

마이크로 유전자 알고리즘을 이용한 복합재 적층 구조물의 최적설계

이무근* · 김천곤**

Optimal Design of Composite Laminated Stiffened Structures Using micro Genetic Algorithm

Moo-Keun, Yi, Chun-Gon, Kim

Abstract

Researches based on genetic algorithms have been performed in composite laminated structures optimization since 1990. However, conventional genetic algorithms have a disadvantage that its augmentation of calculation costs. A lot of variations have been proposed to improve the performance and efficiency, and micro genetic algorithm is one of them. In this paper, micro Genetic Algorithm was employed in the optimization of laminated stiffened composite structures to maximize the linear critical buckling load and the results from both conventional genetic algorithm and micro genetic algorithm were compared.

Key Words: micro Genetic Algorithm, Linear Buckling

1. 서론

경량화 소재로서 복합재료를 구조 설계에 적용할 시에는 기존의 등방성재료보다 더 많은 설계인자를 고려해야 한다. 일 방향 섬유 보강 복합재료의 경우에는 섬유의 적층각, 적층순서, 적층수를 적절히 결정하여야 원하는 성능을 갖는 구조물을 제작할 수 있다. 그리고 이와 같은 설계변수의 증가 외에 무게 및 강도와 같은 제한 조건이 고려되면 결정학적인 최적설계 방법은 한계가 있다. 한편 유전자 알고리즘은 설계공간의 볼록성(convexity)에 관계없이 해를 구할 수 있고, 특히 이산적으로 변하는 설계변수를 다루는데 이점이 있기 때문에, 90년대부터 복합재 적층 구조물의 최적설계에 많이 사용되고 있다[1]. 하지만

유전자 알고리즘은 수십에서 수백 단위의 표본을 사용하여야 해를 찾을 확률이 높다. 이 같은 특성은 방대한 계산시간을 요구하는 구조해석과 연계하여 사용할 경우에는 제약이 따르게 된다. Gantovnik[2] 등은 중복 계산을 피하기 위해 이전에 계산된 설계점을 트리 구조로 저장하여 계산 시간을 줄였음을 보여주었다.

본 논문에서는 기존의 유전자 알고리즘의 장점을 가지면서도 보다 적은 계산량을 필요로 하는 마이크로 유전자 알고리즘을 바탕으로 보강재가 삽입된 복합재 적층 구조물의 최적 설계를 수행하여 기존의 유전자 알고리즘과 그 효율성을 비교하였다.

2. 마이크로 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 초기세대를 구성하고 이를 바탕으로 연산을 통해 최종해로 수렴해 간다. 기존의 유전자 알고리즘(SGA)는 전역 최적해로의

* 한국과학기술원 항공우주전공 대학원

** 한국과학기술원 항공우주전공

수렴을 확률을 높이기 위해선 인구수를 크게 하여 다양성(diversity)을 확보해야 한다. 이는 계산량 증가를 야기시켜 최적화 과정의 전반적인 효율성을 떨어뜨린다.

반면, 마이크로 유전자 알고리즘(μ GA)[3]은 적은 인구수(보통 5개체)로 해를 탐색하기 때문에 기존의 유전자 알고리즘보다 효율적으로 결과를 얻을 수 있다.

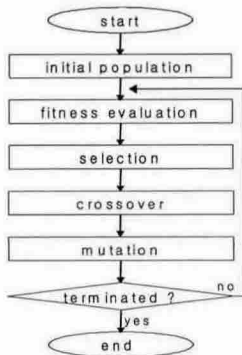


Fig. 1 Procedure of SGA

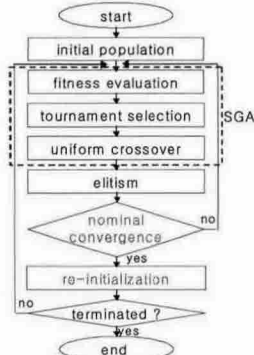


Fig. 2 Procedure of μ GA

위 그림 1,2는 SGA와 μ GA의 대략적인 흐름도를 보여주고 있다.

2.1 균일교배(Uniform Crossover)

균일교배는 인접한 두 개체 간에 같은 유전자 좌(locus)에 위치한 이진 코드를 교환한다. 교차 횟수가 다른 방법보다 많아 넓은 해 공간 탐색을 보장한다.

2.2 공칭수렴(Nominal Convergence)

선택과 교배를 통해 만들어진 자식세대와 이전까지의 엘리트를 비교하여 그 상이함이 어느 수준 이하가 되면 공칭수렴을 하였다고 판단한다. 상이함의 정도는 보통 전체 비트(bit)수의 5%로 정한다.

2.3 재초기화(Re-initialization)

공칭수렴이 만족되면 마이크로 유전자 알고리즘은 다음 세대를 구성하기 위해 무작위 생성을 수행한다. 전체 인구 N개중 N-1개는 무작위로, 나머지 1개는 이전까지의 엘리트 사용한다. 무작위 생성은 이전의 돌연변이 연산 기능을 대신 하고, 엘리트는 지금까지의 우수한 유전정보를

알려주는 기능을 한다.

3. 복합재 구조물의 최적설계

두 유전자 알고리즘의 성능을 비교하기 위해, 동일한 복합재 구조물에 각각 적용하여 그 결과를 비교하였다. 해석에는 ABAQUS의 선형 좌굴 해석기법을 사용하였다. 모델링은 4개의 노드를 갖는 S4R 요소를 사용하였고, 크기는 $8*8mm^2$ 로 설정하였다.

3.1 햇(hat)형태의 보강재가 들어간 panel

그림3과 같은 hat모양의 보강재가 들어간 panel의 최적설계에 두 알고리즘을 사용하였다[4]. 재료는 HFG CU-125를 사용하였으며 물성치는 표1과 같다.

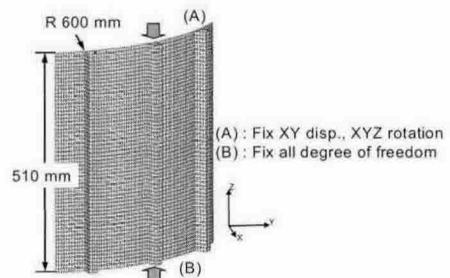


Fig. 3 Analysis Model & B.C

목적함수 : 선형 임계좌굴하중의 최대화
설계변수 : 적층각

$$-90^\circ \leq x_i \leq 75^\circ \quad (i=1,2,3,4)$$

$$\Delta x_i = 15^\circ$$

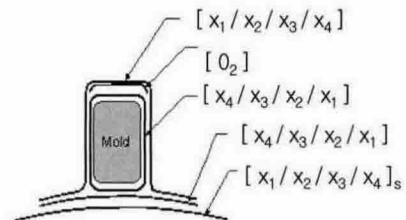


Fig. 4 Stacking sequence for design variables

Table 1 Material properties of HFC CU-125

Stiffness (GPa)	
E_1	130.0
E_2	10.0
$G_{12} = G_{13}$	4.85
G_{23}	3.62
ν_{12}	0.31

전역 최적값의 위치는 다음과 같으며,

$$[x_1/x_2/x_3/x_4] = [-15/45/-90/-75], [15/45/-90/75]$$

이 때 좌굴하중은 89.775KN으로 나타났다.

결과는 20번의 실험을 수행하여 평균값을 비교하였고 표 2와 3에 정리하였다. Calculation points 는 정해를 찾는 동안 사용된 설계점의 개수를 가리킨다. 두 경우 모두 중복된 설계점은 제외시켰다.

Table 2 Test results for μ GA

GA variables	value
Population size	5
Probability of crossover	0.5
Nominal convergence	0.1
Success number	12/20
Calculation points	320.42

Table 3 Test results for SGA

GA variables	value
Population size	50
Probability of crossover	0.7
Probability of mutation	0.3
Success number	10/20
Calculation points	1200

μ GA는 SGA가 사용한 계산점의 30%정도만을 사용하여 해를 구했으며, 해를 찾는 횟수도 높게 나타났다. 두 알고리즘 모두 매 실행마다 완벽히 해를 찾지를 못했지만, 전역 최적값 근방까지는 수렴함을 보여주었다. 이 밖에도 μ GA는 진화연산의 확률값 변화에 따른 해의 탐색 성능이 크게 변하지 않기 때문에 SGA와 달리 예비 실험을 피할 수 있다.

3.2 blade 형태의 보강재가 들어간 평판

blade 형태의 보강재가 들어간 평판의 무게를 고려한 최적설계에 두 알고리즘을 적용하였다.

문제의 정의는 다음과 같다.

목적함수 : 구조물의 무게 최소화

구속조건 : 선형 좌굴하중(P_{cr}) ≥ 70000 N

설계변수 : • skin의 적층각($x_i, i=1,2,3,4,5$)

• 보강재의 적층각($y_i, i=1,2,3,4,5$)

$$x_i, y_i = 90^\circ, \pm 45^\circ, 0^\circ, \text{empty}^*$$

• web의 길이(mm) : 5 ~ 36

• 보강재 개수(개) : 3 ~ 8

적합도 평가 조건 : ① $P_{cr} \geq 70000$ (N)

$$\frac{w_{max}}{w} \frac{11P_{cr}}{10^*P_{cr} + 70000}$$

② $P_{cr} < 70000$ (N)

$$\frac{P_{cr}}{70000}$$

여기서 w_{max} 는 가장 무겁게 설계할 경우의 무게를 나타낸다.

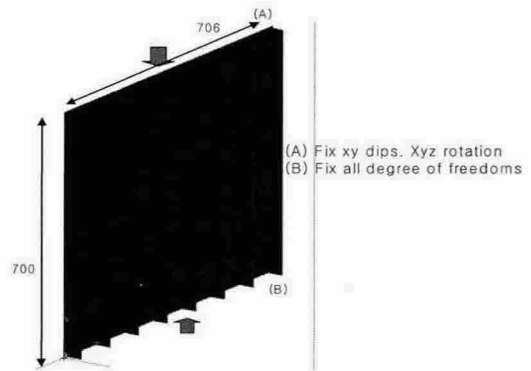


Fig. 5 Analysis model & B.C.

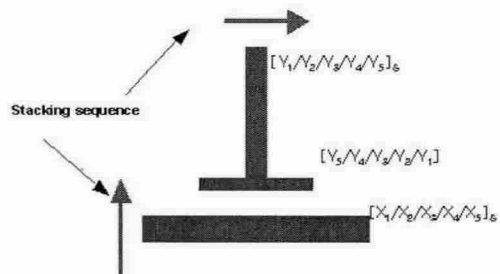


Fig. 6 Stacking sequence for design

* empty는 가상의 ply를 가리키며 실제 적층에는 사용되지 않는다.

이번 문제에서는 정해의 값을 알 수 없었기 때문에 두 알고리즘이 최종적으로 구한 해의 좌굴하중 및 무게를 비교하였다.

Table 2 Test results for μ GA

GA variables	value
Population size	5
Probability of crossover	0.5
Nominal convergence	0.1
Weight(kg)	1.39
P_{cr} (KN)	70.484
Fitness	1.14772
Calculation points	3063

Table 3 Test results for SGA

GA variables	value
Population size	15
Probability of crossover	0.7
Probability of mutation	0.4
Weight(kg)	1.41
P_{cr} (KN)	74.843
Fitness	1.13621
Calculation points	9150

μ GA와 SGA에서 구한 설계변수값을 보면 다음과 같다.

Table 4 comparison of design variables

	μ GA	SGA
skin의 적층각	$[45/0_4]_s$	$[-45/90_4]_s$
보강재의 적층각	$[-45/90_4]_s$	$[-45/45/90_3]_s$
보강재의 높이(mm)	17	19
보강재의 개수	8	8

μ GA와 SGA의 결과가 다르게 나타났다. 하지만 앞에서 제시한 적합도 평가 기준에 따르면 두 결과의 적합도는 크게 차이가 나지 않는다. 계산 효율면에서는 앞 선 문제에서와 같이 μ GA가 좋게 나왔다.

보강재가 삽입된 복합재 적층 구조물의 선형 좌굴 하중을 최대로 하기 위한 최적설계를 μ GA와 SGA를 적용시켜 그 결과를 비교해 보았다. 비교 결과 μ GA이 적은 계산량을 사용하면서도 비슷한 수준 혹은 좀 더 뛰어난 결과를 보여주었다. 이는 방대한 계산 시간을 요하는 비선형 구조해석과 연계한 복합재 구조물의 최적설계에 마이크로 유전자 알고리즘이 보다 효율적임을 보여주고 있다.

참고문헌

- (1) R. L. Riche and R. T Haftka, "Optimization Laminate Sequence for Buckling Load Maximization by Genetic Algorithm," *AIAA Journal*, Vol. 31, No. 5, 1993
- (2) V. B. Gantovnik, Z. G. Gurdal, and L. T. Watson, "A genetic algorithm with memory for optimal design of laminate sandwich composite panels", *Composite Structures*, Vol. 58, pp.513-520, 2002.
- (3) K. Krishnakumar, "Micro-genetic algorithms for stationary and non stationary function optimization," *In SPIE Proceeding : Intelligent Control and Adaptive Systems*, pp. 289-296, 1989.
- (4) 오세희, "효율적인 메타모델 기법을 적용한 복합재료 구조물의 최적설계", KAIST, PhD Thesis, 2005.

4. 결론