

환형노치시험편을 이용한 폴리에틸렌재료의 피로거동에 대한 장착오류 효과

Effect of the mis-alignment of the circular notched bar (CNB) specimen of polyethylene on the fatigue behavior

*조용건¹, 김일현¹, 한원희¹, 최병호², 이정무³

*Y. J. Zhao¹, I. H. Kim¹, W. H. Han¹, B. H. Choi (bhchoi@korea.ac.kr)², J. M. Lee³

¹고려대학교 대학원, ²고려대학교 기계공학부, ³LG 화학 테크센터

Key words : Circular Notched Bar (CNB), Mis-alignment, Asymmetric crack growth

1. 서론

CNB (circular notched bar) 시험편은 기존의 계획된 single edge notched tension (SENT) 시험편에 비하여 많은 장점이 있는데, 특히 CNB 시험편을 이용하면 균열선단에 3축 응력상태를 발생시켜 가속실험을 가능하게 한다. 그리고 또한 ASTM F1473 에 정의된 PENT test 에 의하면 선정된 재료의 SCG 에 대한 저항성은 매우 다른 것으로 보고 된 바 있다. 하지만 알려진 것처럼 ASTM F1473 방법은 test 조건이 고정 되어 있고 (2.4MPa of the applied stress at 80°C) 균열의 진전 거동을 설명하는데 있어 균열진전 거동 및 균열 발생 거동을 구분 할 수 없으며, 최근에 개발되고 있는 고성능 PE 재료들에 대하여 SCG 평가가 곤란한 경우가 많이 보고되고 있다. 따라서 Zhou 등 (2006) [1] 이 제안한 것과 같은 CNB 시험편을 이용한 균열 발생거동의 관찰을 통하여 보다 엄밀한 PE 의 균열 거동을 정량적으로 평가할 수 있다.

그러나 CNB 시험편의 경우 균열의 진전이 축대칭으로 발생하는 것이 이상적이지만 여러가지 이유로 균열의 진전양상이 비대칭의 양상으로 발생한다. 균열가공의 오류로 인한 파단수명의 변화에 대해서는 전에 논문 [2]에서 고찰한 바 있다. 하지만 실제 크립실험을 수행하면서 가장 문제가 되었던 부분은 시험편 장착시 크립을 조이면 준 비압축성인 PE 재의 경우 변형이 발생하여 하중이 완벽히 시험편의 길이방향으로 나란히 걸리지 못하게 된다. 이 경우 시험편에 발생하는 응력이 대칭이 되지

못하므로 노치의 가공오류와 마찬가지로 비대칭 균열진전의 원인이 된다.

본 논문에서는 concentric 인 경우와 angular 인 경우의 두 가지 형태의 mislignment (장착오류)에 대하여 상용의 유한요소해석 (FEA)을 이용하여 고찰하였으며, 두 가지 형태가 복합적으로 일어나는 경우인 combine 에 대해서는 다음 논문에서 해석을 완료할 예정이다.

2. 해석조건

Table 1 Concentric and angular conductions for FEA.

	e/R	angle	R
Concentric	0, 0.004, 0.008, 0.012, 0.016, 0.020	0	5
Angular	0	0°, 0.1°, 0.2°, 0.3°, 0.4°	5

Table 1 에서 나타낸 것처럼 본 연구에는 concentric ratio (e/R)을 0, 0.004, 0.008, 0.012, 0.016, 0.020 의 경우와 angular 각도를 0°, 0.1°, 0.2°, 0.3°, 0.4° 에 대하여 실시하였다. 노치의 깊이는 초기에 1 mm 로 정하였으며, 시험편의 반지름은 5 mm 이다.

균열선단에서의 응력확대계수(stress intensity factor, SIF)값은 모든 환상균열 선단에서 $\pi/8$ 의 간격으로 총 16 지점에 대하여 계산하였다. 그리고 한계 (critical) SIF (K_c)의 값을 실험에서 가장 축대칭 형태로 파단된 시험편을 통하여 얻은 값인 $75.7 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^{1/2}$ 의 값을 사용하였다. 환상 균열의 선단에서 계산된 응력확대계수 값을

열은 후 Paris' law 의 방법을 이용하여 다음 균열길이를 예측하고 최종적으로 가장 큰 값을 갖는 균열선단의 응력확대계수가 한계 SIF 를 넘는 순간, 시험편은 파단하는 것으로 결정하였다.

3. 해석결과

Fig. 1 과 Fig. 2 는 misalignment 의 concentric ratio (e/R)와 angular angle (e_θ)의 변화에 따른 파단수명(N_f/N_{f0})의 값을 각각 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 e/R 와 e_θ 가 커짐에 따라 파단수명(N_f/N_{f0})의 값이 심하게 저하하는 현상을 관찰할 수 있다. 초기에 misalignment 의 효과가 상대적으로 적게 나타난다 하더라도, 이러한 misalignment 는 최종적인 균열의 진전 양상의 변화는 물론 최종 수명에도 영향을 줄 것이라는 것을 알 수 있다.

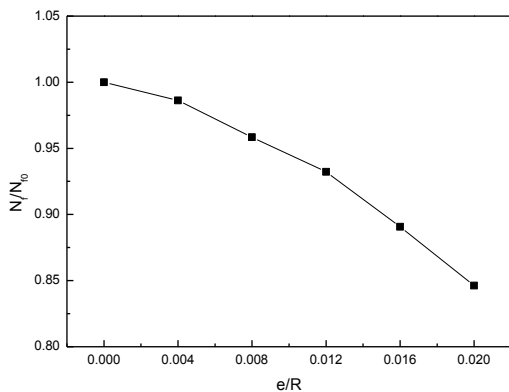


Fig. 1 The variation of the normalized time to failure

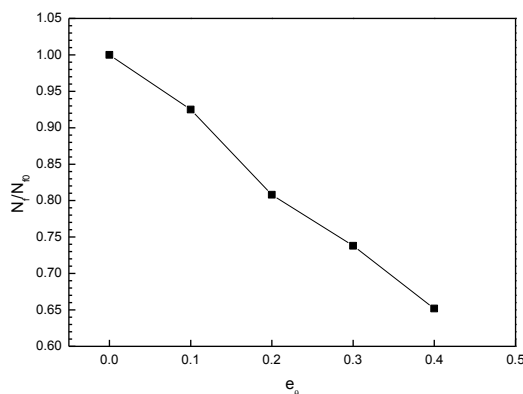


Fig. 2 The variation of the normalized time to failure

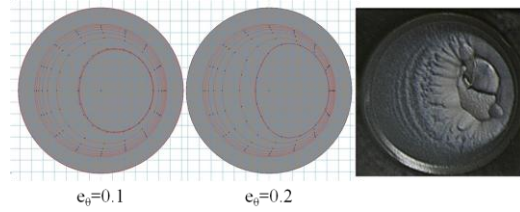


Fig. 3 Crack growth compared from FEA and experiment

균열진전 양상은 misalignment 가 심할수록 더욱 더 비대칭의 양상으로 발생하며, FEA 를 통하여 이러한 진전양상을 예측한 것을 Fig. 3 에서 나타내었다. 그리고 이러한 균열의 진전양상은 저하중에서 실험하여 얻은 취성 파괴 양상을 갖는 시험편과 매우 흡사하였다.

4. 결론

본 논문에서는 CNB 시험편을 사용하여 실험 시 흔히 발생하는 misalignment 의 concentric 과 angular 두 가지 현상에 대하여 FEA 을 이용하여 해석을 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

균열진전 양상은 misalignment 가 심할수록 더욱 더 비대칭의 양상으로 발생하며, 최종 파단수명이 낮아진다.

Misalignment 의 concentric ratio (e/R)이 0.02 인 경우와 angular angle (e_θ)이 0.4°인 경우는 실험에서 충분히 발생할 수 있는 정도의 값이다. 따라서 약간 정도의 misalignment 가 있더라도 균열의 진전양상 및 파단수명은 축대칭으로 균열이 진전하는 경우에 비해 크게 달라지기 때문에 비대칭의 형태로 균열이 진전하여 파단된 시험편의 경우는 실제의 파단수명에 비하여 과소평가될 여지가 있게 된다.

참고문헌

1. Zhou, W., Choi, B.-H. and Chudnovsky, A., "Crack Initiation in Pipe Grade Polyethylene", Proceedings of ANTEC 2006.
2. Byoung-Ho Choi and Yongjian. Zhao, "Evaluation of the crack initiation characteristics of pipe grade polyethylene under fatigue loads," in Proceeding of ANTEC 2010.