

RADTRAN을 활용한 중·저준위 방사성폐기물 해상운송 선박의 충돌에 따른 예비 위험도 평가

육대석, 김용재, 이윤근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 과학로 34
dsyook@kins.re.kr

1. 서론

현재 건설 중인 중저준위방사성폐기물 처분시설이 완공되면, 국내 원전부지에서 저장중인 중·저준위 방사성 폐기물은 운반용기에 적재된 후 전용 운송선박을 이용해 처분시설로 운반될 예정이다[1]. 이러한 운송선박의 해상 운반 중 위험도 평가를 위한 검증 코드로써 RADTRAN, INTERTRAN, RISKIND 등이 있다. 본 연구에서는 해상운반 위험도 평가에 필요한 입력 자료를 검토해 보고, 정상 운반 및 가상 운반사고 시 작업자와 일반 지역 주민이 받게 되는 피폭 선량 평가를 통하여 위험도 평가 코드의 국내 해상운반 적용성과 한계를 확인하고자 RADTRAN을 활용하여 평가하였다.

2. 해상운반 시나리오 및 예비 위험도 평가

IAEA에서는 방사성물질등의 해상운반 중의 발생될 수 있는 사고인 충돌, 접촉, 좌초, 침몰, 화재·폭발 중에서 화재, 충돌, 충돌에 따른 화재 및 침몰의 4가지 범주에 대하여 전세계 사고 자료를 바탕으로 사고 발생을 평가하였다[2]. 본 연구에서는 IAEA의 연구 결과를 활용하여 울진에서 월성까지 중·저준위 방사성폐기물 해상 운반시의 정상 및 사고시의 위험도를 평가하기 위하여 다음과 같은 시나리오를 통하여 위험도를 평가하였다. 울진에서 월성 처분장까지는 연간 3회 운항하고 운반 폐기물은 1회 운항시 IP형 운반용기 1개에 표면 선량이 2 mSv 이상이고 시멘트 고화 처리된 폐수지 8드럼씩 담아 125개의 운반용기(총 1000드럼)를 이송하는 것으로 가정하였다. 또한, 운반 중 가상사고는 충돌에 의하여 선체가 파손되어 방사성 폐기물이 대기중으로 유출되었을 때의 경우에 한정하여 방출율을 1%로 가정하였다. 정상운항 중에는 선박이 다른 항구에 정박할 이유가 없으나 기상 악화 또는 기관 고장으로 인하여 가까운 항구에 임시정박을 하게 될 때 인구 밀도가 높은 포항항에서 정박하는 것으로 평가하였다. 또한, 울진 물량장에서 방사성폐기물을 선적하고 월성물량장에서 하역하는 작업의 경우 평균 2인이 10m 거리에서 8시간 정도 작업하는 것으로 가정하였다. RADTRAN에서 위험도 평가를 위한 입력자료는 7개의 범주에 총 43개의 입력변수를 필요로 한다. 표 1은 해상운반 시나리오 평가를 위하여 사용된 방사선원항[3]이다.

표 1. 시나리오에 활용된 드럼당 핵종별 방사능[3]

Radionuclide	Bq
H3	2.26E+08
CO60	1.17E+11
NI59	4.17E+09
NI63	3.93E+11
SR90	3.91E+08
NB94	4.31E+06
TC99	8.02E+06
I129	1.43E+06
CS137	7.96E+10
FE55	2.76E+11
CO58	3.57E+10
CE144	8.78E+08
C14	2.71E+09

운송선박은 기본적으로 적재창의 길이 38m에 선박 탑승 인원은 21명, 화물에서 선원까지의 거리는 5m로 정하였다.

IAEA[2]의 연구 결과에 따르면 국내 동해에서의 충돌 사고 발생율은 1979년부터 1993년까지의 자료를 바탕으로 하여 $2.06 \times 10^{-7}/\text{veh} \cdot \text{km}$ 값을 제시하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 IAEA에서 제시한 충돌 발생률 값을 활용하였으며 선박 측면 표면에서의 방사선량률은 $43.91 \mu\text{Sv/hr}$ 로 가정하였고 울진에서 월성까지의 거리는 총 200km, 선박 운항 속도는 22km/hr , 방사성폐기물의 운송이라는 특수성에 따라 해안에서 멀리 떨어진 지역으로 나가 운송할 계획이기 때문에 운송경로에서의 인구 밀도 및 같은 항로를 이용하는 선박은 없다고 가정하였다. 임시 정박의 경우 포항항에 24시간 정박하고 이 때 인구 밀도는 반경 800m까지의 인구 거주자를 바탕으로 환산하여 대략 $637\text{명}/\text{km}^2$ 로 정하였다.

가상사고는 임시정박을 위하여 포항항으로 이동하는

중에 포함 앞바다에서 발생하는 것으로 가정하고, 포항항으로부터 10km 까지의 인구 밀도 자료와 월성 대기확산 인자 값[4]을 활용하여 10km 까지의 개인 최대 피폭 선량을 계산하였다. 그림 1 및 2는 이러한 가정하에 계산된 결과이다.

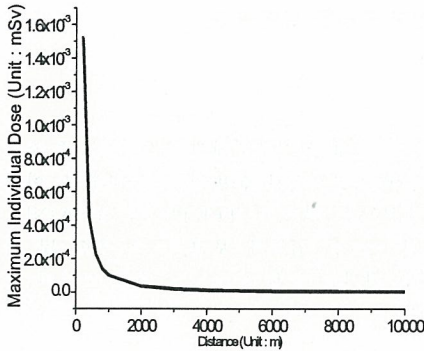


그림 1. 거리별 개인최대피폭선량

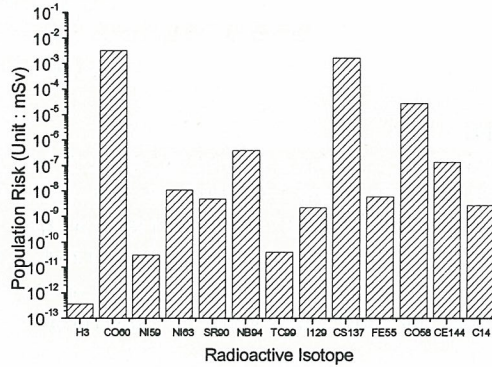


그림 2. 각 핵종별 집단 선량 기여도

3. 결론

정상 상태에서의 해상 운송 중에 가장 많은 시간을 보내게 되는 선원들의 연간 집단 피폭 선량 값은 정상 운전시 8.7×10^4 mSv로 계산되었다. 그러나, 선박 및 하역 작업을 수행하는 작업자의 피폭 선량은 1.43 mSv의 값을 나타내어 정상 및 비정상과 가상사고의 모든 경우를 포함하였을 때 가장 높은 피폭을 받을 수 있는 것으로 평가되었다. 이러한 결과의 원인은 실제 선박의 선적 및 하역 작업의 경우는 원거리에서 크레인을 통하여 작업함에 따라 차폐 효과가 발생하지만 RADTRAN 코드의 계산에서는 작업자의 차폐를 고려하지 못하기 때문이며 선적 및 하역 작업에 걸리는 시간도 8시간으로 보수적으로 가정하여 실제 작업 시간보다 오래 작업하는 것으로 평가하였기 때문이기도 하다. 또한 운송에 사용된 용기내 선원항도 중·저준위방사성폐기물 중에서 선량이 가장 높은 드럼을 대표로 선정하여 평가에 활용하였기 때문에 판단된다. 가상사고의 경우, 거리별 최대피폭 선량을 받을 수 있는 개인 피폭 선량도 1.5×10^3 mSv로써 해상운반 가상사고시 ICRP가 권장하고 있는 연간 개인 피폭 선량 한도 1mSv 보다 훨씬 낮은 결과를 산출하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 집단 피폭 선량에 영향을 미치는 방사성핵종을 평가한 결과에서는 감마선을 방출하는 Co-60과 Cs-137이 주요 핵종이란 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 해상운반에 관한 예비 위험도 평가를 통하여 보수적인 가정하에 계산을 수행함으로써 실제 해상운반에 대한 선량 평가 목적보다는 경향성을 파악하기 위한 목적으로 수행되었다. 그 결과, 선박에 탑승하는 선원이나 가상사고시의 일반 지역 주민에 대한 피폭 선량 보다 운반용기를 선박에 선적 및 하역하는 작업을 수행하는 작업자의 피폭 선량이 상대적으로 더 높은 값을 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 정성환 등, “중·저준위 방사성폐기물 해상운반시스템,” 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회, 2007.
2. IAEA, Severity, probability and risk of accidents during maritime transport of radioactive material 2001, TECDOC-1231
3. 한수원(주), 중저준위방사성폐기물 처분시설 안전성분석보고서, 제9권
4. 한수원(주), 중저준위방사성폐기물 처분시설 안전성분석보고서, 제8권