

Evaluation of Crack Initiation of Zr-2.5Nb with Compliance and DCPD method

H. C. Jeong,^a Y. S. Kim,^a S. B. Ahn,^a K. S. Lim,^a Y. M. Chung ^a
^a Korea Atomic Energy Research Institute

1. Introduction

중수로 원자력 발전소 1 차 계통의 압력경계부품 중 핵심 부품으로 핵연료 집합체와 냉각재 중수를 포함하는 CANDU 압력관은 일반적으로 길이 6.3m, 외경 103mm, 두께 4.2mm 정도의 Zr-2.5Nb 관을 사용한다. 압력관은 약 10MPa의 내압과 입구 250°C 및 출구 315°C의 온도 조건에서 운전되므로 가압중수로에서 가장 높은 신뢰성이 요구되는 요소이다. 중수로 압력관의 건전성 평가로 압력관의 임계균열길이에 의한 안전수명을 정확히 예측하기 위한 압력관의 파괴인성실험은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 압력관의 곡면을 살린 Curved Compact Tension (CCT) 시험편을 이용하여 ASTM 에서 규정한 파괴인성 실험에 준한 파괴인성 실험법을 이용하여 소형 compact tension (CT) 시험편을 이용한 파괴인성 시험을 수행하여 DCPD 방법과 제하 컴플라이언스법으로 안정 파괴개시점 결정과 파괴인성 저항치를 결정, 비교하였다.

2. Material & Experimental Methods

2.1 Material and Specimen

본 연구에 사용된 재료는 중수로 Zr-2.5Nb 압력관으로 내부직경은 103 mm 이며, 두께는 4.2~4.4mm 이다. J-R 곡선으로부터 dJ/da 를 얻기 위한 파괴인성 시험편은 축방향의 노치를 갖는 CCT 시험편을 제작하여 사용하였다. CCT 시험편의 크랙 진전방향은 Axial 방향이다. Zr-2.5Nb의 상온에서의 기계적 특성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of the Zr-2.5Nb alloy

Elastic Modulus [GPa]	Poisson's ratio, ν	Yield Strength [MPa]	Ultimate Tensile Strength [MPa]	Elongation [%]
102	0.38	869	895	16~23

2.2 Experimental Methods

파괴인성실험은 Instron 8501 로 행하였으며, 파괴인성은 ASTM E 1820-01 에 준하여 Single-specimen method 에 의하여 수행하였으며, 파괴인성실험을 위해서 피로예비균열을 삽입하였다. 피로예비균열을 얻기 위하여 0.5°의 테이퍼핀을 사용하여 피로크랙의 길이는 크랙비(a/W)가 약 0.5 정도가 되게 하였으며, 하중비($R=P_{max}/P_{min}$)는 0.1 로 하였다. 피로크랙은 Decreasing ΔK 법을 사용하였으며, 초기의 ΔK 는 약 $12 \text{ MPa } m^{1/2}$ 였으며, 최종크랙길이의 약 25%가 남았을 때는 약 $10 \text{ MPa } m^{1/2}$ 가 되게 조절하였으며, Frequency 는 3Hz 로 하였다. 이때의 피로균열진전을 측정하기 위해 travelling microscope 를 사용하였다. 파괴인성실험중의 균열길이측정은 DCPD 법과 Compliance 에 의해 추정 비교하였으며, 실험이 끝난후에는 Nine point average method 에 의하여 실제크랙길이를 측정 한 후에 DCPD 값을 보정하였다.

3. Results and Discussions

파괴인성 시험으로부터 얻은 데이터를 상온에서의 하중, 컴플라이언스 측정값 및 균열 진전량을 하중선변위에 대해서 나타내었다. 예비균열길이에 의한 영향 등을 고려한 추가실험이 필요하겠지만 안정 파괴개시점 검출성은 Fig. 1에서 보이듯이 DCPD로 측정 한 균열 길이는 좀더 과소평가된 것으로 나타났으며 추가적인 실험과 해석이 요구된다.

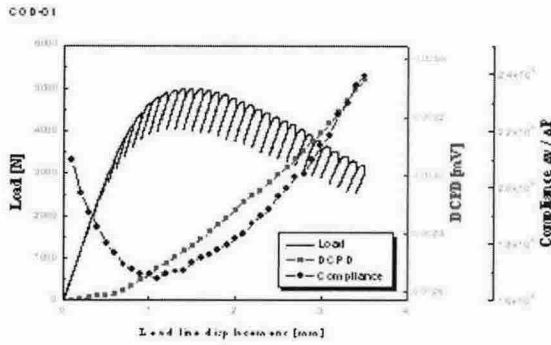


Fig. 1 Compliance and DCPD of the Zr-2.5Nb alloy

4. Conclusion

중수로 압력관에 사용되는 Zr-2.5Nb 합금에 대한 파괴인성특성과 안정파괴개시점을 고찰하기 위해서 소형 compact tension (CT)시편으로 상온에서의 DCPD 와 컴플라이언스법을 동시에 이용한 파괴인성 시험을 통해 동일시편으로부터 구한 DCPD 법 결과가 컴플라이언스법보다 보수적인 결과를 나타내었으나, 본 실험에서 사용된 컴플라이언스법의 유효성에 관한 고찰이 좀더 요구된다.

REFERENCES

- [1] L.A. Simpson, C.K. Chow, and P.H. Davies, "Standard Test Method for Fracture Toughness of CANDU Pressure Tubes", AECL Report COG-89-110-I, September 1989.
- [2] D.D. Himbeault and P.H. Davies, "Second International Round Robin on Fracture Toughness Testing of Pressure Tube Materials Using 17 mm Curved Compact (Toughness) Specimens," RC-2069, COG-98-161-I, Jan. 1999, AECL.
- [3] American Society for Testing and Materials, ASTM E 8, "Standard Test Method of Tension Testing of Metallic Materials".
- [4] American Society for Testing and Materials, ASTM E 21, "Standard Recommended Practice for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials".
- [5] American Society for Testing and Materials, ASTM E 1820-01, "Standard Test Method for Measurement of Fracture Thoghness".
- [6] S.I. Hong, W.S.Ryu and C.S.Rim, "Elongation minimum and strain rate sensitivity minimum of zircaloy-4", J. Nucl. Mater., 116, 1983, pp.314~316.
- [7] C. K. Chow, K. H. Nho, "Effect of thickness on the fracture toughness of irradiated Zr-2.5Nb pressure tubes", Journal of Nuclear Materials 246(1997), pp.84~87.