

선박 조종성능 연구를 위한 선체형상 파라미터와 유체력미계수와의 관계분석

임 남 균*

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

The study on ship's manoeuvrability through the analysis of the relationship between hydrodynamic coefficient and ship hull parameter

Nam-Kyun Im*

* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 이 연구는 선박 설계 초기단계에서 선형 변화에 따른 선박 조종성능 추정에 관한 내용을 다루었다. 선박제원을 대표하는 파라미터 그리고 선미형상의 변화를 민감하게 반영할 수 있는 새로운 파라미터를 선정하는 작업을 수행하였다. 이렇게 선정된 파라미터와 유체력 미계수와의 상관관계를 알아보기 위하여 구속모형 실험을 수행하였다. 그 결과 기본적인 선박제원 중 선체 유체력 미계수와 상관도가 높은 파라미터를 가려낼 수 있었다. 또한 선미형상의 새로운 파라미터와 조종성능과의 상관도를 추정할 수 있었다. 또한 이를 활용하여 유체력미계수에 대한 새로운 경험식을 제시하였다. 이를 활용하면, 초기 선형 설계 시 선형변화 및 수정에 따른 조종성능 추정에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 선박 조종성능, 유체력 미계수, 상관도, 경험적 추정식

Abstract : This study was carried out to examine the prediction of ship's manoeuvrability in initial design stage. New parameter representing basic hull form and stern shape were proposed. Captive model test were carried out to investigate the correlation coefficient between hydrodynamic coefficient and hull parameter. The results showed which parameter are positive correlation with hydrodynamic coefficient. Moreover correlation was examined between stern hull shape and ship's manoeuvrability. New empirical formulas for hydrodynamic coefficients were proposed. These results can be used to predict a ship's manoeuvrability in initial design stage.

Key words : Ship manoeuvrability, Hydrodynamic coefficients, Correlation, Empirical formulas

1. 서 론

선박의 초기 설계 단계에서의 기본적인 제원 및 선미형상의 변화에 따른 적절한 조종성능 추정작업은 오랜 전부터 요구되어 온 연구 중의 하나이다. 특히 최근 IMO(2002)는 선박조종성능에 관한 기준을 최종 확정하여, 2004년 1월 이후 건조되는 선박에 대하여 적용하도록 하는 등 그 어느 때 보다 선박조종성능에 대한 관심은 높아져 있다고 할 수 있다.

선박제원을 이용한 조종성능 추정연구를 살펴보면, 초기 연구에는 $k(=2d/L)$, d :홀수, L :선체길이)와 같은 기본적인 선박제원을 주로 사용해 왔는데, 이는 넓은 의미로 선체의 Aspect Ratio를 의미하는 계수로써 이론적 계산에 기반을 둔 파라미터이다. 이후 기본적인 선박제원 이외에도 선박 후미부의 형상이 조종성능에 영향을 미친다는 사실이 알려지면서, 선미형상을 반영한 추정식에 대한 연구가 많이 행하여져 왔다. 이때 사용된 선미형상 파라미터는 주로 Mori(1995)가

제안한 선미형상의 U/V 타입을 표시하는 계수가 주로 사용되었다.

본 연구에서도 이러한 연구의 일환으로 수행되었으며, 선미형상의 다양한 파라미터를 찾아내고, 이를 바탕으로 초기 설계단계에서 조종성능을 추정할 수 있는 추정식을 제안하였다. 지금까지 알려져 왔던 선미형상을 나타내는 파라미터 이외에 새로운 파라미터를 제시하였으며, 이를 이용하여, 조종운동방정식의 유체력 미계수에 대한 새로운 경험적 추정식을 제시하였다. 제안된 추정식의 유효성을 검증하기 위하여, 기존 연구의 결과와 비교 검토하였다.

2. 기본 수학 모델

구속모형실험을 통해 얻은 선박 유체력 미계수 등을 이용하여 수치시뮬레이션을 수행하여, 선박조종성능을 추정하거나, 경험적 추정식을 이용하여 조종성능을 추정할 때 사용한 좌표계는 Fig. 1과 같다

* 대표저자 : 임남균(중신회원), namkyun.im@mmu.ac.kr 011)9802-0582

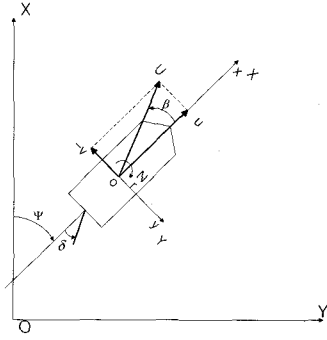


Fig. 1 Coordinate system

선체중앙에 좌표원점을 둔 이동좌표계(moving axes system)로 표시되었으며, 시뮬레이션에서 사용한 3자유도의 수학모델은 식 (1)과 같다. 본 연구에서는 선박의 유체력을 선체, 프로펠러, 타에 미치는 힘과 간섭효과 등을 나누어 해석하는 분리수학모형(MMG 보고서1977)을 이용하였다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - v\dot{r} - x_G \dot{r}^2) &= X_H + X_P + X_R \\ m(\dot{v} + u\dot{r} + x_G \dot{r}^2) &= Y_H + Y_P + Y_R \\ I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + u\dot{r}) &= N_H + N_P + N_R \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 G는 무게중심, 첨자 H, P, R은 각각 Hull, Propeller, Rudder를 나타내며, Hull에 작용하는 유체력은 다음과 같이 표현하였다.

$$\begin{aligned} X_H &= X_u \dot{u} + X(u) + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 + (X_{vr} - Y_v) vr \\ Y_H &= Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r + X_u u r + \\ &Y_{vv} v^3 + Y_{rr} r^3 + Y_{vvr} vvr + Y_{vrr} vrr \\ N_H &= N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r + \\ &N_{vv} v^3 + N_{rr} r^3 + N_{vvr} vvr + N_{vrr} vrr \end{aligned} \quad (2)$$

프로펠러에 의한 힘은 X축 방향만 고려하여 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_P &= (1-t)n^2 D_p^4 Kt(J) \\ Kt(J) &= C_1 + C_2 J + C_3 J^2 \\ J &= u(1-w_p) / (nD_p) \\ w_p &= w_{p0} \exp(-4.0(\beta_p - x'_p r')) \end{aligned} \quad (3)$$

t, J : 추력감소계수, 프로펠러전진비, Kt : 추진계수, C_{1~3}: 프로펠러 성질에 관한 계수, w_p, w_{p0}: 프로펠러 위치에서의 반류계수, 직진시 프로펠러에서의 반류계수

타에 의한 유체력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_R &= -(1-t_R)Fn \sin \delta \\ Y_R &= -(1+a_H)Fn \cos \delta \\ N_R &= -(x'_R + a_H x'_H)Fn \cos \delta \end{aligned} \quad (4)$$

t_R : 조타저항감소계수

타면에 수직으로 작용하는 타직 압력 Fn은 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{1}{2} \rho A_R f_a U_R^2 \sin \alpha_R \\ U_R^2 &= \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \\ \alpha_R &= \delta - \delta_0 - \gamma_R (\beta - l'_R r') \\ u_R &= \varepsilon \cdot u_p \sqrt{\eta \left(1 + \chi \left(\frac{8K_T}{\pi J^2} - 1\right)\right)^2 + (1-\eta)} \\ v_R &= -\gamma_R (v + l'_R r') \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, α_R: 타 유효 유입각, f_a: 타직압력계수, r_R, δ₀: 정류계수, 직진 시 타 중립 타각

η: 프로펠러 직경과 타 높이 비율, ε, χ: 정적타각실험에서 도출된 계수

3. 선형파라미터 선정

조종성능 추정을 위해 요구되는 유체력 미계수의 경험적 추정식을 개발하기 위해서는, 추정하려는 유체력 미계수와 상관도가 높은 파라미터를 찾기 위한 분석 작업을 해야 한다. 물론 이 파라미터는 선미제원 및 선미형상 정보를 포함하고 있어야 한다. 본 연구는 선미형상에 대한 Frame Line을 U/V 타입으로 구분할 수 있는 파라미터와 Profile을 표현할 수 있는 파라미터를 구분하여 파라미터로 선정하였다. 이를 통해 Frame line, Profile 성질 모두가 파라미터를 통해 표현될 수 있도록 하였다. 이를 위하여 기존에 사용하던 파라미터 이외에 새로운 파라미터를 도입하였다. 도입된 파라미터는 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} s_{a'} &= \frac{1-Cwa_5}{1-Cpa_5}, ea_5 = \frac{L}{B} (1-Cpa_5), ea'_5 = \frac{ea_5}{\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{(B/d)^2}}} \\ Pa_{1.5} &= \frac{BCL}{B07} \frac{D^{\frac{1}{3}}}{L} \end{aligned} \quad (6)$$

기존의 선미형상을 표현하는 파라미터로 자주 쓰였던, σ_a, ea, ea', Cwa, Cpa, K등은 mori(1995)에 의해 제안되어, 선미형상의 Frame Line 등을 나타내는 파라미터로 사용되어 왔다. 이 파라미터는 St.10(S.S.No.20기준) 이전의 선체 후반에서의 값을 의미함에 반해, 본 연구에서 제안한 파라미터는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 선미 후반부의 1/4지점까지 고려하는 St. 5 이전의 선미 국부 부분의 값을 의미한다. 이 값을 사용함으로써, 선미형상의 변화 정도를 보다 민감하게 반영할 수 있는 장점이 기대된다. 실제로 다음 장에서는 기존의 선미형상 파라미터와 새로운 선미형상 파라미터와 유체력 미계수와의 상관관계를 비교하고 그 결과를 나타내기도 하였다. 또한 Pa_{1.5}는 선미 후미부의 Profile을 표시하는 파라미터로 사용되었으며 Fig. 3과 같이 표현된다. 이 값이 클수록 조종성능은 좋아진다고 알려져 있다. BCL/B07은 Fig. 4에서 보는 바와 같이, 선미부의 펼쳐짐의 정도를 표현하고 있다.

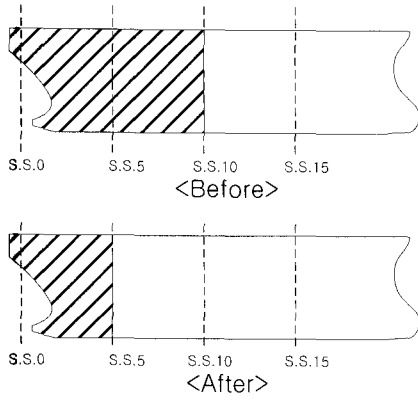


Fig. 2 New concept for hull parameter

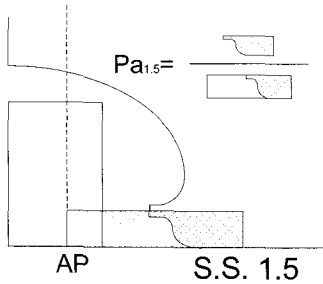


Fig. 3 Hull parameter for profile

이렇게 도입된 파라미터와 유체력 계수의 상관도 분석을 수행하였다. 사용된 유체력 계수는 수행된 PMM 실험에 얻은 값이다. 선박 11척에 대하여, 총 21 홀수의 경우에 대한 실험 값이 사용되었다. Table 1은 사용된 선박의 요약을 나타내고 있다. 탱커 7척에 대하여 총 12홀수, LNGC 4척에 대하여 총 9홀수에 대한 자료이다.

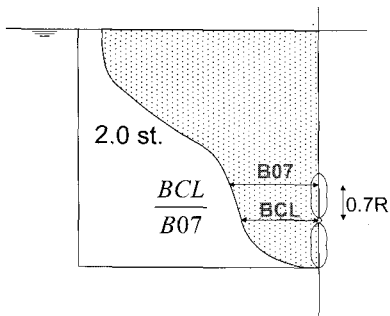


Fig. 4 Hull parameter for flame-line

Table 1 Summary of ship data used

	COT, LNGC
L/B	5. 15 - 6. 31
B/d	2. 58 - 4. 52
Cb	0.734 - 0.834

4. 상관도 분석

추정식을 제안하기 전에 회귀 분석을 수행하여 각각의 파라미터와 추정할 중요 유체력 계수에 영향을 미치는 중요 인자를 찾기 위한 상관도 분석이 행하여 졌다. 우선 기본적인 선박제원 그룹과 선미형상 파라미터 그룹간의 차이를 알아보기 위해, 중요 선박제원 및 중요 선미형상 파라미터에 대한 상관도 분석 결과를 그림 및 테이블로 표시하였다.

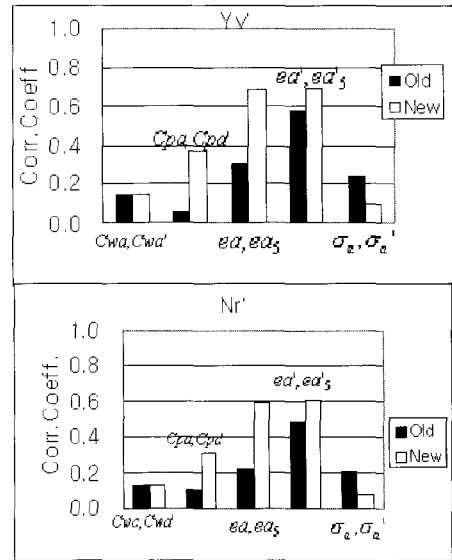


Fig. 5 Comparison of correlations

Table 2 Correlation Coefficients

	Yv'	Yr'	Nv'	Nr'
Cb	-0.9	0.8	-0.95	-0.8
Cb/(L/B)	-0.89	0.82	-0.89	-0.82
Cb/(L/d)	-0.96	0.81	-0.97	-0.93
B/d	0.89	-0.7	0.96	0.89
2d/L	-0.96	0.8	-0.97	-0.94
L/B	0.86	-0.81	0.86	0.8
Cwa	-0.39	0.15	-0.57	-0.35
Cpa	0.25	-0.33	0.07	0.31
ea	0.55	-0.43	0.69	0.46
ea'	0.76	-0.59	0.87	0.7
Cwa'	-0.39	0.15	-0.57	-0.35
Cpa'	-0.61	0.42	-0.77	-0.56
ea_s	0.83	-0.69	0.92	0.77
ea'_s	0.83	-0.65	0.93	0.79
sigma_e'	0.31	-0.09	0.49	0.27

Table 2 에서 보는 바와 같이 대체로 기본적인 선박제원이 선미형상 파라미터에 비하여, 유체력 미계수와와의 상관도는 높게 나타났다. 그중에서도 간단한 선박제원 L,d 같은 단독 항목 보다 CB/(L/d) 같은 그룹 항목이 가장 상관도가 높게 나왔다. 이를 바탕으로 상관도가 높은 항목을 유체력미계수 추정식에 사용하면 정도 높은 추정식이 될 것으로 예상할 수 있다. 더불어 선미형상에 관한 파라미터는 기본적인 선박제원 항목 보다 상관도가 훨씬 적게 나타났다. 이는 기본적인 선박제원의 변화가 국부적인 선미형상의 변화와 비교하여 조종성능에 더 많은 영향을 주고 있음을 의미한다.

한편 본 연구에서 새롭게 제안한 선미형상 파라미터와 기존의 선미형상 파라미터간의 비교를 수행한 결과가 Fig. 5에 나타나 있다. 그림에서 보는 것과 같이 St. No. 10까지 고려한 Old 형 선미형상 보다 St. No.5까지 고려한 New 형 선미형상 파라미터가 유체력 미계수와 보다 높은 상관도를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 선미형상변화에 따른 유체력 미계수를 추정할 경우, 새롭게 제시된 선미형상 파라미터를 사용하는 것이 보다 효율적일 수 있을 것으로 추정된다.

5. 추정식 제안

선박의 기본적인 제원과 선미형상 파라미터를 이용하여, 유체력 미계수에 대한 경험적 추정식을 제안하였다. 유체력 미계수 추정식을 도입하는데 있어서, 공통적으로 사용한 파라미터는 기본적인 선박제원인 Cb/(L/d), k(=2d/L) 등 이다. 이 파라미터는 기본적인 선박 비대도나, 흘수와 선박길이 비율을 나타내는 것으로, 오래 전부터 유체력 미계수 추정 및 조종성능 추정 파라미터로 사용된 요소들이다. 이를 기본적으로 사용함으로써, 새로 도입된 추정식이 범용성을 갖도록 하였다. 더불어, 선미형상을 반영할 수 있는 파라미터를 새롭게 도입 적용하여, 선미형상이 변화하는 두 선박의 비교분석에는 선미형상이 반영된 추정식을 사용할 수 있도록 하였다. 제안식의 기본 형태는 (Cb/L/d)와 k를 사용한 1차 및 2차 다항식형태를 골격으로 삼았다. 또한 선미형상 파라미터의 경우는 기본 골격에 추가되는 형식을 취하고 가장 추정정도가 높은 식을 택하였다.

$$Yv' = \frac{1}{2} \pi k - 26.3(\Delta^{\frac{1}{3}} / L) * (Cb / L / d) - 0.207$$

$$Yv' = \frac{1}{2} \pi k - 5.9889(Cb / L / d) * (\frac{BCL}{B07}) - 0.249$$

$$Yr'-m' = \frac{1}{4} \pi k - 3.7(Cb / L / d) - 0.1541$$

$$Yr'-m' = \frac{1}{4} \pi k - 3.71(Cb / L / d) + 0.0027K - 0.154$$

$$Nv' = \frac{1}{k} [-0.5054(Cb / L / d) + 0.0065]$$

$$Nv' = ea'K[-0.9003(Cb / L / d) + 0.0014]$$

$$Nr' = -2.778k^2 + 0.3179k - 0.046$$

$$Nr' = -0.54k + k^2 - 0.0342Pa_{1.5}\sigma_a' + 0.0079$$

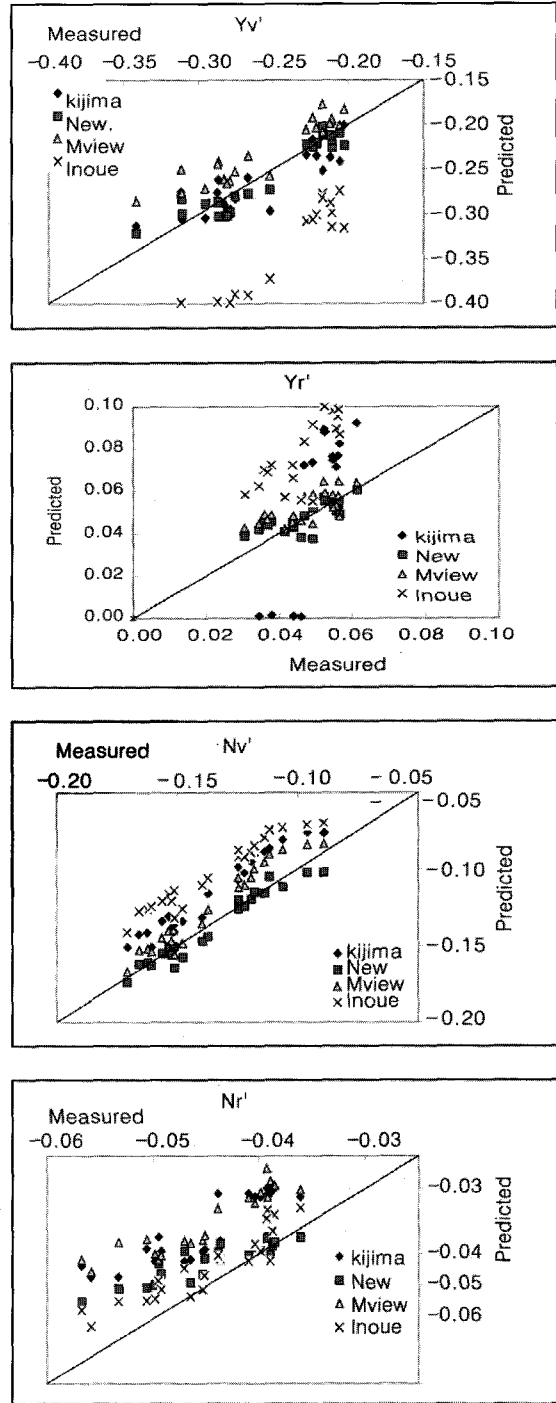


Fig. 6 Comparison of hydrodynamic derivative

6 추정식과 기존 연구 비교분석

제안된 경험 추정식의 타당성을 살펴보기 위하여 기존의 연구 결과와 비교하여 보았다. 추정식 중에서 주요 선형 유체력 미계수에 대한 결과만 비교 하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 기존의 추정식 중 과거 선박의 선형 데이터를 많이 쓰고 있는 Inoue식(1981)은 실험결과와 많은 차이를 보이고 있고, 선미형상 변화를 반영하고 있는 Kijima식(1999)은 보다 접근한 결과를 보여주고 있다. 한편 한국조선기술연구조합과제로 수

행된 추정식Mview(조선기술연구조합 2001)의 경우 주로 비대 선을 대상으로 연구가 수행되었는데, 기존의 외국연구가 제시한 추정식 보다 우수한 결과를 나타내고 있음을 보여준다. 본 연구에서 제시한 추정식 또한 개선된 결과를 보여주고 있다.

7. 결 론

이상과 같이 선박의 건조 초기 단계에서 선박의 조종성능을 추정할 수 있도록, 선박제원을 이용한 유체력미계수 추정법에 관한 내용을 살펴보았다. 주요 성과를 요약하면 아래와 같다.

- S.S. 5(St. No.20기준)까지 고려된 새로운 선미형상 파라미터를 제시하였다. 그 결과 S.S. 5(St. No.20기준)까지 고려한 선미 형상 파라미터가 S.S. 10(St. No.20기준)까지 고려한 기존의 선미 형상 파라미터와 비교하여, 선박 유체력 미계수와 비교적 큰 상관관계를 보여 선미형상 변화에 따른 조종성능 추정에 보다 유용할 것으로 추정되었다.
- 제시된 선미형상 파라미터를 이용하여, 유체력 미계수에 대한 경험 추정식을 제안하였다.
- 제안된 유체력미계수 추정식의 유용성을 확인하기 위하여, 기존 연구의 추정식과 비교 분석하여 그 효용성을 확인하였다.

참고 문헌

[1] 이호영, 신상성, 염덕준(1998), “초기설계단계에서 선박의 조종성능 추정에 대한 정도향상 연구”, 대한조선학회논문집 제35권 제1호.

[2] 이호영, 신상성(1998), “선박조종성능 추정을 위한 근사적 기법에 관한 연구”, 대한조선학회 제35권 4호, pp19-26

[3] 이태일, 염덕준, 신상성, 이성식(1999), “선미형상을 고려한 조종유체력미계수 추정에 관한 연구”, 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, pp. 193-196.

[4] 이승건, 최재영, 서영석, 이우진(1999), “초기설계시 선박의 선미형상을 고려한 조종성능 추정에 관한 연구”, 대한조선학회논문집, Vol. 36, 제2호.

[5] IMO MSC 76/23(2002. 12.), “Resoulution MSC 137(76), Standards for Ship Manoeuvrability” Report of the Maritime Safety Committee on Its 76th Session-Annex 6.

[6] Inoue, S. et al.(1981), “Hydrodynamic derivatives on Ship Manoeuvrability” ISP, Vol. 28, No. 321.

[7] Kijima, Katsuro et al.(1999), “Approximate Expression for Hydrodynamic Derivatives of Ship Manoeuvring Motion taking into account of the Effect of Stern Shape” The journal of west-Japan society naval architects, Vol. 98, pp. 67-77.

[8] MMG Report I-IV, Bulletin of the Society of Naval Architects of Japan, No.575(1977), No.577(1977), No.578(1977), No.579(1977), No.616(1980).

[9] Mori 森 正彦(1995), “船型設計의 노트(24), 船의 科學48號.

부록: 선미형상 파라미터 수식

Mori(1995)가 제안한 선미형상 파라미터는 아래와 같다. 그는 선미에서 S.S. 10(St. No.20기준)까지를 기준으로 계산한 선미형상 파라미터를 제안하였다.

$$e_a = \frac{L}{B}(1 - Cpa), e_a' = \frac{e_a}{\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{(B/d)^2}}}$$

: Fullness of aft run(선미run부의 비대도)

$$\sigma_a = \frac{1 - Cwa}{1 - Cpa}$$

: Aft Section fullness metric
(선미 Frame Line 형상계수)

$$Cwa = \frac{Aw_{s.s.10}}{0.5L \cdot B}$$

Water plane area coefficient aft

$$Cpa = \frac{\Delta_{s.s.10}}{Am \cdot 0.5L}$$

Prismatic coefficient of aftbody

$$K = \left(\frac{1}{ea'} + \frac{1.5}{L/B} - 0.33\right)(0.95\sigma_a + 0.4)$$

Form factor

원고접수일 : 2005년 6월 8일
원고채택일 : 2005년 8월 16일