

초기 계획 단계에서 선박조종성능 해석에 대한 정도향상 연구

이 호 영*

Improvement of Analysis of the Ship's Maneuverability at Early Design Stage

*Ho-Young Lee**

| | |
|----------|-------------------------|
| Abstract | <목 차> |
| 1. 서론 | 3. 회귀분석, 민감도해석 및 조종성능해석 |
| 2. 수학적모형 | 4. 결론 |
| | 참고문헌 |

Abstract

In this paper, we studied to improve Inoue's[1] and Kijima's[2] model used to predict ship's manoeuvrability in initial design stage. To perform this work, we had PMM(Planar Motion Mechanism) test and rudder open water test for 12 Models of low-speed blunt-ship which have horn type rudder and bulb in afterbody. Using MMG(Mathematical Modelling Group) model, we analyzed hydrodynamic and MMG experimental coefficients used to search sensitivities and to estimate ship's manoeuvrability, and the results are performed by the regression analysis of principle parameters. We varified them to analyze ship's manoeuvrability, had simulated manoeuvrability to check revised MMG model and compared them with Inoue's method, the result of PMM test and sea trial. Then, it is found that the revised method can predict the maneuverability more accurately even for an unstable ship.

1. 서론

최근 IMO 조종성잡정 기준안(IMO A.751)[3]이 발효됨에 따라 초기설계단계에서 선박조종성능의 정확한 추정에 대한 필요성이 증대되고 있다. 선미 벌브형 선박은 10o/10o 및 20o/20o Zig/Zag 시험과 같은 직진 및 변침성능이 불리하므로[4], 이들 선박의 조종성능의 추정에서 정확한 해석이 요구된다.

또한 조종성능의 정확한 추정을 위해 각각의 선박에 대해 PMM 시험을 수행하는 것이 바람직하나, 이는 초기설계단계에서 시간과 비용이 제한되므로 실제적으로 가능성이 희박하다. 결론적으로 현 상황에서 PMM 시험의 데이터베이스를 이용한 기본제원에 의한 수치계산 방법이 초기설계단계에서 선박의 조종성능추정을 위해 중요한 수단이 된다. 그러므로 본 논문에서는 선미벌브 형태를 갖는

* 정회원, 현대중공업

저속비대선의 여러 선종에 대해 12척의 계열 PMM시험과 타단독시험을 수행하였다. 조종 수확 모델은 MMG 방법을 사용하여 유체력 미계수 및 MMG 실험정수를 해석하였고[5, 6], 그 결과는 기본제원에 의해 회귀분석되었다. 민감도 해석은 추정된 결과에 영향을 주는 인자를 선택하기 위해 주요변수에 대해 수행되었다.

본 논문의 추정법은 2척의 선박(원유운반선 및 정유운반선)에 대해 PMM 시험에 의한 추정법[5, 6], 실선시운전 및 Inoue 추정법[1]을 서로 비교하여 유효성을 검토하였다.

2. 수학적 모형

좌표계는 선박과 같이 움직이는 우수좌표계를 사용하였고, Fig.1과 같이 표시된다. 전후동요, 좌우동요 및 선수동요에 대한 3자유도 조종운동방정식은 식(1)과 같다.

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

식(1)에서 위 첨자 ' 은 무차원 계수를 나타내며, 아래 첨자 H, P 및 R은 MMG[7] 표현에 따라 선체, 프로펠러 및 타에 의한 힘과 모멘트를 나타낸다. 선체에 작용하는 무차원화된 힘과 모멘트는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} X_H' &= \frac{X_H}{1/2\rho L^2 U^2} = X_{u'} \dot{u}' + (X'_{vr} - Y'_{v'})v'r' \\ &\quad + X'_{vv} \cdot v'^2 + X'_{rr} \cdot r'^2 + X'(u) \\ Y_H' &= \frac{Y_H}{1/2\rho L^2 U^2} = Y'_{v'} \dot{v}' + Y'_{r'} \dot{r}' + Y'_{vv} v'^2 + Y'_{vvv} v'^3 \\ &\quad + Y'_{mr} r'^3 + (Y'_{r'} + X'_{u'})r' + Y'_{vvr} v'^2 r' + Y'_{vrr} v' r'^2 \\ N_H' &= \frac{N_H}{1/2\rho L^3 U^2} = N'_{v'} \dot{v}' + N'_{r'} \dot{r}' + N'_{vvv} v'^3 + N'_{mr} r'^3 \\ &\quad + N'_{vvr} v'^2 r' + N'_{vv} v' + N'_{r'} r' + N'_{vrr} v' r'^2 \end{aligned} \quad (2)$$

선박의 저항과 추력의 관계식은 식(3)과 같이 표시된다.

$$X_u' - X_p' = X_0 + X_u' \eta + X_{uu} \eta^2 + X_{uuu} \eta^3 \quad (3)$$

where $\eta = (u - u_0)/u$, u_0 ; Initial speed

유체력 미계수에 대한 실험식은 당연구소에서 수행된 PMM시험으로부터 Inoue[1]식과 같이 선박의 기본제원에 의해 회귀분석되었으며, X, Y, N에 대한 각각의 유체력 미계수는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} X_{vv}' &= 0.0014 - 0.1975d(1 - C_b)/B \\ X_{rr}' &= -0.0027 + 0.0076Cb d/B \\ X_{vr}' &= m' + 0.1176 Y \dot{v}' (0.5 + C_b) \\ Y_{v'} &= -0.4545 * k + 0.065 * C_b B/L \\ Y_{r'} &= -0.115 * C_b B/L + 0.0024 \\ Y_{vvv}' &= -0.6496(1 - C_b) (d/B) + 0.0027 \\ Y_{rrr}' &= -0.0233 C_b d/B + 0.0063 \\ Y_{vvr}' &= 0.1234 C_b d/B - 0.001452 \quad \dots (4) \\ Y_{vrr}' &= -0.4346(1 - C_b) (d/B) \\ N_{v'} &= -0.23 * k + 0.0059 \\ N_{r'} &= -0.003724 + 0.10446 * k - 1.393 * k^2 \\ N_{vvv}' &= 0.348 - 0.5283(1 - C_b) (d/B) \\ N_{rrr}' &= -0.00572 + 0.03 C_b k \\ N_{vvr}' &= -1.722 + 22.997(C_b B/L) - 77.268(C_b B/L)^2 \\ N_{vrr}' &= -0.0005 + 0.00594 C_b d/B \end{aligned}$$

여기에서 $k=d/L$ 이다. 일반적으로 타의 작동에 기인된 유체력(XR, YR, NR)은 다음과 같다.[1]

$$\begin{aligned} X_R &= - (1 - t_R) FN \sin \delta \\ Y_R &= - (1 + a_H) FN \cos \delta \quad \dots \dots \dots (5) \\ N_R &= - (X_R + a_H x_H) FN \cos \delta \end{aligned}$$

식(5)에서 t_R , a_H , x_H 및 FN는 선체와 타의 상호 간섭 영향을 나타내는 실험정수 및 타직압력이고, 이는 Horn 형태의 타단독시험[6]과 속도-타각 시험으로부터 해석된 데이터 베이스를 이용한 회귀해석으로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} a_H &= 2.78C_b - 1.922, \\ x_H &= (1.68C_b - 1.968)L \\ 1 - t_R &= 0.28C_b + 0.55 \quad \dots \dots \dots (6) \\ F_N &= \frac{1}{2} \rho \frac{3.893A}{A + 1.38} \\ A_R U_R^2 \sin \alpha_R, A; Aspect Ratio \end{aligned}$$

타의 유효 유입속도(u_R)는 MMG 방법의 표현[7]에 따라 (7)과 같고, ϵ 은 회귀분석에서 (8)과 같다.(7)에서 D_p 는 프로펠러 직경이고, H 는 타의 높이이다.

$$u_R = \epsilon u_p \sqrt{\eta_H \left(1 + x \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J_P^2}} - 1 \right) \right)^2 + (1 - \eta_H)},$$

$$x = \frac{0.6}{\epsilon} \quad \text{where } \eta_H = D_p/H$$

.....(7)

$$\epsilon = 1601.5 \left(\frac{C_b B}{L} \right)^2 - 467.705 \left(\frac{C_b B}{L} \right) + 35.3942$$

.....(8)

조종운동중의 타유효유입각 (α_R)은 타중립각(δ_0), 타정류계수(γ_1, γ_2)등에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha_R = \delta + \delta_0 - \gamma(\beta - 1_r r')$$

$$\delta_0 = (\pi s_0/90), s_0 = 1 - U(1 - w_p)/nP$$

$$\beta = \tan^{-1}(-v_R/u_R), \quad 1_r r' = 2x_R'$$

$$\gamma_1 = 2.7236 C_b B/L + 0.021, \quad \dots\dots\dots (9)$$

when $\beta > 0.0$

$$\gamma_2 = -1.20501 C_b B/L + 0.7391,$$

when $\beta \leq 0.0$

조종운동중의 반류계수는 식(10)으로 표현되는 기존의 Kijima식에 사용된 값을 그대로 사용하였다.

$$w_p = w_{p0} \exp(-4.0(\beta - 1_r r')^2) \quad \dots\dots\dots (9)$$

3. 회귀분석, 민감도해석 및 조종성능해석

회귀분석은 문헌[8]를 참조하여 Kijima식에 선미형상 파라미터 $\sigma = (1 - C_{wa})/(1 - C_{pa})$ 를 도입하여 회귀분석을 시도했으나, 전 선종에 대하여 선미형상 계수의 상관 정도는 미약했다. 또한 회귀분석 오차를 줄이기 위해 5개 이상의 독립변수를 선택하여 회귀분석을 시도하였다. 그 결과 많은 변수의 선택

으로 인한 수학적인 유일성과 회귀변수의 독립성 문제 때문에 조종성능추정 정도는 기본제원에 의한 회귀분석법보다 떨어졌다. 그러므로 본 논문은 기본제원에 의한 Inoue식에 근간을 둔 회귀분석법이 적용되었다. Fig. 2 ~ 5는 Y_v, N_v, Y_r, N_r 에 대한 회귀분석결과를 실험치와 비교하여 보여주고 있다. 변수 ϵ, γ 는 식(7)과 같이 Yoshimura[9]에 의해 제안된 변수($C_b B/L$)에 의해 회귀분석되었고, a_H, x_H 등과 같은 상관계수는 Kose[10]에 의해 도출된 변수(C_b)로 회귀분석하였다. Fig. 6 ~ 11은 $f_o, a_H, x_H, \epsilon, \gamma$ 에 대한 해석결과를 보여주고 있다. 민감도 해석의 목적은 조종성능 추정정도를 향상시키기 위해서 사용되고 또한 추정된 결과에 영향을 주는 변수를 찾기 위해서다. 민감도 해석은 조종성능해석 프로그램을 이용하여 선형유체력미계수, 상관계수 및 부가질량과 같은 변수에 대해 수행되었다. Fig. 12 ~ 17에서 정의된 상대민감도(relative sensitivity)는 각각의 독립변수가 10% 증가될 때, 계산된 결과의 변화율로 표시된다. 상대민감도는 독립변수의 10% 증가에 의해 종속변수의 계산된 결과가 10% 증가될 때 1이 된다. Fig. 12 ~ 17은 두척의 선박에 대해 전진거리, 선회직경, 10o/10o 및 20o/20o 시험의 오우버슈트각의 주요변수에 의한 상대민감도를 도시하였고, Y_v, N_v, Y_r, N_r 및 ϵ 의 상대민감도가 가장 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 18 ~ 23은 선회 및 지그재그 성능에 대해 본 논문의 추정법, Inoue 추정법, PMM 실험 및 시운전 결과를 비교하였다. 전반적으로 본 논문의 추정법, PMM 시험에 의한 방법 및 실선시운전 결과가 서로 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. Table 1은 본 논문에서 개발한 추정법을 검토하기 위해 본 논문의 추정법, Inoue 추정법, PMM 시험에 의한 결과 및 실선 시운전 결과를 비교하고 있다. Inoue 추정법은 재래선형(closed stern)인 관계로 현재의 선미벌브 선형과 비교할 때 직진성 및 변침 성능은 결과에 차이를 보여주고 있으며, 재래선형이 직진성 및 변침성능면에서 훨씬 우수하다.

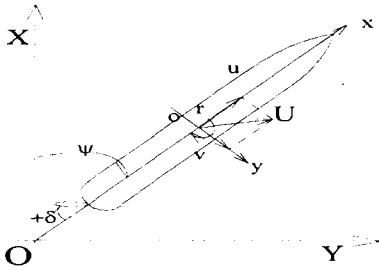


Fig. 1 Coordinate System

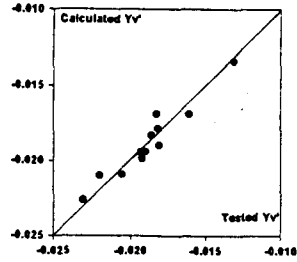


Fig. 2 Comparison of Measured and Calculated Coefficient(Yv')

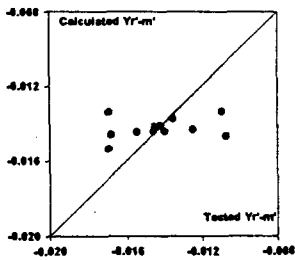


Fig. 3 Comparison of Measured and Calculated Coef. ($Yr' - m'$)

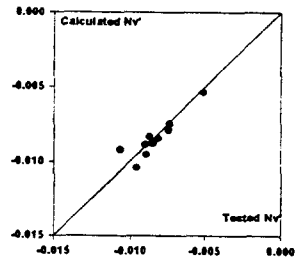


Fig. 4 Comparison of Measured and Calculated Coef. (Nv')

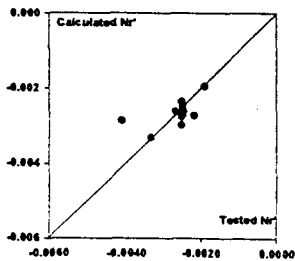


Fig. 5 Comparison of Measured and Calculated Coef. (Nr')

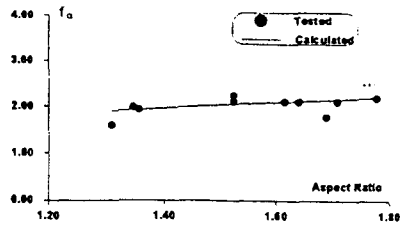


Fig. 6 Regression Result of $f\alpha$

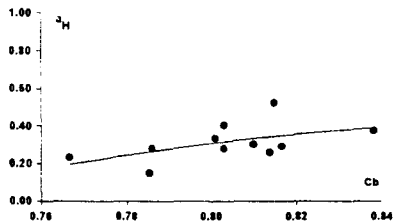


Fig. 7 Regression Result of aH

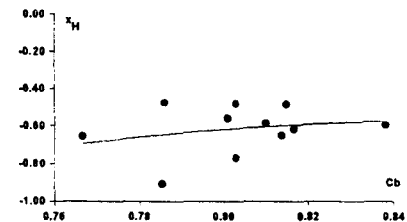


Fig. 8 Regression Result of xH

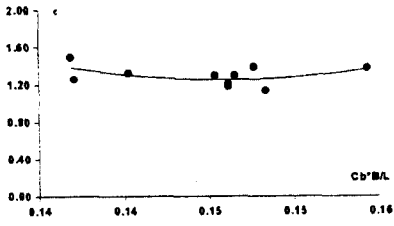


Fig. 9 Regression Result of ε

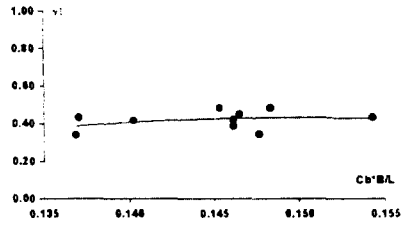


Fig. 10 Regression Result of $\gamma 1$

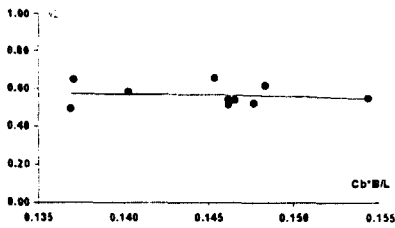


Fig. 11 Regression Result of $\gamma 2$

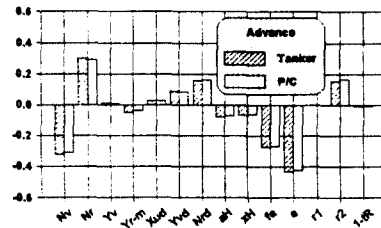


Fig. 12 Relative Sensitivity of Parameters on Advance

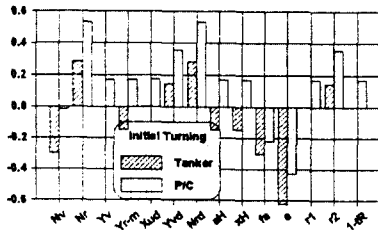


Fig. 13 Relative Sensitivity of Parameters on Initial Turning

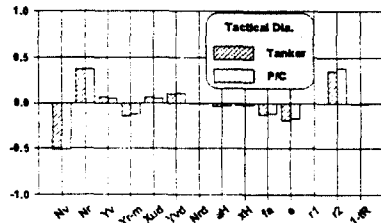


Fig. 14 Relative Sensitivity of Parameters on Turning Dia.

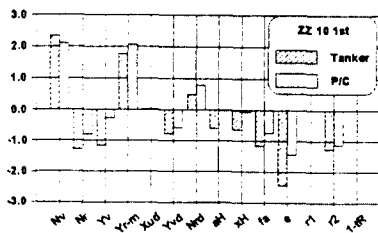


Fig. 15 Relative Sensitivity of Parameters on 1st 10o/10o z/z

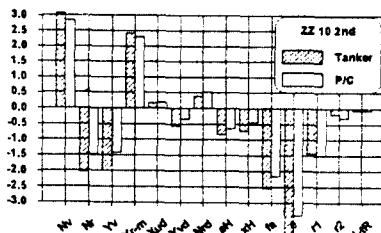


Fig. 16 Relative Sensitivity of Parameters on 2nd 10o/10o z/z

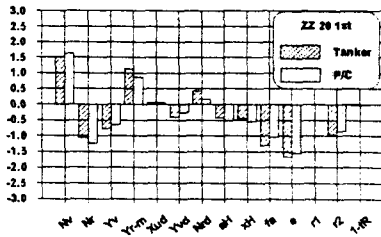


Fig. 17 Relative Sensitivity of Parameters on 1st 200/200 z/z

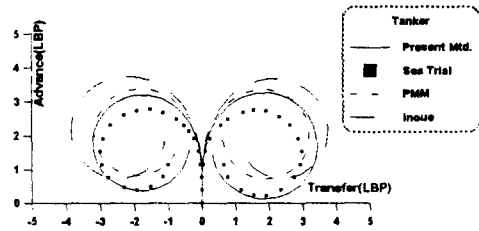


Fig. 18 Comparison of Turning Trajectories for Improved Prediction, Sea Trial and PMM Test (Tanker)

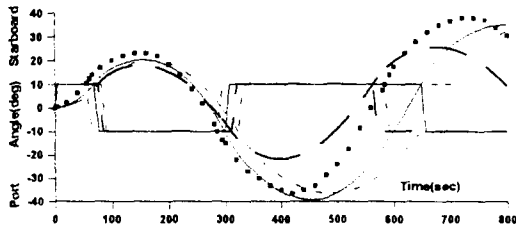


Fig. 19 Comparison of 10-Degrees Z-Maneuver for Improved Prediction, Sea Trial and PMM Test (Tanker)

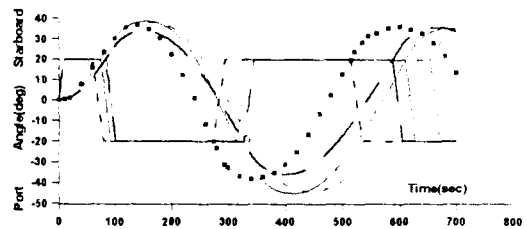


Fig. 20 Comparison of 20-Degrees Z-Maneuver for Improved Prediction, Sea Trial and PMM Test (Tanker)

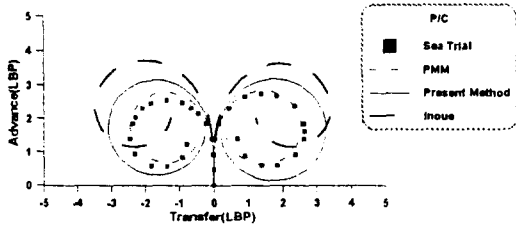


Fig. 21 Comparison of Turning Trajectories for Improved Prediction, Sea Trial and PMM Test (P/C)

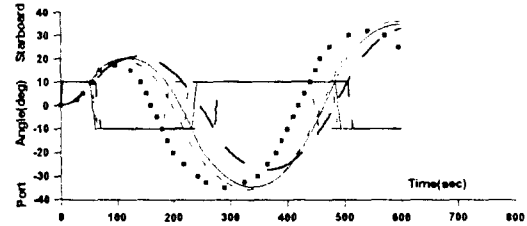


Fig. 22 Comparison of 10-Degrees Z-Maneuver for Improved Prediction, Sea Trial and PMM Test (P/C)

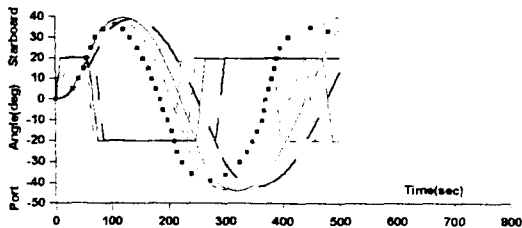


Fig. 23 Comparison of 20-Degrees Z-Maneuver for Improved Prediction, Sea Trial and PMM Test (P/C)

Table 1 Comparison of Manoeuvrability by Prediction Method, PMM Test, Sea Trial and Sea Trial Database

| Test (Tanker) | | Inoue | PMM | Pre. Met. | Sea Trial |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-----------|-----------|
| Turning Test (Starboard) | Advance(L) | 3.56 | 3.35 | 3.20 | 2.75 |
| | Tac. Dia.(L) | 3.33 | 3.16 | 3.38 | 2.97 |
| 10°/10° Z/Z | 1st O.S.A. | 10.74 | 9.93 | 10.23 | 13.0 |
| | 2nd O.S.A. | 17.41 | 26.29 | 28.96 | 26.0 |
| 20°/20° Z/Z | 1st O.S.A. | 18.82 | 18.31 | 18.74 | 17.0 |

| Test (P/C) | | Inoue | PMM | Pre. Met. | Sea Trial |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-----------|-----------|
| Turning Test (Starboard) | Advance(L) | 3.62 | 2.75 | 3.10 | 2.72 |
| | Tac. Dia.(L) | 3.69 | 2.49 | 3.21 | 2.62 |
| 10°/10° Z/Z | 1st O.S.A. | 8.00 | 9.06 | 10.21 | 7.0 |
| | 2nd O.S.A. | 11.76 | 25.71 | 24.65 | 25.0 |
| 20°/20° Z/Z | 1st O.S.A. | 13.92 | 18.47 | 19.61 | 16.0 |

4. 결 론

본 논문은 선미 형태가 재래선형(closed stern)인 선박의 계열시험에 의한 Inoue 및 Kijima 추정법을 개선하기 위해, 선미벌브선형에 대해 계열시험을 수행하였다. 시험 결과로부터 유체력미계수 및 실험정수는 선박의 주요 제원에 의해 회귀분석되었고, 그 결과로부터 민감도해석 및 조종성능해석을 수행하였다.

- 1) 민감도해석에 의하면 선형유체력미계수와 ϵ 값에 의한 상대민감도가 가장 크며, 종속변수는 지그재그 2차 오우버슈트각의 민감도가 가장 크다. 그러므로 이들 값의 해석은 세심한 주의를 필요로 한다.
- 2) 본 논문의 추정법은 선미벌브형태의 선박에 대한 조종성능을 추정하기 위하여 초기설계 단계에서 유용하게 사용될 수 있다.

- 3) 앞으로 더 많은 계열시험을 수행하여 데이터베이스를 보완해야 하며, 고속선에 적용될 수 있는 조종성능 추정기법이 추가로 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Inoue, S. et al., "A Practical Calculation Method of Ship Manoeuvring Motion", I.S.P., Vol.28, 1981.
- [2] Kijima K., et al., "On a Prediction Method of Ship Manoeuvring Characteristics", MARSIM 93, 1993.
- [3] IMO A 18/Res. 751, 22 November, 1993
- [4] 손경호, 이경우, "선미벌브를 갖는 선박의 조종 특성에 관한 연구", 대한조선학회 논문집, Vol.31, 제 3호, 1994
- [5] 이호영, 염덕준 "선박조종 성능의 이론적 및 실험적 연구", 연구 보고서, HMRI-96-06-S106, 1996.
- [6] 이호영, 염덕준, 신상성, 이태일, "PMM 모형 시험에 의한 조종성능 추정 -수학 모델에 따른 비교연구-", 대한조선학회논문집, Vol.34, 제2호, 1997
- [7] MMG Report I~IV, Bulletin of the Society of Naval Architects of Japan, 1977
- [8] Ishiguro, T., et al., "A Study on the Accuracy of the Prediction Technique on Ship's Manoeuvrability at Early Design Stage", MARSIM 96, 1996
- [9] Yoshimura, Y., "On the Parameters of Effective Inflow Stream on a Rudder", Report to 10th JMDRC(in Japanese), 1986
- [10] Kose, K. et al., "Concrete of Mathematical Model for Ship Manoeuvrability", Journal of S.N.A.J., 1981