

크리깅을 이용한 전자 오븐 윈도우 부품용 사출금형의 최적설계

류미라*, 이권희**, 김영희***, 박홍식#

Optimization of an Electron Microwave Oven Window Injection Mold Using Kriging Based Approximation Model

M. R. Ryu*, K. H. Lee**, Y. H. Kim***, H. S. Park#

ABSTRACT

Recently, the engineering designer of injection mould has become more and more dependent on the CAE. In the design factors of injection mould, the shrinkage rate should be considered as one of the important performances to produce the reliable products. therefore the shrinkage rate can be mostly calculated by the MoldFlow and Pro-engineering. in the design process. However it is not easy to predict the shrinkage rate of a plastic injection mold in its design process because the analysis can take minutes to hours, the high computational costs of performing the analysis limit their use in design optimization. In this study, the surrogate models, DACE model, based on the Kriging in order to optimize the shrinkage rate of electric microwave oven window is used in lieu of the original models, facilitating design optimization.

Key Words : Optimization(최적설계), Injection mold (사출금형), Kriging(크리깅), DACE(Design and analysis of computer experiments), Electron microwave oven window(전자오븐 윈도우), MoldFlow (몰드플로우),

1. 서론

플라스틱 사출 제품의 설계 및 성형에 있어서 예측하기 가장 어려운 현상중의 하나는 사출성형 후 발생할 수 있는 제품의 수축(shrinkage)정도이다. 이 처럼 수축현상은 제품내부의 잔류응력이 제품의 구조적인 본래의 형태를 변형시킬 만큼 충분히 강하게 되면 제품의 취출 시 수축이 발생하게 된다. 이러한 수축현상의 결과로 제품 자체의

허용공차를 초과할 수도 있으며, 제품의 품질을 저하시키고 조립 시 많은 문제점을 유발하며 또한 심한 경우 기능상 사용이 불가능하게 할 수도 있을 만큼 심각하다. 이러한 이유 때문에 플라스틱 사출 성형품의 수축을 최소화 할 수 있는 근본 원인을 찾을 필요가 있다¹

이러한 원인의 대표적인 현상으로는 고온의 성형제품이 냉각과정에서 불균일한 수축차를 발생시키게 되며, 사출 소재, 제품 설계, 금형설계 그리고 사출 조건 즉, 주입부의 게이트(gate), 러너(runner),

접수일: 2004년 12월 20일; 게재승인일: 2005년 5월 3일

* 동아대학교 대학원

** 동아대학교 기계공학과

*** 동아대학교 신소재공학과

교신저자:동아대학교 기계공학과

E-mail parkhs@daunet.donga.ac.kr Tel. (051) 200-7653

스프루(sprue) 형상과 보압(packaging pressure)과 보압 시간(packaging time)의 변화가 수축률에 크게 영향을 미치게 된다²⁻⁸.

사출금형의 최적설계를 위해서 최근 사출금형 설계자들은 사출해석용 CAE 도구인 몰드 플로우(MoldFlow)를 사용하여 최적의 사출조건을 결정하고 있지만 이러한 최적 설계조건을 얻기 위해서는 많은 횟수의 반복계산이 필요하고 이에 따른 긴 탐색시간으로 인하여 설계의 효율이 크게 떨어지며, 또한 해석결과에 대한 정확한 검정결과와 신뢰성이 없다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 현재 사출금형의 최적 설계와 같이 해석시간이 많이 소요되는 설계 문제에서는 초기단계에서 신속한 설계를 하려면 2차 다항식을 사용한 반응표면법(response surface method)으로써 근사화된 최적 설계를 구하는 것이 보편화되어 있다⁹. 그러나, 이 방법도 비선형성이 큰 문제에는 적합하지 않으며 전역적 최적해를 구하는 것이 불가능하다. 따라서 이러한 전역적 최적해를 구하기 위해서는 새로운 설계기법이 필요하게 된다.

이를 위하여 최근 자동차부품의 에어백과 철도의 현가장치 등과 같은 비선형성이 강한 제품의 최적설계를 위하여 DACE(design and analysis of computer experiments) 모델¹⁰이 널리 사용되고 있다. DACE 모델은 프랑스의 지질 수학자인 Georges Matheron이 1950년대 남아프리카의 채광학자 D.G. Krige가 적용했던 경험적인 방법을 수학적으로 정립하면서 사용되기 시작하였다. 이 방법은 많은 과학자들에 의해 여러 다양한 분야에서 적용되고 있으며 DACE 모델은 전산실험계획에 적합하도록 Sacks 등에 의해 제안된 모델이다. 이 방법은 기존의 반응 표면 분석법을 사용할 경우에 근사화 모델을 구성하기 위하여 다항식의 차수를 가정해야 하지만 이 과정을 행하지 않고도 근사화 모델을 구할 수 있으므로 설계 과정을 간략화 할 수 있다는 장점을 가질 수 있다¹¹⁻¹².

따라서 본 연구에서는 전자오븐 부품금형 설계를 위한 표본점을 직교배열표를 이용하고 이 표본점을 갖고 DACE 모델과 시뮬레이티드 어닐링 전역적 최적화 방법을 사용하여 수축률을 최소화 시키는 설계변수를 결정하는 것을 목적으로 하였다.

2. 전자오븐 윈도우 부품의 금형설계

2.1 사출품의 수축률

플라스틱 사출 제품의 설계 및 성형에 있어서 예측하기 가장 어려운 현상중의 하나는 사출성형 후 발생할 수 있는 제품의 수축률이다. 이것은 성형품을 생산하는 금형의 캐비티(cavity) 및 코어의 치수를 산출하는데 쓰이는 인자로서 중요한 역할을 한다. 성형제품의 수축은 공정온도 및 주위온도에서 측정했을 때 부피비로 약 20% 정도이다.

열가소성 플라스틱 성형에 있어서 재료는 열을 받아서 흐름이 액체로 되어 여기에 압력을 가하여 사출 압입되어 캐비티에 채워진 후 게이트 부분이 냉각되면서 밀폐되고, 밀폐된 상태에서 상온으로 냉각이 일어난 체적변화가 생기게 되는데, 이 부피의 감소된 정도를 수축률로 나타내며, 금형의 초기 설계에 중요한 영향을 미친다. 열가소성 플라스틱은 Fig. 1과 같이 온도와 압력이 증가 할수록 체적이 커지는 것을 알 수 있다. 일반적으로 수지의 흐름방향의 수축이 흐름의 직각방향보다 크게 된다. 본 논문에서 수축률은 성형품과 금형의 캐비티 치수사이의 차이로서 정의하였으며, 허용오차를 정밀하게 하면서 복잡한 성형을 하려면 실제 수축률에 대한 정확한 정보가 필수적이다. 수축률 S 는 식 (1)

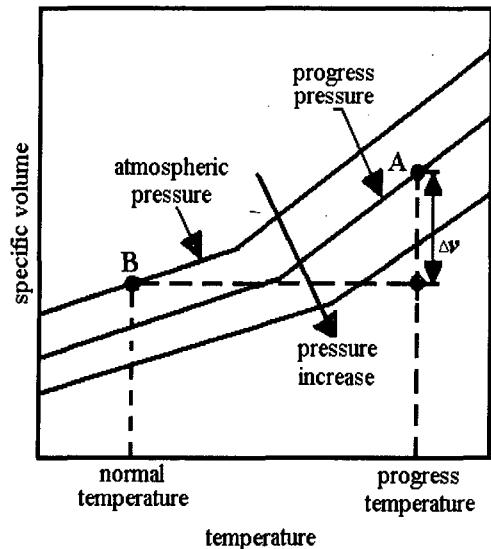


Fig. 1 Relation between temperature and specific volume

과 같다.

$$S = \frac{L' - L}{L'} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서 L' 은 금형의 선형길이이고, L 은 일정한 표준 온도와 압력 하에서 성형된 제품의 선형길이이다. 수축률은 아주 간단한 기하학적 모양으로 계산될 수 있는데, 그것은 재료의 여러 부분에서의 냉각속도에 의존하기 때문이다.

2.2 DACE 모델

크리깅의 한 방법으로써 개발된 DACE 모델링 방법은¹⁰ 해석시간이 많이 소요되거나 비선형성이 큰 설계문제에 적합한 것으로 알려져 있다. 특히, 국부 최적해(local optimum solution)가 많이 존재하는 문제의 경우, 기존의 민감도기반 최적설계 알고리즘은 신뢰성있는 최적해를 제공할 수 없다. 이와 같은 문제에서 DACE 모델은 원래 함수에 대한 대리모델(surrogate model)의 역할을 함으로써 전역적 최적화 알고리즘의 적용을 가능하게 할 수 있다.

본 연구에서는 금형의 수축률의 최적 조건을 구하기 위한 DACE 모델을 이용하였다. 식 (2)는 전역적 근사화를 위한 DACE 모델 $y(\mathbf{x})$ 을 나타내었다.

$$y(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}) + z(\mathbf{x}) \quad (2)$$

여기서 $f(\mathbf{x})$ 는 \mathbf{x} 의 함수이고, $z(\mathbf{x})$ 는 가우스 분포를 따르는 평균이 0이고, 분산이 σ^2 인 분포를 갖는 확률변수이다. 일반적으로 $f(\mathbf{x})$ 는 상수 β 로 들 수 있으므로 식 (2)는 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$y(\mathbf{x}) = \beta + z(\mathbf{x}) \quad (3)$$

또한 $\hat{y}(\mathbf{x})$ 를 근사 모델이라 하면 $y(\mathbf{x})$ 와 $\hat{y}(\mathbf{x})$ 사이의 불편분산(variance unbiased)의 에러가 최소화될 때 $\hat{y}(\mathbf{x})$ 는 식 (4)와 같이 된다.

$$\hat{y}(\mathbf{x}) = \hat{\beta} + \mathbf{r}^T(\mathbf{x})\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \hat{\beta}\mathbf{f}) \quad (4)$$

$\hat{\beta}$ 는 β 의 추정치이고, \mathbf{R}^{-1} 는 상관행렬 \mathbf{R} 의 역수이다. \mathbf{r} 은 상관벡터이고, \mathbf{y} 는 n_s 샘플 데이터를 가진 관측 데이터이다. \mathbf{f} 는 이것들의 n_s 개의 성분

이 모두 1인 벡터이다. 상관벡터는 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{R}(\mathbf{x}^i, \mathbf{x}^k) = \text{Exp}\left[-\sum_{j=0}^m \theta_j |x_i^j - x_k^j|^2\right] \quad (5)$$

여기서, m 은 설계변수의 수이고, θ_j 는 j 번째 설계변수에 상응하는 j 번째 매개변수이다. 본 연구에서는 다섯 개의 매개변수들을 사용하였으며, 상관벡터는 식 (6)과 같이 된다.

$$\mathbf{r}(\mathbf{x}) = [R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(1)}), R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(2)}), \dots, R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(n_s)})]^T \quad (6)$$

이때 n_s 는 표본점의 수이다. 최대 우도함수(maximum likelihood function) L 은 식 (7)과 같이 정의된다.

$$L(y; \theta, \beta, \sigma^2) = \frac{(2\pi\sigma^2)^{-n/2}}{\sqrt{|\mathbf{R}|}} \cdot \text{Exp}\left[-\frac{(\mathbf{y} - \hat{\beta}\mathbf{f})^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \hat{\beta}\mathbf{f})}{2\sigma^2}\right] \quad (7)$$

미분한 로그 우도 함수는 $\hat{\beta}$ 와 $\hat{\sigma}^2$ 가 포함된 식 (7)로부터 정의되고, 0과 같게 둔다. $\hat{\beta}$ 와 $\hat{\sigma}^2$ 를 결정하여 다음 식 (8)과 (9)와 같이 된다.

$$\hat{\beta} = (\mathbf{f}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{f})^{-1} \mathbf{f}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{y} \quad (8)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \left[\frac{(\mathbf{y} - \hat{\beta}\mathbf{f})^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \hat{\beta}\mathbf{f})}{n_s} \right] \quad (9)$$

이때 $\hat{\beta}$ 와 $\hat{\sigma}^2$ 은 매개변수 θ_i 의 함수이다. 매개변수가 결정되었을 때, 근사화 모델은 구성된다. $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 은 식 (10)과 같이 결정된다.

$$\text{Maximize} - \frac{[n_s \ln(\hat{\sigma}^2) + \ln|\mathbf{R}|]^2}{2\sigma^2} \quad (10)$$

$$\theta_i > 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

정의한 근사모델의 타당성을 검증하기 위한 오차 계산인 RMSE(root mean squared error)와 MAXAE(maximum absolute error)는 식 (11), (12)와 같고 본 연구에서는 이 식들을 이용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} (y_i - \widehat{y}_i)^2} \quad (11)$$

$$MAXAE = \text{MAX}[|y_i - \widehat{y}_i|, i=1, 2, \dots, n_t] \quad (12)$$

여기서 n_t 는 근사모델을 확인하는 시험수이다.

2.3 시뮬레이티드 어닐링

시뮬레이티드 어닐링 (simulated annealing) 알고리즘은 안정된 결정을 얻기 위한 담금질 과정을 수치적으로 묘사한 것이다. 설계변수의 변화에 따라 에너지 수준이 바뀌는데, 이때 가장 낮은 수준의 결정상태를 전역적 최적해로 선정한다. 식 (13)과 같은 정식화에서 시뮬레이티드 어닐링을 이용해 전역적 최적해를 구하였다.

$$\text{Minimize objective} \quad (13)$$

여기서 objective는 최소화하고자 하는 목적함수이다.

2.4 설계과정

먼저 DACE 모델을 정의하기 위해 표본점 $L_{25}(5^5)$ 직교배열표를 이용하여 구성하였다. 각 수준은 설계변수의 하한값과 상한값을 고려하여 등간격으로 결정하였다. 이때 DACE 모델을 생성하기 위한 표본점을 구성하는 방법으로써 라틴 하이퍼 큐브(latin hypercube)의 방법이 사용될 수 있으나 직교배열표를 사용하는 것이 보다 효율적이다. 설계변수의 각 수준의 값을 직교배열표에 배치하고 각 직교배열표의 각 실험에 대하여 사출해석을 통하여 수축률을 계산하였다.

다음 단계로서 25회의 해석결과를 이용하여 수축률에 대한 모델을 정의한다. 이 근사모델은 식 (10)의 최적화 문제를 해결함으로써 구하였다. 이 최적화 문제는 민감도 기반 최적설계기법인 수정된 유용 방향법을 이용하여 해결하였다. 이 근사모델의 평가는 식 (11), (12)를 이용하여 수행되며 이를 위한 시험해석결과는 144개로 하였으며, 이 144개는 무작위로 추출된 값이다. 마지막으로 설계변수인 게이트 크기, 러너 크기, 스프루 크기, 보압 및

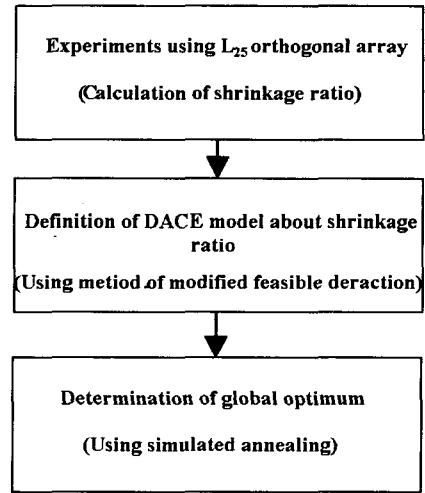


Fig. 2 Suggested design process

보압 시간의 최적해를 구하기 위해 전역적 최적방법인 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용하였다. 근사함수를 갖고 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용하므로 함수 계산에 따른 부담은 없다.

Fig. 2는 설계과정의 플로우차트를 나타내고 있다. 먼저 직교배열표를 이용하여 전자오븐 윈도우 부품용 사출금형을 25회의 사출수지 유동 해석을 수행하여 각각의 수축률을 산출하였다. 둘째로, 유용 방향법을 이용해서 수축률에 대한 DACE 근사모델을 구성하여 144회 각각의 수축률 결과와 비교 분석 하였다. 셋째로, 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용하여 전역적 최적해와 예측한 수축률 결과를 산출하여 수지 유동 해석을 통해서 구한 수축률의 결과와 비교하였다.

3. 직교배열표 및 설계 변수의 선정

본 연구에서는 전자오븐 윈도우 부품용 금형 수지 재료는 열가소성 수지인 PC(poly carbonate)를 사용하였다. 각각의 사출해석 프로그램에서의 설계변수 조건은 사출성형해석 조건을 근거로 게이트 직경, 러너 직경, 스프루 직경, 보압 및 보압 시간의 설계변수를 선정하였다. 그리고 이 설계변수들을 각각 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 으로 나타내었다. 게이트

Table 1 Design variables and their levels

DV \ level	1	2	3	4	5
x_1 (mm)	0.50	0.69	0.88	1.07	1.27
x_2 (mm)	5.80	6.90	8.00	9.10	10.20
x_3 (mm)	4.00	4.55	5.10	5.65	6.20
x_4 (MPa)	180.00	191.00	202.00	213.00	224.00
x_5 (sec)	18.00	18.55	19.10	19.65	20.20

Table 2 $L_{25}(5^5)$ Experiments

No.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	S_A	S_B	S_C	S_D
1	1	1	1	1	1	0.00	-0.39	-1.43	1.53
2	1	2	2	2	2	-0.53	-0.88	-1.71	1.32
3	1	3	3	3	3	-0.98	-1.29	-1.96	0.87
4	1	4	4	4	4	-1.36	-1.63	-2.20	0.18
5	1	5	5	5	5	-1.69	-1.93	-2.43	-0.63
6	2	1	2	3	4	-0.86	-1.17	-1.97	1.42
7	2	2	3	4	5	-1.30	-1.57	-2.22	1.10
8	2	3	4	5	1	-1.67	-1.91	-2.45	0.46
9	2	4	5	1	2	-0.34	-0.66	-1.43	0.61
10	2	5	1	2	3	-0.70	-1.01	-1.69	0.30
11	3	1	3	5	2	-1.59	-1.82	-2.47	1.28
12	2	2	4	1	3	-0.28	-0.61	-1.47	1.18
13	3	3	5	2	4	-0.67	0.98	-1.71	0.75
14	3	4	1	3	5	-1.03	-1.33	-1.96	0.52
15	3	5	2	4	1	-1.38	-1.64	-2.20	-0.18
16	4	1	4	2	5	-0.59	-0.89	-1.73	1.28
17	4	2	5	3	1	-1.00	-1.30	-1.98	0.94
18	4	3	1	4	2	-1.36	-1.61	-2.23	0.76
19	4	4	2	5	3	-1.69	-1.93	-2.45	0.11
20	4	5	3	1	4	-0.36	-0.68	-1.43	0.34
21	5	1	5	4	3	-1.32	-1.57	-2.23	1.15
22	5	2	1	5	4	-1.65	-1.88	-2.48	1.04
23	5	3	2	1	5	-0.34	-0.64	-1.47	0.97
24	5	4	3	2	1	-0.70	-1.00	-1.70	0.50
25	5	5	4	3	2	-1.04	-1.35	-1.94	-0.14

의 크기는 0.5mm에서 1.27mm, 러너는 5.8mm에서 10.2mm, 스프루는 4mm에서 6.2mm로 설정하였다. 보압은 수축된 상태로 고화시키면 표면에 싱크마크 (sink mark)가 생기기도 하고 내부에 기포가 남으므로 이것을 방지하기 위하여 고화하지 않은 상태에서 사출압력을 유지해 주는 것으로써 이의 압력은 180MPa에서 224MPa로 하였으며, 보압 시간은 18sec에서 20.2sec로 설정하였다. 이상의 실험조건은 Table 1과 같고, 5인자 5수준의 $L_{25}(5^5)$ 직교배열표를 이용하여 Table 2의 x_1 에서 x_5 의 데이터를 해석하였다. 그리고 Fig. 3에서 나타난 A, B, C, D 각각의 점에 대한 결과 수축률을 나타내었다.

4. DACE와 시뮬레이티드 어닐링을 이용한 최적설계

4.1 전역적 최적화에 대한 DACE 모델

본 연구에서의 수치유동 해석은 사출전용 해석 프로그램인 몰드플로우를 이용하였다. 사용된 모델은 전자오븐 윈도우 부품에 대한 수치 유동에 대한 수축률을 나타내기 위해 캐비티, 러너, 게이트 및 스프루 4부분으로 구성하였다.

Fig. 3은 3차원 설계프로그램인 Pro-Engineer를 사용하여 3차원으로 모델링한 후 해석을 하기 위해 몰드플로우 프로그램에서 2mm 간격으로 유한요소 분할을 한 것이다. 이 때 수축률은 제품의 모든 영역에서 0에 가까운 값을 갖는 것이 목표이다. 식 (14)에서와 같이 수축률 S^2 는 S_A, S_B, S_C, S_D 이 음의 값을 가지므로 각각의 수축률을 제공하여 더한 전

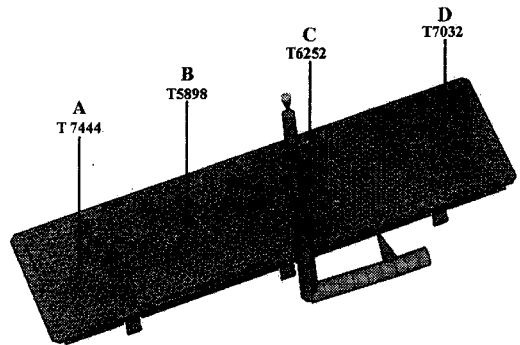


Fig. 3 Solid modeling of window

Table 3 RMSE and MAXAE of DACE model

y	RMSE	MAXAE
S_A	0.040	0.061
S_B	0.472	3.988
S_C	0.030	0.013
S_D	0.105	1.013

Table 4 Optimum parameters of DACE model

y	β	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
S_A	-0.9308	3.6679	0.0019	0.0001	0.9374	0.0001
S_B	-1.1775	3.9994	0.0001	0.2124	0.6892	0.0010
S_C	-1.9522	0.4030	0.0026	0.1452	1.0634	0.0001
S_D	-0.4698	2.8808	0.9572	0.0195	0.0463	0.0001

체 수축률을 나타낸다.

$$St^2 = S_A^2 + S_B^2 + S_C^2 + S_D^2 \quad (14)$$

여기서 식 (14)의 S_A, S_B, S_C, S_D 는 각각 점 A, B, C, D의 수축률을 의미한다. 또한, 근사모델 타당성을 검증하기 위한 오차는 Table 3과 같고, 여기서 RMSE와 MAXAE는 식 (11)과 (12)의 계산 결과를 나타낸다. 여기서 오차는 100회 유동해석을 결과 S^2 와 DACE 기법을 통한 예측 결과를 각각의 수축률 중 가장 적은 수축률을 제공하여 그 차를 나타낸 것이다. 따라서 일반적으로 제품의 수축률을 구할 경우에는 평균으로 나타내지만, 본 연구에서는 제품의 수축률이 금형보다 크거나 (+ %) 금형보다 작게(- %) 나타나는 경우가 있어서 평균을 구하지 않고 각각 A, B, C, D의 요소의 수축률을 비교하였다. 25회 실험 결과 수축률은 Table 2에 나타내었다.

본 연구에서는 전자오븐 윈도우 금형의 설계변수의 최적조건을 구하기 위하여 Table 2의 수축률 S_A, S_B, S_C, S_D 를 이용하여 각각의 DACE 모델 S_A, S_B, S_C, S_D 를 구하였다. 이때 식 (10)의 θ 를 구하기 위하여 최적화과정을 수정된 유동 방향법을 이용하

여 구하였으며, 설계변수에 대응하는 θ 와 식 (8)의 β 는 Table 4에 A, B, C, D에 따라 정리하였다.

4.2 시뮬레이티드 어닐링에 대한 전역적 최적 방법

본 연구에서는 사출 해석에 필요한 변수들은 선형성이 큰 것으로 나타났다. 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용하여 전역적 최적해를 산출한 결과는 $x^* = [0.84 \ 10.20 \ 6.20 \ 180.02 \ 20.19]^T$ 이다. 그리고 DACE 모델에 의한 반응치 S_A, S_B, S_C, S_D 의 예측치와 앞에서 구해진 최적해를 이용한 몰드플로우의 S_A, S_B, S_C, S_D 값을 Fig. 4에서 비교 하였다. 실

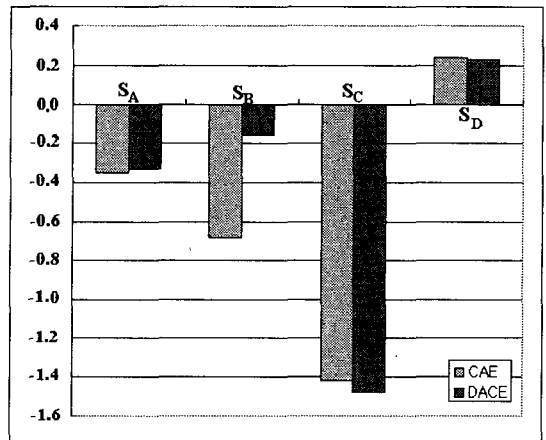


Fig. 4 DACE-SA optimization results

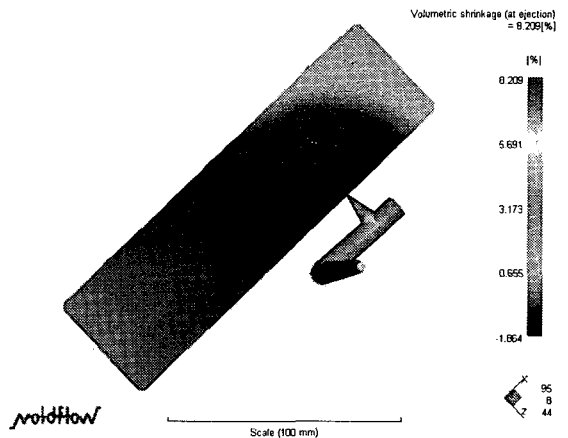


Fig. 5 Shrinkage distribution of optimization

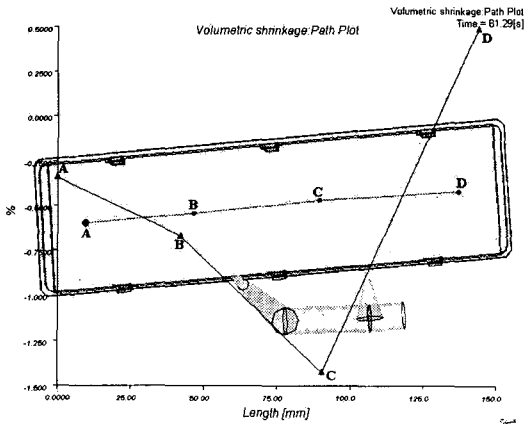


Fig. 6 Shrinkage Result of optimization

험 결과와 예측결과의 오차를 구하기 위하여 식 (14)를 이용하면 실험결과 계산 S_R 은 2.65%이고, 예측결과 계산 2.36%이다. 오차는 DACE 모델이 갖고 있는 오차 및 시뮬레이션의 오차로 기인하여 생긴 차이이다.

몰드 플로우를 통하여 해석한 최적조건인 수축률 분포는 Fig 5와 같이 내었는데 게이트 러너 스프루 보다 캐비티가 수축률이 적은 것을 알 수 있었다. 또 게이트에서 가까울수록 금형의 수축률이 음수를 나타내고 게이트에서 멀수록 수축률이 양수를 나타내었다. 이 이유는 게이트에서 멀수록 수지가 빨리 응고 되어서 수축률이 양수로 나타나고 게이트와 가까울수록 수지가 천천히 응고되어서 수축률이 양수로 나타나기 때문이다. Fig. 6은 최적조건인 A, B, C, D 부분의 수축률을 나타내고 있다.

S_A 의 수축률을 -0.35%, S_B 의 수축률은 -0.68%, S_C 의 수축률은 -1.42%, S_D 의 수축률은 0.24%를 나타내고 있으며 게이트에서 가까울수록 수축률이 크고 멀수록 수축률이 작을 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 전자오븐 부품금형 설계를 위한 표본점을 직교배열표를 이용하고 이 표본점을 갖고 DACE 모델과 시뮬레이티드 어닐링 전역적 최적화 방법을 사용하여 수축률을 최소화시키는 설계변수를 결정하는 것을 목적으로 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험에 의한 결과와 크리깅 방법에 의한 예측치의 결과 비교를 통해서 최적화 과정의 타당성을 검증하였다.
- (2) DACE - SA를 통하여 전자 오븐 부품 금형 설계를 위한 최적 조건은 게이트 크기 0.84mm, 러너 크기 10.20mm, 스프루 크기 6.20mm, 보압 180.02 MPa, 보압 시간 20.19sec이다.
- (3) 실험에 의한 결과와 시뮬레이티드 어닐링 방법에 의한 예측치의 결과의 차이는 DACE 모델을 정의하기 위한 표본점을 증가시키면 감소시킬 수 있는 반면 설계시간이 그만큼 많이 소요된다.
- (4) 몰드 플로우를 이용하여 전자 오븐 윈도우 금형부품 최적조건인 수축률은 2.65%이고 시뮬레이티드 어닐링 방법을 이용한 최적 조건에 의해 해석한 수축률은 2.36%를 나타내었다.
- (5) 본 연구 방법은 다른 전자제품의 부품에도 적용할 수 있고, 초기 설계단계에서 개선된 설계를 하는데 유용할 것이다.

참고문헌

1. Ryu, M. R., Seo, Y. B., Mun, B. J., Park, H. S., "Shoemoulds Runner Shape Optimization using MoldFlow," KSPE Spring Conference, 2003.
2. Park, T. W., Jea, D. G., Jung, Y. D., "Injection mold of Through Plate Type for Recycling," KSPE, Vol.20, pp.123-129, 2003.
3. Chung, H. S. and Alons, J. J., "Comparison of Approximation Models with Merit Functions for Design Optimization," American Institute of Aeronautics and Astronautics, 8th AIAA/SUAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Optimization, Hampton, March 13-16, VA, SIAM, pp.315-329, 1995.
4. Bacchi, B. and Kottegoda, N. T., "Identification and Calibration of Spatial Correlation Patterns of Rain Fall," Journal of Hydrology, Vol.165, pp. 311-348, 1995.
5. Mårdia, K. L. "Kriging and Splines with Derivative Information," Biometrika, Vol. 83, pp. 207-221, 1996.

6. Deceneiere, A. "Applicaions of Kriging to Image Sequence Cooling," Signal Processing; Image Communication, Vol. 13, pp.227-249, 1998.
7. Simpson, T. "Comparison fo Response Surface and Kriging Models for Multidisciplinary Design Optimization," American Institute of Aeronautics and Astronautics, ALLAA-98-47755, pp. 381-391, 1998.
8. Choi, D.S. and Im, Y.T., "Prediction of shrinkage and warpage in consideration of residual stress in integrated simulation of infection molding," Composite Structures, Vol. 47, pp. 655-665, 1999.
9. Georg, Menges Walter, Michaeli and Paul, Mohren, "How to Make Injection Molds," Hanser Gardner Publications, Inc. 2001.
10. Sacks, J., Welch, W. J., Mitchell, T. J. and Wynn, H. P., " Design and Analysis of Computer Experiments," Statistical Science, Vol. 4, No. 4, pp. 409-435.1989.
11. Dubrule, O., "Two Methods with Different Objections, Splines and Kriging," Mathematical Geology, Vol. 15, pp.245-257, 1983.
12. Cressie, N., "Kriging Nonstationary Data," Journal of the American Statistical Association, Vol.8, pp.625-634, 1986.