

사용후핵연료 수송/저장 시스템 예비 안전성해석

백창열, 김대만, 문태철, 정인수*

한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*(주)코네스코퍼레이션, 서울특별시 서초구 양재동 210-2

baegcy@krmc.or.kr

1. 서론

국내 상용원전의 경수로 사용후핵연료를 건식 저장하기 위한 수송/저장 시스템 기술개발을 수행 중으로 현재까지 도출된 시스템에 대해 주요 구조재, 중성자흡수재, 충격완충재 등과 같은 재질 특성과 열전달 편, 공기유로, 트리니언 등 각각의 구성요소에 대한 구조적 형상 및 제원, 기존 특허 회피 등을 고려한 최적화를 수행하여 성능개선 모델을 도출하였다[1]. 또한, 개선된 모델인 금속 겸용용기 및 콘크리트 저장용기에 대해 임계, 차폐, 열 및 구조분야의 예비 안전성해석을 수행하여 관련 기술기준 및 설계요건에 따른 안전성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 수송/저장 시스템

현재 개발중인 수송/저장 시스템은 경수로 사용후핵연료 21다발을 장전할 수 있는 시스템으로 금속 겸용용기는 용기 본체, 캐니스터, 충격완충체 등으로 이루어져 있으며, 캐니스터는 내부 구조물인 연료바스켓, 바스켓 지지 디스크 및 디스크 지지봉으로 구성된다. 콘크리트 저장용기는 사용후핵연료가 장전된 캐니스터와 용기본체로 구성되며, 캐니스터의 사양은 금속 겸용용기와 동일하다. 콘크리트 저장용기 본체는 원통형 셸(shell)로 대략 직경이 3.2m, 높이가 5.7m이며 내부 직경 1.9m를 갖는 콘크리트 구조물로 설계하였다. 캐니스터에 저장된 사용후핵연료로부터 발생하는 높은 붕괴열은 자연대류에 의해 냉각될 수 있도록 용기 하부 측면의 유로를 통해 공기가 유입되어 중앙부를 통해 상부 측면으로 배출될 수 있도록 용기 하부와 상부에 각각 4개씩 공기 입출구를 두어 유로를 형성하도록 구성하였다. (그림 1. 사용후핵연료 수송/저장 시스템 개념도 참조)

2.2 시스템 예비 안전성해석

2.2.1 임계해석

사용후핵연료 수송/저장 시스템에 관한 기술기준 및 설계요건에는 어떠한 경우(정상/비정상/사고 조건)에도 미임계가 유지되어야 하며, 시스템의 핵임계도는 충분한 보수성을 갖는 평가모델의 유효 증배계수를 적용하도록 규정하고 있다. 성능개선모델을 대상으로 수송/저장 조건별 최대 핵반응도를 갖는 운전환경에 기초하여 유효증배계수를 계산한 후 미임계 확보여부를 평가하였다. 평가결과 최대 핵반응도를 갖는 운전환경조건에서도 금속 겸용용기에 대한 최대유효증배계수는 평가기준보다 약 2% 작은 값을 갖는 것으로 평가되었다. 또한 콘크리트 저장용기의 완전침수(100%)가 반영된 저장조건에서의 최대유효증배계수는 평가기준 보다 작은 값을 가지며, 안개/연무에 의한 환경에서의 최대유효증배계수 또한 완전침수가 반영된 최대 유효증배계수 보다 작은 값을 갖는 것으로 평가되었다.

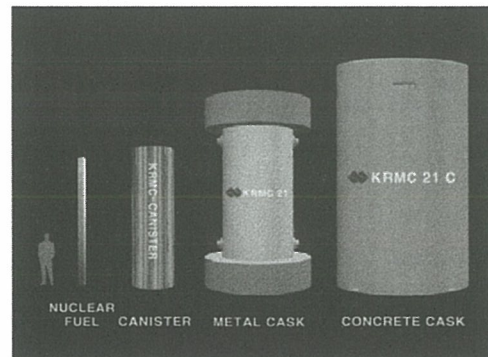


Fig. 1. Conceptual dwg of SF transport/ storage system.

2.2.2 차폐해석

사용후핵연료가 취급 및 저장되는 관리구역의 경계는 용기가 위치한 지역으로부터 최소 100m의

거리가 확보되어야 하며, 방사선방호 측면에서 ALARA 요건이 고려되어 작업종사자 및 일반인을 방사선피폭으로부터 보호해야 한다. 금속 견용용기 및 콘크리트 저장용기는 국내 경수로 원전에서 발생하는 WH형 및 CE형 연료를 공히 수용할 수 있도록 하였다. 설계기준연료는 최대 농축도 4.5w/o, 최대 연소도 45,000MWD/MTU 및 노심에서 방출 후 10년 냉각된 연료로 가정하여 정상조건에 대한 방사선량을 평가결과 설계요건을 모두 만족하는 것으로 평가되었다.

2.2.3 열해석

금속 견용용기 및 콘크리트 저장용기는 사용후 핵연료에서 발생하는 붕괴열을 피동적으로 제거되도록 설계되어야 하며, 주요 구성 부품의 온도 및 내부 압력은 허용값 이내로 유지되어야 한다. 열제거 능력을 확보하기 위한 기준으로는 격납 구성 부품은 최대 격납기능 유지온도 이하로 유지하고 사용후핵연료 피복판 최대온도는 정상조건에서 400℃ 이하, 비정상조건/사고조건에서 570℃ 이하이며 어떤 조건하에서도 내부 최대압력은 설계압력 이하로 유지되어야 한다. 금속 견용용기 및 콘크리트 저장용기에 대한 열해석은 허용온도의 여유도가 작은 조건을 고려하여 정상조건에 대한 해석을 수행하였으며, 기술기준 및 설계요건을 잘 만족하는 것으로 평가되었다. (그림 2. 금속 견용용기 개념도 참조)

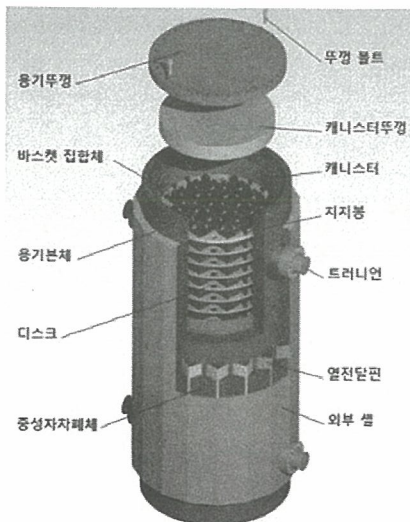


Fig. 2. Dual purpose dry type metal cask.

2.2.4 구조해석

사용후핵연료 수송용기는 정상 및 가상사고조건, 저장용기는 정상조건, 비정상조건, 자연재해 및 사고조건에 대한 관련규정에 따른 구조적 건전성 여부 확인이 필요하다. 금속 견용용기의 운반사고 조건에 해당되는 9m 바다낙하, 수평낙하 및 모서리낙하에 대한 해석을 수행하였다. 또한 콘크리트 저장용기는 사고조건 중 가장 극한 상황인 전복조건에서 직접적인 충돌이 발생하는 용기 본체에 대해 평가하였으며, 응력 제한치 미만으로 구조적 건전성을 유지하는 것으로 나타났다. 향후 콘크리트 저장용기 본체에 대한 철근 배근 및 보강은 추후 상세설계를 통해 반영할 예정이다[2].

3. 결론

현재 기술개발중인 사용후핵연료 수송/저장 시스템인 금속 견용용기와 콘크리트 저장용기에 대한 주요 재질 특성, 열전달 편, 공기유로, 트리니언 등의 구성요소에 대한 고려와 특히 회피를 통한 최적화를 수행하여 성능개선 모델을 도출하였다. 또한 개선된 금속 견용용기 및 콘크리트 저장용기에 대한 임계, 차폐, 열 및 구조분야에 대한 각각의 예비 안전성해석을 수행하여 관련 기술기준 및 설계요건에 따른 안전성을 입증하였다. 향후 상기와 같은 예비 안전성해석 결과를 반영하여 수송/저장 시스템에 대한 상세설계 및 입증시험/평가를 수행할 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 방사성폐기물관리기술 개발 중장기기획과제의 일환으로 수행중입니다.

5. 참고문헌

- [1] 사용후핵연료 수송/저장 시스템 최적화 방안 수립 보고서, 2012. 2.
- [2] 사용후핵연료 수송/저장 시스템 예비 안전성 분석 보고서, 2012. 4.