

# Pre-torsional 하중을 받은 폴리에틸렌 환형노치시험편 (Circular notched bar specimen)의 피로거동해석 Effect of the Pre-torsion of the Circular Notched Bar (CNB) Specimen of Polyethylene on the Fatigue Crack Behavior

\*김일현<sup>1</sup>, #최병호<sup>1</sup>, 김지홍<sup>1</sup>, 조용건<sup>1</sup>, 이지미<sup>1</sup>, 이정무<sup>2</sup>

\*I. Kim<sup>1</sup>, #B.-H. Choi(bhchoi@korea.ac.kr)<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, Y. J. Zhao<sup>1</sup>, J. M. Lee<sup>1</sup>, J. M. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 기계공학과, <sup>2</sup>LG 화학 테크센터

Key words : Pre-torsion, Circular notched bar, Polyethylene, Fatigue, Finite element analysis

## 1. 서론

폴리에틸렌 (PE) 과 같은 상용 파이프의 고분자 재료의 대한 저속 균열 성장 (SCG) 몇가지 시험 방법은 ISO 및 ASTM 에서 제안하고 있다. 그 중 Lu 등에 의해 제안된 [1] PE 파이프 저속 균열 성장 저항 시험인 PENT 시험 (ASTM F1473)은 가장 널리 사용되는 시험법이다. 하지만 ASTM F1473 방법은 시험 조건이 고정 되어 있고 (2.4MPa of the applied stress at 80° C) 균열의 진전 거동을 설명하는데 있어 균열진전 거동 및 균열 발생 거동을 구분할 수 없으며, 최근에 개발되고 있는 고성능 PE 재료들의 경우 파손이 발생하지 않아 SCG 평가가 불가능한 경우가 많이 보고 되고 있다. 따라서 최근 PE 수지의 저속 균열 성장 시험을 위해 새로운 가속 시험 방법을 모색하고 있으며, 일부 연구 그룹은 [2-5] 최근 원형 노치 바 (CNB) 표본을 사용하여 균열 특성을 결정하는 새로운 테스트 방법을 연구하고 있다. 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, 여러 가지 이유로 균열의 이상거동이 발생하는 경우가 자주 발생한다. 이러한 이상 균열거동은 노치 감도 (취성), 표본의 이방성, 초기 노치 형상, misalign 등 여러 요인으로 인해 발생할 수 있다. 시험을 진행함에 있어 이러한 요인들의 완벽한 제거는 사실상 매우 어렵다. 따라서,

CNB 의 시험편의 수명에 대한 정량적 평가를 위하여 이상 균열거동을 이해하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 이상 균열거동에 영향을 미치는 원인 중 하나로 생각되는 초기 비틀림 하중을 받은 CNB 시험편의 균열 성장 거동에 있어 유한 요소 해석 (FEA) 을 이용하여 고찰 하였다.

## 2. 유한요소해석 (FEA)

초기 비틀림 하중을 받는 경우와 노치의 깊이 변화에 대한 2 가지 경우에 대하여 해석을 진행하였다.

Pre-torsional angle 을 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5° 로 변화시키며, 노치 깊이를 0.75, 1, 1.25, 1.5mm 로 변화시키며 해석을 진행하였으며, 시험편의 반지름은 5 mm 이다.

균열선단에서의 응력확대계수(stress intensity factor, SIF) 값은 모든 균열선단에서  $\pi/8$  의 간격으로 총 16 지점에 대하여 계산하였으며 element type 은 C3D20 (a 20-node quadratic brick)을 사용하였다.

초기 비틀림 하중을 받음으로써 균열의 진전 방향을 예측하기 위해 Maximum normal stress criterion (MNSC) [6]을 사용하였다.

## 3. 해석결과

Fig. 1 에서 비틀림 각이 증가하여도 Mode I stress intensity factor,  $K_I$  는 같은 값을 갖고, Mode III stress intensity factor,  $K_{III}$  는 비틀림 각이 선형적으로 증가할수록 증가한다. 이것은  $K_I$  은

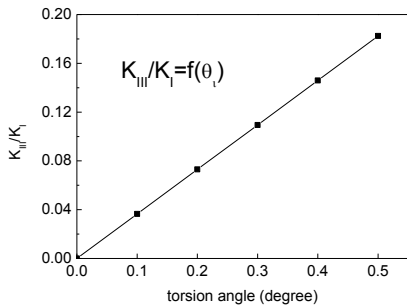


Fig. 1 Normalized  $K_{III}/K_I$  versus Torsion angle

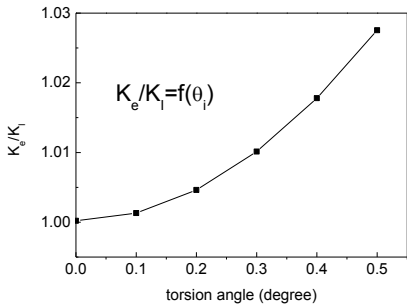


Fig. 2 Normalized  $K_e/K_I$  versus Torsion angles

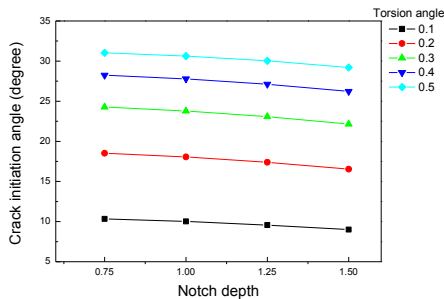


Fig. 3 Crack initiation angle versus Notch size

초기 비틀림 각과는 관련이 없고,  $K_{III}$  는 초기 비틀림 각에 선형적으로 변화하기 때문이다.

Fig. 2 에서 비틀림 각이 0 일 때 Effective stress intensity factor,  $K_e$  와  $K_I$  는 같으므로  $K_e/K_I$  은 1 의 값을 갖는다. 그러나 비틀림 각이 증가하면  $K_e$  도 증가한다. 또한 비틀림 각이 증가하면  $K_e$  값이 비틀림 각에 영향을 받아 균열 성장도 증가한다. 그 결과 비틀림 각의 영향으로 초기 비틀림 각이 0 인 경우 보다 파괴수명이 짧아짐을 예측할 수 있다.

Fig. 3 에서 나타낸 것처럼 비틀림 각이 증가할수록 초기 균열진전 각도 (Crack

initiation angle) 도 증가한다. 그러나 비틀림 각이 같을 경우, 노치 깊이가 증가할수록 파괴 각은 감소하는 것으로 나타났다. 이를 통하여 초기 비틀림 각이 균열 성장과 파괴 각에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그러나 최종 파괴 단계에서는 초기 비틀림 각의 영향이 사라져 균열 거동은 상대적으로 영향을 덜 받을 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구는 유한요소해석을 통하여 CNB 시험편의 초기 비틀림의 영향으로 인한 파괴거동의 변화에 관하여 고찰하였다.  $K_e$  값은 초기 비틀림 각이 증가할수록 증가하였으며, 또한  $K_e$  값은 노치 깊이가 증가할수록 증가하였다. 그러나 균열의 초기 균열진전 각도는 노치가 깊어질수록 감소하였다. 따라서, 균열의 성장거동은 초기 비틀림 각에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 최종 파괴 단계에서는 초기 비틀림 각의 영향이 상대적으로 작아지게 되지만, 초기 비틀림 각의 영향으로 최종적인 파괴수명은 짧아지게 될 것이다. 따라서 초기 비틀림이 있는 경우에는 균열의 진전양상 및 파단수명에 영향을 받을 수 있으므로, 이러한 경우 CNB 시험편의 수명은 실제의 파단수명에 비하여 과소평가될 여지가 있음을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. Lu, X., Qian, R. and Brown, N., Journal of Materials Science, **26**, 917-924, 1991.
2. Favier, V., Giroud, T., Strijko, E., Hiver, J.M., G'Sell, C., Hellinckx, S. and Goldberg, A., Polymer, **43**, 1375-1382, 2002.
3. Zhou, W., Choi, B.-H. and Chudnovsky, A., Proceedings of ANTEC 2006, 2485-2489, 2006.
4. Pinter, G., Haager, M., Balika, W. and Lang, R.W. Polymer Testing, **26**, 180-188, 2007.
5. Frank, A., Freimann, W., Pinter, G and Lang, R.W., Engineering Fracture Mechanics, **76**, 2780-2787, 2009.
6. Liu, S., Chao, Y. J. and Zhu, X., International Journal of Solids and Structures, **41**, 6147-6172, 2004.