

희토류 원소 상호반응 방지를 위한 Barrier 피복재 성능평가

김준환, 천진식, 이병운, 이찬복, 지승현*, 윤영수*
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 *연세대학교, 서울특별시 서대문구 성산로 262
 junhkim@kaeri.re.kr

1. 서론

금속핵연료는 높은 열전도도를 갖는 장점과 더불어 파이로프로세싱과 연계하여 높은 핵확산 저항성으로 사용후 핵연료를 재순환할 수 있는 특징으로 소듐냉각고속로(Sodium-cooled Fast Reactor, 이하 SFR)의 핵연료로 유력하게 고려되고 있다. 그러나 금속핵연료의 주요 구성원소인 U 및 Pu가 핵연료 피복관 재료인 스테인리스강과 운전온도 650°C 이상에서 상호반응 및 공융(eutectic)현상을 일으켜 핵연료의 건전성을 약화시키는 단점(Fuel-Cladding Chemical Interaction, FCCI)을 갖는다. 또한 핵연료가 원자로에 장입되어 핵분열이 진행될수록 Ce, La, Pr, Nd, Sm과 같은 희토류 원소가 생성되며 이들 희토류 원소가 FCCI 현상을 가속화한다는 보고가 있다[1]. 한국원자력연구원은 이러한 FCCI 현상을 방지할 Barrier 피복관 기술을 개발하고 있으며 개발된 후보물질에 대하여 금속핵연료와의 상호반응과 같은 성능평가를 진행하고 있다[2,3,4]. 본 연구는 고연소도 핵연료를 모사하는 희토류 원소에 대하여 Barrier 피복재와의 FCCI 성능을 평가하는 목적으로 희토류 합금인 Misch metal (70Ce-30La)과 기존에 연구한 Barrier 물질인 Zr, V 금속 박편(metallic foil) 및 Cr 전해도금과의 상호반응 시험을 수행하고 그 미세조직을 분석하였다.

2. 실험 과정

2.1 시험 재료

시험에 사용된 Misch metal은 70wt%의 Ce에 29wt%의 La와 미량으로 Nd, Fe, Pr, Mg을 함유한 재료이다. 피복재 재료는 Ferritic-martensitic 강인 Gr.92강을 사용하였으며 합금 조성은 9wt%의 Cr에 2wt%의 W을 함유한 재료이다. 시험에 사용된 Barrier 물질로 각각 20 μ m의 두께를 갖는 Zr, V 박편을 사용하였으며 Cr 도금은 선행 연구에서 선정된 도금조건[4]을 이용하여 약 20 μ m의

두께로 도금하였다.

2.2 상호반응 시험

Misch metal과 Barrier 피복재에 대한 상호반응 시험을 Fig. 1과 같이 수행하였다. Misch metal과 피복재 사이에 Barrier 물질을 포갠 후, 나사에 의한 체결로 밀착시켜 주어진 온도에서 상호확산을 유도하게 하였다. Barrier 피복재 성능평가는 선행 연구에서 제시한 조건[5]인 660°C에서 25시간 수행하였으며 시험 후 조직시편 준비 및 SEM/EDS 분석을 수행하였다.

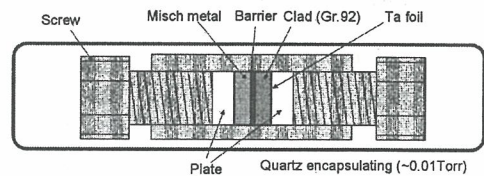


Fig. 1. Schematic illustration of FCCI simulation test

3. 결과

3.1 Misch metal-피복재 상호반응 현상

Fig. 2(a)는 Barrier 처리하지 않은 피복재와 Misch metal의 상호반응 결과이다. 그림과 같이 Fe는 Misch metal 방향으로 Ce는 피복재 방향으로 상호확산 현상이 발생하였으며 Ce와 Fe의 공융반응으로 인하여 약 76 μ m 두께의 (Fe,Cr)_xCe_y 형태의 금속간 화합물로 구성된 반응층이 형성되었다.

3.2 Misch metal-Barrier 피복재 성능평가

제작한 Barrier 피복재와 희토류 원소에 대하여 660°C, 25시간 상호반응 시험 결과, Fig. 2(b)~(d)와 같이 핵연료-피복재 간 상호반응층 형성을 억제하는 우수한 성능을 보였다.

4. 결론 및 향후 계획

본 연구는 금속연료-피복관 상호반응을 억제할 Barrier 피복재 기술개발의 일환으로 Misch metal (70Ce-30La) 합금과 Zr, V, Cr을 표면에 적용한 Barrier 피복재와의 상호반응 시험을 통하여 고연소도 핵연료를 모사하는 조건에서 Barrier의 성능을 평가하는데 있다. 시험 결과, Barrier가 없는 피복재는 Misch metal과 상호확산 및 공용반응을 일으켜 금속간 화합물을 형성하여 피복재 두께를 감소시키는 반면, 피복재 표면에 확산방지 Barrier를 적용한 경우, 상호확산 및 공용현상을 방지하는 우수한 성능을 보였다. 향후 Ce 외에 FCCI 현상에 영향을 주는 것으로 알려진 Nd와 Barrier 피복재와의 성능평가를 수행할 계획이며 metal foil 외에 증착법 등 코팅방법에 따른 영향 연구를 수행할 계획이다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- [1] D. D. Keiser, ANL-NT-240, 2006.
- [2] H. J. Ryu, et al., Journal of Nuclear Materials, Vol. 392, pp. 206-212, 2009.
- [3] J. H. Kim, et al., Journal of Nuclear Materials, Vol. 394, pp. 144-150, 2009.
- [4] S. W. Yang, et al, Journal of Nuclear Materials, Vol. 401, No. 1-3, pp. 98-103, 2010.
- [5] J. H. Kim, et al., Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Pyeongchang, Korea, May 27-28, pp. 319-320, 2010.

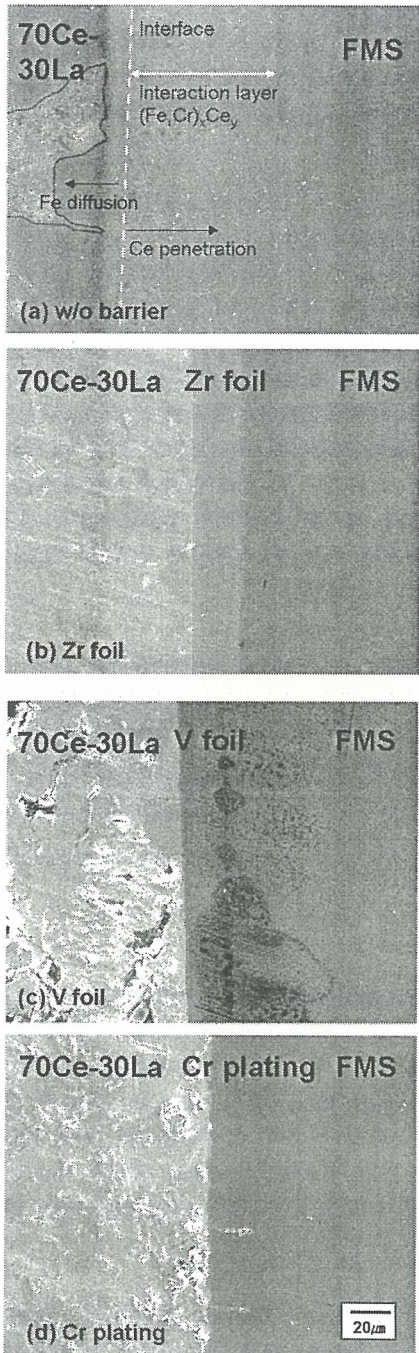


Fig. 2. Result of the diffusion couple test (a) w/o barrier, (b) Zr foil, (c) V foil, and (d) Cr electroplating