

고준위 방사성폐기물 처분장에서 초기 용기 파손 시나리오의 장기
방사선적 안전성 평가

Post Closure Long Term Safety of an Initial Container Failure
Scenario for a Potential HLW Repository

황용수, 서은진, 이연명, 강철형
한국원자력연구소

요 약

고준위 방사성폐기물 처분장에서 적용하고 있는 다중 방벽의 한 부분인 처분 용기는 벤토나이트 완충재의 팽윤과 지압으로부터 폐기물을 역학적으로 안전하게 보호함과 동시에 일정 기간 방사성폐기물의 유출을 억제하는 역할을 한다. 용기는 엄격한 재질 선정과 품질 보증을 거쳐 건전성을 확보하나 보수적인 관점에서 보면 용기 제작 과정이나 수송 중 예상치 못한 사건으로 인해 불량품이 발생할 개연성이 있다. 본 연구에서는 이와 같은 사고 시나리오를 가정할 경우 불량 용기를 포함한 전체 용기에 거치된 방사성폐기물의 시간에 따른 환경 위해도를 평가하였다. 본 연구 결과 일부 처분 용기에 초기 파손이 발생하더라도 규제치를 잘 만족하는 것으로 판명되었다.

Abstract

A waste container, one of the key compartments in a multi-barrier system for a potential high level radioactive waste (HLW) repository in Korea ensures the mechanical stability against the lithostatic pressure of a deep geologic strata and the swelling pressure of the bentonite buffer. Also, it prohibits potential release of radionuclides for a certain period of time. before it is corroded by impurities. Even though the materials of a waste container is carefully chosen and all manufacturing processes are under heavy quality assurance, there might be a slight chance of intial defects in a waste container. Also, during the deposition of a waste container in a repository, there might be a chance of an incident affecting the integrity of a waste container. In this study, the FEP's and the scenarios over radiological impact of a potential initial waste container defect was developed. Then the total system performance assessment on this initial waste container failure (ICF) scenario was carried out by the MASCOT-K, one of the probabilistic safety assessment tools KAERI has developed. Results show that for the data set studied in this paper, the annual individual dose by the ICF scenario well meets the KINS regulation.

1. 서 론

1997년부터 2002년까지 국가 원자력 중장기 연구 개발 사업의 일환으로 추진되고 있는 고준위 방사성폐기물 처분연구에서는 우리 나라의 지수문 인문사회 환경에 적합한 처분 개념 도출과 이에 대한 안전성 평가를 수행하고 있다. 2003년 초 종료된 제 2 단계 연구에서는 처분 개념을 구성하는데 주요한 요소 중의 하나인 처분 용기 재질 선정을 위해 다양한 재질에 대한 기초 조사 연구를 수행하였다. 이를 통해 주철, 니켈 합금, 구리 등 역학적 안정성을 보장할 수 있으면서도 환원 환경에서의 내부식성이 높은 주요 물질들이 처분 용기 후보 매질로 선정되었으며 2003년부터 2006년까지의 제 2 단계 연구를 통해 처분 용기 후보 매질을 최종 선정할 예정이다. 처분 용기 후보 매질을 최종 선정할 때 중요한 요인의 하나가 용기 수명에 따른 처분장 폐쇄후 장기적 방사선적 안전성에 미치는 영향이다. 특히 엄격한 품질 보증 절차를 적용함에도 불구하고 소량의 불량 용기가 발생할 개연성이 있으므로 이를 고려한 보수적인 평가가 반드시 고려되어야 한다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 먼저 ICF 시나리오를 구성하는 FEP들을 선별하고 이를 조합하여 RES (Rock Engineering System) 행렬을 구성하고 이와 같은 RES 행렬의 대각 요소 (diagonal element)들의 상호 반응으로 나타나는 비대각 요소 (off diagonal element)들을 조합하여 용기 파손, 지하수 유동, 핵종 이동 등의 부 시나리오 (sub scenario)들을 도출하고 최종적으로 이들을 조합하여 전체 ICF 시나리오를 도출하였다. 이와 같은 시나리오 도출 과정과 결과에 대한 투명성 (transparency)을 증진하기 위해서 본 연구에서는 2002년도 연구 기간 동안 개발된 FEAS (FEP to Assessment through Scenario) 프로그램을 수정 보완하여 FEP 개발, 선정, IFEP (integrated FEP) 구성, IFEP의 RES 행렬 대각 및 비대각 요소와의 mapping, 부 시나리오 도출, ICF시나리오 도출, AMF (Assessment Method Flowchart) 구성 및 최종 평가에 이르는 전 과정이 일반 이해당사자들도 보다 알기 쉽도록 기록 저장 가시화 하였다.

이와 같은 연구 결과 도출된 ICF 시나리오의 AMF에 따라 현재 한국원자력연구소가 개발 보유하고 있는 MASCOT-K를 이용하여 확률론적 방사선적 안전성을 평가하였다.

2. 시나리오 개발

2003년 초 종료된 제 2 단계 고준위 방사성폐기물 처분연구에서는 고준위 방사성폐기물 처분장에서 발생 개연성이 있는 사건들을 정리하여 KAERI FEP list를 개발하고 이를 내외부 전문가들의 평가를 통해 선별하고 그 중요도를 계량화하였다. 이와 같은 FEP 연구 결과는 한국원자력연구소가 개발한 FEAS 프로그램으로 입력되어 전체 FEP들의 개요, 선정 평가 결과들이 투명하게 잘 표현될 수 있도록 하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 2002년도 연구에서는 한국 처분장 조건에 적합한 기준 시나리오를 도출하여 이에 대한 확률론적 안전성 평가를 수행한 바 있다. 2003년도 연구에서는 한 걸음 더 나아가 처분 용기가 초기에 불의의 사고나 제작 결함으로 일부 파손되어 방사성 핵종들이 처분 시점부터 외부로 유출되는 시나리오를 설정하였다. 이를 위해 각종 문헌 조사를 통해 초기 용기 파손 관련 FEP 과 발생 빈도를 조사하여 보수적인 관점에서 국내외 연구 결과 초기 용기 파손 발생 확률을 0.1 %로 가정할 수 있었다.

이와 같이 초기 용기 파손 사건은 발생 개연성이 있으므로 이에 따른 방사선적 처분 안전성을 정량적으로 평가하기 위해 관련 FEP들을 조합하여 ICF 시나리오를 도출하였다. 그림 1은 FEP 리스트로부터 도출된 ICF 시나리오 관련 RES 행렬을 도시한다. 이와 같은 RES 행렬의 각 요소들

그림 2에 나타난 바와 같이 상기한 네 가지 모든 경우에 대해서 정량적인 평가를 수행하였다. 그림에서 잘 나타나 바와 같이 용기 수명 및 불량 용기 발생 확률의 변화에 따라 개개 그래프의 경향의 차이는 있으나 전체적인 경향은 모든 경우들에 있어서 매우 유사했으며 특히 안전성 확인에 가장 중요한 피크 값의 경우에는 큰 차이가 없었다.

따라서 일부 불량 용기가 발생하고 처분 용기 평균 수명이 1,000 년으로 비교적 짧더라도 현재 제안되고 있는 처분 개념의 안전성이 확보될 수 있음이 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 한국형 처분 개념에 대한 방사선적 안전성 평가의 일환으로 대안 시나리오 (Alternative Scenario)의 하나인 ICF 시나리오에 대한 확률론적 평가를 수행하였다. 평가 결과 불량 용기 평균 발생 확률이 0.1 %이고, 용기 평균 부식 수명이 1,000 년인 경우 처분 개념에 대한 방사선적 안전성을 확보할 수 있었다. 향후 연구에서는 용기 수명을 10,000년, 100,000년, 1,000,000 년 등 보다 현실적으로 산정한 경우 이와 같은 용기 수명 변화와 불량 용기 발생 확률이 전체 처분 안전성에 미치는 영향을 정량적으로 평가해 ICF 시나리오에 대한 전체적인 처분 안전성을 종합 규명할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 국가 원자력 중장기 연구 개발 사업의 일환으로 추진되었습니다.

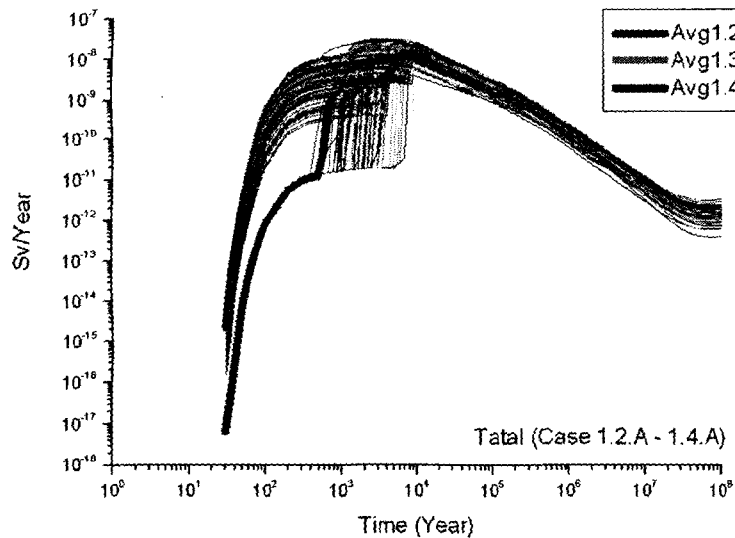


그림 2. ICF 시나리오에 대한 연간 개인 선량 평가