

Development Status for Commercialization of Spent Nuclear Fuel Transportation and Dry Storage System Technology

사용후핵연료 수송/저장시스템 상용화 기술개발 경과

Chang-Yeal Baeg* and Chun-Hyung Cho

Korea Radioactive Waste Agency, 174 Gajeongro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

백창열*, 조천형

한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 174

(Received November 30, 2017 / Revised January 22, 2018 / Approved March 7, 2018)

During the seven years from 2009 to 2016, PWR SNF (spent nuclear fuel) transportation and storage systems suitable for domestic conditions were developed by the government to cope with the saturation of wet storage capacity in NPPs. One of the developed systems is a multipurpose metal cask applicable for transportation/storage; the other is a concrete cask dedicated to storage. Efficient cask technologies were secured utilizing the characteristics and experience of relevant industrial, academic and research institutes. Technological independence was also achieved through several patent registrations of research outcomes. To prepare for a rapid increase of demand in the near future, technology transfer of secured patents and technologies to the domestic industry was carried out twice in the years of 2016 and 2017.

Keywords: Transportation/storage system, Dual purpose metal cask, Concrete storage cask, Integrity evaluation, Safety test

*Corresponding Author.

Chang-Yeal Baeg, Korea Radioactive Waste Agency, E-mail: baegcy@korad.or.kr, Tel: +82-42-601-5341

ORCID

Chang-Yeal Baeg <http://orcid.org/0000-0001-7586-6501>

Chun-Hyung Cho <http://orcid.org/0000-0001-5258-6646>

국내 경수로형 원전의 사용후핵연료 소내 습식저장 용량의 포화에 대비하기 위해 정부 주도로 2009년부터 2016년까지 7년에 걸쳐 국내 여건에 적합한 수송/저장시스템을 개발하였다. 시스템은 운반과 저장을 겸할 수 있는 금속검용용기와 저장전용인 콘크리트 저장용기로 효율적인 기술개발을 위해 관련 산학연의 특성과 경험을 적극 활용하여 국내고유 모델을 개발하였고 특허 등록을 추진하여 기술의 독립성도 확보하였다. 현재까지 확보한 다수의 특허 및 기술을 산업계에 개방하여 국내 수요에 대처하고자 2016년과 2017년 두 차례에 걸쳐 기술이전도 추진하였다.

중심단어: 수송/저장시스템, 금속검용용기, 콘크리트 저장용기, 건전성 평가, 안전성 시험

1. 서론

우리나라는 국민적 공감대하에 사용후핵연료 관리에 대한 국가정책을 결정하기 위하여 2013년 10월부터 사용후핵연료 공론화를 추진하였으며 2015년 6월에 “사용후핵연료 관리에 대한 권고안”을 산업부에 제출하였다. 정부는 공론화결과를 토대로 고준위폐기물관리 기본계획(2016.07)을 확정하여 사용후핵연료 관리사업을 추진 중에 있다. 본 논문에서 기술한 “사용후핵연료 수송/저장시스템 상용화 기술개발”은 국내 경수로형 원전의 사용후핵연료 소내 습식저장조의 저장용량 포화에 대비하고, 지속 가능한 발전을 위한 원자력의 이용을 위해 사용후핵연료 수송/저장시스템의 국산화 및 고유모델 확보를 통한 안전하고 효율적인 사용후핵연료의 관리가 필수적이다. 이에 본격적인 사용후핵연료 관리사업에 대비하여 국내에 적합한 사용후핵연료 수송/저장시스템 기술개발을 아래와 같이 2009년 6월부터 2016년 9월까지 총 3단계로 7년에 걸쳐 수행하였다(과제명/과제번호: 사용후핵연료 수송/저장시스템 상용화 기술개발/20141710201731)[1].

1단계(2년) :

- [세부1] 사용후핵연료 수송/저장시스템 핵심설계 기술 개발
- [세부2] 사용후핵연료 건식저장시설 장기건전성 평가 기술 개발

2단계(3년) :

- [세부1] 사용후핵연료 수송/저장시스템 최적화 기술개발
- [세부2] 사용후핵연료 수송/저장시스템 종합안전성 입증시험 기술개발

- [세부3] 사용후핵연료 장기건전성 평가기술 개발

3단계(2년) :

- [세부1] 사용후핵연료 저장용기(2종) 설계승인 취득자료 확보
- [세부1] 금속검용용기(운반조건) 설계승인 신청 및 기술지원
- [세부1] 사용후핵연료 저장용기(2종) 국외 전문기관 독립검토
- [세부2] 국내모델 안전성 입증시험 및 설계승인 지원자료 생산

사용후핵연료 수송/저장시스템 기술개발의 효율적 수행을 위해 방사성폐기물관리사업의 책임을 지고 있는 전담기관인 한국원자력환경공단이 기술개발을 주관하고, 관련 산업체, 연구기관 및 학계의 특성과 경험을 적극 활용하여 수송/저장시스템의 예비안전성해석 단계부터 상세설계 전반에 대하여 국외 기술의 모방이 아닌 독자 기술로 국내 참여기관들의 산재된 기술들을 종합하여 국내 고유 모델 및 보조설비에 대한 국내 특허 출원 및 등록을 추진하여 국내 기술의 독립성도 확보하였다(Fig. 1. 기술개발 체계 개요 참조). 현재까지 개발한 수송/저장시스템 중 금속검용용기(운반조건)의 경우 설계승인을 신청하여 인허가 심사 중으로 2018년까지 설계승인을 취득하고, 금속검용용기(저장조건) 및 콘크리트 저장용기는 설계승인신청 준비 중으로 2020년까지 설계승인을 취득할 예정이다. 또한 현재까지 확보한 기술개발 실적 중 수송/저장 용기 및 보조설비에 대한 다수의 특허를 포함한 확보 기술을 민간 산업계에 개방하여 상용화를 촉진하고 국내 수요에 대처하기 위해 2016년 10월과 2017년 11월

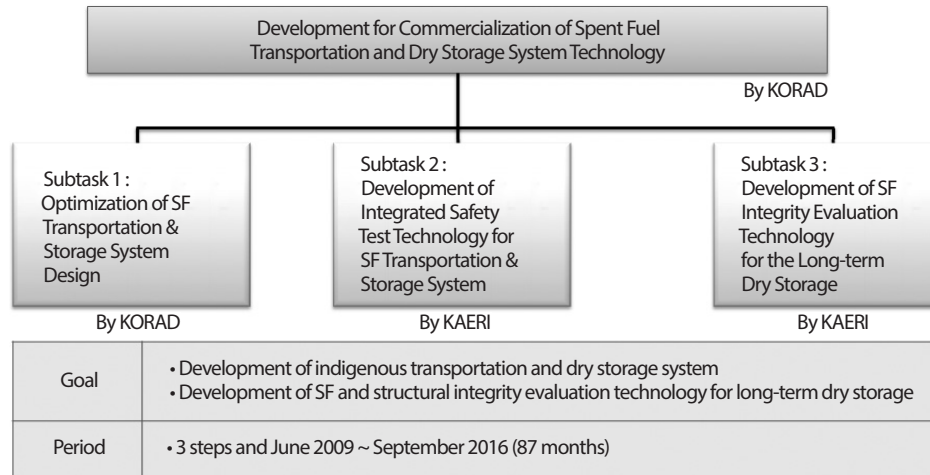


Fig. 1. Outline of the technology development system.

두 차례에 걸쳐 국내 원자력관련 산업체에 기술이전도 완료 하였다.

2. 사용후핵연료 수송/저장 시스템 상용화 기술개발

2.1 사용후핵연료 수송/저장 시스템 기술개발

사용후핵연료 수송/저장시스템 상용화 기술개발을 위한 1단계에서는 국내 원전의 습식 저장조에 보관중인 사용후핵연료를 중간저장시설로 운반하여 저장하기 위한 수송/저장시스템에 대한 개념설정 및 예비안전성 평가를 수행하였다. 각 원전별(고리, 영광 및 울진 원전) 사용후핵연료의 종류, 특성 및 저장량을 분석하고, 향후 예상 발생량을 산정하여 중간저장시설의 규모를 분석하였고 국외에서 상용운전 중인 수송/저장시스템에 대한 개발현황, 기술기준 및 세부요건, 설계특성 등도 분석하였다. 이를 바탕으로 국내 원전 연료건물 취급시설의 용량, 기존 설비와의 간섭사항 등을 고려하여 국내 자연환경조건이 반영된 수송/저장시스템의 개념을 도출하고 설계요건의 구분에 따른 운반조건(정상 및 운반사고조건)과 저장조건(정상, 비정상 및 사고조건)에 대해 임계, 차폐, 열, 구조분야의 안전성해석을 수행하여 설계기준에 따른 안전성을 입증하였다. 또한 수송/저장시스템의

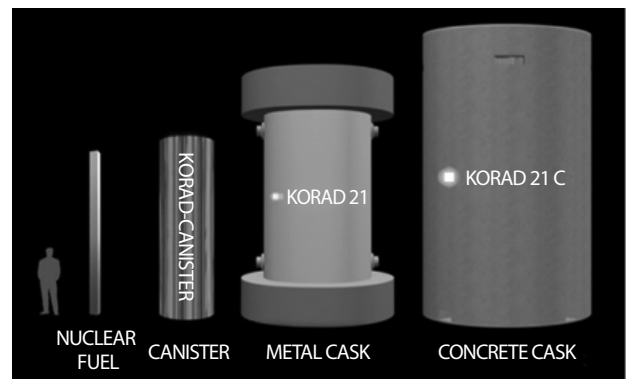


Fig. 2. Configuration of transportation/storage system.

상용화 기술기반 구축을 위해 사용후핵연료를 저장시설로 운반 시 최적 경로 분석 및 방사선 영향 평가 프로그램 개발, 저장시설 운영에 대한 확률론적 안전성평가 프로그램 개발 등 안전성 평가체계를 구축하였고, 항공기에 의한 고속충돌 시뮬레이션 방안분석, 과도화재 전산시뮬레이션 검증평가, 누적효과 해석기법 개발 등 중대사고 평가체계도 수립하였다(Fig. 2. 수송/저장시스템 개요 참조).

2.1.1 수송/저장시스템 설계기준

2.1.1.1 운반분야

- 원자력안전위원회 고시 제2014-50호 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정, 2014

- US NRC 10CFR71, Packaging and Transportation of Radioactive Material, 2012
- IAEA Safety standard Series No. SSR-6, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, 2012

2.1.1.2 저장분야

- US 10CFR72, Licensing Requirements for the Independent Storage of SNF, HLW & Reactor-Related Greater Than Class C Waste, 2012
- IAEA Safety Series No. 116, Design of Spent Fuel Storage Facilities, 1994
- US NRC NUREG-1536, Revision 1, Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems, 2010

사용후핵연료 수송/저장시스템의 개념설정 및 예비안전성 평가를 통해 확보된 국산화 모델의 상용화를 위한 원천 기술을 확보하기 위하여, 사용후핵연료 수송/저장시스템의 입계, 차폐 및 격납 등 핵심계 최적화 및 성능평가를 수행하였으며, 그 결과를 반영한 성능개선시스템에 대한 안전성 해석도 수행하였다. 금속검용용기는 사용후핵연료에서 발생하는 다량의 붕괴열을 제거하기 위하여 용기 본체와 중성자차폐체 사이에 열전달 핀을 설치하는데 이 부위를 통해 중성자 누설이 발생할 수 있으므로 이에 대한 최적화된 핀 형상을 도출하고 이에 대한 방사선적 안전성 평가도 수행하였다. 콘크리트 저장용기는 사용후핵연료를 저장한 캐니스터(canister)에서 발생하는 열을 제거하기 위하여 콘크리트용기 상하부에 공기 입출구가 설치되는데 공기유로의 입·출구는 방사선 차폐 취약부위로 공기 출구를 용기 뚜껑 상부에 설치하여 방사선량률이 현저히 줄어들도록 변경하여 설계에 반영하였다. 금속검용용기 및 콘크리트 저장용기 구조/내진 해석평가 분야에서는 시스템의 저장조건에서 구조적 안전성 해석 최적화를 위하여 3차원 해석모델을 통한 정상, 비정상 및 사고 조건의 안전성도 확인하였다. 사용후핵연료를 중간저장시설에 저장하는 도중 발생할 수 있는 자연재해인 지진조건에 대하여 저장용기의 설계기준 지반가속도를 적용하여 지진의 3방향 성분이 동시에 작용하는 것으로 가정하였다[2]. 해석결과 1 g 해석에서 약 12.5초에서 전복이 발생하였으나, 설계기준 지진인 0.3g 및 과도지진 0.8g에서 전도는 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 또한, 금속검용용기 및 콘크리트

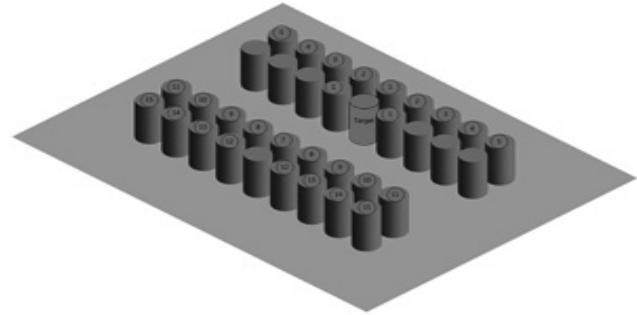


Fig. 3. Analysis model of storage cask.

저장용기의 제작 타당성 검토를 위해 국내 관련 중공업 등 제작업체를 통해 중성자 차폐체 및 콘크리트 충전 등에 대한 주요 부위 및 공정에 대한 mock-up 시험을 수행하여 실제 원형 모델의 제작성 및 소재 적합성 등을 종합적으로 평가하여 시스템에 최적화된 제작 공정도 수립하였다.

2.2 사용후핵연료 수송/저장 시스템 검증

금속검용용기(운반조건 및 저장조건) 및 콘크리트 저장용기의 설계승인 기술확보를 위해 국내의 사용후핵연료 운반용기(KN-12, KN-18, HI-STAR 100, NAC-STC 등) 및 저장용기(TN-32, TN-68, NUHOMS, MAGNASTOR 등)를 대상으로 한 설계승인 질의답변 자료를 분석하여 운반용기에 장전 가능한 대상연료 평가, 운반용기 본체 재질에 따른 파괴인성 기준치 설정, 운반용기 본체에 대한 피로평가(압력, 온도 및 기계적 하중 등 고려), 결속장치 피로평가 및 9 m 낙하사고의 영향을 반영한 화재사고 열전달 평가와 같은 안전성 해석 및 평가 항목을 도출하였고 이를 바탕으로 건전성을 평가하여 각각의 안전성도 확인하였다.

금속검용용기(저장조건) 세부 기술평가중 저장용기 배열 상태에 따른 인접 용기 간 열적 영향성 평가는 NUREG-1536 4.5.4.1(The application should address the thermal interaction among casks in an array by using a view factor less than unity)에 따라 view factor 계산을 통한 shading effect도 평가하였다(Fig. 3. 저장용기 해석모델 참조).

콘크리트 저장용기의 경우 캐니스터 외부셀과 뚜껑 용접부의 최소 허용결합깊이 평가는 캐니스터 뚜껑 용접부의 비파괴검사(PT)를 입증할 수 있는 최소 결합크기를 결정하기

Table 1. Design characteristics for SNF transportation/storage system

Items	Dual purpose metal cask	Concrete storage cask
Capacity	21 PWR F/A (WH & CE)	
Design basis SNF	<ul style="list-style-type: none"> • Max. burnup : 45,000 MWD/MTU • Max. initial enrichment : 4.5wt% ²³⁵U • Min. cooling time : 10 yrs • Max. decay heat : 16.8 kW/canister 	
Canister	• Dimension : (O.D) 1.7 m × (L) 4.9 m	
Dimension	(O.D) 2.2 m × (L) 5.3 m	(O.D) 3.3 m × (L) 6.0 m
Weight	104 ton (canister included)	148 ton (canister included)
Material	Forged carbon steel	Concrete, carbon steel outer shell
Cooling type	Natural convection	Natural convection air circulation (4 inlets/outlets)

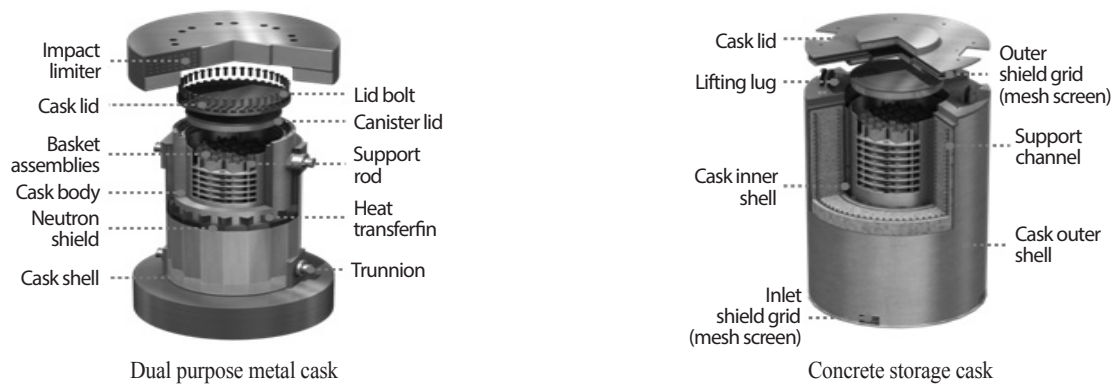


Fig. 4. Conceptual drawings of SNF transportation/storage system.

위해 ASME B&PVC Sec.XI, Div.1, Appendix C에 따라 산정된 허용결함깊이가 설정기준치를 충분히 만족하는 것으로 나타났다[3].

또한, 본 과제 최종단계인 3단계 사업수행 시 국내에는 저장용기에 대한 설계승인 제도가 없어 국외 인허가기관의 제3자 독립검토를 통해 안전성을 입증하여 과제 최종평가 시에 제시하도록 하였다. 이에 따라 독일의 BAM/TÜV NORD 컨소시엄을 통해 2015년 12월부터 2016년 8월까지(9개월) 금속검용용기와 콘크리트 저장용기 2종의 특정기술주제보고서에 대해 설계승인 적합성검토를 수행하였다. 본 독립검토에서는 적용규정에 명시된 구체적인 요건 외에도, 독일식 기준에 의거한 사용후핵연료의 건식저장에 관한 기존 모범 사례도 함께 고려하였으며 보고서의 완전성, 타당성,

일관성 및 방법론의 적절성을 검토한 결과 적용규정의 요건에 부합하지 않는 결과는 확인되지 않았다. 또한, 검토기관에서 제시한 저장시설/건물과 연계한 안전성입증 및 기준 외 사고에 대한 추가 평가 등 권고사항은 향후 중간저장시설 건설 시 참고하여 활용할 수 있을 것이다(Table 1 및 Fig. 4. 사용후핵연료 수송/저장시스템 설계특성 및 개요도 참조).

2.3 사용후핵연료 수송/저장 종합안전성 입증 시험 기술개발

사용후핵연료 수송/저장시스템은 국내외의 법적 요구사항에 따라 운반의 경우 정상 및 운반사고조건과 저장의 경우 정상, 비정상 및 사고조건에 대해 안전성을 유지하여야

하며 이를 입증할 안전성시험이 필요하다. 수송/저장시스템 종합안전성 입증시험은 본 과제에서 설계/해석된 금속겸용용기 및 콘크리트 저장용기의 안전성 시험을 통해 해석적 안전성 평가결과와 입증을 수행하였고 저장시스템을 위한 열유동 시험시설 구축 및 시험은 해외 기관의 국내 특허 등록에 대한 회피기술로서 국내 고유의 열유동 구조 설계를 입증하기 위한 시험시설을 구축하고 시험평가 및 해석검증을 수행하였다(Fig. 5. 종합안전성 입증시험 개요 참조).

사용후핵연료를 수송/저장하기 위해 개발된 금속겸용용기에는 운반 및 저장, 콘크리트 저장용기에는 저장 안전성 요건이 적용되며 운반의 경우 국내 원자력안전위원회 고시 제 2014-50호(방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정)의 시험기준을 적용하였다. 저장용기의 경우, 현재 국내에는 설계승인을 위한 기술기준이 마련되어 있지 않은 관계로 아래와 같은 미국의 법령 및 지침을 참고하여 시험요건을 수립하였다.

- US NRC 10CFR72, "Licensing Requirements for the Independent Storage of SNF, HLW & Reactor-Related

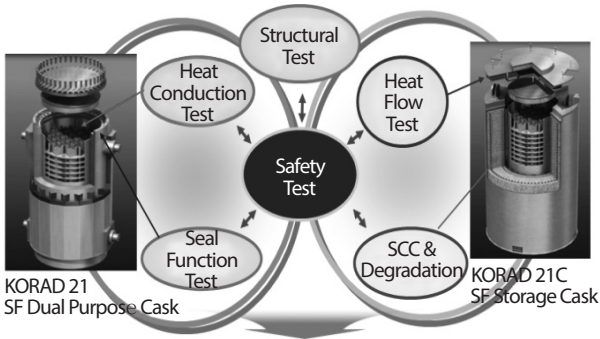


Fig. 5. Conceptual diagram of comprehensive safety demonstration test.

Greater Than Class C Waste", 2012

- US NRC NUREG-1536, Revision 1, "Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems", 2010

종합안전성 입증시험 중 운반분야는 KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme, 국제공인연구기관) 체계하에 운영중인 한국원자력연구원의 운반용기 안전성시험 시설을 활용하였으며 저장분야의 내진시험은 한국기계연구원의 시험시설을 이용하였다.

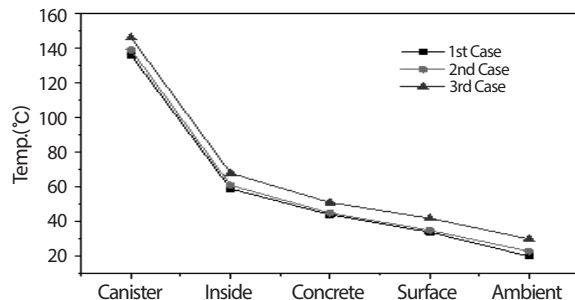
운반조건의 구조안전성 평가의 일환으로 설계승인을 위해 필수적으로 수행하여야 할 입증시험인 낙하, 파열 및 침수 시험을 위한 성능시험계획을 수립하였으며 운반사고조건인 9 m 낙하시험의 경우 수직낙하, 수평낙하, 수평파열, 모서리 낙하 등 총 7가지 시험을 수행하고 성능평가를 수행하였다.

콘크리트 저장용기의 경우 공기 입·출구 유로 설계 영향 평가를 위해 원형규모(full scale model, 높이: 6.1 m, 직경: 3.3 m)로 총 16.8 kW의 열용량을 갖는 전기히터를 이용하여 열 유량을 동일하게 모사하도록 제작하였다. 운영중 비정상조건인 공기입구 50% 막힘(half blockage) 상태에 대해 막힘 방향/위치 등을 달리하여 콘크리트 저장용기의 온도분포가 정상상태에 도달한 후 그 상태를 2일간 유지토록 하여 시험한 결과 막힘 방향 및 위치에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다(Fig. 6. 공기입구 50% 막힘 조건 시험 현황 참조).

또한, 사용후핵연료 건식저장 시 저장용기 주요 소재가 설계수명 내 건전성을 유지하는지에 대한 평가도 수행하였다. 사용후핵연료를 저장하여 기밀을 유지하는 격납경계를 구성하는 캐니스터 용접부에 대한 응력부식균열은 금속재료(SA 240 Type 316 L)의 인장응력 부하 및 부식 환경에서 취성 파괴되는 현상으로 정의되며 환경요인, 재료요인과 응력 등



Fig. 6. Test model and results for 50% blockage condition of air inlet.



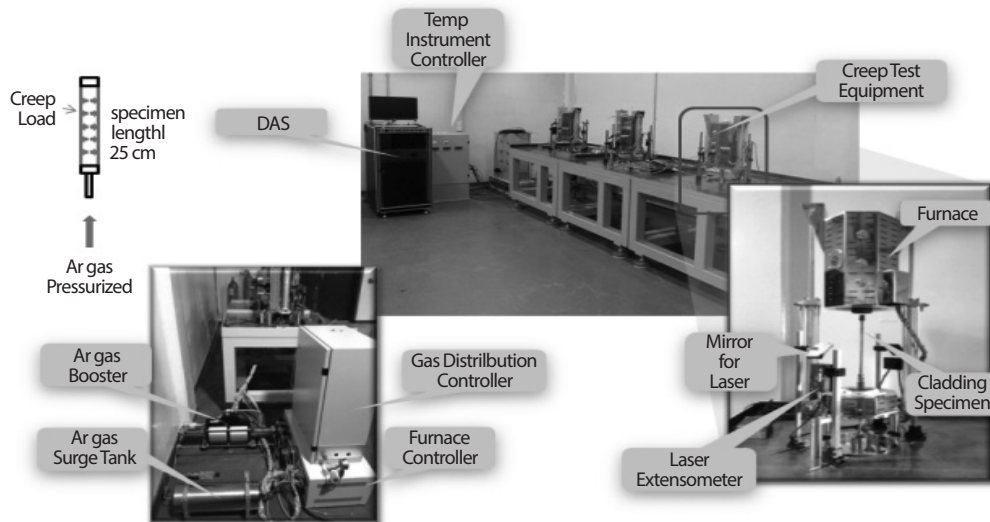


Fig. 7. Internal pressure creep test equipment of SNF Cladding.

3개 인자가 동시에 작용하였을 때 발생하는데 이에 따른 영향도 분석하였다. 금속검용용기를 사용하여 저장하는 경우는 용기 뚜껑부의 기밀을 담당하는 금속 오링의 설계수명 내 격납건전성이 확보되어야하며, 평가시험은 장기저장으로 인한 금속 오링의 열적 열화(thermal ageing)를 확인하기 위해 저장기간 50년에 대한 금속 오링의 밀봉성능을 검증하였다. 시험용 금속 오링 및 플랜지 어셈블리 설계는 금속검용용기 본품에 사용되는 것과 동일한 사양의 금속 오링을 전체 직경만 축소하여 주문 제작된 오링으로서 열화특성의 비교 평가를 위하여 본품에 사용되는 것과 동일한 재료로 aluminum 라이닝을 적용하였다.

2.4 사용후핵연료 건식저장 장기 건전성 평가 기술 개발

사용후핵연료의 건식저장 중 예상되는 주요 열화원인은 피복관 크립(creep)과 수소화물 재배열(hydride reorientation) 현상으로 건식저장에 대한 연구 초기에는 SCC (Stress Corrosion Cracking), DHC (Delayed Hydride Cracking), 피복관 산화 등의 다양한 원인에 의해 사용후핵연료 건전성 감소를 예상하였으나, 지속적인 연구를 통해 피복관 크립과 수소화물 재배열 현상이 건전성을 위협하는 주요 원인으로 제시되었으며, 이외의 다른 현상들은 크게 위험한 수준이

아닌 것으로 나타났다. 이에 건식저장과 관련된 미국의 인/허가 심사에서도 두 현상에 대한 안전성 입증을 요구하고 있다. 본 연구에서는 건식저장 중 핵연료 열화를 발생시키는 주요 원인인 피복관 크립과 수소화물 재배열 현상을 분석하고 열화를 막기 위해 수립된 설계기준을 중점적으로 검토하였다. 2010년에 개정된 NUREG-1536에서는 사용후핵연료가 습식저장소에서부터 건식저장에 저장되기까지의 모든 과정 및 정상상태에서의 온도를 400°C 이하로 제한함으로써 피복관 크립과 수소화물 재배열에 의한 손상을 예방할 수 있다는 접근법을 채택하고 있다. 본 연구에서는 사용후핵연료의 장기 건식저장 건전성을 평가하기 위해 개발되는 각종 열화기구 모델들을 검증할 수 있는 시험평가 기술을 개발하고, 종합적인 건식저장 조건을 모사하고 실증할 수 있는 종합 시험평가 시나리오를 개발하는데 목적을 두었다. 먼저 특성시험 시나리오 개발은 건식저장 될 사용후핵연료의 초기특성을 파악할 수 있는 시험항목을 위주로 분석하였으며, 선정된 시험항목에 대한 시험조건 및 시험절차 등을 개발하였다. 또한 시험대상이 될 사용후핵연료의 범위를 선정하였으며 단위시험과 연계되어 단위시험 시편 제작 가능성 및 공급 수량 등을 예측해 볼 수 있는 연계 검증시험 등을 수행하였다. 단위시험 시나리오 개발은 주로 건식저장 중 주요 열화기구 항목들에 대한 분석이 선행되었으며, 그 중 크립 거동과 수소화물 재배열 현상을 시험/평가 할 수 있는 시험방법과 절차를 개발하는데

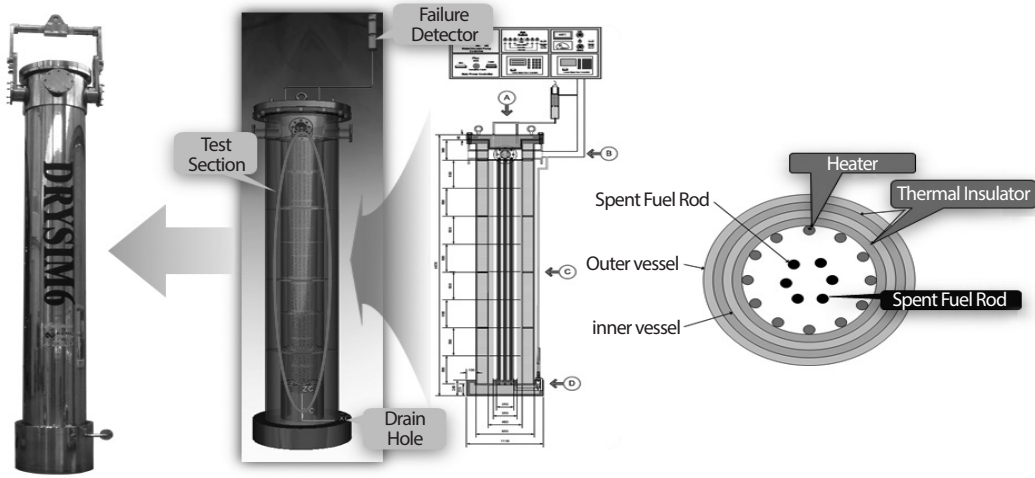


Fig. 8. Comprehensive test equipment for SNF long-term integrity evaluation (DrySim6).

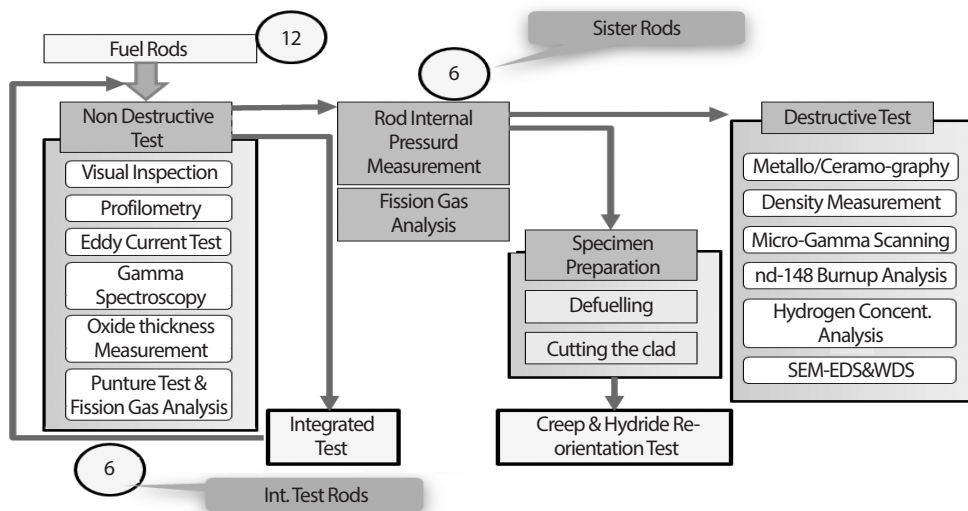


Fig. 9. Characteristic test items and flow chart.

중점을 두어 수행하였다.

사용후핵연료 자체의 재료적 거동평가를 위한 피복관 내압 크립시험 및 미조사 피복관 수소화물 장입 장비 설계/구축을 완료하고 내압 크립시험 장비의 성능시험(데이터 생산, 전송 및 처리 기능 확인) 및 수소화물 장입 장비의 성능시험(수소가스 주입장치, 온도조절장치 등 성능 확인)을 완료하고 시험용 조사/미조사 시편 제작 및 성능시험을 완료하였다(Fig. 7. 사용후핵연료 피복관 내압 크립시험 장비 참조).

또한, 사용후핵연료의 건전성 종합시험을 위해 개발한

“사용후핵연료 장기 건전성 평가 종합시험장치(DrySim6)”는 장치 내부가 고온 및 고압 조건에서 외부의 방사능 차폐를 목적으로 하는 냉각 유체를 고려하여 장치 구조물의 동특성을 파악하고 외력으로서 수평 및 수직방향의 지진하중에 의하여 해당 장치 구조물의 건전성도 검증하였다. DrySim6는 노외성능시험 및 내구성시험을 각 항목별 시험절차에 따라 수행하였다(Fig. 8. 사용후핵연료 장기 건전성 평가 종합 시험장치 참조).

사용후핵연료 특성시험의 경우 재료적 건전성 시험대상

연료봉 상세 분석 및 선정을 위해 사용후핵연료 database 내의 핵연료 정보를 바탕으로 선정 작업을 수행하여 연소도 범위, 피복관의 종류, 냉각기간, 가장 많은 핵연료 종류, 주기 별 연소이력, 그리고 국가 로드맵 등을 고려하여 한빛 2호기의 사용후핵연료 집합체(KY2O02, KY2O03)를 가장 최적의 사용후핵연료 집합체로 선정하였으며, 각 집합체마다 이송 대상이 될 수 있는 핵연료봉 후보군을 여러 단계에 걸쳐 선정하였다. 최종 선정된 연료는 한울 2호기에서 2001년 5월 15일에 방출된 웨스팅하우스형 17×17 핵연료로서 집합체 평균방출 연소도는 약 52.5 GWd/tU에 이른다. 사용후핵연료의 노심 내 위치 및 연소도를 고려하여 시험 대상연료 및 참조연료 상세분석 및 선정(K23)한 시험 대상연료의 파괴/비파괴 시험용 절편 제작 및 시험절차 수립하고 건전성 평가시험을 완료하였다(Fig. 9. 특성시험 개요 참조).

본 기술개발과제의 세부 3과제인 “사용후핵연료 건식 저장시설 장기 건전성 평가기술 개발” 분야는 2단계 말인 2014년 초 3단계에 대한 연구환경의 변화에 따라 수차례의 관련기관(산업부/에기평/공단) 업무협약과 에기평의 기획조정심의회의를 거쳐 본 분야는 2단계 완료 후 종료하는 것으로 조정방침을 수립하였다. 조정 사유로는 본 과제는 사용후핵연료, 저장시스템 및 저장시설에 대한 종합적인 건전성 평가와 열화감시 기술 개발의 연계가 필요하며, 건식저장의 장기화 동향이 구체화됨에 따라 실증 경험을 보유한 기술선진국과의 정보교류를 통하여 신뢰성/실용성 확보(한미공동연구 협의시 기술협력분야 도출) 필요에 따라 2단계에서 종료하고 별도의 신규 중장기과제(과제명: 건식저장 연료·시스템 열화관리 및 감시기술 개발)로 분리하여 현재 한국원자력연구원 주관으로 기술개발을 추진 중에 있다.

3. 결론

국내 경수로형 원전의 사용후핵연료 소내 습식저장 용량의 포화에 대비하고, 지속가능한 발전을 위한 원자력의 이용을 위해 수송/저장시스템의 국산화 및 고유모델 확보를 통한 안전하고 효율적인 사용후핵연료의 관리가 필수적이다. 이에 본격적인 사용후핵연료 관리사업에 대비하여 정부주도로 2009년 6월부터 2016년 9월까지 7년여에 걸쳐 국내에 적합한 사용후핵연료 수송/저장시스템을 개발하였다.

사용후핵연료의 효율적 관리를 위해 방폐물관리사업의 책임을 지고 있는 전담기관, 관련 산업체 및 학계의 특성과 경험을 적극 활용하여 수송/저장시스템 전반에 대하여 국외 기술의 모방이 아닌 독자 기술로 국내고유 모델을 개발하고 국내 특허 출원 및 등록을 추진하여 기술의 독립성도 확보하였다.

현재 경수로사용후핵연료수송/저장시스템은 2016년까지 기술개발을 완료하였고, 금속검용용기(운반조건)의 경우 설계승인을 위한 인허가 심사 중으로 2018년까지 설계승인을 취득하고, 저장용기는 설계승인신청을 준비중으로 2020년까지 설계승인을 취득할 예정이다. 국내 독자기술로 개발한 사용후핵연료 수송/저장 시스템은 국내 관련 산업의 경쟁력 제고와 수입 대체를 통한 설비비용 기술료 등의 해외유출을 막을 수 있고, 향후 국외 원전 수출과 연계하여 부가 수익 창출도 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)가 주관하는 산업기술혁신사업의 방폐물관리기술개발과제(20141710201731)의 일환으로 수행하였다.

REFERENCE

- [1] Korea Radioactive Waste Agency (KORAD), Development for Commercialization of Spent Nuclear Fuel Transportation and Dry Storage System Technology, Final report (2016).
- [2] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants, Regulatory Guide 1.6 (1973).
- [3] American Society of Mechanical Engineers (ASME), Rules for In-service Inspection of Nuclear Power Plant components, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section XI, Division 1, Appendix C (2010).