

## 중저준위 방폐물 운반경로에 대한 방사선영향평가

성기열, 윤정현, 이경구, 김태만, 김형진

한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[sskvein@krmc.or.kr](mailto:sskvein@krmc.or.kr)

### 1. 서론

본 연구는 월성 원자력환경관리센터의 시범운업을 위한 울진 원전폐기물 1000드럼의 운반에 대한 작업자 및 승무원, 인근 거주자에 대한 방사선영향평가를 수행하였다. 평가는 운반경로 주변의 항구에 선박이 정박 중 일 때, 운반경로를 따라 정상운항 및 사고가 발생하였을 경우로 구분하여 수행하였다. 사고는 충돌에 의한 화재 발생 및 침몰로 구분하였다. 침몰사고로 인한 평가는 MARINRAD IV 전산코드를, 그 외 경우는 RADTRAN ver 5.5를 사용하였다[1][2]. 평가를 수행하기 위한 기본적인 코드 입력자료는 울진-월성간 해상 운반경로에 맞추어 결정하였으며, 특정 값은 미국의 NUREG-0170에서 제시하는 값을 사용하였다[3]. 모든 입력 인자를 결정하는데 있어서 가장 중요한 것은 현실에 가장 근접한 값을 설정하는 것이나 본 연구에서는 자료 수집상의 오차를 최소화하기 위하여 모든 입력자료를 상당히 보수적으로 설정하여 평가하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 정박시 방사선영향평가

월성원자력환경관리센터의 시범운업을 위한 울진 원전 폐기물 1000드럼의 운반경로 내 2600톤급의 전용선박이 피항하여 정박할 수 있는 항구는 후포항, 구룡포항 및 포항항으로 조사되었다. 따라서 정박시 방사선 영향평가는 울진, 월성 물양장과 3개의 항구에서 선적 및 하역 작업자, 선박승무원 및 인근 거주자를 대상으로 이루어졌다.

방사선 영향평가를 위한 방사선원은 운반대상 폐기물인 잡고체 폐기물을 대상으로 표면방사선량을 0.2mSv/hr의 보수적인 값을 설정하여 계산하였다. 방사성폐기물 이송을 위한 전용 선박은 2600톤급으로 승무원은 작업자 및 선원을 포함하여 19명이 탑승하게 된다. 방사성폐기물이 선적되는 적재창과 승무원들이 활동하는 선원실 사이에는 차폐체가 있어 방사선 피폭을 감소 시켜준다. 본 평가에서는 선박 내 승무원의 차폐계수는 0.5로 설정하였다. 운송 수단의 외부선량률은 운반 용기의 인허가 기준에 따라 표면선량이 2mSv/hr의 경우 1m 거리에서 0.14mSv/hr가 되어야 하나 보수적인 평가를 위하여 2배수인 0.028mSv/hr(2.8mrem/hr)로 설정하였다. 실제 원전에서 발생하는 중저준위폐기물의 90% 이상이 0.001mSv/hr 미만의 극저선량 폐기물이다.

선적 및 하역 작업을 위한 정박 대상 지역은 울진 및 월성 물양장이 해당된다. 이 경우 선적 및 하역 작업자는 2인이 10m의 거리에서 선적 24시간, 하역 24시간으로 총 48시간을 기준으로 평가하였다. 정박기간동안 운송 선박의 승무원은 선박 내에서 24시간씩 총 48시간 거주하는 것으로 가정하였다. 선박의 정박 조건에서는 선박을 중심으로 최대 거리 800m까지의 거주자에 대한 평가를 수행하였다. 거주자에 대한 평가는 각 물양장에서의 작업시간 24시간을 기준으로 하였다. 정박 조건에서 지역별 거주자의 차폐계수는 울진 및 월성 물양장은 비도심으로 구분하여 0.87로 설정하였다. 정박한 선박 위치를 중심으로 800미터 거리의 인구수를 결정하고 이에 따라 거주자에 대한 피폭 영향 평가를 수행하였다. 인구 자료는 각 지역의 해당 관청을 통하여 2004~2008년 지역 인구 자료를 수집, 정리하여 단위 거리별 인구 분포 값을 설정하였다. 정박 영향 평가 수행을 위한 RADTRAN 코드의 주요 입력 자료는 표 1과 같다.

표 1. RADTRAN 주요 입력 자료

입력 인자	내 용	입력값	비 고
선량률	외부 선량	2.8mrem/hr	IP-2용기의 표면에서 1미터 거리의 선량률(선박선량률과 동일)
감마와 중성자 비율	감마와 중성자의 비율	감마 : 1 중성자 : 0	중성자 선원 무시
승무원수	승무원수	총19명	방사성물질로부터 얼마나 차폐되는지의 상수값
차폐 계수		도심 : 0.018 비도심 : 0.87	

## 2.2 정상운항시 방사선 영향평가

해상 운송의 경우 일반적으로 운송 선박을 중심으로 양방향 최대 800m까지의 거리에 대하여 평가를 수행하게 된다. 해상 운송의 경우 해안에서 일정 거리 이상 떨어져 이동하게 되므로 해안에서 거주중인 일반인에 대한 평가는 일반적으로 배제하고 수행하게 된다. 따라서 정상 운송 중 피폭 대상자는 선박에 탑승하고 있는 승무원만을 대상으로 하고 피폭 경로는 선박 적재창의 중저준위 방사성폐기물에 의한 직접 피폭만을 고려한다. 정상 운항 조건으로 울진에서 월성까지의 해상 운송 거리는 약 200km를 기준으로 하며 운송 선박의 속도는 22km/h로 설정하였다. 선박 승무원의 수는 19명이다.

## 2.3 사고시 방사선 영향평가

방사선원은 평가 대상 핵종 13개 중  $H_3$ 만 가스형태로 구분하였고 나머지 핵종은 휘발성 물질과 고체 형태로 구분하여 입력하였다. 사고 시 적용한 핵종의 물리화학적 형태는 우선 RADTRAN 코드에서 제공한 기본 값을 적용하였다. 이 값에 대한 선량환산인자 등은 ICRP-60에 기초한 값을 사용하였다. 일반적인 선박의 파손이 발생하는 타선박 및 장애물과의 충돌 사고는 단순한 선박 부분 파손 조건과 충돌에 의한 화재 발생 사고로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 보수적인 평가를 위하여 충돌에 의하여 화재가 발생하는 조건에 대하여 방사성 물질이 최소 1%에서 최대 100%까지 유출되는 조건에 대하여 평가를 수행하였다.

사고에 의한 방사성 물질의 유출시 피폭 경로는 크게 직접 피폭과 간접 피폭으로 구분할 수 있다. 직접 피폭의 경우 공기 중 부유하여 이동하는 방사성 물질에 의하여 발생할 수 있으며, 간접 피폭의 경우 공기 중에 부유하고 있는 방사성 물질을 호흡을 통하여, 방사성 물질의 침적에 의하여 2차 섭취하게 되는 섭생에 의하여 발생할 수 있다.

침몰 사고의 평가는 해양오염 평가 프로그램인 MARINRAD를 사용하였다[4]. 침몰시 중저준위 방사성 폐기물의 내용물이 100% 유출된다는 매우 보수적인 가정을 하였다. 평가의 입력자료로 피폭 경로는 어류, 패류, 갑각류, 해초류 등의 먹이사슬에 의한 섭취 및 해안 및 해양에서의 직접 피폭 그리고 해안 연무 흡입에 의한 내부피폭 등 총20개를 설정하였다. 평가 대상 해역 조건은 해안에서 1km 및 10km로 설정하였다.

## 3. 결론

정상운반 조건에서의 경우 전용 운반 선박의 차폐 설계가 이루어져서 선박 내의 승무원이나 선박 외의 작업 및 거주자 등이 피폭을 받을 경우가 극히 희박하나 보수적으로 차폐 성능을 크게 낮추어 평가하였다. 또한 선적 및 하역 작업을 수행하는 작업자의 경우 실제 작업장의 상황에서는 운반 용기에 직접적인 작업자의 접촉이 발생되지 않을 뿐더러 대부분의 작업이 크레인의 원격조종 방식을 통하기 때문에 피폭이 발생할 수 있는 경우의 수가 극히 드물지만 일반적인 작업자가 실제 작업 위치보다 가까운 위치에서 작업을 하는 것으로 가정하였다. 이러한 극히 보수적인 입력자료 설정으로도 주변 주민에 대한 피폭 선량은 물론 작업자에 대한 피폭선량도 극히 낮은 것으로 평가되었다. 피폭선량 크기의 범위 폭은 매우 크지만 일반인에 대한 연간 피폭선량제한치(1mSv/yr) 및 연간 자연선량률(2.4mSv/yr)과 비교하여도 극히 미미한 수준으로 평가되었다.

선박 침몰 평가에서는 모든 방사성 물질이 100% 방출되는 조건으로 해안에서 1km, 10km의 위치에서 발생하는 것으로 가정하여 평가하였다. 평가 결과 사고로 인한 방사선영향이 거의 없는 것으로 평가되었다.

## 참고문헌

- [1] RADTRAN 5 Technical Manual, SAND2000-1256, 2000.
- [2] Radcat 2.3 User Guide, SAND2006-6315, 2007.
- [3] A Resource Handbook on DOE Transportation Risk Assessment, DOE/EM/NTP/HB-01, 2002.
- [4] C.M.Koplik, User's Guide to MARINRAD, SAND83-7104, 1984