

중·저준위 방사성폐기물 해상운반 중 가상 유실사고에 대한 예비평가모델

정재학, 육대식, 최경우, 이윤근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 과학로 34

radwaste@kins.re.kr

1. 서론

현재 건설 중인 월성원자력환경관리센터가 완공되면, 국내 원전부지에서 저장중인 중·저준위폐기물은 운반용기에 적재된 후 전용 운송선박을 이용해 처분시설로 운반될 예정이다[1]. 이 운송선박은 IAEA 및 IMO 등의 국제안전기준(INF, IMDG 코드 등)과 국내 규제요건(교육과학기술부, 국토해양부 등)에 따라 설계·건조되고 운영 중 방사선안전관리가 적용될 예정이다[2]. 지금까지 스웨덴, 일본 등에서의 중·저준위폐기물 해상운반 경험을 고려할 때 중·저준위폐기물의 해상운반이 안전성 측면에서 유의할 만한 영향을 유발할 가능성은 극히 낮을 것으로 예상된다. 그러나 일반선박의 국내의 해상사고 사례와 운항 중 예기치 못한 항행조건의 변화 가능성 등을 고려할 때, 가상적인 사고시나리오에 대한 분석과 그 결과를 반영한 안전대책의 사전수립이 필요하다고 할 수 있다.

2. 예비평가모델 및 시산

해양안전심판원은 해상사고를 충돌, 접촉, 좌초, 침몰, 전복, 화재·폭발 등으로 분류하고 있으며, 따라서 방사성폐기물의 해상운반에 따른 대표적인 가상사고 시나리오로는 선박의 충돌, 접촉, 좌초, 침몰 및 전복 등으로 인한 폐기물용기(또는 운반용기)의 “해양유실”, 화재·폭발로 인한 용기의 손상에 따른 방사성물질의 “대기누출” 또는 “해양누출” 등을 상정할 수 있다. “대기누출” 또는 “해양누출”은 원자력시설의 기체 또는 액체유출물의 환경배출에 따른 주민선량평가 모델과 유사한 방법으로 모사할 수 있으나, “해양유실”에 대해서는 국제적으로 표준화된 평가모델이 아직까지 제시된 바 없다.

선박운항 중 폐기물용기가 해양에서 유실되더라도 조속하게 이를 회수·인양할 수 있다면 그 영향은 미미할 것으로 예상되지만, 폐기물이 해저에 가라앉은 상태로 장기간 방치된다면 폐기물 내의 방사성핵종이 해양으로 누출됨에 따라 궁극적으로는 생태계에 영향을 미칠 가능성도 배제할 수 있다.

2003년 런던협약에서 채택된 방사성물질의 해양투기에 따른 영향평가모델(이하 “1-Box 평형모델”)은 매년 일정량의 폐기물을 별도의 포장용기가 없는 상태에서 해안으로부터 수 km 이내의 근해에 투기하는 상황을 가정하고 있다[3]. 그러나 중·저준위폐기물의 “해양유실” 사고를 모사하기 위해서는 폐기물용기의 1회성 해양유실, 방벽(폐기물용기 또는 운반용기) 또는 폐기물 형태(waste form)에 의한 방사성핵종의 해양누출 지연효과 등을 시간 종속적으로 고려할 수 있는 동적모델이 필요하다.

선박운항 중 사고로 인해 해양으로 유실된 폐기물용기는 단기간에 해저에 도달하게 되고 해수가 용기 내로 유입되면 폐기물 내의 방사성핵종이 해수 중으로 누출될 수 있다. 해수로 누출된 방사성핵종의 일부는 흡·탈착에 의해 해수 중 “부유침적물” 및 “경계침적물(해수와 해저침적층과의 경계층)”로 상호전이되고, 해수 중 부유침적물은 해변의 침적물 층으로 전이될 수 있다. 한편, 해수, 부유침적물 및 경계침적물에 존재하는 핵종은 조류와 해류에 의해 먼 바다로 확산·이동될 것이다. 일반인 피폭경로로는 우선 수산물(어류, 연체·갑각류) 섭취, 해변활동에 따른 해무(sea spray) 흡입, 재부유된 해변 침적물 흡입, 해변 침적물의 부주의한 섭취 및 해변 침적물 주변에 체류함에 따른 직접피폭 등을 고려할 수 있다.

해양환경 등과 관련된 기본 입력변수는 “1-Box 평형모델”의 표준 입력변수에서 발췌하였고, 선량환산인자 등 피폭경로별 방사선량평가와 관련된 입력변수는 IAEA, ICRP 등의 최근 권고치를 적용하였다. 도출된 예비평가용 구획모델을 상용전산코드인 AMBER Ver. 5.0를 이용해 구현하였고, 평형조건에 대한 예비계산을 통해 “1-Box 평형모델”과의 동일성을 확인하였다. 이와 같이 도출된 중·저준위폐기물 “해양유실” 사고분석을 위한 예비평가모델(screening model)과 시산(trial calculation)에 적용된 주요 입력변수들을 각각 그림 1과 표 1에 도시하였다.

폐기물에서 해수로의 방사성핵종 누출현상은 구획 WS에서 SW로의 전이율($TR_{ws,sw}$, y^{-1})로서 수식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$TR_{ws,sw} = \mu_{ws} \cdot L_B, \dots \dots \dots (1)$$

여기서, μ_{ws} = 폐기물의 표면적 대 질량비(m^2/kg), L_B = 침출률($kg/m^2/y$).

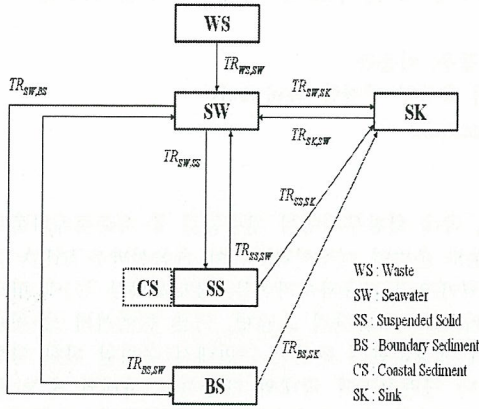


그림 1. 예비평가용 구획모델

표 1. 시산에 적용된 주요 입력변수

변수	단위	표준 값
유실폐기물 질량	kg	2×10^4
해양구획의 구역	$m \times m \times m$	$10^4 \times 10^4 \times 20$
해수 유속	m^3/y	4×10^{10}
경계침적물 두께	m	1×10^{-2}
해변침적물 두께	m	1×10^{-1}
침적물 밀도	kg/m^3	1.5×10^3
부유침적물 농도	kg/m^3	3×10^{-3}
해수 농도	kg/m^3	1×10^{-2}
공기중 분진농도	kg/m^3	2.5×10^{10}
침적물 분배계수	m^3/kg	TRS 422
생체농축계수	m^3/kg	TRS 422
선량환산인자	$[Sv/y]/[Bq/m^3]$ 또는 Sv/Bq	FGR 12 BSS 96

그림 2에 도시한 바와 같이, 중·저준위 방사성폐기물 인도규정고시에 처분 농도제한치가 규정된 10개 핵종에 대해 예비평가모델로 시산된 피폭경로선량환산인자(PDCF)는 $10^{19} \sim 10^{14}$ Sv/y per Bq/kg 범위로 나타났다. 한편 그림 3은 핵종별 상대적 중요도를 각각 PDCF와 처분농도 제한치 관점에서 비교한 결과로서, 해양유실 사고와 처분안전성 측면에서 핵종별 상대적 중요도에 차이가 있음을 보여준다.

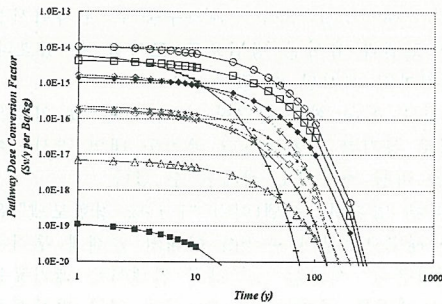


그림 2. 핵종별 피폭경로선량환산인자(고화체)

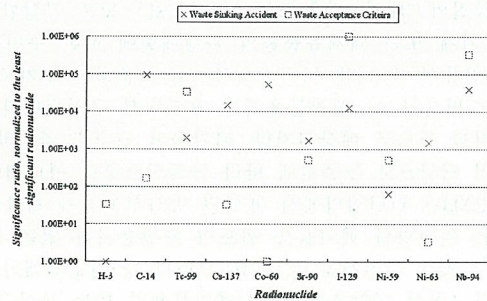


그림 3. 핵종별 중요도 상대비교(고화체)

3. 결론

해상운반 중 중·저준위폐기물 가상 유실사고에 따른 방사선학적영향을 간단하게 예측할 수 있는 기본모델이 구현되었고, 보수적인 조건에 대한 예비평가를 통해 단위 방사능농도의 핵종별 예상 피폭방사선량 시산결과가 제시되었다. 이 예비평가모델은 중·저준위폐기물의 해상운반에 따른 잠재적인 리스크에 대한 유용한 직관을 제공하고 향후 안전성 검증과정에 부분적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 이 모델은 일반적 예비평가(generic screening)를 주목적으로 구현된 것이므로 구체적인 사례기반(case-specific)평가에 직접 활용하기에는 한계가 있으며, 향후 국내 해양환경조건의 추가반영, 해조류 서취 등 다양한 피폭경로의 추가반영, 결정집단 피폭 연령군의 차등화 등을 통해 모델의 신뢰도를 개선할 필요가 있다.

참고문헌

- 정성환 등, “중·저준위 방사성폐기물 해상운반시스템,” 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회, 2007.
- 교과부고시 제2008-67호, 중·저준위 방사성폐기물 운송선박의 방사선안전관리 등에 관한 기술기준.
- IAEA, Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea Under the London Convention 1972, TEDOC-1375, 2003.
- P. Colombo and R.M. Neilson, Jr., “Evaluation of a Radioactive Concrete Waste Form Recovered from an Ocean Dumpsite,” Waste Management, 1982.