

내측 기어 성형용 핫러너 금형에서의 충전불균형에 관한 연구

노병수[†] · 제덕근 · 정영득

부경대학교 기계공학부 대학원 · (주)제산정공사 · 부경대학교 기계공학부
(2008. 1. 28. 접수 / 2008. 4. 10. 채택)

A study on the filling imbalances in hot-runner mold for internal gear based on injection molding

Byung-Soo No[†] · Duck-Gun Jea · Yeong-Deug Jeong

Graduated school of mechanical engineering Pukyong National University, Jea-san manufacturing automobile part Corp, Department of Mechanical engineering Pukyong National University
(Received January 28, 2008 / Accepted April 10, 2008)

Abstract : Plastic parts are molded for the purpose of mass production in injection molding. Therefore designer is usually designing molds that has geometrically balanced hot runner lay-out for filling balance at cavities. Although, mold is manufactured with geometrically balanced runner lay-out, there are actually filling imbalances in cavities. These filling imbalances phenomenon are caused by complicated interaction between melt and mold. In this paper, filling imbalances for internal gear based on injection molding in hot-runner mold were investigated by CAE and injection molding experiences.

Key Words : Filling imbalance, hot runner, multi cavity, internal gear, shear rate, amorphous polymer

1. 서 론

사출성형(injection molding)으로 생산된 플라스틱 제품은 경량이면서 성형가공성이 우수하여 자동차, 가전제품, 핸드폰과 같이 기계부품 및 통신제품 등에 종전의 금속재료를 대체하여 그 사용이 점차 증가하고 있다. 또한 사출성형은 플라스틱 재료를 생산할 수 있는 가장 효과적인 공정으로 한번의 사출 성형으로 여러 개의 성형품을 생산할 수 있는 대량 생산이 가능한 이점을 가지고 있다. 이러한 이점과 더불어 플라스틱의 강도와 경도를 증가시킨 엔지니어링 플라스틱의 개발과 부품의 경량화와 소음 감소를 목적으로 사용할 수 있는 플라스틱 재료는 금속을 능가하는 우수한 재료로 그 사용 능력을 높이 평가받고 있다[1].

그 중에서도 플라스틱 기어는 금속기어를 대신하여 생활가전에서부터 자동차 산업 등 많은 부분에

서 사용되고 있다. 특히 자동차 부품 중의 하나인 디시모터(DC moter) 등에 플라스틱 기어가 핵심 부품으로 적용되고 있다. 플라스틱 기어는 정밀한 부품으로 다른 부품과 조립되어 사용되기 때문에 마찰로 인한 진동 및 소음이 없어야 하며, 부품간의 조립시 정확한 치수정밀도(dimension accuracy)가 요구된다. 또한, 플라스틱 기어는 기계적인 마찰에 견딜 수 있어야하기 때문에 높은 기계적 강도(mechanical strength)와 경도(hardness)가 요구된다[2].

이처럼 플라스틱 기어에 필요한 다양한 요구조건으로 인하여 플라스틱 기어의 요구규격이 까다로우며, 현재 플라스틱 기어 성형에는 많은 문제점을 가지고 있다. 불균일한 두께로 인하여 발생하는 수축률(shrinkage)의 차이를 정확히 예측하지 못하는 설계 불량이나 자주 발생하며, 특히 성형공정 중 캐비티(cavity) 내부의 충전불균형(filling imbalance) 현상

으로 인하여 발생하는 기어의 진원도가 가장 큰 문제로 대두되어 있다. 이처럼 캐비티 내부의 충전불균형 현상은 치수정밀도와 강도의 차이를 야기시켜 플라스틱 기어 성형품의 정밀도와 수명을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다[3,4].

이에 본 연구는 3점의 핀 포인트 게이트(pin point gate)를 갖춘 4개의 캐비티를 갖는 인터널(internally) 기어 성형용 핫러너(hot runner) 시험급형을 대상으로 3점의 핀 포인트 게이트(gate) 간의 충전불균형 현상 및 캐비티 간의 충전불균형을 알아보고자 실험적 연구를 통하여 조사하였다. 본 연구의 결과는 현재 플라스틱 기어를 생산하는 산업 현장 등에서 기초 데이터로 활용도가 클 것으로 기대된다.

2. 러너내의 전단율 변동에 의한 충전불균형

기하학적으로 균형 잡힌 러너 시스템을 갖는 다수 캐비티(multi-cavity) 급형에서도 충전불균형 현상이 발생한다. 이러한 충전불균형 현상은 러너 내에 흐르는 수지의 유동상태에서 러너 중심부에서의 전단율(shear rate)과 러너 반경부에서의 전단율의 차이에서 기인한다. 이 전단율이 커지면 점도를 낮아지므로 러너 반경부에서의 유동속도가 러너 중심부에서의 유동속도보다 빨라져 유동의 불균형을 일으킨다. 이와 같은 충전불균형 현상의 원인인 불균일한 전단분포는 러너 이전에 스프루에서부터 발생한다[5]. 또한 충전불균형 현상은 콜드러너에서와 마찬가지로 핫러너에서도 발생한다[6,7].

3. 사출성형실험

다양한 수지에서의 충전불균형도를 알아보기 위하여 결정성 수지 한 종류와 비결정성 수지 두 종류를 대상으로 시험사출성형을 실행하였다. 실험재료는 결정성 수지로서 범용수지인 PP(polypropylene, M540, LG chemical)수지를 사용하였으며, 비결정성 수지로서 PMMA(poly-methyl-meta-acrylate IF850, LG chemical)와 ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene, Terluran GP22, BASF)를 사용하였다. 충전불균형을 발생시키는 성형조건으로는 성형온도(melt temperature),

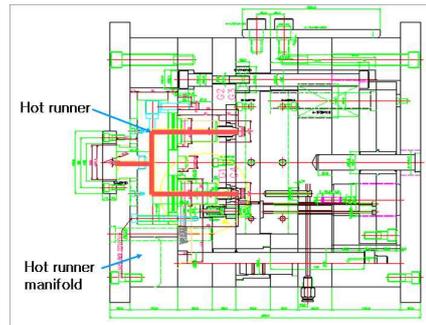
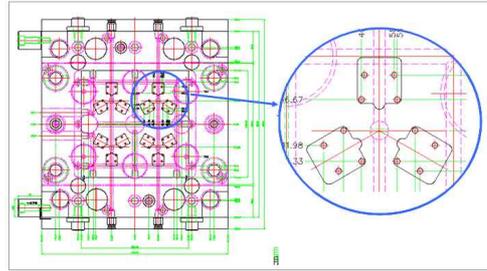


Fig. 1 2D drawing of the experiment mold



Fig. 2 Injection molding machine

Table 1 Injection molding conditions for experiment

Processing conditions	Unit	PP	PMMA	ABS
Melt temperature	°C	210, 220, 230	230, 240, 250	220, 230, 240
Injection speed	%	20, 35, 50, 65, 80		
Injection pressure	%	60	50	60
Mold temperature	°C	35	60	60

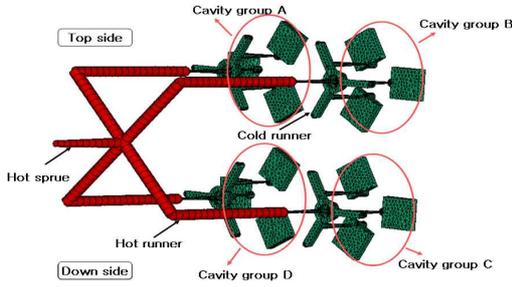


Fig. 4 The lay-out of hot runner and cavity

사출속도(injection speed), 사출압력(injection pressure) 및 금형온도(melt temperature) 등이 있으나[8], 이전의 기하학적 균형은 갖는 러너시스템으로 설계된 다수 캐비티 금형에서의 충전불균형 연구에서 사출압력과 금형온도에 따른 충전불균형의 영향은 미미한 것으로 발표되었다[9]. 따라서 본 연구에서는 충전불균형도에 대한 성형온도와 사출속도의 영향에 대해서만 조사하였다. 실험수지별 성형조건은 Table 1에 자세히 나타내었다.

Table 1에 나타내지 않은 그 외의 성형조건으로는 사출시간(injection time) 4초, 냉각시간(cooling time) 35초로 고정하였으며, 미성형(short shot)을 발생시키기 위하여 보압은 고려하지 않았다.

각 수지별 성형조건에 대한 성형 실험을 수행한 후 각 조건별로 3개의 시료를 수집하여 균형충전도의 데이터로 하였다. 균형충전도에 대한 정의는 다음 (1)식과 같으며, Fig. 4는 러너와 성형품의 3D 모델로 각 캐비티의 명칭과 형상을 나타낸 것이다. 그리고 충전불균형 연구에서 통상 스프루에서 가까운 캐비티를 내측 캐비티(inner cavity)라 칭하나, 본 연구에서는 3점의 핀 포인트 게이트 중에서 사출성형결과 충전량이 가장 적은 캐비티를 내측 캐비티라 말하며, 외측 캐비티(outer cavity)는 상대적으로 수지가 가장 많이 충전되는 캐비티를 말한다.

$$\text{균형충전도(DFB)} = \left(1 - \frac{\text{inner cavity weight} - \text{outer cavity weight}}{\text{outer cavity weight}}\right) \times 100(\%) \quad \text{-----(1)}$$

4. 결과 및 고찰

Fig. 5와 6은 캐비티 A에 대한 성형조건별 DFB의 변화를 나타내고 있으며, Fig. 7은 각 캐비티별

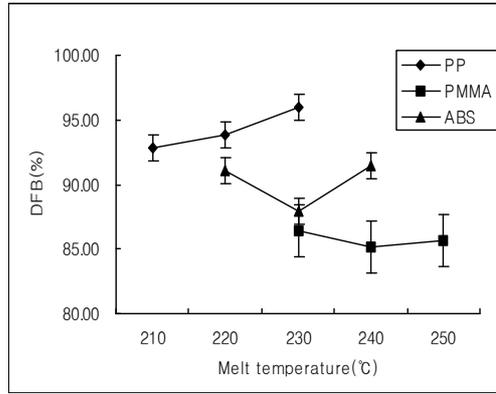


Fig. 5 DFB according to melt temperature

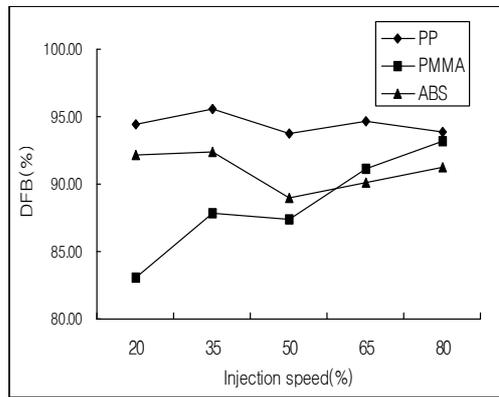
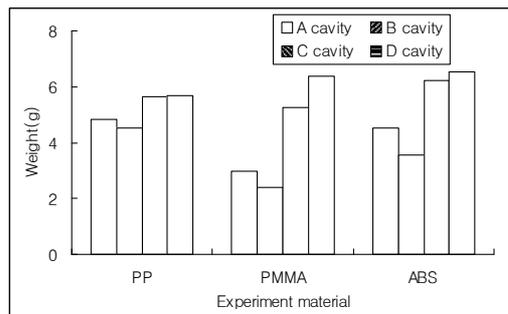


Fig. 6 DFB according to Injection speed



중량을 타나내고 있으며, 각 수지에서 캐비티 A, B, C, D간의 충전되는 중량을 알아보기 위해서 동일한 성형조건인 성형온도 230°C에서의 각 캐비티의 3점 게이트에 충전되는 수지양을 비교하였다.

Fig. 5는 각 수지별 성형온도에 따른 캐비티 A의 균형충전도(DFB)를 나타내고 있다. 성형온도가 증가할수록 PP의 균형충전도는 증가하는 것으로

나타났으며, 그 크기는 약 93~96%로 나타났다. 이는 성형온도의 증가할수록 균형충전도가 증가한다는 이전의 연구와 일치했다. 반면, PMMA의 경우 성형온도를 증가시켰을 때 DFB의 값이 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 나타내었으며, ABS의 경우 성형온도에 따른 균형충전도의 영향은 미미한 것으로 나타났으며, 그 크기는 약 85 ~ 91% 수준이다.

Fig. 6은 각 수지별 사출속도에 따른 캐비티 A의 균형충전도를 나타내고 있다. 사출속도의 변화에 대한 PP 수지의 균형충전도의 영향은 미미한 것으로 나타났으며, ABS의 DFB 값은 사출속도에 증가에 따라 감소하다가 사출속도 50%에서 가장 낮은 값을 나타냈으며, 50% 이후로 다시 증가되는 경향을 나타내었다. PMMA의 경우 전체적으로 사출속도 증가에 따라 DFB의 값은 증가하는 경향을 나타내었다. 세 가지 수지의 DFB의 크기는 PP의 경우 약 95% 내외였으며, ABS와 PMMA의 경우 결정성 수지인 PP보다 낮은 약 83 ~ 94% 수준으로 나타났다.

Fig. 7은 각 수지별 캐비티 간의 중량을 나타내고 있다. 세 가지 수지 모두 상측(top side) 방향의 캐비티인 캐비티 A와 B보다 하측(down side) 방향에 위치한 캐비티 B와 C의 충전량이 더 높은 것으로 나타났다. 그리고 결정성 수지인 PP에 비해 비결정성 수지인 PMMA와 ABS에서 두 캐비티 그룹에서의 충전량 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 핫러너의 각 캐비티에 연결된 4개의 드롭(drop)의 팁 부분이 오픈 노즐 형태로 되어 있어, 핫러너 내부에서 중력의 영향으로 인한 수지의 쓸림현상이 발생한 것으로 사료된다. 또한 하측 방향에 위치한 핫드롭의 팁에서 드롤링(drooling) 현상이 발생되었으며, 그에 대한 영향이 일부 작용한 것으로 사료된다. 이와 같은 문제는 핫러너의 노즐을 밸브게이트로 변경함으로써 핫러너 내에 있는 용융수지의 중력에 의한 영향 및 드롤링 현상을 거의 해소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

기하학적으로 균형을 갖는 러너 시스템을 가진 3점 핀 포인트 게이트의 4 캐비티 인터널 기어 성형용 핫러너 금형에서 PP와 PMMA 및 ABS를 대상으로 성형실험을 수행하여 캐비티 내에 발생하는

충전불균형 현상 및 캐비티 그룹간의 충전불균형 현상에 대해 조사하였으며, 본 연구에서의 주요한 결과는 다음과 같다.

- 1) 성형온도의 변화에 따른 캐비티의 균형충전도는 PP의 경우 성형온도가 증가할수록 증가하였으며, 그 크기는 약 93 ~ 96% 수준으로 나타났다. ABS의 경우 균형충전도 값이 감소하였다가 증가하였으며, PMMA의 경우 성형온도에 따른 균형충전도의 영향이 미미한 것으로 나타났다. 또한 결정성 수지인 PP에 비해 PMMA와 ABS의 균형충전도의 값인 DFB가 더 낮은 약 83 ~ 91% 수준으로 나타났다.
- 2) 사출속도의 변화에 따른 균형충전도는 PP의 경우 일정하게 나타났으며, 그 크기는 약 95%이다. 반면, ABS는 사출속도의 증가에 따라 균형충전도가 감소했다가 다시 증가하였으며, PMMA의 경우 전체적으로 균형충전도가 증가하는 경향이 나타났다. 비결정성 수지의 균형충전도의 값인 DFB는 PP에 비해 낮게 나타났다.
- 3) 각 수지에 따른 캐비티별 충전량은 상측 방향에 위치한 캐비티보다 하측 방향에 위치한 캐비티가 더 많이 충전됨을 알 수 있었다. 이는 핫러너 드롭의 팁이 오픈노즐로 되어 있어 핫러너 내에 머물러 있는 용융 수지가 중력의 영향으로 아래쪽으로 쏠린 것으로 추정되며, 이러한 문제는 핫러너 노즐에 밸브게이트를 적용하면 거의 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 정밀공학회 성형 플라스틱 치차 연구전문위원회, "성형플라스틱 기어 핸드북", 일진사, pp. 373 ~ 378.
2. D. J. Weale, J White and D Walton, "The Effect of Fibre Orientation and Distribution on the Tooth Stiffness of a Polymer Composite Gear", ANTEC, 1999
3. John P. Beaumont and Jack H. Young, "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems", Journal of Injection Molding Technology, Vol 1, No 3, pp. 133-143, 1997.

4. 강철민, 정영득, "편측 분기형 러너 배열을 가진 다수 캐비티 사출금형에서의 충전불균형도," 한국소성가공학회지, 제 13권, 제7호, pp. 580-585, 2004.
5. Brock Allen, Tomas Lacey, "The Affects of Shear Induced Imbalance on The Concentricity of Injection Molded Gears" ANTEC 2003, pp. 3757 ~ 3761
6. Beamont, J. P. and Boell, K., "Controlling Balanced Molding Through New Hot Runner Manifold Designs," ANTEC 2001, pp. 932 ~ 936, 2001.
7. Christopher W. White, "Development of Filling Imbalance in Hot Runner Mold", ANTEC 99, pp. 3672 ~ 3676
8. John P. Beamont, Jack H. Young, and Matthew. J. Jawoski, "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molding", Journal of Injection Molding Technology, Vol 2, No 2, pp. 47 ~ 58, 1998
9. 강철민, 정영득, "다수 캐비티 사출금형에서 성형 인자가 충전 불균형에 미치는 영향", 한국소성가공학회 추계학술대회논문집, pp. 54 ~ 57, 2004