

장섬유 보강 나일론 복합재료의 사출성형시 섬유배향에 따른 기계적 물성에 관한 연구

박정훈, 김우년, 임순호*, 고문배*, 최철림*

고려대학교 화학공학과

* 한국과학기술연구원 고분자 하이브리드센터

1. 서론

섬유보강 복합재료의 기계적 물성에 가장 큰 영향을 미치는 인자에는 섬유의 길이와 시편 내에서의 섬유배향성을 들 수 있으며 [1], 특히 용융물의 점도가 높은 장섬유보강 복합재료의 경우 시편에 포집되는 기포의 양에 따라 상당히 큰 기계적 물성값의 차이를 나타내게 된다[2]. 장섬유보강 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 두께(gate thickness)가 0.5mm인 일반 금형을 사용하여 장섬유 보강 펠렛을 사출성형할 경우, 공정조건의 변화에 따른 섬유의 길이와 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.

2. 시편의 제조 및 실험

2.1 시편의 제조

나일론6에 E-class 유리섬유가 함침되어 있는 펠렛을 재료로 사용하였으며, 장섬유 펠렛으로는 LNP사에서 제조한 VERTON

(PF-700-10HI : 50 wt%)을 사용하였고, 단섬유 보강 펠렛으로는 동양폴리머에서 제조한 토피라미드(1021GF-9 : 45 wt%)를 사용하였다.

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 제조하였다.

2.2 실험방법

섬유길이 측정 : 용매를 사용하여 나일론을 용해시킨 후 분리된 유리섬유를 현미경으로 관찰한 후($\times 20$) CCD카메라를 이용하여 영상을 파일로 받아 섬유의 길이를 측정하였으며, 각 시편마다 600개 이상의 섬유를 대상으로 길이를 측정하여 통계 처리하였다.

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

기계적 물성 측정 : 인장실험은 ASTM D-638에 의거하여 crosshead speed를 5 mm/min으로 Instron 4201을 사용하여 상온에서 실험하였고, 굽곡실험은 3-point bending 방식으로 ASTM D-790에 의거하여 crosshead speed를 1.2 mm/min으로 인장

실험과 동일하게 Instron 4201을 사용하여 상온에서 실험하였다. Izod 충격실험은 ASTM D-256에 의거하여 성형 후 노치를 주는 방법으로 두께 2.95mm 시편에 0.1 inch 깊이의 blunt 노치를 주고 상온에서 실험하였다.

3. 결과

3.1 섬유 길이

일반 금형이 달린 사출성형기를 사용할 경우 각 사출속도에 대한 장섬유보강 시편의 평균 섬유길이를 그림1에 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 [1, 4].

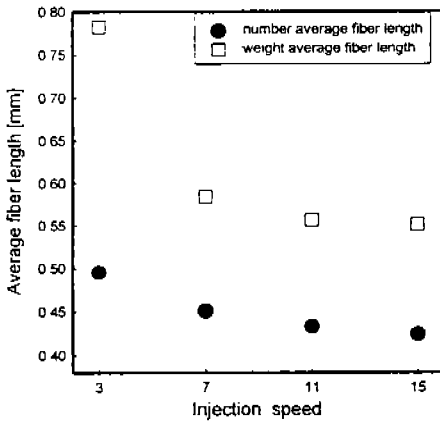


Figure 1. Average fiber length of the LFRTP specimen as a function of injection speed (holding pressure : 75 bar)

사출속도에 따른 섬유길이 분포(L_w/L_n)를 살펴보면 사출속도가 작을 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].

그림2는 보압의 변화에 따른 섬유의 평균 길이를 나타낸 그림으로서, 보압이 증가함에 따라 섬유의 길이가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

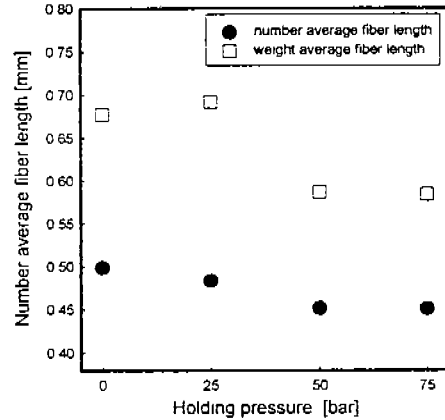


Figure 2. Average fiber length of the LFRTP specimen as a function of holding pressure (injection speed : 7)

일반적으로 보압은 섬유의 배향과 관련을 가지고 있는 것으로 보고되어 있으나 섬유의 길이 변화에도 적지 않은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

3.2 섬유 배향성

사출성형시 섬유의 배향성을 살펴보면, 용융물이 금형의 표면과 가까울수록 전단응력 (shear stress)이 높게 걸리게 되어 섬유들이 용융물의 진행방향과 같은 방향으로 배향하는 스킨(skin)영역이 형성되고, 시편의 가운데 부분은 용융물의 진행방향에 수직하게 섬유들이 배향하는 코어(core)영역이 형성되게 된다[1, 6-8]. 시편 내에서 스킨영역이 넓은 시편일수록 흐름방향에 대해 우수한 기계적 물성을 나타내게 되므로 가능하면 스킨영역을 넓히는 방향으로 공정조건을 설정하게 된다[9, 10].

코아영역과 스킨영역을 구분하기 위하여 본 실험에서는 섬유배향이 무질서하게 되는 배향각도 즉 섬유배향도가 0이 되는 배향각도인 54.7도를 중심으로 스킨영역과 코아영역을 구분하였다[11].

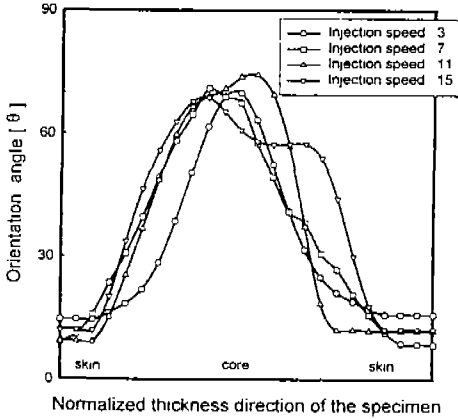


Figure 3. Orientation angle(θ) of the fibers in the LFRTTP specimen as a function of the normalized thickness direction of the specimen for the different injection speed (holding pressure : 75 bar)

그림3은 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.

보압은 섬유보강 복합재료에서 섬유의 배향에 가장 큰 영향을 미치는 인자라고 할 수 있다. 주로 냉각과정에서 고분자의 수축현상을 막기 위해 충전 완료 후에 가해주는 압력으로[12, 13], 수축현상으로 인해 생길 수 있는 공간을 다시 채우는 역할과 시편에 내재되어 있는 기포의 성장을 막고[14], 코아영역에 있는 섬유를 스킨영역의 섬유배향으로 재배열시키는 역할을 수행한다[1, 2, 15].

그림4는 보압에 따른 섬유의 배향각도를 측정하여 나타낸 그림으로서, 사출속도가 변할 때와 마찬가지로 코아영역이 중앙부분에 존

재하며, 보압이 증가함에 따라 배향각도가 54.7도 이상이 되는 코아영역이 감소하면서 스킨영역이 크게 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

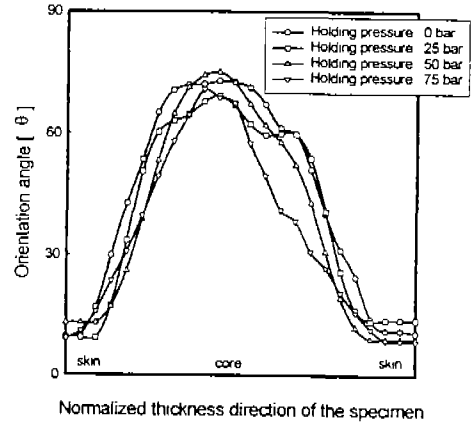


Figure 4. Orientation angle(θ) of the fibers in the LFRTTP specimen as a function of the normalized thickness direction of the specimen for the different holding pressure (injection speed : 7)

3.3 기계적 물성

사출속도의 변화에 따른 장섬유 및 단섬유 보강시편의 충격강도를 나타낸 그림5를 살펴보면 장섬유 보강 시편이 단섬유 보강 시편

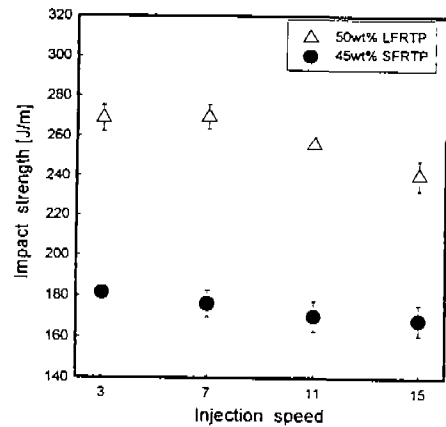


Figure 5. Impact strength of the LFRTTP(Δ) and the SFRTTP(\bullet) as a function of injection speed (holding pressure : 75 bar)

에 비해 월등하게 높은 값을 유지하며 사출 속도의 증가에 따라 감소하고 있었는데, 이러한 충격강도 값의 하락은 그림1에서 보듯이 사출속도의 증가로 인한 섬유길이의 감소가 주요한 원인으로 사료된다[16]. crack이 진행한 길이가 길수록 큰 충격강도를 나타내므로, 섬유의 평균길이가 길어짐에 따라 crack이 섬유주위를 경유하는 시간이 길어져 충격강도 값이 증가하는 것으로 보인다.

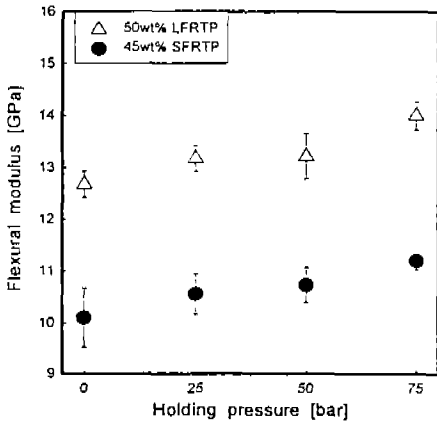


Figure 6. Flexural modulus of the LFRTP(Δ) and the SFRTTP(\bullet) as a function of holding pressure (injection speed : 7)

그림6은 보압의 변화에 따른 굴곡 탄성률 경향을 나타낸 그림으로서 보압의 증가에 따라 장섬유 보강 시편 뿐 아니라 단섬유 보강 시편의 굴곡 탄성률도 증가하는 경향을 볼 수 있었는데, 이는 보압이 증가하면서 섬유 길이가 짧아지는 경향에 비해, 섬유배향성의 증가가 직접적으로 영향을 미치고 있었다고 볼 수 있다[9, 10, 17].

그림7은 보압의 증가에 따른 인장강도를 측정된 그림으로, 단섬유 보강 시편의 경우 보압의 증가에 따라 거의 비슷한 물성값을 나타내고 있었으나, 장섬유 보강 시편의 경우 보압이 증가함에 따라 인장강도가 크게 증가하는 경향을 볼 수 있었다[18]. 또한 단 섬유보강 시편의 물성값이 장섬유보강 시편

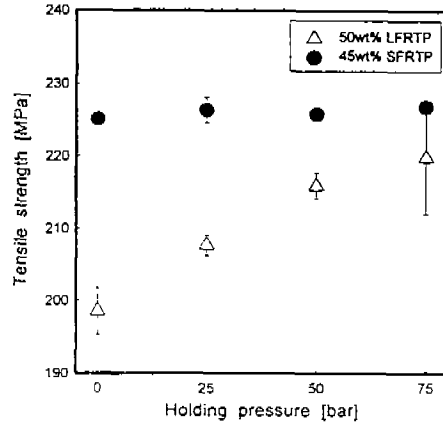


Figure 7. Tensile strength of the LFRTP(Δ) and the SFRTTP(\bullet) as a function of holding pressure (injection speed : 7)

과 비슷하거나 좋게 나오는 현상을 볼 수 있었는데, 이는 장섬유 보강 시편의 섬유 길이가 단섬유 보강 시편 보다 2배 정도 더 긴 반면, 지름도 2배 더 큰 관계로 aspect ratio는 단섬유와 거의 비슷하여, 보강섬유가 인장강도 값의 상승에 기여한 역할은 단섬유와 거의 동일하다 할 수 있으나 장섬유 보강 시편의 경우 단섬유보다 상대적으로 적은 스킨 영역과 많은 양의 기포를 포함하기 때문으로 사료된다.

4. 결론

섬유배향도가 0이 되는 섬유배향각 54.7도를 기준으로 스킨-코어 영역을 구분하는 객관적인 방법을 제안하였으며, 공정조건의 변화에 따른 섬유배향과 섬유길이를 기계적 물성값과 연결시켜 장섬유 보강 사출성형시 물성값을 증대시키기 위한 공정조건을 찾아보았다.

시편 내 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 섬

유들을 스킨영역에 재배열시키는 공정이 필요하였다.

또한, 보압의 증가에 따른 시편 내 섬유 길이를 조사한 결과 보압의 증가에 따라 섬유 길이가 조금씩 감소하는 경향을 볼 수 있었으나, 시편 전체의 섬유배향성 상승으로 인해 모든 기계적 물성값이 증가하는 경향을 보이고 있으므로 섬유배향성 상승에 의한 물성 증가가 보압 증가로 인한 섬유길이 파손에 의한 물성 하락보다 더 큰 상승효과를 보여주고 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. L. A. Carlsson, Composites Materials Series, Vol. 7, Thermoplastic Composites Materials, Elsevier, 1991.
2. A. Vaxman and M. Narkis, *Polymer Composites*, Vol.10, 449(1989).
3. M. J. Folkes, Short fiber reinforced thermoplastics, Research studies press, 1982.
4. Stuart M. Lee, International Encyclopedia of Composites, Vol.3, Injection Molding.
5. R. J. Crowson, M. J. Folkes and P. F. Bright, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 20, 925(1980).
6. M. J. Folkes and D. A. M. Russell, *Polymer*, Vol. 21, 1252(1980).
7. P. F. Bright and R. J. Crowson, *Journal of Material Science*, Vol. 13, 2497(1978).
8. Chang-Meng Hsiung, Sharon Zhang and D. Bank, *ANTEC 97*.
9. B. D. Agarwal, Analysis and Performance of Fiber Composites, John Wiley & Sons, 1990.
10. Joshua Hollin, Daria Miller and Daniel vaultour, *ANTEC 95*, 1660.
11. Encyclopedia of polymer science and engineering, Vol. 10, John Wiley & Sons, 1987.
12. K. M. B. Jansen, R. Pantani and G. Titomanlio, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, 254(1998).
13. A. Mamat, F. Trochu and B. Sanschagrin, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 35, 1511(1995).
14. K. M. B. Jansen and D. J. Vandijk, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, 838(1998).
15. K. M. B. Jansen, D. J. Vandijk and M. H. Husselman, *Polymer Engineering and Science*, Vol.38, 838(1998).
16. E. Plati and J. G. Williams, *Polymer Engineering and Science*, Vol.15, 470(1975).
17. Silvia E. Barbosa and Jose M. Kenny, *ANTEC 97*.
18. Russell J. Nichols and Mark A. Steller, *Plastics Compounding*, July/august,1986.