

# 핫러너 금형에서 캐비티사이의 충전불균형 현상에 관한 연구

한성렬\*(부경대 기계공학부 대학원), 정영득(부경대 기계공학부)

## A Study on the Filling Imbalances between Multi-Cavity in Hot-Runner Mold

S. R. Han(Graduate School of Mech. Eng. Dept., PKNU), Y. D. Jeong(Mech. Eng. Dept., PKNU)

### ABSTRACT

Plastic parts are molded for the purpose of mass production in multi-cavity system. Therefore, designer is usually designing molds that has geometrically balanced runner lay-out for filling balance at each cavities. Although, mold is manufactured with geometrically balanced runner lay-out, there are actually filling imbalances in cavities. These filling imbalances phenomenon are caused by complicated interaction between melt and mold. In this study, based on previous studies for filling imbalances in cold-runner mold, filling imbalances in hot-runner mold were investigated by CAE and injection molding experiments. ABS, PMMA as amorphous polymer and PA, PP as crystalline polymer were used to compare the filling imbalances. The filling imbalances decreased as injection rate increased without regard to kind of resins and were lower than the one of cold-runner.

**Key Words :** Filling imbalance(충전불균형), Hot-runner(핫러너), Cold-runner(콜드러너), Amorphous polymer(비결정성 수지), Crystalline polymer(결정성 수지)

### 1. 서론

플라스틱 제품의 대량 생산을 위해서는 금형상에 다수 캐비티(multi-cavity) 시스템을 채택하여 성형하고 있다. 다수 캐비티 시스템을 적용할 때 설계자는 모든 캐비티에 동일한 충전을 발생시키기 위해서 기하학적으로 균형잡힌 러너 시스템을 설계한다. 그러나 균형잡힌 러너시스템을 갖는 금형으로 실제 사출성형을 해보면 캐비티에 충전불균형이 이루어 지는 것을 볼 수 있다. 충전불균형 상태에서 성형된 제품은 그 형태는 동일할 지라도 치수 정밀도(dimension accuracy), 잔류응력(residual stress), 기계적 강도(mechanical strength) 등이 서로 다른 제품이 되며, 제품 불량률의 원인이 된다. 이러한 충전불균형 현상은 러너를 흐르는 용융수지가 지닌 유동특성에 의해서 발생하는 현상으로 알려져 있다. 특히, 수지의 불균형충전은 사출성형시 수지와 금형의 상호작용에서 오는 여러 요인이 복합적으로 작용하여 생기는 현상이다. 이러한 현상에 대하여 처음으로 연구가 시작된 것은 1997년으로 Beaumont와 Young<sup>1</sup>에 의한 것이 최초라 할 수 있다. 그들을

캐비티의 충전불균형은 수지가 유동하면서 금형의 러너내에서 일어나는 전단에 기인한 점도변화와 전단가열에서 오는 수지유동의 근원적인 문제로 규정하였다. 또한, Beaumont와 Boell<sup>2</sup>은 이러한 불균형 충전은 기하학적으로 균형 잡힌 콜드러너(cold-runner) 금형에서 뿐만 아니라 핫러너(hot-runner) 금형에서도 발생한다고 하였다. 그리고, 국내에서는 본 저자들의 연구<sup>3,4,5</sup>에서 충전불균형에 대한 구체적인 실험연구와 그것을 방지하기 위한 금형구조 등에 관한 연구결과를 볼 수 있다.

본 연구에서는 저자들의 콜드 러너 금형과 3매 구성 금형에서의 충전불균형 연구결과를 바탕으로 핫러너 금형에서 발생하는 충전불균형 현상에 대하여 고찰하였다.

### 2. 전단을 변화에 의한 충전불균형

Fig. 1에서 1차 러너(primary runner) 내에 흐르는 수지의 러너 중심부와 반경부의 유동상태는 불균일한 전단을 분포에 의해 서로 다르게 나타난다. 러너 외경부의 고화층 아래를 따라 흐르는 수지의

전단율( $\dot{\gamma}_r$ )은 러너 중심부를 따라 흐르는 수지의 전단율( $\dot{\gamma}_c$ )보다는 크게 된다. 전단율이 크게 되면 Cross 점도모델<sup>6</sup>에서 보는 것과 같이 점도는 감소하게 되므로 수지의 유동성을 증가시키는 요인이 된다. 또한 전단율이 커짐에 따라 상대적으로 전단 마찰열 또한 발생하게 되므로, 이는 러너벽면의 고화층 아래의 수지의 유동성을 더욱 크게 하여, 점도와 유동성에 불균형을 이루게 될 것이다. 따라서 러너의 외측반경부의 유로를 따라 흐르는 유동성이 좋은 수지에 의해 충전되어지는 cavity 1은 중심부의 흐름에 의해 충전되는 cavity 2보다 충전량이 커지게 된다.

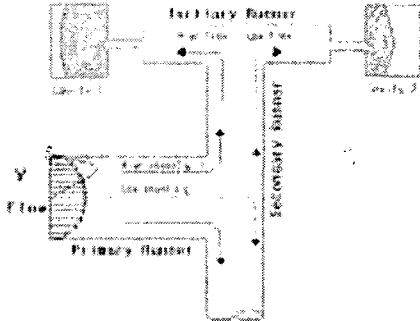


Fig. 1 Variation of shear rate in runner

콜드러너 금형에서 용융수지의 흐름 특성에 기인한 전단율 변화에 의해 발생하는 충전불균형 현상은 핫러너 금형에서는 상대적으로 크게 발생하지 않는다. 이는 콜드러너의 경우, 수지가 흐르는 동안 수지온도 보다 차가운 러너벽면에 의해 고화층이 형성되면서 러너 외경부와 중심부의 전단율 차이가 크게 나타나지만, 핫러너에서는 수지가 러너 내부에 항상 고화층이 생기지 않는 용융상태로 있으므로 수지 내부의 전단율 분포는 콜드 러너에 비해 적게 나타나기 때문이다.<sup>7</sup>

Fig. 2는 본 연구에 사용된 핫러너와 캐비티의 배열을 간략하게 나타낸 것이다. 앞에서 설명한 이론에서 볼 때 더 많은 수지가 충전되는 캐비티는 스프루(sprue)와 가까운 1과 2가 될 것이다.

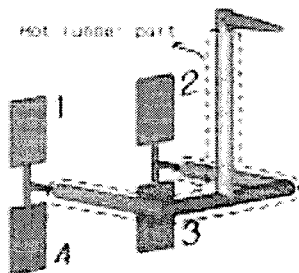


Fig. 2 Runner and cavity lay-out in experimental mold

### 3. 충전불균형 실험

충전불균형 실험에 사용된 금형은 크기가 440×600×400이며, 핫러너(hot-runner)<sup>8</sup>와 기하학적으로 균형을 갖춘 러너 배열이 이루어진 8 캐비티로 구성되어있다. 성형 실험에 사용된 수지는 비결정성 수지 중 LG Chemical사의 ABS HG-173과 PMMA 1H830을 사용하였으며, 결정성 수지로서는 BASF사의 PA6 B3K, LG Chemical사의 PP M580로 모두 네 가지 수지를 사용하였다. 수지의 성형온도는 유동 시뮬레이션에서 적용되었던 성형조건을 그대로 사용하였으며, 사용한 사출성형기는 LG 기계에서 제작한 140톤 사출성형기(LGH140N)를 사용하였다.<sup>9</sup> 그리고 Fig. 3은 충전불균형 실험을 통하여 성형한 미충전 상태의 시편을 나타낸 것이다.

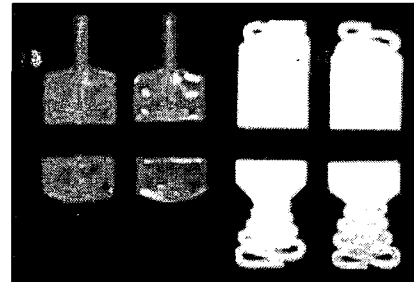


Fig. 3 Experimental specimens

핫러너 금형의 충전불균형 실험방법은 캐비티에 강제로 미성형(short shot)을 시켰을 때 성형품의 무게를 측정하여 (1)식에서 정의한 충전불균형도(degree of filling imbalance ; DFI)를 계산하였다. 충전불균형 실험에 고려한 성형인자는 사출속도와 성형온도로 정하였다. 사출속도는 충전불균형에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며,<sup>1,3,4,5</sup> 사출성형기의 최대사출속도(maximum injection rate)의 20%에서 80%의 범위에서 20%씩 4 단계로 증가시키면서 성형하였다. 또한, 성형온도는 220℃, 230℃, 240℃의 3 단계의 성형온도로 설정한 후 실험하였다.

충전불균형도(DFI)

$$= \frac{W_m - W_{out}}{W_m} \times 100(\%) \quad \text{----- (1)}$$

여기서,  $W_m$ : 내측 캐비티에서의 성형품 중량  
 $W_{out}$ : 외측 캐비티에서의 성형품 중량

## 4. 실험결과

### 4.1 비결정성 수지의 충전불균형

#### 4.1.1 ABS 수지의 충전불균형

Fig. 4는 ABS 수지의 충전불균형도를 나타낸 그래프이다. 사출속도가 증가할수록 충전불균형도가 감소하는 경향을 보였다. 그리고 성형온도 또한 높을수록 충전불균형도가 감소하는 경향을 나타내었다. 성형조건 중 가장 빠른 사출속도에서는 오히려 Fig. 2에 나타낸 스프루에서 먼쪽에 위치한 3, 4번의 캐비티에 더 많은 양의 수지가 충전되는 현상도 나타났다. 이와 같은 결과는 콜드러너 금형에 대한 선행연구<sup>3,4,5</sup>의 결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 단지 그 데이터의 값만 다르게 나타났다.

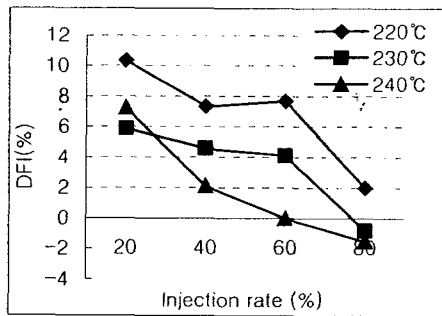


Fig. 4 DFI of ABS according to injection rate

#### 4.1.2 PMMA 수지의 충전불균형

Fig. 5는 PMMA 수지의 충전불균형도를 나타낸 그래프이다. ABS 수지와 같이 성형온도가 증가할수록 충전불균형이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 그리고 ABS 수지보다 충전불균형도의 변화 폭이 작았다. 그러나 전체적인 충전불균형도의 값은 ABS보다 크게 나타났다. 이는 PMMA 수지의 온도민감도( $T_b$ )<sup>7</sup>가 다른 수지와 비교하면 가장 높기 때문이라고 사료된다. 그러나 사출속도에 대하여 충전불균형도가 영향을 작게 받는 이유는 향후연구에서 다룰 과제로 할 것이다.

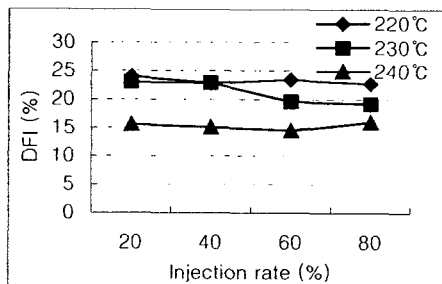


Fig. 5 DFI of PMMA according to injection rate

### 4.2 결정성 수지의 충전불균형

#### 4.2.1 PA 수지의 충전불균형

비결정성수지와 비교를 위하여 결정성수지인 PA를 대상으로 충전불균형실험을 하였다. Fig. 6은 PA 수지의 충전불균형도를 나타낸 그래프로 비결정성수지인 ABS, PMMA 수지에 비하여 충전불균형도가 현저히 작게 나타났다. 그리고 각 성형온도별 수지의 충전불균형도의 폭도 아주 작게 나타났다. 이와 같은 현상은 PA 수지의 온도민감도가 ABS 및 PMMA 수지의 온도 민감도 보다 낮은 값에서 오는 영향으로 생각된다.<sup>7</sup>

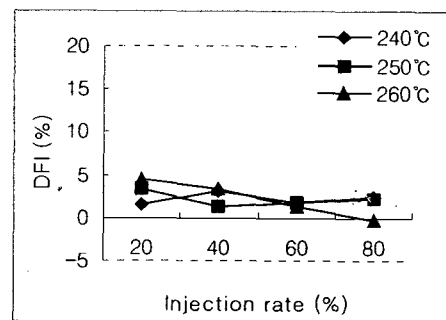


Fig. 6 DFI of PA according to injection rate

#### 4.2.1 PP 수지의 충전불균형

Fig. 7은 PP 수지의 충전불균형도를 나타낸 것으로 PA 수지와 유사한 경향을 나타내었다. 충전불균형도는 PA 수지보다 약 2% 더 낮게 나타났으며, 온도별 충전불균형도의 폭은 PA 수지보다 더 좁게 나타났다.

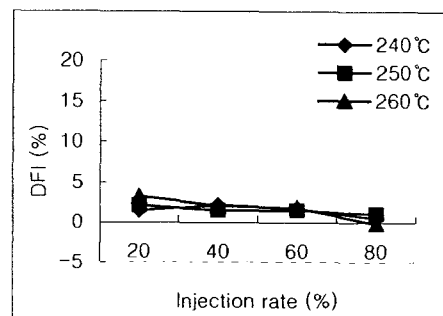


Fig. 7 DFI of PP according to injection rate

### 4.3 수지별 DFI의 비교

이상의 네 가지 수지의 DFI를 종합하여 Fig. 8에 나타내었다. 수지 종류와는 상관없이 사출속도가 감소할수록 DFI가 감소함을 알 수 있다.

콜드러너 금형에서의 연구결과와 같이 핫러너 금형에서도 사출속도를 증가시키면 충전불균형도가

개선되는데 이는 사출속도를 빠르게 하면 수지의 온도 변화의 시간이 줄어들어 수지내부에서 발생하는 전단율의 변화도 감소되어 충전불균형도를 감소시키는 요인으로 작용한다고 생각된다. 그리고 DFI의 큰 값부터 나열하면 PMMA, ABS, PA, PP 순으로 나타났는데, 이와 같은 결과는 각각 수지의 온도 민감도의 크기와도 동일한 순서이다.<sup>7</sup> 본 실험연구에 사용된 ABS 수지의 DFI 값을 핫러너 금형에서의 충전불균형 연구<sup>3</sup>의 DFI와 비교하면 핫러너 금형에서의 DFI의 값이 약 10%정도 낮은 것을 알 수 있었다.

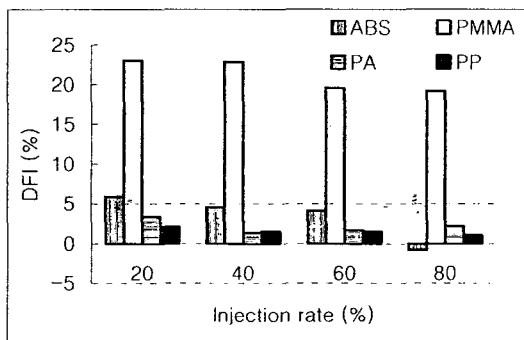


Fig. 8 Comparison of each resin DFI

## 6. 결론

기하학적으로 균형을 갖는 핫러너 금형에서 ABS, PMMA, PA, PP 수지에 대하여 충전불균형에 관한 실험연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기하학적으로 균형을 갖춘 핫러너 금형일지라도 용융수지가 가지는 자체의 유동 특성으로 충전불균형 현상이 일어남을 알 수 있었다.
2. 충전불균형도는 온도민감도( $T_b$ )의 값이 큰 순서인 PP, PA, ABS, PMMA 순으로 증가하였다.
3. 사출속도가 증가할수록 충전불균형도가 감소함을 알 수 있었다.
4. 핫러너 금형에서의 충전불균형도가 콜드러너 금형의 충전불균형도 보다 약 10%정도 감소하는 것을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2005년도 부경대학교 BK21 사업의 일부 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사의 말씀을 드립니다.

## 참고문헌

1. J. P. Beaumont and J. H. Young, Filling imbalances in geometrically balanced runner systems,? *Journal of injection molding technology*, Vol 1, No. 3, pp. 133 - 143, 1997.
2. J. P. Beaumont and K. Boell, ? Controlling balanced molding through new hot runner manifold designs,? ANTEC 2001, pp. 932 - 936, 2001.
3. K. T. Han, T. Goo, B. T. Kim, Y. D. Jeong and S. R. Han, Study on the filling imbalance in a geometrically balanced injection mold,? *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 28, No. 6, pp. 931 - 937, 2004.
4. D. K. Je and Y. D. Jeong, Filling imbalance in 3 plate type injection molds with multi-cavity,? *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 2, No. 6 pp. 117-121, 2004.
5. C. M. Kang and Y. D. Jeong, The filling imbalance in multi-cavity injection molds with unary branch type runner lay-out,? *Transactions of Material Processing*, Vol. 13, No. 7, 2004.
6. P. Kennedy, Flow Analysis of Injection Molds,? Hanser Publishers, pp. 9 - 13, 1995.
7. J. P. Beaumont, R. Nagel and R. Sherman, Successful injection molding,? Hanser Publishers, pp. 118-128, 2004.
8. G. Menger and P. Mohren, How to make injection molding,? Hanser Publishers, pp. 208-245, 1993.
9. [http://www.lsinjection.co.kr/kr/prod/sm3\\_n140\\_1.asp](http://www.lsinjection.co.kr/kr/prod/sm3_n140_1.asp)