

연소도에 따른 사용후 핵연료의 특성 Burn up Dependent Characteristics of Nuclear Fuels

양승열, 서항석, 이형권, 권형문, 전용범, 홍권표
한국원자력연구소
(nsyyang@kaeri.re.kr)

1. 서론

핵연료나 원자로를 구성하는 물질 등은 원자로의 가동동안 핵연료의 연소로 인한 물리적·화학적 반응에 의해 그 성질이 변화하며, 붕괴열과 조사거동으로 인한 조직변화 및 손상 등을 일으킨다. 사용후핵연료의 조사거동은 미세 균열, 핵연료의 반경방향에 따른 결정(grain) 및 기공(pore)의 크기 변화, 입계(grain boundary)를 따른 핵분열성 기체의 bubble 생성 등의 변화가 발생한다. 이외에도 생성된 bubble의 연계에 따른 핵분열성 기체의 통로형성, 금속형태의 핵분열성 물질의 석출과 피복관 내부와 핵연료 경계면에서의 Cs 합성물의 변화 등이 있다. 피복관에 대해서는 사용후핵연료와 화학적 상호작용으로 발생하는 산화층, 방사선에 의한 조사손상 및 결합형성 등이 중요하다. 원자로핵연료의 거동 및 핵연료의 건전성을 평가하기 위하여 조사후시험을 수행하였다. 비파괴시험 결과를 분석하여 상세 시험부위 시편을 절단하고, 조사핵연료 파괴시험을 수행하여 핵연료의 피복관 특성 및 핵연료의 조직을 관찰하고 분석하였다.

2. 실험방법

금속조직시험은 630배율의 미세 금속현미경을 통해 피복관의 내, 외면 산화막의 형태 및 두께를 측정하였으며, 피복관 미세 경도는 연료봉 전체에 대하여 0도, 90도, 180도, 270를 측정하였다. 핵연료조직은 400배율의 거시금속현미경으로 핵연료봉 단면 중앙부, 중간부 및 가장자리를 측정하였으며, 400배율의 거시금속현미경으로 grain size를 측정하고 분석하였다.

3. 실험결과

- 1) 4주기연소 핵연료봉 산화층이 2주기연소 핵연료봉 산화층보다 대체로 2배정도 두껍게 형성되었으며, 산화층은 핵연료봉 하단에서 얇게 형성되고 핵연료봉 상단으로 진행함에 따라 증가하였다. 핵연료봉 하단으로부터 2,500-3,000mm 영역에서 산화층 두께가 최대를 나타내었으며, 그 이상 연료봉 상단으로 갈수록 산화층 두께가 점차로 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 핵연료봉 내부 산화층은 핵연료봉 하단으로부터 상단까지 거의 큰 변화 없이 얇게 형성된 반면 외부 산화층 두께는 핵연료봉 상부로 진행하면서 증가하는 경향을 나타내었다.
- 3) 4주기연소 핵연료봉 피복관 경도가 2주기연소 피복관 경도보다 약 24kg/mm² 크게 나타났다.
- 4) 2주기연소 핵연료 grain size가 4주기연소 핵연료 grain size 보다 대체로 크게 나타났으며, grain size fluctuation도 크게 나타났다. 핵연료봉 단면 중앙부, 중간부 및 가장자리의 결정(grain)의 크기는 큰 차이가 없었으며, 기공(pore)의 크기변화의 차이도 크지 않았다.