

사출성형품의 두께변화에 따른 마이크로 패턴의 전사율에 관한 실험적 연구

정 철^{1,2,3}, 김종덕¹, 김종선¹, 윤경환², 황철진^{1,#}

An Experimental Study on the Replication Ratio of Micro Patterns considering the Thickness Change of Injection Molded Parts

C. Jeong, J. D. Kim, J.S. Kim, K.H. Yoon, C.J. Hwang

Abstract

Injection molding is one of the most general manufacturing processes of polymers. The deformation of final molded parts occurs because of the change of temperature and pressure during injection molding process. The deformation of injection molded parts depends on many operational conditions, such as, melt temperature, injection speed, mold temperature, packing pressure, and the structure of mold. In the present paper, injection molding experiments were performed to find the process conditions to affect the average shrinkage in thickness direction and the replication ratio of fine patterns on the surface for the final injection-molded LGP samples. As a results, in the cases of PC(Polycarbonate), when the melt temperature was under 285°C, both average shrinkage and replication ratios were mainly influenced by packing pressure. However, the replication ratio was more influenced by melt temperature than packing pressure for the cases of higher melt temperature.

Key Words : Injection Molding(사출성형), Shrinkage(수축), Thickness Changing(두께 변화), Replication Ratio(전사율), Micro Patterns(마이크로패턴).

1. 서론

사출성형은 재료를 용융시킨 후 압력을 가하여 캐비티(cavity)에 주입시켜 원하는 형상으로 플라스틱을 성형하는 주기적인 가공법으로 크게 가소화단계 → 충전단계 → 보압단계 → 냉각단계 → 취출단계 등의 순으로 진행이 되는데¹⁾, 각 단계에서는 최상의 성형품을 얻기 위한 성형인자들이 있다. 이러한 사출성형으로 플라스틱을 성형할 경우 금형내의 용융된 플라스틱은 냉각에 의해 액상에서 고상으로의 상변화를 통해 제품의 전체 체적 대비 최고 약 15%정도의 체적 변화를 하게 되며, 이는 최종 성형품에 수축(shrinkage)이나 휨(warpage)형태로 나타나게 된다.²⁾ 또한 플라

스틱 수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데, 사출성형이 진행되는 동안 금형내의 온도와 압력이 변화하기 때문에, 사출성형 중에 나타나는 체적의 변화는 피할 수 없다.³⁾

Shen 등⁴⁾은 성형품의 두께 및 질량에 미치는 영향을 주는 성형인자들로 수지온도, 금형온도, 사출속도, 보압 등이라고 하였고, 유동성이 증가하면, 제품의 정밀도가 높아짐을 보였다. 특히 디스플레이용 제품의 중요 부품중 하나인 LCD-BLU(Back Light Unit)의 도광판(LGP, Light Guide Plate)에 있어서 금형(stamper)과 성형품의 패턴 높이의 비로 표시되는 전사율의 경우 LCD-BLU의 광 특성인 휘도값을 좌우하기도 한다.⁵⁻⁶⁾

본 실험에서는 표면조도와 광학 패턴의 높이를

1. 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부

2. 단국대학교 기계공학과

3. (현재) ㈜유테크

교신저자: 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부,
cijhwang@kitech.re.kr

조절하는데 용이한 LIGA-reflow를 이용하여 패턴을 제작하였고, 이렇게 제작한 도광판 패턴을 금형에 장착하여, 우선 성형품의 평균 두께 변화에 영향을 미치는 성형인자를 찾는 성형 실험을 수행하였고, 2차적으로 이 성형 실험의 결과들로부터 성형품의 두께 변화에 영향을 주는 주요 성형인자들을 변화시키면서 각 조건에서 성형품의 평균 두께변화와 전사율과의 상관관계에 대해 연구하였다.

2. 실험 장치

2.1 실험 장치

2.1.1 사출 성형기

본 실험에서는 성형을 위한 사출기로 Fig. 1에 보이는 일본 FANUC사의 S-2000i 100A 모델을 사용하였다. 성형기의 최대 형체력은 100 ton, 최대 이론 사출용량은 103 cm³인 인라인(In-line) 스크류식 사출 장치와 토글식 형체장치를 갖춘 전동식 사출 성형기이다. 기타 사양으로는 스크류 직경은 ϕ 32이고, 최대 사출압력은 200 MPa, 최대 사출속도는 330 mm/s이다.

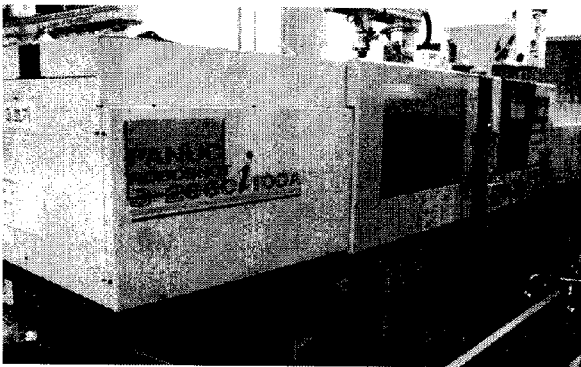


Fig. 1 Injection molding machine(S-2000i 100A).

2.1.2 사용 재료

실험에서 성형 시 사용한 재료는 Mitsubishi사의 PC(Polycarbonate) Iuplion-HL4000 이었으며, Iuplion-HL4000는 고투명성 및 고유동성을 가지고 있어서 두께가 얇은 제품 및 정밀한 패턴성형에 주로 사용하고 있으며, 특히, LCD 분야에서 많이 사용하고 있다.

2.1.3 두께 측정 및 형상 측정 장치

본 실험에서 성형품의 두께와 마이크로 패턴의

형상을 측정하기 위하여 사용한 장치는 Fig. 2에 보인 마이크로미터(해상도 1 μ m)와 Nanofocus 사의 3D-profiler(x, y축 해상도 60 nm, z축 해상도 1 nm)를 이용하였다.

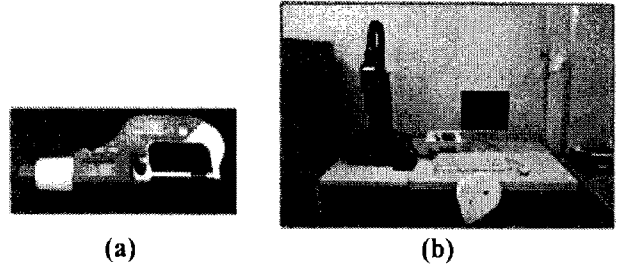


Fig. 2 (a) Micrometer and (b) 3-D profiler.

2.1.4 금형 및 성형품의 두께 측정 위치

실험에서 사용한 금형은 2-Cavity의 스탬퍼(stamper)형 금형으로 Fig. 3의 (a)에 나타내었고, Fig. 3의 (b)는 성형품의 두께 측정위치를 나타내었는데, 이는 LCD-BLU의 광특성 중 휘도를 측정하는 위치와 동일한 위치이다.

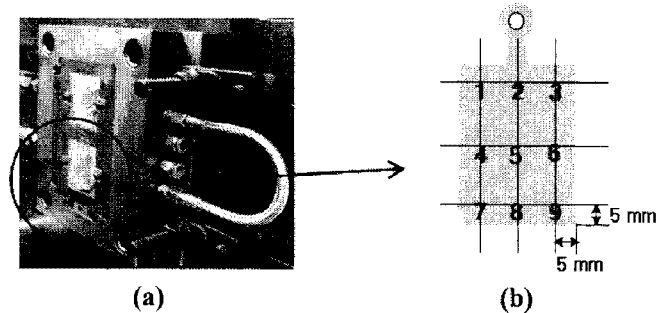


Fig. 3 Images of (a) mold and (b) measured points.

3. 성형 실험 및 결과

두께 변화에 영향을 미치는 성형인자와 이러한 성형인자로 성형한 성형품의 전사율을 평가하고, 두께변화와 전사율과의 상관관계를 알아보기 위해 일반적으로 두께변화에 영향을 주는 성형인자들인 수지온도, 금형온도, 사출속도, 보압 등의 4가지 성형 인자들로 성형 실험을 수행하여 두께 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 알아보았다. Table 1에는 사출속도, 보압, 금형온도의 성형조건을 나타내었고, Table 2에는 수지온도를 나타내었다. 또한, 최적의 보압시간을 찾기 위해 성형품의 무게 측정을 통한 최적의 보압시간을

알아보았는데, 성형품의 무게는 보압시간 4초 이전에서는 증가를 보였으나, 4초 이후에는 증가하지 않았으므로 실험에서는 4초를 적용하였다.

Table 1 Experimental levels for injection conditions (Injection speed, Packing pressure, Mold Temp).

Level	Injection speed(mm/s)	Packing pressure(MPa)	Mold Temp.(°C)
1	120	60	80
2	150	70	105
3	180	80	130

Table 2 Experimental levels for injection conditions (Melt temperature(°C)).

Level	ENH	NH	H1	H2	H3
1	280	285	275	265	60
2	305	310	300	290	60
3	330	335	325	315	60

성형실험의 결과를 다구찌 실험 계획법의 결과 확인 방법 중 S/N 비(signal to noise ratio)를 이용한 망소특성치를 정리하여 Fig. 3의 (b)에 보인 5번 위치에 대한 두께변화에 영향을 미치는 순서를 알아본 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

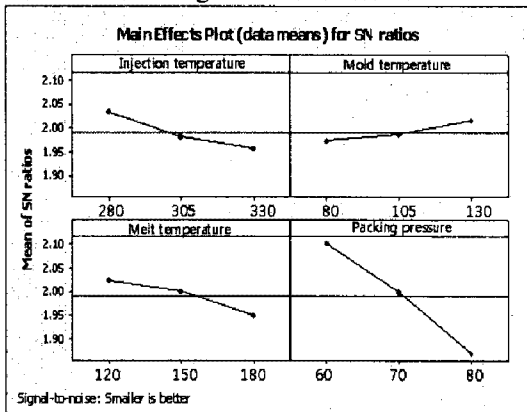


Fig. 4 Weight of injection molded parts.

결과를 분석해보면, 성형품의 5번 위치에 대한 두께변화에 영향을 주는 성형인자는 보압, 수지 온도, 사출속도, 금형온도의 순으로 나타났다. 이를 바탕으로 성형품의 두께변화와 전사율에 관한 상관관계에 대한 실험의 성형 인자들을 선정하여 보압에 관한 성형조건을 Table 3, 수지온도에 관한 성형 실험결과 가장 큰 차이를 보였던 수지온도 275°C와 305°C(ENH기준)에서의 보압에 따른 성형

성형조건을 Table 4, 사출속도와 금형온도에 관한 성형조건을 Table 5에 각각 나타내었다. 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타난 보압과 수지온도를 더욱 세분화하여 2차 실험을 진행하였고, 상대적으로 적은 영향을 주는 것으로 나타난 사출속도와 금형온도는 앞서 선정한 성형조건의 중간값을 실험에 적용하였다.

Table 3 Experimental levels for injection conditions (Packing pressure; MPa).

Level	Packing pressure(MPa)
1	1
2	20
3	40
4	60
5	80
6	100

Table 4 Experimental levels for injection conditions (Melt temperature; °C).

Level	ENH	NH	H1	H2	H3
1	275	280	270	260	60
2	285	290	280	270	60
3	295	300	290	280	60
4	305	310	300	290	60

Table 5 Experimental levels for injection conditions (Injection speed; mm/s, Mold temperature; °C).

Level	Injection speed	Mold temperature
2	150	105

또한 세분화된 성형조건에서의 성형품의 두께 측정 및 패턴높이 측정위치를 새롭게 선정하여 다음의 Fig. 5에 나타내었다.

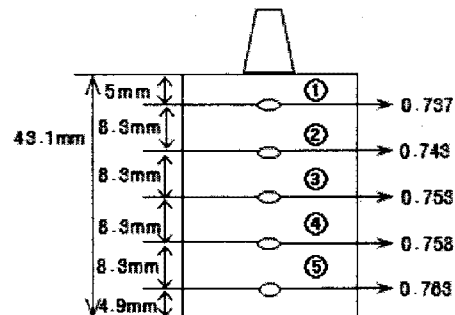


Fig. 5 Measuring points(thickness and height).

품의 평균수축률과 마이크로 패턴 전사율의 그래프를 Fig. 6의 (a)와 (b)에 나타내었다

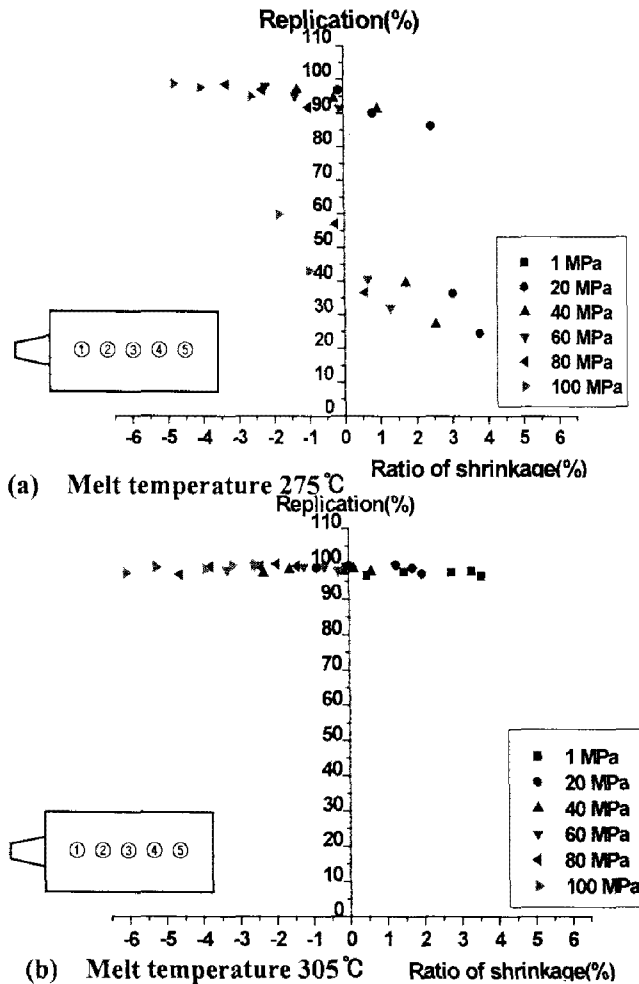


Fig. 6 Ratio of shrinkage and replication at the other process condition

그래프는 왼쪽 아래에 표시한 성형품의 각 위치에서의 두께 및 패턴 전사율을 나타낸 것으로서, 수지온도가 낮은 275°C에서는 보압의 변화에 의해 평균두께의 수축률과 패턴의 전사율이 크게 변화하는 것을 볼 수 있지만, 수지온도가 높은 305°C에서는 보압의 변화에 상관없이 성형품의 모든 위치에서 전사율이 95%이상으로 높다는 것을 알 수 있다. 이는 보압에 의해 두께변화는 발생하지만 높은 수지온도의 경우 over packing을 적용한 경우에는 수지의 유동성이 크게 증가하여 패턴의 전사가 미리 이루어진 결과라 생각된다.

4. 결론

본 실험을 통하여 얻을 수 있었던 결론은 다음과 같다.

- (1) 일반적으로 알려진 바와 같이 사출성형에 있어서 성형품의 두께변화에 영향을 주는 성형인자들인 사출속도, 보압, 금형온도, 수지온

도 등으로 PC(polycarbonate)를 사용하여 성형한 결과, 성형품의 두께변화에 가장 큰 영향을 끼치는 순으로는 보압, 수지온도, 사출속도, 금형온도의 순이었다.

- (2) 두께 변화에 큰 영향을 끼쳤던 보압과 수지온도의 구간을 더욱 세분화하여 실험을 수행한 결과, 본 실험에서 사용한 PC(Polycarbonate)의 경우 수지온도가 275°C이하에서는 보압에 의해 성형품의 각 측정 위치에서의 수축률과 패턴 전사율이 비례적으로 증가하였다. 하지만, 수지온도가 305°C이상에서는 두께의 수축이 발생한 보압에서도 전사율은 95%이상 나오는 것으로 보아 over packing을 적용한 경우에는 두께변화와 전사율은 큰 상관관계가 없음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 생산환경혁신기술개발사업 중 “초슬림 도광판용 게이트 자동절삭 고생산성 형체압축 금형시스템” 개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 2001, “사출성형 CAE 설계지침,” 문운당.
- [2] 구본홍, 신효철, 이호상, 1993, “사출 성형시 보압 및 냉각 과정이 성형품에 미치는 영향,” 대한기계학회논문집, pp. 1150~1160
- [3] Billmeyer, Jr. F. W., 1984, “Textbook of Polymer Science,” John Wiley & Sons, NY.
- [4] Shen, Y. K, Liu, J. J, Chang, C. T and Chiu, C. T., 2002, “Comparison of the results for semisolid and plastic injection moulding process,” Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 29, No. 1, pp. 97~105.
- [5] 황철진, 김종덕, 허영무, 하수용, 이규현, 2004, “LIGA-reflow 마이크로렌즈 패턴 금형가공 및 LCD BLU 개발,” 기계기술(신기술 동향/ 기술리포트), pp. 164~168.
- [6] 황철진, 고영배, 김종선, 윤경환, 2006, “휴대폰용 2인치 LCD-BLU의 광특성에 미치는 광학패턴 세장비의 영향연구: I. 광학해석 및 설계,” 한국소성가공학회 2006년도 춘계학술대회 논문집, pp. 239~242.