論 文

大 韓 造 船 學 會 論 文 集
第 31 卷 第 4 號 1994年 11月
Transactions of the Society of
Naval Architecture of Korea
Vol. 31, No. 4, November 1994

유전적 알고리즘에 의한 선체 구조물의 이산적 최적설계

양영순*, 김기화*, 유원선**

Discrete Optimum Design of Ship Structures by Genetic Algorithm

by

Y. S. Yang*, G. H. Kim* and W. S. Ruy**

요 약

선체의 구조설계는 최적화 방법을 이용하여 상당히 오래 전 부터 최적 구조설계 방법을 사용해 오고 있었으나, 대부분의 경우, **設計變數**를 연속적인 **實數**로 가정하여 최적해를 구하거나, 아니면 **實數**와 **整數**가 혼합된 문제에 대해서는 뚜렷한 해결 방안을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 특히 최적해의 **局部** 최적성 내지는 **離散的** 변수 특성이 있는 최적설계 문제에 대해서는 몇개의 초기치를 사용하여 얻어진 최적해를 상호 비교하여 주어진 문제의 **全體的** 최적해를 구하고자 하였다. 많은 경우 이러한 방법은 확실한 대안이 되지 못하고 본질적인 문제점은 미해결로서 남아 있어 왔다. 그래서 본 연구에서는 생물의 진화 법칙을 모사한 **遺傳的** 알고리즘을 이용하여 선체 구조물의 최적설계시 고려해야 하는 보강재의 갯수를 **整數**로 취급하는 문제라든지 판 두께와 같이 **離散的** 특성을 갖는 설계변수 문제 **等**이 최적설계에 미치는 영향을 검토하여 보다 일반적인 최적화 방법으로서 **遺傳的** 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

Abstract

Though optimization method had been used for long time for the optimal design of ship structure, design variables in the most cases were assumed to be continuous real values or it was not easy to solve the mixed integer optimum design problems using the conventional optimization methods. Thus, it was often tried to use various initial starting points to locate the best optimum point and to use special method such as branch and bound method to handle the discrete design variables in the optimization problems. Sometimes it had succeed, but the essential problems for dealing with the

접수일자 : 1994년 9월 2일, 재접수일자 : 1994년 11월 11일

* 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

** 정회원, 서울대학교 대학원 조선해양공학과

local optimum and discrete design variables was left unsolved. Hence, in this paper, Genetic Algorithms adopting the biological evolution process is applied to the ship structural design problem where the integer values for the number of stiffener design variables or the discrete values for the plate thickness variables would be more preferable in order to find out their effects on the final optimum design. Through the numerical result comparisons, it was found that Genetic Algorithm could always yield the global optimum for the discrete and mixed integer structural optimization problem cases even though it takes more time than other methods.

1. 서 론

기존의 최적화 방법의 문제점 중의 하나는 전체 최적점(global optimum)을 효과적으로 구현하기가 어렵다는 것이다. 이는 확정론적 탐색방법을 사용하여 국부탐색에 의존하기 때문이다. 따라서 전체 최적점을 구하기 위해 초기점을 달리하여 여러 번 최적화 계산을 반복하여 그 중 가장 좋은 결과를 취하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법에 의한 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 다수의 초기점에 대해 설계가능 영역 전 구간에 대한 검토가 요구되나, 설계변수가 많고 제한조건이 복잡한 경우에는 적절한 초기점 선정에 많은 어려움이 따른다. 그리고 기존의 방법의 또다른 문제점은 **整數** 및 **離散的** 설계변수의 처리가 매우 어렵고 번거롭다는 것이다. 기존의 방법에서는 이러한 문제의 해결을 위해 먼저 모든 설계변수를 실수로 가정하여 최적점을 구한 후, 구한 최적점에 대해 branch & bound 방법을 사용하여 최적점을 구하였다. 이 과정은 매우 번거롭고, 또한 국부 탐색을 여전히 사용하므로 위에서 언급한 전체 최적점에 대한 신뢰도는 매우 떨어진다고 할 수 있다. 하지만 공학에서 취급되는 설계 문제의 대부분의 설계변수는 **離散的** 성격을 가지고 있으며, 본 연구에서 다루어지는 선체 중앙단면도 보강재의 갯수와 치수, 판 두께 등의 **離散的** 설계변수을 상당히 포함하고 있어 이에 대한 연구가 요망된다.

따라서 이러한 문제점들을 극복하기 위해 본 연구에서는 **遺傳的** 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 사용하였다. **遺傳的** 알고리즘은 생명체의 진화과정을 모사한 방법으로 1975년 John Holland[1]와 그의 연구진들이 기존의 GA에 대한 연구를 종합, 체계화 시켰으며, 공학분야에서는 Goldberg[2][3]에 의해 개스 송수관에 대한 최적설계가 시도된 이래 많은 발전이 있었다. **遺傳的** 알고리즘은 다수의 설계점이 집단을 이루어 탐색을 행하여 설계영역 전체의 정보를 이용하므로 전체 최적점에 도달할 가능성이 타 방법에 비해 월등하며, 설계변수의 실제 값 대신 **離散的** 형태에 적합한 코드 형식의 문자열을 사용하므로, **整數** 또는 **離散的**설계변수를 포함하는 최적화 문제에 매우 효과적으로 사용할 수 있다. 또한 **遺傳的** 알고리즘은 범용성이 매우 뛰어난 장점을 가지고 있어, 선체 중앙단면과 같이 다양한 형태의 인자들이 결합되어 있는 문제에 효과적으로 사용할 수 있다.

2. Genetic Algorithms

Genetic Algorithms(GA)은 다아윈이 주장한 자연진화의 법칙인 적자생존(survival of fittest)과 자연도태(natural selection)의 원리를 토대로 하여 정립된 최적화 알고리즘이다. GA는 이러한 생명체의 자연진화 법칙을 일반 최적화 문제에 적용한 방법으로, 설계영역에 다수의 설계점을 분포시켜 목적함수 값과 제한조건의 위반 정도에 따라 각 설계점에 적합성(fitness)을 부여한다. 적합성이 클수록 다음 단계인 교배와 돌연변이의 과정에 참여할 확률을 크게 하여(selection) 적합성이 좋은 설계점에 비슷한 형질을 가진 설계점들이 다음 단계에 보다 많이 형성되어 계산이 진행 될수록 전체 설계점들은 좋은 방향으로 탐색이 진행된다.

2.1 Genetic Algorithms의 특징

GA는 기존의 최적화 방법과는 다른 다음과 같은 특징이 있다.[3]

(1) 설계변수로 코드를 사용

GA는 설계변수를 실제 값을 직접 사용하는 대신 (2진수) 코드 형태의 문자열 (string)을 사용한다.(예; 100101) 이러한 문자열 형태의 설계변수의 사용은 염색체에 유전인자가 나열해 있는 것과 같은 형태를 지

니고 있어 교배와 돌연변이의 변환 과정을 수행하기가 매우 단순하고 편리하며, 설계변수 벡터 사이의 유사성(similarity template)을 효과적으로 가지게 된다. 또한 이러한 문자열은 **離散的**인 성질을 지니고 있어 정수 또는 **離散的** 설계변수를 포함하는 혼합형 최적화 문제에 효과적으로 사용할 수 있다.

(2) 다수의 설계점들이 집단 탐색

대부분의 최적화 방법이 한점에서 한점으로의 이동에 의한 국부적인 탐색과정을 가지는 반면에, GA는 여러개의 설계점들이 집단(population)을 이루어 동시에 탐색을 행하여 보다 넓은 설계영역에 대한 정보를 활용하고, 설계변수 벡터의 유사성에 의해 설계영역의 여러 부분을 동시에 탐색하는 능력이 있어, 전체 최적점에 수렴할 확률이 기존의 방법에 비해 상대적으로 매우 크다.

(3) 직접 탐색방법

GA는 목적함수와 제한조건의 값만을 사용하고 미분값이나 그 외의 다른 정보를 필요로 하지 않는 직접 탐색방법을 이용하므로 실제 구조물의 설계와 같은 복잡하고 다양한 환경의 최적화 문제에 적합하며 또한 기본 모델의 변경으로 인한 수정이 용이하다.

2.2 Genetic Algorithms에의한 최적설계

2.2.1 최적화 과정[4]

일반적으로 구조설계의 최적화 문제는 다음과 같이 표시된다.

$$\text{Find} \quad X=(x_1, x_2, \ldots, x_n) \qquad (1)$$

$$\text{such that minimize} \quad F(X)$$

$$\text{subject to} \quad g_i(X) \geq 0 \ , \ i=1,2,\ldots,m$$

이와같은 문제를 GA에 의해 최적화를 수행하기 위해 필요한 최적화 과정은 다음과 같다.

(1) 설계상수의 결정

설계점의 수 (ipopsize), 문자열의 길이,
교배 및 돌연변이 확률 (Pc, Pm)

(2) 초기 설계집단(initial population) 형성

ipopsize 개의 2진수 문자열 형태의 초기 설계점 집단을 형성한다. 문자열의 각 bit 는 0과 1 둘중의 값을 random 하게 가진다. 따라서 설계점들은 초기에 설계영역 안에 골고루 분포하게 된다.

(3) 적합성 계산

문자열로 표시된 설계변수를 주어진 설계영역으로 선형변환 시켜 각 설계변수의 실제 값을 계산한 뒤에, 목적함수와 제한조건의 위반 정도에 따라 각 설계점에 적합성을 부여한다. 제한조건의 위반 정도는 다음과 같이 위반함수(P)를 사용하여 평가한다.

$$P(x, r) = F(x) + r\sum_{i=1}^{m}[\ \min(g_i(x), 0)]^2 \qquad (2)$$

여기서 r 은 위반상수를 의미한다. 그리고 좋은 설계점은 적합성을 크게 하여 주어야 하는데, 최소화 문제에서는 최소점이 위반함수의 값이 최소가 되므로 다음과 같이 적합성의 크기를 조정한다. 그리고 주의할 점은 다음단계인 도태의 과정에서 각 설계점의 적합성의 크기에 비례하여 재구성하므로 적합성은 **陽**의 값을 가지도록 하는 것이다.

$$f(x) = P_{max} - P(x) \quad or \quad 1 \ / \ P(x) \qquad (3)$$

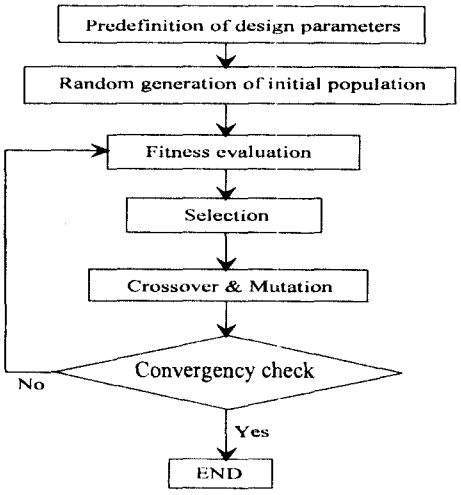


Fig. 1 Flow chart of genetic algorithms

(4) 다음은 도태, 교배 그리고 돌연변이의 과정을 초기에서 정한 집단과 같은 수의 새로운 집단이 형성될 때 까지 되풀이 한다. 교배와 돌연변이의 조작은 임의의 random number를 발생하여 그 값이 초기의 주어진 확률값 (P_c, P_m) 보다 작을 때 수행한다.

(5) 새로이 형성된 설계점들 가지고 (3)단계 부터

적절한 수렴조건을 만족하면 또는 적당한 수의 반복 계산이 완료되면 종료한다. GA에 의한 단점중의 하나가 적절한 수렴조건을 찾기가 힘들다는 것이다. 최적화의 흐름상 고려될 수 있는 수렴조건은 대부분의 설계점이 같은 점에 수렴했을 때 즉 교배에 의해서는 더 이상 좋은 방향으로 개선이 불가능할 때인데, 여기까지 각 설계점이 발전하기에는 너무 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 계산횟수의 제한으로 최적화를 종료하였으며, 수렴조건에 대해서는 차 후 연구가 요망된다(예; adaptive move limit technique). 이상의 최적화 과정을 흐름도로 나타내면 Fig. 1 과 같다.

2.2.2 수학적 함수의 최적화

GA의 유용성을 검토하기 위해 다음과 같은 2개의 수학적 함수에 대한 최적화를 수행하여 그 결과를 기존의 방법과 비교 검토하였다.

(1) TEST 함수

minimize

$$F(x) = x_1 + 2x_2 \qquad (4)$$

subject to

$$g_1 = \frac{x_1^2 + (x_2-5)^2}{25} - 1 \geq 0$$

$$g_2 = \frac{(x_1-5)^2 + x_2^2}{25} - 1 \geq 0$$

$$g_3 = x_1 - 1 \geq 0\ ,\ g_4 = x_2 - 1 \geq 0$$

局部 최소점의 위치 및 목적함수 값은 다음과 같다.

X^* = (1.00, 9.90) F^* = 20.80
(5.00, 5.00) 15.00
(9.90, 1.00) 11.90 (global optimum)

상기 문제의 전체 최적점을 찾기 위해 GA를 비롯하여 확정론적 방법인 Gradient Projection method (GPM)와 Simplex method(SUMTNM)를 사용하였다. Fig. 2 에서 알 수 있듯이 **局部** 최소점이 존재하는 영역으로 설계점이 들어간 경우 기존의 방법은 **局部** 최소점을 벗어나지 못하나 GA는 전체 최적점에 수렴하는 경향을 보여주고 있다.

(2) Goldstein-Price 함수 (GP)

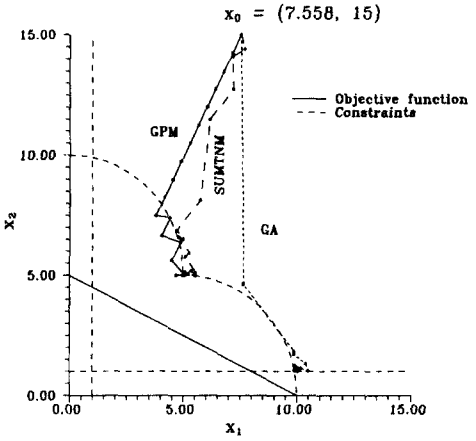


Fig. 2 Optimization results of the TEST function

minimize

$$F(x) = [\ 1+(x_1+x_2+1)^2 \qquad (5)$$
$$\times(19-14x_1+3x_1^2-14x_2+6x_1x_2+3x_2^2)]$$
$$\times[\ 30+(2x_1-3x_2)^2$$
$$\times(18-32x_1+12x_1^2+48x_2-36x_1x_2+27x_2^2)]$$
$$-2.0 \leq x_i \leq 2.0\ ,\quad i=1,2$$

4개의 **局部**최소점이 존재하며 그값은 다음과 같다.

X^* = (1.2, 0.8) F^* = 840.0
(-0.6,-0.4) 30.0
(1.8, 0.2) 84.0
(0.0,-1.0) 3.0 (global optimum)

그리고 GP 함수외의 다른 함수(Hartmann 함수, Shekel 함수)에 대해서도 GA에 의해서는 초기집단을 바꾸어서 再계산 해보고, GPM과 SUMTNM에 대해서는 초기점 변경을 통해 여러번 계산을 해 보았다. 그 결과를 Table 1에 수록 하였는데, GA는 항상 전체 최적점에 잘 도달 하였고, GPM 과 SUMTNM 은 여러 초기점의 절반 정도에서만 전체최적점에 도달하였

고, Shekel 함수의 경우는 전부 局部 최소점에 수렴하였다.

Table 1 The comparison of the ratio, m/N for different optimization methods

Problem type	G A	G P M	SUMTNM
TEST	2/2	2/5	2/5
GP	2/2	2/5	3/5
Hartmann	2/2	1/2	1/2
Shekel	2/2	0/3	0/3

m : the number of finding global optimum
N : total number of starting points

2.3 離散的 설계변수 문제의 최적화

2.3.1 보강판의 최적 구조설계

GA가 가지는 특징 중의 하나인 **離散的** 변수의 처리의 간편성에 대해 살펴보기 위해 Fig. 3 과 같은 보강판에 대해 길이와 횡 방향으로 구성된 보강재의 갯수, 판의 두께 그리고 보강재의 형상을 설계변수로 하여 최적설계를 수행하였다. 그리고 기존의 최적화 방법 중 **離散的** 설계변수의 취급이 비교적 간편하다고 알려져 있는 Hooke & Jeeves 방법(SUMTHJ)의 결과와 비교 검토하였다. 목적함수와 제한조건은 다음과 같으며, 자세한 내용은 문헌 [5]를 참조하기 바란다.

minimize

F = Total weight of stiffened plate

subject to

g_1 = panel buckling by axial stress

g_2 = plastic collapse of panel by lateral pressure

g_3 = tosional buckling of stiffener only

g_4 = buckling of beam

g_5 = global buckling of stiffened panel

$g_{6,7}$ = plastic collapse of beam

g_8 = plastic collapse of stiffened panel

$$1 \le n, m \le 8$$

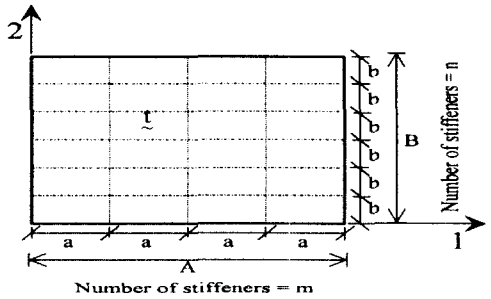
$$1.0 \le t \le 2.4$$

$$20.0 \le d_w \le 55.0$$

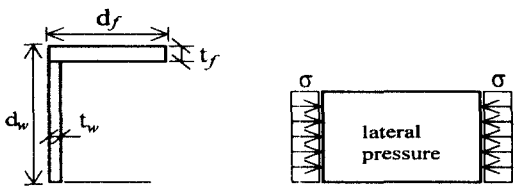
$$0.9 \le t_w \le 1.25$$

$$9.0 \le d_f \le 16.0$$

$$1.4 \le t_f \le 2.1$$



(a) Geometry of the stiffened plate



(b) Geometry of a stiffener (c) Applied loads

Fig. 3 The stiffened plate problem

각 설계변수는 상,하한 치를 포함하여 8개의 값으로 등 간격 하였다. 따라서 본 문제는 설계변수가 11개이므로 취할 수 있는 경우의 수가 $2^{33} = 8.59 \times 10^9$ 개가 된다. 그리고 설계모델의 각 치수 및 상수 값은 다음과 같다. 하중은 면내하중(σ)을 지배적으로 작용시켰으며, 그 값은 2차 부재에 걸리는 응력(secondary stress, σ_2)의 허용치 보다 조금 작게 하였다.

A =10 m $\quad \sigma_y = 2.36 \times 10^8\ N/m^2$

B = 10 m $\quad E = 2.06 \times 10^{11}\ N/m^2$

Lateral pressure $P_{lateral} = 2.45 \times 10^4\ N/m^2$

Applied axial force $\sigma = 1.57 \times 10^8\ N/m^2$

Table 2 Optimum designs of the stiffened plate

	G A	SUMTHJ		
		Discrete	Continuous (1)	Round up(2)
n	8	6	8	8
m	1	1	4	4
t (이하 cm)	1.8	2.2	1.625	1.8
d_{w1}	35.0	20.0	20.0	20.0
t_{w1}	0.9	0.9	0.975	1.0
d_{f1}	11.0	9.0	9.0	9.0
t_{f1}	1.5	1.4	1.425	1.5
d_{w2}	20.0	30.0	20.0	20.0
t_{w2}	0.9	0.9	1.1	1.1
d_{f2}	9.0	10.0	9.0	9.0
t_{f2}	1.4	1.5	1.8	1.8
Weight (cm^3)	2092800	2482600	2059900	2239600
Active constraints	g_5	g_5	g_1, g_5	violate g_5
Comp.(3) time(sec)	3.31	0.16	0.38	

(1) : n, m : integer, others : continuous

(2) : round up continuous optimum values to discrete values

(3) : by IBM 486

이상의 최적화문제에 대해 GA와 SUMTHJ에 의해 해석한 결과는 Table 2 와 같다. GA는 설계집단의 설계점의 수를 20으로 하였으며 결과는 **離散的** 조건에서 SUMTHJ에 비해 양호한 결과를 주었다. 그래서 SUMTHJ를 설계 변수 중 보강재의 갯수 n, m 만 **整數**로 취급하고 나머지는 연속 변수로 취급하여 최적설계를 수행하였더니 그 결과는 더 좋아졌다. 하지만 이를 **離散的** 설계변수 값으로 올림(round up)한 결과는 GA에 의한 결과 보다 좋지 않았으며 또한 제한조건 중의 하나를 위반하는 결과를 얻었다. 따라서 SUMTHJ를 사용하여 **離散的** 변수에 대한 최적 설계시 설계변수를 연속변수로 가정하여 구한 결과를 가까운 **離散的** 설계변수로 치환하는 것은 바람직 하지 못하다. 또한 전체 최소점을 구하기 위해 수 많은 초기점에 대해 반복 계산을 수행 하는 경우, 초기점의 설정이 본 문제와 같이 경우의 수가 많은 때는 쉽지 않다. 그리고 최소점에서 제한조건을 조사해 본 결과 본 설계모델이 **面外** 횡하중에 비해 **面內** 하중이 지배적인 문제이므로 좌굴에 대한 제한조건이 영향력이 컸으며, 그 중 보강판의 전체 좌굴이 가장 민감하게 나타났다. SUMTHJ의 연속변수에 대한 최적설계 결과는 g_1과 g_5가 모두 민감하게 나타나 보강판의 최적점은 local strength와 global strength가 일치하는 점에 존재함을 알 수 있다. 하지만 선체 갑판 부분과 같은 실제 구조물의 설계 시에는 구조물 전체의 좌굴은 치명적인 손상을 가져오므로 global strength가 local strength 보다 크게 설계하는 것이 합리적인 것으로 사료된다. 그리고 계산시간은 GA가 SUMTHJ에 비해 상당히 많이 소요되었다. 하지만 GA에 의한 계산 시간이 비교적 작은 범위에 있고, 그 결과가 SUMTHJ는 여러 초기점에 대한 반복 계산을 필요로 함을 감안 할 때 많은 차이가 아님을 알 수 있다.

이상에서 GA는 **離散的** 설계변수를 가지는 최적화 문제에서 매우 효과적으로 사용할 수 있고, 또한 결과에 대한 신뢰도가 매우 높음을 알 수 있다.

2.3.2 Pressure vessel의 최소비용 설계

Fig. 4와 같은 원기둥형 pressure vessel에 대해 재료비, 가공비 및 용접비를 고려한 전체 건조비를 최소화 하려 한다. 설계변수는 원기둥 부분의 외판두께(T_s), 머리 부분의 외판두께(T_h), 원기둥 부분의 내경(R)과 길이(L)를 고려하였다. 그리고 이들 설계 변수 중 R과 L은 **實數型** 변수를, T_s 와 T_h는 0.00625 인치 간격으로 **離散的** 설계변수를 사용하였다. 최적화 모델을 나타내면 다음과 같다.

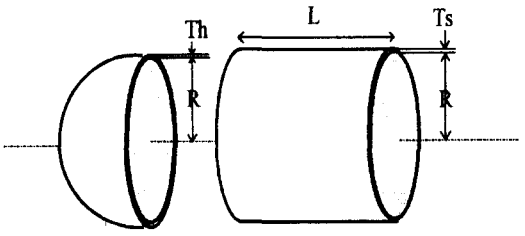


Fig. 4 The pressure vessel problem

Find

$$X=(T_s,\ T_h,\ R,\ L)=(x_1,\ x_2,\ x_3,\ x_4) \quad (6)$$

minimize

$$F(x) = 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3$$

subject to

$$g_1(X) = 0.0193x_3 - x_1 \geq 0$$

$$g_2(X) = 0.00954x_3 - x_2 \geq 0$$

$$g_3(X) = \pi x_3^2x_4 + \frac{4}{3}\pi x_3^3 - 1296000 \geq 0$$

$$g_4(X) = 240. - x_4 \geq 0$$

본 문제를 Sandgren[6]은 branch and bound 방법에 의해, Kannan과 Kramer[7]는 augmented Lagrange multiplier 방법에 의해 최적해를 구하였다. 이들의 결과를 GA에 의한 결과와 비교 검토하였으며, 그 결과를 Table 3 에 실었다. 결과 비교에서 알 수 있는 바와 같이 GA가 **實數**와 **離散的** 변수가 혼합된 문제에서도 좋은 결과를 주고 있음을 확인 하였다. 특히 본 문제에 적용된 branch and bound 방법과 augmented Lagrange multiplier 방법의 복잡성을 감안할 때 본 연구에서 사용된 GA의 단순성은 **離散的** 설계 변수의 최적화 방법으로서 대단히 유용하다고 볼 수 있다.

Table 3 Comparison of optimum design results for the pressure vessel problem

Design variables	Types of variables	Sandgren	Kannan and Kramer	GA
$x_1(T_s)$	Discrete	1.125	1.125	0.8125
$x_2(T_h)$	Discrete	0.625	0.625	0.5625
$x_3(R)$	Continuous	47.700	58.291	41.574
$x_4(L)$	Continuous	117.001	43.690	183.790
$F(X)$		8129.8	7198.2	6521.0

3. GA를 이용한 선체 중앙단면의 최적화

3.1 대상 선체

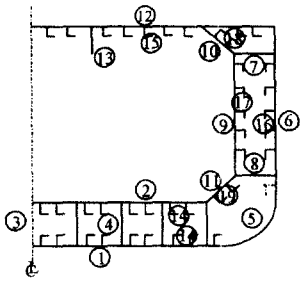
다음 Table 4 에서 보이는 Basic parameters 를 가지는 Tanker Type I 를 모델 선체로 택했다.

Table 4 Basic parameters of ship

Tanker Type-I Midship	
Part	Value(m)
Length	171.90
Breadth	32.20
Depth	18.60
Inner Bottom Breadth	25.16
Inner Bottom Height	2.10
Hopper Tank Breadth	3.52
Hooper Tank Height	4.60
TopSide Tank Breadth	3.52
TopSide Tank Height	2.80
SideShell Breadth	2.00
Bilge Radius	1.70

3.2 설계 변수

중앙 단면 전반의 평판 두께와 각 평판의 보강재의 갯수를 설계 변수를 택하였다.



x[1] : Outer Bottom Plate
x[2] : Inner Bottom Plate
x[3] : Center Girder Plate
x[4] : Side Girder Plate
x[5] : Bilge Plate
x[6] : SideShell Plate
x[7] : Stringer1Plate
x[8] : Stringer2 Plate
x[9] : SideBulkhead Plate
x[10] : TopSideBulkhead Plate
x[11] : HopperSideBulkhead Plate
x[12] : Deck Plate
x[13] : Deck Girder Plate
x[14] : Outer & Inner No. of Stiffener
x[15] : Deck No. of Stiffener
x[16] : SideShell No. of Stiffener
x[17] : Side BulkHead No. of Stiffener
x[18] : TopSideBulkhead No. of Stiffener
x[19] : HooperBulkHead No. of Stiffener

Fig. 5 Design variables of the midship

3.3 목적함수와 제한조건

목적함수는 선체 중앙단면의 단면적이고 DnV Rule 에 의한 각 부재의 두께와 deck, bottom part의

buckling과 중앙단면의 단면 계수를 제한조건으로 한다.

$$F(\vec{x}) = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_{19}x_{19}$$

- F : midship half area
- a_n : geometric coefficient
- x_n : design variable

$$G_i = x_i - t_i \geq 0$$

$$G_j = \sigma_{c(j)} - \frac{\sigma_{cal(j)}}{\eta} \geq 0$$

$$G_k = Z_{cal(k)} - Z_{req} \geq 0$$

$(k=1: deck\ part\ ,\ k=2: bottom\ part)$

- G_i : plate thickness constraint
  - i = 1 ... 13
- G_j : buckling constraint
  - j =1 : outer bottom η = 0.9
  - j =2 : inner bottom η = 0.9
  - j =3 : deck η = 1.0
- G_k : section modulus constraint

3.4 최적화 결과

DnV Rule의 제한조건하에 GA를 통해 선체 중앙단면의 단면적의 최적화[8]를 수행하였다. 설계 변수로 선택된 plate thickness는 **離散的**인 것으로 가정하여 다음 중 하나에서 선택되도록 하였다.

〈8, 8.5, 9, 9.5, .., 22.5, 23, 23.5〉

(단위:mm)

즉 8 와 23.5 사이를 2^5-1 개로 나눈 값들이다. Stiffener의 경우에는 1 과 32 사이 정수 중에서 하나를 선택하게 하였다. 결국 plate , stiffener의 변수는 2^5 개수 중에서 하나가 선택 되도록 하였다. Fig. 5 에서 설계변수를 보면 plate 변수는 13 개, stiffener 변수는 6개가 되므로 $(2^5)^{13} \times (2^5)^6 = 3.96 \times 10^{28}$ 의 경우의 수에서 최적점을 찾는 문제가 된다. 그런데 Fig. 6 을 보면, GA 를 이용한 결과 170번의 generation 과 100 개의 설계점을 이용하여 최적점에 접근 하였으므로 $\frac{170\times100}{3.96\times10^{28}} = 4.29\times10^{-25}$ 로 상당히 작은 구역의 탐색으로 최적해가 얻어졌다고 볼 수 있다. 이처럼 경우의 수가 많은 전체 최적화 문제에 대해 본 연구에서 사용된 GA 의 최적화 방법은 기존의 최적화 방법에 비해 그 유용성이 대단히 크다고 할 수 있다.

Table 6 는 GA와 Hook & Jeeves method(이하 HJ)의 계산 결과와 실적선의 값을 나타내는 것이다. HJ의 경우 초기 값을 달리하고 step size의 제한을 두어 변수의 **離散化**를 이루었다. 또 GA의 결과를 HJ로 검증하여 더 이상의 좋은 결과가 없음을 확인하였다. 위의 결과를 보면 HJ의 경우 초기 값을 달리하여 나온 결과 값이 모두 다름을 알 수 있고 GA에 비해 초기치의 설정에 의한 전체 최적점을 검색하는 문제점과 이산화된 설계 변수의 처리 면에서 뒤 떨어짐을 알 수 있었다. 한편 이때 사용된 stiffener 의 spec. 은 Table 5 에 실었다.

4. 결 론

생명체의 자연 진화 법칙에 근거한 **遺傳的** 알고리즘의 유용성을 선체 중앙단면 설계 모델에 대한 최적설계를 행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 여러 개의 **局部** 최소점이 존재하는 다양한 종류의 문제에 대해 기존의 확정론적 최적화 방법은 초기점에 따라 그 주위의 국부 최소점에 수렴했으나 **遺傳的** 알고리즘은 전체 최소점에 잘 도달하였다. 따라서 다수의 설계점들에 의해 집단 형태로 탐색하여 설계영역 전체의 정보로 활용하는 **遺傳的** 알고리즘이 전체 최적점의 구현에 매우 우수함을 알 수 있다.

(2) 공학설계 문제의 상당부분을 차지하는 **離散的** 설계변수의 처리에 **遺傳的** 알고리즘은 매우 효과적이다. 즉 **離散的** 성질을 가지고 있는 2진수 코드를 사용함으로써, **離散化**된 설계변수와 코드와 일대일 대응만 시켜주고 별도의 다른 계산을 필요로 하지 않는다. 보강판과 pressure vessel의 최적설계에서도 보여 주듯이 기존의 방법(Hooke and Jeeves, branch and bound, augmented Lagrange multiplier)에 비해 **解**

의 정도가 우수 했으며, 최적화의 모델링 과정은 월등하게 단순하다.

(3) GA는 다수의 설계점들의 집단 탐색으로 최적화가 이루어 지므로 계산 수행시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 전문가 시스템의 지식베이스를 이용하려는 연구가 요망된다.

후 기

이 논문은 1993년도 학술 진흥 재단 자유 공모 과제의 연구 조성비에 의해 연구되었으며, 차제에 관계자 여러분께 심심한 감사를 표한다.

Table 6 stiffener spec.

Spec.	web length (mm)	web thickness	flange length	flange thickness
1	150	8	90	13
2	200	9	90	14
3	250	10	90	15
4	250	12	90	16
5	300	11	90	16
6	300	13	90	17
7	400	11.5	100	16
8	400	13	100	18
9	450	11.5	150	15
10	450	11.5	125	18
11	500	12	150	18
12	550	12.5	150	21
13	600	13	150	23

Table 5 Optimum Results of Midship Section obtained by GA & HJ

Design Variable	GA		Hook & Jeeves												Exist Ship	
			Initial		Result		Initial		Result		Initial		Result			
Plate (mm)																
x[1]	13		14		13		15		15		13		13		14.5	
x[2]	11		14		15		15		13		11		11		13.5	
x[3]	13		14		13		15		13		13		13		13.5	
x[4]	11.5		14		13		15		13.5		11.5		11.5		11	
x[5]	13		14		14		15		13.5		13		13		14.5	
x[6]	14		14		13.5.		15		14.5		14		14		13.5	
x[7]	10.5		14		13.5		15		15.5		10.5		10.5		11	
x[8]	10		14		13.5		15		13.5		10		10		11	
x[9]	12		14		14		15		14.5		12		12		11.5	
x[10]	15.5		14		14		15		14.5		15.5		15.5		14	
x[11]	12		14		13		15		14.5		12		12		10	
x[12]	16		14		14.5		15		15.5		16		16		14	
x[13]	15		14		14.5		15		15.5		15		15		13	
Stiffener																
	No.	Spec.	No.	Spec.	No.	Spec.	No.	Spec.	No.	Spec.	No.	Spec.	No.	Spec	No.	Spec.
x[14]	24/24	1/1	30/30	1/1	32/32	1/1	20/20	1/1	18/18	1/1	24/24	1/1	24/24	1/1	18/13	5/4
x[15]	28	1	30	1	32	1	20	1	26	1	28	1	28	1	25	2
x[16]	21	2	30	1	28	1	20	1	20	2	21	2	21	2	22	3
x[17]	7	3	5	1	5	5	10	1	6	3	7	3	7	3	14	3
x[18]	5	1	5	1	5	1	10	1	12	1	5	1	5	1	3	3
x[19]	5	2	5	1	5	2	10	1	8	1	5	2	5	2	3	5
Obj. (m*m)	1.553		1.705				1.656				1.553				1.610	

참 고 문 헌

[1] Holland, J.H., Adaptation in natural and artificial systems, Univ. Michigan, Ann Arbor, MI, 1975.

[2] Goldberg, D.E., "Computer-aided gas pipeline operation using genetic algorithm and rule learning," Ph. D. thesis, Dept. Civil Eng., Univ. Michigan, 1983.

[3] Goldberg, D.E., Genetic algorithms in search, optimization & machine learning, Addison-Wesley, 1989.

[4] 김기화, "Genetic Algorithm에 의한 다목적함수 최적구조설계", 서울대학교 조선해양공학과 박사 학위논문, 1994.

[5] 양영순, 윤 장호, 김 기화, "보강판의 설계," 임상전 교수님 정년 퇴임 기념 논문집, 1992.

[6] Sangren, E.,"Nonlinear integer and discrete programming in mechanical design," *Proceedings of the ASME Design Technology Conference*, Kissimmee, FL, 1988.

[7] Kannan, B.K. and Kramer, S.N., "An augmented Lagrange multiplier based method for mixed integer discrete continuous optimization and its applications to mechanical design," *Journal of Mechanical Design*, June, Vol. 116, 1994.

[8] Tetsuo, O. and Isao, N., "Optimization of Ship Structural Design by Genetic Algorithm," 일본조선학회논문집 제 171호, 1992년 12월.