

다수 캐비티를 갖는 3 매 구성 사출금형에서의 충전 불균형

제덕근*, 정영득#

Filling Imbalance in 3 Plate Type Injection Molds with Multi-Cavity

Deok Keun Je*, Yeong Deug Jeong#

ABSTRACT

Injection molding is the one of the most important processes for mass production of plastic parts. Usually injection molds for mass production are constituted to multi-cavity runner system to manufacture the more parts at a time. Multi-cavity molds are designed to geometrically balanced runner system to uniformly fill to each cavity. But, when injection molding is performed using a mold with balanced runner system filling imbalances are occurred between the cavity to cavity. The previous studies by Beaumont et al.¹ reported that filling imbalance occurred by thermal unbalance on the mold and viscosity variation of resins and so on. In this study, we conducted experiments in order to know the causes of filling imbalance for 3 plate type mold with 8 cavities. And we exhibited a new so called 4BF mold (4 plate type Balanced Filling Mold) to be possible filling balance. We conducted a experimental injection molding to verify the efficiency of the 4BF mold. In the results of the experiment, we could confirmed the balanced filling possibility of the 4BF mold.

Key Words : Filling imbalance (충전 불균형), Runner system (러너 시스템), 3 Plate type mold (3 매 구성 금형), PP(폴리 프로필렌), ABS(아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌), 4BF mold(4 Plate Type Balanced Filling Mold)

1. 서론

다수 캐비티를 갖는 사출금형에서 성형품의 생산성과 품질을 극대화하기 위해서는 각 캐비티에서 성형되는 제품들은 상호 균등한 것이 요구된다. 이러한 요구조건을 만족하기 위해서는 각 캐비티의 가공치수는 매우 높은 정밀도를 유지해야 하며, 또한 각 캐비티에서의 충전과 냉각도 동일한 상태를 유지해야 한다.

그러나, 기하학적 균형을 갖춘 러너시스템²을 갖는 다수 캐비티 금형이라고 하여도 충전시에는 상당한 충전 불균형을 볼 수 있다.¹ 이러한 충전 불균형에 관한 연구는 1997 년 이전에는 구체적으로 밝혀진 바가 없으나, 그 이후에는 Beaumont 등^{1,3,4,5,6}에 의해 발표된 논문이 다수 있지만, 국내에서의 연구결과는 발표된 것을 찾을 수가 없는 실정이다.

본 연구에서는 기하학적 균형을 갖춘 러너시

접수일: 2003 년 7 월 18 일; 게재승인일: 2004년 3 월 12 일

* 부경대학교 대학원 정밀기계공학과

교신서자 부경대학교 기계공학부

Email : ydjung@pknu.ac.kr, Tel : (051) 620-1534

시스템을 갖춘 3매 구성 금형⁷에서의 충전 불균형 현상을 범용수지인 PP(Polypropylene), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지를 대상으로 실험하여 고찰하고자 한다. 또한 3매 구성 금형에서 충전 불균형을 근원적으로 해결하기 위하여 금형구조상 균형충전을 구할 수 있는 소위 4 매형 균형충전형 금형(4BF mold: 4 Plate type Balanced Filling mold)의 구조를 제안하였다. 이 금형의 균형충전에 대한 유효성을 검증하기 위한 실험을 행한 결과 균형충전의 가능성이 있었다.

2. 이론적 배경

2.1 수지 유동 시 점성변화

플라스틱 재료인 수지는 유동 시 온도와 전단 속도에 따라 점성이 변하게 된다. 정상적인 성형 조건에서는 온도와 전단속도가 커지면 점성은 낮아지는 소위 전단감소(shear thinning)현상을 나타낸다. 사출성형 시 수지점도는 다음의 (1)식과 같은 수정 Cross 모델[3]을 사용하여 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \times \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{(1-n)}} \quad (1)$$

- 여기서, $\dot{\gamma}$: 전단 속도
- τ^* : 경계역에서의 전단응력
- n : 비뉴턴 지수
- η_0 : 체로 전단율일 때의 점도

점도에 대한 온도 민감도 T_b 는 (2)과 같이 WLF 식을 사용하여 나타낼 수 있다.⁸

$$T_b = \frac{A_1(A_2 + D_1) T^2}{[A_2 + (T - D_2)]^2} \quad (2)$$

여기서,

- T : 성형 온도
- A_1, A_2 : WLF 식에서의 전위계수
- D_1 : 점도 척도계수
- D_2 : 체로 게이지압에서의 유리전이온도

2.2 러너내부 전단율 변동에 의한 충전 불균형

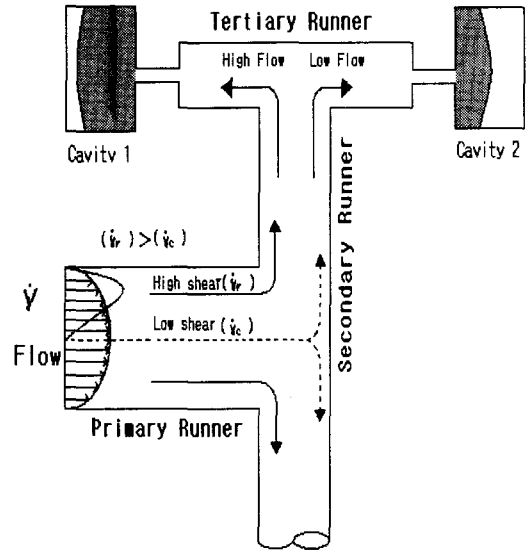
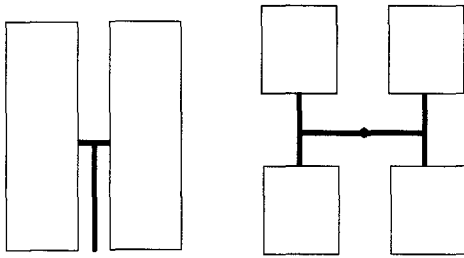
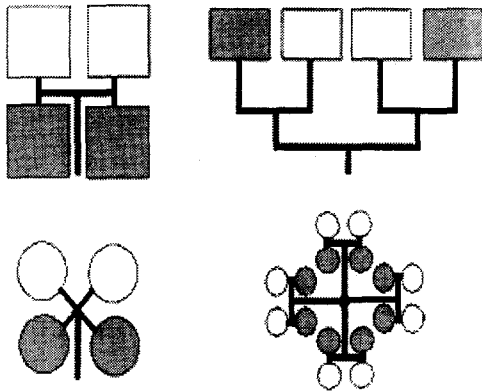


Fig.1 Filling imbalance according to shear induced flow in runner

Fig. 1 에서 주러너 내에 흐르는 수지의 유동상태에서 러너 중심부에서의 전단율($\dot{\gamma}_c$)과 러너 반경부에서의 전단율($\dot{\gamma}_r$)는 상당한 차이가 있다. 전단율이 커지면 앞의 (1)식에서의 점도를 낮게 하므로 러너 반경부 근처에서의 유동선은 러너중심부의 유동선보다 빠르게 흐르는 요인이 된다. 또한 러너 반경부에서는 러너 중심부에 비해 전단율이 크므로 전단 마찰열을 상대적으로 많이 발생시켜 수지온도가 높게 되어 러너 반경부 근처의 유동선이 빠르게 흐르는 요인으로 더해진다. 따라서 Fig. 1 에서 수지유동은 러너의 1 차 분기에서 트랙 효과(track effect)에 따라 내측코스를 흐르는 유로에 접하는 캐비티에는 빨리 충전되게 된다.¹ Fig. 2 는 위에서 기술한 전단에 기인한 충전불균형 상태를 가져오는 러너 레이아웃의 예를 나타내는 것으로, 러너의 2 차 분기가 존재하면 각 캐비티간에 충전 불균형을 나타내게 된다. Fig. 2 에서 회색 표시부는 충전이 먼저 일어나는 부위임을 표시한 것이다.



(a) Runners without secondary branch



(b) Runners with secondary branch or 8 cavities

Fig. 2 Runner layouts illustrating regions of high sheared materials

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균형충전을 위한 러너시스템

2매 구성 금형에서 콜드러너형식의 러너 레이아웃 중에서 Fig. 2의 (a)그룹과 같이 2차 분기가 없는 경우에는 흐름상의 균형충전을 가져올 수 있으며, (b)그룹과 같이 2차 분기가 있는 경우에는 트랙 효과에 의해 회색 표시부에 먼저 충전하게 된다.

본 연구에서는 3매 구성 금형에서의 균형충전을 위해서 3매 구성 금형에서 Fig. 2의(a)와 같이 2차 분기가 없는 러너구조를 설계할 수 있도록 하기 위해 Fig. 3과 같은 러너 시스템을 제안하였다. 또한 금형이 열릴 때 그림의 러너 파팅부에서 절단 가능한 금형구조를 고안하게 되었다.

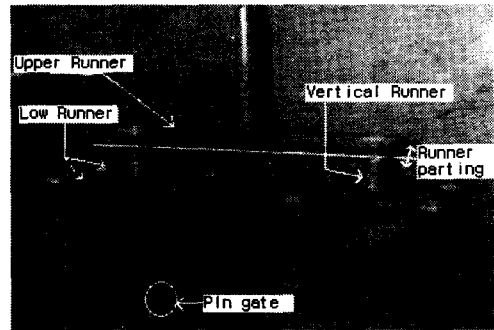


Fig. 3 Cold runner system for filling balance in 3 plate mold

3.2 3매 구성 금형의 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 금형은 8 개의 캐비티를 갖는 3매 구성 금형이며, 사출성형기는 LG 기계에서 제작한 140 톤 유압식 수평형 사출성형기이다. 수지재료는 온도 민감도(T_b)에서 상당한 차이를 나타내며 범용적으로 많이 사용되고 있는 PP, ABS 2종을 대상재료로 선정하였다.

본 실험에서 실험변수로 사출속도와 수지온도를 선택하였으며 사출속도(Injection rate)를 5 단계(사출성형기의 최대사출속도의 30, 40, 50, 60, 70%)로, 수지온도를 3 단계(220°C, 235°C, 250°C)로 설정하여 그 변수에 따르는 충전 불균형도를 측정하였다. 여기서 캐비티사이의 충전 불균형도 DFI (Degree of Filling Imbalance)는 다음 (3)식과 같이 정의하였다.

충전 불균형도(DFI)

$$= \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100(\%) \quad (3)$$

여기서,

W_{in} : 내측 캐비티에서의 성형물 중량

W_{out} : 외측 캐비티에서의 성형물 중량

3.3 4매 구성 금형의 실험장치 및 방법

Fig. 4는 본 연구에서 제안한 3매 구성 금형에서 균형충전이 가능한 균형 충전형 4매 구성 금형 [4BF mold]의 구조를 나타낸 것이다. 본 구조의 특

장은 Fig. 3에서 러너 파팅(Runner parting)부에서 절단을 가능하게 하기 위해 Fig. 4에서 러너 취출관(①번)과 이의 작동을 위해 러너 취출분(②번)이 추가된 것이며, 나머지 부품의 구조와 기능은 기존의 3매구성 금형과 동일하다.⁷

성형이 완료된 후 금형이 열릴 때 Fig. 4의 P1 파팅부 공간에서 Fig. 3의 러너상부(Upper runner)부위가 취출되고, P2 파팅부 공간에서는 Fig. 3의 러너하부(Low runner)부위가 취출된다. 러너부위를 러너상부와 러너하부로 절단하는 구조를 취한 이유는 러너 상부에서 러너 유동을 수직 러너부(Vertical runner)를 지나게 함으로서 Beaumont가 제안하는 Melt Flipper™³를 생성시켜 유동 균형을 취하게 하여 각 캐비티에 핀 게이트(Pin gate)를 통해 균형충전이 가능하게 하기 위함이다.

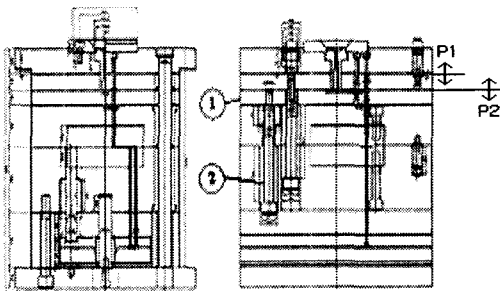


Fig. 4 The schematic of 4BF mold

3.4 3매 구성 금형의 실험결과 및 고찰

3.4.1 수지재료에 따른 충전 불균형도

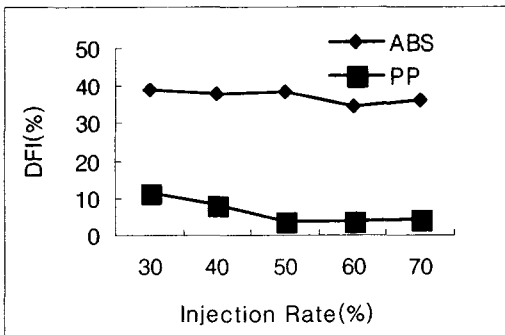


Fig. 5 The relations of DFI and injection rate

Fig. 5는 수지 재료 PP와 ABS를 대상으로 한 DFI 값을 나타낸 것으로서, ABS 수지의 DFI가 PP

의 DFI 보다 약 3배 정도 크게 나타났으며, 이는 ABS의 온도민감도 T_b 값(10000K)이 PP의 T_b 값(5500K)보다 상대적으로 큰 값을 갖기 때문으로 설명할 수 있다.⁹ 또한 각 수지별 DFI는 사출속도가 증가함에 따라 점차 약간 감소하는 경향을 보였으며, 이는 현 상태에서 정확하게 고찰할 수는 없으나, 기존의 연구^{1,3}와 같이 사출속도의 증가에 따라 DFI는 감소하는 경향을 나타내었다.

3.4.2 수지온도에 따른 충전 불균형도

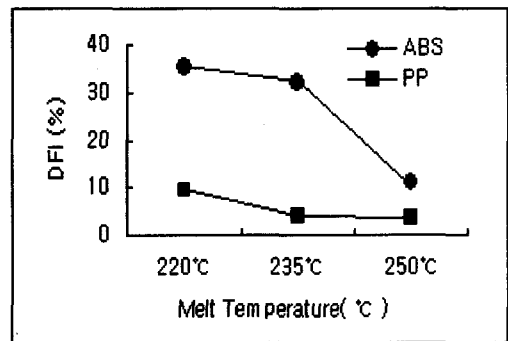


Fig. 6 The relations of DFI and melt temp.

Fig. 6은 수지온도의 변화에 따른 DFI 값을 나타낸 것으로서, 수지온도가 높을수록 DFI 값은 감소함을 알 수 있다. 이는 수지온도가 높을수록 수지의 점도가 낮게 되어 수지 유동성이 개선된 효과에 의해 각 캐비티간의 변동을 최소화하며, Fig. 5에서의 사출속도를 증가시켰을 때와 같은 효과에 의한 것으로 사료된다.

3.5 4매 구성 금형의 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 균형 충전용으로 개발한 4BF 몰드에 의한 균형도의 개선된 내용을 알아보기 위해 ABS 수지를 대상으로 실험한 결과를 나타낸 것이다. 실험시 성형조건은 수지온도 220°C, 사출압 40%, 사출시간 1.8초로 정하였다. 여기서 4BF 몰드에서는 기존의 3매 구성 금형의 충전 불균형 현상이 개선되어 오히려 외측 캐비티에 충전량이 증가되었으며, 여기서 DFI 값은 절대값으로 나타내었으며, 그 값은 약 9~14%정도 나타났었다. 이 현상은 스프루측 러너 록핀에 의한 수지흐름의 불균형에 의한 원인이 큰 것으로 사료된다.

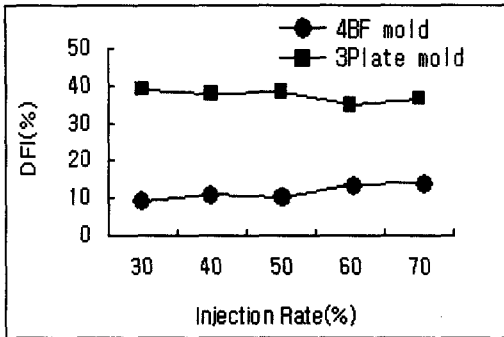


Fig. 7 The relations of DFI and injection rate in 4BF mold and 3 plate mold

4. 결론

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 8 캐비티를 갖는 3매 구성 금형을 대상으로 수지재료 PP, ABS 에 대한 충전 불균형도를 실험하였다.

3매 구성 금형에서의 충전 불균형도를 개선하기 위한 대안으로서 새로운 금형구조인 4매 구성 금형을 제안하고, 동일한 방법으로 실험하여 충전 불균형도를 비교하였다.

- 1) 3 매 구성 금형에서 충전 불균형도는 평균 40% 반면 대안으로 제안한 4BF 몰드에서는 평균 10%로 개선되었음을 확인하였다.
- 2) ABS 수지는 PP 수지에 비해 충전불균형도 (DFI)가 약 5 배이상 크게 나타났다.
- 3) 수지온도가 증가할수록, ABS, PP 수지 모두 DFI 값은 감소하는 현상을 보였다.

참고 문헌

1. Beaumont, John. P., Young, Jack H., "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems," Journal of Injection Molding Technology, Vol 1, No.3, 1997.
2. Jeong, Y. D., Park, T. W., Kim, H. P., "The Easy Injection Mold for Plastic Processing," Inter Vision, pp.224-227, 2003.
3. Beaumont, John P., Young, Jack H., Jawoski, Matthew J., "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No. 2, pp.47-58, 1998.

4. Beaumont, John P., Ralston, J., Worth, A. S., "Troubleshooting Cavity to Cavity Variations in Multi-Cavity Injection Mold," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 3, No. 2, pp.88-98, 1999.
5. Beaumont, John P., Boell, K., "Controlled Balanced Molding through New Hot Runner Manifold Design," ANTEC 2001, pp.932-936, 2001.
6. Beaumont, John P., "Revolutionizing Runner Design In Hot and Cold Runner Mold," ANTEC 2001, pp.3680-3687, 2001.
7. Song, J. Y., Park, T. W., Je, D. G., Jeong, Y. D., "Injection Mold of Through Plate for Recycling," J of KSPE, Vol. 20, No.6, 2003.
8. Isayev, A. I., "Injection and compression Molding Fundamentals," MARCEL DEKKER, INC, pp. 80-85, 1987.
9. VMTECH INC., CAPA, "injection molding analysis system," 2003.