

사용후연료 수송용기의 누설평가방법

정진세, 조권형, 정성환, 백창열, 양계형, 이홍영

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원, 대전시 유성구 덕진동 150번지

shchung@khnp.co.kr

요 약

원자력발전소에서 발생하는 사용후연료 집합체를 운반하기 위한 수송용기는 고준위 방사성물질의 위험으로부터 인간과 환경을 보호하기 위하여 안전성이 철저하게 보장되어야만 한다. 원자력법과 IAEA 안전수송규정 등 국내외의 관련규정에 의하면 사용후연료 수송용기는 정상운반조건은 물론 수송 도중 발생할 수 있는 운반사고조건에서 B(U)F형 운반용기에 대한 기술기준을 만족시켜 어떠한 경우에도 방사선차폐, 임계, 격납, 열 및 구조적 건전성을 유지하여 방사성물질을 누출시키지 않아야 한다고 규정하고 있다. 본 논문은 한수원(주)에서 개발하여 현재 사용하고 있는 경수로형 사용후연료 수송용기(KN-12 수송용기)의 격납계통에 대한 건전성을 확인하기 위하여 해석에 의한 격납평가 및 수송용기의 운영 중 수행하는 누설시험 등의 누설평가방법에 대하여 기술하였으며, 또한, 매 운반 시 측정된 실제 누설률을 제시하고 분석하였다.

수송용기 격납평가

수송용기의 격납계통은 그림 1에 나타낸 것처럼 용기본체, 용기뚜껑, 뚜껑볼트, 뚜껑 이중 O-링 및 용기뚜껑 위의 배수구 뚜껑과 볼트, 그리고 배수구 O-링으로 구성된다. 용기본체의 재료적 결함이 없다면 용기내부로부터 방사성물질은 뚜껑부 내부 O-과 배수구 O-링을 통해서 누출이 가능하다. 이러한 수송용기 격납계통의 모든 부품은 ASME Sec.III Div.3에 따라 설계, 제작하여 제작 후의 성능시험(재료검사, 비파괴검사, 압력검사 및 누설시험 등)을 통하여 건전성을 입증하였다.

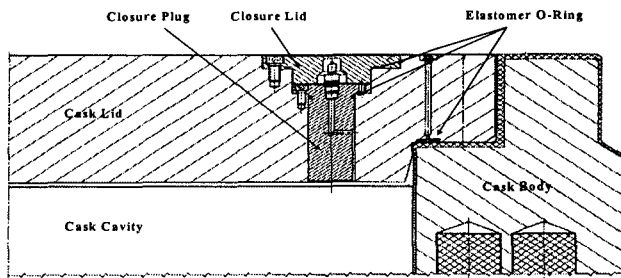


그림 1 사용후연료 수송용기 뚜껑부 단면

수송용기 격납계통에 대한 건전성을 평가를 위한 기술기준은 방사성물질의 누설률이 정상운반 조건의 경우 $10^{-6} \text{A}_2/\text{h}$, 운반사고조건의 경우 A_2/week (Kr-85는 $10\text{A}_2/\text{week}$)을 초과하지 않아야 한다. 본 논문의 사용후연료 수송용기는 농축도 5wt.%, 연소도 50,000MWD/MTU, 냉각기간 7년의 경수로형 사용후연료 집합체 12다발을 운반할 수 있다. ANSI N14.5에 따라 용기의 내부에 생성되는 방사성물질을 기준하여 격납해석을 수행한 결과, 허용누설률(L_N)은 정상운반조건의 경우 $1.2 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{s}$, 운반사고조건이 경우는 $3.5 \times 10^{-2} \text{cm}^3/\text{s}$ 이었다. 운반사고조건에 비하여 정상운반조건의 누설률이 더 보수적이기 때문에 격납 건전성을 유지하는 허용누설률을 $1.2 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{s}$ 로 설정하였다. 이를 누설시험에 실제로 적용하기 위하여 기체온도, 압력, 누설경로 등과 관련하는 공기와 헬륨의 경우로 환산하여야 하는데, 25°C, 1기압(절대압력)에서 공기에 대한 기준공기누설률(L_R)은

$2.7 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{s}$, 헬륨에 대한 누설률은 $3.3 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{s}$ 로 산출되었다.

누설시험

수송용기에 대하여 제작과정 중 및 통상운반 시 누설시험을 수행하고 격납해석에서 구한 허용 누설률을 기준하여 격납 건전성을 확인하여야 한다. 현재 사용 중인 수송용기는 규제기관으로부터 승인된 방법과 절차에 따라 제작을 완료한 후 누설시험을 수행하였으며, 원전 내 운반의 경우 매 운반 시 연료장전 전후에 반드시 누설시험을 수행하도록 절차화하였다. 누설시험은 ANSI N14.5 또는 ISO 12807에 따른 시험방법에 따라 수행하는데, 본 논문에서는 헬륨누설시험 및 공기압누설 시험에 대한 시험장치 구성, 시험방법, 장단점 분석 등을 기술하였다.

헬륨누설시험은 헬륨진공법을 적용한 것이며, 공기압누설시험은 기체압력상승법에 따른 평가방법이다. 헬륨누설시험(그림 2 참조)은 용기의 내부에 순도가 높은 헬륨을 충전시키고 시험검사공간을 진공으로 만든 후에 헬륨누설시험장치를 이용하여 격납계통인 O-링을 통하여 나오는 헬륨의 누설량을 측정하는 방식이고, 공기압누설시험(그림 3 참조)은 내부는 대기압인 상태에서 시험검사공간을 진공으로 만든 후에 검사공간에 대한 압력의 상승여부를 측정하는 방식이다.

각 누설시험에 대한 허용누설률은 격납해석에서 구한 허용누설률보다 더 낮은 $1.0 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{s}$ 로 설정하여 보다 보수적이 되게 하였다. 매 운반 시 마다 측정된 자료를 살펴보면, 실제 수송용기의 누설률은 허용치보다 훨씬 낮은 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 의 범위에 들어 내부 방사성물질의 누출은 거의 없이 격납 건전성을 유지하는 것을 확인하였다.

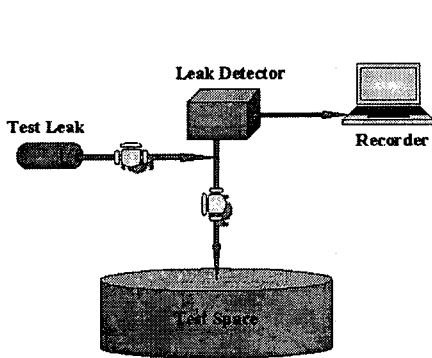


그림 2 헬륨누설시험 구성도

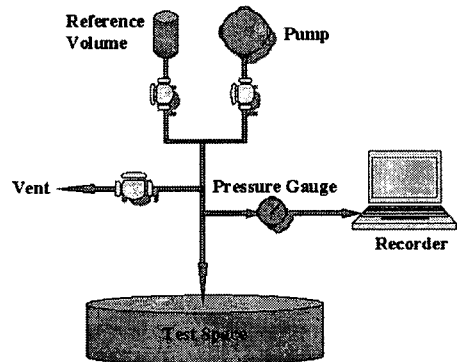


그림 3 공기압누설시험 구성도

참고문헌

- [1] 과학기술부 고시 제2001-23호, 방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정, 2001
- [2] IAEA Safety Standards Series No.TS-R-1, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material(1996 Ed.), 2003
- [3] ANSI N14.5, American National Standard for Radioactive Materials - Leakage Tests on Packages for Shipment, 1997