

유전자 알고리즘을 이용한 공작기계 구조물의 정역학적 최적설계

박 종 권*, 성 활 경**

Optimal Design of Machine Tool Structure for Static Loading Using a Genetic Algorithm

Jong-Kweon Park*, Hwal-Gyeong Seong**

ABSTRACT

In many optimal methods for the structural design, the structural analysis is performed with the given design parameters. Then the design sensitivity is calculated based on its structural analysis results. Thereafter, the design parameters are changed iteratively. But genetic algorithm is a optimal searching technique which is not depend on design sensitivity. This method uses for many design parameter groups which are generated by a designer. The generated design parameter groups are become initial population, and then the fitness of the all design parameters are calculated. According to the fitness of each parameter, the design parameters are optimized through the calculation of reproduction process, degradation and interchange, and mutation. Those are the basic operation of the genetic algorithm. The changing process of population is called a generation. The basic calculation process of genetic algorithm is repeatedly accepted to every generation. Then the fitness value of the element of a generation becomes maximum. Therefore, the design parameters converge to the optimal. In this study, the optimal design process of a machine tool structure for static loading is presented to determine the optimal base supporting points and structure thickness using a genetic algorithm.

Key Words : Genetic Algorithm(유전적 알고리즘), Fitness(적응도), Search Method(탐색법), Optimal Design(최적설계), Penalty Function(벌칙함수), Reproduction(재생성), Generation(세대), Crossover(교차), Mutation(돌연변이), Population Size(모집단크기)

1. 서 론

최근의 공학설계 문제에 있어서 구조물의 거동해석 기술은 전자계산기의 비약적인 발전과 함께 해석기술의 효

율성 및 정확도의 증가로 인하여 소형에서 대형 구조물에 이르기 까지 일상적인 범용기술로 되고 있으며 이는 기계의 고성능화 설계를 위한 미래 지향형 기술에 새로운 가능성을 제공할 수 있게 되었다. 한편 최적설계 분야에

* 한국기계연구원 공작기계그룹
 ** 국립 창원대학교 기계공학과

있어서 지금까지의 설계개선 과정은 초기설계된 모델에 대하여 구조해석을 수행한 후 해석결과를 토대로 설계 민감도(Design sensitivity analysis)를 구하고 이를 이용하여 설계개선 방향을 정해서 개선방향에 대한 재해석을 통한 변화량(Step-size)을 결정하는 것으로 수행되어 왔다.⁽¹⁾ 물론 이 방법은 정확도 측면에서는 우수한 장점을 지니고 있으나 변위 응력 등의 설계변수에 대한 도함수인 설계민감도가 요구되므로 당연히 함수들의 연속성(Continuity) 및 미분 가능성에 제한이 가해지게 되며⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 해석의 종류가 동력학적 해석일 경우에는 더욱 복잡한 양상을 갖게 된다. 즉 기구학적 구속식의 존재 및 독립변수와 종속변수가 일정하지 않고 시간에 따라 변동하며 정역학적 해석에 비하여 각 시각에서 막대한 양의 해석결과가 발생하기 때문에 이들의 설계민감도를 구한다는 것은 보통 일이 아니다. 그러므로 동력학적 해석에 토대를 둔 설계개선이 슬라이더-크랭크 등의 간단한 기구에 한정되어 행해지는 것도 위와 같은 이유에 있기 때문이다.⁽⁵⁾ 그러나 고전적인 방법에서의 목적함수를 최적화 시키기 어려운 문제에 있어서도 편리하게 응용할 수 있는 새로운 탐색방법이 근래에 와서 사용되기 시작하였으며 이중에 유전적 알고리즘(Genetic Algorithms, GAs)은 자연의 유전법칙인 '적자생존 이론'에 토대를 둔 것으로서 1975년 미시간 대학의 John Holland에 의해 처음 제안⁽⁶⁾된 이래 많은 발전을 하여 현재는 여러분야에 응용할 수 있는 알고리즘으로 변천되었으며 구조물에 대한 최적설계시에는 설계민감도에 의존하지 않고 복잡한 전체 영역의 탐색공간상에서 여러개의 염색체(Chromosome)를 가지고 동시에 유연성 있게 탐색을 수행할 수 있기 때문에 이를 이용하면 전역 최적값(Global optimization)을 추구할 수 있는 장점을 얻을 수 있다. 특히 최근과 같이 전자계산기의 빠른 계산력(Computing power) 아래에서는 유전적 알고리즘이 해석기술의 효율성과 신뢰성을 결합시킨 설계개선 방법으로 간주되므로 구조물 최적화를 위한 설계공간(Design space)에서는 효율적인 확률론적 탐색법(Probabilistic search method)이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 유전적 알고리즘을 이용하여 공작 기계 구조물에 대한 최적설계를 수행하였으며 이에 는 기계 시스템에서 중심체라 할 수 있는 베드구조물에 공작물의 하중과 기계 운동요소부(테이블, 칼럼)의 자중이 정하중으로 작용될 때에 정강성을 향상시키기 위한 기계설치 지지점(Mount point)의 최적위치를 선정하고 베드구조물 두께의 최적치수(Re-sizing)를 결정하는 것으로 하였다.

2. 유전적 알고리즘

2.1 유전적 알고리즘의 기본⁽⁶⁾

생물의 유전법칙에서 개체의 특성을 지배하는 정보는 유전자로서 염색체 중에 기록되어 자손에게 유전된다. 이와같이 부모 염색체의 부분 조합에 의하여 자녀의 염색체가 만들어지고 이의 반복과정을 수학적으로 치환시킨 것이 유전적 알고리즘(GA)이며 이를 이용하므로 최적설계 문제에의 적용이 가능해진다. 유전적 알고리즘은 자연계의 적자생존 법칙을 응용한 탐색 알고리즘의 일종으로서 초기에는 적당한 크기의 모집단(Population)을 생성시킨 후 모집단에 속한 이진수로 구성된 각 개체(염색체)에 대하여 주어진 환경에 있어서의 적응도(Fitness)를 평가함으로써 계산이 이루어진다. 즉 적응도의 크기에 비례하여 번식을 통한 재생성될 가능성은 커지며 적응도가 낮은 개체는 도태되고 이와같은 과정을 반복시킴에 의해 더욱 우수한 새로운 개체가 만들어져 최종적으로 최적치에 수렴하게 된다. 이 경우 적응도란 해당 설계치의 주어진 환경에 대한 적응정도라고 할 수 있다. 최적설계를 수행하기 위하여는 실수(Real number)인 설계변수들이 정의 되어야 하며 유전적 알고리즘에서는 설계변수들이 실수 그대로 유전자에 저장되지 않고 실수에서 정수(Integer)로 변환되는 Encoding과정을 거쳐 유전자의 염색체(Chromosome)로 변환된다. 염색체는 항상 Decoding시킴으로 원래의 설계변수 값을 알 수 있고 설계변수 값을 이용하여 적응도가 계산된다. 구체적으로 설계변수를 유전자 염색체에 대응시키는 과정은 설계변수인 실수를 이진코드를 사용하여 비트(Bit)당 0 또는 1의 값을 갖는 n개 비트(Bit)의 스트링(String)으로 표현하는 개체(염색체)를 만드는 것으로서 설계변수가 m개 일때는 n비트의 스트링을 m그룹 1차원 배열로 개체(염색체)화 시킨 후 이와같이 구성된 여러 경우의 염색체중에 문제의 특성에 맞추어 난수생성(Random number generation)을 통한 N개의 염색체를 임의로 선택함으로써 해석모델의 모집단이 구현된다.

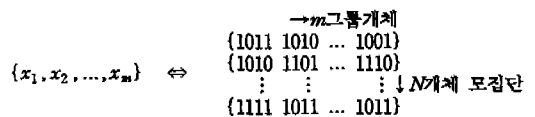


Fig. 1 An example of GA system(at n=4)

위와같이 염색체로 정의된 시스템의 설계변수는 유전적 알고리즘의 기본 조작(Operation) 과정을 거치면서 변화되어 원하는 최적치로 개선되어 나아간다.

2.2 GA의 기본조작(Operation)

유전적 알고리즘의 기본조작 연산자(Operator)에는 복제(Reproduction), 교차(Crossover) 및 돌연변이(Mutation)가 있으며 이들의 연산개념은 다음과 같다.

2.2.1 복제 및 도태

어떤 설계치의 주어진 환경에 대한 적응성을 평가한 것이 적응도(Fitness)이며, 적응도가 높은 설계치들은 교배쌍(Mating)을 갖고 일정한 규칙에 따라 복제(複製)되어 모집단에 남겨지나 적응도가 낮은 설계치들은 도태(淘汰)된다. 적응도에 따라 짝짓기 횟수가 결정되므로 이에의한 세대(Generation)가 증가할수록 모집단 전체의 적응도는 향상되어진다. 복제 및 도태를 통한 설계 개선은 적응도 분포에 의한 개체수에 많은 영향을 받는다. 해석과정에 있어서 적응도 값이 높은 개체수가 작은량(量)으로 존재할 경우에는 이들만이 복제과정에 참여하게 되므로 국소해(局所解)가 될 염려가 있다. 반면 모집단내의 개체수가 너무 많게되면 국소해가 방지는 되지만 세대당 계산량이 많게 되어 수렴율이 낮아지는 문제도 있다.⁽⁷⁾

2.2.2 교차(Crossover)

유전적 알고리즘에서 가장 중요한 역할을 담당하는 기본조작은 교차이다. 교차는 부모가 되는 2개의 유전자 부분(Bit String)을 상호 교환시켜 새로운 2개의 유전자를 생성시키는 과정이며, 이 조작에 의해 일부의 형질(形質)을 전수받은 설계치가 생성이 된다. 교차의 방법으로는 1점교차(One-point crossover), 다점교차(Multi-point crossover) 및 균일교차(Uniform crossover)⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 등이 있다. 1점교차는 난수생성(Random Number Generation)에 의해 유전자의 절단될 위치(Bit위치)를 1개소 정하여 절단된 위치 이후의 부분(String)을 교환하는 것을 말한다. 즉

$$\begin{array}{ccc} \{10010\|001\} & \{10010100\} & \\ & \rightarrow & \\ \{01101\|100\} & \{01101001\} & \end{array} \quad (1)$$

와 같이 된다. 다점교차는 염색체 상에서 절단될 위치를 2개이상 갖는 경우를 말하며 균일교차(Uniform crossover)는 정해진 방법에 의해 같은 길이를 갖는 마스크(Mask)를 생성시키어 마스크의 각 비트 값에 따라 유전자의 해당 비트를 어떻게 교차할 것인가를 결정하는 방법이다. 예를 들어 다음과 같은 경우를 생각해 보면

$$\begin{array}{ll} \text{Parent I} & \{10010001\} \\ \text{Parent II} & \{01101100\} \\ \text{Mask} & \{10001011\} \end{array} \quad (2)$$

여기서 마스크의 값이 0이면 Parent I 과 Parent II 의 해당 비트 값을 교차하고 마스크의 값이 1이면 Parent I 과 Parent II 는 교차없이 각자의 해당 비트 값을 그대로 유지한다. 따라서 다음과 같은 유전자가 생성된다.

$$\text{Child I} \{11100101\} \quad (3)$$

$$\text{Child II} \{00011000\} \quad (4)$$

균일교차의 확률⁽⁹⁾은 마스크상의 0의 확율을 선택하므로 간접적으로 조절된다. 마스크상의 0의 확율은 0%에서 50%사이의 값을 선택할 수 있다.

2.2.3 돌연변이(Mutation)

모집단이 생성된 후 모집단 내에서의 교차만으로는 설계공간(Design Space)을 구석구석 탐색하기에는 한계가 있을 수 있다. 이와같은 한계를 극복하기 위해 미리 정해진 확률에 따라 특정 위치의 비트(Bit)값을 변이(變異)시키는 것을 돌연변이라 하며 이를 통하면 한정된 범위를 벗어나서도 탐색을 할수 있게 된다. 해석과정에 있어서 낮은 돌연변이율은 국부적인 최적해를 제공하게 되고 높으면 랜덤탐색을 하여야 하며 대체적인 확률은 0.005~0.01사이의 값을 사용하게 되나 문제의 성질에 따라 결정을 한다.

2.3 GA의 처리순서

유전적 알고리즘(GA)은 다음과 같은 과정에 따라 수행되며 이에대한 처리순서(Flow Chart)를 요약하면 Fig. 2와 같다.

Step 1. 개체 특성을 이진코드의 1차원 배열(String)로 표현, 염색체 길이(Chromosome length)와 초기 개체수를 결정하고 이를 랜덤하게 구성하여 초기집단(Population size)을 형성한다.

Step 2. 이진코드로 표현된 개체의 적응도를 평가한다.

- Step 3. 확률적으로 적응도가 높은 개체는 더 많이 복제 (Reproduction)시키고 교배율에 해당하는 수 만큼의 교배쌍을 선택하여 이진코드의 일부 (String)를 교차(Crossover) 시킨다.
- Step 4. 돌연변이율에 따라 이진코드로 구성된 염색체의 특정위치 비트(Bit)를 변이(變異)시킨다.
- Step 5. 상기의 과정을 거치면 한 세대(Generation)가 끝나는 것으로서 미리 정해진 세대수 만큼, 또는 수렴기준을 만족할때까지 상기의 과정을 반복 시키면 설계변수는 원하는 최적해로 수렴을 하게 된다.

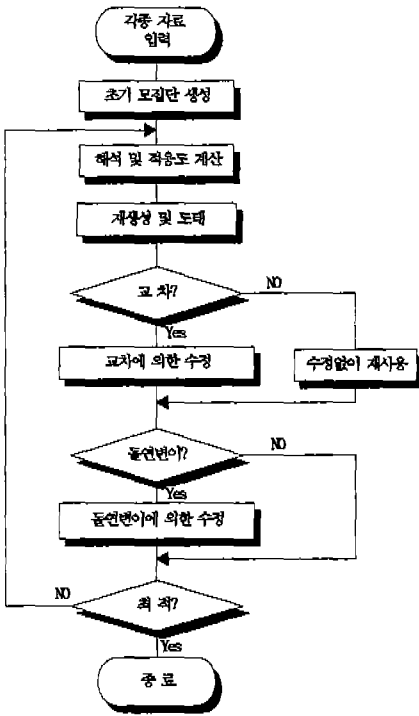


Fig. 2 Flow chart of genetic algorithm

3. 공작기계 구조물의 최적설계

3.1 문제의 정의

공작기계의 구조 및 기초 마운트는 기계 운동부의 편성과 자중 및 공작물 무게 그리고 절삭력 등에 의해 변형되며 계속하여 여러종류의 변동조건에 따라 복잡한 양상으로 변화되는 특성을 지니고 있다. 그러므로 최근과 같이

고속화로 변모해가는 공작기계의 설계기술에 있어서는 이에의한 변형오차가 공작기계 구성의 기하학적인 오차보다도 심각할 경우가 있으므로 이들 문제를 중요한 설계파라메타로 취급하기도 한다. 이에따라 공작기계의 정·동적특성은 기계의 설치방법에 따라 달라지므로 베드(Bed)를 기초마운트로 설치할 때에는 어느부분을 안정되게 지지하는가를 설계하는 것은 중요하며 마운트의 최적 지지상태를 하게 됨에 따라 변동하중에 의한 베드의 변형량은 억제되어 기계시스템의 정·동적 강성은 향상이 된다.

따라서 본 연구는 유전적 알고리즘을 이용하여 공작기계의 여러 종류중에 생산시스템의 꽃이라 할 수 있는 머시닝센터를 대상으로 기존의 설계된 구조상태에서 테이블의 자중과 공작물 하중 및 주축대를 포함한 칼럼의 자중이 베드위의 이송안내면에 부가될 때 베드의 변형을 최소로 하는 기초마운트 위치의 최적선정과 기계의 중심체라 할 수 있는 베드가 변형될 때에는 절삭점에서의 킥플라이언스가 증대되는 요인이 되므로 이를 최소화 할 수 있도록 하는 베드구조물의 최적치수(Re-sizing)를 결정하는 것을 최적설계 문제의 주제로 하였다. 여기서 베드구조물의 지지마운트는 기계전체의 병진과 회전운동에 대한 연성(Coupling)특성에 영향을 주는 요소이므로 운동모우드의 비연성조건을 만족하는 3점지지의 단순화⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾를 위해 지지점의 갯수를 3개소로 하여 기존에 설계된 구조치수를 해석조건으로 이의 위치를 최적 선정하는 것으로 하였으며, 베드구조물의 최적치수(Re-sizing)는 기존에 설치된 기계의 지지위치를 해석조건으로 이에 대한 구조변형을 최소화할 수 있는 베드구조물의 최적 설계치수를 결정하는 것을 연구의 초점으로 하였다. 이를 위하여 유전적 알고리즘(GA)은 전산Workstation(Power Challenge L-series, CPU:R8000)의 UNIX환경에서 C-shell로 구현된 프로그램을 사용하였으며 입력자료로는 기계에 부가되는 하중에 대한 정적변형량으로서 Table 1의 하중이 테이블 이송안내면의 LMG(Linear Motion Guide)를 통해 베드구조물에 전달되는 상태를 모델화하여 상용 유한요소 코드인 MSC/NASTRAN(V68.5)에 의해 해석된 결과가 활용되었다. Fig. 3은 4절점(Node)의

Table 1 Loading condition on bed structure

Loading structure	Weight(kgf)
Table and Workpiece	1,200
Column and Head stock	1,000

판(Plate)요소를 사용하여 유한요소(절점수:8,557, 요소수:8,366)로 모델링한 머시닝센터의 베드구조물을 나타낸다.

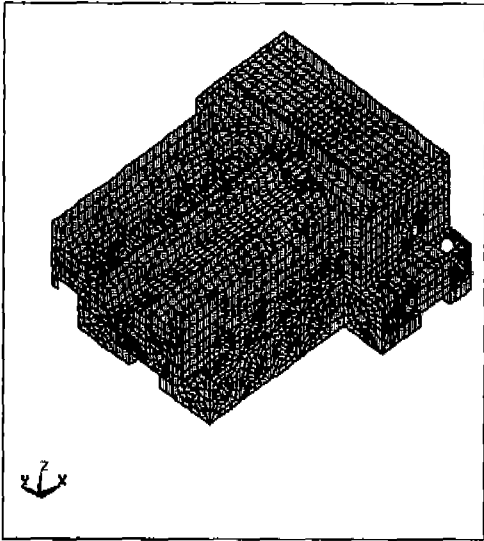


Fig. 3 FEA model of machine tool structure (bed)

3.2 기초 마운트의 최적설계

본 연구모델인 머시닝센터의 베드구조물에서 이송안내면을 따라 운동하는 기계의 테이블과 칼럼의 이동경로 및 범위는 Fig. 4를 토대로 설명할 수 있다. 즉 테이블과 칼럼은 X축과 Y축 방향으로 각각 운동하면서 지니고 있는 Table 1의 자중을 4개의 LMG-블록(Block)을 통해 베드로 전달시키는 역학적 메카니즘을 갖는다.

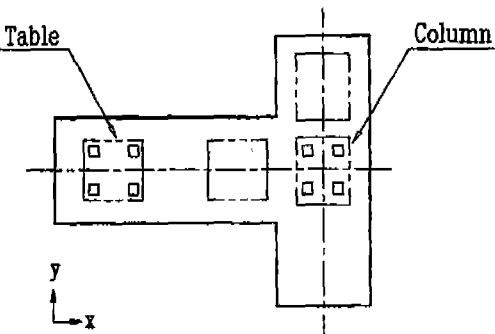


Fig. 4 Sliding range of table and column

여기서 지상위에 설치되는 베드 마운트(Bed mount)의 최적 지지점(Support point)은 Fig. 5에 보여진 여러 후보점들 중에서 유전적 알고리즘을 이용하여 선택된다. 이 경우 후보점들은 테이블 이송용 베드의 X축 선분 \overline{AB} 와 칼럼이송용 베드의 Y축 선분 \overline{CD} 선상에 존재하는 점들로서 유전적 알고리즘의 해석과정에 의해 \overline{AB} 및 \overline{CD} 선상에서 각각 1점을 선택한후 계속하여 \overline{CD} 선상에서 선택된 1점과 대칭인 점을 \overline{CE} 선상에서도 선택하여 최종적으로 3개의 점을 선택하게 되면 이들 3점이 기계를 안정되게 설치할 수 있는 베드의 최적 마운트 지지 위치가 된다.

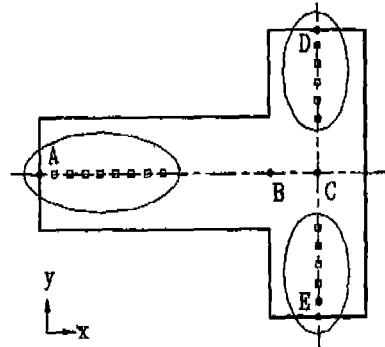


Fig. 5 Selectable points for support

유전적 알고리즘에서는 앞에서 설명한 바와 같이 적응도(Fitness)의 크기에 따라 설계치의 우열이 평가된다. 본 연구에서의 최적화문제에 대한 적응도는 베드의 정하중에 대한 변형을 의미하는 컴플라이언스(Compliance)를 이용하여 계산하였으며 수학적으로는 다음과 같이 정의된다.¹⁶⁾ 즉 베드의 컴플라이언스(Compliance, Ψ)는 유한요소해석 결과로부터 얻는 자료로서

$$\Psi = \iint_{\Omega} f^T u \, d\Omega \quad (5)$$

로 표현되는 함수로 f, u 는 영역(Domain) Ω 에서의 하중과 변위를 나타내며, 이에의해 적응도 F 는 클수록 우수한 설계치로 판별되므로 다음과 같이 정식화 하였다.

$$F = C - \Psi \quad (6)$$

여기서 C 는 상수로서 어느 경우에도 $C \geq \Psi$ 가 되어야 한다.

이에따라 유전적 알고리즘에 의한 기초마운트의 최적 지지위치를 선정하기 위해 Fig. 4로부터 테이블은 X방향 이송축의 시작점에 위치해 있고 칼럼은 Y방향 이송축의 중앙부 및 끝단에 위치해 있을 경우를 가정하였다. 여기서 설계변수는 2종류에 3비트(Bit)의 배열을 갖는 개체로 표현하여 총길이 6비트의 유전자 염색체가 사용되도록 하였고 모집단 크기(Population size)는 10으로 하였다. 그러므로 설계변수는 0에서 7사이의 값을 가질 수 있으며, 이들 설계변수들은 Table 2 및 3을 통하여 마운트의 지지점으로 지정될 절점번호와 대응을 이루게 된다.

Table 2 Selectable supporting points in table-direction

Design variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Node No.	3422	3423	3424	3425	3426	3427	3431	3476

Table 3 Selectable supporting points in column-direction

Design variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Node No.	538	541	544	547	550	553	556	559
Symmetric Node No.	4816	4819	4822	4825	4828	4831	4834	4837

Table 4 Simulation parameter condition for optimum position

Population size	10
Crossover probability	85.0 %
Mutation probability	1.5 %
Chromosome length, (bit)	6
Generation	6
Fitness function(F)	$F = C - \Psi(\text{Compliance})$

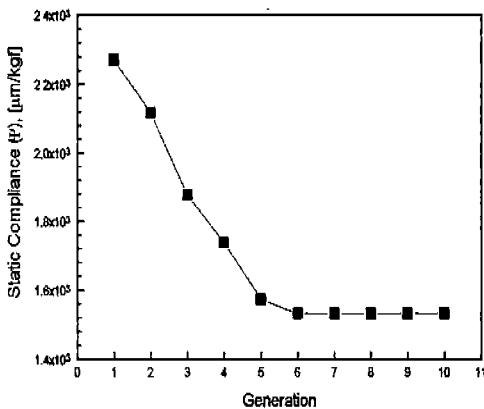


Fig. 6 Minimum values of compliance for fitness function

따라서 적용도를 최대로 하는 Table 2 및 Table 3의 설계변수는 Fig. 6에서 보는바와 같이 각각 6세대(Generation)만에 최적치로 수렴하였으며 이에의한 베드 마운트의 최적 지지점은 Fig. 7과 같이 이송축(X,Y축)의 끝단으로부터 약 300mm 안쪽으로 위치된 지점에서 선택되었다. 이상의 결과를 나타내는 유전적 알고리즘의 파라메타는 Table 4와 같다.

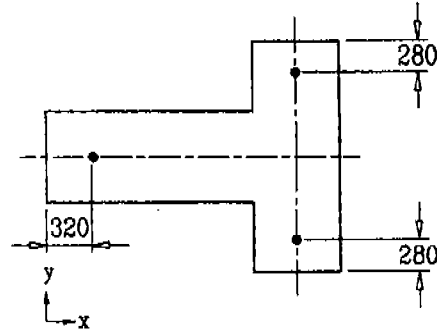


Fig. 7 Optimum mounting point of bed structure

3.3 구조물의 Re-sizing 최적설계

베드구조물의 초기설계치로서 외측벽의 두께는 30mm가 사용되었고, 내부의 보강재는 X방향에 대해서는 25mm, Y방향에 대해서는 20mm의 두께가 사용되었으며 이들 두께를 설계변수로 하여 유전적 알고리즘을 이용한 베드구조물의 Re-sizing 최적설계를 수행하였다. 이 경우 하중조건(Loading condition)은 Table 1과 같고 적용도를 정의하기 위해서 (5)식에서 사용되었던 정적 컴플라이언스(Compliance)가 이용되었으며 설계변수에 대한 구조물의 후보 두께는 Table 5에 주어진 칫수들이 사용되어 변화 할 수 있도록 하였다.

이에따라 설계변수를 유전적 알고리즘에서의 파라메타로 표현하기 위하여 3개의 설계변수를 5-비트(Bit)의

Table 5 Selectable thickness of an individual design variable

Design variable(mm)	Selectable (thickness(mm))
내부의 Y방향 보강재 두께(20)	10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20.0, 20.5, 21.0, 21.5, 22.0, 22.5, 23.0, 23.5, 24.0, 24.5, 25.0, 25.5
내부의 X방향 보강재 두께(25)	12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20.0, 20.5, 21.0, 21.5, 22.0, 22.5, 23.0, 23.5, 24.0, 24.5, 25.0, 25.5, 26.0, 26.5, 27.0, 27.5
외측벽의 두께(30)	20.0, 20.5, 21.0, 21.5, 22.0, 22.5, 23.0, 23.5, 24.0, 24.5, 25.0, 25.5, 26.0, 26.5, 27.0, 27.5, 28.0, 28.5, 29.0, 29.5, 30.0, 30.5, 31.0, 31.5, 32.0, 32.5, 33.0, 33.5, 34.0, 34.5, 35.0, 35.5

배열을 갖는 개체로 표현하여 총길이 15-비트의 유전자 염색체가 사용되도록 하였다. 여기서 설계변수의 각 5-비트 배열은 0에서 31까지 표현 가능하며 이는 Table 5의 후보 두께와 대응시킬 수 있다. 그러므로 모집단의 크기는 18로 하였고 유전자 연산을 위하여 교차 확률과 돌연변이 확률을 각각 0.95와 0.005를 적용하여 2점교차(Two-point crossover)를 사용하였다.

따라서 유전적 알고리즘의 연산에서 사용된 파라메타들은 Table 6과 같으며 이에의한 설계변수들의 최적치에 대한 수렴은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 11세대(Generation)에서 부터 나타났다.

Table 7은 최적설계의 결과치를 나타낸다.

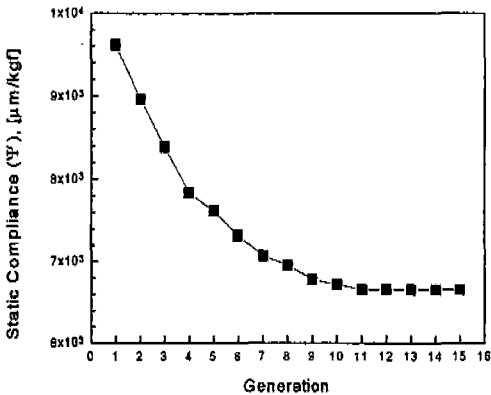


Fig. 8 Minimum values of compliance for fitness function

Table 6 Simulation parameter condition for optimum value of design variable

Population size	18
Crossover probability	95.0 %
Mutation probability	0.5 %
Chromosome length, (bit)	16
Generation	11
Fitness function(F)	$F = C - \Psi(\text{Compliance})$

Table 7 Optimum value of design variable

Initial design value(mm)	Optimum value(mm)
20	10.0
25	18.0
30	33.5

3.4 결과 및 고찰

유전적 알고리즘을 이용한 공작기계 구조물의 최적설계를 수행하기 위하여 베드의 상세 모델인 Fig. 3의 구조

물에 대한 정적 컴플라이언스(Static compliance) 계산은 SGI Power Challenge의 전자계산기와 MSC/NASTRAN을 이용하여 약 9분 정도에 풀 수 있었고 이를 식(5)에 적용한 전체의 최적설계 과정은 C-shell 프로그래밍을 이용하여 12시간만에 처리할 수 있었다. 이에의해 최적 지지위치는 Fig. 7과 같이 이송축(X,Y축) 끝단으로 부터 약 300mm 안쪽에 위치되고 이 경우에 있어서 베드구조물의 이송안내면인 LMG위치에서의 평균적인 정적 컴플라이언스는 $1.532 \times 10^{-3} \mu\text{m}/\text{kgf}$ 로서 최적 지지점의 선택전·후와 비교시 73.65%의 감소효과를 보였다.

또한 기존의 베드 마운트 지지조건하에서 GA에 의한 구조물의 설계치수(두께)는 Fig. 8과 같이 11세대(Generation)만에 최적값에 수렴하였으며 이에따라 최적설계 실시 전·후에 대한 베드의 변형특성을 비교해볼 때 LMG위치에서의 평균적 정적 컴플라이언스는 $6.658 \times 10^{-3} \mu\text{m}/\text{kgf}$ 로서 14.54%의 증가상태를 보였다. 이는 베드의 중량을 23.12% 감소시킨 결과로 외측벽의 두께는 증가한 반면 내부의 보강재(Rib) 두께는 감소하나 이중에 X방향보다는 Y방향의 보강재 두께가 급속히 감소하는 특징을 나타내고 있었다. 그러나 컴플라이언스가 증대되었다는 것은 보강재 치수(두께 변화)에 대한 최적화 과정이 구조성능 향상을 위한 개선효과에는 미흡하다는 것을 의미하는 것으로서 본 연구에서 정의된 최적화문제의 치수에 대한 개선설계(Re-sizing)에는 보강재의 위치변화도 함께 고려하는 형상최적화(Shape optimal design)를 수행하여야 더욱 효과적임을 볼수 있다.

따라서 공작기계의 구조물에 있어서 성능향상을 위한 설계문제에 있어서는 구조물 치수(두께)의 최적화도 중요하지만 구조물의 최적 지지위치 선정에 있어서는 더욱 중요함을 연구를 통해 볼 수 있었으며, 아울러 유전적 알고리즘을 이용하여 공작기계 구조물에 대한 최적설계를 수행할때는 적용도를 합리적으로 정의시키고 여기에 풍부한 계산력을 지닌 전자계산기가 활용되어 진다면 원하는 최적값을 효율적으로 얻을 수 있음을 고찰해볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 공작기계 구조물의 정강성을 향상시키기 위한 수단으로 베드 마운트 지지점의 최적위치 선정과 베드 구조물의 최적 설계치수를 결정하는 것을 주요 내용으로

하였으며 이에대한 결과는 다음과 같다.

(1) 공작기계 구조물의 강성을 향상시키기 위한 설계기술로서 전역 최적화(Global optimization)에 효율적인 유전적 알고리즘(GA)을 이용하는 방법을 제안하였으며 이는 설계변수에 대한 도함수가 요구되지 않는 Zero-order Method의 확률론적 탐색법(Zero-order method)이므로 공작기계의 구조설계 분야에 광범위하게 활용할 수 있다.

(2) GA는 전산Workstation(Power Challenge L-series, CPU:R8000)의 UNIX환경에서 C-shell로 프로그래밍하여 구현시켰으며 여기에 이용된 입력 자료로는 기계에 부가되는 정하중이 테이블 이송안내면의 LMG-블록을 통해 베드구조물에 전달되는 상태를 모델링하여 상용 유한요소 코드인 MSC/NASTRAN에 의해 해석된 결과를 활용하였다.

○ GA를 적용하여 베드 마운트 지지점의 후보점에 대한 탐색은 6세대(Generation)만에 최적 위치로 수렴하여 이송축 끝단으로부터 약300mm 안쪽 지점에 위치되었고, 이 경우 베드구조물의 이송 안내면인 LMG위치에서의 평균적인 컴플라이언스(Static compliance)는 $1.532 \times 10^{-3} \mu\text{m}/\text{kgf}$ 로서 최적 지지점의 선택전·후와 비교시 73.65%의 개선효과를 보였다.

○ 기존의 베드마운트 지지조건하에서 GA에 의한 구조물의 설계치수(두께)는 11세대(Generation)만에 최적값에 수렴하였으며 이에의한 최적설계 전·후의 변형특성을 비교해볼때 LMG 위치에서의 평균적 정적 컴플라이언스(Static compliance)는 $6.658 \times 10^{-3} \mu\text{m}/\text{kgf}$ 로서 14.54%의 증가상태를 보였고 이는 베드의 중량을 23.12% 감소시킨 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 위의 2가지 경우에 대한 결과를 비교해 볼 때 구조의 각 부재 두께를 고정시키고 지지점 만을 이동시키는 방안이 컴플라이언스를 감소시키는데 효과적이며, 반면에 지지점을 고정시키고 부재의 두께만을 변화시키는 방안은 중량감소 효과는 있으나 컴플라이언스 감소에는 효과가 미흡함을 볼 수 있었고, 이에의해 공작기계의 설계에 있어서는 지지점의 위치 선정이 치수(두께) 결정과정 이상으로 중요하게 다루어져야 하는 설계인자임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Haug, E. J. and Arora, J. S., "Applied Opti-

mal Design, Mechanical and Structural System", John Wiley & Sos, 1976.

2. Haug, E. J., Choi, K. K. and Komkov, V., "Design Sensitivity Analysis of Structural System", Academic Press, New York, 1986.

3. Choi, K. K. and Seong, H. G., "Design Component Method for Sensitivity Analysis of Built-up Structures", Journal of Structure Mechanics, Vol.14, pp.379-399, 1986.

4. Choi, K. K. and Seong, H. G., "A Domain Method for Shape Design Sensitivity Analysis of Built-up Structures", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.57, No.1, pp1-15, 1986.

5. Haug, E. J., "Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Volume-I : Basic Methods" Allyn and Bacon, 1989.

6. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning". Addison-Wesley, 1989.

7. Jenkins, W.M., "Towards Structural Optimization Via The Genetic Algorithm, Computers and Structures", vol.40, No.5, pp. 1321-1327, 1991.

8. Lin, C. Y., Hajela, P. "Genetic Search Strategies in Large Scale Optimization", AIAA paper #93-1585, Structures, Structural Dynamics, and Material Conference, La Jolla, CA, April. 1993.

9. Syswerda, G., "Uniform Crossover in Genetic Algorithms", Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms, pp. 2-9, 1989.

10. 朴鍾權, "超精密 工作機械 構造物の 設計技術 研究 (I)", 科學技術處 研究報告書, UCN365-1514C, 1991.

11. 朴鍾權, "超精密 工作機械 構造物の 設計技術 研究 (II)", 科學技術處 研究報告書, UCN459-1756C, 1992.