

# 유리섬유가 첨가된 수지에서 사출성형품의 성형수축에 관한 연구

모정혁\* · 류민영\*\*

## Investigation the part shrinkage in injection molding for glass fiber reinforced thermoplastics

Jung-Hyuk Mo and Min-Young Lyu

### Abstract

The shrinkages of injection molded parts are different in molding operational conditions and mold design. It also differs from resins. The shrinkages of injection molded parts for PBT (polybutylene terephthalate), PC (polycarbonate), and glass reinforced PBT and PC have been studied for various operational conditions of injection molding. The part shrinkage of crystalline polymer, PBT was higher than that of amorphous polymer, PC by about two times. The part shrinkages of both polymers decreased as glass fiber content increases. Higher injection temperature and lower injection pressure resulted in a higher shrinkage in both PBT and PC resins. As mold temperature increases the part shrinkage of PC decreased. However, the part shrinkage of PBT increased as mold temperature increases. The part shrinkage of both PBT and PC resins decreased as gate size increases since the pressure delivery is much easier for a larger gate size. The part shrinkage of flow direction was less than that of the perpendicular direction to the flow for both pure and glass fiber reinforced resins. The part shrinkage at the position close to the gate was less than that of the position far from the gate.

**Key Words :** Injection molding, Part shrinkage, Injection temperature, Mold temperature, Injection pressure, Glass fiber reinforced resin

### 1. 서론

플라스틱 성형 방법 중 사출성형은 일반부품은 물론 정밀부품에 이르기 까지 가장 많이 사용되는 방법이다. 사출성형 공정은 높은 생산성으로 복잡하고 다양한 플라스틱 제품들을 성형할 수 있으며, 전기, 전자 제품은 물론 자동차, 항공기

등 정밀 제품의 생산에 이르기까지 사출성형의 중요성은 더욱 가속화되고 있다. 성형기술의 발전과 제품의 고 정밀화에 따라, 사출성형에서도 높은 치수 정밀도가 요구되고 있다. 올바른 사출성형 제품을 얻기 위해서는 제품디자인, 금형설계 그리고 사출기의 운전 등이 잘 이루어 져야 하겠지만 그렇지 않은 경우는 여러 가지의 결함을 포

\* 마이크로옵틱㈜ 기술연구소

\*\* 서울산업대학교 금형설계학과

함하게 된다. 제품디자인 측면에서는 수지의 기계적, 물리적 특성이 충분히 고려되어야 하고, 금형 설계의 측면에서는 수지의 유동특성이 중요하게 여겨지며, 올바른 형상의 재현을 위한 금형 부품들의 조합과 구동이 중요한 요소이다. 그리고 사출기의 조작은 수지의 열적, 물리적, 그리고 유변학적 특성에 맞게 이루어 져야 한다. 플라스틱 수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데 사출성형공정 동안 금형 내의 온도와 압력이 변하기 때문에 성형 중에 나타나는 체적의 변화는 피할 수 없는 일이다.<sup>(1)</sup> 사출성형의 처음 충진 단계는 높은 온도와 압력이 작용되고 충진이 끝난 후 성형품은 냉각되기 때문에 온도가 내려간다. 최종적으로는 금형이 열리고 대기압에서 성형품이 취출되기 때문에 압력 또한 크게 낮아진다. 따라서 이러한 큰 폭의 온도와 압력 변화 때문에 수지는 체적이 변하게 되고 결국 성형품은 금형에 세겨져 있는 캐비티의 형상으로 재현되지 않고 캐비티의 치수보다 작게 된다.<sup>(2,3)</sup>

사출성형에서 수축현상은 수지의 종류, 즉 결정성 수지인지 비결정성 수지인지에 따라 크게 다르게 나타나며 사출성형시의 운전조건에 따라서도 다르다.<sup>(4)</sup> 또한 금형에서 게이트의 크기에 따라서도 다양하게 나타나고 있다.<sup>(5)</sup> 결정성 수지인 경우는 온도가 결정의 녹는 온도 (melting temperature,  $T_m$ )에서 체적이 급격히 변하기 때문에 비결정성 수지에 비해 성형 후의 수축은 크게 마련이다. 이러한 성형수축은 치수정밀도가 높은 성형품을 성형할 때 매우 중요하게 여겨지기 때문에 수지와 성형조건 등에 따른 연구는 정밀 성형에서 매우 중요하다. 그러나 보고 되고 있는 연구는 단편적으로 수지 또는 성형 조건의 변화에 따른 연구로 제한된 범위의 연구가 대부분이다.<sup>(6)</sup> 실제상황에서는 여러 가지 요소가 복합적으로 작용되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 다양한 재료에 대해서 사출성형 공정변수에 따른 성형수축을 조사하였으며 보강제로 사용되는 유리섬유 (GF, Glass Fiber)가 첨가 되었을 때 성형수축률의 변화에 대해서도 관찰하였다. 성형 수축률은 수지의 흐름방향과 흐름직각 방향으로 다르기 때문에 모든 경우에 이 두 방향의 성형수축률을 고려하여 연구 하였다. 본 연구에서 사용한 재료는 결정성 수지인 PBT (polybutylenes terephthalate)와 비결정성 수지

인 polycarbonate (PC)에 첨가제인 GF 를 첨가하여 사용하였으며 GF 함유량에 따라서, 그리고 사출온도, 금형온도, 사출압력 그리고 게이트 크기에 따라서 유동수지의 흐름방향과 흐름직각방향에 따라 나타나는 성형수축에 대하여 조사 하였다.

## 2. 실험

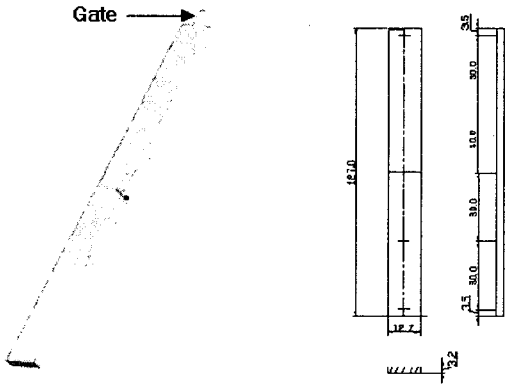
### 1. 재료

열가소성 수지는 결정성 수지와 비결정성 수지로 나뉘지는데 결정성 수지는 유리전이온도 ( $T_g$ )와 결정이 녹는온도 ( $T_m$ )에서 체적이 크게 증가하고, 비결정성 수지는  $T_m$  이 없고  $T_g$  에서만 체적이 증가한다. 사출성형은 고온, 즉  $T_m$  이상의 온도에서 수지가 금형에 채워지고 상온에 가까운 온도에서 취출이 되며 결국 상온으로 온도가 하강하게 된다. 따라서 일반적으로 결정성 수지가 비결정성 수지에 비해 사출공정에서 체적의 변화가 크다. 이렇게 차이가 있는 현상을 관찰하기 위해 본 연구에는 결정성 수지와 비결정성 수지를 사용하였다. 결정성 수지로는 PBT, 비결정성 수지로는 PC 를 사용하였다. PC 와 PBT 는 삼양사의 TRIREX 3020HF 와 TRIBIT 1700S 를 각각 사용하였다. 또한 수지의 첨가물에 따른 성형수축률을 알아보기 위하여 PC 에 GF 를 0 %, 10 %, 30 %씩 첨가하였고 PBT 에는 0 %, 15 %, 30 % 를 각각 첨가하여 첨가물의 함유량에 따른 성형수축률을 관찰하였다. 첨가한 GF 의 Grade 는 오웬스 코닝사의 CS05-473 이다.

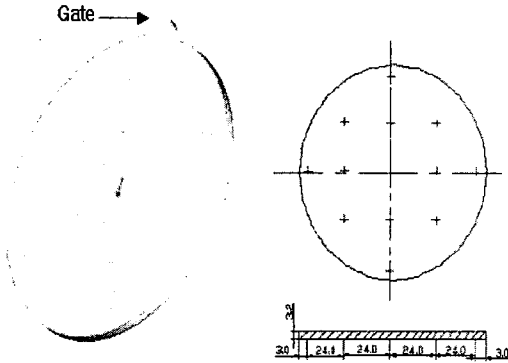
### 2. 시편형상 및 사출성형용 금형

사출 성형된 제품에서 성형 수축률을 알아보기 위해 Fig. 1 에 나타나 있는 것처럼 다양한 시편을 사용하였다. 시편의 형상은 ASTM D 955 에 명시된 Bar 모양의 길이, 넓이, 두께가 각각 127 mm × 12.7 mm × 3.2 mm (5 in × 1/2 in × 1/8 in)의 표준 시편 (이하 Bar 시편)과 Disk 모양의 지름 102 mm (4 in) 두께 3.2 mm (1/8 in)인 표준 시편 (이하 Disk 시편), 그리고 사각형 모양으로 필름 게이트를 사용한 가로, 세로, 두께가 60 × 60 × 3.2 mm 의 표준 시편(이하 D2 시편)을 사용하였다. 또한 자체 설계한 시편으로 폭 90 mm, 길이 126 mm, 두께 3.2 mm 의 판 모양에 지름 30 mm 인 Hole 이 두개 있는 형상(이하 Hole 시편)을

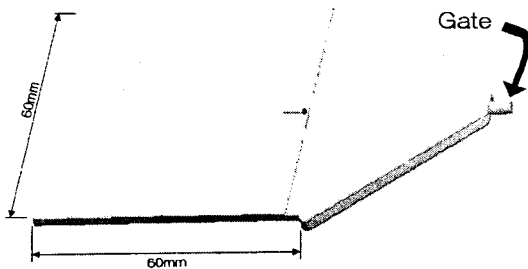
이용하여 실험 하였다. Bar 시편에서 Gate 는 폭이 10 mm 이고 두께를 1.6 mm 와 3.2 mm 로 각각 변화를 주워 게이트 크기에 따른 성형 수축률을



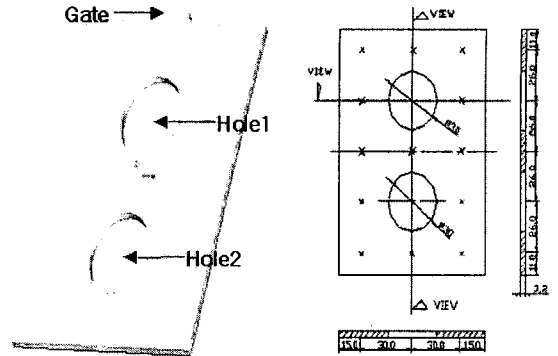
(a) Bar specimen



(b) Disk specimen



(c) D2 specimen



(d) Hole specimen

Fig. 1 Shapes of specimens and location of gate for injection molding

비교해 보고자 하였고, Disk 시편은 수지의 흐름 방향과 흐름직각방향에 대한 수축률을 비교해 보고자 하였다. 그리고 D2 시편은 수지의 흐름방향성을 일관되게 하기 위해 필름 게이트를 사용하여 Disk 시편과 마찬가지로 흐름방향과 흐름직각 방향의 수축률을 비교해 보고자 하였다. 마지막으로 Hole이 있는 시편은 Gate의 거리에 따른 성형 수축률을 비교해 보고자 하였다. 시편의 성형 수축은 시편 성형 후 24 시간 후에 측정 하였다.

### 3. 사출성형

사출성형을 수행하기 위해 LG 사출 성형기 (IDE 140 ENII)를 사용하였으며 사출기의 형체력은 140 ton 이고 최대사출용량은 10 oz 이다. 각 수치별로 적합한 사출온도를 세 가지씩 설정하여 사출온도에 따른 성형수축을 측정하였다. 이때 사출온도는 사출 시 노즐의 온도를 의미하며 수치 온도와 같다. 또한 사출기의 최대 사출압력 (1550 kg /cm<sup>2</sup>)에 각각 30, 45, 55, 60, 65 %에 해

Table 1 Injection Molding Conditions for the Molding of Test Specimens

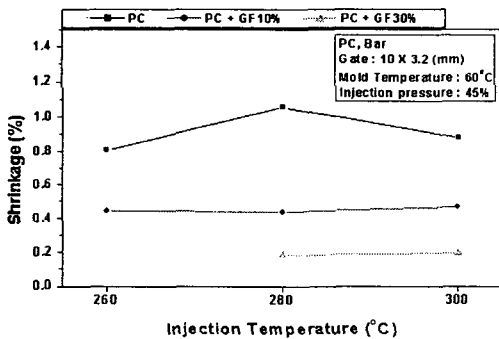
Material	Specimen Shapes	Mold Temperature (°C)	Injection Pressure (kg /cm <sup>2</sup> )	Injection Temperature (°C)
PC + G/F 0%	BAR	40	465	260
	DISK		697.5	
	D2		930	
PC + G/F30%	HOLE	60	(30%, 45%, 60% of max. injection pressure, 1550 kg /cm <sup>2</sup> )	300
PBT + G/F 0%	BAR	80	697.5	240
	DISK		852.5	
	D2		1007.5	
PBT + G/F30%	HOLE	60	(30%, 45%, 60% of max. injection pressure, 1550 kg /cm <sup>2</sup> )	260

당하는 압력으로 사출하여 사출압력에 따른 성형 수축을 측정하였다. 최대 사출압력은 사출 성형기 노즐의 압력이다. 그리고 금형 온도 조절기 (대한 전기공업 DHM-30)를 사용하여 금형의 온도를 40, 60, 80℃로 설정하여 금형온도에 따른 성형 수축을 측정하였다. 각 수지에 따른 여러 가지 성형 조건을 Table 1에 정리 하였다.

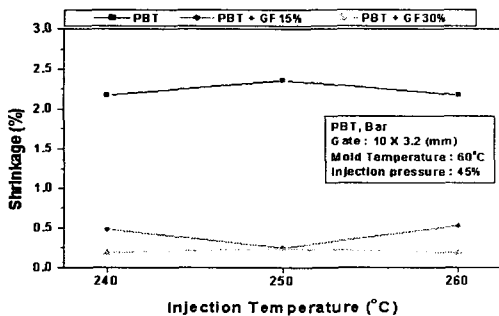
### 3. 결과 및 고찰

#### 1. 사출온도에 따른 성형수축

Fig.2는 PC와 PBT Bar의 시편에서 사출온도에 따른 수축률을 GF의 첨가량에 따라 보여주고 있다. 여기서 사용한 게이트의 폭과 두께는 10 mm × 3.2 mm 이고 금형온도는 60℃, 사출압력은 45%로 동일하다. PC의 경우 (Fig. 2(a)) 사출온도가 260℃, 280℃로 증가할수록 GF를 함유



(a) PC + GF, Bar specimen



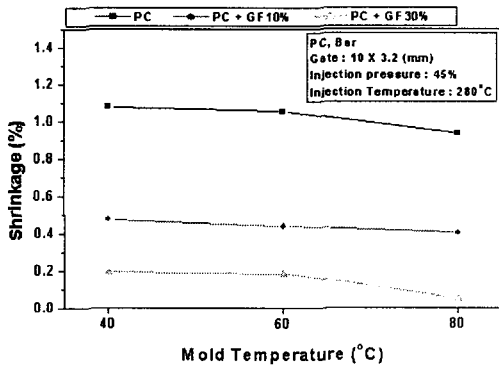
(b) PBT + GF, Bar specimen

Fig. 2 Part shrinkage according to the injection temperature

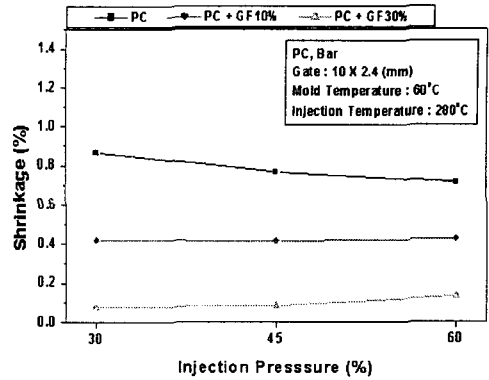
하지 않은 경우 수축률은 증가하는 경향이 있는데 이는 사출온도가 높을수록 열팽창이 커졌다가 냉각 고화되기 때문에 많은 수축을 일으키게 된다. 그리고 사출온도가 300℃일 때 성형수축률이 280℃에 비해 감소하고 있는데 이는 사출온도가 높으면 수지의 유동성이 향상되고 이로 인해 압력전달이 용이 해져 수축률이 감소하고 있다고 판단된다. 수축률은 사출온도에 따라 0.8~1.1%의 범위를 보이고 있다. GF가 첨가된 경우에는 수축률이 현저하게 줄었으나 온도에 따라 수축이 크게 변화지 않았다. GF가 15% 첨가된 경우 0.4~0.5%, 30% 첨가된 경우 0.2%의 수축을 보이고 있다. GF가 30%인 경우 사출온도 250℃에서 미성형이 발생하여 수축량의 측정이 불가능 하였다. 결정성수지인 PBT도 (Fig. 2(b)) 역시 사출온도의 증가에 따라 성형수축이 커지고 있으며 사출온도가 높으면 PC와 같은 경향을 보인다. GF를 첨가하지 않은 경우에 수축은 2.1~2.4%를 보이나 GF를 함유하면 0.75%이하로 수축이 감소하고 있다. PBT는 PC에 비해 약 두 배 정도 큰 성형 수축률을 보이고 있는데 이는 PBT가 결정성 수지이기 때문에 냉각 중 결정화가 이루어지면서 수축률이 크게 나타났다.<sup>(1)</sup>

#### 2. 금형온도에 따른 성형수축

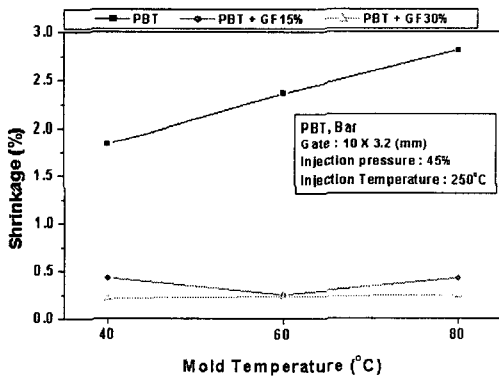
Fig.3는 PC와 PBT에 대한 Bar 시편의 금형온도에 따른 수축률을 GF의 첨가량에 따라 나타낸 것이다. 여기서 사용한 게이트의 폭과 두께는 10 mm × 3.2 mm 이고 사출압력은 45%, 사출온도는 PC 280℃, PBT 250℃이다. 일반적으로 금형온도가 높아지면 사출온도가 같더라도 금형내의 용융 수지의 온도는 금형온도가 낮을 때 보다 높아져 성형전후의 온도차이가 커지며 성형수축률도 크게 나타난다.<sup>(7)</sup> 하지만 PC의 경우 (Fig. 3(a)) 금형온도가 높을수록 성형수축률이 줄어드는데 이는 금형온도가 높으면 팽창이 원활하여 성형시 발생하는 수축을 잘 보상해주어서 성형수축이 감소되었다 판단된다. 또한 GF 첨가 시에도 같은 경향을 보이며 첨가량이 증가 할수록 성형수축률은 감소하고 있다. 이와는 반대로 결정성 수지인 PBT의 경우는 (Fig. 3(b)) 금형온도가 높아지면 냉각시간이 길어지고 결정화 온도에 머무르는 시간이 길어져 수지의 결정화도가 높아 더 많은 수축을 초래한다.<sup>(8)</sup> GF 첨가시에도 같은 경향을 보인다.



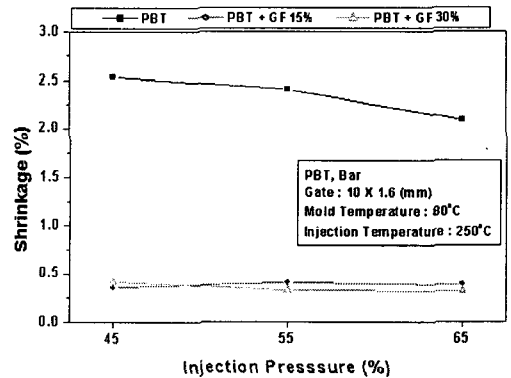
(a) PC+GF, Bar specimen



(a) PC + GF, Bar specimen



(b) PBT + GF, Bar specimen



(b) PBT + GF, Bar specimen

Fig. 3 Part shrinkage according to the mold temperature

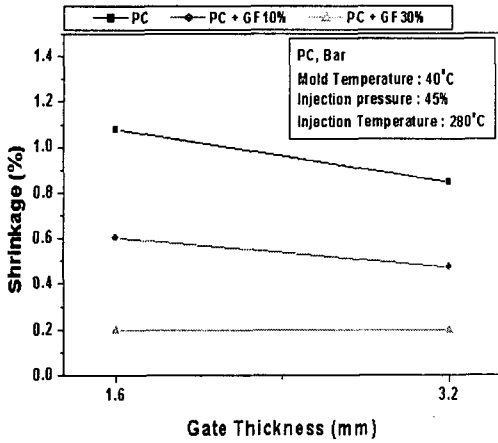
Fig. 4 Part shrinkage according to the injection pressure

### 3. 사출압력에 따른 성형수축

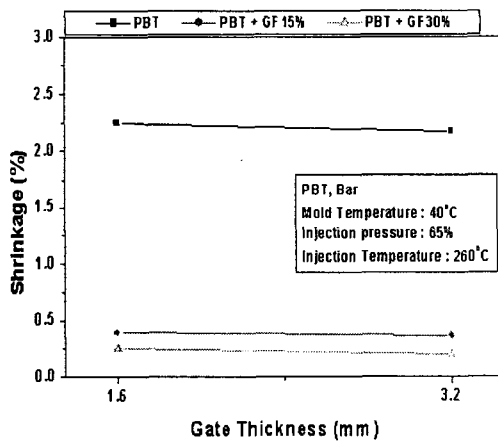
Fig. 4 는 PC 와 PBT 의 Bar 시편에서 사출압력에 따른 수축률을 GF 의 첨가량에 따라 나타내고 있다. 사출압력이 높아지면 성형 수축률이 작아지는 현상을 보이고 있는데 이는 사출압력이 높으면 성형작업 중 수축된 부분을 잘 보상해줄 뿐 아니라 수지가 압축이 되어 밀도가 높아져 나타나는 현상으로 해석된다. GF 첨가량에 따라 서로 같은 경향을 보이고 있다. PC 의 경우 (Fig. 4(a)) GF 첨가량에 따른 수축률 편차가 일정하게 나타나나 PBT 의 경우는 (Fig. 4(b)) GF 를 첨가했을 때 GF 의 양에 관계 없이 유사한 수축량을 보였다.

### 4. 게이트 크기에 따른 성형수축

Fig. 5 는 동일한 실험조건 하에서 게이트 크기에 따른 수축률을 GF 의 첨가량에 따라 보여주고 있다. 게이트의 크기를 변화 시키기 위하여 10 mm 의 동일한 게이트 폭에 두께를 1.6 mm 와 3.2 mm 로 변화를 주었다. PC 와 PBT 모두 게이트 크기가 1.6 mm 보다 3.2 mm 에서 보다 적은 성형수축을 보이고 있다. 게이트 크기가 클수록 노즐에서의 사출압력이 캐비티에 잘 전달되어 압축력이 높아져 적은 성형수축을 보인다.



(a) PC + GF, Bar specimen

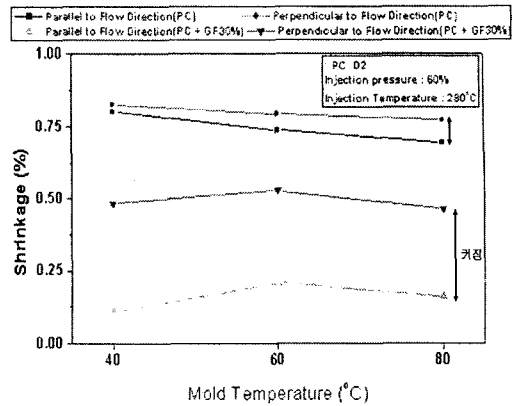


(b) PBT + GF, Bar specimen

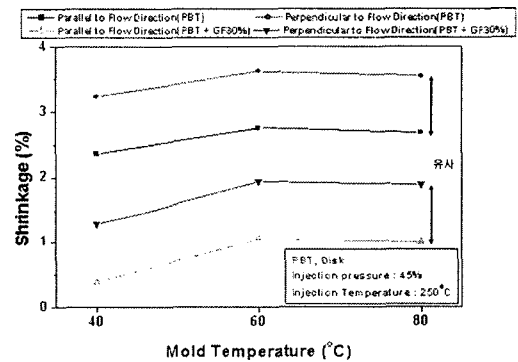
Fig. 5 Part shrinkage according to the gate size

### 5. 수지의 흐름방향과 직각방향의 수축

Fig.6 은 D2 와 Disk 시편을 이용한 PC 와 PBT 수지의 흐름방향과 흐름직각방향에 대한 수축률을 GF 첨가량에 따라 나타내고 있다. 모든 수지 및 성형 조건에서 흐름방향 보다는 흐름직각방향의 성형수축률이 더 큼을 알 수 있다. 이는 수지가 흐름방향으로 배향 및 패키징이 잘되어 수축이 적어지기 때문이라 생각된다.



(a) PC + GF 30%, D2 specimen



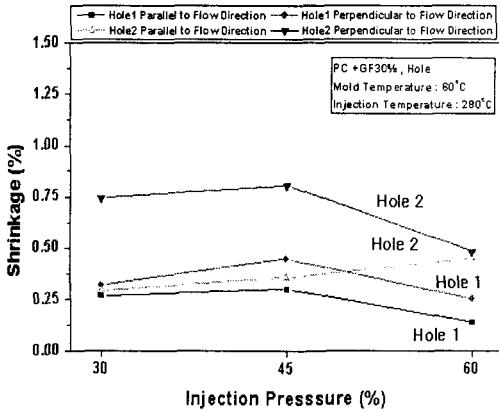
(b) PBT + GF 30%, Disk specimen

Fig. 6 Part shrinkage according to the flow direction

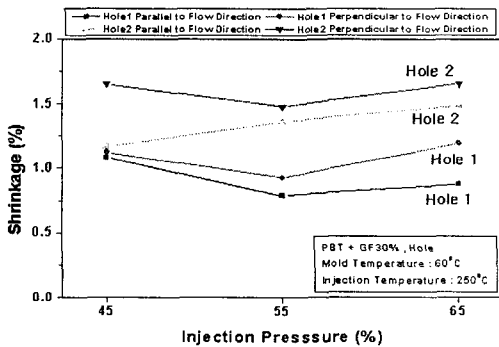
### 6. 임의로 설계한 시편에서 위치에 따른 수축

임의로 설계 제작한 Hole 시편에서 게이트가 가까운쪽에 위치한 Hole 을 Hole1 이라고 하고 먼쪽에 위치한 Hole 을 Hole2 라고 한다 (Fig. 1 참조). Fig. 7 은 GF 가 첨가된 수지의 Hole 위치에 따른 흐름방향과 흐름직각방향의 성형 수축률을 나타내고 있다. Hole 위치에 상관없이 흐름직각방향의 수축률이 더 큼을 알 수 있다. 이는 앞에서 관찰한 실험결과와 같은 원인으로 해석된다. 게이트에서 가까운 Hole1 잔류응력으로 더 큰 수축이 발생할 거라 예견 되나 시편 성형 후 24 시간 후에 측정된 결과 게이트에 가까운 Hole1

이 게이트에서 멀리 있는 Hole2 보다 수축이 적게 나타나고 있다. 이는 게이트에 가까운 Hole1이 Hole2에 비해 압력을 잘 받아 수축이 보상되어 성형수축이 감소되었다 판단된다.



(a) PC + GF 30%, Hole specimen



(b) PBT + GF 30%, Hole specimen

Fig. 8 Part shrinkage according to the hole location

#### 4. 결론

본 연구는 사출성형에서 공정변수와 수지에 따른 성형수축률에 대해서 알아 보았다. 사출온도에 따른 성형 수축률은 본 연구의 실험온도 범위에서 온도가 높을수록 성형수축률이 증가하였다. 금형온도에 따른 수축률은 비결정성 수지인 PC는 금형온도가 높을 수록 수축률은 감소하나 결정성

수지인 PBT는 금형온도가 높으면 성형수축률 증가한다. 그러나 GF가 첨가되면 수축률이 현저히 감소하면서 수지온도와 금형온도에 따른 경향성은 찾기 힘들었다. 사출압력에 따른 성형수축률은 사출압력이 증가하면 수지의 패키징이 원활하여 적은 수축량을 보이고 있다. 게이트 단면적이 커질수록 성형수축이 감소하는데 이 역시 게이트 단면적이 클수록 캐비티내의 압력전달이 원활하여 패키징의 증가로 나타나는 결과이다. 금형내 용융수지의 흐름방향과 흐름직각방향에 따른 성형수축은 흐름직각방향의 성형수축이 더 큰 것으로 나타났다. GF 첨가량이 증가함에 따라 PC, PBT 모두 선형적으로 감소하였으며 흐름 방향과 흐름의 직각방향의 수축의 차이는 다소 증가하거나 (PC) 크게 변함이 없었다(PBT).

#### 참고 문헌

- (1) F.W. Billmeyer, Jr., "Textbook of Polymer Science", John Wiley & Sons, NY, 1984
- (2) S. Han and K.K. Wang, "Shrinkage Prediction for Slowly-Crystallizing Thermoplastic Polymer in Injection Moulding", Intern. Polymer Processing, 12, 228 (1997)
- (3) R. Pantani and G. Titimanlio, "Analysis of Shrinkage Development of Injection Moulded PS Samples", Intern. Polymer Processing, 16, 183 (1999)
- (4) M. Fujiyama and T. Wakino, "Molecular Orientation in Injection-Molded Polypropylene Copolymers with Ethylene", Intern. Polymer Processing, 7, 159 (1992)
- (5) N. Shah, S. McCarthy and D. Colford, "Shrinkage and Filling Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)", ANTEC, 1599 (1993)
- (6) K.M.B. Jansen, D.J. van Dijk and E.V. Burgers, "Experimental Validation of Shrinkage Predictions for Injection Molded Products", Intern. Polymer Processing, 8, 99 (1998)
- (7) 류민영, 모정혁, 정완진 "성형조건과 수지의 종류에 따른 사출 성형품의 성형 수축", 엘라스토머, Vol, 38, No.4 295, (2003)
- (8) Irvin I. Rubin, "Injection Molding, Theory and Practice", John Wiley & Sons, NY, 1972