

UO<sub>2</sub> 산화물계 핵연료의 열충격 특성  
Thermal shock behavior of UO<sub>2</sub>  
oxide pellets.

연세대학교 이상철, 이홍림, 한국원자력연구소 정창용, 이영우

1. 서론

현재 사용되고 있는 산화물 핵연료는 원자로 가동 중에 다양한 응력을 받게되며, 특히 급격한 열적 환경 변화에 의하여 열팽창, 열탄성 및 열충격등으로 인한 열응력이 작용 하게된다. 이러한 열응력은 핵연료봉내의 산화물 핵연료와 금속 피복관 사이의 상호작용(Pellet Cladding Interaction, PCI)과 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking of zircaloy cladding, SCC)의 원인으로 작용하게 된다. 이러한 열응력에 대한 산화물 핵연료의 저항성에 따라 핵연료봉의 성능이 좌우된다. 산화물 핵연료에서 열적 특성에 관련된 문제는 열충격에 의한 핵연료 소결체의 파괴인데, 특히, UO<sub>2</sub> 산화물 핵연료는 원자로 출력 증가시 열전도도가 아주 낮은 값을 나타내기 때문에 소결체의 원주 중심부와 피복관이 접해 있는 소결체의 원주 표면 부분간에는 큰 온도차가 발생하게 되어, 소결체내에 큰 열응력이 발생하는 열충격 상태에 놓이게된다. 이러한 열충격 거동은 다양한 인자(기공율, 미세구조, 열전도도, 첨가물의 영향 등)에 의해 영향을 받게되며, UO<sub>2</sub> 단일 핵연료 및 혼합 핵연료 소결체에서의 열충격 거동은 이러한 인자들에 의해 각기 다르게 나타날 것이다. 그러므로 UO<sub>2</sub> 산화물계 핵연료를 사용하기 위해서는 핵연료의 성능 및 안전성에 큰 영향을 미치는 열충격 거동에 대한 연구가 필요하게 된다.

본 연구에서는 산화물 핵연료인 UO<sub>2</sub> 소결체를 다양한 열충격 온도차로 열충격을 실시 한 후 나타나는 소결체의 열충격 거동을 경도, 파괴인성, 파괴표면에너지, 임계열충격 온도차의 측정과, 열충격시 나타나는 균열의 보존 및 형태를 관찰함으로써 UO<sub>2</sub> 소결체의 열충격 거동에 대해 조사하였다.

2. 실험방법

IDR UO<sub>2</sub> 분말을 attrition mill로 분쇄한 후 3ton /cm<sup>2</sup>로 성형하여, 1700℃에서 4시간 동안 N<sub>2</sub>+7%H<sub>2</sub> 분위기로 소결하였다. 열충격 물성치를 측정하기 위해 각 소결체를 두께 2mm의 disk형태로 절단하였으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dummy pellet을 disk 양면에 접합시킴으로서 절단면의 열응력을 최소화했다. Thermal shock용 로를 이용하여 가열온도 200 ~ 1400℃ 까지 200℃ 간격으로 각 설정온도에서 30분간 유지 후 water bath에 떨어뜨려 급냉시켰으며, 가열시 산화방지를 위해 불활성 기체인 Ar을 사용하였다. 급냉된 시편을 mounting한 후, 경도, 파괴인성, 파괴표면에너지를 측정하였고, 각 온도에서 급냉됨에 따라 disk표면에 생성된 균열의 형태를 관찰하였다. 임계 열충격 온도차는 낮은 온도( 20 ~ 150℃) 영역에서 급냉 시킨 후의 강도값을 이용하여 산출하였다.

3. 실험결과

소결체는 ΔT=400의 조건에서부터 균열이 생성되었으며, ΔT=800에서는 원주를 횡단하는 균열이, ΔT=1000에서는 시편 전체에 미세 복합 균열이 생성되었다. 열충격 온도차(ΔT)에 따른 경도, 파괴인성, 파괴표면에너지 등은 ΔT=800 이상의 조건에서 물성값이 약간 상승하였고, ΔT=1000에서 급격한 물성값의 증가가 관찰되었다. 그리고 UO<sub>2</sub> 소결체의 임계열충격 온도차는 측정결과, 80 ~100℃ 사이의 값을 나타냄을 알 수 있었다.