韓國精密工學會 2005 年度 春季學術大會論文集

미세패턴 성형을 위한 사출 압축 성형 공정 기술

유영은*(한국기계연구원), 김태훈(한국기계연구원), 김창완(서울산업대),
제태진(한국기계연구원), 최두선(한국기계연구원)

Injection/compression molding for micro pattern

Y.-E. Yoo(KIMM), T. H. Kim(KIMM), C. W. Kim(SNUT), T.J. Je(KIMM), D.S. Choi(KIMM)

ABSTRACT

The injection molding is very effective process for various plastic products due to its high productivity. It is also good for precise products like optical parts. Various thermoplastic materials are also available with this injection molding process. In recent, however, as the overall size of the product increases and micro or nano scale of patterns are applied to the products, we now have some problems such as low fidelity of the replication of the pattern, high molding pressure, or warpage from the in-mold stress. Injection/compression molding is studied to overcome those problems in molding large thin plate with micro pattern array on its surface. An injection compression mold is designed to 3 pieces mold for side gate. We install 4 pressure transducers and 9 thermocouples to measure the melt pressure and surface temperature in the cavity during the process. As a result, the maximum molding pressure for injection compression molding is reduced to 1/3 compared to injection molding and the uniformity of the pressure in the cavity is enhanced by about 15%.

Key Words : Injection/compression molding, micro pattern, molding pressure,

1. 서론

우수한 광학 특성이나 표면 특성을 보이는 다양한 형상의 미세 패턴은 최근 디스플레이 기기 분야와 같은 IT 산업의 급격한 발전과 바이오 혹은 나노 기술 분야에서의 신기술 개발과 병행하여 수요가 급격히 증가하고 있으며, 이에 대한 관심은 더욱 커지고 있다. LCD 주요 부품인 도광판이나 광학적 필름, CD 및 DVD 와 같은 광학적 저장 매체, 자기 세정 기능을 가진 기능성 표면 제품 등은 미세 패턴을 응용한 대표적인 제품으로 일부 제품은 이미 상당한 규모의 산업을 형성하고 있다. 이러한 제품의 많은 경우는 요구되는 광학 혹은 기계적 특성 그리고 경제성 등을 만족하기 위해 플라스틱 소재가 사용되고 있으며, 이와 더불어 생산성이 매우 우수하고 정밀 제품의 생산이 가능한 사출 성형 공정이 적용되고 있다.

앞에서 언급한 제품들은 제품의 형상의 관점에서 비교적 넓은 기판의 표면에 매우 작은 패턴이 대량으로 형성되어 있는 공통점을 지니고 있다. 또한 제품의 크기는 지속적으로 커지는 반면, 제품의 두께 및 표면에 설계되는 패턴의 크기는 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이러한 경향은 제품의 성형을 어렵게 하는 면이 있다.

사출 성형 공정은 용융된 높은 온도의 고분자 수지를 고압 고속으로 낮은 온도의 금형에 주입한 후 냉각하여 제품을 성형하게 되는데, 이러한 과정에서의 큰 온도차, 높은 압력 그리고 높은 사출 속도 등은 제품의 미성형, 잔류 응력 및 제품 변형 등 다양한 문제를 발생시키게 된다. 이러한 문제점은 제품의 두께가 얇아지고 크기가 증가함에 따라 더욱 커지게 되어 앞에서 기술한 바와 같이 점차 대면적화, 박판화 되는 제품의 사출 성형을 통한 생산을 매우 어렵게 하고 있다. 또한 제품의 대면적화 및 박판화로 인한 캐비티 내에서의 큰 압력 손실은 금형과 용융 수지의 온도 차이에 의한 성형 중 표면에서의 용융 수지의 고화와 함께 표면의 미세 패턴을 정확히 성형하는데 큰 걸림돌이 되고 있으며, 이로인한 패턴의 전사성 저하는 패턴의 크기가 작아질수록 더욱 큰 문제가 되고 있다. 특히 광학 제품과 같은 경우 금형에서 게이트의 수나 위치가 매우 제한적이어서 다수의 게이트를 사용하거나 제품 표면 위에 위치한 게이트 구조를 적용할 수 없어 이러한 문제는 더욱 커지게 된다. 따라서 대면적의 매우 얇은 기판위에 미세 패턴이 설계된 형태의 제품을 성형하기 위해서는 금형의 표면 온도를 높여 고화를 지연시키고[1,2,3] 성형 중 캐비티 내의 압력 분포를 보다 균일하게 하고 성형 압력을 감소시킬 수 있는 공정의 개발이 매우 필요하다.

현재 CD 혹은 DVD 등의 광학 저장 매체 제작 등에 적용되고 있는 사출 압축 성형은 성형 중 성형 압력 분포를 균일하게 하고 성형 압력을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다[4,5]. 사출 압축 성형 공정의 기존의 금형을 완전히 닫고 수지를 주입하는 사출 성형 공정에 비해, 금형을 완전히 닫지 않은 상태에서 수지를 일정량 주입한 후 금형을 완전히 닫으며 캐비티에 충전 된 수지를 압축하여 성형하는 공정으로, 초기 사출 시 금형이 일정 부분 열려있어 캐비티의 두께 증가로 성형 압력이 감소되며 이어지는 압축 공정에서는 제품 전체에 분산되어 가압되어 압력 분포가 균일해지고 최대 성형 압력이 감소하게 된다.

본 연구에서는 도광판과 같은 광학 부품의 성형 위해서 fan 게이트 구조를 가지는 사출 압축 금형을 설계/제작하였다. 또한 압력 및 온도 센서를 내장하여 성형 중 압력 및 온도의 변화를 실시간으로 측정할 수 있도록 하였으며, 사출기의 공정 모니터링 시스템과 병행 이용하여 사출/압축 공정을 분석하고 주요 공정 변수 규명 및 미세 패턴 제품의 최적 성형 기술 개발을 진행하고 있다.

2. 금형 제작 및 공정 실험

2.1 금형 설계 및 제작

미세 패턴 광학 부품의 사출 압축 공정 실험을 위해 Fig. 1 과 같은 fan 게이트를 적용한 1 캐비티의 3 단 금형을 설계/제작하였다. 미세 패턴이 가공된 금형 코아 부는 여러 종류의 패턴에 대한 성형 실험을 위해 9 개의 블록으로 나누어 제작하였다. 성형 중 수지의 압력 측정을 위해 4 개의 Dynisco 사 PT449 압력 센서를 금형의 이동 측 캐비티 면에 설치하였으며, 금형 표면의 온도 측정을 위해서 금형 고정 측의 9 개 분할 코어의 뒷면에 금형 표면으로부터 약 2 mm 정도의 깊이까지 구멍을 가공하여 온도 센서를 설치하였다. 성형 시편은 99mm x 99mm, 두께 1mm 의 정사각 평판으로 게이트는 시편의 모서리 부에 fan 게이트 형태로 설치하였다. 게이트 및 1 차 스프루를 금형의 중앙 부에 설계할 수 없어, 3 단 금형을 적용하였다.

2.2 사출 압축 성형 실험

제작된 금형을 이용하여 사출 압축 성형 공정의 주요 변수 규명 및 성형 결과에 대한 연관성을 분석하였다. 본 실험에는 스미토모 사의 50 톤 급 전동식 사출기인 SE50D 가 사용 되었다. 성형 수지는 미쯔비시사의 Polycarbonate HL4000 이 사용되었다.

일반적인 사출 성형 공정은 Fig. 2 에서와 같이 금형 닫힘, 사출, 보압, 냉각, 금형 열림, 취출의

과정으로 이루어지는 반면, 사출 압축 공정의 경우 금형 1 차 닫힘, 사출, 금형 2 차 닫힘, (보압), 냉각, 금형 열림, 취출의 과정으로 구성되어 사출 전후 금형 닫힘의 공정이 추가된다. 여기서 사출은 금형 1 차 닫힘 공정과 병행 진행 될 수 있으며, 사출이 시작된 이후 금형 닫힘의 압력이나 속도 등은 여러 단계로 조절 될 수 있다. 따라서 사출 압축 공정에서의 주요 공정 변수는 일반 사출 공정에서의 주요 변수인 사출 속도, 보압 절환 위치, 보압 및 보압 유지 시간 이외에 금형이 닫히는 도중 사출 시점, 즉 초기 캐비티 두께와 이후 압축 과정에서의 금형의 위치 및 유지 시간, 이송(금형 닫힘) 속도 및 압력 등이 추가되어 고려할 사항이 더욱 증가하게 된다[Fig. 3]. 본 실험에서는 성형에서의 또 다른 주요 변수인 공정 온도(용융 수지 온도) 및 금형 온도 등은 동일하게 유지한 후 사출 압축 공정에서의 새로 추가된 공정 변수의 영향을 중심으로 캐비티 내부의 압력 변화 및 사출품의 비교 를 통해 사출 압축 공정 및 사출 공정과의 차이점을 분석하였다.

3. 실험 결과

3 개의 위치에서 측정된 성형 중 금형 내압 결과를 사출 성형 및 사출 압축 성형 각각에 대해서 Fig. 4 에 나타내었다. 사출 성형의 경우 게이트에서의 최대 사출 압력은 140MPa, 금형내 최대 압력은 53MPa 인 반면, 사출/압축 성형의 경우 게이트에서의 최대 성형 압력은 50MPa, 금형내 최대 압력은 46MPa 이었다. 여기에서 알 수 있듯이 게이트 최대 성형 압력은 사출의 경우가 사출/압축 공정에 비해 3 배, 금형 내압의 경우 15% 정도 높은 결과를 보여주고 있다. 이는 제품의 모서리 부분에 게이트가 위치 해야 하는 요구 조건으로 인해 스프루 및 런너 부분의 유동 경로가 길어진 금형 구조에 대해서 성형이 진행됨에 따라 게이트에서의 성형 압력이 급격히 증가하는 일반 사출 공정을 적용하는 경우 스프루 및 런너에서 큰 압력 손실이 발생하기 때문으로 판단된다. 사출/압축 공정을 적용하는 경우 사출 동일한 금형 구조로 인해 어느 정도의 압력 손실을 피하기는 어려우나, 금형이 완전히 닫히지 않은 초기 사출 단계에서 유동 저항이 비교적 적어 상대적으로 압력 손실이 적으며, 특히 사출 공정에서 압력 손실이 급격히 증가하게 되는 성형 후반부에서 게이트에서 작용하는 사출 압력이 아닌 금형 닫힘에 의해 성형품 전체 면적에 균일하게 분산된 압축력에 의해 성형이 이루어져 최대 성형 압력의 급격한 증가 없는 성형이 가능하였다. 또한 Fig. 5 에서 볼 수 있듯이 성형 중 위치에 따른 금형 내압의 차이도 사출의 경우에 비해 사출/압축의 경우가 더 균일한 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 성형품의 잔류 응력이나 사출 변형 감소에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 박형의 대면적 미세 패턴 제품 성형을 위한 사출 압축 성형 기술 개발을 위해 사출 압축 성형 금형을 설계 제작하고, 성형 중 금형 내압 및 성형 압력의 측정 분석을 통해서 사출 성형 공정에 비해 성형 압력이 및 균일도가 개선된 공정 결과를 얻을 수 있었으며, 사출 압축 성형 공정 주요 변수 및 기본적인 특성 분석이 가능하였다. 이를 기반으로 향후 패턴의 전사성 향상을 위한 금형 개선 및 공정 최적화에 대한 연구가 필요하다.

후기

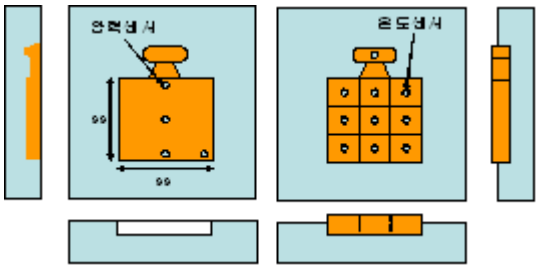
본 연구는 핵심 연구개발 사업인 “ 대면적 미세 형상의 초정밀/지능화 가공 원천 기술 개발 사업“ 의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

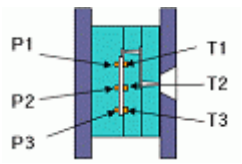
1. Donggang Yao and Byung Kim, "Increasing flow length in thin wall injection molding using a rapidly

heated mold," Polymer-Plastics Technology and Engineering, Vol. 41, No.5, pp. 819-832, 2002

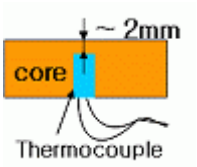
2. Kim Dong-hak, Kang Myung-ho, Chun Y.H, " Development of a New Injection Molding Techonology : Momentary Mold Surface Heating Process," Journal of Injection Molding Technology, Dec, 2001
3. 강신일, “ 마이크로/나노 고분자 복제를 위한 나노몰드 표면 온도 제어기술,” 기계저널, 제 44 권, 제 12 호, pp. 34-38, 2004
4. Dan Barrows, Peter Hoeck, Chris Cooper "Thin wall molding : achieving longer flow lengths and decreased internal stress with injection-compression molding," ANTEC 2003 pp. 484-487, 2003.
5. Bingfeng Fan, David O. Kazmer, Richard P. Theriault and Andrew J. Poslinski "Simulation of Injection-compression molding for optical media," Polymer Engineering and Science, Vol. 43, No. 3 pp. 596 - 606, 2003



(a) plan view of mold cavity and core

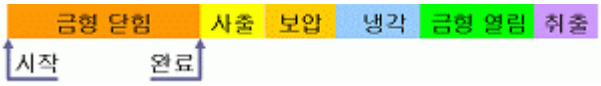


(b) side view of mold



(c) thermocouple installation

Fig. 1 Schematic of injection/compression mold



(a) Injection molding process

(b) Injection/compression molding process

Fig. 2 Cycle of molding process

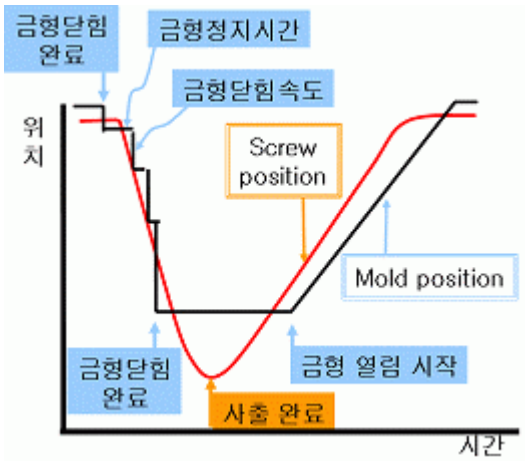
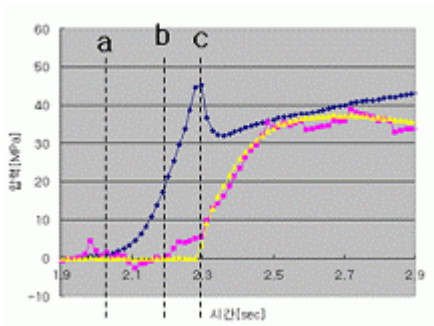
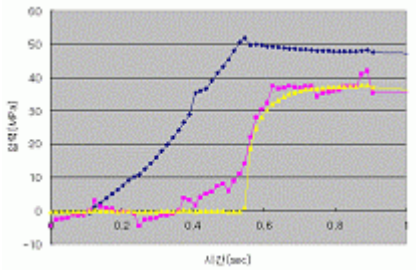


Fig. 3 Process parametersfor injection/compression molding



(a) injection/compression molding



(b) injection molding

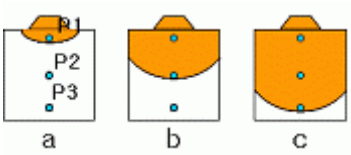
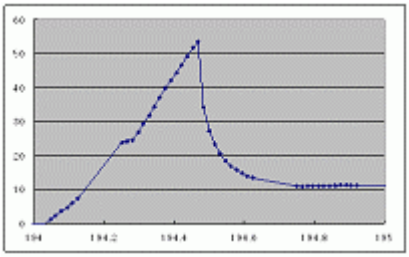
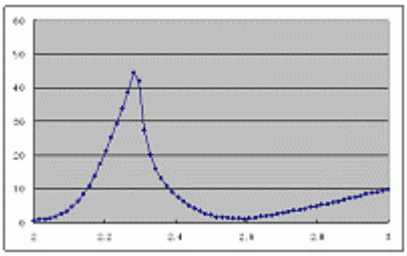


Fig. 4 Cavity pressure during the process



(a) injection molding



(b) injection/compression molding

Fig. 5 Pressure difference in the cavity

(Pmax - Pmin)