

사용후핵연료 수송방안분석 및 위험도 평가를 위한 영향인자

신상원, 이재민, 이수홍, 한병섭

(주)에네시스, 대전광역시 유성구 구암동 328번지

swshin@enesys.co.kr

1. 서론

사용후핵연료 관리의 안전성 확보 및 대국민 신뢰성 제고를 위해서는 수송위험도에 대한 정량적 평가가 필연적으로 수반되어야 한다. 방사성폐기물의 정상 수송 또는 사고 시 위험도 평가를 위한 검증 코드로서 RADTRAN, INTERTRAN, RISKIND, MARINRAD 등이 있다. RISKIND는 사용후핵연료의 site-specific 한 수송위험도 평가를 목적으로 아르곤 국립연구소(ANL)에 의해 개발되었다. RADTRAN은 미국 샌디아 국립연구소(SNL)에 의해 개발되었으며, 1991년 국제협력 프로젝트로 개발된 INTERTRAN은 RADTRAN를 기본 평가 모듈 모체로 하여 AMC Konsult AB사가 개발하였다. 본 연구에서는 수정·보완된 INTERTRAN2(version 2.8)의 입력자료 DB 구조 분석을 통한 사용후핵연료 수송방안분석 및 위험도 평가를 위한 영향인자를 검토하였다.

2. 영향인자

INTERTRAN2는 사용자에 의해 정의된 Database 자료들을 INTERTRAN2-RT4 프로그램을 사용하여 위험도 평가 Case input을 생성하고, 정상조건(Aggregate mode) 및 루트별 세분화된 Link 데이터를 선택하여 정상 및 사고시 집단 피폭(Population dose) 선량 및 유효선량 또는 예탁유효선량 계산을 사용자의 선택에 따라 수행한다.

2.1 사고 데이터

사고 데이터는 인구구역(Population zone)별 사고율 및 각 중대 사고 범주별 발생확률로 구분되며, 인구구역은 인구밀도(persons/km²)에 따라 rural, suburban, urban으로 구분한다. 소내수송 또는 해상수송의 경우에는 rural로 지정할 수 있으며, 인구밀도 기준은 Default 값을 제공하며, 수정가능하다. 수송모드는 트럭, 철도, 바지선, 외양선(ocean-going ship, >3000 gross tons), 항공화물, 일반 항공, 미니밴, 트럭+미니밴, 트럭+철도, 트럭+항공으로 분류된다. 수송모드별 인구밀도별 사고율은 연간 사고 수/(연간 통행량*연간평균 이동거리)로 정의된다. 중대사고 범주는 사건수목분석법(Event-Tree Analysis)이 선호되고 있으며, 인구구역별 개발된 사고 범주의 발생확률(severity fraction)의 합은 근사적으로 1.0이 되어야 한다. IAEA에서는 방사성물질등의 해상운반에서 발생할 수 있는 사고 중에서 충돌, 화재 및 폭발, 침몰의 범주별로 전 세계 사고 자료를 바탕으로 발생율을 평가하였다. 특히 LMIS사의 Lloyd DB를 주로 사용하고 있다. 우리나라의 경우, 실제 사고 자료 분석결과 방사성폐기물 운송 전용선박급의 사고 발생율이 극히 미비함에 따라 보수적 평가가 적용되고 있다.

2.2 대기확산

RADTRAN에서는 풍향 데이터를 이용한 대기확산 사고 분석을 수행할 수 없는 제약사항 있지만, INTERTRAN2에서는 대기확산사고 분석을 고려하기 위한 TRANSAT 프로그램이 패키지내에 별도로 존재하며, Default로 Pasquill data 또한 제공하고 있다.

2.3 지역 특성 자료

지역특성자료 DB에서는 각 인구구역별 인구밀도(persons/km²), 보행자 밀도율, 각 인구구역별 건물 차폐율, 상업용여객기의 평균 탑승자수, 지게차 및 크레인에 의한 선하적 운반물의 허용면적, Building dose, 토지 경작율, 제염 수준, aerosol 방출에 따른 개인 흡입률, 사고시 대피 시간의 인자를 포함하고 있으며, Default 값을 제공하고 있다.

2.4 경제성 평가 자료

경제성 평가 자료 DB에서는 중대사고 범주의 수 및 각 중대사고별 비상 제염 비용을 사용자가 입력하게 되어 있다.

2.5 핵종 자료

대부분 사용되고 있는 핵종 특성 라이브러리가 제공되며 수정 또는 추가할 수 있다. 핵종별 평균수명, 에너지, cloud shine-dose, 흡입/섭취에 따른 유효선량, 음식 전이율, 토양 전이율, aerosol의 침전속도,

등의 자료를 포함하고 있다. 실제 평가를 위해서는 방사선원항에 대한 재정의가 필요하다.

2.6 수송 루트 연계 세부화 자료

수송경로의 각 Segment 또는 Link의 요소별 수송위험도 평가를 위해 수송수단, Link 별 이동거리, 속도, 인구밀도, 통행량, 사고율, 인구구역별 인구밀도를 사용자가 입력해야 한다.

2.7 정상 수송 자료

정상수송에 따른 선량계산을 위해서는 각 인구구역별 수송비율, 속도, 수송 승무원 수, 수송중 수송화물과 승무원간 거리, 선하역작업자 수, 수송 중 정지시간, 수송중 피폭자 수, 정지시 평균 피폭거리, 수송당 저장시간, 저장중 피폭자 수, 평균 피폭거리, 혼잡시간동안 도심구역 운반 비율, 각 인구구역별 통행량의 DB자료가 필요하다.

2.8 수송용기 누출 자료

방사성물질의 수송중 발생하는 사고에 의해 인간이 받게 되는 건강상 위험은 Cask의 차폐능력이 감소되거나 소실되었을 때, 또는 수송 용기로부터 방출되는 방사성 물질에 의해서 생기는 노출로부터 발생한다. 수송용기의 방출율(package release fraction)은 특정한 중대성을 갖는 사고 동안에 방출될 수 있는 수송용기안에 있는 방사성 물질의 양으로 정의의 된다. 아울러, 용기 형태, 방사성폐기물의 물리적 형태에 따라 다양하다. 따라서 수송용기 기본 자료로서 수송용기의 수, 표면선량, 방사선중 감마 및 중성자 비율, 규격이 필요하며, 수송용기 내 방사성물질의 특성자료서는 핵종, 핵종별 방사능, 물리화학적 거동특성에 따른 그룹 분류(예)액티나이드 가스), 그룹별 중대사고 범주의 수, 중대사고 범주별 누출율(release fraction), 분산(Dispersibility) 범주, 범주별 중대사고 수, 중대사고 범주별 에어로졸 비율, 호흡율이 필요하다.

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료의 수송위험도 평가를 위해 필요한 입력값을 분석하였다. 수송관련 위험도 평가를 위한 입력자료는 정상 수송 및 가상적 사고발생시 위험도 계산에 사용되는 값으로 구분할 수 있다. 정상수송시 안전성 평가를 위한 데이터로는 수송용기 관련 데이터, 수송수단별 제원 데이터, 수송작업을 위한 기반시설 및 인구·지리학적 데이터, 정지상황 관련 데이터, 선하적 관련 데이터 집합이 요구된다. 사고시 안전성 평가를 위한 데이터로는 방사성핵종 관련 데이터, 사고의 확률 및 핵종 방출율 관련 데이터, 기상학적 데이터, 피폭경로 관련 데이터등이 기본적으로 필요하다. 이러한 각각의 입력값들은 수송안전성 평가의 영향인자로서, DB로 구성되어 체계적으로 자료 관리함에 따라 평가대상이 되는 입력자료들을 조건검색을 통한 데이터 로딩을 통해 손쉽게 입력파일을 만들어 다양한 분석을 용이하게 한다. 아울러 추가적인 분석의 입력파일을 만드는데 확장되어 사용할 수 있을 것으로 판단한다.