

무기 첨가물 함량에 따른 사출성형품의 성형 수축

김병두* · 유용호* · 황보현* · 류민영* · 김안식** · 박상현***

Shrinkage of Injection Molded Part for Inorganic Additive Compositions

B.D. Kim, Y.H. Yoo, B.H. Hwang, M-Y. Lyu, A.S. Kim and S.H. Park

Abstract

The shrinkages of injection molded parts are different in molding operational conditions, resins and additives. The shrinkage of injection molded part for crystalline polymer, PBT (polybutylene terephthalate) has been studied for various operational conditions of injection molding and content of additives. Mica was used as a additive to PBT to examine the part shrinkage according to the mica content. The part shrinkages of mica contained PBT decreased as mica content increases. Higher injection temperature and injection pressure resulted in a lower shrinkage. As mold temperature increases the part shrinkage decreased. The part shrinkage of flow direction was less than that of the perpendicular direction to the flow for both pure and mica contained PBT. However the shrinkage difference between flow and perpendicular to flow directions decreased as mica content increased.

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

1. 서론

플라스틱 재료는 기계, 건설, 전기, 전자, 항공 우주산업 및 자동차, 생활용품에 이르기까지 응용범위가 워낙 광범위하고 다양하여 거의 모든 산업에 응용되고 있으며, 그 사용범위가 계속해서 증가하고 있다. 그러므로 플라스틱 산업은 고정밀도, 치수 정밀도 등 고품질의 제품을 요구하게 되었다. 그 중 정확한 치수의 성형품을 생산하고자 할 때 겪는 어려움으로 성형수축률을 예측하는 것이 있다. 사출 성형 시 수축률에 영향을 주는 여러 가지 요인들이 있기 때문에 정확히 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 정밀한 사출성형 제품을 얻기 위해서는 제품디자인

인, 금형설계 그리고 사출기의 조건설정 등이 잘 이루어 져야 하겠지만 그렇지 않은 경우는 여러 가지의 결함을 포함하게 된다. 제품디자인 측면에서는 수지의 기계적, 물리적 특징이 충분히 고려되어야 하고, 금형설계의 측면에서는 수지의 유동특성을 고려한 설계가 중요하게 여겨지며, 정밀한 형상의 재현을 위한 금형 부품들의 조합과 구동 및 금형의 온도제어가 중요한 요소이다. 그리고 사출기의 조건설정 또한 수지의 열적, 물리적, 그리고 사출제품의 형상 및 유변학적 특성에 맞게 이루어 져야 한다. 플라스틱은 부자재(각종 안정제, 보강제, 착색제 등)와

* 서울산업대학교 금형설계학과
** 서울산업대학원 정밀기계공학과
*** 삼양사 화성연구소

혼합되어 열과 압력을 가하여 성형하는 경우가 많다. 또한 성질을 개선하기 위하여 섬유나 고무를 첨가하여 제품에 요구되는 성질을 수치측면에서 보강 개선한다.

플라스틱 수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데 사출성형 중에도 금형내의 온도와 압력변화 및 수지의 온도가 변하기 때문에 성형 중에 나타나는 제품 체적의 변화는 피할 수 없는 일이다. 사출성형의 충전 단계에서 실린더 내부에 높은 온도와 압력이 작용되고 사출이 끝난 후 성형품은 냉각되기 때문에 온도가 급격히 하강한다. 또한 금형이 열리면 압력 또한 크게 낮아진다. 따라서 이러한 큰 폭의 온도와 압력 변화 때문에 수지는 수축을 하게 되고 결국 성형품은 금형내의 있는 캐비티의 형상으로 재현되지 않고 캐비티의 치수보다 작게 된다. 따라서 도면의 치수와 꼭 같이 성형품을 만들고자 하면 금형의 캐비티의 치수는 수축을 보충할 수 있도록 약간 크게 만들어야 한다. 또한 성형 수축의 발생원인으로 몇 가지 더 있다. 예를 들면 경화 또는 결정화에 의한 수축으로 열가소성 결정수지의 경우는 성형공정에서의 결정화에 따라 체적수축을 일으켜 이것이 성형수축으로 나타나며 성형품의 탄성회복, 즉 압축성에 기인한 체적변화, 성형압력에 의해 압축되고 성형압력으로부터 해방될 때 성형품이 고온이면 압축되기 전 상태로 되돌아가려고 하는 탄성회복이 일어나 성형품의 체적이 팽창하는 쪽으로 변해 열적 수축에 의한 성형수축의 일부를 상쇄한 것이 수축 팽창으로 나타나는 것이다. 결정성 수지인지 비결정성 수지인지에 따라 수축이 다르게 나타나며 사출성형시의 운전 조건에 따라서도 다르다.⁽¹⁻⁸⁾

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.⁽⁷⁻¹³⁾ 이러한 성형수축은 치수정밀도가 높은 성형품을 성형할 때 매우 중요하게 여겨지기 때문에 수지와 함께 첨가제등에 따른 연구가 뒷받침 되어야 한다. 실제상황에서는 여러 가지 요소가 복합적으로 작용되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 진

행되어야 한다고 생각된다.

본 연구에서는 결정성 수지인 poly(butylene terephthalate) (PBT)수지에 첨가제인 Mica 를 혼합하여 혼합 비율에 따른 성형 수축율을 조사하였다. 수축률은 수지의 흐름 방향과 흐름의 직각 방향에 대해서 조사하였다. 또한 사출온도, 금형온도, 사출압력 그리고 게이트 크기에 따라 다양하게 나타나는 성형수축에 대해서 조사하였다. 성형수축 측정을 위한 시편은 ASTM 시편에 대해서 사출 실험하여 측정 하였다.

2. 실험

2.1 재료

결정성 수지인 PBT 는 가장 인성이 좋은 공업용 열가소성 수지 중의 하나이다. 이는 결정성 수지이며, 뛰어난 화학적 저항, 기계적 강도, 전기적 특성(높은 유전강도 및 절연저항) 및 열저항을 가지고 있으며, 이는 넓은 범위의 환경조건에서 안정성을 보이고 낮은 수분 흡수율을 보인다. 결정화가 빠르므로 불 균일한 냉각에 의한 변형을 일으키기 쉽다. 용융수지 점도는 꽤 낮으며, 빠른 결정화 속도로 인하여 공정시간도 일반적으로 짧다. 본 연구에는 삼양사의 TRIBIT 1700S 를 사용하였고, 첨가제로는 재료의 물성 향상 및 증량 위해서 가하는 충전제로 각종 물리적 성질이 우수하고 전기절연성, 내산성이 좋으며 치수 안정성이 우수한 Mica 중에 한국 KOCH 사의 Mica(M-150)를 선정하여 수치인 PBT 와 5%, 10%, 15%로 Compounding 후 시험재료로 사용하였다.

2.2 시편형상 및 사출성형용 금형

가. BAR 시편
ASTM D955-00 규정 시편으로 캐비티 가로×세로×두께(mm) 크기가 12.7×127×3.2 이고, 사이드 Gate 를 사용하였다.(Fig.1) Gate 부근의 결함을 최소화 할 수 있는 팬(FAN) Gate 를 사용하고, 폭을 10 (mm)로 설정하였다. BAR 형태의 시편은 수지의 흐름방향으로의 수축률을 연구하기 위한 시편이다.

나. Disk 시편

ASTM D955-00 규정 시편으로 캐비티 크기가

직경×두께(mm) 102×3.2 인 원형 시편으로 시편의 살 두께가 두껍고 표면적이 크기 때문에 팬 (FAN) Gate 를 사용하였다.(Fig2) 이 시편을 이용하여 수지의 흐름방향, 흐름직각방향, 흐름 45° 방향에 대한 수축률을 조사하였다.

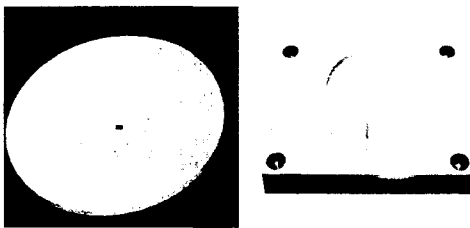
다. 사출 성형용 금형

시편을 성형하기 위한 금형은 하나의 몰드 베이스에 시편 형상이 바뀔때 따라 Cavity 를 교체식으로 삽입할 수 있는 Cassette 형식 (일명 카세트 금형)으로 금형을 설계하여 제작하였다. Fig. 3 에 Cassette 금형의 구성을 보여주고 있다.



(a) 3D 형상 (b) 금형

Fig.1 Bar specimen



(a) 3D 형상 (b) 금형

Fig.2. Disk Specimen

2.3 사출성형

사출성형을 수행하기 위해 LG 사출성형기 (IDE 140 ENII)를 사용하였으며 사출기의 형체력은 140 ton 이고 최대사출용량은 10 oz 이다. 각 Mica의 첨가 비율로 따라 사출온도를 세 가지씩 설정하여 사출온도에 따른 성형수축을 측정 하였다. 이때 사출온도는 사출 시 노즐의 온도를 의미하며 수지온도와 같다. 또한 사출기의 최대 사출압력 (1550 kg /cm²)에 각각 45, 55, 65 %에 해당하는 압력으로 사출하여 사출압력에 따른

성형수축을 측정하였다. 최대 사출압력은 사출 성형기 노즐의 압력이다. 그리고 금형 온도 조절기 (대한전기공업 DHM-30)를 사용하여 금형의 온도를 40, 60, 80℃로 설정하여 금형온도에 따른 성형수축을 측정하였다. 각 수지에 Mica 첨가 비율에 따른 여러 가지 성형 조건을 Table 1 에 정리 하였다.



Fig.3 Schematic drawing of cassette mold for injection molding of specimens

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

수지 종류	시편	금형온도 (°C)	사출압력(kg/cm ²)	수지 온도 (°C)
PBT M0%	BAR	40°C	697.5	240°C
			852.5	
			1007.5	
PBT M10%	DISK	80°C	(사출기 최대압	250°C
1550 kg/cm ² 기준			260°C	
45%, 55%. 65%)				

2.4 성형 해석

본 실험에 들어가기에 앞서 사출성형 해석 프로그램인 Moldflow 를 이용하여 각각 시편의 성형 해석을 실시하였다. 이번 실험에 사용할 수지(Mica 첨가 비율별)의 데이터 베이스를 가지고 있지 않아 Mica 첨가가 없는 삼양사 TRIBT 1700S 로 성형 해석 하였다. Fig.에 금형온도 60°C, 수지온도 240°C에 대한 해석 결과를 보여

주고 있다. Bar 시편은 약 3.4%, Disk 시편은 약 3.98%의 total deflection 를 보이고 있다.

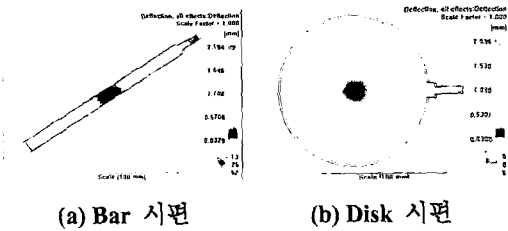


Fig.4 Simulation Results for total deflection

3. 결과 및 고찰

3.1 수지의 온도에 따른 수축률

Fig. 5 는 Bar 시편에서 Mica 의 함량과 수지온도에 따른 수축률을 보여주고 있다. 여기서 사용한 게이트의 두께와 폭은 1.6 mm × 4 mm로 동일한 형상이다.

PBT에 Mica 함량이 증가 할수록 성형수축은 감소하고 있으나, Mica 10%때는 오히려 Mica 15% 때보다 성형 수축률이 작다. 이는 실험적인 오차라 해석되며 Mica 함량이 10% 이상이 되면 수축률의 큰 변함이 없다고 사료된다.

3.2 금형온도에 따른 성형수축

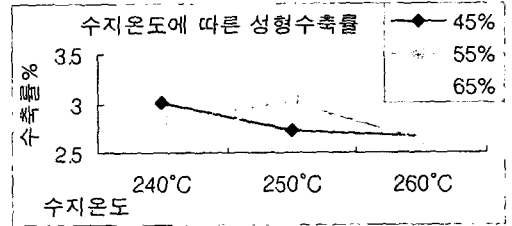
Fig. 6 에 금형온도에 따른 수축률의 결과가 나타나 있다.

PBT 에 첨가제가 없는 경우는 금형의 온도에 따라 약 0.5%의 변화를 보이고 있으나 Mica 가 첨가되면 금형온도에 크게 지배 받지 않음을 알 수 있다. 또한 Mica 함량이 증가 할수록 수축률이 2%이하로 감소함을 알 수 있다. 그리고 사출 온도에도 크게 영향 받지 않고 균일한 수축률을 보임을 알 수 있다.

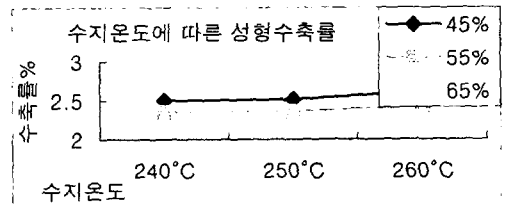
3.3 사출압력에 따른 성형수축

Fig. 7 에 사출압력에 따른 성형수축률을 보여 주고 있다.

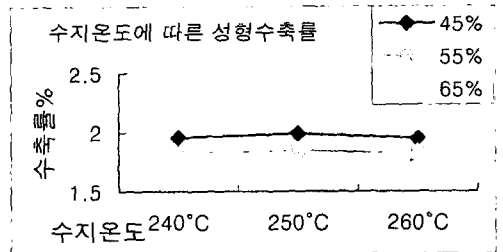
사출압력이 높으면 성형수축이 감소하고 있는데 이는 성형 중 캐비티 내부에 수지를 충전 및 보충해서 채워줄 뿐 아니라 수지가 압축이 되어 밀도가 높아져 나타나는 현상으로 해석된다. 사출압력과 수지온도가 높아질수록 그리고 Mica 함유량이 많아질수록 수축률이 감소하는 경향을 확연히 보여주고 있다.



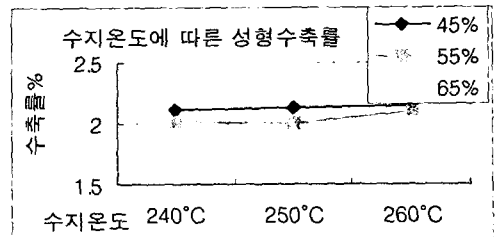
(a) PBT



(b)PBT+ Mica 5%

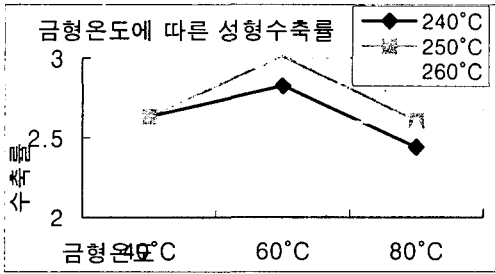


(c) PBT+ Mica 10%

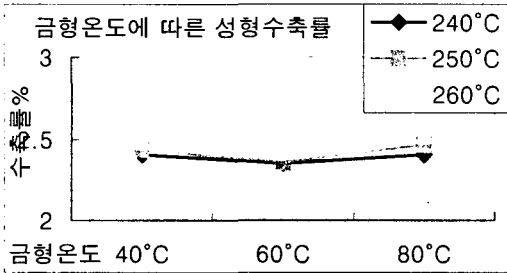


(d) PBT+ Mica 15%

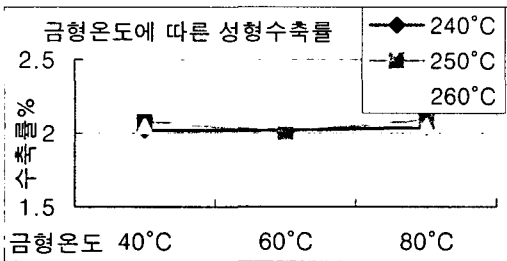
Fig.5 Shrinkage for the injection temperature



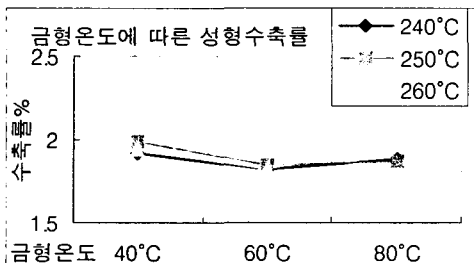
(a) PBT



(b) PBT+ Mica 5%

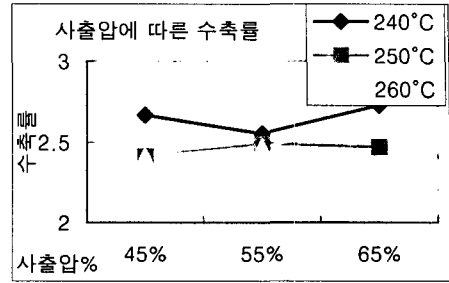


(c) PBT+ Mica 10%

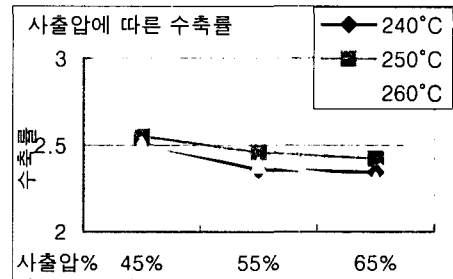


(d) PBT+ Mica 15%

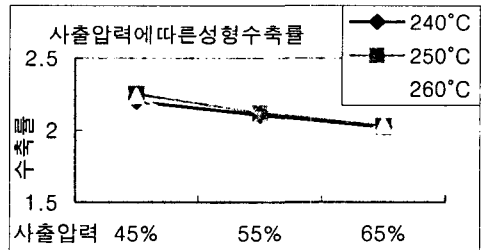
Fig. 6 Shrinkage for the mold temperature



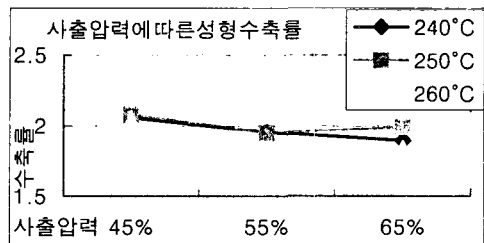
(a) PBT



(b) PBT+ Mica 5%

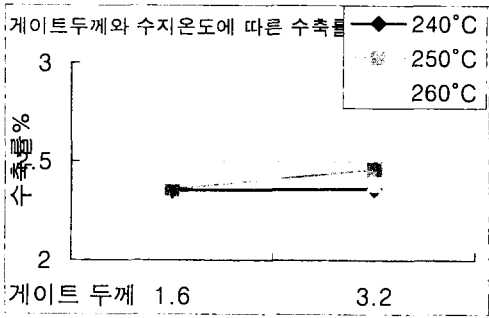


(c) PBT+ Mica 10%

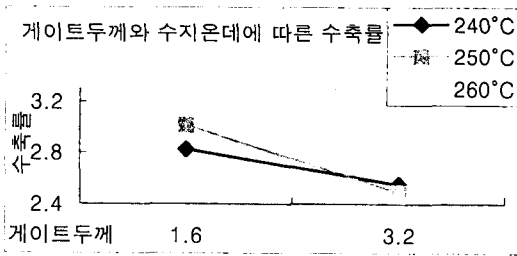


(d) PBT+ Mica 15%

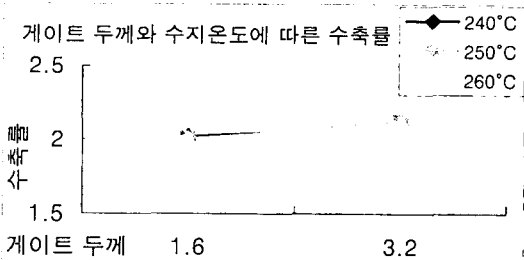
Fig. 7 Shrinkage for the injection pressure



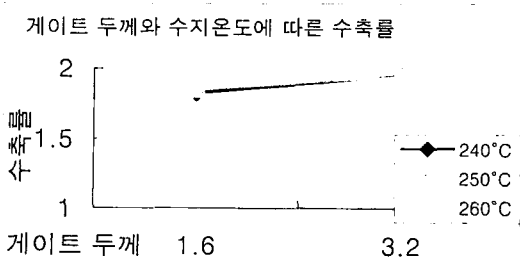
(a) PBT



(b) PBT+ Mica 5%

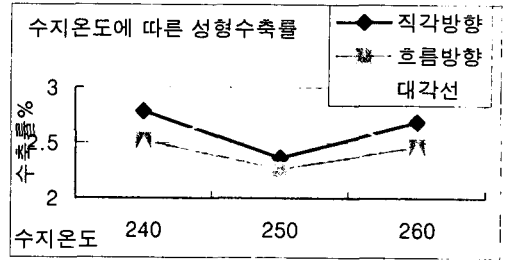


(c) PBT+ Mica 10%

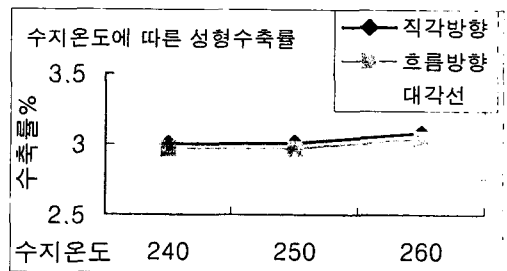


(d) PBT+ Mica 15%

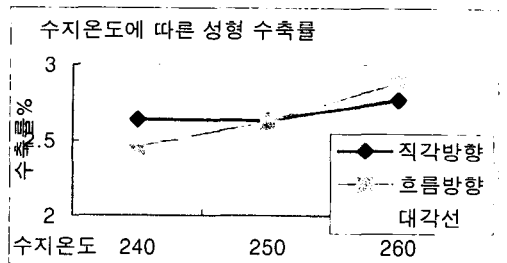
Fig.8 Shrinkage for the gate size



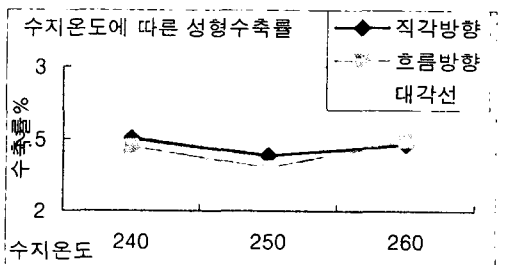
(a) PBT



(b) PBT+ Mica 5%



(c) PBT+ Mica 10%



(d) PBT+ Mica 15%

Fig. 9 Shrinkage for the flow pattern

3.4 게이트 크기에 따른 성형수축
 게이트의 크기에 따른 성형수축의 결과가 Fig. 8에 나타나 있다.

일반적으로 게이트 크기가 클수록 노즐에서의

사출압력이 시편의 전체적인 면적에 잘 전달되어 압축력을 향상시켜 적은 성형 수축을 유발한다. 그러나 Fig. 9(b)의 결과를 제외하고는 게이트의 크기가 클수록 수축이 약간 증가하는데 이는 실험적인 오차일수도 있고 본 실험의 상황에서는 게이트의 크기에 크게 영향을 받지 않는다고 볼 수도 있다.

3.5 흐름방향에 따른 수축

Fig. 9는 Disk 시편에서의 실험결과를 보여 주고 있다.

Mica 함유량 증가에 따라 전체적으로 수축률이 감소하는 경향이 보이고, 흐름대각선방향 < 흐름방향 < 흐름직각방향 순으로 성형수축률이 작게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 흐름 방향으로 배향 및 Packing 이 잘되어 수축이 적어지기 때문이라 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 결정성 수지인 PBT에 첨가제로 Mica를 0%, 5%, 10%, 15% 첨가하여 이의 함량에 따라서 그리고 사출온도, 사출압력, 금형온도 등의 공정변수에 따른 성형 수축률을 비교 검토하였다. PBT 수지에 첨가제인 Mica를 첨가하게 될 경우, 수축률은 급격히 감소되었으며, 함유량의 증가에 따라 수축은 감소하는 경향을 보였다. 온도에 따른 성형 수축률의 변화는 사출온도가 높아질수록 수축률은 감소하였다. 금형온도가 높아질수록 적은 수축률을 보였으나 변화는 미약하였다. 사출압력에 따른 성형 수축률의 변화는 사출압력이 높아질수록 수축률은 감소하였고 사출온도보다는 사출압력과 Mica 첨가량 증가가 수축률에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 게이트가 클수록 사출압력이 증가하고 수지의 Packing이 원활하여 수축률의 감소를 가져올 수 있었지만, Mica의 함유량이 10% 이상이 되었을 때는 반대로 게이트의 크기가 클수록 수축률이 미세하지만 커지는 것을 확인 할 수

있었다. 캐비티내의 수축률은 수지의 흐름직각 방향 > 흐름방향 > 흐름대각선방향으로 성형수축률이 적게 나타났다. PBT의 수축률은 2.4%~3.0%, Mica 함유량 5%에서는 2.3%~2.8%, 함유량 10%에서는 1.8%~2.3%, 함유량 15%에서는 1.2%~2.1%로 나타났다. Mica 함유량이 증가할수록 흐름방향과 흐름 직각 방향의 수축률 차이가 감소하였으며 이는 첨가제가 치수안정성 역할을 할 수 있음을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- (1) R.Pantani and G.Titimanlio, "Analysis of Shrinkage Development of Injection Moulded PS Samples", Intern. Polymer Processing, 16, p.183, 1999.
- (2) R.Wimberger-Friedl, "Molecular Orientation in Polycarbonate Induced by Cooling Stresses," Intern. Polymer Processing, 6, p.373, 1996.
- (3) N. Shah, S. Mc Carthy and D. Colford, "Shrinkage and Filling Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (Uhmwpe)", Antec, p.1599, 1993.
- (4) 노승재, "사출금형설계", 보문당, 2002.
- (5) 김광웅, "엔지니어링플라스틱", 경지사, 1988
- (6) ASTM D 955-00, "Standard Test Method for Measuring Shrinkage from Mold Dimension of Molded Plastics".
- (7) 김현진, 김정화, 김화영, 모정혁, 류민영, 한국고분자학회, 추계학술대회논문 초록집, V10, 27, No.2 284, 12, 2002.
- (8) 모정혁, 김현진, 류민영, "성형조건과 수지의 종류에 따른 사출성형품의 성형 수축", 한국소성가공학회, 춘계학술대회논문집, 363, 2003.
- (9) 김성철, "고분자공학, 회중당, 1994.
- (10) "삼양사", 홈페이지, <http://www.samyang.com>.
- (11) 홍명웅, "사출성형기술: 사출성형재료의 특성과 성형조건", 機電硏究社, 1999.
- (12) 조웅식, "사출성형 금형설계기술", 機電硏究社, 1997.