

지르칼로이-4의 하중하에서의 고온 산화 거동 High Temperature Oxidation Behavior of Zircaloy-4 under Applied Load

양성우*, 박광현

경희대학교 원자력공학과 청정제염연구실

1. 서론

지르칼로이-4는 현재 가압경수로에서 널리 사용되고 있는 핵연료 피복관의 재료이다. 핵연료 피복관은 방사성 물질의 1차 차폐체로서 그 역할은 상당히 중요하다. 따라서 미국의 NRC에서는 원자로 사고 시(LOCA) 피복관의 건전성을 규정하고 있다. NRC에서 사용되는 식은 Baker-Just 식을 사용하는데 이는 보수적으로 알려져 있다. 그러나 핵연료 피복관은 위쪽과 아래쪽이 고정되어 있고 내압의 영향을 받기 때문에 하중을 받는다. 일반적으로 하중하에서 산화가 가속된다고 알려져 있지만 현재까지 구체적으로 하중하에서의 산화거동이 잘 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구의 목적은 자료생산을 통해 하중하에서 산화거동을 관찰하는 것이다.

2. 본론

시편은 현재 원자력발전소에서 사용되고 있는 Zircaloy-4를 사용하였다. 시편의 4곳에 구멍을 내고 알루미늄 비드와 칸탈선을 통해 하중을 걸었다. 시편의 길이는 Hot Zone의 두배가 넘는 30mm를 기준으로 하였다.

시편의 산화거동은 불연속적으로 측정하였다. 원하는 온도까지 상승하면 시편을 Hot Zone에 위치시켜서 원하는 시간만큼 산화시켰다. 산화 후 시편을 꺼내 공기중에서 냉각시켜 무게와 늘어난 길이를 측정하였다. 그 자료를 토대로 Weigh gain 값과 Creep strain을 구하였다. 산화된 시편을 일정길이로 절단하여 가공후 각 과정을 통하여 광학현미경으로 단면을 관찰하였다. [1]

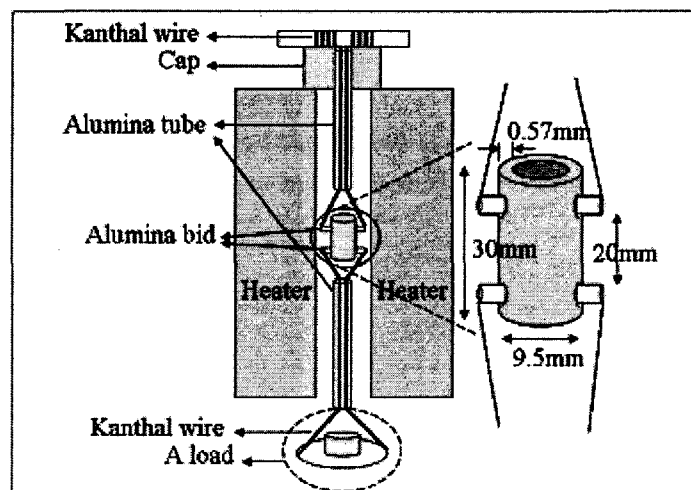


그림-1 실험장치 개요도

온도는 1000℃에서 측정되었고, 시간은 10분,20분,30분간 측정되었으며, 적용된 하중은 $\sigma_0 = 0, 1.53\text{kg/cm}^2, 3.06\text{kg/cm}^2, 4.60\text{kg/cm}^2$ 이다. ($\sigma_0 = Mg/A$ where, Mg : 하중의 무게(kg), A : 적용된 단면적(cm^2))

3. 결과

그림-2는 대기압 분위기에서 공기중에서 산화된 시편의 단면을 광학현미경으로 관찰한 것이다. 하중을 걸지 않은 시편은 금속과 산화막이 균일하고 일정한 반면에 하중을 건 시편은 폭발적인 산화가 일어나고 산화막과 금속의 손상이 많이 일어나서 불규칙한 형태를 보인다.

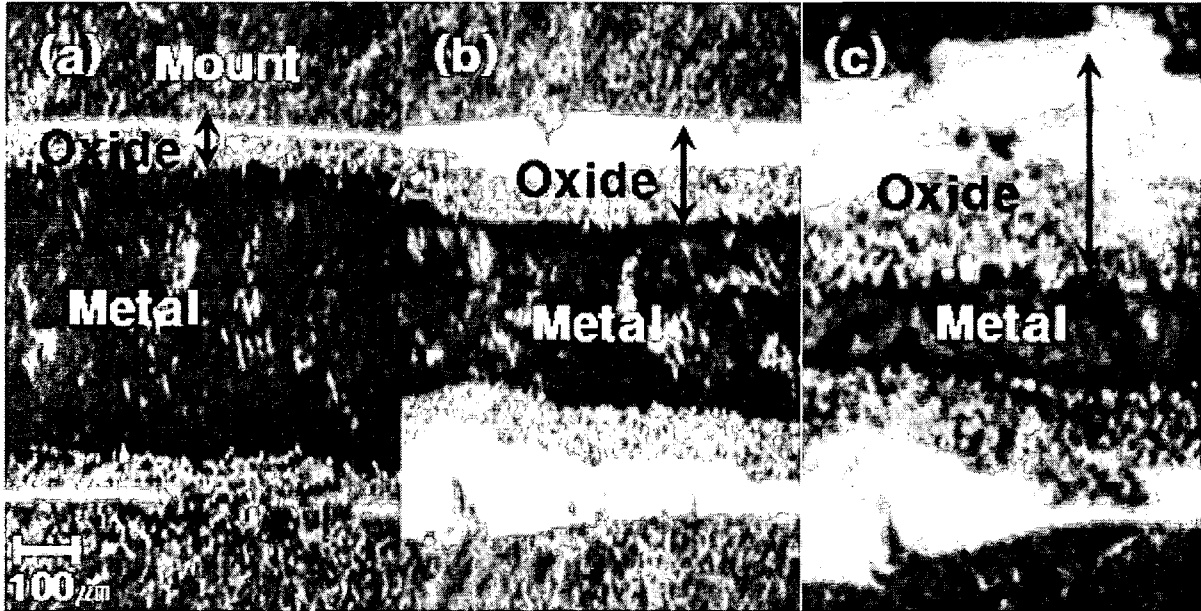


그림-2. 1000℃, 대기압 공기중 분위기에서 산화된 Zircaloy-4의 단면사진.
(a) $\sigma_0=0$ (b) $\sigma_0=1.53\text{kg/cm}^2$ (c) $\sigma_0=4.60\text{kg/cm}^2$

하중이 증가할수록 산화막에는 균열 발생이 가속화 되고, 그 균열을 통해 산소가 침투하여 더욱 금속과 반응하여 산화막을 형성하게 된다. 따라서 하중이 증가되면 비 보호성 산화막이 많아지게 되어 산화 저항성이 많이 떨어지게 된다. [2]

참고문헌

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