

## DHC Behavior at CANDU Zr-2.5Nb Pressure Tubes with Heat Treatment

Seung-Jun Choi, Kyung-Soo Im, Young Suk Kim

Zirconium Group, KAERI, 150 Yuseong, Daejeon 305-353, Korea, yskim1@keari.re.kr

### 1. 서론

월성원자력발전소와 같은 가압 중수로형 발전소의 압력관 재료로 CANDU Zr-2.5Nb 합금이 사용되고 있다. 이 중수로 압력관은 핵연료 집합체 및 냉각재인 중수를 지지하는 부품으로, 1 차 계통의 압력경계 부품 중 가장 핵심이 되는 부품이다. 현재 가압 중수로형 발전소로 10 년 이상 운용중인 월성원자력 발전소의 안전수명을 예측하기 위해서는 조사된 압력관의 파괴인성 특성 및 주된 파괴과정인 DHC 특성을 파악하는 것이 중요하다[1,2]. 그러나 조사취화된 압력관의 특성을 파악하기 위해서는 조사되기 전의 압력관 재료의 물성파악을 미리 실시하여 데이터를 확보하는 것은 반드시 선결해야 할 문제이다.

DHC 는 발생된 크랙의 첨단부위로 압력관에 용해되었던 수소가 집중하여 수소화물을 석출하여 파단되어 발생하는 것으로 재료의 항복강도, 수소고용도 및 온도가 가장 중요한 요소로 작용되는 것으로 알려져 왔다. 또한 재료의 텍스처 및 결함 유무도 DHC 속도에 많은 영향을 미치는 것으로 Amber 등은 보고하였다.[3]

본 연구에서는 이러한 DHC 현상을 더욱 명확히 구분하고자 재료가 겪은 열이력에 의해 DHC 속도 및 크랙 멈춤 또는 발생 온도가 어떻게 변화하는 지를 검토하여 보았다.

### 2. 실험방법

본 실험에 사용된 CANDU 압력관은 800 °C 에서 11:1 로 Hot Extrusion 과 Cold Drawing (25%) 후에 400 °C 에서 24 시간 autoclave 처리되어 제조된다. 압출시의 심한 소성변형 (11:1 의 압출비율)으로 축 방향으로 길게 늘어진 결정입자를 관찰할 수 있다. 길게 축 방향으로 늘어진 결정입자는  $\alpha$ -Zr 이며,  $\alpha$ -Zr 와  $\alpha$ -Zr 사이에  $\beta$ -Zr 입자들이 길게 늘어져 있다.

이에 반해 TMT-1 Zr-2.5Nb 압력관은 압출 후 2 차에 걸친 냉간 압연 및 중간 열처리한 후 3 차 냉간 압연에 들어가기 앞서  $\alpha+\beta$  두상이 혼재하는 영역에서 (870 °C) 열처리를 함에 따라 870(C 에서 형성된  $\alpha$ -Zr 과  $\beta$ -Zr 이 냉각 시 변태되어 생성된 transformed  $\alpha$ 가 혼재되어

있는 조직을 보이며 결정입자의 모양도 등축정으로 나타난다.

재료에 수소장입은 전기분해 방식을 사용하여 충분한 두께의 수소화물 띠를 시편 표면에 형성시킨 후 장입시키고자 하는 수소의 량(34, 60, 150 ppm)에 맞는 균질화 온도 동안 진공중에서 균질화처리를 행하여 실시하였다.

재료가 수소 장입 후에는 원래 압력관의 곡률을 그대로 유지하고, 그림 1 과 같은 축방향의 노치를 가지는 17mm CCT(Curved Compact Tension) 시편을 제작하여 DHC 실험에 이용하였다.

### 3. 실험결과

그림 2 에 노냉한 시편의 DHC 실험 결과와 수냉한 시편의 DHC 실험결과를 나타내었다. 일반적으로 160 도 이상에서 DHC 현상

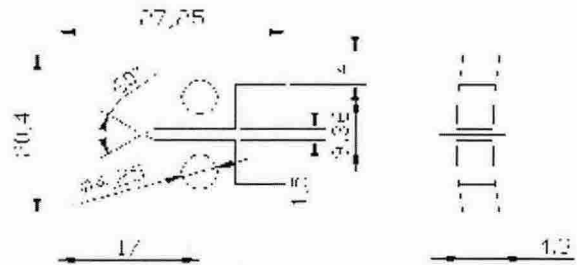


Figure 1. Schematic diagram of CCT specimen

은 고용된 수소를 먼저 녹이고 나서 시험 온도로 온도를 내리는 열싸이클이 없이는 발생하지 않는 것으로 알려져 왔다. 하지만 이러한 현상의 구체적인 원인은 밝혀져 있지 않았다. 그렇지만 그림 2 에서 알 수 있듯이 시험 시편을 수냉을 한 경우는 250 도에서도 위에 언급한 열싸이클이 없이도 DHC 현상이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 현상은 수냉을 할 경우 노냉의 경우  $\delta$ -hydride 상이 생성하여야 할 시편이 수냉을 함으로써  $\gamma$ -hydride 상태로 존재하게 되어  $\gamma$ -hydride 상에서  $\delta$ -hydride 상으로 변태하려고 하는 구동력이 DHC 현상을 고온에서도 일으키는 원인이 된 것으로 생각된다.

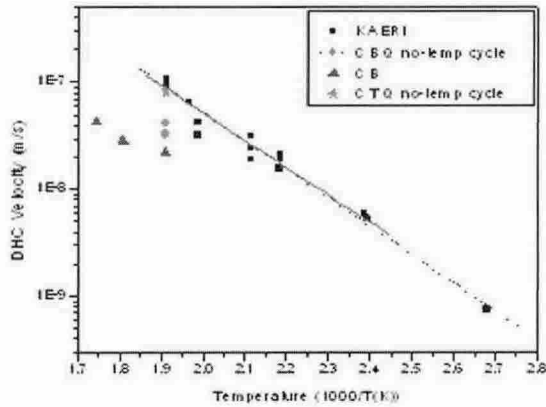


Figure 2. DHC Velocity of CANDU Specimens

#### REFERENCES

- [1] D.J. Oh, K.S. Im, S.B. Ahn, S.C. Kwon and Y.S. Kim, "Comparison of Zr-2.5Nb Pressure Tube Fracture Toughness and CCL Using Small-CT and Large Burst Specimen," in Proceedings of the symposium on Nuclear Materials and Fuel 2000, Taejon, Korea, 23-25 August (2000) pp. 857-861
- [2] S.B. Ahn, D.S. Kim, D.J. Oh, S.S. Kim and Y.S. Kim: in the proceedings of the Conference organized by KSME, held in KRISS, Korea, Feb. 25, (2000), pp. 118-123
- [3] James F. R. Ambler, Effect of Direction of Approach to Temperature on the Delayed Hydrogen Cracking Behavior of Cold-Worked Zr-2.5Nb, Zirconium in the Nuclear Industry, 653-674.