

다수 캐비티 사출금형에서 성형 인자가 충전 불균형에 미치는 영향

강철민* · 정영득**

Effects of Processing Factors on Filling Imbalances in Multi-cavity Injection Mold.

C. M. Kang, Y. D. Jeong

Abstract

Almost all injection molds have multi-cavity runner for mass production, which are designed with geometrically balanced runner system in order to minimize filling imbalance between cavity to cavity during processing. However, even though geometrically balanced runner is used, filling imbalances have sometimes been observed. These filling imbalances have historically been considered as result of uneven mold temperature and mold deflection, but it actually results from non-symmetrically shear, pressure, temperature distribution within melt material as it flows through the runner system. Filling imbalance could be decreased by modifying processing conditions that are related to shear, pressure, temperature such as injection rate, mold temperature, injection pressure, melt temperature. In this study, a series of experiment was conducted using Taguchi method to determine which processing condition influence as the primary cause of filling imbalance in geometrically balanced runner system. As a result of experiments, this paper could present an optimal processing condition to minimize variable that brings about filling imbalance geometrically balanced runner system

Key Words : Filling Imbalance (충전 불균형), Processing Temperature (성형온도), Injection speed (사출속도), Mold Temperature (금형온도), Injection Pressure (사출압력), Taguchi Method (다구찌 실험 계획법)

1. 서 론

다수 캐비티를 갖는 사출금형에서 성형되는 플라스틱 성형품의 생산성과 품질을 극대화하기 위해서는 각 캐비티의 균형적인 충전이 가장 우선시된다. 이를 위해 거의 모든 다수 캐비티 사출금형은 기하학적으로 균형적인 러너로 설계되어지고 있다. 그러나 기하학적으로 균형을 갖춘 러너라고 할지라도 플라스틱 유동특성에 의한 각 캐

비티간의 충전 불균형은 발생하게 되며, 이와 같은 충전 불균형은 각 캐비티에서 생산되는 성형품의 내부 응력에 영향을 줄 뿐만 아니라 성형 후 수축에도 영향을 주어 제품의 품질을 저하시키게 된다.

이와 같은 다수 캐비티 사출금에서의 충전 불균형은 과거에는 불균일한 금형 온도 분포, 금형 가공상의 오차 등에 발생한다고 생각되어 왔다.

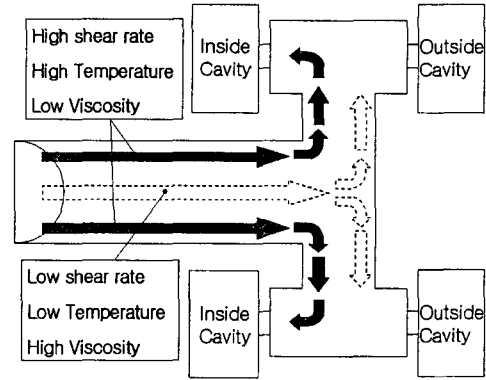
그러나 실제 충전 불균형은 러너 내부를 흐르는

* 부경대학교 일만대학원 기계공학과

** 부경대학교 기계공학부

플라스틱 멜트(melt) 내부의 불균일한 전단율 분포에 의해 발생한다.⁽¹⁾ 이와 같은 불균일한 전단율 분포는 성형 중 온도, 압력, 유량 등과 같은 여러 가지 성형인자에 의해 제어될 수 있다.

본 연구에서는 범용 수지인 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)을 대상으로 Fig. 1 에서와 같이 기하학적으로 균형을 이루는 러너⁽²⁾에 의해 충전되어지는 8 캐비티 사출 금형에서 충전 불균형에 영향을 주는 성형 공정 변수인 사출속도, 금형온도, 사출압력, 수지온도의 변화에 따른 충전 불균형의 양상을 분석함과 동시에, 다구찌 실험 계획법(Taguchi method)에 의한 실험횟수 최소화를 통해 충전 불균형에 가장 크게 영향을 미치는 성형인자를 조사하여 그 결과를 고찰하였다.



3. 충전 불균형 실험

3.1 실험 장치 및 조건

본 실험에 사용된 사출성형기는 LG 기계에서 제작한 형체력 140 톤 직압식 수평형 사출기를 사용하였고, 실험 금형은 기하학적으로 균형을 갖춘 러너에 의해 충전되는 8 캐비티 금형을 사용하였다. 대상수지는 범용 수지인 ABS (TR558 AI)를 사용하였다.

실험조건은 일반적인 ABS 성형조건(수지온도 235℃, 금형온도 65℃, 사출속도 60%, 사출압력 60%)을 고정 조건으로 설정한 후 각각의 성형 조건을 4 단계로 변화시켜, 그에 따르는 충전 불균형 양상을 조사하였다. Table 1 은 성형실험 조건을 나타내고 있다.

Table 1 Experimental conditions

Factor	Unit	Molding conditions			
		55	60	65	70
Mold Temp.	(℃)	55	60	65	70
Melt Temp.	(℃)	225	230	235	240
Injection Speed	(%)	40	50	60	70
Injection Pressure	(%)	40	50	60	70

Inside Cavity 와 Outside Cavity 간의 충전 불균형도는 식(1)과 같이 정의하였다.

$$\text{충전 불균형도(DFI)}^{(5)}$$

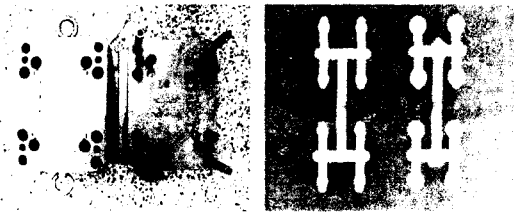


Fig. 1 The experimental mold and runner lay-out

2. 충전 불균형 원인

Fig. 2 에서 보는 것과 같은 러너에서 Inside Cavity 와 Outside Cavity 는 기하학적으로 균형을 이루는 위치에 있다. 스프루를 지나 러너를 통과하는 플라스틱 용융수지는 러너 내부 중심부와 외경부의 전단율이 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 충전되어지는 스프루(sprue)에서 가까운 Inside Cavity 가 먼저 충전되어진다.⁽³⁻⁴⁾

Fig. 2 Behavior of filling imbalance due to non-symmetrical shear distribution

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

여기서,

Win: 내측 캐비티에서의 성형물 중량

Wout: 외측 캐비티에서의 성형물 중량

3.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 4 (a), (b), (c), (d)는 충전 불균형에 영향을 주는 성형 변수인 금형온도, 수지온도, 사출속도, 사출압력의 변화에 따라 변화하는 충전 불균형도를 나타내고 있다. 4 가지 변수 모두 유동성이 증가하는 조건, 즉 높은 사출속도, 사출압력, 금형온도, 수지온도에서 충전불균형도가 감소함을 알 수 있다. 유동성이 증가하면 전단율 또한 증가하게 된다. 전단율의 증가는 수지 점도를 감소 시키게 된다. 그러나 Fig. 3 에서 보는 것과 같이 증가하는 전단율에 의해 점도는 점차 감소하게 되지만 어느 시점 이후에는 일정한 구간을 나타나게 된다.⁽⁶⁾ 이와 같은 이유로 유동성이 증가하도록 성형변수를 설정하는 것은 러너 내부의 대상수지의 불균일한 전단율에 의한 불균일한 점도를 일정하게 하는 구간으로 유도 하므로, 결과적으로 충전 불균형도는 감소하게 된다고 판단된다.

3.3 다구찌 기법에 의한 충전불균형 실험

위의 실험 결과를 바탕으로 성형품의 충전불균형에 가장 영향을 크게 미치는 성형 인자를 도출하기 위해 다구찌 기법을 통한 실험을 수행하였다.

다구찌 기법의 사용 목적은 제어할 수 있는 영향력이 강한 인자를 찾아내어 이 인자들의 영향력을 최대한으로 하여 잡음의 영향력을 최소화 하는

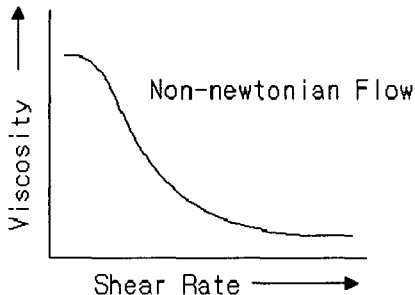


Fig. 3 Effect of shear rate on viscosity

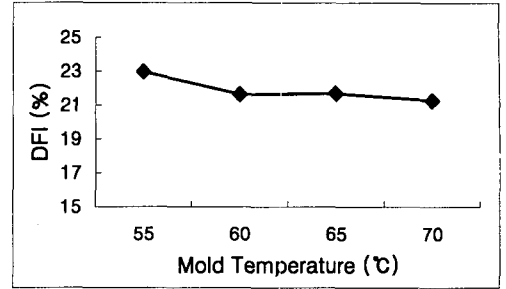


Fig. 4(a) Effect of mold temperature on DFI

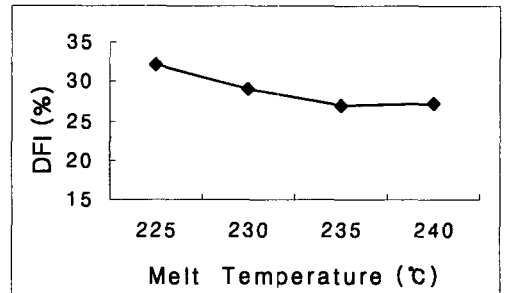


Fig. 4(b) Effect of melt temperature on DFI

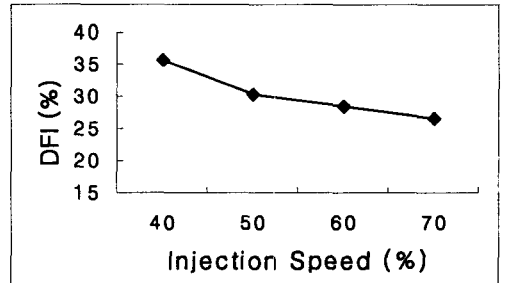


Fig. 4(c) Effect of injection rate on DFI

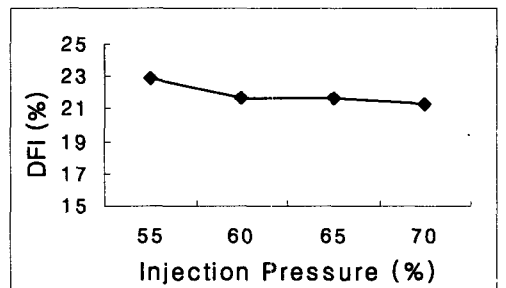


Fig. 4(d) Effect of injection pressure on DFI

것에 있으나 본 실험에는 인자별 영향력만 확인한 후 성형에 미치는 영향을 분석하였다. 이러한 기법에 필요한 것이 S/N 비 (Signal to Noise Rate) 로서, S/N 비는 특성치에 따라 망목특성, 망대특성, 망소특성으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 영향 인자에 의해 발생하는 충전불균형을 특성치로 선정하여, 최소화하는 방향으로 실험이 수행되었으므로 망소특성 분석을 사용하였다. 식 (2)는 S/N 비중에서 망소특성을 나타낸 것이다.⁽⁷⁾

$$S / N = -10 \cdot \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

여기서 y_i : 실험에서 얻은 데이터 값
 n : 실험 횟수

3.4 다구찌 기법에 의한 실험결과 및 고찰
 충전 불균형도에 영향을 미치는 인자의 영향도는 Fig. 5 과 같이 나타내었다. 영향도가 큰 인자는 사출속도(c), 금형온도(a), 수지온도(b), 사출압력(d)의 순으로 나타났다. 이는 사출속도가 충전 불균형을 발생시키는 불균일한 전단율 분포에 가장 크게 영향을 미치는 인자이기 때문으로 사료된다.

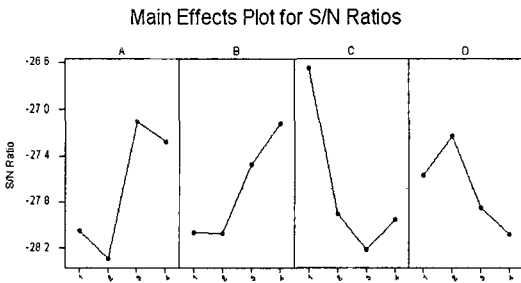


Fig. 5 Effects of factor on DFI

4. 결론

범용수지 ABS 를 대상으로 다수 캐비티에서 발생

하는 충전불균형에 영향을 주는 성형인자에 대해 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. .

(1) 충전 불균형도는 금형온도, 수지온도, 사출 속도, 사출압력이 증가함에 따라 감소함을 알 수 있었다.

(2) 충전 불균형도에 가장 크게 영향을 미치는 성형 변수는 사출 속도임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부경대학교 Brain Korea 21 사업단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사의 말씀을 전합니다. .

참 고 문 헌

- (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) David A. Hoffman, John P. Beaumont "Thermoset Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner System" ANTEC 2001, pp.844-845.
- (6) John P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman, 2002, "Successful Injection Molding", pp.228-230, 304
- (7) Ranjit K.Roy, 2001, "Design of Experiments Using the Taguchi Approach", pp. 369-404.