신규 중수로 핵연료 운반 용기에 관한 처분사례 조사 및 전략 제안

손광영
㈜미래엔 대표이사, FANR Inspector, ISO/IEC PL

· 강원대 전산학사
· 홍익대 컴퓨터공학 석사

· 한국원자력연구원
· 한국전력기술㈜
· ISO TC85 SC5 위원
· IEC TC45 SC45A/B 위원
· 원자력/방사선계측 전문위원회 위원

· ㈜미래엔 대표이사

서론

국내의 핵연료 선행주기에서 중수로 핵연료 운반 용기에는 대부분 스티로폼(styrofoam), 목재 파렛트(wood pallet), 골판지(corrugated cardboard) 등이 사용되고 있다. 이들 운반 용기의 대부분은 재사용(reuse)되지만, 훼손 용기의 경우는 극저준위(VLLW, Very Low Level Waste) 이하의 규제면제와 해제가 가능한 방사성폐기물로 인식되며, 자체처분(clearance)으로 가기 위한 선행작업을 기다리고 있다.

이러한 신규핵연료 운반 용기와 같은 방사성폐기물의 규제 해제, 자체처분 및 관리 과정에 대해 캐나다 중수로 핵연료 산업계를 대상으로 선택적으로 조사했다. 즉 자체처분에 필요한 캐나다의 법규(CNSC, Canadian Nuclear Safety Commission), 표준(CSA, Canadian Standard Association), 규제와 기준 및 지침 등과 함께 자체처분 구현을 위한 기관 내부의 기술적인 관리정책 등을 조사하였다.

이를 기반으로 자체처분을 위한 국내 산업체 표준 및 기반 환경을 동시에 비교와 검토하고, 국내 처분전략을 제시함으로써 국내의 신규 중수로 핵연료 운반 용기의 자체처분을 위한 좋은 사례조사가 될 것으로 기대한다.

마지막으로 지금까지 입수된 정보를 기반으로 규제 해제 후 자체처분을 위한 전략을 통계(statistics)와 이를 기반으로 하는 데이터 과학(data science)을 활용하여 개략적 접근 전략을 제시하고 있다. 이러한 접근 전략은 QA/QC를 경유하는 세부절차의 수립과 규제 기관 대상 설명이 우선하여 이루어져야 할 것으로 판단된다.

캐나다 자체처분

전 세계 약 18% 점유율을 차지하는 중수로 핵연료 공급자 Cameco의 경우, 신규핵연료 운반용 용기(package)에 스티로폼을 주로 사용한다. 이 중 많은 수의 용기가 재사용되고 있으며, 재사용이 불가한 극히 일부 훼손된 용기는 스캔(scan) 후 규제 해제 대상이면 캐나다 국내 일반폐기물과 함께 처분하고 있다. 추후 상황에 따라,

1. 스캔 장비, 방법, 결과의 기록 및 규제자의 자체처분 적합 여부 판단 과정
2. 스캔의 대상이 되는 핵종 (알파, 베타 및 감마 붕괴 핵종, 특히 C-14, 삼중수소 여부 확인)

등과 같은 기술적 세부사항은 더 확인이 필요할 것으로 보인다.

정보수집 결과로 중수로의 경우 핵물질을 수용하는 용기의 면제 또는 자체처분을 위한 (1) 캐나다 법, (2) 표준, (3) 규제기준과 지침 및 기관 내부 관례는 다음과 같다.

(1) SOR/2000-207 (Law and Act)

(2) N292.5-11 (R2016), guideline for exemption or clearance from regulatory control of materials that contain, or potentially contain, nuclear substance

(3) REGDOC-2.11, 2018 Dec from CNSC,

→ Volume II, 우라늄 광산의 Radioactive waste rock과 mill tailing

→ Volume III, 방폐물 관리를 위한 장기간 안전성 평가

표준 및 기술관리

조사에 의하면, 직관적으로 중수로 발전소용 신규핵연료 운반 용기는 방사능 오염이 심하지 않고 무시할만하다는 전제의 프로그램이 있는 것으로 판단되며, 특정 핵종 오염도 측정 시 기저방사선(background radiation)의 영향을 최소화하기 위하여 일반적으로 Bag Monitor([그림 1])를 활용하고 있다.

[그림 1] Bag Monitor

또한 캐나다에서는 표준이 규제의 기반임을 확인할 수 있으나, 국내의 경우는 규제기준과 지침 마련 시 해외 표준 또는 IAEA 문건을 참조하는 것으로 조사되었다. 하지만 해체, 제염 등의 작업이 진행되면서 발생할 수 있는 특수성과 국내 해체, 제염, 처분과정(disposal process)과 환경에 맞는 산업체 표준의 구축과 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Cameco와 BWXT의 신규 중수로 연료 운반용 용기(container) 처리는 개념적으로 다음과 같이 관리된다. 용기는 우라늄 오픈 소스(open source)

에 노출될 확률이 낮거나 없으므로, 스캔 후 오염이 되지 않은 경우에는 일반 국내 폐기물과 함께 처리한다. CANDU 발전소 특성에 따라 C-14과 Tritium은 핵연료 운반이 아닌 운영발전소 환경과 연관한 오염이라는 전제가 있는 것으로 조사되었다. 따라서 Counter로 측정하고, 특정 기준 이하이면 규제 해제 및 자체 처분허용대상이 된다.

C-14의 경우 일부 Moderator 시스템과 같은 방폐물 유형에서 발생한다. 또한 Tritium은 수분과 연관이 있다. 따라서 수집 방폐물이 수분을 포함한다는 신호가 있다면 구멍을 뚫어 공기 중 Tritium을 측정한다(Tritium-in-air). Tritium이 탐지된 유일한 핵종일 경우에는 건조하여 처분 전 다시 표본을 채취한다.

상기 회사들은 기본적으로 유사한 자체처분 절차를 유지한다. 기본적으로 Radeye AB-100([그림 2]) 또는 유사 장비를 활용하여 알파 값을 측정하고, 휴대용 오염측정기로는 베타와 감마를 측정

The RadEye AB100 is a modern contamination meter for surface contamination measurements with excellent alpha/beta discrimination. The user can select the proper calibration factor within a list of isotopes (e.g. Bq, Bq/cm², dpm).

[그림 2] Radeye AB-100

하는데, 알파는 220dpm/100cm^2, 베타와 감마는 2200dpm/cm^2 값을 자체처분기준으로 관리한다.

국내 규제사항(KINS/RG-N12.08)

폐기물 발생자는 자체처분계획서에 원자력안전위원회고시 제2014-03호(폐기물.16)(방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정)에 따라 다음 사항을 포함해야 한다[1].

(1) 폐기물의 발생원, 종류, 수량 및 표면 방사선량률
(2) 폐기물에 함유된 방사성물질 등의 종류별 수량, 농도
(3) 자체처분으로 인해 부수적으로 발생할 수 있는 폐기물의 수량
(4) 자체처분 절차서

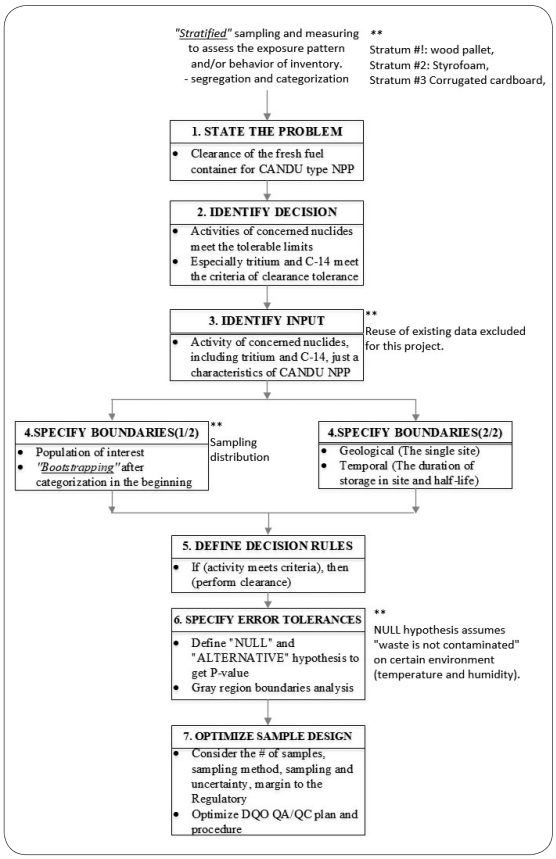
폐기물 발생자는 자체처분 절차서에 원자력안전위원회고시 제2014-03호(폐기물.16)(방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정) 제11조에 따라 다음 사항을 포함해야 하며, 해당 절차에 따라 자체처분 제반 업무를 수행해야 한다고 기술되어있다.

(1) 발생하는 폐기물의 핵종별 종류
(2) 핵종별 및 폐기물별 자체 보관 기간 및 기간의 평가 방법
(3) 폐기물의 분리저장 방법
(4) 자체처분 관련 기록 내용 및 양식
(5) 폐기물의 방사선 · 능 측정 방법
(6) 자체처분 방법

(7) 자체처분으로 인하여 부수적으로 폐기물이 발생할 경우, 이 부수적인 폐기물의 처분 방법

이 외에도 사업자는 대표시료 채취, 방사능 측정, 자체처분에 따른 환경 및 선량평가 등의 요건을 충족해야 한다.

맺음말



[그림 3] 운반 용기 자체 처분전략[2]

캐나다는 기본적으로 'Likely Clean'이라는 프로그램으로 신규 중수로 핵연료 운반 용기를 분리(segregation), 수집(collection)하는데, 우리나라도 유사 프로그램 운영이 필요하다고 판단된다.

이어 규제기준 및 지침이 요구하는 사항에 부합하는 프로그램 및 절차 개발과 규제 기관과의 협의가 필요할 것이다.

결국 규제 대응을 위하여 측정 데이터의 정확성, 정밀성, 불확도 등을 기본으로, 데이터의 품질(Data Quality) 자체의 고도화를 위하여 데이터와 메타데이터 축적, 이에 대한 처리 및 관리(Python 또는 R 데이터 프레임)가 중요하게 제시되어야 할 것이다. 참고로 [그림 3]에서도 활용되었지만, 해체 및 운영 폐기물의 처분단계까지 발생하는 모든 데이터 품질을 최대한 보장하자는 취지로 ISO NP 23580[3]이 표준으로 추진되고 있다.

본고에서는 해당 표준이 요구하는 DQO(Data Quality Objective)와 Data Science 주제[4]를 접목하고, 각종 표본 채취[5], 데이터관리 및 검증을 통하여 국내 중수로 핵연료 운반 용기에 대한 자체처분 전략을 [그림 3]에 제시하고 있다.

감사의 글

캐나다 중수로 원전 연료 회사들의 자체처분 활동 조사에 도움을 주신 Mr. Miklos Garamszeghy (NMWO, RW and SNF consultant, ISOTC85 SC5 WG5 expert), Mr. Marc-Andre Charette(Cameco)와 Mr. Nicholas Chan(CNL)에게 감사의 글을 전합니다. KAIF

[참고문헌]

[1] KINS/RG-N12.08, 방사성폐기물 자체처분 안전성 평가

[2] The introduction of DQO application in radioactive waste management life cycle process, O-04-005, KRS 2020 Spring, On-line conference, 7.29 ~ 7.31

[3] ISO NP 23580, Risk-Based Approach to Developing Data Quality Objectives in Support of the Characterization and Management of Radioactive Materials

[4] Peter Bruce and Andrew Bruce, "Practical Statistics for Data Scientist", O'REILLY

[5] Mark E. Byrnes, "Sampling and surveying radiological environment", Lewis Publishers