

## 초기설계시 선박의 선미 형상을 고려한 조종성능 추정에 관한 연구

이승건\*, 최재영\*\*, 서영석\*\*, 이우진\*\*

## A Study on the Prediction of the Maneuverability of Ships at Initial Design Stage, Considering Stern Form

by

Seung Keon Lee\*, Jae Young Choi\*\*, Yeong Seok Seo\*\* and Woo Jin Lee\*\*

### 요 약

선박의 조종성능을 추정하기 위해서는 모형시험을 수행하는 것이 가장 신뢰성 있는 방법이다. 그러나 선박의 초기설계단계에서 주요목, 프로펠러 그리고 타의 특성들과 같은 한정된 자료로써 선박의 전반적인 조종성능을 추정하기 위한 다른 방법이 필요하다.

이 논문에서 일본의 연구원들에 의해 수행된 구속 모형시험을 이용하여 Sway Force와 Yaw moment의 선형미계수에 대한 새로운 추정식을 제안하였다.

이 방법에 의해 선박의 조종성능을 평가하는 경우, 선미 Frame Line 형상과 선미 Profile의 영향을 고려할 수 있다. 두 척의 모형선을 대상으로 조종운동 Simulation과 자유항주시험을 비교하여, 본 추정법의 유용성을 검토하였다.

### Abstract

To predict the maneuverability of a ship, it is most reliable to carry out the model tests for the ship. But, at the initial design stage of ships, some other methods of predicting the overall maneuverability of ships with confined data, like principal dimensions and propeller and rudder characteristics, are required.

In this paper, the authors suggested new formulas for the linear derivatives of the sway force and yaw moment, based on the captive model test carried out by the Japanese researchers.

These formulas can account the effects of stern frame line shape and stern profile, when assessing the maneuverability of ships. The usefulness of the formulas are discussed by comparing the simulations with the model tests.

발 표 : 1998년도 대한조선학회 추계연구발표회('98. 11. 14)

접수일자 : 1998년 12월 31일, 재접수일자 : 1999년 3월 25일

\* 정회원, 부산대학교 공과대학 조선해양공학과

\*\* 학생회원, 부산대학교 대학원 조선해양공학과

## 1. 서론

선박의 조종성능을 추정하는 방법으로서, 현재로는 모형선에 의한 구속·자유 항주 시험이 가장 신뢰성이 높은 방법이다. 그러나 모형시험에서는 많은 시간과 인력, 비용이 요구되므로, 초기설계 단계에서 적용하기는 어렵다.

따라서, 선박의 초기설계 단계에서는 선체 주요 목, 주요 형상 계수, Propeller 특성, 타 형상 등의 한정된 자료들만을 이용하여 조종성능을 추정해 내는 기법이 필요하게 된다[1,2,3,4].

이와 관련하여, 주로 일본의 Inoue[5]와 조선연구협회[6] 등이 일련의 연구를 수행하여 어느 정도 성과를 얻었고, 현재도 수행중이다.

또한, 최근 Fujino[7] 등이 CFD 기법에 의해 조종운동중인 선체에 작용하는 유체력의 계산법을 제안하였다. 이 방법은 아직 정도면에 문제가 있으나, 앞으로 이러한 수치해법이 조종운동의 계산에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

본 연구는 기존의 Inoue나 Kijima에 의한 조종운동 추정법을 기본으로 하고, 여기에 선박의 조종성능과 밀접한 연관을 갖는 선미 Frame-line 형상과 선미 Profile 형태를 고려할 수 있는 파라미터를 도입하여 새로운 추정법을 개발하였다. 즉, 선체에 작용하는 유체력의 추정에 있어, 횡력과 Yaw 모멘트의 선형항을 대상으로 Frame-line과 Profile의 영향을 고려할 수 있는 식을 제안하였다.

## 2. 선체유체력의 추정식

선박의 주요목, 형상계수 등에 의한 조종운동 유체력의 추정법은 Inoue, Kijima 등에 의해 제안되었다. 이들 방법은 조종운동 유체력에 중요한 영향을 미치는 선미 Frame-line 형상이나 선미 Profile 형태 등을 고려할 수 없는 단점이 있다.

최근, 일본의 조선연구협회에서는 Inoue 추정식을 수정하여 선미 Frame-line 형상을 고려할 수 있도록 하였다[6,8,10]. 즉,  $\sigma_a$ 라는 파라미터를 도입하여 선미 Frame-line 형상을 표현한다.

$$\sigma_a = \frac{1 - C_{Wb}}{1 - C_{Pa}} \quad (1)$$

여기서  $C_{Pa}$ 는 후반부의 주형계수

$C_{Wb}$ 는 후반부의 수선면적계수이다.

이  $\sigma_a$ 는 통상 0.2 ~ 0.6 정도의 값을 갖고, 이 값이 작으면 V형 단면, 크면 U형 단면을 의미한다. 본 연구에서도, 이들의 모형시험결과를 사용하였다.

한편, Kose는 Inoue 추정식이 종래의 Normal Stern 선형만을 대상을 한 것에 착안하여, 최근에 많이 건조되는 Mariner형 Stern과 선미 Bulb가 있는 Mariner형 Stern (Hogner Stern with Bulb)에 대한 일련의 모형실험을 수행하여 Inoue 추정식과 비교를 행하였다[9].

본 연구에서는, 이 실험결과를 사용하여 선미 Profile 형태를 이용한 Inoue식의 수정을 시도하였다. 이때  $P_a$ 란 파라미터를 도입하였다.

$$P_a = \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

여기서  $A_1$ 은 Fig. 1에서 선미부의 Base Line과 Bossing 축 및 1/4, 1/2 S.S.(10 Station 기준)로 둘러 쌓인 부분의 면적이고,  $A_2$ 는  $A_1$ 에서 빗금 친 부분과 같이 실제 측면적에 들어가지 않는 면적을 뺀 면적이다.

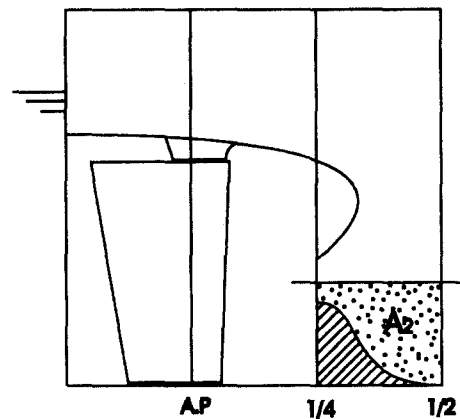


Fig. 1 Definition of parameter pa

통상 이  $P_a$  값은 Normal Stern 일 경우 1.0, Mariner Stern 일 경우 0.85, Hogner Stern with Bulb 일 경우 0.63 정도임을 알 수 있다.

이상의  $\sigma_a$ 와  $P_a$ 에 관한 모형시험 결과[9,10]를 사용하여 선형유체력  $Y_v, Y_r, N_v, N_r$ 에 대해 다음과 같은 수정식을 제안한다.

$$Y_v' = -\left\{ \frac{\pi k}{2} + 1.4(C_B \frac{B}{L}) \right\} (c_1 \sigma_a + c_2 P_a + c_3) \quad (3)$$

$$Y_r' = \frac{\pi k}{4} (d_1 \sigma_a + d_2 P_a + d_3) \quad (4)$$

$$N_v' = -k(e_1 \sigma_a + e_2 P_a + e_3) \quad (5)$$

$$N_r' = -(0.54k - k^2)(f_1 \sigma_a + f_2 P_a + f_3) \quad (6)$$

여기서  $c_1, c_2, c_3, d_1, d_2, \dots, f_1, f_2, f_3$ 는 모두 최소자승법에 의한 Fitting으로 얻어진 계수들로, 그 값들은 Table 1과 같다. 한편, 비선형 항들은 Inoue 식을 그대로 사용하였다.

Table 1 Values of fitted coefficients

$c_1$	1.4045	$d_1$	1.5065	$e_1$	-0.453	$f_1$	0.4683
$c_2$	0.36431	$d_2$	0.22677	$e_2$	-0.0769	$f_2$	-0.06655
$c_3$	-0.247	$d_3$	-0.1898	$e_3$	1.3882	$f_3$	0.75302

### 3. Propeller 추력과 타력

Propeller 추력은 다음과 같은 수학모델을 사용하였다.

$$X_P' = (1-t)n^2 D_P^4 K_T(J_P) / \frac{1}{2} L d U^2 \quad (7)$$

$$K_T(J_P) = C_1 + C_2 J_P + C_3 J_P^2 \quad (8)$$

$$J_P = \frac{U \cos \beta (1 - \omega_P)}{n \cdot D_P} \quad (9)$$

$$\omega_P = \omega_{P_0} \cdot \exp(-4.0 \beta_P'^2) \quad (10)$$

$$\beta_P' = \beta - x_P' \cdot r' \quad (11)$$

$$x_P' \approx -0.5$$

$$\omega_{P_0} = 0.5 C_B - 0.05 \quad (12)$$

한편, 타력은 다음과 같이 추정하였다.

$$F_N' = \frac{A_R}{Ld} \cdot C_N \cdot U_R'^2 \cdot \sin \alpha_R \quad (13)$$

$$C_N = \frac{6.13A}{2.25 + A} \quad (14)$$

$$U_R'^2 = (1 - \omega_R)^2 \{1 + C \cdot g(s)\} \quad (15)$$

$$g(s) = \eta \cdot K \{2 - (2 - K)s\} s / (1 - s)^2 \quad (16)$$

$$\eta = \frac{D_P}{H} \quad (17)$$

$$s = 1.0 - \frac{(1 - \omega_P) \cdot U \cos \beta}{n \cdot P} \quad (18)$$

단, 여기서 H는 Rudder Hight, P는 Propeller Pitch 이다.

$$C = 1.065 \text{ (when } \delta \geq 0 \text{ )}$$

$$0.935 \text{ (when } \delta < 0 \text{ )}$$

$$\omega_R = \frac{\omega_P}{\omega_{P_0}} \times \omega_{R_0} \quad (19)$$

$$\alpha_R = \delta - \gamma \cdot \beta_R' \quad (20)$$

$$\beta_R' = \beta - x_R' \cdot r' \quad (21)$$

$$x_R' \approx -0.5$$

$$X_R' = -(1 - t_R) F_N' \sin \delta \quad (22)$$

$$(1 - t_R) = 0.28 C_B + 0.55 \quad (23)$$

$$Y_R' = -(1 + a_H) F_N' \cdot \cos \delta \quad (24)$$

$$N_R' = -(x_R' + a_H \cdot x_H') F_N' \cos \delta \quad (25)$$

### 4. 조종운동의 Simulation

본 논문에서 제안한 추정식의 유용성을 검토하기 위하여, 2 척의 선박에 대한 Spiral Test와 10° - 10° Zig-Zag Simulation을 수행하였다.

이 결과를 모형시험 결과와 비교하고, 또 종래의 Inoue 추정식에 의한 Simulation과도 비교하였다.

Table 2에 Simulation에 사용된 선박들의 주요 목, Propeller와 타 특성을 표시한다.

Model-A는 V Type 선미 Frame-line 이고, Model-B는 U Type 선미 Frame-line을 갖고 있다. 두 선박 모두 선미 Bulb를 가진 Mariner형 Profile의 선형이다.

Table 2 Principle dimension and propeller, rudder characteristics

		Model - A	Model - B
$L_{pp}$ (m)		3.5	3.5
$B$ (m)		0.6344	0.6344
$d$ (m)		0.211	0.211
$\tau$ (trim)		0	0
$U$ (m/s)		0.807	0.807
$C_B$		0.8045	0.8018
$C_P$		0.8084	0.8057
$C_W$		0.8879	0.8567
$\sigma_a$		0.391	0.632
$P_n$		0.63	0.63
Propeller	$P$ (m)	0.0645	0.0645
	$D_P$ (m)	0.1028	0.1028
Rudder	$A_R$ (m <sup>2</sup> )	0.00997	0.00997
	$\Lambda$	1.646	1.646
	$H$ (m)	0.1372	0.1372

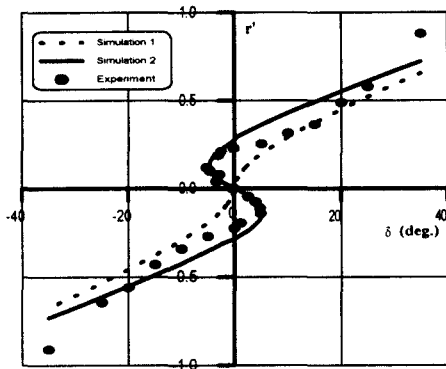


Fig. 2 Spiral test for model-A

우선, Spiral Test에 관한 Simulation과 모형시험 결과를 Fig. 2 ~ Fig. 3에 표시하였다.

그림에서 Simulation 1은 유체력을 Inoue의 추정식으로 구한 경우이고, Simulation 2는 본 논문에서 제안한 선형항들의 수정식을 이용한 것이다.

Model-B의 경우, 침로안정인 선형이므로 Simulation 1과 Simulation 2 사이에는 거의 차이가 없고, 모형시험 결과와도 잘 일치하고 있으나,

Model-A의 경우 침로불안정 선형으로 Simulation 2 쪽이 모형시험 결과를 잘 표현하고 있다.

다음으로, 두 선박에 대한 10° -10° Zig-Zag test의 Simulation과 모형시험 결과를 Fig. 4 ~ Fig. 5에 나타냈다.

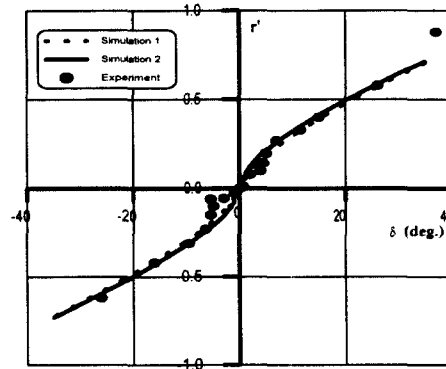


Fig. 3 Spiral test for model-B

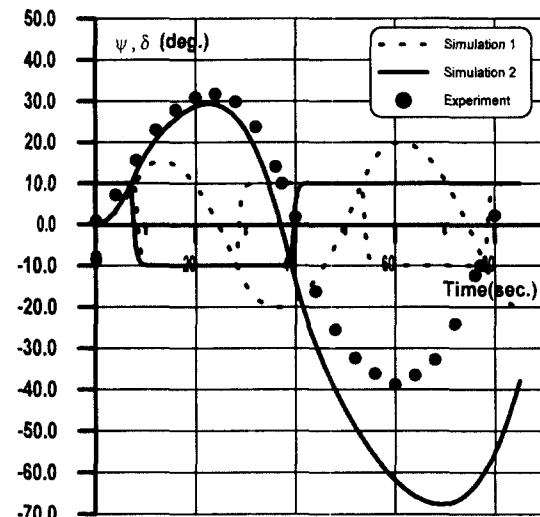


Fig. 4 10° -10° Zig-Zag test for model-A

Spiral Test에서도 예측한 바와 같이 Model-B의 경우는 Simulation 1과 Simulation 2의 차이가 거의 없고, Overshoot Angle도 실험과 상당한 일치를 보이고 있다. Model-A의 경우는 Simulation 2 쪽이 좀 더 모형시험 결과에 접근하고 있으므로,

침로 불안정인 선박의 경우 본 논문에서 제안한 수정법이 상당히 유효하다고 사료된다.

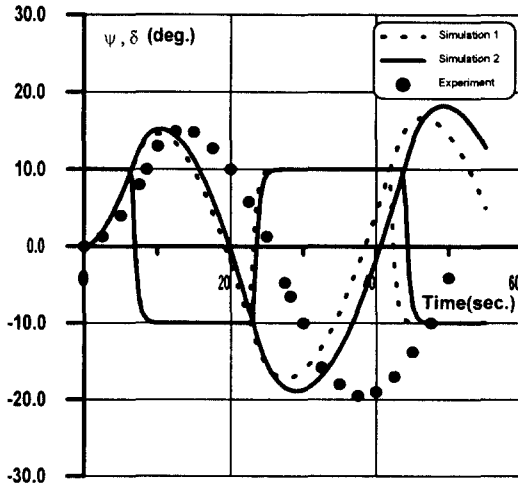


Fig. 5 10° -10° Zig-Zag test for model-B

## 5. 결론

초기설계단계에서 선박의 조종성능을 추정하는 방법으로서, 기존의 Inoue 등에 의한 추정식에 약간의 수정을 가하여 선미 Frame-line 형상과 선미 Profile 영향을 고려할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Inoue에 의한 횡력과 선수요 모멘트의 추정식을 개량하여, 선미 Frame-line 형상을 표현하는 파라미터  $\sigma_a$ 와, 선미 Profile 영향을 나타내는 파라미터  $P_a$ 에 관한 새로운 식들을 제안하였다.

(2) 그 결과, 새로운 추정식에 의한 Simulation은 종래의 방법보다 좀 더 모형시험 결과와 잘 대응하고 있다.

(3) 본 추정법의 정도를 향상시키기 위해서는, 다양한 선형에 대한 체계적인 구축모형시험이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 대학교수 해외파견 연구지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] Chang Gu Kang, Yeon Gyu Kim, "A Prediction method of maneuverability including the effects of side profile at the initial design stage", Proc. of PRADS95 (1995)
- [2] 이승건, 김수정, "초기설계시 선박의 조종성능추정에 관한 연구", 대한조선학회 논문집 제32권 제4호(1995)
- [3] 이호영, 엄덕준, 신상성, 이태일, "PMM 모형시험에 의한 조종성능 추정 수학적모델에 따른 비교", 대한조선학회 논문집 제34권 제2호(1997)
- [4] 이호영, 신상성, 엄덕준, "초기설계단계에서 선박의 조종성능 추정에 대한 정도 향상 연구", 대한조선학회 논문집 제35권 제1호(1998)
- [5] 井上井祐, 他 "操縦時船體に働く横力・モーメントの非線型項について", 西部造船會會報第58号(1979)
- [6] 日本造船學會 運動性能研究委員會, "操縦性研究の設計への應用", 第12回 Symposium (1995)
- [7] 大森拓也, 藤野正陸, 他 "肥大船の操縦運動中の流場に関する研究", 日本造船學會論文集 第179号 (1996)
- [8] Yasuo Yoshimura, "Prediction of ship maneuverability of SR221 series model with full load and ballast conditions", Proceeding of the Workshop on Ship Maneuverability, Kyushu, Japan (1998)
- [9] 小瀬邦治, 他 "船尾形状が操縦性能に及ぼす影響に関する研究", 西部造船會會報 第78号 (1989)
- [10] 日本造船研究協會 第221研究部會, "操縦運動時の船體周圍流場に関する研究", 成果報告書(1996)