

중·저준위 방사성폐기물 드럼의 핵종재고량 평가프로그램 개발

김태욱, 이나라, 맹성준

원자력발전기술원, 305-343 대전광역시 유성구 금병로 508

taewook@khnp.co.kr

1. 서론

방사성폐기물을 처분인도하기 위해서는 폐기물 드럼의 방사능을 평가하여야 한다. 폐기물 드럼의 방사능은 감마핵종의 경우 핵종분석장치(RAS)로 분석하는 것이 가장 정확한 방법의 하나로 평가되고 있다. 드럼 표면선량만을 사용하여 방사능을 평가하는 방법은 불확도가 증가하는 단점에도 불구하고 저선량 드럼에 대한 비용효과적인 방법으로 사용될 수 있다. 또한 알파 및 베타핵종에 대해서는 간접적인 방법인 척도인자를 사용하여 평가할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 목적으로 척도인자 도출 및 선량-방사능 환산이 가능한 핵종재고량 평가프로그램을 개발하였다.

2. 본론

2.1 척도인자 평가프로그램

척도인자는 측정난이핵종의 방사능과 감마 지표핵종의 방사능 간의 비율로서, 발전소군 또는 폐기물 스트림별로 일정한 값을 보일 경우 지표핵종의 방사능만으로 측정난이핵종의 방사능을 평가하는 수단을 제공해준다.

척도인자는 폐기물 시료의 방사화학 분석을 통해 방사능을 분석하여 핵종간의 상관관계에 대한 통계 분석을 통해 도출된다. 한수원에서 사용하는 드럼핵종분석장치는 척도인자를 사용하여 측정난이핵종의 방사능을 구할 수 있게 되어 있다. 그러나 이러한 일련의 작업을 수계산으로 하게 될 경우에는 시간이 많이 소요되고 오류 발생 가능성이 증가한다.

본 연구에서는 방사화학 분석결과로부터 통계 분석을 거쳐 드럼핵종분석장치에 입력될 결과 파일을 생성하는 전 과정을 전산화할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

프로그램에서 통계처리 방법은 핵종간의 척도인자 상관계수 r 값에 따라 $r \geq 0.6$ 일 경우에는 로그선형 회귀 방법을 $r < 0.6$ 일 경우에는 기하평균 방법을 사용하였다. 그러나 ¹²⁹I과 같이 검출하한이 매우 낮은 핵종에 대해서는 최소검출하한 값을 적용하였다.^[1]

또한, 척도인자의 분산값이 10배를 넘거나, 시료의 유효데이터 수가 부족하거나, 또는 척도인자의 예측값과 실측값의 t 테스트 결과를 만족 못할 경우 보수적인 척도인자를 적용하도록 하였다. 보수적인 척도인자는 방사능 데이터의 분산특성이 클 경우 척도인자의 대표성을 보완하는 방법으로 그 값은 척도인자에 분산값을 곱한 값을 적용하였다.

원전 폐기물 드럼의 ID는 발생 원전, 폐기물 스트림 등의 정보를 포함하고 있기 때문에 이러한 정보를 이용하여 통계분석방법 등이 자동으로 처리되도록 하였다.

2.2 방사능대선량 환산프로그램(DTC)

선량대방사능 환산인자는 폐기물의 방사능과 폐기물 드럼의 표면선량률간의 비율이다. 폐기물 스트림별로 드럼 내에 존재하는 감마핵종 존재비를 이용하여 선량대방사능 환산인자를 도출하면, 드럼 표면선량으로 폐기물의 방사능을 평가할 수 있게 된다.

본 연구에서는 드럼표면선량률 및 선량대방사능 환산인자를 통하여 드럼핵종재고량을 구하는 전 과정을 전산화하는 프로그램을 개발하였다.

선량대방사능 환산인자는 각 폐기물 드럼 종류별로 MCNP 전산코드 모사를 통하여 단위 방사능당 표면방사선량률을 구하고 이의 역수값을 이용하여 도출하였다. 이때 사용된 감마핵종은 폐기물 존재비 및 드럼 표면선량률 기여에 영향이 큰 ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs 등 8개 핵종을 채택하였다.

감마핵종 존재비는 폐기물 시료의 방사화학 분석을 통해 폐기물 스트림별로 도출하였다.

잡고체와 같이 다양한 밀도를 나타내는 드럼의 경우 이를 반영하기 위해 3~5개 지점 밀도에 대하여 선량대방사능 환산인자를 모사하였고, 드럼 무게를 실측하여 실제 밀도에 대한 환산인자 값을 내삽하여 구하도록 하였다.

방사능 환산에 사용되는 표면선량 값은 상중하 각 층별로 전후좌우 4개 지점에 대하여 측정된 표면선량 값을 기하평균 한 후 상중하에 대하여 산술평균하여 사용하였다.

사용 검출기는 검출공간 6.3mm(L)×5.2mm(φ)

GM 716 튜브로서 측정시 검출기의 중심이 드럼 표면에서 1.3cm 떨어진 위치에서 측정되는 것으로 가정하였다.

2.3 프로그램 코딩

프로그램은 Visual C++ 및 MFC 라이브러리를 기반으로 윈도우 2000 및 XP 운영체제에서 작동되도록 개발되었다(Fig. 1).



Fig. 1. Main picture of the developed program

2.4 프로그램 검증

소프트웨어는 IEEE 1012의 기준에 따라 확인 및 검증은 수행하였다.

측도인자 운영프로그램의 검증은 측도인자 및 도출된 측도인자가 적용되는 드럼핵종분석장치에 대하여 이루어졌다. 대상 폐기물은 월성본부 잡고체 폐기물이다.

측도인자는 기하평균, 로그선형회귀 및 상수값 계산방법에 대하여 본 프로그램의 계산결과와 인허가 신청된 측도인자 도출 결과에 대하여 비교하였다.

드럼핵종분석장치에 대한 검증은 실제 드럼에 대한 핵종분석에 적용된 결과가 본 프로그램의 계산결과를 반영하는지에 대하여 수행되었으며, 검증결과 적합한 것으로 평가되었다.

선량대방사능 환산프로그램의 검증은 원전본부별로 10드럼씩 드럼핵종분석장치로 방사능을 분석하고 그 결과를 본 프로그램에서 표면선량을 사용하여 계산한 결과와 비교하였다. 그림 2에 PWR 원전의 ⁶⁰Co핵종에 대한 검증결과를 나타내었다.

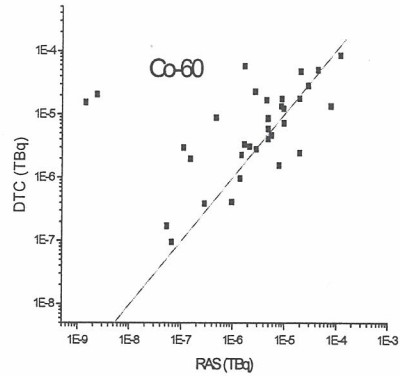


Fig. 2. Comparison between results of DTC with those of RAS in PWR

비교결과 핵종별로 차이는 있었으나 프로그램 환산에 따른 방사능 평가결과가 드럼핵종분석장치 방사능 분석결과보다 평균적으로 1.8배 정도 과대평가되는 것으로 나타났다.

이의 원인으로서는 선량대방사능 환산인자 도출시 사용된 여러 보수적 가정에 의한 것으로 판단된다. 그렇지만 드럼핵종분석에 소요되는 시간이 드럼당 TGS 모드에서는 100분, SGS 모드에서는 60분 이상 소요되는 것을 감안할 때 저선량 드럼과 같이 보수적으로 평가되어도 처분 한도량에 영향을 거의 미치지 못하는 드럼에 대하여 비용효과적인 수단을 제공할 것으로 판단된다.

3. 결론

방사성폐기물 드럼의 핵종재고량 평가를 전산화할 수 있도록 핵종재고량 평가프로그램을 개발하였다.

프로그램 검증결과 측도인자 운영프로그램은 인허가 신청값과 일치하였고, 선량대방사능 환산 프로그램은 드럼핵종분석결과보다 평균 1.8배 과대평가되는 것으로 나타났지만, 저선량 드럼에 대해서는 비용효과적인 수단을 제공할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 개발된 프로그램은 향후 폐기물 드럼의 핵종재고량 평가 소요시간을 단축시켜 비용절감 및 작업자 피폭저감에 기여할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 한국수력원자력, 중·저준위 방사성폐기물 드럼 핵종평가용 측도인자 도출방법론 및 원전 폐기물 적용결과 검토보고서, p. 23, 2009.