

사용후핵연료 운반용기 안전성입증시험 현황 및 전망

백창열, 김형진, 이경우

한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

baegcy@krmc.or.kr

1. 서론

우리나라는 현재 4개부지의 원자력발전소에서 총 20기의 원자로가 가동되고 있으며, 원자력발전에서 따라 발생된 사용후핵연료는 원전내 임시저장시설에 저장관리하고 있다. 국가의 원자력정책에 따라 사용후핵연료에 대한 최종 관리방안을 국민적 공감대하에서 결정하기 위한 공론화가 한창 진행중으로 어떤 방식으로 결정되든 2016년부터는 원전의 사용후핵연료를 중간저장시설로 운반하여 관리하여야 한다. 사용후핵연료를 운반하는 용기(이하 “운반용기”)는 여러 가지 제약조건 및 특수성에 따라 IAEA의 안전 운반에 관한 규정 및 국내 원자력법에서 엄격하게 규정하고 있는 기술기준을 만족하도록 설계하여 그 안전성을 입증하여야 한다. 국내의 경우 '90년대 초부터 일부 PWR 원전의 호기간 사용후핵연료 소내 수송을 위해 운반용기를 개발하면서 설계/인허가에 대한 안전성입증의 필요에 따라 안전성시험시설을 건설하여 입증시험을 수행하고 있다. 일찍이 원자력 발전을 시작한 외국의 경우 사용후핵연료 관리 정책에 따라 재처리, 소내 임시저장, 소외 중간저장시설 등을 운영하고 있으며 '70년대 초반부터 사용후핵연료를 관련 시설로 빈번하게 운반하고 있다. IAEA 및 자국의 엄격한 기술기준을 만족하도록 운반용기를 설계/시험/제작하였음에도 그 안전성에 대한 국민의 관심과 문제 제기가 끊임없이 이루어짐에 따라 미국, 영국, 독일 등은 철도, 도로 및 해상을 통한 운반중 예상되는 실제사고에 대해 규제이외의 시험 및 원형 시험모델을 이용한 안전성입증시험 등 보다 현실적이고 가시적인 안전성 제고 및 국민 수용성 증대를 위해 다양한 입증시험 및 측정/평가 기술을 개발하고 있다. 이 논문에서는 국내 및 국외의 운반용기 안전성입증시험 사례 및 현황을 분석하였다.

2. 본론

2.1 국내현황

국내의 경우 '90년대 초부터 고리원전의 PWR 사용후핵연료 소내운반을 위해 KSC-4 및 KN-12 운반용기를 개발하면서 설계/인허가에 대한 안전성입증을 위해 원자력연구원에서 운반용기 안전성시험시설을 건설하여 입증시험을 수행하고 있다. 원자력연구원의 안전성시험시설은 IAEA 및 국내 원자력법의 관련 규정에 따라 정상 및 운반 사고조건에 대한 입증시험을 수행할 수 있는 규모로 운반용기 축소모델에 대한 기계적시험, 열시험 및 침수시험을 수행할 수 있는 규모이다. 운반용기의 9m 자유낙하, 1m 파열시험 등을 위한 10톤 용량의 인양장치, 낙하타워 및 충격패드로 구성된 기계적시험시설과 사용후핵연료의 붕괴열 등 최대설계조건을 고려한 800℃ 화재시험시설 및 수두 15m/200m에 해당하는 침수시험 시설로 구성되어 있다[1]. 최근 사용후핵연료 18다발 용량의 KN-18 운반용기의 1/3 축소모델에 대한 기계적시험과 침수시험, 1/8 단면모델에 대한 화재시험을 수행하는 등 축소모델에 대한 안전성입증시험기술은 충분히 보유하고 있는 상태이다. 향후 중간저장시설로 사용후핵연료를 운반하기 위해서는 운반용기 및 운반수요의 대폭적인 증가가 예상되며 이에 수반한 운반안전성 제고를 위해 국외에서 수행되고 있는 규제의 시험, 원형규모 입증시험, 이를 위한 시험시설 보강, 설계입증을 위한 측정/평가 기술개발 현황 등을 조사/분석하여 우리 실정에 적합한 안전성입증시험체계를 구축하여야 할 시점이다.

2.2 국외현황

국외의 경우 사용후핵연료 재처리, 발전소 내 임시저장 등의 필요에 따라 운반용기 설계, 제작, 시험 및 운반에 대한 많은 경험과 기술을 축적한 상태로 최근에는 운반저장의 효율성, 경제성 등을 고려하여 대형 운반용기를 개발중이며, 원형규모 시험모델을 이용한 안전성입증시험을 수행하는 추세이다. 독일의 경우, 운반/저장용기는 처분시설 및 발전소 내 낙하, 충돌사고 등을 고려하여 원형 및 축소 모델을 이용한 25, 200, 900m 등의 낙하시험, LPG 탱크 폭발에 의한 화재/충격시험 및 항공기 충돌 모사시험(steel bar 투사, 300m/s)을 수행하여 실제 사고조건에서 운반용기가 안전성을 유지하는 지를 평가하였다. 독일연방위험물질시험연구소(BAM)는 200톤 용량의 운반용기를 30m 높이에서 낙하시킬 수 있는

시험시설(그림 1)을 갖추고 있으며 화재시험시설, 누설시험시설 등도 구비하고 있다[2].

미국의 경우, 운반용기 설계승인을 위해 IAEA 및 자국의 기준에 따라 안전성시험을 수행하나 원형규모의 시험을 강제하지는 않고 있다. 원전 사업자 등이 사용후핵연료를 소내의 임시저장시설로 빈번하게 운반함에 따라 SNL(Sandia National Laboratories)은 기차 및 트럭에 실제 운반용기를 적재한 상태로 충돌(그림 2) 및 화재시험을 수행하여 실제사고조건에서 운반용기가 안전함을 입증한바 있다. 다만, 유카산 처분장으로 사용후핵연료 운반이 이루어질 경우 도로/철도/해상 운반에 따른 운반용기 안전성에 대해 네바다 주 등에서 NRC 승인전 원형규모 운반용기에 대한 시험을 수행하고 2001년 발생한 볼티모어 터널화재사고[3]를 고려하여 기존 800℃ 화재시험이 아닌 1,000℃ 화재시험을 권고하고 있는 상황이다.



그림 1. 낙하시험시설(BAM)

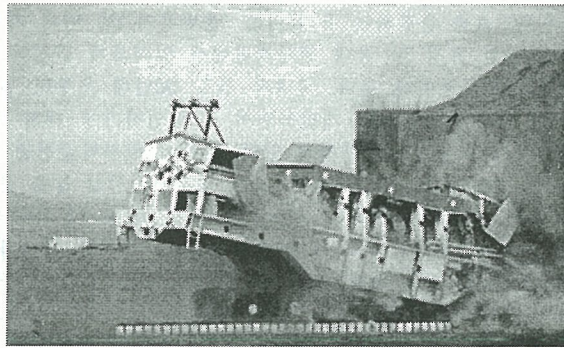


그림 2. 충돌시험(철도 차량)

일본의 경우, 차량 및 선박을 이용하여 재처리시설 등으로 사용후핵연료를 운반하게 됨에 따라 소외에서 실제 발생할 수 있는 사고를 고려하여 항만부두의 하역크레인에서 운반용기 낙하, 탱크로리 충돌에 따른 화재를 고려하여 원형규모/고연소도 운반용기의 안전성입증시험을 수행하여 운반용기의 건전성을 확인하였다. 또한, 원형규모 저장용기에 대한 열전달 시험시설을 보유하고 있으며 원형규모 뚜껑 및 금속 가스켓에 대한 장단기 건전성시험을 수행한 경험이 있다[4].

3. 결론

외국의 경우 사용후핵연료 운반용기는 원형규모의 시험모델을 이용하여 안전성을 입증하는 추세이며, 자국의 운반여건 및 운반방법에 따라 실제 운반사고를 고려한 안전성시험을 수행하여 운반도중 사고에도 운반용기가 건전함을 입증하고 있다. 국내에서는 현재까지 축소모델을 이용하여 운반용기의 안전성을 입증하고 있으나, 향후 우리 실정에 맞는 원형규모 안전성입증시험시설 및 측정/평가 기술을 개발하여 안전성입증시험체계를 확립함으로써 사용후핵연료 및 방사성폐기물의 운반안전성 및 대국민 신뢰도 증진에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 운반용기 안전성시험시설, 한국원자력연구원
- [2] SAFETY MARGINS OF SPENT FUEL TRANSPORT AND STORAGE CASKS CONSIDERING AIRCRAFT CRASH IMPACTS, B. Droste, H. Vo'lzke, G. Wieser and L. Qiao, RAMTRANS,2002
- [3] IMPLICATIONS OF THE BALTIMORE RAIL TUNNEL FIRE FOR FULL SCALE TESTING OF SHIPPING CASKS, Robert J. Halstead, WM'03 Conference, 2003
- [4] DEMONSTRATION TEST PROGRAMME USING FULL SCALE METAL AND CONCRETE CASKS, K. SHIRAI, H. TAKEDA, M. WATARU, T. SAEGUSA, IAEA Conference, 2006