

## U-Zr 금속핵연료내의 제논기체 확산거동 측정연구

김희문, 김성렬, 박광현\*, 이종탁, 송웅섭, 백상열, 이찬복, 안상복  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045  
 \*경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동  
 hkim1211@kaeri.re.kr

### 1. 서론

핵연료내의 핵분열생성물중 기체 또는 휘발성 핵종들이 핵연료봉내로 방출하면서 온도 및 내압을 증가시켜 연료봉의 건전성을 저하시킨다. 따라서 핵분열기체의 확산거동을 연구하므로써 보다 나은 핵연료를 개발할 수 있다.

핵연료내 기체확산은 표면확산, 격자확산, 기포확산, 그리고 결정립내와 결정립계에서의 확산등 여러가지가 있으며 외적인 요인으로는 온도, 첨가물, 산화정도, 연소도 그리고 분위기에 따라 다양한 거동을 보인다.

현재까지 고속로에서 사용하는 핵연료에는 MOX 핵연료 또는 금속핵연료를 사용하고 있다. 특히 금속핵연료는 주로 U-Zr과 TRU를 혼합한 핵연료를 사용하며 국내에서도 SFR 핵연료개발에 있어 금속핵연료에 대한 개발이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 조사된 U-Zr 핵연료내 발생하는 핵분열 생성물중 기체의 확산에 관심을 가지고 기체원자의 격자내의 확산거동을 알아보고자 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 시편 제작

U-Zr(5%), U-Zr(10%) 그리고 U-Zr(15%) 3종류의 핵연료 시편을 그림-1과 같이 각각 3개씩 제작하였다. 표-1와 같이 시편의 제원을 나타내었다.

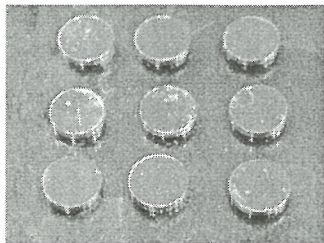


Fig. 1. U-Zr samples (top : Zr-5%, middle : Zr-10%, bottom : Zr-15%).

#### 2.2 중성자 조사

핵연료 시편을 하나로에 조사시키기 위해 그림-2와 같이 캡슐과 조사용기를 이용하여 하나로 연구용 원자로에 16분 조사시켰다. 이때 캡슐내의 분위기는 조사중 산화를 막기위해 헬륨 1.2기압으로 하였다.

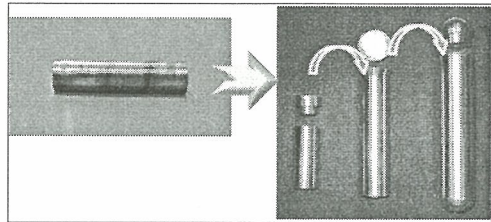


Fig. 2. Sample capsule(left) and triple irradiation container(right).

#### 2.3 고온가열시험

핵연료 시편을 가열하여 방출되는 Xe-133 기체를 포집하기 위해 그림과 같이 장비를 구축하였다. Xe-133의 측정에너지는 81 keV이고 극저온에서 제논자체를 고체화시켜 포집하는 방식으로 하였으며 HPGe 측정기를 사용하여 매 1 hr당 누적 방사능량을 측정하였다. 온도는 640°C(10시간), 700°C(8시간), 800°C(6시간)으로 연속가열을 하였고 분위기는 헬륨으로 실시간 100 ml로 흘려주었다.

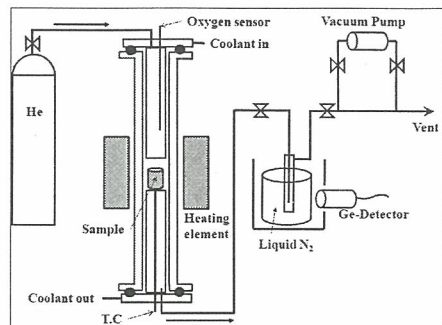


Fig. 3. Layout of annealing/filtration system.

Table 1. Properties of samples.

시편명	직경(mm)	두께(mm)	무게(g)	Zr 함량(%)
11F-04K	5.883	0.986	0.44844	5
11F-05K	5.845	0.9435	0.4189	5
11F-06K	5.813	0.9036	0.40123	5
11F-07K	5.68	0.9978	0.38502	10
11F-08K	5.756	0.9906	0.39688	10
11F-09K	5.885	0.9712	0.4118	10
11F-10K	5.895	1.0262	0.41312	15
11F-11K	5.98	1.0462	0.43629	15
11F-12K	5.94	0.9218	0.37911	15

2.4 결과

상기 준비된 시편중 마지막 11F-12K는 아직 실험중에 있으며 나머지 8개 시편의 고온가열에 의해 방출된 Xe-133 기체를 극저온 포집하여 시간에 따라 누적량을 측정된 결과를 방출률(f)로 계산하여 시간에 따른 제곱값으로 그래프를 그렸다.(그림-4 참조)

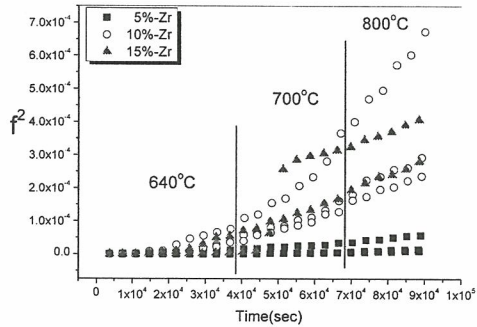


Fig. 5. fractional release of samples (f² vs. t).

시편의 제원이 동일하다고 볼때 Zr 함량이 클 수록 각 온도에서 방출량이 커짐을 알 수 있으며 각 시편의 700°C 에서의 방출률이 커서 그림에서 보듯이 확산계수의 온도에 대한 선형적인 거동에서 초과값을 보이고 있다.

3. 결론

U-Zr 금속 핵연료에 대한 제논 기체원자확산에 대해 고온가열방법을 이용하여 시험을 수행하였다. Zr 함량에 따라 방출량이 증가함을 알 수 있었으며 상변태에 의한 확산계수의 값이 선형적으로 나타나지 않았다. 따라서 격자구조의 변화로 인해 제논이 이동할 수 있는 결합구조 또는 농도

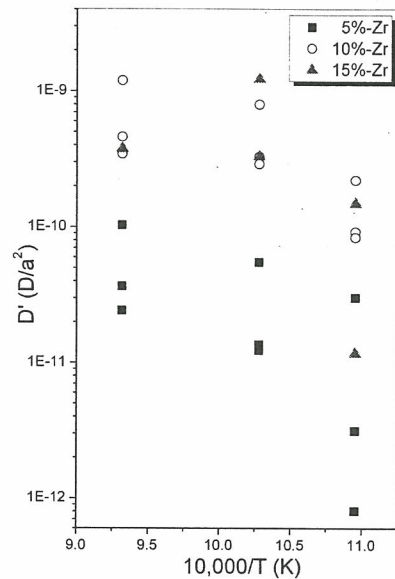


Fig. 6. Diffusion coefficients of samples.

가 달라진 것으로 본다.

4. 참고문헌

[1] Gerald L. Hofman. et al, 'Swelling Behavior of U-Pu-Zr Fuel', Metallurgical Trans. A, vol. 21A, pp.516-528, 1990.  
 [2] Hj.Matzke, 'Gas release mechanisms in UO<sub>2</sub>- A critical review.', Radiation Effects, 53, pp.219-242, 1980.  
 [3] H.Kim, et al, 'Xenon Diffusivity in Thoria-Urania Fuel.', Nuclear Technology, 147, pp.149, 2004.