

다공성 액정고분자 박판의 사출성형 전산모사

정만석, 김성훈

한양대학교 섬유고분자공학과, 기능성고분자신소재 연구센터

Simulation of liquid crystal polymer injection molded parts with thin wall and multi holes

Man Suk Chung and Seong Hun Kim

Department of Fiber & Polymer Engineering,

Center for the Advanced Functional Polymers, Hanyang university,

Seoul 133-791, Korea

1. 서 론

최근 정보통신 산업의 급속한 발전으로 이동 통신용 단말기 및 반도체 칩 캐리어 등의 플라스틱 부품의 초소형 경량화 요구가 증대되고 있다. 미세 사출성형용(micro injection molding) 박판의 사출을 위한 미세사출 성형 고분자 재료는 매우 우수한 용융 유동 특성을 가져야 하고, 반도체나 소형 엔지니어링 부품으로 사용하려면 높은 인장강도, 충격강도 및 치수안정성을 가져야 한다. 우수한 품질의 미세사출 성형품 제조를 위한 최적 가공 변수의 예측은 그 중요도를 더해 가고 있고 적절한 수치해석과 전산모사에 의해 그 정확도를 증가할 수 있다. 본 연구는 사출성형용 전산모사 프로그램인 Moldflow를 이용한 미세사출 성형 CAE (Computer-aided engineering) 전산모사를 실행하였다. 본 연구에 사용된 모델은 규칙적이고 조밀한 직사각형 천공이 있는 박판으로, 그 해석 결과는 정보통신장비의 소켓, chip carrier 등의 부품 등에 활용할 수 있다. 본 연구에 사용된 모델은 45 mm × 37 mm의 직사각형 평판으로 2 mm × 1 mm의 직사각형 구멍이 가로 2 mm, 세로 1 mm 간격으로 뚫려 있다. 특히 열방성 액정고분자는 용융 유동성이 매우 우수하고 낮은 열팽창 계수를 갖고 있어 보다 정밀한 사출성형물을 생산할 수 있고, 낮은 warpage 발생과 낮은 열수축율을 가지며, 매우 복잡한 형상의 정교한 사출성형물을 만들 수 있는데, 본 연구에서는 CAE를 이용하여 다공성 액정 고분자 박판의 각 부분에서의 점성, 전단율 등 유동특성을 파악하여 액정 고분자의 복잡한 형상에서의 사출 우월성을 평가하였다.

2. 이 론

본 연구에서는 Tadmor 등의 'fountain flow mechanism'을 도입하여 용융액이 금형의 캐비티로 유입될 때의 유동상태를 파악하였다. 또한 전단율이 낮은 영역에서 점

도의 modeling을 증진시키기 위한 Moldflow사의 Moldflow second model을 이용한 점도이론을 도입하였고, 점성 데이터의 회귀분석(Extrapolation)과 No-flow temperature이론을 도입하여 캐비티내 각 mesh에서의 점도와 전단율, 온도분포 형상을 전산모사 하였다.

3. 전산모사결과 및 고찰

본 연구에서 *Figure 1*과 같이 45 mm × 37 mm규격의 직사각형 두께 0.5 mm의 얇은 판에 2 mm × 1 mm의 구멍을 등간격으로 천공하여, *Figure 2*와 같이 해석을 위하여 요소(element)로 분할하였다. 재료는 나일론과 액정 고분자를 각각 사용하였는데, 액정고분자는 Ticona 사의 A130(glass 30 % 포함)을 사용하였다. 사출시의 전단율과 점성등은 유동조건에 많은 영향을 주므로, 전산모사된 제품의 각 요소에서의 온도, 속도, 전단율, 점성등의 분포곡선을 판독하여 유동상태를 파악해 보고, 제품의 크기와 형상, gate의 위치와 개수 등을 결정하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 사출성형물의 각 요소를 sampling하여 각 요소의 전단율과 점성 곡선을 전산모사를 통해 알아보고, 유동조건과 게이트의 위치등에 대해 고찰하고자 한다. 각 element로 분할되어 sampling 하고자 하는 곳의 element number는 *Figure 1*에 나타냈고, 우선 gate 1을 통하여 사출하였을 때 가장 극심한 전단율이 발생하는 것은 *Figure 3*과 같이 용융액이 투입되는 gate 1의 바로 앞쪽이다 (Element number 28). 이 때에 전단율의 최고치는 40000 1/s이 되고, 높은 전단과 마찰열로 인하여 점도는 300 Pa · s에서 시작하여 최고전단율을 나타내는데, 점성은 거의 0 Pa · s에 가깝다.(*Figure 4*) Gate의 바로 앞쪽이기 때문에 고화층은 두께 (0.5 mm)의 20 %을 유지하며 용융액이 유입되고 있다. 이것을 보면 금형 공극 내부로 용융액이 들어 갈 때 고분자 체인은 런너(runner)와 캐비티(cavity)에서 매우 큰 전단력을 경험하게 되고, 이 때 용융된 고분자 사슬들은 이 전단력으로 말미암아 흐름 방향으로 배향을 하게 된다. 따라서 초기의 용액의 온도가 높을수록 낮은 점도를 갖기 때문에 낮은 전단력을 받아 초기 배향이 낮게 형성되며, 또한 온도가 높으면 더 긴 시간동안 고분자의 완화가 일어나며 더 큰 운동성으로 인해 빠른 완화가 진행된다. 용융액이 충전되면서 element number 1010, 784, 253 각각의 전단율과 점성을 표로 나타내면, *Table 1*과 같은데 이것을 통하여 보면 gate1과 가까운 element 28에서는 전단율이 극심한데, 충진이 진행될수록 각 요소에서의 최고 전단율은 낮아지고, 점성이 증가됨을 알 수가 있다. 보통의 열가소성 수지는 전단율(shear rate)이 증가할수록 점도는 감소하는데, 이것은 마찰열의 증가에 따라 점도가 감소하는 것이다. 보통 고분자의 적당한 점성의 범위는 10 ~ 800 Pa · s의 범위인데, element 1(*Figure 5*)의 점성의 범위는 너무나 커서 자칫 잘못하면 “short shot”이나 강도면에서 취약해 지기 쉽다. 그러나 gate의 위치를 바꾸어 gate2(제품의 중심부근)에서 충전하면, 이 때의 전단율과 점성은 *Figure 6* 과 같아서 비교적 양호한 점성상태를 유지하게 된다.

4. 결 론

다공성 박판의 사출성형물 제조에 있어, nylon등의 범용 고분자재료는 short shot 현상이 일어나 적절치 못한 재료 이었고, 열방성 액정고분자를 사용하면 미세 사출성형이 원만하게 이루어 졌는데, gate로부터 가까운 곳에서는 전단율이 최대 40000 1/s에서 시작하여 gate에서 멀어질수록 1900 1/s까지 감소하였으며, 고화층은 30~50%로 충전시에는 단면저항으로 인한 비교적 높은 사출 압력이 필요하였다. 성형물의 두께가 증가할수록, 사출성형품 두께에서 고화층이 차지하는 비중은 적어지고, 충전압력은 낮아지지만 두께가 얇은 사출성형 품일수록 고화층이 두꺼워지기 때문에 점도에 따라 쉽게 short shot 현상이 발생할 수가 있었다. 특히 횡단면 끝방향인 element 1에서는 전단율이 9 1/s 정도로 떨어졌고, 점도는 최대 3000Pa·s 까지 상승하며 고화층도 70 %나 되어 원활한 충진이 이루어지지 않기 때문에 이곳에서의 수축을 증가와 강도저하가 문제가 되었다. 그러므로, 게이트의 선정에 있어서 충전유로를 고려해야 하는데 박판의 중심위치인 gate2를 통하여 충진을 하면 원만한 전단율과 점성을 얻을 수 있으므로 박판성형에 있어서는 제품의 중심에 게이트를 선정하는 것이 바람직하였다.

5. 참고문헌

- 1) M. R. Kamal, Y. Kuo, and P. H. Doan, *Polym. Eng. Sci.*, **15**, 863 (1975).
- 2) S. Cha and F. S. Lai, *ANTEC*, p.739, (2000).
- 3) R. S. Spencer and G. D. Gilmore, *J. Collid Sci.* **6**, 118 (1950).
- 4) Peter Kennedy, "Flow Analysis of Injection Molds", pp.6~24, Hanser, 1995.
- 5) "Mold flow training manual" , Mold Flow, 1999.

Table 1. Shear rate, viscosity, and frozen layer of each element

| Element Number | Shear rate range (1/s) | Viscosity range (Pa·s) | Frozen layer (%) |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------|
| 28 | 0 ~ 40000 | 300 ~ 0 | 30 |
| 1010 | 0 ~ 30000 | 300 ~ 0 | 50 |
| 784 | 0 ~ 2500 | 450 ~ 30 | 50 |
| 253 | 0 ~ 1900 | 500 ~ 100 | 30 |
| 1315 | 0 ~ 100000 | 720 ~ 0 | 10 |
| 1 | 0 ~ 9 | 3000 ~ 1000 | 70 |

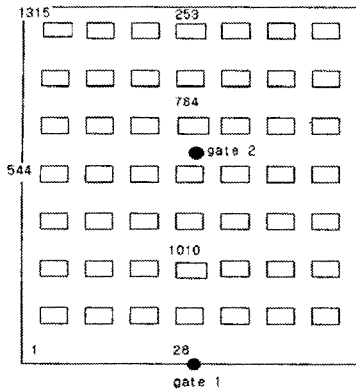


Figure 1. Elements of sampling for simulation and location of gates.

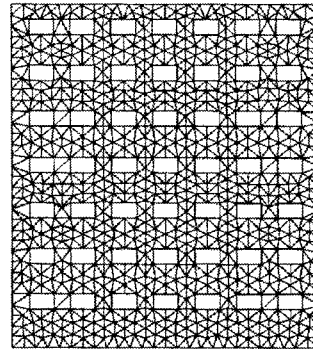


Figure 2. Shape of thin wall (divided elements).

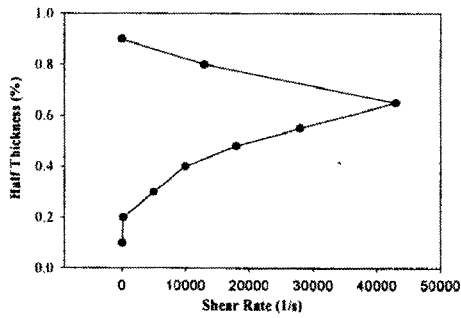


Figure 3. Shear rate distribution across the cavity (Gate 1, Element 28).

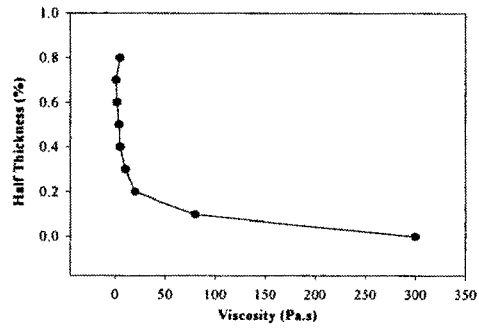


Figure 4. Viscosity distribution across the cavity (Gate 1, Element 28).

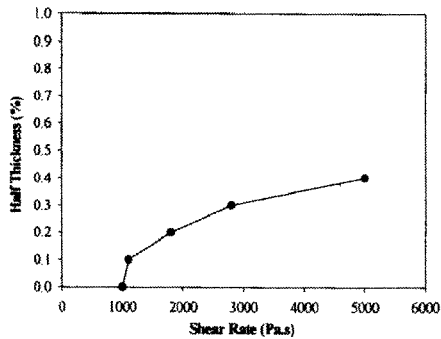


Figure 5. Viscosity distribution across the cavity (Gate 1, Element 1).

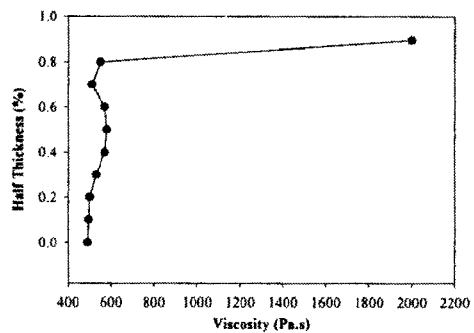


Figure 6. Viscosity distribution across the cavity (Gate 2, Element 1).