

지르코늄 합금의 고온 수증기에서의 산화 연구 High Temperature Oxidation of a Zirconium Base alloy in Steam

양성우^a, 박광현^a

^a경희대학교 원자력공학과 청정제염연구실

1. 서론

지르코늄 합금은 현재 원자력 발전소의 핵연료 피복관으로 쓰이는 재료로써 그 건전성은 매우 중요하다. 최근에는 원자력 발전소 운전 조건이 고연소도, 장주기운전으로 변화하고 있어 기존의 핵연료 피복관이 더욱더 견디기 어려워지고 있는 추세이다. 그러므로 기존의 핵연료 피복관(Zircaloy-4)이 다른 개량 핵연료 피복관으로 대체되고 있는 실정이다. 그러나 Zircaloy-4에 비해 개량 핵연료 피복관은 아직까지 많은 연구가 행해지지 않았다. 따라서 본 연구의 목적은 Zircaloy-4와 개량 핵연료 피복관(Zirlo)과의 고온 수증기 분위기에서의 산화 비교를 통하여 자료를 도출하는데 있다.

2. 본론

실험은 Zircaloy-4와 개량 핵연료 피복관의 가장 큰 후보인 Zirlo를 사용하였다. Zirlo와 Zircaloy-4의 가장 큰 차이점은 합금 내 Nb의 함유 유무이다. 두 피복관을 절단하여 물리적 연마와 화학적 연마를 통해 시편을 준비하였다[1]. 시편은 대기압 분위기와 고압 분위기의 두가지 방법을 통하여 산화 실험을 수행하였다. 실험에 수행된 산화장치를 그림-1에 나타내었다. 대기압 분위기의 경우 온도는 700°C-1200°C, 시간은 2분-300분에서 시편을 산화시켰고, 고압 분위기의 경우 압력은 1bar-150bar, 온도는 700°C-900°C에서 시편을 산화시켰다. 산화된 시편을 무게 증가량과 산화막 두께를 통해 정량화 하였으며, 시편의 단면을 광학현미경으로 관찰하여 비교하였다.

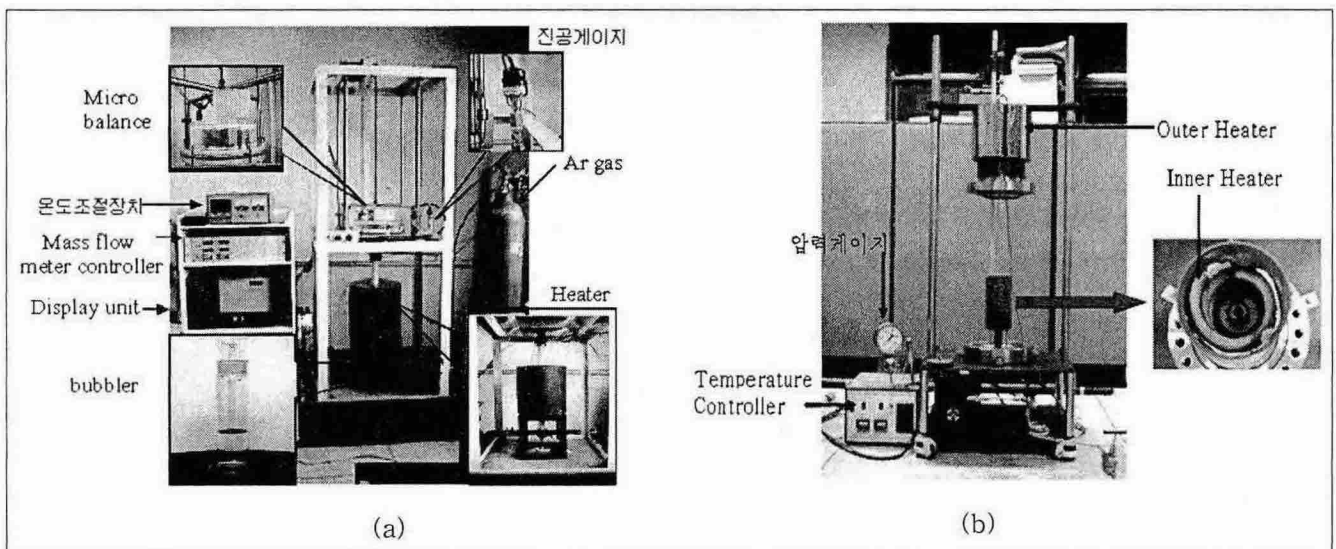


그림-1. 고온 수증기 산화장치. (a) 대기압 분위기 (b) 고압 분위기

3. 결 론

그림-2는 대기압 수증기 분위기에서 1200°C, 5분간 고온 산화된 Zircaloy-4와 Zirlo시편의 단면을 광학 현미경을 통하여 관찰한 것이다. Zircaloy-4는 α 상과 β 상이 명확히 구별되지만, Zirlo는 구별이 어렵다. 그리고 Zirlo의 α 상이 Zircaloy-4에 비해 느리게 형성 되는 것을 알 수 있다. Zirlo 피복관의 산화속도는 Zry-4 피복관과 거의 비슷하다. 하지만 900°C 이상에선 Zirlo 피복관이 약간 산화속도가 적게 나타났다. 900°C이하에서 Zry-4는 삼차법칙 (cubic rate law)이 나타나지만, Zirlo는 온도에 상관없이 이차법칙 (parabolic rate law)가 나타난다[2].

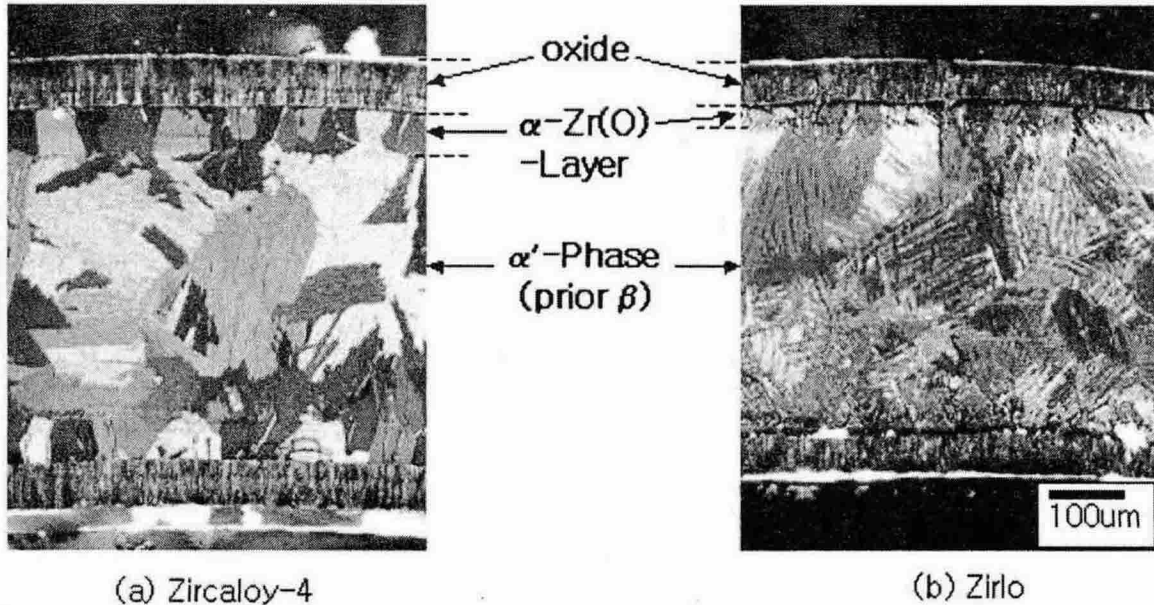


그림-2. 대기압 수증기에서 고온 산화된 Zry-4와 Zirlo의 단면 사진 (1200°C, 5분)

Zircaloy-4에서는 700°C-900°C의 온도에서 압력에 따른 산화 가속화 현상이 나타났다. 고압 수증기에서 산화될 경우 정방정 산화막이 급속히 단사정 지르코니아로 상변태되고, 이때 단사정 산화막에 균열이 발생하여 결국 산화가 가속화된다. 반면에 Zirlo에서는 수증기 압력에 따른 산화 가속화 현상이 매우 미약하게 나타났다.[3]

참고문헌

- [1] ASTM,, Annual Books of ASTM Standards section 3, 03.02 (1991) 49
- [2] F. J. Erbacher and S. Leistikow, ASTM STP 939 (1987) 451
- [3] R. E. Pawal, J. V. Cathcart, and J. J. Campbell, Journal of Nuclear Material, 82 (1979) 129