고연소도사용후핵연료의가열산화와고온가열을통한미세조직변화고찰

김대호, 방제건, 양용식, 송근우, 이형권, 권형문
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150

고연소도 UO_2 사용후 핵연료의 산화특성 및 사고시 변화예측은 폐기물저장과 관리에 중요한 기술적 역할을 담당하게 된다. 시험에 사용된 국산 경수로용 고연소도 사용후 핵연료 소결체는 연소도가 봉평균 57,000 MWd/MTU.rod 로 핵분열생성물에 의한 산화거동이 일반적인 연소도의 소결체와 다르고, 기타 핵비확산성 재활용 연구시 이용될 수 있는 재가공기술에 있어 가열에 의한 미세조직이 다르게 나타나고 있다. 본 연구에서는 국부연소도 65,000MWd/MTU UO_2 소결체의 Fragment 200mg을 자체 개발된 사용후 연료 가열(PIA) 시험장비를 이용하여 핫셀 내에서 3시간의 산화시험과 연속적으로 1400℃ 까지 가열하여 소결체의 미세구조변화를 관찰하였다. 산화조건은 500℃에서 Helium 50㎖, STD-Air 100㎖를 혼합하여 50분간의 온도상승과 500℃에서 3시간을 유지하였으며, 연속해서 1400℃의 온도상승과 4시간의 온도유지를 통하여 핵분열기체의 방출거동을 확인하였다. 이때 핵분열기체 Kr-85의 방출을 확인하기 위해 베타 측정기와 감마측정기를 이용하여 그림 1과 같이 온도에 따라 실시간으로 측정 하였다. 고연소도 핵연료 산화시 고연소도에 따라 생성된 핵분열생성물에 의해 안정화된 U_4O_9의 중간 형태가 화합물을 구성함으로서 산화거동을 지연시키는 현상이 발생하며 미조사 UO_2와는 산화거동이 다르게 나타난다. 가열시험이 종료된 후 전자주사현미경(SEM)을 이용하여 미세구조의 변화를 관찰하였다. 시편의 무게이득이 대략 3%로 UO_2의 시료가 대부분 U_3O_8으로 변화하여 가열에 의한 핵분열생성물이 급격하게 외부로 이동한 결과를 보였다. 관찰결과 그림 2.와 같이 부분적으로 표면이 녹아 흐른 흔적이 있으나 이는 환원과정을 통하여 재결정립화가 발생한 것으로 판단된다. 대부분 5 ~ 10㎛ 정도의 결정립크기를 보였으며 결정립표면이 둥근 타원형의 형상을 하고 있다. 또한, 결정립경계와 표면에 핵분열생성물로 보이는 입자상이 형성되어 있는 것을 확인하였다.

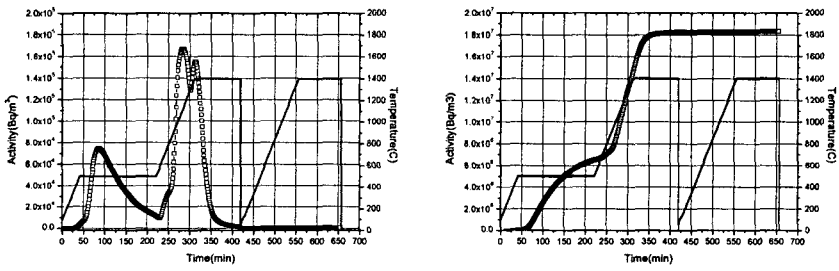

그림 1. 핵분열기체(Kr-85)의 실시간 Beta 측정결과

그림 2. 고연소도 핵연료의 산화와 가열을 통한 미세조직(SEM)