

MoldFlow를 이용한 신발 사출금형 러너부 형상 최적화

류미라*(동아대 대학원 기계공학과), 서영백, 문병주(부산인력개발원), 박흥식(동아대학교)

Shoemoulds Runner Shape Optimization using MoldFlow

M. R. Lyu(Mech. Eng. Dept., DAU), Y. B. Seo, B. J. Mun(Busan Human Resource Development Institute),
H. S. Park(DAU)

ABSTRACT

Injection mold is a manufacturing process used to produce the various parts of complicated shape at a low cost. Many factors such as, section shape, resin and mold temperature, filling time, etc. affect on the quality of injection part during injection molding process. The present study, was carried out the shrinkage analysis of shoes injection mold to optimize runner shape based on filling and packing pressure with MoldFlow. Taguchi design and analysis of variance are used to optimize injection mold design.

Key Words : Injection Molded Parts(사출 성형품), Shoemould(신발 금형), MoldFlow(몰드플로우), Shrinkage(수축), DOE(실험 계획법), Taguchi design(다구찌 방법), Analysis of variance(분산분석)

1. 서론

국내 신발 산업은 1920년대 이후 풍부한 노동력을 바탕으로 성장해 오면서 1980년 후반 전체 생산량이 5억 켤레에 이를 정도로 견고한 생산기반을 구축해 왔다. 하지만, 노동 인건비 상승, 3D 업종 기피현상으로 인해 신발 산업은 급속히 침체하였다. 이런 현실 속에서 국내 신발 제조 업체들은 적극적인 제품 개발을 통한 고급화와 자동화를 통한 생산성 향상을 꾀하고 있다. 이 중 E.V.A Midsole은 가볍고 충격흡수성 등과 같은 특성이 매우 우수하여 신발의 Midsole 부품으로 널리 사용되고 있지만, 생산성의 한계에 직면하고 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 여러 공정을 거치던 것을 하나의 자동화된 공정에 의해 생산되는 방식으로 변화시켜 생산성의 증대를 기하고자 하는 것을 목적으로 하는 일체형 샌들을 개발하였고, 신발 금형을 최적화하기 위해 CAE(Computer Aided Engineering)기법을 활용한 도구로 MoldFlow를 사용하였다.

MoldFlow는 사용 시 시행착오를 줄임으로서 짧은 시간에 금형을 제작할 수 있게 되었으며, 이를

통하여 많은 비용을 절감할 수 있게 되었다. 또, MoldFlow를 사용할 때 설계자가 매 해석 후 마다 결과를 분석하고, 새로운 안을 도출하여 다시 해석을 수행하는 식으로 최적화를 수행하게 된다. 이러한 과정을 컴퓨터를 이용하여 최적화 프로그램을 수행하도록 하면, 설계자의 일이 줄어들면서, 더 좋은 결과를 빠른 시간 내에 얻을 수 있게 된다⁽³⁾.

사출 성형품은 비선형적으로 반응하므로 많은 실험 횟수가 필요하다. 따라서 선정된 독립변수들에 대한 분산분석을 통해 보다 유익한 인자를 선별하고, 선별된 인자들을 다구찌 방법에 의한 직교매열표를 사용하게 되면, 비선형을 고려함과 동시에 실험 횟수를 줄이고 최종적으로 동적인 다구찌 방법을 통하여 사출에 필요한 최적의 인자를 도출할 수 있다⁽⁴⁾.

본 논문에서는 신발 사출금형의 러너부 형상을 최적화 하기 위해 MoldFlow의 충전, 보압을 바탕으로 신발 금형의 수축해석을 수행하였고, 수축을 최소로 줄이는 공정 조건을 도출하기 위해 다구찌 방법과 분산분석법을 사용하여 금형 설계에 있어서 최적화를 도출한다.

2. 해석모델

본 연구에 사용되는 모델은 일체형 샌들 금형으로 제품에 대한 수지 유동을 나타내기 위해 일체형 샌들 형상과 러너부, 게이트만으로 해석을 수행하였다. Fig. 1은 Pro-Engineer 프로그램을 사용하여 3차원으로 모델링 한 것이다. 이 모델을 바탕으로 충전, 보압, 냉각 단계를 거쳐 수축에 대한 해석을 수행하였다.

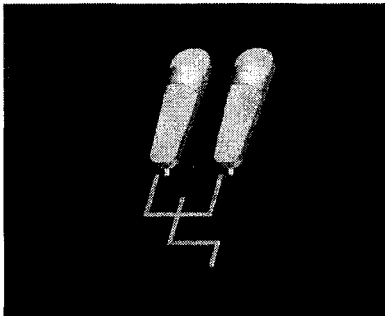


Fig. 1 Solid modeling of sandal

3. 시뮬레이션 해석 방법

Table 1 Control factors and level

Control factors	Level		
	1	2	3
Section shape	Rectangular	U-shape	Circle
Resin temp.	27°C	32°C	37°C
Mold temp.	180°C	200°C	220°C
Filling time	1sec	3sec	5sec
Packing press.	70Mpa	80Mpa	90Mpa
Packing time	7sec	9sec	11sec

각각의 성형 조건은 MoldFlow에서의 입력 조건을 근거로 러너의 형상이 직각인 형상과 곡률 반경 $\phi 10$ 을 잡음 인자로 하여 단면형상, 수지 온도, 금형 온도, 사출 시간, 보압, 보압 시간을 선정하였다. 입력 인자는 사용된 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 설정하였다. 본 연구에서 사용된 수지 소재는 E.V.A.(Ethylene Vinly Acetate)로 강인성과 가소성, 내스트레스 크래킹성, 내충격성이 우수한 소재이다.

본 해석에서 다구찌의 실험계획법에 의한 6인자 3수준을 포함하는 직교 배열표를 이용하였다. $L_{27}(3^6)$ 직교 배열표는 본 시뮬레이션의 목적에 부합되며 상세한 실험조건은 Table 1과 같고, 실험조건은 총 $27 \times 2 = 54$ 가지이다.

4. 실험계획법에 의한 최적화

4.1. 분산분석법

분산분석법은 특성치의 산포를 제곱합으로 나타내고 이 제곱합을 실험과 관련된 요인마다의 제곱합으로 분해하여 오차에 비해 특히 큰 영향을 주는 요인이 무엇인가를 찾아내는 분석 방법이다.

Table2는 직교 배열표와 결과 수축률을 나타낸 것이고, Table3은 분산분석 결과를 나타낸 것인데, P값이 0.05보다 작은 값이 수지 온도, 보압이 있으므로 수축률에 큰 영향을 미치고 있다. Fig. 3은 잔차에 따른 정규성 분포를 나타낸 그래프로서 잔차의 분포상태가 일정한 정규성을 띄고 있는 것을 알 수 있다.

Table 2 Arrange table and Shrinking rate

#	A	B	C	D	E	F	Shrinking rate(0mm)%	Shrinking rate(10mm)%
1	1	1	1	1	1	1	6.229	6.456
2	2	2	2	2	2	2	6.346	6.386
3	3	3	3	3	3	3	6.317	6.357
4	1	1	1	2	2	3	6.107	6.24
5	2	2	2	3	3	1	6.494	6.524
6	3	3	3	1	1	2	6.168	6.22
7	1	1	1	3	3	2	6.581	6.379
8	2	2	2	1	1	3	6.452	6.494
9	3	3	3	2	2	1	6.107	6.144
10	1	2	3	2	3	2	6.454	6.624
11	2	3	1	3	1	3	6.511	6.127
12	3	1	2	1	2	1	6.39	6.426
13	1	2	3	3	1	1	6.555	6.151
14	2	3	1	1	2	2	6.138	6.184
15	3	1	2	2	3	3	6.237	6.269
16	1	2	3	1	2	3	6.131	6.107
17	2	3	1	2	3	1	6.479	6.513
18	3	1	2	3	1	2	6.308	6.332
19	1	3	2	3	2	3	6.279	6.373
20	2	1	3	1	3	1	6.350	6.386
21	3	2	1	2	1	2	6.312	6.361
22	1	3	2	1	3	2	6.549	6.44
23	2	1	3	2	1	3	6.588	6.139
24	3	2	1	3	2	1	6.413	6.448
25	1	3	2	2	1	1	6.154	6.227
26	2	1	3	3	2	2	6.264	6.286
27	3	2	1	1	3	3	6.492	6.531

Table 3. Analysis of variance table

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Runner shape	1	0.00402	0.00402	0.00402	0.23	0.631
Section shape	2	0.02908	0.02908	0.01454	0.85	0.436
Resin temp.	2	0.12582	0.12582	0.06291	3.66	0.035
Mold temp.	2	0.04919	0.04919	0.02459	1.43	0.251
Filling time	2	0.01906	0.01906	0.00953	0.56	0.578
Packing press.	2	0.30434	0.30434	0.15217	8.86	0.001
Packing time	2	0.01501	0.01501	0.00751	0.44	0.649
Error	40	0.68678	0.68678	0.1717		
Total	53	1.23329				

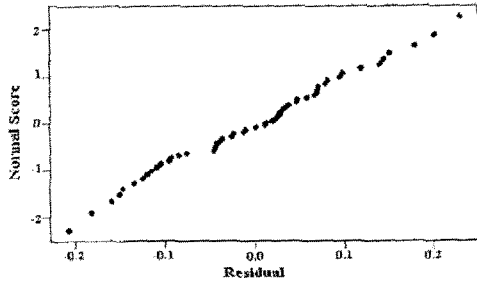


Fig.3 Normal probability plot of the residuals

4.2. 다구찌 방법

각 인자의 수준은 실제 입력인자의 실험조건을 변환하여 3수준으로 하였으며 시뮬레이션 수행은 각 조건에서 한 번만 수행하였다. 잡음인자에 강인한 설계를 하기 위하여 신호 대 잡음비(SN Ratio)를 분석하여 이때 각 인자의 수준에 따른 S/N비 값이 클수록 최적조건임을 알 수 있다. 본 연구에서는 특성치인 수축률을 최소화하기 위하여 망소특성으로 분석하였다. S/N비는 식(1)에 의해서 계산된 것이고, Fig. 4는 Minitab를 사용하여 다구찌 방법을 적용시킨 결과 S/N비를 나타낸 것으로 기울기가 클수록 수축률에 많은 영향을 미치고 있다. 가장 많은 영향을 미치는 요인은 보압과 수지 온도인 것을 알 수 있으며 반면에 러너 형상은 결과에 별 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 최적조건은 곡률 반경 $\phi 10$, 단면형상 3수준, 수지 온도 3수준, 금형 온도3수준, 사

출 시간 2수준, 보압 2수준, 보압 시간 3수준에서 수축률을 최소화 할 수 있는 최적조건임을 알 수 있다.

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

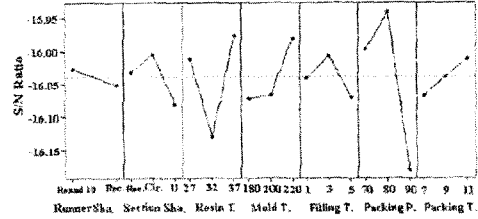


Fig. 4 SN ratio smaller characteristics

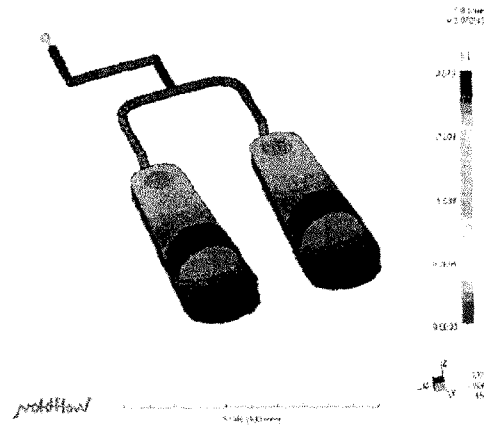


Fig. 5 The best condition fill time

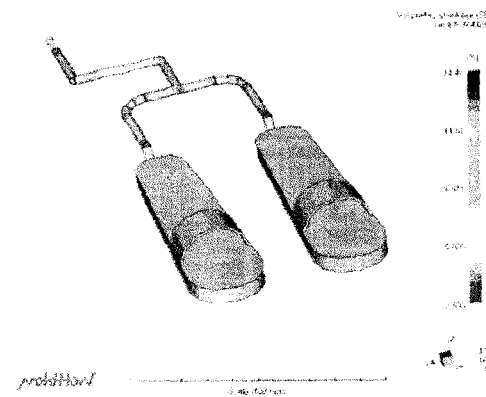


Fig. 6 The best condition volumetric shrinkage

Fig. 5는 다구찌 방법 결과에 의해서 최적조건에서 모의 실험 한 결과 사출 시간을 나타내고 있으며 Fig. 6은 수축률을 나타내고 있다. 최적설계조건에 의한 수축률은 6.119%로 나타났다. 각 인자의 수준에 따라 수축률은 최소 6.107%를 나타내고 있으나 이는 다른 설계인자의 영향과 인자의 수준변화의 최적화를 통하여 보다 나은 최적설계조건을 설정할 수 있으리라 생각되어진다.

5. 결론

본 연구는 일체형 샌달 금형의 수축을 최소화하기 위한 최적 러너 형상을 결정하기 위하여 MoldFlow를 사용하여 유동해석을 수행하고, Taguchi와 분산분석법을 사용하여 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 일체형 신발사출 금형의 수축률에 가장 많은 영향을 미치는 설계인자는 보압과 수지온도이다.
- (2) 최소의 금형 수축률을 위한 최적의 설계조건은 보압 80Mpa, 수지온도 37°, 금형 온도 220°, 이며, 단면형상은 원형, 충전시간 3초, 보압 시간 11초이다.
- (3) 사출금형의 러너의 형상은 큰 차이를 나타내지 않지만 직각보다 곡률 반경 $\phi 10$ 으로 한 것이 수축률이 0.27% 향상되었다.
- (4) 다구찌 기법을 활용한 사출금형의 러너 형상 최적화를 통하여 최적조건에 의해 해석한 수축률은 6.119%를 나타내었으며, 평균수축률에 비하여 3.5% 감소되었다.

참고문헌

1. 이상보, "알기 쉬운 다구찌기법," 상조사, 제2권, 2001.
2. 박성현, "현대실험계획법," 민영사, 제 13권, 2002.
3. 권태현, 박성진, 윤경환, "사출성형 CAE설계지침." 문운당, 제2권, 2002.
4. 김병곤, 민병현, "Bobbin 성형품의 변형에 관한 연구," 한국정밀공학회, 춘계학술대회 pp.811~814, 2001.
5. 김병곤, 민병현, "블로우팬의 사출성형공정에 관한 연구," 한국정밀공학회, 추계학술대회 pp.316~319, 2002.
6. J. L. Wu, S. J. Chen, and R. Malloy, "Development of an On-Line Cavity Pressure-Based Export System for Injection Molding Process," Antec 1991
7. C. Y. Zhang, J. Leonard and R. g. Speight, "Adaptive Controller Performance Used for Ram Velocity Control during Filling Phase,"

Byeong-Hyeon Min, "An Analysis of Shrinkage of Injection Molded part Based on the GMDH Algorithm," J. of injection Molding Tech., Dec., Vol1, No. 4, 1997

8. Suzanne L. B. Woll, Douglas J. Cooper and Blair V. Souder, "Online Pattern-Based Part Quality monitoring of the Injection Molding Process," Polymer Eng. & Sci., Mid-jun, Vol. 36, No. 11, 1996.
9. V. Leo and Ch. Cuvelliez, "The Effect of the Parking Parameters, Gate Geometry, And Mold Elasticity on the Final Dimensions of a Molded Part," Polymer Eng. & Sci., Mid-August, Vol. 36, No. 15, 1996.