방사성폐기물 B형 운반용기 화재시험

방경식, 이주찬, 서기석, 이경호*, 최병일*, 이홍영*
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150
*한국수력원자력(주), 대전광역시 유성구 덕진동 150
nksbang@kaeri.re.kr

방사성폐기물 B형 운반용기의 화재사고조건에서의 안전성 여부를 평가하기 위하여 화재시험을 수행하였다. 화재시험은 4.0 m × 3.5 m × 3.0 m 크기의 무연화재시험설비에서 Open pool fire test 방법으로 수행되었다.

화재시험에서 시험모델의 온도를 측정하기 위하여 인코넬로 외장된 직경이 1.6 ㎜인 K형 열전대 12개를 그림 1과 같이 설치하였다. 또한, 시험모델의 뚜껑에 있는 O-ring 부위의 온도를 평가하기 위하여 O-ring 바깥쪽, 중간 및 안쪽 부위에 각각 Thermo Label을 부착하였다. Thermo Label은 5 ℃ 간격으로 5 등급의 색변화를 통해 온도를 확인할 수 있는 접착식 온도계로서 100 ℃에서 150 ℃까지 확인할 수 있도록 부착하였다.

화재시험에 있어서 화염으로부터 모델로 유입되는 열 유속을 평가하기 위해서는 시험모델 표면 및 시험모델 주변의 정확한 화염온도측정이 무엇보다 중요하다. Burgess는 화염온도는 시험모델로부터 50 ㎝ 떨어진 곳에 설치한 열전대가 화염보다 차가운 모델표면으로부터의 복사에 의한 영향을 가장 적게 받는다고 하였다[1]. 실제로 KN-12 운반용기 화재시험결과로부터 보면, slice 모델 표면으로부터 10 ㎝, 20 ㎝, 40 ㎝ 떨어진 곳에서의 화염온도는 40 ㎝ 떨어진 곳에 설치한 열전대에서 측정된 온도가 가장 높게 나타났었다[2]. 따라서, 모델 주변의 화염온도를 측정하기 위해 인코넬로 외장된 직경이 3 ㎜인 K형 열전대 8개를 용기의 중앙부와 상부에 모델로부터 50 ㎝ 떨어진 곳에 설치하였다.

화재시험은 무연조건 하에서 open pool fire 방법으로 3.5 m × 4.0 m 크기를 가진 화재시험설비에서 수행되었다. 화재시험설비의 문을 열고 크레인을 사용하여 시험모델을 화재시험설비 내의 모델 supporter에 설치하였다. 모델 및 모델주변의 화염온도를 측정하기 위해 설치된 20개의 열전대를 화염으로부터 보호하기 위해 세라믹 튜브 및 세라믹 울을 사용하여 2중으로 처리한 후 열전대는 열전대 탐지기에 연결하였다.

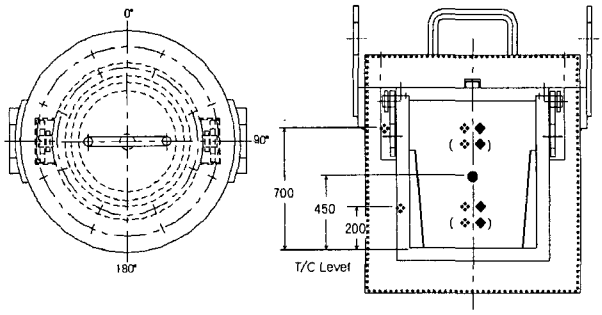

그림 1. 시험모델의 열전대 부착 위치.

화재시험은 화재시험설비 pit 내에 물을 20 ㎝ 높이로 채우고, 시험모델의 가장 낮은 바닥면과 등유의 높이가 1 m 이상 차이가 나도록 등유를 채워 약 30분 동안 그림 3과 같이 수행되었으며, 연료공급을 중단한 이후 12분간 화염은 지속되었다. 화재시험에서 측정된 화염의 온도는 모델 상부 방향에서 평균 553 ℃로 측정되었으며, 중앙부 방향에서는 그림 3과 같이 평균 808 ℃로 측정되었다. 또한, 연료공급을 중단한 이후 화염의 온도는 모델 상부 방향에서 평균 327 ℃, 중앙부 방향에서 평균 342 ℃로 측정되었다. 화염이 완전히 종료된 후 냉각기간 동안의 시험모델의 주변온도는 평균 30 ℃로 측정되었다.

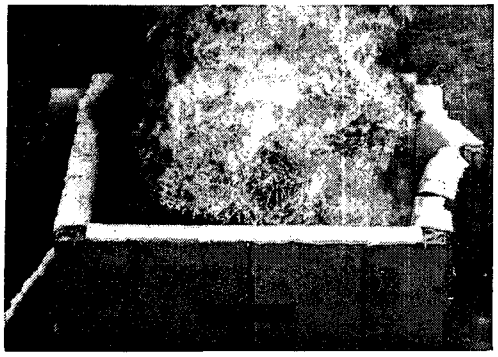

그림 2. 화염이 성염된 모습.

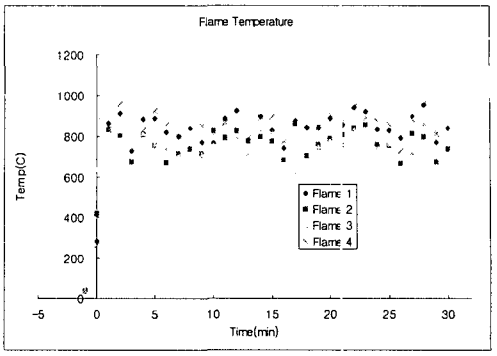

그림 3. 화재시험기간 동안 화염온도 변화.

화재시험 동안 측정된 시험모델의 최고온도는 표 1에서와 같이 Over-pack의 90° 방향인 인양장치 부위에서 173 ℃로 가장 높게 측정되었다. 이것은 인양장치 부위의 단열재가 가장 얇았기 때문에 나타난 것으로 판단된다. 그 다음 높게 측정된 부위는 Over-pack의 180° 방향으로 99 ℃로 측정되었다. 이것은 파열시험으로 인한 시험모델 파열부위의 파열로 인해 단열재가 가장 먼저 연소하였기 때문으로 판단된다.

표 2는 화재시험 동안 측정된 차폐용기의 최고온도를 보여주고 있다. 차폐용기에서의 최고온도는 화염이 종료되고 약 5.8 시간 경과한 후 53 ℃로 측정되었으며, 이는 화재시험을 수행하기 전의 시험모델의 온도보다 약 20 ℃ 정도 상승하였으며, 화재시험이 완전히 종료된 후 뚜껑을 해체하고 O-ring 부위의 Thermo Label을 확인한 결과 Thermo Label의 색은 변색되지 않았음을 확인할 수 있었다.

이들 결과로부터, 방사성폐기물 B형 운반용기는 800 ℃ 화재사고조건에서 열 및 격납 건전성이 유지됨을 알 수 있다.

표 1. 화재시험에서 Over-pack의 최고온도

열전대 위치	0°		180°		인양장치	
	중1	중2	상	하	상	하
최고온도(℃)	49	49	99	61	173	49
종료 후 경과시간(h)	7.5	7.5		0.3	0.2	7.5

표 2. 화재시험에서 차폐용기의 최고온도

열전대 위치	0°		180°		내 벽	
	상	하	상	하	중1	중2
최고온도(℃)	51	48	51	48	53	50
종료 후 경과시간(h)	4.5	10.8	5.5	11	5.8	6.1

[참고문헌]

[1] M.H. Burgess, and C.J. Fry, "Fire Testing for Package Approval," Int. J. Radioactive Materials Transport, Vol. I , No. 1, pp. 7-16, Nuclear Technology Publishing, Ashford, Kent, England, 1990.

[2] 방경식 외., "운반용기의 Pool Fire Test", 2002 원자력학회 추계학술발표 논문집, 용평 2002. 10.

감사의 글

본 연구는 한국수력원자력(주)으로부터 수탁사업의 일환으로 수행되었음.