

## 종모양 분포 변환함수를 이용한 선형최적화 기법에 관한 연구

최희종<sup>†\*</sup>, 김희정<sup>\*\*</sup>, 전호환<sup>\*\*</sup>, 정광효<sup>\*\*</sup>

한국해양연구원 해양시스템안전연구소<sup>\*</sup>  
부산대학교 조선해양공학과<sup>\*\*</sup>

### Hull Form Optimization by Modification Function of Bell-shaped Distribution

Hee Jong Choi<sup>†\*</sup>, Hee Jung Kim<sup>\*\*</sup>, Ho Hwan Chun<sup>\*\*</sup> and Kwang Hyo Jung<sup>\*\*</sup>

Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI<sup>\*</sup>  
Dept. of Naval Arch. & Ocean Eng., Pusan National University<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

A design procedure for a ship with minimum total resistance was developed using a numerical optimization method called SQP(Sequential Quadratic Programming) and a CFD technique based on the Rankine source panel method with the nonlinear free surface boundary conditions. During the whole optimization process the geometry of the hull shape was represented based on the NURBS(Non-uniform rational B-spline) technique and the modification of the hull shape was controlled using the Bell-shaped distribution function to keep the fairness of the hull shape before and after the hull modification.

The numerical analysis was carried out using 4000TEU container ship in the towing tank facility installed in the Pusan national university to know the validity of the developed algorithm for this study. As the results of the numerical analysis it proved that the resistance of the optimized hull is conspicuously reduced in comparison with the original hull in a wave-making resistance point of view.

※Keywords: Optimization method(최적화기법), Sequential quadratic programming(순차이차계획법), Panel method(패널법), Bell-shaped distribution(종모양 분포), Modification function(변환함수)

#### 1. 서론

접수일: 2006년 1월 16일, 승인일: 2006년 7월 24일

† 교신저자: choihj@moeri.re.kr, 010-5509-0005

선박의 전체 저항은 크게 유체의 점성에 의하여 발생하는 마찰저항과 형상저항 그리고 자유수면의

존재로 인해 발생하는 조파저항 성분으로 나눌 수 있다. 보통 조파저항 성분은 대상 선종에 따라 다르지만 선박의 전저항 성분 중 10%에서 50% 정도의 비중을 차지하는 것으로 널리 알려져 있다. 또한 마찰저항이나 형상저항과는 달리 조파저항은 선체의 형상에 매우 민감하여 미세한 선형의 수정에도 쉽게 영향을 받기 때문에 새로운 선박을 설계할 때 선박이 유기하는 파계(wave pattern)를 수치해석의 방법을 사용하여 미리 정확하게 추정하는 것은 선형 설계에 있어서 매우 중요한 일이다.

실선의 저항과 속도추정을 정성적, 정량적 측면에서 정확히 예측하기 위해서는 모형시험을 이용하는 것이 가장 확실한 방법이며, 새로운 선박을 건조하기 위해 선형을 개발하는 조선소에서는 반드시 모형시험을 수행하여 성능을 검증하는 것이 관례이다. 반면에 이론에 기초를 둔 수치해석기법을 이용하여 정량적인 저항값을 예측하기에는 아직까지 다소 미흡한 점이 있기는 하지만 모형시험과 비교하여 비용과 시간의 측면에서의 장점으로 인하여 선형개발에 효과적으로 활용되고 있으며, 특히 최근 급속한 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 이론에 의한 저항값의 추정기법이 크게 발전하였으며, 최근에는 최적화기법의 접목하여 저항의 관점에서 우수한 선형을 개발하고자 하는 활발한 연구가 이루어지고 있다.

선박설계와 관련된 연구는 조선공학자들에 의하여 광범위하게 수행되고 있으며 많은 관련 논문들이 발표되고 있다. 김희정과 전호환(1999, 2000)은 WIG선과 Series 60선에 대한 최적화를 수행하였으며, 최희종 등(2003, 2004)과 Choi et al.(2005)은 B-spline 기법을 이용하여 선체를 표현하고 변형하는 방법을 사용하여 컨테이너선의 최적화를 수행하였는데, 이들은 포텐셜유동해석기법과 직접탐색법인 SQP법을 이용하여 선형의 최적화를 수행하였다.

선형최적화에 점성유동해석기법을 사용한 예로서, Janson and Larsson(1996)은 선수부분의 유동은 포텐셜유동, 선미부분의 유동은 점성유동으로 가정하여 목적함수인 전저항을 구하고, 배수량을 제한조건으로 하여 최적화 계산을 수행하였으

며, Hino et al.(1998)와 Tahara et al.(1998)은 최적화기법 중 비선형계획법인 SQP법과 유동해석기법인 RaNS(Reynolds-averaged Navier Stokes)을 이용하여 선형최적화를 수행하고, 그 결과로서 전저항이 감소하는 선형을 제시한 바 있다. 사용된 최적기법으로 SQP법 이외에도 여러 가지 기법들이 사용되었는데, Daniele et al.(2001)은 직접탐색법인 SD(steepest descent), CG(conjugate gradient)과 SQP법을 사용하여 유조선의 선수부 벌브 근처에 대하여 선체의 형상을 변화시켜가면서 최적화를 수행하고 그 결과를 발표하였으며, Day and Doctors(1997)는 최적화 기법으로 생물진화의 원리에 기초를 두고 개발된 확률적 탐색법인 GA(genetic algorithm)법과 Mitchell의 얇은배이론(thin ship theory)을 이용하여 선형최적화를 수행하였다.

본 연구에서는 선형최적화를 수행하기 위하여 포텐셜유동해석기법 중에서 패널법을 이용하였으며, 자유수면 경계조건의 비선형성을 고려하였다. 선형최적화는 실제 조파저항에 많은 영향을 미치면서 상대적으로 비점성유동과 흡사한 유동양상을 보이는 영역인 벌브와 엔트런스부에 대하여서만 선형을 변경해가며 최적화를 수행하였다. 최적화 기법은 빠른 수렴성을 가지는 것으로 알려진 비선형 계획법의 하나인 SQP법을 사용하였다. 선체형상의 표현은 NURBS(Non-Uniform Rational B-spline)를 이용하였으며, 최적화과정 중 선형의 변환은 선체의 변환 후의 선체표면의 부드러운 변환을 유지하기 위하여 종모양 분포함수를 적용하여 선형변경에 사용하였다. 개발된 선형최적화 프로그램을 4000TEU 컨테이너선에 대하여 적용하였으며 부산대학교 선형시험수조에서 모형시험을 수행하여 그 타당성을 검증하였다.

## 2. 최적화 알고리즘

최적화 문제에 대한 일반식은 다음과 같다

$$\begin{aligned} & \text{최적화 문제} \\ & \text{minimize} \quad f(x) \\ & \text{subjected to} \quad g_j(x) = 0, \quad j=1, \dots, m_e \end{aligned} \quad (1)$$

$$g_j(x) \geq 0, \quad j = m_e + 1, \dots, m$$

$$x_l \leq x \leq x_u$$

위의 식에서  $x$ 는 설계변수,  $f$ 는 목적함수,  $g$ 는 제약조건,  $x_l$ 과  $x_u$ 는 각각 설계변수의 하한과 상한,  $m$ 는 제약조건의 수 그리고  $m_e$ 는 제약조건 중 등식 제약조건의 수를 나타낸다.

본 연구에서는 최적화 문제를 풀기 위하여 비선형 최적화 기법인 SQP법을 사용하였다. SQP법은 비선형의 목적함수와 제약조건을 설계변수에 대해서 Taylor전개하고, 목적함수는 이차식으로 제약조건은 일차식으로 근사하여 근사 부문제를 얻는다 (Vanderplaats 1984). 근사 부문제를 탐색방향인  $d$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

**비선형 계획 알고리즘**

$$\text{minimize } \frac{1}{2} d^T B d + \nabla f(x)^T d \quad (2)$$

subjected to  $\nabla g_j(x)^T d + g_j(x) = 0,$

$$j = 1, \dots, m_e$$

$$\nabla g_j(x)^T d + g_j(x) \geq 0,$$

$$j = m_e + 1, \dots, m$$

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

식(2)의 결과로 목적함수를 감소시키는 방향이 정해지면 이동거리를 결정하여 근사의 최적해를 부여한 점을 구한다. 이것을 다음 단계의 설계점으로 하여 반복 적용함으로써 최적해를 얻는다. 매 반복해에서 설계변수는  $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ 에 의하여 변화하며,  $\alpha_k$ 는 이동거리를 나타낸다.

**3. 목적함수의 계산**

조파저항성분을 목적함수로 두었으며, 선형최적화를 수행한 이후 전저항을 추정은 3차원법을 사용하여 구하였다.

**조파저항의 계산**

선체주위의 유동이 비점성, 포텐셜 유동이라는

가정과 자유수면 경계조건의 비선형성을 고려한 패널법에 의해 선체주위의 유동을 계산하고 선체 표면에서의 속도성분을 구하였다. 베르누이의 정리를 이용하여 선체표면에서의 압력계수를 구한 다음, 압력계수를 선체표면에 걸쳐서 적분하여 선체에 미치는 조파저항을 계산하였다(Raven 1996, 최희종과 전호환 2001).

$$C_w = - \frac{\int_S C_p n_x ds}{S} \quad (3)$$

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

**마찰저항의 계산**

마찰저항계수는 ITTC 1957년 모형선-실선 상관곡선을 이용하여 구하였다.

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2} \quad (4)$$

위의 식에서  $Re$ 는 레이놀즈 수(Reynold's number)를 나타낸다.

**전저항의 계산**

전저항은 선체주위의 유동이 박리가 발생하지 않는다는 가정 하에 Hughes의 3차원 법을 이용하여 구하였다.

$$R_T = 0.5 \rho U^2 S [C_w + C_f(1+k)] \quad (5)$$

위의 식에서  $\rho$ 는 물의 밀도,  $U$ 는 선체의 진행 속도 그리고  $(1+k)$ 는 형상계수(form factor)를 나타내며, 형상계수는 Holtrop(1984)이 제안한 식을 사용하였다.

**4. 선체의 변형**

본 연구에서 개발하고자 하는 선형최적화 방법은 최적화하고자 하는 선형을 초기에 입력하면 프로그램이 자동으로 최적선형을 도출해내는 방법으로 선형최적화를 위한 모든 제어는 프로그램에 의

하여 행하여지게 하는 것이다. 그러기 위하여 선형 최적화 도중에 자동으로 선형을 변경시키고 수치해석을 위한 계산격자를 생성한 후 목적함수를 구하는 과정을 반복해가면서 최적선형을 도출하는 선형변경 알고리즘이 필연적으로 필요하게 되었다. 최희중 등(2003)과 Choi et al.(2005)은 B-spline법을 사용하여 선형최적화를 수행하였는데, 선체의 표면을 정의하는 B-spline 꼭지점들을 설계변수로 두고, 이를 변경해가면서 선형최적화를 수행하였는데, 이와 같은 방법을 사용하여 선형최적화를 수행하는 경우 선체표면을 단지 몇 개의 꼭지점들에 의하여 정의하여야 하며 선체표면의 정밀한 표현이 불가능해진다. 만약 꼭지점의 개수를 늘려서 선체표면의 더 세밀하게 표현하고자 한다면, 설계변수가 늘어서 계산시간이 기하급수적으로 늘어나게 된다. 본 논문에는 이러한 단점을 극복하기 위해 종모양 분포함수를 이용한 선체 변환 기법을 개발하였는데 이 기법에서는 종모양 분포함수의 기준점이 설계변수가 되고 종모양 분포함수를 따라 선형 변경이 이루어지도록 하였으며, 이렇게 하면 선형의 변경 후에도 선체의 형상을 부드럽게 유지할 수 있을 뿐 아니라, 적은 설계변수를 가지고도 선형최적화를 수행할 수 있는 장점이 있다.

종모양 분포함수는 가우시안(Gaussian) 함수형을 가지며, 이 함수를 이용한 선형의 변경은 크게 3가지 단계에 의하여 수행되어진다.

첫 번째 단계는 먼저 선체의 프로파일을 변경하는 것이며, 선체의 프로파일의 변경에 사용된 식은 다음과 같다.

$$f(x) = e^{-4x^2} - |x|e^{-4} \tag{6}$$

Fig. 1에서 (a)는 식(6)을 나타낸 것이며, (b)와 (c)는 각각 선체의 프로파일을 정의하는 점들 중에서 1개와 3개의 점이 일정거리만큼 이동하였을 때 변경된 모양을 나타낸 것이다. 선형최적화과정 중 이동하고자하는 점들의 개수는 최적화 대상선종에 따라 설계자가 결정할 수 있다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 프로파일이 이동전과 비교하여 이동 후에도 선체의 형상을 부드럽게 유지하고 있다는 것을 알 수 있다.

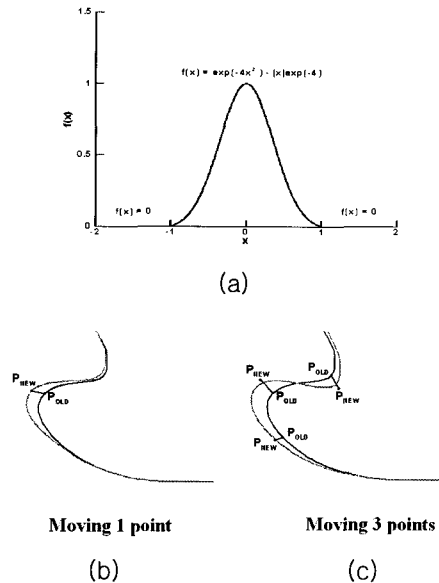


Fig. 1 Bell-shaped distribution function used for profile modification

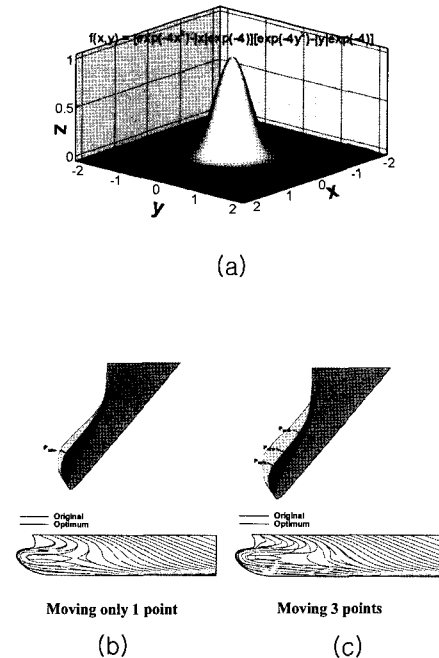


Fig. 2 Bell-shaped distribution function used for hull surface modification

두 번째 단계에서는 선체의 폭 방향에 대한 선형의 변경을 수행하게 되며, 선체의 폭 방향의 변경에 사용된 중모양 분포함수는 다음과 같은 매개 변수형으로 표현할 수 있다.

$$f(u, v) = |e^{-4u^2} - |de^{-4}| |e^{-4v^2} - |de^{-4}| \quad (7)$$

Fig. 2에서 (a)는 식(7)을 나타낸 것이며, (b)와 (c)는 각각 선체의 표면을 정의하는 점들 중에서 1개와 3개의 점이 일정거리만큼 이동하였을 때 변경된 모양을 나타낸 것이다. 이 경우에도 선체의 표면이 이동 후에도 선체의 형상을 부드럽게 유지하고 있다는 것을 알 수 있다.

최종 단계로서 식(7)에 의하여 변경된 선형을 식(6)에 의하여 변경된 선체의 영역 내에 포함되도록 맵핑하면 된다.

### 5. 최적화 수행 결과

본 연구를 위하여 개발된 최적화프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 4000TEU 컨테이너선에 대하여 선형최적화를 수행하였으며, 그 결과의 타당성을 검증하기 위하여 부산대학교에 설치된 선형시험수조에서 모형시험을 수행하였다.

#### 설계변수의 선정

본 연구에서는 선형최적화의 대상인 목적함수로 조파저항을 두었으며, 목적함수를 구하기 위하여 앞에서 언급한 바와 같이 패널법을 사용하였다. 패널법은 포텐셜유동해석기법의 일종으로 유동이 비점성유동이라는 가정에서부터 출발하므로, 당연히 유동성향이 비점성유동에 가까운 영역에서 잘 맞는다고 할 수 있다.

선체의 경우 선수부의 유동은 비교적 비점성유동에 가까운 반면 선미부의 유동은 복잡한 점성유동이 지배적인 관계로 본 연구에서는 선체표면의 전반에 걸쳐서 선형최적화를 수행하지 않고, Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 비점성유동이 지배적일 것으로 생각되는 선수부 30%의 영역에 대하여서만 선형최적화를 수행하였다.

Fig. 4는 선체의 프로파일 변경에 사용된 설계변수를 도식화한 것이다. 앞에서 설명한 바와 같

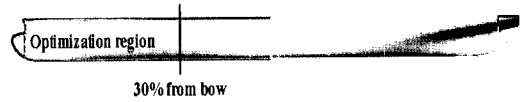


Fig. 3 Optimization region

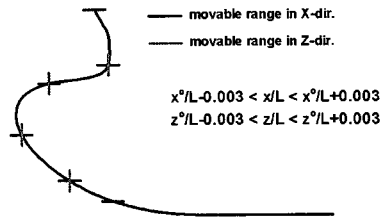


Fig. 4 Design variables allowed moving in x & z-direction

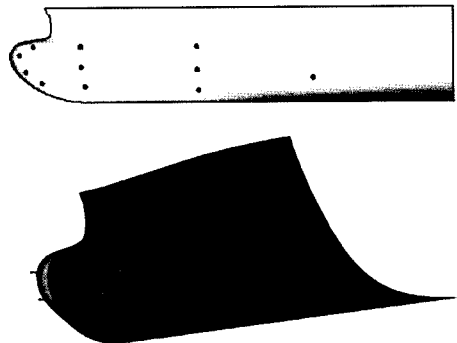


Fig. 5 Design variables allowed moving in y-direction

이 이 점들은 각각 x-축과 z-축 방향으로만 이동이 가능하게 제한하였으며, 선체의 흡수방향으로의 최대길이 언제나 같은 크기를 가지도록 제한하였다. 각 방향에 대한 설계변수의 상한과 하한은 다음 식과 같다.

$$x^\circ/Lpp-0.003 < x/Lpp < x^\circ/Lpp+0.003 \quad (8a)$$

$$z^\circ/Lpp-0.003 < z/Lpp < z^\circ/Lpp+0.003 \quad (8b)$$

Fig. 5는 폭 방향으로 이동이 가능한 설계변수를 나타낸 것이다. 선체의 폭 방향 이동에 대한 설계변수의 선정은 선형설계자의 경험과 변환의

범위에 따라 달라지며 본 연구에서는 그림에서 나타난 것을 사용하였다. 만약에 선체의 벌브부근에서만 선형을 변경 할 경우 벌브근처의 점들만을 선택하면 된다. 폭 방향 설계변수의 상한과 하한은 다음 식과 같다.

$$y^o/Lpp - 0.002 < y/Lpp < y^o/Lpp + 0.002 \quad (9)$$

**목적함수 및 제한조건의 설정**

선형최적화를 위한 목적함수로는 앞에서 언급한 바와 같이 식(3)으로 표현되는 조파저항계수를 사용하였으며, 제한조건은 선형최적화의 매 단계마다 초기선형과 비교하여 배수량이 같거나 또는 커져야 한다는 조건을 부과하였다. 실제 실용적인 선형최적화에서 배수량 동일 조건이 적용되어야 하지만 배수량의 변화를 허용하지 않으면 최적화의 탐색이 원활하지 않아서 이와 같은 제한조건을 부과하게 되었다.

**최적화결과 및 모형시험결과**

4000TEU 컨테이너선의 최적화가 수행된 설계 속도는  $Fn=0.254$ 이다.

초기선형과 최적선형의 Main particular의 변화를 Table 1에 나타내었다. 초기선형과 비교하여 최적선형에서는 LBP가 0.15%, CB는 0.25% 그리고 침수표면적은 0.31%가 늘어난 것을 알 수 있다.

Fig. 6, 7 그리고 8은 초기 선형과 최적 선형의 Body plan, Water lines, Buttock lines를 서로 비교한 것이다. 도출된 최적선형은 추가적인 선형의 수정이 없이도 선체의 형상을 유지하고 있는 것으

로 이루어 보아 본 연구에서 사용한 종모양 분포 함수가 선형의 형상 유지하면서 선형최적화를 수행하는데 적합하다는 것을 알 수 있다.

초기선형과 비교하여 최적선형에서는 벌브가 다소 아래로 내려가면서 뾰족해지고, 그리고 약간 커졌다는 것을 알 수 있다. 그리고 벌브를 지나면서 선체가 약간 비대해졌다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 초기선형과 최적선형에 대하여  $Fn=0.254$ 에서 수치해석을 수행하여 구한 선체에

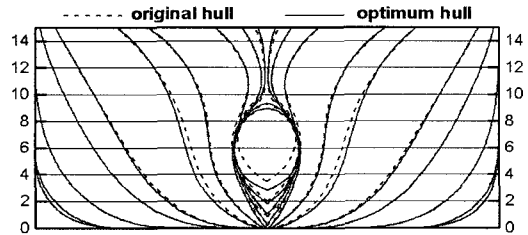


Fig. 6 Comparison of body plans

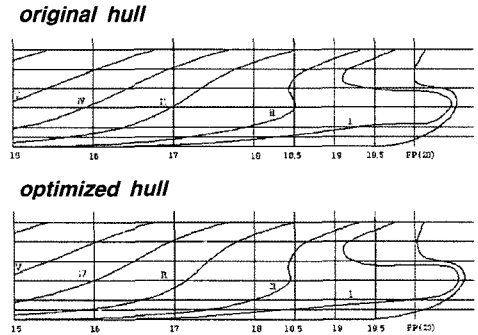


Fig. 7 Comparison of buttocks-lines

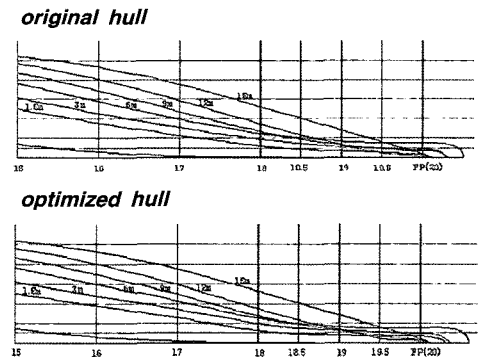


Fig. 8 Comparison of water-lines

Table 1 Hydrostatic data for 4000TEU

	Original	Optimized	(%)
LBP (m)	246	246.37	0.15
B (m)	32.25		
T (m)	10.80		
$C_B$	0.6351	0.6367	0.25
$S_{WET} (m^2)$	9852.3	9882.9	0.31
$\Delta (m^3)$	54419.4	54639.8	0.41

서 일정거리만큼 떨어진 위치에서의 파고를 서로 비교한 것이다. 초기선형과 비교하여 최적선형의 파고가 선수부의 어깨의 위치에서 약간 작아진 모습이다.

본 연구에서는 선형최적화 프로그램의 타당성 검증을 위하여 모형시험을 수행하였으며, Fig. 10 은 모형시험을 위하여 제작된 선형을 나타낸 것이다.

Fig. 11과 12는 각각 설계속도에서 계산된 파

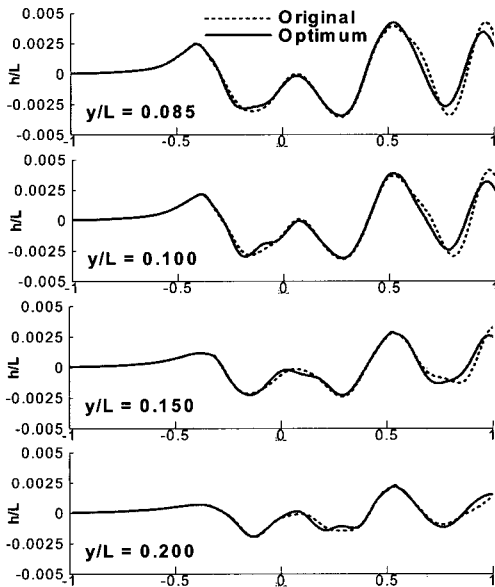


Fig. 9 Comparisons of wave-cuts

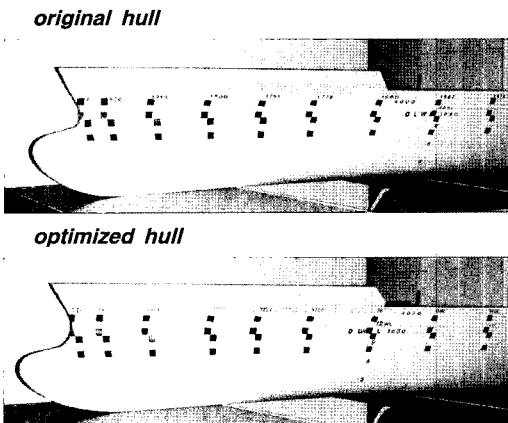


Fig. 10 Model ships

형과 모형시험을 하면서 찍은 선수부의 파의 형상을 서로 비교한 것이다. 초기선형과 비교하여 최적선형에서는 벌브를 통과한 선측파가 선수부의 어깨를 지나면서 다소 감소하는 것을 계산파형과 모형시험의 결과에서 볼 수 있다.

Table 2, Fig. 13 그리고 14는 초기선형과 최적선형에 대하여 설계속도 뿐 아니라 여러 가지 다른 선속에 대하여 수치해석을 수행한 결과와 모형시험을 수행한 결과를 서로 비교한 것이다.

표와 그림에서 언급한 형상계수는 Prohaska의 방식을 사용하여 구하였다. 표와 그림에서 알 수 있는 바와 같이 최적선형이 초기선형에 비하여 수치해석 결과로서 조파저항이 27%정도가 감소하였으며, 모형시험 결과로서는 설계속도에서 잉여저

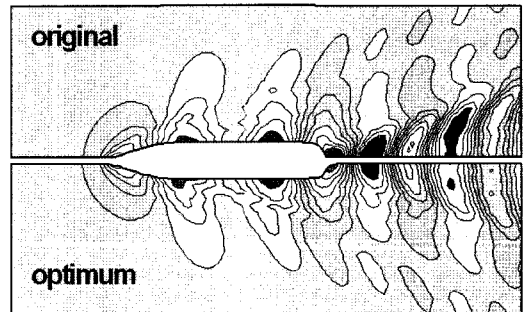


Fig. 11 Comparison of wave patterns

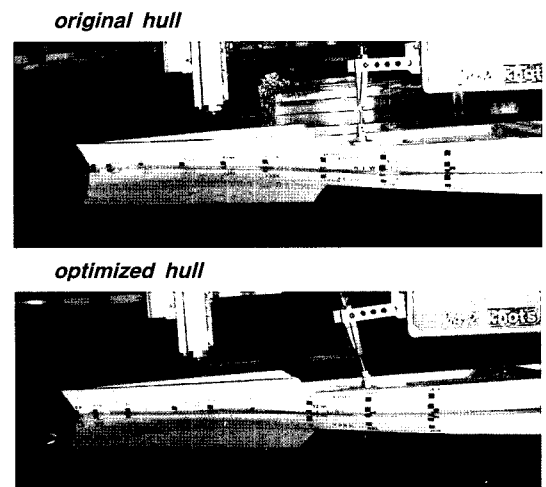


Fig. 12 Comparison of wave systems near bow

Table 2 Hydrostatic & hydrodynamic data

	Original	Optimum	%
$\lambda$	40		
$1+k$	1.155	1.159	
$C_{TM} \cdot 10^3$ (Exp.)	3.869	3.7550	-3.0
$C_W \cdot 10^3$ (Cal.)	0.4817	0.3519	-26.9
$C_R \cdot 10^3$ (Exp.)	0.3151	0.1924	-38.9
EHP	28581	27283	-4.6

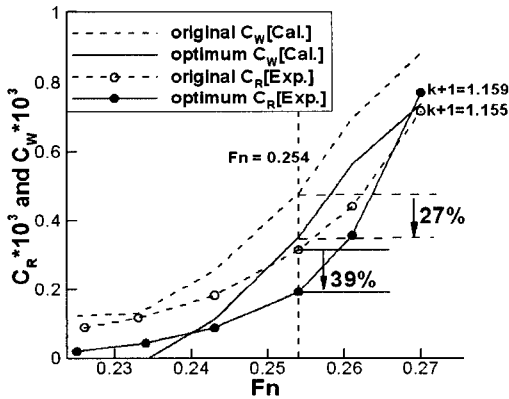


Fig. 13  $C_W$  and  $C_R$

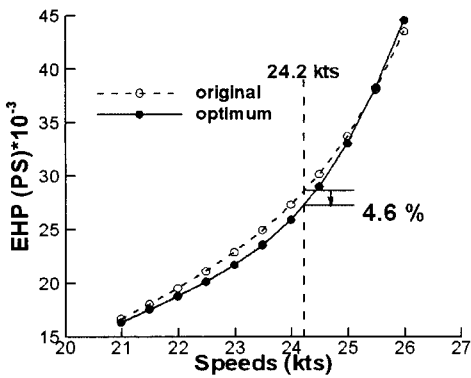


Fig. 14 EHP

항이 39%정도 감소한 것을 알 수 있다. 이와 같이 많은 잉여저항의 감소에도 불구하고 전저항계수는 3%만 감소한 것을 볼 수 있는데 이는 전저항에서 대부분이 마찰저항이므로 잉여저항이 크게 줄어도 전저항에 기여하는 부분은 작다는 것을 알 수 있다. 초기선형과 최적선형의 침수표면적이 거의 동일하므로 유효마력이 4.6% 감소한 것은 조파저항의 감소로 인한 결과로 판단된다. 특히 Fig. 6에서 보인 바와 같이 선수 벌브의 길이가 증가하고 벌브를 지난 선체가 비대해짐으로 벌브에 의한 조파저항 감소의 효과가 증가하여 성능이 개선된 것으로 생각된다.

Table 3은 설계속도에서 저항성분을 비교한 표이다. 초기선형과 비교하여 최적선형에서는 설계속도인 24.2 Kts에서 준추진효율의 차이가 -0.7%이므로 전달마력은 유효마력과 동일하게 4.6%감

Table 3 Hydrostatic & hydrodynamic data

	Original	Optimum	%
$\eta_H$	1.081	1.090	0.8
$\eta_R$	1.013	0.990	-2.3
$\eta_O$	0.638	0.642	0.6
$\eta_D$	0.698	0.693	-0.7
DHP	41277	39335	-4.6
M/T Speed	24.51 kts 97.4 rpm	24.74 kts 97.4 rpm	0.23 kts

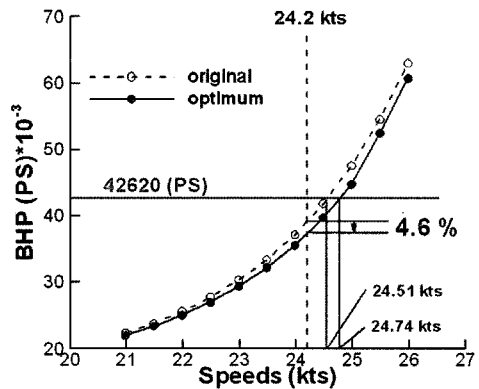


Fig. 15 BHP



소하였다. 동일한 NCR power에서 초기선형은 24.51 kts의 속도를 내는 반면 최적선형은 24.74kts의 속도를 내어 0.23kts 속도차이를 볼 수 있다. Fig. 15는 전속도 구간에서 전달마력의 비교 곡선이다.

## 6. 결론

1. 비선형 자유수면 경계조건을 고려한 패널법, 비선형 계획법인 SQP 최적화 기법과 종모양 분포함수를 이용한 최적화 프로그램은 비교적 선속이 빠른 선형의 선수부분 최적화에 유용하였다.

2. 선형의 변경을 위하여 사용된 종모양 분포함수는 설계변수의 제어 또는 해의 수렴에 유용하며 변환후의 선형은 fairness가 만족된 선형이 도출되었다.

3. 4000TEU 컨테이너선의 대한 선형최적화의 결과 초기 선형이 어느 정도 최적화가 이루어진 선박임에도 불구하고 조파저항이 크게 감소했다는 것을 알 수 있었다. 특히 선수부의 형상이 크게 변형되지 않았음에도 조파저항의 감소율이 크다는 것을 알 수 있었다.

4. 모형시험결과 본 연구에서 채택한 선형최적화 기법이 타당하며 초기선형과 비교하여 조파저항의 관점에서 우수한 선형을 도출한다는 것을 알 수 있었다.

5. 최적화의 결과를 선형 설계자가 사용할 경우 어떠한 설계 파라미터에 선형 개선인지를 파악하는 것이 중요하다. 현재의 결과는 설계 요소별로 최적화의 기여도를 파악하기는 어려우므로 향후 선형변환의 기법 개선을 통해서 이러한 점을 개선할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 우수연구센터(ASERC)지원과제의 일부로 수행된 것으로, 위 기

관의 후원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김희정, 전호환, 1999, "비선형 최적화 기법을 이용한 2차원 지면효과곡의 형상설계," 대한조선학회 논문집, 제 36권, 제 3호, pp. 50-59.
- 김희정, 전호환, 2000, "비선형 최적화 기법에 의한 최소 조파저항 선형 생성," 대한조선학회 논문집, 제 37권, 제 4호, pp. 11-18.
- 최희종, 서광철, 김방은, 전호환, 2003, "최소조파저항을 가지는 컨테이너선의 선형최적화기법에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 4호, pp. 8-15.
- 최희종, 전호환, 2001, "트랜스선미를 가지는 선형의 포텐셜 유동해석," 한국해양공학회지, 제 15권, 제 1호, pp. 1-6.
- 최희종, 정석호, 전호환, 2004, "최적선형개발에 대한 기초연구," 한국해양공학회지, 제 18권, 제 3호, pp. 32-39.
- Choi, H.J., Kim, M.C. and Chun, H.H., 2005, "Development of an Optimal Hull Form with Minimum Resistance in Still Water," Journal of SOTECH, Vol. 9, No. 3, pp. 1-13.
- Daniele, P., Michele, R. and Emilio, F.C., 2001, "Design Optimization of Ship Hulls via CFD Techniques," Journal of Ship Research, Vol 45, No. 2, pp. 140-149.
- Day, A.H. and Doctors, L.J., 1997, "Resistance Optimization of Displacement Vessels on the Basis of Pricipal Parameters," Journal of Ship Research, Vol. 41, No. 4, pp. 249-259.
- Hino, T., Kodama, Y. and Hirata, N., 1998, "Hydrodynamic Shape Optimization of Ship Hull Forms Using CFD," Proceedings 3rd Osaka Colloquium on Advanced CFD Applications to Ship Flow And Hull Form Design, pp. 533-541.
- Holtrop, I.J., 1984, "A Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data," International Ship-Building Progress, Vol. 31, pp. 272-276.
- Janson, C. and Larsson, L., 1996, "A Method

for the Optimization of Ship Hulls from Resistance Point of View," Proc. 21st Symp. Naval Hydrodynamics, pp. 680-696.

- Raven, H.C., 1996, "A Solution Method for the Nonlinear Ship Wave Resistance Problem," Doctor's Thesis, Delft Univ. Techn., Delft, Netherlands.
- Tahara, Y., Himeno, Y. and Tsukahara, T., 1998, "An Application of Computational Fluid Dynamics to Tanker Hull Form Optimization Problem," Proceedings 3rd Osaka Colloquium on Advanced CFD Applications to Ship Flow And Hull Form Design, pp. 515-531.
- Vanderplaats, G.N., 1984, Numerical Optimization Techniques for Engineering Designs, McGraw-Hill, New York.



< 최 희 중 >



< 김 희 정 >



< 전 호 환 >



< 정 광 호 >