

편측 분기형 러너 배열을 가진 다수 캐비티 사출금형에서의 충전 불균형도

강철민*·정영득**

The Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds with Unary Branch Type Runner Lay-out

C.M. Kang, Y.D. Jeong

Abstract

Almost all injection molds have multi-cavity runner system for productivity and are designed with geometrically balanced runner system in order to minimize filling imbalance between cavity to cavity during processing. However, filling imbalances have been observed though geometrically balanced runner lay-out are used. Generally, these filling imbalances are due to thermal unbalance, viscosity, characteristic of polymers and so on. These kinds of filling imbalances has already been reported by Beaumont[1] since 1997. In this study, we presented filling imbalances in balanced runner that has unary branch type lay-out through experimental tests. As a result of experiments, we could present the processing conditions for the balanced filling in geometrically balanced runner that has unary branch type lay-out

Key Words : Filling imbalance(충전 불균형), DFI(충전 불균형도), T_b (온도민감도), Unary branch type runner(편측 분기형 러너), Runner lay-out(러너 배열)

1. 서 론

다수 캐비티를 가진 사출금형에 의한 플라스틱 제품 성형시 제품의 생산성과 품질을 극대화하기 위해서는 캐비티간의 균형을 이룬 충전, 충전후 캐비티 간의 균일한 냉각들이 요구된다. 그러므로 이와 같은 조건의 충족을 위해 다수 캐비티를 가진 사출금형은 모두 기하학적으로 균형을 이룬 러너 구조를 가지고 있다. 그러나 기하학적으로 균형적인 러너 시스템[2]을 가진 다수 캐비티 사출금형이라 할지라도 충전시에는 각 캐비티간의 상당한 충

전 불균형을 볼 수 있다[1]. 이와 같은 충전 불균형에 관한 연구는 1997년 이전에는 구체적으로 밝혀진 바가 없으나, 그 이후에는 Beaumont [1,3,4,5,6]등에 의해 발표된 논문이 다수 있다. 발표된 Beaumont의 모든 논문에서 H형 양측분기 러너 구조에서 일어나는 충전 불균형에 대한 연구와 그 해결책 만이 발표되었을뿐 편측 분기형 러너에서 일어나는 충전불균형에 대한 연구결과는 볼 수 없었다.

이에 본 연구에서는 Fig.1과 같은 스폰 형상 캐비티를 가지면서 기하학적으로 균형적인 편측 분기형 러너 구조

* 부경대학교 기계공학부 대학원

** 부경대학교 기계공학부

를 가진 2매 구성형 다수 캐비티 금형에서 충전 불균형 현상을 범용 수지인 PP, GPPS, LDPE, ABS를 대상으로 실험하여 그 결과에 대해 고찰하였고, 편측 분기형 러너 구조에서 일어나는 충전 불균형 현상의 해소를 위한 가장 효과적인 방안을 여러 실험을 통해 그 가능성을 확인하였다.

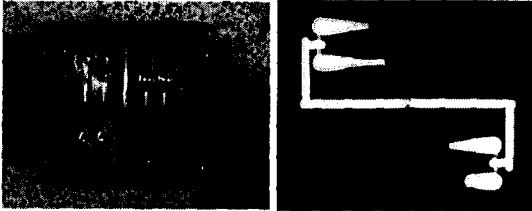


Fig.1 The experimental plastic spoon mold and unary branch type runner lay-out

2. 이론적 배경

2.1 수지 유동시 점성 변화

플라스틱 재료인 수지는 유동시 온도와 전단속도에 따라 점성이 변하게 된다. 정상적인 성형 조건에서는 온도와 전단속도가 커지면 점성은 낮아지는 소위 전단 감소 (shear thinning) 현상을 나타낸다. 사출성형시 수지점도는 다음의 (1)식과 같은 수정 Cross 모델을 사용하여 나타낼 수 있다.

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

여기서, $\dot{\gamma}$: 전단속도
 τ^* : 경계역에서의 전단응력
 n : 비뉴턴 지수
 η_0 : 제로 전단율에서의 경우 점도

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

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

여기서, T : 성형온도
 A_1, A_2 : WLF식에서의 전위계수
 D_1 : 점도 척도계수
 D_2 : 제로 게이지압에서의 유리전이온도

2.2 양측 분기형 러너와 편측 분기형 러너

2.2.1 양측 분기형 러너

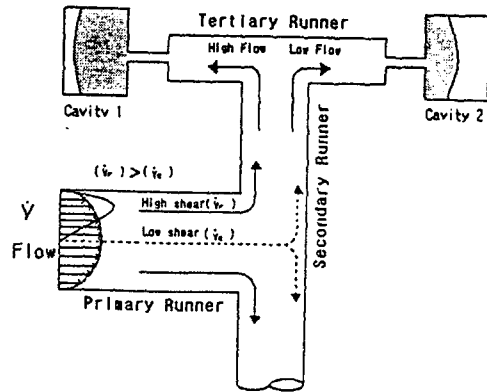


Fig.2 The filling imbalance in binary branch type runner lay-out

Fig.2에서 보는것과 같이 Cavity 1과 Cavity 2는 기하학적으로 균형을 이루는 위치에 있다. 그러나 이와 같은 러너 구조를 가진 다수 캐비티는 실제로는 불균형적으로 충전된다. 이와 같은 충전 불균형은 러너 중심부에 흐르는 수지와 반경부에 흐르는 수지의 전단율의 차이에서 기인된다. 반경부를 따라 흐르는 수지의 전단율($\dot{\gamma}_e$)은 내측으로 흐르는 수지의 전단율($\dot{\gamma}_w$)보다는 크게 된다. 전단율이 크게 되면 (1)식에서 보는 것과 같이 점도는 감소하게 되므로 수지의 유동은 빨라지게 된다. 또한 전단율이 커짐에 따라 상대적으로 전단 마찰열 또한 증가하게 되므로 이는 반경부 근처의 수지가 중심부보다 더욱 빠르게 흐르는 요인으로 더해진다. 따라서 중심부보다는 내측유로를 따라 흐르는 수지가 충전되는 내측 캐비티(Cavity 1)가 먼저 충전되게 된다.

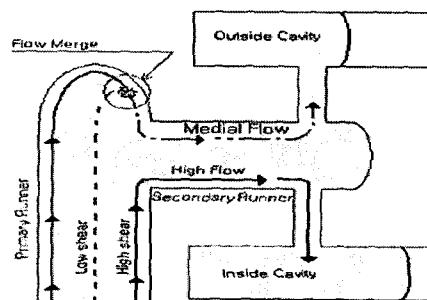


Fig.3 The filling imbalance in binary branch type runner lay-out

편측 분기형 러너에서의 충전 불균형 역시 양측 분기형 러너와 같은 이유로 주 러너의 반경부에 흐르는 수지의 유동 속도가 중심부의 수지 유동 속도보다 빠르게 된다. 그러나 양측 분기와 달리 편측 분기에서는 Fig.3에서 보는 것과 같이 90°방향전환이 이루어지는 콜드 슬러그 웰(cold slug well)부분에서 외측 반경부의 빠른 유동과 중심부의 느린 유동의 혼합이 있음을 예상할 수 있다. 이와 같은 현상으로 인해 내측반경부의 아무런 간섭없이 흐르는 빠른 유동보다는 다소 느린 혼합된 새로운 유동이 발생하게 된다. 그 결과 내측 반경부의 빠르게 흐르고 있는 유류에 접하게 되는 내측 캐비티가 먼저 충전되어 지는 것으로 생각된다.

3. 실험 및 고찰

3.1 실험방법 및 장치

본 실험에 사용된 금형은 4개의 캐비티를 갖는 2매 구성형 금형이며, 사출성형기는 LG기계에서 제작한 75톤 유압식 수평형 사출성형기이다.

수지 재료는 온도 민감도 (T_b)에서 상대적으로 많은 차이를 가지는 ABS, GPPS와 PP, LDPE를 대상 수지로 사용하였다.

실험 변수로는 사출속도와 러너의 형상의 변화를 선택하였다. 사출 속도는 최대 사출속도(injection rate)의 30%~70%로 5단계로 설정하였고, 러너의 형상 변화는 콜드 슬러그 웰을 제거한 러너, 유동 단면적을 줄인 러너를 선택하여 그 변수에 따르는 수지 충전 불균형도를 측정하였다. 여기서 충전 불균형도 DFI(Degree of Filling Imbalance)는 다음과 같이 정의하였다.

충전불균형도(DFI)

$$= \frac{Win - Wout}{Win} \times 100\%$$

여기서,

Win : 내측 캐비티에서의 성형물 중량

Wout: 외측 캐비티에서의 성형물 중량

3. 2 실험 결과 및 고찰

3.2.1 수지에 따른 충전 불균형도

Fig.4는 대상 수지에 따른 충전 불균형도를 나타낸 것이다. 수지의 종류와 관계없이 사출 속도가 증가함에 따라 DFI값이 감소하는 경향을 보였다. 이는 사출 속도를 빠르게 하는 것이 수지의 온도변동의 기회를 적게 주어 충전 불균형도의 감소에 좋은 영향을 미친다고 생각할 수 있다. 그리고 대상 수지별 DFI값은 ABS의 DFI값이 가장 크게 나타났음을 알 수 있다. 이는 ABS의 온도민감도 T_b (12406. K)값이 타 수지보다 상대적으로 큰 값을 갖기 때문으로 설명할 수 있다. 다른 대상 수지의 DFI값 역시 온도민감도 T_b [7]의 크기와 비례하는 경향을 알 수 있다. Fig.4.는 수지별 DFI값과 온도 민감도의 관계를 나타낸 것이다.

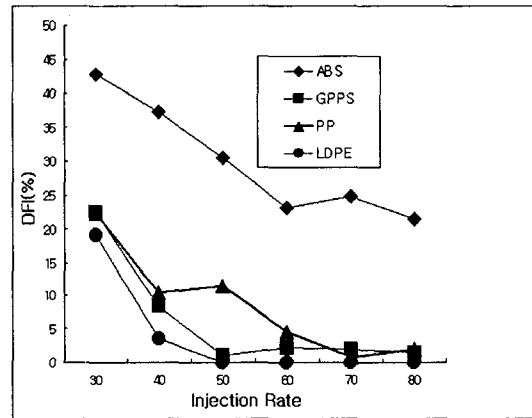


Fig.4 DFI according to various polymers

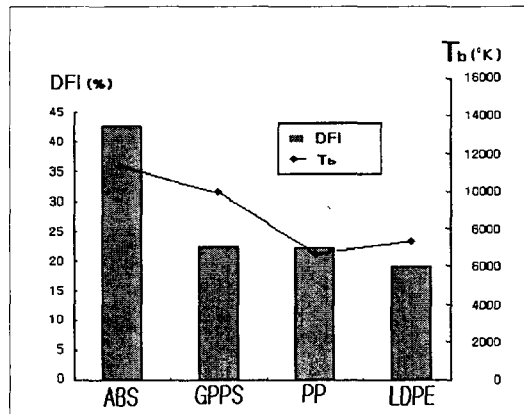


Fig.5 The relationship between DFI and T_b

3.2.2 러너 형태에 따른 충전 불균형도

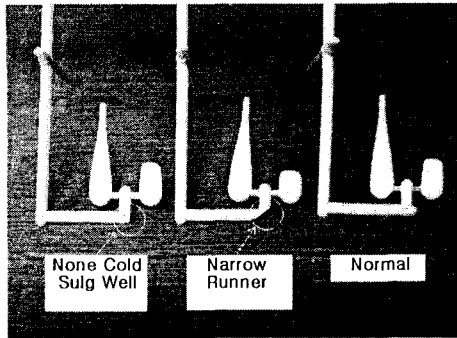


Fig.6 The varieties of runner shapes

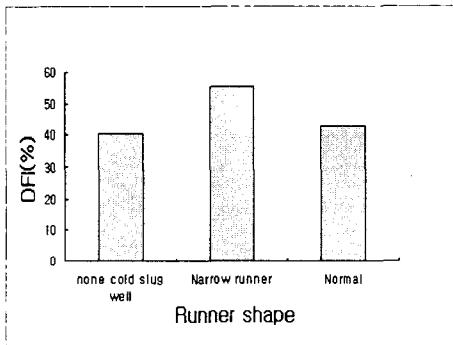


Fig.7 DFI according to Different shape runner

Fig.6과 Fig.7은 러너 형태의 변화에 따른 충전불균형도를 나타낸 것이다. 우선 러너 반경부의 수지 유동과 중심부의 유동이 합쳐지는 지점인 콜드 슬러그 웰을 제거한 러너형태(Fig.6의 None cold slug well)와 편측 분기점의 유동 단면적을 더욱 좁게한 러너형태(Fig.6의 Narrow runner)를 대상으로 그에 따른 DFI값을 Fig.7에 나타내었다. Fig.6에서 보는 것과 같이 일반형태의 러너와 변형된 형태의 러너들 사이의 충전 불균형도는 거의 차이가 없으므로 나타났다. 이를 통해 러너 형태의 변화는 반경부의 빠른 유동과 중심부의 느린유동의 차이를 감소시키는데 있어서 크게 영향을 주지 못함을 알수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 이루며 편측 분기 러너를 갖는 사출금형에서의 수지 충전 불균형을 알아보고자 범용수지인 ABS, GPPS, PP,

LDPE를 대상으로 실험연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 기하학적으로 균형을 갖춘 러너 구조라 할지라도 플라스틱 수지의 유동특성에 의한 충전 불균형이 일어남이 확인되었으며, 이와 같은 충전 불균형은 양측 분기형 러너뿐만 아니라 편측 분기형 러너에서도 발생함을 알 수 있었다
- (2) 수지에 따른 충전 불균형은 수지마다 가지고 있는 온도 민감도에 비례함을 확인할 수 있었다.
- (3) 다수 캐비티를 갖는 사출금형에서의 충전 불균형을 감소하기 위해서는 러너 형태의 변경보다는 사출속도, 수지온도 등의 공정 조건을 바꾸는 것이 보다 효과적임을 확인 하였다.

5. 참고 문헌

1. John. P. Beaumont and Jack H. Young, 1997, Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems , Journal of Injection Molding Technology, vol 1, no.3.
2. 정영득, 박태원, 김현필 공역, 2003, 플라스틱 성형을 위한 알기쉬운 금형설계 , 도서출판 인터비전, pp.224-227.
3. John P.Beaumont, Jack h. Young, and Matthew. J. Jawoski, 1998, "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds", Journal of Injection Molding Technology, Vol 2, No 2, pp.47-58.
4. John Beaumont, John Ralston, and Adam Shuttle Worth, 1999, "Troubleshooting Cavity to Cavity Variations in Multi-Cavity Injection Mold" Journal of Injection Molding Technology, Vol 3, No 2, pp.88-98.
5. John P.Beaumont and Kelvin Boell, 2001 "Controlled Balanced Molding through New Hot Runner Manifold Design", ANTEC 2001,pp.932-936.
6. John P.Beaumont, 2001, "Revolutionizing Runner Design In Hot and Cold Runner Mold", ANTEC 2001, pp.3680-3687.
7. (주)브이엠테크, 2003. CAPA 사출성형 해석 시스템.