

고속방사된 복합섬유의 인장거동 해석

신수열, 박종범*, 신동태**, 신현세***, 조현욱

부산대학교 공과대학 섬유공학과, *동부산전문대학 섬유디자인과

부천전문대학 섬유과, *단국대학교 공과대학 섬유공학과

1. 서론

최근 용융방사섬유의 제조에 이용되고 있는 고속방사법은 높은 신장속도하에서 일어나는 배향결정화에 의한 섬유구조형성을 목적으로 하는 방사법으로, 방사선에서의 동력학은 폴리머의 열특성, 냉각거동 및 방사선상에서 작용하는 응력 등의 많은 인자에 의해 영향을 받는다.

복합섬유란 특수한 복합방사장치를 이용하여 두 개의 폴리머가 동시에 압출되어 하나의 필라멘트를 형성하도록 방사한 섬유로써 권축섬유, 열융착형섬유, 이형단면섬유, 전도성섬유, 초극세섬유 등 특수한 섬유의 제조에 이용되기 때문에 그 상업적 관심도가 크다[1]. 그리고 이 중에서 sheath/core형 복합섬유는 sheath성분과 core성분 폴리머의 용융점 차이에 의한 자기접착성에 의해 열융착형 부직포의 재료로 널리 이용되고 있다.

양호한 열융착성을 얻기 위해서는 sheath부분 폴리머의 용융점이 core부분 폴리머의 용융점보다 적어도 40°C 이상 낮아야 한다. 예를 들면 PE/PP는 40°C의 온도차를 보이며, 가장 널리 이용되는 복합섬유인 coPET/PET에서 sheath폴리머의 용융온도는 100~110°C이고, core폴리머의 용융온도는 250~265°C이다[2].

최근 복합섬유에 대하여 보고된 연구들의 대부분은 주로 두 연속상 성분의 상호작용이나 방사선상의 안정성에 관한 연구[3,4]가 주로 행해지고 있으며, 고속방사된 복합섬유에 관해서는 방사속도에 따른 구조해석에 중점을 두어 연구되고 있으나[5,6] 복합섬유의 인장거동에 관한 분석은 거의 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 열융착형 부직포의 재료로써 보편적으로 쓰이고 있는 PE/PET계와 PET/PET계 복합섬유의 인장거동을 분석하기 위하여, melt flow rate(MFR)가 다른 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)과 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)로써 sheath/core형 복합섬유를 고속방사한 시료, 또한 분자량이 서로 다른 PET로 복합섬유를 고속방사한 시료를 택하여 방사속도에 따른 인장거동을 분석하였다. 인장거동의 이론적 해석을 하기 위하여 횡방향으로 등방성이라는 가정하에 3차원 실린더 모델을 도입하여 인장시의 섬유중심으로부터 반지름방향으로의 응력과 변형률의 분포를 예측해 보았다.

2. 실험

2.1 복합섬유의 고속방사

MFR이 각각 11과 28인 고밀도폴리에틸렌(HDPE)과 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)($[\eta]=0.62\text{dl/g}$)로써 sheath/core = HDPE(11)/PET 및 HDPE(28)/PET 복합섬유를 고속방사하였고, 또한 산자용 PET($[\eta]=1.05\text{dl/g}$)와 범용 PET($[\eta]=0.62\text{dl/g}$)를 사용하여 저분자량 PET/고분자량PET(LMPET/HMPET) 복합섬유도 고속방사하였다. 이때 직경 0.5mm의 방사구금으로 토출시켜서 방사구금아래 3.3m 위치에 설치한 권취장치로 복합섬유를 얻었으며, 방사조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Spinning conditions for bicomponent fiber.

| Polymer (Sheath/Core) | Composition | Mass flow rate (g/min) | Spinning temperature ($^{\circ}\text{C}$) | Take-up velocity (km/min) |
|--------------------------|-------------|---------------------------|--|------------------------------|
| HDPE(11)/PET | 1 : 1 | 5 | 290 | 1 ~ 6 |
| HDPE(28)/PET | 1 : 1 | 5 | 290 | 1 ~ 6 |
| LMPET/HMPET | 2 : 1 | 7 | 290 | 1 ~ 5.5 |

2.2 인장강신도의 측정

인장강신도는 인장시험기(Fafegraph-M, textecho Co., Germany)를 이용하여 측정하였다. HDPE(11)/PET와 HDPE(28)/PET은 시료길이 20mm, 인장속도 20mm/min의 조건으로 실험하였고 LMPET/HMPET는 시료길이 20mm, 인장속도 10mm/min으로 하였다.

2.3 굴절률 · 복굴절률

Sheath와 core성분의 복굴절은 편광판이 장착된 간섭현미경(Carl Zeiss Jena Co.)을 이용하여 복합섬유의 fringe pattern을 이용하여 측정하였다.

3. 이론적 배경

Microcomposite의 열적 잔류응력에 대한 Wagner[7]의 이론적 분석을 수정하여 sheath성분과 core성분을 갖는 복합섬유의 인장거동 해석에 도입하였다.

실린더에서의 응력분포는 등방성 물질의 경우와 같은 형태를 취하기 때문에 2성분 복합섬유의 인장 거동을 관찰하기 위하여 횡단면으로 등방성이라는 가정하에, 두 개의 실린더로 구성된 3차원 모델의 복합체로써 나타낼 수 있었다. Figure 1은 고려된 모델을 나타낸 것으로 여기서 E 는 탄성률, ν 는 포아송비이며 첨자 i 와 o 는 각각 안쪽과 바깥쪽 실린더에 대한

값이다. 대칭축으로부터 거리 r 에서의 반지름 방향, 고리 방향 그리고 길이 방향의 응력을 각각 σ_{rr} , $\sigma_{\theta\theta}$, σ_{zz} 로 나타내었고 계산된 결과는 다음과 같다.

안쪽 실린더

$$\sigma_{rr}^i = \sigma_{\theta\theta}^i = A^o \frac{\Phi_o}{\Phi_i}$$

$$\sigma_{zz}^i = \frac{S - C^o \Phi_o}{\Phi_i}$$

바깥쪽 실린더

$$\sigma_{rr}^o = A^o - \frac{A^o}{\Phi_i} \left(\frac{R_i}{r} \right)^2$$

$$\sigma_{\theta\theta}^o = A^o + \frac{A^o}{\Phi_i} \left(\frac{R_i}{r} \right)^2$$

$$\sigma_{zz}^o = C^o$$

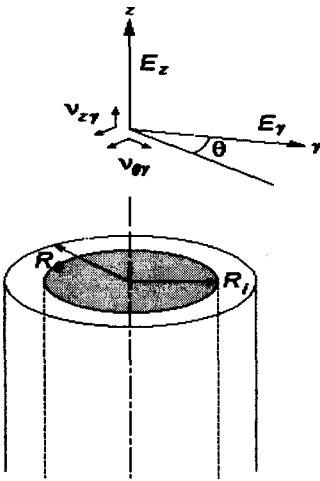


Figure 1. Three dimensional mechanical model for a transversely isotropic bicomponent fiber.

여기서,

$$A^o = \frac{N_1 K_4 - N_2 K_2}{K_1 K_4 - K_2 K_3}, \quad C^o = \frac{N_2 K_1 - N_1 K_3}{K_1 K_4 - K_2 K_3} \text{ 이며}$$

그리고

$$K_1 = 2 \left[\frac{\nu_{zr}^o}{E_z^o} + \frac{\nu_{zr}^i}{E_z^i} \frac{\Phi_o}{\Phi_i} \right], \quad K_2 = - \left[\frac{1}{E_z^o} + \frac{1}{E_z^i} \frac{\Phi_o}{\Phi_i} \right]$$

$$K_3 = - \left[\frac{1 - \nu_{\theta r}^i}{E_r^i} \frac{\Phi_o}{\Phi_i} + \frac{1 - \nu_{\theta r}^o}{E_r^o} + \frac{1 + \nu_{\theta r}^o}{E_r^o} \frac{1}{\Phi_i} \right], \quad K_4 = \frac{\nu_{zr}^o}{E_z^o} + \frac{\nu_{zr}^i}{E_z^i} \frac{\Phi_o}{\Phi_i} \text{ 이고,}$$

또한

$$N_1 = - \frac{S}{E_z^i \Phi_i}, \quad N_2 = \frac{\nu_{zr}^i S}{E_z^i \Phi_i} \text{ 이다.}$$

4. 결과 및 고찰

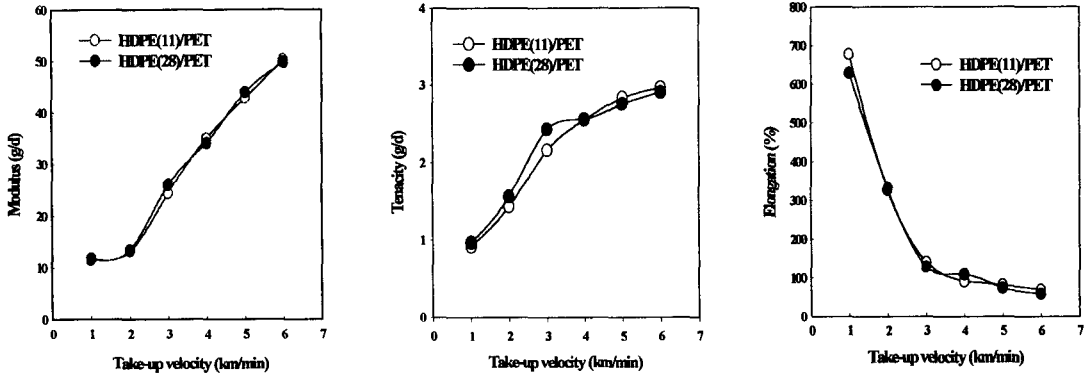


Figure 2. Initial Young's modulus, tenacity, and elongation at break for HDPE(11)/PET and HDPE(28)/PET Bicomponent fibers plotted against take-up velocity.

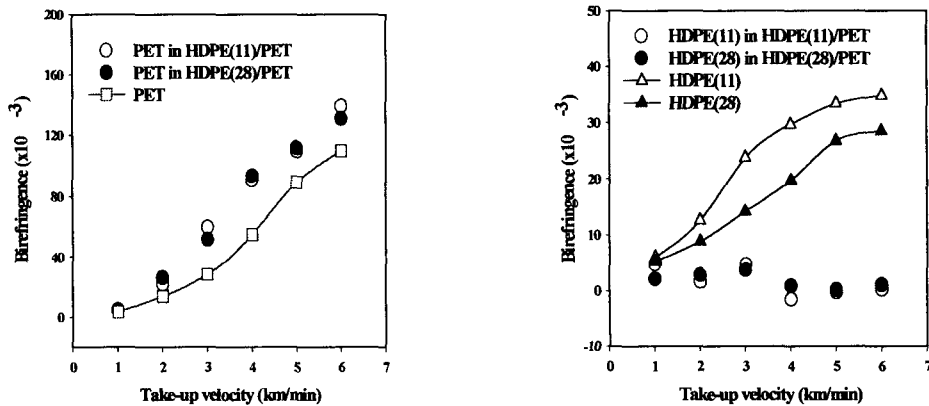


Figure 3. Birefringence of individual component in bicomponent fibers of HDPE(11)/PET and HDPE(28)/PET plotted against take-up velocity. Birefringence of single component fibers is also plotted for comparison.

Figure 2에는 HDPE(11)/PET와 HDPE(28)/PET 복합섬유의 초기탄성률, 인장강도 및 신도를 나타내었다. 방사속도가 증가할수록 초기탄성률과 인장강도는 증가했으나 신도는 감소하였고, sheath부분인 HDPE의 MFR이 각각 다른 복합섬유의 전반적인 거동은 인장거동에서는 별다른 차이를 나타내지 않았다. 이런 결과로부터 HDPE/PET 복합섬유의 인장거동은 상대적으로 sheath성분인 HDPE에 비해 core성분인 PET의 구조에 주로 영향을 받는 것으로 예측할 수 있다.

Figure 3에는 HDPE(11)/PET 및 HDPE(28)/PET 복합섬유중의 PET성분의 복굴절을 간섭현미경에 의해 분석한 결과와 PET를 단독으로 방사한 결과를 나타내었다. 복합섬유중의 PET성분의 분자배향은 PET단독방사의 경우에 비해 촉진됨을 알 수 있다.

HDPE(11)/PET 및 HDPE(28)/PET 복합섬유중의 HDPE성분의 복굴절과 단독으로 고속방사한 HDPE섬유의 복굴절을 동시에 나타낸 경우에선 복합섬유중의 HDPE성분의 배향도는 방사속도가 증가할수록 단독방사의 경우에 비해 상당히 낮으며 복굴절이 거의 0에 가까우므로 등방성 물질에 가깝다고 볼 수 있다. 이러한 PET와 HDPE의 분자배향의 향상과 억제는 고속용융방사선상에 작용하는 두 성분의 상호작용의 결과로부터 발생되었다고 보여진다.

참고문헌

1. T. Nakajima, Ed., "Advanced Fiber Spinning Technology", p. 115, Woodhead Publisher, Cambridge, 1994.
2. B. L. Davies, "Advanced Heterofil Fiber Technology and Applications", TRI/Princeton, Annual Meeting, 1991.
3. M. Tomioka and M. Kojiyama, *Sen'i Gakkaishi*, **35**, T-542(1979).
4. T. Kikutani, S. Arikawa, A. Takaku, and N. Okui, *Sen'i Gakkaishi*, **51**, T-408(1995).
5. H. H. Cho and T. Kikutani, *J. Korean Fiber Soc.*, **33**, 360(1996).
6. J. B. Park, H. H. Cho, and T. Kikutani, *J. Korean Fiber Soc.*, **34**, 263(1997).
7. H. D. Wagner, *J. Adhesion*, **52**, 131(1995).