

국의 중저준위 방사성폐기물 처분시설의 사고평가 사례분석

윤정현, 홍성욱, 윤시태
 한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 ihvoon@krmc.or.kr

1. 서론

경주에 건설중인 중저준위 방사성폐기물 처분 시설(이하 처분장)은 국민의 건강과 환경에 위해를 유발하지 않고 방사성폐기물을 적절하게 인수, 취급 및 처분할 수 있도록 설계되어야 하며 시설의 운영기간은 물론 폐쇄 후에도 처분된 폐기물에 위한 위해방지가 이루어져야 한다. 이러한 위해방지를 합리적으로 하기 위해서는 경주방사성폐기물 처분시설도 사고 및 비정상조건 하에서의 방사성 핵종 누출을 초래할 수 있는 조건들은 분석하고 평가하여야 한다. 복잡한 계통에 사고의 결과를 바탕으로 사고를 정의(평가)하는 원자력발전소에 대비하여 처분시설의 사고는 사고와 연관된 방사성폐기물의 크기와 사고가 발생하는 빈도 등에 따라 사고와 비정상운전으로 나누는 것이 일반적이다. 현재 경주 건설운영인허가를 획득하고 하지만 인허가 후속조치의 일환으로 처분장에서의 사고 선별을 하고 배제하는 경우 추가 입증을 하여야 한다. 선별된 사고에 대하여는 상세한 사고시나리오 추가 설정하고 평가하여 사고시 성능목표치인 5mSv와 비교하여 안전성을 가능한 정량적으로 입증하여야 한다. 이를 총칭하여 처분시스템 특성을 고려하여 보다 포괄적인 사고분석 추가 수행이라 할 수 있다. 이러한 사고 추가분석이 이에 앞서 우리보다 앞서 선진국에서 운영 중인 처분장을 중심으로 사고평가 사례를 살펴봄으로써 국내 처분장의 사고분석에 대한 올바른 방향 설정에 훌륭한 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 국외처분장 사고평가사례

2.1 미국 WIPP 처분장

미국 뉴멕시코주 칼스바드 국립공원 근처에 위치한 지하 동굴처분장인 WIPP처분장은 미국 DOW의 군사폐기물중 중준위 이하의 TRU 폐기물을 처분하도록 설계한 심지층 처분장이다. WIPP에서의 분류한 사고위험요소로는 전기위험, 열 위험, 자연발화 물질, 용접시 불꽃, 가연성 물질, 가스성 물질, 화학 작용, 폭발 물질, 압력상승, 홍수 유발, 기타 물리적 위험요소, 방사능 물질, 위험 물질, 이온 방사능 소스, 비이온화 방사능 소스, 임계(Criticality) 기타 자연현상에 의한 것

이다. WIPP에서 설정한 피폭자(Receptor)는 시설 부지 경계에 위치하는 것으로 가정하였다. 사고 시 피폭자가 받는 피폭선량 평가의 기본식은 다음과 같다.

$$Q = CI * CD * DR * ARF * RF * LPF \dots (1)$$

- Q: 선원량
- CI: 폐기물 용기의 핵종재고량
- CD: 사고시 손상된 용기의 수
- DR: 손상률
- ARF: 공기중 방출률
- RF: 호흡률
- LPF: 사고시 대기방출 기체방사성물질

WIPP처분장에서 고려한 사고분석의 시나리오는 총 15가지로

- 1) 폐기물처리빌딩에서의 화재
- 2) 지하에서의 화재
- 3) 폐기물 용기 폭발
- 4) 폐기물 처리 빌딩에서 폐기물 용기 밖으로의 폭발
- 5) 지하에서 폐기물 용기로의 외부 폭발
- 6) 폐기물 처리 빌딩 충격에 인한 용기 결함
- 7) 지하에서 충격에 인한 폐기물 용기 결함
- 8) 지하에서 지붕 붕괴
- 9) 비행기 추락사고
- 10) 토네이도/강한 바람
- 11) 지진
- 12) 차량의 폐기물 관리 빌딩 충돌
- 13) 번개로 인해 폐기물 용기 파괴
- 14) 외부 화재에 의한 폐기물 용기손상
- 15) 눈과 얼음부하에 의한 지붕 붕괴

WIPP처분장에서는 상기 사고요인들을 선별하여 처분장 자체의 완화장치(설계)의 유무, 효과 그리고 자연적인 서고완화요인들을 분석하여 대부분의 사고를 평가에서 배제하였다. 일부 사고완화 조치 이후에도 심각한 사고에 대하여는 대기를 통한 피폭위주로 평가를 수행하였다.

2.2 핀란드 VLJ처분장

핀란드 오킬로우토 원자력발전소와 같은 부지에 위치한 VLJ처분장은 사고분석에 화재, 충돌, 번개, 지진, 홍수, 부적절한 인간활동등에 대하여

고려하였다. 단 정량적인 평가보다는 정성적인 예측위주로 평가를 수행하였다. 가장 심각한 결과를 초래할 수 있는 화재사고의 경우는 가연성 물질 중 아스팔트 고화폐기물이 화재사건의 주요 평가 대상이다. 특히 폐기물 수송과정이나 처분시설 내부에서의 아스팔트 고화체의 자체인화에 의한 화재는 가능성이 없어 제외하였다. 저준위 폐기물(송진(turpentine)을 함유한)의 자체인화는 고려하였으며 이는 수송 및 처분과정에서 항상 화재에 대한 위험이 있다고 판단하였기 때문이다. 하지만 폐기물 수송 및 처분시설 내부에서의 자체인화의 발생확률은 매우 작다. 수송차량, 오일, 타이어 등의 가연성 물질이 있으며 수송차량의 경우 소화기를 갖추고 있고, 비상 시 자동으로 작동하도록 되어 있으며 가연성 물질을 사용하는 시설의 경우 가연성물질 분량의 제한치를 화재방호법에 근거하고 있다. 처분시설 사일로 내의 화재 시 이산화탄소를 이용한 소화설비가 저준위 및 중준위 시설에 설치되어있으며 처분시설의 화재는 크레인 케이블 또는 수송차량에서 발생할 수 있고, 사일로 내부 화재는 발생하기 힘들다고 분석하였다. 크레인 홀에서 화재가 발생시에도 사일로에 위치한 폐기물에 화재가 발생하는 것은 불가능하며 사일로 내부화재는 발생하더라도 산소부족으로 매우 느리게 진행될 것이다. 결론적으로 사성폐기물의 수송에서 처분과정에서 화재에 발생확률과 화재에 의한 영향은 매우 미미한 것으로 분석하였다. 이와 같이 VLJ처분장의 사고분석은 폐기물의 위치, 종류(가연성/비가연성), 사고완화 계통의 설치유무등을 분석하여 이루어졌다. 화재 이외의 다른 사고로는 수송차량에 번개 낙하, 수송차량의 충돌/전복, 터널내의 암석낙하에 의한 수송차량파손, 홍수, 부적절한 조작실수 등이 고려될 수 있다. 특히 크레인에서 콘크리트 처분용기의 사일로 내부로 낙하는 사고가 아닌 장애(disturbance)로 정의하여 일종의 비정상사고로 분류하였다. 사일로 내부로 낙하의 경우, 상부에 적치된 처분용기만 충격을 흡수하면서 파손되며 사일로 내부로 낙하하는 경우 상부에 적치된 처분용기만 충격을 흡수하면서 파손된다고 판단하였다. 처분시설의 배수계통이 작동하지 않아 지하수가 직접 사일로 내부로 침투하지는 않는다고 판단하였으며 폐기물 드럼의 존재하는 방사성액체가 사일로 또는 배수계통에 침투하는 경우는 그 양이 매우 적으므로 장애로 분류하지 않았다. 처분구역은 대기압보다 낮게 운영되지만, 환기계통의 손실로 인한 경우는 장애로 고려한다. 하지만, 그 영향은 매우 미미할 것으로 판단하였다. 결론적으로 핀란드 VLJ처분장의 설계, 건설 및 폐쇄과정의 품질이 보증된다면 처분시설을 성공적으로 운영폐쇄할 수 있다고 분석하였다.

2.3 스웨덴 SFR처분장

SFR처분장은 스웨덴의 SKB사에 의하여 설계 운영되는 지하동굴 처분장이다. 사고분석과 관련한 설계특징은 암반 동굴, 저장소 지역, 이동 경로, 환기 시스템 등은 각각 다른 사건의 결과가 다루어질 수 있도록 설계되어 있다. 사고와 관련하여 가장 관심있는 분석 사건은 차량 혹은 폐기물 이동중 화재와 폐기물 포장물 안치, 혹은 수송과 관련되어 일어나는 사건이다. 이러한 사고의 결과의 완화 혹은 대응의 목적을 가지고, 안전성 평가가 기술적이고 관리적인 지역에 수행되었다. SKB 보고서에 따르면 평균적으로 2~3 분류 2개 사건은, SKI 분류와 일치하여, 시설 운영 수명 동안 1년 마다 발생한다. 대부분의 사건은 폐기물 발생자 영역에서 폐기물을 다루는 것 때문이며 시설에서 사고가 발생하는 것 때문은 아니다. SKB는 SFR처분장에서 발생한 다른 유형은 사고와 제발 방지를 위해 소개된 방법에 대하여 소개한다.

3. 결론

국의 처분 시설에서는 화재발생을 중심으로 사고분석을 수행하였으며 그 외에도 항공기 추락사고, 운석 충돌 등 발생 확률이 낮은 사건들도 고려하고 있으며, 지하시설에서는 터널이나 처분고내 암석 낙하를 그리고 지상시설에서는 과도한 눈 등에 의한 지붕붕괴를 고려하고 있는 것이 국내와는 다소 다른 점으로 분석된다. 미국 WIPP 시설의 경우는 처분대상인 TRU 폐기물의 특성상 특별히 폐기물 용기의 폭발을 고려하고 있음을 알 수 있다. 그 밖에 부적절한 차례로 인한 작업자 피폭사고 등도 고려하고 있다. 이러한 사고분석사례는 국내 처분장에서의 사고 선별을 하고 배제하는 경우에 충분히 활용할 수 있으며 국내 처분장의 설계를 분석하여 필요하다면 추가 입증을 하여야 한다. 궁극적으로 선별된 사고에 대하여는 상세한 사고시나리오 추가 설정하고 평가하여 사고시 성능목표치인 5mSv와 비교하여 처분장에서의 사고시 안전성을 정량적으로 평가한다.

4. 참고문헌

- [1] 미국 DOE, HAZARD AND ACCIDENT ANALYSIS, DOE/WIPP-95-2065, REV. 9, October 28, 2005.
- [2] Radiational safety of the operational period of VLJ의 핀란드국내본, 12, 2006.
- [3] SSI and SKI's Review of SKB's Updated Final Safety Report for SFR 1 (Review Report, 2004), SKI Report 2004.