

사출성형해석 연구를 이용한 게이트 밸런스 계산식의 검증

한성렬[†]

국립공주대학교 금형설계공학과[†]

Verification of gate balancing equation using injection molding analysis

Seong-Ryeol Han[†]

Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University[†]

(Received October 23, 2018 / Revised November 22, 2018 / Accepted December 01, 2018)

Abstract: In a multi-cavity mold having a runner layout of a fish bone structure, problems of unbalanced filling between cavities occur constantly. Unbalanced charging lowers the dimensional accuracy of a molded article and causes deformation after molding. To solve this problem, the gate size connected to each cavity is adjusted using the BGV (Balanced Gate Value) equation. In this paper, in order to solve the filling imbalance problem of the runner layout mold of fish bone structure through injection molding analysis study, we compared the charging imbalance phenomenon before and after improvement after adjusting the gate size by applying BGV equation. From the results of the molding analysis, the shrinkage ratio before and after the improvement of the molded article was improved by only about 0.08%. Based on these results, it was confirmed that the charging imbalance problem was not significantly improved even when the BGV equation was applied.

Key Words: Analysis, Balanced gate value(BGV), Filling imbalance, Gate, Injection molding

1. 서 론

플라스틱을 이용하는 사출성형은 한 번의 가공으로 완제품을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 바탕으로 오늘날 플라스틱 성형품의 적용은 우리의 일상생활에서 산업분야에 이르기까지 많은 부분에 이르고 있다. 특히, 플라스틱 합성 기술의 발달로 플라스틱이 가진 고유의 성능을 한 층 뛰어 넘는 수준까지 개선하여 금속 기계부품을 대신하는 상황에 이르게 되었다.

플라스틱 부품이 금속 기계 부품에 사용되기 위해서는 여러 가지 조건을 만족해야만 한다. 특히 내열성과 치수 안정성의 만족이 우선되어야 한다. 성형품의 치수 안정을 위하여 사출성형 시 많은 사출성형 조건들이 적절하게 조합되었을 때 정밀한 플라스틱 부품을 성형할 수 있다. 특히, 적절한 재료의 선정에서부터 사출압, 보압, 성형온도, 정밀한 금

형의 설계 및 제작 등이 조합되어야 한다.

금형 내에서의 용융수지의 유동 특성을 고려하지 못하면 정밀한 성형품의 성형은 불가능하다. 특히 Fig. 1과 같은 물고기 뼈(fish bone) 형상의 런너 레이아웃을 가지는 멀티 캐비티(multi cavity)¹⁾ 금형의 경우 스프루(sprue), 런너(runner), 게이트(gate)의 총 유동거리가 각 캐비티 마다 다르므로 충전불균형이 발생하게 된다.

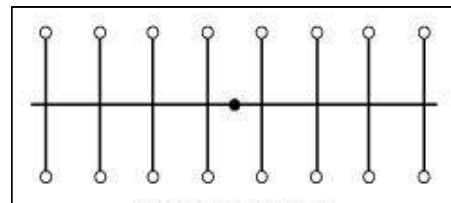


Fig. 1 Fish bone runner lay-out

성형 시 발생하는 충전불균형^{2,3)}은 여러 가지 문제의 원인이 된다. 먼저 충전된 캐비티는 나머지 캐비티의 충전이 끝날 때까지 계속적으로 사출압력을

[†] 교신저자: 국립공주대학교 금형공학과
E-mail: srhan@kongju.ac.kr

받는 상황에 놓이게 된다. 이는 성형이 끝난 후 각각의 캐비티 별 성형품의 치수가 다르게 되는 결과로 나타나고, 뿐만 아니라 성형품별 내부적으로 잔류응력의 차이는 제품 변형의 문제를 야기 시킨다. 이런 문제를 해결하기 위해서 ① 균형잡힌 런너 레이아웃을 재설계 하거나, ② 각 캐비티 까지의 런너 직경을 조정하거나, ③ 각 캐비티의 게이트 치수를 조정한다. 일반적으로 ①, ③ 방법을 사용하고, 필요에 따라서 ②, ③ 방법을 사용하고 있다. 따라서 물고기 뼈의 런너 레이아웃을 갖는 멀티 캐비티 금형의 경우에는 각각의 캐비티에 균형 충전을 위하여 게이트의 크기를 조절한다.

다수 캐비티의 균형 충전에 관한 연구는 상당히 활발하게 이루어지고 있다. Kwon 등은 성형품의 균형 충전을 위하여 특수 금형구조를 제시하였으며, 특수 금형의 사용으로 불균형충전이 개선되는 효과를 입증하였다⁴⁾. Je 등은 3단 금형에서 발생하는 불균형충전에 대하여 규명하였으며, 불균형충전을 개선하기 위하여 새로운 개념의 금형 구조를 개발하여 그 유효성을 실험을 통하여 보였다⁵⁾. Jeong 등은 충전불균형의 개선을 위하여 특수 부품을 금형에 삽입하여 충전불균형을 개선하는 연구를 수행하였다⁶⁾. 이상의 충전불균형 연구는 대부분 균형적인 레이아웃을 갖는 금형에서 발생하는 충전불균형의 원인과 개선을 위한 연구이다.

본 연구는 플라스틱 유동해석 프로그램을 이용하여 레이아웃 자체가 불균일한 유동 거리를 갖는 멀티 캐비티(multi-cavity) 금형의 충전불균형 현상을 시뮬레이션하였다. 그리고 멀티 캐비티 금형의 균형 충전을 위하여 각각의 캐비티 별로 게이트 크기를 계산하는 BGV(balanced gate value)식을 통하여 계산된 게이트 크기를 적용한 멀티 캐비티 금형의 균형 충전도 시뮬레이션 하였다⁷⁾. 두 개의 시뮬레이션 결과를 비교하여 BGV식의 유효성을 검증하였다.

2. 유동해석

2.1. 유동해석 모델

Fig. 2는 성형품의 3D 모델을 나타낸 것이다. 성형품의 크기는 $100 \times 35 \times 3.5$ 이다. 폴리프로필렌(polypropylene) 수지가 사용되는 열쇠고리 형상의 성형품이다. Fig. 3은 유동해석을 위한 해석모델로 스프루, 런너, 게이트, 캐비티가 나타나 있다. 14개의 피쉬 본 타입의 멀티 캐비티 레이아웃으로 구성되어

있고, 스프루에서 각각의 게이트까지의 거리가 동시에 표시되어 있다. 런너의 직경은 $\varnothing 8$ 이며 게이트는 단면이 직사각형인 사이드 게이트(side gate)⁸⁾를 적용하였다. 각 캐비티의 3D 테트라 엘리먼트(element)로 이루어져 있다. 캐비티 당 엘리먼트 개수는 약 66,955개이다. Table 1에는 Moldflow Insight 2018 유동해석을 위한 성형해석 조건을 나타내었다⁹⁾.

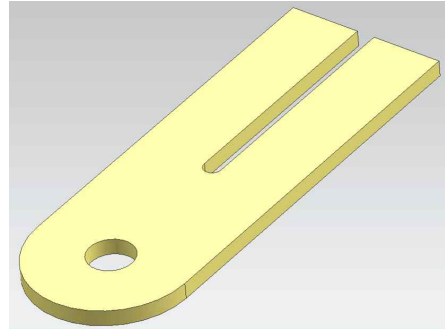


Fig. 2 3D model

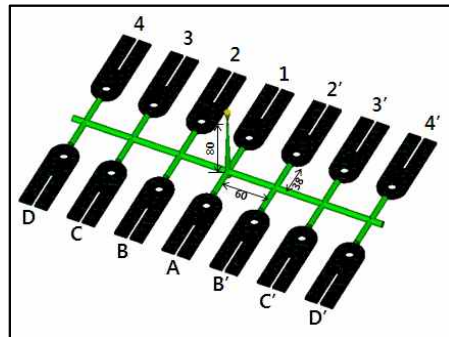


Fig. 3 3D Model for injection molding analysis

Table 1 Injection molding condition for analysis

Injection molding parameter	Unit	Value
Injection time	sec	2.5
Melt temperature	°C	240
Mold temperature	°C	40

2.2. BGV(balanced gate value)의 계산

물고기 뼈 형식의 런너 레이아웃을 갖는 경우 용융수지가 각 캐비티까지 이동해야하는 유동거리(flow path)가 캐비티 마다 다르게 되므로 게이트의 크기를 조절하지 않는 이상 캐비티에 충전불균형이 발생할

수밖에 없다. 따라서 멀티 캐비티 금형의 균형적인 충진을 위하여 각 게이트 크기를 조절하기 위한 방법으로 BGV(balanced gate value)식을 이용하여 게이트의 크기를 조절하고 있다. BGV식은 (1)과 같다⁷⁾.

$$B.G.V = \frac{S_G}{\sqrt{l_R \times l_G}} \quad \text{----- (1)}$$

- l_R : 런너의 길이
- l_G : 게이트의 길이
- S_R : 런너의 단면적
- S_G : 게이트의 단면적

일반적으로 S_G/S_R 은 0.07 ~ 0.09이며, 직사각형 사이드 게이트의 폭(ω)과 깊이(h)의 관계는 일반적으로 식 (2)와 같다.

$$\omega = 3h \quad \text{----- (2)}$$

우선 BGV식을 사용하지 않고 캐비티에 동일한 크기의 게이트를 적용할 때의 게이트 크기는 fig. 4와 같다. 게이트 폭(ω)은 2.7 mm, 깊이(h)는 1.0 mm, 길이(l)은 2.0 mm 이다.

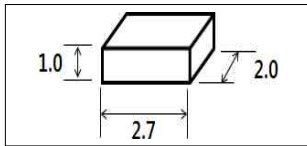


Fig. 4 Basic gate size

3. 유동해석결과

3.1. 충전불균형

모든 게이트에 fig. 4와 같은 크기의 게이트를 적용하여 유동해석을 실시하였다. Fig. 5는 사출시간 별 캐비티의 충전 상태를 나타낸 것이다.

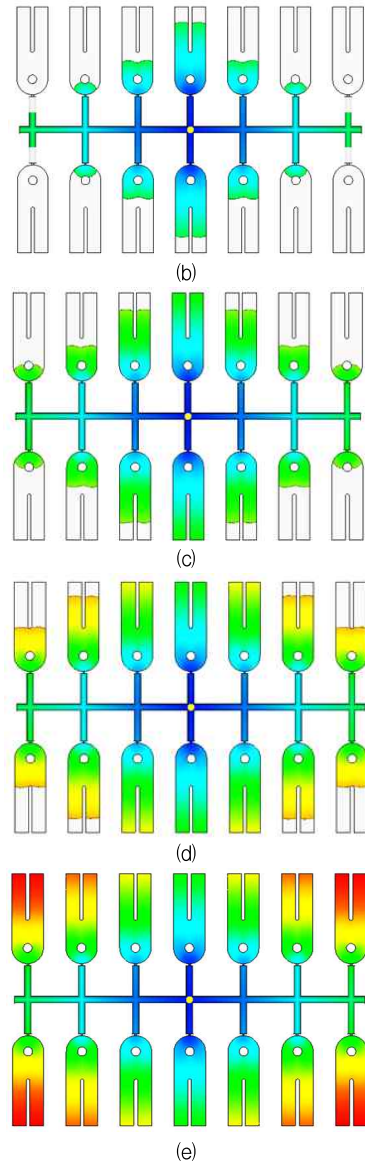
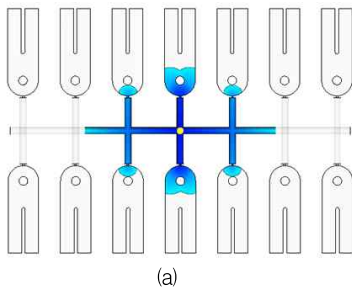


Fig. 5 Filling patten on imbalanced gate mold: (a)0.5sec (b)1.0 (c)1.5sec (d)2.0sec (e)2.5sec

중앙 스프루를 나온 수지는 가장 가까운 1과 A 캐비트를 우선 충전되기 시작한다. 그 후 점차 외곽으로 충진이 발전되어 나가는 것을 알 수 있다. 충전시간 1 sec 이후에는 중앙의 1과 A 캐비티가 충진이 완료되는 것을 확인 할 수 있다. 동시에 가장 바깥쪽의 4, 4', D, D' 캐비티가 충진이 시작되는 것을 알 수 있다. 이러한 충전 패턴으로 인하여 처음 충진이 완료되는 1과 A 캐비티는 모든 캐비티가

충전이 끝날 때 까지 계속해서 캐비티에 사출압력이 가해지고, 캐비티 별로 사출압력의 불균형적인 분포가 발생하는 원인이 된다.

Fig. 6은 캐비티 1, 2, 2', 3, 3', 4, 4'의 성형품 말단에서 측정된 체적 수축률(volumetric shrinkage rate)을 나타낸 그래프이다. 사출압력이 가장 길게 가해지는 캐비티 1의 성형품 말단에서 측정된 체적 수축률이 가장 작게 나타남을 알 수 있다. 그리고 가장 마지막에 충전되는 4, 4' 캐비티 말단에서의 체적 수축률이 가장 크게 발생함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 앞서 설명한 불균형적으로 가해지는 사출압력의 영향에 의한 것이다.

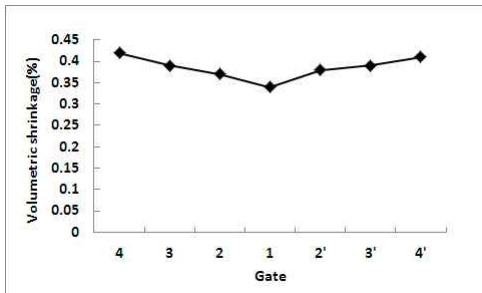


Fig. 6 Volumetric shrinkage at the end of molding

3.2. BGV에 의한 균형충전

3.1절에서 동일한 크기의 게이트를 사용하였을 경우 캐비티의 충전불균형의 발생 및 그로 인한 체적 수축률의 차이의 결과를 살펴보았다. 용융수지의 유동거리의 차이에 의해 발생하는 충전불균형을 각각의 캐비티의 게이트 크기를 조절하여 균형적인 캐비티의 충전을 이루고자 앞서 설명한 BGV 식을 이용하여 각 게이트의 크기를 계산하였다. Table 2는 계산된 게이트의 크기를 나타낸 것이다.

Table 2 Balanced gate size for each cavity

Gate	1	2 (2')	3 (3')	4 (4')
w	2.73	3.46	3.90	4.23
h	0.92	1.15	1.30	1.41
l	2			

Fig. 7은 BGV 식에 의해 계산된 게이트 크기를 적용한 멀티 캐비티의 시간별 충전 형상을 나타낸 것이다.

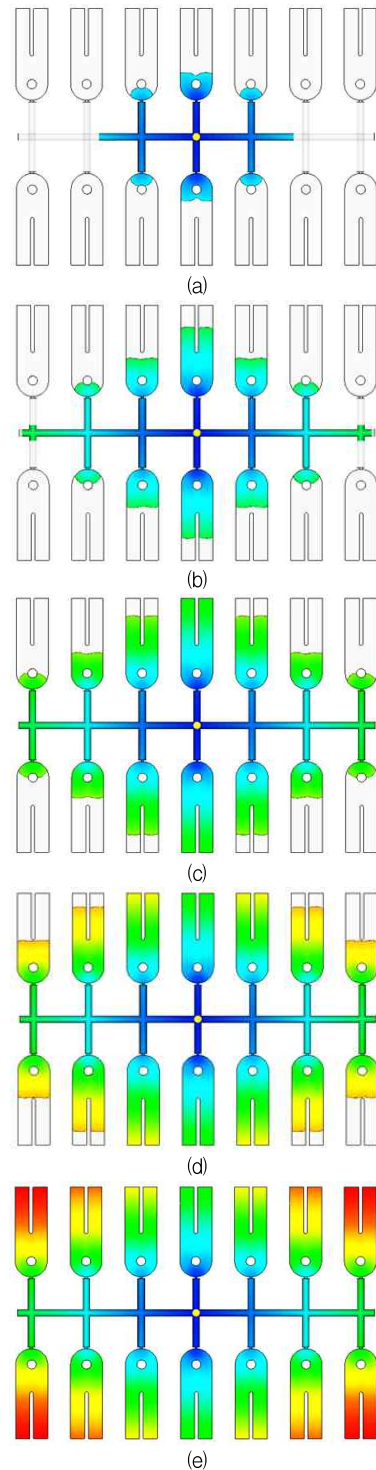


Fig. 7 Filling pattern on balanced gate mold: (a)0.5sec (b)1.0 (c)1.5sec (d)2.0sec (e)2.5sec

BGV 식에 의하여 계산된 게이트 크기를 적용한 멀티 캐비티 금형의 시간별 충전 패턴을 보면 게이트 크기를 동일하게 적용했을 때와 같이 충전불균형이 여전히 발생하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 8.은 게이트 크기를 조절하기 전후의 게이트별 체적수축률을 비교한 그래프이다. BGV 식으로 계산된 게이트를 적용한 금형에서도 앞서 기술한 것과 같이 동일한 게이트 크기를 적용한 멀티 캐비티 금형에서의 체적 수축률 변화 경향과 유사한 체적 수축률 경향이 발생함을 알았다. 더욱이 동일한 크기의 게이트를 적용하였을 때보다 더 큰 체적 수축률의 결과를 나타내었다. 평균적으로 약 0.08%의 체적 수축률이 더 크게 발생함을 알 수 있었다.

멀티 캐비티 금형에서 캐비티들 사이의 균형적인 충진을 위하여 게이트 크기를 캐비티 마다 차등 적용하였으나, 충전불균형이 개선되지 못하는 이유는 아래와 같이 사료된다.

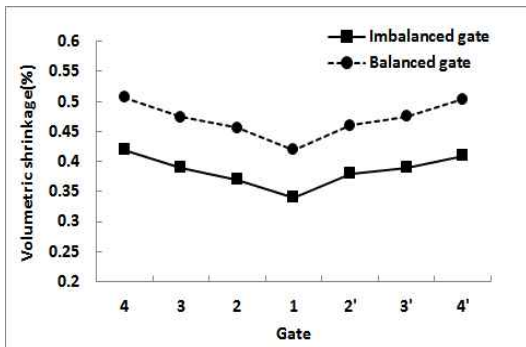


Fig. 8 Comparison of volumetric shrinkage

우선 BGV 식은 모든 플라스틱 수지에 적용하는 데에는 한계가 있는 것으로 생각된다. 수지별 유동성이 다르기 때문에 수지마다 BGV 식을 동일하게 사용하여 게이트 크기를 정하는 것은 신중을 기해야 할 것으로 생각된다. 그리고 유동해석 프로그램에서 게이트의 미소한 면적의 변화를 충분히 반영하지 못하고 유동해석이 이루어지는 것이라 생각되지만 이와 관련된 사항은 향후 추가 연구를 통하여 밝힐 필요가 있을 것으로 생각한다.

4. 결론

사출성형용 멀티 캐비티 금형의 충전불균형을 개선하고자 만들어진 BGV(balanced gate value) 식의

적용을 통한 충전불균형의 개선 효과를 유동해석 연구를 통하여 진행하였다.

동일한 크기의 게이트를 적용한 멀티 캐비티 금형에서 상당한 충전불균형 현상을 확인 할 수 있다. 또한 스프루와 가장 가까운 위치에 있는 캐비티의 체적 수축률이 가장 작았고, 스프루와 멀어 질수록 체적 수축률은 증가하였다.

균형적인 충진을 위해 BGV 식을 사용하여 계산된 게이트 크기를 캐비티 마다 적용하였을 경우 예상과 다르게 충전불균형 현상이 개선되지 못하는 것을 알 수 있었다. 이는 BGV 식을 대부분의 수지에 적용하기에는 다소 한계가 있는 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) Wang, M.L., Chang, R.Y. and Hsu, C.H., "Molding Simulation Theory and Practice", Hanser, pp. 220-224, 2018.
- 2) Kang, C.M. and Jeong, Y.D., "Effects of Processing Factors on Filling Imbalances in Multi-cavity Injection Mold", Proceedings of the Korean Society for Technology of Plasticity 2004 Autumn Conference, pp. 54-57, 2004.
- 3) Beaumont, J.P. and Young, J.H., "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner systems.", Journal of Injection Molding Technology, vol 1, No. 3, pp. 133-135, 1997.
- 4) Kwon, Y.S. and Jeong, Y.D., "Optimization of Processing on Filling Balance of the HR3P Mold Structure", Vol. 26, No. 3, pp. 98-102, 2009.
- 5) Je, D.K. and Jeong, Y.D., "Filling Imbalance in 3 plate Type Injection Molds with Multi-Cavity", Vol. 21, No. 6, pp. 117-121, 2004.
- 6) Jeong, Y.D. and Jang, M.K., "A New Runner System Melt-Buffer for Filling Balance in Injection Mold", Vol. 18, No. 2, pp. 122-127, 2009.
- 7) Lim S.H., "Injection Mold Design", Boseongkak, pp. 173-175, 2011.
- 8) Beaumont, J.P., "Runner and Gating Design Handbook", Hanser, pp. 142-143, 2004.
- 9) Han, S.R., "A Study on the Deformation Optimization of a Plastic Bezel Assembled on the Steering Wheel of an Automobiles", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 105-112, 2017.