

## 사용후핵연료 운반 안전성 평가를 위한 사고 조건 설정

이수홍, 신상원, 이재민, 성기열\*, 윤정현\*

(주)에네시스, 대전시 유성구 구암동 328

\*한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045

[realsh@enesys.co.kr](mailto:realsh@enesys.co.kr)

### 1. 서론

원자력발전소에서 발생되는 사용후핵연료의 처리를 위해서 우리나라는 현재 관련 내용에 대한 공론화 및 기술 기반의 수립을 진행 중에 있다. 사용후핵연료 중간 저장시설 운영을 위해서는 사전에 관련 기술을 포함한 구체적인 방안의 설정이 필요하다. 이를 위해서는 사용후핵연료를 원자력발전소에서 중간 저장시설까지 운반할 때 안전성 평가를 위한 평가 체계의 구축이 필수적으로 필요하다. 국외의 경우 RADTRAN이나 INTERTRAN 등을 이용하여 사용후핵연료의 운반 안전성을 평가하고 있으나 해당 평가 도구는 육상 운반에 주안점을 두고 개발되어 우리나라에 가장 타당할 것으로 예상되는 해상 운반 체계에 그대로 적용시키기에는 무리가 있다. 특히 해상 사고 조건에 대한 평가는 극히 제한적으로만 가능하기 때문에 다양한 사고 조건에 대한 평가 체계를 구축하기 위해서는 육상 뿐만 아니라 해상 사고 조건에 대한 사전 설정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 사용후핵연료 운반 중 발생 가능한 사고 조건에 대한 국외의 적용 사례를 분석하여 국내 환경에 적합한 사고 체계를 분류하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 국외 개발 운반 사고 평가 체계

현재 개발되어 적용되고 있는 대표적인 운반 안전성 평가 도구는 RADTRAN과 MARINRAD가 있다. RADTRAN은 육상 및 수상 운반 안전성 평가가 가능한 평가 도구로 트럭, 철도 및 선박을 이용한 운반 영향 평가가 가능하다. 그러나 트럭, 철도를 이용한 육상 운반에 대한 평가는 다양한 평가 입력 체계 및 사고 시나리오의 적용으로 적절한 평가가 가능하나 수상 운반은 큰 폭의 강이나 해안과 매우 인접한 해상 운반 조건에 대한 평가가 가능한 수준이며 평가 입력 체계 또한 매우 단순화 되어 있다. 특히 침몰에 의한 영향 평

가는 전혀 불가능하다.

MARINRAD는 해상에서 방사성물질의 이동에 따른 평가가 가능한 평가 도구로 해상 운반시 침몰 사고의 방사선적 영향 평가가 가능하다. 그러나 대양을 중심으로 평가 체계가 구축되어 있어 국내의 연안 및 근해에서의 운반 평가에 그대로 적용시키기에는 무리가 있다. 다만 RADTRAN에서 제시하지 못하는 침몰에 의한 사고 평가 체계를 다양하게 구분하여 평가가 가능하도록 하고 있다.

#### 2.2 운반 영향 평가 체계 조건 설정

사용후핵연료의 운반 방법은 크게 육상과 해상으로 구분할 수 있다. 운반 위험도 평가를 위한 조건 설정은 정상 운반 조건 과 사고 조건으로 구분이 가능하다. 정상 운반 조건은 출발지에서 사전에 계획된 경로를 방해 요인이 전무한 상태로 목표지까지 도착하는 조건이 된다. 이 경우 방사성 물질의 누출이 없기 때문에 운반 수단에 탑승한 승무원 및 경로 이동 중 근접 대상자에 대한 외부 피폭 영향만 평가하면 된다.

사고조건은 방사성물질의 누출 및 비누출 사고로 구분할 수 있다. 운반 수단의 기계적 고장 또는 정상적인 이동이 불가능한 환경적 요인의 발생이나 운반 수단 탑승자의 불예측한 조건에 따라 정상 경로를 이탈하거나 정지하는 경우가 해당된다. 이 경우도 정상 조건과 마찬가지로 방사성물질의 누출은 발생하지 않으므로 승무원 및 운반수단에 접근하는 대상자에 대하여만 영향 평가를 수행한다. 사고 조건 중 물리적 충격이나 화재에 의한 사고는 방사성물질의 누출이 발생할 수 있으므로 이 경우 각각의 사고 종류 및 규모에 따라 영향 대상 및 피폭 경로를 설정하여 사고에 의한 영향 평가 체계를 수립하여야 한다.

#### 2.3 육상 운반 중 사고 조건

육상 운반 중 사고는 일반적으로 교통사고에 의한 물리적 충격이 가장 큰 원인이 된다. 해당 사

고는 운반 수단 및 타차량과의 사고가 있으며 진복과 같은 운반 수단만의 사고로 구분이 된다. 물리적 충격에 의한 사고는 사용후핵연료 운반 용기의 파손에 의한 방사성 물질의 누출이 발생할 수 있으며 2차 사고인 화재로 연계될 수 있다. 화재 사고시에는 미세한 입자한 공기 중 부유가 발생하여 대기 조건에 따른 방사성물질의 이동에 대한 평가가 필요하다

2.4 해상 운반 중 사고 조건

해상 운반 중 사고 중 물리적 충격에 의한 사고 평가 및 화재에 의한 사고 평가는 육상과 동일하게 수행된다. 그러나 물리적 충격에 의한 선박의 파손으로 야기되는 침몰의 경우는 육상 운반에서 없는 조건으로 새로운 평가 방법이 수립되어야 한다. 선박 침몰에 의하여 방사성물질이 해양에 유출될 경우 방사성물질은 해류의 흐름에 따라 이동하게 되며 이동 중 해양 생물 및 해양에 입수한 피폭 대상자에게 직간접적인 영향을 주게 된다. 이러 경우 사고 조건 평가를 위하여 해양생태계의 영향 및 해류의 속도 그리고 피폭 대상자의 접근 형태 등이 고려되어야 한다.

2.5 운반 사고 조건의 수립

상기에서는 일반론적인 사고 조건 및 각 조건별 기본적 평가 항목을 제시하였다. 이런 제시된 내용을 토대로 육상 및 해상 운반에 공통적으로 적용이 가능한 사고 조건과 육상 및 해상 운반의 특수성에 의하여 구분하여 평가가 수행되어야 할 부분을 다음 그림과 같이 제시하였다.

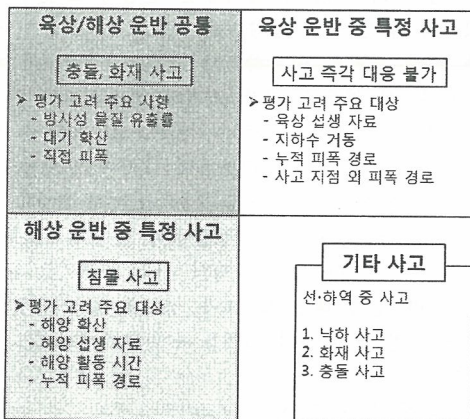


Fig. 1. 운반 중 사고 조건 설정

육상 운반 중 사고 발생시 사고 현장의 접근이 비교적 용이함으로 비상 조치 계획이 즉각적으로 수행될 수 있으나 불가피한 상황에 의하여 대응 조치가 지연될 경우 유출된 방사성 물질이 토양으로 유입되어 장단기적인 영향을 도출할 수 있다. 이 경우 섭생에 의한 장기 영향 평가가 적용되어야 한다.

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료의 육상 및 해상 운반 조건에 따라 발생할 수 있는 사고 항목을 제시하였다. 대부분의 사고는 육상 및 해상에 대한 경로 특성과 구분없이 공통적인 사고 목록의 구축이 가능하지만 해상 운반 조건 중 침몰에 대한 평가는 독립된 사고 평가 체계의 구축이 필요하다. 특히 해상 침몰 사건에 대한 사고 평가는 육상 사고 조건 중 방사성 물질의 대기 방출 평가 시 대기확산인자에 따른 중·장거리의 평가가 필요한 것처럼 해류 흐름 등의 해양 확산에 따른 평가가 필요하다. 본 연구를 통하여 수립된 사고 목록 체계는 추후 사용후핵연료 운반 안전성 평가 체계 구축 및 평가 도구를 개발하는데 적용하여 적절한 운반 중 사고 평가를 수행할 수 있는 기반을 제공하였다.

4. 참고문헌

- [1] DOE/EM/NTP/HB-01, A resource handbook on DOE transportation risk assessment, DOE, 2002
- [2] SAND2000-1256, RADTRAN 5 technical manual, Sandia National Lab., 2000
- [3] SAND97-1130, Comments on a paper titled "the sea transport of vitrified high-level radioactive wastes:unresolved safety issues", Sandia National Lab., 1997
- [4] IAEA-TECDOC-1346, Input data for quantifying risks associated with the transport of radioactive material, 2003
- [5] SAND83-7104, User's guide to MARINRAD:model for assessing the consequences of release of radioactive material into the oceans, Sandia National Lab., 1983