

사용후핵연료 수송 및 저장 겸용 금속 캐스크 OASIS-32D 개발

고광적*, 김성환, 김민규, 조연호, 김현민, 안준기
한국전력기술(주), 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*kkj@kepco-enc.com

1. 서론

국내에서 운전 중인 원자력발전소의 소내 사용후 핵연료(Spent Nuclear Fuel, SNF)는 원전 외부에 SNF 관리시설 확보 이전까지 원전부지 내에 건식 저장시설을 확충하여 관리해 나갈 계획[1]이며, 이에 따라 SNF의 수송 및 저장시스템 개발 및 준비가 필수적이면서도 시급한 상황이다. 본 논문에서는 KEPCO E&C에서 SNF 수송 및 저장 관련 국내외 법규 및 규정을 적용하여 개발한 PWR SNF 32다발을 수송 및 저장할 수 있는 겸용 금속 캐스크인 OASIS-32D (Optimized And Safe Interim Storage System) 모델에 대한 기본 설계 특성을 제시한다.

2. 본론

2.1 설계 고려사항

SNF 수송 및 저장 겸용 금속 캐스크 설계 시, 고려해야 하는 SNF 주요 인자는 설계기준 연료 종류, 초기 농축도, 방출 연소도 및 노심 연소 후 최소 냉각기간 등이며, OASIS-32D 개발에 적용한 각 항목별 설계기준은 Table 1과 같다.

Table 1. SNF Design Parameters

항목	설계 기준
기준 연료	ACE7 및 PLUS7 PWR SNF (32 다발 장전)
초기 농축도	최대 5.0 w/o (U-235 농축도)
방출 연소도	45,000 MWD/MTU
연소 후 냉각기간	10년

OASIS-32D는 캐스크 수송 및 저장 용량을 최대화하기 위해 USNRC가 제시한 연소도 고려 (Burnup Credit) 임계해석 방법론[2]을 적용한다. 또한 국내 대다수 원전에서 취급이 가능하도록 국내 원전 크레인 용량을 고려해 모델을 개발했다. 캐스크 기본 모델 개발 시 임계 및 차폐, 열, 구조 해석 등 수송, 저장 조건에서 요구되는 성능 및 안

전 요건에 대한 해석, 평가 시 캐스크 하중 제한치를 만족할 수 있도록 최적화하여 기본 모델을 개발하였다.

2.2 수송 및 저장 겸용 금속 캐스크 구성

OASIS-32D는 캐스크 본체와 캐니스터로 구성되며, 캐니스터는 SNF를 저장하는 바스켓, 바스켓 지지 및 내부 붕괴열을 방출하기 위한 보강 지지대 (Reinforcement Support) 등으로 구성된다. 캐니스터 외부로 감싸고 있는 캐스크는 감마선 차폐 역할을 하는 탄소강과 중성자차폐체 재질로 구성되어 있다. 이와 함께, 운반사고를 고려하여 용기 상·하단에는 충격 완충체가 위치하도록 설계하였다.

2.3 캐니스터 기본설계

2.3.1 캐니스터

캐니스터는 최대 32다발의 PWR SNF를 수납, 저장 및 제거가 가능한 원통형 벽체로서 캐니스터 상단 뚜껑과 바닥판은 원통형 셸(Shell)에 용접 접합되어 완전 밀봉, 격납된다.

2.3.2 바스켓 및 보강 지지대

바스켓 조립체(Fig. 1 참조)는 임계 및 냉각 관점을 고려하여 연료간 간격을 유지하며 중성자흡수재가 부착되는 형태이며, 캐니스터 내의 바스켓 조립체를 지지하는 보강 지지대는 바스켓 조립체 면에 일정한 간격으로 외벽에 용접, 부착되는 구조이다.

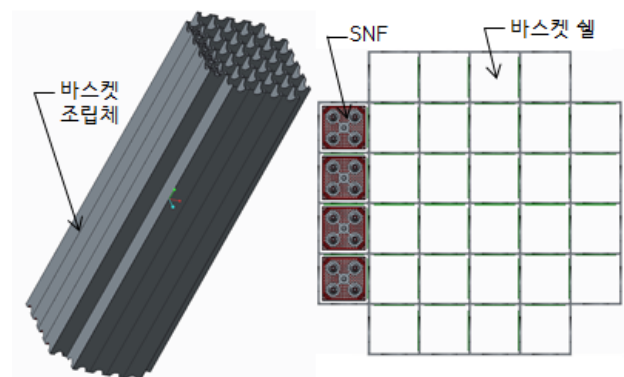


Fig. 1. Configuration of basket.

발생되는 SNF 붕괴열의 효과적인 방출을 위해 보강 지지대와 바스켓 조립체간의 부착 면적을 넓게 하여 방열면적을 확대하였고, 캐니스터 내부 냉각 효과를 높이기 위해 기체 유동 흐름을 고려한 유동 구멍이 구비되어 있다. 바스켓은 순차적으로 용접, 조립하는 방식으로 사각형 튜브형태의 스테인리스강으로 제작되며 바스켓 저장 셀 벽면에 중성자흡수재가 부착된다.

2.4 캐스크 본체 기본설계

2.4.1 캐스크 본체

캐스크는 감마선 차폐에 효과적인 탄소강 재질의 두꺼운 벽을 가진 격납용기로, 방사선 차폐해석을 통해 허용 방사선량을 만족시킬 수 있는 충분한 두께의 구조재와 중성자차폐체로 구성된다. 캐스크 외부에는 중성자차폐체 내부에 탄소강 재질의 열전달 핀을 설치하여 내부 열방출이 용이하도록 설계하였다. 캐스크 상하단, 외벽 및 캐스크 본체 내부에 장전되는 캐니스터가 격납경계를 갖는 구조의 형태로서 1차 차폐체인 캐니스터, 2차 차폐체인 캐스크 및 중성자차폐체를 고려한 해석 평가 결과를 반영하여 캐스크 두께를 최적화 하였다.

2.4.2 중성자차폐체

원주방향 및 축방향 중성자 차폐 최적화를 위해 차폐체 두께, 조성 물질 조합, 형상 및 치수 등의 인자에 대한 최적 조합을 결정하였다. 원주방향의 중성자 차폐를 위해 캐스크 외벽에, 축방향 차폐를 위해 캐스크 상·하단 안쪽에 중성자차폐체를 위치시켰다.

2.4.3 열전달 핀

SNF에서 발생된 열은 바스켓 조립체, 보강 지지대를 통해 캐스크로 전달되며, 캐스크 본체 외부 표면에서 중성자차폐체 내부에 매설된 열전달 핀을 통해 대기로 발산되도록 설계되었다. 열전달 핀의 형상은 열전달 효과 및 제작성을 고려하여 설계하였다. 캐스크 외벽에 용접된 열전달 핀은 여러 원통으로 구성된 중성자차폐체로 둘러싼 외부 덮개 내부에 용접하여 고정하였다.

2.4.4 충격 완충체

충격 완충체는 캐스크 상·하부에 설치되어 운반 중 운반사고 조건인 낙하조건에서 충격에너지를 흡수함으로써 캐스크의 구조적 건전성을 유지하는 역할을 한다.

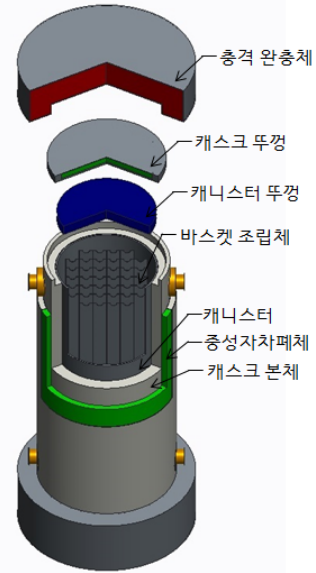


Fig. 2. Configuration of Cask.

2.5 캐스크 모델 최적화

OASIS-32D 캐스크 모델(Fig. 2 참조) 개발은 중량 최적화, 장전 용량 최대화, 구조적 건전성 증대, 냉각 성능 극대화 등 안전성과 성능 향상을 위한 최적화를 위해 구조, 임계, 냉각, 차폐해석을 상호 연계, 반복하여 상세해석을 수행하고 있다. 또한, 캐니스터 보강 지지대, 열전달 핀 등은 제작, 조립성 등에 대한 상세 검토를 추가로 수행할 예정이다.

3. 결론

KEPCO E&C의 PWR SNF 수송 및 저장 겸용 금속 캐스크인 OASIS-32D는 국내 원전 크레인 하중 범위에서 PWR SNF 32다발을 취급할 수 있도록 개발하였다. 이와 같은 대용량 캐스크는 SNF 수송, 저장 시 방사선피폭, 잠재사고 위험성 등을 감소시킬 수 있으며, 또한 건식저장 시설 (혹은 부지) 이용 효율을 높일 수 있으며, 이로부터 SNF 건식 저장의 경제성을 획기적으로 제고할 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] 산업통상자원부 보도자료, “정부, ‘사용후핵연료 안전관리’에 본격 나선다!” 2016.7.24.
- [2] Interim Staff Guidance - 8, Rev. 3, “Burnup Credit in the Criticality Safety Analyses of PWR Spent Fuel in Transportation and Storage Cask,” Division of Spent Fuel Storage and Transportation (USNRC), Sep. 26. 2012.