

펄스고전압의 시비율과 주파수에 따른 비열플라즈마 발생특성

(Characteristics of Non-thermal Plasma Generation by Duty Ratio and Frequency of Pulse Voltage)

박승록* · 김진규

(Seung-Lok Park · Jin-Gyu Kim)

요 약

고주파 고전압 펄스전원을 제작하고 발생하는 펄스고전압의 시비율과 주파수가 비열플라즈마 발생에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다. 실험에 사용된 비열플라즈마 발생장치는 그물형의 방전전극을 사용한 새로운 형태로써 연면방전과 유전체 장벽방전을 동시에 이용할 수 있는 구조로 제작하였다. 비열플라즈마의 발생에 영향을 주는 주요인자는 방전에 의해 발생된 전자로써 이들의 움직임을 효과적으로 제어하기 위한 주요변수로서 시비율과 주파수를 선택하였으며 이 두 가지 변수는 전원의 효율에 관계된 전력소비량과도 직접적인 연관이 있다. 비열플라즈마 발생특성은 전류-전압특성과 방전에 의해 발생된 오존발생량을 측정함으로써 간접적으로 조사되었다. 실험결과 제작된 고주파 고전압 펄스발생장치에 의해 가장 효과적인 비열플라즈마를 발생시키는 시비율과 주파수조건을 확인할 수 있었다.

Abstract

The effects on non-thermal plasma generation by duty Ratio and frequency of pulse voltage were investigated experimentally. For these, a new type of non-thermal plasma generator with mesh electrode was manufactured and it was possible to generate the surface and silent discharge simultaneously by new type of non-thermal plasma generator. Duty ratio and frequency were selected as main parameters to control the movement of electron which is mainly related to the non-thermal plasma generation. The characteristics of non-thermal plasma generation were investigated indirectly by measuring the I-V curve and quantity of ozone generation. The most effective condition of duty ratio and frequency to generate the non-thermal plasma was identified by experiments with manufactured non-thermal plasma generator.

Key Words : Duty Ratio, Frequency, Surface and Silent Discharge, Non-thermal Plasma, Ozone Generation

* 주저자 : 국립금오공과대학교 전자공학부 BK21
계약교수

Tel : 054-467-4412, Fax : 054-467-4484

E-mail : parkssi@hanmail.net

접수일자 : 2004년 5월 14일

1차심사 : 2004년 5월 20일

심사완료 : 2004년 6월 24일

1. 서 론

코로나 방전을 이용한 비열플라즈마 발생장치는 오존발생장치[1], 전기집진장치[2] 및 유해가스 처리장치[3] 등의 형태로 다양하게 사용되고 있다. 전기

적인 방법에 의해 비열플라즈마를 얻기 위해서는 전극간에 직접 전압을 인가하는 직접방전이나, 유전체장벽을 이용한 무성방전[4], 유전체 장벽내부 또는 표면에 선띠형의 방전전극을 부착한 연면방전을 이용하는 방법[5] 등이 있다. 이들 중 무성방전과 연면방전등의 간접방전을 효과적으로 발생시키기 위해 고주파 고전압전원[5]이 많이 사용되고 있다.

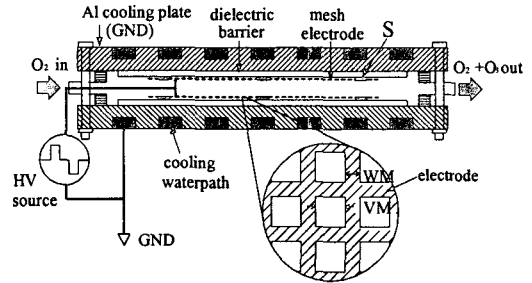
효과적인 비열플라즈마 발생에 영향을 주는 많은 요소들로는 전원과 발생장치 자체 변수 및 방전공간에 투입되는 가스등에 관계된 많은 변수[6]들이 존재하게 되는데 이들 중 전원에 관계된 변수[7] 즉, 인가전압파형의 모양과 주파수는 발생장치 전체의 전기적인 효율과 직접적인 관계를 가지고 있다. 일반적으로 유전체 장벽방전형과 비열플라즈마 발생장치의 전원으로 고주파 고전압의 정현파전압을 많이 사용한다. 이때, 고주파의 전압을 사용하는 것은 고농도의 오존발생을 위한 것으로 에너지 소비가 크고 이동능도가 낮은 이온의 활동은 억제하고 오존생성에 유리한 고에너지 전자들을 방전공간 내에서 효과적으로 이동시키기 위한 것이다.

한편, 비열플라즈마 발생장치의 전원으로 펄스 고전압을 사용하는 경우 주파수뿐만 아니라 구형파 고전압의 시비율 역시 큰 영향을 줄 수 있다. 특히 방전에 의해 발생된 고에너지 전자들만을 방전공간 내에서 효과적으로 이동시키고 불필요한 전력손실을 줄이기 위해 적절한 시비율의 선택은 매우 중요한 요소가 될 수 있다.

본 논문은 비열플라즈마 발생장치의 한 종류인 그물형 방전전극을 가지는 오존발생장치를 제안하고, 펄스 고전압의 시비율과 주파수가 비열플라즈마 발생에 미치는 영향을 실험적으로 연구 검토한 결과로서 전류-전압특성과 방전 시 발생하는 오존발생량을 측정함으로써 효과적인 비열플라즈마 발생에 필요한 시비율과 주파수 조건을 간접적으로 조사하고자 하였다.

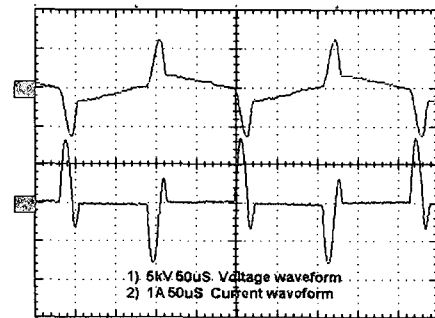
2. 실험방법 및 장치

그림 1은 본 연구에서 제안한 비열플라즈마 발생장치의 개략도를 나타낸 것으로 유도전극으로 사용



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

그림 1. 비열플라즈마발생장치의 개략도
Fig. 1. Schematic of nonthermal plasma generator



- ch 1 : output voltage
- ch 2 : output current

그림 2. 고주파 고전압 펄스전원의 출력 전류 및 전압 파형
Fig. 2. Output current and voltage waveform of HVHF pulse generator

된 알루미늄 냉각판(Al plate, 10[mmt], 180×250 [mm]), 방전전극으로 사용된 그물형 전극(mesh electrode), 유전체장벽으로 사용된 세라믹판(dielectric barrier) 그리고 세라믹 판과 그물방전극간의 방전공간을 형성하면서 그물 방전전극을 고정 지지하는 절연체(gap spacer)로 구성되어있다. 이때 방전전극으로 사용된 그물(mesh)전극은 실험에 의해 그물눈금(Vacancy of mesh electrode, VM)은 0.8 [mm]과 방전공간(Gap Spacing, S)은 0.65[mm], 전극폭(Width of mesh electrode, WM)은 0.3[mm]로 결정하였다. 접

펄스고전압의 시비율과 주파수에 따른 비열플라즈마 발생특성

지전극으로 사용된 알루미늄판을 음각(5[mm] depth, 30[mm] width)하여 냉각수를 흘릴 수 있도록 함으로써 방전공간에서 방전 시에 발생된 열을 효과적으로 냉각시킬 수 있게 하였다. 유전체장벽으로 사용된 세라믹판과 유도전극사이의 긴밀한 접촉과 효과적인 열전달을 위해 대출력 반도체소자의 방열재료로 사용되는 실리콘 화합물(Silicone Compound, FORMSEAL NOVAGARD)을 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 6[kV], 최대 전류는 500[μ A], 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, 입력전력은 전력계(Yokogawa, WT110)로 방전전류는 전류 프로브(Tektronix, AM 503B)를 사용하여 측정하였다.

모든 실험은 20[$^{\circ}$ C]의 실내에서 실시되었고, 제안된 비열플라즈마 발생장치에서 발생된 오존은 오존 모니터(Dasibi, Model DY-1500)를 사용하여 측정하였다. 비열플라즈마 발생장치의 인입기체는 공업용 산소(O_2 , purity 95[%])를 사용하였으며, 인입산소의 유량은 2[LPM]으로 고정하였다. 비열플라즈마 발생장치의 냉각을 위해서 상온의 수도수를 냉각장치(Chiller, Accurate Gas Control system Inc. Model AG-T, USA)를 사용하여 5[$^{\circ}$ C]로 냉각한 뒤 유속 3[LPM]으로 유도전극으로 사용된 알루미늄판에 음각된 냉각통로로 유수하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 그물눈금(Vacancy of mesh electrode, VM)은 0.8[mm]과 방전공간(Gap Spacing, S)은 0.65[mm], 전극폭(Width of mesh electrode, WMD)은 0.3[mm]로 결정된 그물형의 방전전극을 사용하고 펄스고전압의 시비율을 10[%]고정했을 때 펄스고전압전

원의 주파수에 따른 전압-전류 특성을 보여준다. 3.5[kHz] 및 4.0[kHz]의 주파수를 갖는 경우 방전개시전압은 약 1.5[kV]임을 알 수 있고 4.5[kHz], 5.0[kHz] 및 5.5[kHz]의 주파수를 갖는 경우 방전개시전압은 약 1.0[kV]로 이들보다 낮은 주파수인 3.5[kHz] 및 4.0[kHz]의 경우보다 약 0.5[kV]정도 낮아진 것을 볼 수 있다. 이러한 특성은 그림 4의 오존발생특성에서도 볼 수 있는데 오존이 발생하는 전압이 주파수 특성과 마찬가지로 4.5[kHz], 5.0[kHz] 및 5.5[kHz]의 주파수를 가지는 경우가 3.5[kHz] 및 4.0[kHz]인 경우에 비해 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 특성은 전원의 주파수가 높아질수록 코로나 방전전류가 크고 방전공간에 공급되는 에너지도 증가하여 방전개시전압과 이에 따른 오존 발생전압에 영향을 준 것으로 사료된다.

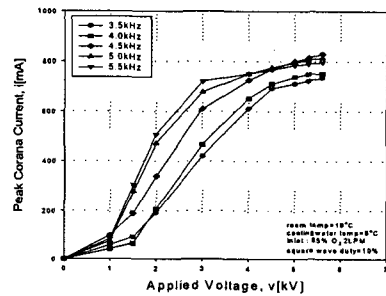


그림 3. 비열플라즈마 발생장치의 주파수 변화에 따른 전류-전압 특성

Fig. 3. I-V characteristics of nonthermal plasma generator by variation of frequency

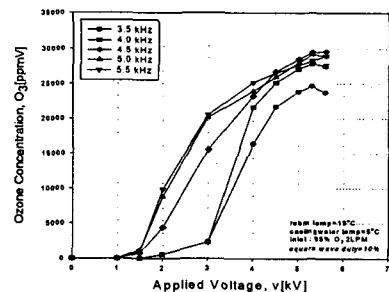


그림 4. 비열플라즈마 발생장치의 주파수 변화에 따른 오존발생량특성

Fig. 4. Ozone generation characteristics of nonthermal plasma generator by variation of frequency

최대 오존발생량은 전원주파수 4.5[kHz]인 경우 인가전압 5.6[kV]에서 29672[ppmV]로 5.0, 5.5[kHz]의 29101, 28891[ppmV]보다 더 많은 오존발생량을 나타내었다. 이러한 결과는 전원주파수가 5.0, 5.5[kHz]로 높아질 경우 방전공간에 공급되는 에너지가 증가하여 과다한 열이 발생하고 방전에 의해 발생된 오존을 오히려 해리시키는 작용을 한 것으로 사료된다.

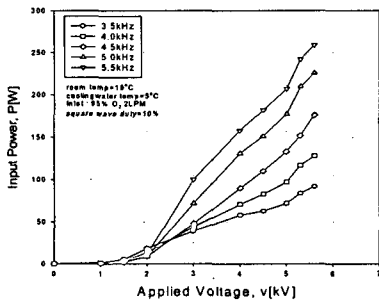


그림 5. 비열플라즈마 발생장치의 주파수 변화에 따른 입력전력-전압 특성
Fig. 5. Input power-voltage characteristics of nonthermal plasma generator by variation of frequency

그림 5는 전원의 주파수 변화에 따른 인가전압과 입력전력특성을 나타낸 것으로 주파수가 높아질수록 같은 전압에서 입력전력이 커짐을 알 수 있다. 일반적으로 방전전류 및 방전전력은 전원장치의 주파수에 비례하므로 주파수를 증가시키에 따라 오존발생속도가 빨라지나, 유전체가 발열되면서 방전공간의 온도상승을 초래하여 오존분해 작용 또한 활발해지기 때문에 적절한 주파수를 유지하는 것이 필요하다고 사료된다.

그림 6은 전원의 주파수는 4.5[kHz]로 고정하고 펄스고전압의 시비율을 10, 20, 30, 40[%]로 변화시켰을 때의 전압-전류특성을 보여준다. 펄스 고전압의 시비율이 변화해도 방전개시전압은 약 1.0[kV]로 일정함을 볼 수 있다. 그러나 그림 7의 오존발생특성에서 알 수 있듯이 시비율이 10[%]인 경우 다른 시비율의 경우보다 오존발생전압이 약 1.0[kV]정도 낮은 것을 볼 수 있고 최대 오존발생량 역시 인가전압 약 5.6[kV]에서 29672[ppmV]로 다른 시비율의 경우에 비해 1000[ppmV]정도 더 많음을 알 수 있다. 이

것은 펄스고전압의 주파수가 일정할 때 효과적인 비열플라즈마 발생을 위한 적절한 시비율이 존재함을 보여주는 것으로 적정 시비율 이상의 전압이 인가될 때 오히려 효과적인 비열플라즈마 발생에는 나쁜 영향을 미칠 수 있음을 보여주는 결과이다.

그림 8은 펄스고전압의 시비를 변화에 따른 인가전압과 입력전력특성을 나타낸 것으로 같은 전압에서 전원시비율이 커질수록 입력전력도 비례하여 커짐을 볼 수가 있다. 이것은 입력펄스전압의 동작시간(ON time)이 커지기 때문에 이에 비례해서 입력전력이 커지는 것으로 사료된다. 따라서 고전압 펄스전원의 시비율을 적절히 선택함으로써 작은 전력으로 효과적인 비열플라즈마를 발생시킬 수 있음을 알 수 있다.

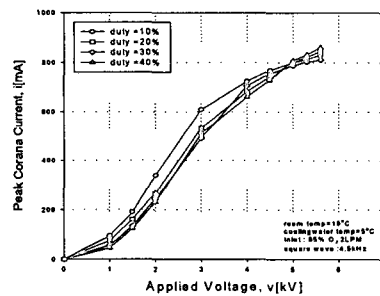


그림 6. 비열플라즈마 발생장치의 시비율 변화에 따른 전류-전압 특성
Fig. 6. I-V characteristics of nonthermal plasma generator by variation of duty ratio

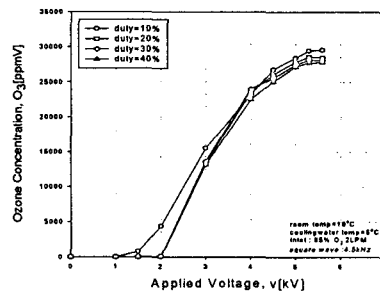


그림 7. 비열플라즈마 발생장치의 시비율 변화에 따른 오존발생특성
Fig. 7. Ozone generation characteristics of nonthermal plasma generator by variation of duty ratio

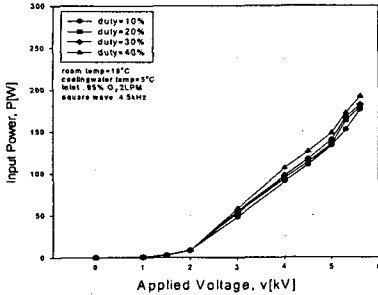


그림 8. 비열플라즈마 발생장치의 시비율 변화에 따른 입력전력-전압 특성

Fig. 8. Input power-voltage characteristics of nonthermal plasma generator by variation of duty ratio

4. 결 론

본 논문은 비열플라즈마 발생장치의 한 종류인 그물형 방전전극을 가지는 오존발생장치를 제안하고, 펄스 고전압의 시비율과 주파수가 비열플라즈마 발생에 미치는 영향을 실험적으로 연구 검토한 결과이다. 전류-전압특성과 방전시 발생하는 오존발생량을 측정함으로써 효과적인 비열플라즈마 발생에 필요한 시비율과 주파수 조건을 간접적으로 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 펄스고전압의 시비율이 일정한 경우 펄스고전압전원의 주파수에 따른 특성에서 4.5[kHz], 5.0[kHz] 및 5.5[kHz]의 주파수를 갖는 경우 오존발생 및 방전개시전압은 약 1.0[kV]로 3.5[kHz] 및 4.0[kHz]의 주파수를 갖는 경우의 1.5[kV]보다 약 0.5[kV]정도 낮아진 것을 볼 수 있다. 하지만 최대 오존발생량은 전원주파수 4.5[kHz]인 경우 인가전압 5.6[kV]에서 29672[ppmV]로 5.0, 5.5[kHz]의 29101, 28891[ppmV]보다 더 많은 오존발생량을 나타내었다.
- 2) 전원의 주파수 변화에 따른 인가전압과 입력전력특성으로부터 효과적인 비열플라즈마의 발생을 위해서는 적절한 주파수를 유지하는 것이 필요함을 알 수 있었다.
- 3) 펄스고전압의 주파수가 일정할 때 입력전력을 최소화하고 효과적인 비열플라즈마 발생을 위

해 적절한 시비율이 존재함을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 임의의 비열플라즈마 발생장치에서 효과적인 비열플라즈마 발생을 위해 적정주파수와 시비율 조건이 존재함을 알 수 있고 실험에 의해 확인이 가능하였다.

References

- (1) B.Eliasson, U.Kogelschatz and M.hirth, "Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges", J. Appl. Phys. 20, pp. 1421-1437, 1987.
- (2) A. S. Viner, P. A. Lawless, D. S. Ensor and L. E. Sparks, "Ozone Generation in dc-Energized Electrostatic Precipitators", IEEE Trans on IA, Vol. 28, No. 3, pp. 504-512, 1992.
- (3) A. Chakrabarti, A. Mizuno, K. Shimizu, T. Makuok, and S. Furuta, "Gas Cleaning with Semi-Wet type Plasma Reactor", IEEE Trans on IA, Vol. 31, No. 3, pp. 500-506, 1995.
- (4) J.Kitayama and M. Kuzumoto, "Analysis of ozone generation from air in silent discharge", J. Appl. Phys. D: Appl. Phys. 32, pp. 3032-3040, 1999.
- (5) S. Masuda, K. Akutsu, M. Kuroda, Y. Awatsu and Y. Shibuya, "A Ceramic-based Ozonizer Using High-Frequency Discharge", IEEE IA, Vol. 24, pp. 223, 1988.
- (6) Kayoko Omiya and Yoshinori Kataoka, "Effect of Gas Addition on Ozone Ashing". J. Electrochem. Soc., vol. 145, no.12 December. 1998.
- (7) J. Marcos Alonso, Jesus Cardesin, Emilio Lopez Corominas, Manuel Rico-Secades, Jorge Garcia, "Low-Power High-Voltage High-Frequency Power Supply for Ozone Generation", IEEE IA, Vol. 40, no2. pp. 414-421, March/April 2004.

◆ 저자소개 ◆

박승룡 (朴勝龍)

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.

김진규 (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 조교수.