

유전체 장벽 방전내에서 오존발생 특성

論 文

49C - 12 - 4

Ozone Generation Characteristics in Dielectric Barrier Discharge

李亨浩* · 趙國熙** · 金永培** · 徐吉洙**

(Hyeong-Ho Lee* · Kook-Hee Cho** · Young-Bae Kim** · Kil-Soo Seo**)

Abstract - The dielectric barrier discharge(DBD) is a common method to create a nonthermal plasma in which electrical energy is used to create electrons with a high average kinetic energy. The unique aspect of dielectric barrier discharges is the large array of short lifetime(10ns) silent discharges created over the surface of the dielectric. A silent discharge is generated when the applied voltage exceeds the breakdown voltage of the carrier gas creating a conduction path between the applied electrode and grounded electrode. As charge accumulates on the dielectric, the electric field is reduced below the breakdown field of the carrier gas and the silent discharge self terminates preventing the DBD cell from producing a thermal arc. In fact, the most significant application of dielectric barrier discharges is to generate ozone for contaminated water treatment. Therefore, experiments were performed at 1~2[bar] pressure using a coaxial geometry single dielectric barrier discharge for ozone concentrations and energy densities. The main result show that the concentration and efficiency of ozone are influenced by gas nature, gas quantity, gas pressure, supplied voltage and frequency.

Key Words : Ozone Concentration and Efficiency, Dielectric Barrier Discharge, Silent Discharge, Water Treatment

1. 서 론

오늘날 오존(O₃)은 자연계에 있어서 불소 다음으로 강력한 산화력을 지닌 물질이므로, 이 특성을 이용해서 표백제 및 살균제로 이용되고 있다. 또한 오존은 다른 화학제품과 달리 전기분해, 자외선 조사 등에 의해 비교적 용이하게 생성되는 것이 사실이며 불필요한 부산물과 잔여물을 생성하지 않는다. 이 우수한 성질로 환경보전의 하나인 해결책으로서 공업면(수질개선, 배가스처리 등) 및 의료분야 등에서 광범위하게 이용되고 있다[1-2]. 오존발생장치에 관한 연구는 오래 전부터 수행되어 왔으며, 현재까지 무성방전형, 연면방전형, 전기분해형 등의 종래형과는 달리 정스트리머 방전형, 2개의 방전을 복합시킨 중첩방전형 등의 형태가 다른 발생방식이 실용화 및 제안되고 있다. 실용화 시키는데 최대 걸림돌은 발생효율이 문제시 되고 있으며 공기원료를 이용하는 경우에는 오존발생기 본체에서 볼 때 효율은 약 100[gO₃/kWh]이며, 산소원료에서는 약 200[gO₃/kWh]이다. 이와같이 오존발생시스템에서 효율이 중요하며 오존발생기의 성능향상에 관한 연구가 국내외에서 활발히 수행되고 있다[3-4].

본 연구에서는 이미 무성방전형 오존발생기가 상용화되어 있으나, 저자들에 의해 설계·제작된 2Electrode-1Gap 오존방전관으로 농도 및 효율을 개선시키고자 원료가스인 공기 및 산소를 가지고 인가전압, 인가주파수, 유량 및 기압을 조절하면서 측정하였다.

오존방전관은 유량이 적을수록, 인가전압이 커질수록 농도가 상승하였고, 수율은 감소하였고, 유량이 증가함에 따라서는 방전전력이 같을 때 수율은 크게 나타났다. 원료가스 유량이 5[l/min]이고, 인가전압 11[kV]에서 산소와 공기의 오존농도를 비교해 보면 17.4[g/m³]와 8.2[g/m³]로서 약 2배가 증가했으며, 수율 또한 2배 증가되었다. 오존방전관 면적이 2배일 때 오존농도는 약 2.5배 상승하므로 방전면적 따라 농도가 일정하지 않았고, 압력이 높아질수록 오존농도가 상승하다가 포화되어 감소하는 경향을 나타냈고, 주파수가 증가함에 따라 오존농도가 상승하므로 용도에 따라 오존방전관의 최적설계가 필요하다. 오존방전관에 digital power meter로 측정하였을 때 방전전력과 리사주 도형을 이용하여 산출한 방전전력은 오차가 거의 없기 때문에 방전전력치는 신뢰할 수 있었다.

이와 같이 오존발생은 방전관의 크기, 주파수, 전원, 압력 등의 영향에 대해 충분히 검토한 결과로 소용량 오존발생기가 상용화 되어 있는 제품이다. 본 연구에서는 지속적인 실험을 통해 수질오염 방지기술의 일환으로 폐수를 중수로 활용할 수 있도록 대용량 수처리를 위한 고농도/고효율 오존발생시스템 개발시 기초자료로 활용할 계획이다.

* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 所 電 氣 物 理 組 責 任 研 究 員

** 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 所 電 氣 物 理 組 先 任 研 究 員

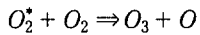
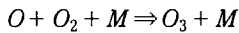
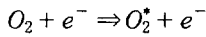
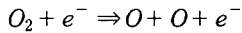
接 受 日 字 : 2000年 5月 15日

最 終 完 了 : 2000年 11月 23日

2. 실험장치 및 방법

2.1 오존발생시스템

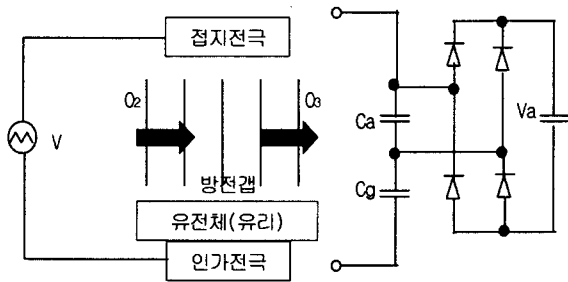
오존발생시스템은 기본적으로 오존발생기 본체, 본체의 냉각시스템, 방전발생용 고전압전원, 원료가스를 오존발생기 본체로 보내는 송풍기와 제습장치 등으로 구성되어 있다. 오존발생기 본체에는 오존방전관이 삽입되어 있고 기본구조는 유전체를 포함한 방전갯을 갖는 2개의 전극간에 교류고전압을 인가한다. 이 방전공간에 원료가스인 공기 및 산소를 통과시키면 방전에 의해 오존이 생성되며, 방전에 밀접하게 관계 있는 것은 유전체이다. 이 유전체에서 요구하는 특성은 오존발생시스템이 효과적으로 방전전력을 얻는 것이 필요하므로 유전체의 비유전율이 비교적 크고(4~8), 절연내력이 좋고, $\tan \delta$ 가 작으며, 방전성이 좋고, 기기적, 열적으로도 강도가 큰 것이 요구된다. 또한, 작업성, 소형화 및 신뢰성 등이 우수해야 하므로 유전체는 파이렉스 유리 및 세라믹이 사용되며 두께는 보통 1~3[mm] 정도로 오존을 생성하는 주요한 반응은 다음과 같다[5-6].



여기서 M은 제 3의 물질로서 O, O₂이다.

또한, 오존효율이 저하하지 않도록 방전관의 열을 분산시킬 수 있는 전극의 냉각시스템과 원료가스에 함유된 수분은 오존의 생성을 억제하므로 제습장치는 필수적이다. 전극의 냉각시스템은 오존발생량이 수 [kg/hr] 이하인 경우 접지측 전극의 냉각이 일반적이고, 원료가스의 제습은 노점 -60[°C] 이하가 되어야 하며 오존발생특성에 미치는 각종요인에 대해 정량적으로 파악해야 할 항목은 ① 방전관의 유전체 재질(유전율, 절연내력 및 온도특성), ② 원료가스성분(산소와 질소의 혼합비율, 원료가스중의 수분), ③ 방전갯(방전갯간 거리, 압력, 방전의 균일성), ④ 온도상승 및 냉각, ⑤ 인가전압(전압파형, 주파수)등이다[7-8].

2.2 오존발생관의 등가회로



(a)오존방전관 구조 (b)등가회로 모델

(a) Ozone tube structure (b) Equivalent Circuit Modeling

그림 1 무성방전형 오존발생관의 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit model of the silent discharge type ozone generating tube

무성방전형 오존발생관 부하의 등가회로 모델을 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)는 방전갯과 두 개의 전극사이에 삽입되어 있는 유리 유전체로 구성되어 있고 그림 1(b)는 무성방전형 오존발생관의 등가회로 모델이다. 두 개 AC 전극간의 방전갯은 오존발생관의 방전갯에서 무성방전이 발생하지 않을 때 유리 유전체의 캐패시턴스 Cg와 직렬로 연결된 방전갯의 캐패시턴스 Ca를 포함한다. 그리고 인가전압 V로 인해 AC전극간에 무성방전이 발생하자마자 방전유지전압인 방전전압원 Va는 Ca와 단상전과 정류기를 통해 등가적으로 연결된다고 볼 수 있다[9].

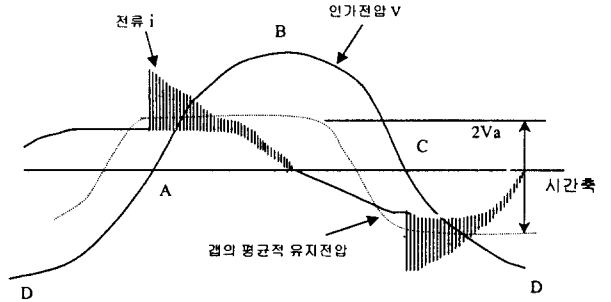


그림 2 인가전압과 전류의 관계

Fig. 2 The relation of supplied voltage and current

그림 2는 인가전압과 전류의 관계로 무성방전은 전극간에 유전체가 존재하고 있기 때문에 전극에 인가된 전압의 극성에 대해서 역극성의 전하가 양전극에 순서적으로 이동해 축적된다. 이와 같이 역방향의 전계가 형성되면 갯내의 전계는 0이 아니므로 방전은 단시간(10 ns)내에 소멸한다. 또한 인가전압이 점차 상승하는 A-B와 C-D구간 사이에서는 역전계를 사라지게 하는 전계가 나타나므로 미세한 다수의 펄스방전이 전극면의 전역에 반복해서 발생한다. 이 기간을 방전기간이라 부르며 그 다음 B-C와 D-A구간은 인가전압이 저하하기 때문에 방전이 발생하지 않는다. 이 기간을 방전휴지기간이라 부른다. 교류전압이 인가된 경우에는 이 방전기간과 방전휴지기간이 상호적으로 반복된다.

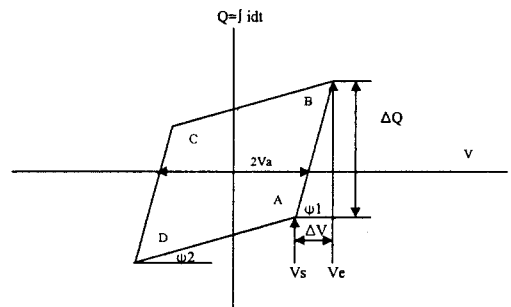


그림 3 무성방전 오존발생관의 V-Q 리샤쥬 도형

Fig. 3 V-Q lissajous figure of silent discharge ozone generating tube

방전개시전압을 Vs, 방전소멸전압을 Ve라 하면, 갯에서는

$(V_s+V_e)/2$ 의 전압이 유지되고 있다. 이 전압은 방전유지전압 V_a 라 부르며, 갭 길이 d , 가스압력을 p 라 하면 $p \cdot d$ 의 관계로도 표시할 수 있다. 그림 3은 무성방전형 오존발생관의 전압-전하 Q 의 리샤슈 도형으로 실험하여 측정된 것을 오실로스코프로 검출한 것이다. 리샤슈 도형의 면적은 인가전압 파형의 AC 전압원의 1cycle분 방전 에너지이고, 방전기간은 유전체의 정전용량 C_g 이며 방전휴지기간은 갭과 유전체의 직렬회로 정전용량인 C_a 와 C_g 의 합성분으로 제가기 다른 기율기로 나타난다.

방전주기의 기율기 α 와 비방전주기의 기율기는 β 는

$$\alpha = \tan \phi_1 = C_g \cdot S$$

$\beta = \tan \phi_2 = 1/((1/C_a \cdot S)+(1/C_g \cdot S))$ 으로서 S 는 전극의 면적이며 가로 전압축은 $2V_a$ 로 방전전력의 관계는 방전전력 W 로 다음과 같이 산정할 수 있다[10].

$$W = 2f \cdot C_g \cdot V_a [2V - 2(1 + \frac{C_a}{C_g}) V_a] \quad (1)$$

여기서,

- f : AC 전압의 주파수
- V_a : 방전중의 전극갭 전압
- V : 인가전압의 파고치

본 연구에서는 오존수율을 리샤슈 도형 및 방전전력을 측정하여 산출하였다.

$$\text{오존수율}[\text{g/kWh}] = \text{오존생성량}[\text{g/hr}] / \text{방전전력}[\text{W}] \quad (2)$$

단상교류전압에 의한 오존생성은 식을 이용해서 간단히 오존수율을 구할 수 있지만, 두종류의 방전을 중첩시킨 경우나 3상교류전압에 의한 오존생성의 경우는 오존수율의 산정이 복잡하다.

2.3 실험장치

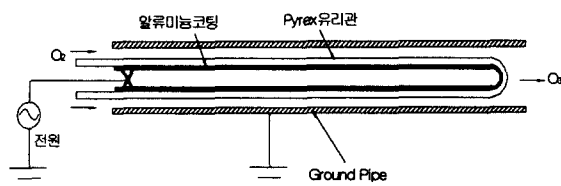


그림 4 무성방전형 2Electrode-1Gap 전극구조
Fig. 4 Silent discharge type with 2Electrode-1Gap geometry

본 실험에서 사용한 방전관은 그림 4와 같이 동축 원통구조로 2개의 전극(내부전극, 외부전극)으로 구성되어 있으며, 스테인레스 파이프(내부직경 : 72.6[mm], 길이 : 1300[mm])내에 유전체로 사용된 pyrex 유리관(외부직경 : 70[mm], 길이 : 1300[mm], 두께 : 2.5[mm])을 삽입한 구조로 유리관 내부를 코팅하여 내부전극으로 사용하였으며, 스테인레스 파이프는 외부전극으로 접지되어 있다. 스테인레스 파이프 내부와 파이렉스 유리사이의 방전갭으로서 거리는 1.3[mm]이고 공간에 원료가스가 균일하게 공급되도록 구성하였다.

그림 5은 무성방전형 오존발생기와 냉각장치 및 제습기를 장착한 오존발생장치에서의 방전특성 및 오존생성특성을 연

구하기 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 공기는 공기저장기를 통해 오존생성에 영향을 미치는 수분 제거와 오존 농도 및 효율의 향상을 도모하고 오존발생기의 재질을 보호하기 위한 제습장치(냉동식+흡착식)를 거쳐 유출되는 가스에 대해 유량을 flowmeter(0~25[l/min],Chiyoda seiki社,Japan)로 조정하면서 오존발생기 내부로 유입하였고 산소 또한 압축된 원료가스로서 공기와 같이 유량을 조절하여 유입하였다.

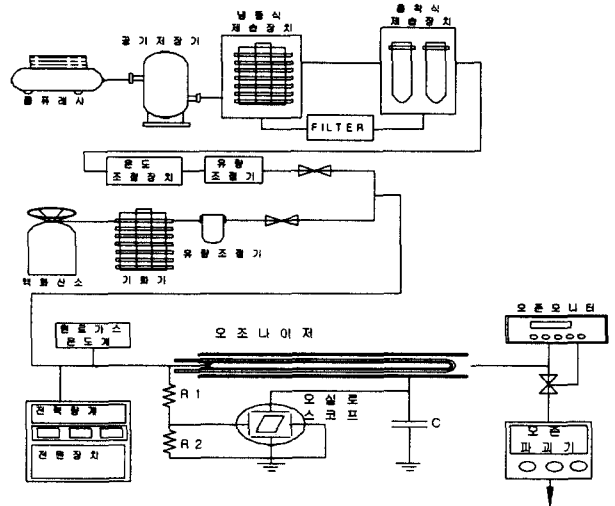


그림 5 실험장치의 개략도
Fig. 5 Schematic diagram of experimental setup

전원장치는 상용주파 전원(출력 : 15[kV], 용량: 30[kVA])으로 인가되어지는 교류전원이며 원료가스 온도와 전력을 측정할 수 있도록 구성되어 있다. 방전전력은 digital power meter 및 리샤슈 도형을 이용하여 오존발생관 전체회로에 소모되는 전력을 digital storage oscilloscope (LeCroy 9350AL, 500MHz, 1Gs/s)로 측정후 관측하였다. 오존생성농도를 정확하게 측정하기 위해 오존발생기내에서 발생한 오존화 가스를 매 실험마다 0.5[l/min]으로 샘플링 하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존 모니터(미국 IN USA사, 농도 측정범위 : 0~200[g/m³])로 측정하였고, 유량 및 방전전력의 변화에 따른 오존생성농도와 오존생성수율등을 측정 및 계산하였다.

2.4 실험방법

본 연구에서는 오존발생기의 전극구조, 원료가스 종류, 유량 및 기압의 변화에 따른 특성을 살펴보기 위하여 오존발생기를 제작한 후 인가전압(9~12[kV])을 변화시키면서 오존발생기에서 발생하는 오존농도를 측정하였고 효율을 계산하였다.

매회 측정시 방전전압, 방전전류, 방전전력 및 오존생성농도를 각각 5회 측정하여 그 평균치를 채택하였으며, 중첩방전형 오존발생기의 방전공간 내에 존재하는 불순물을 제거하고, 방전환경을 일정하게 하기 위해 전압을 인가하지 않고 유량을 일정하게 하여 3분 정도 강제 배기시킨 후 측정을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

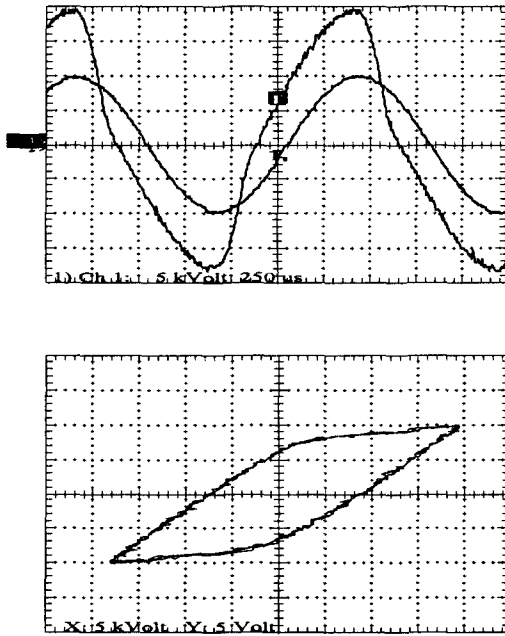


그림 6 측정된 전압과 전하파형의 리사주 도형
Fig. 6 Lissajous figure of the measured voltage-charge waveform

우리나라 정수장에서 사용되고 있는 직경이 70[mm], 길이가 1,200[mm]인 2E-1G방전관(PCI사)에 인가전압을 12.5[kV], 원료가스가 산소인 유량이 100[l/min]일 때 오존농도가 18[g/m³]로 측정되었으며 오존발생량(오존발생량[g/hr]=오존농도[g/m³]×유량[l/min])은 108[g/hr]로 산출되었다. 이와 같은 방전관에 digital power meter로 측정하였을 때 방전전류는 199[mA], 방전전력은 2,422[W]로 나타났으며 식 (2)로 계산하면 수율은 44.6[g/kWh]로 산출된다. 또한 그림 6과 같이 리사주 도형을 이용하여 오존발생관 전체회로에 소모되는 방전전력을 측정한 결과 2,482[W]로 산출되었으며 이때의 수율은 43.5[g/kWh]이다. 따라서 두가지 방법에서 측정상의 수치에 대한 오차는 거의 없기 때문에 방전전력은 신뢰할 수 있으므로 이 후에는 측정된 방전전력을 식 (2)로 계산하여 그래프로 나타냈다.

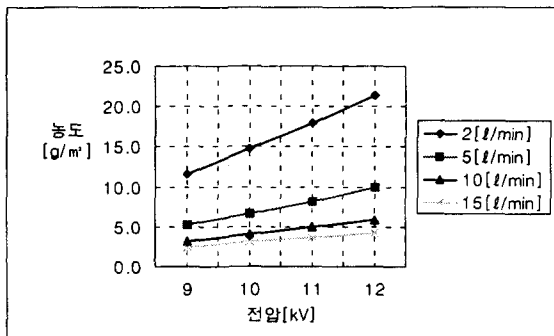


그림 7(a) 원료가스가 공기인 경우 오존농도 특성
Fig. 7(a) The characteristic of ozone concentration in air

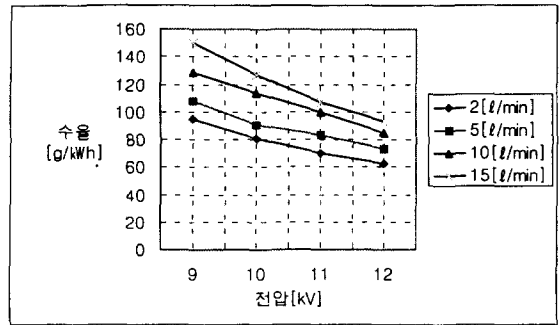


그림 7(b) 원료가스가 공기인 경우 오존수율 특성
Fig. 7(b) The characteristic of ozone efficiency in air

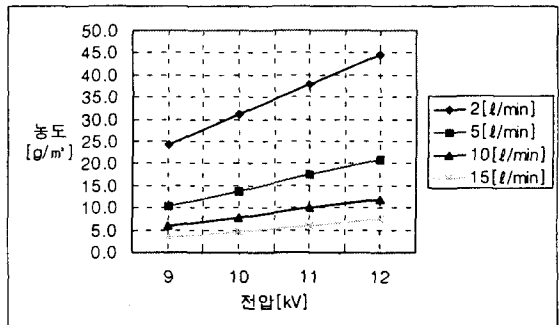


그림 8(a) 원료가스가 산소인 경우 오존농도 특성
Fig. 8(a) The characteristic of ozone concentration in oxygen

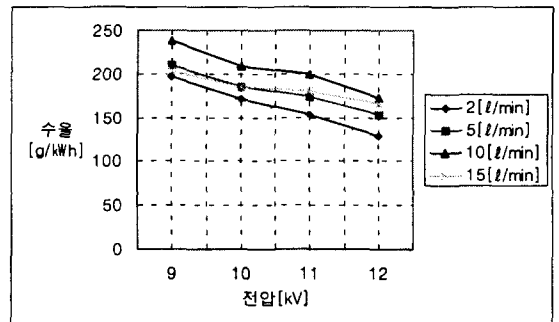


그림 8(b) 원료가스가 산소인 경우 오존수율 특성
Fig. 8(b) The characteristic of ozone efficiency in oxygen

그림 7(a),(b)는 오존방전관의 전극 직경이 70[mm]이고, 길이가 1300[mm]일 때, 공기가 원료가스인 유량과 인가전압의 변화에 따른 인가전압-농도 및 인가전압-수율의 관계를 그래프로 나타낸 것이고 그림 8(a),(b)는 원료가스가 산소일 때의 그래프이다.

그림 7(a) 및 그림 8(a)에서 보면 유량이 적을수록 농도가 상승하였고, 동일유량에 대해 인가전압을 증가시키기에 따라 오존의 농도가 계속적으로 증가하는 경향을 보였다. 이것은 유량이 증가함에 따라 방전공간 내에서 오존의 생성에 영향을 미치는 여기산소분자의 수는 증가하지만, 산소분자가 방전영역에 체류하는 시간이 짧아져서 무성방전에 의해서 발생된 전자와의 접촉시간 감소로 충돌확률이 작아지므로 오존농도가 저하되는 것으로 사료된다. 동일한 유량에 대해서는 인가전압이 상승함에 따라 방전공간의 전력밀도도 증

가되고 산소분자와 방전에 의한 전자와의 충돌전리확률도 커져 오존생성에 영향을 미치는 여기산소분자의 생성반응이 활발하게 되므로 오존농도가 상승하게 되는 것이다.

그림 7(b) 및 그림 8(b)에서는 방전전압이 상승함에 따라 수율은 감소하는 경향이 나타났고, 일반적으로 유량이 증가함에 따라서는 방전전력이 같을 때 수율이 상승하나 그림 8(b)는 유량10[ℓ/min]가 15[ℓ/min]보다 수율이 크게 나타났다. 그 이유는 비교적 높은 유량에서 오존농도가 포화되어 오존발생량이 상대적으로 크게 나타나 수율도 상승한 것이다. 원료가스 유량이 5[ℓ/min]이고, 인가전압 11[kV]에서 산소와 공기의 오존농도를 비교해 보면 17.4[g/m³]와 8.2[g/m³]로서 약 2배가 증가했으며, 수율 또한 2배 증가되었다. 이것은 산소를 사용한 경우가 공기를 사용할 때보다 무성방전과 반응하여 오존을 생성할 산소분자의 수가 더욱 많기 때문인 것으로 사료된다.

그림 9는 오존방전관의 전극 직경이 50[mm]이고, 길이가 1300[mm]일 때, 산소가 원료가스인 유량과 인가전압의 변화에 따른 인가전압-농도의 관한 그래프이다.

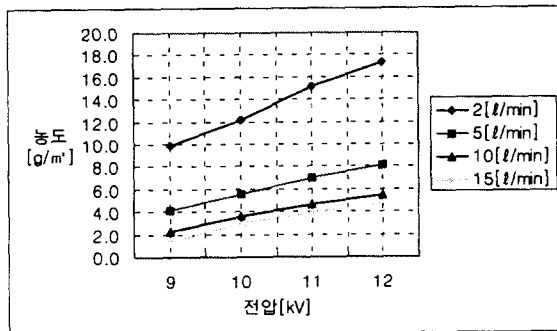


그림 9 원료가스가 산소인 경우 오존농도 특성

Fig. 9 The characteristic of ozone concentration in oxygen

오존방전관의 길이는 같고 전극 직경이 50[mm]와 70[mm]로서 원료가스가 산소인 유량을 5[ℓ/min]주입하고 인가전압 11[kV]에서 오존농도를 비교했을 때 직경 70[mm]가 약 2.5배 상승하였다. 이것은 같은 유량에서 방전공간이 커짐에 따라 산소분자가 방전영역에 체류하는 시간이 증가하여 오존을 생성할 확률이 향상된 결과라고 할 수 있다. 그러나 방전공간 면적으로 볼 때 직경 70[mm]는 약 2배이나 오존농도는 2.5배로 나타나 방전면적의 크기에 따라 농도가 일정하게 증가된다고 볼 수 없으므로 사용용도에 따라 오존방전관의 최적설계가 필요하다.

그림 10은 본 연구를 위해 제작된 오존방전관이 어느 값에서 최대 압력의 영향을 받는지 습득하기 위해 수율과 밀접한 관계가 있는 오존농도를 측정된 그래프이다. 실험결과 오존방전관은 압력이 높아질수록 오존농도가 상승하다가 1.5[bar]에서 포화되어 감소하는 경향을 나타냈다.

그림 11은 본 연구에서 사용된 오존방전관이 주파수 변화에 대한 농도반응을 살펴보기 위해 측정하였다. 여기에 인가된 주파수는 L-C공진형으로 가변할 수 있게 설계된 전원장치로 전압파형은 정현파이다. 유량을 5[ℓ/min]로 고정하였을 때 800[Hz]이하에서는 주파수가 증가함에 따라 오존농도도 증가하였다. 실험결과 인가전압 11[kV], 60[Hz]의 오존

농도는 17.4[g/m³]이고, 같은 전압에서 주파수 800[Hz]일 때 92.4[g/m³]으로 측정되어 약 5.3배 증가되었음을 알 수 있었다. 그러나 주파수 800[Hz]에서 인가전압이 11[kV]이상이 되면 오존농도가 떨어지는 현상을 나타냈다. 이것은 주파수의 상승으로 인한 방전관내의 온도상승으로 오존생성보다는 분해가 더 활발해진 원인으로 사료된다.

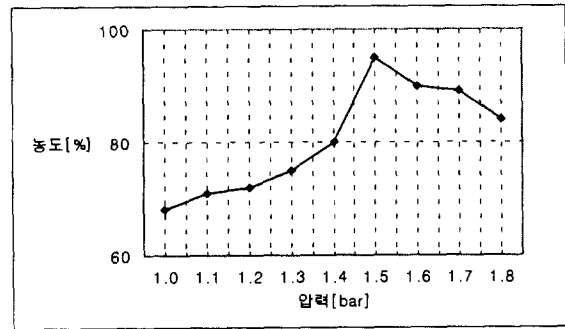


그림 10 원료가스가 산소인 경우 압력변화에 따른 오존농도 특성

Fig. 10 The characteristic of ozone concentration with variation of pressure in oxygen

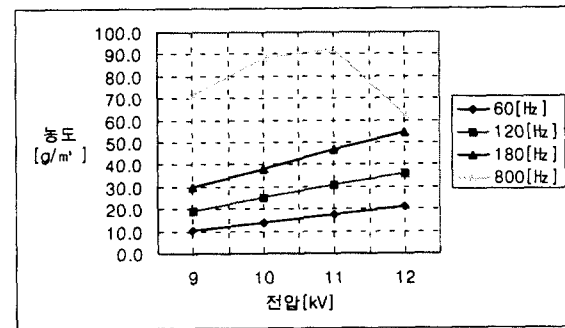


그림 11 원료가스가 산소인 경우 주파수 변화에 따른 오존농도 특성

Fig. 11 The characteristic of ozone concentration with variation of frequency in oxygen

4. 결 론

본 논문에서는 2전극-1갯의 동축형 오존방전관으로 전기적 무성방전에 의해 발생하는 오존의 농도 및 효율특성에 대해서 논했다. 실험에 사용된 오존방전관은 유량이 적을수록 농도가 상승하였고, 동일유량에 대해 인가전압을 증가시키면 따라 오존의 농도가 계속적으로 증가하는 경향을 보였고 인가전압이 상승함에 따라 수율은 감소하였다. 또한 유량이 증가함에 따라서는 방전전력이 같을 때 수율은 크게 나타났다.

원료가스 유량이 5[ℓ/min]이고, 인가전압 11[kV]에서 산소와 공기의 오존농도를 비교해 보면 17.4[g/m³]와 8.2[g/m³]로서 약 2배가 증가했으며, 수율 또한 2배 증가되었다.

오존방전관의 면적이 2배일 때 오존농도는 약 2.5배 상승하였으므로 방전면적의 크기에 따라 농도가 일정하게 증가된다고 볼 수 없어 사용용도에 따라 오존방전관의 최적설계가 필요하다.

본 연구를 위해 제작된 오존방전관은 압력이 높아질수록 오존농도가 상승하다가 1.5[bar]에서 포화되어 감소하는 경향이 나타났고, 유량 및 전압을 일정했을 때 60[Hz] 및 800[Hz]의 오존농도는 17.4[g/m³] 및 92.4[g/m³]으로 측정되어 약 5.3배 증가되었음을 알 수 있었다.

오존방전관에 digital power meter로 측정하였을 때 방전전력과 리샤쥬 도형을 이용하여 산출한 방전전력은 오차는 거의 없기 때문에 방전전력치는 신뢰할 수 있었다.

이와 같이 오존발생은 방전관의 크기, 주파수, 전원, 압력 등의 영향에 대해 충분히 검토한 결과로 소용량 오존발생기가 상용화 되어 있는 제품이다. 본 연구에서는 지속적인 실험을 통해 수질오염 방지기술의 일환으로 폐수를 중수로 활용할 수 있도록 대용량 수처리를 위한 고농도/고효율 오존발생시스템 개발시 기초자료로 활용할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 田中 正明, "オゾンナイザの諸特性", 静電氣學會誌, Vol. 7, No 3, pp.150~158, 1983

[2] 杉光 英俊, "オゾンの基礎と応用", pp.281~316, 1996

[3] Yoshihiro Konishi, "A Novel Silent Discharge Type Ozonizer using Pulse Density Modulated High Frequency Inverter", IEEE pp.764~772, 1999

[4] 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

[5] 岸田治夫, "放電によるオゾン生成における重疊効果に関する研究", pp.14~26, 1998

[6] 조국희, 이형호, "중첩방전형 오존발생기의 오존농도와 수율의 관계", 대한전기학회 경남지부 추계학술발표논문집, pp.67 ~ 70, 1998

[7] 조국희, 이형호, "동축형 전극길이 변화시의 연면무성방전에 의한 오존발생특성", 대한전기학회논문지 Vol. 48C, No. 12, pp.791~797, 1999

[8] Yukiharu Nomoto, "The Effect of Hybridization of Silent Surface Discharge on Ozone Yield", ED-93-10, pp.261 ~ 264, 1990

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

[10] 民田 太郎, "V-Q Lissajous圖形を用いたac-PDP 放電諸量の側定", ED-96-274, 1996[2] F.N. Najm, "A Survey of Power Estimation Techniques in VLSI Circuits," IEEE Trans. on VLSI Systems, pp. 446-455, Dec. 1994.

저 자 소 개



이 형 호 (李亨浩)
 1953년 3월 16일생. 1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 영남대 전기공학과 졸업(석사). 1993년 일본 구주대 전기공학과 졸업(공학박). 1993년~1996년 고전압 연구실장. 현재 한국전기연구소 전기물리연구그룹 책임연구원
 Tel : 055-280-1577, Fax : 055-280-1406
 E-mail : hhlee@keri.re.kr



김 영 배 (金永培)
 1957년 2월 2일생. 1978년 부산공전 전기공학과 졸업. 현재 한국전기연구소 산업전기연구단. 선임연구원
 Tel : 055-280-1535, Fax : 055-280-1406
 E-mail : ybkim@keri.re.kr



조 국 희 (趙國熙)
 1960년 1월 13일생. 1987년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전기연구소 전기물리연구그룹 선임연구원
 Tel : 055-280-1531, Fax : 055-280-1406
 E-mail : khcho@keri.re.kr



서 길 수 (徐吉洙)
 1966년 8월 25일생. 1989년 영남대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구소 전기물리연구그룹 선임연구원
 Tel : 055-280-1532, Fax : 055-280-1406
 E-mail : ksseo@keri.re.kr