

다수 캐비티의 사출성형품에서 충전의 불균형과 치수편차의 고찰

강민아¹·김영경²·김준민²·류민영[#]

Investigation the filling imbalance and dimensional variations of multi-cavity injection molded parts

M. A. Kang, M. Y. Lyu, Y. K. Kim, J. M. Kim

Abstract

Small injection molded articles such as lens and mobile product's parts are usually molded in multi-cavity mold. The problems occurred in multi-cavity molding are flow imbalance among the cavities. The flow imbalance affects on the dimensions and physical properties of molded articles. First of all, the origin of flow imbalance is geometrical imbalance of delivery system. However, even the geometry of delivery system is balanced well the cavity imbalance is being developed. This comes from the unsuitable operational conditions of injection molding. Among the operational conditions, injection speed is the most significant process variable affecting the filling imbalances in multi-cavity injection molding. In this study, experimental study of flow imbalance has been conducted for various injection speeds and materials. Also, the filling Imbalances were compared with CAE results. The dimensions and physical state of multi-cavity molded parts were examined. The results showed that the filling imbalances vary according to the injection speed and flow property of resins. Subsequently, the imbalanced filling and pressure distribution in the multi-cavity affect on the dimensions and physical states of molded parts.

Key Words : Filling Imbalance, Multi-Cavity Injection Mold, Dimensional Variations

1. 서론

렌즈나 휴대폰 부품과 같은 소형 사출성형품들은 보통 다수 캐비티 사출금형을 사용하여 생산된다. 이러한 금형에서의 사출성형은 각 캐비티 간 편차가 없이 균일한 제품이 성형되도록 충전의 균형이 이루어져야 한다. 충전의 불균형은 사출품의 치수 및 중량의 편차 뿐 아니라 제품의 물리적 특성에도 영향을 미친다. 충전의 균형을 위해서는 우선 Delivery System 즉, Sprue, Runner, Gate의 설계가 기하학적인 균형을 이루어야 한다. 그러나 Delivery System이 기하학적으로 균형있게 설계가 되더라도 각 캐비티마다 충전불균형은 여전히 발생할 수 있다.

이러한 충전불균형은 사출성형의 부적절한 공정조건에 의해 기인하게 되는데 공정조건 중에서도 사출속도는 다수 개 캐비티 사출성형에서 충전불균형에 영향을 미치는 주요한 공정변수로 작용하고 있다. [1, 2, 3]

본 연구에서는 PC와 ZEONEX (Zeon사) 두 재료에 대하여 사출속도에 따른 충전불균형에 관한 실험을 수행하였다. 그리고 실험의 결과를 CAE 해석결과와 비교 분석하였다. 또한 충전불균형에 의한 제품의 치수변화와 물리적 특성인 복굴절의 변화를 관찰하였다.

1. 서울산업대학교 산업대학원

2. 삼성전기

교신저자: 서울산업대학교 금형설계학과, 정밀기계기술연구소

E-mail: mylyu@snut.ac.kr

2. 실험

2.1 실험 모델

Fig. 1 은 본 연구에서 불균형 충전을 알아보기 위해 사용한 실험 모델로 캐비티의 형상과 유동 전달 시스템이 함께 나타나 있다.

캐비티의 두께는 1mm이고 가로 1.2mm, 세로 8mm이다. 8개의 캐비티를 갖는 다수 개 캐비티 금형을 제작하여 실험하였다.

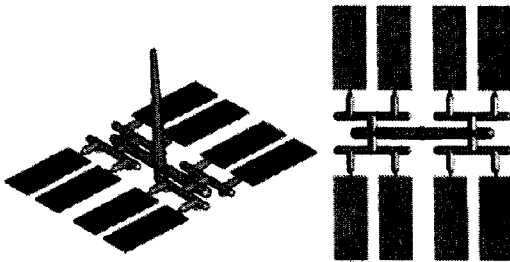


Fig. 1 Cavity and delivery system for experiment

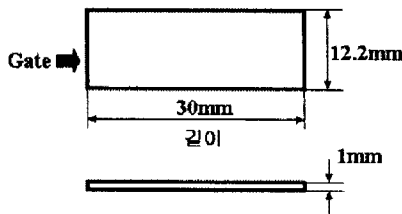


Fig. 2 Dimension of cavity and measuring location

2.2 실험장비 및 실험 조건

본 연구에 사용된 사출기는 Sumitomo 사출기이며 형체력은 50 ton, 최대사출압은 2760 kgf/cm², 최대사출속도는 300mm/sec, 스크류 지름은 20 mm이다. 수지는 삼양사의 PC Trirex3025 GRU30과 Nippon Zeon사의 ZEONEX ZEONEX E48R을 사용하였다.

사출속도가 각 캐비티의 충전에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 표 1에 나타난 성형조건으로 사출성형 실험을 수행하였다.

Table.1 Injection molding conditions

Polymer	Injection Temperature(°C)	Mold Temperature(°C)	Injection Speed
PC	300	105	50,150,250
ZEONEX	280	150	10,50,250

2.3 CAE 해석

각 캐비티에서의 충전을 모사하기 위해 Moldex 3D를 사용하였다. 헥사와 테트라라 복합메쉬 형태의 3차원 요소 해석을 하였으며 해석 조건은 사출 성형실험의 조건과 동일하게 적용하였다.

2.4 성형품 관찰

성형품 길이치수를 측정하기 위한 장비로, LITZ사의 PMM866 삼차원 측정기를 사용하였고 제품의 측정위치는 그림 2에 나타나있다. 물리적 특성을 관찰하기 위하여 복굴절 측정 장비인 Strain-optic사의 PS-100을 사용하였다.

3. 실험 결과 및 해석 결과

3.1 속도에 따른 충전현상

PC 와 ZEONEX 두 재료에 대하여 사출속도를 달리하여 충전에 미치는 영향을 알아보았다.

PC에서 사출속도에 따른 충전현상을 그림 3에 나타내었다 사출속도를 50, 150, 250 mm/sec로 변경시켜 미성형 실험한 결과 모든 조건에서 충전불균형이 나타났다. 스프루와 가까운 중앙부분의 캐비티 2, 3, 6, 7이 스프루에서 멀리 떨어진 바깥부분의 캐비티 1, 4, 5, 8보다 먼저 충전됨이 나타났다. 이러한 현상은 유동 채널 단면의 바깥부분과 안쪽부분에서 전단변형율은 불균일하게 분포되는데 유동채널내에 수지가 흐를 때 전단변형율이 높은 유동채널의 벽면을 따라 전단 열에 의해 온도 상승이 나타나고 흐름성이 좋아진다. 이렇게 전단에 의해 발생된 열은 유동채널 단면의 바깥쪽과 안쪽의 온도 불균형을 야기시키고 유동채널 바깥쪽 높은 온도의 수지가 중앙부분의 캐비티에 들어가고 안쪽 낮은 온도의 수지가 바깥쪽 캐비티에 채워지게 된다. [3,4] 또한 사출속도가 증가될수록 캐비티 간의 충전불균형은 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 사출속도가 증가되면서 전단에 의해 발생된 열이 유동채널 단면의 바깥쪽 부분과 안쪽 부분의 온도 불균형이 더욱 심화되기 때문에 캐비티 간의 충전불균형 차가 더 크게 된다.

그림 6은 사출속도 150 mm/sec에서 PC의 충전을 성형해석으로 모사하여 나타내었다. 유동 채널의 온도 불균형으로 인한 충전불균형이 나타나는 데 이는 그림 7에 나타나있다. 그림 8의 (a)를 보면 PC의 사출속도에 따른 온도분포를 나타내고

있다. 사출속도가 증가될수록 캐비티 간 온도 불균형이 심화됨을 알 수 있다.

그림 5는 ZEONEX의 사출속도에 따른 충전현상을 나타내었다. 사출속도 10 mm/sec 경우 바깥쪽 캐비티 1, 4, 5, 8이 안쪽 캐비티 2, 3, 6, 7보다 더 빠르게 충전되는 충전불균형을 보였다. 사출속도가 10 mm/sec 경우에는 속도가 작아 전단에 의한 열 발생이 거의 일어나지 않으므로 유동채널 단면의 바깥 부분과 안쪽 부분의 온도 차이가 거의 없다. 그래서 충전현상은 수지가 흘러가면서 발생하는 압력손실에 영향을 더 많이 받게 된다. 런너의 기하학적으로 안쪽 캐비티가 바깥 쪽 캐비티보다 압력손실이 크게 발생되어 바깥쪽 캐비티의 수지가 먼저 충전되었다고 판단된다. 사출속도가 50 mm/sec 경우 전단 열에 의한 유동채널의 온도 불균형과 압력 캐비티 간의 압력손실이 어느 정도 균형을 이루어 모든 캐비티의 충전이 거의 균형을 이루었다고 판단된다. 사출속도가 250 mm/sec 경우 PC와 마찬가지로 전단 열에 의한 유동채널의 온도 불균형으로 중앙 부분의 캐비티가 바깥 부분의 캐비티 보다 먼저 충전되었다. 그림 8의 (b)는 ZEONEX의 사출속도에 따른 온도 분포 나타내었다.

PC와 ZEONEX 두 재료의 점도를 비교해 보면 온도 300℃, 전단변형을 $10^1 \sim 10^5$ (1/sec)에서 PC는 239 ~ 15 (Pa·s), ZEONEX는 125 ~ 6 (Pa·s) 정도의 점도 분포를 보인다. 수지의 흐름은 점도에 의해서 많은 영향을 받는다. PC는 ZEONEX보다 높은 점도를 가지고 있기 때문에 전단에 의한 열발생이 더 크다. 이에 따라 런너내 온도불균형이 심화되어 충전불균형이 더 크게 나타나며 따라서 두 재료의 충전현상이 다르게 나타난다.

Injection Speed	Short Shot for Stroke				
50 (mm/sec)					
150 (mm/sec)					
250 (mm/sec)					

Fig. 4 Flow pattern of PC

Injection Speed	Short Shot for Stroke				
10 (mm/sec)					
50 (mm/sec)					
250 (mm/sec)					

Fig. 5 Flow pattern of ZEONEX

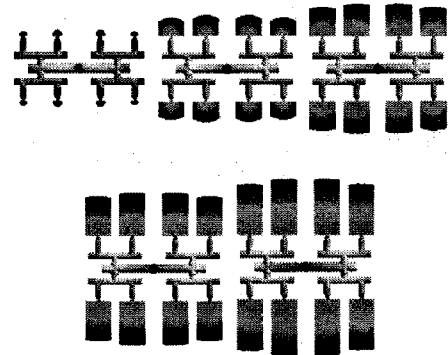


Fig. 6 Computer simulation of flow pattern of PC

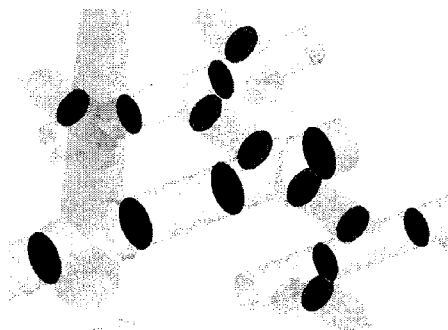
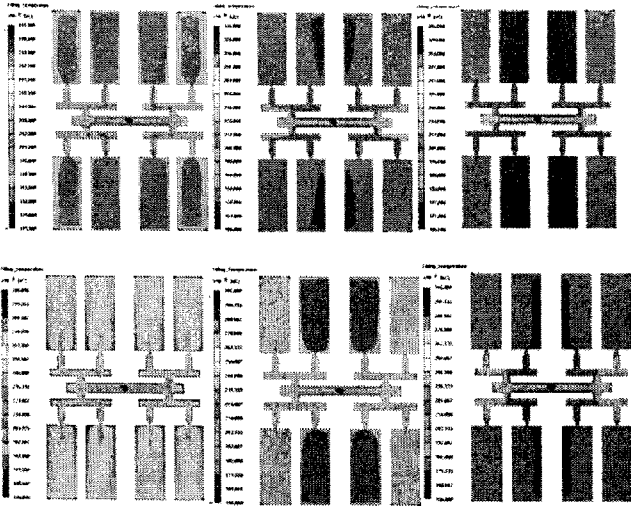


Fig. 7 Computer simulation of temperature distribution in runner

(a) PC



(b) ZEONEX

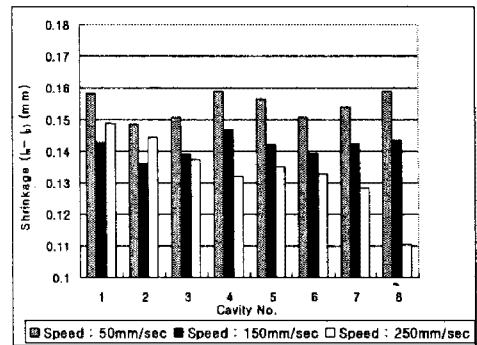
Fig. 8 Computer simulation of temperature distribution

3.2 각 캐비티 간 특성 비교

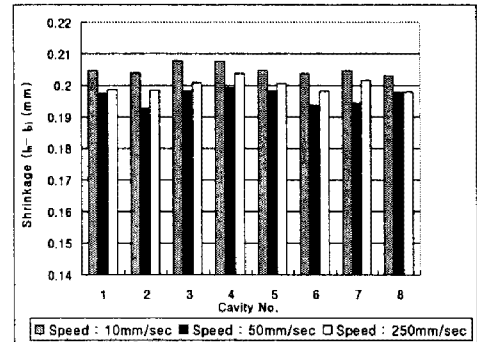
그림 9는 각각 PC와 ZEONEX의 사출속도에 따른 각 캐비티 간 수축량 ($l_m - l_p$)을 나타내었다. l_m 은 금형의 길이를 l_p 은 사출품의 길이를 나타낸다. 그림 9의 (a)를 보면 PC는 사출속도 50, 150 mm/sec 일 때 중앙부분의 캐비티 2, 3, 6, 7의 수축량이 바깥부분의 캐비티 1, 4, 5, 8의 수축량보다 작게 나타났다. 그림 10의 (a)는 PC의 사출속도에 따른 캐비티 간 사출품 중량을 나타낸 것인데 중앙부분 캐비티 2, 3, 6, 7의 사출품 중량이 바깥부분 캐비티 1, 4, 5, 8의 사출품 중량보다 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 충전 시 먼저 채워지는 캐비티의 압력이 더 높기 때문에 수축량은 적고 중량은 크게 나타났다고 판단된다. 사출속도 250 mm/sec에서는 사출품의 플래시 발생으로 측정된 치수값의 신뢰도가 없다. 그림 9의 (b)를 보면 ZEONEX는 캐비티 간 수축량 차이는 보이나 중앙부분 캐비티와 바깥부분 캐비티의 차이는 크게 나타나지 않았다. 그림 10의 (b)는 사출속도에 따른 캐비티 간 ZEONEX 사출품의 중량을 나타내며 중앙부분 캐비티 2, 3, 6, 7의 사출품 중량이 크게 나타남을 알수있다. ZEONEX의 캐비티 간 수축량과 중량의 분포는 사출속도에 따른 충전패턴 경향과 일치하지 않았고 사출시 충전에 영향을 미치는 사출속도 외 다른 공정변수의 영향으로 판단되며 이에 따른 추가적인 실험 및 연구가 요구된다.

3.3 각 캐비티 간 복굴절 패턴

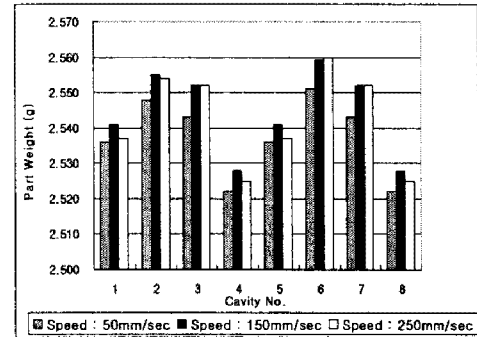
ZEONEX의 사출속도에 따른 복굴절 패턴을 그림 8에 나타내었다. 사출속도에 따른 복굴절 패턴은 모든 조건에서 거의 유사하게 나타났다. 또한 각 캐비티 간 복굴절 패턴의 차이는 나타나지 않았다. 이는 사출속도가 충전불균형에 영향을 미치나 물리적 특성에 영향은 크게 미치지 않는 것으로 판단된다.



(a) PC



(b) ZEONEX



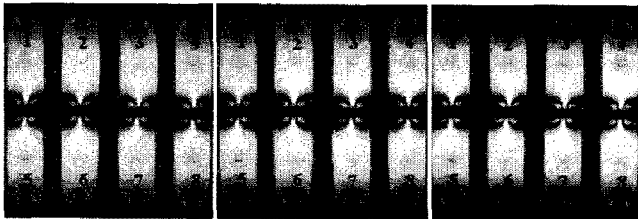
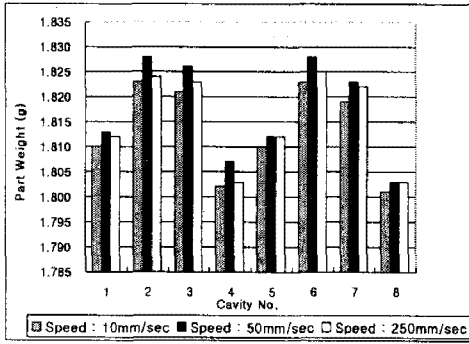
(a) PC

(b) ZEONEX

Fig. 9 Comparison of Shrinkage of part

(a) PC
(b) ZEONEX

Fig. 10 Comparison of part weight



(a) 10mm/sec (b) 50mm/sec (c) 250mm/sec

Fig. 8 Comparison of birefringence pattern for injection speed

4. 결론

다수 캐비티에서 두 재료에 대한 사출속도에 따른 충전을 알아보기 위해 사출성형 실험과 성형해석을 수행하였다. 또한 사출속도에 따른 충전이 제품의 치수나 물리적 특성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

(1) PC경우 사출속도가 증가될수록 충전불균형은 더 크게 나타나고 ZEONEX경우 사출속도가 작을 때와 사출속도가 클 때 충전불균형의 경향이 다르게 나타났다.

(2) PC경우 사출속도에 따라 캐비티 간 사출품의 성형수축과 중량의 분포는 사출시 충전패턴과

일치됨을 보였으나 ZEONEX경우 캐비티 간 수축량과 중량의 분포는 사출속도에 따른 충전패턴 경향과 일치하지 않았다.

(3) ZEONEX수지의 복굴절을 측정된 결과 사출속도에 따른 각 캐비티 간 물리적 특성은 의 차이는 보이지 않았다.

(4) 사출성형 실험결과와 CAE 해석결과 비교시 PC는 사출속도에 따른 충전불균형의 경향이 비슷하게 나타났으나 ZEONEX경우 사출속도 10, 50 mm/sec에서는 차이를 보였다.

참고 문헌

- [1] K. Boell, J. Beaumont, and B. Young, 2003, Artificially balancing geometrically balanced runner systems, ANTEC, pp. 430~434.
- [2] J. A. Cypher, A. M. Neely, 2005, Examination of method for diagnosing mold filling imbalances in new multi-cavity molds, ANTEC, pp. 3363~3367.
- [3] 정영득, 강철민, 제덕근, 2005, 러너 코어핀 형상이 PA6 성형품의 충전불균형도에 미치는 영향, 한국소성가공학회지, pp. 706~709.
- [4] P. S. Cook, H. You, C. V. Kietzmann and F. S. Costa, 2005, Prediction of flow imbalance in geometrically balanced feed systems, ANTEC, pp. 526~530.
- [5] J. P. Beaumont, 2004, Runner and gating design handbook, Hanser, pp. 85~97
- [6] C. C. Chien, C. C. Chiang, W. H. Yang, V. Tsai and D. C. Hsu, 2005, True 3D CAE visualization of filling imbalance in geometry-balanced runners, ANTEC, pp. 55~59