

금속연료-피복관 상호반응 방지를 위한 Barrier 피복관 기술개발

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

1. 서론

소듐냉각고속로(Sodium-cooled Fast Reactor, 이하 SFR)는 고속중성자를 이용하여 핵분열을 일으키는 원자로로 경수로에서 발생한 사용 후 핵연료의 재활용이 가능하여 사용후 핵연료의 처분이 시급한 한국에서 차세대 원자로로 중요하게 고려하고 있는 원자로다. 금속연료는 높은 열전도도 및 핵확산 저항성, 냉각재인 소듐과의 우수한 양립성으로 인하여 SFR의 핵연료로 유력하게 고려되고 있다. 그러나 금속연료의 주요 성분인 우라늄과 플루토늄이 핵연료 피복재인 스테인리스강과 반응하여 원자로 가동온도 (650°C 이상)에서 공융하여 피복관 두께가 얇아지는 현상이 발생하여 이것이 핵연료의 안전성을 약화시키는 원인으로 작용한다. 이러한 공융현상을 방지하고자 핵연료와 피복재간 상호반응 현상을 방지할 확산방지 Barrier를 핵연료와 피복관 사이에 적용하는 방안이 연구되었으며, 금속 박편(Metallic Foil) 및 물리적 진공증착법(Physical Vapor Deposition, 이하 PVD)을 이용한 타당성 연구 결과, Zr, Cr 및 V이 최적 Barrier 물질로 선정되었다[1,2]. 이에 선정된 최적 Barrier 물질을 피복관 내면에 적용하기 위한 방법 중 하나로 화학적 진공증착법(Chemical Vapor Deposition, 이하 CVD) 및 전해도금법(Electrochemical Plating)을 이용하여 Barrier 피복관 제조 기술을 개발하였다.

2. 실험 과정

2.1 전해도금 장치 구축

전해도금을 이용하여 tube 내면을 도금할 장치를 Fig. 1과 같이 제작하였다. Pb-Sn wire를 anode로 cathode인 tube 중앙에 위치시켜 tube 내면에 균일한 도금층이 형성되도록 하였다. 순환장치에 Sargent solution(250g/l CrO₃, 2.5g/l H₂SO₄)을 채운 후 유량을 조절할 수 있게 하였다. 순환장치에 solenoid valve를 장착하여 정/역 순환을 유도하

여 길이방향을 따라 tube 내 균일한 도금층이 형성되도록 제작하였다.

2.2 CVD 장치 구축

Tube 내면에 barrier 물질을 증착시킬 CVD 장치를 Fig. 2와 같이 제작하였다. Target 재료는 tetrakis zirconium (Zr(N(C₂H₅)(CH₃))₄)을 사용하여 최대 600°C 조건에서 Ar과 수소를 적정량 혼합한 기체를 carrier gas로 사용하였다.

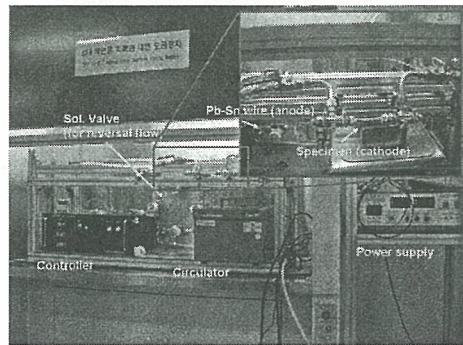
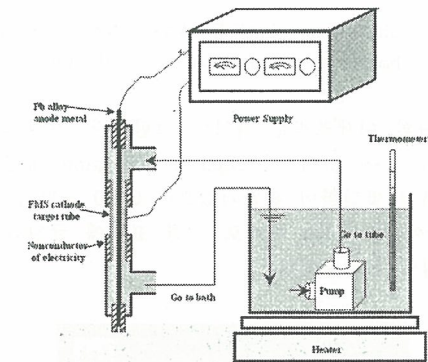


Fig. 1. Illustration of electroplating device for fabricating barrier at the inner surface of the tube.

3. 결과

3.1 Barrier 시제품 제조

Fig. 3은 전해도금 및 CVD를 이용하여 제조한

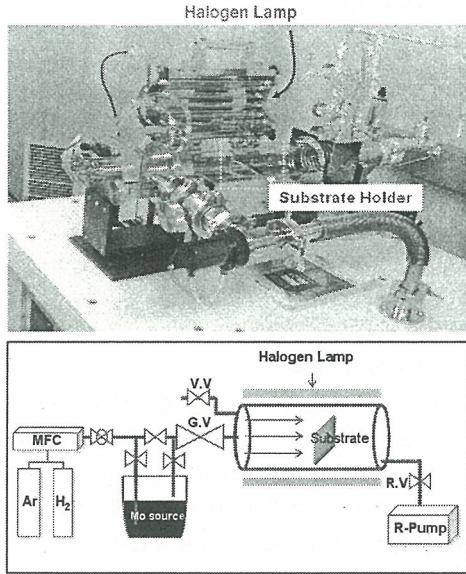


Fig. 2. Illustration of CVD device for fabricating barrier at the inner surface of the tube.

Barrier의 미세조직을 나타낸 그림이다. 전해도금 시편의 경우 Cr이 약 20 μ m 두께로 tube 내면에 균일하게 발달함이 관찰되었으며 CVD 시편의 경우 Zr이 약 0.3 μ m 두께로 시편 표면에 균일하게 발달함이 확인되었다.

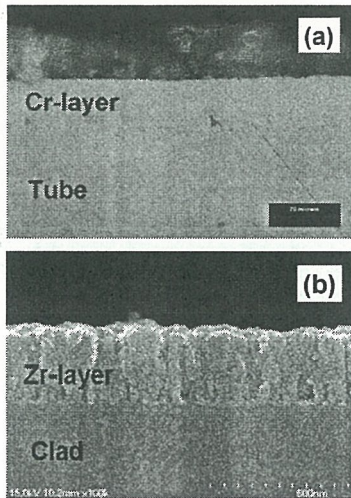


Fig. 3. Microstructure of the barrier coating on the clad surface (a) Cr electroplating, (b) Zr CVD

3.2 Barrier 피복관 성능평가

제작한 Barrier 피복재와 U-10Zr 금속연료에 대하여 800 $^{\circ}$ C, 25시간 상호반응 시험 결과, Fig. 4와 같이 핵연료-피복재 간 상호반응층 형성을 억제하는 우수한 성능을 보였다.

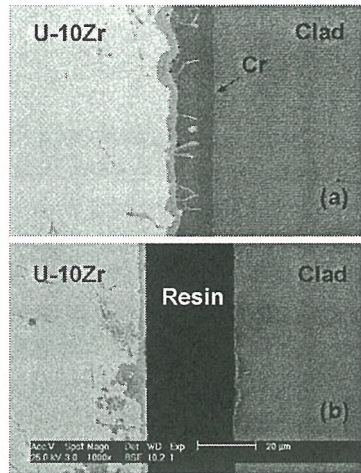


Fig. 4. Result of the diffusion couple test (a) Cr electroplating, (b) Zr CVD

4. 결론 및 향후 계획

금속연료-피복관 상호반응을 억제할 Barrier 피복관 제조기술을 개발하였다. 전해도금 및 CVD 기술을 이용하여 Cr과 Zr층을 tube 내면에 적용할 기술을 개발하고 있으며 성능평가 결과, 우수한 상호반응 저항성을 보였다. 향후 Barrier 층 최적화 및 Barrier 표면 개질 연구를 진행할 계획이다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

[1] H. J. Ryu, et al., Journal of Nuclear Materials, 392, pp. 206-212, 2009
 [2] J. H. Kim, et al., Journal of Nuclear Materials, 394, pp. 144-150, 2009