

사출금형에서 균형충전을 위한 새로운 러너시스템 멜트버퍼

정영득[#], 장민규¹

A New Runner System Melt-Buffer for Filling Balance in Injection Mold

Y. D. Jeong, M. K. Jang
(Received February 23, 2009)

Abstract

The injection mold with multi-cavity is essential for mass production of plastic products. Multi-cavity molds are designed to geometrically balanced runner system to uniformly fill to each cavity. However, despite geometrical balanced runner system, filling imbalances between cavity to cavity have always been observed in injection molding. To solve these problems, many studies such as Melt Flipper, RC Pin, and others have been presented. The results of these studies have been an effect on filling balances in multi-cavity molds. But, those have had a limitation that additional insert parts must have existed in the mold. In this study, a new runner system is suggested for filling balance between cavity to cavity using "Melt-Buffer" with simple change of runner shape. A series of simulation to confirm feasibility of Melt-Buffer's effects was conducted using injection molding CAE program. Also, a series of injection molding experiment was conducted using plastic materials such as ABS and PP. As results of this study, feasibilities of filling balances by Melt-Buffer were confirmed

Key Words : Runner System, Filling Balance, Injection Mold, Melt-Buffer, Multi-cavity, BSM(Block Stacking Meshing)

1. 서론

플라스틱 재료는 제조 산업의 성장에 따라 재료의 경량성, 성형 용이성, 착색 용이성 등으로 그 사용량이 점차 증가하고 있다. 그 동안 플라스틱은 제품의 외장이나 구조가 간단한 생활용품 등으로만 그 사용이 다소 제한적이었으나, 최근에는 플라스틱의 신소재 개발 및 사출성형 기술의 발전으로 금속을 대체하는 기계 요소용 부품뿐만 아니라, 초정밀 제품에도 그 사용 범위가 확대되고 있다.

이러한 플라스틱 제품을 대량으로 생산하기 위해서는 다수 캐비티(multi-cavity) 금형이 필수적이

다. 다수 캐비티를 갖는 사출금형은 성형제품의 품질 및 강도 향상과 제품의 정밀도를 높이기 위해서는 캐비티 형상의 정밀가공은 물론이며 사출 성형시에 용융 수지가 금형의 각 캐비티에 균형적으로 충전되어야 한다. 그러나, 러너가 기하학적으로 균형을 갖추고 있는 다수 캐비티 금형이라도 실제 사출성형을 수행하면 성형품에 충전 불균형 현상이 발생한다. 이러한 충전불균형 현상은 1997년 미국의 J. P. Beaumont[1]에 의해 처음으로 밝혀진 이후 많은 연구가 수행되어 왔으며, 충전 불균형 현상을 해소하기 위한 해법에도 여러 연구 결과가 발표된 바 있다.

균형충전의 해법으로 발표된 것에는 별도의 부

1. 부경대학교 대학원 생산자동화공학과
교신저자: 부경대학교 기계공학부,
Email:ydjung@pknu.ac.kr

품을 금형에 삽입한 방식으로는 Melt Flipper[2], Melt Flipper MAX[3] 및 RC pin[4]의 3가지가 대표적이며, 그 외 4BF 금형[5]과 HR3P 금형[6]은 특수한 금형구조에 의한 해법으로 발표된 바 있다. Melt Flipper와 Melt Flipper MAX는 균형충전을 위해 멜트 로테이션(melt rotation) 기술을 이용한 것이며, RC pin은 충전불균형을 해소하기 위하여 분기가 되는 러너 내에 코어핀(core pin)을 채용한 것이다. 4BF 금형은 3매 구성 금형에서 충전 불균형을 해결하기 위하여 금형 구조상 4매형으로 균형충전이 가능한 구조를 제시하였으며, HR3P 금형은 다점 핀포인트 금형에서 균형 충전이 가능한 사출금형의 특수 구조를 제시한 것이다.

본 연구에서는 다수 캐비티를 가지는 사출금형에서 일어나는 충전 불균형 현상을 해소하기 위한 그 동안의 연구결과와는 다른 새로운 균형충전용 러너시스템인 멜트버퍼(Melt-Buffer)를 제안하고, 이 시스템에 대한 도식적 모델을 제시하고, 그 유효성을 검증하기 위하여 사출해석프로그램 중의 하나인 Moldflow MPI 6.1을 이용하여 유동해석을 통해 그 효과를 나타내었다. 또한 Melt-Buffer가 적용된 사출금형을 설계 제작하여, PP 수지와 ABS 수지를 대상으로 각 캐비티간의 균형충전에 관한 실험 연구를 수행하고 그 결과에 대해 고찰하였다.

본 연구의 활용으로 1개 이상의 분기가 있는 러너 시스템에 Melt-Buffer를 형상 및 크기를 표준화하여 사용수지와 러너 형상에 따라 적용하면 플라스틱 정밀성형에 크게 기여할 수 있을 것으로 예측된다. 따라서 향후 연구로서는 Melt-Buffer의 표준화 적용을 위해 각 수지별로 러너 형상 및 캐비티의 크기에 따라 보다 정밀한 실험의 수행이 필요하다.

2. Melt-Buffer 러너시스템

2.1 Melt-Buffer 러너시스템

2.1.1 Melt-Buffer의 구조

Fig. 1은 다수 캐비티 금형에서 일어나는 충전 불균형 현상을 해소하기 위한 방안으로서의 새로운 러너시스템인 Melt-Buffer의 구조를 나타낸 것이다. 이것은 현재까지 알려진 Melt Flipper와 RC Pin과는 달리 새로운 부품의 삽입이 아닌 러너 형상의 간단한 변경에 의하여 균형충전이 이루어질 수 있도록 하였다. 새로운 균형충전용 Melt-Buffer

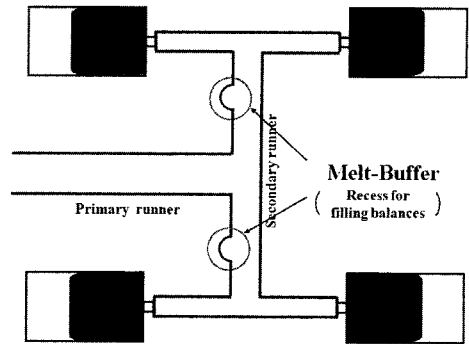


Fig. 1 Melt-Buffer runner system

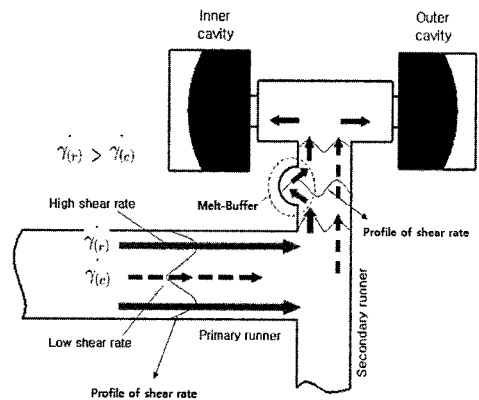


Fig. 2 Improvement of filling balance by Melt-Buffer

러너 시스템은 러너 벽면부와 러너 중심부의 용융수지의 전단율(shear rate)의 차이를 개선하기 위하여 전단율이 큰 러너 벽면부에 홈을 설계하여 상대적으로 전단율이 큰 유동선단을 감소시킬 수 있도록 함으로써 유동선단의 전단율을 균일하게 하여 내측 캐비티와 외측 캐비티가 동시에 충전할 수 있도록 하였다.

2.1.2 Melt-Buffer의 균형충전 도식모델

Fig. 2는 Melt-Buffer의 균형충전을 설명하는 그림으로 1차 러너의 높은 전단영향으로 의해 Melt-Buffer 부를 지나기 전에는 2차 러너의 내측과 외측의 전단율이 달라지게 되지만, 외측에 비해 상대적으로 큰 전단율을 가지는 내측 러너부에 Melt-Buffer를 설치하면, 내측의 전단율을 감소시켜 Melt-Buffer를 지난 후에는 2차 러너에서 내측과 외측이 동일한 전단율을 가지게 될 것이다. 그 결과 내측 캐비티(inner cavity)와 외측 캐비티(outer

cavity) 간의 균형충전이 이루어지게 될 것으로 예측된다.

3. 사출성형해석

기존의 사출성형해석은 성형부는 미드플랜(midplane), 퓨전(fusion) 및 3D 메쉬(mesh)에 의한 다양한 메쉬를 사용하였으나, 러너시스템은 1D 빔(beam) 메쉬를 사용하는 것이 일반적이었다. 이러한 메쉬 모델링에 의한 사출성형해석은 다수 캐비티 금형에서 실제 일어나고 있는 충전불균형 현상을 나타낼 수 없었다. 또한 유동시스템을 3D 메쉬를 사용하여도, 충전불균형 현상을 잘 나타낼 수 없어 CAE 프로그램의 활용에 하나의 제한점이 되었다.

그러나 문헌[7]에 따르면 정교하게 메쉬를 형성하면 CAE 프로그램에서 충전불균형 현상을 미세하게 확인할 수 있으며, 사출성형해석 상의 1%의 충전불균형은 실제사출성형에서의 30%의 충전불균형이 나타난다고 기술되어 있다.

그래서 본 연구에서는 메쉬 형성을 저자들의 연구팀에서 개발한 BSM(Block Stacking Meshing)기법[8]을 이용하여 정교하게 메쉬를 형성하여 사출성형해석을 통해 충전불균형 현상을 나타낼 수 있었다.

3.1 사출성형해석 조건

사출성형해석 프로그램은 Moldflow MPI 6.1을 사용하였으며, Melt-Buffer의 효과를 실험하기 위하여 Melt-Buffer가 각각 1개소와 2개소에 설치되어 있는 러너시스템을 대상으로 성형해석을 수행하였다. 사출성형시 발생하는 충전불균형 현상을 알아보기 위하여 러너 및 캐비티 부위에 모두 메쉬 타입은 3D 메쉬 (tetra mesh type) 생성시 BSM기법을 사용하여 성형해석을 수행하였다. 대상 수지는 BASF사의 ABS (GP 22)수지를 사용하였다. 기본적인 사출성형조건인 금형온도, 수지온도, 사출압력 등은 Moldflow MPI 프로그램의 추천조건을 사용하였으며, 사출율 (flow rate)을 100cm³/sec로 설정하였다. Fig. 3은 사출성형해석에 사용된 메쉬 형상을 나타낸 것이다.

3.2 사출성형해석 결과

Fig. 4와 Fig. 5는 Melt-Buffer가 1개소와 2개소가 설치된 러너시스템의 충전시 러너 및 캐비티 내

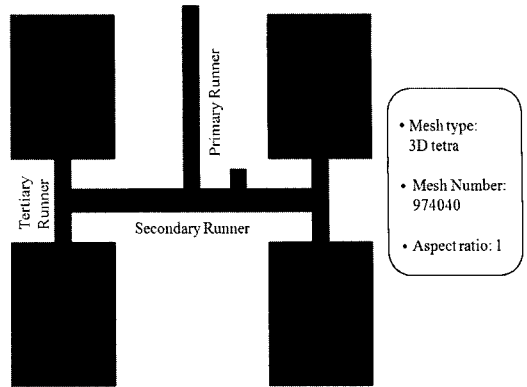


Fig. 3 Mesh model for CAE simulation

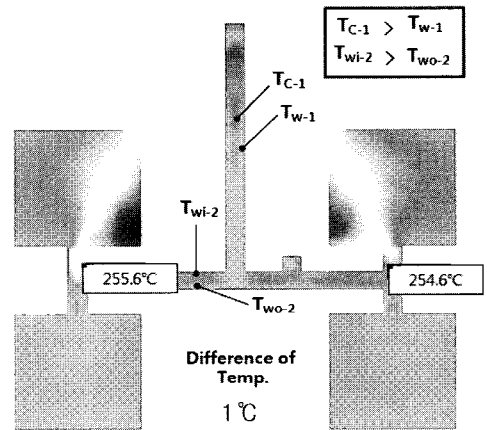


Fig. 4 Temperature at flow front in case of one Melt-Buffer

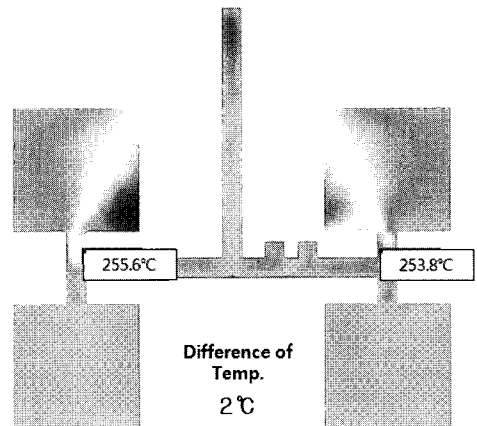


Fig. 5 Temperature at flow front in case of two Melt-Buffers

의 유동선단의 온도 분포를 나타낸 것이다. 1차 러너에서는 러너 벽면 근처의 온도가 러너의 중심부에 비해 높은 것을 볼 수 있고, 1차 러너 분기 후 2차 러너에서는 내측 캐비티 방향으로 흐르는 러너 내측부가 외측부에 비해 온도가 높은 것을 볼 수 있다. 3차 러너 부에서는 Melt-Buffer를 지나는 유동선단의 온도가 Melt-Buffer가 없는 쪽의 유동선단의 온도에 비해 Melt-Buffer가 1개소일 때는 약 1℃ 정도 낮게 나타나고 있으며, Melt-Buffer가 2개소일 때는 약 2℃ 정도 낮게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

4. 사출성형실험

4.1 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 사출성형기는 LG전선에서 제작한 형체력 140ton 직압식 수평형 사출기를 사용하였고, 실험 금형은 기하학적으로 균형을 갖춘 'H' type의 러너에 의해 충전되는 4캐비티 2단 금형을 사용하였다.

실험용 대상 수지는 범용 수지인 ABS(GP22, BASF)와 PP(M540, GS Caltex)를 사용하였다. 성형 조건은 기존의 연구[9]에서 균형충전도에 영향도가 가장 큰 것으로 알려진 성형조건인 사출속도를 변화시켜 그에 따른 충전 불균형도의 변화를 측정하였다. 사출속도는 사출기의 최대 사출속도의 40%에서 70%의 범위로 설정하였고, Melt-Buffer의 개수를 1 개와 2 개로 변화시켰으며, 또 하나의 실험으로는 Melt-Buffer의 형상을 변형시켜 폭과 길이를 다르게 한 경우에 대한 균형충전도를 측정하였다. 그 외의 성형조건인 금형온도, 사출압력과 성형온도는 Table 1과 같이 ABS와 PP의 일반적인 성형조건으로 설정하여 실험을 수행하였다.

Table 1 Injection molding conditions for experiment

Variable	Unit	Condition	
		ABS	PP
Melt temperature	℃	230	210
Mold temperature	℃	60	
Injection pressure(Max. 1550kg/cm ²)	%	70	
Injection speed(Max. 206m/sec)	%	40,50,60,70	
Number of Melt-Buffer	EA	1, 2	
Shape of Melt-Buffer	type	Wide, Deep	

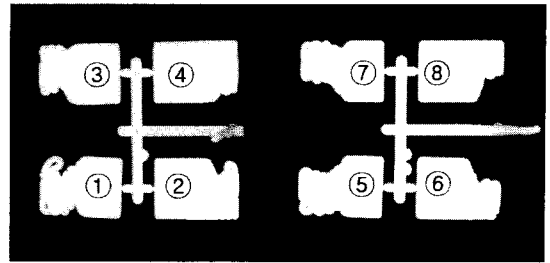


Fig. 6 The runner system lay-out by number of Melt-Buffer

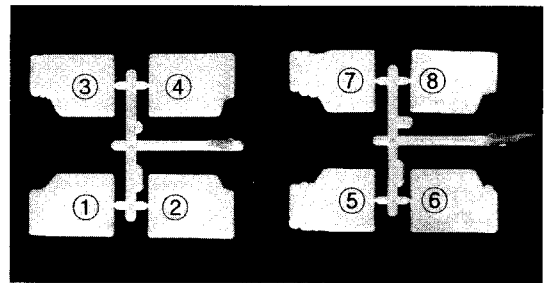


Fig. 7 The runner system lay-out by shape of Melt-Buffer

각 캐비티에서 발생하는 충전불균형에 대한 Melt-Buffer의 개수에 따른 영향을 알아보기 위하여 Fig. 6에서 알 수 있듯이 ①, ②, ⑤, ⑥번 캐비티에는 2차 러너의 내측에 Melt-Buffer를 1개소 및 2개소를 각각 설치하여 충전의 영향을 받게 하고, ③, ④, ⑦, ⑧번 캐비티는 Melt-Buffer의 영향을 받지 않도록 하였다. Fig. 7과 같이 Melt-Buffer의 폭의 변화에 대한 영향을 알아보기 위하여 ①, ②, ⑤, ⑥번 캐비티는 Melt-Buffer의 폭을 넓게하여 영향을 받게 하였고, ③, ④번 캐비티와 ⑦, ⑧번 캐비티는 깊이를 서로 다르게 하여 충전의 영향에 대한 실험을 수행하였다.

4.2 균형충전도의 정의

충전량이 큰 내측 캐비티와 충전량이 작은 외측 캐비티 사이에서 발생하는 충전불균형 현상을 값으로 나타내기 위하여 식 (1)을 균형충전도 (DFB : Degree of Filing Balance)로 정의하였다. 균형충전도의 값은 100에 가까울수록 균형충전에 가까워진다.

균형충전도(DFB)

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

여기서, W_{inner} : 내측 캐비티의 중량
 W_{outer} : 외측 캐비티의 중량

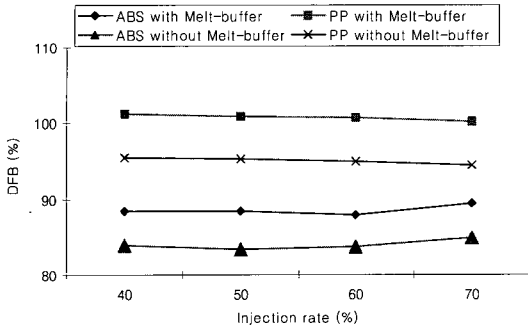


Fig. 8 DFB variation in case of one Melt-Buffer

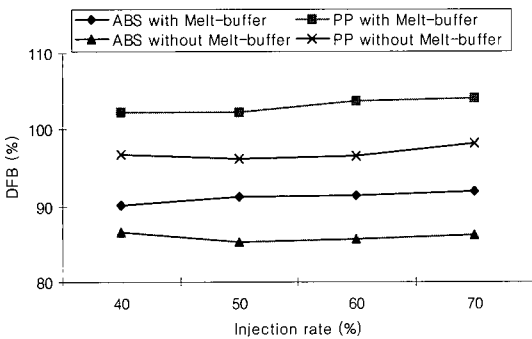


Fig. 9 DFB variation in case of two Melt-Buffers

5. 실험결과 및 고찰

5.1 Melt-Buffer의 개수에 의한 변화

Fig. 8 과 Fig. 9 에는 Melt-Buffer 의 개수에 따라 각 캐비티 간의 충전균형도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Melt-Buffer 가 1 개 설치된 러너지스팀에서는 Fig. 8 에서 보는 것과 같이 ABS 와 PP 모두 Melt-Buffer 가 설치된 캐비티의 충전균형도가 Melt-Buffer 가 설치되지 않은 캐비티에 비해 ABS 의 경우는 약 4 % 정도, PP 경우는 약 6% 정도 향상되었음을 알 수 있다.

Melt-Buffer 가 2 개 설치된 러너지스팀에서는 ABS 의 경우 Melt-Buffer 가 설치된 캐비티가 그렇지 않은 캐비티에 비해 약 6% 정도의 균형충전도가 개선되었다. PP 의 경우는 Melt-Buffer 의 영향으로 내측 캐비티보다 오히려 외측 캐비티가 더 많이 충전되는 역전 현상이 일어났으며, 이는 Melt-

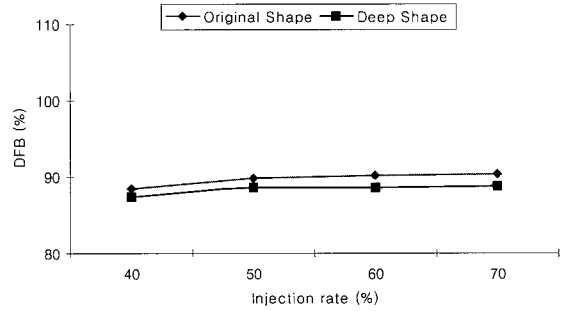


Fig.10 DFB variation in case of deep Melt-Buffers

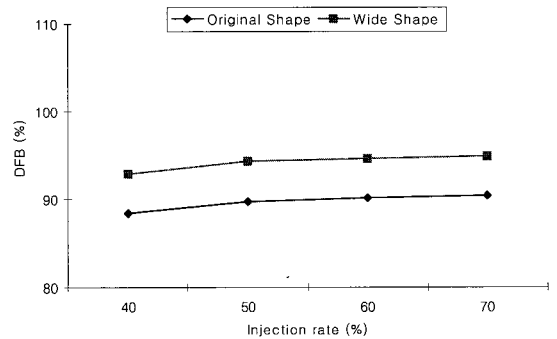


Fig.11 DFB variation in case of wide Melt-Buffers

Buffer 의 효과를 확실하게 나타내는 결과를 할 수 있다.

Fig. 8 과 Fig. 9 를 비교해보면 Melt-Buffer 가 개수가 많을수록 균형 충전도의 값이 더 높아짐을 알 수 있다. ABS 의 경우는 약 4%, PP 의 경우는 약 2% 정도 균형충전도의 값이 향상되었다.

5.2 Melt-Buffer의 형상에 의한 변화

Fig. 10은 Melt-Buffer의 깊이에 따라 각 캐비티 간의 균형충전도를 나타낸 것이다. 표준적인 Melt-Buffer를 지나는 균형충전도의 값과 Melt-Buffer의 깊이를 깊게 한 경우는 약 0.8% 정도의 차이가 미소하게 나타나고 있는데, 이는 Melt-Buffer의 깊이가 증가하여도 균형충전에는 크게 영향을 줄 수 없음을 보여주고 있다. Fig. 11은 Melt-Buffer의 폭의 증가에 의한 균형충전도를 나타낸 것으로 표준적인 Melt-Buffer를 지나는 균형충전도의 값에 비해 Melt-Buffer의 폭을 넓게 하였을 경우에는 균형충전도의 값이 약 4% 정도 향상되었음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 다수 캐비티에 적용할 수 있는 새로운 균형충전용 러너시스템인 Melt-Buffer를 제안하였으며, 그 유효성을 알아보기 위해 사출성형해석 프로그램에 의한 유동해석을 실시하였으며, 또한 실제 Melt-Buffer의 구조를 가진 금형을 이용하여 ABS와 PP 수지를 대상으로 실험적 연구를 수행하였다. 다음은 본 연구의 주요한 결과들이다.

(1) 사출성형해석시 정교한 메쉬 기법인 BSM 기법을 사용하여 Melt-Buffer의 유효성을 확인하였다.

(2) Melt-Buffer를 1개소에 설치 하였을 경우에는 ABS는 약 4%, PP는 6% 정도의 균형충전도를 향상 시킬 수 있었으며, 2개소에 설치 하였을 경우에는 ABS는 약 6%, PP는 7% 정도의 균형충전도를 향상 시킬 수 있었다.

(3) PP수지의 경우 Melt-Buffer를 설치하였을 때, 균형충전도의 값이 100% 이상이 되어 내측 캐비티보다 외측 캐비티가 더 많이 충전되는 현상이 나타났다.

(4) Melt-Buffer의 형상에 따른 균형충전 효과는 Melt-Buffer의 폭의 증가에 의한 효과가 깊이의 증가에 의한 효과보다 우수함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] J. P. Beaumont, Jack H. Yong, 1997, Mold Filling Imbalance in Geometrically Balanced Runner, Journal of Injection Molding Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 133~135.
- [2] J. P. Beaumont, Jack H. Young, Jawoski, J. Matthew, 1998, Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Mold, Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No.2, pp. 47~58.
- [3] J. P. Beaumont, 2001, Revolutionizing Runner Design In Hot and Cold Runner Mold, ANTEC 2001, pp. 3680~3687.
- [4] Y. D. Jeong, 2006, Development of New Runner System for Filling Balance in Multi Cavity Injection Mold, Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No.1, pp. 42~46.
- [5] D. K. Je, Y. D. Jeong, 2004, Filling Imbalance in 3 Plate Type Injection Molds with Multi-Cavity, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No.6, pp. 117~121.
- [6] Y. S. Kwon, Y. D. Jeong, 2007, On the new mold structure with multi-point gate for filling-balance mold, Journal of KSDME, pp. 199~123.
- [7] J. P. Beaumont, Runner and gating design handbook, Hanser Publishers, p. 74.
- [8] Y. D. Jeong, 2008, 2008 Korea Moldflow User Conference, A Prediction of filling imbalance in the multi-cavity mold using 3D meshing method.
- [9] C. M. Kang, Y. D. Jeong, 2004, Effects of processing Factors on Filling Imbalances in Multi-cavity Injection Mold, Proceedings of the Korean Society for Technology of Plasticity Conference, pp. 53~57.