진화전략을 이용한 트러스 돔 구조물의 최적설계

The Optimum Design of Truss Dome Structures by Evolution Strategy

한 상 을* • 김 만 중** • 이 재 영*** • 류 지 수****
Han, Sang-Eul • Kim, Man-Jung • Lee, Jae-Young • Ryu, Ji-Su

요 약

본 논문의 연구 목적은 생물의 진화 현상을 모방한 진화전략 알고리즘을 이용하여 돔형 트러스 구조물을 최적화 설계하는 것이다. 최적화 방법으로 부재 단면적의 최적화 값을 찾음으로써 최적 목적값 또는 최소 구조물 중량을 산출하는데 목적이 있다. 진화전략 알고리즘은 1960년대 중반, 실수기반 매개변수의 최적화로부터 소개되어 1970년대 많은 발전을 하였다. 진화전략은 컴퓨터 시스템 최적화 알고리즘 연구분야에서 많이 활용되며, 더불어 사용되는 유전자 알고리즘과는 다른 몇 개의 연산자를 가지고 있다. 본 논문에서는 진화전략에서 사용되는 연산자를 소개하고 연산자간의 논리 흐름과 수치예제로써 최적설계의 적합성을 확인해볼 수 있다.

keywords : 최적화설계, 진화전략, 트러스구조물, 돔구조

1. 서 론

구조물의 최적설계는 구조의 해석 및 설계 분야에서 오래전부터의 숙원이자 구조의 거동을 다루는 학문분야의 최종 목표로 여겨진다. 이러한 최적 구조설계는 1960년대부터 이론을 정립하여 발전하기 시작하였다. 이후 다양한 형태로 발전한 최적설계 알고리즘은 일반적으로 분류하는 기준에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다. 첫 번째로 최적화 대상이 되는 설계변수의 종류에 따라 크기최적화(size optimization), 형상최적화(shape optimization), 위상최적화(topology optimization)로 나눌 수 있다. 두번째로 방법론적인 관점에서 설계민감도를 이용하는 방법과 그렇지 않는 방법으로 구분할 수 있다. 전자의 경우 수학적 미분방법(gradient method)을 이용하는 것이고, 후자는 수학적 미분개념 없이 무작위성 탐색방법(non-gradient method)을 통해 최적의 값을 찾는 것이다. 이중 본 논문은 설계민감도를 사용하지 않는 탐색법의 일종으로써 아래에서 설명되는 진화전략 알고리즘(Evolution Strategy)을 통해 구조물 부재의 단면 크기를 최적화하는 것을 연구하였다. 1960년대 중반 Rechenberg(1965, 1973)는 실변수 매개변수 값을 최적화하는 기법으로 처음 진화전략을 소개하였다. 이후 Schwefel(1975) 및 Hans-Georg Beyer(2001, 2002) 등에 의해 알고리즘이 더욱 발전하였으며, 1990년대에 들어 진화전략 알고리즘을 구조물의 최적화에 도입하여 Papdrakakis, Lagoros(1999, 2002) 및 Cai(1996) 등이 연구를 진행하고 있다.

* 정회원 • 인하대학교 건축학부 교수 hsang@inha.ac.kr
** 학생회원 • 인하대학교 건축공학과 석사과정 mandoong@hotmail.com
*** 인하대학교 건축공학과 석사과정 ngng4444@nate.com
**** 인하대학교 건축공학과 석사과정 lions001793@hanmail.net

2. 진화전략의 연산자

진화전략은 자연에서 생물의 진화현상을 모방하는 동일한 모태를 갖는 유전알고리즘과 비교가 된다. 유전알고리즘과 비교하여 진화전략은 주요 연산자(main operator)로 돌연변이(mutation)를 사용하고, 보조 연산자로 재조합(recombination)을 사용한다. 설계변수로 10진수의 실수를 사용하며, 개체(individual)가 되기 위한 자격 등에서 유전알고리즘과 차이를 둔다. 진화전략의 연산자를 살펴보면 다음과 같다.

2.1 돌연변이 연산자(mutation operator)

진화전략의 주요 기본 연산자로 최적해를 탐색하는 주요 도구로써 도달가능성(reachability), 비편중성(unbiasedness), 측정가능성(scalability)을 만족해야한다(Beyer, 2002). 대부분의 근래 진화 및 유전관련 알고리즘 연구에서는 돌연변이를 무작위수(random)를 통해 연산을 구현하고 있다.

$$\mathbf{X}_o^{(g)} = \mathbf{X}_p^{(g)} + \mathbf{Z}^{(g)} \tag{1}$$

여기서, $\mathbf{X}_p$는 부모가 되는 개체벡터(부모 모집단), $\mathbf{X}_o$는 다음세대의 개체벡터(자손 모집단)를 의미하고, $\mathbf{Z}$는 돌연변이를 일으키는 무작위수 벡터를 의미한다. 그리고 첨자 g는 세대 단계수를 의미한다. 돌연변이 강도를 나타내는 무작위수 벡터는 기준이 되는 부모개체로부터 작은 변화가 자주 일어나고 큰 변화는 적게 발생하는 특징을 갖고 있는 확률분포(probability distribution)를 이용한다.

2.2 재조합 연산자(recombination operator)

자연진화에서 부(父)와 모(母)를 통해 자손을 이어가듯이 재조합 연산자를 통해 두 개의 대상 개체를 선정하여 새로운 한 개체를 만들어 진화의 가능성을 넓히게 된다. 재조합하는 방법은 기존의 연구에서 다양하게 제안하였는데 주로 개체의 선택값, 평균값, 제 3의 값 및 최적값 등을 이용하는 방법이 있다.

$$x_i = \begin{cases} x_{a,i} \text{ or } x_{b,i} & (a) \\ \dfrac{(x_{a,i} + x_{b,i})}{2} & (b) \\ x_{c,i} & (c) \\ x_{a,i} \text{ or } x_{c,i} & (d) \\ \dfrac{(x_{a,i} + x_{c,i})}{2} & (e) \end{cases} \tag{2}$$

여기서, $x_{a,i}$는 부(父)로 선택된 개체이며, $x_{b,i}$는 모(母)로써 선택된 개체이다. 그리고 $x_{c,i}$는 제 3의 값을 무작위로 새로 선정한 값이다.

2.3 선택 및 병합 연산자(selection and merge operator)

자연의 진화에서처럼 계속되는 세대진화에 약간의 긍정적 방향성을 부여하기 위해서는 선택 및 병합의 연산자가 요구된다. 진화전략에서는 가용해(feasible design) 만을 모집단으로 인정하기 때문에 그 기준에 부합하는 개체들을 선택하여 병합하는 방법으로 플러스 선택과 콤마 선택 방법이 있다. 전자는 μ개의 부모집단에

서 λ개의 자손을 생성하여 두 개의 합 가운데 상위 μ개를 다음 세대 부모로 선정하는 것이고, 후자는 마찬가지로 λ개의 자손을 생성하나, 부모집단과 합치지 않고 μ<λ의 조건과 최우수개체를 계승하는 엘리트 생존 전략을 추가하는 것을 통해 다음 세대를 이어가는 것이다. 일반적으로 콤마 선택방법이 시간에 따라 환경이 변하는 문제에 대하여 좋은 성적을 거두는 것으로 알려져 있다.

3. 최적설계 수치예제

3.1 21절점 52부재의 단층 래티스 돔

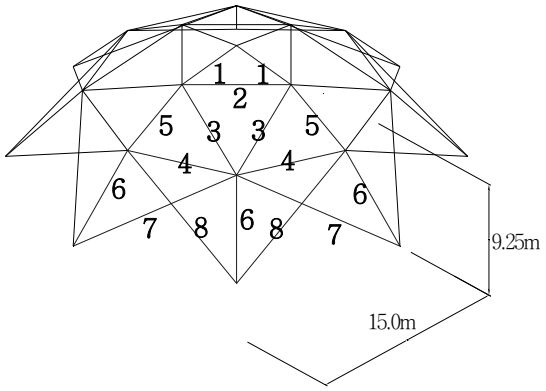

그림 1 래티스 돔의 치수 및 설계변수

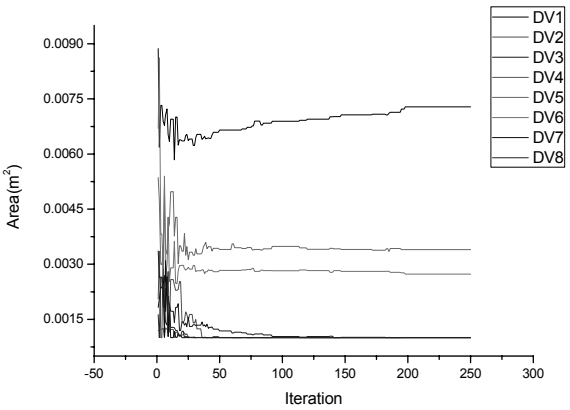

그림 2 진화 단계별 설계변수 변동

최종 수렴된 설계변수 DV1의 값은 7.31×10^{-3} m^2으로 아래 표 1에서 알 수 있듯이 1번 절점에 대해 응력보다 변위에 결정적인 변수로 다른 설계 변수보다 가장 큰 값으로 수렴한다.

표 1 절점의 최종 정규화 변위(z 방향)

절점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14~21
u_i/u_l	0.998	0.641	0.641	0.641	0.641	0.327	0.422	0.327	0.422	0.327	0.423	0.327	0.423	0

3.2 31절점 75부재 지오데식 돔

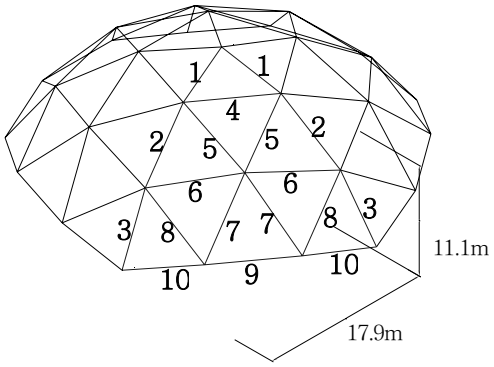

그림 3 지오데식 돔의 치수 및 설계변수

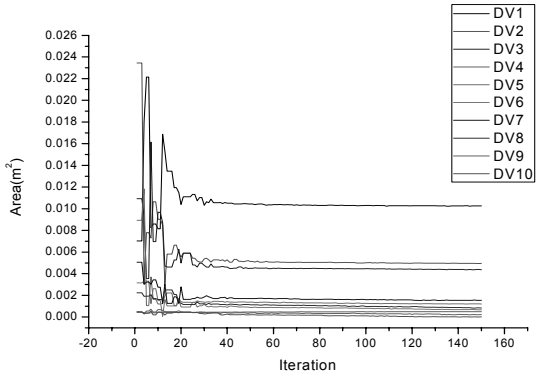

그림 4 진화 단계별 설계변수 변동

표 2 절점의 최종 정규화 변위(z 방향)

절점	1	2	3	5	8	9	11	14	15	17	20	21	23	26	27	29
u_i/u_l	**0.999**	0.253	0.031	0.324	0.253	0.031	0.324	0.253	0.031	0.324	0.253	0.031	0.324	0.253	0.031	0.324

4. 결론

진화전략 알고리즘은 수학적 개념의 미분가능성, 연속성 등의 제약에 관계없이 전역해를 구할 수 있는 장점 때문에 최근 구조물의 최적화 이론 분야에서 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 진화전략은 크게 돌연변이, 재조합, 선택 및 병합의 연산자를 사용하며, 실수 10진수를 변수로 이용하여 제약조건에 따라 적합도를 평가한 후 가용해를 대상으로 최적화를 진행해 나간다. 트러스 구조물은 주요 설계변수가 부재의 단면적이기 때문에 이것을 설계대상으로 하며, 돔 구조물은 일반적으로 대공간 구조물로써 설계에서 자중에 매우 민감하다. 따라서 트러스 돔 구조물의 최소 중량을 목적함수로 하여 몇 개의 수치예제를 진화전략을 통해 최적화한 결과, 변위 제약에 지배적이었으며 다른 타 알고리즘과 비교해 설계변수 개체들의 변동 추이를 확인하기 용이하고, 매개변수의 조작이 편리하여 구조물을 최적설계하는데 장점이 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2006년도 한국건설교통기술평가원(06건설핵심B03)의 연구비 지원으로 이루어진 것으로, 이에 감사드립니다.

참고문헌

HANS-GEORG BEYER and HANS-PAUL SCHWEFEL (2002) Evolution strategies: A comprehensive introduction, Natural Computing 1: 3-52, Kluwer Academic Publishers

Hans-Georg Beyer (2001) The Theory of Evolution Strategies, Springer

Jianbo Cai and Georg Thierauf (1996) Evolution strategies for solving discrete optimization problems, Advances in Engineering Software Vol.25 pp.177-183

Manolis Papadrakakis and Nikolaos D. Lagaros, Georg Thierauf and Jianbo Cai (1999) Advanced solution methods in structural optimization based on evolution strategies, Engineering Computations, Vol. 15 No.1, pp.12-34

Manolis Papadrakakis, Yiannis Tsompanakis and Nikolaos D. Lagaros (1999) STRUCTURAL SHAPE OPTIMIZATION USING EVOLUTION STRATEGIES, Engineering Optimization Vol.31 pp.515-540

Nikolaos D. Lagaros, Manolis Papadrakakis, George Kokossalakis (2002) Structural optimization using evolutionary algorithms, Conputers and Structures vol.80 pp.571-589

Rechenberg I. (1965) Cybernetic solution path of an experimental problem. Royal Aircraft Establishment, Library Translation no. 1122, Farnborough, Hants., UK

Rechenberg I. (1973) Evolution Strategy: Optimization of Technical Systems according to the Principles of Biological Evolution (in German), Frommann-Holzboog, Stuttgart

Schwefel H.P. (1975) Evolution strategy and numerical optimization (in German), Dissertation, TU Berlin, Germany