

반복신장피로에 따른 나일론 타이어코드용 섬유의 미세구조 변화

이기환, 방윤혁, 조현호

부산대학교 공과대학 섬유공학과

1. 서론

나일론 타이어코드용 섬유는 PET나 레이온에 비해 조종안정성이 좋지 않고 습열열화하기 쉬우며 평탄점(Flat spot)현상을 일으키기 때문에 사용량이 감소하고 있으나, 강도 및 내피로성이 우수하며 타이어의 발열이 적어 대형타이어에는 아직도 많이 사용되고 있다. 타이어코드용 섬유는 고무와 접착되어 타이어 내에서 지속적인 굽힘, 신장 및 압축변형을 받게 되고, 이러한 변형에 의한 내부구조의 변화에 의해 크랙이 발생하여 파단이 일어나며, 내부구조의 변화는 주로 결정부분이 아닌 비결정부분에서 일어난다고 알려져 있다[1-2]. 나일론 타이어코드용 섬유에 관한 연구는 피로방법, 온도, 피로회수에 따른 물성의 변화, 크랙의 발생 및 파단모폴로지 등과 같은 거시적인 변화에 대해서는 많이 되어있으나[3-5], 피로초기에 발생하는 strain-hardening현상 및 비결정부분의 변화에 관한 연구는 많지 않다.

따라서 본 연구에서는 피로에 따른 내부구조의 변화를 조사하기 위하여 나일론 타이어코드용 섬유를 이용하여 반복신장피로에 따른 미세구조(주로 비결정구조)의 변화, 물성의 변화 및 모폴로지를 조사하였다.

2. 실험

시료는 동양 T&C에서 제공한 나일론 타이어코드용 섬유를 사용하였으며 각 시료의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Processing conditions of the nylon tire cord

Sample	Spinning speed(m/min)	Draw ratio	Heat set temp. (°C)	R. V.	Denier
N1	2400	4.8	200	3.24	1912

시료는 반복신장 피로방법으로 신장률 2%, 주파수 3Hz로 하여 시료에 1만, 10만, 30만, 50만, 70만 사이클의 피로를 가하여 준비하였다. 시료의 결정구조는 X-선회절장치, 밀도는 밀도구배관, 분자배향은 편광현미경, 비정분산은 Rheovibron, 열적성질은 DSC를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 광각 X-선회절을 이용하여 구한 (200), (002)면의 미결정의 크기 및 (002)면의 배향도를 나타낸 것이다. 피로회수의 증가에 따른 미결정의 크기 및 배향도는 거의 변화하지 않는 것으로 보아, 결정부분은 반복신장피로에 의한 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

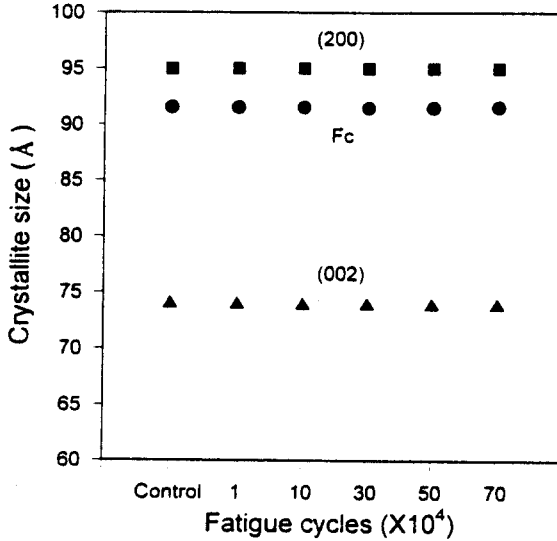


Fig. 1 Crystallite size of (200), (002) and orientation factor of (002) with fatigue cycles for N1 sample.

Fig. 2는 반복신장피로에 따른 열적성질을 나타낸 것으로, 피로회수의 증가에 따른 T_m은 거의 변화를 보이지 않고 있다. 이는 반복신장피로에 있어 결정부분은 영향을 받지 않음을 나타내고 있는 것으로 미결정크기의 변화와 유사한 경향을 보이고 있다.

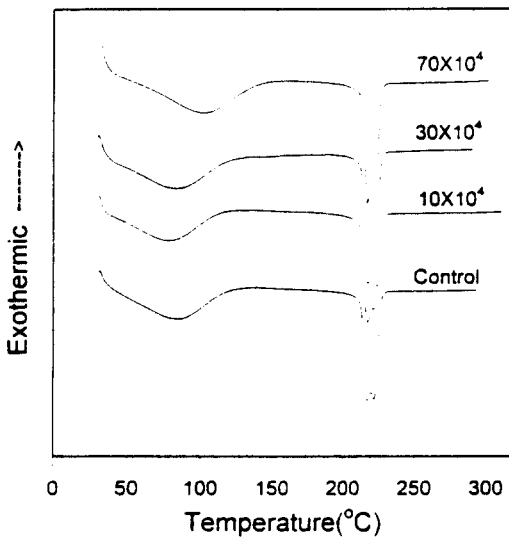


Fig. 2 DSC curves with fatigue cycles for N1 sample.

Fig. 3은 반복신장피로에 따른 복굴절률과 비정배향도의 변화를 나타낸 것이다. 복굴절률과 비정배향도는 피로초기부분(피로회수 1만)에서 증가를 보이며, 그 후 피로회수의 증가에 따라 감소현상을 보이고 있다. 이는 반복신장피로에 의한 미세구조의 변화는 비결정부분에서 일어남을 나타내고 있다.

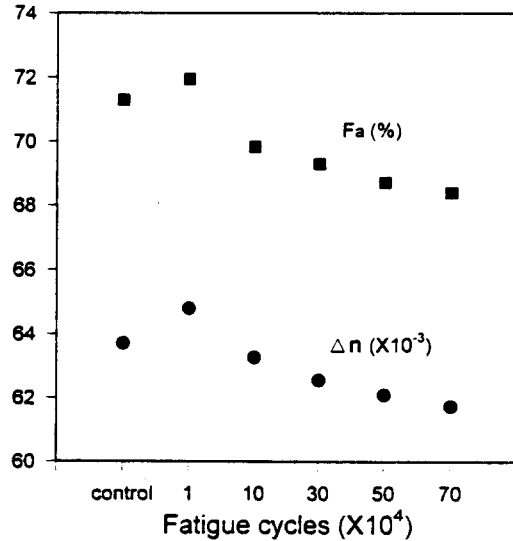


Fig. 3 Change of birefringence and amorphous orientation factor with fatigue cycles for N1 sample.

Fig. 4는 반복신장피로에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것이다. 피로회수 1만일 때 밀도는 조금 증가하였으며, 그 후 피로회수의 증가에 따라 감소하는 현상을 보이고 있다. 피로초기부분(피로회수 1만)에서의 밀도의 증가는 비결정부분의 strain-hardening 효과(strain에 의한 분자사슬의 배향성의 증가에 따른 구조의 치밀화)때문으로 생각되며[6], 밀도의 감소는 사슬의 절단현상에 의한 것으로 생각된다.

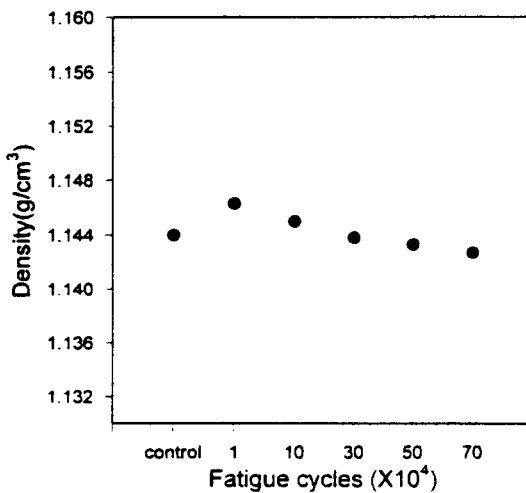


Fig. 4 Change of density with fatigue cycles for N1 sample.

Fig. 5는 피로회수에 따른 $\tan \delta$ 를 나타낸 것으로 극대점에서의 $\tan \delta$ 를 보면 피로회수 1만일 때에는 감소가 보이고, 그후 10만, 30, 50만, 70만에서는 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 Fig. 3, 4의 밀도 및 비정배향도의 변화와 유사한 경향을 보이고 있다.

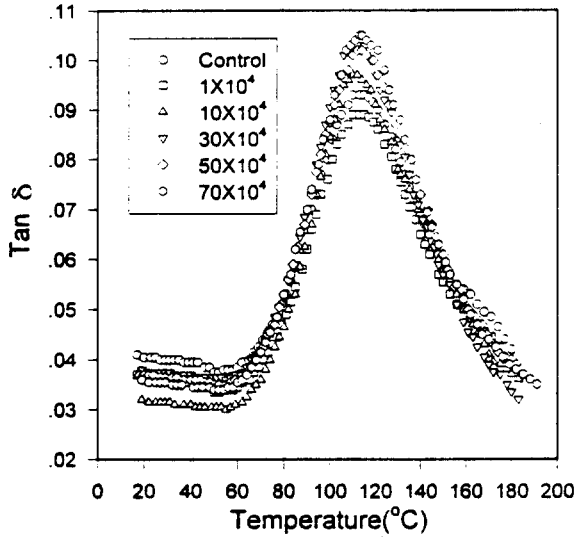


Fig. 5 Change of $\tan \delta$ with fatigue cycles for N1 sample.

4. 참고 문헌

1. A. Ramirez, J. A. Manson and R. W. Hertzberg, *Polymer Eng. Sci.*, **22**, 975 (1982).
2. A. R. Bunsell and J. W. Hearle, *J. Appl. Polym. Sci.*, **18**, 267 (1974).
3. 石川欣造, *日本ゴム協會誌*, **44**, 259 (1971).
4. A. K. Mukherjee and B. D. Gupta, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 4417 (1985).
5. 宮本宗一, 鷲見保俊, 藤本典秀, *日本ゴム協會誌*, **38**, 48 (1965).
6. H. H. Cho, S. J. Kim and M. S. Rhim, *J. Korean Fiber Soc.*, **29**, 57 (1992).