

다수 캐비티의 사출성형품에서 충전의 불균형과 성형품 치수 편차의 고찰

강민아* · 류민영†

서울산업대학교 금형설계학과, *서울산업대학교 대학원
(2008년 3월 6일 접수, 2008년 6월 24일 수정, 2008년 9월 22일 채택)

Investigation of the Filling Unbalance and Dimensional Variations in Multi-Cavity Injection Molded Parts

Min A Kang* and Min-Young Lyu†

Department of Die & Mould Engineering, Seoul National Univ. of Technology,
172 Gongneung 2-dong, Nowon-gu, Seoul 149-743, Korea

*The Graduate School of Industry and Engineering, Seoul National University of Technology,
172 Gongneung 2-dong, Nowon-gu, Seoul 149-743, Korea

(Received March 6, 2008; Revised June 24, 2008; Accepted September 22, 2008)

초록: 렌즈나 휴대폰 부품 같은 소형 플라스틱 부품들은 일반적으로 다수 캐비티 사출금형에서 성형된다. 이러한 다수 캐비티 금형에서의 사출성형은 캐비티간의 충전 불균형이 일어날 수 있다. 이러한 충전 불균형 현상은 제품의 치수 및 중량의 편차뿐 아니라 제품의 물리적 특성에도 영향을 미친다. 충전 불균형은 무엇보다도 기하학적으로 균형 잡히지 않은 delivery system의 설계에서 기인된다. 하지만 delivery system이 기하학적으로 균형 있게 설계가 되었다 하더라도 충전 불균형 현상은 여전히 발생된다. 이러한 현상은 러너 단면에서의 온도분포에 기인하며 사출성형 공정 중 사출속도에 크게 영향을 받는 것으로 본 연구에서 파악되었다. 즉 충전 불균형은 부적절한 사출 성형 공정에 의해 발생되며 성형 공정 조건 중 사출속도는 충전에 영향을 주는 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 재료와 사출 속도에 따른 충전 불균형 현상을 실험과 CAE을 통하여 관찰하였다. 사출속도 변화에 따른 충전 불균형 때문에 시편의 치수 및 무게가 불균일함을 확인하였다.

Abstract: Small injection molded articles such as lens and mobile product parts are usually molded in multi-cavity mold. The problem occurring in multi-cavity molding is flow unbalance among the cavities. The flow unbalance affects the dimensions and physical properties of molded articles. First of all, the origin of flow unbalance is geometrical unbalance of the delivery system. However, even the geometry of the delivery system is well balanced, cavity unbalance occurs. This comes from the temperature distributions in the cross-section of runner. Temperature distribution depends upon injection speed because heat generation near runner wall is high at high injection speed. Among the operational conditions, injection speed is the most significant process variable affecting the filling unbalances in multi-cavity injection molding. In this study, experimental study of flow unbalance has been conducted for various injection speeds and materials. Also, the filling unbalances were compared with CAE results. The dimensions and weights of multi-cavity molded parts were examined. The results showed that the filling unbalances vary according to the injection speeds and resins. Subsequently, the unbalanced filling and pressure distribution in the multi-cavity affect the dimensions and physical states of molded parts.

Keywords: filling unbalance, multi-cavity injection mold, delivery system, runner balance, injection speed.

서 론

렌즈나 휴대폰 부품과 같은 소형 플라스틱 부품들은 보통 다수 캐

비티 사출금형을 사용하여 성형된다. 이러한 금형에서의 사출성형은 각 캐비티 간 편차가 없이 균일한 제품이 성형되도록 충전의 균형이 이루어져야 한다. 충전의 불균형은 사출품의 치수 및 중량의 편차뿐 아니라 제품의 물리적 특성에도 영향을 미친다. 충전의 균형을 위해서는 우선 delivery system 즉, sprue, runner 그리고 gate의 설

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mylyu@snu.ac.kr

계가 기하학적인 균형을 이루어야 한다. 그러나 delivery system 이 기하학적으로 균형 있게 설계가 되어 있다 하더라도 각 캐비티 간 충전 불균형은 여전히 발생할 수 있다. 런너내의 수지의 흐름은 런너의 크기 및 길이, 런너의 분기 등 런너의 기하학적 형상과 성형조건, 즉 속도, 온도 등의 영향을 받는다. 이러한 여러 조건들은 런너에서의 온도변화를 일으키는데 이러한 온도변화 및 분포는 캐비티간의 흐름 불균형을 유발시키게 된다.

이러한 충전 불균형 현상의 연구는 Beaumont 등에¹⁻³ 의해 폭 넓게 연구되었고 그 후 충전 불균형 현상의 원인 및 개선을 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 런너의 기하학적인 형상에 따른 충전 불균형 현상의 연구 및 사출속도, 수지온도, 금형온도 등 성형조건과 재료에 따른 충전 불균형 현상이 연구되었고,⁴⁻⁶ 컴퓨터 모사를 통하여 충전 불균형의 예측 및 런너에서 전단열의 형성 및 거동을 보여주었다.^{7,8} 충전 불균형 해결을 위해서 모든 캐비티의 압력이 균형을 이루도록 인위적으로 설계된 런너 시스템의 연구와⁹ Melt Rotate Technology를 적용한 금형에서 충전 불균형에 영향을 주는 변수와 이를 해결하기 위한 방법^{10,11} 및 런너 내 전단열에 의한 불균일한 흐름을 균일하게 하는 melt flipper가 연구되었다.¹² 또한 가변 런너 시스템의 개발과¹³ 런너 코어 핀을 설치한 런너 시스템의 개발을¹⁴ 통한 충전 불균형 현상의 원인 검토 및 충전 균형을 위한 연구도 진행되었다. 여러 특허에서도 런너 균형을 위한 장치를 소개하고 있다.¹⁵⁻²¹

그러나, 충전 불균형에 의한 제품의 품질에 대한 고찰이 미진한 상황이며 또한 재료에 따라 성형조건이 충전 불균형에 미치는 영향의 연구는 없는 실정이다. 본 연구에서는 점도 및 물성이 다른 두 가지 수지에 대하여 충전 불균형 현상을 관찰하였다. 그리고 성형조건이 런너의 단면에서 온도분포에 어떻게 영향을 주는지 파악하였다. 또한 런너에서의 온도분포와 캐비티 불균형과의 관계도 파악하였다. CAE 해석을 수행하여 충전패턴을 예측하고 실험의 결과를 CAE 해석결과와 비교 분석하였으며 충전 불균형에 의한 캐비티 별 제품의 치수 및 무게변화를 관찰하였다.

실 험

실험 모델. Figure 1은 본 연구에서 불균형 충전을 알아보기 위해 사용한 실험 모델로 사출금형에서 캐비티의 형상과 delivery system이 함께 나타나 있다. 스프루에서 런너로 교차하는 부분과 런

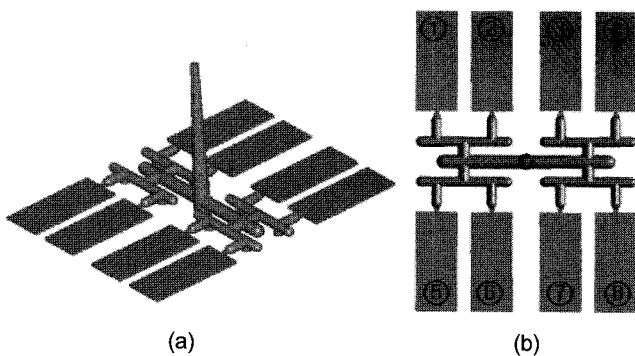


Figure 1. Delivery system and cavities. (a) Delivery system and cavities and (b) arrangement of cavities.

너가 꺾이는 곳에는 모두 콜드 슬러그 웰을 설치하였다.

Figure 2는 캐비티의 형상을 보여주고 있는데 캐비티의 두께는 1 mm이고 폭은 12.2 mm, 길이는 30 mm이다. 각 캐비티에서 게이트의 크기는 폭 1.2, 두께 0.4 mm, 그리고 랜드 길이는 1.25 mm이다.

실험장비 및 실험조건. 본 연구에 사용된 사출기는 Sumitomo사 출기(SE50D)이며 형체력은 50 ton, 최대사출압은 2760 kgf/cm², 최대사출속도는 500 mm/sec, 스크류 지름은 20 mm이다. 수지는 삼양사의 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC)인 Trirex 3025 GRU30(유리섬유 30 wt% 함유, T_g=138 °C)과 Cyclo Olefin Polymer(COP)인 Nippon Zeon사의 Zeonex E48R(T_g=130 °C)을 사용하였다. 각 수지의 건조 조건은 PC는 110 °C에서 6시간 이상, Zeonex는 90 °C에서 4시간 이상이다.

사출속도가 각 캐비티의 충전에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 Table 1에 나타난 성형조건으로 사출성형 실험을 수행하였다. 폴리카보네이트와 Zeonex는 각각 휴대폰 카메라 모듈의 하우징과 배럴, 그리고 렌즈에 사용되는 수지로서, 재료의 금형온도는 실제 양산시 사용되는 온도를 적용하였다. 렌즈 성형 시 잔류응력에 의한 복굴절을 줄이기 위해 금형의 온도는 Zeonex의 T_g 보다 높게 설정하였다.

Zeonex로 렌즈를 성형할 때는 성형수축을 최대한 줄이기 위해 오랫동안 보압을 하는데 이를 위해 금형온도를 높게 셋팅하고 있다. 사출 성형 실험에서 최초 정상 사출 상태에 이르기까지 약 50 shot 이상을 수행하고 각 조건별 시편을 얻기 위해 약 7 shot, 수지온도 및 금형온도 변화 시에는 약 30 shot 수행 후 5개의 시편을 얻어 측정하였다. 시편의 수축률과 무게는 평균값을 이용하여 분석하였다.

CAE 해석. 각 캐비티에서의 충전현상을 모사하기 위해 Moldex3D를 사용하였다. Moldex 3D는 사출성형 해석 전용 프로그램으로서 유한체적법(Finite Volume Method, FVM)을 적용하여 2차원 해석뿐 아니라 관성 및 비등온 유동과 같은 실제적인 3차원 해석을 지원한다. 사출성형 과정에서 충전, 보압, 냉각 해석 및 사출성형 후 제품의 수축 및 휨 현상도 예측할 수 있으며 각 과정의 마지막에서의 재료의 유동, 온도, 압력, 전단응력 등을 예측한다. 또한 스프루 입력이나 형체력 및 웰드라인, 에어트랩의 발생 가능한 위치도 해석으로 예측 가능하다.

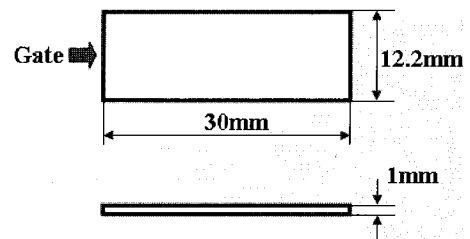


Figure 2. Dimension of cavity.

Table 1. Injection Molding Conditions

Polymer	Injection temperature(°C)	Mold temperature(°C)	Injection speed(mm/sec)
PC	300	105	50,150,250
Zeonex	280	150	10,50,250

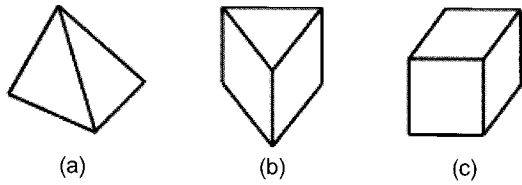


Figure 3. 3D mesh type used in simulation. (a) Tetrahedron, (b) prism, and (c) hexahedron.

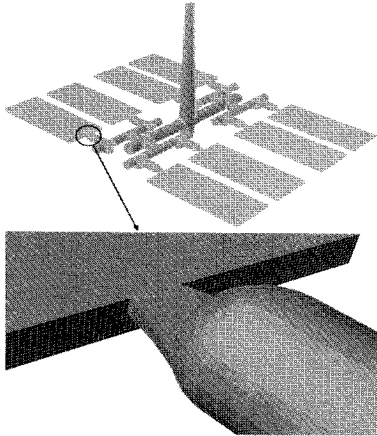


Figure 4. 3D mesh in runner and cavities for simulation.

Figures 3과 4는 본 연구 모델의 사용된 3차원 메쉬 타입과 런너와 캐비티에서 생성된 3차원 메쉬 형태를 보여주고 있다. 헥사, 테트라, 프리즘의 복합메쉬 형태의 3차원 요소로 해석을 하였으며 해석 조건은 사출성형실험의 조건과 동일하게 적용하였다.

성형품 관찰. 성형품의 측정위치는 게이트 근처의 두께와 폭, 충전 말단의 두께와 폭, 그리고 길이이다. 성형품 길이와 폭 치수를 측정하기 위한 장비로, LITZ사의 PMM866 3차원 측정기를 사용하였고 두께는 Mitutoyo사의 마이크로미터(0~25 mm)를 사용하였다. 성형품의 무게는 한국 AND사의 GF-200 전자저울(0.001 g 정밀도)을 사용하여 측정하였다. 제작된 금형 치수와 성형품의 치수를 고려한 수축률을 구하기 위하여 금형 치수도 측정하였다.

결과 및 토론

사출속도에 따른 충전현상. 폴리카보네이트와 Zeonex 두 재료에 대하여 여러 사출속도에서 충전에 미치는 영향을 관찰하였다.

PC에서 사출속도에 따른 충전현상을 Figure 5에 나타내었다. 젯팅이 나타나고 있지만 본 연구에서 관찰하고자 하는 캐비티간 충전의 차이는 관찰할 수 있다고 판단된다.²² 충전현상은 사출 스트로크를 조절하며 미성형 실험을 수행한 것이다. 사출속도를 50, 150, 250 mm/sec로 변경시켜 미성형 실험한 결과 모든 조건에서 충전 불균형이 나타났다. 속도가 작은 50 mm/sec일 때 보다 속도가 큰 250 mm/sec에서 충전 불균형이 컸다. 스프루와 가까운 중앙부분의 캐비티 2, 3, 6, 7이 스프루에서 멀리 떨어진 바깥부분의 캐비티 1, 4, 5, 8보다 먼저 충전되었다. 이러한 현상은 유동채널 단면의 온도 분포에 기인되며 런너단면에서 온도상승은 전단변형률과 관계가 있다. 따라서 이러한 현상은 사출속도가 증가될수록 심화됨을 알 수 있

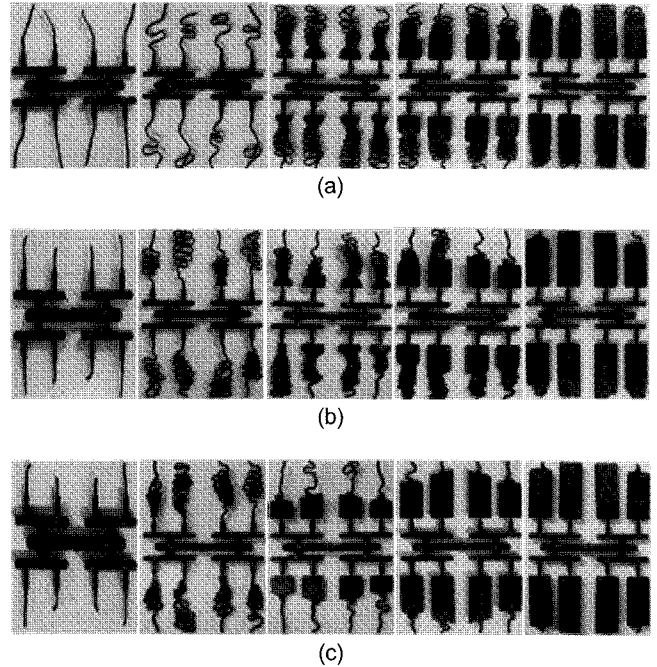


Figure 5. Flow patterns of PC according to injection speed. (a) Short shot experiment for speed of 50 mm/sec, (b) short shot experiment for speed of 150 mm/sec, and (c) short shot experiment for speed of 250 mm/sec.

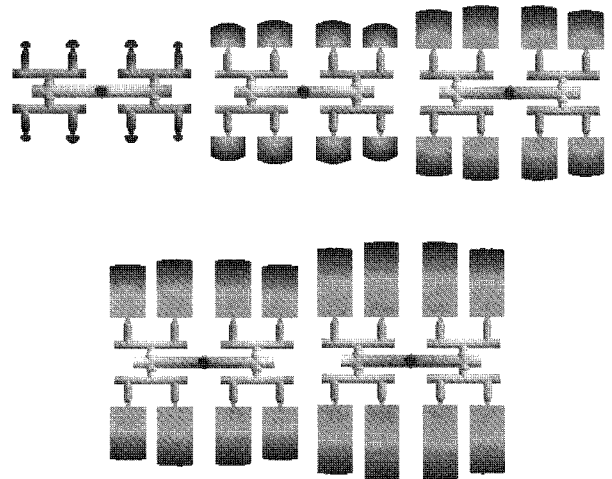


Figure 6. Computer simulation of flow pattern of PC for speed of 150 mm/sec.

다. 즉, 사출속도가 증가되면서 유동채널 단면내 전단 변형률의 불균일한 분포가 크게 되어 온도 불균일이 더욱 심화되기 때문에 캐비티간의 충전 불균형 차가 더 크게 된다.

Figure 6은 사출속도 150 mm/sec에서 폴리카보네이트의 충전 상태를 컴퓨터 모사한 것이다. 유동 채널의 온도 불균일로 캐비티간 충전 불균형 현상이 나타남을 알 수 있는데 컴퓨터 모사를 통해 계산된 런너에서의 온도 분포를 Figure 7에 나타내었다. 스프루에서 온수지는 1차런너를 지나게 된다. 이 때 런너벽면은 큰 전단속도를 갖

게 되어 온도상승이 크고 중앙부분은 온도상승이 작다. 1차런너에서 2차런너로 나뉘어지면서 벽면의 온도가 높은 수지는 2차런너에서 흐름진행방향으로 좌측에 위치하고 중앙의 낮은온도의 수지는 흐름방향으로 우측에 위치하게 된다. 다음 3차런너로 넘어오면서 흐름이 나뉘어 질 때 좌측(안쪽)으로도 온도가 높은 수지가 흐르고 우측(바깥쪽)으로는 온도가 낮은 수지가 흘러간다. 이러한 현상 때문에 온도가 높은쪽에 점도가 낮아 흐름이 좋아 캐비티의 충전이 빠르게 된다. 폴리카보네이트의 속도에 따른 충전 패턴을 컴퓨터 모사로 Figure 8

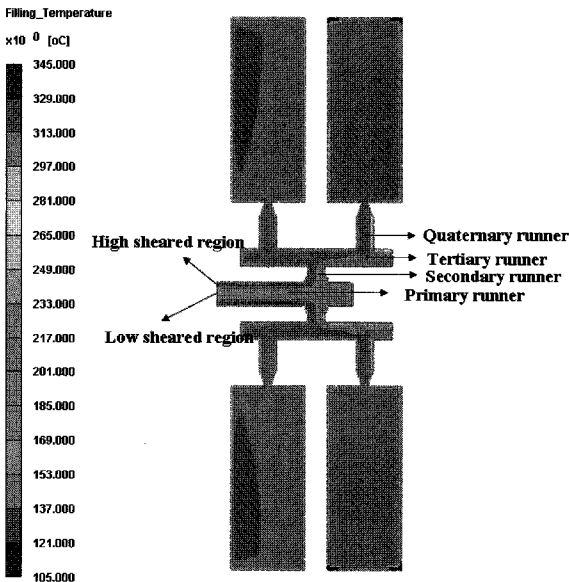


Figure 7. Computer simulation of temperature distribution in runner for PC at 150 mm/sec.

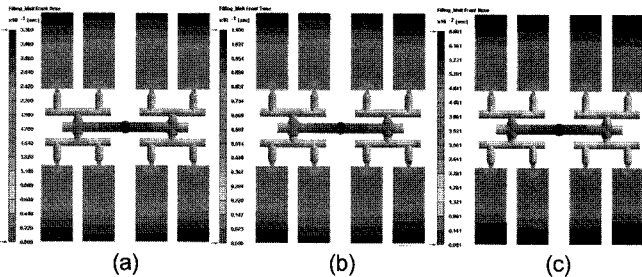


Figure 8. Computer simulation of flow pattern for various injection speeds for PC. (a) Speed 50 mm/sec, (b) speed 150 mm/sec, and (c) speed 250 mm/sec.

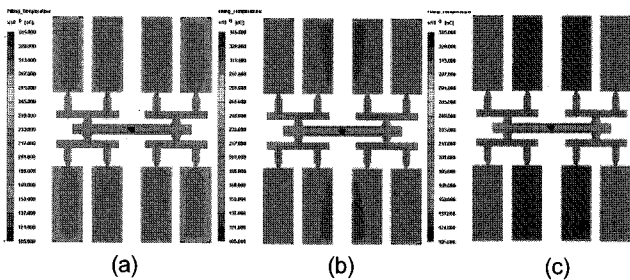
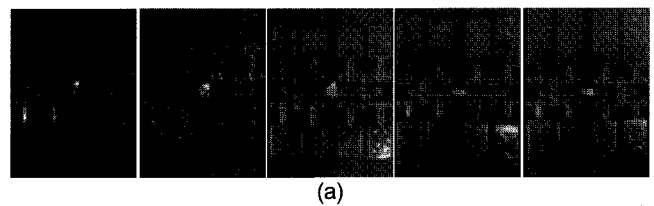


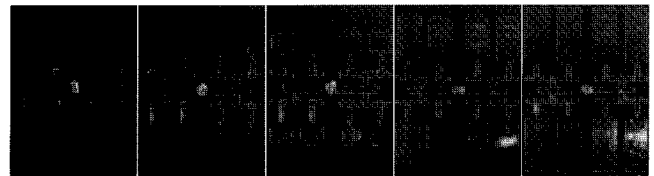
Figure 9. Computer simulation of temperature distribution for various injection speeds for PC. (a) Speed 50 mm/sec, (b) speed 150 mm/sec, and (c) speed 250 mm/sec.

에 나타내었다. 모든 속도에서 중앙부분 캐비티가 바깥부분 캐비티보다 먼저 충전됨을 알 수 있다. Figure 9를 보면 폴리카보네이트의 사출속도에 따른 온도분포를 나타내고 있다. 사출속도가 증가될수록 캐비티 간 온도 불균형이 심화됨을 알 수 있다.

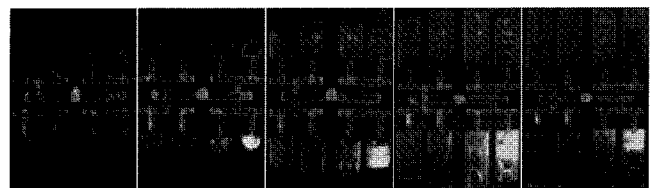
Figure 10은 Zeonex의 사출속도에 따른 충전현상이다. 사출속도 10 mm/sec 경우 바깥쪽 캐비티 1, 4, 5, 8이 안쪽 캐비티 2, 3, 6, 7보다 더 빠르게 충전되는 충전 불균형을 보였다. Figure 11은 속도에 따른 충전패턴을 컴퓨터 모사한 것이다. 속도가 낮은 10 mm/sec에서는 모든 캐비티에서 충전이 유사하나 속도가 50, 250 mm/sec일 때 중앙 부분 캐비티의 충전이 빠르게 나타났다. 사출속도에 따른 캐비티간의 온도분포는 Figure 12와 같이 계산되었다. 사출속도가 10 mm/sec 경우에는 속도가 작아 전단에 의한 열 발생이 거의 일어나지 않으므로 유동채널 단면의 벽면 부분과 중앙 부분의 온도 차이가



(a)



(b)



(c)

Figure 10. Flow pattern of Zeonex according to injection speed. (a) Short shot experiment for speed of 10 mm/sec, (b) short shot experiment for speed of 50 mm/sec, and (c) short shot experiment for speed of 250 mm/sec.

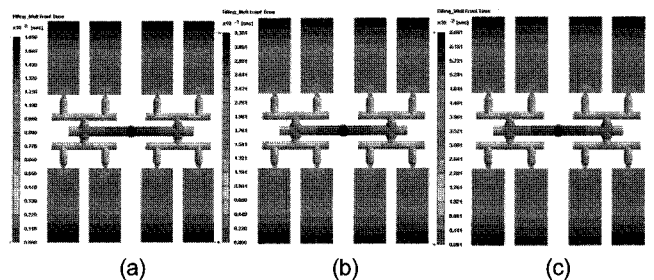


Figure 11. Computer simulation of flow pattern for various injection speeds for Zeonex. (a) Speed 10 mm/sec, (b) speed 50 mm/sec, and (c) speed 250 mm/sec.

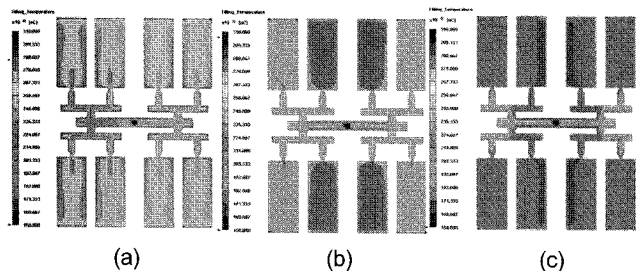


Figure 12. Computer simulation of temperature distribution for various injection speeds for Zeonex. (a) Speed 10 mm/sec, (b) speed 50 mm/sec, and (c) speed 250 mm/sec.

거의 없거나 오히려 유동채널 단면의 중앙 부분의 온도가 벽면부분의 온도보다 높게 나타난다.²³ 따라서 유동채널 단면의 온도가 높은 중앙부분 수지가 채워지는 바깥쪽 캐비티가 먼저 충전됨을 알 수 있다. 또한 속도가 작을 때는 관성의 역할이 크게 작용되어서 안쪽 보다는 바깥쪽에 먼저 충전되었다고 판단된다. 즉, 1차런너에 흐르는 수지가 3차런너로 흘러 갈 때 안쪽 캐비티 쪽의 3차런너는 1차런너의 흐름에 비해 방향이 180도 꺾인 흐름이다. 그러나 바깥쪽 캐비티 쪽은 1차런너와 3차런너에서 수지의 흐름 방향이 같기 때문에 압력의 손실이 작다. 따라서 바깥쪽의 흐름이 안쪽 흐름보다 압력 손실이 작다. 사출속도가 50 mm/sec 경우 전단 열에 의한 유동채널의 온도 불균형에 의한 안쪽 캐비티의 빠른 흐름과 바깥쪽의 흐름이 균형을 이루고 있다. 사출속도가 250 mm/sec 경우 폴리카보네이트와 마찬가지로 전단 열에 의한 유동채널의 온도 불균형으로 안쪽 부분의 캐비티가 바깥 부분의 캐비티보다 먼저 충전되었다.

재료에 따른 충전현상 분석. 사출속도가 50 mm/sec로 같을 경우 두 재료의 충전현상은 다르게 나타났다(Figure 5와 Figure 10). 폴리카보네이트 경우 안쪽의 캐비티가 먼저 채워지는 반면 Zeonex의 경우 바깥쪽 캐비티와 안쪽 캐비티의 충전이 거의 균형을 이루었다. 이러한 현상은 재료간의 열 발생이 다르기 때문이며 이것은 점도 차이에 기인되었다고 판단된다. 식 (1)은 에너지 방정식을 나타내고 있다.²⁴

$$\rho C_v \left[\frac{\partial T}{\partial t} + v_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} + v_2 \frac{\partial T}{\partial x_2} + v_3 \frac{\partial T}{\partial x_3} \right] = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} \right) + \tau_{12} \left[\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \right] + \tau_{13} \left[\frac{\partial v_1}{\partial x_3} + \frac{\partial v_3}{\partial x_1} \right] + \tau_{23} \left[\frac{\partial v_2}{\partial x_3} + \frac{\partial v_3}{\partial x_2} \right] + \tau_{11} \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \tau_{22} \frac{\partial v_2}{\partial x_2} + \tau_{33} \frac{\partial v_3}{\partial x_3} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 밀도, T 는 온도, K 는 열전도도, v 는 속도벡터, τ 는 응력을 나타낸다. 식 (1)에서 우측의 열전도를 나타내는 항에서 K 를 보면 유리섬유가 첨가된 수지는 그렇지 않은 수치보다 크다.²⁵ 따라서 유리섬유를 함유한 폴리카보네이트에서 온도발생이 크다고 볼 수 있다. 또한 열전도항 뒤의 항들은 점성발열에 의한 항으로 응력과 전단 변형률속도의 곱으로 되어있는데, 응력은 점도와 전단변형률속도의

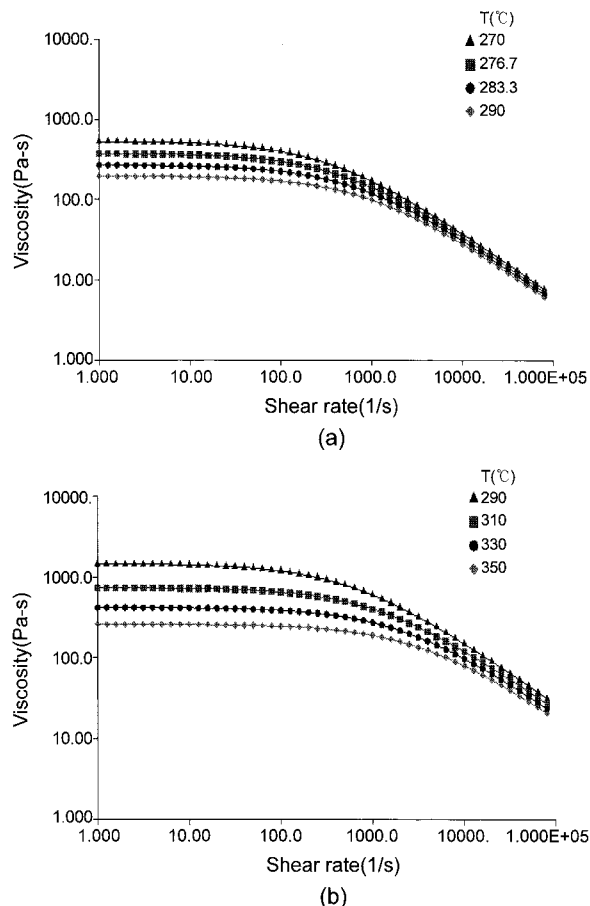


Figure 13. Viscosity curves of PC and Zeonex (Source: Moldflow). (a) PC Trirex 3025 GRU30 and (b) Zeonex E48R.

곱으로 정의되므로 이는 결국 온도상승은 점도와 전단속도의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 폴리카보네이트는 Zeonex 보다 높은 점도를 가지고 있기 때문에 같은 사출속도에서 열발생이 더 크게 나타난다(Figure 13). 이에 따라 유동채널 내 벽면부 온도가 더 높게 나타나고 온도불균형이 심화되어 폴리카보네이트 경우 안쪽 캐비티가 먼저 채워지는 충전 불균형이 나타나며 따라서 두 재료의 충전현상이 다르게 나타난다.

각 캐비티 간 특성 비교. Figures 14와 15는 각각 폴리카보네이트와 Zeonex의 사출속도에 따른 각 캐비티 간 수축률과 성형품의 중량을 나타내었다. 그래프에서 실험값은 평균값이며 Tables 2와 3에는 측정된 수축률의 평균값과 표준편차가 나타나 있다. 수축률은 식 (2)와 같이 계산하였다.²⁶

$$\text{Shrinkage ratio (\%)} = \frac{\text{Size of mold} - \text{Size of part}}{\text{Size of mold}} \times 100 \quad (2)$$

Figure 14를 보면 폴리카보네이트는 사출속도 50, 150 mm/sec일 때 중앙부분의 캐비티 2, 3, 6, 7의 수축률이 바깥부분의 캐비티 1, 4, 5, 8의 수축률보다 작게 나타났다. 폴리카보네이트의 사출속도에 따른 캐비티 간 성형품 중량은 중앙부분 캐비티 2, 3, 6, 7의 성형품 중량이 바깥부분 캐비티 1, 4, 5, 8의 성형품 중량보다 더

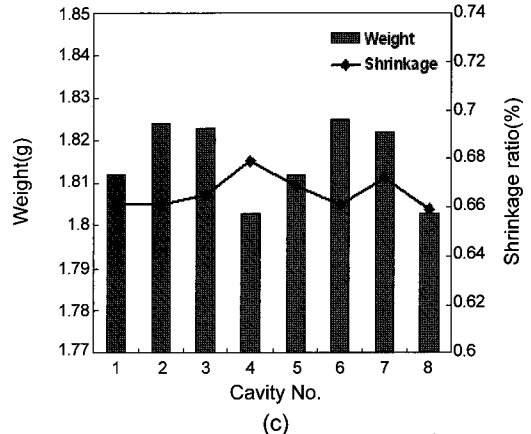
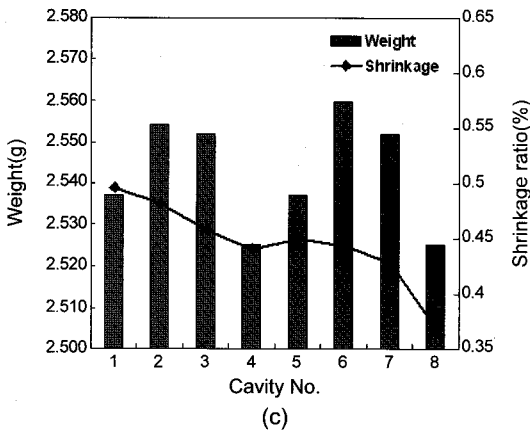
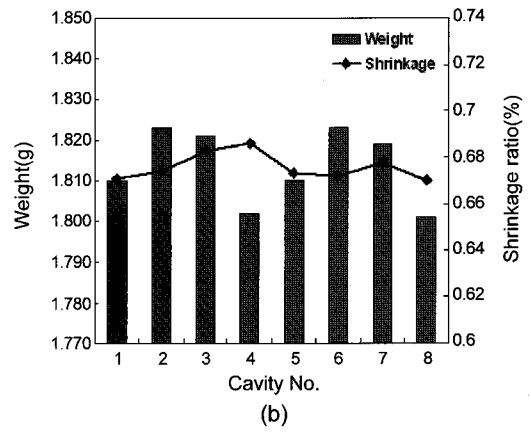
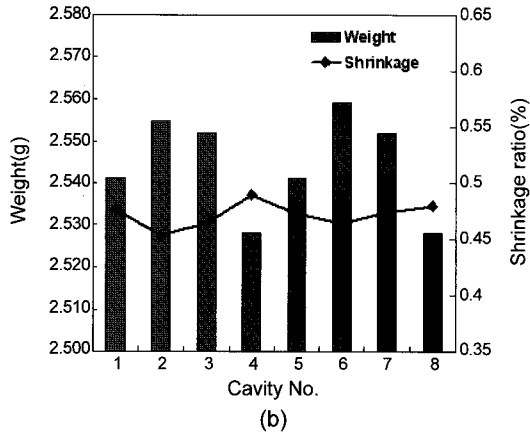
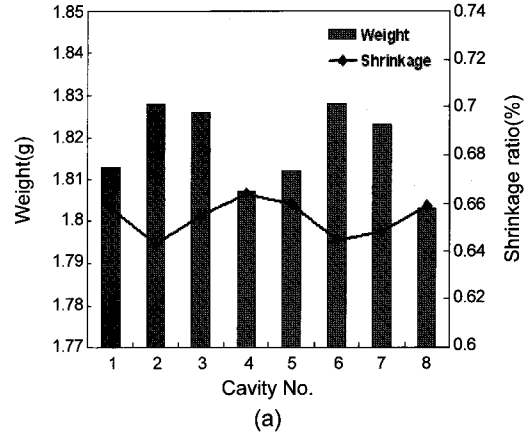
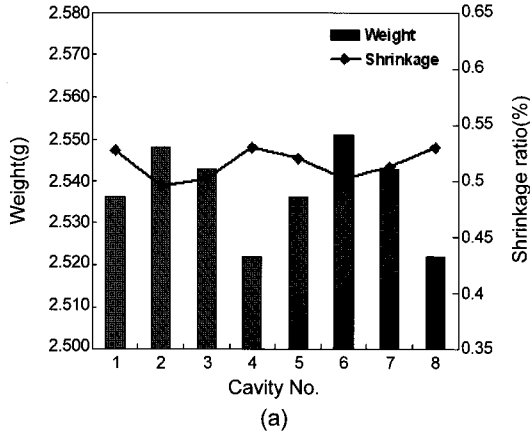


Figure 14. Variations of shrinkages and weights of parts for PC. (a) Speed 50 mm/sec, (b) speed 150 mm/sec, and (c) speed 250 mm/sec.

Figure 15. Variations of shrinkages and weights of parts for Zeonex. (a) Speed 10 mm/sec, (b) speed 50 mm/sec, and (c) speed 250 mm/sec.

크게 나타났다. 이러한 현상은 충전 시 먼저 채워지는 캐비티의 압력이 더 높기 때문에 수축률은 적고 중량은 크게 나타났다고 판단된다. 사출속도 250 mm/sec에서는 사출품의 플래시 발생으로 측정이 부정확하다고 판단된다. Figure 15는 Zeonex에 대한 실험결과가 나타나 있다. 속도가 10 mm/sec일 때 중앙부분의 캐비티가 늦게 충전되었으나 중량이 다소 크게 측정되었다. 이것은 금형의 전체적인 구조상 중앙부분의 온도가 외곽보다는 다소 높을 수 있는 가능성이 있기 때문에 보압 시 금형의 중앙부분에서 압력 전달이 잘 되어 중량이 다

소 크게 측정되었다고 판단된다. 그러나 캐비티간 수축률은 크게 차이가 없었다. Figure 14(b)의 사출속도 50 mm/sec에서 캐비티 간 충전은 대체로 균일했으나 중앙부분의 캐비티에서 중량이 크고 수축률도 작게 측정되었다. 속도가 250 mm/sec일 때는 충전현상과 유사하게 중앙부분의 성형품 중량이 크게 나타났고 수축률도 다소 작게 나타났다. Zeonex의 캐비티 간 수축률과 중량의 분포는 사출속도에 따른 충전패턴 경향과 다소 다르게 나타난 부분이 있다. 이는 Zeonex에서는 사출속도에 따라 캐비티 불균형이 다양하게 나타나

Table 2. Average and Standard Deviation of Parts Shrinkage for PC

Cavity No.	Injection speed(mm/sec)					
	50		150		250	
	Avg.	STDEV.	Avg.	STDEV.	Avg.	STDEV.
#1	2.541	0.0018	2.541	0.0018	2.537	0.0006
#2	2.555	0.0012	2.555	0.0012	2.554	0.0011
#3	2.552	0.0015	2.552	0.0015	2.552	0.0008
#4	2.528	0.0011	2.528	0.0011	2.525	0.0004
#5	2.541	0.0008	2.541	0.0008	2.537	0.0003
#6	2.559	0.0006	2.559	0.0006	2.560	0.0003
#7	2.552	0.0007	2.552	0.0007	2.552	0.0010
#8	2.528	0.0009	2.528	0.0009	2.525	0.0012

Table 3. Average and Standard Deviation of Parts Shrinkage for Zeonex

Cavity NO.	Injection speed(mm/sec)					
	10		50		250	
	Avg.	STDEV.	Avg.	STDEV.	Avg.	STDEV.
#1	1.810	0.0007	1.813	0.0006	1.812	0.0012
#2	1.823	0.0008	1.828	0.0010	1.824	0.0004
#3	1.821	0.0007	1.826	0.0005	1.823	0.0004
#4	1.802	0.0010	1.807	0.0013	1.803	0.0004
#5	1.810	0.0005	1.812	0.0007	1.812	0.0017
#6	1.823	0.0006	1.828	0.0008	1.825	0.0019
#7	1.819	0.0006	1.823	0.0013	1.822	0.0012
#8	1.801	0.0015	1.803	0.0007	1.803	0.0011

고 또한 그 차이가 작아서 중량의 패턴과 다소 차이가 있는 것으로 판단된다.

이상과 같이 중앙부분의 캐비티의 무게가 바깥부분의 캐비티에 비해 크고 수축률이 작은 이유는 바깥 부분 캐비티보다 먼저 충전이 이루어지고 바깥 부분 캐비티가 채워질 때까지 높은 압력을 받기 때문이라 판단된다. Figure 16에는 캐비티의 압력분포가 나타나 있다. Figure 17은 컴퓨터 모사를 통해 계산된 PC와 Zeonex의 수축률을 나타내었다. 바깥 부분 캐비티가 중앙 부분 캐비티보다 수축률이 크게 나타남을 알 수 있다. 실험결과와 CAE 해석 결과를 정량적으로 비교분석하기는 어려우나 경향을 보면 대체로 일치함을 알 수 있다.

결 론

다수 캐비티 사출성형에서 두 재료에 대한 다양한 사출속도에 따른 충전현상을 알아보기 위해 사출성형 실험과 성형해석을 수행하였다. 또한 사출속도에 따른 충전이 제품의 변화와 중량에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

본 연구를 통하여 나타난 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 폴리카보네이트 경우 모든 사출속도에서 안쪽 캐비티가 먼저 채워지는 충전 현상을 보였으며 사출속도가 증가될수록 충전 불균형은 심해졌다.

(2) Zeonex의 경우 사출속도가 작은 경우는 바깥쪽 캐비티가 먼

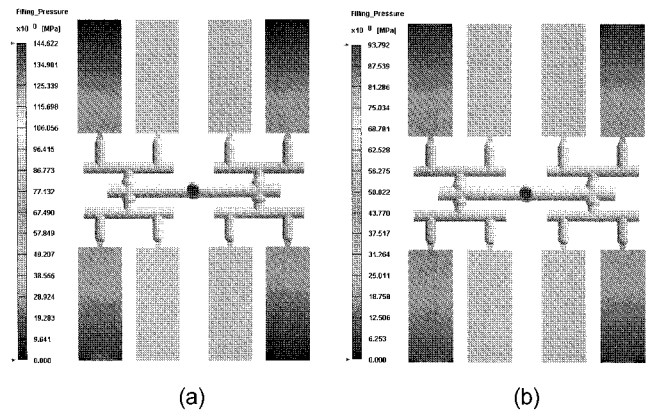


Figure 16. Computer simulation of pressure distribution. (a) PC at speed 150 mm/sec and (b) Zeonex at speed 250 mm/sec.

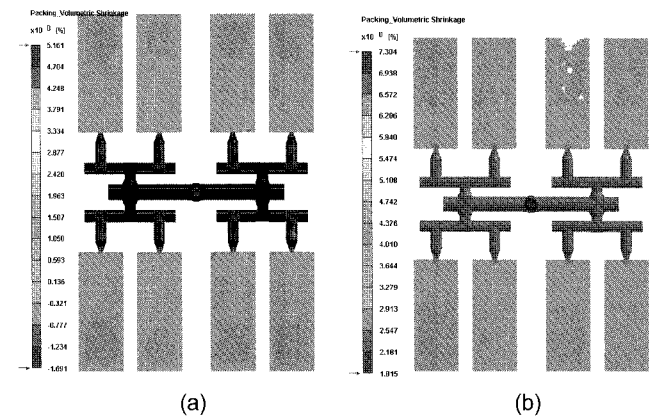


Figure 17. Computer simulation of shrinkage distribution. (a) PC at 150 mm/sec and (b) Zeonex at 150 mm/sec.

저 채워졌고 속도가 큰 경우는 안쪽 캐비티가 먼저 채워졌다.

(3) 재료에 따른 충전 패턴이 다른 이유는 런너에서 온도분포가 다르게 나타나기 때문이며 속도에 따른 온도상승은 점도가 큰 재료 그리고 열전도도가 큰 재료에서 컸다.

(4) 폴리카보네이트 경우 사출속도에 따라 캐비티 간 성형품의 성형수축률과 중량의 분포는 사출시 충전패턴과 일치됨을 보였으나 Zeonex의 경우 캐비티 간 수축률과 중량의 분포는 사출속도에 따른 충전패턴 경향과 다소 차이가 있었다.

(5) CAE 해석으로 각 재료마다 사출속도에 따른 충전 패턴 경향과 온도분포를 예측할 수 있었고 실험과 일치함을 알 수 있었다.

(6) 캐비티 불균형 발생원인은 런너에서의 온도상승이 재료와 속도에 따라 다르기 때문이다. 이를 극복하기 위해서는 적절한 delivery system 설계가 이루어져야 하고 이에 따른 성형조건이 올바르게 설정되어야 한다. 사출성형 시 성형 조건의 경우 충전단계에서 다단계의 속도조절이 필요할 수도 있다.

감사의 글: 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임. 본 연구의 실험을 도와준 삼성전기의 김영경 책임께 감사드립니다.

참고 문헌

1. J. P. Beaumont, J. H. Young and M. J. Jaworski, *ANTEC*, **44**, 599 (1998).
2. J. P. Beaumont, *Runner and gating design handbook*, Hanser, Cincinnati, p 94-95 (2004).
3. J. Beaumont, J. Ralston, and A. Shuttleworth, *ANTEC*, **45**, 461 (1999).
4. J. Hoover and R. McKee, *ANTEC*, **52**, 2868 (2006).
5. J. Coulter, K. Takarada, J. Beaumont, and M. Myers, *ANTEC*, **52**, 1098 (2006).
6. Yang Weimin and Xie Pengcheng, *China Plastics*, **18**, 93 (2004).
7. P. S. Cook, H. You, C. V. Kietzmann, and F. S. Costa, *ANTEC*, **51**, 526 (2005).
8. C. C. Chien, C. C. Chiang, W. H. Yang, V. Tsai, and D. C. Hsu, *ANTEC*, **51**, 55 (2005).
9. K. Boell, J. P. Beaumont, and B. Young, *ANTEC*, **49**, 430 (2003).
10. J. A. Cypher and A. M. Neely, *ANTEC*, **51**, 3363 (2005).
11. H. E. Casaldi and T. Michel, *ANTEC*, **47**, 3112 (2001).
12. Beaumont and J. Ralston, *ANTEC*, **45**, 77 (1999).
13. H. P. Park, B. S. Cha, and B. O. Rhee, *Transactions of Materials Processing*, **15**, 47 (2006).
14. C. M. Kang, Y. D. Jeong, and K. T. Han, *Transactions of Materials Processing*, **15**, 42 (2006).
15. J. P. Beaumont, US Patent 6,077,470 (2000).
16. J. P. Beaumont, US Patent 6,503,438 (2003).
17. Charles A. Wiechard and Ga Tucker, US Patent 4,620,958 (2003).
18. D. K. Je and Y. D. Jeong, Korea Patent 20-2006-0012494 (2006).
19. N. Katsttoshi, JP Patent 0020563 (1993).
20. H. T. Kim and Y. R. Jeon, Korea Patent 10-2006-0079007 (2006).
21. H. T. Kim and Y. R. Jeon, Korea Patent 10-2006-0075199 (2006).
22. M.-Y. Lyu, H. C. Shin, and Y. Pae, *Polymer(Korea)*, **24**, 545 (2000).
23. J. Chen, Y. Kanetoh, and H. Yokoi, *JSPP(Japan)*, **16**, 347 (2005).
24. Andreas N. Alexandrou, *Principles of Fluid Mechanics*, Prentice-Hall, New Jersey, p 272-273 (2001).
25. T. A. Ossward and G. Menges, *Materials Science of Polymers for Engineers*, Hanser, Cincinnati, p 60-68 (1995).
26. M.-Y. Lyu, J. H. Mo, and W. J. Chung, *Elastomer(Korea)*, **38**, 295 (2003).