

장섬유 보강 나일론 복합재료의 사출성형시 공정조건이 미세구조에 미치는 영향

박정훈 · 김우년 · 권익환* · 임순호**† · 고문배** · 최철림**

고려대학교 화학공학과, *제일모직 화성연구소, **한국과학기술연구원

(1999년 2월 27일 접수)

Effects of Processing Conditions of Injection Molding on the Microstructure of Long Fiber Reinforced Nylon Composites

Jung Hoon Park, Woo Nyon Kim, Ick-Hwan Kwon*, Soonho Lim**†,
Moon Bae Ko**, and Chul Rim Choe**

Department of Chemical Engineering, Korea University, Seoul, Korea

*Chemicals Division R & D Center, Cheil Industries Inc., Hwang-sung, Korea

**Polymer Hybrid Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

†e-mail : lim413@kistmail.kist.re.kr

(Received February 27, 1999)

요약: 본 실험에서는 LNP사에서 제조한 장섬유 보강 나일론6 펠렛 (Verton : PF-700-10HI)을 재료로 사출성형을 통해 복합재료를 제조하였다. 금형의 게이트에 따른 영향을 비교하기 위해, 작은 게이트 두께를 가진 금형과 큰 게이트 두께를 가진 금형이 사용되었다. 장섬유 보강 복합재료의 미세구조는 크게 코어 영역과 스킨 영역으로 나뉘어지는데 본 연구에서는 구분 기준으로 배향각 54.7도를 선택하여 임의성을 최소화하였다. 시편 내부의 섬유 길이와 배향은 보압이나 사출속도와 같은 공정조건에 영향을 받게 되며, 장섬유 보강 사출 성형시 보압이 증가함에 따라 섬유의 길이가 짧아지는 경향을 볼 수 있는데, 이러한 섬유파손에도 불구하고 보압에 따른 섬유의 배향성이 좋아져 기계적 물성 값이 상승함을 알 수 있었다. 보압을 증가시키에 따라 용융물의 충전을 높이고 스킨 영역을 넓힐 수 있으며, 사출속도를 증가시키에 따라 섬유의 파손이 늘고 코어 영역이 증가하기 때문에, 보압을 증가시키고 사출속도를 줄임으로서 높은 기계적 물성을 나타내는 시편을 제조할 수 있었다.

ABSTRACT: Long fiber reinforced nylon6 pellets (Verton, PF-700-10HI) were injection molded and the influence of the mold gate thickness was investigated. Microstructure of injection-molded long fiber reinforced thermoplastics (LFRTP) could be roughly subdivided into one core region and two skin regions. We established the criterion for division of the regions, which was 54.7° of orientation angle (θ). The fiber length and the fiber orientation in injection molded specimens were measured in order to investigate the influence by the processing conditions such as holding pressure and injection speed. In spite of the fiber breakage by increasing the holding pressure, the mechanical properties of the specimens were improved by the enhanced fiber orientation. An increase in holding pressure led to denser packing and increased the skin region. Also, a higher injection speed led to fiber breakage and decreased the skin region. The mechanical properties of injection molded specimens could be improved by increasing the holding pressure and decreasing the injection speed.

Keywords: long fiber reinforced thermoplastics, injection molding, fiber orientation, holding pressure, injection speed.

서 론

단섬유로 보강된 사출성형 시편은 보강섬유길이의 감소로 인해 기계적 물성값의 한계를 보이게 되었고, 이러한 단점을 보완하기 위해 새로이 장섬유 보강 사출성형이 제안되게 되었다. 장섬유 보강 사출성형에 쓰이는 장섬유 보강 펠렛은 펠렛 내의 섬유 길이를 길게 유지시키기 위해, 연속된 유리섬유 다발(bundle)에 지지물질인 열가소성 수지를 함침시킨 후, 냉각시켜 10 mm 길이로 절단하여 펠렛을 생산하는 플트루전 방식에 의해 생산된다. 플트루전 방식에 의해 생산된 섬유길이 10 mm의 장섬유보강 펠렛을 사출성형에 이용함으로써, 사출성형 후 섬유의 평균 길이가 1 mm 이상인 시편을 만드는데 성공하였고,¹ 이러한 결과는 단섬유 보강시편의 섬유 평균길이가 230 μm 인 것과 상당한 차이를 보이고 있다. 장섬유 보강 펠렛에 의해 제조된 시편은 기존의 단섬유 보강 사출성형 시편에 비해 우수한 기계적 물성을 나타내고 있으며, 시편 내의 섬유 평균길이가 1~2 mm로 길게 유지되었을 경우 연속섬유 보강 복합재료에 근접하는 기계적 물성값을 나타내는 것으로 보고되고 있다.¹

길이가 10 mm인 펠렛 내의 유리섬유는 사출공정 중에 대부분의 섬유들이 스크류의 회전운동에 의해 파쇄되기 때문에 공정조건 변화에 따라 섬유길이의 분포가 매우 넓게 존재하게 되며, 이로 인한 기계적 물성값도 민감한 변화 경향을 보이게 된다.

섬유 보강 복합재료의 기계적 물성에 가장 큰 영향을 미치는 인자에는 섬유의 길이와 시편 내에서의 섬유배향성을 들 수 있으며,¹ 특히 용융물의 점도가 높은 장섬유 보강 복합재료의 경우 시편에 포집되는 기포의 양에 따라 상당히 큰 기계적 물성값의 차이를 나타내게 된다.²

장섬유 보강 복합재료의 경우 사출성형시 섬유의 길이를 길게 유지시키기 위해 사출속도를 최소로 책정하고,^{1,3} 섬유의 배향을 좋게 하거나 시편에 포집되는 기포의 양을 최소로 하기 위해 높은 보압을 걸면서,¹ 보압시간을 길게 책정하여 기포의 양을 줄이는 공정이 사용되어지고 있다.³

본 실험에서는 사출성형기의 금형 게이트 두께가 0.5 mm인 일반 금형을 사용하여 장섬유 보강 펠렛을 사출성형할 경우, 공정조건 변화에 따른 섬유의 길

이와 섬유의 배향성을 조사하여 기계적 물성과의 연관성을 밝히고 동일한 공정조건에서 제조한 단섬유 보강 시편과의 기계적 물성 비교를 통해 섬유길이의 증가에 따른 기계적 물성값의 상승정도를 살펴보고자 한다.

실 험

재 료. 나일론6에 E-class 유리섬유가 함침되어 있는 펠렛을 재료로 사용하였으며, 장섬유 보강 펠렛(LFRTP : long fiber reinforced thermoplastic)으로는 LNP사에서 제조한 VERTON (PF-700-10HI : 50 wt%)을 사용하였고, 단섬유 보강 펠렛(SFRTP : short fiber reinforced thermoplastic)으로는 동양폴리머에서 제조한 토피라미드 (1021GF-9 : 45 wt%)를 사용하였다.

Fig. 1은 단섬유 보강 펠렛과 장섬유 보강 펠렛에 함침되어 있는 섬유의 형태를 도식적으로 나타낸 그림이다. 장섬유 보강 펠렛은 일정한 길이의 섬유가 펠렛의 장축방향에 일방향으로 고르게 분포하고 그 주위에 나일론이 함침되어 있는 모습을 보여주는 반면에 단섬유 보강 펠렛은 길이가 일정하지 않은 단섬유들이 나일론과 무질서하게 섞여있는 모습을 보여주고 있다.

Fig. 2는 시편의 파단면을 SEM으로 촬영한 사진으로서, 단섬유 펠렛 제조 시에는 단면의 지름이 10 μm 인 유리섬유가 사용된 반면, 장섬유 펠렛에 사용된 유리섬유의 경우 단면의 지름이 20 μm 인 굵은 유리섬유가 사용되었음을 알 수 있었다.

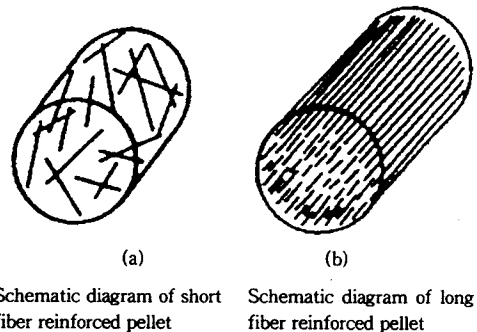
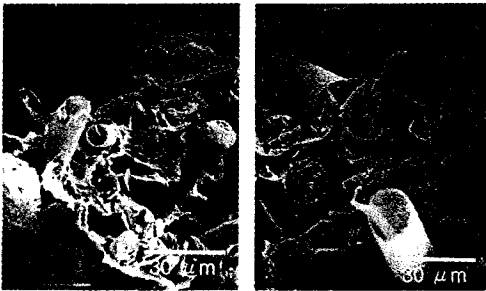


Figure 1. Schematics of fiber reinforced pellets.



(a) SF RTP (fiber diameter : 10 μm) (b) LR RTP (fiber diameter : 20 μm)

Figure 2. SEM microphotographs of the fracture surface for the fiber reinforced thermoplastics. (a) SF RTP and (b) LR RTP.

시편의 제조. 나일론6의 용융온도는 220~230 °C로서, 단섬유 사출성형시 배럴의 온도는 노즐부분부터 호퍼방향으로 260→265→250→180 °C의 분포를 가지게 설정하였으며, 장섬유 사출성형시는 단섬유보다 15 °C정도 높은 275→280→270→180 °C의 온도 분포를 가지게 설정하여 Battenfeld UNILOG 2040 사출성형기를 이용하여 시편을 제조하였다. 이러한 온도 설정의 차이는, 장섬유 보강 펠렛의 경우 동일 온도에서 단섬유보다 높은 용융 점도값을 갖기 때문에 15 °C정도 높은 온도가 설정되어야 했으며,² 금형의 온도는 60 °C로 고정시켰다. 사출압력은 80 bar로 설정하였고 배압(back pressure)은 12 bar로 고정시켰으며, 사출 후 냉각 시간은 25초로 설정하였다.

본 실험의 변수로 사출속도와 보압(holding pressure)을 설정하였는데, 보압은 사출 후 5초 동안 작용하는 방식으로 75, 50, 25, 0 bar의 보압을 지닌 시편들을 제조하였다. 사출속도는 기계가 낼 수 있는 최대속도를 15로 보고, 이에 대한 상대적 수치값으로 3, 7, 11, 15의 사출속도를 지닌 시편들을 제조하였으며, 사출성형기 배럴 안쪽에서의 펠렛 공급량을 결정짓는 계량속도는 장섬유 펠렛의 섬유손상을 막기 위해 최대속도의 1/5인 3의 속도로 고정시켜 계량하였다.

서로 다른 금형에서 제작한 시편의 섬유길이 비교를 위해 장섬유 전용 금형이 부착된 Battenfeld UNILOG 4000 사출성형기로 사출속도 40 (max. :

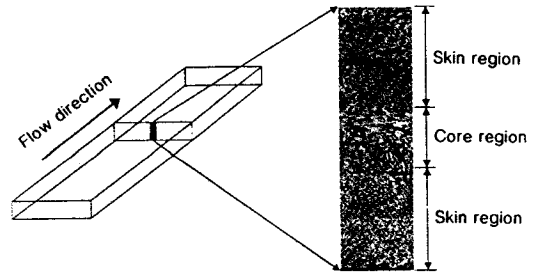


Figure 3. Schematic diagram of photographing the cross-section of specimen.

100), 보압 75 bar에서 장섬유 보강 시편을 제조하였다.

섬유길이 측정. 각 공정 조건에 따른 시편 내의 섬유 길이를 측정하기 위해 formic acid에 시편을 넣고 90 °C에서 1시간 정도 교반시켜 나일론6를 용해시킨 후, 거름종이로 나일론 용액과 유리섬유를 분리시켰다.

이렇게 분리된 유리섬유를 현미경으로 관찰한 후 (×20) CCD카메라를 이용하여 영상을 파일로 받아 섬유의 길이를 측정하였으며, 현미경은 Nikon (OPTIPOTO-2)을 사용하였고, 각 시편마다 600개 이상의 섬유를 대상으로 길이를 측정하여 통계 처리하였다.

섬유의 배향성 측정. 공정조건의 변화에 따른 장섬유 보강 시편의 배향을 보기 위해 Fig. 3과 같이 직육면체 시편을 흐름방향에 직각으로 자르고 단면을 연마하여 섬유들이 잘 보이도록 한 후, 현미경으로 시편의 두께방향에 대해 연속하여 촬영 (×50)하였다. 이렇게 촬영된 섬유의 단면은 타원형의 모양을 띠게 된다.

이러한 단면사진을 두께방향으로 25등분하여 각 영역에 나타난 섬유 단면의 장축과 단축의 길이를 측정하고, 장축과 단축의 길이의 비에 대한 아크코사인 값을 이용하여 배향각도(θ)를 구하였다.

기계적 물성 측정. 인장실험은 ASTM D-638에 의거하여 crosshead speed를 5 mm/min으로 Instron 4201을 사용하여 상온에서 실험하였고, 굴곡실험은 3-point bending 방식으로 ASTM D-790에 의거하여 crosshead speed를 1.2 mm/min으로 인장실험과 동일하게 Instron 4201을 사용하여 상온에서 실험하였다.

Izod 충격실험은 ASTM D-256에 의거하여 성형

Table 1. Comparison of the Fiber Lengths in LFRTP for the Different Positions in the Mold (Specimen, Runner, and Sprue) and the Different Molds (Thick and Thin Mold Gate Thickness)

mold type	mold A ^a		mold B ^b	
	L_n (mm)	L_w (mm)	L_n (mm)	L_w (mm)
sprue	0.97	1.82	0.96	2.63
runner	0.63	1.37	0.78	1.39
specimen	0.49	0.78	0.78	1.37

L_n : Number average fiber length (mm).

L_w : Weight average fiber length (mm).

^a Battenfeld UNILOG 2040 (injection speed: 7 (max.: 15), holding pressure: 75 bar). ^b Battenfeld UNILOG 4000 (injection speed: 40 (max.: 100), holding pressure: 75 bar).

후 노치를 주는 방법으로 두께 2.95 mm 시편에 0.1 inch 깊이의 blunt 노치를 주고 상온에서 실험하였다.

결과 및 고찰

섬유길이. 일반적으로 고분자 용융물은 사출성형시 노즐을 통해 나온 후 스프루를 거쳐 90도 방향 전환하여 런너에 도달하게 되며, 런너에 도달한 용융물은 금형 게이트를 통해 캐비티 안으로 들어가게 된다. 본 실험에서는 용융물이 노즐을 통해 나온 후 금형 디자인에 따라 섬유가 파손되는 영향을 살펴보기 위해 스프루, 런너와 시편으로부터 유리섬유를 추출하여 길이를 측정하여 Table 1에 나타내었으며, 일반 금형과의 비교를 위해 장섬유 전용 금형이 장착되어 있는 Battenfeld UNILOG 4000에서 제작한 시편의 섬유길이도 함께 나타내었다.

일반 금형의 경우 런너 부분의 단면이 두께 3 mm의 납작한 반 타원 형태를 띠고 있는데 반해, 장섬유 전용 금형에 있는 런너 부분의 단면은 10 mm 길이의 정사각형 모양을 띠고 있어, 스프루를 지난 후 90도 방향 전환시 섬유파손이 적게 일어나 전체적으로 긴 섬유길이를 유지하고 있음을 볼 수 있었다.

복합재료의 사출성형에서 사출속도의 크기는 사출되는 용융물과 벽면과의 마찰에 의한 전단응력에 큰 영향을 주는 관계로, 될 수 있으면 낮은 사출속도를 유지하여 용융물 속의 섬유가 전단응력에 의해 부러지는 것을 최소화하는 방법이 널리 이용되고 있다.¹ 일반 금형이 달린 사출성형기를 사용할 경우 각 사출

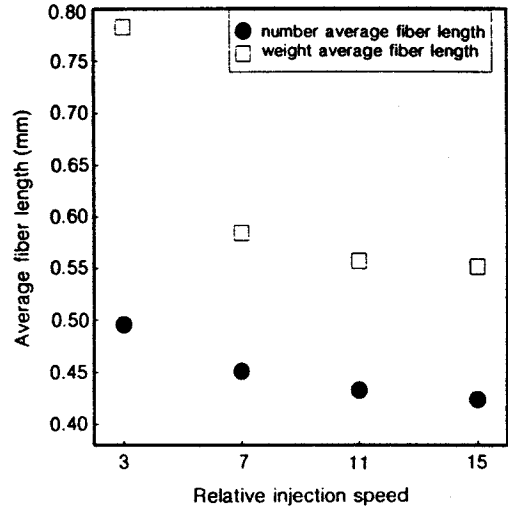


Figure 4. Average fiber length of the LFRTP specimen as a function of injection speed (holding pressure: 75 bar).

속도에 대한 장섬유보강 시편의 평균 섬유길이를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보면 사출속도가 증가함에 따라 섬유의 길이가 점차적으로 감소하는 경향을 볼 수 있으며, 이는 사출속도의 증가에 따른 전단응력의 증가로 인해 섬유의 수평균 길이가 감소하는 경향을 보이게 된 것으로 보인다.¹⁴

사출속도에 따른 섬유길이 분포 (L_w/L_n)를 살펴보면 사출속도가 낮을 때는 섬유길이 분포가 크게 나타난 반면, 사출속도가 7 이상인 시편의 섬유길이 분포는 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 이는 사출속도가 3에서 7로 커짐에 따라 길이가 긴 섬유들이 증가되는 전단응력을 이기지 못하고 부러졌기 때문이다.⁵

단섬유 보강 시편의 경우 사출속도를 7로 하고 보압을 75 bar로 설정해 제조한 시편의 섬유를 추출하여 길이를 측정해 본 결과 0.23 mm의 수평균 섬유길이와 0.28 mm의 중량 평균 섬유길이를 보여 주었다. 장섬유 보강 시편의 섬유길이와 비교해 보면, 장섬유 보강 시편은 단섬유보다 두 배 이상 긴 섬유길이를 유지하고 있어 섬유함량이 동일할 경우 단섬유 보강 시편보다 우수한 기계적 물성값을 나타내리라 예측된다.

보압은 충전 완료 후 시편의 고형화가 일어나기 전

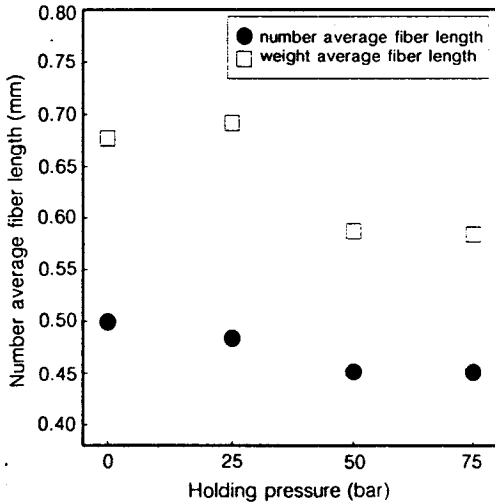


Figure 5. Average fiber length of LFRTP specimen as a function of holding pressure (injection speed: 7).

에 시편 전체에 걸리는 압력으로서 보압이 걸리는 정도와 시간에 따라 시편 내 섬유길이에 적지 않은 영향을 미치게 된다.

Fig. 5는 보압의 변화에 따른 섬유의 평균길이를 나타낸 그림으로서, 보압이 증가함에 따라 섬유의 길이가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

일반적으로 보압은 주로 섬유의 배향과 관련을 가지고 있는 것으로 보고되어 있으나 섬유의 길이 변화에도 적지 않은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. Fig. 4와 5를 비교해 보면 보압의 변화에 따른 섬유 길이가 변화가 사출속도의 변화에 따른 섬유길이의 변화보다는 적게 영향을 미치고 있으나, 보압의 증가에 의해서도 섬유의 길이가 감소하는 현상을 뚜렷이 볼 수 있었다.

섬유 배향성. 섬유강화 복합재료에서 기계적 물성 값을 좌우하는 변수 중 가장 활발한 연구가 수행되고 있는 분야가 섬유의 배향성에 대한 연구라고 할 수 있다. 사출성형 복합재료에서의 섬유배향은 거의 모든 공정조건에 대해서 민감하게 변할 수 있기 때문에, 최적의 섬유배향을 보이는 공정조건을 찾는 작업은 상당히 어려운 작업이라 할 수 있다.

사출성형시 섬유의 배향성을 살펴보면, 용융물이 금형의 표면과 가까울수록 전단응력이 높게 걸리게 되어 섬유들이 용융물의 진행방향과 같은 방향으로

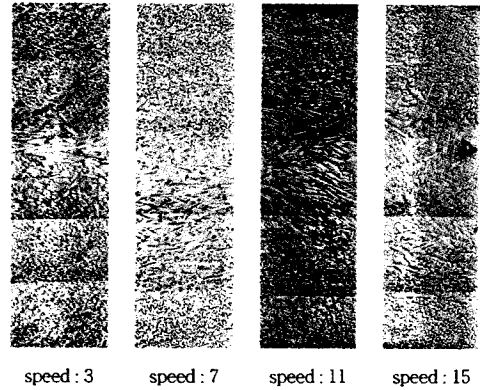


Figure 6. Photomicrographs of the cross-section in LFRTP specimen for the different injection speed (holding pressure: 75 bar).

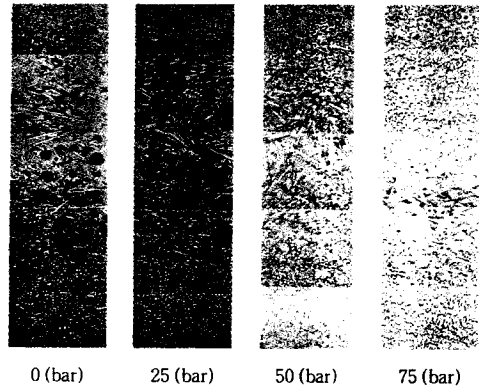


Figure 7. Photomicrographs of the cross-section in LFRTP specimen for the different holding pressure (injection speed: 7).

배향하는 스킨 영역이 형성되고, 시편의 가운데 부분은 용융물의 진행방향에 수직하게 섬유들이 배향하는 코아 영역이 형성되게 된다.^{1,6,7,8} 시편내에서 스킨 영역이 넓은 시편일수록 흐름방향에 대해 우수한 기계적 물성을 나타내게 되므로 가능하면 스킨 영역을 넓히는 방향으로 공정조건을 설정하게 된다.^{9,10}

코아 영역과 스킨 영역을 구분하기 위하여 본 실험에서는 섬유배향이 무질서하게 되는 배향각도 즉 섬유배향도가 0이 되는 배향각도인 54.7도를 중심으로 스킨 영역과 코아 영역을 구분하였다.¹¹

Fig. 6과 7은 사출속도 및 보압의 변화에 따른 시편의 단면을 찍은 사진들이다. 스킨 영역은 섬유들

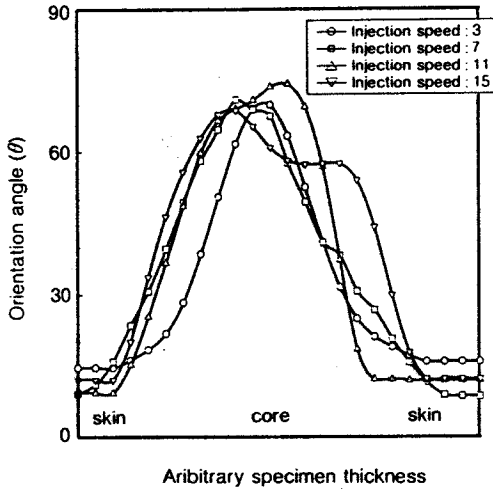


Figure 8. Orientation angle (θ) of the fibers in the LFRTP specimen as a function of the normalized thickness direction of the specimen for the different injection speed (holding pressure: 75 bar).

이 물질 흐름방향으로 배향되어 있음을 알 수 있었고 코아 영역은 섬유들이 흐름방향에 수직으로 배향되어 있음을 볼 수 있었다. 섬유배향성을 살펴보면 사출속도가 증가함에 따라 또는 보압이 감소함에 따라 코아 영역이 증가하고 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 보압이 25 bar 이하일 경우에는 시편 내부에 많은 기포가 존재함을 알 수 있었다.

Fig. 8은 시편의 단면 사진으로부터 사출속도별로 시편의 두께 방향에 대한 섬유의 배향각도를 나타낸 그림이다. 섬유배향각의 분포가 0도 근처부터 최대 75도까지 되어있음을 알 수 있으며 사출속도가 증가함에 따라 그래프가 넓게 퍼짐을 관찰할 수 있다. 그래프의 대칭성을 살펴보면 한쪽으로 치우쳐져 있음을 알 수 있는데 이는 금형 게이트의 위치가 시편 두께 방향에 있어서 중앙에 위치하지 않고 한쪽으로 치우쳐져 있기 때문으로 사료된다.

Fig. 9는 사출속도에 따른 스킨 영역의 변화를 나타낸 그림이다. 사출속도의 변화에 대해 스킨 영역이 80%부터 55%로 사출속도에 비례하여 감소함을 알 수 있었다.

보압은 섬유 보강 복합재료에서 섬유의 배향에 가장 큰 영향을 미치는 인자라고 할 수 있다. 주로 냉각과정에서 고분자의 수축현상을 막기 위해 충전 완

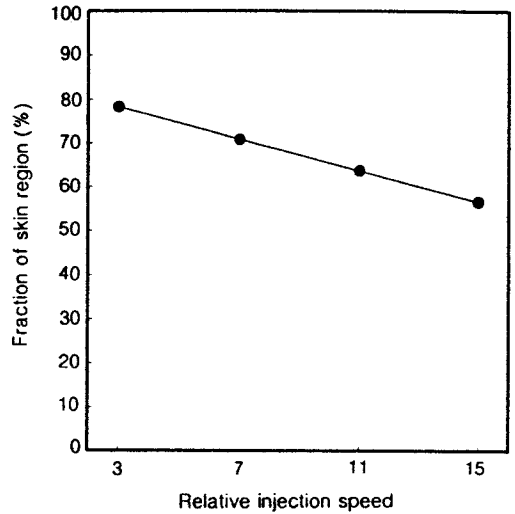


Figure 9. The change of the skin region for the LFRTP as a function of injection speed (holding pressure: 75 bar).

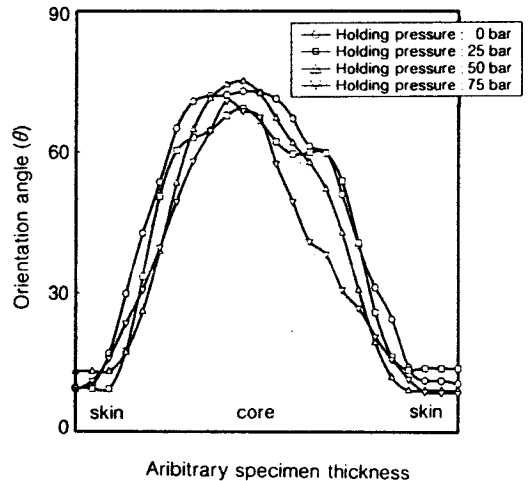


Figure 10. Orientation angle (θ) of the fibers in the LFRTP specimen as a function of the normalized thickness direction of the specimen for the different holding pressure (injection speed: 7).

료 후에 가해주는 압력으로,^{12,13} 수축현상으로 인해 생길 수 있는 공간을 다시 채우는 역할과 시편에 내재되어 있는 기포의 성장을 막고,¹⁴ 코아 영역에 있는 섬유를 스킨 영역의 섬유배향으로 재배열시키는 역할을 수행한다.^{1,2,15}

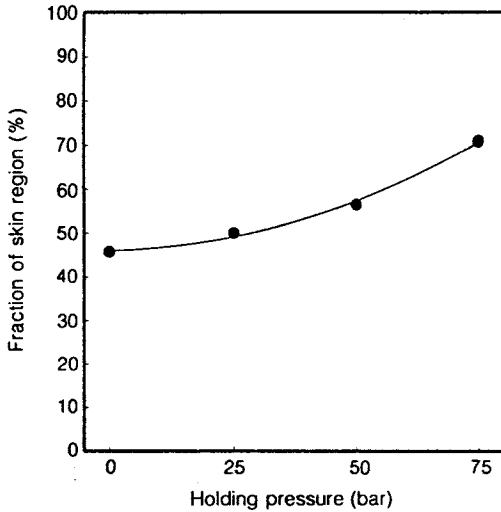


Figure 11. The change of the skin region for the LFRTP as a function of holding pressure (injection speed: 7).

Fig. 10은 현미경 사진으로부터 배향각도를 측정하여 나타낸 그림으로서, 사출속도가 변할 때와 마찬가지로 코어 영역이 중앙부분에 존재하며, 보압이 증가함에 따라 배향각도가 54.7도 이상이 되는 코어 영역이 감소하면서 스킨 영역이 크게 증가하는 경향을 볼 수 있었다. Fig. 11은 보압변화에 따른 스킨 영역의 변화를 나타낸 그림이다. 보압이 증가함에 따라 스킨 영역이 초기에는 서서히 증가하다가 50 bar 이상에서는 급격히 증가함을 알 수 있었다.

기계적 물성. 사출속도의 변화에 따른 장섬유 및 단섬유 보강 시편의 충격강도를 나타낸 Fig. 12를 살펴보면 장섬유 보강 시편이 단섬유 보강 시편에 비해 월등하게 높은 값을 유지하며 사출속도의 증가에 따라 감소하고 있었는데, 이러한 충격강도 값의 하락은 Fig. 4에서 보듯이 사출속도의 증가로 인한 섬유길이의 감소와 스킨 영역의 감소가 주요한 원인으로 사료된다.¹⁶ 일반적으로 균열이 진행한 길이가 길수록 큰 충격강도를 나타내게 되는데, Fig. 12에서처럼 사출속도가 증가함에 따라 섬유의 평균길이가 짧아지고, 따라서 균열이 섬유주위를 경유하는 길이가 짧아져 충격강도 값이 감소한 것으로 보인다.

Fig. 13은 보압의 변화에 따른 굴곡 탄성을 경향을 나타낸 그림으로서 보압의 증가에 따라 장섬유 보

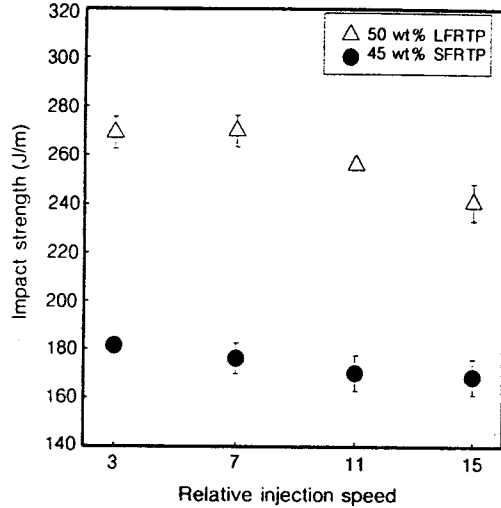


Figure 12. Impact strength of the LFRTP (△) and the SFRTTP (●) as a function of injection speed (holding pressure: 75 bar).

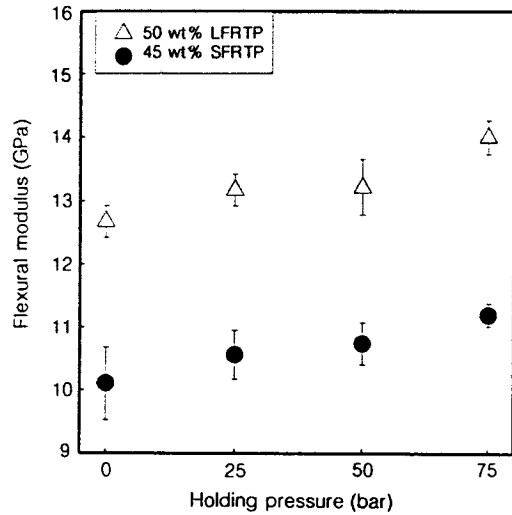


Figure 13. Flexural modulus of the LFRTP (△) and the SFRTTP (●) as a function of holding pressure (injection speed: 7).

강 시편 뿐 아니라 단섬유 보강 시편의 굴곡 탄성률도 증가하는 경향을 볼 수 있었는데, 이는 보압이 증가하면서 섬유길이가 짧아지는 경향에 비해, 섬유배향성의 증가가 직접적으로 영향을 미치고 있었다고 볼 수 있다.^{9,10,17}

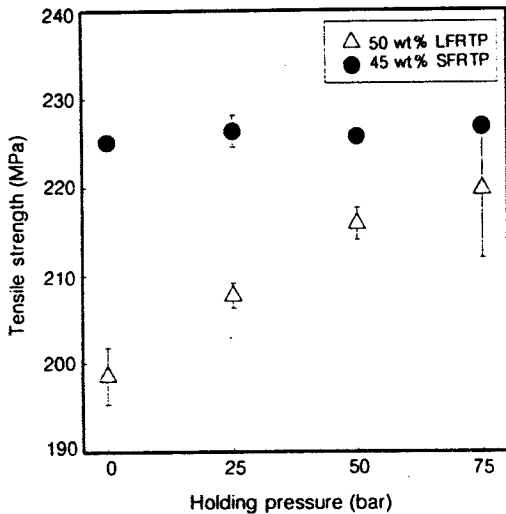


Figure 14. Tensile strength of the LFRTP (Δ) and the SFRTPT (\bullet) as a function of holding pressure (injection speed: 7).

Fig. 14는 보압의 증가에 따른 인장강도를 측정 한 그림으로, 단섬유 보강 시편의 물성값이 장섬유 보강 시편보다 좋게 나오는 현상을 볼 수 있다. 일반적으로 섬유함량과 섬유지름이 동일할 경우 장섬유 보강 시편이 단섬유 보강 시편보다 조금 높은 인장강도를 나타내나, 본 실험의 경우 단섬유가 큰 인장강도를 보이는 이유는 장섬유 펠렛의 섬유지름이 Fig. 2에서 보듯이 단섬유 펠렛의 섬유지름보다 2배정도 더 크고, 특히 장섬유 보강 시편은 Fig. 7에서의 같이 시편에 내재되는 기포의 양이 많기 때문에 단섬유 보강 시편보다 낮은 인장강도 값을 나타낸 것으로 보인다. 또한 Fig. 14에서 나타나듯이 장섬유 보강 시편의 경우 보압이 증가함에 따라 인장강도가 뚜렷이 증가 하는 경향을 볼 수 있었는데, 이는 인장강도가 시편의 기포함량과 섬유의 배향성에 민감하게 영향을 받기 때문에,¹⁹ 보압의 증가에 따라 시편내 섬유의 스킨 영역이 넓어지고 시편내 기포도 제거되면서 이러한 결과가 나온 것으로 사료된다.

결 론

섬유배향도가 0이 되는 섬유배향각 54.7도를 기준으로 스킨-코어 영역을 구분하는 객관적인 방법을 제

안하였으며, 공정조건의 변화에 따른 섬유배향과 섬유길이를 기계적 물성값과 연결시켜 장섬유 보강 사출성형시 물성값을 증대시키기 위한 공정조건을 찾아 보았다.

시편내 섬유의 길이를 길게 유지시키기 위해서는 사출속도를 줄여 용융물이 금형과 이루는 전단응력을 줄이는 공정이 사용되어야 하며, 섬유의 배향성을 좋게 하기 위해서는 사출속도를 줄이고 보압을 크게 하여 섬유들을 스킨 영역에 재배열시키는 공정이 필요 하였다.

또한, 보압이 증가함에 따라 시편내 섬유길이는 조금씩 감소하나 시편의 기계적 물성값들은 상승하는 것으로 보아, 보압의 증가를 통한 섬유배향성 증가가 보압 증가로 인한 섬유길이 파손보다는 기계적 물성값의 변화에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. L. A. Carlsson, "Thermoplastic Composites Materials", Elsevier, NY, 1991.
2. A. Vaxman and M. Narkis, *Polymer Composites*, **10**, 449 (1989).
3. M. J. Folkes, "Short Fiber Reinforced Thermoplastics", Research Studies Press, Letchworth, 1982.
4. Stuart M. Lee, "International Encyclopedia of Composites", vol. 3, VCH Publishers, NY, 1990.
5. R. J. Crowson, M. J. Folkes, and P. F. Bright, *Polymer Engineering and Science*, **20**, 925 (1980).
6. M. J. Folkes and D. A. M. Russell, *Polymer*, **21**, 1252 (1980).
7. P. F. Bright and R. J. Crowson, *Journal of Material Science*, **13**, 2497 (1978).
8. C.-M. Hsiung, S. Zhang, and D. Bank, *SPE ANTEC Preprint*, 2339 (1997).
9. B. D. Agarwal, "Analysis and Performance of Fiber Composites", John Wiley & Sons, NY, 1990.
10. J. Hollin, D. Miller, and D. Vautour, *SPE ANTEC Preprint*, 1660 (1995).
11. H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, and G. Menges, "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", vol. 10, John Wiley & Sons, Singapore, 1987.
12. K. M. B. Jasen, R. Pantani, and G. Titomanlio, *Polymer Engineering and Science*, **38**, 254 (1998).

장섬유 보강 나일론 복합재료의 사출성형시 공정조건이 미세구조에 미치는 영향

13. A. Mamat, F. Trochu, and B. Sanschagrin, *Polymer Engineering and Science*, **35**, 1511 (1995).
14. K. M. B. Jansen and D. J. Vandijk, *Polymer Engineering and Science*, **38**, 838 (1998).
15. K. M. B. Jansen, D. J. Vandijk, and M. H. Husselman, *Polymer Engineering and Science*, **38**, 838 (1998).
16. E. Plati and J. G. Williams, *Polymer Engineering and Science*, **15**, 470 (1975).
17. S. E. Barbosa and J. M. Kenny, *SPE ANTEC Preprint*, 1855 (1997).
18. R. J. Nichhols and M. A. Steller, *Plastics Compounding*, 14, July/August, 1986.
19. L. E. Nielsen and R. F. Landel, "Mechanical Properties of Polymer and Composites", Macel Dekker, Inc., NY, 1994.