

원형크기 사용후연료 운반용기의 안전성시험시설 개념설계

최종서, 임지윤, 김무성, 이충상, 서기석*, 방경석*, 김형진**, 윤정현**

대우건설, 서울시 종로구 신문로 1가 57

*한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989

**한국방사성폐기물관리공단, 경상북도 경주시 북성로 89

jongseo.choi@daewoenc.com

1. 서론

원자력발전소에서 발생하는 사용후연료를 중간저장 또는 처분시설까지 안전하게 이송하기 위해서는 운반용기의 안전성이 규제요건에 따라 확인되어야 한다. 안전성을 확인하는 방법은 원형크기 운반용기 모형에 대한 시험, 공학적 경험에 기반한 적정 비율의 용기 모형에 대한 시험 등의 방법을 사용하거나 또는 이들의 조합에 의할 수 있다[1]. 이들 방법 중 원형크기 운반용기 모형을 이용한 입증시험은 규제요건 준수여부를 직접적으로 확인할 수 있고, 용기의 특성을 명확히 파악할 수 있는 등 안전성의 입증 측면에서 우월한 장점을 갖고 있다[2]. 현재 국내에는 한국원자력연구원(KAERI) 내에 10톤 규모의 낙하시험설비를 포함한 축소모형 운반용기를 위한 안전성시험시설이 있으나, 이는 향후 사용후연료 운반용기 수요에 대비한 원형크기 모형의 시험 수행에는 적합하지 않은 측면이 있다. 이에 본 논문에서는 원형크기 사용후연료 운반용기의 안전성시험시설에 대한 개념설계를 제시해 보고자 하였다.

2. 안전성시험시설 개념설계

개념설계 수립은 크게 3단계로 수행하였다. 첫 번째로 국내·외 기술요건 검토와 한국방사성폐기물관리공단(KRMC) 및 KAERI 전문가의 요건을 수립하였다. 두 번째로는 국내 유일의 축소모델 시험시설인 KAERI 시설 현황과 함께, 세계적으로 운반용기의 안전성시험에 관한 선도적 위치에 있는 독일 BAM(Federal Institute for Materials Research and Testing) 및 일본 CRIEPI(Central Research Institute of Electric Power Industry)의 시험시설을 방문하여 시행 사례 정보를 입수, 검토하였다. 끝으로 입수 및 검토한 내용을 토대로 개념설계안을 구성하였다. 이 내용은 KRMC의 주관 하에 미국 SNL(Sandia National Laboratories)과의 협의를 통한 검토를 수행하였다. 이들 기관 들의 경험 및 연구결과를 근거로 우리나라의 여건과 관련 기준에 적합하도록 설계안

에 반영하였다.

2.1 KAERI 및 KRMC 요건

KAERI 및 KRMC 전문가와의 협의를 통해, 안전성시험시설은 기본적으로 원형크기 운반용기 시험체에 대하여, 국내 법규와 미국 및 IAEA의 요건[3]에 명시된 정상운반조건과 운반사고조건에 대한 입증시험을 할 수 있어야 함을 확인하였다. 또한 시험기능과 함께, 원활한 운반용기 운영을 위해 사용검사 및 보수 기능을 갖추어야 한다. 안전성시험시설 설계를 위한 운반용기 제원의 기준은 향후의 신규제품 개발 수요, 원전 크레인 용량 확대 추세 등을 반영하여 개발예정 용기 제원 대비 20% 이상의 여유율을 고려하였다. 이 외에 모든 시험용 구조물 및 설비는 전천후 시험이 가능하고, 설비 노화를 최소화 할 수 있도록 건물 내 배치하는 등 8건의 요건을 도출하였다.

2.2 독일과 일본의 안전성시험시설 현황

독일 BAM의 시험시설 중 용기의 안전성시험과 관련한 설비는 낙하 및 화재시험설비이다. 낙하시험설비의 경우 특이한 점은, 바닥에 계측기를 매립, 설치함으로써, 충격에너지가 용기 자체로 얼마나 흡수되는지를 측정할 수 있도록 고려한 점, target 구조물과 주변 바닥 구조물 사이에 충전재를 넣어 진동 전달을 최소화 하였고, 낙하시 크레인 방향으로의 반발력을 조절하기 위하여 용기를 잡아주는 받줄 고정장치를 바닥에 완충기(snubber)로써 고려한 점이라고 할 수 있다. 화재 시험설비의 경우, open pool 형태의 설비로 옥외에 배치하였는데, 시험시 발생하는 배출가스에 대한 별도의 조치없이 방출하는 방법은 국내에 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단되었다.

일본의 안전성시험시설은 1980년도에 건설되었으나, 약 20여 년 사용된 후 현재는 해체가 완료된 상태이다. 해체 사유는 용기의 연구개발이 계획대로 완료되었고, 옥외 노출설비인 관계로 설비 자체의 노화와 이에 따른 운영비의 지속적인 발

생에 기인한 것이라고 할 수 있다. CRIEPI의 시설은 낙하, 화재(800℃), 방사능 차폐, 침수, 살수 및 열시험(38℃)설비가 일렬 형태로 배치되었고, 시험용기는 갠트리(gantry) 크레인으로 공용 취급하도록 고려되었다. 일본시설에서는 집적된 형태로 설비가 배치된 점, 화재시험설비의 경우 배출가스 취급을 고려한 실내 가열 개념, 용기의 차폐체 건전성을 확인하는 용도로 사용된 차폐시험설비가 참조할 수 있는 내용이었다[4].

2.3 건물배치 및 설계요건

안전성시험시설의 건물 배치는 시험건물, 복합건물 및 행정건물로 구성하였다. 시험건물은 낙하, 화재 및 침수시험을 수행하는 기능을 포함하며, 복합건물은 정기검사 및 유지보수, 운반용기의 보관과 함께 방사능차폐시험 수행기능을 갖는다. 행정건물은 시험자료 분석과 사무실 용도로 사용된다.

안전성시험설비 설계요건으로는 낙하시험 Target 구조물의 장기적 건전성을 위한 Load spreader[4] 개념을 적용하는 등 11건의 필수적인 요건을 도출하였다. 이러한 내용을 반영한 시험건물의 배치를 Figure 1에 나타내었다. 본 개념설계를 통하여 총 25종류의 장비 및 25 종류의 계측장비가 도출되었다.

3. 결론

KAERI 및 KRMC의 요건, BAM, CRIEPI 및

SNL의 경험을 고려하여 안전성시험시설의 개념설계를 수행하였다. 이 결과로 20여 건 이상의 설계요건을 도출하였고, 시설배치도 1건, 시험건물 및 복합건물 일반배치도 각 1건, 기기 및 계기리스트 각 1건을 생산하였다. 급변 개념설계를 통해 해외 선도기술 경험과 국내 여건에 따른 개념설계를 수립할 수 있었으며, 향후 시설 건설의 최적화 수행에 보탬이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

본 논문은 한국원자력연구원의 위탁과제 용역으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] 교육과학기술부 고시, 방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정 고시 2009-37, 제37조 (기술기준 준수에 대한 입증), 2009.
- [2] R.J.Halstead, F.Dilger, Implications of the Baltimore Rail Tunnel Fire for Full-Scale Testing of Shipping Casks, WM'03 Conference, p.4, 2003.
- [3] 고원일, 서기석 외, 사용후연료 소외수송 방안분석 용역 최종보고서, KAERI/CR-320, pp.7~16, 2008.
- [4] 남세우, 이충상 외, 원형모델 안전성시험 설계요건 검토 및 개념설계용역 최종보고서, pp. 21~37, 50, 2011.

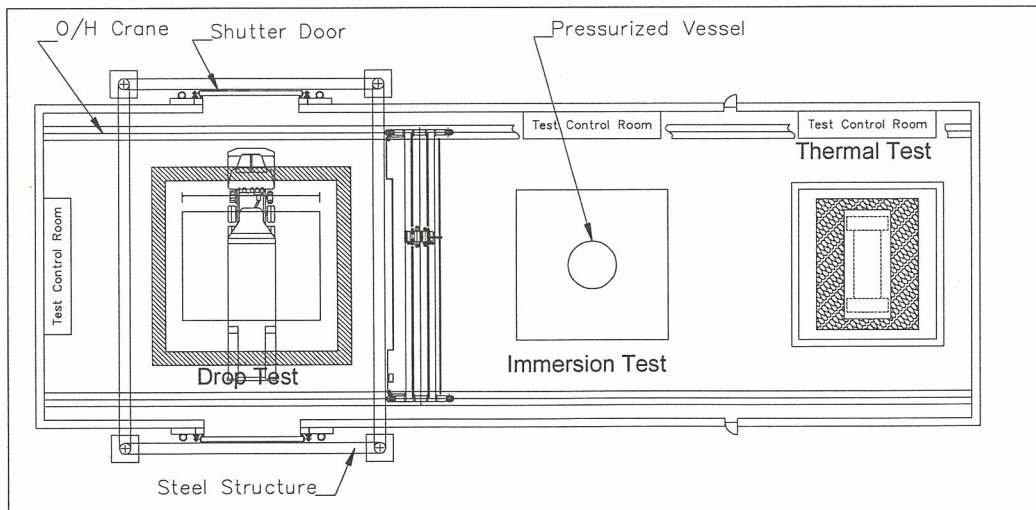


Fig. 1. General Arrangement for Test Building.