

## 금속핵연료 공용방지를 위한 Barrier 피복재 성능평가

김준환, 류호진, 양성우, 이병운, 이찬복  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
[junhkim@kaeri.re.kr](mailto:junhkim@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

소듐냉각고속로(SFR)는 고속중성자를 이용하여 핵분열을 일으키는 원자로로 경수로에서 발생한 사용 후 핵연료의 재활용이 가능하여 사용 후 핵연료의 처분이 시급한 한국에서 차세대 원자로로 중요하게 고려하고 있는 원자로다. 금속핵연료는 높은 열전도도 및 핵확산 저항성, 냉각제인 소듐과의 우수한 양립성으로 인하여 소듐냉각고속로 (SFR)의 핵연료로 유력하게 고려되고 있다. 그러나 금속핵연료의 주요 성분인 우라늄과 플루토늄이 스테인리스강 핵연료 피복재와 반응하여 낮은 온도 (650°C 이상)에서 공용하는 현상이 발생하여 이것이 핵연료의 건전성을 약화시키는 원인으로 작용한다. 이러한 공용현상을 방지하고자, 핵연료와 피복재간 상호반응 현상을 방지할 Barrier 물질을 삽입하는 방안이 연구되었으며, Barrier 방법의 한 형태로 금속 박편 (Metallic Foil)을 삽입하는 방안이 연구되었다[1,2]. 피복관 내면에 증착하기 위한 방법 중 하나로 진공증착법 (Vapor Deposition) 및 전해도금법 (Electrochemical Plating)이 제안되었으며 본 연구는 진공증착법 및 전해도금으로 제작한 Barrier를 대상으로 상호반응 시험을 통하여 그 성능을 평가하는데 있다.

### 2. 실험 과정

#### 2.1 실험재료 및 Barrier 피복재 제조

실험에 사용된 금속핵연료는 우라늄에 10중량%의 지르코늄이 첨가된 재료를 사용하였으며 피복재 재료로는 Ferritic-Martensitic 강인 HT9 강을 사용하였다. 진공증착법은 Direct Magnetron Sputtering을 이용하여 지르코늄을 피복재 표면에 약 6 $\mu$ m 정도 증착하였다. 전해도금법은 Sargent 용액 (CrO<sub>3</sub> 와 황산의 비가 100 : 1인 용액)을 사용하여 50°C 온도에서 35A/dm<sup>2</sup>의 전류밀도로 약 60분간 도금하여 크롬을 피복재 표면에 약 20 $\mu$ m 정도 도금하였다.

#### 2.2 상호반응 시험

Barrier 피복재를 대상으로 금속우라늄과의 상호반응 시험을 수행하였다. 금속우라늄과 Barrier 피복재를 맞붙인 후, 지그에 넣고 나사로 체결하여 밀착하였다. Barrier 처리하지 않은 피복재를 비교예로 같이 시험하였다. 시험 중 지그로 불필요한 원소확산을 방지하기 위하여 맞붙인 시편 주위에 탄탈륨 foil을 감싼 후 상호반응 시험을 수행하였다. 지그를 진공로에 넣은 후 800°C 25시간 동안 상호반응 시험 후 물에 넣어 급랭하였다. 배리어 성능을 짧은 시간에 평가하기 위한 목적으로 시험온도를 정상상태 핵연료 온도인 650°C보다 높은 800°C로 설정하였으며 시험 후 불필요한 산화반응을 억제하기 위하여 시험 후 시편을 물에 넣어 급랭하였다. 실험이 끝난 시편은 SEM/EDX를 이용하여 미세조직 분석을 수행하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 금속핵연료-피복재 상호반응

그림 1(a)는 800°C, 25시간 동안 상호반응 시험 후 Barrier 처리하지 않은 피복재와 금속우라늄간의 미세조직을 보여준다. 광범위한 공용현상이 발생하였으며 약 250 $\mu$ m의 공용 반응층이 형성되었다. EDX 관찰결과, 각 반응층은 U<sub>6</sub>(Fe,Cr), Zr(Fe,Cr)<sub>2</sub> 및 U(Fe,Cr)<sub>2</sub> 층으로 구성되었다.

#### 3.2 배리어 피복재 성능평가

그림 1(b)는 진공증착법을 이용하여 지르코늄층을 표면 처리한 Barrier 피복재와 금속우라늄간의 상호반응 시험결과이다. Barrier가 없는 시편과 달리 금속우라늄과 시편간의 상호반응이 일어나지 않은 깨끗한 계면을 보여주고 있다. 그림 1(c)는 크롬 전해도금 처리한 Barrier 피복재와 금속우라늄간의 상호반응 시험결과이다. 지르코늄 증착시편과 마찬가지로 금속우라늄과 시편간의 상호반응이 일어나지 않은 깨끗한 계면을 보여주고 있다. 크롬도금의 경우, 도금층 두께에 걸쳐 도금시 균열이 형성되어 있으며 이러한 균열이 우라늄 침투통로로 작용한 것이 관찰되었으나 도금층 내면까지 침투하지 못함이 관찰되었다. 현재 이러한 균열을 감소시킬 방안에 대한 연구를 진행하고 있으며 피복관 내면에 크롬을 도금하기 위한 전

해도금 loop를 제작 중에 있다.

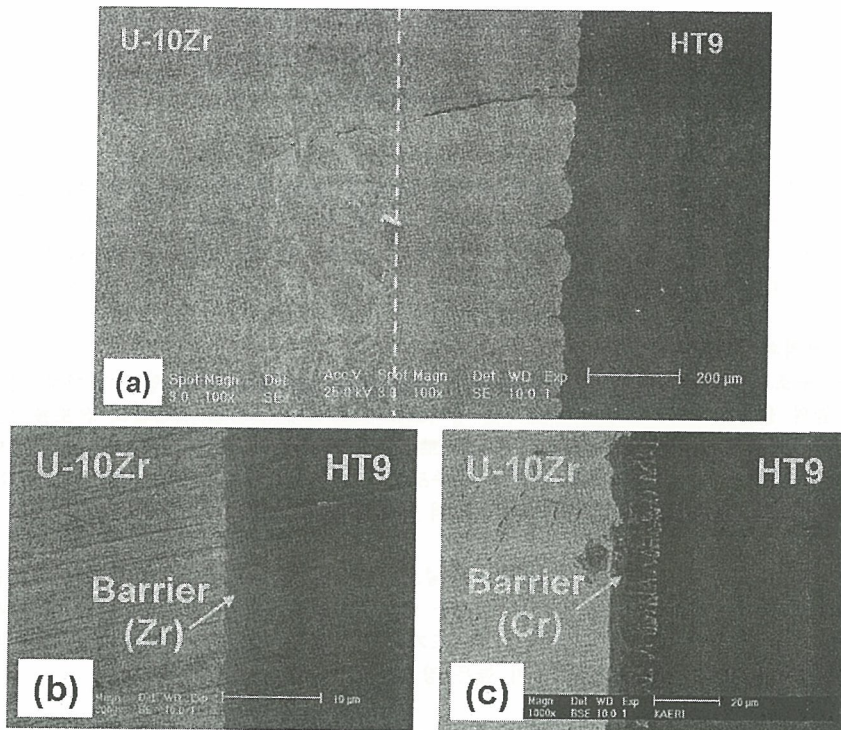


Fig. 1. Microstructure of the specimen after the diffusion couple test at 800°C for 25 hours  
 (a) without barrier, (b) Zr vapor deposition, (c) Cr electrochemical plating

#### 4. 결론

SFR용 금속핵연료와 핵연료 피복재 간의 공용현상을 저감하기 위한 배리어 개발과 그에 대한 성능평가를 수행하였다. HT9 피복재에 지르코늄과 크롬을 각각 진공증착법 및 전해도금법으로 표면 처리한 후, U-10Zr 합금을 이용하여 800°C, 25시간 동안 상호반응 시험을 수행하였다. 시험 결과, 각 조건 모두 상호반응 현상을 억제하는 우수한 성능을 보였다.

#### 5. 사사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발사업인 “핵연료 핵심기반기술 개발”과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 6. 참고문헌

- [1] M. Tokiwai, et al., J. of Nucl. Sci. and Tech, Supp. 3, 913 (2002).
- [2] H. J. Ryu, et al., J of Nucl. Mater., 392, 206 (2009).