

나뭇가지형 러너시스템을 갖는 사출금형에서의 충전 불균형

한동엽[†] · 정영득[#]

부경대학교 기계공학부 대학원
(2007. 9. 30. 접수 / 2007. 11. 30. 채택)

Filling Imbalance in Injection Mold with Branch Type Runner System

Dong-Yeop Han[†] · Yeong-Deug Jeong[#]

Pukyong National University
(Received September 30, 2007 / Accepted November 30, 2007)

Abstract : Recently, the study for filling imbalance in thermoplastic polymer has gradually been increased. However, it is hard to find the researches for filling imbalance of thermoplastic elastomer(TPE). The experiment of filling imbalance was conducted for thermoplastic vulcanize(TPV) and PP, ABS polymers in the mold with un-geometrically balanced runner system(Branch Type Runner System). In this experiment, the effects of the melt temperature, injection pressure and injection speed on the filling imbalance were investigated.

Key Words : Filling imbalance, Branch Type Runner System, Thermoplastic vulcanize, Short shot

1. 서 론

사출금형에서 충전 불균형 현상은 플라스틱 제품의 치수정밀도, 외관품질, 기계적 물성의 차이를 발생시켜 성형품의 품질을 저하시키게 된다. 특히 다수 캐비티를 가지는 금형에서 러너의 설계는 캐비티가 빨리 충전할 수 있어야 하고, 모든 캐비티를 균일하게 충전되도록 설계하여야 한다. 이를 위해서는 러너 및 게이트에 대하여 밸런스를 취하여 사출 성형시 발생하기 쉬운 플로우 마크(flow mark), 싱크 마크(sinks mark), 숏트 샷(short shot), 오버 팩킹(over packing), 치수정밀도 오차 및 중량불량 등을 해결하여야 한다^{1) 2) 3)}.

기하학적 균형을 갖지 않는 러너는 나뭇가지(branch type) 또는 고기뼈(fishbone type) 형태로 배치되며 보통은 추천되지 않지만 사출공정시 러너 재료를 감소시키고 사출압력을 줄일 수 있어 대량

생산용으로 공차가 정밀하지 않는 제품에 여전히 사용되고 있다. 충전 불균형은 이러한 러너의 배열에 의해 변하지만 사출압력(injection pressure), 사출 속도(injection speed), 수지온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature)와 같은 성형조건에 의해서도 달라지게 된다⁴⁾.

본 연구에서는 기하학적 균형을 갖지 않는 러너 시스템을 가지는 다수 캐비티 금형에서의 충전 불균형 현상을 열가소성 플라스틱 재료인 ABS와 PP, 엘로스톰머 재료중 TPV 수지를 대상으로 성형 실험하여 그 결과에 대해 고찰하였다.

2. 이론

2.1. 기하학적 균형을 갖춘 러너에서의 충전 불균형

사출성형 공정시에는 러너시스템이 기하학적으로 균형을 갖추고 있어도 Fig. 1과 같이 내측 캐비티와 외측 캐비티 간에 충전 불균형 현상은 일어나게 된다^{5) 6)}. 이러한 현상은 러너의 분기가 2회 이상 발생

[†] 부경대학교 기계공학부 대학원
[#] 교신저자: 부경대학교 기계공학부
E-mail yd jung@pknu.ac.kr Tel. (051) 620-1534

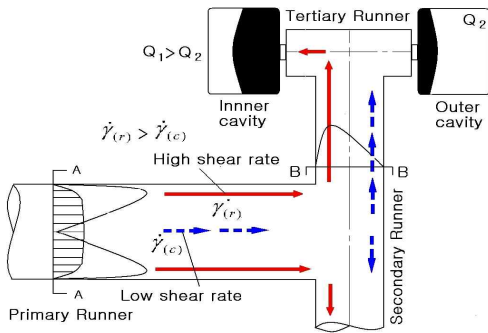


Fig. 1 Filling imbalance due to non-symmetrical shear rate distribution

$$1 + \left(\frac{\eta_o \times \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{(1-n)} \quad (1)$$

- 여기서, $\dot{\gamma}$: 전단율(shear rate)
- τ^* : 경계구역에서의 전단응력
- n : 비뉴턴 지수
- η_o : 제로 전단율에서의 점도

되는 경우 러너 중심부의 전단율과 러너 벽면의 전단율 차이에 의해 기인된다. 수지의 비뉴턴(non-Newtonian) 특성과 온도에 따른 점도변화를 나타내는 (1)식과 같은 수정 Cross 점도모델식^{7) 8) 9)}에 따라 러너 벽면 영역에서는 전단율($\dot{\gamma}$)이 가장 높아지게 되고, 점도는 낮아지게 되어 수지의 유동은 러너 중심부 보다 더욱 빨라지게 된다. 이와 같이 전단에 기인한 비대칭 유동특성에 의해 1차 분기된 수지의 유동은 2차 러너의 좌측 및 우측의 흐름 특성을 변화시켜 캐비티 간 충전 불균형을 일으키게 된다.

2.2. 기하학적 균형을 갖지 않는 러너에서의 충전 불균형

기하학적 균형을 갖지 않는 러너에서 사출속도에 따라 다양한 충전패턴(filling pattern)을 보이게 된다¹⁰⁾. Fig. 2 (a)에서 나타내는 것과 같이 일반적으로 사출속도가 빠를 경우 스프루에 가까운 캐비티가 먼저 충전되는 반면, (b)와 같이 낮은 사출속도에서의 용융수지의 전단은 러너보다 상대적으로 작은 단면적을 가지는 게이트 입구에서 정체를 일으키며 용융수지는 러너의 체적을 우선적으로 충전시키게 된다. 이후 스프루에 가까운 게이트는 멀리 있는 게이트보다 용융수지가 더 빨리 고화되어 높은 흐름 저항 발생으로 스프루와 멀리 있는 게이트를 통해 캐비티가 먼저 충전된다.

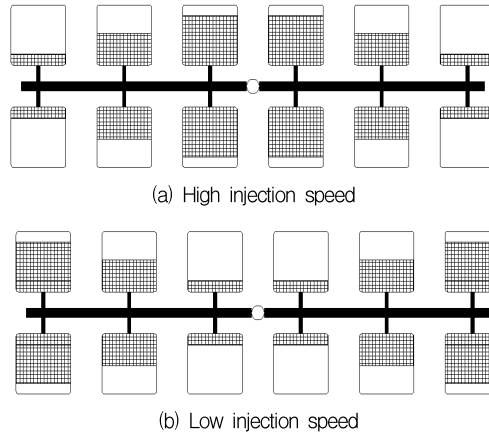


Fig. 2 Filling pattern according to injection speed

3. 실험

3.1. 실험재료

본 연구에서는 Table 1과 같이 열가소성 수지중 비결정성 수지인 ABS(acrylonitrile butadiene styrene), 결정성 수지인 PP(polypropylene), 올레핀계 TPE 중의 하나인 TPV를 대상 재료로 사용하였다. TPV는 폴리프로필렌(polypropylene; PP)과 에틸렌프로필렌 고무(ethylene propylene rubber; EPDM)를 혼합한 재료로 성분비가 PP 29%, EPDM 71%의 비율이다.

Table 1 Experimental materials

Materials	Model	Maker
ABS	HI-121	LG Chemical
PP	M540	GS Caltex
TPV	L2K75BKS	HWASEUNG R&A

3.2. 실험조건

본 연구에서는 성형조건의 변화에 따라 캐비티내 충전 불균형에 어떤 영향을 미치는가에 대한 실험이다. Table 2와 같이 사출압력, 수지온도, 사출속도를 실험변수로 하였으며 각각의 조건을 단계별로 나누어 실험하였다. 수지온도는 주어진 조건에서 5°C씩 5단계로 나누어 설정하였으며, 사출시간 2초, 냉각시간 15초의 고정조건으로 하여 실험하였다.

Table 2 Experimental conditions for injection molding

Factor	Unit	ABS	PP	TPV
Injection pressure	%	10, 15, 20, 25, 30		
Injection speed	cm/s	16, 21, 26, 31, 36		
Melt temperature	℃	230~250	200~220	190~210
Mold temperature	℃	60	40	40
Injection time	sec	2		
Cooling time	sec	15		

3.3. 실험장치

본 실험에 사용된 사출성형기는 LG전선에서 제작된 형체력 140ton 직압식 사출성형기(IDE-140EN)¹¹⁾였으며, 실험 금형은 10개 캐비티, 2매 구성형 금형으로 Fig. 3과 같이 양측 분기형과 나뭇가지형 러너 시스템을 동시에 취하는 구조로 제작되었다. 기하학적 균형을 갖추지 않은 나뭇가지형 러너시스템의 실험을 위해 양측 분기형 러너 시작부를 폐쇄시켜 실험하였다. 캐비티 간 충전 불균형도(DFI ; degree of filling imbalance) 값을 측정기 위해 스프루에 가까운 캐비티 순서에 따라 1st, 2nd, 3rd 캐비티로 구분하였다.

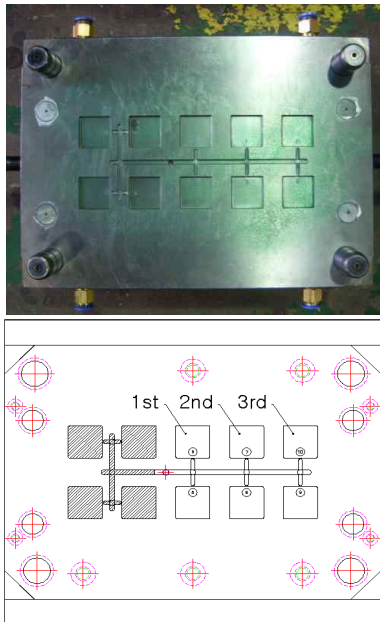


Fig. 3 Experimental mold

기하학적 균형을 갖추지 않는 러너의 일반적인 충전과정은 Fig. 3과 같이 1st 캐비티를 기준으로 2nd와 3rd 캐비티간 다른 충전 불균형 현상을 보일 것이다. 캐비티 간 충전 불균형도를 (2)식과 같이 정의하였다.

$$DFI = \left(\frac{W_{1st} - W}{W_{1st}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

여기서, W_{1st} : 1st 캐비티에서의 성형물 중량(g)

W : 2nd 또는 3rd 캐비티에서의 성형물 중량(g)

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 사출속도에 따른 충전 불균형도(DFI)

Fig. 4는 사출속도에 따른 수치별 DFI 값의 변화를 나타낸 그래프이다.

사출속도 증가에 따라 각 수치별 충전 불균형도는 감소되는 경향을 보였다. ABS수지에서 사출속도가 30%에서 70%까지 증가하는 동안 2nd 캐비티는 40%, 3rd 캐비티 4%, PP수지에서는 2nd 캐비티 31%, 3rd 캐비티는 6%, TPV수지에서는 2nd 캐비티 26%, 3rd 캐비티는 4%의 DFI 값이 감소되었다. 이러한 결과는 ABS, PP, TPV수지의 2nd 캐비티가 빠르게 충전되는 동안 3rd 캐비티는 상대적으로 느리게 충전이 이루어지며 스프루에 가까운 1st, 2nd, 3rd 캐비티 순으로 충전됨을 보여준다.

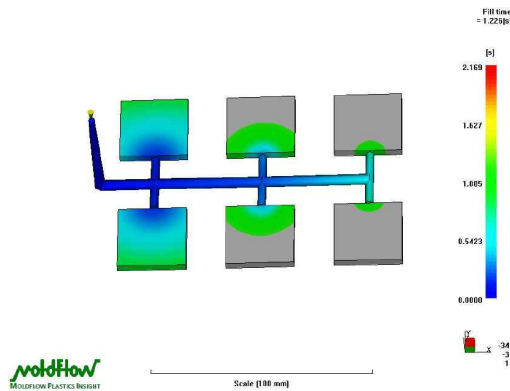


Fig. 5 The filling imbalances in flow analysis

Fig. 5는 사출성형 해석 프로그램인 MOLDFLOWTM를 이용하여 기하학적 균형을 갖지 않는 러너의 캐비티를 대상으로 충전해석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 성형 해석상으로는 스프루에 가까운 캐비티부터 먼 캐비티까지 순차적으로 충전이 이루어졌다.

결과적으로 본 실험금형에서는 실제 사출성형의 결과가 CAE 해석상 사출속도 변화에 따른 캐비티의 충전패턴과 유사하게 나타났다.

4.2. 수지온도에 따른 충전 불균형도(DFI)

Fig. 6는 수지온도에 따른 수지별 DFI 값의 변화를 나타낸 그래프이다. 수지온도 증가에 따라 각 수지별 충전 불균형도는 감소되었다. ABS수지에서 수지온도가 증가하는 동안 2nd 캐비티는 60%, 3rd 캐비티 16%, PP수지에서는 2nd 캐비티 55%, 3rd 캐비티는 40%, TPV수지에서는 2nd 캐비티 54%, 3rd 캐비티는 34%의 DFI 값이 감소되었다. 결과적으로 사출속도 변화와 유사한 결과를 보였지만 수지온도에 의한 DFI 값의 감소폭이 더 크게 나타났다. 이러한 결과는 수지온도가 사출속도 보다 DFI 값에 더 큰 영향을 미치는 인자임을 나타낸다. 2nd 캐비티와 3rd 캐비티 사이의 DFI 값의 감소는 ABS, TPV, PP 순으로 크게 나타났다.

4.3 사출압력에 따른 충전 불균형도(DFI)

Fig. 7는 사출압력에 따른 수지별 DFI 값의 변화를 나타낸 그래프이다.

ABS 수지에서 사출압력이 10%에서 30%까지 증가하는 동안 2nd 캐비티는 96%, 3rd 캐비티 100%, PP수지에서는 2nd 캐비티 80%, 3rd 캐비티는 96%, TPV수지에서는 2nd 캐비티 94%, 3rd 캐비티는 100%의 DFI 값이 감소되었다. ABS, PP, TPV 수지에서 2nd 캐비티는 사출압력 15%에서, 3rd 캐비티는 사출압력 20%를 기점으로 급격히 DFI 값이 감소되었다.

사출압력 증가에 따라 충전 초기부터 충전 완료 단계까지 충전패턴을 Fig. 8과 같이 관찰할 수 있었으며, 각 수지별 충전 불균형도가 가장 뚜렷하게 감소되는 경향을 보였다. 이런 현상은 스프루에 가까운 2nd 캐비티가 충전 완료단계 일 때 3rd 캐비티는 충전 초기단계에 이른다는 것을 알 수 있다. DFI 값의 급격한 감소는 성형품의 품질에 좋지 않은 영향을 가져올 수 있으며, 캐비티 간 기계적인 물성치를 변화시키게 될 것이다.

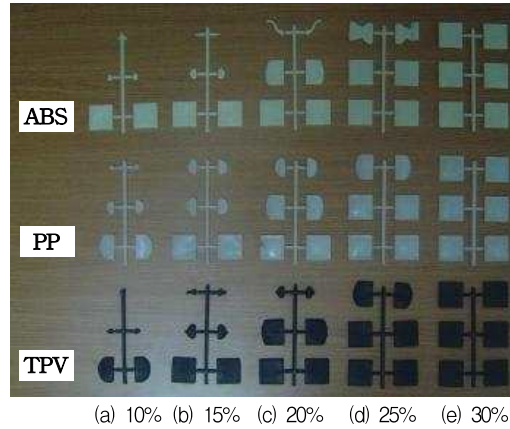


Fig. 8 Molding at each step according to injection pressure

본 연구결과에서 Fig. 8과 같이 사출속도에 따른 충전패턴의 변화가 일어나지 않은 이유는 충전 불균형 현상의 다른 인자인 러너 및 게이트의 크기, 캐비티의 체적, 배열간격, 수량 등의 영향으로 생각된다. 향후 연구에서는 캐비티 내부에 센서가 삽입된 모니터링 시스템을 적용하는 등 실험용 금형 구조를 변경시켜 보다 다양한 수지를 대상으로 연구할 예정이다.

5. 결 론

본 연구에서는 기하학적 균형을 갖추지 않은 나뭇가지형 러너시스템을 갖는 다수 캐비티 금형에서 성형조건에 따른 수지별 충전 불균형을 알아보기 위한 실험적 연구로서 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

1. 본 실험금형에서는 각 수지별 사출속도 변화에 따른 캐비티 간 충전패턴의 변화는 없었으며 사출속도에 의한 충전을 변화가 가장 작은 것으로 나타났다.
2. 모든 수지에서 충전율에 영향을 미치는 인자는 사출압력, 수지온도, 사출속도 순으로 나타났다.
3. ABS 수지의 온도 민감도가 가장 높아 수지온도 변화에 따른 캐비티 사이 DFI 값의 감소가 가장 크게 나타난 것으로 사료된다.

참고문헌

1. John P. Beaumont and Jack H. Young, "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems", Journal of Injection Molding Technology, Vol 1, No 3, 1997, pp. 133-143.
2. 日本플라스틱加工技術協會 “射出金型の 基本과 應用”, 機電研究社 1995, pp. 140~143.
3. 申南浩, 李均德 共著 “플라스틱 金型の 基本과 設計”, (주)한국산업정보센터 1997, pp. 59~64.
4. 정영득, 구본홍 공역 “사출성형 해석에 의한 제품 및 금형설계”, 도서출판 인터버전 2005, pp. 156~159.
5. John. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman "Successful Injection Molding", HANSER 2002, pp. 58, 63, 71.
6. Patrick Auell, Michael Bailey "Effect Thermoplastic Material Properties on Mold Filling Imbalances", ANTEC 2002, pp. 3495~3499.
7. John. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman "Successful Injection Molding", HANSER 2002, pp. 36~37.
8. 한성렬, 강철민, 한규택, 정영득, “핫러너 금형에서 다수캐비티 사이에 발생하는 충전불균형에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제22권 제9호, 2005, pp. 174~175.
9. 제덕근, 정영득, “다수 캐비티를 갖는 3매 구성형 사출금형에서의 충전 불균형”, 한국정밀공학회 논문집, 2000, pp. 300~301.
10. 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득 공역 “사출성형CAE설계지침”, 문운당 2004, pp. 72~73.
11. LG전선 사출시스템 사업부, “취급설명서 LG 사출성형기”, 1999.

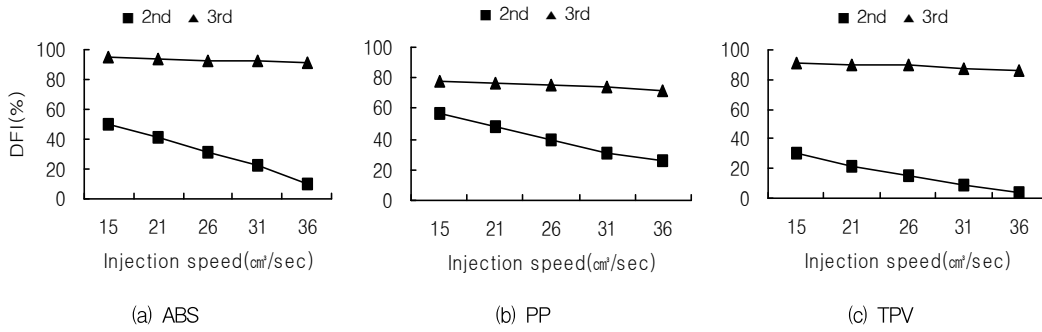


Fig. 4 DFI variation according to injection speed

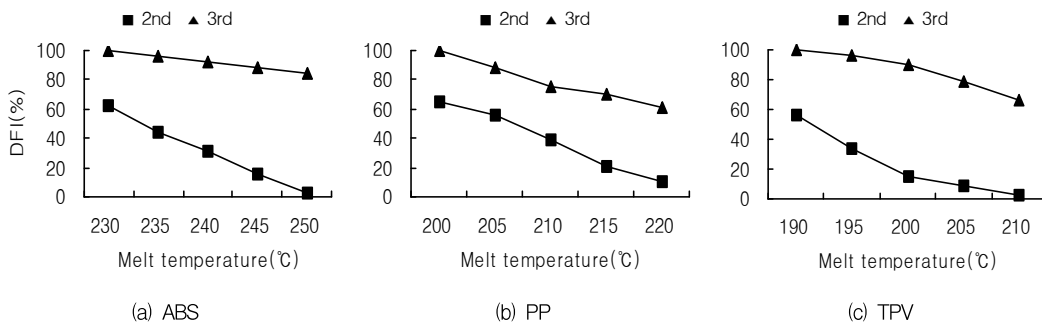


Fig. 6 DFI variation according to melt temperature

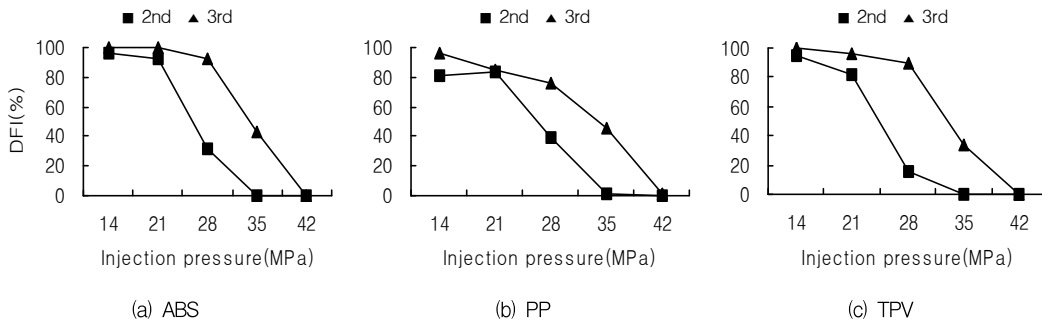


Fig. 7 DFI variation according to injection pressure