

B형 방사성폐기물 운반용기의 침수시험 평가

이주찬, 방경식, 최우석, 이상훈, 서기석
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
siclee@kaeri.re.kr

1. 서론

본 연구에서는 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물을 운반할 수 있는 B(U)형 운반용기의 침수 시험을 수행하였다. 본 논문에서 기술하는 운반용기는 폐수지를 포함한 각종 방사성폐기물을 운반할 수 있으며, 운반물의 최대 방사능량은 폐수지를 기준으로 850 Ci 이다. 이와 같은 운반물의 방사능 크기는 운반용기 관련 법규에서 규정하고 있는 방사능 제한 값인 A_2 값보다 크므로, 운반용기는 B(U)형 운반물로 구분된다. B(U)형 운반용기는 수송 관련 법규에서 규정하는 운반사고조건에서 용기의 건전성이 입증되어야 한다. 법규에서 규정하는 운반사고조건 시험은 9 m 자유낙하시험, 1 m 파열시험, 15 m 침수시험 및 800 °C 화재시험 등으로 이루어진다.

교육과학기술부 고시 제 2008-69호[1] 및 IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1[2]에서는 시험물을 수두 15 m 이상에서 시험물이 최대의 손상을 받는 방법으로 8시간 동안 침수시키는 일반 침수시험조건에서 운반용기의 격납계통이 파손되지 않아야 한다고 규정하고 있다. 방사능량이 A_2 값의 10만배를 초과하는 방사성물질들을 운반하는 B(U)형 운반용기의 경우 시험물을 수두 200 m 이상에서 1시간 동안 침수하는 강화된 침수시험조건이 있지만 폐수지 운반용기는 방사능량이 A_2 값의 10만배 이내이므로 일반 침수시험만을 고려하였다.

2. 시험장치 및 시험방법

침수시험 모델은 실제 운반용기의 1/3 scale model이며, 9 m 낙하 및 1 m 파열시험을 완료한 시험모델을 사용하였다. 운반용기의 격납계통은 용기 본체와 뚜껑이므로 충격완충체를 제외하고 용기 본체에 대하여 침수시험을 수행하였다. 침수시험 설비는 압력용기, 고압펌프, 충수펌프, 압력계 및 안전밸브 등으로 구성된다. 압력용기는 용기내부에 시험물을 넣고 뚜껑볼트를 체결한 후 물을 충수시킨 후 가압하여 시험을 수행한다. 압력용기의 내부 치수는 직경이 1.2 m, 길이가 2.7 m 이며, 2 MPa 이상의 내부압력에 견딜 수 있도록 설계되었다.

침수시험 이전에 시험모델의 뚜껑을 본체 위에 안착시키고 토크렌치를 이용하여 23 N-m의 토크로 뚜껑볼트를 체결하였다. 시험모델 뚜껑을 체결한 후 Gas Pressure Rise 방법을 이용하여 누설시험을 수행하였으며, 측정된 누설률은 $7.94E-6 \text{ std} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 으로 허용 누설률인 $4.33E-2 \text{ Std} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 보다 훨씬 낮게 나타났다. 폐수지 운반용기의 공기분위기에서의 허용누설률은 정상운반 및 운반사고조건에서 각각 $1.94E-1 \text{ Std cm}^3/\text{s}$, $4.33E-2 \text{ Std cm}^3/\text{s}$ 로 설정하였으며, 침수시험 전 후의 누설시험에서는 보수적으로 가정하여 허용 누설률을 $4.33E-2 \text{ Std cm}^3/\text{s}$ 로 고려하였다.

시험모델을 침수시험용 압력용기 내부에 안착시킨 후 충수펌프를 이용하여 압력용기 내부를 충수시켰다. 압력용기 뚜껑을 체결한 후 고압펌프를 이용하여 압력용기를 법규에서 요구하는 150 kPa 이상의 압력으로 가압한 후 압력용기에 설치된 밸브를 닫았다. 압력이 일정 상태로 유지될 때까지 약 10분 정도 압력변화를 관찰한 후 압력을 측정하였으며, 이때의 압력은 157 kPa로 측정되었다. 157 kPa 초기압력 조건에서 압력용기의 모든 밸브를 닫은 상태로 16시간을 유지시켰으며, 16시간 이후의 압력은 150 kPa로 측정되었다. 법규에서 요구하는 침수시험 시간은 8시간이지만 실제 시험은 2배 이상을 보수적인 조건으로 시험을 수행하였다.

그림 1은 침수시험 장면을 보여주고 있다. 압력용기 상단의 배기밸브를 열어 내부압력을 대기압 상태로 만든 후 압력용기 내부의 물을 배수시키고 시험모델을 외부로 인출하여 누설시험, 치수검사 및 시험모델 내부로의 누수여부를 검사하였다.

3. 시험결과 및 토의

침수시험 이후 치수측정 결과 침수시험 이후에 용기의 변형이 발생되지 않았다. 침수 시험 전후에 누설시험을 수행하였으며, 침수시험 후 측정된 누설률이 1.75E-6 Std cm³/s로 허용누설률인 4.33E-2 Std cm³/s 보다 훨씬 낮게 나타났다. 따라서 침수시험 조건에서 용기 뚜껑 O-ring seal의 기밀이 유지되었다. 시험 모델 뚜껑 부위의 틈새를 air compressor를 이용하여 완전히 건조시킨 후 뚜껑 볼트를 풀면서 볼트 토크를 측정한 결과 체결 시 토크와 거의 같은 22.7 N·m로 측정되었다. 따라서 침수시험 과정에서 볼트의 풀림이 발생하지 않았다. 그림 2는 침수시험 후 누설시험 및 용기 내부의 누수여부를 확인하는 사진을 보여주고 있다. 뚜껑을 제거하고 내부를 육안으로 확인결과 시험모델 내부로 물이 전혀 유입되지 않았으며, 파손 또는 buckling 등이 발생하지 않았다. 표 1은 침수시험 결과를 요약하여 나타내었으며, 폐수지 운반용기는 법규에서 규정하는 침수시험조건에서 용기의 격납 건전성이 입증되었다. 침수시험 결과는 폐수지 운반용기의 설계 인허가 자료로 활용되어 인허가 획득을 추진 중이며, 폐수지 운반용기는 원자력발전소의 폐수지 또는 고체폐기물 운반에 활용될 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] 교육과학기술부 고시 제 2008-69호, "방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정", 2008.
- [2] IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1, "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material", 2005.

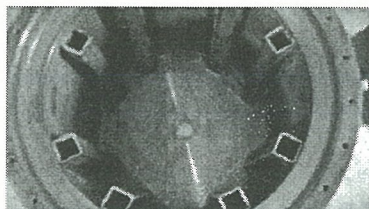
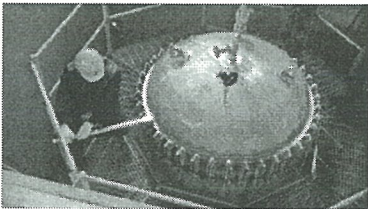
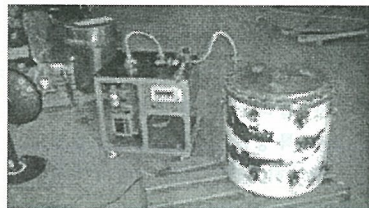
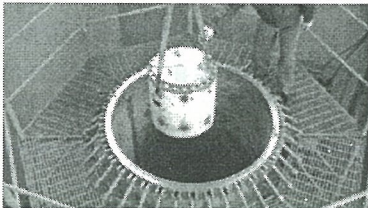


그림 1. 침수시험 사진

그림 2. 침수시험 후 누설 및 육안검사

표 1. 운반용기의 침수시험 결과 요약

뚜껑볼트 토크	시험 전	23.0 N·m	시험 후	22.7 N·m (평균)	
침수시험 전 시편의 제원	상부 직경	0-180°	580.2 mm	90-270°	580.5 mm
	전체 길이	0°	585.8 mm	180°	585.5 mm
침수시험 후 시편의 제원	상부 직경	0-180°	580.2 mm	90-270°	580.0 mm
	전체 길이	0°	586.0 mm	180°	585.6 mm
침수시험 전후 누설시험	시험방법	Gas pressure rise test			
	시험 전 누설	누설률 : 7.94E-6 std·cm ³ /s (허용치 : 4.33E-2)			
	시험 후 누설	누설률 : 2.75E-6 std·cm ³ /s (허용치 : 4.33E-2)			
침수시험 시간 및 압력	시작	시간	2.17. 17:10	압력	1.60 kgf/cm ² (157 kPa)
	종료	시간	2.18. 09:40	압력	1.53 kgf/cm ² (150 kPa)
침수시험 결과	시편의 형상	만족(○), 불만족()			
	내부 누수여부	만족(○), 불만족()			