

## 망간단괴 수송선의 최적화와 경제성 평가에 관한 연구

박재형\* · 윤길수\*\*

\*부경대학교 해양공학과

\*\*부경대학교 대학원

## A Study on Optimization of Manganese Nodule Carrier and its Economic Evaluation

JAE-HYUNG PARK\* AND GIL-SU YOON\*\*

\*Graduate School, Pukyong National University

\*\*Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University

**KEY WORDS:** Manganese Nodule 망간단괴, Transportation 수송, Optimization 최적화, Genetic Algorithm 유전알고리즘, Economic Evaluation 경제성 평가

**ABSTRACT:** 선박 설계시 최적화에 있어 종래에는 Random search, Parametric study, Hook&Jeeves Method 등이 사용되어져 왔으나 1960년대 Genetic algorithm이 소개되고 꾸준히 발전함과 함께 선박 설계에서도 Genetic algorithm이 사용되기 시작하였다. 본 논문에서는 이러한 Genetic algorithm 중 Simple Genetic algorithm(SGA), Micro Genetic algorithm(MGA), Threshold Genetic algorithm(TGA), Hybrid Genetic algorithm(HGA)을 선박 설계에 적용하여 그 성능을 비교 검토해 보았다. MGA는 계산 부담을 줄이기 위해 작은 개체로 효율적인 탐색을 하며, TGA는 local optimum에서 쉽게 벗어나게 할 수 있는 특징이 있다. HGA는 Hook&Jeeves Method를 Genetic algorithm과 병합되어 있다. 이를 바탕으로 본 논문에서 망간단괴 수송선의 경제성을 평가한다. 평가 방법은 연간 300만톤을 생산한다고 가정하여 연간 운송 용적을 등호제약으로 해서 최적화를 한 뒤, 이를 이용하여 몇 가지 Case로 나누어서 초기 자본, 연간 비용, 20년간 총 비용을 계산하여 가장 경제적인 선박을 선택한다.

### 1. 서 론

초기 선박 설계과정에서의 최적설계라 함은 선박의 모든 제약조건(선주의 요구조건, 현재 기술력의 한계, 경제적 요인 등)을 만족하는 가장 우수한 선박을 선택하는 것이라 할 수 있다. 하지만 종래의 Random search, Parametric study, Hook&Jeeves Method 등은 탐색 시간, 효율이 떨어져 오랜 시간이 걸리거나 Local optimum에 빠질 가능성이 크다. 하지만 이러한 단점을 극복하는 Genetic algorithm이 1960년대부터 꾸준히 발전을 해 왔다.

Genetic algorithms는 여러 연구자들에 의해 각각 특정한 함수에서 그 우수성이 입증되어진다. 이에 본 연구에서는 Genetic algorithms의 기본이 되는 Simple Genetic algorithm(SGA), 작은 개체수로 탐색효율을 높인 Micro Genetic algorithm(MGA), 비선형 문제에 좋은 탐색 능력을 보이는 Threshold Genetic algorithm(TGA), 그리고 Hook&Jeeves Method와 병합한 Hybird Genetic algorithm (HGA)을 수송선박 설계에 적용하여 비교 검토 한다.

이러한 Genetic algorithm을 이용하여 망간단괴 수송선의 경제성을 평가하고자 한다.

### 2. 유전알고리즘

#### 2.1 유전알고리즘의 기본개념 및 특징

기존의 최적화 기법의 가장 큰 문제는 최적점이 국부적인 최적점인지 전역적인 최적점인지를 판단하는 것이 매우 어려웠다. 그러나 유전 알고리즘은 탐색 공간 내에서 탐색점을 여러 점에서 동시에 탐색하기 때문에 기존의 방법 보다 전역적인 최적해를 찾을 확률이 크다.

유전 알고리즘의 탐색과정은 크게 초기화(initialization), 재생산(reproduction), 교배(cross-over), 돌연변이(mutation) 4 단계로 구분된다. 초기화 단계에서는 초기 개체(individual)들을 해공간 내에서 무작위로 선택하거나 경험적인 방법으로 선택된다. 다음 단계에서는 개체가 복호화되어 적합도(fitness)를 평가하고, 적합도에 따라 재생산(reproduction)을 수행한다. 이는 교배(crossover)를 통해 집단 내의 정보만으로 변화를 시도하게 된다. 이 후, 유전 정보의 다양성을 유지하기 위해서 적절히 돌연변이(mutation)를 시도하게 된다. 이렇게 해서 새롭게 형성된 집단은 다시 평가되고 최적의 해가 발견 될 때까지 수행한 일련의 과정을 반복하게 된다. 이러한 탐색 과정이 Fig. 1에 나타난다.

이러한 유전알고리즘의 특징은 다음과 같다.

- 1) 문제의 파라미터를 직접 이용하기 보다는 이를 적절히 기호 표현하여 이용한다.
- 2) 하나의 해를 다루기 보다는 집단을 취급한다.
- 3) 이득함수 또는 목적함수 값만을 필요로 하고, 연속성, 미분 가능성이, 단봉성 등과 같은 다른 보조정보를 요구하지 않는다.
- 4) 유전 연산자들을 사용한다.
- 5) 얻어진 결과는 결정적이기보다는 확률적이다.

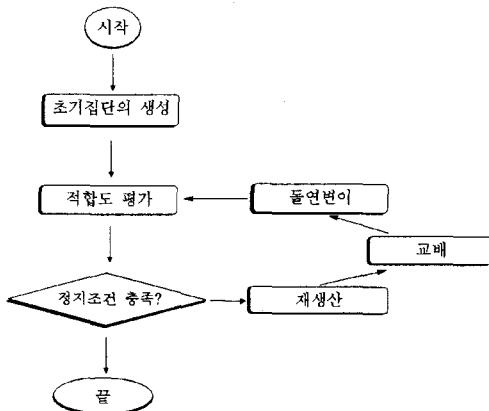


Fig. 1 Search procedure of genetic algorithm

## 2.2 Simple Genetic algorithm

단순 유전알고리즘(simple genetic algorithm : SGA)은 Holland에 의해 초기에 개발된 알고리즘임에도 불구하고 해를 찾는 능력이 강인하여 아직도 많은 최적화 문제에 응용되고 있다.

해 파라미터의 표현은 이진코딩(binary encoding)을 이용하며, 재상산 방법은 룰룰렛 훨 선택(roulette wheel selection), 교배 방법으로는 일점교배(one-point crossover), 돌연변이 방법으로는 단순 돌연변이(simple mutation)를 이용한다.

디코딩(decoding)방법은 다음과 같다.

$$x_i = \text{decimal}_{\text{bin}} \frac{\max - \min}{2^n - 1} + \min$$

$\text{decimal}_{\text{bin}}$ : 이진 스트링에 대한 십진수 정수의 값

$\max$ : 이 변수의 상한치

$\min$ : 이 변수의 하한치

$n$ : 이 변수에 배정된 스트링 길이

## 2.3 Micro Genetic algorithm

마이크로 유전 알고리즘(micro genetic algorithm :  $\mu$ -GA)은 Krishnakumar가 제안하였다.

$\mu$ -GA은 계산 부담을 줄이기 위해서 매우 작은 집단을 취급하므로 5개의 염색체로 구성되어 있으며 5개의 염색체로 재생산 연산자로 토너먼트 전략을 선택한다. 5번 염색체에는 최적 개체로 관리하게 된다. 교배연산자는 유전 정보의 다양

성을 위하여 교배 확률을 1.0을 배려한다.  $\mu$ -GA는 어느 한 점 가까이로 수렴하게 되면 수렴된 집단 내에 최적 개체와 임의로 발생된 나머지 4 개체로 재구성되는 새로운 집단을 가지고 재시동 하기 때문에 다양성이 충분히 유지되므로 돌연변이 연산은 수행하지 않는다.

## 2.4 Threshold Genetic algorithm

Threshold Genetic algorithm(TGA)은 2000년 H.Y Fan et al.에 의해 제안되었다.

TGA는 그 최적값이 국부적인 해인가 전역적인 해인가를 판별해서 그 돌연변이 확률을 달리 주는 방식이다. 해가 국부적인지 전역적인지의 경계를 판별하기 위해서 파라미터  $C$ 를 이용하게 된다.

전반적인 알고리즘 진행 과정은 SGA와 동일하며 돌연변이 연산에서 파라미터  $C$ 가 이용된다.

$f(x)$ 를 최대화 하는 문제일 경우에는 다음과 같다.

$$C(t) = f^2(x_t^0) - e$$

여기서,  $x_t^0$ 는 전 세대의 최적 개체이고,  $e$ 는 매우 작은 양의 상수이다. 만약  $f^2(x) > C(t)$  일 경우는 전 세대의 최적 개체가 국부 최적해이며, 그리하여 높은 돌연변이 확률을 반복일 경우 낮은 돌연변이 확률을 사용하게 된다.

하지만  $e$ 값은 초기세대부터 매우작은 값이 아니라 점차적으로 작아지게 된다.

## 2.5 Hybrid Genetic algorithm

하이브리드 유전 알고리즘(HGA)은 유전 알고리즘에 다른 최적 기법을 병합한 알고리즘이다. 본 논문에서 사용한 HGA는 D.K.Lee et al. 이 제안한 유전 알고리즘과 Hook & Jeeves method를 병합한 알고리즘을 사용한다.

알고리즘 진행과정은 SGA와 동일하고, SGA의 탐색이 끝난 이후 수행하는 일반적인 Hybrid Genetic algorithm과는 달리 SGA의 돌연변이 연산이후 처음에는 최근 5세대 동안의 최적 적합도 값이 변화가 없을 경우 Hook&Jeeves Method를 사용하고, 그 이후는 최적 적합도 값이 변화가 있을 시 사용하게 된다. 이는 처음에는 유전 연산자에 의해 되도록 최적점의 근처를 탐색한 이후 정확한 최적점을 찾기 위함이며, 그 이후에는 만약 변화가 있다면 기존의 점이 국부적 해이므로 다른 최적점을 찾기 위해 사용되어진다. 즉, Hook&Jeeves Method이 local optimum을 찾으며, Genetic algorithm은 새로운 다른 local optimum이 존재할만한 위치를 찾게 된다.

## 3. 각 알고리즘의 비교 분석

### 3.1 모델의 설정 및 적용

설계 모델은 Han[1]이 사용했던 경제성 모델을 사용하였

다. 이를 정식화 한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Find} \quad & x \in R^n \quad (n=1, \dots, i) \\
 \text{Minimize} \quad & RFR = f(L, B, D, C_B, V, T) \\
 \text{Subject to} \quad & 0.45 \leq L/B \leq 7.75, \quad 2.5 \leq B/T \leq 3.5 \\
 & GM_{\min} \leq GM, \quad 0.45 \leq V/\sqrt{L} \leq 0.9 \\
 & FB_{\min} \leq FB, \quad L/D \leq 14 \\
 & 0.64 \leq C_B \leq 0.8, \quad T \leq 13 \\
 & DWT = DWT_{\text{required}}
 \end{aligned}$$

선박은 5800마일을 운항하는 100,000 DWT급 Bulk-carrier를 선택하였고, 목적함수는 RFR(Require Freight Rate)를 이용하였다. 설계 변수는 선박의 길이(L), 폭(B), 깊이(D), 훌수(T), 선속(Vk), 방형계수(CB) 6개로 하였고, 설계 변수에 대한 상한치, 하한치, 분해능, String length는 Table 1과 같다.

Design val	Minimum	Maximum	Resolution	String length
Length	244.52	285.47	0.01	12
Velocity	9.88	20.11	0.01	10
Block Coeff.	0.4953	0.9048	0.0001	12
Breadth	32.27	57.74	0.01	11
Depth	12.88	23.11	0.01	10
FreeBoard	10.72	13.27	0.01	8

Table 1 Design variable

일반적으로 Genetic algorithm은 최대화 문제에서 그 효율이 뛰어나다고 알려져 있다. 그래서 본 논문에서도 최소화 문제인 본 모델을 최대화 문제로 하기 위해 적합도 함수를 C - Objective Value를 사용하였다. 여기서 C는 적합도 값이 항상 양이 되도록 하는 매우 큰 수이다.

각 알고리즘의 정지조건은 200세대로 하였으며, 100회씩 반복하여 각 세대별 평균을 구해 알고리즘의 탐색 효율을 비교하였고, 마지막 세대의 값을 비교 분석해 보았다.

Table 2는 각 알고리즘의 탐색 전략을 나타낸다.

	SGA&HGA	$\mu$ -GA	TGA
Selection manner	Roulette wheel	Tournament	Roulette wheel
Cross-over manner	One-point	One-point	One-point
Mutation manner	Bit	None	Bit
Population size	20	5	20
Cross-over probability	0.85	1.0	0.85
Mutation probability	$p_m = 0.01$	None	$p_{mh} = 0.6$ $p_{ml} = 0.01$
Coding manner	Binary	Binary	Binary

Table 2 The running schemes of the algorithms

### 3.2 결과 및 비교 분석

200세대까지 100회씩 반복하여 각 세대별 평균을 구한 뒤 세대별 변화를 나타낸 그래프가 Fig. 2에 보여진다.

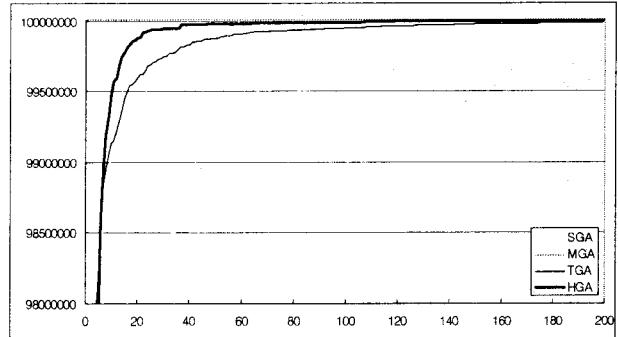


Fig. 2 The variations of the averaged best fitness for each algorithm

Table 3 과 Fig. 3은 반복 횟수별 200세대 Fitness 값의 변화를 나타낸다.

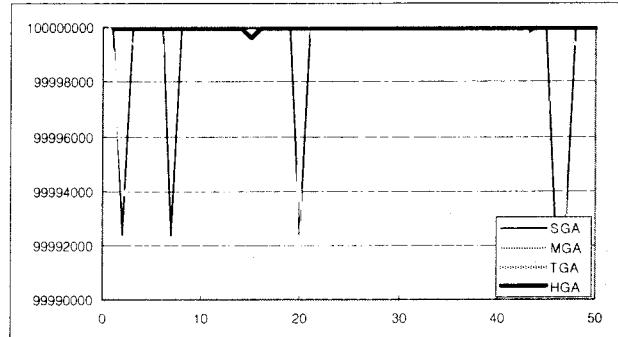


Fig. 3 The variations of optimum for 100 runs

	Minimum	Maximum	Gap	Average
SGA	99900231.17	9999977.28	99746.11	99998440.83
$\mu$ -GA	99202928.64	9999970.73	797042.09	99926366.80
TGA	99843568.35	99999975.09	156406.74	99985893.43
HGA	99999582.22	99999978.32	396.101	99999970.88

Table 3 comparison of the result for each algorithm

위의 결과에서 살펴보면, 수렴 속도나 해의 질 향상에 있어서 Micro Genetic algorithm은 선박 설계 모델에서는 좋은 성능을 보여주지 못함을 알 수 있다. 이는 비선형성이 강한 선박 설계 모델에 Micro Genetic algorithm이 적당하지 않음을 나타낸다. 그 외에 Threshold Genetic algorithm은 Simple Genetic algorithm과 Hybrid Genetic Algorithm에 비해 수렴 속도나 해의 질 향상이 비교적 느리며, Simple Genetic algorithm과 Hybrid Genetic algorithm은 비교적 비슷한 수렴 속도나 해의 질 향상 능력을 보이고 있으나 마지막 결과치를 비교 해보면 Hybrid Genetic algorithm이 좀 더 신뢰성이 있으며 우수한 것으로 보여진다.

## 4. 망간단괴 수송선의 경제성 평가

### 4.1 평가 방법

평가 방법은 여러 가지가 있겠으나 본 연구에서는 건조비 용(초기 투자자본 : CONE)과 연간 운항비(AOC)를 이용하여 20년간 소요되는 총 비용을 바탕으로 어떠한 선박이 더 경제적인가에 대해 평가하도록 한다.

망간단괴 수송선의 수명은 20년이며, 수송 거리는 한국으로 수송하는 경우만을 가정해서 5800마일로 하였으며, 금리는 14%로 가정하였고, 휴선일수는 15일로 가정한다. 등호제 약조건으로 연간 운송 용적(Annual Transportation Capacity : ATC)을 각각 300만톤, 200만톤, 150만톤, 100만톤, 80만톤, 60만톤으로 두고 각각 최적화를 수행한다.

그 후 우리나라가 연간 300만톤의 망간단괴를 생산한다고 가정하고 Table 4와 같이 6가지 Case를 나누어서 각 선박의 경제성에 대해서 검토한다.

CASE 1	(ATC)300만톤 1척
CASE 2	(ATC)200만톤 1척 + (ATC)100만톤 1척
CASE 3	(ATC)150만톤 2척
CASE 4	(ATC)100만톤 3척
CASE 5	(ATC)80만톤 3척 + (ATC)60만톤 1척
CASE 6	(ATC)60만톤 5척

\*(ATC) = Annual Transportation Capacity

Table 4 Cases of economic evaluation

### 4.2 결과 및 평가

각각의 연간 운송 용적을 가지는 최적의 선박은 앞선 결과에서 가장 좋은 성능을 보이는 Hybrid Genetic algorithm에 의해 수행하여 Table 5와 같이 계산되었고, 연간 운송 용적이 커짐에 따른 건조비와 연간 운항비의 변화에 대한 그래프가 Fig. 4와 같다.

ATC	Object	DWT	V <sub>k</sub>	CONE(백만)	AOC(십만)
3000000	14.303	126015.8	21.48	201.49	124.88
2000000	11.125	94972.9	17.4	111.67	53.88
1500000	10.247	78721.7	15.11	79.13	34.22
1000000	10.122	57252.6	13.33	53.28	20.78
800000	10.296	41977.7	14.43	41.33	19.96
600000	10.953	34649.9	12.9	33.21	15.56

Table 5 Optimum of each ATC

Fig. 4에서 보면 선박의 변화는 어느 정도 선형적으로 변화하는 모습을 보이나 연간 운항비의 변화는 연간 운송 용적이 100만톤 부분의 증가량이 비교적 작은 것을 알 수 있다.

이를 바탕으로 각 Case별로 총 초기 자본, 총 연간 운영비, 20년간 총 비용이 Table 6과 같이 계산된다. 이들을 각각 막대 그래프로 나타낸 것이 Fig. 5, 6, 7에 나타난다.

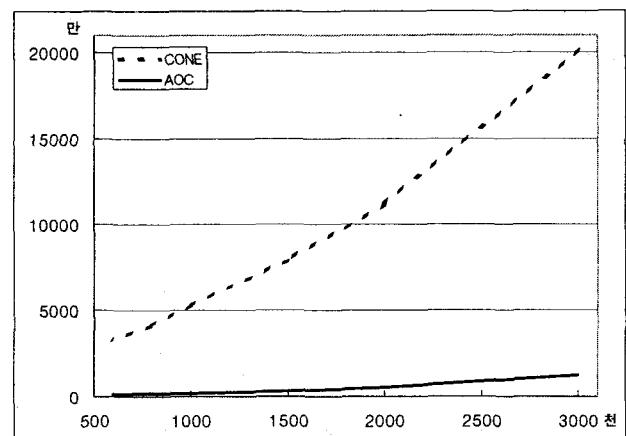


Fig. 4 Variations of annual operating cost and building cost

CASE	총 초기자본 (백만불)	총 연간 운항비 (십만불)	20년간 총비용 (백만불)
CASE 1	201.49	124.88	451.24
CASE 2	164.95	74.66	314.27
CASE 3	158.26	68.44	295.15
CASE 4	159.82	62.35	284.52
CASE 5	157.21	75.44	308.10
CASE 6	166.08	77.82	321.72

Table 6 Economic evaluation of each case

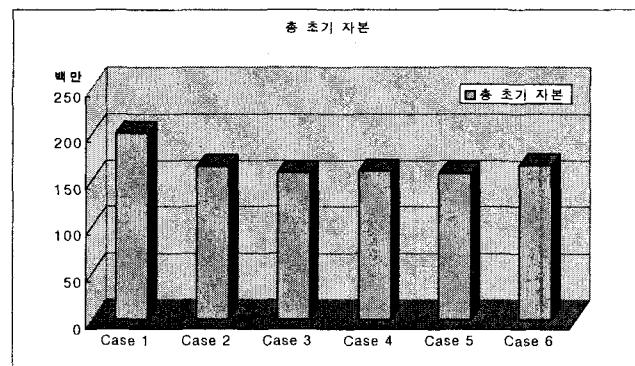


Fig. 5 Comparison of an early capital for each case

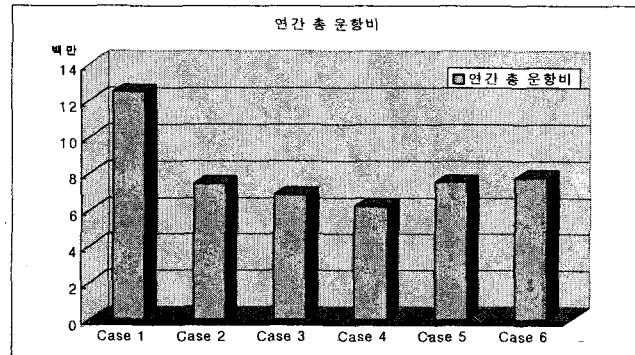


Fig. 6 Comparison of annual operating cost for each case

Table 6과 Fig 5, 6, 7을 살펴보면 CASE 3, 4, 5의 경우가 초기 비용이 비교적 작게 나타나고 있으며 연간 총 운항비

는 CASE 2,3,4,5가 CASE 1에 비해 약 50%가 작게 나타남을 알 수 있다.

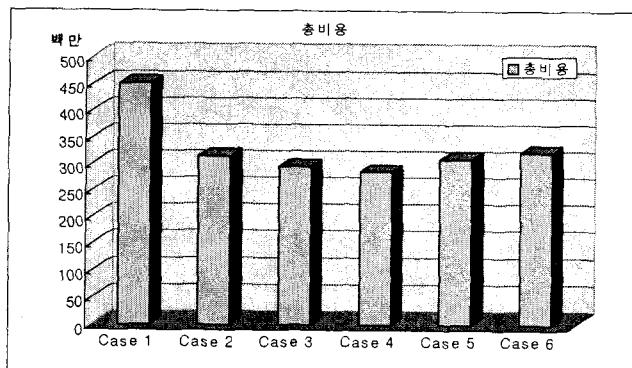


Fig. 7 Comparison of total cost for each case

여기서 20년 간 총 비용에 대해서 살펴보면 CASE 4가 가장 경제적이라는 것을 알 수가 있다. 따라서 약 5800톤급 13.3knot 정도의 선박 3대를 운영하는 것이 가장 경제적이라는 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서 기존의 최적화 시간이 오래 걸리거나 국부적 최적해에 빠지기 쉬운 방법에 비해 빠르고 전역적 해를 찾을 확률이 높은 Genetic algorithm 중 SGA, TGA,  $\mu$ -GA, HGA와 같은 4가지 우수한 알고리즘을 선박의 초기설계에서 최적화 모델 중 경제성 모델에 적용하여 비교 검토하여 보았다.

그 결과  $\mu$ -GA는 본 연구에 사용된 모델에 있어서는 그 탐색효율이 크게 떨어 졌으며, TGA도 좋은 효율을 보이지 못했다. 상대적으로 SGA와 HGA는 비교적 좋은 값을 찾아낼 수 있었으나 HGA가 SGA보다는 좀 더 좋은 optimum 을 찾아내는 것을 알 수 있었다.

이러한 이유로 HGA를 이용해서 망간단괴 수송선의 경제성을 평가해 보았다. 등호제약조건으로 연간 운송 용적을 사용하여 우리나라가 예상하는 300만톤 생산에 맞추도록 각 CASE에 맞도록 최적 선박을 정하고 검토해 보았다.

그 결과 다른 경우보다 RFR, 초기비용, 연간 운항비 등 모든 면에서 5800톤급 13.3knot 정도의 선박 3대를 운영하는 것이 가장 경제적이라는 것이다.

본 연구에서는 한국으로 운송하는 선박에 대해서만 국한하였지만 앞으로 호주, 미국 등에 대해서도 평가를 해 봄야 하며, 여러 가지 경제 상황의 변화를 고려해 보는 것이 필요하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한순홍 (1979). "선박 기초 설계과정에서 경제성 검토와 최적화 방법의 활용", 서울대학교 대학원.
- [2] 진강규(2000). "유전알고리즘과 그 응용", 교우사.
- [3] 이동곤, 정성재, 김수영(1994). "유전적 알고리즘과 적집탐색법의 결합에 의한 효율적인 최적화방법에 관한 연구", 대한조선학회논문집 Vol 31, no 3.
- [4] 조민철, 박제웅(2000). "선박설계를 위한 유전자 알고리즘의 적용에 관한 연구", 대한조선학회 추계학술대회 논문집.
- [5] 박성수, 박해영(2001). "C++로 구현한 유전자 알고리즘", 한울출판사.
- [6] Hui-Yuan Fan et al.(2000). "An empirical comparison of three novel genetic algorithms", Engineering Computations Vol 17, No 8.
- [7] Harry Benford(1967). "The Practical Application of Economics to Merchant Ship Design", Marine Technology. January
- [8] L.K. Kupras(1976). "Optimization Method and parametric study in precontracted ship design", International Shipbuilding Progress, May.