

# 실수코딩 유전자알고리즘을 이용한 고정번지식 ATC 프레임의 토폴로지 최적화에 관한 연구

허영진\*, 임상현\*, 이춘만#

## A Study on the Topology Optimization of the Fixed Address Type ATC Frame Using a Real Number Coding Genetic Algorithm

Young Jin Her\*, Sang Heon Lim\* and Choon Man Lee#

### ABSTRACT

Recently, many studies have been undergoing to reduce working time in field of machine tool. There are two ways of reducing working time; to reduce actual working time by heighten spindle speed and to reduce stand-by time by shortening tool exchange time. Auto tool changer belongs to latter case. Fixed address type auto tool changer can store more number of tools in small space than magazine transfer type and can shorten tool exchange time.

This study focuses on the topology optimization to reduce the weight of the fixed address type ATC. The optimization program using a real number coding genetic algorithm is developed and is applied to the 10-bar truss optimization problem to verify the developed program. And, it is shown that the developed program gives better results than other methods. Finally, The developed program applied to optimize the fixed address type ATC.

**Key Words** : Auto Tool Changer (자동공구교환장치), Fixed Address Type ATC (고정번지식 자동공구교환장치), Topology Optimization (토폴로지 최적화), Genetic Algorithm (유전자알고리즘), Real Number Coding (실수코딩)

### 1. 서론

최근 고속· 고정밀 지능형 공작기계를 개발하기 위한 많은 연구가 진행 중이며 상당한 진보를 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 공작기계의 고속화 목적은 가공시간과 가공대기시간의 단축을 통한 생

산성 향상이다. 공작기계의 고속화는 주축계의 고속화와 이송계의 고속화, 그리고 ATC(Automatic Tool Changer)의 고속화로 대별할 수 있다. 이중 주축계의 고속화는 고속가공기술의 연구 성과에 힘입어 큰 발전을 이루었고, 이송계의 고속화는 종전의 볼 스크류 방식에서 리니어모터를 채택하면서 이루

접수일: 2004년 1월 13일; 게재승인일: 2004년 6월 11일

\* 창원대학교 기계설계공학과 대학원

# 창원대학교 기계설계공학과

E-mail cmlee@sarim.changwon.ac.kr Tel. (055) 279-7572

어지고 있다. ATC의 고속화는 고속 캠박스의 개발로 TTT(Tool to Tool)시간이 0.9초까지 실현되고 있다.

또한, 최근의 생산 체제는 소품종 대량생산 체제에서 다품종 소량생산 체제로의 변화요구에 의해 하나의 공작기계에서 다양한 공구를 사용해야 하는 경우가 많다. 이를 위해 기존의 매겨진 이송방식 ATC보다 상대적으로 적은 공간에 많은 수의 공구를 저장할 수 있는 Fig. 1과 같은 고정번지식 ATC가 개발되었다. 이 ATC를 제작하는데 사용되는 고가의 알루미늄 프레임에 대해 최적화를 수행함으로써 최적의 형상을 찾아내는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위하여 비선형 최적설계문제에 효과적으로 대응할 수 있고 전역해에 접근할 수 있는 유전자 알고리즘을 사용하여 최적화 프로그램을 개발하였다. 특히, 실수코딩 유전자 알고리즘은 변수를 2진수가 아닌 실수로 표현하기 때문에 좀더 직관적이고 높은 정밀도를 제공하고 최적화 수행시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 개발한 최적화 프로그램을 10-bar 트러스 문제에 적용하여 검증할 것이고 최종적으로 고정번지식 ATC 프레임의 토폴로지 최적화를 수행하여 최적의 형상을 찾아내고자 한다.

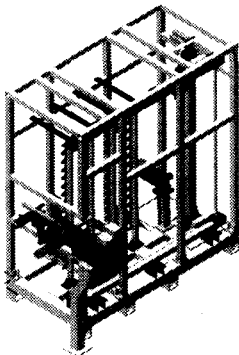


Fig. 1 3-D model of fixed address type ATC

## 2. 유전자 알고리즘

### 2.1 유전자 알고리즘의 개념

전통적인 최적화 방법들은 도함수를 이용하여 한정된 공간에서 모든 점들의 목적함수를 한번에 하나씩 탐색을 하던가, 어떤 임의의 점에서 탐색을 시작하는 방법들을 사용하였기 때문에 선형함수의 좁은 영역에서 효율적이었다. 그러나 유전자 알고

리즘은 도함수의 개념을 전혀 사용하지 않고, 확률 탐색을 수행하기 때문에 비선형 함수도 최적화를 수행할 수 있다는 장점이 있다. 실수코딩 유전자 알고리즘에서 실수형 벡터로 구성된 개체(Individual)들은 주어진 문제의 해가 될 가능성이 있는 것을 나타내며, 평가(Evaluation)되어 적합도(Fitness)의 기준을 제공한다. 이런 여러 개체가 모여 한 세대의 집단(Population)을 구성한다. 이 집단에서 더 적합한 개체들을 선택(Selection)하여 새로운 개체집단이 형성되고 새로운 개체집단에서 확률적인 방법에 의해 돌연변이(Mutation), 교배(Crossover)에 의해 새로운 개체를 형성한다. 유전자 알고리즘은 이런 일련의 과정을 반복 수행함으로써 적합도가 가장 좋은 최적해를 찾아내는 알고리즘이다.

### 2.2 유전 연산자

실수코딩 유전자 알고리즘에서의 유전 연산자는 전통적인 2진 표현 유전자 알고리즘의 유전 연산자와 유사한데 이진표현이 아닌 실수형으로 변수를 표현하기 때문에 실수형에 맞게끔 연산자 조작성이 조금씩 차이가 난다. 기본 연산자에는 선택, 돌연변이, 교배가 있다.

본 연구에서는 룰렛 선택 방법을 사용하였다. 룰렛 선택은 적합도에 비례하여 선택하는 방법으로 진화과정동안 좋은 개체를 계속적으로 선택함으로써 최적해에 접근해갈 수 있다. 돌연변이는 개체집단 내의 하나의 개체를 선택하여 그 중에서 하나 또는 그 이상의 유전자를 다른 유전자로 바꾼다. 한 개체가 돌연변이과정을 거침으로써 과거에 잃어버렸던 정보를 되찾을 수도 있고 진화과정동안 탐색이 국소 최적 값으로 향하는 것을 방지해준다. 돌연변이 연산에는 균등 돌연변이와 불균등 돌연변이가 있으며, 불균등 돌연변이의 경우 지역적 미세 조정 역할을 담당한다. 교배는 두 개체의 임의의 위치에서 서로 교차시키는 연산자이다. 실수코딩 유전자 알고리즘에서의 교배연산자는 전통적인 2진 표현 유전자 알고리즘에서의 그것과 유사하지만 변수가 실수로 표현되기 때문에 한 원소를 쪼개서 교배를 할 수는 없다. 본 연구에서는 단순교배를 사용하였다.

### 2.3 목적함수의 처리

목적함수란 최적화를 수행할 때 최적화의 대상

이 되는 함수를 말한다. 유전자 알고리즘에서는 각 개체의 적합도를 평가하고 적합도가 커지는 방향으로 진화가 진행된다. 그러므로 평가함수는 식 (1)과 같다.

$$eval(X) = \max\{f(X)\} = \min\left\{\frac{1}{f(X)}\right\} \quad (1)$$

위와 같은 경우는 최적 설계에서 변수의 범위만 주어지고 구속조건이 없는 경우이다. 하지만 많은 최적 설계문제에서는 구속조건이 주어진다. 이 경우는 평가함수에 구속조건을 반영해야 한다. 이런 구속조건의 처리는 유전자 알고리즘을 최적화에 적용할 때 부딪히는 중요한 문제 중의 하나이다. 본 연구에서는 벌점함수를 평가함수에 도입함으로써 문제를 해결하였다. 이를 식으로 나타내면 식 (2)와 같다.<sup>11</sup>

$$eval(X) = \max\{f(X) + p(X)\} = \min\left\{\frac{1}{f(X) + p(X)}\right\} \quad (2)$$

여기서  $p(X)$ 는 벌점함수를 나타내고 이는 식 (3)과 같다.

$$p(X) = \epsilon \cdot \left\{ \delta_1 \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_i(X) + \delta_2 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_i(X) \right\} \quad (3)$$

여기서  $\epsilon$ 은 최대화(-1), 최소화(+1)를 구분하는 상수이고  $\delta$ 는 벌점의 크기를 결정하는 상수이고,  $n$ 은 구속조건의 총수이고,  $\Phi_i$ 는  $i$ 번째 구속조건을 벗어났는지에 관한 벌점(벗어났으면 1, 아니면 0)이고,  $\Delta_i$ 는  $i$ 번째 구속조건을 얼마나 벗어났는지에 대한 벌점(초과한 양)이다.

벌점함수 방법은 평가함수의 정의는 어렵지 않지만, 벌점을 얼마나 줄 것인가 즉, 벌점상수를 결정하는 것이 중요한 문제이다.<sup>10</sup> 높은 벌점을 사용하는 경우에는 적합한 영역 밖의 개체들을 평가하는데 대부분의 시간을 소비하게 된다. 또한 적합한 개체가 출현했을 때, 이 개체가 다른 개체들보다 압도적으로 높은 적합도를 갖게 되어 더 좋은 개체를 발견하고자 하는 노력이 포기된 채 이 개체로 수렴해 버리고 말게 된다. 반면에 낮은 벌점을 부

여했을 경우에는 구속조건을 위반하지만 적합도가 좋은 개체에게 진화 기회를 부여할 가능성이 많아진다. 이런 이유로 벌점상수를 결정하는 공인된 방법은 없으며 최적화를 수행하면서 몇 번의 시행착오를 거쳐서 결정하게 된다.

### 2.4 유전자 알고리즘의 최적화 적용 방법

Fig. 2와 Fig. 3에 개발한 최적화 프로그램의 초기화면과 전체적인 순서도를 나타내었다. 개발한 최적화 프로그램은 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS와 연동되어 데이터를 추출하여 적합도를 평가하게 되어있다. 초기화면 왼쪽 부분이 초기 설정을 하는 부분이고 오른쪽 부분이 데이터 출력부분이다.

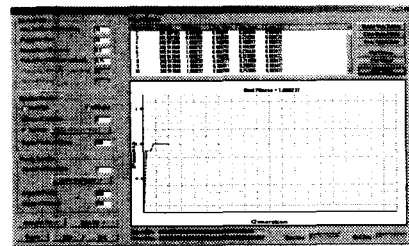


Fig. 2 The developed program using genetic algorithm

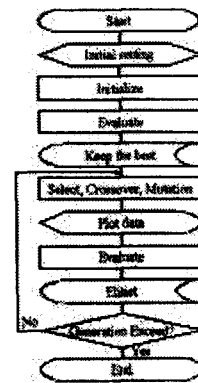


Fig. 3 Flow chart of the optimization process

### 3. 최적화 프로그램 검증

본 장에서는 Belegundu<sup>9</sup>와 Deb<sup>4</sup>가 사용한 2차원 트러스 구조물에 대하여 개발한 최적화 프로그램을 사용하여 치수(이 경우 트러스의 단면적) 최적화와 토폴로지(부재의 존재 유무) 최적화를 수행하였다.

본 최적화에서는 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS와 연동이 되기 때문에 최적화를 수행하는데 소요되는 시간이 상당히 오래 걸렸다. 그래서 개체수를 30으로 줄였고 실험 횟수도 5회만 실시하여 지금까지 알려진 가장 좋은 값들과 비교 분석하였다.

예제에 사용된 10-Bar Truss 구조물은 Fig. 4에 나타내어진 것과 같이 2번 노드와 4번 노드에 하중이 100000 lb로 주어지고, 모든 요소의 밀도와 탄성계수는 각각 0.1 lb/in<sup>2</sup>과 104 ksi이다.

### 3.1 치수 최적화

본 최적화에서 변수는 각 요소의 단면적으로 설정했고 단면적이 변화 범위는 0.03 in<sup>2</sup>과 33.5 in<sup>2</sup> 사이에서 최적 값을 찾는다. 목적함수는 구조물의 중량으로 설정하였고, 구속조건은 2번 노드에서의 x 및 y 방향 변위가 2 in 이하, 모든 요소에서의 응력이 25 ksi 이하로 설정하였다. 이 문제를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

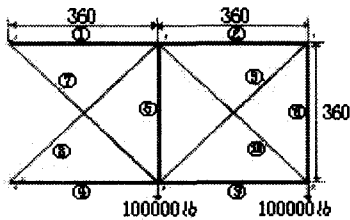


Fig. 4 10-bar truss model

Minimize

$$f(X) = \sum_{i=1}^{10} \rho x_i l_i \quad (4)$$

Subject to

$$\begin{aligned} g_1 &= u_x < 2 \\ g_2 &= u_y < 2 \\ g_3 &= \sigma_a < 25000 \end{aligned} \quad (5)$$

Where

$$0.03 \leq x_i \leq 33.5, \quad i = 1, 2, \dots, 9, 10 \quad (6)$$

위 식에서  $x$ 는 부재의 단면적을,  $\rho$ 는 부재의 밀도를,  $l$ 은 부재의 길이를 나타내고  $u_x$ ,  $u_y$ 는 각각

$x$ ,  $y$ 방향의 변위를,  $\sigma_a$ 는 허용 응력을 나타낸다. 위 문제를 최적화 프로그램에 적용하기 위하여 개체수는 70을, 세대수는 1000세대까지, 균등 돌연변이 확률은 0.15, 불균등 돌연변이 확률은 0.05, 교배확률은 0.8을 사용했다. 그리고 (3)식으로 표현된 벌점함수에서 벌점상수  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ 는 각각 1000과 500으로 설정했다. 이 벌점상수의 결정은 앞서 설명했듯이 많은 시행착오를 거쳐서 결정했다. 5회 실험을 수행한 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Size optimization results of 10-bar truss

Times	1	2	3	4	5
Object	5304.804	5298.017	5303.232	5300.423	5301.872
	389	107	964	867	148

5회 실험에서 평균 목적함수의 값은 5301.670096으로 나타났고 모든 실험에서 구속조건을 만족하는 결과를 찾아냈다. Table 2에 지금까지 가장 좋은 값으로 알려진 Belegundu<sup>9</sup>가 사용한 대표적인 3가지 방법과 5회 실험 중 최적값을 찾아낸 2회 실험에서의 결과를 나타내었고, Fig. 5에 적합도와 목적함수 값의 진화과정을 나타내었다. 약 850세대에서 최적 값을 찾아냈다. 수렴속도가 느린 이유는 유전연산자 중 비균일 돌연변이에 의해 국부적인 탐색이 수행된 결과로 보인다. 그러나 수렴속도가 느린 반면 변위와 응력 구속조건을 만족하면서 찾아낸 최적 값은 OPTDYN보다 3.17%의 중량 감소를 보여준다. Table 2에서도 알 수 있듯이

Table 2 Comparison of optimum values for 10-bar truss

Design Variables	Present paper	Belegundu		
		CONMN	OPTDYN	LINRM
x1	28.200708	25.2824	25.7740	21.5700
x2	0.631358	1.89736	0.1000	10.9800
x3	11.655979	24.8677	25.1138	22.0800
x4	20.252411	15.8272	19.3880	14.9500
x5	0.030009	0.1000	0.1000	0.1000
x6	0.076752	1.7464	0.1000	10.9800
x7	8.857244	16.7571	15.3591	18.9100
x8	29.134779	19.7282	20.3224	18.4200
x9	22.484099	20.9786	20.7437	18.4000
x10	0.561281	2.5100	1.14018	13.5100
object	5298.0171	5563.3200	5471.2480	6428.8900

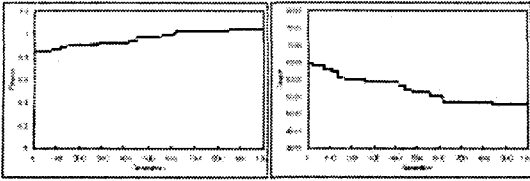


Fig. 5 Generation history by the size optimization (10-bar truss)

Belegundu의 방법 유전자 방법보다 큰 목적함수를 갖고 있다. 이것은 2진 코딩으로 인해 정밀도가 소수점 이하 4자리에 불과하나 본 논문에서 사용된 실수코딩을 이용할 경우의 정밀도는 실수 전체에 대한 값으로 표시를 소숫점 이하 8자리까지 확장하여 사용하였고, 비균일 돌연변이에 의한 국부적 탐색등의 복합적인 이유에 의해 큰 목적함수 값이 나타난 것이다.

### 3.2 토폴로지 최적화

본 토폴로지 최적화에서 목적함수와 구속조건은 식 (4)와 식 (5)를 그대로 사용했다. 단지 변수의 표현을 요소의 존재 유무로 설정하였다. 즉 요소가 존재한다면 1, 존재하지 않는다면 0을 취하도록 설정하였다. 그래서 식 (6)을 식 (7)로 수정하였다. 그리고 ANSYS에서는 구조해석의 특성상 변수가 1이면 단면적을 22.9 in<sup>2</sup> 에, 변수가 0이면 단면적을 0.9 in<sup>2</sup>에 대응시켜 해석하도록 하였다.

$$x_i = \begin{cases} 0 & \text{Absence} \\ 1 & \text{Presence} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, 9, 10 \quad (7)$$

토폴로지 최적화의 경우 개체수와 세대수가 크지 않아도 최적 값을 찾는데 별 문제가 없었다. 그래서 세대수를 30, 개체수를 10으로 설정하고 불균등 돌연변이는 사용하지 않았으며 나머지 조건들은

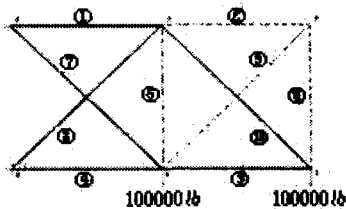


Fig. 6 Optimized shape of 10-bar truss by the topology optimization

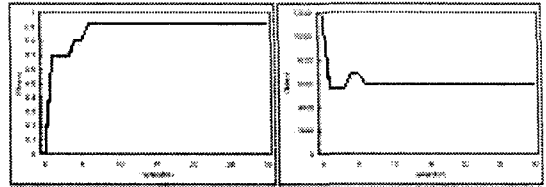


Fig. 7 Generation history by the topology optimization (10-bar truss)

치수 최적화와 동일하게 설정하고 최적화를 수행하였다.

5회 실험 모두 동일한 결과를 찾아냈고 최적 형상은 Fig. 6에 나타내었다. 이는 Deb<sup>4</sup>의 최적화 된 모델과 동일한 형상으로 2, 5, 6, 9번 요소가 도태되었음을 알 수 있다. Fig. 7에 적합도와 목적함수의 진화 과정을 나타내었고 약 6세대에서 최적 형상을 찾아냈다.

## 4. 고정번지식 ATC 프레임의 토폴로지 최적화

### 4.1 초기모델 및 설계변수

본 최적화에서는 프레임만을 최적화의 대상으로 삼았다. 그리고 프레임의 단면형상이 아주 복잡해서 솔리드나 셸 요소로 모델링 하기 곤란할 뿐만 아니라 모델링을 한다고 해도 아주 오랜 계산시간이 필요하기 때문에 빔 요소로 간략화 시킨 모델을 제시하였다. 설계변수는 ATC의 형상을 결정하는 프레임과 그립퍼를 지지하는 프레임을 제외한 15개의 프레임을 설계변수로 설정했다. Fig. 8에 초기 FEM 모델과 설계변수를 나타내었다.

본 시스템은 강재(SS41)과 알루미늄(AL6063)으로 이루어져 있고 각각의 물성치를 Table 3에 나타내었다. 그리고 각 부재의 단면정보를 Table 4에 나타내었다. 구조해석 시 하중조건은 톨 1개의 무개를 8 kg으로 가정하여 각 위치에 집중하중을 적용하였고, 모달해석 시 8 kg의 질량요소를 첨가하여 해석을 수행하였다. 초기 모델의 해석 결과는 최대 처짐이 0.045896 mm, 최대 응력이 2.723081 MPa, 1차 고유진동수가 6.055862 Hz로 나타났다.

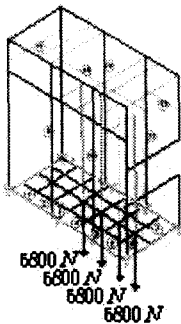


Fig. 8 FEM model & design variable of the fixed address type ATC

Table 3 Material properties of FEM model

Steel (SS41)	Young's modulus[GPa]	140
	Poisson's ratio	0.3
	Density[Nsec <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup> ]	7.8e-9
Aluminum (AL6063)	Young's modulus[GPa]	70
	Poisson's ratio	0.33
	Density[Nsec <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup> ]	2.7e-9

Table 4 Cross-sectional properties of FEM model

Cross-section	Area [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	I <sub>yy</sub> [mm <sup>4</sup> ]
	3950	3020000	3020000
	1568	328000	1250000
	1200	25600	562500

4.2 토폴로지 최적화 (Case 1)

본 최적화에서 목적함수는 구조물의 중량으로 설정했고, 구속조건은 최대 처짐이 0.1 mm이하, 모든 요소에서의 응력이 40 MPa이하, 그리고 1차 고유진동수가 6 Hz이상으로 설정하였다. 변수는 0과 1로만 변한다. 이 문제를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

Minimize

$$f(X) = \sum_{i=1}^{15} \rho x_i l_i \tag{8}$$

Subject to

$$\begin{aligned} g_1 &= u < 0.1 \\ g_2 &= \sigma_a < 40 \\ g_3 &= freq > 6 \end{aligned} \tag{9}$$

Where

$$x_i = \begin{cases} 0 & \text{Absence} \\ 1 & \text{Presence} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, 14, 15 \tag{10}$$

위 식에서 x는 부재의 단면적용, ρ는 부재의 밀도를, l은 부재의 길이를 나타내고 u는 x, y방향의 변위를, σ<sub>a</sub>는 허용 응력을, freq는 1차 고유진동수를 나타낸다. 위 문제를 최적화 프로그램에 적용하기 위해서 개체수와 세대수를 각각 30, 100으로 설정하고 돌연변이 확률과 교배 확률을 각각 0.15, 0.8로 설정했다. 그리고 (3)식으로 표현된 벌점함수에서 벌점상수 δ<sub>1</sub>, δ<sub>2</sub>는 여러 번의 시행착오를 거쳐 각각 500과 200으로 설정했다.

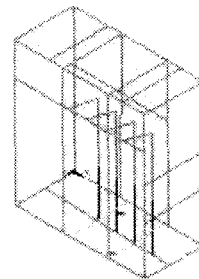


Fig. 9 Optimized shape of ATC by the topology optimization (Case 1)

5회 실험 모두 동일한 결과를 찾아냈고, 최적형상은 Fig. 9와 같다. 최적화 결과 1, 2, 4, 6, 7, 8, 11, 12번 부재가 도태되었고, 모든 구속조건을 만족하면서 중량은 1007.262891 kg으로 초기 모델에 비해 약 27.02% 감소하였다. Table 5에 초기 모델과 최적화 모델을 비교하였다. Fig. 10에 적합도와 목적함수의 진화과정을 나타내었고 약 70세대 부분에서 최적 값을 찾아냈다. 그리고 Fig. 9에 진화과정 동

안 일어나는 형상 변화의 모습을 나타내었다.

Table 5 Result by the optimized model (Case 1)

	Initial model	Optimized model
Weight [kg]	1380.216339	1007.262891
Max. displ. [mm]	0.045896	0.077213
Max. stress [MPa]	2.723081	5.106961
1 <sup>st</sup> Natural freq. [Hz]	6.055862	6.067881

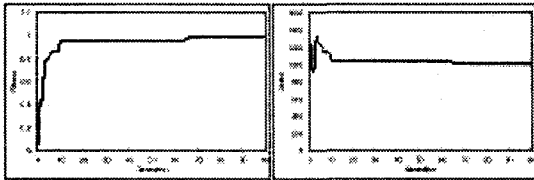


Fig. 10 Generation history by the topology optimization (ATC -Case 1)

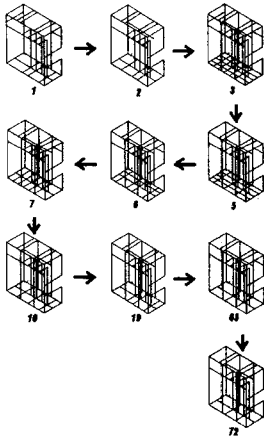


Fig. 11 Change of configuration during the evolution process (Case 1)

#### 4.2 토폴로지 최적화 (Case 2)

본 최적화에서는 위에 실시한 최적화와 모든 조건이 동일한 상태에서 단지 구속조건의 최대 처짐을 0.2 mm로 설정하고 최적화를 수행했다. 이는 위의 최적화보다 좀더 가벼운 구속조건을 설정함으로써 추가적으로 어떤 부재가 더 도태되는지 알아보기 위해서이다.

최적화 수행 결과 부재가 도태되었고, 모든 구속조건을 만족하면서 중량은 965.377944 kg으로 초기 모델에 비해 약 30.06% 감소하였다. 최적 형상

은 Fig. 12에 나타내었다. Table 6에 초기 모델과 최적화 모델을 비교하였다. Fig. 13에 적합도와 목적함수의 진화과정을 나타내었고 약 55세대 부분에서 최적 값을 찾아냈다. 그리고 Fig. 14에 진화과정 동안 일어나는 형상 변화의 모습을 나타내었다.

Table 6 Result by the optimized model (Case 2)

	Initial model	Optimized model
Weight [kg]	1380.216339	965.377944
Max. displ. [mm]	0.045896	0.141775
Max. stress [MPa]	2.723081	8.72453
1 <sup>st</sup> Natural freq. [Hz]	6.055862	6.060813

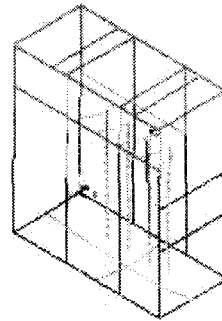


Fig. 12 Optimized shape of ATC by the topology optimization (Case 2)

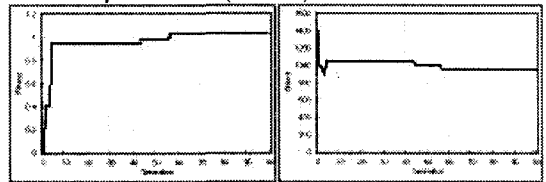


Fig. 13 Generation history by the topology optimization (ATC - Case 2)

#### 5. 결론

본 연구에서는 고정변지식 ATC 프레임을 최적화하기 위해 변수를 실수형으로 표현하여 계산시간의 절약과 최적화 값의 정밀도를 향상시킬 수 있는 실수코딩 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램을 이용하여 2차원 트러스 구조물의 치수 및 토폴로지 최적화를 수행하여 기존의 방법들과 비교 검증하였다.

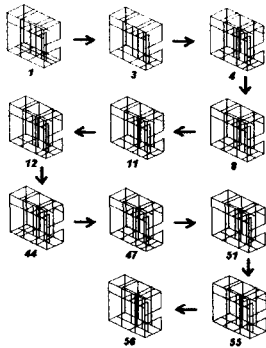


Fig. 14 Change of configuration during the evolution process (Case 1)

10-bar 트러스 구조물에 적용한 결과 토폴로지 최적화의 경우 기존에 알려진 최적형상과 동일한 형상을 불과 7세대만에 얻을 수 있었고, 트러스 구조물의 단면적을 변수로 한 치수 최적화에서는 기존에 알려진 값보다 5회 실험에서 평균 3.10% 중량을 감소시킬 수 있었고, 발견된 값 중 가장 좋은 값은 3.17%의 중량감소가 있음을 확인 할 수 있었다.

이 검증 내용을 바탕으로 본 연구의 주 대상인 고정번지식 ATC 프레임을 빔 요소로 간략화한 모델에 적용하였다. 하중조건은 ATC에 장착되는 120 개의 공구의 무게를 적용하였다. 고정번지식 ATC의 응력, 처짐, 1차 고유진동수를 구속조건으로 설정하여 구조물이 안전한 상태에서 중량을 최소화시키기 위해 토폴로지 최적화를 수행한 결과 강한 구속조건을 적용했을 때는 모든 구속조건을 만족하면서 중량은 초기설계모델에 비해 27.02%가 감소함을 확인 할 수 있었고, 약한 구속조건을 적용했을 때는 30.06%가 감소함을 확인할 수 있었다. 앞서 예제로 사용한 10bar truss문제에서 치수최적화시 계산시간은 2554분이 소요되었고 토폴로지 최적화에서는 72분이 소요되었다. 또한 치수최적화의 경우에는 세대수가 1000세대 였고 토폴로지 최적화에서는 세대수가 300세대였다.

### 후 기

본 연구는 과학기술부 한국과학재단 지정 창원 대학교 공작기계기술연구센터와 (주)화인 ATC의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Reddy, C. P. and Rao, S. S., "Automated optimum design of machine tool structures for static and natural frequencies at regenerative chatter stability," ASME Journal of Engineering for industry, Vol. 100, pp. 137-146, 1987.
2. Yoshimura, M., "Design Optimization of Machine Tool Dynamics Based on an Explanation of Relationships between Characteristics," JSPE, Vol. 53, No. 4, pp. 601-606, 1987.
3. Lee, Won Chang, Seong, Hwal Gyeong, "A Study of A Design Optimization Problem with Many Design Variables Using Genetic Algorithm," KSPE, Vol. 20, No. 11, pp. 117-126, 2003.
4. Deb, K., "Optimal design of a welded beam structure via genetic algorithms," AIAA Journal 29 (II), pp. 2013-2015, 1991.
5. Deb, K. and Agrawal, R. B., "Simulated binary crossover for continuous search space," Complex Systems 9, pp. 115-148, 1995.
6. Deb, K. and Kumar, A., "Real-coded genetic algorithms with simulated binary crossover: studies on multimodal and multi-objective problems," Complex Systems 9 (6), pp. 431-454, 1995.
7. Baek, W. T., Seong, H. G., "The Optimization of sizing and topology design for drilling machine by genetic algorithm," J. of the KSPE, Vol. 14, No. 12, pp. 25-27, 1997.
8. Michalewicz, Z., "Genetic algorithms, numerical optimization, and constraints," Proceedings of the Sixth international Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufman, San Mateo, pp. 151-158, 1995.
9. Belegundu, A. D., "A study of mathematical programming methods for structural optimization," PH. D thesis, Department of Civil and Environmental, University of Iowa, 1982.
10. Michalewicz, Z., "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution programs," Springer-Verlag, 1996.