

블로우팬의 사출성형공정에 관한 연구

김병곤*(동의대 대학원 기계공학과), 민병현(동의대 기계공학과)

A Study on Injection Molding process for Manufacturing about Blower-fan

B. K. Kim(Mech. Eng. Dept., DEU), B. H. Min(Mech. Eng. , DEU)

ABSTRACT

Injection mold is a manufacturing process used to produce parts of complicated shape at a low cost. Many factors affect the quality of injection molded part during injection molding process. A study on the optimization of injection mold is progressed by using a simulation software like Moldflow. Filling, packing and cooling phases of injection molding processes are analyzed according to the mold design considering the shrinkage of molded part, the degree of filling rate and the wearing of a mold. Taguchi method is applied to analyze the significance of processing parameters and the dynamic characteristics according to the variation of processing parameters. From the results, the mold temperature and packing pressure influenced strongly the shrinkage of injection molded part.

Key Words : Shrinkage(수축), Injection Molded Parts(사출 성형품), Filling Analysis(충전해석), Packing Analysis(보압해석), DOE(실험계획법)

1. 서론

플라스틱은 세계적으로 가장 많이 활용하고 있는 산업의 하나로 약 1/3 정도가 사출성형법에 의해 생산되어지고 있다. 사출성형공정은 저렴한 비용으로 복잡하고 다양한 플라스틱 제품들을 생산 할 수 있으며 가볍고 강도가 매우 높은 고분자 재료의 개발과 함께 전기, 전자 제품은 물론이고 정밀제품의 생산에 이르기까지 사출성형의 중요성은 더욱 가속화되고 있다. 기술의 발전과 제품의 고정밀화에 따라 사출성형에도 μ -meter 단위의 정밀도를 요하는 제품들이 나오면서 치수 정밀도가 강하게 요구되고 있다. 이러한 사출성형공정 중에 강건한 제품의 품질을 얻기 위해서는 사출성형 시 많은 변수들이 제품에 작용하며 이때 사출기의 성능, 사출금형,

재료의 특성, 사출성형 공정조건 등이 복합적으로 이루어지며 사출 된다.

특히 사출성형을 하고 난 뒤 제품에서 오는 수축은 제품에 치명적인 결함을 줄뿐만 아니라 하나의 부품에서 완제품으로 결합되었을 때는 전체 제품에도 나쁜 영향을 미칠 수가 있다. 일반 플라스틱 재료에 대한 사출성형공정, 성형품의 잔류응력, 수축에 관한 연구는 오래 전부터 활발히 진행되어 오고 있다. 기존의 자동차 에어컨용 송풍팬은 구동축의 샤프트를 기준으로 상하좌우가 성형품의 수축이나 변형에 따라 불균일한 모양 및 무게 편차가 심하여 자동차가 운행 중에 다량의 소음을 발생시키므로 소음방지를 위하여 송풍팬의 정밀한 치수 및 형상이 요구된다. 송풍팬의 복잡한 형상 및 두께 편차

를 줄이기 위해 1 캐비티로 구성된 사출금형을 이용하여 제품을 생산하려하고 있으며 사출기에 의해 성형조건을 조정할 수 있는 인자들 중, 문현조사를 통해 사출 성형품에 크게 영향을 끼치는 공정 변수를 독립변수로 결정하여 사출속도, 보압, 보압시간, 냉각시간, 수지온도 등을 고려할 예정이다.

사출성형공정을 위한 최적화 모델링은 독립변수인 공정조건과 종속변수인 품질인자 사이의 관계를 도출하기 위한 모델링이 필요하며, 고려할 수 있는 모델로는 물리적 현상에 근거한 수학적 모델, 실험데이터로부터 설정된 실험적 모델, 현장에서의 운용 경험에 근거한 경험적 모델 등을 들 수 있는데, 본 연구에서는 실험적 모델을 사용하며 적용 방법은 회귀 모델, 신경회로망 모델 중 통계적인 방법인 회귀 모델을 선택한다.

사출성형품은 공정조건에 비선형적으로 반응하므로 각 공정조건의 고차항이나 상호 교차항도 고려되어야 한다. 이러한 회귀 모델을 도출하기 위해서는 많은 실험 횟수가 필요하므로 선정된 독립변수들에 대한 분산분석을 통해 보다 유의한 인자를 선별하고, 선별된 인자들을 다구찌 방법에 의한 직교배열표를 사용 비선형을 고려하면서도 실험 횟수를 줄이고 최종적으로 동적인 다구찌방법을 통하여 사출에 필요한 최적의 인자를 도출한다.

본 논문에서는 사출금형설계를 보다 최적화하기 위해서 CAE(computer aided engineering)기법을 활용하였고 시뮬레이션도구로는 Moldflow 상용 소프트웨어의 충전, 보압, 올 바탕으로 사출성형품의 수축해석을 수행하였고, 사출성형공정상의 수축을 최소화하기 위해서 다구찌 실험계획법을 사용하여 분석하였고, 수축에 미치는 주요한 인자들 중 충전공정과 보압공정이 수축에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

검토될 성형품은 자동차 송풍팬으로 정밀 사출성형공정을 통하여 제조되며 송풍팬의 전체적 구조는 동심원으로 이루어져 있으며 송풍팬은 기능상 오랫동안 회전하고 있기 때문에 몸통 부는 적정 강도가 유지되어야 하며 장기적인 사용에 따른 송풍팬의 아래 부분과 윗 부분 및 날개부위와 구동축의 고정부위는 수축에 견딜 수 있는 신뢰성을 가져야 한다.

송풍팬을 사출성형하는데 있어서 부품의 경량화, 경비 절감 및 공정 단축에 기여할 수 있는 인자들을 채택하며, 수축을 최소로 줄이는 공정조건을 도출하기 위해 실험계획법을 이용하여 얻고자한다.

2. 해석모델

본 연구에서는 자동차 송풍팬으로 정밀 사출성형공정을 통하여 제조되며 송풍팬의 전체적 구조는 동심원으로 이루어져 있으며 송풍팬은 계속 회전하고 있기 때문에 몸통 부는 적정 강도가 유지되어야 하며 장기적인 사용에 따른 송풍팬의 아래 부분과 윗 부분은 변형을 견딜 수 있는 신뢰성을 가져야 한다. 실제 실험에 앞서 여기서는 시뮬레이션 도구인 Moldflow 소프트웨어를 사용하여 모의실험을 수행하였다.

지금까지 송풍팬은 요구되는 강성 및 내구성 등 여러 성질을 만족시키기 위해 많은 연구개발이 진행되어왔으나, 단일공정에 의해 이루어지는 플라스틱 사출에 의한 성형시에 공정단축, 비용절감, 제품 경량화 등에 상당한 효과를 가져올 수 있다. Fig. 1은 송풍팬을 모델링한 것이다.

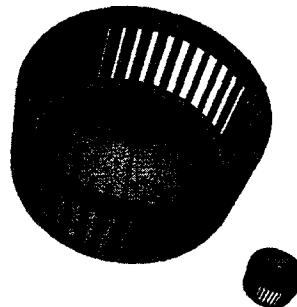


Fig. 1 Solid modeling of a blower fan

3. 시뮬레이션 해석 방법

Fig. 1에서 나타난 이 제품을 토대로 성형상에서 제품의 수축을 사출성형 시뮬레이션 도구인 Moldflow를 사용하여 해석하였으며, 송풍팬의 충전, 보압, 냉각공정 해석을 위하여 성형품 모델링이 3차원으로 행해졌고 그 모델링이 Fig. 1에 보여졌다. 이 모델링을 바탕으로 충전, 보압, 냉각 단계를 거쳐 수축에 대한 해석을 수행하였다.

각각의 성형조건은 Moldflow에서의 입력조건을 근거로 사출성형시 가장 일반적인 입력조건으로 금형온도, 수지온도, 충전시간, 보압, 보압시간, 냉각시간을 설정하였다. 입력인자는 사용된 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 설정하였으며, 선정된 6개 공정변수에 대하여

Moldflow 소프트웨어에서 사용된 실제 값이 수준이 0 및 1인 2 수준의 경우에 대하여 Table 1에 나타나 있으며 Table 2는 제어인자를 나타내고 있다. 이때 6개 인자간의 교호작용은 없다고 가정하였다. 제어인자를 배치하기 위한 내측 적교표는 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$, 잡음인자를 배치하기 위한 외측 적교표는 $L_8(2^7)$ 를 선정하였으며, 실험조건은 총 $18 \times 8 = 144$ 가지다.

Table 1 Control factors and level

Control factors	Level		
	1	2	3
Mold temp.(A)	60°C	65°C	70°C
Melt temp.(B)	285°C	290°C	295°C
Filling time(C)	2 sec	2.5 sec	3 sec
Packing pressure(D)	148Mpa	149Mpa	150Mpa
Packing time(E)	4 sec	7 sec	10 sec
Cooling time(F)	8 sec	15 sec	22 sec

Table 2 Noise factors and level

Noise factors	Level	
	1	2
A'	-4°C	+4°C
B'	-3°C	+3°C
C'	-0.4초	+0.4초
D'	-1Mpa	+1Mpa
E'	-2초	+2초
F'	-4초	+4초

4. 다구찌 동특성법에 의한 성형공정 최적화

본 논문은 품질특성치가 수축률이므로 방소특성에 해당되며 SN비는 아래의 공식에 의해서 계산된다.

$$SN_i = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \right\}$$

예를 들어, 내측적교표 1행의 SN비값 계산은 다음과 같다.

$$SN_{10} = -10 \log \left\{ \frac{1}{32} (1.709^2 + \dots + 1.753^2) \right\} = -4.7608$$

SN비에 대한 수준별 평균값과 기여율을 구한 결과는 Table 3와 같으며, 기여율에 의해 기여율이 낮은 인자에 대해 폴링(Pooling)을 한 후의 분산분석 결과가 Table 4에 나타나는데 Table 4의 분산분석 표에서 제어인자의 기여율을 고려하면 금형온도(A)가 사출성형품의 수축률에 영향을 주며 총 변동량의 39%를 차지하고 있다. 그 다음이 보압(D)로 나타나고 있다. 한편 이에 대한 요인 효과도는 Fig.

2와 같다.

Table 3 Analysis of variance of SN ratios

Factors	S	DOF	V	Contribution rate
A	0.5661	2	0.2830	39.46
B	0.1237	2	0.0619	8.62
C	0.0456	2	0.0228	3.17
D	0.3745	2	0.1873	26.10
E	0.0683	2	0.0341	4.76
F	0.0768	2	0.0394	5.49
e	0.1776	5	0.0355	12.37
Total	1.4346	17		

Table 4 Analysis of variance after pooling

Factors	S	DOF	V	F ₀	Contribution rate
A	0.5661	2	0.2830	0.4901	39.46
D	0.3745	2	0.1873	0.2985	26.10
e	0.4940	13	0.0380	0.6460	34.43
Total	1.4346	17			

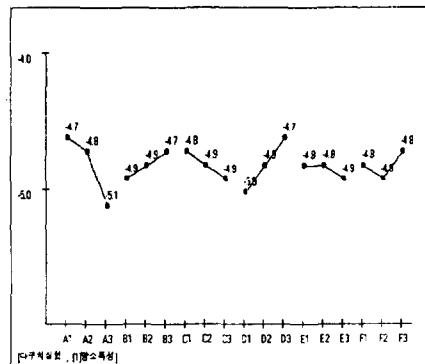


Fig. 2 SN ratios according to the combination of experimental conditions

SN비에 유의한 영향을 주는 제어인자의 최적수준은 SN비를 최대로 하는 수준이다. 따라서 송풍팬사출성형에서 최적 공정 조건은 Table 5와 Fig. 2로부터 A1, B3, C1, D3, E1임을 알 수 있다. 이 최적조건에서의 SN비에 대한 예측값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} SN &= \hat{\mu} + \hat{a}_1 + \hat{b}_3 + \hat{c}_1 + \hat{d}_3 + \hat{e}_1 + \hat{f}_1 \\ &= -4.8570 + 0.1624 + 0.1134 + 0.0678 \\ &\quad + 0.1747 + 0.0549 + 0.0620 \\ &= -4.2218 \end{aligned}$$

Fig. 3은 실험계획법으로부터 얻은 최적조건에서 모의실험결과, 수축률은 최고 9.44%에서 최저 1.575%의 수축률을 보여주고 있다. 그러나 제품의 수축률을 살펴보면 최고 3.32%에서 최저 1.575%의

수축률을 나타내고 있다.

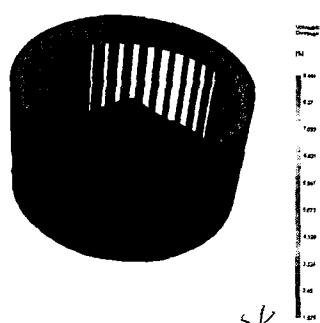


Fig. 3 Shrinkage of molded part

Fig. 4는 본 연구의 결과를 이용하여 사출성형한 블로우팬의 시제품이다.

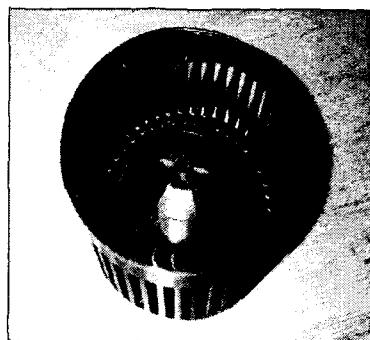


Fig. 4 Injection molded part of a blower fan

5. 결 론

본 연구는 송풍팬을 사출성형품으로 생산하였을 때 생기는 수축을 줄이고자 모의 실험이 이루어졌으며 결과를 정리하여 보면 아래와 같다.

- (1) 상용 소프트웨어인 Moldflow와 강건설계기법인 다구치방법을 함께 이용하여 플라스틱 송풍팬에 대한 사출성형 공정의 최적 조건을 도출하였다.
- (2) 엔지니어링 플라스틱 수지인 나일론66의 성형 수축율, 배향성, 수지 충전의 정밀도, 금형의 마모 및 부식 등을 고려한 금형의 캐비티와 코아 설계를 위해 모의실험을 이용하여 유동(충전 및 보압) 및 냉각 공정 해석이 수행되었으며, 인자의 유의성분석과 최적설계조건 도출을 위하여 다구체의 동적인 실험계획법이 적용되었다.
- (4) 모의실험에 의한 인자들의 수축률에 대한 기

여율은 금형온도가 다른 인자보다 큰 39%의 영향을 차지하고 있었다.

- (5) 모의실험에 의한 각 인자들의 최적조건은 금형온도 60°C, 수지온도 295°C, 충전시간 2초, 보압 150MPa, 보압시간 8초로 나타났다.

참고문헌

1. 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
2. C. Liu and L. T. Manzione, "Process Studies in Precision Injection Molding : Process Parameters and Precision," Polymer Eng. & Sci., Mid-january, Vol. 36, No. 1, 1996
3. C. Liu and L. T. Manzione, "Process Studies in Precision Injection Molding. II: Morphology and Precision in Liquid Crystal Polymers," Polymer Eng. & Sci., Mid-january, Vol. 36, No. 1, 1996
4. V. Leo and Ch. Cuveliez, "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)
5. 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.
6. 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
7. 홍명웅, 사출성형기술 I, 기전연구사, pp. 71-94, 1990
8. 염봉진, 고선우, 김성준, 제품 및 공정설계를 위한 다구체 방법, 경영학, 7권, 2호, pp. 3-21, 1990
9. Spencer, R.S. and Gilmore, G.D., "Equation of State for High Polymers", Journal of Applied Physics, Vol.21, pp. 523-526, 1950.