

## 마이크로 유전알고리즘의 최적설계 응용에 관한 연구

김종현<sup>\*</sup>, 이종수<sup>†</sup>, 이형주<sup>\*\*</sup>, 구본흥<sup>\*\*\*</sup>  
(2002년 6월 3일 접수, 2002년 11월 21일 심사완료)

### Applications of Micro Genetic Algorithms to Engineering Design Optimization

Jonghun Kim, Jongsoo Lee, Hyung-Joo Lee and Bon-Heung Koo

**Key Words :** Evolutionary Computing(진화연산), Micro-Genetic Algorithms(마이크로 유전알고리즘) Structural Optimization(구조최적화), Injection Molding(사출성형)

#### Abstract

The paper describes the development and application of advanced evolutionary computing techniques referred to as micro genetic algorithms ( $\mu GA$ ) in the context of engineering design optimization. The basic concept behind  $\mu GA$  draws from the use of small size of population irrespective of the bit string length in the representation of design variable. Such strategies also demonstrate the faster convergence capability and more savings in computational resource requirements than simple genetic algorithms (SGA). The paper first explores ten-bar truss design problems to see the optimization performance between  $\mu GA$  and SGA. Subsequently,  $\mu GA$  is applied to a realistic engineering design problem in the injection molding process optimization.

#### 1. 서론

최근 수치해석 기법과 컴퓨터 기술의 발달을 통하여 다양한 설계 기법들이 연구되고 있으며, 실제로 이러한 최적화 기법들을 공학적 문제에 적용하여 최적설계가 이루어지고 있다. 그러나 많은 최적화 알고리즘들이 개발되어 왔음에도 불구하고, 각각의 방법들은 한계를 가지고 있게 된다. 예를 들어, 목적 함수의 구배 정보를 이용한 일반적인 최적화 방법은 빠른 시간 내에 최적해를 구할 수 있는 장점이 있는 반면, 초기치에 매우 민감하여 전역 최적해(global optimum)로 수렴하지 못하고 국부적인 최적값(local optimum)으로 수렴할 가능성을

배제할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 제약 조건이 많으며, 비선형적인 문제 해결에 있어서 유전 알고리즘과 같은 전역 탐색 기법이 많이 사용되고 있다. 유전 알고리즘은 적자 생존(survival of the fittest)과 유전 메커니즘을 바탕으로 하는 탐색 알고리즘으로 주어진 설계 환경에 대한 각 개체의 적합성 함수의 값이 큰 유전자를 선택하여 이들을 교배(crossover)하거나 재 생산하며, 때에 따라서는 돌연변이 등을 수행하여 우수한 유전 형질이 다음 세대에 전달되게 한다. 이러한 과정을 통하여 진화가 진행됨에 따라 주어진 설계환경에서 가장 적합한 개체만이 살아 남게 된다.<sup>(1,2)</sup> 하지만, 이러한 유전알고리즘은 전역 최적해를 얻을 수 있는 장점이 있는 반면, 많은 개체들이 여러 세대를 거쳐 진화하는 동안 적합도 함수의 계산에 오랜 시간을 필요로 하는 단점이 있다. 이러한 문제점은 최적화 문제해결에 있어서 유전알고리즘을 사용하는데 많은 제약을 가져 왔다. 이러한 이유로 최근에는 적은 수의 개체로 진화 연산을 통해 전역 최적화를 수행하는 마이크로 유전알고리즘에 관한 많은 연구들이 활발히 진행

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 연세대학교 기계공학부  
E-mail : jleej@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-4474 FAX : (02)362-2736

\* 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\* 한국시물레이션기술(주)

\*\*\* (주)브이엠테크

되어지고 있다.<sup>(3-5)</sup>

마이크로 유전알고리즘은 1988년 D. E. Goldberg에 의해 기본적인 방법이 제시되어 연구되기 시작하였으며, 1989년 K. Krishnakumar에 의해서 처음으로 실제적인 최적화 문제에 적용되었다. 기존의 유전알고리즘과 마이크로 유전알고리즘의 가장 큰 차이점은 개체군의 크기 결정이다. 일반적인 유전알고리즘(SGA, simple genetic algorithm)의 경우 개체군의 크기 결정은 De Jong (1975)과 Grefenstette (1956)의 연구에 기초하여 매개변수에 따라 대부분 결정되어진다. 이렇게 많은 수의 개체들에 의한 진화 과정에서 소요되는 시간적인 결점을 보완하기 위하여 마이크로 유전 알고리즘에서는 변수에 관계없이 적은 수의 개체와 유전알고리즘의 연산자(GA operator)를 이용한 연속적인 진화 수행을 통하여 전역 최적해를 찾아낸다.

본 연구에서는 이러한 마이크로 유전알고리즘을 기계 및 구조 시스템 최적 설계에 적용하고자 한다. 우선 본 연구에서 사용되어진 마이크로 유전알고리즘의 성능 평가를 위해 비교적 간단한 3부재 트러스 문제에 목적함수를 각각 다르게 하여 최적화를 수행하였고, 이보다 변수가 많은 10부재 트러스의 구조 최적설계 문제에 적용하여 일반적인 유전알고리즘을 같은 문제에 적용한 결과들을 비교하였다. 그리고, 그 응용으로 복잡하고 많은 수의 변수를 가지는 사출성형 러너 시스템의 게이트 위치최적화 문제에 대하여 마이크로 유전알고리즘과 사출성형 해석 패키지를 이용하여 최적해를 구하였으며, 그 결과로써 기존의 러너 시스템보다 성능이 향상된 러너 시스템을 도출하였다.

## 2. 마이크로 유전알고리즘

유전 알고리즘의 진화연산을 위한 계산 비용이 높은 단점을 보완하기 위해 '적합도 함수의 계산 비용을 줄이기 위해서는 3개의 개체만으로 진화

연산이 가능하다'는 Goldberg의 개념에 기초하여 최근 마이크로 유전 알고리즘이 활발히 연구되고 있다.<sup>(4)</sup> 마이크로 유전알고리즘은 매개변수의 크기나 복잡함에 관계 없이 매우 적은 수의 개체군을 사용하여 진화연산을 수행하며, 각 세대의 초기 개체군 생성 시에 임의적으로 개체를 생성하는 특징이 있다. 이러한 작업이 돌연변이 연산(mutation)의 역할을 대신하기 때문에 돌연변이 연산을 수행하지 않는다. 돌연변이 연산자를 사용하지 않으므로, 교배연산비율(crossover rate)은 1.0으로 한다. 또한, 적은 수의 개체로 진화 연산을 수행하기 위하여 유전알고리즘의 연산자를 통하여 진화를 수행한 이후 유전형의 유사성이 일정 정도이상 수렴되어야 다음 세대로 넘어가는 특징이 있다.

마이크로 유전알고리즘과 일반 유전알고리즘의 차이점을 Table 1에 나타내었으며, 본 연구에서 사용된 마이크로 유전알고리즘의 구성도는 Fig. 1에 나타나 있다. 그리고, 그 특징과 진화 연산 과정은 다음과 같다.

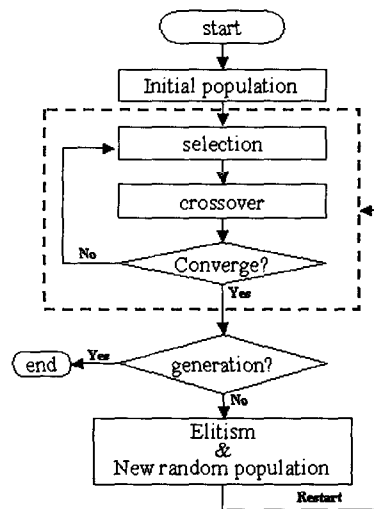


Fig. 1 Flow chart of  $\mu GA$

Table 1 Comparison of SGA and  $\mu GA$

	Simple genetic algorithm (SGA)	Micro-genetic algorithm ( $\mu GA$ )
Population size	dependent upon string length	3 ~ 7
Selection	roulette wheel selection, expected-value selection, ranking selection, elitist, tournament, etc.	elitist, tournament
Crossover	0.6 ~ 0.8	1.0
Mutation	0.01 ~ 0.05	0.0
Convergence	global convergence	local convergence

마이크로 유전알고리즘을 시행하기 위한 초기 개체들을 난수 발생기를 통하여 설계 변수들로 이어진 이진 코드를 무작위로 생성한다. 그리고 이들 개체들 중 임의의 개수만큼의 개체를 선택하고, 이들 선택된 개체들 사이에서 최고의 적합도를 갖는 개체 선발(tournament selection)을 통하여 새로운 개체군을 생성하고 교배 연산을 실행한다. 이러한 개체 선택작업은 다른 방법들 보다 다양성을 보장한다. 위의 과정은 개체들의 유전형의 유사성이 일정 수준 이상으로 수렴(nominal convergence) 될 때까지 반복과정을 거치게 되고 한 세대를 이루게 된다. 그리고 각 세대에서 우수한 유전형질을 보존하고, 진화가 진행됨에 따라 적합도의 상승을 보장하기 위하여, 가장 높은 적합도(fitness)를 가지는 개체(elitism)를 새로운 세대를 시작하기 위한 초기 개체군에 재생산하고, 위의 과정을 주어진 세대만큼 반복 수행한다. 본 연구에서 사용되어진 마이크로 유전알고리즘의 개체군은 5 개의 개체로 구성되어지며, 이들 중 2 개의 개체를 임의로 선택하여 우수한 개체들을 선택하여 교배한다. 그리고, 유전형의 유사성이 95% 이상 수렴되었을 경우 한 세대를 이루며 진화연산을 수행한다.

### 3. 구조최적화 문제

#### 3.1 3 부재 트러스(three bar truss)

앞 절에서 언급한 마이크로 유전알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 2 와 같은 형태의 하중 P 를 받는 3 부재 트러스의 최적설계 문제에 적용하여 일반적인 유전 알고리즘을 적용한 결과와 비교하였다. 이 문제에서는 목적함수를 달리하여 두 가지의 최적화를 수행하였다. 첫번째 최적화 문제의 목적함수로 허용응력 내에서의 부재 무게 최소화를 선택하였고, 나머지 하나는 힘이 주어지는 힌지점(node)에서의 수직 변위를 최소화하는 문제에 대하여 최적화를 수행하였다. 이를 수식화 하였을 때 식(1)과 같다.

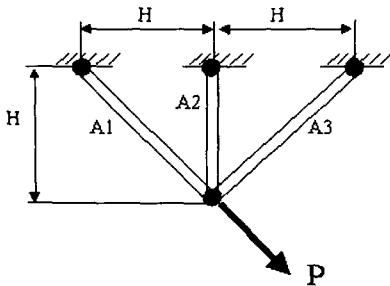


Fig. 2 Three bar truss

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize} && f(x) = W(x) \\
 &&& \text{or } \delta(x) \\
 &\text{Subject to} && \sigma_i(x) - \sigma^u \leq 0 \quad (i=1,2,3) \\
 &&& \sigma' - \sigma_i(x) \leq 0 \\
 &&& x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \\
 &\text{where} && \sigma^u = 20, \sigma' = -15, x_i^l = 0.1 \quad (i = 1, 2), \\
 &&& x_i^u = 5.0 \quad (i = 1, 2), P = 20, E = 1 \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 목적함수  $f(x)$ 에서  $W(x)$ 는 부재의 무게이고,  $\delta(x)$ 는 하중을 받고 있는 힌지점에서의 수직 변위를 나타낸다. 그리고,  $\sigma_i$ 는  $i$  번째 부재에 발생하는 응력이고,  $\sigma^u$ 는 최대 허용 인장 응력이며,  $\sigma'$ 는 최대 허용 압축 응력이다.  $x_i$ 의 상한치와 하한치는  $x_i^u$ 와  $x_i^l$ 로 표기된다.

#### 3.2 10 부재 트러스(three bar truss)

또 다른 하나의 검증으로써 P 의 하중을 받는 10 부재 트러스의 최적설계문제에 이를 적용시켜보았다. 본 예제는 각 부재의 허용 응력을 구속조건으로 가지며, 목적함수로 전체적인 부재의 무게를 최소화하는 문제이다. 이는 식 (2)와 같이 표현된다.<sup>(6)</sup>

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize} && f(x) = \rho \sum_{i=1}^{10} l_i A_i \\
 &\text{Subject to} && G_i = \sigma_i \leq b_i \quad (i=1,2,\dots,10) \\
 &&& A_i^l \leq A_i \leq A_i^u \\
 &&& x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \\
 &\text{where} && \sigma_i = \epsilon_i E_i \quad (2)
 \end{aligned}$$

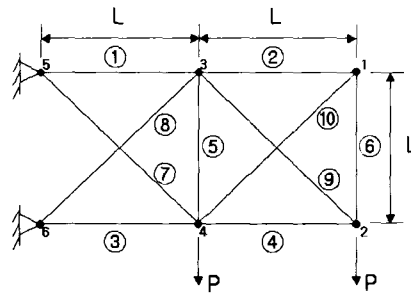


Fig. 3 Ten bar truss

**Table 2** Design parameters in ten bar truss

Density	0.1 lb/in <sup>3</sup>
Allowable stress	25 ksi (for all members except member 9.)
	75 ksi (for member 9.)
Length of member	360 inches
Load	100 kips
Bounds of variables	$0.10 \leq x_i \leq 10.00$ (i = 1, 2, ..., 10)

**Table 3** Optimization results for three bar truss (weight)

		$\mu GA$			SGA			Reference value
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 1	Case 2	Case 3	
Optimal area	X <sub>1</sub>	0.778	0.780	0.824	0.799	0.789	0.789	0.78706
	X <sub>2</sub>	0.440	0.433	0.317	0.384	0.407	0.409	0.40735
Optimal weight		2.64	2.64	2.65	2.64	2.64	2.64	2.6335
Number of function evaluations to convergence		325	95	240	753	760	574	

**Table 4** Optimization results for three bar truss (vertical deflection)

		$\mu GA$			SGA			Reference value
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 1	Case 2	Case 3	
Optimal area	X <sub>1</sub>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	X <sub>2</sub>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Optimal deflection		1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.6569
Number of function evaluations to convergence		70	185	210	459	293	379	

여기서  $\rho$  는 트러스 부재의 밀도이고,  $\sigma_i$  는 각 부재에 작용하는 응력을 나타낸다. 그리고,  $b_i$  는 각 부재의 허용 응력으로 제약조건을 나타낸다. 만일 진화 과정에서 제약조건을 벗어나게 되면(부재의 응력이 허용응력 보다 크게 되면), 적절한 형태의 벌칙(penalty)을 가하는 제약 조건식을 고려한다. 이를 통하여 세대가 높아질수록 적절하지 않은 개체를 도태되도록 하였다. 본 연구에서 고려한 트러스의 형상은 Fig. 3 과 같고, 초기조건과 하중조건 등은 Table 2 에 나타난 바와 같다

3.3 설계결과의 해석

마이크로 유전알고리즘의 성능 평가를 위하여 구조최적화 문제에 대하여 각각 3 번씩 반복 적용하였다. 3 부재 트러스 최적화 문제에 마이크로 유전알고리즘과 일반적인 유전알고리즘을 적용하여 나타난 결과를 Table 3 과 Table 4 에 나타내었다. 그리고 Fig. 4, 5, 6, 7 에 각 알고리즘을 사용하여 수렴하는 과정을 도시하였다. 우선 Table 3 과

Table 4 에서 최적해를 살펴볼 때 약간의 오차가 있기는 하지만 두 가지의 다른 알고리즘을 적용하여 좋은 결과를 얻었음을 알 수 있다. 그리고, 최적해에 수렴하기 위해 일반적인 유전알고리즘을 사용한 경우에 비하여 마이크로 유전 알고리즘을 최적화 문제에 적용하였을 때 진화를 위한 적합도 함수의 계산 횟수가 줄어들었음을 알 수 있다. 그리고, 그것은 계산 횟수가 증가함에 따라 목적함수 값의 변화를 보여주는 Fig. 4 와 Fig. 5 그리고, Fig. 6 과 Fig. 7 을 각각 비교해 보았을 때 일반적인 유전알고리즘에서 보다 마이크로 유전알고리즘을 적용한 경우에 그래프의 곡선이 가파르게 감소하는 것으로 쉽게 알 수 있다. 그리고, Table 5 와 Fig. 8, 9 에 나타난 10 부재 트러스 최적화 문제의 결과와 수렴 특징에서도 결과치는 유사하지만, 마이크로 유전알고리즘을 적용한 경우가 일반적인 유전알고리즘을 적용한 경우보다 최적해에 조기 수렴하는 것을 볼 수 있다.

Table 5 Optimization results for ten bar truss

		$\mu GA$			SGA			Reference value
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 1	Case 2	Case 3	
Optimal area	$X_1$	7.86	8.15	7.85	8.15	7.30	7.81	7.90
	$X_2$	0.41	0.18	0.19	0.10	0.83	0.45	0.10
	$X_3$	8.38	7.99	8.15	8.20	8.77	8.37	8.10
	$X_4$	5.05	3.83	3.89	3.97	3.27	4.16	3.90
	$X_5$	0.12	0.96	0.15	1.10	0.75	0.55	0.10
	$X_6$	0.41	0.25	0.25	0.10	0.82	0.30	0.10
	$X_7$	6.41	5.67	5.87	5.84	6.74	6.30	5.80
	$X_8$	5.23	6.29	5.52	5.68	5.06	5.26	5.51
	$X_9$	3.83	3.85	5.05	5.07	2.89	3.86	3.68
	$X_{10}$	0.50	0.25	0.25	0.40	1.16	0.42	0.14
Optimal weight		1599	1587	1588	1593	1590	1585	1499
Number of function evaluations to convergence		57540	54230	25335	78894	69497	73533	

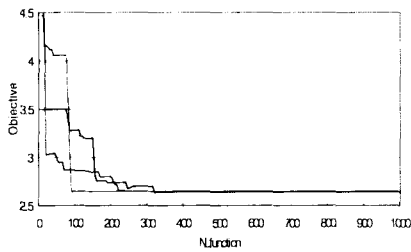


Fig. 4 Three bar truss for  $f = W(x)$  ( $\mu GA$ )

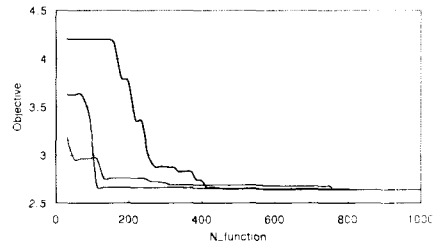


Fig. 5 Three bar truss for  $f = W(x)$  (SGA)

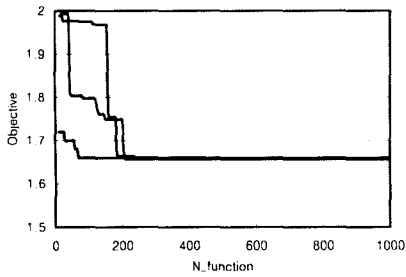


Fig. 6 Three bar truss for  $f = \delta(x)$  ( $\mu GA$ )

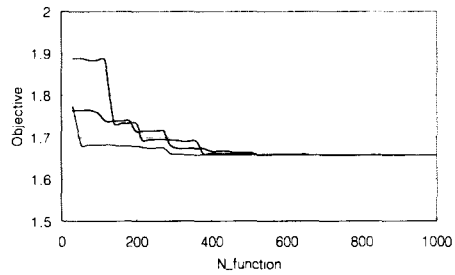


Fig. 7 Three bar truss for  $f = \delta(x)$  (SGA)

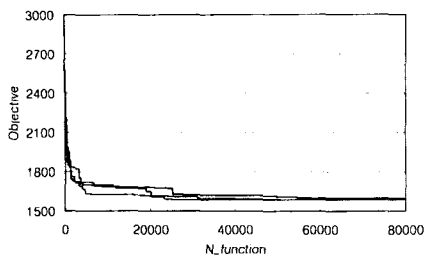


Fig. 8 Ten bar truss ( $\mu GA$ )

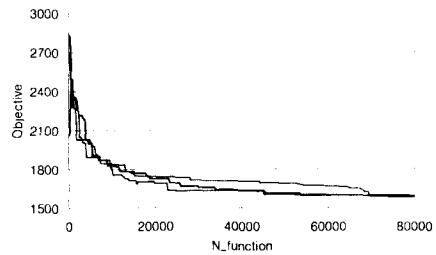


Fig. 9 Ten bar truss (SGA)

#### 4. 사출문제의 응용

##### 4.1 사출 금형 설계

산업의 발달이 급속도로 이루어지고 있으며, 소비자들의 요구가 증가됨에 따라 많은 제품들이 시간과 생산비를 줄이기 위하여 사출성형에 의하여 생산되어지고 있다. 이러한 필요성에 따라 사출금형의 설계에 많은 연구들이 있어왔다.<sup>(7-10)</sup> 그리고, 설계자의 경험과 지식에 근거하여 반복 시도와 예러의 수정의 과정을 통하여 이루어지던 기존의 금형 설계 방법은 유한요소법과 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 실제 금형의 반복적인 제작에 의하지 않고, 상용 패키지에 의한 유한요소해석을 통하여 적은 시간과 개발 비용으로 설계되고 있다. 사출성형의 금형 설계문제는 대부분 비선형성이 강하고, 설계 변수가 많아 목적함수의 구배정보를 이용하는 최적화 기법은 적합하지 않으며, SA (simulated annealing), 또는 유전알고리즘 같은 전역 탐색 기법을 통하여 최적화가 이루어진다.<sup>(11-13)</sup>

사출성형 제품의 불량은 여러 가지 복합적인 요인에 의해 발생하지만 대부분의 불량이 유동 불균형에 의해 발생한다. 만일 동시 충전이 이루어지지 않으면 먼저 충전된 부위는 냉각되면서 과포압 (over-packing) 상태에 놓이게 되어 다른 부위와의 수축률 차이에 의하여 변형이 일어나게 된다. 이러한 불량을 줄이기 위하여 유동 패턴 개선에 가장 많이 사용하는 방법이 게이트(gate)의 위치 조정이다. 이러한 게이트 위치 선정은 유동해석과 유동 패턴 분석의 과정을 통하여 제품 전체가 동일하게 충전(filling)되도록 이루어진다.

##### 4.2 문제 정의와 최적화 방안

본 연구에서는 마이크로 유전 알고리즘의 또 다

른 응용으로써 7 개의 게이트를 가지는 차량용 데시보드(dash-board)의 게이트 위치 최적화 문제를 사출성형의 수치 유동에 대한 시뮬레이션 프로그램 'CAPA'<sup>(14)</sup>를 통한 충전해석의 결과를 이용하여 마이크로 유전알고리즘에 적용한 Fig. 10 과 같은 과정을 통하여 진화 연산을 수행하였다. 충전해석에서 수지는 비압축성으로 가정하며, 수치 모델은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( S_2 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( S_2 \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

where  $S_2 = \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz$  (3)

식 (3)<sup>(15)</sup>은 사출성형에서 수치 거동을 나타내는 지배 방정식으로 p 는 압력, T 는 수지의 온도, t 는 시간을 나타낸다. 그리고,  $\eta$  는 점성,  $\dot{\gamma}$  는 전단율(shear rate), k 는 열전도율을 나타낸다.

러너 시스템의 최적화를 위해 목적함수로 최대 사출압력을 고려하였으며, 이 문제는 제한조건이 없는 단일 목적함수를 갖는 최적화 문제이다. 이를 수식으로 표현하면 식 (4)과 같다.

$$\text{Minimize} \quad \max P(x_i, y_i, z_i) \quad (i = 1, 2, \dots, 7) \quad (4)$$

여기서,  $x_i, y_i, z_i$  는 i 번째 게이트가 위치하는 유한요소 격자의 좌표값들을 나타내고 있으며, P 는 수치 주입구에서의 압력을 나타낸다.

최적화를 수행함에 있어서 탐색 영역은 캐비티 내의 용융수지의 흐르는 방향, 웰드라인(weld line) 생성, 게이트 처리 등을 고려하여 Table 6 과 같이 선택하였으며, Fig. 11 에 도시하였다

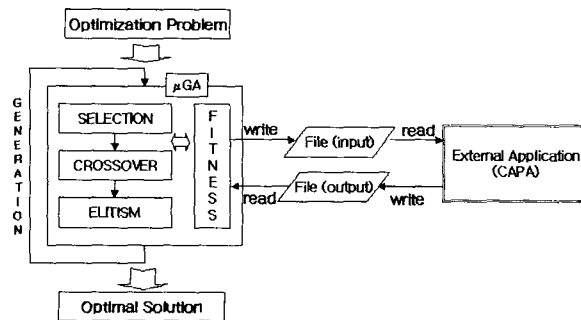


Fig. 10 Gate optimization by  $\mu GA$

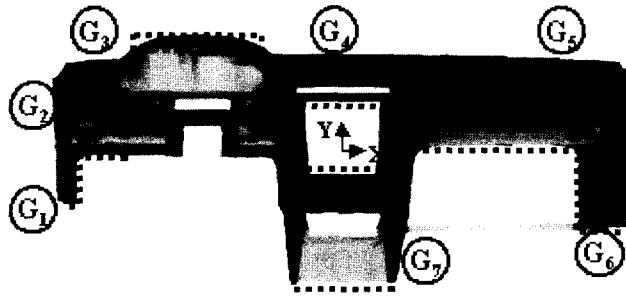


Fig. 11 Design space in the gate optimization

Table 6 Design space in the gate optimization

		G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>
x	Upper	-670	-670	-510	-115	160	580	-115
	Low	-650	-430	-235	105	675	690	115
y	Upper	-140	-10	250	110	5	-200	-340
	Low	-130	160	260	195	190	-190	-210
z	Upper	-280	-200	-150	-260	-220	-300	-10
	Low	-120	-125	-140	-200	-140	-125	0

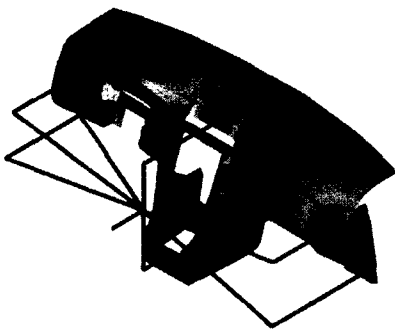


Fig. 12 Pressure distribution(initial runner system)

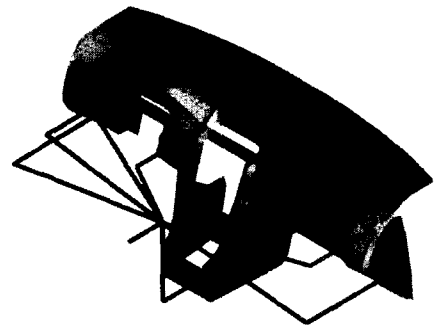


Fig. 13 Pressure-distribution(optimized runner system 1)

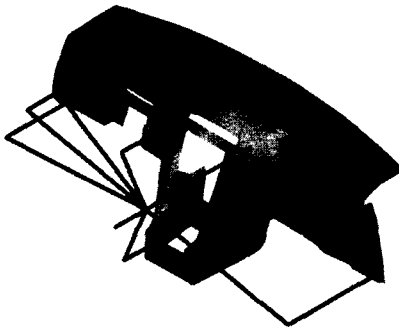


Fig. 14 Pressure distribution(optimized runner system 2)

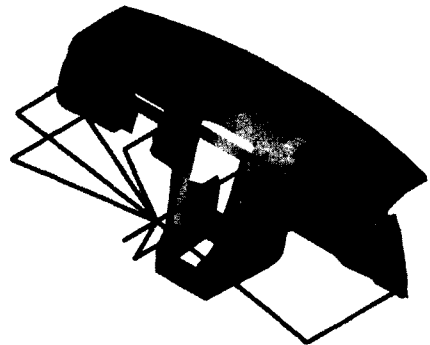


Fig. 15 Pressure-distribution(optimized runner system 3)

Table 7 Coordinates of optimized runner system

		Coordinate of gate							Maximum Pressure [Mpa]
		Gate 1	Gate 2	Gate 3	Gate 4	Gate 5	Gate 6	Gate 7	
Initial runner system	X	-669	-631	-363	0	627	617	0	242.69
	Y	-139	70	262	171	70	-202	-273	
	Z	-275	-136	-147	-258	-136	-333	-4	
Optimize runner system 1	X	-669	-524	-325	-116	664	645	0	188.27
	Y	-127	55	262	137	134	-99	-336	
	Z	-258	-137	-148	-220	-171	-230	-7	
Optimized runner system 2	X	-698	-570	-440	-119	181	672	-110	185.8
	Y	96	104	258	150	164	-170	-293	
	Z	-242	-156	-147	-214	-223	-299	-5	
Optimized runner system 3	X	-655	-631	-363	-146	181	672	-102	184.13
	Y	-108	85	262	183	164	-170	-223	
	Z	-231	--143	-147	-208	-223	-299	-1	

4.3 최적화 결과 해석

마이크로 유전알고리즘을 사출성형 러너시스템 최적화 문제에 적용하여 Table 7 에 나타난 바와 같이 최대 사출압력이 각각 20% 이상 감소하는 러너 시스템들을 도출하였다. 그리고, Fig. 12 는 기존의 러너 시스템을 나타내고 있으며, Fig. 13, 14, 15 에서는 최적화 수행되어진 러너 시스템들을 보여주고 있다. Table 7 에서 보면 Fig. 14 의 러너시스템에서 최대사출압력이 가장 많이 개선된 것으로 나타내고 있으나, Fig. 12 에 나타난 기존의 러너시스템의 압력분포와 Fig. 14, 15 에 나타난 압력분포를 살펴보면 기존의 러너시스템에 비하여 좌측에 과보압이 형성됨을 알 수 있다. 이는 수지의 충전 과정에서 동시충전이 일어나지 않아 유동불균형이 일어났다는 것을 의미하며, 냉각과정에서 제품의 변형이 발생할 수 있음을 나타낸다. 그러므로, 실제로 최대사출압력뿐만 아니라 기존의 러너시스템에 비하여 압력분포에서도 성능 향상된 Fig. 13 의 러너시스템이 가장 적합한 러너시스템이라고 할 수 있다. 이는 Fig. 13 의 러너시스템을 사용함으로써 수지(polymer)의 유동패턴이 개선될 수 있으며, 제품의 불량률이나 사출성형과정에서 발생할 수 있는 여러 문제점들을 해결하였음을 뜻한다.

본 연구에서는 최적화를 수행하는 목적함수로 최대사출압력만을 고려하였으므로 Fig. 14, 15 와 같은 불균일한 유동패턴을 갖는 러너시스템을 도출하였지만, 이러한 문제는 각 게이트에서의 압력차를 최소화, 또는 전단응력의 최소화를 목적함수에 포함시켜 다목적 최적화를 수행하면 해결될 수 있다. 그리고, 여기에 제품의 불량률의 한 원인인 웰드라인(weld line)의 발생 지역을 구속조건으로 제

한함으로써 설계자가 원하는 러너시스템을 도출할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 구조최적화 문제인 3 부재 트러스와 10 부재 트러스의 최적화를 통하여 일반적인 유전알고리즘과 마이크로 유전알고리즘의 성능을 비교하였으며, 일반적인 유전알고리즘 비하여 마이크로 유전알고리즘이 적은 계산비용에서 수렴하는 것을 검증하였다. 이 밖에도 마이크로 유전알고리즘을 사출성형의 게이트 위치 최적화에 적용함으로써 기존의 러너 시스템과 비교하여 보았을 때 최대 사출압력이 감소하는 게이트 위치들의 조합을 갖는 러너 시스템을 도출함으로써 냉각 과정에서 발생하게 되는 변형 등의 불량률을 줄이고, 최종 생산품의 품질 향상을 이룰 수 있음을 보였다. 그리고, 이번 연구를 통하여 마이크로 유전알고리즘을 사출성형 러너시스템에 적용하여, 최적화되어진 러너시스템을 도출함으로써 비선형성이 강하고, 복잡한 실제 공학문제에 전역 최적화 기법으로써 마이크로 유전알고리즘이 다양하게 적용될 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 연구는 한국과학재단 지정 최적설계신기술 연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.



## 참고문헌

- (1) David E. Goldberg, 1989, *Genetic Algorithms*, Addison-Wesley Publishing Company, USA, p. 412
- (2) Chaiyaratana, N, Zalzal, A. M. S, 1997, "Recent Developments in Evolutionary and Genetic Algorithms: Theory and Applications," *Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 2-4 September, NO. 446 pp. 270~277.
- (3) Krishnakumar, K, 1989, "Micro-Genetic Algorithms for stationary and non-stationary function optimization," *Intelligent Control and Adaptive Systems*, Vol 1196, pp. 289~296
- (4) Coello, C. A. and Pulido, G. T, 2001, "Multi-objective Optimization using a Micro-Genetic Algorithm", *GECCO 2001*, pp. 274~282
- (5) Jeongsu Hwang, 2002, *Fuzzy Modeling and Fuzzy Rule Generation in Response Surface Based Approximate Optimization*, Master's thesis, The graduate school yonsei university.
- (6) Yokota, T, Taguchi, T. and Gen, M, "A Solution Method for Optimal Weight Design Problem of 10 Bar Truss Using Genetic Algorithms," *Computers ind. Engng*, Vol. 35, Nos 1-2, pp. 367~372
- (7) Sang Hun Lee, Kunwoo Lee, Chun Jin Go, 1988, "An Integrated CAD System for Mold Design in Injection Molding Process," *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol.12 No.6, pp. 1227~1237.
- (8) Heon Young Kim, Joong Jae Kim, Young Joo Kim, 1997, "The Injection Molding Analysis and The Mold Design for Automotive Plastic Fender," *Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity*, Vol.6 No.6, pp 489~499.
- (9) Seong Jin Park, Tai Hun Kwon, 1997, "Optimum Design of Injection Molding Cooling System via Boundary Element Method," *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 21 No. 11, pp 1773~1785.
- (10) Jo, Y. M, Kwon, O. J, Yoo, Y. J. and Kim, J. D, 1995, "A Study Estimation of Filling Phase Condition in Injection Molding Process," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 12 No. 3, pp. 110~118.
- (11) Saxena, M. and Irani, R. K, 1992, "Automated Gating Plan Synthesis for Injection Molds," *Computers in Engineering*, Vol. 1, pp. 381~389.
- (12) Pandelidis, I. and Zou, Q, 1990, "Optimization of Injection Molding Design. (Part 1 : Gate Location Optimization)," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 30, No. 15, pp. 873~882.
- (13) Kim, B, Nam, G, Ryu, H. and Lee, J, 2000. "Optimization of Filling Process in RTM Using Genetic Algorithm," *Korea-Australia Rheology Journal*, Vol. 12, No. 1, March 2000, pp. 83~92.
- (14) 2000, *Computer Aided Plastics Application-CAPA tutorial*, VM-Tech.
- (15) Peter Kennedy, 1995, *Flow Analysis of Injection Molds*, Hanser/Gardner Publications.