

파이로 시설에서의 MUF 계산 프로그램 개발

서지선, 임혜인, 신희성, 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

sis2004@kaeri.re.kr

1. 서론

로스알라모스연구소(LANL)와의 국제공동연구를 통해서 KAPF(Korean Advanced Pyroprocess Facility)에서의 핵물질 흐름도 분석, 최적의 안전조치 접근 방법 제시, MUF(Measurement Uncertainty For, 미계량물질) 및 안전조치성 분석을 수행한 바 있다[1]. 파이로 공정 과정에서 발생하는 핵물질의 불확도를 랜덤오차, 계통오차 및 샘플링 오차로 분류하여 수치화하였으며, 이 불확도를 종합하여 100 tHM/year 규모의 KAPF 공정에서 U-235와 Pu의 MUF를 계산하였다.

이 국제공동연구에서는 MUF를 계산하기 위한 Excel file을 작성하였으나, 이것은 공정 진행에 따른 실시간 MUF 계산 결과 값을 산출하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 LANL에서 작성한 Excel file을 기초자료로 하여 파이로 시설에서의 실시간 MUF 계산 프로그램을 개발하였다.

2. 파이로 시설에서의 실시간 MUF 계산 프로그램 개발

본 프로그램은 Windows XP를 기반으로 Microsoft Visual C++를 이용하여 개발하였으며, 크게 파이로 시설의 물질 흐름을 시뮬레이션하는 핵물질량 계산 기능과 실시간 MUF 계산 기능으로 나누어진다. 공정별 배치별 핵물질량은 처리될 핵물질 정보를 입력받아 임의로 설정된 공정별 핵물질 흐름에 대한 parameter에 의해서 계산된다. 실시간 MUF는 앞에서 계산된 공정별 배치별 핵물질량을 입력데이터로 받아, 물질수지구역(MBA) 및 주요측정지점(KMP)의 설계와 핵물질 계량 방법 및 측정 불확실도 평가 기준에 대한 parameter를 참조하여 실시간으로 계산되어지도록 개발하였다.

본 프로그램에 적용한 MUF 불확도 계산식은 다음과 같다.

$$\sigma_{ran}^2(MUF) = \sum_{k=1}^K \left[x_{kapt}^2 (\sigma_{rq..}^2 / n_k m_k + \sigma_{r.p.}^2 / r_k m_k + \sigma_{r..t}^2 / c_k n_k m_k) \right]$$

$$\sigma_{sys}^2(MUF) = \sum_q \left[\sum_{k=1}^K A_k x_{kapt} \right]^2 \sigma_{sq..}^2 + \sum_p \left[\sum_{k=1}^K A_k x_{kapt} \right]^2 \sigma_{s.p.}^2 + \sum_t \left[\sum_{k=1}^K A_k x_{kapt} \right]^2 \sigma_{s..t}^2$$

$$\sigma_{MUF}^2 = \sigma_{ran}^2(MUF) + \sigma_{sys}^2(MUF)$$

k : 동질그룹(stratum)

A(k) : A(k)=+1 for input and beginning inventory strata

A(k)=-1 for output and ending inventory strata

x(k) : Total element에 대한 핵물질의 조성비

n(k)*m(k) : 동질그룹의 item container 수

r(k)*m(k) : 동질그룹의 sample 수

c(k)*n(k)*m(k) : 동질그룹의 analysis 수

$\sigma_{rq..}$: random weigh error

$\sigma_{r.p.}$: random sampling error

$\sigma_{r..t}$: random analytic error

$\sigma_{sq..}$: system weigh error

$\sigma_{s.p.}$: system sampling error

$\sigma_{s..t}$: system analytic error

q : 핵물질의 bulk를 측정하는 method

p : 핵물질의 sampling for material type

t : 핵물질의 analytic을 측정하는 method

3. 프로그램 성능 분석

본 프로그램의 성능 분석을 위해서 KAPF를 기준으로 MBA 및 KMP 정보와 핵물질 계량 방법 및 측정 불확실도 평가 기준, 핵물질 질량 값을 설정하여 실시간 MUF 계산을 실행한 결과, 1개월간 시설을 가동하였을 때, MUF 계산 결과 값이 LANL의 계산 값과 일치하였다.

그림 1은 ESPF를 기준으로 설정하여 실행한 화면으로, Flow-sheet는 주요 공정 기준으로 설계하였으며, 배치당 공정 장치를 거쳐가는 핵물질의 질량과 공정장치에 남아있는 Hold-up 값을 표시하였다. 여기서, Hold-up은 측정 불확실도 외에 MUF에 영향을 주는 요인 중 하나로 MUF 계산 결과 값 뿐만 아니라 물질 흐름 시뮬레이션을 더욱 정확하게 계산하기 위해서 설정하는 것으로 현재는 각 공정의 Hold-up 정보가 확보되지 않은 상태로 각각 임의의 값을 설정하였다. 한 배치의 모든 공정이 끝날 때마다 U product와 Metal fuel이 채워지고 각 배치에 대한 MUF 불확도가 실시간으로 계산되어 화면 상단에 표시된다. 상단의 Completed Batch No는 모든 공정을 마친 Batch 수를 의미하며 Elapsed Time은 공정의 가동시간을 의미한다.

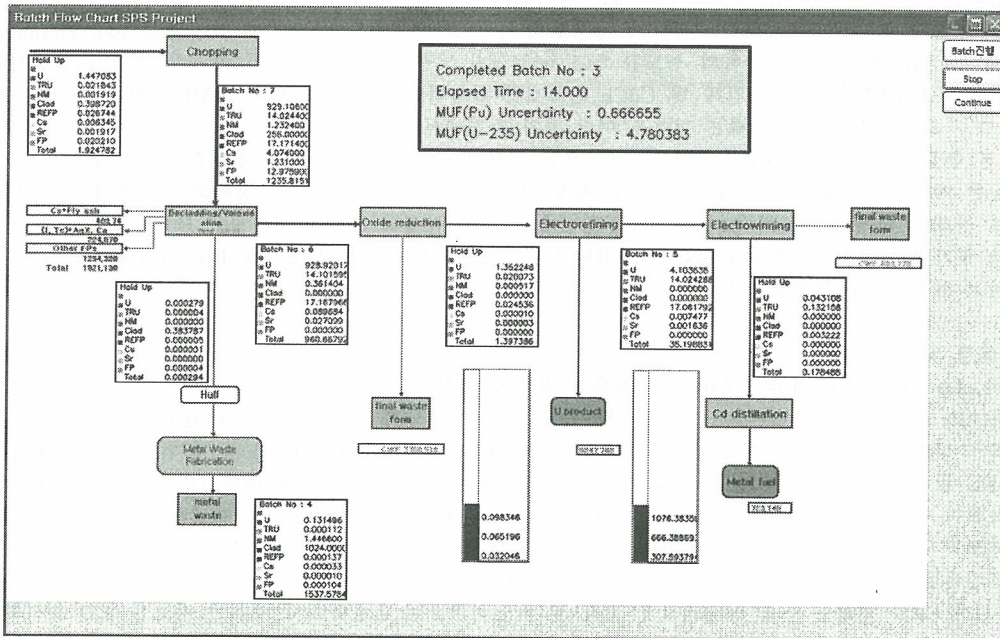


그림 1. 파이로 시설에서의 실시간 MUF 계산 프로그램

4. 결론

본 연구에서는 파이로 시설에서의 배치별 핵물질 흐름을 계산하고 설정된 핵물질 계량 방법 및 측정 불확실도에 따라서 실시간 MUF를 계산하는 프로그램을 개발하였다. 향후 이 프로그램의 물질흐름 및 MUF 계산 알고리즘을 현재 개발 중인 파이로 시설에서의 안전조치성 분석 프로그램의 물질흐름 시뮬레이션 모듈과 실시간 MUF 계산 모듈 개발에 활용할 계획이다.

참고문헌

- [1] S. Y. Lee, K. E. Thomas, J. B. Marlow, and H. O. Menlove., Safeguards Study for the Korean Advanced Pyroprocess Facility(KAPF), Los Alamos National Laboratory Interim Progress Report, LA-CP-07-1244 (2007).