

# 폴리에틸렌섬유의 고속방사에 따른 구조와 물성(III)

- 고밀도폴리에틸렌과 저밀도폴리에틸렌의 비교-

김경효, 조현후

부산대학교 공과대학 섬유공학과

## 1. 서론

용융방사에 있어서 방사속도의 고속화는 연신공정을 생략하여 방사공정을 one-step으로 함으로써 에너지의 절약이라는 측면에서 섬유를 경제적으로 생산하려는 방법으로, 이미 1950년대에 미국의 du Pont사에 의해 특허가 출원되었다. 그후 권취기 성능의 향상과 더불어 1970년대에 들어 Shimizu, Ueda 등에 의해 Polyester, Nylon, Polypropylene 섬유 등의 고속방사에 관한 연구가 행해졌고[1~3], Nylon이나 Polyester 섬유의 경우 6~7km/min의 방사속도에서 실용화 단계에 이르렀다.

한편 결정화 속도가 빠른 polyolefin계중에서도 Polypropylene 섬유의 경우는 Shimizu 등에 의해 고속방사과정에서의 섬유구조형성에 관한 연구[4]가 이루어졌으나, 폴리에틸렌 섬유의 경우 1km/min 이상의 방사속도에서는 이루어진 적이 없으며, 저속방사영역에서는 White, Dees 등에 의해 방사속도증가에 따른 섬유구조형성 및 물성에 관한 연구가 있다.[5, 6]

따라서 본 연구에서는 고밀도 폴리에틸렌 및 선상저밀도 폴리에틸렌 폴리머를 이용하여 방사속도 6km/min 이상의 고속방사를 행하였으며, 이렇게 해서 채취된 섬유를 이용하여 고속방사과정에 따른 섬유구조형성과정 및 물성을 두 폴리머 별로 비교, 검토하였다.

## 2. 실험

방사에 사용한 폴리머는 고밀도폴리에틸렌과 선상저밀도폴리에틸렌으로, 용체유동속도(Melt Flow Rate)가 11 및 45(이하 HDPE(11), LLDPE(45))이었으며, 직경 0.5mm의 방사구 금으로 토출시켜서 방사구금아래 3.3m 위치에 설치한 권취장치로 고속방사 섬유를 얻었다. 총토출량은 5g/min, 토출온도는 220°C로 하였으며, HDPE(11)의 경우는 1~8km/min, LLDPE(45)의 경우는 1~6km/min의 고속방사로 섬유를 제조하였다.

고속방사된 섬유의 구조와 물성을 평가하기 위하여, 분자의 배향정도는 간섭현미경을 이용하였고, 열적 성질의 검토는 DSC, TMA를 이용하였으며, 결정구조의 확인은 광각 X선 회절, 결정완화 분산거동의 평가는 Rheovibron, 기계적 물성평가는 인장시험기 등을 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 방사속도에 따른 섬유복굴절률을 나타낸 것으로, 방사속도가 증가함에 따라 복굴절률이 점진적으로 증가함을 나타내고 있다. 이는 방사속도가 증가함에 따라 방사선상에서 섬유에 가해지는 신장응력이 증가하여 섬유내부의 결정상과 비정상의 분자배향이 섬유축 방향으로 증가하기 때문인 것으로 방사속도 1~5km/min에서 큰 변화를 나타내었다.

그리고 HDPE(11)의 경우가 LLDPE(45)에 비해 분자배향성이 더 좋은 것을 알 수 있다. 이는 분자량이 큰 HDPE(11)의 경우가 고속방사과정중에 분자들이 배향하기 쉬움을 알 수 있다. 이러한 경향은 White 등의 보고에서처럼 저속방사의 경우와 마찬가지로 분자량이 높은 HDPE의 경우가 훨씬더 배향성이 좋다는 사실과도 일치하는 것으로 생각된다[5].

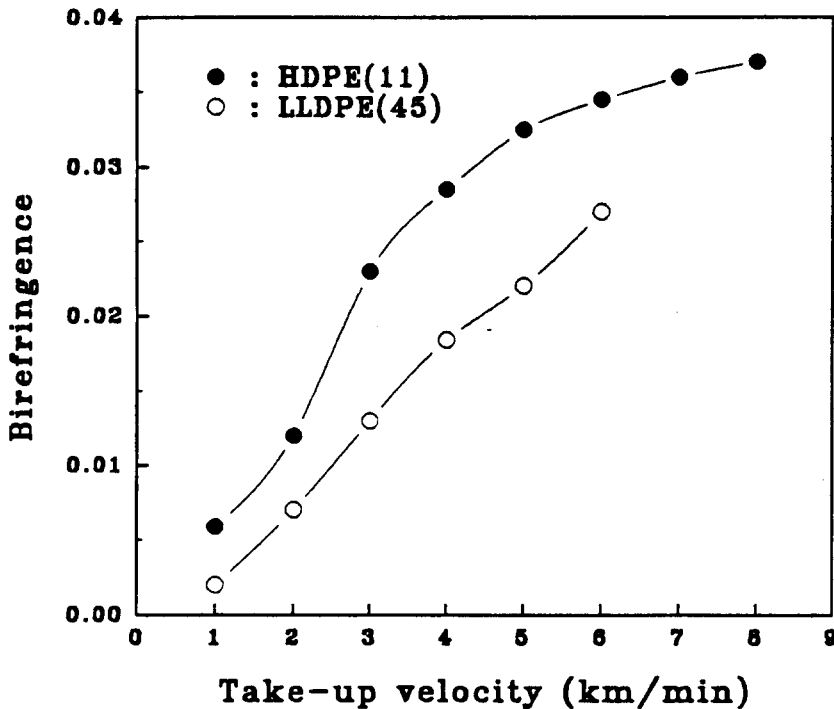


Fig. 1. Relation between birefringence and take-up velocity for HDPE(11) and LLDPE(45) fibers.

Fig. 2는 밀도구배관법에 의해 측정된 밀도를 방사속도에 따라 나타낸 것으로 방사속도의 증가와는 거의 무관하게 방사속도 1~6km/min까지는 거의 변화가 없다. 따라서 방사속도 1~6km/min에서 Fig. 1의 분자배향에 따른 복굴절률과는 달리 밀도의 변화가 거의 없는 것이 정도의 방사속도 범위에서는 신장응력에 따른 분자배향 효과가 밀도에 그다지 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. HDPE(11)의 경우 방사속도 7~8km/min에서는 방사속도에 따라 배향결정화의 영향이 작용하여 밀도가 크게 증가하는 것으로 생각된다.

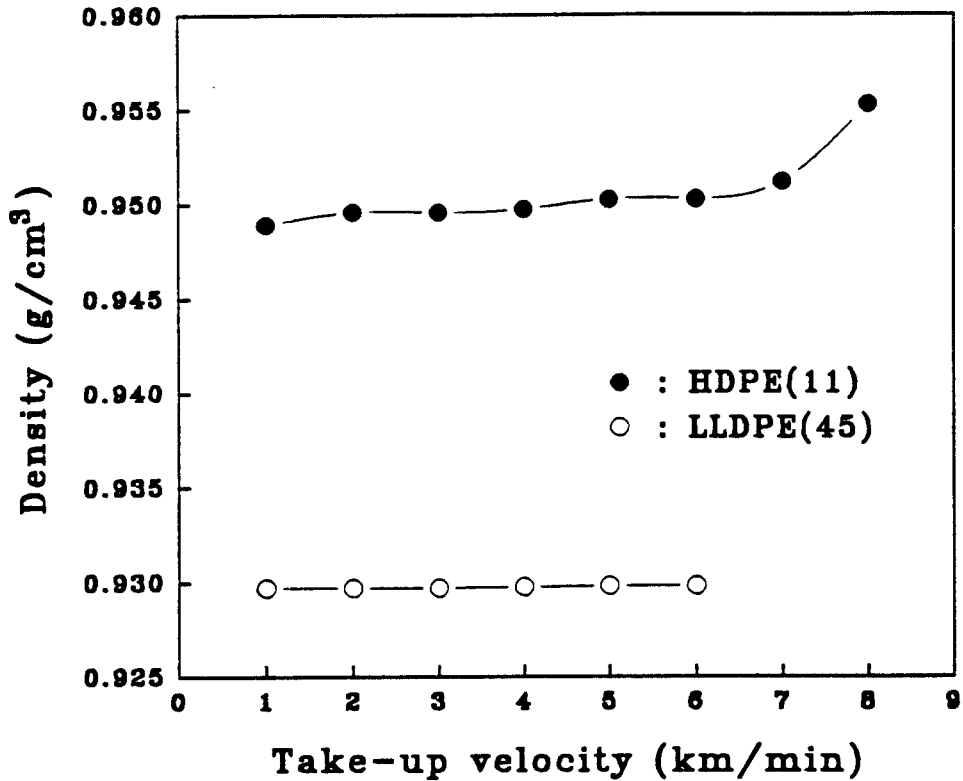


Fig. 2. Relation between density and take-up velocity for HDPE(11) and LLDPE(45) fibers.

Fig. 3에는 HDPE(11)의 동적점탄성 거동을 나타낸 것으로 방사속도가 증가함에 따라 극대치는 작아지고 극대온도는 저온쪽으로 이동하고 있다. 이러한 분산피이크는 결정완화( $\alpha_c$ )의 분산피이크를 나타내는 것으로 이러한 온도영역에서 폴리에틸렌의 결정상은 탄성적에서 점탄성적으로 되고, 결정격자진동의 비조화성에 관여한 점탄성 결정완화를 나타내고 있다. 이러한 결정분산은 결정내의 분자사슬의 진동(주로 c축 주위의 회전운동) 및 결정계면에서의 미끄러짐에 의한 분산 혹은 결정 라멜라 표면의 분자운동 혹은 이들 원인의 복합적인 작용 등에 기인한 것으로, 일반적으로 라멜라 두께가 작아질수록 극대치는 작아지고 극대값이 저온쪽으로 이동하는 것으로 보고되고 있다[7].

그림에서 HDPE(11) 섬유에의 결정완화 피이크에서도 이런 현상을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이는 방사속도가 증가할수록 라멜라 두께가 감소함을 의미한다. Dees 등의 저속방사에서 유추했듯이 방사속도가 증가하여 결정화온도가 감소하게 되면, 장주기가 짧아진다는 사실과도 잘 일치하는 결과로 생각할 수 있다[6].

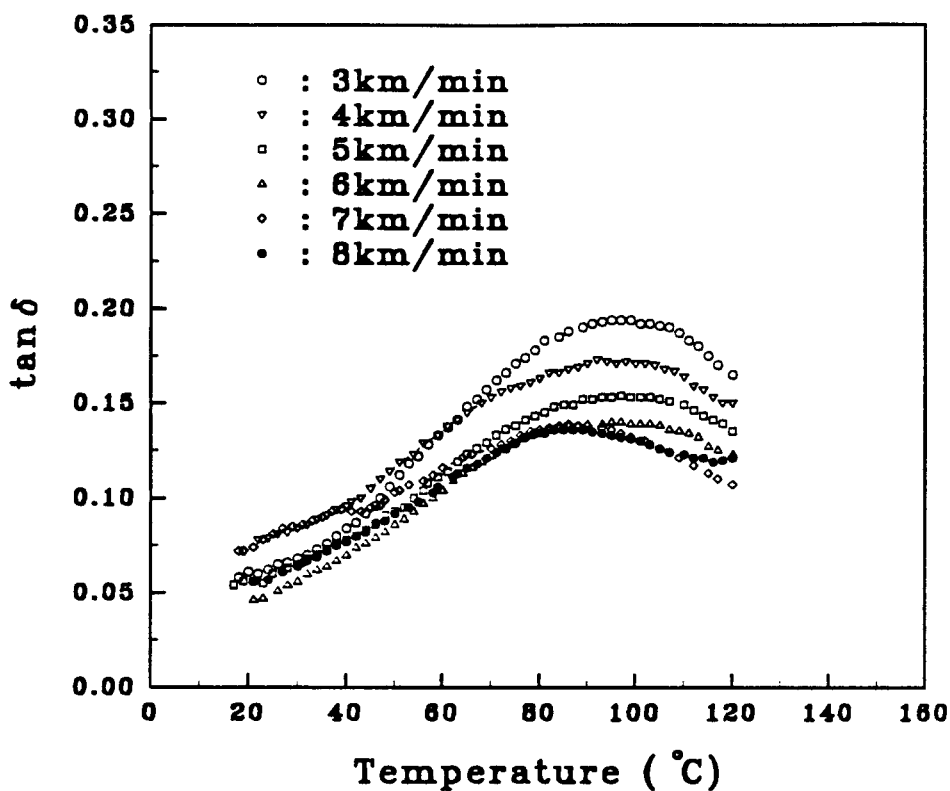


Fig. 3. Tan  $\delta$  values of HDPE(11) fibers vs. take-up velocity.

#### 4. 참고문헌

1. S. Ueda, N. Ogawa, S. Hasegawa, F. Kitajima, S. Fujimoto, H. Kanetsuna, and T. Kurita, "Ultra-High Speed Spinning Technology", presented at the meeting of the Research Institute for Polymers and Textiles in Japan, 1971.
2. J. Shimizu, K. Toriumi, and Y. Imai, *Sen'i Gakkaishi*, **33**, T-255 (1977).
3. J. Shimizu, N. Okui, and Y. Imai, *Sen'i Gakkaishi*, **35**, T-405 (1979).
4. Shimizu, N. Okui, and Y. Imai, *Sen'i Gakkaishi*, **35**, T-405 (1979).
5. J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **8**, 2339(1964).
6. J. R. Dee, J. E. Spruiell, *J. Appl. Polym. Sci.*, **18**, 10531(1974).
7. M. Takayanagi, T. Matsuo, *J. Macromol. Sci.-phys.* **B1**, 407 (1967).