

# 유전자알고리즘에 의한 골조구조물의 부재설계

## Member Design of Frame Structure Using Genetic Algorithm

이 홍 우\*

Lee, Hong-Woo

### 요 약

유전자 알고리즘은 가장 훌륭한 이산최적화 기법 중 하나이다. 그러나, 유전자 알고리즘은 무제약 최적화 기법이기에 때문에 제약조건은 간접적으로 표현된다. 가장 일반적인 방법은 벌칙함수를 사용하여 제약 문제를 무제약 문제로 변환하는 것이다. 본 연구에서는 적합도에 벌점함수를 적용하여 거부전략, 벌점전략, 복합전략 등에 따른 3가지 함수를 구성하였다. 그리고, 이 적합도 함수들을 사용한 설계프로그램을 구현하고, 산형골조와 2층 3경간 골조의 설계문제에 적용시켜 설계결과를 비교하였다. 이를 통하여 유전자 알고리즘을 이용한 유용한 골조 설계프로그램의 구현이 가능할 것으로 판단된다.

### Abstract

Genetic algorithm is one of the best ways to solve a discrete variable optimization problem. This method is an unconstrained optimization technique, so the constraints are handled in an implicit manner. The most popular way of handling constraints is to transform the original constrained problem into an unconstrained problem, using the concept of penalty function. I present the 3 fitness functions which represent the reject strategy, the penalty strategy, and the combined strategy. I make the design program using the 3 fitness functions and it is applied to the design problem of a gable frame and a 2 story 3 span frame.

**키워드 :** 유전자 알고리즘, 골조 설계, 적합도

**Keyword :** genetic algorithm, frame design, fitness

## 1. 서 론

유전자 알고리즘(genetic algorithm)은 자연 진화의 주된 원리를 도입한 최적화 알고리즘이다. 자연 진화는 부모세대에서 자손세대로 유전정보를 전달 하면서 우성인 유전자는 살아남고 열성인 유전자가 도태되어 점차 더 우수한 세대가 된다는 이론이다. 이러한 개념은 수학적 계획법(mathematical programming)의 단점을 보완할 수 있는 새로운 개념으로 다양한 연구가 진행되어 왔다.

골조 설계문제의 경우, 유전자 알고리즘은 이산 최적화(discrete optimization)기법이므로, H형강

등 상용의 단면을 적절히 선택하는 부재설계 문제를 표현하기에 적합한 기법이다. 또한, 설계기준의 다양한 제약조건들 때문에 설계공간이 복잡하다는 점을 고려하면 확률적인 탐색기법을 사용하며 전역 최적화(global optimization)기법인 유전자 알고리즘은 골조 설계에 최적의 기법이다.

그러나, 유전자 알고리즘은 무제약 최적화 기법으로 직접적으로 제약조건을 고려하는 방법이 없다는 것이 단점이다. 일반적으로 적합도 함수에 벌점함수를 적용하여 제약조건을 고려하나 제약조건을 위배하는 무용해가 나올 가능성이 많다.

따라서, 본 연구에서는 적합도 함수를 여러 가지로 구성하여 그 특성을 비교하고자 한다. 이를 통하여 효율적인 골조 구조물의 설계도구로서 유전자 알고리즘을 적용한 프로그램을 개발하고자 한다.

\* 정희원, 서원대학교 건축학과, 조교수, 공학박사  
Tel : 043-299-8784, Fax : 043-299-8780  
E-mail : hwlee@seowon.ac.kr

## 2. 설계프로그램의 구성

### 2.1 유전자 알고리즘 개요

Holland에 의해 제시된 유전자 알고리즘(GA, genetic algorithm)은 기존의 수학적 계획법(mathematical programming)과는 접근방식이 완전히 다르다. 유전자 알고리즘은 자연세계의 진화현상에 기초한 계산모델이며, 다윈(Darwin)의 적자생존 이론(survival of the fittest)을 기본 법칙으로 한 확률적 탐색 알고리즘이다. 유전자 알고리즘에서는 재생산(reproduction), 교배(crossover), 그리고 돌연변이(mutation) 등 일종의 자연선택적 과정을 확률에 바탕을 두고 수학적으로 모델링하여 탐색과정을 구성한다. 이러한 방법은 이산적인 변수의 처리에 유리하며, 문제를 구성하는 함수의 연속성 및 미분가능성 등에 영향을 받지 않고, 전역적인(global) 탐색이 가능하다는 점 등이 장점이다. 그러나, 유전자 알고리즘은 첫째, 벌칙함수(penalty function)를 사용하여 제약조건을 간접적으로 표현하지만 기본적으로 제약조건이 없는 문제에 적합한 기법이며, 둘째 확률에 기초한 직관적(heuristic) 방법이라는 등의 단점도 갖고 있다.

### 2.2 프로그램의 구성

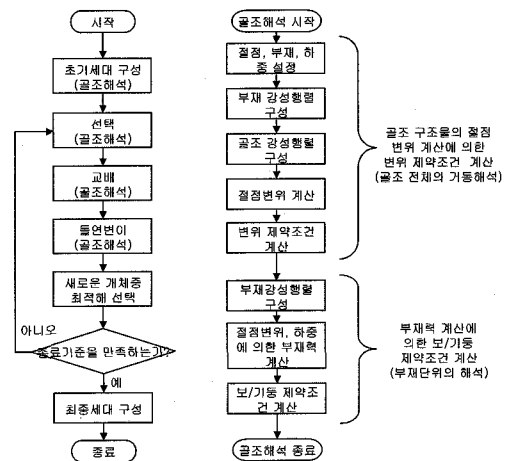
유전자 알고리즘을 이용한 골조구조물의 설계에서, 유전자 알고리즘의 여러 연산자들에 의해 새로운 개체가 생성되면 그 개체의 적합도를 계산하기 위하여 골조해석이 수행되어야 한다. 따라서, 다음의 그림 1과 같이 유전자 알고리즘과 골조해석 모듈을 따로 프로그래밍한 뒤 유전자 알고리즘에서 적합도의 계산을 필요로 할 때 골조해석 모듈을 수행시킬 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 다양한 문제 구성이 가능하도록 골조구조물의 해석을 위한 프로그램 모듈을 직접 프로그래밍하였다. 골조해석 모듈은 상용프로그램에 비하여 계산의 효율성은 부족하지만, 상용 구조해석프로그램과의 결과 비교를 통하여 정확하다는 것을 확인하였다.

그리고, 프로그램의 유전자 알고리즘 모듈로는

Houck등의 연구<sup>1)</sup>에서 제시된 유전자알고리즘의 구성과 기본 연산자를 활용하였다. 먼저, 선택연산자(selection operator)로는 'normalized geometric ranking method(NGRM)'를 사용하였다. 교배연산자(crossover operator)로는 'arithmetic crossover'와 'heuristic crossover', 'simple crossover'를 사용하였다. 돌연변이 연산자(mutation operator)로는 'boundary mutation'과 'uniform mutation', 'non-uniform mutation', 'multi-nonuniform mutation'을 사용하였다.

종료기준으로는 최대 세대수를 정하는 방법을 사용하였다. 초기 세대의 생산은 난수에 의해 임의로 선택하되 만약 제약조건을 위배하는 개체가 선택된다면 그 개체를 버리고 새로운 개체를 선택함으로써 초기 세대의 모든 개체가 제약조건을 위배하지 않도록 하였다.



〈그림 1〉 프로그램의 구성

위와 같이 구성된 프로그램은 본 연구에서 제시된 산형골조와 2층3경간 골조, 기타의 간단한 구조물에서 정확히 작동하였으며, 보다 대형구조물의 설계를 위해서는 계산의 효율성을 높여야 할 것으로 판단된다.

## 3. 골조 설계문제의 구성

### 3.1 설계변수

본 연구에서는 설계변수의 설정을 위해 상용의 H형강 단면을 폭/깊이 비에 따라 세폭계열, 중폭

계열, 광폭계열 등으로 구분하였다. 폭이 부재의 깊이에 비해 작은 세폭계열의 부재는 기둥에는 적합하지 않으므로 기둥에는 중폭계열과 광폭계열의 부재를 사용하는 것으로 가정하여 58개의 H형강을 사용한다. 그러나, 보에는 모든 H형강을 사용하는 것으로 가정하여 83개의 H형강을 사용한다.

사용되는 H형강은 모두 단면적이 작은 것부터 큰 것의 순으로 정리하였다. 최적화의 목적을 골조의 중량감소로 정의하면 단면적이 작은 부재를 사용하는 것이 설계목적에 적합하며, 따라서 단면적 순으로 부재를 배열하였다. 그리고, 최적화의 설계변수는 각 부재의 번호로 설정함으로써, 최적화 과정 중에 번호가 선택이 되면 그 번호에 맞는 H형강의 단면특성치들이 프로그램에 전달되도록 하였다.

### 3.2 제약조건

제약조건은 대한건축학회의 '강구조계산규준 및 해설(1983)'의 허용응력설계도법에 의해 설정되었다. 다음의 제약조건 서술에서는 설계기준의 수식을 먼저 제시하고 이를 프로그램의 구성에 맞게 변경하여 각각의 제약조건식( $g_i$ )을 완성하였다. 이 과정 중에서 설계기준의 수식에 사용된 기호는 보편적으로 사용되는 기호이므로 추가 설명을 생략하였다. 완성된 제약조건식에도 가능하면 설계기준에 사용된 보편적 기호를 사용하였으며, 부득이 다른 기호를 사용하거나 추가의 기호를 사용한 경우에는 기호에 대한 설명을 첨부하였다.

골조 구조물의 설계를 위한 설계기준의 검토사항들을 변위 제약조건, 보 부재의 제약조건, 기둥 부재의 제약조건으로 세분하였다. 변위 제약조건은 구조물 전체의 거동과 연관되어 있으며, 보와 기둥 부재는 유사한 부분도 있지만 서로 다르게 검토되어야 할 부분도 있기 때문에 분리되었다. 제약조건은 설계기준의 검토사항을 기준으로 검토대상의 값(예, 부재의 응력)을 설계기준의 한계 값(예, 허용응력)으로 나누어 무차원화(normalize)시켰다. 계산된 제약조건의 식이 0보다 작으면( $g_i \leq 0$ ) 제약조건을 만족하는 것이고, 그렇지 않으면( $g_i > 0$ ) 제약조건을

위배하는 것이다.

골조 구조물을 구성하는데 사용한 강재의 재료적 특성은 다음과 같다.

$$\text{탄성계수 } E = 2.1 \times 10^3 \text{ t/cm}^2 = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\text{항복응력 } F_y = 2.4 \text{ t/cm}^2 = 240 \text{ MPa} \quad (2)$$

#### 3.2.1 보 부재의 제약조건

보 부재의 제약조건은 ' $g_{bj}$ ,  $j$ 는 제약조건번호'로 표현한다.

##### 1) 플렌지 폭두께비 검토

$$\text{플렌지 폭두께비 : } \frac{b}{t} \leq \frac{24}{\sqrt{F_y}}$$

$$g_{b1} = \frac{B\sqrt{F_y}}{48t_f} - 1.0 \quad (3)$$

여기서,

$B$ : H형강의 플렌지 폭,  $t_f$ : 플렌지 두께

##### 2) 웨브 폭두께비 검토

$$\text{웨브 폭두께비 : } \frac{d}{t} \leq \frac{110}{\sqrt{F_y}}$$

$$g_{b2} = \frac{(H-2t_f)\sqrt{F_y}}{110t_w} - 1.0 \quad (4)$$

여기서,

$H$ : H형강의 깊이,  $t_w$ : 웨브 두께

##### 3) 세장비 검토

$$\text{세장비 } \lambda = \frac{l_k}{i}, \lambda \leq 300$$

$$g_{b3} = \frac{\lambda}{300} - 1.0 \quad (5)$$

여기서,

$l_k$ : 좌굴길이, 보에서는 부재길이  $L$ 로 가정.

##### 4) 전단응력 검토

$$\text{허용전단응력도 } f_s = \frac{F_s}{1.5}, F_s = \frac{F_y}{\sqrt{3}}$$

$$g_{b4} = \frac{\sigma_{s1}}{f_s} - 1.0, g_{b5} = \frac{\sigma_{s2}}{f_s} - 1.0 \quad (6)$$

여기서,

$\sigma_{s1}, \sigma_{s2}$ : 부재의 양 단부에 작용하는 전단응력도

##### 5) 허용인장응력도

$$f_t = \frac{F_y}{1.5} \quad (7)$$

6) 허용압축응력도

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ 일때 } f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right\} F_y}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2} \quad (8.a)$$

$$\lambda > \lambda_p \text{ 일때 } f_c = \frac{0.277 F_y}{\left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2} \quad (8.b)$$

7) 허용휨응력도

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \frac{\left( \frac{l_b}{i_b} \right)^2}{C_m \lambda_p^2} \right\} f_t \text{ 또는 } f_b = \frac{900}{\frac{l_b \cdot h}{A_f}} \quad (9)$$

여기서,

$l_b$ : 압축플랜지의 지점간 거리

일반 골조구조물의 경우 ' $l_b$ =부재길이'로 가정 하였으나, 산형골조에서는 보 중간에 주골조 사이를 연결하는 STUD 보가 2개 있다고 가정하여 ' $l_b$ =부재길이/3'으로 설정하였다. 산형골조의 기둥은 ' $l_b$ =부재길이'로 가정한다.

8) 조합응력 검토

(1) 인장응력과 휨응력이 작용할 때

$$\text{조합응력: } \frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} \leq 1.0 \text{ 또한 } \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1.0$$

$$g_{bt} = \frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} - 1.0, \quad g_{bt} = \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} - 1.0 \quad (10,11)$$

$$g_{bt} = \frac{\sigma_b + t\sigma_{bt}}{f_t} - 1.0, \quad g_{bt} = \frac{c\sigma_{bt} - \sigma_b}{f_b} - 1.0 \quad (12,13)$$

여기서,

$\sigma_t, \sigma_b$ : 부재의 양 단부에 작용하는 인장응력도

$\sigma_{bt}, \sigma_{bt}, \sigma_{bt}, \sigma_{bt}$ : 부재의 양 단부에 작용하는 휨응력도

(2) 압축응력과 휨응력이 작용할 때

축방향력은 인장력과 압축력이 동시에 작용할 수 없으므로 제약조건의 번호를 인장응력과 휨응력이 작용하는 경우와 동일하게 설정할 수 있다.

$$\text{조합응력: } \frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c} \leq 1.0 \text{ 또한 } \frac{\rho_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1.0$$

$$g_{ct} = \frac{\sigma_{ct}}{f_c} + \frac{c\sigma_{bt}}{f_b} - 1.0,$$

$$g_{ct} = \frac{t\sigma_{bt} - \sigma_{ct}}{f_t} - 1.0 \quad (14,15)$$

$$g_{ct} = \frac{\sigma_{ct}}{f_c} + \frac{\sigma_{bt}}{f_b} - 1.0, \quad g_{ct} = \frac{\rho_{bt} - \sigma_{ct}}{f_t} - 1.0 \quad (16,17)$$

여기서,

$\sigma_{ct}, \sigma_{ct}$ : 부재의 양 단부에 작용하는 인장응력도

$\rho_{bt}, \rho_{bt}, \rho_{bt}, \rho_{bt}$ : 부재의 양 단부에 작용하는 휨응력도

3.2.2 기둥 부재의 제약조건

기둥 부재의 제약조건은 ' $g_{ci}$ ,  $j$ '는 제약조건번호'로 표현한다.

1) 플랜지 폭두께비 검토 : 보 부재와 동일

$$g_{ci} = g_{bi} \quad (18)$$

2) 웨브 폭두께비 검토

$$\text{웨브 폭두께비: } \frac{d}{t} \leq \frac{74}{\sqrt{F_y}}$$

$$g_{ci} = \frac{(H - 2t_f)\sqrt{F_y}}{74t_w} - 1.0 \quad (19)$$

3) 세장비 검토

$$\text{세장비 } \lambda = \frac{l_k}{i}, \quad \lambda \leq 200$$

비가새골조의 유효좌굴길이계수  $K$

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_a G_b + 4.0(G_a + G_b) + 7.5}{G_a + G_b + 7.5}} \quad (20)$$

$$g_{ci} = \frac{\lambda}{200} - 1.0 \quad (21)$$

여기서,  $l_k = KL$

4) 전단응력 검토와 조합응력검토

보 부재의 제약조건과 동일하다.

$$g_{ci} = g_{bi}, \quad i = 4, 5, 6, 7, 8, 9 \quad (22)$$

3.2.3 구조물 변위 제약조건

구조물에 횡력이 작용할 경우에 발생하는 층간 변위에 대한 명확한 규정은 없으나, 층고를  $h$ 라 할 때 층간변위는  $\frac{h}{300} \sim \frac{h}{500}$  이하로 제한되는 것이 보통이다. 따라서, 다음과 같이 각 절점의 수평변위를 제한하는 변위 제약조건을 추가하였다.

$$g_{di} = (\text{절점 } i \text{의 수평변위}) \times \frac{300}{h} - 1.0 \quad (23)$$

위와 같은 변위 제약조건에 의하여, 절점의 개수 만큼 제약조건이 추가된다.

### 3.3 적합도

골조 구조물의 중량을 최소화하는 것을 설계의 목적으로 가정하여 다음과 같은 골조의 중량함수를 목적함수로 설정한다.

$$f = \sum f_i = \sum_{i=1}^{N_m} \rho A_i L_i \quad (24)$$

여기서,  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3 = 7.850 \times 10^{-6} \text{ t/cm}^3$

$A_i$  :  $i$ 번째 부재의 단면적

$L_i$  :  $i$ 번째 부재의 길이

$N_m$  : 골조를 구성하는 부재의 개수

제약조건(constraints)이 없는 경우에는 목적함수를 유전자 알고리즘의 적합도(fitness) 함수로 사용할 수 있다. 그러나, 유전자 알고리즘은 제약조건이 없는 경우에 적합한 무제약 최적화 기법의 하나이기 때문에, 유전자 알고리즘을 사용하는 대부분의 연구에서는, 골조의 설계문제에서 살펴볼 수 있는 복잡한 비선형의 제약조건을 적합도 함수에 간접적으로 표현하는 방법을 사용하고 있다.

가장 보편적으로 사용되는 기법은 벌점함수(penalty function)을 사용하는 벌점전략이다. 다음은 함수  $f(x)$ 를 최적화하는 문제에 벌점함수를 결합하는 기본적인 형태이다.

$$F = f + \epsilon \delta \sum_{i=1}^n g_i \quad (25)$$

여기서,

$F$  : 적합도,  $f$  : 목적함수,  $x$  : 설계변수

$g_i$  : 제약조건,  $\delta$  : 벌점(penalty) 상수

$\epsilon$  : 최대화 문제  $\epsilon = -1$ , 최소화문제  $\epsilon = 1$

벌점과 적합도를 어떻게 결합시키느냐에 관해서는 아직 공인된 방법론이 없으며, 여러 연구에서

다양한 벌점함수를 사용하고 있다. 본 연구에서는 벌점전략을 사용하여 다음과 같은 적합도 함수를 구성하였다.

$$F = f_{\max} - (f + C) \quad (26)$$

여기서,

$f_{\max}$  : 가능한 목적함수의 최대값

$C$  : 제약조건 위반함수

(constraint violation function)

제약조건 위반함수<sup>2)</sup>는 다음과 같이 표현된다.

$$C = \sum_i^{N_n} C_i^d + \sum_i^{N_b} \sum_j^{N_{bg}} C_{ij}^b + \sum_i^{N_c} \sum_j^{N_{cg}} C_{ij}^c \quad (27)$$

여기서,

$C_i^d$  : 변위 제약조건 위반 값

$C_{ij}^b$  : 보 부재 제약조건 위반 값

$C_{ij}^c$  : 기둥 부재 제약조건 위반 값

$N_n$  : 수평변위 제약을 받는 절점 수

$N_b$  : 구조물을 구성하는 보의 개수

$N_c$  : 구조물을 구성하는 기둥의 개수

$N_{bg}$  : 보의 제약조건 개수

$N_{cg}$  : 기둥의 제약조건 개수

제약조건과 그에 해당하는 위반함수는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$C_i = \begin{cases} 0 & \text{if } g_i \leq 0 \\ g_i & \text{if } 0 \leq g_i \leq 1.0 \\ g_i^2 & \text{if } g_i > 1.0 \end{cases} \quad (28)$$

그리고, 가장 단순하면서도 명료한 전략인 거부 전략(rejection strategy)이 있다. 거부전략의 경우 전체 설계공간내에서 유용해가 존재하는 설계가능 영역(feasible design region)이 좁은 경우에 유용한 해(feasible solution)를 찾기 위해서 계산량이 과다하게 증가할 가능성이 있다. 그러나, 벌점전략에서 처럼 무용해가 선택될 가능성은 전혀 없다. 본 연구에서는 벌점함수의 개념을 활용하여 거부전략의

적합도 함수를 다음과 같이 구성하였다.

$$F = \begin{cases} f_{\max} - f & \text{if } C \leq 0 \\ -1000000 & \text{if } C > 0 \end{cases} \quad (29)$$

별점전략과 거부전략은 각기 장단점이 있기 때문에 본 연구에서는 별점전략과 거부전략을 합한 새로운 형태의 적합도 함수를 다음과 같이 정의하였다.

$$F = \begin{cases} f_{\max} - (f + C) & \text{if } \sum C_i^d \leq 0 \\ -1000000 & \text{if } \sum C_i^d > 0 \end{cases} \quad (30)$$

여기서,  $C = \sum_i^{N_s} \sum_j^{N_w} C_{ij}^b + \sum_i^{N_c} \sum_j^{N_{gf}} C_{ij}^c$   
 $g_{di}$  : 3.2.3항의 변위 제약조건

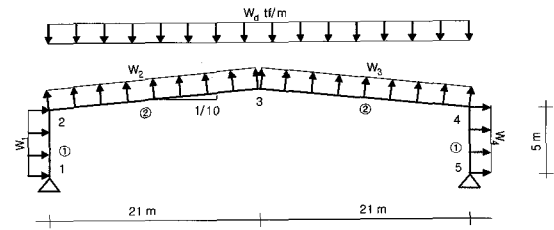
위의 식 (29)에 정의된 적합도 함수는 절점의 변위 제약조건인  $g_{di}$ 에 대해서는 거부전략의 형태를 취하고, 보 및 기둥의 제약조건에 대해서는 별점전략의 형태를 취하고 있다. 이러한 적합도 함수를 적용하면 변위 제약조건을 먼저 검토하므로, 절점의 변위가 설계기준을 만족하지 못하는 것으로 판단될 경우 부재단위의 응력 검토를 수행하지 않고 새로운 개체를 탐색하도록 프로그램을 구성할 수 있고, 이를 통하여 계산의 효율성을 증대시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 별점전략에 의한 식(26)의 적합도함수와 거부전략에 의한 식(29)의 적합도 함수, 그리고 별점전략과 거부전략을 모두 적용한(이하 복합전략으로 칭함) 식(30)의 적합도 함수에 대하여 결과를 비교하고자 한다.

### 4. 골조 구조물의 부재설계

#### 4.1 산형골조의 설계

산형골조는 지붕의 물매(2h/S)가 1/10이며, 처마 높이(H)는 5 m, 세로 경간(LS)은 4.5m, 가로 경간(S)은 42m이다. 산형 골조에는 풍하중과 자중에 의한 등분포 하중이 작용하며, 풍하중 계산을 위한



〈그림 2〉 산형 골조구조물 모델

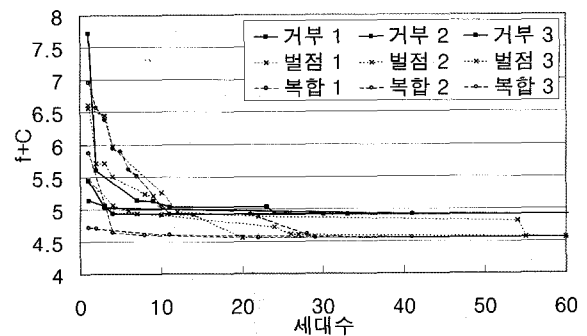
〈표 1〉 산형골조에 작용하는 등분포 하중

하중	항목	풍력계수 (C)	설계속도압 (P, kgf/m <sup>2</sup> )	풍하중 (C×P×LS, kgf/m)
w <sub>1</sub>		0.8	70	252
w <sub>2</sub>		1.0	70	315
w <sub>3</sub>		0.7	70	220.5
w <sub>4</sub>		0.6	70	189
하중	항목	지붕구조물 자중 (D)	지붕고정하중 (D×LS, kgf/m)	
w <sub>d</sub>		45kgf/m <sup>2</sup>	202.5	

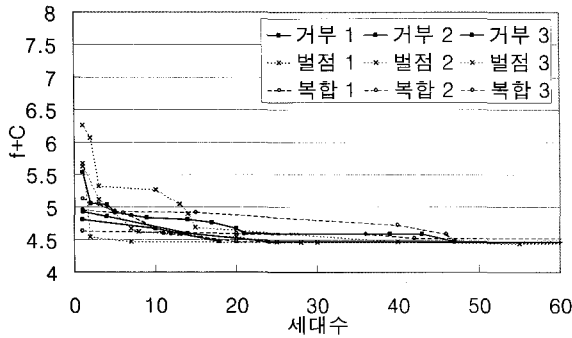
설계기본 풍속은 35m/s, 노풍도는 B로 가정하며, 설계 속도압은 P=70kgf/m<sup>2</sup>로 설정하였다. 고정하중은 w<sub>d</sub>=45kgf/m<sup>2</sup>이다.

그림 2는 최적화에 사용한 산형 골조의 모델이며, H-형강으로 보와 기둥이 구성되는 것으로 가정한다. 풍하중은 단기하중이므로 풍하중을 작용시킬 경우에는 허용응력도를 50%증가시킨다.

그림 3, 4, 5에서 X축에는 유전자 알고리즘의 진행에 따른 세대수를 표시하였으며, Y축에는 골조중량의 감소를 살펴보기 위하여 목적함수(f)와 제약조건 위반함수(C)의 합을 표시하였다. 거부전략에 의한 적합도 함수에는 제약조건 위반함수가 적용되지 않았으므로 C의 값이 항상 0이다. 그리고, 유전자 알고리즘은 확률적 탐색기법이므로 매번 동일한



〈그림 3〉 산형골조 설계과정(고정하중)



〈그림 4〉 산형골조 설계과정(풍하중)

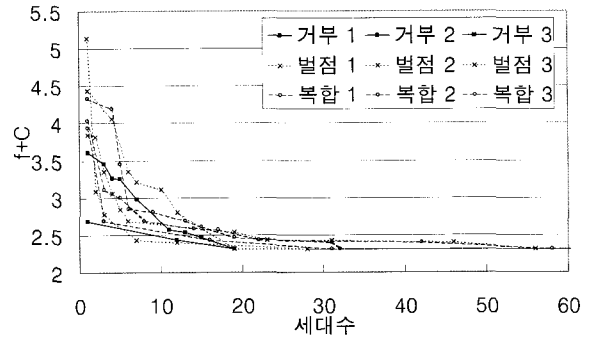
결과로 수렴하지는 않는다. 따라서, 결과의 정확성을 위하여 각각의 전략마다 3번을 실행하여 결과를 도시하였다.

그림 3의 고정하중에 의한 설계과정과 표 2의 결과를 살펴보면 별점전략과 복합전략에 의한 골조중량이 거부전략에 의한 값보다 적음을 확인할 수 있다. 이 경우 별점전략과 복합전략 모두 일부 제약조건을 위배하고 있었다. 그림 4의 풍하중 설계결과에서도 별점전략은 모두 제약조건을 위배한 결과를 도출하였다. 그러나, 복합전략의 경우는 3가지 중 1가지 결과만 제약조건을 위배하였다.

〈표 2〉 산형골조 설계결과

하중	부재	적합도		
		별점전략	거부전략	복합
고정하중	기둥	H-386×299×9×14	H-386×299×9×14	H-386×299×9×14
	보	H-546×199×9×14	H-550×200×10×16	H-546×199×9×14
	중량	4.4716 ton	4.9189 ton	4.4716 ton
풍하중	기둥	H-386×299×9×14	H-386×299×9×14	H-386×299×9×14
	보	H-450×200×9×14	H-546×199×9×14	H-546×199×9×14
	중량	4.1490 ton	4.4716 ton	4.4716 ton
전하중	기둥	H-294×200×8×12	H-294×200×8×12	H-294×200×8×12
	보	H-346×174×6×9	H-346×174×6×9	H-346×174×6×9
	중량	2.3137 ton	2.3137 ton	2.3137 ton

위의 표 2에서 전하중은 고정하중과 풍하중을 동시에 작용시킨 경우를 나타낸다. 전하중이 작용한 경우, 고정하중이 풍하중을 저감시키며, 단기하중이므로 허용응력이 50%증가하여 골조의 중량이 가장 적게 계산되었다. 전체적으로 거부전략에 의한 결과가 별점전략이나 복합전략에 의한 결과보다 골



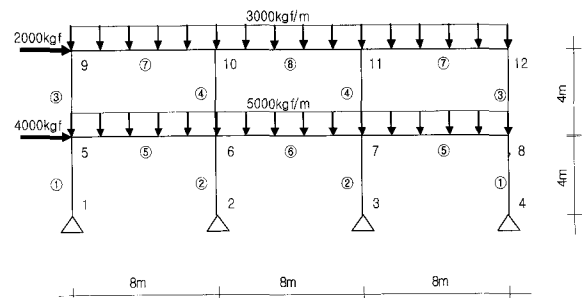
〈그림 5〉 산형골조 설계과정(풍하중)

조 중량이 더 큰 값으로 수렴하는 경향이 있다. 복합전략에 의한 경우 세대수에 따른 수렴경향은 동일하지만 변위제약조건을 위배하는 경우 부재의 응력검토를 수행하지 않으므로 거부전략이나 별점전략보다 계산에 소요되는 시간은 감소하는 것으로 나타났다.

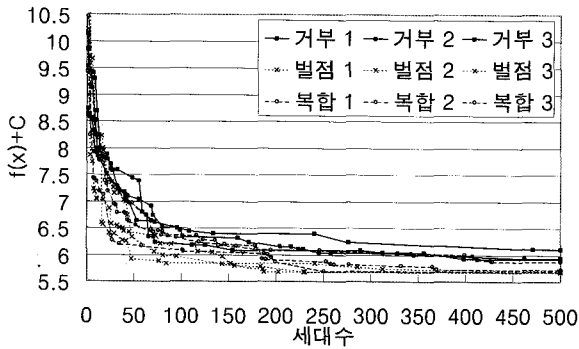
고정하중만 작용하는 경우는 부재의 허용응력도 제약이 지배적이므로, 별점전략과 복합전략이 동일한 값을 보인다. 반면에 풍하중만 작용하는 경우는 절점의 변위 제약이 지배적이므로 거부전략과 복합전략이 동일한 값으로 수렴하였다. 복합전략은 변위제약에 대해서는 거부전략의 형태를 취하고 응력제약에 대해서는 별점전략의 형태를 취하고 있기 때문이다.

#### 4.2. 2층 3경간 골조의 설계

2층 3경간 골조는 그림 6에 도시하였다. 층고는 4m이며, 스패 길이는 8m이다. 부재는 좌우 대칭으로 8개의 그룹으로 모델링하였다. 그룹의 번호는 원문자로 표시하였으며 절점번호는 숫자로 표시하였다.



〈그림 6〉 2층 3경간 골조구조물 모델



(그림 7) 2층 3경간 골조 설계과정(8그룹)

그림 7은 2층 3경간 골조의 설계과정에서 적합도 함수의 변화를 도시한 것이다. 유전자 알고리즘은 확률적 탐색기법이므로, 거부전략과 별점전략, 복합전략 모두 3회씩 수행하였고 그 수렴과정을 도시하였다.

그림 7에서 유전자 알고리즘의 종료를 위한 최대세대 제한을 500세대로 한정하였다. 적합도 함수의 수렴경향은 위의 그래프를 통하여 산형골조의 경우와 크게 다르지 않음을 살펴볼 수가 있다. 거부전략에 의한 결과가 별점전략이나 복합전략에 의한 값보다 약간 크며, 별점전략과 복합전략은 제약조건을 위배하는 결과를 포함하고 있다. 또한, 별점전략보다는 복합전략의 계산시간이 약 25%정도 적다.

표 3은 2층 3경간 골조의 설계결과이다. 이 결과에서 별점전략은 제약조건을 위배하지 않았으나 복합전략의 경우는 제약조건을 위배한 무용해였다.

(표 3) 2층 3경간 골조 설계결과(8그룹)

부재 번호	적합도		
	별점전략	거부전략	복합
1	H-244×175×7×11	H-386×299×9×14	H-336×249×8×12
2	H-386×299×9×14	H-336×249×8×12	H-336×249×8×12
3	H-336×249×8×12	H-244×252×11×11	H-244×175×7×11
4	H-148×100×6×9	H-244×175×7×11	H-294×200×8×12
5	H-596×199×10×15	H-550×200×10×16	H-596×199×10×15
6	H-550×200×10×16	H-546×199×9×14	H-546×199×9×14
7	H-446×199×8×12	H-446×199×8×12	H-446×199×8×12
8	H-400×200×8×13	H-400×200×8×13	H-446×199×8×12
중량	5.99394 ton	5.6840 ton	5.6850 ton

## 5. 결론

본 연구에서는 구조해석 모듈과 유전자 알고리즘을 결합한 프로그램을 개발하였다. 그리고, H형강을 사용하며 허용응력도 설계법을 만족하는 골조구조물의 부재를 설계하는 문제를 구성하였다. 유전자 알고리즘에 제약조건을 표현하는 방안으로 별점전략, 거부전략, 복합전략 등에 의한 3가지의 적합도 함수를 제시하였다. 이를 산형골조와 2층 3경간 골조에 적용하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 별점전략은 산형골조의 설계에서 고정하중 및 풍하중이 작용한 경우와 같이 제약조건을 위배하는 무용해(infeasible solution)가 최적해로 선택될 가능성이 있다.

(2) 거부전략은 2층 3경간 골조의 설계과정에서 살펴볼 수 있듯이 진화가 더디고 지역해(local solution)로 수렴할 가능성이 있다. 설계문제가 대형화되고 설계가능영역(feasible region)이 작아지면 해를 탐색하기 어렵다.

(3) 복합전략은 변위 제약조건에 대해서는 거부전략을 부재의 응력 제약조건에 대해서는 별점전략을 취하고 있다. 따라서, 별점전략과 거부전략의 장점을 취할 수 있으며, 계산시간을 절약할 수 있다.

본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용한 구조물의 부재설계 프로그램을 개발하였으며, 활용성을 향상시키기 위하여 3가지 적합도 함수의 사용을 검토하였다. 보다 큰 대형 구조물의 설계에 본 프로그램을 적용하려면 구조해석 모듈과 유전자 알고리즘의 효율성을 높이기 위한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Houck, C. R., Joines, J. A., Kay, M. G., "A Genetic Algorithm for Function Optimization : A Matlab Implementation"
2. S. Pezeshk, "Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Optimization", J. of Structural Engineering, Vol.126, No.3, 2000, pp. 382~388