

## UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사용후핵연료의 결정구조변화

박양순, 서항석, 하영경, 송규석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045

[nyspark@kaeri.re.kr](mailto:nyspark@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

원자로의 초과 반응도를 제어하기 위하여 제어재(control materials)로 가연성 독물질(burnable poison) 등이 사용된다. 가장 널리 사용되고 있는 가연성 독물질은 Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 중성자 흡수단면적이 매우 커서 탁월한 제어효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 반면에 Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 UO<sub>2</sub> 핵연료와 혼합하였을 때 열전도도가 나빠지며 반응도 제어효과의 조절이 자유롭지 못한 단점이 있다. 그러므로 반응도 제어효과를 다양하게 조절하기 위한 연구가 진행되고 있다. 즉, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 UO<sub>2</sub>와 균질하게 혼합하여 소결체를 제조하기 위한 연구 [1], 가연성 독물의 설계에 대한 연구 [2], 제조한 소결체의 조사특성에 대한 연구 [3] 등이 진행되어오고 있다. 그러나 가연성 독물질이 포함된 사용후핵연료의 경방향에 대한 특성 연구는 많지 않다.

본 연구에서는 연소도가 41 GWd/tU인 UO<sub>2</sub> - 5.98 wt% Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사용후핵연료 펠렛의 반경방향에 대하여 미세 간격별로 X-선 회절패턴을 측정하여 결정구조 변화를 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험

측정에 사용된 시료는 평균연소도가 41 GWd/tU인 경수로 UO<sub>2</sub> - 5.98 wt% Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사용후핵연료이다. 시료의 경방향에 대한 micro-XRD 측정을 위하여 피복판을 포함한 사용후핵연료 펠렛의 수직 절단면을 취하여 5(w) x 3(h) x 0.5(t) mm 크기로 시편을 준비하였다. Micro-XRD 시스템의 시료홀더에 맞게 30(φ) x 20(h) mm 크기로 에폭시레진 몰딩한 후 시편표면을 연마하여 사용하였다(그림 1. 참조).

측정에 사용된 micro-XRD는 상용 XRD(모델

: D8 Advance, 제조사 : BRUKER-AXS)를 연구 목적에 맞게 실험실에서 개조한 것으로 Cu tube 와 NaI(Tl) scintillation counter 검출기가 장착되어 있다. X-선 방출 슬릿의 폭을 50 μm (길이 : 4 mm)로 조절하고 측정시간/step(2θ)을 30초/0.01°로 하여 시편의 경방향을 따라 25 - 500 μm 간격별 X-선 회절패턴을 측정하였다.

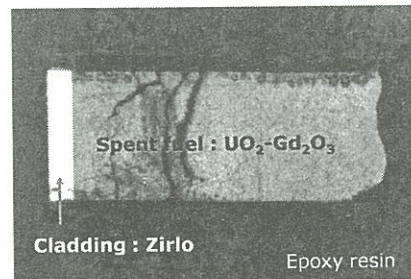


Fig. 1. Prepared UO<sub>2</sub> - Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5.98 wt%) spent fuel specimen. (Spent fuel discharged from Kori-3 PWR reactor, burn-up : 41 GWd/tU)

#### 2.2 UO<sub>2</sub> - 5.98 wt% Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사용후핵연료의 반경방향 결정구조변화

UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 사용후핵연료의 rim 특성을 관찰하기 위하여 micro-XRD를 사용하여 핵연료 펠렛의 단면에 대하여 간격별 X-선 회절패턴을 측정하였다. 측정결과, X-선 회절패턴은 UO<sub>2</sub>의 cubic 상을 나타냈다. 간격별로 측정된 X-선 회절패턴으로부터 UO<sub>2</sub>의 격자상수 값을 구하여 그림 2에 나타냈다. 그림 2에 보이는 바와 같이 격자상수 값들은 모두 547.0 pm 이하로 유사한 연소도를 갖고 Gd를 포함하지 않은 UO<sub>2</sub> 사용후핵연료의 격자상수 값(548.5 pm 이하)보다 낮은 경향을 나타냈다 [4]. 이것은 Gd 원소가 UO<sub>2</sub>의 격자크기를 감소시키는데 기여했기 때문으로 판단된다 [5]. Zirlo 피복판과 인접해 있는 rim 부위에서 격자상

수 값이 감소하는 경향을 나타냈다. 즉,  $\text{UO}_2 - \text{Gd}_2\text{O}_3$  사용후핵연료도  $\text{UO}_2$  핵연료와 마찬가지로 재결정화로 인한 rim 특성을 나타내는 것으로 판단된다. 이때 rim의 두께는 약 100  $\mu\text{m}$  이하로 관찰되었다.

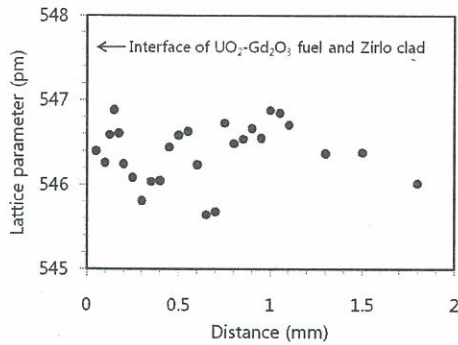


Fig. 2. Changes in lattice parameter from the interface with Zirlo clad to the center of  $\text{UO}_2 - \text{Gd}_2\text{O}_3$  spent fuel

### 3. 결론

$\text{UO}_2 - \text{Gd}_2\text{O}_3$  (5.98 wt%) 사용후핵연료의 rim에서 재결정화 특성을 관찰할 수 있었다. 그러나 핵연료의 반경방향에 대한 뚜렷한 경향성을 확인하는 것은 어려웠다. 차후에 SEM을 활용하여 rim 영역과 FCCI 영역을 포함한 사용후핵연료의 반경방향에 대한 조직변화를 관찰하고자 한다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] K. W. Kang, K. S. Kim, K. W. Song, J. H. Yang, Y. H. Jung, Journal of the Korean Nuclear Society Vol. 32, No. 6, pp. 559-565, 2000.
- [2] 이대진, 김명현, 송근우, 정연호, 한국에너지공

학회 2002 추계학술발표회 논문집, pp. 71-79, 2002.

- [3] M. Hirai, J. H. Davies, R. Williamson, Journal of Nuclear Materials, Vol. 226, pp. 238-251, 1995.
- [4] Y. S. Park, H. S. Seo, Y. K. Ha, K. Song, Transactions of the Korean Nuclear Society 2009 Autumn Meeting, pp. 207-208, 2009.
- [5] J. G. Kim, Y. K. Ha, S. D. Park, K. Y. Jee, W. H. Kim, Journal of Nuclear Materials, Vol. 297, pp. 327-331, 2001.