

사용후핵연료 장기 건식저장 평가기술 개발 현황

양용식, 김대호, 국동학, 김도식, 권형문, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

yvs@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 건식저장은 사용후핵연료 처리 및 처분이 요원한 현재 상황을 고려할 때, 저장조 포화문제를 해결할 수 있는 유일한 방안이다. 미국, 독일, 일본 등의 원자력 선진국에서는 이미 사용후핵연료 건식저장을 활발히 진행하고 있으나, 국내에서는 중수로 사용후핵연료를 대상으로 한 건식저장이 진행되고 있을 뿐이다. 하지만, 경수로로는 국내 원자력발전소의 대부분을 차지하고 있으며, 향후 건설이 예정된 원자로 역시 경수로형으로써, 경수로용 사용후핵연료의 건식저장은 향후 반드시 거쳐가야만 하는 과정이라 할 수 있다.

이에 원자력연구원에서는 경수로용 사용후핵연료 건식저장 상용화를 위한 활발한 발한 연구를 진행하고 있으며, 특히, 건식저장 시 사용후핵연료 장기 건전성 평가 및 입증을 위한 기술을 중점적으로 개발하고 있다.

2. 사용후핵연료 장기 건전성 평가의 필요성

현재 국내 경수로형 사용후핵연료 건식저장에 대한 구체적인 설계기준 혹은 안전기준은 수립되어 있지 않지만, 국외의 사례를 종합할 때 건식저장 종료 후 처리 혹은 처분을 고려한 사용후핵연료 retrievability(재인출성) 보장 및 정상운전 중 핵연료 손상 불허는 대상 핵연료가 만족해야 할 큰 명제이다. 건식저장 대상 핵연료는 높은 봉내압 및 고온에서의 장기간 보관, 그리고 저장을 위한 thermal cycling을 겪는 과정에서 재료의 열화가 발생하고 기계적 건전성이 감소하기 때문에 이에 대한 적절한 대처가 필요하다. 현재 저장기간 중, 핵연료 건전성에 큰 영향을 끼치는 주요 손상 메커니즘으로는 크립이 주목받고 있으며, 수송 및 운송시에는 피복관 수소화물 방향성 변경 (Hydride Re-orientation)으로 인한 강도감소가 큰 이슈가 되고 있다.

결론적으로, 50년 이상에 이를 것으로 예상되는

건식저장 핵연료의 건전성을 보장하기 위해서는 크립 및 HR 메커니즘에 대한 정확한 이해, 각 현상에 영향을 미치는 조건 등을 정확히 파악하고 장기간에 걸친 두 현상이 핵연료 건전성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 기술을 개발하는 것이 장기 건전성 평가 기술개발의 핵심이라 할 수 있다.

2.1 Hardware 기술

건식저장 핵연료 장기건전성 평가를 위한 hardware 기술은 크게 단위시험 기술, 종합시험 기술 개발로 진행되고 있다.

단위시험 기술은 건전성에 영향을 끼치는 크립 및 HR 현상에 대한 상세한 이해와 각 현상에 미치는 온도/응력등의 인자별 영향을 파악하기 위한 시험으로써, as-fabricated 피복관 및 실제 사용후핵연료 피복관을 이용한 시험 기술개발이 진행되고 있다. 크립의 경우 주 시험인자는 온도, 응력 및 수소화물량별로 시험을 진행하고 있다.

HR의 경우 외관적으로는 크립시험 장비와 유사한 장비가 사용되고 있지만, 온도 및 응력 범위가 크게 다르고 heating rate등의 차이가 커서 별도의 시험장비를 구축하였으며, 이 역시 사용후 피복관을 시험 대상으로 하고 있다.

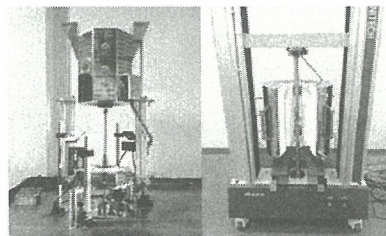


Fig. 1. Creep & HR test apparatus.

시험에 사용될 사용후핵연료는 약 50MWD/kgU 까지 연소된 사용후핵연료가 선정되었으며, 사용후핵연료 특성 파악 및 시편 제작을 위한 일련의 조사후시험이 진행될 예정이다.

Hardware 시험을 통해 생산된 결과들을 바탕

으로 각 현상별, 인자별 모델링이 수행될 예정이며, 이는 사용후핵연료 열화모델 개발 및 건전성 평가코드 개발에 직접적으로 활용될 예정이다.

Fig. 2. Spent fuel for integration test.

2.2 Software 기술

건전성 평가를 위한 software 기술을 요약하면, 어떠한 핵연료가, 어떠한 조건에서, 어느 정도 저장될 경우 손상이 발생할 수 있을지에 대한 평가 모델 및 코드체계를 구성하는 것이라 할 수 있다. 이를 위해 필요한 코드 체계는 아래와 같이 4개의 코드로 구성되어 있다.

- fuel performance code : 원자로에서 인출된 핵연료의 용력/물성변화등을 평가하는 코드
- fuel characteristic code : 방출 후 핵종량, 붕괴열 등을 평가하는 코드
- thermal hydraulic code : 저장 형태 및 배치에 따라 피복관 온도를 예측하는 코드
- Integrity evaluation code : 크립 및 HR에 의한 건전성 감소를 평가하는 코드

개발이 진행되는 모든 코드 체계는 직접적으로 인허가 지원에 활용될 예정이기 때문에 철저한 검증시험 역시 준비되고 있다. 또한, 원자력수출 성공이후 중요시 되고 있는 독자 소유권 확보를 위해 국내 독자기술로써 개발하고 있다.

2.3 종합건전성 평가

단위시험기술 및 코드개발을 통해서 우리는 건전성에 영향을 끼치는 주요 인자별 영향을 평가할 수 있지만, 실제 사용후핵연료 건식저장을 위해서는 실제 조건과 유사한 조건에서 실제 봉단위의 건전성을 입증해야 한다. 이를 위한 실제 사용후핵연료를 그대로 활용하고 건식저장 분위기에서 장기간의 건전성을 평가하기 위한 종합시험이 준비되고 있다. 또한, 향후 건식저장 상용

화를 위해서는 특정 용기 및 사용후핵연료를 대상으로 한 실증시험이 필수적인 것으로 예상되기 때문에 이에 필요한 고온/장기운전시 계장/차폐/제어등의 기술 개발이 선제적으로 확보되어야 하기 때문에 이러한 기술 역시 본 시험을 통해 확인을 수행할 예정이다.

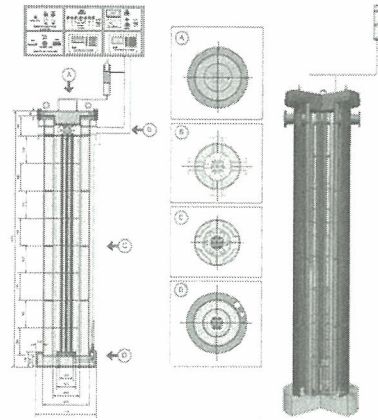


Fig. 3. Diagram of integration test apparatus.

현재 종합시험장비의 설계는 거의 완료되었으며 약 500℃ He 분위기에서 3-4년에 걸친 시험 후 핵연료 건전성 확인을 위한 종합시험기의 제작이 착수되고 있다.

3. 결론 및 논의

경수로형 사용후핵연료의 건식저장은 이제 피할 수 없는 상황에 도달한 것으로 판단되며, 이를 위한 관련 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.

특히, 건식저장 대상 사용후핵연료의 건전성 평가를 위한 관련 기술개발을 통해서 장기간 건식저장 환경하에서의 사용후핵연료 안전성 및 건전성 확보를 위한 기술이 hardware/software 별로 준비되고 있으며 본 기술 개발을 통해, 국내에서도 본격적인 사용후핵연료 건식저장 기술이 확보될 수 있을 것으로 예상된다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제 기술혁신사업인 방사성폐기물관리기술개발사업의 일환으로써 수행되었으며, 관련자분들께 깊이 감사드립니다.