

러너 코어핀 형상이 PA6 성형품의 충전불균형도에 미치는 영향

정영득*(부경대 기계공학부), 강철민(부경대원 기계공학부), 제덕근(부경대원 정밀기계과)

Effects of Core Pin Shape on the Filling Imbalances of PA6 Molding

Y. D. Jeong(Mecha. Eng. Dept., PKNU), C. M. Kang(Mecha. Eng. Dept., PKNU), D. K. Je(Mecha. Eng. Dept., PKNU)

ABSTRACT

Despite geometrical balanced runner system, filling imbalances between cavity to cavity have always been observed in multi-cavity injection mold. These filling imbalances are results from non-symmetrical shear rate distribution within melt as it flows through the runner system. It has been possible to decrease filling imbalance by optimizing processing conditions, but it has not completely eliminated this phenomenon during the injection molding processing. This paper presents a solution of these filling imbalances by using runner core pin which creates a symmetrical shear distribution within runner and the effects on filling imbalance when modifying a shape of runner core pin. As a result of using runner core pin, a remarkable improvement in reducing filling imbalance was confirmed. In addition we investigated how filling imbalances were affected by shape of runner core pin.

Key Words : Runner core pin (러너 코어 핀), Shear rate distribution (전단율 분포), Filling imbalance (충전불균형), Multi-cavity injection mold (다수 캐비티 사출금형)

1. 서론

다수 캐비티(Multi-cavity)¹를 가지는 사출금형에서 플라스틱 성형품의 품질을 극대화하기 위해서 각 캐비티에 균일한 충전이 요구된다. 이에 다수 캐비티 사출금형은 모두 기하학적으로 균형을 갖춘 러너 구조로 설계된다. 그러나 실제 충전 공정에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 러너 형태라 할지라도 충전 불균형 현상이 나타나며, 이와 같은 충전불균형은 1997년 Beaumont에 의해 그 현상의 원인이 규명되기 이전에는 단순히 불균일한 금형온도의 분포, 러너 시스템의 가공오차, 금형조립의 결함 등의 결과로 설명되었으며, 그 현상의 중요성이 간과되어 왔다. 그러나 실제 충전 불균형은 불균일한 전단분포에 기인한 러너 내부의 점도의 변동에 의해 발생되며, 충전단계에서부터 발생하여, 각 캐비티에서 생산되는 성형품의 내부 응력에 영향을 줄 뿐만 아니라 성형 후 수축에도 영향을 주어 제품의 품질을 저하시키게 된다.²

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 러너시

스템을 구비한 다수 캐비티 사출금형의 충전불균형을 해소하기 위한 하나의 방안으로 Fig. 1에서와 같이 코어핀(Runner Core Pin 이후에는 RC pin이라 호칭함)을 채용한 새로운 러너시스템을 제시하고, RC Pin의 형상 변화에 따른 충전불균형도의 변화를 결정성 수치인 PA6를 대상으로 실험적 연구를 수행하였다. 실험 결과, RC pin이 채용된 새로운 금형구조의 유효성을 검증할 수 있었으며, RC pin의 길이 및 선단 형상이 충전불균형에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

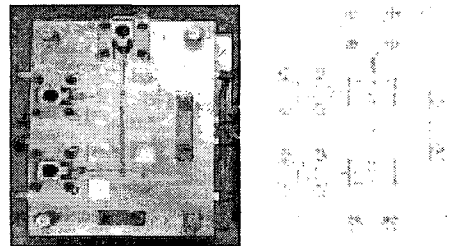


Fig. 1 A mold installed RC pin for filling balance

2. 이론적 배경

2.1 플라스틱 유동특성

정상적인 성형 조건에서 수지 내의 전단율 분포는 유동 시 러너 벽면 고화층 아래에서 가장 큰 전단율을 형성하며 러너 중심으로 갈수록 전단율은 감소한다. 이와 같은 러너 내의 전단율 분포는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left[V_0 \left(1 - \left(\frac{dr}{R} \right)^{(n+1/n)} \right) \right] \quad (1)$$

여기서, V_0 : 최고 흐름 속도
 R : 러너의 반경
 dr : 흐름 중심에서의 위치
 n : power law index

2.2 충전불균형의 원인

러너를 통과하는 플라스틱 용융수지는 러너 내부 중심부와 외경부의 전단율이 위에서 언급한 것과 같이 불균일하게 분포되게 된다. 러너 외경부, 즉 금형벽면 고화층 아래의 수지 흐름(실선)은 러너 중심부의 수지 흐름(점선)에 비해 상대적으로 높은 전단율이 형성되므로 온도는 상승되고, 점도는 감소하게 된다. 또한 전단율이 커짐에 따라 상대적으로 전단 마찰열 또한 증가하게 되므로, 이는 외경부의 수지 흐름의 유동성을 더욱 증가시킨다. 따라서 외경부를 따라 흐르는 수지 흐름은 중심부의 흐름보다 유동성이 좋아지게 되고, 유동성이 좋은 외경부의 흐름에 의해 스프루에서 가까운 Inner cavity가 먼저 충전되어진다.³⁴

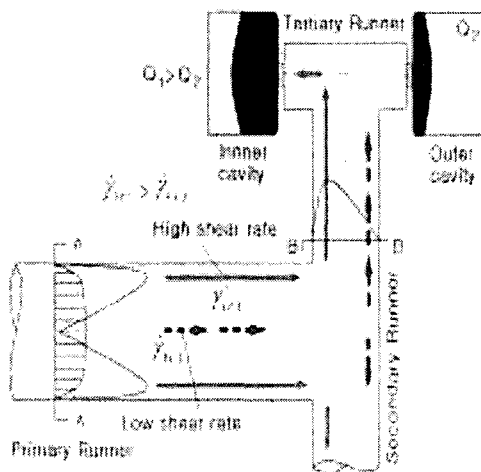


Fig. 2 Filling imbalances due to non-symmetrical shear rate distribution

2.3 RC pin에 의한 균형충전

Fig. 3은 RC pin에 의해 충전 불균형이 감소되는 현상을 나타내고 있다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 러너 외경부와 중심부에 비대칭적으로 형성되는 전단율 분포가 Fig. 3에서는 RC pin의 표면적을 따라 발생하는 전단율에 의해 대칭적으로 형성됨을 알 수 있다. 이와 같이 분기된 2차 러너 내에서 대칭적으로 분포된 전단율은 러너 외경부와 중심부의 점도의 분포를 보다 대칭구조로 일정하게 하여, 동일한 유동성을 가지게 하므로 Inner Cavity와 Outer Cavity의 충전량을 동일하게 한다.

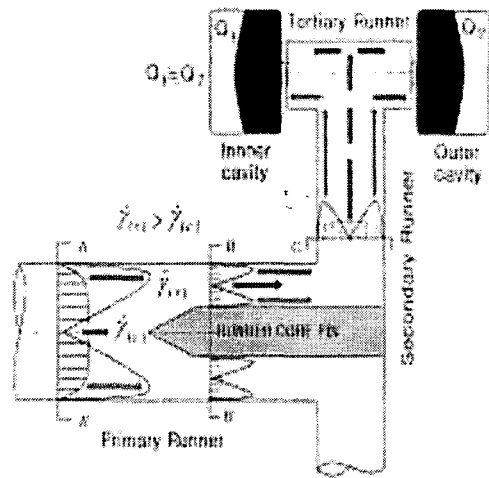


Fig. 3 Filling balances by using RC Pin

3. 충전불균형 실험

3.1 실험장치 및 조건

본 실험에 사용된 사출성형기는 LG 전선에서 제작한 형체력 140톤 직압식 수평형 사출기이며, 실험 금형은 기하학적으로 균형을 갖춘 러너에 의해 충전되는 8캐비티 2단 금형을 사용하였다. 대상 수지는 기존 연구에서의 비결정 수지와 대비하기 위해 결정성 수지인 PA6(BASF B3K)를 사용하였다. 성형조건의 설정은 충전불균형에 가장 크게 영향을 미치는 공정조건인 사출속도를 사출기의 최대 사출속도의 15, 30, 45, 60, 75%로 설정하였고, 그 이외의 성형조건은 PA6의 일반적인 성형조건으로 금형온도는 60°C, 성형온도는 240°C, 사출압력은 최대사출압의 50%로 설정하였다.

각 캐비티에서 발생하는 균형충전에 대한 RC pin의 영향을 알아보기 위해 Fig. 4에서 나타내는 것과 같이 1번 캐비티는 1차 러너에만 RC pin을 적용하였으며, 2번 캐비티는 1차와 2차 러너 모두에, 3

번 캐비티는 전혀 적용하지 않았으며, 4 번 캐비티에는 2 차 러너에만 RC pin 을 적용하였다.

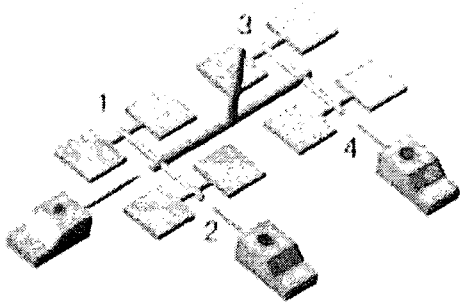


Fig. 4 Applied points of RC Pin at the runner

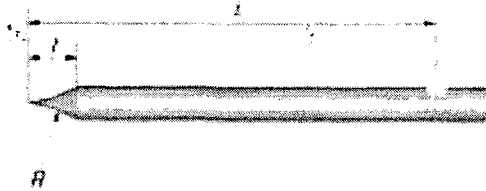


Fig. 5 The length and front shape of RC pin

또한 RC pin 의 형상변화가 균형충전에 미치는 영향을 알아보기 위해 Fig. 5 에서 나타내는 것과 같이 pin 의 길이(L)를 57, 60, 65, 70 mm 로 정하였고, RC pin 선단 형상의 경사부 길이(l)는 각각 3, 6, 9mm, 선단 곡면부 형상은 반경(R)은 0, 3, 10mm 로 가공하여 슬라이드 코어에 삽입하였다.

RC pin 의 삽입 길이에 따른 충전 불균형도의 측정은 성형과정에서 발생하는 성형 기계상의 편차와 측정오차를 최소화 하기 위해 각각의 동일 조건에서 연속 5 회 반복하여 시편을 성형하였고, 측정 시 시편의 최대값과 최소값을 제외한 3 개의 시편에 대한 평균 무게를 측정치로 채택하였다.

충전불균형도를 5 정량적으로 나타내기 위해 다음의 식 (2)와 같이 정의하여 사용하였다.

충전불균형도(DFI : Degree of filling imbalance)

$$= \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Win : 내측 캐비티에서의 성형물 중량
Wout : 외측 캐비티에서의 성형물 중량

3.2 캐비티에 대한 RC pin 의 영향

Fig. 6 은 균형 충전을 위해 고안된 RC pin 이 각 캐비티간의 충전불균형도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 1 차 러너에 RC pin 이 삽입된 1 번 캐비티의 충전 불균형도가 RC pin 이 삽입되지 않은 3 번 캐비티에 비해 월등하게 개선되었음을 알 수 있다. 그러나 2 차 러너에 각각 RC pin 이 삽입된 2 번 캐비티와 4 번 캐비티의 충전 불균형도는 RC pin 이 삽입되지 않은 3 번 캐비티보다 더욱 커짐을 알 수 있다. 이는 1 차 러너와는 달리 2 차 러너에서는 RC pin 이 비대칭 전단 분포의 경계를 형성시키는 효과를 유발시켜 충전불균형도를 더욱 증가시키는 것으로 사료된다.

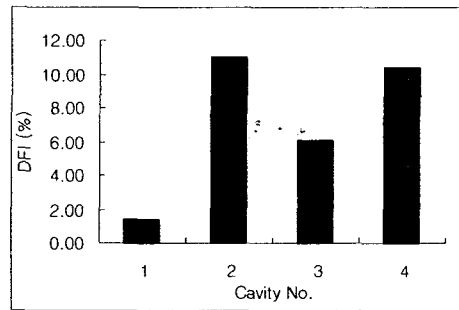


Fig. 6 Effects of RC Pin on each cavity

3.3 RC pin 의 길이에 따른 충전불균형도

Fig. 7 은 RC pin 의 길이에 따른 충전불균형도의 변화를 나타내고 있다. RC pin 길이에 대한 충전불균형도는 pin 의 길이가 짧은 57, 60mm 일 때 낮은 값을 나타내었다. 이 때 삽입된 핀의 위치는 Fig. 8 에서 나타낸 δ 값이 0 mm 근방이며, 이 때 충전불균형도를 가장 감소시키는 것으로 나타났다.

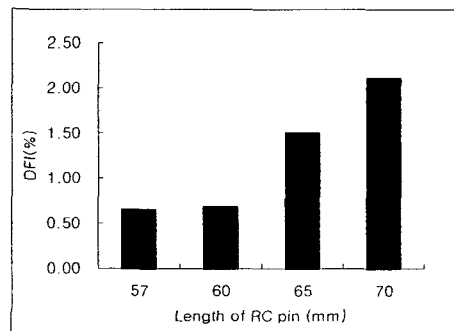


Fig. 7 DFI according to RC pin length

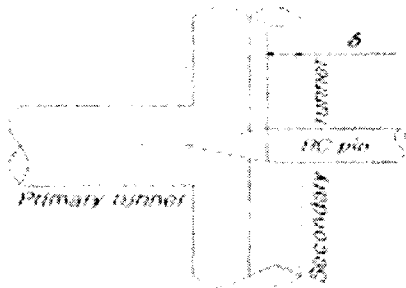


Fig. 8 An optical location of RC pin for PA6 filling balance

3.4 RC pin의 선단형상에 따른 충전불균형도

Fig. 9(a)와 Fig.9(b)는 RC pin의 경사부 길이와 경사부 선단 곡률에 따른 충전불균형도의 변화를 나타내고 있다. RC pin의 경사부 길이는 길어질수록 충전불균형도는 약간 감소하는 경향을 나타내었지만, 선단곡률에 의한 영향은 찾을 수 없었다. 이러한 RC pin의 선단형상에 의한 충전불균형도의 변화는 모든 경우에서 0.5% 이하로 삽입 길이에 의해 발생하는 충전불균형도의 변화에 비해 아주 미소함을 알 수 있다.

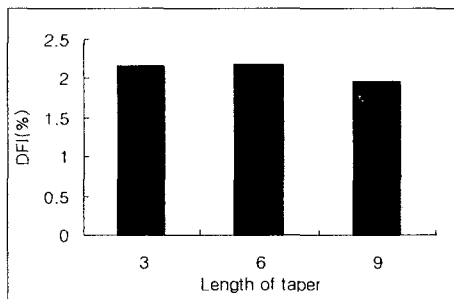


Fig. 9(a) Effects of taper length of RC pin on filling imbalance

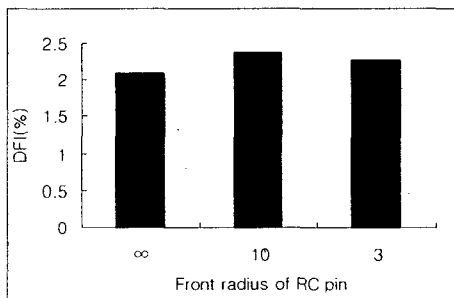


Fig. 9(b) Effects of radius of RC pin on filling imbalance

4. 결론

본 연구에서는 RC Pin이 다수 캐비티 사출금형에서 발생하는 충전불균형 현상에 미치는 영향을 알아보기 위해 결정성 수지인 PA6를 대상으로 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) RC pin을 1차 러너에만 적용시켰을 경우가 가장 우수한 균형충전을 나타내었으며, RC pin을 적용하지 않은 러너의 충전불균형도 값의 20% 수준으로 개선시키는 효과를 얻을 수 있었다.
- 2) RC Pin의 삽입 길이에 대한 충전불균형도는 RC pin의 삽입길이(δ)가 제로 근방일 때 우수한 균형충전을 얻을 수 있었다.
- 3) 충전불균형도에 대한 RC Pin의 경사면 길이 및 선단 곡률의 영향은 0.5% 이하로 극히 미미한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 정영득, 박태원, 김현필 공역, 플라스틱 성형을 위한 알기쉬운 금형설계, 도서출판 인터비전, pp. 224-227, 2003.
2. 강철민, 정영득, 다수 캐비티 사출금형에서 성형 인자가 충전 불균형에 미치는 영향? 한국소성가공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 54-57, 2004.
3. John. P. Beaumont and Jack H. Young, "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems", *Journal of Injection Molding Technology*, vol 1, No.3, pp. 133-135, 1997.
4. John P. Beaumont, 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.
5. David A. Hoffman, John P. Beaumont "Thermoset Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner System", ANTEC, pp. 844-845, 2001.
6. John P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman, "Successful Injection Molding", pp. 228-230, 2002