

가변 러너 시스템을 이용한 패밀리 금형의 충전밸런스에 관한 이론적 연구

최권일^{1,3}, 박형필^{2,3}, 차백순², 이병옥^{3,#}, 구본흥¹

A Theoretical Study for the Filling Balance of the Family Mold Using Variable-Runner System

Kwon-il Choi^{1,3}, Hyung-Pil Park^{2,3}, Baeg-Soon Cha², Byung-Ohk Rhee^{3,#}, and Bon-Heung Koo¹

Abstract

In family mold, defects are frequently occurred by an excessive packing the smaller volume cavity during molding. Although runner size could be optimized by CAE analysis or experimental data, the filling imbalance is hardly avoided in the actual injection molding process by various means. Before this study, we developed a variable-runner system for balancing the cavity-filling for three resins (ABS, LDPE, and PA66) in the family-mold, and examined the effect of cross-sectional area reduction of a runner in the system. In this study, we examined the conditions of the pressure and temperature in the system with a CAE analysis. We also analyzed the influence of the rheological characteristic of resins to the balancing-capability of the system in order to help mold designers easily adopt the variable-runner system to their design.

Key Words : Injection Molding(사출성형), Family Mold(패밀리 금형), Variable Runner System(가변러너장치), Filling Balance(충전균형), Shear thinning(전단박하)

1. 서 론

사출금형은 제품의 배치 및 방식에 따라 싱글 캐비티(Single cavity), 멀티 캐비티(Multi Cavity), 그리고, 패밀리 금형(Family Mold) 방식으로 나뉘며, 일반적으로는 싱글캐비티와 멀티캐비티 금형이 많이 사용되고 있다. 하지만 요즈음과 같이 소비자 성향에 따른 제품의 변화주기가 빠른 시장에서는 제품생산을 위한 여러벌의 금형을 만드는 것은 제품 단가의 상승요인이 되기 때문에, 한벌의 금형으로 완제품 생산이 가능한 패밀리 금형 제작이 필요한 실정이다.

패밀리 금형은 최종 제품을 구성하는 각각의 부품을 1 회의 공정으로 한 벌의 금형에서 생산하는 방법으로 다품종 대량생산에 적합한 생산방식

이다. 하지만 이 방식은 제품의 형상 및 크기가 다르기 때문에, 제품 성형 시 플라스틱 수지의 불균일한 충전으로 인하여 각각의 캐비티로 균일한 압력이 전달되지 않고, 상대적으로 체적이 작은 캐비티로 먼저 충전이 이루어진다. 이로 인하여 먼저 충전된 캐비티에는 높은 압력이 발생하여 제품에 많은 문제를 발생시킨다.

이러한 문제점을 개선하기 위해서 사출성형 CAE 를 이용하여 충전 불균형을 예측하고, 캐비티의 충전균형을 위한 각각의 러너(Runner) 및 게이트(Gate) 크기를 계산하여 금형 설계 및 제작에 반영하였으나, 이를 금형설계에 정확히 반영하기에는 많은 어려운 점들을 가지고 있다[1].

캐비티 내부의 충전 불균형 현상을 규명하기 위한 연구는 오래전부터 이루어 졌지만, 본격적인 연구는 1990 년대 후반부터 시작되었다[2, 3].

1. ㈜브이엘테크
2. 한국생산기술연구원
3. 아주대학교 기계공학과
교신저자: 아주대학교 기계공학과, E-mail: rhex@ajou.ac.kr

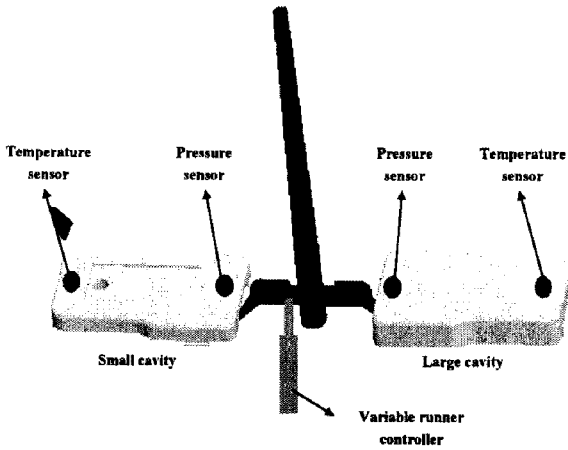


Fig. 1 Measurement position and variable runner control system

그러나, 지금까지의 연구에서 충전 균형 해결을 위한 장치들은 사용에 제약이 있으며 복잡한 장비 구성으로 인하여 현장에서는 사용하기 어려운 부분이 있었다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 Park 등은 캐비티의 충전 불균형 해결을 위한 장치의 사용에 제약이 없고, 금형구조가 비교적 간단한 가변러너장치(Variable-runner system)을 개발하였다[4]. 이 장치는 상대적으로 충전이 먼저 되는 캐비티의 러너측에 나사산을 가공한 가변러너 조절핀을 설치하여, 회전수가 증가할수록 국부적으로 러너의 단면적을 감소시켜 충전 균형을 이루는 장치이다. 이 방법은 회전에 따른 직선운동거리를 쉽게 제어하기 때문에 러너의 단면조절을 수월하게 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 이러한 가변러너시스템을 토대

Table 1 Process conditions for the LDPE, ABS, and PA66

Resin	Dimension	LDPE	ABS	PA66
Melt temp.	deg-C	200	220	290
Mold temp.	deg-C	45	40	95
Injection rate	%	20/ 50/ 70/ 90		

로 유연학적으로 각기 다른 특성을 가진 3 개의 수지를 선정하여, 수지별로 가변러너의 단면적이 변화함에 따라 전단가열(Shear heating), 전단박화(Shear thinning) 현상이 충전균형과 어떠한 상관관계를 지니는 지를 실험결과, CAE 해석결과, 그리고 수치해석 결과를 비교 분석하였다.

2. 실험결과

기존 실험에서 사용한 제품은 Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 두 제품이 조립되어 완제품을 구성하는 플라스틱 하우징(Housing) 제품으로써, 사출성형해석을 위하여 3D CAD 프로그램을 이용하여 제품모델링을 하였으며, 가변러너부와 센서의 위치를 함께 나타내었다.

실험에 사용된 성형재료는 각기 유연학적 특성이 다른 LDPE, ABS, 그리고, PA66 총 3 개의 수지를 선정하였다. LDPE 는 Hanhwa 사의 LDPE-737, ABS 는 LG Chemical 사의 HI-121, 그리고 PA66 는 DuPont 사의 ZYTEL-101F 를 사용하였다. 각 수지별 성형조건을 Table 1 에 나타내었다. 성형온도, 금형온도는 각 수지별로 사출성형에 적합하도록 설정하였으며, 사출속도는 총 4 가지 경우에 대하여 설정하였다. 사출속도가 50%일 때, 각 수지별 충전시간을 큰 제품측 캐비티와 작은 제품측 캐비티를 구분하여 측정 한 결과, LDPE 의 경우 가변러너 조절핀이 3.5 회, ABS 는 3 회, 그리고 PA66 는 2 회 회전하였을 경우에 충전밸런스를 이루었다[4].

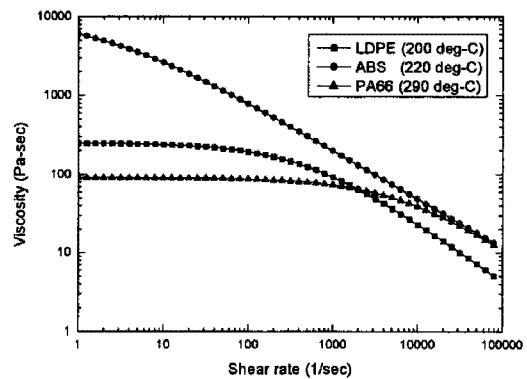


Fig. 2 Viscosity as a function of shear rate for LDPE, ABS, and PA66

Table 2 Modified cross-WLF model coefficients of the LDPE, ABS, and PA66

Coeff. \ Resin	LDPE	ABS	PA66
n	0.2354	0.3806	0.2538
τ^*	124,420	18,090	614,000
D_1	8.09E+11	1.69E+12	1.27E+13
D_2	233.15	373.15	323.15
D_3	0	0	0
A_1	26.605	27.05	31.178
A_2	51.6	51.6	51.6
η_0	250.0808	10292.72	91.0609

3. 해석결과

수지별로 CAE 해석을 진행한 후, 충전과정중의 압력과 온도를 시간에 따라 도출하였다. 압력은 수지주입구와 가변러너 앞뒤에서, 온도는 측정포인트의 단면에서의 평균값을 계산하였다.

3.1 점도

CAE 해석시에 사용한 점도모델은 Modified Cross-WLF 모델이며, 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 η_0 는 zero shear rate viscosity 이며 다음과 같다.

$$\eta_0 = D_1 \exp \left[\frac{-A_1(T - D_2)}{-A_2 + (T - D_2)} \right] \quad (2)$$

각 수지별 전단율에 따른 점도의 그래프를 Fig. 2에 나타내었고, 점도모델에서의 계수는 Table 2에 나타내었다. ABS의 경우 전단율이 발전함에 따라 전단박화 현상이 바로 나타나고, PA66의 경우, 전단율이 충분히 발전해야만이 전단박화 현상이 나타나며, LDPE는 ABS와 PA66의 중간형태를 보이고 있다. 이러한 전단박화 현상은 Table 2에 나타

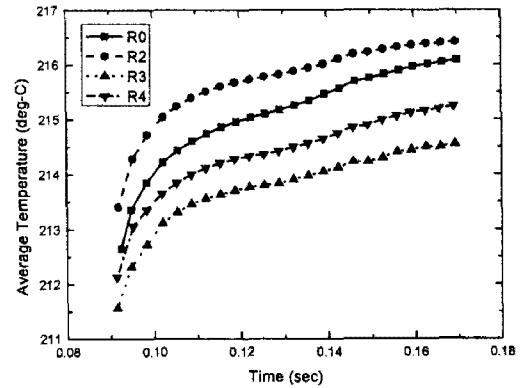


Fig. 3 Cross sectional average temperature for ABS as a function of time at variable runner

낸 점도계수중 τ^* 와 밀접한 관계가 있으며, 값이 클수록 전단박화 현상은 늦게 발생한다. 또한 점도계수중 n은 전단율이 발전함에 따라 점도가 감소되는 기울기를 뜻한다.

3.2 온도결과

수지는 ABS, 사출속도가 50%인 경우에 가변러너 조절핀의 회전수에 따라 시간에 따른 가변러너 뒤 단면에서의 평균온도를 Fig. 3에 나타내었다. 평균온도는 다음과 같이 정의된다.

$$T_{avg} = \frac{\int T dA}{\int dA} \quad (3)$$

이 결과로 미루어 볼 때, 시간에 따라 온도가 상승하는 형태를 보이고 있지만 그 양이 무시할 만 큼 작고, 가변러너 조절핀의 회전수에 따라 온도 변화가 최대 3도 이하의 극히 미비한 차이를 보이므로 본 연구에서 실험한 제품에 대해서는 전단가열(Shear heating)에 따른 점도변화 역시 미비할 것으로 판단하였다.

3.3 압력결과

수지주입구에서의 압력은 점도가 비교적 높은 ABS의 경우가 가장 높고, 상대적으로 점도가 낮은 PA66가 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나

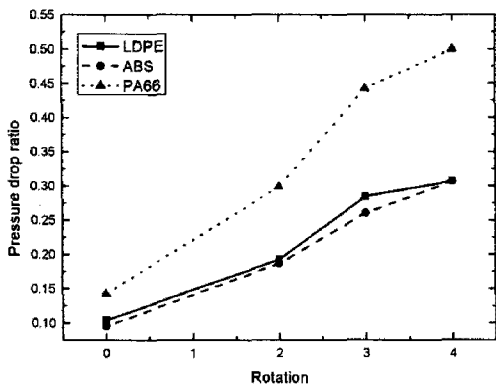


Fig. 4 Pressure drop ratio for LDPE/ABS/PA66 as a function of rotation of variable runner control pin

압력의 결과와 충전밸런스와의 관계를 이끌어내는 것은 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 다음과 같이 압력강하비(Pressure drop ratio)를 도입하였다 [3].

$$P_r = \frac{P_1 - P_2}{P_E - P_2} \quad (4)$$

P_1 은 수지가 가변러너를 통과하기 전의 압력, P_2 는 가변러너를 통과한 후의 압력을 나타내며, P_E 는 수지주입구에서의 압력을 나타낸다. 즉, 압력강하비는 수지주입구에서 가변러너 뒤의 압력강하와 가변러너의 앞뒤 압력강하의 비이다. 일반적으로 충전과정중에 압력은 계속해서 상승하지만, 일정한 위치사이의 압력강하는 시간에 따라 큰 변화가 없으므로 본 연구에서는 압력강하비를 시간에 대한 평균값을 구하였다. 압력강하비는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 수지별로 가변러너에서의 압력강하를 가변러너 조절핀의 회전수에 따라 상대적으로 비교할 수 있다. PA66의 경우, 가변러너 조절핀의 회전수가 증가하면서 상대적으로 압력강하비의 증가가 다른 수지에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 이는 가변러너 조절핀의 회전수에 따라 압력강하가 다른 수지에 비해 크기 때문에 그만

큼 가변러너측의 유동저항이 크다고 할 수 있으며, 따라서 유동단면적이 감소할수록 유량이 급격히 감소하게 된다. 반면에 LDPE와 ABS는 회전수에 따라 압력강하비가 PA66에 비해 상대적으로 작기 때문에 유량의 변화 역시 작다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 각기 유변학적 특성이 다른 3개의 수지를 선별하여 기존에 실험한 가변러너시스템을 해석과 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 이 결과를 토대로 추후 가변러너 자동화 시스템 개발에 적용할 예정이다

(1) 수지가 PA66와 같이 Newtonian 유체와 비슷한 거동을 보일수록 유량의 변화는 가변러너 조절핀의 회전수에 따른 러너의 단면적 변화에 민감한 형태를 보인다.

(2) 수지의 온도는 가변러너 조절핀의 회전수에 따른 러너의 단면적 변화에 따라 크게 변화하지 않는다.

참고 문헌

- [1] 정영득, 구본홍, 2005, 사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계, 인터뷰전
- [2] J. Beaumont & J. Young, 1997, Mold filling imbalances in geometrically balanced runner systems, *Journal of Injection Molding Technology*, Vol.1, No.3, pp. 133~135.
- [3] J. P. Coulter, 2003, Cavity specific control of melt flow during injection molding processes, *Conference proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Washington, D.C., Vol. 3.
- [4] 박형필, 차백순, 강중근, 이병옥, 2006, 가변러너시스템에서 LDPE/ABS/PA66 수지의 충전균형, *한국소성가공학회지*, 제15권, 9호, pp. 641~647