한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집 pp. 259~264

사출성형조건이 HIPS 수축율에 미치는 영향

박형필 [1,2,#]· 차백순 [1]· 이병옥 [2]· 최권일 [3]· 구본흥 [3]

The effect of the injection molding conditions on the shrinkage of HIPS

H. P. Park, B. S. Cha, B. O. Rhee, K. I. Choi, B. H. Koo

Abstract

The shrinkage of the product in injection molded part occurs due to the volume change with variation of temperature and pressure and is influenced by the processing conditions of injection molding. Mold designers greatly concerns the shrinkage of parts for a high dimensional accuracy. In this study, bar type HIPS specimen with 15x19 grid on the surface was tested. The amount of shrinkage of flow and transverse directions was examined with respect to the injection molding conditions such as melt temperature, injection speed, holding pressure, mold temperature and cooling time. As the packing pressure increased, the difference of shrinkage of both directions is decreased and the absolute shrinkage value also decreased.

Key Words : HIPS(High Impact Polystyrene), Shrinkage, Injection speed, Holding pressure, Flow direction

1. 서 론

사출성형은 고온 가열을 통해 용융된 플라스틱 수지를 고압으로 금형 내부로 충전시키고, 금형을 통하여 수지 내의 열을 냉각 매체로 전달하여 고화시킴으로 원하는 제품을 얻는 성형법이다. 이때 플라스틱 수지는 온도와 압력의 영향으로 밀도의 변화가 발생하게 된다. 이러한 영향으로 체적 변화가 발생하고 성형품에 성형수축이 발생하게 된다.

성형수축은 치수정밀도가 높은 제품 생산에 큰 영향을 미치기 때문에 특히 전자제품, 자동차, 광학부품 등의 정밀부품 생산에서 수축관리는 중요한 것으로 알려져 있다. 하지만 금형설계에 있어서 설계자들이 수지회사에서 제공하는 수축율을 전체 제품에 동일하게 적용하기 때문에 요구되는 치수정밀도를 가지는 제품생산에 어려움이 있다. 특히 사출성형의 공정 조건인 성형온도, 사출속도, 보압, 금형온도 등의 변화에 따라 성형품의 수축이 다양하게 나타나며, 또한 성형품 생산에 있어 압력전달이 용이한 게이트 근처와 상대적으로 압력전달 효과가 크지 않은 제품 말단 부위에서는 수축율이 다르게 나타나기 때문에 금형설계에 있어 이를 고려한 설계가 이루어 져야 요구되는 치수 정밀도를 가지는 성형품의 생산이 가능해 질 것이다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
2. 아주대학교 기계공학과
3. (주) 브이엠테크
교신저자 : 한국생산기술연구원 정밀금형팀
E-mail : php76@kitech.re.kr

따라서 본 연구에서는 비결정성 플라스틱 재료인 HIPS(High Impact Polystyrene)에 대한 사출성형 공정의 변화에 따른 성형품의 수축율의 변화를 관찰하기 위하여 등간격의 격자를 가진 bar 형상의 제품을 사용하여 각각의 공정조건에 따른 성형품 내에서 흐름방향과 흐름 직각 방향에 따른 수축량 및 게이트와의 거리에 따른 수축량을 측정하고 분석하였다.

2. 실험 및 실험장치

2.1 실험장치 및 성형조건

사출성형 실험에서 사용된 사출성형기는 최대 사출압력 2,520 kg/㎠, 사출률 75 ㎤/sec, 형체력 50 ton 인 우진 SELEX-S50(Woojin Selex co. Ltd, Korea)를 사용하였으며, 금형온도 조절을 위해서 부여 템프콘 사의 BYTC-101S(semi mold type) 금형 온도 조절기를 사용하였다. 금형온도조절기의 냉각수 입구 및 출구에 K-type 의 온도센서를 설치하였고, 금형의 가동측에도 K-type 의 온도센서를 설치하여 Testo 925(Germany)로 금형온도를 측정하였다.

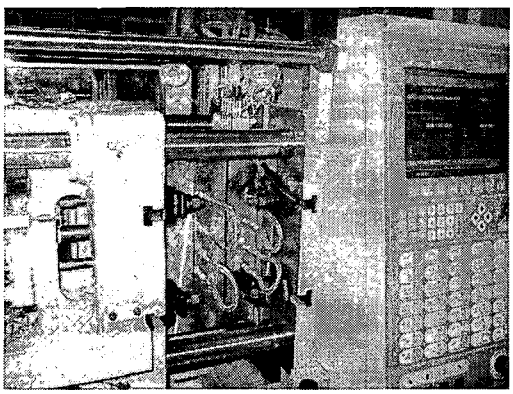


Fig. 1 Injection molding machine used for experiment

실험에 사용된 금형은 200×40×2 mm 의 bar type single cavity 금형을 사용하였다. 캐비티 내부에는 성형 수축량을 측정하기 위하여 15×19mm 의 격자를 금형의 부식 처리를 통하여 형성하였다. 또한, 캐비티 내부의 수지흐름을 균일하고 일정하게 하기 위하여 팬 게이트(fan gate) 형식으로 수지 흐름을 유도하였으며 성형품 구간에서는 제팅(jetting)을 방지하기 위해 오버랩 게이트(overlap gate) 를 설치하였다. 금형 내의 압력 및 온도를 측정하기 위하여 Priamus 사의 압력(Type 6001B) 및 온도(Type 4003A)센서를 금형의 고정측에 설치하였다. 금형내부의 센서 설치 위치는 Fig. 2 와 같다.

실험에 사용된 수지는 Cheil Industries Inc. 에서 생산된 초고유동수지 Starex HIPS HF-1690 를 사용하였다. 실험에 사용한 성형조건은 Table 1 과 같으며, 보압시간은 13 초로 각 실험조건에 동일하게 적용하였다.

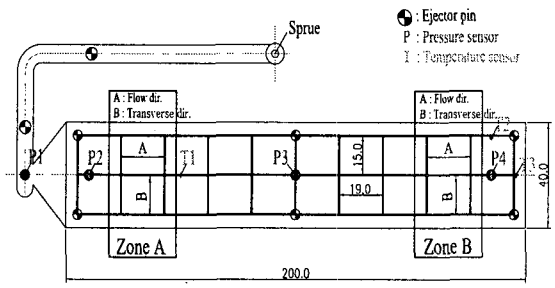


Fig. 2 Product geometry and temperature/pressure sensor locations

Table 1. Injection molding conditions

Melt Temp.	Injection Rate		Hold Pres.	Mold Temp.	Cooling Time
℃	%	㎤/s	MPa	℃	sec
195	30	22.5	39.72	63	20
215	42	31.5	55.6	75	30
235	50	37.5	66.19		40
	58	43.5	76.79		
	70	52.5			

2.2 수축율 측정

성형품의 수축량을 측정하기 위하여 3 차원 비접촉식 광학 측정기(ROI DATA STAR)를 이용하였다. 각 실험조건에서 5 개의 제품을 생산한 뒤에 그 중 4 번째 시편을 측정하였다. 측정위치는 Fig. 2 와 같이 게이트 근처의 A 구역, 제품의 말단 부위 B 구역으로 나누어 수지 흐름방향(flow direction)과 흐름 직각방향(transverse direction)의 수축량을 측정하였으며, 게이트와의 거리 차이에 따른 흐름방향 수축량도 측정하도록 하였다. Fig. 3 은 측정에 사용된 장비를 보여주고 있으며, 성형품 및 금형 측정을 위해 33 배로 확대된 측정 부위 모습을 Fig. 4 에 보여주고 있다.

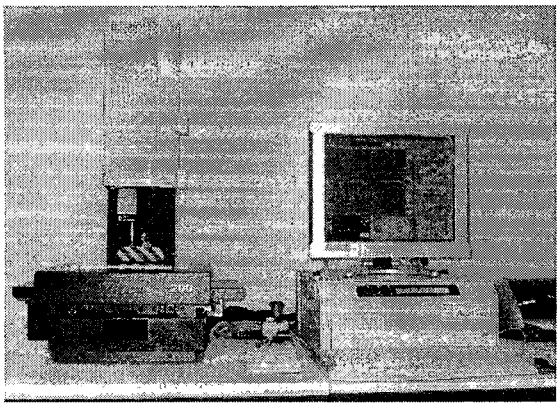
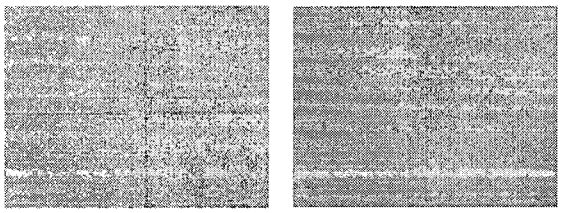


Fig. 3 Optical measuring system for the measurement of shrinkage



(a) Mold **(b) Part**

Fig. 4 Photos of the Mold and part grids(x33)

3. 실험결과 및 고찰

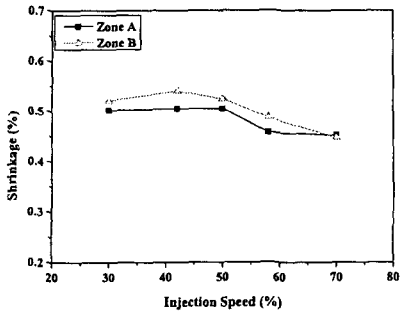
본 실험에 앞서 사출속도 변화에 따른 수축율의 변화를 예측하기 위해서 사출유량(injection rate)이 일정하게 제어되도록 사출압력을 증가시켜 가면서 실제 사출되는 시간이 일정해지는 조건을 찾아 사출압력으로 설정하였다. 그 결과 최대 사출속도 70%에 사출압력 70bar 의 성형조건을 찾을 수 있었다. 또한, 사출속도를 최대로 높여 줄수록 최대 사출압력이 증가하여 성형품에 플래쉬(flash) 발생 가능성이 높아지므로, 70%의 사출속도를 최대 사출속도로 설정하였다. 이때의 사출시간은 0.73 sec 였다. 또한, 최저 사출속도는 사출압력 70 bar 에서 미성형(short shot)이 발생하지 않는 조건인 사출속도 30%로 설정하였으며, 이때의 사출시간은 1.36 sec 였다. 또한 보압절환(V-P switchover)시의 위치 및 시간을 설정하기 위해서 성형품의 길이 방향으로 제품 길이의 95% 위치에 설치되어있는 Fig. 2 의 온도센서(T2)를 통하여 보압절환의 위치를 판단하였다. 온도센서를 사용한 이유는 온도 센서가 4 ~ 10 ms 의 응답속도를 가지고 감지하기 때문에 압력 센서에 의한 응답 속도보다 빨라 보다 정확한 보압절환위치의 판단이 가능하며, 동일 위치의 압력센서 감지시간과의 비교를 통하여 압력 센서의 반응 시간을 체크 할 수 있기 때문이다.

3.1 사출속도 변화에 따른 수축율

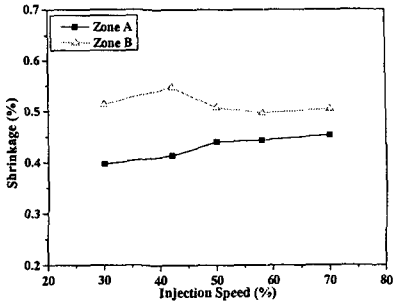
사출속도가 수축율에 미치는 영향을 확인하기 위하여 성형품의 표면에 싱크마크(sink mark)가 발생하지 않는 최소 보압으로 보압을 설정한 후, 사출속도를 30%, 42%, 50%, 58%, 70%로 변화시켜 가면서 사출속도가 성형품 수축율에 미치는 영향에 대해서 측정을 통하여 분석하였다. Fig. 5 (a), (b)는 수지 흐름방향과 흐름직각방향의 수축을 보여주고 있다. 게이트 부근에서 흐름방향과 흐름직각방향에 대한 수축율은 최저 사출속도인 30%에서 약 0.11% 차이를 보이고 있다. 이는 사출속도가 낮을수록 그 만큼 점도가 낮아져 게이트 부근에 압축 및 과잉 충전이 발생하기 때문이다. 사출속도가 높아질수록 흐름방향과 흐름직각방향에 대한 수축율 차이가 줄어듦을 알 수 있다. 이것은 빠른 사출속도로 인하여 성형품의 온도 및 압력이 사출속도가 낮을 때보다 균일한 분포를 이루고 또한 냉각이 좀더 균일하게 되기 때문이다. 또한 A와 B 영역의 수축률의 차이는 캐비티 내부의 충진 뒤에 가해지는 압력이 게이트와 멀어질수록 작아지기 때문에 발생하는 것으로 사료된다.

3.2 보압 변화에 따른 수축율

보압이 수축율에 미치는 영향을 확인하기 위하여 보압의 크기를 35.3MPa, 40.6 MPa, 47.66 MPa, 52.96 MPa 로 변화시켜 가면서 수축율의 변화를 보았다. Fig. 6(a), (b)에서 보듯이 보압이 높아질수록 수축율이 작아지는 것으로 나타났다. 이것은 성형품이 고화되면서 발생하는 체적의 변화량을 보압을 통하여 보상해주기 때문에 보압이 높아질수록 수축량이 줄어들게 된다. 하지만 흐름방향과 흐름직각방향의 수축율은 그 차이가 분명하게 나타나는데 이것은 흐름방향과 흐름직각방향의 수축발생 원인이 재료의 분자배향에 따른 원인이기 때문이며, 이로 인하여 성형품은 이방수축을 하게 되는 것으로 사료된다. 이렇듯 성형품 수축에 차이가 생기는 이유는 유동방향에 대하여 위치 별로 압력분포가 다르게 형성되기 때문이다.



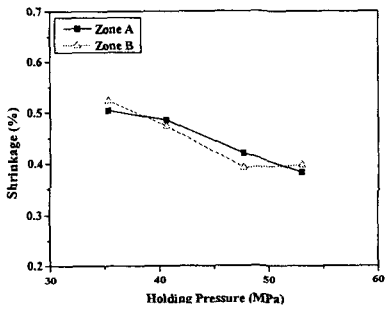
(a) Flow direction



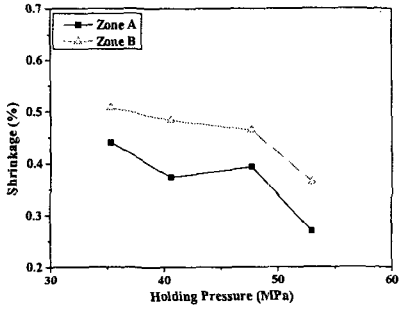
(b) Transverse direction

Injection molding conditions: Melt temp. 215℃, Holding pressure 35.3MPa, Mold temp. 63℃, Cooling time 20sec

Fig. 5 Part shrinkage variation with respect to the injection speed



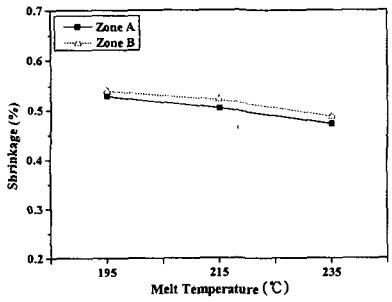
(a) Flow direction



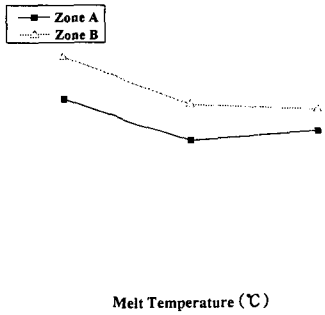
(b) Transverse direction

Injection molding conditions: Melt temp. 215℃, Injection speed 50%, Mold temp. 63℃, Cooling time 20sec

Fig. 6 Part shrinkage variation with respect to the holding pressure



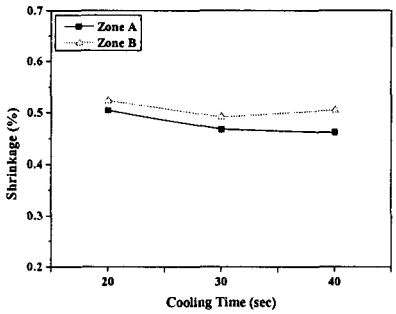
(a) Flow direction



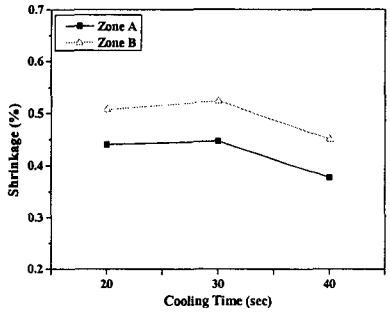
(b) Transverse direction

Injection molding conditions: Injection speed 50%,Holding pressure 35.3MPa, Mold temp 63℃, Cooling time 20sec

Fig. 7 Part shrinkage variation with respect to the melt temperature



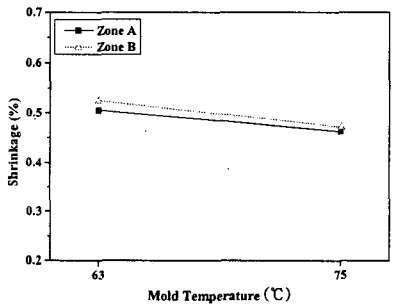
(a) Flow direction



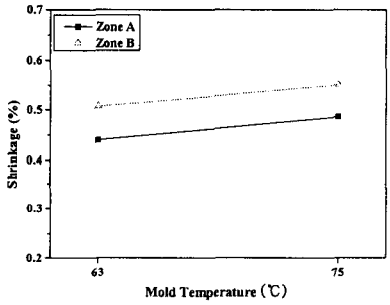
(b) Transverse direction

Injection molding conditions: Melt temp. 215℃, Injection speed 50%, Holding pressure 35.3MPa, Mold temp. 63℃

Fig. 8 Part shrinkage variation with respect to the cooling time



(a) Flow direction



(b) Transverse direction

Injection molding conditions: Melt temp. 215℃, Injection speed 50%, Hold pressure 35.3MPa, Cooling time 20sec

Fig. 9 Part shrinkage variation with respect to the mold temperature

3.3 성형온도 변화에 따른 수축율

성형온도가 수축율에 미치는 영향을 확인하기 위하여 성형온도를 195℃, 215℃, 235℃로 변화 하였을 때의 수축율 변화를 고찰하였다. Fig. 7 에서는 성형온도가 증가 할수록 수축량이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 성형온도가 높아지면 수지의 점도가 낮아져 금형 내에서의 유동성이 좋아지기 때문이며 용융된 수지를 통한 성형품에 고른 압력 전달이 용이해지기 때문으로 사료된다.

3.4 냉각시간 변화에 따른 수축율

성형품의 냉각시간이 수축율에 미치는 영향을 확인하기 위하여 냉각시간을 20 초, 30 초, 40 초로 변화시켜 가며 수축율의 변화를 보았다. Fig. 8 에서 보듯이 냉각시간이 길어 질수록 수축율이 줄어 드는 것으로 나타났다. 이것은 냉각시간이 길어질수록 금형내의 성형품을 충분히 고화시켜 준 뒤에 성형품을 취출하기 때문에 상대적으로 빠른 냉각시간을 가진 성형품보다 성형품의 대기와의 온도차이가 적어 수축이 작게 발생되며, 또한 금형 내에서의 금형구속 효과도 있기 때문이다.

3.5 금형온도에 따른 수축율

금형온도의 변화가 성형품 수축에 미치는 영향을 보기 위하여 금형온도 63 ℃, 75 ℃에 대한 수축율을 비교하였다. Fig. 9 에서 보듯이 금형온도가 높아질수록 흐름직각방향의 수축율이 증가하는 경향을 보였다. 이것은 금형온도가 높아지면 그 만큼 수지의 냉각속도에 영향을 주게 되어, 동일한 냉각시간에서 성형품의 취출시 온도가 차이가 있기 때문에 수축율의 차이를 보이게 되는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 사출성형 조건에 따른 수축율 영향을 범용수지인 HIPS 에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 사출성형 조건 중에 보압이 수축율 변화에 가장 큰 영향을 주고 있음을 알았다.

(2) 사출속도가 증가 할수록 성형품에 고른 온도 및 압력분포로 충전후의 보압이 원활히 작용하여 수축율이 작아짐을 알 수 있다.

(3) 냉각시간을 길게 할수록 금형 내에서 성형품이 충분히 고화된 뒤에 취출되기 때문에 열 수축이 작아져 수축율이 작아짐을 알 수 있다.

후 기

본 실험에 사용된 사출성형기를 지원해준 (주) 우진 세렉스에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] P. Kennedy, R. Zheng, 2002, High accuracy shrinkage and warpage prediction for injection molding, ANTEC 2002, Vol. 1, pp. 525～531.

[2] K. M. B. Jansen, 1996, Effect of pressure history on shrinkage and residual stresses – Injection molding constrained shrinkage, Polymer Engineering and Science, Vol. 36, No. 15, pp. 2029 ~2040.

[3] B. Y. Farhoudi, M. R. Kamal, 1997, A theoretical and experimental study of thermal residual stresses in injection molded amorphous polymers, ANTEC 1997, Vol. 1, pp. 687.

[4] 모정혁, 김현진, 류민영, 2003, 성형조건과 수지의 종류에 따른 사출성형품의 성형수축, 한국소성가공학회, 춘계학술대회논문집, pp.363~370.

[5] Tim A. Osswald *et al*, 2001, Injection molding handbook, HANSER.

[6] 정영득, 구본홍, 2005, 사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계; 인터비젼.