

조사후 지르코늄 합금의 미소경도 측정

장정남, 권형문, 서항석, 전용범

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

jeongnam@kaeri.re.kr

1. 서론

지르코늄 합금은 원자로 운전 조건에서 기계적 성질과 내식성이 우수한 장점으로 인해 지금까지 핵연료 피복관 및 압력관 재료 등으로 사용되고 있다. 최근 핵연료가 고연소, 장주기 체제로 전환됨에 따라 지르코늄 합금은 보다 가혹한 방사선 및 내부식 환경에서 조사 손상과 과도부식과 같은 문제점을 드러내고 있다. 따라서 고연소 장주기 체제에서 적합한 지르코늄 합금의 개발과 함께 지르코늄 합금의 조사후 기계적 물성과 같은 기초 물성 자료의 확보는 매우 중요하다. 이런 이유로 한국원자력연구원 조사후시험센터에서는 현재까지 국내 상용발전소에서 연소된 핵연료를 대상으로 조사후 시험을 수행하였고 많은 결과물을 축적해왔다. 본 연구는 그 중에서 핵연료 피복관으로 사용된 Zircaloy-4 합금의 조사후 미소경도 값을 측정하였고 연소도와 온도에 따른 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 미소경도 측정 시험 시편은 고리 1,2 호기 및 영광 1호기에서 연소된 핵연료봉을 대상으로 하였고 피복관으로 사용된 재료는 모두 Zircaloy-4이다. 본 원내 조사후시험센터 핫셀 내부에서 핵연료봉의 파괴 시험을 통해 핵연료봉 하단부에서부터 절단된 조사후 피복관 단면 시편을 얻었으며 이렇게 준비된 시편은 Leica microsystem 사의 Telatom-2(그림 1)에 장착된 Vickers diamond를 이용하여 미소경도를 측정하였다. 본 장비는 최대 900 배율, 최대 시험하중 100 gr으로 제작되어 있다. 본 시험에서는 500 배율에서 20초 동안 50 gr의 하중을 유지하여 얻어진 압흔을 통해서 미소경도 값을 산출하였다.

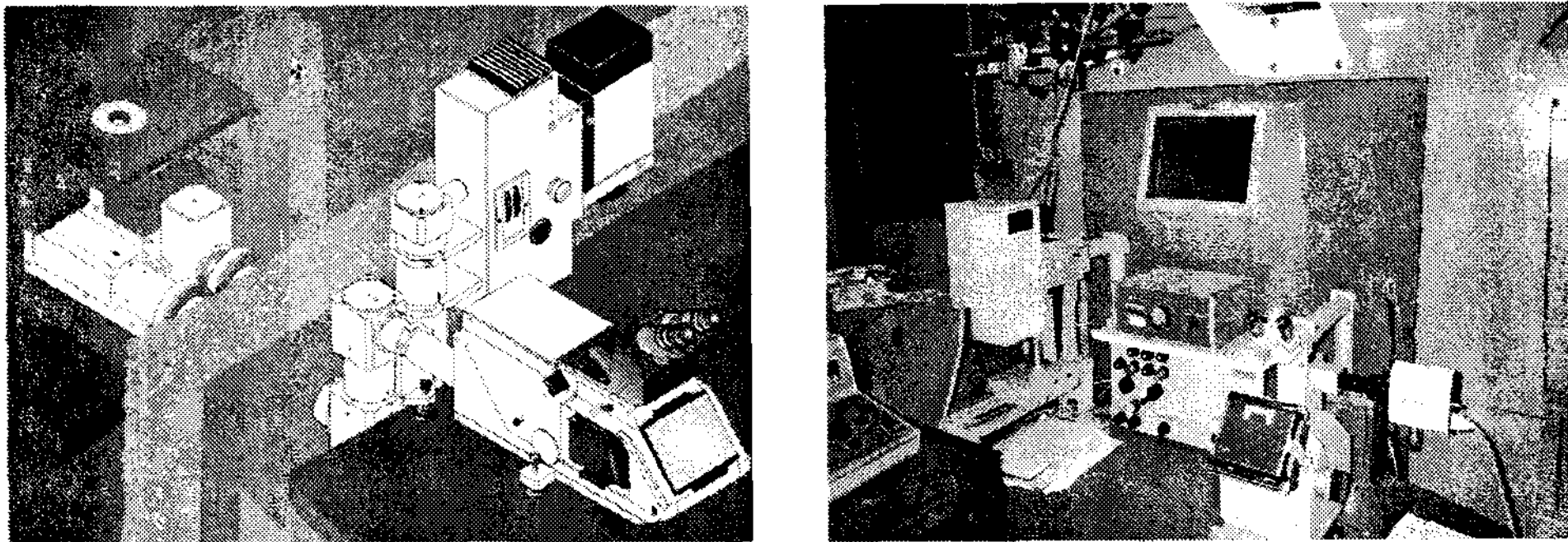


그림 1. 핫셀 내 미소경도 측정 시험장비 개략도 및 실제모습 (Telatom-2)

핫셀 내 핵연료봉의 파괴시험 전 각각의 핵연료봉에 대한 감마 스캐닝(γ -scanning)을 통해서 핵연료봉의 연소도 데이터를 확보하였다. 이후 파괴시험을 통해 얻어진 조사후 시편당 6회 경도측정을 실시하고 최대/최소치를 제외한 값들의 평균값을 그 시편의 미소경도 값으로 채택하였다.

3. 결과 및 논의

감마 스캐닝 결과 조사후 시험 시편은 대략 30 GWd/tU에서 55 GWd/tU 정도 연소된 것으로 나타났다. 그림 2는 핵연료봉의 연소도에 따른 하단에서부터 특정 위치에서 제조된 조사후 시편에 대한 미소경도 값을 보여주고 있다.

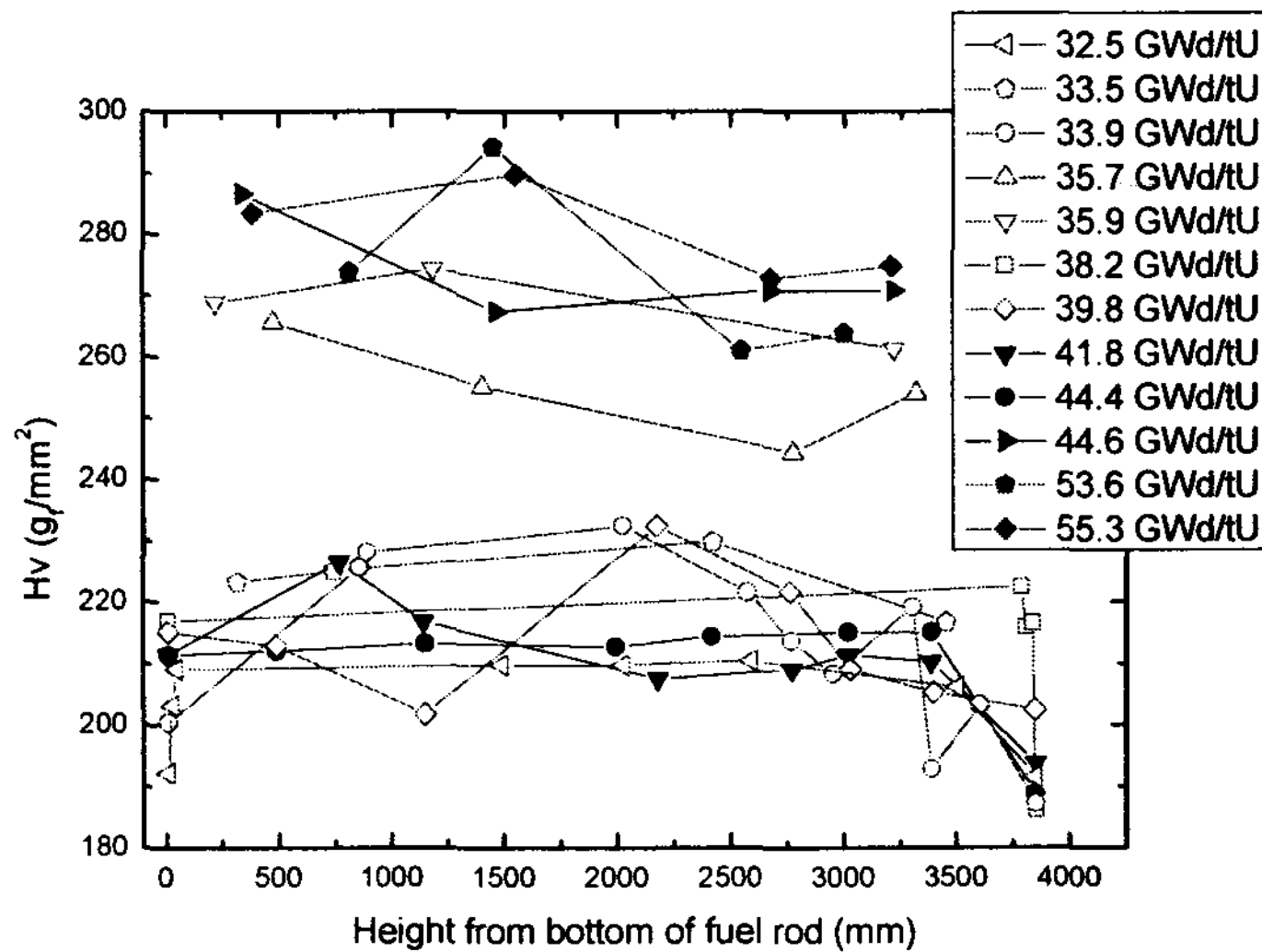


그림 2. 조사후 지르코늄 합금 시편의 연소도에 따른 미소경도

그림 2를 통해 알 수 있듯이 대체적으로 50 GWd/tU 이상의 고연소 피복관에서 미소경도 값이 증가하는 경향을 확인 할 수 있다. 또한 연소도 40 GWd/tU 이상의 핵연료봉에서 핵연료봉 하부에서 상부로 갈수록 미소경도 값이 다소 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이것은 높은 온도에서 annealing 효과에 의한 연성 증가에 따른 것으로 보이나 그 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

4. 결론

현재까지 수행된 조사후 핵연료 피복관의 미소경도 측정 결과, 지르칼로이-4 금속의 조사후 미소경도는 고연소 장주기로 갈수록 증가하는 것으로 드러났다. 이는 일반적으로 조사량 증가에 따른 조사경화 현상으로 설명될 수 있다. 하지만 고연소 장주기 체제에서 산화가속화에 따른 지르코늄 금속 내 산소 농도에 증가에 따른 강도 증가효과 또는 피복관 금속 기지내 수소침투 증가에 따른 기계적 특성변화와 같은 다른 요인들도 함께 검토되어야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- [1] 민덕기 외, "고리원자력 2호기 원자력연료 조사후시험", 한국원자력연구소(2003.3)
- [2] 노성기 외, "조사후핵연료 시험평가 기술 개발", "KAERI/RR-1127/92", 과학기술부(1992.6)
- [3] 김용수 외, "중성자 조사가 산화 Zr 합금 미소조직과 기계적 물성 변화에 미치는 영향 연구", 한양대학교(2005.5)
- [4] 이기순, "조사공학", 문경출판사(1997)
- [5] R.W. Cahn, P.Haasen, E.J.Kramer, "Materials Science and Technology, A comprehensive Treatment Volume 10B, Nuclear materials Part 2", VCH Weinheim(1994)
- [6] Atomic Energy Review, "The Metallurgy of Zirconium", IAEA-Vienna(1971)