

20 kgHM/batch 급 금속전환 시스템의 Inactive demonstration

정상문, 허진목, 박성빈, 강대승, 정명수, 홍순석, 서중석, 윤지섭

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

smjeong@kaeri.re.kr

한국원자력연구소에서는 공정의 단순성, 경제성 및 환경친화성 등에 장점을 가지는 고온건식 공정 (pyroprocessing)에 기반을 둔 사용후핵연료 차세대 관리공정 (ACP)을 개발하고 있다. ACP의 목표는 현재 운전되고 있는 PWR 산화물 사용후핵연료를 금속잉곳 형태로 제조함으로써 방사성 폐기물의 부피, 방사성 및 발열량을 획기적으로 감소시키는 것이다.

이러한 ACP는 건식분말화, 전해환원, 폐용융염 처리 및 스멜팅과 같은 몇몇 단위장치로 이루어져 있으며 ACP의 핵심 공정으로써 전해환원 공정이 개발 중에 있다. ACP 공정 개념에서 사용후핵연료는 건식분말화 공정을 거쳐 U_3O_8 분말로 전환되며, U_3O_8 분말은 LiCl-Li₂O 용융염계에서 전기화학적 환원방식에 의해 금속형태로 전환된다. 또한 사용된 폐용융염은 이송되어 잉곳 형태로 제조된다.

본 연구에서는 서로 규모가 다른 전해반응기에서 우라늄산화물의 전해환원에 대한 scale-up의 영향에 대해 고찰하였다. 본 연구팀은 우라늄산화물의 금속전환을 구현하기 위해 다공성 마그네시아 멤브레인이 장착된 독창적인 일체형 환원전극을 도입하였다. 전해환원 반응시스템에서 환원전극 표면에서 Li₂O의 전해반응에 의해 Li 금속이 생성된다. 전기화학적으로 생성된 Li 금속은 일체형 환원전극내의 우라늄산화물 (U_3O_8)과 화학반응을 진행하여 금속산화물과 Li₂O이 생성된다. Li₂O는 용융염 내에서 용해되어 Li⁺이온과 O²⁻이온으로 해리되며, O²⁻이온은 환원전극으로부터 금속우라늄과 마그네시아 멤브레인을 거쳐 용융염 계로 확산되어 이동한다. 산화전극에서 O²⁻이온은 산소기체로 방출되며 환원전극에서 Li⁺이온은 상기와 같은 U_3O_8 과의 화학반응을 되풀이함으로써 최종적으로 금속우라늄을 생성하게 된다.

본 연구에서는 LiCl-Li₂O 용융염계에서 우라늄산화물의 금속전환을 위해 정전류 실험을 수행하였다. 전기화학 반응 속도를 제어하기 위해 전류가 40A로부터 90A 까지 단계적으로 변화되었다. 그림 1은 본 연구에 사용된 20 kgHM/batch 급 전해환원 반응기를 보여주고 있다. 본 반응 시스템에서 반응기는 Inconel 600, 환원전극은 6개의 백금을 이용하였으며 특히 산화전극 및 환원전극의 컨덕터 재질을 전기전도성이 우수한 Copper로 교체함으로써 전해환원 반응에서 전극 포텐셜에 대한 재질의 영향을 살펴보았다. 또한 전해환원 반응이 진행되는 동안 용융염 내의 Li₂O 농도를 시간에 따라 측정함으로써 Li₂O의 확산속도에 대한 정량적인 자료를 제시하였다. 전해환원 반응이 끝난 후 용융염은 이송하여 잉곳형태로

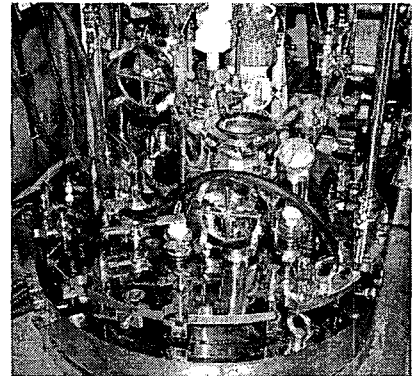


Fig. 1 20 kgHM/batch electrolytic reduction system

제조하였으며 용융염 이송이 끝난 후 Ar 분위기에서 전해환원 반응기를 생각하였다. 반응기가 상온으로 냉각된 후 반응기를 해체한 후 마그네시아 멤브레인 내의 위치별로 시료를 채취하였다. 채취된 금속시료는 열중량분석기를 통해 금속전환율을 결정하였으며 XRD 및 SEM을 이용하여 금속우라늄의 특성을 분석하였다. 환원전극 내의 금속우라늄에 포함된 용융염에 대한 무게분율과 용융염에 포함된 금속이온에 대한 농도를 ICP를 통해 분석하였다.