

우라늄 산화물 종류에 따른 전해환원 반응 비교 연구

박병홍, 이일우, 허진목

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

bhpark@kaeri.re.kr

산화물 사용후핵연료를 금속으로 전환시키는 전해환원 공정은 고온 용융염을 매질로 전기적 에너지를 이용하여 금속 산화물에서 산소 원소를 제거하는 기술로 개발되고 있다. 이와 같은 건식 기술은 사용후핵연료의 부피를 감소시키며 고방열성 핵종을 제거할 수 있는 동시에 핵확산 저항성이 높기 때문에 사용후핵연료 관리의 안정성을 확대시키는 기술이다. 전해환원 반응은 고온 용융염계에서 환원 대상물질을 음극으로 하여 금속을 생산하는 전기화학적 환원 반응에 기반을 두고 있으며 한국원자력 연구원에서는 LiCl-Li₂O 용융염을 사용하여 산화우라늄을 금속으로 전환시키는 연구가 진행되고 있다.

산화물 핵연료로는 우라늄의 산화수가 4가인 UO₂가 사용되며 이에 따라 발생하는 사용후핵연료 역시 우라늄의 산화수가 4가인 UO₂ 형태이다. 이 사용후핵연료를 산화 분위기에서 고온 분말화시키면 U₃O₈으로 산화되며 한국원자력 연구원에서 개발한 '사용후핵연료 차세대 관리공정'에서는 이 분말화된 우라늄 산화물이 전해환원 공정에 도입되는 것으로 공정 흐름이 기획되었다. 그러나 미국 INL과 일본의 CRIEPI에서는 UO₂를 대상으로 전해환원 공정을 개발하고 있으며 LiCl-Li₂O 용융염 계에서 금속 우라늄을 성공적으로 얻었다. 이에 따라 우라늄의 산화물의 두 종류인 U₃O₈과 UO₂를 비교하여 각 물질에 대한 전해환원 거동을 비교하고자 본 연구를 수행하였다.

10g 내외의 U₃O₈/UO₂ 전해환원 반응기를 사용하여 다공성 마그네시아를 용기로 하여 음극을 구성하였으며 백금 양극을 상대전극으로 실험한 결과 U₃O₈은 Li₂O 존재 조건에서 Li_xU_yO_z 형태의 복합산화물 생성과 UO₂로의 환원을 거쳐 금속으로 전환되는 것으로 나타났으며 분말형태의 UO₂의 경우 낮은 전도도 또는 분말간의 비효율적 접촉에 의해 Li₂O가 존재하지 않는 경우 낮은 전류값을 나타냈으며 환원 또한 진행되지 않았다. 이와 같이 Li₂O가 존재하지 않는 전해셀에서 백금 양극은 안정적이지 않은 것으로 보이며 실험 후 많은 손상이 관찰되었다.

본 연구에서는 기초적인 비교 자료 생산을 위해 U₃O₈과 UO₂ 전해환원 거동을 비교하였다. 각 물질에 대해 금속 환원 결과는 이미 발표되어 있으나 본 연구에서는 UO₂ 분말을 다공성 마그네시아를 이용하여 금속전환시키는 기술적 검토를 위해 Li₂O 농도를 변화시켜 UO₂ 분말을 환원시켰다. Li₂O가 낮은 경우 정전압 조건에서 UO₂는 금속전환되기 어려우며 이때 금속전환을 위해서는 용융염 및 Cl₂ 발생에 대해 안정적인 양극이 필요한 것으로 파악되었다.