

다수캐비티 사출금형에서 충전 불균형이 성형 품질에 미치는 영향

한동엽[†] · 정영득[#]

부경대학교 대학원 기계공학과 · 부경대학교 기계공학부

The Effect of Filling Imbalances on the Molding Quality in the Multy-Cavity Injection Mold

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

Department of Mechanical Engineering Pukyong National University

Abstract : The injection molding process is a predominant method for producing plastic parts. In order to maximize productivity and molding quality in a injection mold, it is important that each cavity in a multi-cavity injection mold is identical. This requires that cavity dimensions should be identical and delivery system of melt to each cavity have to be the same. Despite the geometrically balanced layout in multi-cavity injection mold more than 4 cavities, it has been observed that the filling in each cavity results in imbalances. Most of cases, this phenomenon of filling imbalances have a bad effect on dimension accuracy, warpage, molding appearance and strength of molding parts. In this study, experiment were conducted to investigate the effect of filling imbalances on the molding quality(surface gloss, shrinkage, tensile strength) in the multy-cavity injection mold.

Key Words : filling imbalance, molding quality, surface gloss, shrinkage, tensile strength

1. 서 론

다수 캐비티 사출금형에서 각 캐비티를 동시 충전시키게 되면 주어진 규격을 만족하는 제품을 생산할 수 있는 가능성이 커지며, 보다 폭 넓은 성형 조건 구간(process window)을 사용할 수 있다. 그러므로 한 번의 성형사이클 동안 품질이 우수한 제품을 많이 생산할 수 있으므로 이익을 극대화 할 수 있게 된다. 다수 캐비티 금형을 사용하는 이유는 한 번의 사출성형으로 동일한 제품을 여러 개 생산하기 위해서이다. 그러나 금형의 치수와 냉각 정도를 동일하게 하는 것은 쉬운 일이 아니다¹⁾.

플라스틱의 성형 공정에서 생산성을 향상시키기 위해서는 성형 사이클타임의 단축과 다수 캐비티 금형²⁾ 개발이 필수적인데 성형 사이클타임의 단축을 위해서는 적절한 냉각시스템과 고속 사출성형기 등에 관한 연구가 필요하며, 다수 캐비티 금형에서는 각 캐비티에서 성형되는 성형품에 대한 균일한 품질의 확보를 위한 최적 성형조건의 탐색과 금형 구조의 개선에 관한 연구가 선행되어야 한다.

다수 캐비티 사출금형에서 각 캐비티 간에 일어나는 충전 불균형은 성형품의 품질에 큰 저해 요인으로서 플라스틱 제품의 치수정밀도, 외관품질, 강도 등의 품질에 불균일한 결과를 가져오는 근본적인 요인으로 지적되고 있다. 또한, 충전 불균형은 제품 성형 시 발생하는 과보압 및 성형품의 플래쉬(flash)를 일으키고 결과적으로는 금형 수명을 단축시키게 된다.

[†] 부경대학교 기계공학과 대학원

handysir@hanmail.net

[#] 교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

접수 : 2012. 10. 10. 채택 : 2013. 01. 18.

본 논문에서는 다수 캐비티 사출금형에서 발생하는 충전 불균형 현상이 성형 품질 즉, 성형품의 표면 광택도, 수축율, 인장강도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 연구를 수행하였다.

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.

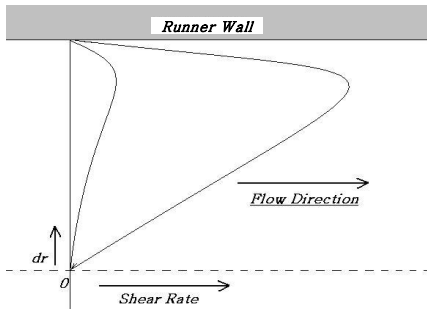


Fig. 1 Profile of shear rate within runner

전단율은 러너 벽면 고화층 아래에서 가장 크게 발생되며, 러너 중심으로 갈수록 전단율은 감소하여 유동채널 중심에서의 전단율은 0에 가깝게 된다.

2.2 편측 분기형 러너시스템

Fig. 2와 같이 편측 분기형 러너(unary branch type runner) 내측 캐비티(inner cavity)와 외측 캐비티(outer cavity)는 기하학적으로 균형을 이루고 있으나 실제 사출공정 시 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. 1차 러너(primary runner) 벽면 영역에서는 전단율이 가장 높아지게 되고, 수지의 비뉴턴(non-Newtonian) 특성과 마찰열에 의해서 점도가 낮아지게 되어 수지의 유동은 러너 중심부 보다 더욱 빨라지게 된다. 그러나 2차 러너(secondary runner)로 방향전환이 이

루어지는 groove corner 부분에서 러너 좌측벽면의 고온수지와 러너 중심부 저온수지 간 혼합으로 2차 러너 외측에서는 러너 내측 수지의 유동보다 다소 느린 중간유동층(medial flow layer)이 발생된다. 그 결과 중간유동층에 의해 충전되는 외측 캐비티에 비해 고온의 유동층을 접하게 되는 내측 캐비티가 먼저 충전되는 효과를 가져 오게 된다^{3,4,5}.

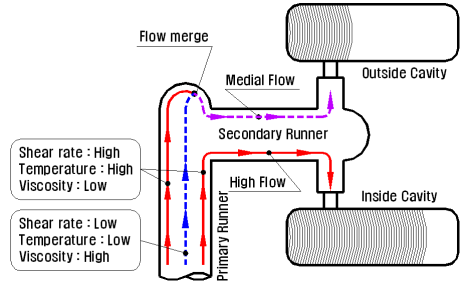


Fig. 2 The filling imbalance in unary branch type runner

3. 실험

3.1 사출성형기 및 실험금형

본 실험에서는 LG기계의 140톤 직압식 사출성형기를 사용하였다. 실험금형은 Fig. 3과 같이 350×300×230 mm 크기로, 게이트는 팬 게이트(fan gate)형식으로 편측 분기형 다수 캐비티를 갖춘 4매 구성형 금형이다. 또한 러너의 1,2차 90° 방향전환부가 콜드 슬러그 웰(cold slug well) 형상인 groove corner의 구조이다. 광택도 및 수축율 측정용 시편성형을 위해 기존 직사각형의 시편금형을 사용하였으며, 인장강도 측정을 위한 시편성형을 위해 기존의 금형에 인장시편 형상의 캐비티 코어를 별도로 제작하였다.

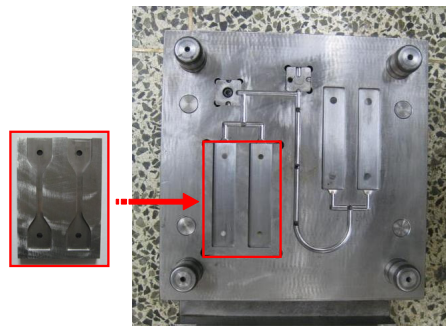


Fig. 3 Experimental cavity

Fig. 4는 광택도 및 수축을 측정용 시험편의 외형과 치수를 나타내고 있다.

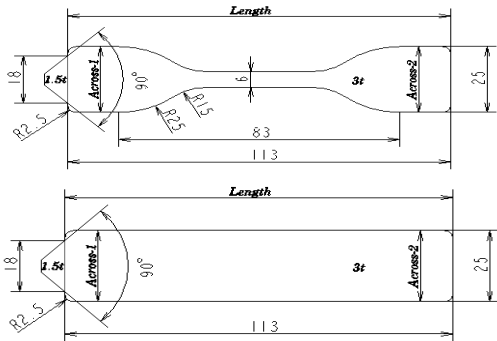


Fig. 4 Dimensions of experimental specimen

3.2. 실험방법 및 시편측정

성형품의 표면광택을 측정하기 위한 광택도 측정기(glossmeter)는 BYK-GARDNER사의 Micro-TRI-Glossmeter를 사용하였다. Fig. 5는 시편의 투광시험 위치를 도식적으로 나타내고 있다.

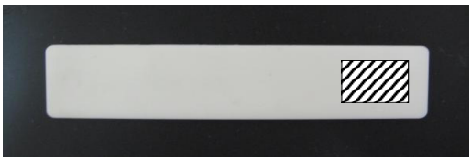
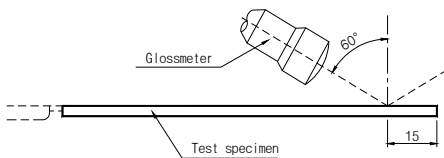


Fig. 5 The gloss measuring point

성형 수축률 측정을 위해 다이얼 게이지를 이용하였으며, Fig. 6과 같이 수지유동 방향(L)과 수지유동 직각방향(W) 2개소의 수축을 측정하였다.



Fig. 6 Position for shrinkage measurement

최대인장강도를 측정하기 위해서 Fig. 7의 플라스

틱용 H10KT UTM을 사용하였다.

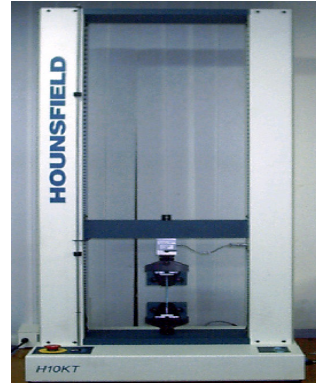


Fig. 7 Universal testing machine

3.3. 실험재료 및 성형조건

Table 1과 같이 PP, PA6, ABS, PC 수지 4종을 실험 재료로 사용하였으며, 성형조건은 사출속도, 사출압력, 보압은 동일 조건으로 하였고, 각 수지의 최적의 성형조건을 고려하여 수지온도와 금형온도를 수지별 적정 용융온도로 선정하였다.

Table 1 Injection molding conditions for experiment

Processing conditions	Unit	PP	PA6	ABS	PC
Injection speed	cm/sec	21			
Injection pressure	MPa	54			
Holding pressure	MPa	46			
Melt temperature	°C	200	230	220	280
Mold temperature	°C	40	60	60	80
Holding time	sec	2			
Cooling time	sec	5			
Total cycle time	sec	20			
Resin dry	°C/hr	60/3	80/3	80/3	120/3

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 캐비티 간 광택도 변화

Fig. 8은 내측 및 외측 캐비티 간 광택도를 나타낸 그래프이다. PP 수지의 경우 내측 캐비티가 외측

캐비티 보다 6%, PA6 수지는 8% 정도 높았고, ABS 수지는 11%, PC 수지는 13% 정도 높게 나타났으며, 결과적으로 먼저 충전이 이루어진 캐비티의 광택도가 높게 나타났다. 광택도계가 시편에 빛을 쬐어서 시편으로부터 반사되는 빛의 세기를 측정하는 원리를 감안할 때 빛의 반사량은 같은 조건일 때 시편표면의 평면도가 양호 할수록 높은 광택도를 나타낼 것이다. 따라서 먼저 충전된 캐비티 내의 용융수지는 상대적으로 캐비티 내에서 장시간 체류되는 효과로 인하여 금형 표면과의 양호한 접촉에 도움을 주게 되므로 표면이 매끄럽고, 냉각시 표면의 변형 없이 평면도가 양호한 시편이 성형된 것으로 판단 된다.

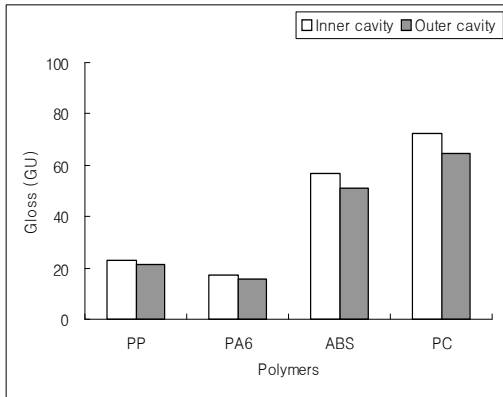


Fig. 8 Comparison of polymer's gloss

4.2. 캐비티 간 수축률 변화

PP 및 PA6와 같은 결정성 수지는 성형품의 취출 후 열적수축, 상변화에 의한 수축, 취출 후의 압축이 풀림에 기인하는 체적변화, 수지의 서냉으로 인한 결정화도의 상승 등에 의한 수축률이 크게 나타나는 것이 일반적이며, 비결정성 수지인 ABS와 PC의 경우는 수축율의 변화가 미세하게 나타나는 것을 알 수 있다. 용융수지의 비체적은 냉각되면서 감소하며, 용점에서 결정이 형성될 때에 급격히 감소한다. 실제로 결정성 수지의 비체적은 비결정성 수지의 비체적 보다 작다. 결국 결정성 수지가 비결정성 수지보다 수축률이 크다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 수지유동 방향(flow direction)의 수지별 수축률을 나타내는 그래프로 PP 수지의 경우 2.2~2.5%, PA6는 1.2~1.3%, ABS는 0.7~0.8%, PC는 0.7~0.9% 범위의 수축률을 나타내었다. 수지 유동방

향의 내측 및 외측 캐비티 간 수축률의 차이는 PP 수지의 경우 내측 캐비티가 외측 캐비티 보다 10%, PA6 수지는 13%, ABS 수지는 13%, PC 수지는 18% 정도 낮았다.

Fig. 10은 수지유동 직각방향(cross direction)의 수지별 수축률을 나타내는 그래프로 PP 수지의 경우 1.7~2.0%, PA6는 0.7~1.0%, ABS는 0.4~0.5%, PC는 0.5% 범위의 수축률을 나타내었다.

내측 및 외측 캐비티 간 수축률의 차이는 PP 수지의 경우 내측 캐비티가 외측 캐비티 보다 5%, PA6 수지는 7%, ABS 수지는 9%, PC 수지는 13% 정도 낮았다.

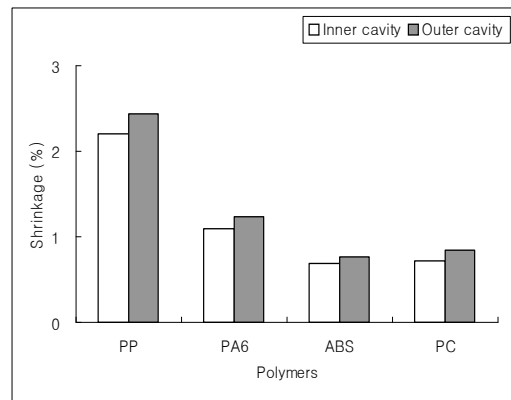


Fig. 9 Comparison of polymer's shrinkage (flow direction)

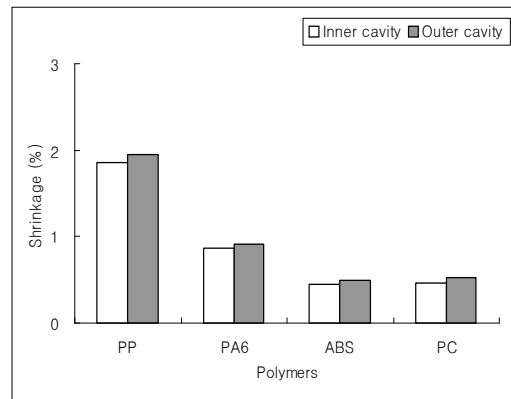


Fig. 10 Comparison of polymer's shrinkage (cross direction)

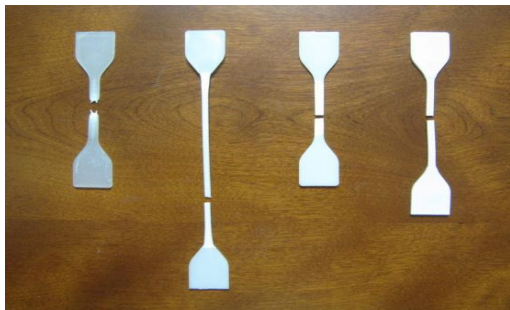
수지유동 직각방향의 수축률은 수지유동 방향의 수축률과 같이 먼저 충전이 이루어진 캐비티는 용융수지의 선유입으로 인해 금형 캐비티 내의 충전 상태가 좋아지고, 금형 내에서의 냉각시간이 길어

상대적으로 보압이 많이 걸리기 때문에 수지는 치밀하게 되고, 분자 배향의 정도가 낮아지므로 수축률은 작아진다⁶⁾.

용융수지는 용융상태에서 유동에 의해 분자배향을 일으켜 유동방향으로 당기어져 늘어난다. 냉각과정에서 배향성이 일부 완화되어 당기어 늘어진 분자가 원래 상태로 되돌아가려고 하여 수축이 일어나게 되는데, 분자배향성이 큰 수지에서의 성형수축은 일반적으로 수지유동 방향으로는 크고 수지유동 직각방향으로는 작게 나타난다고 알려져 있다⁷⁾. 이러한 사실을 본 실험결과를 통하여 확인할 수 있었다.

4.3. 캐비티 간 인장강도 변화

Fig. 11에서는 수지별로 인장시험 후 파단된 형상을 보여주고 있다. 실험결과 결정성 수지인 PP의 경우 30~31(MPa), PA6는 40~42(MPa), 비결정성 수지인 ABS는 41~43(MPa), PC는 52~55(MPa) 범위의 인장강도를 나타내었다. 인장강도의 크기는 PC, ABS, PA6, PP 수지 순으로 PC 수지가 가장 크게 측정되었다.



(a) PP (b) PA6 (c) ABS (d) PC

Fig. 11 The sample after tensile test

Fig. 12는 내측 및 외측 캐비티 간 인장강도를 나타낸 그래프이다. PP 수지의 경우 내측 캐비티의 인장강도가 외측 캐비티 보다 0.9%, PA6 수지는 1.9% 정도 높았고, ABS 수지는 3.8%, PC 수지는 4.0% 정도 높게 나타났다. 또한, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16의 최대 인장강도와 연신율에 대한 그래프에서도 나타내고 있듯이 내측 캐비티의 최대 인장강도가 외측 캐비티 보다 더 큰 값을 가진다는 것을 알 수 있었다.

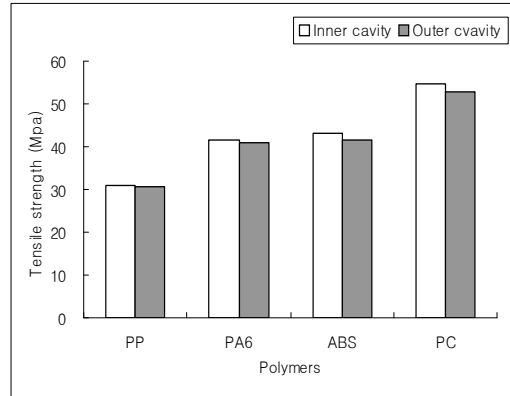


Fig. 12 Comparison of polymer's tensile strength

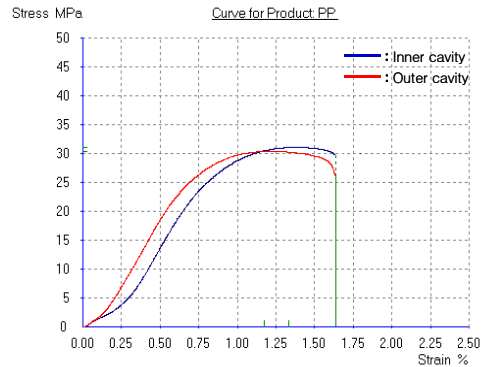


Fig. 13 The relation of tensile strength and strain (PP)

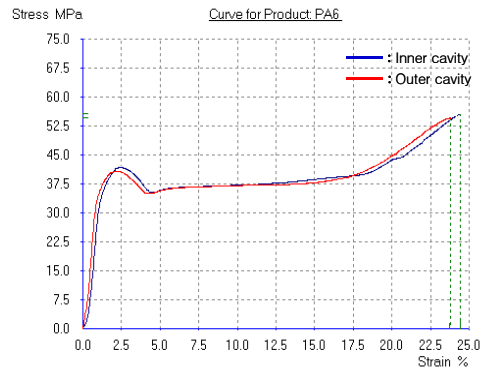


Fig. 14 The relation of tensile strength and strain (PA6)

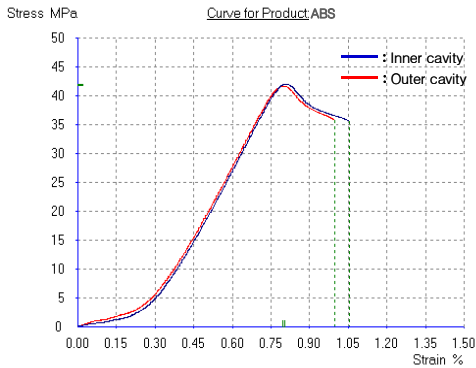


Fig. 15 The relation of tensile strength and strain (ABS)

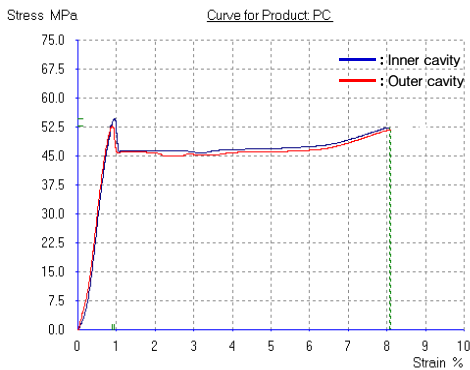


Fig. 16 The relation of tensile strength and strain (PC)

인장강도에서도 먼저 충전이 이루어진 내측 캐비티의 인장강도가 높게 나타났으며, 내측 캐비티는 용융수지의 선유입으로 인해 금형 캐비티 내의 충전상태가 좋아지고, 늦게 충전이 이루어지는 캐비티에 비해 상대적으로 서냉의 효과로 인해 낮은 수축율을 가지므로 단면적을 증가시키는 요인이 될 것이다. 또한 용융수지의 점탄적 성질에 의해 조직이 치밀해져 성형품의 인장강도가 증가되는 것으로 생각할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 다수 캐비티 사출금형에서 발생하는 충전 불균형 현상이 성형 품질에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 캐비티에 먼저 충전이 이루어진 성형품은 광택도와 인장강도가 높게 나타났고, 수축률은 낮게 나타났다.

(2) 수축률은 수지유동 직각방향에 비해 수지유동 방향으로의 수축률이 더 크게 나타났다.

(3) 결정성 수지(PP, PA6)가 비결정성 수지(ABS, PC)에 비해 캐비티 간 수축율의 차이가 크게 나타났다.

참고문헌

- 1) 정영득, 구본홍 공역, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp.269~271, 2005.
- 2) 정영득, 박태원, 김현필 공역, “플라스틱 성형을 위한 알기 쉬운 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 224-227, 2003.
- 3) Patrick Auell, Michael Bailey, “Effect Thermoplastic Material Properties on Mold Filling Imbalances,” ANTEC, pp. 3495-3499, 2002.
- 4) John. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman “Successful injection molding”, HANSER, pp. 36-37, 2002.
- 5) D. K. Je and Y. D. Jeong, “Filling imbalance in 3 plate type injection molds with multi-cavity,” Spring conference KSPE, pp. 300-301, 2000.
- 6) 최윤식, 한동엽, 정영득, “제품 형상에 따른 PP 수지의 수축거동”, 한국기계공학회지 제2권, 제1호, pp. 100-105, 2003.
- 7) 최윤식, “사출성형 방식에 따른 성형수축 거동에 관한 연구”, 공학박사 논문, 부경대학교, pp. 74-78, 2006.