

유전자알고리즘에 의한 공간 트러스의 자동 이산화 최적설계

Automatic Discrete Optimum Design of Space Trusses using Genetic Algorithms

박 춘 욱* 여 백 유** 강 문 명***
Park, Choon-Wook Youh, Baeg-Yuh Kang Moon-Myung

Abstract

The objective of this study is the development of size discrete optimum design algorithm which is based on the GAs(genetic algorithms). The algorithm can perform size discrete optimum designs of space trusses. The developed algorithm was implemented in a computer program. For the optimum design, the objective function is the weight of space trusses and the constraints are limite state design codes(1998) and displacements. The basic search method for the optimum design is the GAs. The algorithm is known to be very efficient for the discrete optimization. This study solves the problem by introducing the GAs. The GAs consists of genetic process and evolutionary process. The genetic process selects the next design points based on the survivability of the current design points. The evolutionary process evaluates the survivability of the design points selected from the genetic process. In the genetic process of the simple GAs, there are three basic operators: reproduction, cross-over, and mutation operators. The efficiency and validity of the developed discrete optimum design algorithm was verified by applying GAs to optimum design examples.

keywords : genetic algorithm, discrete optimum, fitness, evolutionary process, space truss, reproduction, cross-over, mutation

1. 서 론

인공지능시스템의 일종인 GAs는 자연선택의 원리와 자연계의 생물유전학에 기본이론을 두고 병렬적이며 전역적인 탐색알고리즘으로서, 모든 생물은 주어진 환경속에서 적응함으로써 살아남는다는 다윈(Darwin)의 적자생존(survival of the fittest)의 이론을 기본개념으로 하고 있다. 이와같이 GAs는 적자생존의 법칙에 근거를 둔 확률적인 탐색알고리즘으로서 복제(reproduction), 교배(cross-over) 그리고 변이(mutation)라는 일련의 변화과정을 수학적으로 모델링하여 만든 기법이다.

GAs는 자연선택과정속에서 진화해 가는 생명체를 설계공간내의 한 설계점으로 모사한 최적화 기법의 하나라고 할 수 있다.¹⁾ 이는 자연계에 존재하는 특성을 컴퓨터 알고리즘으로 인공화 하여, 탐색영역내의 특징을 진화라는 과정을 통해 적응시키면서 최적해를 구하는 인공지능의 한 분야다. 특히 최적화기법의 관점에서 보았을 때, GAs는 이산적인 변수의 처리와 넓은 설계공간의 탐색능력과 더불어 문제의 비선형성과 관계없이 전체(global)최적해를 찾아낼 수 있기 때문에 구조최적화 문제에 널리 쓰이고 있다.^{1,2)}

본 연구에서는 단면을 고려하는 구조물의 이산화 최적설계문제를 유전자알고리즘(genetic algorithms, GAs)을 이용하여 체계화하였고, 강구조 한계상태설계기준을 제약조건식으로 하여 공간 트러스의 구조 해석과 단면 이산화 최적설계 알고리즘 및 프로그램

* 학생회원 · 경북대학교 건축공학과 시간강사, 공학박사

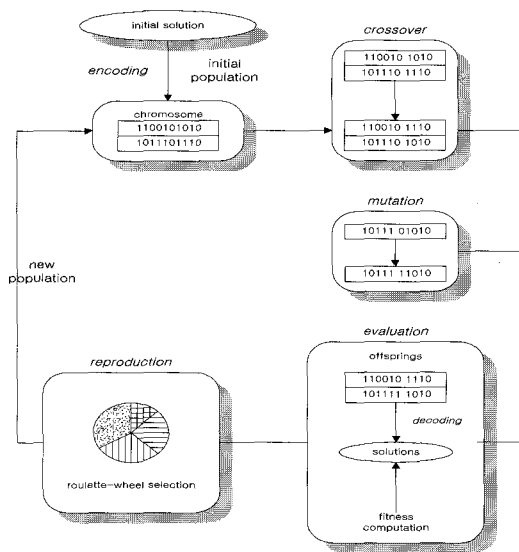
** 정회원 · 영진전문대학 건축공학과 부교수

*** 정회원 · 경북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

을 개발하고, 설계 예를 들어 비교·고찰하였다.

2. GAs의 개요

GAs는 설계변수의 실수값을 표현하기 위한 염색체(chromosome)로서 이진벡터를 사용하여, 0과 1의 문자열(string)형태로 구성하므로써 마치 염색체에 유전인자가 나열되어 있는 것과 같은 형태를 갖추기 때문에 교배와 돌연변이가 가능하게되며, 결국 이와 같은 문자열은 집단을 이루는 하나의 개체이자 설계공간내의 설계점들로 작용하는 것으로 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 설계변수의 정보가 들어가 있는 이산자료를 database화하여 가능해집합을 이진수로 코드화 작업(encoding)을 통해 요구되는 수만큼의 문자열, 즉 개체들로 이루어진 하나의 집단을 생성하였다. 따라서 스키마정리(schema theorem)를 근거로 세대수의 증가에 따라 적합도가 높은 형질의 개체가 다른 개체에 비해 생존할 확률이 높으며 적합도의 통계적 분석으로 계산된 생존확률에 따라 생존한 개체들은 복제와 서로간의 교배를 통하여 더 적합성이 높은 개체를 만들어낸다는 것이다. 이러한 과정을 반복하여 수행함으로써 주어진 조건에 대하여 적합성이 낮은 개체는 점차 생존확률이 낮아져서 도태되며 적합성이 높은 개체들은 교배를 통하여 점차 적합도가 높은 개체를 생성하게 되어 결국에는 주어진 조건에 가장 적합한 개체를 검색하게된다는 이론이다.^{2, 3)}



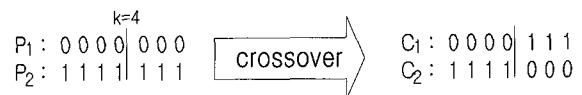
<그림 1> GAs의 일반구조

2.1. 복제(reproduction)

복제는 각각의 개체가 그의 적합성에 따라 다음 세대에서 새로운 개체로 선택되는 과정이다. 이 과정은 적합도가 높은 개체일수록 다음세대에 더 많은 자손을 가질 확률이 높게되는 자연원리를 구현하게 된다. 이를 위한 개체선택도구로서는 룰렛-휠 선택(roulette-wheel selection)과 토너먼트 선택(tournament selection), 비례 선택(proportional selection)등이 있으나, 본 연구에서는 부모의 적합도에 비례하여 선택되어지도록 하는 룰렛-휠 및 토너먼트 선택방법을 병용하여 사용하였다.^{1, 4)}

2.2. 교배(cross-over)

자연계에서 자손은 부모세대로부터 유전자를 이어받으면서도 부모와는 전혀 다른 형질을 가지듯이 GAs에서도 이 과정을 모방한 것이 교배과정이다. 현재대에서 무작위로 두 개의 개체를 선택한 후, (0, 1)사이에서 발생시킨 난수 값이 교배확률(cross-over probability) p_c 보다 작으면 교배위치 k 를 문자열 내에서 무작위로 선택하고 k 이후의 문자열을 교환함으로써 교배가 이루어진다. 그림 2는 단순교배과정의 일례이다.^{1, 4)}



<그림 2> 교배과정(P: parent , C: child)

2.3. 돌연변이(mutation)

재생산과 교배과정은 집단의 개체들이 현재 가지고 있는 정보들을 이용해서 결합하고 탐색하는 것에 비해 돌연변이과정은 현재집단에서 존재하지 않는 새로운 정보를 제공해줄 수 있다. 이는 낮은 돌연변이확률(mutation probability) p_m 으로 문자열의 한 비트를 0에서 1로 1에서 0으로 간단히 바꿈으로서 돌연변이가 발생한다. 이 과정은 과거에 잃어버렸던 중요한 정보를 되찾을 수도 있으며 탐색의 방향이 국부적 극값으로 향할 경우 여기서 벗어날 수 있는 가능성을 부여할 수도 있으며, <그림 3>과 같이 돌

연변이를 나타낼 수 있다.^{1, 4)}



<그림 3> 돌연변이과정(r2 , r6 < pm)

2.4. 스키마정리(schema theorem)

GAs에 의한 최적의 문자열을 탐색하는 과정은 여러 스키마(schema)들간의 경쟁과정으로 볼 수 있다. 스키마는 문자열의 어느 특정 위치들에 같은 비트(bit)값을 가진 모든 기능 문자열들의 일정한 틀구조를 말한다. 스키마 차수(schema order)는 주어진 스키마에서 고정된 위치, 즉 0또는 1로 값이 명시된 위치의 개수이다. 스키마 H 의 차수는 기호로 $O(H)$ 로 표현하며, 스키마의 길이는 주어진 스키마에서 첫 번째 고정된 위치와 마지막으로 고정된 위치사이의 거리를 의미하며 기호로는 $\delta(H)$ 로 쓴다.

$m(H, t)$ 를 세대 t 에 있어서 집단 중에 존재하는 스키마 H 의 개수, $f(H)$ 를 스키마 H 를 포함하고 있는 모든 문자열들의 평균 적합도라 하고, \bar{f} 를 집단 중에 있는 문자열 전체의 평균 적합도라 하면 다음 세대 $t+1$ 에 존재하는 스키마 H 의 추정 개체수는 다음 식(1)과 같다.

$$m(H, t+1) = m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad (1)$$

그러나 스키마는 교배나 돌연변이에 의해서 파괴될 가능성이 있기 때문에 교배와 돌연변이에 의한 스키마의 생존확률을 식(1)에 고려하면 추정 스키마 개체수는 다음 식(2)과 같이된다.

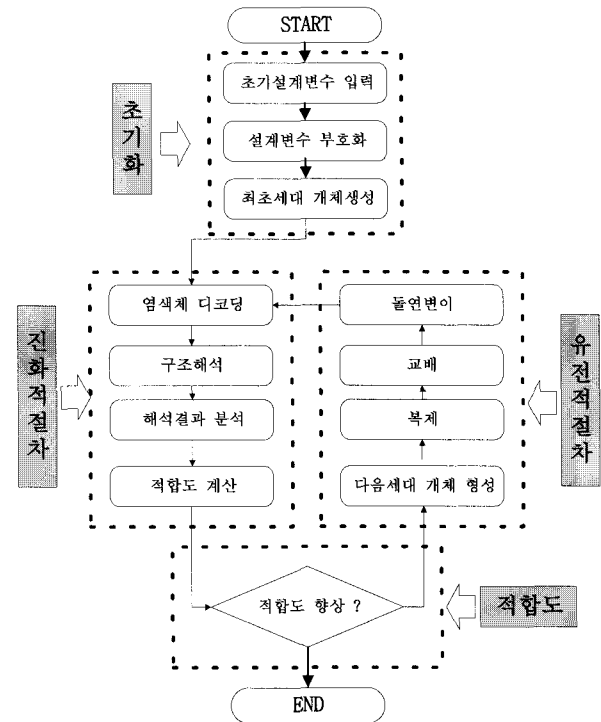
$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \cdot \frac{f(H)}{\bar{f}} [1 - p_c \cdot \frac{\delta(H)}{l-1} - O(H)p_m] \quad (2)$$

여기서, l 은 문자열 길이이다. 결국 스키마 길이 $\delta(H)$ 가 짧고, 차수 $O(H)$ 의 값이 작으면서 평균치 이상의 적합도를 가진 스키마의 개수는 세대가 변함에 따라 지수함수적으로 증가한다는 것을 알 수 있다.^{2, 3, 4)}

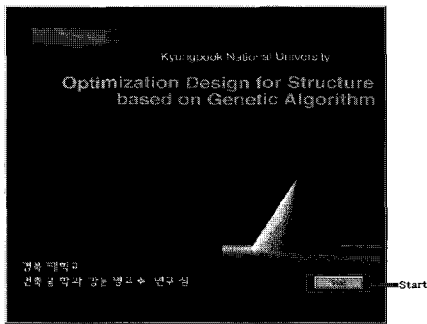
3. GAs의 적용절차

<그림 4>는 본 연구에서 GAs의 적용 방법을 도시화 한 것으로 본 연구의 최적설계 알고리즘은 초기화 절차와 진화적 절차 및 유전적 절차의 세 가지의 절차로 구성된다. <그림 4>의 초기화 작업에서 임의의 난수를 발생시켜 한 세대의 개체 수만큼의 염색체를 생성해 내어야 한다. 이렇게 생성된 염색체들은 진화적 절차에 전달되며 수치화 작업을 통하여 실제 설계 변수에 사용될 수치로 변환되며, 얻어진 설계 변수들을 사용하여 구조 해석을 수행한다. 진화적 절차는 구조 해석의 결과를 분석하여 염색체의 적합도를 계산하며 계산된 적합도를 유전적 절차에 전달한다.

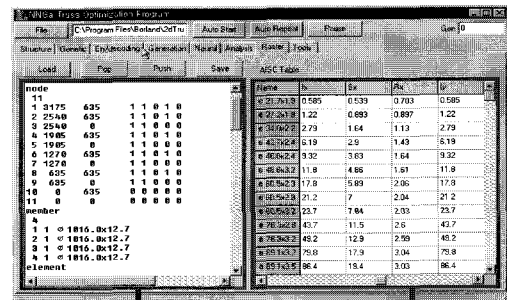
유전적 절차에서는 GAs의 연산자인 복제와 교배 및 돌연변이 등을 통하여 다음 세대의 유전자를 생성하게 되며 다시 진화적 절차에 전달한다. <그림 5~10>은 본 연구에서 개발한 구조해석과 단면 이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있는 통합시스템화 된 이산화 최적설계프로그램의 초기화면 및 각 절차의 실행과정화면 이다.^{11, 12)}



<그림 4> 본 연구의 GAs 적용 흐름도

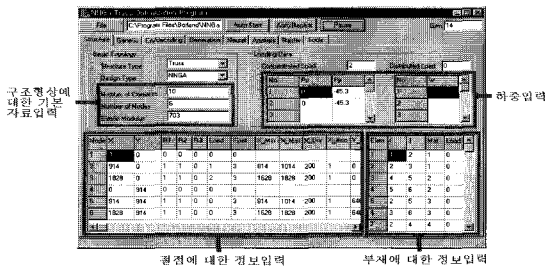


〈그림 5〉 초기화면



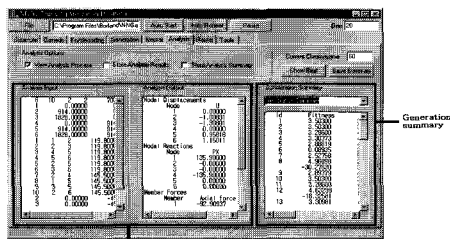
유전자 알고리즘 data 이산자료 data

〈그림 10〉 GAs에 적용되는 이산자료 데이터

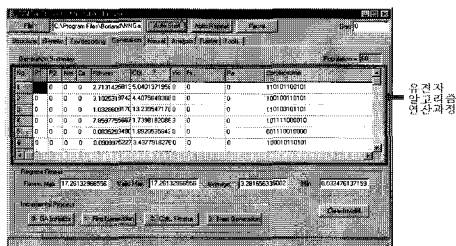


〈그림 6〉 유한요소모델의 기본입력

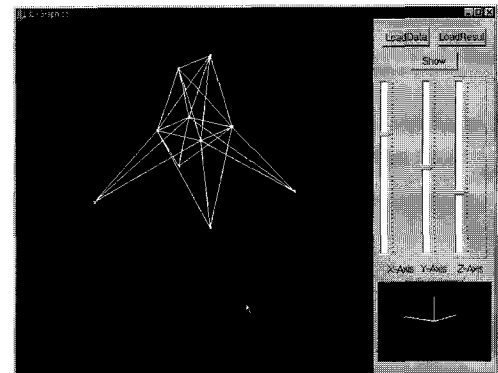
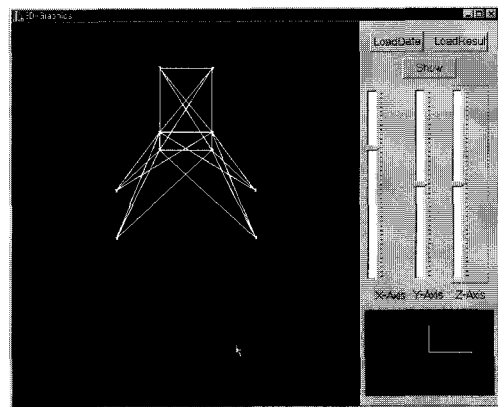
본 연구에서 개발된 Pre/Post Processor는 다음과 같은 3가지영역으로 구성된다. 첫 번째 구조물형상 Display영역으로 구조물의 형상을 입체 및 평면으로 화면에 Display하는 기능을 가지고 있다. 두 번째는 구조물의 형상을 여러 각도에서 확인하고 입력 데이터가 정확한지를 검사할 수 있도록 구조물의 회전, 확대, 축소 및 이동을 마우스조작으로 손쉽게 사용할 수 있는 사용자 도구를 제공하고 있다. 세 번째는 모델구성에서 절점 및 부재번호를 생성할 수 있는 기능을 제공하고 있다.^{11, 12)}



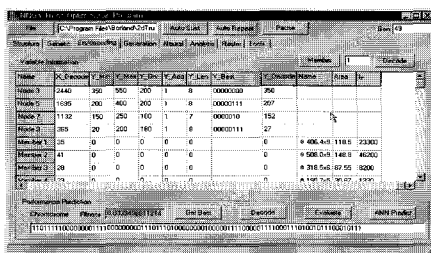
〈그림 7〉 구조 해석과정



〈그림 8〉 GAs 절차에 따른 연산과정



〈그림 11〉 구조물의 X, Y, Z축 회전화면



〈그림 9〉 최종수렴결과에 따른 Decoding과정

4. 최적문제의 적합도 표현

GAs의 적합도는 다음 세대를 복제할 때 가중치로 사용되기 때문에 양의 적합도로 표현되어야 한다. 본 연구에서 GAs를 이용한 최적설계의 수행에 사용된 적합도는 목적함수의 역수를 기본적으로 사용하였으며 이때 목적함수가 1 미만의 수치로 표현되는 것을 방지하기 위하여 식(3)과 같이 최대 목적함수값과의 비를 적합도로 표현하였다.^{10, 11)}

$$Fitness = \frac{Object_{Max}}{Object_{Sum}} \quad (3)$$

$$Object_{Max} = \sum_{i=1}^{NEL} A_{max} \times L_i$$

$$Object_{Sum} = \sum_{i=1}^{NEL} A_i \times L_i$$

여기서, A_{max} : 검색에 사용되는 단면 데이터 베이스의 단면적중 가장 큰 값

A_i : i 번째 부재의 단면적

4.1. 제약 조건식의 적용

최적설계 문제에서 설계변수에 제약 조건이 있는 경우 GAs에서는 여러 가지의 방법을 사용하여 제약 조건을 최적화에 적용시키는데 주로 사용되는 방법은 벌칙함수(penalty function)를 사용하는 것이다. 식(4)와 같은 최소치를 구하는 최적화 문제에서 제약 조건식을 적용시켜서 변환시킨 대응되는 목적함수식은 식(5) 및 식(6)과 같이 나타내어진다.^{1, 10, 11)}

$$Minimize F(X) \quad (4)$$

$$Subject\ to\ G_i(X) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$Eqw_1(X) = F(X) + P(X) \quad (5)$$

$$P(X) = 0 \quad \text{if } X \text{ is feasible}$$

$$P(X) < 0 \quad \text{otherwise}$$

$$Eqw_2(X) = F(X) \times P(X) \quad (6)$$

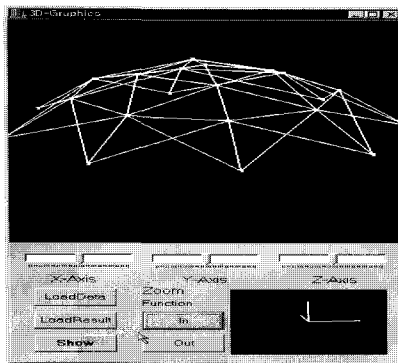
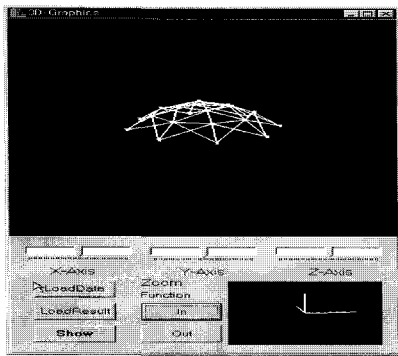
$$P(X) = 1 \quad \text{if } X \text{ is feasible}$$

$$0 < P(X) \leq 1 \quad \text{otherwise}$$

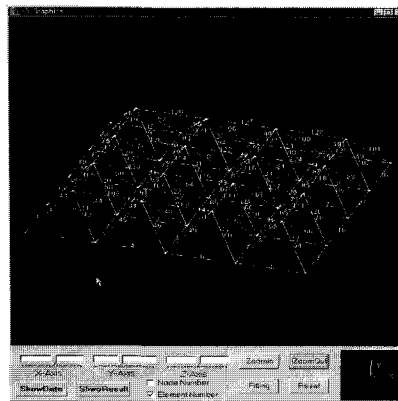
여기서, $G_i(X)$: 제약 조건식

m : 제약 조건식의 개수

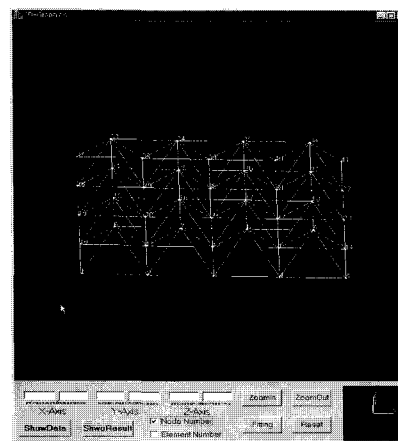
$Eqw_{1,2}(X)$: 무제약 목적함수



<그림 12> 구조물의 확대 / 축소화면



<그림 13(a)> 부재번호 생성



<그림 13(b)> 절점번호 생성

식(5)는 목적 함수에 벌칙 함수를 더하여 목적 함수를 수정하는 것으로 제약식을 위반하는 경우 위반된 제약식을 기준으로 만들어진 벌칙 함수가 더해진다.

4.2. 제약 조건식

제약조건식은 다음식(7)~식(14)으로 구성하였다.¹¹⁾

(1) 인장강도 제약 조건식

전단면의 항복일 경우의 인장강도의 제약식은 다음 식 (7)과 같다.

$$\phi_i (P_n)_i \geq (P_u)_i \quad (7)$$

여기서, ϕ_i : 인장 저항계수(=0.9)

$(P_u)_i$: i 번째 부재의 소요 축력

$(P_n)_i$: i 번째 부재의 공칭 인장강도

$$P_n = A_g F_y$$

A_g : 부재의 총 단면적(cm^2)

F_y : 항복강도 (tf/cm^2)

(2) 압축강도 제약 조건식

압축부재의 압축강도 제약 조건식은 다음 식 (8)과 같다.

$$\phi_c (P_n)_i \geq (P_u)_i \quad (8)$$

여기서, ϕ_c : 압축 저항계수(=0.85)

$(P_u)_i$: i 번째 부재의 소요 축력

$(P_n)_i$: i 번째 부재의 공칭 압축 강도

식(8)중에서 $P_n = A_g F_{cr}$ 이며, 압축력을 받는 부재의 한계압축응력 F_{cr} 은 세장비에 따라 다음의 식(9)와 식(10)에 의해 산정 되며, 부재의 세장비는 식(11)과 같다.

$\lambda_c \leq 1.5$ 일 때

$$F_{cr} = (0.65^{\lambda_c^2}) F_y \quad (9)$$

$\lambda_c > 1.5$ 일 때

$$F_{cr} = \left(\frac{0.85}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (10)$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{\gamma \pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (11)$$

여기서, K : 유효길이계수 (= 1)

L : 부재의 비지지 길이

γ : 좌굴 축에 대한 단면2차 반경

(3) 세장비 제약 조건식

압축부재의 세장비에 대한 제약 조건식은 다음 식(12)과 같다.

$$200 \geq \frac{KL}{\gamma} \quad (12)$$

(4) 판 폭-두께에 대한 제약 조건식

a) 원형 강관의 판 폭-두께비

원형 강관에서의 판 폭-두께비에 대한 제약 조건식은 식(13)에 의해 정립된다.

$$\frac{145}{F_y} - \frac{D}{t} \geq 0 \quad (13)$$

여기서, D : 원형 강관의 직경

t : 원형 강관의 두께

(5) 처짐 제약식

처짐에 대한 제약 조건식은 식(14)에 의해 정립된다.

$$\delta_{max} \geq \delta_{x,y,z} \quad (14)$$

여기서, δ_{max} : 최대 허용 변위 ($l / 300$)

$\sigma_{x,y,z}$: x, y, z축의 변위

4.3. 검색종료기준

GAs에서는 최대 적합도의 향상이 없거나 전체세대의 적합도의 평균이 더 이상 향상되지 않으면 수렴이 이루어진 것으로 판정한다. 검색의 종료는 수렴이 이루어지는 경우와 최대 세대수까지의 검색이 이루어진 경우에 발생하게된다.

5. 설계 예

본 장에서는 공간 트러스 구조물의 두 가지 예제를 통하여 본 연구에서 개발한 GAs 자동 이산화 최적설계알고리즘을 이용하여 공간 트러스의 구조해석과 단면 이산화 최적설계를 일괄적으로 수행하여 그 결과를 비교, 검토하고자 한다.

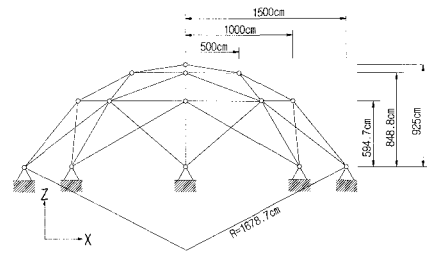
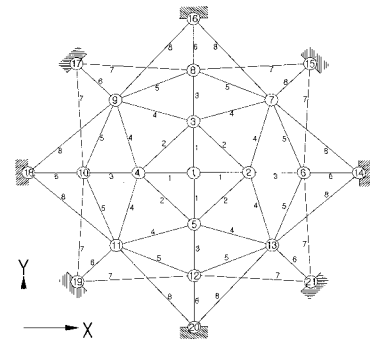
[예제 1] <그림 14>와 같은 52개의 부재로 이루어진 공간 트러스돔 구조물로서 절점 하중이 작용할 때 구조해석과 단면 이산화 최적설계를 수행하였다.

본 연구의 알고리즘과 프로그램의 신뢰성과 범용성을 위하여 최적설계조건은 참고문헌(7)에서 제시한 것과 동일하게 설정하여 이산화 최적설계를 수행하였다. 그리고 그 결과를 <표 4>에 나타내었다. 구조해석은 기하학적 비선형을 고려한 유한요소법으로 수행하였다. 구조해석과 설계에 적용되는 단면은 <표 1>과 같이 상용제품인 KS 규격의 원형강관 단면 61개에 대한 단면 성질을 사용하여 최적화를 수행하였다. 따라서 하나의 부재는 6개의 염색체 길이로 표현할 수 있다. 강구조의 중량을 목적 함수로 사용하였으며, 하중조건은 <표 2>와 같이 참고문헌(7)과 동일하게 네가지의 경우로 하였다. 교배확률과 돌연변이확률 매개변수는 각각 0.05와 0.0025 을 사용하였으며, 설계집단은 60, 최대세대수는 5000번으로 하였다. 염색체길이 및 설계공간은 <표 3>에 나타내었다. 최적설계조건은 탄성계수 $E=2140 \text{ tf/cm}^2$, 강재의 단위중량 $\rho=7.85 \times 10^{-6} \text{ tf/cm}^3$, 부재의 허용응력은 $\sigma_t=1.325 \text{ t/cm}^2$ (인장), $\sigma_c=-1.06 \text{ t/cm}^2$ (압축)으로 하였고, 절점①의 Z축 변위 제한을 $\pm 2.6 \text{ cm}$ 로 하였다. 좌굴 제약은 다음 식(15)와 같이 나타내었다.

$$p_e = -(L^2) \frac{(\sigma^L)^2}{\pi^2 a^2 E n_E} \tag{15}$$

여기서,

L : 부재길이, n_E : 안전계수(= 2.5), E : 탄성계수
 σ^L : 한계 응력(= -1.325 t/cm^2), a : 단면 상수



<그림 14> 공간 트러스돔의 평면도 및 단면도

<표 1> 원형 강관 데이터 베이스

H형강	단면적 (cm ²)	단면2차모멘트 (cm ⁴)	단면계수 (cm ³)	
1	$\phi - 21.7 \times 1.9$	1.182	0.585	0.539
2	$\phi - 27.2 \times 1.9$	1.510	1.22	0.893
.
.
.
60	$\phi - 1016.0 \times 12.7$	400.3	504 × 102	992 × 10
61	$\phi - 1016.0 \times 16.0$	502.7	628 × 102	124 × 102

<표 2> 공간 트러스돔의 하중조건

Load Case	절점번호	하중(tf)
1	①	-30.591
2	①~⑬	-3.059
3	①	-15.295
	④,⑤	-10.197
4	①	-15.295
	②,③,④	-7.138

<표 3> GAs 적용을 위한 염색체길이 및 설계공간

설계모델링	염색체길이(bit)	부재그룹	설계공간
입체 트러스 돔	6	8	2.81×10^{14}

본 연구에서 최적화 절차는 <그림 4>와 같이 초기화, 유전 및 진화 절차의 세가지로 구분되어 수행되며 각 절차에 포함된 작업의 소개는 아래와 같다.

- 1) 사용성을 만족할 수 있는 구조물의 기본적인 형상을 설정한다.
- 2) 구조물의 부재별로 사용할 원형 강관을 할당한다.
- 3) 설계변수로 선택된 단면 이동한계를 설정한다.
- 4) 2)와 3) 작업에서 가정된 설계변수를 이산화 자료로 재정렬한다.
- 5) GAs에서 사용할 기본 데이터 파일을 만든다.
- 6) 본 연구의 GAs에 의한 이산화 최적설계 프로그램을 수행하여 구조해석에 필요한 부호화된 자료를 얻는다.
- 7) 앞에서 얻어진 구조계 자료를 수치화 하여 구조 해석 데이터 파일을 작성한다.
- 8) 구조해석 결과를 분석하여 적합도를 산정한다.
- 9) 계산된 적합도를 GAs에 전달한다.

위와 같이 모두 9가지의 단계로 나누어져 있다.

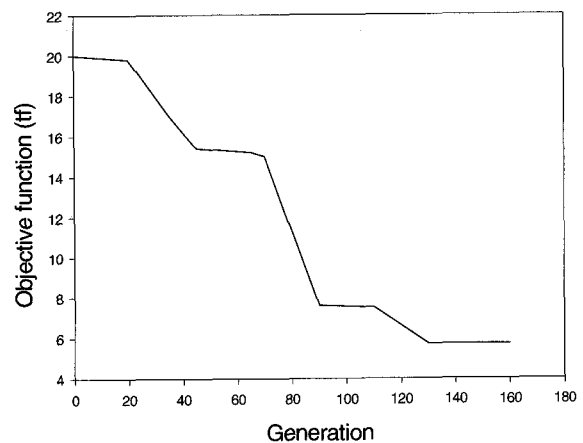
1)에서 5)까지의 작업은 초기화 작업으로 최적 설계를 수행할 때 최초에 한 번 수행하여 필요한 자료를 정의하는 부분이다. 작업 6)은 유전적 절차를 수행하는 부분으로 유전적으로 염색체의 재생산과 교배 및 돌연변이가 발생하는 부분이다. 7)에서 9)까지의 작업은 진화적 절차를 수행하는 부분으로 생성된 염색체가 생존에 얼마만큼의 적합도를 갖고 있는지를 파악하여 유전적 절차로 전달해주는 작업을 하게 된다.

<표 4>에서 GAs에 의한 이산화 최적설계결과가 SLP (sequence of linear program)기법을 이용한 참고문헌(7)의 연속최적설계결과와 비교적 유사함을 알 수 있었다. 이는 본 연구의 이산화 최적설계 프로그램이 신뢰성과 좀더 효율적임을 알 수 있다.

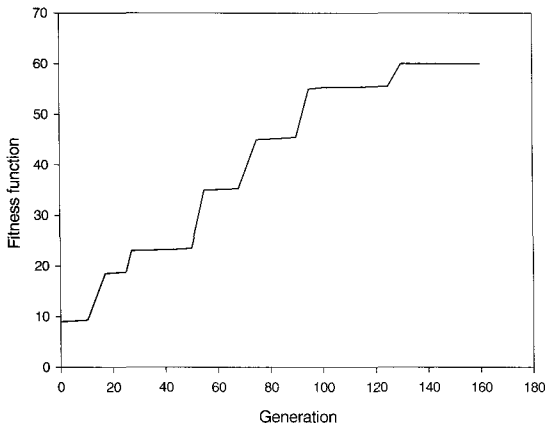
<표 4> 공간 트러스들의 이산화 최적설계결과 비교

Member Group	본 연구(cm^2)	참고문헌(7)(cm^2)
1	ϕ -267.4x6.6 (54.08)	43.99
2	ϕ -165.2x5.0 (25.16)	14.37
3	ϕ -139.8x4.0 (17.06)	24.24
4	ϕ -165.2x5.0 (25.16)	29.25
5	ϕ -76.3x3.2 (7.349)	4.99
6	ϕ -101.6x4.2 (12.85)	27.69
7	ϕ -48.6x3.2 (4.562)	17.11
8	ϕ -76.3x2.8 (6.462)	13.25
중량 (tf)	6.749	6.675

목적함수변화와 적합도 함수의 수렴과정은 <그림 15>와 <그림 16>에 나타내었다. 세대수의 증가에 따른 적합도 함수값의 변화를 살펴보면 <그림 16>에서 보여주는 것과 같이 초기세대에서는 가장 낮은 적합도로 산출되었고, 세대가 증가함에 따라 점점 적합도 함수값은 증가함을 알 수 있었다. 세대수의 증가에 따른 구조물의 중량은 <그림 15>와 같이 세대수가 증가함에 따라 점점 감소하여 158세대에서 수렴함을 알 수 있다.

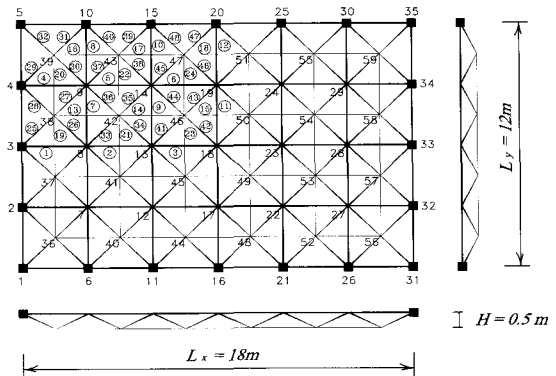


<그림 15> 목적함수 수렴과정



<그림 16> 적합도함수 수렴과정

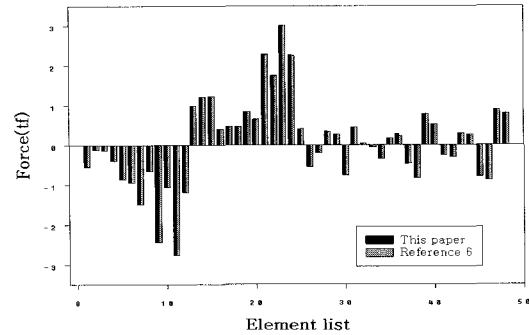
비교하여보면, 약 21% 더 경제적임을 알 수 있다.



<그림 17> 복층 공간 트러스

[예제 2] 공간 트러스의 구조해석 및 단면 이산화 최적설계를 수행하기 위해서 <그림 17>과 같이 절점은 59개, 부재는 192개로 구성된 복층 공간 트러스를 채택하였다.

하중은 등분포 하중 $\omega = 100 \text{ kgf/m}^2$ 이 작용하며, <그림 17>은 X방향 Y방향 양측에 대하여 대칭이므로 전체구조물의 1/4만을 모델링 하여 구조 해석한 결과를 참고문헌(9)에 의한 결과와 비교하여 <그림 18>에 나타내었다. <그림 19>에서 나타난 것과 같이 최대오차 1.236 %로써 참고문헌(9)에 의한 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.



<그림 18> 복층 공간 트러스의 부재력비교

본 연구에서 개발한 이산화 최적설계 알고리즘과 프로그램의 신뢰성과 범용성을 확인하기 위해 참고문헌(5)의 상용프로그램인 MIDAS/GENw과 비교 검토하였다. 구조해석과 설계에 적용되는 단면은 <표 1>과 같이 상용제품인 KS규격의 원형 강관 단면에 대한 단면성질을 사용하여 최적화를 수행하였다. 강구조의 중량을 목적함수로 사용하였으며, 교배확률과 돌연변이확률 매개변수는 각각 0.5와 0.025 을 사용하였으며, 설계집단은 60, 최대세대수는 5000번으로 하였다. 최적설계조건은 탄성계수 $E=2100 \text{ tf/cm}^2$, 강재의 단위중량 $\rho=7.85 \times 10^{-6} \text{ tf/cm}^3$ 으로 하였고, 제약 조건식은 식(7)~식(14)의 대한건축학회의 강구조 한계상태 설계 기준(1998)를 근거로 하였고 부재그룹은 상·하현재, 사재의 3개로 하였다.

<표 5> 원형 강관을 이용한 이산화 최적설계결과비교

Member	본 연구 (cm^2)	참고문헌 (5) MIDAS/GENw (cm^2)
상현재	$\phi-60.5 \times 2.3$ (4.203)	$\phi-76.3 \times 2.8$ (6.465)
하현재	$\phi-60.5 \times 3.2$ (5.76)	$\phi-76.3 \times 2.8$ (6.465)
사재	$\phi-60.5 \times 2.3$ (4.203)	$\phi-60.5 \times 2.3$ (4.203)
중량(tf)	1.7798	2.1522

<표 5>에서 상용프로그램인 MIDAS/GENw에 의한 최적설계결과와 본 연구의 이산화 최적결과를

6. 결 론

본 연구에서는 GAs를 이용하여 공간 트러스의 구조해석과 단면 이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있는 통합시스템화 된 이산화 최적 설계 알고리즘 및 프로그램을 개발하였고, 설계 예를 수행한 본

연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 제시한 GAs로 수행한 최적설계 예의 결과와 기존논문과 비교·고찰함으로써 효율성 및 신뢰성을 확인할 수 있었다.
- 2) 기존논문에서 다루기 힘든 이산형 및 정수형 변수를 사용하여 효과적으로 최적 설계할 수 있는 단면 이산화 최적설계 알고리즘 및 프로그램을 제시하였고, 다양한 형강 단면 및 강재의 종류를 임의로 선택할 수 있어 범용성이 높음을 알 수 있다
- 3) 본 연구에서 Pre/Post Processor, 구조해석, 단면 이산화 최적설계를 통합한 시스템을 개발하여 보다 편리하게 실제최적설계 업무에 효율적으로 적용될 수 있으며, 최적설계의 실용화를 유도할 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Arora, J. S., and Huang, M. W., 'Discrete Structural Optimization with Commercially Available Sections', Structural Eng./Earthquake Eng. JSCE, Vol. 13, No. 2, pp. 93~110, 1996.
- 2) Jenkins, W. M., 'Structural optimization with the genetic algorithm', The Structural Engineer, Vol. 69, No. 24, 1991.
- 3) Reinschmidt, K. F., 'Discrete Structural Optimization', Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, No. ST1, pp. 133~156, 1971.
- 4) Jenkins, W. M., 'Towards Structural Optimization via The Genetic Algorithm', Computers and Structures, Vol. 40, No. 5, pp. 1321~1327, 1991.
- 5) MIDAS Center(2000), MIDAS/GEN-Windows (Structure analysis and design program), Ver. 4.1.1, POSCO Engineering & Construction Co. Ltd., Korea
- 6) Rajeev, S., and Krishnamoorthy, C. S., 'Discrete optimization of structures using genetic algorithm', Journal of Structural Engineering, ASCE, 118(5), 1992, pp. 1233~1250.
- 7) Pauli Pedersen(1973), Optimal Joint Positions for Space Trusses, Journal of Structural Engineering ASCE, 99(12), 2459-2476.
- 8) Adeli, H. and Cheng, N.T., "Integrated Genetic Algorithms for Optimization of Space Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE. Vol 6. , No. 4, pp. 315~328. 1993.
- 9) Prakash, V. and Powell, G.H., "DRAIN-3DX: Base Program User Guide, Version 1.10," a Computer program Distributed by NISEE/Computer Applications, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA, 1993.
- 10) Choon-Wook Park, In-gee Jo and Moon-Myung kang., "Discrete Optimization Design of Space Truss Structures using Genetic Algorithms", Shell and Spatial Structures, Proc.of APCS2000, Vol. 1, pp.271~278, 2000.
- 11) 박춘욱, 조인기, 강문명, "유전자 알고리즘에 의한 철골 연속보의 위상 및 이산화 최적설계", 대한건축학회 논문집, 제16권 제8호, pp. 3~10, 2000. 8.
- 12) 박춘욱, '개선된 유전자알고리즘에 의한 입체 트러스의 단면 및 형상 이산화 최적설계', 경북대학교 대학원(박사학위논문), 2001.
- 13) 김기홍, '유전자알고리즘과 인공신경망을 이용한 강뼈대 구조물의 이산화 최적설계', 경북대학교 대학원(박사학위논문), 1999.
- 14) 문창훈, 한상을, '트러스구조물의 형태해석에 유전자알고리즘의 응용', 한국전산구조공학회 학술발표회논문집, pp155~162, 1998