

PW-002

염류 용액에서의 액체 플라즈마 방전과 히드록실라디칼에 관한 연구

최은진¹ 서정현²

인천대학교

최근 액체 플라즈마에 대한 주된 이슈는 방전에 의해 발생하는 히드록실라디칼(OH·)과 버블이다. 액체 플라즈마를 이용한 다양한 응용분야에서는 히드록실라디칼에 주목하고 있다. 액체 플라즈마는 그래핀 파생물의 용액 친화도 향상을 위해 이용될 수 있다. 흑연이 포함된 과산화수소(H₂O₂) 용액에서 전기적인 방전으로 만들어진 히드록실라디칼로 그래핀 파생물의 용액 친화도를 향상시킨다. 이는 잠재적인 프린팅(printing) 기술 발전에 기대된다. 그리고 이 라디칼은 폐수에서 발암성의 트라이클로로아세트산(CCl₃COOH)을 탈 염소하고 분해하는 역할을 하여 액체 플라즈마가 새로운 수처리 기술로 부상되고 있다. 또한 인체에서는 살균 작용을 하는 것 뿐만 아니라 단백질 고리를 끊는 역할을 하여 전립선 수술과 같은 인체수술에 적용될 수 있다. 최근 액체 플라즈마를 이용한 돼지 각막 임상수술에서 레이저와 필적할 정도로 매우 정밀하게 수술된 연구결과가 발표되어 인체 각막수술 적용에 기대된다. 이처럼 액체 플라즈마를 이용한 대부분의 응용분야에서 히드록실라디칼의 역할이 중요하다. 액체 플라즈마의 또 다른 이슈인 버블은 2가지의 역할을 한다. 첫 번째로 방전소스의 역할이다. 액체 속에 담긴 얇은 전극에 전압을 인가하면 전극 주변에서 강한 전기장의 발생으로 줄열(joule heating)에 의해 버블이 생성된다. 전극에서 버블이 생성되었을 때, 서로 다른 유전율을 가진 두 물질로 나누어진다. (버블 안은 공기로 상대 유전율 $\epsilon_r \approx 1$, 용액은 $\epsilon_r \approx 80$ 이다.) 시스템에 인가된 전압이 항복 전압(breakdown voltage)을 넘어서면 유전율이 상대적으로 낮은 버블내부에 강한 전기장이 걸리게 되어 방전이 일어난다. 만약 버블이 존재하지 않는다면 방전을 위해서 매우 높은 전압이 필요하다. 따라서 버블은 플라즈마 방전의 소스역할을 한다. 두 번째로 버블은 전극의 부식을 방지하는 역할을 한다. 전극 부식은 주로 전기분해로 인한 산화반응에 의해 발생하는데 버블을 전극에 오래 머무르게 하면 부식을 방지할 수 있다. 이처럼 액체 플라즈마 시스템에서 버블의 역할들은 상당히 중요하다. 일반적으로 버블은 시스템에 인가하는 전원, 전극 극성 그리고 전압크기에 따라 거동이 달라진다. 시스템에 AC파위를 인가하면 버블은 주파수가 높을수록 전극에서 떨어지는 속도가 빨라지는 특성을 보인다. 핀 전극 극성이 음극일 때는 양극일 때보다 버블이 더 잘 생성된다. 또한 인가전압크기에 따라 거동이 달라지며 시스템에 같은 전압을 인가하여도 크기가 항상 같지 않고, 거동도 일관성을 보이지 않는 랜덤적인 모습을 보인다. 본 연구에서는 이 랜덤적인 버블의 거동을 정리하고 응용분야에서 중요하게 여기는 히드록실라디칼 생성에 대해 공부하기 위해 염류 용액(saline solution)에 핀(pin)-면(plane) 전극 구조를 설치하여 10Hz 주파수(1% duty cycle)를 가진 0-600V 구형펄스로 실험하였다. 실험을 통한 결과로서 랜덤적인 버블의 거동을 전극에서 버블이 떨어지는 속도와 플라즈마 특성에 따라 슈팅모드(shooting mode)와 유지모드(keeping mode) 2가지 모드로 분류하였다. 슈팅모드에서는 버블이 핀 전극에서 성장하지 못하고 빠른 속도로 떨어지는 모드로 플라즈마 방전이 잘 이루어지지 않는다. 반면 유지모드에서는 버블이 핀 전극에서 떨어지지 않고 지속적으로 성장한다. 이 모드에서는 펄스 시간 동안 하나의 버블로 연속적인 방전이 가능하다. 방전이 일어날 때 발생하는 히드록실라디칼의 생성은 버블 내부의 쉬스와 관련이 있다. 이 라디칼을 만들기 위해서는 높은 에너지가 요구되기 때문에 버블 내부의 쉬스(sheath)에서 만들어진다. 펄스 동안 쉬스는 주로 핀 전극 주변에서 유지되며 히드록실라디칼은 이곳에서 주로 만들어진다. 따라서 버블과 함께 쉬스도 성장하는 버블유지모드에서 슈팅모드보다 히드록실라디칼이 더 많이 생성된다.

Keywords: 히드록실라디칼, 버블, 방전, 쉬스(sheath), 염류용액