

파이로 시설의 핵물질 흐름 분석 및 MUF 불확도 계산 프로그램 개발

서지선, 임혜인*, 한보영, 송대용, 신희성, 김호동
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

* UST, 대전 유성구 과학로 113

sis2004@kaeri.re.kr

1. 서론

본 연구에서는 파이로 시설에서의 핵물질 흐름을 분석하고, MUF 불확도를 계산하는 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 공정당 핵종별 질량(gram), 붕괴율(curie), 발열량(watt), 방사능 선량(mSv) 및 핵임계도를 계산하며, 시설에서 사용될 사용후집합체의 핵종별 조성비는 ORIGEN Code[1]를, 핵임계도는 MCNPX Code[2]를 이용하여 연결하여 계산되도록 하였다. 공정별 물질 흐름 변화에 대한 계산식은 각 핵종별 질량에 적용되며, 핵종별 질량에 따른 붕괴율, 발열량, 방사능 선량은 DB를 이용하여 계산된다. 또한, 물질 흐름 계산시, 공정의 특성에 따른 계산 외에도 실제 운전시 발생할 수 있는 공정장치 내 Hold-up 및 측정 오차를 추정하여 적용시켰다. 추정된 측정오차는 MUF 불확도를 예측하여 파이로 시설에 대한 설계 검증에도 활용할 수 있도록 하였다.

2. 본론

2.1 ORIGEN code 연결 모듈 개발

DB에 저장된 사용후핵연료 집합체의 정보(ID, Fuel Type, 초기 농축도, 연소주기, 운전기간, 냉각기간, 평균 연소도, Moderator 농도, 집합체 총 질량)를 이용하여 ORIGEN Code[1]를 실행시킬 수 있는 input 파일을 생성한 후, 코드를 실행하여 output 파일을 생성하는 모듈을 개발하였다.

여기서 생성된 output 파일에서 핵종별 질량을 추출하여 시설로 입력되는 사용후핵연료의 핵종별 조성비를 결정한다.

2.2 파이로 공정당 핵물질 흐름 계산 모듈 개발

ORIGEN code 연결 모듈의 실행 결과로 얻은 핵종별 조성비를 이용하여 시설에 들어오는 사용후핵연료 집합체의 총 질량에 따른 핵종별 질량을 계산한다. 하나의 집합체가 모두 처리될 때까지 핵종별 조성비는 동일하게 적용되며, 처리되고

남은 집합체의 질량이 배치단위 질량보다 적을 경우, 2 가지 처리 방법 중 선택할 수 있다.

- 방법 1 : 바로 다음 집합체와 섞는 방법.
- 방법 2 : 따로 모아서 처리하는 방법.

공정별 물질 흐름은 공정의 특성을 저장한 Parameter DB를 이용하여 핵종별로 구분된 계산식에 의해서 계산된다. 핵종의 계산식은 핵종이 속한 Group에 따라서 구분되며, 핵종별 Group은 Table 1과 같다.

Table 1. Group of Nuclides

Group	Nuclide
U	U
TRU	Ac, Th, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, S
NM	Tl, Pb, Bi, B, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Hf
REFP	Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu
AMPF	Fr, Ra, Li, Be, Cs
AEPF	Sr
FP	Po, At, Rn, H, He, C, N, Ne, As, Se, Br, Kr, Ne, Te, I, Xe, Ba, Eu

공정은 배치단위로 진행되며, 전해정련 공정과 같은 경우에는 10 배치를 처리한 후 전해제련 공정이 진행되도록 설정되어 있다. 이와 같은 기능은 모든 공정에 적용될 수 있으며, 다음 공정으로 넘어가는 기준은 사용자 임의로 설정할 수 있다.

물질 흐름 계산에 사용되는 공정별 Parameter는 사용자가 수정할 수 있도록 별도의 인터페이스를 구현하였다. 계산된 배치당 공정당 핵종별 물질흐름 계산 결과값은 DB에 자동 저장되며, 사용자 필요시 엑셀파일로도 저장이 가능하다.

2.3 파이로 공정당 핵물질 상태 분석 모듈 개발

핵종별 그림당 붕괴율, 발열량, 방사능 선량이 저장되어 있는 Isotope DB를 이용하여 핵종별 질량 값에 따른 배치당 공정당 핵종별 붕괴율 및 발열량, 방사능 선량을 계산하는 모듈을 개발하였다.

또한 전해환원 공정과 전해정련 공정에서는 핵종별 질량값을 이용하여 MCNPX Code[2]의 input file을 생성한 후, MCNPX Code[2]를 실행하여 생성된 output file에서 해당 공정에서의 핵임계도를 추출하도록 하였다.

이러한 정보를 이용하여 공정당 핵물질의 상태를 분석할 수 있으며, 공정의 안전성을 입증하는데에도 활용할 수 있다.

2.4 MUF 불확도 계산 모듈 개발

배치당 공정당 핵물질 흐름 계산 결과 값에 측정오차를 추정하여 적용하였다.

배치당 공정당 핵종별 물질흐름 계산 결과 값에 MUF Parameter DB(KMP 설정정보(KMP별 지정 위치, 측정 Method 종류, KMP별 Batch size, Container size, 샘플당 analysis 수 등), Method별 랜덤/시스템 오차 등)를 이용하여 MUF 불확도 계산식[3]을 적용하여 시설의 랜덤 불확도, 시스템 불확도, 총 MUF 불확도를 계산하였다.

계산된 MUF 불확도는 프로그램 실행화면 상단에 항상 표시되며, 물질 이동이 발생할 때마다 MUF 불확도를 다시 계산하여 값을 업데이트시킨다. MUF 불확도는 파이로 시설의 안전조치성을 분석하는 데에 사용된다.

2.5 Visualization 모듈 개발

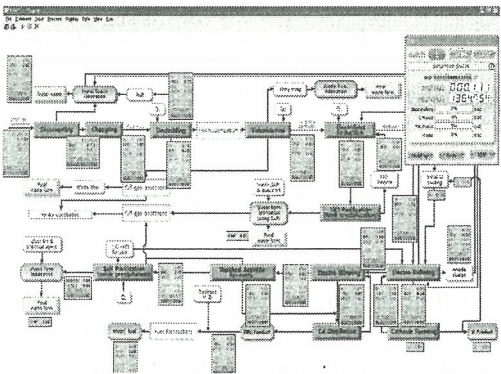


Fig. 1. Flow-Diagram

배치당 공정당 Group별 질량 값과 방사능 선량,

핵임계도는 Fig. 1과 같이 파이로 공정의 Flow-Diagram에 표시된다.

MUF 불확도 계산 결과값이 Flow-Diagram 위에 항상 표시되며, 배치당 공정당 핵종별 질량값 및 붕괴율, 발열량은 Flow-Diagram 상에 나타나 있는 Group별 질량값을 선택하면 자세하게 확인할 수 있다.

사각형으로 표시된 공정을 선택할 경우, Fig. 2와 같이 해당 공정에서의 입력 및 출력되는 물질에 대한 정보가 나타난다.

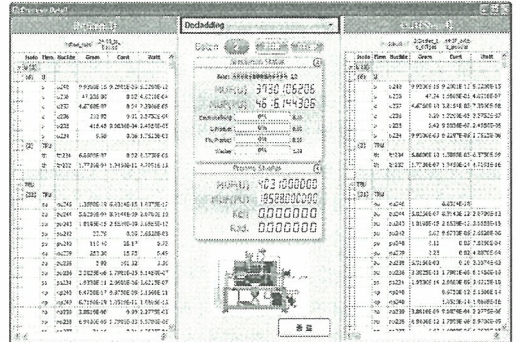


Fig. 2. Process Status Information

이 외에 데이터 분석을 위하여 배치별 Product의 변화, 공정별 질량 변화, 배치별 질량 변화에 대한 그래프를 출력하는 기능을 구현하였다.

3. 결론

본 연구에서는 파이로 시설에서의 배치당 공정당 핵종별 질량을 계산하고 그에 따른 붕괴율, 발열량, 방사능 선량, 핵임계도, MUF 불확도를 계산하는 프로그램을 개발하였다.

향후 본 프로그램의 공정별 물질 흐름 계산 모듈을 개선하여 각 공정이 독립적으로 동작하도록 하여 공정의 추가 및 삭제를 사용자가 제어할 수 있도록 할 계획이다.

4. 참고문헌

[1] I.C. Gaauld, O.W. Hermann, "ORIGEN-S", 2005
 [2] D.B. Pelowitz et, "MCNPX Users' Manual, Version 2.5.0," LANL Report, 2005
 [3] 한국방사성폐기물학회, 2010년 춘계학술발표회 논문요약집, pp.390-391, 2009