

## 동굴처분 사일로 폐쇄방안별 핵종이동 비교분석

박진백, 박주완, 김창락

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1번지

jbpark@khnp.co.kr

### 1. 서론

방사성폐기물 동굴처분시설의 콘크리트 구조물(사일로) 주변 및 사일로내부에서의 방사성핵종 이동 평가는 폐기물 영역으로부터 주변 인공방벽 층을 통과하여 부지 암반층에 도달할 때까지 각 층을 통과하는 지하수에 의한 이류와 각 영역간의 농도구배에 의해 생기는 확산을 고려하게 된다. 따라서 처분사일로 통과 지하수량 혹은 지하수 유속은 핵종이동 평가상 중요한 파라미터 가운데 하나이다. 본 논문에서는 처분사일로 내부 및 주변의 폐쇄물질 조합에 대해 지하수유동 모델링에 의한 처분사일로 내부로의 지하수 침투량 분석결과를 활용하여 사일로 침투수량 즉, 사일로 통과 지하수 유량이 핵종 누출에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

### 2. 처분사일로 폐쇄 개념모델 대안

핵종이동 평가대상인 처분 사일로 폐쇄설계 개념의 대안과 이에 대한 지하수 유동해석 결과는 참고문헌 [1]을 이용하였다. 사일로 구조물 내·외벽에의 폐쇄물질 적용여부에 따라 2가지 경우 (Case 1과 2)로 구분하되, 후보폐쇄물질에 따라 Case 1에는 2가지(Case1\_M1: 구조물내부+분쇄석 뒷채움, Case1\_M2: 구조물내부+시멘트몰탈 뒷채움), Case 2에는 3가지(Case2\_M1: 구조물외부+분쇄석 뒷채움, Case2\_M2: 구조물외부+벤토나이트+모래 혼합재 뒷채움, Case2\_M3: 구조물외부+벤토나이트 뒷채움)등 5가지 폐쇄설계 개념모델이 설정되었다. 핵종이동 모델링을 위한 사일로 단면의 제원 및 물성은 참고문헌 [1]에서와 동일하며, 콘크리트 구조물은 폐쇄후 1,000년 후에 완전 열화하는 것으로 가정하였다. 각 경우에 대한 평가결과로 도출되는 암반으로의 핵종누출률은 사일로 내 핵종재고량, 분배계수 등 이동에 영향을 주는 입력변수의 핵종별 상대적 영향을 무시하기 위해 Case1\_M1에 대한 값으로 분율화하였다. 핵종이동평가에는 시스템레벨의 모델링이 가능한 MOSAIC코드가 사용되었다[2].

### 3. 평가결과 비교 검토

지하수 유동해석 결과, 표 1에서 보는 바와 같이 지하수 침투 억지능력은 저투수성 방벽을 사용하는 경우인 Case2\_M3가 다른 후보물질에 비하여 현저히 우월한 것으로 평가되었다[1].

표 1. 폐쇄개념별 처분사일로 통과 지하수 유량 변화 - Case1\_M1 대비 상대비율

폐쇄 개념	콘크리트 구조물 열화 전	콘크리트 구조물 열화 후
Case1_M1	1	1
Case1_M2	7.72E-01	7.81E-01
Case2_M1	1.50E-01	9.56E-01
Case2_M2	1.04E+00	5.41E-01
Case2_M3	4.33E-02	4.96E-02

구조물 외부에 분쇄석을 사용하는 경우(Case2\_M1)가 내부에 분쇄석을 사용하는 경우(Case1\_M1)에 비해 침투수량이 적은 이유는 콘크리트 구조물의 투수계수(콘크리트가 건전한 경우

K=3E-11 m/s, 콘크리트가 열화한 경우 K=1E-8 m/s)에 비해 그 주변 분쇄석의 투수계수(K=1E-4 m/s)가 현저히 크므로 지하수가 선택적으로 방벽을 통과하는 소위 "hydraulic cage"가 형성되기 때문인 것으로 판단된다.

그림 1은 처분사일로 주변 암반으로의 핵종별 최대 누출률(Bq/yr)을 비교한 것이다. 지하수 유량 변화의 경우와 마찬가지로 Case1\_M1에 대비한 상대비율로 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 단반감기, 비이동성 핵종인 Ni-63, Sr-90, Cs-137 등의 경우 콘크리트 구조물 열화전의 지하수 유동 거동과 유사한 변화를 보이고 있으며, 이에 비해 장반감기, 이동성 핵종인 C-14, Ni-59, Nb-94, I-129 등은 콘크리트 구조물 열화 후의 지하수 유동 양상과 유사한 변화를 보이고 있다.

한편 단반감기이면서 이동성 핵종인 H-3은 열화 후의 양상을, 장반감기이고 비이동성 핵종인 전 알파핵종은 열화 전의 양상을 나타내고 있다. 사일로 침투수량이 핵종별로 나타나는 누출률의 민감도는 침투수량의 감소에 따라 발생하는 최대 누출률의 지연시간과 핵종별 반감기와의 관계에 의해 생기는 것을 알 수 있다. 즉, 콘크리트 구조물의 열화시기 보다 긴 반감기를 가진 핵종의 경우에도 I-129의 경우는 인공방벽에서의 흡착에 의한 누출률의 최대치 도달시간이 핵종의 반감기(반감기: 1.57E+7년)에 대해 상대적으로 작기 때문에 다른 핵종에 비해 유속의 감소에 따른 방사능의 감쇠를 기대하기 어려워 민감도가 크지 않게 나타나며, 이에 비해 C-14(반감기: 5.73E+3년), Ni-59(반감기: 7.54E+4년) 등은 상대적으로 민감도가 더 크게 나타나고 있다.

또한 핵종의 반감기와 인공방벽에서의 흡착특성에 의해 사일로 침투수가 핵종 누출률에 미치는 영향이 다르게 나타나지만, 침투수 억제능력이 우월한 Case2\_M3에서 거의 모든 핵종에 대해 인공방벽에 의한 핵종누출이 억제될 수 있음을 보여주고 있으며, 따라서 저투수성 방벽을 적절히 설치하여 사일로로의 침투수를 억제하는 것은 중요하다고 할 수 있다.

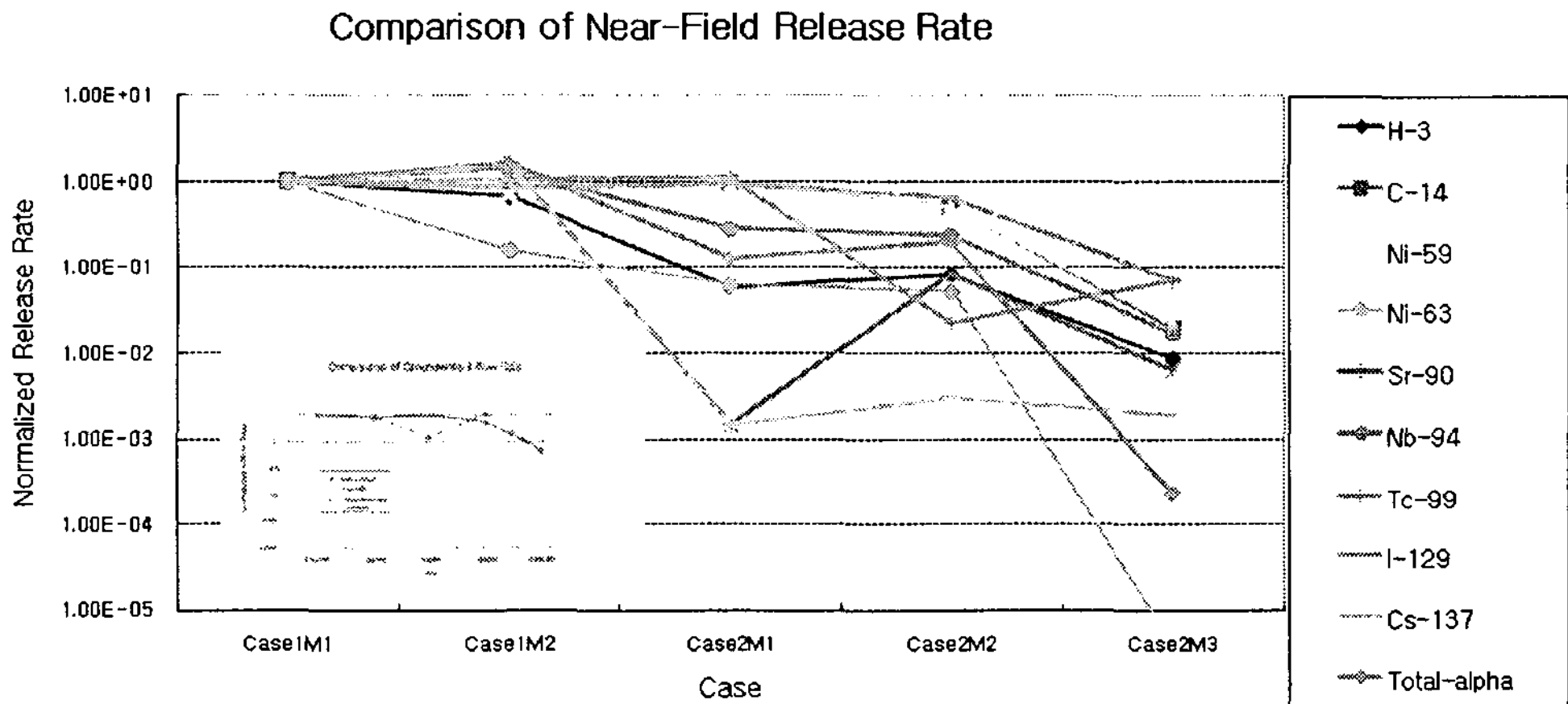


그림 1. 처분사일로 주변 암반으로의 핵종 누출률 비교

참고문헌

[1] 조성일, 이은용, 김창락, "방사성폐기물 처분사일로 폐쇄를 위한 수리적 방벽효과 해석", 한국 방사성폐기물학회 2008 춘계학술발표회, 서울, 5. 22-23, 2008.

[2] Wei Zhou, Matthew W. Kozak, George Mungov, Joowan Park, Chang-Lak Kim, Jin-Beak Park, and Ji-Hoon Lee, "MOSAIC: MOdular Safety Assessment code with Integrated Concrete analysis, A computer program and database for the Korean concept for L/ILW disposal safety assessment", Jan. 2006.