

고온 용융염 내 악틴족 화학종의 전기화학적 측정이 가능한 박막형 전극개발

박용준, 연제원, 신현철*, 민슬기, 조영환, 임희정, 송규석

한국원자력연구원, 원자력화학연구부, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1

*부산대학교, 재료공학부, 부산광역시 금정구 장전동 산 30

iparkv@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 파이로프로세싱 기술의 성공을 위해서는 용융염내 존재하는 악틴족 및 란타늄 족 화학종에 대한 전기화학적 특성 조사가 필수적으로 요구되며, 현재 한국원자력연구원을 중심으로 다양한 용융염 매질, 온도, 대상 핵물질 원소에 대해서 전기화학적 전위 측정, 확산계수 측정 및 산화환원 반응에 대한 연구가 진행되고 있다. 핵물질 원소에 대한 전기화학적 측정은 방사성 물질을 다루기 때문에 방사성 폐기물을 최대한도로 줄일 수 있는 소형의 반응셀을 사용하는 것이 필수적으로 요구된다. 기존의 전기화학 반응셀은 기준 전극, 작업 전극, 대응 전극을 포함하고 있으며, 이들 전극은 금속 등의 재질로 형성된 금속막대 형태 또는 석영 등의 재질로 만들어진 관형으로 이루어져 있다. 이들 전극의 두께는 수 mm에서 수십 mm의 직경의 크기를 가지며 이들 사이의 물리적 접촉이 되지 않도록 충분한 간격이 있어야 하므로, 기본적으로 반응셀은 20 mm 이상의 직경이 필요하다. 이러한 기존 반응셀을 사용하여 방사성 물질에 대한 전기화학적 거동을 측정할 경우에는 셀의 크기가 크기 때문에 더 많은 용융염 및 방사성 물질이 필요하게 되며, 이에 따라 더 많은 방사성 폐기물이 발생하게 된다. 또한, 전기화학 측정에 있어서 측정 전류의 크기가 커짐에 따라 정전위기와 같은 전기화학 측정 장비에 높은 전류를 공급할 수 있는 부스터의 장착이 보완적으로 필요하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 고온의 용융염 내의 우라늄 또는 플루토늄과 같은 방사성 원소에 대한 전기화학적 측정을 위해 필연적으로 요구되는 전기화학 반응셀의 소형화를 위한 해결책을 제공하고자 한다.

2. 실험 및 결과

전기화학 반응셀의 소형화를 이루기 위해서는, 전극의 두께를 최대한 작게 제작하며, 전극간의 물리적 접촉을 최소로 해야 한다. 금속 전극 소재를 직접 사용하는 기존의 방법은 전극의 두께가 얇아지는 경우, 전극 취급 시 및 셀 구성 시 쉽게 휘어짐으로써 전극들 간의 유격이 변화하고, 이는 전기화학 실험의 재현성을 저하시킨다. 또한, 실험 중 전해액의 대류 등에 의해 전극이 흔들리기 쉬워, 실험 결과의 신뢰성에 문제를 일으키며, 흔들림이 심할 경우 주위의 다른 전극들과의 단락이 발생할 수 있다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 전기화학 반응셀 내부의 전극을 구현함에 있어 무전해 도금법을 사용하여 금속박막을 반응셀 벽면에 코팅하여 형성함으로써 전기화학 반응셀의 소형화를 이루고자 하였다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 반응셀 벽면에 금속 박막 전극을 코팅하는 경우, 벽면 자체가 전극의 지지대 역할을 하게 되므로, 전기화학 반응에 요구되는 극히 얇은 두께의 전극을 사용하는 것이 가능하게 된다.

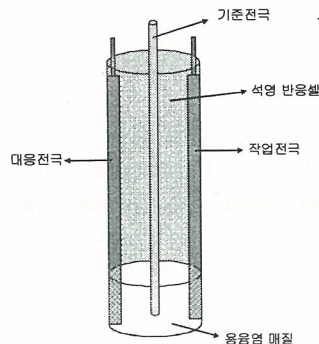


Fig. 1. Conceptual drawing of the electrochemical micro-cell

관형 반응기는 무전해 도금법을 이용하여 석영관 위에 폴리브데늄을 코팅하여, 일 전극을 제조하였다. 우선 기존에 사용되는 방법에 따라 SnCl_2 (0.02 mol/l), PdCl_2 (0.01 mol/l), HCl (0.01 mol/l) 혼합 수용액을 이용하여, 석영관 내벽을 Pd 촉매화시킨 뒤 아래와 같은 조건으로 폴리브데늄 무전해 도금을 실시하였다. 전해액으로는 Mo 발생원으로서 0.1 mol/l의 소듐 폴리브데이트 (sodium molybdate) ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 환원제는 0.3 mol/l의 차아인산나트륨 (sodium hypophosphite) ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 균염제 (retardant)로서 0.5 mol/l의 구연산 나트륨 (sodium citrate) ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)을 사용하였으며, 수산화나트륨 (NaOH)을 이용하여 pH를 8에서 10 사이로 조절하여, 극소형 전기화학 반응셀을 제조하였다. 위의 방법에 의해 석영관 위에 두께 30 μm 의 폴리브데늄 박막을 형성시킬 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 고온 용융염내의 U, Pu, Np와 같은 악티늄족 원소의 전기화학적 측정을 위해 방사성폐기물을 최소화할 수 있는 극소형 반응셀을 개발하기 위해, 반응셀의 용기로 사용되는 석영관의 내부 벽면에 금속 박막을 균일하게 코팅하기 위하여 무전해 도금법을 사용하였다. 이러한 극소형 전기화학 반응셀이 포함된 용융염 전기화학 측정 장치는 고온 용융염 매질에 포함된 악티늄족 원소 및 란타늄족 원소와 같은 다양한 화학종에 대해 전기화학 및 분광학적 자료를 산출할 수 있고, 석영관 한쪽 끝에 금속 박막을 코팅하여 결과적으로 고온에서 기계적 내구성과 전위 안정성이 향상될 수 있다.