

비증착 방법에 의한 사용후 핵연료의 EPMA 분석

정양홍, 송용섭, 김도식, 김희문

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

사용후 핵연료의 조성을 분석하거나 또는 반사전자상과 2차 전자상 등으로 시료를 관찰하기 위해서는 핫셀(Hot cell)에 증착기(coater)를 설치하여 시료표면을 전도성 물질인 탄소 등으로 증착시켜야 한다. 그러나 원격조정기를(manipulator)를 이용하여 수행되는 핫셀에서의 증착작업은 사용후 핵연료 시험의 선진분석기술을 갖고 있는 원자력 선진국에서도 핫셀내에 설치되어 있는 증착기의 탄소봉을 교체하는 작업과 진공장치의 성능 유지가 까다로워 시료표면에 균질하게 전도성 물질을 증착시키는 작업에 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구는 통상적으로 이용되는 증착기를 사용하지 않고 Silver Paint를 사용하여 사용후 핵연료를 분석할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구를 수행하였다. 산화물 핵연료는 전기전도도가 매우 낮아($3 \times 10^{-1} \sim 4 \times 10^{-8} / \text{ohm.cm}$) 입사된 전자의 이동이 원활하지 못해 일어나는 들뜸(charging) 현상이 발생한다. 그러나 Silver Paint에 사용후 핵연료를 접착하면 모세관(capillary)현상에 의해 시료 주위와 핵연료의 결정립계로 Silver가 스며들어 입사된 전자의 이동이 원활해져 전도성이 극히 낮은 시료의 분석이 가능하게 된다. 본 시험에 사용된 EPMA는 (Electron Probe Micro Analyzer, SX-50R, CAMECA, Paris, France) 고 방사능을 띤 조사 핵연료의 시험을 수행할 수 있도록 기기의 적절한 부위에 납과 텅스텐으로 차폐되어 시편의 방사능 세기가 $3 \times 10^{10} \text{Bq}$ 까지 시험 가능한 기기이다. 그림 1은 JAERI에 설치 운영중인 증착기 설비 사진이다. 그림에서 핫셀에 설치된 증착기의 진공을 유지하기 위해 핫셀 벽을 관통하여 증착기 본체까지 연결된 배출관의 형상과 복잡한 주변 장치들을 볼 수 있다. 그림 2는 비조사 핵연료 시편을 Silver Paint에 접착한 사진이다. 그림은 시료 주위와 시료 표면까지 Silver Paint가 도포된 모습을 보여주고 있다. 상용발전소에서 연소도가 50,000 MWd/tU인 사용후 핵연료를 상기와 같은 방법으로 만든 시편의 표면을 관찰한 사진을 그림 3~8에 나타내었다. 그림 3은 핵연료 중앙부위의 결정립을 나타낸 그림이다. Silver Paint만으로 접착한 시료의 표면관찰 및 정량분석이 그림에서 보듯이 가능함을 확인하였다. 그림 4는 사용후 핵연료시료를 중앙부위에서 가장자리까지를 다섯 부위로 나누어 그 중 중앙부위(1/5) 지점의 입계 및 형상을 관찰한 사진이다. 결정립의 크기가 다른 부위보다 상대적으로 크고, 결정립에 생성된 기공이 발달되어 있음을 볼 수 있다. 그림 5와 6과 7은 중심부위와 rim부위 사이 지점을 관찰한 사진으로서 결정립과 기공의 분포가 비슷한 형상을 나타내고 있음을 관찰할 수 있었다. 그림 8은 rim 부위 사진으로 전형적인 rim 영역 현상을 관찰할 수 있었다. 표 1은 그림 2와 같이 비조사 산화물 핵연료를 Silver Paint로 접착한 시편을 정량 분석한 결과이다. 시편의 조성은 33.6 at% U, 66.4 at% O의 결과를 얻었다.

산화물 핵연료의 표면 관찰 및 정량 분석 시험시 시편 표면을 전도성 물질로 증착시키지 않고, Silver Paint에 시편을 접착하는 방법으로도 만족한 시험 결과를 얻을 수 있었다.

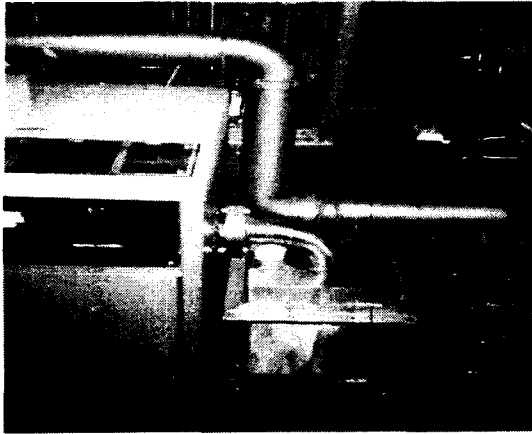


그림 1 JAERI에 설치 운영중인 증착기

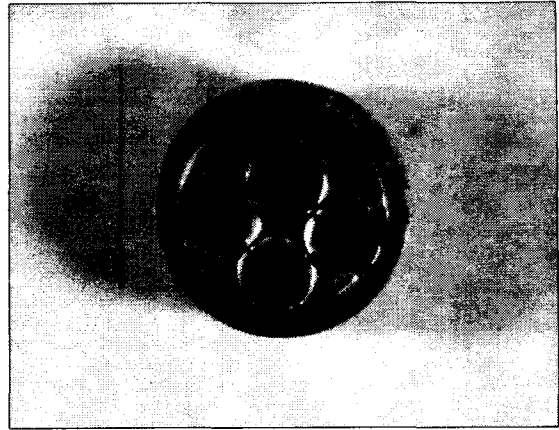


그림 2 Silver Paint에 접촉된 비조사 시편



그림 3 핵연료 중앙부위

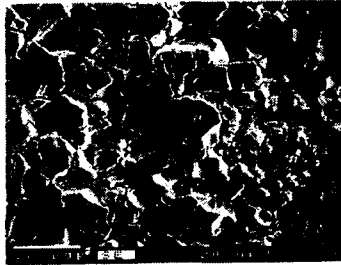


그림 4 1/5 중앙부위 사진

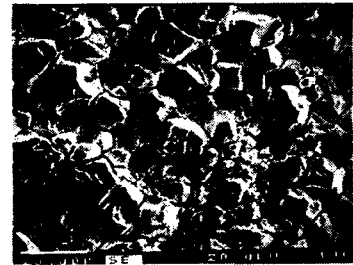


그림 5 2/5지점 핵연료사진

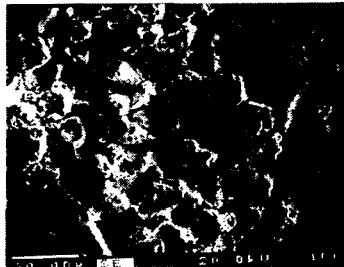


그림 8 5/5지점 Rim영역

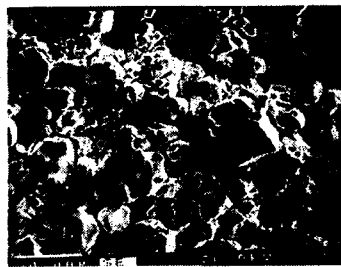


그림 6 3/5지점 핵연료사진

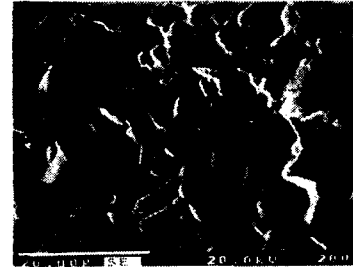


그림 7 4/5지점 핵연료사진

표 1 비조사 UO₂ 핵연료의 정량분석 결과

	Weight %		Atomic %	
	aver	dev	aver	dev
U	88.5	0.55	33.6	0.37
O	11.9	0.25	66.4	0.37
Total	100.4		100	