

## 결함 핵연료 피복관의 산화막 형성 Oxide Formation of Defective Fuel Rods

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

### 1. 서론

원자력발전의 안전성을 유지하면서 경제적 이득을 극대화하기 위한 노력의 하나로 핵연료의 연소도를 높이고 연소기간을 연장하기 위한 노력이 전 세계 원자력발전국가들에 의해 계속되어 오고 있다. 이러한 고연소 핵연료 개발에 있어 해결해야할 가장 큰 인자중 하나는 피복관 부식에 의한 산화막의 증가이다. 본 연구에서는 실제 원자력발전소에서 연소중 결함징후가 발견된 핵연료봉의 결함원인을 조사하기 위해 조사후시험을 실시한 7개의 연료봉 시편들에 대한 파괴시험결과 나온 결과들을 이용하여, 실제 원자로내에서 핵연료 피복관의 산화막 증가와 또한 결함이 발생했을 때 피복관 내부로의 냉각수 유입에 따른 내부 산화막 형성을 관찰하여 피복관의 여러 가지 노내 산화기구 연구에 도움을 주고자 하였다.

### 2. 실험방법

시험대상 연료봉은 국내 상용 원자력발전소에서 3주기 조사중 결함징후가 있는 연료봉 3개와 2주기 연소중 결함이 발견된 연료봉을 대상으로 하였으며, 거시 금속조직시험은 20배율로 찍은 사진이 가장 선명하게 잘 나타났고, 미세 금속조직시험은 500배율의 현미경을 통해 피복관 단면의 내, 외면 산화막의 형태 및 두께를 측정하였다.

### 3. 실험결과

- 1) 연료봉 피복관 외면 산화막은 4부위 평균값이 2.1~55.3 $\mu\text{m}$ 의 두께분포를 보였다. 연료봉 상부로 갈수록 증가하였으며, 2,590mm 수소화 손상부위에서 최대인 35.4 $\mu\text{m}$ 의 두께분포를 나타내었고, 그 이상 부위에서는 차츰 감소하였다.
- 2) 결함 연료봉의 내면 산화층은 8부위 평균값이 8.1~50.6 $\mu\text{m}$ 의 두께분포로 나타났다. 비교적 얇고 조밀한 초기 산화막의 형상을 보여주고 있으며, 결함이 없는 부위에서는 정상 사용후핵연료봉에서 나타나는 내면 산화막과 거의 유사한 형상을 나타내었다.
- 3) 결함부위의 경우 비교적 온도가 낮은 부위는 결함과 관계없이 얇고 균일한 산화막이 형성된 것으로 나타났으며, 비교적 높은 온도에 노출된 상부 결함부위의 경우는 결함에 인접한 부위가 더 두껍거나 불균일한 것으로 나타났다.
- 4) 결함 연료봉의 피복관 내면 산화막은 외면에 비해 4배정도 두껍게 형성된 것으로 나타났고, 외면에 비해 산화막의 형상이 불균일하고 산화막내에 많은 기공과 균열이 존재하며 최 하단부 결함주위 내, 외부 산화막에서는 산화막이 비교적 얇게 형성되었다.