

새로운 내측기어 성형용 사출성형 금형구조의 개발

권윤숙¹ · 제덕근² · 정영득[†]

부경대학교 대학원¹ · 제산정공사² · 부경대학교 기계공학부[†]

Development of a new injection mold structure for internal gears

Youn Suk Kwon¹ · Je Deok Keun² · Yeong Deug Jeong[†]

Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University¹

Jesan Precision Mold²

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University[†]

(Accepted May 23, 2014)

Abstract : As a rotating machine element, plastic gears are more and more widely used in such as industrial machine element, since plastic gear is lighter, higher wear-resistance, and higher vibration absorbing ability than metal gears. When operating plastic parts, tooth breakage and fatigue life shortened due to increasing number of applying load and tooth flank temperature rising, such that accuracy of plastic gears is divided from allowable range to cause vibration and noise. On this study, a internal plastic gears are developed which improved the filling balance molding process by a new injection mold structure. The new mold structure called HR3P(hot runner type 3plate mold). As the result from this studies, we obtained a very accurate roundness internal gears by using design of experiment.

Key Words : HR3P(핫런너 3단 금형), Plastic gear(플라스틱 기어), Volumetric shrinkage(체적수축), Design of Experiment(실험계획법), S/N ratio(신호대 잡음 비)

1. 서 론

플라스틱 기어는 경량이며, 무윤활에서의 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 대체품으로서가 아니라 플라스틱 기어의 우위성이 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 기구를 검토하였다. 또한 폴리아미드(polyamid) 기어의 운전 성능에 관하여 설명하였다.

플라스틱 재료는 점탄성체인 점과 기계적 성질에 열 의존성이 있다는 점을 주의할 필요가 있다.

본 연구 대상 제품은 자동차 Start Motor용 인터널 기어로서 자동차 부품 중에서 DC Motor와 Generator 등에 쓰이는 핵심 부품이다. 인터널 기어는 정밀한 기어 치형을 요구하며, 제품을 성형하는데 기어의 외경과 내경 및 부상부에 정밀한 진원도가 요구된다.

본 논문에서는 폴리 아미드(PA46/GF40) 수지에 의한 기어의 균형충진을 최대화하는 새로운 금형구조를 제안하고, 수축률을 최소화 하여 기어의 품질을 향상 시키는 공정변수를 찾아 이를 실제 기어를 생산하는데 반영하였다.

2. 부품 형상 및 시뮬레이션

1. 부경대학교 대학원 기계공학과

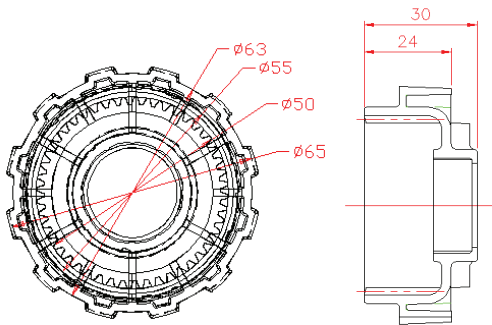
† 교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

2.1 성형재료 및 부품 형상

본 연구는 Fig. 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, 또한 플래시가 없어 후가공이 필요치 않으므로도 비용이 감소한다. 열가소성 수지 중에서 마찰, 마모 특성이 우수하고, 장시간의 접촉특성에 우수하다는 특성이 있으며, 기계적 강도를 높이기 위해 보강 단섬유 40% 첨가한 수지를 사용하였다.



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

Fig. 1. A schematic drawing and data for plastic gear

본 연구에서는 실험적 모델을 사용하여 다구찌 실험계획법의 하나인 파라미터 설계(parameter design)를 이용하였다. 무수히 많은 선택조건에 대해 해석을 수행하게 되면 많은 시간과 비용이 소요되고 납기가 지연 될 수 있다. 따라서, 해석에 대한 경우의 수를 최소화하고 주어진 조건을 최적화하는데 시간을 최소화하기 위해 실험계획법을 사용하였다.

2.2 새로운 금형에서의 성형 해석 내용

본 논문에서는 사출금형설계를 보다 최적화하기

위하여 Fig. 2와 같이 3차원 모델링 도구(Computer Aided Engineering)를 활용하였고 사출 성형해석을 위한 시뮬레이션 도구로는 Moldex 3D[®] 소프트웨어로 모의실험을 하였으며, 충전, 보압, 냉각 과정의 해석을 하였다.

Fig. 2는 기어 성형품의 3D 메쉬 모델 및 러너의 형상 및 구조를 나타낸 것이다. 또한 Moldex에서는 서로 다른 3D메쉬 즉, 하이브리드 메쉬를 이용하였다. 유동러너 시스템 시스템은 육면체(tetrahedra)메쉬를 이용하였으며, 기어형상에서는 사면체(hexahedra)메쉬를 이용하였다^{2,3)}.

기어의 해석 공정은 새로운 금형인 HR3P에 이용된 핫 러너를 이용하여 Fig. 3과 같이 해석을 수행하여 최적의 공정 요인을 찾아 불균형 충전을 최소화하는 공정을 찾고자 한다.

본 연구의 대상품인 기어는 러너의 크기와 길이, 게이트의 위치 설계가 중요하며, 충전 공정 동안 균일한 유동평형을 이루면서 용융수지가 캐비티 내를 채워나가는 것이 중요하다³⁾.

새로운 금형에서의 기어성형을 위해 메쉬 모델을 이용하여 개발금형의 성형 가능성 및 문제점을 파악하고 각 게이트에 따른 충전불균형 현상을 알아보고자 사출성형 해석을 수행하였으며, 실험과 같은 조건에서 Fig. 4에 나타나 있는 것과 같이 실험치와 해석치의 값이 거의 일치함을 알 수 있었다.

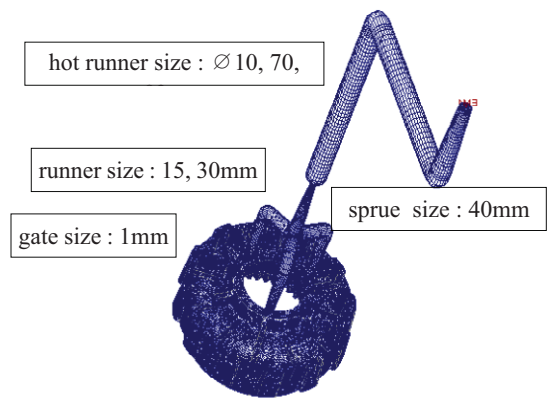


Fig. 2. Solid model of parts and delivery system

실제 기어 성형용 모델을 대상으로 다구찌 실험계획법을 이용하여 사출성형 조건을 설정하였으며, 최적의 조건에 대하여 성형해석을 수행하였다. 금형 온도(80℃), 수지온도(300℃), 사출압력(77kg/cm²), 사

출속도(50%)에서의 조건에서 균형충전도가 가장 크게 나타났으며, Fig. 2, Fig. 3은 해석 결과이고 Fig. 4는 실제 사출제품을 나타낸 것이다.

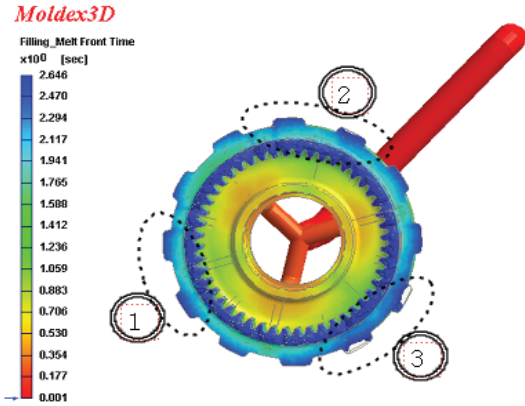


Fig. 3. Filling imbalance for gear simulation

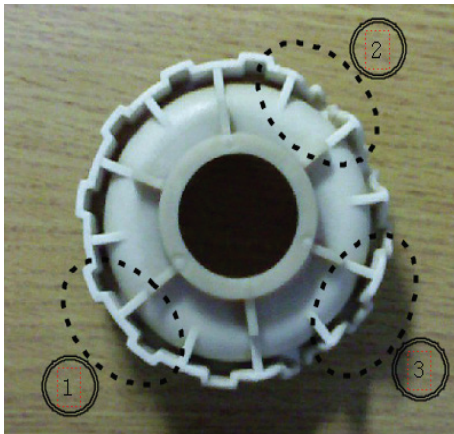


Fig. 4. Filling imbalance for actual gear

3. 실험 및 실험장치

3.1 실험 금형

자동차 Start Motor용 인터널 기어 사출성형용 개발금형을 설계·제작하기 위하여 성형해석을 수행하였고, 제품의 동시충전을 위한 핫런너 3단(HR3P) 금형을 개발하였다. 해석 결과를 바탕으로 금형을 설계하여 균형충전이 가능한 새로운 구조의 3점 핀포인 게이트를 가진 4 cavity의 기어 성형용 금형의 설계도면과 실제 제작된 금형을 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었다.

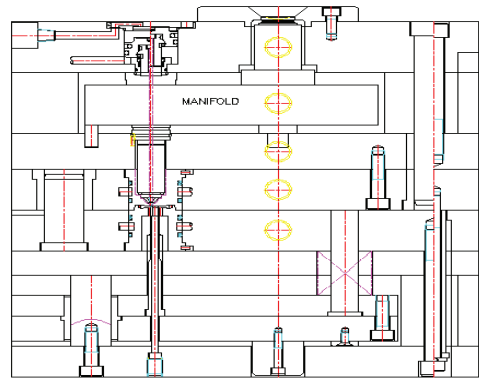


Fig. 5. A schematic drawing for mold of hot runner system

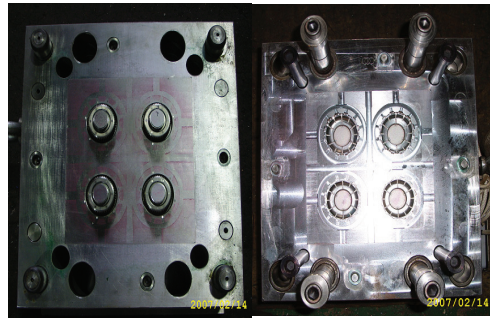


Fig. 6. Experimental mold

4. 사출성형 공정 최적화

4.1 성형공정의 분석

다구찌 실험계획으로 기어성형으로 많이 쓰이는 수지를 대상으로 균형충전도를 실험 할 목적으로 다구찌 실험계획을 이용하였다.

본 연구의 대상인 수지 PA46/GF40 을 이용하여 공정조건의 서로의 요인에 대한 상호 교호 작용을 알아 보고 분산분석을 행하였다. 실험 조건표는 Table 1과 같다. 사출기는 동신유압 220ton으로 실험을 하였다.

Table 1. Control factors and level

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

실제의 실험에서 $L_{18}(2^1 \cdot 3^7)$ 의 직교 배열표를 이

용 하였다. 본 연구의 경우에는 품질특성치가 수축률이므로 망소특성에 해당되며 SN비는 아래의 공식에 의해서 계산된다^{4,5)}.

$$SN_i = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right\} \quad (1)$$

Fig. 7의 주요인 효과도에서 보는 것과 같이 금형 온도(80°C), 수지온도(300°C), 사출압력(77kg/cm²), 사출속도(50%)에서의 조건에서 가장 많은 균형 충전이 이루어 짐을 알 수 있었다. 분산분석을 행하여 각각의 요인들 중에 가장 많은 영향을 미치는 요인을 알아 본 결과, 여기서는 수지온도가 가장 많은 영향을 미치고, 두 번째로 금형온도, 사출속도, 사출압력이 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이러한 자료를 가지고 계속적으로 실험을 해 나가며, 서로 간의 교호작용이 존재하는 것인지를 알기 위해 교호작용(interaction)이 있는 실험계획법을 적용하여 본 결과 교호작용이 존재 한다는 것을 Fig. 8을 통하여 알 수 있었다.

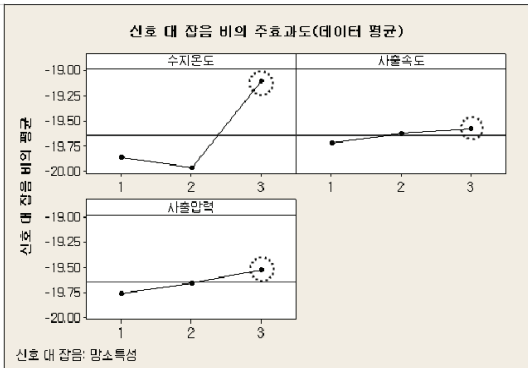


Fig. 7. Plot of main effects plot for design variables

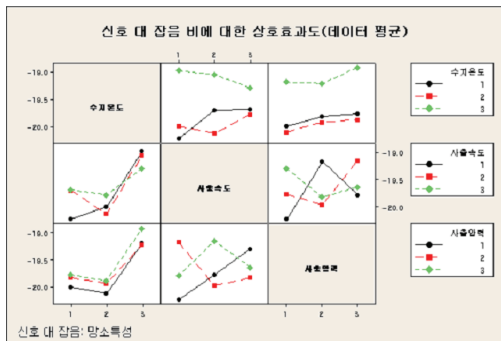


Fig. 8. Interaction effects plot for SN ratios

4.2 실험 결과 및 측정

기존의 금형인 3단 콜드런너 금형에서 사출성형한 제품보다, 새로운 금형인 3단 핫러너 금형(HR3P)에서 사출한 제품들이 불균형 충전이 훨씬 적게 나온다는 것을 실제 사출 성형 제품의 측정을 통하여 알게 되었다.

실제 사출품의 진원도를 측정하여 본 결과 Fig. 9와 같이 나타남을 알 수 있었으며, 기존의 금형에서 사출 한 제품보다 좋은 품질의 값을 Table 2에 나타내었다. 이를 실제 사출에 지속적으로 적용한다면 훨씬 좋은 품질의 사출품을 생산 할 수 있을 것이라 사료된다.

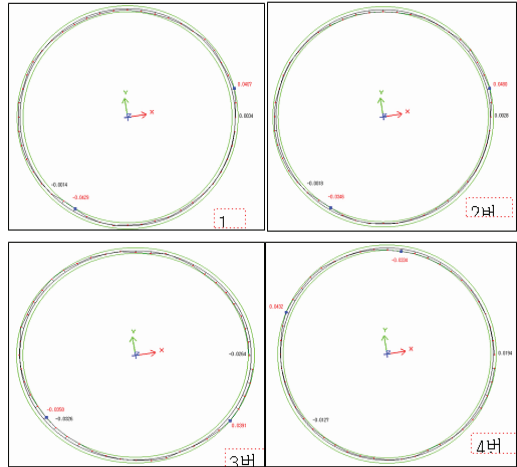


Fig. 9. For gear experimental measurement

Table 2. Compare conventional measurement with improved measurement

Cavity no.	Roundness			
	1	2	3	4
Cconventional	0.1038	0.1001	0.0974	0.1115
Developed	0.0836	0.0826	0.0749	0.0766

5. 결 론

본 논문에서는 폴리 아미드(PA46/GF40) 수지 기어의 균형충전을 최대화하는 새로운 금형을 제안하였고, 사출성형 해석용 상용소프트웨어인 Moldex와 강건 설계기법인 다구찌방법을 함께 이용하여 사출성형 공정의 최적화를 모색하였다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1) 성형 해석 결과 금형온도(80℃), 수지온도(300℃), 사출압력(77kg/cm²), 사출속도(50%)에서의 조건에서 가장 양호한 균형 충전이 이루어 짐을 알 수 있었다.

2) 분산분석을 통하여 수지온도가 가장 많은 영향을 미치고, 두 번째로 금형온도, 사출속도, 사출압력 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 서로 간의 교호작용이 존재한다는 것을 알 수 있었다.

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

참고문헌

- 1) 한영수의 2명, “성형플라스틱기어,” 일진사, p. 379, 1999.
- 2) Health E. Casaldi and Timothy Michel, "Porcess Window as Effected by Shear Induced Flow Imbalance in Multi-cavity Molds," ANTEC 2001, pp. 3112-3115, 2001
- 3) 권태현외 3명, 사출성형 CAE 설계지침, pp. 112, 2004.
- 4) J.P.Beaumont, “Successful Injection Molding,” pp. 265~275, 2002
- 5) 이승훈외 2명, “실험계획 및 분석 : 다구치 방법과 직교표의 활용,” p. 46, 2004.
- 6) 박성현, “현대실험계획법,” p. 423, 2002.