

사출금형의 러너시스템 형상에 따른 균형 충전도

Degree of Filling Balance according to Runner Shapes in Injection Mold

한동엽¹, 정영득¹
Dong Yeop Han¹ and Yeong Deug Jeong¹

¹ 부경대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Pukyong Univ.)
✉ Corresponding author: ydjung@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-1544

Manuscript received: 2008.2.5 / Revised: 2008.5.28 / Accepted: 2008.7.22

Configuration of filling imbalance which is originated from imbalanced share rate of melt on runner is changed by runner layout, runner shape, material property, injection pressure, injection speed, melt temperature and mold temperature. In this paper, we conducted a study of runner layout and shape that are main factors of filling imbalance. Other factors such as the sharp corner effect and the groove corner effect are recently released were also considered. The results of study are showed that filling rate of between inside and outside cavity was influenced on shape of runner. Especially, this study suggests a new runner system for filling balance by adapting the two effects of unary branch type runner at multi cavity mold and theoretical investigated flow in the sharp corner type runner.

Key Words: Filling Imbalance (충전 불균형), Share Rate (전단율), Unary Branch Type Runner (편측 분기형 러너), Multi Cavity Mold (다수 캐비티 금형)

1. 서론

플라스틱의 사출 공정에서 생산성을 향상시키기 위한 여러 가지 요소중 다수 캐비티¹ 금형의 개발은 필수적이다. 다수 캐비티 사출금형에서 각 캐비티 간에 일어나는 충전 불균형은 성형품의 품질에 큰 저해 요인으로서 플라스틱 제품의 치수정밀도, 외관품질, 강도 등에 불균일한 결과를 가져오는 요인으로 지적되고 있다.

이와 같은 다수 캐비티 사출금형에서 충전 불균형은 1997년 Beaumont²에 의해 그 현상의 원인이 규명되기 이전에는 단순히 불균일한 금형온도의 분포, 러너시스템 및 캐비티 가공시의 오차, 사출압력에 의한 금형형판의 휨 등에서 오는 결과로

간과되어 왔다. 그러나 실제로 충전 불균형은 충전단계에서 러너 내에 발생하는 불균일한 전단분포에 기인하여 발생되므로 점도 변화에 영향을 주는 수지의 물성, 러너의 배열(layout)과 같은 외부 요인과 사출압력(injection pressure), 사출속도(injection speed), 수지온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature)와 같은 성형공정 조건에 의한 요인에 의해 충전 불균형의 양상이 달라지게 된다.³

본 논문은 편측 분기형 다수캐비티 금형에서 충전 불균형에 영향을 주는 외부 요인중의 하나인 러너시스템 형상에 따른 충전 균형도에 대해 연구하였다. 최근 Beaumont와 McKee and Hoover에 의해 발표된 러너의 Reverse Corner(Sharp Corner) 효과

과^{4,5}와 부경대학교 정밀성형실험실에 의해 발표된 Cold Slug Well(Groove Corner) 효과⁶에 따르면 러너 형상에 따라 내측 캐비티와 외측 캐비티 간의 충전도가 달라지는 것을 알 수 있었으며, 이런 결과를 기반으로하여 균형 충전을 위한 가변형 러너코어를 적용한 하나의 새로운 러너시스템을 제안하였다. 또한, Sharp Corner 러너 형상에서의 충전 불균형을 설명할 수 있는 도식적 모델을 제시하였다. 본 연구의 결과는 다수캐비티를 갖는 정밀성형용 사출금형의 설계와 이를 이용한 성형공정에 활용할 수 있는 기초자료에 사용될 것으로 기대한다.

2. 이론적 배경

2.1 러너 내부 플라스틱 수지의 유동특성

플라스틱 재료인 수지는 러너 내에서 유동 시 층류유동(Laminar flow) 특징을 나타내며, 폴리머 층(layer) 사이의 상대유동과 유동채널의 중심부와 외측부에 흐르는 폴리머의 유동은 다르게 나타난다. 이 변화의 비율을 전단율($\dot{\gamma}$)이라 하며, Fig. 1은 러너 내에서 발생하는 전단율의 변화를 나타낸 것이다.

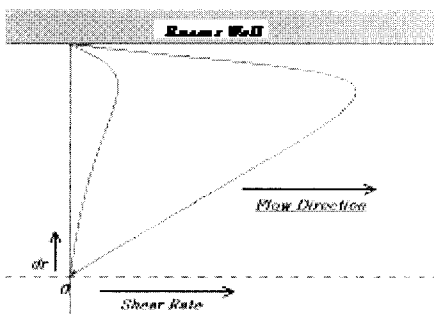


Fig. 1 Profile of shear rate within runner

전단율은 러너 벽면 고화층 아래에서 가장 크게 발생되며, 러너 중심으로 갈수록 전단율은 감소하여 유동채널 중심에서의 전단율은 0에 가깝게 된다. 이와 같은 전단율 분포는 식 (1)에서와 같이 나타낼 수 있다.³

수지가 러너 내부를 흐를 때 형성된 전단율 분포는 유속이 빨라지면서 러너의 반경에 따라 변하게 된다. 정상적인 성형 조건에서는 전단율이 커

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

여기서, V_0 : 최고 흐름 속도

R : 러너의 반경

dr : 흐름 중심에서의 위치

n : power law index

지면 그 유동층 부근의 온도는 높아지게 되고, 수지의 점성을 낮게 하는 소위 전단 감소(shear thinning)현상을 나타내어 그 유동층의 유동성을 증가시키는 요인이 된다. 사출성형 시 수지점도와 전단율 등과의 관계는 식 (2)와 같이 Modified Cross-WLF Model을 사용하여 나타낼 수 있다.⁷

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \times \dot{\gamma}}{\tau} \right)^{(1-n)}} \quad (2)$$

여기서, $\dot{\gamma}$: 전단율(shear rate)

τ : 경계구역에서의 전단응력

n : 비뉴턴 지수

η_0 : 제로 전단율에서의 점도

2.2 양측 분기형 러너에서의 충전 불균형

Fig. 2에서 보는 것과 같이 내측 캐비티와 외측 캐비티는 기하학적으로 균형을 이루고 있으나 실제 사출공정시 캐비티 간에 충전 불균형이 일어나게 된다. 이러한 현상은 러너의 분기가 2회 이상 발생하는 경우 러너 중심부의 전단율과 러너 벽면의 전단율 차이에 의해 발생된다고 알려져 있다. 러너 벽면 영역에서는 전단율이 가장 높아지게 되고, 수지의 비뉴턴(non-Newtonian)특성과 마찰열에 의해서 점도가 낮아지게 되어 수지의 유동은 러너 중심부보다 더욱 빨라지게 된다. 이런 상태로 1차 분기된 수지의 유동은 2차 러너의 좌측 및 우측의 흐름 특성을 변화시켜 캐비티간 충전 불균형을 일으키게 된다.^{8,12}

2.3 편측 분기형 러너에서의 충전 불균형

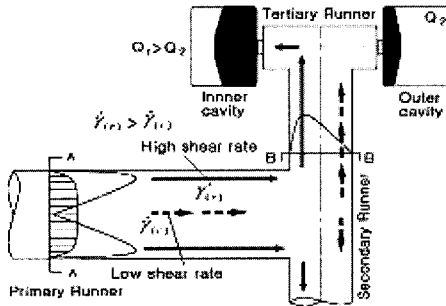


Fig. 2 The filling imbalance in binary branch type runner lay-out

편측 분기형 러너(unary branch type runner)에서의 충전 불균형 역시 양측 분기형 러너에서와 같이 주 러너 벽면 고화층과 접하고 흐르는 수지는 중심부의 수지보다 더 뜨거운 수지상태가 된다. 그러나 양측 분기와 달리 편측 분기에서는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 90° 방향전환이 이루어지는 콜드 슬러그 웰 (cold slug well) 형상의 Groove corner 부에서 상대적으로 고온의 수지유동과 저온의 수지유동의 근접에 의한 중간 유동(medial flow)이 발생한다. 이런 이유로 러너 외측의 흐름은 간섭 없이 흐르는 내측의 유동보다 저온의 저속유동이 발생하게 된다. 그 결과 수지는 외측 캐비티보다 내측 캐비티에 먼저 채워져 충전 불균형을 일으키게 된다.

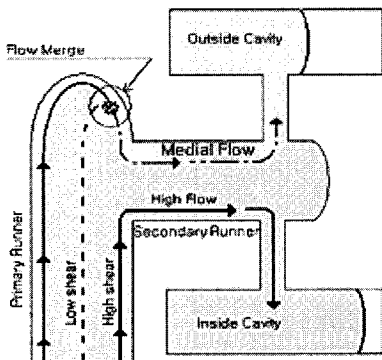


Fig. 3 The filling imbalance in unary branch type runner lay-out

3. 실험

3.1 실험 재료

본 연구에서는 Table 1 과 같이 열가소성 수지 중 결정성 수지 PA6(polyamide), PP(polypropylene) 와 비결정성 수지 ABS(acrlonitrile butadiene styrene), PC(polycarbonate)를 실험 재료로 사용하였다.

Table 1 Experimental materials

Materials		Model	Maker
semicrystalline	PA6	8202B	Ultramid
	PP	M540	GS Caltex
amorphous	PC	Lexan1330	BE
	ABS	GP22	BASF

3.2 실험 조건

본 연구에서는 최적의 성형조건을 고려하여 Table 2 와 같이 수지온도를 수지별 적정 용융온도로 선정 하였으며, 사출압력 50%, 사출속도 50%, 금형온도 40℃, 사출시간 1.5 초, 냉각시간 20 초의 동일조건으로 하여 실험하였다.

Table 2 Melt temperatures of the resins

Materials	Melt temperature (°C)
PA6	230
PP	200
PC	280
ABS	220

3.3 실험 장비 및 금형

본 실험에 사용된 사출성형기는 LG 전선에서 제작된 형체력 140ton 직압식 사출성형기(IDE-140EN)이며, 실험 금형은 편측분기형 다수 캐비티를 갖춘 2 매 구성형 금형으로 Fig. 4 와 같이 Sharp Corner 와 Groove Corner 효과에 대한 실험이 가능한 가변형 러너코어를 가지는 금형을 고안하여 제작하였다. 가변형 러너코어는 90° 방향전환이 이루어지는 러너의 첫 번째 코너부와 두 번째 코너부에 위치하며, Fig. 5 는 가변형 러너코어의 확대사진을 보여주고 있다.

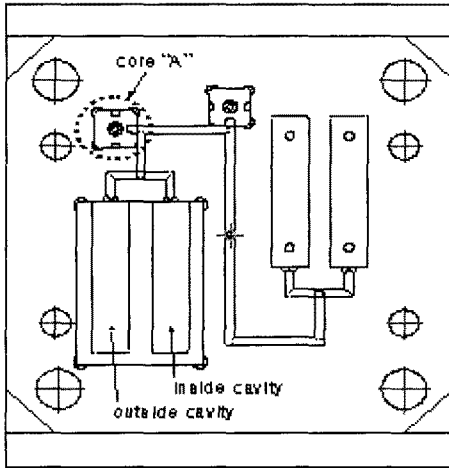


Fig. 4 Experimental mold

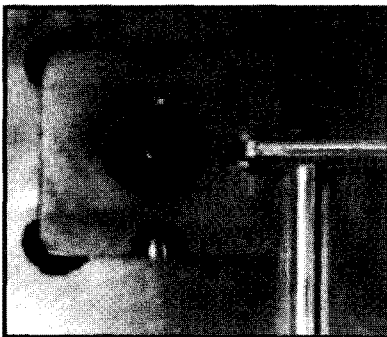


Fig. 5 A photograph of cure "A"

3.4 실험 방법 및 측정

본 실험에서는 Fig. 6 과 같이 가변형 코어를 적용하여 러너 형상을 3 가지로 분류하였다. Fig. 6 의 (a)는 Groove corner, (b)는 sharp corner, (c)는 Groove corner 와 sharp corner 가 혼합된 러너 형상으로 코어를 변형시켜 실험하였다.

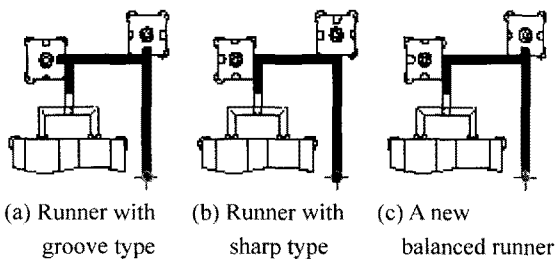


Fig. 6 Variations of runner shapes

스프루에서 가까운 캐비티를 내측 캐비티 (inside cavity), 먼 캐비티를 외측 캐비티(outside cavity)로 설정하였으며, 캐비티 간 충전 균형도 (DFB ; Degree of Filling Balance) 값을 측정키 위해 캐비티간 충전 균형을 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$DFB = \frac{W_{outside}}{W_{inside}} \times 100\% \tag{3}$$

여기서, W_{inside} : inside cavity 의 성형물 중량(g)

$W_{outside}$: outside cavity 의 성형물 중량(g)

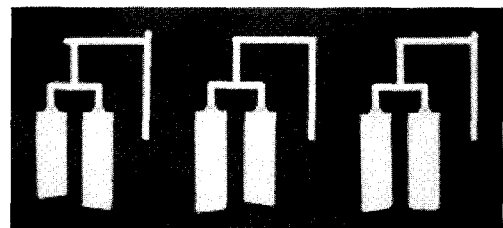
실험 오차를 최소화하기 위해 각 수지별, 러너 형상별로 10 개씩 미성형 사출하여, DFB 값이 가장 큰 시편과 가장 작은 시편을 3 개씩 제외한 4 개 시편의 평균값을 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 러너 형상에 따른 수지별 충전 균형도

Fig. 7 에서와 같이 러너 형상별로 충전 균형도가 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. (a)의 경우 러너가 Groove Corner 형상으로 내측 캐비티가 먼저 충전되었고, (b)의 Sharp Corner 에서는 외측 캐비티가 먼저 충전되었다. Groove Corner 와 Sharp Corner 2 가지 형상을 취하는 (c)의 경우 (a)와 (b)에 비해 충전 균형도 변화가 상대적으로 작게 나타났다.

Fig. 8 은 러너 형상별 충전 균형을 수지별로 나타낸 그래프로 DFB 값이 100% 일 때 완전한 균형 충전을 의미하며, 100%보다 작은 값은 내측 캐비티가 먼저 충전되며, 100%보다 큰 값은 외측 캐비티가 먼저 충전됨을 의미한다.



(a) (b) (c)

Fig. 7 Filling imbalance according to runner shapes

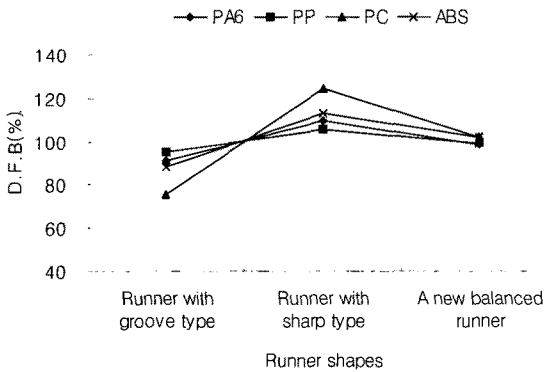


Fig. 8 Variations polymer's DFB according to runner shapes

결정성 수지인 PA6 의 경우 Groove Corner 일 때 91.1%, Sharp Corner 일 때 109.6%로 러너 형상에 따라 최대 18%의 차이를 나타내었으며, PP 의 경우 각각 95.0%, 105.3%로 약 10%의 차이를 나타내어 러너 형상변화에 따라 결정성 수지의 경우 PA6 가 PP 보다 더 큰 DFB 차이값을 가지는 것으로 나타났다. 비결정성 수지인 PC 의 경우 Groove Corner 일 때 75.8%, Sharp Corner 일 때 124.7%로 약 49%의 차이를 나타내었고, ABS 의 경우 각각 88.4%, 113.0%로 약 25%의 차이를 나타내어 비결정성 수지의 경우 PC 가 ABS 보다 더 큰 DFB 의 차이가 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 Groove Corner 와 Sharp Corner 일때 DFB 값의 차이는 PC, ABS, PA6, PP 순으로 크게 나타났다. 이러한 결과는 각 수지가 가지고 있는 고유의 물성치인 온도 민감도(temperature sensitivity)⁶ 와의 관계를 통해 설명할 수 있다. 온도 민감도는 수지의 DFB 값에 반비례 관계이므로 온도 민감도가 높은 비결정성 수지의 DFB 값은 온도민감도가 낮은 결정성 수지에 비해 낮아지게 된다.

미소한 차이지만 Groove Corner 와 Sharp Corner 2 가지 형상을 동시에 취할 때의 DFB 값도 PC, ABS, PA6, PP 순으로 크게 나타났다. 하지만 수지별 DFB 값의 차이는 1~2% 정도이므로 한가지 형상만을 취하는 러너 시스템과 비교해 볼 때 균형 충전을 이룬다고 볼 수 있다. 따라서 가변형 러너 코어를 적용하여 Groove Corner 와 Sharp Corner 를 동시에 취하게 했을 때 양호한 균형 충전도를 갖는 사출 성형품을 얻을 수 있었다.

4.2. Sharp corner 의 이론적 고찰

Fig. 9 는 편측 분기형 Sharp Corner 의 러너 시스템으로 90° 방향전환이 이루어지는 Sharp Corner 이전의 용융수지 흐름은 Groove Corner 에서의 초기유동과 같이 러너 중심부의 전단율과 러너 벽면의 전단율 차이에 의해 러너 벽면의 수지흐름이 더 빨라지게 된다. 이후 Sharp Corner 부를 지나는 동안 수지흐름의 균형이 바뀌게 되는데, P1 과 P2 부의 단면적 변화로 용융수지의 밀도와 압력분포 차이에 의해 Sharp Corner 내측을 흐르는 유동선이 외측을 흐르는 유동선 보다 더 빠르게 흐르게 된다. Sharp Corner 이전의 밀도와 압력분포를 동일조건으로 볼 때 90° 방향 전환부에서 직선운동의 수지유동과 유동정체(hesitation)부와 직접적으로 접하는 P1 부는 P2 부에 비해 상대적으로 높은 전단력의 상태가 되고, 전단마찰(shear heating)로 인해 수지온도는 더욱 상승하게 된다.

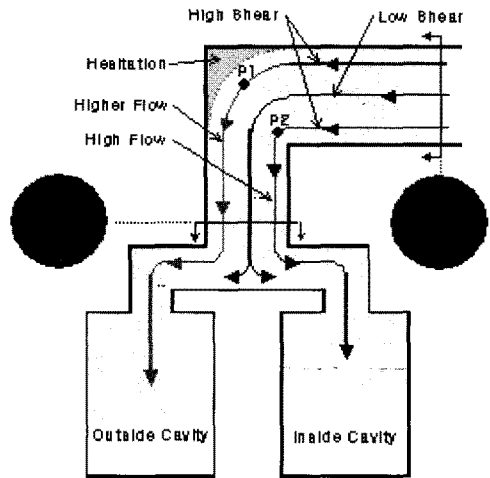


Fig. 9 The filling imbalance in sharp corner type runner lay-out

또한, Sharp Corner 부의 유동정체부와 유동부 간의 경계층 형성으로 전단율이 커지게 되고, 수지온도의 상승을 더욱 가속화 시키게 된다. 이러한 결과로 P1, P2 부의 유동패턴은 달라지게 되고, 결국 P1 부의 용융수지 점도저하로 인해 Sharp Corner 부 이후에는 외측부의 수지흐름이 더 빨라지게 되어 외측 캐비티가 충전이 먼저 이루어진다고 추정된다.

5. 결 론

본 연구에서는 기하학적 균형을 갖춘 편측 분기형 러너지스템을 갖는 사출금형에서 러너 형상에 따른 충전 균형도를 분석하고, 균형 충전을 이룰 수 있는 러너지스템 모델을 제안하기 위한 실험적 연구로서 다음과 같은 주요 결과를 얻을 수 있었다.

(1) Groove Corner 와 Sharp Conner 를 동시에 취하는 러너지스템에서 98% 이상의 양호한 균형 충전도를 나타내어 그 실효성을 검증할 수 있었다.

(2) 온도 민감도에 따라 러너지스템별 DFB 값의 차이는 PC, ABS, PA6, PP 순으로 크게 나타났다.

(3) Sharp Corner 의 러너지스템에서 충전 불균형을 설명할 수 있는 도식적 모델을 제시하였으며, Sharp Corner 효과에 의해 외측 캐비티가 먼저 충전되는 원인을 설명하였다.

참고문헌

- Jeong, Y. D., Park, T. W. and Kong, H. P., "Easy mold design for plastic injection molding," INTERVISION, pp. 224-227, 2003.
- Young, J. H. and Beaumont, J. P., "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner System," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 133-143, 1997.
- Beaumont, J. P., Young, J. H. and Jawoski, M. J., "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 47-58, 1998.
- Beaumont, A. I., "Investigation of Reversed Shear Induced Melt Imbalances in Injection Molds," ANTEC, pp. 1112-1116, 2007.
- McKee, R. W. and Hoover, J. A., "The Effect of Sharp Corners and Runner Length on Melt Flow Imbalances," ANTEC, pp. 2868-2872, 2006.
- Je, D. K., "A Study on the Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds," Department of Mechanical Engineering Graduate School of Pukyong National University, pp. 40-50, 2006.
- Kang, C. M. and Jeong, Y. D., "Effects of Glass Fiber on the Filling imbalance in Multi-Cavity Injection Mold," Spring conference KSME, pp. 120-123, 2004.
- Auell, P. and Bailey, M., "Effect Thermoplastic Material Properties on Mold Filling Imbalances," ANTEC, pp. 3495-3499, 2002.
- Beaumont, J. P., Nagel, R. and Sherman, R., "Successful Injection Molding," HANSER, pp. 36-37, 2002.
- Han, S. R., Kang, C. M., Han, K. T. and Jeong, Y. D., "A Study on the Filling Imbalances between Multi-Cavity in Hot-Runner Mold," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 9, pp. 174-175, 2005.
- Je, D. K. and Jeong, Y. D., "Filling Imbalance in 3Plate Type Injection Molds with Multi-Cavity," Spring conference KSPE, pp. 300-301, 2000.
- Han, D. Y., Kwon, Y. S., No, B. S. and Jeong, Y. D., "Filling Imbalance of Elastomer TPVs in Injection Mold with Multi-Cavity," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 41-43, 2007.