

물속플라즈마를 이용한 화학세정 폐액 처리 기술 Technology of Chemical-Cleaning Wastewater Treatment in Nuclear Power Plant using Underwater Plasma Technology

김진길, 이두호, 김진태, 강덕원
한전 전력연구원

1. 연구배경

EDTA(EthyleneDiamineTetraAcetic acid)는 착화(complexation)을 통해 여러 금속 이온들의 이동성을 통제·조절할 수 있다는 장점을 가지고 있어 많은 산업현장에서 사용되고 있다. 원자력산업 분야의 경우, 화학세정시 발생하는 방사능을 띤 금속이온과 착화물을 유발시켜 방사성 핵종이 다른 음이온과 반응하려는 성질을 억제 시키는데 주로 사용된다. 이러한 유기성 착화합물은 최종처리가 소홀할 경우, 시멘트나 다른 물질로 안정화된 방사성폐기물의 침출성(leachability)을 증가시켜 더 높은 이동성을 갖게 만들며, 활성탄에 의한 흡착시 지속적으로 흡착·유지를 어렵게 만들어 최종적으로 처리된 방사성 폐기물의 안전성에 악영향을 주게 되어 그 사후관리가 매우 중요하다. UWP 기술은 기존 저·고온 플라즈마를 이용한 폐수처리 방법에 비해 낮은 전력량이 소모되는 고효율 폐수처리기술로 향후 난분해성 폐액처리에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

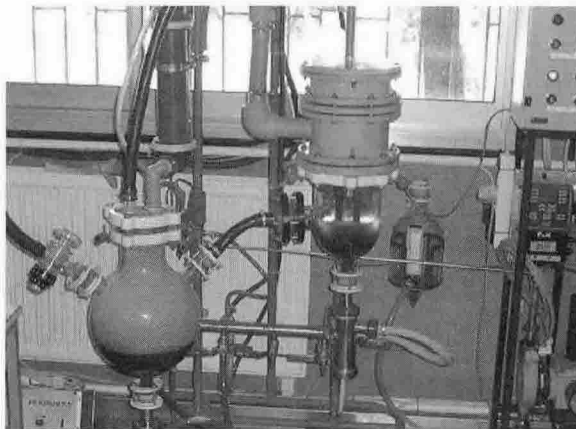


그림 1. Lab scale UWP 시스템 전경

2. 물속플라즈마를 이용한 폐액처리 기술 이란?

물속플라즈마를 이용한 폐액처리 기술을 간략하게 정의하면 전기에너지를 고온의 열에너지로 전환하여 물속에서 유기물을 순간적으로 회화시키는 기술이라 할 수 있다. 물속에 담지된 각각의 전극에 교류 전압을 가해 주면 전극은 (+)와 (-)의 양극성을 띠게 된다. 전도도가 충분히 높은 물속에 전극을 담지하고 전극에 전원을 공급하면, 각각의 전극들은 전류의 흐름이 형성되고, 이때 저항체 역할을 하는 물은 전극 표면에서 끓는점에 도달하게 된다. 전극 표면에서 물이 끓는점에 도달할 때 전극은 순간 물보다 전도도가 낮은 스팀으로 둘러싸이게 된다. 이때 발생된 스팀의 전도도는 물보다 낮아 전극사이에 흐르는 전류량이 감소하게 되면서 전극 표면에서는 물이 끓는점에 도달하지 못하게 되는 현상이 발생된다. 그 순간 물과 전극사이에서 아크 플라즈마가 발생이 되는데 UWP 기술은 바로 이러한 현상들이 주기적으로 반복되면서 용존된 유기물을 회화시키는 기술이라 할 수 있다.

3. 물속플라즈마 폐액처리 시스템 구성

UWP 폐액처리 시스템은 크게 3개의 반응조로 구성되어 있다. 처리될 폐수는 우선 완충조(buffer tank)에 유입되어 플라즈마 반응조에 투입되기 전 유기물 처리효율을 높이기 위해 pH와 폐수 온도를 사전에 조절시킨다. 이렇게 조절된 폐수는 플라즈마 반응조에 유입되어 [그림 1]에서와 같이 발생하는 아크

표 1. UWP 시스템과 저·고온 플라즈마 시스템과의 비교

항 목	UWP 시스템	저·고온 플라즈마 시스템
전극	(+), (-)극의 분리가 없는 양극성	(+), (-)극 분리
유기물 분해 반응	열분해	저온: 이온화된 산화제/고온: 열분해
플라즈마 생성	전극-물	전극-전극
전력소모	매우 낮음	저온: 낮음/고온: 높음
유기물 분해 효율	고농도에 유리	저온: 저농도에 유리/고온: 고농도에 유리
운전비	다소 높음	저온: 낮음/고온: 높음

플라즈마에 의해 유기물 분해과정을 거친다. 이때 적당량의 H₂O₂의 투입은 열분해에 의한 유기물 제거시 필요한 산소원의 공급과 다량의 OH 라디칼 형성에 기여 한다. 높은 열플라즈마를 이용하는 UWP 시스템 특성상 플라즈마 반응조에서 처리된 폐수는 약 100℃ 수준으로 폐액이 끓게 되며, 이렇게 발생된 스팀은 분리기를 통과해 응축수는 다시 완충조에, 스팀은 응축수조(condensate tank)에 포집되며, 이러한 순환과정을 통해 난분해성 액상폐기물의 처리가 이뤄진다.

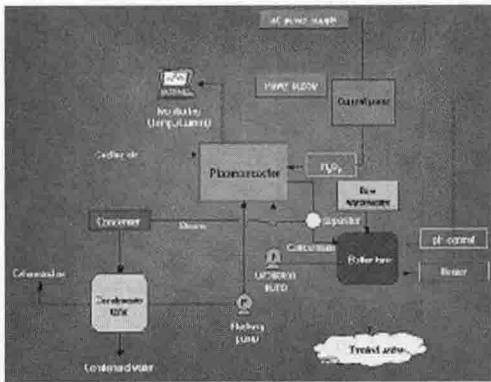


그림 2. 폐액처리 시스템의 전체 공정도

4. 기존 플라즈마를 이용한 폐수처리 기술과의 차별성

UWP 기술은 두 전극 사이에서 플라즈마가 발생하는 것이 아니라, 전극과 물 경계면에서 플라즈마가 발생하는 특징이 있다. 기존 플라즈마 장치의 경우 고온의 플라즈마 내에서 정전기적 인력에 의해 높은 에너지로 가속된 전자가 중성 분자와 충돌하여 분자들의 화학

결합을 깨며 생성되는 다양한 라디칼들의 산화력을 이용하거나, 고온 플라즈마, 특히 아크 토치형 플라즈마의 경우 고전압을 인가하여 모든 폐수를 열분해시키는 데 많은 에너지가 소비되는 반면, UWP 시스템의 경우 국부의 고온 산화법을 이용하기 때문에 상대적으로 저렴한 운전비용이 소요된다.

5. 연구계획 및 기대효과

UWP 기술을 이용한 난분해성 액상폐기물 처리 기술을 헝가리 Paks 원자력발전소에서 발생된 화학세정폐액을 대상으로 적용해 본 결과, Fe-EDTA 에 대해 97.5%이상의 높은 제거효율을 얻었으며, 장시간의 운전을 통해 장치의 안정성을 입증시킨 바 있다. 현재 원자력연구실 방사선화학그룹에서는 다양한 플라즈마 형태를 이용해 원전에서 발생하는 난분해성 폐액처리를 위한 기술 개발과 그 성능 평가를 수행 중에 있으며, 또한 Lab 규모 UWP 장치를 활용하여 다양한 산업폐액을 대상으로도 분해·처리기술에 대한 연구를 진행중에 있다. 이러한 기술로의 접근은 국내 원전에서 발생하는 폐액처리 분야의 안정적 기술 확보를 가능하게 할 뿐 아니라, 향후 원전 후속기 건설·운영시 폐액처리 계통에 이러한 신기술을 접목시킴으로서 보다 안정적이고 높은 분해효율을 지닌 처리기술을 확보 할 수 있다고 본다. 더불어 본 UWP 기술은 난분해성 폐액이 발생하는 타산업 현장으로의 확대 적용이 가능하기 때문에 그 파급효과가 매우 클 것으로 기대된다.