

Zr-2.5Nb 압력관의 축방향 크립 특성

Axial-direction Creep Characteristics of Zr-2.5Nb Pressure Tube

박중철, 김영석, 김성수, 임경수
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

Zr-2.5Nb 압력관의 크립을 고려한 건전성 평가를 위하여 축방향 크립시험을 수행하였다. 압력관의 크립시험은 일축 인장으로 400°C, 375°C, 350°C에서 각 온도마다 200MPa, 180MPa, 165MPa 응력 하에서 수행되었다. 그 결과 실험온도와 응력이 높아질수록 안정상태 영역으로 빨리 도달하였다. 그리고 크립속도는 응력의 영향보다는 온도의 영향이 더 크음을 알 수 있었고, 이는 비록 운전온도인 약 300°C 근방에서는 실험을 수행하지 않았지만 운전온도에서는 응력의 영향은 많지 않을 것으로 사료된다.

Abstract

Axial-direction creep test of Zr-2.5Nb pressure tube was performed as a part of integrity evaluation. This test was run at the 350°C, 375°C and 400°C under 165MPa, 180MPa and 200MPa each of temperature. As a results, the creep rate was rapidly reached the steady-state stage as higher test temperature and test stress. And the creep rate more affected test temperature than effect of stress. These phenomena shown that though the creep test was not experimented around the operating temperature range, the creep rate was less affected the effect of stress at the operating temperature.

1. 서 론

Zr-2.5Nb 압력관은 CANDU형 발전소의 가장 핵심적인 구조물로서 발전소의 수명을 결정하는 주요 부품중의 하나이다. 또한 Zr-2.5Nb 합금은 운전온도와 중성자 조사 환경조건에서 크립에 의한 길이 성장이 가속화되어 일어나기 때문에 발전소의 안전에 영향을

미칠 수 있는 문제점을 내포하고 있을 뿐 아니라 실제로 보고되고 있기도 하다.^{1,2)}

따라서 Zr-2.5Nb 압력관의 크립을 고려한 건전성평가는 반드시 필요하다. 본 연구에서는 연구의 목표인 중성자 조사에 의한 크립성장 거동을 평가하기에 앞서 이를 평가하기 위한 기초자료로 활용하기 위해 비조사재(As-received)의 축방향에 대한 실험을 먼저 수행하여 여러 가지 온도와 응력에 따른 크립 성장 거동을 평가하였다.

2. 실험방법

압력관의 축방향 크립거동 실험은 일축 인장으로, 400℃, 375℃, 350℃에서 각 온도마다 200MPa, 185MPa, 160MPa 응력 하에서 수행하였다. 사용된 시편의 형상은 Fig. 1과 같으며 압력관의 축방향으로 절단하여 제작하였다.

시편과 지그의 안정화와 정렬을 위해 먼저 목표하중의 10% 정도를 부과하여 24시간 동안 유지 후 실험을 시작하였다. 목표하중으로 부가하였을 때의 정확한 초기 변형률(ϵ_0)을 구하기 위해 초기하중 10%에 해당하는 변형률은 외삽 하여 추가하였다.³⁾

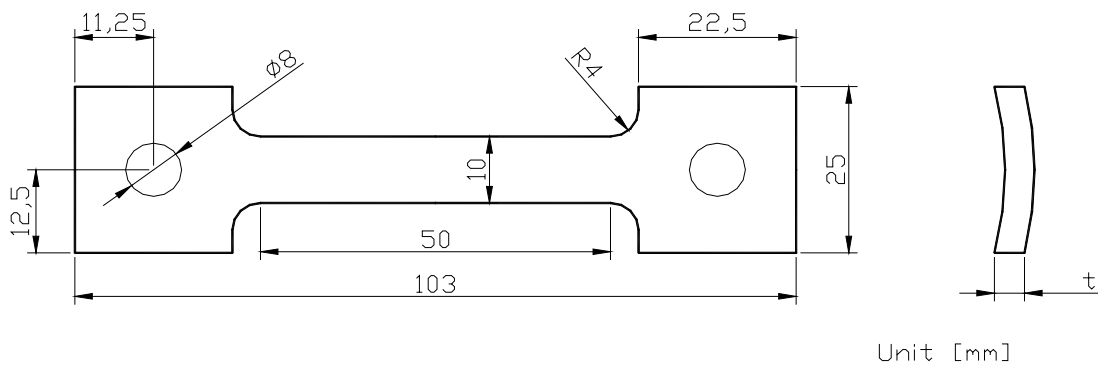


Fig. 1 Dimensions and shape of axial-direction creep test specimen.

3. 실험결과

축방향 압력관의 크립 실험결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다. Fig. 2는 부가된 응력을 기준으로 여러 시험온도에 관해 나타낸 그림이고, Fig. 3은 시험온도를 기준으로 여러 응력에 관해 나타낸 그림이다. 시험온도와 시험하중이 높아질수록 secondary stage 즉 안정상태(steady-state)에 빨리 도달함을 알 수 있다. Fig. 2에서와 같이 응력은 일정하고 시험온도가 변화할 때의 크립성장 특성을 보면 온도의 변화에 따라 많은 크립 변형

률이 일어남을 알 수가 있고, 반면에 Fig. 3에서와 같이 일정한 온도에서 응력의 변화에 따른 크립 변형률은 상대적으로 적음을 알 수 있다. 특히 가장 낮은 온도인 350°C에서의 결과를 보면 응력이 변하더라도 크립 성장률은 거의 일정함을 알 수 있다. 이는 압력관의 운전온도인 약 300°C 근방에서는 이러한 특성이 더 잘 나타날 것으로 유추할 수 있을 것이다.

안정상태에서의 크립성장 속도는 아래와 같은 식(1)을 사용하여 구하였다.

$$\epsilon = a + ct \quad (1)$$

여기서 a 는 “ $t=0$ ”일 때의 크립 변형률이고 c 는 크립속도이다.

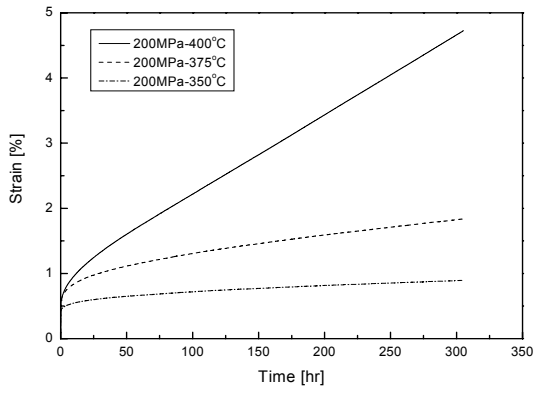
안정상태 영역에서의 크립속도와 응력과의 관계는 다음과 같은 식(2)를 이용하여 결정하였다.

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \quad (2)$$

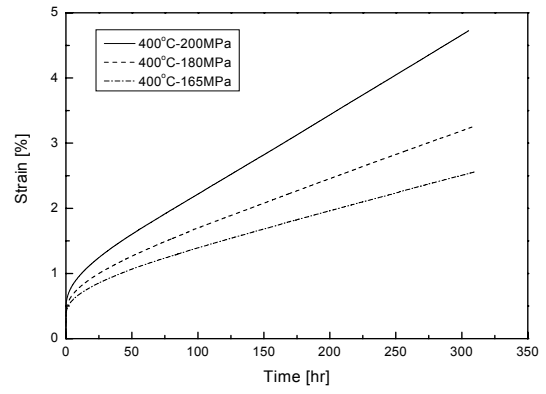
여기서 $\dot{\epsilon}$ 은 크립 변형률속도(creep strain rate)이고 n 은 크립지수, A 는 크립상수를 의미한다.

Table 1에는 축방향 압력관의 여러 조건 하(온도, 응력)에서의 크립시험 결과를 나타내었다. 또한 식(2)를 이용하여 크립속도와 응력과의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 그 결과 실험온도가 감소할수록 크립지수와 상수는 감소함을 알 수 있다.

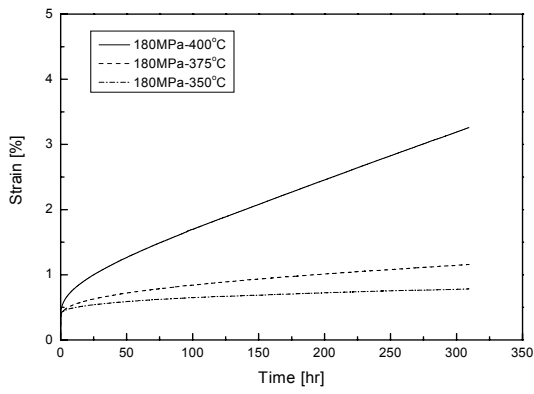
본 연구에 사용된 Zr-2.5Nb 압력관 재료는 튜브의 방향에 따라 서로 다른 집합도(texture)를 나타내고 있으므로 축방향뿐만 아니라 횡방향, 두께방향에 대한 크립거동도 함께 고려되어야한다. 그러나 두께방향은 시편 채취에 문제가 있기 때문에 실험이 불가능하고 현재에는 횡방향 시편에 대해 실험이 진행중이다.



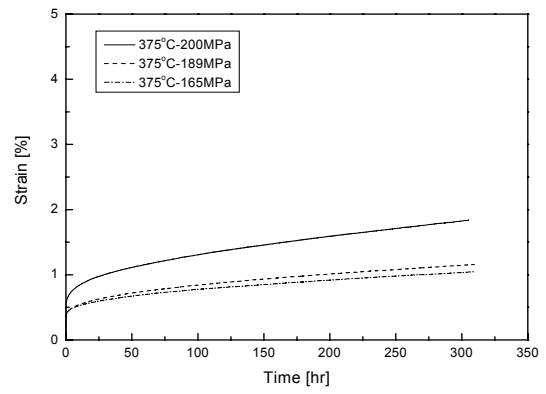
(a) under 200MPa



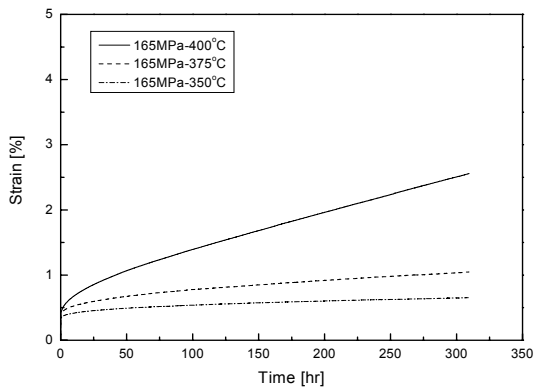
(a) at 400°C



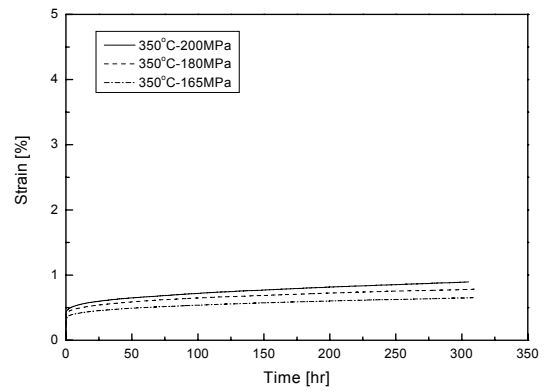
(b) under 185MPa



(b) at 375°C



(c) under 165MPa



(c) at 350°C

Fig. 2 Creep curves for Zr-2.5Nb under various stresses.

Fig. 3 Creep curves for Zr-2.5Nb at various temperatures.

Table 1 Creep properties of Zr-2.5Nb pressure tube.

Temp.[°C]	Stress[MPa]	$\dot{\epsilon}$ [1/h]	n	A
400	200	5.5×10^{-5}	4.210	2.460×10^{-14}
	185	7.3×10^{-5}		
	160	1.23×10^{-4}		
375	200	1.1×10^{-5}	3.889	2.460×10^{-14}
	185	1.3×10^{-5}		
	160	2.3×10^{-5}		
350	200	4.0×10^{-6}	2.919	1.333×10^{-12}
	185	5.0×10^{-6}		
	160	7.0×10^{-6}		

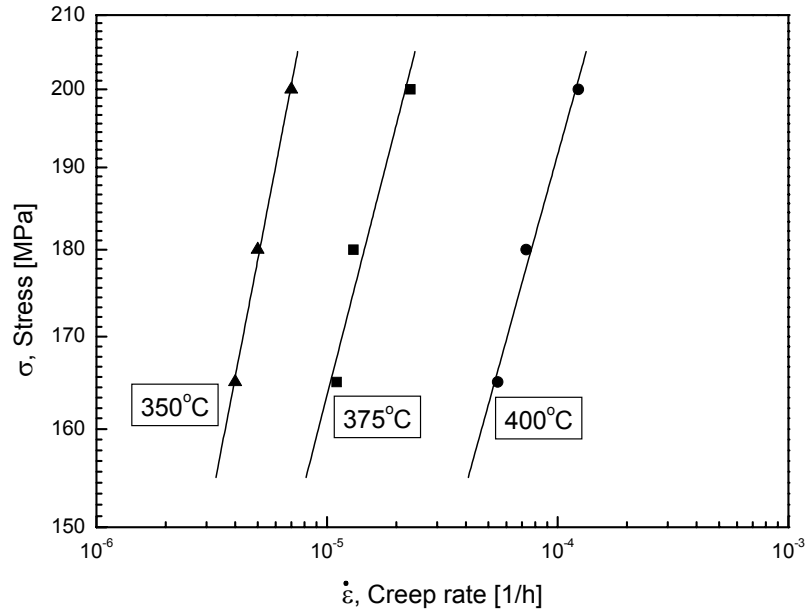


Fig. 4 Stress vs. steady-state strain rate at various temperatures for Zr-2.5Nb pressure tube.

4. 참고문헌

- 1) Garpenfer, G. J. C. and Watters, J. F., □□Irradiation Damage Recovery in Some Zirconium Alloy, □□Zirconium in Nuclear Applications, ASTM STP 551, 1974, p. 400.
- 2) Pavinich, W. A. and Papazoglou, T. P., □□Hot Cell Examination of Creep Collapse and Irradiation Growth Specimens, End of Cycle 3, □□Babcock and Wilcox/EPRI Cooperative Progress, LRC-4733-8, March 1980.
- 3) ASTM Standard E 139, Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture and Stress Rupture Tests of Metallic Materials, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2003.