

'99 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

연소도에 따른 사용후 핵연료의 밀도
Density of Spent Fuels due to Burnup

구대서, 박성원, 김종훈, 구정희, 엄성호, 서항석, 김은가, 민덕기

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

수침법에 의하여 사용후 핵연료의 밀도를 측정하고 제작한 프로그램에 의하여 그 결과를 획득할 수 있는 밀도측정시험기술을 개발하였다. 이 시험기술에 의하여 1주기~4주기 동안 연소한 핵연료의 밀도 측정치는 핵연료 제조밀도의 94~95% 정도였으며 핵연료 밀도는 연소도에 거의 영향이 없음을 확인하였다.

Abstract

The technology of density measurement examination on spent fuels using immersion method was developed. The calculation of density measurement is carried out by operating program. The density of 1 cycle to 4 cycle fuel rods is about 94~95 % of fabrication density of fuel rods. It is realized that density of spent fuels has little relation with burnup.

1. 서론

원자로의 핵연료가 연소중 고밀화와 스웰링현상이 일어나는데[1-3], 고밀화는 연소초기에 핵연료내의 조그만 기공(pore)들이 소멸 또는 수축하여 부피가 감소하는 현상인 반면에 스웰링은 핵분열생성물의 생성, 핵분열기체 기포(bubble)의 성장 및 합성(coalescence)에 의하여 부피가 증가하는 현상이다. 핵연료가 원자로내에서 연소되는 동안 연소초기에는 고밀화에 의한 핵연료 부피가 급격히 감소하다가 연소도 5~20GWD/MTU 정도에서 고밀화와 스웰링이 평형에 이르다가 그 이상의 연소도에서는 스웰링이 주도적으로 진행하여 핵연료 부피변화를 일으키는 요인이 된다[4]. 핵연료 조사 전후의 핵연료, 피복재 및 원자로 구조재등의 밀도변화를 해석하는 것은 핵설계, 핵연료 성능평가 및 안전성 평가에 중요하다.

본 연구에서는 밀도측정 방법으로써 체적계 이용방법, 비중계 이용방법, 원심분리기 이용방법, 기체계량기 이용방법, 물천칭을 이용한 수침법중에서 핫셀내에서 밀도측정법으로 가장 적합한 수침법을 사용하여 핵연료의 밀도를 측정하고 제작한 프로그램에 의하여 그 결과를 획득할 수 있는 밀도측정시험기술을 개발하였다. 이 시험기술에 의하여 1주기~4주기 동안 연소한 핵연료의 밀도

를 측정하고 연소도에 대하여 분석하였다.

2. 실험장치 및 측정방법

Fig. 1은 9409 납셀의 밀도측정 시험기기를 나타낸 것이며 스위스 Mettler사 AE240 무게측정 천칭을 사용하여 시료의 밀도를 측정하였다. 밀도측정의 정확성을 높이기 위해서 9407 납셀과 9408 납셀을 연결하는 인터셀 도어를 닫고 시험을 수행하였으며, 침적용액은 토루엔을 사용하였다.

먼저 무게측정 천칭에 전원을 공급하고 천칭의 single control bar 스위치를 눌러 장치 표시창을 켜 다음 60분 정도 장치를 안정시킨다. 측정순서에 따라 시료무게를 측정할 때마다 천칭 single control bar를 눌러 0 값으로 맞추고 공기중에서 바스켓 무게를 측정한다. 공기중의 바스켓에 시편을 담고 무게를 측정한 다음 침적용기에 토루엔을 채우고 침적용액속에 바스켓을 담근 다음 유체중의 바스켓의 무게를 측정한다. 또한 바스켓에 시편을 담아 유체중의 바스켓과 시편 무게를 측정한다. 측정한 건구온도 및 습구온도에서 상대습도(%)를 구한다. 침적용액 토루엔의 온도를 측정하여 유체의 밀도를 구한다. 제작한 프로그램을 사용하여 측정치를 밀도산출공식에 입력하여 밀도를 측정하였다.

3. 결과 분석 및 논의

Fig. 2는 1 주기 동안 연소한 핵연료 연소도에 대한 핵연료 밀도를 나타낸 것이다. 핵연료 연소도 15,000~17,200MWD/MTU에 따른 핵연료 밀도는 10.4 정도였으며 연소도에 대하여 큰 변화가 없음을 확인 할 수 있었다. Fig. 3은 2 주기 동안 연소한 핵연료 연소도에 대한 핵연료 밀도를 나타낸 것이다. 핵연료 연소도 23,600~26,500MWD/MTU에 따른 핵연료 밀도는 10.4 정도였으며 연소도에 대하여 큰 변화가 없음을 확인 할 수 있었다. Fig. 4는 3 주기 동안 연소한 핵연료 연소도에 대한 핵연료 밀도를 나타낸 것이다. 핵연료 연소도 32,500~35,800MWD/MTU에 따른 핵연료 밀도는 10.3~10.4 정도였으며 연소도에 대하여 큰 변화가 없음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 4 주기 동안 연소한 핵연료 연소도에 대한 핵연료 밀도를 나타낸 것이다. 핵연료 연소도 25,000~36,000MWD/MTU에 따른 핵연료 밀도는 10.3~10.4 정도였으며 연소도에 대하여 큰 변화가 없었다. Fig. 6은 1~4 주기 동안 연소한 핵연료 연소도에 대한 핵연료 밀도를 나타낸 것이다. 핵연료 연소도 15,000~36,000MWD/MTU에 따른 핵연료 밀도는 10.3~10.4 정도였으며 연소도에 대하여 큰 변화가 없음을 확인 하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 사용후 핵연료의 밀도측정치는 핵연료 제조 밀도의 약 94~95% 정도였으며 핵연료 연소도에 큰 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

1. 수침법에 의하여 사용후 핵연료의 밀도를 측정하고 그 결과를 획득할 수 있는 밀도측정시험기술을 개발하였다.
2. 1주기~4주기 동안 연소한 핵연료의 밀도 측정치는 약 10.3~10.4 정도였으며 핵연료 제조 밀도의 약 94~95% 정도였다.
3. 사용후 핵연료의 밀도는 핵연료 연소도 15,000~36,000MWD/MTU에 대하여 큰 변화가 없음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력사업의 일환으로 수행되었음

참고문헌

- [1] M. C. J. Carson, "Densification in Mixed Oxide Fuel during Fast Reactor Irradiation," Nucl. Tech. V. 42, p. 335(1974).
- [2] M. Uchida, et al., "Densification of Uranium Dioxide Fuel Pellets(I)," JAERI-M 6904, pp. 1-7(1977).
- [3] W. Chubb, et al., "The Influence of Fuel Microstructure on In-Pile Densification," Nucl. Tech. V. 26, pp. 496-493(1975).
- [4] 민덕기외, "가압경수로 핵연료의 연소중 스웰링 거동," 한국원자력학회 '90 추계 학술발표회 논문집, pp. 239-240(1990).

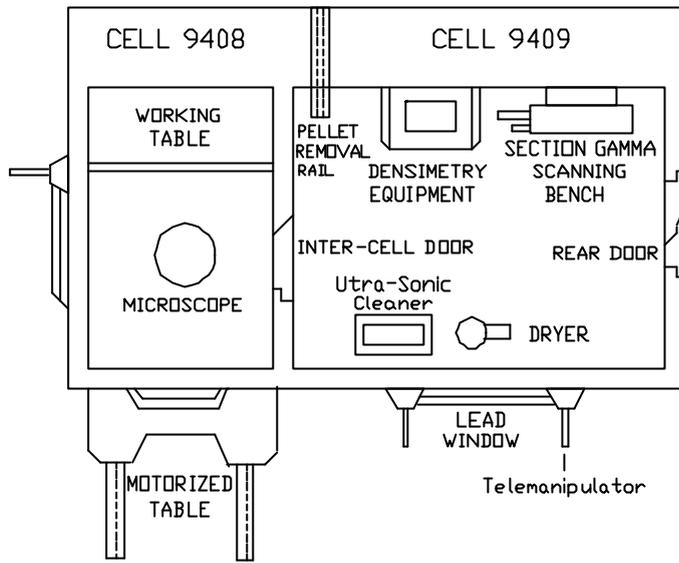


Fig. 1. Densimetry Equipment in 9409 Lead Cell.

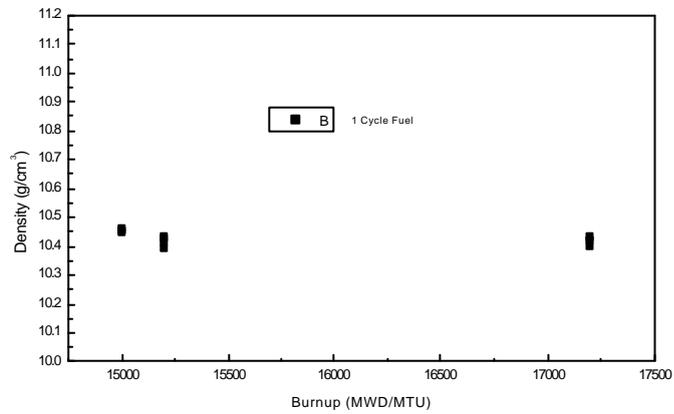


Fig. 2. Density vs Burnup of 1 Cycle Fuel Rods.

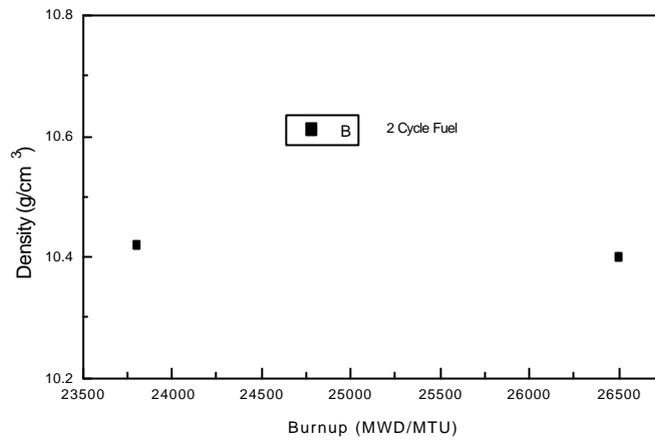


Fig. 3. Density vs Burnup of 2 Cycle Fuel Rods.

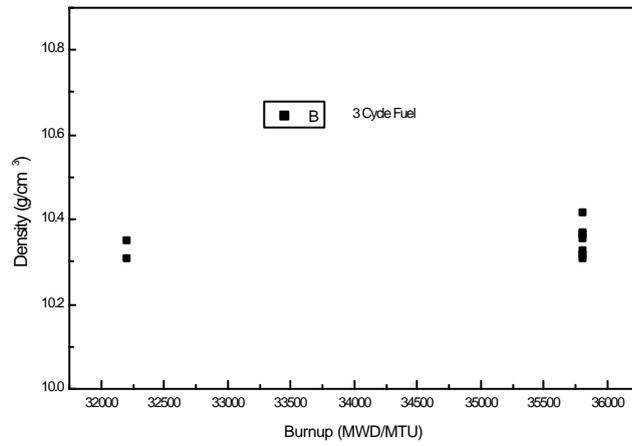


Fig. 4. Density vs Burnup of 3 Cycle Fuel Rods.

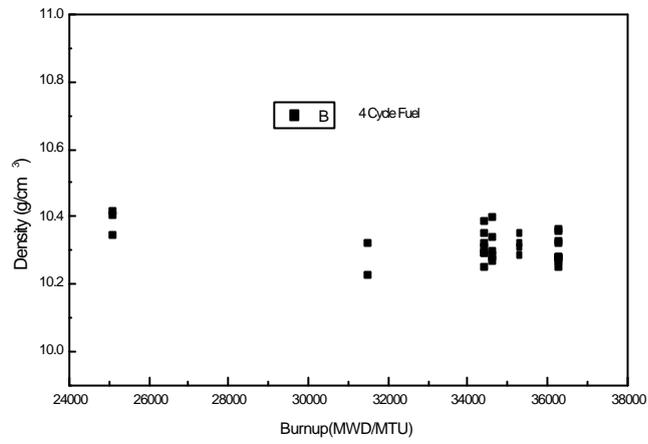


Fig. 5. Density vs Burnup of 4 Cycle Fuel Rods.

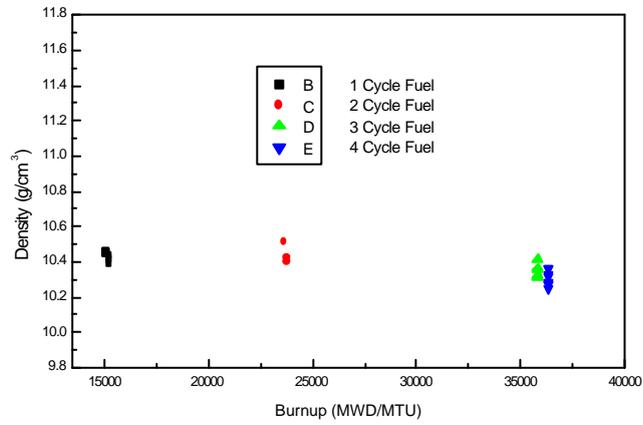


Fig. 6. Density vs Burnup of 1 Cycle to 4 Cycle Fuel Rods.