

성형조건과 수지의 종류에 따른 사출 성형품의 성형 수축

모정혁* 김현진** 류민영***

Shrinkage in Injection molded Part for Operational Conditions and Resins

J. H. Mo, H. J. Kim and M. -Y. Lyu

Abstract

Shrinkage of injection molded parts is different form operational conditions of injection molding such as injection temperature, injection pressure and mold temperature, and mold design such as gate size. It is also various for different resins which have crystalline structure or not. In this study part shrinkage was investigated for various operational condition and resins; PBT for crystalline polymer, and PC and PMMA for amorphous polymer was used in experiment. Crystalline polymer shows higher part shrinkage by about three times than amorphous polymer. Part shrinkage increased as injection temperature and mold temperature increased and injection pressure decreased. Part shrinkage decreased as gate size increased since the pressure delivery is mush easier for large gate size. Part shrinkage according to the gate location was that the position in the part with close to the gate showed large shrinkage and this phenomenon might be occurred by residual stress.

Key Words : Part Shrinkage, Operational Condition, Injection Temperature, Mold Temperature, Injection Pressure, Gate Size

1. 서론

사출성형은 고분자 성형법 중 가장 널리 알려진 방법으로 열가소성 수지가 가장 많이 사용되나 열경화성 수지는 물론 고무 등도 이 방법에 의해 성형이 된다. 올바른 사출성형 제품을 얻기 위해서는 제품디자인, 금형 설계 그리고 사출기의 운전 등이 잘 이루어 져야 하겠지

만 그렇지 않은 경우는 여러 가지의 결함을 포함하게 된다. 제품디자인 측면에서는 수지의 기계적, 물리적 특징이 충분히 고려되어야 하고, 금형설계의 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

* 서울산업대학교 정밀기계공학과
** 서울산업대학교 e-business 경영학과
*** 서울산업대학교 금형설계학과

수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데 사출성형동안 금형내의 온도와 압력이 변하기 때문에 성형 중에 나타나는 체적의 변화는 피할 수 없는 일이다⁽¹⁾. 사출성형의 처음 충전 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 수축을 하게 되고 결국 성형품은 금형에 새겨져 있는 캐비티의 형상으로 재현되지 않고 캐비티의 치수보다 작게 된다⁽²⁻³⁾.

사출성형에서 수축현상은 수지의 종류 즉 결정성 수지인지 비결정성 수지인지에 따라 크게 다르게 나타나며 사출성형시의 운전조건에 따라서도 다르다⁽⁴⁻⁵⁾. 또한 금형에서 게이트의 크기에 따라서도 다양하게 나타나고 있다⁽⁶⁻⁷⁾. 결정성 수지인 경우는 온도가 결정의 녹는 온도 (melting temperature, T_m)에서 체적이 급격히 증가하기 때문에 비결정성 수지에 비해 성형상의 수축은 크게 마련이다. 사출성형 시 성형압력이 크면 수축이 작고 압력이 작으면 수축이 크게 나타난다. 또한 사출온도와 금형의 온도에 따라서도 다양하게 나타나고 있다. 이러한 성형수축은 치수정밀도가 높은 성형품을 성형할 때 매우 중요하게 여겨지기 때문에 수지와 성형조건 등에 따른 연구가 뒷받침 되어야 한다. 성형수축에 관한 연구를 토대로 정밀성형을 위한 금형설계 즉, 캐비티와 게이트 등의 설계가 이루어 지기 때문이다. 그러나 보고되고 있는 연구는 단편적으로 수지 또는 성형 조건의 변화에 따른 연구이다⁽⁸⁻⁹⁾. 실제상황에서는 여러 가지 요소가 복합적으로 작용되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 진행되어야 한다고 생각된다.

본 연구에서는 결정성 수지인 poly(butylene terephthalate) (PBT)와 비결정성 수지인 polycarbonate (PC) 그리고 poly(methyl methacrylate) (PMMA)에 대해서 사출온도, 금형온도, 사출압력 그리고 게이트 크기에 따라 다양하게 나타나는 성형수축에 대해서 조사 하였다. 성형수축 측정을 위한 시편은 ASTM 시편과 자체 설계한 모양의 시편에 대해서 사출 실험하여 측정 하였다. 본 연구를 통하여 정량적으로 분석한 성형수축에 관한 결과는 정밀한 제품을 사출 성형하는 금형의 설계와 사출 성형기의 운전조건의 설정에 대해 가이드라인을 제시해 줄 수 있다.

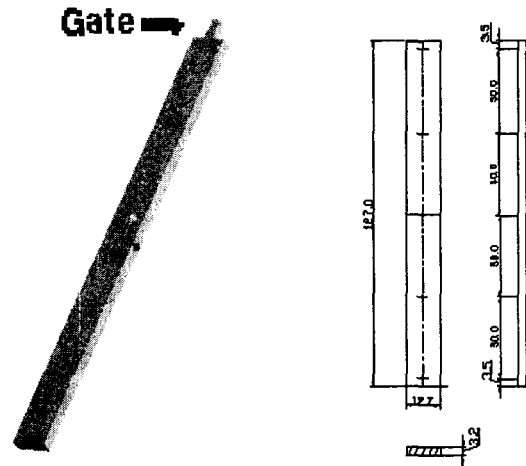
2. 실험

2.1 재료

열가소성 수지는 결정성 수지와 비결정성 수지로 나뉘는데 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 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 PC와 PMMA를 사용하였다. PC와 PBT는 삼양사의 TRIREX 3017PJ와 TRIBIT 1700S를 각각 사용하였으며, PMMA는 LG의 IG840을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 수지는 모두 사출성형용 Grade이다.

2.2 시편형상 및 사출성형용 금형

사출 성형된 제품에서 성형 수축률을 알아보기 위해 Fig. 1에 나타나 있는 것처럼 다양한 시편을 사용하였다. ASTM (American Society for Testing and Materials) D 95에 명시되어 있는 Bar 모양의 길이, 넓이, 두께가 각각 127 mm × 12.7 mm × 3.2 mm (5in × 1/2in × 1/8in)의 Standard 시편 (이하 Bar 시편)과 Disk 모양의 지름 102 mm (4in) 두께 3.2 mm (1/8in)인 Standard 시편 (이하 Disk 시편), 그리고 자체 설계한 시편으로 중앙에 지름 30 mm인 Hole이 2개 있는 시편(이하 Hole 시편)을 가지고 실험을 하였다



a) Specimen with bar shape

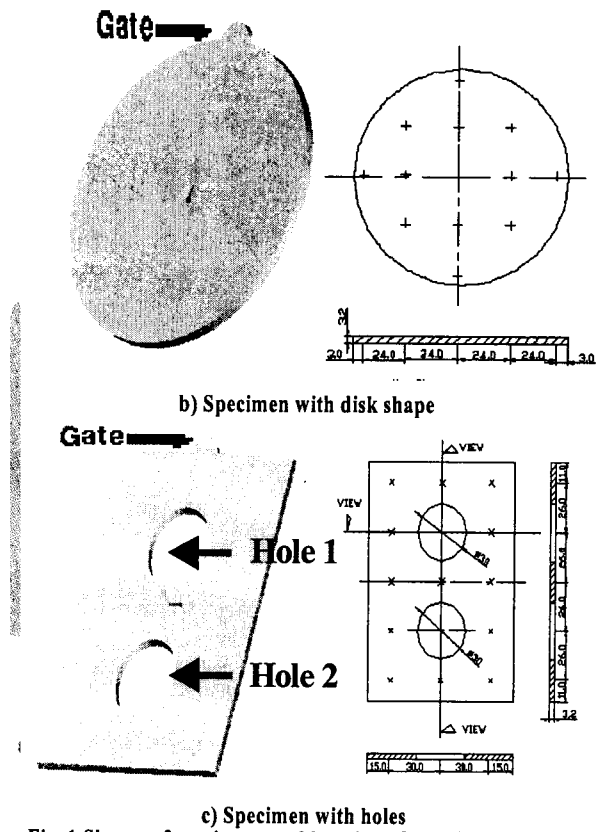


Fig. 1 Shapes of specimens and location of gate for the measurement of mold shrinkage

Bar 시편은 Gate의 두께가 1.5 mm 이고 폭을 2, 4, 6 mm로 각각 변화를 주워 게이트 크기에 따른 성형 수축률을 비교해 보고자 하였고, Disk 시편은 수지의 흐름방향과 흐름직각방향에 대한 수축률을 비교해 보고자 하였다. 또한 Hole이 있는 시편은 Gate와 Hole의 거리에 따른 성형 수축률을 비교해 보고자 하였다

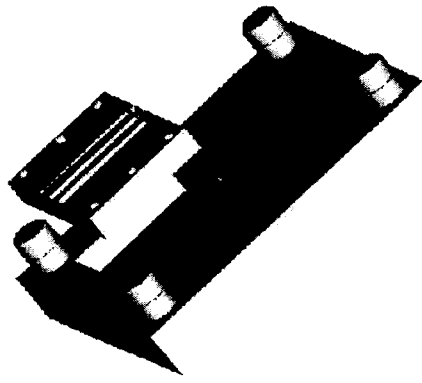


Fig. 2 Schematic drawing of cassette mold for injection molding of specimens

시편을 성형하기 위한 금형은 하나의 몰드 베이스에 시편 형상이 바뀔에 따라 Cavity를 교체식으로 삽입할 수 있는 Cassette형식 (일명 카세트 금형)으로 금형을 설계하여 제작하였다. Fig. 2에 Cassette 금형의 구성을 보여주고 있다.

2.3 사출성형

사출성형을 수행하기 위해 LG 사출성형기 (IDE 140 ENII)를 사용하였으며 이사출기의 형체력은 140 ton이고 최대사출용량은 10 oz이다. 각 수지별로 적합한 사출온도를 세가지씩 설정하여 사출온도에 따른 성형수축을 측정하였다. 또한 최대 사출압력 (1550kg/cm²)에 각각 30, 45, 55, 60, 65 %에 해당하는 압력으로 설정하여 사출압력에 따른 성형수축을 측정하였다. 이때 사출온도는 사출시 노즐의 온도를 말하는 것이며 수지온도와 같은 의미이다. 최대 사출압력은 사출성형기 노즐의 압력이다. 그리고 금형 온도 조절기 (대한전기공업 DHM-30)를 사용하여 금형의 온도를 40, 60, 80°C로 설정하여 금형온도에 따른 성형수축을 측정하였다. 각 수지에 따른 여러 가지 성형 조건을 Table 1에 정리 하였다.

Table 1. Injection molding conditions for the molding of test specimens

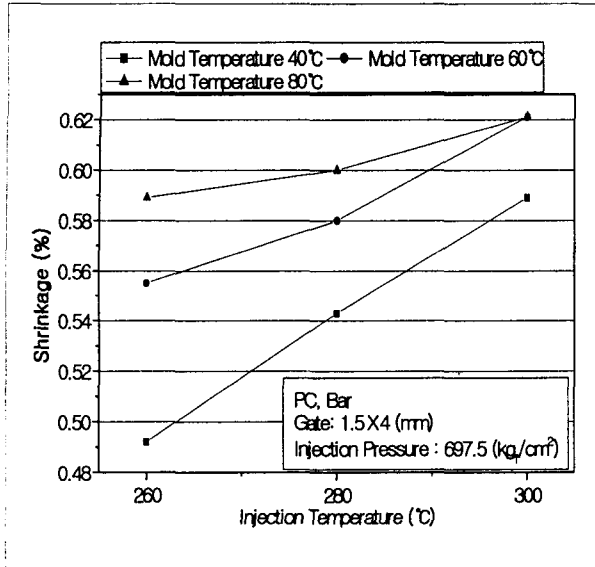
Polymer	Specimen Shapes	Resin Temperature(°C)	Mold Temperature(°C)	Injection Pressure (kg/cm ²)
PC	Bar *	260, 280, 300	40, 60, 80	465, 697.5, 930
	Disk **			697.5, 852.5, 1007.5
	Hole ***			852.5
PMMA	Bar	230, 250, 270	40, 60, 80	465, 697.5, 930
	Disk			697.5, 852.5, 1007.5
	Hole			852.5
PBT	Bar	240, 250, 260	40, 60, 80	465, 697.5, 930
	Disk			697.5, 852.5, 1007.5
	Hole			852.5

- * : Specimens with bar shape
- ** : Specimens with disk shape
- *** : Specimens with holes

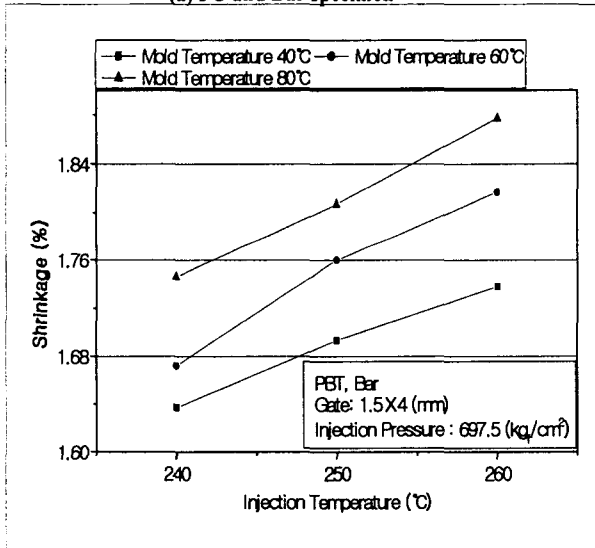
3. 결과 및 고찰

3.1 사출온도에 따른 성형수축

Fig. 3은 PC와 PBT Bar의 시편에서 사출온도에 따른 수축률을 보여주고 있다. 여기서 사용한 게이트의 두께와 폭은 1.5 mm × 4 mm로 동일한 현상이다.



(a) PC and Bar specimen



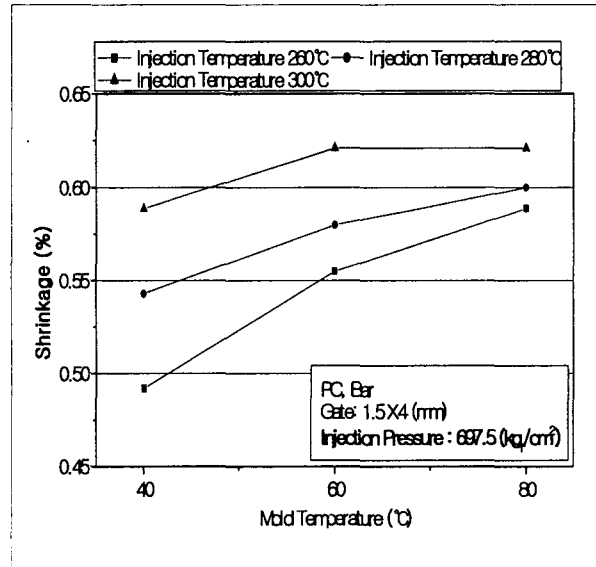
(b) PBT and Bar specimen

Fig. 3 Shrinkage for the injection temperature

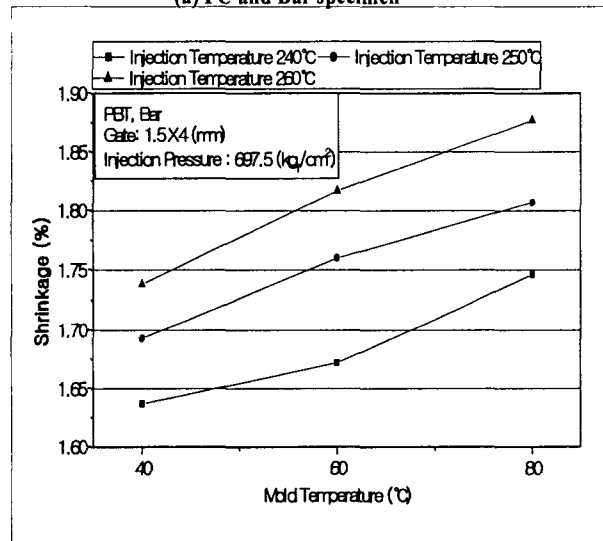
PC의 경우 (Fig. 3(a)) 사출온도가 260도에서 300도로 높아짐에 따라 수축률도 증가함을 알 수 있다. 이는 사출온도가 높을수록 열팽창이 커졌다가 냉각 고화되기 때문에 많은 수축을 일으키게 된다. 수지의 온도가 300 °C 로 증가 할수록 금형의 온도에 따른 수축의 영향은 크게 줄어들고 있다. 본 실험의 영역내에서 수축률은 약 0.48~0.62 %의 분포를 보이고 있다. 결정성수지인 PBT도 역시 사출온도의 증가에 따라 성형수축이 커지고 있으며 수축률은 금형온도에 따라 성형온도 240~260 °C 범위에서 1.64~1.86 %의 분포를 보이고 있다. PC에 비해 약 3배 정

도 큰 성형 수축률을 보이고 있는데 이는 PBT는 결정성 수지이기 때문에 녹는 온도 (T_m , Melting temperature) 를 갖고 있으며 이 온도에서 급격히 체적이 증가하게 되므로 수축률이 크게 나타난다.

3.2 금형온도에 따른 성형수축



(a) PC and Bar specimen



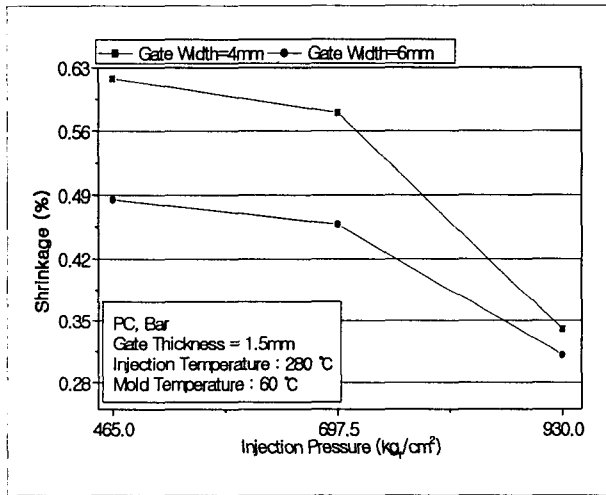
(b) PBT and Bar specimen

Fig. 4 Shrinkage for the mold temperature

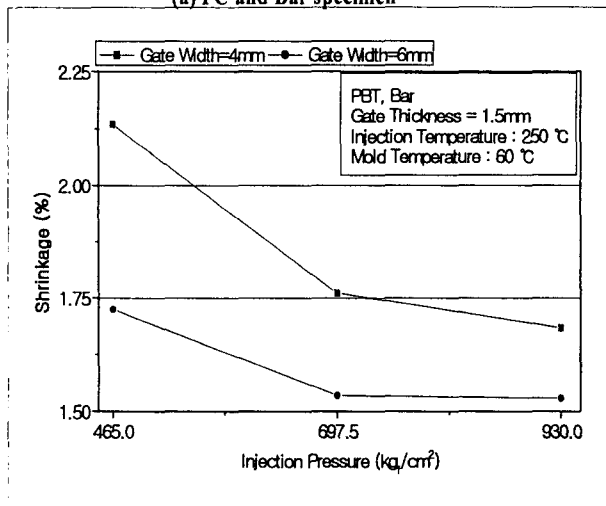
Fig. 4는 PC와 PBT에 대한 Bar 시편의 금형온도에 따른 수축률을 나타낸 것이다. PC, PBT 모두 금형온도가 높아질수록 수축률이 커짐을 알 수 있다. PC의 경우

(Fig. 4(a)) 금형온도가 높을 때는 수지의 온도차이에 의한 수축률의 차이가 작아지는 현상을 보이고 있다. 일반적으로 금형온도가 높아지면 사출온도가 같더라도 금형내의 용융수지의 온도는 금형온도가 낮을 때 보다 높아져 성형 전후의 온도차이가 커지며 따라서 성형수축도 크게 나타나고 있다. 결정성 수지인 PBT의 경우는 금형온도가 높아지면 냉각시간이 길어지고 결정화온도에 머무르는 시간이 길어져 수지의 결정화도가 높아 더 많은 수축을 초래한다.

3.3 사출압력에 따른 성형수축



(a) PC and Bar specimen



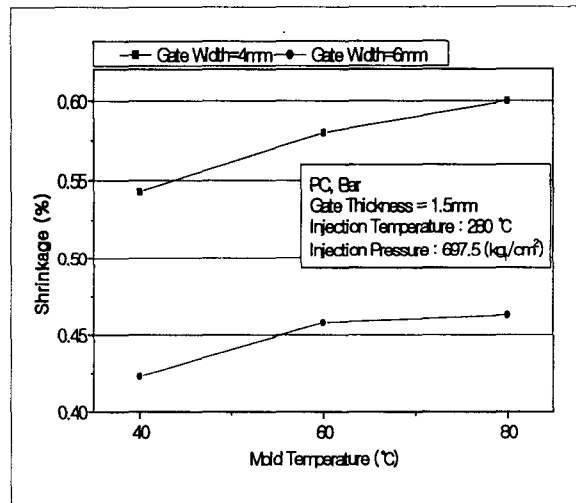
(b) PBT and Bar specimen

Fig. 5 Shrinkage for the injection pressure

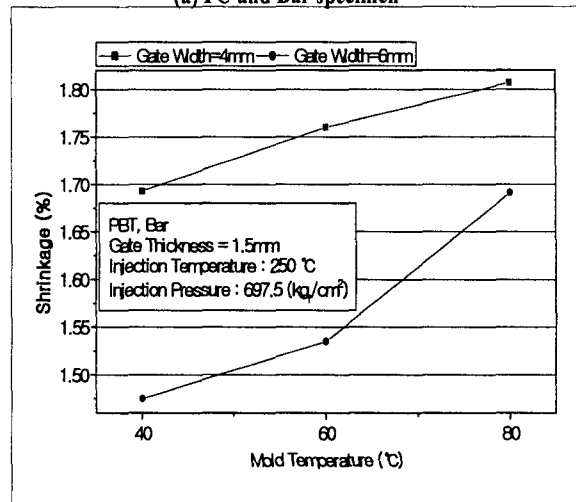
Fig. 5는 PC와 PBT의 Bar 시편에서 사출압력에 따른

수축률을 나타내고 있다. 사출압력이 높아지면 성형 수축률이 작아지는 현상을 보이고 있는데 이는 사출압력이 높으면 성형작업중 수축된 부분을 잘 채워줄 뿐 아니라 수지가 압축이 되어 밀도가 높아져 나타나는 현상으로 해석된다. 엄밀히 말하면 고분자 수지는 압축성 재료이기 때문이다. PC의 경우 작은 사출압 영역에서 압력에 따른 수축율의 변화가 적으나 PBT의 경우는 작은 사출압 영역에도 압력에 따른 수축률이 크게 차이를 보이며 압력이 높을 때는 압력에 따른 수축률의 큰 변화가 없는 것으로 관찰 되었다.

3.4 게이트 크기에 따른 성형수축



(a) PC and Bar specimen

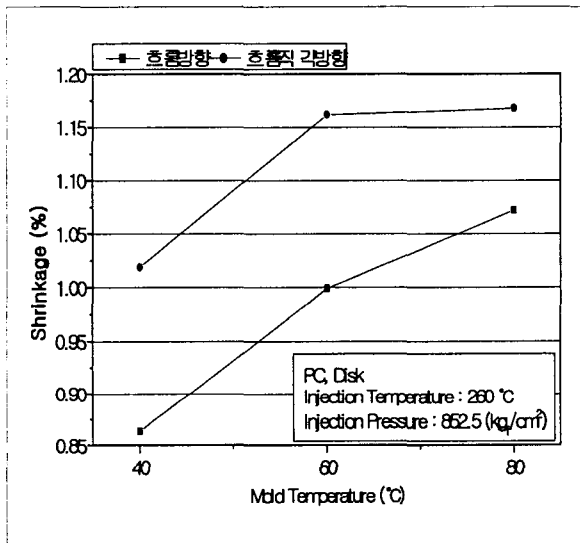


(b) PBT and Bar specimen

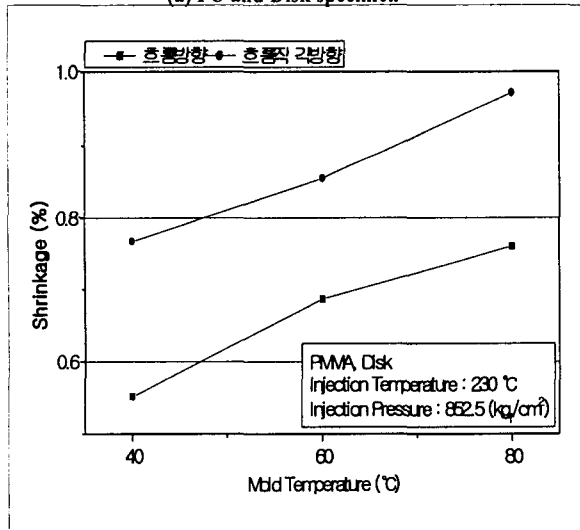
Fig. 6 Shrinkage for the gate size

Fig. 6은 동일한 실험조건 하에서 게이트 크기에 따른 수축률을 보여주고 있다. 게이트의 크기를 변화 시키기 위하여 1.5 mm의 동일한 게이트 두께에 폭은 4 mm, 6 mm 로 변화를 주었다. PC, PBT 모두 게이트 크기가 4 mm보다 6 mm에서 보다 적은 성형 수축을 보이고 있다. 게이트 크기가 클수록 노즐에서의 사출압력이 시편의 전 면적에 잘 전달되어 압축력이 높아져 작은 성형 수축을 유발한다. 이는 앞선 사출압력에 따른 성형 수축 결과와 같은 원인으로 해석된다

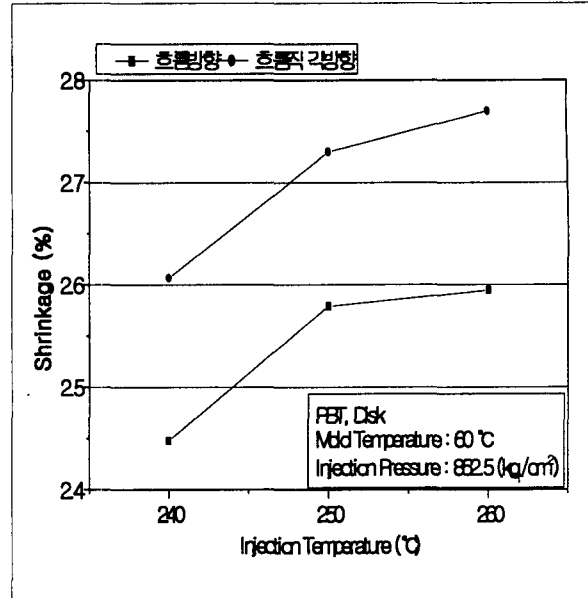
3.5 수지의 흐름방향과 직각방향의 수축



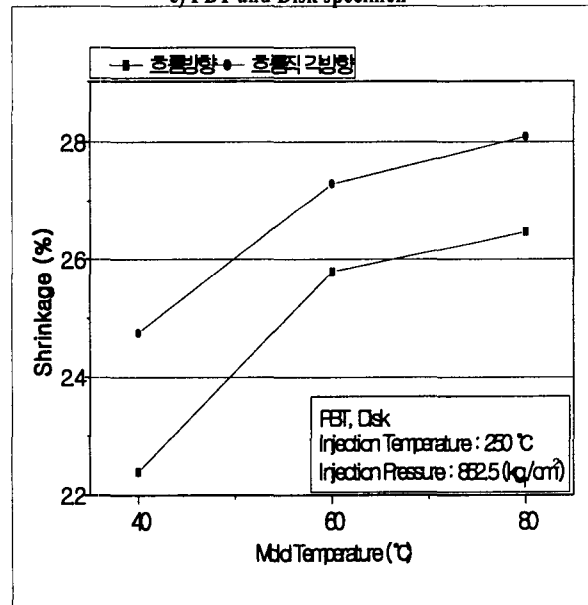
(a) PC and Disk specimen



(b) PMMA and Disk specimen



(c) PBT and Disk specimen

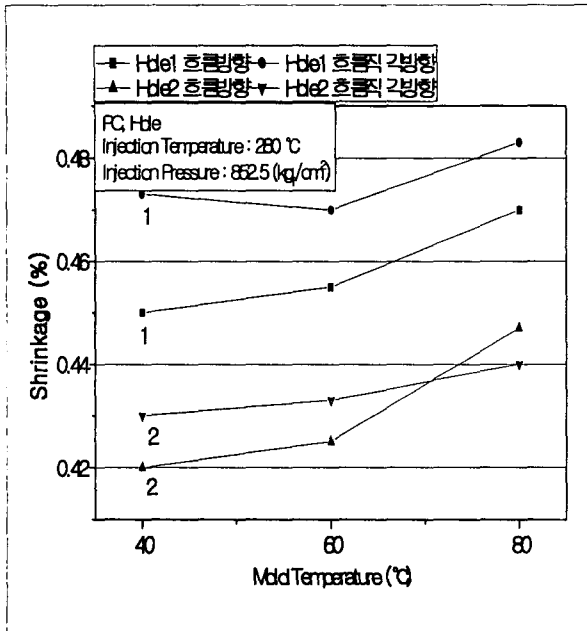


(d) PBT and Disk specimen

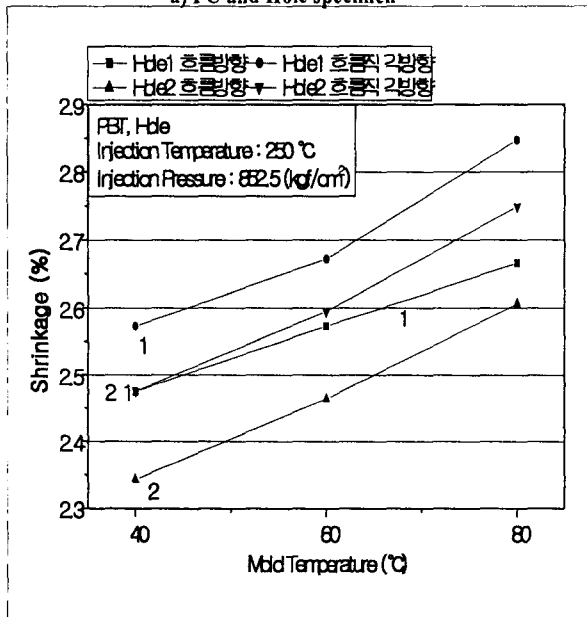
Fig. 7 Shrinkage for the flow pattern

Fig. 7은 PC, PMMA 그리고 PBT 수지별로 Disk 시편에서 나타나는 흐름방향과 흐름직각방향에 대한 수축률을 나타내고 있다. 모든 수지 및 성형 조건에서 흐름방향 보다는 흐름직각방향의 성형수축률이 더 큼을 알 수 있다. 이는 수지가 흐름방향으로 배향 및 패킹이 잘되어 수축이 적어지기 때문이라 사료된다. 성형조건에 따른 흐름방향과 흐름직각방향의 수축률추이는 유사하게 나타났다.

3.6 임의로 설계한 시편에서 위치에 따른 수축



a) PC and Hole specimen



b) PBT and Hole specimen

Figure 8. Shrinkage for the hole position

임의로 설계 제작한 Hole 시편에서 게이트 가까운쪽에 위치한 Hole을 Hole1이라고 하고 먼쪽에 위치한 Hole을 Hole2 라고 한다 (Fig. 1 참조). Fig. 8은 Hole 위치에 따른 흐름방향과 흐름직각방향의 성형 수축률을 나타내고

있다. Hole 위치에 상관없이 흐름직각방향의 수축률이 더 큼을 알 수 있다. 이는 앞선 실험결과와 같은 원인으로 사료된다. 게이트에 가까운 Hole1이 게이트에서 멀리 있는 Hole2보다 수축이 크게 나타나고 있는데 이는 게이트에서 가까운 Hole1 근처가 잔류응력이 크기 때문에 성형 후 변형이 커서 나타나는 현상이라 사료된다. 이는 엄밀히 말하면 성형수축이라기 보다는 성형 후 변형이라 볼 수 있다.

3.6 결정성 수지와 비결정성 수지의 수축

결정성 수지인 PBT와 비결정성 수지인 PC, PMMA의 실험 결과를 통해서 결정성 수지인 PBT가 비결정성 수지인 PC, PMMA 보다 수축률이 약 3배 가량 더 크며 수축의 경향은 유사함을 알 수 있다. 또한 결정성 수지인 PBT인 경우 금형온도가 올라가면 성형수축률이 커짐을 알 수 있는데 이는 결정화도가 증가하여 더 많은 수축을 유발한 것이라 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 사출성형에서 공정변수와 수지에 따른 성형 수축률에 대해서 알아 보았다. 사출온도에 따른 성형 수축률은 본 연구의 실험 온도 범위에서 온도가 높을 수록 성형수축률이 증가하였다. 금형온도가 높으면 냉각시간이 길어져 결정성 수지인 경우 결정화도의 증가로 인해 더 많은 성형 수축을 초래하는 결과가 나왔다. 사출압력에 따른 성형수축률은 사출압력이 증가하면 수지의 보압이 원활하여 적은 수축량을 보이고 있다. 게이트 크기가 커질수록 성형수축이 감소하는데 이 역시 게이트가 클수록 캐비티내의 압력전달이 원활하여 보압의 증가로 나타나는 결과이다. 금형내 용융수지의 흐름방향과 흐름직각 방향에 따른 성형수축은 흐름직각방향의 성형수축이 더 큰 것으로 나타났다. 결정성 수지인 PBT는 비결정성 수지인 PC, PMMA에 비해 성형수축이 약 3배 정도 크게 나타났다.

본 연구를 통해서 수지마다 그리고 공정변수마다 다른 성형수축 양상을 보이는 것을 알 수 있었다. 갈수록 정밀도가 요구되는 사출성형품을 만족 시키기 위해 사용재료와 사출성형공정에 맞는 수축률 예측과 정확한 금형설계가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

- (1) S.Han and KK.Wang, 1997, "Shrinkage Prediction for Slowly-Crystallizing Thermoplastic Polymer in Injection Moulding", Intern. Polymer Processing, 12, p.228
- (2) R.Pantani and G.Titimanlio, 1999, "Analysis of Shrinkage Development of Injection Moulded PS Samples", Intern. Polymer Processing, 16, p.183
- (3) R.Pantani, J.M.B.Jansen and G.Titomanlio, 1997, "In-Moulded Shrinkage Measurements of PS Samples with Strain Gages", Intern.Polymer Processing, 12, p.396
- (4) M. Fujiyama and T. Wakino, 1992, "Molecular Orientation in Injection-Molded Polypropylene Copolymers with Ethylene", Intern. Polymer Processing, 7, p.159
- (5) N.Prabhu, J.Schultz and S.G.Advani, 2001, "Role of Coupling Microscopic and Macroscopic Phenomena During the Semicrystalline Polymers", Polymer engineering and Science, 41, p.1871
- (6) R.Wimberger-Friedl, 1996, "Molecular Orientation in Polycarbonate Induced by Cooling Stresses," Intern. Polymer Processing, 6, p.373
- (7) N. Shah, S. Mc Carthy and D. Colford, 1993, "Shrinkage and Filling Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)", ANTEC, p.1599
- (8) H. Yaguchi, H. Hojo, D. G. Lee and E. G. Kim, 1995, "Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing," Intern. Polymer Processing, 10p.262
- (9) K. M. B. Jansen, D. J. van Dijk and E. V. Burgers, 1998, "Experimental Validation of Shrinkage Predictions for Injection Molded Products", Intern. Polymer Processing, 8, p.99