

사용후핵연료 건식분말화 반응기 모사를 위한 모델 개발

박병홍, 서중석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045 (덕진동 150-1)

bhpark@kaeri.re.kr

사용후핵연료의 부피 저감을 위해 개발된 한국원자력 연구원의 사용후핵연료 차세대 관리공정은 산화물 사용후핵연료를 금속으로 전환시키는 전해환원 공정을 중심으로 전해환원 반응물 준비를 위한 건식 분말화 공정과 전해환원 공정에서 나오는 금속전환체를 처리하는 스멜팅 공정으로 구성되어 있다. 각 공정에 대한 연구는 개별 공정의 실증과 반응기 개발 등을 위해 독립적으로 진행되어왔다. 그러나 각 단위 공정들을 포함하는 공정간 연구는 아직 적극적으로 이루어지지 않고 있다. 이와 같은 상황에서 공정간 연계에 대한 선행 연구로서 수식을 이용한 반응기 모델 개발이 필요하게 된다.

사용후핵연료 차세대 관리공정 전체의 대용량화를 위해서는 각 공정들 사이에 최적화가 이루어져야 한다. 각 공정의 반응시간이 서로 상이하며 회분식 반응으로 건식분말화 및 전해환원 공정이 운전되기 때문에 동일한 용량의 반응기가 설치되는 경우 공정 반응 시간차에 의해 일정시간 동안 한 공정은 운전되지 않는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 건식분말화 반응기 모사를 위한 모델 개발을 통해 건식분말화 반응시간 결정은 공정간 연계 및 최적화를 위해 중요하다. 사용후핵연료에는 수십종의 화학종이 존재하며 각 화학종의 건식분말화 반응기 내에서의 반응성을 실험적으로 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 수식적 접근을 통한 화학반응 해석 방법이 화학종 결정을 위해 적절하며 이는 전해환원 반응기에 도입되는 산화물의 형태 파악을 위해 필요하게 된다.

본 연구에서는 기체는 연속적으로 반응기에 도입되며, 산소와 반응하여 산화되는 고체 반응물은 회분식으로 도입되는 건식분말화 반응기 모사를 위해 반회분식 반응기 모델이 적용되었으며 이전 연구에서 개발된 UO_2 산화의 동적 모델이 적용되어 건식분말화 반응의 공정 시간 예측을 위한 모델이 개발되었다. 이 결과를 바탕으로 반응기에 도입되는 기체의 산소 농도 및 기체 유량에 따라 반응 시간을 계산하였다. 기체 유량이 산화 반응에 충분하지 않는 경우 반응 시간은 한계 반응 속도에 의해 증가하였으며 기체 유량이 최대 반응 속도를 넘어서는 경우 더 이상의 유량 증가는 반응속도 단축에 영향이 없음을 보였다. 또한 각 화학종의 금속-산소 고용체를 가정하여 건식분말화 반응 이후 안정적인 산화물 형태를 예측하여 전해환원 반응기에 도입되는 산화물의 화학적 형태 및 조성을 제시하였다.