

LCC도가니 내부 교반에 의한 U입자 침전에 관한 Modeling

윤달성, 백승우, 김시형, 권상운, 김광락, 심준보, 김정국, 정홍석, 안도희
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
yds0127@kaeri.re.kr

1. 서론

LiCl-KCl 용융염 내에서 전기화학적 반응을 이용하여 사용 후 핵연료로부터 우라늄과 TRU등을 회수 할 때, U과 Am을 동시에 회수하기 위하여 액체 Cd음극을 사용한다. 액체 음극으로 회수되는 성분 중에서 U은 수지상(dendrite)을 액체음극 계면에서 형성하여 고체 음극과 같은 역할을 하게 되므로 U만을 선택적으로 회수하는 경향이 있다. 따라서 이러한 수지상 U의 성장을 억제하는 것이 전해제련 공정의 핵심 기술이 되고 있으며, 본 연구에서는 U이 수지상으로 성장하지 않도록 하기 위한 Paddle형, Harrow 형의 교반기를 자체 제작하여 U의 파쇄 실험을 하고 있다. 불투명한 LiCl-KCl-UCl₃ 용융염 내에서 진행되는 공정 특성상, Cd계면에서 형성하는 수지상 U를 육안으로 직접 관찰 할 수 없으며, 이 생성된 수지상 우라늄은 위 교반기들의 교반에 의해 어떠한 거동을 보이는지 규명하기 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 전해제련 실험과 병행하면서 상용전산코드인 Ansys CFX 유동해석 프로그램을 이용하여 각각의 교반기 형태와 교반속도에 의한 수지상 U입자의 성장 및 파쇄 형상을 해석해보고, 이에 따른 수지상 U 침전입자의 이동현상을 규명하고자 한다.

2. 실험 및 결과

본 연구에서 Table.1 에 나타난 각각의 물성 치 및 경계조건을 만족하는 가장 단순화한 모델을 확립하였다. Fig.1과 같이 LCC 도가니 형태를 실제 공정과 같이 디자인하였으며 (도가니 내경:50mm, 도가니 높이:45mm, 교반기 설치높이:10mm, 계면의 높이:23mm), 카드뮴과 LiCl-KCl 용융염 경계면에 Plane을 만들어 수지상 U의 Inlet을 설정하였다.(Fig.2)

Table.1 물성 치 및 경계조건

항목	밀도 (g/cm ³)	점성계수 (cP)	Ref.Temp (°C)	Phase
카드뮴	7.82	1.84	500	Liquid
용융염	1.62	2.23	500	Liquid
우라늄	19.05	-	500	Solid

LCC실험에서 U³⁺ 이온이 Cd계면에 환원되면서 형성되는 수지상 U의 크기와 밀도를 정확히 측정하기가 불가능하므로 Table.2와 같이 운전변수를 두었으며, 교반기 형태는 Fig.3과 같이 Harrow 형과 Paddle 형으로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다.

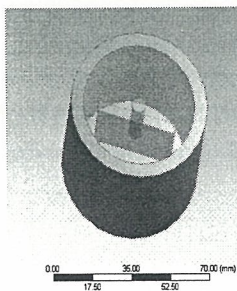


Fig.1 LCC 도가니

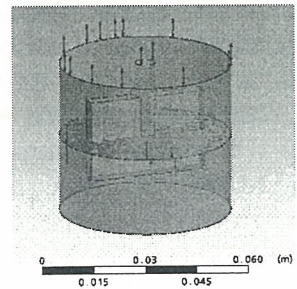


Fig.2 CFX Pre Module

U 입자의 밀도, 크기, 그리고 교반 속도 등의 운전변수에 따라 Cd계면에 생성된 U가 어떤 유동을 보이는지 조사해보았다.

Table.2 운전 변수

운전변수	
U입자 크기 (μm)	30, 50, 100, 150
U입자 밀도 (g/cm ³)	10, 15, 19
교반 속도 (rpm)	50, 100, 150, 200

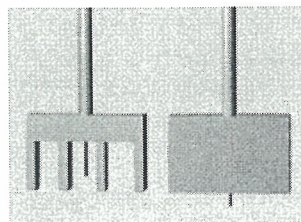


Fig.3 교반기 형태 (Harrow, Paddle)

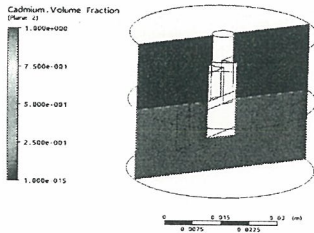


Fig.4 카드뮴 volume fraction

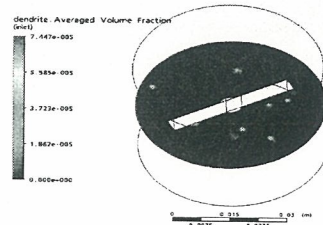


Fig.5 수지상U volume fraction

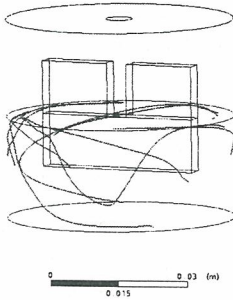


Fig.6 U입자 이동 modeling
(교반기 형태 : paddle 형
교반 속도 : 100 rpm,
U입자 크기 : 30 μm ,
U입자 밀도 : 19g/cm³)

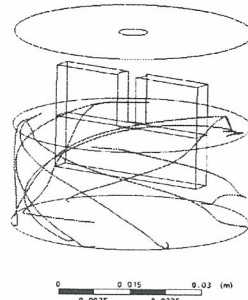


Fig.7 U입자 이동 modeling
(교반기 형태 : paddle 형
교반 속도 : 100 rpm,
U입자 크기 : 100 μm ,
U입자 밀도 : 19g/cm³)

시뮬레이션 수행 결과로 Fig.4에서와 같이 카드뮴과 용융염 경계면이 바닥으로부터 23mm지점에 잘 설정 되었으며 이 계면에서 Fig.5와 같이 U 입자들이 모사되었다. 이들 U입자의 크기를 운전변수로 설정 하여 해석한 결과 Fig.6과 Fig.7에 나타난 바와 같았다. U입자의 크기를 30 μm 로 했을 경우 수지상이 가라앉지 않고 유동의 움직임에 따라 회전하는 것을 볼 수 있었으며, 입자의 크기가 100 μm 일 경우 유동의 영향을 받으나 바닥으로 가라앉는 속도가 매우 빠른 것을 볼 수 있었다.

3. 결론

LCC 내의 우라늄 전착과 파쇄 실험과 함께 본 연구에서는 CFX 상용코드를 이용하여 LCC음극 내 수지상 우라늄 입자의 거동을 모델링해 보았다. 초기 모사 결과 입자크기에 따라 U입자의 침전거동이 크게 달라짐을 알 수 있었으며, Table.2 와 같이 주어진 변수들의 영향을 모두 파악하면 U입자의 Cd계면에서의 침전 현상에 대한 광범위한 정보를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

향후 CFX 프로그램의 Crystallization 기능을 이용하여 수지상 우라늄의 성장 형태를 모사해 보고 교반기의 교반에 따른 파쇄 거동도 살펴보아야 할 것이다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.