

# 우라늄 산화물 처리를 위한 탄산염 공정에서 전해 투석에 의한 산-알카리 회수

김광욱, 현준택, 이근영, 소지양, 박민성, 이일희, 이근우, 정동용, 문제권  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989-111

[nkwkim@kaeri.re.kr](mailto:nkwkim@kaeri.re.kr)

## 1. 서론

최근 원자력연구원에서는 Fig.1과 같이 우라늄 스크랩과 같은 우라늄 산화물을 처리하기 위한 탄산염 공정을 개발하였다.<sup>1</sup> 이 공정에서는 과산화수소를 갖는 탄산염에서 우라늄만을 선택적으로  $UO_2(O_2)_xCO_{3y}^z$  착물 형태로 용해하고 이후 이 용액의 pH를 3 정도로 조절하여 우라늄을  $UO_4$ 로 고효율 침전 회수한다. 이때 pH를 조절하기 위해 사용되는 산과  $UO_4$  침전 시 발생하는  $CO_2$  가스를 탄산염으로 회수하기 위한 알카리 용액을  $UO_4$  침전 후 용액으로부터 회수 재순환시킬 수 있으면 Fig.1의 공정은 2차 폐기물이 발생하지 않는 매우 친환경적이 공정이 된다.

본 연구에서는 전해 투석에 의한 최적의 산-알카리를 회수하기 위하여 회분식 정전류 및 정전압 조업에 따른 회수율, pH 변화 특성을 조사하였고, 이를 바탕으로 운전방식에 따른 에너지 소모율 및 전해투석 효율이 평가되었으며, 최종적으로 연속식 전해 투석 특성이 평가되었다.

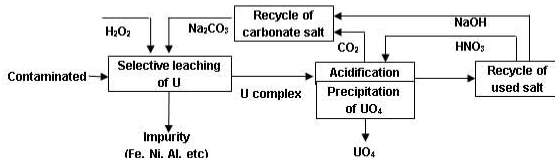


Fig. 1. 우라늄 스크랩을 처리하기 위한 탄산염 공정.

## 2. 실험

본 연구에서는 우라늄 용해액인  $UO_2(O_2)_xCO_{3y}^z$  용액의 pH 조절을 위한 산과 이때 발생하는  $CO_2$  가스를 탄산염으로 회수하기 위한 알카리를 생성하기 위한 전해투석 반응기를 사용하는 Fig.2와 같은 공정 장치를 구성하였다. 여기서 탄산염 용액의 회수는 알카리 용액이 흐르는 가스 흡수탑을 사용하였다. 전해 투석반응기는 양이온 교환막 (Nafion 424)과 음이온 교환막 (Electrolytica A-700)를 사용하는 3-chamber 반응기로 양극방, 음극방, 용액 공급방의 각 부피는 30 ml이었고, 사용된 양극과 음극은  $IrO_2$ 와 Ti이었다. 대상이 되는

공급액은 0.5 M  $NaNO_3$ 를 사용하였으며, 음극방과 양극방에 흐르는 초기 용액은 각각 0.1 M  $NaOH$ ,  $HNO_3$ 이었다. 운전 중 전류 또는 전압 및 각 방으로 흐르는 용액의 pH와 각 용액에서 이온  $Na^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$  등이 시간에 따라 측정되었다.

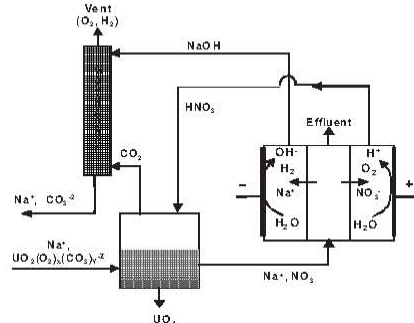


Fig. 2. 전해투석에 의한 산-알카리 회수 공정 장치.

## 3. 결과 및 토의

Fig.3에는 정전류, 정전압 운전 시 각 방에서 각 이온의 농도 변화가 나타나 있다. 전해 투석 이온 농도 변화는 정전류 운전 시에는 시간에 따라 직선적으로 변화하지만 전해 투석이 진행됨에 따라 전압이 급격히 상승하여 전원 공급 장치의 전압 공급 한계에서 운전이 중지된다. 정전압 운전 시에는 공급 전류에 비해하다가 셀 저항이 증가하면 전류가 감소하면서 물질이동 속도가 낮아지지만 최종적으로 99% 이상 산, 알카리 회수가 가능함을 보인다. Fig.4에는 정전류 정전압 운전 시 각 방에서 pH 변화가 나타나 있다. 정전압 운전 시 셀 저항이 상승하여 전압이 상승하거나, 정전압 운전 시 공급 전원의 높아짐에 따라 공급 용액방의 pH는 감소하다가 다시 상승하는데 이것은 전압이 높아짐에 음극방에 존재하는 음이온이 양이온 교환막으로 거슬러 양극 쪽으로 끌리는 현상에 의한 것으로 이것은 전해 투석 운전 에너지 효율을 낮아지게 하였다.

Fig.5에는 Fig.4의 결과를 이용하여 정전압, 정전류 운전 시 전해 투석율이 98%에 도달에 사용되는 시간과 그때까지 사용된 에너지 소모율이 나타나 있다. 동일한 에너지 사용 시 동일한 전해 투석을 위해 정전압 운전이 더 많은 시간이 소모되며, 동

일한 시간에는 정전압 운전 방법에 정전류 운전보다 더 많은 에너지를 소모하는데 이것은 높은 전압 사용 시 음이온과 양이온이 각 반대 전극 방향으로 전기 이동 (Migration)되는율이 증가하기 때문이었다. Fig.6에서 보는 것같이 전해 투석량은 정전압, 정전류 운전에서 모두 셀에 공급되는 총 전기량에 비례하는 것을 확인하였다.

전해 투석반응기에 공급용액과 음극방 및 양극방의 각 용액을 연속적으로 공급하는 경우, 용액이 반응기내 체류시간 동안에 대상 용액에 필요한 총 전기량을 공급하는 것 보다 높은 전류나 전압을 공급하는 경우 운전 전압 상승에 의해 각 이온이 각 이온교환막에서 역방향으로 이동되어 에너지 효율이 낮아짐을 확인하였다. 전해 투석에 의해 Fig.2의 공정에서 필요한 산과 알칼리를 충분히 연속적으로 회수하는 것이 확인되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발 중장기 계획사업 일환으로 수행된 연구결과입니다.

5. 참고문헌

1. K. -W. Kim, et al., Nuclear Technology, 166, 170(2009).

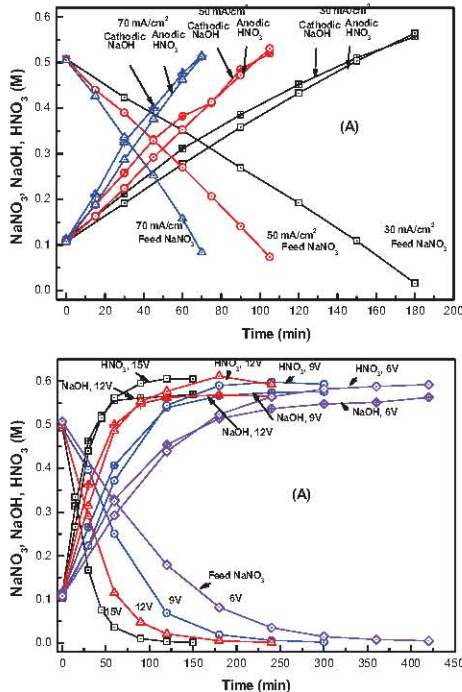


Fig. 3. 정전류 운전 시 각 방에서 이온농도, 전류 및 pH 변화.

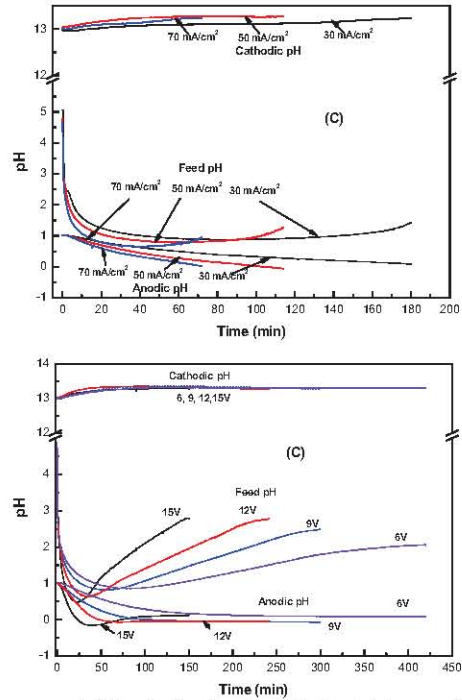


Fig. 4. 정전압 운전 시 각 방에서 이온농도, 전류 및 pH 변화.

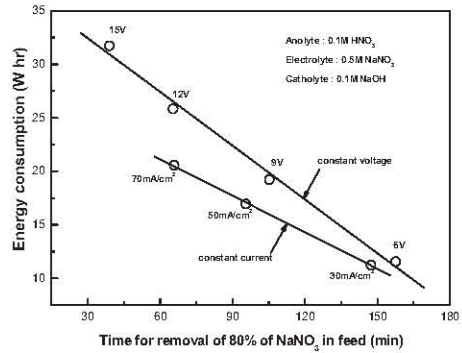


Fig. 5. 정전압 운전 시 각 방에서 이온농도, 전류 및 pH 변화.

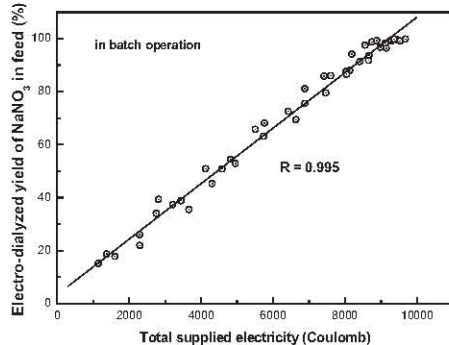


Fig. 6. 전해 투석반응기에서 총 공급전기량과 전해투석율의 관계.