

방사성폐기물 처분장 운영 중 안전성 평가 체계 구축

정종태, 황미정, 최희주

한국원자력연구원, 대전시 유성구 덕진동 150번지

itieong@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물 관리를 위한 방사성폐기물 처분장의 건설 및 운영에 있어서 고려해야할 기본 철학으로는 환경건전성, 안전성, 국민 수용성이 있다. 이 중에서 최우선적으로 고려해야할 사항은 안전성이다. 처분장의 안전성 평가는 처분장의 폐쇄 이전과 이후 단계로 구분하여 각각 운영중과 폐쇄 후 안전성평가로 구분한다. 운영중 안전성평가는 시설의 건설이나 운영중 발생 가능한 어떤 위험요소에 대하여 그 위험요소의 존재 여부를 규명하고 위험요인을 제거하거나 그로부터 인체나 환경을 보호하기 위한 조치사항을 결정하는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 운영중 안전성 평가를 위해 확률론적 안전성 평가(PSA; Probabilistic Safety Assessment) 방법론을 선정하였다[1]. 처분장의 안전성평가를 위한 방법론은 초기사건 선정, 사건수목 분석, 고장수목 분석, 결말분석이다. 이들 방법론에 대한 분석절차를 확립하고 필요한 도구를 선정하여 처분장의 운영중 안전성평가 체계를 구축하고 예제 평가를 통해 적용성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 운영 안전성 평가체계 구축

안전성평가가 필요한 초기사건 선정을 위해 정성적 안전성 평가 방법인 위험도 및 운전성 분석(HAZOP; Hazard and Operability) 방법을 선정하였다. 선정된 초기사건에 대하여 정량적 안전성평가 방법을 적용하여 확인된 위험요소를 확률적으로 분석 평가하여 사고 시나리오를 구성하였다. 사고 시나리오에 대한 정량적 안전성평가 방법론으로는 고장수목 분석, 사건수목 분석 방법론을 채택하였다. 사고 시나리오중 외부로 방사성물질이 유출되는 사고에 대하여 피폭선량 방법론을 적용하여 피폭선량을 평가한다.

운영 안전성평가 체계 구축을 위해 현재 원전

의 확률론적 안전성평가를 위해 개발되어 활용되고 있는 AIMS PSA Manager[2] 내의 고장수목 및 사건수목 분석 도구와 피폭선량 평가를 위해서는 RSAC 코드[3]를 선정하였다. 각각의 메인 화면은 그림 1에 도시된 바와 같다.

사건수목 분석 도구로는 AIMS PSA Manager 내의 CONPAS ET Editor(ConEdit)를 선정하였다. 고장수목 분석 도구로는 AIMS PSA Manager 내의 KwTree를 선정하였다. 이들은 모두 Windows 환경하에서 작동되는 도구로 Windows의 장점인 다중창, 마우스를 이용한 선택, 메뉴를 이용한 명령수행 기능 등을 기본적으로 가지고 있다.

피폭선량 평가 코드로 선정한 RSAC-5는 방사성핵종의 대기 방출 결과를 계산하여 핵연료생성물의 선원항, 시설로부터 환경으로 이동하는 경로 중의 방사 붕괴 및 바람방향으로 확산시의 방사능량 그리고 피폭선량을 각각 계산하여 내부피폭과 외부피폭을 계산한다.

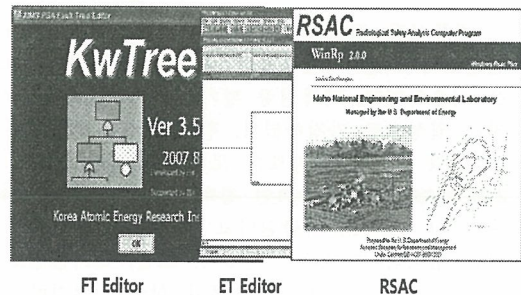


Fig. 1. Computational framework for the operational safety assessment

2.2 사용후핵연료 낙하사고에 대한 예제 평가

예제 평가를 위해 낙하가 발생한 이후에 핵연료 다발이 손상을 입어 방사성물질이 방출되고 사고영향의 완화를 위한 HVAC 계통과 HEPA 필터의 작동여부에 따른 사고경위를 개발하였으며 이는 그림 2에 도시된 바와 같다.

사고경위 1은 핵연료 다발이 손상을 입지 않아

서 사고 결과가 OK이다. 사고경위 2는 핵연료 다발의 손상이 발생하고 HVAC 시스템의 작동이 성공한 후 HEPA 필터가 성공하지만 희유기체가 방출되는 사고이다. 사고경위 3은 핵연료 다발의 손상이 발생하고 HVAC 시스템이 작동성공 후 HEPA 필터가 실패하여 일반 대중과 외부 작업자에게 희유기체와 입자상 방사성물질이 방출되는 사고이다. 사고경위 4는 핵연료 다발의 손상이 발생하고 HVAC 시스템이 작동 실패하여 시설 내부 작업자에게 희유기체와 입자상 방사성물질이 방출되는 사고이다.

낙하 사고시 완화를 위한 시스템인 HVAC 계통과 HEPA 필터의 고장확률은 고장수목 분석을 통하여 구하였다. 고장수목 분석 결과 고장 확률은 HVAC 시스템 고장 확률은 8.1×10^{-5} , HEPA 필터 고장 확률은 1.2×10^{-5} 로 평가되었다.

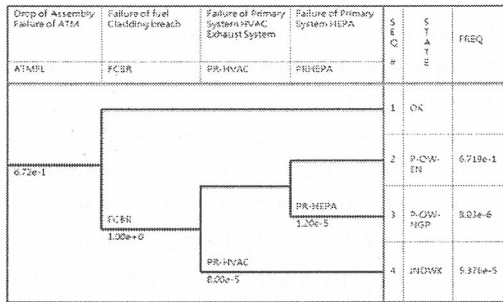


Fig. 2. Accident scenarios for drop accident

피폭선량 평가를 위해서 가압경수로형(PWR) 발전소의 기준 사용후핵연료에 대한 노심재고량을 이용하였다. 피폭선량 평가를 위해 처분장 부지는 월성으로 가정하였다. 평균 풍속은 월성 부지의 일 년간 기상자료를 토대로 평가된 값으로 2.87 m/sec이며 보수적인 결과를 얻기 위해 방출은 지상 1m에서 방출된다고 가정하였다. 강수에 의한 침적은 고려하지 않았다. 또한, 대기안정도는 중립으로 가정하였으며 플룸 상승은 고려하지 않았다.

지표면 침적에 의한 피폭선량 평가를 위한 침적 속도는 할로겐 원소의 경우에는 0.01 m/sec, 나머지 원소들은 0.001 m/sec로 가정하였으며 희유가스는 침적이 발생하지 않는다고 가정하였다. 호흡에 의한 내부피폭선량 평가를 위한 호흡률은 $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 가정하였으며 선량인자 (Dose Coefficient)는 RSAC-5에서 기본값으로 이용하고 있는 선량인자 값을 이용하였다.

사고경위 3인 핵연료 다발의 손상이 발생하고

HVAC 시스템이 작동성공 후 HEPA 필터가 실패하여 일반 대중과 외부 작업자에게 희유기체와 입자상 방사성물질이 방출되는 사고 시나리오에 대한 피폭선량 평가 결과는 표 1에 요약된 바와 같다.

Table 1. Exposure dose as a function of distance

거리 (m)	내부피폭 (Sv)	외부피폭 (Sv)	합 (Sv)
200	1.04E-03	5.40E-07	1.04E-03
300	5.09E-04	2.64E-07	5.09E-04
500	2.09E-04	1.08E-07	2.09E-04
700	1.16E-04	6.04E-08	1.17E-04
1,000	6.29E-05	3.27E-08	6.29E-05
2,000	1.99E-05	1.04E-08	1.99E-05

3. 결론

처분시설의 운영중 안전성을 평가하기 위한 방법론을 정립하고 평가체계를 구축하였다. 운영중 안전성평가 체계의 적용성을 확인하기 위하여 크레인 고장으로 인한 사용후핵연료 낙하 사고에 대하여 사고 시나리오를 구성하고 분석을 수행하였다. 이를 통하여 처분장의 운영중 안전성 평가 체계의 적용성을 확인하였으며 이는 처분장의 안전성 평가뿐만 아니라 설계 개선사항 도출을 위한 유용한 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부가 주관하는 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] PRA Procedure Guide, NUREG/CR-2300, ANS and IEEE, 1982
- [2] 한상훈, 김승환, 하계주, 양준연, "PSA 통합 분석 소프트웨어 AIMS," AIMS-EzASQ 1.0, 등록번호: 2005-01-129-2504, 2005
- [3] D. R. Wenzel, "The Radiological Safety Analysis Computer Program (RSAC-5) User's Manual", 1994