

전 · 자계상의 전원장치변화에 따른 비열방전 플라즈마의 SO₂와 CO가스 제거특성

論 文
48C - 3 - 9

SO₂ and CO Removal Characteristics in Various Applied Voltage of Nonthermal Discharge Plasma in a Crossed DC Magnetic Field

李根宅* 琴尙澤** 文在德***

Geun-Taek Lee · Sang-Taek Geum · Jae-Duk Moon

Abstract - SO₂ and CO gas removal characteristics of a wire-to-cylinder type nonthermal discharge plasma reactor in various applied voltage (-dc, ac, fast rising pulse and high frequency pulse) and a crossed dc magnetic field have been investigated. The experiment has been emphasized on the oxidizing characteristics of SO₂ and CO gas by O₃ and the applying of a crossed magnetic field, which would induce the cyclotronic and drift motions of electrons making the residual time longer in the removal airgap space. And it also would enhance the energy of electrons and the electrophysicochemical actions to remove the pollutant gases effectively. It is found that the corona onset voltage and the breakdown voltage were decreased with increasing the crossed magnetic field and decrease initial fed SO₂ and CO concentration. As a result, a higher ozone generation and SO₂ and CO gas removal rate of 20[%] can be obtained with -dc, ac and fast rising pulse corona discharges in the crossed dc current-induced magnetic field. But high frequency pulse didn't show effect in applying of a crossed magnetic field.

Key Words : SO₂ and CO gas removal, Nonthermal discharge plasma, Crossed dc magnetic field, Electrophysicochemical actions

1. 서 론

최근 대기환경공해가 심각해짐에 따라 강력한 코로나 방전을 이용한 비열방전플라즈마의 전기물리화학적 작용을 이용한 NO_x 및 SO₂, CO, VOCs 등의 분해 및 산화제거기술이 크게 각광 받고 있어서 공업선진국에서 이에 대한 연구가 많이 수행되고 있다[1-4].

NO_x 및 SO₂, CO, 그리고 VOCs의 제거를 위한 비열방전플라즈마를 얻기 위해서는 고주파전압 또는 펄스 전압을 선대원통전극간에 직접 인가하는 직접방전이나[5-7], 유전체 장벽관을 매개한 무성방전[8-9]이나, 강유전체구층을 이용하는 간접방전[10-11]을 이용하는 방법 등이 보고되고 있다. 그러나, NO_x와 SO₂ 그리고 CO가스를 효과적으로 제거하기 위해서는 강력한 스트리머성 코로나를 유효하게 처리공간에 발생시켜야 하며, 결과적으로는 코로나 방전에 의한 물리화학적 작용의 극대화를 위해서는 고에너지 전자만을 생성시키고 가스분자를 가열시키지 않는 방법이 효과적이다[12-18].

본 연구는 비열방전 플라즈마공간에 수직직류자계를 인

가시킴으로서 Lorentz력에 의한 비열플라즈마특성을 변형시켜 종래의 선대원통형 전극구조의 비열 플라즈마 반응장치에 4가지전원(직류전원, 급준펄스전원, 고주파펄스전원, 60Hz정현파전원)을 인가하여 이에 따른 방전특성과 O₃발생, 그리고 SO₂와 CO의 제거특성을 실험적으로 연구 검토한 결과이다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험에 적용된 비열플라즈마 반응장치(nonthermal plasma reactor, PR)와 전원장치, SO₂와 CO가스 농도 조절장치와 측정 및 분석장치, 그리고 전류 및 전압 측정장치의 개략도를 나타낸 것이다. PR은 선대원통형으로서, 선전극으로는 백금선(Pt 0.3mm diameter, 20cm long)을, 외부원통전극으로는 그물같이 식각된 얇은 금속판(SUS 304, 10mesh, 0.1mm thick)을 유리관(pyrex, 26mm inner diameter)내면에 부착 사용하였다. 원통전극을 그물형으로 한 것은 내부방전을 시각적으로 관찰하고자 하였다. 자계형성코일용 인가전원은 상용교류를 다이오드로 정류하고 RC로 필터한 직류를 사용하였다. 각종전원장치는 -dc, ac, 급준펄스전원, 고주파펄스전원의 4종류 전원을 사용하였으며, 급준펄스발생장치의 구성은 고전압 직류전원장치를 통하여 공급된 고전압을 펄스형성 콘덴서에 급속히 충전시키고 로타리 스파크 갭 스위치(rotary spark gap switch)를 통해, 방전시켜 충전전류를 고전압의 펄스형태로 발생시켰다.

로타리 스파크 갭 (rotary spark gap)을 이용한 급준펄스 발생장치에서는 정극성 급준펄스전원만을 사용하여 실험을

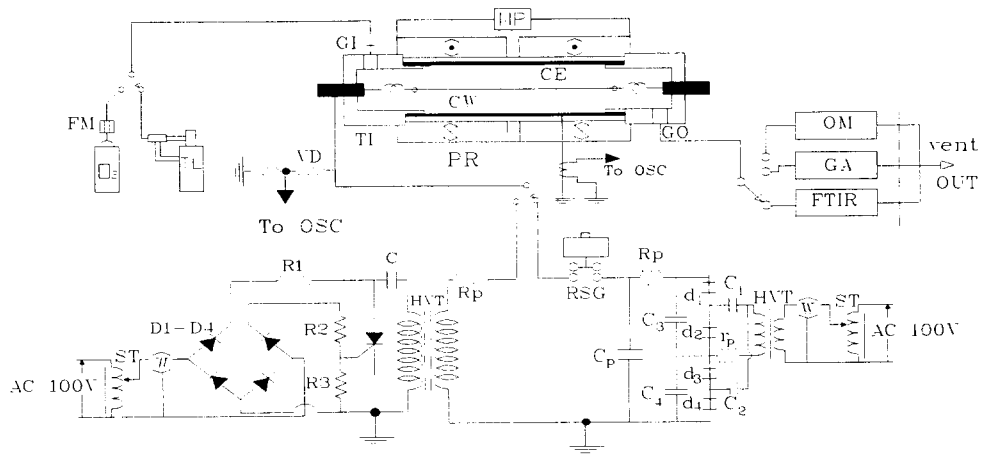
* 正 會 員 : 서라벌大學 電氣科 兼任教授 · 工博

** 正 會 員 : 慶北大學校 電氣工學科 博士課程

*** 正 會 員 : 慶北大學校 電子 · 電氣工學部 教授 · 工博

接受日字 : 1998年 12月 11日

最終完了 : 1999年 1月 21日



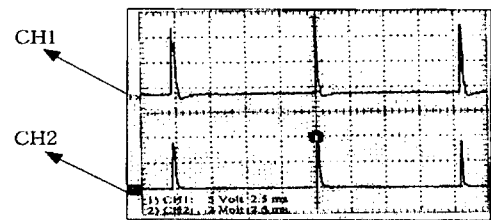
- | | | |
|----------------------------|------------------------|------------------------------|
| CE : cylinder electrode | CW : corona wire | Cp : pulse forming capacitor |
| FM : flow meter | GA : gas analyzer | GI : gas inlet |
| GO : gas outlet | GT : glass tube | MC : magnetic coil |
| MP : magnetic power supply | OM : ozone monitor | PR : plasma reactor |
| Rp : protection resistor | RSG : rotary spark gap | ST : sliding transformer |
| TI : teflon insulator | TL : torch lamp | |

그림 1 실험장치 및 플라즈마 반응장치 개략도

Fig. 1 Schematic of experimental setup and plasma reactor.

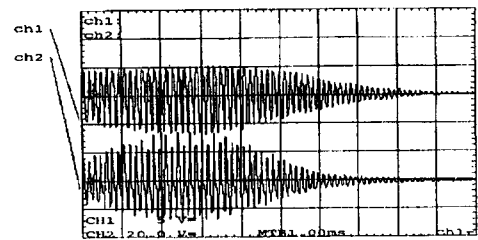
행하였다. 이는 부극성에 비해 정극성 펄스의 코로나 스트리머가 유효하기 때문이다. 또한 인가 주파수는 100[Hz]로 고정하였다. 급준펄스 발생장치는 승압 변압기 (set up transformer 110V/10kV, 500VA)와 정류 고압다이오드 (45kV/300mA)와 펄스형성콘덴서(pulse forming capacitance, 60kV/1250pF)로 구성하였다. 로타리 스파크 갭 스위치의 방전에 의한 손상을 방지하기 위하여 구리 볼 (copper ball 22mm)에 니켈을 도금하여 회전 및 고정전극으로 사용하였으며 펄스 주파수는 100[Hz]이며 상승시간 (rise time)은 20[nsec]로 고정하였다. 고주파 고전압 전원장치는 LC damping형 펄스전압을 고주파 고전압 변압기를 사용하여 승압후 출력피크 전압은 16.5[kV], 피크 전류는 20mA를 사용하였다. 또한 고주파펄스 하나의 주파수는 8[kHz]로 고정하였다. 방전전류와 전압은 HFHV probe (Tektronix, P6015 1000:1 probe)를 이용하여 200MHz 디지털 축적형 오실로스코프(Tektronix TDS 360, 1GHz/s)로 측정하였다. 입력전력은 디지털전력계(PRODIGT, model 4010)로 측정하였다. 인입기체로는 소형소각기(torch lamp)에 등유를 연소시켜 나온 SO₂, CO, NO_x, CO₂등이 혼합된 배기가스를 O₂와 혼합하여 적정 SO₂와 CO농도로 설정하여 사용하였다. 이때 총가스유량은 2LPM으로 고정하였고, 가스의 온습도는 특별히 조절하지 않았다. 자속밀도는 자속계(Gaussmeter, WALKER SCIENTIFIC INC. MG-5DAR)를 사용하여 측정하였다. 오존과 SO₂, CO가스의 측정은 오존모니터 (Ozone Monitor, Dasibi 1500DY)와 가스분석기 (Gas Analyzer, Chung Engineering, CE22ASM-P)를 사용하였으며, 출력가스의 정성분석을 위해서는 FTIR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Galaxy Series FTIR7000)을 사용하

였다.



CH1 : voltage wave CH2 : current wave

(a) Fast rising pulse voltage



ch1 : pulse voltage
ch2 : pulse current

(b) High frequency oscillating pulse

그림 2 급준펄스와 고주파전원의 출력전압과 전류파형
Fig. 2 Oscillograms of output voltage and current for fast rising pulse and high frequency oscillating pulse.

3. 실험결과 및 고찰

그림2는 급준펄스전원 및 고주파펄스전원의 출력전압 및 전류파형을 나타낸 것으로 펄스주파수(100Hz)와 상승시간 (rise time : 20nsec와 20 μ sec)은 전 실험을 통해 일정하게 유지했다.

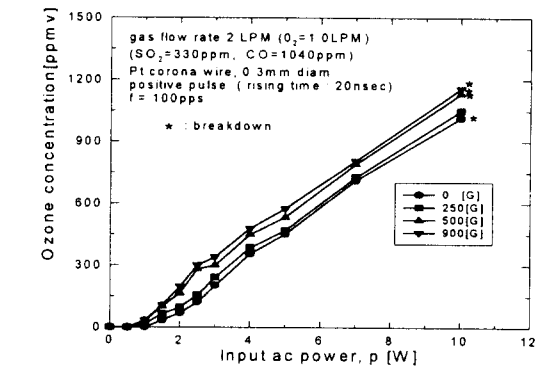
그림3(a)는 입력전력과 자속밀도에 따른 O₃발생특성을 나타낸 것으로 O₃발생에 대한 자계의 효과를 보여주고 있으며 자계인가시 20[%]이상의 O₃발생증가를 나타냈다. 입력전력과 자속밀도가 증가함에 따라, O₃발생은 코로나 개시전압에서 시작되어 급격히 증가하여 최대점에 이른다. 전자계상의 코로나 방전에 있어 하전입자는 반대전극으로 직선적으로 이동하지 않고 로렌츠힘(Lorintz's force)에 의해 사이클로트론과 드리프트운동(cyclotron and drift motion)을 하면서 이동하기 때문에 전자와 유해가스 사이의 충돌주파수를 증가시킴과 동시에 이때 만들어진 O₃에 의한 산화력이 증가되어 SO₂와 CO가스의 제거율을 증가시킨다. O₃발생에 있어 자속밀도가 250 G이하에서는 자계를 인가하지 않았을 때와 큰 차이를 보여주지 않으나 자속밀도가 500 G이상이면 O₃발생은 크게 증가한다. 이는 방전공간에서 산소분자에

대한 전자의 충돌주파수를 크게 증가시키면서 전자의 잔류시간을 길게 할 회전하면서 이동하는 사이클로트론(cyclotron)과 드리프트(drift)를 가져올 최적의 자속밀도가 존재함을 보여준다. 그림 3(b)는 고주파펄스전원의 입력전력과 자속밀도에 따른 O₃발생특성을 나타낸 것으로 자속밀도가 오존생성에 기여하지 못함을 보여주고 있다. 동일한 10 watt 입력전력에서 급준펄스전원과 비교하면 급준펄스전원은 약 1200 ppm의 오존을 생성하나 고주파펄스 전원은 1/3정도에 불과한 약 400 ppm의 오존만을 생성한다. 이는 고주파전원에서의 하전입자의 방전간격내의 운동에서 전자와 이온의 이동거리(l)가 아래의 식 1, 2와 같이 인가주파수의 함수가 되기 때문으로 사료된다.

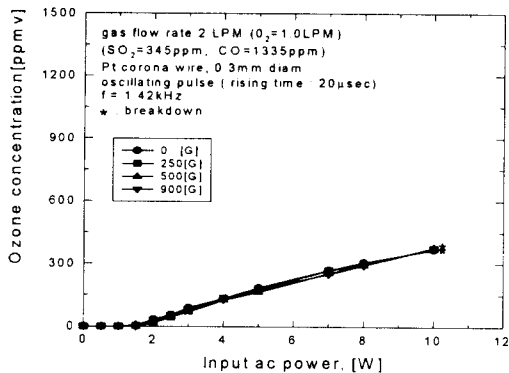
$$l_e = 2\mu_e E / \omega \dots\dots\dots(1)$$

$$l_i = 2\mu_i E / \omega \dots\dots\dots(2)$$

l_e : 전자의 이동거리, l_i : 이온의 이동거리,
 μ_e : 전자의 이동도 μ_i : 이온의 이동도
 E : 전계의 세기, ω : 각주파수



(a)



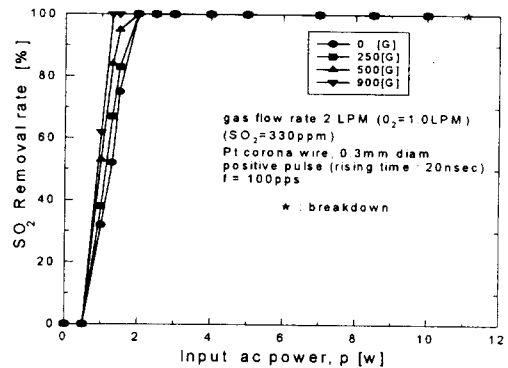
(b)

그림 3 자속밀도와 입력전력에 따른 O₃발생특성.

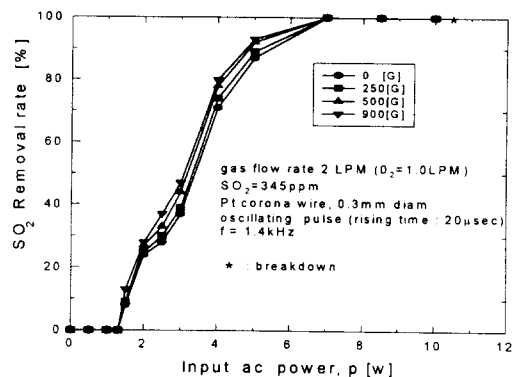
(a)급준펄스전원 (b)고주파펄스전원

Fig. 3 Ozone generation characteristics of reactor as a function of input ac power and dc magnetic flux density.

(a) Fast rising pulse voltage
 (b) High frequency oscillating pulse



(a)



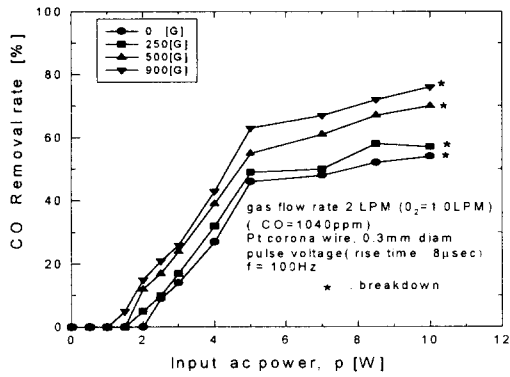
(b)

그림 4 자속밀도와 입력전력에 따른 SO₂제거특성

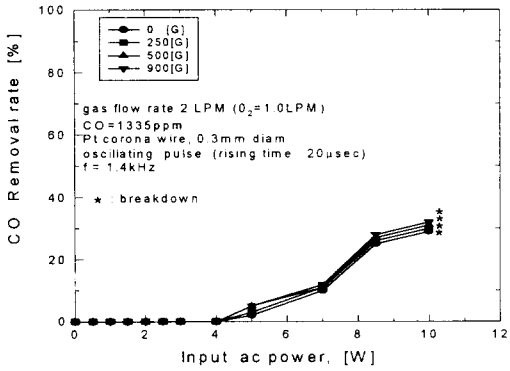
(a)급준펄스전원 (b)고주파펄스전원

Fig. 4 SO₂ removal characteristics of reactor as a function of dc magnetic flux density and input ac power.

(a) Fast rising pulse voltage
 (b) High frequency oscillating pulse



(a)



(b)

그림 5 자속밀도와 입력전력에 따른 CO 제거 특성

(a) 급준펄스전원 (b) 고주파펄스전원

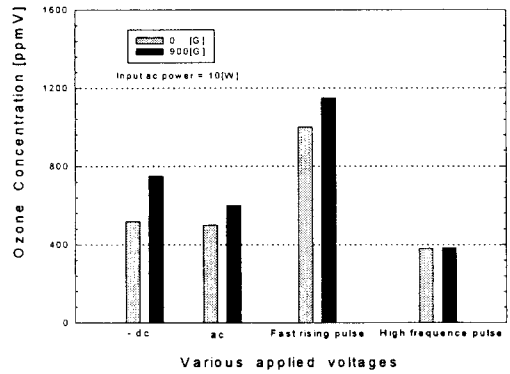
Fig. 5 CO removal characteristics of reactor as a function of dc magnetic flux density and input ac power.

(a) Fast rising pulse voltage
(b) High frequency oscillating pulse

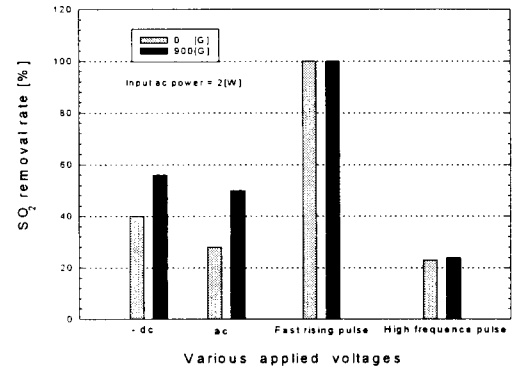
즉, 주파수가 증가하면 이동속도가 큰 전자들은 전극을 가로질러 접지전극에 쉽게 도달하여 방전에 기여하나, 이동속도가 작은 이온들은 이온의 이동거리 (l_i)가 방전간격보다 작게 되어 간격의 중앙에서 출발한 이온은 간격 내를 진동만 할 뿐 전극에 도달할 수 없게 된다. 그러므로 자속밀도의 증가에서 기인한 잔류시간의 연장보다 주파수의 영향이 크게 작용하기 때문에 전자만이 기여한 오존의 생성이 현저히 감소되었다고 사료된다.

그림 4 (a)는 급준펄스전원 인가시 SO₂가스의 초기인입농도가 330 ppm일 때 외부인가 자속밀도와 입력전력에 따른 SO₂ 제거 특성을 나타낸 것이다. 자계가 인가되지 않았을 때, SO₂는 2.0 watt에서 100[%] 제거되었으나 자속밀도가 900 G가 인가되었을 때는 1.3 watt에서 100[%] 제거되었다. 그림 4(b)는 고주파펄스전원 인가시 SO₂가스의 초기인입농도가 345 ppm일 때 외부인가 자속밀도와 입력전력에 따른 SO₂ 제거 특성을 나타낸 것이다. 2 watt까지는 자속밀도의 영향이 거의 없으며 3 watt가 넘어서면 자속밀도의 영향이 조금 보이나 10 [%]이내의 낮은 제거율의 차이를 보여준

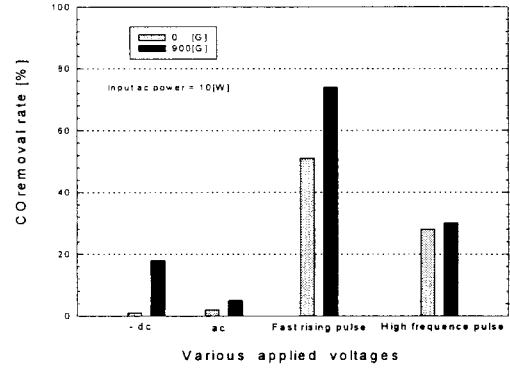
다.



(a)



(b)



(c)

그림 6 자속밀도 변화와 다양한 인가전원에 따른 O₃ 발생 및 SO₂ 와 CO 제거 특성.

(a) 오존발생특성 (b) SO₂ 제거 특성 (c) CO 제거 특성

Fig. 6 Ozone generation, SO₂ removal and CO removal characteristics by two magnetic flux density and various applied voltages.

(a) Ozone generation characteristics
(b) SO₂ removal characteristics
(c) CO removal characteristics

그림 5(a)는 급준펄스전원 인가시 CO 가스의 초기인입농도가 1040 ppm일 때 자속밀도와 입력전력에 따른 CO 제거 특성을 나타낸 것이다. 자계가 인가되지 않았을 때, CO가스는

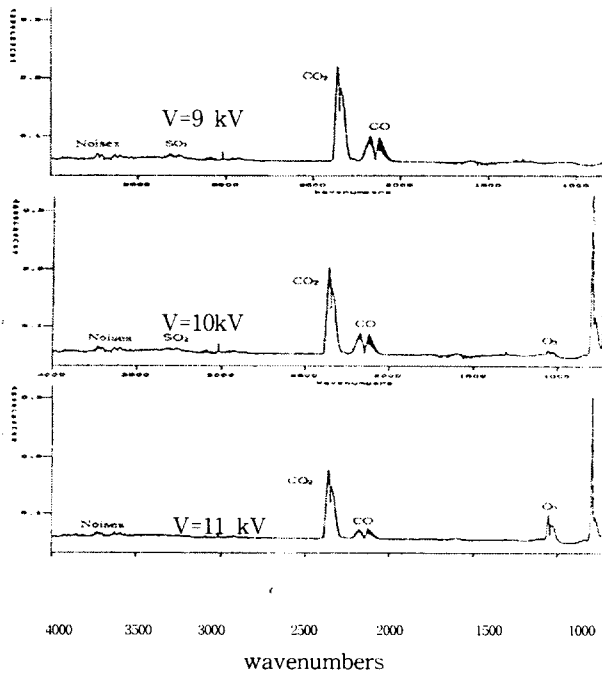


그림 7 인가전압에 따른 출력가스의 FTIR 스펙트럼
Fig. 7 FTIR spectra of output gas of the plasma reactor for different applied voltages.

2 W에서 제거되기 시작하여 5 W까지는 급격히 제거율이 증가하나 5 W 이상이 되면 서서히 포화하는 경향을 보여준다. 이는 CO가스의 제거기구는 O₃에 의한 산화제거보다 고에너지 전자에 의한 직접해리와 만들어진 라디칼에의 반응이 훨씬 큰 주요 원인이라고 판단되므로 5 W미만의 입력전력에서는 고에너지전자와 O₃에 의한 산화제거가 동시에 효과적으로 작용하여 급격한 제거효율을 보여주나 5 W 이상이 되면 입력교류전력의 증가에 따라 O₃의 발생은 계속 증가되나 산화제거에 의한 CO가스제거는 제한되고 따라서 고에너지전자에 의한 CO가스의 제거만이 유효하게 되어 포화되는 경향을 보여주는 것이라 사료된다.

자계의 효과를 살펴보면, 자계가 인가되지 않았을 때 CO가스는 10 watt에서 54 [%] 제거되었으나 자속밀도가 900 G가 인가되었을 때는 동일전력에서 76 [%] 제거되었다.

그림 5(b)는 CO 가스의 초기인입농도가 1335 ppm일 때 자속밀도와 입력전력에 따른 CO제거특성을 나타낸 것이다. CO가스의 경우 최고 30 [%]정도의 낮은 제거율을 보여주고 있으며 자계의 영향도 거의 나타나지 못함을 보여준다. 이는 고주파에 의한 이온의 포획과 오존생성의 저하에 의해 유해가스의 주작용인 전기물리화학작용이 제약을 받기 때문으로 보여진다.

그림 6(a)는 여러종류의 인가전원(-dc, ac, 급준펄스전원, 고주파전원)과 자속밀도변화에 따른 O₃발생특성을 나타낸 것으로 10 watt동일전력인가시 급준펄스전원이 가장 O₃생성에 효과적인 것을 보여준다. 또한 900 G 자속밀도 인가시 -dc, ac, 급준펄스전원은 자계의 영향을 현저히 보여주나 고주파전원에서는 자계의 영향이 거의 나타나지 않음을 보여준다.

그림 6(b)는 다양한 인가전원과 자속밀도변화에 따른 SO₂ 제거특성을 나타낸 것으로 급준펄스전원은 2 watt의 입력교류전력인가시에도 SO₂가 100 [%]제거되는 가장 좋은 효율

을 보여준다. 이는 급준펄스전원이 질량이 가벼운 전자만 가속시키고 질량이 큰 이온은 가속시키지 않는, 즉 전자의 이동속도가 매우 빠르고 온도가 높은 반면 이온온도는 낮은 상태를 유지시키기 때문으로 보여진다. 결국 비열플라즈마 화학반응의 주체인 전자의 온도만을 극히 높게 하는 것이 가능하여 활성도가 높은 라디칼의 생성을 용이하게 하여 화학반응을 쉽게 일으키는데 용이한 전원장치임을 보여준다.

SO₂제거율에서도 자속밀도의 영향이 -dc, ac, 급준펄스전원은 크게 나타나나 고주파전원은 자계의 영향이 거의 미치지 못함을 보여준다. 그림 6(c)는 다양한 인가전원과 자속밀도변화에 따른 CO제거특성을 나타낸 것으로 각 전원에 10 watt의 동일 교류입력전력인가시 O₃발생, SO₂제거율과 마찬가지로 급준펄스전원이 아주 우수한 제거효율을 보여주었으며 고주파전원에 의한 CO가스제거효율도 좋은 효율을 보여준다. 반면에 -dc와 ac전원에 의한 CO제거율에서는 자계인가시 거의 2 [%]이내에 그쳐 저전력에서의 제거율이 현저히 떨어짐을 보여준다. 또한 900 G의 자속밀도 인가시 급준펄스전원과 -dc전원의 경우 CO제거율이 약 20 [%]이상 상승되어 자속밀도의 영향이 현저히 나타남을 보여주었으며 ac전원과 고주파전원은 SO₂제거율에서처럼 자계의 영향이 거의 나타나지 않음을 보여준다.

그림 7은 O₂를 1.0LPM 혼합하였을 때 전압과 O₃의 변화에 따른 비열플라즈마 반응장치의 출구에서 처리된 가스의 FTIR spectra를 나타낸 것이다. SO₂는 인가전압과 O₃에 의해 급격히 감소하고 있으며 CO는 감소되면서 일부는 CO₂로 변환되는 것을 보여준다. 이상의 결과는 비열플라즈마에 의한 O₃생성, 고에너지전자의 생성과 SO₂, CO가스의 산화제거 특성을 직접 확인 시켜 준다.

5. 결 론

본 연구는 비열플라즈마 반응장치에 전자이동방향과 수직인 직류자계를 인가하였을 때의 비열플라즈마 반응장치의 방전특성과 O₃발생, SO₂, CO 제거특성을 연구 검토하였다. 또한 직류자계 인가시 dc전원, 급준펄스전원, 고주파전원, ac전원을 각각 비열플라즈마 반응장치에 인가하여 전원에 따른 자계의 영향 및 방전특성 SO₂, CO가스 제거특성을 비교 검토하였다.

- (1) SO₂, CO가스의 초기인입농도가 낮고 자속밀도가 증가할 수록 코로나개시전력과 전로과피 전압이 낮아졌다.
- (2) 인가전압과 자속밀도의 증가에 따라, O₃발생과 SO₂, CO가스의 제거효율은 크게 증가하고 자속밀도가 250 G 이하에서는 자계를 인가하지 않았을 때와 큰 차이를 보여주지 않으나 자속밀도가 500 G 이상이면 O₃발생과 SO₂, CO가스의 제거효율은 20 [%]이상 크게 증가한다
- (3) 다양한 인가전원(-dc, ac, 급준펄스전원, 고주파전원)과 자속밀도변화에 따른 O₃발생과 SO₂, CO가스의 제거효율을 검토한 결과, 900 G 자속밀도 인가시 -dc, ac, 급준펄스전원은 자계의 영향을 현저히 보여주나 고주파전원에서는 자계의 영향이 거의 나타나지 않음을 보여준다. 또한 동일전력인가시 급준펄스전원이 O₃생성과 SO₂, CO가스의 제거에 가장 효과적인 것을 보여준다.
- (4) FTIR spectra 분석 결과 NO의 NO₂로의 변환은 주로 O₃에 의해 행해지며, 일부는 N₂O로도 변화되나, 최종적

으로 O₂분위기 중에서는 방전전력의 증가에 의해 유효하게 제거됨을 확인시켜 주었다.

참 고 문 헌

[1] EPA, "Supplement F to Compilation of Air Pollutant Emission Factor", Vol. 1., US EPA Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park N.C., 1993.

[2] H. Akimoto, and N. Narita, "Distribution of SO₂, NO_x and CO₂ emission from fuel consumption and industrial activities in Asia with 10 × 10 resolution", Atmospheric Environment., Vol. 28, pp. 213-225, 1994.

[3] NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge Univ., England U.K., pp. 1-8, Sept. 21-25, 1992.

[4] M. Rea and K. Yan, Energization of Pulse Corona Induced Chemical Processes, NATO ASI Series G34, Part A, Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, pp. 191-204, 1993.

[5] Jae-Duk Moon, "High Efficiency Ozone Generation Using a Pyramidally Embossed Rod-to-Cylinder Electrode and a Pulse Corona Discharge", Proceedings of the Institute of Electrostatics Japan 16, 3, pp. 224-229, 1992.

[6] A. Chakrabarti, A. Mizuno, K. Shimizu, T. Matsuoka and S. Furuta, "Gas Cleaning with Semi-Wet type Plasma Reactor", IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 31, No. 3, pp. 500-506, 1995.

[7] S. Masuda, S. Hosokawa, X-L Tu, K. Sakakibara, S. Kitoh and S. Sakai, "Destruction of Gaseous Pollutants by Surface-Induced Plasma Chemical Process(SPCS)", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, No. 4, pp. 781-786, 1993.

[8] S. Masuda, E. Kiss, "Investigation on Ceramic Made Ozonizer of High Frequency Surface Discharge Type", Proceedings of Annual Meeting of The Institute of Electrostatics Japan, pp. 106-109, 1983.

[9] S. K. Dhali and I. Sardja, "Dielectric-barrier Discharge from Processing of NO_x/SO_x", Journal of Applied Physics Vol. 69, pp. 6319-6324, 1991.

[10] T. Yamamoto, K. Ramanathan, P. A. Lawless, D. S. Ensor, J. R. Newsome, N. Planks and G. H. Ramsey, "Control of Volatile Organic Compounds by an AC Energized Ferroelectric Pellet Reactor and Pulsed Corona Reactor", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, pp. 528-534, 1992.

[11] Jae-Duk Moon, Sang-Taek Geum and Mu-Sang Lee, "Plasma Generation Using a Ferroelectric Ball Discharge", Int'l Session, Proceedings of 1995 Annual Meeting of The Institute of Electrostatics Japan, pp. 9-14, 1995.

[12] U. Kogelschatz, B. Eliasson and M. Hirth, "Ozone Generation from Oxygen and Air ; Discharge

Physics and Reaction Mechanisms", 8th Ozone World Congress, Zürich, Switzerland, pp. 1-10, 1987.

[13] K Shimizu, "Gas Cleaning Utilizing Discharge Plasma", Ph.D Dissertation, Toyohashi Univ. of Technology, Japan, pp. 141-149, 1996.

[14] Jen-Shih Chang, Phil A. Lawless and T. Yamamoto, "Corona Discharge Processes" IEEE Transactions on Plasma science. Vol. 19, No. 6 pp. 1152-1165, 1991.

[15] B. Eliasson and U. Kogelschatz, "Nonequilibrium Volume plasma Chemical Processing", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 19, pp. 1063-1077, 1991.

[16] A. E. P. Heylen, Ph.D., D.Sc., and M.I.E.E, "Electrical Ionization and Breakdown of Gases in a Crossed Magnetic Field." IEE Proceedings. Vol. 127, No. 4 pp. 221-244, 1980.

[17] M. Hara, J. Suehiro and T. Wakiyama, " Deflection of Streamer Channels in High Magnetic Field", IEEE Transactions, Vol. 27, No. 6, pp. 1179-1185, 1992.

[18] 이근택, "방전선가열과 균일 수직자계가 인가된 비열방전 플라즈마반응장치의 유해가스 제거특성", 경북대학교 박사학위논문, 1998

저 자 소 개



이 근 택(李 根 宅)

1964년 4월 15일 생. 1987년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학) 현재 서라벌대학 전기·전자·전산 공학부 겸임교수



금 상 택(琴 尙 澤)

1969년 7월 2일 생. 1994년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1996년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



문 재 덕(文 在 德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 물리교육과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979년~1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1982년~1983년 일본 Simon사 동경대 파견연구원. 1986년~1987년 캐나다 Western Ontario대 전기공학과 및 응용정전기연구센터 초빙조교수. 1983년 일본정전기학회 학술논문상. 1990년 ISESP Harry J. White Award. 1992년 대한전기학회 학술상 수상. 1996년 당학회 방전고전압분과회 간사장. 1998년 현재 경북대 공학연구원장, 전자기술연구소 소장. 현재 경북대 공대 전자전기공학부 교수