

전극과 유전체장벽간의 접착물질의 물성변화가 오존발생특성에 미치는 영향

(Effects of Properties of Binder between Electrode and Dielectric Barrier on Ozone Generation Characteristics)

박승록* · 김진규 · 김형표

(Seung - Lok Park · Jin - Gyu Kim · Hyung - Pyo Kim)

요 약

무성방전형 오존발생장치에서 고농도의 오존을 발생시키기 위해서는 방전공간의 온도를 낮게 유지시켜주는 것이 중요하다. 이때, 방전공간에서 발생된 열을 외부로 전달하기 위한 유전체장벽과 전극간의 접착물질과 접착방법은 전기적, 열적 관점에서 볼 때 방전에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 접착물질과 접착방법은 오존발생에 중요한 변수가 될 수 있다. 본 연구는 접착물질과 방법이 오존발생에 미치는 영향을 조사한 실험적인 결과이다. 접착물질의 종류로는 방열재료로 사용되는 실리콘 화합물질, 전기적인 도전성을 가지는 수지를 사용하였으며 이들의 물성변화를 위해 첨가물질로 차콜(charcoal)을 사용하였다. 결과적으로 접착물질(실리콘 화합물)이 사용되었을 때가 사용하지 않았을 때보다 같은 전압에서 많은 오존발생량을 보여주었다. 또한 접착물질이 사용되었을 때는 순수한 실리콘 화합물이 사용된 경우가 도전성을 가지는 접착물질이 사용되었을 때보다 많은 오존발생량을 보여주었다.

Abstract

The temperature decrease of discharge space was very important to generate the high concentration of ozone in silent discharge type ozone generator. At this time, binding materials and methods between dielectric barrier and ground electrode affected to the discharge importantly in electrical and thermal point of view. So, above two factors become very important parameters should be considered before designing the ozone generator. In this study, binders of silicone compound, electroconductive resin and charcoal were used for variations of binders properties. Resultantly, when the binding materials were used, better ozone generation characteristics were shown(maximum ozone generation 28044[ppmV] at 6.0[kV]) in comparison with the non-used case (maximum ozone generation 15944[ppmV] at 4.0[kV]). In addition, when the binding materials were used, the case of pure silicone compound showed better characteristics(maximum ozone generation 28044[ppmV] at 6.0[kV]) than the cases of conductive binding materials(maximum ozone generation 25842[ppmV] at 5.5[kV] and including the charcoal 5%).

Key Words : Mesh Electrode, Binder, Charcoal, Silicone Compound, Electroconductive Resin

1. 서 론

오존은 강력한 산화력을 가지고 있어서 산업계의 응용이 근년에 들어 크게 주목되고 있으며 새로운 고효율의 오존발생장치개발[1], 오존의 새로운 영역에

* 주저자 : 국립금오공과대학교 전자공학부 BK21 계약교수

Tel : 054-467-4412, Fax : 054-467-4270

E-mail : parkssi@hanmail.net

접수일자 : 2002년 9월 2일

1차심사 : 2002년 9월 9일

심사완료 : 2002년 10월 28일

전극과 유전체장벽간의 접착물질의 물성변화가 오존발생특성에 미치는 영향

서의 응용[2]과 적용연구[3]이 국내외에서 활발히 수행되고 있는 실정이다. 한편 고농도, 고효율의 오존을 발생시키기 위해서 주로 사용되는 방법은 무성방전[4,5]과 연면방전[6]에 의한 오존발생방법이다. 무성방전형 오존발생장치는 2개의 평행판간에 유전체장벽을 설치하고 두 전극간에 교류전압을 인가함으로써 유전체장벽상에 축적된 전하에 의한 마이크로방전을 유발하여 효과적으로 오존을 발생시키는 것이다. 이에 비해, 연면방전형 오존발생장치는 무성방전과는 다르게 선피형의 방전전극을 유전체장벽위에 공간간격(空間間隔)없이 바로 설치함으로써 전극의 연면에서 발생하는 방전을 이용한 것이다. 이들 두가지의 방법 모두 방전의 매개체로 유전체장벽을 사용하고 있으며 유전체장벽과 접지전극간의 접착을 위해 접착물질을 사용하게된다. 이때 사용되는 접착물질의 종류와 접착방법과 방전에 중대한 영향을 주게되고 결과적으로 오존발생특성에 주요변수로 작용할 수 있다. 지금까지 주로 사용되어 왔던 접착방법은 접착물질 없이 사용하거나 금속을 유전체표면에 용사 또는 증착하는 방법[6], 도전성을 가진 액체를 전극자체[5,6]로 사용하는 방법 등이었다.

이들중 금속을 유전체표면에 용사 또는 증착하는 방법은 방전시 발생하는 열과 온도편차에 의한 유전체의 균열과 접착된 전극의 탈리현상등이 발생할 수 있는 문제점이 있다. 또한 도전성을 가진 액체를 사용하는 방법은 액체순환장치, 냉각기 등의 부가적인 장치들이 필요하게되는 단점이 있다[7].

본 연구에서는 유전체와 접지전극간의 공기층은 없애고 긴밀한 접착이 가능한 물질들을 선정하고 이들의 물성변화가 오존발생특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 접착물질로는 방열재료로 사용되는 실리콘 화합물, 도전성 수지, 또한 접착물질의 물성변화를 위해 실리콘 화합물과 도전성수지를 적정한 비율로 섞어서 사용하였으며 각각의 경우 접착물질의 물성변화에 따른 기초특성을 조사하였다. 한편, 오존발생장치로서 연면방전과 무성방전을 동시에 발생시킬수 있도록 고농도의 오존을 발생시킬 수 있는 그물형의 방전전극을 가지는 오존발생장치를 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

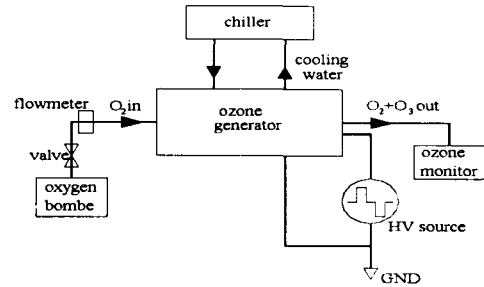
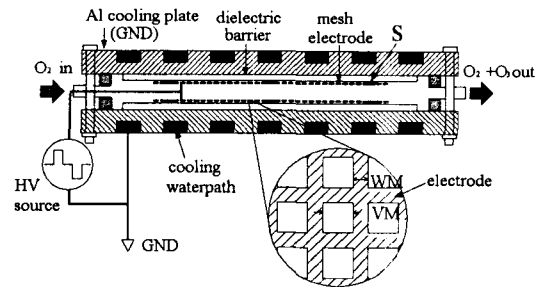


그림 1. 실험장치의 개략도
Fig. 1. Schematic of experimental setup



- S : gap spacer
- WM : width of mesh electrode
- VM : vacancy of mesh electrode

그림 2. 오존발생기의 개략도
Fig. 2. Schematic of ozone generator

그림 1은 본 실험에 사용된 중첩형 오존발생장치의 실험장치 및 오존발생기의 개략도를 나타낸 것으로 본 실험에서 제안한 오존발생장치, 구형과 고전압을 공급할 수 있는 전원장치(HV source), 오존발생기에서 발생하는 열을 냉각하기 위한 냉각장치(chiller), 오존발생기 내에 산소를 공급할 수 있는 산소공급장치(oxygen bombe), 발생된 오존량을 측정하기 위한 오존모니터(ozone monitor)로 구성되어 있다.

그림 2는 본 연구에서 제안한 오존발생장치의 개략도를 나타낸 것으로 유도전극으로 사용된 알루미늄 냉각판(Al plate, 10[mm], 180×250[mm²]), 방전전극으로 사용된 그물형 전극(mesh electrode, SUS304, 두께 0.2 mm, 크기 85×128mm²) 유전체장벽으로 사

용된 세라믹판(dielectric barrier, Al₂O₃ : 96%, 두께 0.8mm, 크기 110×156 mm²) 그리고 세라믹 장벽과 그물방전극간의 방전공간을 형성하면서 그물 방전전극을 고정지지하는 절연체(gap spacer)로 구성되어 있다.

기초실험결과 방전공격(S)=0.65[mm], 그물전극의 선폭(WM)=0.3[mm], 그물코(VM)=0.8[mm]의 조건이 최적의 오존발생조건이 확인되었고 이를 본 실험에 사용하였다[8].

접지전극으로 사용된 알루미늄판을 음각(5[mm] depth, 30[mm] width)하여 냉각수를 흘릴 수 있도록 하고 오존이 생성되는 방전공간에서 방전시에 발생된 열을 효과적으로 냉각시킴으로서 고농도의 오존을 얻을 수 있게 하였다.

이때 유전체장벽으로 사용된 세라믹판과 접지전극 사이의 긴밀한 접촉과 효과적인 열전달을 위해 방열 재료로 사용되는 실리콘 화합물(Silicone Compound, FORMSEAL NOVAGARD), 도전성 수지(Dotite), 또한 접착물질의 물성변화를 위해 실리콘 화합물과 도전성수지(5%) 및 도전성이 좋은 탄소가루(Charcoal)를 각각 5, 10, 20% 비율로 섞어서 사용하였다. 고전압 전원장치는 주파수와 시비율(duty ratio)이 각각 조절되는 저전압 구형파 출력전압(Square wave, V_p=300[V], I_p=10[A])을 고주파 고전압 변압기(ferrite core, PC22 UU120×160×20)를 사용하여 승압함으로써 출력 최대 전압은 8[kV], 최대 전류는 500[mA], 가변주파수 1~10[kpps], 가변시비율(duty ratio) 0.05~0.50의 구형파 고주파 고전압 펄스전원을 실험실에서 제작하여 사용하였다. 펄스전압은 고주파 고전압 프로브(Tektronix, P6015A)와 축적형 디지털오실로스코프(Tektronix, TDS360A)로 측정하였으며, 전류프로브(Tektronix, AM 503B)를 사용하여 방전전류를 측정하였다.

모든 실험은 20[°C]의 실내에서 실시되었고, 제안된 오존발생장치에서 발생된 오존은 오존모니터(Dasibi, Model DY-1500)를 사용하여 측정하였다. 오존발생장치의 인입기체로는 공업용 산소(O₂, purity 95%)를 사용하였으며, 인입산소의 유량은 2[LPM]으로 고정하였다. 오존발생기의 냉각을 위해

서 상온의 수도수를 냉각장치(Chiller, Accurate Gas Control system Inc. Model AG-T, USA)를 사용하여 5[°C]로 냉각한 뒤 유속 3[LPM]으로 유도전극으로 사용된 알루미늄판에 음각된 냉각통로로 유수하였다.

3. 실험결과 및 고찰

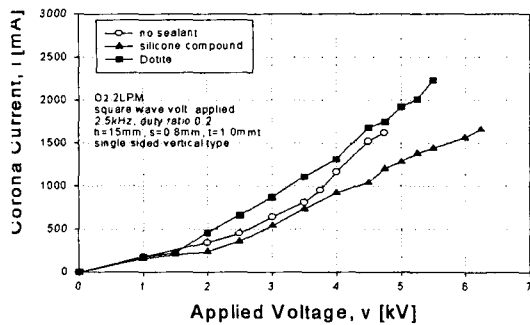


그림 3. 접착물질의 종류에 따른 I-V 특성
Fig. 3. I-V characteristics by kinds of binders

그림 3과 4는 구형파 고전압의 주파수 2.5[kHz], 시비율 20[%]로 하고 인입산소 유량을 2[LPM]으로 흘렸을 때, 3가지 경우, 즉 접착물질이 없는 경우, 방열 재료로 사용되는 순수한 실리콘 화합물을 사용한 경우, 도전성 수지재료(Dotite)를 사용한 경우의 전류-전압특성과 오존발생특성을 보여주고 있다. 전류-전압특성에서 알 수 있듯이 접착물질로써 도전성 수지 재료(Dotite)를 사용한 경우가 다른 두 경우에 비해 방전개시가 약 1.5[kV]로서 빠른 것을 볼 수 있고 이에 따라 오존발생 역시 1.5[kV]의 인가전압에서 시작됨을 알 수 있다. 또한 전압이 증가함에 따라 오존발생량 또한 급격히 증가하게 된다. 전압의 계속적인 증가와 더불어 약 4.5[kV]에서 25940[ppmV]로서 최대값을 보이고 감소하기 시작한다. 이에 비해 다른 두 경우에는 방전개시 전압 약 2[kV]로써 비슷하나 방전이 진행될수록 접착물질이 없는 경우가 실리콘 화합물을 사용한 경우보다 더 많은 방전전류가 흐름을 알 수 있고 오존발생특성은 인가전압 약 3.5[kV]부터 접착물질을 사용하지 않은 경우가 더 증가하나 최대값 19558[ppmV]를 지나면서 일찍 감소하는 경향을 보여주고 있다.

전극과 유전체장벽간의 접착물질의 특성변화가 오존발생특성에 미치는 영향

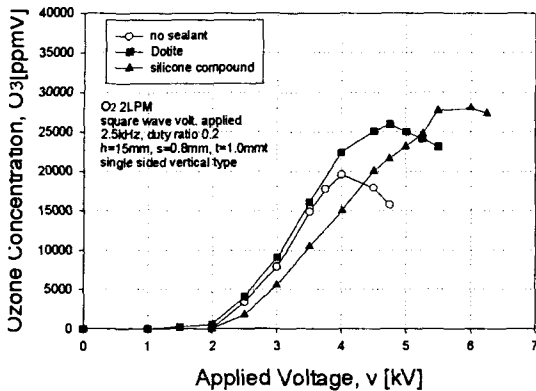


그림 4. 접착물질의 종류에 따른 오존발생특성
Fig. 4. Ozone generation characteristics by kinds of binders

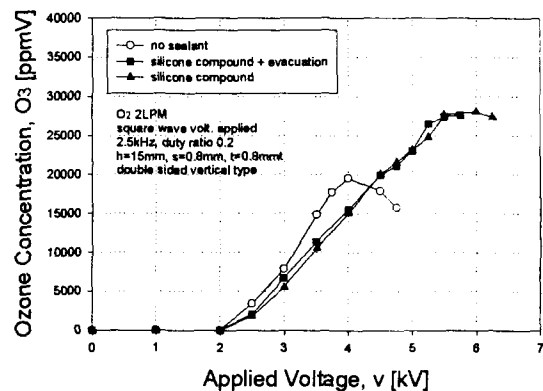


그림 6. 접착면의 접착조건에 따른 오존발생특성
Fig. 6. Ozone generation characteristics by binding conditions of surface

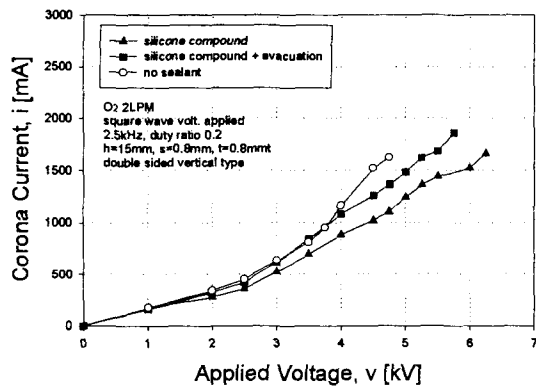


그림 5. 접착면의 접착조건에 따른 I-V 특성
Fig. 5. I-V characteristics by binding conditions of surface

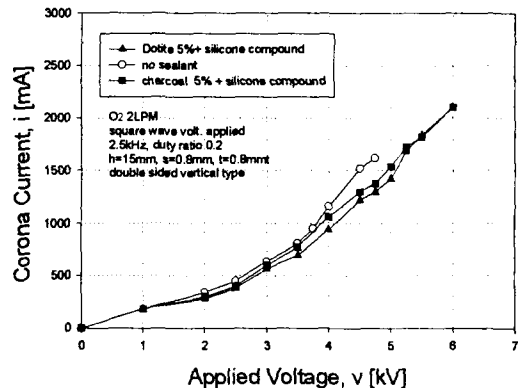


그림 7. 첨가물질의 종류에 따른 전류-전압 특성
Fig. 7. I-V characteristics by additives

이는 접착물질로 도전성 수지재료를 사용한 경우 전원에서 인가한 전압이 대부분 방전공간과 유전체에 인가되고 이로 인해 방전의 개시가 빠른 것으로 사료된다. 또한 접착물질이 없는 경우 전원에서 인가한 전압은 방전공간과 유전체, 그리고 유전체와 접지전극사이에 존재하는 미세한 공간에 골고루 분산되어 인가되게 된다. 따라서 일정전압 이상의 전압이 걸리게 되면 먼저 방전공간(Air gap)에 방전이 발생하게 되고 동시에 오존이 발생하게 된다.

하지만 도전성수지를 사용한 경우보다 전원에서 인가한 전압이 방전공간에 더 적게 걸리게 되고 방전 개시 전압 역시 도전성수지재료를 사용한 경우보다

높아지게 된다. 전압이 증가함에 따라 약 3.5[kV] 이상에서는 실리콘 화합물을 사용한 경우보다 방전전류가 증가하는 현상을 보이는데 이는 유전체와 접지전극사이에 존재하는 미세한 공간에도 방전이 발생된 것이기 때문에 사료된다. 이러한 방전에 의해 오존발생공간 뿐만 아니라, 유전체와 접지전극사이 공간의 온도도 올라가게 되어 오히려 오존발생에 좋지 않은 영향을 끼치는 것으로 사료된다.

오존발생특성에서도 알 수 있듯이 전압이 증가함에 따라 약 3.5[kV] 이상에서는 실리콘 화합물을 사용한 경우보다 방전전류가 증가하는 현상을 보이지만

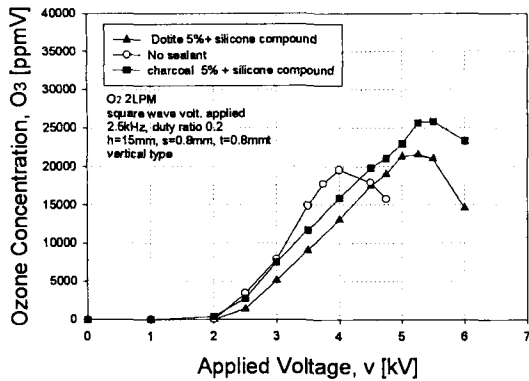


그림 8. 첨가물질의 종류에 따른 오존발생특성
Fig. 8. Ozone generation characteristics by additives

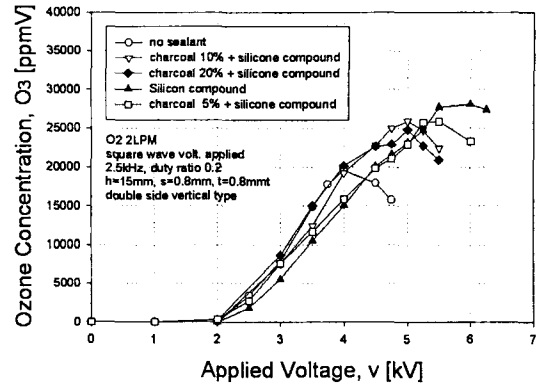


그림 10. 도전성물질의 첨가량에 따른 오존발생특성
Fig. 10. Ozone generation characteristics by quantities of conductive material

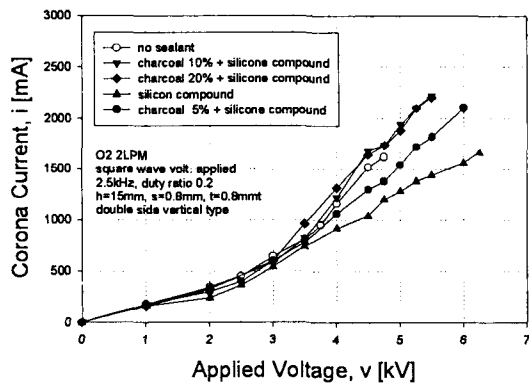


그림 9. 도전성물질의 첨가량에 따른 전류-전압 특성
Fig. 9. I-V characteristics by quantities of conductive material

오존발생특성은 어느 정도 증가하다가 오히려 빠른 감소를 보이는 것을 알 수 있다.

위의 결과로부터 알 수 있듯이 최대 오존발생량의 관점에서 실리콘 화합물을 사용한 경우가 최대값 28044[ppmV]로써 다른 두 경우의 19558[ppmV] 및 25940[ppmV]에 비해 비교적 좋은 특성을 보여주었다. 이는 실리콘 화합물의 높은 절연성과 열전도성의 효과에 의해 유전체와 접지전극사이의 부분방전을 억제하고 방전공간에서 발생한 열을 쉽게 접지전극으로 전달할 수 있었기 때문으로 사료된다.

한편, 접착물질내에 존재하는 작은 기공들 내에서

는 인가전압이 높아짐에 따라 주위의 유전물질과 유전율의 비 만큼 높은 전압이 인가되게 되고 쉽게 방전이 발생하게 된다. 이러한 접착면에 발생하는 부분방전은 접착물질의 성질을 변화시킴은 물론 접착면의 온도도 증가시켜 오존발생에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다.

따라서 그림 5와 6에서는 접착면에 사용하는 접착물질을 실리콘으로 했을 때 접착면내의 기공도를 최대한 줄이기 위해 접착물질로 실리콘 화합물을 바른 뒤 오존발생기자체를 진공장비를 사용해 배기함으로써 접착면내에 발생할 수 있는 기공을 최대한 줄인 경우와 그렇지 않은 경우의 전류-전압 및 오존발생특성을 보여주고 있다. 전류-전압특성에서 알 수 있듯이 진공배기를 한 상태가 그렇지 않은 경우에 비해 인가전압 5[kV]에서 1480[mA] 및 1280[mA] 로써 좀 더 많은 전류가 흐름을 알 수 있다. 하지만 최대오존발생량은 진공배기를 한 경우가 27544[ppmV] 그렇지 않은 경우의 28044[ppmV] 에 비해 큰 차이를 보이지 않았다.

그림 7과 8은 최대오존발생량의 관점에서 비교적 다른 두 접착물질에 비해 그 특성이 좋았던 실리콘 화합물의 특성을 좀더 자세히 실험하기 위해 실리콘 화합물에 도전성수지재료와 전도도가 좋은 탄소가루(Charcoal)를 각각 5[%]비율로 섞어서 실험한 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 접착물질이 없는 경우에 비해 다른 두 경우가 전체 인가전압에서 전반적

전극과 유전체장벽간의 접착물질의 물성변화가 오존발생특성에 미치는 영향

으로 낮은 전류값(인가전압 4[kV]에서 접착물질이 없는 경우 1160[mA], 탄소가루(charcoal)5%를 섞은 경우: 1060[mA], 도전성수지재료(Dotite)5%를 섞은 경우: 940[mA])을 나타내어 그림 3의 순수한 실리콘 화합물을 사용한 경우와 비슷한 특성을 나타낸다. 이는 실리콘 화합물의 높은 절연성으로 인해 5%에 해당하는 도전성 불순물이 섞이더라도 실리콘 화합물의 절연성에는 큰 변화가 일어나지 않았기 때문으로 사료된다.

그림 9와 10은 본 실험에서 기본적으로 사용했던 접착물질인 실리콘 화합물에 첨가하는 도전성물질 즉, 탄소가루(Charcoal)의 함유량(5%, 10%, 20% 첨가)에 따른 전류-전압 및 오존발생특성을 보여준다. 탄소가루(Charcoal)의 함유량이 적은 5%에서는 인가전압 5.5[kV]에서 최대오존발생량 25842[ppmV]로써 그 특성이 실리콘 화합물만을 사용했을 때의 인가전압 6.0[kV]에서 최대오존발생량 28044[ppmV]의 비슷한 양상을 보이지만 함유량이 10%이상에서는(탄소가루 10%함유시: 인가전압 5.0[kV]에서 최대오존발생량 25920[ppmV], 탄소가루 20%함유시: 인가전압 5.0[kV]에서 최대오존발생량 24790[ppmV])로써 순수한 도전성수지재료(Dotite)를 사용했을 때(인가전압 4.5[kV]에서 최대오존발생량 25940[ppmV])와 비슷한 특성을 보여주었다.

4. 결 론

본 실험에서는 접지전극과 유전체 장벽간의 접착물질의 물성변화에 따른 방전특성과 오존발생특성을 조사하였다. 접착물질의 물성변화를 위해 실리콘 화합물과 도전성수지재료(Dotite) 및 탄소가루(charcoal)를 적절한 비율로 섞어서 실험함으로써 다음과 같은 결론은 얻을 수 있었다.

1) 접착물질을 사용하지 않았을 때(인가전압 4.0[kV]에서 최대오존발생량 15944[ppmV]) 보다 순수한 실리콘 화합물 또는 도전성수지재료를 사용했을 때(각각 인가전압 6.0[kV]에서 최대오존발생량 28044[ppmV] 및 인가전압 4.5[kV]에서 최대오존발생량 25940[ppmV])으로 오존발생특성에 있어서 유리

한 면을 보여주었다.

2) 실리콘 화합물에 첨가하는 도전성재료(charcoal)의 함유량에 따른 특성에서는 함유량이 작을수록(함유량 5%, 인가전압 5.5[kV]에서 최대오존발생량 25842[ppmV]) 전류-전압 및 오존발생특성이 순수한 실리콘 화합물을 사용했을 때(인가전압 6.0[kV]에서 최대오존발생량 28044[ppmV])와 비슷한 결과를 나타내었다.

3) 접착물질을 사용했을 경우 순수한 실리콘 화합물을 사용한 경우(인가전압 6.0[kV]에서 최대오존발생량 28044[ppmV])가 도전성을 가진 혼합물질을 첨가했을 경우(탄소가루(charcoal)함유량 5%, 인가전압 5.5[kV]에서 최대오존발생량 25842[ppmV] 및 (도전성수지재료(Dotite) 함유량 5%, 인가전압 5.0[kV]에서 최대오존발생량 21285[ppmV])보다 오존발생에 있어서 좀더 우수한 특성을 보여주었다.

References

- [1] Y, Nomoto, Toshikazu Ohkubo and T. Adachi, "Improvement in Ozone Generation efficiency in a Parallel Plate Ozonizer with a Rotating Plate Electrode", 日本靜電氣學會誌. 13,4, 308-313, 1989.
- [2] Hitachi UV/ozone asher, UA-5200, HITACHI, JAPAN and Fusion 200AC-II Asher System, Fusion Semiconductor Systems, USA.
- [3] Kayoko Oniya and Yoshinori Kataoka, "Effect of Gas Addition on Ozone Ashing". J. Electrochem. Soc., vol. 145, no.12 December. 1998.
- [4] B.Eliasson, U.Kogelschatz and M.hirth : Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier and discharges, J. Appl. Phys. 20, 1421-1437, 1987.
- [5] Toshikazu Ohkubo, "Recent Ozone Generation Technologies by Discharge-Induced Plasmas", 日本靜電氣學會誌. 19,5, 369-374, 1995.
- [6] S. Masuda, K Akutsu, M Kuroda, Y. Awatsu, and Y. Shibuya, "A ceramic based ozonizer using high-frequency discharge", IEEE Ind. Appl., vol IA-24, no. 2, pp 223-231, Mar./Apr. 1988.
- [7] Yukiharu Nomoto, Toshikazu Ohkubo, Seiji Kanazawa, Takayoshi Adachi, "Improvement of Ozone Yield by Silent-Surface Hybrid Discharge Ozonizer", IEEE Ind. Appl., vol 31, no. 6, pp 1459-1462, Nov./Dec. 1995.
- [8] S. L. Park, J. Ch. Lee, S. J. Chung, J. D. Moon "Effects of Corona Electrode Shape and discharge Cap Spacing on Ozone Concentration " KIEE, vol 50, no. 4, 2001.

◇ 저자소개 ◇

박 승 록 (朴勝祿)

1971년 2월 2일생. 1995년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1997년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년~현재 국립금오공과대학교 전자공학부 BK21계약교수.

김 진 규 (金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수, 현재 상주대학교 전자전기공학부 전임강사.

김 형 표 (金亨杓)

1967년 2월 5일생. 1992년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 보국전기공업(주) 기술연구소. 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수.