

재화중량 150,000톤 산적화물선의 초기 로버스트 설계

고 창 두* · 김 수 영**
(99년 9월 20일 접수)

Initial Robust Design of Deadweight 150,000 ton Bulk Carrier

Chang-Doo Koh* · Soo-Young Kim**

Key Words : Robust Design(로버스트 설계), Taguchi Mehtod(타구치 방법), Genetic Algorithms(유전자 알고리즘), Bulk Carrier(산적화물선), Uncertainty(불확실성)

Abstract

The robust design technology which can determine design variables getting best performance function with insensitivity to the environment noise, is an important method for improving the performance of products at low cost. Applying the robust design technology in ship design, Koh et al[10] introduced the planing hull design. This paper reports the application this technology to a 150K bulk carrier which has many design variables and shows that the robust design technology is superior to optimization technique in practical use.

1. 서 론

새로운 선박의 초기설계 단계에서 주요제원을 결정할 때 가장 흔히 사용되는 방법이 경제성을 목적함수로 하는 최적화 기법이다. 최적화 설계 기법은 다양한 이론이 확립되어 있으며 비교적 짧은 시간에 계산이 되는 장점이 있으나 비선형인 설계문제를 다루는 것이 용이하지 않는 단점이 있다. 선박 운용시의 경제성은 선박의 성능을 종합적으로 평가하는 척도가 되며 경제성 판단 도구로

는 요구운임지수(RFR, Required Freight Rate)가 가장 많이 이용되고 있다. RFR을 이용하여 선박의 경제성을 판정할 경우, 장기 예측에 따른 불확실성을 동반하기 때문에 불확실한 자료로부터 정확한 최적화 설계 모델링이 곤란하며 경제적인 환경이 변할 때 RFR은 크게 변할 우려가 있다. 이와 같이 불확실한 상황에서 예측의 위험도를 낮추는 방안으로서 환경변화에 목적함수가 민감하게 반응하지 않는 로버스트 설계기법이 한가지 대안이 될 수 있다.

* 종신회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소

** 종신회원, 부산대학 조선해양공학과/부산대학교 기계기술연구소

설계 단계에서 정확하게 파악할 수 없거나 사용 환경이 일정하지 않아 설계 단계에서 고려하기 곤란한 불확실성 등¹⁾에 대해 그 영향이 최소가 되도록 하는 로버스트 설계 기법에 대한 연구와 적용은 80년대 중반 이후부터 시작되었으며 최근 공학적으로 다양하게 적용되고 있다.

로버스트 설계 기법으로서 가장 대표적인 Taguchi 방법^{2,3)}은 실험 계획법^{4,5)}을 근간으로 하여 생산 공정 개선을 목적으로 개발된 것이다. 이 방법은 실험 회수를 줄이기 위하여 직교배열표를 사용하고 환경변화에 둔감한 설계변수를 찾기 위한 목적함수로 SN비(signal-to-noise ratio)를 사용하며, 설계변수의 변화에 따른 목적함수 값의 분산 분석(analysis of variance)을 통하여 생산 제품의 불량률을 원하는 수준까지 낮추는 설계변수를 구한다. 이러한 방법으로 선박설계에 적용한 것으로는 Trincas et al.⁶⁾, Huseby⁷⁾, 등의 연구가 있다. 그러나 이 방법은 직교 배열표를 사용함으로써 실험 수행 회수는 크게 줄일 수 있지만, 주어진 설계 변수의 이산화된 값의 상대적 비교만 가능하고, 설계 변수의 주어진 범위 전체를 검색하지 못하기 때문에 공학 설계 분야에서 그대로 사용하기에는 적합하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 신경 회로망 이론, 퍼지 이론 등을 Taguchi 방법과 결합하여 설계 변수 구간 내의 전체 범위에서 학습을 시켜 설계 변수를 설정하는 방법이 제안되었다^{8,9)}. 그러나 학습에 의한 방법은 설계모델이 존재하는 경우에는 효율적이지 못하다.

고창두¹⁰⁾ 등은 Taguchi 방법에서 사용하는 SN비(signal-to-noise ratio)를 목적 함수로 하고, 전역적 탐색에 효율적인 유전자 알고리즘을 사용하여 초기 선박 설계 단계에서 사용할 수 있는 로버스트 설계 기법을 개발하였다. 그리고 그 실용성을 검토하기 위하여 고속 활주선 설계에 적용하여 최적화 설계와 로버스트 설계 결과를 비교·분석하였다.

본 고에서는 150K 산적화물선에 대한 저항추진 성능 추정 및 경제성 평가 모델을 작성하고 로버스트 설계기법을 이용하여 초기설계를 수행하고 최적화 설계기법으로 수행한 결과와 비교하여 로버스트 설계기법의 효율성을 검토하였다.

2. 유전자 알고리즘을 이용한 로버스트 설계 기법

제품의 성능은 사용자가 사용하는 환경의 조건이 변하더라도 제품의 성능은 적게 변하면서 우수한 성능을 유지할 수 있어야 좋다. 선박의 초기설계 단계에서 많이 사용되는 최적화 설계기법은 일반적으로 목적함수가 1개인 경우에 대한 해법이며 이 경우에 1개로 주어진 설계점을 제외한 다른 조건에 대해서는 고려하지 못한다. 이러한 단점을 보완하는 것으로 다목적 함수의 최적설계기법이 있다. 다목적 함수 최적화 해법으로 각각의 목적함수에 가중치를 부여하거나, 일부 목적함수를 제약조건으로 변화시키거나, 목표계획법 또는 효용함수를 이용하는 방법 등이 사용되고 있다. 그러나 이상의 방법을 사용하기 위해서는 각각의 목적함수간의 상대적 중요도 혹은 만족시켜야 할 우선순위 선정 등의 어려움 때문에 해를 구하는 것이 쉽지 않다. 또한 각각의 다목적 함수 가중치를 구할수 있어 문제를 푼다고 하여도 주어진 몇 개의 설계조건 외에는 고려하지 못한다.

이에 반하여 Taguchi에 의해 개발된 로버스트 설계기법은 사용과정의 전 구간에 걸쳐 성능의 변화가 적고 평균 성능이 우수한 설계변수를 설정하는 점에서 다목적 함수의 최적화와 차이가 있다. Taguchi방법의 개념은 생산공정의 개선을 위해 개발된 것이지만 제품의 설계에도 그 개념을 활용할 수 있다. Taguchi방법의 가장 큰 특징은 손실함수의 도입에 있다. 손실함수는 만들어진 제품이 요구되는 정확한 성능을 갖지 못함으로써 발생하는 사회적 손실로서 기존의 불량률과는 전혀 다른 것이다. 불량률은 제품이 가져야 하는 성능 표준으로부터 허용차 범위에도 들어가지 못하는 정도를 표시한 것으로서 이 불량률은 그 제품을 만드는 회사내부의 문제에 국한된다. 불량률로서 제품생산을 관리하는 것의 문제점은 만들어진 제품이 성능의 허용범위 내에 들어가서 합격한 제품이라 할지라도 정확한 성능이 아니기 때문에 제품 사용자는 사용과정에서 감수해야 하는 손해에 대해서는 전혀 고려되지 않는 것이다.

이에 반하여 손실함수는 제품을 만드는 회사의

불량품 생산에 따른 손실보다는 제품의 사용자가 입게되는 손실을 중요시하는 개념이다. 이것을 Taguchi는 사회적 손실이라는 표현을 사용하고 있다. 예를 들면 간신히 허용차 범위에 들어 합격한 제품은 허용차를 약간 넘어 불합격한 제품과 성능면에서 큰 차가 없으며 정확한 성능의 제품보다는 사용자에게 손해를 많이 입게 한다. 따라서 제품생산은 불량률을 줄이는 것보다는 제품 성능의 분산이 작고 성능의 평균이 높도록 해야 한다는 것이 Taguchi이론의 핵심이다.

제품 성능의 평균을 높이고 분산이 작도록 하기 위해서 제어하기 힘든 잡음변수의 영향을 최소화하여 성능분산이 작게 되도록 하며 성능 평균을 높이기 위한 설계변수 설정에 관한 것이 Taguchi방법이며 간단히 기술하면 다음과 같다^{2,3)}.

제품의 성능 특성은 예상하지 못한 잡음의 영향으로 목표값을 일관성 있게 유지하지 못하고 분산(distribution) 되기 마련이다. 이러한 성능 변동의 분산을 손실(loss)의 개념으로 도입하여 정량화함으로써 품질 문제를 객관적, 공학적 문제로 다룰 수 있다. 높은 품질의 제품이란 소비자에게 끼치는 손실이 작은 제품을 의미한다. 손실은 성능의 분산으로 발생되기 때문에 제품이나 공정은 생산된 제품의 특성치가 잡음 하에서도 성능 변동이 심하지 않도록 설계되어야 한다.

이것을 해결하기 위한 방법으로 Taguchi는 실험계획법에 바탕을 둔 직교 배열표(orthogonal array table)를 이용하여 데이터를 수집할 것과 그 데이터로부터 유도된 SN비를 분석함으로써 최적 조건을 결정할 것을 제안하였다.

Taguchi 방법은 개념 개발 단계인 시스템 설계, 제품의 성능이 잡음에 가장 둔감하게 하는 설계 변수 최적 조건을 구하는 파라미터 설계, 그리고 성능 특성 값의 분산을 줄이기 위한 허용차 설계 등의 3단계로 나누고 있다.

그 중에서 Taguchi 방법의 핵심인 파라미터 설계는 잡음의 영향하에서도 성능 특성값의 분산이 작고, 평균이 목표값에 근접하도록 하는 설계 변수의 조건을 찾는 것이다. 이것은 성능 특성과 설계 변수 간의 비선형적인 관계와 조정 변수를 활용하여 적은 비용으로 높은 품질(혹은 적은 손실) 제품

을 설계할 수 있게 한다.

공학 설계에서는 설계 변수와 성능 특성과의 관계가 잘 알려져 있지 않은 경우가 많기 때문에 대부분 실험적인 방법에 의존한다. 설계 변수들의 여러 조합에서 성능특성이 잡음에 어떻게 영향을 받는가를 관찰하여 분석함으로써 가장 바람직한 설계 변수 값을 결정할 수 있다. 이때 실험적 연구의 경제성, 통계적 효율성, 연구 결과의 재현성 등을 고려하여 적절한 실험 계획과 잡음 인자를 선정하는 것이 중요하다.

Taguchi 방법은 파라미터 설계 단계에서 기존의 실험 계획법(DOE, Design of experiment)에서 사용되는 직교 배열표를 사용하는 것은 유사하지만 잡음 요소를 구체적으로 포함시키며, 성능 특성값에 대한 분석을 하지 않고 새롭게 정의된 SN비를 분석하는 것이 다르다.

여기서 잡음 요소를 포함시키는 방법으로는 잡음을 제어하지 않고 주어진 설계 변수의 조합에서 반복하여 여러 개의 성능 특성값을 얻거나 잡음을 제어하여 주어진 설계 변수의 조합에서 선정된 잡음 인자의 수준으로 성능 특성 값을 얻는 방법이 있다.

성능 특성값 대신에 사용되는 SN비는 다음과 같이 성능 특성값의 성질에 따라 결정된다.

- ① 성능 특성값이 작을수록 좋은 경우(망소 특성: smaller-the-better)

$$SN_i = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right\} \quad (1)$$

여기서 y_{ij} 는 설계 변수 행렬의 i 번째 실험점에서 관측된 j 번째의 성능 특성값이고, n 은 한 실험점에서의 y 의 반복수이다.

- ② 성능 특성값이 클수록 좋은 경우(망대특성: larger-the-better)

$$SN_i = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right\} \quad (2)$$

③ 성능 특성값이 특정한 목표값으로 주어진 경우(망목특성: nominal-the-best)

$$S_i = 10 \log \left[\frac{1}{n} (S_{mi} - V_i) \right] \quad (3)$$

여기서

$$S_{mi} = n \bar{y}_i^2$$

$$\bar{y}_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

$$V_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i^2)$$

기존의 Taguchi 방법은 직교 배열표를 사용하여 잡음의 영향에 둔감하여 전반적으로 우수한 제품 성능을 가지도록 한다. 이때 직교 배열표는 실험에 의해 수행되는 설계 변수의 많은 조합과 실험 회수를 줄이고, 설계 변수의 영역 내에서 선택한 특정 값에 대한 상대적인 성능을 나타내어 주기 때문에 생산 공정의 개선을 목적으로 한 응용 분야에서 효율적으로 사용되었다. 그러나 이를 공학 설계에 적용할 경우에는 선택한 특정값 사이에 로버스트한 값이 존재하거나, 결합 가능한 조합의 개수에 대한 간략화로 인해 추정 정도가 떨어질 수 있다.

생산 공정이나 실험에 사용되는 설계 변수가 이산 값들을 주로 가지는데 반해, 공학 설계에서는 연속값을 가지므로 이를 고려하여 적용할 필요가 있다. 따라서 기존의 방법을 설계 단계에 적용하면 필요한 설계 변수의 영역 내에서 가장 로버스트한 값을 찾을 수 없다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 유전자 알고리즘¹¹⁾을 사용하여 로버스트 설계를 수행함으로써 상기 문제점을 보완하였다. 유전자 알고리즘은 비선형 문제에서 최대값을 찾는 데 가장 로버스트한 기법이므로 문제의 비선형성과 상관없이 편리하게 적용할 수 있는 장점이 있다. 설계과정은 Fig.1과 같다.

유전자 알고리즘을 로버스트 설계 기법에 적용할 경우에는 다음 같은 이점들을 가진다.

첫째, 전역적 해의 탐색이 가능하다. 즉, 기존 방법은 주어진 설계 변수에 대한 수준을 정한 뒤 직교 배열표를 이용하여 분산 분석한다. 이때 전역해가 수준 사이에 존재할 때에는 탐색 방법이 없었

다. 그러나 유전자 알고리즘은 주어진 범위 내에서 전역적으로 탐색을 수행함으로써 이러한 단점을 보완할 수 있다.

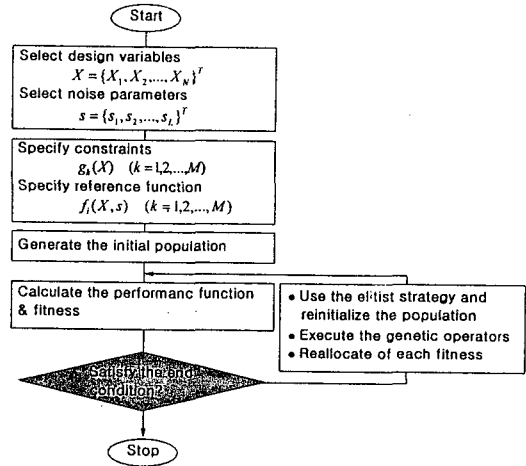


Fig.1 Flow chart of Robust design using the Genetic Algorithm

둘째, 각 설계 대상에 대한 직교 배열표에 수행을 위한 고려가 필요치 않기 때문에 설계자가 보다 편리하게 설계 작업을 수행할 수 있다.

셋째, Taguchi 방법은 공명 설계에 주로 사용되었으므로, 탐색하고자 하는 설계 수준이 2-3개 정도로 국한되어 수행되었다. 그러나 유전자 알고리즘은 주어진 설계 범위 내의 모든 실수 영역을 탐색하기 때문에 설계 분야에 보다 광범위한 응용이 가능하다.

넷째, Taguchi 방법이 직교 배열표를 이용하여 설계 구간 내의 일부분만 계산하는 것과는 달리 유전자 알고리즘은 전체 영역에 대해 탐색을 수행한다. 이때 구해진 해는 전체 설계 영역에서 가장 로버스트한 값이 된다.

3. 산적 화물선의 로버스트 설계

3.1 저항추진 성능 추정 모델

일반 상선의 저항 추정 방법은 여러 가지가 발표되어 있으나 비교적 선형 특성을 잘 반영하고 있어

가장 많이 사용되는 Holtrop 방법^{12~14)}을 저항추정 모델로 사용하였다. 그러나 Holtrop 방법은 발라스트 상태에서의 저항을 추정할 수 없으므로 발라스트 상태의 저항은 Yamagata방법¹⁵⁾을 이용하였다.

추진성능 추정은 1940년대에 Troost^{16~18)}가 개발하고 Lammeren 등¹⁹⁾에 의해 정리된 Wageningen B-screw propeller series를 Oosterveld 등²⁰⁾이 컴퓨터로 성능 추정할 수 있도록 Reynolds No.가 2×10^6 인 곳에서 회귀분석을 하였다. 이것을 Reynolds no.가 2×10^6 에서 2×10^9 범위에서 사용할 수 있도록 수정하는 방법²¹⁾을 추진 성능 추정 모델로 이용하였다.

3.2 경제성 평가 모델

선박의 설계와 운항성능을 모두 고려한 경제성 평가 도구로 가장 많이 사용되는 것이 최소 요구 운임(RFR, Required Freight Rate)이다. 이 RFR에는 선가와 운항비용이 모두 포함되기 때문에 변수의 수가 많다. 따라서 운항경험 등에 의해서 각 변수가 갖는 불확실성을 알 수 있어도 통계적(statistic)으로 처리하지 않고 결정론적(deterministic)으로 처리하는 것이 일반적이다. 불확실성에는 연속적인 확률분포를 하는 것과 비연속적인 확률분포를 하는 것이 있다.

연속적인 확률 분포를 갖는 불확실한 변수로는 sea margin, 연간 화물량, 이자, 연료비 등이 있고 비연속적인 확률분포를 하는 변수로는 운항 배수량이 있다. 운항 배수량은 발라스트 상태와 만재 상태 사이에서 배수량이 연속적으로 변하지 않고 대부분 몇 개의 배수량 중에서 유사하게 변한다. 본 계산의 대상인 산적 화물선과 원유 운반선 같은 배의 경우, 대부분 만재 상태와 발라스트 상태 등 2~3가지 상태의 배수량으로 운항되는 것이 일반적이다.

(1) 경하중량 추정

경하중량 추정 모델은 Scher 등²²⁾이 발표한 모델을 최근에 건조되는 선박에 적합하게 수정하여 사용하였다.

① 선각중량(W_S)

$$W_S = 0.02283 E^{1.36} [0.65 + 0.5 C_B + (1 - C_B)(0.8D - T)/6T] \quad (4)$$

여기서,

$$E = L(B + T) + 0.85L(D - T) + 0.75 \sum L_e H_e$$

여기서, L_e , H_e 는 각각 상부구조물의 길이와 높이

② 의장중량(W_O)

$$W_O = 1.18675 (0.38156 L \cdot B - 6.8635e(-5)L^2 \cdot B) \quad (5)$$

③ 기관실 중량(W_M)

$$W_M = 0.10921 (MCR)^f (RPM)^{-0.67} + 0.48883 (MCR)^{0.7} \quad (6)$$

여기서, $f = 1.299(\log_{10} RPM)^{-0.44}$

④ 경하중량(LWT)

$$LWT = 1.03 (W_S + W_O + W_M) \quad (7)$$

(2) 건조비 추정

건조비 추정 모델은 Scher 등[22]이 발표한 것을 Hunt 등[23]이 최근의 선박에 적합하게 수정한 모델을 사용하였다.

① 선체 공사비

$$\text{재료비 } C_{SM} = 544.2 W_{Si} \quad (8)$$

여기서, $W_{Si} = (1.167 - 0.1171 C_B) W_S$

$$\text{소요공수 } MH_S = 171.4 W_{Si}^{0.9} \quad (9)$$

$$\text{인건비 } C_{SL} = 16.76 MH_S \quad (10)$$

② 의장 공사비

$$\text{재료비 } C_{OM} = 8036.0 W_O \quad (11)$$

$$\text{소요공수 } MH_O = 298.0 W_O \quad (12)$$

$$\text{인건비 } C_{OL} = 16.76 MH_O \quad (13)$$

③ 기관실 공사비

재료비 및 설치비

$$C_{MM} = 13672.0(MCR)^{0.7} + 760500.0 \quad (14)$$

④ 전기 공사비

재료비 및 설치비 $C_{EM} = 504000.0 \quad (15)$

⑤ 선박 건조비(SAC)

선박 건조비(SAC) = 재료비 + 직접인건비
+ 간접비 + 이윤 (16)

여기서,

간접비 = 직접인건비의 90%

이윤 = (재료비 + 직접인건비)의 7.5%

(3) 연간 운항비용 추정

연간 운항비용 추정은 Scher등²²⁾이 발표한 모델을 사용하였다.

① 선원비

갑판부 소요선원 수

$$N_d = 4 + 0.9(L \cdot B \cdot D)^{0.16} \quad (17)$$

기관부 소요선원 수

$$N_e = 1 + 0.45(MCR)^{0.3} \quad (18)$$

주방부 소요선원 수

$$N_s = 0.22(N_d + N_e) \quad (19)$$

총 소요선원 수 $N_c = N_d + N_e + N_s \quad (20)$

총 선원비

$$C_{crew} = 75000.0N_c^{0.8} + 4100.0N_c \quad (21)$$

② 유지보수비

선체 유지보수비

$$C_{hull} = 10.2(L \cdot B \cdot D)^{0.685} \quad (22)$$

기관 유지보수비

$$C_{mach} = 6.0MCR + 95.0MCR^{0.6} + 20000.0 \quad (23)$$

③ 왕복 운항시간(Round Trip Time)

Outward 운항시간

$$TT_o = \frac{DIST}{V_{KO}} + \frac{CDWT_o}{L_R} + \frac{CDWT_o}{U_R} + T_{delay_o} \quad (24)$$

Inward 운항시간

$$TT_I = \frac{DIST}{V_{KI}} + \frac{CDWT_I}{L_R} + \frac{CDWT_I}{U_R} + T_{delay_I} \quad (25)$$

왕복 운항시간

$$RTT = TT_o + TT_I \quad (26)$$

여기서,

DIST : 항로 거리

CDWT : 적재화물량

L_R, U_R : 시간당 화물 적재, 하역량

T_{delay} : 평균 항구에서의 지체시간

④ 항구비용

$$C_{PORT} = 0.06 \times CDWT \quad (27)$$

⑤ 간접비용

$$C_{O/H} = 175000.0 \quad (28)$$

⑥ 보험료

$$C_{INSURANCE} = 0.014 \times SAC \quad (29)$$

4. 계산결과 분석 및 비교

우리 나라와 호주 사이를 정기적으로 운항하는 재화 중량 150K급 산적 화물선을 대상으로 계산하였다. 실제 변수로는 저항 추진 성능에 영향을 주는 인자들을 모두 선정하였으며, 운항 배수량은 확률을 갖는 잡음으로 취급하였다. 본 연구에서는 선박의 운항조건인 재화상태는 몇 개의 조건으로만 일반적으로 운항되므로 운항 중에 발생하는 배수량의 변화는 예측할 수 있다고 가정하고 가정된 확률을 직접 고려하였다. 운항 배수량은 Outward 항해는 Heavy ballast condition으로 Inward 항해는 Full load condition과 Design load condition이 각각 50%씩 항해하는 것으로 가정하였다. 설계 변수 및 범위는 다음 Table 1, 2에 각각 나타난 바와 같다.

Table 1 Constraints of design variables

Length(m)	$250 \leq L \leq 270$
Breadth(m)	$40 \leq B \leq 45$
Longi. center of buoyancy(%)	$-2 \leq LCB \leq 3$
Block coefficient	$0.82 \leq CB \leq 0.86$
Midship section coefficient	$0.8 \leq CWP \leq 0.9$
Water plane area coefficient	$Cstern=\{1,2,3,4\}$
After body section type	
Transverse bulb area(m^2)	$0 \leq ATB \leq 100$
Height of center of bulb(m)	$4 \leq HB \leq 8$
Immersed transom area(m^2)	$0 \leq ATR \leq 50$

Table 2 Design conditions

Speed(kt)	14.5
Deadweight(ton)	150,000
Distance(nautical mile)	4,680
Cargo loading rate(ton/hour)	8,000
Cargo unloading rate(ton/hour)	2,000
Economic life(years)	20

Taguchi방법은 잡음으로 취급한 운항배수량 각 상태의 발생확률의 차이를 고려하지 않고 동일한 발생확률로 취급하지만 본 방법에서는 잡음의 발생확률을 고려한 다음과 같은 SN비를 사용하여 계산하였다.

$$SN_i = -10 \log \left(p_i \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right) \quad (30)$$

여기서 p_i 는 잡음의 발생확률이다.

최적설계, Taguchi 방법 및 본 방법에 의한 계산 결과의 비교를 Fig. 2에 나타내었다. 최적설계조건을 제외한 전 영역에서 로버스트 방법이 최적설계보다 우수한 결과를 주고 있다. Taguchi 방법과 본 방법은 큰 차이는 없으나 본 방법이 미소하지만 보다 우수함을 알 수 있다. Table 3에는 계산된 설계 변수를 나타내었다.

최소요구운입(RFR)을 최소로 하는 설계에서는 일반적으로 선박의 경제적인 수명을 20년으로 잡는데 이 기간 중에는 경제적인 변화가 많으므로 유류비, 자본회수율 등이 일정하게 잡는 것은 상당히 어려운 일이다. 만약 이를 정확하게 예측하지 못한다면 경제적인 평가의 신뢰성은 떨어질 수밖에 없

다. 이러한 환경을 적절히 모델링하여 최적화 설계를 할 수는 있으나 그 결과는 환경변화에 상당히 민감하게 되고 따라서 위험성이 높아진다. 이러한 경우에 위험성을 줄일 수 있는 설계방법이 로버스트 설계방법이다.

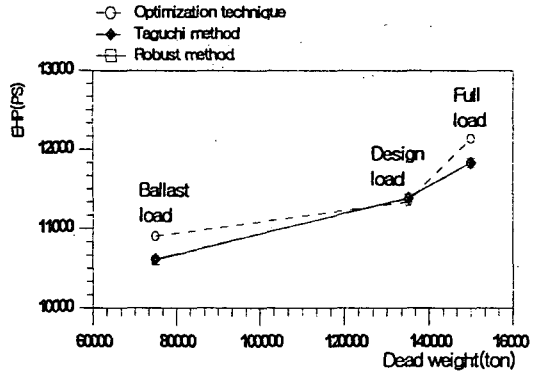


Fig. 2 Comparison of the results of optimal, Taguchi and present method

Table 3 Selected Values of Design Variables

Design Variable	Opt.	Taguchi	Present
L	260.05	250.22	250.02
B	47.98	48.0	48.00
LCB	2.787	2.922	2.968
CB(Block coeff.)	0.809	0.800	0.800
CM	0.990	0.998	0.998
CWP	Pram	Pram	Pram
Cstern	w/ gondola	w/ gondola	w/ gondola
ATB(Transverse bulb area)	81.1	86.14	81.357
HB(Height of center of bulb)	4.69	7.994	7.994
ATR(Immersed transom area)	49.56	47.59	49.85

5. 결론

1개의 설계 조건하에서는 최적 설계 기법으로 정한 설계 변수의 조합이 가장 우수하다는 것은 당연한 결과이다. 그러나 운항 가능한 배수량 범위를 모두 고려하는 로버스트 설계 기법의 결과가 전반적인 성능에서는 최적 설계 결과보다 우수하다는 것을 검증하였다. 이와 같은 로버스트 설계 기법은 여러 가지의 설계 조건을 갖는 경우, 혹은 불확실

한 자료에 의한 설계 등 여러 방법으로 활용 가치가 큰 것으로 판단된다. 그러나 계산 결과가 설계 변수의 범위 내에서 가장 로버스트한 것인지는 확인할 방법이 없는 것이 단점으로 지적할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 로버스트 설계의 목적 함수로 사용되는 SN비를 대체 할 수 있는 함수의 개발이 필요하다.

참고문헌

- 1) 양영순, 장범선, "불확실성을 고려한 탐색 기반 설계 과정", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 67-71, 1998
- 2) Peace, G. S., "Taguchi Methods; A Hands-on Approach" Addison-Wesley Pub. Co., 1993
- 3) Kackar, R. N., "Off-Line Control, Parameter Design, and Taguchi Method," Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 4, pp. 176-188, Oct, 1985
- 4) Fisher, R. A., "The Design of Experiment." Academic Press., 1947
- 5) Parkinson, A., Sorensen, C., Free, J., and Canfield, B., "Tolerances and Robustness in Engineering Design Optimization," Proc. 16th Design Automation Conference, Chicago, IL, DE-Vol. 23-1, pp. 121-128, Sep. 1990
- 6) Parkinson, A., Sorensen, C., and Pourhassan, N., "A General Approach for Robust Optimal Design," ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 115, pp. 74-80, 1993
- 8) Jung-eui Hong, Cihan H. Dagli, Kenneth M. Ragsdell., "Artificial Neural Network and the Taguchi Method Application for Robust Wheatstone Bridge Design." De-VOL. 69-2, Advances in Design Automation-1994 Vol. 2 ASME., 1994
- 9) John F. C. Khaw, B. S. Lim, Lennie E. N. Lim., "Optimal Design of Neural Networks Using the Taguchi Method." Neurocomputing 7 pp. 225-245., 1995
- 10) 고창두, 김현철, 김수영, "로버스트 설계기법을 이용한 고속 활주형선의 설계", 한국해양공학 회지, 제12권, 제4호, pp. 144-151, 1998
- 11) Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989
- 12) Holtrop, J., Mennen, G.G.J., "A Statistical Power Prediction Method", International Shipbuilding Progress, Vol. 25, Oct. 1978
- 13) Holtrop, J., Mennen, G.G.J., "An Approximate Power Prediction Method", International Shipbuilding Progress, Vol. 29, Jul. 1982
- 14) Holtrop, J., "A Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data", International Shipbuilding Progress, Vol. 31, Oct. 1984
- 15) Takashiro, K., "Power Prediction Based on Modified Yamagata Resistance Chart and Newly Introduced Thrust Deduction and Wake Factors", 일본관서조선협회지 제177호, 1980
- 16) Troost, L., "Open Water Test Series with Modern Propeller Forms", Trans. NECIES, Vol. 54, 1938
- 17) Troost, L., "Open Water Test Series with Modern Propeller Forms Part 2 - Three Bladed Propellers", Trans. NECIES, 1940
- 18) Troost, L., "Open Water Test Series with Modern Propeller Forms Part 3 - Two Bladed and Five Bladed Propellers", Trans. NECIES, Vol. 67, 1951
- 19) Lammern, W. P. A. van, Manen, J.D. van, Oosterveld, M.W.C., "The Wageningen B-screw Series", Trans. SNAME, 1969
- 20) Oosterveld, M. W. C., Ossannen, P. van, "Further Computer Analysed Data of the Wageningen B-screw Series", ISP, Vol. 22, Jul. 1975
- 21) Carlton, J.S., "Marine Propellers and Propulsion", Butterworth Heinemann, 1994
- 22) Scher, R. M., Benford, H., "Some Aspects of Fuel in Bulk Carrier Design and Operation", No. 228, Univ. of Michigan, Sep. 1980
- 23) Hunt, E. C., and Butman, B. S., "Marine Engineering Economics and Cost Analysis", Cornell maritime Press, 1993