

KIEP-21 핵연료주기 핵물질 재고량, 불확실성 평가

황용수, 이광석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

yshwnag@kaeri.re.kr

1. 서론

선진핵연료주기 기술 개발을 위해서는 무엇보다도 각 공정별 핵물질의 양에 대한 정확한 정보와 이에 의거한 FOM(Figure of Merit) 분석이 필요하다. 각 공정별 핵물질 양 분석은 아래와 같이 크게 3가지 목적에 사용될 수 있다.

- (1) 공정 작업의 최적화 방안 도출
- (2) 각 공정별 폐기물 핵종 재고량 확인 및 이를 이용한 환경 친화성 분석
- (3) 각 공정 및 전체 시스템에 대한 핵비확산성 평가 및 제고 방안 도출

한국원자력연구원에서는 상기 목적 중 특히 (2), (3) 번 항목을 목적으로 각 공정 별 핵종별 상세 핵종재고량을 예측하고 이를 통한 MUF(Material Unaccounted For)를 평가하고 최근 발표된 방법론에 의거 FOM을 분석할 수 있는 평가 프로그램을 개발하였다.

2. 프로그램 개요

가. 선진핵연료주기 공정별 Recovery Rate를 이용한 Inventory 산정

사용후핵연료 누적 문제의 해결 방안으로 연구 개발 중인 KIEP-21 공정은 그림 1에 도시된 바와 같이 아래와 같이 구분된다.

- (1) 해체 절단 공정
- (2) 배기체 포집 처리 등 전처리 공정
- (3) 전해 환원 공정
- (4) 전해 정련 및 제련 공정

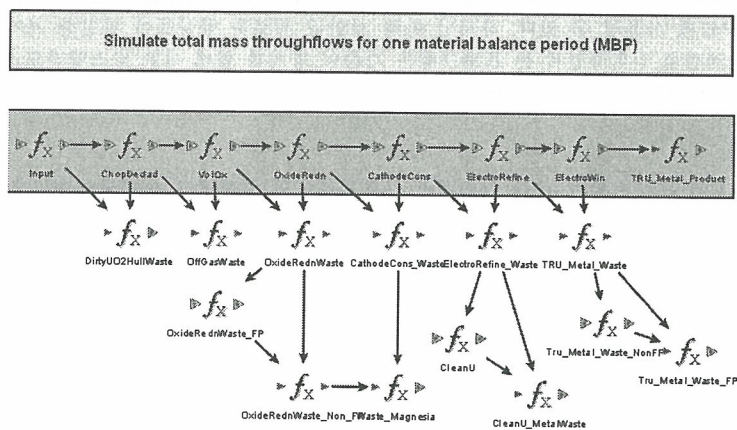


그림 1. KIEP-21 공정 개요도

각 공정은 그림 1에 도시되어 있는 바와 같이 대부분의 물질을 다음 단계 입력으로 추출하고 나머지를 폐기물로서 처리하게 된다. 그림 1에 도시된 개념을 바탕으로 개발된 프로그램에서는 원자력에서 방출된 사용후핵연료의 냉각년도(Cooling Time)와 각 공정별 회수율에 의거 각 세부 공정별 핵종 재고량을 예측하도록 하였다. 이와 같이 예측된 각 공정별 핵종 재고량은 궁극적으로 KIEP-21 주기에서 발생하는 다양한 고준위 및 중저준위 방사성폐기물 핵종 재고량을 예측 가능하게 하며 이와 동시에 각 공

정별 존재하는 방사능 물질들이 방출하는 감마선 등 방사선량을 알 수 있게 해 이를 통해 각 공정에서의 원격 조작 방안 및 핵물질 전용 가능성 여부를 정밀하게 예측하는데 사용될 수 있다. 또한 이러한 공정별 물질 양을 측정함으로써 전통적으로 재처리/재활용 시설의 핵비확산성 평가에 활용되는 MUF 산정 및 전체 공정의 FOM을 평가하는 자료로 사용될 수 있을 것이다.

3. MUF 산정

전통적으로 습식 재처리 시설의 핵비확산성을 평가하는 주요 인자로 활용되어온 MUF는 핫셀을 이용한 작업 방식은 건식 재활용 시설의 핵비확산성을 평가하는 인자로 사용되기에는 여러 가지 논란을 가지고 있다. 건식재활용의 경우 시설 가동 중 모든 물질은 접근이 용이하지 않은 핫셀 내부에 존재하고 원격 조작으로 가공됨으로서 접근성이 매우 떨어진다. 그럼에도 불구하고 건식 공정 특유의 물질 불균질성(heterogeneity)은 필연적으로 측정 오차를 증가시켜 MUF를 사용하는 경우 실질적인 접근성이 거의 불가능함에도 불구하고 핵비확산성이 건식 방식이 높은 것으로 판단하게 할 수 있다. 이러한 점에 주목하여 향후 국내 관련 핵비확산 연구는 정량적 지표 산정 방안을 더욱 개발하여 MUF를 대체할 건식 공정에 보다 적합한 방안을 찾는 것이 중요하다. 하지만 현재 대부분의 연구에서 MUF 방법을 사용하고 있으므로 본 프로그램 개발에서는 KIEP-21 평가를 위한 방법론을 적용하여 보았다.

일반적으로 측정 오차는 크게 3가지 요인에 의해 지배 받는다.

- (1) 목표치에 함유된 불확실성: 예를 들어 99.99%의 회수율을 상정하면 이로 인해 0.005%의 목표치 상 불확실도가 존재하게 된다
- (2) 측정 기기 오차: 불균일성 물질 내 물질 질량을 측정한다면 보다 큰 오차가 발생하게 된다
- (3) 측정에 따른 오차

본 프로그램은 이러한 3가지 오차 요인을 고려해 각 오차 요인이 truncated Gaussian 분포를 가진다고 가정하고 이들을 바탕으로 플루토늄과 우라늄에 대한 전 공정에 걸친 오차 분산(variance)를 계산하고 이를 바탕으로 95% 신뢰도 구간을 상정하여 MUF를 산정토록 하였다.

4. FOM 산정

전통적인 FOM 평가 방식과 다른 새로운 방안들이 최근 Global 2009 및 전문가들의 연구를 통해 발표되었다. 이러한 FOM 평가 방법론은 KIEP-21의 FOM 기대치를 낮게 해 KIEP-21의 핵비확산성이 우수하다는 것을 보여 주는데 사용될 수 있다. 하지만 아직 제안된 새로운 공식들이 완전한 지지를 받지 못하고 있다. 이러한 한계점을 인식하면서 본 프로그램은 기존의 방식과 함께 새로 로스알라모스에서 제안한 방식에 의거 FOM을 평가할 수 있도록 하였다.

사 사

본 연구는 교과부가 지원한 관련 연구개발 프로젝트들의 일환으로 추진되었습니다.