

표층처분시설 운영중 사고평가를 위한 시나리오 설정 방법론

김민성,* 김현주, 박진백

한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 168

*mskim86@korad.or.kr

1. 서론

중·저준위 방사성폐기물 표층처분시설은 공단 ‘Safety Case 종합프로그램’[1]의 안전성확보체계에 따라 안전원칙 및 규제지침을 만족하도록 단계별(건설/운영/폐쇄후)로 개발하며, 처분시설의 안전성은 최적화 전략에 따라 안전기능 분석, 현상분석 및 정성적 안전성분석 단계를 포함하여 운영중 및 폐쇄후 단계에 대해 평가한다.

운영중 안전성평가에서는 설계특성을 반영한 안전기능 분석, 잠재위험요소 분석 및 정성적 사고분석을 통한 시나리오 개발 및 정당화, 평가 결과분석 및 신뢰성 증진을 통해 처분시설을 최적화한다.

본 논문에서는 2단계 표층처분시설 운영중 사고평가 시나리오의 정당성 확보를 위한 설정 방법론을 적용하고 그 결과를 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 안전기능 분석(Functional Analysis)

처분시설 단계별 안전성평가를 위해 운영/폐쇄후/제도적관리기간으로 나누어 안전기능 분석을 수행한다. 표층처분시설 운영기간에 고려해야할 안전기능 구성요소는 폐기물포장용기, 이동식크레인철타, 처분고, 지하점검로, 제한구역경계(EAB)이며 해당 구성요소별로 피폭제한, 방사성물질 누출 방지 등의 안전기능을 할당하였다. 구성요소와 안전기간 상호작용(feedback)을 통해 표층처분시설 설계에 반영하여 처분시설 개발을 최적화한다. 처분시설 운영중 각 안전기능 구성요소가 잠재위험요소로 인해 손상 및 파괴되면 할당된 안전기능 또한 상실하게 되므로 이를 사고분석과 연계하여 사고시나리오를 도출한다.

2.2 사고분석(Hazard Analysis)

처분시설별 잠재위험요소분석 등의 정성적 사고분석을 통해 위험도가 높다고 판단되는 사건에 대해 사고 시나리오를 수립하고 그에 따른 정량적 사고영향 평가를 수행한다(Fig. 1 참조).

2.2.1 시설의 구획화

처분시설 내에서 사건을 유발시킬 수 있는 모든 잠재위험요소를 체계적으로 파악하기 위해 방사성폐기물 취급유형에 따라 2단계 표층처분시설을 표층처분고(IVA), 지하점검로(IGAL), 운송경로(OTR)로 구획화하였다. 이외에 2단계 표층처분시설 운영을 위한 통제건물, 유지보수를 위한 시설 등이 존재하나 방사성물질을 취급하지 않는 시설이며 화재사고의 경우 한 구역에서 다른 구역으로 확산될 가능성이 매우 낮다. 또한 평가대상에서 제외한 시설에서 폭발 등의 사건이 발생하여 비산물이 처분고에 영향을 주더라도 이는 잠재위험요소 분석에서 외부사건으로 분류하여 고려할 수 있으므로 평가대상에서는 제외하였다.

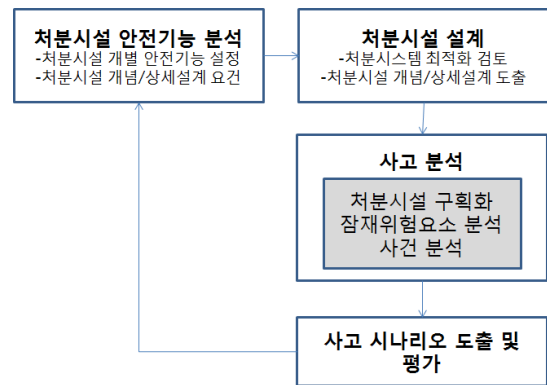


Fig. 1. Development of Accident Scenario for the disposal facility.

2.2.2 잠재위험요소 분석

잠재위험요소는 전기적요인, 열적요인, 가연성물질, 불꽃, 인화성물질, 폭발성물질, 위치에너지, 운동에너지, 핵임계, 외부사건, 자연재해 등으로 분류하였다[2]. 처분시설의 잠재위험요소는 실제 처분시설의 특성과 밀접한 관계가 있으므로 설계조건 등 설계 시 고려사항을 반영하여 시설 구획별로 잠재위험요소 존재 유무를 판단하고 이에 의해 해당 구성요소가 사고로 이어질 가능성에 대해 분석하였다.

2.2.3 사고분석(Hazard Analysis)

처분시설의 잠재위험요소가 바로 사고로 이어지

거나 여러 잠재위험요소가 결합되어 하나의 사고 또는 동시다발적인 사고로 전개된다. 위에서 분석한 잠재위험요소가 원인으로 작용하여 발생하는 사고를 화재, 폭발, 밀폐구조 손상, 직접적인 방사능 누출, 핵임계, 외부사건, 자연재해 7가지 사고유형으로 분류하여 정성적 사고분석을 수행하였다.

또한 처분시설의 운영계획, 국내외 문헌 등을 참고하여 사고가 발생할 확률 및 누출되는 방사능량을 산정하였다.

2.3 사고 시나리오 도출

미국의 WIPP 처분장, 영국, 프랑스 ANDRA의 운영중 사고 평가 등 국외 사례의 경우 모두 사고 발생빈도(Frequency)와 사고로 인한 방사선적 결과(Consequence)의 수준을 종합하여 위험도를 판단하며 그에 따라 평가 시나리오를 선별하고 있다 [2,3].

현재 국내 처분시설의 경우 위험도를 판단하는 기준이 명확하지 않으므로 발생확률이 높거나 사고로 인해 피폭자에게 미치는 방사선적 영향이 크다고 판단되는 시나리오를 평가 시나리오로 선정하였다. 2단계 표층처분시설의 사고 분석내용 중 선별된 사고 시나리오를 발췌하여 Table 1에 나타내었다.

3. 결론

안전기능에서 할당된 구성기기들이 그 기능을 상실하였을 경우를 사고 분석과 통합하여 사고시나리오를 도출하였다.

안전기능과 사고 분석을 연계하여 사고 시나리오를 도출함으로써 안전기능에 할당된 구성기기들이 기능이 상실되는 원인 파악이 가능하며 잠재위험요소 및 사고 분석만으로는 부족했던 피폭대상 및 피폭경로를 보다 쉽게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 평가 시나리오는 사고 발생빈도와 사건의 결과 수준에 따라 선별되는데 이의 기준이 명확하지 않은 상태에서는 평가자의 판단이 주요하게 작용할 것이다.

추후 객관적인 사고 시나리오 선별을 위해 다양한 사고 시뮬레이션, 실험 및 실제 운영중 측정데이터 등 신뢰성 있는 데이터를 기반으로 사고 시나리오 선별 기준을 설정하여 시나리오에 대한 불확실성을 저감하는 노력이 필요하다.

4. 참고문헌

[1] J. B. Park, J. T. Jeong and J. W. Park, "Development of the Safety Case Program for the Wolsong Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facility in Korea", J. of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, 12(4), 335-344 (2014).
 [2] Waste Isolation Pilot Plant Contact Handled(CH) Waste Documented Safety Analysis(DSA), DOE/WIPP-95-2065 (2009).
 [3] Generic Operational Safety Assessment, Nirex Report N/079 (2003).

Table 1. Hazard Analysis (Example)

| 사고 유형 | 사고 번호 | 잠재 위험 요소 | 사건원인 및 전개 | 발생확률 | MAR (Material at Risk) | 사건 선별 근거 | 대표안전기능 | 비고 |
|----------|---------|----------|--|--|--|--|----------------------------------|----------|
| 밀폐/구조 손상 | IVAU3-2 | 위치 에너지 | <ul style="list-style-type: none"> 이동식크레인셀터로 처분 작업중인 폐기물포장용기가 그리퍼 오작동 및 작업자실수 등으로 인해 낙하 취급장비 노후화로 적재된 폐기물로 설비 일부가 떨어져 폐기물용기 손상 | <ul style="list-style-type: none"> 1.43E-01 원자력발전소 중하물에 대한 낙하빈도 (1.1E-05 낙하인양) 적용 연간 13,000 드럼 정치가 정시 | <ul style="list-style-type: none"> 손상드럼으로 폐기물 2 드럼을 우선선정 용기별 평가 후 영향이 가장 큰 폐기물 용기로 최종 선정 | <ul style="list-style-type: none"> 손상되는 드럼수방사능량은 적으나 사고 발생확률이 매우 높음 누출되는 방사능량이 극소량이므로 제한구역 경계의 일반인에게 미치는 영향은 없을 것이라 판단 | SF2.1.1 작업자에 대한 방사선 직접 피폭 환경의 제한 | 평가상 :작업자 |