

수처리용 방전 리액터의 개발과 방전 발광의 분광학적 분석 연구

한 상보, 박 재운, 김 종석, 정 장근, 고 희석, 박 상현

경남대학교 전기공학과

The development of the discharge reactor for water purification and a spectroscopic study on its discharge emission

Sang-Bo Han, Jae-Youn Park, Jong-Seog Kim, Jang-Gun Jung, Hee-Seog Koh, Sang-Hyun Park

The Department of Electrical Engineering, The University of Kyungnam

Abstract : In order to apply the discharge plasma processing to industrial areas, the control of the chemical reaction mechanism is necessary. The hybrid plasma reactor was designed for the effective treatment of wastewater and hazardous volatile organic substances. This plasma reactor was similar to the barrier discharge, and surface discharge on the dielectric surface was propagated to the water surface strongly for the heterogeneous chemical reaction at the interface between the working gas and the water surface. The discharge emission in this discharge reactor was mainly N₂ second positive band in the case of N₂ or air gas atmosphere, and intensities from OH radicals in Ar gas atmosphere were stronger than in N₂ or air gas atmosphere. From this result, it is necessary to apply Ar gas for the effective generation of OH radicals in this plasma reactor.

Key Words : barrier discharge, second positive band, OH radical

1. 서론

최근, 수중에 존재하는 유해성 세균 및 폐수 정화 처리 공정에 방전 플라즈마를 응용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Sato 등은 펄스 방전에 의해 H와 OH 라디칼과 같은 활성종들이 생성되고, 최종적으로 과산화수소(H₂O₂)를 발생시켜 효모균 제거에 효과가 있음을 보였으며 [1], Anpilov 등은 펄스 에너지를 증가시킴에 따라서 생물학적으로 활성인 영역인 295nm~220nm에서의 자외선 강도가 증가함을 보였다[2]. 이러한 펄스 방전 플라즈마 중에서도 물 분자 및 산소 분자 등이 전자와의 충돌에 의하여 OH, O, H₂O₂, O₃ 등과 같은 활성종들이 생성되고, 이들에 의해서 수중 유해물질을 분해한다고 알려져 있다.

Gallimberti 등은 긴 갭에서의 정극성 임펄스 코로나 방전 중의 스펙트럼을 근자외선 및 가시광선 영역을 위주로 측정하여, 주로 산소와 질소 분자에 의한 발광이 관측됨을 보였다. 또한, 1차 코로나는 N₂ second positive band가 주를 이루며, leader는 N₂⁺ first negative system과 O₂⁺ first와 second negative band의 발광이 추가적으로 관측됨을 보였다[3]. 이러한 플라즈마 내의 발광 분광 분석법 (Optical Emission Spectroscopy)은 그 내부 입자들의 회전 온도, 진동 온도 정보를 포함하여, 화학종의 밀도 분포를 예측할 수 있는 가장 편리한 방법이라 할 수 있다 [4]-[5]. 본 연구에서는 수질 개선용 하이브리드 플라즈마 리액터 개발과 함께 플라즈마 내부에 존재하는 라디칼들에 대하여 분광 분석을 실시하였으며, 이를 통하여 고안된 플라즈마 리액터의 특성을 정립하고 방전 플라즈마 내부의 반응 메커니즘을 해석하기 위한 기초적 데이터로서 활용하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

고안된 방전 리액터는 배리어 방전과 유사하지만, 대기압 에어 분위기 하에서 스트리머가 유전체 표면을 연해수 표면을 향하여 진전함에 따라서 가스 상과 물의 계면에서 강한 이종 반응을 일으키도록 제작되었다. 주요한 구성은 고전압 전원부 (~15kV (피크-피크), 60Hz), 자동 유량 조절계 (MFC), 플라즈마 리액터, 방전 전력 측정회로 등으로 되어 있다.

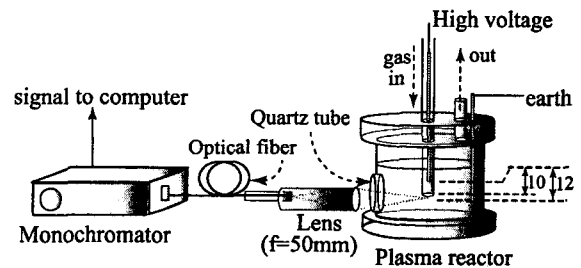


그림 1. 방전 발광 분석 장치도

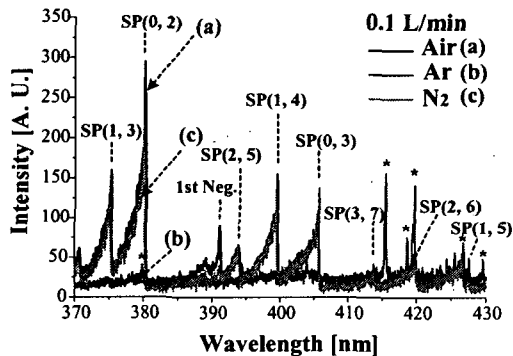
실험용 모의 가스로서 에어 (N₂:O₂ = 4:1), 질소, Ar 가스를 동일 유량으로 리액터에 도입하여, 플라즈마 내부의 발광을 200nm~900nm 영역에 걸쳐 측정하였다. 방전 발광은 집광 렌즈 (f=50mm), 광파이버(length: 5m, 19 bundle(원형분포))를 통하여 monochromator (SpectraPro 2300i, Action Research co., slit width: 10µm)로 도입되고, grating에서 분산된 신호들은 2차원 CCD 카메라 (Roper Scientific, Inc., 1340*100 pixels, Resolution: 0.497nm)에서 측정 후 컴퓨터로 전달되었다. 방전 리액터는 SUS 재질의 내부 전극 (직경: 3mm)과 석영관 (내

경:6mm, 외경:8mm)으로 되어 있으며, 내부 전극과 석영관 사이의 거리(갭)는 1.5mm, 내부전극 하단과 석영관 끝과의 거리는 10mm로 고정하였다. 이러한 리액터를 수중으로 넣고, 접지전극도 물속에 잠기도록 배치하였다.

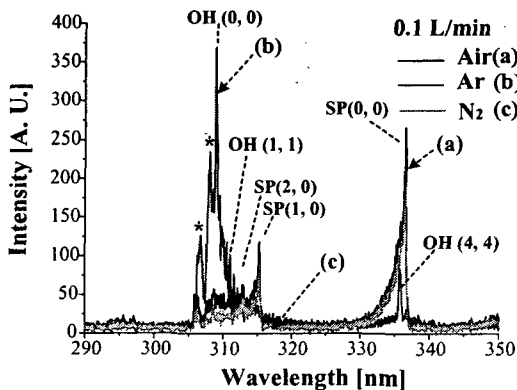
3. 결과 및 고찰

그림 2는 가스 종류를 변화시킴에 따른 방전 리액터의 전 발광 측정 결과를 보인 것이다. 그림 2(a)에 보인 것처럼 에어 및 N₂가스 조성에서는 SP band (Second positive band, C³Π_u-B₃Π_g)가 관측되었지만, Ar 가스인 경우는 410nm영역 부근에서 Ar I 발광만이 존재하였다. 그러나 OH 발광(A²Σ⁺-X²Π, v'(0) - v''(0))은 Ar 가스인 경우가 다른 가스 조성에 비하여 강하게 발광하고 있음을 그림 2(b)에서 알 수 있다. Air인 경우도 약간의 발광은 존재하지만, 극히 적음을 알 수 있는데 이것은 Ar 가스인 경우가 방전 공간 내에 기저 상태의 OH 라디칼 밀도가 높음을 간접적으로 보여준다. 또한, 구성가스가 에어인 경우에는 N₂ first negative peak (B²Σ_u⁺-X²Σ_g⁺) 및 O 라디칼 (5P-5S(776.7), 3³P-3³S(844.6nm))의 발광도 관측되었다.

연면 방전이 진전하여 수 표면과의 강한 반응을 일으키도록 제작된 본 리액터에서 OH 라디칼을 효율적으로 발생시키기 위해서는 Ar 가스 조성을 이용하는 편이 양호할 것으로 사료된다.



(a) OES 측정 결과 (370 ~ 430nm)



(b) OES 측정 결과 (290 ~ 350nm)

(* 표시된 피크들은 Ar I (Ar ion) 종들을 의미한다.
가전압:12.5kV, Hg (296.6nm)에서 약 0.19nm (FWHM))
그림 2. 290 ~ 430nm 영역에서의 전 발광 OES 측정

이러한 결과를 토대로 그림 3에서 보인 것과 같이 유량을 변화시킴에 따라서 플라즈마 영역별로 측정된 결과, 약 0.7L/min에서 발광강도가 포화되었으며, 리액터 하단면을 기준으로 약 6mm 떨어진 상부 지점에서 가장 강하게 발광이 분포함을 알 수 있었다. 이는 내부 금속전극 부근에서 약간 떨어진 지점에서 강하게 발광하고 있는데, 이는 내부 전극 근방에 시스영역이 존재하기 때문으로 사료된다.

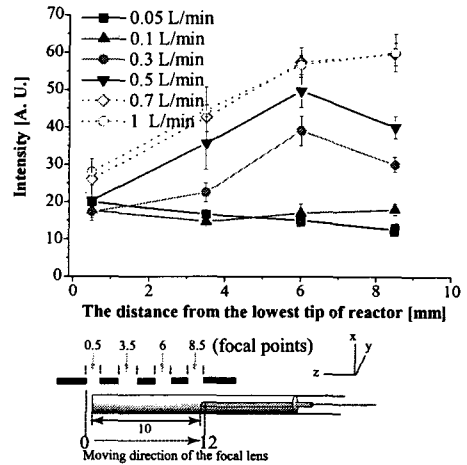


그림 3. 방전공간 중 OH 발광의 위치별 OES 측정 (OH(A²Σ⁺-X²Π, v'(0) - v''(0)), 인가전압: 12.5 kV, Inlet gas: Ar, Water quantity: 150mL)

4. 결론

가스 종류를 변화시킴에 따른 방전 리액터의 전 발광을 측정된 결과, 에어 및 N₂가스 조성에서는 SP band가 관측되었지만, Ar 가스인 경우는 410nm영역에서의 Ar I 발광만이 존재하였다. 또한, 본 리액터에서 OH 라디칼을 효율적으로 발생시키기 위해서는 Ar 가스 조성을 이용하는 편이 양호할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 육성기초연구(R05-2004-000-10555-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] M. Sato, T. Ogiyama et al., "Clemons, Formation of Chemical Species and Their Effects on Microorganisms Using a Pulsed High-Voltage Discharge in Water", IEEE Trans. Indus. App., Vol. 32, No. 1, 1996, 106-112
- [2] A M Anpilov, E M Barkhudarov et al., "Electric discharge in water as a source of UV radiation, ozone and hydrogen peroxide" J. Phys. D: Appl. Phys., 34, 2001, 993-999
- [3] Gallimberti, J K Hepworth, and R C Klewe, "Spectroscopic investigation of impulse corona discharge", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 7 (1974) 880-898
- [4] K V Kozlov, H-E Wagner, R Brandenburg, and P Michel, "Spatio-temporally resolved spectroscopic diagnostics of the barrier discharge in air at atmospheric pressure", J. Phys. D: Appl. Phys. 34 (2001) 3164-3176
- [5] Jorge Luque and David R. Crosley, "Transition probabilities in the electronic system of OH", J. Chem. Phys., Vol. 109 (1998) 439-448