

Saline Water Treatment by Underwater Plasma

유승민, 유승열, 박준석, 홍은정, 홍용철, 이상주, 김예진, 노태협, 이봉주

국가핵융합연구소

수중방전은 다양한 라디칼을 직접 물 속에서 발생시키기 때문에 수처리 공정에 다양한 응용이 가능하다. 특히, 최근에 선박평형수 등의 살균이 국제적인 이슈가 되고 있고, 2017년까지는 모든 선박에 살균을 위한 수처리 설비가 의무화된다. 본 연구에서는 염분이 있는 수체에서의 방전공정을 연구하고 이를 수처리공정에 적용할 수 있는 방법에 대해 연구하였다. 해수의 경우 전도도가 53mS로 자유로운 전하의 이동이 가능하기 때문에 일반적인 민물방전의 전원과 전극 등으로는 방전을 할 수 없다. 이에 세라믹과 금속의 이중구조로 되어 있는 모세관전극을 개발하여 전도성이 있는 수체에서의 방전을 이루었다. 전원장치로는 60 Hz, 380 V를 1차측에 인가하여 2차측에서 약 3 kV, 10 kW의 파워가 발생하는 12위상차 교류전원장치를 개발하여 사용하였다. 모세관 내부에 전압이 인가되면 전류가 발생하여 joule heating에 의하여 모세관 내부에 기포가 형성된다. 이 때, 전류의 단락이 이루어지면서 고전압쪽에 전하가 축적되며 기포내부의 E-field가 상승한다. 이후 기포 내에서 방전이 개시되며 각종 라디칼을 생성한다. 방전에 의해 생성되는 산화제로는 오존, OH라디칼, 과산화수소 등이 있으며, 해수에서는 Cl⁻의 결합에 의하여 Cl₂ 가스가 발생한다. 약 30,000 J/L의 체적에너지에 대하여 생성되는 총염소의 농도는 2.5 mg/L이다.

수중방전의 적용대상으로 선박평형수, 멤브레인과의 결합, 용존기포부상법을 선정하여 적용가능성을 연구하였다. 먼저 선박평형수 살균처리를 위해 해수의 처리유량을 20 lpm으로 유지하고 대장균, 바실러스, 조류(테트라셀미스) 등을 투입하여 전극 12개가 삽입된 12위상차 플라즈마 반응기를 통과시켰더니, 약 30,000 J/L의 체적에너지에 대하여 1일 후의 살균력이 각각 99.99, 99.99, 99.9%의 살균력을 나타내었다. 이는 국제해사기구에서 권장하는 살균수준인 99.9%를 초과하는 수치이다. 플라즈마를 이용한 해수살균공정의 안정적 운영을 위해 후단에 UF멤브레인을 추가하여 잔류생존 미생물을 제거할 수 있다. 이를 위해 플라즈마가 후단의 멤브레인 운전에 미치는 영향을 평가하였다. 카올린과 탄산칼슘을 오염원으로 각각 투입하여 멤브레인으로 처리를 하였을 때, 방전 직후 멤브레인에 걸리는 막간압력차가 약 30% 감소하였는데, 이는 막에 형성된 파울링이 방전에 의해 제거된 것으로 평가할 수 있다. 수중방전은 다양한 산화제를 생성함과 동시에 미세기포를 발생시키는데 이는 수중유기물의 부상분리에 적용될 수 있다. 방전모세관전극의 내부직경을 1 mm로 유지하고, 60 Hz, 교류전원으로 방전한 결과 평균입경 44 um의 기포를 발생시켰고, 이는 일반적으로 용존공기부상법에 사용되는 기포의 크기와 일치한다.

Keywords: 수중방전, 선박평형수, 살균, 멤브레인, 용존공기부상법