

실험계획법을 이용한 신발용 사출성형품의 사출성형 공정설계

이재광¹, 예상돈², 오현옥³, 민병현[#]

Design for Injection Molding Process of Part Shoes by Design of Experiment.

J. K. Lee, S. D. Ye, H. O. O, B. H. Min

Abstract

The injection molding process has applied to a variety of fields by a development of various plastic resins. Recently, this process has been extending to a field of parts of shoes. In this study, the injection mold of shank which is a one of the parts of shoes has been designed. The position of gate and the injection procedure have been optimized by a simulation using the CAE software and an analysis using the DOE. As a result, the improved injection mold of shank has been manufactured in a short time. Applying the CAE and the DOE at the process of the injection mold design eventually lead an increase in the productivity and the quality of parts.

Key Words : Injection molding, DOE(Design of experiment), CAE(Computer aided engineering), Shoes

1. 서론

예전의 사출 성형은 플라스틱 수지의 특성 때문에 가전 제품의 하우징이나 용기의 제작에 주로 사용하였으나, 최근에는 여러 가지 플라스틱 수지의 개발로 기계적, 열적, 물리적 및 화학적 성질이 개선되어 그 적용 범위가 확대되고 있으며, 근래에 자동차 부품에도 사용되고 있고 특히 신발 부분품으로 사출 성형을 이용한 제품이 점차 확대되어 가고 있다. 신발에 사용되는 사출 성형품을 보면 shank, toe, cap, sol, air bag cover, tongue, eyelet, hill cover 등의 부품으로 점유하고 있으며 그 수요가 점점 증가하고 있다. 또한 부품의 품질

향상에도 많은 연구가 이루어지고 있다.

신발 사출 성형품의 재료로는 주로 탄성체 폴리우레탄을 사용하고 있으며 특히 낮은 온도에서 내마모성, 연신율 및 충격 강도에 대해 좋은 특성을 가지고 있어 충격과 피로를 많이 받는 신발 성형품의 재료에 아주 적합하다.

본 연구에서는 TPU 를 사용한 신발성형품 중의 하나인 플라스틱 shank 를 성형하기 위해 상용 소프트웨어인 MOLD FLOW 와 실험계획법을 이용하여 분석하고 사출 금형 제작 전에 게이트의 형상과 사출 조건 및 냉각관 등을 각각의 조건에 따라 시뮬레이션하고 분석하여 사출 성형 공정을 최적화하고자 한다.

1. 동의대학교 기계공학과 대학원

2. 동의대학교 기계공학과 대학원

3. 부국산업㈜

교신저자: 동의대학교 기계공학과, E-mail: bhmin@deu.ac.kr

2. CAE

2.1 Shank

Shank 는 신발에 들어가는 신발용 사출품이며 재료는 TPU 로 되어있다. 본 연구에서 목적으로 하는 Shank 는 Fig. 1 과 같이 곡면 형상을 하고 있고 위쪽 테두리 부분과 신발 마크 부분은 다른 부위와 비교하여 두께가 두꺼워서 성형에서 유동 평형을 이루는데 많은 어려움이 있다. 유동이 평형을 이루지 못하면 제품의 전체적인 냉각 분포가 대칭적이지 못하여 성형 후 많은 변형을 일으키는 원인이 되어 제품의 질을 떨어뜨리고 불량 의 원인이 되고 있다.

Table 1 Mechanical properties of TPU

Elastic modulus	10200 MPa
Poissonss ratio	0.38
Shear modulus	1380 MPa

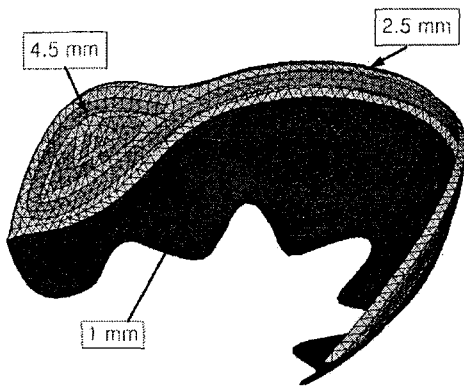


Fig. 1 Solid modeling of a Shank

2.2 게이트의 설계

일반적으로 게이트 설계 시에 고려해야 할 특 징을 보면 다음과 같다. 첫째, 게이트는 런너의 종점이고 캐비티의 입구이다. 둘째, 응력 집중을 최소화 하고 배향에 의한 변형이 적은 형상을 선택해야 한다. 셋째, 단면적이 크면 충전성은 좋으 나 게이트실 냉각 시간이 길고 마무리가 어려우 므로 수지 흐름 방향, 웰드라인의 생성, 게이트 처리 등을 고려해서 선정해야 한다. 넷째, 위치, 개수, 형상, 치수는 성형품의 외관이나 성형 효율 및 치수 정밀도에 큰 영향을 준다. 다섯째, 용융

수지의 흐름 방향과 유량을 제어함과 동시에 성형품이 밀어내는데 충분한 고화 상태로 될 때까지 캐비티 내에 수지를 봉입하여 역류를 방지해야 한다. 여섯째, 마무리 작업이 용이해야 하며, 마지막으로 다점 게이트 시 굽기, 폭, 두께의 조정에 의해 충전 밸런스가 용이 해야 한다.

Table 2 Viscosity of TPU

Temperature(℃)	Coefficient of viscosity(/s)	Viscosity(Pa · s)
220	1000	2506.6
240	100	79.35
240	1000	43.56
240	10000	18.06
260	100	0.67
260	1000	0.82

Table 3 The relationship between pressure, volume and temperature of TPU

Temperature(℃)	Pressure(MPa)	Specific volume(cu.cm/g)
25	0	0.820017
193	0	0.912707
258	0	0.964116
300	0	1.005963
25	160	0.792135
249	160	0.879918
320	160	0.936274
1500	0	-16384

이러한 일반적인 사항을 고려하여 사출 성형 해석 프로그램인 MOLDFLOW 를 이용하여 Shank 의 게이트 수와 위치, 런너의 위치와 직경 등을 변화시키면서 각각의 형상에서 시뮬레이션을 하였다. 사출 시 수지가 동시에 충전되는 것을 목적으로 하여 수지 유동 형상을 검토하였으며, 10 가지 게이트 종류에 따라 시뮬레이션 하였다. 그 결과 게이트 길이를 길게 하는 방법으로 shank 의 안쪽 두 곳에 게이트를 설치한 방법이 다른 9 가지 방법보다 유동 균형이 우수하고 동시 충전 역

시 가장 양호한 것으로 나타났다.

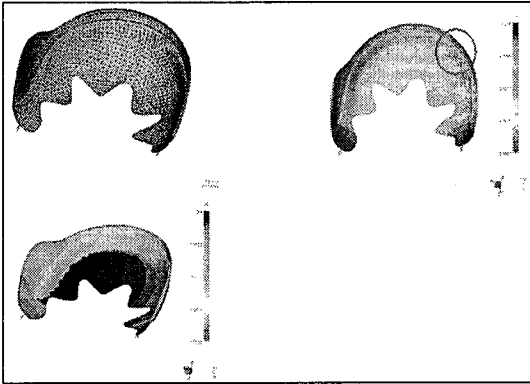


Fig. 2 Flow contour before improvement of shank

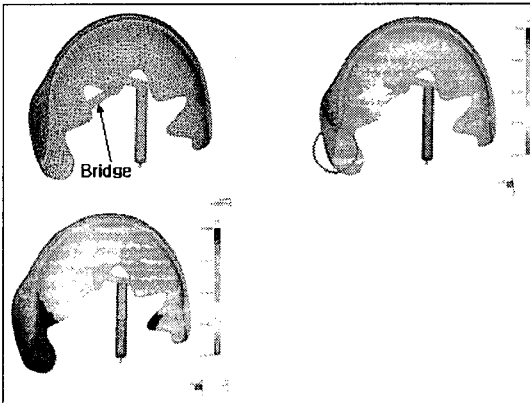


Fig. 3 Flow contour after improvement of shank

Fig. 2 은 게이트를 개선하기 전의 유동 형상이며, 이 때의 충전 상태는 유동 상태가 매우 불균일하다. 특히, 우측 제품의 하측 부위는 수지물량의 공급하지 못하고 있다. 제품 하측 부위의 1mm 의 얇은 부분에서 유동 정체가 심하게 발생하고 있으며 사출 시간 설정에 따라 이 부분에서 미 성형이 발생할 우려가 있다. Fig. 3 은 게이트를 개선한 후의 유동 형상이며, 개선하기 전 보다는 유동 형상이 훨씬 우수함을 볼 수 있다.

3. 실험계획법

3.1 다구찌법

다구찌 기법은 종래에 제어 불가능한 환경 조건이나 제어하기 어려운 조건 등의 원인들이 테

이터에 주는 영향의 정도를 평가하기 위한 것으로 객관적이고 계량적으로 평가할 수 있는 방법이며 결과 값들의 산포를 분석하여 인자의 최적 조건들을 찾아가는 강건 설계를 주로 사용한다.

본 연구에서 실험의 목적 값으로 사출 시간으로 정하였으면 사출 시간에 영향을 미치는 인자들은 게이트의 높이, 금형 온도, 용융 수지 온도, 보압, 보압 시간을 선택하였다. 선택된 제어 인자들은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형 범위 한계 내에서 Table 4 와 같이 각각 3 수준으로 정하였다.

Table 4 Control factors and level

Control factors	Level		
	1	2	3
Width of gate [A]	4 mm	5 mm	6 mm
Temperature of mold [B]	45°C	50°C	55°C
Temperature of resin [C]	220°C	230°C	240°C
Dwelling [D]	44 MPa	45MPa	46 MPa
Dwelling time [E]	1 sec.	2 sec.	3 sec.

Table 4 를 이용하여 직교배열표를 Table 5 와 같이 작성하여 상용 소프트웨어인 MOLDFLOW 를 이용하여 시뮬레이션 하였고 shank 사출 성형 목적 값을 사출 시간으로 하므로 목적 값이 작을수록 제품의 생산에 유리하다. 따라서 망소특성에 해당되며, SN 비는 수식 (1)에 의해서 계산된다.

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

Table 5 Orthogonal arrays and S/N ratios

Num	Control factors & Levels								S/N ratios
	e	e	A	B	C	e	D	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	-12.038
2	1	1	2	2	2	2	2	2	-11.9202
3	1	1	3	3	3	3	3	3	-12.0263
4	1	2	1	1	2	2	3	3	-12.0314

5	1	2	2	2	3	3	1	1	-12.0524
6	1	2	3	3	1	1	2	2	-11.8082
7	1	3	1	2	1	3	2	3	-12.0354
8	1	3	2	3	2	1	3	1	-11.9905
9	1	3	3	1	3	2	1	2	-12.337
10	2	1	1	3	3	2	2	1	-12.0777
11	2	1	2	1	1	3	3	2	-11.6536
12	2	1	3	2	2	1	1	3	-11.9085
13	2	2	1	2	3	1	3	2	-11.9392
14	2	2	2	3	1	2	1	3	-12.0432
15	2	2	3	1	2	3	2	1	-12.0342
16	2	3	1	3	2	3	1	2	-11.9874
17	2	3	2	1	3	1	2	3	-11.9303
18	2	3	3	2	1	2	3	1	-11.7523

각 시뮬레이션에서 SN 비 계산 결과값 들은 Table 5 와 같고 분산 분석을 이용하여 Fig. 4 와 같이 S/N 비의 인자별 유효성을 나타내고 있다. 제어 인자의 기여율(Rho)를 보면 수지 온도(C)가 shank 사출 성형품의 사출 시간에 큰 영향력을 주며 총 변동량의 약 41%를 차지하고 있다.

$$\begin{aligned}
 \widehat{SN} &= \widehat{\mu} + \widehat{a}_2 + \widehat{b}_2 + \widehat{c}_1 + \widehat{d}_3 + \widehat{e}_2 \\
 &= -11.98 + 0.044 + 0.041 + 0.087 \\
 &\quad + 0.085 + 0.035 \\
 &= -11.598
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

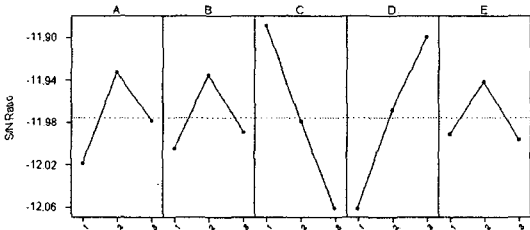


Fig. 4 Main effects plots for S/N ratios

보압(D), 게이트 너비(A), 금형 온도(B), 보압 시간(E) 순으로 영향력이 있음을 알 수 있다. SN 비에 유의한 영향을 주는 제어 인자의 최적 수준은 SN 비를 최대를 하는 수준이다. 따라서 shank의 사출성형에 관한 최적 공정 조건은 A2, B2, C1, D3,

E3 임을 알 수 있다. 이 최적 조건에서의 SN 비에 대한 예측 값은 수식 (2)에 의해 -11.598 이다.

4. 결론

본 연구는 TPU 재료로 된 신발용 사출품의 하 나인 shank 를 제작하고자 실험계획법에 의해 시뮬레이션을 수행하였다.

(1) 상용 소프트웨어를 강건설계기법인 다구찌 기법을 함께 이용하여 신발용 사출품 shank 에 대한 사출성형 공정의 최적 조건을 도출할 수 있었다.

(2) 충전 해석을 수행하여 유동 형상이 보다 우수한 게이트를 선택하였다.

(3) 충전 해석을 수행하여 유동 형상이 보다 우수한 게이트를 선택하였다.

(4) 시뮬레이션에 의한 인자들의 사출시간에 대한 기여율은 수지온도가 41%로 다른 인자 보다 큰 영향을 나타내었다.

(5) 각 인자들의 최적 조건은 게이트 너비 4 mm, 금형 온도 50°C, 수지 온도 220°C, 보압 46 MPa, 보압 시간 3 초로 나타났다.

후 기

이 연구는 산업자원부·한국산업기술평가원 및 부산광역시가 지원하는 동의대학교 전자세라믹스 센터(RRC·TIC)와 BK21 지역선도형 기계산업인력 육성사업단의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] I. Pandelidis, Q. Zou., 1990, Optimization of Injection Molding Design, Part II: Molding Condition Optimization, in Polymer Engineering and Science. 30(15).

[2] 김병곤, 민병현, 2002, 블로우팬의 사출성형공정에 관한 연구, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 316~319.

[3] 김병곤, 민병현, 2001, Bobbin 성형품의 변형에 관한 연구, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 811~814.

[4] 모정혁, 김현진, 류민형, 성형조건과 수지의 종류에 따른 사출 성형품의 성형 수축, 한국소성가공학회 03 춘계학술대회논문집, pp. 363-370.