



Processability and Mechanical Characteristics of Glass Fiber and Carbon Fiber Reinforced PA6 for Reinforcement Content

S. B. Lee, H. S. Cho, and M.-Y. Lyu^{*,†}

Department of Product Design Manufacturing Engineering, Graduate School of Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

**Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea*

(Received August 7, 2015, Revised August 19, 2015, Accepted August 21, 2015)

Abstract: There is a need for light weight and high stiffness characteristics in the building structure as well as aircraft and cars. So fiber reinforced plastic with the addition of reinforcing agent such as glass fiber, carbon fiber, aramid fiber is utilized in this regard. In this study, mechanical strength, flow property and part shrinkage of glass fiber and carbon fiber reinforced PA6 were examined according to reinforcement content such as 10%, 20%, and 30%, and reinforcement type. The mechanical property was measured by a tensile test with specimen fabricated by injection molding and the flow property was measured by spiral test. In addition, we measured the part shrinkage of fiber reinforced PA6 that affects part quality. As glass fiber content increases, mechanical property increased by 75.4 to 182%, and flow property decreased by 18.9 to 39.5%. And part shrinkage decreased by 52.9 to 60.8% in the flow direction, and decreased by 48.2 to 58.1% in the perpendicular to the flow direction. As carbon fiber content increases, mechanical property increased by 180 to 276%, flow property decreased by 26.8 to 42.8%, and part shrinkage decreased by 65.0 to 71.8% and 69.5 to 72.7% in the flow direction and the direction perpendicular to the flow respectively.

Keywords: carbon fiber, glass fiber, PA6, tensile test, spiral test, part shrinkage

Introduction

산업의 발달과 함께 재료 특성의 향상에 대한 요구가 꾸준히 제기되고 있으며, 이에 따라 기존 재료보다 가벼우면서도 우수한 강도와 기능적 특성을 가진 신소재 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 재료 특성을 향상시키는 방법 중에서도 많은 관심의 대상이 되어온 복합재료에 대한 연구 개발이 주목 받고 있다.¹ 또한 플라스틱 복합재료는 일반 생활용품에서부터 전자제품, 자동차, 항공기부품 등에 이르기까지 다양한 분야에서 사용되고 있다.² 이러한 플라스틱 제품은 대부분 사출성형을 통해 생산된다. 이는 사출성형이 제품의 형상이 복잡하더라도 쉽게 성형이 가능하고 높은 정밀도를 얻을 수 있으며 대량생산이 가능하기 때문이다.³ 플라스틱 복합재료의 기본적인 물성은 매트릭스 소재 자체의 성질에 의존하지만, 강화제의 종류와 특성 및 함유량에 따라서 큰 변화가 나타난다. 대표적인 강화제의 종류로는 유리섬유, 탄소섬유 그리고 아라미드 섬유가 있다.⁴ 이러한 강화제는 본래의 보조 재료라는 의미를 초월하여 플라스틱 제품의 최종 성능에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 특수 소재로 인식되고 있다. 섬

유 강화제를 이용한 고분자 재료의 연구는 사출온도와 사출 압력과 같은 사출성형조건에 따른 제품의 기계적 물성과 제품의 치수정밀도에 영향을 미치는 수축률에 대하여 다루고 있다.^{3,5-9}

본 연구는 매트릭스소재에 강화제 및 함유량에 따른 기계적인 물성 변화와 그리고 유동성과 수축률에 대한 연구를 진행하였다. 기존 연구와 다르게 각각의 실험을 위한 시편 제작 시 사출성형조건을 동일하게 한 상태로 사출성형을 진행하여 성형공정에 따른 변수가 배제된 시편을 제작하여 강화제의 종류와 함유량에서 나타나는 차이를 비교하고자 하였다. 본 연구에서는 섬유 강화제인 유리섬유 (GF, glass fiber)와 탄소섬유 (CF, carbon fiber)가 첨가되었을 때 함유량에 따른 인장 강도와 유동성을 실험적 연구를 통해 조사하였으며, 인장강도와 유동성 및 수축률의 관계를 규명하였다.

Experimental

1. 재료

엔지니어링 플라스틱은 강도, 내열성, 내충격성, 내마찰성,

[†]Corresponding author E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

내약품성 등이 우수한 구조재, 부품재료에 적합하며 현재 생산량과 사용량이 매우 많은 플라스틱이다. 그 중 나일론으로 알려져 있는 폴리아미드(PA6)는 유연하고, 성형온도가 낮아 성형성이 좋다. 본 연구에 사용될 고분자 소재는 효성(HYOSUNG)사의 엔지니어링 플라스틱인 PA6 (Toplon 1011BRT)를 사용하였다. Table 1은 본 연구에서 사용한 PA6의 물성표이다. 또한 수지의 첨가물에 따른 인장강도와 유동성 및 수축률을 알아보기 위해 유리섬유, 탄소섬유를 각각 10%, 20%, 30%를 첨가 하였다. 첨가한 강화제로 사용된 유리섬유는 Taishan Fiber Glass사의 Grade ECS7-4.5T 435TM을 사용하였고, 직경과 길이는 각각 13 μm , 4.5 mm이다. 탄소섬유는 선영산업의 Grade T700을 사용하였고, 직경과 길이는 각각 6.97 μm , 6 mm이다. Table 2은 사용된 유리섬유와 탄소섬유의 정보이다.

2. 실험시편 및 실험방법

시편 제작을 위해 카세트 금형을 설계 및 제작하였다. 카세트 금형은 하나의 mold base에 다양한 core plate의 교체가 가능한 금형이다. 다양한 시편을 필요로 하는 물성 측정 시, 카세트 금형의 core plate만 교체를 하여 여러 종류의 시편 제작을 용이하게 할 수 있다는 특징이 있다.

2.1. 인장 강도 측정

인장 강도 측정은 ASTM D 638에 명시되어 있는 시편길이(L0), 폭(W0), 두께(T)가 각각 165 mm $\times$ 13 mm $\times$ 7 mm인 Type I 시편(Figure 1)을 사용하였다.¹⁰ 강화제의 종류 및 함유량에 따른 5개의 시편들을 DAEKYUNG TECH & TESTERS

의 DRU-900MH 300 kN 만능재료시험기를 이용하여 5 mm/min의 속도로 인장 실험을 실시 하였다. 탄성계수와 파단응력을 통하여 강화제의 종류 및 함유량에 따른 수지의 강도를 비교하였다. 탄성계수는 응력을 받았을 때 일어나는 변형률의 정도를 나타낸 것으로 인장 또는 압축을 받는 재료의 거동을 예측할 수 있다. 탄성계수가 높을수록 소재의 변형이 적어 강도가 크다는 것을 의미한다. 응력-변형률 관계 그래프에서 탄성 구간의 기울기로부터 결정한다. 파단응력은 시편이 끊어지는 지점에서의 응력 값, 즉 파단강도를 의미한다.

2.2. 유동성 측정

유동성 측정은 ASTM D 3123에 명시되어 있는 폭 1.6 mm인 스파이럴 모양의 시편(Figure 2)으로 측정하였다.¹¹ 스파이럴 금형을 이용하여 제품을 성형한 후 금형의 중심에 위치한 게이트에서 시작하여 금형에 표시된 노치를 통해 유동한 거리를 측정하는 실험이다. 측정된 수치로 제품의 성형성과 성형 작업의 안정도를 간접적으로 측정 할 수 있다.⁸ 다섯 개의 시편을 성형하여 시편에 표시된 노치를 이용하여 평균 유동 거리를 비교 측정하였다. 노치간 간격은 10 mm로 일정하다.

2.3. 수축률 측정

수축률 측정은 ASTM D 955에 명시되어 있는 60 mm $\times$ 60 mm $\times$ 20 mm인 D2시편과 직경(D), 두께(t)가 각각 100 mm $\times$ 3.2mm인 disk시편을 사용하였다.¹² Disk 시편은 수지의 흐

Table 1. Property of PA6 (Toplon 1011 BRT) Used in This Study

Contents	Measurement	PA6 (Toplon 1011BRT)
Specific gravity	ASTM D-792	1.12
Tensile Strength (kgf/cm^2)	ASTM D-638	780.9
Tensile Elongation at break (%)	ASTM D-638	142.6
Flexural Strength (kgf/cm^2)	ASTM D-790	1079.3
Flexural Modulus (kgf/cm^2)	ASTM D-790	26446.7
Izod Impact Strength ($\text{kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$)	ASTM D-256	4.7

Table 2. Property of Glass Fiber and Carbon Fiber Used in Reinforced PA6

Contents	Glass Fiber	Carbon Fiber
Manufacture	Taishan Fiber Glass	SUNYOUNG
Grade	ECS7-4.5T 435TM	T700
Diameter (μm)	13	6.94
Length (mm)	4.5	6
Surface treatment	Silane coating	Polyurethane coating

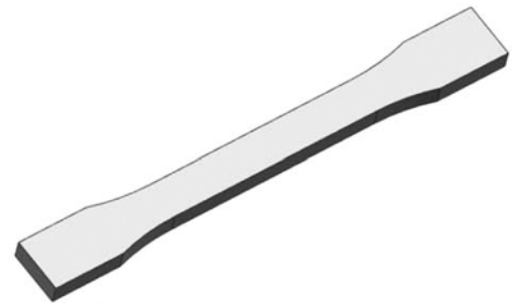


Figure 1. Shape of tensile specimen (ASTM D 638).



Figure 2. Shape of spiral specimen (ASTM D 3123).

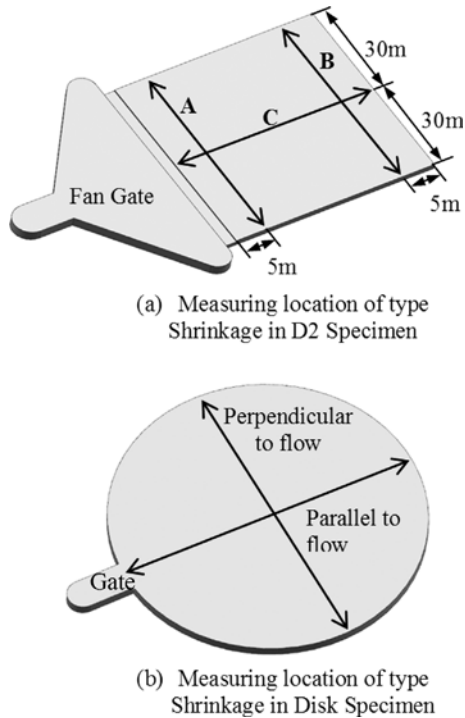


Figure 3. Measurement of Part Shrinkage (ASTM D 955).

름방향과 흐름직각방향에 대한 수축률을 비교하는데 유리하다. 그리고 D2 시편의 경우 수지의 흐름방향성을 일관되게 하기 위해 필름 게이트를 사용하여 disk 시편과 마찬가지로 흐름방향과 흐름직각방향의 수축률을 비교해 보고자 하였다. 측정위치는 disk 시편의 경우 Figure 3 (b)에서 보듯이 흐름직각방향과 흐름방향을 측정하였다. D2 시편의 경우 Figure 3 (a)에서 흐름직각방향 경우 게이트와 가까운 방향(A)과 먼 방향(B)을 측정하였고, 수지의 흐름방향(C)은 게이트를 제외한 부분을 측정하여 수축률을 측정하였다.⁴ 시편의 수축률 측정은 시편의 성형 수축이 24시간 이내에 되기 때문에 시편 성형 후 24시간 후에 측정하였다.^{13,14} 각각의 실험당 시편은 첨가제 종류 및 함유량에 따라 5개의 시편을 성형하여 측정하였다.

3. 시편의 사출성형

사출성형을 수행하기 위해 우진 플라임 전동식 사출 성형기(TE 110)를 사용하였으며, 사출기의 형체력은 110 ton이고, 스크류 직경은 22 mm이다. 인장 강도 측정 및 유동성 측정 그리고 수축률 측정에서 성형 조건의 영향을 배제하고, 강화제의 종류와 강화제의 함유량에 따른 차이를 관찰하기 위해 동일 조건으로 사출성형을 진행하였다. 사출 압력은 100 MPa, 보압의 크기는 90 MPa, 사출 온도(수지 온도)는 280°C 그리고 사출 속도는 150 mm/s로 설정하였다. 금형 온도는 금형 온도 조절기를 사용하여 80°C로 고정하여 실험하였다. 이때 사출 온도는 사출 시 노즐의 온도를 의미하며 수지 온도와 같다.

Results and Discussion

1. 인장특성

Figure 4 (a)는 인장 강도 실험의 결과로 유리섬유와 탄소섬유의 함유량에 따른 탄성계수를 비강화 PA6와 함께 나타낸 그래프이다. 유리섬유로 강화된 PA6와 비강화 PA6를 비교해 볼 때 함유량이 증가함에 따라 탄성계수가 증가하는 것을 볼 수 있으며 GF 30%를 첨가한 PA6 경우 비강화 PA6에 비해 약 2.54배 증가한 것을 볼 수 있다. 탄소섬유를 첨가한 PA6 역시 유리섬유와 동일하게 함유량이 증가함에 따라 탄성계수 또한 증가하는 형태로 나타나고 있으며 CF 30%를 첨가한 PA6 경우 약 4.15배 증가한 것을 볼 수 있다. 강화제의 종류에 따른 탄성계수를 비교해 보면 탄소섬유를 첨가한 PA6가 유리섬유를 첨가한 PA6에 비해 평균 1.75배 높은 것으로 나타났다. Figure 4 (b)는 시편이 파단 되었을 때의 강도, 즉 파단강도(stress at break)와 파단 변형률(strain at break)을 나타낸 그래프이다.

함유량이 증가할수록 파단강도가 증가하는 경향을 볼 수 있

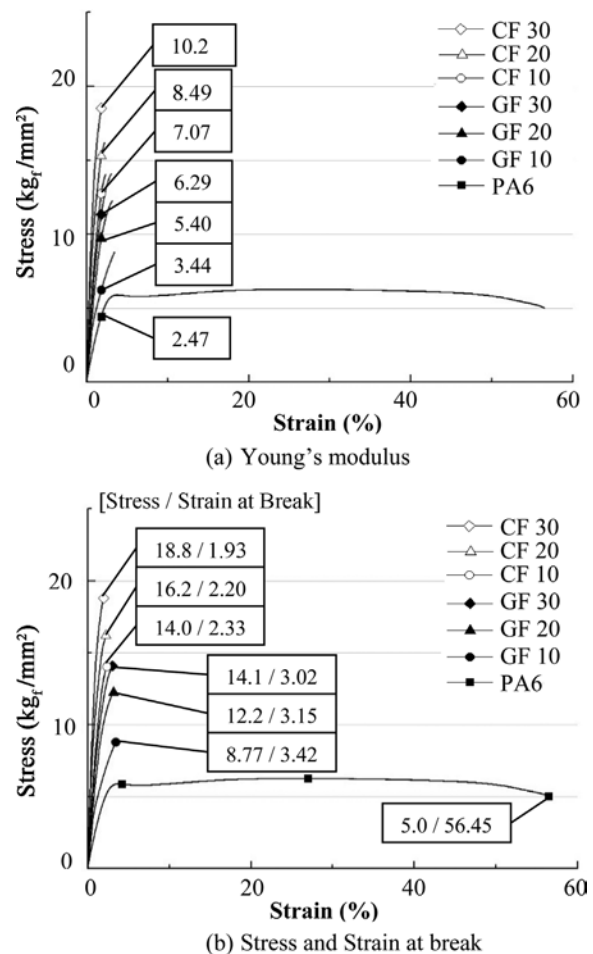


Figure 4. Result of tensile test.

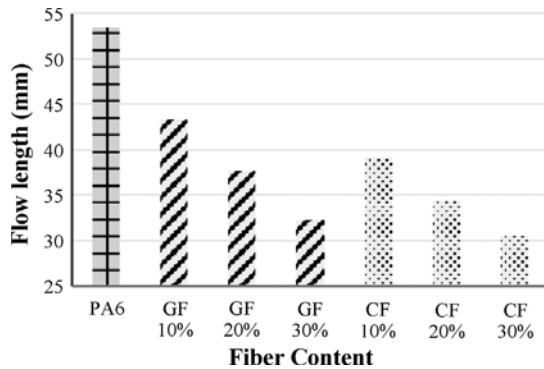


Figure 5. Result of Spiral test.

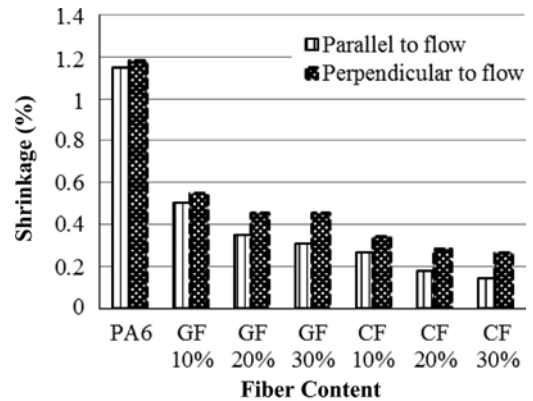
는데 비강화 PA6와 함유량 30% 첨가제를 비교했을 때 유리섬유를 첨가한 PA6는 약 2.82 배, 탄소섬유를 첨가한 PA6는 약 3.76 배 정도로 파단강도가 높아졌다. 유리섬유보다 탄소섬유를 첨가한 수지의 강도가 좋았다. 그리고 함유량이 증가함에 따라 두 강화제에서 유사한 거동을 보였다. 인장특성의 실험결과 탄소섬유를 첨가한 PA6의 인장특성이 우수한 결과를 보였는데 그 이유는 GF 보다 CF의 강성이 더 뛰어나기 때문이다.

2. 유동성

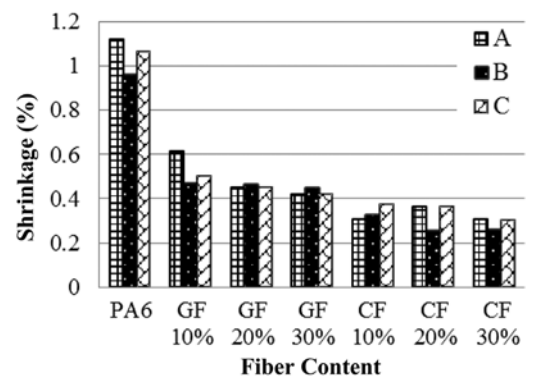
Figure 5는 유동성 측정의 결과로 유동길이를 보여주고 있는데 비강화 PA6에 비해 유리섬유 30% 함유한 PA6의 경우 약 40% 유동성이 감소하였고, 탄소섬유 30% 함유한 PA6의 경우 약 43%가 감소하였다. 이는 강화제 첨가로 인하여 급격하게 유동성이 나빠지는 수지의 특성을 보여주고 있다. 유리섬유와 탄소섬유의 함량이 증가할수록 수지의 유동성이 전반적으로 낮아지는 경향은 일치하였으나, 각각 함유량 별로 비교를 해보면 탄소섬유를 첨가한 수지에 비해 유리섬유를 첨가한 수지의 유동성이 5~10% 정도 좋은 것으로 나타났다. 따라서 유동성이 좋은 유리섬유가 탄소섬유보다 성형성이 좋다고 판단된다.

3. 수축률

Figure 6 (a)는 D2시편의 수축률 측정 결과로 유리섬유와 탄소섬유의 함유량이 증가할수록 수축률이 다소 감소하는 유사한 경향이 나타났으나 큰 차이는 없다. 탄소섬유의 함유량이 30%인 PA6가 동일 함유량의 유리섬유 강화 PA6보다 흐름방향의 수축이 약 1.3배 낮았다. Figure 6 (b)는 disk 시편의 수축률 실험 결과로 수지의 흐름방향과 수직방향의 수축률을 측정하였다. 함유량이 증가할수록 흐름수직방향, 흐름수평 방향에서의 수축률이 모두 감소하는 것을 볼 수 있다. 유리섬유 함유량이 30%인 PA6의 경우 흐름직각방향의 수축률이 흐름방



(a) Comparison of shrinkage type D2



(b) Comparison of shrinkage type Disk

Figure 6. Result of shrinkage test.

향의 수축률 보다 약 1.4배 크게 나타났다. 탄소섬유 함유량이 30%인 PA6 경우 흐름수직방향의 수축률이 흐름방향의 수축률보다 약 1.9배 크게 나타났다. 이는 수지가 흐름방향으로 배향 및 패키징이 잘 이루어지기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.^{7,15}

Conclusion

본 연구는 동일한 사출 성형조건에서 GF 또는 CF의 함유량에 따른 PA6 수지의 기계적 특성, 수지의 흐름성 그리고 수축률에 대해 실험을 통하여 알아 보았다.

기계적 물성으로는 PA6에 유리섬유가 첨가되면서 파단강도의 경우 75.4~182% 증가하였고 파단 변형률의 경우 93.9~94.7% 감소하는 결과를 보였으며, 탄소섬유가 첨가되면서 파단강도의 경우 180~276% 증가하였고 파단 변형률의 경우 95.9~96.6% 감소하는 결과를 보였다. 유리섬유 보다 탄소섬유 그리고 함유량이 증가할수록 기계적 물성이 증가하였다.

유동성의 경우 유리섬유를 첨가함에 따라 흐름성이 18.9~39.5% 감소하였고, 탄소섬유를 첨가하였을 경우 흐름성이 26.8~42.8% 감소하는 경향을 보였다. 유리섬유보다 탄소섬유가 흐름성이 낮아졌으며, 함유량이 증가 할수록 흐름성이 떨어

어졌다.

수축률은 흐름방향, 흐름직각 방향으로 비교하였다. 흐름방향의 수축률의 경우 유리섬유를 첨가함에 따라 52.9~60.8%의 수축률이 감소하였고, 탄소섬유를 첨가하였을 경우 65.0~71.8% 감소하는 것을 본 연구를 통하여 동일한 사출성형 조건에 보였다. 그리고 흐름 직각방향에서 게이트 가까운 곳의 수축률은 유리섬유를 첨가함에 따라 45.3~62.8% 감소하였고 탄소섬유의 경우 67.7~72.7% 감소하였다. 또한 게이트에서 떨어진 곳의 수축률은 유리섬유 함유량에 따라 51.1~53.4% 감소하였고 탄소섬유 함유량에 따라 66.3~73.3% 감소하는 경향을 보였다. 탄소섬유가 유리섬유 보다 수축률이 적었으며, 함유량이 증가할수록 수축률이 낮아지는 경향을 확인했다.

Acknowledgement

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. S. N. Hwang, "Development Trends of Functional Composite Materials", *KISTI, Tech. Trend Report* (2003).
2. M. Lee, J. H. Kim, S. R. Park, and M.-Y. Lyu, "A Study on the Warpage in Injection Molded Part for Various Part Designs and Non Reinforced Resins", *Elast. Compos.*, **44**, 373 (2009).
3. D. M. Moon, T. G. Choi, and M.-Y. Lyu, "Prediction of Mechanical Property of Glass Fiber Reinforced Polycarbonate and Evaluation of Warpage through Injection molding", *Polymer(Korea)*, **38**, 708 (2014).
4. M.-Y. Lyu and T. G. Choi "Research Trends in Polymer Materials for Use in Lightweight Vehicles", *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, **16**, 213 (2015).
5. J.-H. Mo and M.-Y. Lyu, "Investigation of the Part Shrinkage in Injection Molding for Glass Fiber Reinforced Thermoplastics", *Trans. Mater. Process.*, **13**, 515 (2004).
6. Y. S. Kim and I. K. Kim, "Effect of Glass Fiber Contents on the tensile Strength in Injection Molding Process", *J. Korean Soc. Prec. Eng.*, **17**, 63 (2000).
7. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, "A Study on Warpage of Glass Fiber Reinforced Plastics for Part Design and Operation Condition: Part 1. Amorphous Plastics", *Polymer(Korea)*, **36**, 555 (2012).
8. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, "A Study on Warpage of Glass Fiber Reinforced Plastics for Part Design and Operation Condition: Part 2. Crystalline Plastics", *Polymer(Korea)*, **36**, 677 (2012).
9. W. C. Jung, Y. M. Heo, K. H. Shin, G. S. Yoon, S. H. Chang, and M. Y. Kim, "An Experimental Study on Molding Factor for Spiral Type Micro injection Product", *Trans. Mater. Process.*, **15**, 65 (2006).
10. ASTM D 638-10 "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", *ASTM Annual Book* (2010).
11. ASTM D 3123-98 "Standard Test Method for Spiral Flow of Low-Pressure Thermosetting Molding Compounds", *ASTM Annual Book* (1998).
12. ASTM D 955-00 "Standard Test Method of Measuring Shrinkage from Mold Dimensions of Thermoplastics", *ASTM Annual Book* (2000).
13. M. A. Lee and M.-Y. Lyu, "A Study on the Part Shrinkage in Injection Molded Annular Shaped Product for Glass Reinforced Polycarbonate", *Elast. Compos.*, **48**, 300 (2013).
14. S. T. Won, T. B. Kim, S. Lee, J. M. Won, K. H. Cha, and M.-Y. Lyu, "A Study on the Stress Measurement in a Plastic Product using Chemical Cracking Method", *Elast. Compos.*, **47**, 336 (2012).
15. M. A. Lee and M.-Y. Lyu, "A Study on the part Shrinkage in Injection Molded Annular Shaped Product for Glass Reinforced Polycarbonate", *Elast. Compos.*, **48**, 300 (2013).