

기계 구조의 합성적 자동생성을 위한 진화연산

이인호*(한양대 대학원 기계설계학과), 차주현(국민대 기계공학부), 김재정(한양대 기계공학부)

Evolutionary computation approach for automated synthesis design of mechanical structures

I. H. LEE(Mecha. Eng. Dept. HYU), J. H. CHA(Mecha. Eng. Dept. KMU), J. J. KIM (Mecha. Eng. Dept. HYU)

ABSTRACT

This paper proposes an evolutionary computation approach for automated design of mechanical structures especially in its early stage of design phases. Due to the known characteristics of the stage, the approach basically involves a synthetic design method with the composition of building blocks representing the elements of mechanical objects. In order for the building blocks to be more suitable for representation and evolution of mechanical structures, Elementary Cell Blocks (ECBs) are introduced as new building blocks. A new Darwinian evolution process for the new building blocks is also necessarily involved in the approach. We have demonstrated the implementation of the approach with the design of multi-step gear systems.

Key Words : Evolutionary computation (진화연산), Automated design (자동설계), Synthesis design (합성 설계).

1. 서론

자동 개념설계에 관한 연구는 개념설계의 단계가 여러 다른 설계 단계에 선행하고 이 때문에 전체 설계 과정의 방향을 결정한다는 점에서 기계공학 분야의 한 중요한 이슈라고 할 수 있다. 개념설계의 많은 경우가 이미 완성되어 있는 요소들의 조합에 의해서 이루어지는 사실에 의거하여 많은 경우의 자동 설계의 연구 기법들은 소위 빌딩블록(building blocks)을 이용한 합성(synthesis) 설계를 기반으로 한다.

합성 설계를 위한 실질적인 기법으로는 대상의 기본 요소를 정의한 후, 이를 인공지능 기법의 하나인 유전 알고리즘을 이용하여 조합하는 방법이 주로 이용되어 왔다. 이들 유전 알고리즘을 이용한 방법들은 여러 편의 연구를 통하여 그 능력을 입증해 왔으나, 설계 대상의 구조를 표현하는 데 있어서, 그리고 그 구조를 확장하는 데 있어서 등의 문제점 또한 가지고 있다. 본 연구는 이들의 문제점을 보완할 기본 요소와 그 기본요소를 통한 설계 대상의 합성 그리고 이들을 위한 변형된 진화 연산을 제안한다. 제안 되는 기본 요소와 그 진화 방법은 개념 설계를 위한 시스템의 구현과 실제 기어

장치를 대상으로 한 사례 연구를 통하여 보여진다.

2. 기본 개념

본 연구에서 설계의 기본요소로 정의할 빌딩블록은 설계 대상인 기계구조물의 속성과 그 결합 방식을 표현할 수 있어야 한다. 또한 이 정의된 빌딩블록 요소들을 이용한 진화연산 과정에서의 효율성을 높이기 위한 장치 또한 마련되어 있어야 한다.

새 빌딩블록 요소가 갖추어야 할 조건들은 기존의 연구에서 유전알고리즘이 적용된 방법이 가진 문제점들을 통하여 더욱 쉽게 이해할 수 있다. 예를 들어 Fig. 1 과 같은 기어를 모델링 하려면 그 속성들로 피치원지름, 기어모듈, 잇수 등의 여러 파라미터를 정의해야 한다. 그러나 이들 속성들은 피치원지름처럼 실수의 형태, 기어모듈과 같은 불연속적인(discrete) 형태 그리고 잇수처럼 정수의 형태 등 다양한 형태를 가진다. 이들을 표현하는 데 있어, 또한 설계 목적에 맞도록 진화시켜 나가는데 있어서, 기존 유전알고리즘의 이진 스트링 형태의 염색체와 교차나 돌연변이에 의한 진화방법은 변화를 통한 개선의 여지를 가진다는 것을 알 수 있다.

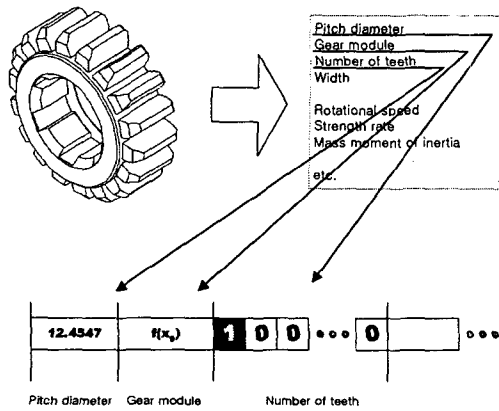


Fig. 1 Binary strings representing gear

빌딩블록 요소들을 합성해서 새로운 구조를 만들기 위한 경우를 가정해보면 자유로운 개념설계를 수행하는 경우에 발생하게 되는 문제점들이 더욱 분명해진다. 다음의 그림 Fig. 2 에서 볼 수 있듯이 요소의 개수를 늘여나가서 더욱 복잡한 기계 구조를 설계하려고 한다면 길이가 미리 정해진 이진 스트링 형태의 염색체로는 그 구조를 확장함에 있어서, 그리고 확장된 구조의 부품 간의 관계를 표현하는데 있어서 어려움을 겪게 된다.

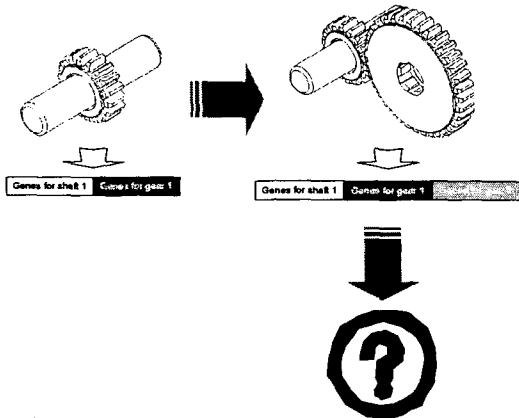


Fig. 2 Structure design with binary stirrings

본 논문에서 제안되는 빌딩블록 요소는 앞에서 설명한 문제점들을 다음의 그림 Fig. 3 에서 보이는 것과 같은 몇 가지 개념을 도입함으로써 효과적으로 극복하려 한다. 이는 유전알고리즘의 염색체에서 서로 관련이 높은, 예를 들면 하나의 부품을 나타내는, 파라미터들을 하나의 블록 요소로 묶고, 묶어진 파라미터의 값들을 그 특성에 따라 변화시킬 함수들을 그 요소 내에 정의하며, 이들 요소는 다른 블록 요소와 필요에 따라 여러 형태로 연결시킬 커넥터들을 가지게 하는 것이다. 이 새로이 정의된 요소는 또한 새로운 진화 방법을 필요로 한다.

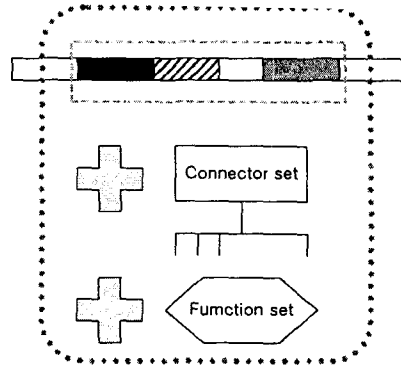


Fig. 3 Block diagram of the building block element to be proposed

3. 합성 설계

3.1 블록 요소

앞 장에서 기본 개념을 설명한 빌딩블록 요소를 본 연구에서는 기본요소블록(Elementary Cell Block; ECB)이라고 부른다. ECB 는 내부에 파라미터 셀(parameter set), 블록의 결합조건 셀(connector set) 그리고 함수 셀(function set)을 가진다. 좀 더 세부적인 설명은 아래와 같다.

- ❖ 파라미터 셀: ECB 가 나타내는 대상을 설계하기 위한 일련의 파라미터들을 정의한다.
- ❖ 함수 셀: 정의된 파라미터들을 그 종류에 따라 관리하기 위한 일련의 조작 방법들을 정의한다.
- ❖ 결합조건 셀: ECB 가 다른 ECB 와 결합하여 구조를 만들기 위해서 따라야 하는 물리법칙 등 조립규칙 등을 정의한다.

ECB 의 결합에 의해 합성된 구조물은 아래의 Fig. 4 에서 보여주는 것처럼 복잡한 ECB 간의 관계를 정의하거나 ECB 를 추가해서 더욱 복잡한 구조를 만드는데 적합하다.

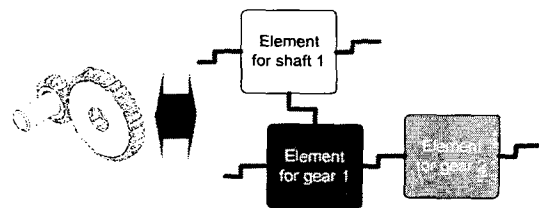


Fig. 4 Structure design with ECBs

3.2 진화 방법

블록 요소로 이루어진 각 개체는 진화과정을 거

쳐서 설계자가 원하는 조건을 갖춘 파라미터와 구조로 완성되어야 한다. 진화과정은 새로이 정의된 빌딩블록인 ECB 의 합성과정에 적합하도록 다음의 두 가지 형태의 돌연변이를 가진다.

- 구조 단계의 돌연변이: 새 ECB 를 구조에 삽입하거나 삭제하여 구조의 변화를 가져오는 거시적 변화이다.
- 요소 단계의 돌연변이: ECB 내의 파라미터 셀의 값을 변화시키는 미시적 변화이다.

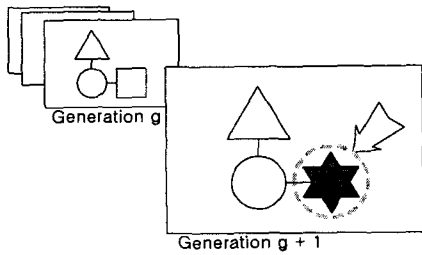


Fig. 5(a) Diagram of element-level mutation

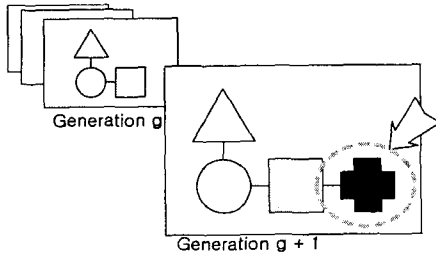


Fig. 5(b) Diagram of structure-level mutation

진화의 방식은 기본적으로 기존의 유전알고리즘의 경우처럼 개체군기반(population-based) 진화를 따른다. 여러 세대를 통하여 느린 속도로 개체군 전체가 좀 더 설계 목적에 적합하게 변화하도록 유도된다. 매 세대를 거치면서 아래의 수식에서 표현하는 바와 같이 세대에 포함되는 개체들을 그 구조에 대한 항목과 요소의 속성에 대한 항목에 대하여 평가를 하고 우수한 개체들을 선택하여 진화의 방향을 유도한다.

$$G(c_j)^{TOTAL} = G(\sum a_j G_j(c_j)^{STRUCTURE} + \sum \beta_k G_k(c_j)^{ELEMENT}) \quad (1)$$

where

$G_j(c_j)^{STRUCTURE}$ = order of grade about structure-level mutation

$G_k(c_j)^{ELEMENT}$ = order of grade about element-

level mutation

c_i = current individual

j = number of evaluation terms for structure-level mutation

k = number of evaluation terms for element-level mutation

a_j = weighting factor of evaluation terms for structure-level mutation

β_k = weighting factor of evaluation terms for element-level mutation

전체적인 흐름은 다음의 Fig. 6 의 프로그램 개요를 보여주는 슈도코드(pseudo-code)를 통하여 알 수 있다. 흐름은 생성, 변형, 평가, 선택, 그리고 재생산이라는 진화연산의 기본 형태를 따른다.

```

population function EmergentEvolution(population);
begin
  for i from 1 to populationSize
    evaluate(population[i]);

  for i from 1 to populationSize
    if (getRank(population[i]) <= reproductionSize)
      then reproduce (population[i]);
    else if (getRank(population[i]) >= populationSize - reproductionSize)
      then expire (population[i]);

  for i from 1 to populationSize
    evolve (population[i]);

  return population;
end;

```

Fig. 6 Outline of whole evolution processes

4. 사례연구

제안된 방법으로 기어장치를 대상으로 한 개념 설계 작업을 사례연구로 수행한다. 기어장치는 스퍼기어와 기어축 두 가지 요소로 이루어지며, 3500rpm 의 회전을 입력 받아 240rpm 의 회전을 출력하는 감속 장치이다.

첫번째 단계는 설계대상의 기본 요소인 기어와 기어축을 ECB 로 정확히 표현하는 것이다. 각각의 ECB 를 표현한 것이 Fig. 7 에 표현되어 있다. 기어는 기어모듈, 피치원지름, 잇수 등의 파라미터와 다른 기어와의 결합이나 축과의 결합을 위한 결합조건, 그리고 파라미터를 관리하기 위한 함수로 구성되어 있다. 기어축 ECB 역시 기어와 마찬가지로 축의 속성을 정확히 표현할 파라미터, 결합조건 및 함수들을 내부에 포함한다.

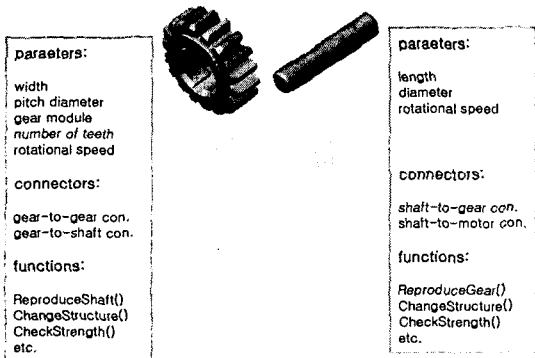


Fig. 7 ECBs for gears and shafts

평가는 매 세대의 개체군에 속한 모든 개체를 대상으로 이루어지며 개체들간의 상대우위가 이 과정을 통하여 결정된다. 기어장치가 대상인 본 사례 연구는 구조의 적합성에 대한 평가항목으로는, 주어진 설계사양에 해당하는 회전수에 대한 각 개체의 출력 회전수와 오차를 이용한다. 블록요소 단계의 적합성에 대한 평가항목으로는, 설계사양으로 주어진 동력을 전달하기 위한 축 및 기어 요소 최소요 강도와 각 개체의 오차를 평가하는 항목과, 각 개체가 가지는 극관성모멘트를 상대 비교한 순위 두 가지를 이용한다.

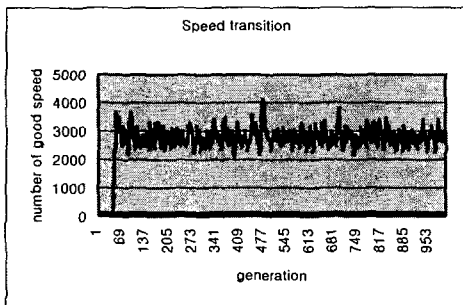


Fig. 8 Transition graph of number of good speed in a population

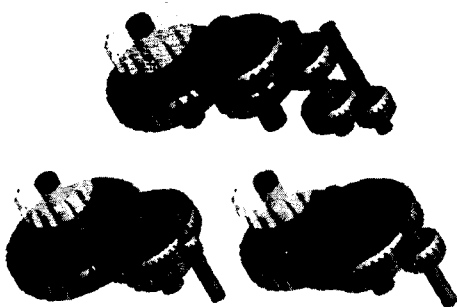


Fig. 9 Designed gear equipment

개체군의 크기를 5000 으로 유지한 사례연구에서 진화과정은 Fig. 8 과 같은 경향을 띄었다. 그래프는 설계사양에 적합한 출력 회전수를 가지는 개체의 수를 나타내고 있다. 출력 회전수 항목은 비교적 짧은 세대 내에 안정을 이루었으며, 안정기 내에도 다른 항목에 대한 진화가 이루어져 전체적으로 좀 더 적합한 설계를 수행했다. 진화과정을 종료한 후 몇 가지 설계 결과의 3 차원 모델링 화면을 Fig. 9 와 같이 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 개념설계 단계에서 기계 구조의 자동 설계를 수행하기 위하여 합성설계에 방식에 기반한 접근방법이 제안되었다. 기존의 합성설계에 사용되는 빌딩블록 요소와 이들을 이용한 합성의 방식에 따르는 문제점을 개선한 새로운 요소로 ECB 를 제안하였으며, 새로이 정의된 요소로 합성을 지원하는 진화연산 역시 제안하였다. 제안된 빌딩블록과 진화연산을 이용한 개념설계의 과정을 설명하고 그 효용을 보이기 위하여, 기어와 기어축을 부품으로 하는 감속 기어장치를 대상으로 사례 연구가 수행되었다.

참고문헌

1. Cha, J.H., Lee, I.H. and Kim, J.J., "Computer-aided innovative mechanical design framework", Proceedings of FAN Symposium '00 in Tokyo, pp. 405-410, 2000.
2. Hoeltzel, D.A. and Chieng, W.H., "Knowledge-based approaches for the creative synthesis of mechanisms", Computer-Aided Design, Vol.22, No.1, pp.57-67, 1990.
3. P.J. Angeline, Evolutionary algorithms and emergent intelligence, Ph. thesis of The Ohio State University, 1993.
4. J.S. Gero and V.A. Kazakov, Evolving building blocks for design using genetic algorithm, Advances in Formal Design method for CAD - Proceedings of IFIP95, pp.31-50, 1995.