

PWR 사용후핵연료 직접처분에 대한 파이로처리 폐기물 처분 안전성 비교

이연명*, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*ymlee@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 처분을 위하여 1997년 이후 고준위 방사성폐기물 처분연구가 시작되어 2006년도에는 1983년에 제안된 스웨덴의 KBS-3 개념과 유사한 한국형 방사성 폐기물 처분 개념 KRS가 제안되었다 [1]. 지하 500 m 암반층에 건설된 터널 바닥에 처분 공을 뚫고 처분용기 즉 캐니스터에 사용후핵연료를 담아 영구 처분하는 이러한 KRS 개념은, 이후 사용후핵연료를 소멸처리할 수 있는 미래원자력시스템 개발을 통한 고속로 SFR의 연료로 사용하기 위한 우라늄과 플루토늄, 그리고 마이너 액티나이드를 포함하는 초우라늄 (Transuranic, TRU) 등 유용한 재활용 물질을 얻을 수 있도록, 사용후핵연료를 건식재활용하는 파이로프로세싱 (pyroprocessing)에 따라 새롭게 발생하는 폐기물을 처분하는 개념으로 대체되었다. 이에 따라 발생 폐기물 종류에 따라 동일 부지 내 두 개의 상이한 형태, 그리고 상이한 깊이의 암반 매질 내에 분리 처분하는 방식인 터널처분과 KBS-3 개념과 유사한 방식을 복합적으로 고려하는 A-KRS 개념이 개발되어 현재까지 관련 설계 및 예비안전성 평가모델이 수정 보완되며 진행되어오고 있다[2]. 파이로프로세싱은 당초 사용후핵연료를 전기분해하여 금속으로 환원하고, LiCl-KCl의 고온 용융염 매질을 이용하여 사용후핵연료 내에 잔존하는 우라늄과 TRU 등 유용한 에너지원을 그룹으로 분리해내 차세대 에너지 원으로 활용한다는 본질적 가치로 시작된 것이지만, 장반감기는 아니나 Cs이나 Sr과 같은 고방열 핵종은 일정 기간 분리 저장하여 발열량을 줄여 처분장 소요 면적을 줄이고, 장수명 핵종은 소멸시켜 사용후핵연료 부피 기준 폐기물 발생량을 줄여 처분관점에서 유리한 방식일 수 있다는 점도 주장되어왔다. A-KRS개념은 이렇게 500도 이상의 고온 용융염에서 사용후핵연료 연소들 사이의 전해분리 특성차이를 이용하여 녹여내는 전기 분해를 거쳐 전해정련-전해제련 등 일련의 파이로프로세싱에 따라 새롭게 발생하는 다양한 형태의 방사성 폐기물을 처분하기 위하여 이전의 KRS개념이 변경 이행되어오며 파이로처리 공정에 따른 물질 수지 산정 결과에 따라 발생하는 폐

기물의 형태나 폐기물 내의 핵종의 일부가 변경되는 과정을 거치고 이러한 변화에 대해 새롭게 수정 설계 되어왔다. 이에 따라 고준위 방사성 폐기물본래의 형태로서의 사용후핵연료 직접처분과 파이로프로세싱 폐기물의 처분을 위한 A-KRS 개념 상호간 방사선적 안전성평가 상 처분 성능, 즉 방사선 피폭에 관련된 비교 우위를 비교하는 연구가 수행될 필요성도 대두 되었다. 즉, 사용후핵연료 직접처분과 파이로프로세싱에 따른 LiCl-KCl 폐기물과 Tc-99/I-129 폐기물처분에 따른 방사선적 안전성 평가에 관한 정량적 비교 연구를 위해서는 가능한 한 상호 동일한 조건으로 비교할 수 있는 새로운 평가 시스템이 요구된다. 이를 위하여 Fig. 1과 같은 가상 처분 시스템을 구현하고 정상적 핵종의 유출 이동에 관련된 FEPs의 인지 및 시나리오 도출을 통하여 근계영역을 제외한 원계영역 및 생태계를 동일하게 가정하여 GoldSim[3] 템플릿 모델을 Fig. 2와 같이 개발하고 입력 자료를 도출하여 상호 비교 평가가 가능한 표준 평가 시스템을 개발하여 도출된 입력자료를 통하여 정량적 평가를 수행하고 이를 Fig. 3과 같이 예시하였다.

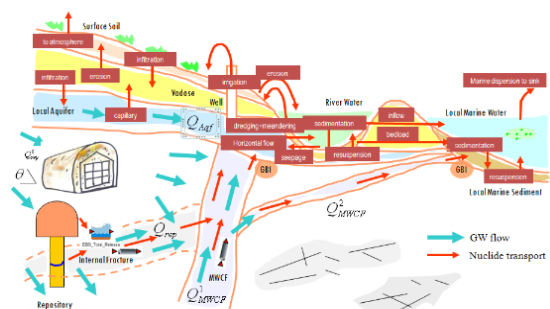


Fig. 1. Conceptual Disposal System.

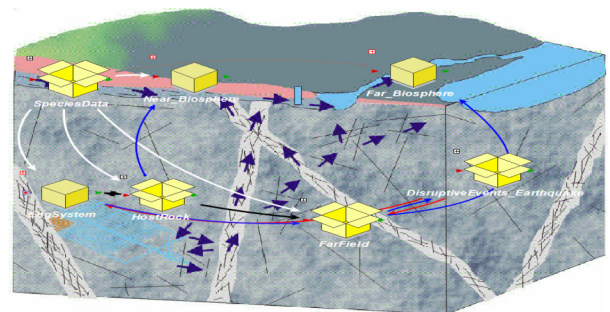


Fig. 2. GoldSim model for cstudy.

2. 시스템평가 및 결론

비교 평가를 위한 시스템 입력자료를 Table 1에 보였고 PWR 사용후핵연료 직접처분과 다른 파이로프로세싱에 따른 선량 비교를 Fig. 3에 보였다. 이렇게 사용후핵연료 직접처분과 파이로프로세싱 폐기물 처분을 상호 비교할 수 있는 표준 안전성평가 시스템을 개발하고 평가에 필요한 입력자료를 구축하였다.

Table 1. System input

Parameter Name	Value
Canister	
Number (PWR)	45845
Number (LIC-KCI)	655
Number (Tc-99/I-129)	2458
Failure time (PWR), yr	10000
Failure time (LIC-KCI), yr	10000
Failure time (Tc-99/I-129), yr	10000
Height (PWR), m	4.83
Height (LIC-KCI), m	4.97
Height (Tc-99/I-129), m	4.97
Radius (PWR), m	1.02/2
Radius (LIC-KCI), m	1.14/2
Radius (Tc-99/I-129), m	1.14/2
Underneath height (PWR), m	0.5
Underneath height (LIC-KCI), m	0.5
Underneath height (Tc-99/I-129), m	0.5
Repository	
EDZ thickness (PWR), m	0.3
EDZ thickness (LIC-KCI), m	0.3
EDZ thickness (Tc-99/I-129), m	0.3
Borehole spacing (PWR), m	9
Borehole spacing (LIC-KCI), m	4
Borehole spacing (Tc-99/I-129), m	4
Tunnel height (PWR), m	6.15
Tunnel height (LIC-KCI), m	6
Tunnel height (Tc-99/I-129), m	6
Tunnel width (PWR), m	5
Tunnel width (LIC-KCI), m	5
Tunnel width (Tc-99/I-129), m	5
Tunnel spacing (PWR), m	40
Tunnel spacing (LIC-KCI), m	25
Tunnel spacing (Tc-99/I-129), m	25
Buffer	
Thickness (PWR), m	0.36
Thickness (LIC-KCI), m	0.36
Thickness (Tc-99/I-129), m	0.36
Porosity	0.4
Diffusion coefficient, m ² /yr	0.000378
Density, kg/m ³	1600
Deep Fractured Rock Mass (@500m)	
Flow rate calculated, m ³ /yr	113.9
Fracture aperture, m	0.0001
Fracture Spacing, m	5 (not used)
Retardation in fracture	10
Matrix diffusion distance, m	5.00E-01
Length, m	419
Dispersion coefficient, m ² /yr	one tenth of the travel length
Matrix porosity	0.002
Density, kg/m ³	2650
mass gradient, %	5
Hydraulic conductivity of the rock mass at 500m, m/s	1.00E-10
MWCF (@500m)	
Number of fractures	10
Flow velocity, m/yr	1.38E+01
Fracture aperture, m	0.001
Plume width, m	2400
Plume depth, m	20
Fracture Spacing, m	not used
Fracture width, m	500
Retardation in fracture	1
Matrix diffusion distance, m	1
Length, m	468
Dispersion coefficient, m ² /yr	one tenth of the travel length
Fracture porosity, %	5
Matrix porosity	0.002
Density, kg/m ³	2650
Hydraulic conductivity, m/s	0.0000002 (not used)
MWCF fracture width, m	5.00E+02
Groundwater	
Pure diffusion coefficient, m ² /yr	0.032
Plume Width at the Biosphere in MWCF, m	same to plume width

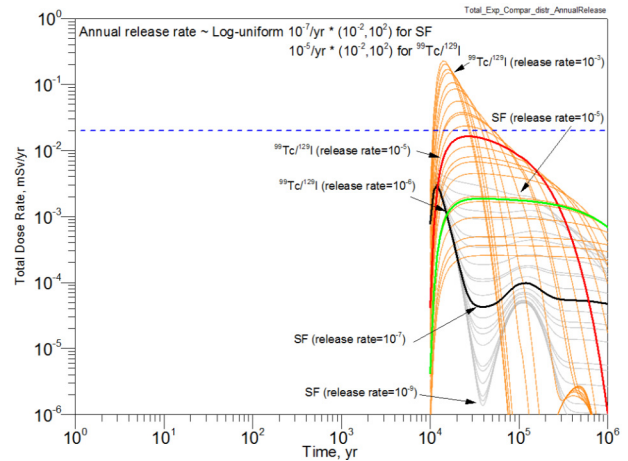


Fig. 3. Probabilistic and deterministic annual dose exposure rates compared.

3. 참고문헌

- [1] Heui-Joo Choi et al., "Development of geological disposal system for spent fuels and high-level radioactive waste in Korea," Nuclear Engineering and Technology, 45(1), 29-40, (2013).
- [2] Youn-Myoung Lee and Hwang, Yongsoo, A GoldSim model for the safety assessment of an HLW repository. Progress in Nuclear Energy 51, 746-759, 2009.
- [3] GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide, Version 4, GoldSim Technology Group, 2006.