

# 개선된 유전자 알고리즘을 이용한 평면 철골트러스의 형상계획 및 단면 이산화 최적설계

## Shape Scheme and Size Discrete Optimum Design of Plane Steel Trusses Using Improved Genetic Algorithm

김수원\*  
Kim, Soo-Won

여백유\*  
Yuh, Baeg-Youh

박춘옥\*\*  
Park, Choon-Wok

강문명\*\*\*  
Kang, Moon-Myung

### 요약

최적설계기법을 사용한 경제적인 설계의 필요성은 오래 전부터 요구되어 왔으나, 종전의 설계가 설계자의 경험에 의한 시행착오적인 반복설계를 통하여 이루어져 왔기 때문에 구조물의 형상이 복잡한 경우에는 계산상의 어려움과 반복계산을 되풀이해야 하는 번거로움으로 진정한 최적설계는 기대하기 어려웠다. 최적설계법이 구조물의 설계에 매우 유용하다는 사실이 증명되고 있긴 하지만, 아직도 최적설계의 의미를 제대로 이해하지 못하고 있는 실정이며, 더구나 설계실무자는 어디까지나 사용자가기 때문에 수리적 계획수법에 친숙할 필요까지는 없지만 최소한 이런 기법의 가능성과 중요성을 이해할 필요는 있는데 대부분 그러하지 못하고 있는 실정이다. 일반적으로 트러스 구조물 설계 시 주어진 부재의 용력에 따라 단면적을 산출하여 그 단면적에 역학적으로 가장 합리적인 단면을 선정하여 경제적인 설계단면을 구한다. 그러나 트러스의 형상, 트러스 높이에 따른 경제성의 문제는 보통 설계자의 경험과 직관에 의하여 결정되고, 특별한 검토가 이루어지지 않고 설계가 수행되는데, 실제 트러스 구조물에서 트러스의 형상과 높이가 전체 건설공사비에 크게 영향을 미친다. 그러므로, 트러스 구조물의 최적설계에서 트러스 형상, 라이즈 비(rise ratio : 높이/스팬) 및 격간 수(number of panel)를 고려하는 것이 필요하다. 트러스 형상과 스펠에 따른 최적형상과 최적높이 및 격간 수에 대해 설계자의 초기 구조계획 시 주관적 선택의 어려움을 해결하고, 실제의 지붕형 트러스 구조에 설계하중을 작용시켜 응력해석에서부터 부재 단면설계까지의 자동화된 최적설계 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 플랫폼 트러스의 형상, 격간 수, 격간의 간격 및 부재단면 등에 대하여 이산적인 변수의 처리와 넓은 설계공간의 탐색능력과 더불어 문제의 비선형성과 관계없이 전체 최적해를 찾아낼 수 있는 유전자 알고리즘을 이용한다. 또한, 강구조 한계상태설계기준(대한건축학회, 1998)을 기준으로 하여 자동으로 플랫폼 트러스의 구조계획과 단면이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있는 최적화 알고리즘을 제시하는 것을 목적으로 한다.

### Abstract

The objective of this study is the development of a scheme and discrete optimum design algorithm, which is based on the genetic algorithm. The algorithm can perform both scheme and size optimum designs of plane trusses. The developed Scheme genetic algorithm was implemented in a computer program.

For the optimum design, the objective function is the weight of structures and the constraints are limits on loads and serviceability. The basic search method for the optimum design is the genetic algorithm. The algorithm is known to be very efficient for the discrete optimization. However, its application to the complicated structures has been limited because of the extreme time need for a number of structural analyses. This study solves the problem by introducing the size & scheme genetic algorithm operators into the genetic algorithm.

The genetic process virtually takes no time. However, the evolutionary process requires a tremendous amount of time for a number of structural analyses. Therefore, the application of the genetic algorithm to the complicated structures is extremely difficult, if not impossible. The scheme genetic algorithm operators was introduced to overcome the problem and to complement the evolutionary process. It is very efficient in the approximate analyses and scheme and size optimization of plane trusses structures and considerably reduces structural analysis time.

Scheme and size discrete optimum combined into the genetic algorithm is what makes the practical discrete optimum design of plane trusses structures possible.

The efficiency and validity of the developed discrete optimum design algorithm was verified by applying the algorithm to various optimum design examples: plane pratt, howe and warren truss.

*keywords: optimization, multi-levels, direct search method, plane truss, space truss, objective function, constraints*

\* 정희원, 영진전문대 건축디자인계열 부교수, 공학박사  
E-mail: swkim@yjc.ac.kr E-mail: byyuh@yjc.ac.kr

\*\*\* 정희원, 경북대학교 건축공학부 교수, 공학박사  
E-mail: kmm322@knu.ac.kr

\*\* 정희원, 영진전문대 건축디자인계열 전임강사, 공학박사  
E-mail: pcw2379@yjc.ac.kr

## 1. 서 론

최적설계(Optimum Design)의 목적은 주어진 조건을 만족하면서 최소의 비용을 요구하거나 최상의 효과를 가지는 설계를 찾고자 하는 것이다.

최적설계기법을 사용한 경제적인 설계의 필요성은 오래 전부터 요구되어 왔으나, 종전의 설계가 설계자의 경험에 의한 시행착오적인 반복설계를 통하여 이루어져 왔기 때문에 구조물의 형상이 복잡한 경우에는 계산상의 어려움과 반복계산을 되풀이해야 하는 번거로움으로 진정한 최적설계는 기대하기 어려웠다. 그러나 최근의 컴퓨터의 발전으로 인해 최적설계 과정의 복잡한 계산이나 반복계산을 수치적인 개념으로 그리고 빠른 속도로 처리할 수 있어, 이러한 문제들이 원활하게 해결할 수 있게 되었고, 아울러 구조물의 최적설계에도 많은 발전이 이루어졌다. 최적설계법이 구조물의 설계에 매우 유용하다는 사실이 증명되고 있긴 하지만, 아직도 최적설계의 의미를 제대로 이해하지 못하고 있는 실정이며, 더구나 설계실무자는 어디까지나 사용자가기 때문에 수리적 계획수법에 친숙할 필요까지는 없지만 최소한 이런 기법의 가능성과 중요성을 이해할 필요는 있는데 대부분 그러하지 못하고 있는 실정이다. 일반적으로 트러스 구조물 설계 시 주어진 부재의 용력에 따라 단면적을 산출하여 그 단면적에 역학적으로 가장 합리적인 단면을 선정하여 경제적인 설계단면을 구한다. 그러나 트러스의 형상, 트러스 높이에 따른 경제성의 문제는 보통 설계자의 경험과 직관에 의하여 결정되고, 특별한 검토가 이루어지지 않고 설계가 수행되는데, 실제 트러스 구조물에서 트러스의 형상과 높이가 전체 건설공사비에 크게 영향을 미친다.<sup>[6]</sup> 그러므로, 트러스 구조물의 최적설계에서 트러스 형상, 라이즈 비(rise ratio: 높이/스팬) 및 격간 수(number of panel)를 고려하는 것이 필요하다. 트러스 형상과 스펬에 따른 최적형상과 최적높이 및 격간 수에 대해 설계자의 초기 구조계획 시 주관적 선택의 어려움을 해결하고, 실제의 지붕형 트러스 구조에 설계하중을 작용시켜 응력해석에서부터 부재 단면설계까지의 자동화된 최적설계 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

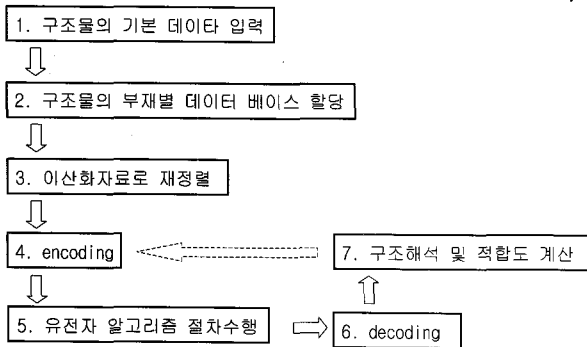
따라서 본 연구는 트러스의 형상, 격간 수, 격간의 간격 및 부재단면 등에 대하여 이산적인 변수의 처리와 넓은 설계공간의 탐색능력과 더불어 문제의 비선형성과 관계없이 전체(global)최적해를 찾아낼 수 있는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)를 이용하여 자동으로 트러스의 구조계획과 단면이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있는 최적화 알고리즘을 제시하는 것을 목적으로 한다.<sup>[1]-[5]</sup>

## 2. 유전자 알고리즘의 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 본 연구에서는 설계변수의 정보가 들어가 있는 이산자료를 database화하여 가능해집합을 이진수로 부호화(encoding)작업을 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.<sup>[2],[3]</sup> 이러한 과정을 반복하여 수행함으로써 주어진 조건에 대하여 적합성이 낮은 개체는 점차 생존확률이 낮아져서 도태되며 적합성이 높은 개체들은 교배를 통하여 점차 적합도가 높은 개체를 생성하게되어 결국에는 주어진 조건에 가장 적합한 개체를 검색하게 된다는 이론이다.

## 3. 유전자 알고리즘의 적용절차

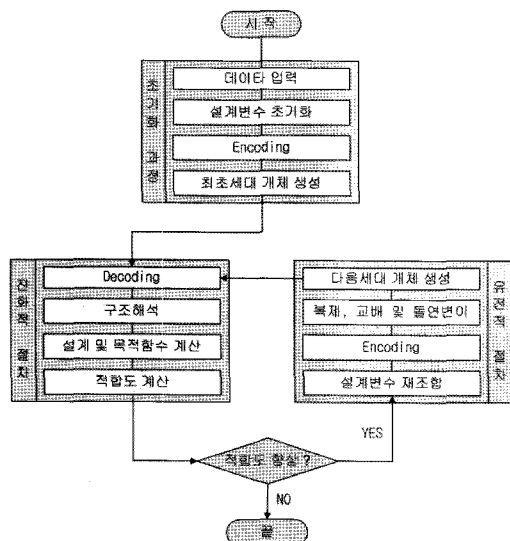
유전자 알고리즘을 적용한 본 연구의 최적화 절차는 <그림 1>과 같다. 1)에서 2)까지의 작업은 초기화 작업으로 최적 설계를 수행할 때 최초에 한



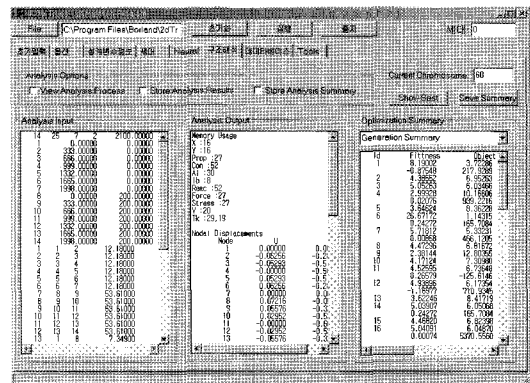
<그림 1> 본 연구의 유전자알고리즘적용 흐름도

번 수행하여 필요한 자료를 정의하는 부분이다. 3)에서 4)까지는 이산화 최적설계를 하기 위한 기본적인 수치 데이터 입력 및 유전적 절차를 수행하기 위한 기본 데이터가 생성되는 부분이다. 작업 5)는 유전자 연산을 수행하는 부분으로 염색체의 복제와 교배 및 돌연변이가 발생하는 부분이다. 6)에서 8)까지의 작업은 진화적 절차를 수행하는 부분으로 생성된 염색체가 생존에 어느 정도의 적합도를 갖고 있는지를 파악하여 유전적 절차로 전달해주는 작업을 하게 된다. 위의 절차도에 따라 이산화 최적화 프로그램을 작성하였다. <그림 2>는 최적화 프로그램의 흐름도이다.

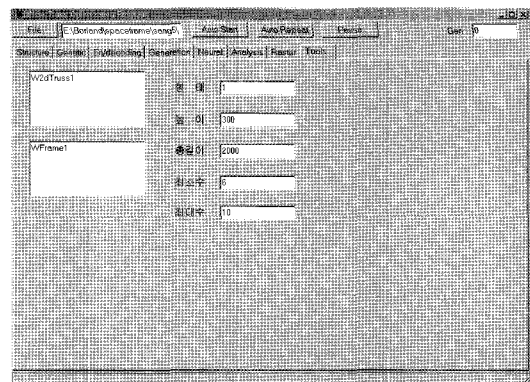
<그림 2>의 초기화 작업에서 유전자 알고리즘은 임의의 난수를 발생시켜 한 세대의 개체 수만큼의 이진수화(encoding) 된 염색체를 생성한다. 이 때 본 연구에서 적용한 형상계획 최적설계를 수행하기 위해 절점 이동의 상한치와 하한치를 결정하고 부



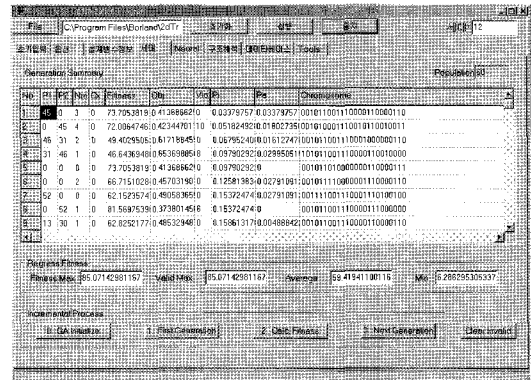
<그림 2> 본 연구의 유전자알고리즘적용 흐름도



<그림 3> 유한요소모델의 기본입력



<그림 4> 프로그램 수행과정 1



<그림 5> 프로그램 수행과정

재의 유무를 판단할 부울린 변수를 결정하여 검색할 데이터의 간격을 결정한다. 이렇게 생성된 염색체들은 진화적 절차에 전달되며 십진수화(decoding) 작업을 통하여 실제 설계변수에 사용될 수치로 변환되며, 얻어진 설계변수들을 사용하여 구조해석을 수행한다. 진화적 절차는 구조해석의 결과를 분석하여 염색체의 적합도를 계산하여 유전적 절차에 전달한다. 유전적 절차에서는 적합도에 따라 설계변수를 재조합하고 이를 이진수화 하여 유전자 알고리즘의 연산자인 복제와 교배 및 돌연변

이 등을 통하여 생성된 다음 세대의 염색체를 다시 진화적 절차에 전달한다.

<그림 3>~<그림 5>는 본 연구에서 제시한 구조 해석과 단면 및 격간과 높이 다른 최적구조계획을 동시에 수행할 수 있는 이산화 최적설계프로그램의 초기화면 및 각 절차의 수행과정화면이다.<sup>[2],[6]</sup>

#### 4. 형상계획을 위한 개선된 유전자 알고리즘

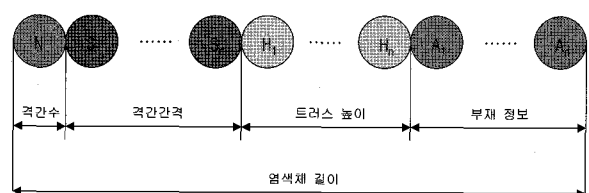
일반적인 설계법은 구조해석 결과를 바탕으로 설계결과의 구조적 성능과 효율성의 판단을 기술자의 직관과 경험에 의존하는 것과 비교하면, 최적설계법은 구조해석과 구조설계를 종합적·합리적으로 처리하는 통합적 구조설계라고 할 수 있다. 최적설계법이 구조물의 설계에 매우 유용하다는 사실이 증명되고 있긴 하지만, 아직도 최적설계의 의미를 제대로 이해하지 못하고 있는 실정이며, 더구나 설계실무자는 어디까지나 사용자이기 때문에 수리적 계획수법에 친숙할 필요는 없지만 최소한 이런 기법의 가능성과 중요성을 이해할 필요는 있는데 대부분 이해하지 못하고 있는 실정이다. 일반적으로 트러스 구조물 설계 시 주어진 부재의 용력에 따라 단면적을 산출하여 그 단면적에 역학적으로 가장 합리적인 단면을 선정하여 경제적인 설계단면을 구하였다. 그러나 각종 트러스 구조의 형상, 트러스 높이에 따른 경제성의 문제는 보통 설계자의 경험과 직관에 의하여 결정되고, 특별한 검토가 이루어지지 않고 설계가 수행되는데 실제 트러스 구조 설계 시에는 트러스의 형상과 높이가 전체 건설공사비에 크게 영향을 미친다.<sup>[7]</sup> 따라서, 트러스 구조물의 최적 설계에서 트러스 형상, 라이즈 비 및 격간수(number of panel)를 고려하는 것이 필요하다. 트러스 형상과 스패에 따른 최적 형상과 최적 높이 및 격간수에 대해 설계자에게 초기 구조계획 시 주관적 선택의 어려움을 해결하고, 실제의 트러스 구조에 설계하중을 작용시켜 응력해석에서 부재 단면설계까지의 자동화 최적설계를 위한 알고리즘이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 예비설계인 구조계획단계에서부터 트러스의 형상, 격간수, 격간의 간격 및

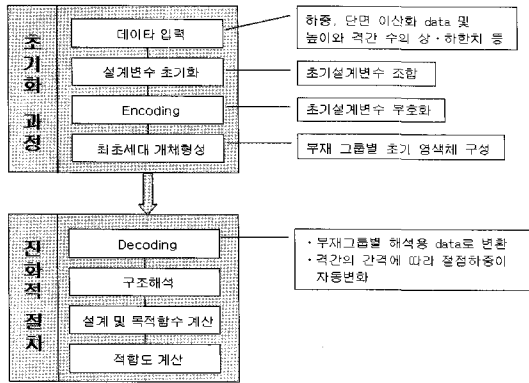
부재단면 등을 이산적인 변수의 처리와 넓은 설계공간의 탐색능력과 더불어 문제의 비선형성과 관계없이 전체(global)최적해를 찾아낼 수 있는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)를 이용하여 자동으로 형상계획과 단면이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있는 최적화 알고리즘 제시를 목적으로 한다.

기존의 확정적인 수학기법으로는 쉽게 해결하기 어려운 구조계획 및 단면을 동시에 고려한 이산화 최적설계에 대하여 유전자 알고리즘을 이용할 수 있다. 기존의 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 단면 이산화 최적설계에 대해서는 많은 연구가 되어왔으나 트러스 구조물의 구조계획단계에서 격간수 및 격간의 간격 및 단면이산화 최적화가 동시에 고려할 수 있는 최적설계는 거의 이루어지지 않았다. 그래서 본 연구에서는 단면뿐만 아니라 트러스 부재의 단면형상과 트러스 높이에 따른 최적 격간수 및 격간의 간격을 동시에 쉽게 결정할 수 있도록 하기 위해 단순 유전자 알고리즘을 단면과 형상계획에 대한 이산화 최적설계가 가능한 유전자 알고리즘으로 개선하였다. 기존의 유전자 알고리즘에서 해의 범위가 미리 정해져 있을 경우 이를 표현할 수 있는 비트수 만큼 이진수를 할당하여 최적해를 찾을 수 있지만, 구조물의 종류 및 격간수 그리고 부재의 그룹핑을 결정할 때마다 염색체를 새롭게 구성하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 <그림 6>과 같이 격간수의 상한치와 하한치 및 격간의 간격을 결정하기 위해 변동변수(variable)를 적용하여 이진부호화(encoding) 및 십진수화(decoding) 상호변환을 가능하게 하고 또한 각 비트의 역할을 독립적으로 행할 수 있도록 하였다.<sup>[3],[5]</sup>

본 연구에서는 <그림 6>, <그림 7> 에서 보듯이 부재에 대한 정보는 부재그룹에 따라 구성할 수 있으며, 격간수의 상·하한치에 따라 염색체가 자동으로 구성될 수 있도록 하였다.



<그림 6> 한 개의 염색체가 가지고 있는 정보



〈그림 7〉 형상계획을 위한 개선된 유전자 알고리즘

여러 개의 유전자로 표현된 염색체는 <그림 7>과 같이 격간수와 격간의 간격, n개의 단면적에 대한 정보로 이루어져있다. 염색체 길이에서 각각의 비트는 서로 다른 다양한 역할을 한다. 예를 들어, 본 연구에서 염색체 길이는 원형 강관의 단면구분, 상한치, 하한치의 공간을 정밀도에 따라 변화하는 격간수, 격간의 간격 및 격간의 높이 등을 표현하는 정수형 및 실수형 변수들로 구성되어 있다. 특히 격간수와 격간의 간격에 대한 정보는 상·하한치 및 정밀도에 따라 염색체의 비트가 자동 생성될 수 있도록 구성하였다.

예를 들면, 각각 10개의 격간수와 트러스의 높이 및 18개의 단면적에 대한 1개 염색체의 비트수와 경우의 수를 살펴보면 다음과 같다. 기호는 다음 식(1)과 같이 설정하여 나타내었다.

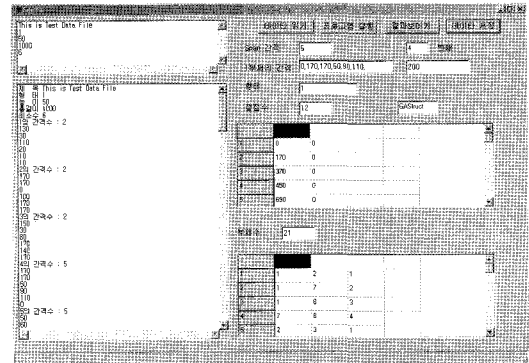
$$\begin{aligned}
 N_i &: i = 1, 2, \dots, 10 \\
 A_j &: j = 1, 2, \dots, 18 \\
 H_k &: k = 1, 2, \dots, 10
 \end{aligned} \tag{1}$$

〈표 1〉 설계변수가 갖는 비트영역과 비트 수

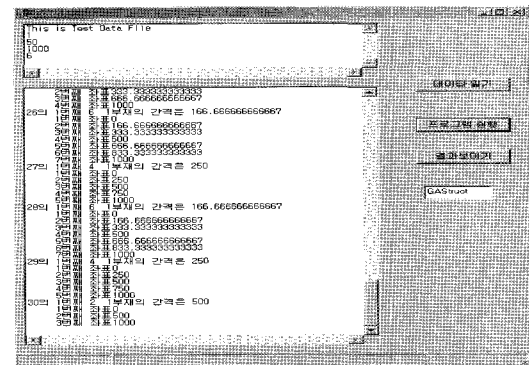
| 항목       | 염색체 구성조건          |                   | 비트 영역          | 소요비트 수 |
|----------|-------------------|-------------------|----------------|--------|
|          | 설계변수              | 설계변수의 정밀도         |                |        |
| 격간수      | $N_1 \sim N_{10}$ | 1                 | 1~10           | 4      |
| 부재 단면적   | $A_1 \sim A_{18}$ | 18개 X 원형강관 61개 단면 | 1~61           | 18 x 6 |
| 트러스 높이   | $H_1 \sim H_{10}$ | 200cm/20cm        | 1~10           | 4      |
| 총 소요비트 수 |                   |                   | 4+18X6+4 = 116 |        |

여기서 각각의 설계변수는 설계범위가 다르기 때문에 설계변수가 포함되어 있는 비트 수도 다르다. <표 1>에서와 같이 염색체 한 개의 길이 (string)는 38개의 설계변수인 유전자를 가지고 있으며, 트러스의 격간 수에 해당되는 설계변수  $N_1 \sim N_{10}$ 에 대한 소요비트 수는 4비트, 부재의 단면적에 해당하는 설계변수  $A_1 \sim A_{18}$  각각에 대하여 원형강관단면( $\phi$ -21.7×1.9~ $\phi$ -1016.0×16.0)은 61가지 경우를 고려한 이산화 데이터베이스를 사용하면 소요비트 수는 6(비트)×18(개)=108비트, 또한 트러스의 높이에 해당되는 설계변수  $H_1 \sim H_k$ 는 정밀도를 20cm로 하여 정수 값을 취하면 소요비트 수는 4비트, 총 116비트로 구성되어, 이 비트수가 가질 수 있는 염색체의 경우의 수는  $2^{116}$ 개 즉, 약  $8.3076 \times 10^{34}$ 개에 대한 탐색으로 최적화하게 된다.

<그림 8>, <그림 9>는 본 연구에서 제시한 형상계획을 위한 개선된 유전자 알고리즘의 수행과정을 나타내었다.



〈그림 8〉 형상계획을 위한 유전자 알고리즘의 입력과정



〈그림 9〉 형상계획을 위한 유전자 알고리즘의 수행과정

### 5. 설계 예 및 결과고찰

본 장에서는 평면 철골트러스 구조물의 구조해석과 단면 및 격간, 격간 간격, 높이를 고려한 이산화 최적설계를 수행하고 상호 비교 고찰한다.

Pratt 트러스 구조물의 예제를 통하여 본 연구에서 제시한 형상계획을 위한 유전자 알고리즘 알고리즘으로 구조해석과 격간수 및 격간의 간격과 단면 이산화 최적설계를 일괄적으로 수행하여 그 결과를 비교, 검토하고자 한다. 평면 트러스의 구조해석은 탄성유한요소법을 이용하였다.

본 연구에서 형상구조계획 및 단면이산화 최적설계를 수행하기 위해 응력해석과 설계에 적용되는 단면은 실제 공장에서 제작되는 상용제품의 KS규격의 원형강관 단면 61개에 대한 단면 성능을 이용하여 최적화를 수행하였다.

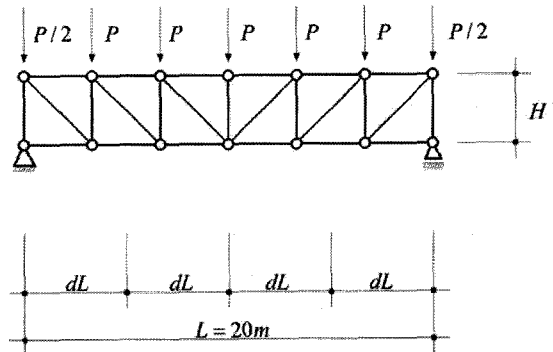
유전자 알고리즘을 이용한 단면 및 형상 이산화 최적 설계를 수행하기 위해 실제 공장에서 제작되는 상용제품인 KS 규격의 원형 강관 단면에 대한 단면 성질을 사용하여 최적화를 수행하였다. 구조물의 중량을 목적 함수로 사용하였으며, 제약 조건으로는 강구조 한계상태설계기준(대한건축학회, 1998)을 기준으로 하여 인장 및 압축력, 세장비 등에 대한 강도 제약 조건과 단면 형상에 대한 사용성 및 처짐 제약 사항 등을 사용하였다

트러스의 절점 강성은 고려하지 않았으며, 교배 확률과 돌연변이확률 매개변수는 각각 0.5와 0.025를 사용하였으며, 집단은 60, 최대세대수는 1,000번으로 하였다. 설계조건은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> Pratt 트러스의 설계조건

| 탄성계수<br>E(tf/cm <sup>2</sup> ) | 단위중량<br>ρ(tf/cm <sup>3</sup> ) | 하중 ω<br>(tf/m) | 트러스높이<br>상·하한치(cm) |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
| 2,100                          | 7.85×10 <sup>-6</sup>          | 0.4            | 200~400            |

본 연구의 개선된 유전자 알고리즘의 신뢰성과 효율성을 확인하기 위해 <그림 10>과 같은 모델의 pratt 트러스에 대해 형상계획 및 단면 이산화 최적 설계를 수행하고 그 결과를 <표 3>과 <그림 11>에서 등간격과 비등간격에 대한 중량비교 및 트러스 높이에 따른 격간수와 중량을 <표 4>~<표 7>에서 나타내었다. 프로그램에 옵션을 주어 자동으로 각각



<그림 10> Pratt 트러스

<표 3> Pratt 트러스의 격간 등분조건에 따른 최적 설계 결과 비교

| 구분    | 격간 수 | 높이 (cm) | 부재 종류 | 최적단면       |                       | 총중량 (tf) |
|-------|------|---------|-------|------------|-----------------------|----------|
|       |      |         |       | 단면(mm)     | 단면적(cm <sup>2</sup> ) |          |
| 등간격   | 12   | 200     | 상현재   | ∅-76.3×3.2 | 7.349                 | 0.3553   |
|       |      |         | 하현재   | ∅-60.5×2.8 | 5.073                 |          |
|       |      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|       |      |         | 사재    | ∅-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 비 등간격 | 11   | 250     | 상현재   | ∅-48.6×2.4 | 3.483                 | 0.3008   |
|       |      |         | 하현재   | ∅-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
|       |      |         | 수직재   | ∅-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
|       |      |         | 사재    | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |

의 경우에 대한 최적설계결과가 출력되도록 하였다.

<그림 10>과 같은 모델의 pratt 트러스의 이산화 최적설계결과는 <그림 11>과 <표 3>에서 보는 바와 같이 격간의 간격을 등간격으로 배치할 때 보다

<표 4> 등간격일 때 pratt 트러스의 최적설계 결과

| 격간 수 | 높이 (cm) | 부재 종류 | 최적단면        |                       | 총중량 (tf) |
|------|---------|-------|-------------|-----------------------|----------|
|      |         |       | 단면(mm)      | 단면적(cm <sup>2</sup> ) |          |
| 6    | 200     | 상현재   | ∅-101.6×3.2 | 9.892                 | 0.4136   |
|      |         | 하현재   | ∅-89.1×3.2  | 8.636                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3  | 4.203                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-60.5×2.3  | 4.203                 |          |
| 8    | 200     | 상현재   | ∅-89.1×3.2  | 8.636                 | 0.3664   |
|      |         | 하현재   | ∅-76.3×2.8  | 6.462                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3  | 4.203                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-48.6×2.4  | 3.483                 |          |
| 10   | 200     | 상현재   | ∅-89.1×3.2  | 8.636                 | 0.3661   |
|      |         | 하현재   | ∅-60.5×3.2  | 5.760                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3  | 4.203                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-42.7×2.4  | 3.039                 |          |
| 12   | 200     | 상현재   | ∅-76.3×3.2  | 7.349                 | 0.3553   |
|      |         | 하현재   | ∅-60.5×2.8  | 5.073                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3  | 4.203                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-42.7×2.4  | 3.039                 |          |

비 등간격으로 배치 할 경우가 약 18% 더 경제적인 것을 알 수 있다.

<표 3>과 <표 4>~<표 7>의 최적결과들에 대한 비교를 통하여 pratt 트러스의 초기 형상구조계획 단계에서 최적 단면, 최적 격간수 및 격간의 간격

<표 5> 등간격일 때 pratt 트러스의 최적설계 결과

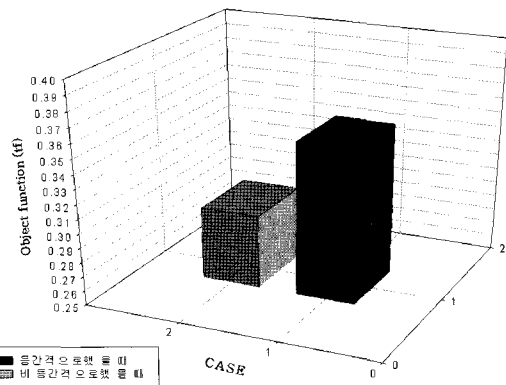
| 격간 수 | 높이 (cm) | 부재 종류 | 최적단면       |                       | 총중량 (tf) |
|------|---------|-------|------------|-----------------------|----------|
|      |         |       | 단면(mm)     | 단면적(cm <sup>2</sup> ) |          |
| 6    | 250     | 상현재   | Ø-89.1×3.5 | 9.412                 | 0.3964   |
|      |         | 하현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-60.5×3.2 | 5.760                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-48.6×2.4 | 3.483                 |          |
| 8    | 250     | 상현재   | Ø-89.1×3.2 | 8.636                 | 0.4062   |
|      |         | 하현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-60.5×3.2 | 5.760                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 10   | 250     | 상현재   | Ø-76.3×3.2 | 7.349                 | 0.3957   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.8 | 5.073                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-60.5×3.2 | 5.760                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 12   | 250     | 상현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 | 0.4004   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-60.5×3.2 | 5.760                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |

<표 6> 등간격일 때 pratt 트러스의 최적설계 결과

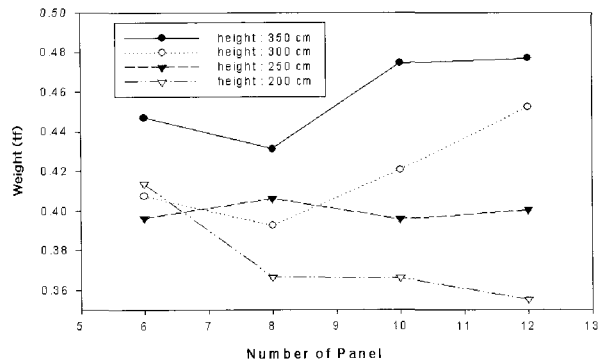
| 격간 수 | 높이 (cm) | 부재 종류 | 최적단면       |                       | 총중량 (tf) |
|------|---------|-------|------------|-----------------------|----------|
|      |         |       | 단면(mm)     | 단면적(cm <sup>2</sup> ) |          |
| 6    | 300     | 상현재   | Ø-89.1×3.2 | 8.636                 | 0.4074   |
|      |         | 하현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 8    | 300     | 상현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 | 0.3925   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.8 | 5.073                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 10   | 300     | 상현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 | 0.4208   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 12   | 300     | 상현재   | Ø-60.5×3.2 | 5.760                 | 0.4525   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |

<표 7> 등간격일 때 pratt 트러스의 최적설계 결과

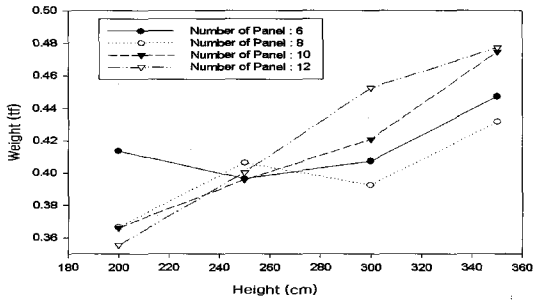
| 격간 수 | 높이 (cm) | 부재 종류 | 최적단면       |                       | 총중량 (tf) |
|------|---------|-------|------------|-----------------------|----------|
|      |         |       | 단면(mm)     | 단면적(cm <sup>2</sup> ) |          |
| 6    | 350     | 상현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 | 0.4472   |
|      |         | 하현재   | Ø-89.1×3.2 | 8.636                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×3.2 | 7.349                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 8    | 350     | 상현재   | Ø-76.3×2.8 | 6.462                 | 0.4315   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×3.2 | 7.349                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 10   | 350     | 상현재   | Ø-60.5×3.2 | 5.760                 | 0.4746   |
|      |         | 하현재   | Ø-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×3.2 | 7.349                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
| 12   | 350     | 상현재   | Ø-60.5×2.8 | 5.073                 | 0.4771   |
|      |         | 하현재   | Ø-48.6×2.4 | 3.483                 |          |
|      |         | 수직재   | Ø-76.3×3.2 | 7.349                 |          |
|      |         | 사재    | Ø-34.0×2.2 | 2.198                 |          |



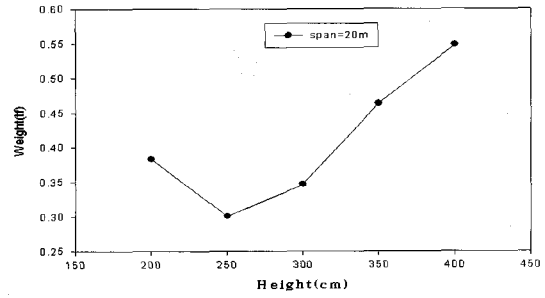
<그림 11> Pratt 트러스의 격간 등분조건에 따른 최적설계결과 비교



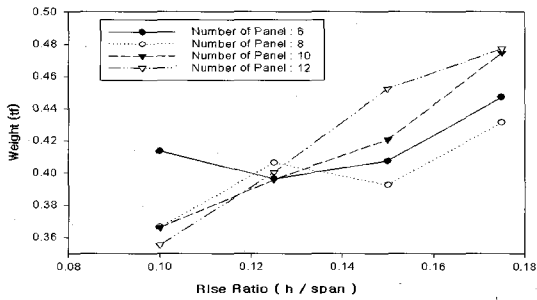
<그림 12> 등간격일 때 pratt 트러스의 격간에 따른 최적설계 결과



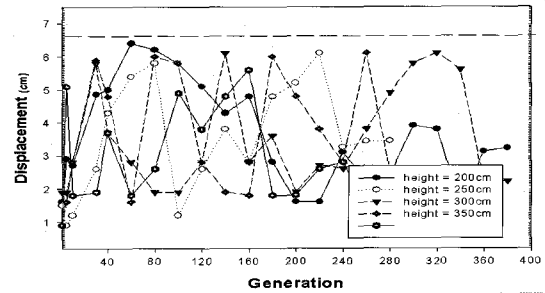
〈그림 13〉 등간격일 때 pratt 트러스의 높이에 따른 최적설계 결과



〈그림 15〉 비 등간격일 때 pratt 트러스의 높이에 따른 최적설계 결과



〈그림 14〉 등간격일 때 pratt 트러스의 라이즈 비에 따른 최적설계 결과



〈그림 16〉 비 등간격일 때 pratt 트러스의 Generation에 따른 처짐

과 트러스의 높이에 대한 최적치 등의 다양한 설계 정보가 제공될 수 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구의 개선된 유전자 알고리즘 및 프

〈표 8〉 비 등간격일 때 pratt 트러스의 최적설계 결과

| 격간 수 | 높이 (cm) | 부재 종류 | 최적단면       |                       | 총중량 (tf) |
|------|---------|-------|------------|-----------------------|----------|
|      |         |       | 단면(mm)     | 단면적(cm <sup>2</sup> ) |          |
| 11   | 200     | 상현재   | ∅-60.5×3.2 | 5.760                 | 0.3834   |
|      |         | 하현재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-48.6×3.2 | 4.562                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-60.5×3.2 | 5.760                 |          |
| 11   | 250     | 상현재   | ∅-48.6×2.4 | 3.483                 | 0.3008   |
|      |         | 하현재   | ∅-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-42.7×2.4 | 3.039                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
| 8    | 300     | 상현재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 | 0.3467   |
|      |         | 하현재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-60.5×2.8 | 5.073                 |          |
| 8    | 350     | 상현재   | ∅-76.3×2.8 | 6.462                 | 0.4634   |
|      |         | 하현재   | ∅-60.5×2.8 | 5.073                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-76.3×2.8 | 6.462                 |          |
| 8    | 400     | 상현재   | ∅-60.5×2.3 | 4.203                 | 0.5479   |
|      |         | 하현재   | ∅-60.5×2.8 | 5.073                 |          |
|      |         | 수직재   | ∅-60.5×3.2 | 5.760                 |          |
|      |         | 사재    | ∅-89.1×3.5 | 9.412                 |          |

로그래밍은 평면 pratt 트러스구조에서 스패와 설계 하중이 주어지면 응력해석에서 최적형상 및 부재의 최적 단면설계까지 자동화 된 이산화 최적설계가 가능하며, 설계자에게 초기 구조계획 시 트러스 스패에 따른 최적 트러스 구조, 형상, 높이 및 격간수에 대한 주관적 선택의 어려움 해결에도 도움이 될 수 있음을 보여 준다.

그림 16은 세대증가에 따른 최대 처짐의 변화를 각 높이 별로 나타내었다. 여기서 최대 처짐 ±6.67cm을 위배하지 않고 수렴함을 알 수 있고, 그림 15에서는 트러스 높이가 250cm 일 때가 최적구조형태임을 알 수 있다.

이는 본 연구의 개선된 유전자 알고리즘이 처짐 및 다른 제약 조건식을 벗어나지 않은 상태에서 최적 형상과 단면을 동시에 찾아내는데 효율적일 뿐만 아니라 신뢰성이 있음을 고찰할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구는 단순 유전자 알고리즘을 개선하여 철골 트러스 구조물의 스패와 작용하중이 주어지면 응력해석에서부터 초기 최적 형상구조계획 및 단면



이산화 최적설계 전 과정을 자동으로, 보다 효과적이고 실제적인 최적설계를 수행할 수 있는 개선된 유전자 알고리즘을 제시하였으며, 이에 대한 신뢰성 및 실용성을 검증하기 위하여 설계 예를 들어 최적설계를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 제시한 개선된 유전자 알고리즘은 기존 논문에서 다룰 수 없었던 평면 트러스구조의 높이와 격간수 및 단면을 동시에 검색하여 이산화 최적설계를 수행할 수 있는 신뢰성과 효율성을 가진 알고리즘임을 확인할 수 있었다.
  2. 평면 트러스구조의 보다 더 경제적인 최적화는 높이와 격간수 및 단면을 설계변수로 동시에 고려하여 일률적으로 이산화 최적설계를 수행할 필요가 있음을 알 수 있었다.
  3. 평면 트러스구조에서 격간의 간격을 등간격으로 배치할 때 보다 비등간격으로 배치할 경우가 더 경제적임을 알 수 있었다.
  4. 철골트러스의 격간수 및 라이즈 비가 트러스 구조물의 건설비용에 많은 영향을 미치므로 철골 트러스 구조물의 설계에서 이에 대한 고려가 필요함을 알 수 있었다.
- 트러스 구조물에 대한 보다 편리하고 실질적인 최적설계를 위해 구조해석, 단면 및 형상뿐만 아니라 효과적인 트러스의 갯수에 대한 구조계획까지 검색 가능한 최적설계 통합 시스템의 개발을 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," Addison -Wesley Publishing Co, 1989.
2. Jenkins, W. M., "Structural optimization using genetic algorithms," The Struct. Engr., Vol. 69, No. 24, pp.418-422, 1991.
3. Reinschmidt, K. F., "Discrete Structural Optimization," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, No. ST1, pp. 133~156, 1971.
4. Holland, J., "Adaptation in Natural and Artificial Systems," University of Michigan Press, 1975.
5. Kirsch, U., "Optimal Topologies of Structures," Applied Mechanics Reviews, Vol. 42, pp. 223~239, 1989.
6. 박춘욱, "개선된 유전자 알고리즘에 의한 입체 트러스의 단면 및 형상 이산화 최적설계," 경북대학교 대학원(박사학위논문), 2001.
7. 김기홍, "유전자알고리즘과 인공신경망을 이용한 강뼈대 구조물의 이산화 최적설계," 경북대학교 대학원(박사학위논문), 1999.
8. 여백유, 박춘욱, 강문명, "유전자알고리즘을 이용하여 대공간 구조물의 최적설계를 손쉽게 수행할 수 있는 프로그램개발," 한국공간구조학회 논문집, 제1권 제1호, pp. 125~134, 2001. 10.