

## B형 방사성폐기물 운반용기 안전성 입증 시험

서기석, 김동학, 방경식, 이주찬, 이경호\*, 조천형\*, 백창열\*

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

\*원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

nksseo@kaeri.re.kr

B형 방사성폐기물 운반용기는 저준위비방사능물질이나 표면오염물질로 분류되지 않는 방사능 한도량 A값 이상의 방사성물질 DOT-17H 드럼 1개를 원자력발전소의 폐기물 처리시설에서 중간 저장고까지 운반하는 운반용기로서 차폐용기와 완충용기로 나누어져 있다. 차폐용기는 운반내용물인 방사성폐기물 드럼이 적재 되어 있고, 격납을 유지하며 차폐성능을 보장하여야 한다. 완충용기는 운반용기가 이송 중에 발생할 수 있는 열이나 충격으로부터 차폐용기를 보호한다. B형 운반용기는 가상사고조건에 대한 9m 자유낙하시험, 1m 파열시험, 화재시험 및 침수시험을 순차적으로 실시하여 격납경계에서의 누설률이 제한치 이내이어야 한다.

B형 방사성폐기물 운반용기의 안전성 입증 시험으로 9m 높이에서의 자유낙하시험과, 봉 위로 운반용기를 1 m 높이에서 자유낙하 하는 파열시험, 800℃에서 30분간 유지하는 화재시험, 물 150 kPa 외압을 가하는 침수시험을 실시한다. 그림 1은 B형 방사성폐기물 운반용기의 안전성 시험에 대한 개념도이다. 9m 바닥무게중심낙하시험과 1m 측면파열시험을 실시한 후에 스트레인지지와 가속도계 등을 제거하고 열전대를 부착하여 화재시험을 실시하고 차폐용기만을 사용하여 침수시험을 실시한다. 구조 및 화재시험을 전후로 하여 누설량을 평가하기 위한 누설시험을 실시한다. 누설시험은 Pressure rise test 장비를 이용하여 누설률을 측정하여 허용누설률과 비교한다. 또한 낙하 혹은 파열 시험 전후로 차폐 두께, 뚜껑 플랜지 갭 측정을 포함하여 예상 변형위치에 대한 치수검사 및 초음파 두께 측정기를 이용한 차폐체의 두께를 측정하였다. 특히 초음파 두께측정기를 이용한 차폐체의 두께의 측정을 통하여 차폐성능에 대한 평가를 실시한다.

9 m 자유낙하시험은 운반용기(Specimen)을 낙하시험시설의 Release 장치에 낙하방향에 적합하도록 고정하고 Release 장치를 Hoist에 매달아 9m 높이에서 평평하고 단단한 바닥 면에 자유낙하시킨다. B형 방사성폐기물 운반용기에 대하여 바닥경사방향(15도 기울기)으로 9 m 자유낙하시험을 실시하였다. 1 m 파열시험은 직경이 (15.0±0.5)센티미터이고 길이가 20센티미터인 연장봉이고 봉의 상단부가 평탄하고 가장자리는 반경 6밀리미터 이하로 둥근 봉을 시험바닥면 위에 수직으로 견고하게 고정시켜 놓고, 운반용기를 1m 높이에서 봉 위에 낙하시킨다. 그림 8과 같이 B형 방사성폐기물 운반용기에 대하여 측면방향으로 1 m 파열시험을 실시하였다. 9 m 자유낙하시험 및 1 m 파열시험에서 해석에 대한 검증을 실시하기 위하여 가속도 및 변형률을 측정하였다. 화재시험은 시편(Specimen)을 무연화재 시험설비에 설치하고 연료에 점화한 후 800℃ 이상의 화염 온도 상태를 30 분 이상동안 유지한 후 자연 냉각한다. 시험 중에 시험모델에 부착된 열전대를 통하여 온도변화를 취득하여 해석결과와 비교분석한다. 화재시험에서는 K type으로 shieth 재질은 inconel로서 길이가 7 m 이고 총 길이는 16 m이인 열전대를 11개 설치하여 화재시험시의 온도 분포를 측정하여 전산해석결과와 보수성 및 경향을 확인한다. 온도 분포의 취득 및 저장은 NI SCXI 시스템을 이용하여 11개 채널을 사용한다. 침수시험은 시편을 압력용기 넣고 물을 채운 후 압력용기 내부의 압력을 150 kPa이상으로 가압한 후 8시간 이상동안 침수한다. 침수시험을 수행한 후에 차폐용기 내부에 누수여부를 육안으로 관찰하여 침수여부를 확인한다. 누설시험은 진공펌프를 이용하여 시편 내부공간을 0.1 hPa 이하로 감압한 후, 내부 공간의 압력이 안정되면, 그 상태를 15분 동안 유지한다. 15분 이후의 내부압력을 측정하여 누설률을 계산한다.

9 m 자유낙하시험에 의하여 1차로 충격되는 완충용기 바닥에서 큰 변형이 발생하여 직경이 114 mm 감소하고 높이가 79 mm 증가하였다. 충돌부위의 인접한 바닥의 용접부에서는 큰 변형에 따라서 찢어졌다. 완충용기의 볼트가 큰 변형이 발생하면서 뚜껑이 약간 벌어졌다. 1 m 파열시험에

의하여 완충용기의 표면은 찢어졌으며 단일 및 완충을 위한 두께의 약 1/3인 70cm의 함몰이 발생되었다. 차폐체 두께에 대한 변화는 없었으며 볼트가 풀리거나 플렌지가 변형되지 않았다. 파열시험 이후에 구조시험에서 사용된 가속도계나 스트레인게이지를 제거하고 화재시험을 위한 열전대를 부착하였다. 개방형 800℃ 화재를 실시한 결과 차폐용기의 온도는 화재시험을 수행하기 전보다 약 20℃ 정도 상승하였다. 9 m 자유낙하시험 및 파열시험에 의하여 완충용기 외부의 쉘의 파손으로 화재시험에 의하여 난연성 폴리우레탄 폼의 일부가 직접적으로 화염에 노출이 되었다. 해체 후 O-ring 부위의 접촉식 온도계 확인 결과 온도계 색의 변화는 없으므로 접촉식 온도계의 측정 가능한 최저 온도인 100℃이하로 화재조건에서 열적으로 건전성을 유지하였다. 화재시험을 실시한 후에 낙하/파열/화재 조건에 대한 평가를 위하여 누설시험을 실시하였다. 누설률은  $3.95 \times 10^{-5}$  ref  $\text{cm}^2/\text{s}$ 로써 허용누설률 이하의 값이다. 완충용기를 제외하고 차폐용기만을 이용하여 침수시험을 실시하였다. 침수시험을 실시한 후 시험모델의 뚜껑 부위의 틈새를 compressure를 이용하여 완전히 건조시킨 후 진공 누설시험 장비를 이용하여 누설률을 측정하였다. 측정된 누설률이 허용 누설률에 비하여 1/100 이하로 나타나 낙하, 파열, 화재 및 침수시험 과정에서 시험모델 뚜껑 부위의 기밀이 유지됨을 확인하였다. 뚜껑을 제거하고 내부를 육안으로 확인결과 시험모델 내부로 물이 전혀 유입되지 않았으며, 파손 또는 buckling 등이 발생하지 않았다. 침수시험 전후에 용기의 주요 부위의 치수를 측정하였으며, 치수 측정결과 침수시험 이후에 용기의 변형이 발생되지 않았다. 또한 뚜껑 볼트를 풀면서 볼트 토크를 측정한 결과 142 ~ 258 N·m로 볼트의 체결력은 충분히 유지하고 있음을 알 수 있었다.

표 1은 시험전, 구조시험 및 화재시험이후, 침수시험 이후에 측정된 누설시험의 결과이다. 누설시험에서 측정된 누설률은 모두 사고조건에서의 허용누설률( $4.55 \times 10^{-2}$  ref  $\text{cm}^2/\text{s}$ ) 뿐만 아니라 정상조건에서의 허용누설률( $2.4 \times 10^{-4}$  ref  $\text{cm}^2/\text{s}$ ) 이하의 값으로 격납경계에서의 누설은 거의 없는 것으로 평가되었다. 즉 B형 방사성폐기물 운반용기의 안전성이 입증되었다.

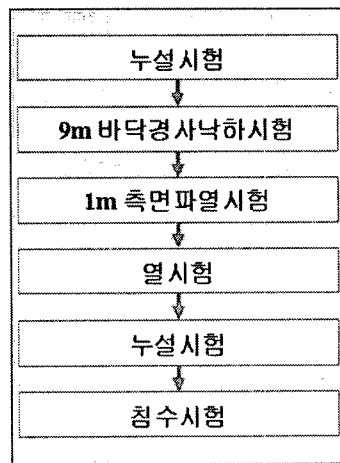


그림 1. B형 방사성폐기물 운반용기의 안전성 입증시험 개요도

표 1. B형 방사성폐기물 운반용기의 시험 전·후의 누설시험 결과

누설시험 조건	낙하시험 전	낙하/파열/화재 시험 후	침수시험 후
누설률 [ref $\text{cm}^2/\text{s}$ ]	$3.6 \times 10^{-5}$	$3.98 \times 10^{-5}$	$1.36 \times 10^{-4}$