

세라믹(Ba-Ti-Si) 방전관의 오존발생특성

이태관[†] · 이동훈*

계명대학교 환경과학과 · *환경관리공단

(2006년 2월 27일 접수, 2006년 5월 10일 채택)

A Study on Ozone Generation Characteristic Using Ba-Ti-Si Ceramic Tube

Tae-Gwan Lee[†] · Dong-Hoon Lee*

Environmental Management Corporation · *Department of Environment Science, Keimyung University

ABSTRACT : This paper is to be researched into ozone generation character of Bi-Ti-Si type high dielectric ceramic catalyst discharge tube. And conditions of basic experiment are the outside diameter of discharge tube : 52 mm, the length of discharge tube : 350 mm, the frequency : 900 Hz, the temperature of cooling water : 25°C, quantity of flow : 5, 10, 20 L/min, pressure : 1.2, 1.4, 1.6 atm, and distance of discharge gap : 0.4, 0.6, 0.8 mm. Ozone generation characteristics were measured to consumption power. At quantity of flow : 20 L/min, discharge gap : 0.6 mm, pressure : 1.6, and consumption power : 150 W, Maximum ozone generation efficiency of 175 g/kWh was obtained. And a range of maximum ozone generation efficiency was measured below the flow quantity of 20 L/min at below pressure of 1.6 atm. However, Maximum ozone generation efficiency was measured over the flow quantity of 20 L/min at over pressure of 1.6 atm.

Key Words : Ozone, Silent Discharge, Ceramic, Dielectric

요약 : 본 논문은 Ba-Ti-Si형 고유전체 세라믹촉매방전관의 오존발생특성에 관해 연구이다. 기본적인 실험조건은 방전관의 외부직경 52 mm, 방전관 길이 350 mm, 전원 주파수 900 Hz, 냉각수 온도 25°C, 유량 5, 10, 20 L/min, 방전관 내부 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm 그리고 방전관과 전극 사이는 0.4, 0.6, 0.8 mm이다. 그리고 실험결과 특성들은 오실로스코프상에 나타난 리사쥬 도형의 값을 환산한 소비전력으로 유량 20 L/min, 방전간격 0.6 mm, 압력 1.6 atm 그리고 반응기 내의 무성방전에 사용된 소비전력 150 W에서 최대 오존발생효율 175 g/kWh를 얻을 수 있었다. 그리고 최대 오존발생효율 영역은 1.6 atm 이하의 압력에서는 유량 20 L/min 이하에서 측정되었다. 또한 최대 오존발생효율의 영역은 1.6 atm 이상의 압력에서는 유량 20 L/min 이상인 경우에 오존발생 효율이 높아졌다.

주제어 : 오존, 무성방전, 세라믹, 유전체

1. 서론

현대 사회는 급속한 산업의 발달과 인구 증가 및 도시화 현상에 따른 대기 및 수질의 오염이 한 국가 내의 지형적인 문제에서 국경을 초월하는 국제적인 환경 파괴 문제로 부각되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 환경 관련 단체들이 노력 중에 있다. 특히 수질의 개선을 위해 더 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 그리고 이러한 수질의 개선을 위해서는 오존이 많은 문제점을 가짐에도 불구하고 집중적으로 사용되고 있으며, 또한 이러한 문제점을 개선하기 위하여 오존(O₃)의 반응특성 연구가 세부적으로 진행되고 있다.¹⁾

오존은 강한 산화제로 오염된 수질, 공기의 처리와 탈색, 살균 및 화학 합성 등에 사용되고 있다. 특히, 20세기 후반부터 각광받던 오존나이지의 실용화 연구는 현재에도 활발히 연구가 진행되어 고효율의 소형화 또는 대용량의 오존나이지

및 오존 발생 기구의 개발 단계에 있다.²⁾ 그리고 최근에 들어서는 인가 에너지와 오존 생성과의 상관관계를 데이터화하여 오존 발생을 예측하는 연구가 진행 중에 있는 실정이다.^{3,4)} 그러나 방전 공간의 가스 압력, 전극 간격 그리고 압력과 방전 공간의 거리와의 관계 등 상호 복합 변수들의 오존 생성 관계를 명확히 정립해 놓은 실험 결과 및 검토는 아직 미진한 실정이다.⁵⁾ 그리고 내부 전극 표면에 세라믹이 코팅된 형태의 방전관의 경우에는 세라믹 표면 온도는 방전 공간의 가스 온도와 오존 생성에 영향을 줄 수 있으므로 오존 생성 연구에 있어 주의해야할 사항이다. 본 논문은 소형화된 동축형의 고유전율을 가지는 Ba-Ti-Si 세라믹 방전관으로 다양한 파라미터에 따른 오존생성능도와 오존생성수율과의 관계에 대해서 조사하고, 이러한 실험결과와 상호비교를 통해 고유전율을 가지는 Ba-Ti-Si 세라믹방전관의 오존발생특성을 비교분석하였고, 이를 통해 최적조건을 도출하고자 하였다.⁶⁻⁹⁾

2. 실험

2.1. 실험 장치

[†] Corresponding author
E-mail: 2323444@hanmail.net
Tel: 018-582-3444

Fax: 061-691-8804

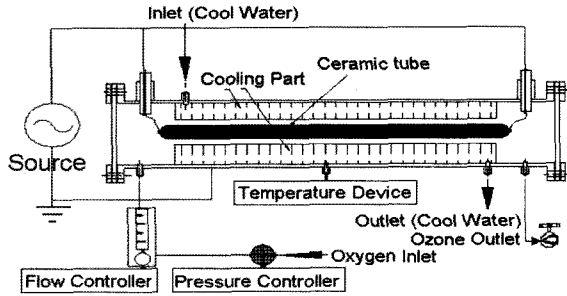


Fig. 1. The schematic diagram of experimental apparatus.

Fig. 1은 Ba-Ti-Si형 세라믹촉매방전관의 오존발생특성을 조사하기 위한 실험장치 개략도이다. 실험장치의 구성은 900 Hz 중주파 전원장치(PS Tec-900), Ba-Ti-Si 세라믹방전관, 방전관 온도측정기, 가스공급기, 가스 유량조절계, 방전관 내부 가스압 조절기와 오존측정기(Monitor Labs Inc. Model 8810) 등으로 구성되어 있다. 원료가스는 산소(O₂)를 사용하였고, 중주파수 고전압을 인가하였을 경우, 생성되는 오존 농도를 측정하여 오존 발생량과 수율을 계산하였고, 이 결과들을 바탕으로 하여 최적의 오존발생조건을 도출하였다. 그리고 방전공간은 원료가스의 흐름이 일정하도록 구성하였으며, 방전형태는 무성방전의 형태가 유지되도록 하였다. 오존생성실험의 파라미터는 유량, 방전 소비전력, 가스압력 및 방전거리 등을 주요변수로 하여 실험을 행하였다.

2.2. 전원 파형

Fig. 2는 실험에 사용된 무성방전 전원장치 900 Hz, 6 kV에서 전압 및 전류파형을 측정된 것이다. 사인파의 정현파 전압파형 1 주기에 대한 전류파형의 형태를 살펴보면, 방전이 유지되는 구간과 방전이 거의 나타나지 않는 휴지 구간을 볼 수 있는데, 방전전류는 정, 부전압이 최대 지점에 이를 때까지 흐르다가 전압이 최대 지점에서 하강하면서 전류가 대폭 줄어드는 특징을 가진다. 이는 일반적인 절연층을 가지는 무성방전 형태에 전류 전원이 인가될 때 나타나는 전형적인 방전특성을 보여주는 것이다. 즉 방전관 내부의 전극 표면에 최대 인가전압까지는 강한 전계의 지속적인 상승으로 전하 집중 즉 전하 흐름이 계속 지속되지만 전압이 하강을 하게 되면서 전하의 유전체 표면에서 전하가 집중되는 현상보다 전압이 하강함으로 인해 방전 공간 내의 하전 입자들 상호간에 중화현상이 전하 집중보다 더 강하게 작용하여 전류가 차후에 감소하는 특징을 보여주는 것이다.

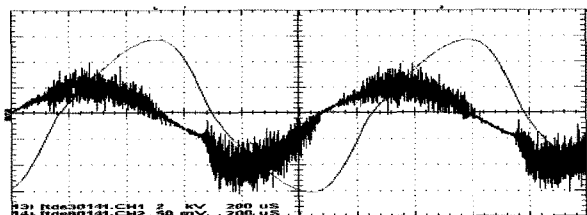


Fig. 2. Voltage and current wave of source.

그리고 이러한 과정에서 초기 인가전압이 충분한 방전을 유지할 수 있을 정도의 조건에 도달하게 되면, 고유전을 방전관 내부의 전극간의 방전에너지를 얻은 전자는 스트리머 형태로 성장하고 시간이 지나 전극간 전압이 상승하게 되면 전극간에 순간적으로 교락이 발생하게 된다. 이 때 교류 또는 펄스 형태의 주파수가 인가된다면 스트리머 내에 존재되어 있는 전하들은 유전체의 표면에 부분적으로 집적되었다가 순간적으로 소멸되는 현상을 반복적으로 야기할 것이다. 그리고 인가전압을 계속 상승시키면 방전전극 공간은 심한 교락으로 인해 전극 사이의 전계는 교락에 의해 순간적으로 약화되고, 그 결과 방전관 내부의 방전 형태는 불안정한 방전의 형태를 가지게 되며, 결과적으로 오존의 생성에 불리한 조건이 될 것으로 사료된다.

2.3. 세라믹 분석

Fig. 3의 (a)와 (b)는 Ba-Ti-Si 세라믹방전관과 그 표면을 SEM으로 촬영한 사진이다.

Ba-Ti-Si 세라믹은 비유전율(ϵ_r)이 부분적으로는 100에서 1000 이상의 강유전성을 가지는 성분으로 내부 전극의 상부에 도포되어 있다. 물질의 성분은 Ba(10%), Ti(30%), Si(60%)로 유리질(비유전율: 5) 방전관보다 유전 특성이 우수하게 제작되었다. 또한 방전시 유전체 표면의 열적 소모는 1000 μ m 정도의 얇은 고유전율인 Ba-Ti-Si형태의 세라믹을 사용함으로써 유전체 표면에서 일어나는 방전 에너지의 열적 소모를 줄일 수 있고, 그 결과 오존 생성 효율은 증가되는 원리에 의해 Ba-Ti-Si 세라믹 방전관을 제작하여 실험하였다. 일반적으로 오존 형성 과정은 크게 세 단계로 나누어 볼 수 있다. 첫째로, 산소분해 단계로 즉, 전리의 과정으로 에너지가 계속 유입되는 영역에서 전극간의 강한 전계에너지를 가지는 전자에 의해 산소(O₂)의 파괴가 일어난다. 둘째로, 에너지가 감소하는 구간으로 산소와 오존의 생성이 일어나고, 셋째로, 전원의 휴지기간 즉, 산소(O₂) 분자를 충분히 여기 혹은 전리를 시키지 못하는 암류 구간과 가스 배기 이후의 저에너지 구간으로 오존의 분해 즉, 산소의 환원이 일어난다. 통상 이 시

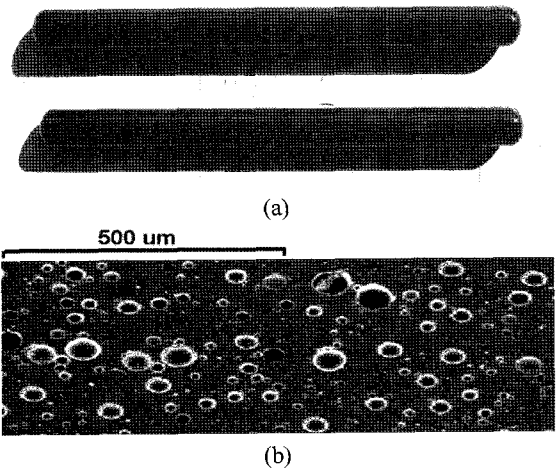


Fig. 3. Ceramic tube(a) and SEM image of surface(b).

간은 수[ms] 이상으로 생성과 분해가 반복된다는 보고가 있다.⁴⁾ 그리고 미소거리 방전에서는 화학적인 반응 계수가 가스의 온도에 강하게 의존하므로 매우 중요한 변수이다. 또한, 가스의 유량과 속도, 압력도 중요한 변수이고, 각각의 경우에 있어 오존 발생 특성은 많은 차이점을 가질 수 있다.

3. 결과 및 고찰

아래 그래프 전체는 방전관 외경 $\varnothing 52$ mm, 방전관 길이 350 mm, 주파수 900 Hz, 냉각수 25 $^{\circ}$ C를 기본 실험조건으로 하여 유량 5, 10, 20 L/min, 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm, 방전 Gap 0.4, 0.6, 0.8 mm 그리고 소비전력을 가변변수로 하여 측정 한 그래프이다. 무한 조건에서 오존발생특성을 실시할 수 없으므로 압력은 1.6 atm 이하, 인가된 전원전압을 낮게 설정하기 위해 방전 공간거리는 1 mm 이하, 유량은 20 L/min 이하에 대해 소비전력에 따른 오존발생특성을 측정하여 분석하였다.

Fig. 4의 (a), (b)는 유량 5 L/min, 압력 1.2 atm 조건에서, 방전거리에 대한 소비전력 변화에 따른 오존발생특성을 나타낸 것이다. 방전거리 0.4, 0.6, 0.8 mm 중에서 0.6 mm일 때, 오존발생농도가 가장 높게 나타남을 알 수 있고, 0.8 mm

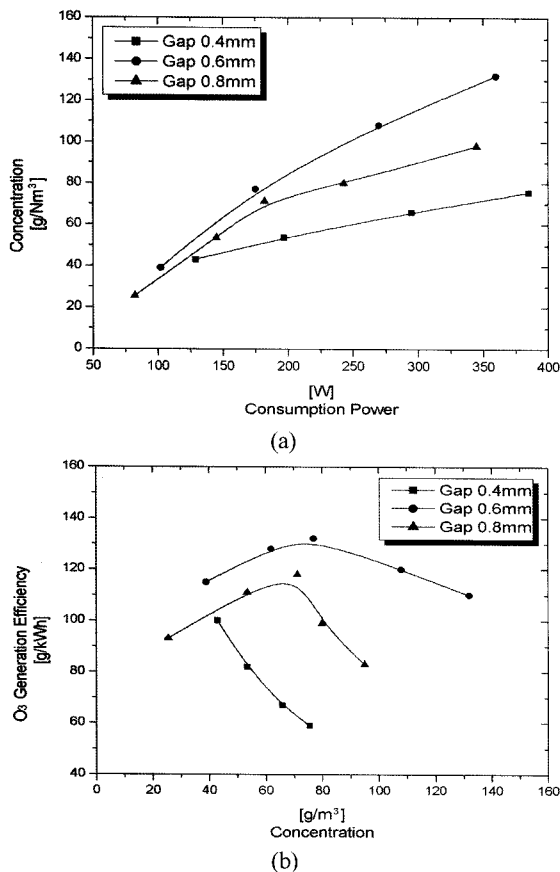


Fig. 4. Ozone generation characteristic to discharge gap and consumption power(Flow rate : 5 L/min and Tube pressure : 1.2 atm).

에서는 방전거리가 커짐에 따라 방전공간의 절연이 상승하게 되고 그로 인하여 인가전압을 상승시켜야 했으며, 방전 공간 사이거리가 늘어남으로 인해 전자 방출에 의한 내부 방전영역의 임피던스가 0.6 mm의 경우보다 불안정해지는 경향을 보였다. 또한 동일한 전력에서 오존발생농도가 낮아지는 경향을 보였다. 그리고 0.4 mm 방전거리의 경우에는 전극 사이의 거리가 0.6 mm보다 작은 경우로 전자 방출이 보다 용이하게 일어날 수 있는데 그로 인해 오존이 쉽게 생성되리라 예견할 수 있지만 0.6 mm의 경우와 비교하여 보면, 방전 공간에서 불안정한 방전 현상으로 인해 오히려 0.6 mm의 실험 결과보다 다소 적게 나타나는 경향을 보였다. 다시 말하면 방전공간의 마주보는 두 전극 사이의 거리가 매우 짧아지면 인가 산소 원자에 적정 에너지 이상의 에너지가 방전관 내부 가스 분자에 중복적으로 가해질 수 있어 결과적으로 방전 에너지가 오존을 파괴시키거나 열적으로 동작하게 되고, 그 결과 오존 발생 효율을 크게 떨어지게 된다고 판단된다. 그리고 기본 조건에 유량 5 L/min, 압력 1.2 atm에서의 실험결과를 살펴보면, 오존발생수율 및 발생량 측면에서 0.6 mm 정도가 방전 공간의 두 전극간 거리로 Fig. 4에서 가장 우수하게 나타났다.

Fig. 5의 (a), (b)는 유량 10 L/min, 방전거리 0.6 mm 조건에서 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm에 대한 소비전력의 변화에 따른

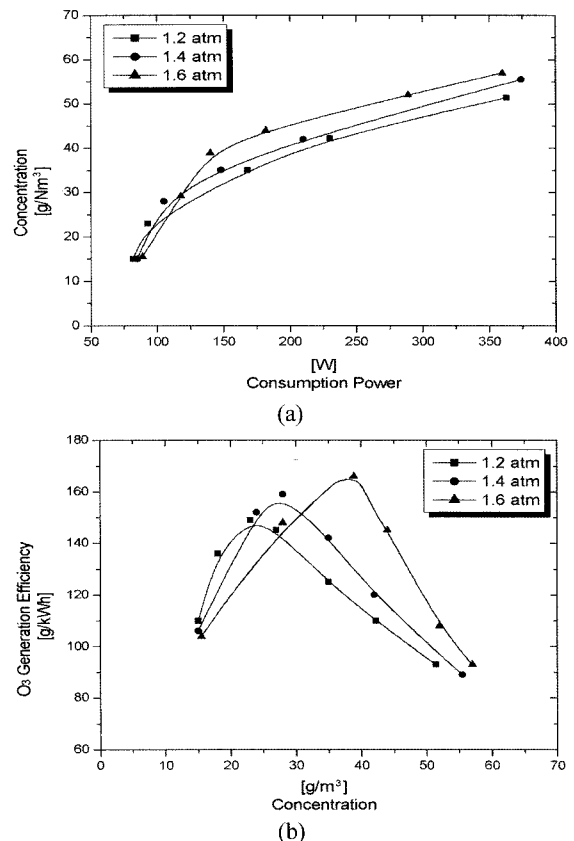


Fig. 5. Ozone generation characteristic to gas pressure and consumption power(Flow rate : 10 L/min and Discharge gap : 0.6 mm).

오존발생특성을 나타낸 것이다. 실험결과 방전관의 내부 공간 압력이 1.6 atm일 때 단위전력당 가장 우수한 발생농도를 나타내었고, 다음으로 1.4 atm, 1.2 atm의 순서로 오존발생의 최대 오존발생수율을 얻었다. 1.6 atm의 압력보다 낮을 경우를 본 그래프에서 오존발생 최적조건 즉, 1.6 atm와 비교했을 때 상대적으로 작은 부분이지만 방전구간에 1.6 atm의 경우보다 적정 이상의 에너지가 투입되거나 또는 방전 공간에서 전자와 산소 분자간의 충돌 확률이 낮아지기 때문에 오존 발생농도에 대한 오존발생수율이 낮게 나타났다고 판단된다. 이로써 오존발생에 있어 압력은 중요한 변수임을 알 수 있다.

Fig. 6의 (a), (b)는 유량 20 L/min, 방전거리 0.6 mm 조건에서, 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm에 대한 소비전력의 변화에 따른 오존발생특성을 나타낸 것이다. 압력이 1.6 atm일 때 단위전력당 가장 우수한 오존발생수율을 나타내었고, 앞의 Fig. 5의 결과와 동일한 경향을 나타내었다. 단지 유량이 10 L/min에서 20 L/min으로 두 배 증가한 경우, 유량이 10 L/min인 Fig. 5의 (b)에서 오존농도가 40 g/m³일 때 최대 오존발생수율은 166 g/kWh이었고, 유량이 20 L/min인 Fig. 6의 (b)에서는 오존농도가 20 g/m³일 때 오존 발생 수율은 175 g/kWh이었다. 이는 일정한 오존발생용 방전관의 오존발생특성 측면에서 보면 유량도 중요한 변수임을 말해주고 있으며, 유량

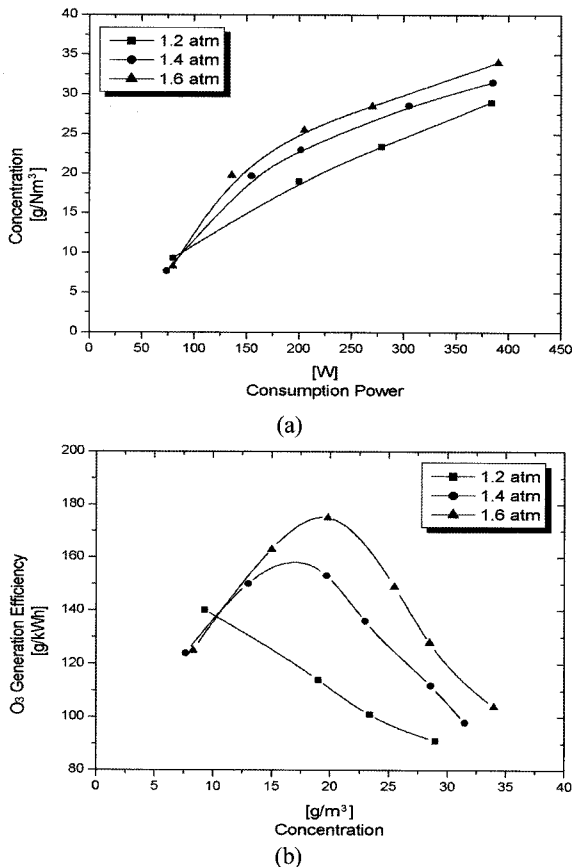


Fig. 6. Ozone generation characteristic to gas pressure and consumption power(Flow rate : 20 L/min and Discharge gap : 0.6 mm).

이 증가되면 방전 에너지가 10 L/min보다 20 L/min에서 더 유용하게 작용하고 있음을 의미한다고 판단된다. 그러나 유량이 너무 많아지면 방전 공간의 압력 및 유속분포가 비대칭적이 되어 실제 방전관 내부에서 스트리머가 한쪽으로 치우치는 등의 방전 불안이 야기되었고, 방전에너지가 단위 산소 분자를 오존으로 변환시키는데 충분한 시간을 가지지 못함으로 인하여 오존농도와 오존발생수율이 현저히 낮아지는 경향을 보였다. 그리고 오존발생농도 측면에서 보면 인가가스 유량이 적을수록, 방전관 내부 산소 가스압이 작을수록 전자 방출이 용이하여 낮은 유량에서 쉽게 높은 농도의 오존을 발생하는 경향을 보였다.

Fig. 7의 (a), (b)는 유량 10 L/min, 방전거리 0.8 mm, 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm에 대한 소비전력의 변화에 따른 오존발생특성을 나타낸 것이다. 앞의 Fig. 5의 (a)와 같이 압력이 1.6 atm에서 최대 오존발생농도를 나타내고 있으며, 최대 오존발생수율도 Fig. 5의 (b)의 경향과 같이 1.6 atm에서 최대 오존발생수율을 나타내고 있다. 하지만 방전거리가 0.6 mm인 Fig. 5의 (b) 최대 오존발생수율 166 g/kWh보다 24 g/kWh가 줄어든 최대 오존발생수율 142 g/kWh를 나타내는 특성을 보였다. 전반적으로 Fig. 7의 그래프 형태는 Fig. 5와 6의 그래프와 동일한 경향을 나타내고 있다.

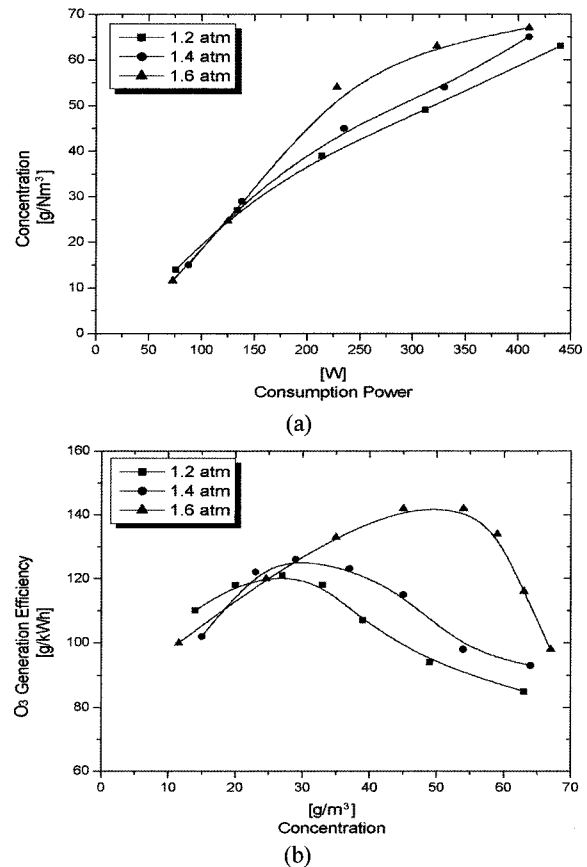


Fig. 7. Ozone generation characteristic to gas pressure and consumption power(Flow rate : 10 L/min and Discharge gap : 0.8 mm).

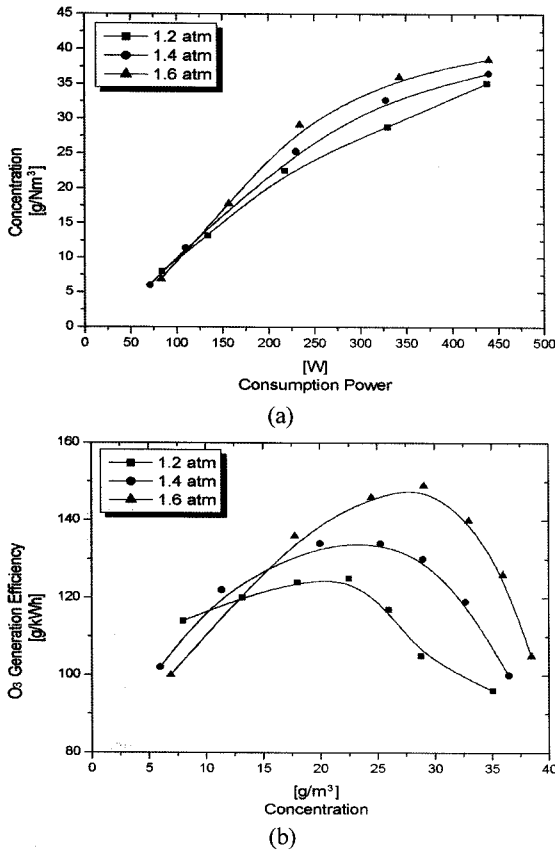


Fig. 8. Ozone generation characteristic to gas pressure and consumption power(Flow rate : 20 L/min and Discharge gap : 0.8 mm).

Fig. 8의 (a), (b)는 유량 20 L/min, 방전거리 0.8 mm 조건에서, 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm에 대한 소비전력의 변화에 따른 오존발생특성을 나타낸 것이다. 본 그래프는 압력이 1.6 atm 일 때 단위전력당 가장 우수한 오존발생농도 및 수율을 나타내고 있으며, 전반적인 실험결과는 앞의 Fig. 5, 6의 (a), (b)의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그리고 본 실험 조건에서의 최대 오존발생수율은 전체 실험에서 최대 오존발생수율을 나타내는 Fig. 6의 (b)와 비교해 보면, 최대 175 g/kWh 보다 26 g/kWh 줄어든 149 g/kWh를 나타내었다. 그리고 Fig. 7과 8의 실험조건을 비교해 보면, Fig. 8의 조건에서 최대 오존발생수율이 아주 미세하게 높게 나온 결과를 바탕으로 분석해 보면, Fig. 8의 유량 20 L/min가 유량 측면에서 최대 오존발생수율을 나타낼 것으로 예측이 가능하고, 유량 20 L/min 이상에서의 실험결과에서도 오존발생농도 및 수율은 감소경향을 나타내었다.

Fig. 9의 (a), (b)는 압력 1.2 atm, 방전거리 0.6 mm 조건에서, 유량 5, 10, 20 L/min에 대한 소비전력의 변화에 따른 오존발생특성을 나타낸 것이다. Fig. 8의 (a) 오존발생농도 그래프를 살펴보면, 유량 5, 10, 20 L/min에 대해 압력 1.2 atm에서의 오존발생특성은 압력 1.6 atm과 비교하면 상당한 차이점을 나타내고 있다. 이는 압력이 낮아짐으로 인해 방전 개시 전압이 낮아지고, 그로 인하여 최대 오존발생수율

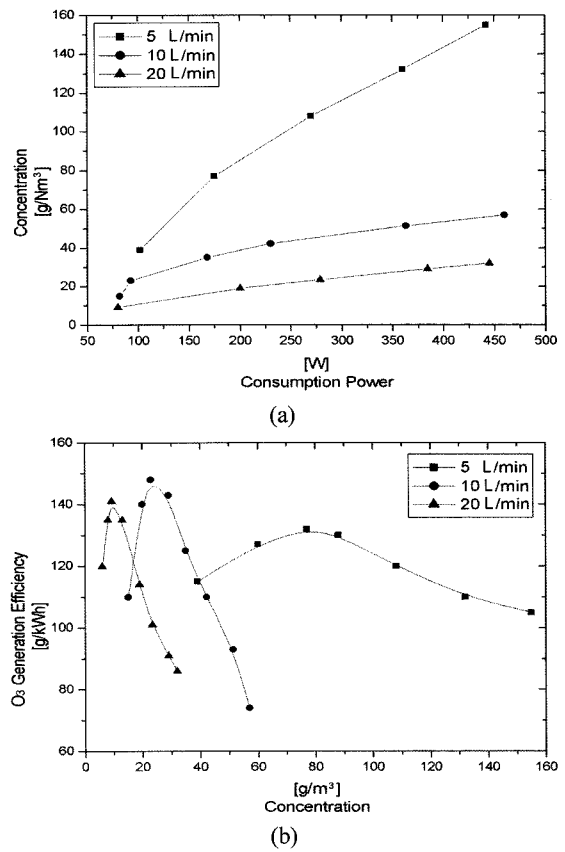


Fig. 9. Ozone generation characteristic to gas flow rate and consumption power(Gas pressure : 1.2 atm and Discharge gap : 0.6 mm).

의 시점도 가변할 수 있음을 나타낸다. 특히 Fig. 9의 (b)와 Fig. 6의 (b)에서의 최대 오존발생수율 그래프를 이외의 그래프들과 상호 비교하여 분석해 보면, 압력이 올라갈 경우에는 유량도 상대적으로 증가하여야 오존발생수율이 올라갈 수 있음을 알 수 있고, 오존의 농도를 높이기 위해서는 수율은 떨어지더라도 어느 정도까지는 유량과 압력이 낮을수록 유리한 점이 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 9의 최대 오존발생수율이 Fig. 6의 최대 오존발생수율보다 낮게 나타나는 것은 여러 가지의 경우가 있을 수 있으나, 우선 압력과 유량이 줄어들면 방전 공간에서의 가스의 체류시간이 길어지고, 따라서 내부 임피던스가 낮아지게 되고, 그로 인하여 전극 사이의 방전이 용이해지고 동시에 방전 공간의 에너지 밀도(온도)가 높아져 Fig. 6의 최대 오존 발생 수율보다 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 하지만 유량 및 압력이 Fig. 6의 조건보다 증가할 경우 방전관 내부의 절연이 높아짐으로 인해 인가전압을 높여야 하는 문제점이 있고, 방전시 방전관 내부의 임피던스가 압력 및 유속의 증가로 인해 비대칭이 될 수 있는 문제점을 가지고 있다. 그리고 전반적인 설비의 비대화와 유지에서도 고려해야 하는 문제점이 있다.

Fig. 10의 (a), (b)는 압력 1.2 atm, 방전거리 0.8 mm 조건에서, 유량 5, 10, 20 L/min에 대한 소비전력의 변화에 따른 오존발생특성을 나타낸 것이다. Fig. 9와 10의 실험 조건

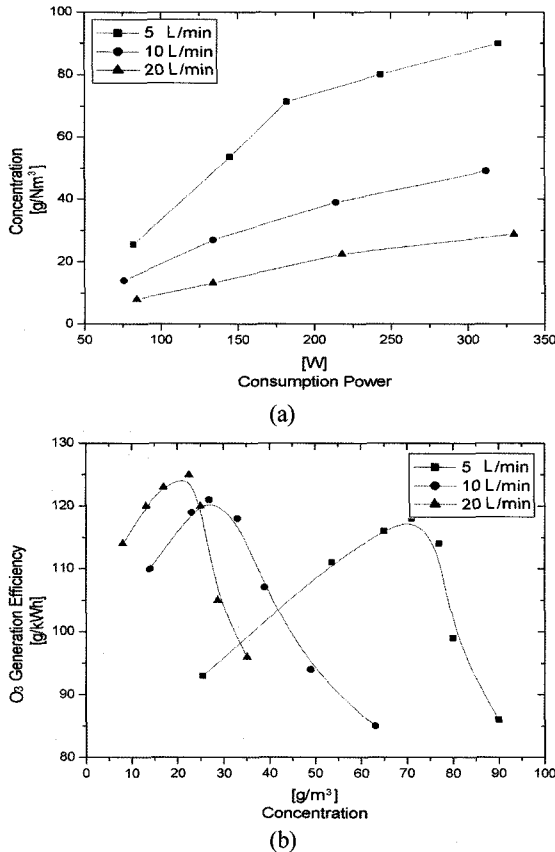


Fig. 10. Ozone generation characteristic to gas flow rate and consumption power (Gas pressure : 1.2 atm and Discharge gap : 0.8 mm).

차이점은 방전관 내부의 마주보는 두 전극 사이의 거리가 0.6 mm에서 0.8 mm로 증가한 것으로 Fig. 9의 (b)에서 최대 오존발생수율은 유량 10 L/min일 때이지만, 방전 Gap이 0.8 mm로 증가한 Fig. 10의 (b) 그래프에서는 20 L/min에서 최대 오존발생수율을 나타내고 있음을 상호 비교를 통해 알 수 있다. 이는 일정 조건에서 방전거리가 늘어나면 유량도 동시에 증가하는 어느 지점에서 최대 오존발생수율이 나타날 수 있음을 말해주는 것이다. 그리고 유량이 적은 경우가 최대 오존발생수율이 낮게 나오는데 이는 앞서서도 언급한 바와 같이 방전공간에 방전 에너지가 오존생성가스 분자에 과하게 투입되거나 이 방전에너지가 유량이 적을 경우 방전관 내 가스의 체류시간이 길어져 오존생성보다는 오존을 파괴하는 열에너지로 동작할 수 있기 때문으로 사료된다.

4. 결론

본 논문은 Ba-Ti-Si형 고유전을 세라믹촉매 방전관의 오존 발생특성을 조사한 것으로 방전관 외경 $\varnothing 52$ mm, 방전관 길이 350 mm, 주파수 900 Hz, 냉각수 25°C를 기본 실험조건으로 하여 유량 5, 10, 20 L/min, 압력 1.2, 1.4, 1.6 atm,

방전거리 0.4, 0.6, 0.8 mm 그리고 소비전력을 가변변수로 하여 측정하였다. 전체적인 측정결과를 오존발생수율 면에서 보면 유량 20 L/min, 방전거리 0.6 mm, 압력 1.6 atm, 소비전력 150 W부근에서 최대 오존발생수율 175 g/kWh를 얻을 수 있었고, 이상의 실험에서 압력을 임의로 1.6 atm 이하로 감소시킬 경우, 유량 20 L/min이하에서 최대 오존발생수율을 나타내었다. 그리고 Fig. 5를 참조하여 볼 때, 상대적으로 압력이 증가하면 유량도 20 L/min이상의 지점에서 최대 오존발생수율을 나타내었다. 또한 앞서 서술한 기본적인 실험조건과 압력 1.2 atm의 조건에서 최대 오존발생수율을 보면, 각각의 유량에 대한 최대 오존발생수율은 방전거리를 0.6 mm에서 0.8 mm로 증가할 경우, 0.6 mm일 때의 유량보다 증가하는 지점에서 최대 오존발생수율을 나타내는 특징을 보였으며, 반대로 방전거리를 줄이면 유량이 조금 감소하는 지점에서 최대 오존발생수율을 나타내었다. 이는 최대 오존 발생을 위한 최적의 간격이 각 경우에 따라 존재함을 나타낸 것이다. 그리고 고농도의 오존을 발생하기 위해서는 방전관의 온도를 낮추는 것이 매우 중요했으며 유속과 압력이 낮은 경우에 대체적으로 높은 농도의 오존을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. 岸田 治夫, “放電重疊法によるオゾン生成の高効率化,” *T. IEE Japan*, **117-A**(11), pp. 1103~1108(1997).
2. 井 關昇, “オゾンナイザにおけるオゾン生成機構と今後の課題,” *静電気學會誌*, **7**(1), pp. 142~146(1993).
3. 이형호, 이광식, “오존 발생기를 이용한 고도정수 처리기술 동향 및 전망,” 한국조명전기학회 논문집, pp. 242~244 (1998).
4. Chang, M. B., “Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges,” *Ozone Science and Engineering*, **19**(1), pp. 108~112(1997).
5. 남효택, 우동찬, “BaTiO₃ 세라믹스의 절연 파괴거동에 미치는 기공의 크기와 기공율의 영향,” 한국전기전자재료학회 논문지, **10**(3), pp. 1896~1902(1997).
6. 최운식, 강재운, 박철하, “비선형 특성을 갖는(Sr·Ca)TiO계 세라믹의 미세구조 및 유전특성,” 한국전기전자재료학회 논문지, **15**(1), pp. 24~30(2002).
7. 이지형, 방재철, “ZnTiO₃계 마이크로파형 유전체 세라믹스의 저온소결에 관한 연구,” 한국전기전자재료학회 논문지, **15**(1), pp. 30~35(2002).
8. 박종섭, 최희철, 안규홍, 조재원, “촉매오존산화를 이용한 수용액상 자연유기물 분해,” 대한환경공학회논문지, **24**(8), pp. 1439~1445(2002).
9. 정재우, 이현돈, 전기일, 조무현, “무성 방전 공정의 오존 발생 특성에 관한 연구,” 대한환경공학회 논문지, **26**(3) pp. 305~312(2004).