

우라늄 산화물의 전해환원 반응 기구 고찰

허진목, 김익수, 신호섭, 이한수
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 imhur@kaeri.re.kr

1. 서론

금속산화물의 금속으로의 전환공정은 과학적 흥미 차원을 떠나, 산업적으로도 중요한 의미를 가지고 있다. 예를 들어, 지하에는 알루미늄이 철보다 풍부하게 존재하고 있지만, 철이 알루미늄보다 훨씬 값싸다. 이는 알루미늄을 전해환원공정에 의하여 생산하는 비용이 철 생산비용보다 높는데 기인한다. 따라서, 알루미늄 생산비용을 낮출 수 있다면, 알루미늄의 우수한 물성을 이용할 기회가 더 많아질 것이다. 원자력계의 핵연료주기에서도 금속산화물의 금속으로의 전환공정은 중요한 산업적 의미를 지닌다. 경수로에서 발생하는 사용후핵연료는 대부분 이산화우라늄으로 구성되어 있다. 이를 파이로 건식처리의 하나인 금속전환 공정에 도입하여, 생산된 금속 사용후핵연료를 전해정련 공정의 원료로 사용하는 등의 일련의 파이로 건식처리 과정을 거치고, 고속로에서 고독성의 방사성 핵종을 연소시키면, 사용후핵연료 중의 유용자원은 재활용하여 사용후핵연료의 처분량을 극소화시키고, 새로운 핵연료를 생산, 재순환할 수 있게 된다. 사용후핵연료의 금속전환 방법으로는 전해환원 공정이 현재 표준공정으로 자리잡고 있으며, 경수로 사용후핵연료의 약 95%를 차지하고 있는 우라늄 산화물을 대상으로 전해환원에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나, 우라늄의 전해환원 반응기구에 대해서는 아직 논란이 남아있는 실정이다.

2. 본론

리튬 전착 반응을 기준으로 보면, 이산화우라늄이 우라늄 금속으로 환원되는 반응은 +0.07 V이다(Fig. 1). 이에 '직접환원'이라는 이름하에, 리튬 금속이 전착되지 않는 조건에서 이산화우라늄을 우라늄 금속으로 전환시키고자 하는 노력들이 진행되었다. 그러나, 리튬이 전착되는 반응과 이산화 우라늄 환원반응간의 전위차가 불과 ~70 mV

에 불과하기 때문에, 의미있는 반응속도, 즉, 높은 전류밀도를 전해환원 장치의 음극에서 구현하기 위해서는, 필연적으로 '직접환원'의 경우에도 리튬 전착이 일어날 개연성이 크다.

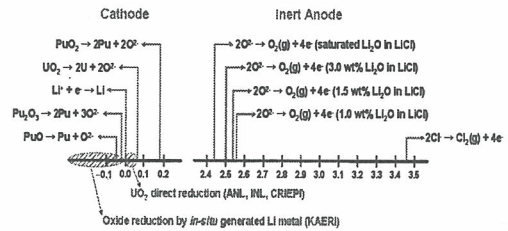


Fig. 1. Potential versus Li/Li⁺ for the electrolytic reduction at LiCl-Li₂O molten salt.

'직접환원'의 증거로, CV 실험에서 리튬의 전착 전위 전에 발견되는 환원피크의 존재가 거론된다. 하지만 분쇄된 UO₂ 펠렛을 대상으로 CV 실험을 수행한 결과, 리튬전착과 우라늄 산화물의 환원간의 열역학적 전위차로는 설명될 수 없는 큰 전위차의 환원피크가 관찰되었고, 이는 리튬 이온의 underpotential deposition으로 설명할 수 있다.

3. 결론

우라늄 산화물의 전해환원 반응은 우라늄 산화물의 산소이온이 직접 용융염에 녹아나오는 '직접환원' 반응경로보다는, 음극에 전착된 리튬 금속에 의하여 우라늄 산화물이 환원되는 '간접환원' 경로로 진행되는 것으로 나타났다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.