

내측기어 성형용 사출성형 금형구조의 개발 Development of the injection mold structure for internal gears

권윤숙 · 정영득

Y. S. Kwon and Y. D. Jeong

(접수일 : 2008년 8월 14일, 수정일 : 2008년 11월 6일, 채택확정 : 2008년 12월 22일)

Key Words : HR3P(핫 런너 3단 금형), Plastic Gear(플라스틱 기어), Volumetric Shrinkage(체적수축), Design of Experiment(실험계획법), S/N Ratio(신호대 잡음 비)

Abstract : Plastic gears are more and more widely used in many industrial machine elements. Plastic gear has higher properties such as light weight, wear resistance, and vibration absorbing ability than metallic gears. But, in case of using an inaccurate plastic gear, its tooth breakage happen and fatigue life is shortened due to increase of applying load and temperature rising on the tooth flank. Inaccuracy of plastic gears such as pitch circle roundness and tooth profile generates vibration and noise. In this study, an internal plastic gears which is molded by a new injection mold structure are developed. The new mold structure is called the HR3P(hot runner type 3plate mold) that has an improved runner system in order to have good filling balance. As a result from this study, an internal gear with very accurate roundness was developed by using design of experiment.

1. 서 론

플라스틱 기어는 경량이며, 무운환에서의 사용, 대량 생산성,싼 가격, 그 밖의 기계요소와의 일체 성형 등의 이점 이외에도 진동 흡수성이 있고, 내식성, 내약품성이 뛰어나다. 이러한 이점 때문에 현재는 금속 기어의 대체품이 아닌 플라스틱 기어의 우수성이 인정되어 사용이 증가되고 있다. 한영수 등¹⁾은 동력 전달용 플라스틱 기어에 관한 연구로서 플라스틱 기어의 경제적 부하 증가법, 이뿌리의 이상 마모, 피치(pitch)점 근방에서의 균열 발생과 성장 기구에 대하여 연구하였다. 또한 폴리아미드(polyamid) 기어의 운전 성능에 관해서도 고찰하였다. 플라스틱 재료는 점탄성체인 점과 기계적 성질에 열 의존성이 있다는 점을 주의할 필요가 있다.

본 연구 대상 제품은 자동차 스타트 모터(Start Motor)용 인터널 기어로서 자동차 부품 중에서 DC 모터(Motor)와 Generator 등에 쓰이는 핵심 부품이다. 인터널 기어는 정밀한 기어 치형을 요구하며, 제품을 성형하는데 기어의 외경과 내경 및 부싱부

(bushing)에 정밀한 진원도가 요구된다.

본 논문에서는 폴리 아미드(PA46/GF40) 수지를 이용한 기어의 균형충전을 최대화하는 새로운 금형 구조를 제안하고, 이 결과를 실제 기어를 생산하는데 반영하였다.

2. 이론적 배경

2.1 충전불균형의 원인

다수 캐비티 사출금형에 발생하는 충전 불균형 현상은 각 캐비티에서 성형되는 성형품의 치수 정밀도, 외관품질, 강도 등에 중대한 영향을 미치지만 지금까지 그 중요성이 간과되어 왔다. 각 캐비티의 성형품에 작용하는 압력과 수지 밀도는 달라지게 되어 성형품의 품질은 저하되고, 충전불균형 현상이 발생하게 된다. 만약, 균형충전을 위해 캐비티의 유로를 막을 경우, 불균형이 있는 캐비티 측에서 성형품을 얻을 수 없으므로, 금형의 생산량은 절반으로 감소하게 되므로 생산성에 손실을 가져온다.

다수 캐비티 사출금형의 불균형충전에 관련된 연구는 Beaumont²⁾에 의해 발표된 것을 시작으로, 다수의 연구 결과가 발표되고 있다. 불균형충전 현상의 이론적 해석과 기초 실험에 관한 연구는 Kumar

정영득(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : ydjung@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6133
권윤숙 : 부경대학교 대학원

와 Grald³⁾등이 충전공정을 수치 해석적인 방법을 통해 불균형충전의 현상을 실제 실험결과와 비교하였으며, Young⁴⁾은 사출공정조건 중 용융수지 전단율에 가장 큰 영향을 미치는 성형인자에 관한 논문을 발표하였다.

본 연구에서는 다점 게이트에서의 충전 불균형도(Degree of Filling Imbalance : DFI)⁵⁾을 알아보고 불균형을 최소화 할 수 있는 금형 구조인 HR3P(Hot runner three plates)를 설계, 제작, 실험하고 이 금형의 유효성을 검증 한 후 실제의 제품 생산에 적용하고자 한다.

2.2 수치 유동시 점성 변화

성형공정 중 금형내 수치 유동시 수지의 점성은 온도와 전단속도에 의해 직접적인 영향을 받게 된다. 전단감소(shear thinning)⁶⁾는 정상적인 성형 조건에서 온도와 전단속도가 커질 때 점성이 낮아지는 현상을 말한다. 사출성형 공정중 수치에 관한 크로스(Cross) 점도 모델은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, $\dot{\gamma}$: 전단율(shear rate)

τ^* : 경계구역에서의 전단응력

n : 비뉴턴 지수

η_o : 재료 전단율에서의 점도

불균형충전은 Fig. 1과 같이 러너의 외경부를 따라 흐르는 수지의 흐름은 중심부의 흐름보다 유동성이 좋아지게 되고, 유동성이 좋은 외경부의 흐름에 지배되어 충전되어진다. 스프루(sprue)를 통해 들어온 용융수지는 러너를 따라 흐르게 되는데, 이때 러너중심부에서 러너 벽면까지 전단율의 분포는 비대칭을 이루게 되어, 러너 벽면부의 온도가 러너 중심부의 온도보다 상대적으로 더 높게 된다. 그리하여 Fig. 1에 캐비티 A가 상대적으로 캐비티 B 및 캐비티 C 보다 먼저 충전되게 된다. 이러한 현상으로 인하여 다점 게이트의 사출성형품에 불균형 충전의 현상이 기하학적으로 균형을 갖춘 러너시스템의 금형인 경우에도 발생한다.

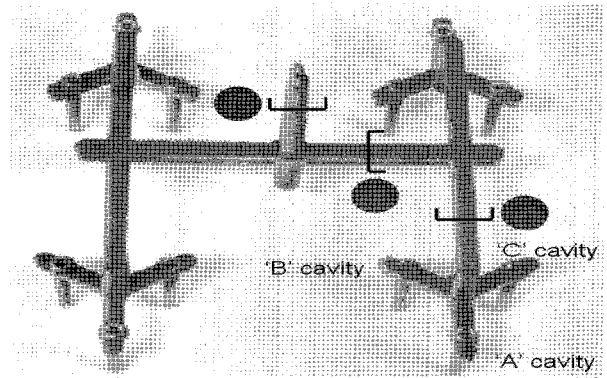


Fig. 1 The filling imbalance on the cold runner

3. 부품 형상 및 시뮬레이션

3.1 성형재료 및 부품 형상

본 연구는 Fig. 2와 Table 1과 같이 폴리아미드로 제작된 플라스틱 기어를 대상으로 하였으며, 플라스틱 기어에는 일반적으로 폴리아세탈, 폴리아미드, 폴리에테르 등 결정성 플라스틱에 속하는 엔지니어링 플라스틱이 많이 사용된다. Stanyl PA46은 결정성 수지로 고내열성 폴리아미드 수지로 탁월한 기계적 물성으로 더 작고 가볍고 더 얇은 살 두께의 성형이 가능하여 비용이 감소하고, 플래쉬가 없어 후가공이 필요치 않으므로 비용이 감소한다. 열가소성 수지 중에서 마찰, 마모 특성이 우수하고, 장시간의 접동특성에 우수하다는 특성이 있으며, 기계적 강도를 높이기 위해 보강 단섬유 40%을 첨가한 수지를 사용하였다.

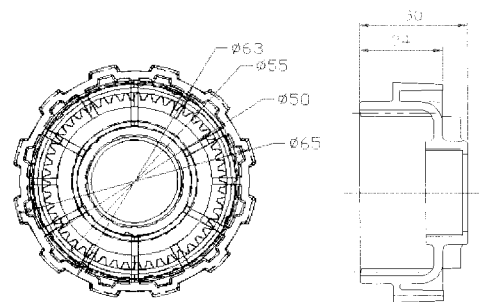


Fig. 2 A schematic drawing for plastic gear

3.2 새로운 금형에서의 성형 해석

본 논문에서는 사출금형설계를 보다 최적화하기 위하여 Fig. 2의 성형품을 Fig. 3과 같이 금형상의 러너시스템을 갖는 메쉬(mesh) 모델을 3차원 모델링 도구(Computer Aided Engineering)를 활용하였다. 사출 성형해석을 위한 시뮬레이션 도구로는 Moldex 3D^{®(7)} 소프트웨어로 모의 실험을 하였으며, 충전, 보압, 냉각 과정의 해석을 하였다.

Table 1 Data for plastic gear

Number of teeth	48
Module	1
Pressure angle	20°
Pitch diameter	48
Base diameter	45.10
Outside diameter	46.16

Fig. 3은 기어 성형품의 3D 메쉬 모델 및 러너의 형상 및 구조를 나타낸 것이다. 또한 Moldex에서는 서로 다른 3D메쉬 즉, 하이브리드 메쉬를 이용하였다. 유동러너 시스템인 러너(runner)와 게이트(gate) 부분은 육면체(hexahedra)메쉬를 이용하였으며, 기어형상에서는 사면체(tetrahedra)메쉬를 이용하였다⁸⁾.

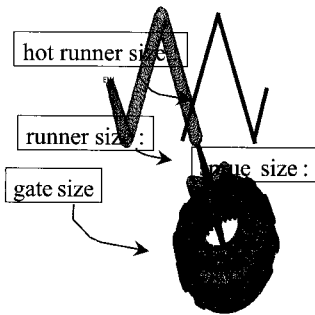


Fig. 3 Solid mesh

model of parts and delivery system

기어의 해석 공정은 새로운 금형인 HR3P에 이용된 핫 러너를 이용하여 Fig. 4와 같이 해석을 수행하여 최적의 공정 요인을 찾아 불균형 충전을 최소화 하는 공정을 찾고자 한다.

본 연구의 대상품인 기어는 러너의 크기와 길이, 게이트의 위치 설계가 중요하며, 충전 공정동안 균일한 유동균형을 이루면서 용융수지가 캐비티 내를 채워나가는 것이 중요하다⁹⁾. 새로운 금형에서의 기어성형을 위해 메쉬 모델을 이용하여 개발금형의 성형 가능성 및 문제점을 파악하고 각 게이트에 따른 충전불균형 현상을 알아보려고 사출성형 해석을 수행하였다.

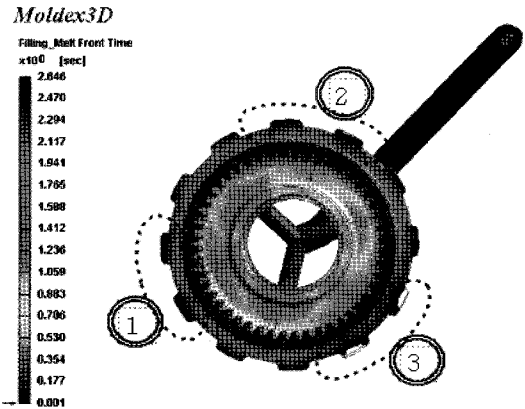


Fig. 4 Filling imbalance for gear simulation

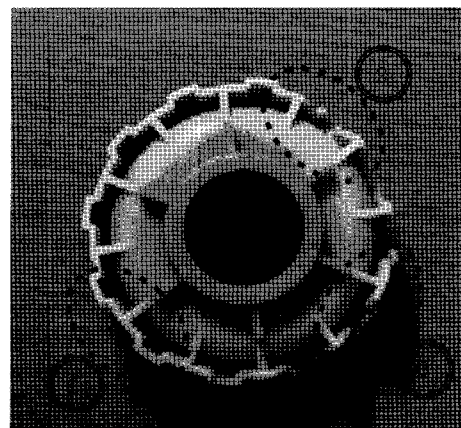


Fig. 5 Filling imbalance for actual gear

Table 2 Condition experiment on PA46/GF40

factors	level	unit	1	2	3
Mold temp.(A)		°C	70	80	*
Melt temp.(B)		°C	300	310	320
Injection pressure(C)		MPa	65	72	80
Injection speed(D)		%	20	35	50

Fig. 5와 같이 실제 기어 성형용 모델을 대상으로 다구찌 실험계획법^{10,11)}의 충전불균형에 영향을 미치는 성형조건은 Table 2에서와 같이 금형온도, 수지온도, 사출압력, 사출속도를 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준(level)은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 각각 2수준과 3수준으로 정하였다. 성형조건들을 배치하기 위한 직교표는 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 표로 선정하여 성형조건을 할당하여, 실험한 최적의 조건에 대하여 성형해석을 실제시험을 하였다. 금형온도(80°C), 수지온도(300°C), 사출압력(77kg/cm²), 사출속도(50%)에서의 조건에서 균형충전도가 가장 크게 나타났다.

4. HR3P 금형 제작 및 실험

4.1 실험 금형 설계 및 제작

자동차 Start Motor용 인터널 기어 사출성형용 개발금형을 설계·제작하기 위하여 성형해석을 수행하였고, 제품의 동시충전을 위한 핫런너 3단(HR3P)금형을 개발하였다. 새로운 금형 구조인 HR3P 이용하여 캐비티 내의 충전 불균형을 알아보기 위해 숏트 샷(short shot) 성형을 실시하였다.

해석 결과를 바탕으로 금형을 설계하여 균형충전이 가능한 새로운 구조의 3점 핀포인 게이트를 가진 4 캐비티의 기어 성형용 금형의 설계도면과 실제 제작된 금형을 Fig.6과 Fig. 7에 각각 나타내었다.

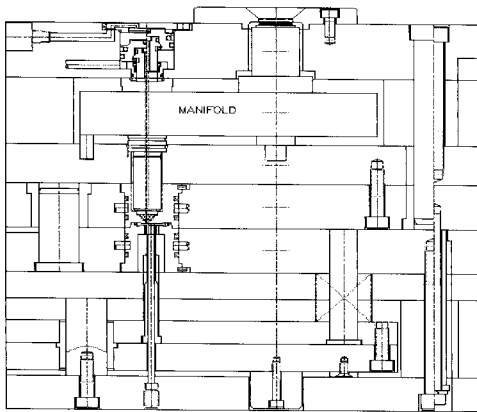


Fig. 6 A schematic drawing for mold of hot runner system

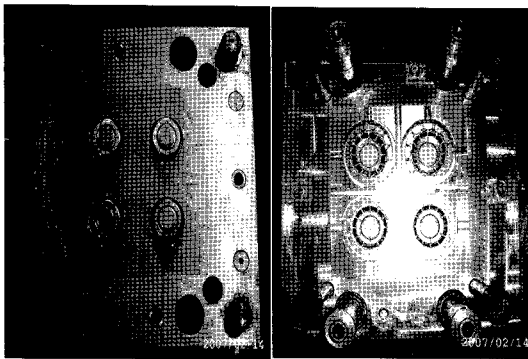


Fig. 7 Experimental mold

4.2 실험용 HR3P(hot runner 3 plates) 및 사출기

사출성형기는 동신유압에서 제작된 형체력 220톤 직압식 사출기를 사용하였으며, 실험금형은 Fig.8과 같은 기하학적 균형을 갖춘 러너시스템에 12개의 캐비티를 갖는 3매 구성형으로 520 x 420mm 크기의 금형을 사용하였다. 유동의 균형충전을 실험하기 위

하여, 기존의 H형 콜드러너(cold runner) 3단금형 시스템을 Fig. 8과 같이 X(cross)형 핫 러너(hot runner) 3단금형 시스템으로 금형을 설계하였다.

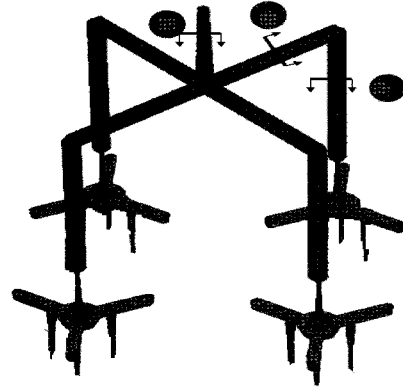


Fig. 8 The filling imbalance on the hot runner

4.3 실험 결과 및 측정

새로운 금형 구조인 HR3P를 이용하여 숏트 샷(short shot) 성형을 실시하여 DFI값을 알아 본 결과 Table 3과 같이 나타남을 알 수 있었다. 기존의 금형인 3단 콜드러너 금형에서 사출성형한 제품보다, 새로운 금형인 3단 핫러너 금형(HR3P)에서 사출한 제품들이 충전불균형도(DFI) 훨씬 적게 측정되었다.

실제 사출품의 진원도를 3차원 접촉식 측정기로 측정하여 본 결과 Fig. 9와 같이 나타남을 알 수 있었으며, 기존의 금형에서 사출한 제품보다 좋은 품질의 값을 Table 4에 나타내었다. 이를 실제 사출에 지속적으로 적용한다면 훨씬 좋은 품질의 사출품을 생산할 수 있을 것이라 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 폴리 아미드(PA46/GF40) 수지용 기어의 균형충전을 최대화하는 새로운 금형을 제안하였으며, 사출성형 해석용 상용소프트웨어인 Moldex를 이용하여 사출성형 공정의 최적화를 모색하여, 새로운 구조로 개발된 금형의 유효성을 검증할 수 있었다. 다음은 본 연구의 주요 결과들이다.

1) 금형온도(80℃), 수지온도(300℃), 사출압력(77kg/cm²), 사출속도(50%)에서의 조건에서 균형충전도가 가장 크게 나타났다. 성형 해석 결과를 비교해 본 결과 그 값은 실험치와 거의 일치함을 알 수 있었다.

Table 3 Comparative DFI value

Value	Conventional mold	HR3P mold
DFI	6.61 - 12.96	3.85 - 8.22

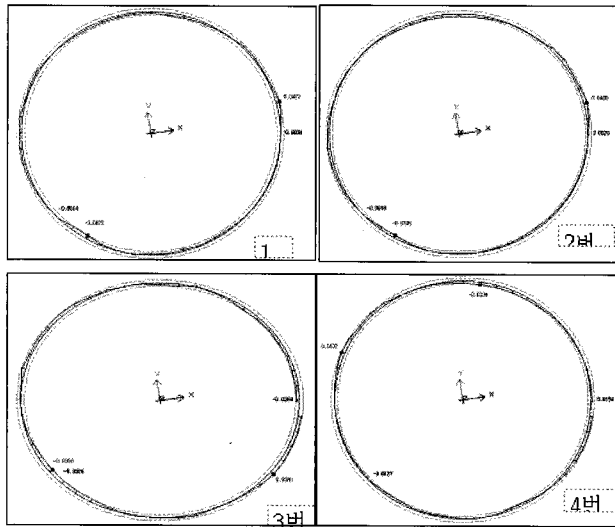


Fig. 9 The actual gear measurement

Table 4 Comparison of measured roundness

cavity no.	1	2	3	4
conventional	0.1038	0.1001	0.0974	0.1115
developed	0.0836	0.0826	0.0749	0.0766

2) 실험을 통하여 개발된 금형의 DFI값을 측정한 결과 DFI의 범위가 $3 \leq DFI \leq 8(\%)$ 이내임을 알 수 있었다. 기존의 콜드러너 금형에서보다 DFI 값이 약 1/2 로 감소하는 효과를 나타내었다.

3) 기어금형을 대상으로 실제 성형실험을 행한 결과 기존의 기어 성형품의 진원도는 0.0974 < 진원도 < 0.1115mm 였으나, 새로 개발한 금형의 기어의 진원도는 0.0766 < 진원도 < 0.0836mm 로 크게 향상되었음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- Han Y. S., 1999, "Molding plastic gear", iljinsa, pp. 379.
- John. P. Beaumont, Jack H. Young and

- Matthew J. Jawoski, 1998, "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molding", Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 47~58.
- Ashwini Kumar, Aleksandra Egelja, Eric W. Grald and J. P. Beaumont, 2002 "Experimental and Numerical Analysis of the Flow Imbalance in Runner System", ANTEC , pp. 541~550.
- Jack H, Young and John. P. Beaumont, 1997, "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner System", Journal of Injection Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 133~134.
- Han D. Y. and Jeong Y. D., 2008, "Filling Imbalance of Elastomer TPVs in Injection Mold with Unary Branch Type Runner System", Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 47~52.
- John. P. Beaumont, R. Nagel and R. Sherman 2002, "Successful Injection Molding", Hanser, pp. 58~71.
- David A. Hoffman, and John P. Beaumont, 2006 "True 3D CAE Visualization of Intra-cavity Filling Imbalance in Geometry-balanced Molds", ANTEC, pp. 1153~1157.
- Jeong Y. D., Gu, B. H., 2005, "Design products and mold", Intervision, pp. 250~252.
- J. P. Beaumont, Successful Injection Molding, 2002, pp. 265~275.
- Montgomery, D. C., 2001, "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, pp. 218~246.
- Lee S. H., 2006, "Engineering statistics data analysis by using Minitab", Eretec, pp. 727~775.