

폴리프로필렌 멀티필라멘트의 물리적 특성에 관한 연구(II) - 권취속도 및 연신비에 따른 변화 -

임 형 기 · 이 태 균 · 신 동 태* · 신 현 세
단국대학교 공과대학 섬유고분자공학부
*부천전문대 섬유과

1. 서 론

폴리프로필렌은 다양한 입체 규칙성을 갖는 고분자로서 가볍고 강하며, 내마모성이 우수한 성질을 갖을 뿐만 아니라 섬유 원료로서 가격이 저렴하고 공정이 간단하며 섬유, Plastic, Film등 용도가 다양한 장점을 가지고 있는 반면 다른 합성 섬유에 비해 결정성이 높아 흡습성이 저하되며 염색 가공성이 결여되는 등의 단점을 가지고 있다. 이로 인하여 촉매의 개발에 의한 중합 공정의 개선과 각종 첨가제의 개발과 함께 많은 연구가 행하여져 다양한 용도로서의 응용이 확대되어져 가고 있다. 그러나 이와 같은 많은 연구에도 불구하고 섬유로서의 제조시 낮은 강도와 높은 탄성률로 인해 고부가가치로서의 응용에 한계가 있다. 따라서 폴리프로필렌 섬유의 물성을 개선하고자 용융방사시 결정화도 및 분자배향성의 제어에 관한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. Toriumi등[1,2]은 폴리프로필렌의 용융방사시 권취속도에 따른 밀도, 복굴절률, 강도 및 modulus의 변화를 비교하여 연신비 및 권취속도의 증가에 따라 기계적인 성질이 증가한다고 보고하였으며, Nadella 그리고 White[3~6]등은 초기배향의 효과와 연신 과정에 있어서의 형태변화, 분자량의 영향을 연구하여 배향과 형태변화는 연신 거동에 의해 많은 영향을 받고 연신과 열처리에 의한 강력의 변화를 연구하여 강력은 결정화도와 비결정배향도의 증가에 기인한다고 보고하였다. 또한, Shimizu[7,8]등은 PP의 용융방사에 있어서 방사조건과 섬유구조배향의 관계를 유변학적인 측면에서 냉각온도에 따른 복굴절률을 단면적과 온도의 변화, 방사장력의 3가지 요소를 이용하여 식으로 정량화하여 추정하였으며 그 경향이 실험치와 대체적으로 일치한다고 보고하였다. Spruiell[9,10]등은 더 나아가 spinline의 결정화속도를 정량적으로 규명하였으며 배향은 온도보다는 방사장력에 의해 영향을 받는다고 보고하였다.

따라서 본 연구는 실제 생산체제에서 사용중인 Spin-Draw 용융방사기와 범용 폴리프로필렌 chip을 이용하여 방사온도 및 권취속도에 따른 미연신 필라멘트를 제조하고 구조적 특성 변화와 최적 방사온도를 규명함과 동시에, 최적 방사온도에서 제조한 미연신 필라멘트를 연신비에 따라 Instron을 사용하여 연신 필라멘트를 제조하고 그에 따른 물성과 배향구조의 변화를 분석하므로써 최종적으로는 one step(직연신 용융방사) 공정으로 제조된 필라멘트와 two step(미연신 + 연신) 공정으로 제조된 필라멘트를 비교·규명함을 목적으로 하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용한 시료는 (주)대한 유화에서 제조된 섬유용 폴리프로필렌 chip(grade 5016 HP)을 사용하였으며 그 특성을 Table 1에 나타냈다. 미연신 필라멘트의 제조는 실제 생산체제에서 사용중인 직연신용융방사기를 이용하였으며 방사기의 제원과 방사 조건은 Table 2과 Table 3에 나타냈다. 연신 필라멘트의 제조는 최적 방사온도로 제조된 미연신 필라멘트를 이용하였고, one step line의 연신 공정상에서 최대 문제점인 slip을 방지하기 위하여 temperature cabinet를 장착한 Instron을 사용하여 110 °C에서 crosshead speed를 100 m/min의 속도로 열연신을하여 제조하였다.

Table 1. Characteristics of polypropylene material

Characteristics Sample	GPC			Melt index (g/10 min)	Melting temperature (°C)
	\bar{M}_n	\bar{M}_w	\bar{M}_w / \bar{M}_n		
5016	84,100	234,000	2.78	15	165

Table 2. Principal specifications of spin draw system

Parts of system	Conditions	
Extruder	Screw diameter	40 mm single screw
	Screw effective length	L/D = 30
	Screw revolution	60 rpm
	Cylinder heating system	Electric resistance heating
Die	Two die system	1 zone
	Heating control	Electric resistance
	Heating system	Die heating
Gear Pump	Displacement of pump	3 cc/rev.
	Pump revolution	30 rpm
Quenching	Air cooling	

Table 3. Spinning conditions of undrawn polypropylene multifilament

Spinning temperature (°C)	200, 230, 260
Mass flow rate (g/min)	30
Nozzle dimension (mm, holes)	∅ 0.7, 36
Air temperature (°C)	20
Take-up velocity (m/min)	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800

이상과 같은 방법으로 제조된 폴리프로필렌 멀티필라멘트를 이용하여 복굴절률은 편광현미경(Leits사)을 사용하여 Berek compensator로 측정하였고, 밀도는 diethylene glycol과 isopropanol의 혼합용액을 23 ± 0.5 °C가 유지되는 밀도구배관(density gradient column)을 사용하여 측정하였다. 구해진 밀도값을 이용하여 부피분률 결정화도 Xc를 구하였고 시료의 물리적 특성을 알아보기 위하여 Instron을 이용하여 강도, 신도 및 modulus를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 shear rate에 따른 elongation viscosity를 나타낸 것으로 방사온도가 230 °C일 때에 가장 안정적인 점도곡선을 보여주고있다. Fig. 2은 섬유의 전체 배향을 알아보기 위하여 방사온도와 권취속도에 따른 미연신 필라멘트의 복굴절률의 변화를 나타내었다. 권취속도가 증가할수록 복굴절률은 증가하는 것을 볼 수 있으며, 용융방사 온도가 낮을수록 보다 높은 복굴절률값을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 그리고, 낮은 권취속도 영역에서 복굴절률은 급격한 증가를 보이지만 권취속도가 높아질수록 그 증가가 완만하여지며 또한, 낮은 권취속도 영역에서 방사온도가 높을수록 복굴절률이 낮아지며 권취속도가 높은 영역일수록 복굴절률의 차이가 줄어들어 가는 것을 알 수 있다. Fig. 3는 권취속도와 방사온도에 따른 미연신 필라멘트의 결정화도의 변화를 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 권취속도가 증가할수록 결정화도는 증가하였으며 방사온도가 낮은 쪽이 결정화도가 높게 나타났다. 낮은 방사온도로 제조한 미연신 필라멘트일수록 결정화도의 증가폭이 완만하여지며, 높은 방사온도로 제조한 미연신 필라멘트일수록 결정화도값의 증가폭이 커짐을 알 수 있다. 또한, 방사온도에 따른 결정화도값을 비교하여보면 낮은 권취속도 영역에서는 그 차이가 컸으나 높은 권취속도로 갈수록 그 폭이 작아지는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과로 보아 방사온도가 섬유의 복굴절률 및 결정화도에 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 열연신된 폴리프로필렌의 연신비와 권취속도에 따른 섬도의 변화를 나타낸 것으로 낮은 연신비에서는 권취속도가 증가할수록 급격히 감소하며, 높은 연신비로 갈수록 섬도의 감소차이는 줄어들며 모든 권취속도에서 어느정도 일정한 값에 수렴되는 것을 볼 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6은 열연신된 폴리프로필렌의 연신비와 권취속도에 따른 복굴절률과 결정화도의 변화를 나타낸 것으로 연신비와 권취속도가 증가할수록 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 열연신된 폴리프로필렌의 연신비에 따른 인장강도를 나타낸 것이다. 낮은 권취

속도에서 얻어진 섬유를 열연신한 경우가 높은 권취속도에서 얻어진 섬유를 열연신한 경우가 보다 우수한 강도를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 권취속도보다는 열에 의한 고연신이 섬유의 물성에 보다 커다란 영향을 준다는 것을 의미한다. Fig. 8은 one step(직연신 용융방사) 공정으로 4배 열연신하여 제조한 연신 필라멘트와 two step 공정으로 열연신하여 제조한 연신 필라멘트의 강도를 비교한 그림으로 two step 공정에서의 강도가 훨씬 높은것을 볼수있다.

Fig. 1. Variation of birefringence of polypropylene multifilaments prepared by various take-up velocity, showing the effect of spinning temperature.

Fig. 2. Variation of crystallinity of polypropylene multifilaments prepared by various take-up velocity, showing the effect of spinning temperature.

Fig. 3. Variation of denier of polypropylene multifilaments prepared by various draw ratio, showing the effect of take-up velocity.

Fig. 4. Variation of birefringence of polypropylene multifilaments prepared by various draw ratio, showing the effect of take-up velocity.

Fig. 5. Variation of crystallinity of polypropylene multifilaments prepared by various draw ratio, showing the effect of take-up velocity.

Fig. 6. Variation of tenacity of polypropylene multifilaments prepared by various draw ratio, showing the effect of take-up velocity.

Fig. 7. Variation of tenacity of polypropylene multifilaments prepared by one step processing vs. two step processing.

4. 참 고 문 헌

1. J. Shimizu, K. Toriumi and, Y. Imai, *Sen-i Gakkaishi.*, **33**, T-255(1977).
2. F. M. Lu and J. E. Spruiell, *J. Appl. Polym. Sci.*, **34**, 1521(1987)
3. H. Nadella, J. E. Spruiell and, J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 3121(1978).
4. H. Nadella, H. M. Henson, J. E. Spruiell and, J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **21**, 3003(1977).
5. A. Garton, R. F. Stepaniak, D. J. Carlsson and, D. M. Wiles, *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, **16**, 599(1978).
6. F. J. Baltacalleja, A. Peterlin and, B. Crist, *J. Polym. Sci. part A2.*, **10**, 1749(1972).
7. J. Shimizu and K. Shimazaki, *Sen-i Gakkaishi.*, **29**, T-205(1973).
8. J. Shimizu and K. Shimazaki, *Sen-i Gakkaishi.*, **29**, T-442(1973).
9. J. E. Spruiell and J. L. White, *Polym. Engin. Sci.*, No. 9, 15(1975).
10. H. Yamane and J. L. White, *Polym. Engin. Sci.*, No. 9, 23(1983).

Fig. 1.

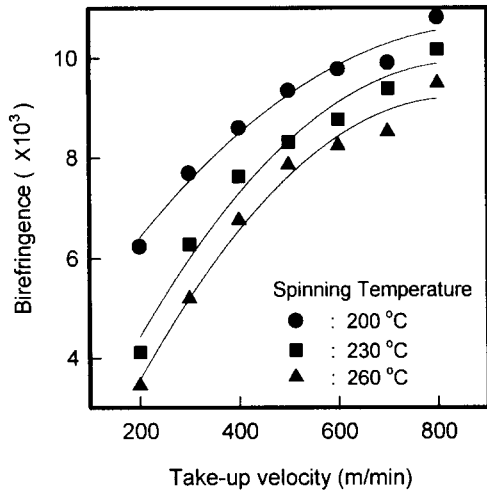


Fig. 2.

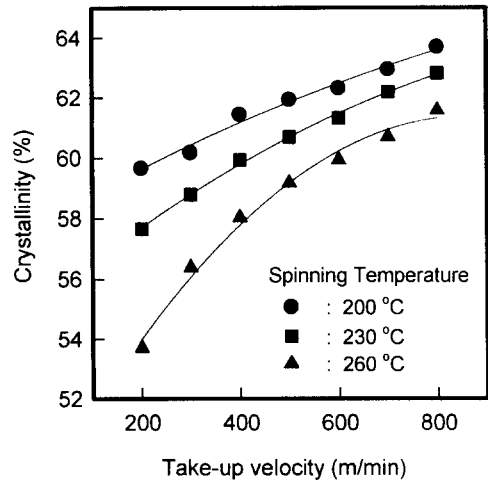


Fig. 3.

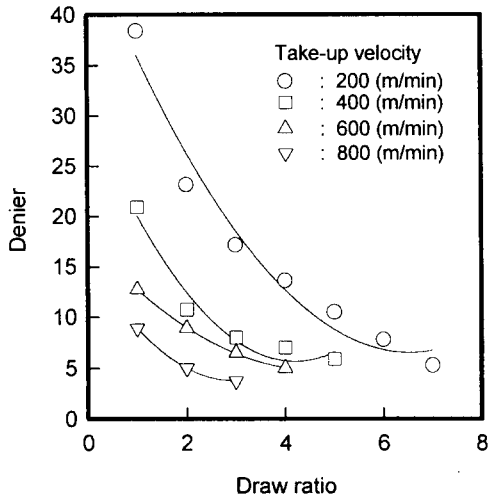


Fig. 4.

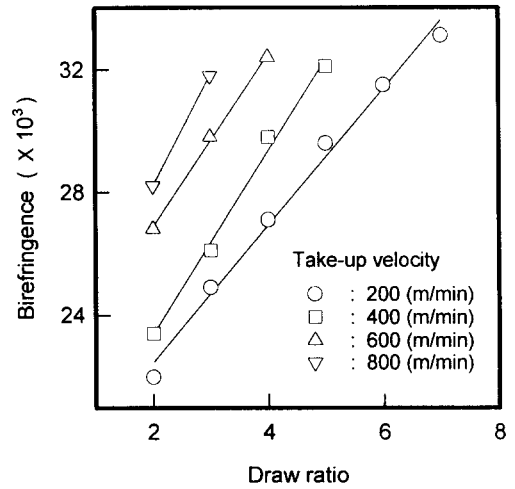


Fig. 5.

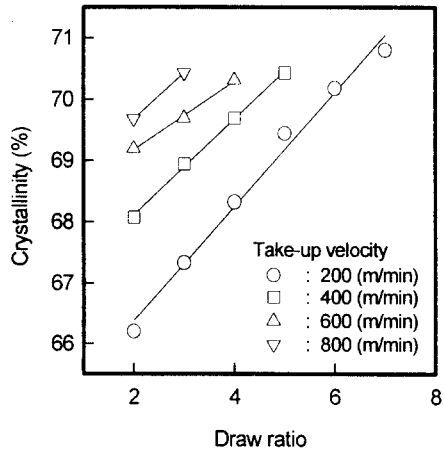


Fig. 6.

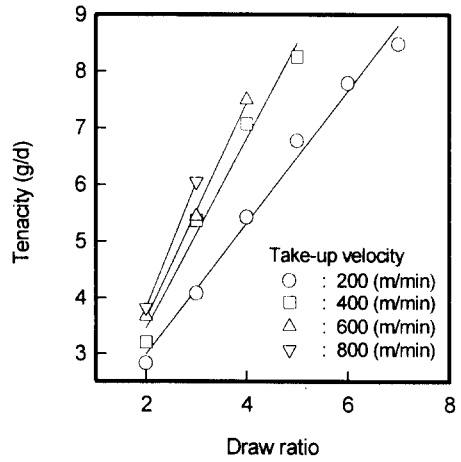


Fig. 7.

