

방전갭 변화에 따른 동축 원통형 오존발생기의 방전특성과 오존생성특성

(Discharge and Ozone Generation Characteristics of a Co-axial Cylinder Type Ozonizer
in Accordance with Varying Discharge Gap)

이상근* · 전병준* · 박용권* · 이광식** · 최상태*** · 송현직****

(Sang-Keun Lee · Byung-Joon Chun · Yong-Kwon Park · Kwang-Sik Lee · Sang-Tae Choi · Hyun-Jig Song)

요 약

최근 오존은 그 효용성을 인정받아 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 그 수요 또한 계속 증가하는 추세이다. 이에 다양한 종류의 오존발생기가 연구되어지고 있다. 이러한 오존발생기는 모두 고농도와 고수율을 얻는데 그 연구목표가 있다고 할 수 있으며, 그중 하나가 동축원통형 오존발생기이다. 본 논문에서는 고주파 전원을 사용하는 새로운 형태의 원통형 오존발생기를 제안하였으며, 오존발생기의 전극 간극의 변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구하였다.

Abstract

Recently, ozone is utilized in various fields and its needs are expanding. Therefore, so many ozone generation methods have been reported in the last year, its main purpose is to get the high ozone concentration and to improve the ozone yield, one of them is a Co-axial cylinder-type ozonizer. In this paper, a new ozonizer, which is using radio-frequency power supply, is fabricated to investigate discharge characteristics and ozone generation characteristics in accordance with variation of gap spacing of electrodes.

key words : ozone, co-axial cylinder-type ozonizer, radio frequency, discharge, gap spacing.

1. 서 론

오존은 1839년 물의 전기분해를 연구하던 C.F. Schonbein에 의해 발견된 이래, 1857년, Werner von

Siemens가 가스의 방전에서 오존을 발생시키며, 근대적인 공업용 오존발생기를 만들기까지 20여년의 기간동안 명확한 물질 규명에 많은 과학적 논쟁을 불러일으켰다.

* 정회원 : 영남대 전자정보공학부 박사과정 수료
E-mail : bjchun@yu.ac.kr

** 정회원 : 영남대 전자정보공학부 교수 · 공박

*** 정회원 : 경주대 컴퓨터전자공학부 교수 · 공박

**** 정회원 : 구미1대학 전기과 교수 · 공박

접수일자 : 2001년 9월 27일

1차심사일 : 2001년 10월 4일

심사완료일 : 2001년 11월 2일

방전갭 변화에 따른 동축 원통형 오존발생기의 방전특성과 오존생성특성

Siemens에 의해 개발된 오존발생기는 가스방전을 이용한 것으로 근대의 상업용 오존발생의 주축이 되는 무성방전(silent discharge)을 이용한 오존발생기이다[1]~[4].

오존은 본래 자극적인 냄새를 갖는 무색의 기체로서, 불소(F) 다음의 산화력을 갖는 강력한 산화제이다. 이러한 특성으로 살균제, 살(殺)바이러스제, 표백제 등으로 사용되기도 하며, 상온에서는 산소로 환원된다. 따라서 2차적 오염이 없기 때문에 다른 산화제에 비해 큰 장점을 갖는다.

그러나, 수송과 저장이 불가능하여 사용장소에 오존발생기를 설치하여 사용하여야 하므로 오존발생기의 효율향상과 소형, 경량화는 오존의 제조 및 사용을 위해 중요한 요소로 부각되어 많은 연구가 이루어지고 있다[5]~[8].

따라서 본 논문에서는 환경개선에 다양하게 이용되고 있는 오존발생을 위하여, 고주파전원을 사용한 오존발생기를 제작하여 오존발생전극의 간극변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 살펴보고, 오존발생을 위한 최적의 방전갭을 구하고, 이 때의 방전특성을 살펴보고자 하였다.

2. 다중방전형 오존발생기의 방전기구 및 오존생성기구

2.1 방전갭이 방전에 미치는 영향

고순도의 원료가스를 낮은 온도에서 오존발생기로 공급하면서 효율적으로 열을 제거하면 다음의 공식에 의해 최적조건의 방전간극을 구성할 수 있으며, 이 결과를 이용하면 보다 나은 오존발생효율을 얻을 수 있다.

$$V \propto PG \tag{1}$$

여기서, V : 적용전압 ([V])

P : 방전간극의 기체압력([kg/cm²])

G : 방전간극의 폭([mm])

또한 방전간극에 따른 환산전계강도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.[6]

$$E/N = (Vs + Ve) / 2dN \tag{2}$$

Vs : 방전개시전압 ([V])

Ve : 방전소멸전압 ([V])

d : 방전갭길이 ([cm])

N : 입자밀도([1/cm²])

2.2 방전갭에 따른 원료가스 유속과 체류시간

표 1은 본 연구에서 사용된 오존발생기의 내부유속과 체류시간을 나타낸 것이다.

표어서와 같이 내부전극의 직경 변화에 따라 유로의 단면적이 변화하므로, 체류시간과 유속이 변화함을 알 수 있다.

이러한 결과는 체류시간에 따른 냉각효과의 변화와 오존의 생성과 소멸의 상관관계를 해석하는 기초적 자료로 활용된다.

표 1. 방전갭의 변화에 따른 방전공간 내의 유속계산

Table 1. Calculated flow-rate of discharge space with varying discharge gap

단위 : [mm]

내부전극 (SUS 직경 ϕ)	16	24	30	40	50
방전갭	22	18	15	10	0.5
유전체 (내경×외경)	6×10	6×10	6×10	6×10	6×10
유로 단면적 (A[mm ²])	26.25	23.74	21.19	15.7	8.64
방전공간 ([cm ³])	5.25	4.75	4.24	3.14	1.73
체류시간[sec] (1[l/min] 공급시)	31.5	28.5	25.4	18.8	10.4
유속[cm/sec] (1[l/min] 공급시)	0.63	0.70	0.79	1.06	1.93

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 실험에 사용된 전원장치는 인버터와 트랜스로 구성된 고주파 전원장치(입력: AV 220[V], 60[Hz], 출력: 2,200[V], 10~50[kHz])를 사용하였다.

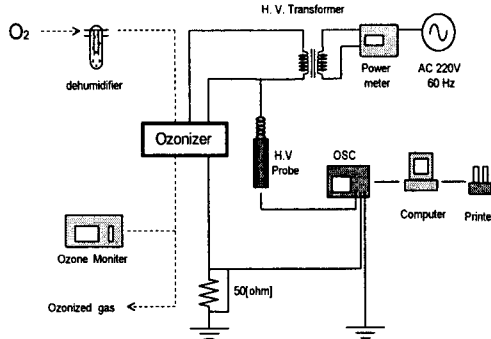


그림 1. 실험장치의 구성도
Fig. 1. A schematic diagram of experimental apparatus

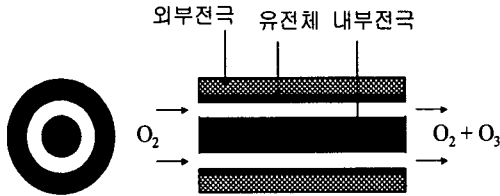


그림 2. 동축 원통형 오존발생전극
Fig. 2. Co-axial type electrodes

또한, 오존발생전극은 그림 2와 같은 구조의 내부 전극으로 각각 다른 직경의 스테인레스(SUS)봉(1.6, 2.4, 3.0, 4.0 및 5.0[mm])을 사용하였으며, 석영유리(내경×외경 : 6 × 10[mm])를 유전체로 하여 유전체 외부에 동 테이프(두께 : 0.1[mm])를 밀착하여 외부전극으로 사용하였다.

또한 방전부의 길이는 200[mm]로 고정하고, 방전 갭의 변화(2.2, 1.8, 1.5, 1.0 및 0.5 [mm])에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구·검토하였다.

그림 2에서 보는 바와 같이 원료가스로는 제습기를 통과한 산소(O₂)를 사용하여 10[%]이하의 습도로 유지시킨 후 유량계를 통해 각각 2, 5, 10, 15 및 20 [ℓ/min]의 유량(Q)으로 일정하게 오존발생기에 공급하였다.

방전시의 방전전압(V_d) 및 전류(I_d)는 고전압 분압기(분압비 = 2000 : 1), 무유도 저항(저항값 = 50[Ω]) 및 Digital Storage Oscilloscope(LeCroy 9350AL, 500MHz, 1Gs/s)로 측정된 후, 파형은 personal computer(CPU 80586)와 printer로 출력하였다.

방전전력(W_d)은 digital power meter(0 ~ 500[V], 0 ~ 20[A], 0 ~ 9999[W], accuracy : ±0.2[%], Light

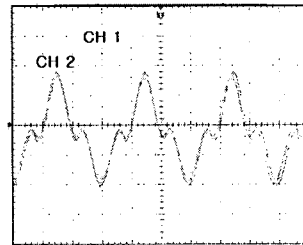
Star 社)를 이용하여 방전시의 전력, 전원장치의 전력 손실, 선로손실 등을 포함한 전원 입력단에서 오존발생장치 전체회로에 소모되는 전력을 측정하였다.

오존생성농도(O_{3con})를 측정하기 위하여 오존발생기 내에서 발생한 오존화 가스를 매 실험마다 0.3ℓ/min)로 sampling 하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존 monitor(0 ~ 100,000[ppm], Okitronics 社, Japan)로 측정하여, Q 및 W_d의 변화에 따른 오존생성농도(O_{3con}), 오존발생량(O_{3g}) 및 오존생성수율(O_{3Y}) 등을 측정 및 계산하였다.

매회 측정 시 V_d, I_d, W_d 및 O_{3con}을 각각 5회 측정하여 그 평균치를 채택하였다. 그리고 오존발생기의 방전공간 내에 존재하는 불순물을 제거하고, 방전 환경을 일정하게 하기 위하여 전압을 인가하지 않고 매 유량마다 Q를 일정하게 하여 3분 정도 강제 배기시킨 후 측정을 하였다.

3.2 전원장치의 특성

그림 1과 같이 장치를 구성한 후, 전원장치의 입력전압을 변화시켜 무부하시 전원장치에서 출력되는 파형을 고전압 프로브와 오실로스코프로 측정된 결과 그림 3과 같은 파형을 얻을 수 있었다.



CH1, CH2 : 2[kV/div], 20[μs/div]

그림 3. 전원장치의 출력전압 파형
Fig. 3. Output voltage waveform of power supply

그림 3과 같이 전원장치의 출력단에서는 고주파의 교류고전압이 180[°]의 위상차로 형성되었다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전력변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성

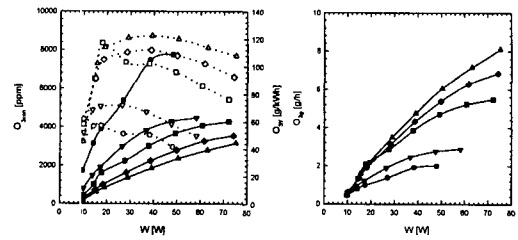
그림 4와 그림 5는 내부전극의 직경을 변화(1.6,

방전갭 변화에 따른 동축 원통형 오존발생기의 방전특성과 오존생성특성

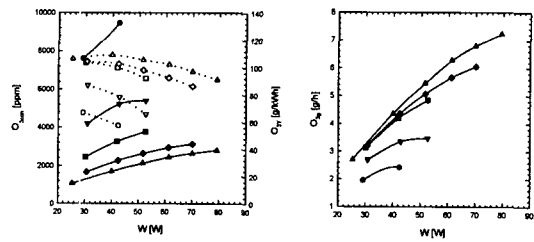
2.4, 3.0, 4.0 및 5.0 [mm]시켜 내부전극과 외부전극 사이의 갭을 각각 2.2, 1.8, 1.5, 1.0 및 0.5 [mm]로 변화시켰을 때, 입력전력의 상승에 따른 오존생성특성을 나타낸 그래프이다.

그림 4에서는 각각의 방전갭에서 유량을 변화시킬 때, 입력전력의 상승에 따른 오존생성특성을 나타낸 그래프이다.

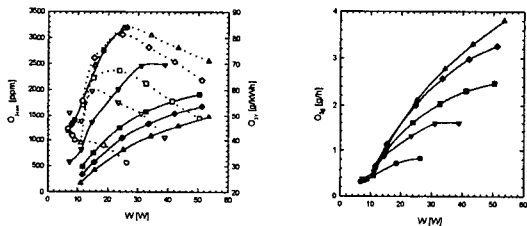
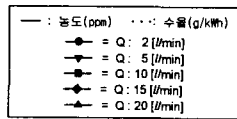
표 1에서 나타낸 바와 같이 동일전력에서 원료가스의 유량이 적게 되면 방전공간 내의 원료가스 체류시간이 길어지게 되어, 방전공간에서 오존의 생성에 기여하는 산소 활성화종 생성과 여기산소원자의 생성이 활발해지므로 오존생성이 증대된다. 따라서 농도가 급격히 증가함을 알 수 있다.



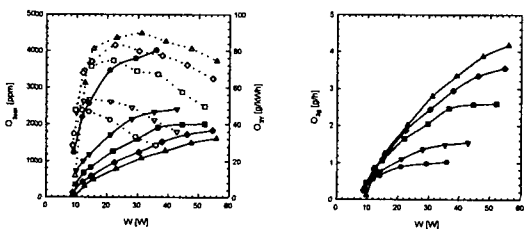
(d) 방전갭이 1.0 (mm) 인 경우



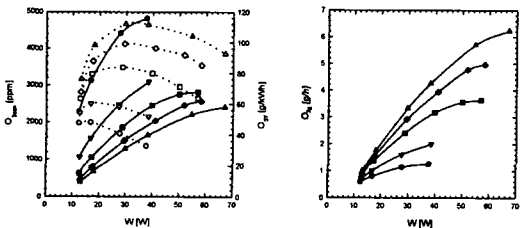
(e) 방전갭이 0.5 (mm) 인 경우



(a) 방전갭이 2.2 (mm) 인 경우



(b) 방전갭이 1.8 (mm) 인 경우



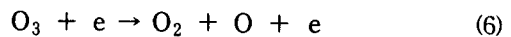
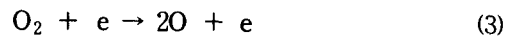
(c) 방전갭이 1.5 (mm) 인 경우

그림 4. 유량변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성

Fig. 4. Ozone concentration, yield and generation characteristics with varying flow-rate

그러나, 그림 4에서와 같이 각각의 경우 입력전력을 증가시키에 따라 고주파 전원에서 출력되는 전력에 의하여 동축원통형 오존발생기 내의 방전공간(오존이 생성되는 공간)에는 고주파 방전에 의해 온도가 상승함과 동시에 높은 열이 발생하게 된다.

이로 인하여 입력전력이 증가함에 따라 식 (3) 및 (4)와 같이 방전공간에서 발생하는 오존의 생성반응과 식 (5) 및 (6)과 같은 해리반응 중 온도의 상승에 따른 오존의 해리반응이 활성화되어 오존의 농도는 일정농도이상이면 점차 증가가 둔화되는 모습을 보인다.



여기서 e : 전자, O : 산소원자, O₂ : 기저상태의 산소분자, O₃ : 오존

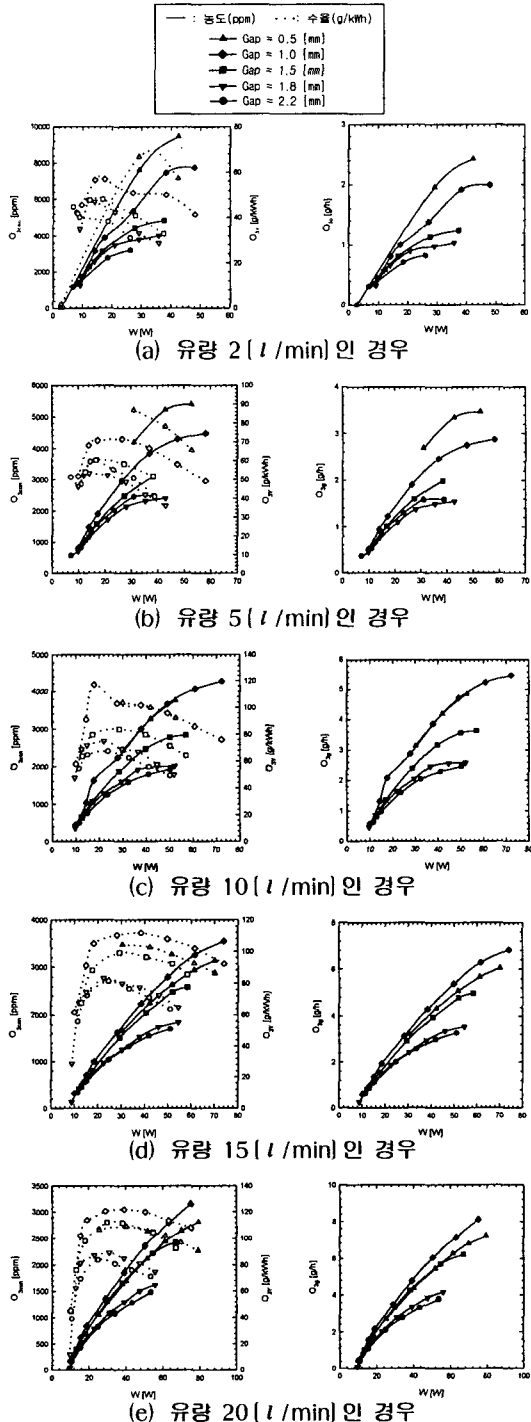


그림 5. 방전갭 변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성

Fig. 5. Ozone concentration, yield and generation characteristics with varying discharge gap

또한, 오존수율 특성은 입력전력의 증가에 따라 증가되다가, 입력전력의 증가와 방전공간 내의 온도 상승으로 인하여 오존농도의 상승이 둔화되어, 오존수율 역시 저하하게 된다.

이는 동일 비율로 증대되어 가는 전력의 상승에 따라 오존농도도 역시 증대되어야 하나, 방전공간내의 온도상승에 따라 수율은 저하하는 특성을 나타내게 된다.

그리고, 그림 4 및 5의 우측은 각 경우의 오존발생량을 나타낸 그래프로 오존농도의 증가와 함께, 동일한 추세로 증가하는 경향을 나타내게 된다.

이것은 오존발생량이 원료가스의 유량과 오존의 농도에만 관여하기 때문으로 오존생성농도특성 그래프와 동일한 특성을 나타낸다.

또한 일정 전력이상에서는 방전공간의 급격한 온도상승으로 오존의 생성보다 해리가 증가하여 오존농도측정이 곤란해지게 된다. 이것은 원료가스의 유량과 방전갭이 작을수록, 낮은 입력전력에서 발생된다. 그러므로 각각의 그래프에서 상승되는 곡선이 일정전력 이상일 경우에는 더 이상 표현할 수 없게 되었다.

그림 5는 각각의 유량에서 방전갭을 변화시킨 경우, 입력전력의 상승에 따른 오존생성특성을 나타낸 그래프이다.

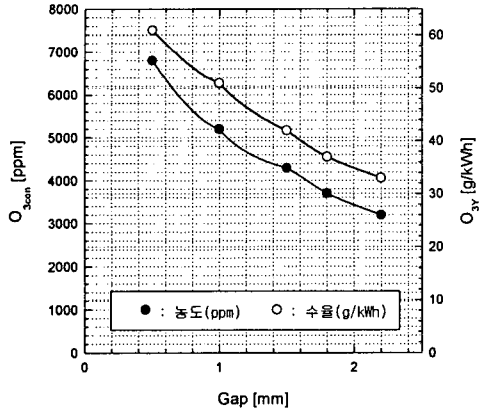
4.2 방전갭 변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성

그림 6은 입력전력이 26[W], 원료가스의 유량 2 [l/min]일 때, 방전간극변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성을 나타낸 그래프이다. 그림과 같이 동일한 조건에서 방전갭이 작아짐에 따라 오존농도, 수율 및 발생량이 상승하여 작은 갭에서 보다 향상된 오존특성을 얻을 수 있었다.

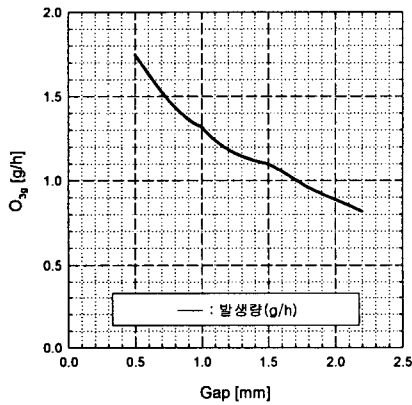
이것은 식 (1)과 식 (2)에 나타나는 바와 같이 방전갭이 작아지게 되면, 방전공간 내에서 방전이 일어날 때, 낮은 전압에서 방전이 개시될 뿐만 아니라 방전갭의 저하로 방전공간의 전계강도가 높아져 오존의 생성에 필요한 활성산소와 여기산소이온의 발생을 높여준 결과로 생각된다.

그 결과, 그림 6과 같이 방전갭이 작을수록 오존농도가 상승하게 되고, 이에 의하여 오존발생량도 상승하게 된다.

방전갭 변화에 따른 동축 원통형 오존발생기의 방전특성과 오존생성특성



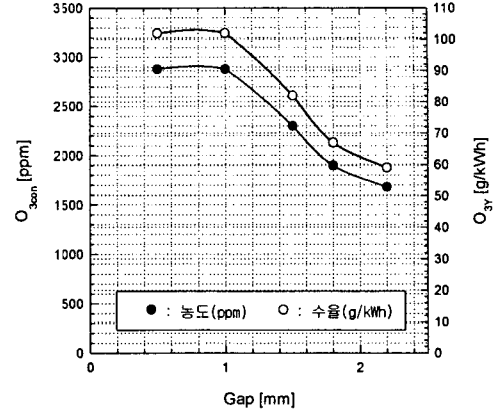
(a) 오존농도 및 수율특성



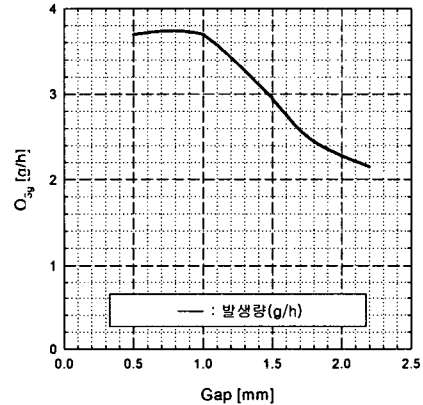
(b) 오존발생량특성

그림 6. 유량 2(l/min)일 때, 방전갭 변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성

Fig. 6. Ozone concentration, yield and generation characteristics at 2(l/min) with varying discharge gap



(a) 오존농도 및 수율특성



(b) 오존발생량특성

그림 7. 유량 10(l/min)일 때, 방전갭 변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성

Fig. 7. Ozone concentration, yield and generation characteristics at 10(l/min) with varying discharge gap

그림 7은 그림 6과 같이 동일한 조건에서 입력전력 36[W], 원료가스의 유량 10[l/min]인 경우의 오존농도, 수율 및 발생량 특성을 나타낸 그래프이다.

그림 8은 입력전력 50[W], 원료가스 유량 15[l/min]인 경우의 오존농도, 수율 및 발생량 특성을 나타낸 그래프이다.

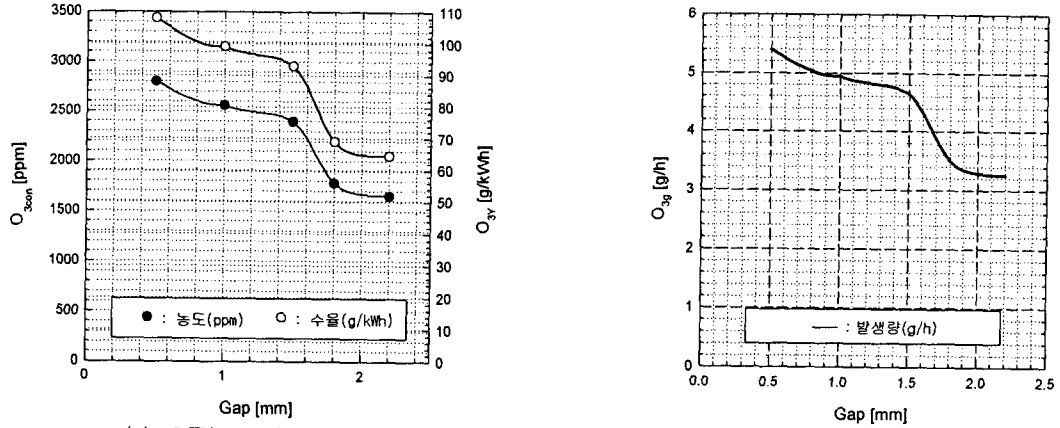
그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 기본적으로 방전간극이 좁아짐에 따라 오존생성특성이 향상되는 것은 동일한 경향을 보이고 있다.

그러나, 그림 7과 같이 유량이 10[l/min]로 증가

함에 따라 전극의 간극이 1[mm]이하에서는 큰 변화가 없는 것을 볼 수 있고, 유량이 15[l/min]으로 증가하게 되면 전극의 간극이 1.5[mm]이하에서 큰 차이를 보이지 않게 된다.

이것은 표 1에 나타낸 바와 같이 원료가스 유량의 증가로 인한 방전공간의 유속의 증가가 고주파전원에 의해 발생한 다량의 열을 냉각시켜 준 결과로 생각된다.

표 2는 방전갭 변화에 따른 최대 오존생성특성치를 나타낸 것이다. 표 2에서 보는 바와 같이 오존생



(a) 오존농도 및 수율특성 (b) 오존발생량특성
 그림 8. 유량 15(l/min)일 때, 방전갭 변화에 따른 오존농도, 수율 및 발생량 특성
 Fig. 8. Ozone concentration, yield and generation characteristics at 15(l/min) with varying discharge gap

표 2. 방전간극변화에 따른 최대 오존생성특성치
 Table 2. The maximum ozone generation quantities with varying discharge gap

최대치		조 건	
농도 [ppm]	9455	내부전극직경[mm]	5.0
		유량[l/min]	2
		전력[W]	42.5
발생량 [g/h]	8.1	내부전극직경[mm]	4.0
		유량[l/min]	20
		전력[W]	75.2
수율 [g/kWh]	122	내부전극직경[mm]	4.0
		유량[l/min]	20
		전력[W]	39.1

성능도는 방전갭이 가장 작은 0.5[mm]에서 최대 9455[ppm]을 얻을 수 있었으며, 오존발생량과 수율은 방전갭 1.0[mm]에서 각각 최대 8.1[g/h] 및 122[g/kWh]를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 환경개선에 다양하게 이용되고 있는 오존발생을 위하여, 고주파전원을 사용한 오존발생기를 제작하여 오존발생전극의 방전갭 변화에 따른 오존생성특성을 살펴보고, 오존발생을 위한 최적의 방전갭을 구하고자 하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 동일조건 하에서 유량이 작을수록 오존생성능도와 발생량은 상승하고, 오존생성수율은 감소하는 특성을 보인다.

(2) 동일조건하에서 전극의 갭이 좁을수록 오존생성능도와 발생량 및 오존생성수율 모두 상승된 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 방전갭 변화에 따른 최대 오존생성능도는 방전갭이 가장 작은 0.5[mm]에서 최대 9455[ppm]을 얻을 수 있었으며, 오존발생량과 수율은 방전갭 1.0[mm]에서 각각 최대 8.1[g/h] 및 122[g/kWh]를 얻을 수 있었다.

(4) 최적의 방전조건을 얻기 위한 방전갭은 방전전극의 형태와 특성에 따라 많은 차이를 가지므로 차후, 좀더 세밀한 방전갭의 변화에 따른 실험이 동반되어야 하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 李 廣植, 李 東仁, “氣體放電에 의한 오존생성과 그應用”, 大韓電氣學會 放電·高電壓(研), 學術發表會 論文集, pp.32 ~ 35, 1992.
- [2] 李 相根, “이중갭형 오존발생기의 온도특성”, 98한국조명·전기설비학회 학술발표회 논문집, pp 127~130, 1998.
- [3] 전병준, 이광식의 “3상전압을 이용한 중점방전형 오존발생기의 특성”, 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.2259 ~ 2261, 1999.

방전값 변화에 따른 동축 원통형 오존발생기의 방전특성과 오존생성특성

- [4] 전병준, 이광식의 “개선된 램프형 오존발생기에 관한 연구”, 한국조명전기설비학회 논문집, pp.109 ~ 117, 1999.
- [5] 山部長兵衛, “沿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.
- [6] 服部 仁, “オゾン生成にける放電の重疊効果”, TIEE Japan, Vol.112-A, No.1, pp.41 ~ 46, 1992.
- [7] B.Eliasson, “Ozone science and engineering”, Vol.13, pp.365 ~ 373, 1991.
- [8] 石岡文道, “短ギャップ円筒形オゾンナイザ”, ED-98-99.

본 연구는 (재)동일문화재단의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

◇ 저자소개 ◇

이 상 근 (李相根)

1971년 1월 19일생. 1996년 계명대학교 물리학과 졸업. 1998년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재, 영남대 대학원 박사과정 수료.

전 병 준 (全炳俊)

1970년 10월 5일생. 1996년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 수료.

박 용 권 (朴容權)

1953년 3월 22일생. 1990년 한국방송통신대학 법학과 졸업. 1996년 영남대 환경대학원 환경설계학과 졸업. 현재 영남대학교 전기공학과 박사과정 수료, 대구광역시청 상수도본부 재직중.

이 광 식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대학교 공대 전기공학과 졸업. 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 1995~1998년 당학회 대구·경북 지회장 역임 및 본부지회장. 대한전기학회 방전·고전압 연구회 간사장 역임. 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수(박사).

최 상 태 (崔相泰)

1957년 8월 8일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 독일 Bochum 대학교 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경주대학교 컴퓨터 전자공학부 조교수.

송 현 직 (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 구미1대학 전기과 전임강사.