

# 유전자 알고리즘을 이용한 트러스 구조물의 최적설계

백운태\* · 조백희\*\* · 성활경\*\*\*

## Optimization of Truss Structure by Genetic Algorithms

Woon-Tae Baik\*, Baek-Hee Cho\*\* and Hwal-Gyeong Sung\*\*\*

### ABSTRACT

Recently, Genetic Algorithms(GAs), which consist of genetic operators named selection crossover and mutation, are widely adapted into a search procedure for structural optimization. Contrast to traditional optimal design techniques which use design sensitivity analysis results, GAs are very simple in their algorithms and there is no need of continuity of functions(or functionals) any more in GAs. So, they can be easily applicable to wide territory of design optimization problems. Also, virtue to multi-point search procedure, they have higher probability of convergence to global optimum compared with traditional techniques which take one-point search method. The introduction of basic theory on GAs, and the application examples in combination optimization of ten-member truss structure are presented in this paper.

**Key Word :** Genetic Algorithms, Selection, Crossover, Mutation, Optimal Design

### 1. 서 론

지난 30여년 동안 주어진 문제의 최적해를 구하는 방법으로 목적함수와 제한식의 도함수를 구하여 최적설계를 지향하는 방법들이 다양하게 개발되어 왔다.

그 대표적인 방법으로서 SUMT(Sequential Unconstrained Minimization Techniques)에서의 Penalty Function Method와 Augmented Lagrange Multiplier Method등이 있으며, 설계변수의 변화에 따른 구조물의 거동변화를 예측하는 민감도 해석은 유한 요소 방정식을 직접 미분하여 그 해를 구하는 Direct Differential Method와 변분원리를 도입한 Adjoint Variable Method<sup>1)</sup> 등이 알려져 있다.

이들 최적화 기법들은 실제 문제의 최적화에 널리 사용되고 있지만 다음과 같은 몇 가지의 문제점이 있다.

첫째, 도함수를 이용한 최적화 기법이므로 불연속

적인 거동을 하는 문제에는 적용이 불가능하며, 또한 함수들이 비교적 완만하지 않을 경우에는 해를 구하는 과정이 불안정해져서 최적해를 구하기가 매우 어려워진다. 둘째, 특정한 하나의 점에서 최적해를 구하기 때문에 그 해가 전역 최적해(Global Optimum)인 것을 보장할 수가 없고, 셋째 모든 범주의 최적설계 즉, 치수, 형상, 구성의 최적화를 동시에 수행하기가 매우 어렵다.

한편, 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GAs)<sup>2)</sup>은 다윈의 적자생존(Survival of the Fittest) 법칙에 의한 자연계의 진화 과정을 응용한 3가지의 조작(Operation) 즉, 선택(Selection), 교배(Cross-over), 돌연변이(Mutation)를 통해 구세대보다는 더욱 양호한 특성을 갖는 세대를 만드는 과정을 반복적으로 수행하여 최적해를 구하는 것으로 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, GAs는 단지 적응도(Fitness value)만을 이용하기 때문에 알고리즘이 간단하여 광범위한 문제에의 적용이 용이하며, 모든 범주의 최적 설계를 동시에 수행할 수 있다.

둘째 다수의 점에서 최적해를 탐색해 나가므로 기

\*기아정기 기술연구소  
\*\*정회원, 한국기계연구원  
\*\*\*창원대학 기계공학과

존의 방식에 비하여 구한 해가 전역 최적해일 확률이 높다.

본 논문에서는 GAs를 이용한 기계구조물의 최적설계 프로그램을 개발하여 이를 10 부재 평면 트러스 구조물의 치수, 형상 및 구성의 최적화 문제에 적용하여 그 결과를 고찰하였다.

## 2. 유전자 알고리즘(GAs)

### 2.1 개요

GAs는 3가지 조작자를 이용하여 자연계의 진화 과정을 인위적으로 실행하는 것으로, 그 개략적인 과정과 각 조작자의 역할은 아래와 같다.

먼저 임의의 숫자(Population size)의 개체로 구성된 어떤 집단(Population)이 있고, 각 개체는 다수개의 인자(Gene)의 조합으로 만들어진 각자 다른 유전자형을 가지고 있으며 이에 의해 주어진 환경에 적응하는 적응도가 각자 다르게 나타난다고 가정하기로 한다.

#### 1) 선택 (Selection)

선택은 상기 각 개체들 중에서 다음 세대를 만드는 후보들을 선별하는 과정으로서 적응도가 높은 개체를 확률적 방법에 의해 선택하게 되며, 그 선택될 확률은 식(1)과 같이 표현된다.

$$Ps(i) = f_i / (\sum_{i=0}^n f_i/n) = f_i/\bar{f} \quad (1)$$

여기서 Ps(i): i 번째 개체가 선택될 확률  
 f<sub>i</sub>: i 번째 개체의 적응도  
 $\bar{f}$ : 집단 전체의 평균 적응도  
 n: 집단을 구성하는 개체의 수

식 (1)에 의해 계산된 확률로 유전자형의 선택은 일반적으로 다음과 같은 방법들을 이용한다.

- ① Deterministic Sampling
- ② Remainder Stochastic Sampling without replacement
- ③ Remainder Stochastic Sampling with replacement
- ④ Stochastic Sampling without replacement
- ⑤ Stochastic Sampling with replacement(roulette wheel selection)
- ⑥ Stochastic tournament(Wetzel ranking)

상기 방법들 중 Stochastic Sampling with replacement(방법 ⑤)가 일반적으로 많이 사용되고 있으며 프로그램 작성이 비교적 간단한 장점이 있는 반면 계산된 확률대로 각 개체가 선택되지 못할 경우가

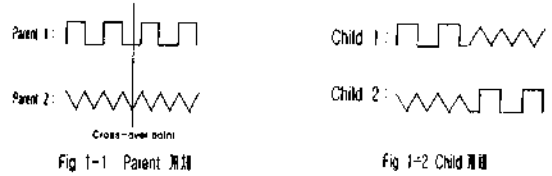


Fig. 1. Cross-over.

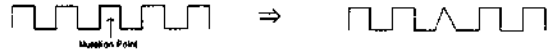


Fig. 2. Mutation.

발생하는 문제가 있다. 한편, Remainder Stochastic Sampling without replacement(방법 ②)의 경우는 계산된 확률의 정수개 만큼을 일단 선택한 후 나머지 소수부분만을 Stochastic Sampling with replacement(방법 ⑤)으로 선택하고 또한 소수부분이 선택된 개체는 더 이상 선택되지 않는 방법으로서 예를 들면, i 번째의 개체가 선택될 확률이 3.2로 계산되었다면 실제 선택되는 개수는 반드시 3개 혹은 4개가 되는 방식으로 본 논문에서는 이 방식을 채택하였다.

#### 2) 교배(Cross-Over)

선택에 의해 선별된 개체들끼리 무작위(Random)하게 짝을 이루어 새로운 개체를 생성하는 과정으로 기본 개념은 Fig. 1과 같다.

#### 3) 돌연변이(Mutation)

유전자형을 구성하는 어떤 인자가 미처 검증을 받지 못하고 도태되는 것을 방지하기 위해서 주어진 확률에 의해 돌연변이를 일으키는 과정으로 최적설계에서는 전역 최적해를 찾기 위한 수단으로 사용되며 기본 개념은 Fig. 2와 같다.

GAs에서는 상기 조작자에 의해 적응도가 보다 우수한 세대를 만드는 과정을 반복적으로 수행하여 최적해를 구한다.

## 2.2 설계변수의 표현

최적설계에서는 설계변수의 정의가 필요한데, GAs에서는 n개의 2진수로 표현되는 유전자형(Genotype)으로서 그 시스템의 설계변수 들을 기호화하게 되며 설계변수의 지정은 다음과 같은 2가지 방법이 있다. 첫째는 유전자형의 일부(혹은 전부)를 Decode 하여 바로 설계변수의 값으로 지정하는 방법으로 그 개략적인 개념은 아래와 같으며 설계변수의 개수가 작을 경우 유효한 방법이다.

설계변수의 범위:  $1.5 \leq X \leq 4.2$     염색체 길이: 6  
 선택된 유전자 형: 010111 --> 23

설계변수의 값:  $1.5 + (4.2-1.5) \times \frac{23}{2^6} = 2.4703125$

두번째 방법으로는 설계변수를 Index 값으로 주는 경우로서 유전자형의 일부를 미리 정해진 길이만큼 Decode하여 정수 값을 구하고 이 정수 값에 해당하는 설계변수 값을 후보 설계변수군에서 지정하는 방식으로서 그 개략적인 개념은 아래와 같으며 본 문제와 같이 설계변수의 개수가 많을 경우 유효한 방법이다.

{0100 1100 0001} → {4, 12, 1} → {x1, x2, x3}  
 유전자 형            decode된    설계변수값  
                           정수 값

상기 예에서 Decode 된 정수 값은 후보 설계변수군 내에서의 각 설계변수의 순서를 의미한다.

한편, R.T. Haftka는 유전자형을 2진수로 표시하는 대신 바로 정수 값을 사용하여 설계변수를 지정하는 방식을 제안하였다.<sup>[1]</sup> 두 가지 방법을 비교하여 보면 2진수형으로 지정할 경우 후보 설계 변수군 내의 설계변수의 개수가 2의 급수가 되어야하는 제한이 있는 반면, 정수형으로 지정할 경우에는 설계 변수의 개수에 제한이 전혀 없게 된다. 또한 교배조작을 할 때 2진수형의 경우에는 아래의 예와 같이 유전자형에 내포된 원래의 설계변수의 값이 바뀌게 되는 경우가 있다.

Parent 1 : {0100 1100 0001}	Child 1 : {0100 1101 0110}
Parent 2 : {1010 0101 0110}	Child 2 : {1010 0100 0001}
Cross-Over Point	
설계변수값 변화	

한편, 정수형의 경우에는 아래의 예에서 보듯이 설계변수가 전혀 바뀌지 않는다.

Parent 1 : {43   19 2 }	Child 1 : {43 7 24}
Parent 2 : {11   7 24}	Child 2 : {11 19 2}
Cross-Over Point	

따라서 2진수형의 경우 결과적으로 돌연변이가 발생한 것과 같은 결과를 나타내어서 다양한 유전자형

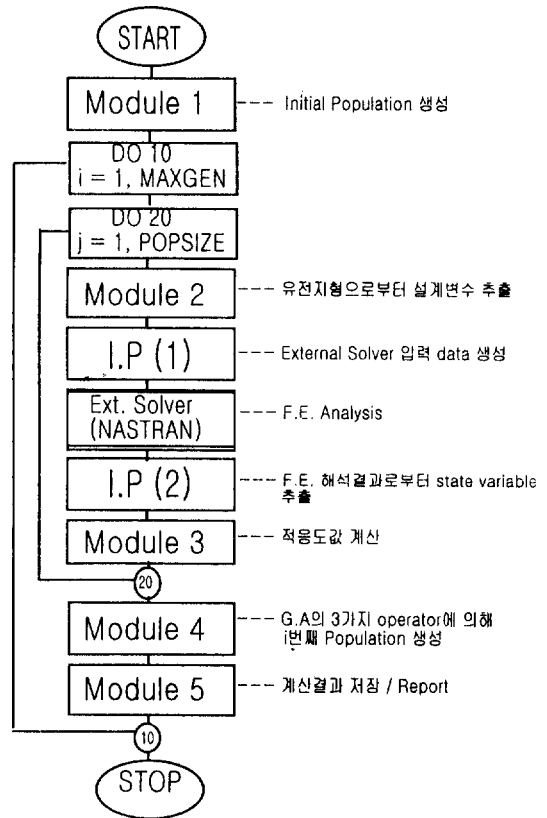


Fig. 3. Flow chart and calculation process of each modules.

에 대한 평가가 가능한 반면 최적해에의 수렴이 늦어질 가능성이 있고 정수형의 경우에는 수렴이 빠른 반면 국부해를 찾을 가능성이 높아질 것으로 추정되어 지므로 본 논문에서는 두 가지 방식에 대해 모두 적용하여 결과를 비교 검토 하고자 한다.

### 2.3 프로그램

GAs를 인위적으로 수행하는 프로그램을 범용성을 고려하여 5개의 독립된 Module과 외부해석 Code(ex:NASTRAN, DADS, ADAMS 등)와의 데이터 교환을 위한 2개의 I.P(Intermediate Processor)로 구성하였으며 각 Module의 기능과 연산과정은 Fig. 3과 같다.

### 3. 10부재 트러스 구조물에서의 적용

10부재 트러스 구조물의 치수, 형상, 및 구성의 최적화에 GAs를 적용하였으며 그 내용은 다음과 같다.

3.1 문제의 정의

10 부재 트러스 구조물의 기하학적인 형상과 경계 조건을 Fig. 4에 나타내었으며 3번 절점에 Y방향으로 5000N의 힘이 14.14Hz의 주기로 작용하고 있으며 구조물 전체의 Structural Damping 계수로 0.01이 주어졌다고 할때, 각 요소의 단면적과 각 절점의 좌표를 설계변수로 취하여 주어진 주파수 응답해석 결과가 제한조건을 만족시키면서 구조물의 중량을 최소화시키는 문제를 생각한다. 따라서 최적화 문제의 목적함수로는 구조물 전체의 중량으로 식 (2)와 같고, 제한 조건으로는 각 요소응력이  $\sigma_c$  (25,000N/Cm<sup>2</sup>)를 넘지 못하고, 각 절점(Node)에서 모든 방향의 변위량이  $\Delta_c$  (0.05 Cm)를 넘지 못하는 것으로 주어졌으며, 이는 식 (3), (4)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\text{목적함수 : Minimize } W = \sum_{i=1}^{\text{NUMEL}} \rho_i A_i L_i \quad (2)$$

여기서, NUMEL : 요소의 수

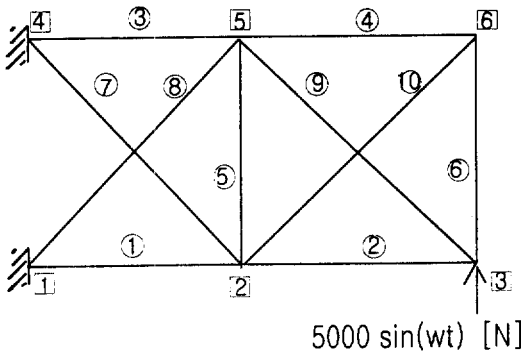


Fig. 4. Configuration of 10-member truss structure.

$\rho, A, L$  : 재료의 밀도, 단면적, 길이

$$g_1 = \frac{\sigma_i - \sigma_c}{\sigma_c} \leq 0 \quad (i=1, \text{NUMEL}) \quad (3)$$

$$g_2 = \frac{\Delta_k - \Delta_c}{\Delta_c} \leq 0 \quad (j=1, \text{NPT}, k=1, \text{NDOF}) \quad (4)$$

여기서, NUMEL : 요소의 수

NPT : 절점의 수

NDOF : 각 절점의 자유도

$$\text{설계변수의 : } A_m(L) \leq A_m \leq A_m(U) \quad (1 \leq m \leq \text{NUMEL}) \quad (5)$$

범위

$$\vec{X}_n(L) \leq \vec{X}_n \leq \vec{X}_n(U) \quad (1 \leq n \leq \text{NPT}) \quad (6)$$

여기서, L, U : 하한, 상한 (Lower, Upper limit)

식 (5)에서  $A_m$ 은 각 요소의 단면적을 그리고 식 (6)의  $\vec{X}_n$ 은 각절점의 X, Y좌표를 벡터로 나타낸 것이며 본 문제에서의 설계 변수의 값과 범위는 Table 1과 같다. 이들 설계변수들의 값과 범위에 의해 기대 되는 최적해는 구성에 있어서 Fig. 4에서 요소 7, 8, 9, 10의 일부 또는 전부가 없어지는 6~10 부재 트러스 구조물이 예상된다.

3.2 적용도 계산

GAs에서는 단지 적용도 만을 이용하기 때문에 제한식이 있는 문제를 바로 다룰 수는 없고 Penalty Function을 도입하여 제한식이 없는 문제로 치환하여 다루게 된다.

Exterior Penalty Function Method<sup>[4]</sup>를 이용하여 유사 목적함수(Pseudo Object Fuction)를 식 (7)과 같이 표

Table 1. Range of design variable

요소번호	단 면 적 설계변수범위(Cm <sup>2</sup> )	절점번호	절점의 위치	
			방 향	설계변수범위(Cm)
1, 2, 3	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40	2	X	325, 330, 335, 340, 345, 350, 355, 360, 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395, 400
			Y	-14, -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16
4	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48	3	Y	-14, -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16
5, 6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	5	X	325, 330, 335, 340, 345, 350, 355, 360, 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395, 400
			Y	344, 346, 348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 362, 364, 366, 368, 370, 372, 374
7, 8, 9, 10	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	6	Y	344, 346, 348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 362, 364, 366, 368, 370, 372, 374

현할 수 있다.

$$\Phi(\vec{X}, r_p) = F(\vec{X}) + r_p P(\vec{X}) \tag{7}$$

여기서  $\vec{X}$ : 설계변수  
 $F(\vec{X})$ : 원래의 함수, W  
 $P(\vec{X})$ : Penalty function  
 $r_p$ : Penalty parameter

한편 penalty function  $P(\vec{X})$ 는 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$P(\vec{X}) = \sum_{j=1}^m \{\max [0, g_j(\vec{X})]\}^2 \tag{8}$$

여기서 m: 제한식의 수

$$\max [0, g_j(\vec{X})] = \begin{cases} 0 & : g_j(\vec{X}) \leq 0 \\ g_j(\vec{X}) & : g_j(\vec{X}) > 0 \end{cases}$$

따라서 각 개체의 적응도는 다음 식 (9)와 같이 표현되고 여기서 C는 임의의 상수이다.

$$\text{Fitness} = C / \Phi(\vec{X}, r_p) \tag{9}$$

**3.3 GAs의 적용**

본 논문에서는 10부재 트리스 구조물에 대해서 각 요소의 단면적과 특정 절점의 좌표값을 설계변수로 취하는 경우와 각 요소의 단면적만을 설계변수로

취하는 경우에 대해서 각각 GAs를 적용하여 보았다. 또한 각 개체의 유전자형을 표현하는 방식에 있어서 2진수로 표현하는 경우와 정수형으로 표현하는 경우 그 결과를 서로 비교하여 보았으며 해석에 적용한 방식 및 주요 계수의 값들은 Table 2와 같다.

먼저 최대 적응도 값은 단면적과 절점의 위치를 설계변수로 취한 경우(Integer 2, Binary)가 단면적만을 설계변수로 취한 경우(Integer 1) 보다 더 좋은 결과를 보이고 있다.

설계 개선량은 GAs의 초기해에 비해 Integer 1의 경우 34.7%, Integer 2의 경우 39.9%, Binary의 경우 40.3%를 나타내고 있다.

해석결과, 구조물의 최적형상은 Fig. 5와 같이 2번과 5번 절점의 위치는 Y 방향으로의 길이가 증가하는 방향으로, 그리고 X방향으로는 절점의 X값이 증가하는 방향으로 움직이고 있다. 또한 3번과 6번 절

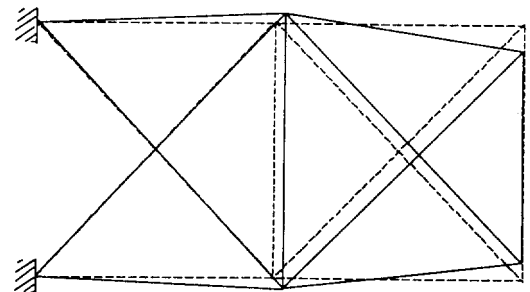


Fig. 5. Integer 1, Integer 2, (109th Generation) Binary (62th Generation).

Table 2. Application method GAs and coefficients

Popsize	150	Penalty 값	50.0
Cross-over 확률	0.99	Mutation 확률	0.01
Scale 방식	Linear Scale	Cross-over 방식	1 point cross-over
Selection 방식	Remainder stochastic sampling without replacement		

Table 3. Value of design variable at maximum fitness

Type	Generation No.	설계변수	
		단면적(1-10)	절점위치(x, y)
Integer 1 (단면적만변화)	109	10, 10, 10, 6, 1, 16, 4, 2, 11, 6	불변
Integer 2 (단면적, 절점위치변화)	109	10, 10, 14, 6, 1, 12, 2, 1, 11, 5	2번: (390, -14) 3번: (720, 8) 5번: (390, 374) 6번: (720, 344)
Binary (단면적, 절점위치변화)	62	10, 10, 12, 6, 1, 13, 4, 1, 13, 2	2번: (395, -12) 3번: (720, 12) 5번: (400, 374) 6번: (720, 344)

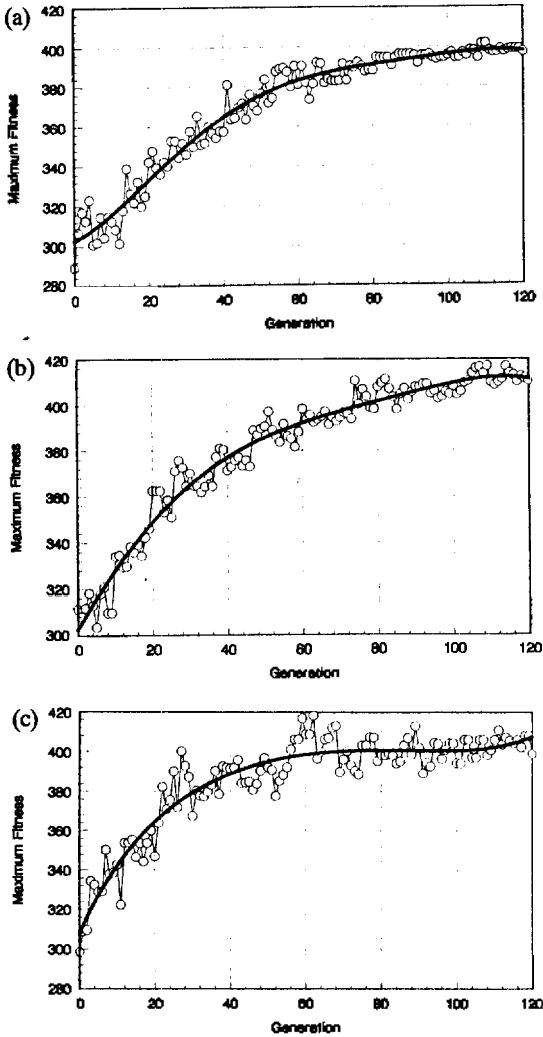


Fig. 6. Maximum fitness curve  
(a: Integer 1, b: Integer 2, c: Binary).

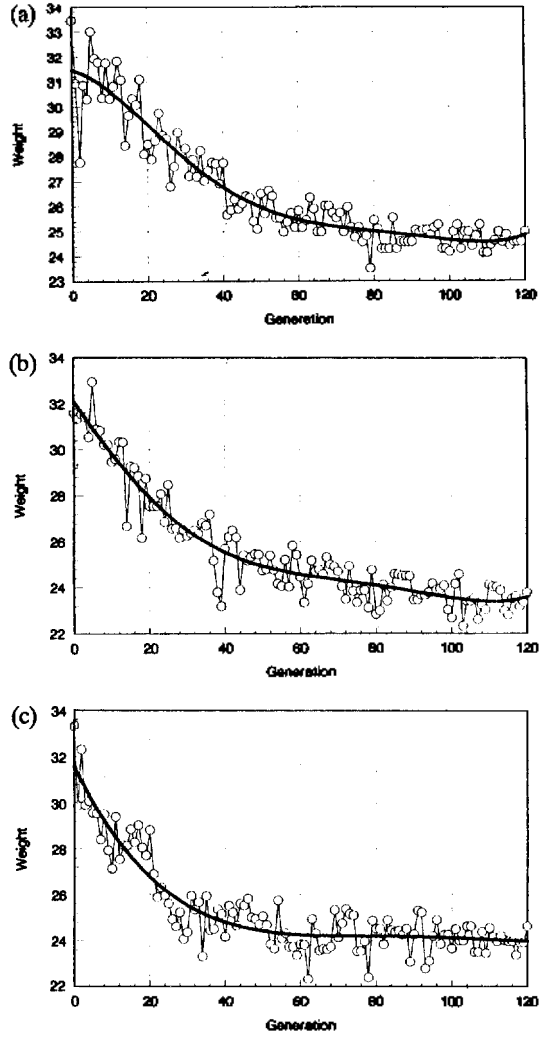


Fig. 8. Weight variation curve  
(a: Integer 1, b: Integer 2, c: Binary).

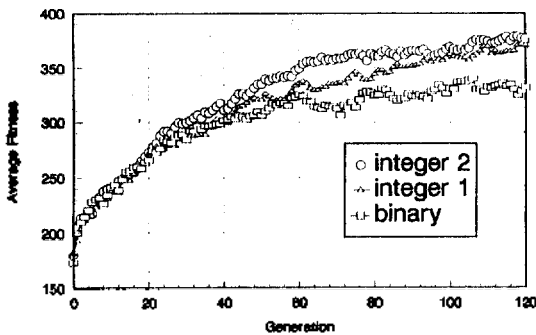


Fig. 7. Average fitness curve.

점의 위치는 Y방향으로 길이가 감소하는 방향으로 움직이는 대략 블록 장구형의 형태를 나타내고 있으며 이때 설계변수의 값은 Table 3과 같다.

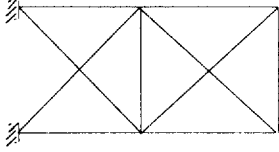
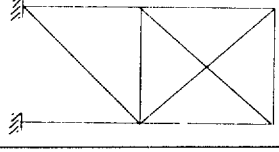
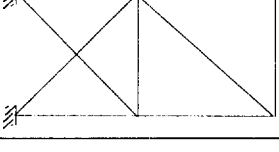
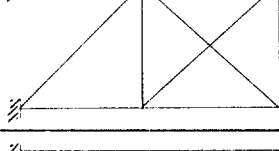
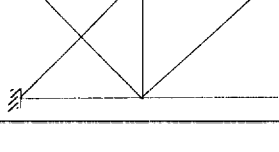
Fig. 6, 7, 8에 최대 적용도, 평균적용도 및 목적함수인 구조물의 중량을 그래프로 나타내었으며 Table 4에 대표 값을 정리하였다.

그래프에서 기호와 가는 실선으로 나타낸 것이 각 세대에서의 결과 값이며 굵은 실선은 이들 값들을 다항식으로 Curve Fitting 한 것이다. 한편 Generation 과 정에서 나타난 구성별 최대적용도 값은 Table 5와 같다.

**Table 4.** Application results of GAs

description		method	Integer 1	Integer 2	Binary
Initial Population (0th Generation)	Max. Fitness		289.180	311.284	298.661
	Weight		33.453	31.613	33.359
	$\Phi$ (stress)		0.0	0.0	0.0
	$\Phi$ (displacement)		1.127	0.512	0.124
	Average Fitness		180.042	179.619	172.692
Last Population (120th Generation)	Max. Fitness		397.294	410.652	399.259
	Weight		24.986	23.794	24.638
	$\Phi$ (stress)		0.0	0.0	0.0
	$\Phi$ (displacement)		0.184	0.557	0.408
	Average Fitness		370.772	376.574	332.620
Total Max. Fitness	Generation		109	109	62
	Max. Fitness		401.583	417.035	418.299
	Weight		24.139	23.246	22.311
	$\Phi$ (stress)		0.0	0.0	0.0
	$\Phi$ (displacement)		0.762	0.929	1.595
	Average Fitness		369.489	375.487	319.696

**Table 5.** Fitness value of each configurations

Configuration	Max. Fitness	Weight	$\Phi$ (stress)	$\Phi$ (displacement)
	418.299	22.311	0.0	1.595
	410.960	24.185	0.0	0.148
	409.734	22.994	0.0	1.412
	334.091	29.462	0.0	0.469
	322.366	29.403	0.0	1.681

다음으로 평균적응도는 세대수가 증가할수록 적응도 값도 증가하는 경향을 보이고 있으며 설계변수

는 정수형으로 표현하는 방식이 2진수형으로 표현하는 방식에 비해 더 좋은 결과를 나타내고 있다. 이는

예상하였던 것처럼 2진수형 표현방식의 경우 정수형 표현 방식과는 달리 교배 발생시 모집단의 설계변수가 변하여 돌연변이가 생기는 것과 같은 효과를 나타낼 경우가 있게 되고 이에 따라 우수한 형질의 Schemata(또는 설계변수)가 파괴되어 전체적으로 낮은 평균적응도 값을 갖게 되는 것으로 판단된다.

한편, 2진수형 표현방식의 경우 전체의 평균적응도값이 낮아지는 부정적인 측면도 있지만, 최대적응도 그래프(Fig. 6. b, c)에서 보듯이 최대적응도값에 빨리 도달하는 것과 각 세대에서 구성, 형태 및 치수에 있어서 다양성을 보이는 긍정적인 측면도 있으므로, 2진수형으로 표현하는 방식과 정수형으로 표현하는 방식의 우열을 단정 하기는 곤란 하다고 생각한다.

4. 결 론

본 논문에서는 유전자이론을 설계변수와 설계변수의 표현방식에 변화를 주어서 10-부재 트러스 구조물의 구성, 형태, 및 치수의 최적화 문제에 대해서 적용하여 보았으며, 그 결과는 아래와 같다.

1) 설계변수로서 각 요소의 치수만을 취한 경우보다 절점의 위치를 추가한 경우가 더 높은 적응도를 보였으며, 최적의 형상은 Fig. 5와 같이 가운데가 볼록한 장구형으로 나타났다.

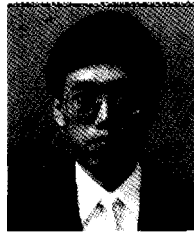
2) 전체적인 설계개선 효과는 GAs의 초기해에 비해 최대적응도에서 약 40%의 증가와 함께 약 50% 중량감소 효과가 있었다.

3) 본 문제의 경우 주어진 조건하에서 GAs의 수행 결과에 따르면 구성에 있어서는 10개의 부재 전부로 구성하는 것이 다른 구성(6-9 부재 트러스)에 비해 우수한 결과를 보이고 있다.

참고문헌

1. Haug, E.J., Choi, K.K. and Komkov V., *Design Sensitivity Analysis of Structural System*, Academic Press., Inc. 1986.

2. Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.  
 3. Furuya, H. and Haftka, R.T., *Locating Actuators for Vibration Suppression on space trusses by Genetic Algorithms*, AD Vol. 38 *Structures and Controls Optimization*, ASME 1993.  
 4. Vanderplats, G.N., *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications*, McGraw-Hill Book Company.



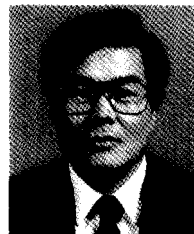
백운태

1984년 부산대학 기계공학과 학사  
 1990년 창원대학 기계공학과 석사  
 1984년 ~ 현재 기아정기기술연구소 선임 연구원  
 관심분야: 기구메카니즘 해석, 차량동역학, Topology optimization, CAD/CAM, 구조물의 동적설계



조백희

1985년 아주대학 기계공학과 학사  
 1990년 창원대학 기계공학과 석사  
 1986년 ~ 현재 한국기계연구원 선임연구원  
 관심분야: 구조물의 경제성 설계, 기계설계 software 개발 기계 및 부품의 수명 예측, 산업설비진단평가



성활경

1973년 서울대학 기계공학과 학사  
 1981년 University of Iowa 석사  
 1985년 University of Iowa 박사  
 1979년 ~ 85년 Iowa CAD center  
 1985년 ~ 87년 CAD Software Incorporated, U.S.A  
 1988년 ~ 현재 국립장원대학 기계공학과 교수  
 관심분야: 기계구조물의 최적설계, 기계설계용 software 개발, FEM/BEM, 차량동역학, 구조물의 동특성 해석