

# 다수캐비티 사출금형에서 엘라스토머 TPV의 충전 불균형

한동엽\*, 권윤숙\*\*, 노병수\*\*, 정영득#

## Filling Imbalance of Elastomer TPVs in Injection Mold with Multi-Cavity

Dong Yeop Han\*, Yun Suk Kwon\*\*, Byeong Su No\*\*, Yeong Deug Jeong#

### 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 the three kinds of thermoplastic vulcanizes(TPVs) in the mold with geometrically balanced runner system. In this experiment, the effects of the melt temperature and injection speed on the filling imbalance were investigated. To solve the filling imbalance, Runner Core pin(RC pin) in the experimental mold was adopted and its effects was tested. In this paper, we present that the insert length of RC pin is dependent to each polymers for optimal filling balance.

**Key Words** : Filling imbalance(충전 불균형), Thermoplastic Elastomer(TPE, 열가소성 엘라스토머), Thermoplastic vulcanizate(TPV, 열가소성 가황물), Runner Core pin(RC pin)

### 1. 서론

최근 자동차산업의 급속한 발전에 따라 관련 산업분야의 기술개발로 연료의 절감, 차체 경량화, 원가절감 및 친환경 소재로의 전환 등이 이루어지고 있다. 한편, 자동차에 사용되고 있는 각종 고무제품들은 스크랩의 재생이 가능하고 저비중이면서 생산성이 우수한 TPE(thermoplastic elastomer) 소재로의 전환이 이루어지고 있다. TPE의 특징 중 하나는 범용플라스틱과 같이 사출성형이 용이하다는 점이다.

TPE 중의 하나인 열가소성 가황물(thermoplastic vulcanizate, TPV)은 열경화성 고무물성과 열가소성 플라스틱의 가공성을 갖춘 가장 유용한 엘라스토머 성질의 혼합물이다.<sup>1,3</sup>

8개 캐비티 이상의 다수캐비티를 갖는 사출금형에서 성형되는 성형품의 생산성과 품질향상을 위해서는 각 캐비티간의 균형적인 충전이 필수적이다. 이를 위해 현재 수지의 유동거리가 기하학적으로 균형을 이루는 러너 시스템을 갖춘 금형이 설계 되어지고 있지만, 여전히 캐비티간 충전 불균형은 일어나고 있다. 이러한

접수일: 2006년 7월 21일, 게재승인일: 2006년 12월 6일

\* 부경대학교 기계공학부 대학원

\*\* 부경대학교 기계공학부 대학원

# 교신저자: 부경대학교 기계공학부

E-mail ydjung@pknu.ac.kr Tel. (051) 620-1534

각 캐비티 간의 충전 불균형 현상으로 인해 성형품들 간에는 치수정밀도 및 기계적 물성의 차이가 발생하여 성형품의 품질을 저하시키게 된다.<sup>4</sup>

본 연구에서는 열가소성 엘라스토머 소재를 대상으로 기하학적 균형을 갖춘 러너시스템<sup>5</sup>이 있는 다수 캐비티 금형에서의 충전 불균형 현상을 열가소성 엘라스토머 중 3가지 TPV 소재를 대상으로 실험하여 그 결과에 대해 고찰하였다.

또한, 충전 불균형을 해결하기 위해 고안된 RC pin(Runer Core pin) 금형<sup>6</sup>으로 균형충전의 효과를 측정하기 위한 실험을 수행하였으며, RC pin에 의한 TPV 수지별 충전 불균형의 개선 결과에 대해 분석하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 충전불균형의 원인

Fig. 1은 사출성형 해석 프로그램인 MOLDFLOW<sup>TM</sup>를 이용하여 기하학적 균형을 갖춘 캐비티를 대상으로 충전해석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 성형 해석상으로 8개의 캐비티가 동시에 충전됨으로써 충전 불균형 현상은 일어나지 않는 것으로 나타난다. 이는 MOLDFLOW를 포함한 대부분의 사출성형 프로그램이 러너시스템에 대해서 1차원 빔 메쉬(mesh)로 해석을 하기 때문이다.<sup>6</sup> 하지만 실제 사출공정시에는 캐비티 형상이 기하학적으로 균형을 갖추고 있어도 Fig. 2에서 보는 것과 같이 내측 캐비티와 외측 캐비티 간에 충전 불균형 현상은 일어나게 된다.<sup>7,8</sup>

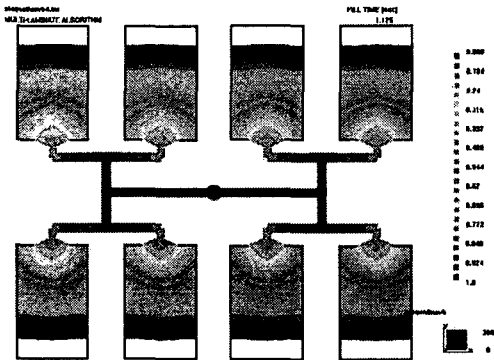


Fig. 1 The filling imbalances in flow analysis

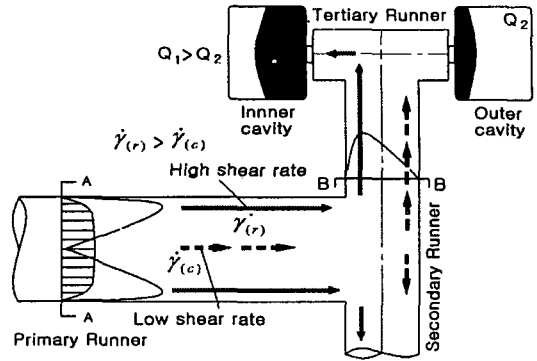


Fig. 2 Filling imbalance due to non-symmetrical shear rate distribution

이러한 현상은 Fig. 2에서 알 수 있듯이 러너의 분기가 2회 이상 발생하는 경우 러너 중심부의 전단율과 러너 벽면의 전단율 차이에 의해 기인된다. 수지의 비뉴턴(non-Newtonian)특성과 온도에 따른 점도변화를 나타내는 (1), (2)식의 수정 Cross 점도 모델식<sup>9,11</sup>에 따라 러너 벽면 영역에서는 전단율( $\dot{\gamma}$ )이 가장 높아지게 되고, 점도는 낮아지게 되어 수지의 유동은 러너 중심부 보다 더욱 빨라지게 된다. 이와같이 전단에 기인한 비대칭 유동특성에 의해 1차 분기된 수지의 유동은 2차 러너의 좌측 및 우측의 흐름 특성을 변화시켜 캐비티간 충전 불균형을 일으키게 된다.

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

여기서,  $\dot{\gamma}$  : 전단율(shear rate)

$\tau^*$  : 경계구역에서의 전단응력

$n$  : 비뉴턴 지수

$n_o$  : 제로 전단율에서의 점도

제로 전단율에서의 점도( $n_o$ )는 온도와 압력의 함수로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_o(T, P) = D_1 \exp\left(-\frac{A_1(T-T^*)}{A_2+(T-T^*)}\right) \quad (2)$$

$$A_2 = \bar{A}_2 + D_3 P$$

$$T^* = D_2 + D_3 P$$

여기서,  $T^*$ : 점도가 무한대에 이르는 전이온도

$T$ : 성형온도

$A_1, A_2$ : WLF 식에서의 전위계수

$D_1$ : 재료 전단율에서의 기준점도

$D_2$ : 재료 게이지압에서의 유리전이온도

### 2.2 충전 불균형의 개선

Fig. 3에서는 부경대학교 정밀성형 실험실에 의 해 개발된 RC pin<sup>12</sup>에 의해 충전 불균형이 개선되 는 과정을 보여주고 있다. 러너 중심부와 외경부에 비대칭적으로 형성되는 전단율 분포가 RC pin의 표면을 따라 발생하는 전단율에 의해 다시 대칭적 으로 형성됨을 알 수 있다. 이와 같이 대칭적으로 분포된 전단율은 2차 러너 중심부와 외경부의 균일 한 점도분포와 동등한 유동성을 가지게 하여 내측 캐비티(Inner cavity)와 외측캐비티(Outer cavity)의 충전량을 동등하게 만드는데 기여하게 된다.

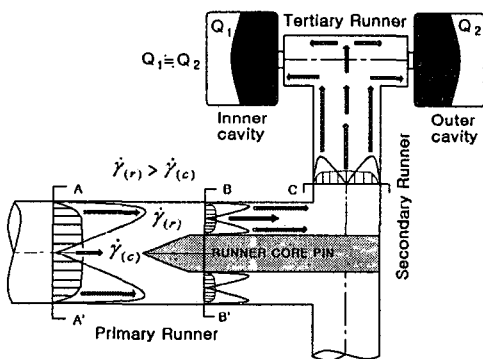


Fig. 3 Decreasing of filling imbalance by RC pin

## 3. 실험 및 실험장치

### 3.1 실험재료

TPE에는 스티렌계(SBC), 올레핀계(TPO), 우레탄

계(TPU), 아미드계(TPAE), 폴리에스테르계(TPEE) 등으로 구분되는데, 본 연구에서는 올레핀계 TPE 중의 하나인 TPV를 사용하였다. TPV는 폴리프로 필렌(polypropylene; PP)과 에틸렌프로필렌고무 (ethylene propylene rubber; EPDM)를 혼합하여 사용 하고 있는 재료이다. 실험을 위해 Table 1과 같이 (주)화승 R&A에서 제조한 PP와 EPDM의 비율이 각기 다른 3종의 TPV를 사용하였다.

Table 1 Experimental materials

Materials	EPDM(%)	PP(%)
L2K75BKS	71	29
B70I	78	22
B55I	86	14

### 3.2 실험조건

본 연구에서는 성형조건의 변화에 따라 캐비티 내 충전 불균형에 어떤 영향을 미치는가에 대해 실험하였다. 실험을 위한 성형변수는 수지온도, 사출 속도, RC pin의 삽입길이로 하였다. Table 2는 성형 조건과 범위를 나타낸 것으로 각각의 조건을 단계 별로 나누어 실험하였다.

Table 2 Experimental conditions for injection molding

Variables	Unit	Range
Melt temperature	℃	190, 195, 200, 205, 210, 215
Injection speed	cm <sup>3</sup> /sec	21.0, 23.7, 26.4, 29.1, 31.8
Length of RC pin	mm	0, 5, 10, 15

그 외의 사출조건은 사출시간 3초, 냉각시간 20 초, 금형온도 40℃, 사출압력은 사출성형기의 최대 사출압력의 50%(60.8MPa)를 고정 조건으로 설정하 였다.

### 3.3 실험장치

실험에 사용된 사출성형기는 LG전선에서 제작 된 형체력 140ton 직압식 사출성형기(IDE-140EN)이 었으며, 실험용 금형은 Fig. 4와 같이 기하학적 균 형을 갖춘 양측분기형 러너시스템에 RC pin이 채용된 8캐비티형 2매 구성형 다수캐비티 금형을 사용하였다.

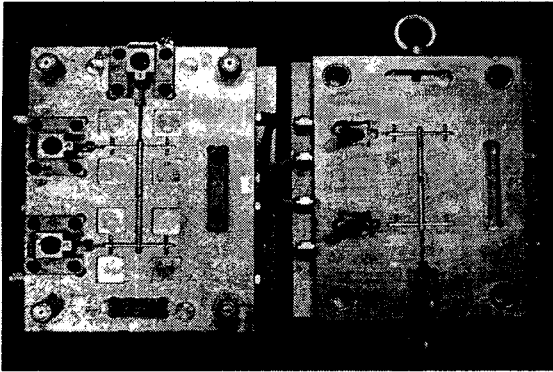


Fig. 4 Experimental mold

### 3.4 시편 측정

실험조건에 따른 내측 캐비티와 외측 캐비티 사이의 충전 불균형도(Degree of Filling Imbalance; DFI)를 다음의 (3)식과 같이 정의하여 사용하였다.

$$DFI = \left( \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \right) \times 100 (\%) \quad (3)$$

여기서,  $W_{in}$  : 내측 캐비티에서의 성형물 중량(g)  
 $W_{out}$  : 외측 캐비티에서의 성형물 중량(g)

충전 불균형 개선에 영향을 줄 것으로 예상되는 직경 3mm의 RC pin은 Fig. 5에서 나타낸 것과 같이 1차 러너의 콜드 슬러그 웰(cold slug well)에 삽입하여 RC pin이 각 캐비티의 충전 불균형에 미치는 영향을 알아보았다.

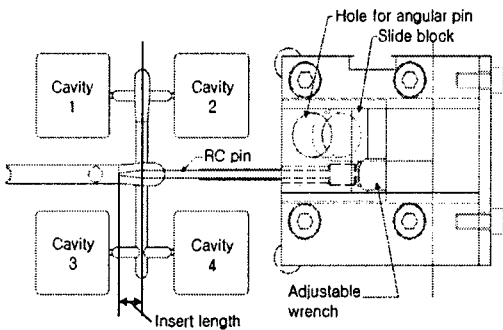


Fig. 5 Schematic diagram of runner core pin

## 4. 실험결과 및 고찰

TPV수지의 실험은 성형변수로 수지온도 및 사출속도는 6단계, RC pin의 길이는 4단계로 Table 2와 같이 설정하여 수행하였다.

### 4.1 수지온도에 따른 충전 불균형도(DFI)

Fig. 6은 사출속도 26.4cm/sec(사출율 50%)일때 수지온도에 따른 각 수지별 DFI의 변화를 나타낸 그래프이다.

PP함량이 가장 많은 L2K75BKS 수지의 경우 수지온도가 190℃일때 약 12%로 실험 TPV 수지중 DFI 값이 가장 높았고, 215℃에서는 5.22%를 나타내었으며, 수지온도가 190℃에서 215℃로 상승하는 동안 DFI 값이 약 7% 정도 감소하였다.

B701 수지의 경우에는 수지온도가 190℃일때 3.05%, 215℃에서는 1.31%의 DFI 값을 나타내었으며, 수지온도가 상승하는 동안 DFI 값의 변화가 약 1.7% 정도로 L2K75BKS 수지에 비해 감소율이 작게 나타났다.

B55I 수지의 경우 수지온도가 190℃일때 DFI 값이 2.12%, 215℃에서는 0.49%를 나타내었으며, 수지온도가 190℃에서 215℃로 상승하는 동안 DFI 값이 약 1.6%로 소폭 감소하였다.

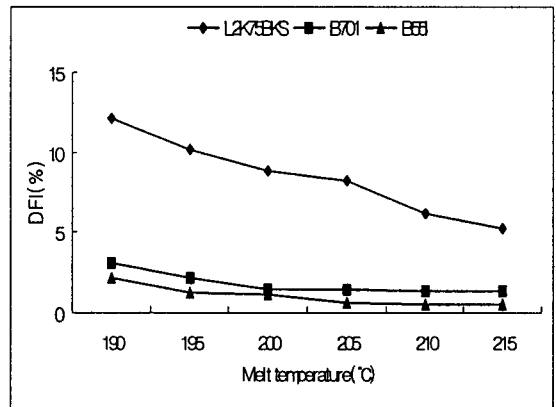


Fig. 6 DFI according to melt temperature

결과적으로 3가지 TPV 수지는 수지온도 상승에 반비례하여 DFI 값이 감소하는 것을 알 수 있었으며, 수지온도 상승에 따라 DFI 값의 감소 효과는 L2K75BKS, B701, B55I 수지 순으로 크게 나타났다. 이러한 결과는 EPDM보다 PP의 온도 민감도가 더 크기 때문에 PP 함량이 많은 L2K75BKS 수지가 DFI 값의 변동이 가장 크게 나타난다고 볼 수 있

다. 또한, PP보다 EPDM의 유동성이 더 좋으므로 수지온도 상승시 EPDM이 증가 할수록 DFI 값을 더 많이 감소시킨다고 생각한다.

Fig. 7은 L2K75BKS의 수지온도 상승에 따른 각 캐비티 간의 성형시편에 대한 사진을 나타낸 것이다. 본 연구에서 측정된 TPV 수지에 대한 DFI 값은 열가소성 수지를 대상으로 수행한 기존의 연구결과<sup>13</sup>에 비해 가장 작은 DFI 값을 나타내고 있다. 특히, B70I, B55I 수지는 4% 이하로 나타나 일반사출성형 공정시 성형품의 품질에 미치는 영향은 극히 미미할 것으로 생각된다.

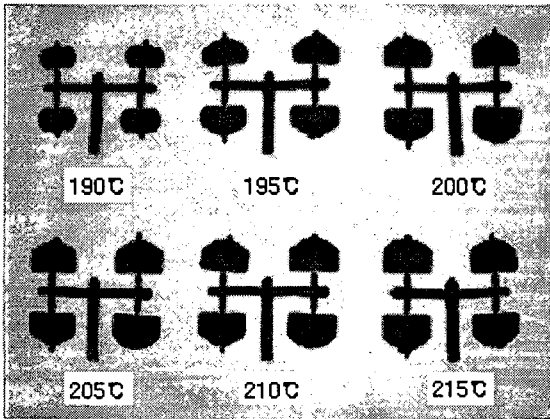


Fig. 7 Molding at each step according to melt temperature

#### 4.2 사출속도에 따른 충전 불균형도(DFI)

Fig. 8은 수지온도 200℃일 때 사출속도에 따른 각 수지별 DFI 값의 변화를 나타낸 그래프이다.

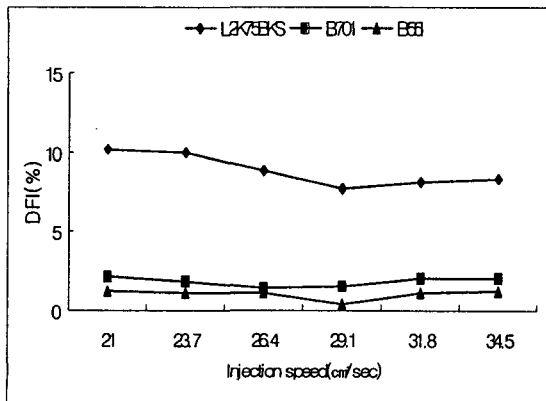


Fig. 8 DFI according to injection speed

L2K75BKS 수지의 경우 DFI 값은 약 10% 내외의 값을 나타내었으며, 사출속도가 증가 할수록 DFI 값은 약간 감소하는 경향을 나타내었다. B70I 및 B55I 수지의 경우는 DFI 값이 약 2% 내외의 값을 나타내었다. 사출속도가 23.1cm/sec 이후에서는 DFI 값이 증가하는 경향을 나타내었는데 이것은 숏트 샷(Short shot) 성형조건에 의한 현상으로 판단되며, 결과적으로 사출속도에 대한 영향은 열가소성 수지와는 달리 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 4.3 RC pin 길이에 따른 충전 불균형도(DFI)

Fig. 9는 수지온도 200℃, 사출속도 26.4cm/sec 조건일때 RC pin의 삽입길이 변화(Fig. 5 참조)에 따른 각 수지별 DFI의 변화를 나타낸 그래프이다.

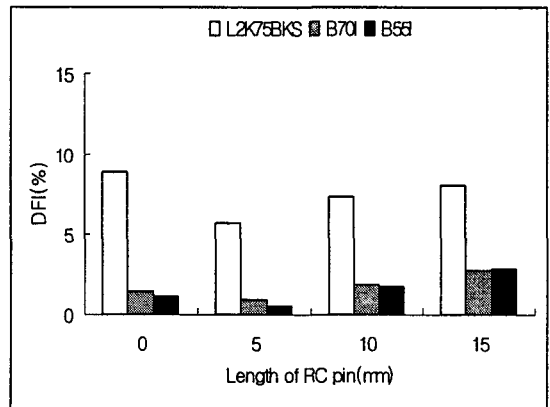


Fig. 9 DFI according to Length of RC pin

L2K75BKS 수지의 경우 RC pin의 삽입길이가 0mm일때 DFI 값이 8.87%로 실험 TPV 수지중 가장 높은 DFI 값을 나타내었으며, 5mm에서는 5.76%로 감소하다가 15mm까지 8.11%로 계속 증가하였다. B70I 수지 역시 RC pin의 삽입길이가 0mm일때 1.41%, 5mm에서는 0.88%로 감소하다가 15mm까지 2.77%로 증가하였다. B55I 수지에서도 RC pin의 삽입길이가 0mm일때 1.10%, 5mm에서는 0.48%로 가장 작은 DFI 값을 나타내었고, 이후 15mm까지 2.85%로 증가하였다. 이는 기존의 열가소성 수지를 대상으로 한 연구결과와 비교 했을때, DFI 값에서만 차이가 있을 뿐 경향은 유사하게 나타났다.<sup>13</sup>

RC pin을 삽입하지 않았을 때의 경우와 비교할 때 RC Pin의 삽입길이가 5mm인 경우가 가장 낮은 DFI 값을 나타내었으며, L2K75BKS 수지의 경우

약 3%, B70I 수지의 경우는 약 0.5%, B55I 수지의 경우는 약 0.6%의 감소효과가 있었다. B70I 및 B55I 수지의 경우 RC pin 삽입으로 인한 감소효과가 1% 이하로 아주 작음을 알 수 있다. 이러한 결과는 열가소성 플라스틱 재료를 대상으로 개선율을 약 80%까지 개선시켰던 기존 연구<sup>12</sup>와는 다른 결과로 해석된다. RC Pin의 삽입길이가 5mm일 때 2차 러너에서 대칭적으로 분포된 전단율이 러너 외경부와 러너 중심부의 점도를 안정적으로 분포시켜 가장 낮은 DFI 값을 나타내는 것으로 생각된다. 그러나 이런 결과는 실험오차로 들어갈 만큼의 작은 감소효과로 삽입길이가 DFI 값에 미치는 영향에 대해서는 향후 연구로 규명할 예정이다.

엘라스토머 TPV에서 RC pin 삽입으로 인해 성형품에 질적인 영향을 줄 만큼의 개선효과를 기대하기는 어려울 것으로 여겨진다. 이는 TPV 수지가 다른 범용 열가소성 수지에 비해 높은 유동성을 나타내므로 이로 인해 비교적 낮은 DFI 값을 갖는 데에 오는 결과라고 생각된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 다수 캐비티 사출금형에서 엘라스토머 TPV 수지를 대상으로 성형조건에 따른 수지온도, 사출속도를 실험 변수로 하였으며, 충전 불균형 해소의 한 방안으로 고안된 RC pin 금형 구조에 대한 효과를 알아보기 위해 실험연구를 수행하여 다음과 같은 주요 결과를 얻을 수 있었다.

1. TPV 수지의 충전 불균형도는 수지온도가 높아질수록 감소하였고, PP 함량이 적은 순서인 B55I, B70I, L2K75BKS 수지 순으로 낮게 나타났다.
2. 사출속도 증가에 따라 충전 불균형도는 2% 이내로 감소하였으나, 수지온도에 의한 영향 보다는 그 영향도가 적게 나타났다.
3. TPV 수지에서 RC pin 삽입으로 인한 충전 불균형도의 개선효과는 삽입길이가 5mm 일 때 가장 크게 나타났다.

## 참고문헌

1. Lee, S. J. and Lee, K. J., "TPV of characteristic and application," Journal of the Rubber Society of

- Korea, Vol. 29, No. 4, pp. 305-308, 1994.
2. Do, I. H. and Kim, B. K., "Thermoplastic Vulcanizate," Journal of the Rubber Society of Korea, Vol. 29, No. 1, pp. 48-49, 1994.
3. Kang, J. S. and Seo, H. S., "TPE of characteristic and tread of development," Journal of the Rubber Society of Korea, Vol. 5, No. 1, pp. 16-30, 2004.
4. Beaumont, P. J. and Young, H. j., "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems," Journal of Injection Molding Technology, Vol 1, No 3, pp. 133-143, 1997.
5. Jeong, Y. D., Park, T. W. and Kong, H. P., "Easy mold design for plastic injection molding," INTERVISION, pp. 224-227, 2003.
6. Je, D. K., "A Study on the Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds," Department of Mechanical Engineering Graduate School of Pukyong National University, pp. 34, 73, 82, 2006.
7. Beaumont, P. J., Nagel, R. and Sherman, R., "Successful Injection Molding," HANSER, pp. 58, 63, 71, 2002.
8. Auell, P. and Bailey, M., "Effect Thermoplastic Material Properties on Mold Filling Imbalances," ANTEC, pp. 3495-3499, 2002.
9. Beaumont, P. J., Nagel, R. and Sherman, R., "Successful Injection Molding," HANSER, pp. 36-37, 2002.
10. Han, S. R., Kang, C. M., Han, K. T. and Jeong, Y. D., "A Study on the Filling Imbalances between Multi-Cavity in Hot-Runner Mold," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 9, pp. 174-175, 2005.
11. Je, D. K. and Jeong, Y. D., "Filling Imbalance in 3 Plate Type Injection Molds with Multi-Cavity," Spring conference KSPE, pp. 300-301, 2000.
12. Jeong, Y. D., "Development of New System for Filling Balance in Multi Cavity Injection Mold," Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No. 1, pp. 42-46, 2006.