

절연재료의 표면개질을 위한 코로나 발생기의 특성에 관한 연구

논문
8-4-15

The study on characteristics of corona ignitor for surface treatment of insulator

이덕출^{*}, 정재희^{**}, 황명환^{***}, 임무생[#], Y.Tabata[§], J.S.Chang[&]

(Duck-Chool Lee, Jae-Hee Chung, Myung-Whan Whang, Moo-Seng Im, Y.Tabata, J.S.Chang)

Abstract

The purpose of this research is to study on characteristics of corona ignitor which was designed for ignition of plasma, used at hard coating, surface treatment and thin film preparation, at high pressure.

Corona ignitor composed of hollow type inner electrode and ring type external electrode. Though corona voltage increased with increasing distance between electrodes, corona discharge can be controlled stably. The gas flow in hollow type inner electrode and the construction between electrodes affect a length of corona flame and corona phenomenon. It is possible to ignite the plasma, usually generated at low pressure(10 Torr), at high pressure(100 Torr) by corona ignitor.

Key words(중요용어) : Corona ignitor(코로나 발생기), Coating(코팅), Surface treatment(표면처리), Hollow type electrode(홀로우형 전극)

1. 서 론

마이크로전자, 광학 분야를 위한 유전코팅 등에 초박막의 응용이 확대됨에 따라 플라즈마 기술에 많은 관심이 집중되고 있다.¹⁻⁴⁾

플라즈마 CVD에 의한 유기 및 무기박막 제조나 표면 개질과 코팅의 성질은 일반적으로 인가 전원의 종류, 압력, 모노머구조, 유량, 온도, 기압, 플라즈마반응조의 형식 및 기판등 각종 파라미터의 영향을 많이 받음으로 기구 해석이 아직도 정확하게 규명되고 있지 않다. 그리고 이들 플라즈마 CVD

의 대부분은 저압력에서 작동시키고 있다. 그래서 이를 산업용으로의 적용 혹은 대면적화 하려면 고가의 강력한 진공장치와 운영비가 필요하게 되므로 가능한 한 고압력에서 작동하는 것이 바람직하다. 특히 대기압에서 수행할 수만 있으면 이 방법이야말로 실제의 응용건지에서 장치 및 구조나 운영 기술면으로 매우 유익하다. 그런데 대부분 대기압하에서의 방전은 열플라즈마(아아크 방전)⁵⁻⁶⁾로 이행하게 된다. 그래서 대기압하에서 플라즈마 과정을 수행하기 위하여 글로우 방전을 안정하고 계속적으로 유지시키는 것은 중요한 과제이다. 대기압하에서 글로우방전의 안정성은 수소 플라즈마(H₂ plasma)에서 가능하다고 보고된 바 있으나 이는 전극의 냉각조건이 성패의 열쇠이므로 지금까지 플라즈마CVD과정에 활용될 수 없었다. 최근 환경문제와 관련하여 오존발생기(Ozonizer)의 개발, De-NO_x, De-SO_x 등의 분야에서도 대기압하에서의 방전현상이 필요하게됨에 따라 이 과제가 연구의 초점으로 되어가고 있는 실정이다.

본 연구에서는 플라즈마를 발생시킬 수 있는 여

* : 인하대학교 전기공학과

** : 서울산업대학 산업안전공학과

*** : 국립공업진흥청

: 대우전자 연구소

§ : 일본산업안전 연구소

& : McMaster Univ.

접수일자 : 1995년 6월 8일

심사완료 : 1995년 7월 20일

러가지 조건중 가능한 한 기압을 고압력으로 증가시키는데 초점을 두었고, 이를 위한 수단의 일환으로 코로나 발생기를 사용하였다. 코로나 발생기의 특성을 우선 분석하기 위하여 대기압하에서 코로나 전압-전류를 관측하고 이들 특성에 미치는 유량과 전극구조 의존성을 검토하고 이 코로나 발생기로 플라즈마 개시의 유용성에 적용시켜 보았다.

2. 실험방법

그림 1과 같은 구조를 갖는 전극에 DC 고전압을 인가한 후 각종 가스를 유량계와 유량 조절기를 통하여 $\phi 3[\text{mm}]$ 의 스테인레스 튜브 전극으로 흐르게 한 후 코로나 방전을 발생시켰다.

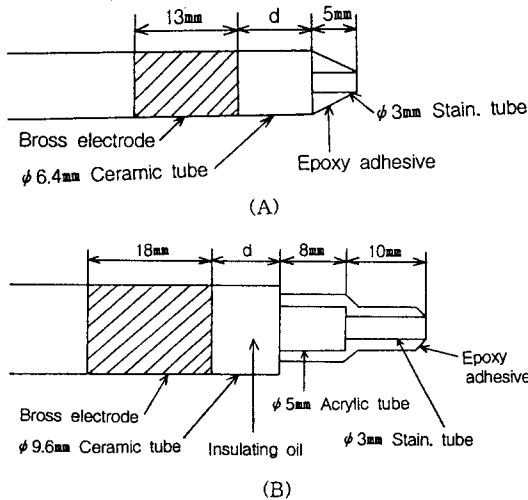


그림 1. 코로나 발생기의 구조
Fig. 1. Structure of corona ignitor.

직류 전압을 4[kV]에서 30[kV] 범위로 인가하고 전극간거리와 유량을 변화시키면서 코로나 방전시의 전압-전류 특성을 측정하였다. 코로나 발생기의 그림 1에서 구조 A는 인가 전압이 높아지면 코로나 방전이 arc로 이행될 때 세라믹 튜브의 표면으로부터 내부를 향하여 아아크가 침투되는 현상이 일어나기 때문에 구조 B와 같이 내부에 절연유를 유입시켜 아아크의 침투를 방지할 때의 V-I 특성을 관측하면서 코로나 발생과 유지를 안정되도록 시도하였다.

실험에 사용된 직류 고전압 전원은 12~120[kV], 1~10[mA]인 universal voltrouics Labtrol 장치이고 RF전원은 출력 2500[W], 주파수 27120[kHz](일

본 전기홍업, type SP-2.5 cy)를 사용했다.

3. 결과 및 고찰

코로나 발생기 A구조로서 전극간거리 d를 0, 2, 4, 6, 10[mm]로 변화시키고, (d=0 이라는 것은 홀로 우전극의 끝부분과 링전극간의 시작부분이 5[mm] 일때를 나타내고있음), 아르곤 유량을 2[l/min]로 일정하게 할때 코로나 전압-전류 특성을 그림 2에 나타내었다.

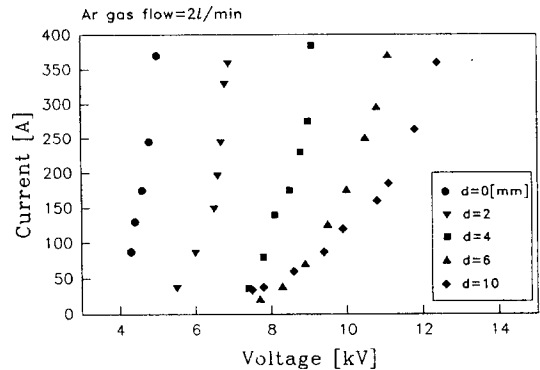


그림 2. 코로나 발생기의 전압-전류 특성(구조 A)
Fig. 2. V-I characteristics of corona ignitor (structure A).

코로나 방전이 발생할 때 코로나 프레임의 길이는 3[mm]로 되는 것이 최대이었고 아아크로 이행한다. d가 커질수록 V-I특성의 기울기가 완만하게 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 코로나 발생기를 이용해서 플라즈마 발생이나 표면처리에 응용하고자 할 때 코로나 전압과 코로나의 안정 및 제어 조건을 선택하는 기준으로 활용할 수 있다. 즉 그림에서 d=2인 경우는 V-I특성이 너무 급경사이어서 코로나 제어가 곤란하다. d=6 이상인 경우는 경사가 완만하므로 V-I제어가 용이한 편이다. 아아크발생과 내부전극으로의 침투를 제어하기 위하여 절연유를 내부에 삽입한 구조인 코로나 발생기 B로서 전극간거리 d를 0, 5, 10, 15[mm]로 변화시키고 아르곤유량을 2[l/min]로 일정하게 할 때의 V-I 특성을 그림 3에 나타내었다.

구조A와는 V-I특성이 다르고 아아크발생 전압이 높아지고 있다. 그리고 코로나발생의 제어와 코로나를 안정하게 유지하는 것이 용이하고 또한 코로나 프레임의 길이는 최대 8[mm]로 확대되었기에 코로나 발생기로서의 응용이 보다 좋을 것으로 추정된다. 이들의 결과는 코로나 발생기의 설계, 코

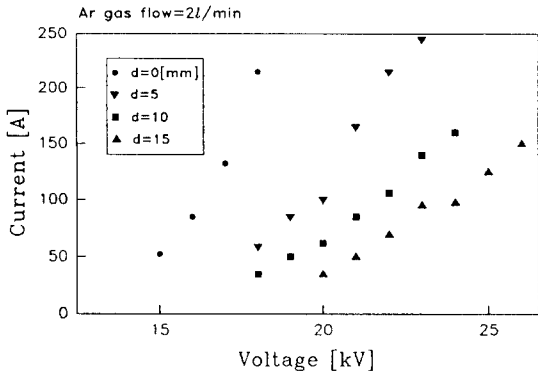


그림 3. 코로나 발생기의 전압-전류 특성(구조 B)
Fig. 3. V-I characteristics of corona ignitor (structure B).

로나 발생전원의 용량 및 코로나제어가 용이한 전압의 기준을 선택하는데 유익한 정보를 제공하고 있다. A구조보다 B구조의 쪽이 코로나 발생의 제어와 유지 특성이 좋다고 판단되므로 이하의 특성은 구조 B인 코로나 발생기를 가지고 실험하기로 한다. $\phi 0.3[\text{mm}]$ 스테인레스 내부전극에 흐르고 있는 가스의 유량이 코로나발생에 미치는 영향을 보기 위하여 $d=0$ 일때 인가전압 $V=17[\text{kV}]$, $d=10$ 일때는 인가전압 $V=22[\text{kV}]$, $d=15$ 일때 $V=24[\text{kV}]$ 로 일정하게 하고 유량을 $0.5\sim 6[\text{l/min}]$ 로 변화시키면서 각각의 전극거리에 대한 유량-전류 특성을 그림 4에 나타내었다.

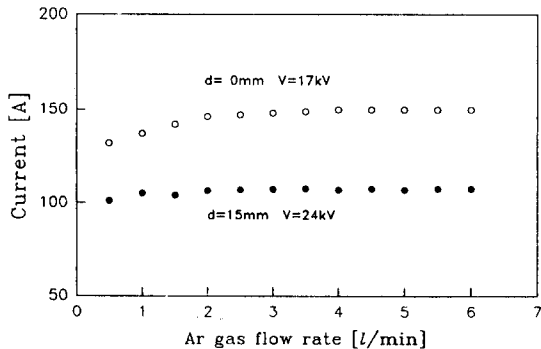


그림 4. V-I 특성의 유량 의존성
Fig. 4. The dependence of V-I characteristics on gas flow.

엄밀하게 검토하면 유량변화에 따라 미소한 차이는 있으나 일반적으로 유량에는 코로나 V-I 특성이 크게 의존하지 않고 있음을 알 수 있다. 반응

조내에서 물질의 표면처리 및 표면 경화를 용도에 따라 조절하기 위해서는 반응조에 보내는 gas의 종류에 큰 영향을 받는다. $\text{Ar}+\text{CH}_4(3[\%])$, $\text{Ar}+\text{CO}_2(10[\%])$ 및 $\text{N}_2+\text{O}_2(10[\%])+\text{CO}_2(10[\%])$ 의 가스들을 선택하여 코로나특성을 분석하였다. Ar 가스의 경우와 같이 유량은 $2[\text{l/min}]$, 전극거리 $d=5[\text{mm}]$ (홀로우전극의 끝부분과 링전극의 시작부분과의 거리는 $23[\text{mm}]$)로 일정히 하고 전압을 $14\sim 23[\text{kV}]$ 범위까지 변화시킬 때 V-I 특성을 그림 5

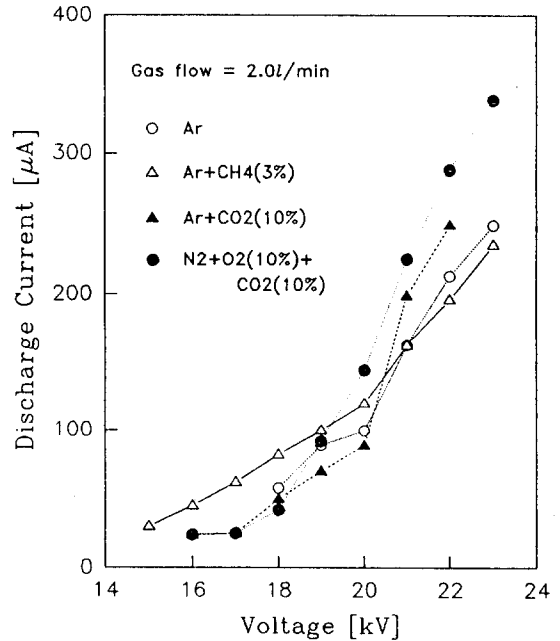


그림 5. V-I 특성의 가스 의존성
Fig. 5. The dependence of V-I characteristics on various gases.

에 도시하였다.

현상적으로는 순수 Ar과 $\text{Ar}+\text{CH}_4$ 를 홀로우형 내부전극에 흐르게 할 때 코로나 프레임이 안정하고 최대 길이가 각각 $8[\text{mm}]$ 와 $6[\text{mm}]$ 로 되었으나 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 나 $\text{N}_2+\text{O}_2+\text{CO}_2$ 가스가 흐르는 경우에는 홀로우전극의 끝부분에 브러쉬형 코로나가 발생되고 전극 주위를 맴돌고 그의 프레임은 $1[\text{mm}]$ 이하로 매우 짧으며 소음이 많이 발생함이 관측되었다. 가스의 전리전압과 관련되어 흥미로운 현상이고 추후 단독가스, 혼합가스, 기압 및 전압등 여러 요소를 변화시켜 가면서 분석하여 보면 그 기구가 해명될 것으로 본다. 아르곤만이 흐르고 있는 코로나 발생기의 응용을 시도함을 목적으로 플라즈마 발생에 적용하여 본 특성을 그림 6에 나타내었다.

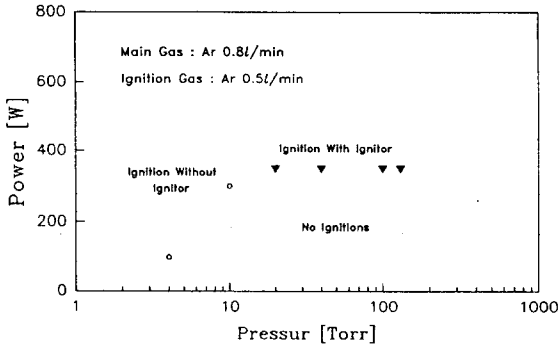


그림 6. 플라즈마 개시를 위한 압력-입력 특성
Fig. 6. Pressure-Input characteristics for plasma ignition.

Ar 유량은 0.8[l/min]로 일정히 하고 RF 고주파 진원장치로 플라즈마를 발생시키는 경우 4[Torr]의 기압에서는 최소 95[W]의 전력로서 플라즈마가 발생하고, 10[Torr]에서는 최소 300[W]에서 플라즈마가 발생한다. 그러나 그 이상의 기압에서는 100~1500[W]의 전력을 인가하여도 플라즈마가 발생하지 않는다. 그런데 코로나 발생기를 사용하면 105[Torr]까지 350[W]로써 발생시킬 수 있다. 이는 플라즈마가 발생될 수 없는 여기상태만의 공간에 갑자기 많은 이온종을 공급시키므로써 순식간에 전자 사태가 일어나서 플라즈마로 이행하는 것으로 보며 코로나 발생기의 구조설계 및 용량 증대 등의 요소를 최적으로 하면 플라즈마를 대기압 공기 중에서도 발생시킬 수 있음을 암시하는 것으로 유익한 정보라고 생각한다.

4. 결 론

근래 산업용 코팅이나 표면처리 및 박막제조 등 여러 분야에서 이용되고 있는 플라즈마의 발생조건을 변화시키기 위하여 고안된 코로나 발생기의 특성과 그의 적용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 홀로우형 내부전극과 링형 외부전극의 표면간의 길이가 증가하면 코로나 전압은 증가하고 코로나 제어가 용이하게 된다.
- 2) 홀로우형 내부전극에 흐르는 가스의 유량은 V-I특성에 크게 영향을 주지 않으나 코로나 프레임과는 관계되는 현상을 나타냈다.
- 3) 홀로우형 내부전극과 링형 외부전극간으로부터 내부로 침투되는 아아크가 코로나 발생에 영향을 주므로 코로나 발생기 설계시 한 요소로 작용 된다.

- 4) 홀로우형 내부전극에 흐르는 가스의 유량에 따라 전압-전류에는 큰 차이가 없었으나 코로나 프레임의 길이는 최적가스가량이다.
- 5) 아르곤 플라즈마가 10[Torr]에서는 300[W]로 발생되지만 10[Torr]이상에서는 플라즈마가 발생하지 않는다. 코로나 발생기를 이용하면 105[Torr]에서 350[W]로 플라즈마를 발생시킬 수 있다.

※ 본 연구는 1994년도 국제 협력 연구과제로써 한국 학술진흥재단의 연구비 지원으로 수행된 결과이며 관계당국에 심심한 사의를 표합니다. 그리고 본 실험에 있어서 일본 무사시 공대 대학원 재학중인 H. Yoshioka군의 협조에 감사한다.

참 고 문 헌

1. F.Massine, et al, "Experimental Study of an atmospheric pressure glow discharge Application to Polymer Surface Treatment", Proceeding of the 10th international conference on gas discharge (Swansea), pp730~733, 1992
2. Rafi, et al, "Ionized Gas Glow Discharge in Gases in Hollow Cylindrical Cathode", ICPIG (Budapest), pp655~667, 1985
3. K.T.Rie, et al, "Plasma-assisted Chemical Vapour Deposition of Hard Coating with Metallo Organic Compounds", Material Science and Engineering A139, pp61~66, 1991
4. J.Tyczowski, et al, "High-thermal-resistant Dielectric Coating Deposited by Plasma Polymerization", Material Science and Engineering, A139, pp120~125, 1991
5. A.Lunk, "Plasma Activated Physical Vapour Deposition(PAPVD)by Hollow Cathode Arc (HCA)", Vacuum, Vol.41, No.7-9, pp1965~1967, 1990
6. J.Stiegler, et al, "Plasma-assisted Chemical Vapour Deposition of Diamond by Hollow Cathode arc Discharge", Thin Solid Films, Vol.219, pp4-6, 1992

저자소개



이덕출

1939년 1월 22일생. 1963년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1966년 2월 인하대학교 전기공학과 석사. 1976년 9월 일본 나고야대학 전기공학과 (공학). 1981년 8월 일본 나고야대학 전기공학과 방문교수. 1994년 현재 인하대학교 전기공

학과 교수



임무생

1973년 한양대학교 공대 기계공학과 졸업. 1978년 수출진흥 발전과 수출시장 개척으로 대통령표창. 1994년 서울대학교 공대 최고산업전략과정 수료. 1995년 현재 대우전자연구소.

정재희

1952년 3월 14일생. 1978년 2월 중앙대학교 전기 졸업. 1981년 중앙대학교 대학원 전기공학과 석사. 1984년 2월 중앙대학교 대학원 전기(공학) 1985년-현재 서울산업대학교 부교수.

Y. Tabata

1965년 3월 東京電機大學 大學院. 1965년 4월 東京電機大學 講師. 1967년 4월-현재 日本産業安全研究所 電氣部 部長.

황명환

1955년 2월 10일생. 1980년 인하대학 공대 전기공학과 졸업. 1981년-87년 일본 대학 대학원 이공학 연구과 전기전공 졸업(공학). 1987년-89년 일본대학 이공학 연구소 및 일본 노동성 산업안전연구소 객원연구원. 1993년-현재 인천대



공대 산업안전공학과 조교수.

Jen-Shih Chang

1973년 Canada York Univ., Ph.D. 1979년-현재 Canada McMaster Univ. Professor.