

다수 개 빼기 성형에서 일반사출성형과 사출압축성형의 성형특성 비교

이단비 · 남윤호* · 류민영**†

서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과, *(주)우진플라임,

**서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

(2013년 9월 9일 접수, 2013년 11월 18일 수정, 2013년 11월 20일 채택)

Comparison of Molding Characteristics for Multi-cavity Molding in Conventional Injection Molding and Injection Compression Molding

Dan Bi Lee, Yun Hyo Nam*, and Min-Young Lyu**†

Department of Product Design and Manufacturing Engineering, Graduate School of Seoul National University of Science and Technology, 172 Gongneung-dong, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

*WOJIN PLAIMM CO., 673-3 Gyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-170, Korea

**Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 172 Gongneung-dong, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

(Received September 9, 2013; Revised November 18, 2013; Accepted November 20, 2013)

초록: 일반사출성형은 공정 중 보압단계에서 캐비티에 높은 압력이 작용하여 성형품에 큰 잔류응력이 남게 된다. 또한 캐비티 내 위치 별로 압력분포가 달라 균일한 물성의 제품을 얻는데 한계가 있다. 다수 개 빼기 일반사출성형에서는 캐비티간 충전 불균형이 일어나 캐비티간 품질의 편차를 일으킨다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해 사출압축성형 공정을 사용하는 경우가 많다. 본 연구에서는 다수 개 캐비티를 갖는 금형을 이용하여 일반사출성형과 사출압축성형을 비교 분석하였다. 실험과 해석을 통하여 연구를 수행하였으며 투명한 수지인 PC와 PS를 이용하여 시편에 나타나는 복굴절을 관찰하여 일반사출성형과 사출압축성형에서 나타나는 성형특성을 비교하였다. 연구결과, 사출압축성형으로 제작된 시편에서 캐비티 내의 압력이 균일하여 복굴절과 성형수축률이 낮고 균일하게 나타났다. 그리고 일반사출성형에서 나타나는 캐비티간 충전 불균형에 의한 캐비티간 물성의 편차가 사출압축성형에서는 크게 줄어 들었다. 본 연구를 통하여 사출압축성형은 다수 개 빼기 사출성형에서 캐비티 내 균일한 물성확보뿐만 아니라 캐비티간 품질 불균형을 해소하는데 유용함을 확인할 수 있었다.

Abstract: Large residual stresses are remained in the conventional injection molded products because of the high cavity pressure in packing phase during injection molding process. Conventional injection molding (CIM) invokes distribution of cavity pressure and it has a limitation to obtain product with uniform physical property. Multi-cavity conventional injection molding contains quality deviation among the cavities since flow imbalance occurs during filling phase. Injection compression molding (ICM) is adopted to overcome these limitations of CIM. In this study, molding characteristics of CIM and ICM have been investigated using multi-cavity injection mold. Researches were performed by both experiment and computer simulation through observations of birefringence for transparent resins, polycarbonate and polystyrene in CIM and ICM. As a result, low and uniform birefringence and mold shrinkage were showed in the specimens by ICM that could give a uniform cavity pressure. Deviation of physical property among the specimens in multi-cavity mold shown in CIM was significantly reduced in the specimens by ICM. Through this study it was concluded that the ICM in multi-cavity molding was valid for molding products with uniform property in an individual cavity and also reduced property deviation among the cavities.

Keywords: multi-cavity injection molding, cavity imbalance, birefringence, injection compression molding.

서 론

최근 플라스틱 제품이 정밀기술산업에 많이 활용되면서 성

형품의 치수 정밀도나 품질이 중요하게 여겨져 정밀사출성형에 대한 요구가 증가하고 있다. 일반사출성형은 형폐, 사출, 보압, 냉각, 형개 및 취출의 과정으로 이루어져 있다. 일반사출성형품은 캐비티 내에서 높은 압력과 높은 온도 변화를 받으면서 잔류응력을 내포하게 된다. 이러한 잔류응력은 성형품의 후 변형을 일으킴으로써 제품의 정밀도를 저하시키고

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mylyu@snut.ac.kr

복굴절을 일으켜 광학적 성능을 저하시킨다.¹ 또한 다수 개 빼기 일반사출성형에서는 캐비티간 품질편차가 있어 정밀성형에 한계가 있다. 특히 렌즈와 같이 작은 제품들은 충분히 많은 수의 제품을 한 번에 사출할 수 있음에도 불구하고 캐비티간 품질편차 때문에 다수 개 캐비티의 활용에 한계를 보이고 있다.²⁻⁵

다수 개 빼기 사출성형에서 품질의 편차에 관한 고찰은 많이 있다.²⁻⁶ 캐비티간 품질편차의 원인은 런너에서의 열적 불균형인데 이는 사출속도와 수지에 따라 다른 양상을 보인다. 이를 해소하기 위한 방법으로 열적 균형을 이룰 수 있는 런너의 설계방법이 많이 강구되고 있다.⁷⁻¹¹ 그러나 금형설계의 복잡성과 추가적인 작업 때문에 적용이 쉽지 않을 뿐 아니라 열적 균형을 이루는데도 한계가 있다. 그리고 다수 개 빼기 금형을 이용한 사출성형에서 사출압축성형이 캐비티간 편차를 해소할 수 있는 방법으로 제시한 연구는 없다.

본 연구는 다수 개 빼기 금형을 이용한 사출성형에서 보이는 캐비티간 품질편차를 해소하기 위해 사출압축성형을 적용하였다. 사출압축성형은 캐비티의 일부분만 충전을 한 후 압축력으로 완전충전을 시키기 때문에 캐비티 충전에서 발생하는 캐비티간 충전불균형을 해소할 수 있다고 판단된다. 실험과 해석을 통하여 투명한 비결정성 수지인 polycarbonate(PC)와 polystyrene(PS)에 대하여 일반사출성형과 사출압축성형에 따른 복굴절 현상을 비교하여 성형특성을 조사하였다. 해석을 통하여 캐비티 내 압력과 제품의 수축률 및 복굴절을 예측하였으며 복굴절 실험 결과와 비교 분석하였다.

실험 및 해석

수지 및 사출성형기. 본 연구에서 사용한 수지는 PC와 비보강 일반 PS(general purpose PS)로 PC는 삼양사의 TRIREX 30221R(01), PS는 BASF의 PS 158 K이다.

사출실험을 위한 사출성형기는 (주)우진플라임의 전동사출성형기(TE 150)를 사용하였으며, 사출기의 형체력은 150 ton이며, 최대 사출 속도는 200 mm/sec이다. 본 연구에서의 사출압축성형은 사출기의 형체기구를 이용한 방법으로 형폐 시 금형을 약간 개방한 상태에서 캐비티에 부분적으로 수지를 충전한 후 금형을 닫으면서 압축하여 성형하는 방법을 이용하였다.¹²

연구 모델 및 물성 측정. 본 연구에서 사용한 연구 모델은 Figure 1(a)와 같은 20 mm×50 mm, 두께 2 mm의 평평한 형상이다. 금형은 Figure 1(b)와 같이 8개 캐비티 성형으로 설계하였다. Gate 두께는 0.8 mm, 폭 12 mm, 랜드 길이는 5 mm이다. 8개의 캐비티를 그림에서와 같이 번호를 ①~⑧로 부여하여 구별하였다. 성형 후 제품의 광학적 특성을 파악하기 위해 복굴절을 측정하였다. 빛은 전자파의 형태로 된 두 파가 서로 직교하면서 진행한다. 빛이 편광자(polarizer)를 통과하

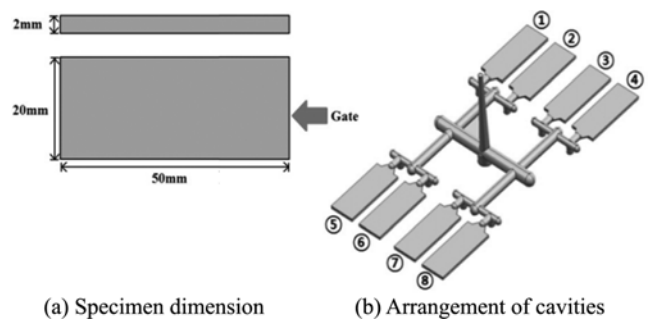


Figure 1. Specimen dimension and arrangement of 8 cavities for injection molding.

고 시편을 통과한 후 검광자(analyzer)를 통과하면 두 파의 위상차 때문에 간섭된 파가 색의 밴드로 나타난다. 이 색의 밴드로 시편에 존재하는 복굴절의 크기를 구별할 수 있다.¹ 잔류응력은 복굴절을 일으키기 때문에 광학적 품질 향상을 위해서는 이를 제어해야 할 항목이다. 복굴절 패턴을 측정하기 위하여 Strianoptic사의 광탄성 측정장치 PS-100을 사용하였다.

성형조건 및 컴퓨터 해석. 수지별 일반사출성형 조건과 사출압축성형 조건이 각각 Table 1과 Table 2에 나타나 있다. 성형조건은 일반사출성형과 사출압축성형을 수행하는데 미성형이나 플래시가 일어나지 않는 안정된 조건을 찾기 위해 사전실험을 통하여 결정하였다.

일반사출성형과 사출압축성형에서 제품의 수축률과 캐비티 내의 압력 변화를 모사하기 위하여 사출성형해석 전용 프로그램인 Moldflow를 사용하였다. Figure 2는 사출성형해석을 위한 모델을 보여주고 있다. 사출성형해석에서 캐비티는 Mid-

Table 1. Molding Conditions for Conventional Injection Molding

	PC	PS
Injection temperature (°C)	300	250
Mold temperature (°C)	70	50
Injection speed (mm/s)	14	14
Packing pressure (MPa)	50	50
Packing time (sec)	2	2

Table 2. Molding Conditions for Injection Compression Molding

	PC	PS
Injection temperature (°C)	300	250
Mold temperature (°C)	70	50
Injection speed (mm/s)	14	14
Compression force (ton)	120	120
Compression gap (mm)	0.1	0.1
Compression speed (mm/s)	10	10
Compression delay time (sec)	0	0

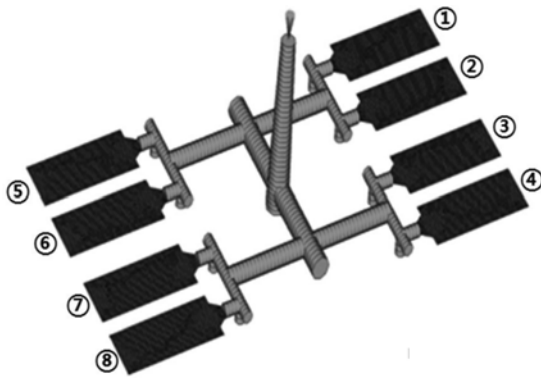


Figure 2. Modeling of 8-cavity injection molding for moldflow.

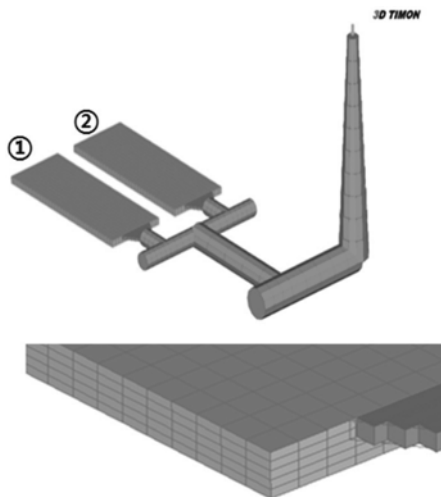


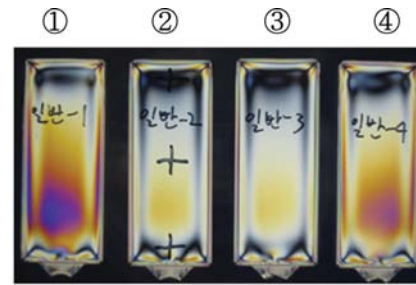
Figure 3. Mesh for computer simulation using 3D Timon.

Plane을 이용한 해석으로 삼각형 메쉬를 사용하였다. 해석조건은 Table 1의 실험 조건과 같게 하였다.

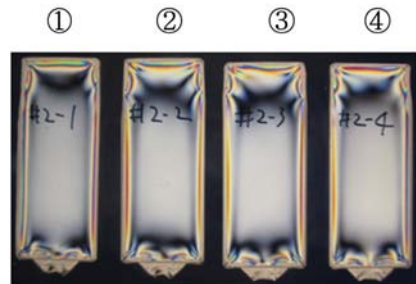
성형 후 복굴절 패턴을 모사하기 위하여 사출성형의 광학 해석 전용 모듈을 가지고 있는 3D Timon을 사용하였으며, Figure 3은 광학해석을 위한 3차원 메쉬를 보여주고 있다. 메쉬를 두께방향으로 5층으로 나뉜 육각 메쉬 형태로 해석하였으며, 해석조건은 실험 조건인 Table 1과 Table 2와 같이 하였다.

결과 및 토론

일반사출성형과 사출압축성형 실험결과의 비교. Figure 4는 Figure 1의 캐비티 ①, ②, ③, 그리고 ④에 대한 성형후 복굴절을 나타내었다. 8개의 캐비티 중 ①~④ 그리고 ⑤~⑧은 대칭성을 갖고 있어 ①~④의 결과만 나타내었다. PC의 일반사출성형과 사출압축성형 결과를 비교하였을 때 일반사출성형에서는 게이트를 중심으로 복굴절이 크게 나타났다. 그러나 사출압축성형에서는 전체적으로 균일한 복굴절의 분포



(a) Conventional injection molded specimens



(b) Injection compression molded specimens

Figure 4. Comparison of birefringence patterns in (a) conventional injection molding; (b) injection compression molding for PC.

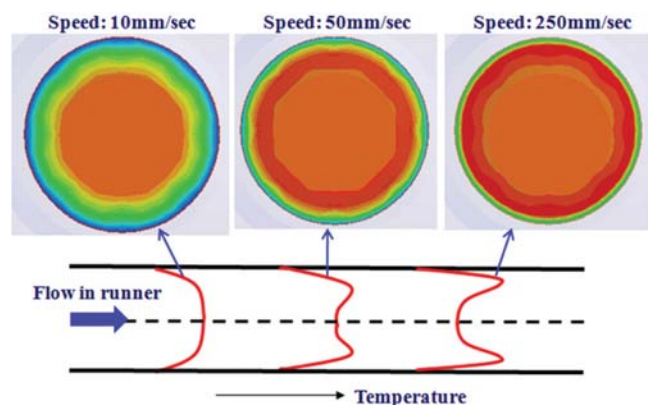


Figure 5. Temperature distribution of resin in a runner according to injection speed.

를 보였다. 따라서 사출압축성형에서 캐비티 내의 물성을 균일하게 하는데 일반사출성형보다 매우 유리함을 알 수 있다. 일반사출성형 시편에서는 ①과 ④의 시편이 유사한 복굴절을 보였고 ②와 ③의 시편이 유사하였다. 이는 일반사출성형에서 전형적으로 보이는 캐비티간 충전 불균형으로 인한 결과이다.²⁻⁶ 사출금형 내에서 수지의 흐름 경로는 스프루, 런너, 게이트 그리고 캐비티 순이다. 수지가 스프루 이후 런너를 흐르면서 다수개 캐비티 금형에서는 흐름이 꺾이는 런너들을 지나게 된다. 런너의 벽면에서 수지가 전단변형률을 받으면서 그의 정도에 따라 온도가 생성되어 런너의 단면에서 중앙

과 벽면의 온도편차를 보이게 된다. 이러한 온도 편차를 갖는 수지가 런너의 방향이 직각으로 두 방향으로 바뀌면서 다시 단면에서의 온도편차를 일으켜 게이트를 지나 캐비티에 들어가는 온도편차를 일으키게 된다.⁶ Figure 5에는 캐비티간 편차의 원인이 되는 런너에서의 온도 분포를 보여주고 있는데 유동속도에 따라 분포가 달라 이의 조절이 어렵다.

사출압축성형에서는 ①, ②, ③ 그리고 ④의 시편에서 균일한 복굴절을 보였다. 이는 일반사출과는 달리 캐비티간 충전 균형이 잘 잡혔다는 것을 의미한다. 사출압축성형에서는 캐비티가 완전 충전까지 충전하지 않고 압축력으로 최종충전을 하기 때문에 나타난 현상이라 판단된다. 이는 사출압축성형이 다수 캐비티성형에서 캐비티간 충전 불균형은 해소해 줄 수 있음을 보여주고 있다.

PS의 실험 결과는 Figure 6에 나타나 있으며 PC와 마찬가지로 일반사출성형보다 사출압축성형에서 복굴절이 낮게 나타난다. 일반사출성형에서 보압으로 인한 수지의 유동으로 방사형 패턴의 복굴절이 나타났다. 그러나 사출압축성형에서는 캐비티 전면에 균일한 압력을 가하게 되므로 흐름이 균일하여 물성이 균일해질 뿐만 아니라 잔류응력이 낮게 형성되어 복굴절이 적은 것으로 판단된다. 따라서 광학적 특성을 필요로 하는 사출품은 일반사출성형에 비해 사출압축성형이 유리할 것으로 판단된다. 일반사출성형에서 시편 ①과 ④는 시편 ②와 ③과 다르다. 이는 일반사출성형에서 충전 불균형으로 나타나는 현상이다. 사출압축성형에서는 네 개의 캐비티가 완

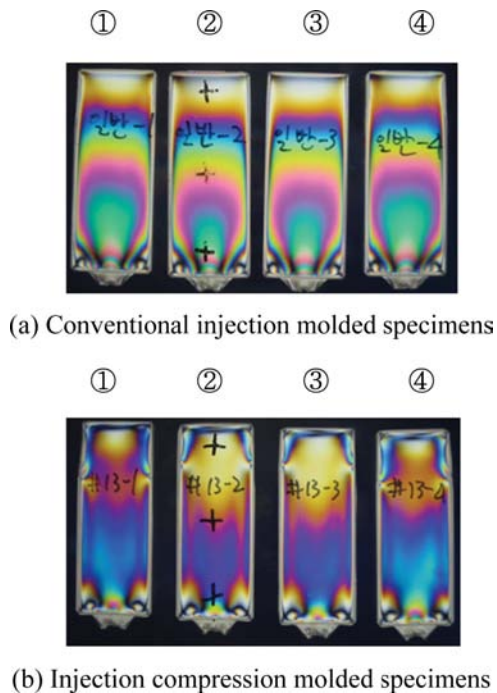


Figure 6. Comparison of birefringence patterns in (a) conventional injection molding; (b) injection compression molding for PS.

벽히 동일하지는 않지만 복굴절이 작으며 비교적 균일하게 나타났다. 이 역시 사출압축성형이 다수 캐비티 사출성형에서 캐비티간 물성 편차를 없애는데 유리함을 보여주고 있다. PS가 PC에 비해 복굴절량이 크게 나타났는데 이는 소재의 광학적 특성이 달라 나타난 현상이다.¹

일반사출성형과 사출압축성형 해석결과와의 비교. Figure 7과 Figure 8은 PC와 PS에서 각각 일반사출성형과 사출압축성형에서의 실험과 해석 결과를 캐비티 ①과 ② 시편에 대하여 비교하였다.

Figure 7(a)는 PC에서 일반사출성형의 실험과 해석결과가 유사하게 나타남을 보여주고 있으며, 복굴절이 게이트를 중심으로 크게 나타나고 있다. Figure 7(b)의 사출압축성형에서도 실험과 해석결과가 유사하게 나타났으며 일반사출성형 시편에 비해 복굴절이 감소되었음을 볼 수 있다. 또한 캐비티간 복굴절의 편차도 줄었다. Figure 8의 PS에서도 일반사출성형과 사출압축성형에서 실험과 해석의 복굴절 패턴이 유사한 경향성을 보였다. 그리고 사출압축성형에서 복굴절이 줄어 들을 해석에서도 확인할 수 있다.

일반사출성형과 사출압축성형에서 나타나는 성형품질을 컴퓨터 해석을 통해 관찰하였다. Figure 9와 Figure 10은 PC에 대해 일반사출성형과 사출압축성형의 캐비티내 압력분포와 체적 수축률을 보여주고 있다. 캐비티가 받는 압력이 일반사

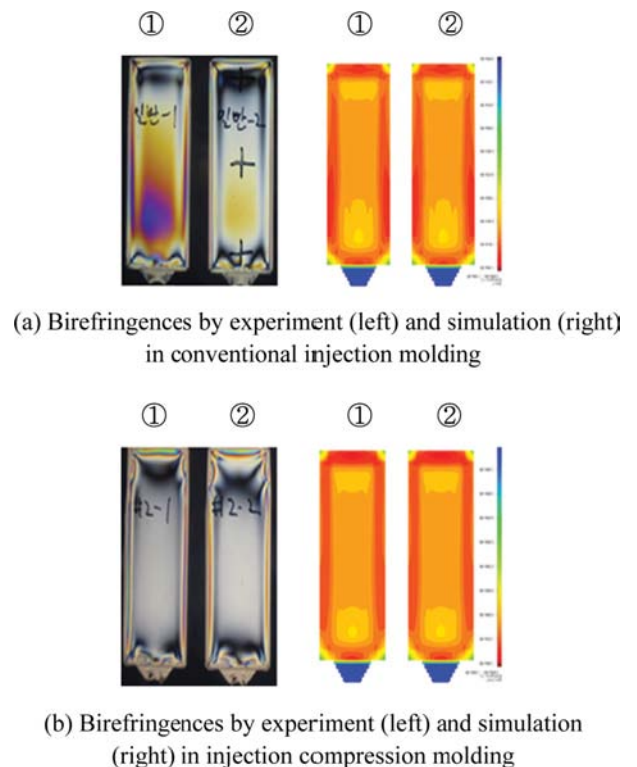


Figure 7. Comparison of birefringences for experiment and computer simulation for PC.

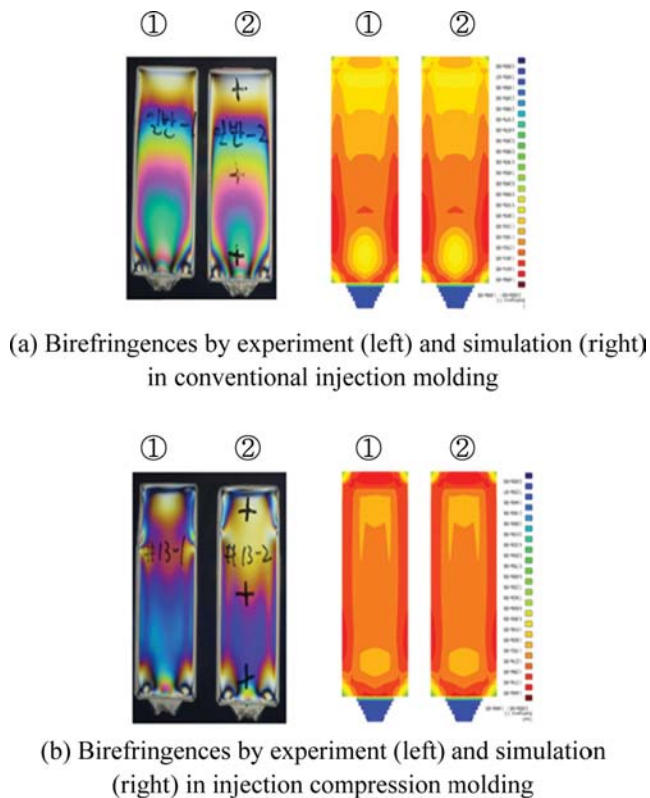


Figure 8. Comparison of birefringences for experiment and computer simulation for PS.

출성형에서는 31.65 MPa이고 사출압축성형에서는 26.91 MPa이다. 사출압축성형에서 일반사출성형에 비하여 캐비티내 압력이 약 4.74 MPa 낮게 예측되었다. 따라서 성형품이 받는 잔류응력도 작을 것으로 예측된다. 체적 수축면에서는 일반사출성형은 최대 9.877%, 사출압축성형은 최대 9.394%를 보이고 있다. 사출압축성형에서 일반사출성형에 비하여 체적 수축률이 최대 0.483% 적다. 일반사출성형에 비하여 사출압축

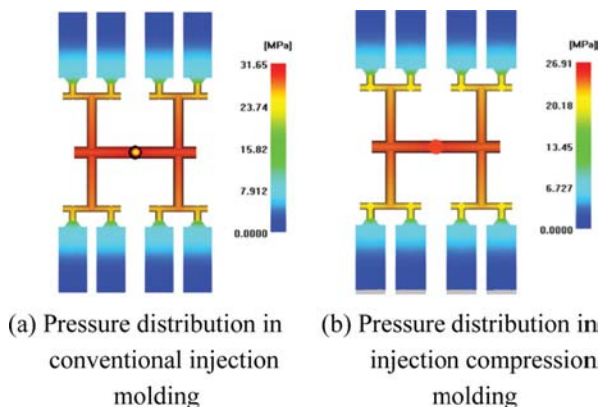


Figure 9. Comparison of pressure distributions in (a) conventional injection molding; (b) injection compression molding for PC.

성형에서 체적 수축률이 낮을 뿐 아니라 균일한 수축률을 보이고 있다. 따라서 일반사출성형에 비해 사출압축성형에서 치수정밀도가 좋을 것으로 판단된다.

PS에 대한 캐비티 내 압력과 제품의 수축률에 대한 해석 결과가 Figure 11과 Figure 12에 나타나 있다.

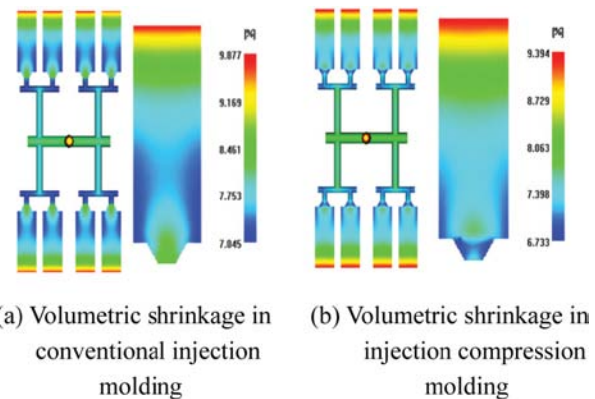


Figure 10. Comparison of volumetric shrinkages in (a) conventional injection molding; (b) injection compression molding for PC.

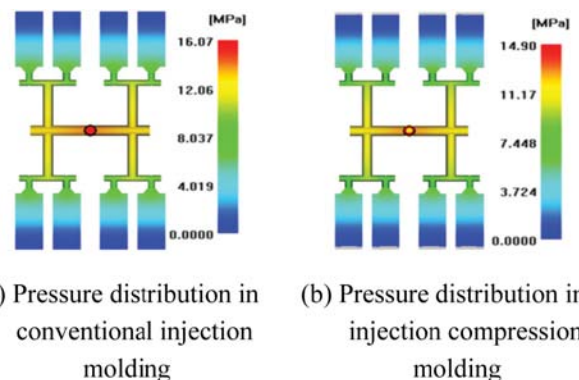


Figure 11. Comparison of pressure distributions in (a) conventional injection molding; (b) injection compression molding for PS.

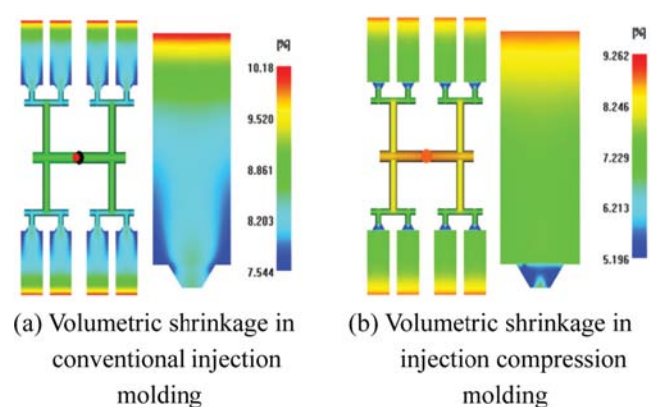


Figure 12. Comparison of volumetric shrinkages in (a) conventional injection molding; (b) injection compression molding for PS.

일반사출성형의 경우 제품이 받는 압력은 최대 16.07 MPa이었으며 사출압축성형에서는 최대 14.90 MPa이었다. 사출압축성형을 할 경우 일반사출성형에 비하여 제품이 받는 압력이 약 1.17 MPa로 낮게 예측되었다. 체적 수축률은 일반사출성형에서 최대 10.18%이며 사출압축성형은 최대 9.262%이었다. 사출압축성형이 일반사출성형에 비하여 수축률이 약 0.92% 더 낮아 치수 정밀도가 더 좋을 것으로 판단된다. 캐비티 내의 낮은 압력과 낮은 체적 수축률이 일반사출성형에 비해 사출압축성형의 큰 장점으로 판단된다.

실험에서는 다수 캐비티의 사출금형에서 일반사출성형은 캐비티간 편차가 있었으나 사출압축성형에서는 캐비티간 편차가 줄어들을 볼 수 있다. 그러나 해석에서는 그러한 세밀한 편차를 보여주지 못하고 있다.

결 론

본 연구는 PC와 PS를 이용한 실험과 해석을 통하여 다수 개 캐비티 금형에서 일반사출성형과 사출압축성형을 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

PC의 사출압축성형은 일반사출성형과 비교하였을 때 복굴절이 거의 나타나지 않았다. 또한 PS의 사출압축성형에서 복굴절이 적게 나타났다. 수지와 관계없이 일반사출성형에 비하여 사출압축성형의 복굴절이 적은 것을 알 수 있으며 균일한 압력이 분포되어있는 것을 알 수 있다. 실험과 해석 결과를 비교하였을 때 복굴절 패턴의 경향성이 유사한 것으로 판단된다. 광학적 특성을 필요로 하는 제품은 일반사출성형보다 사출압축성형 공법을 이용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

일반사출성형에서는 다수 개 캐비티 금형에서 캐비티간 충전 불균형이 나타나 캐비티간 복굴절 차이가 나타났으나 사출압축성형에서는 캐비티간 불균형이 현저히 줄어들었다. 따라서 다수 개 빼기 사출성형에서 나타나는 고질적인 문제인 캐비티간 품질편차를 사출압축성형을 통해 해소할 수 있음을 보여주고 있다.

감사의 글: 본 논문(연구)은 지식경제부의 지식경제 기술 혁신사업(WC-300) 지원으로 수행된 결과임.

참 고 문 헌

1. J. S. Hong, S. R. Park, and M.-Y. Lyu, *Polymer(Korea)*, **35**, 1 (2011).
2. J. P. Beaumont, J. H. Young, and M. J. Jaworski, *ANTEC*, **56**, 599 (1998).
3. R. T. Paszkowski and K. E. Garnavish, *ANTEC*, **60**, 3536 (2002).
4. J. A. Cypher and A. M. Neely, *ANTEC*, **61**, 3363 (2003).
5. M. A. Kang and M.-Y. Lyu, *Polymer(Korea)*, **32**, 501 (2008).
6. S. R. Park, J. H. Kim, and M.-Y. Lyu, *Polymer(Korea)*, **33**, 561 (2009).
7. M.-Y. Lyu and H. Kim, Korean Patent 10-1296355 (2013).
8. J. P. Beaumont, U.S. Patent 6,077,470 (2000).
9. J. P. Beaumont, U.S. Patent 6,503,438 (2003).
10. C. A. Wiechard, U.S. Patent 4,620,958 (2003).
11. N. Katsutoshi, Japaness Patent 0020563 (1993).
12. S. T. Won, T. B. Kim, S. Lee, J. M. Won, K. H. Cha, and M.-Y. Lyu, *Elastomers and Composites*, **47**, 341 (2012).