

방사성폐기물 척도인자의 주기적 검증 방안

김태욱, 이나라, 강기두

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 금병로 508

taewook@khnp.co.kr

1. 서론

국내 원전 방사성폐기물의 척도인자는 2009년에 도출되었다[1]. 척도인자는 중·저준위 방사성폐기물 인도규정(이하 '인도규정'이라 한다)[2]에 따라 2년에 1회 이상, 폐기물 조성에 변화를 줄 수 있는 요인이 발생한 경우에는 그때마다 확인을 하도록 되어있다. 따라서 향후 지속적인 척도인자 적용을 위해 국내에 적합한 척도인자 주기적 검증방안을 수립하고자 한다.

2. 본론

2.1 척도인자 도출 및 적용

원전에서 발생하는 폐기물을 처분시설로 인도하기 위해서는 인도규정에 따라 폐기물의 총방사능량 및 규명대상 핵종별 농도가 평가되어야 한다.

폐기물 드럼 내에 존재하는 감마 방사능은 드럼핵종분석장치[1]를 사용하여 평가할 수 있다. 그러나 알파 및 베타입자 방출핵종과 같이 직접 측정이 어려운(DTM²⁾) 핵종의 방사능은 측정이 용이한 감마 지표(key) 핵종과의 상관관계인 척도인자를 사용하게 된다.

우리나라 원전 중저준위 방사성폐기물의 척도인자는 2004년부터 2008년에 발생된 폐기물 시료의 방사화학분석을 통하여 도출되었으며, 2009년 이후 발생하는 폐기물에 적용되기 위해서는 도출된 척도인자에 대한 타당성을 검증하여야 한다.

2.2 주기적 검증 국외 규정

미국은 NRC의 10CFR 및 BTP³⁾를 통해 척도인자를 매 핵연료 주기마다 확인하도록 규정하고 있다. 세부 방법은 사업자가 자체적으로 수립하되, 수행방법의 타당성에 대하여 NRC 주재관이 비정기적으로 검토한다.

일본 및 독일은 매년 척도인자를 확인하고, 브라질 및 스페인은 핵연료 주기마다, 영국, 슬로베니아, 벨기에, 프랑스는 척도인자의 변경 필요성이 있을 때마다 확인하며, 캐나다, 멕시코, 이탈리아는 척도인자 확인주기가 규정되어 있지 않다.

2.3 주기적 검증 국외 사례

미국은 1984년 이후 원전 수화학 관리에 몇 가지 중요한 변화를 도입하였다[3]. 부식층의 ⁶⁰Co 함량을 줄이기 위해 아연주입을 실시하였고, 부식층의 형성을 조절하기 위해 리튬 농도를 변화시켰으며, 핵연료 결함, 예방정비기간 증가 및 대규모 제염 등이 있었다.

EPRI는 이러한 운전조건 변화로 나타나는 척도인자의 변화를 확인하였으며, 그 결과 운전조건 변화는 일시적 또는 영구적으로 척도인자를 변화시킬 수 있으나, 이로 인한 영향이 NRC 지침에 정의된 정확도 내에 있었을 뿐 아니라 모든 공정 및 민감도 내에 있음을 확인하였다. 이를 바탕으로 척도인자의 확인에 따른 조치 및 업데이트 방법이 수립되었다.

일본에서는 척도인자 개발 초기단계에서 원자로 재료 및 연료 결함에 기초하여 몇 개의 그룹으로 구분하여 각 그룹별로 척도인자를 설정하였으며, 원자력발전소에서 초기 30년 동안의 척도인자의 추이를 분석한 결과 척도인자가 일정하게 유지되었음을 알 수 있었다. 이에 따라 발전소마다 폐기물 스트립별로 1개씩의 시료를 샘플링을 통하여 검증하고 있다.

프랑스도 운전조건 변화로 인해 척도인자에 미치는 영향이 없다는 것을 확인하였고, 몇몇 나라에서 그 영향을 검토 중에 있다.

2.4 국내 주기적 검증 방안

국내에 적합한 척도인자 주기적 확인 및 검증 방안을 마련하기 위하여 국외 관련 규정 및 사례 분석, 전문가 자문[4]을 수행하였으며, 이를 통해 다음과 같이 국내 주기적 검증방안을 수립하였다.

1) RAS : Radioactive waste Assay System

2) Difficult-To-Measure

3) 저준위 폐기물 인허가부 기술지침, 1983.

2.4.1 검증 주기 및 핵종

검증 주기는 인도규정에 따라 2 년에 1 회 수행한다. 단, 폐기물 스트림의 분리 또는 통합 등 폐기물 조성에 상당한 변화를 줄 수 있는 요인이 발생한 경우에는 추가적으로 실시할 수 있다.

대상 핵종은 인도규정에 명시된 규명대상핵종을 대상으로 종류 및 거동 특성에 따라 방사화생성핵종은 ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{58}Co , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{94}Nb , 핵분열성핵종은 ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{129}I , 초우라늄핵종은 전 알파에 대하여 검증을 실시한다.

2.4.2 시료 채취

시료의 채취 시기는 폐기물이 드럼에 담겨지기 직전이 적합하다. 국외 사례를 참고할 때 폐기물이 대량 발생되는 발전소 계획예방정비 기간 중에 채취한다.

채취 시료 수는 미국 또는 일본과 같이 발전소별로 폐기물스트림마다 1 개씩 채취한다. 단, 우리나라는 주기적 검증이 처음 실시되는 것이므로 초기 및 2차 검증시에는 발전소별로 폐기물스트림마다 3 개의 시료를 채취하여 통계적 특성 데이터를 확보하는 것도 좋은 방법으로 판단된다.

샘플링은 당해 주기 폐기물스트림의 모집단 특성을 대표하는 시료를 채취하되, 하나의 폐기물 시료에 대하여 3 번을 채취하여 그 평균값을 사용하여 통계적 대표성을 높일 필요가 있다.

2.4.3 척도인자 검증

초기 및 2차 검증시에는 로그선형회귀 (상관계수 $r \geq 0.6$ 일 때) 또는 기하평균 (상관계수 $r < 0.6$ 일 때) 방법을 사용한 통계적인 분석을 병행한다.

검증의 적합 여부는 미국 NRC BTP에서 제시한 바와 같이 시료의 척도인자 또는 척도인자의 평균값이 척도인자의 1/10 ~10 배 범위 내에 드는 것으로 판단하는 것이 적합하다.

그러나 ^{129}I 와 같이 시료에서 방사능이 검출되지 않아 보수적으로 MDA값이 적용된 경우에는 시료의 척도인자 또는 척도인자의 평균값이 MDA 값 이하 값으로 도출되면 척도인자의 계속 적용이 가능할 것이다.

척도인자 분석값이 이와 같은 허용기준을 만족하지 못할 경우에도 연료손상, 연소도 변화, 아연 주입 여부, 연료 설계의 변경, 운전정지 기간 연장 등 척도인자의 변화요인이 합리적으로 예상되

는 경우에는 척도인자를 계속 적용한다.

만일, 척도인자의 변화요인을 밝힐 수 없을 때는 추가 시료를 채취 분석하여 검증을 다시 실시하며, 재분석 결과도 허용기준을 만족하지 못할 경우에는 신규 척도인자를 도출하거나 보수적 적용방안 등을 수립한다.

척도인자 데이터가 축적되어 여러 개의 척도인자의 적용이 가능한 경우에는 척도인자 값을 변경하는 것 보다는 미국의 예와 같이 최근 3 개 ~ 5 개 척도인자 분석값의 평균값을 신규 척도인자로 사용하는 방법도 검토할 필요가 있다.

3. 결론

국외 규정 및 사례, 전문가 자문 등을 통하여 국내 원전 방사성폐기물의 척도인자 주기적 검증 방안을 마련하였다.

척도인자 검증주기는 인도규정에 명시된 규명대상핵종에 대하여 2년마다 1회 실시하며, 초기에는 폐기물 스트림마다 3개의 시료를 채취하되 그 후에는 1개를 채취하기로 하였다. 검증결과 분석값이 척도인자의 1/10~10배에 들면 적합하고, 보수적인 MDA 값이 적용된 경우에는 그 이하 값이 되도록 하였다.

본 주기적 검증방안은 규제기관의 협의를 거쳐 2009년부터 발생하는 신규 폐기물의 척도인자 적용 타당성 검증에 사용하여 원전 발생 폐기물 드럼의 처분시설 인도에 기여할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 한국수력원자력(주), "전 원전 방사성폐기물 핵종분석용 척도인자 및 주기적 검증방법 개발, 2009.
- [2] 교육과학기술부고시 제2009-37, 중·저준위 방사성폐기물 인도규정.
- [3] IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18, "Determination and Use of Scaling Factor for Waste Characterization in Nuclear Power Plants," 2009.
- [4] DW James Consulting, "Regulation, Methods, and Lessons Learned for Periodic Verification of Scaling Factors," 2010.