

CAE를 이용한 보빈 성형품의 사출성형 최적화

Optimization of Injection Molding of Bobbin Part based on CAE

권윤숙 · 최윤식 · 김병곤 · 민병현 · 정영득

Y. S. Kwon, Y. S. Choi, B. G. Kim, B. H. Min, Y. D. Jeong

Key Words : Injection Molding(사출 성형), Design of Experiment(실험 계획법), Orthogonal Table(직교배열표), SN 비(Signal to Noise Ratio)

Abstract : Design of experiment was applied to analyze the shrinkage characteristics of the bobbin molded by injection molding. Among lots of design and processing conditions, the thickness of a bobbin and cooling conditions of a mold were considered. The temperature difference between top and bottom parts of the bobbin was considered as the objective to minimize the shrinkage of a bobbin. Optimal thickness of a bobbin was 2.0mm at the part of body and 1.5mm at the part of wing, respectively. Optimal cooling conditions such as cooling time and coolant inlet temperature were 12 second and 12°C, respectively.

1. 서 론

사출성형공정은 많이 사용되고 있는 제조방법의 하나로 플라스틱 제품의 약 1/3 정도가 사출성형 방법에 의해 생산되어 지고 있다. 사출성형 공정은 저렴한 비용으로 복잡하고 다양한 플라스틱 제품들을 생산 할 수 있으며, 가볍고 강도가 매우 높은 고분자 재료의 개발과 더불어, 전기·전자 제품은 물론이고 자동차, 항공기 등 정밀제품의 생산에 이르기까지 응용 분야가 확대되고 있다.

사출성형 공정은 충전공정, 보압공정, 냉각공정 및 취출공정으로 구성되며, 이러한 공정을 통해 용융된 수지가 유동 및 냉각과정을 반복적으로 거치게 된다¹⁾. 사출성형품을 제조하는데 있어서 주변 여건 변화에 강건한 제품을 얻기 위해서는 사출성형품의 생산에 많은 영향을 미치는 사출기의 성능, 사출금형, 재료의 특성 및 사출성형 공정 조건등을 분석 할 필요가 있다. 특히 사출성형을 하고 난 뒤 변형은 제품에 치명적인 결함을 줄뿐만 아니라 완제품으로 결합되었을 때는 전체 제품에 나쁜 영향

을 미칠 수가 있다. 일반 플라스틱 재료에 대한 사출성형 공정, 성형품의 잔류응력, 수축 및 휨에 관한 연구는 오래 전부터 활발히 진행되어 오고 있다²⁻⁷⁾.

본 논문에서 검토될 성형품은 와이어 등을 감는 보빈(Bobbin) 으로 사출성형 공정을 통하여 제조되며 보빈의 몸통 부는 선을 감아야 하기 때문에 적정 강도를 유지해야 하고, 선을 감고 푸는데 정밀도를 부여하기 위해서는 몸통부 상하의 변형이 최소화되어야 한다. 성형품의 변형은 수축률에 의한 영향이 가장 크므로 본 논문에서는 수축률을 최소화 할 수 있는 제품 두께 선정 및 냉각조건을 결정하려 한다. 그러나 설계 시에 이러한 사항을 충분히 고려하였다 하더라도 양산현장에서는 기계간의 변동, 공정변수의 변동 등 잡음요인(noise)으로 말미암아 제품간 성능특성이 서로 달라질 수 있다. 이를 최소화하기 위해서 설계 단계에서 제품의 잡음에 대한 신뢰도와 안전성을 얻기 위해 많은 노력이 필요하게 된다. 즉 제품 및 공정 설계단계에서 설계변수 뿐만 아니라 잡음인자도 고려하여, 제품의 특성이 잡음인자에 대하여 강건한 품질을 유지하도록 설계 변수들의 값을 결정하는 강건설계(robust design) 기법이 요구된다⁸⁾.

성형품의 품질 예측과 성형공정의 최적화와 관련된 지금까지의 연구는 실험계획법, 회귀모델링, 연속적인 공정제어 및 전문가시스템의 활용 등 다

접수일 : 2002년 2월 5일

권윤숙, 최윤식 :부경대학교 대학원

김병곤 :동의대학교 대학원

민병현 :동의대학교 기계·산업시스템공학부

정영득 :부경대학교 기계공학부

양하게 접근되어왔다⁹⁻¹⁴⁾. 본 연구에서는 사출성형 해석용 상용 소프트웨어인 Moldflow와 강건설계 기법인 다구찌 방법을 함께 이용하여 보빈 성형품에 대한 사출성형 공정의 최적화를 도모하고자 한다.

2. 제품 개요

본 연구에 적용된 보빈의 형상은 Fig. 1과 같으며, 크기는 직경 270mm, 높이 148mm, 성형품의 몸통 두께는 2.5mm 날개 두께는 2.6mm로 구성되어 있다. 제품의 특성상 보빈이 고정되기 위해 보빈의 한 부분에 고정 구멍이 있으며, 이로 인해 구조의 형상이 대칭이 아니다. 성형품의 재료는 강도와 내진성이 강한 플라스틱 수지의 일종인 아크릴로니트릴스틸렌 수지(AS)를 사용하였는데 일반수지와 비교해서 보다 높은 연화점, 강성 및 내용제성을 가지고 있어 안정성과 치수 안정이 필요할 때 많이 사용된다¹⁵⁾. Table 1에 AS의 사출성형에 필요한 주요 물성치를 나타내었다.

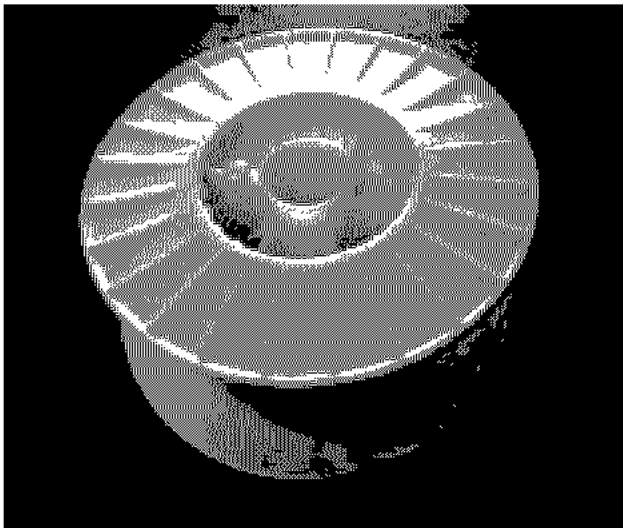


Fig. 1 Injection molded part of a bobbin

Table 3 Material properties of AS

Properties	Value
Conductivity(W/m/°C)	0.13
Specific Heat(J/kg/°C)	2000
Melt Density(kg/m ³)	916
Ejection Temperature(°C)	109
No Flow Temperature(°C)	140

3. 사출 공정 해석

Fig. 1은 사출공정에 의하여 성형된 보빈을 보여 주는데, 제품의 특성상 보빈 고정을 위해 한쪽에 설계된 구멍 때문에 360° 회전 방향에서 보면 비대칭 구조이므로 충전공정 시뮬레이션을 행하여 균일 유동을 달성할 수 있는 게이트를 먼저 결정할 필요가 있다. 사출성형기의 노즐로부터 사출된 용융수지는 일반적으로 스프루(sprue), 러너(runner), 게이트(gate)의 유동통로를 통하여 금형으로 주입되는데 금형설계에서 중요한 설계변수이며 외관, 물성, 치수 정밀도, 성형 사이클 등이 직접 영향을 받는다. 스프루는 금형의 입구에 위치하여 용융된 수지를 러너로 보내는 역할을 하고, 스프루를 구성하는 외형인 스프루 부시의 반경은 성형기 노즐의 선단 반경 보다 1mm 정도 크게 하고, 입구 직경도 노즐 구멍의 지름 보다 0.5~1.0mm 정도 크게 하며 길이는 가능한 한 짧게 한다. 러너는 성형기의 노즐에서 나온 용융 수지를 캐비티 까지 안내하는 길 역할을 하는 것으로 압력전달의 관점에서는 외경이 최소로 되어야 한다¹⁶⁾. 본 논문에서는 핀 포인트 게이트를 60도 간격으로 보빈의 내부 원통의 6곳에 배치하였다. 게이트의 입구 지름은 5곳이 1mm, 보빈을 고정시키기 위한 보빈의 고정 원통부 쪽의 게이트 입구 지름은 1.5mm로 차별화 하였으며, 러너의 지름은 8mm로 하였다. Fig. 2는 본 연구에서 채택한 냉각관을 보여주며 냉각 채널에 냉각수를 순환시키면서 균일 유동 상태를 얻었으며, 이때 냉각공정과 관련된 인자들의 영향을 다구찌의 실험 계획법으로 분석하였다.

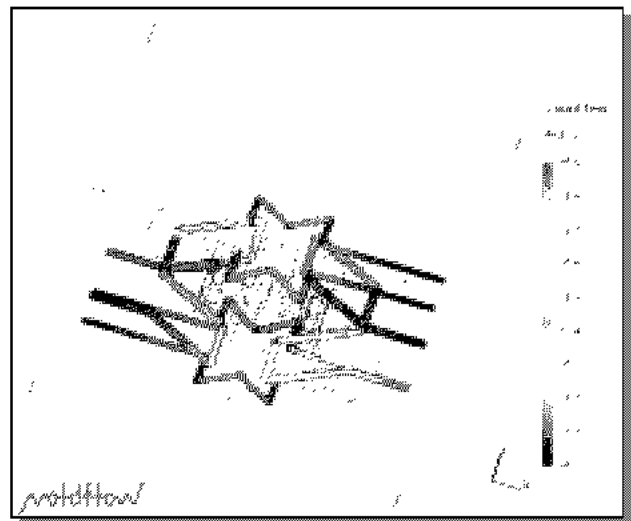


Fig. 2 Cooling channel of injection mold of a bobbin

Fig. 3은 적절한 유동시스템 및 냉각관을 이용하여 충전공정을 수행한 후 성형품의 유동평형 상태를 보여준다.

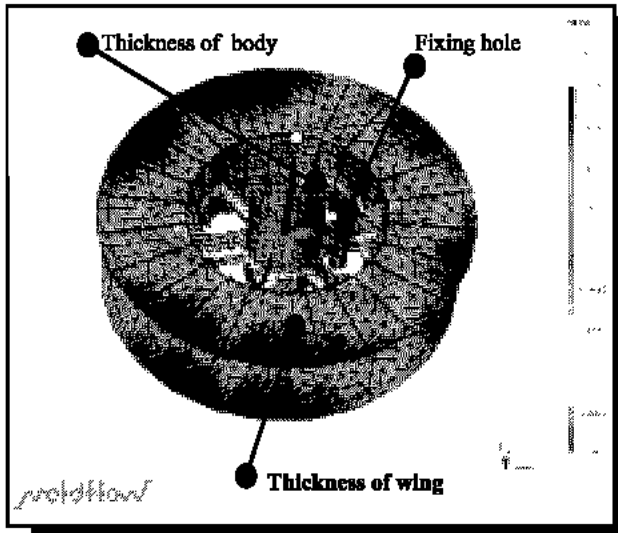


Fig. 3 Flow balance of a bobbin part

4. 결과 분석 및 최적공정조건 결정

성형품의 품질을 정의하는 데는 외관, 치수, 강도등 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 성형품의 치수관리에 초점을 맞추어 성형품의 수축률에 큰 영향을 끼치는 특정부위에서 성형품의 상하평균온도차를 특성치로 규정하였다. 제어 인자들 중 성형품의 특성치에 영향을 주는 주요 인자를 선정하기 위한 실험이 필요한데 성형품의 품질 특성은 제어 인자인 공정조건 한 가지 만의 변화에 의존하지 않고 여러 제어 인자들이 복합적으로 영향을 끼치므로, 이들 인자들에 몇 개의 수준을 정의하여 실험을 수행하면 (인자수)(수준수) 만큼의 실험이 수행되어야 한다. 하지만, 시간이나 실험 비용 등이 문제가 되고 또한 실험을 최소화하기 위해 다구찌의 실험계획법을 이용함이 유리하다. 다구찌의 실험계획법 직교배열표를 광범위하게 사용하고 있으며, 인자의 수가 많은 경우에도 크게 실험횟수를 증가시키지 않고 실험하는 일부실시법이 주로 사용된다. 다구찌 실험계획법은 잡음의 영향에 민감하지 않도록 제품 또는 공정을 설계하여 품질을 개선하는 방법으로 최근 기업이나 연구소 등에서 많이 활용되고 있는 기법이다. 생산된 제품의 특성치가 잡음에 둔감하도록 즉, 잡음 하에서도 성능변동이 심하지 않도록 제품이나 공정을 설계하기 위하여, 다구찌는 소위 직교표(orthogonal table)라

부르는 실험계획을 이용하여 데이터를 수집할 것과, 그 데이터로부터 유도된 SN비를 분석함으로써 제품이나 공정의 최적조건을 결정할 것을 제안하고 있다¹⁷⁾.

본 논문에서는 Table 2에서 보여지는 것과 같이 냉각시간(A), 냉각수 입구 온도(B), 성형품의 몸통 두께(C), 성형품의 날개 두께(D)와 같은 4 인자에 대해 3 수준을 택해 L9(34)의 직교배열표에 의한 실험계획에 따라 모의실험을 수행하였다. 품질 특성치는 특정부위에서 측정된 성형품의 상하평균온도차(ΔT)를 고려하여 이를 줄이는데 기여하는 공정조건을 선별함이 중요하다고 판단하였으며, 특성치에 대한 제어인자의 영향을 신호대 잡음비율인 SN(Signal to Noise Ratio)에 대한 망소특성 분석으로부터 특성치에 유의한 인자를 택하였다.

Table 2 Control factor and its level

Control factors	Level		
	1	2	3
A(s)	10	12	14
B(°C)	35	40	45
C(mm)	3.0	2.0	1.5
D(mm)	2.3	2.0	1.5

Table 3은 L9(34)의 직교배열표에 의한 실험계획에 따라 각 조건에서 얻어진 성형품의 상하평균 온도차(ΔT) 및 SN비를 보여준다. 여기서, SN비의 계산은 망소특성이므로 식(1)에 의해 계산되었다.

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

Table 3 Simulated data obtained from an orthogonal table

No	A	B	C	D	ΔT (°C)	S/N Ratio
1	1	1	1	1	22.16	37.6633
2	1	2	2	2	22.55	37.9236
3	1	3	3	3	23	38.1669
4	2	1	2	3	15.38	35.6334
5	2	2	3	1	22.07	38.103
6	2	3	1	2	18.19	38.2945
7	3	1	3	2	21.72	37.7447
8	3	2	1	3	28.33	40.2807
9	3	3	2	1	8.012	35.931

분산분석에 앞서 제어인자의 수준에 따른 SN비의 합, 평균 및 기여율을 Table 4, 그리고 SN비의 주 효과 결과를 Fig. 4에 보여주는데, 냉각시간(A)

Table 4 Sum, mean and contribution rate of S/N ratio according to level

Factor	Level	Sum	Mean	Contribution rate
A	1	113.75	28.44	9.3105
	2	112.03	28.01	9.7413
	3	113.96	28.49	9.2599
B	1	111.04	27.76	9.9886
	2	116.31	29.07	8.6722
	3	112.39	28.09	9.6509
C	1	116.24	29.06	8.6894
	2	109.49	27.37	10.3770
	3	114.02	28.50	9.2453
D	1	111.69	27.92	9.8247
	2	113.96	28.49	9.2583
	3	114.08	28.52	9.2287
Total		1358.96	339.74	

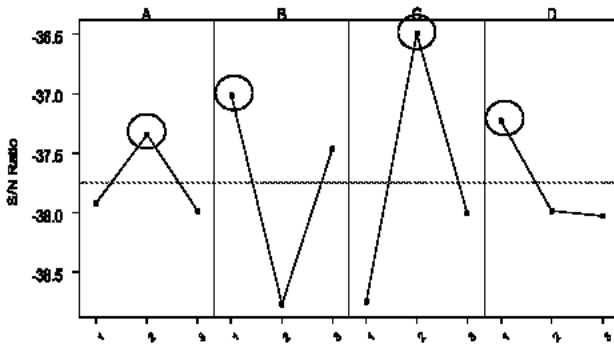


Fig. 4 Plot of main effects of S/N ratio

은 2수준인 12초, 냉각수 입구 온도(B)는 1수준인 35℃, 성형품의 몸통 두께(C)는 2수준인 2.0mm 및 성형품의 날개 두께(D)는 1수준인 2.5mm가 성형품의 상하평균온도차(ΔT)를 줄이는데 기여한바가 크다고 생각할 수 있다. 한편 제어인자의 유의한 순서를 알아보기 위하여 SN비에 대한 분산분석 결과를 Table 5에 보여주는데, 기여율의 결과로부터 냉각시간(A) 및 성형품의 날개 두께(D)는 성형품의 상하평균온도차(ΔT)를 줄이는데 유의한 인자로 작용하지 않으며, 냉각수의 입구 온도(B) 및 성형품의 몸통 두께(C)가 성형품의 상하평균온도차(ΔT)를 줄이는데 유의한 인자로 나타나고 있다. 이는 제품을 성형하는데 있어서 냉각수의 입구 온도와 성형품의 몸통 두께를 고려해서 설계해야 함을 나타내고 있다. 이의 결과를 앞서 분석한 제어인자의 각 수준에 따른 SN비의 기여율 분석과 결합하면 냉각시간(A)은 2수준인 12초, 냉각수 입구 온도(B)는 1수준인 35℃, 성형품의 몸통 두께(C)는

2수준인 2.0mm 및 성형품의 날개 두께(D)는 1수준인 2.5mm가 최적수준이나, 성형품의 날개 두께(D)는 유의한 인자가 아니므로 성형품의 재료를 절감하는 차원에서 3수준인 1.5mm를 채택하여도 무방하리라 생각된다.

Table 5 Analysis of variance of S/N ratio

	SS	ϕ	V	F0	ρ
A	0.7463	2	0.3732	*	*
B	4.9865	2	2.4943	5.12	33.633
C	7.8895	2	3.9448	8.09	53.214
D	1.2032	2	0.6016	*	*
Total	14.826	8			

5. 결론

본 연구에서는 보빈 성형품을 대상으로 성형공정 인자인 냉각수 입구온도 및 냉각시간, 성형품의 설계인자인 성형품의 몸통 두께 및 성형품의 날개 두께가 성형품의 수축에 최종적으로 영향을 주는 성형품 상하평균온도차에 미치는 영향을 실험계획법을 적용하여 분석하였다. 모의실험을 통하여 얻은 성형품 상하평균온도차의 SN비에 대한 분산분석 결과, 냉각수 입구 온도와 성형품 몸통 두께가 가장유의한 인자임을 도출하였다. 또한 각 수준에 따른 SN비의 기여율을 분석한 결과 성형품 상하평균온도차를 줄이는 최적의 냉각공정 및 성형품의 설계조건은 냉각시간(A)이 2수준인 12초, 냉각수 입구 온도(B)가 1수준인 35℃, 성형품의 몸통 두께(C)가 2수준인 2.0mm 및 성형품의 날개 두께(D)는 유의한 인자가 아니므로 성형품의 재료를 절감하는 차원에서 3수준인 1.5mm를 채택하는 것이 최적의 설계조건임을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. G. Potsch and W. Michaeli, "Injection Molding", Hansher Publishers, pp. 900~905, 1997
2. J. C. Lin, "Optimum Cooling System Design of a Free form Injection Mold using an Abductive Network", J. of Materials Processing Technology, Vol. 120, No. 1, pp. 226~236, 2002

3. B. Nelson, "Predicting Part Shrinkage is a Three Way Street", *Plastics World*, pp. 48~52, 1989
4. S. C. Chen, Y. C. Chen and H. S. Peng, "Simulation of Injection Compression Molding Process II, Influence of Process Characteristics on Part Shrinkage", *J. of Applied Polymer Science*, Vol. 75, No. 13, pp. 1640~1654, 2000
5. R. Y. Chang, Y. C. Hsih and C. H. Hsu, "On the pvT and Thermal Shrinkage for the injection Molding of a Plastic Lens", *J. of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 18, No. 3, pp. 261~270, 1999
6. G. Kansal, S. K. Atreya and P. N. Rao, "Thermal and Stress analysis of an Injection Molded Polystyrene Ring", *Polymer Plastics Technology and Engineering*, Vol. 39, No. 1, pp. 61~82, 2000
7. S. C. Chen, S. Y. Hu and W. R. Jong, "Integrated Simulations of Structural performance, Molding Process and Warpage for Gas Assisted Injection Molded Parts III, Simulation of Cyclic Transient Variations in Mold Wall Temperatures", *J. of Applied Polymer Science*, Vol. 71, No. 2, pp. 339~351, 1999
8. 염봉진, 변재현, 이승훈, 김성준, "제품 및 공정 설계를 위한 다구치 방법", 한국과학기술원 산학협동강좌교재, pp. 19~52, 2000
9. P. J. Meheran and P. J. Blyskal, "Design of Experiments for Injection Molding Process", *ANTEC '95*, Vol. 53, No. 3, pp. 3506~3509, 1995
10. M. F. Martine and F. Bontumasi, "The Practical Application of Design of Experiments in the Total Quality Injection Molding Process", *ANTEC '95*, Vol. 53, No. 3, pp. 4041~4044, 1995
11. Q. Zou, G. Ari and R. Hess, "Using DOE Techniques on Molding Simulation to Improve Injection Molded Part Quality", *ANTEC '96*, Vol. 54, No. 1, pp. 736~743, 1996
12. J. L. Wickman, J. McKirahan and M. Brenner, "An Injection Molding Training Software Package Addresses Design of Experiments", *ANTEC '98*, Vol. 56, No. 3, pp. 3224~3227, 1998
13. H. P. Tsoi and F. Gao, "Control of Injection Velocity using a Fuzzy Logic Rule Based Controller for Thermoplastics Injection Molding", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 39, No. 1, pp. 3~17, 1999
14. 민병현, "신경회로망을 이용한 사출성형품의 체적수축률에 관한 연구", 한국정밀공학회는문집, 제16권, 제11호, pp. 224~233, 1999
15. 김재원, "플라스틱 재료", 구민사, pp. 336~337, 2001
16. G. Menges and P. Mohren, P., "How to make injection molds", 2nd ed, Hanser Publishers, pp. 147~151, 1993
17. G. Taguchi, "Introduction to Quality Engineering", American Supplier Institute, Michigan, pp. 127~132, 1987