

다수 캐비티 금형에서 캐비티 간의 압력과 균형충전도

노병수[†] · 박태원¹ · 정영득[#]

부경대학교 대학원 · 한국폴리텍VII대학 · 부경대학교 기계공학부
(2008. 7. 22. 접수 / 2008. 11. 21. 채택)

The Pressure and Degree of Filling Balance between Cavity to Cavity in Multi-Cavity Injection Mold

Byeong-Su Noh[†] · Tae-Won Park¹ · Yeong-Deug Jeong[#]

Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University[†]
School of Computer Added Mold & Die Engineering, Korea Polytechnic VII College¹
School of Mechanical Engineering, Pukyong National University[#]
(Received July 22, 2008 / Accepted November 21, 2008)

Abstract : Almost all injection molds have multi-cavity, which are designed with geometrically balanced runner system in order to made filling balance between cavity to cavity during injection molding. However, filling imbalance has been existed in the geometrically balanced runner system. In this study, we made an experiment and investigated that are filling balanced according to material. Also, in case of filling imbalance was occurred, we conducted experiments in order to find out difference of cavity pressure with cavity pressure sensor. When filling imbalance was occurred between cavity to cavity, we investigated the filling imbalance and pressure differences by computer-aided engineering(CAE).

Key Words : Multi-cavity, Filling imbalance, Computer-aided engineering(CAE)

1. 서 론

8 캐비티 이상의 다수 캐비티를 갖는 사출 금형에서 성형 되는 성형품의 생산성과 품질을 향상시키기 위해서는 각 캐비티 간에 균형적인 충전이 필요하다. 다수 캐비티 금형에서 각 러너의 가장 중요한 기능은 각 캐비티에 동일한 상태의 수지가 도달하도록 하는 것이다. 모든 러너의 분기점에서 대칭의 형상을 가지며 유동수지의 도달길어도 동일한 소위 기하학적으로 균형을 이룬 러너는 성형 시 각 캐비티 간에 동일한 조건을 제공하는 최적의 균형을 이루는 러너라고 생각하여 왔다^[1]. 그러나 러너 시스템이 기하학적으로 균형을 이루었음에도 불구하고 금형의 중심부에 가까운 캐비티와 금형의 중

심부에서 멀리 있는 캐비티 간에는 충전불균형 현상이 발생한다. 이러한 충전불균형 현상으로 인해 성형품들 간에는 치수정밀도, 수축률 및 기계적 물성의 차이가 발생하여 성형품의 품질을 저하시키게 된다^[2,3,4].

이러한 충전불균형 현상의 원인은 수지가 충전될 때 러너 중심부와 러너 벽면부 사이의 전단율(shear rate)의 차로 인하여 발생한다고 알려져 있다^[5]. 이는 사출속도의 변화에 관계없이 유동채널의 벽면 바로 아래 부분의 전단율이 가장 크며, 중심부에서 전단율이 가장 작아지게 된다. 유동채널의 벽면에서 발생하는 높은 전단율로 인하여 마찰열이 발생하며, 이로 인해 유동채널의 벽면을 따라서 흐르는 유동수지의 점도가 낮아지게 된다. 따라서 이러한 전단 불균형으로 인하여 유동채널 중심부와 벽면부에서 유동수지의 온도차와 흐름성의 차가 발생하여, 충전 불균형이 발생한다^[6,7,8].

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 러너

[†] 부경대학교 기계공학부 대학원
¹ 한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과
[#] 교신저자 : 부경대학교 기계공학부
E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

시스템을 채용한 다수 캐비티 사출금형을 대상으로 실험적 연구를 통하여 수지별 균형충전도를 알아보았으며 그 결과에 대해 고찰하였다. 그리고 캐비티 내에 압력센서를 설치하여 캐비티 간의 충전불균형 현상이 발생할 때의 압력변화를 관찰하였으며, 이를 통해 각 캐비티 간의 균형충전도와 압력편차와의 관계에 대해 고찰하였다.

2. 사출성형해석

2.1. 사출성형해석 조건

사출성형해석은 상용 사출성형해석 프로그램인 Moldflow MPI 6.1을 사용하였다. 충전불균형 현상을 알아보기 위하여 모델의 메쉬 타입(Mesh type)은 3D(tetra mesh) 메쉬를 사용하였으며, 모델 내의 레이어(layer) 층을 12층으로 나누어 메쉬를 생성하였다^[9]. 엘리먼트(element) 갯수는 578,500개이며, 러너 직경은 6mm이며, 캐비티 치수는 길이 40mm, 폭 7mm, 두께 0.96mm이다. 대상 수지는 미국 GE Plastics사의 PC(Lexan 144)수지이며, 성형조건은 사출율(flow rate)을 100cm³/s로 설정하였으며, 성형온도와 금형온도는 대상 수지에 대하여 Moldflow사에서 추천하는 성형온도 272℃, 금형온도 104℃로 설정하였다. Fig. 1은 성형해석을 위한 메쉬모델을 나타낸 것이다.

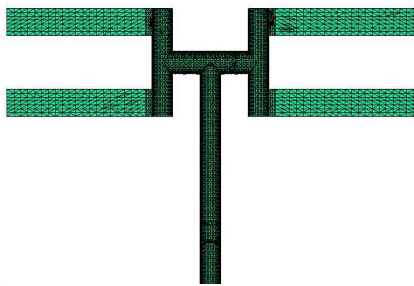


Fig. 1 Mesh model for injection molding analysis

2.2. 사출성형해석 결과

Fig. 2는 충전 시 러너 및 캐비티 내의 유동선단의 온도분포를 나타낸 것이다. 러너 중심부의 유동선단의 온도에 비해 러너 벽면부의 유동선단의 온도가 높은 것을 볼 수 있으며, 1, 2차 러너 분기 후

3차 러너에서 외측 캐비티 방향의 러너에서 유동선단의 온도가 내측 캐비티 방향의 러너에서 유동선단의 온도보다 더 낮은 것을 볼 수 있다.

Fig. 3은 충전시간을 나타낸 것으로 스프루에서 가까운 내측 캐비티가 먼저 충전되는 것을 볼 수 있다. Fig. 4는 충전시 캐비티 내의 시간에 따른 압력변화를 나타낸 것이다. 그래프를 보면 사각형(N1858)으로 표시된 내측 캐비티의 압력이 외측 캐비티의 압력보다 더 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

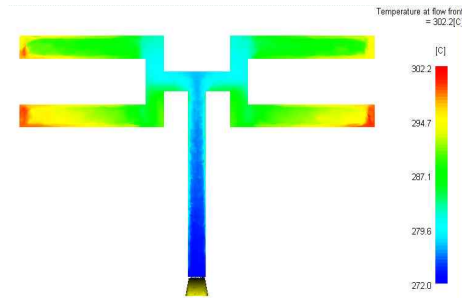


Fig. 2 Result for temperature at flow front

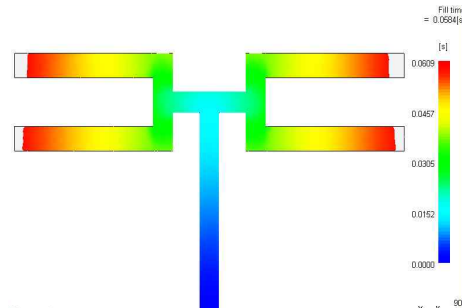


Fig. 3 Result for fill time

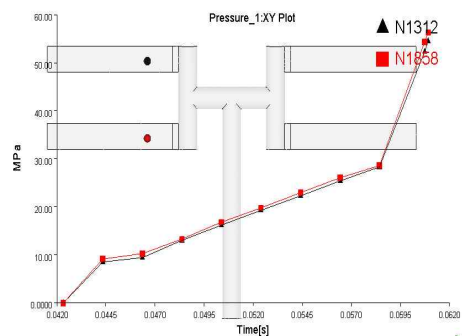


Fig. 4 Result for pressure XY plot

3. 사출성형실험 및 장치

본 실험에 사용한 실험금형은 기하학적으로 균형을 이루는 러너 시스템을 갖춘 8캐비티의 금형을 사용하였다. 캐비티 간의 충전불균형 현상이 발생될 때 내측 캐비티와 외측 캐비티 간의 압력차를 알아보기 위하여 금형에 압력 센서를 설치하였다. Fig. 5는 캐비티 형상 및 금형내의 압력센서 설치 위치를 나타낸 것이며, Fig. 6은 본 실험에 사용된 압력센서와 앰플리파이(amplifier)를 나타낸 것이다. 압력센서는 스위스의 PRIAMUS사의 표준 캐비티 압력센서 (모델명: Type 6001A)를 사용하였으며, 앰플리파이 역시 PRIAMUS사의 Data Sheet Type 5060D를 사용하였다. Fig. 7은 본 실험에 사용한 사출성형기를 나타내고 있으며, (주)LG전선에서 제작한 140톤 사출성형기(LGH140N)이다. 사용한 재료는 결정성 수지 2종과 비결정성 수지 2종을 대상으로 사출성형실험을 수행하였다. 결정성 수지는 PP (M540, LG chemical)와 PA6 (Ultramid B3S, BASF)이며, 비결정성 수지는 ABS (Taluran GP22, BASF)와 PMMA (IF850, LG chemical)를 사용하였다.

수지별 균형충전도를 알아보기 위하여 Table 1과 같은 성형조건을 설정하였다. 각 수지별로 성형

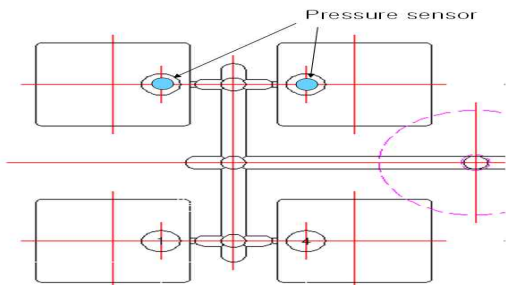


Fig. 5 Cavity specimens and location of pressure sensor



Fig. 6 Cavity pressure sensor and amplifier

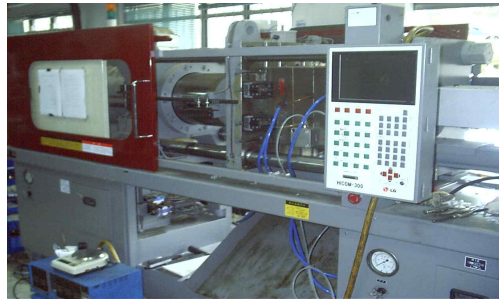


Fig. 7 Injection molding machine

온도와 금형온도 등 사용가능한 성형조건 범위가 다르기 때문에 가용범위 내에서 성형조건을 수지별로 달리 설정하였다. Table 1에 나타내지 않은 사출성형조건으로는 사출시간 (injection time) 2초, 냉각시간 (cooling time) 20초로 고정했으며, 미성형 (short shot)을 발생시키기 위하여 보압관련 항목은 영 (zero)으로 설정하였다.

또한, 실험에 대한 결과 측정은 4쌍의 캐비티 중 압력센서를 설치한 한 쌍의 캐비티를 대상으로 총 10개의 시료를 채취하여 내측 캐비티와 외측 캐비티의 중량을 측정하고, 이에 대한 균형충전도 (Degree of Filling Balance; DFB)를 평균하여 나타내었다. 내측 캐비티와 외측 캐비티 간의 균형충전도는 식(1)과 같이 정의 하였다^[10].

균형충전도(DFB)

$$= \left(1 - \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}}\right) \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서,

W_{in} : 내측 캐비티에서의 성형물 중량

W_{out} : 외측 캐비티에서의 성형물 중량

Table 1 Experimental variables and conditions

Variable	Unit	Conditions			
		PP	ABS	PMMA	PA6
Melt temperature	℃	210	220	240	240
Mold temperature	℃	60	60	45	60
Injection pressure	%	50			
Injection speed	%	40			

4. 결과 및 고찰

4.1. 수지별 균형충전도와 캐비티 간의 압력

Fig. 8과 Fig. 9는 대상 수지별 균형충전도와 그때의 내측 캐비티와 외측 캐비티의 금형내 압력차를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 균형충전도가 가장 높은 수지는 결정성 수지 중 PP로 나타났으며, 그 값은 97.6%로 나타났다. 그리고 PMMA, PA6, ABS 순으로 균형충전도가 높게 나타났으며, 각 수지별 캐비티 간의 균형충전도 값은 84.4% ~ 97.6%로 나타났다. 이는 일반적으로 알려진 범용수지의 균형충전도 현상과 유사하다^[4]. Fig. 9에서 PP와 PMMA 재료인 경우에는 캐비티 간의 압력차가 ABS와 PA6 재료에 비해 낮게 나타났으며, 각 수지별 캐비티 간의 압력차의 범위는 2.65 MPa ~ 4.4 MPa로 나타났다.

Fig. 8과 Fig. 9를 비교해보면 내측과 외측 캐비티 간의 압력차가 작을수록 캐비티 간의 균형충전도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 캐비티 간의 압력 불균형이 충전불균형 현상에 일부 영향을 미치며, 수지별로 그 영향의 정도가 다를 수 있었다.

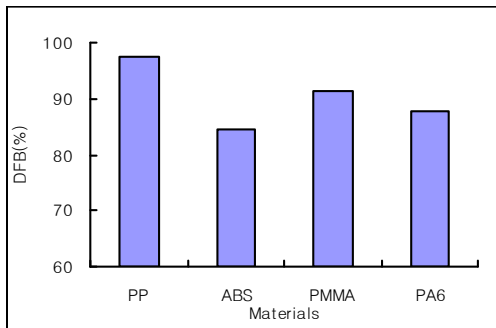


Fig. 8 DFB variations according to materials

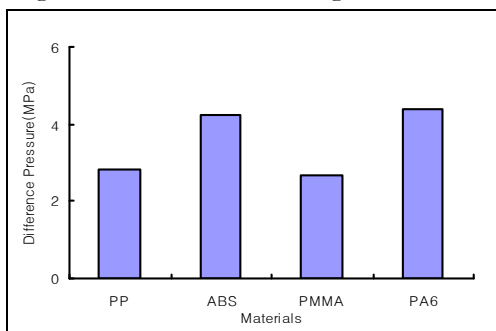


Fig. 9 Cavity pressure differences according to materials

5. 결론

본 연구는 범용 수지 4종을 대상으로 기하학적으로 균형을 갖춘 러너시스템을 채용한 다수캐비티 금형에서 발생하는 충전불균형 현상을 사출성형 CAE와 실험적 연구를 통하여 알아보았으며, 그때 발생하는 캐비티 간의 압력차를 조사하였다. 본 연구의 주요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 사출성형 CAE 3D해석 결과 캐비티 간의 충전 불균형 현상을 확인할 수 있었으며, 이때 캐비티 간의 압력 편차가 충전불균형에 영향을 미침을 알 수 있었다.
- (2) 4종의 범용수지 중 가장 균형충전도가 높은 수지는 PP 수지였으며, PMMA, PA6, ABS 순으로 균형충전도가 높게 나타났다. 그리고 캐비티 간의 압력차가 가장 작게 나타난 수지는 PMMA였으며, PP, ABS, PA6 순으로 캐비티 간의 압력차가 작게 나타났다.
- (3) 본 연구를 통하여 각 캐비티 간의 압력차가 클수록 균형충전도가 감소하는 반비례 관계를 나타냈으며, 캐비티 간의 압력차가 약 2.65 MPa ~ 약 4.4 MPa일때 균형충전도는 약 97.6% ~ 약 84.4% 범위로 나타났다. 이를 통해 캐비티 간의 압력차가 작을수록 충전불균형 현상이 작게 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 정영득, 박태원, 김현필, “플라스틱 성형을 위한 알기쉬운 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 224 ~ 227, 2003.
- 2) Ashwini Kumar, Aleksandra Egelja, Eric W. Grald, J. P. Beaumont “Experimental and Numerical Analysis of the Flow Imbalance in Runner System”, ANTEC 2002, pp.541 ~ 550, 2002.
- 3) John P. Beaumont and Jack H. Young, “Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems”, Journal of Injection Molding Technology, Vol 1, No 3, pp. 133 ~ 143, 1997.
- 4) 강철민, 정영득, “편측 분기형 러너 배열을 가진 다수 캐비티 사출금형에서의 충전불균형도,” 한국소성가공학회지, 제 13권, 제 7호, pp. 580 ~

585, 2004.

- 5) 정영득, 구본홍, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 147 ~ 153, 2005.
- 6) Brock Allen, Tomas Lacey, “The Affects of Shear Induced Imbalance on the Concentricity of Injection Molded Gears” ANTEC 2003, pp.3757 ~ 3761, 2003.
- 7) Louis G. Reifschneider, “Documenting Flow Segregation in Geometrically Balanced Runner” ANTEC 2001, pp.3356 ~ 3360, 2001.
- 8) Patrick Auell, Michael Bailey, “Effect of Thermoplastic elastomer Material Properties on Mold Filling Imbalances”, ANTEC 2002, pp.3495 ~ 3499, 2002.
- 9) John P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman, “Successful Injection Molding” , pp. 228 ~ 230, 2002.
- 10) David A. Hoffman, John P. Beaumont “Thermoset Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner System”, ANTEC, pp .844 ~ 845, 2001.