

## 두 가지 속도에서 운항하는 선박의 형상설계에 관한 연구

김태훈\* · 최희종\*\*†

\* 전남대학교 조선해양공학과 대학원, \*\* 전남대학교 해양기술학부 조선해양공학전공

## A Study on Hull-Form Design for Ships Operated at Two Speeds

Tae Hoon Kim\* · Hee Jong Choi\*\*†

\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Graduate School, Yeosu 59626, Korea

\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

**요약** : 본 연구의 목적은 2가지 선속에서 운항하는 선박의 선형 설계 자동화에 관한 것이다. 가장 기본적인 선박의 형상을 가지는 60계열( $C_B=0.6$ ) 선박을 대상선박으로 선택하여 연구를 수행하였다. 선박 형상의 향상 방향은 저항성능 향상의 관점이며, 특히 선박의 형상과 밀접한 관계를 가지는 조파저항성능을 향상하기 위한 선박 형상 설계 자동화를 수행하였다. 본 연구의 목적을 실현하기 위하여 최적화 기법과 저항 성능을 예측하는 기법 그리고 선형의 형상을 변경하는 기법을 접목하여 선박 형상 설계 자동화 소프트웨어를 개발하였으며, 개발된 소프트웨어를 대상선박에 적용하였다. 최적화 기법으로는 순차이차계획법(sequential quadratic programming method)를 사용하였으며, 조파저항성능을 예측하기 위하여 포텐셜기저 패널법(potential-based panel method)을 사용하였다. 선박 형상의 변경은 가우시안형 수정함수법(Gaussian-type modification function method)를 개발하여 적용하였다. 개발된 소프트웨어를 사용하여 대상선박의 서로 다른 두 가지 선속에 대하여 설계를 수행하고 그 결과를 서로 비교하였다. 그리고 개발된 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 모형시험을 수행하여 구한 실험값과 수치해석을 수행하여 구한 계산값을 서로 비교하였다.

**핵심용어** : 60계열( $C_B=0.6$ ) 선박, 두 가지 선속, 조파저항성능, 선형설계, 순차이차계획법, 가우시안형 수정함수법

**Abstract** : The purpose of this study is related to automatic hull-form design for ships operating at two speeds. Research was conducted using a series 60 ( $C_B = 0.6$ ) ship as a target, which has the most basic ship hull-form. Hull-form development was pursued from the viewpoint of improving resistance performance. In particular, automatic hull-form design for a ship was performed to improve wave resistance, which is closely related to hull-forms. For this purpose, we developed automatic hull-form design software for ships by combining an optimization technique, resistance prediction technique and hull-form modification technique, applying the software developed to a target ship. A sequential quadratic programming method was used for optimization, and a potential-based panel method was used to predict resistance performance. A Gaussian-type modification function was developed and applied to change the ship hull-form. The software developed was used to design a target ship operating at two different speeds, and the performance of the resulting optimized hull was compared with the results of the original hull. In order to verify the validity of the program developed, experimental results obtained in model tests were compared with calculated values by numerical analysis.

**Key Words** : Series 60 ( $C_B=0.6$ ) ship, Two ship speeds, Wave-making resistance performance, Hull-form design, Sequential quadratic programming method, Gaussian-type modification function method

## 1. 서론

선박의 설계에 있어서 선박 유류비는 매우 중요한 설계요소이며, 선박의 저항성능과 매우 밀접한 관계를 가진다. 설계 경제가 어려워 물동량이 줄어드는 경우에는 여러 가지

조건에서 운항이 가능하며, 유류비도 절감할 수 있는 선박에 대한 수요가 발생한다. 특히 설계 속도가 여러 가지인 선박을 건조해야 한다면, 설계 흡수가 여러 가지인 선박을 건조해야 할 경우가 발생할 수 있으므로, 이와 같은 기반 기술을 확보하는 것은 필수적이라 생각된다.

본 연구의 목적은 2가지 선속에서 운항하는 선박의 선형 설계 자동화에 관한 것이다. 가장 기본적인 선박의 형상을

\* First Author : taehoon930@gmail.com

† Corresponding Author : choihj@jnu.ac.kr, 061-659-7154

가지는 60계열( $C_B=0.6$ ) 선박을 대상선박으로 선택하여 연구를 수행하였다. 선박 형상의 향상 방향은 저항성능 향상의 관점이며, 특히 선박의 형상과 밀접한 관계를 가지는 조파 저항성능을 향상하기 위한 선박 형상 설계 자동화를 수행하였다.

본 연구의 목적을 실현하기 위하여 최적화 기법과 저항 성능을 예측하는 기법 그리고 선형의 형상을 변경하는 기법을 접목하여 선박 형상 설계 자동화 소프트웨어를 개발하였으며, 개발된 소프트웨어를 대상선박에 적용하였다. 최적화 기법으로는 순차이차계획법(sequential quadratic programming method; SQP법)을 사용하였으며, 조파저항성능을 예측하기 위하여 포텐셜기저 패널법(potential-based panel method)을 사용하였다. 선박 형상의 변경은 가우시안형 수정함수법(Gaussian-type modification function method)를 개발하여 적용하였다.

선박 형상 설계 자동화 프로그램을 대상선박의 서로 다른 두 가지 선속에 대하여 설계를 수행하고 그 결과를 서로 비교하였다. 그리고 개발된 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 모형시험을 수행하여 구한 실험값과 수치해석을 수행하여 구한 계산값을 서로 비교하였다.

## 2. 수치해석 기법

### 2.1 목적함수의 계산

유체의 성질이 비점성, 비압축성이라고 가정하고 유동의 비회전성을 가정하면 속도포텐셜( $\phi$ )이 존재하며 유동장 내에서 지배방정식인 라플라스 방정식(Laplace equation)과 경계면에서 경계조건식을 부과함으로써 구할 수 있다(Choi et al., 2005; Park and Choi, 2012).

지배방정식인 라플라스 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla^2 \phi = 0 \text{ in fluid domain} \quad (1)$$

선체표면의 경계에서는 유체입자가 선체표면을 관통하여 흐를 수 없다는 비 침투 조건을 만족하여야 한다.

$$\nabla \phi \cdot \vec{n} = 0 \text{ on hull} \quad (2)$$

$\vec{n}$  : 유동장으로 향하는 선체표면의 법선벡터(normal vector)

자유수면에서의 압력이 대기압이어야 한다는 조건으로부터 다음의 동역학적 자유수면 경계조건식(dynamic free surface boundary condition)을 만족시켜야 한다.

$$h = -\frac{1}{2}Fn^2(\phi_x^2 + \phi_y^2 + \phi_z^2 - 1) \text{ on the free surface} \quad (3)$$

$h$  : 파고(wave height)

자유수면에서는 유체입자가 자유수면을 떠날 수 없으며 자유수면과 같이 움직여야 한다는 운동학적 자유수면 경계 조건식(kinematic free surface boundary condition)을 만족시켜야 한다.

$$\phi_x h_x + \phi_y h_y - \phi_z = 0 \text{ on free surface} \quad (4)$$

선수부에서 상류방향으로 어느 정도 떨어진 자유수면 영역에서는 선체의 존재에 의하여 발생된 파가 없어야 한다는 조건인 방사조건을 만족시켜야 한다.

$$\nabla \phi = (1, 0, 0) \text{ at } x = -\infty \quad (5)$$

경계요소법(Boundary element method) 중 포텐셜기저 랭킨 소오스 패널법(Potential-based Rankine source panel method)을 사용하였다.

비선형 자유수면 경계조건식인 식(4)과 식(3)을 대입하여 혼합형 비선형 자유수면 경계조건식을 유도하고 선형화 과정을 거친 다음, 선체표면과 자유수면에 배치된 패널에 대하여 경계조건을 만족하도록 경계 영역에 소오스 패널을 배치하여 이산화할 수 수행한다.

이산화 과정을 거쳐 생성된 연립방정식을 풀어서, 각 패널에서의 소오스의 강도를 구한다. 비선형 자유수면 경계조건을 만족할 때까지 반복계산을 수행하여 비선형 자유수면 경계조건을 만족하며 반복계산을 종료하고, 각 패널에서의 소오스의 강도를 사용하여 패널의 도심에서의 속도를 구한다.

목적함수인 조파저항계수(coefficient of wave-making resistance;  $C_w$ )는 베르누이 방정식을 이용하여 패널의 도심에서 구한 속도를 이용하여 압력을 구한 다음, 선체표면에서의 압력을 적분하여 구하였으며, 다음과 같이 쓸 수 있다(Kim and Choi, 2017; Raven, 1996; Choi et al., 2011).

$$C_w = -\frac{\int_S C_p n_x ds}{S} \quad (6)$$

위의 식에서  $S$ 는 침수표면적을 나타내고,  $n_x$ 는 선체표면에서의 법선벡터의  $x$ 방향의 성분을 나타낸다.

## 2.2 최적화기법

최적화 문제에 대한 일반식은 다음과 같다.

### 최적화 문제

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \\ & f(x) \\ & \text{subjected to} \\ & g_j(x) = 0, \quad j = 1, \dots, m_e \\ & g_j(x) \geq 0, \quad j = m_e + 1, \dots, m \\ & x_l \leq x \leq x_u \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $x$ 는 설계변수,  $f$ 는 목적함수 그리고,  $g$ 는 제약조건을 나타내며,  $x_l$ 과  $x_u$ 는 각각 설계변수의 하한과 상한을 나타낸다. 그리고  $m$ 는 제약조건의 수를 나타내고,  $m_e$ 는 제약조건 중 등식 제약조건의 수를 나타낸다.

본 연구에서는 최적화 문제를 풀기 위하여 비선형 최적화 기법인 SQP법을 사용하였다. SQP법은 비선형의 목적함수와 제약조건을 설계변수에 대해서 Taylor 전개하고, 목적함수는 이차식으로 제약조건은 일차식으로 근사하여 근사 부문제를 얻는다. 근사 부문제를 탐색방향인  $d$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다(Choi, 2015; Choi et al., 2015).

### 비선형 계획 알고리즘

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \\ & \frac{1}{2}d^T B d + \nabla f(x)^T d \\ & \text{subjected to} \\ & \nabla g_j(x)^T d + g_j(x) = 0 \quad j = 1, \dots, m_e \\ & \nabla g_j(x)^T d + g_j(x) \geq 0, \quad j = m_e + 1, \dots, m \end{aligned} \quad (8)$$

위의 식에서  $B$ 는 라그랑지(Lagrange)의 헤세행렬(Hessian matrix)을 나타낸다.

식(8)의 결과로 목적함수를 감소시키는 방향이 정해지면 이동거리를 결정하여 근사의 최적해를 부여한 점을 구한다. 이것을 다음 단계의 설계점으로 하여 반복 적용함으로써 최적해를 얻는다. 매 반복회에서 설계변수는  $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ 에 의하여 변화하며,  $\alpha_k$ 는 이동거리를 나타낸다

## 2.3 선체의 변형

본 연구에서 선체 변경 기법으로 가우시안형 수정함수법을 개발하여 적용하였다. 가우시안형 수정변수를 사용하면, 선형의 변경을 자유롭게 할 수 있으며, 형상이 변경된 후에도 선체의 형상을 부드럽게 유지할 수 있을 뿐 아니라, 적은 설계

변수를 가지고도 선형 변경을 할 수 있다는 장점이 있다. 특히 본 연구에서는 선박 형상의 최적화가 진행되는 과정에서 선박의 형상이 자동으로 변경되므로 믿을 수 있는 선박 형상 변경 알고리즘의 채택은 매우 중요한 요소 중 하나이다.

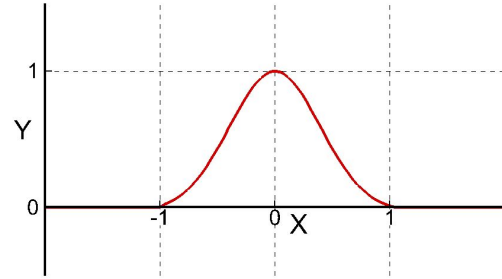


Fig. 1. Gaussian-type modification function (profile).

Fig. 1에서 보는 바와 같이  $x=0$ 인 지점이 가우시안 수정함수의 기준점이며, 설계변수가 된다. 분포함수를 따라 선형 변경이 이루어지도록 하는 것이며, 가우시안형 수정함수는 Fig. 1과 식(9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(X) = \left| e^{-(c_1 X)^2} - |X| e^{-c_2} \right| \quad (9)$$

식(9)에서 사용된 계수들을 값을 정하기 위하여 시행착오를 거쳤으며, 본 연구에서는  $c_1 = 1.8$ ,  $c_2 = 3.5$ 를 사용하였다. 이 계수들의 값은 선박형상 변화의 방향에 중요한 변수가 될 수 있을 것으로 판단된다. 계수들의 값은 선형과 속도에 따라서 변경될 수 있다.

Fig. 2는 가우시안 수정함수를 사용하여 선체의 프로파일을 변경하는 예시를 나타낸 것이다.  $P_{OLD}$ 에서  $P_{NEW}$ 로 설계변수가 이동하면 가우시안형 수정함수를 따라 선체 프로파일도 변경하는 것을 볼 수 있다. Fig. 2(a)는 한 점을 이동했을 때, Fig. 2(b)는 세 점을 이동했을 때의 예시를 보여주고 있다.

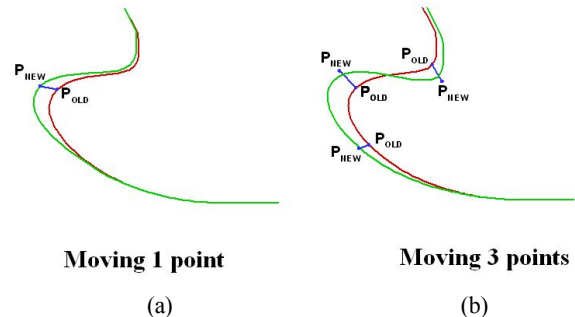


Fig. 2. Profile modification.

두 번째 단계는 선체의 폭 방향에 대한 선형의 변경을 수행하게 수행하는 것이다.

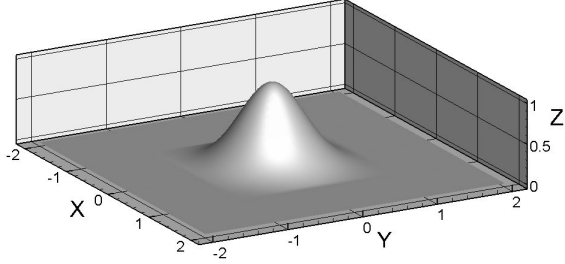


Fig. 3. Gaussian-type modification function (hull surface).

Fig. 3에서 보는 바와 같이  $x=0, y=0$ 인 지점이 가우시안 수정함수의 기준점이며, 설계변수가 된다. 분포함수를 따라 선체 표면상의 선형 변경이 이루어지도록 하는 것이며, 선체 표면 변경을 위한 가우시안형 수정함수는 Fig. 3과 식(10)과 같이 나타낼 수 있다(Choi, 2015).

$$f(X, Y) = \left| e^{-(c_1 X)^2} - |X| e^{-c_2} \right| \left| e^{-(c_1 Y)^2} - |Y| e^{-c_2} \right| \quad (10)$$

Fig. 4는 가우시안 수정함수를 사용하여 선체의 표면을 변경하는 예시를 나타낸 것이다.  $P_{OLD}$ 에서  $P_{NEW}$ 로 설계변수가 이동하면 가우시안형 수정함수를 따라 선체 표면이 변경하는 것을 볼 수 있다. Fig. 4(a)는 한 점을 이동했을 때, Fig. 4(b)는 세 점을 이동했을 때의 예시를 보여주고 있다.

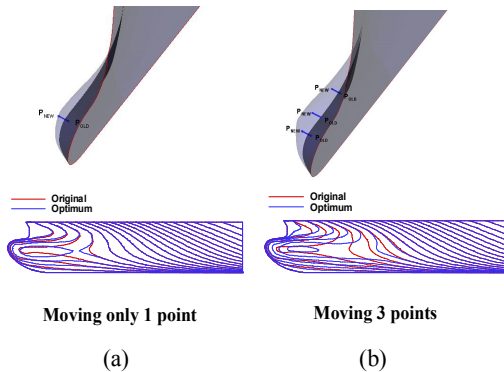


Fig. 4. Hull-surface modification.

### 3. 수치해석 및 토론

본 연구의 목적은 2가지 선속에서 운항하는 선박의 선형 설계 자동화에 관한 것이다. 가장 기본적인 선박의 형상을 가지는 60계열( $C_B=0.6$ ) 선박을 대상 선박으로 선택하여 연구

를 수행하였다. Fig. 5와 6 그리고 Table 1은 대상선박에 대한 선도와 제원을 나타낸 것이다.

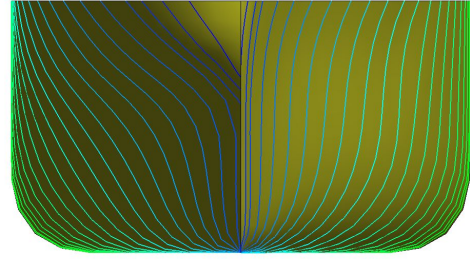


Fig. 5. Lines of Series60 ( $C_B=60$ ) ship.

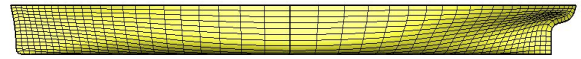


Fig. 6. Series60 ( $C_B=60$ ) ship & computation grid.

Table 1. Principal particulars of Series60 ( $C_B=60$ ) ship

Length between perpendiculars	(m)	100.0
Breadth moulded	(m)	5.80
Draft	(m)	5.33

Table 2. Service schedule of Series60 ( $C_B=60$ ) ship

Service speed (knot)	Service days/year	Service ratio (%)
15.2 ( $F_N=0.250$ )	120	40
19.2 ( $F_N=0.316$ )	180	60

Table 2에서 보는 바와 같이 대상 선박은 일년 중 40%는 15.2 knot( $F_N=0.250$ )에서 운항하였고, 60%는 19.2 knot( $F_N=0.250$ )에서 운항을 하였다고 가정하였으며, 이를 근거로 본 연구에서는 목적함수를 식(11)과 같이 정의하였다.

$$Objective Fn. = C_{W(15.2knot)} \times 0.4 + C_{W(19.2knot)} \times 0.6 \quad (11)$$

Fig. 7은 선체의 프로파일 변경에 사용된 설계변수를 도식화한 것이다. A점과 B점이 설계변수를 나타낸 것이고, A1과 B1은 설계변수들의 하한을, 그리고 A2과 B2은 상한을 나타낸 것이다. 설계변수는 최적화를 위한 반복계산 동안 상한과 하한 사이를 자동으로 이동하면서 식(9)에서 정의한 가우시안 분포함수에 따라서 프로파일의 형상을 변경하게 된다. 식(9)에서  $X$ 는 길이 방향의 좌표를 나타낸다.

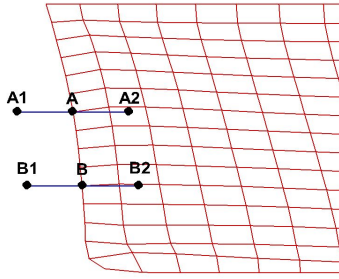


Fig. 7. Design variables & boundary condition moving in X- & Z-directions.

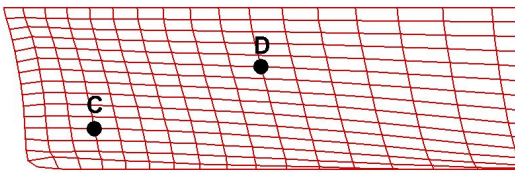


Fig. 8. Design variables & boundary condition moving in Y-directions.

Fig. 8은 폭 방향으로 변경이 가능한 설계변수를 나타낸 것이다. 일반적으로 본 연구에서 채택한 선속들에서 운항하는 선박은 구상선수를 채택하는 경우가 일반적이다. 그러나 본 연구에서 채택된 대상선박은 구상선수를 채택하지 않고 있다. 그러므로 설계변수 C를 설계변수로 주어 선박이 구상선수를 채택하는 방향으로 진화하는지에 아닌지를 알고자 하였다. 그리고 선박 형상의 설계는 조파현상과 관계가 깊다. 그러므로 자유수면 근처인 D에 설계변수를 두어 조파현상에 영향을 받는 조파저항계수가 어떻게 변화하는 지을 알고자 하였다. 설계변수가 늘어나면 그에 따라 수치해석을 위한 계산시간도 기하급수적으로 늘어나므로 이에 대한 고려가 필요하다고 생각된다. 설계변수 C와 D의 상한과 하한은 설계변수의 초기값을 기준으로 각각  $\pm 2$ 미터이다. 설계변수는 최적화를 위한 반복계산 동안 상한과 하한 사이를 자동으로 이동하면서 식(10)에서 정의한 가우시안 분포함수에 따라서 선박의 형상을 변경하게 된다. 식(10)에서  $X$ 는 길이 방향의 좌표와  $Y$ 는 흘수 방향의 좌표를 나타낸다.

$$\Delta_{OptimizedHull} - \Delta_{OriginalHull} \geq 0 \quad (12)$$

$$S_{WET-OptimizedHull} - S_{WET-OriginalHull} \geq 0 \quad (13)$$

식(12)과 식(13)은 최적화 과정 중 부과된 제한조건을 나타낸다. 선박이 진화해 나가는 동안에 선박의 배수량(displacement;  $\Delta$ )과 접수표면적(wetted surface area;  $S_{WET}$ )은 초기 선박의

배수량과 비교하여 줄어들지 않아야 한다는 제한조건을 부과하여 최적화를 진행하였다.

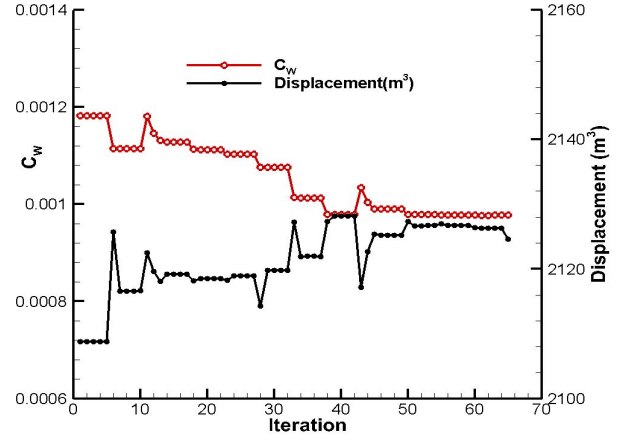


Fig. 9. Convergency history.

Fig. 9는 최적화 과정 중에서 목적함수인 조파저항계수와 배수량의 변화를 나타낸 것이다. 총 65번의 반복계산을 수행하였으며, 총 12번의 방향 탐색을 거쳐서 최적 점을 찾아가고 있는 것을 알 수 있었다. 계산에 사용된 프로세서는 Core i7-6700K cpu이며, 32 GB 램을 사용하였다. 총 선박 형상 설계에 사용된 시간은 83분이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 선박의 배수량은 단계적으로 증가하는 반면, 목적함수인 조파저항계수는 단계적으로 감소하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10~11은 초기선형과 최적선형의 선도를 서로 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 선박의 급격한 변화에도 불구하고 형상의 찌그러지지 않을 뿐 아니라 65번의 형상의 변화에도 불구하고 민을 만한 형상을 유지한다는 것을 알 수 있다. 최적선형은 초기선형과 비교하여 구상선수를 생성하는 방향으로 진화한 것을 알 수 있다.

선박의 최적 형상 설계 자동화에 있어서 중요한 요소 중 하나는 수십 또는 수백 번의 반복계산 동안 어떤 상황에서도 합리적인 선박의 형상을 유지해야 한다는 것이다. 수치해석 결과를 근거로 본 연구에서 적용한 가우시안 수정변수법은 합리적인 선박 형상 유지에 매우 적합하다고 판단된다.

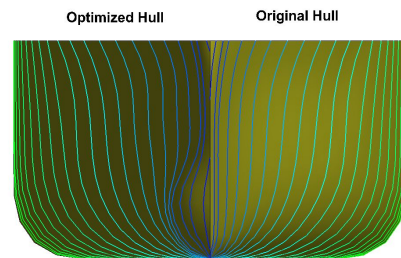


Fig. 10. Comparison of lines.



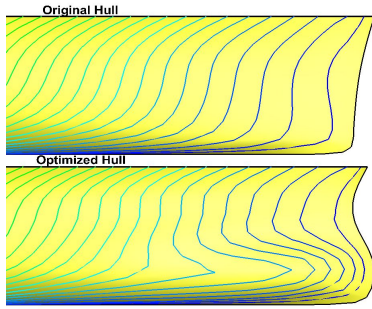


Fig. 11. Comparison of buttocks.

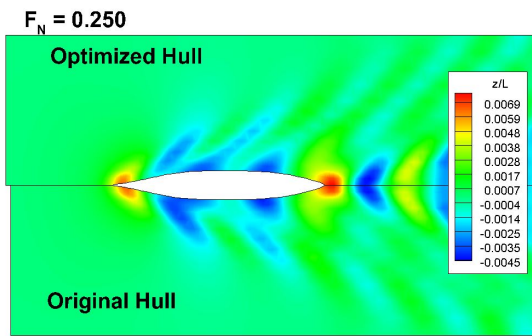


Fig. 12. Comparison of wave patterns.

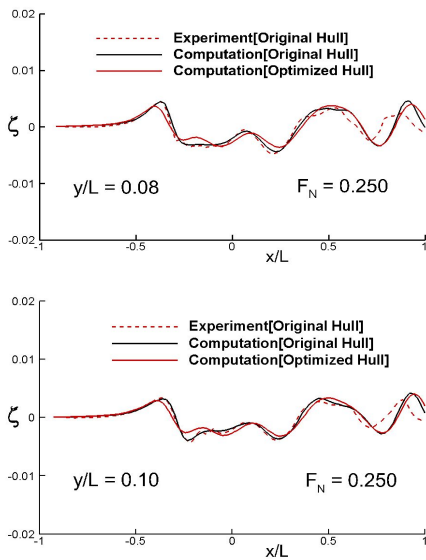


Fig. 13. Comparison of wave heights.

Fig. 12~13는 초기선형과 최적선형에 대하여  $F_N=0.250$ 에서 예측된 자유수면의 파형과 파고를 서로 비교한 것이다. 자유수면에서의 파고는 식(3)을 사용하여 구하였다(Choi et al., 2008). 본 연구에서 유동장과 목적함수의 예측을 위하여 적

용한 수치해석 기법의 타당성을 보이기 위하여 초기선형의 수치해석 결과를 모형시험을 수행하여 측정한 값과 서로 비교하였다(Choi et al., 2015). 파고의 비교는 선측방향으로  $y/L=0.8$ 과  $1.0$ 에서 예측된 값을 비교하였다. 최적선형에 의해서 유기된 파는 초기선형과 비교하여 구상선수의 발생으로 인하여 선수파가 줄어든 것을 알 수 있으며, 선박 어깨(shoulder)에서도 파가 줄어든 것을 알 수 있다. 본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 초기선형에 대하여 모형시험을 수행하여 측정한 파고의 실험값을 수치해석을 수행하여 얻은 해석값과 서로 비교하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 선수부에서는 수치해석을 수행하여 얻은 해석값이 모형시험을 수행하여 측정한 실험값을 잘 예측하는 것을 볼 수 있다. 그러나 선미부에서는 포텐셜기저 패널법의 비점성 유동 해석이라는 한계로 인하여 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

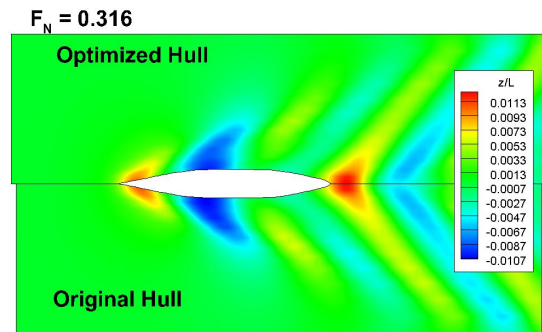


Fig. 14. Comparison of wave patterns.

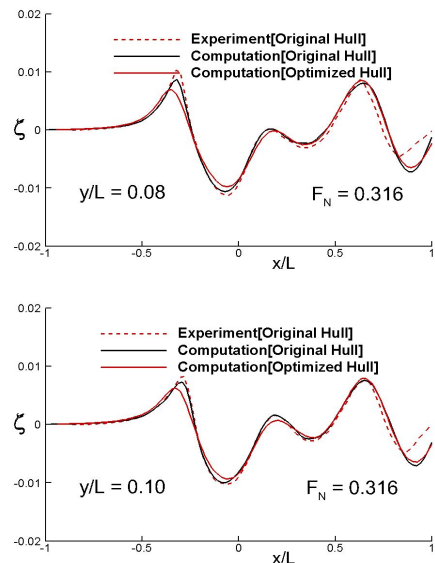


Fig. 15. Comparison of wave heights.

Fig. 14~15는 초기선형과 최적선형에 대하여  $F_N=0.316$ 에서 예측된 자유수면의 파형과 파고를 서로 비교한 것이다.  $F_N=0.316$ 에서와 같은 방식으로 파고의 비교는 선측방향으로  $y/L=0.8$ 과  $1.0$ 에서 예측된 값을 비교하였다. 최적선형에 의해서 유기된 파는 초기선형과 비교하여 구상선수의 발생으로 인하여 선속파가 줄어든 것을 알 수 있으며, 선박 어깨(shoulder)에서도 파가 줄어든 것을 알 수 있다.  $F_N=0.316$ 에서도 해석결과의 타당성을 검증하기 위하여 초기선형에 대하여 모형시험을 수행하여 예측된 파고의 실험값을 수치해석을 수행하여 얻은 해석값과 서로 비교하였으며,  $F_N=0.250$ 에서의 해석결과와 동일한 현상이 발생한다는 것을 알 수 있었다.

Table 3. Comparison of hydro-static & drodynamic data

	Original Hull	Optimum Hull	$\Delta$ (%)
$\nabla$ ( $m^3$ )	2108	2125	+0.81
$S_{wet}$ ( $m^2$ )	849	856	+0.83
$C_W \times 10^3$	( $F_N=0.316$ )	1.4112	-18.1
	( $F_N=0.250$ )	0.3260	-11.8

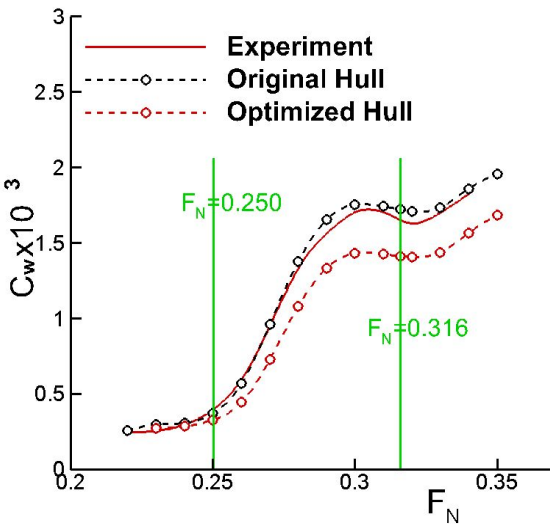


Fig. 16. Comparison of wave heights.

Table 3는 초기선형과 최적선형의 배수량, 점수표면적 그리고 조파저항계수를 서로 비교한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 배수량은 0.81%가 늘어났고, 점수표면적은 0.83%가 늘어난 것을 알 수 있다. 그리고 배수량과 점수표면적의 증가에도 불구하고 조파저항성능은  $F_N=0.250$ 에서는 11.8%가 줄

어들었고,  $F_N=0.316$ 에서는 18.1%가 줄어든 것을 알 수 있다.

Fig. 16는 초기선형과 최적선형에 대하여 선속을 바꾸어가면서 수치해석을 수행하여 예측한 조파저항계수를 서로 비교한 것이다. 해석결과의 타당성을 검증하기 위하여 초기선형에 대하여 모형시험을 수행하여 예측된 실험값을 수치해석을 수행하여 얻은 해석 값과 서로 비교하였다. 초기선형에 대하여 수치해석을 수행하여 예측한 계산 값이 모형시험 값을 잘 예측하는 것을 알 수 있다. 그리고 최적선형은 초기선형과 비교하여 전 속도영역에서 일정한 비율로 조파저항성능이 감소한 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구의 목적은 2가지 선속에서 운항하는 선박의 선형 설계 자동화에 관한 것이다. 가장 기본적인 선박의 형상을 가지는 60계열( $C_B=0.6$ ) 선박을 대상 선박으로 선택하여 연구를 수행하였다. 최적화 기법과 조파저항성능예측기법 그리고 선형변경기법을 적용하여 개발된 소프트웨어를 적용하여 수치해석을 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 2가지 선속에서 운항하는 선박을 조파저항성능 향상의 관점에서 최적 형상 설계 자동화를 수행할 경우에 초기선박은 구상선수를 생성하는 방향으로 진화한다는 것을 알 수 있었다.
2. 본 연구에서 선박 형상 변경 자동화를 위하여 적용한 기법인 가우시안 수정변수법은 최적화 과정에서 필요한 수많은 반복계산 중 어떤 상황에서도 합리적인 선박 형상 유지하는데 매우 적합하다고 판단된다.
3. 향후 상선을 포함한 다소 복잡한 형상을 가지는 선박에 적용할 예정이며, 점성을 포함한 선박형상의 설계에도 적용하여 그 결과를 발표할 예정이다.

#### References

[1] Choi, H. J.(2015), Hull-form optimization of a container ship based on bell-shaped modification function, International Journal of Naval Architecture & Ocean Engineering, Vol. 7, No. 3, pp. 478-489.

[2] Choi, H. J., H. H. Chun, I. R. Park and J. Kim(2011), Panel cutting method-new approach to generate panels on a hull in Rankine source potential approximation, International Journal of Naval Architecture & Ocean Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 225-232.

- [3] Choi, H. J., G. W. Lee, S. D. Youn and H. H. Chun(2005), Study on the development of an optimal hull form, International Journal of Navigation and Port Research, Vol. 29, No. 7, pp. 603-609.
- [4] Choi, H. J., D. W. Park and M. S. Choi(2015), Study on optimized hull form of basic ships using optimization algorithm, Journal of marine science and technology, Vol. 23, No. 1, pp. 60-68.
- [5] Choi, H. J., J. Kim, S. H. Van, I. R. Park and K. S. Kim(2008), Variable Free Surface Panel Method for Potential Flow Anlysis around a Ship, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 1, pp. 54-61.
- [6] Park, D. W. and H. J. Choi(2012), Study for optimal hull form design of a high speed Ro-rax ship on wave-making resistance performance, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 36, No. 10, pp. 787-793.
- [7] Raven, H. C.(1996), A Solution Method for the Non-Linear Ship wave Resistance Problem, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Netherlands, pp. 2-19.

---

Received : 2018. 01. 11.

Revised : 2018. 02. 19. (1st)

: 2018. 05. 11. (2nd)

Accepted : 2018. 06. 27.