	5.0	5.8	10
	3.7	4.6	5.4	6.2	15
Type A 원료가스:공기	1.8	2.1	2.4	2.7	2
	1.4	1.8	2.2	2.5	5
	1.3	1.6	2.0	2.5	10
	1.2	1.5	2.0	2.3	15
Type B 원료가스:산소	2.3	2.9	3.4	4.0	2
	2.3	3.0	3.8	4.7	5
	2.6	3.4	4.1	4.9	10
	2.5	3.4	4.2	5.0	15
Type B 원료가스:공기	0.9	1.4	1.6	1.9	2
	0.9	1.3	1.6	1.9	5
	0.8	1.3	1.5	1.9	10
	0.7	1.0	1.4	1.8	15

표 4는 전극구조가 2Electrodes-1gap형으로 방전유효길이가 1,300[mm]이고 원료가스는 산소 및 공기로 전압과 유량을 변화시켜 오존 발생량을 조사하였다. 표 3에 측정된 바와 같이 원료가스가 산소일 때 유량이 클수록 발생량은 증가하였고, 원료가스가 공기일 때는 유량이 작을수록 발생량이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 인가전압이 상승함에 따라 오존 발생량이 증가하는 경향이 나타났으며, 원료가스인 산소 및 공기를 비교하면 type A 및 B는 인가전압 12[kV], 유량 2[l/min]에서 발생량이 2~2.5배의 차이를 나타냈다.

3. 결 론

본 논문에서는 무성방전형 오존방전관으로 오존의 농도 및 발생량 특성에 대해서 논했다.

Type A는 인가전압 12[kV]에서 유량 2[l/min] 및 15[l/min]의 농도는 52.5[g/m³] 및 6.9[g/m³]으로 대략 7.5배의 차이가 났으며, 유량이 작고 방전을 발생시킬 수 있는 전압이 일정이상이면 오존농도가 계속 상승하는 것이 아니라 포화상태에 도달하여 최적 오존생성이 결정된다는 것을 알 수 있었다. 원료가스가 산소인 Type A와 B를 비교하면 52.5[g/m³] 및 32.8[g/m³]로 약 1.6배이고, 원료가스인 산소와 공기를 비교하면 32.8[g/m³] 및 13.2[g/m³]으로 약 2.5배의 차이가 나타났고, 발생량도 2~2.5배의 차이로 오존농도 및 발생량은 원료가스 종류와 방전관 구조, 형태에 따라 최적오존생성이 결정된다고 볼 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Moo Been Chang, "Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", 1997
- [2] 田畑則一, "放電によるオゾン發生法に關する考察", T. IEE Japan, Vol.117, pp.1200 ~ 1206, 1997
- [3] 山部長兵衛, "浴面放電型オゾンナイザの放電およびオゾン生成特性", ED-94-14, pp.63 ~ 69, 平成6年
- [4] 이형호, 김영배, 서길수, 조국희, "수처리용 고농도/고수율 오존발생시스템 설계기술", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회, D-2, pp.79 ~ 82, 1999, 5, 8
- [5] 井關昇, "オゾンナイザのオゾン收率におよぶ原料ガス中水分の影響", ED-86-86, pp.9 ~ 15, 1986
- [6] H. Sugimitsu, "Measurement of the Rate of Formation in an Ozonizer", Journal de Chemie physique, Vol. 79, No. 9, pp.655 ~ 660, 1982
- [7] 조국희, 김영배, 서길수, 이형호, "동축형 전극길이 변화시의 연면무성방전에 의한 오존발생특성", 대한전기학회 논문지 제 48권, 제 12호, pp.791 ~ 797, 1999