

---

 論 文
 

---

大韓造船學會論文集  
 第 32 卷 第 4 號 1995 年 11 月  
 Transactions of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 32, No. 4, November, 1995

## 初期設計時 船舶의 操縱性能 推定에 관한 연구

이승건\*, 김수정\*\*

### Prediction of Maneuverability of a Ship in the Initial Design Stage

by

S. K. Lee\* and S. J. Kim\*\*

#### 요 약

선박의 조종성능 평가는 유체역학적으로 매우 복잡한 문제로, 정확한 조종성능 평가를 위해서  
 는 구속모형시험에 의한 유체력의 계측과 수학모델에 의한 수치시뮬레이션, 또는 자유항주시험  
 등이 필수적이다.

한편 최근 IMO의 "조종성 기준"이 발효되고 나서 각 조선현장에서는 이 기준에 부합되는 우수  
 한 조종성능을 갖춘 선박을 설계초기 단계에서부터 계획할 필요성을 느끼게 되었다.

그러나, 초기설계단계에는 아직 선도가 정해지지 않아, 모형선을 만들수 없고, 따라서 선박의  
 주요목 (예를 들어 L, B, d, C<sub>b</sub>, Trim ···) 및 프로펠러 제원, 舵형상과 같은 극히 제한된 자  
 료를 入力으로 하여 조종성능을 어느정도 평가할 수 있어야 한다. 본 논문은 이러한 관점에서, 종  
 래의 각종 구속모형시험 결과를 종합하고, 제안된 경험식등을 이용하여 선박의 조종성능을 추정하  
 는 전산 프로그램을 개발하였다.

#### Abstract

The assessment of maneuverability of a ship is very important from the view point  
 of safety of human beings and of pollution of ocean. And, it is quite natural that every  
 ship yard wants to have some tools with which they can build a ship with good  
 maneuverability. But, maneuverability of a ship is very subtle problem, and to calculate  
 the exact maneuvering motion, lots of captive model tests must be carried out.  
 Furthermore, in the initial design stage we can not make the scale model, because the  
 lines of a ship is not fixed.

---

발 표 : 1995년도 대한조선학회 춘계연구발표회('95. 4. 21)

접수일자 : 1995년 5월 12일, 재접수일자 : 1995년 8월 7일

\* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과/ 기계기술연구소

\*\* 정회원, 삼성중공업 선박해양연구소

In this paper, some approximate method to calculate the maneuvering motion of a ship, with the principal dimensions of hull, and propeller, rudder characteristics only, is studied.

And, proposed approximate method is used to calculate the turning and zig-zag maneuver of several ships.

The results of those calculations and the usability of the method are discussed.

### 1. 서론

船舶의 操縱性能을 평가하고 이를 設計에 반영하여 보다 우수한 操縱性能을 갖춘 船舶을 건조하려는 노력이 최근 造船現場에서 활발하게 이루어지고 있다.

또한 1994년 발효된 국제해사기구(IMO)의 조종성 기준안과 결부되어 初期 設計段階에서 어느정도 선박의 조종성능을 예측할 필요성을 느끼게 되었다 [1].

그러나 선박의 조종성능은 유체역학적으로 매우 복잡 미묘한 문제로서, 정확한 모형시험 자료와 합리적인 수학모델을 사용하지 않으면 精度높은 추정이 불가능하다 [2].

따라서, 선도가 결정되지 않은 初期設計段階에서 船舶의 主要目이나 프로펠러제원, 舵의 形狀만을 가지고 操縱性能을 推定하는 것은 매우 힘든 일이나, 체계적인 모형시험 및 실적선의 자료를 기초로 한 경험식의 구축등으로, 어느정도 선박의 초기설계시 조종성능 추정이 가능하다면, 이는 선박설계에 상당한 도움이 될 것이다.

본 논문은, 이와 같은 초기설계시 조종성능 추정법의 개발을 목표로 하여, 지금까지의 연구성과를 기초로 하고 각종 구속모형시험자료와 제안된 경험식등을 종합하여 독자적인 추정법을 개발하였다 [3,4,5].

### 2. 조종운동 수학모델

#### 2.1 운동 방정식

Fig.1과 같은 선체고정좌표계 o-xy를 사용하여, 전진속도 u, 횡방향속도 v, 선회각속도 r 로 운동하는 질량 m, 관성모멘트 I<sub>zz</sub>인 선박의 Euler 운동방정식은 다음과 같다.

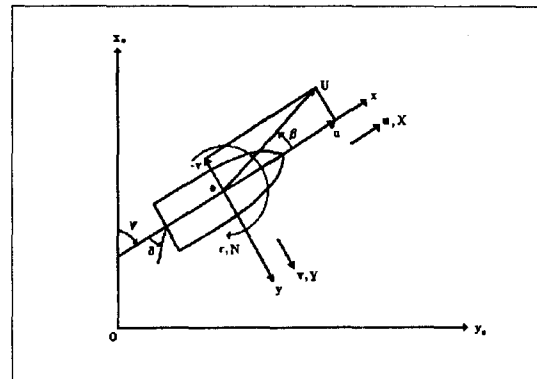


Fig.1 Coordinate system

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X \\ m(\dot{v} + ur) &= Y \\ I_{zz} \cdot \dot{r} &= N \end{aligned} \tag{2.1}$$

식 (2.1)에서 우변의 X,Y,N은 船體에 작용하는 모든 流體力을 나타내고 있다. MMG(Mathematical Modeling Group of Japan)의 제안에 따라 이들을 선체와 프로펠러, 타의 단독에 대한 유체력과 그들의 相互 작용의 합으로 나타내기로 한다. 자세한 수학 모델에 관해서는 생략한다.

#### 2.2 Hull의 유체력

조종운동 계산시 가장 중요한 流體力은 선체에 작용하는 것이다.

현재까지 개발된 3차원 세장체 이론등을 사용하면 이 유체력은 線形범위에서는 상당한 精度로 추정이 가능하다. 하지만 非線形 유체력에 대해서는 有用한 방법이 없으므로, 엄밀한 유체력을 구하기 위해서는 拘束模型시험을 하지 않을 수 없다.

한편, 1978년에 Inoue등은 10척의 여러 船型에 대해 B/L, C<sub>b</sub>, B/d, Trim 등을 체계적으로 변화시키며 선체유체력을 실험적으로 구하여 이들 결과를

종합한 推定式을 발표하였다 [6,7]. 본 논문은 이 推定式을 사용하여 선체의 유체력을 추정하기로 한다. 참고로 이들 式을 소개하면 다음과 같다.

$$Y_v' = [-\frac{1}{2} \pi k - f(C_b \cdot B/L)](1 + \frac{2}{3} \frac{\tau}{d_m}) \quad (2.2)$$

$$Y_r' = \frac{1}{4} \pi k (1 + 0.80 \frac{\tau}{d_m}) \quad (2.3)$$

$$N_v' = -k(1 - \frac{0.27}{l_v'} \frac{\tau}{d_m}) \quad (2.4)$$

$$N_r' = -(0.54 k - k^2)(1 + 0.30 \frac{\tau}{d_m}) \quad (2.5)$$

$$Y_{vv}' = -6.49(1 - C_b) \frac{d_m}{B} + 0.0795 \quad (2.6)$$

$$Y_{vr}' = 1.82(1 - C_b) \frac{d_m}{B} + 0.447 \quad (2.7)$$

$$Y_{rr}' = -0.4664(1 - C_b) \frac{d_m}{B} \quad (2.8)$$

$$N_{rr}' = -1.70 | C_b B/L - 0.157 |^{1.5} - 0.010 \quad (2.9)$$

$$N_{vvr}' = -3.25 C_b B/L + 0.35 - 10^{-7} (\frac{L}{C_b B})^6 \quad (2.10)$$

$$N_{vrr}' = 0.444 C_b d_m/B - 0.064 \quad (2.11)$$

이상은 감쇠력에 관한 것으로 부가질량  $m_x, m_y$  나 부가 관성모멘트  $J_{zz}$  등은 Potential이론으로 계산이 가능하나, 다음과 같은 Motora에 의한 推定式을 사용하였다 [8].

$$\begin{aligned} \frac{m_x}{m} &= (2.246 + 17.242 d/B + 5.873 C_b - 1.472 L/B \\ &\quad - 7.406 (d/B)^2 + 4.687 C_b^2 + 0.175 (L/B)^2 \\ &\quad + 22.979 C_b d/B - 1.701 C_b L/B \\ &\quad - 2.198 L/B d/B) 0.01 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \frac{m_y}{m} &= (13.97 + 359.23 d/B + 29.03 C_b - 5.52 L/B \\ &\quad - 198.58 (d/B)^2 - 1.39 C_b^2 + 0.49 (L/B)^2 \\ &\quad - 152.89 d/BC_b - 5.69 C_b L/B \\ &\quad + 11.40 L/B d/B) 0.01 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$I_{zz} = m(0.25L)^2 \quad (2.14)$$

$$\frac{J_{zz}}{\frac{1}{2} \rho L^4 d} = \pi d/L (\frac{1}{12} + 0.017 C_b B/d - 0.33 B/L) \quad (2.15)$$

x방향의 유체력中  $X_{rr}$ 은 다음과 같이 Wagner Smitt 등이 행한 PMM결과를 定式化한 것을 사용

하였다 [9].

$$C_m = (X_{rr} + m_y)/m_y = 1.11 C_b - 0.07 \quad (2.16)$$

### 2.3 저항의 추정

전체저항은 점성저항과 조파저항으로 나누어서 고려하였다.

$$R_T = R_V + R_H$$

본 논문에서는 Holtrop등의 방법을 사용하였다 [10].

#### 2.3.1. 점성저항

$$R_V = 0.5 \rho U^2 S C_F (1 + k_1) \quad (2.17)$$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (2.18)$$

3차원 효과의 Form Factor를 나타내는  $(1 + k_1)$  는

$$\begin{aligned} (1 + k_1) &= 0.93 + 0.48 7118 (B/L)^{1.06806} (d/L)^{0.46106} \\ &\quad (L/L_R)^{0.121563} (L^3/\nabla)^{0.36486} (1 - C_P)^{-0.604247} \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$L_R = L [1 - C_P + \frac{(0.06 C_P kcb)}{(4 C_P - 1)}]$$

여기에서 침수표면적 S는

$$S = 1.7 L d + \nabla/a$$

$\nabla$  : 배수용적 (m<sup>3</sup>)  
Cp : 주형계수

#### 2.3.2. 조파저항 (Fn < 0.4 인 경우)

조종운동 Simulation의 경우는 저속에 해당하므로 Froude수가 0.4미만인 경우만을 고려하였다.

$$R_W = C_1 \nabla \rho g \exp[ m_1 F_n^{-0.9} + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2}) ] \quad (2.20)$$

$$C_1 = 2223105 C_7^{3.78613} (d/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$C_7 = \begin{cases} 0.229577 (B/L)^{0.33333} & ; B/L < 0.11 \\ B/L & ; 0.11 < B/L < 0.25 \\ 0.5 - 0.0625 L/B & ; B/L > 0.25 \end{cases}$$

$$i_E = 1 + 89 \exp \left\{ - (L/B)^{0.80856} (1 - C_W)^{0.30484} \right. \\ \left. (1 - C_P - 0.0225 lcb)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} \right. \\ \left. (100 \nabla / L^3)^{0.16302} \right\} \\ C_W = 0.3 + 0.7 C_f \\ \lambda = 1.446 C_p - 0.03 \frac{L}{B} \\ m_1 = 0.0140407 L/d - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - C_{16} \\ C_{16} = \begin{cases} 8.07981 C_P - 13.8673 C_P^2 + 5.984388 C_P^3; & C_P < 0.8 \\ 1.73014 - 0.7067 C_P & ; C_P > 0.8 \end{cases} \\ m_4 = 0.4 C_{15} \exp \left\{ -0.034 F_n^{-3.29} \right\}$$

$$C_{15} = \begin{cases} -1.69385 & ; L^3/\nabla < 512 \\ -1.69385 + \frac{(L/\nabla^{1/3} - 8)}{2.36} & ; 512 < L^3/\nabla < 1726.91 \\ 0 & ; L^3/\nabla > 1726.91 \end{cases}$$

2.4. Propeller 추력의 계산

조종운동중의 프로펠러 유효 반류계수 추정에 앞서, 먼저 MMG 수학모델에 의한 추력의 표현을 살펴보면 식 (2.21) - (2.27)과 같다.

$$X_P = (1 - t) T \tag{2.21}$$

$$T = \rho n^2 D_P^4 \cdot K_T(J) \tag{2.22}$$

$$K_T(J) = a_0 + a_1 J + a_2 J^2 \tag{2.23}$$

$$J = \frac{u_P}{(n D_P)} \tag{2.24}$$

$$u_P = (1 - w_P) u \tag{2.25}$$

$$(1 - w_P) = (1 - w_{P0}) + c_1 (v_P + c_2 v_P |v_P|)^2 \tag{2.26}$$

$$v_P = -U \sin \beta + x_P \cdot r \tag{2.27}$$

식(2.26)에서  $(1 - w_{P0})$  는 직진시의 프로펠러 유효반류계수이고, 두번째 항은 조종운동에 의한 영향을 나타낸다. 여기서  $c_1, c_2$  등은 실험적으로 정해지는 계수들이다.

여기에서  $v_i$  는 프로펠러 위치에서 기하학적 횡유입속도를 나타낸다.

일반적으로 프로펠러 추력을 계산하기 위해서는 프로펠러 단독실험 결과에 의해 구해진  $K_T$ 값으로 계수  $a_0, a_1, a_2$  를 구하여 프로펠러 추력을 추정한다.

유효반류는 다음과 같은 근사식을 사용하였다 [11].

$$1 - w_P = (1 - w_{P0}) \{ 1 - (1 - \cos^2 \beta_P) (1 - |\beta_P|) \} \\ 1 - w_{P0} = \{ -1.12 (H/D_P) + 2.44 \} \\ \{ -0.0066 (\gamma_A L/D_P) + 0.66 \} \\ \gamma_A = (B/L) / \{ 1.3(1 - C_b) - 3.1 lcb \} \tag{2.28}$$

한 예로, Table 2의 Ship 4의 유효반류를 이 근

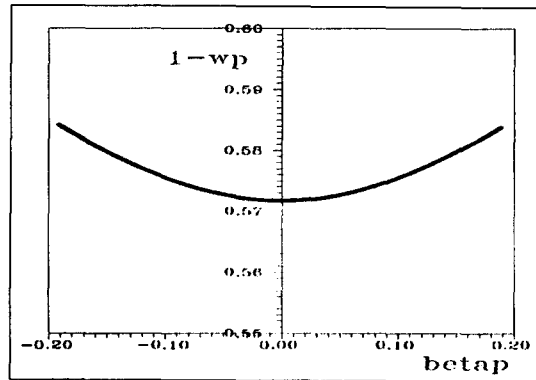


Fig. 2 Calculated effective wake fraction (Ship4)

사식을 사용하여 계산하여 Fig.2 에 나타내었다.

2.5 타직압력의 계산

먼저 MMG수학모델에 의한 舵力은 다음과 같이 표현된다.

$$X_R = - (1 - t_R) F_N \sin \delta \tag{2.29}$$

$$Y_R = - (1 + a_H) F_N \cos \delta \tag{2.30}$$

$$N_R = - (x_R + a_H \cdot x_H) F_N \cos \delta \tag{2.31}$$

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R \cdot U_R^2 \cdot f_a(\Lambda) \cdot \sin \alpha_R \tag{2.32}$$

$$U_R^2 = u_R^2 + v_R^2 \tag{2.33}$$

$$f_a(\Lambda) = \frac{6.13 \Lambda}{\Lambda + 2.25} \tag{2.34}$$

$$u_R = \epsilon u_R \sqrt{\eta \left\{ 1 + K \left( \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1 - \eta)} \tag{2.35}$$

$$v_R = u_R \tan \delta_R \tag{2.36}$$

$$\alpha_R = \delta - \delta_R(\beta_R) \tag{2.37}$$

$$\beta_R = \beta - l_R' \cdot r \tag{2.38}$$

$$l_R = x_R / L \quad (2.39)$$

$$\epsilon = (1 - w_R) / (1 - w_P) \quad (2.40)$$

(1-t<sub>R</sub>)은 타저항감소계수, x<sub>R</sub>은 타위치의 x좌표, K<sub>7</sub>는 프로펠러 추력계수이다. η는 프로펠러 직경과 타높이의 비이다.

또한 a<sub>H</sub>, x<sub>H</sub>는 조타에 의해 선체에 유기되는 횡력 및 모멘트에 관한 간접계수이고, α<sub>R</sub>은 타에의 유효유입각이다.

또 δ<sub>R</sub>(β<sub>R</sub>)은 타직압력 F<sub>N</sub>이 0이되는 타각으로 유효중립타각(Effective Neutral Angle)이라 한다. f<sub>a</sub>(λ)는 타직압력계수 구배이다.

MMG모델에 의하면 타위치에서의 유효유입속도中 x방향성분 u<sub>R</sub>은 u<sub>P</sub>를 이용하여 식(2.35)처럼 표시되고, y방향성분 v<sub>R</sub>은 δ<sub>R</sub>(β<sub>R</sub>)을 이용하여 표현가능하다

u<sub>P</sub>는 이미 식(2.25)에서 전진속도 u와 프로펠러 유효반류계수를 사용하여 표시하였다. 여기서, 유효유입각에 대해서는 다음의 근사식을 사용하였다 [12].

$$\alpha_R = \delta - \gamma \beta_R \quad (2.41)$$

$$\gamma = -0.155 + 0.45 C_b - (105 C_b^2 - 216.5 C_b + 84.6)$$

$$(A_R / (L d) - 0.01)$$

A<sub>R</sub> : 타면적

또한 a<sub>H</sub>, x<sub>H</sub>는 다음식을 사용하였다.

$$a_{H0} = -1.5 q / H + 1$$

$$a_H = \begin{cases} a_{H0} \frac{J_P}{0.3} & ; J_P > 0.3 \\ a_H = a_{H0} & ; \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.42)$$

q : 선체와 타사이의 간격

H : 타의 높이

$$J_P = \frac{u_P}{n P} \quad P : \text{프로펠러 Pitch}$$

$$x_H = -0.45 l$$

조타에 의한 저항감소를 나타내는 (1-t<sub>R</sub>)식은 松本의 모형실험결과를 fitting하여 근사식으로 사용하였다 [13].

$$1 - t_R = 0.13998 C_b + 0.6658 \quad (2.43)$$

식(2.35)의 프로펠러 증속에 관한 계수는 다음의 식을 사용하였다.

$$K = 0.6 / \epsilon \quad (2.44)$$

$$\epsilon = (2.1 H / D_p - 1.45)^2$$

D<sub>p</sub> : 프로펠러 직경

### 3. 조종운동의 계산

실제 계산을 위해 사용한 선박의 기본제원을 Table 2에 제시하였다.

이 7척의 선박들은 시운전자료를 확보한 선박들이다.

이들 기본제원을 입력으로, Zig-Zag Test (10°-10°, 20°-20°)와 Turning Test(舵角= 35°)를 simulation 하고, 시운전 결과와 비교하였다.

시간 간격은 0.1 sec로 하여 Zig-Zag Test는 4-5 주기까지, Turning Test는 360°까지 Runge-Kutta-Gill법을 사용하여 계산하였다.

Ship1에 대하여, 구속모형 시험자료에 의한 simulation 계산결과와, 주어진 초기단계의 자료에 의한 simulation을 비교하여 Fig.3에 Zig-Zag를, Fig.4에 Turning Maneuver의 궤적을 각각 나타내었다.

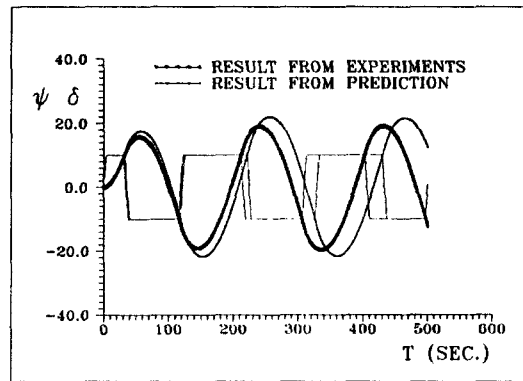


Fig.3 Time History of 10/10deg. Zig-Zag Test (Ship 1, Fn=0.2)

Table 2 Principal Particulars of Selected Ships

No.	Ship 1	Ship 2	Ship 3	Ship 4	Ship 5	Ship 6	Ship 7
Type	Container	Oil Carrier	Container	Container	Container	Chip Carrier	Bulk Carrier
L : length	175.0	234.0	173.0	178.0	226.7	194.0	220.0
B : breadth	25.4	41.6	32.2	30.0	32.2	32.2	43.0
d : draft	8.5	12.3625	16.5	16.8	5.65	8.442	6.58
C <sub>B</sub> : block coef.	0.559	0.8255	0.486	0.608	0.5594	0.8227	0.772
D <sub>p</sub> : propeller dia.	6.533	7.05	6.69	6.5	7.9	7.85	7.25
H : rudder height	7.7583	9.5	8.4	8.7	8.9	8.94	7.78
A <sub>R</sub> : rudder area	33.03757	51.669	31.69	33.59	38.891	61.227	39.06
P : propeller pitch	1.009	0.673	0.791	0.696	1.01	0.759	0.654
x <sub>p</sub> : length from hull to rudder	-0.5	-0.505	-0.505	-0.504	-0.5	-0.5	-0.505
x <sub>r</sub> : length from hull to rudder	-0.526	-0.480	-0.476	-0.483	-0.478	-0.479	-0.48
TS : thrust deduction t	0.175	0.215	0.23	0.232	0.17	0.18	0.24
K1	0.527	0.316	0.360	0.325	0.51167	0.334	0.313
K2	-0.455	-0.383	-0.380	-0.379	-0.4846	-0.389	-0.373
TAU : trim	1.09	0.139	0.005	0.005	5.4	1.004	2.6
XG	-0.018	-0.028	0.022	-0.023	0.044	-0.04	-0.014
U(M/S) : ship speed	8.28	8.0	6.7	7.3	12.19	7.67	7.78
U(Fn)	0.2	0.168	0.163	0.176	0.258	0.17	0.167
n : propeller revolution	3.8	4.45	2.65	3.2	3.8	4.45	2.65

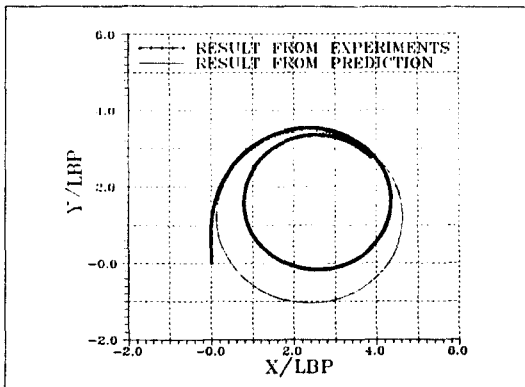


Fig. 4 Trajectory of 35deg. Turning Test (Ship 1,  $F_n=0.2$ )

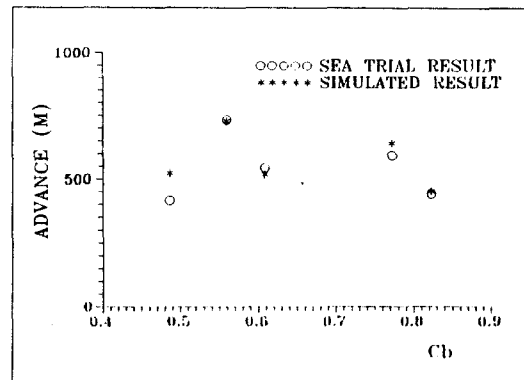


Fig. 7 Advance- $C_b$  (Turning Test)

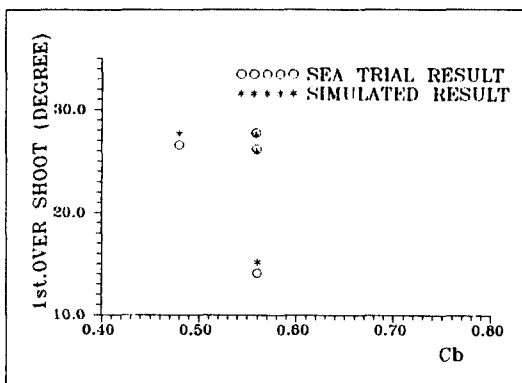


Fig. 5 1st. Over Shoot -  $C_b$  (Zig-Zag Test)

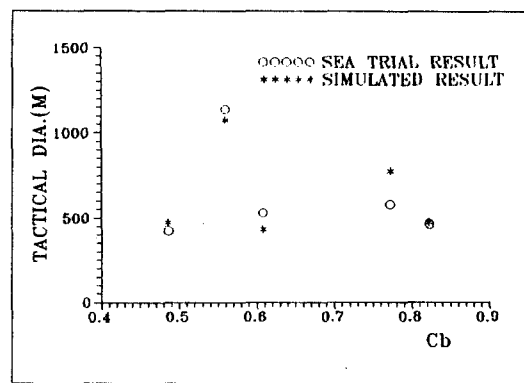


Fig. 8 Tactical Diameter- $C_b$  (Turning Test)

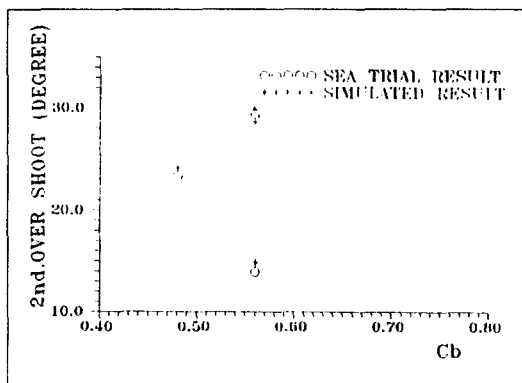


Fig. 6 2nd. Over Shoot- $C_b$  (Zig-Zag Test)

Fig. 5 와 Fig. 6 은 Zig-Zag Test의 경우 First Overshoot와 Second Overshoot를  $C_b$  별로 비교하였고, Fig. 7 및 Fig. 8 에서는 Turning Test의 경우 Tactical Diameter (DT)와 Advance (DA)를  $C_b$  별로 비교하였다.

위 그림들에서 알 수 있듯이 Overshoot Angle은 시운전 결과와 비교하여 매우 양호한 근사값으로 추정되었다. 단,  $C_b > 0.6$  인 경우의 Overshoot Angle이 더 큰 관심사이나, 실선 시운전 자료의 부족으로 본 논문에서는 비교할 수 없었다.

Turning의 경우 Advance나 Tactical Diameter는 최대오차 20% 범위내로 추정가능하였다.

#### 4. 결 론

1) 기본제원 ( L, B, d, C<sub>b</sub>, Trim, 프로펠러 단독 특성,舵형상 등)만을 Input으로 근사식을 사용하여 정확한 조종성평가를 기대하기는 어려우나, 초기설계 단계에서 대략적인 조종성능 추정이 가능하다.

2) IMO 규정에 명시된 1st Overshoot Angle 과 2nd Overshoot Angle, 그리고 Advance, Tactical Diameter에 대해, 7척의 시운전 결과와 본 논문의 추정법에 의한 Simulation결과를 비교하였다. 그 결과 최대 20% 정도의 오차범위내에서 실선 성능을 추정할 수 있었다.

3) 실선 시운전 자료가 부족하여, 좀더 넓은 범위에 걸쳐서 본 추정법의 유효성 검토가 미진하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 工藤榮介 : 操縦性基準とその背景-運動性能研究委員會, 第10回シンポジウム
- [2] 高品純志,石黒剛 : 船の設計と操縦性能-運動性能研究委員會,第10回シンポジウム
- [3] 岡本洋,山上順雄,鬼木博文 : 船舶の操縦性における模型試験法と實船の性能の推定關西造船協會誌 第164號 (1977)
- [4] 小瀬邦治,原田久明,平尾三郎,木喬泰久,金子昌弘 : 船尾形狀が操縦性能に及ぼす影響に関する研究-西部造船學會會報 (1989)
- [5] 藤野正隆 : 實船・模型船の相關に関する研究の概要-船誌, 第668號 (1985)
- [6] 井上正祐,平野雅祥,向井一浩 : 操縦時船體にはたらく横力・モーメントの非線形項について-西部造船學會會報,第58號 (1979)
- [7] 井上正祐,平野雅祥,平川雄二,向井一浩 : 等吃水船體の操縦微係について-西部造船學會會報, 第57號 (1979)
- [8] 元良誠三 : 船體運動に對する附加質量および附加慣性モーメントについて,造船協會論文第105號,106號,107號 (1960)
- [9] Wagner,S.L. and Chislett,M.S. : X<sub>ww</sub>'for Models of a Fast Container Vessel and Two Large Tankers, Measured with a Planar Motion Mechanism-Materials for Manoeuvrability Committee Reports to 13th ITTC (1972)
- [10] J.Holtrop,G.G.J.Mennen : A Statistical Power Prediction Method, I.S.P. Vol.25 (1978)
- [11] 松本憲洋,末光啓二 : 操縦運動の數學モデルにおける船體・推進器・舵の干涉效果-關西造船協會誌,第190號 (1983)
- [12] Shigeru Asai : Study on a Practical Method of Estimation for Maneuverability of Ships-J. Kansai Soc. N.A., Japan, No.178 (1980)
- [13] 松本憲洋,湯室彰規 : 船體,舵,プロペラの流體力學的相互干涉-運動性能研究委員會,第4回シンポジウム(1987)