

고용체 함유 모의 건식공정 핵연료의 열전도도

강권호, 나상호, 문제선, 박창제, 이철용, 송기찬, 양명승
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 nghkang@kaeri.re.kr

- 서론

건식공정 핵연료는 경수로 사용후핵연료를 건식공정을 이용하여 재가공한 핵연료로서 핵확산 저항성이 입증된 핵연료이다. 그러나 사용후핵연료에는 많은 핵분열 생성물이 포함되어 있어 핵적인 성질과 재료적 성질이 연소되지 않은 이산화우라늄과는 많은 차이를 보이 것으로 예상된다. 따라서 건식공정 핵연료를 상업용 원자로에서 연소시키기 위해서는 핵적 양립성과 원자로에서의 성능평가를 위한 재료적 물성평가가 이루어져야 한다. 건식공정핵연료의 높은 방사선 때문에 실험실 규모의 물성연구를 위해서는 차폐시설과 원격장치 등이 필요하여 시험을 다양하게 수행하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 건식공정핵연료의 물성 연구를 위해서는 재료적 성질을 모사한 모의 핵연료를 이용한다. 모의 핵연료는 실제 건식공정핵연료에 비해 제조가 비교적 간단하기 때문에 물성연구에 필요한 다양한 변수의 시료를 제조할 수 있어 건식공정핵연료의 물성 예측 뿐만 아니라 물성에 미치는 변수의 영향도 확인할 수 있다.

본 연구에서는 건식공정핵연료의 열전도도에 미치는 변수 중에 고용체의 영향을 파악하기 위해 고용체만 함유한 모의 건식공정 핵연료를 이용하여 열확산도를 측정하였으며 이를 이용하여 열전도도를 계산하였다. 또한 UO_2 의 열전도도와 비교하여 건식공정핵연료의 열전도도에 미치는 고용체의 영향을 계산하였다.

- 실험

본 실험에 사용된 재료는 3, 6, 12 at% 연소도에 해당하는 건식공정 핵연료의 핵분열 생성물중 고용체를 형성하는 SrO , Y_2O_3 , ZrO_2 , TeO_2 , La_2O_3 , CeO_2 및 Nd_2O_3 를 UO_2 분말과 혼합하여 모의 핵연료의 펠렛을 제조하였다. 열확산도는 Laser Flash 장치를 이용하여 상온에서 1473 K의 온도 범위에서 측정하였다.

- 결과

열전도도는 식 $k = \rho ac$ 를 이용하여 계산할 수 있으며, 여기서 ρ 는 밀도, a 는 열확산도, c 는 비열을 나타낸다. 열전도도는 기공에도 영향을 받기 때문에 기공도 5 (이론밀도의 95%)를 기준으로 Loeb 식을 이용하여 환산하였다. 그림 1은 이렇게 계산한 열전도도 나타낸 것이다. 연소도가 증가할수록 즉 모의 핵연료내에 고용체가 많을수록 열전도도는 감소하며, 그 차이는 온도가 증가할수록 줄어드는 것으로 나타났다.

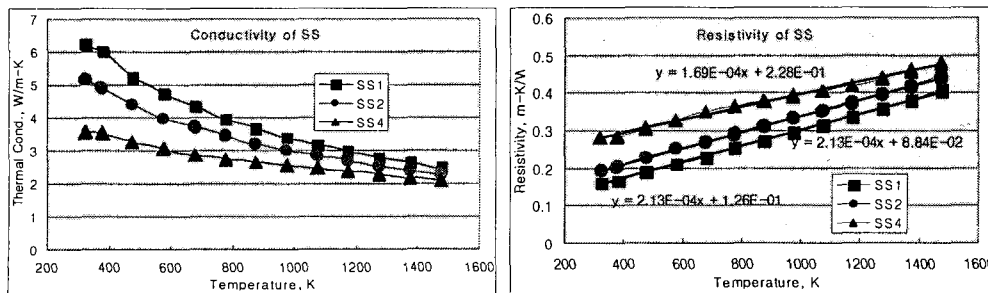


그림 1 고용체 함유 모의 핵연료의 열전도도 그림 2 고용체 함유 모의 핵연료의 열저항도

그림 2는 열전도도의 역수인 열저항도를 나타낸 것이다. 자유전자에 의한 열전달이 활성화 되기 전까지의 온도 범위에서는 열저항도를 이용하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$k = 1/R = \frac{1}{A + BT} \quad (1)$$

여기서 R은 열저항도, A, B는 상수 그리고 T는 온도를 나타낸다. 본 실험에서 구한 고용체 함유 모의 핵연료의 열전도도는 다음과 같다.

$$k_{SS1} = \frac{1}{2.13 \times 10^{-4} T + 0.0884} \quad (2)$$

$$k_{SS2} = \frac{1}{2.13 \times 10^{-4} T + 0.126}$$

$$k_{SS4} = \frac{1}{1.69 \times 10^{-4} T + 0.228}$$

그림 3과 4는 모의 건식공정핵연료의 연소도에 따른 핵분열 생성물중 고용체의 영향을 나타낸 것이다. k_{fd} 는 모의 건식공정핵연료의 열전도도를 UO_2 의 열전도도로 나눈 값이다. 고용체의 영향이 연소도가 증가할수록 크게 나타났으며, 온도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

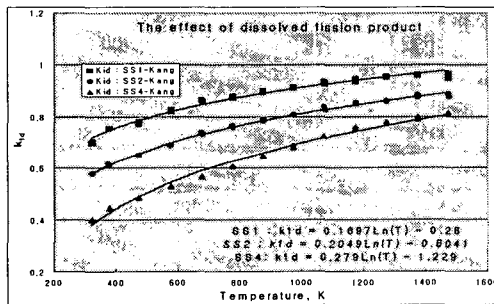


그림 3 모의 건식공정핵연료의 열전도도에 미치는 온도에 따른 고용체의 영향

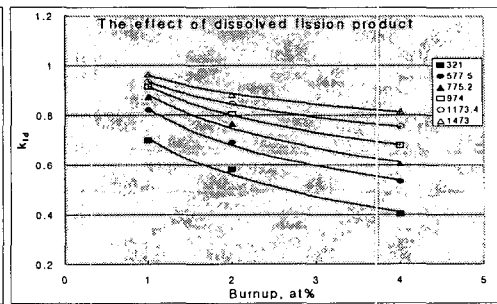


그림 4 모의 건식공정핵연료의 열전도도에 미치는 연소도에 따른 고용체의 영향

- 결론

본 연구에서는 건식공정핵연료의 열전도도에 미치는 변수 중에 고용체의 영향을 분석한 결과 고용체가 열전도도를 감소시키며, 그 양에 비례한다. 고용체의 영향이 저온에서는 크게 나타났으나 온도가 증가할수록 줄어드는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 건식공정핵연료의 성능평가 뿐만 아니라 핵분열생성물이 존재하는 사용후핵연료의 중간저장 용기설계, 수송용기 설계, 처분장 설계 등에도 활용될 수 있을 것으로 생각된다.