

반응층 성장에 따른 U-Mo/Al 분산핵연료의 열전도도 특성의 고찰  
 Investigation on Thermal Conductivity Characteristics  
 of U-Mo/Al Dispersion Fuel Meats with Growth of Reaction Layer

한국원자력연구소 박정건\*, 박종만, 김창규,  
 한국표준과학연구원 이상현, 김종철

### 1. 서론

분산 핵연료의 경우 고온반응 시 핵연료와 기지의 경계에서 반응층이 형성된다. 이때 형성된 반응층의 열전도도가 낮을 경우 반응층이 성장함에 따라 핵연료 열전도도 특성의 저하로 인해 연소안전성에 유해한 영향을 미치게 된다. 따라서 원자로 설계 시 연소안정성을 확보하기 위해서는 반응층의 성장거동을 분석하고 반응층의 성장에 따른 핵연료의 열전도도 변화를 고찰하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 U-Mo/Al 분산핵연료에서의 반응거동을 분석하기 위해 시간에 따른 고온 열처리 후 미세조직의 관찰로부터 반응층 두께의 변화를 측정하고 밀도, 열확산도, 열용량의 변화를 측정하였다. 이로부터 온도에 따른 반응층의 성장속도, 반응층 성장의 활성화에너지 및 열처리시간에 따른 열전도도 변화를 계산하였다.

### 2. 실험방법

U Mo 합금분말은 감손우라늄 lump (99.9 wt%) 및 Mo lump (99.7 wt%)을 사용하여 자르코니아 도가니에서 진공유도 용해 후 원심분무법으로 제조되었다. 90rpm으로 회전하는 V-mixer를 사용하여 지름이 75-90 $\mu$ m인 U Mo 분말과 지름이 20 $\mu$ m인 알루미늄 분말을 1시간 동안 혼합한 후 400°C에서 압출비 38로 압출하였다. U Mo의 부피분율은 10, 30, 40 %로 변화시켰다. 미세조직을 관찰하기 위하여 SEM 및 EDX 분석을 수행하였다. U Mo 핵연료와 알루미늄의 반응거동을 관찰하기 위하여 500-550°C에서 100시간 동안 진공분위기에서 열처리를 수행하였다. 열전도도( $\lambda$ )는 밀도( $\rho$ ), 열확산도( $\alpha$ ) 그리고 열용량( $C_p$ )의 곱으로부터 계산할 수 있으므로 반응층 성장에 따른 각각의 값들을 측정하는 것이 필요하다. 열확산도는 laser flash 방법(SINKU-RIKO apparatus)을, 열용량은 DSC(Differential Scanning Calorimeter, Perkin-Elmer Pyris 1)를 이용하여 상온에서 500°C의 온도범위에서 측정하였다. 열용량측정은 질소분위기에서 수행되었으며 가열속도는 5K/min이다.

### 3. 결과 및 고찰

열처리시간 및 온도가 증가함에 따라 반응층의 두께가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이때 U Mo/Al의 반응거동은 표면반응, 내부반응 그리고 완전반응으로 구분될 수 있다. 온도에 관계없이 열처리시간이 증가함에 따라 표면반응의 비율이 감소하는 거동을 보이고 있으며 온도가 증가하는 경우 표면반응이 일어나는 경향이 급격히 감소함과 동시에 525°C 이상의 경우 표면 반응층이 두 개의 층으로 구성되어 있는 것을 관찰할 수 있었다. 반응층의 성장속도를 계산하기 위하여 spherical diffusion model[1] (식 (1))을 사용하여 온도에 따른 반응층 두께와 열처리시간과의 관계를 도출하였다. 이때  $h$ 는 반응층 두께이고  $r_0$ 는 초기 분말 반경이며  $t$ 는 열처

리시간이다.

$$h^2(1-2h/3r_0) = kt \quad (1)$$

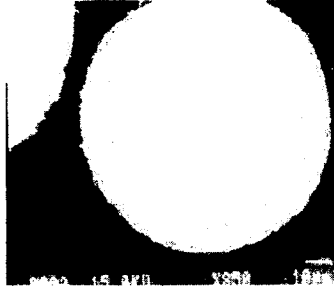


Fig. 1. Microstructure of 10vol% U-10Mo/Al after annealing 25 hrs at 525°C

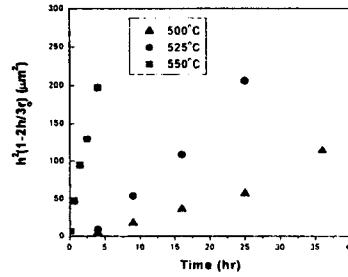


Fig. 2. Variation of thickness parameter of reaction layer obtained by spherical diffusion model at 500, 525, 550°C

반응층 성장거동이 식 (1)과 잘 일치함을 알 수 있었다. Fig. 2.로부터 계산된 반응층 성장의 활성화에너지는 316 kJ/mol이었고 이는 반응층에서 알루미늄 확산에 필요한 에너지로 예측된다.

반응층 성장에 의한 열전도도 변화를 계산하기 위하여 시간에 따른 밀도, 열확산도 및 열용량을 측정하였다. Fig. 3.에 나타난 것과 같이 반응층이 성장함에 따라 열전도도도 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

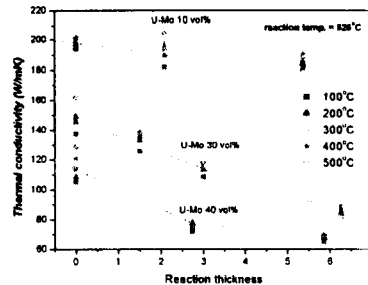


Fig. 3. Thermal conductivity of U-10Mo/Al vs. the thickness of reaction layer

반응층 형성에 따른 열전도도 변화는 원자로 설계 및 안정성분석에의 활용이 기대된다.

#### 4. 참고문헌

- [1] J. Crank, The mathematics of diffusion, Claredon Press, Oxford (1975) p.89
- [2] K. H. Kim, J. M. Park, C. K. Kim, G. L. Hofman and K. W. Paik, Journal of Nuclear Materials 270 (1999) 315-321