

# 실험계획법을 이용한 기어의 사출 성형 공정 최적화

\*권윤숙<sup>1</sup>, 곽재섭<sup>2</sup>, 정영득<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 대학원, <sup>2</sup>부경대학교 기계공학부

## Optimization of Injection Molding Process for Gear Using Design of Experiments

\*Y. S. Kwon<sup>1</sup>, J. S. Kwak<sup>2</sup> and Y. D. Jeong<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Mech. Eng. Dept., PKNU., <sup>2</sup> Mech. Eng. Dept., PKNU.

Key words : Shrinkage(수축), Design variable(설계변수), Taguchi method(다구찌 방법), Plastic gear(플라스틱 기어), PA(폴리아미드), SN(신호대 잡음 비)

### 1. 서론

플라스틱 기어는 금속 재료와 비교해서, 인장 강도와 굽힘 강도는 강의 약 1/8~1/10이며, 탄성계수는 약 1/70이다. 플라스틱 기어는 경량, 무유해에서의 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 우위성을 인정한 사용이 증가되고 있다. 岩井 등<sup>1</sup>은 동력 전달용 폴리아세탈 기어 강도에 대해서 연구하였다. 치면 온도 상승, 파괴 회전 속도에서의 굽힘 응력의 저하를 고려하고, 또 속도와 압력의 변화에 대한 마모량의 변화를 고려해서 피치 원주 속도에 대한 한계 하중(치폭당 하중)을 제시하였다. 한영수 등<sup>2</sup>은 동력 전달용 플라스틱 기어에 관한 연구로서 플라스틱 기어의 경제적 부하 증가법, 이뿌리의 이상 마모, 피치점 근방에서의 균열 발생과 성장 기구를 검토하였다. 또한 폴리아미드 기어의 운전 성능에 관하여 설명하였다.

본 논문에서는 폴리아미드 수지를 사용하여 기어의 수축률을 최소화 하는 공정변수를 찾아 이를 실제 기어를 생산하는데 반영하고자 한다.

### 2. 시뮬레이션 내용

#### 2.1 소재특성 및 해석 대상

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 고내열성 폴리아미드 수지로 탁월한 기계적 물성으로 더 작고 가볍고 더 얇은 살 두께가 가능하여 비용이 감소하고, 플래쉬가 없어 후가공이 필요치 않으므로 비용이 감소한다. 열가소성 수지 중에서 마찰, 마모 특성이 우수하고, 장시간의 섭동특성에 우수하다.

본 연구에서는 실험적 모델을 사용하여 다구찌 실험계획법의 하나인 파라미터 설계(parameter design)를 이용하기로 한다. 파라미터 설계는 제품설계와 공정설계에서 유용하게 사용되는 다구찌 실험계획법이다.

본 논문에서는 사출금형설계를 보다 최적화하기 위하여 Fig. 2와 같이 3차원 모델링 도구(Computer Aided Engineering)를 활용하였고 사출 성형해석을 위한 시뮬레이션 도구로는 Moldflow<sup>®</sup> 상용 소프트웨어로 모의 실험을 하였으며, 충전, 보압, 냉각 과정의 해석을 하였다. 3차원 tetrahedral 메쉬를 이용하여 수축률 예측을 수행하였다.

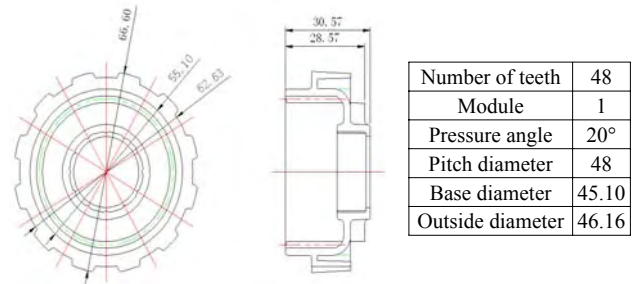


Fig. 1 A schematic drawing and data for plastic gear

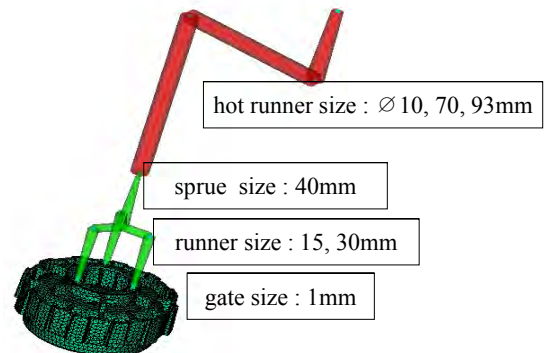


Fig. 2 Solid model of parts and delivery system

#### 2.2 기어의 충전 해석

본 연구의 대상품인 기어는 러너의 크기와 길이, 게이트의 위치 설계가 중요하며, 충전 공정동안 균일한 유동평형을 이루면서 용융수지가 캐비티 내를 채워나가는 것이 중요하다. 첫 단계에서는 냉각채널에 냉각수를 흘리지 않고 시뮬레이션을 행하여 균일 유동을 달성할 수 있는 조건으로 충전 시간 0.76초, 보압시간 10초, 전체 사이클 시간을 30초로 결정하고, 다음 단계로 냉각채널에 냉각수를 순환시키면서 균일 유동 충전을 분석 하였으며, 이때 냉각공정과 기존의 콜드러너를 핫러너로 교체하여 관련된 인자들의 영향을 다구찌 실험계획법으로 분석하였다.

냉각 공정이 없는 충전 해석 결과 기어의 가장 민감한 부분인 기어의 치형 부분과 잇뿌리 부분에서 수축이 발생하여 콜드 런너 부분을 핫 러너로 수정 설계하고, 생산하기 위해 시뮬레이션을 실시하고 이를 시험 사출에 적용하려고 한다. Fig. 3은 핫러너로 수정후의 냉각 채널로 기어의 안쪽 부분은 배플이 위치하고 기어의 바깥면으로 냉각채널이 있다. 입수구와 출수구 온도 편차가 3°C 이내로 유지<sup>3</sup> 하는 것이 균일한 냉각에 효과적이므로 이를 유지 하도록 해야 한다. Fig. 4는 냉각 공정 수행후의 두께방향까지 균일한 냉각을 유지하고 있는지의 여부를 조사하기 위해 부품의 단면을 절단하여 온도의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 5는 냉각 공정 까지 수행 후의 3지점의 온도를 나타낸 것이다.

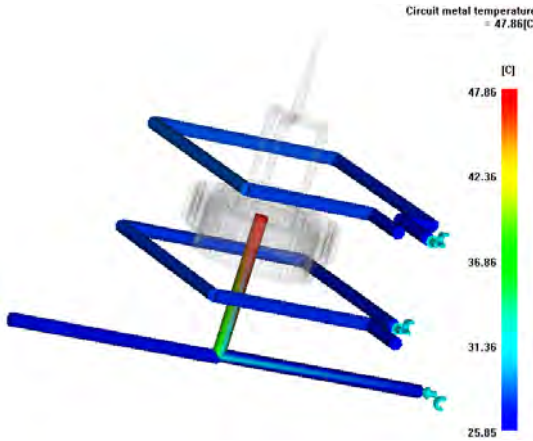


Fig. 3 Cooling channel of parts and delivery system

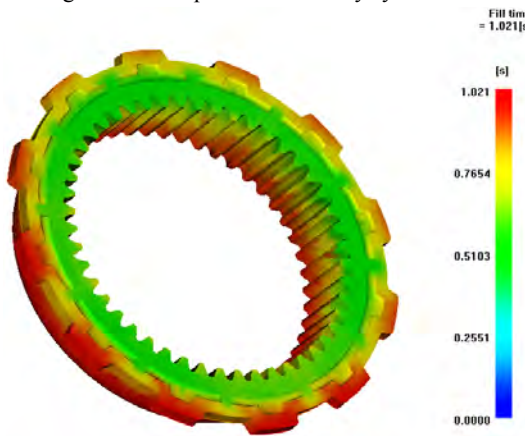


Fig. 4 Filling time distribution of gear with cooling channel

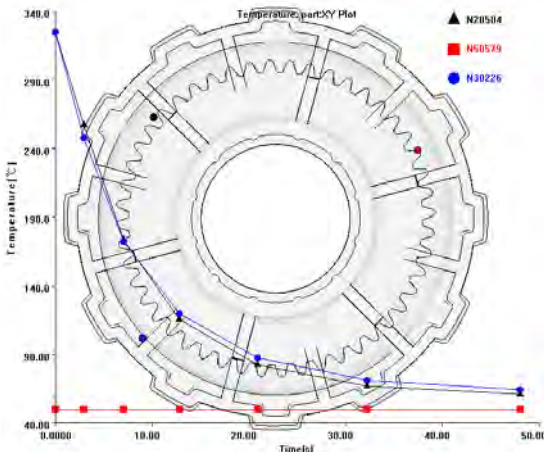


Fig. 5 Temperature variation in specified nodes of gear

### 3. 사출성형 공정 최적화

냉각채널이 없는 충전해석 결과의 모델을 가지고 냉각채널에 냉각수를 순환시키면서 다시 충전공정을 분석하였다. 성형품의 품질 특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 사출성형후의 수축률로 정하였다. 수축률에 영향을 미치는 제어인자는 Table 1과 같이 사출시간, 보압시간, 냉각시간, 핫 러너의 온도를 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준(level)은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 각각 3수준으로 정하였다. 제어인자를 배치하기 위한 직교표는  $L_9(3^4)$ 표로 선정하여, Table 1과 같이 제어인자를 할당하였다.

Table 1 Control factors and level

Control factors		Level		
		1	2	3
Injection time (A)	sec	1	1.5	2
Packing time (B)	sec	10	13	16
Cooling time (C)	sec	25	30	35
Hot runner temp.(D)	°C	240	250	260

본 연구의 경우에는 품질특성치가 수축률이므로 망소특성에 해당되며 SN비는 아래의 공식에 의해서 계산된다<sup>4</sup>.

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

SN비에 대한 수준별 평균값과 기여량을 구한 결과의 요인 효과도는 Fig. 6과 같다.

SN비에 대한 분산분석(ANOVA) 결과를 Table 2에 나타내었다. 이는 가장 기여율이 낮은 충전시간(A)을 오차항에 풀링한 후의 계산 값이다. Table 2의 분산분석표에서 제어인자의 기여율을 고려하여 보면 냉각시간(C)과 보압시간(B), 핫 러너의 온도(D), 충전시간(A) 순으로 사출성품의 수축률에 영향을 미치고 있다.

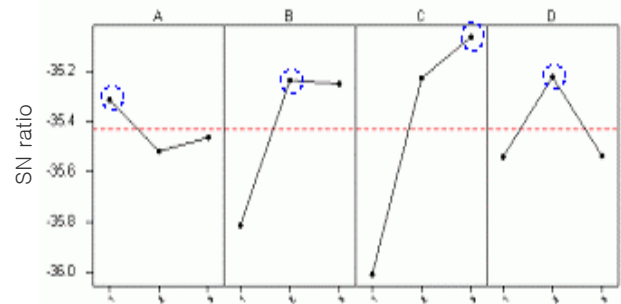


Fig. 6 Plot of main effects plot for design variables

Table 2 Analysis of variance for design variables

Source	DF	SS	MS	F
B	2	0.65245	0.32622	9.66
C	2	1.52856	0.76428	22.64
D	2	0.19937	0.09968	2.95
Error	2	0.06752	0.03376	
Total	8	2.44790		

### 4. 결론

본 연구에서는 자동차 내장용 부품인 내접 기어를 사출성형 해석용 상용 소프트웨어인 Moldflow와 강건설계기법인 다구찌 방법을 함께 이용하여 사출성형 공정의 최적화를 시도하였다. 따라서, 기어의 사출성형 최적 조건으로 충전시간(1초), 보압시간(13초), 냉각시간(35초), 핫러너의 온도(250°C)으로 결정하였다.

### 후기

본 연구는 2006년도 중소기업기술혁신개발사업의 위탁연구에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 岩井 實ら, 潤滑, 11, pp. 50, 1977.
2. 한영수의 2명, 성형플라스틱기어, pp. 379, 1999.
3. 권태현의 3명, 사출성형 CAE 설계지침, pp. 112, 2004.
4. 이승훈의 2명, 실험계획 및 분석: 다구찌 방법과 직교표의 활용 pp. 46, 2004.