

사용후핵연료 금속저장용기 하부 보조 차폐체 설계를 위한 차폐평가

도호석*, 김태만, 조천형

한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 168

*ehghtjr@korad.or.kr

1. 서 론

사용후핵연료 금속저장용기는 건식환경에서 장기간 저장되는 동안 저장용기 및 사용후핵연료의 건전성이 유지되며, 방사선량률이 저장시설의 설계기준을 초과하지 않도록 고려되어야 한다. 사용후핵연료 건식저장시설은 정상, 비정상 및 사고조건에서 적절한 방사선 방호를 위한 차폐설계가 이루어져야 하며 또한, 차폐평가 및 방사선방호등에서는 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 요건이 반드시 고려되어 방사선작업종사자 및 일반인을 불필요한 방사선피폭으로부터 보호해야 한다.

본 연구에서는 미국연방규정 10CFR 72의 기술기준과 미국 NRC의 표준 심사지침인 NUREG-1536에서 제시한 평가방법에 따라 하부에 보조 차폐체를 설치한 단일 저장용기 측면 하부 표면 선량률을 계산하여 자체 기준(0.5 mSv/h)을 충족하는 보조 차폐체의 규격을 도출하였으며, 주요 내용은 다음과 같다[1][2].

2. 본 론

2.1 금속 저장용기

금속저장용기의 전체높이는 5,335 mm이며, 측면의 탄소강 본체 및 중성자차폐체인 레진의 두께는 각각 215 mm 및 110 mm로 구성되어 있다. 또한 저장용기의 방열을 위하여 원주방향으로 구성된 사선형 조합 형상의 열전달 핀과 용기의 인양 및 회전을 위한 상하부 트러니언을 해석 모델에 포함하였다. 전산해석을 위해 저장용기 내에 장전되는 사용후핵연료는 초기농축도 4.5wt%, 최대 연소도 4500 MWd/MTU, 최속 냉각기간 10 년인 WH 17×17 OFA 를 대상으로 가정하였다. 정상조건에서 단일 저장용기에 대한 방사선량률 평가 시, 용기 측면하부에는 별도의 차폐체를 설치하지 않으므로 높은 방사선이 방출될 것으로 예상된다. 그리하여 작업자의 일상적인 근무(육안검사, 모니터링 및 유지보수 등) 시 피폭 저감을 위한 보조 차폐체의 설계가 필요하다. 이에 탄소강 재질의 50 mm, 70 mm 및

90 mm 두께를 가지는 Ring형 보조 차폐체를 설계하여 각 두께에 대한 방사선량률 민감도분석을 수행하였다.(Fig. 1.)

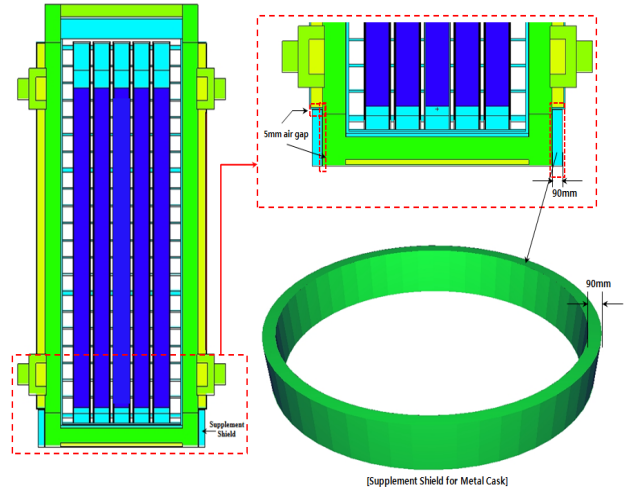


Fig. 1. Supplement Shield of Metal Storage Cask.

2.2 차폐평가

금속저장용기의 차폐평가는 MCNP5 전산코드를 이용하여 수행하였으며, 해석모델을 구성하는 각 물질의 구성핵종에 대한 반응단면적은 연속에너지에 대한 ENDF-VI 라이브러리를 기반으로 하였다 [3]. 감마선속 및 중성자속은 SCALE5.1 전산코드의 SAS2H/ORIGEN-S 모듈을 이용하여 평가하였다. 사용후핵연료 저장용기 외부에서의 방사선량률을 계산하기 위하여, 선속-선량률 환산인자(Flux to Dose Conversion Factor)는 ICRP-74의 자료를 사용하였다[4].

사용후핵연료 저장조건에서 단일 저장용기를 대상으로하는 국내 방사선 안전성 기술기준은 정량적으로 명확하게 정해진바가 없으므로 작업자의 일상적인 근무환경을 고려하여 용기표면의 방사선량률을 평가하였다. 저장용기 표면선량률의 경우, 10CFR72의 저장용기 선량률 제한치를 적용하여 시간당 평균 0.5 mSv로 설정하였다.

3. 해석결과

사용후핵연료 금속저장용기 정상조건에서 단일

저장용기에 대한 방사선 안전성 평가결과, 저장용기 측면의 평균 표면선량률은 0.4132 mSv/hr로 도출되었으며, 보조 중성자 차폐체를 설치하지 않은 저장용기 하단부(용기 바닥 ~ 측면 중성자차폐체 밑단)에서의 최대 선량률은 2.2683 mSv/hr로서 높게 평가되었다. (Fig. 2)

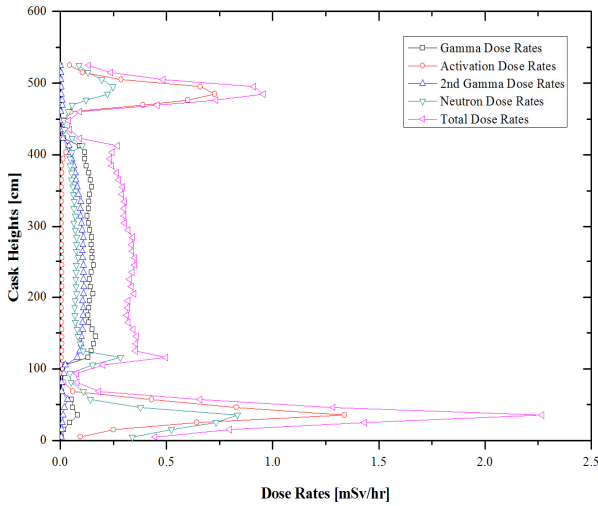


Fig. 2. Dose Rate at the External Surface of Metal Cask without Supplement Shield.

특히 이 부위는 핵연료집합체 하단 구조재의 방사화로 인하여 생성된 Co-60의 붕괴로 인한 감마선에 의한 영향과 용기측면 중성자차폐체 부재위치에서 기인하는 중성자선의 영향이 동시에 발생하는 부분인 것으로 파악된다. 50 mm, 70 mm 및 90 mm의 보조 차폐체를 설치한 경우의 선량률 결과는 Fig. 3 과 같다.

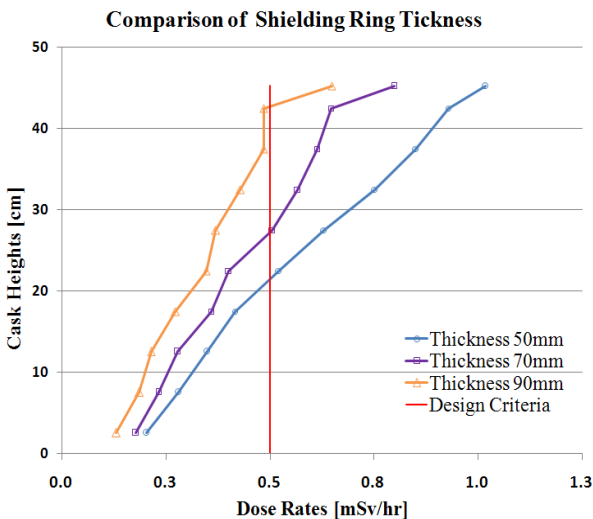


Fig. 3. Dose Rates at the External Surface of Metal Cask with 50, 70 and 90mm Supplement Shield.

결과에 따라보조 차폐체는 두께에 대한 방사선량률 민감도분석을 통하여 90 mm의 스테인리스강으

로 보조 차폐체를 설치하므로서 해당위치의 선량률은 0.4847 mSv/hr로 도출되어 상당한 차폐효과를 나타내었다.

4. 결론

금속저장용기 하부의 표면선량률을 저감시키기 위한 하부 보조 차폐체의 규격을 도출하기 위해 3 가지 두께의 Ring 형 보조 차폐체에 대한 선량률을 평가하여 90 mm의 두께에서 만족함을 확인하였다. 이러한 평가결과를 토대로 금속저장용기의 운영절차 및 방사선방호와 관련한 ALARA 요건에 부합하는 작업시간, 작업절차, 작업자 수 등의 결정에 활용 할 수 있을 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 방폐물관리기술개발 중장기 기획과제 일환으로 수행되었음.

6. 참고문헌

- [1] 10 CFR Part 72, Title 10, Chapter I, of the Code of Federal Regulations, "Licensing Requirement for The Independent Storage of Spent Nuclear Fuel, High-level Radioactive Waste, and Reactor-Related Greater than Class C Waste", 2012.
- [2] NUREG-1536, "Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Systems at a General License Facility", Revision 1, July 2010.
- [3] MCNP - A General Monte Carlo N Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987, Release 1.40, 2005.
- [4] "Conversion Coefficients for the Use in Radiological Protection against External Radiation", Annals of the ICRP Publication 74, 1996.