

하나로 조사후 큰결정립 소결체의 핫셀시험기술

서항석*, 김도식, 이형권, 권형문, 장정남, 권인찬
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*nhsseo@kaeri.re.kr

1. 서론

조사후연료시험시설은 국내 상용 원자력발전소에서 조사된 핵연료를 시험/평가할 수 있는 시험시설이다. 따라서 상용 원전 및 연구로에서 조사한 핵연료 및 원자력재료에 대한 조사후시험 관련 시험기술의 개선/개발을 통하여 원자력 연구개발을 적기에 효율적으로 지원하고 핵연료의 성능 및 건전성평가, 핵연료의 개발 및 손상원인 규명 등에 필요한 특성 자료를 생산/제공하는 것이 조사후시험시설의 목적이다. 본 연구에서는 하나로에서 조사된 큰결정립소결체 의 조직 시험을 위한 시편 준비과정 및 시험항목을 기술하고 소결체의 중간부위에 대한 결과를 제시하였다.

2. 본론

2.1 시편준비과정 및 시험 항목

시편준비 주요공정은 다음과 같다.

- 가. Sectioning
- 나. Mounting
- 다. Grinding
- 라. Polishing
- 마. Etching

파괴시험의 시험 항목으로는 봉내압측정 및 핵분열 생성기체 특성 측정, 소결체 조직시험, 소결체의 파단면 전자현미경 분석, 소결체 밀도측정, 핵연료 연소도측정 등이 있다.

2.2 시편준비과정 및 시험방법

2.2.1 Sectioning 및 Mounting,

두께 0.3 mm, 직경 10 mm Diamond blade를 사용하여 시편두께 2 mm로 습식, 미세절단 후 열가소성인 Phenolic Premold수지를 사용하여 압력 3bar, 온도 130°C로 가열하여 Mounting을 한다. 소결체 파단면분석 전자현미경시편은 높이 25 mm, 직경 32 mm 황동 Mold에 Bismuth를 올려놓고 열을 가하여 용융 시킨 다음 그 위에 소결체를 놓고 실온에서 굳힌다.

2.2.2 Grinding 및 polishing

연마는 연마지 순서에 따라 120grit, 240grit, 400grit, 600grit.로 30 분씩 단계별로 연마를 한다. 연마가 끝나면 Diamond paste를 연마천에 발라서 입자크기에 따라 정마를 한다. 정마시간은 15 μm , 9 μm , 6 μm , 3 μm , 1 μm 은 30 분. 1/4 μm 은 20 분간 정마를 한다.

2.2.3 Etching

Etching은 Chemical etching을 하며 etching용액 및 방법, 시간은 다음과 같다.

- Etching solution : H_2SO_4 1(ml) : H_2O_2 9(ml).
method : Immersion.
time : 20sec - 50sec.

2.2.4 핵분열 생성기체 측정

핵연료봉을 천공(Puncturing)하여 압력과 온도를 측정하고 핵분열기체를 포집하여 질량분석기(gas mass spectrometer)로 Xe과 Kr양을 측정하며 이 값을 이용하여 핵분열기체 방출비도 결정한다. 핵연료봉의 내압과 핵분열기체량은 약 3 Mpa과 630 cm^3 전후이며 연료봉의 내압은 연소도가 높을수록 높게 나타난다.

2.2.5 소결체 밀도측정 및 연소도 화학분석 측정

밀도시편은 연료봉길이 약 10 mm를 피복관을 제거하고 연료봉 소자를 모아서 침전방식으로 측정하며 침전매질은 톨루엔을 사용한다. 핫셀 내부에 설치된 밀도 측정 장치 밸런스의 측정 정밀도는 10^{-5} g이다. 연소도 화학분석시편은 약 1 mm두께의 원형디스크 형태로 피복관을 제거한 후 사용한다. 연료봉의 화학 분석적 연소도 결정은 Nd¹⁴⁸원소를 지표원소로 이용하는 Nd동위원소 정량에 의한 연소도 결정 방법을 이용해서 핫셀내에서 수행한다.

2.2.6 소결체에 대한 금속조직시험

시편준비를 마친 시편은 Etching 후 시편 전체의 전반적인 정보를 얻기 위하여 거시조직관찰은 배율 7배로 투영하여 소결체 단면 및 피복관 절단

면 상태를 관찰한다. 핵연료 미세조직관찰은 배율 400X로 광학현미경을 이용하여 핵연료의 외곽부분부터 중심부까지 파노라마형식으로 사진을 투영하여 소결체의 핵분열방출 거동과 열적 조직변화, 즉 입계상태, 결정립의 크기, 조사 성장, 조사 석출물, 기공 등의 형성 등을 관찰한다. 다음 그림은 연소도 30 GWd/tU(왼쪽) 과 70 GWd/tU(오른쪽)인 큰결정립 소결체 핵연료에 대한 거시조직사진 및 소결체의 중간부에 대한 미세조직사진을 보여주고 있다.

[3] 서항석 외 6인 "사용후 핵연료봉에 대한 핫셀 파괴시험 기술" 한국방사성폐기물학회 춘계 학술 발표회 논문집. 2013.

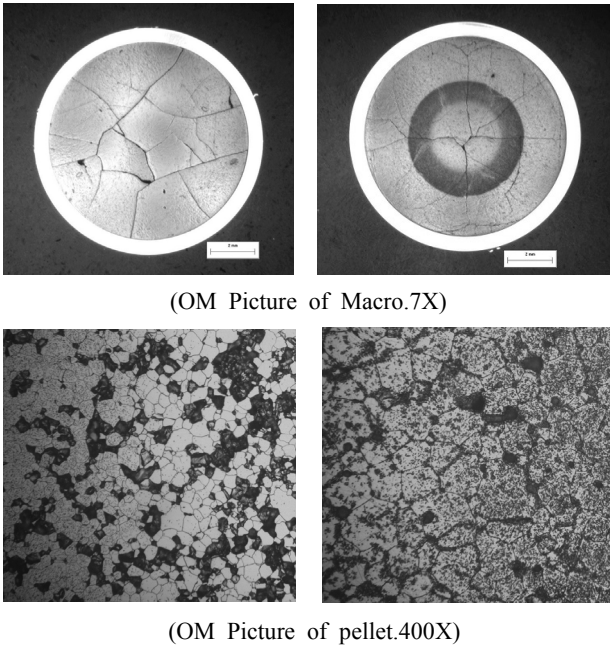


Fig. 1. Macro scopic and Micro scopic image.

3. 결론

큰결정립소결체 의 특성시험을 수행함에 있어 시편제작 과정은 일상적인 방법과 동일하였다. 다만 밀도시편을 채취하는데 피복관 과 흡착이 되어 있지 않아 쉽게 채취를 하였으며 소결체 의 에칭시간은 고연소핵연료에 비해 매우 짧고 외곽부위와 중간, 중심부위의 위치에 따라 에칭시간에 아주 민감하게 반응하였다.

4. 참고문헌

- [1] 서항석 외 3인, "조사후 핵연료의 시험시편 제작", 한국방사성폐기물학회 춘계학술발표회 논문집, 2008.
- [2] 서항석 외 5인 "고연소도 사용후 연료봉에 대한 파괴시험 분석기술" 한국방사성폐기물학회 춘계 학술 발표회 논문집. 2009.