

# 사출성형시 불균형 충전에 관한 다구짜 실험계획법을 이용한 성형공정의 최적화

권윤숙<sup>†</sup>, 한동엽<sup>†</sup>, 정영득<sup>†</sup>  
부경대학교 기계공학부

(2007. 2. 21. 접수 / 2007. 5. 27. 채택)

## On the new mold structure with multi-point gate for filling-balance mold

Youn-Suk Hong<sup>†</sup> · Dong-Hyup Han<sup>†</sup> · Yeong Deug Jeong

Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University<sup>†</sup>

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University<sup>#</sup>

(Received February 21, 2007 / Accepted May 27, 2007)

**Abstract :** Almost all injection molds have multi-cavity runner system for mass production, which are designed with geometrically balanced runner system in order to accomplish filling balance between cavity to cavity during processing. However, even though geometrically balanced runner is used, filling imbalance have been observed. Filling imbalance could be decreased by modifying processing conditions such as injections rate, mold temperature, injection pressure, melt temperature that are related to shear, viscosity. In this study, a series of experiment was conducted to investigate filling imbalance variation when modifying runner layout and polymer and to determine which processing condition influences as the primary cause of filling imbalance in geometrically balanced runner system.

**Key Words :** DFI(Degree of Filling Imbalance), 전단감소(shear thinning), HR3P(hot-runner three plates), 실험계획법(design of experiments), SN ratio(signal to noise ratio)

### 1. 서 론

다수 캐비티 사출금형의 불균형충전에 관련된 연구는 Beaumont<sup>(1)</sup>에 의해 발표된 것을 시작으로, 다수의 연구 결과가 발표되고 있다. 불균형충전률 현상의 이론적 해석과 기초 실험에 관한 연구는 Kumar와 Casaldi<sup>(2)</sup>등이 충전공정을 수치 해석적인 방법을 통해 불균형충전률 현상을 실제 실험결과와 비교하였으며, Young<sup>(3)</sup>은 사출공정조건 중 용융수지 전단율에 가장 큰 영향을 미치것에 관한 논문을 발표하였다.

Fig. 1에서 보는 것과 같이 다수 캐비티를 가지는 사출금형에서 발생하는 불균형충전률 현상에 대한 그 원인을 알고자 한다. 본 논문에서 Fig. 2는 외경부를 따라 흐르는 수지의 흐름은 중심부의 흐름보다 유동성이 좋아지게 되고, 유동성이 좋은 외경부의

흐름에 지배되어 충전되어지는 스프루에서 가까운 내측 캐비티(A1)가 외측 캐비티 (A2, A3) 보다 먼저 충전된다<sup>(4)</sup>.

이러한 이유로 본 논문에서는 수치별로 불균형 충전률(Degree of Filling Imbalance : DFI)을 알아보고 어떤 성형조건이 불균형 충전에 가장 많은 영향을 미치는지 다구짜 실험계획법으로 분석하고 이를 사출성형 공정조건 설정시 적용시키고자 한다.

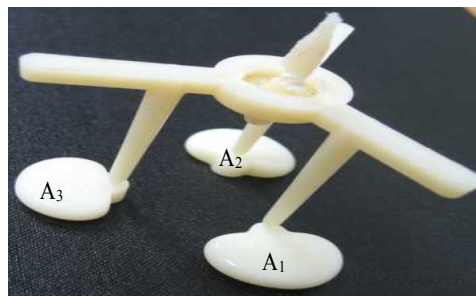


Fig. 1 Part of runner system

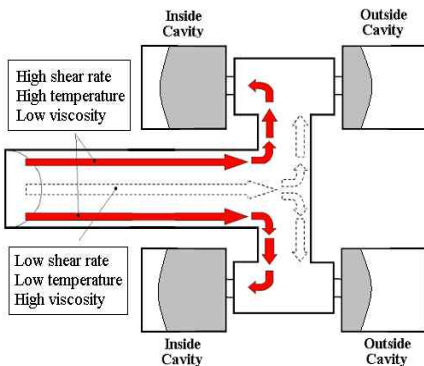


Fig. 2 Filling imbalance due to shear rate distribution

## 2. 실험계획법에 의한 공정 최적화

### 2.1 수지별 불균형 충전율에 관한 실험 내용

본 연구는 수지종류에 따른 불균형충전률의 변화를 알아보기 위해 범용 수지인 PP(LG M540), ABS(BASF GP22), PMMA(LG IF830)을 실험 대상수지로 선정하였다. 실험에 사용된 사출성형기는 LG 기계에서 제작된 형체력 140톤 직압식 사출기이며, 실험금형은 Fig. 3과 같은 기하학적 균형을 갖춘 러너시스템의 12개 캐비티 3매 구성 금형을 사용하였다. 3매 구성형 금형에서는 기존의 콜드러너 시스템을 Fig. 3에서 나타나 있는 형상을 갖춘 핫러너시스템으로 장착하였다. 수지의 온도는 210, 220, 230℃, 사출 속도는 20, 35, 50, 65, 80% 와 금형의 온도는 50, 60℃, 사출시간은 4초로 실험을 하였다. 실험의 조건으로 사출 한 것의 불균형 충전률을 알아보기 위해 실험한 시료에서 6번째부터의 사출 시료에서 3개를 추출하여 중량(weight)을 측정 하였다. 이 데이터를 가지고 식(1)을 이용하여 DFI 값을 계산 하였다<sup>(5)</sup>.

$$DFI(\text{Degree of Filling Imbalance}) = \left( \frac{\text{Weight } A_1 - \text{Weight } A_2}{\text{Weight } A_1} \right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

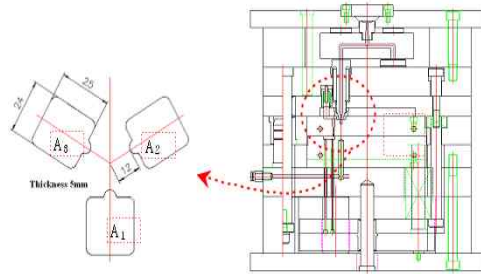


Fig. 3 A schematic drawing for hot runner of injection mold

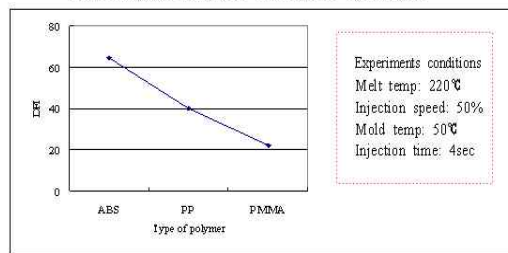


Fig. 4 DFI of polymers

DFI 값을 이용하여 수지별 불균형 충전율 분석한 결과 ABS수지가 가장 불균일한 충전을 가지고 PP와 PMMA의 순으로 나타남을 Fig. 4에서 알 수 있었다. 식(1)을 이용하여 가장 영향을 많이 미치는 사출성형 조건을 선정하여 이를 실험에 적용하고자 한다.

### 2.2 사출성형 공정 최적화

본 연구에서는 주어진 조건을 최적화하는 데 시간을 최소화하기 위해 다구찌 실험계획법을 사용한다. 품질특성치가 불균형 충전이므로 망소특성에 해당되며 SN비는 식(2)의 공식에 의해서 계산된다<sup>(6,7)</sup>. 성형품의 품질 특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 시료의 DFI를 다구찌 실험의 테이터로 사용하였다. 불균형 충전에 영향을 미치는 성형조건은 Table 1에서와 같이 수지의 종류, 용융수지온도, 금형온도, 사출압을 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준(level)은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 각각 3수준으로 정하였다. 성형조건들을 배치하기 위한 직교표는  $L_9(3^4)$ 표로 선정하여 성형조건을 할당하였다.

$$SN_i = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right) \quad (2)$$

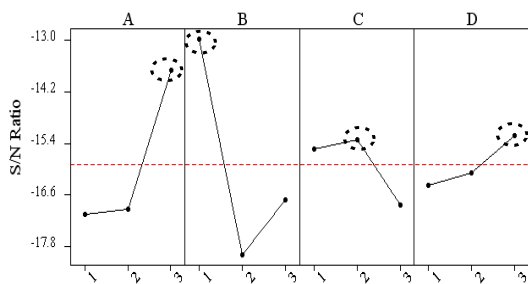
불균형 충전에 대한 DFI의 값과 SN비를 구한 값은 Table 2와 같다. 본 논문에서는 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 수지의 종류(A)와 수지의 온도(B)가 실험에 가장 유의한 인자로 작용 한다는 것을 알 수 있다. Table 3에 나타난 것과 같이 불균형 충전률의 최적 공정은 PMMA(A<sub>3</sub>) 수지에서 온도가 220℃(B<sub>1</sub>), 금형의 온도 50℃(C<sub>2</sub>), 사출속도는 80%(D<sub>3</sub>) 이다.

**Table 1 Control factors and level**

Control factors	Level		
	1	2	3
Type of polymer (A)	ABS	PP	PMMA
Melt temperature (B) °C	220	230	240
Mold temperature (C) °C	40	50	60
Injection speed (D) %	50	65	80

**Table 2 DFI & S/N ratio for Injection molding part**

A	B	C	D	y1	y2	y3	S/N ratio
1	1	1	1	2.9678	7.5945	3.6945	-14.267
1	2	2	2	11.121	3.8957	9.3217	-18.765
1	3	3	3	6.3657	4.9360	11.4764	-18.164
2	1	2	3	4.6946	4.7576	3.4144	-12.736
2	2	3	1	8.2288	3.6903	15.9246	-20.478
2	3	1	2	5.9897	4.7619	10.6897	-17.604
3	1	3	2	4.7891	4.2894	2.2727	-11.903
3	2	1	3	8.3106	3.2381	3.1522	-14.746
3	3	2	1	6.0965	2.9612	6.0960	-14.424



**Fig. 5 Main effect is for design variables**

**Table 3 Analysis of variance for design variable**

	DF	SS	MS	F
A	2	21.952	10.976	6.89
B	2	41.034	20.517	12.88
Error	4	6.373	1.593	
Total	8	69.359		

### 3. 결 론

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 러너를 가진 다수 캐비티 사출에서 핫러너 구조의 3매 구성 금형에서 불균형충전률에 대한 실험연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 불균형 충전 성형공정 조건에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 다구찌 실험 계획법을 이용하였으며 그 결과 유의한 성형조건을 수지의 종류(A)와 수지의 온도(B)임을 알 수 있었다.

(2) 불균형 충전률을 최소화하기 위한 최적 공정조건은 PMMA(A<sub>3</sub>) 수지에서 온도가 220℃(B<sub>1</sub>), 금형의 온도 50℃(C<sub>2</sub>), 사출속도는 80%(D<sub>3</sub>)이다.

(3) PP, ABS, PMMA의 수지의 종류에 따라 불균형 충전률(DFI)을 조사한 결과 ABS, PP, PMMA의 순으로 불균형 충전률이 높은 것으로 나타났다.

### 참고문헌

- (1) J. P. Beamont, Jack H. Young, and Matthew. J. Jawoski, "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molding", Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 47-58, 1998
- (2) Health E. Casaldi and Timothy Michel, "Process Window as Effected by Shear Induced Flow Imbalance in Multi-cavity Molds", ANTEC 2001, pp. 3112-3115, 2001
- (3) Jack H. Young and J. P. Beaumont, "Mold Filling Imbalances in Geome-

- trically Balanced Runner System", Journal of Injection Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 133-134, 1997
- (4) Beamont, J. P. and Boell, K, "Controlling Balanced Molding Through New Hot Runner Manifold Designs," ANTEC 2001, pp. 932-936, 2001
  - (5) 제덕근, "다수 캐비티 사출 금형에서의 균형 충전에 관한 연구", 부경대학교 대학원, pp. 30-32
  - (6) 이승훈, 염봉석, 김성준, "실험계획 및 분석 : 다구치 방법과 직교표의 활용", pp. 46, 2004
  - (7) 박성현, "현대실험계획법", pp. 423, 2002