

< 논문 >

수치적 노이즈가 존재하는 사출 성형품 휨의 최적설계

박창현* · 김성룡** · 최동훈† · 표병기***
(2004년 12월 6일 접수, 2005년 9월 28일 심사완료)

Design Optimization for Minimizing Warpage in Injection Molding Parts with Numerical Noise

Changhyun Park, Sungryong Kim, Donghun Choi and Byunggi Pyo

Key Words : Injection Molding(사출성형), Optimization(최적화), PQRSM(점진적 이차반응표면 방법), Warpage(휨)

Abstract

In order to minimize warping deformation which is an essential factor in the failure of injection molding parts, this study proposes an optimization design method for determining design variables of injection molding parts. First, using a commercial package program for injection molding analysis, namely, Computer Aided Plastics Application(CAPA), we investigate the effects of parameters of injection molding process. Next, an optimum design process is established by interfacing CAPA to PQRSM embedded in EMDIOS, a design framework developed by the center of innovative Design Optimization Technology(iDOT). PQRSM is a very efficient sequential approximate optimization algorithm. Optimum design results demonstrate the effectiveness of the design method suggested in this study by showing that the results of the optimum design is better than those of the initial design. It is believed that the proposed methodology can be applied to other injection molding design applications.

1. 서 론

사출성형공정은 주기적으로 반복되는 공정으로 생산성이 좋고 자동화가 수월하기 때문에 시간과 생산비를 줄이기 위한 목적으로 다양한 제품의 생산에 이용된다. 과거에는 사출성형의 각 조건을 결정하는 것을 주로 경험적 결과에 의존해 왔으나, 최근 컴퓨터에 의한 사출성형 해석기술의 발달로 사출성형 해석에 유한요소법과 같은 수치해석기법을 적용한 상용 소프트웨어를 이용함

으로써 설계조건이나 공정조건에 따라 달라지는 복잡한 현상을 예측하고 해석할 수 있게 되었다. 그리고, 그에 따라 고도의 형상 정밀도 및 기계적인 강도에 대한 요구를 충족시키고 원가 및 개발 비용의 절감을 통한 생산성 향상을 위해 최적의 사출성형 공정조건을 찾으려 하고 있고, 실험계획법, 유전알고리즘 등과 같은 접근 방법으로 사출성형공정조건 최적화에 관한 연구가 이루어지고 있다.

Wu 등⁽¹⁾은 시간에 따른 압력 변화의 패턴에 대해 적절한 조건이 부여되었는지를 판별하고자 하였고, 압력을 기준으로 전문가 시스템(expert system)을 개발하였으며, 일정한 충전속도와 보압력을 작용한 경우에 대한 실험적 접근을 하였다. Liu 등^(2,3)은 강건실험계획법(robust design of experiment)을 사용하여 수지온도, 금형온도, 최대

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : dhchoi@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2220-0443 FAX : (02)2291-4070

* 한양대학교 대학원 기계설계학과

** LG 전자 CTO 디지털 어플라이언스 연구소

*** ㈜VMTech 기술연구소

보압력과 사출속도가 제품의 두께 및 질량에 미치는 영향을 보였으며 일반적으로 유동성이 증가하면 제품의 정밀도가 높아짐을 보였다. 사출이 반복됨에 따라 제품의 질량이 규칙적으로 변한다는 것도 나타내었는데 이는 수지 온도가 규칙적으로 변하는 것에 기인하였다. Leo 등⁽⁴⁾은 보압조건, 유입구의 크기, 금형의 탄성이 제품의 최종 크기에 어떠한 영향을 주는지를 체계적으로 연구하였다. 특히, 일정한 보압력보다 다단보압력이 두께 분포를 균일화 함을 보였고, 유입구의 크기가 냉각층(freeze layer)에 미치는 영향과 금형의 탄성이 보다 낮은 보압력에서 과보압을 유발함을 보였다. Woll 등^(5,6)은 일정한 보압력과 사출온도를 변화시켜 가면서 성형조건과 성형제품의 질량 및 길이 상관성을 연구하였고, 압력 패턴의 결과로부터 공정조건의 적정여부를 판정하였으며, Box-Behnken 실험계획법을 사용하여 실험하였다. Park 등⁽⁷⁾은 최적의 사출금형설계와 성형공정조건을 보다 경제적으로 도출하기 위한 연구를 하였다. Kim 등⁽⁸⁾은 마이크로 유전알고리즘을 게이트 위치 최적화에 적용하여 최대 사출압력이 감소하는 게이트 위치들의 조합을 갖는 러너 시스템에 관하여 연구하였다. Choi 등⁽⁹⁾은 사출성형공정을 최적화 하기 위한 최적시스템을 유전알고리즘을 사용하여 구축 하였고, 수렴속도를 개선 시키기 위하여 실험계획법인 직교배열표를 활용한 민감도 해석을 적용하는 연구를 하였다. Kim⁽¹⁰⁾은 설계단계에서 공리적인 개념을 추가시켜 설계변수들간에 우선 순위를 결정하고, 최적화 연구를 수행 하였다. 이러한 연구들은 목적함수의 기율기 정보를 이용한 일반적인 최적화 방법들이 국부적인 최적값에 수렴하는 단점을 배제하기 위하여 유전 알고리즘 등과 같은 전역 최적화 기법을 사용하여 전역 최적해를 구하였다. 그러나 일반적으로 전역 최적화 기법들은 최적해를 구하기 위해 많은 함수 계산을 필요로 하기 때문에 최적설계를 수행함에 있어 시간적, 경제적인 부담이 있다.

본 논문에서는 차량의 출발이나 가속 시 구동바퀴에 미끄러짐이 발생했을 때 이를 적절히 조절해 차량의 가속력을 최대화하는 장치인 TCS(Traction Control System)의 외장을 구성하는 사출 성형품인 TCS 커버와 일반 가정용 세탁기의 세탁조(Tub) 상단에 부착된 사출 성형품인 세탁기 밸런서 하부 케이스에 발생하는 힘을 최소화 함으로써 제품의 형상정밀도를 높이는 목적으로 최적설계를 수행하였다. 사출성형공정에 대한 해석은 상용 프로그램인 CAPA^(11,12)를 사용하였다.

최적화를 위하여 기율기 정보를 이용하는 최적화 기법을 적용하여 최적설계를 수행해 보았으나, CAE 도구를 사용하여 해석을 수행 할 경우 흔히 발생하는 수치적 노이즈 때문에 최적해를 구하지 못하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 평활(smoothing) 효과가 있는 반응표면법을 사용하였다. 본 연구에서 CAPA 를 이용한 일회의 평균 상용 프로그램 해석시간이 TCS 커버의 경우 20 분이 소요되었으며 세탁기 밸런서 하부 케이스는 비교적 긴 1 시간 10 분(펜티엄 4 CPU 3.0GHz) 가량인 점을 고려하여 기존의 반응표면 모델링 방법에 비하여 상당히 적은 수의 실험점으로 이차 반응표면 모델을 생성할 수 있는 점진적 이차 반응표면 방법(Progressive Quadratic Response Surface Method ; PQSRM)^(13,14)을 이용하여 최적화를 수행하였다.

2. 모델링 및 해석

사출성형해석에서 유한요소 모델링은 해석 준비 과정으로 볼 수 있으며, CATIA 등의 CAD 소프트웨어를 이용하여 생성한 3 차원 모델을 사출성형해석 소프트웨어로 불러들인 후 유한요소모델을 생성하거나, 사출성형해석 소프트웨어 자체의 모델링 기능을 사용하여 유한요소모델을 생성할 수도 있다. TCS 커버와 하부 케이스 모델에 관한 유한요소 정보를 Table 1 과 Table 2 에 나타내었다.

Table 1 Information of geometric data for the TCS cover

	Part	Mold
Number of nodes	2431	130
Number of elements	4690	126
Mesh type	triangular	.

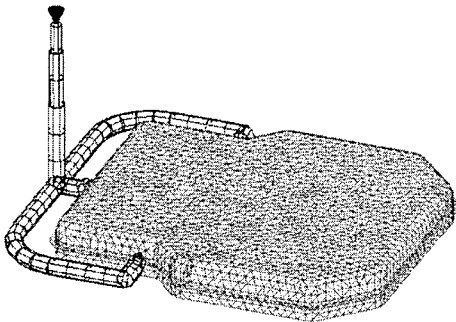
Table 2 Information of geometric data for the lower case of the washer balancer

	Part	Mold
Number of nodes	3954	1596
Number of elements	7756	1582
Mesh type	triangular	.

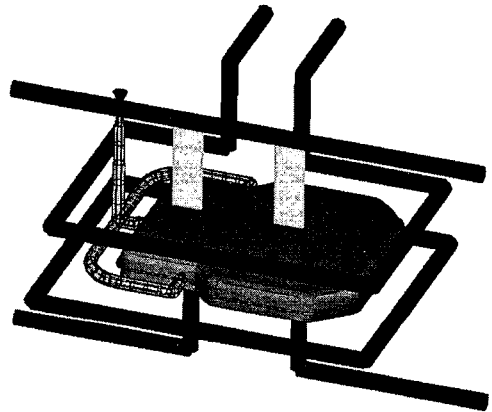
TCS 커버 모델의 러너 시스템을 포함한 형상과 냉각채널은 Fig. 1 과 같고 세탁기 밸런서 하부 케이스의 형상과 냉각채널은 Fig. 2 와 같다.

사출성형해석은 충전해석, 냉각해석, 보압해석, 그리고 변형해석으로 이루어진다. 먼저, 충전해석에서는 사출성형품과 사출금형 설계단계에서의 성형불량을 예측하여 최적의 공정조건 등의 다양한 정보들을 획득할 수 있다. 다음으로 이러한 정보들을 가지고 냉각해석과 보압해석을 한다. 냉각해석은 냉각회로가 금형 내에 설계되어 있을

경우에만 실시하며, 이를 통해 성형품의 두께 방향 평균온도분포와 금형 벽면, 냉각회로의 온도 분포 등을 알 수가 있다. 보압해석을 통해서 는 보압의 설정 및 절환 시점을 결정할 수 있으며, 전단응력 해석을 통해 휨을 유발하는 수축에 관한 정보를 획득 할 수 있다. 마지막으로 변형해석에서는 충전과정 중 유동에 기인한 응력(flow induced stress)을 통하여 최종성형품의 수축과 휨 변형을 파악할 수 있다.

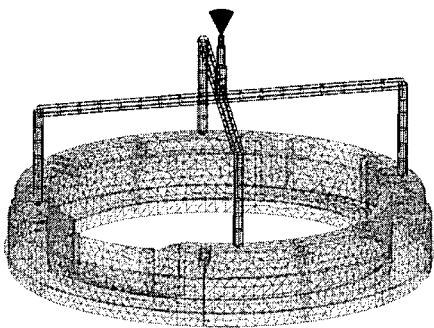


(a) Finite element model

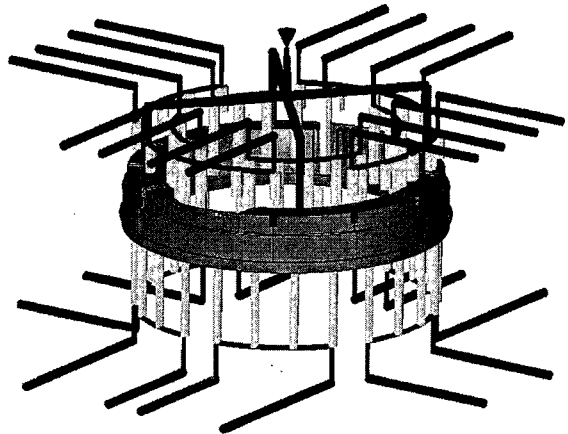


(b) Cooling channel

Fig. 1 Model of the TCS cover



(a) Finite element model



(b) Cooling channel

Fig. 2 Model of the lower case of the washer balancer

3. TCS 커버 최적설계

3.1 최적설계 문제 정식화

3.1.1 설계변수

본 연구에서 사용한 각 해석 단계별 설계변수와 그에 따른 초기값 및 범위(side constraints)를 Table 3 에 정리하였다. 여기서 사용한 설계변수의 하한값, 상한값, 그리고 초기값은 산업체에서 사용하는 값으로 설정하였다.

3.1.2 목적함수 및 설계구속조건

TCS 커버는 금형으로부터 이형 된 후 제품의 중간부분이 -Z 방향으로 처지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이 문제의 요구조건은 중간 부분이

-Z 방향으로 처지는 것을 최소화 함으로써 조립성을 높이고 제품 외관의 품질을 향상시키는 것이다. 이를 위해 Fig. 3 에 나타난 바와 같이 TCS 커버 중간 부분에 위치한 임의의 직선 상에 동일한 간격으로 8 개의 절점을 선정한다. 그리고 8 개의 절점 중 -Z 방향으로 가장 많이 처지는 절점의 변위값을 최소화하도록 한다. 구속조건은 “충 보압 시간($x_6 + x_7$)은 사출시간(x_1)보다 크고, 후충전시간(t_p)보다 작다”이다. 따라서 TCS 커버의 설계 문제 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{Minimize} \quad \max \text{NodeDeflection} \\ &\text{subject to} \quad x_1 \leq x_6 + x_7 \leq t_p \end{aligned} \quad (1)$$

Table 3 Initial, lower and upper limit values of the design variables selected

Analysis type	Design variable	Lower bound	Initial value	Upper bound
Flow	Filling time x_1 (sec)	0.1	1	4
	Melt temp. x_2 (°C)	220	240	260
	Mold temp. x_3 (°C)	40	60	80
Cool	Coolant temp. x_4 (°C)	40	60	80
	Flow rate x_5 (Re)	2300	10000	15000
Pack	Packing time 1 x_6 (sec)	1	2	7
	Packing time 2 x_7 (sec)	0.1	2	7
	Packing pres. 1 x_8 (%)	50	80	100
	Packing pres. 2 x_9 (%)	0	40	50

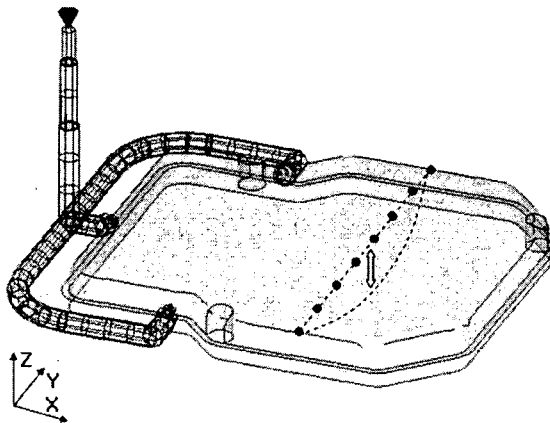


Fig. 3 Deflection of the selected nodes

3.2 기울기 정보를 이용하는 최적화 기법 적용
TCS 커버의 경우 CAPA 를 이용한 일회의 평균 해석시간이 20 분(펜티엄 4 CPU 3.0GHz)정도 소요된다. 최적화 수행시간을 줄이기 위해서는 목적함수에 영향을 적게 미치는 설계변수를 선정하여 초기값으로 고정, 설계변수에서 제외시키는 과정이 필요한데 이를 위해 parametric study를 실시하였다. 그 결과 수지온도(x_2), 금형온도(x_3), 보압유지시간 $2(x_7)$ 그리고 2 단계에서의 보압크기(x_9)를 설계변수에서 제외하였다.

3.1 절에서 정의한 최적설계문제의 해를 구하기 위한 최적화 기법으로 DOT 4.2⁽¹⁵⁾에서 제공하는 최적화 기법인 Modified Method of Feasible Direction (MMFD)와 Sequential Linear Programming (SLP), Sequential Quadratic Programming (SQP)⁽¹⁶⁾을 각각 사용하였다. 이 기법들은 모두 기울기 정보를 이용하는 기법들로, 그 효율성과 수렴성이 우수하여 최적화를 위하여 가장 많이 사용되는 기법들이다. 세 기법의 적용 결과 얻은 수렴이력 (convergence history)을 Fig. 4 에 도시하였다. MMFD 와 SLP, SQP 세 알고리즘의 해석횟수

(function calls)는 각각 16, 312, 71 회였고, 세 알고리즘 모두 최적화 과정은 정상 종료하였지만 중요값이 초기 목적함수값 보다 증가하는 등 그 수렴이력으로 보아 정상적으로 수렴하지 않은 것으로 판단된다.

이 이유를 밝혀내기 위하여 DOT 에서 기울기 정보를 구하기 위해 전방차분법을 적용할 때 사용하는 설계변수의 섭동량인 현 설계변수들의 0.1%를 변동량으로 설정하여 5 개의 설계변수들에 관해 parametric study 를 실시하였다. Fig. 5 는 설계변수 x_4 (냉각수 온도)의 초기값에서 0.1%의 상대유한차분값을 적용하여 parametric study 한 결과이다. 이 그래프에서 보이듯이 전반적으로 반응값이 비평활하여 이로 인해 설계 민감도 기반 최적화 알고리즘으로는 목적함수의 기울기 값을 구하는데 어려움이 있을 수 있으며, 국부 최적점으로 수렴할 가능성이 있어 최적해를 찾지 못할 경우도 있음을 알 수 있다. 따라서, 최적설계 수행에 있어 목적함수의 기울기 정보를 사용하지 않고, 평활(smoothing) 효과가 있는 점진적 이차 반응표면 방법을 적용하였다.

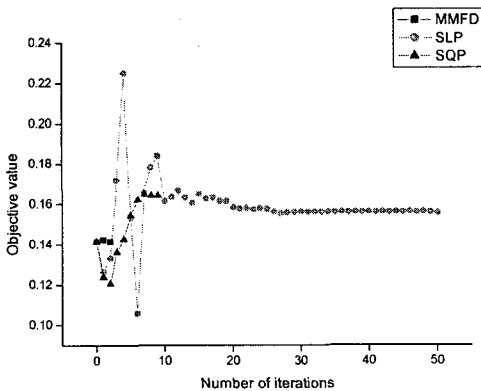


Fig. 4 Convergence histories of MMFD, SLP, and SQP in DOT 4.2

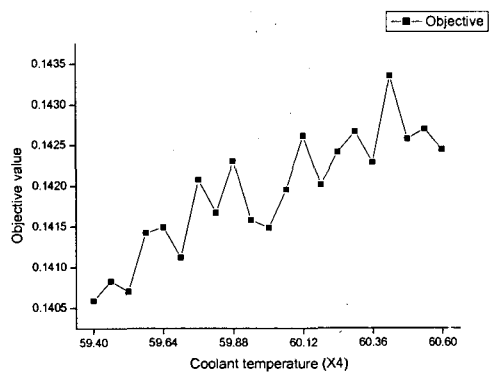


Fig. 5 Variation of the objective value with respect to the coolant temperature with the perturbation of finite difference step size(step= $x_0 \times 0.001$)

3.3 점진적 이차반응표면 방법

점진적 이차반응표면 방법(PQRSM)은 적합한 설계 공간 내에서 목적함수와 구속조건을 2 차 함수로 근사화하고 신뢰영역 근사모델 관리 기법이 정한 설계구역에서 근사 최적문제를 점진적으로 최적화한다. 이 기법은 기존의 반응표면법을 사용하는 기법보다는 적은 실험점을 요구하기 때문에 효율적이며, 회귀계수를 정확하게 계산할 수 있어 근사함수를 구성하는 데 추가적인 CPU time 을 요구하지 않는다. 점진적 이차반응표면 방법의 계산 절차는 다음과 같다.

- 단계 1. 설계영역 내에서 $2n+1$ 개의 실험점을 선택한다. 이 실험점들은 초기 설계점들과 설계변수 축들을 따라 새롭게 선택된 $2n$ 개의 실험점들로 구성된다.
- 단계 2. 구성된 실험점들에서 실제 목적함수와 실제 구속조건을 해석한다.
- 단계 3. 단계 2 에서 구한 해석 결과를 이용하여 실제 목적함수와 실제 구속조건을 2 차 다항함수로 근사화 한다.
- 단계 4. 근사 목적함수와 근사 구속조건들을 사용하여 근사최적해를 찾는다.
- 단계 5. 실제 해석에 의해 근사최적해에서 실제 목적함수와 실제 제약함수를 해석한다.
- 단계 6. 단계 5 에서 해석한 결과를 이용하여 근

사최적해에서의 수렴성을 판단한다. 수렴하였다면 그 값을 최적해로 결정한다. 만약 그렇지 않으면 신뢰영역 근사모델 관리 기법^(13,14)에 의해 설계공간을 조절한다.

단계 7. 새로운 설계공간에서 $2n+1$ 개의 설계점들을 선택한다. 실험점들은 앞서 계산된 한 점과 새롭게 선택된 $2n$ 개 실험점들로 구성된다. 단계 2 로 되돌아 간다.

목적함수는 해석기에 의해 유동해석, 냉각해석, 보압해석, 휨해석을 순차적으로 수행한 후 휨해석 결과를 가지고 계산한다.

3.4 최적설계 결과

점진적 이차반응표면 방법을 이용하여 최적설계를 수행하였다. Table 4 에 설계변수들의 초기값과 최적해를 나타내었고, Fig. 6 에 설계변수들의 초기값을 1 로 봤을 때의 최적해를 상대적인 비율로 비교하였다. Fig. 6 에서 최적해들이 전반적으로 초기값과 비슷함을 알 수 있으며 그 중 냉각수 온도(x_4)와 냉각수 유량(x_5)의 최적해가 초기값에 비해 약 10%가량 감소함을 알 수 있다. Fig. 7 에서 목적함수는 4 번째 반복과정(iteration)에서 14.8% 감소한 0.121mm 였으며 전체 해석 횟수(total number of function call)는 56 회였다.

Table 4 Initial and optimum values of the TCS cover

Design variable		Initial	Optimum
Filling time	x_1 (sec)	1	0.993
Coolant temp.	x_4 (°C)	60	53.665
Coolant flow rate	x_5 (Re)	10000	8922.043
Packing time 1	x_6 (sec)	2	2.060
Packing pres. 1	x_8 (%)	80	79.750

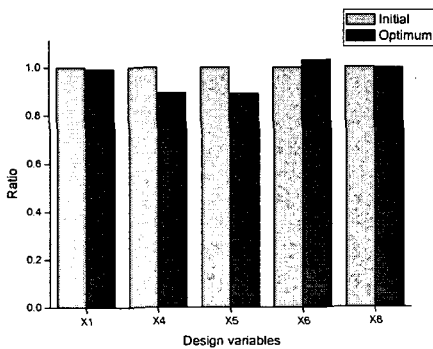


Fig. 6 Relative values of design variables at the optimum

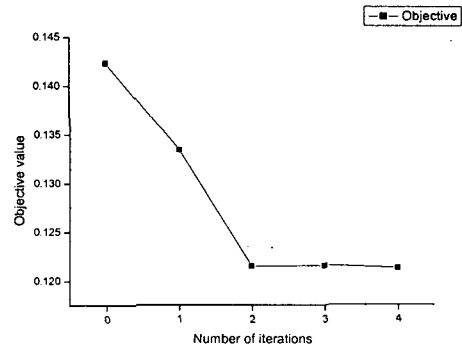


Fig. 7 Convergence history of the objective function

Fig. 8 에 커버 중간 부위의 일직선 상에 동일한 간격으로 위치한 8 개의 절점들의 처짐량을 초기 설계와 최적설계로 나누어 비교하였다. 최적설계 결과가 초기설계에 비해 커버 중간 부위의 -Z 방향 처짐이 초기 형상을 유지하면서 전반적으로 개선되었음을 알 수 있고 점진적 이차반응표면 방법이 효과적인 최적화 기법임을 알 수 있다.

4. 세탁기 밸런서 하부 케이스 최적설계

4.1 최적설계 문제 정식화

4.1.1 설계변수

각 해석 단계별 설계변수와 그에 따른 초기값 및 범위(side constraints)를 Table 5 에 정리하였다. 여기서 사용한 설계변수의 하한값, 상한값, 그리고 초기값은 산업체에서 사용하는 값으로 설정하였다.

4.1.2 목적함수 및 설계구속조건

하부 케이스의 용착부는 용착 불량으로 인한 밸런서내의 염수 누수 방지를 위해 진원도를 유지하

여야 한다. 따라서 Fig. 9 에 나타낸 바와 같이 휨 해석 후 용착부 내측지름(d^i)과 외측지름(d^o)을 X 축을 기준으로 0~180°까지 측정하고, 내측지름의 최대지름(d_{max}^i)과 최소지름(d_{min}^i)간의 편차와 외측지름의 최대지름(d_{max}^o)과 최소지름(d_{min}^o)의 편차라는 두 개의 목적함수를 동시에 최소화하고자 한다. 구속조건은 "총 보압시간($x_6 + x_7$)은 사출시간(x_1)보다 크고, 후충전시간(t_p)보다 작다"이다. 따라서 세탁기 밸런서 하부 케이스의 설계 문제 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{minimize } f = (d_{max}^i - d_{min}^i) + (d_{max}^o - d_{min}^o) \\ &\text{subject to } x_1 \leq x_6 + x_7 \leq t_p \end{aligned} \quad (2)$$

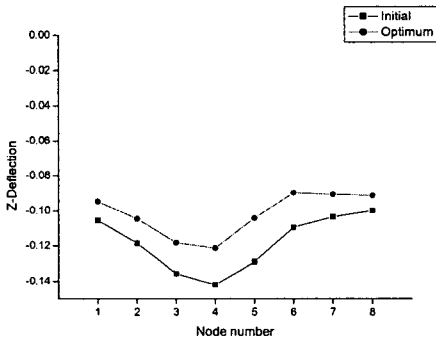


Fig. 8 Node deflection at the initial and optimum for the TCS cover design

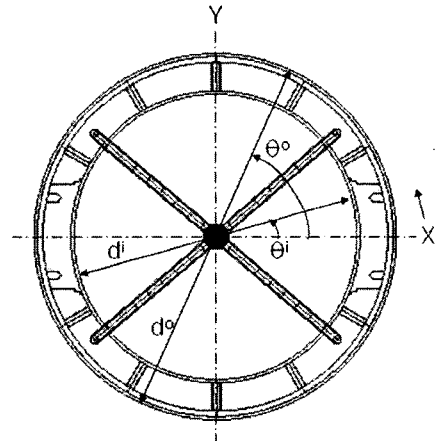


Fig. 9 Measurement of diameters

Table 5 Initial, lower and upper limit values of the design variables selected

Analysis type	Design variable	Lower bound	Initial value	Upper bound
Flow	Filling time x_1 (sec)	1	3	8
	Melt temp. x_2 (°C)	195	210	230
	Mold temp. x_3 (°C)	20	40	60
Cool	Coolant temp. x_4 (°C)	20	40	60
	Flow rate x_5 (l/min)	3.8	5	7.5
Pack	Packing time 1 x_6 (sec)	1	3	27
	Packing time 2 x_7 (sec)	1	3	27
	Packing pres. 1 x_8 (%)	60	80	80
	Packing pres. 2 x_9 (%)	30	40	50

4.2 기술기 정보를 이용하는 최적화 기법 적용 하부 케이스의 경우 CAPA 를 이용한 일회의 평균 해석시간이 비교적 긴 1 시간 10 분(펜티엄 4 CPU 3.0GHz) 정도이므로 최적화 수행 시 상당한 시간이 소요된다. 최적화 수행시간을 줄이기 위해서 parametric study 를 실시하였고, 그 결과 금형온도(x_3), 냉각수 유량(x_5) 그리고 2 단에서의 보압크기(x_9)를 설계변수에서 제외하였다.

4.1 절에서 정의한 최적설계문제의 해를 구하기 위한 최적화 기법으로 DOT 4.2⁽¹⁵⁾에서 제공하는 최적화 기법인 MMFD 와 SLP, SQP⁽¹⁶⁾을 사용하였다. 세 기법의 적용 결과 얻은 수렴이력 (convergence history)을 Fig. 10 에 도시하였다. MMFD 를 사용하였을 때는 5 회의 반복과정 만에 종료하였으나, 그 결과는 초기값에서 10%정도 감소하였으며, SQP 를 사용하였을 때는 6 회의 반복과정 만에 종료했지만, 그 결과는 초기값에서 12.1%정도 감소함을 보였다. SLP 를 사용하였을 때는 최대반복회수로 설정하였던 20 회를 초과하면서 수렴하지 않는 형태를 보이고 있다.

이 이유를 밝혀내기 위하여 DOT 에서 기술기 정보를 구하기 위해 전방차분법을 적용할 때 사용하는 설계변수의 섭동량인 현 설계변수들의 0.1%를 변동량으로 설정하여 6 개의 설계변수들에 관해 parametric study 를 실시하였다. Fig. 11 은 설계변수 x_2 의 초기값에서 0.1%의 상대유한차분값을 적용하여 parametric study 한 결과이며, 수치적 노이즈 현상이 일어났음을 발견할 수 있다. 이러한 수치적 노이즈 현상으로 인해 목적함수의 기술기 값을 구하는데 어려움이 발생할 수 있으며 일반적인 최적화 기법은 국부 최적점으로 수렴할 가능성이 있고 최적해를 찾지 못 할 경우도 있다. 따라서, 목적함수의 기술기 정보를 사용하지 않고, 평활(smoothing) 효과가 있는 점진적 이차반응표면 방법을 적용하였다.

4.3 최적설계 결과

점진적 이차반응표면 방법을 이용하여 최적설계를 수행하였다. Table 6 에 설계변수들의 초기값과 최적해를 나타내었고 Fig. 12 에 설계변수들의 초기값을 1 로 봤을 때의 최적해를 상대적인 비율로 비교하였다. Fig. 12 에서 보압시간 1(x_6)는 초기값에 비해 3 배 감소하였고 보압시간 2(x_7)은 9 배 가량 증가함을 알 수 있다. Fig. 13 에서 목적함수는 5 번째 반복과정에서 31% 감소한 3.19mm 였으며 전체해석횟수는 54 회였다.

Fig. 14 와 Fig.15 에 목적함수의 최적해와 초기값을 용착부 내·외측 지름의 편차로 비교하였다.

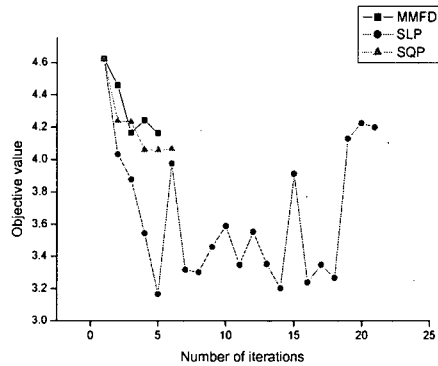


Fig. 10 Convergence histories of MMFD, SLP, and SQP in DOT 4.2

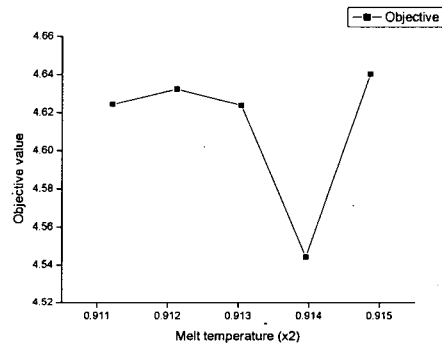


Fig. 11 Variation of the objective value with respect to the melt temperature with the perturbation of finite difference step size(step= $x_0 \times 0.001$)

Table 6 Initial and optimum values of the lower case

Design variable	Initial	Optimum
Filling time x_1 (sec)	3	7
Melt temp. x_2 (°C)	210	195
Coolant temp. x_4 (°C)	40	60
Packing time 1 x_6 (sec)	3	1
Packing time 2 x_7 (sec)	3	26.95
Packing pres. 1 x_8 (%)	80	61.72

용착부 내측 지름의 편차는 1.60mm 에서 1.07mm 로 초기값에 비해 33.1% 감소했고, 외측 지름의 편차는 3.03mm 에서 2.11mm 로 초기값에 비해 30.4% 감소한 결과를 얻을 수 있었다. 그래프의 형태를 보았을 때 기존의 내측과 외측 지름의 편차 감소는 제품의 진원도를 좋게 하여 조립특성을 향상시킬 수 있고 점진적 이차반응표면 방법이 사출성형과 같은 비선형적인 문제의 최적설계에서 효과적임을 알 수 있다.

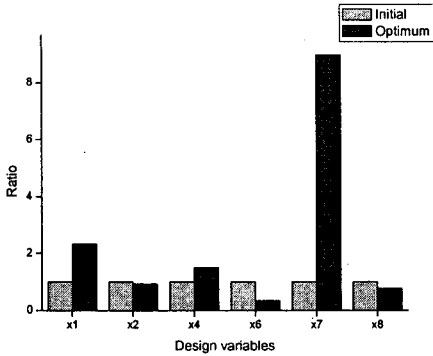


Fig. 12 Relative values of design variables at the optimum

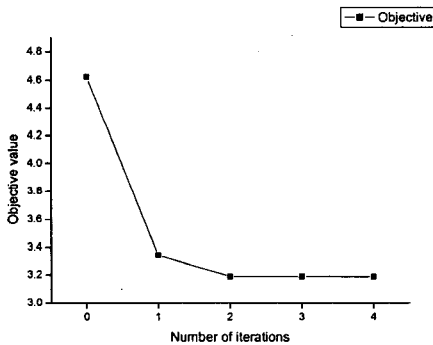


Fig. 13 Convergence history of the objective function

5. 결론

제품의 형상 정밀도가 높아짐에 따라, 정밀한 공정변수의 설정이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 제품의 치수 안정성을 얻기 위한 중요한 설계 목표인 휨을 최소화 하기 위해 공정해석 프로그램을 기반으로 하여 사출성형 공정변수를 최적화하고자 하였고, 효율성 향상 및 수치적 노이즈가 있는 문제의 최적설계를 위해 근사 최적화 기법인 점진적 이차반응표면 방법을 도입하였다.

TCS 커버의 경우 제품 중간 부위의 -Z 방향 처짐을 초기값에 비해 14.8% 감소시켜 조립성을 높이면서 외관의 품질을 향상시킬 수 있었다. 세탁

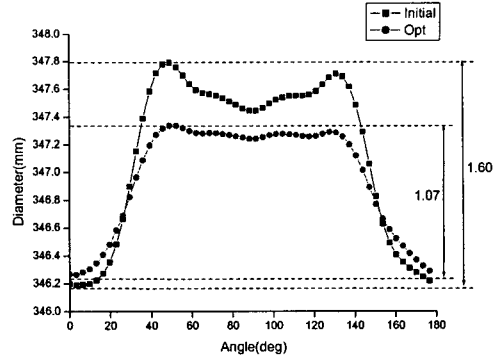


Fig. 14 The results of the inner diameter

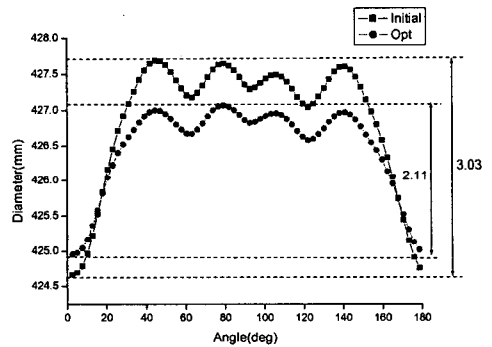


Fig. 15 The results of the outer diameter

기 밸런서 하부 케이스의 경우 초기값에 비해 움착부 내측 지름의 편차는 33.1%, 외측 지름의 편차는 30.4% 감소한 최적해를 구할 수 있었고, 초기값 보다 진원에 가까운 형상을 유지할 수 있었다. 따라서 두 제품의 최적설계를 통해 점진적 이차반응표면 방법이 사출성형과 같은 비선형적인 문제의 최적설계에 효과적인 최적화 기법임을 보였다.

본 연구에서는 두 제품의 형상 정밀도를 높이기 위해서 TCS 커버는 -Z 방향의 처짐량을, 하부 케이스는 진원도 유지만을 고려하였으나, 체적 수축률과 치수 정밀도, 성형품의 외관, 냉각시스템 등 다양한 품질 변수를 포함 할 수 있는 목적함수를 고려한다면 보다 직접적인 품질 개선을 이룰 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Wu, J. L., Chen, S. J. and Malloy, R., 1991, "Development of an On_line Cavity Pressure_Based Expert System for Modeling Process," *ANTEC*.
- (2) Liu, C. and Manzione, L. T., 1996, "Process Studies in Precision Injection Molding. I:Process Parameters and precision," *Polymer Eng. & Sci.*, Vol. 36 No. 1, pp. 1.
- (3) Liu, C. and Manzione, L. T., 1996, "Process Studies in Precision Injection Molding. II:Morphology and precision in Liquid Crystal Polymers," *Polymer Eng. & Sci.*, Vol. 36 No. 1, pp. 10.
- (4) Leo, V. and Cuvellez, CH., 1996, "The effect of the Packing Parameters, Gate Geometry, and Mold Elasticity on the Final Dimensions of a Molded Part," *Polymer Eng. & Sci.*, Vol. 36 No. 1, pp. 1961~1971.
- (5) Woll, Suzanne L. B., Cooper, Douglas J. and Souder, Blair V., 1996, "Online Pattern-Based Part Quality monitoring of the Injection Molding Process," *Polymer Eng. & Sci.*, Vol. 36 No. 11, pp. 1477~1488.
- (6) Woll, Suzanne L. B., Cooper, Douglas J. and Souder, Blair V., 1997, "Pattern-Based Closed-Loop Quality Control for the Injection Molding process," *Polymer Eng. & Sci.*, Vol. 37 No. 5, pp. 801~812.
- (7) Park, K., Ahn, J. H. and Choi, S. R., 2002, "Application of Design of Experiments and Numerical Analysis to Optimal design for Injection Molding Processes of Electrical parts," *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 26 No. 7, pp. 1348~1356.
- (8) Kim, J. H., Lee, J. S., Lee, H. J. and Koo, B. H., 2003, "Application of Micro Genetic Algorithms to Engineering Design Optimization," *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 27 No. 1, pp. 158~166.
- (9) Choi, W. J., Sin, H. C. and Kwak, S. W., 2000, "Optimization of Processing Conditions in injection Molding Using Genetic Algorithm," *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 24 No. 10, pp. 2543~2551.
- (10) Kim, J. H., Lee, J. S. and Cha, S. W., 2003, "The Optimization of Injection Molding System Using Axiomatic Approach," *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 27 No. 6, pp. 1020~1027.
- (11) Computer Aided Plastics Application - CAPA tutorial, VMTech.
- (12) Computer Aided Plastics Application - CAPA User's manual, VMTech.
- (13) Hong, K. J., Choi, D. H. and Kim, M. S., 2000, "Progressive Quadratic Approximation Method for effective Constructing the Second-Order Response Surface Models in the Large Scaled System Design," *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 24 No. 12, pp. 3040~3052.
- (14) Hong, K. J., 2001, "Trust Region Managed Sequential Approximate Optimization with Response Surface Modeling," Ph.D. thesis, Hanyang university.
- (15) Vanderplaats, G. N., 1995, *DOT-Design Optimization Tool User Manual*, Vanderplaats Research & Development, Inc..
- (16) Arora, J. S., 1989, *Introduction to Optimum Design*, McGraw Hill Book Co..