반복인장주기가 PET 섬유의 미세구조와 물성에 미치는 영향

이용관, 이기환*, 조현혹

부산대학교 섬유공학과, *(주) 효성 섬유연구소

Effect of Repeated Fatigue Frequency on The Fine Structure and Properties of PET fiber

Young-gwan Lee, Kee-Hwan Lee* and Hyun-Hok Cho

Department of Textile Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**Fiber R&D Center, Hyosung Corporation, Anyang, Korea*

1. 서 론

PET, 나일론 등과 같이 타이어코드용으로 사용되는 섬유는 타이어 내에서 계속적인 신장, 굽힘 및 압축변형을 받기 때문에 이들로 인하여 내피로성이 아주 중요한 의미를 가진다. 일반적으로 타이어는 Tread, Bead, Carcass, Sidewall, Belt 등으로 구성되어 있는데, 여기에서 타이어 코드용 섬유는 타이어의 뼈대를 이루는 것으로 타이어의 성능과 수명을 좌우하는 아주 중요한 소재인 것이다[1-2].

일반적으로 섬유의 노화 원인으로는 화학적인 열화(chemical degradation)와 물리적인 노화(deterioration) 현상으로 크게 나누어 설명되어지고 있다[3]. 한편, 화학적인 열화로는 가수분해나 아민분해 등이 있고, 물리적인 노화에는 킹크 밴드, 피브릴화 등이 있는 것으로 많은 연구자들에 의해 보고되어져 있다[4-8]. 한편, 이러한 물리적인 피로에서 타이어 코드용 섬유의 내피로성에 영향을 가장 많이 미치는 것은 섬유의 미세구조, 특히 비결정구조의 변화이고, 피로를 가했을 때 크랙의 성장으로 인해 내피로성이 감소하며 파단이 일어난다. 따라서 이러한 내피로성의 감소 현상을 관찰하여 제어하기 위해서는 섬유 내부의 미세구조를 제어하는 것이 필수적이다.

기존의 연구에서는 주로 피로횟수에 따른 미세구조 변화와 피로수명에 관한 연구가 주요 관심사였으나 PET 섬유에서 반복신장주기에 따른 미세구조의 변화를 명확히 밝혀놓은 연구는 거의 알려져 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 타이어코드용 PET 섬유에 자동차의 속도 증가 시 부과되는 것과 같이 반복 신장피로의 주기를 변화시킴으로써 발생하는 타이어코드용 PET 섬유의 내부구조 및 물성의 변화에 관하여 고찰하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시료

국내 H사에서 제조된 두 가지 종류의 PET 타이어코드용 원사를 사용하였으며, 사용되어진 두 가지의 시료의 기본적인 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of the PET tire cord

	I.V	Denier	Fila.	Tenacity	Shrinkage	Elong.
A	0.98	1500	249	8.8	7.0	12.0
B	0.92	1500	440	7.6	4.0	13.0

2.2 피로시험

피로시험기는 33㎝의 길이 차이로 배열되어있는 클램프에 물려서 신장률 3%로 상온의 조건에서 반복인장을 가하였고, 초기 시료의 설치 시 초하중 50g을 가하였으며, 반복인장 주기는 1~5Hz의 범위에서 1Hz 간격으로 5 구간에서 피로수 30만회로 일정한 조건에서 실험을 행하였다.

2.3 구조 및 물성 분석

2.1 X-선 회절 분석

섬유의 피로에 따른 결정부의 변화를 관찰하기 위하여 X-선 회절장치(D/max-Ⅲ-A, Rigaku Co., Japan)를 이용하여 각 시료의 적도선 평행 회절 피크의 형태 변화를 관찰하였다.

2.2 동적 점탄성

섬유 내부의 동적 점탄성 거동을 살펴보기 위하여 Rheovibron(DDV-Ⅱ-C type, Toyo Baldwon Co., Japan)을 이용하여 진동수 110Hz, 시료길이 3㎝, 승온속도 2℃/min로 측정하였다.

2.3 인장강신도

섬유의 피로처리에 따른 기계적 물성의 변화 여부를 확인하기 위하여 인장시험기(Tinus Olsen 1000)를 사용하였으며, 시료 길이는 5㎝, 인장 속도는 20㎜/min의 조건으로 실험을 행하였다.

2.4 밀도

헵탄(n-heptane : 0.68)과 사염화탄소(CCl_4 : 1.59)의 혼합액으로 밀도 구배관을 만

들어 23℃에서 ASTM D1505-68에 따라 밀도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Figure 1은 반복신장피로의 주기에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것으로 두 시료 모두 피로주기가 증가함에 따라 밀도는 다소 감소하는 경향을 나타내고 있고, A 시료가 B에 비해 그 감소하는 기울기가 비교적 급한 것으로 보인다. 밀도가 감소하는 원인은 피로주기가 증가함에 따라 반복 신장에 따른 분자사슬의 절단에 의한 비결정 부분의 defect가 증가한 것에 기인하고, A 시료가 B에 비해 감소하는 기울기가 큰 원인으로는 동일 데니어에서 필라멘트 수의 차이에 의한 비표면적이 크기 때문에 피로 분산이 더 뛰어나 피로에 덜 영향을 받은 것이라 할 수 있다.

*Figure 2*는 반복신장피로의 주기에 따른 두 시료의 복굴절률의 변화를 보여주는데 피로주기의 증가에 따라 그 값이 모두 감소하는 것을 알 수 있다. 복굴절률의 저하 요인으로는 반복신장피로에 의한 사슬의 흐트러짐이 주기가 증가할수록 더욱 확연한 것으로 생각되어진다.

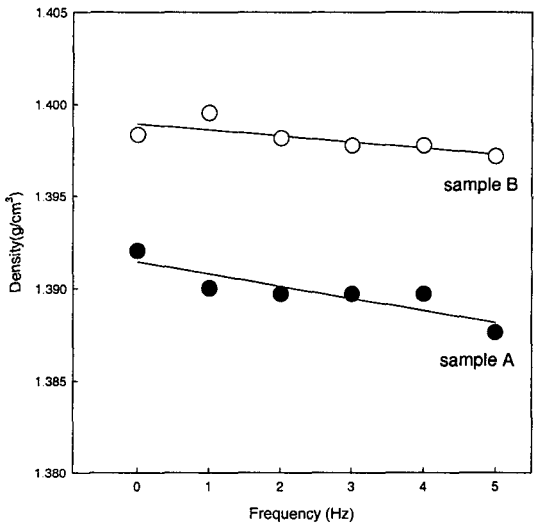

Figure 1. Change of density with fatigue frequency.

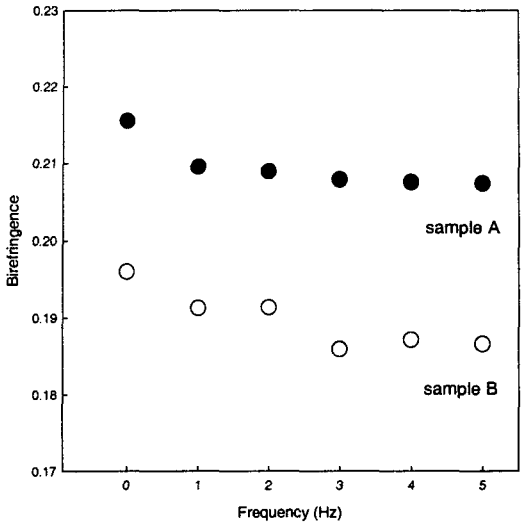

Figure 2. Change of density with fatigue frequency.

4. 참고문헌

1) K. Yabuki and S. Sawada, *Sen-i Gakkaishi*, **41**, T468-T475(1985).
2) G. Farrow, D. A. S. Ravens and I. M. Ward, *Polym*, **3**, 17-25(1962).
3) S. Sawada, K. Kamiyama, S. Ohgushi and K. Yabuki, *J. Appl. Polym. Sci*, **42**, 1041-1048(1991).
4) G. E. Sweet and J. P. Bell, *J. Polym. Sci.: Polym. Phys. Ed*, **16**, 2057-77(1978).
5) D. J. Carlsson and S. M. Milnere, *J. Appl. Polym. Sci*, **27**, 1589-600(1982).
6) H. D. Weigmann and G. E. R. Lamb, *Rubber. Chem. Tech*, **49**, 1040-59 (1976).
7) Y. Shinada and D. R. Hazelton, *Rubb. Chem.,Tech.*, **51**, 253-66(1978).
8) S. Ishizaki, N. Kuramoto, and T. Onuma, *Sen-i Gakkaishi*, **25**, 347-353 (1969).