

경수로핵연료 산화모사 지지격자 기계적 특성 예비분석

이영호*, 김일현, 김현길, 국동학, 양용식

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*leeyh@kaeri.re.kr

1. 서론

경수로 원전에서 발생하는 사용후핵연료는 소내 습식저장고에서 임시로 저장되어 있으나 2024년에 포화상태에 이르며 이를 해결하는 방법으로 건식저장이 가장 현실적인 대안으로 고려하고 있다[1]. 그러나 국내에서는 이러한 기반기술이 시작단계에 있는 반면 국외의 경우 이미 상용화가 이루어져 Vaults, Silos, 금속 및 콘크리트 캐스크 등 다양한 개념의 건식저장 방식을 적용하여 사용후핵연료를 안전하게 보관하고 있다. 이것은 건식저장의 전체 과정동안 사용후핵연료의 건전성이 충분히 보장되어야 함을 의미하며 사용후핵연료에 가해질 수 있는 손상은 저장 전에 반드시 검토되어야 한다. 연은 중간저장을 의미하므로 향후 새로운 정책에 따라 회수성이 반드시 보장되어야 한다. 그러나 이를 실험적으로 평가하기 위해서는 사용후핵연료에 대한 시험을 만족할만한 수준으로 실험하기 어려우므로 이를 대체할 수 있는 모사 시험 제작기술이 필요하다. 특히 사용후핵연료의 연료봉은 가동 중 혹은 건식저장 중에 크립(Creep), 수소지체균열(Hydrogen Delayed-Cracking, DHC), 수소화물재배열(Hydride Reorientation, HR) 등 열화가 발생할 수 있어 이에 대한 연구[2]가 활발한 반면, 회수성과 관련하여 핵연료 구조부품에 대한 연구는 매우 부족한 상황이다. 특히 연료봉과 직접 접촉하고 있는 지지격자의 경우, 외부 충격이나 지진하중이 발생할 때 하중의 전달이 접촉하는 지지격자 스프링 및 덤플에서 발생하므로 사용후핵연료 지지격자체의 기계적 특성이 매우 중요하다. 이에 따라 본 연구에서는 산화된 지지격자의 기계적 특성을 평가하기 위한 기초연구를 수행하였고 충격량 계산 및 모델에 적용하기 위한 산화된 지지격자의 기본적인 특성을 분석하였다.

2. 실험결과

2.1 부식시험

장시간 동안 지지격자 산화층 형성거동을 평가하

기 위하여 360°C 증류수분위기에서 산화시험을 수행하였다. 최대 360일 시험을 진행하고 있으며 현재 240일까지 시험을 완료하였다. 30일 간격으로 시험편을 인출하여 산화층 두께 및 스프링 강성을 측정하였다.

2.2 산화층 두께 및 스프링 강성

부식시험이 완료된 지지격자 시험편에서 형성된 산화층을 주사식전자현미경(SEM)으로 관찰하였고 각 시험편의 산화층 두께를 이미지 분석툴을 이용하여 측정하였다. 부식시험기간에 따른 지지격자 스프링의 강성을 하중-변위 시험기를 이용하여 측정하였고 적용하중을 최대 10 N으로 설정하여 스프링 강성을 비교하였다.

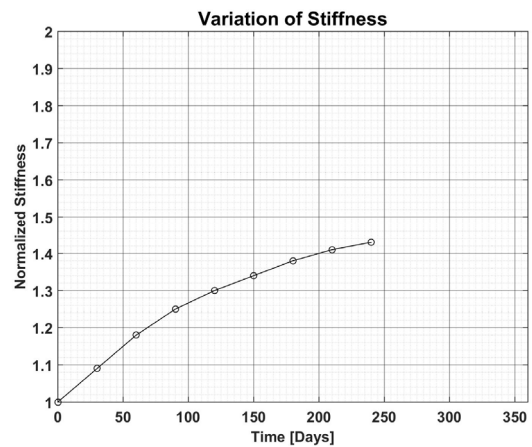


Fig. 1. Variation of normalized stiffness with oxidation time at 360°C distilled water.

2.3 스프링 강성 변화

부식 시간에 따른 스프링 강성의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 우선 초기 상태를 기준으로 증가량을 측정한 결과 약 90 일 정도까지 선형적으로 증가하는 반면 120 일 이상에서는 스프링 강성의 증가가 둔화되는 경향이 잘 나타나 있다. 현재까지 240 일 결과에서는 초기 값에 비해 약 40% 정도까지 증가하였으며 이러한 경향은 향후 360 일에서는 그 이상 증가할 것으로 예상된다. 일반적으로 핵연료봉과 지지격자 사이의 충격 모델링은 지지격자

스프링 및 덤플과 지지격자판의 강성값을 다르게 적용하여 스프링 형태로 모델링하며 일정한 간격을 적용하는 것이 일반적이다. 따라서 실제 핵연료봉과 지지격자 사이의 충격량 해석에서는 초기값 대비 50% 이상의 강성값을 적용해야 할 것으로 보인다.

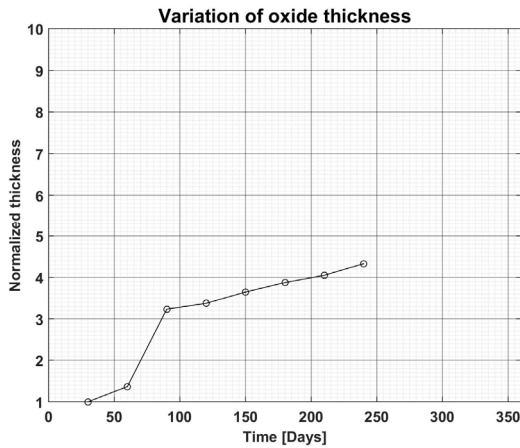


Fig. 2. Variation of normalized oxide thickness of spacer grid specimen that measured by SEM.

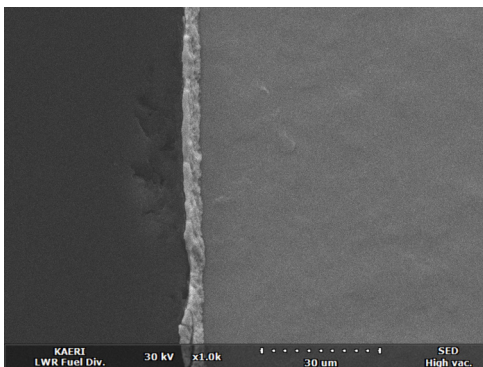


Fig. 3. A typical SEM result of oxide on Zr-based spacer grid at 360°C distilled water (240 days).

2.4 산화층 두께

부식시간에 따라 지지격자 시편에 형성되는 산화막의 두께변화를 Fig. 2에 나타내었다. 예상과 같이 약 90 일까지는 산화막의 두께가 빠른 속도로 생성되는 것을 알 수 있으나 그 이상에서는 두께 증가가 서서히 둔화되는 경향이 잘 나타나 있다. 따라서 스프링 강성과 산화막의 두께증가는 어느정도 연관이 있는 것으로 보인다. 그러나 표면에 생성되는 산화층은 부식반응과 함께 합금 내부로 수소가 들어가 재질 특성의 변화가 수반되므로 시편 내부로 들어간 수소량과의 관계를 관찰할 필요가 있다. Fig. 3과 같이 지지격자에 산화층이 형성되면 부식반응의 결과물로 재질 내부로 수소가 들어가 재질의 취성을 발생시킬 수 있으나, 본 연구의 스프링 강성 변화가 산화피막 형성 혹은 내부 수소량

의 영향 중 어느 것이 우세하게 작용한 것인지는 부식시험이 완료된 후 정확한 수소량 분석을 통해 판단해야 할 것으로 사료된다.

3. 결론

경수로 사용후핵연료 건식저장에서 핵연료의 회수성을 보장하기 위한 평가로 핵연료 주요 구조부품중의 하나인 지지격자의 기계적 특성 기초연구를 수행하였고, 지지격자 부식에 따른 스프링 강성 및 산화막 두께를 측정하였다. 산화된 지지격자의 스프링 강성 변화로부터 향후 취급 및 이송과 관련된 핵연료 충격하중 평가 시 증가된 스프링 강성값을 반드시 고려해야 할 것으로 보인다.

4. 감사의 글

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2014171020166A)

5. 참고문헌

- [1] 김주성, 국동학, 심지형, 김용수, "사용후핵연료의 장기 건식 건전성 성능과 주요 열화 기구에 관한 고찰", 한국방사성폐기물학회지 Vol.11 No.4 pp.333-349 (2013).
- [2] H.G. Kim, Y.H. Jeong and K.T. Kim, "The effects of creep and hydride on spent fuel integrity during interim dry storage". Nuclear Engineering and Technology, Vol.42, p.249-258 (2010).