

미세 구조물의 충전에 관한 실험 및 수치해석

이재구*, 이봉기, 권태현 (포항공과대학교 대학원 기계공학과)

Experimental & Numerical Result of the filling of Micro Structures in Injection Molding

J. G. Lee, B-K Lee, T. H. Kwon (Mech. Eng. Dept. POSTECH)

ABSTRACT

Experimental and numerical studies were carried out in order to investigate the processability and the transcriptability of the injection molding of micro structures. For this purpose, we designed a mold insert having micro rib patterns on a relatively thick base part. Mold insert has a base of 2mm thickness, and has nine micro ribs on that base plate. Width and height of the rib are 300 μm and 1200 μm , respectively. We found a phenomenon similar to “race tracking”, due to “hesitation” in the micro ribs. As the melt flows, it starts to cool down and melt front located in the ribs near the gate cannot penetrate further because the flow resistance is large in that almost frozen portion. When the base is totally filled, the melt front away from the gate is not frozen yet. Therefore, it flows back to the gate direction through the ribs. Consequently, transcriptability of the rib far from the gate is better. We also verified this phenomenon via numerical simulation. We further investigated the effects of processing conditions, such as flow rate, packing time, packing pressure, wall temperature and melt temperature, on the transcriptability. The most dominant factor that affects the flow pattern and the transcriptability of the micro rib is flow rate. High flow rate and high melt temperature enhance the transcriptability of micro rib structure. High packing time and high packing pressure result in insignificant dimensional variations of the rib. Numerical simulation also confirms that low flow rate causes a short shot of micro ribs and high wall temperature helps the filling of the micro ribs.

Key Words : Micro injection molding (미세사출성형), Micro structure (미세구조물)

1. 서론

최근 MEMS 기술의 발달과 더불어 다양한 미세 구조물의 대량생산기술에 대한 관심이 커져 가고 있다[1]. 미세사출성형, 미세사출/압축성형 및 핫 엠보싱 등의 여러 가지 복제기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 미세사출성형의 경우, 다른 기술에 비해 뛰어난 생산성 및 가격 경쟁력을 가지고 있어, 미세사출성형 기술을 이용한 미세구조물의 대량생산에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 미세사출성형은 제작되는 성형품의 형상에 따라 크게 두 가지로 구분될 수 있는데, 사출품의 부피가 수 cc 이하의 아주 작은 경우 (micropart)와 상대적으로 큰 형상위에 미세한 구조물이 존재하는 경우(microstructure)가 있다. 전자의 경우에는 미세사출성형 전용 사출성형기가 많이 개

발되어 제품으로 판매되고 있다. 후자의 경우에는 대표적으로 CD, DVD 및 도광판 같은 제품들이 있으며, 이 경우 기존의 범용 사출성형기를 그대로 이용할 수 있다. 특히 관련기술의 발달과 함께 저장 매체의 용량이 커지면서 미세형상의 크기도 줄어들고 있다. 본 연구에서는 상대적으로 두꺼운 평판 위에 마이크로 리브가 위치하는 후자 경우의 사출 성형에 초점을 맞춘다.

2. 실험

본 연구를 수행하기 위하여 Fig. 1 에 나타난 미세형상을 성형할 수 있는 mold insert 를 제작하였다. 방전가공을 이용하여 2mm 의 두께를 가지는 평판이 존재하고 그 위에 폭 300 μm , 높이 1200 μm , 길이 25mm 의 rib 이 9 개 존재하는 몰드인서트를 제작하였다. Rib 이 존재하는 부분의 몰드인서트는

금형의 상판에 부착되는데 회전이 가능하도록 디자인되어있기 때문에, rib 은 수지의 유동방향과 평행하게도, 그리고 수직하게도 성형이 가능하다. 제품의 취출을 원활하게 하기 위하여 평판의 가장자리 부분이 더 튀어나오게 금형 하판을 디자인하였다. 결과적으로 바깥쪽의 두께가 두꺼운 것과 같은 효과를 보이면서 바깥쪽의 유동선단이 가운데보다 더 빠르게 전진하고 Fig. 4 에서처럼 바깥쪽의 rib 이 가운데 rib 보다 더 많이 충전되는 결과를 보이게 되었다.

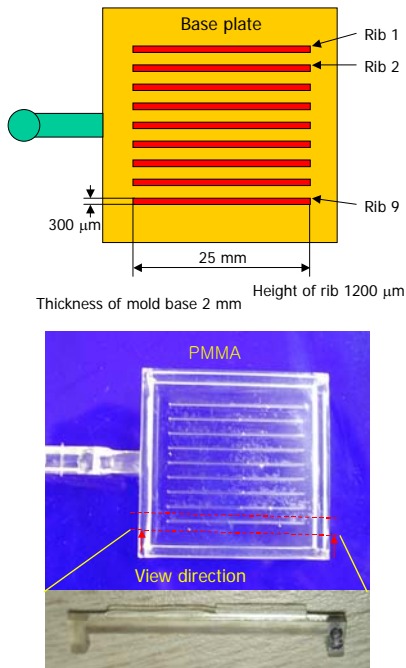


Fig. 1. Schematic view of the micro structure and injection molded sample.

Table 1 에 이번 실험에 사용한 공정 변수들과 그 기준 값과 변화 값을 나타내었다. 본 연구에 사용된 공정조건은 사출속도, 보압크기, 보압시간, 수지온도, 금형온도 등의 5 가지 이다. 사출성형시 한 가지 공정변수의 값을 변화시킬 때, 다른 공정변수의 값은 기준값으로 고정된다. 성형에는 SIMITOMO 사의 SE50D 사출기를 사용하였고 수지는 PMMA 를 사용하였다.

Table 1. Reference processing condition & variations

| | Reference | Variations |
|--------------------------------------|-----------|------------|
| Injection speed (cm ³ /s) | 10 | 5, 15 |
| Packing pressure (MPa) | 10 | 20 |
| Packing time (s) | 1 | 0, 3 |
| Melt temperature (°C) | 230 | 210, 250 |
| Coolant temperature (°C) | 60 | 50, 74 |

3. 수치해석

본 연구에서는 치수의 차이가 큰 두 형상이 함께 존재하는 미세사출성형 성형품에 대한 해석시스템을 개발하였다. 개발된 미세사출성형 해석시스템은 전체 성형품을 그 치수가 밀리미터 단위로 상대적으로 두꺼운 그라운드 플레이트(ground plate)와 마이크로 단위의 치수를 가지는 미세형상(microstructure)로 나누는 영역분할을 기반으로 한다 (Fig. 2).

그라운드 플레이트의 경우, 일반적인 사출성형 공정에서 성형되는 제품과 유사하기 때문에 사출성형 혹은 사출압축성형 등의 공정해석에 주로 사용되는 GHS(Generalized Hele-Shaw)모델을 적용하였다. 이와는 달리 미세형상의 충전 해석은 미세구조물의 형상에 따라 GHS 모델을 이용한 준 3 차원 해석 또는 완전 3 차원 해석 등을 적용할 수 있다. 즉, 종횡비(aspect ratio)가 큰 미세구조물은 준 3 차원 해석을 적용할 수 있으며 마이크로 렌즈와 같은 성형품의 경우 완전 3 차원 해석을 적용하여 성형공정을 해석할 수 있을 것이다. 본 연구에서 개발한 수치해석 시스템은 미세형상에 대해서도 그라운드 플레이트와 같이 GHS 모델을 적용하였다.

개발된 해석시스템은 그라운드 플레이트의 경우 충전/보압/냉각 과정을 포함한 전 사출성형 공정에 대한 해석을 수행하며[2, 3], 미세형상의 경우 충전 과정에 대한 해석만을 수행하였다.

본 수치해석 시스템에서는 유동의 해석을 위하여 그라운드 플레이트에서의 압력 값, 그리고 온도의 해석을 위해서 총괄온도(bulk temperature)의 값을 미세구조물의 해석에 경계조건으로 이용하였다. 이와 같은 미세구조물의 경계조건 도입 과정에서는 내삽(interpolation) 혹은 외삽(extrapolation) 방법을 이용하여 적절한 경계조건 값을 결정하여야 한다.[4]

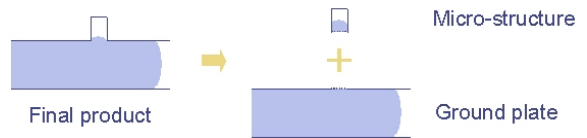


Fig. 2. Concept of the domain decomposition analysis

4. 결론

Fig. 3 에 micro rib 의 충전과정에서 일어난 현상을 사진과 모식도로 나타내었다. 사출 성형 공정에서 종종 발생하는 hesitation 과 racing tracking 현상 [5]을 micro rib 의 충전과정에서도 확인 할 수 있었

다. 우선 수지가 게이트를 통과하고 나면 곧 rib 와 만나는데 수지는 상대적으로 두꺼운 평판을 먼저 채우고 rib 부분은 거의 채우지 못한다. 이렇게 진행한 수지가 평판을 다 채운 후 rib 을 채우게 되는데, 이를 hesitation 이라 한다. 이 때 게이트에 가까운 부분은 이미 수지가 냉각이 되어 더 진행하지 못하고 게이트에서 먼 부분의 수지는 아직 뜨겁기 때문에 더 많이 흘러 들어가게 되고 race tracking 과 유사한 현상이 발생한다. 이 때 발생한 웰드라인이 Fig. 3 에 나타나 있다. 그러나 첫번째와 마지막 rib 의 게이트 가까운 부분에서 이와는 반대의 현상이 보이는데, 이 현상은 더 많은 연구를 필요로 한다.

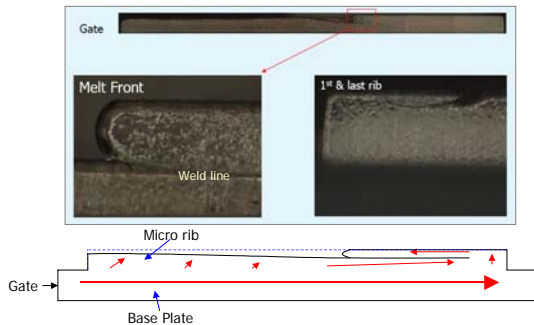


Fig. 3. Flow behavior during the filling of micro rib

Fig. 4 에 기준 공정 조건으로 사출된 제품을 rib 의 방향으로 절단하여 나타내었다.



Fig. 4. Filling pattern of micro rib produced with reference condition

어떠한 rib 을 살펴봐도 게이트에서 가까운 곳은 먼 곳에 비해 잘 채워지지 않은 것을 확인할 수 있다. 그리고 앞서 언급되었던 것처럼 바깥쪽의 rib 이 더 잘 충전되는 것을 볼 수 있다.

본 연구 결과에 따르면 사출속도가 미세형상 부품의 충전에 아주 큰 영향을 끼치는 것을 볼 수 있었다. 빠른 사출 속도는 평판을 더 빨리 채울 수 있게 하고, 그 때 게이트에 가까운 rib 은 아직 냉각되기 전이다. 따라서 보통의 조건에서 볼 수 있었던 race tracking 현상은 나타나지 않았고 모든 rib 이 다 채워지는 것을 볼 수 있었다. 보압의 영향을 살펴보면, 보압 시간, 보압 크기 둘 다 큰 영향은 없

는 것으로 나타났다. 이는 이미 언급한 것처럼 보압과정이 시작할 때는 이미 rib 에 있는 수지는 냉각되어있으므로 보압을 더 주거나 더 오래 주어도 큰 영향이 없는 것으로 보인다. 만약 사출속도가 변하여 평판이 다 채워진 후에도 rib 에서의 수지가 냉각되지 않는 속도가 된다면, 보압의 영향이 다소 나타날 것으로 예상된다. 수지의 온도는 어느 정도 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 보통의 사출성형에서 수지온도의 변화시킬 수 있는 범위는 그리 크지 않으므로, 수지온도는 큰 영향을 끼친다고는 보기 어렵다. 금형온도의 영향은 작은 것으로 보인다. 그러나 금형의 온도를 유리전이온도 근처까지 올린다면 어떠한 현상이 나타날지는 앞으로 더 연구해야 할 것이다.



Fig. 5. Injection speed 5cm³/s(left) and 15cm³/s(right)

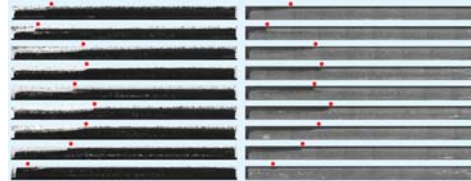


Fig. 6. Packing pressure 10MPa(left) and 20MPa(right)

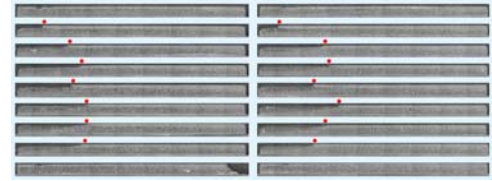


Fig. 7. Packing time 0s(left) and 3s(right)

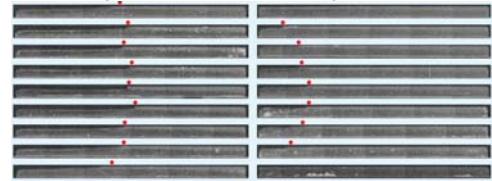


Fig. 8. Melt temperature 210°C(left) and 250°C(right)

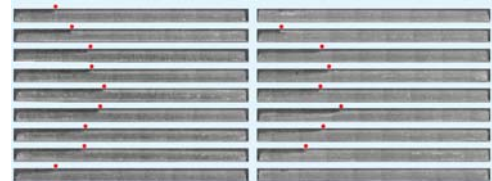


Fig. 9. Coolant temperature 50°C (left) and 76°C (right)

수치해석에서도 hesitation 과 race tracking 이 발생하는 것을 Fig. 10 에서 확인할 수 있다.

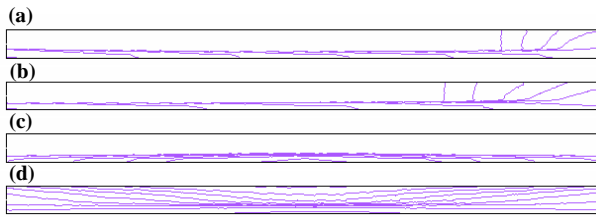


Fig. 10. Detailed filling patterns for micro-ribs (a) Center location / Parallel flow direction (b) Side location / Parallel flow direction (c) Front location / Perpendicular flow direction (d) Back location / Perpendicular flow direction

후 기

본 연구는 산업자원부 핵심기술개발사업(2000-N-NL-01-C-148)의 지원하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Heckeke, M. and W.K. Schomburg, 2004, Review on micro molding of thermoplastic polymers, J. Micromech. Microeng., 14, R1-R14
2. Hieber, C. A. and Shen, S. F., 1980, "A finite-element/finite difference simulation of the injection-molding filling process," J. Non-Newton. Fluid, Vol. 7, pp.1~32.
3. Chiang, H. H., Hieber, C. A. and Wang, K. K., 1991, "A unified simulation of the filling and postfilling stages in injection molding. Part I: Formulation," Polym. Eng. Sci., Vol.31, pp.116~124.
4. Lee, B.-K. and Kwon, T. H., 2004, "Numerical study on micro injection molding of high aspect ratio microstructures," 20th Annual Meeting of Polymer Processing Society.
5. C-MOLD DESIGN GUIDE, 1999, C-MOLD, Ithaca, NY, U.S.A