

다수 캐비티를 갖는 3 매 구성형 사출금형에서의 충전 불균형

제덕근*(부경대 대학원 기계공학과), 정영득(부경대 기계공학부)

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

D. K. Je (Mech. Eng. Dept., PKNU), Y. D. Jeong (School of Mech. Eng., PKNU)

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. To uniformly fill to each cavity, multi-cavity molds are designed to geometrically balanced runner system. However, in practice this is not the case. The previous studies by Beaumont at.[2] 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. We presented a new so called 4BF mold(4Plate Type Balanced Filling Mold) to improve filling balance. We conducted a experimental injection molding to verify a efficiency of the 4BF mold. In the results of the experiment, We could confirmed the possibility of the 4BF mold.

Key Words : Filling imbalance (충전 불균형), Runner system (러너 시스템), 3 Plate type mold (3 매 구성형 금형), (PP 폴리프로틸렌), ABS(아크리노니트릴 부타디엔 스틸렌)

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 러너시스템[1]을 갖는 다수 캐비티 금형이라고 하여도 충전시에는 상당한 충전 불균형을 볼 수 있다[2]. 이러한 충전불균형에 관한 연구는 1997 년 이전에는 구체적으로 밝혀지지 않았으나, 그 이후에 Beaumont 등 [3,4,5,6,7]에 의해 다수 발표된 논문이 있으나, 국내에서의 연구결과는 발표된 것은 찾을 수가 없는 실정이다.

본 연구에서는 기하학적 균형을 갖춘 러너시스템이 있는 3 매구성형 금형[8]에서의 충전 불균형 현상을 범용수지인 PP(PolyPropylene), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지를 대상

으로 실험하여 그 결과에 대해 고찰하였다. 또한 3 매 구성형 금형에서 충전 불균형을 근원적으로 해결하기 위하여 금형구조상 균형충전을 구할 수 있는 소위 4 매형 균형충전(4BF type)형 금형구조를 제안하였으며 이 금형의 균형충전에 대한 유효성을 검증하기 위한 실험을 행한 결과 균형충전의 가능성을 확인할 수 있었다. 본 저자들의 향후 연구로서 4BF 형 금형에서의 균형충전에 대한 유체역학적 연구와 다수 캐비티형 핫러너(Hot Runner)형 금형에 대한 균형충전에 대해 연구할 계획이다.

2. 이론

2.1 수지유동시 점성변화

플라스틱 재료인 수지는 유동시 온도와 전단속도에 따라 점성이 변하게 된다. 정상적인 성형조건에서는 온도와 전단속도가 커지면 점성은 낮아지는 소위 전단감소(Shear Thinning)현상을 나타낸다. 사출성형시 수지점도는 다음의 (1)식과 같은 수정 Cross 모델식으로 나타낼 수 있으며,

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

여기서, η_0 : 비뉴턴 지수
 $\dot{\gamma}$: 전단 속도
 τ^* : 경계역에서의 전단응력

점도에 대한 온도 민감도는 (2)식에서 WLF 식을 이용한 T_b 를 사용하여 나타낼 수 있다[3].

$$T_b = \frac{A_1(A_2 + D_1) T_1^2}{[A_2 + (T - D_2)]^2} \quad \text{-----(2)}$$

여기서 T_b : 온도 민감도
 T : 성형 온도
 A_1, A_2 : WLF 식에서의 전위 계수
 D_1 : 점도 척도 계수
 D_2 : 제로 게이지압에서의 유리 전이 온도

2.2 러너내의 전단을 변동에 의한 충전불균형

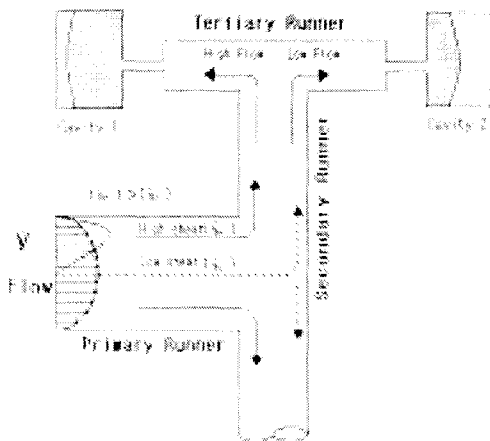


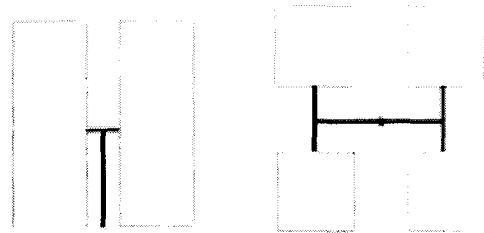
Fig.1 Filling imbalance according to flow variation in runner

Fig. 1 에서 주러너 내에 흐르는 수지의 유동 상태에서 러너 중심부에서의 전단율()와 러너 반경부에서의 전단율()는 상당한 차이가 있다. 이 전단율이 커지면 앞의 (1)식에서의 점도를 낮게 하므로 러너 반경부에서의 유동속도는 중심부에서의 유동속도보다 빨라져 유동의 불균형을 나타낸다. 따라서 Fig. 1 에서 수지유동은 트랙효과(Track effect)에 따라 내측코스를 흐르는 유로에 접하는 캐비티에는 빨리 충전되게 된다[3].

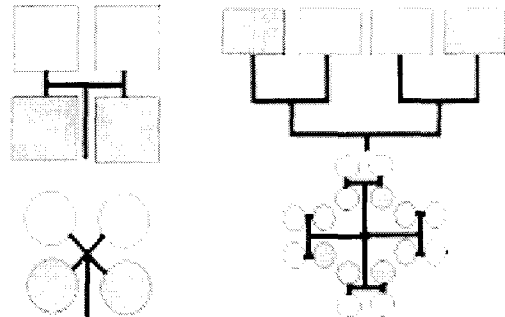
3. 균형충전용 4매 구성 금형

3.1 균형충전을 위한 러너시스템

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



(a) Runners without secondary branch



(b) Runners with secondary branch
 Fig. 2 Various of runner system

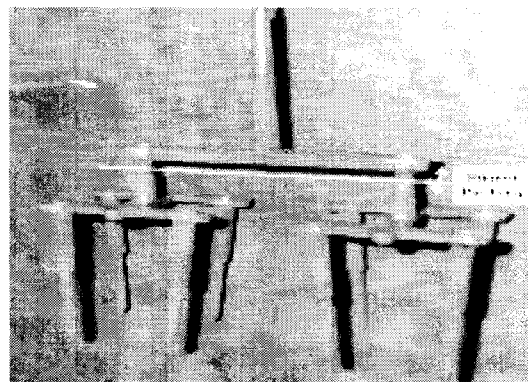


Fig. 3 Cold runner system for filling balance in 3 plate mold

본 연구에서는 3 매 구성형 금형에서의 균형충전을 위해서 3 매 구성 금형에서 Fig. 2 의 (a) 와 같이 2 차 분기가 없는 구조를 얻기 위해 Fig. 3 과 같은 러너 시스템을 제시하고, 이를 구현하기 위한 금형구조를 고안하게 되었다. 본 고안은 핫 러너 금형에서의 균형충전구조 금형과 함께 실용신안 특허에 출원 중에 있다.

3.2 균형충전용 4 매 구성 금형

Fig. 4 는 본 연구에서 제안한 3 매 구성형 금형에서 균형충전이 가능한 균형충전형 4 매 구성형 금형[4BF mold : 4 Plate Type Balanced Filling mold]의 구조를 나타낸 것이다. 본 구조의 특징은 Fig. 3 에서 러너 파팅(Runner parting)을 가능하게 하기 위해 러너 취출판(1 번)과 이의 작동을 위해 러너 취출봉(2 번)이 추가된 것이 특징이며, 나머지 부품의 구조와 기능은 기존의 3 매 구성형 금형과 동일하다.

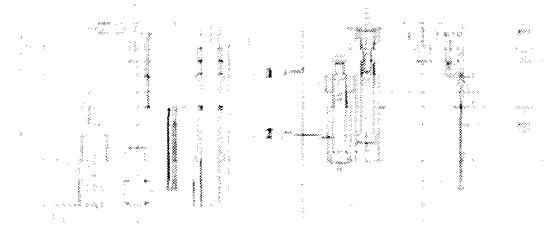


Fig. 4 The schematic of 4BF mold

4. 실험 및 고찰

4.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 금형은 3 매 구성형 금형으로 8 캐비티를 가지며, 사출성형기는 LG 기계에서 제작한 140ton 유압식 사출성형기이다. 수지재료는 범용적으로 많이 사용되고 있으며, 온도민감도(Tb)에서 상당한 차이를 나타내기 때문에 대상수지로 PP, ABS 2 종을 선정하였다.

본 실험에서 실험변수로 사출속도와 수지온도를 선택하였으며 사용된 수지를 2 종류로 하고 사출속도(Injection Rate)를 5 단계(30~70%)로, 수지온도를 3 단계(220℃, 235℃, 250℃)로 설정하여 그 변수에 따르는 충전 불균형도를 측정하였다. 여기서 충전 불균형도 DFI : (Degree of Filling Imbalance)는 다음 (3)과 같이 정의하였다.

불균형도(DFI)

$$= \frac{\text{최대중량} - \text{최소중량}}{\text{최소중량}} \times 100\% \quad \text{-----}(3)$$

4.2 실험결과 및 고찰

4.2.1 수지재료에 따른 충전 불균형도

Fig. 5 는 수지재료 PP 와 ABS 를 대상으로 한 DFI 값을 나타낸 것으로서, ABS 수지의 DFI 가 PP 의 DFI 보다 약 30% 정도 크게 나타났으며, 이는 ABS 의 온도민감도 Tb 값(10000K)이 PP 의 Tb 값(5500K)보다 큰 값을 갖기 때문으로 설명할 수 있다[9]. 또한 DFI 는 사출속도가 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였으며, 이는 기존의 연구[3,4]와 잘 일치하였다.

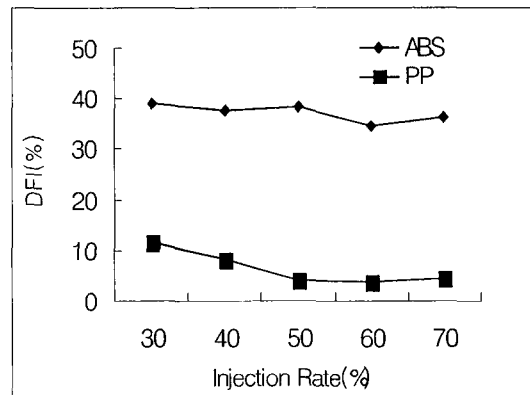


Fig. 5 The relations of DFI and injection rate

4.2.2 수지온도에 따른 충전 불균형도

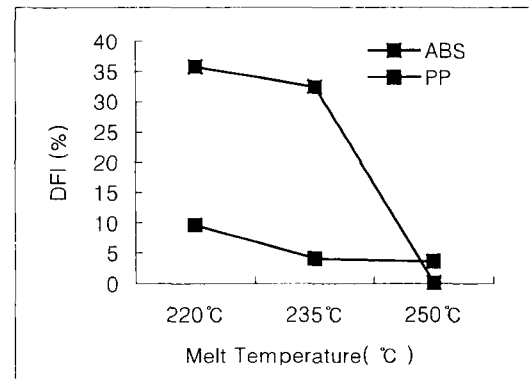


Fig. 6 The relations of DFI and melt temp.

Fig. 6 은 수지온도의 변화에 따른 DFI 값을 나타낸 것으로서, 수지온도가 높을수록 DFI 값은 감소함을 알 수 있다. 이는 수지온도가 높을수록 수지 유동성이 개선된 결과라고 사료된다.

4.2.3 4BF 몰드에 의한 불균형도

Fig. 7 은 균형충전용으로 개발한 4BF 몰드에 의한 균형도 알아보기 위해 ABS 수지를 대상으로 실험한 결과를 나타낸 것이다. 실험시 성형조건은

수지온도 220℃, 사출압 40%, 사출시간 1.8 초로 정하였다. 4BF 몰드에 의한 충전 불균형도는 Fig. 7 과 같이 나타났다. 여기서, 4BF 몰드에서는 기존의 3 매구성 금형의 충전 불균형 현상이 개선되어 오히려 외측 캐비티에 충전량이 증가되어 DFI 값이 약 9~14%정도 나타났다. 이 현상은 스프루측 러너 록핀에 의한 수지흐름의 불균형에 의한 원인이 큰 것으로 사료된다.

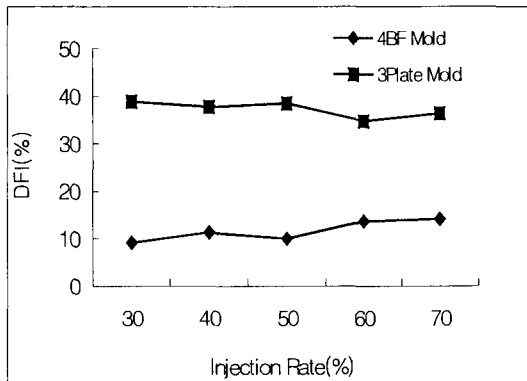


Fig. 7 DFI for 4BF mold and 3plate mold

5. 결론

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 8 캐비티를 갖는 3 매 구성형 금형을 대상으로 수지재료 PP, ABS 에 대한 충전 불균형도를 알아보기 위한 실험연구를 수행하였으며 3 매구성 금형에 균형충전이 가능한 금형구조를 제안하였으며 그 가능성을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 균형충전이 가능도록 금형구조를 개선한 4BF 몰드의 가능성을 확인하였다.

2) ABS 수지는 PP 수지에 비해 충전불균형도 (DFI)가 평균값으로 5 배이상 크게 나타났다.

3) 수지온도가 증가할수록 ABS, PP 수지 모두 DFI 값은 감소하는 현상을 보였다.

참고 문헌

1. 정영득, 박태원, 김현필 공역, 격렬쇄퇴 성형을 위한 알기쉬운 금형설계, 도서출판 인터비전, pp.224-227, 2003
2. John Beaumont, John Ralston, and Adam Shuttle Worth, "Troubleshooting Cavity to Cavity Variations in Multi-Cavity Injection Mold" *Journal of Injection Molding*

Technology, Vol 3, No 2, pp.88-98, 1999,

3. John P.Beamont, Jack h. Young, and Matthew. J. Jawoski, "solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds" *Journal of Injection Molding Technology*, Vol 2, No 2, pp.47-58, 1998,
4. Louis G Reifschneider, "Documenting Flow Segregation in Geometrically Balanced Runner" *Antec 2001*, pp 3356-3360, 2001
5. John P.Beamont and Kelvin Boell, "Controlled Balanced Molding through New Hot Runner Manifold Design", *ANTEC 2001*, pp.932-936, 2001
6. John P.Beamont, Jack h. Young, and Matthew. J. Jawoski, "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems ", *J. of Reinforced Plastics and Composites*, Vol.18, No.6, pp572-590, 1999 .
7. Health E. Casal 야 and Timothy Miched, "Process Window as Effected by Shear Induced Flow Imbalance in Multicavity Mold", *ANTEC 2001*, pp.3112-3115, 2001.
8. John P.Beamont, "Revolutionizing Runner Design In Hot and Cold Runner Mold", *ANTEC 2001*, pp3680-3687, 2001.
9. (주)브이엠테크, 값 APA 사출성형해석 시스템, 2003